

H-5 地球環境リスク管理にかかるコミュニケーションと対策決定過程

(1) 気候変動のリスク・コミュニケーションと対策決定過程

② 気候変動リスク管理手法への適応的アプローチ

独立行政法人国立環境研究所

地球温暖化プロジェクト 炭素吸収源評価研究チーム

山形与志樹

平成 11～13 度合計予算額 3,198千円

(うち、平成 13 年度予算額 0千円)

[要旨] 現時点の地球温暖化のモデル研究では、気候システムの変化や社会的反応の微妙な相互作用を完全にシミュレーションすることは不可能である。社会的、生物学的、物理的プロセスの相互作用によって形成されるこのような複雑系では、予測することのできない気候変動リスク(サプライズ)が発生する可能性がある。また、不確実性やリスクの定量を複雑にしているもう一つの要因は、自然・社会システムがたどる経路によって不確実性の性質が変化することにある。このジレンマから脱却する一つの方法が、適応的なリスク管理レジームの形成による問題への対処である。リスクに関わる多様な情報を総合的に判断するため、過去(バックワードルッキング)と未来(フォワードルッキング)に関する推定モデルを統合的に用いるリスク管理アプローチである。このような適応的リスク管理アプローチにおいては、過去の研究報告や将来予測などから得られた新たな情報によって、リスク管理モデルに付随する現時点での不確実性の評価がコンスタントに更新されていくことになる。この場合のリスク評価は、IPCC における政策決定者向けの科学的知見にとどまらず、最新の自然科学・社会科学・気候観測研究の知見の総合的な分析(に基づいて機動的になされる必要がある。本研究の結果、今後の地球環境リスク管理に向けた適応的なアプローチについての検討が今後の重要な課題であることが判明した。

[キーワード] 温暖化リスク、予防原則、適応的管理、不確実性、オプション

1. はじめに

地球温暖化は、人類が現在直面している最も深刻な環境問題の一つであると考えられる。このような懸念が引き金となって、国際舞台での交渉が始まり、国連地球温暖化防止枠組条約(UNFCCC, 国連 1992 年)の締結に至った。同条約は、「大気中の温室ガス濃度を、人為起源の活動が気候システムを危険に阻害することのないレベルで安定化させる」ことを求めるものである。

しかしながら、常に念頭に置いておかなければならないのは、UNFCCC は決して、「気候システムに対する危険な阻害」を概念として明確には定義してはいないという点である。実際の所、何が「危険」に相当するかを正確に推測するのは不可能である。なぜなら、(a)地球温暖化がもたらすと思われる有害性そのものが、様々な不確実性の上に成り立っており、(b)どのレベルのリスクが「容認」でき、どのレベルのリスクが「有害」であるかは、主観的な価値観によって決まるものだからである。確かに、科学は、予想される地球温暖化とそれに伴う生態学的、社会的影響とを予測することができよう。しかしながら、「何が気候システムに対する危険な阻害に相当するのか」という問題は、

最終的に、政治領域で解決すべきものである。もちろん、その場合には、可能性として考えられる様々な地球温暖化の影響について、最善の科学的知見に基づいた評価を行わなければならない。

地球温暖化に関わる問題のどの側面にも膨大な不確実性が付随しているため、一つの安定化目標を採択し、その目標に向けた最適な排出量達成のための負担を分け合うという、各国共通の地球温暖化防止政策を策定するアプローチは、極めて不完全な分析に立脚したものにならざるを得ない。事実、これらの不確実性があるために、単に「起こり得る可能性の範囲」を決定するだけでも、極めて広い結果予測の選択肢や価値の基準から、考えられ得る影響や結果を分析しなければならない。すなわち、不確実性が実在するため、たとえ最適だと思われる予測分析であっても、単独の方法で確実な結果を得るのは難しい。安定化目標を低く設定し、まずその達成を目指すという選択肢も一つの方法である。その後で、基準におけるコストや利益について、さらに多くのことがわかってくれば、また、各国の政策方向が定まり、より明確に表現されるようになってくれば、暫定的に定めた目標や政策は、いつでも修正することができる。

もちろん、このような修正が更に進められなければならないという印象は、誰もが持っているであろう。そこで、次に挙げる点を考慮した技術オプションが有効となる。

○ 現在一般に可能と考えているよりも、さらに低い CO₂ 濃度を達成する技術オプション

○ 隠されていたリスクが顕在化したときに、マイナス影響に応じて CO₂ を削減する、「気候リスク管理」を考慮に入れた技術オプション

例えば、バイオマス・エネルギーは、燃焼によって生じる炭素の排出量を再吸収することができるため、バイオマス・エネルギーによる CO₂ 排出はおおむねプラスマイナスゼロになる。さらに、工場等からの CO₂ 排出を地中・海中に隔離し固定する CO₂ 隔離・固定技術が開発されつつある。十分な炭素貯蔵能力さえあれば、バイオマス・エネルギーシステムと CO₂ 隔離・固定技術を組み合わせて、半永久的な大規模な CO₂ 吸収源となるバイオマス・エネルギー炭素隔離 (BECS) システムを構築することが可能である。

すなわち、この技術を広範囲にわたって適用することにより、バイオマスを化石燃料の代替エネルギーシステムとして CO₂ の排出を削減し、さらに、連続的に大気から CO₂ を除去することが可能になる。しかしながら炭素隔離によって、すぐに大気中の CO₂ 濃度を減少させることが、今すぐにはできないわけではない。予想される最大除去率は 5 Gton C/yr 程度であり、1850 年から現在までに排出された CO₂ を除去するには、およそ 70 年の歳月がかかることになる。したがって、このような技術が利用可能となったとしても、早急な温暖化対策の必要性が無くなるわけではない。

以下、本稿では、包括的な気候リスク管理をどのように適用していけば、地球温暖化問題に関わる科学的、経済的、政治的な不確実性に効果的に対処していくことができるのかについて、適応的なアプローチの観点からその可能性を考察する。

2. 長期的な地球温暖化リスク管理のレジーム

グローバル化が進み、人間による局所的な自然への干渉が地球規模で無視できないほど蓄積してくるにつれて、地球規模での環境リスクの可能性は次第に深刻となり、人間社会や自然生態系の安定した発展経路を脅かし始めている。しかし国際社会は、主要な地球環境リスクと、その社会的、経済的、生態学的との相互作用についての認識を持ち始めたばかりである。これらの主

要なリスクのうちの一つが、地球規模での地球温暖化である。人為起源による温室効果ガス（GHG）の排出は、グローバルな炭素循環に無視できない攪乱を与え始めている。最新の地球温暖化に関する政府間パネル（IPCC）の第2作業部会報告（2001）によれば、すでに多くの物理的、生物学的システムに有意な影響を及ぼしている。世界各国は、現在、地球規模での地球温暖化問題に対処するための国際的なプロセスの構築に真剣に取り組み始めたところである。

地球温暖化の要因とその影響は、極めて広い範囲にわたる生物地球物理学的プロセスや人為的プロセスと密接に絡み合っており、地球温暖化に適応し、緩和していくための政策の分析を一層複雑なものにしている。しかしながら、京都議定書に対する国際的な合意が政治的に達成され、地球温暖化問題を解決できるのではないかという望みも高まっている。確かに、京都議定書による2010年までの削減目標は、先進諸国の定めた短期政策であり、先進国が先頭に立って、国連地球温暖化防止枠組条約（UNFCCC）に従い、人為活動による排出削減目標をより長期的に修正する意向があることを示すためのものであった。

しかしながら、議定書は、将来的により厳しい長期的な目標を設定し、途上国も交渉の舞台上げるための過渡的なプロセスとしてとらえる必要がある。国際社会全体では、地球規模で良好な気候を持続的に保持していくための、長期的な地球温暖化リスク管理方策について、未だに十分な理解とコンセンサスが得られていないことを認識しなければならない。

3. CO2 安定化戦略がこれまでのコンセンサス

これまでの地球温暖化問題に対処する科学や政治の領域では、大気中の GHG 濃度を危険のない明確なレベルで安定化させる方法が有効な戦略であるというコンセンサスが得られている。とりわけ枠組条約は、「大気中の温室ガス濃度を、人為起源の活動が気候システムを危険に阻害することのないレベルで安定化させること」をその究極の目的としている。しかし、この戦略についてはさらなる検討が必要である。なぜなら、安定化は静的な概念であり、その根底にある気候システムの動的な性質と相反するものだからである。目標レベルでの安定化は、不確実性が極めて高く、非直線的に進行する可能性の高い地球温暖化問題では、確実に頑強な戦略とは言い難い。現時点では、地球温暖化によって起こり得る影響がどの範囲に及び、それに適応する手段や方法があるのかを正確に判断することは不可能である。しかし一方で、これまで国際的な環境問題への取り組みの主流となっている試行錯誤方式では、取り返しのつかない過ちを犯し、許容限度を超える地球温暖化の影響が発現する可能性が存在する。

これらの洞察を踏まえて考えると、地球レベルの大規模災害（ハザード）をできるだけ防止するためには、予防的な手段に重点を置いたリスク管理政策がより重要なものになってくると言えるだろう。安定化の概念では、GHG 濃度が目標レベルに制御できた時には、有意なリスクが発現しないことを前提としている。しかしながら、地球レベルでのさまざまな環境変動リスクとその相互依存性に関する知見は、現状では極めて限られたものである。安定化の概念に沿ったリスクの無い政策と考えられたものが、後になって、高いリスクを伴うものであることが判明する可能性が否定できない。従って、静的な安定化パラダイムは、いくつかの前提の上に立ってはじめて根拠付けられるものであり、その前提には以下のような問題点がある。

- あるレベルを目標として安定化政策に取り組んでも、後になってそのレベルが危険であることが判明する可能性がある。例えば、モンスーンが変化すれば、エルニーニョの規模が増

大し、熱塩循環が弱まり、海水面の上昇や不毛に近い半乾燥地域での干ばつなどによって、社会が不安定な状態に陥る可能性がある。社会全体が不安定になれば、不十分な手段によって地球温暖化に対処せざるを得なくなる場合も考えられる。従って、たとえこのようなシナリオが起こる可能性は低くても、起こった時に適切に対処し、このような可能性の低い事象をも確実に防止できる戦略を構築することが、地球社会の持続可能な発展を実現するためには欠かせない。しかし地球温暖化に関して、政策決定者が、事前に正確な目標レベルを特定し、そのレベルに向かって安定化を図っていくということは、現在の不確実性や知識上のギャップを考えると、不可能に近いとも考えられる。

- 現実的な時間枠の中で、生態系が地球温暖化に自然に適応することができ、安定した食糧生産を確保し、持続可能な経済発展を推し進めることができるような、単独の排出レベルを地球レベルで設定することは不可能である。
- 気候のパターンに伴う危険性や有利性の認識だけでなく、その根底にある地球温暖化の原因もまた、変化する可能性がある(例えばその例として、稀ではあるが大災害事象による変化などを挙げることができよう)。従って、我々が現時点で決定した目標レベルは、永久に存在する不可逆的なものであってはならない。
- 経済から炭素を除去するには、技術的、経済的に、極めて大きな困難が付随するものと考えられる。炭素を取り除くということは、現在のエネルギーシステムを急激に変化させるだけでなく、経済界における物質の代謝を根本から変えてしまうことを意味している。なぜなら、人類は、CO₂ の排出を直接的、間接的にもたらず物質を利用し、それらの物質に囲まれて生活している。この経済活動の全体に関わる転換には長い時間と大きなコストがかかることが避けられない。

以上の問題点を考慮すると、人類は地球レベルでの最大限の人間の幸福を達成することのできる最適かつ不変の GHG 濃度を計算し、その値を超えて危険レベルに達するような事態を防止することのできる方法論を確立していないという事実を認めざるを得ないのである。

4. 地球温暖化リスク管理の新たなアプローチ

プロセスの不確実性が高く、非線形なシステム変動を取り扱わなければならない地球温暖化問題に対処するためには、後向き(バックワードルッキング)と前向き(フォワードルッキング)にリスクを勘案して適応的に対処する、リスク感知・反応(Sense-Respond)アプローチのみが、有効かつ適切な戦略となるものと考えられる。さらに、この適応的な気候リスク管理レジームは、予防原則にのっとった方法として、リスクを取り除くための具体的なシステムを明確に視野に入れつつ、地球社会を安全で望ましい経路を経て持続可能な発展な発展への導くものでなければならない。また、このようなレジームのもとで望ましい GHG 濃度も気候のパターンも常に一定ではあり得ず、むしろ長期的な人類の幸福を最大限のレベルで達成し、自然生態系の過剰な破壊を避けるために、複数の選択肢の中から、可変の一つの(現時点において最も適切と考えられる)目標を適応的に選択し、暫定的な目標に向かって舵をとってゆく(Steering)ことが政策目的となる。

この適応的な戦略では、新たな科学的知見や事態の発生に伴って、目標設定を常に更新していく必要があり、変動する気候から予想される損失(非金銭的な損失も含む)を、緩和・適応コストで補っていかなければならない。また、予防的な手段に加え、地球温暖化の際に予期せぬ影

響の発現を緩和することのできる、複数のリスク管理ツールの整備も必要である。このようなツールとしては、適応策、とりわけ災害の緩和策だけでなく、いわゆるバックストップ的な緩和手段が考えられる。こういったツールオプションを利用した適応的な地球温暖化リスク管理のアプローチは、金融工学手法に基づいてリスクを管理するための最適投資に関する新たなアプローチであるリアル・オプションと同様の働きをすることが期待される。

さらに、この適応的なリスク管理アプローチを実効性のあるレジームとして構築する際には、下記に示す科学・技術・制度に関する課題が重要となるものと考えられる。

- 地球温暖化リスクや、脆弱性を制御することのできる緩和や適応に関する技術の開発
- 地球温暖化リスクとリスク管理戦略を特定し、モデリングし、評価することのできる、総合的な科学の構築
- 継続的な変化に適応的に対処していくという方式で、地球温暖化リスク管理を運営することのできる国際制度の確立

適応的な地球温暖化リスク管理に際しては、まず地球温暖化の防止に貢献できる緩和と適応の技術（ハードウェア）の開発が重要な課題となる。特に、新たに得られた科学的知見により、GHG のレベルが安全閾値を超える可能性が判明したにもかかわらず、既存の地球温暖化対策に実効性が欠けるような場合に、大気から CO₂ を除去する等、緊急的に地球温暖化に対処できる技術開発の可能性を確保することが不可欠である。

技術的な可能性と、科学的知見を組み合わせ、リスク管理のための様々な手段を一つの動的ポートフォリオパッケージとして整備し、地球温暖化に関わる過剰な損害から、人間社会と自然生態系を保全するための戦略を構築していかなければならない。この場合、地球温暖化対策の長期的な戦略は、多様なオプションとそれらの相互関係によって特徴付けることのできる、一つの動的ポートフォリオ最適化プロセスとして捉えることが可能である。ここで考慮されるリスクは、将来、地球温暖化によって世界が経験する可能性のある具体的な悪影響であり、リスク管理は、個人または組織が、これらのリスクを軽減し、管理し、調節していくための諸手段の動的な組み合わせとなる。具体的なリスク管理手段としては、緩和策として GHG 排出削減技術や CO₂ 吸収・固定技術などがあり、適応策として脆弱性の軽減（生態系の適応や食糧確保の促進）があげられる。

リスクの特定と評価はリスク管理システムの第 1 ステップであり、対処する必要のあるリスクの種類や規模に関する知見を提供するものである。GHG の排出と濃度、その結果生じる放射強制力、そして放射強制力によって考えられる影響などに関する情報だけでなく、こういったレベルの情報の不確実性についても、データを収集する必要がある。収集された科学的知見に基づいて、地球温暖化の「危険」レベルを判断し、地球温暖化の緩和策や適応策として、どのようなオプションの組み合わせが最適となるかを検討することになる。

枠組条約は、この「予防的原則」に基づいて地球温暖化リスク管理に関することを、長期的な目的達成のための原則として打ち出している。GHG の濃度を安全なレベルで安定化させるよう求めている。ここで、「予防原則」は 1992 年地球サミットにおけるリオ宣言の盛り込まれた原則であり、以下のように記されている。

「環境を保護するため、予防的方策は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害の恐れがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果 の大きな対策を延期する理由として使われてはならな

い。」(リオ宣言：第 15 原則)

予防原則は、地球温暖化問題に限らず、広く環境問題への取り組みを指導する原則である。気候変動枠組条約の中では、温暖化防止の目的を達成するための原則の一部として、下記の通り明記された。

「締約国は、気候変動の原因を予測し、防止し又は最小限にするための予防措置をとるとともに、気候変動の悪影響を緩和すべきである。深刻な又は回復不可能な損害のおそれがある場合には、科学的な確実性が十分でないことをもって、このような予防措置をとることを延期する理由とすべきではない。もともと、気候変動に対処するための政策及び措置は、可能な限り最小の費用によって地球的規模で利益がもたらされるように費用対効果の大きいものとするについても考慮を払うべきである。このため、これらの政策及び措置は、社会経済状況の相違が考慮され、包括的なものであり、関連するすべての温室効果ガスの発生源、吸収源及び貯蔵庫並びに適応のための措置を網羅し、かつ、経済のすべての部門を含むべきである。気候変動に対処するための努力は、関心を有する締約国の協力によっても行われ得る。」(枠組条約 3 条 3 項)

このような意味で考えると、枠組条約は、地球温暖化に関して、ある限界値の範囲内でリスクを取り除く、予防的、予測的手段を考慮するための、リスク管理方策の原則を示していると解釈することが可能である。このような予防的リスク管理方策から派生した別の戦略としては、例えばオランダの RIVM(オランダ国立公衆衛生・環境保護研究所)によって提唱された「排出回廊(Emission Corridor)」アプローチなどが挙げられよう。この考えは、議定書交渉の過程において数量的な排出削減目標の検討に際して提案された原則であり、生態系等に破滅的な影響を及ぼさないように、究極的な安定化水準や気温上昇の大きさのみならず、そこに至る気温や海面上昇の変化速度を一定範囲以内に抑えるべきであり、そのためには、経年的な GHG の排出量に制限を課し、今後の年々排出量の推移がある幅(回廊:corridor)の中に収まるように制限するべきというリスク管理策である。

気候リスク管理は、本質的に自然災害のリスク管理と密接な関連を持つものである。通常の基準レベルを超える危険な気候事象である自然災害と気候との関連が明らかになるにつれて、地球温暖化による悪影響から予想される損害が、計測可能なものになってきている。この場合、通常の自然界の基準レベルとは、金融市場リスクモデルにおける原資産と解釈することができる。干ばつや洪水、異常気温、暴風雨、サンゴ礁の死滅などといった気候関連の自然災害リスクへの曝露について、危険度の軽減と脆弱性の低下にかかるコストを基準に評価してみる必要がある。このようなリスク管理プロセスにとって重要な検討は、あらゆるリスクに曝露されたと仮定し、リスク管理ポートフォリオを構築する各オプションについて、そのコストと利益とを比較分析することにある。同様にして、このようなリスク管理アプローチを適用する以外には、枠組条約の予防原則と最小コスト原則を、確実に遵守していくことは難しいと言えるだろう。

多様なリスク管理オプションを最適に組み合わせる方法は、その根底にある気候リスクの性質によって大きく変わってくる。上で述べたような手段を用いて対処すべき気候リスクは、その種類によって、いくつかの方法で分類することができる。IPCC の第 2 作業部会(2001)は、懸念される気候関連リスクを、(1)希少かつ脅威に曝されているシステムに対するリスク、(2)異常な気候事象によるリスク、(3)影響の分布、(4)集約的な影響、(5)将来における大規模な断続的事象によるリスクという 5 つの領域に分類し、地球温暖化シナリオで予想されている気温の変化との関連を確立

しようと試みている。ここでは、気候リスクを次の3つのカテゴリーに分類して考察する。この3つのカテゴリーは、リスク管理の観点から見て、分けて取り扱うべき必要がある。

- 漸次的な地球温暖化によるリスク
- 自己増幅的で急激な気候の変動によるリスク
- 気候の変動よりも、他のリスク要因との相互の連動によって生じるリスク

3つのリスクは一般的には付随して起こるものであり、それぞれを切り離して考えることはできない。しかしながら、気候条件や、人間または生態系の脆弱性のレベルによっては、どれか一つのリスクが顕著に発現する場合がある。従って、どの程度のリスクに曝露されるかは、曝露の経路によって変わってくる。今日一般的に想定されているリスクとしては、漸次的な地球温暖化リスクが優勢を占めている段階であり、自己増幅的な急激な変化を伴う地球温暖化のリスクは、まだその姿を現していない。食糧の確保や生態系の安定性への影響、社会基盤の回復力などとの相互作用は、将来予想を含めて、まだ許容できる範囲内にとどまっている段階であると言えるだろう。このようなシナリオは、IPCC第1作業部会(IPCC WG1, 2001)の主張に沿ったものであり、同部会はその報告書の中で、温室ガスの濃度を安定化させることができなかつた場合、21世紀には、100年間で数度表面大気温が上昇すると予想しているが、仮に温室ガス濃度が安定すれば、地球の平均的な表面大気温は、1世紀にわずか0.2~0.3度ずつしか上昇しないと推測している。しかも、濃度を安定化させるレベルが低ければ低いほど、地球全体での温度の変動性は小さくなると考えられる。

しかしながら、複雑な原因と結果の連鎖に対して、自然の生態系が非直線的な反応を示した場合(例えばサンゴの白化現象など)、気候に関わるダメージや災害の予測レベルは急激に上昇し、地域によっては、これらのダメージや災害によって、社会が気候リスクに対処する能力を完全に失ってしまい、最終的に社会の不安定化や混乱を招く恐れも十分にある。このような場合は、先に述べた3つのタイプのリスクのうち、後者の2つが優勢に発現することになり、地球温暖化に伴うダメージの蓄積によって、社会全体の持続可能性が脅かされるものと考えられる。

地球温暖化リスクに関する科学的知見の現状を考えると、我々が現在の政策を推進した場合、中長期的な将来に、どのようなリスクの組み合わせが発現するのかを予測することは不可能である。気候リスクはあまりにも複雑であり、科学的な予測には大きな不確実性が常に付きまとっている。地球温暖化に伴うリスクの全体像はまだ十分に解明されておらず、合理的なリスク管理のための政策を策定できるような気候リスク全体像の完全な評価からは、かけ離れたレベルにある。従って、我々は否応無しに、大きな不確実性が伴う環境において、リスクを管理していかなければならない。

また、科学的な論理に適合し、倫理的に受容可能な決定を行なうことができ、現在と将来の世代を気候に関わるリスクへの曝露から守ることもできる実質的な気候リスクを管理する国際レジームも、現段階では存在していない。地球温暖化リスクという問題においては、世代間の公平性という概念が特に重要な意味を持っている。GHGの排出と実被害の発生との間には、確実に数世代の時間差が存在しているからである。特に、上記で挙げた2番目、3番目のリスク・カテゴリーについては、リスクの公平性、そして発現するダメージとその確率という二つのファクターがどちらも十分に解明されていないため、既存のリスク管理手法を用いることは極めて困難であり、新たな方法論の確立がひつようであると言えるだろう。

さらに、地球温暖化リスクへの曝露には、地理的、構造的に大きなばらつきが存在している。なぜなら、地域によって、地球温暖化による影響だけでなく、地球温暖化に適応し、その影響を緩和していくための規制努力についても、大きな格差があるからである。このことは地球温暖化レジームに対する国際合意形成を著しく難しくしている要因のひとつであり、先進国と発展途上国間の公平性の問題とともに、今後の地球温暖化防止レジームの形成を考えてゆく上での最も困難なハードルとなる。このレジームへの国際合意形成プロセスの分析においては、参加エージェント間の異質性(heterogeneity)を十分に考慮したエージェントベースモデルを用いた研究が有効となるものと考えられる。

以上見てきたように、地球温暖化問題は、複雑系における多様なエージェントが、極めて不確実かつ甚大なリスクを、長期間にわたって自己組織的に管理するためのルールを導入するリスク管理戦略として定式化することが可能である。地球温暖化リスク管理に有効なレジームの制度設計に際しては、異質性を持ったエージェントの行動様式を適切にモデル化する必要があり、エージェントベースシミュレーションが重要な役割を果たすことが期待される。このような実際の制度設計に役立つ知見を生み出すことを目的として、地球温暖化レジームシミュレーションを研究する新たなアプローチを確立することが、われわれの研究プロジェクトに与えられた課題である。

5. おわりに: 不確実性と新たな研究展開

地球温暖化に関する科学的研究は過去 10 年間に著しく増大したものの、気候システムのモデル研究の成果には複雑な不確実性が残されている。例えば、GHG 濃度レベルが地球温暖化とどのような関係を持つのか、特定の GHG レベルで気候パターンはどのような形で安定するのかといった予測には大きな不確実性が伴っているし、地球温暖化の地理学的な分布、すなわち不均一性の問題などにも大きな不確実性がある。GHG 濃度変化と地球温暖化の時間関係における動的な不確実性はさらに深刻な問題である。また、気候システムは大気中の GHG 濃度が高くなると急激にそのパターンを変えることがあると予測され、秩序のない予期せぬ変動(サプライズ)が発生する危険性が指摘されつつある。

次に重要なのは、気候変動が危険な影響を及ぼす過程の予測に伴う不確実性である。枠組条約では、危険な影響の概念が条約の目的の記述の中に用いられている。すなわち、1) 生態系が地球温暖化に対して自然に適応し、2) 食糧の安定供給を確保し、3) 持続可能な方法で経済発展を推し進めていくことのできる時間枠の範囲内で、危険のないレベルに GHG 濃度を安定化されることが目的とされている。しかし、具体的にこの影響のプロセスを定式化し、危険の無いレベルが科学的に決定されるには、まだ長期間にわたる数多くの研究が必要である。特に、大規模かつ不可逆的な影響が発現するリスクについては、いまだに信頼できる定量的分析が行われていないのが実情である。(IPCC-WGII, 2001)。

地球温暖化に関わる自然科学・社会科学的な予測には、多様な不確実性が付随しており、これらの不確実性は、1) 統計学的不確実性、2) モデリングに伴う不確実性、3) 根源的不確実性に分類することができる。1) 統計学的不確実性とは、ある一つの変数に関わる不確実性であり、変数の状態はわからないが、その変数を特徴づける確率分布ははっきりしているような場合を指す。2) モデリングに伴う不確実性とは、変数同士の関係や関連が不明な場合を指している。このような性質の不確実性の場合、結果の予測はできるが、その結果が起こる可能性を評価することは

難しい。3) 根源的不確実性とは、既存のモデルを適用することができない、全く新しい状況に付随する不確実性である。例えば、オゾンホールが発見は、この種類の不確実性に分類される。慎重かつ詳細な科学研究によって、これらの不確実性を減少させていくことはできるが、完全にゼロにすることはできない。

現時点の地球温暖化のモデル研究では、気候システムの変化や社会的反応の微妙な相互作用を完全にシミュレーションすることは不可能である。社会的、生物学的、物理的プロセスの相互作用によって形成されるこのような複雑系では、予測することのできない気候変動リスク(サプライズ)が発生する可能性がある。また、不確実性やリスクの定量を複雑にしているもう一つの要因は、自然・社会システムがたどる経路によって不確実性の性質が変化することにある。科学者にとって、過去の経緯の研究は、自然・社会的プロセスを理解する助けにはなるが、過去に例を見ない人為的な影響力によって引き起こされる将来の気候システムの変動を、過去の研究から類推してモデリングすることはできない。人類は、継続的に地球レベルでプロセスを変えており、過去の経験が未来の正確なモデルとして成り立つことは少ない。地球温暖化に伴う不確実性は、きわめて管理の難しい根源的不確実性の側面を多く含んでいると言いうことができるであろう。

このジレンマから脱却する一つの方法が、適応的なリスク管理レジームの形成による問題への対処である。リスクに関わる多様な情報を総合的に判断するため、過去(バックワードルッキング)と未来(フォワードルッキング)に関する推定モデルを統合的に用いるリスク管理アプローチである。このような適応的リスク管理アプローチにおいては、過去の研究報告や将来予測などから得られた新たな情報によって、リスク管理モデルに付随する現時点での不確実性の評価がコンスタントに更新されていくことになる。この場合のリスク評価は、IPCCにおける政策決定者向けの科学的知見にとどまらず、最新の自然科学・社会科学・気候観測研究の知見の総合的な分析(例えば国際科学会議 IGBP・IHDP・WCRP が合同で企画している「国際炭素循環研究計画」などから得られる研究成果)に基づいて機動的になされる必要がある。

われわれの研究グループでは、新たな研究プロジェクトとして、適応的気候リスク管理レジーム形成に関する研究に取り組み始めた。エージェントのリスク鋭敏性などを明示的にモデル化することによって、予防原則を理論的に定式化するとともに、自然・社会科学にまたがる分野横断的な総合評価モデルを開発して、地球温暖化リスク管理レジームの制度設計に関する分析を実施する予定である。この分析においては、エージェントベースシミュレーションに加えて、近年著しい発展をとげた、不確実性下におけるリスクに敏感なエージェントの反応を考慮した、確率最適制御理論を用いたリスク管理モデル等の活用が期待される。

6. 参考文献

- 1) Obersteiner, Ch. Azar, P. Kauppi, K. Möllersten, J. Moreira, S. Nilsson, P. Read, K. Riahi, B. Schlamadinger, Y. Yamagata, J. Yan, and J.-P. van Ypersele (2001) "Managing Climate Risk", SCIENCE, October 26, 294, 786-787.
- 2) IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, <http://www.ipcc.ch/index/.htm>
- 3) IGBP-IHDP-WCRP 国際炭素循環研究計画, <http://gaim.sr.unh.edu/cjp/index.html>

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表

- ① Obersteiner, Ch. Azar, P. Kauppi, K. Möllersten, J. Moreira, S. Nilsson, P. Read, K. Riahi, B. Schlamadinger, Y. Yamagata, J. Yan, and J.-P. van Ypersele (2001), SCIENCE, October 26, 294, 786-787
“Managing Climate Risk”

(2) 口頭発表

なし

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

なし