

# 温暖化影響予測研究の新展開

独立行政法人 国立環境研究所 地球環境研究センター  
温暖化リスク評価研究室 主任研究員 高橋 潔

## 1. はじめに

本年12月の第15回気候変動枠組み条約締約国会議(COP15・コペンハーゲン)に向けて、京都議定書の第一約束期間(2008年~2012年)以降の国際枠組みに関する議論が活発化している。メディアでも頻繁に取り上げられ、国民の温暖化問題への注目も過去になく高まっているようである。想像に難くないと思われるが、温暖化問題の解決に向けては、実に多様な側面からの検討・取組みが求められる。そのうち本稿では、影響予測研究に焦点を絞り、その新たな研究課題について紹介する。

温暖化対策は、大きくは緩和策(排出削減策)と適応策に分類出来る。影響予測の役割は、これら二つの対策に対してやや異なるものとなる。緩和策検討に際して、影響予測の主たる役割は、削減の取組みを行わずに温室効果ガスを出し続けた場合に生ずる影響、並びになんらかの削減努力を達成し得た場合の影響の軽減量を示し、目指すべき排出削減水準についての判断材料を提供することである。一方、適応策検討に際しての影響予測の主たる役割は、適応を要する地域・分野の特定や、各適応策の費用便益性の検討(適応にかかる費用と適応により回避出来る影響量の比較)に資する情報を示すことである。

2007年にIPCC第4次評価報告書(IPCC-AR4)が発表され、同時点までの科学的知見がとりまとめられた。影響予測研究に関しては、過去の報告書に比べて適応策検討の支援を志向した研究の知見も増えつつあるが、依然として緩和水準について判断材料を提供する研究に大きな注目が当てられた。気温上昇量に応じて水や生態系などの各セクターで生ずる影響をまとめた表(IPCC,2007)は、IPCC-AR4の主成果の一つである。

しかし、温暖化及びその影響が既に各所で顕在化しつつあるとの認識が高まるにつれ、適応策に対する注目が高まってきており、いつ、どこで、誰が、どんな適応策を実施することが必要か、その実施を促すために必要な政策はどのようなものか、といったことが、政府、自治体、企業等の様々なレベルで検討されはじめている。それを受け、2014年に予定されているIPCC第5次評価報告書(IPCC-AR5)への貢献を目指した影響予測研究の取組みも、適応策検討支援を視野に入れたものが増えつつある。

以下では、特にIPCC-AR5を目指した国内外の影響

予測研究において取り組まれている課題について紹介する(図-1)。第2章では影響予測手法の高度化について示し、次に第3章では影響予測の外の研究コミュニティとの連携を通じた研究の新展開について触れる。

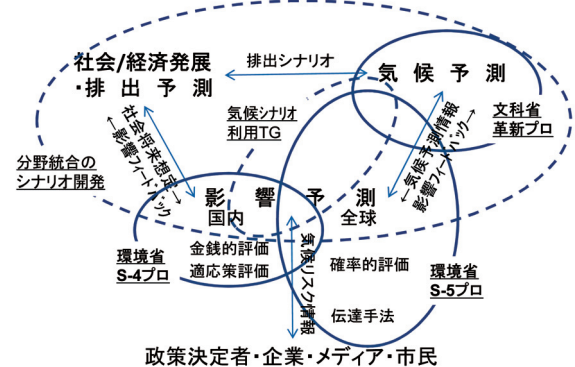


図-1 影響予測研究の課題と研究連携

## 2. 影響予測手法の高度化

### 2.1. 予測手法の相互比較

適応策の具体的検討が緊急課題となるにつれ、影響評価モデルの精度検証・向上の重要性が増してきている。言いかえると、影響予測研究の役割が、「このまま温暖化すると様々な地域・部門で深刻な影響が生じるから、各国が協力して大幅な排出削減に取り組まねばなりませんよ」という主張の下支えからさらに踏み込み、「どの地域でいつ頃にどんな適応策を取る必要があるのか」という検討の支援に重心が移り、影響予測手法の高度化(空間詳細化・精度の向上など)が求められるようになってきているということである。

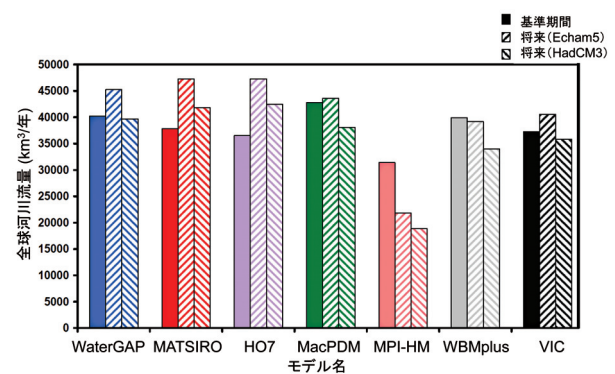


図-2 全球水文モデルの比較評価 (Voβ et al. (2008) に基づき作成)

評価手法高度化への取組みの一つに、影響評価モデルの相互比較研究がある。例えば、図-2はEU-WATCHプロジェクトで実施された、七つの全球水文モデルによる全球河川流量予測の比較である (Voβ et al., 2008)。同活動には、日本からも東京大学生産技術研究所や国立環境研究所が開発する二つの水文モデルが参加している。この種のモデル比較評価は気候モデルに関しては近年精力的に行われ、それが気候モデルの性能向上を後押ししてきたが、影響予測手法については不足しており、水資源のみならず農業をはじめその他の部門についても至急の取組みが期待されている。

## 2.2. 非気候因子の現実的将来想定

初期の影響予測研究では、気温・降水量等の気候因子のみ将来変化を考慮し、その他の非気候因子については現状維持を想定する 경우가多かった。しかし、人口・経済規模をはじめとした社会的条件が気候以上に支配的な問題も多く、現実的な政策支援のためには、整合的な気候・非気候シナリオを用いた評価が必要との認識が広がり、多くの研究がそれに対応しつつある。

沿岸洪水を例に挙げると、仮に将来に気候変化・海面上昇が全く生じないと想定しても、沿岸域への人口や資産の集中が進めば脆弱性は高まるし、一方で沿岸の防護水準が上昇すれば脆弱性は小さくなる。現実的な政策検討のためには、気候条件の変化に加えてこれらの非気候因子の将来変化についても現実的に取り扱うことが求められる。

これは、現場において適応策を実践する場合に、経済・開発・保健・教育等に関する既定の政策や計画とは別に新たに温暖化適応の政策を作るのではなく、既定の政策・計画の中で気候リスクを見直し、必要に応じて追加の適応策を既定の政策・計画に折り込んでいく「メインストリーミング」の考え方にも整合するものである。

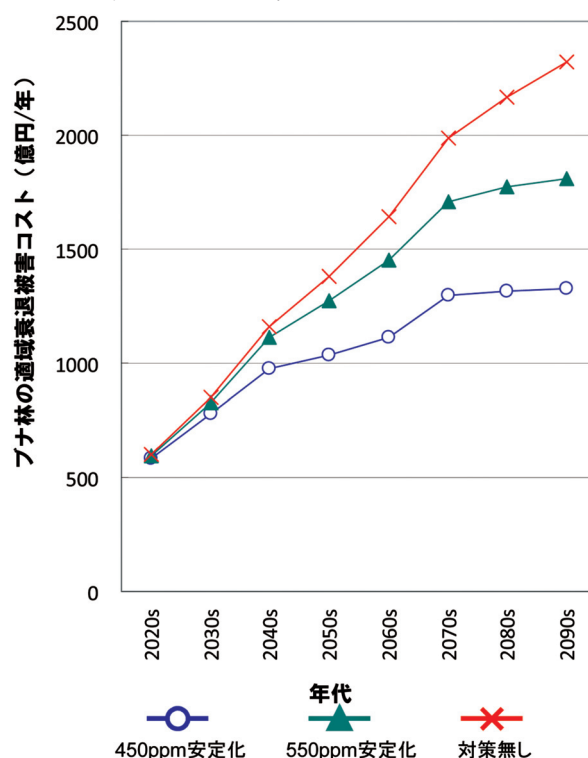
なお、IPCC-AR5に向けた国際的動向としては、影響予測研究を支援すべく、社会経済・排出・気候の整合的シナリオの開発が進められている。これについては、3.3節で再度触れる。

## 2.3. 影響の金銭的評価

地域的な適応策の費用便益分析のためにも、また全球的な緩和に要する費用とそれによる影響軽減の比較を行う場合にも、温暖化影響の金銭的評価が必要となる。しかし実際には、分野毎に異なる物理的指標での影響評価にとどまる場合が多く、その金銭換算のための手法・係数へのニーズは大きい。また、

人命損失が典型的であるが、金銭評価に馴染まない影響も数多く存在する。その種の影響も含めた総合評価のための金銭以外の指標の開発も必要である。

国内の研究例としては、環境省地球環境研究総合推進費戦略研究課題「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」(環境省S4プロ,2005-2009年)の中で、影響の金銭的評価が試みられており、洪水、土砂災害、砂浜縮小、熱中症死亡、ブナ林適域減少などの温暖化影響に関して金銭的評価が実施された。環境省S4プロでは、2009年5月に金銭的評価に注目した予測結果を公表した(温暖化影響総合予測プロジェクトチーム,2009)。図-3にブナ林の適域衰退被害コストの評価結果を例示する。今後、さらに包括的な評価が求められる。



ブナ林の生物多様性維持機能に焦点を当て、仮想市場評価法によりその環境経済価値を計測。さらに、3種の将来排出シナリオ (GHG450ppm安定化、GHG550ppm安定化、対策無し) についてブナ林適域の減少予測を実施し、環境経済価値と適域減少予測をかけあわせ、適域衰退被害コストを算出した。温暖化の進行に伴いブナ林の適域衰退被害コストも増加する。最も厳しい安定化レベル (GHG450ppm安定化) の場合には被害コストの増加に歯止めがかかるが、それでも大きな損失は免れないと見込まれる。

図-3 ブナ林適域衰退被害コスト (温暖化影響総合予測プロジェクトチーム (2009) に基づき作成)

## 2.4. 適応策評価

対策をとらない場合の潜在的影響を示すだけでなく、その影響を軽減するための適応策の検討に資する研究へのニーズが高まりつつある。各種適応策の

実施を仮定したうえでなお残る影響を見積もる研究や、適応策による影響軽減量と適応策の費用を比較する費用便益分析など、様々なアプローチが見られる。

国内影響については、IPCC-AR4の知見や環境省S4プロの研究成果を基礎に、現時点での科学的知見の包括的整理が環境省地球温暖化影響・適応研究委員会において実施され、2008年6月に報告書が公表された（環境省地球温暖化影響・適応研究委員会,2008）。

適応策評価に関しては、地域詳細な将来気候予測を要することや、各適応策の費用、効果、制約などに関する知見の蓄積が十分でないことなどから、今後に集中的な研究投資が求められる分野である。

## 2.5. 予測不確実性の表現

影響予測手法自身にも、また影響予測時に想定する気候条件や社会条件にも、不確実性が含まれる。それゆえ、ある特定の想定条件下である特定の影響モデルを用いて得られた影響予測結果を、将来に必ず生ずる影響と見なして対策検討することには問題がある。一方、不確実性を理由に、現時点での影響研究の知見がなんら緩和・適応の対策検討に反映されないことにもまた問題がある。

リスクをいかに伝達するか（3.2節）は影響予測研究の重要課題だが、具体的取組みの一つとして、確率密度分布を用いた影響予測結果の表現を試みる研究も現れつつある。例えば筆者らは、農作物生産性評価の手法を改良・応用し、気候予測情報の不確実性を確率的に取り扱った農業影響の評価に取り組んでいる。（Masutomi *et al.*,2008）

政策支援を目的とした影響予測研究の発展を考えた場合、気候予測に関わる不確実性と同等もしくはそれ以上に、影響評価モデル自体の不確実性、将来の社会経済状況や排出量見通しの不確実性などにも注意を払う必要がある。政策に関わる意思決定プロセスの改善のためには、科学研究の深化により各要素の不確実性の減少に取り組むとともに、広範な関連要素のうちなるべく多くについて、その不確実性の把握・管理を目指す必要がある。

## 3. 他研究分野との連携強化

### 3.1. 気候予測研究との連携強化

影響予測の精度は気候予測情報の精度に本質的に依存する。気候予測情報の空間・時間解像度の向上や観測気候の再現性向上に足並みを揃え、影響予測手法を改善していく必要がある。特に、豪雨・異常少雨・熱波・台風といった極端現象に関しては、影

響の大小に直接作用するにも関わらず、予測不確実性は大きく、更なる改善が待たれる。また、複数の気候モデルによる予測情報をどう使うか、気候予測情報のバイアスをどう除去するか、空間的なダウンスケーリングをどう行うか、といった気候予測情報の利用手法についても、検討・改良の余地がある。

これらの改良のためには、気候予測研究と影響予測研究の連携強化が求められる。国内でも研究コミュニティを横断した取り組みが新たに始められつつある。例えば、環境省地球環境研究総合推進費戦略課題「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」（環境省S5プロ:2007-2011年）では、気候研究者が気候予測情報の信頼性を定量的に評価し、それを受けて影響研究者が不確実性を明に考慮した影響評価を実施することを主課題の一つとして掲げ、取り組んでいる。環境省S5プロでは、複数の気候モデル（例えばIPCC-AR4で評価された世界の気候モデル）の性能を、様々な現象について観測データをもとに検証し、その結果に基づいて、モデルの性能（現在の気候、過去の気候変動の再現性）と予測の信頼性（将来予測の確からしさ）を結びつける「信頼性評価指標」を提示する研究も実施されている。また、GCMによる全球気候予測と地域的影響研究をつなぐ気候予測情報の地域化に関しても、複数の地域気候モデル及び統計的ダウンスケーリング手法の比較評価をふまえた、不確実性を考慮した日本および周辺域の地域的予測情報の提供が行われる。

また、複数研究プロジェクトを跨いだ大きな連携も開始された。文部科学省による共生プロが2002～2006年に実施され、その中で各種の気候モデル実験が行われ、IPCC-AR4に対して大きく貢献した。IPCC-AR5への更なる貢献を目指し、共生プロ後継の位置づけで、文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム」（文科省革新プロ:2007-2011年）が実施されている。文科省革新プロの気候モデル研究が出力する気候変化予測情報の影響研究での利用推進に関する調整、並びに気候シナリオ利用手法に関する情報共有を主たる目的として、気候シナリオ利用タスクグループ（気候シナリオTG）が2008年5月に設置された。気候シナリオTGは、文科省革新プロならびに環境省S5プロの研究活動の一環として位置づけられ、両研究プロジェクト及び国内影響評価を課題とする環境省S4プロの参画者により構成されており、革新プロ出力の授受に関する研究コミュニティ間の調整、革新プロ出力を含む気候予測情報およびその利用技法（気候シナリオ開発手法）に関する情報の集積・配信、気候シナリオに関連した国際動向のフ

フォロー、文科省革新プロ・環境省S4/S5プロ合同の影響研究発表会の企画・実施、といったことをその役割としている。新世代の気候予測情報がいち早く国内の影響研究者に普及するだけでなく、影響予測の視点から気候モデルの保存変数について意見を伝えることで、影響予測の高度化に役立つ形で気候モデル研究が進められることが期待されている。

### 3.2. 影響予測情報の伝達

国民に利用可能な温暖化の将来予測情報は、現時点では断片的な数値や抽象的なイメージに留まっている。その背景には、予測の信頼性が明らかでないこと、予測の具体的な帰結が明らかでないこと、予測の空間的な詳細性が不十分であること、予測の社会経済情報との統合が不十分であることといった、いくつかの克服すべき課題の存在がある。加えて、実感しやすい形で温暖化の予測情報を伝達するための方法論が未成熟であることもその一因としてある。環境省S5プロでは、予測の信頼性評価や空間詳細化などを通じて課題克服に取り組むとともに、人文社会分野の研究者と協力し、予測情報の市民や企業への伝達の方法論に関する研究にも取り組みつつある。

具体的には、温暖化問題を取り扱うメディア関係者との定期的な意見交換会の実施によるリスク伝達に関する理解の向上、市民との双方向型シンポジウムによる市民のリスク情報の受け取り方の理解の促進、企業とのコミュニケーション（研究会）を通じた気候リスク情報ニーズの把握などを通じて、実感しやすい形で温暖化予測情報の伝達について取り組んでいる。

### 3.3. 分野を統合したシナリオの開発

影響予測研究と他研究コミュニティの連携拡大に関連した国際的な動きの一つに、IPCC-AR5に向けて進められている将来シナリオの開発がある。過去約10年に渡り温暖化研究の共通前提として用いられてきた社会経済と温室効果ガス排出の将来想定（SRESシナリオ）は、地域区分の粗さ、想定の実態との乖離等、最新研究での利用には不十分となってきている。IPCC-AR5に集約される研究に資するよう、将来の社会・気候・自然の予測をするための統一的前提となる将来シナリオ（新シナリオ）の開発が進められつつある。新シナリオ開発プロセスにおいては、気候・影響・排出の各研究コミュニティが連携してシナリオの仕様検討・開発分担を行っており、最終的には気候・影響・排出の間で一貫性が維持された統合的シナリオの提示が期待されている。

## 4. おわりに

本稿では、温暖化影響予測の最新の取組みを紹介し、研究コミュニティの連携拡大を伴いつつ影響予測手法の精度向上やリスク情報の伝達の改善が目指されていることを示した。

温暖化影響予測に関しては、本稿で紹介したような評価手法の開発・改良といった研究的な取組みと同時に、既存手法を利用して各地域・分野の影響を一つ一つ把握して適応策を検討するような事業的な取組みを速やかに進めることも同時に必要な状況にある。しかし、人的・財政的な資源の制約もあって研究的取組みと事業的取組みを両立することは、多くの研究機関にとって決して容易なことではない。限られた研究資源の有効な活用を図るべく、政策・研究体制における省庁間の縦割りなどを極力廃し、効率的に問題解決に向けて取り組んでいく必要があるだろう。

### 引用文献

IPCC (2007): Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press

Voß, F., Alcamo, J., Arnell, N., Haddeland, I., Hagemann, S., Lammers, R., Oki, T., Hanasaki, N., Kim, H. (2008): First results from intercomparison of surface water availability modules. WATCH Technical Report No.1

温暖化影響総合予測プロジェクトチーム (2009): 地球温暖化「日本への影響」- 長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価-

[http://www.nies.go.jp/s4\\_impact/seika.html](http://www.nies.go.jp/s4_impact/seika.html)

環境省地球温暖化影響・適応研究委員会 (2008): 気候変動への賢い適応 - 地球温暖化影響・適応委員会報告書-

[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rc\\_eff-adp/index.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rc_eff-adp/index.html)

Masutomi Y., Takahashi K., Harasawa H., Matsuoka Y. (2009) Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. Agriculture, Ecosystems and Environment, 131, 281-291