

B-8 気候変化に係わる雲の大気物理過程の解明に関する研究
環境庁

国立環境研究所大気圏環境部 高藪 縁、宮崎 武、花崎 秀史
(委託先) 日本気象学会 小倉 義光
東京大学理学部 沼口 敦

研究期間 平成2年度～4年度

2年度当初予算額 8,708千円

Research on the Interaction between the Cloud Systems and Dynamical processes
Related to the Climate Change

(FY 1990~1992)

Yukari N. Takayabu, Takeshi Miyazaki, Hideshi Hanazaki
Atmospheric Environment Division
National Institute for Environmental Studies
Agency of Environment

(contractors)

Yoshimitsu Ogura, Meteorological Society of Japan
Atsushi Numaguti, Faculty of Science University of Tokyo

The state of generation and distribution of cloud systems over the earth has large influence on the global climate system through radiative feedback effects and also through the latent heat release accompanying the phase change of water. Therefore, it is required to predict the possible change in generation and distribution of cloud systems in order to discuss the problem of the climate change. This study aims to clarify the dynamical and the thermodynamical processes associated with the organization of the cloud systems and to contribute to make an adequate model for simulating the clouds' role in climate system properly.

One approach to this issue is by data analysis using the satellite observed cloud data (infrared equivalent blackbody temperature data) and the global meteorological data. This year we have performed a case study of very distinguished organization of convective cloud systems, super cloud clusters, to describe how they are associated with dynamical structures. We elicited the 3-dimensional structures of the Kelvin wave-type eastward mode which was connected with the eastward propagating super cloud clusters and also of the vortex-type westward mode which was associated with the westward travelling cloud clusters, inner structure of super cloud clusters.

On the other hand, some simple GCM experiments were performed in order to compare the characteristics of the two different cumulus parameterization schemes (by Kuo(1974) and Manabe et al.(1985)). The results show there are large differences in the synoptic scale (order of 1000km) behavior of the convective activities between the two experiments.

1. 序

地球上の雲の発生・分布の状態は太陽放射の反射、赤外放射の吸収といった放射フィードバック過程を通じて地球気候システムに大きな影響を及ぼす。また、雲・降水等の水の相変化に伴う潜熱解放は地球規模の気候パターンを決定する上で大きな効果を持つ。したがって、地球温暖化に伴う気候変動を議論するためにはこのような雲の発生・分布の変化を予測する必要がある。本研究においてはデータ解析と数値実験との2方向から雲の発生及び分布を決定する力学過程(雲と循環場との相互作用過程)を解明することによって、地球温暖化に伴う雲の状態の変化とそれが気候変化に及ぼす影響とをよりの確に予測するモデルの開発に貢献することを目的とする。平成2年度は、現実大気での顕著な積雲対流雲群の組織化がどのような力学的構造と結合しているかを事例的データ解析研究から示した。また、数値実験により、積雲対流をパラメタライズ(積雲対流より大きなスケールでの力学的変数で代表する)したモデルではどのような組織化の特性を示すかを比較検討した。

2. 平成2年度研究内容

(1) データ解析

- ・積雲対流活動の組織化に関する学問的背景のレビュー
- ・衛星雲データおよび気象データの収集
- ・赤道近傍の大規模力学構造を伴う積雲対流システムの事例解析

(2) 数値実験

- ・大気循環モデルに用いられている積雲パラメタリゼーションのレビュー
- ・積雲パラメタリゼーションの特性調査

3. 研究結果

(1) 赤道近傍の大規模力学構造を伴う積雲対流システムの事例解析 (データ解析)

図1は気象衛星「ひまわり」の赤外面像による1986年6月1日～7日に太平洋赤道線を東進した3000kmスケールを持つ組織化した積雲対流雲群（以下これを「スーパークラスター」と呼ぶ）を示す。本研究では1986年6月1日～20日に次々と東進した4個のスーパークラスターについて、その組織化に伴う3次元力学構造を抽出した。用いたデータは1度格子、3時間毎のGMS赤外相当黒体温度データ（以下TBBとする）および2.5度格子、12時間毎の気象庁全球客観解析データである。主な解析手法としては時空間スペクトル解析、バンドパスフィルター、コンポジット解析を用いた。

主な結果は次の通りである。①1986年6月1日～20日に観測されたスーパークラスターの組織化に伴う赤道線上の速度10度～12度/日の東進モードと北緯7度付近の速度数度/日の西進モードとの3次元構造を抽出した。②東進モードは南北スケール約20度、東西スケール約60度の対流圏全体にわたる高度と共に西方に位相の傾いたケルビン波型の構造を持っていた。コンポジットによって抽出された東進モードの上層・下層の水平風構造を図2に示す。特に下層では東西風成分の卓越、高度場との位相関係にきれいなケルビン波型の関係が示されたが、上層では南半球の南北風成分がケルビン波型を破っていた。3次元コンポジット構造のエネルギー収支解析からは積雲対流の効果による東進モードの直接の励起は観測されず、対流圏上層における南半球からのエネルギー入力とそこからの下向きフラックスとが示された。③西進モードはスーパークラスターの構成要素といえる500～1000kmスケールの雲クラスターと結合している力学構造で、上層と下層とではほぼ逆位相の渦的構造を持っていた。この渦構造は従来西太平洋域における偏東風波動として解析されているシステムと対応していた。今回の解析では偏東風波動の振幅が変調して東進するスーパークラスターの下位構造を担っている点が明らかになった。(図3) エネルギー的には西進モードは積雲対流の潜熱解放により励起されていることがわかった。

(2) 積雲パラメタリゼーションの特性調査 (数値実験)

地表面条件を単純化した大気大循環モデルによる2つの積雲パラメタリゼーションの比較実験の結果を積雲活動と擾乱(力学的構造)との結び付き、その時空間変動の特性などに着目して解析した。さらにその特徴をよりはっきりと抽出するため、非回転2次元系での比較実験も試みた。用いた積雲パラメタリゼーションはKuo(1974)(以下K U Oと呼ぶ)とManabe et al(1965)(以下M A A)である。

K U O および M A A を用いた 3 次元モデル実験での赤道上の降水量の経度-時間分布を図 4 に示す。地球規模の比較的大きなスケールでのおおまかな振舞いは両者のスキームで似てはいるものの、数千 km のスケールでの降水域（積雲活動域）の振舞いは大きく異なることがわかった。K U O の場合では小さなスケールの構造が持続的に存在し規則的な伝播が起こる。一方、M A A の対流調節では小さな構造の持続性が弱く、伝播も規則的ではない。この違いの一因として K U O と M A A とで擾乱と積雲活動との位相関係に違いがあることが示唆される。

この 2 つのパラメタリゼーションの性格は 2 次元実験においてより明確に現れる（図 5）。K U O では重力波と積雲活動が結合しやすく、伝播性のモードが卓越する。一方、M A A では降水は断続的となり、伝播も見えるものの K U O ほどはっきりとはしない。しかし、大きな構造の振舞いはよく似ているように見える。

4. まとめと考察

熱帯海洋上における積雲活動の組織化の振舞いとそれに結合した力学構造とを現実データおよび数値実験データについてそれぞれ解析した。

現実データの解析からは積雲対流活動の組織的な振舞いはそれぞれ顕著な力学構造と結び付いていることが示された。しかしまた、エネルギー的にみると各々の擾乱（力学構造）が全て積雲活動により励起されていると単純に結論付けることはできそうにない。例えば上記（1）の結果に示したスーパークラスターに伴う構造では西進モードは高温域で上昇という C I S K 型のエネルギー変換構造を持っていたのに対し、東進モードは高温域に対して中立な位相構造を持ち積雲活動による運動エネルギー励起は見られなかった。さらに、このような東進と西進との違いのみでなく緯度や周囲の平均場構造など様々な状況において、積雲活動の組織化と力学構造との結合形態に違いがあることが考えられる。今後より多くのデータを用いた解析により、結合する力学構造がいかにして選ばれるのか、スケールを決定する要因は何かを明らかにしていく必要がある。

数値モデルにおいては、試みた 2 つの積雲パラメタリゼーションの違いは非常に大きな構造には際だった相違はもたらさないが数千 km の擾乱のスケールにおいては大きく影響してくることがわかった。K U O 実験と M A A 実験との結果を実際の現象と対応させて見ると積雲活動の組織化の規則性の程度からいえば M A A の方が近いように見える。また一方では、K U O 実験の結果のような東進降水域が現実にはっきり見えることもある。しかしながら K U O 実験にみられた東進モードの積雲活動による wave-CISK 的な励起は現実のスーパークラスターの東進モードには見られなかった。このように現在の時点では現実と比較してどのパラメタリゼーションが優れているかという結論付けをすることはできない。今後さらに実験ケースを増やしさらに詳細な解析をすることが重要である。

本研究の最終的な目標は現実の積雲対流活動の大規模な組織化を的確に数値モデルの中に取り入れ再現することである。以上に示した結果からも解るように現実の積雲活動と力学場との結び付き方は必ずしも単純ではなく様々な場合によって異なる可能性がある。しかしながら、より多くの状況における現象解析及び統計的解析を行うこと、数値モデルについてもより多くのケースの実験を行い、現象解析に照らし合わせた詳細な力学的解析を行うことにより、積雲活動と力学場の結合（もしくは相互作用）の本質に迫っていくことができると考えられる。

5. 研究発表

(口頭発表)

1. TAKAYABU, Yukari N. and Masato MURAKAMI, August 1990, 'The Composite Structure of the Super Cloud Clusters over the Pacific Ocean on 1-20 June 1986.', July 1990, International TOGA Scientific Conference, Honolulu.
2. TAKAYABU, Yukari N., 'Dynamical Structures associated with the systematic movement of Cloud Clusters over the tropical Pacific Ocean.', September 1990, US-Japan bilateral workshop on ENSO, Seattle.

(誌上発表)

1. TAKAYABU, Yukari N. and Masato MURAKAMI, 1991: The Structure of Super Cloud Clusters Observed in 1-20 June 1986 and their Relationship to Easterly Waves., J. Meteor. Soc. Japan, vol. 69, pp105-125.
2. NUMAGUTI, A. and Y.-Y. Hayashi, 1991a: Behaviors of cumulus activity and the structures of circulations in an 'aqua planet' model. Part I. The structure of the super clusters. submitted to J. Meteor. Soc. Japan.

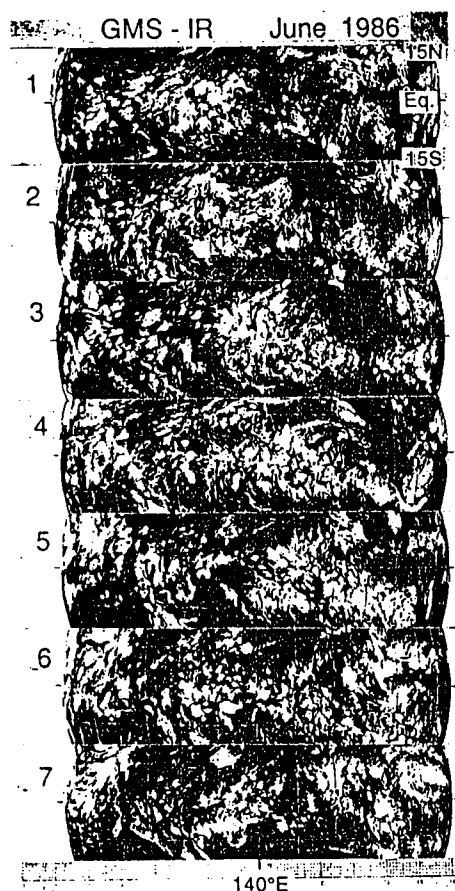


図1 気象衛星ひまわり画像にみられる東進するスーパークラスターの例

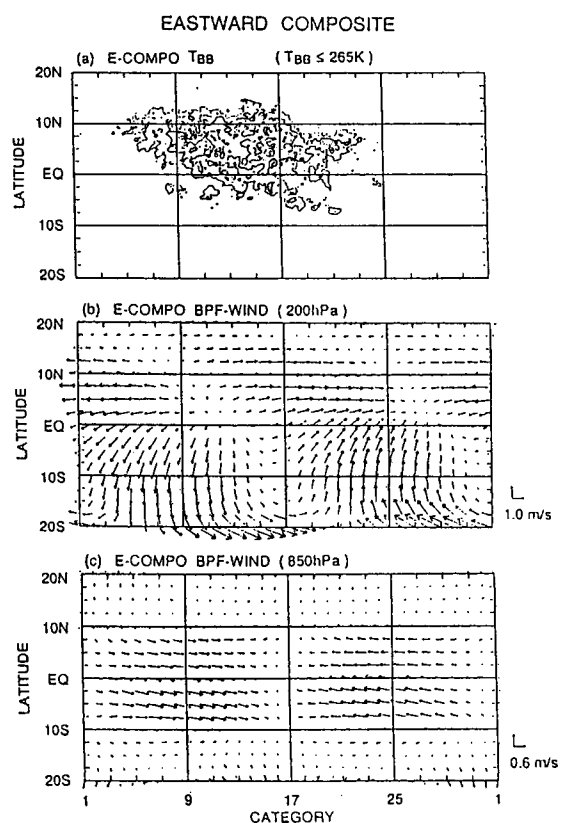


図2 スーパークラスターの東進モードのコンポジット構造。横軸は擾乱の категорияであるが、経度に読み替えられる。(a) TBB、(b) 200mb水平風、(c) 850mb水平風

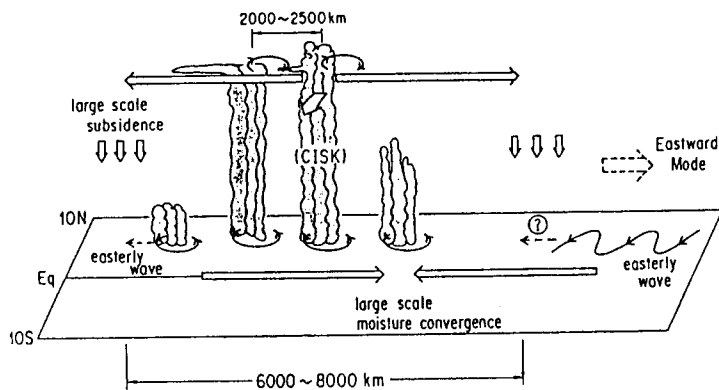


図3 スーパークラスターに伴う構造の概念図

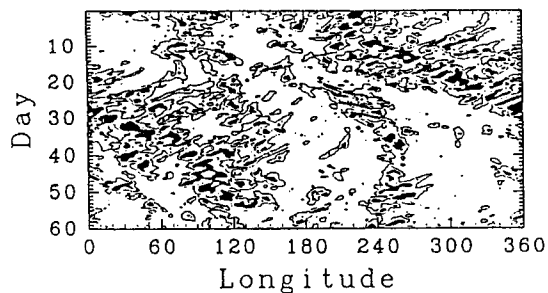
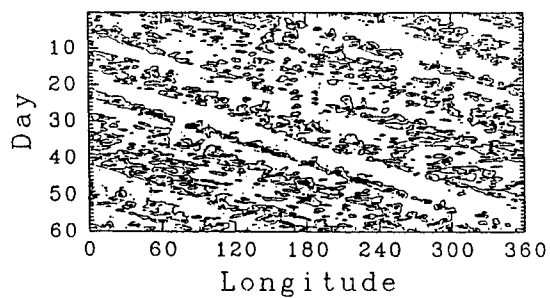


図4 赤道上の降水量の経度-時間分布 (a) K U O 実験 (b) M A A 実験

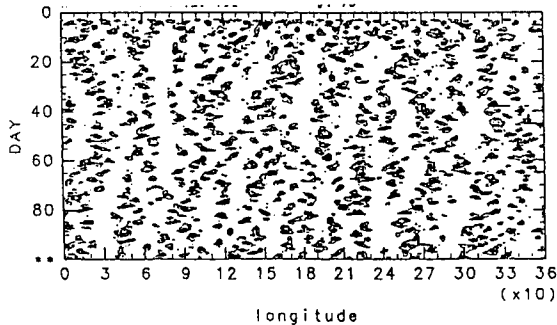
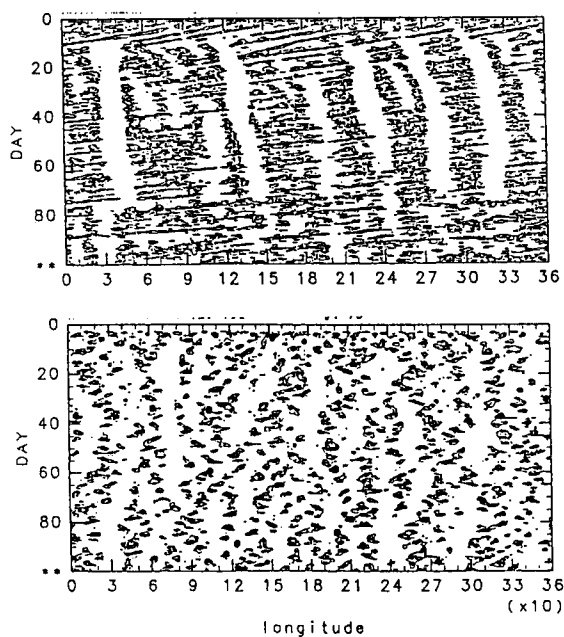


図5 2次元実験での降水量の経度-時間分布 (a) K U O 実験 (b) M A A 実験