

経済産業省 平成 20 年度技術戦略マップローリング委託事業
(分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ作成支援事業)

分野横断型科学技術アカデミック・
ロードマップ[°]

報 告 書

平成 21 年 3 月

横断型基幹科学技術研究団体連合

はじめに

横断型基幹科学技術研究団体連合（略称：横幹連合）は、文理に跨る42学会からなる研究団体組織である。縦に細分化されつつある科学技術に対して横の軸の重要性を主張し、各分野で蓄積されつつある知の統合を通じて、社会のイノベーションへつながる新たな学問の展開を図ることを目的の一つとしている。横幹連合の会員学会の学術分野や研究課題の多くは、人間、社会、人工物、自然などが複雑に関連しており、理工学系や人文社会学系の細分化した個々の領域だけでは取り組むことが困難な状況にあるが、理工学分野と人文社会学分野との交流や連携が未だに遅れており、知の統合をいかに推進するかという課題は横幹連合として取り組むべき大きな目標である。

この活動の一環として、横幹連合では平成19年度から分野・学会を横断するアカデミック・ロードマップの策定に取り組み、知の統合を進める基盤として何が必要か、それらの基盤整備がどのように進展していくと予想されるか、その結果としての知の統合を社会としてどのように活用できる可能性があるか、等の検討を進めてきた。

幸いにも、平成20年度の経済産業省技術戦略マップローリング委託事業（アカデミック・ロードマップ作成支援事業）の大きな支援を受けることができ、アカデミック・ロードマップの作成を通して横幹連合としてこれらの課題に取り組むこととなった。今回は、「知の統合」、「社会システムのモデリング・シミュレーション技術」、「人間・生活支援技術」の3つを取り上げた。これらの課題の重要性に関しては、昨年のアカデミック・ロードマップの検討の中でも指摘されている。工学系と人文社会系との連携が不可欠な分野の目標課題でもあり、人文社会科学系の研究者にもご協力をいただくことにした。

なお、これに先立ち、平成19年度には経済産業省の技術戦略マップローリング委託事業の中で、アカデミック・ロードマップ作成支援事業の支援を受け、「学会横断型アカデミック・ロードマップ報告書」を作成した。この中で、横幹連合が関連する横断型学術分野として、「制御・管理技術分野」、「シミュレーション分野」、「ヒューマンインターフェース分野」、「ものづくり分野」の4つの分野を取り上げ、横幹連合会員学会の中から計測自動制御学会、日本シミュレーション学会、ヒューマンインターフェース学会、精密工学会の4学会にそれぞれ幹事学会をお願いし、他の会員学会の協力連携のもとでアカデミック・ロードマップに関する検討が行われた。今年度の活動はこの成果をベースに視点を拡大し、人間・社会とのかかわりに重点を置いて検討を行った。

本報告書は、各WGの委員の精力的な活動により、最終的な検討結果をまとめたものである。今回の成果は各課題に対してまだ不十分な点も多いが、今後の横幹連合と会員学会の活動はもとより、わが国の将来のイノベーションに少しでも貢献できれば幸いである。

このアカデミック・ロードマップ作成の過程では、経済産業省から多大な支援と多くのご助言をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

平成21年3月

特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合
理事 横幹ロードマップ委員会委員長 佐野昭

委 員 一 覧

統括委員会（横幹ロードマップ委員会）

委員長	：佐野 昭	慶應義塾大学（横幹連合理事）、WG1 主査
副委員長	：出口光一郎	東北大学（横幹連合理事）
幹 事	：神徳徹雄 井上雄一郎	産業技術総合研究所（横幹連合企画委員会委員） 横幹連合顧問
委 員	：川村貞夫 鈴木久敏 山崎 憲	立命館大学（日本ロボット学会）、WG 3 主査 筑波大学（横幹連合副会長） 日本大学（日本シミュレーション学会、横幹連合理事）、WG 2 主査
アドバイザリ委員		
	：江尻正員	産業技術コンサルタント（横幹連合前副会長、横幹ロードマップ委員会前委員長）
補助研究員	：富田武彦 潮 裕子	横幹連合事務局員 横幹連合事務局員

WG 1（ワーキンググループ 1）

主 査	： 佐野 昭	慶應義塾大学（計測自動制御学会）
副主査	： 出口光一郎	東北大学（計測自動制御学会）
委 員	： 遠藤 薫 太田敏澄 小林信一 新 誠一 鈴木久敏 田中健次 椿 広計 長嶋雲兵 原 尚幸 藤井眞理子 宮本定明 安岡善文	学習院大学（日本社会情報学会） 電気通信大学（日本社会情報学会） 筑波大学（研究・技術計画学会） 電気通信大学（計測自動制御学会） 筑波大学（日本経営工学会） 電気通信大学（日本信頼性学会） 統計数理研究所（応用統計学会） 産業技術総合研究所（日本コンピュータ化学会） 東京大学（応用統計学会） 東京大学（日本オペレーションズ・リサーチ学会） 筑波大学（日本知能情報ファジィ学会） 国立環境研究所（日本リモートセンシング学会）
協 力	： 高橋 進	東海大学（日本経営システム学会）

WG 2 (ワーキンググループ2)

主 査：	山崎 憲	日本大学（日本シミュレーション学会）
副主査：	古田一雄	東京大学（ヒューマンインタフェース学会）
幹 事：	大石進一	早稲田大学（日本シミュレーション学会）
委 員：	和泉 潔 七条達弘 辻 竜平 寺野隆雄 中西美和 中谷祐介 久本誠一 増田浩通 宮脇 昇 渡邊一衛	産業技術総合研究所（人工知能学会） 大阪府立大学（日本経済学会） 信州大学（数理社会学会） 東京工業大学（計測自動制御学会） 千葉大学（日本人間工学会） 早稲田大学（日本シミュレーション学会） 製品評価技術基盤機構（日本人間工学会） 千葉工業大学（プロジェクトマネジメント学会） 立命館大学（日本シミュレーション&ゲーミング学会） 成蹊大学（日本経営工学会）

WG 3 (ワーキンググループ3)

主 査：	川村貞夫	立命館大学（日本ロボット学会）
副主査：	大倉典子	芝浦工業大学（計測自動制御学会）
幹 事：	稻見昌彦	慶應義塾大学（日本バーチャルリアリティ学会）
委 員：	伊東昌子 市川 純 加藤俊一 小松原明哲 篠田裕之 武田博直 辻 敏夫 持丸正明 山本 栄 渡辺富夫	常磐大学（プロジェクトマネジメント学会） 早稲田大学（ヒューマンインタフェース学会） 中央大学（日本感性工学会） 早稲田大学（日本人間工学会） 東京大学（計測自動制御学会） 株セガ（日本バーチャルリアリティ学会） 広島大学（日本バイオメカニクス学会） 産業技術総合研究所（日本人間工学会） 東京理科大学（日本人間工学会） 岡山県立大学（ヒューマンインタフェース学会）

アドバイザー

福田賢一	経済産業省
清丸勝正	経済産業省
前川睦敏	経済産業省

目 次

はじめに	i
委員一覧	ii
第1章 事業目的と事業内容	1
1. 1 事業目的	1
1. 2 事業内容	1
第2章 概 要	4
2. 1 実施方法	4
2. 2 実施体制	4
2. 3 実施スケジュールと実施状況	6
第3章 知の統合に関するアカデミック・ロードマップ	9
3. 1 はじめに	9
3. 2 知の統合の推進に向けて	11
3. 3 文理の枠を超えた相互理解型社会に向けて	15
3. 4 リスクガバナンスのための総合情報基盤構築	24
3. 5 情報循環設計科学をプラットフォームとした定量的リスク科学の創生	
	29
3. 6 持続可能未来社会デザインのための知の統合	35
3. 7 低炭素社会の構築	40
3. 8 電子民主主義による社会の構築	46
3. 9 ヒューマン・マシン協働によるディペンダブルな安全・安心社会の構築	
	51
3. 10 ロボティクス基盤高信頼社会の構築	58
3. 11 生産システムにおける知のプラットフォーム	63
3. 12 計算機シミュレーションによる材料開発・創薦のための知の統合	68
3. 13 知の統合プラットフォームの機能と役割	75
3. 14 おわりに	80
参考文献	83
第4章 社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野のアカデミック・ロードマップ	85
4. 1 はじめに	85
4. 2 複雑系と社会システムシミュレーション	88
4. 3 ヒューマンモデリングと社会システムシミュレーション	95
4. 4 社会システムシミュレーション	102
4. 5 國際公共政策シミュレーション	112
4. 6 経済制度設計のための社会実験シミュレーション	118

4. 7 社会モデリング・社会システムシミュレーションにかかる 社会学的課題 -----	123
4. 8 経済行動シミュレーション -----	132
4. 9 ものづくり・サービスづくりシミュレーション -----	139
4. 10 防災・安全シミュレーション -----	146
4. 11 文化・風土醸成のための参加型シミュレーション -----	152
4. 12 超高齢社会に向けた身体特性シミュレーション -----	158
4. 13 おわりに -----	163
参考文献 -----	166
 第5章 人間・生活支援技術のアカデミック・ロードマップ -----	170
5. 1 はじめに -----	170
5. 2 個の人間の生活支援 ----- 身体の形態計測と解析／日常生活計測システム／複合センシングから 統合化計測／機能・行動のモデル化／喜怒哀楽の計測とモデル化／日常 生活におけるパワーアシストの考え方／アカデミック・ロードマップ	174
5. 3 個の人間と人工物とのインタフェース ----- 「生きがい」とは何か／人間あるいは人間と環境の相互作用を計測す る技術／情報提示技術／生きがいの材料を提供する技術／有用性評価 技術	183
5. 4 個の人間と個の人間から構成される社会 ----- 人間の社会生活を支援する技術／人間の社会生活センシング／人間の 社会生活モデリング／社会生活における共感インターフェース技術／社 会技術システムの設計論／共感・共創・合意形成の科学	203
5. 5 おわりに -----	217
参考文献 -----	220
 第6章 アカデミック・ロードマップの広報・普及活動の報告 -----	224
6. 1 はじめに -----	224
6. 2 活動の概要 -----	224
6. 3 活動の内容 -----	226
6. 4 まとめ -----	235
 第7章 まとめ -----	236
7. 1 分野横断型アカデミック・ロードマップの概要 -----	236
7. 2 知の統合の視点からのまとめ -----	239
7. 3 今後に向けて -----	243
 おわりに -----	245

第1章 事業目的と事業内容

1. 1 事業目的

経済産業省が平成17年度から進めて来られた「技術戦略マップ」およびそのローリング事業の一環として、平成19年度事業として横幹連合では分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップを担当し、制御・管理技術、シミュレーション、ヒューマンインタフェース、ものづくりの4分野を取り上げたところであるが、さらに多くの切り口から議論する必要があることが浮かび上がってきた。

人間、社会、さらに機械との間のネットワーク化によって、社会におけるあらゆるシステムが極端に大規模、複雑化し、その結果、人間や社会といったそれ自身が複雑多様である要素がさらに複雑に絡み合った諸問題が、日常生活に突き付けられている。このような現在の社会的課題への対応には、多くの学問分野の知の結集が不可欠であるが、その連携はあまり進んでいない。特に工学系と人文社会科学系の交流が遅れている。これには、それぞれの学問分野を担う学会を横断する議論を進める上での、それぞれ独自の土壌で育った用語や価値観などの相互理解を可能にするプラットフォームの形成をまず進めなければならないにも関わらず、その方法論が確立されていないからである。また部分最適の対立に陥らずに全体最適を追求する調整手法の探求などにおいては、このプラットフォームの構築が極めて重要であることがあらためて認識されている。

平成20年度は、新しい産業的価値創出やイノベーションには不可欠である異分野の知の統合や連携を可能にするための分野横断型科学技術のアカデミック・ロードマップを作成することを主目的とし、新しい産業価値創造や複雑な社会的課題の解決に向けた学術分野の展開を具体的に予測する。

本事業を通じ、ロードマップ策定プロセスでの新たな技術／研究シーズの発掘やそれらの将来展望のビジュアル化、また成果物としてのロードマップを产学研研究コミュニティで共有化することによるコミュニケーションの円滑化によって、ナショナル・イノベーション・システム構築の基礎となることを目的とする。

また、昨年度から進めてきた分野横断型アカデミック・ロードマップの成果とも併せて、アカデミック・ロードマップ作成の新たな視点と展望を提供し、その成果を広く公開することによってアカデミック・ロードマップ策定を加速・深化させ、さらにそれがロードマップに反映されイノベーションの目標をより明確化するというナショナル・イノベーション・システムの基礎構築に資することを目指す。

1. 2 事業内容

本事業では、上記目的の達成のため、下記の項目を実施することとした。

- ① 分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップの新規作成
 - (a) 知の統合技術分野
 - (b) 社会システムのシミュレーション・モデリング技術分野
 - (c) 人間・生活支援技術分野
- ② 広報・普及活動

以下、各項目の内容について説明する。

① 分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップの新規作成

新しい産業的価値創出やイノベーションには異分野の知の統合や連携が不可欠であるという背景から、本事業では、分野横断化を可能とする共通基幹技術としての統合プラットフォームの構築のあり方とその方法論、統合プラットフォーム上での知の統合のメカニズム、知の統合のための新しい横断型科学技術の学問領域の創成などを具体化するアカデミック・ロードマップを提示することとした。さらに、解決すべき具体的な課題として、統合プラットフォームに基づいた社会システムのモデリング・シミュレーション技術、人間・生活支援技術の二つを取り上げ、より具体的な知の統合による課題解決に向けたアカデミック・ロードマップを作成することとした。

この課題は人間・社会の根幹に関わる極めて大きな課題であり、本年度の活動ですべてを検討し尽くすことは困難かもしれないが、少なくとも今後の検討のベースとなる骨格を提示することを目指した。

(a) 知の統合に関するアカデミック・ロードマップの作成（事業項目①(a)）

知の統合のための方法論を策定するための学術分野、普遍化と課題解決が機能する統合プラットフォーム上における新しい学問領域の構築とその展開、それによる波及効果や知の統合を必要とする課題解決のための学問領域の新たな創成の展開を予測するアカデミック・ロードマップ（ARM）を作成する。その際、下記(b)及び(c)の検討と連携を取りながら進めた。

統合プラットフォームには、新しい学術的方法論を構築する普遍化と、課題解決の具体的技術的実現を行う特殊化の二つの役割がある。知の統合技術では、対象や課題に強くは依存しない普遍性を持った様々な学術的方法論のARMを描くとともに、これにより社会的課題がどのように解決していくかの側面からのARMを描くことを試みた。

さらに、この個々の課題解決を通して、統合プラットフォーム上の学術的方法論の幾つかが統合され新しい学術分野の展開が生み出される可能性を有している。このように、普遍化と特殊化とはループを構成しており、この更新を通して統合プラットフォーム上に、知の統合を必要とする課題解決のための学術分野や研究分野が創出され進展していくことが期待されるが、新たな学問領域創成の可能性についても考察を行った。

また、このような横断型科学技術の知の統合プラットフォーム上に創出・展開される学術分野や研究分野として、リスクマネジメント、ディペンダビリティ評価、コンフリクトマネージメント、モデリング技術、データ解析、意思決定技術、最適化、制御など、多くの学術分野が関連する。これらの学術体系全体の統合プラットフォーム上への展開とそれによる課題解決の過程を考察し、社会が抱える課題の全体最適化へのアプローチを可能とする統合プラットフォームを創出していくARMを提示した。

(b) 社会システムのモデリング・シミュレーション技術のロードマップの作成（事業項目①(b)）

人文社会科学分野におけるシミュレーション技術やモデリング手法は長年に亘る膨大な蓄積データを持ちながらその利用は一部の経済予測に留まっている現状がある。今後、人間の行動を組み込んだ広範な社会システムのモデリング技術とそれに基づく社会デザインは極めて重要な課題であり、この課題解決に向けた文と理の知の連携を可能にする学術的な方法論や研究分野の将来展開のARMを作成することとした。

社会システムのシミュレーションでは、まず個人レベルの人間行動を忠実にモデル化することが結果の精度、信頼性を高めるためことにつながるので、そのために必要な人間行動の計測・分析技術や、認知モデル、人間と環境とのインタラクションモデルなどを検討した。つぎに、個人レベルの人間行動に基づいて集団レベル、組織・社会レベルへとシミュレーション対象の規模、複雑さを拡大するために、集団プロセス、分散認知モデル、人工社会などの技術を扱い、さらに、こうして高度化されたシミュレーション技術を活用、適用するためのデザイン技術、たとえば社会システムのパフォーマンス評価指標や創発的・共創的デザイン手法の研究の方向性を検討した。また、シミュレーションを実装するためのソフトウェア、ハードウェアを含む基盤技術である、大規模マルチエージェントアーキテクチャや、汎用シミュレーションツール、可視化技術なども検討した。

民主的で公正な合意形成の支援、科学的根拠に基づく社会運営、安全・安心で活力ある社会の実現にはリスクマネジメント、コンフリクトマネジメント、等が不可欠でありWG1の活動と連携を取りつつ、人文社会系と理工学系の知見・技術を統合する、社会システムを対象とするシミュレーション技術の横断型ARMを策定することとした。

(c) 人間・生活支援技術のアカデミック・ロードマップの作成（事業項目①(c)）

社会が複雑化し多様化するにつれて、その中で生活する人間にとって、安心・安全が保証された人間・生活支援システムの構築は極めて重要な課題となる。この解決には細分化した学問分野、例えば、人間行動学、心理学、社会学、感性工学、ヒューマンインターフェース、ロボティクスなどを統合化することにより全体最適達成の目標に向けて研究分野や学術領域を展開していくことが必要である。この解決に向けたARMを作成することとした。

人間の形態、機能、行動等をシステム科学の視点でとらえ、近未来の安全で安心な社会構築のために、人間生活支援を目的とした科学技術を検討し、情報通信技術や計測技術等の理系の科学技術だけでなく、文系の心理学、言語学、認知科学などの分野も含めた学問分野を横断的に俯瞰し、近未来における課題解決のためのARMの作成を目指すこととした。

人間と社会が相互に関連する問題を分析し解決していくためには、その課題解決に向けた様々な学術知の統合と普遍化が不可欠である。問題の定式化や枠組みを個々の課題に対する共通化や普遍性の抽出に関しては(a)の統合プラットフォームと深く関わっている。また、人間が係わる課題へアプローチとして、心理学、行動学、社会学など社会科学の学術分野との知の共有や様々な事例の共有を有効に機能させる仕組みの上に創成される新しい研究分野やその方向性を示すことも重要である。

② 広報・普及活動

前節で述べたように、今後のイノベーションを考えるとき分野を超えた知の結集が不可欠である。分野横断型アカデミック・ロードマップは知の統合に正面から向き合うものであり、この成果を広報し普及させることはわが国のイノベーションにとっても重要な課題である。

昨年度の活動成果と今年度活動の中間成果とを併せて公開し、討論を行うことによって知の統合への理解が深まり、ロードマップを活用したイノベーションへ向けての基盤が強化されることを目指す。

本事業に関する学術学会等においてアカデミック・ロードマップの広報普及活動を実施した。具体的な事業内容および実施方法に関しては第6章で述べる。

第2章 概 要

2. 1 実施方法

前章の3つの具体テーマに対して、下記のワーキンググループ（以下WGと記す）（WG1からWG3とする）をそれぞれ設置し、それらを統括する横幹ロードマップ委員会（統括委員会）を設置した。各WGは、横幹連合の関連する会員学会の有識者（各々10名から15名程度）から構成され、それぞれの課題に対して事業期間内に合宿討論を含め4回程度の会合を開催し、アカデミック・ロードマップを作成した。

- (a) WG 1：知の統合に関するアカデミック・ロードマップ作成
- (b) WG 2：社会システムのモデリング・シミュレーション技術に関するアカデミック・ロードマップ作成
- (c) WG 3：人間・生活支援技術に関するアカデミック・ロードマップ作成

本事業において、各WGが担当するテーマは、一つの専門分野を担当する一学会では検討することが難しいこと、さらには人間、社会、自然を包含する課題を取り扱うことから、関連する横幹連合の会員学会だけでなく、人文社会科学分野からも広く委員を委嘱し、文理横断の広い視点から自由な議論ができる体制とした。また、これらのWGを統括し、全体の取り纏めを行う統括委員会として横幹ロードマップ委員会を設けて、全体計画の円滑な遂行のための各種の調整作業や各WGの成果の取りまとめ作業を行うことを目的とした。

さらに、各WGの検討概要の中間報告を平成20年12月5日～6日に東京で開催された第2回横幹連合総合シンポジウムにて行い、WG委員以外の参加者からの意見もフィードバックすることを試みた。また平成21年3月31日に東京で開催された横幹連合と横幹協議会の協同による拡大産学連携委員会にて、昨年度および今年度のアカデミック・ロードマップ作成の成果について報告し、今後の利用について討論することとした。

2. 2 実施体制

本事業の実施体制を図2-1に示す。

横幹連合会員42学会から課題に即した専門家を集め、アカデミック・ロードマップ作成の3課題に対応するWG(WG1～WG3)を設ける。

また、本事業を実施するための中核的機能として横幹ロードマップ委員会を設け、横幹連合としてのアカデミック・ロードマップ全体をとりまとめる。三つのWG(WG1～WG3)を統括するとともに、広報・普及活動についての企画・推進及び関係部門との連絡調整にあたる。

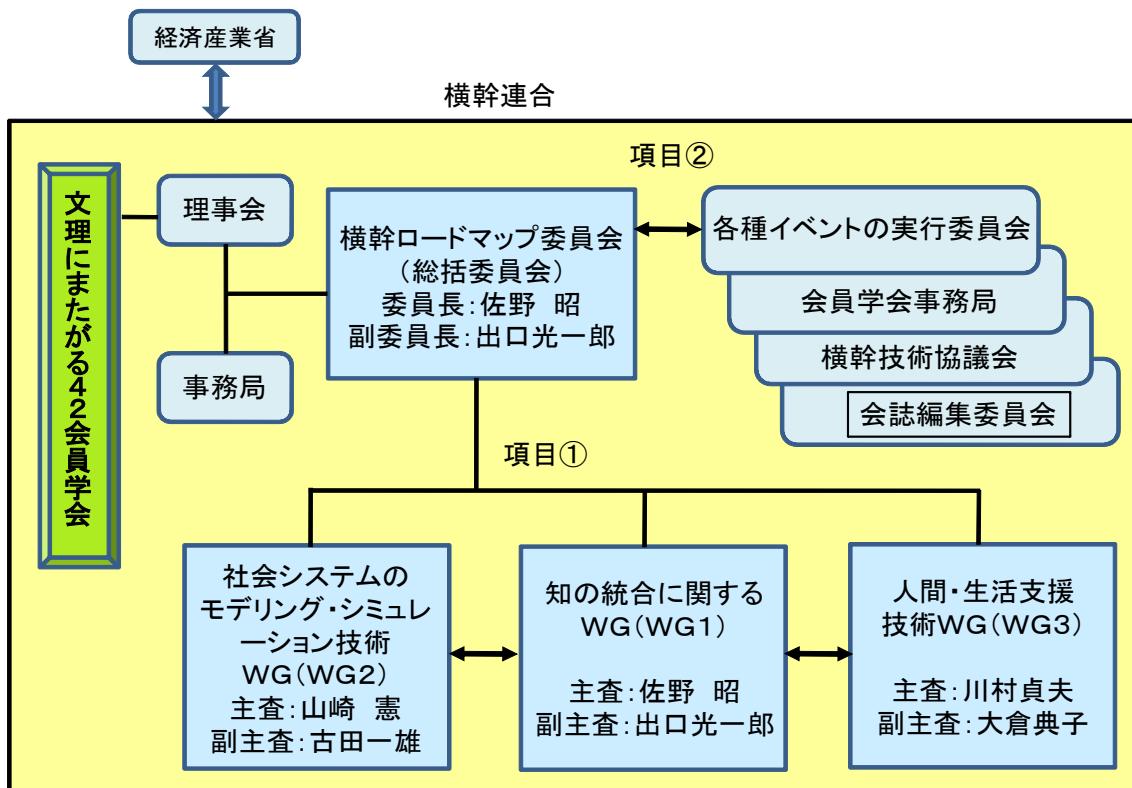


図2－1 アカデミック・ロードマップ作成体制

具体的な実施体制を以下に示す。なお各WGの委員等については前掲したとおりである。

- 総括委員会（横幹ロードマップ委員会）

<業務内容>

下記の3つのWGを統括し、目標の設定、進行スケジュール等の管理・調整を行うと共に、本業務に関連する外部機関との連絡調整に当たる。さらにアカデミック・ロードマップの成果について広報し、討論する機会を設ける。

- WG 1：知の統合に関するアカデミック・ロードマップ作成

<検討内容>

知の統合を推進し展開するための学術分野、普遍化と課題解決が機能する統合プラットフォーム上における新しい学問領域の構築とその展開、それによる波及効果や知の統合を必要とする課題解決のための学問的方法論の新たな創成の展開を予測するARMを作成する。さらに知の統合を推進するための仕組みのロードマップ作成も試みる。

<参加協力学会>

計測自動制御学会、日本社会情報学会、研究・技術計画学会、日本経営工学会、日本信頼性学会、応用統計学会、日本コンピュータ化学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会、日本知能情報ファジィ学会、日本リモートセンシング学会、日本経営システム学会

- WG 2 : 社会システムのモデリング・シミュレーション技術に関するアカデミック・ロードマップ作成

<検討テーマ>

人文社会科学分野におけるシミュレーション技術やモデリング手法は長年に亘る膨大な蓄積データを持ちながらその利用は一部の経済予測に留まっている現状がある。今後、人間の行動を組み込んだ広範な社会システムのモデリング技術とそれに基づく社会デザインは極めて重要な課題であり、この課題解決に向けた文と理の知の連携を可能にする学術的な方法論や研究分野の将来展開に関して考察を行い、横断型アカデミック・ロードマップとして纏める。

<参加協力学会>

幹事学会：日本シミュレーション学会

ヒューマンインターフェース学会、人工知能学会、日本経済学会、数理社会学会、計測自動制御学会、日本人間工学会、プロジェクトマネジメント学会、日本シミュレーション&ゲーミング学会

- WG 3 : 人間・生活支援技術に関するアカデミック・ロードマップ作成

<検討テーマ>

社会が複雑化し多様化するにつれて、その中で生活する人間にとって、安心・安全が保証された人間・生活支援システムの構築は極めて重要な課題となる。この解決には細分化した学問分野、例えば、人間行動学、心理学、社会学、感性工学、ヒューマンインターフェース、ロボティクスなどを統合化することにより、全体最適達成の目標に向けて研究分野や学術領域を展開していくことが必要である。この解決に向けたアカデミック・ロードマップを作成する。

<参加協力学会>

日本ロボット学会、計測自動制御学会、日本バーチャルリアリティ学会、ヒューマンインターフェース学会、日本感性工学会、日本認知心理学会、日本人間工学会

2. 3 実施スケジュールと実施状況

本事業を実施するために図 2-2 のようなスケジュールを定め、この期間中に統括委員会および各 WG とも 4 回程度の会合を持って議論を行うこととした。実際に開催された会合実績を図中に▼印で、またその詳細を表 2-1 から表 2-4 に示す。この会合以外に、電子メールによる頻繁な議論を実施し、とくに纏めの時期では、各 WG による原稿取り纏めと統括委員会による原稿の精査・編集が電子メールをベースとして実施された。

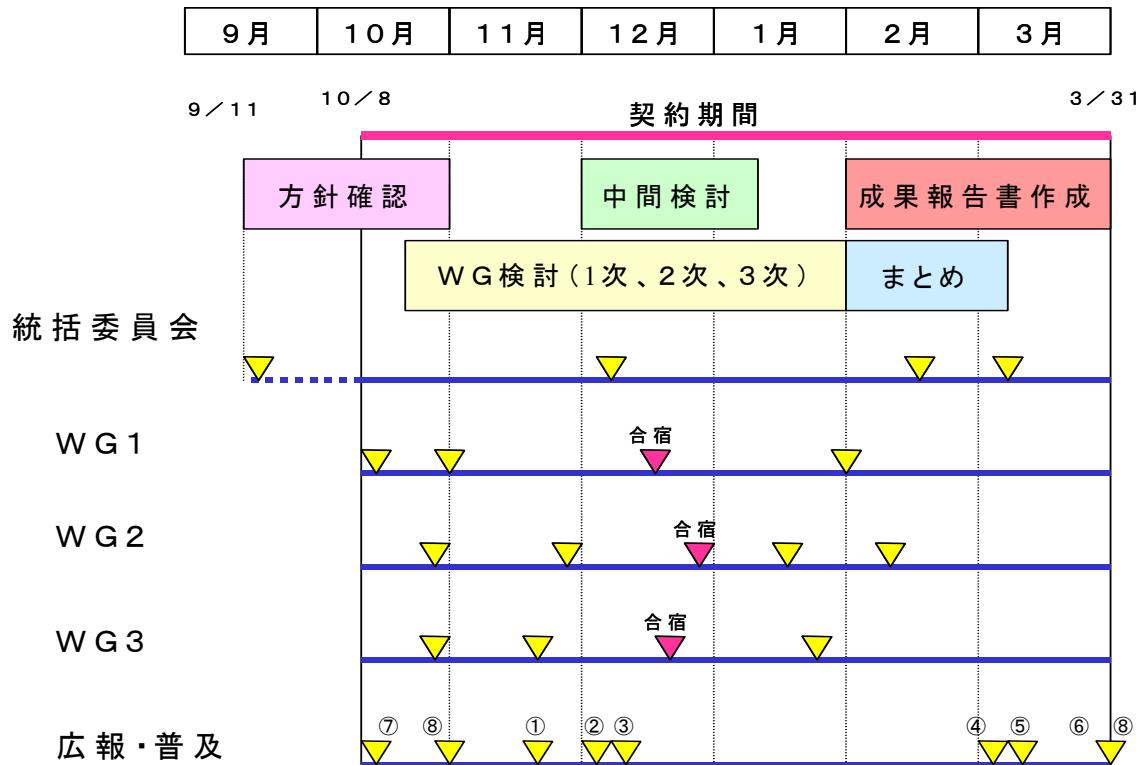


図2－2 アカデミック・ロードマップ作成スケジュール

表2－1 統括委員会（横幹ロードマップ委員会）

	開催日	開催場所	内容
第1回	平成20年9月12日	学士会館分館	趣旨説明、体制紹介、基本方針確認
第2回	平成20年12月5日	筑波大学	進捗状況の確認、広報活動に関する検討、報告書纏め方の概要確認
第3回	平成20年2月13日	東京大学	報告書まとめ方の確認、日程確認、広報活動の検討、
第4回	平成20年3月5日	東京大学	報告書内容確認と精査

表2－2 WG1：知の統合に関する検討

	開催日	開催場所	内容
第1回	平成20年10月13日	慶大 三田	計画の確認、知の統合に関する討論、纏め方についての方針検討
第2回	平成20年11月 1日	慶大 三田	知の統合に向けたシーズおよびニーズ別の課題検討
第3回	平成20年12月13日 ～14日	大橋会館 東京	知の統合を推進するための施策とメカニズム、分野や課題別検討
第4回	平成21年2月 1日	大橋会館 東京	全体マップの検討、執筆内容の検討、全体構成と検討と纏め

表2－3 WG2：社会システムのモデリング・シミュレーション技術に関する検討

	開催日	開催場所	内容
第1回	平成20年10月29日	早大 理工学部	計画の確認、委員各位の活動分野からの話題提供、纏め方についての方針検討
第2回	平成20年11月27日	早大 理工学部	全体基調提示、委員各位による関連技術の紹介、12/5パネル討論に向けた取り組み確認
第3回	平成20年12月25日 ～26日	早大 川奈SH	各分野ロードマップ課題の検討、全体構成の検討、目次案検討
第4回	平成21年1月20日	早大 理工学部	各分野執筆内容の検討
第5回	平成21年2月10日	早大 理工学部	各分野執筆内容の検討、全体構成の検討と纏め

表2－4 WG3：人間・生活支援技術に関する検討

	開催日	開催場所	内容
第1回	平成20年10月27日	立命館大学 東京 キャンパス	計画の確認、委員各位の活動分野からの話題提供、纏め方についての方針検討
第2回	平成20年11月17日 ～20日	立命館大学 東京 キャンパス	取り纏め方針提示に対する議論、委員からの関連する話題提供
第3回	平成20年12月20日 ～21日	大橋会館 東京	方針提示に基づく話題提供、3グループに分かれて取り纏め検討、全体構成確認
第4回	平成21年1月23日	立命館大学 東京 キャンパス	3分野の執筆内容検討、全体構成の検討と纏め



図2－1 WGの合宿討議状況

第3章 知の統合に関するアカデミック・ロードマップ

3. 1 はじめに

学術の発展とともに理工系や人文社会系における知の体系は細分化の方向に進んできた。また細分化により新たな専門分野が生まれ、それを深めるためにさらに新たな知が生まれるというように学術の進展には知の細分化は必然であるともいわれている。しかし、人間、自然、人工物を含む社会におけるシステムが大規模化し複雑化し、この中で人間と社会と技術とが複雑に絡み合った諸問題の解決に対しては、細分化された知では対応ができないという状況も生まれてきている。また、細分化した限られた領域での解決策はしばしば部分最適である場合が多く、必ずしも全体最適な解を与えていたとは限らない。科学技術の発展は、利便性の追求、大量生産・大量消費といった要求を満たしたが、反面多くの負の影響を社会に与えている。具体的には、安全・安心社会の実現や低炭素社会の実現など差し迫った問題に直面している。これらの課題を解決するためには、単に細分化した知の寄せ集めではなく、関連するそれぞれの科学技術の知の統合とその統合の将来のあり方を検討するところから議論を深め、一段高い論理レベルでの広い科学技術の連携と集積を必要とする。人間と社会が複雑に関連する課題解決には、分野を横断した規範が理念として存在しなくてはならないが、そのためには知の統合の技術が各分野を横に貫く「共通の枠組み」として、また「具体的に利用可能な共通ツール」として、実体的に整備していく必要がある。

われわれが直面している多くの課題は、人間、組織、社会、自然、環境などと複雑に絡んでおり、様々に分化した知を統合化する必要があり、そのための統合の概念、方法論、具体的な仕組みなどを実体化していくことが急務となっている。このためのロードマップはこれまで描かれたことはなく、本WGでは、基本的な議論から始め、知の統合を必要とする具体的な事例などを取り上げ、これらのアカデミック・ロードマップを作成するとともに、統合を推進するためのプラットフォームのあり方について検討を行った。

本章では、次節以降において、まず知の統合とは何か、それを推進するための方法論や仕組みには何が必要なのか、について述べ、知の統合による学術や技術が実課題への解を与えるメカニズムとしてのプラットフォームのイメージを示す。この後で、知の統合プラットフォームにより、創出される新しい学術分野や技術分野のアカデミック・ロードマップを、主に、人間、社会、環境、生産などに関連する課題解決に向けて提示し、最後に知の統合という視点からまとめる。

本章の構成は以下の通りである。3. 2 節では、「知の統合の推進に向けて」と題し、知の統合を推進するための知の統合プラットフォームの概念とそのプラットフォーム上に創出される新たな学術や技術による課題解決のメカニズムを述べ、以下の具体的な事例の枠組みを明らかにする。3. 3 節では「文理の枠を超えた相互理解型社会に向けて」と題し、理工系と人文社会系との連携の必要性と相互理解に向けたプラットフォームの構築について述べる。3. 4 節は「リスクガバナンスのための総合情報基盤構築」であり、個々のリスク対象やリスク現象に依存しない共通性や異なる分野の概念融合に着目したプラットフォームの構築に向けたアカデミック・ロードマップを提示する。3. 5 節は「情報循環設計科学

をプラットフォームとした定量的リスク科学の創生」であり、情報循環設計科学をプラットフォームとする新しい学術分野の創出について述べる。3.6節では「持続可能未来社会デザインのための知の統合」と題し、統計科学・数理科学と関連する学術分野の統合による大規模システム推測プラットフォームの構築と諸課題の解決について述べる。3.7節では「低炭素社会の構築」と題し、2050年の温室効果ガス排出量半減に向けた知の統合プラットフォームとそれに基づくアカデミック・ロードマップを示す。3.8節では「電子民主主義による社会の構築」と題し、コンフリクトの存在下での合意形成、政策形成のためのプラットフォーム構築について述べている。3.9節では「ヒューマン・マシン協働によるディペンダブルな安全・安心の社会の構築」と題し、機械と人間の連携するための諸課題を解決するためのプラットフォームを提示している。3.10節では「ロボティクス基盤高信頼社会の構築」と題し、ロボティクスを基盤として、社会科学と人間科学とを連携したプラットフォームについて述べている。3.11節では「生産システムにおける知の統合」と題し、未来の生産システムを支援するための知のプラットフォームの具体的な構築を示している。3.12節では「計算機シミュレーションによる材料開発・創薬のための知の統合」と題し、基盤技術を大規模高速計算機システムとするプラットフォームについて述べる。3.13節では「知の統合プラットフォームの機能と役割」と題し、これまでの各節で示されたアカデミックロード・ロードマップの実行を支援する統合プラットフォームのもつべき機能や役割についてまとめる。

3. 2 知の統合の推進に向けて

3. 2. 1 知の統合とは何か、知の統合の契機は何か

学術の発展の結果として知の細分化が進むことを既に述べたが、知の統合は何らかの契機や積極的な意図なくして推進することは難しいと言われている。知の統合を一般的に定義することは難しいが、定義のもつ本質的な意味については、ある程度共通の認識が必要である。日本学術会議第19期の対外報告書において、「知の統合とは、異なる研究分野の間に共通する概念、手法、構造を抽出することによって、それぞれの分野の間の知の互換性を確立し、それを通してより普遍的な知の体系を作り上げること」と定義されている（日本学術会議、2007；日本学術会議、2008）。古くは、サイバネティクスにおける人間の脳の行動機能と人工物の制御との共通性の解明により、制御工学や生体医工学が創出されたこと、電気工学と機械工学とから高精度な運動の制御を可能にする新たな体系としてのメカトロニクスへの展開、最近では、分子生物学と計算機科学とが融合し新たなバイオインフォマティクス（生命情報学）の創出など、事例を挙げることができる。

前述した定義には、知の統合が具体的な課題やニーズを解決するための手段であるという目的志向が明示されていない。しかし、知の統合は、卓越した個人によって創出される場合を除けば、なんらかの社会的なニーズを背景としてそれらに応える成熟した学術分野が統合または融合されると考えられる。

本章を担当したWG1では、知の統合とは、図3.2-1に示すように、複数の学術分野が、統合を必要とする環境、背景、課題などを契機として、連携・統合化され、その結果新しい学術分野や技術分野が創出されることであると特徴づけた。このとき、知の統合がその役割を果たすためには、前述の定義に中にもあるように、共通性や普遍性をもつものでなければならず、これを機能させるためには、そこに知の統合のためのプラットフォームを構築する必要がある。単に複数の学術を寄せ集めてもそれぞれの領域でのローカルな

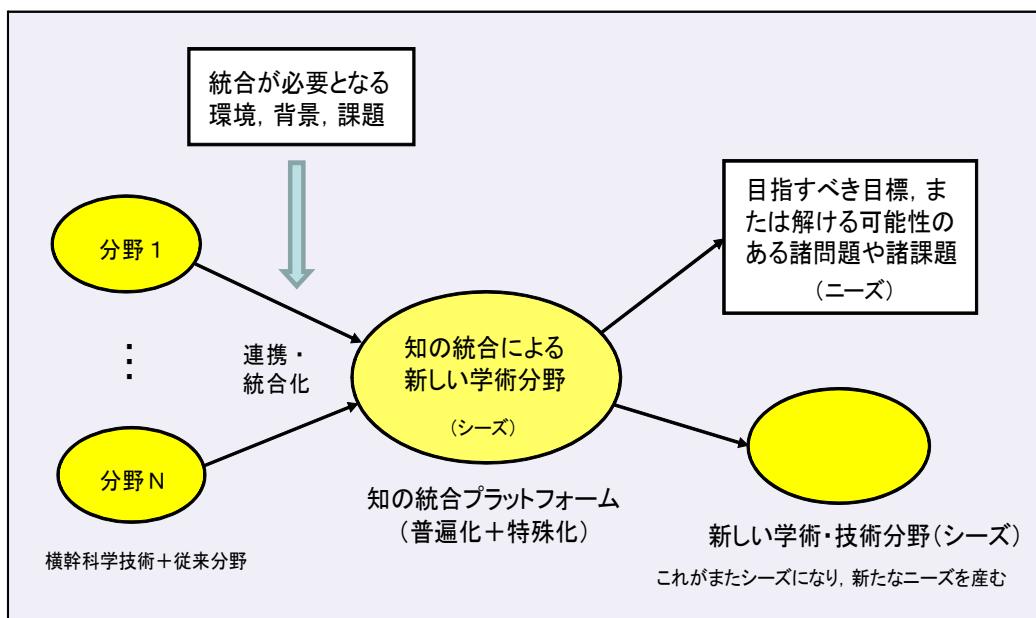


図3.2-1 知の統合のイメージ図

最適化がコンフリクトを起こす危惧があることから、この統合プラットフォームのもつ共通性や普遍性は重要な役割をもつ。プラットフォームの役割については後述するが、このプラットフォーム上で、社会、人間、環境、人工物などを含む様々な諸問題や諸課題の解決に向けた探究が行われる。また、この知の統合プラットフォームから、新たな学術分野や技術分野がシーズとしてさらに生まれることもあり得る。

3. 2. 2 知の統合はなぜ必要か、何を生み出すのか

工業化から情報化への科学技術の急速な発展は、利便性の追求、大量生産・大量消費といった要求を満たしたが、反面多くの負の影響を社会に与えている。環境問題、食糧問題、医療問題、経済破綻など社会の安全・安心を脅かす課題に直面している。これらの問題はこれまでの個別学問分野では対応することが困難になっている。社会を形成する人間や組織が係わる諸課題は、課題そのものが包括的であり、それぞれに細分化された個別分野の知を単に寄せ集めても、様々なジレンマやステークホルダーが存在し、合意形成が極めて困難であり、その解決策を与えることが難しい。技術的に優れたものが、社会や個人に受け入れられるとは限らない。社会のコンフリクトには、ローカル最適化とグローバル最適化のコンフリクト、環境問題のような短期的最適化と長期的最適化のジレンマ、各国や地域の事情によるコンフリクト、最適性とロバスト性のコンフリクトなど、様々なジレンマが存在する。これらの解決には、理工系の分野と人文社会系の分野の両者を基盤とする新しい学術領域の創生が不可欠であり、それが知の統合の基盤となる。

産業界に目を向けても、これまでの大量生産・大量消費の行き詰まりから、新たなイノベーション創出、すなわち、新しい価値、サービス、新産業を創出することが緊急な課題となっており、各分野の産業技術や社会技術の知を融合し統合化することが不可欠になっている。未来の産業のあり方を予測し、どのようなコア産業により新たな目標やターゲットに到達できるのかを明らかにしていく必要があり、その場の経験によるプロジェクトマネジメントではなく、未来を見通した知の融合や統合をプラットフォーム上で実践できる人材の育成も必須である。

3. 2. 3 知の統合プラットフォームの役割

前節で述べたように、統合による新たな学術分野が、新たな学術の創出や社会的課題の解決に向けて貢献し、さらに進展するためには、異分野の知を統合化し共有化するための知の統合プラットフォームの役割が極めて重要である。

前述したように、統合を必要とする契機や背景のもとで、関連する複数の学術分野、すなわち理工学分野と人文社会学分野を基盤とした統合により、プラットフォーム上に創出される学術分野や技術分野が論理性をもって体系化される。図3.2-2に示すように、与えられた課題の枠組みを明確にし定式化することにより、プラットフォーム上の論理体系により実装プロセスを通して問題解決への対応策を与えることができる。様々な課題の問題の枠組みをプラットフォーム上に定式化し、モデリングするプロセスを、ここでは「普遍化」と呼ぶ。関連する分野であっても問題や課題は様々なモデル表現や記述を含むために、ここではできるだけ共通の言語やツールによる定式化が必要になるからである。一方、

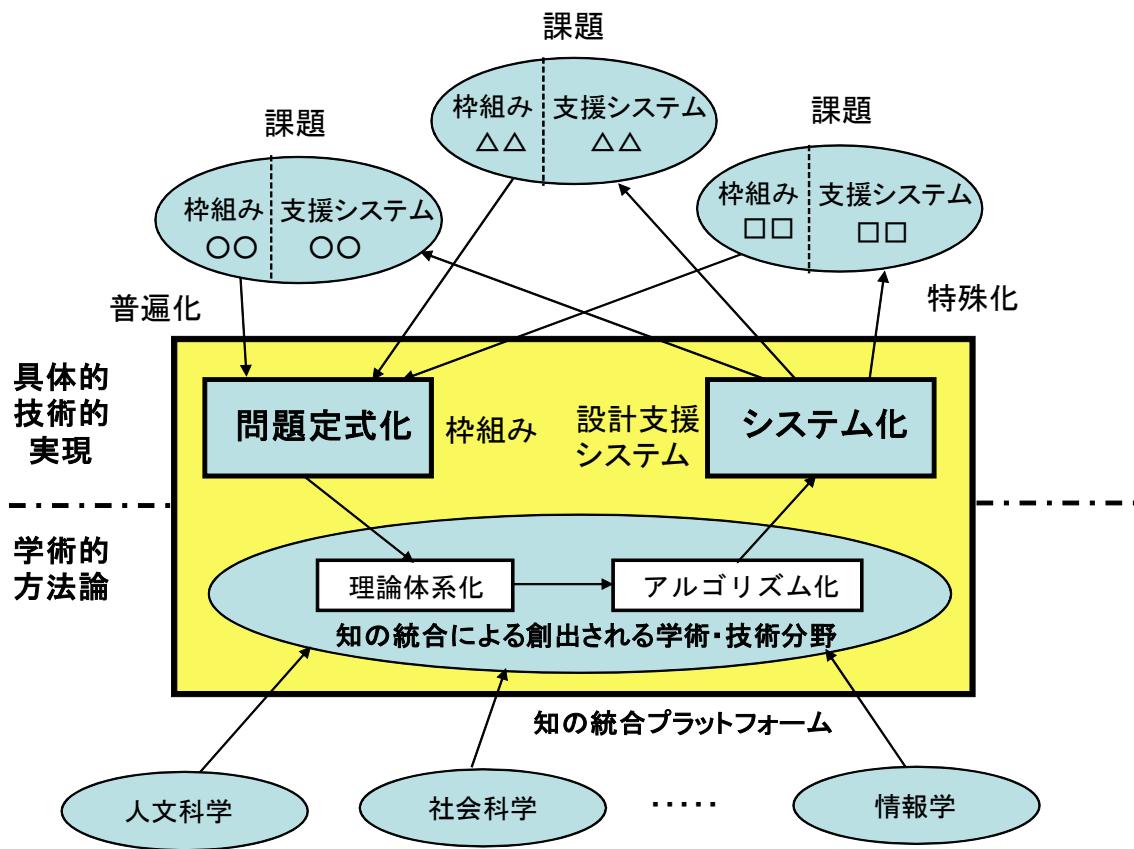


図 3.2-2 知の統合プラットフォームのイメージ

新しい方法論やアルゴリズムによって与えられる対応策の課題への実装のプロセスをここでは「特殊化」と呼ぶ。様々な課題に対して、知の統合プラットフォームは、普遍化と特殊化のプロセスを繰り返すことにより、プラットフォームへのフィードバックを介して、より共通性や普遍性のレベルアップが機能する。

この知の統合プラットフォームには、もう一つ重要な役割がある。知だけが統合されても、これらの知を共有または公有する仕組みと一体化されていなければならない。異分野の人々、専門家も専門家でない人も、メーカもユーザも、相互にコミュニケーションが可能でオープンなプラットフォームであり、共通の方法論やツールが利用できることが必須である。異分野間の相互理解には、単なる用語の解釈ではなく、共通原理の探究や文化そのものの理解まで必要になろう。相互理解を通して問題の多面的な定式化が可能になり、知識共有とコミュニケーションが可能となる。そのためには、分野を越えて議論ができるための場としてのプラットフォームには、分野横断型のモデリングや問題の記述方法など共通の手段の整備が不可欠である。

3. 2. 4 知の統合の推進には何が必要か

人間、社会、人工物を含む課題は、理工系と人文社会系のそれぞれも細分化した学術領域と深く関連している。これらの関連した学術を組み合わせても特定の課題の解決には繋

があることがあっても、広く関連する課題にまで適用できるためには、共通性や普遍性をもつ学術としての体系を構築することが望まれる。理工系と人文社会系を基盤とした普遍性や共通性をもった新しい学術体系を創り出すようなプラットフォームやその仕組みをいかに構築するかが大きな課題である。

異分野研究領域の人々の交流を支援する環境、オープンで知識交流や知識共有が可能なネットワーク、コミュニケーションや議論が可能な共通の場、などの整備が不可欠であろう。理工系と人文社会系を基盤する新しい学術の場において、技術分野や社会分野のさまざまな学術・技術の関連性、膨大で異質なデータや情報の処理、課題の多面的な視点からの定式化、など実践するためには、モデリング技法や相互理解のためのコミュニケーション技術などをその中で具体的に実現していくことが不可欠である。このようなコミュニケーションの場を通して、学会を横断したシンポジウムの企画や具体的な横断型プロジェクトの立ち上げなどが実行に移されていくことが望まれる。

大学・大学院においても、プロジェクト研究やミッション型研究では、文と理の壁を超えて研究者が共同研究を実質的に推進できるフレキシブルな組織構造が望まれる。たとえば、マトリックス型の研究体制を必要に応じて構築できる組織構造など、大学・大学院が組織としても融合型・横断型研究への支援が必要となる。

理工系の技術者、研究者であっても、自らの専門分野を深めるだけでなく、科学技術と社会との関わりに目を向け、社会的影響を考慮していくことが望まれる。さらにプロジェクトを推進するリーダーには、幅広い横断的な視野と複数の学術分野の専門性も要求されるであろう。このような分野横断型の人材をいかに育成するかは、小中高における文理横断型教育の推進、大学における文と理の融合の必要性に裏づけられた基礎教育の充実などが望まれる。また、大学院修士課程および博士課程においても、自らのディシプリンにおける研究成果に加えて、異分野への理解、人間、社会と技術との関係、産業やビジネスへの展開を語れること、研究室の壁を越えて異分野の人々との交流やネットワークへの参加を積極的に進めていくなど、融合型、横断型の思考をもった人材に育てていかなければならない（ミニ特集、2009）。融合型、横断型研究と教育とを有機的に連携させることは人材育成にとって重要な課題と思われる。

さらに、文と理の融合型や横断型の研究を国として支援する体制の整備も大きな課題である。研究資金申請に対する審査方法や評価方法を早急に議論する必要がある。現状では、従来のディシプリン型の審査方式により、審査員もディシプリン分野の研究者が主だった体制で行われている。このような融合型・横断型研究の申請項目や評価項目の設定には新しいコンセプトが必要である。諸外国でもさまざまな試みがされており、一定割合を分野横断型研究や融合研究に配分する方法や、複数の研究機関の連携を必要とする研究課題やネットワーク型研究などへの支援が考えられている。これまでのディシプリン型研究に対する方法とは異なる視点やコンセプトからの審査・評価方法の検討が急務である。

3. 3 文理の枠を超えた相互理解型社会に向けて

3. 3. 1 相互理解型社会の構築

近年、「文理融合」の必要性が論じられ、また、文理融合を掲げた学部・学科の創設も行われている。とくに興味深いのは、工学系大学や医学系大学、あるいは人文社会学系大学など、総合大学ではない大学でも、文理融合をうたう例が増えていることである。

なぜこのような事態が起きているのだろうか？それは単なる一時的な流行なのだろうか？だが、改めて考えてみれば、日ごろ疑いもなく受け入れられている「文系」「理系」という二つのカテゴリーは、それほど自明のものなのだろうか？

そもそも古い文明においては、文理は一体のものであった。アリストテレスもピタゴラスも、自らを「自然科学者」としてではなく、「真理を探究する者」と位置づけて、世界の諸問題に対する解を得ようとしたのである。しかし、時代が進むにつれ、学問が高度化して行くにつれ、学問は細分化された専門領域へと枝分かれし、個別的な進化の方向へ向かった。(この過程で、便宜的に「文」「理」という分け方も定着してきた)。

その結果、個別の領域の専門深化は進んだかもしれないが、あたかもバベルの塔のように、専門領域相互のコミュニケーションが困難になりつつあることは否めない。そしてそのプロセスの中で、学問は、その目的を見失ってはいないか？

学問は、単なる知的好奇心や功利を目的とするものではない。それは、人びとのための、るべき社会を創造するための営みなのである。われわれの社会に貢献する「知」の探求において、「分類」が現実に先んじることがあればそれは奇妙なことである。時代の要請にこたえる「知」の創出には、全体を俯瞰する視線と専門進化とが同時並行的に有機的に行わなければならない。にもかかわらず、今日では大学の教養教育が衰退している(冒頭に述べた「文理融合」の提唱は、実態としての「文理分離」の逆説的な結果ともいえる)。またその前段として、高校などすでに文理に分離された教育が当然のこととされている事態がある。このような日本の教育状況は、世界の中でもとくに際立っており、問題が大きい。

本節では、このような認識にたった上で、「文系」「理系」という二大カテゴリーの内部での「横断」のみならず、「文系」「理系」を貫き包括する総合的視座が必要であることを一とくに横断科学技術創成のために一論じるものである。それは、われわれが現在直面しているさまざまな問題、環境問題、産業問題、貧困問題などに、すべての専門家と生活者たちが協力して立ち向かう「相互理解型社会」の構築を遠望するものである。

3. 3. 2 文理横断はなぜ必要か

(1) 文理はなぜ分離したか

先にも述べたように、そもそも古い文明においては、文理は一体のものであった。学問探求の対象は、「人間」を含む「世界」であったからである。

近代科学が形成された17世紀頃にあっても、このような世界観は維持されていた。近代科学の祖とされるニュートンもパスカルも、その合理的精神は、新しい時代の哲学によって基礎づけられてこそ、時代を動かしたのである。彼らは古典的科学者であるとともに、哲学者・思想家としての相貌をもっていた。では、いつどのように文理は分離したのだろ

うか？それは思いの外、最近のことであるようだ。

文理分離より先に、学問の個別分野への分裂が起こった。それは 19 世紀のことであると村上陽一郎は示唆している(村上, 1999)。日本語では、「Science」を「科学」と訳したが、それはこの時期に、学問が個別分野の集成となっていたからである、と村上は述べている。産業革命を経て、個別領域が専門深化するにつれ、特定の領域に特化した専門家が必要とされるようになったからである。

だがそれでも、「文理」はいまだ一体のものとして捉えられていた。「文理」とは「文」と「理」の合体ではなく、「物事の筋目（を究める）」という意味で、西欧における「faculty of philosophy」に対応する「文理学部」をもつ大学も多かった。日本の大学から文理学部が消えていったのは、1970 年代以降のことである。

日本ではこの傾向はその後さらに進み、高校教育においてさえ、早くから理系と文系に分けられた教育がなされるようになった。1990 年代以降は、大学から一般教養課程が弱体化することによって、文系と理系が境界を越えて学ぶことが少なくなったのである。

（2）「文」「理」の違いは何か？

こうして、今日では、「文」「理」が違うことは当たり前のように考えられており、高等学校の教育現場では、基礎知識も十分でないうちから「文系」「理系」に学習内容が分けられているのが実態である。この分別は、大学受験を想定したものであり、実質的には「数学の点がよいか否か」によって規定されることが多い。

しかし、このような分断的教育は、次のような点から、教育上好ましいとはいえない：

1. 将来の職業を問わず、数学は必要である。「普通の生活に数学は要らない」などという俗説が流布しているが、数学は現実を論理的合理的に理解するうえで必須である。
2. 人間が社会的存在である限り、自分の生きている社会、地域、歴史文化などを知る必要がある。自然科学に偏った教育は、「社会人を育成する」教育にはふさわしくない。
3. 「理系」「文系」の区別は、不適切な格差意識や対抗意識を生みがちであり、学習を、望ましい「知の探求」からそらせてしまう恐れがある。もちろん、「文」「理」という分類をより理念的な観点から説明する立場もある。たとえば、「理系」は「普遍法則」を探求し、「文系」は「個別価値」を記述するとか、「理系」は物質を対象とし、「文系」は人間や社会を対象とする、といった規定である。けれども、こうした分類も、よく考えてみるとその境界はあいまいである。むしろ、個別科学への分岐と専門進化の過程で、便宜的に分類がなされていったのが現実ではないだろうか。

（3）文理分離の弊害

文理の分離にそれなりの理由があったとしても、そこには多くの問題が潜在している。

第一に、（一部の人びとが誤解しているように）、科学技術と一般社会は相互に独立に存在しているわけではない。たとえば遠藤も指摘した(遠藤, 2007) ように、社会は技術に枠をはめ、同時に技術は社会を規定するのである（図 3.3-1 参照）。

第二に、ハバーマス(Habermas, 1968) が論じたように、科学技術はあたかもそれ自体で価値を持つかのような幻想に陥りがちであり、その結果、社会・人間を無視して自己目的に

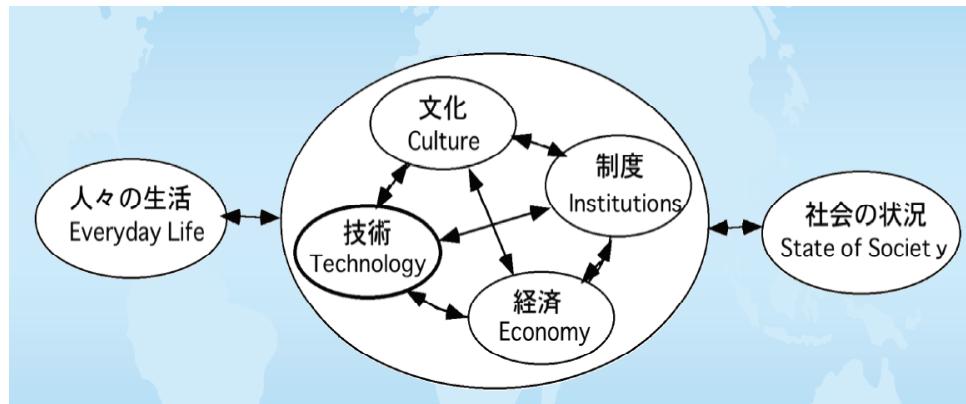


図 3.3-1 社会変動と科学技術

突き進むおそれがある。それは時として人間社会に災禍をもたらしかねない。

第三に、他方、科学・技術についての適切な知識や理解をもたない人びとは、科学技術に過剰な期待を抱いたり、過剰な不安を抱いたりしがちである。それは科学技術の健全な発達を阻害するだけでなく、社会の健全性をも損なうおそれがある。

第四に、反面、人文社会科学系の学問が、自然科学的な研究手法や研究態度と隔絶されることも奇妙なことである。にもかかわらず、時として、人文社会科学系の学問は、思弁のみに依存し、情緒性に訴えることをもって良しとするような風潮が見られる。

第五に、こうした文理の間隙に、似非科学的な言説が跋扈するような状況も見られる。「科学」の名を以てまき散らされる迷妄は、社会に危険をもたらすものである。

いずれにせよ、狭い専門領域に閉じた研究は、新たな創造性への契機を失いかねない。

(4) 今日的課題としての文理横断

特に今日、グローバリゼーションの潮流、すなわち世界規模での相互依存関係の緊密化は著しく、一つの事態についても、膨大な数のサブシステムが関与している。

その結果、現代の地球社会が直面している重大な危機、「環境問題」「食糧問題」「疫病問題」「テロリズム」「グローバル経済」「情報問題」などには、既存の個別学問領域で対処することは不可能となっている。また他方、産業経済にもある種の閉塞感が漂っている。従来のような消費中心の社会はもはや維持し得ない。それに変わる新たな産業の形も、異分野の（ことに文理の）視点の衝突によって、まさに触媒されると期待される。

このような状況に立ち向かうには、文理分断の弊害は早急に克服されなければならない。

そしてそのためには、分離融合的な研究の場を多く開くだけでなく、教育の場でも分離融合の重要性を意識した教育システムの確立が望まれるのである。

3. 3. 3 文理横断は可能か

(1) 文理横断の諸形式

文理横断（文理融合）の必要性を認識している人びとは少なくない。文理横断（文理融合）をめざしたディシプリンや学科（学部）などの設立の動きもめだつ。そうした試みは、さまざまであるが、以下のようないくつかのタイプに分類することが出来る。

(a) 文理横断的なディシプリンの発見・再発見

- (b) 複数のディシプリンの連携
- (c) 教養課程（一般教育）の見直し
- (d) リベラル・アーツを柱とする教育体系
- (e) 文理横断——知の体系全体を統合・再編する

（2）文理横断の困難と可能性

文理横断の重要性については、総論的には多くの人々が認めるだろう。だが、いずれの試みも、具体的に実践しようとするならば、ただちに幾多の困難に遭遇する。たとえば次のような困難である。

- (a) 文理相互の不信感
- (b) 文理における概念構成や用語の齟齬
- (c) 文理の目的の不一致
- (d) 方法論の違い
- (e) 学習量の膨大さ
- (f) 教育者の困難

これらの困難は、いずれも厳しい壁となる。けれども、いかに困難であってもこれらの問題を乗り越えなければ、われわれの社会を持続可能なものとすることは出来ない。

3. 3. 4 文理の枠を超えた相互理解型社会に向けて

（1）文理横断に向かう大学教育の現況

冒頭にも述べたように、文理分断については、教育の場でも反省が拡がっている。今後の目標や計画に「学際」「（学科）横断」「文理融合」などを掲げる大学も多い。

平成 19 年 3 月における「各国立大学の中期目標・中期計画」

（http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/houjin/07061813.htm）の公表資料を見ると、全 87 大学のうち、「学際」「融合」「横断」などの方向性を挙げている大学が極めて多いことがわかった（表 3. 3-1 参照）。

この表だけ見ると、「文理融合」に関する意識は低いように感じられるかもしれない。しかし実際には、他の「学際」「融合」「横断」などのキーワードが使われる文脈では、自然科学の個別分野間だけでなく、文理の垣根を越えた研究領域が想定されていることがほとんどである。とくに、ほとんどの大学が「教養」について言及しているということは、文理の分断に対して反省的な意識が広く共有されていることを意味している。

では、これら中期目標・中期計画において、「文理融合／横断」をどのように実現しようとしているだろうか？整理してみると、次のようなタイプに分けられる：

- (a) 教養教育の充実
- (b) 専門教育と教養教育の連携
- (c) 学部間、学科間での連携
- (d) 新学科の創設
- (e) 大学間連携

こうしてみると、新たに学際的・横断的学科／学部の新設だけでなく、既存の研究組織の連携によって学際的・横断的な研究や教育を推進しようとしている大学が多い。

また、研究領域間だけでなく、学界と実業界の融合や、教員と職員の融合を目標に挙げ

る大学もあった。

表 3.3-1 平成 19 年 3 月の中期目標・中期計画に、「文理横断」関連の用語を用いている大学数（全 87 大学）

中期目標・中期計画に用いられている用語	大学数	割合(%)
「学際」	69	79.3
「融合」	59	67.9
「横断」	51	58.7
「教養」	81	93.1
「文理」	13	14.9
「文理融合」	12	13.8

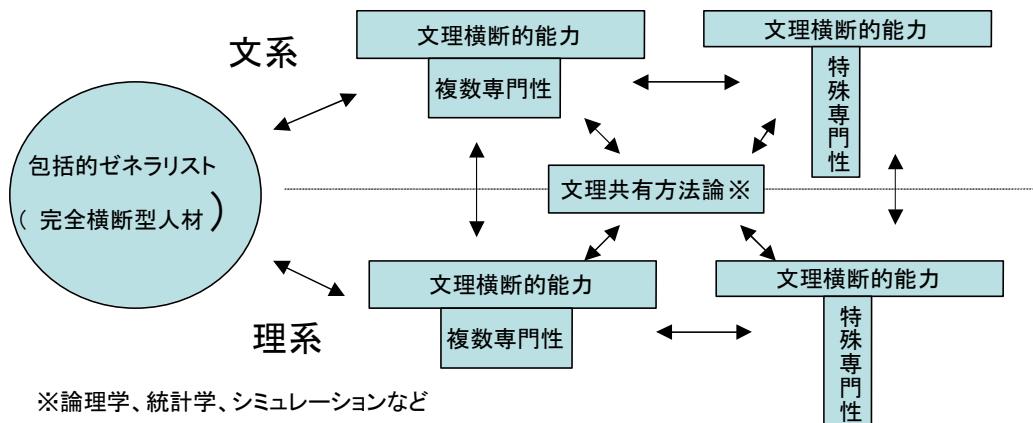


図 3.3-2 「横断」の連続性

(2) 文理対話の場としてのアカデミー再興

いざれにせよ、われわれはまず、始められるところから始めるべきである。(1989年に人びとがベルリンの壁を踏み越えていったように)、文理の対話の場を拡大していくべきである。具体的には、文系・理系が一堂に会する場(研究会やシンポジウム)を拡大する。また、こうした場での対話を円滑で建設的なものとするファシリテータを重視することも忘れてはならない。

では、こうした役割を誰が担うのだろうか？

たとえば、日本が既存の体制から脱皮し、新たな知の地平へとこぎ出そうとしたとき、その中核を担う文化運動の場として構想されたのが、明六社(明治7-8年)であった。明六社規制によれば、「社を設立するの主旨は我国の教育を進めんが為に有志の徒会同して其手段を商議する」ことであった。すなわち、変化する状況のもとで新たな知の体系を共有し、また啓蒙するために、多種多様な知に携わる人々が協働する場としての「アカデミ

一」が求められたのである。

「アカデミー」とは、ギリシャの哲学者プラトンが創った「アカデーメイア」を語源とし、西欧では今日も社会的にも大きな影響力をもつ学会（学術団体）をいう。

横断科学技術連合は、まさに今日、文理横断——横断科学技術の緊急性を人々に知らせ、その具体的な骨子を構想する「アカデミー」としての役割を担うものである。

また、その議論は、日本学術会議のような、より広範な「アカデミー」に提議することによって、さらに大きな影響力を持ち得るだろう。学術会議ではすでに「科学者コミュニティと知の統合委員会」が「知の統合?社会のための科学に向けて?（平成19年3月22日）」を提言している。今後もこうした検討は続けられるべきであり、横断科学技術連合もそれと共に共振しつつ議論を進めたい。

（3）次世代のための文理横断的教育

そして上記のような議論を承けて、次世代に文理の知識・理解をバランスよく提供することも重要である。初等教育・中等教育においても、文理を分断することは望ましくない。将来いかなる専門家になるとしても、対象を多面的総合的に理解し問題を解決するには、総合的な「教養」と専門性とがともに不可欠である。

たとえば、2000年代後半になって、世界的に経済の停滞がささやかれ、雇用問題が大きくクローズアップされてきた。超大国であるアメリカの自動車産業さえ存亡の危機に瀕している。こうした事態に対して、従来型の問題解決方では、科学技術をさらに前進させ、その産業化によって経済を活性化させる、という方針が良しとされてきた。しかし、今日、環境問題が緊急課題とされ、また一方では人びとの価値観やライフスタイルが変化して、高度な技術や安価な商品に対して誰もが購買意欲をもつわけではない。ましてや、産業の活性化がかえって国内労働市場を不健全なもの（雇用の非正規化や国外移転）とするようなことがあれば、経済や産業の基盤としての「社会」自体が破綻してしまう。他方、現代では経済の活性化のために「ソフトパワー」（日本の「クールジャパン」など）への関心が高まっている。

こうした状況に対応するには、科学技術者も、自らの専門性を高めるだけでなく、広く「社会的なもの」に目を向け、自らの研究の社会的意義や社会的影響に関するリフレクシブな考慮が必要である。また、人文社会科学に携わる人びとも、科学技術に対する正確な理解にのっとって助言することが求められよう。この双方があいまって、より高次の「心豊かな社会」が実現される。

とはいっても、すべての人がすべての領域を専門的にカバー（横断）することは出来ない。科学技術の高い専門性を確保するには、特定領域に深く特化しつつ社会的な議論にも目配りができる人材が望まれるだろう。しかし、何らかのプロジェクトをとりまとめていくような人材としては、幅広い横断性と複数領域にまたがる専門性を兼備した人材が必要である。さらに、企業戦略や政策決定に携わるものには、ほぼすべての領域に関して包括的な理解力が必要とされる。結局、横断性と専門性の兼ね合いは立場によって連続的であり、さまざまなレベルでの「横断的人材」がそれに応じた役割を果たすことで、全体（社会、国家、企業・・）の「質」を高めていくことが、現実的でもあるだろう（図3.3-2）。

だが、横断の連続性のどこに位置するにせよ、初等教育、中等教育で、その準備がなされていなければならない。数学、国語、社会、理科のバランス良い教育が必要である。と

くに、文理で共有される方法論としての、数学、論理学、言語コミュニケーション、統計学、シミュレーションなどに関する基礎的な教育は、これまで必ずしも十分な教育が行われてこなかった。これらについての教育に大きな力を注ぐ必要がある。

明治の文明開花期、日本が迅速に西欧文化を取り入れることが出来た背景には、子どもたちにも分かりやすく科学技術をといた人びとがいたことを忘れてはなるまい。例えば、石井研堂（1865－1943）は、『明治事物起源』（大正12年）などで知られる百科全書的人物であるが、彼は児童雑誌や叢書『理科十二ヶ月』（明治32年）などを通じて、子どもたちに科学の面白さを子どもの目線から伝えようとした。こうした人々の貢献を、いま改めて評価し、継承する必要がある。

（4）相互理解型社会の構築

では、われわれの目指す「相互理解型社会」はどのように構築されるだろうか？図3.3-3および図3.3-4を参照しつつ概略を説明しよう。

まず、問題（シーズ）は個別の領域の専門家によって発見されることが多い。しかし、それは孤立したものではなく、他の専門分野からは同じ問題の別の側面に関する知見が現れるだろう。つまり、ある一つの問題も、様々な角度からの知見や発見を総合することによって、光と影を含めた立体的な理解が得られることになる。

ところが、ある特定の問題に関する知見でも、分野が異なれば、それを表すタームや定式化の方法が異なり、議論が困難出ることが従来ネックとなってきた。これを解決するためには、分野横断的なモデリングが重要となる。たとえば、シミュレーションや統計、数学などの方法論である。

さらに、モデル化された問題を、分野を超えて研究者たちが情報共有し、議論を戦わせる＜コミュニケーションの場＞が必要となる。このコミュニケーションの場に関する研究を行うのが、社会情報学、アーカイブス学などである。こうして「問題」は多面的に解析され、機能だけでなく逆機能をも含めて検討することが可能となる。

しかし、それだけでは十分ではない。いかなる問題も、それは研究者のものではなく、この世界に生きるすべての人びと——「生活者」のものだからである。そこで、専門的研究者たちの統合知は、一般の生活者たちに公開され、共有され、議論される必要がある。この点が、従来の「知の統合」には大きく欠けていた部分である。

この過程を経て、政策提言などが行われ、社会は漸進的に「相互理解型」へと再帰的に接近していくことが期待されるのである。

3.3.5 文理を架橋する横断型研究者

われわれはもちろん、ギリシャや古代中国の時代の「知の体系」に復帰することはない。

現代社会はあまりにも大規模化・複雑化しており、これを一手に扱い得るとは考えられない。だからこそ、多様な個別領域が、共通の土台を見いだし、また相互に連携し、相互に適切なモニタをすることが、どうしても緊急に必要なのである。

それがうまく機能すれば、基礎研究のみならず、新たな理論や技術を創成する上で大きな貢献となるだろう。

横断科学技術連合もまさにそのために設立された。

その「横断」の範囲が、自然科学・技術の範囲に留まっていては、ほとんど意味がない。

歴史の中でいつの間にか分断されてしまった文理を、その本来の意味である「物事の条理を究める」という地点において、再び架橋する研究者が、必要とされている。

そのためには、「研究」の観点からは、(1)文理を横断して研究者たちが日常的にコミュニケーションすることのできる場の整備と(2)文理を横断して研究者たちの相互理解を促進するためのモデリング・ツール（シミュレーション、統計学など）が不可欠である。同時に、次世代を担う研究者たちを育てる「教育」の観点からは、(1)初等教育から高等教育にいたるまでの一貫した「文理横断」型教育、(2)大学における教養教育（副専攻などのシステムを含む）の再構築などについて、早急に議論を深めていく必要がある。

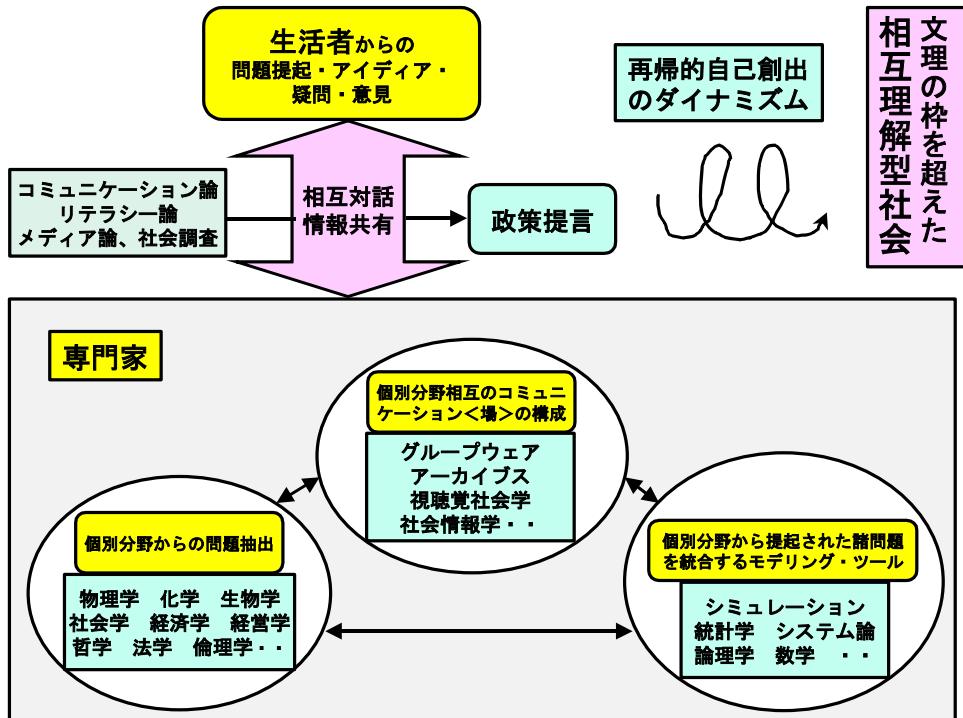


図 3.3-3 文理の枠を超えた相互理解型社会構築のための知の統合プラットフォーム

図 3.3-4 相互理解社会に向けたアカデミック・ロードマップ

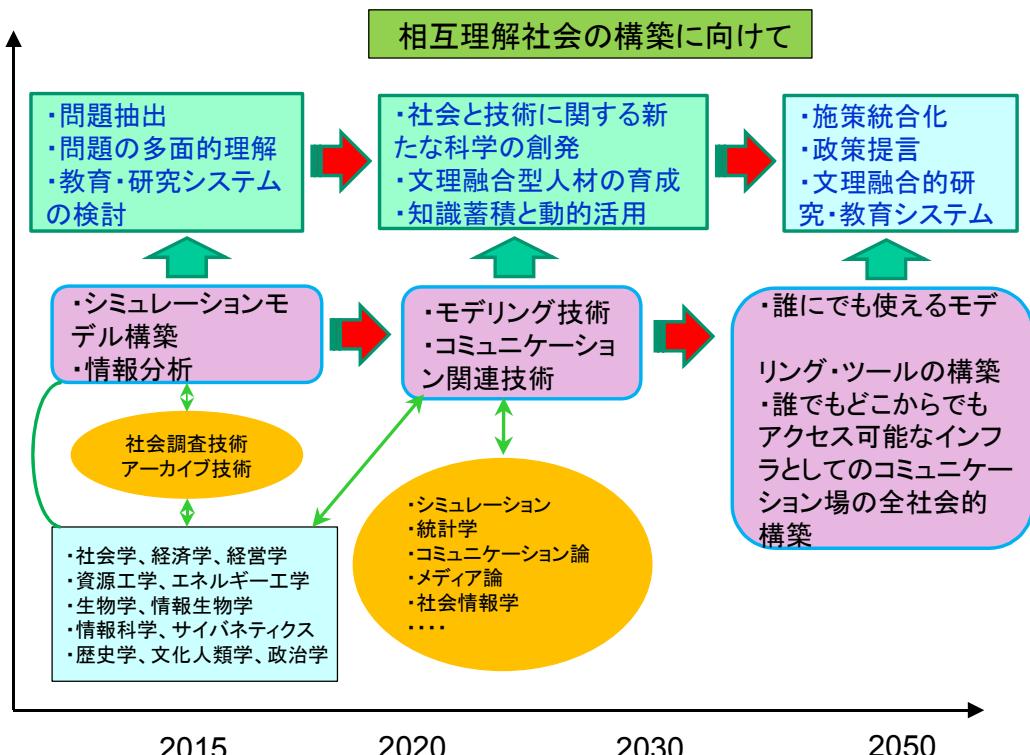


図 3.3-3 文理の枠を超えた相互理解型社会構築のための知の統合プラットフォーム

3. 4 リスクガバナンスのための総合情報基盤構築

3. 4. 1 はじめに

近年、リスクという用語が専門的文献や新聞、一般雑誌・書籍のような様々な媒体によって、ますます頻繁に使用されるようになってきている。いまや、あらゆる科学技術分野が何らかの意味でのリスクを含まないことはないといって良い。Ansell ら^(Ansell et al., 1992)は「リスクは人間存在にとって本質的であり、あらゆる人間行動に含まれている。基本的にリスクはとるべきものであって、避けられるものではない」と述べている。同時に、合理的な意思決定にはリスク因子とその評価が必要であることは従来よりよく知られている。それにもかかわらず、リスクに関わる諸問題の議論が止むことはない一つの理由は、リスクの問題が実に広範であって、学問的に考察しようすれば、あらゆる学問分野を含むほどの学際的立場を必要とし、どの観点からみるかによって見え方がかなり異なるということによる。このことから、ある根本的問題点が認識できる。それは、リスクの考察・研究においては、誰もが素人であることを免れ得ないということである。それゆえに、ある種の分野のリスク研究の専門家であったとしても、分野を問わない一般リスク研究の専門家であるということはほとんどあり得ない。このことを念頭におき、「群盲象を撫でる」の人たる愚を犯すことを承知の上で、ここでは、可能な限りリスクに関わる知の構造と分野融合の可能性と必要性、また、将来を見渡してのロードマップについて考えてみよう。

3. 4. 2 リスク研究に関わる知の構造

このように、論じること自体が極めて困難なテーマであるが、一面を取り出して、みやすくすることは可能である。図 3. 4-1 は、リスク研究に関わる 4 つの段階を層（レイヤー）として示したものである。レイヤーの配列としては、学術的基礎をレイヤー 1 のリスク解析として下に示している。技術や組織に関わる観点をリスク管理として 2 番目におき、3 番目には異なる組織や個人間の学際的あるいは組織間リスクコミュニケーション^(D. M. Kammen et al., 1999)を置き、さらに社会的適用・実現形態としてのリスクガバナンス^(谷口, 2008)を第 4 のレイヤーとしている^{注1}。それぞれのレイヤーには、筆者が代表的な問題点の一つであると思われるものを書き、かつ各レイヤーについて関連分野を右に示している。

このように、異なるレイヤーに応じて、問題の種類も異なる。リスク解析に関わる理論のレイヤーでも、不確実性の取り扱いは確率論的リスク解析にとどまらず、人工知能分野での技法も有力であるなど、様々に異なる。意思決定を主に考察する第 2 のレイヤーでは、古典的な合理的意思決定の方法から、リスク認知^(中谷内, 2006)の要素を取り入れた限定的合理性を提案するモデル、また即時の意思決定を必要とする場合など、明らかに合理性の限界を超える状況もとりあつかわれる。第 3 のレイヤーにあるリスクコミュニケーションは、元来特定の意思決定に関わる主体（stakeholder）が行うべき認識の共有化のための方法論と概念であったが、ここでは、一般的に学際的分野における異なる専門家や実務家、更には非専門家も含めた様々な主体間の概念の共有化に用いるべきであり、今後その方向にむかうと考える。なぜなら、このような概念の共有化と相互認識によってはじめて、第 4 レ

注1 リスクガバナンスには社会的な調整メカニズムが含まれる

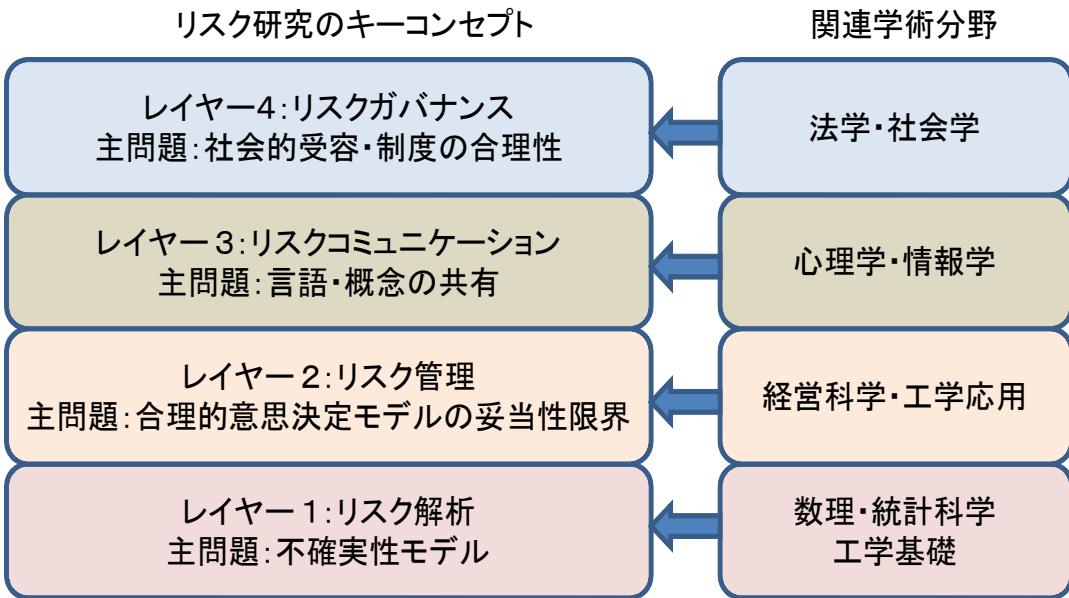


図 3.4-1 リスク研究の4つのレイヤーと関連分野の現状

イヤーのリスクガバナンスが、より満足すべき形で社会的に成し遂げられるからである。

この図全体を知の構造としてみたときに気づく問題点がいくつかある。一つは、冒頭にも述べたことであるが、リスク研究が極めて広範であり、右に示した関連分野も代表的なものを挙げただけで、あらゆる分野がこれに関係するといって過言でないことがある。このことから、新たな学問分野がリスク研究に必要となることは明らかである。また同時に、異なるレイヤー間の交流は比較的乏しいということが言える。これらのことを考えながら、次の節では、今後の展開をロードマップとともに示してみよう。

3. 4. 3 リスク研究に関わる今後の展開と知の融合ロードマップ

リスク研究という広範な領域において、今後どのような現象が起きるのかを予測することは容易ではなく、予測も限定した立場に拠らざるを得ないが、これを考えるためのカギはいくつか存在している。一つは、リスク研究に関わるトピックのうち、経営リスクに関する研究と環境リスクに関する研究とは無視できない割合を占めており、しかもこれらは互いに対照的な観点を有していることである。対照的というのは、経営リスクが基本的にリスクをとる立場であるのに対し、環境リスクはリスクを避ける立場で論じられていることである。しかしながら、中西^(中西, 2004)が言及しているように、環境リスク学においても合理的意思決定の可能性は追求されてきているのである。このように、対照的にみえる分野においても深い考察によって共通性が存在することは次第に明らかとなり、異なる分野の間の概念融合の有用性は一層強く認識されつつある。

これら2つの分野がこれまでどのような概念をもたらしてきたかをみれば、今後の予測についてある程度予想はできる。その一つについていえば、金融リテラシーのように各分野で使われているリテラシー概念が普遍化することである。リスクリテラシーという用語は既に使われはじめており、この言葉のままで普及するかどうかはわからないが、これと同等あるいは類似の概念は普及していくであろう。また、環境教育が普及していく

たことをみれば、リテラシー概念の普及に歩調を合わせて、リスク教育について議論がなされ、これに対する制度が実現されるであろう。これらのことは、今後のリスクガバナンスに対する社会的要請から必然的に生じてくるものである。この際、「リスクゼロ神話」と呼ばれる現象、すなわち、人々は専門家であると非専門家であるとを問わず、実際にはリスクをゼロにすることは求めていないにもかかわらず、リスクのゼロ化を求めているかのように報道される現象などは克服されなければならない。

また一方、従来の学問の発展をみると、技術進歩により融合化した分野や、社会的要請により融合した分野は数多い。リスク研究においては、研究者の参入は今後も増え、それとともに新たな概念が誕生してくるであろう。また、哲学や倫理学のような伝統的分野もリスク研究にとって必要であることは疑いない。具体的例をあげれば、中村雄二郎による共通感覚論（中村, 1979）なども一つのヒントになり得ると思われる。

同一のレイヤーの中では、分野の融合や新技術の開発はより容易である。また、レイヤー1と2の間、レイヤー3と4の間では情報の共有化は比較的容易である。問題は、すべての分野を通じての分野融合の可能性と必要性である。基礎のレイヤーにある研究者が実践的な立場に立つとき、従来より上のレイヤーの影響を受け、情報を吸収してきた。しかしながら、上のレイヤーへの情報フィードバックをどのように行うかが課題である。人間の情報処理能力は限られており、いかに技術が進歩したといえども、今日複雑化した諸体系を十分理解することは難しい。従って、分野間の情報・概念共有を進めていくための情報技術として、効率よく知識と概念を習得するためのツールが必要である。現在高度に発達したweb情報の世界すら十分とはいはず、高度に発達したリスク情報の基盤（データ・技法・概念解説を含む包括的な情報システムとしての基盤）が必要となろう。先の図に示したすべてのレイヤーを社会的観点からみると、リスクガバナンスを指向していると考えることができる。よって、このリスク情報の基盤をリスクガバナンス総合情報プラットフォームと呼ぶことができよう。

このようにみると、図3.4-2に示すように、リスクガバナンスの社会的要請と、そのためのリスクコミュニケーションの必要性を基調とし、各分野の発展形態としては、教育・哲学・倫理学など新分野の参入とともに、各分野におけるリスク研究が進展し、これらの融合によって、リスク教育、リスク情報学、リスクリテラシーなどの発展が見込まれる。その後、分野間の知識共有と教育のための総合情報基盤がリスクガバナンスを目的として発達し、リスクガバナンス情報プラットフォームという形をとると予想される。この情報基盤整備がはじまるのは早い時期からかも知れないが、完成には時間がかかると思われる。なお、ここで述べたリスクリテラシーやリスクガバナンスなどの概念も新たな概念に置き換えられることが予想されるが、そのような概念になるかは筆者の予想の範囲を超えてくる。

また、今後生じる様々なリスク事象が、この図における研究内容を左右することは大いに考えられるが、ここで示した図式そのものは多くのリスク事象について共通と考えることができる。

3. 4. 4 リスクガバナンスのための知の統合プラットフォーム

これらの考察に従って、リスクガバナンスのための知の統合プラットフォームは、先に

述べた総合情報基盤とほぼ同義であり、図3.4-3のようにまとめることができる。図3.4-1の各レイヤーに対応する学術分野の他、新たに参入すべき哲学、倫理学、教育学からの知を共有・統合し、データやツールの開発、人的ネットワーク構築、教育システム開発などが実施される。リスク解析、リスク管理、リスクコミュニケーションに対してその成果が示されるが、最終的により良いリスクガバナンスを目的として、このプラットフォームが役立っていく。

より良いリスクガバナンスをめざすための知の統合の必要性はいうまでもない。リスクそのものの概念の中に、多くの学術分野を横断する概念が含まれているからであり(Ansell et al., 1992)、なかでもリスクガバナンスは異なる社会的立場間の調整という意味が含まれるからである。ただし、異なる分野間の知識の交換と流通を促進するためには、ここに述べたリスク情報基盤の整備が必要であり、それがプラットフォームを形作る。

このプラットフォーム形成のための施策としては、上記関連分野における若手研究者育成のための文理融合的かつ中長期的な研究プロジェクトが望ましい。既存の枠組みにとらわれず、新たなコンセプトとパラダイム形成に積極的で、柔軟性のある指導的研究者グループを中心として、この研究プロジェクトを組み、その成果は、上に述べたリスク情報総合情報基盤の開発とともに、リスクガバナンスに関するプラットフォームを示唆する入門書と専門書の形で世に問うていくのが良いと思われる。

さらに進めていえば、一般論ではあるが、教育のグローバル化のなかで、既存の文科系・理科系といった教育課程の分類はもはや通用しなくなっているといえよう。リスクガバナンスの議論の中でも、研究に加えて、新たな教育の枠組みも検討すべき時と思われる。

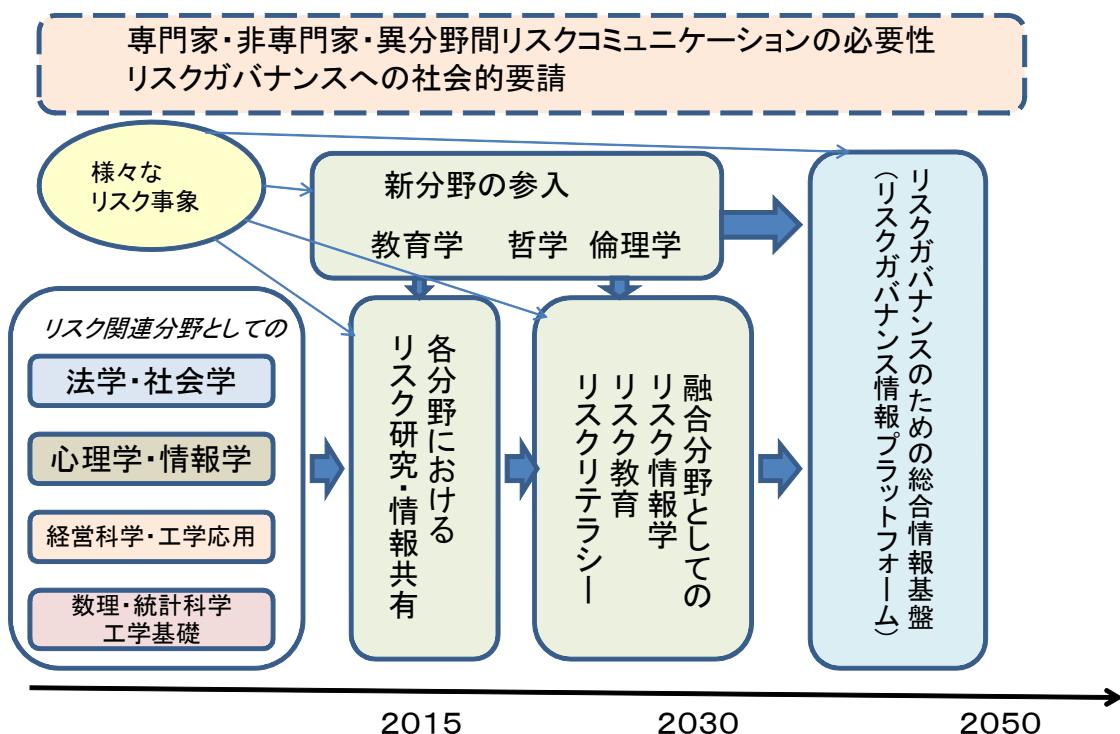


図 3.4-2 リスク研究のロードマップ

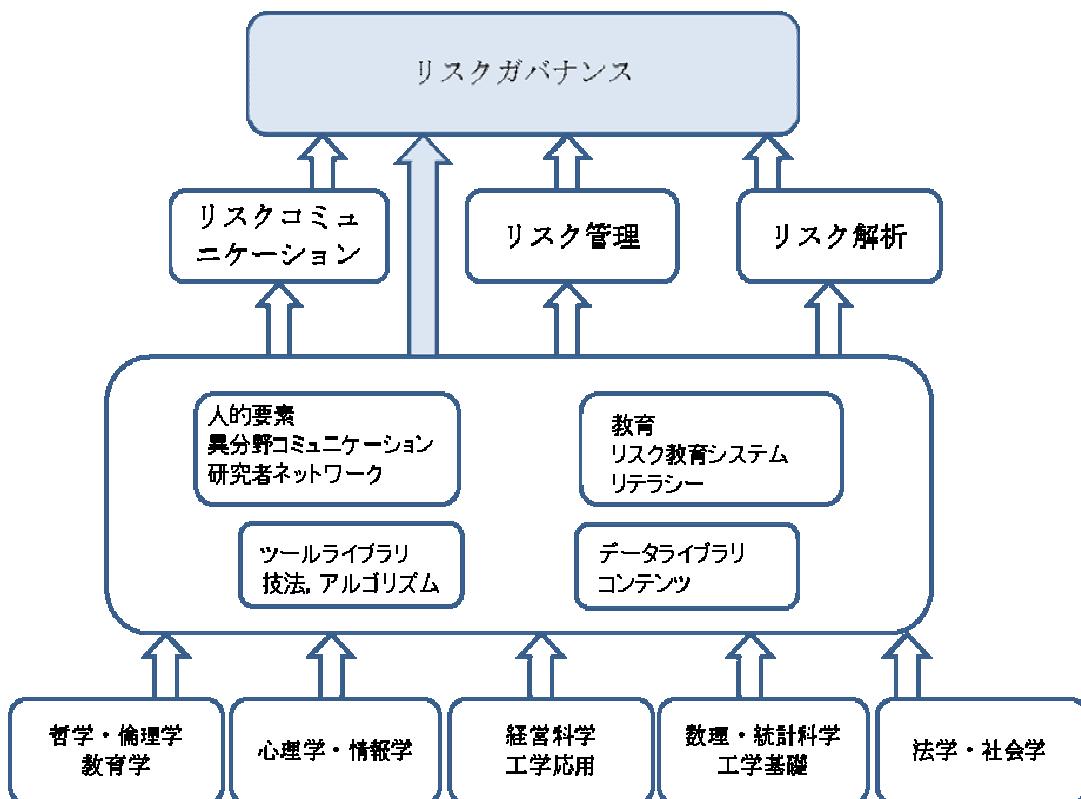


図 3.4-3 リスクガバナンスのための総合情報プラットフォーム

3. 5 情報循環設計科学をプラットフォームとした定量的リスク科学の創生

3. 5. 1 数理科学と諸科学との知の統合：科学の文法構築を契機として

Pearsonは、「科学の文法」(Pearson, K, 1892)を整備し、知の統合を提唱し、推進した。UCLAの科学史教授 Porterは、Pearsonの「文法」を「知識マネジメント(Knowledge Management)」の嚆矢と位置づけている。Pearsonにとって、「知とは連関によって現象をコントロールすること」であり、この連関を記述する「法則」とは、予測などの便宜のために人間が自然に与えているものに過ぎない。Pearsonは、ヒストグラム、標準偏差に始まり、相関論、重回帰、適合度検定などを「科学の文法」支援ツールとして開発し、尤度原理、実験計画法を開発した Fisher, R. A. と共に近代統計科学のパイオニアとして位置づけられている。一方、Pearsonは、科学を「知の内容」を問う具体的科学と「知の様式」を問う抽象科学（応用数学）とに分類し、更に前者を無機的現象を扱う「物理科学」と有機的現象を扱う「生物科学」に分類した。彼が提唱した知の統合とは、抽象科学と物理科学との統合と物理科学と生命科学との統合である。彼自身「科学の文法」の中で、幾何学と物理学の統合、物質とエネルギーの同等性などを提言し、この本を 1902 年に輪読した Einstein に影響を与えた。一方、Pearsonは、自身の開発した応用数学（記述統計学）と生物科学とを統合し、19世紀末に生物学分野の「連関」の記述を開始した。これが、「計量生物学 (Biometrics)」の開始であり、その後、計量生物学は Fisher の開発した推測統計学を取り込み、医薬品、食品、化学物質のリスク評価の基幹的方法を創生するにいたる。また、Spearman が一般知能因子の測定方法（因子分析）に関わる「計量心理学 (Psychometrics)」の最初の論文(Spearman, 1904)を発行すると共に、20世紀は「計量経済学 (Econometrics)」、「統計的品質管理(Statistical Quality Control, Techno-metrics)」など実証科学と呼ばれる計量諸科学の創生に成功した。20世紀末においても、新たに環境やリスクを対象とする計量科学が生成されている。

3. 5. 2 統計科学とリスク評価学との統合がもたらしたもの

Fisher の実験計画法(Fisher, 1935)は、同時期に確立した Neyman-Pearson の仮説検定論と共に、実証科学の推論様式を標準化した。これによって工業実験など多くの分野で、製品のリスク・ベネフィットに関する「証拠に基づく(Evidence-based)」判断が可能となった。特に 1960 年代のサリドマイド事件以降、新医薬品のベネフィットとリスクの検証は、実験計画法に基づく無作為比較臨床試験データの採取と仮説検定論の適用が、社会制度として義務付けられ、この結果計量生物学分野が細分され「医学統計」という独自の科学領域が創出に至った。

一方、リスク評価に直接関連した数理統計学は、Wald によって「統計的決定理論」(Wald, 1950)として定式化された。統計家の使命は、損失関数を可能な限り小さくすることと規定され、損失関数の期待値が「リスク関数」と定義された。更に、Wald の「完全類定理」によってベイズ推論に基づく決定の最適性が証明された。しかし、「ベイズ決定によるリスク最適化」には、多次元数値積分を要し、当時としては計算不可能であり、Wald の事故死以来、次第に閑却されてしまった。この結果、1980 年代以降、統計的決定理論による正当化を経ないアドホックな決定規則が多数提唱され、現実の問題解決に応用される傾向が

顕著となった。ところが、1990年代以降、マルコフ連鎖・モンテカルロ（MCMC）法によって最適解を数値的に求める実用的な計算環境が整備された。

したがって、現在用いられているリスク対応技法は、最新の計算科学に支援された統計的決定理論の立場から再評価し、改善することの可能性が、既に現実的になっている。しかしながら、リスク関数の評価だけでは最適なリスク対応には不十分であり、整数計画法を含む最適化技術の相当な進展がリスク対応の最適化には必要と考えられる。

3. 5. 3 情報科学と統計科学の統合がリスク科学にもたらすもの

Tukeyは、これまでの仮説検定論を基調とする「検証的データ解析(CDA)」に代わり、データから仮説を発見するための「探索的データ解析(EDA)」を提唱した(Tukey, 1960)。彼は、ベル研究所とともに、C言語のデータ解析機能を強化したS言語を開発し、「データ解析学派」と呼ばれる新たな統計科学の領域を創生し、現在、統計科学の中では、計算機統計学という分野として確立している。これに対して1980年代後半以降の情報科学の進展によって、大量のデータを計算機処理することが可能となり、データから有用な知識を「発見」しようとする動きが情報科学の立場から急速に勃興し、「データマイニング」の方法が確立した。我が国でも「発見科学」、「アクティブマイニング」として組織的に研究され、Tukeyの構想したデータ解析技法は、むしろ情報科学の中で発展したと考えができる。

このように、現在発見科学的手法によって大規模データから高速に所定のパターンを抽出することが可能となった。近年、厚生労働省も医薬品の副作用発見に対して、この方法論に期待し組織的研究を開始した。しかし、発見された仮説の信頼性を定量的に評価する研究は未だ発展していないために、リスク因子に関する定量的評価が必要な分野では、これらの技術が十分支持されていない。Tukeyは、多くの候補仮説からの仮説選択の過誤確率増大について、警鐘をならし、探索的データ解析への多重比較法導入の必要性を強調した(Tukey, 1977)。しかし、統計科学と情報科学との独立性が高まった今日、情報科学的方法論の数理的正当化は、サポートベクトルマシンにおけるVapnik次元等の近似上限評価に留まっている。情報科学的方法によるリスク仮説発見が日々なされている状況にも係らず、その証拠力を統計学的に評価し、リスクに係る仮説発見から当該仮説検証に至る知識成長ないしは仮説発展プロセスを定量的に最適化する研究は試みずら無いのが実情である。

したがって、リスク発見の科学確立のためには、統計科学と情報科学を統合し、データから仮説（モデル）を高速に抽出し、その定量的信頼性を評価する仮説発展プロセスを構築することは不可欠である。

3. 5. 4 定量的リスク科学創生のプラットフォームとしての情報循環設計科学の役割

リスクマネジメントについては、国内外共に既に「リスク特定」から「リスク評価」、「リスク対応」を経て「リスクコミュニケーション」に至る標準プロセスが確立している。例えば、日本工業規格JIS Q2001「リスクマネジメントシステム構築の指針」も2001年に発効した。しかし、リスクマネジメントをリスク情報の「知識マネジメント」ととらえて、学術領域・社会活動を横断する統計科学・情報科学的方法を最適配置する「定量的リスク科学」構築こそ喫緊の課題である。このためには、Pearsonの認識科学生成プロセスを拡

張し、社会のための学術としての「設計科学」の文法を明示することが急務である。ここで、設計科学の意図する設計は工学的設計の範疇に留まらず、マネジメント、政策、ひいては文芸・芸術一般などを包含する人間・社会の価値観に起因したデザイン一般を総称したものである。

設計科学の文法の第一次案として、Tsubaki, Nishina and Yamada は、「実社会からの価値選択」から「要求価値の工学モデルへの変換」、「モデル上での最適化」を経て「最適化された価値の実社会への注入」といった一般設計科学生成サイクルを提唱した（図 3.5-1）(Tsubaki, et al.. 2008)。

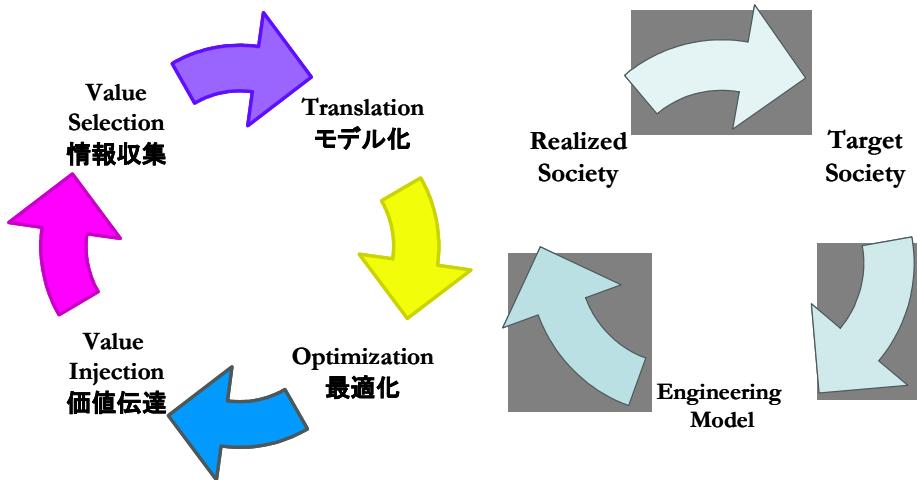


図 3.5-1 設計科学の情報循環モデル

また、このそれぞれの行為をディシプリンとする横断的情報科学、情報工学が存在すると考えられる。すなわち、社会から価値を発見的ないしは意図的に選択する方法論を扱う科学（情報検索学、発見科学、対話を中心とする質的研究の方法学等）、価値を創生するシステムを同定する科学（統計科学、複雑系の科学を含むシステム科学など）、システム上で価値生成のパフォーマンスを最適に設計する工学（制御工学、通信工学、最適化工学など）、創生した価値を社会に実装し納得してもらうための工学（メディア工学、コミュニケーション工学など）などがそれである。さらに、これらの横断的な 4 つの情報科学、情報工学を「リスク」問題といった場を利用して、情報循環全体を俯瞰する「情報循環設計科学」に融合させることが、定量的リスク科学の確立には不可欠である。いや、定量的リスク科学のみならず、情報循環設計科学は、価値観を前提とする人間・社会の学術全般を反証不能な規範的科学から知のスパイラルアップが可能な設計科学に昇華させる不可欠のプラットフォームとも考えられる。

この情報循環上の知のスパイラルモデルは当初、技術開発マネジメントなど経営科学分野のために構想したものだが、現在では設計科学領域に属する「定量的リスク科学」体系化にも初期プロセスモデルとして、特に有効と考えている。事実、リスク科学領域では、これまでの検証的統計科学方法論のみでは、価値選択や注入を包含した設計科学文法構築は不十分であり、3.5.3 で述べた情報科学との有機的結合のあり方をマネジメントサイエンス側面から検討し、初期プロセスモデルをより実社会の潜在要求に適応したものとしな

ければならなかったからである。特に、研究者と実社会とのインターフェース領域に係るリスク情報受発信プロセスを研究改革し、リスク情報マネジメントプロセスの適正化を実現し、新たに開発される情報科学（発見）と統計科学（検証・最適化）とが融合された方法論をリスク情報と仮説の成長プロセス各段階に最適配置しなければならない。

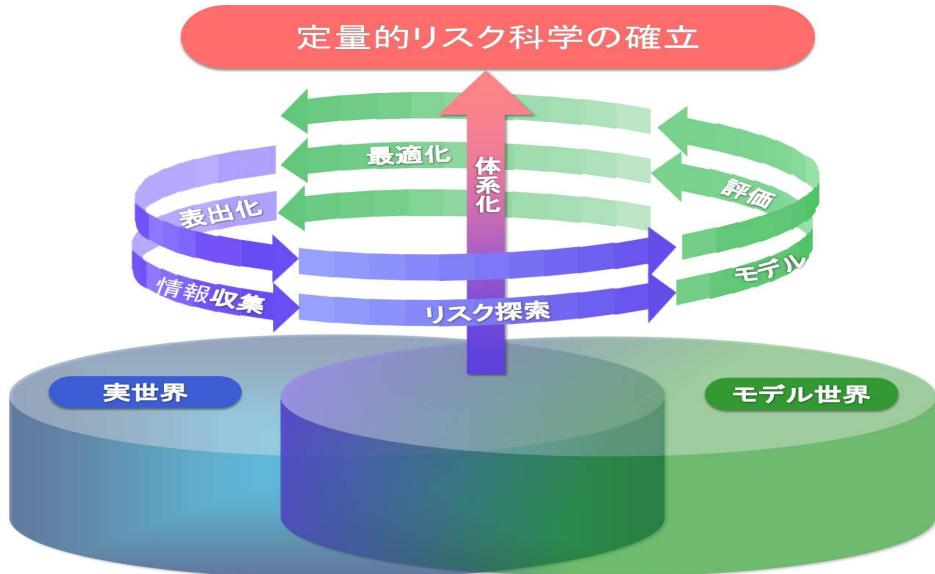


図 3.5-2 定量的リスク科学の構想(北川, 2008)よりの引用

すなわち情報循環設計科学をプラットフォームとして開発されるべきリスク科学とは、個別の方法論の適正羅列による問題解決論ではなく、発見・モデル化・最適化・還元といった、実社会とモデル社会を循環するリスク情報・知識の進化プロセスをマネジメントサイエンス的側面と情報・統計科学的方法論の側面から同時に適正化した学術である。この横断的学術体系は、物質・生物・社会科学領域で独自に発展しているリスク科学ないしはリスクマネジメントの進化・発展を整合化させると共に加速する。

なお、図 3.5-1 の情報循環モデルの中では、特に「価値注入」、すなわち「リスクコミュニケーション」に関わる情報・統計科学あるいはそれを超えた応用数理科学的理論（数理コミュニケーション工学）が欠如していることも明らかである。すなわち、人間・社会が有する応答特性を勘案した情報通信論を支える横断的数理科学が他の 3 ステージに比して明らかに脆弱なのである。

3. 5. 5 定量的リスク科学構築のための知の統合とロードマップ

以上の議論を総括し、プロットフォームとしての情報循環設計科学と横断的定量的リスク科学構築、更には人文・社会科学全般野設計科学化へのロードマップを表現したのが図3.5-3である。

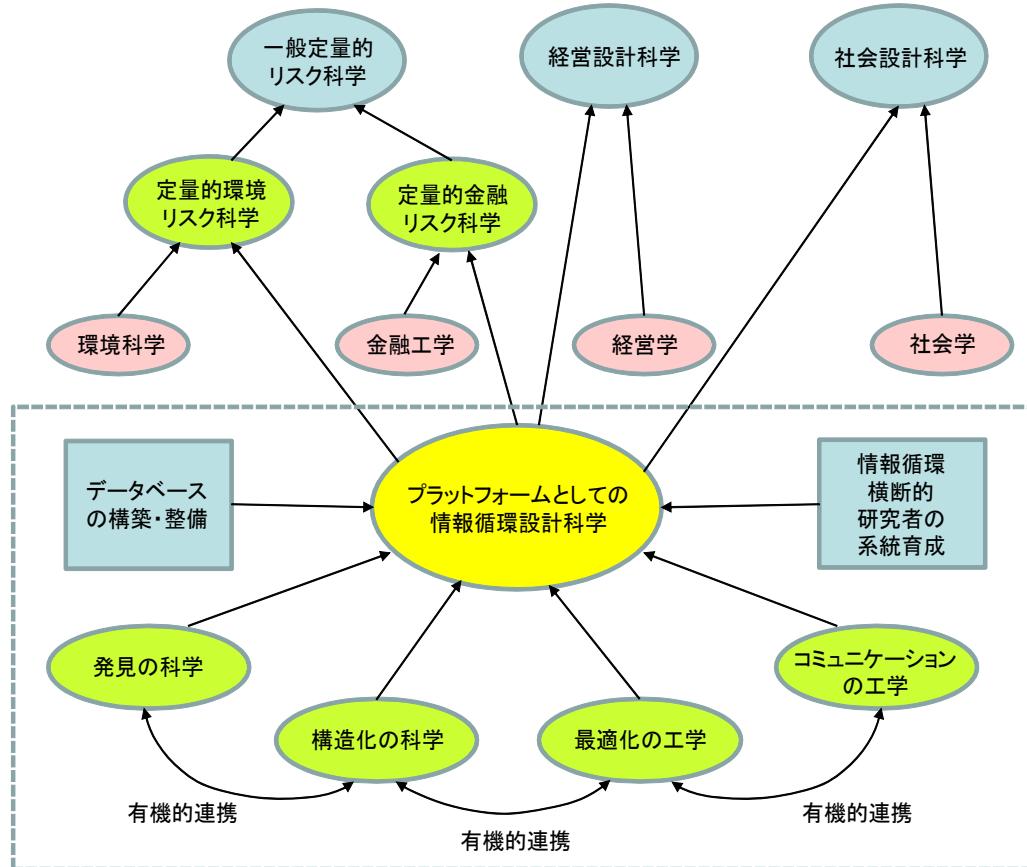


図3.5-3 情報循環設計科学をプラットフォームとした知の統合

改めて重要なのは定量的リスク科学の発展には、対象となる分野にそれなりのデータ収集・蓄積環境が整備されることと、情報循環全般に目配りできる横断的数理科学人材が必要となることである。医薬品の副作用に関するデータベース構築については、我が国は欧米は勿論、韓国にも後れをとっている、社会による社会のための社会からの情報収集と適切な分析と対応による社会改善が実現しない限り、定量的リスク科学の我が国における発展は望めない。図3.5-4のロードマップは、その種のインフラストラクチャーが今後20年以内に実現するものと仮定して作成したものである。

今後、2020年頃までに先ず整備すべきは、既に一定のディシプリンを確立している情報学諸分野、特に発見科学、構造化科学、広義の最適化工学を個別定量的リスク科学創生という目的をトリガーとして融合することである。すなわち、横断的プラットフォームとしての情報循環設計科学の創生作業第一段階の開始である。また個別定量的リスク科学創生は、関連分野に存する物質科学、生物科学、社会科学を基本とした対象に対する知と、これら情報循環設計科学が供給する知の様式との統合、更に、関連する分野に関して構築されるデータベースの支援を基に実現する。一方、定量的リスク科学に裏づけされた意思決

定を社会に還元するためには、リスクコミュニケーションの高度化が必要となる。このため、心理学、情報技術、数理科学などを融合した新情報数理学としてのコミュニケーション工学のグランドデザインが必要である。この作業は、人間ないしはコミュニティの情報に対する応答関数の表現論といった段階から出発し、その設計論に進むまでに概ね20年はかかるのではないかと予想している。このコミュニケーション工学が実用化可能となるほどの成熟をもって、プロットフォームとしての情報循環設計科学は創生作業段階から、独自の統合的ディシプリンに基づく発展段階に移行することとなる。2040年代初頭には、情報循環設計科学に支援される定量的リスク科学も個別的风险科学の共通要素の水平展開や、何よりも個別データベースを統合したデータアーカイブの構築を通じて、一般的な定量的リスク科学へと進化し、社会全体のリスクを俯瞰することが可能となることが期待される。また、定量的リスク科学に基づく社会改善も政治・経済分野では常識化することが予想される。なお、この新科学創生の潮流をしっかりと支える人材の育成については、長期的に体制が整備されなければならないが、個別定量的リスク科学創生を支援した情報循環設計科学のエッセンスを知る若手研究者が次世代の中核的人材となり、次々世代の学部教育・大学院教育を担当することで、一般社会全体の課題となるリスク問題解決に資する横断的情報学と情報ツールとの適用の力量を有する人材を育成することを目指さなければならない。

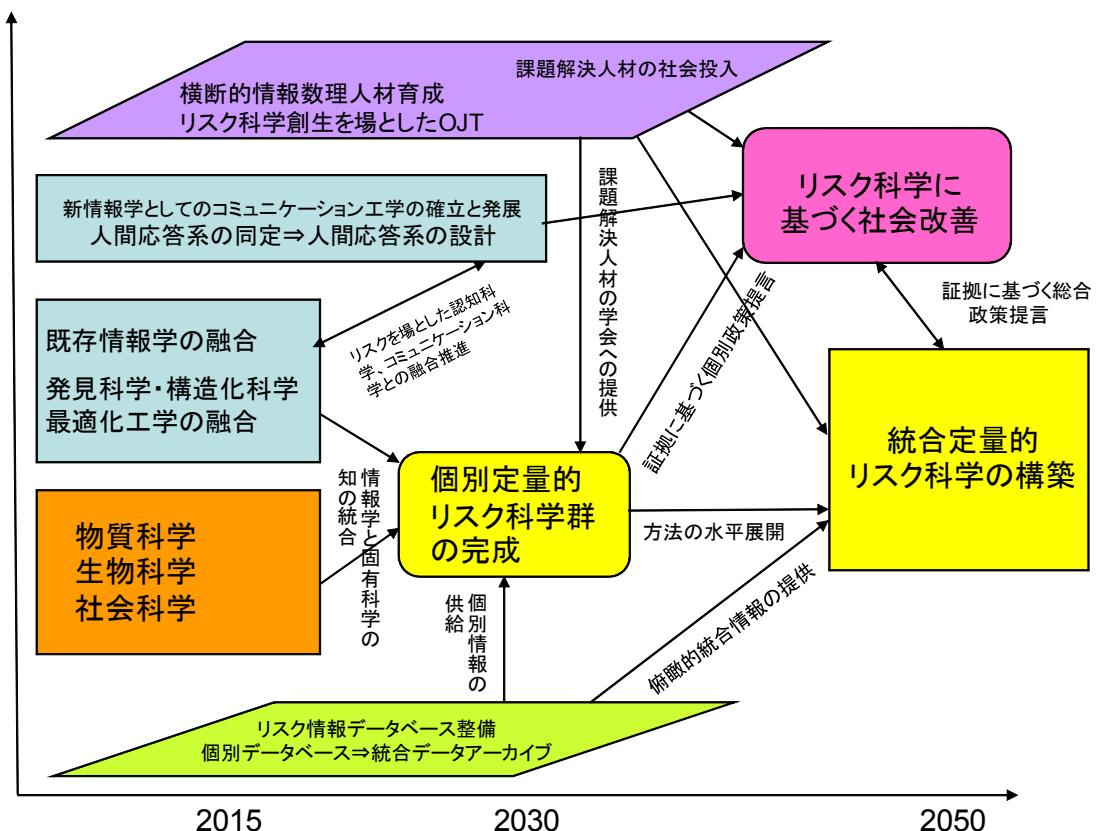


図3.5-4 定量的リスク科学創生のロードマップ

3. 6 持続可能未来社会デザインのための知の統合

3. 6. 1 統計科学が提供する知の統合プラットフォーム

20世紀社会において、科学技術は分野の細分化の繰り返しの中で発展を遂げてきた。したがって科学技術の進展に伴い複合領域は増大し、新領域も次々と創出されてきた。こうした発展は、高度経済成長に象徴されるような、不特定多数を対象とした大量生産・大量消費を目指す成長志向の社会からの要請に呼応したものであるとも考えられる。しかし一方で近年、こうした過度の細分化がもたらした科学技術の弊害も表面化している。各分科における局所的な最適解が、大域的には最適ではなかったり、場合によっては最悪にもなりえる例は多くのシステムや人工物にも見受けられるが、その最も顕著な例は地球環境問題であろう。現在では科学技術や産業の発展と地球環境資源の持続可能性との調和が世界的な課題となっていることは周知のとおりである。一方、情報社会の実現と深化の過程で、20世紀社会の発展に中心的な役割を果たした不特定多数への大量生産によるサービスの提供方式はオンデマンド・オーダーメイドといった、個に焦点を合わせた方式へとシフトしている。このような21世紀社会からの要請に応えるためには、総合的かつ横断的な学問体系、技術体系を軸とした知の統合が必要であることは明白である。そして統計科学・統計技術はそうした学問体系、科学技術のひとつであると考えられる。

統計科学は図3.6-1にも示したように、自然科学、社会科学、人文科学に至るまで、あらゆる分野と境界をなしており、その意味では典型的な横断型学問分野である。しかし統計科学の従来の発展の形態はやはり統計科学自体の細分化であり、これまで共通の手法であっても各分科で独自に研究開発が進められてきた。しかしその統合を目指す上で横断型分野としての統計科学に求められる役割は、21世紀社会の課題を解決するために、各境界分野に普遍的に存在する方法論、つまり知の統合のためのプラットフォームを介して、互いの知の互換性を確立し、より普遍的な知の体系の創出を目指すことであると考えられる。またそのプロセスで新たな境界分野を発掘し、新たな価値・サービスの創出を目指すことも必要であろう。

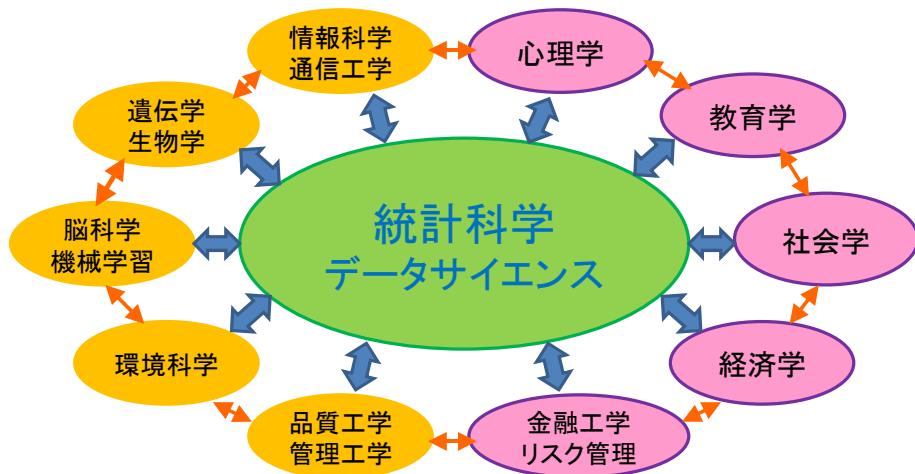


図3.6-1 統計科学による知の統合イメージ

統計科学が他の情報科学、数理科学とともに提供する知の統合プラットフォームの中心的な課題のひとつに大規模かつ複雑なシステムにおける統計的推測技術があげられる。これは持続可能社会デザインという観点からは地球・生命・社会現象の分析、予測システムの構築などに必要とされる。また個に焦点を当てた技術という観点からは、創薬、オーダーメイド医療、副作用研究などを目指した遺伝子ネットワーク推定、タンパク質構造推定や、マイクロマーケティングなどで必要とされる。

本節では以下に持続可能社会デザインを例にとり、統計科学が提供する大規模複雑システムの推測技術の研究開発というプラットフォーム（図3.6-2）を介した、周辺分野との知の統合へのロードマップイメージを作成し、その概要を述べる。

3. 6. 2 持続可能社会デザインのロードマップ

持続可能社会の実現には、地球上のさまざまな自然現象、生命体の現象、社会現象を詳細に解明していくことが必要になり、その際に大規模複雑システムを用いた統計的解析は重要な役割を果たすと考えられる。大規模複雑システムの推定には高次元データ解析、時系列解析、機械学習理論、データマイニングにおける、状態空間モデル、ベイジアンネットワーク、グラフィカルモデル、離散選択モデルなどの要素技術が主として用いられる。こうした統計技術を用いて大規模なモデルの推測を行う際に直面する共通の課題として新 np 問題(樋口(編), 2007)と呼ばれる問題がある。統計学では一般にデータのサイズを n 、モデルの自由度を p で表す。従来の統計的モデリングでは、モデルのパラメータ数を小さく設計することが推奨されてきた。パラメータ数を増やせば、モデルの記述能力は向上する一方、汎化能力は減少するために予測精度は低下する。そのため従来の推測理論の枠組みでは $n \geq p$ を想定している場合がほとんどであり、実際に推測を行う場合には現実のシステムを大幅に単純化したモデルを用いる傾向にあった。また推測手法の有効性も通常は p は固定で $n \rightarrow \infty$ という状況下で評価される。しかし近年において求められる大規模複雑システムにおける p は、ハードウェアの進歩も伴い膨大化する一方である。データ量も巨大化してはいるが、これは主としてデータの次元(p に比例する量)の巨大化であり、観測数 n を一定以上増やすことは技術的な限界や社会的な制約などにより困難な場合もしばしば起こる。つまり近年ではデータが巨大化した一方で、かえって有限標本における安定的な推測手法の開発が求められるという現象が起こっている。

この問題に対するひとつの有力な解決策はベイズ法にある。ベイズ法ではパラメータのばらつきを確率分布(事前分布)で表現することにより実質的なモデルの次元が減少し安定的なモデルの推測を可能にする。またネットワークシステムなどのように、変数間に階層が存在するモデルでは構造的にベイズモデルを想定することが自然な場合もある。ベイズ法によるシステムの推定には事後分布の計算が困難なことが問題点とされてきたが、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)のブレークスルーにより、近年適用事例が自然科学・社会科学の両面で飛躍的に増加している。

一方、尤度に基づく古典論と呼ばれる推論は、新 np の状況では一般には適用ができない。しかし $n \geq p$ ではあるもののモデルの次元 p が非常に高いという状況では、ベイズ法よりもモデルとして自然かつ実用上有用な場面が数多く存在する。しかしいずれの場合もモデルが巨大化、複雑化したときに、数値的に安定な推定値を得ることが困難になると

いう問題を抱える。またニューラルネットワークや因子分析などの潜在変数モデルでは、モデルが非正則になり、通常の推測理論の適用が不可能なこともある。近年こうした一連の問題に対し、統計モデルの代数幾何的な構造を考察することにより、新たな推測アルゴリズムを提案する計算代数統計(Drton et al., 2009; Pistone et al., 2001)という分野が出現し新たな展開を見せている。これは純粹数学者と統計学者というシーズ側内における異分野間交流によって創出された新領域という意味において注目すべきものと思われる。またここで用いられている代数幾何的手法は、統計学のみならず、最適化・組み合わせ論などの数理工学に横断的に適用可能であり、今後、数理工学の各分野間の知の統合にも大きく寄与していくものと思われる。

こうした推測手法の確立は10~15年の間に大きな進歩が期待できる。推測手法が整備されればシステムに関する事前情報が支配方程式や対象に関する専門知識などから十分に得られるような地球規模の自然現象、自然災害の予測、資源埋蔵量予測、環境資源の持続可能性の評価、社会活動のシミュレータなどが実用化されていくであろう。また一部の分野ではすでに実用化が始まっている(Imoto et al., 2002, Nakamura et al., 2006, Ueno et al., 2007)。

しかし現実の問題にはシステムの構造に関する事前情報が少ないために、客観的に最適なモデルを同定するところから始めなければいけない状況もしばしばある。さらにはモデルの同定自体が知識発見として分析の目的となることもある。機械学習モデルの同定やたんぱく質の構造推定、データマイニングなどはその例として挙げられる。

システムの同定はモデルの次元が低い場合にはAICなどのモデル選択規準を用いることで行えよい。しかし高次元のシステムを同定する場合、次元に対して候補となるモデルの数が一般には指数的に増加するため、数え上げに基づくモデル選択規準を用いた最適モデルの同定は組み合わせ論的に不可能である。実際の問題ではデータ間の相関行列が疎であるなどの事前情報が得られるため、それを活用することによって同定が可能になる場合もあるが、一般にはネットワーク構造推定や、因果構造の推定などのモデル同定・システム構造推定に関する研究は未成熟な段階にあると言え、モデルに対して必ずしも現実的とは言えない制約を加えて構造推定を行っている場合も多い。また推定されたシステムからいかにして知識発見を行うかという問題も同種の問題と言える。ネットワークモデルの場合、推定されるモデルが膨大な数のノードを結ぶネットワークであれば、そこから有益な知識発見を行うことやはり組み合わせ論的に困難な問題であると言える。近年、ベイズ的なアプローチや組み合わせ論を駆使した構造探索の研究開発が進められており(鷲尾 et al., 2006)、今後20~50年の間で大きな進歩が期待できると予想される。

統計技術の実用化には、システムの推定手法の確立だけではなく、予測結果を有効活用するための方法論を確立することも重要な課題である。予測性能評価、システムの推定性能評価、そしてそれらをフィードバックしたシステムの高精度化はその中の重要な課題であると言える。予測誤差評価、適合度検定、信頼区間などの手法がこれに当たる。こうした手法も複雑システムの場合や新 np 問題の状況下では従来の統計的漸近理論が直接適用できないなどの課題がある。

またリスクの科学的評価と管理手法の研究開発も重要な課題である。統計技術は不確実性に伴うリスクの低減化が実現して初めて意味をなすと言える。リスクが定量化されれば、リスクを軽減させるようなシステム制御も可能になる。リスクという概念は医薬・食品、

環境、金融・保険などの分野では独自に古くから用いられているが、近年不確実性をリスクとする認識が高まったことでリスク自体が多様化しており、その分野横断的な管理手法の確立が望まれている。

複雑システムによる予測技術とその性能評価、リスクマネジメント技術が実用化されれば、シミュレーションを用いた長期予測に基づくシナリオ分析を用いた施策統合、政策提言も高い信頼性で実用化に向かうものと考えられる。そしてこうした技術は今後 10~50 年の間で大きく進展していくことが予想される。以上をまとめたものが、図 3.6-3 である。

3. 6. 3 まとめ

本節では持続可能社会の構築に向けて、関連する学問分野に普遍的に存在する問題として大規模複雑システムにおける統計的推測を取り上げ、その研究開発を通じて互いに知の互換を図り、より普遍的な知の体系の創出を目指すためのロードマップを作成し、その概説を行った。しかし実際にこうした知の統合を実現するためには、シーズ内、文理間などさまざまなレベルでの学問分野間のコミュニケーション、さらには产学間・官学間のコミュニケーションが必要不可欠になることは言うまでもない。コミュニケーションの推進には俯瞰的な視点を持つ横断型の人材の育成も必要になる。また各レベルに応じた統計教育やソフトウェア開発、学会活動などのインターフェースも必要となり、それを担う人材育成も必要になる。こうした人材育成、インターフェースの整備にインセンティブが働きやすい環境づくりも今後重要になっていくものと思われる。

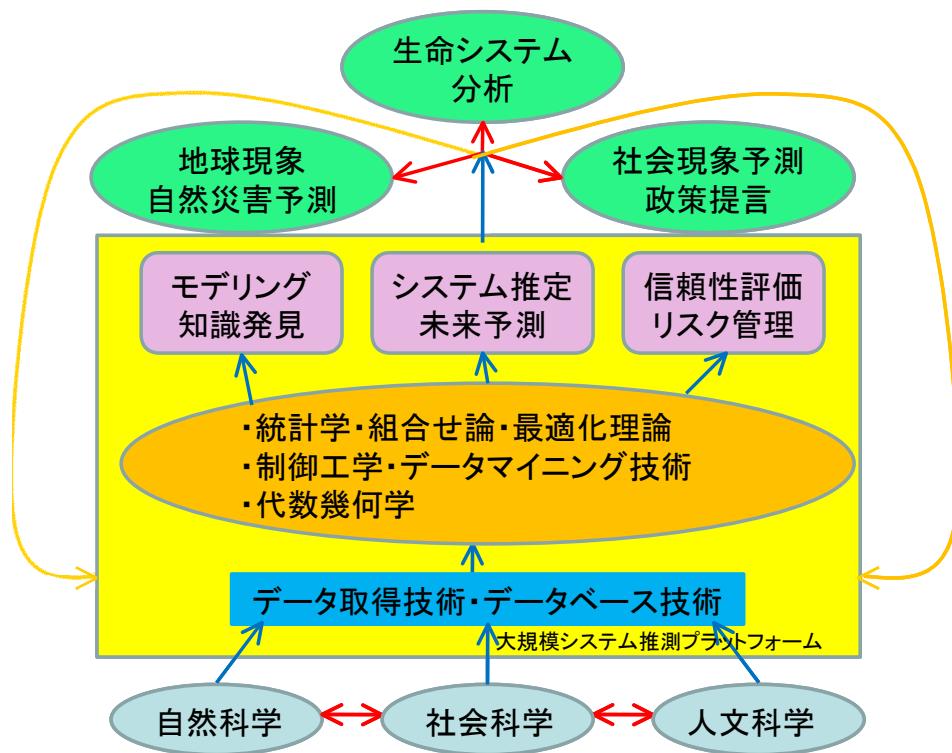


図 3.6-2 持続可能社会構築のための知の統合プラットフォーム

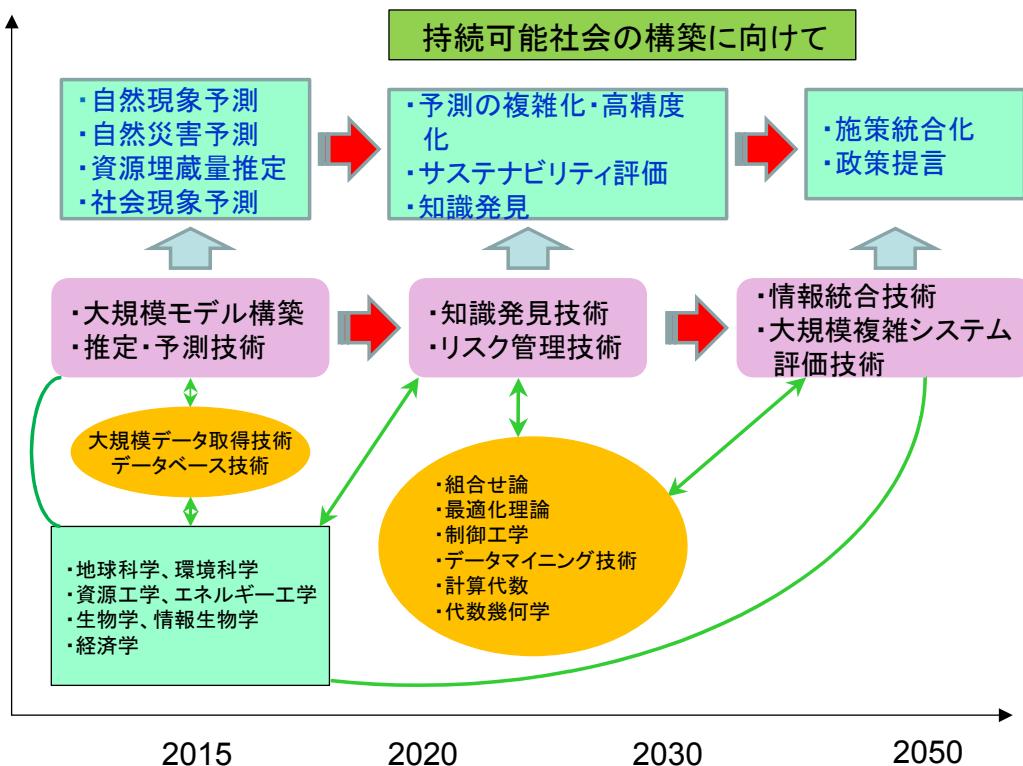


図 3.6-3 持続可能未来社会デザインに向けたアカデミック・ロードマップ

3. 7 低炭素社会の構築

3. 7. 1 はじめに

「21世紀環境立国戦略」(2007年6月閣議決定)（環境省、2007）の中で、今後の日本の環境政策の柱として、低炭素社会の構築、循環型社会の構築、及び自然共生社会の構築を統合的に進めてゆくことにより、地球環境の危機を克服して持続可能な社会を目指すことを宣言した。中でも低炭素社会の構築は、近い将来の地球規模での気候変動や温暖化に立ち向かうための中核的な戦略として位置づけられている。

具体的には、ほぼ同時期（2007年5月）に日本政府から提案された「Cool Earth 50」において、「世界全体での温室効果ガスの排出量を現状に比較して2050年までに半減する」という長期目標を設定した。2050年半減の根拠は、様々な気候変動影響に関する研究から、長期的に全球平均で気温上昇を2°Cまでに押さえ込む必要があり（それ以上の上昇では甚大な影響が予想される）、そのためには、将来を予測する気候変動モデル研究から全球での温室効果ガスを現状の50%以下に抑えなければならない、ということが示されたことによる。先進国では、50%よりさらに大幅な排出削減が必要で、日本では60-80%の削減が必要と見積もられた。

このようにこれまでの研究から、2050年温室効果ガス排出量半減という目標とその論理的な背景が提示されたが、目標に至る道筋を見出すことは容易ではない。まず、道筋探索の方法論として、目標値を定めてそこに至る道筋を逆に探索する方式（バックキャスティング：BC）が必要となるであろう（図3.7-1）。現在から将来に向かって可能な技術や施策を順次積み上げてゆく方式（フォワードキャスティング：FC）では2050年に世界における総排出量を確実に半減する道筋を見出すことは難しい。さらに、複数ある採用可能な技術や施策を、世界各国の合意の下で、各国社会に受容できる形で取り入れることが必要となる。この過程では、国際的な合意形成のための手法や、人々の生活習慣を変えるといった社会の合意形成のための手法など人文社会学的な方法論が不可欠となるであろう。

本節では、科学技術の側面から、低炭素社会を実現するための道筋（アカデミック・コードマップ；ARM）とその実現のための科学技術的なプラットフォームを検討する。

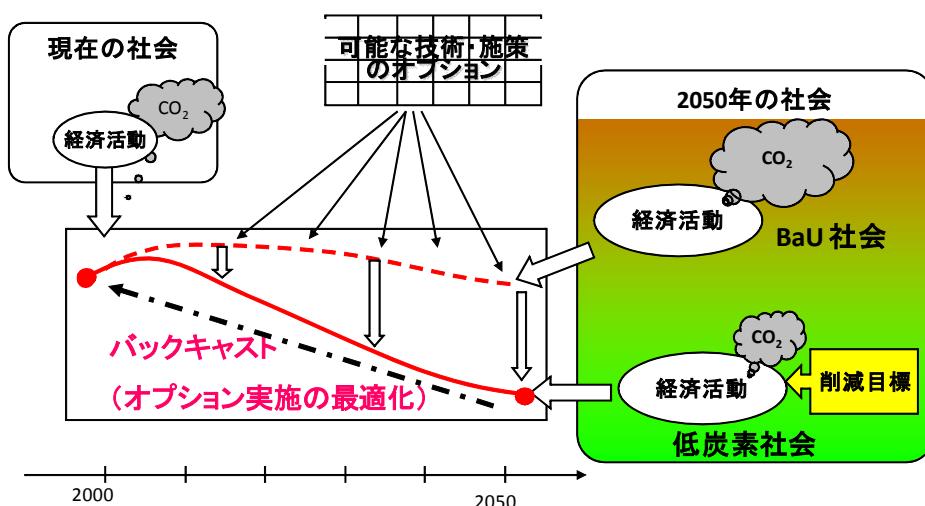


図3.7-1 バックキャストによる技術・施策実施の最適化（国立環境研究所、2008）

3. 7. 2 低炭素社会の構築に必要とされる学問分野

前述のように、低炭素社会の構築とは温暖化や気候変動を加速する CO₂ や CH₄ などの温室効果ガスの濃度を低いレベルに押さえ、その影響を最小限とすることを意味する。このためには、第一義的には、

- ・ 温室効果ガスの排出を抑え（緩和）
- ・ 温室効果ガスによる影響を小さくする（適応）

そのための対応策を講ずることが必要である。この分野では新たな環境技術や環境政策が重要な役割を果たすであろう。しかしながら、対応策を効果的に実施するためには、

- ・ 温室効果ガスの濃度やその収支を観測し（観測）
- ・ その循環のプロセスを把握し（プロセス解明）
- ・ さらに、その将来の状態を評価する（予測）

することが不可欠となる。特に、今後は、様々な対策の効果を評価・予測し、その効果を実際に観測することが重要となる。温暖化や気候変動が地球規模での現象であることから、これらの観測から予測、さらに対策までの流れが、地域レベルから、国、大陸レベル、さらに地球レベルまでを対象としなければならないことは云うまでもない。この観測から予測までの流れを実現するためには新たな環境科学、環境技術が必要となる。

ここで注意しなければならないことは、温室効果ガスはもともと、地球上に人間が居ようが居まいが存在するものであり、その収支や循環は、自然起源に由来するものと、人間活動に由来するものとを分けて考えなければならないということである。2007 年に出された IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change、2007 年にノーベル平和賞を受賞) 第 4 次報告書 (AR4) は、“地球温暖化が人間活動に由来するものである可能性が高い”ことを示した。

現在の温暖化が人間活動に由来する可能性が高い、ということは、低炭素社会の実現は、上記の自然科学や技術的な手段のみで実現できない、ということを意味する。これまでのエネルギー資源や自然資源を大量に消費してより便利な社会を実現するという考え方から、限りある地球の資源をできるだけ効率的、効果的に使う、という考え方を変えなければならない。即ち、人間の基本的な考え方や、社会の在り方を変えなければならない、ということを意味する。この実現に向けては、

- ・ 人間のあり方を考える（哲学、倫理）
- ・ 社会や経済など科学・技術と社会のあり方を考える（法学、社会学、経済学、心理学）
- ・ 社会のあり方を方向付け、そちらの方向に誘導する（政策学）

ことが必要となる。また、世界の国々が協調、連携して対応を進めなければならないことから、

- ・ 国際連携を進める（国際関係論）

ことも不可欠であろう。即ち、人文科学や社会技術も重要な役割を果たすことになる。

低炭素社会の構築のために、哲学から科学、技術を含む既存のほとんどの学問分野における知および知識が必要であり、その知や知識をどう統合化し、問題解決に向けての道筋を組み立てるか、が鍵となる。

3. 7. 3 2050年における環境と社会

気候変動問題は、時間スケールが極めて長い。本ARMで設定された2050年という時点は低炭素社会の構築に向けた一里塚といえる。現在のままのシナリオ(Business as Usual;BaUシナリオ)では、温室効果ガス半減が実現できないことは明らかで有り、2050年までのARMでは、2050年における様々な社会や環境の条件(るべき姿)を設定しなければならない(国立環境研究所, 2008)。

(1) 国際社会における温室効果ガス(GHG)削減

GHG排出削減に向けた取り組みが強調して行われ、排出量取引など世界全体での効率的な削減が実施されるとともに、セクター別アプローチなどを通じて、世界全体の技術水準が向上している。さらに長期的には、世界各国が技術を競い合うことで、安定的な削減が安価に実現される。

(2) 温暖化およびその影響

排出量はピークを迎えるが、大気中GHG濃度は出来る限り低く推移している。ただし、対策により排出量が抑制されたとしても、ある程度の気温上昇が進み、それに応じた影響が発現すると考えられる。

(3) 温暖化問題に対する国際社会の認識

温暖化影響の深刻さや深刻になる時期についての科学的知見の信頼性が十分に高まり、国際社会が科学的知見を踏まえて合理的に意思決定出来るようになっている。また、温暖化と他の環境問題や社会問題を同時に解決するためのビジョンが共有されている。

(4) 温暖化問題に対する市民・社会の対応

環境税のような施策の導入が一部の国々において受け入れられている。さらに長期的には、情報公開等により、温暖化の外部費用が市場に内部化され、消費行動そのものが大きく変化している。その結果、温暖化対策を全面に打ち出した産業が出現し、経済活動を牽引している。

(5) 緩和策をめぐる国際的合意

排出量の削減を目標とした枠組みに世界のすべての国が合意するとともに、先進国は途上国よりも厳しい削減を受け入れている。また、森林による排出・吸収が温暖化対策の国際枠組みに適切に位置づけられるとともに、そのモニタリングが精度良くできる仕組みが確立している。

(6) 技術とインフラ、適応策

先進国を中心に新たな技術開発が進展するとともに、CDM^{注1}等の制度により、技術の普及が図られている。また、温暖化に向けて社会のインフラも整備が進む。さらに、適応ポテンシャルが地域別に明らかになり、適応策を実施するための技術と資金についても目処が立っている。

2050年時点できれらの条件が成り立っていないと、温室効果ガス排出量半減という低炭素社会の実現は難しい。

注1 CDM:クリーン開発メカニズムと言われ、先進国が開発途上国において技術等の支援を行い、GHG排出量の削減を増加する事業を実施した結果、削減できた排出量の一定量を支援元の国のGHG排出量の削減分の一部に充当できる制度。

3. 7. 4 低炭素社会の構築に向けての ARM

前節での条件設定を実現するために、科学技術は何をしなければならないのであろうか。図 3.7-2 には低炭素社会の実現に向けて取り組むべき環境研究の課題を学問分野にまとめた ARM として示した。具体的な科学・技術の内容は、3.7.2 項で示した

- ・緩和、適応、観測、プロセス解明、予測などの自然科学・技術と、
- ・哲学、倫理、法学、社会学、経済学、心理学、政策学、国際関係論などの人文社会科学・技術

とが核となる。以下には、取り組むべき環境研究の具体的な課題を図 3.7-2 に示された時間軸に沿って整理した。なお、図 3.7-2 に示したアカデミック・ロードマップにおいて最下段には必要とされる学問分野が示されているが（赤枠で表示）、これらの学問が必要とされる時期は必ずしも時間軸とは対応しておらず、ほとんどの学問分野が左軸に近い現時点で必要となると予想される。

（1）温暖化の実態と影響の観測

温室効果ガスの排出・吸収や大気中濃度、また気候変化、生態系変化等を局所スケールから全球スケールにわたって観測する。また、観測データとモデルの組み合わせにより、観測された変化（生態系等の変化を含む）と温暖化（人為起源強制力）との関係を解明する。

（2）気候・影響の将来予測と評価

モデルの精度を高めるために鍵となるプロセスの集中観測と解明を行う。また、気候モデル、影響モデルの高度化により、将来予測を高精度で行い、また、その不確実性を定量化し、低減する。さらに、影響評価の知見を整理し、社会に分かりやすく伝達する。

（3）排出量の将来予測・削減方策

温室効果ガス排出量を把握するためのインベントリの作成を継続的に行う。こうしたインベントリを基礎として、社会・経済モデル等を用いて、想定されるシナリオ別（人口増加や技術開発、経済成長などによる）に、将来の排出量を定量的かつ定性的に推定する。

さらに、その上で、低炭素社会の実現を支援する施策等を具体的に示す。ここで注意すべき点は、技術や施策の具体的な導入を考える際には、それぞれの時点で、利用可能な技術、施策を予測し、その導入による削減量の予測値、コスト等を考慮したうえで、最適な道筋を探らなければならない、ということである。2050 年における目標値から逆算して技術、施策の導入を設計するバックキャスティング手法が重要となる。

（4）温暖化対策社会技術

排出量の削減に貢献するような技術開発だけではなく、社会における受容性、即ち、どのような技術が存在し、どのような政策、制度がそれらの普及を促進するか、普及にあたっての障害が何か、を検討する。また、どのような分野における技術開発が必要となるかを検討する。なお、開発途上の国々への技術、施策の導入を考える際には社会的、法的な受容性の評価が不可欠となるであろう。

（5）温室効果ガス削減に向けた国際協調と枠組み作り

世界全体の削減目標と、様々な基準に基づいた分担に対する費用を明確にするとともに、各提案の長所、短所を整理し、国際的な同意が得られる枠組み作りを検討する。

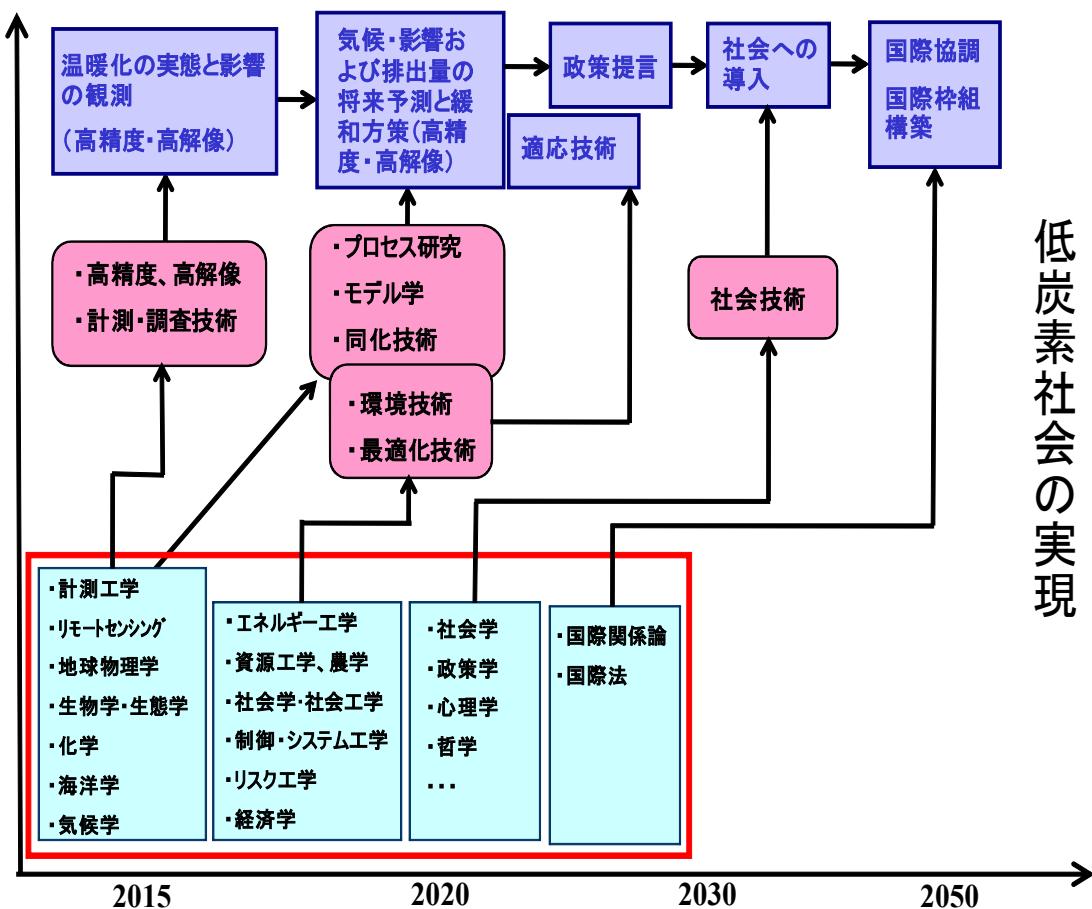


図 3.7-2 低炭素社会構築に向けてのアカデミック・ロードマップ

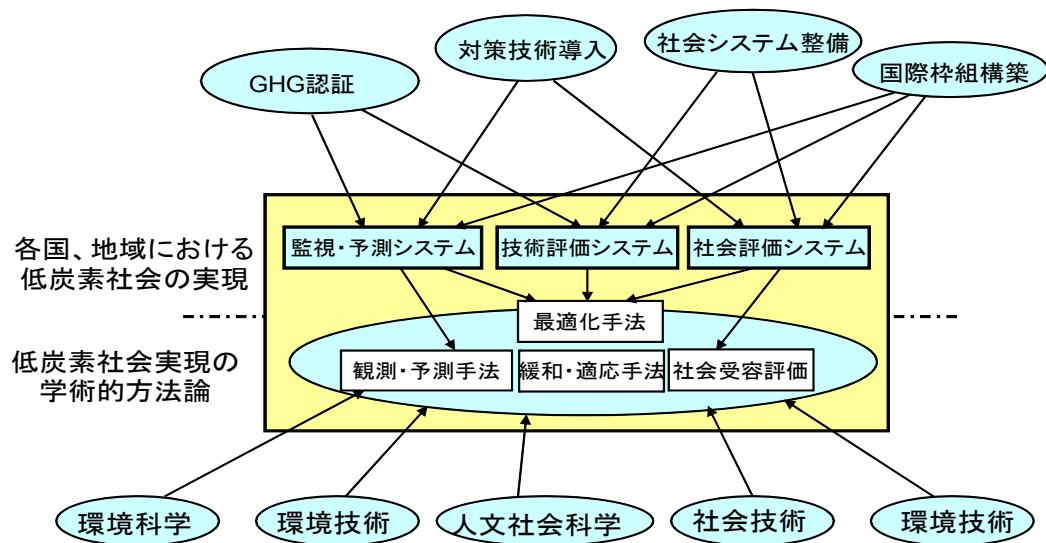


図 3.7-3 低炭素社会構築に向けた知の統合プラットフォーム

(6) 適応研究

温暖化の影響研究とともに、温暖化影響を回避するための適応策の検討を行う。適応策の導入により温暖化影響が回避される損失を明らかにする。また、適応策は地域によっても異なるが、効率的、効果的に適応策を実施するための体系的な整理を行う。

(7) 環境負荷の小さい地域づくり、市民による取り組み

排出量の削減をボトムアップ的に実現するための方策を検討する。ハードに対しては、都市基盤整備、集客施設立地、職住配置、地域エネルギー・システム、産業集積、農林業再生等を低環境負荷型に見直した場合の変化の方向性と低減効果を明らかにする。一方、ソフトに対しては、人々の行動の変化をもたらすような情報のあり方、その他の方策について検討し、その効果を明らかにする。また、これらのハード、ソフト両面を実現するための様々な障壁を明らかにするとともに、社会実験等を通じてその効果を具体的に明らかにする。

3. 7. 5 低炭素社会構築に向けた知の統合プラットフォーム

知の統合プラットフォームの役割は、低炭素社会の実現を目指した具体的な地域や国が、その対象地域でどのような技術や施策の選択を行い、実施後の評価をするか、さらに、その結果を国際的に認証してもらうか、など一連の手順に必要な知見を与えることであろう。図3.7-3にその概略を示した。上段には、実現のために必要となる具体的なシステムを、下段には、そのシステムを構築するために必要となる学問的な基盤を表示している。

上段に示した実現のためのシステムでは、実際の監視・認証システム（たとえば、GHG認証^{注1)}や、地域的スケールから国際的なスケールまでの様々な枠組みを構築するシステムが必要となるであろう。また、下段の学術的な方法論としては、様々な対策技術や施策のデータベースの構築と、その中からどのような組み合わせを選択するのが良いのかを評価する最適化手法が必要となるであろう。また、観測や予測、さらには対策、施策手法のセットも重要な役割を果たす。

“低炭素社会”はここ数年で使用されるようになった概念であり、その学術的基盤が必ずしも確立していない。そのため知の統合プラットフォームの目的やその構造も明確にはなっていない。今後の検討に期待したい。

^{注1} GHG認証： 森林によってどれだけの温室効果ガスの削減効果があるかを個別の植林地や林地の単位で評価し、認証すること。公的に認められた認証機関のみが認証行為を行うことができる。

3. 8 電子民主主義による社会の構築

3. 8. 1 社会問題に関する政策形成・合意形成支援環境の構築の必要性

現代の社会は、高齢化社会の到来や地球環境の悪化など、数多くの課題を抱えている。このような状況に対処するには、社会的な問題の発見や解決にあたり、利害関係者間の意見や方策の違いを、民主的に集約ないし統合することが必要となる。

近年の情報技術の急速な発展は、従来、代議制などのように間接的な選択となっていた事態に対し、直接的な選択の機会を可能にすることが考えられる。そこで、個人による直接的な選択の機会を発展させるため、電子民主主義の実現という立場で、情報技術を社会的問題の発見や解決のために活用する方策を模索することとする。ここで、情報技術とは、情報や知識の伝達、処理、蓄積に貢献できる技術である。

この動向は、行政府や企業の情報公開などとあいまって、個人を基盤にした情報や知識の取捨選択、ないしは意思決定が、政策形成や合意形成の基盤となる傾向にあることである。個人による情報や知識の受発信能力の向上は、ボトムアップ的な問題の発見や解決の可能性を向上させている。この能力をさらに発展させるためには、個人の意思決定に要する情報や知識の負荷の膨大さを鑑みると、未整備の状況にある支援環境を整備する必要があることになる。

最近、インターネットを基盤とした CGM (consumer generated media) が台頭し、利用者の問題発見や解決を支援している。具体的には、個人が、Home Page、blog、Social Networking Service (SNS)、YouTube、Wikipediaなどを用いて情報や知識を直接的に受信や発信し、問題解決に取り組むことができる。この動向は、既に、情報技術を活用している企業などの組織のフラット化やネットワーク化などにおける変化として表れている。

このような問題発見と解決のための支援環境を整備し、電子民主主義を実現するためには、人文社会科学的知見と理工学的知見とを横断的に統合した知見が必要である。ことに、人間や社会のシステムなどに対する広くて、かつ深い知見が不可欠な前提となる（太田、他, 1996; 東京大学社会情報研究所編, 1999）。いわば、社会規範型の情報技術利用を模索することになる。誤解の無いように付言すれば、社会規範型とは、技術規範型に対置されるものであり、現在の社会を肯定する情報技術の利用を意味するものではない。このような統合の必要性の提唱は、それほど新しくはない。ここでは、この困難な課題に対して、人間や社会のシステムに対する深い理解の基盤と、情報技術の高度化に伴う成果を十分に生かしたアプローチの必要性を提唱するものである。

政策形成や合意形成のプラットフォームは、社会的問題の発見や解決に関する利害関係者間の意見や方策の違いを集約ないし統合する新たな方法を探究するものとして構想することができる。このようなプラットフォームの構築は、民主的な社会の構築における問題の発見や解決の基礎を提供するものである。

これらのことからすれば、電子民主主義の構築は、電子政府（総務省, 2005）の次のステップとして目指すべきものである。ここで、政策形成や合意形成の運用や決定事項の円滑な実施を視野に入れるとき、多数決原理に代わる決定のルール、例えば、納得の原理に基づく決定のルールなどを模索することになる。このため、社会的問題の発見や解決の基盤として、個人の意思決定能力や集合知能の向上を図ることが必要となる。

(1) 社会問題における政策形成・合意形成支援環境の構築

- ・社会問題の選択においては、多種多様な利害関係者が存在する。環境問題を例にとれば、温暖化防止、原子力利用、環境開発・保全など、ジレンマ状況に陥る課題が数多くあり、いずれも、何らかの合意形成が不可欠な課題となっている。
- ・それぞれの利害関係者の選択は、多くの場合両立しないので、情報や知識の提供や獲得はもとより、適切な決定の原理の設定、トレードオフ、ジレンマの解消などの方法を模索する必要がある。
- ・社会の問題解決能力（集合知能）を向上させるための方策を検討する課題となる。

(2) 社会のデザインが課題となっている。

- ・政策形成・合意形成のための制度設計が課題である。
- ・情報・知識の提供や獲得問題などにつき、情報開示制度や知的財産権のあり方などが課題となる。
- ・デザインの選択問題では、ライフスタイルなど基礎的要素を重視する。

(3) 理工学分野と人文・社会科学的分野の複合領域となっている。

- ・理工学、哲学、心理学、社会学、経済学、政治学、医学など多岐にわたる知見を援用し、融合する必要がある。

(4) 社会システムと情報システムに関する基盤技術への期待

- ・社会システムモデルの構築技術や社会システム技術の開発を通じて、参加型意思決定の方法やアクションリサーチの方法などの確立が期待される。

(5) 情報システムモデルの構築技術や情報システム技術の開発

- ・社会規範型の情報システムモデル構築を志向する。

3. 8. 2 政策形成・合意形成支援環境構築のためのアカデミック・ロードマップ

電子民主主義の理論的基盤は、優れて社会科学的課題である。社会科学的な理論的業績は、いわば偉大な理論家によってなされる場合が目立つ。この領域に関する理論家の例として数例を挙げると、意思決定の領域では、サイモンやマーチ、経済学の領域では、ケインズやサミュエルソン、社会学の領域では、パーソンズやルーマンなどを挙げることができる。この点から考えると、理論の構築についてのロードマップを直ちに描くことは困難であると考えられる。ロードマップとしては、当面、情報技術の発展が貢献すると目される領域に着目し、その展開を記述することとする。

電子民主主義を、情報技術に支えられた選択肢の形成や選択および実施の問題と捉えると、情報と意思決定の領域での問題を考えることができる。情報や知識には、その伝達、処理、蓄積の諸相があり、ことに、政策形成や合意形成の課題などについて、意思決定者のエンパワーメント、利害関係者間の相互作用におけるファシリテータやインフォームドコンセントなどに着目した解明が必要である。

電子民主主義の決定原理では、多数決原理からシフトし、新たな決定原理の探求が望まれる。例えば、納得の原理の検討が考えられる。ことに、選択結果における選択者の選好の反映の程度（富山, 1998）、選択肢の形成や選択過程における個人知能や集合知能の向上などを図る必要がある。以下の項では、これらの課題を例示的に示す。



図 3.8-1 電子民主主義と政策形成・合意形成

(1) 電子民主主義の在り方の解明

- ・電子的参加のあり方を、事例などに基づいて解説する。
- ・情報や知識空間であるバーチャル公共圏（遠藤, 2005）を創出する方法を解説し、制度を設計する（須藤, 後藤, 田中, 2007）。

(2) 非営利組織(NGO)、非営利組織(NPO)を含む利害関係者間連携の在り方の検討

- ・投票者の選好を反映できる投票方法を開発する。
- ・情報システムによる連携支援環境を解説する。

(3) 意思決定支援

- ・合理的意思決定モデルから満足化意思決定モデルへの支援へと展開する。
- ・不完全情報、不十分な計算能力、満足のレベル、希求水準のレベル、探索の強度、期待の違背への対処などを組み込んだ支援モデルを構築する。
- ・階層型意思決定からネットワーク型意思決定への支援のあり方を解説する。

(4) 意思決定権限の配分問題、情報や知識の流通問題を解説する。

(5) ジレンマ状況打開方法の解説

- ・ゲーム、ハイパーゲームによるモデルを構築する。
- ・利害関係者間の相互作用とジレンマ問題特性を解説する。

(6) コミュニケーション技術

- ・利害関係者それぞれの利害を相互に円滑に伝達する技術の開発やスキルの解説を図る。
- ・情報・知識のギャップの抽出技術を開発する。
- ・リスクコミュニケーション方法の高度化を図る方策を解説する。
- ・ファシリテータの役割の有効性を解説する。

(7) 情報・知識ギャップの充足方法を探究する必要がある。

(8) 情報提供・獲得システムの開発

- ・高度新世代ネットワークの策定を行う必要があるが、社会的コミュニケーションを安全かつ安心して行うことができ、人間関係などの社会的コンテクストを生かしたネットワークを開発する。この基盤として、Web Social Science の構築を図る。
- ・ソフトウェアエージェント技術の高度化（情報収集志向）により、情報の受発信による社会システムの相互作用を記述できる基盤技術を開発する。
- ・エージェント・シミュレーション技術（太田, 2006; 寺野, 2007）の高度化（動態志向）により、社会システムの動態を記述できる基盤技術を開発する。
- ・利害関係者間の相互作用に着目し、そのネットワークを抽出する技術を開発する。
- ・コンテンツ抽出、視覚化技術を開発する。
- ・自然言語処理技術の高度化により大量のテキストからの意味抽出技術を開発する。

3. 8. 3 政策形成・合意形成における知の統合のプラットフォーム

社会的な問題の発見と解決に関する政策形成や合意形成における知のプラットフォームの要件を例示的に示すと、以下のような事項となる。

(1) 異分野との連携の必要性

- ・課題は、部分的には既に固有領域で研究されているが、問題形成・解決の過程に関する知見への統合は困難な状況にある。
- ・環境問題を例にとると、PI (Public Involvement)^{注1}、リスクコミュニケーションの観点から検討がなされており、具体的な便益の計測方法として、ヘドニック法^{注2}、トラベルコスト法^{注3}、CVM (Contingent Valuation Method)^{注4}などが提案されている。
- ・還元的に要素技術や要素的知見を整理する一方で、これらを統合することのできる方法や観点を開発する必要がある。

(2) 知の連携や融合が必要な分野

- ・方法論的個人主義と方法論的集団主義を統合することのできる知見を必要としている。心理学的知見と社会学的知見の統合は、アローのパラドックスなどの困難な課題を含んでいるが、個人と社会の関係を解明する上で、不可避な課題である。

(3) 融合によってもたらされるもの

- ・集合的問題解決能力（Collective Intelligence）であり、多様な利害関係者の下で、問題の発見と解決を図ることのできる能力の生成である。

電子民主主義による社会の構築を構想するとき、政策形成・合意形成における知のプラットフォームは、図 3.8-2 のように図式化することができる。基盤的には、理工学、心理学、社会学、経済学、政治学、医学、言語学などとともに、情報技術を援用した Web Social Science の構築を図り、集合的意思決定論や情報・知識のコモンズ論の展開を図る。

注1 行政が計画の策定や決定の過程に市民の参画を積極的に求める手法

注2 環境条件の違いが地価の違いに反映されるという考え方に基づき、環境の価値を計測する手法

注3 リクレーション施設などの訪問者の利用価値を、訪問者が支払う旅費により評価する手法

注4 評価対象の財について説明し、その評価対象財を獲得するために最大限いくらまで支払う気があるか（WTP）、ないしはその評価対象財を放棄する場合に最低限いくらの補償を受けたいか（WTA）の回答を得て、財の価値を評価する手法

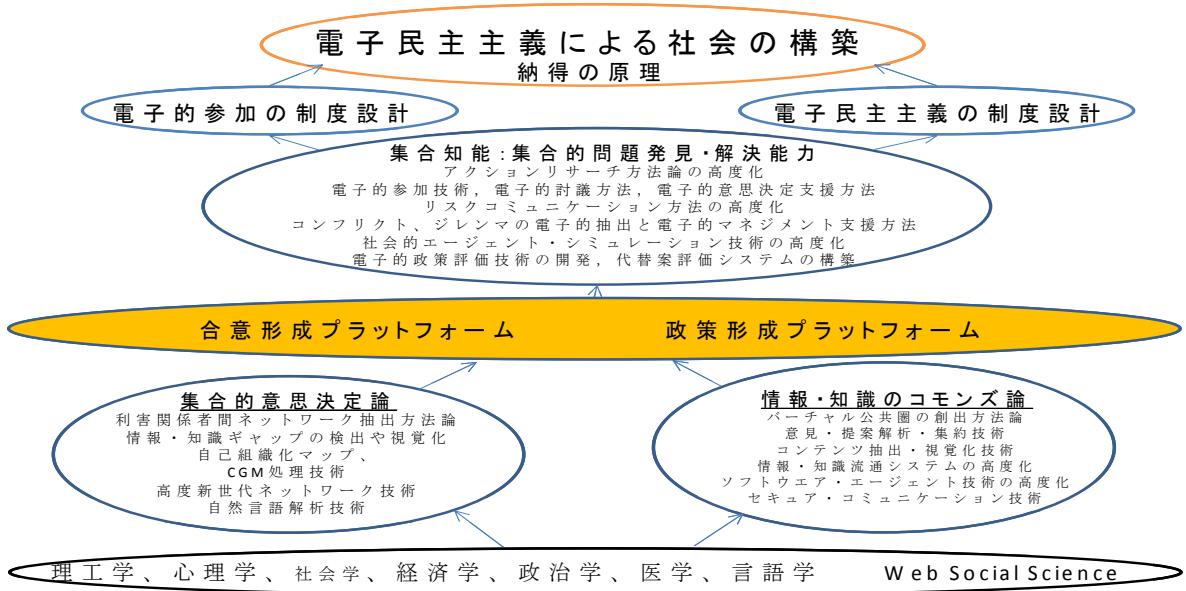


図 3.8-2 政策形成・合意形成プラットフォーム

集合的意思決定論と情報知識のコモンズ論は、政策形成や合意形成のプラットフォームを支える代表的な検討領域である。集合的意思決定論に関し、利害関係者間で張り巡らされるネットワークの抽出や、利害関係者間での情報・知識のギャップの検出は、意思決定の諸前提を明らかにする上で不可欠な分析方法である。また、情報・知識のコモンズは、情報や知識の蓄積や検索の場であり、バーチャル公共圏創出における基盤となる。

集合知能は、集合的問題発見や解決能力であり、知の統合によってはじめてたらされる能力である。アクションリサーチ方法論の高度化や電子的参加ないし討議の方法の開発は、問題発見や問題解決における有効性に資する。また、社会的エージェント・シミュレーション技術は、リスクコミュニケーション方法の高度化や、コンフリクトやジレンマ状況の電子的抽出あるいは電子的マネジメントに資する。

電子的参加や電子民主主義の制度設計は、このような集合知能を基盤として行われる。電子民主主義による社会の構築は、これらの制度を踏まえることによって展開される。

3. 8. 4 政策形成・合意形成における知の統合のプラットフォーム構築の推進戦略

(1) 個人、研究者、大学、学会、国レベル

それぞれのレベルでのインセンティブ、態度、行動、組織・体制、価値観などを明らかにした上で、個人レベルでは、参加の推進方策、ファシリテータの養成、研究者レベルでは、複合的思考、アクションリサーチの実践方策、大学レベルでは、研究成果流通システムの整備、学会レベルでは、学会間連携の強化、国レベルでは、国際的学術連携の支援などが考えられる。

(2) 知の統合を必要とする研究推進の方法・戦略

知の統合プラットフォーム構築のためのメカニズムや方法論の高度化を図る。このためには、アクションリサーチ戦略の確立や、課題、解、参加者、選択機会間のネットワーク化戦略を考えることができる。

3. 9 ヒューマン・マシン協働によるディペンダブルな安全・安心社会の構築

3. 9. 1 はじめに

信頼性技術や安全性技術は年々高まっている。しかし、新しい制御技術や高性能設計の進展は、常に新しいタイプの信頼性問題や安全性問題を生み出している。例えば、集積化に伴う部品点数の増加により、部品に対する高信頼性の要求が生まれ、モジュール内での部品間の相互作用が予想外の問題を生んでいる。モジュール間では、機械系の多くが電子制御となったことにより、機械系と電子系の間の相互理解不足によるトラブルも発生している。エンジンの近くに取り付けられた電子制御機器がエンジンの熱で不具合を起こした例などは、機械系の専門家からすれば容易に想像のできる不具合である。専門分化した複数分野の技術が融合され生まれる製品やシステム内のトラブルを解消することは、信頼性における大きな課題である。ただし、これら予測の難しい状況に対しては、耐久性の確保に加えて、故障の予兆管理など運用上の保全性を含めたディペンダビリティ^{注1}の観点からの総合的なアプローチが不可欠な社会となる。

また、ハードウェア^{注2}やソフトウェア^{注3}の技術革新は、メンテナンスのミスやユーザの誤使用など、関与する人間との関係の中で安全性を脅かす状況を生んでいることにも眼を向ける必要がある。単に、耐久性のある製品を作ればよい、自動化の進んだ便利なシステムを作ればよい、という単純な発想ではなく、ユーザが必要なリスク認識を継続しつつ安全に使える製品であることが望まれる。さらには、経済的効果を考慮した持続的システムであることも必要であり、関与する人々を含めたトータルなアプローチが求められていると言える。そのためには、心理学や人工知能、経済性工学など、従来の信頼性・安全性工学の枠を乗り越え、多くの分野と融合しながらトータルにアプローチする方法が必要となっている。

3. 9. 2 知の統合による高信頼度安全な社会実現へのロードマップ

高度に発達した技術の中で、モノとしての信頼性・安全性と保全性とのトータルアプローチ、さらには人間信頼性との問題を含めた対象に対して、どのように総合的にアプローチしてゆくべきか、下記の4つの観点で今後のロードマップを眺める(図3.9-1を参照)。

- (1) 人を考慮した製品の高度技術化
 - (2) 経年劣化時の安全性を考慮した新しい寿命設計法
 - (3) 多様な環境変動に対応する信頼性・安全性の設計と運用技術
 - (4) 個人適合型の信頼性・安全性確保(パーソナル化技術・個人対応化技術)
- それぞれを詳しく見てゆこう。

(1) 人を考慮した製品の高度技術化

電子技術の急速な進歩により製品の高度化が進み、多様な機能が実現されている。自動化された製品が増え安全装置も埋め込まれるなど、ハードとしての信頼性や安全性は高まっている。しかし、高信頼度化や安全性確保が進めば進むほど、逆に、それを扱うユーザ

注1 ディペンダビリティ：信頼性性能と保全性性能を総合した概念

注2 ハードウェア：固有技術や装置、設備など

注3 ソフトウェア：HWの利用技術、サービスなど

との間にある種の溝ができ始め、新しい問題が引き起こされている。

第一に、故障状況の不透明化が進んでいる。

機械系の故障とは異なり、電子系の故障は、機能低下や機能停止などの目に見える形で

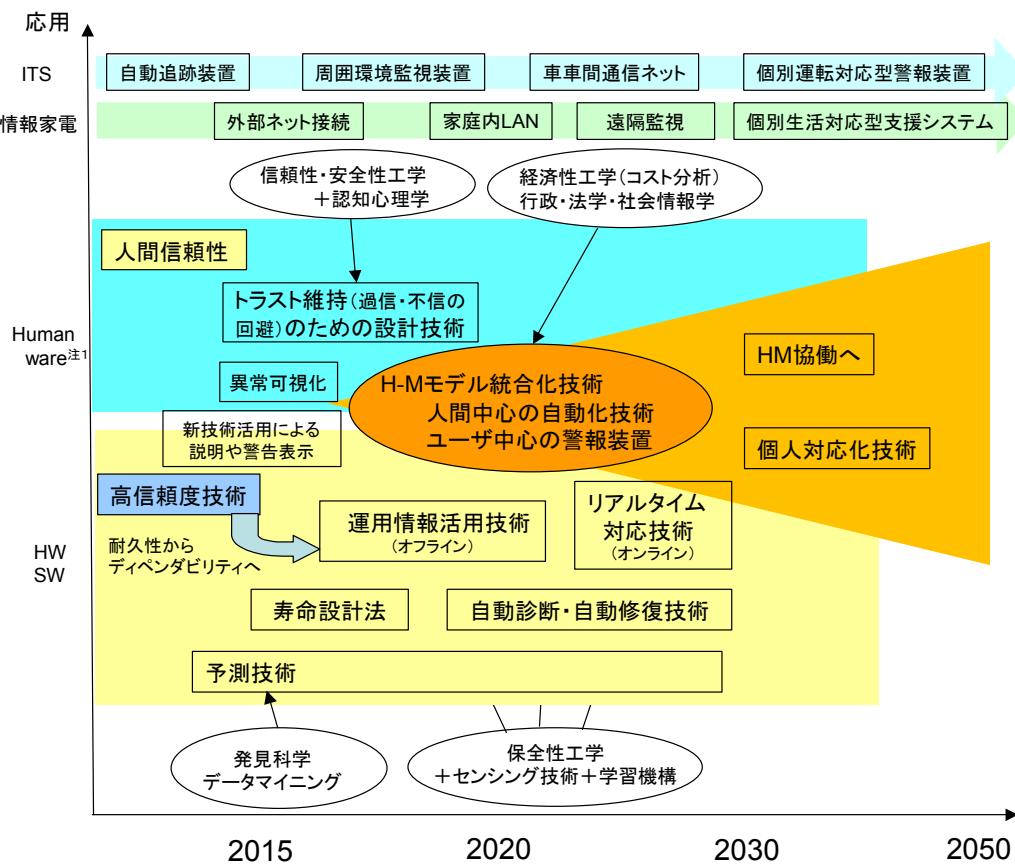


図 3.9-1 高信頼度な自動化技術による安全社会実現へのロードマップ

現れなければユーザには発見が難しい。故障箇所の同定は、メンテナンスの専門家でも難しい場合が少なくない。これらに対しては、例えば次のような技術の導入が必要となる。

① 異常可視化の技術導入

ユーザが異常認知を可能になる方法として、可視化技術による「異常発生の見える化」の積極的な導入がある。情報家電では、家庭内 LAN の導入により異常発見の管理が容易になり、さらにはインターネットを利用した遠隔監視の仕組みも可能となる。

② 自動診断や自動修復の開発

メンテナンスの必要性を最小に抑えるためには、自動診断や自動修復のメカニズムの開発が不可欠となる。ソフトウェア分野でのフォールトトレラントや自動修復の技術は既に定着しているが、同じ要求が、様々なハード製品においても期待される。ただし、製品内部での自動対応が過度に進むと、人の対応能力が落ちてしまうなどの、いわゆる「自動化

^{注1} Human ware ヒューマンウェア：ユーザに関する性質など

の皮肉」(Bainbridge, 1983) の現象が引き起こされ、長期的な観点からは必ずしも望ましいことには注意する必要がある。

第二の問題は、ユーザ側に発生するトラストの低下の問題である。

機能不具合が皆無になりつつある高信頼性製品では、ユーザは過信に陥り易く、注意が散漫になるなどの弊害が生じ易い。一方で、一つの小さなトラブルが大事故に繋がるとトラストが急激に落ちることや、トラブルの発生回数だけではなく連続したトラブル発生により不信に陥り易いなどの不信を引き起こすパターンが存在することが既に分かっている。これらに如何に対応するかは、製品設計・システム設計でも大きな課題である。

特に、「安全装置の採用により安全性を高めても、それがリスクティギングな操作を誘発し、結局リスクは下がらない」という人間の「リスクホメオスタシス」の傾向が知られており、これは、リスクを下げるのはハード的な機器ではなく、それを使うユーザ自身であることを意味している。したがって、ある程度のリスクをユーザ側に残して、危機意識をもって製品を使用させることが望ましい場合もあるということになる。例えば ITS(高度交通システム)では、ACC という車間距離を一定に保持する自動システムがあるが、過信を回避するためにほとんどのシステムでブレーキ操作は自動化せずに運転手の役目としている。安全装置が起動したことを体感させる仕組みも取り入れられている。家電製品でも、すべてのリスクをフルプルーフなどで設計対応するという指針ではなく、リスクをユーザに喚起し正しい認知、行動を促す仕組みを取り入れるなど、人間の能力を活用する設計技術が期待される。このようなトラストを維持し、過信・不信を引き起こすことのない設計技術の獲得は必須となる。

これらは「機械に人間を合わせる時代」から「人間に機械を合わせる時代」への変移であり、人間中心の自動化技術を中心とするヒューマン・マシン協働のための HM モデル統合化技術の確立を目指すものである。

(2) 経年劣化時の安全性を考慮した新しい寿命設計法

高信頼度な製品が増加する中、メーカの想定以上に長期使用し、不十分なメンテナンスにより問題が起きるケースが増えている。実際、メーカの想定をはるかに超えて 30 年以上使用していた扇風機が火災を起こすなどのトラブルが発生している(2008 年)。

消費生活用製品安全法の改正(2007 年 5 月)により、火災事故など重大事故の報告が義務付けられたが、その報告義務に製品の使用年の制限がない(使用している限りは対象)ことから、経年劣化に対するフェールセーフ設計が求められ始めた。従来から、偶発故障に対するフェールセーフ設計は考慮されていたが、経年劣化に対する考慮は無かった。信頼性技術が進歩し高信頼化が進む中で、寿命をどのようにコントロールすべきか、フェールセーフ設計をいかに取り入れてゆくべきか、などの観点から新しい寿命設計手法の確立が重要な課題となっている。

同時に、ユーザによる協力も不可欠であり、ユーザに対するメンテナンスの必要性表示や作業容易性などが求められる。従来の取扱説明書の記述に留まらず、新しい情報技術を活用した情報提示方法も考える必要がある。情報家電では、インターネットとの接続によりリコール情報を自動収集するなど、ネットワーク技術とのコラボレーションによる新しい情報共有の仕組みが期待される。

(3) 多様な環境変動に対応する信頼性・安全性の設計と運用技術

使用法や使用環境が目まぐるしく変化するなど、現在の延長上にはない状況を予測し、対応することが求められ始めている。例えば、シュレッダーに子供が指を挟まれてけがをした事故は、仕事環境がオフィスから一般の住宅内居間に広がり、事務用機器の周りを小さな子供を走り回るという従来とは全く異なる新しい環境で発生した事故である。従来の信頼性工学は、統計的データ解析手法を中心とした信頼性解析やリスク解析が実施され、それらは現状の延長上の中で、品質の変化や特性値の変化を追究し予測するものである。しかし、統計手法では難しい使用環境の不連続的な変化が製品に及ぼす影響を予測することが求められており、従来の延長ではなく新しく発生することを予測するための手法技術が必要になっている。

また、これまででも、多くの企業がクレーム情報やヒヤリハット情報などを集めて活用しようとしてきたが、未だ不十分である。収集には力を入れてきたがそこから如何に情報を抽出し、設計開発にフィードバックするのか、新しい活用手法の開発が期待される。現代のように使用方法や使用環境が多様化する中では、事前予測には限界があると考え、GPS やインターネットなどの新技術を活用し、予測を補う運用情報活用方法の開発に力を入れるべきである。既に行われているエレベータの遠隔監視の一般家庭での情報家電への拡大も可能性がある。さらに、リアルタイム（オンライン）で使用状況をモニタリングし、迅速な対応を実現するシステムも新技術と管理システムの仕組みの導入などで可能になる。これらのネットワークは、メーカとユーザ間の情報共有であるが、ITSにおける車車間通信のように、ユーザ間での情報共有技術の進展も安全・安心操作につながる。

これらにより、運用開始後の情報を基に様々な環境に適合できる製品やシステムが開発されることが期待される。

(4) 個人適合型の信頼性・安全性確保（パーソナル化技術・個人対応化技術）

電子機器の小型化、高性能化は、運用情報の収集、学習などを可能にしつつある。そのような中で、ユーザの生活パターンや性格に対応した製品が登場することが期待されている。例えば、警報装置は現状では全て一律に設定し埋め込まれている。交通システムを考えても、信号機は全ての人に共通のシグナルを同じタイミングで提示するが、運転者のブレーキ反応速度に合わせて信号を出すシステムがあってもよい。実際、人によりブレーキ反応速度は異なり、特に高齢者の場合には個人差が大きくなる。したがって、反応速度の遅い人には早いタイミングで警報信号や衝突警報を送るなど、その人の運転の癖に適合したメッセージを送ることができれば効果が高まる。このような個別運転対応型の警報装置や運転支援装置は、情報家電での個別生活対応型警報や支援システムでも実現可能である。通常の生活パターンを自動学習し、その知識に基づき自動支援するシステムなどは、高齢社会、福祉社会には重要な技術となる。

3. 9. 3 HM 協働による安全性獲得のためのプラットフォーム

前項で述べたように、信頼性や安全性は、ハードやソフトの技術だけに頼るのではなく、運用段階での保全情報の活用やユーザの適切な対応が必要となり、そのためのヒューマンマシンの協働活動によって獲得されるものである。それは、ヒューマンマシンモデル融合化技術を核とした知の統合で初めて得られるものである。

(1) 人を考慮した製品の高度技術化

故障状況の不透明化を回避するための異常の見える化技術は、例えば、溶液の劣化を色の変化で発見できるなどのインテリジェント材料すでに実現された技術である。さらなる領域での見える化のための技術開発が望まれる。また、自動診断や自動修復は、制御・計測、機械分野の技術に、電子技術を駆使したセンシングや人工知能分野で検討されている知識獲得、学習などの知識処理技術の融合が必要となる。

ユーザの過信や不信などのトラストの問題を回避するためには、「安全装置が付くと人は行動を変える」ことまでを考慮した安全性設計を実現することが必要である。そのためには、認知工学や認知心理学、行動科学などの知識を信頼性分野と融合し、工学的な意味で何ができるかだけではなく、人の認知や感情がオペレーションにどのような影響を与えるかなどを積極的に検討することが不可欠である。安全装置が如何に安全を確保できるかではなく、安全装置をつけた機器を使う人がどれだけ安全に使うようになるか、使用者の行動予測なども含めた高信頼性・安全性の製品設計開発アプローチの方法論が必要となる。

これら HM モデル統合化の中では、人の役割分担を明確にするとともに、経済性工学の観点から持続可能性を追求することも忘れる訳にはいかない。最低限の安全性獲得の仕組みはコスト度外視で必要だが、余りにも高価な自動安全装置では社会に受け入れられない。

(2) 経年劣化時の安全性を考慮した新しい寿命設計法

経年劣化に対するフェールセーフ設計を中心とする新しい寿命設計法の確立は技術的課題だが、ユーザによる協力も不可欠であり、定期的な点検の社会普及などを同時に検討することが必要となる。ユーザに対するメンテナンスの必要性表示や作業容易性などを実施するためには、従来の取扱説明書の記述に留まらず、新しい情報技術（IC タグやモバイル機器など）を活用した情報提示方法も考える必要がある。ユーザ側のメンテナンスの重要性に関する認識を高めるために、社会の仕組みの整備も考える必要があり、定期的点検が定着するための行政による法規制のあり方と共に、正しい使い方、安全な使用法の普及など社会教育や安全情報の企業発信など、安全情報の共有化、リスクコミュニケーションも重要な課題となる（田中、2008）。リコールに対するユーザ意識の植え付けも考えるべき課題である。技術者には、技術的知識に加えて、このような社会的な影響やユーザ観点からの検討ができる眼が要求される。

(3) 多様な環境変動に対応する信頼性・安全性の設計と運用技術

状況の不連続的な変化を予測し、新しく発生することを予測するためには、発見科学と言われる分野の発見的手法、社会傾向予測なども含めた使用環境予測、シナリオ分析などを積極的に取り入れ、従来の信頼性工学や安全性工学の中に新しいタイプのアプローチを導入することが必要となる。

また、クレーム情報やヒヤリハット情報を含め稼動状況などの運用情報を活用するためには、センシング技術の発展と共に、大量データを迅速に解析するためのデータマイニングなどの情報科学的手法を利用した方法論を構築してゆく必要がある。既に運用情報の活用例として、グローバル化し全世界を対象に活動している建設機器のリース会社が GPS により位置同定と共に衛星回線を駆使して活動中のリース機器の使用状況をモニタリングし、メンテナンスや異常状況把握に活かしている例がある。この方法はリアルタイムに予兆現象を発見し迅速な対応に結びつけるなど、さらなる技術発展が期待される。GPS は屋

外だが、屋内機器のモニタリングではインターネットなど情報技術を駆使した運用状況のリアルタイムモニタリング技術が望まれる。オフラインでの運用情報の蓄積と活用から、さらにはオンラインでのリアルタイム対応も視野に入れた、信頼性・安全性への新しい対応技術の開発が期待できる。

(4) 個人適合型の信頼性・安全性確保（パーソナル化技術・個人対応化技術）

個人対応技術を獲得するためには、ユーザの生活パターンや操作特徴などを情報収集、データマイニングなどのデータ解析、学習機構などを駆使して、そのパターンを発見することが必要になる。多くの電子機器の小型化、高性能化による運用情報の収集、人工知能技術による学習、など多くの技術を結集して初めて個人対応技術は可能になる。

センシング機能の高度化と学習機構の開発が安全性技術とコラボレートすれば、ユーザディペンドな警報発信や故障予測を実現できる可能性がある。同じ機器を使用するにしても、ユーザによりヒューマン-マシンでの役割分担が変わるパーソナル化技術は大きな課題である。

3. 9. 4 安全・安心な社会に向けて

以上のように様々な工学分野の融合として製品化が進む中、総合的に工学・技術的な観点から高信頼性設計や安全性設計を進めると共に、ユーザの使用状況・使用環境を取り込むことを可能にした製品・システムの開発が社会の安全・安心生活に貢献する。人が受身として安全を享受するのではなく、人が安全獲得の一部に参加する形でヒューマンとマシンが協働することにより高信頼化や安全性を確保するという方向性が望まれる。

消費用生活用製品、ITSに代表される自動車の運転支援装置、情報家電など、市民の生活に密着する多くの機器における安全性の確保は、ユーザをパートナーとして巻き込む方法で実現されるべきであり、その中で安心した充実生活が可能になる。

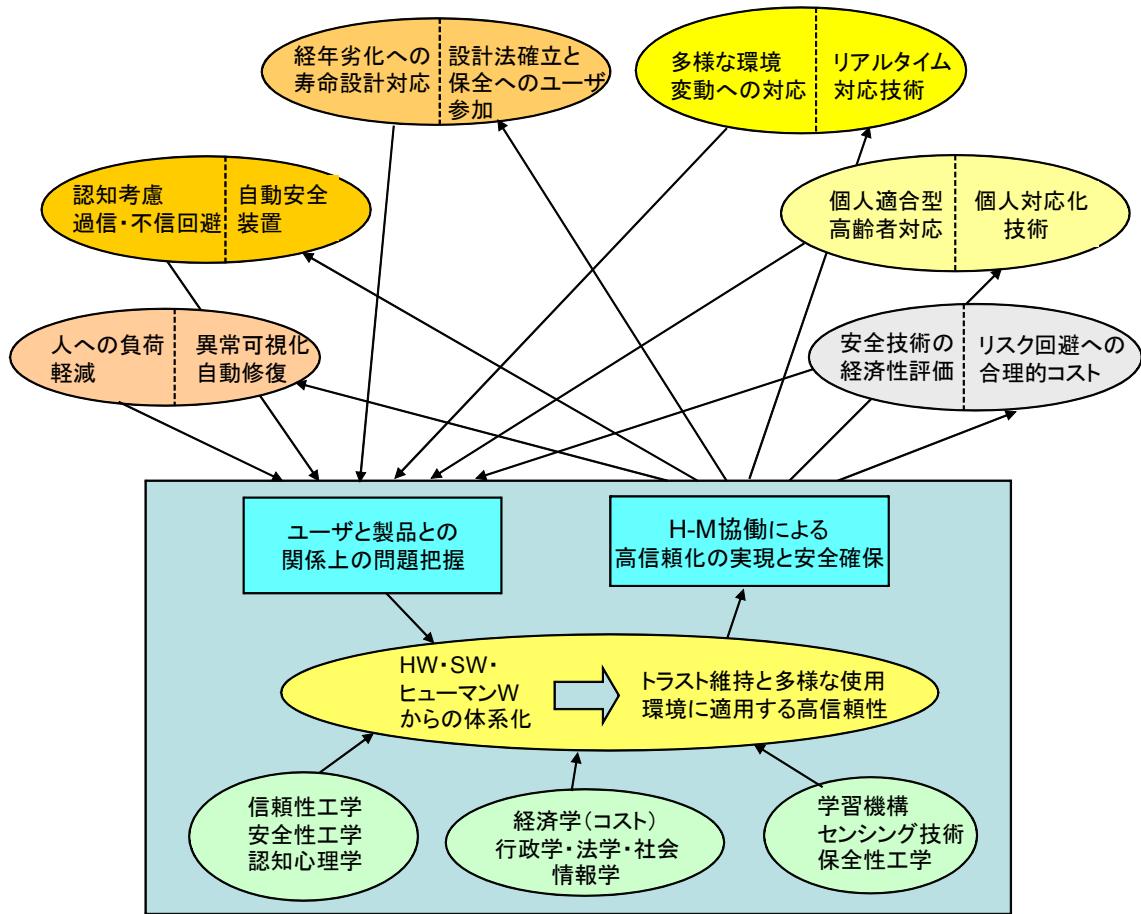


図 3.9-2 ヒューマン・マシン協働を目指す統合プラットフォーム

3. 10 ロボティクス基盤高信頼社会の構築

3. 10. 1 知の統合の必要性とその契機

ロボット先進国の責務として、わが国では、高度なロボットの開発とともにその基盤技術活用の方向性を示すこと、そこで必要な技術的要素のロボットとしてのシステム統合の方法論を提示することが求められている。また、一方で、ロボットが活躍する未来社会の制度設計を先取りできる予見社会科学と、ロボティクスによる人間・社会へのサービスや、人間能力の拡大が社会構造にもたらす変革の意味を追求する人間科学を確立して、安心で信頼できる社会の実現に至る道筋を設計することも必要である。本構想では、これに応えるべく関連の知を統合する。これは旧来の縦割りの学問体系の寄せ集めとは一線を画し、横断型の学術分野として「安心・安全、信頼性」という社会にとって最も重要な価値に直接的に貢献する文理の領域を統合する試みである。その主要な目的は下記の2つである。

- (1) 文字通り「社会基盤となるロボティクス」の構築、すなわち、「より良いロボットを作るロボティクス」から、「より良い社会を作るためのロボティクス」へと、ロボティクスの学術的価値を。人間・社会を対象とした科学技術へと転換を図る。
- (2) 文理の分野を横断する基幹科学技術の推進と振興による知の統合への道筋を確立する具体例を、社会基盤ロボティクスという新学術領域にて実証する。

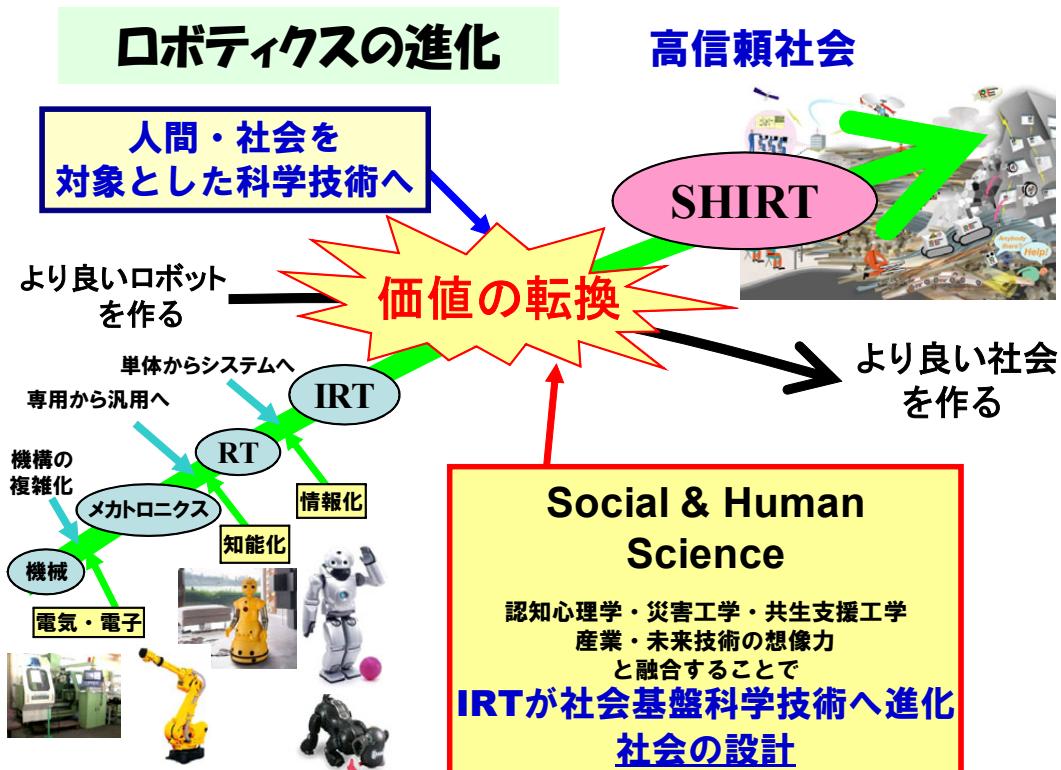


図 3. 10-1 ロボティクスの進化と高信頼社会の基盤技術への転換

ロボティクスを基盤とした社会構築は、実際の生活弱者に対する支援から、産廃処理、地震その他の自然災害からの復旧現場支援、建設・土木作業支援などに代表される特殊環境における技術・作業支援、交通、電力など社会インフラストラクチャーの管理保守支援など、人間社会におけるロボットの活用の仕方を広く包含する。これは、図3.10-1に示すように、「より良いロボットを作る」というロボティクスから、「より良い社会を作る」ためのロボティクスへと、人間・社会を対象とした科学技術への価値の転換を図るものである。

そこでのキーポイントは、細分化された知を統合し、社会の安心・安全、信頼性といった社会にとって最も重要な価値に直接的に貢献する課題の解決へと昇華させていくことにある。具体的な文理融合による研究の実現例を提示することにより、学術水準の向上・強化につなげていく。

(情報ロボティクス(IRT)、社会科学(SS)、人間科学(HS)の融合)

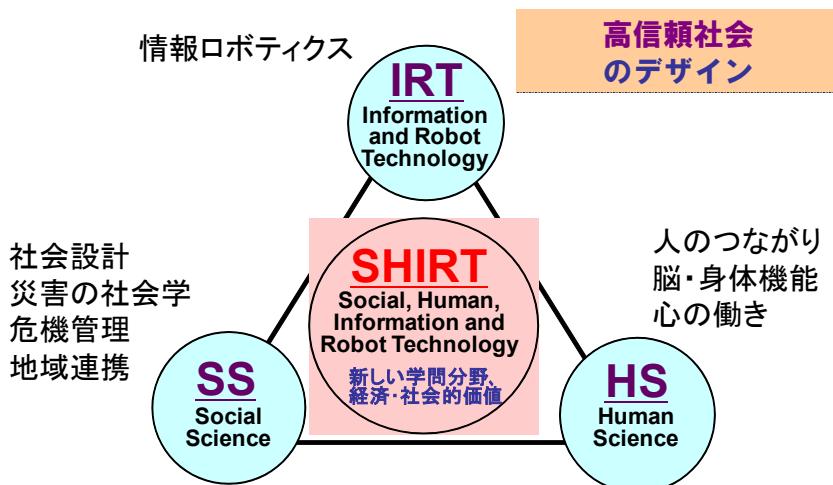


図3.10-2 高信頼社会のデザインを支える知の統合の枠組み

3.10.2 知の統合のプラットフォームの役割

人々が安心して暮らせる安全で信頼感を持てる社会を実現するため、

(A) 情報ロボティクス(IRT)とそれを活用するための社会科学(SS)、人間科学(HS)とを統合した基盤科学技術 (SHIRT) を新たな研究学術領域として創成する（図3.10-2）とともに、

(B) これらの個々の「科学・技術」の要素研究に加えて、人間・社会・情報ロボティクスを広く俯瞰してロボティクスを基盤とした「高信頼社会システムづくり」の方法論を確立する、を目的とする。このため、次の3つのロボティクス活用場面を縦軸として想定する。

(1) ロボットを活用した建築・土木作業、地震などを含む広範な自然災害や事故、テロなどの人為災害において災害被害を最小限に抑える減災・レスキュー、宇宙や危険箇所での作業などの「安全社会の確立」、

(2) ロボットが少子高齢化を迎えた社会で人間の生活を豊かにするために有効なサービスを実現する体制を設計し、活用する人間・社会への「安心の創成」、

(3) ロボットが人間の能力を補完して、社会的役目の一部を担う「人間能力の拡大」。
これらの場面におけるロボティクスを社会基盤として成長させるための基盤研究として、
(a) 要素・デバイス開発、
(b) ロボットとしてのシステム化、
(b) 社会・人間への寄与、

を横軸として、 3×3 のマトリクス構造（図 3.10-3 参照）の各交点に既存学術分野を配置する。すなわち、この 3×3 の有機的なマトリクス構造が、本構想におけるプラットフォームにあたる。

このプラットフォームもとで、高度なロボットの開発とその社会での活用の方向性を示し、また一方で、ロボティクスと協働した未来社会の制度設計を先取りできる予見社会科学、ロボティクスによる人間・社会へのサービスや、人間能力の拡大が社会構造にもたらす変革の意味を追求する人間・社会科学を確立する。

3. 10. 3 知の統合を推進する具体的な研究内容

本構想で具体的に研究を推進する内容は、以下である。

(1) 安全社会の確立：

減災・レスキュー活動に必要不可欠な要素技術を調査分析し、それらをロボットデバイスとして研究開発したうえで社会での運用方法を検討する。また、実際に危険なフィールドにおいて人に代わって仕事をするロボットをフィールドテストすることにより、安全社会実現のためのロボットシステムの構築を目指す。それと並行して、ロボットの社会への浸透とその影響波及による社会のあり方の変容について、科学的予測の方法論と社会への正の影響を最大化するためのシステム設計論について研究を行うことにより、「安全社会の創成」を目指す。

(2) 安心の創成：

五感の中でも最重要かつ未開拓な部分の残る視覚と聴覚について、インターフェースの基盤となるメディア技術の開発を行い、ロボットが人間と物理的な接触を伴い作業や支援を行う場合において頼れるロボットを研究開発する。さらに、幅広い疾患の早期検知を行い迅速な医学的対応・処置を可能にする医療用ロボティクスを開発することにより、人間生活における「安心の創成」を目指す。

(3) 人間能力の拡大：

さまざまな「人間を支援する技術」において、人間自身の能力が拡大されたかのように扱える自在性を持った技術とその実現のための要素・デバイスを開発する。また、人間を超えた能力が必要とされる微細作業、精密作業、力作業、高速移動などをロボットが担い、高度な判断が要求される部分は人間が行う人間支援ロボットシステムを構築する。並行して、ロボット技術を活用した装置の導入によってもたらされる人間能力の拡大が、高齢者・障害者の自立支援ならびにそれをサポートする介護士らの支援におよぼす影響について、リスクアセスメントの方法論とそのツールを開発する。

3. 10. 4 ロボティクス基盤・高信頼社会構築への知の統合ロードマップ

ロボット技術の発展は社会基盤を支えるための数々の基礎技術を産み出し、個々のロボ

ットがさまざまな社会サービスを実現できる土壌が整ってきた。一方で、人々が安心して暮らせる安全で信頼感を持てる社会を、ロボット技術を基盤として設計する方法論、そのためのロボット技術のインテグレーション、実システム化ために不可欠なロボット技術の機能と現場適用性、ロボットと人間が共存するための法律論などについては、学術的観点からの検討が著しく遅れている。

すなわち、本構想では、このロボット技術がどのように進化・融合して、高信頼社会の基盤技術へと知の統合化を成し遂げるのかを明確なロードマップとして提示することが重要である。その観点で、過去 50 年から将来の 50 年を見越したマップを描いたものが、図 3. 10-4 である。



図 3. 10-3 社会基盤ロボティクスのための知の統合のマトリクス構造

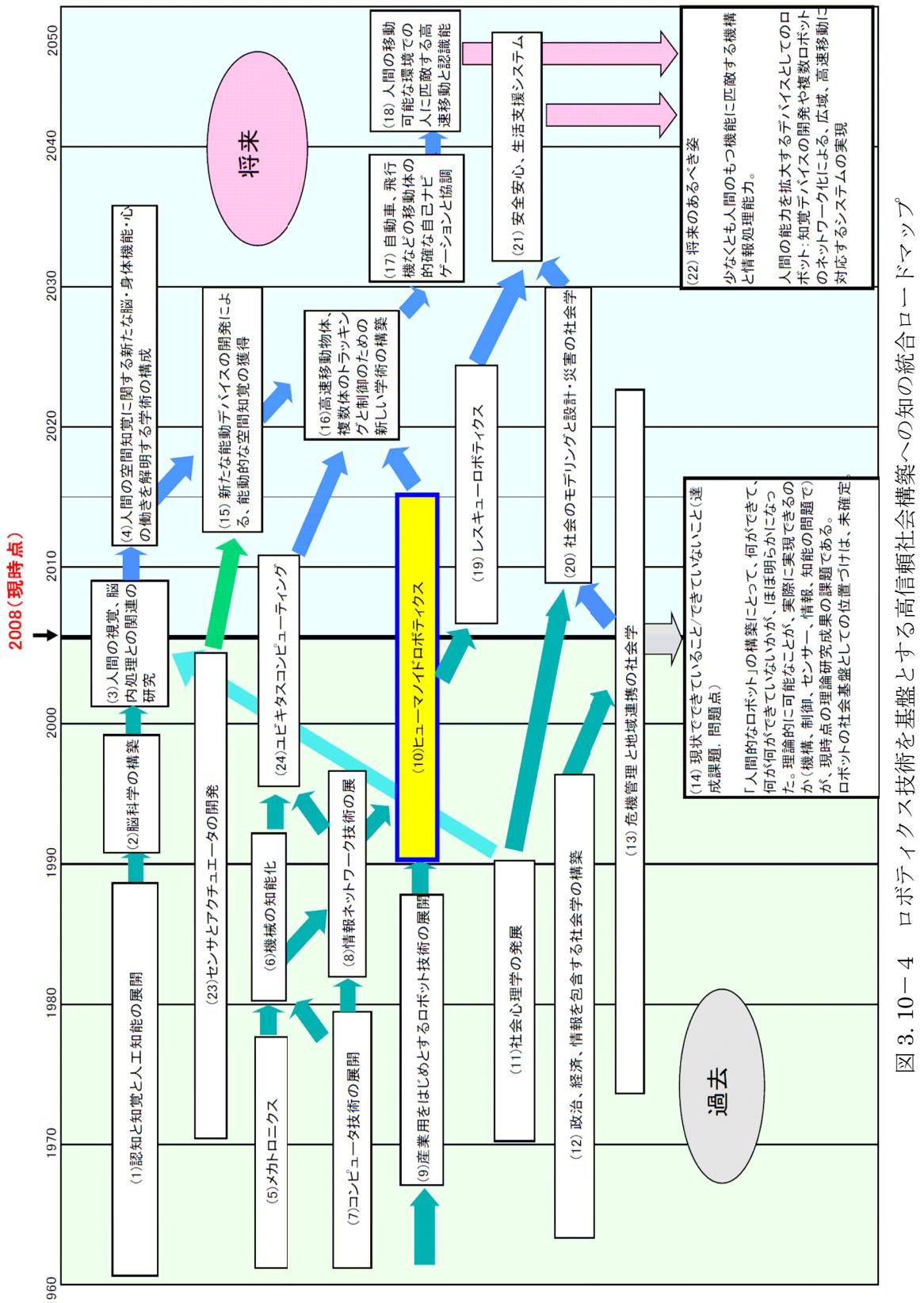


図 3.10-4 ロボティクス技術を基盤とする高信頼社会構築への知の統合ロードマップ

3. 11 生産システムにおける知のプラットフォーム

3. 11. 1 はじめに

20世紀は生産システムが生まれた時代であった。20世紀初頭にフォードによる大量生産方式が発明された。これは、職人ごとに作っていた自動車を複数人のラインで作るものである。これにより、均一な品質と効率的な生産、そして低コストを実現できた。同時に、これは職人が個人として持っていた技量をマニュアル化し、ライン内で共有化したものである。

この大量生産方式に続き二つの革命が生産現場で起きた。一つは自動化である。これは、電子化に支えられていた。当初は、真空管やリレー回路を用いた自動化であったが、1973年のマイコンの発明により、コンピュータを用いた自動化が時代を席巻した。人の判断は0.1秒単位、言葉による人のコミュニケーションは80bps程度、そして人の記憶能力は曖昧な中で、現在のコンピュータはパワーエレクトロニクスに力も借りながら、μ秒の応答、Gbpsのコミュニケーション、組込み系でMB、ハードディスクが付くとGBの記憶容量を謳歌している。控えめに言って単純作業であれば、間違わない、疲れない、ムラがない自動化機械は既に人を越えている。

さて、大量生産方式に対するもう一つの革命は、トヨタ式と呼ばれるものである。ラインに流し多人数で生産する仕組みは効率的であるが、作業がもっとも遅い人が生産の律速段階となる。何もしなければ作業が早い人の後は在庫となる。また、前段の作業の遅れに配慮すると、後段の人は前段の人の遅れを調節するための在庫を持ちたくなる。つまり、ラインは在庫の山と化し、結果として作業が一番遅い人の速度に生産速度が支配される。この大量生産方式の致命的な欠点の克服がトヨタ式である。在庫をゼロに限りなく近づけることで律速段階を検出し、そこをカイゼンするというものである。この作業をカンバンなどを使って手作業で行ってきた。この基盤となっているものが3S（セイリ、セイトン、シツケ）などと呼ばれる人を中心とするカイゼン活動である。

21世紀は、この二つの革命の融合から始まっている。つまり、人と自動化機械とが融合した生産である。これには、人を知り、メカを知り、電子回路を知り、情報系を知らなければいけない。この複雑さは人の能力を越えている。一方、ラインで生産される製品も同様の問題を抱えている。乗用自動車を例に挙げれば、トップモデルは3万点の部品、100個に及ぶマイコン、それが相互に接続するMbpsの通信を行う車載LAN、そして1千万行におよぶソフトウェアで支えられている。これも人の理解を越えている。

人の理解を越えている製品を人の理解を越えているラインが作り出していることが日常化しているのが21世紀初頭の現在である。この問題の克服には、人への深い理解、機械への深い理解、情報への深い理解がなければならない。つまり、知への深い理解がなければならない。ここでは、そのような観点から生産システムにおける知のプラットフォームを学術の立場から論じる。

3. 11. 2 知のプラットフォーム

知とは何か、プラットフォームとは何か。この二つを明確にしなければ、生産システムにおける知のプラットフォームを構築し得ない。まずは、この二つを考えていこう。最初

は知である。知行という言葉があることから分かるように、知は情報系であり、行が駆動系である。知に情報が入力されて、知が駆動系に指示を行う。機械で言えば、コンピュータの役割に相当し、情報系と呼ばれる。情報技術は、情報処理、情報通信、情報蓄積の三つの技術に細分化される。他から知ることが通信技術であり、知っていることが蓄積技術である。そして、それらを総合して知ることが情報処理技術となる。

知の特色は再帰性にある。知が知を生むということである。通信から入ってくる情報と蓄積された情報を元に新たな情報を作り出す処理である。そして、このように集められ、生成され、そして蓄積された知の持つもう一つの特色は予測機能である。知が貴ばれるのは未来が見えるからである。

この二つの特色をカウンターパートである機械で考えると、データの加工とシミュレーションである。データは加工され、新たなデータが作られる。そして、シミュレーションは未来を見せててくれる。データの加工は計算機アルゴリズムと呼ばれているが数式である。そして、コンピュータによるシミュレーションには数学モデルが不可欠である。これも数式と考えることができる。数値データも数式の一番基本的なものと考えると、コンピュータ上で表現される知とは数式ということになる。

次にプラットフォームである。知は生み出された瞬間は独占されている。しばらくして、知の流出が始まる。それは、共有範囲の拡大である。ある程度広がった時点で、集団内の公有の知となる。誰でもが自由に使える知、それが公有知であり、プラットフォーム化された知である。

一人の知は限界がある。仲間内の知も限定的である。公有知となれば難しい問題も解決できる可能性が広がる。このように、知を集め、知を蓄積し、新たな知を生み出し、そして、安全にかつ迅速に知を提供できる環境がプラットフォームである。

つまり、知のプラットフォームを具体的に考えると言葉、経験、メカニズム、ソフトウェアなどを数式化し、公有化することになる。確かに、自然科学で発見されてきた法則は自然現象の数式化であり、それを公有することにより人類は発展してきた。この数式化、公有化に貢献してきものがアカデミアである。この自然科学で成功した手法を人や社会を対象とする社会科学の領域まで拡大することが知のプラットフォーム化の役割であろう。

3. 11. 3 生産システム

それでは、生産システムにおける知のプラットフォームを具体的に考えていく。2008年度のARM（横断型基幹科学技術研究団体連合, 2008）で生産システムのロードマップを提供した。そこでは、自動車の開発期間が2030年には一月、2050年には三日と予測している。設計と生産の連携である。それには、設計、生産に関わるCAD(Computer Aided Design)の連携が不可欠である（図3.11-1参照）。CADはデータの変換と数学モデルの操作機能を持つ人の支援ツールである。

実はCAD連携だけでは足らない。三日で注文主に商品を届けるためには流通との連携が不可欠である。それに留まらず、「もの育て」という2008年度ARMのコンセプトに従うなら設計ツールの注文主への開放を行わなければならない（図3.11-2参照）。専門家の知のツールであるCADを一般人へ解放していく必要がある。もちろん、設計ツールだけではない。生産のツールも、流通のツールも、保守管理のツールも、破棄ツールも開放しなけれ

ばならない。

このように開放されたツール群が生産システムにおけるプラットフォームである。それは、一般人に統一されたものというよりは、場として提供される。ツール自体は提供者が所有し、それを自由に使えるという API(Application Program Interface)の公開である。次に、設計データが共有され、設計図が共有され、数学モデルが共有される。そして、生産ツールが共有され「もの育て」の時代が始まる。これが知の公有である。

このような公有はソフトウェアの世界でいわれる PaaS(Platform as a Service)である。常に新しい知が生まれ、咀嚼され、発展し、寿命を迎える非定常なプラットフォームである。融通無碍だけに、公有した場合の安全性、権利関係、更新性などの問題が山積みである。この問題を学術の立場から考察し解決策を探していくことがアカデミアの世界に求められている。

3. 11. 4 未来像

続いて、生産システムにおける「知のプラットフォーム」の未来像を見ていこう。未来を見るには、現在と過去を見なければならない。つまり、現在および過去の知のプラットフォームである。過去の知を集めたものに博物館がある。これは知のプラットフォームの一つである。本項に関わるものとしては生産系の産業博物館を上げたい。手作りから大量生産、そして CAD や CAM を駆使した現在の生産システムまでの一連の流れを学習、研究できる博物館は知のプラットフォームの一つである。

この博物館は実物の展示である。知が情報系ならば、その設計図、特許、手法などの現在、過去を集めたものの方が知のプラットフォームという呼称に近いだろう。それは、図書館である。ここには多数の知が、一つの体系のもとに収納されている。

もっとも、文献が電子ジャーナル化されるとともに図書館は変質している。すなわち、Web 化である。図書館が持つ過去の文献を電子化し図書館のサーバーを用いて公開する。そして、文献を出版する出版社や学会も最新の論文や電子化した過去の論文を出版社などのサーバーを用いて公開する。アクセスする側は検索ソフトを利用して、探している論文に行き着く。

ここでは、一見、図書館の存在が不要という印象を受ける。しかし、図書館の機能は蓄積だけではない。司書は検索に備えた分類機能、検索手法に対する助言機能、検索結果の解釈、そして論文作成の助言機能などを果たしている。つまり、「アーカイブした情報+単純な検索」だけでは図書館の役割を置換できない。一般的な情報検索の助言、専門的な知に対する助言などの機能を盛り込んだ電子図書館が知のプラットフォームの具体像といえる。

しかしながら、生産システムでは情報系の図書館だけでは機能不足である。情物一体。情報系と現実の部品、製品、そして、それを作り出すツール群の理解が不可欠である。特に高品質のものづくりには人の五感の駆使が不可欠である。五感で最も情報処理量が多いものが視覚である。生産現場では 3 次元 CAD が人とのインターフェースに用いられている。つまり、人と機械との緊密な関係を作るものが知のプラットフォームだと解釈すると、そこには機械に分かりやすい数学モデルと人に分かりやすい 3 次元表示の高い次元の融合が必要である。それに止まらず、設計されたものが製品となるラッピドプロトタイピングの

技術も必要である。ある意味で、現在使われているノレッジマネージメントシステムをベースにシミュレーションできる数学モデル化、それを3次元表示できる3D化を図ったものが、ここでのCADの連携である。

このように考えると前節で考察したCADツール群を誰でも、どこでも使える環境が知のプラットフォームである。しかしながら、現在、このようなツール群は高価である。このため、所有できるのは大企業に限定される。これを中小企業にも共有の範囲を広げるには地域単位で設置されている工業試験所などの活用が効果的である。現在、工業試験所は高価な検査装置や加工機を共有している。これにCADツール群を加えることで地域単位でも知のプラットフォームを活用できる。さらに、このツール群を公有することで一般人も知のプラットフォームを活用できる。

もっとも、このような高度な知のプラットフォームを使うには人にそれなりの高度な能力を要求する。人はツールを使わなければならず、ツールに使われる人になってはいけない。このためには、もう一つの過去からの知のプラットフォームを活用すべきである。それは教育機関である。初等中等教育では、知のプラットフォームの一般的な使い方を教育するととともに、高等教育においてはツールを使うにあたっての裏づけとなる高度な知識を教育すべきである。そして、アカデミアは、新たなツールを生み出す役割を持つ。同時に、情物一体の考え方と過去を知つて現在、未来が分かるという考えに立脚して、各種産業団体や産業博物館では過去の道具を動態保存することが必要である。保存するだけではなく、それを体系化し、生産システムにおける知の発達を新しい世代に伝えていく必要がある。これは、五感で感じる、つまり体感するという意味で数式化や視覚化の限界を越えるために必須である。別な言い方をすれば、現地、現物、現象という日本式の生産システムで重要視される三現主義にそった知のプラットフォーム化である。

3. 11. 5 おわりに

以上、知のプラットフォームの統合を考察し、生産システムにおける知のプラットフォームの未来像を論じた。知のプラットフォームは未来に現れるものではなく、過去から存在しているものである。現在では、その役割を図書館、博物館、学校、学会、産業団体、工業試験所、研究所、技術研修所などが生産システムでは行われている。これを高度な情報化に応じて生産システムと直結した形に変えていくことが生産視システムにおける未来の知のプラットフォームである。

同時に、多数の知を活用するためには相互理解が欠かせない。それには、数式を用いた共有、視覚を用いた共有、そして三現主義に基づいた情物一体という観点からの共有が欠かせない。21世紀に強く認識される知のプラットフォームが、細分化された専門、文と理に分断された学問の融合の切り札となることを祈っている。

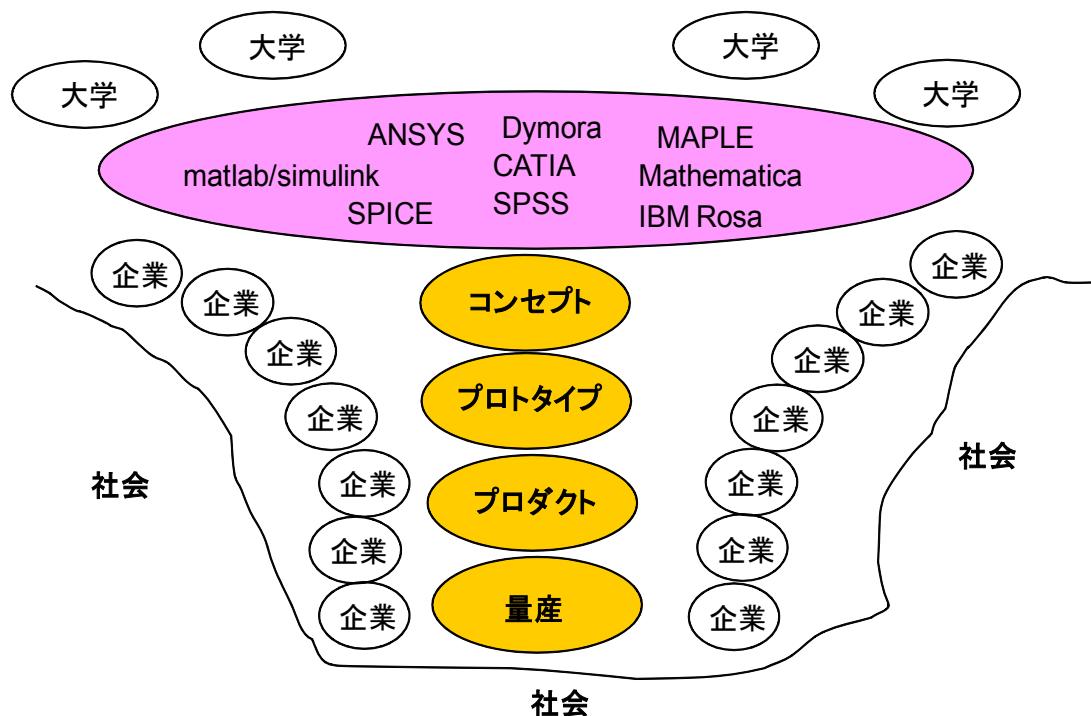


図 3.11-1 CAE 連携のプラットフォーム

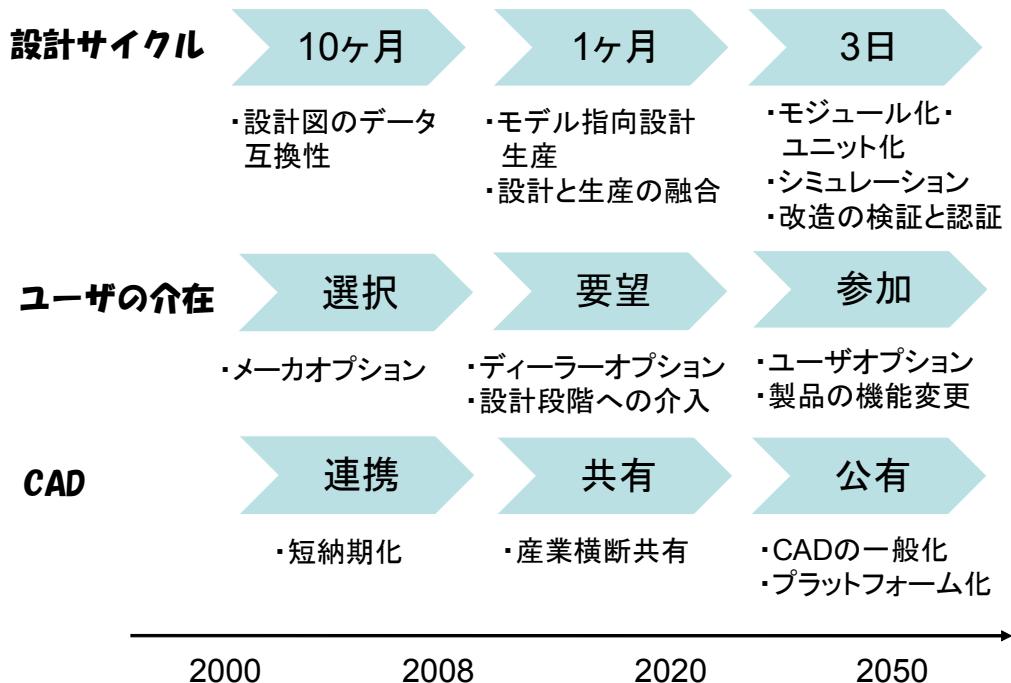


図 3.11-2 ものづくりからもの育てへのロードマップ

3. 12 計算機シミュレーションによる材料開発・創薬のための知の統合

3. 12. 1 はじめに

我々人類は自然現象を模倣（シミュレーション）することで多くの知の獲得を行い、それらを統合することで自然を越える新技術や新製品を生産してきた。新技術や新製品の開発は知の獲得とその統合プロセスそのものであるといえよう。ライト兄弟の飛行機の開発を例に出すまでもなく、自然の模倣によって勝ち得た知識を元にした新技術や新製品の開発は、多大な試行錯誤の積み重ねであり、逆に自然現象の模倣による試行錯誤は新技術や新製品開発の重要な手段となっている。

20世紀後半に弾道計算の高速化を目的に作られた電子計算機は、その中に様々な環境の構築が可能であり、安全で高速にかつ安価にさまざまな試行を実行することが可能であるため、大規模建造物（橋、ビル、宇宙ロケット、大型ジェット飛行機、原子炉など）の設計や気象解析など、様々な分野におけるシミュレーションを可能とし、その経済性と安全性が広く認められてきた。例えば自動車や船舶ならびに飛行機などの開発に、かつては大規模な風洞実験が欠かせなかつたが、いまやそのかなりの部分が計算機シミュレーションにとって替わろうとしている。21世紀初頭の現在、電子計算機性能の驚異的な飛躍とインターネットをはじめとする種々のネットワーク技術の普及を背景として、さまざまな分野において、これまで以上に計算機シミュレーションへの期待が高まっている。

計算機シミュレーションは、距離で原子・分子の世界のオングストローム(10^{-10}m)から宇宙空間の光年(10^{15}m)、時間にして1フェムト秒(10^{-15}sec.)から2020年の広大な時空における現象、また太陽の中心における高温・高圧の環境から、絶対0度・圧力0の極限の環境における現象を、我々の生きる時空(1m,1sec.)ならびに絶対温度300度・1気圧の世界で見せてくれる。本稿で中心的に述べる材料開発および創薬の分野は、原子・分子の世界を対象とする。そのため、電子顕微鏡などの精密測定装置や計算機の発展により、計算機シミュレーションの結果が実験の解釈を基礎づける有力な証拠として位置づけられている。1980年代後半に、計算機シミュレーションを武器とする計算科学が、自然科学現象の研究手段として実験と理論とをあわせた鼎の一つとして位置づけられたのは、その経済性、安全性、迅速性、結果解析の容易性とその再現性にある。さらに21世紀初頭では、複雑系科学のように計算機シミュレーション手法なしには成立し得ない分野の発展を促している。

材料開発および創薬分野の計算機シミュレーションの最終目標は、材料開発では、材料の加工、利用そして廃棄までのプロセスを考慮した物質材料設計であり、創薬では、対象症状を改善する分子の発見・合成およびそれに繋がる製品化ばかりでなく、その人体に対する副作用や毒性および代謝による体外への排出プロセスまでをモデル内に含むシミュレーションに基づく創薬である。遺伝子医療と創薬との強い関係の構築もシミュレーションに基づく知の統合の大きなターゲットである。そのためには、循環型社会形成を目指した要素技術開発、並びに広範囲な知の統合が必要となる。

3. 12. 2 計算機シミュレーションの基盤技術としての計算機性能の発展動向

まず計算機シミュレーションの基盤となる計算機性能の発展動向を見てみる。

TOP500(1993 年より各年の全世界のスーパーコンピュータシステム性能ランキング 500 位 <http://www.top500.org/>)にみられる計算機性能の発展動向によれば、500 システムの性能の総和、各年の第一位の性能および 500 システムの平均性能という 3 種のトレンドは、ほぼ同じ傾向を持ち、10 年で 100 倍の割合で向上してきたことを示している。この傾向は 2020 年ぐらいまでは維持されるであろうと言われている。なぜなら、この性能向上の傾向は CPU の性能向上に関するムーアの法則だけではなく、台数効果、すなわち並列処理によってもたらされているからである。本稿はこの傾向が 2040 年ぐらいまで続くことを念頭に置いている。

3. 12. 3 材料開発・創薬の計算機シミュレーションにおける知の構造

材料開発・創薬の計算機シミュレーションにおける知の構造は、図 3. 12-1 に示すように三角形になっている。三角形の上側に行くほど抽象化・一般化的度合いが高く、下側はそれが低いことを示している。

そのため知の統合とは、下層の要素データの集合から、抽象化的度合いの高い情報を抽出するプロセスであり、その契機は、上層の抽象度の高い情報にない要素データの発見である。知の統合の例として量子力学の成立プロセスがあげられる。具体的には黒体輻射現象の観測データの収集が古典論では説明できないことが認識されることにより、プランク定数の発見など前期量子力学が形成され、さらに原子分子のスペクトル観測データの収集と解析が定常状態量子力学の完成を促した。さらに半導体の発見に基づくトランジスタ開発などエレクトロニクスの実験や生産を通じて、量子電磁気学の完成を見るにいたった。さらに観測精度が向上することで相対論と量子論の統合が行われて、現在に至っている。

この三角形の左側の下に向かう矢印は、科学技術における演繹的プロセスであり、始点は量子力学の $H\Psi=E\Psi$ (シュレディンガー方程式) である。その終点は箇々の物性値となる。逆に左側の上向きの線は帰納的なプロセスを表している。各レベルの面積の大きさは各レベルの知識要素を計算機に格納するのに必要なディスクのサイズを象徴している。この三角形は大まかに三層に分けて考えることが可能であるが、もちろんその境界線は明確なものではない。まず一番下のレイヤー1 は、要素データレベルであり、箇々の数値データそのものをしめしている。そのため、数値そのものや文献情報などを格納するための莫大な量の記憶域が必要である。その上のレイヤー2 は、情報統合レベルであり、箇々にはデータの統合から得られる経験や様々なノウハウなどが格納され、レイヤー1 の数値が有機的に体系づけられたデータベース群やプログラム群がある。その上位には、データベースからデータマイニング処理を経て知識を抽出した、物性推算式構築作業などがある。一番上のレイヤー3 は知識統合レベルであり、短い文章表現や数学的記述が主なものである。特に三角形の頂点に位置する原理、例えば量子力学の基礎方程式 $H\Psi=E\Psi$ は、20 バイト程度である。

現象の測定や計算機シミュレーションによって得られる生データ（レイヤー1）のデータ間の関連性を数学や情報科学的手法を用いて解析することによってその現象に関する情報や物性推算式（レイヤー2）が得られる。それらの情報をさらに一般化・統合化することによって、究極的には $f=m\alpha$ (ニュートン方程式) や $H\Psi=E\Psi$ (シュレディンガー方程式) といった原理（レイヤー3）を得ることができる。よく知られている事だが、 $f=m\alpha$ や $H\Psi=E\Psi$ といった原理はもっと他の式からは求められない。膨大なデータの統合から情報を引き出し、

それを数文字に纏めてしまった天才達の偉大さを今更ながら思う。この絵の上から下、下から上を行き来することが知識獲得つまり学問の営みである。ここでは上から下、下から上の過程を直線で書いたが、実際は至る所で渦巻いていて、乱流のようになっている。

このような構造を持つ計算機ミュレーションによる材料開発・創薬のための知は、その統合により現在の家電や市販薬等に見られるように、人類の生活を豊かにするさまざまな補助ツールを直接生み出すことが可能である。そして知の統合プロセスが直接イノベーションの創出、すなわち新たな価値、サービス、さらには新産業を創出する。

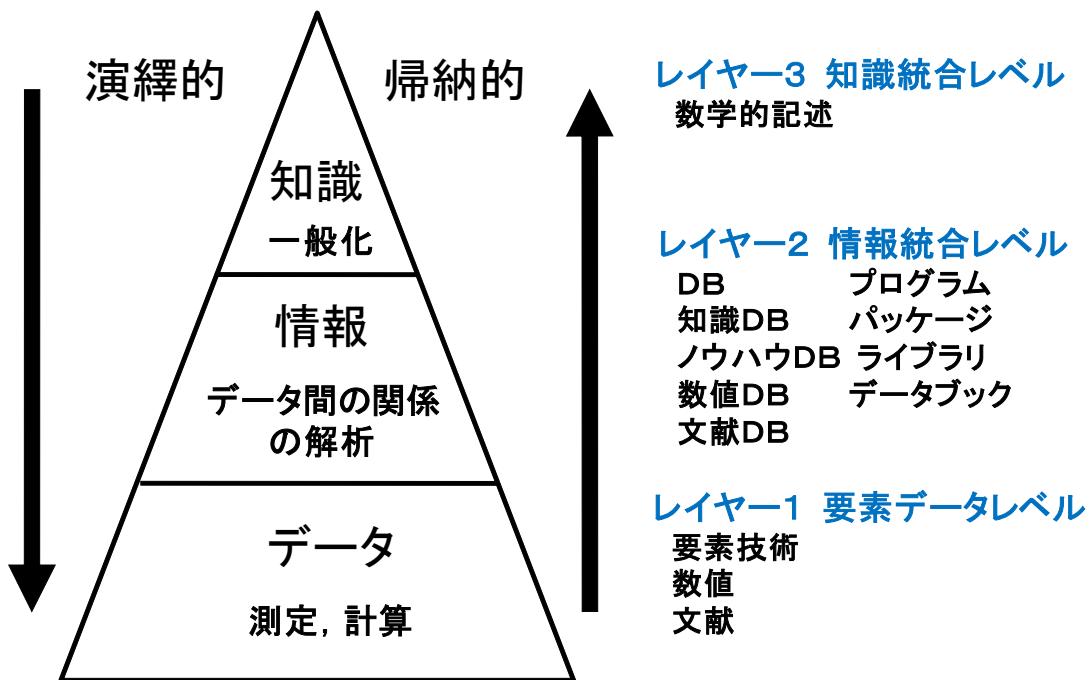


図 3.12-1 材料設計における知識の構造

3. 12. 4 材料開発・創薬の計算機シミュレーションにおける知の統合アカデミック・ロードマップ

不十分であるが、材料開発・創薬の計算機シミュレーションにおける知の統合アカデミック・ロードマップを図 3.12-2 に示す。レイヤー3 は主に数式そのものや文章そのものであるので、ロードマップには示さなかった。縦に技法、横に時間を取りっている。

レイヤー1 では要素データ生成取得に関するシーズであるシミュレーション技法ごとに年代に沿ってゴールであるところのシミュレーション対象が並べてある。黒で示したものが対象となる系の物性であり静的情報を意味している。青は、合成プロセス等のダイナミクスである。ここでは主に材料開発・創薬が中心であるので、反応動力学が主体である。反応動力学シミュレーションは静的な電子状態シミュレーションより、時間軸上の積分が入るため難しいが、計算機性能の順調な向上を背景に大体 5 年遅れ程度となっている。技法の精度は上側が高く、計算量が多くなるため、ゴールとなる対象物のサイズは下に行くほど大きくなる。

近似 Hartree-Fock(HF)^{注1}計算の 2025 年あたりの生体膜および有機無機複合機能性材料の開発は、計算機シミュレーションに多大な期待が寄せられているが、本稿を執筆している 2009 年初頭では要素技術としての計算理論の構築（レイヤー1）とプログラム作成（レイヤー2）が精力的に行われており、実際の系のシミュレーションと実験（レイヤー3 下部）には、順調な計算機性能の改善を仮定しても 5 年から 10 年後となることが予想できる。

レイヤー2 では、レイヤー1 で生成された要素データの有機的つながりを示す DB 開発の可能性を示している。黒は DB 作成であり、青は DB 相互の関連づけと情報の自動抽出プロセスが示してある。最終ゴールは統合された知識 DB の自動生成とそこからのより抽象度の高い知識生成と統合（DB）の自動化である。

よく知られているように、すでに古くから文献 DB や数値 DB など多くの作成プロジェクトが続けられている。この図の上側は抽象度が高く、下に行くにつれ抽象度が低い。文献 DB と数値 DB の抽象度の違いは、出版された文献データの採取というプロセスが抽象化のステップと見なされるためである。2009 年ではそれらの相互リンクがもうすぐ開始されようとしているが、現在はまだ大きな動きはない。レイヤー2 とレイヤー3 の境界はレイヤー1 とレイヤー2 のそれの比べて曖昧である。

計算物性に関してはシミュレーションプログラムパッケージにより結果の自動 DB 化ならびに物性推算式の自動構築が進められており、数値 DB である計算物性 DB の自動生成の試みが始まっている。計算物性 DB は 2020 年までには普及することが期待される。反応 DB や遷移状態 DB など、材料開発・創薬分野のノウハウの DB 化もすでに始まっており、それらのノウハウ DB が物質合成に欠かせなくなる時期も近い。ただ、ある種のエキスパートシステムを除いて、知識 DB の試みは遅々として進んでいない。DB 作成は継続的なものであり、時間軸に沿って発展していくものである。この考え方は欧米で広く理解されているが、日本では短期的な DB 作成ばかりが行われ、継続性には考慮が払われていない。そのため、日本製の DB は陳腐化が早い。

また、このレイヤーの最上位に位置するプログラムシステム開発は、単発的なものは期待できるが、Gaussian^{注2}や GAMESS^{注3}、CPMD^{注4}などのように分野標準となる統合化システムは国内では見られない。日本の科学技術政策の変更無しには今後も出てこないであろう。もちろん、文献データベースの CAS や数値データベースの PDB のような DB 作成

注1 Hartree-Fock(HF)計算は、最も基本的な分子の電子状態シミュレーション法である。

注2 Gaussian は、非経験的分子軌道計算のパッケージプログラムである。量子論的に分子のエネルギー、分子構造、分子系の振動数を予測する。また、これらの基本的な計算の種類から導かれる様々な分子特性も予測できる。Official site: <http://www.gaussian.com/> を参照。

注3 GAMESS は、非経験的分子軌道計算のパッケージプログラムである。フリーソフトでありアメリカ NSF は本プログラムの開発を継続的に支援している。量子論的に分子のエネルギー、分子構造、分子系の振動数を予測し、また、これらの基本的な計算の種類から導かれる様々な分子特性も予測で可能。Official site: <http://www.msg.ameslab.gov/GAMESS/> を参照。

注4 CPMD (Carr-Parrinello Molecular Dynamics program package) は擬ポテンシャルファイルと平面波基底を用いた密度汎関数法のパッケージプログラムである。Official site: <http://www.cpmd.org/> を参照。

プロジェクトも望むべくもない。多くの原因是、日本の継続的なプロジェクトを容認する科学技術政策の欠乏にある。

レイヤー3に関しては、いくつかエキスパートシステムの構築がなされているが、知の統合に関するアカデミック・ロードマップに掲載する論点は見あたらない。これは、すでに量子力学が完成していることに起因している。ただ、計算手法の開発と統合に関して、日本は新たな計算理論、計算科学ソフトの開発は世界のトップレベルにある。しかし、多くの知の統合の成果であるシミュレータなどソフトウェアの作成・維持管理に関しては欧米に比較して圧倒的に遅れており、知の普及に関する支援体制構築の遅れとなっている。

3. 12. 5 材料開発・創薬の計算機シミュレーションにおける知の統合プラットフォーム

材料開発・創薬の計算機シミュレーションにおける知の統合プラットフォームの概念図を図3.12-3に示した。この統合プラットフォームを支える基盤技術は大規模高速計算機システムである。レイヤー1の知識統合レベルにある理論や原理を基盤とするレイヤー2にあるシミュレータ群に対し、要求物性の（計算）要求が入力される。それぞれに対し問題サイズや精度に対応する要素技術または文献DBや数値DBによる情報の統合化を経て材料開発・創薬のターゲットの設計指針および合成指針が得られる。この際、反応DB等を用いて実際の製品である物質の合成が行われる。この各プロセスで得られた知識はそれぞれのレイヤーにフィードバックされる。このプロセスにより、要求物性を持つ物質が発見できない場合は、要求物性の絞込みや逆に多角化により要求物性を持つ物質の候補が見つかるまで、このプロセスは繰り返される。

知の統合プラットフォームの役割の多くの部分は、要求物性のフィードフォワードとそれに随伴するさまざまな知のフィードバックというサイクルを安定に加速し、そのサイクルタイムを短縮することにより、開発者の実質的な寿命を延ばすことにある。またひとりの開発者では到底取得不能な、広範囲な異分野の知の共有化と統合化を可能とすることもプラットフォームの大きな役割である。

3. 12. 6 おわりに 一知の統合をいっそう推進するために

先にも述べたが、計算機シミュレーションによる材料開発・創薬のための知は、その統合により現在の家電や市販薬等に見られるように、人類の生活を豊かにするさまざまな補助ツールを直接生み出す。そして知の統合プロセスが直接イノベーションの創出、すなわち新たな価値、サービス、さらには新産業を創出する。

材料開発・創薬分野において知の統合を推進していくには、（一般的にも同様であるが）将来を見通した知の統合が実践できる優秀な人材と継続的な活動を保証する安定したポストが必要である。これは、材料開発・創薬分野における研究には古典物理、相対論、量子論の知識が必要であり、シミュレーション実行には計算科学の知識も必要であるからである。さらにDB作成やプログラム開発等、知の統合に関する継続的で潤沢な資金が必要である。これにより知の統合による成果の維持管理体制の確立が可能となる。特に知の統合に関して急いで行うべきこととして、シーズからプロダクトへの一貫した流れの生成・育成があげられる。これは、データから知識（コンテクスト、インフォメーション）、そして

法則・知（インテリジェンス）への統合・集中への作業の一貫した流れ、および専門家から一般人への知識、法則・知の教育伝達の流れ（知の普及とレベルアップ）にはかならない。

知の統合を基にした研究推進の方法や戦略は、科学（ハイリスク研究）と技術の分離（棲み分け）による10年スパンの研究計画と研究者育成があげられる。これには国家的な異分野融合プロジェクト、ハイリスク研究の奨励が必要であり、これは萌芽⇒生育（製品開発）⇒開花（起業化）といったプロセスの分業体制の確立と維持を生み出すものである。

知の統合プラットフォームを構築するためのメカニズムや方法論としては、まず健全なで思いつきではない良く練られた長期的な人材育成と、知の基盤となる基礎科学（とくにハイリスク研究への投資が必要である。

計算機シミュレーション分野における特徴的なことは「学際計算科学」の必要性である。計算科学は、21世紀の科学技術を牽引する最先端・最重要分野の一つであり、自然・人間・環境のグランドチャレンジを解決する鍵としての科学の一分野である。グランドチャレンジの解決を実現するには、従来の科学と計算機科学・情報科学のより緊密な融合、つまり知の統合を実現する必要がある。これを成功させる鍵は、計算科学を連携軸とする、科学全般に対する俯瞰的視野を持つ人材の育成にある。これまでの「計算科学」は、個々の分野の一部としての「計算科学」であり、個々の分野の短期的なプロジェクトとして推進されてきた。具体的には個々の分野の研究者による「大計センター」等の計算機施設利用がおもな研究遂行の姿勢であった。これを継続することは、本分野だけを見ても古典論、相対論、量子論に加え、計算機科学の知識の獲得が必要であるので、到底不可能である。これを克服するためには、学際計算科学の確立が必要である。

学際計算科学では、計算科学諸分野と計算機科学の融合・連携をおこなう。研究者が目的としているグランドチャレンジを解決するシミュレーションのための計算機システムは、急速に大規模化、多様化し、これを使いこなすためには高性能計算技術が不可欠である。

さらに、次世代、次々世代の計算科学を可能にする持続的な計算技術・計算機システム・計算科学応用の研究開発が必須となる。つまり、個々の分野のグランドチャレンジをシミュレーションで解決しようとするには、計算科学の分野を包括的に捉える横糸としての計算科学が必要であるということである。特に大規模数値解析を共通軸とする計算科学の方法は、科学諸分野を分野横断的に捉えることが可能であるため、次世代スペコンを十分に活用し、計算科学により未踏領域を開拓するためには、新しい学術領域として学際的な「計算科学」を確立し、継続的に発展させることが重要であろう。

これからハイエンドコンピューティングにおいてはシステム側とアプリケーション側の研究者の共同作業が必要であり、両者が協力してシミュレーションの並列化、ベクトル化、アルゴリズム等の開発を行う必要がある。それ以上に、異なる分野のアプリケーション同士の知識やノウハウの共有が必要になってくる。これらの共同作業を実現する場としての枠組みを提供するためにも学際計算科学分野の確立が知の統合を経てなされることが必要である。

レイヤー1 要素データ

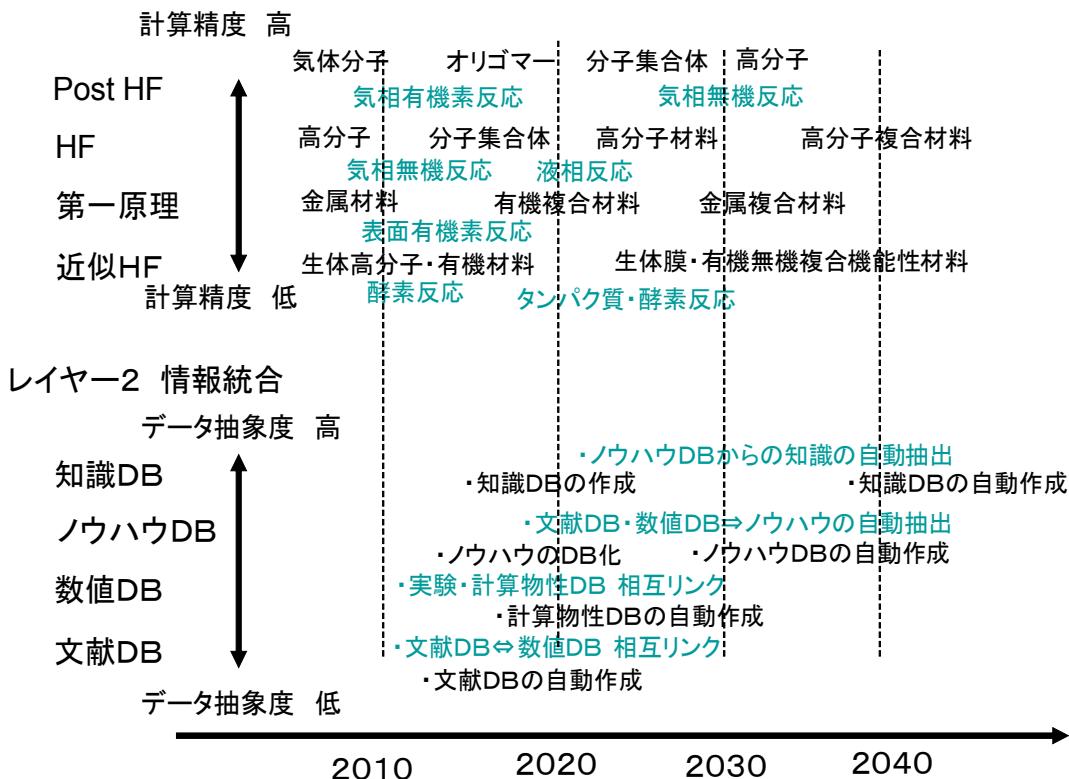


図 3.12-2 材料設計における知の統合アカデミック・ロードマップ

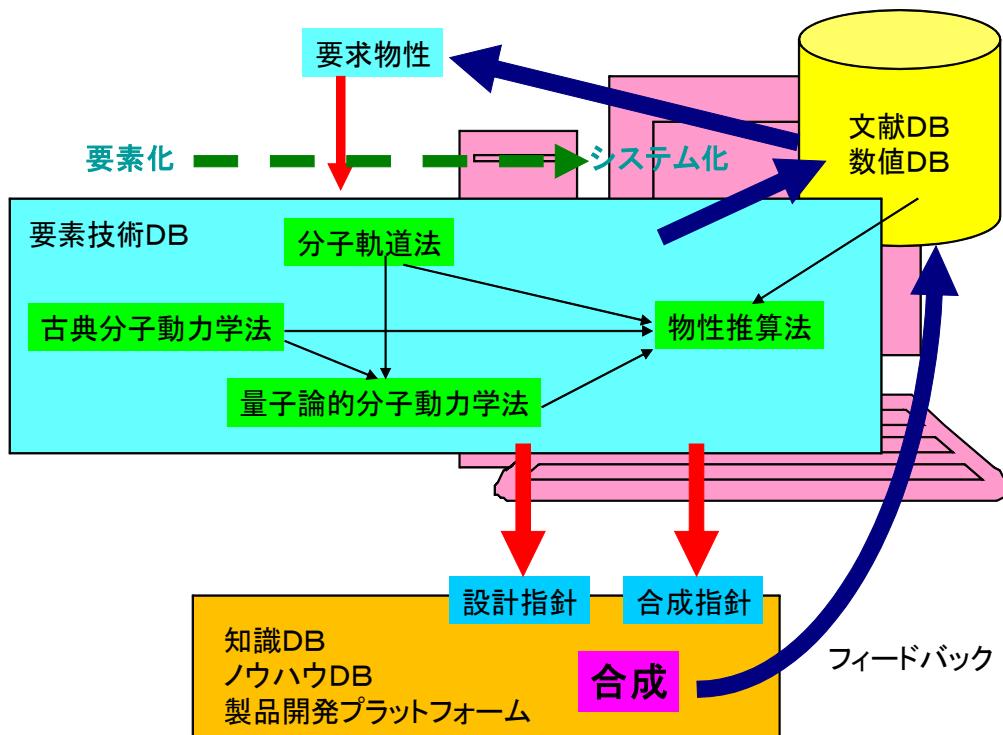


図 3.12-3 材料設計における知の統合プラットフォーム

3. 13 知の統合プラットフォームの機能と役割

3. 13. 1 知の統合プラットフォームのまとめ

これまで、知の統合により創出される学術分野や技術分野の具体的な事例を通して、知の統合プラットフォーム構築に向けたアカデミック・ロードマップについて述べてきた。本節では、まずこれらの具体的な事例を通して、知の統合プラットフォームの仕組みや役割についてまとめる。

3. 3 節「文理の枠を超えた相互理解型社会に向けて」では、理工系と人文社会系との連携の必要性と相互理解に向けたプラットフォームを示した。個別分野からの問題抽出、個別分野から提起された諸問題を統合するモデリング・ツール、個別分野間相互のコミュニケーションの場の構成、からなる専門家の学術分野の統合プラットフォームの必要性とともに、これだけではなく、専門家ではない生活者との情報共有と相互対話を可能にするプラットフォームの構築の必要性についても述べている。知の統合プラットフォームは、個別学術分野の統合の場であると同時に、専門家と非専門家、生活者、社会との相互対話を実践できる場でなければならないことが強調されている。

3. 4 節「リスクガバナンスのための総合情報基盤構築」では、リスク研究の対象が広範囲にわたっており、個々のリスク対象やリスク現象に依存しない共通性や異なる分野の概念融合が有用であることを述べ、そのための知の構造を、リスク解析、リスク管理、リスクコミュニケーション、リスクガバナンスの4つのレイヤーで表現をし、それぞれ関連する学術分野の統合化の必要性とその目的を示した。この概念の共有化と相互認識によって最上位のレイヤーのリスクガバナンスが社会的に受容された形で達成することが可能となる。リスクガバナンスのための総合情報基盤の構築に向けた学術的なプロセスを明らかにしている。

3. 5 節「情報循環設計科学をプラットフォームとした定量的リスク科学の創生」では、「実社会からの価値選択」から「要求価値の工学モデルへの変換」、「モデル上での最適化」を経て「最適化された価値の実社会への注入」といった一般設計科学生成サイクルを基盤とするプラットフォームを述べている。対応するディシプリンとして、それぞれ「社会から価値を発見的ないしは意図的に選択する方法論を扱う科学」、「価値を創生するシステムを同定する科学」、「システム上で価値生成のパフォーマンスを最適に設計する工学」、「創生した価値を社会に実装し納得をしてもらうための工学」の4つの横断的情報科学、情報工学の各分野の有機的な連携により構築される。価値観を前提とする人間・社会の学術全般を反証不能な規範的科学から知のスパイラルアップが可能な設計科学に昇華させるための不可欠なプラットフォームである。このプラットフォームを基盤として、他の学術分野との統合化により、定量的リスク科学、経営設計科学、社会設計科学などが創出される普遍性の高い役割と可能性をもつことを述べている。

3. 6 節「持続可能未来社会デザインのための知の統合」では、統計科学・数理科学と関連する学術分野の統合による大規模システム推測プラットフォームの構築と諸課題の解決について述べた。20世紀社会における不特定多数への大量生産・大量消費を目指した成長志向の社会から環境を考慮した持続可能な社会への移行とともに、一方では個に焦点を当てた科学の必要性が生まれ、これらの課題解決を目的とした大規模システム推測プラットフ

オームが示されている。

3. 7 節「低炭素社会の構築」では、2050 年温室効果ガス排出量半減という目標に向けた知の統合プラットフォームの目的と役割を述べた。排出量の抑制とその影響の低減の対策のための環境技術や環境政策、対応策実施のための観測・プロセス解明・予測のための環境科学・技術、人間のあり方や社会や経済と科学技術のあり方、社会のあり方の方向付け、世界の国々との連携のための国際関係など、人文科学や社会技術を含む知と知識の統合化が必要である。これらの統合化された学術分野を基盤として、各国や地域に対する共通で普遍的な評価が可能なシステムや方法論を与えていた点が、このプラットフォームの大きな特徴であり目的となっている。例えば、監視・予測システム、技術評価システム、社会評価システムなどを整備することにより、GHG 認証など具体的な課題に対して共通の視点から評価を実施することが可能となる。

3. 8 節「電子民主主義による社会の構築」では、社会問題における多種多様な利害関係やコンフリクトの中での納得の原理に基づいた電子民主主義社会の構築に向けたプラットフォームの構築について述べた。理工学分野と人文社会科学分野とを横断的に統合した複合領域を基盤として、情報通信システム技術の高度化に伴う成果を十分に活かしたアプローチにより、電子的参加の制度設計に向けた合意形成プラットフォームおよび電子民主主義の制度設計に向けた政策形成プラットフォームの構築について述べている。プラットフォーム上では、さまざまな異分野との連携方法論、集団意思決定支援技術、情報・知識コモニズムの整備、集団的問題解決能力の強化など統合化技術が機能する。

3. 9 節「ヒューマン・マシン協働によるディペンダブルな安全・安心の社会の構築」では、ヒューマン・マシン（HM）協働の体系化を基盤とした安全・安心の社会構築に向けた統合プラットフォームについて述べた。この上で、人を考慮した安全設計の実現に向けた認知工学、認知心理学、行動学と信頼性工学との融合、長期経年劣化の安全性の確立に向けた情報の共有化やコミュニケーション、多様な環境変動に対応した信頼性設計のための予測・発見科学、社会傾向予測、データマイニング、オンラインデータベースなどの連携、さらに個人適合型信頼性確保のためのデータマイニングなどのデータ収集と学習機能、適用状況のセンシングなどとの協調などが実現されている。

3. 10 節「ロボティクス基盤高信頼社会の構築」では、ロボティクスを基盤とした安心安全な高信頼社会のデザインに向けて、情報ロボティクス、社会科学、人間科学の 3 分野を枠組みとする知の統合について述べた。さらに、ロボットを活用した減災・レスキューなどによる安全社会の確立、ロボットが少子高齢化社会における人間・社会へのサービスを実現する安心の創生、ロボットが人間の能力を補完して社会的役目の一部を担う人間能力の拡大の 3 つを活用場面とした 3×3 の有機的なマトリックス構造からなるプラットフォームを提示している。このプラットフォームのもとで、高度なロボット開発とその社会での活用の方向性を示すとともに、ロボティクスと協働した未来社会の制度設計を先取りできる予見社会科学と、人間・社会へのサービスや人間能力の拡大が社会構造に変革をもたらす意味を追求する人間・社会科学を学術として確立することが目的となっている。

3. 11 節「生産システムにおける知の統合」では、生産システムにおける知のプラットフォームの役割とその構築について述べた。プラットフォーム上では、設計・生産に関わる CAD の連携が不可欠であり、データの変換と数学モデルの操作を支援する。設計・生産ツ

ールだけでなく、流通、保守管理、破棄のツールも開放しなければならない。これらが生産システムの知のプラットフォームを構築するが、これが場として提供され、自由に誰でも使える API として公開されることが重要である。設計データ、設計図、数学モデルが共有され、生産ツールが共有されるという意味での知の公有が行われる。プラットフォームの役割はこれらのツール群の公有にあるといってよい。知は再帰的であり、蓄積により将来を予測でき、また常に新しい知により発展する非定常性という特徴をもつ。このような基盤は、個別産業にはそれほど依存しない共通なプラットフォームである。

3.12 節「計算機シミュレーションによる材料開発・創薬のための知の統合」では、基盤技術を大規模高速計算機システムとするプラットフォームについて述べた。レイヤー1 の知識統合レベルにある理論や原理を基盤とするレイヤー2 のシミュレータ群に対し、要求物性が入力され、対応する文献 DB や数値 DB による情報の統合化を経て、材料開発・創薬の設計指針や合成指針が得られるが、これらの共通的な作業を実施する場がプラットフォームとなる。要求物性のフィードフォワードとそれに付随するさまざまな結果や知のフィードバックというサイクルを安定に加速し、そのサイクルタイムを短縮すること、さらに一人の開発者では不可能な広範囲な異分野の知、物理学、材料科学、計算機科学、データベースなどの統合化と共有化を可能にすること、などがプラットフォームの役割である。

以上、本章で説明された知の統合が必要である 10 の目標に向けてのアカデミック・ロードマップとそれを支援する知の統合プラットフォームについて、それぞれの特徴や役割についてまとめた。さらに、表 3.13-1 は、個々の目標に向けた統合プラットフォームの実体やそこで統合される学術分野、統合が必要とされる背景やプラットフォームがもつ普遍性、知の統合を推進するための施策や評価などの視点からまとめたものである。今回のアカデミック・ロードマップの方向が理工系と人文社会科学系との連携に焦点をあてたこともあり、プラットフォームの必要性がいすれも強く指摘されている。

3.13.2 知の統合を支援するプラットフォーム

前節で述べたように、知の統合プラットフォームが果たすべき役割や機能はつぎのように要約できる。

(1) 知の統合により一段高い普遍性をもった新しい学術を創出する役割

3.6 節で述べたように、情報循環設計科学をプラットフォームとして構築することにより、環境科学との融合により定量的環境リスク科学、金融工学との融合により定量的金融リスク科学、などを創出し、さらにこれらを統合化することにより、さまざまなリスク対象やリスク現象を取り扱う一般定量的リスク科学を創出するという新たな知を生み出す普遍性をもつプロセスとして機能する。さらに、情報循環設計科学をプラットフォームは、経営学や社会学と融合することにより、それぞれ経営設計科学や社会設計科学を生み出す基盤となる可能性をもつ。このようにプラットフォームを基盤として新たな学術が創生される場となる。

(2) プラットフォームがもつ共通性により、さまざまな課題への解を与える役割

本章で提示された多くの知の統合プラットフォームは、そのターゲットが社会や人間を包含するシステムを対象としてことから、理工系だけでなく人文社会系との連携が不可欠であり、この連携を基盤としている。学術の細分化は、理工系だけでなく人文社会系でも

同様である。プラットフォーム上では、各学術領域の細分化の壁を超えたコミュニケーションのもとでのプラットフォームの形成が必要となる。課題や目標が与えられたとき、共通の枠組みと対応策をソリューションとして提供する特殊化が大きな役割となる。

（3）場の共有、知の公有を活用する基盤としての役割

3.3節、3.4節、3.8節など本章の多くの節において、目標とする社会の構築に向けた統合プラットフォームは、専門家と非専門家とが情報共有と相互対話を可能にする機能をもつ必要があることが述べられている。さらに、3.11節のCAE連携では、さまざまな設計などツール群を誰でも利用できるオープンな機能が要求されるであろう。これまでの大量生産、多数決原理、全体中心主義などから、個を尊重する時代へのシフトに向けて、個人の趣向に応じた生産（プロシューマへの対応）、コンフリクトの存在下での合意形成、人間個人の存在の重視、を考慮しつつ、社会や人間に焦点を当てた学術・技術の今後の展開にとって、このようなプラットフォームの機能はますます重要性を高めるものと思われる。

（4）統合プラットフォーム上のスパイラルアップ機能

本章の多くの節で述べられているように、プラットフォーム上では、共通と思われる機能として、社会の現象を観測し、それに基づいてモデル化を行い、目標を達成するための対応策を策定し、それを社会へ実装化する、という4つの機能からなるプロセスがある。理工学の細分化された各分野では、このサイクル、すなわち、観測、モデル化、制御、評価という閉じたプロセスは通常のアプローチとして用いられてきているが、人間や社会を含む大規模なシステムに関しては、サイクルのそれぞれが独立した学術分野であり、これらを統合化することにより初めてループを閉じることができ、新たな学術領域や課題解決のための手法を与えることができると同時に、サイクルを構成する統合化された学術のスパイラルアップが可能となり、知のプラットフォームとしてさらなる機能向上が達成できる。

表3.13-1 知の統合プラットフォームの概要

ターゲット・目標	知の統合プラットフォーム	統合を支援する学術・技術分野	統合が必要な背景・普遍性	知の統合のための施策・評価
1. 文理の枠を超えた相互理解型社会に向けた実践可能なプラットフォームの構築（第3. 3節）	分野横断的モデリングや問題定式化の方法論、情報共有などを実践可能なプラットフォームの構築	シミュレーション、統計学、数学などのチアリング方法論、社会情報学、アーカイブス学などのコミュニケーションの構築の方法論、など	現代の地球社会が直面している環境、食糧、接病、アロリスマ、世界経済、情報、などの諸問題の解決には、文理横断、文理の壁を超えた相互理解の推進が必要。	文理融合を推進するための教育組織や教育方法の改革、文理対話の場としてのアカデミーの設立、次世代の文理横断的教育の実施、文理を架橋する研究者の積極的な学会活動。
2. リスクガバナンスのための総合情報基盤を構築する。リスク研究のための総合情報基盤を構築する。リスク解所、リスクコミュニケーション、リスクガバナンスの各レベル構造をもつ統合プラットフォームの構築。（第3. 4節）	法学・社会学、心理学・情報学、経営科学・心理学応用、数学・統計科学・工学基礎、哲学、倫理学、教育学	専門家、非専門家、異分野間コミュニケーションの必要性、リスクガバナンスの社会的要請など。	着手研究者育成の中長期的文理融合プロジェクト、教育制度改革	
3. 情報循環設計科学をプラットフォームとし定量的リスク科学の創生（第3. 5節）	発見科学、統計科学、最適化工学、コミュニケーション工学、データベース構築により、情報循環設計科学のプラットフォームが構築される。	個別分野における定量的リスク科学の構築のために、統合プラットフォーム上で例えば、定量的環境リスク科学や定量的金融リスク科学などの新しい学術の創出が必要。	情報循環設計科学の基盤構築と個別リスク対象のデータベースの構築と統合したデータアーカイブの整備と、若手研究者育成と大学院における横断型教育の実施。	
4. 持続可能な未来社会のデザイン（第3. 6節）	自然科学、社会科学、人文科学をベースとし、統計学を基盤とした大規模システム推測プラットフォームの構築。	個別分野における普遍性の高い統計的推測技術の確立により、地現象・災害予測、生命システム分析、社会現象予測、政策提言を行う。	情報循環設計科学の基盤構築と、それを支える研究者の組織化。具体的には学際的、また横断的な研究者グループの組織化。	
5. 低炭素社会の構築（第3. 7節）	低炭素社会の実現を目指した具体的な地域や国が、その対象地域でどのような技術や施策の選択を行い、実施後の評価をするか、など一連の手順に必要な知識を与えるためのプラットフォームの構築。	左に挙げた多様な学術分野における知や知識を、俯瞰的、横断的に見渡すとともに、低炭素社会実現という解決点に向けて最適に組み合わさるために統合化が必要。	様々な分野の手法やシステムを搭載するプラットフォームの構築と、それを支える研究者の組織化。具体的には学際的、また横断的な研究者グループの組織化。	
6. 電子民主主義による社会の構築（第3. 8節）	電子的参加の制度設計への合意形成のためのプラットフォームおよび電子民主主義への政策形成のためのプラットフォーム構築。	左に挙げた多様な学術分野における問題形成と解決、心理学や知見と社会学的知見の統合が必要。	個人、研究者、大学、学会、国の各レベルでのインセンティブ、行動、組織・体制、価値観を考慮し、連携を推進する。またプラットフォーム構築のための方法論、推進のためのネットワーク化戦略を考える。	
7. ヒューマンマシン協働によるデイベンダブルな安全・安心の社会の構築（第3. 9節）	高信頼度な人間・製品技術における安全安心のためのプラットフォーム	開発技術による安全社会の創成、不適当な総合分析による問題形成と解決、心理学や知見と社会学的知見の統合が必要。	個人、研究者、大学、学会、国の各レベルでのインセンティブ、行動、組織・体制、価値観を考慮し、連携を推進する。またプラットフォーム構築のための方法論、推進のためのネットワーク化戦略を考える。	
8. ロボティクス基盤高信頼社会の構築（第3. 10節）	情報ロボティクス、人間科学、社会科学の3つのリックス上に新しい学問領域が創出される。	ユーダサや製品使用環境の多様化、不適当なエンジニアリング等に起因するトラブルに対する予測技術と人間行動予測を伴う製品新たな予測技術、セシング技術、安全確保のための複数技術を有する技術者、あるいは技術者集団の育成、安全情報共有化の仕組みの導入。	開発技術による安全社会の創成、ロボットの研究開発による安心の創成、ロボット技術による安心の創成、人間能⼒の拡大を実現するために3つの活用による人間能力の拡大を評価とする。	
9. 生産システムにおける知の統合（第3. 11節）	情報ロボティクス、人間科学、社会科学の3つのリックス上に新しい学問領域が創出される。	ロボットの社会基盤としての位置づけを明確にするために、安全社会の確立、安心の創成、人間能⼒の拡大を実現するために3つの学術分野の統合化する必要がある。	開発技術による安全社会の創成、ロボット技術による安心の創成、ロボットの研究開発による安心の創成、人間能⼒の拡大を実現するために3つの活用による人間能力の拡大を評価とする。	
10. 計算機シミュレーションによる材料開発・創薬のための統合（第3. 12節）	設計、生産、流通、保守管理、破棄などのすべてのツール群、設計データや数式モデルの共用化が生産システムにおけるプラットフォームである。	消費者の多様化とそれに応える21世紀型生産システムの維持管理に重点をおいた物づくりから物育への移行	Reduce, Reduction, Recycleの社会と個人の幸せ意識に応じる一人一人の個性に対応したきめ細かい施策が必要。統一的な方向性といつよりは個々の個性の集まりによる競争力確立。	
	基盤技術は大規模高速計算機システムであり、要素技術DBのレイヤーと、知識・数値・文献・プログラムなどのDBのレイヤーからなる統合プラットフォームであり、材料設計だけでなく、創薬などにも共通に活用できる。	消費者の多様化とそれに応える21世紀型生産システムの維持管理に重点をおいた物づくりから物育への移行	古典論相対論・量子論に加え、計算機科学の知識の獲得を実現する学際計算科学の確立	

3. 14 おわりに

人間、社会、人工物、環境などが複雑に絡む包括的で社会的な課題を解決するためには、細分化された学術分野の統合が不可欠であるという認識のもとで、本章では、知の統合プラットフォームのメカニズムと役割について検討し、その基盤の上に創出される人文社会科学分野と理工学分野とを統合した新しい学術分野や技術分野のアカデミック・ロードマップを提示した。知の統合プラットフォームは、細分化した知の寄せ集めではなく、一段高い論理レベルでの広い科学技術の連携と集積を必要とする。人間と社会が複雑に関連する諸課題の解決のためには、分野を横断した規範が理念として存在しなくてはならず、そのためには知の統合の技術が各分野を横に貫く共通の枠組みとして、具体的に利用可能な共通ツールとして、プラットフォームを実体的に整備していく必要がある。

プラットフォーム上には、理工系と人文社会系を基盤とした統合により創生される学術分野や技術分野が論理性をもって体系化され、与えられた課題の枠組みを明確にし定式化することにより、プラットフォーム上の論理体系により実装プロセスを通して課題解決への対応策を与えることができる。様々な課題をプラットフォーム上に定式化しモデリングする普遍化と、アルゴリズムにより得られた課題への対応策の実装という特殊化との二つのプロセスによって、知の統合プラットフォームが共通性をもって機能している。

本章では、以上のような役割をもつ統合プラットフォーム上で構築される理論体系や技術体系を基盤として解決できると思われる諸問題（シーズやニーズ）をいくつか取り上げることにより、2050年をめどとしたこれらのアカデミック・ロードマップについて検討した結果を提示した。

まず、人文社会系と理工系の大きな学問分野の枠を越えた相互理解の社会をどのように構築していくかという最も基本的な課題について考察した。個別分野の専門家により発見される新たな課題（シーズ）は、始めは孤立したものであっても、他の分野からは別の側面としての新たな知見が得られることが多い。しかし各分野の用語や定式化の方法が異なることから、異分野間で相互に議論することを困難にしていた。統合プラットフォームでは、一つの課題に対して多面的な見方を可能にし、分野横断的の解釈を可能にするための問題の定式化表現、モデリング技術や表現法、基礎的な数理的なツールなどを共通基盤としてもち、相互にコミュニケーションが可能な場としてのプラットフォームの役割の重要性を述べている。さらに、もう一つの重要な機能として、プラットフォーム上では、各分野の専門家も非専門家（生活者を含む）も、得られた統合知が共有され、議論される場として機能しなければならない。これが知の統合プラットフォームのさらに重要な役割であり、文理の枠を超えた相互理解型社会の構築に向けたアカデミック・ロードマップを提示した。

リスクはその現象や対象が極めて広範囲であり、リスク研究は横断的な側面をもつため、あらゆるリスク対象に対しての専門家は存在しないといえる。それだけに、前述したように、専門家・非専門家・異分野間のリスクコミュニケーションの場としての知識の交換と流通を各レイヤーで機能させ、さらに社会的要請や合意を得るに必要となるリスクガバナンスのための総合情報基盤の構築が不可欠となる。さらに、このような背景のもとで、リスクの現象や対象に強く依存しない普遍性のある知の統合プラットフォーム上に新しい学

術分野をいかに構築していくかという課題についても検討した。プラットフォーム上で、実社会からの価値選択 → 要求価値の工学モデルへの変換 → モデル上での最適化 → 最適化された価値の実社会への注入、というプロセスとデータベースを支援する様々な学術分野を有機的に連携し統合化することにより、新しい情報循環設計科学の基盤を構築し、さらに環境科学や金融科学との統合化により、普遍性の高い一般定量的リスク科学の創生を予測している。こうした基盤からは、経営学との連携統合により経営設計科学の創生も期待できる。このように知の統合プラットフォームにより、様々な理工系と人文社会系とを基盤とした新しい統合知の学術分野を生み出す役割を具体的に明らかにし、そのアカデミック・ロードマップを提示した。

リスク研究にも大きな貢献している統計科学や数理科学は、学術領域そのものが横断的科学技術分野であり、不特定多数への大量生産からオンデマンド・オーダーメイドのような個に焦点がシフトしつつある中で、ベイズ法に基づく大規模な社会現象のモデリングや予測が重要な役割をもつ。人文社会系、自然科学系などを基盤として、データサイエンスとしてモデリング・知識発見、システム推定・予測、信頼性評価・リスク管理などの知の統合により、対象に強く依存しない汎用性・適応性をもつ大規模複雑システム推測プラットフォーム構築の可能性とその課題解決のアカデミック・ロードマップを示した。

2050 年の温室ガス排出量半減に向けた低炭素社会の実現は、地域的、時間的なスケールでのコンフリクトの中で達成することが目標とされている。このためには、環境科学、環境技術、理工学系、人文社会系、国際関係論などを共通基盤とした学術的方法論の創生が不可欠であり、これをプラットフォームとして、各国や地域における低炭素社会実現の課題に向けた監視・予測システム、技術評価システム、社会評価システムを共通性をもって実体的に機能させることが重要であることを明らかにした。一方、高齢者社会の到来や地球環境の悪化などの社会的課題には利害関係者間の意見や方策を民主的に集約し統合する必要がある。コンフリクトやジレンマの存在下での納得の原理に基づく合意形成や政策形成のためのプラットフォーム上では、理工学系および様々な人文社会科学系を基盤として、集団意思決定支援、情報・知識コモンズ整備、集合知能のモデル化、集合的問題解決などの一般的な方法論が体系化され、個人、研究者、学会、国レベルでの参加、コミュニケーション、相互理解の場として機能する必要がある。

次に、ヒューマン・マシン協働の体系化をプラットフォームとしたディペンダブルな安全・安心社会の構築について検討した。プラットフォーム構築には、理工系の様々な技術や認知心理学、社会学などの人文社会系などの統合が必要であり、この共通性をもったプラットフォーム上では、様々なヒューマン・マシン協働に関わる課題の解決が可能となる。さらに、ロボティクスを基盤とする高信頼性社会に構築に向けた社会科学と人間科学と情報ロボティクスの統合したプラットフォームについて検討し、ロボット自体のシステム統合化だけでなく、安全社会の確立、安心の創生、人間能力の拡大を目標とした 3×3 のマトリックス型のプラットフォーム上に学術研究分野を創出し、さらにアカデミック・ロードマップを提示した。

消費者の多様化とそれに応える 21 世紀型の生産システム、販売よりも維持管理に重点をおいたものづくりからもの育てへの移行を背景に、設計、生産、流通、保守管理、廃棄などすべてのツール群、設計データ、数式モデル、経験知識モデルなどを、メーカ、ユー

ザ、企業、大学、個人などがオープンに共有できる場が知の統合プラットフォームとして構築されると、生産やサービスが大量生産から個人の個性に合わせたきめ細かな生産へシフトすることが予想される。もう一つのものづくりのプラットフォームとして、その上で機能大規模高速計算機システムを基盤として、要素技術 DB、知識・数値・文献などの DB を統合化することにより、要求物性を満たす材料設計や創薬を行う役割をもつ。材料開発や創薬の計算機シミュレーションの最終的な目標として、材料では、加工、利用、廃棄までのプロセス、創薬では症状を改善する分子の発見・合成、副作用や毒性、代謝や体外への排出までのプロセスをモデルに含み、循環型社会に向けた要素技術開発であり、広範囲な知の統合を必要としている。

本章で取り上げた知の統合を必要とする目標（ターゲット）に向けて、いずれも理工系と人文社会系を基盤とした新しい学術分野あるいは技術分野の普遍性をもった体系をプラットフォーム上に創生し、与えられた様々な課題に対応する役割をもつこと、そしてそのプラットフォームの役割として、異分野の人々、専門家、非専門家が、多面的な問題設定、相互理解やコミュニケーションが可能な共通手段、などが共有されていることが重要であること、さらに知のプラットフォームで文理横断を実践する人材の育成、知の統合により新しい学術創出を推進するための科学技術政策のあり方などについても検討した。知の統合を必要とする社会的な課題には今後ますます直面すると思われる。文理の壁を越えた相互交流のプラットフォームを早期に構築できるデザインが望まれる。

参考文献

- Ansell, J. and F. Wharton, eds. : *Risk: Analysis, Assessment and Management*, Wiley, 1992.
- Bainbridge, L. : Ironies of automation, *Automatica*, Vol. 19, No. 6, pp. 775–779, 1983.
- Darton, M., B. Sturmfels and S. Sullivant : *Lectures on Algebraic Statistics*, Birkhauser, 2009.
- Fisher, A. R. : *Design of Experiments*, Oliver Boyd, 1935.
- Habermas, J. : *Technik und Wissenschaft als Ideologie*, 1968 (長谷川宏 訳: イデオロギーとしての技術と科学, 紀伊國屋書店, 1970).
- Imoto, S., T. Goto and S. Miyano: Estimation of genetic networks and functional structures between genes by using Bayesian network and nonparametric regression, *Pacific Symposium on Biocomputing*, Vol. 7, pp. 175–186, 2002.
- Kammen M. D. and D. M. Hassenzahl: *Should We Risk It? Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving*, Princeton University Press, 1999.
- Nakamura, K, T. Higuchi and N. Hirose: Sequential data assimilation: information fusion of a numerical simulation and large scale observation data, *Journal of Universal Computer Science*, Vol. 12, pp. 608–626, 2006.
- Pearson, K. : *The Grammar of Science*, Walter Scott, 1892.
- Pistone, G., E. Riccomagno and H. P. Wynn: *Algebraic Statistics*, Chapman and Hall, 2001.
- Spearman, C. : “General intelligence,” objectively determined and measured, *American Journal of Psychology*, Vol. 15, pp. 201–293, 1904.
- Tukey, W. J. : The future of data analysis, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 33, No. 1, pp. 1–67, 1962.
- Tukey, W. J.: Some thoughts on clinical trials, especially problems of multiplicity, *Science*, Vol. 198, Issue 4318, pp. 679–684, 1977.
- Tsubaki, H., K. Nishina and S. Yamada, eds. : *The Grammar of Technology Development*, Springer, 2008.
- Ueno, G., T. Higuchi, T. Kagimoto and N. Hirose: Application of the ensemble Kalman filter and smoother to a coupled atmosphere-ocean model, *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, Vol. 3, pp. 5–8, 2007.
- Wald, A. : *Statistical Decision Function*, John Wiley and Sons, 1950.
- 遠藤薰: 日本文化における人工物観－時計技術はなぜ人形淨瑠璃を生んだか－, 横幹, Vol. 1, No. 1, pp. 43–50, 2007.
- 遠藤薰: ネット・メディアと<公共圏>, 日本社会情報学会学会誌, Vol. 17, No.2, pp. 5–12, 2005.
- 横断型基幹科学技術研究団体連合: 学会横断型アカデミック・ロードマップ報告書,

2008 年.

- ・ 太田敏澄, 他: 社会情報システム学・序説, 富士通経営研修所, 1966.
- ・ 太田敏澄: 自己生成パラダイムと社会情報学, 日本社会情報学会学会誌, Vol. 18, No. 1, pp. 5-14, 2006.
- ・ 環境省: 21 世紀環境立国戦略, 2007.
- ・ 北川源四郎: 定量的リスク科学, 文部科学省新学術創生領域提案書, 2008.
- ・ 国立環境研究所: 長期研究戦略タスクフォース報告書, 2007.
- ・ 国立環境研究所: 2050 日本低炭素社会シナリオ: 温室効果ガス 70% 削減可能性検討報告書, 2008.
- ・ 須藤修, 後藤玲子, 田中秀幸: 情報化と社会制度の構築に関する研究, 情報処理, Vol. 48, No. 6, pp. 653-661, 2007.
- ・ 総務省: 「u-Japan 政策」概要, 2005 年 6 月.
- ・ 田中健次, 伊藤 誠: 信頼性・安全性確保のためのユーザと企業の情報共有と活用, 日本品質管理学会誌「品質」, Vol. 38, No. 4, pp. 41-47, 2008.
- ・ 谷口武俊: リスク意思決定論, 大阪大学出版会, 2008.
- ・ 寺野隆雄: エージェント・ベース・モデリングの技術と応用, 日本社会情報学会学会誌, Vol. 19, No. 2, pp. 37-44, 2007.
- ・ 東京大学社会情報研究所編, 濱田純一他著: 社会情報学 I, 東京大学出版会, 1999.
- ・ 富山慶典: 電子投票システムの現状と課題—ネットワーク民主制の構築を目指して—, 第四回社会情報システム学シンポジウム講演論文集, pp. 13-22, 1998.
- ・ 中谷内一也: リスクのモノサシ: 安全・安心生活はありうるか, 日本放送出版協会, 2006.
- ・ 中西準子: 環境リスク学, 日本評論社, 2004.
- ・ 中村雄二郎: 共通感覚論, 岩波書店, 1979.
- ・ 日本学術会議: 提言「知の統合—社会のための科学に向けてー」, 2007 年 3 月.
- ・ 日本学術会議: 記録「知の統合の具体的方策—工学基盤からの視点ー」, 2008 年 8 月.
- ・ ミニ特集: 横断型人材育成, 横幹, Vol. 3, No. 1, 2009.
- ・ 村上陽一郎: 科学・技術と社会ー文・理を越える新しい科学・技術論, 光村教育図書, 1999.
- ・ 樋口(監修): 統計数理は隠された未来をあらわにする 一ベイジアンモデリングによる実世界イノベーション, 東京電機大学出版局, 2007.
- ・ 鷲尾隆, 樋口知之, 井元清哉, 玉田嘉紀, 佐藤健, 元田浩: グラフマイニングとその統計的モデリングへの応用, 統計数理, Vol. 54, No. 2, pp. 315-332, 2006.

第4章 社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野の アカデミック・ロードマップ

4. 1 はじめに

認知科学、社会心理学、数理社会学など人文社会科学分野における人間行動に関する知見の蓄積と、マルチエージェントシステム、人工知能など情報科学分野における技術開発によって、社会システムのシミュレーションを行うことが可能になりつつあるが、現状ではその活用は経済予測などごく一部に限られている。現代社会が直面するさまざまな課題を解決するためには、現状の社会システムのシミュレーション技術をより複雑で大規模な対象に適用し、社会動向をより精度よく予測するとともに、その結果を用いて社会制度などの具体的なデザインに活用する必要がある。

社会システムのシミュレーションでは、まず個人レベルの人間行動を忠実にモデル化することがシミュレーション結果の精度、信頼性を高めることにつながるので、そのためには必要な人間行動の計測・分析技術や、認知モデル、人間と環境とのインタラクションモデルなどを検討する。つぎに、個人レベルの人間行動に基づいて集団レベル、組織・社会レベルへとシミュレーション対象の規模、複雑さを拡大するために、集団プロセス、分散認知モデル、人工社会などの技術を扱う。さらに、こうして高度化されたシミュレーション技術を活用し、適用するためのデザイン技術、たとえば社会システムのパフォーマンス評価指標や創発的・共創的デザイン手法などの研究の方向性を検討する。

以上により、本章では、民主的で公正な合意形成の支援、科学的根拠に基づく社会運営、安全・安心で活力ある社会の実現を目指し人文社会系と理工学系の知見・技術を統合する、社会システムを対象とするシミュレーション技術の横断型アカデミック・ロードマップを策定することを目的とする。

本章で述べる社会システムのモデリング・シミュレーション技術に関するアカデミック・ロードマップについて、その全体としての概要を図4.1-1に示す。以下、このロードマップについて解説する。

まず、本章でのアカデミック・ロードマップを3次元のマップとして俯瞰するために、3つの軸を定めた。社会システムのモデリング・シミュレーション技術の分野では、今後その対象は大規模化、複雑化していくことが考えられるため、この点を考慮する必要がある。その一方で、モデリング・シミュレーション結果の精度や信頼性も非常に重要であり、それらを向上させることが目標の一つとなる。このことから、本ロードマップでは「規模、複雑さ」および「精度、信頼性」をそれぞれ軸として取った。また、モデリング・シミュレーション技術の実社会における利用を促進することも目標の一つとなり得ることから、「可用性、適用性」をもう一つの軸とした。

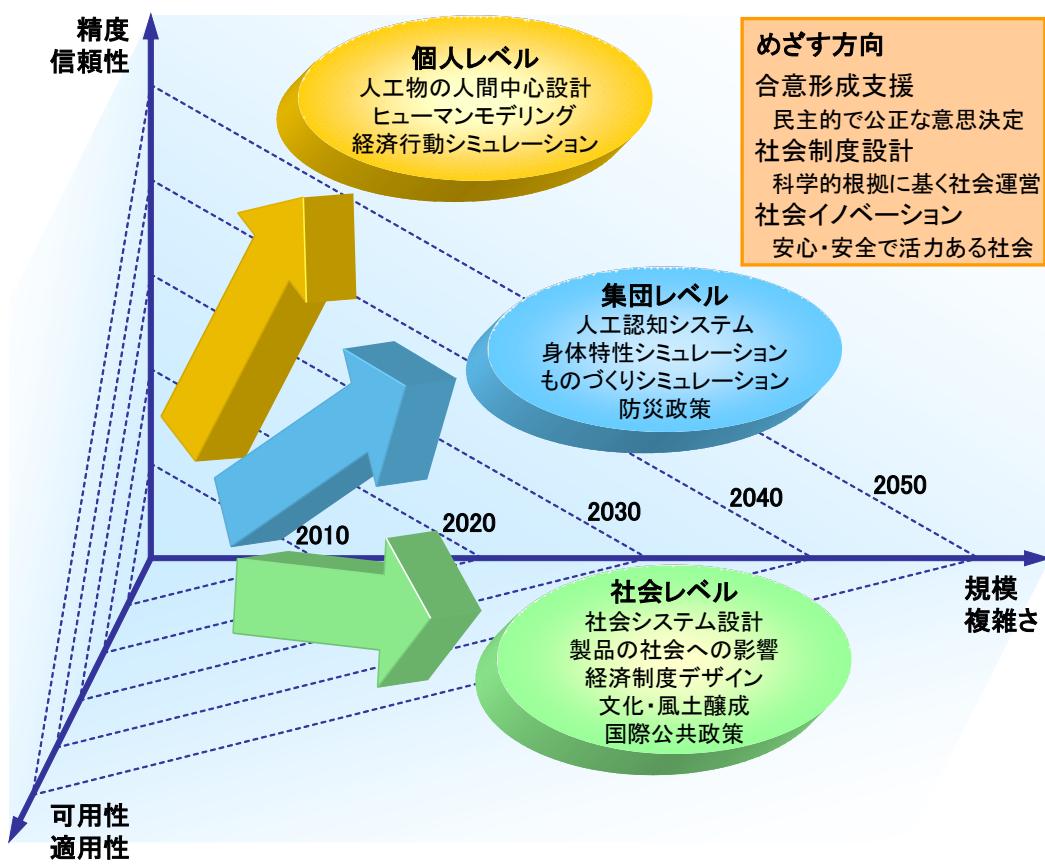


図 4.1-1 社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野のアカデミック・ロードマップのイメージ

次に、2050 年までのアカデミック・ロードマップを展開するにあたり、社会システムのシミュレーションにおける対象を次の 3 つに分類した：

- 個々の人間の行動を対象とした「個人レベル」
- 数人から数十人規模を対象とした「集団レベル」
- 数百人以上の規模を対象とした「社会レベル」

ロードマップでは、これら 3 つのレベルにおけるシミュレーション技術の展開を矢印で示した。「個人レベル」では、個々の人間についてのシミュレーションを扱う。このレベルでは、結果の精度や信頼性を上げる方向でシミュレーション技術を展開していく必要がある。具体例としては、人間行動をモデル化しシミュレーションする「ヒューマンモデリング」や、さまざまな経済活動における人間の行動をモデル化しシミュレーションする「経済行動シミュレーション」など個人を対象としたシミュレーションが挙げられる。一方で、対象が「集団レベル」、「社会レベル」と大規模化するにしたがい、シミュレーション技術自体も相対的に規模、複雑さが増加する方向で展開していく。「集団レベル」の対象としては、「ものづくりシミュレーション」や「防災政策」が挙げられ、「社会レベル」の対象としては、「社会システム」、「経済制度デザイン」、「国際公共政策」などが挙げられるだろう。さらに、3 つのレベルとともにそのシミュレーション技術が実社会に浸透することも目標の一

つとなり得るため、「可用性、適用性」の方向へも展開していく。

また、本ロードマップにおけるシミュレーション技術のめざす方向として、民主的で公正な意思決定のための「合意形成支援」、科学的根拠に基づく社会運営のための「社会制度設計」、安心・安全で活力ある社会のための「社会イノベーション」を挙げた。

以上の社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野を俯瞰したアカデミック・ロードマップに基づき、本章では人文社会系および理工学系の分野のさまざまな角度から議論を展開する。本章の構成は、大きく前半と後半の2つに分かれている。前半では社会システムの方法論と実際を広い視点から俯瞰した以下のテーマで構成する：

- 複雑系と社会システムシミュレーション
- ヒューマンモデリングと社会システムシミュレーション
- 社会システムシミュレーション
- 國際公共政策シミュレーション
- 経済制度設計のための社会実験シミュレーション
- 社会モデリング・社会システムシミュレーションにかかわる社会学的課題

前半の最後では、現在の社会システムのシミュレーションが抱える課題について取り上げ、これを社会学の立場から議論する。

後半では、より的を絞った個別のシミュレーション技術についての議論を展開する以下のテーマを取り上げる：

- 経済行動シミュレーション
- ものづくり・サービスづくりシミュレーション
- 防災・安全シミュレーション
- 文化・風土醸成のための参加型シミュレーション
- 超高齢社会にむけた身体特性シミュレーション

以上の構成に沿って、次節以降で各テーマについてのアカデミック・ロードマップを開する。

4. 2 複雑系と社会システムシミュレーション

4. 2. 1 社会シミュレーションの基礎としての複雑系の理論

複雑系とは、構成要素が非常に複雑な相互作用や非線形相互作用によって、カオス現象、自己組織化、記憶・連想・学習などの機能が発現するような系をいう。これらのキーワードの発展によって、「初期値が定まればあとは系の支配する方程式によってその後の振る舞いが決定されるという」ニュートン的自然観に対して、例え決定的な方程式に従って自然現象が変化しても、自然界に発現するのは「初期値が少し変わっても現象が大きく変動する」擬似確率的な現象であるという超ニュートン的な自然観が形成されてきた。その結果、このような擬似確率的な現象を呈する系として複雑系の概念が形成されてきた。一方で、社会シミュレーションは「人」と人の集団である「社会」を対象とする。「人」はそれ自体で複雑な系であり、「社会」はその集合体ということで、「複雑系の複雑系」となる。別の観点からいえば、人間は社会の中に含まれるが、個人、集団、地域、国などその中から切り出した主体とそれ以外（環境としての社会）と切り分けることもある。この場合の社会は主体から見れば、そこにある環境である。すなわち、人間とそれを取り巻く環境という見方もできる。ここでは、切り分け方によって、環境という意味での社会という概念が大きく変わってくる。

ここではこのような様々な意味での複雑系の視点から「社会」シミュレーションのアカデミック・ロードマップを展望する。

4. 2. 2 可積分系の理論

複雑系理論の基盤は非線形理論である。ここでは、社会シミュレーションに関わる非線形理論についてのアカデミック・ロードマップを展望する。非線形理論の柱は、可積分系の理論と非可積分系の理論とに分かれる。

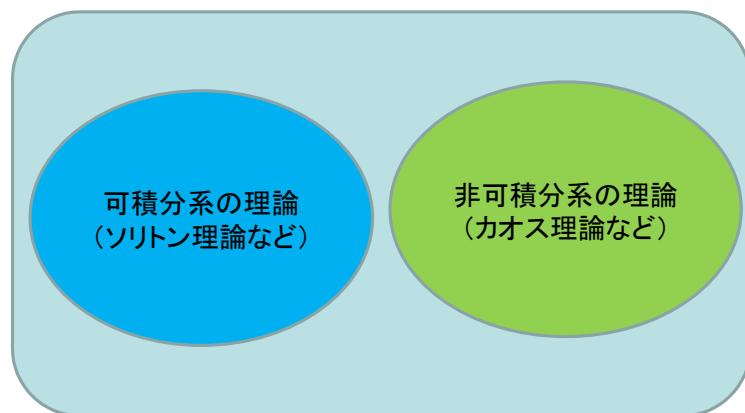


図 4. 2-1 非線形理論の体系

ここでは可積分系の理論について展望する。非線形波動ソリトン（広田, 1992）に代表される、非線形方程式の解が厳密に求められる系を可積分系という。厳密に言えば可積分系とはハミルトン構造があり、作用と角変数が定義できて、線形流に帰着できる系をいう。無限個の積分が存在するなど多くの性質がある。解を数学的に記述する場合、三角関数、ベッセル関数、楕円関数など各種の初等関数や特殊関数が現れるが、可積分系の解として与えら

れる関数がこのような特殊関数となると考えることができる。すなわち、微分方程式が厳密に解けたというときに、解を関数で表すことが多いが、その関数とは性質のよい関数のことと、それは可積分系の解として定義されると思ってよい。可積分系は動く特異点を持たない系としても特徴付けられる。フランスの大尉を務めたパンレベがあり得る特殊関数を決定するときに用いた概念が動く特異点を持たない系という考え方で、これを満たす 2 回の非線形常微分方程式系としてパンレベの I から VI の 6 種類の微分方程式を導いたことは大変有名である。このような意味で、ソリトン系はパンレベテストを通る系であるとも考えられている。すなわち、特殊関数を定義する系は、ソリトン系となると考えられる。

1980 年代にソリトン系の解構造を決定する問題に大きな進展が見られた。ある種の性質を満たす偏微分方程式で表されるソリトン系（以降、連続ソリトン系と呼ぶ）の解全体は無限次元グラスマン多様体となり、ソリトン方程式を従属変数変換したものは、そのプリュカ一坐標をなすという佐藤幹夫の結果である。この佐藤理論は無限次元リー環（カツ・ムーディリー環）の分類、A,B,C,D とその例外環に対応してソリトンの解集合の族は分類され、それ以外にはないという連続ソリトン系を完全に分類した理論である。異なるリー環に属するソリトン系は異なったソリトン間相互作用をする。例えば、有名な KdV 方程式は A 型のリー環に属するが、Kotera-Sawada 方程式は B 型のリー環に属する。この 2 つの方程式のソリトンの相互作用は非常に異なっている。プリュカ一坐標に相当する方程式は双線形性をもち、広田良吾が各種のソリトン方程式のソリトン解を世界で最初に導くときに使われてきた、広田の双線形方程式に外ならない。元の波動関数から、広田の双線形方程式の従属変数へ変換するのは分数形の従属変数変換であり、広田の双線形方程式従属変数を佐藤が τ を用いて表したのにちなみ、 τ 関数と呼ぶ。A 型のソリトン方程式の N ソリトン解は行列で書かれていたが、大石進一はこれがフレッドホルム行列式であることを明らかにした。広田は B 型等のソリトン方程式の解はパフィアンによって表されることを示した。これらはリー環のヤング図形とも関連する。ロンスキヤンを用いてソリトン解を表現することはヤング図形と直接的に関連する。

このように連続ソリトン系は佐藤理論によって完全に分類されたので、研究者の興味は離散ソリトン系に移る。連続ソリトン系の離散化は、まず、空間変数を離散化することから始まった。そして、多くの連続ソリトン系には時間連続で空間離散な微分差分方程式が付随して、その空間連続化の極限で元の連続ソリトン系が得られることが示された。元々微分差分方程式として多くの物理系を記述する戸田方程式から KdV 方程式が連続極限で得られるように、連続ソリトン系の方程式にはその微分差分方程式版が存在して、その連続極限で連続ソリトン系が得られるということが次々と明らかにされた。次に、時間連続で空間離散なソリトン方程式の時間変数も離散化したらどうなるかが興味を持たれた。ここでも、微分差分ソリトン系にはある時間差分空間差分ソリトン系が存在して、その時間連続化の極限で元の微分差分ソリトン系が得られるということが次々と明らかにされた。そして、時間差分空間差分ソリトン系は非常にシンプルな形をすることが示された。時間変数も空間変数も離散なソリトン系を離散ソリトン系と呼ぶことにする。離散ソリトン系は幾つかのパラメータを含む一般的な方程式にまとめられる。パラメータ間の関係を適切に設定し、適切な連続化を行うと、知られている様々な連続ソリトン方程式が現れるということが明らかになると、連続ソリトン系よりも離散ソリトン系が基本的なものではない

かという考え方方が生じた。そのようなときに、さらに次の進展がなされた。波動関数自身も離散化して整数値にしても、ソリトン的な性質を持つ系が得られるという発見である。このような離散化を超離散化という。信号理論でいるところの量子化と同じ考え方である。離散ソリトン方程式を超離散化すると、セルラオートマタが得られる。このセルラオートマタは解が陽に記述できるというような様々な可積分系の性質を持っている。整数値であるので、超離散化方程式を計算機で解いても丸め誤差が発生しない。そして、超離散化方程式を適切に連續化する極限で様々な連續ソリトン方程式が現れることが次々と示されていった。ここに、新しい予想が誕生した。方程式を厳密に解くということは、解を関数で表すことである。ここにいう関数とは、性質のいい関数、すなわち特殊関数と呼ばれる様なクラスの関数である。特殊関数は連續ソリトン方程式の解である。連續ソリトン方程式の非常にいろいろな形をしているが、これを離散化した離散ソリトン方程式は非常にシンプルな形をもつ。そして、さらに離散ソリトン方程式を超離散化すると、セルラオートマタに相当する超離散化ソリトン方程式が得られ、これは波動関数が整数値を取るのでシミュレーションしても丸め誤差が発生しないし、その解構造はシンプルである。まとめると、「方程式を解くことによる人間の理解の根源は超離散ソリトン方程式の解とその構造を求めるに帰着する」。これを高橋大輔らはデジタル解析学と呼んだ。可積分系のシミュレーションの根源的理論としてデジタル解析学を構築することが課題である。解を求めるという人間の認識法は、離散から連續に移行してきた歴史がある。連分数展開などをはじめとして差分系の数学が花開いた時代から、実数の定義がされ、連續の数学が確立されてきた。連續化は離散的な構造を疎視化して近似するという理想化された世界である。世界の物質構造は離散であるというリアリティを失うことの上で、平滑化され理想化された描像を与えるものである。現代の科学は連續的な視点に慣らされている。デジタル解析学はこの流れを逆に推し進めようというものである。コンピュータという武器をもった時代がこのような流れをようやく許し始めたと考えられる。クリスタルという概念やトロピカル幾何学なども超離散化に関連する。また、可積分系以外にも超離散化が可能である。非可積分系の超離散化がどのような意味を持つかも明らかにしなくてはならない課題である。

4. 2. 3 非可積分系の理論

可積分系でない系が非可積分系である。ポアンカレはその深淵を見た。惑星の他体運動などを調べていたポアンカレは2重前近運動を発見した。いわゆるカオスである。そこでは、解はきわめて複雑な構造をし、特殊関数で表されるようなシンプルな形をしていない。非常に複雑なアトラクタが現れて、無限に多くの非周期解がこれに漸近していくが、アトラクタ自身は不安定な無限の点の集合で全体として安定となっているために、どの一点にも収束できず、アトラクタの近傍を彷徨する。非常に小さな摂動でも、一つの解から別の解へ遷移するので、現実に見られる現象は、無限個の非周期解の族によって記述されないと考えることができる。ポアンカレはこのような非常に複雑なアトラクタ（カオスアトラクタ）に引きつけられている無限個の非周期解の族をどのように特徴付けるか考えた。その結果生まれたのが（非可積分系の）力学系理論である。可積分の否定として非可積分系はあるが、それは単に否定として生まれたというよりも、非常に複雑な現象の現れる系として驚きを持って迎えられた。したがって、ここでは、解を関数で表すというアプローチ

チは基本的に有効ではない。

ポアンカレのアプローチは

- (1) 不变量を探して、それをもとに、無限個の解集合を記述する、
- (2) パラメータを含むより高次元の空間に力学系を埋め込み、パラメータの変化による力学系の変化を調べる、

ということであった。別の言葉でいえば、

- (1) 不变量は関数として表されないにせよ、計算できる量で、不变量で系を特徴付ける、

- (2) 分岐理論を構築せよ、

ということであると考えられる。これにしたがって、

- (1) 周期解、準周期解、(不) 安定多様体、ホモ (ヘテロ) クリニック点などが求められてきた。

- (2) 余次元 1, 2 などの分岐理論やホップフ分岐理論、ボゴダノフ・タケンス分岐理論などを始めとする各種の分岐理論が展開されてきた。いろいろな分岐を統一的に扱うために方程式を変換して、ある分岐の起きる標準系に帰着させる標準系理論も発展している、

などの発展がなされてきた。基本的に不变集合は計算可能量であっても、手計算では求められない（関数で表せない）ので、計算機で数値計算により求めることになる。

こうして、ポアンカレによって力学系の理論が創始され、バーコフ、レビンソンなどによってその研究は深められていった。その後、リュエル・タケンスの乱流へのシナリオの提唱、ローレンツによる熱対流のガレルキン近似方程式におけるカオスの発見、上田よし亮における電気回路のカオスの発見（ジャパニーズアトラクタ）、リー・ヨークによるカオスという用語の提案などによって、怒濤のようにカオス理論が展開される。カオス制御、カオス工学などカオスの応用との関係も広く論じられている。

このようにして

「決定的な方程式で記述される系においても、フラクタル構造などをもつ複雑なアトラクタが現れ、現象は無限個の非周期解の間に遷移していくような複雑な振る舞いを見せる」という認識が広く世界に広まった。すでに、ポアンカレが天才により見てきたことが、コンピュータの発展によって万人にも見えるようになったともいえる。ニュートン的世界観である微分方程式の初期値問題の解を関数として表して未来を予測するだけでは不十分で、カオスアトラクタに引きつけられる無限個の非周期解の族によって記述される現象を把握しなくては現象が理解できないという超ニュートン的世界観への転換と呼ぶ人もいる。これを複雑系の理論の創始とも考えることができる。

さて、アカデミックな課題としては、不变集合の計算、分岐現象の計算などを組織的に行える、シミュレータの開発は大変重要である。ドエデルの作った AUTO などは有名であるが、非線形系が与えられたときに、これにカオス理論までを含む力学経理論を適用するための利用者に優しいシミュレータの開発はどんどん進んでいくことと思われる。離散化誤差や丸め誤差などの数値計算の誤差をすべて厳密に考慮に入れて、計算機援用証明を行うための精度保証付き数値計算法（大石, 2000）の研究も非常に進歩したが、これを発展系まで含めて適用できるようにするためにには、まだ長い年月を要すると考えられる。しかし、精

度保証付き数値計算は線形計算に関しては従来の近似計算の手間とそれほど変わらないぐらい高速化が達成されており、この技術がシミュレーション技術の信頼性を飛躍的に増大させることが期待されている。これもデジタル解析学の一分野と思うことができる。コンピュータによって微分方程式の解も作れてしまう訳である。

4. 2. 4 人の複雑系としての理解

以下では非線形理論をベースとした複雑系理論により社会シミュレーションの研究の展開について論じていく。ここでは、まず人の複雑系としての理解について論じる。

人は非常に膨大な細胞の作るシステムであり、細胞から臓器そして人全体へといろいろな階層をまたがる複雑システムである。DNA レベルの解析、DNA からタンパク質の形成への研究などのミクロレベルの研究は化学、生物学、情報学などをまたがる学際的な領域を形成している。また、細胞の化学変化を記述する方程式であるホジキン・ハックスレーの方程式モデルレベルから細胞間の相互作用を調べる階層もある。これらは自然科学的な方法論によって、すでに研究が営々と進められている。臓器レベルになるとそれらは巨大な細胞システムであり、ミクロからシミュレーションできるようなものにならないことがほとんどである。このような場合に、現象論的な数理モデリングを行ってそれを計算機を利用して解析することになる。人体は非常に長い時間を経て進化しているために、カオスなどの非線形現象が巧みに機能に繰り込まれている可能性がある。このように、自然科学的に人を調べるときの基本的道具が非線形理論（複雑系理論）となる。脳の理論などの非線形理論やその展開としての複雑系理論が重要な役割を果たすであろう。人間の根源的理 解はこのような自然科学的なアプローチが不可欠である。この方向での研究は営々と続けられていくと思われる。

4. 2. 5 シナリオの検証としての複雑系理論

社会シミュレーションと自然科学的なシミュレーションの大きな違いとして、自然科学シミュレーションにおいては現象の理解を目標とするのに対して、社会シミュレーションにおいては、あるシナリオの元でのシステムとしての社会の振る舞いを調べることが目的となるところである。避難誘導など比較的小規模なシステムから政策の決定のための社会シミュレーションに至る大規模なシステムシミュレーションに至るまで、あるシナリオの下での人やその総合体としての社会の振る舞いをシミュレーションするのが目的となる。この場合には、完全にはモデリングできていない人のモデルを始めとして、決定できない要素を含む系をシミュレートすることになる。したがって、システムを記述する方程式が存在するわけではなく、シミュレーションによって得られた軌道が正しいかどうかを先驗的に証明する（支配方程式に代入して証明する）ことは不可能に近いと思われる。つまり、非常に特殊な例外を除いて、関数による解の記述は不可能である。ここで特赦な例外というのは、例えば高速道路の渋滞は単純化された理想的な近似の下では KdV 方程式で記述され、その解は厳密に書き下すことができる。

したがって、このようなシナリオ下での社会の振る舞いは、あり得る可能な軌道を予測するシミュレーションということになる。すなわち、一つの軌道を計算することが目標ではあり得ず、いろいろあり得る振る舞いの全体像を描くことが必要となる。この意味では非可積分系に対する力学系理論が社会シミュレーションにおいては大変参考なる。シナリ

オ下のモデルの不変集合を定義し、それらを計算することによってシステムの振る舞いが理解できるようすることが望まれる。また、シナリオ下のシステムをより高次元の空間を埋め込み、パラメータの変化によるシステムの変化を調べることが重要となる。このように、無限個のあり得る軌道を支配する不変量や不変量のパラメータに変化による変化による分岐などを調べることにより、シナリオ下のシステムの振る舞いはかなりの精度で予測される様になると思われる。

あり得るセルラオートマタの振る舞いを眺めて分類するなどのデジタル解析学のアプローチがある。シナリオ下でのあり得る軌道をすべて眺めて観察・分類するためのユーザフレンドリなシミュレーションツールをどのように構築していくかが課題である。

4. 2. 6 帰納的な推論

自然科学は、自然現象を記述する基礎方程式を導き、これをシミュレーションすることによって解を得るというニュートンパラダイムの成功によって大きな成果を得てきた。これは構成要素のモデルを作り、その組合せとして全体を記述して、その関係としての微分方程式を解いて、現象を予測するという演繹的な推論を元にしていた。これに対して、例えば船の制御のように、船本体はモデル化できても、それを取り巻く環境はモデル化が非常に難しい系などについては、船本体の詳細モデルも使わずに、船と環境を全体として捕らえて制御するような方法の方がうまくいくというような例が多く現れるようになった。蓄積されたり、得られるデータによって制御をかけるという方式である。すなわち、データから帰納的推論する方法論の成功である。帰納的な推論を行うのが計算機であるから、それはオートマトンやさらには複雑な計算機構であるが、そのような計算機構に関する解析学を作ることもデジタル解析学の目標となる。社会シミュレーションもそのような観点からデジタル解析学の対象となろう。

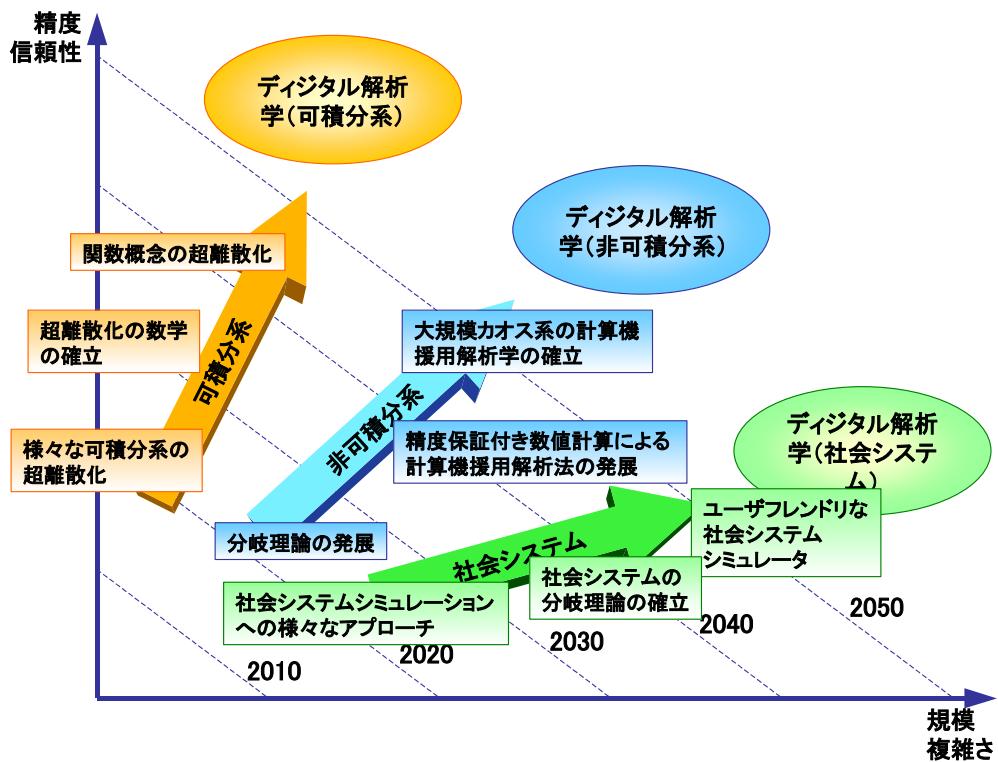


図 4.2-2 複雑系シミュレーション領域のロードマップイメージ

項目	年代	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
デジタル解析学(可積分系)		様々な可積分系の超離散化	超離散化の数学の確立	関数概念の超離散化		
デジタル解析学(非可積分系)		分岐理論の発展	精度保証付き数値計算による計算機援用解析法の発展	大規模カオス系の計算機援用解析学の確立		
デジタル解析学(社会システム)		社会システムシミュレーションへの様々なアプローチ	社会システムの分岐理論の確立	ユーザフレンドリな社会システムシミュレータ		

図 4.2-3 複雑系シミュレーション領域のロードマップ

4. 3 ヒューマンモデリングと社会システムシミュレーション

4. 3. 1 社会システムと人間行動

ヒューマンモデルとは、人々が人間行動について記述、理解、予測する際に、人間行動の着目すべき側面だけを抽出して何らかの形式に表現したものである（古田, 1998）。ヒューマンモデルを用いることによって、人間行動についての記述性、予測性、規範性が向上し、人間行動を技術的に議論することが可能となる。

ところで、現代社会は数多くの課題に直面しているが、その解決のために社会システムのモデルを構築し、これに基づくシミュレーションを行うことが有力な手法になると期待されている。人間は社会システムの基本構成要素であり、人間行動が社会システムの振る舞いを基本的に決定しているので、社会システムのモデリングとシミュレーションにとって、ヒューマンモデルの構築、すなわちヒューマンモデリングは最も基盤的な要素技術である。

社会シミュレーションによる社会課題の解決においては、何らかの適切な社会制度を導入した場合の社会システムの振る舞いを予測し、その効果を何らかの基準に照らして評価し、その結果に基づいて意思決定が行われる。ところが、社会における人間行動をモデル化することはなかなか容易ではない。人々は新しい社会制度の導入など社会環境の変化に対して適応的に反応するために、事前に期待していた効果が得られなかつたり、予想外の新たな問題が発生したりすることがある。また、環境適応的な個々の人間行動が新たな社会環境を形成し、それに適応するために人間行動がさらに変容することもある。このように、社会システムの振る舞いは個人の振る舞いを重ね合わせただけの単純な総和にはならず、非線形で創発的な特徴を示す複雑系である。したがって、社会システムのモデリングにおいては、こうした人間行動の特徴を反映可能なヒューマンモデルでなければ役に立たない。

もともと、ヒューマンモデリングの研究は個人の認知行動を対象として始められたが、それが数人の集団による認知行動に、さらにはより大規模な組織における認知行動へとスコープを拡げてきた。最近では数理社会学、複雑系、ネットワークシステムなどの研究が進むにつれて、社会システムにおけるヒューマンモデリングにも多大の示唆が得られている。こうして、今や個人レベルから社会レベルまでのさまざまなスケールにおける人間行動をモデル化する、マルチスケール・ヒューマンモデリングが可能になりつつある（図4.3-1）。

ヒューマンモデリングには対象とする人間集団の規模に応じて、少なくとも個人、集団、社会の異なる3つのレベルを設定することができる。これは、流体力学のシミュレーションにおいて、個々の分子を追いかけるミクロスコピックなモデル、分子クラスターや仮想粒子を想定するメゾスコピックなモデル、流体力学の基礎方程式に基づくマクロスコピックなモデルの3種類があることに似ている。社会システムのモデリングでは、個人、集団、社会のレベルを包括的、体系的に扱えるヒューマンモデリングの理論と方法論を確立することが最終的な目標である。

そこで、以下ではレベルごとにヒューマンモデリングの課題と展望を述べ、そのロードマップを論ずる。

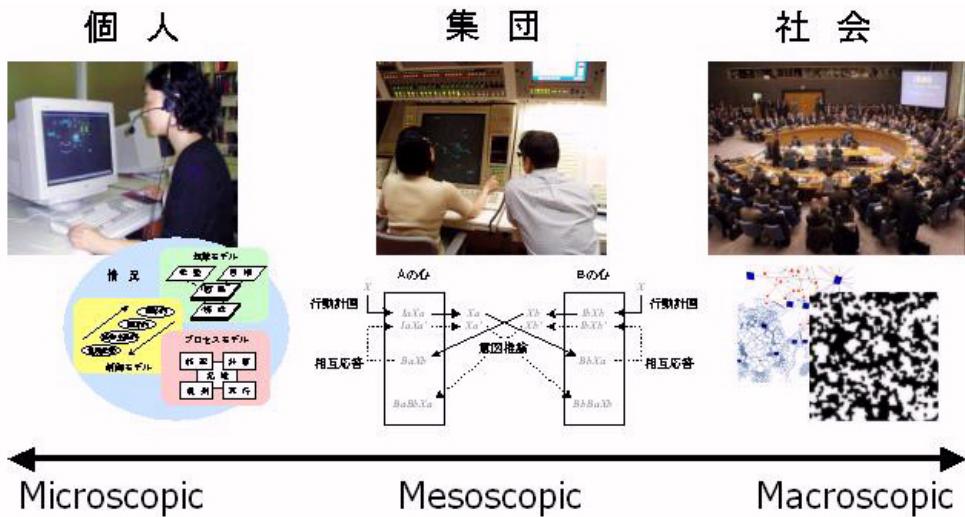


図 4.3-1 マルチスケール・ヒューマンモデリングのイメージ

4. 3. 2 個人レベル

個人レベルでは、一個人の心的世界における行動決定の認知プロセスを問題とする。その際に、モデル化対象者以外の人間はすべて個人をとりまく環境と考えるが、環境の構成要素が人間であるか否かを特別区別しない。すなわち、個人レベルのモデルでは他人のヒューマンモデルを想定せず、他人は機械装置などと同様に、単に環境から情報を取得する場合の情報源か、行動による操作の対象として扱うことになる。

個人レベルにおいてモデル化の対象となるのは、個人の認知プロセスの要素である知覚、記憶、知識、メンタルモデル、状況認識、状態同定、推論、意思決定、行動計画、注意、学習などの諸概念であるが、これらは何れも認知心理学や認知科学の研究テーマである。ヒューマンモデリングでは人間をある種の情報処理システムと見なしてモデル化する人間情報処理モデルが有力である(Card, 1983)。人間情報処理モデルには、プロセスモデル、知識モデル、制御モデルの3つの要素が少なくとも必要である(古田, 1998)。プロセスモデルは人間が行う基本的情報処理に関するモデル、知識モデルは処理される情報の内容や形式に関するモデル、制御モデルはさまざまな情報処理プロセスが実行される順序を決定するためのモデルである。人間行動は、さらに世界の状態、入手可能な知識・情報、直前の行動や過去の経験など、情況(context)と呼ばれる人間行動をとりまくさまざまな条件によって影響・支配される。以上が、情報処理に基づく個人レベルのモデルの概要である(図4.3-2)。

個人レベルのヒューマンモデリングではすでに相当な研究成果の蓄積があり、主な適用分野も電子・情報機器、プロセスプラント、航空、船舶などに及んでいる。このような従来の成果に加え、新しい潮流として以下のような発展の方向性が考えられる。

人工知能や経済学などにおける従来の人間行動のモデルは、主に人間行動が確率統計や論理などの正規な理論に則った合理的な思考に従うという前提の下に構築してきた。しかし、人間は知識の不完全性、思考に利用可能な時間の有限性、また認知的過負荷の回避期待などから、限定された合理性の下での思考に従って意思決定を行うという特性がある。

たとえばリスク認知において、人間は損害の規模と発生確率によって定義される技術的なリスクに基づいて行動するわけではなく、ヒューリスティックスと呼ばれるさまざまな経験的決定方略に従ったり、対象の社会的属性など考慮に入れたりしながら行動することが知られている(Kahneman, 1982)。また、行動経済学の研究成果によると、期待効用の最大化を目指す完全に合理的な経済人の行動ではなく、信頼や公正といった社会的概念を根拠に行動選択を行うことがしばしば見られる。

現実の社会環境における人間行動評価の基盤構築にあたっては、こうした限定合理性に基づく人間の思考のモデル化が必要不可欠である。当面、さまざまな状況におけるこうした限定合理的な人間行動に関する知見の蓄積が進むであろう。その蓄積の上に、よりリアリティのある人間行動のモデルを構築するための原理と方法論の確立が進むものと期待される。その結果として、将来的にはハードウェアとソフトウェアを含むあらゆる人工物に対して、現実的な人間の認知行動特性を考慮し、利用者の意見を反映してその要求に整合するような製品やサービスを提供する人間中心設計が当然のこととして行われるようになると考えられる。すでに、万人に利用容易な製品、サービスを提供することを目標とするユニバーサルデザインの考え方方が推奨されるようになったが、その方法論にはまだ不確定性が大きい。人間の認知行動特性の詳細なモデル化は、こうした分野に大きく貢献することになると期待される。

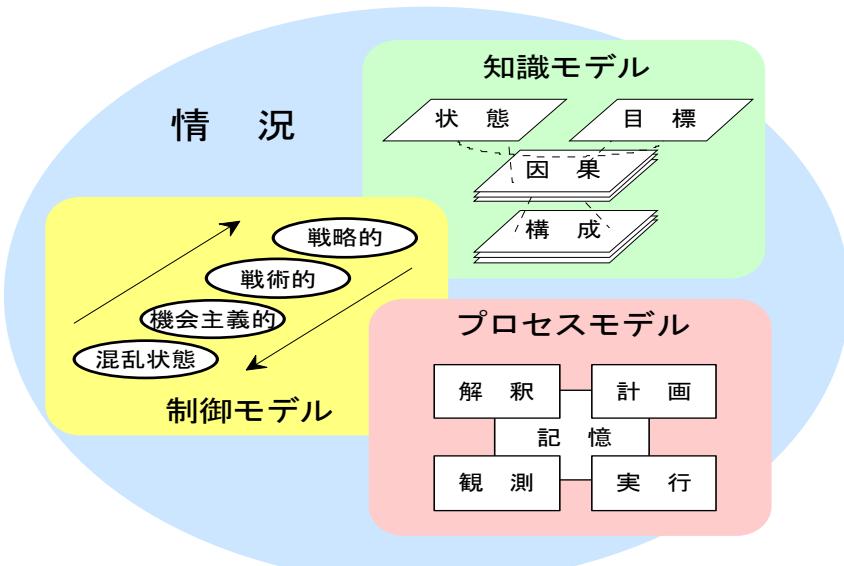


図 4.3-2 個人レベルのヒューマンモデルの基本要素

4. 3. 3 集団レベル

個人レベルのヒューマンモデリングの成果を社会システムのモデルに発展させるためには、さらに集団レベルにおける人間行動のメカニズムを解明してモデル化することが重要である。集団レベルでは、数人から十人弱の規模のチームが協調しながら共通の目標を達成するためにタスクを遂行している場合を想定する。チームメンバーが、相互に仲間を特定の属性を有する個人として識別できる規模の集団である。そのような状況にあるのは、航空機のコックピット、プラントの運転制御室、船舶のブリッジ、病院の手術室や救命救

急センターなど、非常にさまざまな分野に及ぶ。

集団の近似として、人数分だけ個人レベルのモデルを生成して組み合せたモデルを用いることがある。このアプローチによる集団モデリングの試みは、個人レベルよりは少ないものの、これまでにもかなり行われ、上記のような分野で応用されている。

しかし、人間が協調することは、役割分担に従ってタスクを遂行している個人が集った以上の複雑な現象である。人間のチーム協調行動においては、人間自身の心の中にあるヒューマンモデルを用いて、仲間が持っている認識や意図を理解する必要がある。さらに、自分の認識や意図が仲間にどう理解されているのかという、他人の心に映る自分のイメージについての理解も用いられる(Tuomela, 1988)。このような、互いに鏡像関係にある信念の総合的体系を相互信念と呼ぶが、相互信念に基づいて仲間との間に認識や意図を共有することが、人間の円滑な協調行動を可能すると考えられる(図4.3-3)。そして、整合的な相互信念を形成するために、協調行動ではさまざまな発話的、非発話的コミュニケーションが行われる。以上のような相互作用を記述し、考慮する必要のあることが、集団レベルのヒューマンモデリングを個人レベルよりも格段に難しくする。

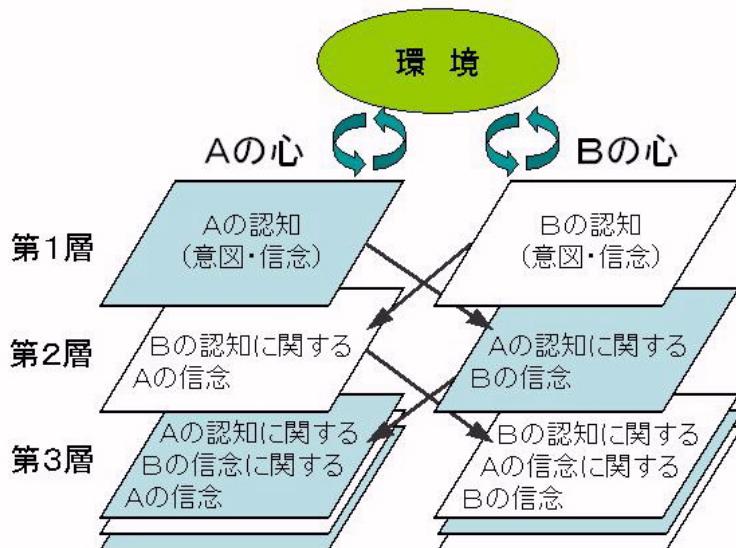


図4.3-3 人間の協調行動を可能にする相互信念のモデル

そこで、集団レベルにおいては個人レベルのモデルが扱う諸概念に加えて、分散認知、知識分布、集団意思決定、相互信念、信頼などの諸概念に関心が持たれている。また、コミュニケーションの果たす役割が決定的に大きく、ヒューマンインターフェースやコミュニケーションネットワークが問題とされる。さらに、組織構造、役割分担、権限、リーダーシップなどの組織管理に関わる事項も考慮しなければならない。これらの多くは、伝統的には集団心理学や組織論が扱ってきた研究テーマである。集団レベルにおいてはその記述とモデル化が必要になり、ロードマップにおける最初の課題となる。

また、こうした相互作用の下でのチームパフォーマンスの評価技術は、ほとんどの分野において未だに十分に確立しているとは言えない。集団行動のモデル化が進めば、特定領域におけるチームパフォーマンスの明確な評価が可能となり、教育訓練などに活用されることになるであろう。

さらに、集団の認知行動に関する研究が進展し、成果が蓄積されるならば、人間の集団行動に関するモデル構築のための理論と方法論の確立が進むと考えられる。現在、さまざまな分野で高度自動化技術の導入が進められているが、その結果として人間が自動化システムの機能や状態を十分に把握できない「自動化の皮肉」(Bainbridge, 1987)と言われる事態が起きており、最悪の場合には重大事の原因とさえなっている。もしも人間集団の協調行動の原理が解明され、設計に活用されるならば、将来は人間と協調作業が可能な人工物、すなわち「気が利く機械（Thoughtful Machine）」が実現するものと期待される。

4. 3. 4 社会レベル

集団レベルよりもさらに多数の人間を扱うのが社会レベルであり、扱う対象の規模と、問題の複雑さを上げるためににはこのレベルにおける研究の進展が必要である。集団の規模が大きくなっていくと、自分以外の構成員を個別に識別するのは不可能になるので、ふたたび特定個人とそれを取り巻く環境という関係でシステムを見る必要がある。しかし、ここでいう環境は機械的環境ではなく、個々が自律的、適応的に自分の行動を決定できる行動主体の集合体としての環境である。すなわち、各人が環境の中で環境適応的に行動すると、多数の個人行動が全体として環境を変化させ、今度はその変化した環境が個人行動に影響を与えるという、複雑系特有の特徴を備えたシステムを考える必要がある。このような社会レベルのヒューマンモデルそのものが社会モデルであるといえる。社会レベルにおけるモデル化の対象は組織、共同体、あるいは社会そのものであり、さらにそれらの集合体である *System of Systems* である。

社会レベルにおいて興味深い課題は、複雑系としての社会が見せる創発的な振る舞いや、時間発展にともなう適応、進化である。こうした振る舞いを左右する社会構造、ネットワークトポロジー、ソシオメトリ、社会知、文化といったところが、モデル化の際に考慮すべき概念である。またモデル化の成果に基づいて社会を変革するという応用面からいえば、合意、集合的決定、マーケット、経済などの分野に興味が持たれる。モデル化の有力なアプローチとしては、マルチ・エージェント・モデル、人工市場、人工社会などがある。統計物理学や理論生物学における最近の複雑系の議論を除けば、これらの概念は伝統的に社会学、経済学が扱ってきた研究テーマで、その研究成果がモデル化の基礎となる。

近年、マルチエージェントシステム、人工社会、人工市場などの技術による研究が盛んに進められている(アクセルロッド, 2003)。その応用目的は、秩序あるマーケットシステムの実現、マーケットメカニズムを活用した社会課題の解決、ビジネスのイノベーション、サービスデザイン、社会的合意形成の促進などである。これらの研究は比較的新しく、まだ本格的な社会実装に至っているとはいがたいが、今後の発展が期待される領域である。

従来研究で用いられている個々のエージェントや相互作用のモデルは、まだ比較的シンプルな理論に基づくものに限られている。今後、個人レベル、集団レベルにおけるヒューマンモデリングの研究が進み、モデルが精緻化されるにつれて、その成果を活用してよりリアリティをもった社会モデルと、それを用いたシミュレーションが可能になるであろう。また、大規模分散コンピューティングなどによって計算パワーの向上が期待できるので、扱う社会の規模についても大都市、地域、国家などを丸ごと扱うことが可能になるであろう。構造計算などの分野では今や1億自由度のシミュレーションが可能になっており、日

本の全人口を考慮したシミュレーションも早晚可能になると期待される。

こうした成果に基づき、社会制度設計を行う際に社会シミュレーションを用いて事前に問題点を把握し、最適な制度設計を予見的に行う社会デザインが可能になると期待される。社会システムは複雑巨大システムであり、その使用環境も設計目標も現実には事前に予見できないことが多い。また、社会的意意思決定においては多数の関係者の利害を調整し、合意を形成するような仕組みが必要である。このような、事前に予見不可能な使用環境、設計目標への対応、多数の利害関係者の参加に基づく意思決定などを伴うシステムは創発・共創システムといわれ、従来の環境、目標が所与のシステムの設計原理が通用しないシステムである。創発・共創システムの設計原理としては、進化や発生など、生物の規範を参考とした生命知コンピューティングが有効ではないかと期待されている。社会レベルにおけるヒューマンモデリングの進展と、こうした創発・共創システムの設計原理の確立が実現するならば、社会シミュレーションを活用して社会システムを現在よりもはるかに合理的、科学的に設計することが可能となり、世界人類にとって福祉をもたらすことになるであろう。

4. 3. 5 ロードマップのイメージ

以上では、個人、集団、社会の3つのレベルごとに、ヒューマンモデリングの概要とロードマップについて述べた。最後に、これらの相互の関係を述べることによって、ロードマップの全体的イメージを概観する。

個人レベルにおけるヒューマンモデリングの方向性は、実際の人間行動に対するリアリティの追求である。個人レベルのモデルをより精緻で詳細にすることによって、そのモデルを用いて行われるシミュレーションの予測精度が向上し、得られた結果の信頼性も向上する。

これに対して、社会レベルにおけるモデリングの方向性は、規模、複雑さの拡大である。社会レベルでは、個人レベルにおいて重要であった詳細な認知行動プロセスをモデル化することを一部あきらめざるを得ないかもしれないが、非常に多数の行動主体が織りなす相互作用から発現する社会システムの複雑な挙動の解明に重点が置かれる。その結果、将来は大都市や国家といった非常に大規模なシステムのシミュレーションも可能となろう。

集団レベルのヒューマンモデリングは、両者の中間的な方向に発展させる必要がある。複数の行動主体を扱うという点で、個人レベルよりも規模、複雑さとともに大きいが、相互信念など、社会レベルよりも精緻で高精度な相互作用をモデル化しなければならない。

以上のような個人、集団、社会のレベル分類は、ヒューマンモデリングにおいて考慮が必要な諸概念を整理し、理解しやすくするための便宜的なものであり、レベル間の境界は厳密なものではない。また、複数のレベルが階層構造的に表れるようなモデルもあり得る。ただし、すべてのレベルにおいて最も詳細なモデルを組み合せることは、計算パワーの点で困難であるばかりでなく。多くの場合にはモデルを複雑にしそぎて、問題の本質を見えにくくする恐れがある。したがって、利用目的に整合した適度なレベルと複雑さのモデル化を行うことが重要になる。ヒューマンモデルの活用が進むにつれて、こうしたモデル構築のためのノウハウの蓄積も必要である。

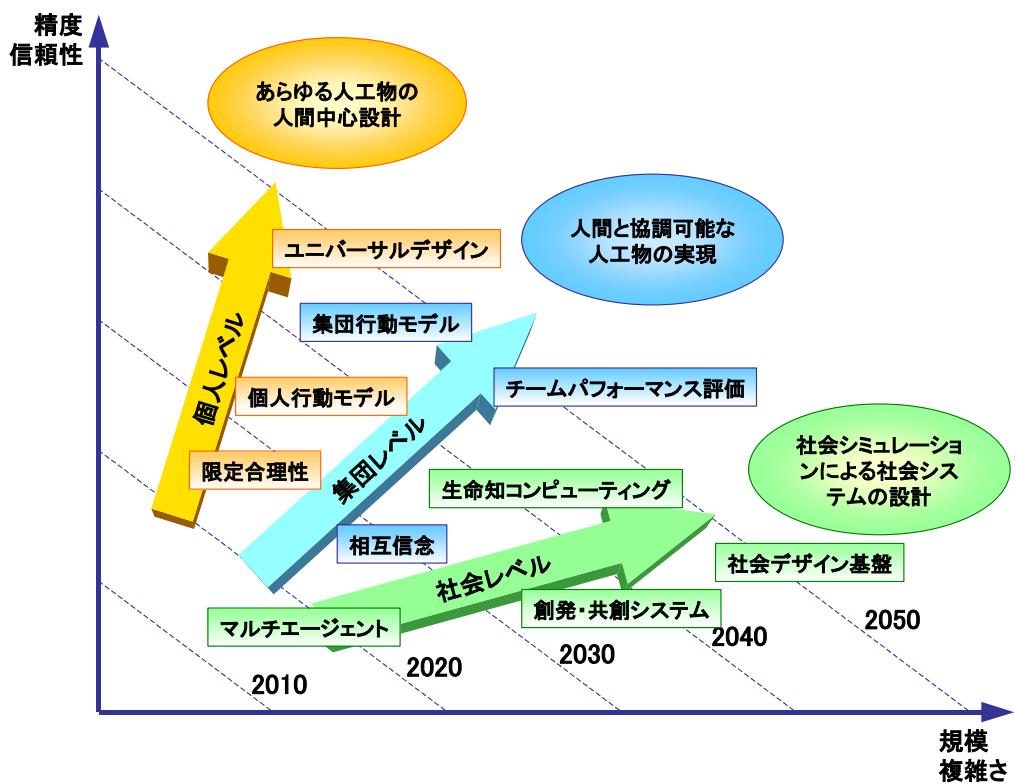


図 4.3-4 ヒューマンモデリングのロードマップイメージ

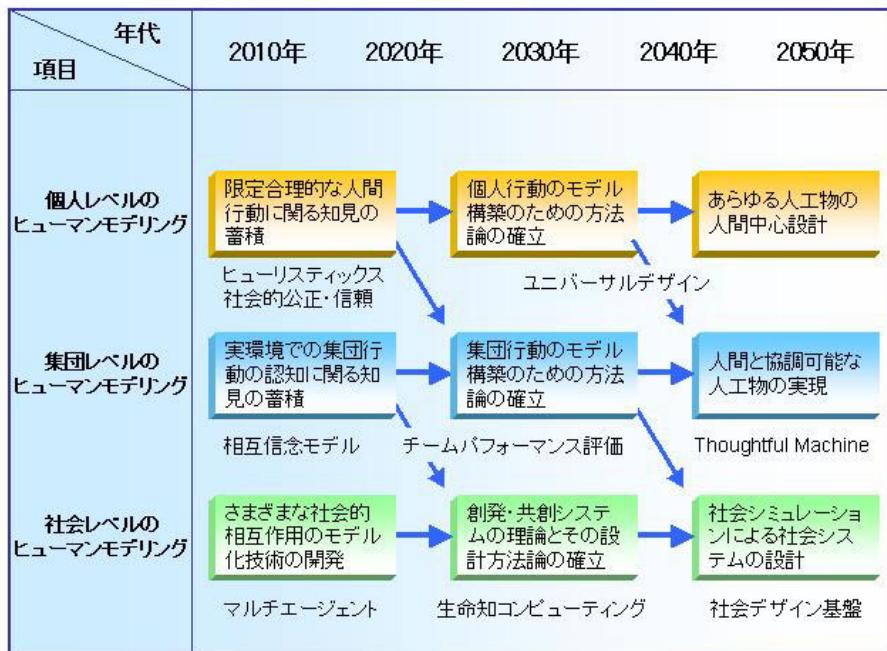


図 4.3-5 ヒューマンモデリングのロードマップ

4. 4 社会システムシミュレーション

4. 4. 1 社会システムの分析・設計におけるエージェント・ベース・モデリング

従来の社会システムの研究においては、歴史的な事実に注目して文献を調査するという事例分析による接近法か、もしくは、対象をモデル化し数理的・統計的に扱う接近法が中心であった。たとえば物理学と統計的な分析法を金融の問題に適用したものが金融工学である。金融工学では、したがって、自然界に存在する物理的現象と同様に、市場は所与のものと仮定されている。しかし、この仮定は一般に成立しない。市場は、それを構成する個々の人間の意思と行動に基づいて構成されるものであり、また、市場での取引きの法則は、自然現象とは異なり、市場を構成する人間の意思によって設計されるものだからである。

一方、科学的研究の成果は、他の研究者たちに理解可能な形で伝達されること、かつ、実験を伴うものであればそれが再現できることが要請される。このような社会システムの分析・設計に伴う困難を克服する手段としてのシミュレーションの役割に注目する。このための新しい学際的な方法としてのエージェント・ベース・モデリングの考え方を紹介し、それに基づいたマップを示す。

エージェント・シミュレーションでは、「エージェント」と呼ぶ内部状態と意思決定・問題解決能力、ならびに通信機能を備えた複数の主体によるボトムアップなモデル化を試みる。そしてこのインタラクションに基づく創発的な現象やシナリオを分析しようする。

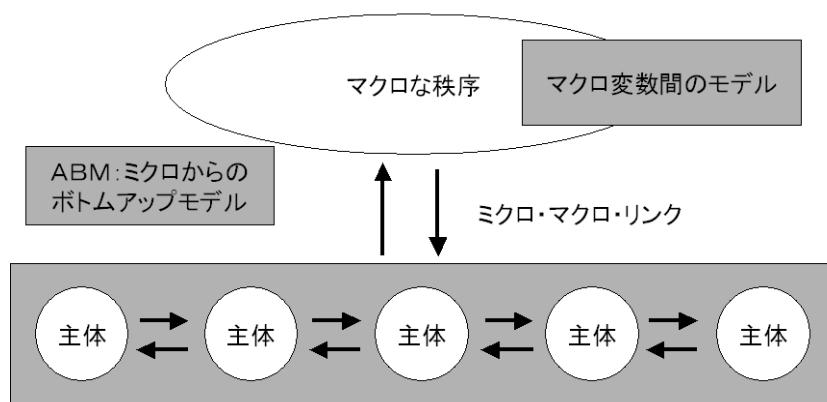


図 4. 4-1 エージェント・シミュレーションの構造

特に、図 4. 4-1 に示すような、エージェント間のミクロレベルのインタラクションで創発するマクロな現象、ならびに、それがトップダウンにエージェントに影響を与えるというミクロ・マクロ・リンクの現象の分析に有用である。

4. 4. 2 社会システムの特性とシミュレーションの位置づけ

従来の離散事象シミュレーションでは、「確率変動をともなうシステムに対して、i) システムのふるまいを模倣する確率モデルをコンピュータ上に作り出し、ii) そのモデルに対して思考実験を繰り返し行って、iii) 得られた実験結果を統計的に解析してシステムの性能を推定する」という方法がとられる^(OR 学会誌, 2001)。正しい評価結果を得るためにさ

さまざまな工夫と研究とがなされている。それに対し、我々は、モデルとシミュレーション結果に対してさまざまな解釈の余地を残しておきたいと考える。

エージェントに基づくシミュレーションの特徴は、i) ミクロ的な観点においてエージェントが(個別の)内部状態を持ち、自律的に行動・適応し、情報交換と問題解決に携わる点、ii) その結果として対象システムのマクロ的な性質が創発する点、iii) エージェントとエージェントを囲む環境とがミクロ・マクロリンクを形成し、互いに影響を及ぼしあいながら、システムの状態が変化していく点にある。エージェントの内部のデザイン、インタラクションの方式、ミクロ・マクロリンクの形成が、システムの評価以前に大きな問題になる。ここで、モデルの理解性・伝達性・正確性といった側面で大きな問題が生ずる。

これに対するひとつの回答が、「ばかばかしいほどモデルを単純化せよ(Keep It Simple, Stupid!)」という KISS 原理である。Axelrod (Axelrod, 1997a) は彼の著書において、次のように主張している: 「エージェント・ベース・モデリングはシミュレーションの形を採用するとはいえ、特定の実験的な応用例を正確に描いてみせるのが目的ではない。それよりも、さまざまな応用例に表れる基本的なプロセスについての理解を深めるのが目的である。」もちろん、KISS 原理だけでは現実社会の複雑な現象のモデル化は不可能である。

これらの研究・開発は、本質的に学際的・学問横断的であり、理論、シミュレーション、実験と実践の 3 つのアプローチを融合することが重要である(図 4.4-2)。以下では、社会システムシミュレーションに関する代表的な意見をとりまとめる。いずれの論でも、「第 3 の方法」ということばが重要な概念となっている(図 4.4-3)。

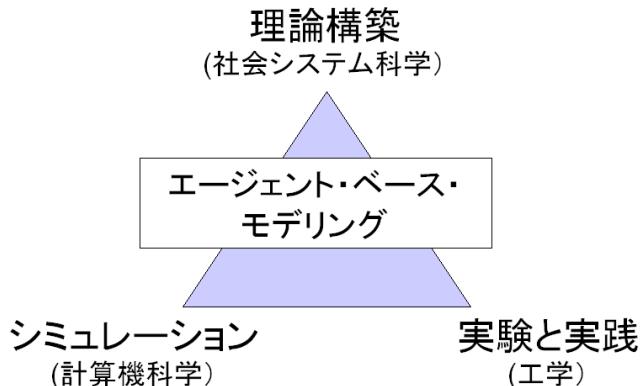


図 4.4-2 エージェント研究の三角形

吉田(吉田, 1999)は、「物質エネルギーと法則」という従来の科学のパラダイムに加えて、21世紀の科学として「記号情報とプログラム」という「大文字の第 2 次科学革命」が進行していることを主張する。そして、前者を広義の物理科学、後者を広義の情報科学と呼び、情報科学の原理の 1 つにコンピュータシミュレーションを位置づけている。また、科学的な態度を「対象のあるがままの姿を記述・説明・予測する」ための「認識科学」と「対象のありたい姿やあるべき姿を設計・説明・評価する」ための「設計科学」とに分類している。

シミュレーション研究においても、認識と設計の両方の立場がある。まったく同じシミュレータを用いたとしても、対象分野の現象を知ることを目的とするならばそれは認識科

学の立場である。繰り返し囚人のジレンマゲームでどのような戦略が創発するかを観測するのはこのような立場である。シミュレーション結果を直接的・間接的に利用することを目的とするならばそれは設計科学としての立場である。エージェント・ベース・モデリングによって新商品の売れ行きを予測するのはこれにあたる。

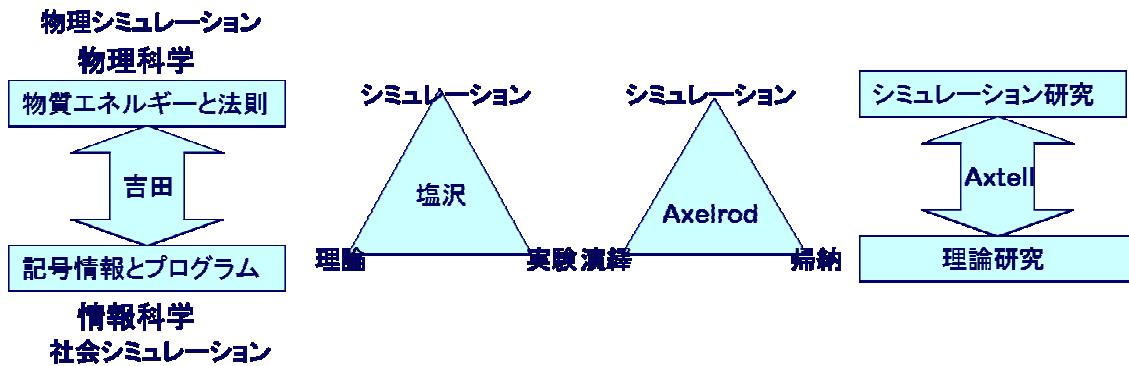


図 4.4-3 社会システムシミュレーションの第3の方法の位置づけ

塩沢^(塩沢, 2002)は、シミュレーションを第3モードの科学手法と位置づけている。これは次のような意味である。科学は、従来、「理論と実験」という二つの研究方法によって進歩してきた。近代物理学がその典型である。しかし、複雑な事象・システムを対象とする学問分野では、二つの研究方法ではたりない。多様な科学分野において複雑系の考えが生まれてきた背景にはこうした事情がある。理論と実験にならぶ第三の科学手法(第三モードの科学手法)が提案されなければならない。それは数学的な解析がうまく進められない複雑な相互作用のある現象について、なんとか確実な知識をえようとする試みである。現在、それはほぼ全面的にコンピュータ実験という形を取っている。」

Axelrod (Axelrod, 1997b)は社会科学におけるシミュレーションを別の意味で第3の方法に位置づける。第1、第2の方法は、演繹と帰納である。「シミュレーションは演繹と同様に明示的な仮定のもとに始まるが、定理を証明するかわりに、帰納的に分析可能なデータを生成する。しかし、典型的な帰納法と異なり、そのデータは実世界を計測して得たものではなく、あらかじめ規定されたルールから生成されたものである。帰納ではデータのパターンを見出すことができ、演繹では仮定から導ける帰結を見出す。シミュレーションは直観を養う思考実験の道具である。」

さらに、エージェント・ベース・モデリングのためには、モデルをプログラムコード化すること、結果を分析すること、結果を共有すること、モデルを再現することが科学的研究への重要なステップであると主張している。

Axtell (Axtell, 2000)は、エージェント・シミュレーションを社会科学への適応する際、これまでの理論研究が捨象していたさまざまな要素をひろい上げができる事を示唆している。たとえば、経済理論は合理的な経済主体の上に最適化された均衡状態の存在を想定するが、エージェント・シミュレーションでは、限定合理的なエージェントを直接に記述・分析の対象とすることで、合理的主体という仮説がどこまで緩和可能かを検証することができる。また、最適均衡・準最適均衡・その他の均衡状態の存在・到達可能性・到達

経路依存性を直接取り出すことができ、さらに均衡状態以外の超長時間緩和仮定・動的安定、永続的不安定も分析の対象とできる。

4. 4. 3 社会システムシミュレーションへの要請

社会現象をより深く理解するためには、KISS 原理を逸脱することが必要である。しかし、実世界にあわせてむやみに複雑なモデルを作成すればよいというものではない。社会シミュレーションの特定について、以下のような議論がなされている。

(1) パターン指向モデリングの概念

単純なモデルでは、生態系や市場経済といった複雑なシステムの性質を予測したり、説明することはできない。しかしながら、複雑なモデルを作成してしまうと、今度は、その妥当性の検査や、数学的な分析は不可能になる。このような状況に対して Grimm 等(Grimm, 2005)は、パターン指向モデリング (Pattern-Oriented Modeling) という手法を提案している。これは、モデルにおいて、問題記述のレベルから結果として得られたログデータまでのさまざまなレベルにおいて、どのようなパターンが創発しているかを観測することで、モデルの構造を識別したり、結果に決定的な影響を与えるパラメータを同定することを目的としている。社会システムシミュレーションに対する生態学的な接近法ということができ、著者等は、この手法は複雑系に関する説明モデルを設計・開発するための一般的な方法であると主張している。

(2) 計算文化力学の概念

計算論的な観点から社会科学の諸問題に接近しようという研究分野として、計算的文化モデリング (Computational Cultural Modeling)、計算的社会行動モデリング (Computational Social and Behavioral Modeling)、あるいは計算的文化力学 (Computational Cultural Dynamics) という用語が使われるようになってきている(IEEE, 2008)。

この方法論では、数理的方法と社会プロセスや人間行動を解析するための手法とを併用して用いる。そして、社会の安全、政治的安定性、法と秩序、社会文化的変化などの分野において、現象の分析と意思決定を援けるための概念と技術を提供しようとしている。

IEEE Intelligent Systems の特集記事(IEEE, 2008)では、政治的暴動、社会的衝突、文化の変化などの社会学的研究に対して、研究例が報告されている。

以上のような研究の動向を踏まえて、以下では社会システムシミュレーション実験、それも特に、エージェント・シミュレーションを行う場合の要請をとりまとめた(寺野, 2003)。

① 現実と整合的な結果が得られること

自然現象と異なり、社会現象には再現性がない。しかし、金融工学や経済学をはじめとして、現象を説明するための確固たる理論体系は存在する。シミュレーションでは、これらの理論や現実の現象と整合する結果を示せることが重要である。

② 既存の数理理論では説明が困難な現象を示せること

さらに、第一原理の存在を仮定するような既存の数理理論では説明が困難であるが、実際に存在する現象が限定的な意味において再現されることが重要である。たとえば、株価が正規分布をしていると仮定すると、株価の乱高下現象はどうい発生することがありえない事象である。実際に株価の分布はすそ野が長いファットテールの形状である。このよ

うな現象は、従来の統計的な理論では説明が難しいが、ミクロなエージェント間のインタラクションを表現したシミュレーションモデルでは容易に再現できる。さらに、これに対しては、経済物理学からの新しい解釈や説明がなされている。エージェント・シミュレーションはこのような新しい解釈のきっかけになる。

③ シミュレーション結果に満足できること

社会現象のシミュレーション研究においては設定すべきパラメータ数が非常に多くなる。このため、パラメタチューニングによって思い通りの結果を出すことも可能である。モデル作成者が満足できないような結果は意味をもたない。そして、得られたデータを謙虚に分析することによって、結果が満足できる理由が明確になる。

④ 結果の妥当性を評価できること

シミュレーション実験を実行すれば、必ずなんらかの結果は出る。しかし、その妥当性を示すことはきわめて困難である。シミュレーションのもとになった理論、エージェントに実装した機能の根拠、プログラムの正しさ、結果の感度分析などを厳密に行わないと、説得力に欠けるものになる。

⑤ 既成の数理理論で説明困難な課題に対して接近できること

既存の経済学に多く見られるような数理モデルは、エージェントの行動や意思決定に関するきわめて厳格なある種の合理性を仮定して作られている。ところが実際の現象では、その合理性の仮定が崩れる場合が多い。そのような性質をもつ課題に対して、シミュレーションによって系統的な説明が与えられ、隠れた条件が明確になることもある。

4. 4. 4 社会システムシミュレーションの事例

最近のエージェント・ベース・モデリングの研究の中から得られた興味深い現象をいくつか紹介する。表 4.4-1 には、その中で主要な結果をキーフレーズの形にまとめて示した。これは、文献（寺野, 2003; 寺野, 2004）を補ったものである。これらのうち主要なもの概要を以下で説明する。

（1）争いの発生しうる状況でも協力することが重要である（Axelrod, 1997a）

繰り返し囚人のジレンマゲームにおいては、「通常は「協力」し、相手に裏切られた場合に限って「裏切る」という単純な戦略がきわめて有用であることが判明している。しかも相手とのやりとりにいろいろな制約条件を加えてもこの結果はほとんど変わりがない。

争いが発生しそれが有利に働きそうな状況においても、相互に協調するという考え方は重要であり、それが計算組織理論による比較的単純なシミュレーションによって確認できる。

（2）文化は伝播するが、文化の棲み分けも発生する（Axelrod, 1997a）

人々は互いに性格が似ていればその習慣や文化を受け入れやすい。これによって、自らの考え方方が徐々に変化していく。こうして形成される同質的なグループの存在はしばしば体験されることである。これが文化の伝播である。いっぽう、しかしながら、世代の差、宗教の違いなど人々の（ちょっとした）考え方の違いにより、グループ間に理解しがたいほど深刻な壁が発生することもよく知られている。これが文化の棲み分けの現象である。

このような現象もまたエージェント・シミュレーションによって確認することが可能である。これによって、隣同士の関係から国家のレベルに至るまで、大小さまざまなグル

プが形成されること、いったんグループ間の争いが発生するとそれが信じられないほど長く深いレベルまで継続してしまうこと、いったん形成されたように見える同質なグループがいつのまにか分裂してしまうこと、などの現象が説明できる。

表 4.4-1 エージェント・ベース・モデリングから得られた興味深い現象

-
- ・社会的インタラクションからグループリーダがうまれる
 - ・敵対するエージェント環境の中からも協調活動がうまれる
 - ・一般にフリーライダーは秩序を乱すが、情報財については別である
 - ・知識は共有すべきである
 - ・経営学の解説どおりに優良企業はできない
 - ・リスク管理が世をあやうくする
 - ・貨幣は信用以外のなにものでもない
 - ・ゆとり教育は間違っている
 - ・人間は間違うがカシコイ
 - ・強い機械学習エージェントは作れない
 - ・全員が賢いカーナビをもってはいけない
 - ・規制のない状況において金融市場は乱高下する
 - ・なにもしないことも金融市場ではいい戦略である
 - ・牧羊犬でも複雑系は御せる
 - ・流行はカオスをもたらす
 - ・ABM は社会アンケートを補完することができる
 - ・社会ネットワークはマーケティング戦略に大きな影響を与える
 - ・ABM とゲームを融合することで新たなビジネス教育が可能となる
 - ・ABM で最適な人事政策をみつめることができる
 - ・中小企業ものづくりではコーディネータが必要である
 - ・ABM による避難シミュレーションは思わぬアイデアをもたらす
 - ・社会規範は行政組織の間接的な関与で整備することができる
 - ・マイレージポイントシステムは集中化する
-

(3) 免疫の仕組みで病気の伝染を防ぐことができる (Epstein, 1996)

免疫の仕組みをエージェント・シミュレーションで模擬することが可能である。ここでパラメータを調整すると急激に病気が伝染するシナリオとそうでないシナリオを自由に再現できる。特に、従来の研究方法では難しかった、「拡散による連続的な菌の伝播」と「保菌者の移動による離散的な菌の移動」とと同じ考え方のもとに分析できるのは大きな利点である。このような結果を受けて、SARS などの伝染病の発生と抑制、(サイバー) テロリズムの問題などが最近、エージェント・ベース・モデリングの研究資金のもとになってきている。

(4) 放任すると市場は乱高下す(塩沢, 2006; 高橋, 2007)

株式を含む金融市場の状態を解析し、その予測を行うことは非常に重要である。金融工学は、そのために発展してきたと言ってよい。U-Martでは、参加したエージェントが市場で取引きを行うことによって価格を形成し、その価格がまたエージェントの行動に影響を与えるというミクロ・マクロリンクが存在する。

実際の市場ではちょっとした情報がきっかけとなって市場が乱高下する現象がしばしば発生する。取り引き額の限界に関する制約が存在しない場合は、U-Martでも似たような乱高下が発生する。エージェント・シミュレーションはしばしば現実を先取りする。制約の及ばない領域では、放任することがシステムの乱れを増長させることもある。

(5) 集団思考は発生するが抑制することもできる(倉橋, 1999)

過度な楽観論や集団固有の道徳への無批判、満場一致の幻想などは集団思考の症候であり、その結果稚拙な集団意思決定が引き起こされる。

このような「集団思考」現象は我々のシミュレーションでも発生する。そして、リーダー存在性の低い社会では意見の偏りが抑制される。これは、リーダーの存在が「集団思考」現象における斉一化の圧力を抑制できることを示している。ネットニュース社会においてより急激な意見の偏りが生じることがあるのは、この「集団思考」現象が生じているためと考えられる。

(6) 情報フリーライダーは生き残る(倉橋, 2000)

今日の情報社会の中では、形の無い情報も貴重な資源となっている。この情報資源は、分配によってただちに減るものではないが、その取得コストや分配コストは発生する。このため、情報資源の分配においても、互惠的な規範は崩壊しやすいはずである。そのきっかけがフリーライダーの存在である。

このような共同分配規範の安定化と崩壊のプロセスをエージェント・シミュレーションによって分析した。これによると、直接的な罰則を与えない不寛容な者の存在が共同分配規範の崩壊を防ぐこと、さらに、情報の分配による知識の共有の効果が大きいために、フリーライダーを故意に抑制しなくとも、社会全体の知識量が増加することもわかった。

(7) ゆとり教育は子供をダメにする(Arai, 2005)

ゆとり教育の導入で子供の学力が低下しているらしいことは、最近、マスコミでよく議論されている。我々は、学習者の意欲、所得格差、与えるカリキュラムをパラメータにしたエージェント・シミュレーションを用いてこの現象を分析した。

それによると次のような興味深い現象が観察された。「ゆとり教育」によって学習者全体の学力が低下する。特に、中位・下位の社会階層において学力低下が著しく、上位層との学力格差が拡大する。また、「ゆとり教育」によって受験競争が緩和されても、その恩恵を受けるのは上位層が多い。格差の原因は、階層を特徴づける初期値の学力や財産の多寡ではなく、学習者の課題達成への行動ルール、すなわち学習意欲が大きな影響を与える。

4. 4. 5 ロードマップのイメージ

以上の考察に基づいて、ロードマップのイメージと今後の技術動向について考察する。マップを作成するにあたって、問題の複雑さを年度として横軸にマップし、精度・信頼性を縦軸とした。さらに、社会システムシミュレーションの利用レベル、シミュレーション

の目的、使われる技術や手法の観点から分類を行っている。

まず、社会システムを利用するレベルとしては、個人レベル、企業・組織レベル、社会・政策レベルの分析・設計・意思決定問題の3つを想定する。これらは厳密に分類できるものではないが、政策レベルのシミュレータがそのまま個人や組織で利用できると仮定するのは不自然である。個人レベルでは、システムの規模や複雑さはあまり大きくならずに精度や信頼性が向上していくものとした。社会・政策レベルでは、これとは逆に、システムの規模や複雑さは大きくなり、一方で精度・信頼性の向上には限界があると仮定した。企業・組織レベルでは両者の中間を仮定した。

次に、シミュレーションの目的として、対象タスクドメインをあるがままに模擬する As-is レベル（「現在の金融市場はこのように変化している」など）、対象に何らかの仮説を加えて模擬する As-if レベル（「公定歩合を α に設定したら金融市場はこのようになる」など）、過去に遡って事象の可能性を探る Would-be レベル（「公定歩合を β に設定してたら金融市場はこのようになっていたはずだ」など）、対象をどのようにしたいのかを設定してシミュレーションを行う Will-be レベル（「金融市場を安定させるために公定歩合 γ を定める」など）の4つにわける（図 4.4-4）。そして、この順にいっそうの規模・複雑さ、および、精度・信頼性が必要であるとした。これらの進展を支えるには、シミュレーションのシナリオを生成・分析・評価する方法の確立が重要である。

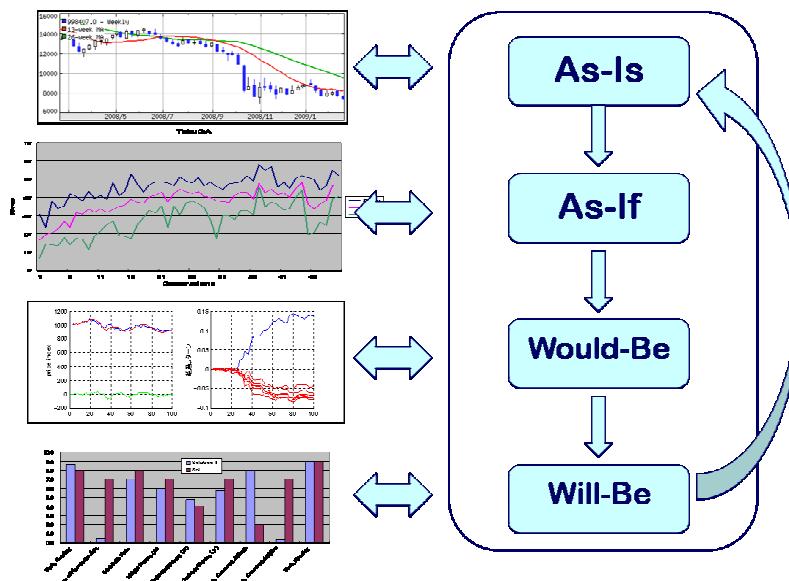


図 4.4-4 社会システムシミュレーションの目標レベル

図 4.4-4 では、経済現象などの現実に対して、さまざまなレベルにおいてそれを忠実に再現しようという As-is レベル、それにさまざまな要因を加味して得られる As-if レベル、さらに、過去の複数のシナリオの評価を行う Would-be、将来の意思決定の参考にするための Will-be レベルへとモデルが変化する様子を示した。このサイクルが繰り返されることから新しい社会システムシミュレーションの方法論が確立すると考える。

最後に、シミュレーションで使われる技術・手法として、現在のものに加えて、対話

型シミュレーション、参加型シミュレーション、パラメータやエージェント数が多い大規模シミュレーション、多くのシナリオを分析するための並列型シミュレーションを加えた。現在の技術レベルでもこれらの考え方についたがってシミュレーションモデルが作られていくが、この順についたがって、技術レベルが向上していくものと仮定している。

個人が利用する社会システムシミュレーションのレベルでは、認知モデルや社会行動モデル、サービス設計レベルの進展による、情報推薦・家計・医療などのレベルから普及がはじまり、流行分析や集団行動のシミュレーション、さらには、さまざまな問題を扱う社会行動レベルの分析まで技術が進歩すると考えられる。

組織が利用する社会システムシミュレーションのレベルでは、人工知能や認知モデル、社会行動モデル、シナリオ生成・分析・評価の方法論の進歩とともに、現在のデータマイニング、ウェブマイニング、知識発見への利用から、マーケティング全般、企業連携や企業金融の問題への拡大が見込まれる。さらには、それらを統合した組織行動分析用のシミュレーションに発展すると考えられる。

社会が利用する社会システムシミュレーションのレベルでは、最終的には政策意思決定にこのような技術が積極的に利用されることが重要である。それ以前の段階として、分散知能や人工知能の概念に基づく、社会ネットワーク分析シミュレータやマーティングシミュレータが普及すると考えられる。また、これらの発展として、経済シミュレータが発展すると考えられる。

4. 4. 6 まとめ

ここでは、社会システムシミュレーションの動向について、エージェント・ベース・モデルリングの概念を中心に述べた。そして、社会現象におけるシミュレーションの位置づけについて、最近の議論を紹介するとともに、ロードマップの基本的な考え方を説明した。今後、このようなシミュレーション手法の普及によって、社会システムを分析する手法としてエージェント・シミュレーションが現在の統計分析の手法と補完的な位置づけに発展し、社会システムの設計・分析・評価に積極的に利用されることを期待する。また、社会システムに関連する決定の報告や発表には、従来の紙によるレポートに加えて、シミュレータが付随し、誰もが、シミュレータを動かした上で、その評価ができるような体制が望ましいと考える。研究論文や政策意思決定報告は動くものへ変わるべきである。

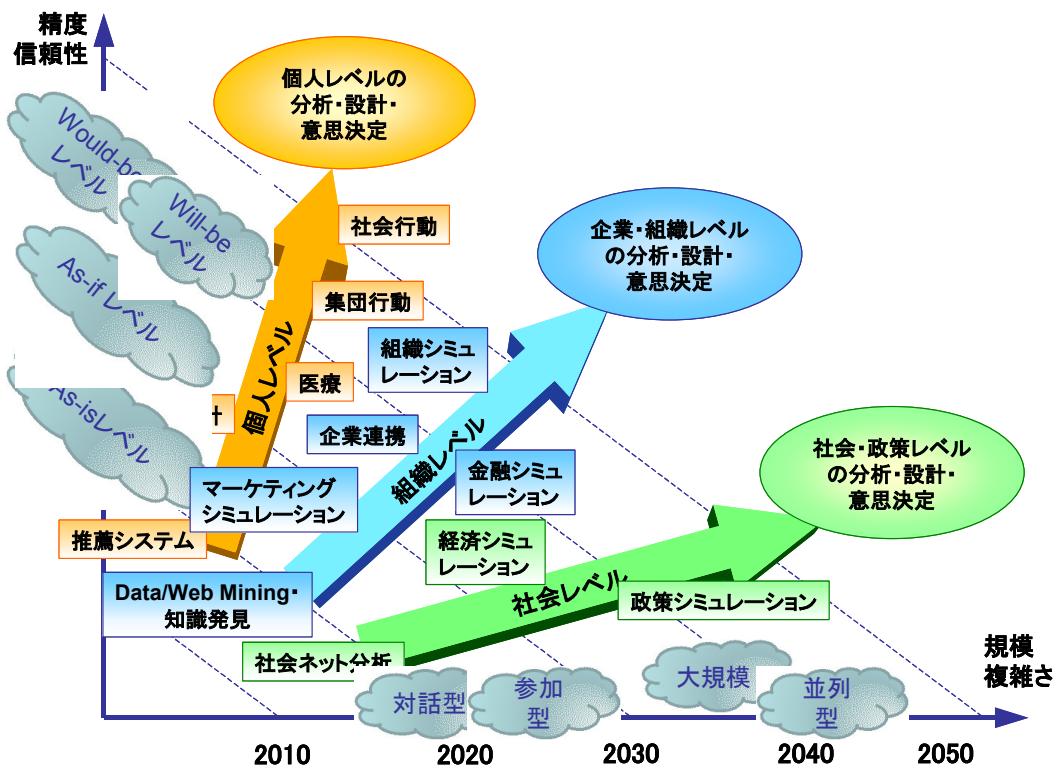


図 4.4-6 社会システムシミュレーションのロードマップイメージ

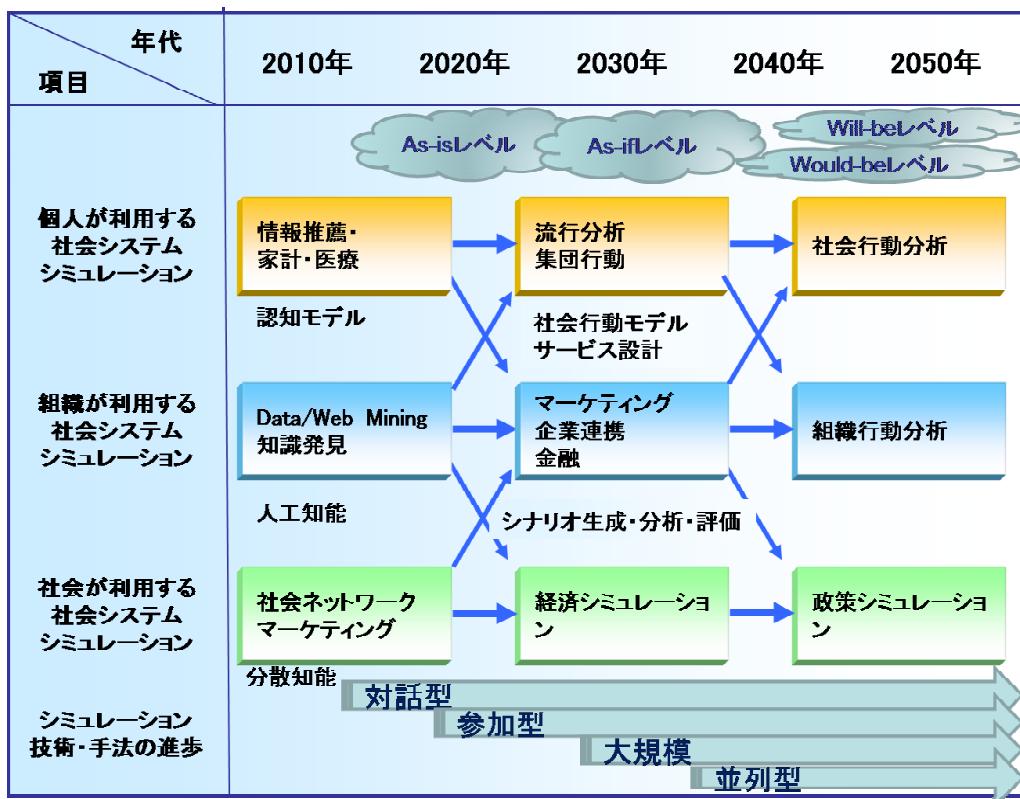


図 4.4-5 社会システムシミュレーションのロードマップ

4. 5 国際公共政策シミュレーション

4. 5. 1 マクロ国際公共政策のシミュレーション

(1) マクロ予測の困難さ

国際政治学者にとって冷戦の終焉を大型コンピュータが予想できなかつたことは記憶に新しい(関, 1997)。むろんシミュレーションを用いざとも「ベルリンの壁の崩壊」(1989年)は当時の多くの研究者にとって想定外であったため、その責を当時のシミュレーションの方法や技術のみに負わせることは適当でない。

国際政治の動きは政策決定の連なりとしてとらえることができる。国際的な時間・空間における公共政策を国際公共政策とよぶ。

国際公共政策立案にあたって、社会予測を行う際の困難は、ランダムな要因が全体の方向を決めてしまうことにある(宮脇, 2008)。他にも、認識可能だが実際に考慮しづらい要因がいくつかある。第一に、氷山効果の把握の困難にある。社会の大きな変動を説明するのに「氷山効果」がある。氷山の下部が温かい水で溶けることで重心が上に移り、氷山がひっくり返って新しい均衡が生まれる。社会でも社会の安定を保障しているコンセンサスの中でも見えない部分の「風化」は目立ちにくいか、ある時点では均衡が逆転し転覆するに至ることがある。革命はその一例である。またボールディングが挙げるような、人口予測の失敗も一例である。1950年代のアメリカの「ベビーブーム」は予想されなかつたし1950年以降の熱帯の幼児死亡率の急激な低下も予想されなかつた。富裕国の1960年代の出産率の減退も予想されなかつた(ボールディング, 1980)。

第二に、根本的な問題として国際政治が完備情報ゲームではなく、かつ完全情報ゲームでないことがシミュレーション実施の問題となってくる。完備情報ゲーム(complete information game)とは、プレイヤーがゲームのルール(プレイヤーの集合、目的、選択可能な行動、利得、進行を定める規定など)について完全な知識をもつ状況である。完全情報ゲーム(perfect information game)とは、どのプレイヤーも意思決定を行う際にこれまでゲームがどのように行われてきたかについて完全に知っているゲームとして表現できる。この両面において国際政治は権力の分散構造が主権国家体制のもとで確立しており、不完全情報ゲームであり不完備情報ゲームであることが多い。例えば国際交渉において各国が相手国の交渉目的や選好順序および利得などについて完全な知識をもつてゐることは少ない。

これに関連して、戦争の根源的な原因の一つとして、武力行使についての政治的意思や双方の軍事能力についての情報の不確実性がある。たとえ戦争に訴えずに紛争当事国が納得できる何かしらの外交解決が存在するとしても、その解決策で合意して戦争回避するためには、そのような合意可能な解決策が何かを発見する必要がある。平和解決のほうが武力行使よりも全ての当事国にとって得かうかは、戦争の期待効用に基づく。1)戦争に伴うコスト 2)争点の価値 3)戦争に勝つ確率 —これらの3要素を双方が完全にしりうるのであればお互いの武力行使に伴う期待効用を知ることができ、さらに平和解決が可能な合意案の範囲も特定でき、戦争が理論上回避できる。

しかし、現実の国際政治ではそれを知りうるのは困難である。例えば、1)相手国の国民社会が戦死者という戦争コストにどれだけ敏感かは確実にしりえない。2)争点の相対的価

値も不確実、3)軍事力は機密情報である。3)のように、自国は知り得ても相手国が知り得ない情報は、自国にとっての私的情報(private information)と呼ばれる。このように私的情報が存在している状況を不完備情報とよぶ。ゆえに不完備情報下で戦争を回避するためには、各国政府が自国の私的情報をシグナルとして伝達し不確実性を低減する必要がある(猪口, 2005)。

加えて、国家アクターを合理的主体とみることの限界や、国家アクター内部における相互作用の多さが国家間関係を大きく規定することが多い。

(2) シミュレーションの展開

しかし失敗の歴史だけではない。限定的な分野でのシミュレーションはむしろ成功を収めている。例えば危機管理シミュレーションはその最たる例である。第二次大戦において日米開戦をなすべきかどうか、開戦前にこの問い合わせに答えようとした総力戦研究所は日米の行動をシミュレーションし開戦の不利益を訴えている(猪瀬, 1983; 市川, 2006)。そこでは1941年に「総力戦机上演習」を行った結果、日本を擬した「青国」が実質的に敗北している。もともと1954年にランド・コーポレーション(Rand Corporation)で開発された冷戦ゲーム(cold war game)や、冷戦下におけるアメリカ外交の政策決定に貢献させようとしたTEMPR(The Technological,Economic,Military,Political Evaluation Routine)も危機管理的な要素が強い^{注1}。アメリカのこれらのシミュレーションはコンピュータシミュレーションであったが、その後、人間をプレイヤーとしてとりまぜたパソコン・シミュレーション(ヒューマン・ベース・シミュレーションとも)や、パソコン(マン)・コンピュータシミュレーションが展開されるようになった。後者については、ゲツコウ(Harold Guetzkow)らのチームによってINS(Inter-Nation Simulation)が研究・開発された。関はそれをもとにGlobal Simulation Gaming(関, 1997; 南野, 1999; 丸岡, 2007)を展開し、現在教育用として活用されている。

(3) 現状

(1)で述べたような性格をもつ国際政治に依拠する国際公共政策の立案においてはマルチ・エージェント・モデルによってアプローチや複雑系モデルでの分析が比較的適している。ただし例えば前者では、単純なルールに基づくエージェントの行動が、システム全体としては非常に複雑な振る舞いを発生させることをシミュレートする。従来の研究が独立変数一従属変数を仮定しその上にシミュレーションを構築してきたことを批判し、エージェントに単純なルールを与えてシミュレートした場合でも全体としては複雑な振る舞いになることをみようとするアプローチ自体は、国際公共政策のシミュレーションにとってより適している。

実際にマルチエージェントシステムによる社会シミュレーションへの研究需要は拡大している。例えば、国際政治における紛争、内戦、戦争研究への適用がすすんでおり(三上, 2007a; 阪本, 2005)、構想計画研究所によるartisocのソフト開発等が技術的に後押している。

注1 これらの通観については近藤敦氏(立命館大学・放送大学)(近藤敦, 2001)の研究に拠るところが大きい。

4. 5. 2 教育用ゲーミング・シミュレーション

(1) 教育用ゲーミング・シミュレーションの現状

教育用のシミュレーションはアメリカで広く行われている(Tessman, 2007)。また日本でも原理論的シミュレーションである「Giantの平和」「カストロの逆襲」「Back to the Future 1975」「6カ国協議」など(宮脇, 2006)では、アクターの秘密目標・制約を付して実施し、各アクターの目標配点とともに、均衡解と最適解のギャップをプレイヤーに認識させようとする。各アクターは自らの利得を計算して行動するが、全体的な最適解の達成を視野におさめているわけではない。そのため均衡解と最適解のギャップが生まれる。シミュレーション終了後、秘密目標・制約を公開し、最適解モデルがどのような行動の結果達成されうるかを検討させることで、行動をふりかえるだけでなく、完備情報ゲームとして国際政治をとらえる視点をプレイヤーに認識させることができる。

既に外交現場ではロール・プレイ型のシミュレーションが実際に行われており、その方法論の深化が望まれる。

(2) 課題

最大の課題は誤認(misperception)をどう扱うかということである。紛争はなんらかの誤認によって起る。例えば、勝利の可能性、彼我の力、やりぬく意思、忍耐力、行動の正統性、紛争のコストや長さ、などについて一方或いは双方が誤った期待をもったときに紛争は起る。これは、ボールシュテッター (Roberta Wohlstetter) のシグナル・ノイズ (S/N) 比モデルによる予測失敗の研究に象徴される(猪口, 2005)。

この問題以外に、ミクロのシミュレーションを模擬体験することの課題として、現実のギャップをプレイヤーに感じさせることが少なくない。これは現実をどのように認識するかという難題につながる。またモデルを作成する際に、教育的効果を優先するか現実のモデル化に忠実に行うか、という論点もひそんでいる。これはコンピュータシミュレーションの世界とロール・プレイ型ヒューマン・ベース・シミュレーションの融合をいかにすすめるかという課題につながる。特に、シミュレーションの場の設定の問題、外部環境をどう扱うかという問題、エージェントと社会の学習と記憶に関する問題(→rule-makingをとりいれるという進化についての課題(岡野, 2006)、「繰り返しゲーム」として再現することが難しい場合に駆け込み行動をどう評価するかという課題がある(宮脇, 2004; 三上, 2007b))。

なお未来予想とは逆に近過去を対象に歴史過程をモデル化する「リセット・繰り返しロール・プレイ型・ゲーム」がヒューマン・ベース・シミュレーションで試みられている。繰り返しの過程においてパラメータの抽出をプレイヤー自身に行わせることで近過去の理解につながることが検証された。これは未来形成の rule-making と逆の時間軸で rule-making の過程を遡及しようとするモデルである。

4. 5. 3 今後の国際公共政策シミュレーションの展望

国際公共政策シミュレーションの最大の課題である有効性の問題を解決すためには、まず、対象となる国際政治自体の私的情報の減少と完全情報ゲーム化をすすめることが前提となろう。そのためには各国の外交文書の公開の促進とそのデータベース化、また過去の国際的合意のデータベースの形成が必要である。

具体的に期待される分野として、信頼醸成措置（CBM）^{注1}の深化におけるシミュレーションの応用が挙げられる。CBMは、対立国間における脅威認識の低下をめざすものであり、たとえば冷戦期の1975年のCSCE(欧州安保協力会議)による東西陣営間の軍事情報の相互交換という形で制度化が成功してきた。冷戦後においてもアセアン地域フォーラム（ARF）のCBMのように潜在的な対立懸念となっているスプラトリー諸島（南沙諸島）の領有権問題をめぐっての中国・ASEAN各国間の対立を沈静化することに成功した。しかしARFの場合はARFの存在自体が紛争の鎮静化につながっていたにすぎず、ARFのCBMとしての機能は不十分であるという研究がある。また紛争多発地帯であるアフリカではCBMは制度化されていない。こうした観点からCBMの強化は世界各地において検討課題でありつづける。そのためには軍事的なCBMにおいて完全情報化をすすめるとともに、国防白書の公開や国防予算の公開等により完備情報ゲームへと徐々に展開させる。国防白書・予算の公開はCBMのデータ算定の基礎であるが、中国のように国防予算の公式発表額と西側による推定額との間に大きな開きがある国も現在はある。こうした情報の非対称性が減少し諸国の予算公開がすすめば、CBMのデータは向上し、それがひいてはシミュレーション実施の基盤となる。かつCBMの問題領域拡大により、社会的信頼醸成を形成する手段としてシミュレーションを利用することができる。さらに国際政治における情報の非対称的性格を徐々に弱める政策を実施することにより、完全情報化がすすみ、また各国・各地域に蓄積されていた暗黙知が共有されていく。

また紛争予防(conflict prevention)において、人権等の指標を数値化し、紛争現場が早期警戒警報を発するといった方法で、紛争予防の危機管理的なシミュレーションの開発が期待される。これが情報として関係機関に提示されることにより、紛争の予防・エスカレーション防止を効果的に迅速に進めることができる。旧ソ連の紛争地域を中心に活動するOSCE(欧州安保協力機構)がすすめる紛争地域への監視団派遣やミッション設置の一環として、こうした教育用シミュレーションを応用することで、紛争地域のコンセンサス・ビルディングにシミュレーションを応用することが望まれる。同時にS/N比モデルにもとづくノイズの除去が必要となるが、そのためにたとえば当事者同士でロール・プレイングをすすめることが肝要であり、ロール・プレイングを支援する簡単なソフトが形成されよう。その適用に際して、完備情報ゲーム化のための利得情報媒介者が必要となるが、その媒介者としての研究者の層の拡大が必要となり、その訓練もなされねばならない。また交渉者の意識の可視化技術の進歩にともない、紛争防止のメカニズムの向上が進む。

より広い展望として、コンストラクティivism(社会構成主義)の研究は国際政治でもますます拡大するであろう。彼らが注目する「規範」の接合や競合について、複雑系モデルを用いたシミュレーションが開発されよう。そのことにより大きな社会変動を予測する手立てを獲得することができる。さらにその社会変動の過程の研究として、

^{注1}CBMとは、：対立国間における主として軍事的な情報の限定的公開や交換を通じた信頼の醸成のための措置を指す。これまでOSCE(欧州安保協力機構)のCBMのように、軍事演習の事前通告と相互観察、戦力移動の通告等の制度化が冷戦期以降の欧洲でなされてきた。東南アジアにおけるアジア地域フォーラム(ARF)のCBM、上海協力機構(SCO)による中央アジアにおけるCBM、また軍事的な側面ならずひろく包括的な社会的信頼醸成をめざしたものとしてアジア相互協力信頼醸成措置会議(CICA)がある。

<as if game>^{注1}にシミュレーションを応用することで、社会変化の理解方法を一般に提供するようになることが望まれる。as if 的行動（現実に反してあたかも一as if一現実にそ うであるかのごとく行動するパターン）の選択肢はそれほど多くなく、<as if game>の展開を予想させることで、規範の競合の展開の予想がなされ、社会政策の立案において大きな力となろう。たとえば、イラク戦争開戦の際に大量破壊兵器の有無が1つの焦点とされた。アメリカ政府の内部では大量破壊兵器の開発がイラクで十分になされていないことを知りながら、あたかもそうではないかのごとく言明し、開戦にアメリカ世論を誘導した。むろんアメリカ世論においてはこの点が大きな意味をもっていたが、国際世論のほうは大量破壊兵器の有無にかかわらず、現存の平和規範にもとづき戦争自体への拒否反応が強く、イラク開戦に否定的であった。あえていえば as if 的行動をおこすアクターが国際世論を誘導することは自国世論に比べてより困難である。アメリカ世論と国際世論とのギャップは常に存在するが、今後数十年をかけてそれを規範の競合という観点から再構成することにより、アメリカ外交や国際公共政策の立案においての重要要素としてとりいれる制度を構築する。事実をめぐる合意的理解がいかなる時でも存在することによって、<as if game>が減少する。この目的にそって国際世論動向の予測方法と分析の向上がなされよう。

過去のシミュレーションの精緻化も同時に進行する。would-be シミュレーションとして過去の国際的な問題について別の展開を論じることが容易になる。既に冷戦期の外交政策については、オーラル・ヒストリーの手法を用いてハーバード大学を中心に冷戦期の東西外交の関係者を対象にしてパラレル・ヒストリー・プロジェクト (PHP) が実施されている。将来、こうした研究の蓄積が他地域に拡大し、世界的な would-be シミュレーションがすすむことによって新たな世界的歴史観の創造につながる。これは未来の政策立案の前提となる歴史認識の共通化の拡大につながる。ひいては、そのことにより世界の外交の完全情報ゲーム化が進行することになり、安定的な国際公共政策の立案の前提となる相互信頼の土壌が育成される。

注1 <as if game>とは、あたかも(as if)合意を履行しているかのごとく説明しながら実際の行動を伴っていない言行不一致を行うアクターとそれを容認／批判するアクター間のゲームを指す。

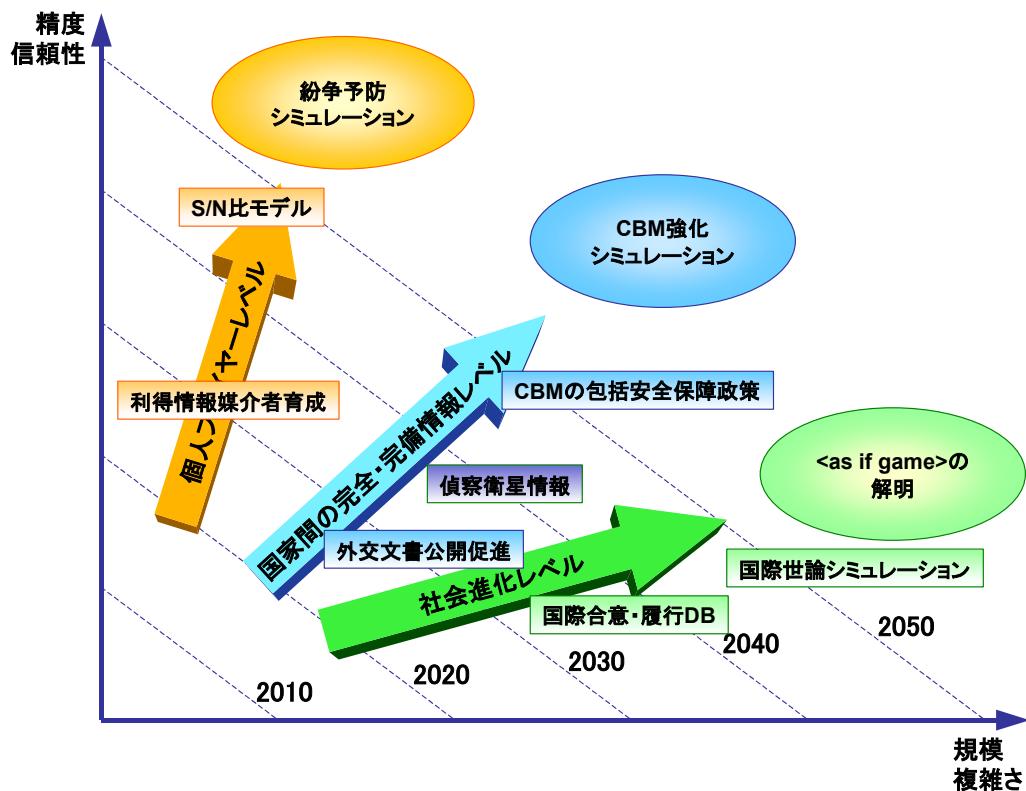


図 4.5-1 国際公共政策シミュレーション領域のロードマップイメージ

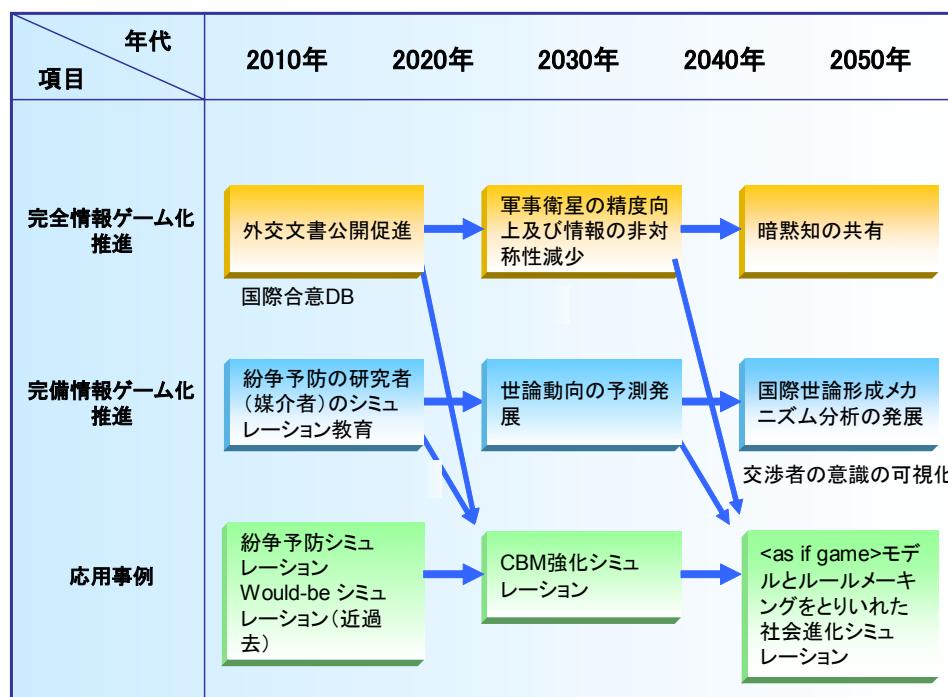


図 4.5-2 国際公共政策シミュレーション領域のロードマップ

4. 6 経済制度設計のための社会実験シミュレーション

4. 6. 1 社会実験シミュレーション

定められたルールの下で、被験者に行動を選択してもらい、その行動に関するデータを分析するという実験的手法が盛んに行われ始めている。経済学の中でも、実験経済学という分野が確立し、ノーベル経済学賞の受賞対象ともなるほどの認知度を集めてきた。実験には、大きく分けて二つの種類がある。一つは、今までに起きた社会状態をシミュレートしてその社会状態について分析する *As is* 型の実験であり、もう一つは、今までに起きたことがない環境を作りそこでの人々の行動を分析する *will be* 型の実験である。前者には、通常は操作する事ができないような変数や観察が困難な潜在変数も操作できるというメリットがある。後者は、主に、未だ導入された事がない新しい制度が実際に有効であるか否かを調べるのに有効である。なぜなら、新しい制度は、未だかつて導入されたことがないので、自然な状態ではデータを入手できないからである。たとえば、排出権取引という新しい制度を具体的にどのような形で実施すればよいかを分析するために数多くの実験がなされてきた。

環境問題を始め、我々は、人類がかつて経験したことがない問題に直面しているため、未だ使われたことがない新しい制度を作り出す必要がある。このとき、過去に事例がない制度を導入した時に得られる結果を今までの経験から類推することは困難である。しかし、近年の金融危機の問題からも分かるように、経済制度の欠陥は社会に対して深刻な被害を与える可能性がある。そこで、新しい制度を実際に導入する前に、実験により制度が導入された後の世界をシミュレーションし、どのような事態が起りえるかを確認する必要性が増している。もっとも、実験環境と現実世界は異なるため、実験によるシミュレーションでよい結果が得られたとしても、現実世界でうまくいく事が確実に保証されるわけではない。そのため、最終的な判断は、民主的なプロセスによる多くの人々の判断にゆだねる必要がある。しかし、少なくとも実験環境でうまくいかない制度は、頑健性を欠く制度であり、欠陥があると考える事ができ、実験によるシミュレーションは、有効な制度を選択する上で重要な役割を果たすと考えられる（図 4. 6-1）。また、実験によるシミュレーションの結果から制度導入の効果についてある程度の予測が可能となり、最終的な判断を下すための材料を提供する事もできる。

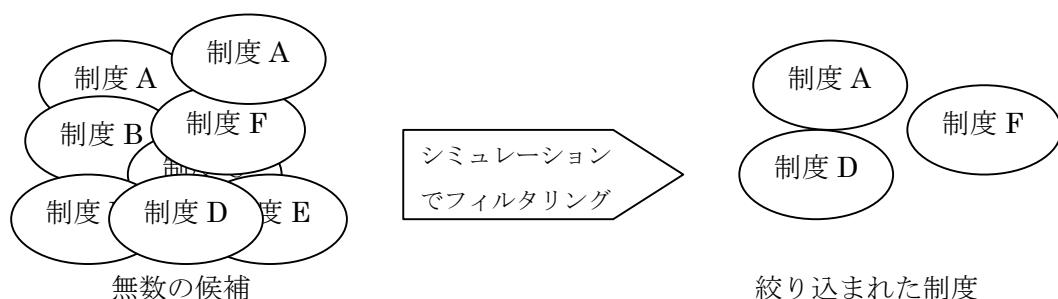


図 4. 6-1 シミュレーションによる制度の絞り込み

4. 6. 2 統制環境での分析

研究施設の中に設置された実験室に被験者を集め行う「実験室実験」は、被験者がおかれる環境を厳密に統制しやすいというメリットがある。このような統制環境における実験結果は、分析が比較的容易で、他の統制環境における実験との比較もできるため、信頼性が高い情報をえることができる。「実験室実験」には、以下のものがある(Harrison & List, 2004)。

- 学生を被験者とする実験室実験
- 学生を被験者としない実験室実験
- フィールドの文脈を入れた実験室実験

「学生を被験者とする実験室実験」は、簡便であるため最もよく行われる実験であるが、被験者が学生に限定されているため、制度の頑健性を調べるためにも、実際の現場で働く人を被験者とする「学生を被験者としない実験室実験」なども行われている。さらに、統制環境の厳密さを計るために経済学実験では通常省略されている現実の状況設定をいた「フィールドの文脈を入れた実験室実験」も行われている。

これらの、実験室実験については、z-Tree 等の実験を行うための標準的ツールも開発されており、基本的手法が確立されている。さらに、実験室実験を用いた政策的提言も行われており、たとえば、西條(西條, 2006)は、排出権取引の制度設計について具体的提言を行った。一方、強い合理性を前提とした従来の理論モデルでは、実験状況を説明する事が困難であるため、実験で得られるような状況を説明するための理論枠組みの構築が進められている(Rayo, 2007)。

今後は、このような理論モデルの分析がさらに進み、統制された実験結果を高い精度で再現するコンピュータシミュレーションを行うことができるようになる事が期待される。この段階に達すれば、提案された制度が、様々な統制環境においても効率的な結果がえられる頑健性が高い制度であるか否かを判定することができるようになるため、現実世界における制度設計への応用が可能となる。

4. 6. 3 インターネット空間における応用

インターネット空間には、様々な仮想空間が構築されてきている。3D コンテンツをユーザが作成できる 3D 仮想空間である Second Life は、約 1400 万人(2008 年 7 月時点)のユーザを集め、様々企業も、自社のブランドを体感できるスペースを作るために、参入していった。一方、より現実社会より現実世界との接点が多い SNS(Social Network Service)は、数多く存在し、また、利用者も多い。たとえば、国内最大手の mixi は、1500 万人以上という東京の人口を超える人を集めている。SNS は、携帯空間にも広がり、モバゲータウンのような携帯に力を入れた SNS も収益を伸ばしている。

このような商用のインターネット空間が広がる一方で、非営利組織のインターネット利用も進んでいる。2005 年には総務省が SNS を利用して地域社会への住民参画を促す研究会を発足させ、様々な地域で、SNS が導入されてきた。たとえば、兵庫県の地域 SNS の「ひよこむ」は約 5,000 人のメンバーを集めている。さらに、その中に簡易の経済システムを内包しているものも存在する。たとえば、兵庫県の地域 SNS の「ひよこむ」では、仮想通貨の「ひよこボ」を有している。また、地域通貨をインターネット上に移植した i-WAT も開発されている。一方、インターネットの政治への応用も行われており、地方自治体が

主催する電子会議室などが作成されている（庄司, 2007）。

このように、インターネット空間が広がり、一般ユーザが仮想社会での活動するスキルを身につけるようになったため、実験室を飛び出し、インターネット空間上の仮想社会において実験を行う事ができるようになってきた。このように仮想社会実験において、制度を導入して、ユーザの分析する手法のメリットとしては、以下のものがあげられる。

- 実験室実験より現実に近い環境で実験ができ、制度の頑健性を調べることができる
- 仮想社会における制度自身が、社会的厚生を上昇させる効果がある場合がある
- フィールド実験より実施コストが低い。
- 行動の履歴がプログラムにより自動的にデータが蓄積されるため、データ収集のコストも低い。
- 制度がプログラムとして実現されるため制度運営者の裁量の余地がなくフィールド実験より統制された環境での実験ができる。

このように仮想社会実験のメリットに着目し、科学研究費補助金の「新学術領域研究」に採択された「実験室実験と仮想社会実験による制度分析」では、独自の SNS 上で実験を計画している。SNS 上における実験のメリットの一つは、人と人の長期的関係を実験環境に取り込むことができる事である。このような人と人の結びつきは、社会の中で重要な要素である事は明白であるが、従来は、実験では、独立した個々人の行動のみを着目していた。SNS 上では、友人関係が明示的な形で可視化されているため、人々の長期的関係をコントロールした実験を行う事ができる。このような実験によって、長期的関係の結びつきから生まれる協力関係について計量的手法で分析を行う事ができると期待される。さらに、社会における長期的人間関係が与える影響の大きさを計量的な形で示すことができると考えられる。

このような仮想社会実験でえられた知見は、地域 SNS など比較的小規模な SNS 上で新たな制度の導入の際に利用することが可能である。たとえば、地域 SNS と地域通貨の融合などの際に、細かな制度の実現方法の候補は無数に存在するが、各制度における帰結をシミュレートして、望ましい制度を選択することに役立つ可能性がある。さらに、地域 SNS 上の制度は、その SNS ごとに細かな違いがあるため、各制度の下におけるフィールド実験と捕らえる事も可能である。

さらに、次の段階として、地域 SNS 上での制度設計で得られた分析結果は、高度な電子政府作りの実現へつながっていく可能性がある。e-Japan 構想の元、様々な手続きが電子申請可能となり、徐々にその利用率が上がってきている。しかし、電子会議室や電子住民アンケート・民意把握のモデルシステムといった方向への発展はまだ十分とはいえない。ここには、技術的問題だけではなく人々のインセンティブを維持させるための制度設計にも課題が残されており、仮想社会におけるシミュレーションのこの分野への分析結果の応用が期待される。

4. 6. 4 現実世界における実験と適用

現実世界で行われる実験として、自然フィールド実験がある。たとえば、Glewwe^(Glewwe, 2004)は、ケニアにおいてイラスト入りのフリップチャートを副教材として配布した小学校とそうでない小学校を作り、その両者の成績の伸びを比較して分析を行った。このような

実験結果は、実際の現場で行われるためより信頼性が高い結果をえる事ができるが、社会的コストが大きいというデメリットがある。

そこで、実験室実験や仮想社会における実験を行い、その知見を元に、現実世界で実証実験を行うという段階を踏む方法が考えられる。最初に応用されるのは、組織の賞与・給与制度など比較的小規模のグループに対する適用であると考えられる。例えば、契約理論などの理論モデルから新しい制度が提案され、それを実験室実験や仮想社会実験において有効性を確認し、その後、実際の組織の中で用いられる事が考えられる。

また、実際に経済活動を行う小規模グループにおいて制度が導入されれば、現実世界における結果と実験やコンピュータシミュレーション上の結果を比較する事ができ、実験的手法やコンピュータシミュレーションのさらなる発展に寄与することができると考えられる。長期的には、環境対策のための制度など、大規模経済システムの設計を高い信頼性のもとに行なうことが期待される。

4. 6. 5 まとめ

制度のあり方には無限の可能性がある。たとえ、大まかな枠組みを一つに決めたとしても現実に実施するために必要な各種パラメータに無限の可能性がある。そのため、実験などのシミュレーション技法による分析が必要である。この際、上記の三つの方向性は、互いに補完し合う。仮想社会における実験は実験室実験よりコストも大きいため、仮想社会実験を行うためには、実験室実験やコンピュータシミュレーションを用いて比較的有望な制度を絞り込んでおく必要がある。また、現実の世界における適用は、仮想社会実験よりもコストが高く、何度も実施することが困難であるため、仮想社会実験や実験室実験で得られた知見が必要となる。このように、三つの方向性が違いを補いながら、連携する事によって、社会実験シミュレーションが、新しい経済制度を作る事に貢献できると考えられる。

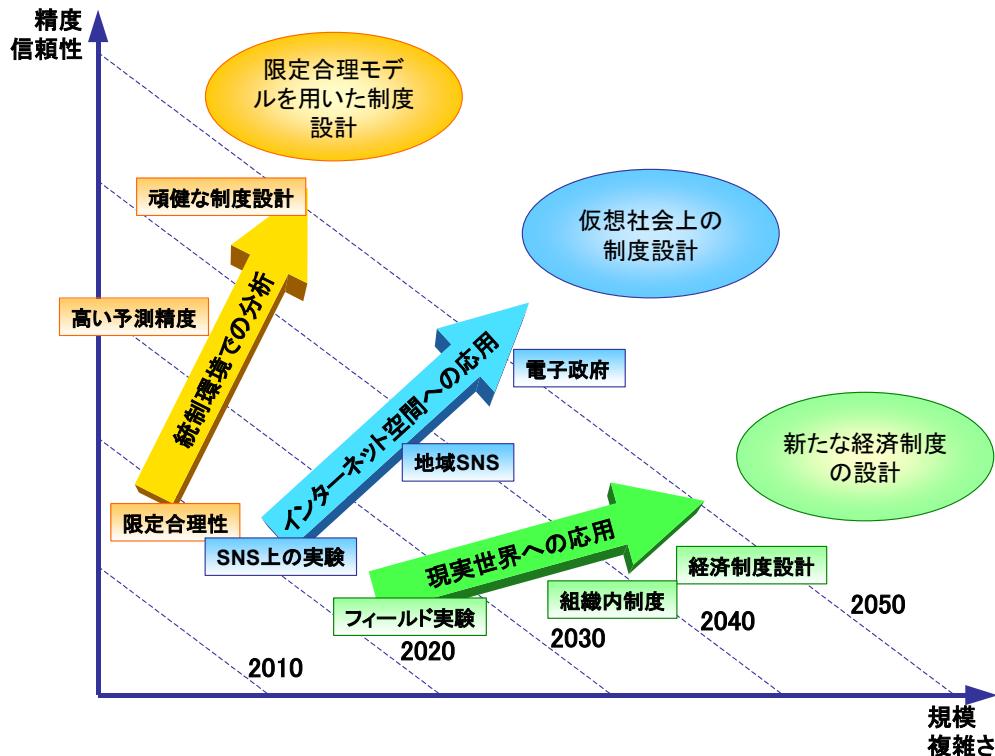


図 4.6-1 制度設計のための社会実験シミュレーションのロードマップイメージ

年代 項目	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
限定合理性モデルを用いた制度設計	実験データと整合性がある限定合理性モデル開発 限定合理性	統制環境下での精度が高い行動予測 高い予測精度の実現	限定合理性の下でも頑健性がある制度設計 頑健な制度設計		
仮想社会上の制度設計	SNS上等、仮想社会上の実験による制度分析手法開発 仮想社会実験	地域SNSの制度設計への応用 地域SNS	高度な電子政府の制度設計 電子政府		
新たな経済制度の設計	社会調査とフィールド実験による分析 フィールド実験	組織における制度設計シミュレーション 組織内制度設計	国家規模の経済制度設計の基盤作成 経済制度		

図 4.6-2 制度設計のための社会実験シミュレーションのロードマップ

4. 7 社会モデリング・社会システムシミュレーションにかかる社会学的課題

4. 7. 1 これまでの経験から

本節では、社会シミュレーションにかかる社会学的課題について論じる。課題はたくさんあるが、ここでは2つの課題について指摘し、自然科学者や工学者（ここでは特に社会シミュレーションを行う情報科学者や工学者を主に念頭に置きたい。表記の冗長を避けるため、以下では「工学者」と略記する）、社会学者それぞれに対する提言を行う。

本題に入る前に、筆者が本節を書こうとする意図について、若干言及しておきたい。ここ数年、私（社会学者ないし社会心理学者）は、社会シミュレーションに関心を持っている工学者たちの学会報告を聞いたり、彼らと話をしたりすることが多い。そのときに感じる違和感がある。それは、たとえば遠藤薰（遠藤薰, 2005）が論じているような、社会シミュレーションに関わるさまざまな問題点があるからでもある。しかし、彼女の議論は、あくまでも社会学を専攻する学徒や研究者向けに書かれた感があり、工学者との相互理解のためには、もっと別の困難さがあるように筆者は感じてきたのである。筆者は、2年ほど前に自ら企画したあるシンポジウムで、その違和感や困難さについて吐露したことがあった（辻竜平, 2007）。そこでさまざまなコメントや反応を見て、さらにそれらについて考えてきた。ここに示すのは、現時点におけるその違和感や困難さについての私なりの見解である。

社会シミュレーションは、後述するようにさまざまな問題を孕んでいる。よって、社会学的な観点から見た問題点を、工学者の方々にも知っておいてもらいたいと考えている。ただ、そのような問題があるからといって、社会シミュレーションが無意味であるということを意味するわけではない。むしろ、問題点がありつつも、それをどう乗り越えたり回避したりしてゆけばよいのか考えてみたい。また、数学やプログラミングに馴染みのない社会学者にも社会シミュレーションを利用する意義と方法について伝えたい。

なお、筆者は、以下に自らの考え方を率直に開陳するが、賛否両論あるところもあるだろうし、議論が不足しているところもあるだろう。問題は筆者が考えている以上に広がりも深みもあるようで、筆者の手に負えないところもあると感じている。しかし、目を背けてばかりもいられない。小論が、ややもすれば棚上げにされがちな諸問題について、問題意識と議論を喚起する材料となれば幸いである。

4. 7. 2 社会学理論の弱さ

われわれは、何のために社会シミュレーションを行うのだろうか？　よくある回答を大別すれば、純粹に学問的な関心のため、もう少しいえば、社会的な現象の予測や説明のため、という回答と、モデリングやシミュレーション自体は目的ではなく、その結果をもとにして社会をよりよくするためである、という回答の2つがある。しかしながら、これらの2つの回答は、いずれも考慮すべき問題があることを指摘したい。このうち、本項では、社会学理論を利用したシミュレーションの予測と説明にかかる問題を指摘し、次項では、社会をよりよくするためという目的自体に存在する根本的な困難さについて指摘する。

おそらく、社会モデリング／社会シミュレーションを行おうとする工学者は、彼（女）のモデルに利用する人間行動・人間間関係・社会制度に関する理論を、既存の社会科学理論に求めることが多いだろう。そして、いくつかの教科書・参考書などをパラパラッと見た後、自らのモデル構築に適切と思われる理論（ある独立変数の従属変数に対する効果や

2変数間の相関関係を記述した命題)をいくつか選び、モデル構築を行うのだろう。

さて、ここに問題がある。実は、社会学や社会心理学における理論は、十分に精度の高い理論ではないかも知れない。たとえば、社会学や社会心理学では、日本国民を対象としたランダムサンプリングによる調査票調査(いわゆるアンケート調査)によってデータを収集することがある。そして、研究者が効果のあること期待していた特定の変数と他の統制変数を投入した重回帰分析などを行い、それらの変数の従属変数に対する効果を検討する。しかし、社会学・社会心理学の論文においては、重回帰分析のR²値ないしAdj. R²値が、統計的に有意ではあっても、.1とか.2くらいしかない(つまり、分散の1、2割程度しか説明されていない)^{注1}ことが多く、効果を期待した特定の独立変数の効果(標準化偏回帰係数β)にしても、統計的に有意ではあっても、モデル全体の説明力の一部を構成するにすぎないのである。自然科学においても精度があまり高くない分野があるようだが、社会科学のモデルの精度がそれほど低いとは、他分野の研究者にとっては想定外のことではないだろうか。

なぜ、社会学や社会心理学の理論は、それほど精度が低いのだろうか。それは、さまざまな理由が考えられる。細かく論じる紙幅はないが、大ざっぱに言えば次の2つが指摘できる。まずは、社会・環境要因である。さまざまな社会条件や環境条件の下でそれぞれの人間は生きている。人々の行動や思考にかかわる理論を実証的に検討しようとする場合、そのようなさまざまな条件下にある人々の持つさまざまな社会・環境要因を十全に統制することは難しい。もう1つは、心理的要因である。人々にはパーソナリティの違いがあり、それが回答に反映されることがあるし、また、調査票を回答する際の一時的な気分によつても回答が変わることがある。これら2つは、ある個人から見れば、社会や環境というマクロ要因によるもの(前者)と個人内部のミクロな要因によるもの(後者)の両側からの理由であると言える。これらによって、人間の行動には大きな分散が生じてしまうのである。

では、それらのさまざまな要因(ミクロ要因もマクロ要因も)を完全に統制してしまえば、人間は同じように行動するだろうか。つまり、完全な統制下においては、人間も自然科学におけるファースト・プリンシプルのようなものに則って行動するだろうか。これについては、心理学者の中で論争がある。たとえば、山岸俊男は、その著書『信頼の構造』(山岸俊男, 1998)で、2つ以上の異質な社会においてさまざまな社会的要因を取り除いた「比較社会実験」を行えば、人間行動に関するファースト・プリンシプルが現れてくるとの見解に立っているように思われる。一方、北山忍は、その著書『自己と感情』(北山忍, 1998)において、人は文化の中で成長する中でその文化に適応した心を身につけるのである(「心と文化の相互構成」と論じている。この主張からすれば、成人を諸条件が統制された実験室の環境に置いても、その人自身が身についている文化を引き剥がすことはできず、その人が属する文化内で適応した心を通して実験操作に反応することになると想されることとなる。この立場からすれば、通文化的なファースト・プリンシプルは存在しないか、存在するとしても現実の社会においてはそのようなものはそのままの形で発現しないので、考えても意味が

注1 ここでは社会学の中で最も頻繁に用いられる重回帰分析を例に取り上げたが、他の多変量分析を行う場合でも、それが連続変量を扱うか離散変量を扱うか、線型モデルか高次のモデルかといったことに関わらず、事態はほぼ同じである。

ないということになろう。実際、実験室実験による研究の場合には、調査的研究よりも少しマシな説明率になる傾向があるが、実験室を離れ日常的な社会に戻ると、研究者が効果を期待していたその変数は、期待されていたほどには効果が見られなくなってしまうのである。つまり、日常世界においては、ファースト・プリンシプルが存在するかしないかにかかわらず（どちらの立場を取るかにかかわらず）、ミクロ・マクロのさまざまな要因のため、人間の行動を正確に予測することは難しいのである。

また、実証研究においては、たとえ実験的研究であっても、説明変数（操作される変数）と目的変数の間に想定された相関関係や因果関係が見られたとしても、その間にあるメカニズムは想定したものではない可能性もある。たとえば人種間で異なる行動が見られたとしよう。しかし、それは人種の生物学的（遺伝的）特性によるものなのか、社会的・文化的差異によるものなのかを峻別することは難しいことが多い。私自身の素朴な感想だが、権威ある雑誌に掲載される医学や生物学の専門家の論文でも、「それは遺伝的要因だというけれども、社会的な要因をどれだけ統制できているのだろうか。遺伝などに説明を求めなくても、社会科学的な別解釈はいくらでもあるのではないか」と疑問に思うものが少なくない。社会科学が扱う人間行動においては、説明変数と目的変数の間に同様の結果をもたらすさまざまな要因が考えられるからである。社会学者は、自らの関心がある特定の独立変数と従属変数のどちらでもない変数を「第3の要因」と呼び、その効果を統制するよう努めているが、なかなか全ての第3の要因に気づいてそれらを統制し、特定の説明変数自体の効果を示すことは難しいのが現状である。

ここで、さらなる問題を指摘しなければならない。シミュレーションは、いわゆる単純な数理モデルよりは、複雑な関係性を表現できる。しかしながら、これは、精度の低下と表裏一体だということである。もとになる1つ1つの理論の精度が高ければ、それらを組み合せても、全体としてある程度満足できる程度の精度は担保できるかもしれない。しかし、もとになる1つ1つの理論の精度が低い場合は、それらを組み合せたシミュレーションの精度は、相当に低くなると考えられるのである。しかしながら、別の見方をすれば、精度の低さはあるにせよ、科学的な根拠がないわけではないのだから、それでもなおシミュレーションを構築することには根拠はあるという考え方もある。全く無根拠に変数間の関係を想像しているだけではなく、精度の問題はあるにせよ、科学的知見の上に立ってシミュレーションを構築しているのであると。それは確かに一理あるところではある。ただし、開き直りが過ぎて、精度の問題を無視してよいというような態度を取ることは危ういだろう。心の片隅に、構築されたシミュレーション全体の予測の精度は、かなり低いかもしれないことを自覚しておくことは必要だと思われる。

さらにもう1つ、重要な論点を付け加えたい。それは、社会科学における経験的理論のある種の弱さについてである。社会学者たちは、多くの場合、その場だけに適用できる理論を追究しているわけではなく、どちらかといえば一般理論を追究していると思われる（社会学者には一般理論の構築は不可能として最初からあきらめている人もいる）。ところが、一般理論を指向する社会学者が、物理学の理論のように、果たして未来永劫適用可能な理論を考えているかというと、それは違うと言うほかはない。社会科学にとって的一般理論が適用できるのは、せいぜい、ある体制下においてのみであるとか、過去数十年程度の世界情勢の範囲の中でといった程度である（富永健一, 1995）。そのようなことが論文に明示

的に書かれていることはほとんどないが、実質的にはそのようなものであり、その分野の研究者にとってはおよそ自明のことなのである。

社会シミュレーションにとって、そのことの何が問題なのだろうか。問題は、少なくとも経験的な社会科学の理論によって予測可能な未来は、それほど遠くまでではない可能性があるということである。たとえば、「情報社会」の到来を予測する研究は、数十年前から存在した。また、20年前の社会学者も、人々が1台1台携帯電話を持つ時代の到来を予測していたかもしれない。しかしながら、携帯電話を持つことによって生じる社会問題（援助交際、携帯裏サイトなど）まで具体的に予測できていたかといえば、そうではなかったと言うほかはない。（もちろん、「何らかの」社会問題は生じると主張することはできたかも知れないが、そんなことは素人にでも言えることである。根拠に基づいて具体的に予測できるかどうかが重要である。）

つまりこうである。経験的な社会科学は、あくまでの現在ないし過去の経験的データを分析することによってしか、理論を作ることができない。このことは、未来におけるイノベーションや、それにともなって生じる別の社会的な変化を予測することの根本的な不可能性を意味している。気まじめな研究者であるほど、未来を予測することに対して躊躇するであろう。この点について、社会学者である高坂健次（高坂健次, 2000）は、次のようなことを述べている。科学的論拠が十分にないにもかかわらず、政策提言を求められることがある。このとき、たとえば1割の「科学的論拠」と9割の「科学的推論」でもって何かを言わなければならない。しかしこの「科学的推論」というのは、実のところ、「経験的な勘」みたいなものにすぎないのでないかと。

ここで、演繹的な理論であれば、経験的（帰納的）理論の問題を回避できるのではないかという反論もありうるだろう。しかし、それもおそらくは不可能である。その理由の第1は、社会科学における演繹的理論は、それ自体が経験的世界から独立して存在することがほとんど期待できないからである。演繹的理論も、実質的には、あくまでも現在または過去の経験をもとに提出されているにすぎないのである。演繹的理論であっても、遠い未来の社会にまで思いを巡らせて提出されるということはまずないし、そもそも不可能であろう。第2に、演繹的に考えた理論の確認は、現在または過去のデータによってしか検証できず、やはり、イノベーション・変革・革命などを経た後の社会においての検証はできないからである。これは、物理学の理論とは性質が異なっている顕著な点である。物理学は、物質に一般的に備わっている性質のヴェールを取り払っていくこと（dis-cover）を主眼としているため、一旦ヴェールを取り払われて明らかとなった物質の性質は、現在・過去・未来を問わず適用できるだろう。しかしながら、人間の持つ創造力によってどのような画期的なイノベーションが生じるかとか、人間同士が相互作用することによって次にどのような政治体制が実現されるのかといったことは予測が難しく、さらに、画期的なイノベーションや政治体制の変化が生じた後の人間の行動はますます予測が難しく、現在と過去において適用できる理論が、未来において適用できなくなることは十分にありうることなのである。

したがって、経験的社会理論を基盤とした社会シミュレーションが効力を発揮するとすれば、それはあくまでも、あまり画期的なイノベーションが生まれていないこと、政治体制が変わらないことなど、今後とも今ある社会がある程度安定的に継続するという前提条件

件のもとでということになるだろう。大きな社会変動がある場合には、それ以降どこまで効力が期待できるかはわからない。そのような限界を認識しておくことが必要である。

4. 7. 3 何のための社会モデリング／社会シミュレーションか？

本項で問題にしたいのは、社会シミュレーションを行う研究者からしばしば発せられる「社会をよりよくするために」とか「よりよい制度を提案するために」といった言明についてである。「よりよい社会や制度」と一言で言ってしまうのは簡単なのだが、実は、極めて困難な問題を含んでいることは、特に工学者たちには、あまり知られていないようと思われる。「社会をよりよくする」ことの難しさについて説明したい。

この点について、まず高坂健次の議論を紹介する。高坂健次（高坂健次, 2000）は、「ヴェーバーの呪縛」と「マルクスの呪縛」のため、社会学者が、社会学という学問を何かに役立てることに対して消極的だったと論じている。この点については、法学・政治学・経済学・経営学・心理学（特に臨床心理学）などの社会科学の研究者の多くが実践的な志向を強く持っているのと比べると対照的である。

まず「ヴェーバーの呪縛」であるが、このヴェーバーとは、19世紀末から20世紀初頭にかけて活躍したドイツの社会学者マックス・ヴェーバー（英語風に「ウェーバー」とも）（1864–1920）のことである。ヴェーバーは、少なくとも日本の社会学者にとっては古典として読まれ、今なお影響力の大きい研究者である。ヴェーバーの著名な議論の1つに「ヴェルトフライ」がある。1960年代頃までは「価値判断排除」と訳されており、1960年代半ば以降は「価値自由」と訳されることが多くなったようである（高坂健次, 2000）。ここでは「価値自由」と訳しておく。「価値自由」に関わる議論は、主として2つの書物『職業としての学問』（マックス・ウェーバー, 1980）と『社会科学と社会政策にかかる認識の「客観性」』（マックス・ウェーバー, 1998）で展開されている。前者からは、「「価値判断排除」すべきだとか教壇の禁欲を守らなくてはならない」という理解に到達する。すべて話は don't (=**してはいけない) である（高坂健次, 2000）。後者は、認識論に力点をおいていて、「しかじかの条件を守りさえすれば科学としての客観性を守ることができる」という理解に到達する（高坂健次, 2000）。私なりの解釈では、これは次のようなことである。社会科学は、社会を対象としているため、そこには、研究者自身（「わたし」）が研究されるべき対象として含まれているという問題がある。「わたし」が社会はしかじかのようである方がよいと思っても、それは、他の人々にとってもそうであるとは限らない（認識の恣意性）。しかし、自分以外の他者がどのように考えるかと考えを巡らせるようにすること（価値解釈と価値自由な観点代替）によって、相対的にではあるが、相互主観的に妥当かつ有意義という意味での客観的認識に到達することができるということである。高坂健次（高坂健次, 2000）は、この2つの書物では「価値自由」の解釈に異なる点があるけれども、共通点もあるという。それは、いずれも、「学問、科学、社会学の立場に立つための防衛（ディフェンス）の話」だということである。社会学者にとってヴェーバーの影響力が大きい（大きかった）ために、社会学者たちは、「価値判断を要する領域に踏み込むことに尻込みをする性癖を学習してしまったのではないか」と推察するのである。

次に「マルクスの呪縛」であるが、このマルクスとは、共産主義・マルクス主義を提唱したカール・マルクス（1818–1883）のことである。マルクス主義においては、「学問（=

階級闘争の理論）と実践（＝革命）が深く絡み合っていた。しかし、「その絡みはあまりにも密であったために、実践の学問と学問の実践との峻別があいまいになってしまった。極端な場合には、実践論に合わせて学問を加工したり、マルクス主義理論に合わせて実践のドメイン（＝定義域）を決めるようなこともあったのではないか」という（高坂健、2000）。このような「実践と政策との過剰な結びつき」が、一方では存在したのである。高坂のマルクスの呪縛に関する考察はここで終わっているが、わたしにはさらに、結果としてソ連の崩壊やベルリンの壁崩壊に象徴されるマルクス主義の崩壊を目の当たりにして、実践と政策の過剰な結びつきに対しても、社会学者が否定的に捉えるようになっているように思われる。

さて、高坂が指摘するような呪縛の他にも大きな問題がある。それは、「社会をよりよくする」という場合、どのような「よさ」、難しくいえば「正義」を社会に実現するのがよいかという問題である。ここでいう「正義」とは、個々人にとっての善を意味するのではなく、社会全体にとって正しさである。たとえば、土場・盛山編著の『正義の論理：公共的価値の規範的社會理論』（土場学・盛山和夫編、2006）の各章は、「自由」「効用（功利主義）」「平等」「公平（衡平）」「自生的秩序」「民主的決定」「自己決定／ケア」「福祉」について論じられている。ここで詳しく論じている紙幅はないが、ここでのポイントは、これらの基本的と考えられる正義の原理が全て同時に成り立つことはないということである。たとえば、「結果の平等」と「分配の衡平」（＝働きに応じて分け前をもらう）は一般に同時に成立しないことは自明である。現実の社会においても、2008年後半以降、世界同時不況を契機とした大量の解雇に心を痛める毎日が続いているが、これは、新自由主義政策への極端な偏向（自由の重視）とセーフティネットの軽視（平等の軽視）によって生じたカタストロフィである。サブプライムローンの問題が顕在化するまで、アメリカ人のみならず日本人を含む世界の多くの人々が、新自由主義を支持していたのではあるまいか。しかし今やその権威は大いに地に落ちてしまっている。話をシミュレーションに戻そう。ここで考えなくてはならないのは、シミュレーションを行い、その結果をもとにして、社会に対して何某かの影響を与える装置や制度^{注1}を設計することによって「よりよい社会」を作るということの難しさである。あなたが設計したその装置や制度は、ある正義からすればよいことであっても、別の正義からすれば悪いこともある。今優勢な正義でも、後に支持されなくなることもある。あなたが信奉するものとは異なる正義を信奉する他者に対して、あなたは「こちらの正義の方が優先されるべきなのだ」とどのように説得力を持って主張できるだろうか。いや、それはそもそも無理なのである。

しかし、何を設計しようとしても、全ての正義を満足させるものでないとしたら、結局何を設計してもよいのだろうか。ここでは、最終的には設計者の品格が問われることになるのだろう。開き直れば、設計者は、自分にとっての価値観を満たす装置や制度を設計する（「その装置や制度を好む人が多少ともいるとすれば、ある程度は社会の正義にもな

^{注1} ここで、「装置」と「制度」という言葉を用いたが、「モノ」「人工物」「アーキテクチャ」などどのような言葉を使うのがよいのかわからなかった。どの言葉にせよ、社会科学と工学で、定義（域）や用法がやや異なるのではないかと思われる。ここでは、ややあいまいさはあるが、目に見えるものとしての「装置」、目に見えないものとしての「制度」というような意味で2つの言葉を並列して用いることにした。

っているはずだ」と考える）とか、正義も自分の価値観も関係なく、それによって自分の業績が上がれば（賃金がもらえれば／クライアントに満足してもらえば／雇用が確保されれば）よしとするということもありうる（このような職業的態度については、ヴェーバーの『職業としての学問』（マックス・ウェーバー, 1980）や『職業としての政治』（マックス・ウェーバー, 1980）も参照）。先にも論じたように、どれほど考えを巡らせても、設計した装置や制度が将来的に各正義にとってどのようなポジティブ／ネガティブな効果をもたらすかは予測できないところがある。しかし、ある程度までは予測できることもある。シミュレーションによって装置や制度を設計しようとする者は、少なくともできる限りそのポジティブ／ネガティブの効果を予測しようと試み、正義間のバランスを取るとか、ネガティブな結果を回避するといった方策を考えていただきたいのである。たとえば、ある業界の仕事が増えるような制度を提案してほしいと、クライアントがあなたに要求したとしよう。あなたはその仕事を引き受けたならば、その要求に応えることを最優先にせざるをえないとしても、同時に社会全体に対するその影響についても考慮してもらいたいと主張したいのである。その新しい制度によって、制度の適用を受ける当該業界の仕事量は増えたとしても、その業界で働く人々の賃金などに格差（結果の不平等）を生じさせるとすれば、それは果たしてよい制度なのだろうか。また、制度が適用されない他の業界の発展を促すことになるのか、それとも妨げことになるのか。そのようなことについても可能な限り考慮してもらいたいのである。

さらに、シミュレーションの結果に基づいて、新しい社会制度を設計しようという意図について一言論じておく。社会制度をなぜ特定の人間（あなたを含む）が設計しないといけないのだろうか。リバータリアニズムや自生的秩序論を信奉する人々は、設計されたさまざまな制度に対して（政府の存在や、行政が税金を取ることについてさえ）否定する人たちもいる。彼らは、個人の自由を最大限に重視する立場に立ち、自由を妨げる社会制度を設計することを否定したり、制度を設けなくても自然に発生する秩序をよしとしたりするのである。つまり、誰も彼もが「社会をよりよくする」という大義名分で社会制度を設計することに賛同するわけではないのである。工学出身の社会学者たちは、「そこにモノがあるから造るのだ」という延長線上で、「そこに社会があるから改変するのだ」というような動機でもって社会を改変しようとするかもしれない。しかし、そのようなことをよしとしない人々もいるのである。

医師が生命倫理について考えないわけにはいかないように、社会工学者も社会の正義について折々に考えていただきたい。それが自身の品格を磨くことになると思われる。

4. 7. 4 社会学的課題を社会学者はどう乗り越えるか

ここまででは、どちらかといえば、社会学者の視点から工学者に対する要求を行ってきたが、本項では社会学者として、社会学者がシミュレーションとどう向き合うかについて論じたい。

社会学者は、価値自由であるかを求めるがゆえに、また、理論と実践の過度の結びつきの危うさを認識するがゆえに、「社会をよりよくする」ことから手を引きがちであった。一方、工学者は、社会に対して積極的にアプローチしてきている。その結果、社会学者は社会の流れを傍観し、社会の現状を後追いで分析するだけになってしまっているように思

われる。

ただ傍観するだけで、社会が自らの手の外で移ろっていくことに社会学者は満足しているのだろうか。実はそうでもないと思うのである。これはわたしの印象に過ぎないのかもしれないが、どのような主義主張に与するかは人それぞれであっても、全く価値判断排除を行っていると自称する社会学者は極めて少ないように思うのである。もしわたしの観察が正しいとすれば、社会学者もただ傍観し、後追いの批判を繰り返すだけではなく、今後を見通して先手を打ち、自らの考える社会のあるべき方向へと政策提言を行ったりすることはもっとあってもよいのではないかと思う。現に解決すべき社会問題は、山のようにある。問題の原因について「あれが悪い」「これが悪い」と言い立てるだけではなく、「あれ」や「これ」をよりよい（とその社会学者が考える）方向に向かわせるためには、どのような方策があるかを考えるなど、前向きに予測と解決を試みてはどうかと提案したいのである。

しかしながら、それには何かが足りない気もするのである。それが、既に指摘した、單なる説明ではなく未来を予測するための方法論である。確かに、遠い未来までは見通せないのかもしれない。しかし、近い未来であれば既存の理論である程度まで予測はできるだろう。「遠い未来まではわからないし、予測が外れると責任を負わねばならない」などと考えてしまうと何もできなくなってしまう。もちろん、いい加減な気持ちではいけないが、1割の「科学的根拠」をもとに、自らの能力の限りで最大限の予測を行い、解決を試みてはどうだろうか。

では、社会学者は、具体的にどうすればよいのだろうか。ごく単純な問題であれば、ごく少数の理論を組み合せて予測可能であり、頭の中でもある程度の予測ができるだろう。しかし、問題が複雑になれば、いくつもの理論を動員して、それらを有機的に関連づけながら予測を行わねばならないだろう。このとき、どうしてもシミュレーションなどのモデリング技術が必要になってくるのである。多くの場合、社会学者はそのような技術をもっていない。そこで、自らそのような技術を身につけるか、そのような技術を持つ工学者と協同することが必要になるのである。しかし、おそらくは、自らそのような技術を身につけることは難しいので、協同する方が現実的であろう。工学者にしても、社会学者と協同することで、社会学理論（操作すべき変数に関する理論、社会環境要因への配慮など）についての情報やアドバイスを得ることができ、より地に足がついたシミュレーションを構築することができるようになるだろう。私のこれまでの経験からして、協同はそれほど簡単なことではないという気もするが、実現したときの効果は大きいのではないかと思われる。今必要なことは、社会学者（必ずしも数理社会学者だけではなく社会学者全般）とシミュレーションの専門家たちが集い、互いの関心を話し合ったり、情報を交換したり、協同の可能性を探ってみたり、といった機会をいくつも作っていくことではないだろうか。

ここに 10 年ほど前に書かれた 1 冊の本がある。そのタイトルは『社会学になにができるか』（奥村隆他, 1997）である。一見すると工学的志向を持っているように思われるが、その内容は「社会学によって社会はどう見えるか」に近い。工学的な内容を期待して読むと、全くの期待はずれに終わってしまうだろう。この 1 事例だけから推論するのは、それこそ根拠が 1 割にも満たないと言われてしまうかもしれないが、社会学者が考える「実践」とはその程度のものなのかもしれない、社会学者もそれで満足しているのかもしれない。そのよ

うな認識を持っている社会学者をそのレベルから一歩前に引きずり出すこと（あるいは、社会学者が自ら一歩前に出ること）は、容易なことではなさそうである。

しかし、ここ 10 年ほどで、社会学者を取り巻く環境も変化してきているように思われる。国立大学の独立行政法人化は、社会学者が好むと好まざるにかかわらず、たとえば「地域活性化」や「まちづくり」など地域貢献に向かわせる圧力となり、それは私立大学をも巻き込んでいる。地方国立大学は、総合大学であることが多いので、同じ学内で社会学者と工学者の集いの機会を設けることができるかもしれない。文系私立大学とて、大学を一歩出る勇気があれば孤立無援ではないだろう。一方、社会学者も内発的に社会に「役立つ」ことへの意識を高めてきているように思われる。たとえば、1999 年の関西社会学会の統一テーマは「社会学の可能性」であり、そのミニ・シンポジウムの 1 つは「社会学は『役に立つ』か？」であった。1995 年の阪神大震災を経験した関西の社会学者たちが、自己内省的に到達した 1 つの統一的な心境だったようにも思われる。「われわれは、社会の見方を考えているだけでよいのか、社会に実践的に関わっていくためにはどうすればよいのか」と。

高坂健次（高坂健次, 2000）は、政策提言を行う中で、「科学的論拠」は 1 割で、残りの 9 割は「科学的推論」ないし「経験的な勘」であると述べた。しかしそれは、1 つないし少数の理論から予測できるような比較的単純な問題が 1 割程度だという見方もできるかもしれない。理論を組み合せてシミュレーションを組むことによって、科学的に予測することができるようになるような問題（より複雑な問題）は、もっとあるのかもしれない。そのような可能性があるのであれば、それを追求することには意義があると言えるだろう。社会シミュレーションには、まだまだ大いに可能性があるよう思う。それには、社会学者と工学者が話し合い、協同を促進する仕掛け作りから始めてみてはどうだろうか。社会学者は、バラ色の将来像を描くことを躊躇する性癖があるよう思われるが、数十年後に現代以上に社会や人生に対する満足感を感じる人が多い時代が訪れる 것을期待したい。そして、社会学者と工学者の知恵を結集した社会シミュレーションが、その背後でぐるぐる回っていることを。

4. 8 経済行動シミュレーション

4. 8. 1 経済行動シミュレーションの方向性

経済行動シミュレーションのベースとなる個人の経済行動データについて、観察技術の発達によって、より詳細で精緻なデータが日常の経済的場面でリアルタイムに取得できるようになるだろう。それと同時に、マクロな経済状態についても、より広範囲で高頻度な観測データがリアルタイムに取得できるような状況が実現されるであろう。これらのデータをもとに、複合的な経済シミュレーションモデルをリアルタイムに構築・更新することが可能となり、金融取引や購買行動などの様々な現実の経済的場面の中で、経済行動シミュレーションが現実世界に浸透していく方向に進むと考えられる。

4. 8. 2 個人経済行動の観測・モデリングの詳細化

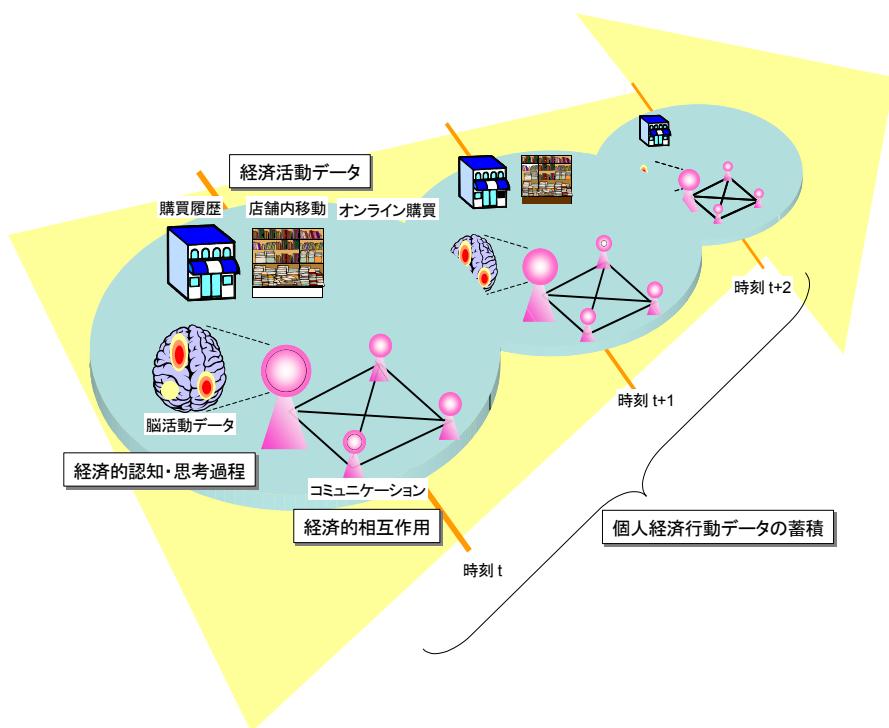


図 4.8-1 個人経済行動の観測・モデリングの詳細化のイメージ

様々な経済活動における情報通信技術の急速な進歩や、センシングデバイスなどによる計測技術の発展により、経済的な選択を行う様々な場面での人間の行動を計測し記録する技術の観測範囲および精度は飛躍的に上昇してきている(図 4.8-1)。観測技術の向上に伴って、獲得した個人行動データをデータベースに蓄積し、分析に再利用する技術も分野によって進んでいる。例えば、個人の購買履歴に関しては、スーパーや小売店舗で商品を購入すれば POS データとして記録・蓄積したり、RFID などのデバイスにより店舗内の回遊行動を計測できたりする。オンラインで買い物をすれば、実際に買ったものに関するデータだけでなく、興味を持ったが実際には購入にまで至らなかった商品に関する行動まで記

録可能である。また、金融取引の電子化によって、機関投資家やオンライン取引を利用する個人投資家に関して、金融商品の注文や成立した取引のデータを、秒単位で取得することが可能となっている。これらの個人の経済活動に関する行動データはデータベースに蓄積され、マーケティング等の活用のために経済活動パターンの分析・モデル化に用いられている。蓄積された行動データを分析し、平均的な行動パターンや特定のパターンを抽出するデータ分析技術も急速に進歩している。

経済行動のモデル化には、個人単独の行動だけでなく個人間の経済的な相互作用の観測技術が必須である。しかし、相互作用の観察技術に関して、単独行動の観察技術に比べると現状ではレパートリがそれほど多くない。現状では例えば、質問紙調査やフィールド調査、または行動経済実験などが挙げられる。近年、オンラインデータの取得技術の進歩により、個人間の情報のやり取りや社会ネットワークに関して、SNSデータや電子メールデータ、webアクセス解析などの新たなデータ収集が可能になった。これらのデータの分析により、経済行動に関する情報流通や相互作用による態度変容モデルも詳細化し、社会ネットワーク分析の分野の一つとして発達してきている。

実験室環境の中で擬似的な経済的場面を構築して、実験参加者に経済的選択を行わせる行動経済実験においても、経済行動の観測技術は大いに進んできている。従来からの質問紙調査などによる行動記録だけでなく、心拍数や発汗量といった生理指標を実験中に逐次計測し分析に活用すること可能である。さらに、実験参加者の行動を記録する情報端末や、オンライン実験の場合は情報取得行動も記録も可能である。これらの観測技術の進歩により、実験中の経済選択の結果だけでなく、実験参加者の選択結果に至るまでの過程についても行動記録ができ、分析につなげられるようになった。このような個人の経済活動に関する観測技術は、今後 10 から 20 年間でさらに対象分野を拡大し、より詳細な行動まで高い精度で観測できるようになるだろう。

しかし、経済行動の背後にある、個人の認知機構や思考過程、行動決定ルールに関する観測技術は現状ではまだ不十分である。この点では脳科学の発達に期待される。特に、2000 年代半ばから、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を始めとする新しい脳観測技術を、経済的選択時の脳活動の分析に用いる神経経済学(ニューロエコノミクス) (*C. Camerer et al., 2005*) やニューロマーケティング分野 (*D. Lewis et al., 2005*) の発達がめざましい。今後 30 年の間に時間分解能や空間分解能が向上し、様々な経済行動を決定している脳の活動をより詳細に観測できるようになるだろう。経済行動を含めた様々な思考過程の機能やメカニズムを解明するためには、様々な場面での脳活動データを蓄積するのはもちろんのこと、獲得したデータから脳活動の動的パターンを抽出分類して、脳活動データと表に現れる経済的行動の間を結ぶ理論・モデルの発達が必要である。そうして、既存の様々な経済的行動の選択理論(モデル)を、脳計測データに基づいて直接的に検証・改良することが可能となるだろう。さらに、新たに観測された認知・思考プロセスに基づいて、今までにない新たな行動ルールや学習モデルの構築も大いに期待される。また、行動の背後にある思考過程の解明により、今まで異なると思われていた他分野での行動モデルと統合し、経済行動モデルの詳細化や対象分野の拡大が進んでいくと思われる。

経済行動の観測技術や脳計測技術に用いる装置の小型化・軽量化は、これからどんどん進んでいくだろう。観測のための各種センサは小型化し、常に装着して日常の経済活動を詳

細に記録することが可能となる。脳計測に関しても、脳計測装置の小型化が進んでいくだろう（B. Blümich, 2008）。今後 50 年の間には、日常生活における経済行動および脳活動を計測可能になり、リアルタイムにデータ取得できるようになるだろう。それまでの統制された実験室環境だけでなく、複合的な環境で経済行動と脳活動を結びつけるモデルの構築が可能となり、リアルタイムに経済行動の分類・同定が技術的に可能となると思われる。日常的な経済行動の観測に関しては、個人の行動・思考データの計測や蓄積に関する倫理的な問題も含まれる。思考データはいわば究極的な個人情報である。もし、管理のために利用されることがあれば、SF 小説にあるような究極的な監視社会に進んでしまうのではという懸念も当然である。このような観測技術の向上に伴い、行動データに関するプライバシー保護やセキュリティのための技術への要求も高まるだろう。さらに、そのような技術的な対策だけでなく、運用上での対策もあり得るだろう。つまり、自分の利益のために自分から行動データを提供するしないを選択できるという運用が普及していくかもしれない。現在でも、例えば、販売会社のポイントサービス会員になって購買履歴を提供して割引を受けたり、オンライントレードで購買データを提供してリコメンドを受けたりすることが行われている。将来的には、行動データだけでなく脳活動データまでも含めて提供して利益を得るかどうか、各個人が「経済合理的に」選択できる環境になるかもしれない。

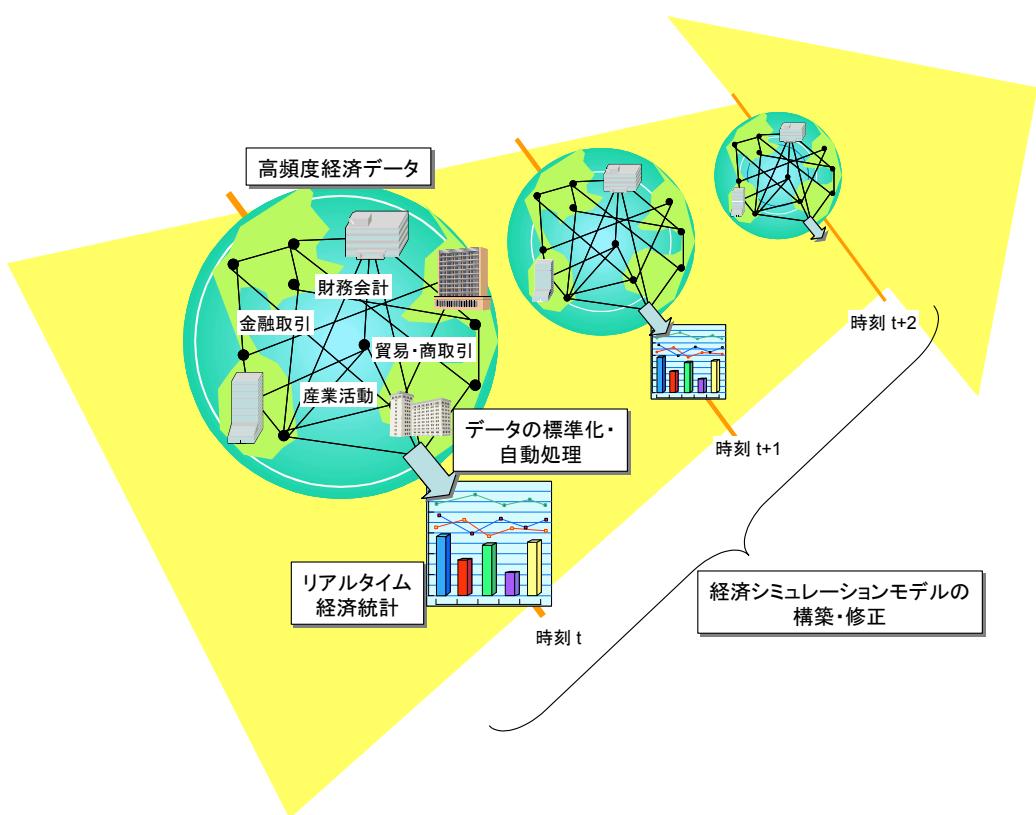


図 4.8-2 経済現象観測の大規模化・リアルタイム化のイメージ

4. 8. 3 経済現象観測の大規模化およびシミュレーションモデルの複雑化

経済現象のマクロな観測技術は、現状でもある程度のデータ観測・蓄積は可能である。例えば社会調査や集計により毎月のように各種の経済社会指標が様々な機関から発表されている。最近では、情報通信技術の発達により、より広範囲で迅速に、詳細で時間分解能の高いマクロ社会データが収集できるようになりつつある(図 4.8-2)。例えば、金融電子取引の普及により、分秒単位の高頻度な金融市場の市場データが手にはいるようになった。また、店舗の販売データを瞬時に集計できるオンラインシステムも普及している。このように、マクロな経済状態を観察するための元データを自動的に集めるための情報技術は今後も進歩を続けるであろう。それに併せて今後 10 から 20 年間で特に進むであろう技術は、高頻度で広範囲のデータを、背景にある経済的な意味を考慮しながら自動的に処理してマクロな経済状態を抽出する情報技術であろう。すでに現在でも、財務諸表データにおける XBRL(eXtensible Business Reporting Language) や、金融取引データにおける FIXML (Financial Information Exchange Markup Language) のように、様々な経済情報を連携させて再利用しやすくするための標準的なデータ形式が提唱され普及し始めている。これらの技術の進歩により将来的に、収集した高頻度で広範囲な経済データを自動的に集計することによって、リアルタイムにマクロ経済指標を作成できるようになるだろう。例えば、2020 年 12 月 25 日の午前 0 時から 2020 年 12 月 26 日の午前 0 時までの 24 時間の日本の国内総生産を翌日には集計することが可能になるかもしれない。

今後 30 年の間に、ミクロな個人の経済行動からマクロな経済現象までに関する、高頻度で大規模な観測データが取得できるような技術が大いに進歩するであろう。それと同時に、データを蓄積・集計する技術だけでなく、これらのレベルの異なるデータを繋げるために、個人行動・相互作用・経済現象を結びつけるシミュレーションモデルを計算機上に実装するための技術も進むと考えられる。おそらく、各レベルのモデル(仮説)には、あらかじめ幾つかの候補が用意されていて、観測データから候補を絞り込むためのデータマイニングやシステム同定の技術が必要であろう。そして、絞り込まれた各レベルのモデルを組み合せて、対象となる経済現象の計算機シミュレーションを行う。そのために、複雑なシミュレーションモデルを構築するためのツールや、様々な条件で高速に大規模シミュレーションを行う計算機技術が発達することが期待される。

経済データ取得と経済シミュレーションの高速化によって、今後 50 年の間に、直近の経済状況から半歩先の経済状況の可能な状態を見せるような、リアルタイム経済シミュレーションが実現するかもしれない。そのためには、取得した経済データからシミュレーションモデルを構築するだけでなく、構築された経済モデルを最新のデータにより修正・更新するために、人間の領域知識を再利用な形で表現し計算機上に実装する情報技術が必要である。また、リアルタイムな経済シミュレーションの結果を活用するための情報処理技術も発達するであろう。例えば、将来の経済状況がこうなるためには直近ではこうなっている必要があるという条件をシミュレーションにより特定する技術、または、直近でこうした方が将来の経済状況がこうなる可能性が高まるといった将来あり得るシナリオをシミュレーションによって提示する技術などが考えられる。さらに、シミュレーションの構築や更新に利用できるリアルタイムなデータの範囲が広がったり、経済シミュレーションのタイムスパンが長くなったりすれば、複数の経済現象間の相互作用を考慮しなければいけ

なくなる。そのため、すでにある複数の経済シミュレーションモデルを観察データと矛盾ない形で統合して、より複雑な経済シミュレーションモデルを構築するための理論や技術も必要となるであろう。

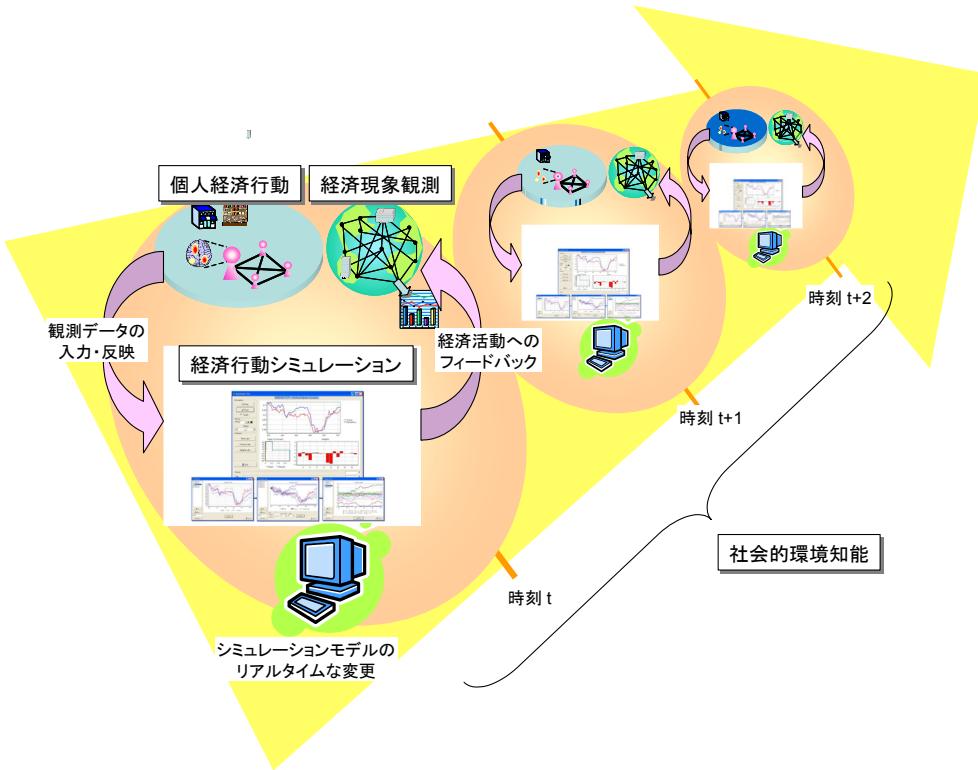


図 4.8-3 経済行動シミュレーションの現実世界への浸透イメージ

4.8.4 経済行動シミュレーションの現実世界への浸透

今までの経済行動シミュレーションには大きく分けて 2 つのアプローチがある。一つは既存の経済理論に基づいて、仮説や理論を先に決めてシミュレーションモデルを構築するトップダウンのアプローチである。もう一つは、経済行動に関する仮説や理論を考慮せずに、過去の時系列データからニューラルネットや進化的計算などの工学的手法や時系列解析などの統計的手法を用いて、ボトムアップに関係式を導出し数値シミュレーションを行うアプローチである。それぞれに一長一短がある。前者のアプローチでは、マクロな経済現象とミクロな経済行動との関係性が人間にも理解しやすいシミュレーションとなるが、仮説や理論によっては現実から乖離したモデルになるおそれがある。後者のアプローチでは、データへの当てはまりという点で優れている可能性が高いが、導出された関係式が複雑すぎて、なぜそのような経済現象が見られるのかを人間が理解するのが困難になってしまることがよくある。今度 10 年から 20 年の間に、ミクロな経済行動とマクロな経済現象に関するデータが詳細に取得できるようになれば、詳細で多層的なデータに基づいて、先ほどの 2 つのアプローチを統合した新たな経済行動シミュレーションを実現する技術が発

達すると思われる。つまり、過去から現在までの経済状況を再現するために、どのような種類の経済行動がどのように相互作用しているかについて、観測データからのボトムアップと経済理論からのトップダウンの両方を考慮して、あり得る経済モデルとして同定する。さらに構築したモデルに、実際にはなかった環境条件をパラメータとして入力し、そのときに起りえた(would-be)経済状況をシミュレートする。そのような would-be シミュレーション技術 (J. Casti, 1996) の進歩および現実の経済問題への適用が進んで行くであろう。

さらに、今後 30 年の間には、シミュレーションの高速化および基となるデータの詳細化・大規模化によって、直近のデータから構築されたシミュレーションモデルによって、半歩先の将来をリアルタイムに予測する技術まで進むかもしれない。予測とはいっても、SF 小説にあるようなスーパーコンピュータによる全自动で完全な未来予測ではなく、ユーザが想定される複数の条件を入力して、ある経済現象が起る可能性はどちらの条件の方が高そうかというように、条件付きで相対的な予測であろう。例えば、購買行動シミュレーションに関しては、「何時何分に確率何%でだれそれがその商品を購入する」という個別事象の予測ではなく、「販売計画 A と販売計画 B では、確率何%で A の方が売上が高くなる可能性が高い」といった統計的で相対的な内容であろう。他にもいくつかの経済政策を行った際の経済不安定化リスクの予測や、経済環境の変化に伴う経済システムの頑強性の事前評価などを行えるようになるであろう。

シミュレーション結果から「最適」と予測された経済行動を実行するには、大きな壁がある。それは、当事者間の利害・感情的な問題や慣習の変化に対する抵抗感、想定外の要素の出現などである。1 回だけ経済シミュレーションを実行し「最適」解を求めて、それを社会に強制して良いものだろうか。リアルタイムに経済行動データが取得できるのならば、小規模な変化(プロトタイプ)から始めて、その効果を測定したりユーザ(市民)からフィードバック(データ計測)を得たりして、常にシステムの設計を改善・変更していく、目標状態を持って行くようなデザインプロセスも可能となる。今後 50 年の間には、日常生活での経済行動センシングと経済行動シミュレーションが現実世界に浸透していく、このように現実の社会的環境に埋め込まれた知能(社会的環境知能 (中島, 2008))の技術が発達していくかもしれない(図 4.8-3)。そのような状況では、経済行動シミュレーションは常にリアルタイムに実行され、シミュレーション結果は現実世界に何らかの形でフィードバックされているので、特別にシミュレーションの存在を感じさせずに、リアルとシミュレーションの境界が取り払われていくような方向に進むであろう。また、もしかしたらユーザは日常生活で自らの経済行動データを提供することが可能となり、参加型の経済行動シミュレーションにほとんど意識せずにリアルタイムに参加することも可能になるかもしれない。その結果、経済シミュレータもユーザ自身も経験を積んで共進化することになる。経済シミュレータがあつた方が、各種の経済制度や経済行動の進化スピードが高まり、決定プロセスが透明化するであろう。

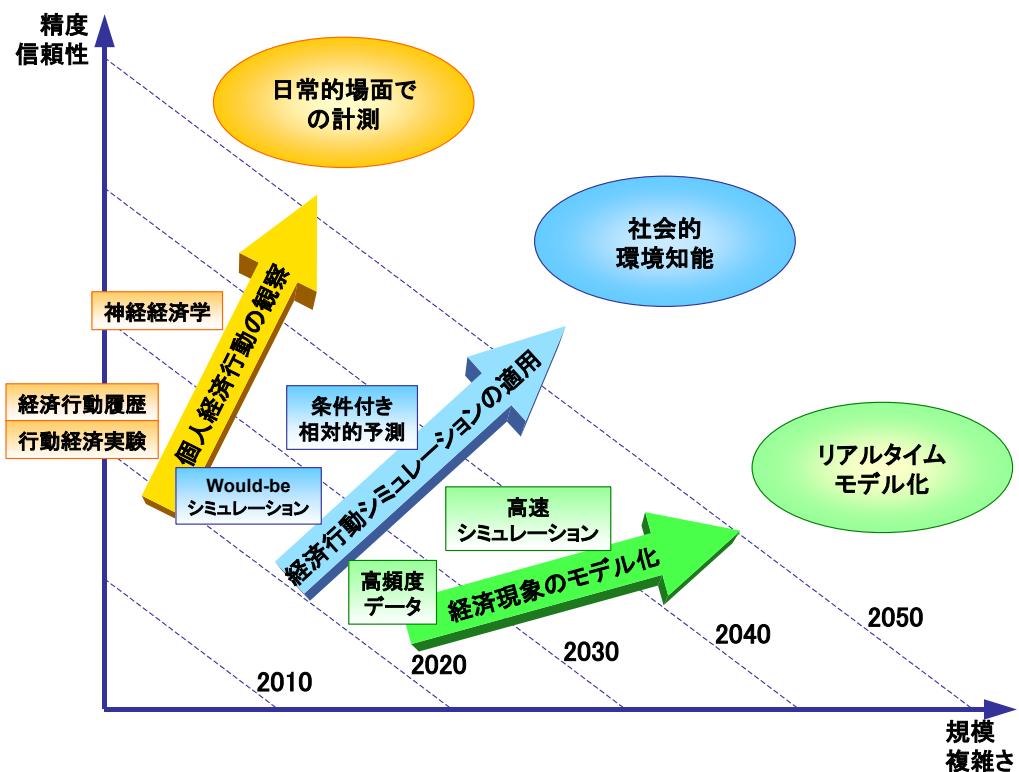


図 4.8-4 経済行動シミュレーション領域のロードマップイメージ

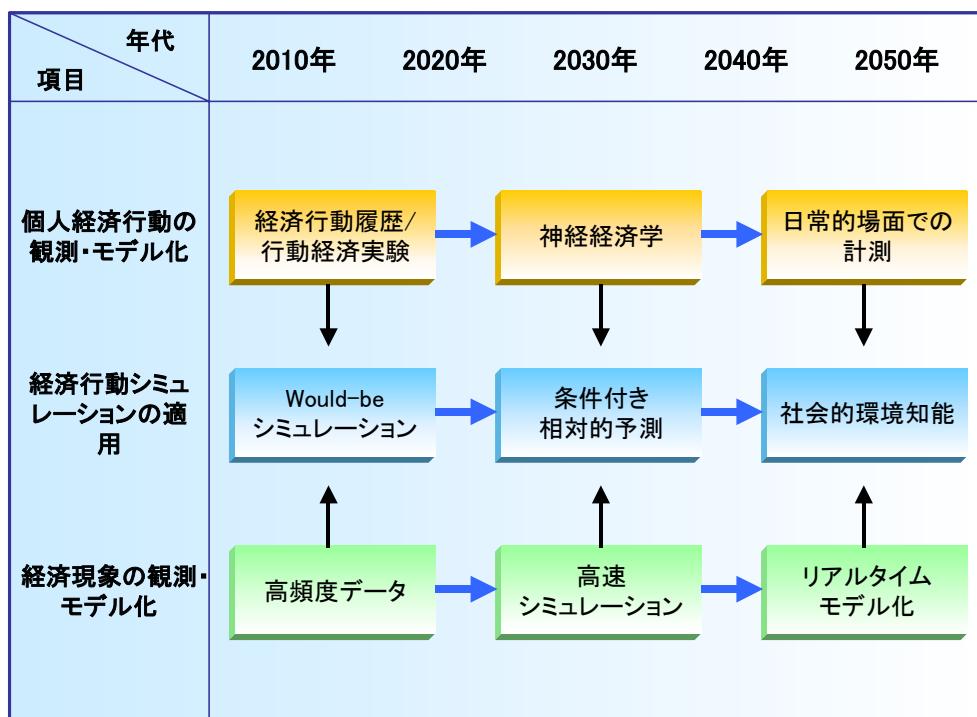


図 4.8-5 経済行動シミュレーション領域のロードマップ

4. 9 ものづくり・サービスづくりシミュレーション

4. 9. 1 はじめに

ものづくり・サービスづくりのシステムは人、物、金、情報に代表される要素により構成されている。これらのシステムは近年それ自体の規模の拡大とともに、システムを構成するプロセスやシステムからのアウトプットの社会・環境に対する影響がグローバル化している。例えば、ものづくりの分野においては、まさに生産のグローバル化があり、海外調達、海外生産、海外販売が当たり前になっている。また、地球温暖化などに代表されるシステムの環境へ与える影響についても地球全体に及んでいる。一方、サービス産業は日本経済の GDP および雇用ベースに占める割合が約 7 割に達しており、サービスづくりの社会への影響は極めて大きいものといえる。このことから、ものづくり・サービスづくりのシミュレーションはまさに社会システムのシミュレーションのひとつであり、中でもそのシステムの重要な要因である「人」に関するシミュレーションの発展の必要性が高まっている。

4. 9. 2 ものづくり・サービスづくりの構造

はじめに、「つくる」すなわち生産の定義について示しておこう。JIS 生産管理用語によれば、「生産」とは「生産要素である素材など低い価値の経済財を投入して、より高い価値の財に変換する行為又は活動」であり、「製造は人工的であり、生産は自然活動も含むという区別をする場合もある」としている。この定義によれば、生産は価値を高める行為であると理解できる。生産の結果として産出されるものを製品と呼ぶ。「製品」とは、「活動又はプロセスの結果」であり、「製品にはサービス、ハードウェア、プロセス製品、ソフトウェア及びこれらの組合せがある。また、製品には有形の物（例えば、組立製品）又は無形の物（例えば、知識又は概念）、及びこれらの組合せがある」。一般には製品とは有形のものの概念で用いられることが多く、無形のサービスとあわせ、プロセスの結果は「製品・サービス」であると示されることがある。

つぎに、ものづくりにおける業務の流れを考えてみよう。製品の種類や生産形態により様々な業務の流れが考えられるが、受注生産の場合についての一般的な業務の流れを図 4.9-1 に示す。通常、生産を行うのは生産された製品を販売するためである。そこには顧客あるいはお客様がいて、製品に対するニーズ（要求）を持っている。新しい製品の場合には顧客の要求に応じて製品企画の活動をし、企画内容が決まったら生産をするための製品設計をおこなう。製品設計では製品の構造や構成部品の形状、加工方法や組立て方などの基本的な生産方法、その製品の使用方法などが決まるが、それと同時にそれらにかかるコストの 8 割方が決まってしまうといわれている。

生産を具体化するために必要な技術、工法を考える、生産設計では、製品設計でのアウトプットである設計図に基づいて、設備や作業者の生産における役割分担が決まり、設備設計や設備の購入、作業者が持つべき技術などが明確になる。生産計画により、製品の量と生産のタイミングが決まると、生産方式を決め、工程設計が行われる。また、詳細な生産計画が決まると、必要な資材を調達する活動が行われる。

調達活動に基づき、発注先から資材が納入されると、検品（数量と品質の検査）が行われ、資材倉庫に保管される。生産現場の生産計画に基づき、必要なものを、必要な量だけ、

必要なときに供給し、生産が行われる。出来上がった製品は検査され、製品倉庫に保管される。顧客の要求に基づいて出荷計画が立てられ、製品倉庫から出荷され、顧客に届けられる。生産を始めるまでの立ち上げ期間、生産を始めてからの期間で生産に関わるトラブルや改善に対処するために、製造技術や生産技術のスタッフが支援する。

繰り返し生産される製品については、新たに製品設計を行う必要がないため、営業活動から得られた需要に関する情報は、生産計画のステップへ入ることになる。また、この図には顧客の需要を受け取り、直接製品倉庫から出荷する場合の流れも加えられている。

製品のライフサイクルを考えると、顧客に渡った製品は、必要とされる製品の機能に基づいて使用される。繰り返し使用される場合には、保守や修理を行う必要が出る。使用し終わると、資源としてリユース、リサイクルされるか、最終的には廃棄されることになる。

サービスづくりにおいては、図 4.9-1 に示されるような共通的な業務フローは描けない。しかし、サービスを受けるお客様がおり、そのお客様の製品（サービス）に対する要求があることではものづくりと同様である。また、企画、設計段階を経て、必要資材を調達し、サービスを提供するという業務フローが同じように描け、サービスを受けたお客様が満足することによりシステム全体が完結するという点でも対応していると考えられる。

以上のことから、ものづくり・サービスづくりは図 4.9-2 のように捉えることができる。生産は素材を変化させ価値を高めて製品にする行為である。このとき、変化を起こす資源として、機械設備や作業者、道具に代表される手段の資源がある。また、投入された素材は全て製品に変化するわけではなく、素材として投入されたが製品にならないものが生まれる場合がある。例えば、プレスに用いる鋼板は、打ち抜かれたものは部品として用いるが、それ以外の部分は使用されずに廃棄される。また、素材として投入された部品が不良品である場合には、返却あるいは廃棄されることになる。ものづくりにおいて、上記のような製品にならないものについては、これまで生産における要素の中に含めていないことが多かった。しかし、素材の効率や不良などを考えると、生産プロセスの分析対象として意識しておく必要がある。ここでは、このような資源を「のこりもの」あるいは「残資源」と呼んでおく。残資源を考慮すると、素材は生産により、姿かたちを変えて製品または残資源に変化することとなる。ただし、無形の製品では素材そのものが無形であるが、それでもそのサービスを享受するためには何らかの有形な資源を介して行われることが多いと考えられる。

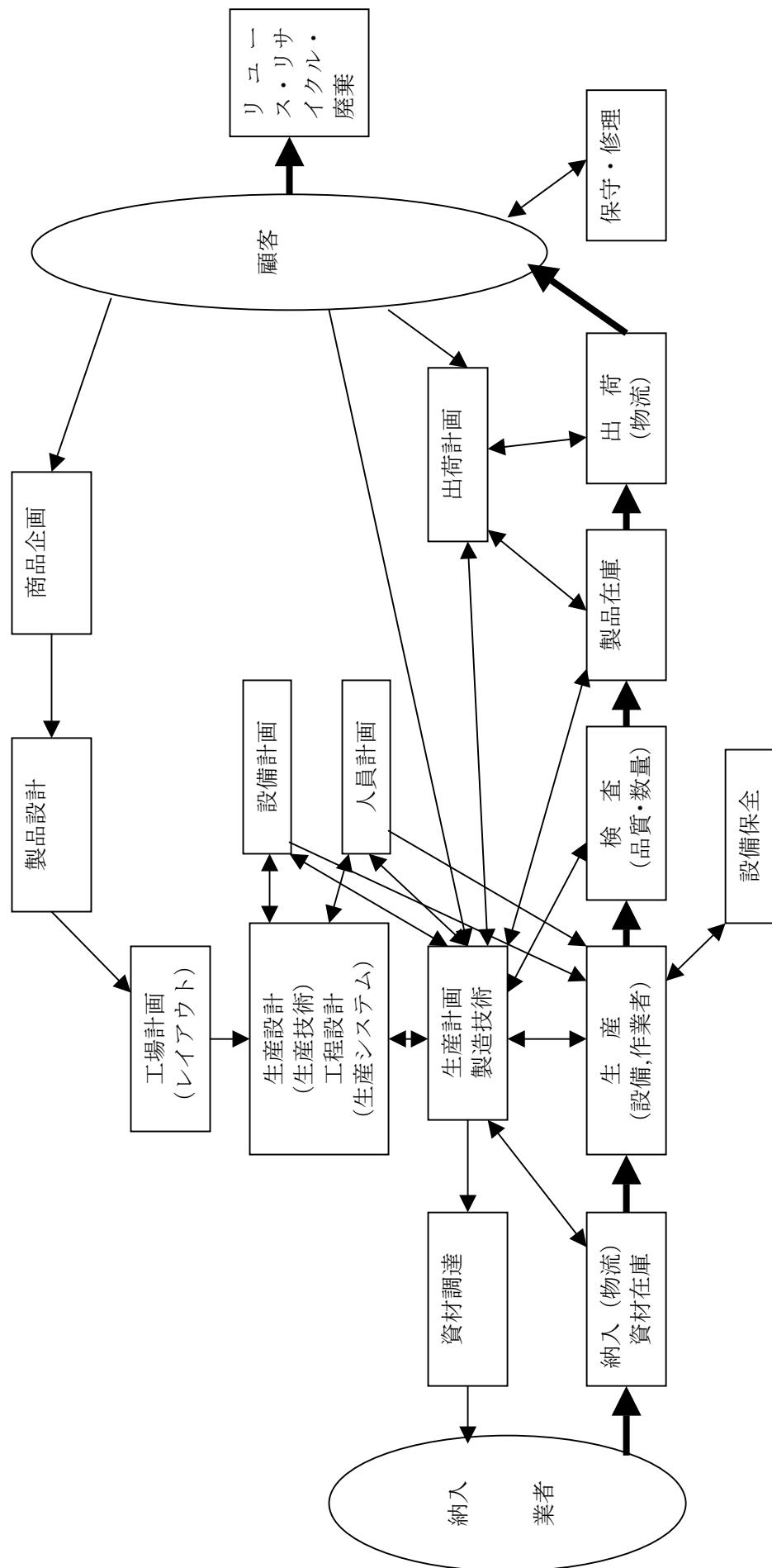


図 4.9-1 ものづくりにおけるものと情報の流れ

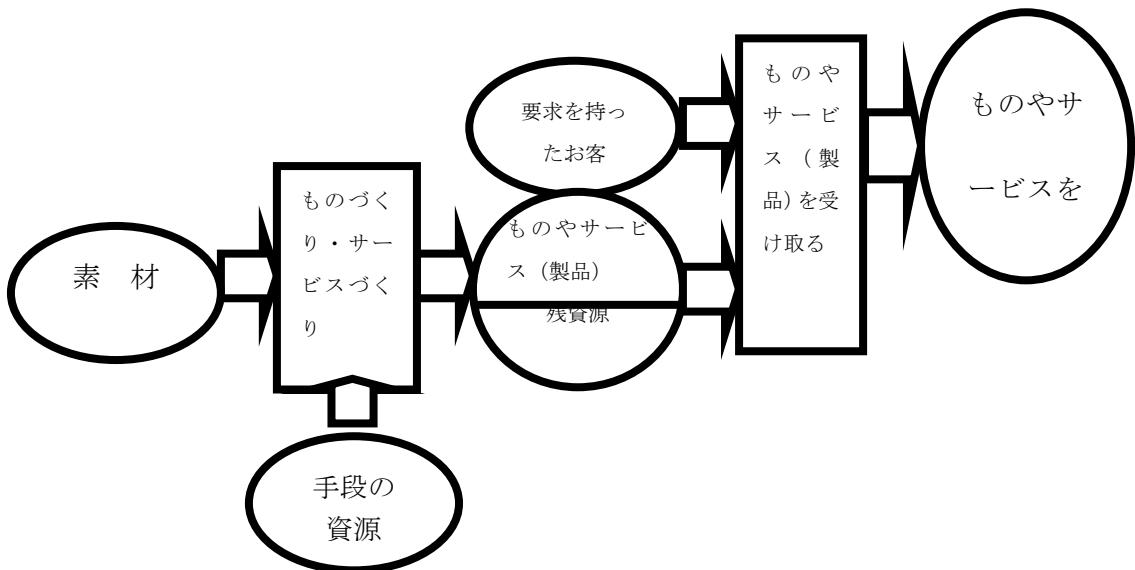


図 4.9-2 ものづくり・サービスづくりの仕事の構造

4. 9. 3 管理技術と評価尺度

ものづくり・サービスづくりのためには 2 つの技術が用いられる。一つは固有技術と呼ばれる、ものやサービスそのものを生み出すための技術であり、この技術なくしてものやサービスをお客に提供できない。もう一つは管理技術であり、PQCDSME に代表される評価尺度を向上させるための技術である。

管理技術には、インダストリアルエンジニアリング (IE : Industrial Engineering)、品質管理 (QC : Quality Control)、オペレーションズ・リサーチ (OR : Operations Research)、シミュレーション、価値工学 (VE : Value Engineering)、設備管理 (PM : Plant Maintenance)、人間工学 (HE : Human Engineering)、プロジェクトマネジメント (PM : Project Management)、信頼性工学 (RE : Reliability Engineering)、経済性工学 (EE : Engineering Economy)、確率統計、行動科学 (Behavioral Science) などがある。これらの管理技術は、様々な問題状況に対応するために開発され適用してきた。今後も新たな問題に応じて新しい管理技術が開発されていくこととなる。これらの管理技術を適切に用いることにより、ものづくりやサービスづくりのシステムの設計（新たなシステムを作る場合）、改善（現状のシステムを良くする場合）、確立（持続的にシステムの成果が得られるように手順化、標準化すること）が行いやすくなる。これら管理技術の開発に際してもシミュレーションのモデルや技術が必要となる。

システムにおける評価尺度について示すことにしよう。一般に、企業活動でよく出てくる評価尺度は QCD (品質、コスト、納期) である。近年では安全性や環境への配慮も重要な評価尺度になってきており、そのような観点から、現在では PQCDSME の 7 つが重要な評価尺度となっている。P は Productivity を意味する。生産性は、「投入量に対して産出量をできるだけ増やすこと」であり、産出量／投入量により評価される。従って、生産性は比率であり、この比率を高めることが生産性向上の活動になる。Q は Quality (品質) であり、「ねらった品質の製品を提供すること」を意味する。現在では、顧客側からの観点で、「顧客満足度を向上させること」が重要である。製品を販売するうえで、品質の確保・向上は何にもまして大切な評価尺度であり、企業にとって品質保証体制をどのように

取れるかがますます重要性を増している。C は Cost (コスト) であり、「資源の無駄使いがなく、安いコストで生産できること」を意味する。原価の低減だけではなく、投資に対しても経済的に行う必要がある。また、利益を確保する上で売上を大きくすることも行っていかねばならない。したがって、C はコストだけではなく、お金に関する評価尺度として幅広く捉えることが重要である。D は Delivery (配達、調達) あるいは Due Date (納期) であり、「必要なときに、必要な量だけ、必要な製品を迅速に提供できること」を意味する。製品の質的側面は Q で評価されるが、D は時間的、量的側面の評価尺度である。個別の受注ではその製品の納期を守ることが重要であるが、見込み生産では、ある時点での量の確保が重要である。また、生産のリードタイムの低減や、作業時間の短縮もこの評価尺度に含まれる。S は Safety (安全性) であり、「作業者の負荷が軽減され、労働災害や事故がなく、安全に作業ができること、生産された製品の安全性が確保され、安心して使用できること」を意味する。生産の場面では作業者の安全性、対外的には製品や使用者の安全性の両面から捉える必要がある。以前は労働災害の観点から作業者の安全に注意が向けられていたが、現在では社会的に安心・安全な製品が注目されている。M は Morale (モラール、士気、やるき) であり、「人の能力が開発・向上され、働きがいをもって仕事ができること」を意味する。例えば、研修制度に代表される作業者の能力の向上や人材育成は、キャリアアップと呼ばれ注目されている。また、この評価尺度には、作業環境の向上や福利厚生に関するものも含まれる。企業に余裕があるときには、M に関する評価尺度の向上に積極的に取り組むが、余裕がなくなると最も評価され難い評価尺度である。しかしながら、人材育成や作業環境の向上は企業が苦しいときにこそ必要な活動であり、次の飛躍に結びつくはずである。E は Environment あるいは Ecology (環境) であり、「環境に対し、負荷をかけない製品を提供できること、環境に対し、負荷をかけない生産、物流プロセスを設計すること」を意味する。この評価尺度も内部的な内容と対外的な内容を持っている。ISO14000 シリーズに代表される環境マネジメント活動は、多くの企業がその認証を取得している。地球温暖化や資源の枯渇は、全地球的に扱っていかなければならない問題であり、今後ますます重要な評価尺度になる。

4. 9. 4 ものづくり・サービスづくりでの問題解決

仕事のシステムの設計・改善・確立といった問題解決のプロセスには、次の 7 つの段階がある。
①問題認識：この段階では問題が与えられる場合と問題を発見する場合がある。前者は、例えば今期コスト削減 10% を達成するといった経営方針のもとで、その問題を直接解決していく場合である。一方、後者はいわゆる「気づき」である。
②定式化：どのような条件で問題を解くかということ（制約条件）と目標あるいは評価尺度（先の PQCDMSME）を決める段階である。この 2 つが決まってないと問題が解けない。
③代替案創出：問題を解決するためのアイデアを出す段階である。②で決めた制約条件や評価尺度をいったんはずして自由な観点からできるだけ多くのアイデアを出すことに心掛ける。
④意思決定：出てきたアイデアを整理し、制約条件と目標・評価尺度の観点から最終案を決定する。どの案がよいかをシミュレーションや実験をして決定することも必要になる。この段階で出てきたアイデアは今後のアイデア創出の参考になることが多いので、組織として蓄積していくとよい。
⑤実施：最終案を具体化し、実行し、実績データをとる。
⑥評価：実施した結果と目標を比べ、予想効果が出ない場合には上記のいずれかの段階へ戻る必要がある。
⑦確立：実行結果が持続できるように、あるいは誰でもその成果が実現でき

るよう手順化、標準化する。以上の7段階は管理のサイクルといわれるPDCA（計画①～④、実行⑤、評価⑥、対策⑦）サイクルに対応している。管理技術を適用することにより、このサイクルをよりよく回していくことができる。

4. 9. 5 ロードマップのイメージ

前述したものづくり・サービスづくりの特徴を考慮し、そのシミュレーションモデルの開発の方向として、図4.9-3および図4.9-4に示した、企業・組織内モデル、企業・組織間モデル、社会・環境モデルと呼ぶ3つの方向性を提案する。

企業・組織内モデルは、ものづくり・サービスづくりの企業・組織内（生産現場）のシミュレーションを行うためのシステムである。ものづくりの分野では、現在すでにその一部はソフトウェアとして開発されている。例えばフロントローディング（生産のリードタイム短縮のために、設計段階で量産体制のシミュレーションを行う）はその一例である。現在は時間・納期（D）を主体としたモデルであり、ものベースのシステムである。将来には時間からコスト（C）、品質（Q）へと発展させ、さらに作業者の安全性（S）やモラール（M）も含めたモデルの展開が期待される。そのためには、作業者（人）の思考プロセスが再現できる、作業者のシミュレーションモデルの開発が必要である。

企業・組織間モデルは、ものづくり・サービスづくりの企業や組織の連鎖を考慮したシミュレーションを行うためのシステムである。ものづくりにおけるサプライチェーンに対する管理技術が研究され、その基礎が出来つつある。このような状況を考慮し、企業・組織の連鎖によるシミュレーションを行えるシステムが必要とされる。基本はQCDへの影響のしかたのそれぞれの特徴をもつモデルが開発され、最終的にはそれらが結びついて様々な評価指標の検討ができるシステムへと発展すると考えられる。

社会・環境モデルは、ものづくり・サービスづくりにおける製品やサービスが、社会や環境へ及ぼす影響についてシミュレーションを行うためのシステムである。ここでは、生産プロセスが社会・環境へどのような影響を及ぼすかという観点からのシステムと、そのアウトプットである製品が社会・環境へどのような影響を及ぼすかという観点からのシステムに分け規模の拡大の順に配置した。さらに、それらが統合化され、プロセスと製品の両面から、また連鎖の長さが広くなる方向に拡大して検討できるシステムへと発展する。

以上のシミュレーションシステムは、既に一部は実施されているものもある。しかし、これらのシステムが標準化され、いつでも誰でもが広く自由に使用できる環境が整わなければならず、その普及までには相当の年数が必要とされる。また、この分野での多くのシステムは海外で開発されているが、日本の状況を考慮した日本発のシステムが望まれる。

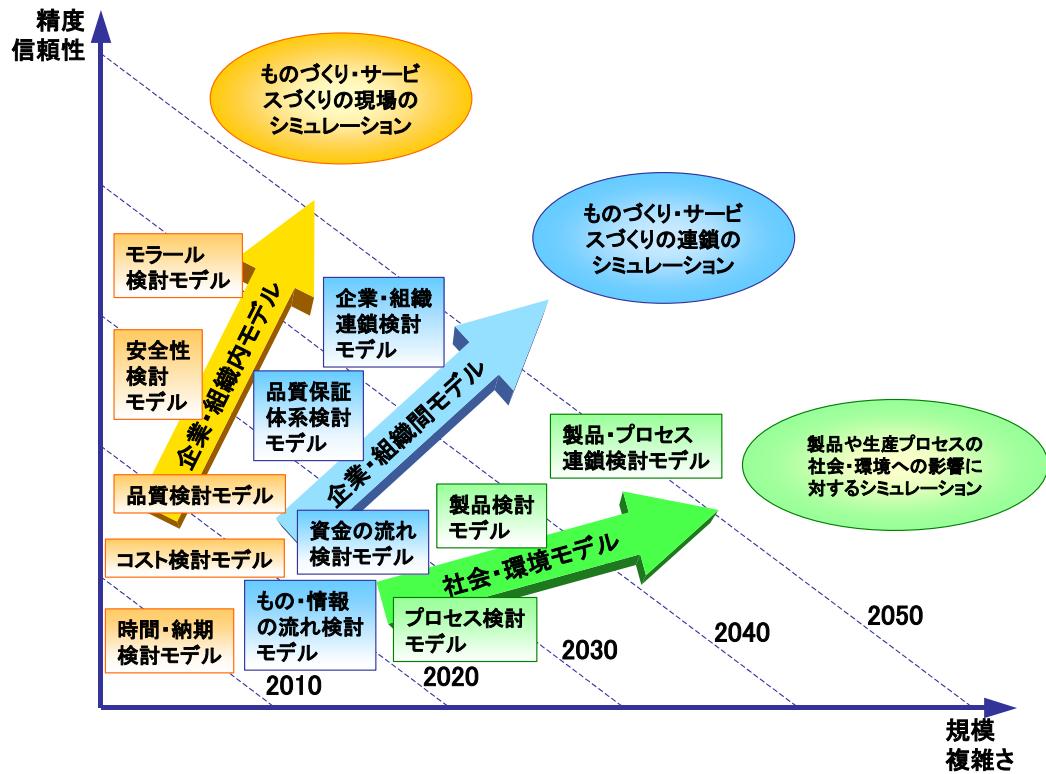


図 4.9-3 ものづくり・サービスづくりシミュレーション領域のロードマップイメージ

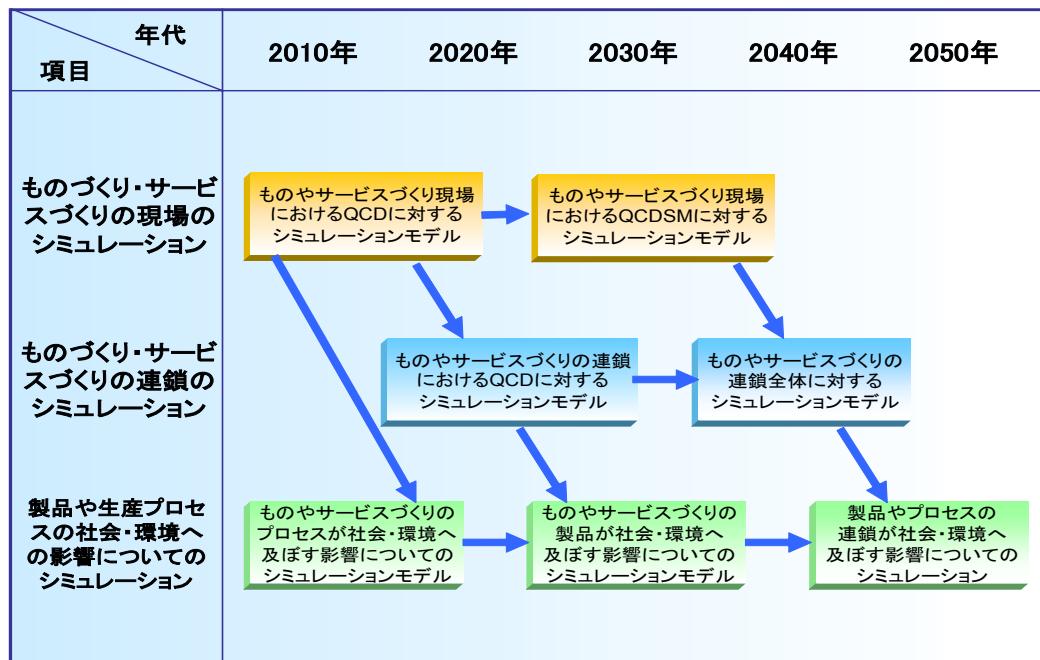


図 4.9-4 ものづくり・サービスづくりシミュレーション領域のロードマップ

4. 10 防災・安全シミュレーション

4. 10. 1 防災分野における社会シミュレーションの必要性

1995年1月17日5時46分に起きた阪神・淡路大震災、そして2004年10月23日17時56分に起きた新潟中越地震に代表されるように日本は世界有数の地震大国である。また地震だけでなく繁華街でのビル火災や、大型量販店での放火事件、花火大会帰り道で歩道橋での圧死、韓国地下鉄駅での放火事件など多くの災害が現実に発生している。それらは昼夜を問わず、誰もが何時災害に遭遇するか分からず。特に都市では人口の過密化のため、事故が発生すると大惨事になりうる危険性を常に抱えている。また昨今の政治情勢からすると、自然災害だけではなく、テロ等により引き起こされる事故・災害等も対策として考慮せざるを得なくなってきた。それに加え、内閣府編集、高齢社会白書によると総人口は2010年をピークに減少すると予測されているが、一方で65歳以上の高齢者数は増加すると推測され、さらに2030年には、高齢化率が現在水準の2倍の30%になると推測されているため、介護を必要とする高齢者ら、災害弱者についても考慮が必要となってくる。

このような現状より災害が発生した際の避難行動を、被災場所や被災者の属性を考慮しつつ予測しておくことは、防災対策を行う上で重要である。しかし災害時の人の動きを実際に検証することは難しく、さらに避難行動を検証するにはかなりの手間や時間、危険が伴うため、研究者たちによって理論的な避難行動モデルやコンピュータシミュレーションが開発されている。個々の避難者の属性を細かく設定できる、あるいは環境条件を変更できる、多くの避難者の相互作用つまりコミュニケーションを考慮できる、そして避難している状態を視覚化することができるなど、多くの利点や特徴を持っているエージェントベースシミュレーションを用いた避難モデルの先行研究として、ヒューマンマシンインタラクションや認知工学的視点を取り入れた研究（村上, 2006）や、複雑適応系コンセプトをもとにしたマルチエージェントシミュレータであるNetLogoやArtisoc, KK-MAS等で実装した論文等が挙げられる（大鱗, 2008; MASUDA, 2005; Batty, 2005; ZARBOUTIS, 2007）。

4. 10. 2 なぜ社会シミュレーションか？

社会シミュレーションを行う理由としては、他に有効な代替手法がないことが第一に挙げられるだろう。現実に多くの被験者や災害想定者を動員しての避難訓練には、時間・コストがかかるし、夜間や大雨、洪水などを想定した環境コントロールが難しい。そこでエージェントベース等を用いた避難モデルが開発されている（堀, 2005）。災害弱者であると考えられている高齢者や障害を持たれている方、幼児らの行動を考慮することが必要とされているが、災害弱者や被災時の心理状態をモデルに組み込んだものはまだ数が多くない。そこで避難心理から来る行動特性を考慮した避難モデルを構築し、実際にある公共施設を簡略化した空間において、現実に起りうるだろう状況を考慮したシミュレーションを、エージェントベースアプローチ等を代表とした社会シミュレーションを用いて実装し、そして施設配置を変化させるなどの比較検討を行う研究が必要となっている。

またエージェントベースモデルの特徴として、個々のエージェントに異なった行動特性や属性を組み込み、これら異なった属性のエージェントが全体としていかなる振る舞いをするのかを、マクロ的に観察することが出来る。すなわちコンピュータ上に避難空間の人工社会を構成することが可能となり、図4.10-1に示すように視覚的に避難者の歩行動態が表現できる。

出力画面

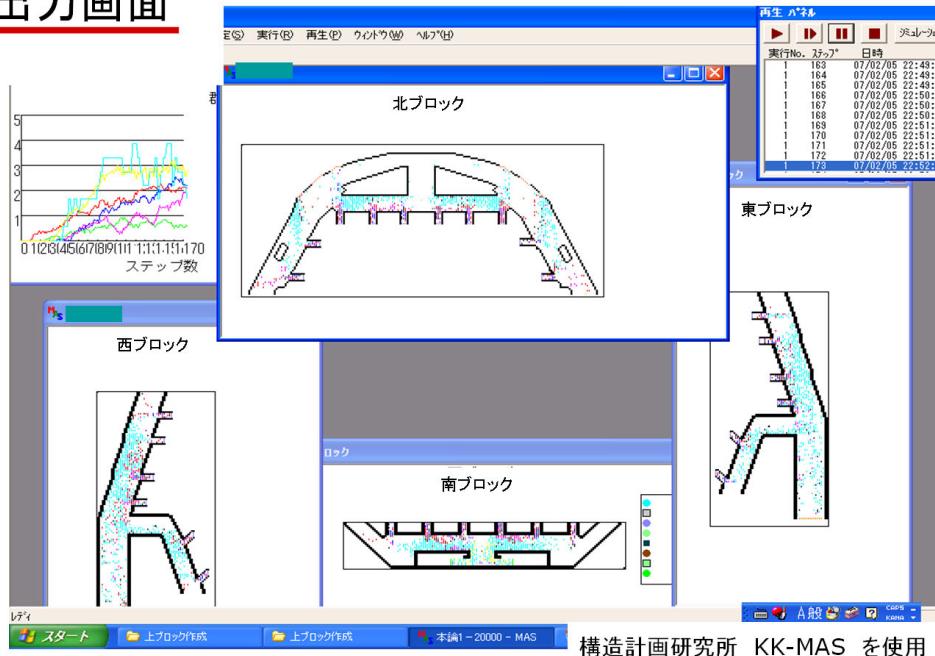


図 4.10-1 シミュレーションのスナップショット

さらに過去の多くの事故分析では、すでに起った事故を解析することで、将来の事故を防ごうと考える。しかし エージェントベースアプローチの特徴である「創発」を、「潜在的な事故要因のシミュレーション上での顕在化」として捉えることで、従来事故分析でありがちであった事故が発生してしまった後の分析ではなく、事故を予防する観点からの改善案の提案を試みることが可能となるのではないかと考える。そこでは What-if 分析にもとづき、どのような環境のもとでどのような災害を仮想するのか、あるいはどのような避難者を想定しなければならないのかといったシナリオを生成する仮説構築能力が問われる。エージェントベースアプローチはその仮説構築能力を鍛えるツールとしても利用が可能であると考える。

4. 10. 3 防災マネジメント・防災政策としての適用対象

防災分野の社会シミュレーションの適用範囲は広い。災害の内容を自然災害とした場合には地震、津波、洪水、台風・ハリケーン等が挙げられる。あるいは人災的な側面が大きい火災、プラント事故による汚染物質の拡散からの避難等にも応用が考えられる。またテロ等の災害まで含めると、考慮すべき場所や施設も、大都市の主要駅およびその周辺の避難地域あるいは病院、ホテル、球技場、地下鉄駅、空港、高層ビル等の公共性の高い施設へと広がる。また個別の施設のとどまらず、例えば帰宅難民が移動する際のルートや避難場所、あるいは歩行帰宅時におけるトイレ設置が問題となっているが、これらの検討にも応用が可能であろう。以上のような災害内容や想定場所をコンピュータ上の人工社会、仮想空間の中で発生させ、現実に起きた場合の被害を少なくすることを目的とする。

将来的には、建築 CAD や地理情報システム (GIS)、グローバル・ポジショニング・シ

システム（GPS）と連携して、建物の設計段階での安全性評価すなわち建物設計時における CAD 上での避難動線の設計に応用できると考える。また初めて訪れる場所や建物の訪問者あるいは観光者の避難誘導等を考慮すると、地域の避難計画を作成する際に役立つであろうし、いざ災害が起きた時にどのように避難誘導員を配置したらよいのか、必要な資材や食料をどのように運べばよいのかといった諸条件の変化に即時対応できるシステムを構築することも可能になるであろう。そのためには、エージェントベースモデルだけではなく、実際の住民が参画する形のゲーミング等の意思決定手法も必要となってくる。これらは社会シミュレーションが、防災マネジメントや防災政策に拡張され得ることを示唆している。

4. 10. 4 研究の問題点

今後、研究対象を避難者の動きから、防災教育、防災政策へ拡張するに当たり考慮すべき問題として次のことが挙げられる。①コンピュータの能力、②プライバシーの問題、③研究者をどのように増やしていくのか、④モデルの妥当性、⑤モデルの利用法、以上について次に述べる。

まずコンピュータの能力については、個々のエージェントがそれぞれ独自の行動ルールすなわち避難行動をとるとすれば、扱える規模の大きさはコンピュータの能力と比例するし、そのエージェントが他のエージェントとコミュニケーションをとるモデルであればさらに計算処理の向上が求められる。想定する規模も部屋の中やビル全体から、主要駅周辺までと幅広く設定できるが、こちらもまた扱える面積の大きさはコンピュータの能力と比例するため、ハードウェア上の技術的な対応が必要となる（図 4. 10-2、図 4. 10-3 参照）。

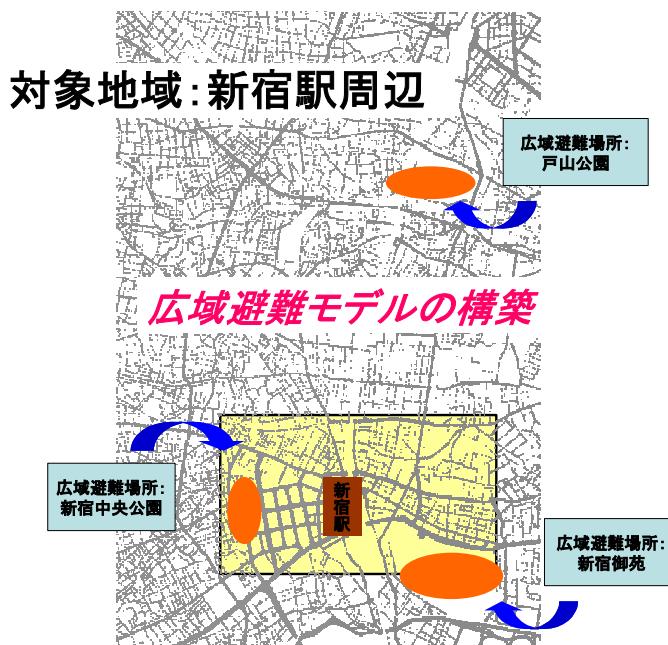


図 4. 10-2 広域に渡る避難経路の安全性評価概念図の例（新宿駅および周辺）

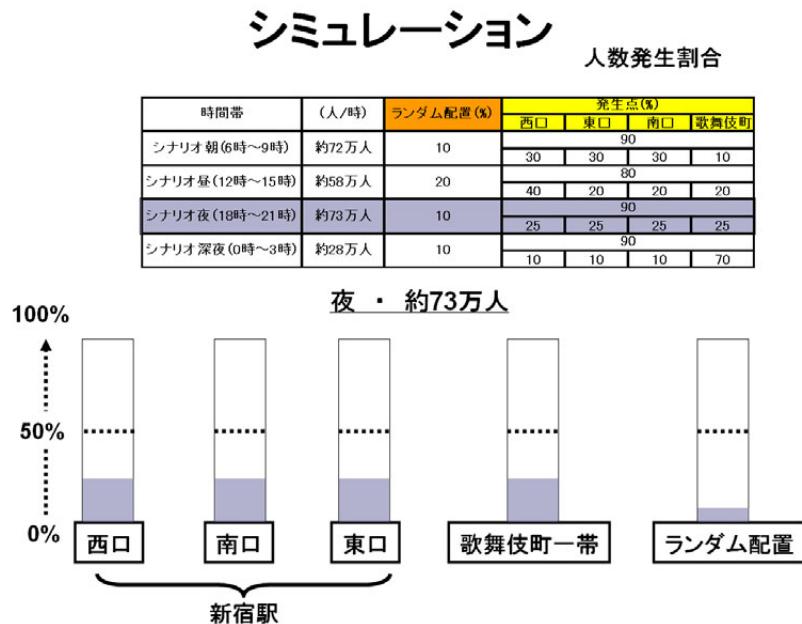


図 4. 10-3 避難経路の安全性評価のシナリオ作成例
(新宿駅および周辺の昼夜間人口変化に着目した避難者発生割合をシナリオに組み込む)

次にプライバシーの問題が考えられる。避難計画を策定したとしてもどこにどのような地域住民が住んでいるか分からないと詳細な計画は立てられない。また災害発生時に迅速に情報を伝達するには連絡網を作ることも必要となるはずであるが、これらには個人情報の問題がかかわってくる。プライバシーの問題と安全確保の問題は、トレードオフの関係となって問題化していくと考えられる。

さらに新たな研究者の参画を促すためには、プログラムソースの公開が必要となってくるであろう。KK-MAS, Artisoc を用いた避難シミュレーションの先行研究としては、最短避難経路を用いた劇場からの避難モデル、災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル、避難者救助・誘導シミュレーションモデルの開発、などが挙げられるが、これらは実際にシミュレーションソフトウェア開発元の構造計画研究所のウェブサイト上 (<http://mas.kke.co.jp>) でプログラムソースが公開されている。研究者はこれらの既存のプログラムソースを参照し、再利用することにより、さらに複雑なモデルや、各研究者が想定している問題状況に近いモデルを、自分で一から作るのと比べて比較的短い時間で作ることが可能となる。

この領域のシミュレーションの問題点としては、実際に事故が起らぬと真の検証できないことが挙げられる。ゆえにモデルの妥当性や信頼性、再現性の厳密な検証は難しい。個人の歩行導線を計測できる機器や、携帯電話の位置情報通知システム等の技術と連携しながら、モデルの信頼性を向上させていく必要がある。また公開されているモデルが実際に動いている様子を、多くの人に見てもらい、批評や評価をしてもらうことで、そのモデルの妥当性や検証性を向上させることができるのでないかと考えられる。

最後に防災教育、防災訓練補助ツールとしての利用価値について述べたい。例えば小、中学校、病院、老人ホーム等、公共施設での防災教育において、実際避難者が動いている

全体の様子を、シミュレーションを通じて見ることにより、実際に自分が避難者になったときの想定もしやすくなるであろうし、避難訓練にも真剣みが増してくると考えられる。さらにハザードマップや避難地図との併用も可能となるであろう。またホテルや宿泊施設で、施設内に備え付けの液晶画面等に表示することにより、より安全な防災システムを提案できることも可能であると考える。ゆえに特に多様な使用者が利用する公共施設を安全なものするために、この種の社会シミュレーション技術を発展させることは有用であろう。

4. 10. 5 まとめ

災害時の避難者行動を、メンタルモデル等のヒューマンファクターに関する研究を踏まえて想定し、コンピュータ上でエージェントベースモデルにより実装することで、より良い避難計画の策定に役立てられるのではないかということについて考察した。将来の応用として、建物や公共施設の設計段階において設計 CAD 図面上で避難シミュレーションを実行し建物の安全性を早期に検査すること、あるいは地理情報システム（GIS）と併用して、中・広域に渡る避難経路の安全性評価も可能になると考える。さらには災害に強い都市計画作りにつながる防災政策へのツールとしても応用が可能かと思われる。

最後にアカデミック・ロードマップとして、公的研究機関や大学の役割を考えたい。4.10.1 項で示したように、日本では地震を筆頭に何時災害に遭遇するか分からない状況にある。すなわち万人が災害リスクの下に平等であり、公的に研究する意義がある。また民間企業のみでこの種の研究をするには、負担が大きくしかも予想が大きく外れた場合の結果責任まで問われると、企業としてのモチベーションが下がることが予想される。この点からも大学等のアカデミックな機関が積極的にかかわり、研究上の限界を冷静に見極め、かつ真摯に表明することが求められる。そして製造物責任法（PL 法）のように、現状での技術限界（state of the art）を考慮し、その範囲での責任限界を明示した上での研究発展が望まれる。

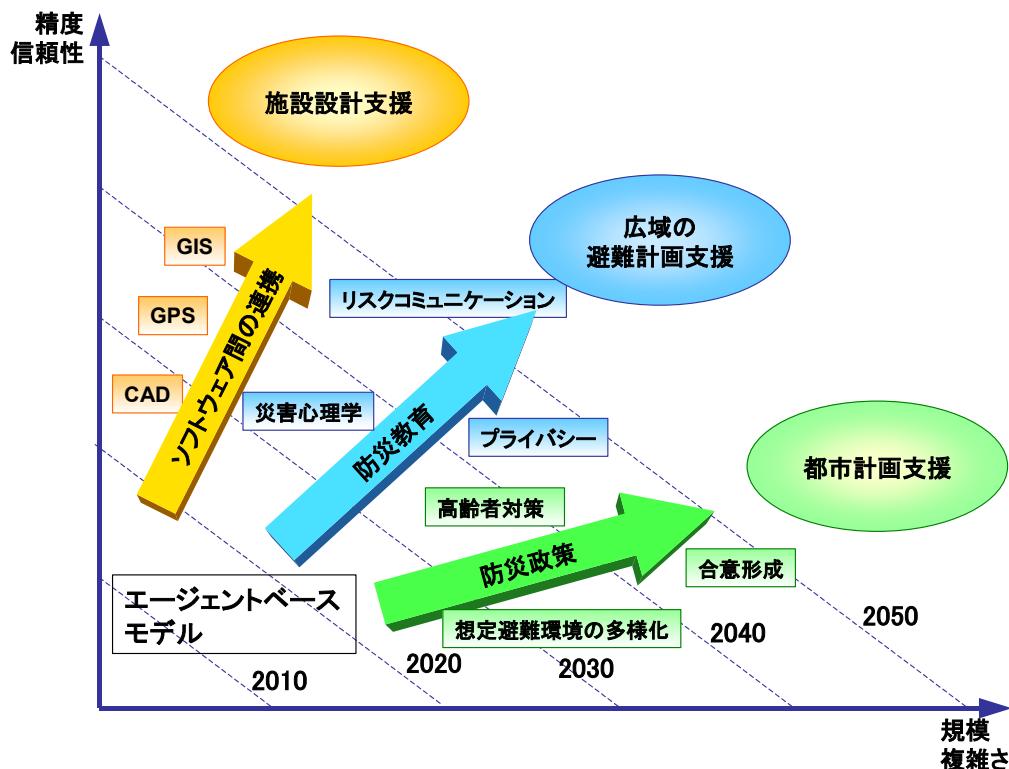


図 4.10-5 防災・安全シミュレーション領域のロードマップイメージ

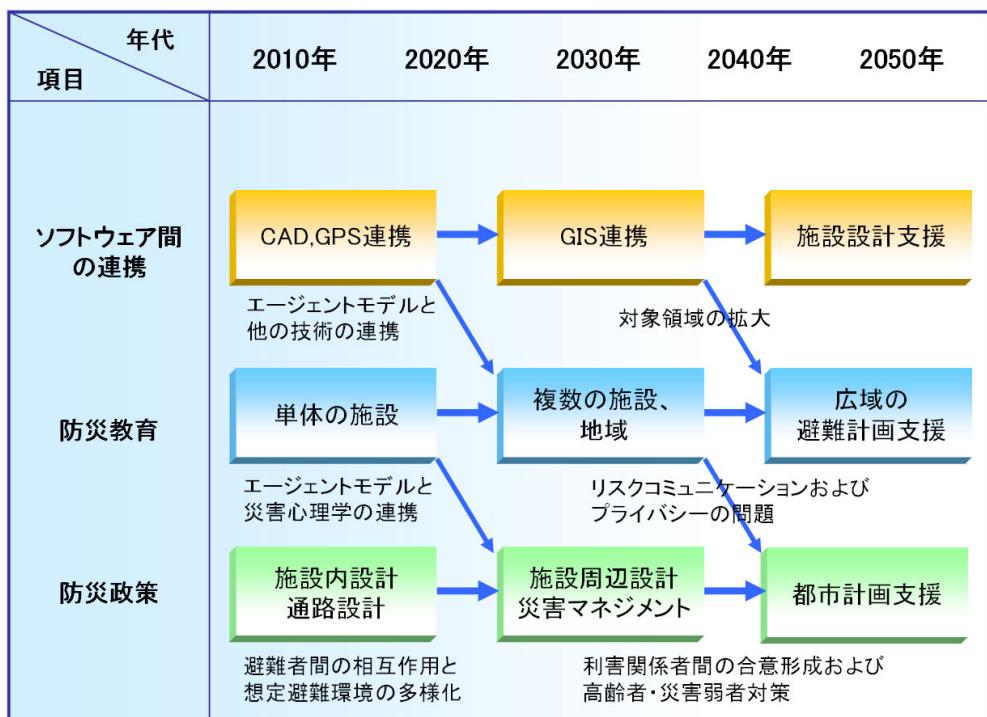


図 4.10-4 防災・安全シミュレーション領域のロードマップ

4. 11 文化・風土醸成のための参加型シミュレーション

4. 11. 1 問題解決のための文化・風土

現代社会は、個人や組織における最適が必ずしも社会全体にとっての最適とはならない、いわゆる部分最適と全体最適のジレンマに満ちあふれている。例えば、30年後、50年後を見据えて解決が迫られている環境、安全、エネルギーなどに関わる問題は、個人や組織の力でなく、社会全体の共通の意識やモチベーションのもとではじめて、具体策の実現が可能となる。言い換えれば、今後、社会全体で取り組むべき課題に対して、根付かせるべき文化や風土があると考えられる。

ここでいう問題解決のための文化・風土^{注1}は、人々の意思決定、ひいては行動に影響を与える意識の総体を意味しており、社会を一定の方向へ推し進めるムーブメントの土台といつてもよい。社会において、このような文化・風土を醸成するためには、いわゆるトップダウンの先導力だけでなく、ボトムアップの参加が不可欠である。

そこで、ある問題に対して、個人が持つそれぞれの体験や知識を入力とし、全体としての解決に向けて個人が持つべき意識の示唆を出力とする参加型シミュレーションを考えたい。このシミュレーションでは、問題提起者、及び専門家が、特定の問題の解決に必要な文化・風土を設定し、入力から出力までのフレームワークを構築、提供するようなトップダウン的な役割を担う。一方、社会に属する人々は、自身の持つ情報を持続的に提供することによって、上述のフレームワークを肉付けし、修正を繰り返していくような、ボトムアップ的な役割を担う。

参加型シミュレーションそのものは、多様な適用対象、及び展開方法があるが、特に本項では、人々の価値観の一致が自明である課題に対して、それを効率よく達成するための手段として、文化・風土醸成のための参加型シミュレーションを位置づける。

4. 11. 2 文化・風土醸成を狙いとした現状の取り組み

問題解決のための文化・風土を醸成する方法として、主に二つが挙げられる。一つは教育・訓練である。子供に対する躾や教わしが社会における常識や通念を植え付けるように、教育・訓練は集団に属する個人の意識に共通の方向性を作り出す。もう一つは、情報共有である。個人の体験や知識の結集が総体としての傾向を顕わにすることは多々あり、集団が向かうべき方向性への同調を生み出す。

組織がその醸成に取り組む文化・風土の一例に、安全文化^{注2}がある。この概念は、1986年 Chernobyl 事故の検討結果がきっかけとなって提唱されたものであり、安全に関わる活動全般に実効性を与えて、事故が起りにくい組織にするための土台となる組織の体質を意味する（高野, 2007）。近年の組織事故やコンプライアンス問題の多くが、安全文化の欠如に起因するといわれており、従来的な安全教育だけでなく、事故には至らなかつた軽微な事象（ヒヤリ・ハット）に関する情報を共有する場を設けて、従事者すべてが安全を優先的に考える体質を組織内に醸成する取り組みが積極的に行われている。さらに、近年では、ヒューマンファクター等の専門家を入れて、収集された情報を単に共有するだけでなく、それらをデータとして、未来に生じうる問題を推測したり、対策案としての選択肢を提示

注1 「文化」は「民族や社会の風習・伝統・思考方法・価値観などの総称」、「風土」は「人間の文化の形成などに影響を及ぼす精神的な環境」とされるが、本項では特に区別を要さない。

注2 組織と個人が安全を最優先する気質、気風。

したりするような、シミュレーションの応用も進められている。このようなシミュレーションは、組織全体の安全を実現するために、各従事者がとるべき行動に示唆を与えることを目的としており、各種プラント、航空、医療、鉄道、鉄鋼などの分野で、従事者の意識改革に関する効果を示し始めたところである（中西、岡田、2003）。

一方、組織の枠を超えた市民生活においても、個人が全体最適の方向性に従って行動することにより、解決の速度が増すと思われる問題は少なくない。従って、上述したような文化・風土醸成の取り組みを組織から社会へ拡張することに対しては、潜在的なニーズと可能性があると考えられる。そして、この拡張の実現には、急速な発展と普及を続ける情報通信技術の利用が鍵となろう。

4. 11. 3 情報通信技術を利用した情報の共有と利活用

ネットワークインフラの整備と利用端末の多様化、それらの利用率の増大により、個人が自分の体験、知識を発信したり、他人の体験、知識を獲得したりすることは、難しいことではなくなった。例えば、Web上の掲示板やSNS（Social Network Service）^{注1}は、不特定多数の人々が情報を共有する場として、広く利用されている。しかしながら、これらのサービスは、あるまとまりとしての風潮や思想を自然に生み出す場となることはあっても、入力から出力までの過程が何らかのモデルによって制御されているわけではない。すなわち、参加型シミュレーションとは性格を異にする。

文化・風土の醸成を狙いとした参加型シミュレーションは、対象とする問題を解決するに当たって、人々がどのような共通の意識やモチベーションを持つべきなのかを明確に絞り、その方針に従って、入力（提供）された体験や知識を処理し、持つべき意識や高めるべきモチベーションに関する示唆を出力（フィードバック）する（図4.11-1）。また、できるだけ広範な人々の参加を促す強力な手段として、インターネットのようなWAN（Wide Area Network）^{注2}の利用を想定している。

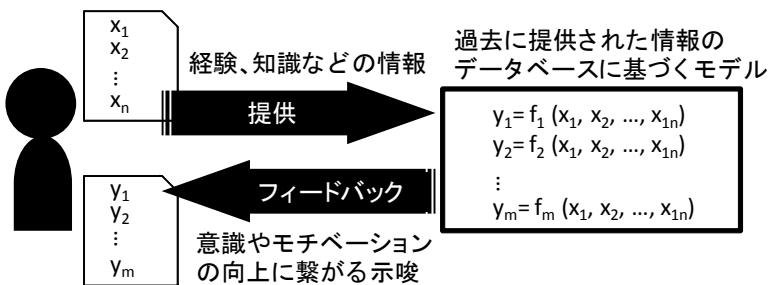


図4.11-1 参加型シミュレーションにおける個人の情報提供とフィードバック

4. 11. 4 参加型シミュレーションの発展と課題

参加型シミュレーションは、持続的な運用の過程で、以下のような段階的な発展を遂げることが予想される。

(1) ネットワークインフラの拡充と端末利用の快適さの向上により、自らの体験や知識

^{注1}人と人との繋がりを支援するコミュニティ型サイト。

^{注2}広域通信網。

を提供する市民層が拡大し、膨大なデータ収集が可能となる。

(2) データベースの充実化により、それより推定されるモデルのパラメータが安定し、シミュレーションの精度が向上する。

(3) シミュレーションによって導出される市民へのフィードバックに個別対応性や現実性が増すことにより、個人の意識やモチベーションへの実効性が生まれる。

(4) 市民の意識やモチベーションが、全体として共通の方向性を持つようになり、問題解決の土台となる風土・文化が定着する。

一方、上記のようなシナリオの実現に当たっては、特に不特定多数の市民に対して開放的な参加型シミュレーションの特質により、今後次のような課題を重点的に考慮する必要がある。

(1) 精度を向上させるために、偏りのない広範な市民層から体験や知識が提供されることが求められる。ネットワークインフラや端末機器等のハード面だけでなく、通信料金システム等のソフト面にも目を向けた施策が必要となる。

(2) 広範な市民層の参加を歓迎する一方、収集・蓄積するデータの信頼性を保つことも、シミュレーションの根幹に関わる重要な課題となる。善良なアクセスに負担をかけず、偽悪なアクセスのみを排除する仕組みの実装が必要となる。

(3) 文化・風土の醸成には一般的に長い年月を要する。飽きさせず、市民の暮らしに溶け込むよう、フィードバックの個別対応性や可視化、インターフェースの洗練などの工夫が必要となる。

(4) 参加型シミュレーションの持続的な運用が、真に社会全体の問題解決を促進しているのかどうかを検証する必要もあり、人間の意識やモチベーションから行動への転化の様子を追跡的に分析していくことが求められる。

4. 11. 5 問題規模に応じた参加型シミュレーションの展開

参加型シミュレーションは、解決の対象とされる問題の規模によって、コミュニティレベル、自治体レベル、国家・地球レベルに大別できる。各レベルにおいて、今後期待される展開、及び持続的な運用の過程で実現されるべき要素技術を、応用例と併せて以下にまとめる。

(1) コミュニティレベル

例えば、集合住宅の防犯や環境整備に対する取り組みにおいては、住人が共通の意識やモチベーションを持つことにより、実効性が増す。個々の住人が共有スペース利用時の体験や習慣等の情報を提供し、それに応じた利用上の留意点や心がけがフィードバックされるような参加型シミュレーションが応用例として考えられる。この規模においては、課題に関する要因を、個人が提供する情報項目として適切に設定することで、各人の特性に対応した示唆のフィードバックが可能になると考えられる。また、コミュニティ全体での課題の達成具合を追跡することも比較的容易と考えられるため、検証の繰り返しにより、シミュレーションの精度向上を望むことができる。図 4.11-2 に、集合住宅のゴミ収集場所における環境整備への参加型シミュレーションの活用イメージを示す。

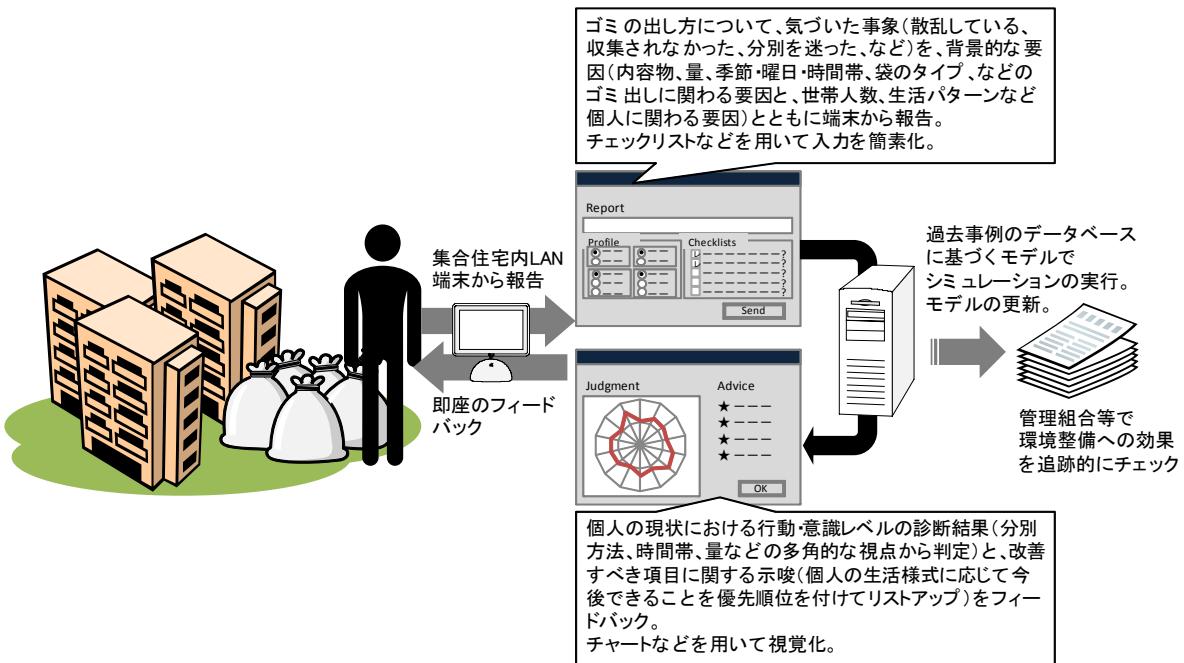


図 4.11-2 集合住宅のゴミ収集場所における環境整備を課題例とした活用イメージ

(2) 自治体レベル

例えば、交通安全は、それに対する市民の意識やモチベーションが向上することによって、改善が見込まれる課題の一つである。市民が、ドライバーの立場から、あるいは歩行者の立場から、現状の交通安全に対する意識や過去に体験した不安全な事象などを情報提供し、考え方や行動パターンの維持・改善が示唆されるような参加型シミュレーションが応用例として考えられる。この規模になると、WAN の活用が極めて有効となる。モバイル端末の親和性の向上やユビキタスネットワークの整備によって、日常に溶け込んだシステムとして成熟していくことが期待される。また、フィードバックの可視化や意匠面での洗練は、持続的な運用と発展をさらに促すと考えられる。図 4.11-3 に、一般道路における交通安全への参加型シミュレーションの活用イメージを示す。

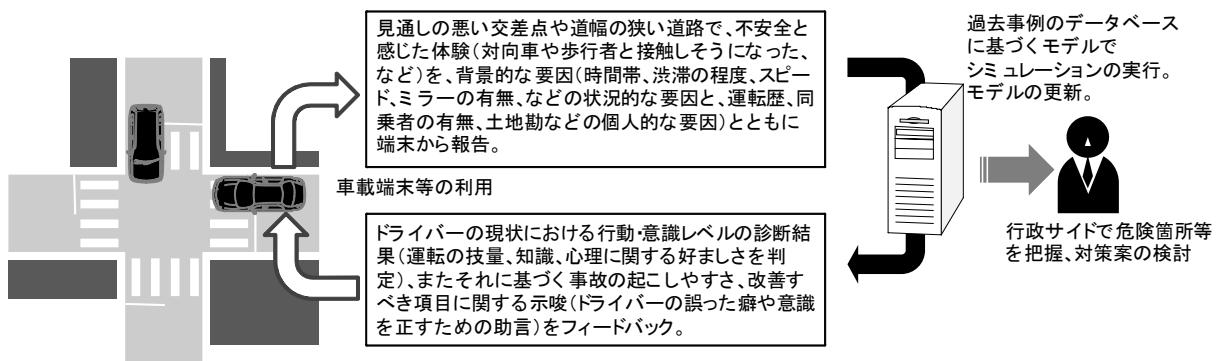


図 4.11-3 一般道路における交通安全を課題例とした活用イメージ

(3) 国家・地球レベル

例えば、今世紀、地球規模で取り組むべき自然保護は、人類全体の意識が共通の方向性を持つことで初めて達成可能な課題と言ってもよい。様々な背景で生活する個人が現状において持つ知識や意識、また取り組んでいることがらなどを情報として提供し、知識の修正・増強や意識の向上・改革に繋がるような内容をフィードバックするような参加型シミュレーションが応用例として考えられる。個人レベルでの生活排水、エネルギー消費、自動車の利用状況などが、地球レベルで問題を悪化させることは明らかであり、このような要因に関する人々の行動や意識を収集して、未来の行動の改善を促す方法を提示するような活用イメージが挙げられる。この規模では、課題に関連する要因が個人の生活環境や生活様式等によって大きく異なるため、提供する情報項目を詳細に設定することは難しい。従って、他の規模に比べて、フィードバックの個別対応性の向上を直ちに望むことはできない。しかしながら、たとえ大略的であっても、地域や国家の枠を超えて、人々の意識やモチベーションを一定の方向に揃えていくような助言や示唆は、問題解決の土台を築くものとなろう。また、人々の共通理解がどのように生成されるかなど、社会科学的な研究が進化することによって、より有効な参加型シミュレーションへの拡張が見込まれる。

4. 11. 6 まとめ

社会は、そこに属する人々の意識とそれによって生み出される行動によって動かされている。従って、社会全体で解決すべき問題に対しては、人々が共通の意識やモチベーションをもって臨むことが不可欠となる。しかしながら、そのような人々の「内面」を強制的にコントロールするような社会システムは当然求められていない。参加型シミュレーションが担うべき役割は、環境、安全、健康など、誰もが社会全体にとって漠然と「そうなることが望ましい」と認識する課題に対し、達成に向けた助言や示唆(tips)を個人の特性や背景に応じて与え、それによって自発的に芽生える意識やモチベーションの集合を文化・風土として根付かせることである。実現に向けては種々の課題もあるが、社会技術の発展とともにそれらを克服することによって、人々を主体とした社会全体の最適化に対するシミュレーションの寄与が期待される。

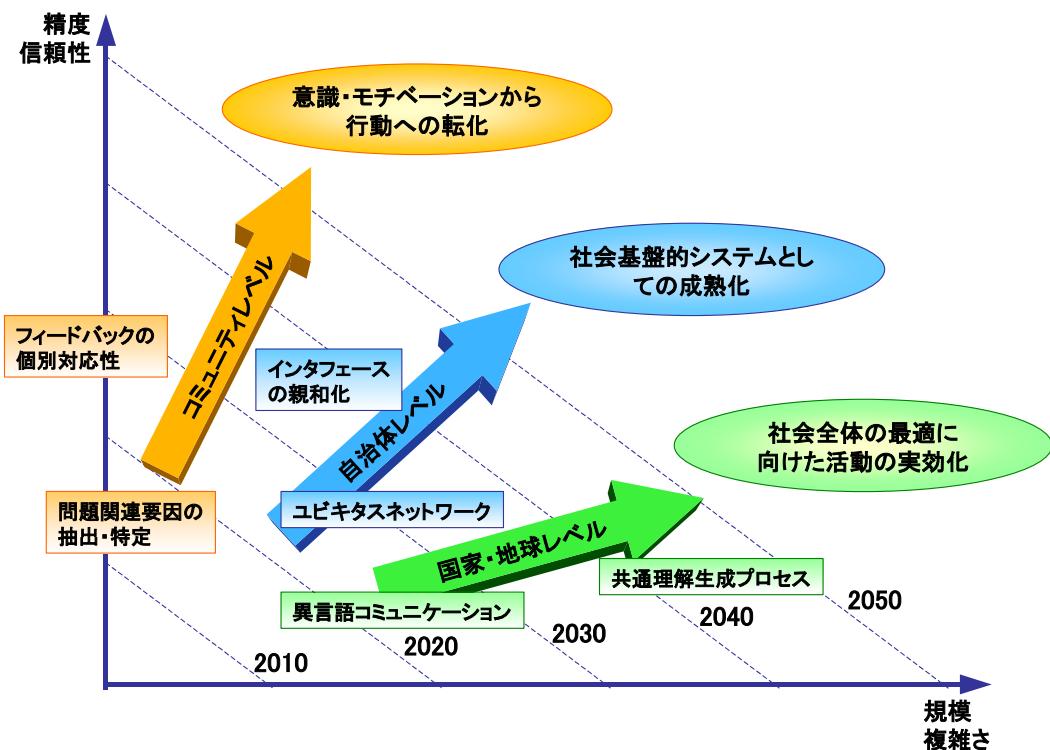


図 4. 11－4 参加型シミュレーションのロードマップイメージ

年代 項目	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
コミュニティ レベル	問題関連要因の 抽出・特定手法 の開発	フィードバックの 個別対応性	意識から 行動への転化		
自治体 レベル	ユビキタスネット ワークの普及	インターフェースの 親和性向上	基盤的システム としての普及		
国家・地球 レベル	異言語 コミュニケーション のシームレス化	社会の共通理解 生成プロセスの 理論化	社会的全体最適 に向けた活動の 実効化		

図 4. 11－5 参加型シミュレーションのロードマップ

4. 12 超高齢社会に向けた身体特性シミュレーション

4. 12. 1 はじめに

ヒトのシミュレーションを広義に捉えると、その具体例としては、まずヒューマノイドや工業用ロボット、家事ロボット等のフィジカルなロボットをはじめ、デジタルヒューマンやコンピュータマネキン等のバイオメカニクス系のヒューマンモデル、感覚・認知系のヒューマンモデル等のバーチャルな計算機モデル等があげられ、これらは長い時間軸を持たないタイプのシミュレーションと言えよう。一方、個体の体力や体型等の身体特性、感覚特性、認知特性の加齢変化や余命推定等、長い時間軸をもち前向き推論的にヒトをシミュレートする計算機モデルがある。ここでは、後者の範疇で、高齢化によって我が国に山積する課題を解決するため、高齢者の自立の観点からのヒトの身体特性の加齢シミュレーションの実現に向けた検討を行う。

4. 12. 2 高齢社会日本の現状と課題

既に我が国は、平均寿命の延伸と少子化の加速により、世界でも類を見ない高齢社会に突入している。総務省の統計データでは、我が国の 2008 年 9 月 15 日（敬老の日）現在の高齢者推計人口（65 歳以上の人口）は過去最高の 2,819 万人にのぼり、また、70 歳以上の人口が初めて 2,000 万人を超えた。あわせて、我が国の総人口は平成 17 年には戦後初めてマイナスに転じ、今後は長期的に減少傾向が続くと見られている。これら長寿化と人口減少の結果、高齢者が総人口に占める割合（高齢化率）は既に 20 [%] を超え、底辺が広いはずの人口ピラミッドが倒立して、少数の労働力で多数の高齢者を支える構図が完成した。しかも、図 4. 12-1 に示すとおり、我が国の 70 歳以上の高齢者数は、スイス、スウェーデン、ポルトガル、オランダの総人口を上回り、65 歳以上の人口は北朝鮮の総人口を上回って、カナダの総人口に迫る勢いである。このような状況を背景に、高齢者の自立の可否は我が国の経済・社会の将来に関わる喫緊の課題となつた。

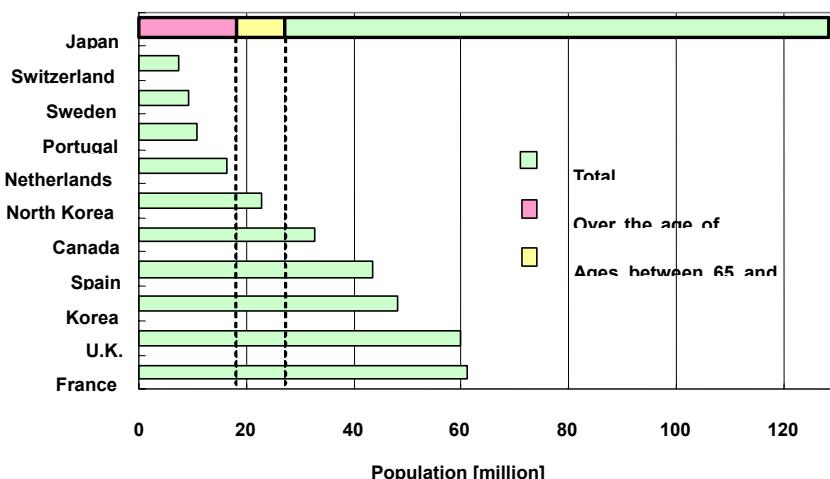


図 4. 12-1 世界の国々の総人口と日本の高齢者数

(久本誠一、日本人の筋力の変遷と将来予測、シミュレーション、27(4), p. 239, 2008 より転載)

4. 12. 3 既存データから見た身体特性の現状

ヒトの自立には経済的、身体的、精神的、社会的等々、種々の切り口が考えられるが、とりわけ、身体的自立は自立の基盤をなす重要な切り口と言えよう。ここで、既存のデータから我が国における身体特性の現状をみる。例えば NITE 人間特性データベースは、NITE (National Institute of Technology and Evaluation : 製品評価技術基盤機構) が、2001 から 2002 年に 20 歳から 80 歳代の健常日本人約 1,000 名を対象に、上肢下肢の筋力や柔軟性・平衡機能・反射等の運動機能の計測を行ってデータベース化したもので NITE のホームページで公開中だが、データを世代差の観点で整理すると、20 歳代女性は、肘関節を屈曲する力等の 5 つ筋力データ群において 50 歳代から 60 歳代女性に比較して統計的に有意に低い値を示し、また 70 歳以上の高齢女性群と有意差が認められないとの結果が得られる (Hisamoto, 2005) (図 4. 12-2)。また、旧文部省 (現文部科学省 : Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology : MEXT) が 1964 年の東京オリンピックを契機に計測を開始した体力・運動能力調査は被験者数が毎年数万人に及ぶ年次調査であるが、データ項目のうち筋力の指標となる握力のデータを世代差の観点で整理すると、やはり若年女性群の握力が時代の経過とともに低下しているとの結果が得られる (Hisamoto, 2007)。さらに、図 4. 12-3 は MEXT のデータをもとに、女性の握力の加齢変化を生まれ年ごとに比較して示したもので、世代が新しいほど 20 歳代女性の握力が低下していることがうかがえる。

これらの既存データの分析結果から、我が国の高齢者の身体能力が、将来においては、現在以上に低下することが懸念される (図 4. 12-4)。つまり、個人の筋力の加齢変化カーブが、将来においても図 4. 12-2 の実測値に基づく世代差のカーブをトレースするならば、今から 50 年後にも現在と同じ筋力を有する高齢者が誕生するが、仮に、現在の若者の筋力が加齢とともに低下するカーブを描くならば、今から 50 年後には現在の高齢者よりも低い筋力水準の高齢者が誕生し、多くの高齢者が要介護状態に陥る危険性をはらむ。

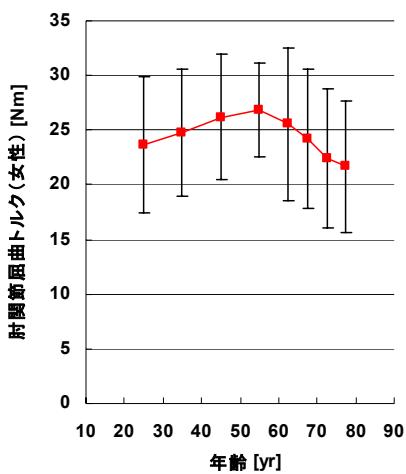


図 4. 12-2 女性の筋力の世代差
(NITE 人間特性データベースを基に作成
平均と標準偏差を示す)

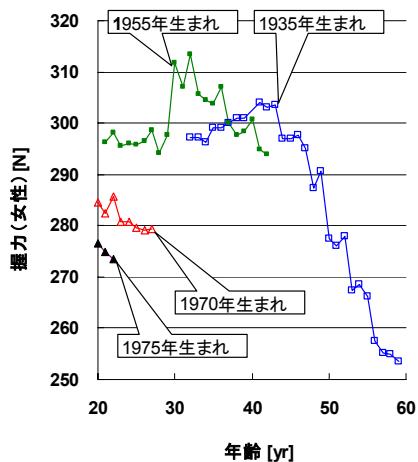


図 4. 12-3 女性の握力の時代推移
(文部科学省 体力・運動能力調査結果を基
に作成)

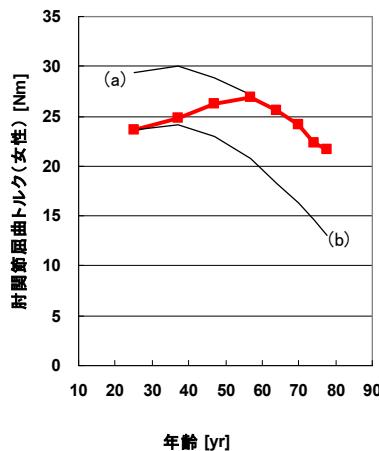


図 4.12-4 筋力の世代差と推定

(太線は NITE 人間特性データベースの実測値に基づく世代差を示す 細線(a)は現在の高齢者の過去を、細線(b)は現在の若者の将来を模式的に示す)

高齢者の身体的自立を支援するための方策が検討されて久しいが、それらは主としてユニバーサルデザインやバリアフリー・デザイン等、現時点で既に高齢である人々の自立支援であり、モノや環境を変えることによって高齢者の自立を実現する、いわば「モノを変える」視点であった。これに対して「将来の高齢者（つまり現在の若者や団塊の世代）」の自立の可否に視点を移すとき、長期的視野に立って、国民の将来の身体特性のシミュレーションを行い、その結果に基づいて国民の身体特性を変えていく、いわば「ヒトを変える」視点での対策を講じることは、将来の高齢者個人の QOL の向上を図り、国家財政の圧迫を回避する観点から喫緊の課題であると言える。

4. 12. 4 自己増殖データベースによる加齢シミュレーションの実現

将来の身体特性のシミュレーションを行い、その結果に基づいて「ヒトを変える」視点での対策を講じるためには、

(1)身体特性のデータを大規模かつ継続的（リアルタイム）に取得し、
 (2)身体特性変化に追従したモデル化を行って将来を予測し（加齢シミュレーション）、
 (3)将来に備えて若年群や壮年群（高齢予備軍）の身体特性を向上させる（ヒトを変える）
 という一連のプロセスが必要となろう。国民の身体特性は、食生活や生活習慣、就労環境、運動量等の変化により、常に推移している。そのため、将来のシミュレーションの基盤となるデータベースには、定期的に被験者をリクルートして計測を実施する従来型のデータベースとは異なり、大規模かつリアルタイムに国民を把握する身体特性データベースが必須となる。そのようなデータベースの構築には、外発的動機付けによってデータ取得そのものを目的とした計測を行うのではなく、自動的にデータが計測・集積される、いわゆる自己増殖データベースのしくみ作りが必要となろう。

自己増殖データベースとしては、利用者の意識とは関係なくデータが集約されるしくみと、利用者が意図してデータを集約するしくみに大別できる。前者の例としては、インターネット・ポータルサイトの検索履歴集約、コンビニエンス・ストアやネットショップでの購買者データ（購入者の年齢・性別、購入品目履歴等）の集約等、既に広範囲のデータ

集約が行われている。後者はいわば内発的動機付けによるデータ収集で、その例としては、携帯電話に内蔵したセンサのデータに基づく日々の運動量の評価サービス、健康状態や身体特性の将来予測サービス、その将来予測に基づく加齢抑制メニューや身体特性向上メニューの提供等が考えられる。小売店舗の店頭で消費者の身体特性に合致した商品選択をサポートする際に消費者の身体特性を計測し、得られたデータを顧客データとして蓄積するビジネスモデルは、一部ではオンデマンド・サービスとして具体的に検討が進められている（持丸正明、2004）。

社会規模で身体特性の加齢シミュレーションを行い、国民の身体特性向上の促進を最終目的とした場合、このような自己増殖データベースを構築することで飛躍的なデータ数の増加が見込めると同時に、時代によって推移する身体特性をリアルタイムで把握することが可能となる。そのためには新規のデータベースの構築とあわせて、既存のデータベースの相互参照を可能とする技術開発と仕組み作りが必要となる。

身体特性の加齢シミュレーションは、その規模からは、個人レベル、集団レベル、社会レベルの3つのフェーズに整理することができる。個人レベルの身体機能向上を目指した加齢シミュレーションでは、前述の種々のサービスを行うために必要なモデル化とシミュレーションを実施し、個人レベルのモデル化によって、例えば数十年先の個人の身体特性を予測することになる。また、集団レベルの加齢シミュレーションでは、共通項をもつ個人データを集約し、企業等のデータユーザが想定した、ある母集団における身体特性の加齢シミュレーションを行う。これらの集大成として、社会規模の加齢シミュレーションが可能となる。さらに、加齢シミュレーションモデルの構築にあたっては、リアルタイムに取得されたデータに対応するため逐次学習型とすることで、時間経過によるモデルの乖離の問題を回避し、時代推移に追従したモデルの構築とシミュレーションが実現する。

その実現に向けては、モデル化やシミュレーションの方法論以外に、データに要求される精度のあり方、計測項目、簡便で安価な計測装置の開発、共通のデータフォームの決定、個人用データ端末の開発、情報ネットワーク構築、日常生活で必要とされる身体特性レベルの算定、加齢効果低減のための身体刺激のあり方、身体機能向上のための身体刺激のあり方等の課題に検討を加える必要がある。また、根本は国民ひとりひとりのモチベーションに帰するところが大きく、その意味でも国民が自らの身体特性データを計測し、個別の処方箋を得ることができるような、いわばボトムアップのサービスのしくみを作りが有効と考えられる。

4. 12. 5 まとめ

超高齢社会日本の将来を破綻させず、人々が安全・安心・快適に過ごすことのできる社会を構築するためには、まず、個々人の身体的自立が基本となろう。そのために、ヒトの身体特性の加齢シミュレーションを行い、将来の高齢者の自立の可否を見極めつつ、現在の約年層や壮年層の身体機能の向上を図る必要を生じる。シミュレーションの基盤となるデータは、個人を対象としたオンデマンド・サービス等に付随した、自己増殖データベースとして蓄積し、身体特性の世代差の時代推移に対応するためには、逐次学習型の加齢モデルによってシミュレーションを行うことが適当であろう。

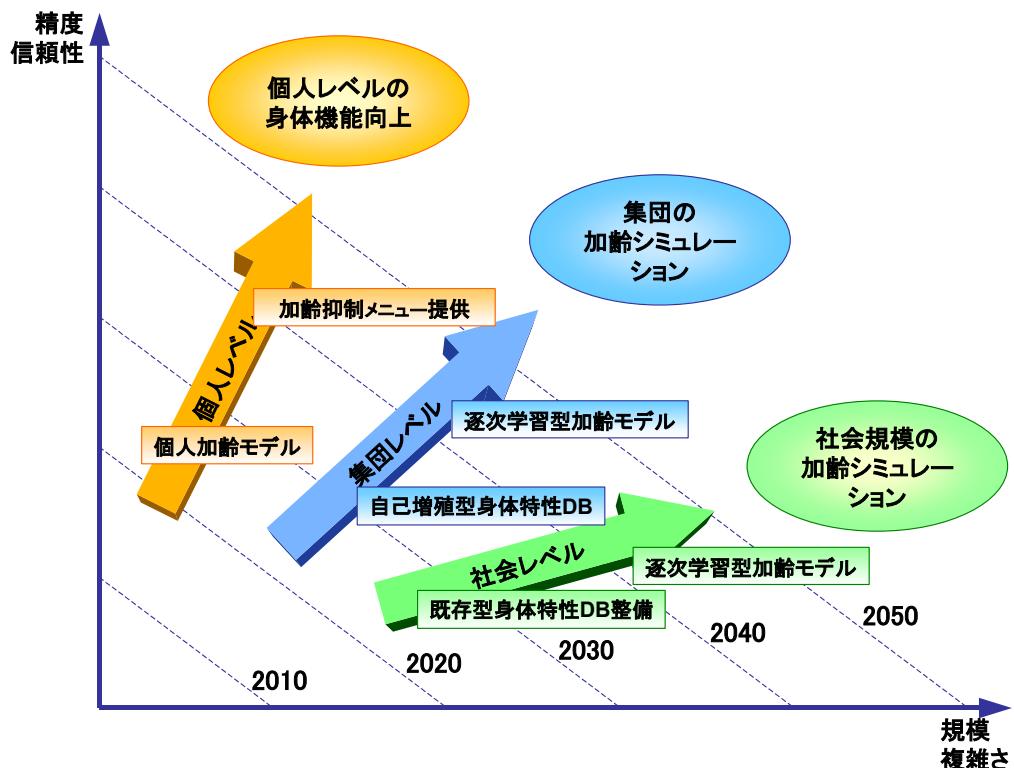


図 4.12-6 身体特性シミュレーションのロードマップイメージ

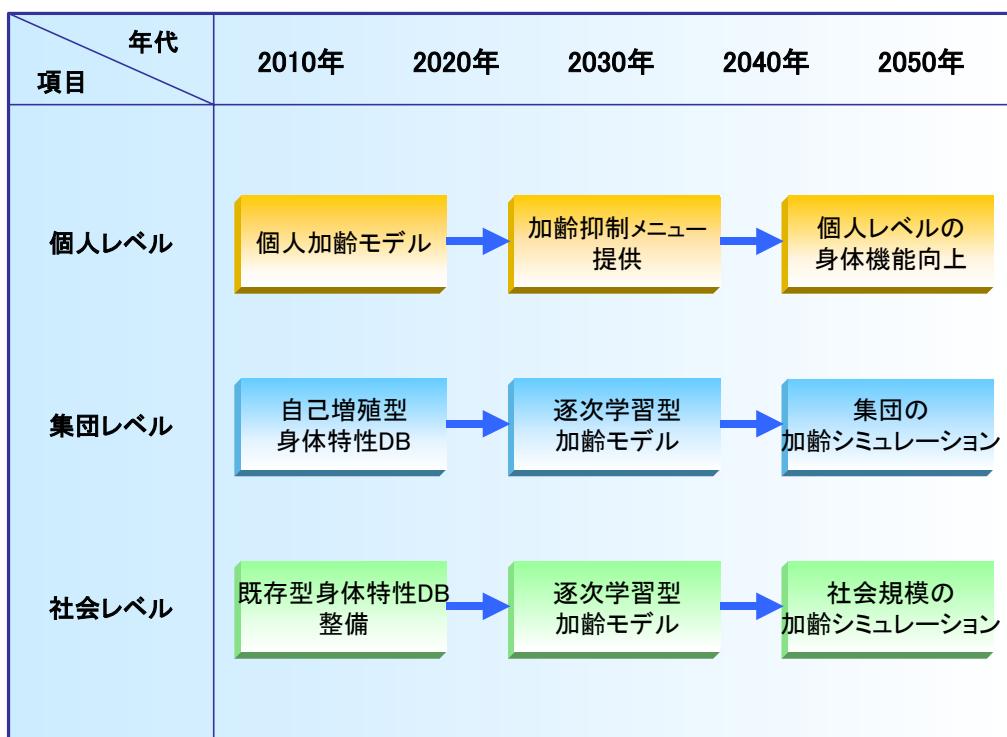


図 4.12-5 身体特性シミュレーションのロードマップ

4. 13 おわりに

本章では、社会システムのモデリングとシミュレーションに関するアカデミック・ロードマップについてまとめた。前半ではモデリング・シミュレーションの一般的なアプローチを中心とするテーマを、また後半ではより特定的な分野に関するテーマを扱った。また前半の最後では、社会システムをモデリング・シミュレーションの対象とするにあたって、社会学の立場からみて考慮しなければならない課題について論じた。

本アカデミック・ロードマップでは、社会システムのモデリング・シミュレーション技術の方向性を、以下の3つの軸によって整理した。まず、対象とする社会システムの規模と複雑さを拡大して、都市、国家、世界などの大規模な社会システムを直接扱えるようにする方向が考えられる。つぎに、より精緻なモデルを構築して、シミュレーションの結果得られる社会システムの挙動や特性に関する予測の精度、信頼性を向上させる方向がある。もう一つは可用性、適用性を拡大する方向であり、これはモデリング・シミュレーション技術を広範な分野における現実課題の解決に活用できるようにするために、モデルを特定化したり、活用法を洗練、高度化したりすることである。

社会システムは多数の人間によって構成されているので、社会システムのモデリング・シミュレーションは、人間行動のモデリング・シミュレーションが基礎となっている。そして、上記の発展の方向性は対象とする社会システムの規模と深く関係する。すなわち、精度、信頼性を重視する方向では、多くの場合に個人を対象とするモデルの精緻化、詳細化を模索することになる。これに対して、規模、複雑化を重視する方向では、個人レベルのモデルの詳細さをある程度犠牲にして、多数の主体間の相互作用を明示的に扱うような、社会レベルのモデルが必要になる。両者の中間には、個人の内部モデルも、個人間の相互作用もある程度は詳細に扱わなければならない集団レベルが存在する。

社会システムのモデリング・シミュレーションは物理システムのそれよりも難しいと言われるが、その理由として人間行動をモデル化することが難しいということがあげられる。人間行動の支配法則は物理法則のように少数の数理的な方程式として記述することができず、定性的で言語的な表現でしか記述できないことが多い。したがって、そのようなモデルから得られる人間行動の予測には大きな不確かさがつきまとう。しかし、この不確かさは人間行動の本質に由来するのであろうか。実験心理学のように、厳密に統制された環境で観察するならば、かなりの精度で人間行動の特性を把握することができる。しかし、人が行動するのは実験室のような統制された環境ではなく、さまざまな状況を伴う実社会である。人間行動のモデル化や予測を難しくしているのは、実は人間行動の特性そのものというよりは人間行動をとりまく状況の不確かさではないか。

サイモンは、「アリのたとえ」によってこれを説明している(Simon, 1969)。すなわち、自然環境においてアリの移動経路は非常に複雑に見えるが、これはアリが高度な知能を持ち、非常に複雑な行動決定ルールを使っていることを意味していない。アリは本能的な、非常に単純なルールに基づいて行動するが、行動をとりまく生存環境は非常に複雑である。それゆえ、アリがとる移動経路はゆらいで複雑になると言うのである。

実は物理法則が支配する現象であっても、実社会という環境が与えられた途端に同様の状況に陥り、結果の予測精度が期待には到底及ばないという事態が起り得る。たとえば、ある鋼材の強度を実験室で正確に測定し、得られたデータに基づいて使用環境で壊れないような製品を設計したとする。強度測定や製品設計は、材料科学や材料力学の数理的な概

念定義と理論に基づいて行われるので、多くの人はこの製品の耐力が人間行動などよりはるかに高い精度で予測できると思うかもしれない。しかし、実社会は実験室とは違う。個々の製品の使用環境は、設計者が想定していた環境よりも厳しいかもしれないし、ユーザが誤った使い方をするかもしれない。あるいは、製造業者が「手抜き」をやって規格よりも粗悪な材料を使うかもしれない（「マンション耐震偽装事件」を思い出して欲しい）。その結果、製品は設計者が想定していなかった原因で壊れる。以上のように考えると、実社会における物理現象と人間行動との間には、モデリング・シミュレーションの難しさ、あるいは予測精度の優劣の点で大差がない。理想環境でモデルが数理的に記述できて振る舞いを精度よく予測できるから、実社会でも同様だらうと単純に考えるのは危険である。

つぎに、ロードマップの全体像では明示していない、すべての個別テーマに共通するいくつかの技術動向・展望について触れておく。

今後の技術動向・展望としてまず注目すべきは、センシング技術、情報通信技術の進歩によってモデリングの基礎となる人間行動や社会システム挙動に関する観測データが、容易に、大量に、しかも実時間で入手可能になるということである。RFID、GPS、ビデオ解析、POS、センサネットワークなどの技術は、人間や物資の移動履歴、行動履歴の追跡には非常に有効である。また、ネットワークベースの社会活動が増えるに従って、仮想空間における人間行動はますます把握しやすくなる。こうして、モデリングの根拠となるデータが時空間的に点ではなく面として得られるようになり、社会システムのモデリング・シミュレーションの精度・信頼性の向上に大きく貢献するであろう。ただし、容易に膨大なデータが得られるために、その中からモデリングに意味のあるデータやパターンを見出すことが難しくなると考えられる。したがって、大量のデータを処理し、その中から有用な知見を抽出するための知識抽出やマイニングの技術が重要になってくる。

つぎに、ミクロ・マクロリンクへの挑戦という観点である。構成要素の振る舞いが単純である場合でさえ、多数の構成要素間の相互作用から創発するシステムの振る舞いが、構成要素の振る舞いの重ね合せでは説明できないことがある。そして、そのような複雑系の一つの典型が社会システムである。個人のミクロな行動が集積されると、社会システム全体のマクロなある種の雰囲気を造りだす。これが今度は個人行動の環境となって、個人行動に影響を与えるようになる。このようなミクロ・マクロリンクの存在が、社会システムのモデリング・シミュレーションを難しくするもう一つの理由になっている。いかなる分野であれ、社会システムを考える上ではミクロ・マクロリンクを考慮することが不可欠であり、このミクロ・マクロリンクにどう挑戦するかという観点からアカデミック・ロードマップを観ることもできる。この問題に関しては、いくつかの個別テーマに関してはかなり詳しく論じた。

最後に、アプローチの多様性があげられる。今やシミュレーションと言えばコンピュータシミュレーションと考えがちであるが、本章で紹介したように、シミュレーションのアプローチはさまざまである。シミュレーションを、「ある対象の現実のモデルを仮想環境に構築し、それを操作することによって対象の振る舞いの記述、理解、予測を行うための作業」と定義するならば、コンピュータシミュレーションに限定されないアプローチが可能である。仮想環境は、コンピュータ上はもちろんのこと、実環境の一部であってもよい。仮想的な実環境で、人間の被験者を用いて行う社会実験やゲーミングもシミュレーションである。また、人が社会活動に関するある種の疑似体験をすることによって、社会的決定や価値創造を行う参加型シミュレーションもあり、従来にない新しいタイプのシミュレ

ーションと言える。このように、社会システムのモデリング・シミュレーションのアプローチは多様であり、その可能性は広いと言えるだろう。

ところで、社会学的課題において論じたように、社会システムのモデリング・シミュレーションの用途には、社会に関する学術的理論を検証するためのツールとして使う純粹科学的用途と、「社会をよりよく」するために社会制度の設計ツールとして使う実用的用途がある。現状では、社会システムのモデリング・シミュレーションには、「社会をよりよくする」目的に使えるほど十分な精度があるとは言えないかもしれない。したがって、その利用は純粹科学的用途のみに止めておくべきであるとする意見があるのも理解できる。しかし、現状入手可能な知識に基づいて「社会をよりよくする」ために最大限の努力を払おうとするならば、これよりもベター方法がはたしてあるだろうか。これまで、入手可能な知識と合理的思考に基づく予測をまったく行わず、恣意的決定に頼って制度設計したために発生した社会問題があまりにも多くはないだろうか。十分な精度がないという理由から実用的用途を封印するのは損失が大きいと思われる。

ここで、何が「よりよい社会」かを決めるのはモデリング・シミュレーションの役割ではないことを、明記しておく必要がある。民主主義をよしとする社会においては、価値観に関わる選択は人々の自由な協議の結果もたらされる合意に基づいてなされるべきであろう。参加型シミュレーションのように、こうした合意形成の支援、促進への貢献が期待される技術もあるが、その役割はあくまでも支援、促進に止まるべきである。社会システムのモデリング・シミュレーションを活用して「社会をよりよくする」と主張する際には、この点を認識しておく必要がある。

以上の点にさえ注意を払うならば、社会システムのモデリング・シミュレーションは「少しでもよい社会」を実現するための十分に強い技術である。関連分野における今後の学術の発展が強く期待される。

参考文献

- Arai, A. and T. Terano: Yutori is considered harmful: Agent-based analysis for education policy in Japan, Shiratori.,R., K. Arai and F. Kato (Eds.): *Gaming, Simulations, and Society Research Scope and Perspective*, Springer, pp. 129 -136,2005.
- Axelrod, R. : *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton University Press, 1997a (寺野隆雄(監訳)：対立と協調の科学—エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明ー, ダイヤモンド社, 2003).
- Axelrod, R. : Advancing the art of simulation in the social sciences, In: Conte, R. et al. (eds.): *Simulating Social Phenomena*, pp. 21-40, Springer, 1997b (経営情報 2003 に改定版を再掲).
- Axtell, R. : Why Agents? On the Varied Motivation for Agent Computing in the Social Sciences, *Brookings Institution CSED Technical Report*, No. 17, November, 2000.
- Bainbridge, L. : The ironies of automation, In: Rasmussen, J., Dancan, K. and Leplat, J. (Eds.) : *The Psychologist: Bulletin of the British Psychological Society*, Vol. 3, pp.107-108, 1988.
- Batty, M. : *Cities And Complexity: Understanding Cities With Cellular Automata, Agent-based Models and Fractals*, Cambridge, MA, MIT Press, 2005.
- Blümich, B.: The incredible shrinking scanner: MRI-like machine becomes portable, *Scientific American*, Nov. 2008. (巨瀬勝美 訳: 驚きの小型 NMR スキャナー, 日経サイエンス, 2月号, 2009 年)
- Camerer, C., G. Loewenstein and D. Prelec : Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics, *J. Economic Literature*, Vol. 43, No. 1, pp. 9-64, 2005.
- Card, S. K., T. P. Moran and A. Newell : *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983.
- Casti, J.: *Would-Be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science*, Wiley, 1996 (中村和幸 訳: 複雑系による科学革命, 講談社, 1997).
- Epstein, J. and R. Axtell : *Growing Artificial Societies*, Brookings Institution Press, MIT Press, 1996 (服部正太, 木村香代子 訳: 人工社会, 共立出版, 1999).
- Glewwe, P., M. Kremmer, S. Moulin and E. Zitzewitz: Retrospective vs. prospective analyses of school inputs, *Journal of Development Economics*, Vol. 74, No. 1, pp. 251-268, 2004.
- Harrison, G. W. and J. A. List : 2007 Naturally Occurring Markets and Exogenous Laboratory Experiments: A Case Study of the Winner's Curse, NBER Working Papers 13072.
- Hisamoto, S., M. Higuchi, *et al.* : Age-related differences of extremity joint torque of healthy Japanese, *Journal of Gerontechnology*, Vol. 4, No. 1, pp. 27-45, 2005.
- Hisamoto, S. and M. Higuchi : Age-related changes in muscle strength of healthy Japanese, *Proceedings of International Association of Societies of Design Research* (IASDR) 2007, Proceedings (CD-RoM), 2007.
- IEEE Intelligent Systems: Special Issue: Computational Cultural Dynamics, *IEEE*

Intelligent Systems, Vol. 23, No. 4, pp. 18–64, 2008.

- Kahneman, D., P. Slovic and A. Tversky, (Eds.) : *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*, Cambridge Univ. Press, 1982.
- Lewis, D and D. Brigder: Market researchers make increasing use of brain imaging, *Advances in Clinical Neuroscience and Rehabilitation*, Vol. 5, No. 3, pp. 36–37, 2005.
- Masuda, H. and T. Arai : An agent-based simulation model of evacuation in a subway station, *The 9th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management* (CUPUM05), 2005
- Rayo, L. and G. S. Becker : Evolutionary efficiency and happiness, *Journal of Political Economy*, Vol. 115, No. 2, pp. 302–337, 2007.
- Simon, H. A. : *The Science of the Artificial*, Cambridge, MA, MIT Press, 1969. (稻葉元吉, 吉原英樹 訳, システムの科学, パーソナルメディア)
- Tessman, B. F. : *International Relations in Action: A World Politics Simulation*, Lynne Rienner Publishers, 2007.
- Tuomela, R. and K. Miller : We intentions, *Philosophical Studies*, Vol. 53, pp. 367–398, 1988.
- Zarboutis, N. and N. Marmaras : Design of formative evacuation plans using agent-based simulation, *Safety Science*, Vol. 45, Issue 9, pp. 920–940, 2007.
- アクセルロッド, R., コーエン, M. D. 著, 高木晴夫 監訳: 複雑系組織論, ダイア mond社, 2003.
- 猪口孝ほか編: 国際政治事典 (石黒馨、栗崎周平分担執筆「不完備情報」「不完全情報」「戦争原因としての不完全情報」), 弘文堂, 2005.
- 市川新: 総力戦研究所ゲーミングと英米合作経済抗戦力調査シミュレーションの接点.
- 猪瀬直樹: 昭和 16 年夏の敗戦—総力戦研究所 “模擬内閣” の日米戦必敗の予測, 世界文化社, 1983.
- 遠藤薰: 実践としてのシミュレーション, 数理社会学入門, 効率書房, pp. 73–97, 2005.
- 大石進一: 精度保証付き数値計算, コロナ社, 2000.
- OR 学会誌: 特集: シミュレーションの数理: 最近の動向, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 46, No. 4, 2001.
- 大鑄史男, 小野基裕: セルオートマトン法による避難流動のシミュレーション, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol. 51, pp. 94–111, 2008.
- 岡野正: ルールジェネレート型シミュレーションゲームの提案と体験セッション, 日本シミュレーション&ゲーミング学会 2006 年度春季全国大会 発表論文集, 2006.
- 奥村隆, 浅野智彦, 西坂仰, 加藤秀一, 市野川容孝, 葛山泰央, 山田信行: 社会学になにができるか, 八千代出版, 1997.
- 北山忍: 自己と感情: 文化心理学による問いかけ, 共立出版, 1998.
- 倉橋節也, 南潮, 寺野隆雄: 逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析, 計測自動制御学会論文集, Vol. 35, No. 11, pp. 1454–1461, 1999.
- 倉橋節也, 寺野隆雄: エージェント・シミュレーションによる共同分配規範モデル, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J84-D-I No.8, pp. 1454–1461, 2001.
- 高坂健次: ミドルマンのすすめ: 「役に立つ」社会学・ノート (1), 関西学院大学社会学部紀要, 第 87 号, pp.197–206, 2000.
- 近藤敦: 国際政治シミュレーションの意義と可能性, 中央大学社会科学研究所年報, 5

号, 2001.

- ・ 西條辰義 編著: 地球温暖化対策・排出権取引の制度設計, 日本経済新聞社, 2006.
- ・ 阪本拓人: 紛争と動員 マルチエージェント・シミュレーションを用いた内戦モデル, 国際政治, 140 号, 2005.
- ・ 塩沢由典, 松井啓之, 谷口和久, 中島義裕, 小山 友介: 人工市場で学ぶマーケットメカニズム—U - Mart 経済学編一, 共立出版, 2006.
- ・ 塩沢由典: マルクスの遺産, 藤原書店, 2002.
- ・ 庄司昌彦, 三浦伸也, 須子善彦, 和崎宏: 地域 SNS 最前線, アスキー, 2007.
- ・ 関寛治: グローバル・シミュレーション&ゲーミング, 科学技術融合振興財団, 1997.
- ・ 高野研一: 産業現場における安全文化醸成に係わる諸問題, ヒューマンファクターズ, Vol. 12, No. 1, pp. 24-30, 2007.
- ・ 高橋大志, 寺野隆雄: エージェントベースモデルによる金融市場のミクロ・マクロ構造の解明: インデックスと資産価格変動, 電子情報通信学会論文誌 D (特集: ソフトウェアエージェントとその応用), Vol. J90-D, No. 9, pp. 2407-2414, 2007.
- ・ 辻竜平: ネットワークにおける形式と意味の狭間で, シンポジウム「スマートワールド研究の社会学的再検討」, 数理社会学会第 43 回大会, 2007 年 3 月.
- ・ 土場学, 盛山和夫: 正義の論理—公共的価値の規範的社会理論, 効草書房, 2006.
- ・ 寺野隆雄: エージェント・ベース・モデリング : KISS 原理を超えて, 人工知能学会誌, Vol. 18, No. 6, pp. 710-715, 2003.
- ・ 寺野隆雄: エージェント・ベース・モデリング : その楽しさと難しさ, 計測と制御, Vol. 43, No. 12, pp. 927-931, 2004.
- ・ 富永健一: 社会学講義一人と社会の学, 中公新書, 1995.
- ・ 中島秀之: 環境に埋め込まれた知能と知能化される環境, 外村桂伸, 前田英作 編: 環境知能のすすめ—情報化社会の新しいパラダイム, 丸善, pp. 309-328, 2008.
- ・ 中村善太郎: 「ものこと分析」, 日本能率協会マネジメントセンター, 1992 年.
- ・ 中西美和, 岡田有策: 開放型機構におけるヒヤリハットを含む不安全事象収集システムの提案～大学の化学実験室を対象場面として～, ヒューマンファクターズ, Vol. 9, No. 2, pp. 104-113, 2005.
- ・ 南野泰義, 大森功一: グローバル・ゲーミング実践マニュアル 国際関係シミュレーションに参加しよう !, エサップ, 1999.
- ・ 日本経営工学会/日本規格協会「生産管理用語 (JIS Z 8141)」日本規格協会, 2001.
- ・ 日本経営工学会編「生産管理用語辞典」日本規格協会, 2002.
- ・ 久本誠一, 日本人の筋力の変遷と将来予測, シミュレーション, Vol. 27, No. 4, pp. 239-242, 2008.
- ・ 広田良吾: 直接法によるソリトンの数理, 岩波書店, 1992.
- ・ フリードリヒ・エンゲルス: フォイエルバッハ論, 岩波文庫, 1960.
- ・ 古田一雄: ヒューマンモデリングの現状と課題, 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 3, pp. 356-363, 1998.
- ・ ボールディング, K. E.: 地球社会はどこへ行く, 長尾史郎 訳, 講談社, 1980.
- ・ 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強: 地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究. 社会技術研究論文集, Vo1. 3, pp. 138-145, 2005.
- ・ マックス・ウェーバー: 社会科学と社会政策にかかわる認識の「客觀性」, 岩波文庫, 1998.
- ・ マックス・ウェーバー: 職業としての学問, 岩波文庫, 1980.
- ・ マックス・ウェーバー: 職業としての政治, 岩波文庫, 1980.

- ・丸岡律子: システムを利用したグローバル・シミュレーション・ゲーミング, 大学教育と情報, 116号, 2007.
- ・三上達也(a), 松尾宏祐, 武田俊男, 繁瀬信, 林芳生, 宇津木到: マルチエージェントシステムを用いたシミュレーション—データント期における米ソの第三国に対する介入を中心として—, 政策科学, Vol. 14, No. 2, 2007a.
- ・三上達也(b) : マルチ・エージェント・モデルによる社会シミュレーション, 政策科学, Vol. 14, No. 3, 2007b.
- ・宮脇昇: 「駆け込み核戦争」は防げるか? 国際公共政策のシミュレーションの課題, 松山大学論集, 2004.
- ・宮脇昇, 近藤敦: 大学院における国際政治シミュレーション・ゲーミングの実践とその考察, 日本シミュレーション&ゲーミング学会 2006 年度春季全国大会 発表論文集, 2006.
- ・宮脇昇: 国際政治とシミュレーション, シミュレーション, Vol. 27, No. 3, pp. 52-54, 2008.
- ・村上陽平, 杉本悠樹, 石田亨: 仮想訓練システムのためのエージェントのモデル構築, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 243-250, 2006.
- ・持丸正明, 河内まき子: デジタル人体モデルによるオンデマンド着装品, 電子情報通信学会技術報告, CQ2003-114, MVE2003-105, pp.39-42, 2004.
- ・山岸俊男: 信頼の構造: こころと社会の進化ゲーム, 東京大学出版会, 1998.
- ・吉田民人: 21世紀の科学—大文字の科学革命—, 組織科学, Vol. 32, No. 3, pp. 4-26, 1999.
- ・流通経済大学論集, Vol. 40, No. 4, 2006.
- ・渡邊一衛, 武岡一成監修: 「生産管理プランニング 3級」, 社会保険研究所, 2008.

第5章 人間生活支援技術のアカデミック・ロードマップ

5. 1 はじめに

5. 1. 1 人間生活支援技術の取りまとめ方針概要

本章では、人間生活支援技術として、アカデミック・ロードマップの作成を行った。以下では、21世紀初頭の我々が置かれている環境を歴史的に理解し、人間の生活支援としての今後の課題とそのアプローチを検討した。その中では、特に科学技術によって得られた正の面と、逆に人間の生活を脅かす負の面をも視野に入れて検討をおこなった。

人間生活支援技術のアカデミック・ロードマップ作成に際して、人間を対象とするために、極めて多様な分野を議論する必要があった。そこで、取りまとめ方針として、①個の人間、②個の人間と人工物のインターフェース、③個の人間と個人から構成される社会という分類で議論を重ねた。以下の報告書は、このような大きな分類のもとに、2025年ごろと2050年ごろを想定した人間生活支援技術とその基盤を固める科学のロードマップである。

5. 1. 2 人間を取り巻く環境の歴史的変化

19世紀にはじまった産業革命は、人類の単純肉体労働負荷を大きく低減した。これによって、人間の直接的な力学作用なく、機械のエネルギーによって大量な物資の生産が、高速に正確に達成できるようになった。現在に至るまで、人間の肉体的な労働負荷を低減させる科学技術が発達してきた。

20世紀後半から21世紀には、情報通信革命が起こり、記憶、計算などの人間の単純知能労働の負荷を低減させた。卓上計算機、ワープロ等は一般家庭に普及した。さらに、インターネットの高度化により、空間的隔離の障害を克服しつつある。

21世紀になり、気象変化が起こりつつあり、閉鎖空間としての地球が意識されている。人類の生活を維持しながら、地球環境の保持を可能とする環境エネルギー革命を、起こさなければならない時期となっている。したがって、人間の生活支援技術としても、環境エネルギー問題の課題解決の枠組みの中で、検討しなければならない。



図5.1-1 産業革命



図5.1-2 情報通信革命



図5.1-3 環境エネルギー革命

5. 1. 3 発生した問題と克服のアプローチ

産業革命以降、人類の単純肉体労働負荷は低減された。また、離れた場所への移動には自動車を利用し、建物内ではエスカレータ、エレベーター等を利用する。その結果、先進国での人の平均的な運動能力は低下している。特に、発達中の子供の運動能力が顕著に低下

していることが報告されている（文部科学省, 2007）。このような状況をうけて、健康維持、増進のためには、適切な運動、スポーツの重要性が科学的視点からも説明され、一般社会でも理解が浸透している。スポーツ機器、運動モニタ機器等は、この意味で人間生活支援技術の具体的実現となっている。

一方、今もって情報通信革命の激流の中にいる現代人は、単純な記憶や計算等の知能労働負荷を大きく低減したために、肉体に起こった問題と同じ問題を持つことになった。すなわち、脳における記憶力の低下、計算力の低下である。この問題も一般に意識されるようになり、すでに脳のトレーニングとしての機器が販売されるに至っている。

情報通信革命によるもう一つの「空間的隔離から生じる障害の克服」によって、空間を越えて様々な仕事が可能となった。しかし、一方で空間隔離によって保障されていた安全が崩壊した。その結果、携帯電話やメール関連犯罪に見られるように、従来接触を持たなかつた人的繋がりによる犯罪も生じた。この問題に関する解決のアプローチは、緒についた感を否めない。また、隣の席に座っている人にメールのみで連絡するなど、本来同じ空間を共有している人たちが、「空間的隔離から生じる障害の克服」技術による逆隔離現象を生んでいる。利用可能な情報通信技術の適切な利用法が未確立となり、社会における阻害感、孤独感を科学技術が增幅させているとの指摘を、否定できない現実もある。

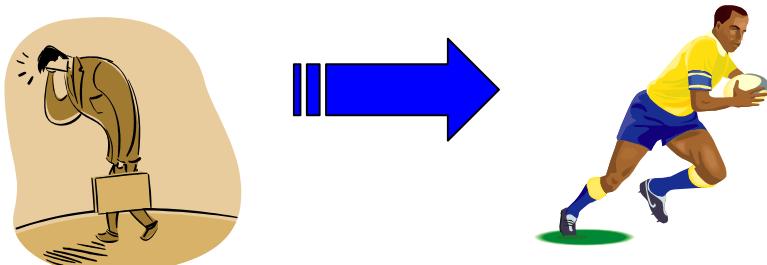


図 5.1-4 肉体的労働からの解放に伴う運動不足補充の必要性

5. 1. 4 人間生活支援科学技術の現在の課題

科学と技術の進歩は、必ずしもバランスよく起こることは保証されない。ある特定の分野において、科学の多くの発見が集中する時期を科学史の中に読み取ることができる。一方、現代社会における技術は、市場原理から、バランスの悪い発展とならざるを得ない側面を持つ。科学的には実現可能で、人類に極めて役立つ人工物が、市場性の欠落から生まれ出でない事例を、我々は数多く知っている。

このような科学と技術のアンバランスの結果、科学技術において実現された人工物や社会システムが、本来の人間や環境に対して望ましくない部分や人らしく暮らせない環境を含むようになっている。たとえば、電子メール、携帯電話等のネットワーク技術は、高度に発達しているが、人間にとって健全な情報交換方法、ストレスを増加させないコミュニケーション手法等の科学的知見は極めて不十分である。また、高齢者支援機器では、福祉現場からは、寝たきり高齢者を増加させるとの批判もある。

現在の人間の一般生活に極めて大きな影響を与える科学技術が、アンバランスに進歩するために、科学技術によって作られた我々のまわりの環境が、必ずしも人間にとて、望ましいものとなっていない。図 5.1-5 に見られるように、現状は人間が人間の創った環境の特性に合わせて生活をしているといえる。そこで、本ワーキンググループでは、図 5.

1-6に見られるように、従来構成された環境と人間との間に、新たな人工物や社会政策を創造するためのアカデミック・ロードマップを検討する。

図5.1-6の人間支援科学技術を構築するためには、以下の2点が重要となる。

- ① 人間と人間支援の人工物・社会政策の臨界面をどのように実現するか。
- ② 既存の種々の環境と人間支援の人工物・社会政策の臨界面をどのように実現するか？



5.1.5 解決の科学的方法としての人間科学とそのアプローチ

人間を科学する方法として、DNAからタンパク質と積み上げられた生体を調べ上げ、人間の生活支援を目的とする人工物を創造するアプローチもある。ただし、特性の異なる極めて多数の要素の相互関係を考慮して、全貌を明らかにするには、今しばらく時間が必要であろう。そこで、本WGでは、人間の形態、機能、行動等をシステム科学の視点でとらえ、人工物・社会制度設計による人間生活支援を目的とした科学技術を検討する。

このような課題解決のためには、人間の計測・解析学、モデリング・シミュレーション学等の諸科学を精緻に構築することが必要となっている。さらに、それらを基礎として、人間生活支援の人工物や社会制度の統合・設計学も必須である。(図5.1-7参照) 従来からも諸学会では、上記の課題を克服すべく多大な努力がなされてきている。しかし、人間特性の総合性、複雑性等から細分化された学会の学問領域の壁によって、目標とする科学技術の創造は阻まれている。そこで、本WGでは、学問分野を横断的に俯瞰し、人間の形態、機能、行動等に関する人間のシステム科学を検討し、近未来における課題解決のための学術的なロードマップを諸学会の協力の上に作成することとした。

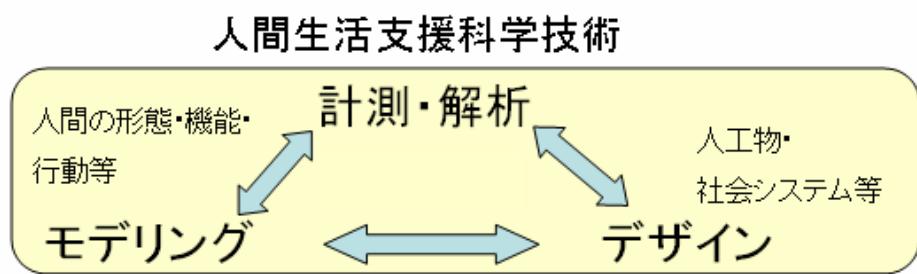


図 5.1-7 人間科学のアプローチイメージ

5. 1. 6 アカデミック・ロードマップ取りまとめ方針

取りまとめ方針として、④個人の人間、⑤個人の人間と人工物のインターフェース、⑥個人の人間と個人の人間から構成される社会という分類で、2025年ごろまでと2050年ごろまでのロードマップについて、ワーキング小グループに分かれて議論を重ねた。ただし、総合的な項目とせずに、本節での現代の社会環境についての問題意識に立脚して、重要と判断される事柄に焦点を当てる方針とした。さらに、④個人の人間、⑤個人の人間と人工物のインターフェース、⑥個人の人間と個人の人間から構成される社会の3グループ間においても、完全に分離できない部分が存在することを確認した上で、作業を行い、以下の各節の結論に至った。

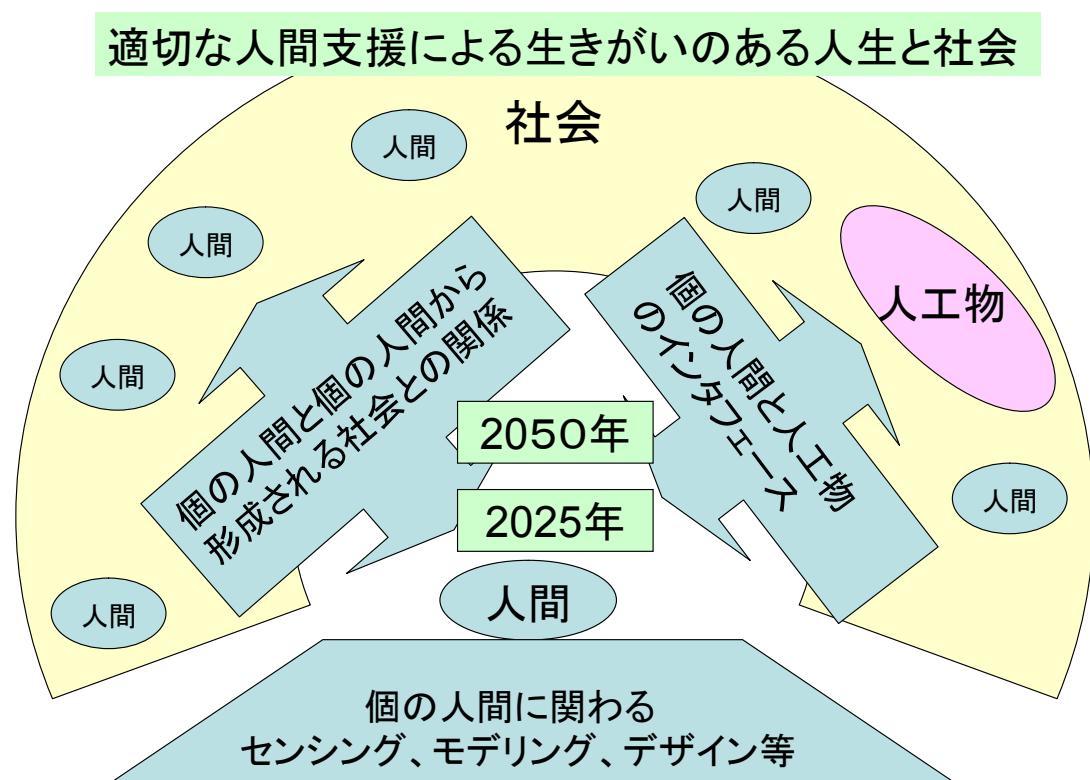


図 5.1-8 アカデミック・ロードマップ作成方針図

5. 2 個の人間の生活支援

5. 2. 1 概要

一人の、個としての人間の生活を支援するために必要な科学技術とその未来を検討する。個としての人間を想定して、人間の形態、機能、行動の計測、モデリング、人間支援の人工物設計の議論を行った。本節で取り扱う計測、モデリング、人間支援の人工物設計に関して、たとえば、人間計測では人間の各部の寸法などの形態計測は比較的容易であり、最近の情報機器を利用することで、多量の正確な計測も可能となりつつある（産総研, 2003）。一方、人間の機能、行動を計測することは、単純な場合に限定することにより可能となるが、一般には困難を伴う。さらに、計測されたデータを基礎に、人間の特性のモデリングは、どのような人間支援人工物を設計するかの目的に依存して、大きく変わり、一般に複雑となる。このような状況を鑑みて、以下では、人間の形態、機能、行動の計測、モデリング、人工物設計にとって、網羅的に議論するのではなく、重要と想定される論点に絞って、2025年ごろと2050年ごろに達成が予想される課題とそれを支える科学技術を示す。

5. 2. 2 身体の形態計測と解析

(1) IT 基盤の身体の計測・解析・モデル化

たとえば、独立行政法人 産業総合技術研究所デジタルヒューマン研究センターでは、身体の各部分の詳細な形態計測が進んでいる。（図 5.2-1）

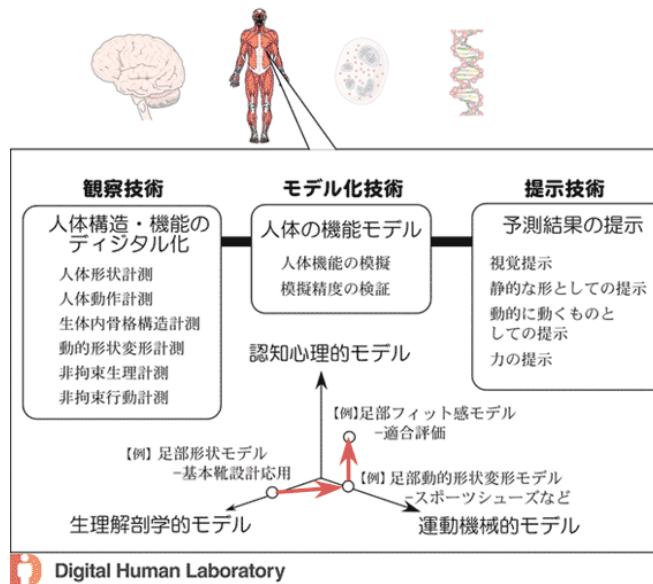


図 5.2-1 デジタルヒューマン（デジタルヒューマン研究センター）

特に、全身を数秒で計測でき、数ミリオーダの精度で3次元計測するシステムが、すでに開発されている（持丸, 2008）。たとえば、光切断方式の3次元形状計測を発展させ、複数のライン光を同時に照射し、ライン光の波長を変えて、対象物上での干渉を解決することで、計測時間を1.8秒まで短縮した。また、カメラの配置も工夫して、脇の下、股の間、頸の下などが計測できるようになっている（産総研, 2001）。さらに、歩行中の足の3次元形状も計測され、骨、筋肉組織などの柔軟組織の動的な変化を考慮した計測に進みつつある。

人体の形状計測の一つの困難性は、組織の柔軟性にある。すなわち、身体の各部分は柔

軟であるので、重力を含む外力が作用した際に、形状が大きく変化する。これは、通常の運動時にも生じるので、この柔軟性に対応した形状計測・解析とモデリングが必要となる。

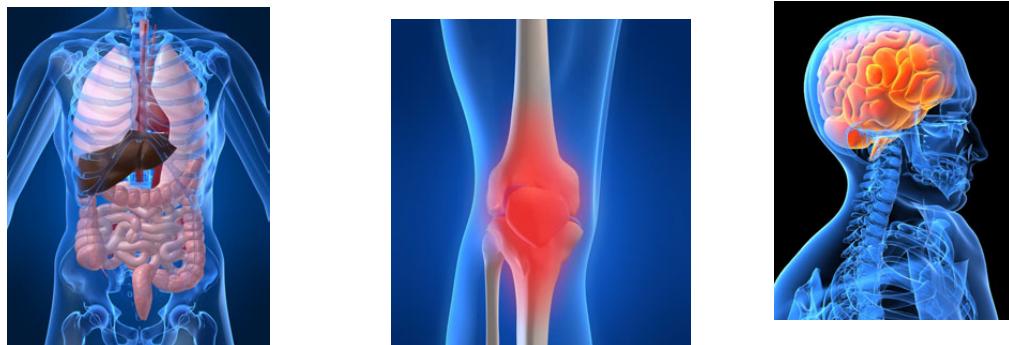


図 5.2-2 生体の柔軟性

(2) 柔軟体の科学技術

身体の力学的特徴を考える際、身体の柔軟性が解析やモデリングを困難にしている。たとえば、柔軟体では作用力に対する変形量が大きく、従来の手法では実時間制御、低計算量のモデリング等の実現が困難な場合が多い。また、このような柔軟体の計測やモデリングでは、外力を加えることによって初めて、構造体の変形特性が知れる。

前出の産総研デジタルヒューマン研究センターでは、指先に限定されてはいるが、このような柔軟体の計測・解析やモデリング、実時間変形シミュレーションを実施している。ビジョン技術により指先変形をMRIにより内部構造を計測し、さらに、MRI撮影時に外力を加え、変形と外力を計測することで、指構造体の変形特性を定量化している。これらの構造・変形特性から指先の有限要素モデルを構成し、変形・摩擦をシミュレーションするだけでなく、より簡易なシェルモデルによる低計算量の変形シミュレーションも実現している。変形によって生体内に発生する応力が分かることで、深部体性感覚器がどのような情報を受容しているかを予測し、触感覚受容とそれに応じた人間の操作制御の関係を解明しようとしている（多田充徳, 2008）。

したがって、観測、操作、モデリング、シミュレーション等を個別に行うのではなく、全体を統合する必然性が生まれる。そこで、柔軟体の観測、操作、モデリング、シミュレーション等を、図5.2-3のように統合的に科学する必要があり、このような統合的なアプローチも始まりつつある（柔軟体の観測・操作・の統合学創成）。

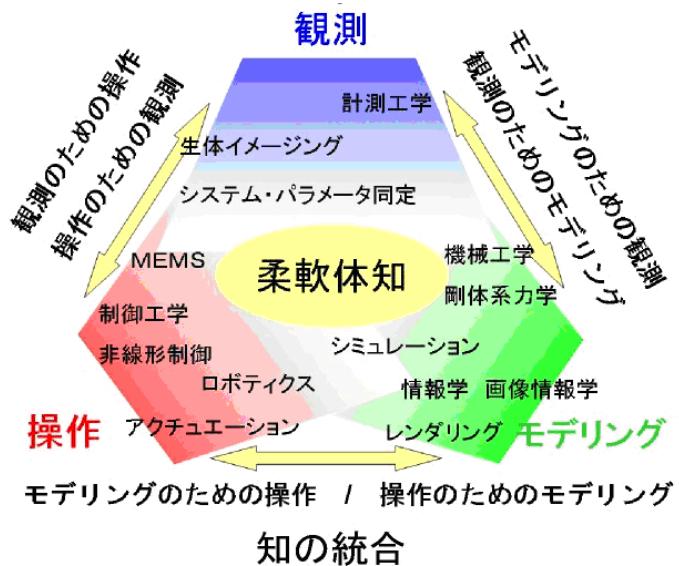


図 5.2-3 柔軟体の科学のための知の統合 (柔軟体の観測・操作・の統合学創成)

5. 2. 3 日常生活計測システム

実験室等での特殊な環境で、人間の形態、機能、行動を短時間測定するだけでは、人間のモデル構築とそれに基づく人工物設計を達成できない場合が多い。より日常的な環境で、長時間計測することが望まれる。究極の計測法は日常生活の衣服、利用機器、住居等にセンサとその情報通信機能が組み込まれるシステムである。利用機器、住居等ではシステムの重量、大きさの制限が比較的容易であるので、実現しやすい。一方、常時人間に装着するシステムでは、システムは従来よりもより小型、軽量、薄型、柔軟等の条件を満足することが望まれる。

身体運動の計測では、実際の身体各部の位置、速度、加速度、対表面の皮膚に加わる圧力等の信号のみならず、身体の状態をモニタするための心拍、筋電等の電気的測定量および乳酸値等の化学的計測量も重要となる。たとえば、被験者の腰背部に加速度センサを装着させ、加速度データの基線変動から被験者の姿勢変動を、高調波成分の周期性解析から被験者の歩行／走行、乗車を自動分類することができる。更に GPS センサを併用することによって、日常生活における行動地図をモニタすることができる (牧川, 2008a)。(図 5.2-4)

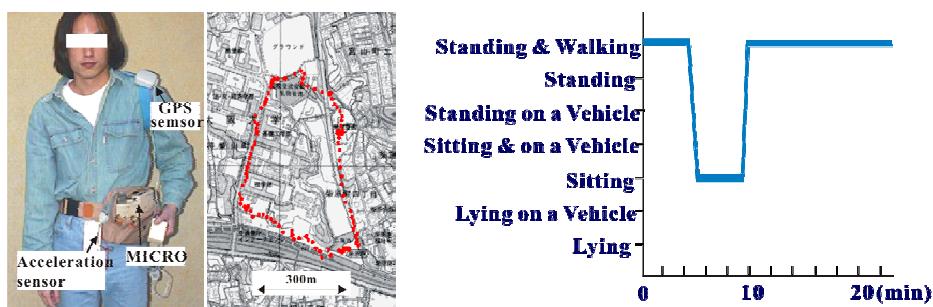


図 5.2-4 日常行動のモニタ例 (牧川 b)

これらは、今後より軽量小型化する必要があり、そのため MEMS (Micro Mechanical Electrical Systems) の利用が始まっている（杉山）。より多くの種類の測定を可能とする新しいセンサ開発と身体の運動等に負担が少ない全体のシステム化統合法が期待される。このような日常計測システムを実現するための身体装着計測技術も必要となる。

次に、センサから得たれた情報の意味の理解、認識が重要となる。たとえば、すでに人間を3次元空間内でモーションキャプチャし、その3次元位置姿勢情報をもとに、動作情報の機械システムによる認識の研究も行われている（森, 2007）。今後、センサの種類の種類や数の増加とそれらの情報処理に関する統一的な科学が期待される。

MEMSセンサー等による日常生体計測



図 5.2-5 日常生活計測システム

5.2.4 複合センシングからの統合化計測

人間の様々な特性を計測し、対象者のモデルを作るには、特定のセンサから計測される情報のみから解析するには限界がある場合が多いと予想される。そこで、今後の課題として、画像情報による身体運動計測、加速度計・ジャイロセンサ等からの身体運動計測、脳波、筋電、心電図、筋音、眼球運動計測等々の異種の計測情報を統合して、目的とする人間の特性値を計測する複合センシングの基礎理論、技術開発が必要となる。

特に、脳活動計測では、脳磁計 (MEG)、f-MRI、PET 等々の技術が発達している。今後は、眼球運動等との複合センシングによって、従来計測が困難であった人間特性の同定可能性が期待される。

たとえば、超音波と熱線の複合方式で人体検知器が開発されている（森秀夫他, 2004）。従来、単独の計測装置が、大型、高重量、高価等の問題がある場合に、先の MEMS 技術によって、小型、軽量、低価格とできる可能性があり、センサの複合的利用を加速すると予想される。

脳活動と眼球運動の複合センシング

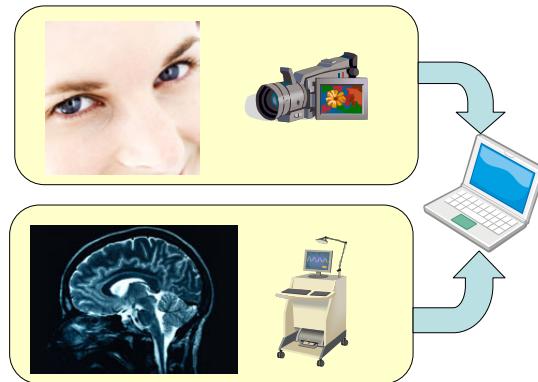


図 5.2-6 複合センシング例

5. 2. 5 機能・行動のモデル化

人間をとりまく環境から多様な刺激を受けて、その結果から人間がある機能を発現し、行動を起こすと考えると、同じ刺激を与えてその人間と同じ機能、行動を発現するモデルが実現できるかとの問い合わせが生じる。

移動等の運動に関しては、環境との相互作用で人間がどのような運動を形成するかの研究が行われている（浅間 2007）。特に、細胞数が比較的少ない昆虫を対象として、機能と行動を解明することは現実的に可能な段階となりつつある（神崎、2002）。

また、乳幼児の事故防止を目的に、計算機上で乳幼児の行動を再現し、事故をシミュレーションするツールが開発されている（北村光司、2005）。乳幼児の行動パターンは、環境と年齢による発達状況に大きく依存するとして（図 5.2-7）、それらの実際のデータを基に仮想空間内で乳幼児の行動シミュレーションシステムを開発している（図 5.2-8）。過去の事故事例によって事故データベースを作成し、行動シミュレータと統合することができる。この結果を用いて、設計された住宅内の安全状況の評価、事故の原因解明への応用などが可能と期待されている。

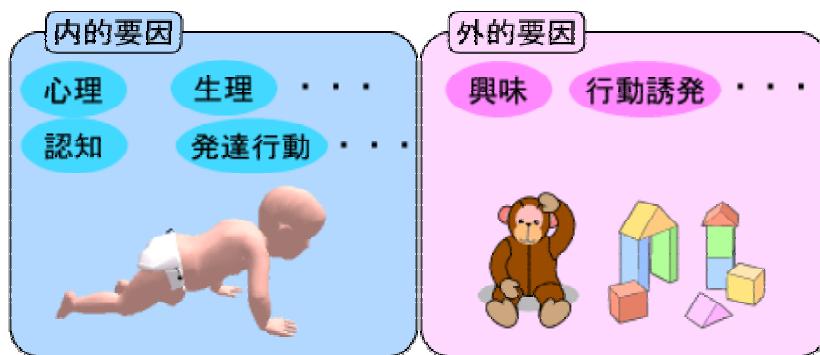


図 5.2-7 乳幼児の発達と環境を考慮したモデル



図 5.2-8 乳幼児の行動シミュレーション

5. 2. 6 喜怒哀楽の計測とモデル化

人間の喜怒哀楽の感情を計測するシステム開発が期待される。今後、人が機器やシステムを操作する時に、そのときの人の感情すなわち喜怒哀楽を操作に反映させるこができるれば、極めて効果的なインターフェースを実現できることになる。もし、操作者の感情が高ぶっているとき、それによりミスを起こさせないように、システム側で人の感情を抑えるような刺激を与えて、感情の高ぶりを起こさせない等も予想できる。

このためには感情の変化により引き起こされる大脳の変化を捉えることが重要となるが、心拍、脈波、皮膚電位等の複合的センシングの有効性も期待される。近赤外光脳機能計測装置（光トポグラフィー）を用いて、「怒り」、「喜び」、「悲しみ」、「リラックス」の4種類の感情を想起している時の脳の活動の状態を計測し、その信号パターンの解析から各感情を定量的に評価する試みも報告されている（松下晋、中川匡弘、2004）。



図 5.2-9 機械システムによる感情の計測と理解

5. 2. 7 日常生活におけるパワーアシストの考え方

力学的な労働からの肉体の解放は、確実に進行している。自動車ハンドルのパワーステアリング化により、腕力の弱い人も容易に大型車を運転することができるようになった。また、パワーアシスト自転車は、一般に数多く普及している。さらに、駅などの公共施設には、エスカレータやエレベーターが必須条件となっている。これらは、多くの場合人間の力学的な負担を低減する方向で生活支援が行われる。その結果、身体障害者、高齢者には

よりよい環境を実現しつつある。

一方で、子供、青年、中高年にとっては、このような環境によって、運動能力が低下している。従来の労働や単純な移動にも内包されていた運動するチャンスを失ってしまった。また、高齢者支援においても、高齢者の肉体的負荷を可能な限り低減する方向の機械的支援によって、逆に寝たきりの高齢者を作りあげているとの指摘もある。

このような問題に対して、すでに適度な運動を行う必要性が、一般にも認識され、トレーニングジムに通って健康維持をする健常者やお年寄りの能力を最大限に引き出して寝たきりにさせない方法も検討されている（竹内孝仁他、2000；坂本勇二郎、2006）。ただし、現状では、どの程度の支援をし、どの程度の負荷を与えるべきかの詳細な規準に関しては、科学的に不明確な部分が残る。

今後の力学的支援においては、人間の運動能力を低下させない科学的な方法を、取り入れる必要がある。そのためには、人工物が人間をアシストしすぎない適切な量を、科学的に求めるための人間力学的能力の計測・解析等が重要となる。具体的には、肉体的疲労度、精神的疲労度、長期的経過等を種々の生理データの複合的センシングによって判断が可能となるような人間のモデル形成が必要となる。このモデルを利用して人工物システム自身が、適切な機械的アシスト量を設定して、人間の能力を低下させない方向で機能することが望まれる（図 5.2-10 参照）。

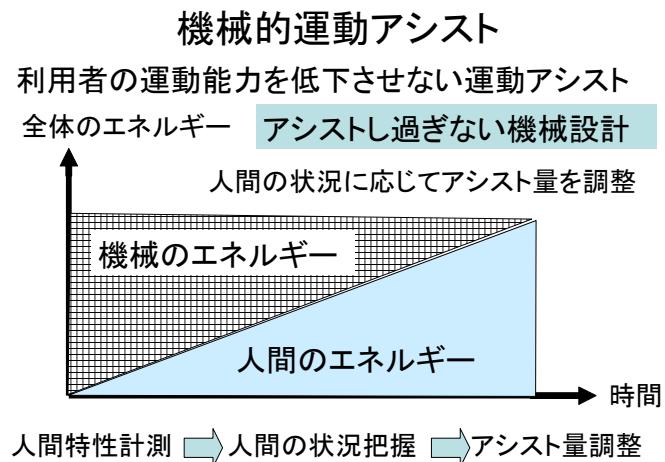


図 5.2-10 アシスト量を調整して人間の能力低下を防止する考え方

パワー・アシスト機器は、すでに幾つか開発されつつある。図5.2-1-1では、上肢リハビリ用に空気圧ゴムアクチュエータを利用して、全体システムの軽量化を達成した（アクティブリンク）。また、通常人間が出せないパワーを機械システムによって達成するシステムが、実現しつつある。従来は、運動の安定性を保証しながら操作性を向上させるには問題があったが、克服されている（マンマシンシナジーエフェクタズ）。



図5.2-1-1 上肢リハビリシステム（アクティブリンク）



図5.2-1-2 強力パワー・アシスト装置例（マンマシンシナジーエフェクタズ）

5. 2. 8 アカデミック・ロードマップ

以上の議論を踏まえて、以下のアカデミック・ロードマップを作成した。以下で特に、ディジタルクローンとは次のようなイメージとする。自分の形態、機能、行動等をデータとして蓄積し、モデル化することによって、情報科学的な自分のクローン（計算機内の自己モデル）を作成する。たとえば、今後どのような食事内容を継続すれば、20年後の体型、体质、病気の発症等を明示することが可能となる。

	現在	2025年	2050年
センシング	<ul style="list-style-type: none"> ・MEMS技術等により生体計測技術の小型・軽量化、日常化が完成 ・非接触脳活動計測によるBMI技術複合生体計測からの判断 ・心電計測、眼球運動計測などと既存の脳計測技術の複合センシングによる新しい計測 	<ul style="list-style-type: none"> ・喜怒哀楽、わびさび等の計測 ・「うつ前状態」の計測 	
モデリング	<ul style="list-style-type: none"> ・正確なパラメータ値を用いた筋骨格系シミュレーションモデル完成 ・人間の簡単な行動モデル実現 ・脳機能マクロモデルの充実 	<ul style="list-style-type: none"> ・人間の運動機能を向上する移動機械 ・ディジタルクローン完成 (個人の正しい生体情報による健康の管理と予測医学への応用) 	
デザイン	<ul style="list-style-type: none"> ・パワーアシストの最小実現法確立 ・視覚へ過大負荷低減技術確立 		<ul style="list-style-type: none"> ・人間科学をベースとする個人のライフワークバランスと社会制度の設計

図 5.2-13 個の人間の生活支援アカデミック・ロードマップ

5. 3 個の人間と人工物のインターフェース

5. 3. 1 概論



図 5.3-1 多くの人々の生きがいの支援

本節では、人間と人工物とのインターフェースを検討するに際し、インターフェース一般を取りまとめることはすでに他のハンドブック等でも行われていることから、今後大きな社会問題と想定される「生きがいの創出」に焦点を当て、それを支援するインターフェースについて議論する（図 5.3-1）。そこで、まず「多くの人々が生きがいをもって生きられる社会を実現するために、どのような科学技術が必要とされるか」という根源的な問い合わせから出発し、特に個々の人間と環境との間のインターフェースに着目して個別の課題にブレークダウンする作業を行う。時間軸の目安としては 2025 年および 2050 年を設定し、その時点までに到達すべき目標を整理する。

効率や利便性、物質的豊かさを追求するだけで人々が幸福にならないことは多くの人々の共通認識となりつつある。また今後の超高齢化社会においては高齢者が生きがいをもつて暮らし、社会貢献できる仕組みが強く求められている。今後の科学技術は物質、エネルギー、環境、Quality of Life からさらに一步踏み込んで「生きがい創出」を最終的な評価軸とし、それを最大化するための方法論として再構築される必要があると考えられる。

これまで「生きがい」は哲学や宗教の領域で語られてきた問題であるが、その構成要素の多くは科学技術が扱える、あるいはすでに扱い始めている問題であることに気付く。例えば過大なストレスがかかっていることを定量的に知らせてくれるシステムがあれば、うつ病や燃えつきによって生きがいを失う事態を未然に防ぐことができる。また現在のコンピュータインターフェースは室内に閉じこもって視覚のみを酷使するものになっている。ウェアラブルコンピュータで提唱されているように屋外で体を動かしながら仕事をこなせるようになれば、ストレスは軽減し働く喜びも感じやすくなるであろう。さらに機械や情報機器によって肉体的・能力的衰えを補えれば、高齢になってもやりたい仕事を継続できる。これらの生きがい創出支援システムの実現は現代人の多くが切実に求めているものであり、今後の科学技術が最優先に取り組むべき問題である。本節では、この問題に関するインターフェース技術の課題を以下のように分解し、具体的な問題を論じていく。

1. 人間あるいは人間と環境の相互作用を計測する技術

2. 感覚情報等を人間に提示する技術
3. 生きがいの材料を提供する技術
4. 有用性(幸福度など)の評価技術

すなわち本節では、5.3.2項でまず「生きがいとは何か」について論じ、その後、5.3.3項で、疲労、病気、動作の意図など個人の状態を計測する技術、5.3.4項で、人間計測技術と対になる技術すなわち環境から人間に情報や物理的作用を伝達する技術、5.3.5項で前記要素技術を用いつつ生きがいの材料を提供する技術、5.3.6項でそれらの技術が人間の幸福にどれだけ貢献するか、評価する方法について、それぞれ論じる。これをまとめたのが図5.3-2である。

<計測技術>		<情報提示技術>	
2025	<ul style="list-style-type: none"> ・脳を観察して意図やストレスを知る ・非接触、日常着でバイタルデータを取得 ・支援情報を提供する環境センシング ・感性計測の基礎技術確立 	2025	<ul style="list-style-type: none"> [人間の感覚能力の拡張] ・AR コックピット、手術支援（視覚） ・メディア変換（視覚・聴覚・触覚） ・感覚情報の活用 ・産業分野でのパワーアシスト
2050	<ul style="list-style-type: none"> ・完全センシング（家、街、身体の物理的状態） ・感性計測の応用展開（個人のわくわく度にマッチするコンテンツ提示など） ・心の計測・操作の社会的ルールの確立 	2050	<ul style="list-style-type: none"> ・一般家庭でのAR活用 ・触覚・力覚提示の一般家庭、医療分野での活用 ・知覚・認知の関係性解明
<生きがいの材料を提供する技術>			
2025	<ul style="list-style-type: none"> ・なりたい自分になる ・すりあわせ型技術の伝承 ・高齢者の社会参加支援 	2050	<ul style="list-style-type: none"> ・n回分の人生が楽しめる ・高齢者が一般健常者と同様に働く
<有用性の評価技術>			
2025	<ul style="list-style-type: none"> ・個人ごとのユーザビリティ評価法の確立 (個人ごとのQOL評価) ・心的負担計測法の確立 ・インターフェースの適切な利用ルール策定 	2050	<ul style="list-style-type: none"> ・生きがいへの貢献度を量化

図5.3-2 超高齢社会を豊かに生きがいをもって生きられるためのインターフェース

5.3.2 「生きがい」とは何か

主観的な価値観である「生きがい」を工学の対象となるシステムとしてイメージするために、先ず、高齢者が「ネガティブな心理状態」になる原因とされる主なものを列挙しておこう（大森, 2005; 神谷, 1980）。

- ・退職によって社会的な地位を失う。同時に、経済的な不利を感じる。
- ・両親、家族、伴侶、友人が先立つことで、喪失感、孤独感を感じる。
- ・肉体的機能の衰えを感じる。自身の意識障害や感情障害を自覚する場合がある。

「社会的な地位を失う」ことからは、自分が他人にとって無価値な存在になった、つまり他人の役に立つことをしてあげられなくなった、という不安が生じると考えられる。

家族や友人たちというのは、何をすれば喜んでくれるかが良く分かっていた関係であるが、高齢になると、その人たちに先立たれることが多くなる。そうして、「他人の役に立つことが少なくなった」という自覚が生じ、生きがいを失ったと感じるのでないだろうか。

その上に、自分が老人介護施設などに入居した場合には、周囲の人たちの性格や価値観を把握するまでに時間が掛かる。価値観の分からぬ相手とは積極的に友人になろうと思わないでの、先立った友人に代わる新しい友人ができにくいと思われる。

つぎに、「経済的な不利を感じる」ことからは、他人に養われている、他人の庇護下にあるという意識が生まれやすいと考えられる。このような意識は他人に対する引け目につながり、場合によっては、それが引き金となって器質的な障害や精神的な不安定さを招くことがあるのかもしれない。

そして、特に、これまで自分一人で生活してきた、他人と近接した生活に慣れていない高齢者の場合には、病気などになって入院したときに、大部屋という住環境や、看護士や医師がひんぱんに接近することが原因で、ストレスを感じることが多いであろう。

以上のようなことが原因となり、また毎日の生活にも手応えがなくなるので、夢や希望を将来に対して持ちにくくなると推測される。

自発性が低下する。意欲が減退する。他人の庇護下にある自分を正当化しようとする無意識の心の働きが生じて、病気を自ら治そうとする意欲を失う。

これらを総称して、「生きがいを喪失した状態」と名づけられるのではないだろうか。

ここまで、生きがい喪失の原因と、生きがいを喪失している状態について考察した。生きがいを喪失した結果について要約する。

- ・自分が、他人に対して役に立つをしてあげられなくなったと思い込む。これは、自身の肉体的機能の衰えからも、自身の意識障害に気付いたことからも、そう自覚する場合がある。
- ・自分が、経済的に誰かの庇護下にあると思い込む。また、社会的な貢献をしていた立場を失ったと思い込む。

これらは、退職などによる環境の大きな変化などから、そのように思い込んでいるのに過ぎないのであるが^{注1}、高齢者自身も、その周囲の人たちも誤解した行動を取る場合があって、生きがいを本当に喪失させてしまうことが多いだろう。

5. 3. 3 人間あるいは人間と環境の相互作用を計測する技術

生きがい支援技術の柱の一つは、健康状態、疲労・ストレスの状態、さらには「わくわく」などの高揚感や「やる気」など、人間の肉体的・精神的状態を日常生活の中で計測することである。肉体的な健康状態については、バイタルセンサの携帯や、排便時に健康をチェックするトイレなど、継続的に健康状態をモニタするシステムが実用技術として検討され始めている。健康は生きがいの基礎であり、病気を未然に防ぐための健康状態計測は重要であるが、そのためのコストが過大であったり、機器装着が煩わしいものであったり

^{注1} 一例を挙げれば、お腹が空いてものを購入して食べれば、それだけで社会の経済循環を促し、食事をしていることは周囲の人たちを安心させ、何を食べたかはマーケティングの業者に対してデータを提供し彼らに仕事を与えていることでもあるので、必ず自分の行動は誰かの役に立っているのである

すれば本格的な普及は実現しない。できる限りセンサは非接触であるか、肌着のように容易に身につけられるものでなければならず、メンテナンスも容易でなければならない。ここにはいくつかの技術的な壁が存在しており、これらを乗り越えて健常者にまで利用されるようになることが 2025 年にむけた課題になると考えられる。また肉体の健康状態だけでなく、人間の脳波やホルモン状態を観察してストレスの状態を日常生活で観察・利用できるようになることも同時期までの課題として挙げられる。

本節の主題「インターフェース」においては、相互作用のための状態計測が求められている。人間側の心身の状態、疲労度、注意力、意図によって接し方を変えるインターフェースや、現在視覚のみに集中している情報伝達のチャンネルを全身に分散させ、ストレスを軽減するシステム、などは 2025 年までの実用化が期待される技術である。コンピュータの側から人間の意図を読み取る際に、「指でボタンを押す」などの力学的作用だけでなく、筋電や脳波など、皮膚表面に現われる生理的信号を活用することが重要な着眼になると思われる。

さらにその先 2050 年をゴールとした場合には、ウェアラブルデバイスともいえるセンシングデバイスをチャレンジ目標とすることができます。特殊なシャツを着込むだけで現在大がかりな装置で診断している病気までもチェックできるようになれば、高齢者も安心して活動範囲を広げることができる。また海や山で散策しながらキッチンと社会に貢献する活動ができるようなインターフェースを実現することも夢のあるチャレンジである。このころには日常品を操作するインターフェースの形態も大きく変化していると予想される。

これらのイメージ図を図 5.3-3 に示す。

一方、上述した肉体的、生理的あるいは精神的ストレスや注意力、意図に加え、人工物とのインタラクションによって生じる安心感や快適感、さらに「わくわく」「やる気」などの能動的な感性の計測も、生きがいを支援するインターフェースにおいて重要な要素であると考えられる。これらの感性の計測には、脳波のみならず、心電、脈波、皮膚電位などが有効な生理指標を与えるものとして期待されているが (M. Ohkura et al., 2009; 青砥他, 2008; T. Aoto et al., 2008)、現在はまだ研究が始まったばかりであり、2025 年までにはまず基礎技術の確立をめざすことになろう。すなわち具体的には、ストレス等の計測にこれまで用いられてきた、あるいは今後用いられる生理指標を流用したり発展させたりして、肯定的あるいは能動的な感性の計測に供する。

さらに 2050 年には、それまでに確立した基礎技術を活用して、生きがいを支援するための多方面への応用技術への適用へ展開されることが期待される。例えば、個人のわくわく度にマッチさせる車や動画・ゲームなどコンテンツ（詳細は 5.3.5 項に後述）のカスタマイズなどである^{注1}。しかしこのような応用に対しては、それと並行して、人間の心の中にどこまで科学技術が入り込むのかといった倫理的課題も同時に解決していく必要があると考えられる。

注1 その原理的な例として、図 5.3-4 に示すような使用者のアルファ波を利用して、ペッタロボットの動作が、使用者をよりリラックスさせるような動作にカスタマイズするシステムが試作されている（大倉, 2005）

生きがいを支援するセンシング技術

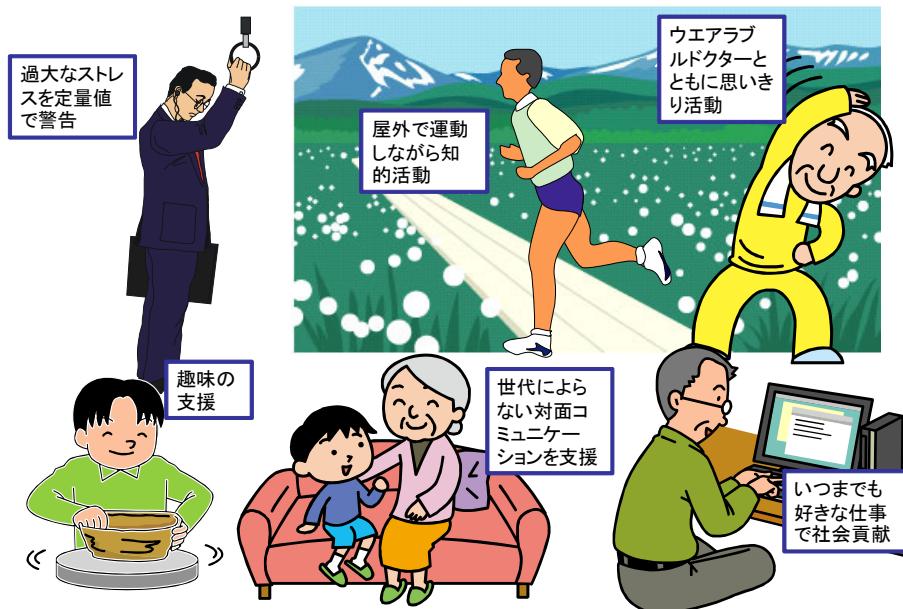


図 5.3-3 生きがいを支援するセンシング技術の利用シーン

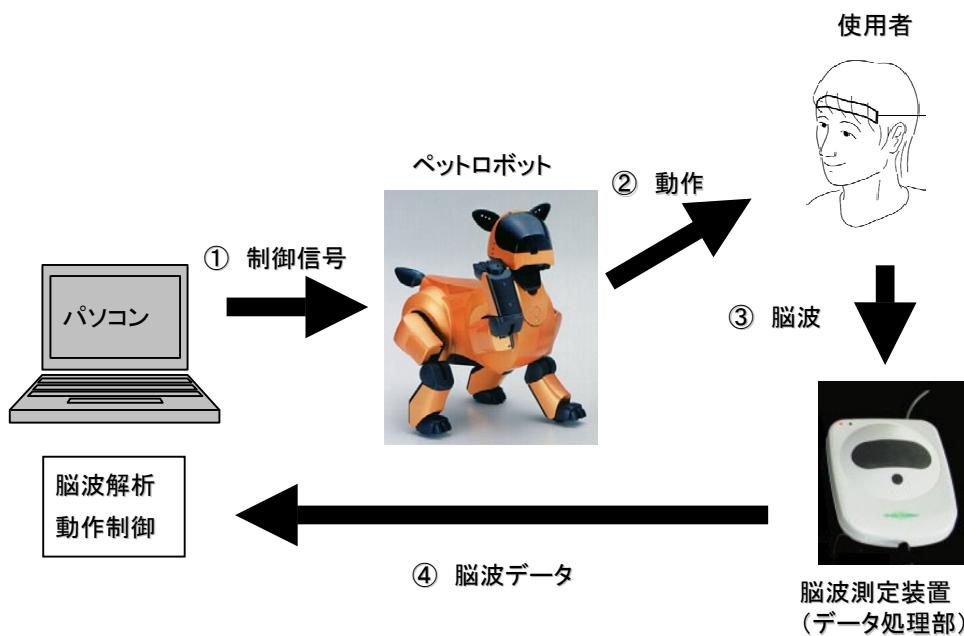


図 5.3-4 ペットロボット動作制御システム (Ohkura et al., 2006) の図を基に作成)

5. 3. 4 情報提示技術

(1) 人間の感覚能力の拡張

人間の感覚能力を考える場合、知覚レベル（モダリティ）と認知レベル及び双方の組み合わせの側面を考える必要がある。

知覚には、視覚や聴覚のように受動的に情報が入ってくるものと、触覚などのように触りに行くなど能動的に働きかけなければ情報が得られない性質のものがある。後者の活用には単に知覚センサだけでなく、能動的に働きかけるアクチュエータなどとの組み合わせや、無線などを利用したリモート制御などの技術が必要になる。

また情報には、書物のように人の外部に情報が不揮発で存在するものと、音声のように生じるとともに消えてゆく揮発性の性質を持つものがある。例えば同じく視覚の言語情報でも、出版物のように不揮発性のものと手話のように揮発性のものが存在し、それに対する認知のメカニズムは全く異なると考えられる。また、同じ視覚情報でも、自然な情景の認知と手話のような言語情報に対する認知処理が異なることが、脳の障害などの症例から予測される。

異なるモダリティから同時に入力される場合、モダリティ間の関係も重要な課題である。知覚レベルだけをとっても、例えば触覚として扱われている知覚は、いわゆる触覚のほかに温度や痛覚、硬さなどの感覚など複数の感覚が統合されて認知に関係してくる。マルチモーダル、あるいはインターモーダルな関係の解明は未知の部分が多い。相互にプラスに機能したり、競合が起きて妨害しあう組み合わせも存在する。人間の有限な認知資源をどのようにモデル化すれば様々な現象を矛盾なく説明できるかという課題である。単に処理資源の問題だけでなく、おそらくは情報の内容（意味）や学習なども関係した複雑な構造を持つものと思われる。

この他に感覚能力の拡張には、メディア変換の課題が存在する。例えば超高齢化社会を迎えている状況では、加齢に伴い視覚に障害が生じた場合、視覚情報を聴覚情報に変換して情報取得することが行われる。しかし、前者は2次元情報でかつ不揮発性の情報であり、後者は一次元の揮発性の情報で、知覚や認知レベルでの処理は全く異なり、等価変換は極めて困難な課題となり、情報保障は難しい。モダリティによる伝達速度の違いも避けて通れない課題である。

外部とのインターフェースを考える場合、外部の時間変化に対する知覚や認知の応答特性や、外部への働きかけに対する応答の相互のダイナミックな関連性（意味としての関連付け）を把握する知覚・認知の処理速度も重要な要因である。例えば、何らかの情報が音声で提示されているときに「それだ！」という応答を関連付ける場合である。ここにもおそらく学習効果なども関与してくるであろう。

学習による知覚・認知の機能の拡張の課題も存在する。例えば視覚障害者は効率よく音声から情報を得るために訓練し、通常では聞き取れないような高速化した合成音声（通常の3倍近い）を聞き取ることができる。また訓練により細かい凸点からなる点字を、触覚を通して音声に近い速度で読み取る。訓練で知覚・認知能力をどこまで広げができるかも検討課題であろう。

医療技術の進展とも関係が生じるであろう。加齢などに伴い視覚や聴覚に障害を持つ人の割合が増えると予測されるが、網膜や内耳の再生医療技術の研究開発も進められている。これらの進展によっては工学への要求内容も変化してゆく可能性が存在する。

以上のように、様々な側面が存在するため、個々のモダリティ関連の技術は2025年ま

でにはかなりの進展が期待されるものの、知覚と認知の関係や認知レベルの解明とその応用は 2050 年に向けて徐々に進むものと予想される。

以下個々の認知レベルの課題について例を示す。

① 視覚情報

人が受け取る情報の 7 割から 8 割は視覚的要因が占めると言われており、視覚は人が環境を知覚する上で最も重要な感覚器の一つといえる。

人間の視野が捉えることが領域は眼球運動と網膜上の視細胞の分布により規定されているが、情報を取得可能な範囲としては水平 200 度程度、垂直 125 度程度に達する。一方で網膜上の視細胞が検出できる「可視光」は 380-750nm の範囲の波長の電磁波であるとされている。

本来、人の視覚で視認できない情報を適切に実世界の映像に重畳することでバーチャルに人の視覚を拡張することを目指した研究は、拡張現実感(AR: Augmented Reality)と呼称されている。

AR 技術を用いて現実世界に情報や映像を重ね合わせることで、作業を行う人間の視覚での情報収集能力を拡張できる。

航空分野では Head-Up Display(HUD)としてすでに実用化されており、医療分野での利用も盛んである。例えば、脳の病気を治療する際には、まず脳内を MRI や CT、X 線などでスキャンし三次元画像を CG で生成する。手術の際には、患者の実際の頭部に重ね合わせて CG を投影する。これにより、医師が実際の頭部と CG で描かれた脳内画像両方を重ね合わせて見ながら手術を進めることができる。この技術により、目では見ることのできない隠れた部位、病巣などが、他の組織、血管、神経、頭蓋骨などとどのような位置関係にあるかがわかり、手術ミスなどの危険を避けて手術をすることができる（図 5.3-5）。



図 5.3-5 視覚の拡張による医療支援（東京大学館研究室）

また、東京大学の館らにより AR を用いることで車の内装が全て透明になったかのように運転席から外界を観察可能な “Transparent Cockpit” システムも提案されており^(Yoshida, 2008) AR は様々な分野への応用が期待されている（図 5.3-6）。

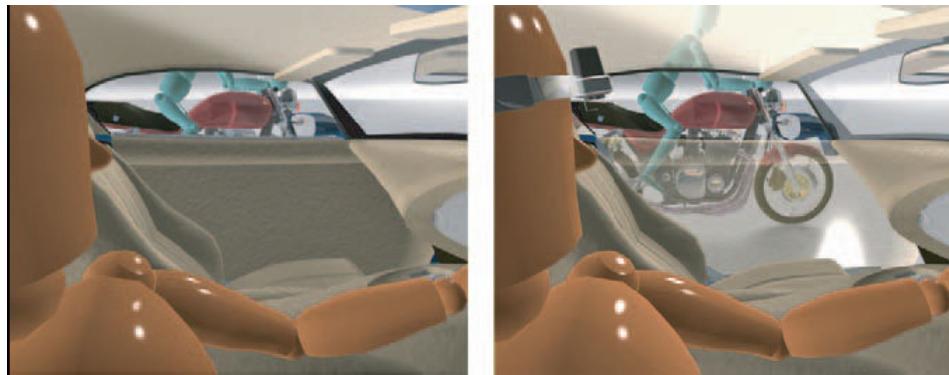


図 5.3-6 Transparent Cockpit (通常は遮蔽された外界の景色を観察可能)
(東京大学館研究室)

近視、老視のような調節障害を含めると、ほぼ全ての人が生涯のうち何らかの視覚に関する障害をかかえることになる。視覚的障害があっても視覚の拡張技術を用いることで晴眼者と同様の生活を送ることが可能になる場合もある。例えば調節障害のための網膜投影型ディスプレイなどが研究されており今後福祉分野への応用も期待できよう (Lewis, 2004)。

本技術は 2025 年にはコックピットや一部医療分野などでの実用化が期待できる、2050 年にはディスプレイ技術の発展に伴い家庭や商店でのインテリアなど幅広い場所での応用が期待できる。

② 聴覚情報

聴覚情報は、電話のベルの音や警報音のように、人間に対して割り込んでくるという極めて重要な特性を持っている。これに対して視覚情報などは人が情報を取りに行かなければ情報は得られない。ブリンクングなども目をつぶっていたり、あるいは寝ている場合は割り込み機能の発揮は難しい。

一方で、聴覚情報は提示されると同時に消えてゆく揮発性の情報である。しかしながら、我々はその聴覚情報を用いて、日常主に音声対話によりコミュニケーションを行っている。

音声対話では何故連續している音韻の列の中から言葉と言葉の境目が直ちに判るのか、何故脳の中に記憶されているであろう何万語、何十万語もある単語から特定の言葉が直ちに取り出せるのか、何故取り出された単語と単語の関係（文の構造）が直ちに判るのか、何故円滑な話者交替が実現されるのかなど、いずれも非常に不思議である。脳内での言語処理のみでは実時間での対応は不可能であろう。未だ聞いていない先の情報展開を余裕を持って予測できるような仕掛けの存在が予想される（市川, 2006）。

これらの性質を明らかにし、活用できれば、障害者や高齢者だけでなく、誰に対しても負担の極めて小さいインターフェースの実現が期待される。

言い換えると、発声された音声から最終的に得られる情報（伝達内容情報）と、このような情報の知覚認知過程を支援する情報（伝達支援情報）が同時に存在し、伝達される情報の円滑な獲得を可能にしていると考えられる（図 5.3-7）。

また、話し手の発声と平行してその音声は聞き手により聴取され、理解が進行し、反応が現れ、またその反応に応じて発声が影響されるという、ダイナミックな制御を行う情報が存在すると考えられる。話者交替の制御などの対話制御なども含む情報である。まとめ

て示すと、

- A. 伝達内容情報 最終的に伝えられた内容
- B. 伝達支援情報 実時間での理解を支援する情報
 - ・伝達内容構造情報
 - ・伝達内容構造予告情報
 - ・話者交替予告（対話進行支援）情報

この伝達支援情報 B には様々なレベルの予告情報が含まれ、それを利用し予測することによって、聞き手の知覚や理解の負担を軽減する非常に大きな役割を果たしていると考えられる。

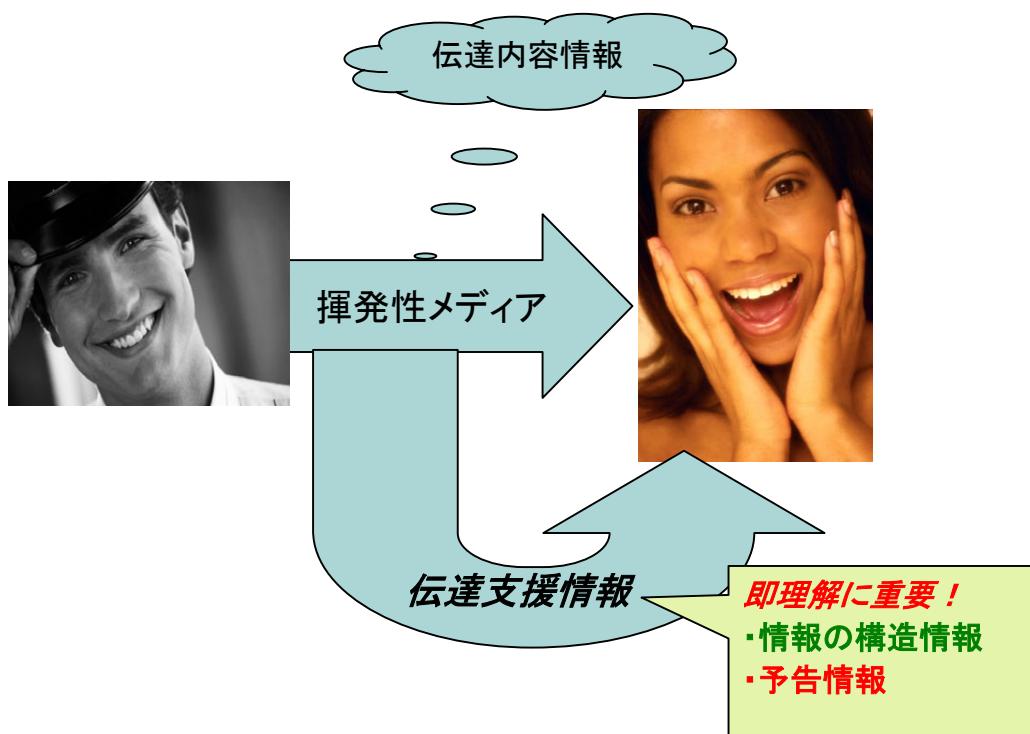


図 5.3-7 挥発性メディア言語の構造

このような視点から、例えば、音声や手話のような実時間対話言語には、仮説として、対話参加者が予測可能な階層的予告機能が存在するものと考えられる。例えば

- a. 話者交替の予告情報とその活用（予測）機能
 - b. 文及び文章構造の予告情報とその活用（予測）機能
 - c. 語彙レベル分節位置予告情報とその活用（予測）機能
 - d. 後続音韻の予告情報とその活用（予測）機能
- などである。

a～c はプロソディ^{注1}が重要な役割を果たしているであろう。また d は調音結合^{注2}などが、その役割を担っていると考えられる。文の構造や発話終了か継続かの情報がプロソディの中に先行して予告的情報が存在していることなどの事実がわかってきている（木村, 2006）。

この例のように、揮発性の一般的聴覚情報にも負担の小さい構造を人工的に設計する可能性が存在する。このためには聴覚情報に予告的情報を畳み込む技術と、それを認知するための方法を短時間で獲得する学習法の開発が望まれる。それが実現すれば、その応用により、高齢者なども複雑な機器操作をしないで、日常音声による対話を行いように、様々な情報を獲得・発信する手段が実現するものと思われる。

聴覚情報のもう一つの特性は、情報提示が主に線状であることである。また、空間的配置の認知、特に前後や上下の分解能は必ずしも高くはない。音による時空間的配置の提示方法のさらに進んだ手法の開発や、コンテンツなど内容とのマルチモーダルな提示方法の開発が望まれる。一方で、コンテンツ内容によっては空間配置が本質的ではなく、情報間の論理的関係明示の方が、認知が容易な場合も多い。提示する情報の間の関係にどのようなものが存在するか、レトリカルな表現手法の研究開発も必要になる。

一般の音響情報におけるその他の課題例としては、高雑音中の特定音の検出、多様な音の混在状況の中からの特定の特徴を持った音の検出（例えば、多人数の音声の中からの特定の話者の音声を検出）、空間中の特定の領域の音の検出なども重要である。

③ 触覚情報

幼児と母親の接触と子供の発達や、抱擁や握手などの人間関係における役割、柔らかいものを持つときの手や指先の制御、衣類などの手触り、などなど身の回りには触覚に関連した事項は極めて多いのにもかかわらず、必ずしも触覚に関する検討は十分ではないよう思われる。

触覚には、広くは温度の感覚や痛みの感覚、筋感覚なども含め、その統合した感覚として機能することが多い。視覚や聴覚が受身で得られる感覚であるのに対し、触覚関係は能動的に働きかけて得られる感覚である点、大きな特徴となっている。この統合的側面や能動的側面の解明や応用の研究開発も十分ではない。

例えば、従来、JIS の記述などでは触覚と筋感覚との区別は曖昧であった。しかし、筋感覚はどちらかというと発信に関係が深く（例えば、キーボード操作のリアクションによる入力確認など）、触覚は受信や検出に関係が深いといえよう。

危険な箇所や人が入り込めない場所での操作に用いる遠隔制御のハンドなどには、物体の材質やなどを触って判断する必要がある。対象物を触っているかという情報や表面の状態、硬さなどの情報を得るには、触覚と筋感覚の組み合わせが必要であろう。

触覚を用いた代表的なものには点字なども挙げることができる。

点字は、盲ろう者のための触覚を用いたコミュニケーション手段の一つで、音声と同様に揮発性のメディアである。点字の出来る視覚障害者から盲ろう者になった方が主に使用している。障害者の 6 本の指を点字タイプライタに見て、その指に点字を打って情報を伝えるもので、実時間性に優れた方法である。熟達した盲ろう者は 1 分間に 300 から 350

注1 プロソディは単語あるいはそれより広い範囲に関係した情報で、例としてはイントネーションやアクセント、リズム、間などがあり、類似の言葉に抑揚、韻律などがある。

注2 前後に存在する音韻により発声方法（調音と呼ばれる）が影響を受け、変形する現象。

字を読み取る事が出来ると言われている。点字のコード系を利用している。「指点字」にもプロソディが存在し、文構造情報などが存在していることを確認している（宮城, 1999）。この情報を付与した指点字端末は、盲ろう者に実時間で言語情報を音声のように容易に扱うことを可能にするだろう。

触覚の知覚分解能は体の部位により異なることや、加齢により感度が低下することなどの問題点がある。触図などの分解能は視覚情報に比べ大幅に低い。記号の標準化も不十分である。一方、音情報とのマルチモダリティな状態が触覚からの情報獲得を助けるという研究もあり、マルチモダリティの効果や、標準化の推進も今後積極的に進める必要がある。

なお、揮発性の視覚言語情報である手話にも音声や指点字と同様にプロソディが存在し、実時間コミュニケーションを可能にしている。この手話のプロソディをより詳しく解明されれば、手話アニメーションに付与したり、手話機械認識に利用したりすることにより、聴覚障害者にとって負担のより少ないインターフェースの実現が可能となろう。

④ 力覚情報

頬をつねることにより夢と現実とを区別するように、力覚・触覚は現実感を認識する上で極めて重要な手がかりであるといえる。

力覚・触覚は日常生活を過ごす上で無くてはならないが、一方で行動時に意識することは少ない。例えば服も着衣後は肌に触れている部分はあまり気にならない。コップを持った時も日常生活は表面の滑りをいちいち意識することは少ない。

力覚情報を拡張することで「無意識」に触覚を拡張し行動を支援することが可能となる。

人に対して力覚情報を提示するための研究も広く行われてきたが、その応用はあくまでバーチャルな力覚提示や力覚情報の記録・再生を目指したもののが多かった。

実世界から得る通常の力覚に、各種センサによって得られた通常は力覚として知覚できないような情報を人為的に付加、増強すること、いわば「可触化」することにより、実世界での様々な作業を支援することが可能となる。

本来は存在しない力覚情報を提示することにより作業を支援する試みとしては事前に計測したデータを元に危険領域への侵害を困難にすることにより手術支援を行うことを提案したシステム（橋本, 1997）、バーチャルな力覚的ガイドを設定し作業支援を行う試み（白須, 1998）等を挙げることができる。また、図5.3-8に示すように、メスの先にファイバー型吸光計を装着することにより、ゆで卵の卵白のみの切断可能な作業支援システムも提案されている（野嶋, 2002）。

アクチュエータ等能動素子を一切利用せず、受動機構のみで凹凸知覚の増強を目指した佐野らによる触覚コンタクトレンズ（佐野, 2005）に関する一連の研究も興味深い取り組みである。

また、筑波大の山海教授ら、Sarcos社により開発されているパワーアシストスーツに関する研究も広い意味での力覚を用いた作業能力拡張といえ、今後の実用化が期待できる。

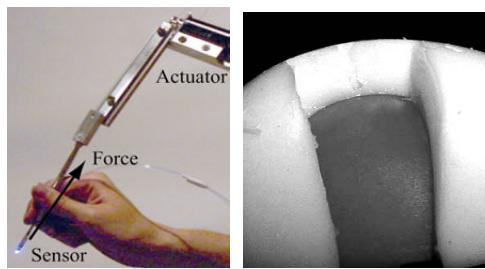


図 5.3-8 メス型力覚作業支援装置(左図) 卵白のみ切断されたゆで卵(右図)
(東京大学館研究室)

力覚の拡張技術は現在までに幅広く研究されているロボット工学をはじめとするメカトロニクスを背景とした技術であり、実用化のためのボトルネックは比較的少ない。一方で医療応用等を目指した場合は安全性や規制のクリアといった純粋な技術開発以外のハードルがある。2025年には産業分野でのパワーアシストや作業支援のための触覚拡張技術が確立し、2050年には医療や家庭において幅広い応用が期待できよう。

(2) ヒューマンエラーを予防するためのインターフェース

「人はだれでも間違える」(原題 : To error is human) というのは、米国医療の質委員会・医学研究所の本のタイトルである(米国医療の質委員会・医学研究所, 2000)。人工物を対象とする工学分野では、故障もあるが信頼性の比較的高い機械に対して、人間は間違えたり気が変わったりする不確実で扱いにくい要素であると考えられてきた。ところが他の分野では必ずしもそうではなく、例えば医療の分野では、医療従事者は、間違いを起こさない、あるいは起こすことの許されない存在であると考えられてきたようである。しかし工学分野においても、「人間が間違えても事故につながらない仕組み」であるフルプルーフや「事故が起きてもその影響を最小限に抑える仕組み」であるフェールセーフの考え方方がシステム設計に適用されてきたものの、もっと根本的な「人間が間違えにくい」=人にやさしいシステムというアイディア(人間中心設計という思想)が生まれたのは、比較的最近である。

黒須によれば、人工物のユーザビリティには以下の下位概念がある(イード, 2003)。

- ・操作性
- ・視認性
- ・快適性

現在、アフォーダンスを利用した操作性の高い人工物の研究(例えば「円筒形インターフェース」の直径や高さ(金指他, 2007))や、人間の認知特性を利用した視認性の良い人工物の研究(例えば「高齢者に見やすい医薬品の表示」(泉谷他, 2007))など、人間の精神的特性に基づく人工物の設計手法に関する研究が行なわれており、今後も、前項のセンシング技術を活用して、ヒューマンエラーを防止するための「人にやさしい」人工物の実現を目指し、研究を進めていく必要がある。

労働災害における経験則のひとつとして、ハインリッヒの法則が知られている(図 5.3-9)。これは、1つの重大事故の背後には 29 の軽微な事故があり、その下にはさらに 300 のヒヤッとしたりハツとしたりした事例(ヒヤリハット)があるというものである。このヒヤリハット事例は、それが重大事故と同様の要因に起因することから、重大事故を予防するための対策の検討に用いられている(厚生労働省, 2004)。そこで、もしヒヤッとしたり

ハッとしたりした体験がライフソグのような形式で保存され、それが解析されて重大事故につながる要因が明らかになれば、きわめて有効なヒューマンエラーの防止策を講じることが可能になると考えられる。2025年までにこのような技術が実現できることを期待したい。

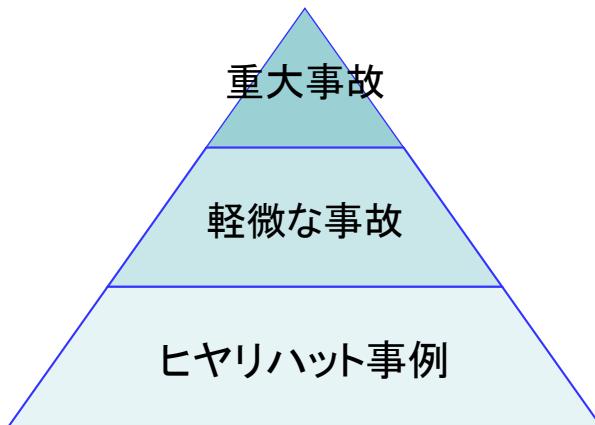


図 5.3-9 ハインリッヒの法則

(3) 見える化、魅せる化

いわゆる「ものづくり」による人工物の情報提示技術とは別に、コト(=不可視情報)の可視化技術があり、従来、物理現象の Scientific Visualization、それ以外の Information Visualization^(S. K. Stuart et al., 1999) が「可視化」「視覚化」と称されてきた。(Information Visualization の例を図 5.3-4、5.3-5 に示す。) さらに昨今、「ビジネスにおける問題を常に見えるようにしておくことで、問題が発生してもすぐに解決できる環境を実現すると共に、問題が発生しにくい環境を実現するための取り組み」が「見える化」と呼ばれる^(遠藤, 2005)、ビジネス界で話題になっている。これは、このような「コトの見える化」の重要性が、工学分野のみならずビジネス界でも認識されるようになってきたことを示している。しかし、物理現象の可視化に対し、情報の視覚化には物理的な制約がないため、表現の自由度が高く、そのわかりやすく人にやさしい提示法のルールは、未だ確立していない。人間の認知特性に基づく見える化のルール作りが、今後の課題として重要である。

また、前項のユーザビリティの3つ目である「快適性」に関連して、情報がわかりやすいだけでなく、それ自体が快適であるあるいはさらにわくわくさせるような魅力を持つ存在であることを積極的にアピールする「魅せる化」^(アイティメディア, 2006) も、今後重要なになってくるだろう。人工物や情報の感性価値の表示手法は人の感性の計測を前提とするが、既に 5.3.3 項において述べたように、その感性計測技術はまだ発展途上にあることから、その実現には「見える化」よりさらに研究の余地が大きく、今後の進展が期待される。

2025 年までに見える化の基本ルールの確立、2050 年までに魅せる化の基本ルールの確立を目指したい。

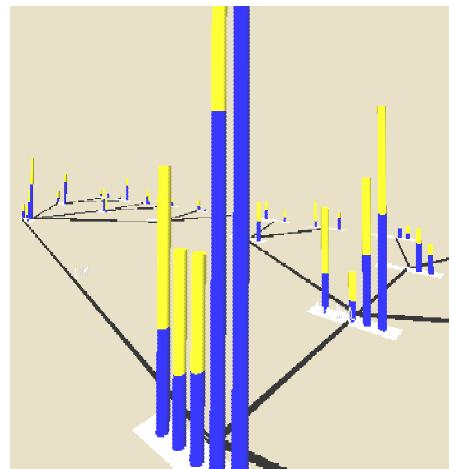


図 5.3-10 Information Visualization の例

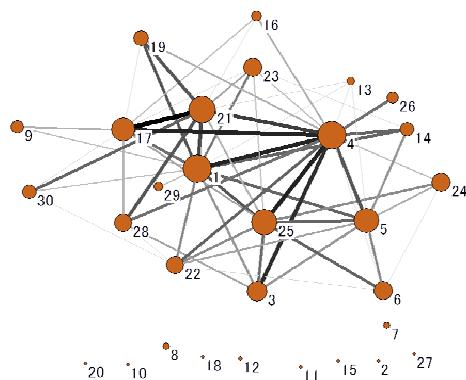


図 5.3-11 Information Visualization の例 (文献 (大倉他, 2007) より引用)

5. 3. 5 生きがいの材料を提供する技術

生きがいを創出する工学の一領域として、ここでは、「なりたい自分になる」、「高齢者が死ぬまで本気で働きたくなる」環境を実装する際の材料（コンテンツ）について、具体的に描いてみたい。それは、機構的にはどのようなシステムになる可能性が高く、高齢者や高齢身障者が社会参加できるシステムとして機能するときにはどのような使われ方をするのだろうか。ここでは、バーチャルリアリティ（VR）技術の観点から考察する。

図 5.3-1 2、図 5.3-1 3 に示す、セガ社の「オシャレ魔女 ラブ and ベリー」という女児向けのカードゲームでは、プレイヤーが画面の中のアバター（バーチャルな自分）に TPO にあわせた着せ替え遊びを行うことができる。例えば、プレイヤーが彼氏と行きたいと思ったディスコでは、こんな髪型、そしてこんなドレスを着るという「なりたい自分」のおしゃれを、スクリーン上という限定された空間ではあるが楽しむことができる。アバターが出かける行き先（背景）としては、ディスコのほか、ストリート、アイドルステージなどが用意されている。

こんなエンタテインメントが、1枚100円で購入したカードを機械に読み込ませるだけで楽しめる。このゲームでは、累計2億5,800万枚(07年5月の公式発表)以上のカードを、これまでに販売した。また、母親が洋服のTPOを娘に教えられることから、実際に

母娘がお揃いで、カードに印刷されたデザインの洋服を購入できる店舗「LB Style Square」を有名百貨店などに出店してみたところ、ものすごい人気となった。

「ラブ and ベリー」は、対象年齢が幼児から小学生までの女の子向けのゲームであつたが、バーチャルな世界の「なりたい自分」は、潜在的に現実の人間にも強い影響力を与える力があるという大きな示唆を与えた。



©SEGA 2004

図 5.3-1.2 ラブとベリー（主人公）



©SEGA 2004

図 5.3-1.3 アーケードゲーム『オシャレ魔女 ラブ and ベリー』

高齢者などの日常的な健康管理のために、非接触で安価な装置によってバイタルデータ（心電図など）が日常の普通の生活の中で特別な拘束なしに計測できるという試みがある（牧川, 2008）。例えば、「ラブ and ベリー」のような「なりたい自分になる」装置を、このような非接触のバイタルデータの計測器と組み合わせれば、「どのような、わくわくした感覚がその日に得られたか」などが簡便に計測できるようになるだろう。

そこで、高齢者や高齢身障者に対しても、「なりたい自分」を見つけることのできるシステムは、実装可能だと思われる。VR の要素技術の研究からは、没入感（臨場感）の高い視覚装置については、大型スクリーンを用意するだけでも一応の効果が得られるのであるが、例えば、プレイヤーのいる場所が介護老人病棟の 6 人部屋であるといった場合には、その 6 人の一人ひとりが別々に自分のなりたいイメージの映像を見（て没入する）必要があるので、このことと大画面という要素を共に満足させる装置が用意されなくてはいけない。

一案として、外界が見えなくなる個人用バーチャルドームのようなものを作り、各人のベッドの上から吊るすことを考える。この個人用バーチャルドームは、例えばスピンドーム 900（筑波大学岩田洋夫教授が開発）（ソリッドレイ, 2007）をさらに小型化したもの\$imageしてほしい。有機 EL のスクリーンが用意できれば内側の曲面に貼り付けられるので、視野の広いスクリーンが構成できる。また、指向性の高い特別のスピーカ（量産されている）を使用すれば、音が外に漏れ出すのを防ぐこともできる。

この装置で、例えば映画を見てもらう。よくできた映画には、人間の精神を鼓舞する力があると考えられるからだ。ここで、例えば「老人」の大活躍する映画を観てもらう。「生きがいの喪失」は「人生の目的を失っている状態」なので、なりたかった自分、なりたい自分をスクリーン上に主人公（ロールモデル）として登場させることによって、メンタルケアの効果が期待できると考えられる。

感情障害のある高齢者にも、癒し効果のあるイメージ映像などとともにこうした映画を鑑賞してもらい、非接触のバイタルデータの計測器で高揚感などを計測してみれば、バイオフィードバックの働きによって、社会参加の可能な「なりたい自分」が自ら発見できるかも知れない。

それでは、「なりたい自分」を見付けることができた後の、積極的な社会参加の可能性について、次に考えてみたい。

さて、国家には民間にできない、いくつかの役割がある。外交、防衛、徴税、教育は、国家の役割とされており、経済政策と福祉についても国家の役割は大きい。このうちから、教育と国防について、高齢者などの社会参加の可能性を考えてみる。

ところで、本節の第 2 項（「生きがい」とは何か）において、他人に対して役に立つことがしてあげられなくなった自分、経済的に誰かの庇護下にある自分を自覚したときに、高齢者が「ネガティブな心理状態」になることを述べた。それでは、「なりたい自分」のモデルとして、仮に自分が寝たきりの高齢身障者であっても教育や国防を通して国力の増進に協力でき（つまり「他人の役に立ち」）、そのことで収入を得る可能性について考えてみたい。

東京大学大学院経済学研究科の藤本隆宏教授は、広義のもの造り概念と産業競争力に関して次のように述べておられる。トヨタでは生産の現場で問題が起きたときに周辺視野で仲間の仕事を見て「すりあわせ型エンジニアリング」を行っている。これができるいで生産現場の「スピード問題解決」が可能となり、それが日本の強みなのだ（藤本, 2007）。

そこで、先ほど考えた個人用バーチャルドームのスクリーンの中に、公共投資によってCGによるバーチャルな工場を作り、その環境で高齢者が後進を教育することができれば、日本企業の強みである「すりあわせ型」のものづくり技術は、ネットを通じて若者にも伝承されることだろう。ここで、ボランティアではなく小額でも給与が支払われれば、高齢者などが社会参加を果たしたことになり、高齢者が「語り継ぐ」機会、後進を教育できる機会が実現する。

また、国防についても、個人用バーチャルドームで実現できることは多くある。例えば、寝たきりの高齢者に交代で海岸線のモニタの監視を依頼すれば、日本のような長い海岸線でも他国からの大量の難民に対するリアルタイムの発見が可能になるだろう。国際世論を喚起するためには、リアルタイムの映像をそのままネットに公開すれば良いだろう。

2050年には、日本人の3人に1人が65歳以上になると推計されている。ということは、高齢者や高齢身障者が普通に働けなければ、日本という国家は維持できない。経験豊富な高齢者であればこそ、何か体力以外でこの国の役に立ちたいと心から願っておられるのではないかだろうか。従って、このような「高齢者が本気で働きたくなる環境」を実現するためにも、ここで解説したような「生きがい創出工学」が実装可能であることを先ず国民に知ってもらい、社会的な合意を形成してゆくことが必要になるだろう。

- ・2025年までを、生きがい創出工学のための汎用インターフェースを開発する期間、
 - ・それ以降を、健常者に交じった高齢者の社会参加が当たり前になっている期間、
- と考えれば、明るい社会が実現できるのではないだろうか。これを図示したのが図5.3-14である。

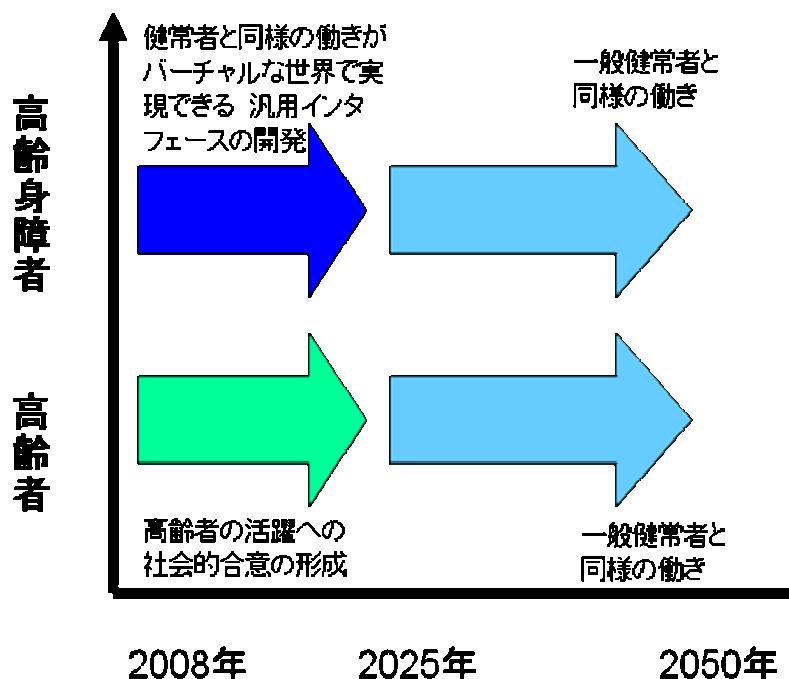


図5.3-14 「生きがい創出工学」による高齢者の社会参加

5. 3. 6 有用性評価技術

(1) 幸福度の評価

これまで生きがいは、科学技術における有用性評価の枠組みの外に存在していた。しかし人々の関心や科学技術への期待が生きがい創出そのものに向かいつつある現代において、新技術が生きがい創出にどれだけ貢献するものであるかを評価する軸が必要になる。

技術に対する有用性は大抵の場合「コスト、性能、(医療における)効用、生産性、利便性等において従来法よりどれだけ優位性があるか」という観点で評価される。これとは独立な軸として「人々が欲しいと思うか」という評価指標(具体的には市場での売り上げ)があり、近年は「安全性」や「環境への負荷が小さいこと」が新たな評価軸として浮上してきた。「生きがいへの貢献度」はこれらいずれの基準でも評価することができず、何らかの新しい尺度が必要である。

このような新評価軸の必要性については論を待たない。例えば携帯電話など、爆発的に普及して人々の思考方法や生活スタイルの根底を変革する技術は、必ずネガティブな側面も持ちあわせている。その悪影響が科学的に立証されていれば、機能や運用方法を適切に改善してから普及させることができるが、それがなければ直観的判断で「欲しい」ものを買い続けてしまい、事態が悪化した後でその悪影響に気付くことになる。あるいは本来人間支援を目的として適用された技術が人間をひ弱にし、結果として逆効果になる可能性もある。すなわち人間の幸福を構成する根源的因素である生きがいという軸で技術を評価することは、現代における強い要請であるといえる。我々は麻薬の害を科学的に立証していくので欲求に逆らって麻薬を禁止することができるが、それと同じ事情である。

生きがい貢献度を「その技術を実際に一定期間使ってもらい、生きがいという観点で貢献があったかを主観評価」してもらう、というのは最も素朴な評価方法である。しかし我々が真に求めるのは、多数の人間がそれを長期にわたって使ったときに起こるであろう事態を客観的に予測することである。多数の階層が複雑に関係しあうシステムの予測であり、人間の生きがいとは何か、という問題にも踏み込まざるを得ないため、現時点でどのような出口があるか予測しにくい問題設定ではある。経済学の場合には金銭というパラメータがあるし、環境・資源保護においては「CO₂削減」というように、有用性の評価を一つのパラメータに集約することができた。生きがい支援技術においてもこれと同様にシンプルな定量化手法を見出すことができるか(それ以前に定量化できるか)、ということが今後10~20年間の研究テーマになろう。

(2) 個への対応(ユーザビリティ)

今後さらに高齢化比率が高まると、ヒューマンインターフェースに対して、単にアクセシブルであるだけでなく、図5.3-15に示すようなユーザビリティの視点が益々重要になってくる。インターフェース操作は若い人や健常者以上に負担が大きく、ユーザビリティの視点は不可欠である。

インターフェースの評価としては、ユーザから人工物を介して世界に働きかける「操作」の方向と、メディアを介して世界の状態をユーザに知らせる「モニタリング」の方向、およびインターフェースからユーザが受ける「負担」の方向が考えられる。前2者は世界からの負荷とインターフェースからの負荷が重畠している。「操作」の方向は働きかけた結果を量的に計測する「客観的」評価法が、「モニタリング」はユーザによる「主観的」評価法を中心となっている。

「負担」は従来あまり注目されてこなかった評価項目であるが、超高齢社会では重要な評価項目となろう。人、とくに高齢者はそれぞれ固有の経験と価値観を有しており、それを無視したインターフェースは、ユーザにとって必ずしもユーザビリティが高いものとはならない。例えば、ある人にとっては操作効率が悪くても、一つ一つの操作を自分の意思と操作により行うことが重要と考えるかもしれないし、一方でまた、別の人は自分の意図を効率よく表現するために、操作手順が自動化されていることを好むかもしれない。

このような各人の価値観に合わないヒューマンインターフェースに遭遇すると、フラストレーションを感じ、無意識のうちに「心的負担」が増大する可能性があろう。

「心的負担」の計測法は幾つか提案されているが（RSME、修正 Cooper-Harper 尺度、NASA-TLX、SWAT など）、「心的資源」や「構成要因」などをどうモデル化するか、「個人差」をどう評価するか、など様々な課題が残されており、今後評価方法のさらなる開発が求められている（情報福祉の基礎研究会、2008）。

また、一人ひとりの QOL をあげることは人権上からも極めて重要であり、超高齢社会における高齢者や障害者の多様な実態は、同一条件のユーザはむしろ例外的であることから、いわゆる自然科学における統計的処理をベースとした「科学的」という視点とは非常に異なる領域であることに注意を向ける必要がある。事例を重視したユーザビリティの評価法の本質とその重要性に対する社会の認知を挙げてゆくことも、今後の重要な課題である。



図 5.3-15 ユーザビリティ評価

この課題はできるだけ広い領域に実施を働きかけ、多様な対象における実績を積むとともに、そこから新たな課題を見出し、改良を進める必要がある。2025 年までにはこのよう

に課題をほぼ解決し、社会的認知を確保し、2050年には広い範囲での実績が出てきているであろう。

5. 3. 7 まとめ

最後に以上をまとめた図を図5.3-16に掲載する。

	現在	2025年	2050年
センシング技術	<ul style="list-style-type: none"> ○ 脳を観察して意図やストレスを知る ○ 非接触、日常着でバイタルデータを取得 ○ 支援情報を提供する環境センシング ○ 感性計測の基礎技術確立 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 完全センシング (家、街、身体の物理的状態) ○ 生きがい支援への積極的な活用 ○ 心の計測・操作の社会的ルール確立 	
情報提示技術	<p><人間の感覚能力の拡張></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ARコックピット。手術支援(視覚) ○ メディア変換(視覚・聴覚・触覚変換) ○ 聴覚、触・力覚情報の活用 ○ 産業分野でのパワーアシスト <p><ヒューマンエラーを防ぐ></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ヒヤリハット体験の保存と活用 ○ 見える化、魅せる化 ○ 見える化の基本ルールの確立 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 一般家庭でのAR活用 ○ 触覚・力覚の一般家庭、医療分野での活用 ○ 知覚・認知の関係性解明 ○ 究極のローカル・カスタム製造 ○ 魅せる化の基本ルール確立 	
生きがいの材料提供	<ul style="list-style-type: none"> ○ なりたい自分になる ○ すりあわせ型技術の伝承 ○ 高齢者の社会参加支援 	<ul style="list-style-type: none"> ○ n回分の人生が楽しめる ○ 高齢者が一般健常者と同様に働く 	
有用性の評価	<ul style="list-style-type: none"> ○ 個人ごとのユーザビリティ評価法の確立 (個人ごとのQOL評価) ○ 心的負担計測法の確立 ○ インタフェースの適切な利用ルール策定 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 生きがいへの貢献度を定量化 	

図5.3-16 インタフェース技術のまとめ

5. 4 個の人間と個の人間から構成される社会

5. 4. 1 人間の社会生活を支援する技術

人間生活を支援する技術として、個の人間と個の人間から構成される社会における生活支援技術を俯瞰し、近未来における課題解決のための学術的なロードマップを検討した。社会と集団（コミュニティ）の変化を図 5. 4-1 に示す。産業革命以降、工業化社会となり、物質やエネルギーを大量に使って品質の高い同一の製品を大量に複製し流通する手段が、社会の中心となった。多くの科学技術が、いかに品質の高い、均一性の高い製品を大量にかつ低廉に製造するかに貢献してきた。必然的に、集団（コミュニティ）の主体も国家から企業へと変遷した。1990 年頃から始まった情報化と地球環境意識の高まりにより、それまでの工業化社会が変わりつつある。日常生活のさまざまなものが情報化され（ユビキタスセンシング）、そしてそれらがネットワークで接続されるようになりつつある。個人の特性や嗜好が情報としてやりとりできるようになったことから、品質の高い同一の製品ではなく、価値の高い個人向けの製品・サービスが求められるようになってきている。それまで国家や地域、企業という物理的な距離の近い者同士がコミュニティを形成していたのに対し、ネットワークで情報が交換、共有されることから、物理的距離に制約されない仮想コミュニティが形成されるようになってきた。いわゆる情報化時代である。この次の時代を俯瞰するのは困難であるが、情報化が推進し、さまざまな情報が共有される時代となり、また、製品やサービスが品質から価値へ、画一から個別化へ向かって行くであろうことは容易に想定できる。また、これらの変化において、エネルギー・物質を大量に使う方策ではなく、地球環境・資源の制約を踏まえた方策にシフトしていくことも必然であろう。情報化とはさまざまな情報がデジタル化されることであり、それがネットワークで共有される時代になると、情報そのものの価値は小さくならざるを得ない。なぜならば、誰でも情報を持つことができるからである。むしろ、その膨大な情報を知識（人間生活に活用可能な計算論的モデル）に変える技術、さらには、その知識そのものが価値を持ち始めると考え得る。情報化社会の次にある知識化社会である。このような知識化社会においては、企業のみならず仮想コミュニティが知識化技術もしくは知識を持つようになり、それがコミュニティの核をなすようになる。このようなコミュニティが地球環境・資源の制約を踏まえて知識の活用を図る、すなわち、コミュニティとしての利益と社会全体・地球全体の利益を整合させることが求められるようになる。

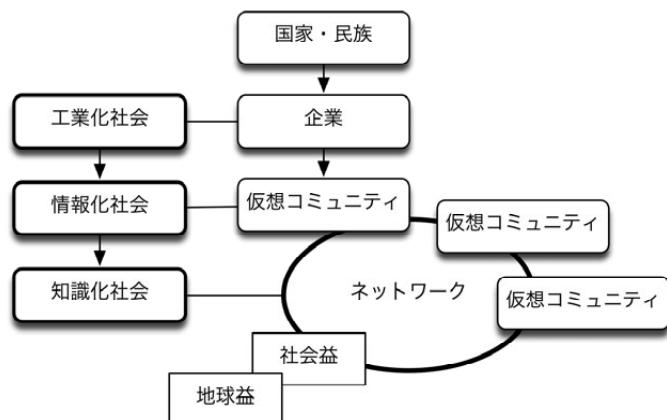


図 5. 4-1 情報化、知識化社会とコミュニティ形成

このような社会変化を見据え、社会における生活支援技術の目的を以下の3つに絞ってアカデミック・ロードマップの検討を行った。

(1) 共感・共創の支援

情報化社会、知識化社会では、個人の人間同士がコミュニティを形成する、もしくは、活動する際にICTが介在する（テレビ会議や電子メール、Webなど）。将来的には、ICTがコミュニティ形成や活動に介在するだけでなく、より積極的に、コミュニティの共感や共創を支援することが期待される。

(2) 合意形成の支援

コミュニティが情報を加工して知識を獲得していくためにも、また、複数のコミュニティが協調活動していくためにも、さらには、数多くのコミュニティが社会全体や地球全体と調和する活動をするためにも、個人間、もしくは、コミュニティ間で合意形成を行う必要がある。ロボット技術、ICT技術が、このような個人間、コミュニティ間の合意形成を支援することが期待される。

(3) 行動変容の促進

個人の利益、コミュニティの利益と社会全体や地球全体の利益を整合させることは容易ではない。このためには、個別化した価値に訴求する製品・サービスの提供や、コミュニティでの共感、共創だけでなく、社会全体もしくは地球全体の利益に基づいて個々人、もしくは、コミュニティの行動変容を促していく必要がある。ロボット技術、ICTが、行動変容に寄与することが期待される。

以上の3つの目的に沿った技術について、ここでは、3つの技術側面ごとに整理した。第一は社会における人間生活のセンシング技術（ユビキタスセンシング、日常生活データバンクなど）の現状と展望、第二はそのようなセンシング技術で蓄積されたデータをモデル化し知識化していく技術の現状と展望、第三はこれらの知識を基盤として共感・共創・合意形成を支援するインターフェース技術である。

一方、上記の3つの目的に沿った技術は、研究室や居住空間という閉じた空間で利用されるものではなく、広く開かれた社会に実装することを想定している。この場合、技術が完成してから社会実装を図ってもうまく行かないことが多い。むしろ、技術開発や実装設計の段階から、社会実装に関わるステークホルダーや関連環境を考慮に入れて進める必要がある。社会における生活支援技術にはこの観点が重要であると考え、第四として社会技術システムの設計論という観点で研究課題を俯瞰した。

5. 4. 2 人間の社会生活センシング

人間のセンシング技術には、人体の形状や運動、位置など物理データを計測するもの、筋活動や心拍などの生理データを計測するもの、脳波や脳血流など脳活動を計測するものなどがある。また、アンケートなどを通じて主観量を回答させることで心理状態や認識結果を計測するという手段もセンシング技術に含めて考えることもできる。現在、これらの人間センシング技術の多くは、研究室レベルで活用されている。一方で、社会に普及しているさまざまな製品・機器も、実際には何らかの形で人間（ユーザ）の特性・状態を計測している。体重計や歩数計のように計測機そのものが普及している場合もあれば、Suica

やクレジットカードのように利用履歴を通して位置情報を計測しているものもある。このような社会に普及するセンシング技術（ユビキタスセンシング）による計測結果を、ネットワークを通じて収集・蓄積することができれば、研究室レベルで収集されるデータ量とは比較にならない大規模なデータを得ることができる。また、研究室という限られた環境・状況下のデータではなく、多様な環境・状況下でのデータを得ることも可能となる。ここでは、社会で人間の特性や活動状態をセンシングする技術を俯瞰した。

（1）社会における人間の特性センシング

人間の有する基本特性・能力を実社会で大規模に計測するには、今まで研究室で活用されてきたさまざまな計測機器が、より簡便、省スペース、低廉なシステムとなること、さらに、計測がサービスと連携することが不可欠である。サービスと連携することで、被計測者へのベネフィットが明確化され、計測への合意形成がなされる。たとえば、シューズ販売店では、顧客個人の足形状や走行特性を計測し、それに応じたシューズの推奨やインソールのカスタマイズサービスを実施している。ここで用いられている足形状計測技術は、もともと研究室で活用されてきたものであるが、より簡便な操作が可能で、省スペース、低廉なシステムにしたことで一般店舗での利用に展開した。研究室では年間数百件レベルのデータであったが、これが多数の実店舗でサービスを介在して計測されるとなると、1日で数百件、年間では数万件のデータが蓄積されることになる。将来的には、2つのサービスに駆動された特性センシングが進展していくと考えられる。第一は、上記のシューズ事例にみられるようなカスタマイズサービスに駆動されたものである。計測場所は実店舗が想定されるが、家庭もあり得る。家庭内にも、ネットワークに接続されたさまざまな計測機器（体重計、歩数計、カメラなど）が導入されており、これらによって顧客個人の特性を計測し、適切な製品を推奨・カスタマイズするサービスがありうる。このためには、センサの性能の制約（＝コスト制約）で十分な精度を実現するデータ処理技術、エラーデータなどをフィルタリングする技術、計測データを暗号化・圧縮して配信する技術などが必要となろう。第二は、健康増進サービスに駆動される特性センシングである。体重計や歩数計で得られるデータがネットワークで接続され、健康診断情報などと連携するような技術はすでに実現されている。今後は、ウェアラブル機器で歩数だけでなく、生理データ（心拍、体温変化）や後述する活動データ（加速度、位置）を計測したり、あるいは家庭内の風呂やトイレなどでウェアラブル機器では計測できない情報（たとえば、尿蛋白など）を取得するようになるであろう。このためには、センサの小型化と高性能化、バッテリ問題の解決（たとえば体温発電、運動発電など）、得られた情報（温度、加速度、位置）を意味のある健康情報に変換する技術が必要となる。

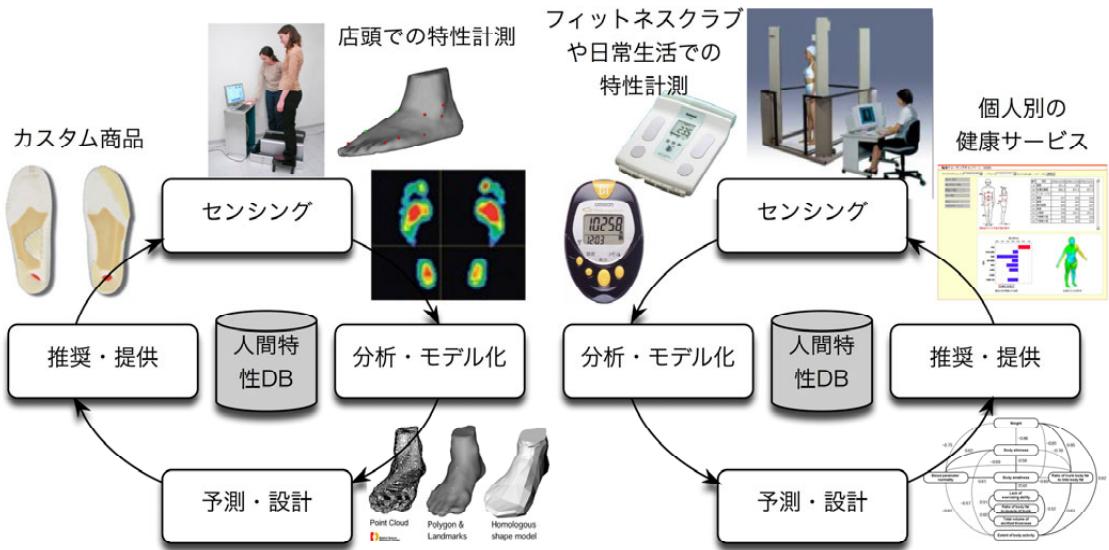


図 5.4-2 サービスを介在した社会でのセンシング

(2) 社会における人間の活動センシング

技術レベルから言えば、短期的に実装が可能で実用性の高い物理センシング技術は、人間の空間位置センシングである。携帯電話の電波強度による位置計測、GPSによる位置計測、さらには、ローカルな基地局を生活空間内に複数配置することによる位置計測（LPS）がある。店舗や街中に配置された防犯カメラ映像から人物特定をして位置センシングをする技術も可能であろう。また、特定の端末や機器との近接センシング・接続センシング情報とともに、相手側の機器や端末の位置情報を組み合わせることで位置計測をする方法もあり得る。Suica やクレジットカードによる位置計測がこれに相当する。家電製品がネットワーク接続されれば、家電製品を操作しているという情報から人間がその製品の前にいると言うことをセンシングすることにもなる。これらの位置情報のセンシングには、個人特定に関して、(a) ユーザ本人が特定できる、(b) 個人特定はできないが ID がついている、(c) ID もないの 3 段階がある。同じように、センシング機能の常時性に関して、(A) 常時センシングと、(B) ユーザ本人が随時位置センシング（されること）を休止できるものの 2 種類があり得る。個人特定の 3 段階 × 常時性の 2 種類の組合せのうちどれが適用されるかは、技術的制約よりもサービス設計とユーザとの合意形成に依存する部分が大きい。もっとも厳しい(a)個人特定×(a)常時センシングは、業務利用（配送職員の位置センシング、作業場での作業員位置センシング）であるか、認知症高齢者の見守りなど特定のサービスに限定されて実用化されることになる。社会受容と利便性のバランスから考えれば、(b)ID 対応×(b)随意センシングの組合せが実現性が高い。個人は特定できないが ID をつけておくことで同じ ID の過去の履歴をベースにしたサービスが提供できる。パーソナルナビゲーションや位置に応じたプッシュ型情報サービス（たとえば、店舗内での商品推奨サービス）などが考え得る。また、(c)ID 対応なし×(A)常時センシングという組合せも実現性が高そうである。家電ネットワークをベースにした住宅内での位置センシングなどは、家電製品を使っているのが誰であるのかを特定しにくいが、つねに待機状態で操作イベントを待っていることになる。短期的には省エネ生活支援サービスのようなものがあり

えるだろう。むろん、組合せとしては(c) ID 対応なし×(B) 随時センシングもあるが、取得したデータを知識化していくことを考えると、やはり(b) ID 対応×(B) 常時センシングのデータの価値が高い。このようなデータを社会で大規模に、持続的にセンシングできるように、センシング技術とともに、サービス設計、合意形成を進めていくことになるだろう。

	(a) 個人特定	(b) ID対応	(c) ID対応なし
(A) 常時	 <ul style="list-style-type: none"> ・業務サービス ・見守りサービス 		 <ul style="list-style-type: none"> ・省エネサービス
(B) 随時	 <ul style="list-style-type: none"> ・位置に応じた情報サービス 	 <ul style="list-style-type: none"> ・ナビゲーションサービス 	 <ul style="list-style-type: none"> ・Suica

図 5.4-3 センシング技術とサービス

位置情報に続いて、身体の運動情報、視線情報などの物理センシングの実現性が高い。加速度計や筋電計を用いたウェアラブルな運動情報記録や、ヘッドマウントディスプレイ型の情報提示デバイスと組み合わせた視線計測技術などがありうる。自動車車内での乗員のセンシングから覚醒度や集中度などを取得して、安全な運転を支援するシステムや、身体運動データに基づく健康増進サービス、ゴーグル型の情報提示サービスと視線計測の組み合わせなどが考え得る。上記で述べたとおり、これらのサービスによる利便性を報酬として提供することで、ユーザがセンシングされることに合意するという合意形成が重要となる。

物理センシングに対して、人間の認知結果や心理状態などの心理センシングは、やや技術的ハードルが高い。携帯端末とネットワーク技術を用いて、多数の人に同時にアンケートを実施することで、意識（受容／非受容）や感性（美しい／明るい／新しいなど）の度合いをデータとして取得することはさほど難しいことではない。現在でも、Web アンケートなどとして実用化されている。これらが、物理センシング（位置、視線）や生理センシング（血圧、心拍）などと連動して取得されると、より価値の高い情報になり得る。携帯デバイスを用いて少額のアンケート報酬（reward）を提供するなどのサービスと連携することで、短期的な実現性が高い。ただし、これらは言語を介在して意識や感性の度合いを定量化する手段であり、それに起因するさまざまな誤差や制約を含んでいる。これに対して、言語を介在することなく人間の脳活動からダイレクトに心理センシングする手段が、実験室ではなく実社会で日常的に使われるには、技術開発とサービス設計、合意形成を含め、相応の時間がかかるであろう。これは、ブレインマシンインターフェース技術によって、ヘッドギア型のウェアラブルデバイスを装着することで、意志（賛成／反対など）や感情

(好き／嫌いなど) を直接センシングするような技術を想定している。

(3) 社会における人間の活動環境・状況センシング

人間生活支援のためのセンシング技術というと、センシング対象が人間に集中しやすいが、実は人間だけをセンシングしても、計算論的な知識に至らない場合が多い。なぜならば、人間を対象とするセンシング技術の多くは、人間の反応を計測しているものであり、その人間が外界からどういう刺激を受けて反応したのかという刺激情報を計測していないためである。実験室内であれば、通常、刺激がコントロールされているので人間の反応を計測すれば、刺激入力に対する反応のモデル化が可能となる。しかし、実社会でのセンシングでは刺激はコントロール不能であることが多く、人間がどのような刺激を受けたのか、すなわち、人間の活動環境や状況という外界を対象としたセンシングを同時に行う必要がある。

外界の形状、運動、光量、音響、温熱などの計測技術は人間を対象とする計測技術よりも進んでおり、すでに環境に実装されてメンテナンスなどの目的で當時センシングされているものも少なくない。これらを(1)や(2)の人間特性・活動センシングと時空間で同期してセンシングすることで、人間がどのような環境下で行動をとったかが知識化できることになる。静的な情報や意味情報が重要ではない情報から実用化が進む。たとえば、地図情報は静的な情報であり、人間の活動のタイムスケールよりも、地図の更新はずっとタイムスケールが長い。したがって、静的な地図の上に人間の活動をマッピングすることである程度の外界情報と活動情報のリンクが可能となる。ただし、実際の活動空間には広告や情報掲示板などさまざまな動的で意味のある情報があり、人間の活動はそれによって生起される部分も大きい。したがって、より詳細な知識化のためには、動的で意味のある外界情報を取得する必要がある。ライフログカメラのようなもので外界を撮影することができるが、さらにその外界の意味（対象物が何であるか）を認識する画像認識技術にも一層の進展が必要となる。意味情報が少ないという意味では、環境の光量や音量、温熱などの情報が先に利用され、文字情報や音声情報など意味論が必要になる情報の利用には意味認識の技術が必要となる。

5. 4. 3 人間の社会生活モデリング

モデリングとは、本来、自然の真理を定式化して記述することを指すものである。科学の進展により、基本的な自然界の仕組みがモデル化されてくると、今までモデル化されなかったより複雑な問題へ取り組むことになる。例えば、人間（個人）のモデル化、個人の社会生活のモデル化、集団としての社会生活のモデル化という、個と集団の観点からのモデル化や、客観的・物理的な存在としての人間のモデル化、主観的で価値観という規範をもった存在としての人間のモデル化という価値観の観点からのモデル化なども、そのような複雑な問題の例と言える。

このような問題は、自然科学で有効であった理論科学や実験科学の延長線上だけで解決するのは難しい。そこで、計算科学を活用した方法が有効になるであろう。数式や記号論モデルである理論科学の延長線上には、シミュレーション科学が実験データに基づくモデル構築である実験科学の延長線上には、大規模ヘテロデータのモデリング科学が位置する。

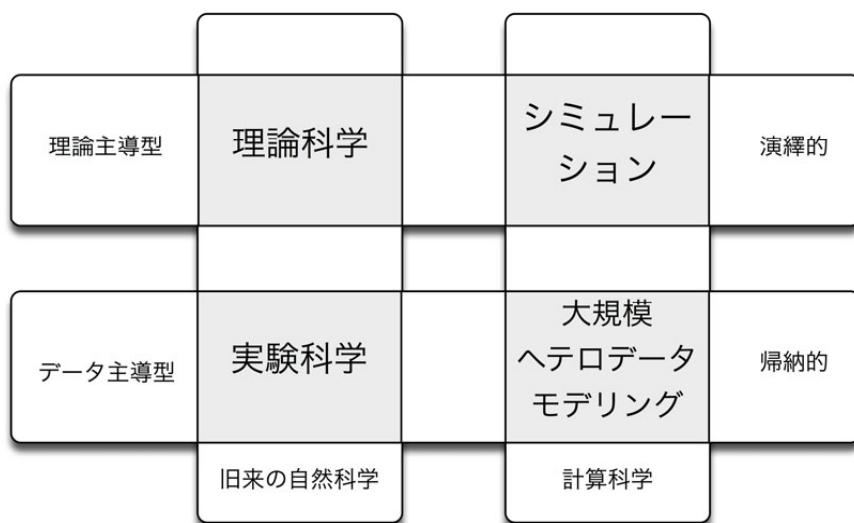


図 5.4-4 自然科学と計算科学

自然科学におけるモデルが「真理の定式化」であったのに対して、計算科学でアプローチしなければならない対象には、そもそも真理が不明であるか、場合によってはユニークな真理が存在しない可能性すらある。その場合、モデルは真理の定式化ではなく、むしろ、予測の手段という意味合いに近くなる。つまり、モデルが正しいかどうかは、モデルがどれだけ真理を再現しているかではなく、モデルがどれだけ現象を予測できるかで評価することになる。前者が対象（自然）の構造をモデル化しているとすれば、後者は対象の機能をモデル化していると言える。また、理論科学が知識としての理解を補強するのに対して、シミュレーション科学は仮想体験（経験化）を通じて、「人間がこれを理解・納得する」ための方法論であるといえる。

シミュレーション科学の代表格は、たとえば地球シミュレータや人間シミュレータのようなものである。人間シミュレータとしては、遺伝子レベル-細胞レベル-臓器・筋骨格レベルのはたらきから、人間の形態や運動、感覚などまで再現できるマルチスケールのデジタルヒューマンモデルが想定される。ただし、デジタルヒューマンモデルとして再現された個の人間が社会を構成し、他の個の人間や環境との相互作用を認識して行動するレベルになると、シミュレーション科学のアプローチだけでは困難であろう。

もう1つの大規模ヘテロデータのモデリングとは、数万、数百万という膨大なデータで、かつ、欠落が多く、そして、さまざまな種類や項目のデータが混在しているというデータから、予測可能なモデルを構成する科学である。換言すれば、実験科学が実体験の事例を収集するのに対して、大規模ヘテロデータモデリングは複雑系に見通しを与えて、「人間が隠れたルールを理解・納得する」ための方法論といえる。

大規模ヘテロデータのモデリングの代表格がベイズ確率モデルであろう。すでにシミュレーション科学や実験科学で明らかになっている知識を構造的に組込み、その上にベイズ確率モデルを載せることで、より複雑な問題を統計学習して確率推論することが可能となる。ベイズ確率モデルではないが、たとえば、Amazonで実用化されている協調フィルタリングによる書籍の推薦システムも、書籍を購入したID付きの膨大な履歴情報から、同じ

書籍を購入した人の併売情報を提示するシステムとなっている。システムは本質的に書籍の意味を理解していないのであるから、ここで使われているモデルは、たとえば人間の店員が本を推奨するというはたらきの真理を定式化しているわけではない。しかしながら、店員と似たような、場合によっては知識量において店員を凌駕する予測機能を実現している。このような技術が、5.4.2項の社会生活センシングによって蓄積された、膨大な人間の社会活動データに対して適用されれば、環境や状況に応じた人間の社会的行動を確率的に推論できるようになる。人間の認知や対象物の意味属性などの情報を活用することで、このような統計学習モデルはより予測精度をあげ、複雑な問題を解決しうるであろう。このために、人間が対象の属性を認知し評価する構造の解明や、ベイジアンネットワーク技術のような統計学習技術の一層の進展が必要となる。

ベイズと同様に検索技術も大規模ヘテロデータのモデリング技術として重要な位置を占めると考えられる。「米国大統領の誕生日は?」とgoogleで検索すれば、たちどころにその回答を得ることができる。しかしながら、この検索技術が質問の意味を正しく理解して、膨大なWeb情報の中から質問に正しく回答できているものを見つけ出しているわけではないことは明らかである。それでも、この検索技術は、あたかも質問に答えているかのように機能している。膨大な人間の社会活動データを、その意味属性の構造的知識（シソーラス、オントロジー）に基づいて検索することで、社会生活のはたらきを再現し予測するモデルが構成できるであろう。このためには、遺伝子情報や医療情報についてなされたような計算機に理解可能な構造的知識を人間の社会生活を対象に構成する研究、連想検索のような柔軟な検索技術の研究が必要となろう。

このような大規模ヘテロデータのモデリング技術は、モデルそのものが必ずしも真理を定式化しているわけではない。しかしながら、予測精度の高いモデルほど、その真理に近い構造を内包しており、このモデルの結果に基づいて新しい仮説が提起され、実験科学や理論科学としてより精密にモデル化されるという自然科学-計算科学の循環が生まれると期待している。科学的に立証された精密なモデルは、ふたたび、大規模ヘテロデータのモデリングに取り入れられ、予測精度の向上に寄与する。

このような自然科学・計算科学の方法論の先には、個と個、個と人工物、個と社会（環境）の間での相互理解・納得・共感により共生を実現するための共生科学の方法論の確立が期待されよう。ここでの重要な観点は、「個々人が主観的に感じる価値観」である。個人の社会生活を通して物理的・客観的に計測されるデータは、ある価値観による意識的・無意識的な意思決定の帰結であると考え、このような主観的な価値観を、多様な客観的な指標を通じて観測・計測・モデル化・シミュレーションすることにより、社会生活を営む個々人の正確な理解、相互理解・納得、そして、共感・共生の実現に結びつけることが可能となろう。

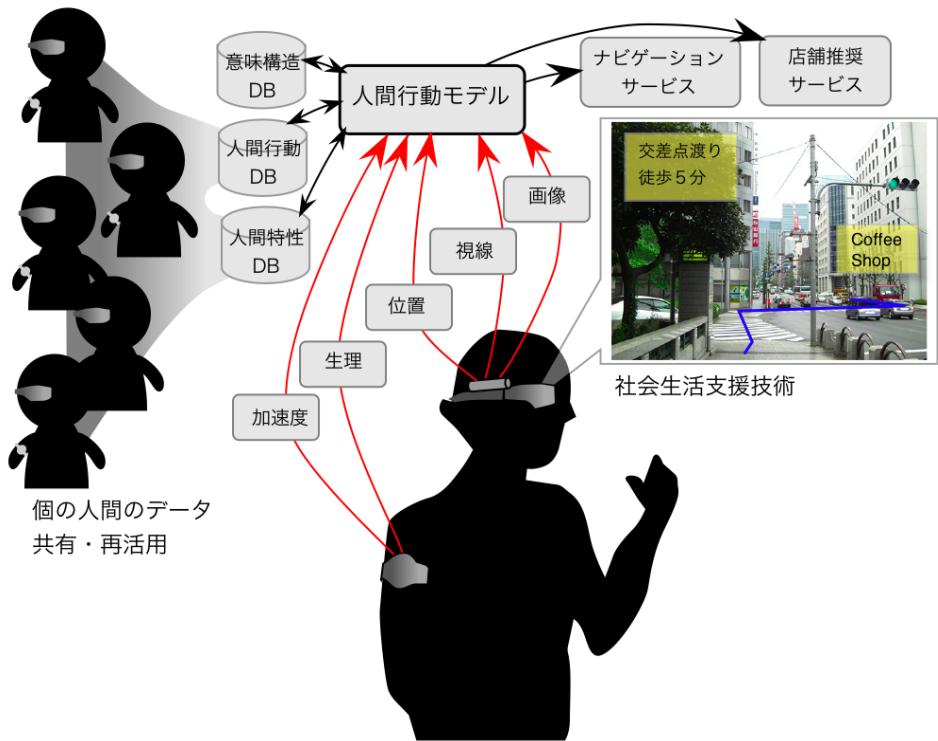


図 5.4-5 ユビキタスセンシング社会と大規模ヘテロデータモデリング

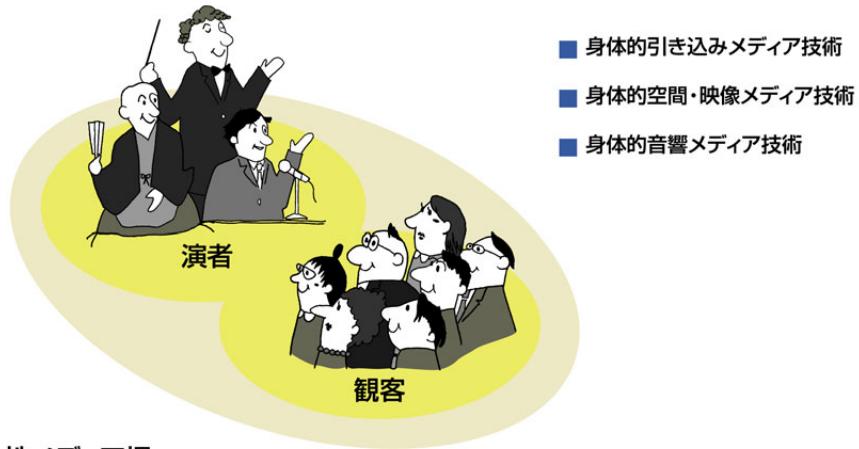
5. 4. 4 社会生活における共感インターフェース技術

ユビキタスセンシングがサービスを通じて社会生活に広まり、そして、蓄積されたデータに基づくシミュレーション科学や大規模ヘテロデータモデリングによって、個人の人間と個人の人間から構成される社会における人の活動を予測する技術を俯瞰してきた。これらの技術が具現化されれば、個人の人間が社会で活動するに不足するものを支援するような技術が構成され、個人の人間のコミュニティ参加支援に寄与することになる。5.4.1項でも述べたように、そのようなコミュニティへの参加を支援し、コミュニティの社会活動を支援する技術として、ICTを介在したインターフェース技術の進展が不可欠である。

人は単に言葉だけでなく、うなずきや身振りなど身体的リズムを共有して互いに引き込み共感することで、人とのかかわりを実感している（渡辺富夫, 2008）。この身体的引き込みによる一体感や共有感は、広く人間社会システムの安心感や信頼感に通じるものである。共感や感性的合意形成を支援するためのセンシング・モデリング・デザインの「身体的インタラクション・コミュニケーション技術」、さらには場を盛り上げ、場の雰囲気をつくる「場の生成・制御技術」は、人々が活き活きと多様なかかわりの場で共感して暮らす社会に向けての重要な人間生活支援技術であり、いまここを共に生きているといった「共感のインターフェース」を開発する要である。

お互いの思いを通り合わせ、共感し感性的な合意形成を支援する仕組みの解明は、逆に思い込みの制御や解除に応用できる。近年の振り込め詐欺事件など、思い込みを解除することで被害に遭わないように未然に防ぐことができる。ゲームやパチンコ等に夢中になり過ぎたときに我に返る「気づき技術」や「憑き物落とし技術」も「魅せる技術」と表裏一体で「共感のインターフェース」の研究開発を 50 年というスパンで考えたい。

身体性を活かした感性的な合意形成



身体性メディア場

CGキャラクタ／3Dオブジェクト／ロボット／影／音響

図 5.4-6 人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術



図 5.4-7 ロボットなど多様なかかわりの場で共感して暮らす社会

5. 4. 5 社会技術システムの設計論

「横幹」第2巻第2号には「30年先の将来を見越しての『学術成果を中心とした道標』」が、学会横断型アカデミック・ロードマップ（江尻正員 et al., 2008）として可視化されている。このロードマップは2005年の「コトつくり長野宣言」に記された、(a) 知の統合に向けた学問の進化とその推進、(b) 横断型基幹科学技術を活用した社会問題解決、(c) 知の統合を推進・定着させるための人材育成の実現、に向けた将来計画である。また、そのための課題として「知の統合の手法と学問体系」「社会システムのシミュレーション」「分野横断

型人材育成」があり、2030年までに「知の統合手法とシステム的な方法論の確立」「社会への貢献を踏まえた文理統合の実践」「新技術の社会への影響の事前評価手法の確立」「社会問題要因の科学的解明」「社会問題に関心の深い実践的な研究者の育成」を目指している。

これらの目標や下位目標が示すように、横幹連合が挑み解決を提供しようとする問題は、まさにワインバーグが指摘したトランス・サイエンス的（科学技術を実社会に据える際に発生する問題であり科学技術のみでは問題と解決の予測が困難）問題である（Weinberg, A. M., 1972）。この種の問題については、日本ではテクノロジーアセスメント、コンセンサス会議、サイエンスコミュニケーションなどの活動による理解と解決が試行されてきた（小林傳司, 2007; 田柳恵美子, 2008）。しかし、少なくとも2つの問題を挙げることができる。

第一に、それらの活動は科学技術とそれが実装される社会と共に設計する観点で実施されたものではなく、専門家が一般市民に説明して意見を求めるという形態であった。すでに現代は科学と技術と社会が接近し、科学技術と社会システムは切り離すことのできない時代である。当該科学技術の専門家だけでは社会への実装時や実装後に生じる問題、その影響や程度、解決法を把握しきれない場合が数多く存在する。科学技術の革新が産業だけでなく社会生活の良き革新をも導くためには、科学技術を他の多様な社会的存在、社会システム、経済価値等の異種混淆の要素からなる「社会技術システム」（Hughes, T. P., 1983）の一要素として捉える視点と、自然科学と人文社会科学の諸要素が同等の主体として未来社会を協創する仕組みが求められる。

技術革新のみが社会の革新を創出するのではないことは、次の2事例から理解できよう。一つは、成功事例としてのエジソンの発明である。エジソンの発明以前に、既に多くの発熱電球が発明されており、電灯システムに必須である発電機、送電線、配電システムなども発明されていた。エジソンは徹底的なコスト計算により、高抵抗のフィラメントによる電球を発明した。さらに、最初の電灯システムは投資に見合う収益が見込まれるニューヨークの金融街であり、産業化のために特許管理会社を設立し、政治的な活動も行った（Hughes, T. P., 1983）。このように電球の発明だけでは社会革新や産業革新を創出することはできず、社会の関連する主体者や主体組織（一般的にはステークホルダー。社会技術システムの構築過程を理論化しようとするアクターネットワーク論（Callon, M., 1987）ではアクター）をつなぎ、価値の創造とリスク低減のための参加型設計と開発を実現させる社会技術的視座が求められる。

他の事例は問題事例である。ヨーロッパにおける携帯電話普及に関連する社会的結果の一つは、中継アンテナが創出した中継アンテナ架設に反対する市民団体である。彼らは中継アンテナの近隣に住み健康被害を心配する人々である。他の技術によって創出されたハイリスクグループと同様に、彼ら自身も社会もそのアイデンティティを持つことになった。このように新たな科学技術の社会への実装は、新たな社会層を創出する（Callon, M., 2006）。研究室のような閉じた社会ではなく、環境と相互作用しながら安定を保とうとするより広い開かれた社会に科学技術を導入しようとする場合は、実装の設計時に異種混交のステークホルダーやその関連環境をも考慮に入れて、新たな社会システムを設計する（Rogers, E. M. et al., 1985）というスコープが必須である。もはや導入プログラム決定の後に説明しコンセンサスを求める、もしくは影響が見えた段階で診断し対処する時代ではない。

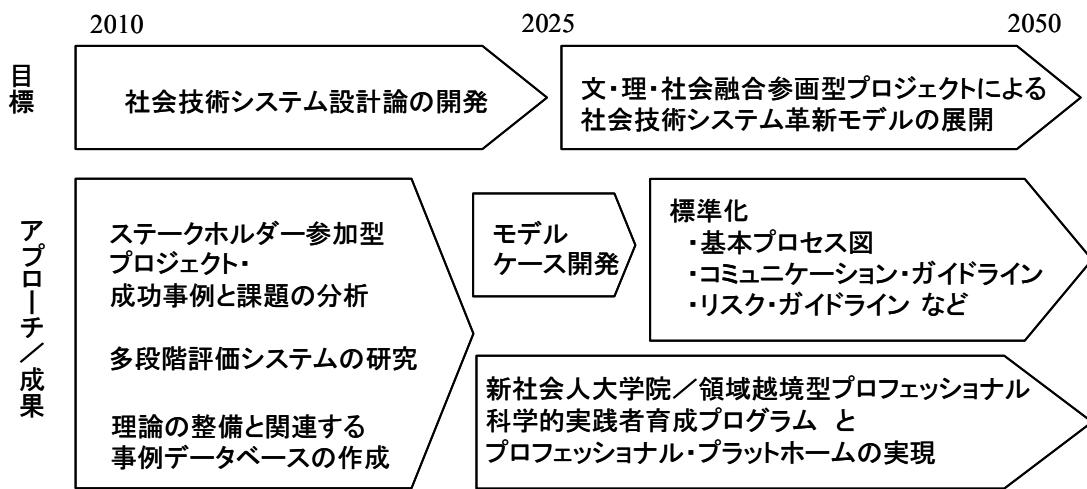
第二に、第一の問題に関連して、科学技術の企画・開発から実サービスを設計・開発し社会への実装・運用に至るどの時期に、どのようなステークホルダーに、どう参加を求めて対話をを行うか、どのような調査やコンセンサスの取得が必要か、などの実践を導く包括

的かつ実践的な設計論の欠如である。従来の人間中心設計（ISO13907, 1999）や参加型デザイン（Namioka, A. et al, 1993）は、主に用途にそった使いやすく、効率が良く、安全で快適なモノを設計する方法論である。その方法論の限界は社会システムに導入する視点の欠落である。例えば建築物の場合、それ自体を高品質にする矮小な視座ではなく、それを据える近隣に与える影響も視野に入れ、モノを提供する側がモノを据えたために生じるコトにまで設計範囲を拡張させる方法論を持たねばならない。社会技術システムを創り出す観点から、関連するステークホルダー、価値システム、それらを成立させている人工物システムなどの異種混淆の世界を想定した上で、それらを代表する要素の参加を設計しマネージする方法や、研究者や技術者が独自の共同体から社会システムの方へ越境して（Emgeström, Y. et al, 1995）実践するための認識形成や支援を図るプログラムも求められる。

設計論の研究開発に関して、図 5.4-8 に示すように、まずは関連環境とそこに含まれるステークホルダーの調査ならびに参加型プロジェクトの成功事例と課題を分析し、多段階のアセスシステムを概念化する必要がある。また、参加とそのフィードバックプロセスの設計に関しては、科学技術の企画・設計・開発からサービスの企画・設計・開発・導入・運用に至る一連の工程を仮定するならば、設計論には「上流におけるサービス要求の発見と関連環境・社会影響モデリングによる設計」「評価システムと省察的な設計活動の作り込み」「対話的参加プログラム」の実現方法が含まれねばならない。このためには、理工学系と人文社会系が互いに越境し合うだけではなく、現実の社会システムへの実装計画にも共に参加するプログラムの整備と評価基準を含む成功事例の蓄積が求められる。

上記のプログラムを実践的なものにするためには、「社会技術システムに関する認識を形成する事例の充実」や「まずは越境して貢献することにより学ぶプログラム開発」などの学びのプログラム開発も求められる。そこで学びは専門領域における成果の応用に留まらず、通常の単なる Learning by doing でもなく、常に what と why を問う越境と省察的実践による学びの革新（learning innovation by boundary-crossing and reflective practice）を目指すものでなければならない。言うまでもなく、獲得された知恵とその社会技術システム文脈を社会的に伝承するシステムを含むことも必須要件である。

以上を考慮して、2025 年までには社会技術システム設計論を整備し、2050 までには標準化と育成プログラムを走らせることにより、文・理・社会融合参画型プロジェクトによる社会技術システム革新モデルの実現と、未来を担う新たな知識層として科学技術者でありながら革新的実務を日常的に行える科学的実践者 scientific practitioner の創出を目指す。この知識層は、技術者が社会システムの開発プロジェクトマネジャーとして異種混交のコミュニケーションを組織化する（伊藤昌子 et al, 2007）必要性が今後急激に高まるこことを考慮すれば、将来のプロジェクトマネジャーの育成に対して側面から強力に支援するものもある。このため高度な熟達知を持つ人的資源を社会資源として活用して相談を受け支援を提供する結び目（knot work）（Emgeström, Y. , 2008; 山住勝広 et al, 2008）としてのリエゾン（Rogers, E. M. et al., 1985）的役割を果たすオープン・プロフェッショナル・プラットホームの実現を目指す。



Socio-Technical System's Design Methodology Road Map

図 5. 4－8 社会技術システム設計論の研究開発ロードマップ

5. 4. 6 共感・共創・合意形成の科学

環境の中に埋め込まれる、あるいは、身につけるセンシング技術が、サービスという報酬を通じて社会に普及し、社会の中での多数の人間の活動が観測・記録され、その大規模なデータに基づいたシミュレーションやモデリング技術によって、人間の感性・行動を予測する時代において、科学技術のなすべき役割は、それらの要素技術を開発し、ステークホルダーとともに社会実装することだけではない。このような社会における新しいインターフェース技術を媒介にして、人間同士がいかにして共感するのか、どのような情報と感覚を共有して共創していくのか、さらには、彼等が真に合意するというのはどういうことなのか、ということそのものを科学的に解明していく研究が不可欠である。従来の社会学や社会心理学の枠組みにとらわれず、まさしく幅広い専門分野の協力により、定量的、汎用的、生成的（予測可能）なモデルを構成しうる、共感・共創・合意形成の科学を創成しなければならない。ユビキタスセンシングによって、実社会そのものが壮大な実験場になりうる時代である。ステークホルダーとともに実社会での介入実験をデザインし、さらに得られた膨大なデータをモデリングし、そのモデルから新たな仮説を立てていくという社会実装型・データ駆動型の新しい社会技術が産み出されるべきであろう。

個人の人間と個人の人間から構成される社会のアカデミック・ロードマップを図5.4-9に示す。

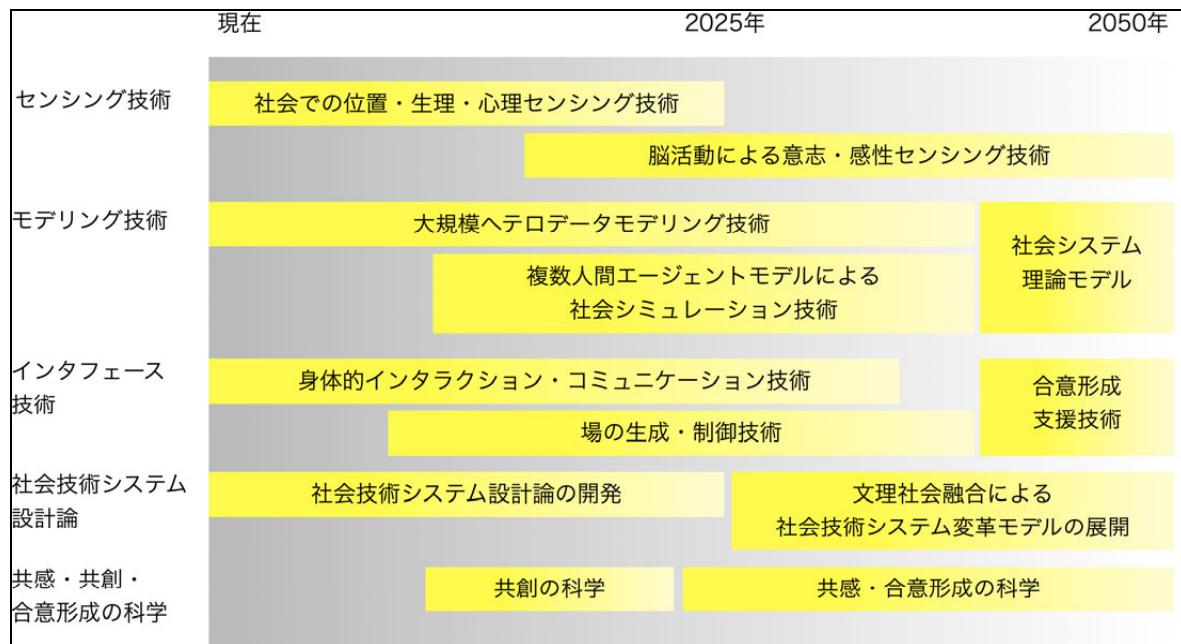


図5.4-9 個の人間と個人の人間から構成される社会のアカデミック・ロードマップ

5. 5 おわりに

5. 5. 1 アカデミック・ロードマップ

本章全体のアカデミック・ロードマップを2025年と2050年に分けて掲載する。

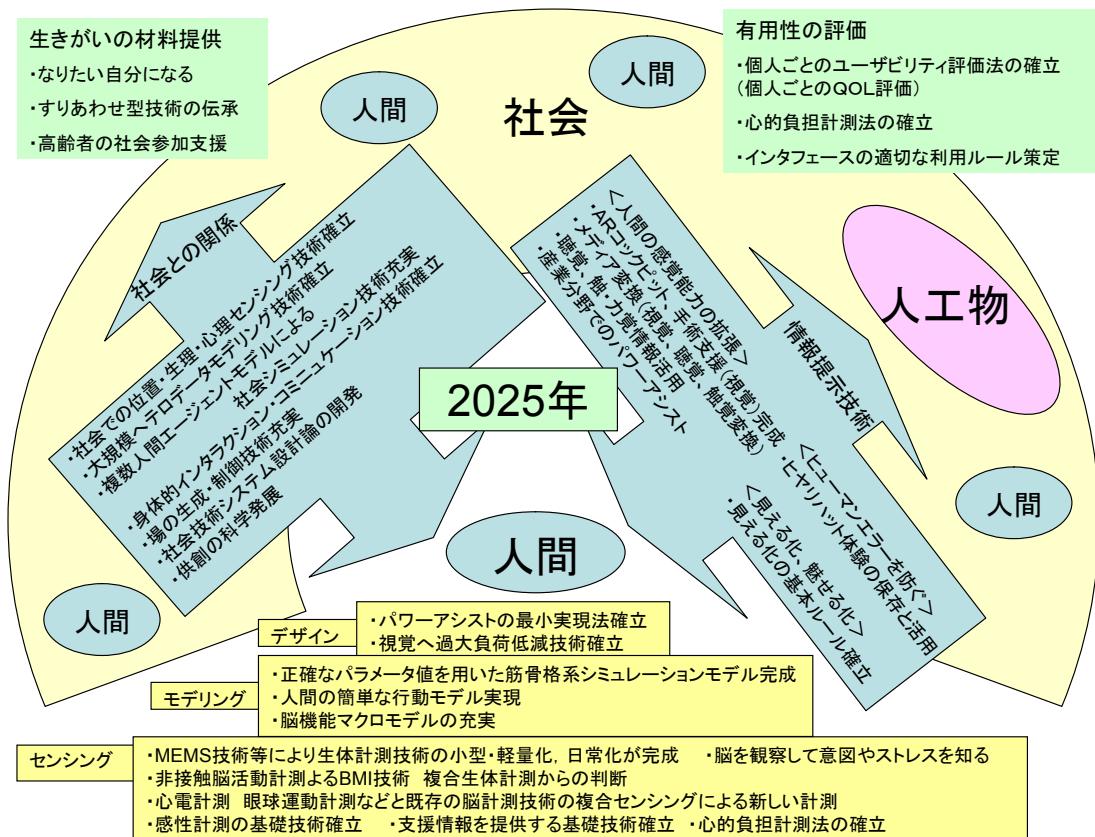


図 5.5-1 2025年アカデミック・ロードマップ

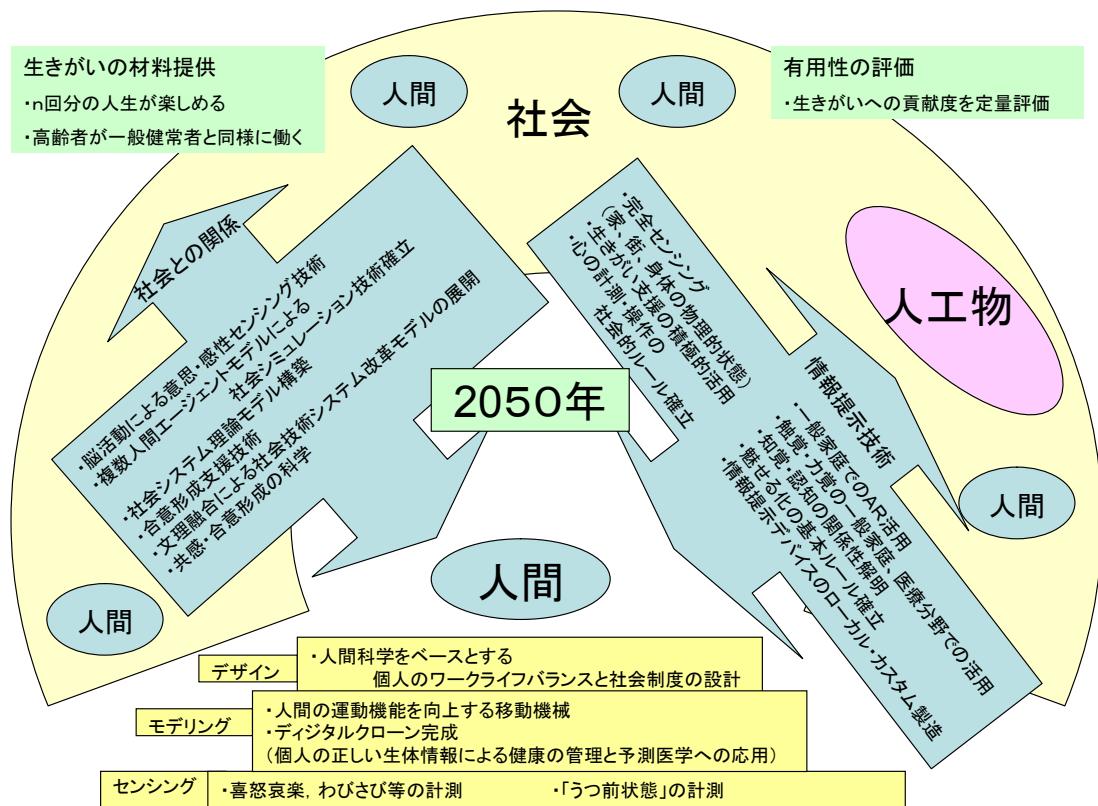


図 5.5-2 2050 年アカデミック・ロードマップ

5. 5. 2 人間生活支援科学技術のための知の統合

人間の生活支援を、人工物や社会システム等で実現する際に、確固たる人間科学を基盤としなければならない。ただし、人間を科学する手法は、従来方式の発展型のみならず新しい方法も必要となろう。たとえば、人間の計測・解析、モデリング、人工物・環境のデザインに関して、個別の科学の発展に限定せず、計測のためのモデリング、モデリングのための計測、デザインのためのモデリング、デザインのための計測等々の従来の分野を横断するような知の統合が必要となる。

さらに、以上の自然科学に重点をおいた人間生活支援は、哲学、社会科学、文学等の人文社会科学との知の統合が必要となる。たとえば、5. 3 節での「人間の能力の拡大」5. 4 節での「合意形成」等では、単に技術的に実現できることを目的とせず、哲学的、社会科学的な視点から、どのような実現が人類と地球環境にとって望ましいか自体を、自然科学と人文社会科学が共同で創りあげる必要がある。

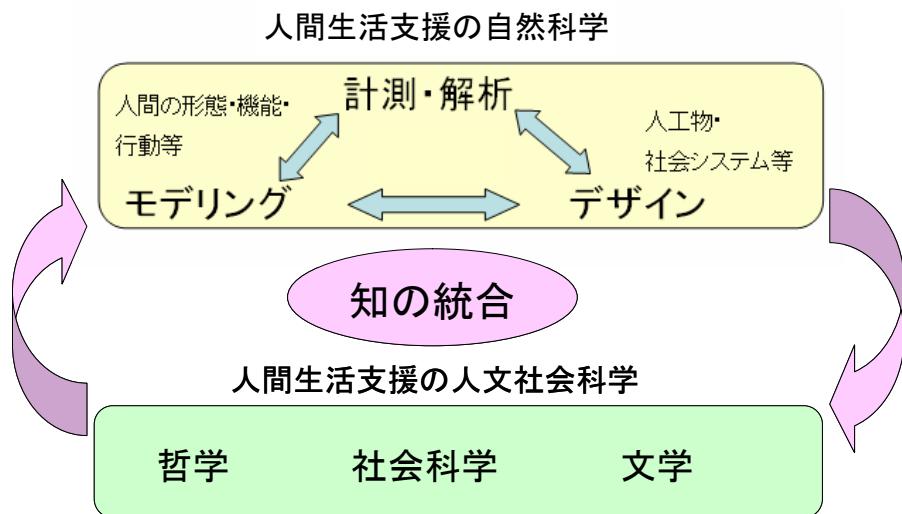


図 5. 5-3 人間生活支援に関する知の統合

参考文献

- Aoto, T., Y. Nakamura, T. Harada, and M. Ohkura: Study on usage of biological signals to evaluation kansei of a system: Evaluation of feelings at a simple task using cards, *Proceedings of the 2nd International Conference of Applied Human Factors and Ergonomics 2008*, 2008.
- Callon, M. : Society in the making: The study of technology as tool for sociological analysis, In: E. Bijker, P. Hughes, and F. Pinch (Eds.), *The Social Construction of Technological Systems*, MIT Press, 1987.
- Callon, M. : The role of hybrid communities and socio-technical arrangements in the participatory design, 武藏工業大学環境情報学部メディアセンタージャーナル, 第5号, pp. 3–10, 2004 (川床靖子 訳: 参加型デザインにおけるハイブリッドな共同体と社会・技術的アレンジメントの役割, 上野直樹, 土橋臣吾 編著: 科学技術実践のフィールドワーク : ハイブリッドのデザイン, セリカ書房, pp. 38–54, 2006).
- Card, K. S., J. D. MacKinlay and B. Schneiderman, (Eds.): *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*, Morgan Kaufmann Series in Interactive Technologies, Morgan Kaufmann, 1999.
- Engeström, Y., R. Engeström and M. Kärkkäinen: Polycontextuality and boundary crossing in expert cognition: learning and problem solving in complex work activities, *Learning and Instruction*, Vol. 5, pp. 319–336, 1995.
- Engeström, Y. : *From Teams to Knots: Activity-theoretical Studies of Collaboration and Learning at Work*, Cambridge Univ. Press, 2008.
- <https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/bitstream/10119/4403/2/paper.pdf>
- Hughes, T. P. : *Network of Power: Electrification in Western Society; 1880–1930*, Johns Hopkins Univ. Press, 1983.
- ISO13907: Human-centred Design Processes for Interactive Systems, International Organization for Standardization, 1999.
- Lewis, J. R. : In the eye of the beholder continued, *IEEE Spectrum Online*, May 2004.
- Namioka, A. and D. Schuler: *Participatory Design: Principles and Practices*, Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1993.
- Ohkura, M, Y. Aoki and T. Aoto: Evaluation of comfortable spaces for women using virtual environment – Objective evaluation by biological signals –, *Kansei Engineering International*, Vol. 8, No. 1, 2009.
- Rogers, E. M. and R. A. Rogers: *Communication in Organization*, The Free Press, A division of Macmillan Publishing, 1976. (宇野義康, 浜田とも子 訳: 組織コミュニケーション学入門 : 心理学的アプローチからシステム論的アプローチへ, ブレーン出版, 1985)
- Weinberg, A. M. : Science and trans-science, *Minerva*, Vol. 10, No. 2, pp. 209–222, 1972.

- Yoshida T, K. Jo, K. Minamizawa, H. Nii, N. Kawakami and S. Tachi: Transparent cockpit: Visual assistance system for vehicle using retro-reflective projection technology, *IEEE VR 2008*, pp. 185–188, 2008.
- アイティメディア：“見える化”から“魅せる化”へ進化させた～日本 SGI,
<http://www.atmarkit.co.jp/news/200607/28/sgi.html>, 2006.
- 青砥哲朗, 大倉典子: システムの感性評価を目的とした生体信号の利用方法の検討（第5報）～わくわくモデルの提案～, 第38回日本人間工学会関東支部大会講演集, B-2-2, pp. 59–60, 2008.
- アクティブリンク株式会社 : <http://psuf.panasonic.co.jp/alc/technologies/>
- 浅間一: 身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現, 文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究（領域番号 454）2007 報告書.
- イード : <http://www.usability.gr.jp/whatis/whatis001127-1.html>, 2003.
- 泉谷聰, 大倉典子, 土屋文人: 女性高齢者を対象とした週1回投与製剤のブリスターカードデザイン評価, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 9, No. 4, pp. 481–484, 2007.
- 市川憲, 手嶋教之: 福祉と情報技術, オーム社, 2006.
- 伊東昌子, 河崎宜史, 平田謙次: 高達成度プロジェクトマネジャーは組織の知とどう関わるか, 組織科学, Vol. 41, No. 2, pp. 57–68, 2007.
- 江尻正員, 神徳徹男, 佐野昭, 井上雄一郎: 学会横断型アカデミック・ロードマップ, 横幹, Vol. 2, No. 2, pp. 63–69, 2008.
- 遠藤功: 見える化－強い企業をつくる“見える”仕組み, 東洋経済新報社, 2005.
- 大倉典子, 大石幹: 脳波を利用したペットロボットの動作制御システム, ヒューマンインターフェース学会論文集, Vol. 7, No. 4, pp. 151–154, 2005.
- 大倉典子, 他: 日本における科学技術トピックの分布構造の抽出と可視化, 横幹, Vol. 1, No. 2, pp. 32–39, 2007.
- 大森晶夫: 生きがいと健康, 福井県立大健康長寿シンポジウム, 2005.
- 金指央樹, 宮田なつき, 太田順: 円筒型インタフェースの操作方法の系統的解析－円筒寸法のアフォーダンスおよび手部寸法との関係－, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 9, No. 3, pp. 401–407, 2007.
- 神谷美恵子: 生きがいについて, みすず書房, 1980.
- 神崎亮平: 脳を知るにはまず昆虫脳より初めよ, 農林水産技術研究ジャーナル, Vol. 25, No. 1, pp. 17–18, 2002.
- 北村光司, 西田佳史, 松本修明, 本村陽一, 山中龍宏, 溝口博: 乳幼児行動の総合的理解のための乳幼児行動シミュレータ：乳幼児行動モデルに基づく乳幼児行動の視覚化, 第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 3F31(1) – (4), September 2005, <http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/enabling/InfantBehaviorSimulator/>
- 木村太郎, 他: 遺伝的アルゴリズムによる F0 モデルパラメータ推定手法と話者交替分析への適用, 電子情報通信学会音声研究会資料, SP2006-82, pp. 37–4, 2006, など.
- 厚生労働省: 医療安全対策ネットワーク整備事業（ヒヤリ・ハット事例収集事業）の実施について, 2004,
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/isei/i-anzen/1/torikumi/naiyou/hiyari/tuuchi/>

1.html

- ・ 小林傳司：トランス・サイエンスの時代，NTT出版，2007.
- ・ 坂本勇二郎：寝たきりにさせない慢性期医療，株式会社出版文化社，2006.
- ・ 佐野明人，武居直行，望山洋，菊植亮，藤本英雄：表面歪検知レンズ（触覚コンタクトレンズ），検査技術，Vol. 10, No. 1, pp. 8–12, 2005.
- ・ 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 編：人間計測ハンドブック，朝倉書店，2003.
- ・ 柔軟体の観測・操作の統合学創成，立命館大学 HP：
<http://www.ritsumei.ac.jp/~kawamura/junan/junan.html>
- ・ 情報福祉の基礎研究会 編著：情報福祉の基礎知識—障害者・高齢者が使いやすいインターフェース—，ジアース教育新社，2008.
- ・ 白須潤一，並木明夫，石井抱，石川正俊：描画機能を有する実環境作業支援システム，第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 771-772, 1998.
- ・ 杉山研究室 HP: <http://www.ritsumei.ac.jp/se/%7Esugiyama/>
- ・ ソリッドレイ研究所：スピンドーム 900,
http://www.solidray.co.jp/product/eizou/spin/spin_b.html
- ・ 竹内孝仁，他：寝たきりにさせない介護法，旬報社，2000.
- ・ 多田充徳：指機能シミュレーション 使い心地がよく安全な製品を設計するために，計測と制御，Vol. 47, pp. 587-592, 2008.
- ・ 田柳恵美子：研究組織のサイエンスコミュニケーション—政府系研究機関 情報系研究部門の事例研究—，博士論文，2008.
- ・ デジタルヒューマン研究センター独立行政法人産業技術総合研究所，
<http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/centered/>
- ・ 独立行政法人産業技術総合研究所：世界最速の人体形状計測装置の開発とデータ蓄積，
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2001/pr20011212/pr20011212.html
- ・ 野嶋琢也，関口大陸，稻見昌彦，館暲：力覚提示を利用した実時間実環境作業支援システムの提案，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 7, No. 2, pp. 193-199, 2002.
- ・ 橋本涉，岩田洋夫：危険領域の力覚表現による手術支援環境，日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集，pp. 39-42, 1997.
- ・ 藤本隆宏：日本発の経営学は可能か，MMRC Discussion Paper, No.148, 2007.
- ・ 牧川方昭：静電容量型非接触心電図計測の体調モニタへの応用，第2回横幹連合総合シンポジウム予稿集, p. 49, 2008.
- ・ 牧川方昭(a)：加速度センサを用いた日常行動，活動のモニタリング，生体医工学，46 (Suppl.1), pp. 194-195, 2008.
- ・ 牧川方昭(b) : <http://www.ritsumei.ac.jp/se/~makikawa/>
- ・ 松下晋，中川匡弘：光トポグラフィによる感性情報解析，電子情報通信学会技術研究報告，NLP，非線形問題，Vol.104, No.335 (20041008), pp. 7-12, 2004.
- ・ マンマシンシナジーエフェクタ株式会社: <http://homepage.mac.com/mmse/>
- ・ 宮城愛美，他：指点字のプロソディの分析，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 1, No. 3, pp. 35-40, 1999.
- ・ 持丸正明：製品設計を支援するデジタルヒューマン技術，設計工学，Vol. 43, pp. 2-8,

2008.

- ・ 森武俊, 祢次金佑, 下坂正倫, 佐藤知正: 日常動作の概念関係と隠れマルコフモデルを利用した動作のオンライン分節化, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 1, pp. 1300-1307, 2007. <http://www.ics.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>
- ・ 森秀夫, 森本亮, 竹ノ内利春, 遠藤淳平: 超音波・熱線複合方式の距離限定型人体検知器, 「特集:情報機器関連技術」, 松下電工技報, Vol. 52, No. 4, 2004.
- ・ 文部科学省「平成 19 年度体力・運動能力調査」,
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/11/08100803.htm
- ・ 山住勝広, ユーリア・エンゲストローム: ノットワーキングー結び合う人間活動の創造へ, 新曜社, 2008.
- ・ 渡辺富夫: 人を引き込む身体的コミュニケーションの不思議さ, 言語, Vol. 37, No. 6, pp. 64-71, 2008.

第6章 アカデミック・ロードマップの広報・普及活動

6. 1 はじめに

今後のイノベーションを考えるとき分野を超えた知の結集が不可欠である。分野横断型アカデミック・ロードマップは知の統合に正面から向き合うものであり、この成果を広報し普及させることはわが国のイノベーションにとっても重要な課題である。

横幹連合では、経済産業省からの委託を受けて分野横断型科学技術のアカデミック・ロードマップ策定を行っており、昨年度は、「制御・管理技術が先導する未来社会」、「シミュレーション技術が先導する未来社会」、「ヒューマンインターフェースの革新による新社会の創生」、「ものづくりの視点から見た未来社会の構築」の4テーマについて検討を行った。

今年度は、これらをさらに発展させ「知の統合技術」、「社会システムのモデリング・シミュレーション技術」、「人間・生活支援技術」の3テーマに取り組んだ。

人間、社会、さらに機械との間のネットワーク化によって、社会におけるあらゆるシステムが極端に大規模、複雑化し、その結果、人間や社会といったそれ自身が複雑多様である要素がさらに複雑に絡み合った諸問題が、日常生活に突き付けられている。このような現在の社会的課題への対応には、多くの学問分野の知の結集が不可欠であるが、その連携はあまり進んでいない。特に工学系と人文社会科学系の交流が遅れている。新しい産業的価値創出やイノベーションに不可欠である異分野の知の統合や連携を可能にするための分野横断型科学技術のアカデミック・ロードマップを作成することを通じて、多分野の知の交流を活性化し、異分野の知の統合や連携へ向けた課題認識を共有することで知の統合に向けた活動のベクトルを合わせ、これを広めることで日本のイノベーションに資することを期待している。

昨年度の活動成果と今年度活動の中間成果とを併せて公開し、討論を行うことによって知の統合への理解が深まり、ロードマップを活用したイノベーションへ向けての基盤が強化されることを目指す。

6. 2 活動の概要

多分野の学会が参加している横幹連合の組織特性を活かし、下記のような手段により分野を超えた知の統合への理解を高め、今後の活動への参加を促す活動を行った。

- ・ 横幹連合主催のイベントにおけるセッションでの講演、討論、展示
- ・ 会員学会主催のイベントにおけるセッションでの講演、討論、展示
- ・ 姉妹団体である横幹技術協議会と協調して、産業界での中長期的事業戦略への反映、中長期視野での产学研連携活動の可能性等についての討論
- ・ 会員学会の会誌にロードマップ特集を組み、H19年度成果を周知。
- ・ 会員学会による成果物配布

具体的活動を以下にリストアップする。

	実施日	活動名称	実施場所	備考
1	H20.11.22 -23	第51回自動制御連合講演会 パネル展示	山形大学	
2	H20.12.4	第2回横幹連合総合シンポジウム 特別企画セッション 「アカデミック・ロードマップ」	筑波大学東京キャンパス	
3	H20.12.5	第2回横幹連合総合シンポジウム オーガナイズドセッション 「アカデミック・ロードマップ 社会システム のモデリング・シミュレーション技術」	筑波大学東京キャンパス	
4	H21.3.6	健康創造科学研究会 講演会 「人間生活支援アカデミック・ロードマップ」	立命館大学 ローム記念館	
5	H21.3.11- 13	精密工学会 2009年度春季大会 アカデミック・ロードマップ成果物配布	中央大学	
6	H21.3.31	横幹連合／横幹技術協議会産学連携委員会 産業界でのARM活用に関する対話会	学士会館	
7	H20.10	横幹連合会誌「横幹」Vol.2 No.2 ミニ特集「アカデミック・ロードマップ」	横幹連合	
8	H20.10	H19年度に実施した「学会横断型アカデミック・ロードマップ」の成果報告書を会員学会に 配布し、各学会の理事会等での広報を行った。	横幹連合および 横幹連合会員学会	

参考：以下は本受託事業の対象期間ではないが、横幹連合および会員学会による広報・普及活動として実施したものである。

	実施日	活動名称	実施場所	備考
9	H20.6.19	第27回日本シミュレーション学会大会 特別企画「アカデミック・ロードマップとシミュレーション技術の将来展望」	立命館大学びわこ・くさつキャンパス	
10	H20.6	日本シミュレーション学会会誌「シミュレーション」Vol.27 No.2 小特集「シミュレーション技術のアカデミック・ロードマップ」	日本シミュレーション学会	
11	H20.9.3	ヒューマンインターフェース学会シンポジウム 2008 特別企画アカデミック・ロードマップ「ヒューマンインターフェースの革新による新社会の創生」	大阪大学 コンベンションセンター	
12	H20.11.20	日本原子力学会 HMS 研究部会 「HMS 調査研究委員会」 講演会	日本原子力学会 事務局	
13	H21.4	横幹連合会誌「横幹」Vol.3 No.1 「アカデミック・ロードマップこぼれ話」	横幹連合	

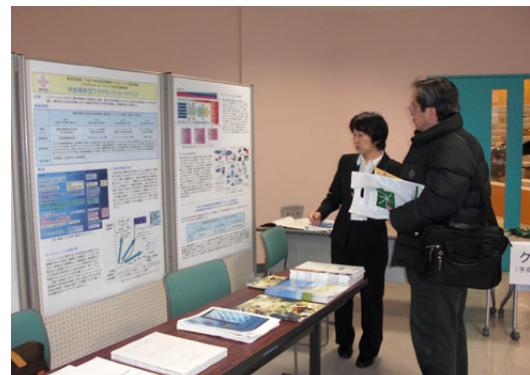
6. 3 活動の内容

(1) 第 51 回自動制御連合講演会 パネル展示

第 51 回自動制御連合講演会（主催 4 学会・協賛 45 学会による合同講演会）において、平成 19 年度の「学会横断型アカデミック・ロードマップ」の活動成果および平成 20 年度の「分野横断型アカデミック・ロードマップ」活動内容を紹介するパネル展示および資料配布を行った。

アカデミック・ロードマップ関係者が説明にあたり、来場者との討論・意見交換を行った。

- ・ イベント名：第 51 回自動制御連合講演会
- ・ 主催幹事学会：計測自動制御学会
- ・ 開催日：平成 20 年 11 月 22-23 日
- ・ 開催場所：山形大学（山形県米沢市）
- ・ 参加者数：約 500 名
 - 展示ブースへの来場者 約 70 名
- ・ 説明要員：佐野昭、神徳徹雄、大倉典子、富田武彦（いずれも統括委員会委員）
- ・ 配布資料：「アカデミック・ロードマップのご紹介」（経産省作成） 70 部
 - 横幹連合会誌「横幹」Vol.2 No.2 (6 項参照) 70 部
- ・ 来場者からの主要なコメント：
 - * 横幹連合という名前は聞いていたが具体的な活動内容を知らなかった。活動の一端を知ることができた。
 - * 長期的視点での研究活動の位置付けを考えることができ、大変参考になった。
 - * 他の学会との連携の必要性を感じた。
 - * 他分野との協調で研究の幅が広がる可能性を感じた。



(2) 第 2 回横幹連合総合シンポジウム特別企画セッション「アカデミック・ロードマップ」

第 2 回横幹連合総合シンポジウムにおいて、特別企画セッション「アカデミック・ロードマップ」を設け、平成 19 年度の「学会横断型アカデミック・ロードマップ」の活動成果および平成 20 年度の「分野横断型アカデミック・ロードマップ」活動内容を紹介し、討議を行った。またセッション参加者以外の全参加者にも関連する資料の配布を行った。

- ・ イベント名：第 2 回横幹連合総合シンポジウム

- ・ 主催団体：横幹連合
- ・ 開催日：平成 20 年 12 月 4 日
- ・ 開催場所：筑波大学東京キャンパス（東京都文京区大塚）
- ・ 参加者数：総数約 200 名
 - セッション参加者 約 70 名
- ・ プレゼンテータ：佐野昭、神徳徹雄（いずれも統括委員会委員）
- ・ 配布資料：「アカデミック・ロードマップのご紹介」（経産省作成）200 部
 - 横幹連合会誌「横幹」Vol.2No.2 (7 項参照) 200 部
 - 平成 19 年度「学会横断型アカデミック・ロードマップ」
 - 成果報告書 65 部
- ・ 主要な Q&A：
 - * 人間工学系、社会科学系などを含めた取り組みはどうなっているか。
 - 人間工学系、社会科学系などは横幹連合の体制の中ではまだ少数ではあるが、いくつかの学会に参加して頂いており、また積極的に参加を勧誘しているので、是非参加をお願いしたい。（この問題提起をされた伊東昌子氏にはWG 3 メンバーに参加していただいた。）
 - 平成 19 年度の活動はどちらかといえば工学系色が強かったが、今年度（平成 20 年度）は課題の重点を社会システムに置いている。
 - * 20 年後、40 年後は何を根拠に予測しているのか。
 - 明確な根拠をもって予測することはできないが、過去から現在までの変化を参考にして、こうあって欲しいという希望をベースに推測している。
 - * 科学技術はある時飛躍的な革新があって進歩して来ているが、このようなパラダイムシフトをどう考えているのか。
 - 確かに科学技術の進歩は不連続的に起こるものであり、いつ何が起こるかを正確に予測することは困難であるが、何が起こって欲しいか、何が起こる可能性が高いか、その結果として何ができるようになるか、を考えることはできる。このようなプロセスを示すことを中心に作業を進めている。ただし、時期については不確実性が残る。
 - * 将来の社会像として何をアンカー（絶対に外せない条件）としているのか。
 - 価値観は多様であり、「こうあるべき」という社会像は示せない。こういう条件ならこうなるといういくつかの姿を示すことになる。
 - * アカデミック・ロードマップを否定するものではないが、今のような活動のやり方では日本独自の先導的科学技術は生まれてこないのでないのではないか。いくつかの具体的な課題（例えば常温超伝導）に対して、関係する分野の専門家が知恵を出し合い、互いに刺激・啓発しあいながらブレークスルーを見つけていくことが重要ではないか。
 - アカデミック・ロードマップの次元を超える重要なご指摘であり、横幹連合活動への提言と受け止め、今後の活動に活かして行きたい。



(3) 第2回横幹連合総合シンポジウムオーガナイズドセッション

「アカデミック・ロードマップ 社会システムのモデリング・シミュレーション技術」

第2回横幹連合総合シンポジウムにおいて、オーガナイズドセッション「アカデミック・ロードマップ 社会システムのモデリング・シミュレーション技術」を設け、平成20年度の「分野横断型アカデミック・ロードマップ」WG2の中間報告を行い、基調講演およびパネル討論形式で討議を行った。

- ・ イベント名：第2回横幹連合総合シンポジウムオーガナイズドセッション
- ・ オーガナイザー：山崎 憲（WG2主査）
- ・ 開催日：平成20年12月5日
- ・ 開催場所：筑波大学東京キャンパス（東京都文京区大塚）
- ・ 参加者数：約500名
- ・ 基調講演：古田一雄（WG2副主査）
- ・ パネラー：古田一雄、寺野隆雄、増田浩通、中西美和、大石進一（いずれもWG2メンバー）
- ・ 主要な討論：
 - * 社会シミュレーションと非線形シミュレーションの関係について質疑応答がなされた。その中でソリトン系の超離散化の理論と社会系にゲームソフトが用いられることの関連性が議論された。また、カオス系のアトラクタと社会シミュレーションにおけるアトラクタについての議論があった。また、社会シミュレーションの特徴としてミクロ・マクロリンクが人間を通じてなされることが指摘され、それをどうシミュレーションに組み込むかが重要であるとの指摘があった。社会と人間の関係が量子力学のように観測によって変わってしまう点も指摘された



(4) 健康創造科学研究会 講演会

滋賀医科大学・立命館大学の主催で行われた健康創造科学研究会において、アカデミック・ロードマップの成果活用に関する講演を行った。

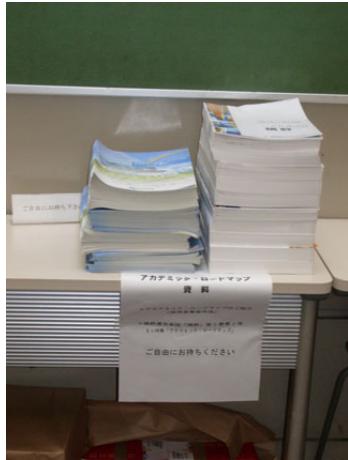
- ・ イベント名：健康創造科学研究会
- ・ 講演タイトル：「人間生活支援技術アカデミック・ロードマップ」
－2025年から2050年ごろの人間生活支援の科学と技術を大胆に予測する－
- ・ 講演者：川村貞夫（WG3 主査）
- ・ 主催：滋賀医科大学・立命館大学
- ・ 開催日：平成21年3月6日
- ・ 開催場所：立命館大学びわこくさつキャンパス ローム記念館
- ・ 参加者数：約50名（滋賀医科大学学長、立命館大学総合理工学研究機構長等を含む教員、職員、院生・学生）
- ・ 主要なQ&A・コメント：
 - * 結果的に人間の欲望を満たす方向に科学技術が社会を実現する予測となるのではないか？
→20世紀型のそのような反省にたって、環境分野で議論されているようなバックキャスティング法のように、2025年、2050年には、人間の生活支援として、このようにあるべき姿があり、その実現のためには、どのようにすべきかとの視点を強く意識して議論した。
 - * このロードマップは、どのような人が読むのか？
→大学、企業の研究者や新産業育成の企業関係者と想定される。
 - * 科学技術を俯瞰した良い話であった。

(5) 精密工学会 2009年度春季大会 アカデミック・ロードマップ成果物配布

精密工学会2009年春季大会において、平成20年度のアカデミック・ロードマップの成果物を配布し、活動の広報を行った。

- ・ イベント名：精密工学会 2009年度春季大会
- ・ 主催学会：精密工学会
- ・ 開催日：平成21年3月11-13日
- ・ 開催場所：中央大学（東京都文京区春日）

- ・ 参加者数：約 1340 名
- ・ 配布資料：「アカデミック・ロードマップ事例集」（経産省作成） 100 部
- ・ 横幹連合会誌「横幹」Vol.2 No.2 （7 項参照） 100 部



（6）産業界での ARM 活用に関する対話会

アカデミック・ロードマップが技術戦略ロードマップへ、さらに企業戦略へと展開されしていくことを期待し、産業界との対話会を実施した。横幹連合の姉妹団体である横幹技術協議会の会員企業と横幹連合の ARM 関連メンバー・役員が参加した。経済産業省から、ロードマップに対してどのような活用を期待しているかという冒頭講演が行われ、続いて平成 19 年度の「分野横断型アカデミック・ロードマップ」の成果および平成 20 年度の「分野横断型アカデミック・ロードマップ」活動内容を紹介し、主として今後の産業界との連携活動にどのように生かせるかという視点から意見交換を行った。

- ・ イベント名：産業界での ARM 活用に関する対話会
- ・ 主催団体：横幹連合／横幹技術協議会
- ・ 開催日：平成 21 年 3 月 31 日
- ・ 開催場所：学士会館（東京都千代田区神田）
- ・ 参加者数：27 名
(産業界：12 名、 学界：11 名、 その他：4 名)
- ・ プレゼンテータ：
福田 賢一（経済産業省 産業技術環境局 研究開発課企画官）
江尻 正員（平成 19 年度学界横断型アカデミック・ロードマップ委員長）
佐野 昭（平成 20 年度分野横断型アカデミック・ロードマップ委員長）
- ・ 主要な Q&A：
* ロードマップは 21 世紀の世界でこれまでにない新たなイノベーションを目指すわけであるが、サイエンス、エンジニアリングのメンバーだけでは解が得られないのではないか。社会が何を欲しているかを世界の広い層に渡ってしたたかに調査をすることがキーであると思うが、何か策はあるか。
→ロードマップは、むしろ技術をベースにその経時変化を追いかけることに主眼を置いている。そのほうがロードマップ策定が容易になると思う。これとは別

に中長期的視点からの各種ニーズサーベイにも取り組んでおり、これらについても出来るだけ公表していきたい。

- * 産業界としては、いくつかの具体的な課題を取り上げて、その視点からの活動を期待したい。どのような課題を取り上げるべきかについては産業界も議論に参画できる。将来の社会像等については産業界も分からぬ。各種の膨大なデータベースからニーズを抽出するような取り組みを考えていくべきではないか。
→将来社会へのニーズは多種多様であり、それらを考えるに際しては出来るだけ幅広い背景を持ったメンバーの参画が必要と考える。その意味で産業界との連携も重要である。
- * 知の統合について可なり良くまとまっていると思う。ただこれがゴールではなく、テーマを絞ってでも良いから継続して活動を続けるべきであろう。ただ議論を発散させないようにターゲットをはっきりさせたほうが良い。例えば定量的リスク管理のための知の統合プラットフォームなど。このような課題でこれだけの専門家が集まって議論したことはこれまでになかったのではないか。今後産業界も加わって是非継続して欲しい。長期的な議論をしていく中で短期的な果実も見つかっていくはずで、日本発のイノベーションにもつながって行くのではないか。
→知の統合に対する研究評価が確立されておらず、研究助成を受けにくい状況であるが、横幹連合の使命として、調査研究会を立ち上げるなど環境を確立するよう努力していきたい。
- * 知の統合は誰が主体となって進めるのか。学の現状は多数の学会が乱立しており、またカルチャーとして誰かに従うということも難しい面があるのではないか。綺麗な原則論と現実とのギャップをどう埋めるか。
→具体的な課題を設定して、学界の枠にとらわれず皆が共感を持って参加できるような体制つくりが必要ではないか。
- * 現在景気刺激策として、国家予算の有効な投資対象が議論になっているが、このテーマとして取り上げるようなことを考えられないか。
→トリガとしては有効であるが、目標は普遍性のある知の統合のプラットフォームであり、一つの課題に対して構築されたプラットフォームやそこで得られた新たなシーズや成果をどう展開し維持していくかがより重要である。
→基本的には理解できるが、産業界から見ると成果が何時出るのかが見え難く、距離感を感じてしまう。
→両者の議論は、本質の部分では同じではないか。自分は知の活用を主体に活動しているが、活用の知見を積み重ねることで知の統合を目指している。個々の課題での成果を他の課題へも生かし、共通の手法を抽出していくことが重要。
- 学問的な体系、手法として完成させる努力は是非続けていただきたい。ただ、その過程でも、適用可能なものには積極的に適用していくことをお願いしたい。
- * 今年度の活動で、社会システムについても大変良いアプローチをされているが、具体的な例を挙げていただくと産業界でも理解しやすい。例えばサブプライム問題など。
→社会システムや人間が絡んだシステムでは結果がフィードバックされてさらに

結果が変わっていくといった要素があり対象として難しい。今後さらに研究していく必要がある。



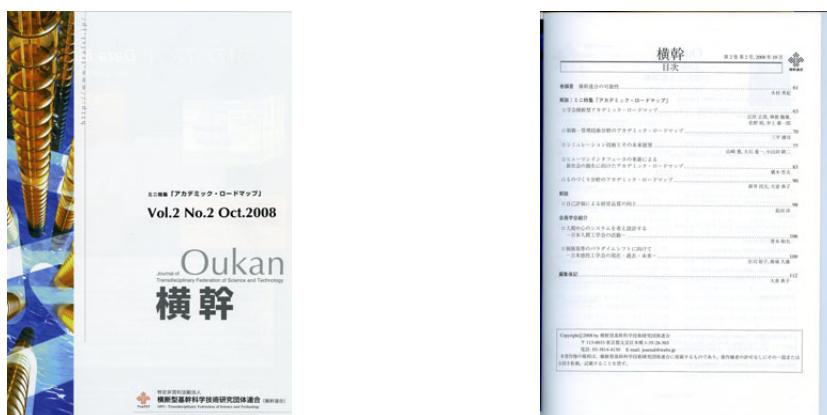
(7) 横幹連合会誌「横幹」Vol. 2 No. 2 ミニ特集「アカデミック・ロードマップ」

横幹連合の会誌である「横幹」にアカデミック・ロードマップ特集を組み、H19 年度に実施した「学会横断型アカデミック・ロードマップ」の成果の広報を実施した。

内容としては、WG1～WG4 の活動サマリー、学会横断型アカデミック・ロードマップとしての総括、さらに成果報告書には盛り込めなかった広い視点からの今後の課題展望等を収録した。

- ・ 資料名：「横幹」Vol.2 No.2 P63－P97
- ・ 発行者：横幹連合
- ・ 発行日：平成 20 年 10 月
- ・ 配布総数：1500 部

内イベント等での配布 500 部



(8) H19年度の「学会横断型アカデミック・ロードマップ」成果報告書の配布

H19年度に実施した「学会横断型アカデミック・ロードマップ」の成果報告書および経済産業省作成の「アカデミック・ロードマップのご紹介」を42の会員学会に配布し、各学会の理事会等で討議を通じてH20年度活動への参加と今後のアカデミック・ロードマップ活動の継続等について各学会での合意形成・基盤固めを行った。

(9) 第27回日本シミュレーション学会大会 特別企画セッション

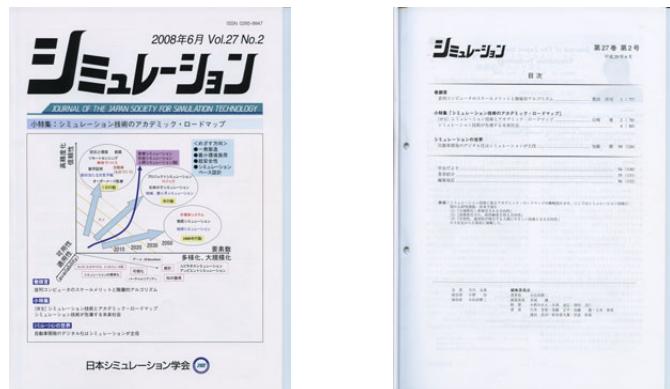
第27回日本シミュレーション学会において特別企画として基調講演、パネル討論、特別講演の3部構成で、約3時間行った。経済産業省産業技術環境局研究開発課企画官福田賢一氏による基調講演「アカデミック・ロードマップからの展開」のあと、ランチオン形式によるパネル討論「シミュレーション技術の将来展望—ロードマップの紹介と人文社会科学分野への展望の可能性—」を行った。また、特別講演として横幹協議会会长桑原洋氏からシミュレーションに寄せる熱い思いを講演していただいた。

- ・ イベント名：第27回日本シミュレーション学会大会
- ・ 主催団体：日本シミュレーション学会
- ・ 開催日：平成20年6月19日
- ・ 開催場所：立命館大学びわこくさつキャンパス
- ・ セッション参加者：約70名
- ・ 討論内容：国際公共政策に係るシミュレーション
　　ものづくり・サービスつくりに係るシミュレーション
　　高齢化社会に向けた身体特性シミュレーション

(10) 日本シミュレーション学会会誌「シミュレーション」Vol.27 No.2 小特集「シミュレーション技術のアカデミック・ロードマップ」

日本シミュレーション学会の会誌である「シミュレーション」の1巻を全てアカデミック・ロードマップにあて、日本シミュレーション学会誌としては初めて全ページカラーを用いてH19年度に実施した「学会横断型アカデミック・ロードマップ」のWG2の範疇について成果を広報した。

- ・ 資料名：「シミュレーション」Vol.27 No.2 P2-P49
- ・ 発行者：日本シミュレーション学会
- ・ 発行日：平成20年6月
- ・ 配布総数：1000部



(11) ヒューマンインターフェース学会シンポジウム 2008 特別企画

ヒューマンインターフェース学会シンポジウム 2008において、特別企画セッション アカデミック・ロードマップ「ヒューマンインターフェースの革新による新社会の創生」を設け、パネル討論形式で討議を行った。

- ・ イベント名：ヒューマンインターフェース学会シンポジウム 2008
- ・ 主催団体：ヒューマンインターフェース学会
- ・ 開催日：平成 20 年 9 月 3 日
- ・ 開催場所：大阪コンベンションセンター
- ・ 参加者数：総数約 600 名
 - セッション参加者 約 195 名
- ・ モデレータ：榎木哲夫（H19 年度 WG3 主査）
- ・ パネラー：渡辺富夫、中谷善雄、清水義雄（いずれも H19 年度 WG3 メンバー）
- ・ 主要なコメント：
 - * HI（ヒューマンインターフェース）分野にとって大変有意義な成果である。
 - * HI がさまざまな科学技術分野の一つの基盤となっていることの認識につながり、HI 科学技術の振興に役立つことを期待したい。

(12) 日本原子力学会 HMS 研究部会「HMS 調査研究委員会」 講演会

日本原子力学会 HMS 研究部会「HMS 調査研究委員会」において、アカデミック・ロードマップの成果活用に関する講演を行った。

- ・ イベント名：日本原子力学会 HMS 研究部会「HMS 調査研究委員会」
- ・ 講演タイトル：「人間生活支援技術アカデミック・ロードマップ」
 - 2025 年から 2050 年ごろの人間生活支援の科学と技術を大胆に予測する—
- ・ 講演者：榎木哲夫（H19 年度 WG3 主査）
- ・ 主催：日本原子力学会
- ・ 開催日：平成 20 年 11 月 20 日
- ・ 開催場所：日本原子力学会事務局（東京都港区新橋）
- ・ 参加者数：約 15 名
- ・ 主要な Q&A・コメント：
 - * 人間と対象物をどのように関連付けるかについて議論はあったのか？
→自己の認識を支援するインターフェース、面と向かったときのインターフェース、第 3 者を含めたインターフェースデザインなど、単純なモノだけでなく環境やルールにまで広げた議論があった。
 - * コミュニケーションについても同様な議論があり、自己の認識、相手の認識、そして第 3 者にどう見られるかが対応するのではないか。これは欧米的な考え方よりも日本的な考え方だと思う。

(13) 横幹連合会誌「横幹」Vol. 3 No. 1 「分野横断型アカデミック・ロードマップ合宿こぼれ話」

横幹連合の会誌である「横幹」に、H20 年度アカデミック・ロードマップ活動について

WG1～WG3 の合宿討議を中心に活動経緯、活動雰囲気等を紹介した。

討議の過程では成果報告には現れないさまざまな議論があり、これらの一端を紹介することで成果報告の内容への理解がより深まり、またアカデミック・ロードマップ活動がより身近に感じられるのではないかと考え、このような企画を実施した。

- ・ 資料名：「横幹」Vol.3 No.1 P66－P71
- ・ 発行者：横幹連合
- ・ 発行日：平成21年4月
- ・ 配布総数：1000部

6. 4 まとめ

横幹連合および横幹連合会員学会によるアカデミック・ロードマップの広報・普及活動を以上のように実施した。

特にアカデミック・ロードマップに関して産業界との対話を行ったのはおそらく初めてではなかったかと思われる。学界と産業界の視点の相違も見られたが、日本のイノベーションにつなげていくという原点に立てば、中長期的課題に対しても学界／産業界の連携は重要であり、大きな成果に結びつく可能性を感じた。

以上に述べた活動の成果としては：

- ① アカデミック・ロードマップ活動を具体的な形で認識してもらったこと
- ② 自らの研究活動の位置付けを再認識する人が増えたこと
- ③ 企業関係者にも中長期視点からの产学連携活動の動きが芽生えたこと
- ④ 分野横断型アカデミック・ロードマップ活動を通じて分野間・学会間の協働が加速されたこと、そして
- ⑤ 多数の人がアカデミック・ロードマップを初めて知ったこと

である。

横幹連合としては、今後ともあらゆる機会を捕らえて、アカデミック・ロードマップ活動の広報・普及に努め、学会活動活性化の一助として行く所存である。

第7章 まとめ

本事業では、横幹連合に関連する分野横断的な課題として、(1) 知の統合、(2) 社会システムのモデリング・シミュレーション技術、(3) 人間・生活支援技術の3つを取り上げ、分野横断型アカデミック・ロードマップを新規に作成した。3つの課題は、横幹連合の会員学会の学術分野に深く関連しており、さらに、理工学分野と人文社会科学分野との連携を必要とする分野もある。各分野に対応して3つのWGを構成し、横幹連合の会員学会や関連する分野の多くの専門家が委員として参加し、検討を行った結果については前章までに述べた通りである。本章では、3つのWGの検討結果の概要をまとめ、これら3つの検討結果の関連性を知の統合という側面から総括する。最後に、横断型アカデミック・ロードマップの今後に向けた課題についても述べる。

7. 1 分野横断型アカデミック・ロードマップの概要

7. 1. 1 知の統合 (WG1)

WG1では、知の統合に関するアカデミック・ロードマップについてまとめた。人間、社会、技術が複雑に絡み合った諸問題の解決に対しては、細分化された知では対応ができないという状況が生まれている。また、細分化した限られた領域での解決策はしばしば部分最適である場合が多く、必ずしも全体最適な解を与えていたとは限らない。科学技術の発展は、利便性の追求、大量生産・大量消費といった要求を満たしたが、反面多くの負の影響を社会に与えている。これらの課題を解決するためには、単に細分化した知の寄せ集めではなく、関連するそれぞれの科学技術の知の統合とその統合の将来のあり方を検討するところから議論を深め、一段高い論理レベルでの広い科学技術の連携と集積を必要とする。人間と社会が複雑に関連する課題解決には、分野を横断した規範が理念として存在しなくてはならず、そのためには知の統合の技術が各分野を横に貫く「共通の枠組み」として、また「具体的に利用可能な共通ツール」として、実体的に整備していく必要があり、これが知の統合プラットフォームである。

人間、社会、人工物、環境などに複雑に関連する諸課題のアプローチには、理工学分野と人文社会科学分野の融合や統合が不可欠であり、これらを基盤とした新しい学術分野を創出し、社会的課題の解決に向けたメカニズムとしての知の統合プラットフォームについて議論し、この上に創生される学術・技術のアカデミック・ロードマップについて検討を行った。まず、文理の枠を越えて相互理解型の社会をいかに構築するかという課題から始め、リスクガバナンスのための総合情報基盤の構築、情報循環設計科学を普遍性のあるプラットフォーム上に構築し、これから一般的定量リスク科学、経営設計科学などへの新たな学術創生、統計科学や数理科学を基盤とし、地球環境を含めた持続可能社会デザインから個に焦点をあてた予測技術など大規模システム推測プラットフォームの構築、2050年の温室ガス排出量半減の低炭素社会の構築のためのプラットフォームの構築、コンフリクトの存在下における合意形成や政策形成を達成するための電子民主主義による社会の構築、

ヒューマン・マシン協働を統合プラットフォームとしたディペンダブルな安全・安心社会の構築、ロボットを基盤とした高信頼性社会の構築、メーカオプションからユーザオプションへのシフトを予測させる生産システムにおける知の統合、基盤技術を大規模高速計算機システムとするプラットフォーム上での新材料・創薬のための物理学、計算機科学、データベースなどからなる知の統合、を取り上げ、これらのプラットフォーム上での学術の発展のアカデミック・ロードマップを提示した。

安全・安心社会、高信頼性社会、持続可能社会、個に対応した社会などよりよい社会構築に向けた課題解決には、人文社会分野と理工分野の両者を基盤とした学術や技術のプラットフォームが不可欠であることを示し、これらに共通するプラットフォームの役割と機能について明らかにした。プラットフォーム上では、これらの学術や技術が共有化や公有化され、専門家と非専門家、メーカとユーザ、利害関係者が誰でも相互コミュニケーションができる機能を発揮できるようにすること、このためには横断型人材の育成や横断型研究プロジェクトの推進などが大きな課題となろう。

7. 1. 2 社会システムのモデリング・シミュレーション技術 (WG2)

WG2 では、社会システムのモデリングとシミュレーションに関するアカデミック・ロードマップについてまとめた。認知科学、社会心理学、数理社会学など人文社会系科学分野と、複雑系科学、マルチエージェントシステム、人工知能などの理工学、情報科学分野における学術の発展は、両者を融合した新しい分野の誕生と発展を予測させる。社会システムをモデリングし、その振る舞いをシミュレーションにより予測、評価して、社会制度など社会の仕組みを従来よりも科学的根拠をもってデザインできるようになれば、現代社会が直面する多くの課題の解決への貢献が期待される。

本アカデミック・ロードマップでは、社会システムのモデリング・シミュレーション技術の方向性を、対象とする社会システムの規模と複雑さを拡大する方向、より精緻なモデルを構築してシミュレーションの精度、信頼性を向上させる方向、可用性、適用性を拡大して広範な分野の現実課題に本技術を適用する方向の 3 つの軸によって整理した。そして、社会システムの基本構成要素となっている人間の行動を、個人、集団、社会の 3 つのレベルでとらえることを提案した。また、モデリング・シミュレーションの一般的なアプローチだけでなく、政策、経済、ビジネス、防災・安全、文化・風土、健康などの特定課題分野における技術発展の方向を検討した。

今後の技術動向・展望として、センシング技術、情報通信技術の進歩によってモデリングの基礎となる観測データが、容易に、大量に、実時間で入手可能になることが予想され、モデリング・シミュレーションの精度・信頼性がさらに向上するであろう。しかし、社会システムは典型的な複雑系としての振る舞いを示すので、そのモデリング・シミュレーションには相当な難しさを伴う。多数の構成要素のミクロな振る舞いが集積して大局的な雰囲気を形成し、それが今度は構成要素の振る舞いに影響を与えるミクロ・マクロリンクの理解と攻略が成功の大きな鍵になるであろう。しかし、社会システムのモデリング・シミュレーションのアプローチは多様であり、コンピュータシミュレーション以外にも社会実験、ゲーミング、参加型シミュレーションなどがある。社会システムのモデリング・シミ

ュレーションは、広い可能性を持った技術であるといえる。

社会システムのモデリング・シミュレーションを実社会の課題解決に適用する場合には、単に技術的側面だけではなく、社会的な諸側面への配慮が必要である。まず、社会科学の理論は理工学のそれと比較して定性的で、予測のツールとして弱いという懸念があげられる。したがって、慎重な結果の精度・信頼性評価が必要である。また、価値判断を伴う課題に関しては、価値判断を行うのがモデリング・シミュレーションを実施する専門家ではなく、人々の自由な協議に基づく合意として行うべきことを銘記しておかなければならぬ。

しかし適正に活用されたならば、社会システムのモデリング・シミュレーションは「よりよい社会」を実現するために、我々が過去に知っていたよりも強力なツールになると期待される。横断型・融合型分野として、この分野の今後の発展を期待したい。

7. 1. 3 人間・生活支援技術 (WG3)

WG3では、人間生活支援技術としてのアカデミック・ロードマップの作成を行った。まず、21世紀初頭の我々が置かれている環境を歴史的に理解し、人間の生活支援としての今後の課題とそのアプローチを検討した。その中で、特に科学技術によって得られた正の面と、逆に人間の生活を脅かす負の面をも視野に入れて検討をおこなった。

人間・生活支援技術のアカデミック・ロードマップ作成に際して、人間を対象とするために、極めて多様な分野を議論する必要があった。まず、DNAからたんぱく質と積み上げられた人間の解析とは別のアプローチとして、人間の形態、機能、行動等をシステム科学の視点でとらえ、人工物・社会制度設計による人間生活支援を目的とした科学技術を検討対象とした。そのためには、人間の計測・解析学、モデリング・シミュレーション学等の諸科学を精緻に構築することが必要となっている。次に、それらを基礎として、人間生活支援の人工物や社会制度の設計学をも対象とした。このような基本的考え方を基盤として、具体的な取りまとめ方針として、④個人間、⑤個人間と人工物のインターフェース、⑥個人間と個の個人間から構成される社会という分類で議論を重ねた。

個人の形態、機能、行動の計測、モデリングと、それらに基づく人工物設計にとって、網羅的に議論するのではなく、重要と想定される論点に絞った。個人の運動、生理、心理の各計測に関して、原理としては既存であるが、計測装置の小型化と複合化によって、日常計測、複合計測から従来見えなかった生体特性の計測可能性が指摘されている。また、高度シミュレーション技術と個人データの詳細計測から、計算機内に自分のクローケンを実現することが可能となり、未来の自分の体調の予測可能性が議論された。さらに、「喜怒哀楽」、「うつ前状態」の計測が可能となると予想された。

次に、個人間と人工物のインターフェースでは、人間と人工物とのインターフェースを検討するに際し、インターフェース一般として取りまとめずに、今後大きな社会問題と想定される「生きがい創出」に焦点を当て、それを支援するインターフェースについて議論した。その中では、センシング技術、情報提示技術、生きがいの材料提供、有用性の評価に分類された。たとえば、人間の感覚能力の拡張による様々な応用が議論された。また、センシング技術による生きがい創出支援の重要性が指摘された。

最後に、個人の人間と個人の人間から構成される社会に関して、社会における生活支援技術を俯瞰し、近未来における課題解決のための学術的なロードマップを検討した。特に、現代の情報科学技術が社会を大きく変化させていることを前提に、(1)共感・共創の支援(2)合意形成(3)行動変容の促進の3点に絞って、議論した。計算機科学として、大規模ヘテロデータモデリング等の科学技術基盤によって、場の生成と制御、共創の科学、共感・合意形成の科学等が議論された。

7. 2 知の統合の視点からのまとめ

本報告書「分野横断型アカデミック・ロードマップ」の第3章から第5章において、それぞれ3つのWGのもとで、「知の統合」、「社会システムのモデリング・シミュレーション技術」、「人間・生活支援技術」の3分野をと取り上げ、各WGの検討結果の概要を前節で述べた。本節では、これらの検討結果を知の統合という視点から全体を総括し、これから横断型学術分野の課題を展望する。

まず、各WGの検討によって明らかになった将来展望の中で、共有すべきと思われる課題を知の統合という視点からまとめると

- ・ 理工学分野と人文社会科学分野との統合の必要性とその推進
 - ・ 社会的課題に対するシステム志向による体系的アプローチの確立
 - ・ 社会システムや社会制度のデザインと合意形成のあり方
 - ・ 個への視点や個の重要性に向けた対応
- などの事項となろう。以下に詳しく述べる。

(1) 理工学分野と人文社会科学分野との統合の必要性とその推進

人間、社会、人工物、自然が複雑に絡む社会的課題に取り組むためには、細分化された個別学問分野のアプローチだけでは困難であり、文と理の連携が必要であることが、各WGの報告の中でも述べられている。

第3章(WG1)では、文理の枠を越えた相互理解型社会構築のためのプラットフォームのあり方について言及し、「個別分野からの問題抽出」、「個別分野から提起された諸問題を統合したり多面的な定式化を行うためのモデリング学の創生」、「個別分野間の相互コミュニケーションの<場>の構築」、などを実践する専門家の統合プラットフォームの必要性と、それとともに、生活者など専門家ではない人々の問題提起や意見表明のための情報共有と相互対話とを可能とする対等な場の実現の必要性を述べ、その推進の方法に関するアカデミック・ロードマップを提示した。個別分野の問題とは、科学、工学、人文社会科学（社会、経済、経営、哲学、法学、倫理学、・・・）などからの諸問題であり、これらの諸問題を統合化したり多面的な問題記述を可能にするためのシミュレーション学、統計学、システム理論、数学、論理学などの共有化、そして個別分野の相互コミュニケーションのためのグループウェア、アーカイブス、視聴覚社会学、社会情報学などの整備、など文と理を対等に統合化することの重要性を述べている。第3章で取り上げた課題のほとんどすべてが理工系と人文社会系の知の統合プラットフォームを必要としている。

第4章（WG2）では、認知科学、社会心理学、数理社会学など人文社会系科学分野と、複雑系科学、マルチエージェントシステム、人工知能などの理工学、情報科学分野との融合のもとで、ヒューマンモデリング、社会システム、国際公共政策、経済制度設計、経済行動、サービス、防災・安全、などの広範囲な社会モデルを対象としたシミュレーション技術について展望しており、対象と方法論はいずれも人文社会系と理工系の知の統合を必要としている。

第5章（WG3）では、科学技術により設計される人工物やサービスと、それが実装される社会とを統合化して共にデザインをするという視点の重要性について言及している。科学技術を他の多様な社会的存在、社会システム、経済価値などの異種の要素からなる社会技術システムとして捉える視点と、自然科学、理工学と人文社会科学の諸要素が同等の主体として未来社会を共創する仕組みが求められていると述べている。

研究者や技術者が、自らの専門分野だけでなく、異分野への広い視野をもち、科学技術の社会への影響を俯瞰的に捉える能力が要求され、このような横断型人材の育成も将来の大きな課題である。さらに、文と理の枠を越えた相互理解のもとで推進する文理横断型の研究プロジェクトを支援する仕組みやその評価方法の確立も望まれる。

（2）社会的課題に対するシステム志向による体系的アプローチの確立

理工学の分野では、ものづくり、製品のデザイン、人工物のデザイン、サービスのデザイン、などにおいては、システム志向に立った統合的なアプローチが普遍的で有力な手段である。これらは、センサ情報やデータ情報の取得、対象のモデリング、データや対象に基づいた設計、設計目標の対する達成評価、の4つのプロセスからなるサイクルにより実施される。これまでには、この4つが個々に分離して各方法論が研究され適用されることが多かったが、プロセス全体を統合化し最適化するシステム志向のアプローチが今後に向け重要なことが各WGにおいても提示されている。

一方、社会現象、社会モデル、社会制度のデザインにおいても、このようなシステム志向のアプローチの探究と理論体系の確立が求められていることが、第3章から第5章のいずれでも言及されている。第3章では、一般的な情報循環設計科学のアプローチとして、「実社会からの価値選択（観測データや調査データの取得など）」、「要求価値の工学モデルへの変換（モデリングなど）」、「モデル上での最適化（デザインなど）」、「最適化された価値の社会への注入（実装など）」のプロセスの統合化を述べ、そのための学術として、「社会から価値を発見的または意図的に選択する方法論を扱う学術」、「価値を創生するシステムを同定する学術」、「システム上で価値生成のパフォーマンスを最適に設計する学術」、「創生した価値を社会に実装し納得してもらうための学術」がそれぞれ必要となることが提示された。しかし、これらの学術は、人文社会分野、情報分野、理工分野で個別にそれぞれ研究されており、この4つのプロセスの有機的な連携と、大量のデータベースの構築と整備とを機能させる情報循環設計科学のプラットフォームの確立が求められていることが言及されている。

第4章でも、複雑系としての創発的な振る舞いや時間発展に伴う適応、進化、これらを左右する社会構造、ネットワークトポロジー、ソシオメトリ、社会知、文化など、社会モデルの構築には、マルチエージェント・ベースト・モデリングや人工社会といったシミュ

レーション技術の有用性が言及されている。一方、個人レベルや集団レベルでのヒューマンモデリングの研究が進み、モデルが精緻化されると、リアリティをもった大規模な丸ごとシミュレーションが可能となり、これに基づいて最適な社会制度設計を予観的に行う社会デザイン、集団的決定や社会的合意、マーケットの創出、などが可能となることが期待される。しかし社会システムは、複雑で巨大なシステムであり、その使用環境も設計目標も予見できない場合が多い。社会的意意思決定においては多数の利害関係者の調整や合意形成など、これまでの設計原理が利用できず、創発・共創システムの原理に基づいた設計のためのシステム志向型方法論の確立が望まれている。

第5章でも、人間科学の方法論として、計測・解析、モデリング、デザインの3つのプロセスを明示しており、計測データによる人間の形態・機能・行動などのモデリングのプロセスと、人工物や社会システムなどのデザインのプロセスからなる体系化について言及している。サービスを介在した社会においても、センシング→モデル化→予測・設計→提供というプロセスがとられる。さらに、人間の社会生活モデリングに対しては、従来の自然科学を基盤とした理論科学や実験科学だけでは解決できず、モデルベースのシミュレーションとデータ主導による大規模ヘテロデータモデリングからなる計算科学の方法論の確立が求められており、個と個、個と人工物、個と社会の間の相互理解、納得、共感により共生を実現する共生科学の方法論の確立が期待されている。個人や環境に関してセンシングされる大規模なデータは、将来爆発的に増大することも懸念されており、このデータベースの有効な構築や利用のための方法論も今後の大きな課題となろう。

このように社会的課題の解決には、システム志向の方法論の確立は不可欠である。また、これは知の統合やプラットフォーム構築の基盤となる方法論もある。

(3) 社会システムや社会制度のデザインと合意形成のあり方

第3章～第5章のいずれも、未来社会の社会制度のデザインに関して、合意形成の重要性について言及している。社会に関わる多くの問題については多種多様な利害関係やコンフリクトの存在のために部分最適と全体最適のジレンマに直面している。

第3章では、多様なコンフリクトや利害関係の中での「納得の原理」を目指す電子民主主義社会の構築に向けて、理工学分野と人文社会科学分野とを横断的に統合した複合領域を基盤とし、情報通信システム技術の高度化に伴う成果を十分に活かしたアプローチにより、電子的参加の制度設計に向けた合意形成プラットフォームおよび電子民主主義の制度設計に向けた政策形成プラットフォームの構築へのプロセスの可能性を提示している。この場合も、プラットフォームは、専門家も非専門家も情報を共有し、相互コミュニケーションが実践できる機能をもつことが求められる。

第4章では、ヒューマンレベルから社会レベルに至る社会シミュレーションの目標の一つは、社会制度デザインに向けた合意形成にあることを述べている。一つの事例として、社会的な合意の文化や風土醸成に向けた参加型シミュレーションの可能性について言及し、環境、安全、健康などに関する社会的な課題に対する社会全体の合意を人々を主体して形成する方法を述べている。このためには、SNSやWANなどのネットワークインフラを利用したコミュニケーション技術の活用が期待され、コミュニティレベルから国家レベルまでの合意形成の可能性を提示している。

第5章では、特定な社会的課題については人間中心設計や参加型デザインなどのアプローチの有効性はあるものの、一般的な社会技術システムを創出するという観点から、関連するステークホルダー、価値システム、それらを成立させる人工物システムなどを含む世界を想定した上で、それらを代表する要素の参加を設計しマネージする方法や、研究者や技術者が各自の共同体から社会システムへ越境し実践するための認識形成や支援を図るプログラムの必要性について言及している。

(4) 個への視点や個の重要性に向けた対応

科学技術の発展は、利便性の追求や大量生産・大量消費の要求を満たしたが、社会にもたらした負の側面も多いことはどのWGも指摘している。科学技術が社会へ実装されたとき、人間社会にどのような影響が生じるのか、個人の生活を豊かにすることと社会全体の豊かさとは一致するのか、などを分析と設計の方法論が求められている。

第3章では、不特定多数への大量生産によるサービスの提供方式は、個人の価値に基づくオンデマンド・オーダーメイド方式へシフトすること、個に焦点を合わせた技術としては創薬、オーダーメイド医療、遺伝子ネットワーク推定、タンパク質構造推定、マイクロマーケッティングなどがあり、大規模複雑システムの予測技術の方法論がその基盤として期待されることを述べている。ヒューマン・マシン協働による個人適合型の信頼性・安全性の確保を支援するシステムへの移行についても言及している。これからものづくりがメーカー主導の大量生産から個人のオプションに重点をおいた方向性、すなわちモジュール化やユニット化へのシフト、CADの共有化や一般化へのシフトが進む。このためには、メーカーとユーザ、大学や一般の人々が様々な設計ツールを共有できるプラットフォームの構築が不可欠であること述べている。

第4章では、個人と社会の関係において、創発的な手法としてマルチエージェントベースのアプローチの有効性について言及している。自律的行動・適応し、情報交換や問題解決に携わる個のミクロなエージェント、この結果として創発される社会のマクロな性質、そして各エージェントを囲む環境とミクロ・マクロリンクの生成や影響による社会の変化などをモデル化し、個の参加による合意形成のデザインが可能になることなどを述べている。

第5章では、人間をとりまく環境での人間の機能や行動の統合的センシングとモデル化、個人の喜怒哀楽の計測とモデル化、個人の能力に適応したアシストなど、個人に適合したセンシング、モデリング、デザインの統合化技術について言及している。さらに、人工物と個人の間とのインターフェースでは、個人に対応するためのコンセプトとして「生きがい」を取り上げ、これを支援するための感覚情報の提示、ヒューマンエラーの予防、生きがいを支援する材料、個への対応の評価としてインターフェースのユーザビリティの重要性などが述べられている。個人の間と社会との間では、個に焦点をあわせたインターフェース、製品開発、社会制度のデザインなどに向けて、共感・共創の支援、合意形成の支援、行動変容の推進が重要なことを明らかにしている。

以上で述べた4つの視点は、今後分野横断型の学術技術の展開において重要な課題となり、これらを解決するための具体的な研究分野の立ち上げと推進が期待される。

7. 3 今後に向けて

今回の検討により得られた分野横断型アカデミック・ロードマップの結果を踏まえて、今後に残された課題や今後の具体的な活動についてまとめておこう。

(1) 知の統合プラットフォームの具体的な構築

第3章では、理工学分野と人文社会学分野の連携が不可欠と思われるターゲットを取り上げ、どのような知の統合プラットフォームの構築が必要となるかについて検討した結果を述べた。このプラットフォームは、理工学と人文社会学とを基盤として、その上に新たな学術技術を創生する場であるとともに、与えられた目標に対して、問題の定式化において異分野の視点から多面的に記述し、情報や知識を表現するための共通な手段やモデリングの方法論を構築し、専門家や非専門家が情報や知識を共有でき、相互コミュニケーションと相互理解を可能にする場でもある。このようなプラットフォームをどのように具体的に構築していくべきかについては、今後の大きな課題である。自らの研究分野に閉じこもることなく、常に社会に対する位置づけや異分野との関連性への視点を広くもつ研究者の育成、小中高における文と理の双方を基盤にもつ教育のあり方、さらには、文と理を横断するプロジェクトの支援などにも強く関連する課題である。

(2) 知の統合を必要とするプロジェクトへのチャレンジ

理工系と人文社会系との連携や学としての統合を推進するためには、知の統合を必要とする具体的なプロジェクトをスタートさせていくことが早急に求められる。今回の各WGにおいて、知の統合が必要とされる最も大きな対象は、「人間」や「社会」に関わる課題である。例えば、人間と人工物のインターフェースにおいて、人間の計測を一つとてみても、物理的な計測だけでなく情緒や感情の計測を含み、遺伝子レベルから行動に至る様々なレベルでの計測から得られるデータは、環境の情報も含めると膨大なものとなる。プライバシーの問題、増え続ける膨大なデータベースの処理、セキュリティ、利用方法、など異分野の連携が不可欠な課題は非常に多い。社会は個々の人間の集合体であり、より複雑でチャレンジングな課題が多い。

(3) 横断的技術との連携の可能性

産業界においても、社会、情報、経営、リスク、人間などに関連する産業技術やサービスは極めて分野横断的であり、本アカデミック・ロードマップの幾つかの課題との接点也非常に多い。これまで、産業界については技術ロードマップ、学術についてはアカデミック・ロードマップというように別々に検討されてきた。しかし今回、分野横断型のアカデミック・ロードマップを検討して感じたことであるが、社会、人間、産業、環境などに関連する多くの課題は、さまざまな技術分野、サービス分野、情報分野の技術との連携が不可欠である。具体的な課題やターゲットに向けたロードマップは、そろそろ両者の連携のもとで諸学会の壁を越えて作成することで新しい展開が見えるように思われる。

(4) これからのアカデミック・ロードマップ作成に向けて

今回は、知の統合、社会システムのモデリングとシミュレーション技術、人間・生活支援技術、という分野を先に定め、この中で現状のさまざまな課題から将来解決すべき課題

や目標に向けて外挿するという考え方のもとでアカデミック・ロードマップの作成を行った。もう一つの考え方として、どのような社会を構築するのかという明確なターゲットを定めて、そこに到達するための様々なシナリオをそれぞれの時期にどのように設定すべきかを定め、到達できない場合には、どのような学術や技術をどの時点までに確立すべきなのかを探索していくような、いわゆる環境分野で行われているバックキャスト^{注1}のようなアプローチも興味深く、より具体的なアカデミック・ロードマップが描けそうである。このような試みも今後の課題となろう。

^{注1} 第3.7節を参照されたい。

おわりに

学会連合という特色を活かした学会横断型アカデミック・ロードマップ作成というチャレンジを開始して、2度目の試みの成果が本報告書です。技術分野を柱とした異分野交流によるロードマップ作成という昨年の経験に基づき、本年度は、より工学系と人文社会系の交流を深めつつ、社会や人間という対象の視点から問題解決に向けた知の連携を可能にする研究分野や学術領域の展開を進めるとともに、知の統合のための普遍的な方法論としての統合プラットフォームの創出という困難な課題に挑戦しました。

限られた時間にも関わらず、異なる文化を持つ委員の意識を合わせてロードマップという目に見える形に取りまとめていただいた各WG主査のご尽力に深く感謝いたします。

ロードマップ策定では、文書として得られた成果以上に、それを作成しようとする過程の方が重要という指摘もあり、今回の経験、得られた知見、新たな人のつながりが将来大きな効力を発揮するものと期待しております。

一方、文書としてのロードマップは活用していただくことで、初めて価値が出るものであります。異分野の専門家、産業界、行政担当者、報道・出版関係者などの普段交流することのない皆さんで、コミュニケーションのきっかけとして活用いただくことをお願いいたします。知の交流を活性化し、課題認識を共有して活動のベクトルを合わせることで、複雑に絡み合った諸問題の解決に資することを祈念しております。

本ロードマップ作成において、委託元である経済産業省からは多大なご指導をいただきました。産業技術環境局研究開発課の福田賢一企画官、清丸勝正氏、前川睦敏氏には、統括委員会やWGに適時参加いただき、多くの助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

最後に、本アカデミック・ロードマップ作成に携わっていただいた各WGの主査・委員と横幹連合事務局の方々、WGメーリングリストや合宿に参加して貴重な意見をいただいたボランティアの方々、さらに本活動を温かく見守っていた横幹連合会員学会の各位に対し、横幹連合およびロードマップ委員会を代表してここに厚く御礼申し上げます。

平成21年3月

特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合
ロードマップ委員会幹事 神徳徹雄