

- 野沢 徹, 江守正多, 沼口 敦, 竹村俊彦, 中島映至, 阿部彩子, 木本昌秀, 1999: 多種類のエアロゾルによる直接・間接効果を考慮した場合の全球大気海洋結合モデルを用いた気候変化実験, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, A152.
- 野田 彰, 1999: 開放系における自然変動と気候変化, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, A155.
- Noda, A., S. Nakagawa, T. Motoi, S. Yukimoto and T. Tokioka, 1996: Global warming induced by CO₂ and the Okhotsk Sea, J. Remote Sensing Soc. Japan, 16, 89-99.
- Noda, A., K. Yoshimatsu, A. Kitoh and H. Koide, 1999 a: Relationship between natural variability and CO₂-induced warming pattern: MRI coupled atmosphere/mixed-layer ocean (slab) GCM Experiment, Preprint volume of the 10th Symposium on Global Change Studies. 10-15 January 1999, Dallas, Texas. 5A. 1.
- Noda, A., K. Yoshimatsu, S. Yukimoto, K. Yamaguchi, and S. Yamaki, 1999b: Relationship between natural variability and CO₂-induced warming pattern: MRI AOGCM Experiment, Preprint volume of the 10th Symposium on Global Change Studies, 10-15 January 1999, Dallas, Texas. 5A. 2.
- Palmer, T. N., 1993: A nonlinear dynamical perspective on climate change, Weather, 48, 313-348.
- Palmer, T. N., 1999: Nonlinear dynamical perspective on climate prediction, J. Climate, 12, 575-591.
- Takata, K. and A. Noda, 1997: The effect of cumulus convection on CO₂-induced climate change, J. Meteor. Soc. Japan, 75, 677-686.
- Timmermann, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif and E. Roeckner, 1999: ENSO response to greenhouse warming, Nature, 398, 694-696.
- Tokioka, T., A. Noda, A. Kitoh, Y. Nikaidou, S. Nakagawa, T. Motoi, S. Yukimoto and K. Takata, 1995: Transient CO₂ experiment with the MRI CGCM—Quick report—, J. Meteor. Soc. Japan, 73, 817-826.
- Tokioka, T., A. Noda, A. Kitoh, Y. Nikaidou, S. Nakagawa, T. Motoi, S. Yukimoto and K. Takata, 1996: Transient CO₂ experiment with the MRI CGCM—Annual mean response—, CGER's Super-computer Monograph Report Vol. 2, National Inst. for Environ. Studies, Tsukuba, Japan, 86pp.
- 山口和貴, 八牧幸子, 野田 彰, 1998: 太平洋海面水温の自然変動と温暖化の空間パターンの類似性 (3) モデル間の相互比較, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, A164.
- 山口和貴, 野田 彰, 八牧幸子, 1999: 自然変動および温暖化予測のモデル相互比較, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, A154.

306 (地球温暖化; 地域気候モデル; 地域気候)

4. 地球温暖化に伴う日本域の気候変化予測

佐藤 康 雄*

1. はじめに

二酸化炭素 (以後 CO₂ と表記) を始めとする温室効果ガスの大気中濃度の増加による気候の温暖化が危惧されている。世界の多くの気候予測センターでは、高性能電子計算機を駆使して全球大気海洋結合モデル

(以後、特別な場合以外は全球気候モデルと表記)中の CO₂濃度を例えば年率 1% 複利等の種々のシナリオで増加させ、現在の濃度に比べて 2 倍、4 倍になるときの気候変化予測実験を行っている。最近では CO₂ だけではなく、硫酸エアロゾルの効果も考慮されるようになってきている。全球気候モデルによる温暖化予測実験の最近の進展については、野田氏の講演の通りであるが、全球気候モデルの不確実性については依然とし

* 気象研究所環境・応用気象研究部。

© 2000 日本気象学会

て問題が残されている。

しかし、社会の要求は多くの場合学問の進展の先を行くものである。全球気候モデルによって、数1000 km 規模での気温・降水量の分布が得られたとして、例えば日本列島周辺の気候はどのように変化するのか？降水量は…、地上気温は…というのが、農業、水資源、土木、生態系の保全等に携わる人達の関心事である。例えば、冬の日本海側の降水量がCO₂倍増時にどの様になるのかということ、少なくとも日本海側と太平洋側との違いを表現した上で知りたくなるところである。しかし、現在の所、温暖化実験に用いられている世界の全球気候モデルの水平格子間隔は数100 km 位で、日本列島の海岸線や地形はとても表現できていない。また、水平規模1000 km 以下の大気中の渦や波も直接十分には表現されていない。例えば、気象研究所の温暖化予測実験用全球気候モデルの旧版の水平格子間隔は大気部分は経度5度×緯度4度、海洋部分は大気の半分で経度2.5度、緯度2度である。従って、とても冬の日本海側の多降水量と関東平野の空っ風等は表現すべくもない。

ほんの10年位前までは、全球気候モデルを用いて100年以上もの気候計算を行うためには数100 km の水平格子間隔が限界だったので、CO₂濃度が倍増したときの地域的な気候変化などを物理的な方法で予測することは難しいと考えられていた。しかし、1980年代末から、相対的に粗い分解能の全球気候モデルの計算結果を境界・初期条件として、関心のある領域に高分解能の領域気候モデルをネスティングし(埋め込んで)、それを長時間積分する数値計算の技術が進歩してきた(例えば、Giorgi and Mearns, 1991; Kida *et al.* 1991; Sasaki *et al.*, 1995; Giorgi and Mearns, 1999)。さらに、この手法はCO₂倍増時の地域気候変化予測の研究にも、盛んに適用されるようになってきている(例えば、IPCC 第1作業部会第2次評価報告書, 1996; 佐藤, 1999)。1, 2日位の短時間積分であればネスティングの方法は、かなり前から数値天気予報で使われて経験を積んではいたが、1か月以上の長時間積分は、側面境界条件の取り扱いの問題の故に、10年位前までは無理だと考えられていたようである。

2. 地域気候モデルの発展

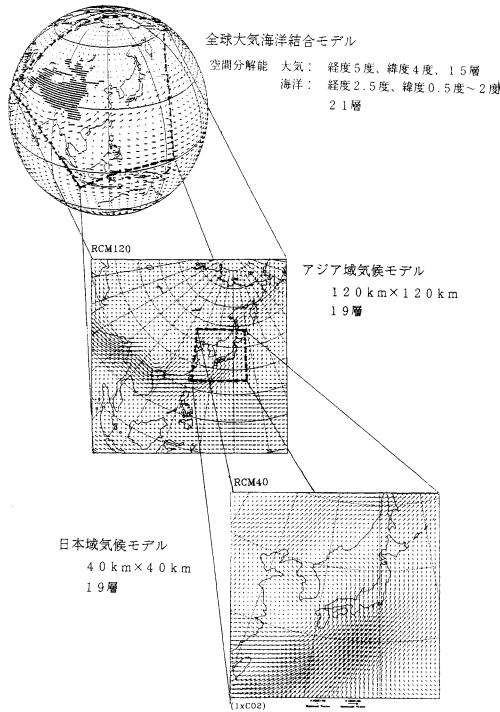
ところが1989年ごろ、Dickinson *et al.* (1989), Giorgi and Bates (1989), Giorgi (1990) 等その当時の米国国立大気研究センターの研究者らが領域気候モ

デルの長時間積分によって意味のある地域気候計算ができることを初めて示した。側面境界条件の扱いは外側の物理量の値に内側の値をなじませ、外側へのフィードバックはないとする、いわゆる one-way の(一方向きの)境界緩和法 (Davies, 1976) であった。その後、この種の地域気候モデリングの研究はかなり急激に発展し、現在では世界の多くの研究機関、大学で研究が行われている(例えば、IPCC 第1作業部会第2次評価報告書, 1996; Giorgi and Mearns, 1999等参照)。国内でも気象研究所、電力中央研究所、国立環境研究所で研究が行われている。土木研究所でも、以前CO₂倍増実験結果にネスティングする方法で研究が行われていた(土木研究所研究報告, 1996)。

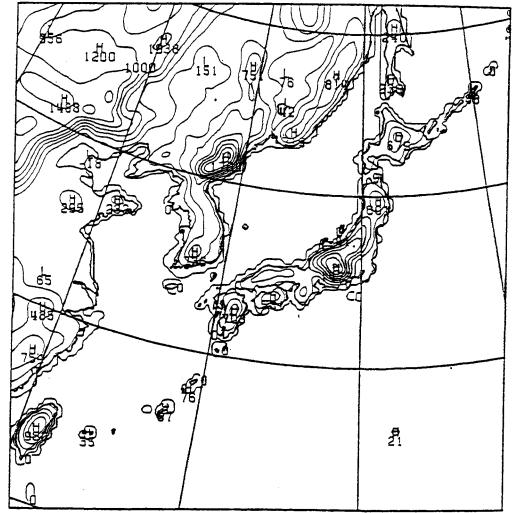
ここで、本稿で地域気候モデルと領域気候モデルという用語を併用していることについて、一言述べる。地域気候モデルは英語で Regional Climate Model に対する用語として使用しているが、学会で認可されているわけではない。本稿の中で、著者はそれぞれを次のように使い分けているつもりである。すなわち、領域気候モデルという用語は全球気候モデルに対する用語で、側面境界(あるいは遷移領域)において、ある限られた領域だけの高分解能気候を計算するモデルで、特に対象とする地域とか広さとかが特定されていない一般的な場合、一方、地域気候モデルは領域気候モデルの一種ではあるが、対象地域や対象とする領域の広さが具体的に特定されて議論されている場合である。これらに加えて局地気候モデルという用語もあるので、いずれ別の場所で用語の定義をしっかりとする必要もあるかも知れない。

現在、私の知る限り、全球気候モデルによるCO₂漸増実験結果にネスティングすることによってCO₂倍増時の地域気候変化予測を行っているのは世界でも日本の3機関の他は豪州CSIROのMcGregorのみである。倍増平衡実験結果へのネスティングを行った英国ハドレーセンターのJonesらが漸増実験へのネスティングを行っていないのは、見識というべきか？本稿では日本の3機関の結果について簡単に紹介する。

気象研究所のネスティング手法が他機関とやや異なっているのは、いわゆる境界緩和法に加えて、Kida *et al.* (1991) によるスペクトル境界結合法を500 hPaより高い層について併用している点である。第1図は二重ネスティング気象研究所モデルの概念図である。気象研では最内側に水平格子間隔40 km のJSM(日本域スペクトルモデル：気象庁数値予報課で領域メソ予



第1図 気象研究所二重ネスティング地域気候モデルの概念図 (Sato *et al.*, 1999).

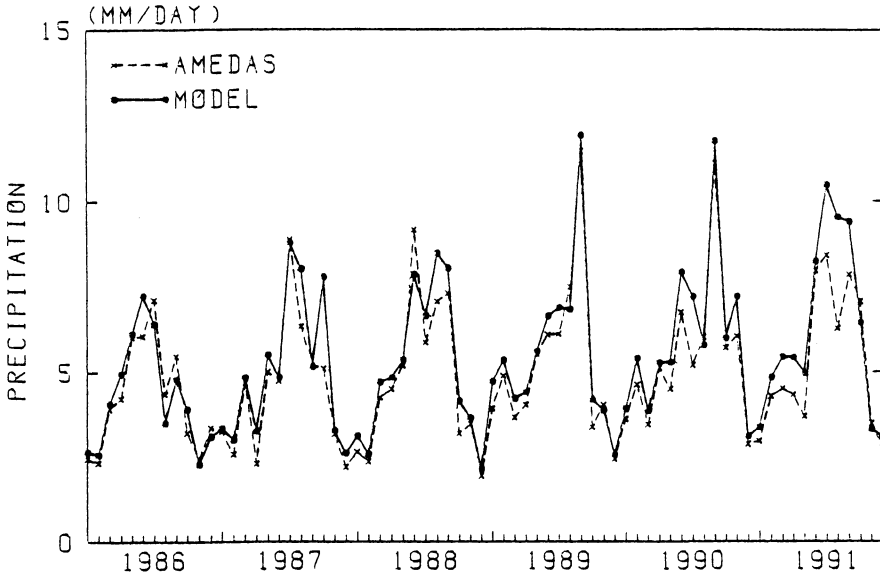


第2図 JSM (日本域スペクトルモデル; 水平格子間隔40 km) における地形・海岸線の表現。等値線間隔は200 m。(Segami *et al.* (1989) より)。

報に使われているものの前の世代のもの (Segami *et al.*, 1989) を長時間積分用に若干改良して使っている。最内側の JSM と最外側の全球モデルで分解能が10倍も異なるので、中間に JSM の対象領域を拡張して水平格子間隔を120 km に落としたモデルを挟んでいる。第2図は JSM (40 km の水平格子間隔) で表現される日本列島の地形・海岸線である。飛騨、木曾、赤石の諸山脈を識別するのはさすがに無理だが、日本列島の海岸線と脊梁山脈はかなり良く表現されている。

電中研は T42 の NCAR-CSM の漸増実験結果に水平格子間隔 50 km の NCAR-RegCM2.5 (NCAR-RegCM2 に CCM3 の放射モデル (Kiehl *et al.*, 1996) を組み込んだ改良版) をネスティングした結果を発表している (Kato *et al.*, 2000)。この RegCM2.5 は Penn State Univ/NCAR が共同開発した MM4 (Anthes *et al.*, 1987) を基にしたものである。国立環境研では CCSR/NIES での CO₂ 漸増実験に、コロラド州立大学開発の CSU-RAMS (非静力学モデル) の物理過程を大幅に取り替え、水平格子間隔50 km の NIES/CCSR 地域気候モデルとも言うべきモデルをネスティングしている。

地域気候モデル自体が気候を表現する上で、どの程度の性能を持っているかということは、過去のデータを用いて検証することができる。それは、モデル出力の代わりに数値天気予報の初期値として使用されている観測データ (客観解析値といわれる。) を用いて、モデルを例えば1か月数値積分し、1か月平均値、例えば月降水量、地上気温、標準偏差等を観測値と比較して見ることである。また、1つ1つの低気圧に伴う雨がどの程度観測とモデルで対応しているかを調べることもできる。それらの比較の結果によると、台風に伴う雨などを除けば、雨のタイミングはかなり良く、量についてもそこそこ比較し得るレベルにあることが確かめられた (Sasaki *et al.*, 1995; Kato *et al.*, 1999; Mabuchi *et al.*, 2000a; Emori *et al.*, 2000; Sasaki *et al.*, 2000)。少し厳しくいえば、梅雨前線に伴う雨の表現はモデルによっては、問題がある。ここでは、Mabuchi *et al.* (2000a) の JSM30 km 格子モデルに気象研究所開発の陸面植生モデル (BAIM (Mabuchi *et al.*, 1997)) を組み込んだモデルの6年半の連続積分結果の降水量についてモデルと観測 (AMeDAS) の比較について紹介する (第3図)。計算資源の関係で、このモデルを漸増実験結果にネスティングした訳ではないが、この種のモデルの客観解析値を境界条件に用いた検証例として、このモデルの結果を紹介する。日本列島上で平均された月平均降水量のモデル (実線) と



第3図 日本列島域で平均された月平均降水量の観測値 (AMeDAS: 破線, 記号×) とモデル計算値 (実線, 記号黒丸) の時系列での比較 (Mabuchi *et al.*, 2000a).

アメダス観測値 (破線) との比較である。1991年についてモデルが降水量を過大に計算していることを除けば、季節変化、年々の変化をモデルはかなり良く表現していることがわかる。しかし、脊梁山脈の風上側で正の誤差、風下側で負の誤差 (あるいは、その逆)、双方を平均して誤差が小さくなっているということも考えられるので、夏季3か月について、地域ごとに比較した結果を、6年分、年毎に示す (第4図, Mabuchi *et al.* (2000b)).

3. CO₂ 倍増時の日本列島周辺 (東アジア域) の気候変化予測実験—全球気候モデル結果への接続

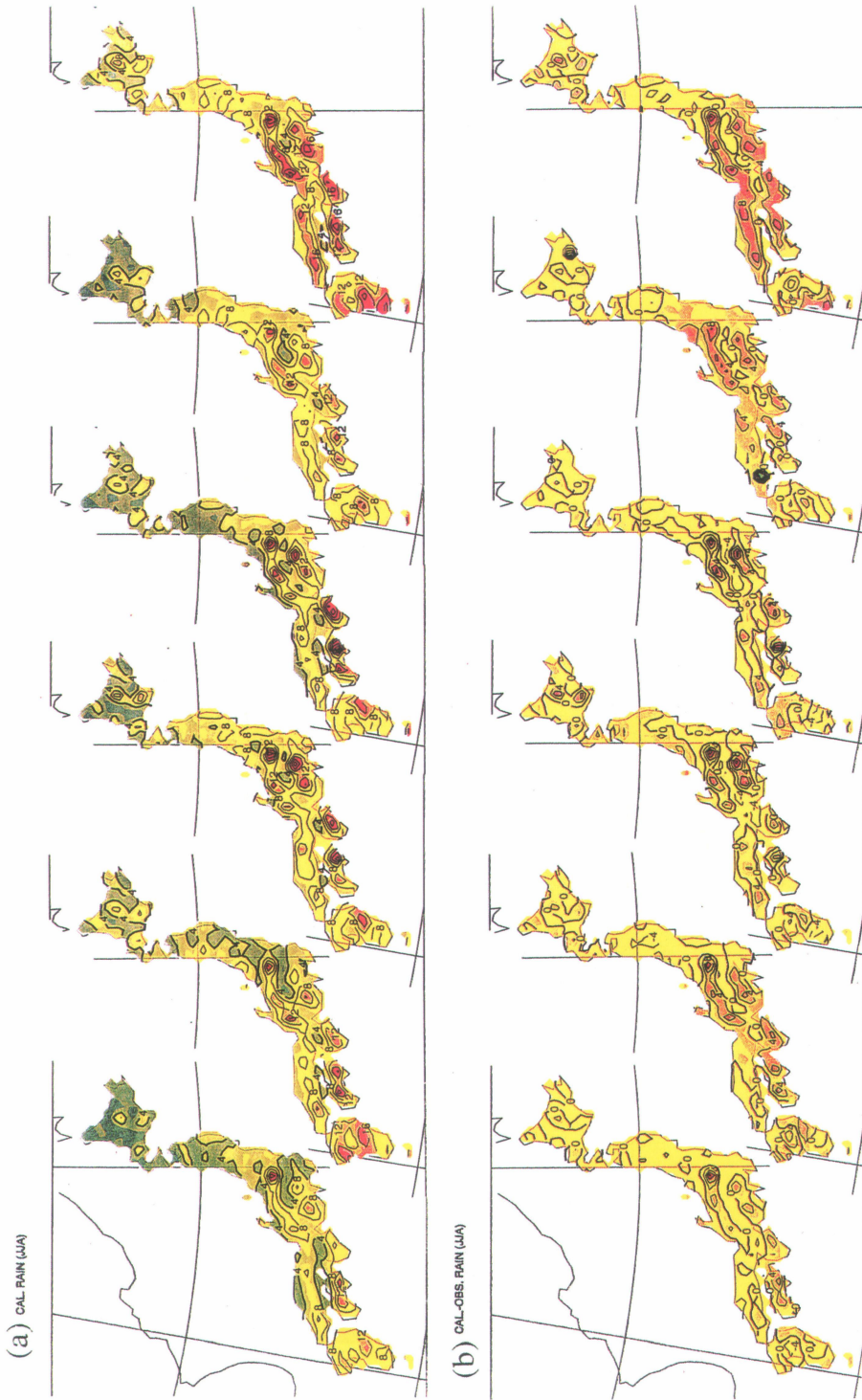
本節では全球気候モデルによるCO₂漸増実験のCO₂倍増時の結果に地域気候モデルをネスティングして大気中CO₂濃度倍増による地球気候の温暖化が日本列島周辺 (東アジア域) の気候にどのように表れるのかという計算を行った国内3機関の結果を (未だ初歩的な段階であるというべきと考えるが) 対比しつつ述べる。全球気候モデルでは1980年代後半の全球平均大気中のCO₂濃度345 ppm から始めて、年率1%複利で増加させた実験を行っている。大気中のCO₂増加率の見積もりは1%よりは低いが、メタン、一酸化二窒素、ハロカーボン類等の他の温室効果ガスの濃度増加の見通しをCO₂濃度の効果に換算して加算したものである。モデルが完璧であれば右上がりのカーブすな

わち漸増実験1つで良い筈である (事実, NCAR-CSM にネスティングしている電中研はコントロール実験を行っていない。)が、一般的に言えば、モデルには取り扱いの不十分な物理過程等があり、完璧とはいえない。そこで、気候インパクト実験の常套手段としてCO₂濃度増加以外は全く同等の2つの数値計算を行い、その差をとってCO₂増加に伴う気候変化を評価するという方法をとる (気象研究所, 国立環境研究所)。

さて、複利で1%ずつ濃度が増加していけば、70年後にCO₂濃度は2倍になる。最初を1985年とすると2055年である。

3.1 気象研究所

気象研では71年後から80年後までの10年間の1月についてだけ、この全球気候モデルの結果を切り取って計算することにした。気象研の1月の積算降水量の基準実験 (1×CO₂) の結果について述べる (第5図b)。比較のために粗い分解能の全球気候モデルの計算結果を40 kmの格子間隔に内挿した結果を第5図aに示す。一見してわかる特徴は全球モデルでも地域モデルでも日本列島南岸沖に多降水量のベルトがあることである。冬1月には、日本列島南岸のこの辺りがモデルで再現された低気圧の通り道になっているが、上下の図を見てわかるように低気圧に伴う海上の降水量は5度×4度の格子間隔の全球モデルでもそれなりに表現されている。この結果は、いわゆる“スペクトル結合”



第4図 モデルによって計算された夏季3か月(6, 7, 8月)平均の各年の降水量(mm/日) (a)とモデル計算値と AMeDAS 観測値との差 (b). 左端の図が1986年, 右端の図が1991年を表す. 暖色が相対的に大きな値を表す (Mabuchi *et al.*, 2000b).

の直接の結果ではないことは、中間に120 km 格子間隔のモデルを挟んでいることから、明らかである。

ところが、分解能の粗い全球モデルでは予想通り冬の日本海側の降水量を殆ど表現できておらず、むしろ能登半島沖の日本海上に極大値がある。これに対して地域気候モデルでは秋田から福井までの各県（細かくいえば、富山を除く。）で降水量の極大が計算されている。観測値の気候図については本文では省略するが定性的な一致については納得して頂けるものと思う。

第5図cは漸増実験のCO₂倍増時と基準実験の差、すなわち、CO₂倍増に伴う日本列島周辺の1月積算降水量の変化予測値である。日本海北部と東シナ海で降水量の減少、日本列島周辺とその南方海上で微増というおおまかな特徴は、全球気候モデル（図省略）と地域気候モデルで共通している。統計的な信頼性はないと思うが、さらに細かく見ると、地域気候モデルでは東北・関東・中部地方、新潟、四国で降水量が増加する一方、北海道、九州の一部等では、降水量が減少する。

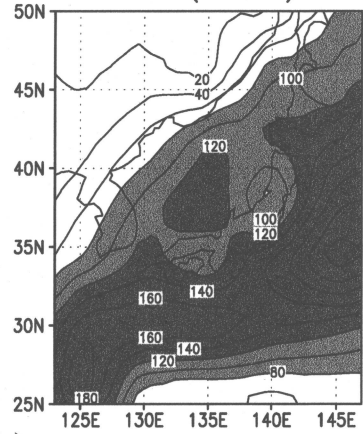
3.2 電力中央研究所

電中研ではNCAR-CSM：T42(格子間隔280 km程度に対応) 漸増実験結果にRegCM2.5：50 km 格子間隔の結果をネスティングしている。このモデルは先述したように、気候ドリフトがないとして(Boville and Gent, 1998)、フラックス調整を行っていない。1月についてのみ、現状の気候再現結果を見ると、CSMがオホーツク海等の海水を過大評価しているので、その影響が地域気候モデルの計算領域北部でバイアスとして出ている。日本域の地域平均での、降水量のバイアスは、地形性の降水を過大評価する関東地方(モデル地形が南に面した斜面として表現されている)で大きいほかは、顕著でない。CO₂倍増に伴い、気温は領域北部で統計的に有意な大きな上昇を示すが、降水量に関する有意な変化は見られない。第6図がその結果である。

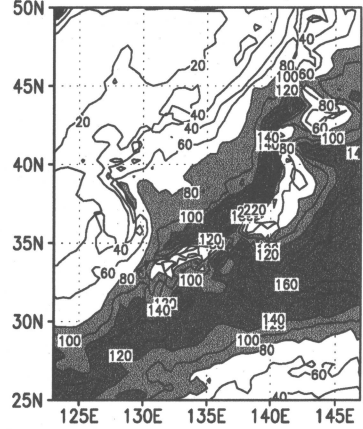
3.3 国立環境研究所

国立環境研の地域気候温暖化実験は、設定が上記2研究所とかなり異なっている。まず、最初にCCSR/NIESの全球気候モデルによる温暖化実験の漸増実験と基準実験の海面水温の差(アノマリー)についてCO₂倍増時付近の50年平均値を作る。次に、T42(格子間隔280 km程度に対応)の大気大循環モデルのみを、実況の海面水温を用いた1×CO₂ランと実況海面水温にCO₂倍増時の海面水温アノマリーを加えた2×CO₂

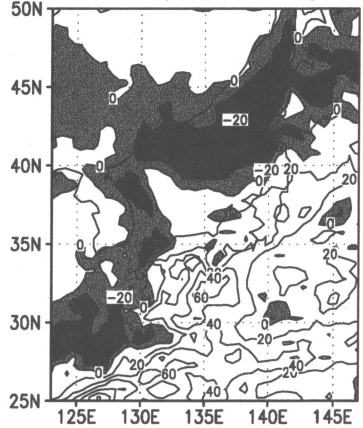
(a) GCM RAIN(1×CO₂) JAN



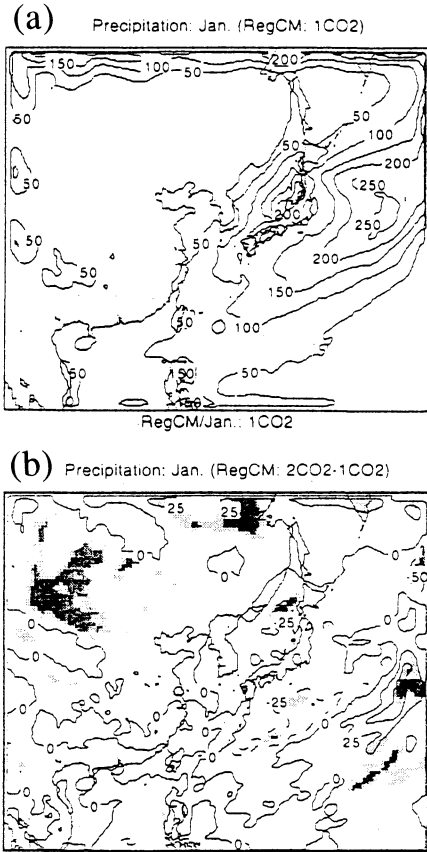
(b) RCM RAIN(1×CO₂) JAN



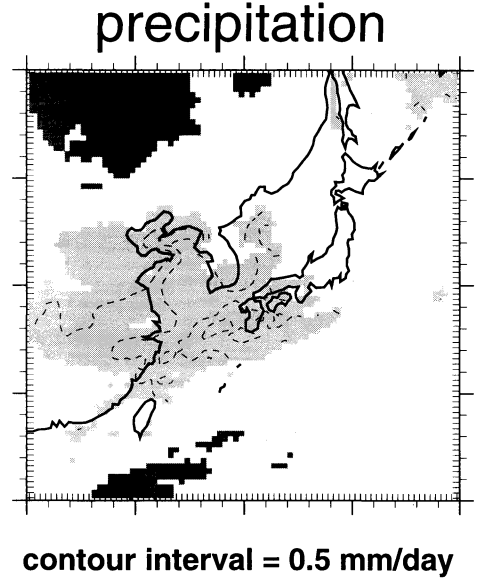
(c) RCM RAIN(2x-1xCO₂) JAN



第5図 気象研モデルの基準実験(1×CO₂)における10年平均(71-80年後)1月積算降水量分布。(a) 全球モデル、(b) 領域モデル、(c) 漸増実験と基準実験の差。等値線間隔は20 mm/月。



第6図 電中研モデルによる (a) 現在気候10年平均1月の降水量, 等値線間隔は50 mm/月. (b) CO₂倍増後との降水量変化, 等値線間隔は25 mm/月(電中研, 加藤央之博士提供).



第7図 国立環境研モデルによるCO₂倍増後10年平均冬3か月平均降水量変化. 等値線間隔は0.5 mm/日. 実線等値線, 濃い陰影域が増加域. 破線等値線, 淡い陰影域が減少域 (Emori *et al.*, 2000).

4. まとめと今後の課題

関心のある領域だけを高分解能で計算する力学的な方法で, CO₂倍増時の日本列島周辺の冬の気候変化を予測してみた. 第1目標であった, 日本海側と太平洋側の1月の降水量の差等は3機関のモデルとも表現している. 気象研モデルでは, CO₂倍増時, シベリア高気圧からの寒気の吹き出しは弱まるにも拘らず, 日本海側を含む日本列島での降水量は幾分増加すると予測された. しかし, 統計的な信頼性の検定は今後の課題である. 気象研モデルの不十分な点は地表面過程, 海水過程の取り扱いである. この領域モデルでは簡単な熱収支式を解いて地面温度を決めているが, 地表面, 土壌中での水の収支については, 十分には扱えていない. また, 海水は密接度のあるしきい値に応じて, “ある, なし”を全球気候モデルからの外部パラメータとして与えているだけで, 領域気候モデルの中で海水と大気・海洋との相互作用を計算しているわけではない. 今後, 陸面植生の取り扱いを含めた地表面水収支, 海水過程の完全結合を考えていく必要がある.

以上3機関の結果からわかるように, これらの地域気候モデルの結果から, CO₂倍増時の日本周辺の気候がどうであるかの結論を即座に引き出すのは, かなり

ランをそれぞれ10年分行っている. それらの出力を境界条件にして, 水平格子間隔50 kmのNIES/CCSRの地域気候モデルを1×CO₂と2×CO₂の2つの場合について走らせて差をとる. 第7図は冬季3か月平均の降水量の温暖化シグナル分布図である. 10個のデータを独立と見なして, 行ったt検定で有意水準95%で有意であった所として, 中国南部から日本南部にかけて有意に減少するという結果を得ている. 冬季以外は降水量の基準実験におけるバイアスが大きいとして解析されていない. この冬の変化の物理的な機構は, 大陸上で温暖化し, 傾圧帯が南下しそれに伴って低気圧の通り道が南下したためと解釈されている.

難しい、あるいは時期尚早であることがわかるであろう。まず第1に、その境界条件を与える全球気候モデルの東アジア域付近の結果の一致の程度がそれ程高くないことである。さらに遡れば、それらの全球モデルの基準実験（電中研の場合には、現時の20年間の平均気候）がどの程度現在気候を再現しているかを慎重に調べる必要がある。電中研のNCAR-CSMが海氷を過大評価しているのはすでに記した。第2に、それぞれの機関のこれまでの研究開発の履歴を反映して、地域気候算出までの過程が必ずしも同じではないことである。それらの計算過程の違いが最終結果の精度にどのように影響するのかについても、今後慎重に検討されるべきである。第3に、漸増実験における統計的意味での気候をどのように定義するかの問題がある。ここでは、3機関とも“10年”を採用しているが、10~30年変動の存在が指摘されている今、おそらく10年平均で気候を定義するのは不十分であろう。少し考えただけで、以上のような問題点がすぐ挙げられる一方で、逆に希望的に述べれば、ある季節、ある地域について複数の全球気候モデルが現在気候を一定の信頼度で表現し、CO₂倍増時のインパクトについても共通の結果を出しているときには、地域気候モデルは多少のモデルの違いはあっても、全球モデルのインパクトに応じた地域気候情報を計算する可能性があると考えられる。従って、その意味で有効な高分解能の地域気候情報を引き出す可能性を持っていると考えられる。

領域気候モデルを全球気候モデルの結果に接続するこの手法の利点は、観測データの得られる限り観測の気候値と計算値を比較検証することができることである。すなわち、一番外側のモデルデータの代わりに客観解析値を用い、最内側のモデルで地域気候を計算し、どの程度実際の気候を再現できているかを検証することである。その一方で、最後まで全球気候モデルの予測精度がどの程度のものかということは残る問題である。積分の期間をより長期にすることについては計算資源さえ確保されれば、現時点でも可能である。先述したように、電中研や国立環境研では、既に地域気候モデルについて10年の連続積分を行っている。気象研でも、客観解析値を側面境界条件とした6年半の連続積分をAMeDAS等の観測値と比較している。月降水量ではなく、温暖化時の年降水量変化予測実験等も信頼度はともかく計算技術的には可能な段階である。豪州、科学産業研究機構のMcGregor (1999) は地域気候モデル (60 km 格子) の140年積分などを既に試み

ている。

本論では、温暖化時の地域気候変化予測について、冬1月を中心に報告したが、梅雨等夏季についても、既に発表されている (Kato *et al.*, 2000; Adachi *et al.*, 2000)。

今後、地域気候モデルの境界・初期条件を与える全球気候モデルにおいて、東アジアの夏冬モンスーンとそれに伴う亜大陸スケールの循環の表現、それに加えて、対流のパラメタリゼーション等を始めとしたいいくつかの物理過程の精度が向上することを条件に、このような地域気候モデルをネスティングすることによって、気候変化による詳細な地域的影響を評価することは一般的には十分可能であると考えられる。しかし、その際台風に伴う降水量変化すなわち水資源変化の予測は、発生数の統計的变化、1個の台風それ自身の特性の変化、地域気候モデルの側面境界に到達するまでの経路の変化、地域気候モデル領域内の進路予測等全てが一定の精度を達成しなければならず、非常に難しい問題になると考えられる。

謝 辞

本報告をまとめるために、論文公開前の資料をお貸し頂いた、電力中央研究所加藤央之博士、国立環境研究所江守正多博士、気象研究所馬淵和雄氏に感謝する。気象研究所の地球温暖化予測特別研究グループ特に近藤洋輝気候研究部長、野田 彰室長、佐々木秀孝、足立万代、行本誠史、前田修平の諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- Adachi, K., Y. Sato, H. Sasaki, A. Noda and S. Yukimoto, 2000: Climate simulations over Japan in summer with an MRI regional climate model: Present day and 2xCO₂ experiments, Preprint volume of the 11th Symposium on Global Change Studies, 9-14 January 2000, Long Beach, Cal., 332-335.
- Anthes, R. A., E. -Y. Hsie and Y. H. Kuo, 1987: Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model version4 (MM4), NCAR Technical Note, NCAR/TN282+STR, 66pp.
- Boville, P. R. and P. R. Gent, 1998: The NCAR climate system model, version 1, *J. Climate*, **11**, 1115-1130.
- Davies, H. C., 1976: A lateral boundary formulation for multilevel prediction models, *Quart. J. Roy.*

- Meteor. Soc., **102**, 405-418.
- Dickinson, R. E., R. M. Errico, F. Giorgi and G. T. Bates, 1989 : A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, **15**, 383-422.
- 土木研究所, 1996 : 地球温暖化が日本域における水文循環に及ぼす影響の予測に関する研究報告書, 244pp.
- Emori S., T. Nozawa, A. Numaguchi and I. Uno, 2000 : A regional climate change projection over East Asia, Preprint volume of the 11th Symposium on Global Change Studies, 9-14 January 2000, Long Beach, Cal., 15-18.
- Giorgi, F. and G. T. Bates, 1989 : On the climatological skill of a regional model over complex terrain, *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 2325-2347.
- Giorgi, F., 1990 : On the simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model, *J. Climate*, **3**, 941-963.
- Giorgi, F. and L. O. Mearns, 1991 : Approaches to the simulation of regional climate change : A review, *Rev. Geophys.*, **29**, (2), 191-216.
- Giorgi, F. and L. O. Mearns, 1999 : Introduction to special section : Regional climate modeling revisited, *J. Geophys. Res.*, **104**, D6, 6335-6352.
- IPCC, 1996 : 第1作業部会第2次報告書, 地球温暖化の実態と見通し, 気象庁訳, 大蔵省印刷局, 598pp.
- Kato, H., H. Hirakuchi, K. Nishizawa and F. Giorgi, 1999 : Performance of NCAR RegCM in the simulation of June and January climates over eastern Asia and the high-resolution effect of the model, *J. Geophys. Res.*, **104**, D6, 6455-6476.
- Kato, H., K. Nishizawa, H. Hirakuchi, S. Kadokura, N. Oshima and F. Giorgi, 2000 : Prediction of January and June climate change in East Asia caused by global warming using RegCM2.5 nested in NCAR-CSM, (submitted to *J. Meteor. Soc. Japan*).
- Kida, H., T. Koide, H. Sasaki and M. Chiba, 1991 : A new approach for coupling a limited area model to a GCM for regional climate simulations, *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 723-728.
- Kiehl, J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan, B. A. Boville, B. P. Briegleb, D. L. Williamson and P. J. Rasch, 1996 : Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), NCAR Tech. Note, NCAR/TN420+DSTR, 152pp.
- Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida, 2000a : Numerical study of the relationships between climate and the carbon dioxide cycle on a regional scale, *J. Meteor. Soc. Japan*, **78**, 25-46.
- Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida, 2000b : Verification of a regional climate model with BAIM on its climatic features (Submitted to *J. Meteor. Soc. Japan*).
- Mabuchi, K., Y. Sato, H. Kida, N. Saigusa and T. Oikawa, 1997 : A biosphere-atmosphere interaction model (BAIM) and its primary verification using grassland data, *Papers Meteor. Geophys.*, **47**, 115-140.
- McGregor, J. J., 1999 : Regional climate modelling activities at CSIRO, Abstracts for Conf. on "Detection and Modeling of Regional Climate Change", Trieste, Italy.
- Sasaki, H., H. Kida, T. Koide, M. Chiba, 1995 : The performance of long term integration of a limited area model with the spectral boundary coupling method, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 165-181.
- Sasaki, H., Y. Sato, K. Adachi and H. Kida, 2000 : Performance and evaluation of the MRI regional climate model with the spectral boundary coupling method, *J. Meteor. Soc. Japan*, **78**, 477-489
- Sato, Y., H. Sasaki, K. Adachi, A. Noda and S. Yukimoto, 1999 : A $2 \times \text{CO}_2$ regional climate prediction experiment over Japan in winter with an MRI regional climate model, Abstracts volume of the Workshop on "Development of High Resolution Climate Models", IUGG 1999, Birmingham, U. K., B. 299.
- 佐藤康雄, 1999 : 地域(局地)気候モデル, *天気*, **46**, 601-603.
- Segami, A., K. Kurihara, H. Nakamura, M. Ueno, I. Takano and Y. Tatsumi, 1989 : Operational mesoscale weather prediction with Japan Spectral Model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 907-924.