

社会基盤情報の提供にむけた 地球温暖化予測モデルの高信頼性化

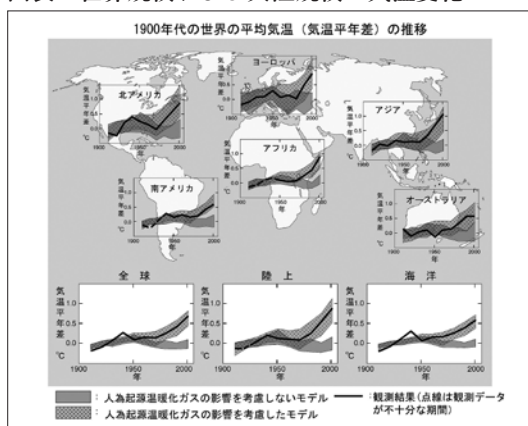
温暖化によって生じるであろう環境変化リスクへの対応方策を考え出すためには、信頼度の高い地球温暖化予測モデルが必要である。現在、その温暖化シミュレーション結果の信頼性を高めるための努力が続けられている。

国連環境計画（UNEP）と国際気象機関（WMO）の協力の下に設立された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、2007年に出版した第4次評価報告書（AR4）において「気候システムの温暖化には疑う余地がない」「温暖化の原因は、人為起源の温室効果ガスの増加による可能生が非常に高い」という知見を表明した。さらに、温暖化が将来どの程度進行するかを予測を示し、早期に対策をとることの必要性を明らかにした。これらは、我が国を含め、世界各国で開発されている地球温暖化予測モデルによってシミュレーションされた将来気候の投影（Projection）の結果に基づくものである。しかし、この問題に対するさらに適切な対応策を策定するためには、数値モデルが含む不確実性をより低減し、さらに定量的な知見を求める必要がある。

地球温暖化予測モデルにおいては、地球を格子状に区分けし、その格子の中の温度や気圧は一様とし、実際に地球上で生じている様々な現象（プロセス）をモデル化している。各プロセスについて、その格子毎の変化をある時間間隔毎に計算するという手法となっている。このモデルの信頼性を上げる方向として、(1)モデルに含まれるプロセスを高度化して信頼性を高める方法、(2)格子サイズを細かくして解像度を上げる方向、(3)モデルそのものの信頼性ではなく、多くの計算結果を平均することで「結果の信頼性」を増す方向がある。

いずれの方向においても、信頼性を増すための高解像度化には、莫大な計算機リソースを必要とする。これに対しては最近運用を開始した次世代スーパーコンピュータ「京」に期待する所が大きい。また地球温暖化モデルを「京」用にカスタマイズするため、気候分野の専門家と計算機システムの専門家が一体となって運用を進めていくことが必要である。一方、複雑なプロセスの組み合わせの地球温暖化予測モデルにおいては、各プロセスは、その分野の専門家によって研究され、副プログラムとして温暖化シミュレーションモデルに組み込まれていることが多い。この副プログラム間のデータのやりとり時間に時間がかかることから、このデータ転送時間を短縮するような計算機を開発運用していくことも重要となる。また、船舶等による全球観測網や人工衛星による地球観測によって得られるデータを充実させていくことも不可欠である。

図表 世界規模および大陸規模の気温変化



出典：文献¹⁾を基に改変

社会基盤情報の提供にむけた 地球温暖化予測モデルの高信頼性化

河野 健
客員研究官

1 はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Inter-governmental Panel on Climate Change) は、1988年に国連環境計画 (UNEP: United Nations Environmental Program) と国際気象機関 (WMO: World Meteorological Organization) の協力の下に設立された。同パネルのメンバーはUNEPおよびWMOの加盟国となっている。設立の目的は、人為的な気候変動のリスクに関する最新の科学的・技術的・社会経済的な知見をとりまとめて評価し、各国政府にアドバイスすることとされている。我が国を含む世界各国の著名な研究者らが、公表された成果を精査し、気候変動に関する評価を行い、数年おきに評価報告書を出版している。直近の報告書は、IPCC第4次評価報告書 (AR4: The 4th Assessment Report)¹⁾として2007年に出版された。第5次評価報告書は、2013年後半から2014年にかけて出版される予定である。

IPCC AR4では、「気候システムの温暖化には疑う余地がない。」とされ、その原因について、「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された

増加によってもたらされた可能性が非常に高い。過去50年にわたって、各大陸において (南極大陸を除く)、大陸平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。」とされている。そこで、温暖化の進行を抑制するため、温室効果ガス排出を規制する政策を必要とするとともに、進行する温暖化によって生じると考えられている環境変化、すなわち、酷暑、厳冬、集中豪雨、台風の頻度やサイズの変化などのリスクに対応するための方策を求めているところである。

IPCC AR4に記述された「温暖化の原因は、人為起源の温室効果ガスの増加による可能生が非常に高い」という知見は、我が国を含め世界各国で開発されている地球温暖化予測モデルによってシミュレーションされた将来気候の投影 (Projection) の結果に基づいている。このことから、将来予測の正確さを高める、ということは、この地球温暖化予測モデルの信頼度を高めることにほかならない。地球温暖化予測モデルを用いたシミュレーションによる投影像では、今世紀末の平均気温の上昇は、人為起源二酸化炭素排出のシナリオに応じて1.1~6.4℃程度である

が、同じシナリオの下でも±2℃程度の不確かさを含んでいる。二酸化炭素削減目標の設定や堤防の高さを定めるなどの具体的な対応策を検討するためには、その基盤となる将来予測の正確さが求められることは言うまでもない。

地球温暖化予測モデルの信頼性を高めることは、各国の地球温暖化予測研究共通の課題である。我が国においても、平成23年に閣議決定された第4期科学技術基本計画において、「地球観測、予測、統合解析により得られる情報は、グリーンイノベーションを推進する上で重要な社会的・公共的インフラであり、これらに関する技術を飛躍的に強化するとともに、地球観測等から得られる情報の多様な領域における活用を促進する。」とされている。さらに、単なる環境変化のシミュレーションではなく、「持続的な社会を構築するために、高い信頼性を有する気候変動予測情報、さらに気候変動に関するリスク情報が求められている (気候変動リスク情報創成事業²⁾)」としている。本報告では、対応策の検討において基盤となる情報を導き出す地球温暖化予測モデルについて、その信頼性を高めるための研究動向を概説する。

2 地球温暖化予測モデルによる将来気候の投影結果の信頼性

地球温暖化予測の信頼性を測るためには、地球温暖化予測モデルで得られた結果と実際の過去の気候を比較し、その変動がうまく再現できているかどうかを検証する方法が用いられる。いくつかの具体的な指標を定め、それがどの程度再現されたか、を比較するわけである。この指標としては、例えばエル・ニーニョの発生頻度、全球平均気温の推移、台風発生頻度や経路、海水分布、温度分布などの一貫性、さらには、その一貫性を数値化したものなどが用いられている。図表1は指標として平均気温の推移を用いた場合である。複数の国の研究機関によって、同じ二酸化炭素排出シナリオの下で

再現された平均気温の変化を示している。網掛の帯が人為起源温室効果ガスを考慮した地球温暖化予測モデルによるシミュレーションの結果である。

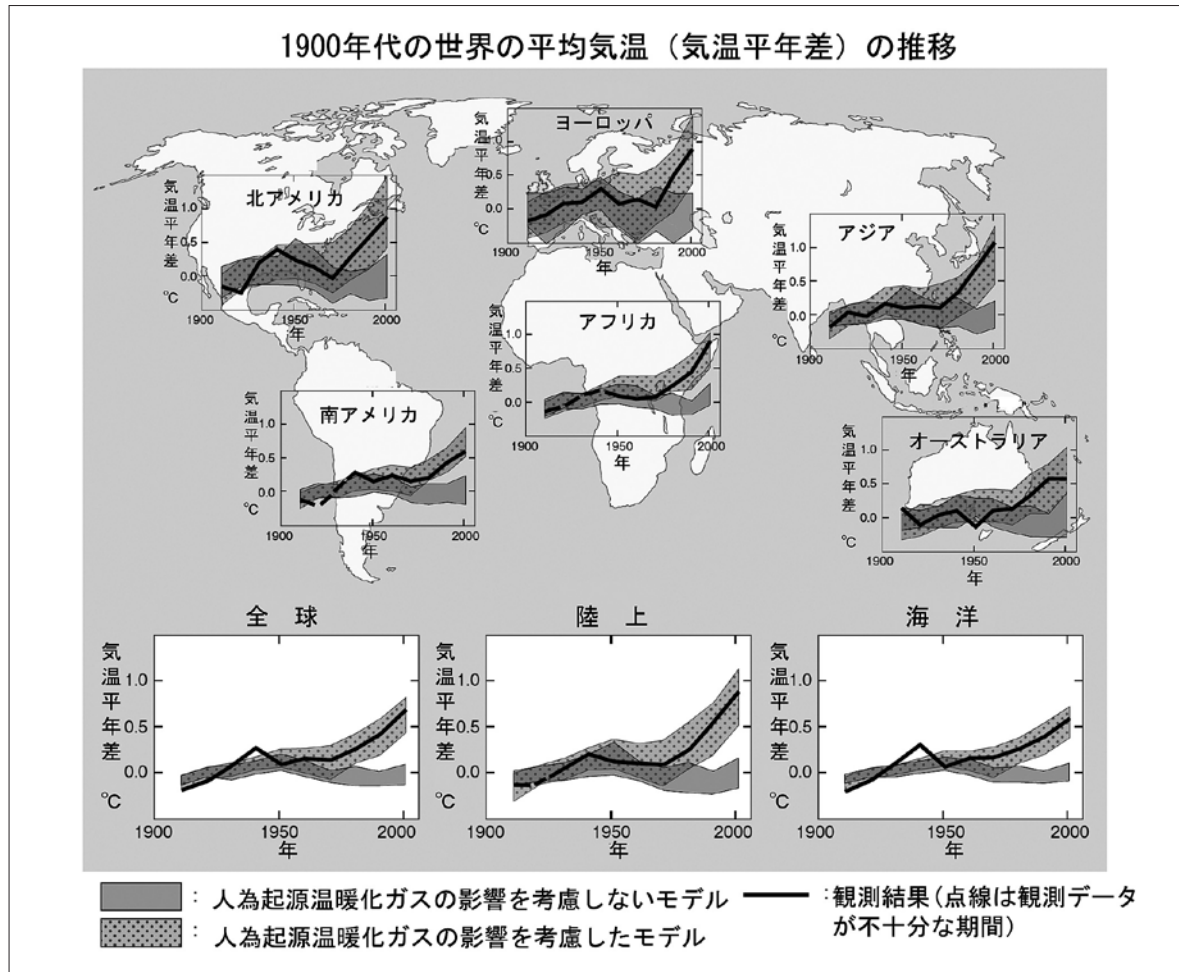
幅があるのは複数の地球温暖化予測モデルのシミュレーション結果にばらつきがあるためである。黒線が観測結果であり、各大陸平均、全球平均、陸域、海洋の場合で、地球温暖化予測モデルのシミュレーション結果が観測結果をある程度良く再現していることがわかる。即ち、地球温暖化シミュレーションモデルはある程度信頼できる、と考えることが可能となる。

次に、この地球温暖化予測モデルから人為起源温暖化効果ガスの

影響を除いてシミュレーションを実施すると灰色の帯のような結果となる。観測結果とは異なり、近年の平均気温はさほど高くなり、1920年頃からほぼ横ばいとなることわかる。これがIPCC AR4で述べられている「自然変動だけでは現在の温暖化を説明できず、人為起源温室効果ガスの影響が原因である」とする所以である。

上述のように、各国の研究機関で開発された複数の地球温暖化予測モデルによってシミュレーションされた投影像には差がある。そこで、それら投影像を相互比較するという研究がいくつかなされている。その中で、IPCCと関連が深いものとして、CMIP

図表1 世界規模および大陸規模の気温変化



出典：文献¹⁾を基に改変

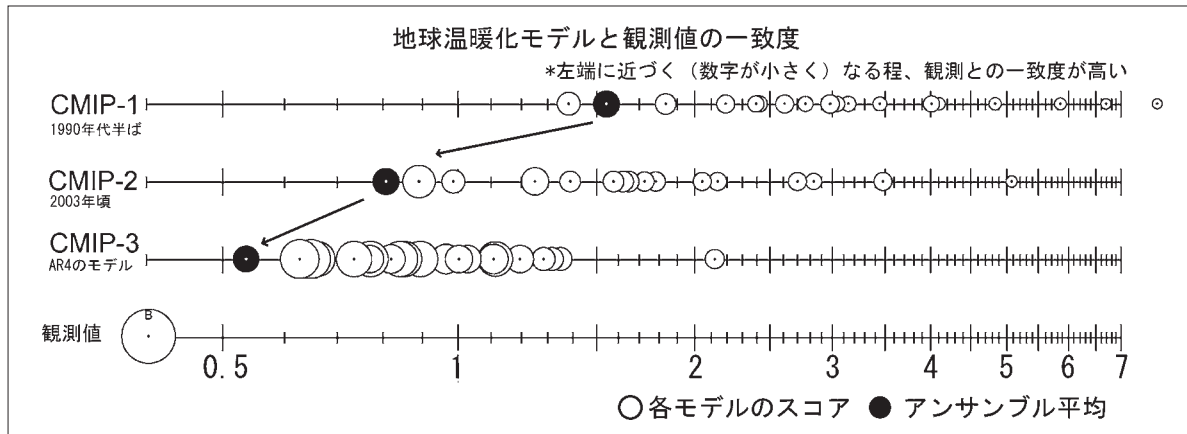
(Climate Model Intercomparison Projects) がある。これは、WMOと国際科学会議 (ICSU: International Council for Science) が協力して実施している世界気候研究 (WCRP: World Climate Research Programme) の傘下で組織されている合同科学委員会 (JSC: Joint Scientific Committee) と、同様に WCRP 傘下の気候の変動性および予測可能性研究計画 (CLIVAR: Climate Variability and Predictability Project) が共同で設置した結合モデル開発作業部会 (WGCM: Working Group on Coupled Modeling) が主催して行われている相互比較プロジェクトである。図表 2 にシミュレーション結果と観測結果の分布の一致度を比較した結果の一例を示す。これは、各国の研究機関で開発された複数の地球温暖化予測モデルによってシミュレーションされた

気温、海面水温、降雨、海水分布などを含む 14 種類の値について、それぞれのシミュレーション結果と観測結果の差を求め、それをもとに統計的な計算を施し、シミュレーション結果と観測結果がどの程度一致しているかをスコア化したものである。CMIP-1 とは 1990 年代半ばの地球温暖化予測モデルの結果、CMIP-2 とは 2003 年頃の地球温暖化予測モデルの結果、CMIP-3 とは IPCC AR4 に用いられた地球温暖化予測モデルの結果比較を示している。図の横軸はスコアであり、白丸は各種数値シミュレーションモデルを表し、円の大きさは 95% の信頼度を示す。左端に近づくほど観測結果との一致度が高いことを意味する。CMIP-1 では、各モデルのスコアは 1.4 から 7 以上とばらついていたが、CMIP-3 では、約 0.6 から 2.1 とばらつきの

幅が小さくなっている。即ち、モデルが新しくなる (CMIP-1 から -3 に推移する) に従って、各モデルが概ね観測結果に近づいており、かつそのばらつきの幅も小さくなっていることがわかる。この結果から、温暖化シミュレーション結果の信頼性は徐々に高くなっていると解釈することができる。

このような進歩を踏まえ、IPCC AR4 では、地球温暖化が現在進行中であり、その原因が人為起源温暖化効果ガスであることをほぼ特定し、温暖化が将来どの程度進行するかを予測知見を示し、早期に対策をとることの必要性を決定的に明らかにした。他方、今後さらに適切な対応策策定のためには、数値モデルが含む不確実性をより低減し、さらに定量的な知見を求める必要があることは明らかである⁴⁾。

図表 2 各種の地球温暖化シミュレーションモデルがどの程度観測結果と一致するかの比較 (CMIP-1 から CMIP-3 は比較を行った時期が異なり、CMIP-1 がもっとも古い。横軸は各モデルのスコア (本文参照)。シミュレーション結果と観測値の比較各モデルによるばらつきは小さくなりながら観測値に近づき、アンサンブル平均 (本文参照) も観測値に近づいていく)



出典: 文献³⁾を基に改変

3 シミュレーション結果の信頼性を高めるための方向性

地球温暖化予測モデルは、実際に地球上で生じている様々な現象 (プロセス) をモデル化 (定式化) して、これらを組み合わせてできた集合体である。例えば、太陽に

よって大気や海洋が暖められるプロセス、大気の流動、大気と海洋の間の熱交換のプロセス、海洋の流動、降雨のプロセスなど構成されるプロセスは複雑多岐にわた

る。そして、地球を格子状に区分けし、その格子の中の温度や気圧は一様と仮定の上、各プロセスについて、その格子毎の変化をある時間間隔 (タイムステップ) 毎に

計算するという手法がとられている。どのような格子を用い、どのようなプロセスを含み、それをどのように定式化し組み合わせるかは、地球温暖化予測モデルによってそれぞれ異なるため、それが各々のモデルの特徴にもなり、またモデル毎の差異を生む要因ともなっている。本章では、地球温暖化予測モデルの信頼性を上げるための代表的な3つの方向、すなわち、(1)モデルに含まれるプロセスを高度化して信頼性を高める方法、(2)格子サイズを細かくして解像度を上げる方向、(3)モデルそのものの信頼性ではなく、多くの計算結果を平均することで、「結果の信頼性」を増す方向について概説する。

3-1

地球温暖化予測モデルに含まれるプロセスの高度化

地球温暖化予測モデルの基本は、大気・海洋結合モデルと呼ばれる1970年代に開発された大気の循環と海洋の循環を同時に扱う数値モデルである。主に、運動方程式と質量保存式、熱力学の式からなるプリミティブ方程式によって記述されている。しかし、このプリミティブ方程式によって、地球上で生じている現象の全てが記述できていないわけではない。多くの場合、水の蒸発や凝結に伴う潜熱の収支や海水の生成・融解などのプロセスが明示的には取り扱われない。また、格子サイズより小さい空間スケールをもつプロセスも考慮されない。そこで、これらのように直接取り扱えないプロセスを数値モデル化し、その影響を取り込むこと（これを、パラメタライゼーションという）が必要となる。ここでは例として海水と雲の取り扱いの例を示す。

(1) 海水モデル⁵⁾

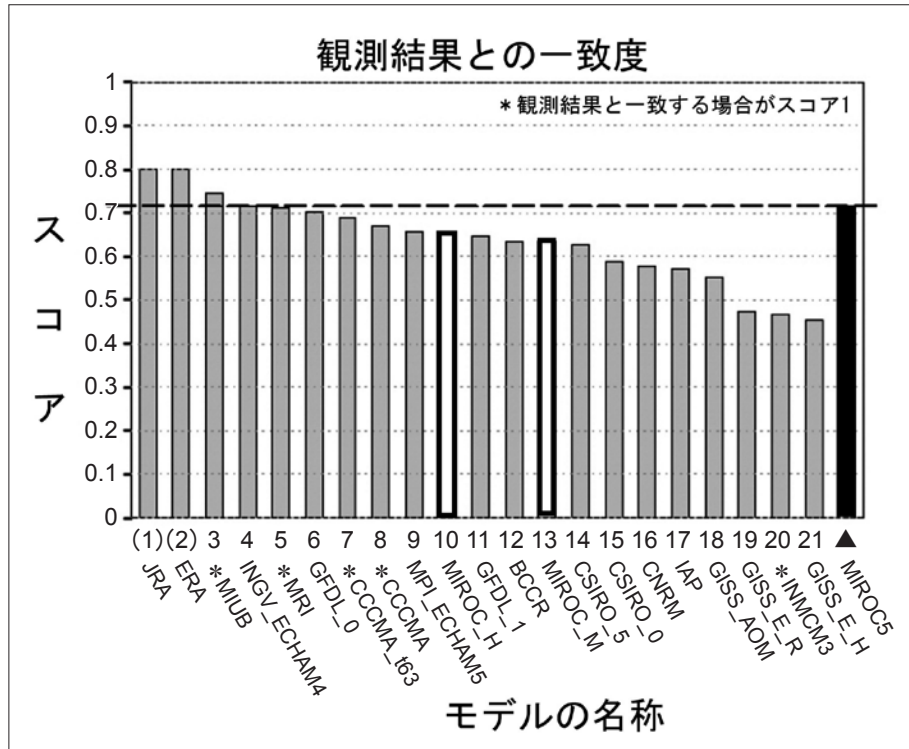
北極海や南極周辺における海水の生成や融解は、大気と海洋の間の熱交換に大きな影響を及ぼすとともに、海洋の循環にも大きく影響している（河野⁶⁾、科学技術動向）。また、氷と海水では反射率が異なり、太陽から受けた熱の吸収度合いにも影響する。そのため、地球温暖化予測モデルでは、海水の生成・融解プロセスが含まれていることが必須である。しかし、モデル化にあたり、海水の生成・融解と海水の運動を表現することはかなり難しい。例えば、現実の結氷のプロセスは複雑で、海水の過冷却→数m深での針状の氷生成→表面への浮上→シャーベット状の氷→蓮葉氷→氷板と変遷する。このような複雑なプロセスをモデルの中で表現することは困難なため、結氷温度になれば氷となる、というような簡略化が行われる。また、海水中の真水が氷となるため、結氷時には高塩分の海水（ブライン）が形成されるが、このブラインの生成排出過程も複雑である。海水が海水の流れとともに運動し衝突する際にも、破壊されるのか、単に結合するのか、乗り上げて面積が減り厚みが増すのか、など様々な状況が考えられる。さらにこれらの現象が、氷の分布や海洋の循環、ひいては気候にどう影響するのか、などは未解明な点が多い。

(2) 積雲対流モデル⁷⁾

地表や海面の暖かい空気が上昇することによって形成されるタワー状の雲を積雲と呼び、高さは2kmから10kmに達する。このうち、大規模なものは積乱雲と呼ばれる。積雲は大量の雨を降らせ、また大気に熱を与え、大気の大循環を駆動する原動力となっている。このような大規模な積雲の集団の例として、インド洋域で形成され、数十日かけて東へ移動

し西太平洋で消えていくものが知られている。これはマッデンジュリアン振動と呼ばれる現象で、日本を含む世界中の気候に影響を与える。また、これはエル・ニーニョ南方振動とも関係する。しかし、この積雲形成のプロセスは、現在多く使われている地球温暖化予測モデルの格子サイズよりも小さい空間スケールで生じており、十分解像できていない。そのため、このプロセスのモデル化の適否が、温暖化予測の結果に大きな不確実性をもたらしていることが知られている。図表3は地球温暖化予測モデルによって再現された9-11月の降水量と観測値の差に統計処理を施し、モデルによる再現結果と観測値がどの程度一致しているかをスコア化して比較したものである。縦軸がスコアを示し、スコアが1であれば観測結果と一致することを意味する。(1)、(2)は入手可能な観測データをもとに数値モデルの結果も併用しながら格子化したデータセットによる結果、*印は観測結果に近づくように人為的に調整（フラックス調整）を施した数値モデル、それ以外はそのような調整をしていない数値モデルによる結果である。モデルによって降雨量が異なることがわかる。図中、白抜き、および黒で示されたスコアは、MIROC (Model for Interdisciplinary Research on Climate) と呼ばれるモデルによるシミュレーション結果である。MIROCは東京大学気候システムセンター（現：東京大学大気海洋研究所）、国立環境研究所、海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター（現：地球環境変動領域）が共同で開発した、大気-海洋-陸面結合モデルで、IPCC AR4への貢献のために開発されたものである。白抜きで示されたスコアは、MIROCの高解像度(H)バージョンと中解像度

図表3 世界各国の地球温暖化予測モデルの結果と降水量観測結果の比較。
(縦軸がスコア(本文参照)。スコアが1に近づくほど、観測結果との一致度が高い。)



出典：文献⁸⁾を基に改変

(M)バージョンによるシミュレーション結果である。黒のスコアはMIROCに最新の積雲対流モデルを組み入れた結果であり、温暖化予測モデル中、4のモデルと並び観測結果に最も近い値を示すことがわかる。

以上の二つの例でもわかるように、地球温暖化予測モデルに含まれるプロセスの取り扱い、すなわちパラメタリゼーションによって、シミュレーション結果は大きく影響を受ける。ここでは2例のみを紹介したが、このようなプロセスはほかにも多数ある。従って、個々のプロセスを高度化あるいはより信頼性の高いものにしていくことが、シミュレーション結果の信頼性を高めることに直結する。

3-2

高解像度化

(1) 全球高解像度モデル

本章冒頭で述べたとおり、地

球温暖化予測モデルは、地球を格子状に区分けして、その格子の中の温度や気圧は一樣と考えて計算を行う。従って、格子サイズよりも小さい空間規模をもつ現象は考慮されないことになる。このため、上述のように個別のパラメタリゼーションを必要とする。言い換えれば、逆に格子サイズを十分小さくすれば、特別なパラメタリゼーションを行わなくても、積雲対流などのような現象は基礎となる方程式に原理的には含まれることとなり、その効果を反映した気候を再現できることとなる。そこで、格子サイズを極力小さくすることが、地球温暖化予測モデルの信頼性を高めるもう一つの方向となる。例えば、東京大学気候システムセンター(現：大気海洋研究所)と海洋研究開発機構地球フロンティア研究センターが共同で開発した地球温暖化予測モデルNICAM(Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model)は、全球を球面に一樣に分布する正20面体格子で覆い、そのサイ

ズを「積雲」を解像できる程度にまで極力小さくすることで信頼性を高めようとしたものである。これまで、格子サイズを3.5 kmにまで細かくし(格子点数は鉛直方向も含めると10億点以上)、多くの積乱雲を解像することに成功している。これにより、パラメタリゼーションによらず、マッデンジュリアン振動を再現することが可能となった。しかし、数100 mないし数 kmのスケールを持つ雲はまだ解像できないため、今後さらなる高解像度化が必要と考えられている⁸⁾。このような試みは、大きな計算機リソース(CPU速度やメモリ容量)を必要とするため、計算機の進歩とともに進められてきており、最近運用が始まった理化学研究所の次世代スーパーコンピュータ「京」の利用が期待されている。

(2) 部分的な高解像度化

高解像度化を目指す場合、例えば格子間隔を半分にすると、水平方向・高さ方向合わせて格子数は

8倍となり、ごく単純に考えると計算時間も8倍となる。一般に格子サイズを小さくすると、膨大な計算機リソースが必要となる。そこで、興味がある箇所のみを格子サイズを小さくするバリアブルメッシュ法や、サイズの違う格子を組み合わせるネスティングという技法がとられる。図表4は、海洋研究開発機構地球環境変動領域が開発した日本沿海予測システム(JCOPE: Japan Coastal Ocean Predictability Experiment)の計算領域を示したものである。このシステムは日本沿岸域での流況を正確に予測することを目指して開発されたものである。日本近海には黒潮が流れているが、この黒潮の変動を再現するには地球規模でのシミュレーションが必要となる。そのため、日本近海のみを計算領域とするモデルを作ることにはできない。そこで、比較的粗い格子サイズで全球のシミュレーションを行い、その結果を境界条件として北西太平洋規模の比較的細かい格子サイズの計算を行

う(JCOPE2)。さらにその結果を境界条件として、日本近海のシミュレーションを行う(JCOPET)という方式を採用している。これにより、最も興味のある海域(JCOPET)を高解像度で計算しながらも全体としての格子数を減らすことが可能となり、計算機リソースを抑制できるという利点がある。この利点により、例えば、福島第一原子力発電所事故に際し、節電のため海洋研究開発機構の地球シミュレータは稼働できなかったにもかかわらず、JCOPEシステムは、放射性物質の海洋拡散予測に用いることができた。

ただし、このように格子サイズを一定としない場合に特有の問題がある。バリアブルメッシュの場合、計算の時間ステップは最小格子サイズに合わせることになるので必ずしも全てが効率的になるわけではない。また、ネスティングの場合には、入れ子にした計算領域の境界条件の設定に工夫が必要とある。これらのことから地球温暖化予測のように比較的長期間の

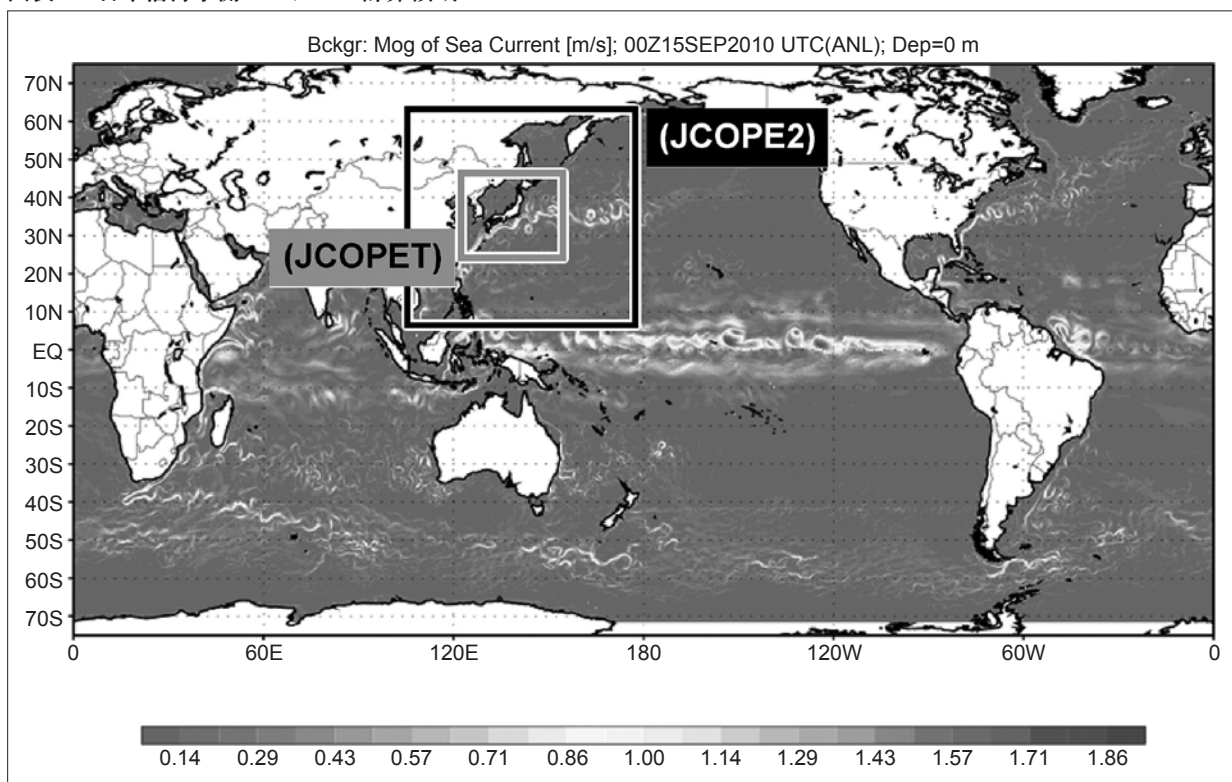
予測には必ずしも適していない面もある。

3-3

アンサンブル平均

地球温暖化予測モデルのように複雑なモデルの場合、第3章で述べたモデルの特徴の違いのほか、普通ならば無視できるような計算を開始する際に用いる初期値の微妙な差異が、予測結果を大きく変えてしまう場合もあることが知られている。複雑な温暖化予測モデルによる予測結果は、初期値に大きく依存していると考えられる。温暖化予測モデルに用いられる初期値は、観測結果をもとに、それをモデルの格子サイズに合わせてグリッド化したものである。そのため、観測誤差やグリッド化の操作に伴う誤差が含まれている。そこで、同じモデルを用いて、初期値を人為的にわずかに変えてシミュレーションを行い、その結

図表4 日本沿海予測システムの計算領域

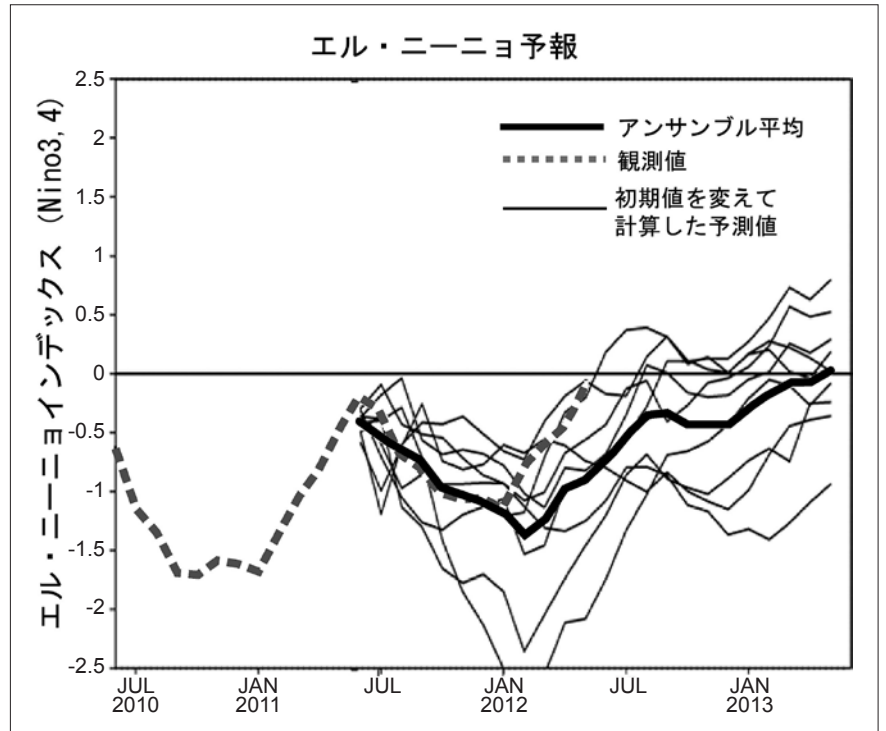


海洋研究開発機構提供

果の平均を取る（これは、時間軸方向に平均する時間平均に対しアンサンブル平均と呼ばれる）ことにより、観測結果との一致度が高くなることが経験的に知られている。図表5は、エル・ニーニョ／ラ・ニーニャの発生を示す指標（エル・ニーニョインデックス）を時系列で示したものである。エル・ニーニョやラ・ニーニャは、冷夏・暖冬や多雨・少雨など我が国の気象に大きな影響を与えるため、比較的近い将来であっても正確な予測が求められる。図表5では、2011年の6月の観測データを初期値として、それを人為的にわずかに変え、いくつかのシミュレーションを行い、1年半先までを予測したものである。黒細線はモデルの予測値を示している。初期値がわずかに異なることにより、指標の推移や1年半後の指標の予測値は比較的大きく異なっていることがわかる。黒太線はそのアンサンブル平均、点線が観測値を示す。各々の予測結果（黒線）にはばらつきがあるが、そのアンサンブル平均は半年先までであれば、その様子を良く再現していることがわかる。

また、同じ条件で計算させた複数のシミュレーションモデルの結

図表5 エル・ニーニョの発生を示す指標の時系列比較。（正の場合がエル・ニーニョ、負の場合がラ・ニーニャとなる）



海洋研究開発機構提供

果を平均すると、観測値に近くなることも経験的に知られている。第2章の図表2の黒丸は全ての地球温暖化予測モデルのアンサンブル平均をとり、それをスコア化したものを示している。観測値（最下段の白丸）に近づくことがわかる。これは、地球温暖化シミュレーションモデルにはそれぞれ固有の特徴があるが、その特徴に起因する特異な値が平均操作によって見

えにくくなるため、と考えられている。

このように、地球温暖化予測モデル一つ一つの信頼度を上げる方式以外にも、複数のモデルを動かす、あるいは単一のモデルを微妙に異なる初期値を使って動かすなどの方法により複数の予測結果を得、その平均をとる、という方法も予測結果の信頼性を高めることにつながる。

4 まとめ

地球温暖化予測モデルは、着実に進歩してきており、地球温暖化が現在進行中であり、その原因が人為起源温暖化効果気体であることをほぼ特定した。さらに、温暖化が将来どの程度進行するかの予測知見を示し、早期に対策をとることの必要性を明らかにするに至った。今後は具体的な対策立案に資するような、より定量的な知見が求められる。そのためには、地球温暖化予測モデルによるシミュレー

ション結果の不確実性を軽減する必要がある。本報告では、そのための3つの方向性を概説した。

このような地球温暖化予測モデルの発展は、計算機環境の整備と密接に関わっている。信頼性を増すための高解像度化には莫大な計算機リソースを必要とするが、計算時間という観点から考えた時に、2通りの方向性がある。一つは、演算速度である。たとえば、第3章で紹介したNICAMのよ

うな高解像度モデル開発のためには、演算速度が早いコンピュータが不可欠である。最近運用を開始した理化学研究所の次世代スーパーコンピュータ「京」に期待する所は大きい。既存の地球温暖化モデルを「京」用にカスタマイズするためには、気候分野の専門家ばかりではなく、計算機システムの専門家と一体となって進めていくことが必要である。もう一つは、メモリバンド幅である。地球温暖

化予測モデルは複雑なプロセスの組み合わせ、という特徴を持っている。各プロセスは、その分野の専門家によって研究され、副プログラムとして温暖化シミュレーションモデルに組み込まれている場合が多い。そして副プログラム間でのデータ転送に長い時間を必要とする。極端なケースでは、シミュレーション結果を得るための総計算時間のうち、演算時間とデータ転送の時間が同等、という場合もある。このため、データ転送に要する時間を短縮するような

広データバンド幅の計算機を開発運用していくことも重要となる。

地球温暖化予測モデルは、全球を格子に区切って計算していることから、将来予測のための初期値としても、信頼度測定のためのシミュレーション結果と観測データの比較のためには、観測データを全球で格子状に取得することが必要となる。現実にはそのようなデータを取る理想的な観測手法は存在せず、船舶等による全球観測網⁹⁾や人工衛星による地球観測によって得られるデータを基に作成

されたデータセットが用いられている。このような観測データを充実させていくことも不可欠であることを附言しておく。

謝辞

本報を執筆するにあたりご協力頂いた海洋研究開発機構の河宮未知生博士、またコメントと共に図表4、図表5を提供して頂いた海洋研究開発機構の升本順夫博士に感謝します。

参考文献

- 1) IPCC 編、気候変動 2007 IPCC 第4次評価報告書—政策決定者向け要約—邦訳版
- 2) 平成24年度「気候変動リスク情報創生プログラム」の公募について：
http://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/1318793.htm
- 3) T. Reichler and J. Kim, How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate?, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol.89, 303-311, 2008
- 4) 近藤洋輝、地球温暖化予測の最前線、成山堂書店、2009
- 5) 羽角 博康、海水モデル開発：http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/~hasumi/work/subject/model_develop/sea_ice.html
- 6) 河野健、海洋深層循環と熱輸送に関する観測研究の動向、科学技術動向、No.116、p.29-33、2010
- 7) 積雲対流パラメタリゼーションの開発：<http://www.jamstec.go.jp/rigc/j/gcprp/cmrt/>
- 8) 富田浩文、全球雲解像モデル NICAM の開発と展望、Frontier News Letter, Vol.33, p.2-3, 2008
- 9) 瀧澤隆俊、地球変動予測を意識した21世紀の海洋観測、科学技術動向、2008：
<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/995/3/NISTEP-STT082J-1.pdf>

執筆者プロフィール



河野 健

科学技術動向研究センター 客員研究官
海洋研究開発機構 地球環境変動領域 プログラムディレクター
<http://www.jamstec.go.jp/rigc/j/occrp/index.html>

専門は海洋学。観測を通じて海洋環境の変動を明らかにする研究に従事。海洋底層の水温上昇と南極オーバーターンの変化を研究している。
東京大学大学院新領域創成科学研究科客員教授。