

柴田清孝

気象研究所

茨城県つくば市長峰1-1

kshibata@mri-jam.go.jp

Kiyotaka Shibata

Meteorological Research Institute

Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305

1. はじめに

大気大循環モデル (GCM) の扱う空間スケールは広範であり、またその範囲の中で海の占める割合が大きいのでGCMの検証や入力データの取得のためには陸の地上からの限られた地点からの観測だけではデータの数足りない。このデータの不足を補ってくれるのが衛星である。衛星は広範な領域のデータを提供するので、GCMへの入力データや検証にとって必要不可欠な観測手段となっている。ここでは、衛星データのうち雲、雨、エロゾル等に対象を絞ってGCMとの関わりを述べる。

2. 大気上端での放射収支

地球-大気系の放射収支は大気上端での放射の入出力で計られる。入力太陽からの放射、出力はその反射と赤外放射である。太陽放射の収支はプラネタリー・アルビードで表現され、赤外放射はOLR (Out Going Radiation) で表現される。これらの量は衛星からの観測で比較的高精度で得ることができ、GCMを検証するのに用いられている。帯状平均した量の緯度分布の比較ではGCMは観測に近い分布を示し、あたかもGCMの成績がよいように見えるが、必ずしもそうでない。

帯状平均場は雲の領域もない領域も合わせて平均しているのだが、個別に比較すると晴天大気については観測とGCMはよく一致するが、雲がある場合は一致しない。個別では大きな違いがあるが、平均すると違いが小さくなるというのは一見矛盾しているようだが矛盾している訳ではない。雲が原因なのである。雲は大概は予報変数ではなく、診断変数であるため、その性質をある程度任意に与えることができるのである。雲は放射とのみ関わり、その計算のためには、反射率、透過率、雲量の3つが必要である。最も簡単な取扱では直接に雲の型を適当に判別してその型に応じたあらかじめ決めておいた反射率、透過率を与え、もう少し進んだ取扱では温度や湿度の情報から光学的厚さを求めて (有効半径はあらかじめ決めておく) 反射率、透過率をGCMのなかで計算する。雲量は湿度等から診断する。放射計算では平行平板大気しか扱えないので、0と1の間の値を取る雲量を1の値になるように適当に変換 (光学的厚さ、射出率・反射率・透過率、放射フラックスを晴天、曇天で雲量を重みにして平均する) している。以上、いろいろ書いたが、要は、雲には多数のチューニングパラ

メータが含まれているのである。雲量を予報するモデルにおいても事情は変わらない。これらのチューニングパラメータを適当にチューニングすることによって、プラネタリー・アルビードやOLRを観測に近付けることは比較的容易である。どうしてそういうチューニングが可能なのかというとプラネタリー・アルビードやOLRは力学場との結合（フィードバック）が非常に弱いからである。これらの量が多少変化しても流れの場の変化が小さいのである。しかし、弱い結合というのは海面水温が与えられている大気GCMのことであって、海面水温を予報する海洋大気結合モデルでは放射場（特に地表面での下向きフラックス）は海面水温の予報、ひいては大循環に大きな影響を与える。そのため、地表面での放射フラックスも全球的なデータセットを作り、大気トップでの観測と併せて、GCMを検証していこうというプロジェクトが走っている (Wild et al., 1995)。

3. 雨量のデータセット

大気大循環の駆動源の1つは熱帯での対流による潜熱である。このため、雨の分布がGCMでどのように再現されているかがGCMの成績の大きな指標である。ところが、かんじんの観測値の信頼性がいま1つであった。雨の多く降るのは海洋上のため、観測点が島や船舶だけで絶対数が足りなかったのである。最近、複数の衛星（マイクロ波、赤外）を地上での雨量計データと併せて全球的な制度高い雨の分布のデータセットが作られるようになった (GPCP) (Huffman et al., 1997)。図1にそのフローチャートを示す。

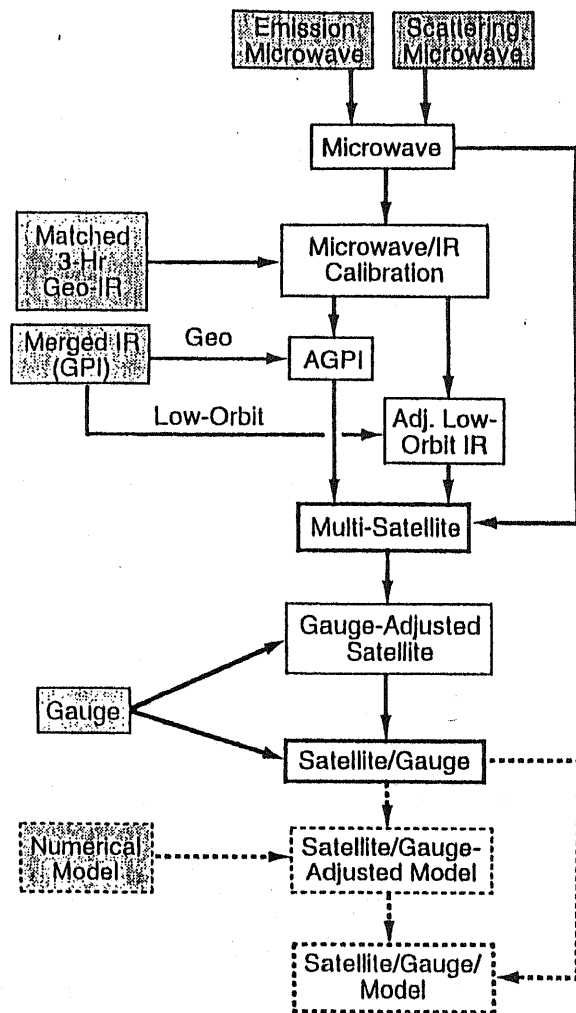


図1. Flow chart of satellite-gauge-model precipitation combination technique (Huffman et al., 1997).

その結果を見ると、これまで利用されてきた Jaeger(1976) や Legates and Willmott(1990) の気候値と定量的に異なっている領域が少なからず存在している。このデータセットは年毎の月単位で与えられているので、これまで難しかった年々変動等の解析が容易になっている。

一方、現在のGCMの雨の成績は芳しくない。図2に熱帯での帯上平均の雨の緯度分布の国際比較の結果の例を示す (Lau

et al., 1996)。帯上平均場でもこの程度の差があるので、経度分布はさらに大きな差がある(図略)。この原因は雨は力学場と強く結合しているため、つまり、両者の間の非線形のフィードバックが非常に強いので、チューニングが非常に難しく、GCMの抱える問題点(分解能、積雲のパラメタリゼーション)がそのまま表れているのである。将来、GCMの雨の成績が上げれば、GCMは時空間の連続性で観測を補完するものであるため、観測データをGCMで4次元同化することによって、風や温度データのように、連続的な雨データの取得が可能になるであろう。現在は計画のみである(図1の点線の部分)。

(a) DJF and (b) JJA. (Lau et al., 1996).

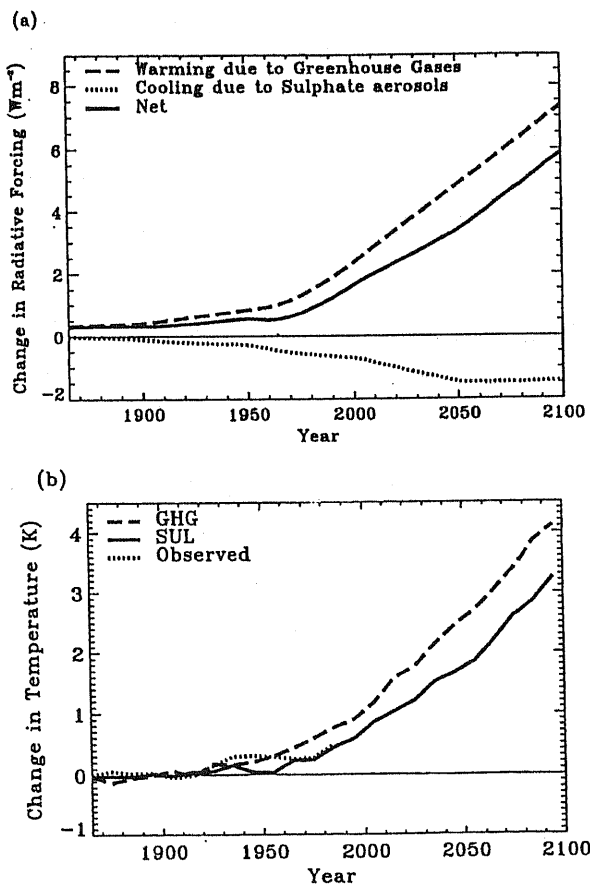


図2. Zonal mean precipitation (mm/day) for 29 GCMs(thin solid lines) and the average of all GCMs(solid thick lines) for

4. エーロゾル

温室効果気体の増加による温暖化の研究がGCMを使って行われるようになって長年が経過している。その間にGCMにいろいろ改良が加えられ信頼性が当初より高くなっているが、どうしても観測事実と異なった結果が存在していた。1つはGCMは全球平均の昇温量の過大評価であり、もう1つは北半球が南半球に比べ陸地が広い分だけ雪表面の減少のフィードバックが大きく作用して、非常に大きく昇温してしまうということであった。そこで、この2つの大きな欠陥をなくすのが人為起源の硫酸エーロゾルであるということ最近非常に注目をあびている。硫酸エーロゾルはそれ自身太陽放射を反射して温暖化を抑制するという直接効果と、雲核として作用し結果的に雲のアルビードを大きくして温暖化を抑制する間接効果の2つを併わせ持っている。GCMに硫酸エーロゾルを導入すると図3に示すように確かに温暖化の抑制が見られ、また北半球の昇温率は小さくなるが(e.g., Mitchell and Johns, 1997; Meehl et al., 1996)、硫酸エーロゾルの直接、間接効果を正しく扱えない(特に、間接効果)のでその導入方法は非常に荒っぽく、地表のアルビードの増加や雲のアルビードの増加でその効果を代用しているのが現状である。このアルビードの増加のさせ方はある意味ではチューニングである。

参考文献

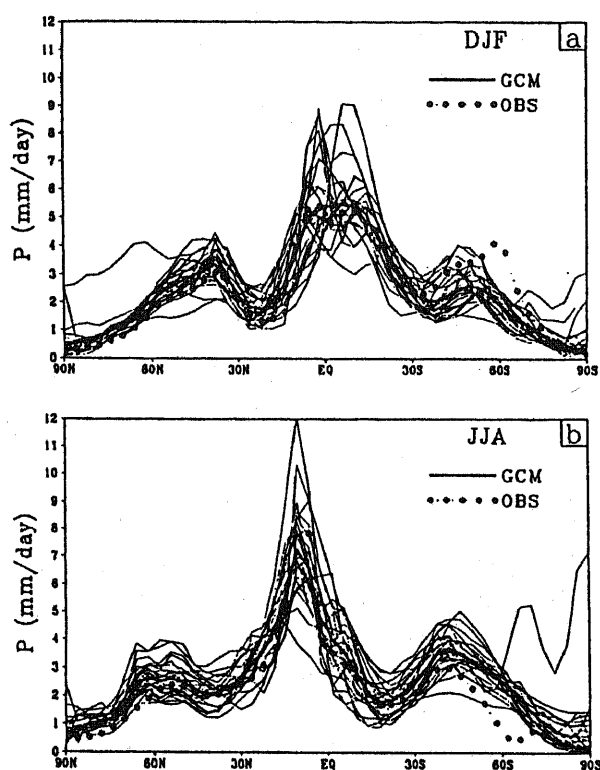


図 3. (a) Global mean radiative forcing in GHG(dashed line) and SUL(solid line)(W/m²). (b) Global annual mean temperature changes (K) in GHG(dashed line) and SUL(solid line) (Mitchell and Johns, 1997).

一方、最近、衛星データからエアロゾルの空間分布や粒径がわかるようになってきているので、これらのデータをGCMの入力データや、GCMの検証用データで使うことが可能となってきた。今後、GCMの結果の信頼性を高めるためには衛星データが如何に広範(空間的、時間的)なデータを提供できるかに懸かっているといても過言ではない。

Huffman, G. J., R. F. Adler, P. Arkin, A. Chang, R. Ferrano, A. Gruber, J. Janowiak, A. McNab, B. Rudolf, and U. Schneider, 1997: The global precipitation climatology project(GPCP) combined precipitation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 5-20.

Jaeger, L., 1976: Monatskarten des Niederschlags für die ganze Erde. *Ber. Dtsch. Wetterdienstes*, **139**, 33 pp.

Lau, K. -M, J.H.Kim and Y. Sud, 1996: Intercomparison of hydrological process in AMIP GCMs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 2209-2227.

Legates, D. R. and Willmott, 1990: Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation. *Int. J. Climatol.*, **10**, 111-127.

Meehl, G. A., W. M. Washington, D. J. Erickson, B. P. Briegleb and P. J. Jaumann, 1006: Climate change from increased CO₂ and direct and indirect effects of sulfate aerosols. *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 3755-3758.

Mitchell, J.F.B. and T.C.Johns, 1997: On modification of global warming by sulfate aerosols. *J. Clim.*, **10**, 245-267.

Wild, M., A. Ohmura and H. Gilgen, 1995: Validation of general circulation model radiative fluxes using surface observations. *J. Clim*, **8**, 1309-1324.