

難である。従って現在のところ両面から観測する計画を立てる方がより現実的であろう。

#### 4. 観測結果のまとめに関する問題点

上記の観測計画がすべて計画通りに遂行され、十分な資料が得られたと仮定すればどのような問題が取上げられるであろうか。

(1) Large スケールのモデルに対しては原理的には垂直方向の全水輸送(液相)  $\sum W \cdot w$  が観測できる(適当な時間→空間の変換の仮定のもとに)筈であるが上述の測定は積雲スケールのものであるからこのためには零点の精度の高い Adjust (仮定)が必要となるであろう。

(2) 一定条件下での上昇気泡の大きさ分布が求められる。ただし上昇気泡(降水雲)の断面を無作為に切ったと仮定して見かけ上の一定の大きさに対して0.78を掛けより大きい Size の頻度による寄与を補正する統計的処理が必要である。

(3) 雲系の中のように独立していない気泡のとき  $(1/M) (dM/dz) = \alpha z$  で定義されるエントレメント係数  $\alpha$  が一定かどうか? 資料を高度に対して平均することによって検討することができないだろうか? (以上は力学関係者に問いたいテーマである。)

(4) 積雲モデルについては幾つかの変換因子(水蒸気→雲水, 水蒸気→氷晶, 雲水→降水→氷晶)について現在あまりにも簡単な一次式の定数係数として導入したり, 逆にかなり複雑な計算による近似関係式の開発なども行なわれているが, これらも雲物理学的には大胆な仮説の上に立っている事が多い。従ってこれらの努力が積雲のモデル実験の分野を混迷に導くおそれなしとはいえない。それを避けるためにも粒子の発生, 成長, 相変化と積雲の力学的構造発達に関する実験, 観測の積み重ねが必要と思われる。上記の変換因子の改良, 仮設の検

討のために有益でこの観測で得られるものとして, 次のようなものが挙げられる。(a) 氷晶の増殖作用は大雲粒によるのか? 時間によるのか? また氷晶核との関係は? (b) 大雲粒は巨大核, 衝突何れが主因か? (c) 氷晶化はどの条件で他の雲に伝播するか? (d) 一次元モデル, 二次元モデル等のどの程度詳しいモデルに観測された積雲の構造が合うか? 等々。

#### 参考文献

- 1) Kodaira, N. 1964: A pulsed-Doppler radar for weather observation. Proc. 11th Weath. Radar Conf. Amer. Meteor. Soc. 300-303.
- 2) 柳沢善次, 1964: 測雲用ミリ波レーダ・エコーの解析, 天気, **11**, 151-163.
- 3) 高橋克巳, 内藤恵吉, 1969: 振動計による観測用航空機の垂直速度の測定, 成雨機構共同研究概要報告(第3報) 47-54.
- 4) 青柳二郎, 1967: ドップラーレーダ, 気象研究ノート, No. 89, 153-174.
- 5) 青柳二郎, 1969: 北陸降雪雲のドップラーレーダによる研究, 成雨機構共同研究概要報告(第3報) 283-304.
- 6) Battan, L.J., 1963: Some observations of vertical velocities and precipitation sizes in thunderstorm. Proc. 10th Weath. Radar Conf., Amer. Met. Soc. 303-307.
- 7) Fujiwara, M., Yanagisawa, Z. and J. Aoyagi, 1971: Observation of glaciation of cumulus by Doppler radar, Manuscript for U.S.-Japan Seminar on Cumulonimbus of tropical nature, Feb. Miami
- 8) Fujiwara, M., Kodaira, N. and T. Yanase, 1971: Variance in raindrop Z-R relationship. (気象学会1970春発表, 集誌に投稿中)
- 9) 藤原美幸, 柳瀬利子, 高橋克巳, 1971: 霰の Z-R 関係 (天気投稿中)

## 積雲対流と対流雲群

浅井 富雄\*

### 1. はしがき

大気の大規模な運動・大気の大循環の機構をより一層

明らかにすること, そのための数値予報モデルの改良をめざす“地球大気開発計画(GARP)”において重要な研究課題の一つは, 境界層でのエネルギーの乱流輸送—積雲対流—大・中規模じょう乱という空間・時間スケ-

\* T. Asai 京都大学理学部地球物理学教室

ルの著しく異なる運動の相互作用を解明することである。冬季、大陸上の寒冷な気団が温暖な海洋上を吹走するとき、大気下層は著しく不安定になり対流活動が活発化する。対流は熱、水蒸気、運動量の鉛直輸送や水蒸気の凝結に伴う潜熱の解放を通して大気下層の急速な変質、中規模・大規模の大気じょう乱の発生・発達にも極めて重要な役割を果たすことが期待される。大陸東岸に位置する日本周辺域は、大気が海洋からエネルギーの補給を受ける典型的な地域の一つであり、AMTEX の意義もここにある。

GARP の狙いからすれば、端的に言って、大規模な大気の運動を記述する運動方程式系に、積雲対流の熱源としての効果とその配分をくり入れることである。換言すれば、対流活動を大規模運動に関する量で表現すること、即ちパラメタライズすることである。例えば、対流雲の分布特性や強度特性が大規模運動に伴う量の関数として表現できることが望ましい。局所での対流の個々の性状の詳細ではなく、その集合のある領域での全体としての効果が知られればよいのである。紙数の制約上以下では上述の見地から、研究されるべき積雲対流に関する一つの理論的側面について、要点の列記にとどめ、用語の説明や引用文献の記載は割愛した。

## 2. 対流調節と CISK の検討

積雲対流の機能はいままでもなく大気的不安定成層を解消する過程で、(1) 水蒸気の潜熱を解放し、(2) 熱や水蒸気等を上方に輸送することである。これらの効果は、大気運動にとっての熱源や熱の再配分に寄与するところが極めて大きく、更にその際生成される雲の分布は放射収支に、降水は水収支に欠くべからざる役割を演じている。これら積雲対流をパラメタライズするいくつかの方式が既に提案され、なかでも対流調節と CISK は既に実用に供せられある程度の成果を収めている。AMTEX における研究題目の一つはこれらパラメタライゼーションの方式を検討することである。

まず対流調節において検討を要する点は、いつ、どの状態へ、どれだけの時間をかけて調節するかということである。即ち、(1) 対流調節を適用すべき臨界状態としての気温と比湿の鉛直分布、(2) 対流活動の結果到達する最終状態とその降水量、(3) 対流活動の終息に要する時間等についての物理的根拠を見出さねばならない。(1)～(3)とも対象とする現象によってその重要性は異なり得る。例えば大循環のような時間スケールの大きい現象に対して(3)はあまり重要でなくても中規模じょ

う乱に対しては無視し得ない等である。

CISK における問題点は、(1) 収束した水蒸気量のうちどれだけを凝結させ潜熱を解放させるか、(2) 解放された潜熱を鉛直方向にどのように配分するか、等である。降水量の不確定性は対流調節の場合と同様である。

両者の優劣を一義的に決めることは恐らく至難であろう。両者ともまだ上述の如き任意性のあるパラメーターをかかえていること、換言すれば改良の余地を多く残しているからである。どの現象に対してどちらの方式がより適当であるか、どのような欠点が見られるかという立場での両者の比較検討、両方式に含まれている不確定要素を対流の特性に基づいて取り除く試みが当面の課題である。

## 3. 対流雲のアンサンブル

対流雲は決してランダムに分布しているのではなく、より大きな大気じょう乱によって組織化されていることは既に多くの観測によって指摘され、理論的にもその可能性が示唆されている。このことは対流活動の取扱いを困難にすると同時に他方パラメタライゼーションの可能性の背景となっている。

今後研究されるべき重点課題は対流雲群の性状とそれを含む平均場の性状の関係を定量的に記述することである。即ち、

(1) エネルギー補給のある大気じょう乱場での対流雲の卓越モードを決定する。特に場の静力学的安定度、相対湿度、鉛直流(又は水平収束量、境界層を通してのエネルギー補給量等)を用いて卓越モードを表現する。卓越モードの特性、即ち上昇流域のサイズや分布密度、上昇速度、周囲との温度差、比湿差、雲水量等を用いて水蒸気の潜熱解放量、熱の鉛直輸送量等を評価し得る。

(2) 単一の卓越モードを決定し難い場合、あるいは対流雲のサイズについて連続スペクトラムを考えた方が適当な場合も予想される。これは恐らくサンプル領域の大きさの選択にも依存するであろうが、複数の卓越モードや連続スペクトラムの取扱いを検討する。

(3) 卓越モードの選択規準を明らかにする。例えば最大輸送能の仮説が提出されているがテストされねばならない。

(4) 一般流が鉛直シャーをもつ場合、対流による運動量の鉛直輸送が期待されるが、この役割については不明の点が多い。シャー流中の積雲対流の性状については解明されつつあるが、軸対称性がくずれてパラメタライゼーションの困難性は増す。当面、シャーベクトルに平行な

ロール状対流雲を用いて運動量輸送を定式化することができる。

要するに対流の力学的特性をより深く考慮した対流雲アンサンブルのモデルにもとづいて、潜熱の放出、熱の鉛直輸送、運動量の鉛直輸送を評価することに重点がある。このことは特に中規模じょう乱の機構の解明には不可欠となるであろう。前節の black box 的方式と併行して研究を進めることが望ましい。

対応する観測・解析的研究は、(1) 対流雲群の分布特性、強度特性を定量的に記述すること、もしスペクトラムが sharp なピークをもてばそのモードの特性、(2) 対流雲群を含む平均場の特性、およびその領域についての熱・水蒸気等の収支、特に対流活動の活発な領域と不活発な領域との対比等である。

#### 4. 単一对流雲

対流雲群のモデル化において、可能なかぎり対流の力

学的特性をとり入れることの望ましいことはいうまでもないが、そのためには個々の対流雲自身の少なくともマクロな性状についての知識を確実なものにする必要がある。単一对流雲にとってマクロな立場から見た現在の重要課題は、(1) 上昇流とその周囲との混合過程、および(2) 上昇流内での微物理過程のパラメタリゼーション(雲の側壁を通してのエントレメントは混合過程に対する一種のパラメタリゼーション)である。

既存の単一对流雲モデルは自らそのサイズや分布密度を決定できず、従って一般場との相互作用の研究には不向きである。しかしながら対流雲内で見出される熱力学的、微物理学的過程の研究には非常に有力なモデルであり、周囲との混合や微物理学的過程のパラメタリゼーションが進めば、対流群モデルの設定により確実な物理的基礎を与えるであろう。

## 気団変質と中間規模・中規模擾乱の問題点

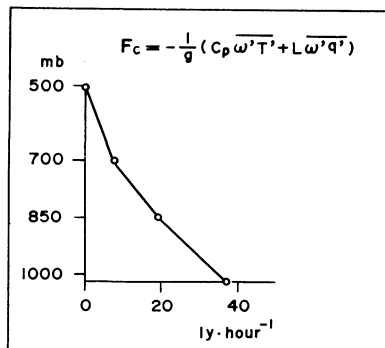
二 宮 洸 三\*

### 1. はしがき

南西諸島海域における AMTEX 計画の一部として、総観規模——中規模における気団変質の研究と、中間規模・中規模擾乱の研究が計画され、かつそのための観測計画が進行されようとしている。これらについてのいくつかの問題点をかかげてみよう。

### 2. 総観規模・中間規模・中規模における気団変質

まず気団変質の研究に、なぜこの観点が必要であるかを明かにしたい。気団変質の過程を単に局所的な大気下層における熱エネルギーの輸送過程の問題と限定することは適当でない。エネルギーの輸送量やその鉛直分布の直接測定は、一般に、特定の地点や時間帯についてのみ行なわれるが、われわれは、ある空間・時間内のその平均的分布にも関心があり、その間接的評価と、直接的測定の値を比較することが必要である。第1図に冬期東支那海海域において収支解析によって間接的に評価した全熱エネルギーの eddy (convective) transfer の垂直分布をかかげた。(二宮1971)。これは大きな(総観規模)



第1図 1968年2月の東支那海海域における熱収支解析から推算された全熱エネルギーの対流輸送量  $F_c = -\frac{1}{g} (C_p w' T' + L w' q')$  の垂直分布(二宮1971)。

面積内のしかも長期間の平均的分布であるが、必要なスケールの面積でしかも、ある特定の気象状態(ある値の安定度とか、収束に対する)下の垂直分布を得ること、それを直接的測定を比較することは基本的に必要な

\* K, Ninomiya 気象研究所予報研究部