

環境システムにおける地球環境・温暖化研究

Studies on global environmental problems and global warming issues in Environmental Systems Research

高橋 潔¹

Kiyoshi Takahashi

ABSTRACT: Since the end of 1980s, many research activities on global environmental problems and global warming issues have been presented at the annual workshop of Environmental Systems Research (ESR). These activities cover very broad area of researches such as assessments of climate change impacts at various spatial levels, projection of future GHGs emission in Japan, life cycle assessments of urban energy use. ESR has a potential to take a leadership to integrate those various knowledge and propose policies for climate change. ESR is expected to have following features in order to contribute to the solution of global environmental problems:

- (1) To backup and activate cooperation for integrating knowledge from various research fields, and take a roll of research support unit such as a database management.
- (2) To make a concrete effort to promote, evaluate, and disseminate policy-related researches. Special sessions at the annual workshop which focuses current important policy issues will be effective.
- (3) To introduce research activities and findings to world-wide communities for global environmental research and policymaking.

KEYWORD: Environmental Systems Research, Climate change, Global environmental problems

1 地球環境研究の全体像

1970年代より地球環境の変化が顕在化し、将来の環境悪化が予測されるようになった。米国や欧州が先頭となって地球環境問題について総合的研究を開始したのは1980年代に入ってからである。日本では1990年に科学技術会議が地球科学技術に関する研究開発基本計画を策定し、同年環境庁は国連環境計画(UNEP)のあげる地球環境問題分野に分け、省庁横断的な地球環境研究総合推進計画による研究を開始した。

地球環境研究は、多岐にわたる地球環境保全のための国際／各国政策からの要請により進められるものであり、従来の科学技術開発とは異なる概念や遂行の仕組みの必要性は以前より指摘されてきた。問題の発見から解決まで総合したかたちで多分野の個別研究が有機的に連結される必要がある。具体的には、モニタリングによる状況認識、情報集中による状況判断、プロセス研究の結果を活用したモデルによる環境状況予測、問題解決のための技術開発および政策手段の検討、地域社会から国際社会にいたる合意形成機構の構築、そしてそれらを総合した持続可能な発展の道筋の提示といった一連の流れで構成される(西岡,1999)。表1はこの一連の流れについて、温暖化問題を例にあげて簡単にまとめたものである。問題解決に向けた知見の総合は、一研究者、一研究プロジェクトによりなせる規模のものではなく、IGBP/IHDP/WCRPといった国際協力研究計画にその役割をゆだねることとなる。

一方、「環境システム」の定義はいまだ十分に明らかではないものの、時代時代に注目された環境問題の

¹ 環境庁国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies, Environment Agency

表1 地球環境問題の解決のためのステップと
地球温暖化問題での具体例

地球環境問題の解決に向けた一連のステップ	温暖化での例
モニタリング 状況認識	大気中GHG濃度の測定 気候モニタリング 温暖化影響の検出
情報集中・状況判断	データベース構築 気候トレンド解析
プロセス研究に基づくモデリング・状況予測	影響評価モデル 気候予測モデル
政策手段の検討 問題解決のための技術開発	排出削減のコスト評価 影響への適応策の評価 削減技術開発
合意形成 機構構築	住民参加の仕組み作り 自治体による対策の検討 条約の締結

性質の変化に沿って「環境システム」の概念が拡張する過程をたどることが可能である（土木学会環境システム委員会,1998）。1960年代には、システム工学的手法を比較的単純な個別的環境の問題に適用し対策代替案の中から最適解を見つける、という限定された概念から出発したが、1980年代には人間社会の複雑多様化を総合的に取り扱う必要性から、問題の持つ不確実性を扱うための概念的・手法的な拡張が進んだ。さらに現在では、多様な主体の参加による合意形成手法や、個人や集団の複雑な価値判断などをも取り入れた、従来に比べてさらに大きくかつ柔軟な問題へのアプローチまでその範疇に取り入れつつある。このような概念拡張の変遷は時々の環境問題の構造とその解決への要請からくるものであると考えることが出来るが、特に最近の「環境システム」の概念・アプローチの拡張は、急速に深刻さを認識され始めた地球環境問題によるところが大きいと考えられる。そのような高次の概念を扱うための手法は開発途上であるが、「環境システム」は前に述べた地球環境研究の一連の流れの総合化に寄与できる潜在性を持つことを期待されている。

そのような観点から、本発表ではまず 1980 年代末以降環境システム研究論文発表会での地球環境問題、特に温暖化に関連した研究発表を整理し、包括的な環境問題への取り組みを目指す環境システムの中での位置付けを把握する。次に、温暖化分野で今後重点的な研究が求められる研究課題を紹介し、環境システム研究の貢献の可能性について検討する。さらに、問題の解決を目指す知見の総合化の観点から、環境システム研究が果たすべき役割について考察するものである。

2 「環境システム研究」で過去 10 年に取り扱われてきた地球環境・温暖化研究

環境システム研究では、1990 年頃より地球環境問題を明示的に主題として取り上げた研究発表、もしくは気候変動との関わりが強い地域レベルの問題・対策に関する研究発表がなされてきた。図 1 は、縦軸に空間スケール、横軸に表 1 に示した総合的な地球環境研究でのステップをとり、地球環境問題関連の研究発表を位置付けしたものである。空間スケールが大きくなるにつれ、政策デザイン、技術開発といった具体的な対策提案の研究が少なくなる傾向がある。世界規模での情報整備（データベース）の不足・状況予測（モデル研究）の不確実性の大きさのために、現実的・具体的な対策の提案が困難である現状を示している。対して、従来から環境システム分野で多く取り扱われてきた LCA 手法を用いた企業・自治体レベルのエネルギー利用分析（例えば加藤ら,1996 等）、ヒートアイランド問題を直接の問題対象とした都市域熱環境の研究（浦野ら,1998 等）は、様々な対象をとりあげて精力的に行われている。国内の温室効果ガス排出量については、詳細なエネルギー利用技術データベースに基づきエネルギーのエンドユース利用を積み上げる方法でモデル推計が行われ、京都議定書での各国削減率決定に向けた日本政府の対応を議論する過程においてひとつの根拠とされた（松岡ら,1997）。温暖化による影響の研究は、国スケール～地球全域スケールを対象としてプロ

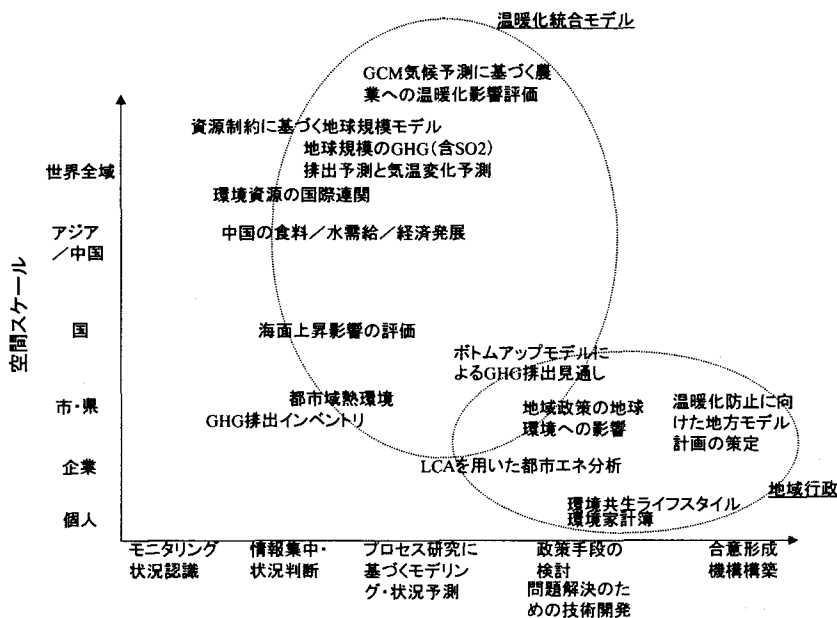


図1 過去10年の「環境システム研究」での地球温暖化関連発表

セス研究に基づくモデリングによる影響評価が、海面上昇（三村ら,1991）、河川流量に代表される水資源（廬ら,1998）、農業（高橋ら,1997）を対象として取り扱われてきた。政策検討や対策実施・市民啓蒙を見据えた発表も、個人スケール～国スケールについて行われている（例えば鈴木ら,1991;城戸ら,1998）。また、温暖化に限定しない地球環境問題と持続可能な開発に関する研究として、環境・資源制約下での成長経路に関する地球規模での動学的最適化モデルを用いた分析が行われた（井村,1990等）。途上国、特に中国を対象とした経済発展、食料需給、水資源に関する分析と将来予測も様々な側面から行われてきた（井村,1997;増井ら,1993等）。

前節でも触れたように、各研究課題は問題認識から対策・合意形成までの一連の流れの中で、それぞれの知見がいかに必要とされているのか、たえず意識したものである必要がある。環境システムで発表されてきた温暖化研究は、個別に見た場合、IPCCに代表される国際的な研究協力などの枠組みを通じて問題解決への貢献を行ってきたものも多くあるが、残念ながら環境システム研究という受け皿がそれら研究に有機的なつながりを与えたり、国際的な研究コミュニティへの知見の提供を通じての貢献などの積極的な役割を担ったとはいえない。図1であげた個々の温暖化関連研究課題は、研究プロジェクトとして一斉に推進されたものではなく、どちらかという、環境システムの枠を利用した知見の総合化や研究協力の可能性を探るべく、各研究者が自発的に研究を実施し成果を紹介し様子を見ている萌芽の段階であるともいえる。

3 温暖化問題で今後重点的な研究が望まれる分野と環境システム研究の貢献

国立環境研究所では、地球環境研究の各課題について研究プロジェクトの責任者が分野別の研究展望検討委員会での議論を元にして今後の研究方向を展望した報告書を作成した。同報告書では、国際的な要請や科学的知見の現状を踏まえた上で、今後重点的な推進を期待される研究課題が具体的に提示されている。表2は、温暖化の影響評価と対策の分野における今後の重点研究課題をまとめ、前節でふれた研究発表の傾向か

表2 影響評価と削減対策について今後重点的に推進すべき研究課題

影響評価	削減対策
影響プロセスの解明 影響評価モデルの基礎データとなる実験研究、現地調査等 温暖化の影響検出指標やモニタリングのあり方	実践的・実効的な対策の提案 個別の具体的な削減対策の検討 削減対策とその他環境問題対策との複合政策の検討 より精度の高い削減対策コスト推定 技術革新に関する議論 世代間の公平性を考慮した政策検討 温暖化対策の副次効果を勘案した政策決定 不確実性を前提とした研究の展開 科学と政策をつなぐプラットフォームとしての統合評価モデル
一次影響の見積もり 最新の気候シナリオ、地域気候シナリオを用いた影響評価 植物・動物も含む生態系全体への影響評価 異常気象による影響との複合評価 温暖化と他の環境要因の複合影響評価 GHGシンクやソースに与える影響の評価	従来研究が遅れていた対策の領域 土地利用に関する対策 バイオマスエネルギー リサイクルによるGHG削減 CO2以外のGHG削減対策 ライフスタイル変更や産業転換によるGHG削減 途上国における対策
経済性／適応策／複合対策 温暖化の社会・経済への高次影響の評価 温暖化影響に対する対策技術の経済性の評価 世界経済・貿易を考慮した影響研究 温暖化と都市ヒートアイランドの総合評価 不確実性を考慮した影響評価	
影響評価・削減対策のリンク 統合評価モデルの開発 適応策と削減対策の比較・複合評価	

ら判断して環境システムの貢献が可能と思われる課題について下線をつけたものである（原沢,2000;森田,2000）。

特に、影響については、社会・経済面を考慮した研究、温暖化と都市ヒートアイランド現象の総合評価、適応対策の費用効果分析、不確実性の取扱いに関する研究などが、環境システムがこれまでに培ってきた研究キャパシティーを有効に活用できる課題といえる。経済面を考慮した影響評価は、ここ十数年で得られてきた農作物生産性変化や河川流量変化などに代表される一次的な影響に関する知見を前提として、その上に立つ形で行われる高次の影響評価であるため、従来の知見の整理・データベース化の重要度は高い。また、統合評価モデルに代表されるように、従来は異なる分野として取り扱われてきた研究課題のリンクの必要は高まる一方であり、研究者交流、情報・データの集積と公開がますます必要とされていく必要がある。例えば、影響のモデル研究を推進する際に、その入力データとして GCM（大循環モデル）による将来気候シナリオや地域気候モデルによる高空間解像度の気候シナリオを利用する必要があるが、そのデータは気候モデル研究のコミュニティにより提供されるものであり、またその利用に際しては各気候モデルの特徴に関する十分な付随情報の提供を要する。従来それが制約となり影響研究の推進の障害になることがあったが、今日では IPCC 内に「影響評価のためのシナリオ開発に関するタスクグループ（TG CIA）」が設立され、気候モデル研究者と影響モデル研究者間のデータ交換、情報交換の環境は比較的良くなって来ている。国内レベルの研究においても、異なる分野間の情報交換を促進する組織作りやデータベース開発により同様のメリットを期待することが可能であり、広い観点から地球環境問題解決に取り組んでいる環境システム研究としては、そのために先導的な役割を担うことが可能であろう。また対策については、1997年12月の京都議定書の合意を受け、具体的な排出削減オプションの検討と評価が急務であり、LCAによる環境インパクト評価やエネルギーエンドユースモデルによる削減オプションの総合的評価の分野で、従来に引き続き貢献が期待されている。また、長期的な温暖化対策の鍵を握るのはまぎれもなくアジアを中心とした途上国であり、その地域研究の重要性が今後さらに増していくと考えられる。

4 温暖化問題の解決のために機能する研究発表の場としての環境システム研究

ここまで示したように、環境システム研究では温暖化問題に関連した研究を幅広く取り扱ってきており、

今後の貢献が期待される研究課題も少なくない。しかしながら、問題の解決に向けた一連の手順を包括的に取り扱い、まとまった技術・政策を環境システム研究の枠の中だけで提案していくことは困難であると考えられる。ここでは、環境システム研究が問題解決にむけて機能する研究発表の場であるために必要な仕組みについて筆者の意見をまとめる。

各研究の知見が地球環境問題の解決のための一連の手順に組みこまれ、社会に反映されるためには、(1) 現実の政策展開との密接な連携を持ち、政策決定に際して問われる具体的な問いに答えていくこと、及び(2) 国際的な研究計画や知見のレビュー作業へ貢献していくことが、近道ではないかと感じられる。もちろん政策により推進される技術の範疇にはおさまりきらない画期的な新技術の開発も重要であるし、また環境NGO等が将来の深刻な影響を世界規模で推計し、その結果を独自に広報することで環境問題に対する問題意識を効果的に向上させる例も多く存在する。しかしながら多分に不確実な対象を取扱いつつ、その知見を具体的な問題解決に結びつけ、かつ学問としての質を確保するためには、政策と連携し、かつ国際的にその研究内容が議論される研究課題への投資が有効であろう。

(1)について、国立の試験研究機関における研究はその本来の性質上、関係省庁の政策と密接に関連した課題が内部的にも外部的にも比較的評価されやすく、その研究成果が政策に反映される機会も多いが、大学や民間の研究機関による研究成果が政策に反映されるためには省庁や地方自治体と直接のやりとりが必要になるざるをえない場合が多く、それが有用な知見の政策反映への障壁ともなりうる。その際に専門学会を通じた研究の議論と知見の集約、政策決定機関への情報提供が有効となるが、地道な改良と多様な将来シナリオでの試算の繰り返し、さらにはその推計結果の比較研究などが必要であるモデルシミュレーションや、ライフスタイル分析・市民啓蒙の方法検討などの政策対応直結的な研究は、いまだ従来からの自然科学分野の研究コミュニティにおいては十分な評価を受けない場合も多い。環境システム研究はそのような研究の必要性を重視し、受け入れる土壌を持っており、積極的に各学問的知見を政策決定機関へと受け渡す役割を担うべきであると考ええる。具体的には、研究発表会での政策提案セッションの重点化と、その成果を定期的に政策決定者に伝達していく仕組みの構築が必要である。現在環境システム研究論文発表会のセッションは、投稿された論文をテーマや手法別に分類することでボトムアップ的に決定されているが、政策提案を目的としたプロブレムオリエンテッドな研究対象については、そのやり方は適当ではない場合もある。例えば、毎年研究発表会の最後に討論の場を設け、次年度の研究発表会で重点セッションを設ける研究テーマ、解決しておくべき問題点、そのセッションの成果は誰を対象として広報されるか、を公開の場で具体的に決定して、研究論文の応募呼びかけを行うのは一つの方法かもしれない。

また(2)についても同様のことがいえる。よほど先進的な研究成果を個人ベースで生産しつづけることが可能であるならば、その知見を直接国際的な学術雑誌や研究計画に紹介することも可能であるが、実際にはこの分野で研究を引っ張っていつているのは良くも悪くも米国・欧州であることは否めず、またその欧米においてさえ国際的な議論の場に研究成果を発表する際には、国内での意見交換・比較研究などを行う手順を踏むことが多い。世界的な研究活動の動向の把握、研究成果の議論・比較研究、知見の国際研究計画への押し上げ、などの機能を持った仕組みが必要であるが、この点についても環境システム研究としてその先導的な役割を担う余地があると思える。幸い、環境システム研究にこれまで携わってこられた方々の中には、地球環境問題の解決に向けた国際研究計画に参加されている研究者が多く含まれており、そのような仕組みを作り上げていく際には大きなプラス材料であろう。

5 おわりに

本レビューを踏まえ、地球環境問題に関連した研究の推進の観点から、今後の「環境システム研究」に期待することを簡単にまとめる。

(1) 複数分野にまたがる研究の推進・総合化のための研究協力をバックアップし、データ共有・研究情報

整備などの研究支援の役割を積極的に果たすこと。

- (2) 政策対応の研究を率先して推進、評価、広報していくための具体的な取り組みを行うこと。例えば政策対応研究の焦点を絞った研究発表セッションを確立する。
- (3) 研究成果の国際的な研究コミュニティへの発信。

温暖化研究は初期の研究フェーズを終え、焦点を絞るべき対象の絞込みが行われ、その分野への研究資源集中により具体的な解決策を探ることが求められている。同時に、従来の知見の総合化による問題の把握と適切な対策の検討の必要性もある。また政策の展開に応じて、従来にはあまり注視されなかった分野の研究推進の必要性も分かってきている。この複雑な現状に対して研究者集団として具体的にどのように対応していくかを検討し実践していくことは、温暖化のみならず、今後の地球環境問題の解決に将来的に貢献できる研究コミュニティとしての体力をつけるためにも必要なことであり、今後より議論を深めていく必要がある。

引用文献

- 井村秀文 (1990): 環境・資源制約下における最適成長経路に関する研究 -地球環境問題と持続可能な開発をめぐる、環境システム研究 18, pp. 66-73.
- 井村秀文 (1997): 「アジア新発展パターン」実現に向けた研究課題と展望, 環境システム研究 25, pp. 541-547.
- 加藤博和・林良嗣・登秀樹 (1996): 道路構造代替案の地球環境負荷に関するライフサイクル的評価手法, 環境システム研究 24, 282-293.
- 城戸由能・細井由彦・高島恵美子 (1998): 環境家計簿を用いた市民生活起源の CO₂ 排出抑制効果, 環境システム研究 26, pp. 543-548.
- 鈴木克徳・田代裕信 (1991): 地球温暖化防止に向けた地方モデル計画の策定について, 環境システム研究 19
- 高橋潔・松岡譲・原沢英夫 (1997): 二酸化炭素肥化効果を考慮した気候変動による穀物影響評価, 環境システム研究 25, pp. 121-131.
- 土木学会環境システム委員会 (1998): 環境システム -その理念と基礎手法-, 共立出版
- 西岡秀三 (2000): 地球環境研究の全体図, 新しい地球環境学(西岡秀三編) 第1章, 古今書院
- 原沢英夫 (2000): 地球温暖化の影響予測評価に向けて, 新しい地球環境学(西岡秀三編) 第4章, 古今書院
- 藤野毅・浅枝隆 (1998): 複雑地形が都市熱環境に及ぼす影響について -琵琶湖周辺部における解析-, 環境システム研究 26, pp. 477-482
- 増井利彦・盛岡通・城戸由能 (1993): 人口増加と食料供給からみた開発途上国の環境と開発に関する研究, 環境システム研究 21, pp. 66-71.
- 松岡譲・森田恒幸 (1997): わが国の二酸化炭素排出量削減の可能性について, 環境システム研究 25, pp. 133-142.
- 三村信男・細川恭史・磯部雅彦 (1991): 海面上昇・地球温暖化の沿岸域への影響の諸相と影響評価の枠組み, 環境システム研究 19
- 森田恒幸 (2000): 温暖化防止に向けてどう知恵を統合するか, 新しい地球環境学(西岡秀三編) 第5章, 古今書院
- 盧顕當・原沢英夫・高橋潔・松岡譲 (1998): 河川流量の気候変動影響評価のための潜在可能蒸発散算定手法, 環境システム研究 26, pp. 357-362.