

- ータを用いた熱帯西部太平洋循環場の長期変動の解析(2) 年々変動の特徴, 日本気象学会1985年春季大会講演予稿集, 47, 41.
- Philander, S.G.H., T. Yamagata and R.C. Pacanowski, 1984: Unstable air-sea interactions in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 604-613.
- _____, 1985: El Niño and La Niña, *J. Atmos. Sci.*, **42**.
- Rennick, M.A. 1983: A model of atmosphere-ocean coupling in El Niño, *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter.*, **15**, 2-4.
- Wyrtki, K.: 1975: El Niño-the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, **5**, 572-584.
- _____, 1984: The slope of sea level along the equator during the 1982/83 El Niño, *J. Geophys. Res.*, **89**, 10419-10424.
- Yamagata, T., 1985: Stability of a simple air-sea coupled model in the tropics, in *Coupled Ocean-Atmosphere Models*, ed. J. C. J. Nihoul, Elsevier, Amsterdam., 767.
- _____, and Y. Hayashi, 1984: A simple diagnostic model for the 30-50 day oscillation in the tropics. *J. Met. Soc. Japan*, **62**, 709-717.
- Yasunari, T., 1980: A quasi-stationary appearance of 30 to 40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India, *J. Met. Soc., Japan*, **58**, 225-229.
- Zebiak, S.E. and M.A. Cane, 1985: A model ENSO, Submitted to *J. Atmos. Sci.*,

101; 103; 107 (30~40日周期振動)

30—40日周期振動に関する数値実験*

林 祥 介**

1. はじめに

数値モデルの話に入る前にデータ解析から知られる30—60日周期振動の特徴を列記しておく。詳しくは村上(勝), 安成, 村上(多), 河原らの記事を参照されたい。Madden・Julian (1972) 以来多くの解析的な研究から明らかにされた代表的な特徴は次のようにまとめられるであろう。

- (1) 東西構造: 東西風(u)における波数1の卓越。
- (2) 鉛直構造: 対流圏全層におよぶ傾圧的構造。
- (3) 位相: 東向き伝播(8-15 m/s)と南北伝播。
- (4) 活動度分布: 熱帯の海水面温度の高い海洋上で顕著。

東向き伝播ということからすぐに連想される赤道波動に赤道ケルビン波がある。しかしながらその位相速度は30—60日周期振動の鉛直構造にあわせて計算すると, 30—60m/sになってしまい, “30—60日”周期にならない。Chang (1977)はこの困難を解決するために大きな減衰係数(1/5日程度)を導入し遅い位相速度を実現したが, その減衰に対抗すべき外力(熱源)を波動の運動とつじ

つまが合うように組み込む方法については言及していない。一方, 波と対流活動(波動にとっての外力)とを組み合わせる理論として wave-CISK という考え方(Y. Hayashi, 1970)があるが, これまでの wave-CISK に関する研究には先に述べたような遅い位相速度を実現したものはない。というわけで, つい最近まで30—60日周期振動をモデルにより再現或は理論的にうまく説明した仕事は存在しなかった。

ところがここ1年の間に大気大循環モデル(GCM)中で30—60日周期振動が再現されていることがわかってきた。最近の82-83 ENSO 現象の出現とそれに伴う ENSO 研究の活発化は熱帯域での積雲対流活動の重要性を人々に認識させ, 積雲対流活動の変動が30—60日周期帯で顕著であることを広く知らしめることとなった。GCM による研究はそれまでどちらかと言うと気候場(1カ月平均場)の再現ということに多くのエネルギーが使われていたと思われるが, ENSO という大気・海洋系の年々変動の研究が活発化するに伴い逆に高い時間分解能(季節内変動)を持った GCM の出力データを見直すという機運が生じたのである。時間軸上での視点が変わったことにより明らかになったことは, なんのことはない GCM は結構旨く走っているということだ

* Numerical experiments on the 30-40 day oscillation.

** Yoshi-Yuki Hayashi, 東京大学理学部。

たのである。

2. GCM を用いた現実大気の数値シミュレーション

1 でまとめた30—60日周期振動の特徴は最近の2, 3のモデルの結果には大表現されているようである。Chiba (1986) は10層 R10の全球スペクトルモデルを用いた20年間の積分結果のデータから、赤道上に東進する波数1, 周期30日及び50日の顕著なスペクトルピークを見いだしている。GFDL の9層 R15及びR30スペクトルモデルの計算結果を解析した Y. Hayashi・Golder (1986) もやはり30日付近と50日付近にスペクトルピークを得ている。又、彼らのモデルは雨量の変動分布について北半球側での北向き伝播を示している。更に、筆者自身は確認したわけではないが、NCAR のモデルでも30—60日周期振動が再現されているらしい。

ところで、一方では30—60日周期帯に顕著なピークを示さないモデルがある。Tokioaka・Yamazaki (1986) によれば気象研のモデル (MRI・GCM1・5層 $4^{\circ} \times 5^{\circ}$ 格子モデル) では30—60日周期振動が全く再現されていない。彼らによればこのモデルでは降水のおこり方が陸上に偏っているらしく陸面の条件によって対流活動が支配されてしまっているらしい。このモデルはこれまで紹介したモデルと異なり積雲対流にはArakawaのパラメタリゼーションが用いられている。3で述べるように30—60日周期振動には対流活動が決定的に重要であるので、積雲パラメタリゼーションのとりかたが結果に大きな影響を与える可能性がある。現実大気中でも30—60日周期振動が常に見えるとは限らないので、MRI・GCM1の結果は対流活動の別な側面 (30—60日周期振動が起こらない) を再現している可能性がある。或は全く逆に30—60日周期振動を再現できるかどうかによりパラメタリゼーションの妥当性が検証されるかも知れない。今後の解析結果が期待される。

3. GCM を用いた“理想的な大気”の数値シミュレーション

1-(4) で述べたように30—60日周期振動の活動度は赤道海洋上で最も高い、逆にいうと海面水温の高い海洋さえ存在しておればモンスーン等には関係なく30—60日周期振動が生じるのではないかと。このような仮説に立って理想的な30—60日周期振動を作り出そうとしたのが Y.-Y. Hayashi・Sumi (1986) である。モデルは気象庁の現業モデルをもとにした12層 T42 全球スペクトルモデルで、その境界条件として東西一様南北対称の海面水温分布で

覆われた水球を設定している (水惑星)。

このような軸対称な境界条件の基に初期値としてやはり軸対称な大気場において手をはなすと、約20日程度で東西風の場に波数1の構造が出現し東進しはじめる。その東進は極めて規制的で、位相を追跡するための工夫を何等必要としない。その周期は約30日であり、赤道 (自由)ケルビン波に比べかなり遅い位相速度を持っている。

水惑星実験の興味深い結果の1つは降水分布の時空間的振舞いである。モデルにおける雨の降り方は水平スケール1000—3000 kmの PATCH 状の形態を取る。従って卓越スケールとして目立つのは3000 km以下の小さいスケールであり、波数1はその変調信号として登場してくるにすぎない。重要なことはこれらの小さな降水分布の PATCH たちがほぼ一様に東進していくことで、その位相速度は東西風で見られた波数1の構造の東進速度に全く等しい。

降水分布において小さいスケールが卓越するということは一見当り前の様ではある。しかしながらわれわれは GCM においていったいどのような降水パターンが実現するのかという先見の情報をも持っていない。ところが幸いにして GCM における対流の振舞いは現実大気での対流の振舞いを良く再現してしまっているようなのである。衛星画像を見ていると積雲対流はモデルで表現されたような形で行われているように思われる。インド洋から西太平洋にかけての30—60日周期振動の活発な領域に注目すると、いわゆるクラウドクラスター (積雲・集団) だけではなく、それらがいくつか集まったような“スーパークラスター” (“超積雲集団”) が存在し、特に後者についてはそれが東進して行くことがみうけられる。Nakazawa (1986) による OLR の解析では超積雲集団による東進がより顕著に示されている。GCM の分解能では積雲集団は表現されないがこのような超積雲集団は表現されている様である。

熱帯域での降水分布が小さいスケール (全球スケールにくらべて) を選ぶということ、すなわち超積雲集団が存在するという事は力学的に解明されるべき特性であると思われる。水惑星実験により、超積雲集団なるものが熱帯大気に出現しかつそれが東進することにより30—60日周期振動が生じるらしい、ということが分かってきた。人々は東西風に見られる波数1構造に目をうばわれているようであるが、実はこのような超積雲集団の出現と運動こそが問題になるのではないだろうか。ではなぜその様なスケールが卓越し、特定の位相速度をもって東

進するか。これらの疑問に答えるためには今しばらく単純な境界条件のもとでの実験を続けねばならない。

4. 単純なモデルによる説明の試み

水惑星モデルの話で書き残していたことが1つあって、それは水蒸気存在がはたす本質的な役割である。モデル中に30日周期の振動が十分発達したのち水に関する力学過程のスイッチをすべて切るとたちどころにそれは赤道ケルビン波・ロスビー波等に分解してしまう。このことは水惑星で得られた振動がいわゆる wave-CISK (コヒーレントな積雲活動によって駆動された大規模運動) の範疇にはいる事を意味している。(最も必ずしも "I" (不安定モード) である必要はないかもしれない)。

wave-CISK で論じようとするれば東向きに進行する東風の波ということでケルビンモードを考えることになる。ところで、1でものべたようにこれまでの wave-CISK 理論では周期30日以上という遅い位相速度を持ったケルビンモードは得られていない。しかし、ここでケルビン波の力学を考えなおして見ると遅い位相速度の可能性が生じる。積雲による加熱を含まない通常のケルビン波では上昇流域で断熱冷却が起こることにより位相の東向き進行が生じるわけであるから、積雲対流による加熱を上昇流域に導入した場合には冷却率が減少して位相の進行が遅れるはずである (reduced gravity の効果)。たとえば、最も単純な wave-CISK モデルである3層モデルを作って加熱率のパラメタ (いわゆる η) を動かしてみると、 $\eta=5\sim 10$ 程度にすればケルビンモードの位相速度は $1/2\sim 1/3$ になることがわかる。従来の wave-CISK の理論で用いられていた η の値は5以下の小さな値なので位相の遅れはさほど大きくない、ということになるのであろう。(ただし、 η の値はモデル依存性がきわめて大きいので注意が必要)

遅い位相速度はこのような熱源による reduced gravity の効果によって説明できそうであるが、問題なのは波のスケールである。なぜ超積雲集団なるものが出現してしまうのか、そしてそれがなぜ波数1の変調を受けるのか。後者では大まかにいって地球の円周が定規 (スケーラー) になっているようであり、前者ではロスビーの変形半径 (~ 1500 km) が定規になっているようである。これらの定規すなわち力学的及び境界値的な条件がどの

ように積雲対流活動の行動を規定するかについては今のところしっかり答えられない。

5. 終わりに

水惑星モデルによって赤道域の対流活動は自然発生的にあるスケール (超積雲集団=スーパークラスター) をもった形態に組織化されて行くことが分かった。そもそも Hadley が1735年に論じたような大気の循環 (軸対称な子午面循環) は存在しないようである。熱帯の対流活動は不可避的に非対称な循環を生み出してしまふ、つまりウォーカー循環が入り込んでしまうのである。どうやら30—60日周期振動という現象は赤道循環の根本的な問題 (熱を加えたらどういふ循環が生じるか) に関わっているようである。

文献

- Chang, C.-P. 1977: Viscous internal gravity waves and low frequency oscillations in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 901-910.
- Chiba, M., 1986: Long term fluctuation of the tropical atmosphere simulated by the low resolution spectral GCM. Meteorological Research Report, 86-1, University of Tokyo, 36-40.
- Hayashi Y, 1970: A theory of large-scale equatorial waves generated by condensation heat and accelerating the zonal wind, *J. Met. Soc. Japan*, **48**, 140-160.
- , and Golder, 1986: Tropical intraseasonal oscillations appearing the GFDL general circulation models and FGGE data, Part I: phase propagations, (submitted to *J. Atmos. Sci.*).
- Hayashi, Y.-Y. and A. Sumi, 1986: The 30-40 day oscillations simulated in an "aqua planet" model, *Met. Soc. Japan*, **64**, 451-467.
- Madden, R.A. and P.R. Julian, 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1109-1123.
- Nakazawa, T., 1986: Mean features of 30-60 day variations as inferred from 8-year OLR data, submitted to *J. Met. Soc.*, Japan.
- Tokioka, T. and K. Yamazaki, 1986: Absence of dominant 30-60 day oscillations in the MRI. GCM-I. Meteorological Research Report. 86-1, University of Tokyo, 42-52.