

20世紀末から100年後の気温上昇の予測

## 西暦2450年までの地球温暖化を予測

地球シミュレーターでCO<sub>2</sub>濃度安定化の効果を検証

温暖化対策の効果はいつ現れるのか  
濃度安定化効果の超長期シミュレーション  
オーバーシュートシナリオの効果

ひとこと 環境科学研究所 重点課題責任者 上席研究員 丸山 康樹

# 温暖化対策の効果はいつ現れるのか

温暖化問題については、100年後の地球上の気象、気候がどのように変化するかに関心が集まりがちです。しかし、温暖化対策の究極の目標は、生態系や食糧生産、経済発展と折り合いをつけた気候安定化を達成することです。このためには、22世紀以降までも対象にして、超長期にわたる温暖化対策の効果を実証的、科学的に検証することが重要になります。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の統合報告書（2001）では、「温暖化防止の対策を実施しても、その効果が現れ、気候が安定化するまでには数百年から数千年もの非常に長い時間を要するのではないか」という指摘がなされています。温暖化があるレベルまで進行してしまうと、気温上昇や海面上昇などを食い止めることが非常に困難になる恐れがあるという予想です。

電力中央研究所では、世界最高速級のスーパーコンピューターである地球シミュレーターを用いて、西暦2450年までという超長期にわたる地球温暖化の進行を、世界で初めて予測しました。その結果には、温暖化対策の導入時期が遅れることによって、数百年にわたり不可逆の状況が引き起こされる可能性を示唆するものも含まれています。

今回の予測結果は、IPCC第4次評価書（2007）のとりまとめへの反映などを通して、京都議定書以降の長期的な温暖化防止の国際交渉に役立つものと期待しています。

## IPCCが指摘する温暖化進行の予想

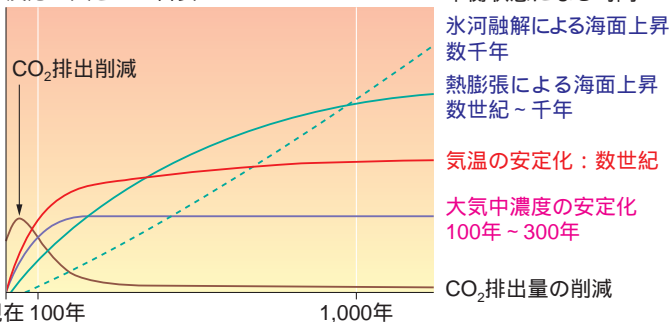
2005年2月16日に「京都議定書」が発効し、温室効果ガスの削減が国際公約として進められることになりました。しかしこの条約では温暖化を10年程度遅らせる効果しか期待できません。今後は、途上国の参加も含めて、京都議定書以降の新たな枠組みに関する国際交渉が活発化するものと予想されます。

気候の安定化のためには、大気中の温室効果ガスをどの濃度レベルで、いつ安定化すべきか。この課題に関する科学的な検証が不可欠ですが、これまでにこの検討はほとんどなされていません。

IPCCの議長の一入であるスーザン・ソロモン（Susan Solomon）博士は、「温暖化防止の効果が現れ、気候が安定化するまでの、数百年以上にわたる超長期間を対象にした、定量的な検証を早急に進める必要がある」と、世界の研究グループにメッセージを送っています。

排出削減後、CO<sub>2</sub>濃度、気温、海面上昇は長期間増加し続ける

反応の大きさの目安



出典：IPCC統合報告書（2001）

図1 CO<sub>2</sub>排出削減と気候応答の時間スケール

## 温暖化防止効果の検証プロジェクト

当研究所は、温暖化防止に役立つ科学的知見を得るため、2002年度から文部科学省の「人・自然・地球共生プロジェクト」に参加し、米国大気研究センター（NCAR）、米国エネルギー省のロスアラモス国立研究所（LANL）と協力して、世界最高速級の地球シミュレーターを用いた温暖化防止効果の予測研究を実施してきました。

2004年8月にはIPCCの温暖化シナリオをベースに、当研究所独自のシナリオも加えて、濃度安定化効果の予測シミュレーションを完了しました。

この結果は、CO<sub>2</sub>濃度安定化の効果予測が盛り込まれる予定であるIPCC第4次評価書（2007）への反映とともに、京都議定書以降の長期的な温暖化防止の国際交渉に役立つことを期待しています。

### A1Bシナリオの世界 世界経済の格差が縮小

- グローバル化が進む
- 低い人口増加率（0.2%）
- 高い技術進歩（3%経済成長）
- 再生可能エネルギーを含め多種類のエネルギー源をバランス良く使用
- 先進国と途上国との地域格差は縮小へ

### B1シナリオの世界 環境の持続可能性を重視

- グローバル化が進む
- 低い人口増加率（0.2%）
- 情報・サービス産業中心の経済構造に変化（2.5%経済成長）
- 環境の持続可能性を重視し原子力発電への大幅なシフト
- 先進国と途上国との地域格差は継続

図2 IPCC特別報告書(2001)の主なシナリオの特徴

# 濃度安定化効果の超長期シミュレーション

## 温暖化の予測シナリオ

ベースとなるシナリオは、IPCCの特別報告書(2001)にある、A1BとB1のコード名で呼ばれる2100年までを対象にした2種類のシナリオです。いずれも高い経済成長(3%~2.5%)を想定し、A1Bでは「世界経済の格差が縮小する世界」を、B1は「環境の持続可能性を重視した世界」を示しています。

それぞれの一次エネルギー構成は、A1Bは再生可能エネルギーへの大幅なシフト、B1では原子力発電への大幅シフトが特徴です。

この2100年までの2つのシナリオをベースに、まず2100年以降は温室効果ガス濃度を2100年レベルで一定にする、2つのシナリオで予測しました。これらは、①2100年まではA1Bで進み、それ以降はその時点の濃度750ppmで安定化させるシナリオ(A1B&750ppm)と、②2100年まではB1で進み、それ以降はその時点の濃度550ppmで安定化させるシナリオ(B1&550ppm)です。

さらに、上記①で2150年まで進み、それから2250年にかけて750ppmから550ppmに温室効果ガス濃度を直線的に減少させ、その後2450年まで550ppmを維持させるという、電中研独自のオーバーシュートシナリオでも予測を行いました。

## 温暖化防止効果の検証

温暖化のシミュレーション計算にはアンサンブル予測という手法を採用しました。この手法は、初期値を数種類変化させて、その平均を取る計算手法です。これにより、地球上の各地域の状況が全体の気候に微妙な相互影響を及ぼす温暖化計算の精度を飛躍的に向上させ、あわせて、一つのシナリオに対する予測を変動幅をもって把握することができます。

予測に用いた大気海洋結合モデルの解像度は、大気モデルが約150km、海洋モデルが約100kmと中規模の解像度ですが、温暖化防止効果を把握するための超長期の予測に適しています。

温暖化防止効果はシナリオによって異なります。A1B&750ppmシナリオでは、21世紀末では、全球の地上気温は約2.5 上昇し、全球降水量は6.0%増加。2100年以降も気温は徐々に上昇し、気温の安定化には数百年程度の時間がかかることが分かりました。食糧生産などへの影響が避けられません。

一方、B1&550ppmシナリオでは、21世紀末に約1.5 上昇し、降水量は約3.9%増加すると予測され、2100年の濃度安定化後、気温は比較的早く安定化することが示されました。

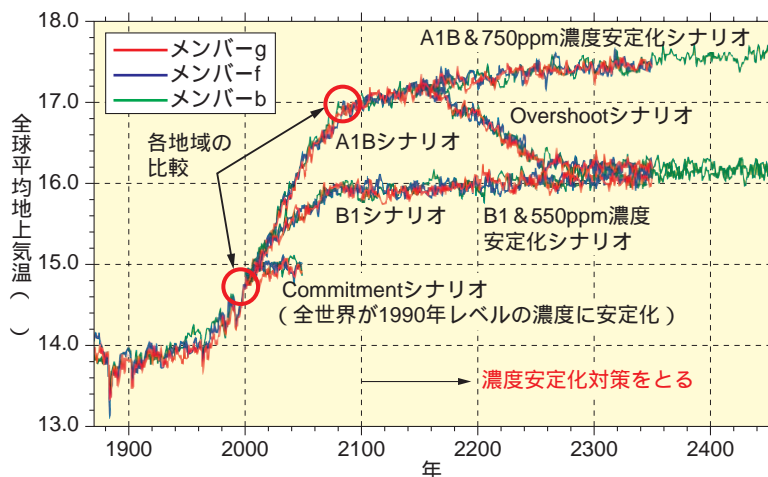


図3 全球レベルの気温上昇予測結果(全シナリオ)



## 新たに分かったことと今後の課題

温暖化によって海水温が上昇すると、海氷には非常に大きな影響を受ける可能性があります。

今回の予測では、A1B&750ppmシナリオでは、海氷体積が濃度安定化後もわずかに減りつづける傾向がみられるのに対して、B1&550ppmシナリオでは、比較的早く安定化することが分かりました。

一方、温暖化防止対策によって大気中の温室効果ガス濃度を削減するオーバーシュートシナリオの場合は、気温、海氷体積、深層海流の循環などは550ppmで安定化レベルにほぼ復元する可能性が高いことが示されました。

またいずれのシナリオでも、海面上昇の原因となる海洋の温度上昇が継続するため、海水の熱膨張による海面上昇は、数百年から千年以上も超長期間継続する可能性のあることが分かりました。

今後の課題としては、温暖化には、海氷や永久凍土の解凍、気候変化ストレスによる生態系影響（枯死など）など、一旦発現すると復元が困難な現象との相互作用も考慮する必要があります。これらについての検討が残されています。

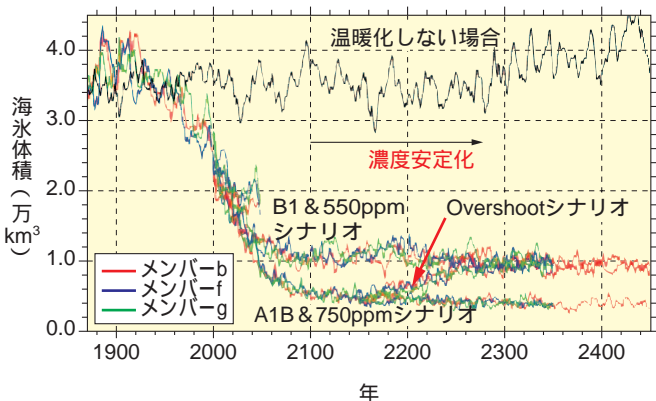


図4 北極の海氷体積は安定化後も減少続ける

## 世界のエネルギー政策への示唆

今回の予測結果からは、次のような世界のエネルギー政策への示唆を引き出せると考えます。

- (1) A1B&750ppmシナリオでは、気温安定化に数百年程度の非常に長い時間がかかり、その間に海氷の消滅などの“危険な人為的干渉”を引き起こす懸念があります。750ppmでの安定化は、温暖化防止の濃度目標としては高すぎる可能性があります。
- (2) B1&550ppmシナリオは、温暖化防止のための濃度目標の一つの候補になると考えられます。ただし、目標とする適切な濃度レベルがどのような数値になるかについては、判断基準の明確化を含めて引き続き検討することが必要です。
- (3) オーバーシュートシナリオは、温室効果ガスの削減がうまく進まない場合でも気候復元の可能性を示しており、地球規模でのリスク管理の一つとして検討に値すると考えられます。

## ひとこと



環境科学研究所  
重点課題責任者  
上席研究員  
丸山 康樹

今回の予測は、IPCCから、温暖化予測に取り組む世界の研究機関・研究者に向けて寄せられた、研究推進のメッセージに答える研究として実施したものです。

このような計算は、世界最高速級のスーパーコンピューターである地球シミュレーターを使うことで初めて実現しました。

地球シミュレーターを使った予測では、2100年までの気候・気象の変化をより解像度の高い全球モデルで予測するプロジェクトも他の研究機関で実施されましたが、濃度安定化の効果を超長期に予測するものは私たちのグループだけが実施しました。

今回は、2100年に突然、温室効果ガス濃度をその時点の濃度で安定化するという不自然なシナリオを採用していますので、今後は、大気海洋結合モデルの信頼性を高める研究を進めると並行して、濃度安定化に向けたより合理的な削減シナリオの検討を進め、温暖化防止効果について政策面での提言に貢献していきたいと考えています。

## 既刊「電中研ニュース」ご案内

- No.407 画像による監視・計測ソフトの開発を容易に  
No.406 複雑な震源断層の形状を把握する

- No.405 CRIEPIのうごき 2005.1冬  
No.404 超音波を利用した新しい非破壊検査法