

ただし、モデルの反応は誤りでないが、現実に見られる小さな変化は何か別の（未知の）効果による逆向きの変化のために、ほとんど相殺された結果との解釈もでき、断定はできない。

2 | 4 | 3 | 地域気候モデルによる温暖化予測研究

【 18】境界条件

ある領域で定義された関数(ここでは気圧、温度、風速など)の時間変化は、与えられた微分方程式を時間積分することによって求められる。その際に、考えている領域の境界における関数またはその関数の空間微分が満たすべき条件。

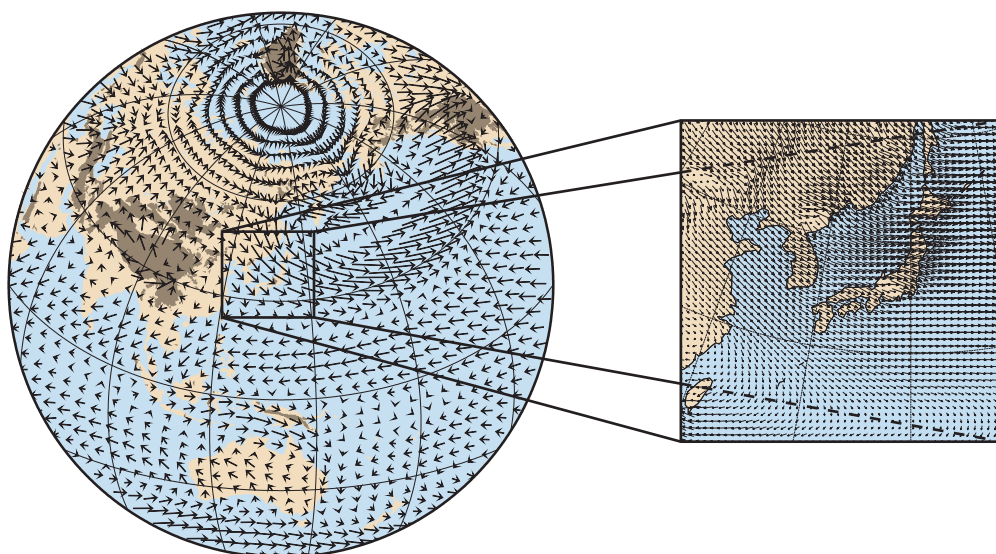
これまでに温暖化予測に用いられた全球気候（大気・海洋結合）モデルの水平分解能は250km程度である。この分解能の結果をそのまま用いて地域気候レベルの気候変化予測を行うことはできないので、地域気候レベルに結びつけるための（ダウンスケーリング）方法として以下の方法が用いられている。

1) 高分解能全球大気モデルを用いて、全球気候モデルで計算された海面水温を境界条件【 18】として計算する。

2) 対象とする地域のみを高分解能化した地域気候モデルを用い、領域の境界条件を全球気候モデルで計算する【図8】。

3) 長期間の観測を用いて、全球気候モデルで表現できる大規模運動場の気象要素の変動と地域的な気候変動との間に成り立つ統計的関係を求め、これを、温暖化時の変化に適用する。

1)の方法ではこれまで100km程度の分解能が限界であり、3)については温暖化による気候変化に、自然変動から得られた統計的関係がどの程度成り立つか不明な部分が多い。そのため、日本付近の温暖化の影響を見積もる際には、2)の地域気候モデルによるダウンスケーリングが、より信頼性の高い方法として用いられてきた。



【図8】 全球気候モデルにネスティングされた地域気候モデル。

日本の地域気候モデルによるダウンスケーリング研究

日本では三つの研究機関（気象研究所、国立環境研究所、電力中央研究所）が、各々独立して地域気候モデルを開発し、日本付近の温暖化の影響を計算している。【図9】に3機関の温暖化実験による冬の降水量についての結果を同じ様式で示したが、実験の設定は、以下のようになっている。

気象研究所（佐藤，2000）は、水平分解能400kmの気象研究所気候モデルに、分解能120kmのアジア地域モデル、さらにこれに分解能40kmの日本域モデルを2重にネスティング（入れ子構造）して、1月について20年分積分している。

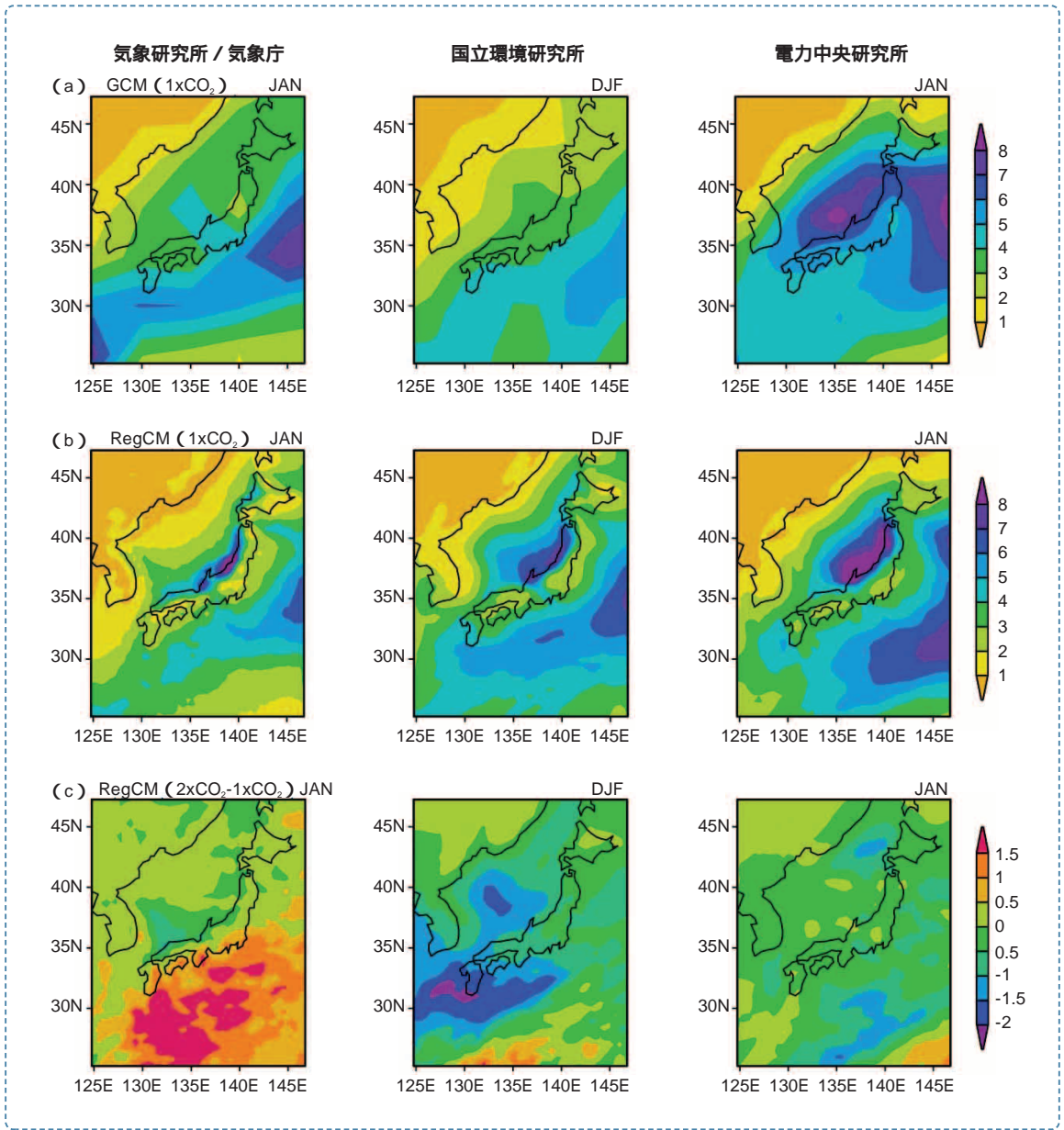
国立環境研究所（Emoriら，2000）は、水平分解能約560kmの東京大学気候システムセンター／国立環境研究所（CCSR／NIES）気候モデルによる温暖化実験で得られた海面水温の変化を用いて、前項で示した1）の方法により、分解能約280kmの大気大循環モデルを用いて10年連続で温暖化実験を行い、これに、分解能50kmの日本域モデルをネスティングしている。

電力中央研究所（Katoら，2002）は、水平分解能280kmの米国国立大気研究センター（NCAR）気候モデルに、分解能50kmの東アジア域モデルをネスティングして10年間連続積分している。

これらを踏まえて【図9】を見ると、冬の日本海側では降水（降雪）が多く、太平洋側では乾燥するという特徴的な気候が、全球モデルではよく再現できていないし、モデル間のばらつきも大きい。しかし地域気候モデルでは、ほぼ一致してよく再現できている。

また、温暖化時にシベリア大陸からの寒気の吹き出しが弱まることは、多くの全球気候モデルで予測されるので、地域気候モデルでもほぼ一致した降水の変化パターンが予測されている。しかし、太平洋側については、全球モデルのばらつきが、そのまま、地域モデルの結果に反映されている。

ここで示した例から、全球気候モデルの予測精度を理解すれば、地域モデルの結果をより有効に活用できることが分かる。



【図9】地域気候モデルによる地球温暖化実験の日降水量 (mm) の比較。上段: 全球気候モデル、中段: 地域気候モデル、下段: CO₂ 倍増に伴う変化。左列: 気象研究所 (1月平均)、中列: 国立環境研究所 (12、1、2月平均)、右列: 電力中央研究所 (1月平均)。(データ提供: 気象研究所佐藤康雄、国立環境研究所江守正多、電力中央研究所加藤央之)

2 | 4 | 4 | 地球シミュレータ時代の気候モデリング

これからのモデル開発の方向

これまでの気候モデルの発展と、気候変動研究の動向、社会的要請の強い温暖化予測の精度向上などを考えたとき、計算能力が飛躍的に向上した状況の下でのモデル開発の方向として、次のようなものが考えられる。

たとえば、これまでと同じモデルで水平および鉛直の分解能を上げる。それによって、今まで困難だった熱帯低気圧など比較的小さな現象の予測が可能になる。

次に、今までの限界を越えて水平・鉛直分解能を上げたモデルをつくる。すると集中豪雨や台風をより確かな基礎の下に再現することが可能になり、温暖化によって梅雨はどう変わるか、台風の数や強さはどうなるか、といった重要な問いにより正確に答えることができる。

また、いろいろな物理過程のパラメタリゼーションをより詳しく扱う方向で開発を進めることが考えられる。たとえば雲による日射の反射と吸収を計算するのに、雲層を構成する雲粒の数の粒径分布を、その原因（凝結の核）となるエアロゾルまで遡って考慮し、それに基づくパラメタリゼーションを案出して気候モデルに組み入れる、などである。

他にも、炭素循環などを再現する地球環境の統合モデルを作ることが考えられる。

現在の地球シミュレータを用いたモデル開発計画

日本ではモデルによる地球温暖化予測を実施できるグループは少数に限られており、お互いに連絡を取り合える関係にあった。過去10年近く、地球温暖化や異常気象の予測のための気候モデルの開発をどうすべきかを討論し、研究目標について共通認識を持つようになった。特に、進行中だった地球シミュレータ計画に対応して、完成時にどのようなモデルを作り、どのような温暖化実験をすべきかについて、所属機関の特色を考え、日本全体としてどのような役割分担が適切かについてもほぼ共通した理解を持つに至った。

折しも、2001年度末に地球シミュレータ運用に関する「人・自然・地球共生プロジェクト」が設けられたので、研究者レベルでの自主的計画の大部分がこのプロジェクトの形で実現することになった。地球シミュレータを用いて現在行われている主なモデル開発の課題と担当グループを以下に記す。

高分解能大気・海洋結合モデルの開発とそれを用いた地球温暖化実験

[19] スペクトル法

地球上の気温、気圧などの分布を表すのに、緯度・経度などの座標にもとづく格子で表すのではなく、 $\{\sin x, \sin 2x, \sin 3x, \dots, \sin Mx\}$ のように決まった関数の多数の和で表す方法。sin関数の例では、最大波数 M が大きいほど、細かい分布が表現できるので分解能が高くなる。T106、T213、T639などのTはスペクトル法(の波数切断の方法)を表し、106、213、639は球面上で東西方向の最大波数を示す。

当面スペクトル法 [19] T106 (水平分解能120km相当) AGCM (大気大循環モデル) と水平分解能 $1/4$ (経度) \times $1/6$ (緯度) OGCM (海洋大循環モデル) の結合で20世紀実験、21世紀シナリオ実験を行う。次にT213 (水平分解能60km相当) AGCMと $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ OGCMの結合を目指す(東大気候システム研究センター、国立環境研究所、地球フロンティア研究システムの三者共同)。また、英国気象局・ハドレー気候予測センターと協力し、同一シナリオでのモデル実験の比較を通して、モデルの高度化を図る予定である。

電力中央研究所と米国立大気研究センター(NCAR)の協力による中分解能CGCM(大気海洋結合モデル)による温暖化実験。

超高分解能AGCMおよび雲解像大気モデルを開発し、別途実行される中分解能CGCMによる温暖化実験により得られた結果を用い、将来のある時期の温室効果ガス濃度と海面水温分布を与え、超高分解能AGCMおよび雲解像大気モデルで台風、梅雨など大気諸現象の変化を調べる実験を行う。現在の予定はT639(20km格子相当)雲解像大気モデルは数km格子非静力。(気象庁・気象研究所)

現在多く行われている地球環境の物理的状態とその変動を表わす「気候モデル」を拡張して炭素循環、大気組成、さらには生態系変動までもを含めた地球システム統合モデルを開発する。当面の目標として大気・海洋・陸域生態系間炭素循環モデルと気候モデルを結合し、炭素循環変化のフィードバックをも含めた温暖化実験を行う。(地球フロンティア研究システムを中心とし、東大気候システム研究センター、国立環境研究所、大学と協力)

地球フロンティア研究システムによるメソ・スケール(中規模)対流を表現する(5km以下格子)全地球非静力大気モデル開発。これにより現在の最大の困難である対流雲のパラメタリゼーションを不必要にする。超高分解能化のため現在用いられているスペクトル法や緯度・経度座標ではなく、正20面体をもとにした「準一様格子」を用いる新しいタイプのモデルを開発する。

以上のうちを除いて「人間・自然・地球共生プロジェクト」の課題として実施され、同時にこれらは地球温暖化研究イニシアティブの構想とも一致するものである。