

# 理想化された状況における積雲対流の自発的構造化の数値実験

## Numerical experiment on the spontaneous organization of cumulus convection in idealized conditions

# 中島 健介[1]

# Kensuke Nakajima[1]

[1] 九大・理院・地惑

[1] Dept. of Earth & Planetary Sci., Faculty of Sci., Kyushu Univ.

<http://gfd.geo.kyushu-u.ac.jp/~kensuke>

[地球の雲対流] 地球大気中の雲対流の重要な特徴は、上昇流域での凝結で生じた液相が「雨」として落下し系から除去されることである。この結果、下降流域では本来期待される凝結物の蒸発が起らない。この非対称の結果、大気は全体として不飽和に保たれるとともに、成層が安定化する。このため、上昇流域が浮力で駆動される対流としての性質を持つものに対して、下降流域は浮力は復元力として作用するので波動的である。この波動性は一種の慣性として働き、多数の雲の出現頻度を統計的に見ると色々な時空間構造の大規模構造が現れる。

[雲対流の「線形論」： C1FK と C1SK] 雲対流の上の様な特徴を線形不安定論によってとらえようとする際には、相変化に伴う加熱が大気の運動とどの様な関係にあるかをモデル化しなければならない。その方式には大まかに言って二通りある。

第一は、水の相変化が大気中の鉛直変位によって生じることを考慮し、それぞれの場所で加熱と鉛直流を比例させるものである。この定式化では、上昇流において断熱的温度低下を相変化に伴う加熱が上回る場合には、実質的な成層安定度が負となり対流不安定が予言される。このように相変化を考慮することを条件に生じる対流不安定を、「条件付き不安定」(conditional instability)、あるいは、後に述べる C1SK との対比では「第一種条件付き不安定」(conditional instability of the first kind; C1FK)と呼ぶ。この場合典型的な条件では、もっとも成長率が高い不安定擾乱は 10km 程度・成長時間は 1 時間以下となり、個々の積乱雲のスケールに対応する。

第二は、大気中の各所における加熱がその直下の大気下層における鉛直流に比例すると仮定するものである。この定式化では、たとえ大気のある高度において下降運動が生じていてもその直下の下層で上昇運動があれば雲が生じて熱が出ると思う。この状況は一見不合理であるが、この定式化が対流雲自体ではなくその集団的な効果を想定している(熱帯低気圧の理論として始まった)ので、広く受け入れられてきた。この種の定式化そのもの、あるいは、これが想定する雲の集団的な効果に関わる大規模な大気擾乱を、漠然と「第二種条件付き不安定」(conditional instability of the second kind; C1SK)と呼ぶことがある。

C1SK の正当性、あるいは、雲の「集団的な効果」に関わる大規模な大気擾乱を線形理論で議論することが果たして正当であるかは、古くから問題であった。その当否は単純には、C1SK の予言を観測される擾乱の性質と比較することで判断され得る。しかし、困ったことに、C1SK の線形理論で仮定すべき加熱のパラメータとして、観測の結果を用いることがあり、これは「カンニング」の批判を免れない。さらに、C1SK の予言たとえば成長率と擾乱の波長の組み合わせは、個々の雲のスケール即ち C1FK の予言と余り変わらない。伝統的には「そのような波長については、そもそも、加熱は下層鉛直運動と関係しないのだ。だから長い波長の成分だけに注目すればよいのだ。」と天下一りに考えることにより、この困難から逃避することになっている。

一方、C1FK には問題は残っていないだろうか? C1FK は実は、長い波長においてもそれなりの成長率の解を持つ。これに対応する擾乱は、はたして存在しないのだろうか? 本発表では、理想化された数値実験において、その存否を確かめる。

[理想化された数値実験] モデルは水平鉛直の 2 次元のもので、高い解像度と雲微物理過程のパラメタリゼーションにより対流雲の陽に表現する。計算領域は水平方向に地球一周に匹敵する 32768 km をとり、放射過程を想定した内部冷却と海面からの熱と水蒸気のフラックスを与えて 80 日間走らせる。ただし風速蒸発フィードバックによる擾乱の発生を極力抑える工夫をしている。

計算を行うと、個々の対流雲は最初はほとんど様に生じているが、50 日程度経つ頃から一つの固定した場所(幅が 3000km 程度)に集中してくる。このスケールと成長時間スケールの組み合わせは、(成長率最大のものを優先する、という通常の仮定を忘れれば)C1FK の予言と矛盾するものではない。ただし、微妙に異なる初期条件から出発した数値実験では、そのような集中化が生じない場合もある。これは、この現象が一種の有限振幅不安定であり、雲が統計的に一様に生じる状態と一か所に集中する状態との両方が安定であることを示すのかも知れない。

この結果を「大規模な C1FK」と解釈するべきか否か、などについては、当日議論する予定である