



## システム研究グループ



グループリーダー  
秋元 圭吾

### 【コアメンバー】

主席研究員	友田 利正
主任研究員	和田 謙一
主任研究員	長島美由紀
主任研究員	本間 隆嗣
主任研究員	佐野 史典
研究員	林 礼美
研究員	小田潤一郎
研究員	徳重 功子

## 統合評価モデル分析の国際モデル比較プロジェクト

### 1. はじめに

IPCC第5次評価報告書（AR5）公表が進められている。温暖化緩和策は第3作業部会（WG3）の報告書にまとめられることとなっており、2014年4月のIPCC総会で承認がなされる見通しである。AR5においても、統合評価モデル（IAM）による分析やシナリオは、重要な位置を占める。過去数年にわたり、IPCC AR5でのとりまとめを意識しつつ、欧米において様々な国際モデル比較プロジェクトが立ち上げられてきた。RITEシステム研究グループでも、主要な国際モデル比較プロジェクトに参画し、RITEが保有するモデルによる分析結果をそれらプロジェクトに提供してきた。

本稿では、現在、気候変動に関する統合評価モデルがどのような課題に対する分析を試みようとしているのかについて、国際モデル比較プロジェクトの内容を踏まえて紹介する。

### 2. モデル比較分析

統合評価モデルは、扱う範囲が広く、またそもそも不確実性が大きい事象を分析するため、モデルによって分析結果に大きな差異が生じる場合も多い。そこで、モデル分析結果の理解を促進しつつ、比較的蓋然性の高い政策的含意を導いたりするために、国際的にモデル比較が多くなされている。表1は、最近実施された、もしくは現在実施中で、RITEも参加した国際モデル比較プロジェクトである。

統合評価モデルは温暖化対応を検討する上で有力なツールであるものの、現実社会を表現するにはあまりに小さな存在であり、単純化されて表現されている。例えば、世界排出量を大幅に削減する場合でも、世界経済への影響はGDPのほんの数%である、といったことが強調されたりする。たしかに多くの経済モデル分析ではそのような結果を提示しているし、IPCC第4次評価報告書（AR4）<sup>1)</sup>でも



表1 近年RITEが参加した国際モデル比較プロジェクト

	幹事研究機関	目的、概要等
AME	JGCRI/PNNL(米)	Asia Modeling Exercise. US EPA、EMF、EPRIなどがファンディング。2009～11年の間実施。今後排出削減にあたって最も重要と見られるアジア地域における気候変動緩和の分析を行うことを主目的としたモデル比較プロジェクト。成果はEnergy Economicsの特別号 <sup>2)</sup> にまとめられている。世界の28モデルチームが参加
EMF27	スタンフォード大EMF(米)	2010～12年に実施。テーマは「気候政策の目標達成に向けた技術戦略 (Technology Strategies for Achieving Climate Policy Objectives)」。成果はClimatic Changeの特別号 <sup>3)</sup> に発表された。
AMPERE	PIK(独)	Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates. 欧州委員会がファンディング。2011～14年予定。気候予測の不確実性、技術の役割、地域による排出削減取り組みへの参加時期の違いによる影響の評価等。成果はTechnological Forecasting and Social Changeの特別号 <sup>4)</sup> に発表された。欧州を中心しつつも世界から18モデルチームが参加
ADVANCE	PIK(独)	欧州委員会がファンディング。IPCC AR6に向け、エンドユース技術や消費者行動などのモデル表現を改善していくことを目的とした2013年1月～2016年12月までの4年プロジェクト
EMF30	スタンフォード大EMF(米)	バイオ/土地利用と京都議定書6ガス以外の温室効果ガスの温室効果 (Non-Kyoto Forcing) をテーマに2013年10月に開始されたプロジェクト。気候目標におけるNon-Kyoto Forcing の影響、気候政策と大気汚染政策のシナジー、バイオエネルギーの大規模普及のフィージビリティ、土地利用・水・エネルギーの関係などを分析する。

そのような結果がまとめられている。しかしながら、通常このような分析を示すモデルは、世界のすべての国が均等に排出削減努力を行うこと（限界削減費用均等化）を前提としている。また、多くの対策技術の技術普及には障壁がないことを前提とする場合も多い。しかし、このような仮定は、現実社会では相当非現実的に単純化された仮定である。こういった理解がないまま、統合評価モデルが示した結果のみを引用し、それがまた2次利用されていく過程で、誤った解釈もしばしば見受けられるので注意が必要である。

そこで、より現実社会における制約に近い状況の下で、どのような結果が生じるのかを分析しようとする試みが、特にIPCC AR4以降の国際モデル比較プロジェクトにおいて多くの分析がなされてきた。以下に、EMF27とAMPEREの2つの国際モデル比較プロジェクトについて、その成果の一部を紹介する。

### 3. EMF27における分析

スタンフォード大のエネルギー・モデリング・フォーラム (EMF) は30年以上にもわたってエネルギーや温暖化対策に関するモデル分析比較を実施してきており、その成果はこれまでのIPCC報告書でも多く引用がなされてきた。EMF27のテーマは「気候政策の目標達成に向けた技術戦略 (Technology Strategies for Achieving Climate Policy Objectives)」である。なお、EMF27はグローバル戦略の検討であり、現在、同時にEMF24として米国を、EMF28として欧州を対象にした戦略検討をテーマとしたモデル比較も行われた。EMF27には、RITEを含め、世界各国の研究機関、大学から18のモデルチームが参加した。

EMF27では多くのシナリオが分析されており、技術に関するシナリオと政策に関連するシナリオの組み合わせによって合計32が設定された。その分析シナリオの下で計算された複数のモデル分析結果等を用いつつ、再生可能エネルギー、在来型エネルギー資源（化石燃料）、バイオエネルギー、省エネ、エアロゾル、

原子力等にフォーカスした論文作成が行われた。排出削減レベルによる利用技術の差異、また、それぞれの技術利用が制約されたとき緩和コスト等に与える影響などの分析が行われた。

図1は、ベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオにおける最終エネルギーにおける電力の寄与度を評価した結果である。電力消費量としては厳しい排出削減になるにしたがって、2050年頃までは減少、一方2100年になるとむしろ増加傾向が見られる。最終エネルギー消費量に占める電力のシェアで見ると、2050年頃からは厳しい排出削減になるにしたがって、むしろ増加傾向が見られる。450 ppm CO<sub>2</sub>eq.のような厳しい排出削減を行う場合は、電力の脱炭素化を進め、最終消費段階では電力比率を高めることが不可欠であることが、多くのモデルでロバストな結果であることが示されている。

図2は、各技術の利用可能性によるベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオの実現性の評価 (a) と450 ppm CO<sub>2</sub>eq.シナリオ時のコスト増の評価 (b, c) を示したものである。11のモデル中10のモデルが450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の実現可能性は示している。しかしながら、例えばCCSが利用されないと仮定した場合には、それでも実現可能性を示唆したモデルはわずか4つであった。また、実現可能性はモデル上、示されたとしても、例えばCCSが利用されない場合には、対策コストは2.5倍程度に膨れ上がることが示されている。また、バイオエネルギーのポテンシャルが想定よりも小さく、世界で商用バイオエネルギーが最大100EJ/年しか利用できないとした場合にも、対策コストは1.5倍程度に膨れ上がる。このような分析は、個別のモデルで特徴があり、示す結果が大きく異なる場合もあるものの、複数の多くのモデルを比較評価することによって、比較的ロバストな知見を得ることができる。なお、RITEのDNE21+モデルによる2050年までの分析において対策コストが最も高いのはCCSが利用されない場合であり、図2に示された他のモデルの結果と同様であるが、次いで対策コストが高いのはエネルギー原単位の改善が進展するもののCCSが利用されず原子力発電がフェーズアウトするEEREケースであり、図2におけるモデル間の平均で示されるコスト増の順序とは少し違いもある。

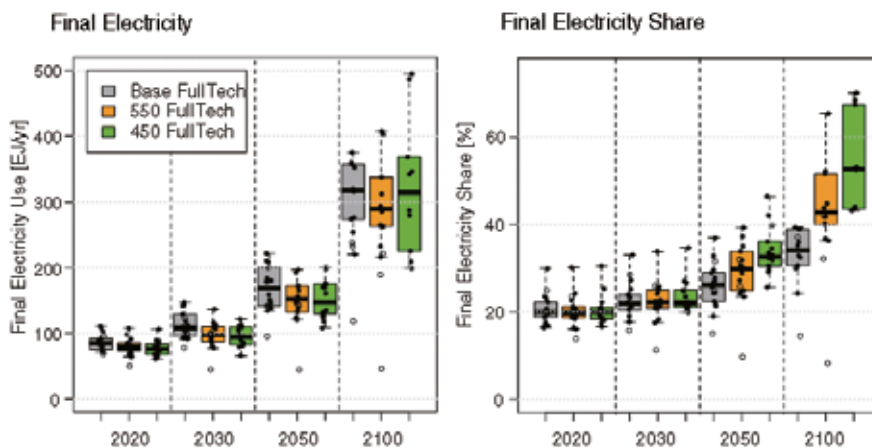


図1 EMF27において分析されたベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオにおける最終エネルギーにおける電力の寄与度<sup>3)</sup>

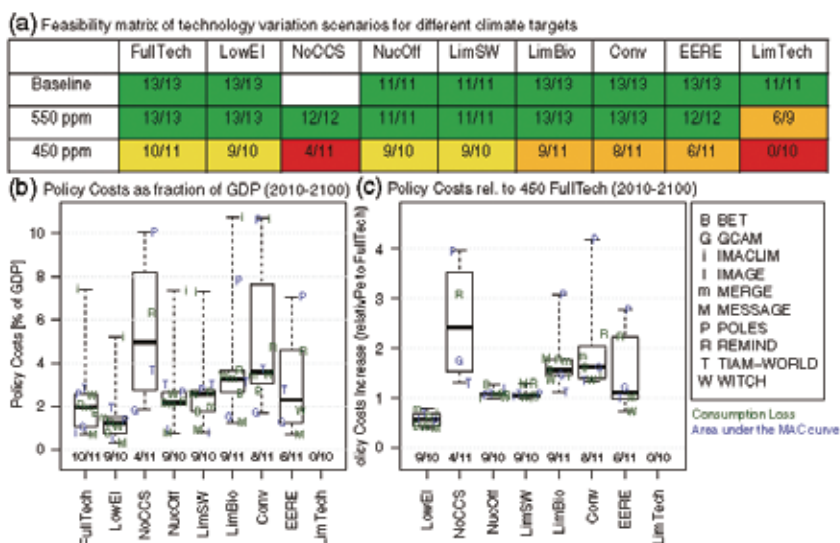


図2 EMF27において分析された各技術の利用可能性によるベースケース、550 ppm CO<sub>2</sub>eq.、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.の各シナリオの実現性の評価(a)と450 ppm CO<sub>2</sub>eq.シナリオ時のコスト増の評価(b, c)<sup>3)</sup>

注) FullTechはモデルで想定された技術すべてが利用可能で標準想定、LowEIはエネルギー原単位の改善が標準の想定よりも進展するケース、NoCCSはCCSが利用されないケース、NucOffは原子力発電がフェーズアウトするケース、LimSWは太陽光、風力のポテンシャルが少ないケース、LimBioはバイオエネルギーのポテンシャルが少ないケース、Convは太陽光、風力、バイオエネルギーのポテンシャルが少ないケース、EEREはエネルギー原単位の改善が標準の想定よりも進展するものの、CCSが利用されず、原子力発電がフェーズアウトするケース、LimTechはCCSが利用されず、原子力発電がフェーズアウトし、太陽光、風力、バイオエネルギーのポテンシャルが少ないケース

#### 4. AMPEREにおける分析

AMPERE (Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates) は欧州委員会が研究資金を提供し (ただし欧州域外の研究機関には欧州委員会からの研究資金は提供されない)、ドイツPIKが主幹事研究機関としてとりまとめを行ってきたプロジェクトである。AMPEREにおいても、EMF27同様、技術の利用が限定された場合に、大幅な排出削減の実現可能性がどの程度困難になるかの評価も行われた。ここでは、AMPEREの特徴である排出削減への2020~30年頃の中期における世界の取り組みが固定された場合、その後の対策の評価について紹介する。

まず、温室効果ガス濃度が450 ppm CO<sub>2</sub>eq.に抑制するような各モデルの最適な排出経路を求め (図3の緑色の経路)。一方、カンクン合意に基づき、世界各国がプレッジしている2020年の排出削減目標から世界全体の排出が2020年およびその延長としての2030年でどの程度になるかを推計する。各国の目標は、原単位目標が混ざっているなど、様々なため上下限として推計する (図3の青と赤色の2030年までの排出経路)。2030年までがこの排出経路にしたがった場合に、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.を実現する2030年以降の排出経路を算出する。このとき、2030年以降に450 ppm CO<sub>2</sub>eq.を達成するために、世界排出量の年削減率を算定したのが図4である。そして、それを過去20年平均と30年平均で見た世界各国の排出量年増減率と比較した。2030年までに大きな排出削減を行ったとしても、450 ppm CO<sub>2</sub>eq.を達成するためには、過去と大きく異なる排出削減を世界レベルで実現することが必要であるし、まして、2030年までこれまでの取り組み、目標から予想されるような排出で固定された場合には、

より一層の大きな削減が2030年以降必要であることが示されている。RITEのDNE21+モデルによる2050年までの分析では、他のモデルに比べてより急激な2030年以降の排出削減が必要と分析している。なお、このとき、CCS、原子力、再生可能エネルギーなど、技術の利用に制約があった場合には、対策コストが大きく上昇するのみならず、モデルとして実現可能な解を見いだせないとしたモデルが多数となる結果も示した。

政策的な含意は、大きく2つあると考えられる。1つは2030年までの世界での取り組みを一層強化することが重要であるということである。もう1つは、現実性を考えると様々な制約があり、IPCC AR4以降、国際的にも長期の目標として議論によく上ってきた450 ppm CO<sub>2</sub>eq. (産業革命以前比2℃目標相当) という排出削減目標はあまり現実的とは言えないため、実現性のあるより穏当な削減目標を志向することも考えるべきということである。

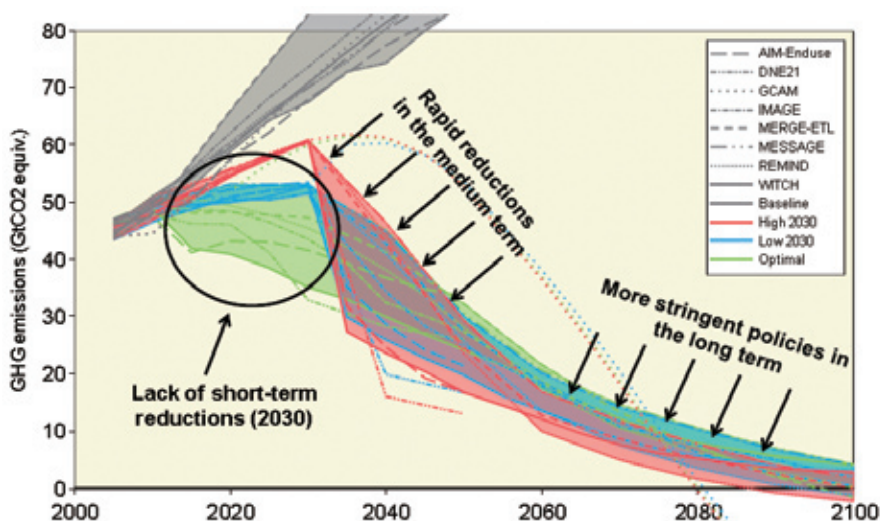


図3 450 ppm CO<sub>2</sub>eqの排出経路<sup>4)</sup>。最適排出経路(緑)、カンクン・ブレッジの排出下位ケース(青)、同上位ケース(赤)

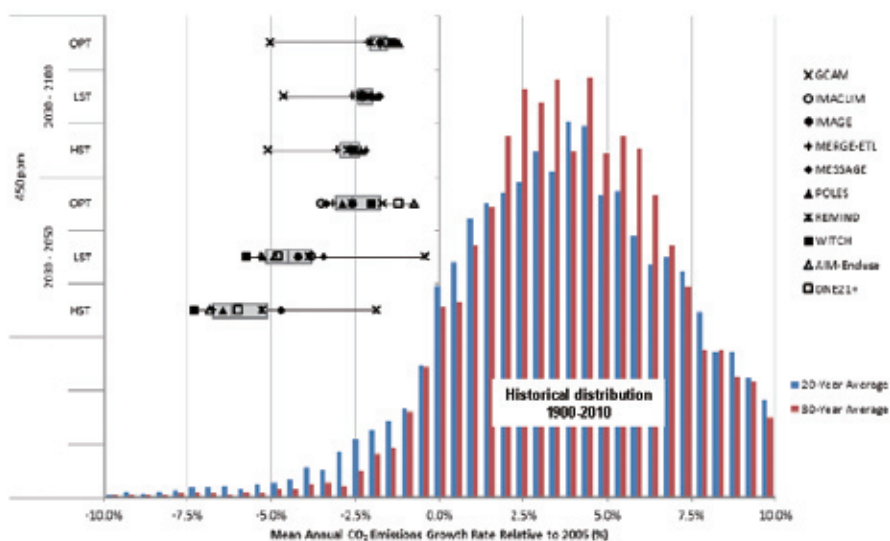


図4 過去の排出削減率と450 ppmのために必要な削減率の評価<sup>4)</sup>



## 5. 統合評価モデルコンソーシアム

また、IAM関連の幅広い研究コミュニティと相互に情報交換を行っていくことを目的に、統合評価モデルコンソーシアム (IAMC) が2007年に結成されている<sup>5)</sup>。IAMCは、緩和策評価モデルを中心にしつつ、名称どおり、気候変動予測や気候変動影響・適応評価などの相互依存の評価までを含めて、総合的に評価するモデルの情報共有、意見交換の場である。また、今後のIAM研究の方向性を議論する場にもなっている。IAMCは、オープンになっており、希望すれば会費不要でいずれの統合評価モデルチームも参加が可能である。年1回のペースで会合を開催しており、RITEは結成以来、IAMCにも参加し、RITEのIAM分析結果等を紹介してきている。

RITEでは、引き続き、国際モデル比較プロジェクトにも参加し、RITEのモデル分析結果等を提供、情報発信を行っていく予定である。

### 参考文献

- 1) IPCC, Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press (2007)
- 2) K. Calvin et al., The role of Asia in mitigating climate change: Results from the Asia modeling exercise, Energy Economics 34, S251-S260 (2012)
- 3) V. Krey et al., Getting from here to there – energy technology transformation pathways in the EMF27 scenarios, Climatic Change (2013)
- 4) K. Riahi et al., Locked into Copenhagen Pledges - Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals Technological Forecasting and Social Change (2013)
- 5) Integrated Assessment Consortium (IAMC). <http://www.globalchange.umd.edu/iamc/home/>