

第4章 大気大循環モデル

気候研究部 山崎孝治

1 はじめに

太陽からの日射は、あまり大気に吸収されることなく地表面（海面も含む）に到達し吸収され、地表面を暖める。大気は主に地表面から熱をもらって暖まる。従って、大気と海洋・地表とのエネルギー交換によって大気の状態・運動は規定されているといっても過言ではない。当然、大気大循環モデル（Atmospheric General Circulation Model; AGCM）によってシミュレートされる気候状態は地表面条件に大きく左右されることになる。では、海洋、陸地、海水など種々の地表面は AGCM でどのように取扱われているのだろうか。

AGCM では海洋の熱収支・運動等は予報しないので、海面温度は観測された気候値を与えている。地表面の約 2/3 を占めている海洋の表面温度を与えているので AGCM で再現された気候はあまり現実とかげはなれたものにはなりようがない。しかし、海面と大気間の熱や水蒸気の交換過程を記述するサブモデル、即ち大気境界層モデルや積雲対流モデルなどが、良くなければ、現実に近いシミュレーションはできない。現在の気象研究所 AGCM (MRI・GCM) では境界層モデルはバルク方式を用いて、地表面からの顕熱・潜熱のフラックスを求めている。このモデルの特徴は、境界層の高さや境界層上端での温度や水蒸気量のギャップを予報していることである。境界層内では温位や水蒸気量は鉛直によく混合されて一様になっていると仮定されている。積雲対流モデルは Arakawa-Schubert のモデルを使用し、対流雲は、境界層（混合層）の空気が上昇してつくられると考えている。また、境界層の中に雲（層雲）ができる場合も考慮している。境界層・積雲対流モデルの模式図を図 4-1 に示す。詳細は気象研究所技術報告第 13 号（1984）を参照してもらいたい。当重点基礎研究期間中に積雲対流モデルは、周辺空気からの流入率（エントレインメント率）に下限を設定するという変更を行ったが、境界層モデルに関しては、大きな変更は行っていない。

海水域については、その広がりや季節変化を観測に基づいて与えている。ただし、表面温度は、厚さ 3 m の海水として予報している。

陸地上では、一定の深さの一層の土壤層を考え、地面温度を予報する。土壤層の深さは、正弦的な加熱の日変化で強制したときに、解析解の地表面温度の日変化の振幅と一層モデルの日変化

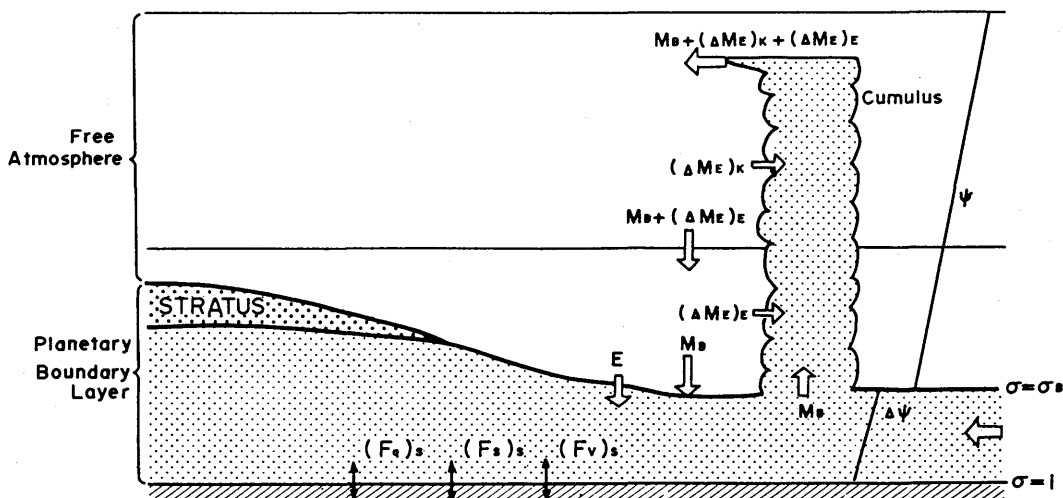


図4-1 MRI・GCMで用いられる境界層及び積雲対流モデルの模式図。

の振幅が等しくなるようにとる。土壌中の水分についてはやはり一層のいわゆるバケツモデルで予報する。土壌が含むうる可能最大含水量は 15 g/cm^2 と仮定している。降水があれば土壌水分量は増加し、蒸発があれば減少する。可能最大含水量を越えたり、降水強度が強い時は、流出すると考え、系外へ捨てている。土壌水の一部または全部が氷結することも考慮している。陸地面からの蒸発量は地面温度だけでなく土壌水分量に依存するスキームになっている。また、降水があつて地上気温が 0°C 以下であれば雪が降ったとし、積雪量を予報する。積雪量の予報式には、降雪・昇華・融解のプロセスを含んでいる。雪は海水や氷床の上にも積もりうる。陸地上のプロセスは実際には植生があつたりして複雑であるが、MRI・GCM では上述した簡単なモデルを使っている。

2節では、陸面に関するモデルの改良や数値実験について、3節では、海面水温偏差に関する数値実験について述べ、まとめと今後の課題を4節で述べる。

2 陸面に関するモデルの改良と数値実験

陸地上のエネルギー収支に重要な要素として、日射の反射率(アルベド)が第一に挙げられる。当重点基礎研究開始時(昭和60年度)に於いては、陸地上の裸地(雪がない時)アルベドは0.14の一定値を与えていた。実際には陸地上のアルベドは一様ではなく、熱帯雨林では、やや低く0.11程度、砂漠域では高く約0.35と言われている。砂漠域の高いアルベドは、地表面加熱の減少を通じて大気加熱を減少させ、下降流を強化する。強化された下降流は大気を乾燥させ、砂漠気候を

さらに強化する。このようにアルベドは砂漠気候に対して正のフィードバック効果をもっている。また、温帯・寒帯林や草地では季節変化もある。植物の葉は、光合成に利用できない近赤外域のアルベドは高く(0.3程度)、光合成に使われる可視域のアルベドは低く(0.1以下)、効率よく光合成が行われるようになっている。一般に、夏にはアルベドは高く、温度の年変化を緩和するようになっている。

土壌水分は1節で述べた簡単なバケツモデルで予報しているが、このモデルが不十分なために、現実の土壌水分(直接観測はほとんどないが、降水量、気温などから推定値はある)と異なり、それがモデルの気候に悪影響を与えている可能性もある。そこで土壌水分と地表面アルベドの変化が気候に及ぼす影響について数値実験を行った(Yamazaki, 1989)。コントロール・ラン(Cラン)は9月1日から1年間積分した。地表面水文過程は標準的なバケツモデルで陸地上で一定の可能最大含水量 15 g/cm^2 を与えた。雪に覆われていない陸地上の地表面アルベドは0.14の一定値とし、積雪がある場合はその地点の海拔高度に応じて0.7から0.85まで変化するとしている。アルベド(積雪域も含む)と土壌水分を変えた2番目のラン(AWラン)もCランとおなじ初期条件から1年間積分した。AWランでは、地表面アルベドと土壌水分量は気候値を与えた。したがって雪とアルベドのフィードバックはなく、また、土壌水分量は予報しない。アルベドの効果と土壌水分の効果を分離するためにアルベドだけを気候値にしたラン(Aラン)も行った。さらに雪のアルベドの効果だけを見るために、雪のアルベドを0.5~0.7に下げたラン(SAラン)も行った。

冬季北半球の大循環は地表面アルベドの与え方に非常に敏感である。CランではAWランに比べてシベリア高気圧は強く、かつ南東に張り出している。これはCランの雪とアルベドのフィードバックのためで、Cランでは中国南部まで雪が降っている。Cランではアリューシャン低気圧は深く東偏し、北米に入り込み、逆にアイスランド低気圧は弱くなっている。夏期の北半球の気候にとって雪のアルベドは非常に重要である。雪のアルベドが低いと、ユーラシア大陸の乾燥地帯では、春の雪解けが早く起こり、夏にかけて土壌が乾燥し暖まる。その結果、そこでは夏の降水量が減少する。Cランは雪のアルベドが高すぎ、春の融雪が観測に比べ1ヶ月以上遅れ、その結果、夏になっても土壌が十分乾かず、夏のモンスーン循環が弱まっていたが、AWラン、Aラン、SAランでは改善が見られた。逆に、中国南部地域では、夏に大陸が暖まるために水蒸気収束が強化され、夏の降水量は増大する。降水量の増大は、土壌水分を増加させ、それがまた降水量を増加させる。つまり、雪のアルベドは大気と地表面水文過程の相互作用を通じ夏の気候に大きく影響する。中国南部域でのAW、C、Aランの降水量・蒸発量・土壌水分量の季節変化を図4-2に示す。AW、Aランは観測に近いことがわかる(SAランも同様)。

雪に覆われていない地表面のアルベドも気候に影響を与える。特に低緯度で影響が大きい。アルベドが高い(低い)と、降水量は減少(増大)する。これはアフリカの熱帯雨林伐採を想定し

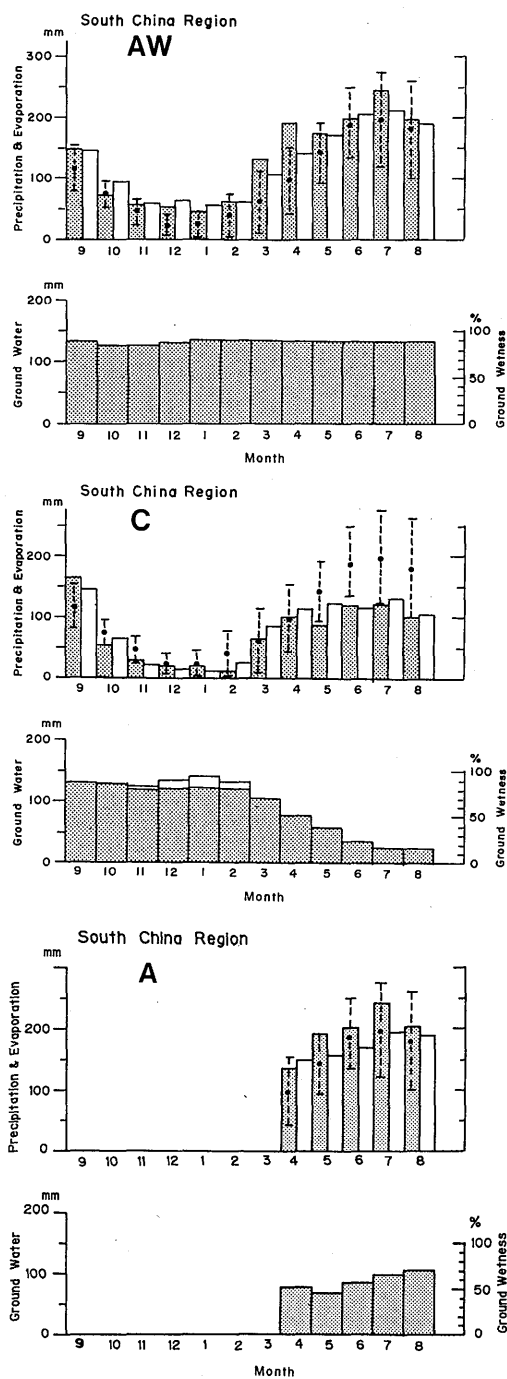


図4-2 中国南部域(2-32°N, 97.5-117.5°E)での月降水量(点彩)と月蒸発量(白色)および土壌水分量(点彩)の季節変化。土壌水分の上の白色の部分は積雪。上:AWラン, 中:Cラン, 下:Aラン。黒丸にエラーバーは観測値の平均と標準偏差。

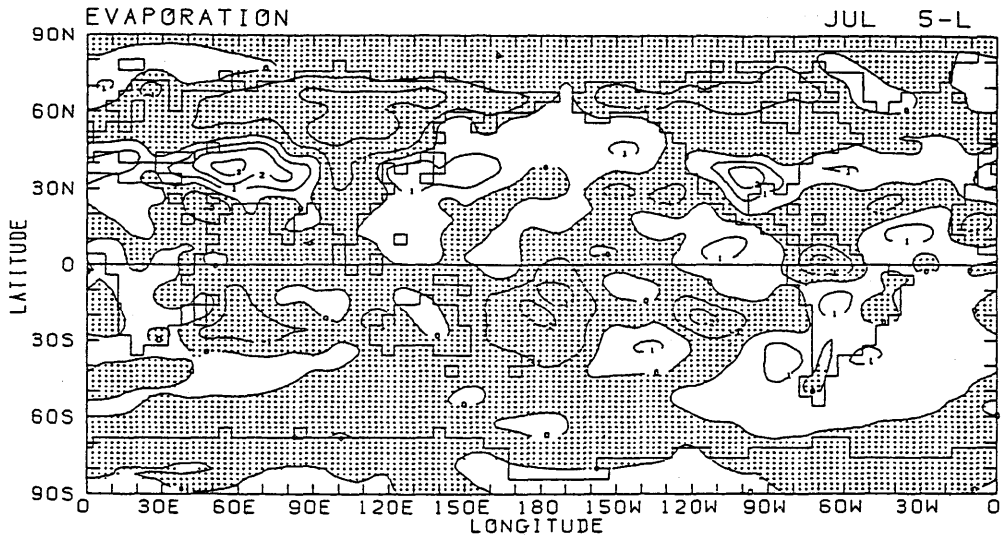


図4-3 多層土壌モデルランと一層バケツモデルランの7月の蒸発量の差。等値線の間隔は1mm/day。負の領域に点彩。

てアルベドを変化させた数値実験の結果でも同様の結論が得られている。

以上の結果から、モデルの陸地上のアルベドは、一様な値から、観測値に変更した。新しいアルベド値は Matthews (1984) の $1^\circ \times 1^\circ$ のアルベドデータに基づいて、緯度 $4^\circ \times$ 経度 5° のモデルの格子値を作成した。Matthews は植生タイプおよび土地利用のデータを作成し、それに基づいて、1, 4, 7, 10月のアルベドを求めた。モデルの各月のアルベドは時間的に内挿して求めた。また、雪のアルベドの与え方も新しくして、積雪深および海拔高度による関数として与えるようにした。海拔高度によるとしたのは南極氷床やグリーンランド氷床など高い所の雪は0.85位の高いアルベドをもつことが観測的に知られているからである。また積雪深依存性は、積雪が薄くなれば地面や植生などが露出することを考慮した。従来のモデルでは積雪があるかないかで、アルベドが階段的に変化していた。この変更によって海拔高度の低い所の積雪のアルベドは従来より低くなる。さらに土壌の可能最大含水量については高緯度で小さくして、夏のユーラシア大陸で蒸発があまり大きくならないようにした。以上のような変更を加えたモデルが当研究終了時（平成元年度）の標準モデルとなっている。

土壌モデルに関しては一層のバケツモデルでは限界があると思われるので、10 m の深さまでを4層5節点にして、地中温度について有限要素法で解くモデルをテストした。ただし、可能最大含水量は多層モデルも一層モデルもそれぞれ一様な値にしてある。この多層モデルでは標準モデルと比較して、夏のユーラシア大陸やアメリカ大陸北部の蒸発量や降水量が減少し（図4-3参照）、実況に近づく。標準モデルでは高緯度で冬に土壌水分が氷結するが、夏には融けてしまう。

一方多層モデルでは深い部分の水は夏でも残り、永久凍土層が再現される。しかし、大陸上の気温の季節変化が小さくなり過ぎる等欠点もあり、まだまだ改良の余地が残されている。いずれにしても、北半球の気候は地表面のパラメタリゼーションに敏感であることが分かった。

3 海面水温偏差に対する応答

海洋が大気に及ぼす影響およびモデルの性能を調べるために、MRI・GCM を用いて数値実験を行った (Yamazaki, 1991)。1982/83 年の非常に強いエルニーニョがまだ勢力を保っていた 1983 年 5～6 月のケースを取り上げた。同じ初期場から海面温度として気候値を用いたラン (N ラン, 2 例) と 1983 年に実際に観測された海面温度を用いたラン (R ラン, 2 例) を行い、その差を観測された大気循環の偏差と比較した。以前に Tokioka *et al.* (1987) は同じケースについて数値実験を行っているが、結果は幾つか不満足な点があったので、再度、いくつかの点を改良して実験を行った。改良の第一点は、Arakawa-Schubert (AS) の積雲対流モデルに関するものである。従来のモデルでは、熱帯大気中で観測される季節内変動が再現できなかった。これは主に AS モデルによる大気加熱が高い層 (500 mb 以上) にピークをもつためであると考えられた。そのために、背の高い積雲の発生を抑制するようにモデルを変更した。背の高い積雲は小さなエントレインメント率 (λ) をもつ。一方、 λ は積雲の半径に逆比例する。従来のモデルでは λ は正であればよく、無限大の半径の積雲も許していた。現実には積雲の大きさはそれほど大きくなれず、数 km 程度と考えられる。そこで λ に下限 λ_c (半径に上限) を設定し、 λ_c より小さい雲を除外することにした。ここで λ_c は、境界層の厚さに反比例するとした。 λ_c の導入により季節内変動は再現できるようになり、熱帯でのシミュレーションの性能も向上した。

改良の第 2 点は境界条件に関する点で、以前はインド洋の海面水温偏差のデータがなかったが、今回は全球の海面水温偏差データを用いたことである。1983 年初夏にはインド洋で最大 1°C 位の正偏差が観測されている。第 3 点は以前は 100 mb がトップの 5 層モデルを用いたが今回は 10 mb がトップの 15 層モデルを用いたことである。

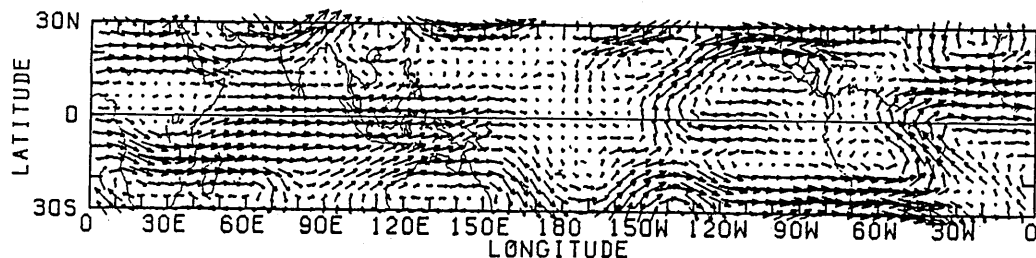
前回の結果では、低緯度のシミュレートされた大気循環の偏差は 5 月は観測との一致は良かったが、6 月は悪かった。今回は 5 月、6 月共、観測との一致は良く、積雲モデルの改良・インド洋の海面水温偏差が予報精度の向上に寄与したと思われる。6 月のモデルでシミュレートされた 200 mb の風の偏差と対応する観測された偏差を図 4-4 に示し、種々の量の偏差相関係数を表 4-1 に示す。低緯度の大規模場の月平均変動は、海面水温の変動に大きく支配されていることが確認された。

中緯度では 1 ケ月目は初期値の影響が大きく、海面水温偏差のみでは観測との一致は期待できない。実際、モデルの 2 つのランの差は 1 ケ月目は小さい。しかし、2 ケ月目には海面水温偏差

OBSERVED : 83-(79-85)
WIND 200 MB

5 M/S →

JUN



15L-MODEL : REAL-NORM

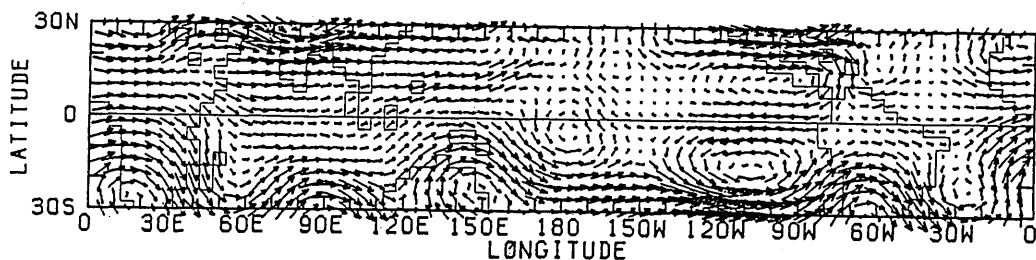


図4-4 1983年6月の月平均200mb風の偏差。上：観測値，下：モデル。

表4-1 月平均の200mbにおける東西風(u), 渦度, 流線関数(Ψ)速度ポテンシャル(χ)の観測値とモデルとの低緯度域での偏差相関係数。

u -wind at 200 mb		vorticity at 200 mb		Ψ at 200 mb		χ at 200 mb	
20°N-20°S	30°N-30°S	20°N-20°S	30°N-30°S	20°N-20°S	30°N-30°S	20°N-20°S	30°N-30°S
May June	May June	May June	May June	May June	May June	May June	May June
0.42 0.46	0.44 0.51	0.45 0.43	0.21 0.43	0.70 0.73	0.50 0.86	0.85 0.85	0.82 0.82

のインパクトが大きくなり予報精度は南北両半球とも前回の結果より良くなっている。図4-5に500 mb 高度偏差を示す。北半球中緯度では太平洋から北米大陸にかけて良い一致が見られる。南半球では帯状平均で中緯度で負、高緯度で正の偏差が観測でもモデルでも見られる。今回の結果は全球の海面水温とよいモデルによって月平均場の力学的長期予報の可能性があることを示唆

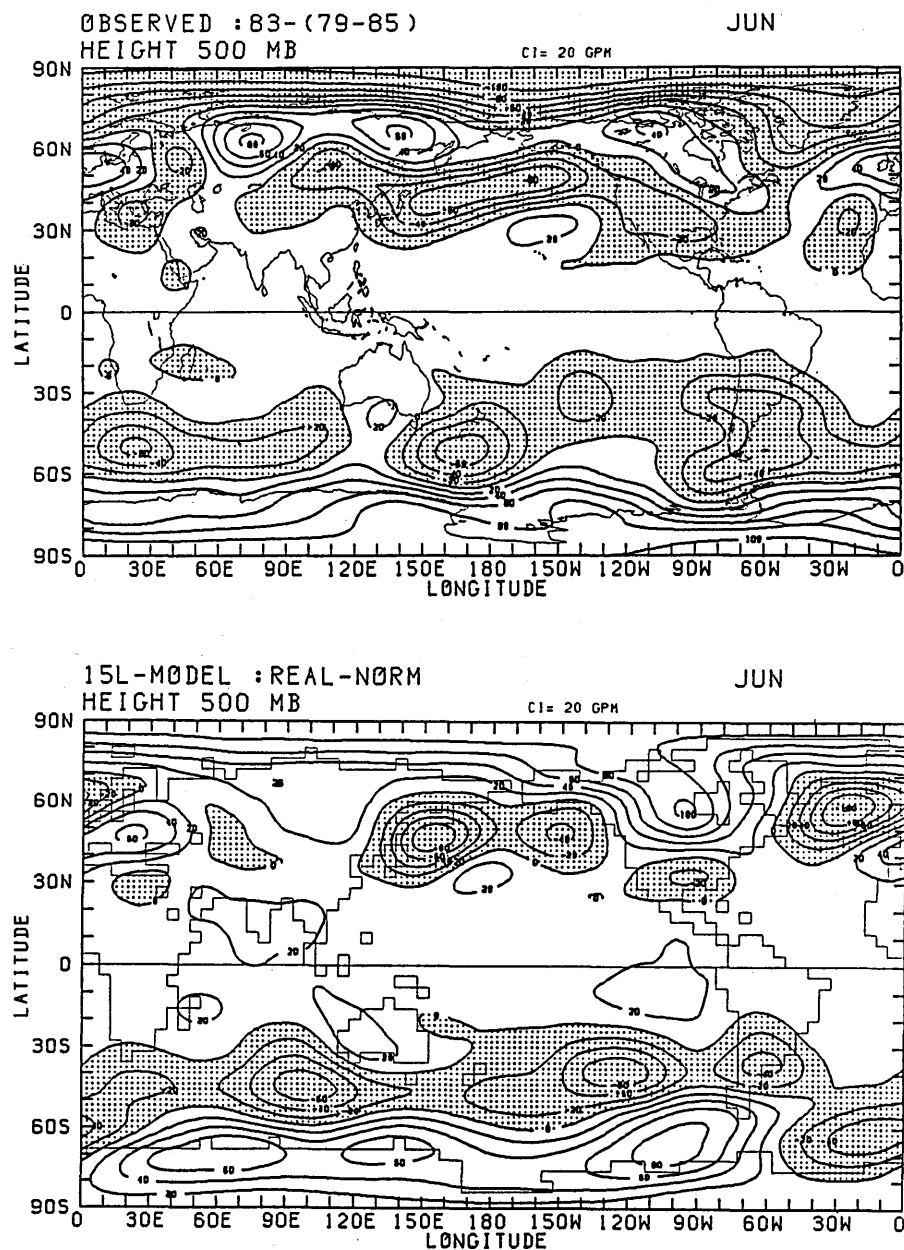


図4-5 1983年6月の月平均500mb高度偏差。上：観測値，下：モデル。等値線間隔は20 gpm。負の領域に点彩。

するものである。

4 まとめと今後の課題

前節で述べた海面水温偏差が大気循環に及ぼすインパクトに関するケーススタディや20年間の観測された海面水温でMRI・GCMを20年間積分した最近の研究(Kitoh, 1991)によれば、エルニーニョ南方振動に関係した熱帯大気的年々変動はモデルで良く再現されており、現在のモデルの海洋と大気間のエネルギー交換に関するパラメタリゼーションには、大きな欠点はないと思われる。

それにひきかえ、陸地面過程に関しては2節で述べたように大気循環に大きな影響を与えるにもかかわらず、まだ不満足な点が多い。土壌の多層化、植生モデルの導入等が急がれる課題である。そのほか、格子間隔以下の地表面(海洋も含む)の不均一性をどうパラメタライズするかという問題も重要であると思われる。例えば海水の間の開水面は面積的には小さいが、熱・水蒸気の輸送には大きな寄与をする。また、格子間隔以下の山岳や島は地表面摩擦を増大させたり内部重力波を発生させたりして大気と地表間で運動量交換を行っている。さらに全球大気・海洋結合モデルの構築のためには、陸地上からの流出が河川や地下水となって海洋に淡水を供給する過程も取り入れる必要があろう。以上のように陸地面過程に関してはまだ問題が残されている。

参 考 文 献

- 予報研究部, 1984: 気象研究所大気大循環モデル-I (MRI・GCM-I). 気象研究所技術報告第13号, 249 pp.
- Kitoh, A., 1991: Interannual variations in an atmospheric GCM forced by the 1970-1989 SST. Part I: Response of the tropical atmosphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 251-269.
- Matthews, E., 1984: Vegetation, land-use and seasonal albedo data sets: Documentation of archived data tape. *NASA Tech. Memo.*, 86107.
- Tokioka, T., K. Yamazaki and M. Chiba, 1987: A case study of sea surface temperature anomalies and initial conditions on dynamical forecast up to two months in the early summer of 1983. *Pap. Met. Geophys.*, **38**, 265-277.
- Yamazaki, K., 1989: A study of the impact of soil moisture and surface albedo changes on global climate using the MRI・GCM-I. *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 123-146.
- Yamazaki, K., 1991: Further study of the impact of sea surface temperature anomaly on dynamical long-range forecast in the early summer of 1983. *Pap. Met. Geophys.*, **41**, 129-138.

付録 成果報告

1 論文

- 遠藤昌宏・吉岡典哉・木村吉宏, 1988: 気象パイロロボット搭載の日射センサーによる全天日射量の推定精度について. 研究時報, **39**, 213-217.
- 藤谷徳之助・花房龍男, 1986: 海上風の空間構造の研究(2). 第9回風工学シンポジウム論文集, 7-12.
- Kinoshita, N. and H. Niino, 1990: On the depth of the surface layer in the turbulent Ekman layer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 747-751.
- Lie, H.-J. and M. Endoh, 1991: Seasonal and interannual variability in temperature of the upper layer of the Northwest Pacific, 1964-1983. *J. Physical Oceanography*, **21**, 385-397.
- 三上正男・安田延壽, 1988: 森林草地, 半乾燥地からの蒸発散量. 天気, **35**, 662-667.
- 時岡達志・山崎孝治・谷貝 勇・野田 彰・鬼頭昭雄, 1985: 最近5年間に行った気象研究所大循環モデルによる数値実験. 気象研究所昭和60年度研究発表会誌, 51-61.
- Tokioka, T., K. Yamazaki and M. Chiba, 1987: A case study of the impact of sea-surface temperature anomalies and initial conditions on dynamical forecast up to two months in the early summer of 1983. *Pap. Met. Geophys.*, **38**, 265-277.
- 戸矢時義, 1985: 陸地蒸発量の評価——接地気象観測システムと蒸発のパラメタリゼーション. 気象研究所昭和60年度研究発表会誌, 91-105.
- Toya, T., M. Mikami and N. Yasuda, 1990: A determination of the Dalton and Stanton numbers over a saturated barley field. *Bound. Layer Meteor.*, **52**, 377-395.
- Yamazaki, K., 1988: Influence of sea surface temperature anomalies over the Indian Ocean and Pacific Ocean on the tropical atmospheric circulation —A numerical experiment—. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 797-806.
- Yamazaki, K., 1989: A study of the impact of soil moisture and surface albedo changes on global climate using the MRI・GCM-I. *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 123-146.
- 山崎孝治, 1989: 雪と夏の気候についての数値実験. 月刊「海洋」, 459-461.
- Yamazaki, K., 1991: Further study of the impact of sea surface temperature anomaly on dynamical long-range forecast in the early summer of 1983. *Pap. Met. Geophys.*, **41**, 129-138.

2 講演

- 遠藤昌宏・真鍋輝子・佐伯理郎, 1987: 海面フラックス評価への要請. 日本海洋学会秋季大会シンポジウム.
- 遠藤昌宏・長井嗣信・北村佳照・時岡達志, 1990: MRI 大気海洋結合モデルの振舞 (V) Mellor-Yamada クロージャーの導入. 日本海洋学会春季大会.
- Fujitani, T. and T. Hanafusa, 1986: Spatial structure of the wind in the marine boundary layer. The 3rd Asian Congress of Fluid Mechanics, Tokyo.

- Kitamura, Y., 1988: Numerical study on the interannual variation of the Tropical Pacific Ocean. Jacob Bjerknes Symposium on Air-Sea Interactions, California, U.S.A.
- 李 興宰・遠藤昌宏・吉岡典哉, 1989: 北太平洋表層の構造とその経年変化——予備的解析: 1964-1982 BT データ. 日本海洋学会春季大会.
- Mikami, M., 1987: Radiation temperature and evapotranspiration of plant-covered surface. The 6th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation of the A.M.S., New Orleans, U.S.A.
- 三上正男・安田延壽, 1987: 森林丘陵地帯上のダルトン数について. 日本気象学会秋季大会.
- 三上正男・安田延壽, 1988: 武蔵丘陵森林内の風速分布について. 日本気象学会秋季大会.
- 三上正男・戸矢時義, 1989: 改良された接地気象観測装置. 日本気象学会春季大会.
- 三上正男・戸矢時義・藤谷徳之助・安田延壽, 1989: 森林上の気象特性と蒸発散量の評価(1). 日本気象学会秋季大会.
- Motoi, T. and M. Endoh, 1989: Performance of MRI global model of the ocean. International Conference on "Modeling of Global Climate Change and Variability", Hamburg.
- Niino, H., 1989: Quasi-geostrophic flow over a rough bottom. Euromech No.245 "Effects of Background Rotation of Fluid Motions", April 4-7, 1989, Cambridge, England.
- 新野 宏, 1990: 乱流クローザーモデルにおける特徴長さの予報式について. 日本気象学会春季大会.
- 新野 宏・木下宣幸, 1990: エクマン境界層の接地境界層の厚さについて. 日本気象学会春季大会.
- Yamazaki, K., 1985: The sensitivity experiment to land-surface boundary conditions with the MRI・GCM. Conference on Parameterization of Land-surface Characteristics, Rome.
- Yamazaki, K., 1988: Impact of sea surface temperature and initial condition on dynamical longrange forecast in the summer of 1983. Jacob Bjerknes Symposium on Air-Sea Interactions, California, U.S.A.
- Yamazaki, K., 1988: Impact of land-surface boundary condition changes on the climate simulated by the MRI・GCM. Workshop on Systematic Errors in Models of the Atmosphere, Tronto, Canada, WMO/TD-No. 273, 354-360.
- 山崎孝治, 1988: GCM を用いた生態系の気候形成における役割の研究. 日本気象学会春季大会シンポジウム. 天気, 35, 667-672.
- 山崎孝治, 1988: 雪と夏の気候に関する数値実験. 「ENSO と気候変動」シンポジウム.
- 安田延壽・三上正男, 1987: 森林丘陵地帯の風速分布と粗度. 日本気象学会秋季大会.
- 安田延壽・鈴木紀行・三上正男・戸矢時義, 1988: ペンマン法による地中熱フラックスの評価. 日本気象学会秋季大会.
- 安田延壽・戸矢時義・三上正男, 1988: 武蔵丘陵の蒸発散と葉温. 水文・水資源学会研究発表会.
- 吉岡典哉・尹 宗煥, 1989: 準地衡2層モデルに見られる季節変動について. 日本海洋学会秋季大会.

気象研究所技術報告一覧表

- 第1号 バックグラウンド大気汚染の測定法の開発（地球規模大気汚染特別研究班，1978）
Development of Monitoring Techniques for Global Background Air Pollution (MRI Special Research Group on Global Atmospheric Pollution, 1978)
- 第2号 主要活火山の地殻変動並びに地熱状態の調査研究（地震火山研究部，1979）
Investigation of Ground Movement and Geothermal State of Main Active Volcanoes in Japan (Seismology and Volcanology Research Division, 1979)
- 第3号 筑波研究学園都市に新設された気象観測用鉄塔施設（花房龍男・藤谷徳之助・伴野 登・魚津 博，1979）
On the Meteorological Tower and Its Observational System at Tsukuba Science City (T. Hanafusa, T. Fujitani, N. Banno and H. Uozu, 1979)
- 第4号 海底地震常時観測システムの開発（地震火山研究部，1980）
Permanent Ocean-Bottom Seismograph Observation System (Seismology and Volcanology Research Division, 1980)
- 第5号 本州南方海域水温図——400 m（又は500 m）深と1000 m 深——（1934-1943 年及び1954-1980 年）（海洋研究部，1981）
Horizontal Distribution of Temperature in 400 m (or 500 m) and 1000 m Depth in Sea South of Honshu, Japan and Western-North Pacific Ocean from 1934 to 1943 and from 1954 to 1980 (Oceanographical Research Division, 1981)
- 第6号 成層圏オゾンの破壊につながる大気成分および紫外日射の観測（高層物理研究部，1982）
Observations of the Atmospheric Constituents Related to the Stratospheric Ozone Depletion and the Ultraviolet Radiation (Upper Atmosphere Physics Research Division, 1982)
- 第7号 83 型強震計の開発（地震火山研究部，1983）
Strong-Motion Seismograph Model 83 for the Japan Meteorological Agency Network (Seismology and Volcanology Research Division, 1983)
- 第8号 大気中における雪片の融解現象に関する研究（物理気象研究部，1984）
The Study of Melting of Snowflakes in the Atmosphere (Physical Meteorology Research Division, 1984)
- 第9号 御前崎南方沖における海底水圧観測（地震火山研究部・海洋研究部，1984）
Bottom Pressure Observation South off Omaezaki, Central Honshu (Seismology and

- Volcanology Research Division and Oceanographical Research Division, 1984)
- 第 10 号 日本付近の低気圧の統計 (予報研究部, 1984)
- Statistics on Cyclones around Japan (Forecast Research Division, 1984)
- 第 11 号 局地風と大気汚染物質の輸送に関する研究 (応用気象研究部, 1984)
- Observations and Numerical Experiments on Local Circulation and Medium-Range Transport of Air Pollutions (Applied Meteorology Research Division, 1984)
- 第 12 号 火山活動監視法に関する研究 (地震火山研究部, 1984)
- Investigation on the Techniques for Volcanic Activity Surveillance (Seismology and Volcanology Research Division, 1984)
- 第 13 号 気象研究所大気大循環モデル-I (MRI・GCM-I) (予報研究部, 1984)
- A Description of the MRI Atmospheric General Circulation Model (The MRI・GCM-I) (Forecast Research Division, 1984)
- 第 14 号 台風の構造の変化と移動に関する研究——台風 7916 の一生——(台風研究部, 1985)
- A Study on the Changes of the Three-Dimensional Structure and the Movement Speed of the Typhoon through Its Life Time (Typhoon Research Division, 1985)
- 第 15 号 波浪推算モデル MRI と MRI-II の相互比較研究——計算結果図集——(海洋研究部, 1985)
- An Intercomparison Study between the Wave Models MRI and MRI-II——A Compilation of Results——(Oceanographical Research Division, 1985)
- 第 16 号 地震予知に関する実験的及び理論的研究 (地震火山研究部, 1985)
- Study on Earthquake Prediction by Geophysical Method (Seismology and Volcanology Research Division, 1985)
- 第 17 号 北半球地上月平均気温偏差図 (予報研究部, 1986)
- Maps of Monthly Mean Surface Temperature Anomalies over the Northern Hemisphere for 1891-1981 (Forecast Research Division, 1986)
- 第 18 号 中層大気の研究 (高層物理研究部・気象衛星研究部・予報研究部・地磁気観測所, 1986)
- Studies of the Middle Atmosphere (Upper Atmosphere Physics Research Division, Meteorological Satellite Research Division, Forecast Research Division, MRI and the Magnetic Observatory, 1986)
- 第 19 号 ドップラーレーダによる気象・海象の研究 (気象衛星研究部・台風研究部・予報研究部・応用気象研究部・海洋研究部, 1986)
- Studies on Meteorological and Sea Surface Phenomena by Doppler Radar (Meteorological Satellite Research Division, Typhoon Research Division, Forecast Research

Division, Applied Meteorology Research Division and Oceanographical Research Division, 1986)

第 20 号 気象研究所対流圏大気大循環モデル (MRI・GCM-I) による 12 年間の積分 (予報研究部, 1986)

Mean Statistics of the Tropospheric MRI・GCM-I based on 12-year Integration (Forecast Research Division, 1986)

第 21 号 宇宙線中間子強度 1983-1986 (高層物理研究部, 1987)

Multi-Directional Cosmic Ray Meson Intensity 1983-1986 (Upper Atmosphere Physics Research Division, 1987)

第 22 号 静止気象衛星「ひまわり」画像の噴火噴煙データにもとづく噴火活動の解析に関する研究 (地震火山研究部, 1987)

Study on Analyses of Volcanic Eruptions based on Eruption Cloud Image Data obtained by the Geostationary Meteorological Satellite (GMS) (Seismology and Volcanology Research Division, 1987)

第 23 号 オホーツク海海洋気候図 (篠原吉雄・四電信行, 1988)

Marine Climatological Atlas of the Sea of Okhotsk (Y. Shinohara and N. Shikama, 1988)

第 24 号 海洋大循環モデルを用いた風の応力異常に対する太平洋の応答実験 (海洋研究部, 1989)

Response Experiment of Pacific Ocean to Anomalous Wind Stress with Ocean General Circulation Model (Oceanographical Research Division, 1989)

第 25 号 太平洋における海洋諸要素の季節平均分布 (海洋研究部, 1989)

Seasonal Mean Distribution of Sea Properties in the Pacific (Oceanographical Research Division, 1989)

第 26 号 地震前兆現象のデータベース (地震火山研究部, 1990)

Database of Earthquake Precursors (Seismology and Volcanology Research Division, 1990)

第 27 号 沖縄地方における梅雨期の降水システムの特性 (台風研究部, 1991)

Characteristics of Precipitation Systems during the Baiu Season in the Okinawa Area (Typhoon Research Division, 1991)

第 28 号 気象研究所・予報研究部で開発された非静水圧モデル (猪川元興・斉藤和雄, 1991)

Description of a Nonhydrostatic Model Developed at the Forecast Research Department of the MRI (M. Ikawa and K. Saito, 1991)

第 29 号 雲の放射過程に関する総合的研究 (気候研究部・物理気象研究部・応用気象研究部・気

象衛星・観測システム研究部・台風研究部, 1992)

A Synthetic Study on Cloud-Radiation Processes (Climate Research Department, Physical Meteorology Research Department, Applied Meteorology Research Department, Meteorological Satellite and Observation System Research Department and Typhoon Research Department, 1992)

気 象 研 究 所

1946 (昭和 21) 年 設 立

所 長：小 長 俊 二

予 報 研 究 部	部 長：	長谷川 隆 司
気 候 研 究 部	部 長：	古 賀 晴 成
台 風 研 究 部	部 長：	大 塚 伸
物 理 気 象 研 究 部	部 長：	能 美 武 功
応 用 気 象 研 究 部	部 長：理 博	花 房 龍 男
気 象 衛 星 ・ 観 測		
シ ス テ ム 研 究 部	部 長：	田 中 豊 顯
地 震 火 山 研 究 部	部 長：理 博	清 野 政 明
海 洋 研 究 部	部 長：理 博	鷲 猛
地 球 化 学 研 究 部	部 長：理 博	重 原 好 次

気 象 研 究 所 技 術 報 告

編集委員長：重 原 好 次

編 集 委 員：高 野 功 中 川 慎 治 原 昌 弘
佐々木 徹 小 林 隆 久 韭 沢 浩
小 高 俊 一 西 山 勝 暢 鈴 木 款
事 務 局：永 沢 義 嗣 太 田 貴 郎

気象研究所技術報告は、1978 (昭和 53) 年の初刊以来、気象研究所が必要の都度発行する刊行物であり、気象学、海洋学、地震学その他関連の地球科学の分野において気象研究所職員が得た研究成果に関し、技術報告、資料報告および総合報告を掲載する。

気象研究所技術報告の編集は、編集委員会が行う。編集委員会は原稿の掲載の可否を判定する。

本誌に掲載された論文の著作権は気象研究所に帰属する。本誌に掲載された論文を引用する場合は、出所を明示すれば気象研究所の許諾を必要としない。本誌に掲載された論文の全部又は一部を複製、転載、翻訳、あるいはその他に利用する場合は、個人が研究、学習、教育に使用する場合を除き、気象研究所の許諾を得なければならない。

気象研究所技術報告 ISSN 0386-4049

第 30 号

平成 4 年 4 月 25 日 発行

編 集 者 気 象 研 究 所
発 行 者

〒 305 茨城県つくば市長峰 1-1

TEL. (0298) 51-7111

印 刷 所 前 田 印 刷 株 式 会 社

〒 305 茨城県つくば市東新井 14-5