

震災克服調査研究 WG-C 報告： 環境保全とエネルギー供給における強靱性の強化

震災克服調査研究 WG-C 主査 安岡 善文*

Earthquake Disaster Conquest Research WG-C Report – Reinforcement in Environmental Conservation and Resilient and Robust Energy Supply Systems –

Yoshifumi YASUOKA*

Abstract– The Great East Japan Earthquake and the associated Tsunami destroyed sustainability of the vast area in Japan. The environment and the energy supply network have been heavily damaged by the earthquake, the tsunami and the radioactive discharges from the nuclear power plant. The recovery actions for the damages and the prevention to anticipated similar disasters in the near future are the most urgent tasks in every field of science and technology. TRAFST kicked off the special project combatting the disasters in three fields. This paper summarizes the activities of Working Group C on “Reinforcement in Environmental Conservation and Resilient and Robust Energy Supply Systems.”

Keywords– Great East Japan Earthquake, sustainability, robust energy supply system, waste management system, radioactive waste management

1. はじめに

東日本大震災は地域の環境を破壊し、またエネルギーや食糧を含む資源の供給を一時的にはあっても完全に停めた。ほぼ2年を経た2013年2月の時点においても、津波や原子炉からの放射性物質の飛散により影響を受けた自然環境が回復する目処は立っていない。今回の震災の広域性を考えると、その影響の大きさは計り知れない。

東日本大震災の被害から如何に早く回復するか、被害を受けた地域の強靱性を強化して今後にどのように備えるか、さらには同規模かそれ以上に大きな規模での発生が予想されている将来の南海、東南海、また首都直下型地震等に如何に備えるか、は全ての科学技術分野に課せられた喫緊の課題である、本稿では、横断型基幹科学技術研究団体連合（以下、横幹連合と略記）が東日本大震災を契機に立ち上げた震災克服調査研究における3ワーキンググループ（以下、WGと略記）のうち、WG-C「環境保全とエネルギー供給における強靱性の強化」の活動の概略を報告する。

*情報・システム研究機構 東京都港区虎ノ門 4-3-13 神谷町セントラルプレイス

*Research Organization of Information and Systems, 4-3-13 Toranomon, Minato-ku, Tokyo

Received: 18 March 2013, 24 March 2013

第2章では、WG活動の基本的考え方を、また第3章では、WG-Cにおける検討内容と活動経過についてまとめる。第4章では、第4回横幹連合シンポジウム（2012年11月1日、2日に日本大学生産工学部習志野キャンパスで開催）において発表されたWG-Cの三つの発表内容について紹介する。

2. 自然と人の相互作用における持続可能性

人は自然からエネルギーや資源を獲得し、それを利用し且つ消費して生活を営んできた。その過程で地表面を含む自然界を改変し、また多くの廃棄物を排出してきた。二酸化炭素を含む温室効果ガスも人為的に排出された典型的な廃棄物の一つといえる。自然界の改変や排出された廃棄物は、当然のことながら自然界そのものに影響を与える。さらにその影響は巡りめぐって人や社会に大きな影響を与えるようになる。今日の地球温暖化や生物多様性の減少などの影響は、その流れの中で発生した地球規模での負の影響と言えよう。Fig. 1には、上記の人と自然の相互作用を人間の生産活動を始点としたフローとして示した[1]。

Fig. 1における矢印は系間の関係を表わしたものであり、矢印の方向へ影響を及ぼす。また、Fig. 1では、最

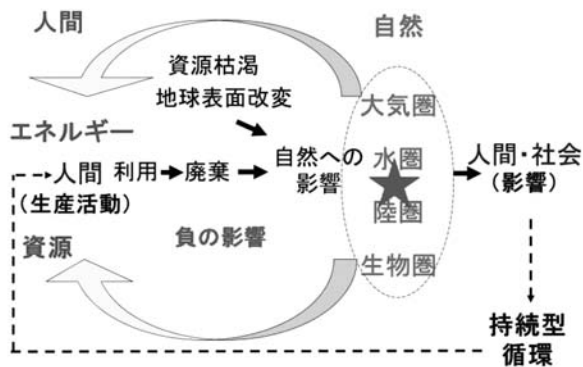


Fig. 1: 人と自然の相互作用 [1]

最終的な影響を受ける側としての人間・社会が終点（図中の右端）として示されている。Fig. 1で注意すべき点は、最終的な影響を受ける人間・社会が、影響に対応して行動するために、起点としての人間活動に影響を及ぼす循環系を構成することである。人間・社会への負の影響があるとしても、この循環が成り立っていれば人と自然の相互作用は持続的であるといえることができる。

今回の震災では、自然界の中で発生した地震や津波（Fig. 1の星印）がこの循環を断ち切り、極めて広い範囲において持続性を破壊した。20,000人を越える犠牲者を出したばかりでなく、Fig. 1の左側におけるエネルギーや資源の供給を途絶させ、さらに物資のサプライチェーンを断ち切った。直接的な持続可能性の途絶は震災の被害地のみで発生したが、被災地域内の工場やコンビナートで生産されている原料や材料の生産が中断したことにより、その影響は日本国内に留まらず世界に波及した。被災地域における農林水産業は、2年近く経過した現時点においても復旧していないものが多く、持続的循環は回復していない。

3. WG-Cにおける検討課題

震災克服調査研究WG-Cでは、震災時および復旧時においてFig. 1における持続的な循環を如何に確保するかという視点から、

- ① 持続性の評価法に関する枠組みの開発
- ② 再生可能エネルギーの安定供給化
- ③ エネルギーの多様化における問題の洗い出し、そして、環境問題との整合の検討
- ④ 地域における水循環システムの構築、淡水化プラントの構築など水事業の安定化

の四つの課題を対象とすることとした。課題①は、平常時および震災時・復旧時における持続可能性をどのように評価し、対策につなげるかを検討することを目的とする。課題②および③は、今回の震災の経験を踏まえ、今後のエネルギーの安定供給に向けて、再生可能エ

ネルギーの活用を含むエネルギー管理システム（以下、EMS; Energy Management System）をどのように構築するかを検討する。課題④では、同様に上水、下水などの水管理システムをどう構築するか、を検討することとした。

さらに検討の過程で、今回の震災において緊急の課題が瓦礫の撤去および放射性廃棄物を含む廃棄物の処理であったことから、廃棄物処理・循環システムの構築が強靱な社会を構築するうえで不可欠であると判断し、

⑤ 廃棄物処理・循環システムについての検討を加えた。一方で、検討時間の制約から、課題②および③はまとめて検討すること、また上水、下水等の水管理システムに関しては今後の検討課題とし今回の検討からは外すこととした。

さらに大きな問題として、横幹連合の会員学会の中には環境研究や廃棄物処理研究を主たる研究分野として扱っている学会がないことから、実際の検討は環境科学および廃棄物・循環研究分野の専門家に協力頂き、ご意見を伺う事とした。今後、横幹連合における当該分野での活動を拡大する必要性が高いと考えられることから、これらの学会に働きかけ横幹連合に参加して頂くことが必要と考えられる。

4. 持続可能な環境保全とエネルギー供給、廃棄物処理についての報告

本章では、第4回横幹連合シンポジウムにおいて上記のWG-Cの検討課題を報告頂いた概要を紹介する。WG-Cセッションにおける発表者と発表課題名は以下の通りである。それぞれ、前節で示した検討課題の①、② + ③、および⑤に対応する発表となっている。

- ・原澤英夫（国立環境研究所社会環境システム研究センター長）
「持続性可能性を評価する指標について」
- ・滑川徹（慶応義塾大学理工学部准教授）
「再生可能エネルギーの安定供給化に向けて」
- ・大迫政弘（国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター長）

以下に発表内容の概要を報告する。なお、本報告では、発表者の了解を頂いたうえで、発表資料等を引用させて頂くとともに、発表者の内容をもとに主査がまとめる形で報告することとした。このため、発表そのものとは表現等が異なることを了解頂きたい。

(1) 持続可能性を評価する指標

“持続可能性”については既に数多くの定義が示されており、持続可能性を評価するための指標も多く提案されている。例えば、“持続可能な開発”を明示したブルントラ

ント委員会(「環境と開発に関する世界委員会」(WCED; World Commission on Environment and Development)の委員長ブルントラント(当時ノルウェー首相)の名前から「ブルントラント委員会」と呼ばれる)の報告書“*Our Common Future*”では持続可能な開発を「将来の世代のニーズを満たしつつ、現在の世代のニーズも満足させる」という世代間の公平性に重きを置いた表現で定義した。

森田・川島による持続可能性の類型化によれば、持続可能性は、その視点により、

- ① 自然条件を重視
- ② 世代間の公平性を重視
- ③ 社会正義や生活の質などを重視
- ④ グローバル・ローカルリスクを重視
- ⑤ 科学技術のもたらすリスクを考慮

の5カテゴリーに類型化される[2]。

また、持続可能性を評価する指標も数多く提案されており、田崎らによれば、世界28カ国において1,848の指標が提案されている[3]。これらの指標は、国立環境研究所における「持続可能な発展の指標の策定状況と長期ビジョン・シナリオ研究における利用可能性」研究の一環として調査されたものであり、国立環境研究所のホームページ(<http://www.nies.go.jp/sdi-db/index-e.php>)にその詳細が紹介されている。

上記のように持続可能性の指標については多くの検討が行われてきた。しかしながら、これまでに提案された指標の多くは東日本大震災の発生以前に議論されたものであり、震災等による影響を直接的に考慮したものはなっていない。震災以降に策定された第4次環境基本計画(2012年4月)では、持続可能な社会は、“人の健康や生態系に対するリスクが十分に低減され、「安全」が確保されることを前提として、「低炭素」、「循環」、「自然共生」の各分野が、各主体の参加の下で、総合的に達成され、健全で恵み豊かな環境が地球規模から身近な地域にわたって保全される社会”と再定義している。

東日本大震災および原発事故は、持続可能性、また持続可能な在り方やその指標化の再検討が喫緊の課題であることを示した。また、広い意味においても、気候変動に伴って発生する可能性のある洪水などの大規模災害について、安全・安心の計測と指標化(低確率・高影響イベント)や最悪シナリオを考慮した評価の検討が必要であることを示した(原澤氏の「まとめ」より)。第4次環境基本計画における再定義に基づく持続可能性の評価の在り方は今後の課題であろう。

(2) 再生可能エネルギーの安定供給化

東日本大震災は、直接的な被害にあった東北地方の太平洋岸のみならず、日本海側における電力供給をも寸断した。これは日本における電力供給網が基幹ネットワー

クに依存し、基幹ネットワークが被災したときは直接的な被災地以外の広域にわたるエネルギー供給停止を余儀なくされる構造にあったためといわれている。加えて、震災後の原子炉停止にともない日本全国においてエネルギーが逼迫する事態となったことは記憶に新しい。エネルギー供給の強靱化を考えるうえで分散型エネルギーネットワークの検討は喫緊の課題であろう。

今日世界的なレベルで検討が始まっているスマートグリッドを含むエネルギー管理システム(以降、EMS)は、石油依存のエネルギー供給システムを、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーを導入することにより低炭素化するとともに、地域における地産地消の考え方を導入する新たな分散型の仕組みとして期待が大きい。実際、今回の震災の経験からも、EMSの導入が地域の安全・安心の視点から望ましいエネルギーシステムであることが指摘されている。しかしながら、供給量が安定しない自然由来の再生可能エネルギーの利用には地域のエネルギー需要と供給のバランスを考慮した高度な分散制御・管理手法の導入が不可欠である。近年、日本においても再生可能エネルギーを利用するためのEMSの研究が開始された。

横幹連合の会員学会においてもEMSの検討が進められている。計測自動制御学会においては、エネルギー環境システム制御技術調査研究会(2010年1月~2011年12月、主査:滑川徹慶應義塾大学准教授)において、

- ① エネルギー・環境のためのシステム制御理論: 分散制御, 協調制御, 大規模システム, ゲーム/チーム理論, 予測制御, 最適制御, 推定理論, ネットワーク制御など
- ② エネルギーの安定確保と供給のための制御技術: スマートグリッド, 電力需要予測, 系統安定化問題, 燃料電池のモデリングと制御, スマートシティ, スマートインフラなど
- ③ 環境計測制御技術: センサネットワーク, センサスケジューリング, ネットワークセンシング, リモートセンシングなど

の検討が行われた。また、2012年度からは科学技術振興機構(JST)の課題達成型基礎研究(CREST)において「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」(研究総括:藤田政之東京工業大学教授)が開始された。本CREST課題では、再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギー源と様々な利用者をつなぐエネルギー管理システムにおいて、エネルギー需給を最適制御するための理論、数理モデル及び基盤技術の創出が目的として掲げられている。本課題では災害にも頑強でスマートなエネルギーインフラの構築が目標の一つであることが謳われている。

また、次世代型のエネルギーシステムにおける新たな

考え方についても検討が開始された。新たなエネルギーシステム設計のパラダイムでは、分散型システムに加え新たな概念の必要性が検討されており、これらは以下の四つにまとめられる。

- ① 集中 → 分散
 - ② 同質 → 異質
 - ③ 安心性（安定性）→ 可能性（柔軟性・発展性）
 - ④ 単階層 → 重層構造
- ① は分散型制御・管理システムの必要性、② は多様なエネルギー源活用の必要性を示している。また、③ は固い繋がりに基づく安定的・固定的なシステムから、運用途中においても発展する可能性のある柔軟なシステムの構築の必要性を、さらに④ はローカルなネットワークからよりグローバルなネットワークに展開することが可能な適切な階層システムの必要性を示している。これらの実現が、災害に強い人間・自然共生型 EMS 設計と、回復力と発展力を併せ持つ次世代型 EMS 設計の新たなパラダイムを提供するものと期待される（滑川氏の「まとめ」より）。

（3）廃棄物処理・循環型社会の実現

東日本大震災により発生した災害廃棄物は東北3県で2,800万トン（うち津波による堆積物は1,000万トン）におよんだ。多くのガレキは被災現場からは撤去されたもののそのほとんどは仮置き場に多様なガレキが混在したまま山となって残っている。これらの廃棄物は2014年3月末までに処理される予定であるが、その進捗は必ずしも楽観的ではない。これは、廃棄物が放射性廃棄物を含むほか、津波を被ったことにより塩分の処理や津波堆積物（海底へのドロや土砂）を含むためである。また、被災した地方自治体が仙台市等の一部の市町村を除き小規模であることなどによる。

今回の震災は、災害廃棄物の処理の視点から、

- ・非常時のマネジメントシステム
- ・非常時の減災型都市システム
- ・非常時の資源循環システム
- ・非常時の社会合意形成システム

の必要性を我々に認識させた。これらのシステムを今後の災害に向けてどう構築していくか、その道筋はかならずしも明らかとはならない。

- ① 非常時のマネジメントシステム
人・組織、モノ・設備・施設・技術、資金（当座の補助金等）、情報・ノウハウの4項目について「暗黙知」（経験知識）と「形式知」（文書化された基準や指針など）を「実践知」として融合し、状況に応じて柔軟にマネジメントするシステムが不可欠である。
- ② 非常時の減災型都市システム
 - バッファ機能としての一次仮置場、処理機能とし

ての二次仮置場の確保

- 広域処理のための海上輸送用の港湾機能
 - 最終出口としての大規模処分場の確保
 - 分散型生活排水処理システム
 - 多様な動脈産業での受入機能
- などが不可欠である。

③ 非常時の資源循環システム

復興資材をできるだけ速やかに現地に届けるために、復興計画との整合、海運とリサイクルポートの質転換機能・流通機能、安全・コスト・時間のバランス調整、合理的な環境安全品質アセスメントなどが不可欠である。

④ 非常時の社会合意形成システム

国民、政府、また科学者やマスコミが信頼と責任を持って社会的合意を形成することが必要である。このとき、リスクとコストのバランスを考慮することが不可欠であろう。

これらの項目は、非常時に速やかに復興するという視点から検討すべき項目として挙げたが、4項目全てが平常時から準備なくしては実現し得ないことは明らかである。「社会の在り方を皆が真剣に考え、社会が変わったときに、真の意味で今回の震災を克服したといえるのではないか」（大迫氏の「まとめ」より）。

5. まとめ

環境保全とエネルギー供給の強靱化の視点から震災克服調査研究の検討結果をまとめた。20,000人余の人命を奪い、多くの資源、資産を灰燼に帰すことになった東日本大震災、そして原発事故、この負の影響から速やかに脱却するとともに、今後も確実に発生する様々な災害に向けて今回の経験を生かさなければならぬ。

今回の震災が極めて複合的であり、空間的、時間的なスケールも多様な事象を含むものであったことから、その全容を把握ことは容易ではない。WG-Cでは、

- ・持続可能な社会はどういう社会か、その持続可能性はどのように評価するのか、
- ・エネルギー供給の強靱なシステムの構築はどうすれば可能か、
- ・災害廃棄物をどう処理し復興につなげるか、今後に向けての平時の備えはどうあるべきか、

の3点に絞って検討を行った。到底すぐに結論が出る課題ではないが、40近い学会が集まった「横幹連合」でなければできない科学技術の展開を今後とも継続することが必要である。WG-Cの活動は横幹連合・調査研究活動に引き継がれる予定である。会員学会諸兄の参加を期待したい。

なお、今回の検討においては、環境やエネルギーを専門分野とする学会が会員として参加していないこともあり、この分野で活動されている専門家を外部からお招きしてご意見を頂くこととなった。今回の検討に参加頂いた原澤英夫国立環境研究所社会環境システム研究センター長ならびに大迫政弘国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター長には記して謝意を表したい。また、検討に参加頂いた会員学会メンバーである滑川徹慶応義塾大学理工学部准教授にも感謝の意を表する。今後、横幹連合会員を増やすとともに、横幹連合会員以外の学会との連携を強化することが横幹連合の新たな展開を考えるうえでも必要であろう。

参考文献

- [1] 安岡善文: 横幹的視点からの環境問題へのアプローチ, 横幹, Vol.2, No.1, pp. 28-31, 2008.

- [2] 森田恒幸, 川島康子: 「持続可能な発展論」の現状と課題, 三田学会雑誌, Vol.85, No.4, 1993.
[3] 田崎智宏他: 持続可能な発展の指標の策定状況と長期ビジョン・シナリオ研究における利用可能性, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 269-276, 2007.

安岡 善文



1947年10月生まれ。1970年東京大学工学部計数工学科卒業, 1975年東京大学大学院博士課程修了(計数工学専攻, 工学博士)。同年環境庁国立公害研究所(現国立環境研究所)入所, 環境情報部, 総合解析部等を経て, 1996年より地球環境研究センター総括研究管理官。1998年より東京大学生産技術研究所教授。2007年より独立行政法人国立環境研究所理事, 東京大学名誉教授。2011年より科学技術振興機構研究主幹およびフェロー, 情報・システム研究機構監事。日本リモートセンシング学会等の会員。2002-2004年日本リモートセンシング学会会長。
