



知の統合に関するアカデミック・ロードマップ

佐野 昭*¹ · 出口 光一郎*²

Academic Roadmap on Integration of Knowledge

Akira SANO*¹ and Koichiro DEGUCHI*²

Abstract— This paper summarizes an academic roadmap on integration of knowledge and disciplines. The functions and structures of a platform should be implemented for the transdisciplinary integration. Several themes which need the integration of multiple disciplines are discussed and explored in the working group. For these themes, the structure of the platform is given and the future development of new academic research areas and disciplines created on the platform are displayed as the roadmaps.

Keywords— academic roadmap, knowledge integration, transdisciplinary integration, platform, transdisciplinary science and technology, integration of humanities and sciences, risk management, low carbon society, reliable and safe society

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るとは限らない。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、将来に向けてどのような新たな学術分野を創成するのかについて議論し、推進するためのプラットフォームの基本的な議論から始め、知の統合を必要とする具体的な課題に関して、どのようなプラットフォームが必要か、さらにこの上にどのような課題がとりあげられ、どのような学術分野が創成されていくかを2050年に向けてアカデミック・ロードマップを描くことを目的とした。

2. 知の統合に向けたプラットフォーム

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

*¹ 慶應義塾大学理工学部 横浜市港北区日吉 3-14-1

*² 東北大学大学院情報科学研究科 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

*¹ Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama

*² Tohoku University, 6-6-01 Aoba Campus, Sendai, Miyagi

Received: 27 July 2009, 10 September 2009

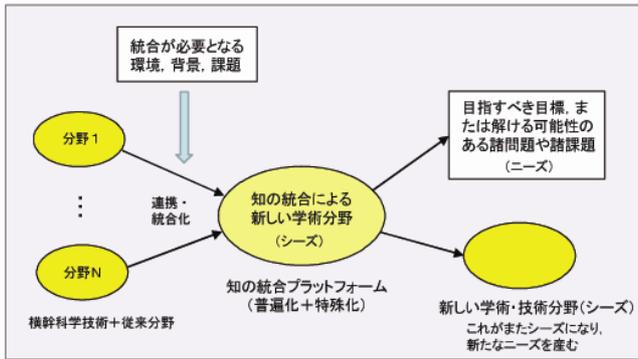


Fig. 1: 知の統合のイメージ

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 [1,2]。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、傑出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WGでは、知の統合とは、Fig. 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、知の統合が役割を果たすためには、前述の定義の中にもあるように、共通性や普遍性をもつものでなければならない。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最適化がコンフリクトを起す危険があることから、この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。

2.2 知の統合はなぜ必要で、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

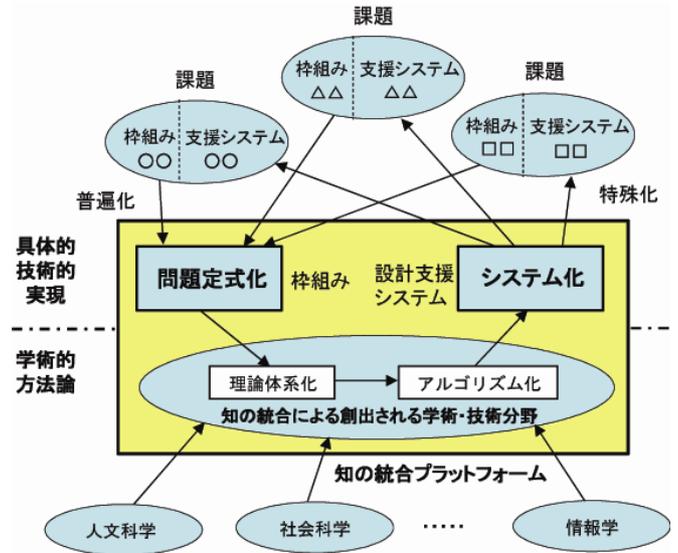


Fig. 2: 知の統合プラットフォーム

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不可能になっている。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、過去の経験によるプロジェクトマネジメントだけではなく、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。

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

る枠組みとして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。Fig. 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、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、より高い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、メーカーもユーザーも、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る。相互理解を通して問題の多面的な定式化や表現が可能になり、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、問題の記述方法、アルゴリズムなどが共通の手段として整備されなくてはならない。

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るがあっても、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求められる。

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に対して、文と理の壁を超えて研究者が融合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、マトリックス型の教育研究体制を必要に応じて構築し、融合型・横断型研究を支援することなどが考えられる。

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付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。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。

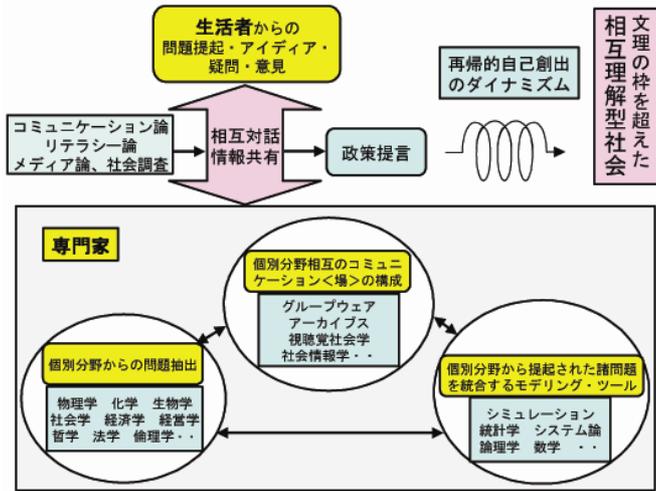


Fig. 3: 文理横断の統合プラットフォーム

3. 知の統合アカデミック・ロードマップ

以上の議論を踏まえて、知の統合が必要と思われる社会的な具体的課題として10のターゲットに焦点を当て、そのための知の統合プラットフォームの構造とその上に展開される課題や学術分野のアカデミック・ロードマップを策定した。将来予測は非常に困難であることはいうまでもないが、2015年まで、2030年まで、2050年まで、というように大まかに意識をして描くこととした。以下の課題についてすべてのロードマップを提示することは紙面の都合上困難なため、詳細は報告書を参照されたい[3]。

3.1 文理の枠を超えた相互理解型社会に向けて

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文理横断のプラットフォームをFig. 3に示した。「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したり多面的な定式化を行うためのモデリング学の創成」、「個別分野間相互のコミュニケーション場の構成」、を実践する専門家の学術分野の統合プラットフォームの機能とともに、これだけではなく、専門家ではない生活者の問題提起や意見表明のための情報共有と相互対話を可能にする対等な場としてのプラットフォームの構築が求められる。すなわち、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。これに基づき、このプラットフォーム上で、問題の多面的理解を可能にし、社会と技術に関する新しい科学の創発、および施策統合化や政策提言への展開をFig. 4のアカデミック・ロードマップに提示した。これらを推進するためには、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をもち横断型人材の育成、文と理の枠を超えた対等な相互理

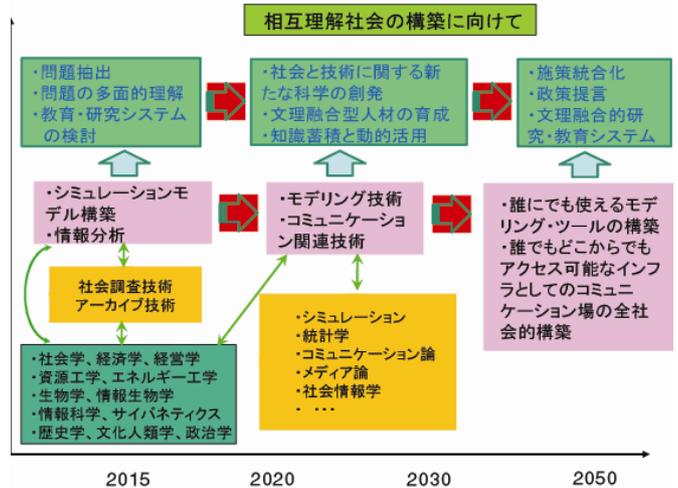


Fig. 4: 文理横断による相互理解社会構築に向けたアカデミック・ロードマップ

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、などについてもその必要性を述べた。

3.2 リスクガバナンスのための総合情報基盤構築

環境リスクのようにリスクを避ける分野と、経営リスクのようにリスクをとる分野があるように、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・普遍性や異なる分野の概念融合が重要となることを述べ、そのための知の構造となるプラットフォームを、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。そのためには、法学・社会学、心理学・情報学、経営科学・工学、数理・統計学などの関連分野におけるリスク情報およびリスク事象の情報共有、教育・哲学・倫理学などの新分野の参入とともに、これらの融合により、リスク教育、リスク情報学、リスクリテラシーの発展が2015~2030年までに見込まれ、分野間の知識融合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が創成されることを予測したアカデミック・ロードマップを提示した。

3.3 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

「実社会からの価値選択(観測データや調査データの取得)」から「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)」を経て「最適化された価値の実社会への注入(実装)」

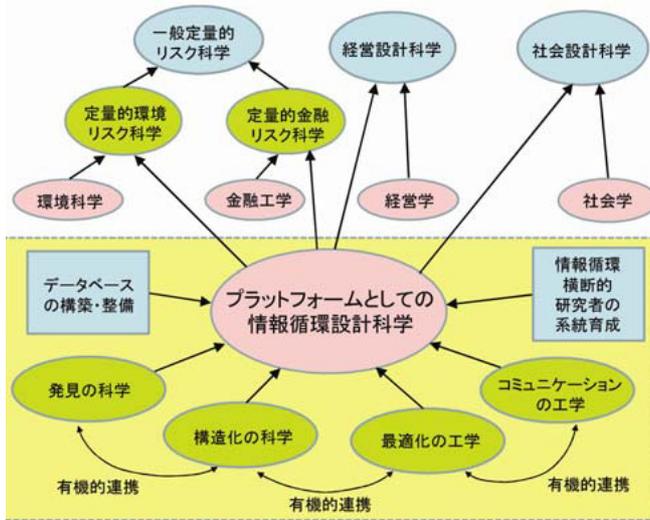


Fig. 5: 情報循環設計科学をプラットフォームとした知の統合

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構築できることを示した。そのためのディシプリンとして、それぞれ「社会から価値を発見し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が基盤となる。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。Fig. 5 に示すように、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ていく高い普遍性と可能性をもつ。

そのためには、Fig. 6 に示すように、まず2020年頃までに、情報学諸分野、特に発見科学、構造化科学、広義の最適化学を融合しトリガーとする。さらにこれらの知の様式と、関連分野に依存する物質科学、生物科学、社会科学を基本とした対象に対する知とを統合化し、各分野のリスク情報データベースを整備することにより、2030年までに個別定量リスク科学群の完成を目指す。一方、定量的リスク科学に裏付けされた意思決定を社会へ還元するためのリスクコミュニケーション工学の確立が2030年までに望まれる。2040年代には独自の総合的ディシプリンへ進化し社会全体のリスクを俯瞰することが可能になる。

3.4 持続可能未来社会デザインのための知の統合

統計科学・数理科学と関連する文と理の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

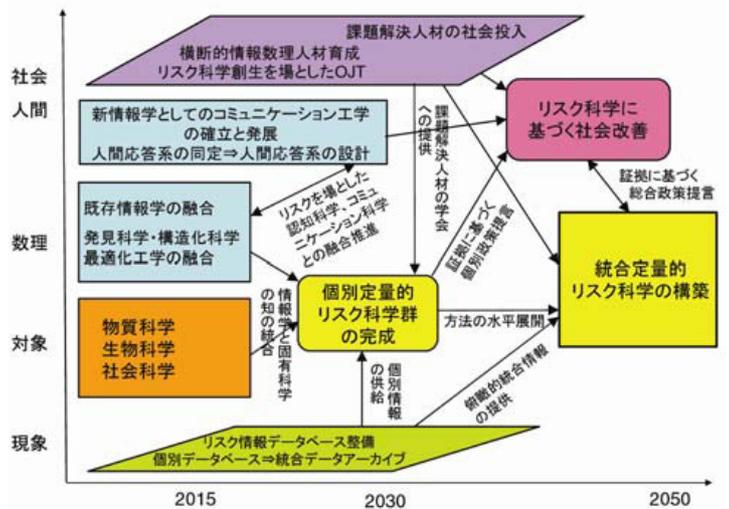


Fig. 6: 定量的リスク科学創成のアカデミック・ロードマップ

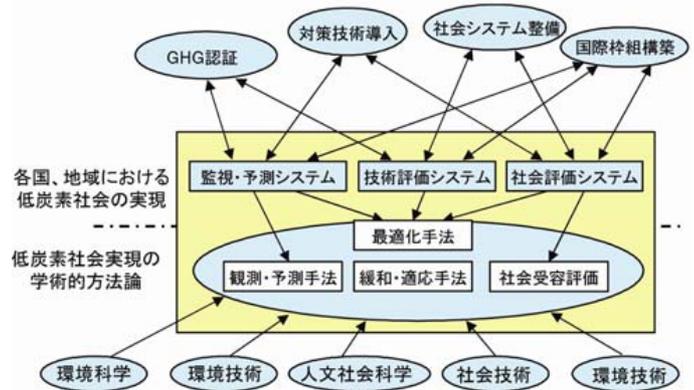


Fig. 7: 低炭素社会に向けた知の統合プラットフォーム

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、オーダーメイド医療、創薬、遺伝子ネットワーク推定、マイクロマーケティングなどの進展が期待される。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ォームとして提示し、ベイズ法に基づいた大規模システム推定や大量データ解析などの新しい方法論の展開から自然・社会現象の予測、リスク管理技術、施策統合化に至るアカデミック・ロードマップを描いた。

3.5 低炭素社会の構築

地球温暖化問題自体が様々な学術分野を横断する課題であることは言うまでもない。2050年温室効果ガス排出量半減という目的に向けた知の統合プラットフォーム (Fig. 7 参照) の構造と役割を提示した。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

電子民主主義による社会の構築			
市民・NGO・NPO	電子的参加の制度設計	電子民主主義の制度設計	情報通信システムの進化 政策形成・合意形成方法論
納得の原理の解明	ファシリテータの解明	集合知能の解明	集合的問題解決能力の育成
コンフリクト、ジレンマ問題の電子的抽出	コンフリクト、ジレンマの電子的マネジメント支援方法	電子的政策評価技術の開発	
リスクコミュニケーション方法の高度化			
バーチャル公共圏の創出	電子的参加技術	電子的討議方法	電子的意思決定支援方法
情報・知識ギャップの検出や視覚化	アクションリサーチ方法論の高度化		
利害関係者間ネットワーク抽出方法の開発	代替案評価システムの構築		
コンテンツ抽出、視覚化技術	社会的エージェント・シミュレーション技術の高度化		
ソフトウェア・エージェント技術の高度化	セキュア・コミュニケーション技術		
自然言語解析技術	集団意思決定支援技術		
自己組織化マップ	意見・提案解析技術	意見・提案集約技術	
CGM処理技術	高度情報・知識流通システムの高度化		
情報・知識commonsの整備	高度新世代ネットワーク技術		
理工学、心理学、社会学、経済学、政治学、医学、言語	合意形成プラットフォーム	政策形成プラットフォーム	
	Web Social Science		
2015	2020	2030	2050

Fig. 8: 政策形成・合意形成に向けたアカデミック・ロードマップ



Fig. 9: 社会基盤ロボティクスのための知の統合のマトリックス構造

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る点が、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する共通の視点からの評価を実施することが可能となる。

このために、科学、工学、人文社会学、国際関係論などの融合をベースとして、温暖化の実態と影響の観測、気候・影響および排出量の将来予測や緩和方策、温暖化対策社会技術、国際協調と枠組作り、適応研究、環境負荷の小さな地域づくりに向けたアカデミック・ロードマップを描いている。

3.6 電子民主主義による社会の構築

社会問題においては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とアカデミック・ロードマップについて検討した。プラットフォームは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からなる。プラットフォーム上には、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、コンフリクト状況の打開方法、エージェント技術の高度化、コミュニケーション技術の進展、情報・知識commonsの整備、集団的問題解決能力の強化などの展開を描いたアカデミック・ロードマップを提示した (Fig. 8 参照)。

3.7 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

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との連携、さらに個人適成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る。この基盤の上に、人の能力を補完する製品の高度技術化、経年劣化時の安全性を考慮した新しい寿命設計法、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、個人適成型 (パーソナル化) の信頼性・安全性確保、に向けた高信頼度な自動化技術による安全社会実現へのアカデミック・ロードマップを提示した。

3.8 ロボティクス基盤高信頼社会の構築

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 (Fig. 9 参照)。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・社会科学を確立することが目的となっている。さらに、ロボットが少なくとも人間のもつ機能に匹敵する機構と情報処理能力を持ち、人間の能力を拡大するデバイスとしてのロボットの実現、さらに知覚デバイスの開発や複数ロボットのネットワーク化による広域、高速移動に対応するシステムの実現に向けたアカデミック・ロードマップを提示した。

3.9 生産システムにおける知の統合

生産システムにおける知の統合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操作を支援する。さらに設計・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。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を有する。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性をもった普遍的なプラットフォームである。プラットフォームを共有から公有へ展開させることにより、2010年 2020年 2050年に向けて、設計サイクルは、設計図のデータ互換性からモデル指向設計生産を経てモジュール化やユニット化、シミュレーションによる改造検証などの展開により、10ヶ月 1ヶ月 3日へ短縮し、ユーザの介在も、選択 要望 参加へ変化し、CAD 自体も連携 共有 公有（プラットフォーム化）へ進化し、これらを支援する技術も進展していくと予測される。

3.10 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り、文献 DB や実験・物性数値 DB からノウハウの自動抽出、ノウハウ DB から知識の自動抽出などの展開に裏付けられ

た材料開発や創薬に関するアカデミック・ロードマップとして提示した。

4. 知の統合プラットフォームの機能

本 WG で採り上げた課題に向けたプラットフォームに関して Table 1 に要約した。プラットフォームの機能をまとめると以下ようになる。

(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

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、3.3 節で述べたように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。また、3.8 節で述べたマトリックス型の知の統合により、社会基盤ロボティクスの新しい学術分野が創出されることが期待される。

(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いることから、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できること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

今回の WG が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、CAE (Computer Aided Engineering) 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¹への対応）、コンフリクトの存在下での合意

1. 生産者（プロデューサ）と消費者（コンシューマ）とが一体となったもの。

Table 1: 知の統合プラットフォームの構造と役割

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て	分野横断的モデリングや問題定式化の方法論、情報共有と相互コミュニケーションの場、公開と共有などが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、数学などのモデリング方法論、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場の構築の方法論、など	現代の地球社会が直面している環境、食糧、疫病、テロリズム、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役割、次世代のため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構築	リスク研究のための総合情報基盤を構築する。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各レベル構造をもつ統合プラットフォームの構築。	法学・社会学、心理学・情報学、経営科学・工学応用、数理・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。	若手研究者育成のため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た定量的リスク科学の創生	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。	発見科学、統計科学、最適化工学、コミュニケーション工学、および個別分野(物質科学、生物科学、社会科学など)	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、若手研究者育成と学部・大学院における横断型教育の実施。
4. 持続可能未来社会デザインのための知の統合	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。	地球科学、環境科学 資源工学・エネルギー工学 生物学・情報生物学 経済学	統計学的視点から大規模かつ複雑なシステム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。	シーズ内、文理間など学問領域間のコミュニケーション、産学間・官学間のコミュニケーション、人材育成、統計教育やソフトウェア開発。
5. 低炭素社会の構築	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見を与えるためのプラットフォームの構築。	人文社会学(哲学、倫理、社会学、経済学、法学など)、自然科学(生物学、地球科学、気候学など)、工学(エネルギー工学、計測工学、制御工学、システム工学など)、環境技術、社会技術	左に挙げた多様な学術分野における知や知識を、俯瞰的、横断的に見渡すと同時に、低炭素社会実現という解決点に向けて最適に組み合わせるために統合化が必要。	様々な分野の研究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	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。	理工学、心理学、社会学、経済学、政治学、医学、言語学	異分野との連携の必要性(各分野の要素技術や知見の統合による問題形成と解決)、心理学的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ィペンダブルな安全・安心の社会の構築	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の構築。	信頼性工学、安全性工学、認知心理学、経済学、社会情報学、法学、シミュレーション技術、学習工学、センシング技術、保全技術	ユーザや製品使用環境の多様化、不適当なメンテナンス等に起因するトラブルに対する新たな予測技術と人間行動予測を伴う製品安全確保のための体系化が必要。	開発技術に加えてユーザ行動や社会影響を同時に総合分析できる人材の育成。人間適応型技術を実現する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。
8. ロボティクス基盤高信頼社会の構築	情報ロボティクス、人間科学、社会科学の3つの横軸と、減災・レスキュー、人間・社会へのサービス、人間能力の拡大の3つと縦軸からなるマトリックス上に新しい学問領域が創出される。	情報ロボティクス(IRT)、人間科学(HS)、社会科学(SS)	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。	フィールドロボットの構築による安全社会の創成、頼れるロボットの研究開発による安心の創成、ロボット技術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	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有化が生産システムにおけるプラットフォームである。	言語、経験、メカニズム、ソフトウェアなどの数式化、モデル化、オープン化、知の公有化。	消費者の多様化とそれに応える21世紀型生産システム。販売よりも維持管理に重点をおいた物づくりから物育てへの移行。	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。統一的方向性というよりは個々の個性の集まりによる競争力確立。
10. 計算機シミュレーションによる材料開発・創薬のための知の統合	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。	大規模高速計算法(要素技術DB)、分権DB・数値DB、知識DB・ノウハウDB・製品開発プラットフォームなどからなる。	膨大な試行錯誤の実験に代わり、大規模高速計算技術の驚異的な発展により、材料設計や創薬設計を統合化シミュレーションにより実現する。	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。

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でのスパイラルアップ機能
本稿で述べた多くの場合, プラットフォーム上では, 共通していると思われる機能が見られる。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, それを社会へ実装する, という4つの機能からなるサイクルである。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る。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普遍的な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。

5. むすび

本WGで採り上げた知の統合を必要とする目標や課題に向けて, 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統合プラットフォーム上に創生するプロセスのアカデミック・ロードマップを提示した。その上では, 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の場としてプラットフォームが機能することが求められる。

知の統合を具体的に推進するためには, 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策定など多くの検討課題が残っている。知の統合を必要とする社会的な課題に今後ますます直面すると思われる。文理の壁を越えて相互に対等な交流を可能にするプラットフォームを具体的に構築できるデザインが早急に望まれる。

謝辞: 短期間にもかかわらず多大なご協力をいただいた委員の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 日本学術会議: 提言「知の統合 - 社会のための科学に向けて - 」, 2007年3月。
- [2] 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 - 」, 2008年8月。
- [3] 分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ報告書は下記の横幹連合ホームページより入手可能, [http://www.trafst.jp/reference/ARMreport\(WEB\).pdf](http://www.trafst.jp/reference/ARMreport(WEB).pdf)

佐野 昭



1971年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。同年慶應義塾大学工学部助手, 1985年同大学理工学部電気工学科教授, 1994年同大学システムデザイン工学科教授。2009年同大学名誉教授。適応制御, システム同定および制御理論応用の研究に従事。計測自動制御学会。横幹連合などの理事を務める。

出口 光一郎



1976年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1998年東北大学情報科学研究科教授, 現在に至る。画像計測, ロボットビジョン, などの研究に従事。計測自動制御学会, IEEE, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 形の科学会, などの会員。横幹連合理事。