

## 積雲対流の自発的構造化の数値実験: CISK か CIFK か?

## Numerical experiment on the spontaneous organization of cumulus convection: CISK or CIFK?

# 中島 健介 [1]

# Kensuke Nakajima[1]

[1] 九大・理院・地惑

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

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

[地球の雲対流の特徴: 上下非対称と大規模組織化]

地球大気中の雲対流の特徴は、上昇流域での凝結生成物である「雨」が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)逆向きの相変化である「蒸発」が起こらない。この状況で起こる「雲対流」は、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、下降流域での浮力が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。

[雲対流組織化の「線形論」: CIFK と CISK]

雲対流の上のよう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よう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溫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想される。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 CISK との対比では「第一種条件付き不安定」(conditional instability of the first kind; CIFK) 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、また、成長時間は 1 時間以下である。これらのスケールは、大気中の現象としては、個々の積乱雲に対応する。ただし、より大規模な擾乱も小さいながらも正の成長率を持つ。

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(高度数百メートル)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を考える。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が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; CISK) と呼ばれている。

Nakajima(2004, 合同学会) は、32,768km の領域の 2 次元雲対流モデルを用いた数値実験において、雲活動が数十日のうちに、固定した一カ所に集中してくることを示した。この特徴は、一見、極めて大規模な CIFK として期待されるものと似ている。今回の発表では、これが果たして CIFK であるのか CISK であるのかを吟味する。

[理想化された数値実験の設定]

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を陽に表現する。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。内部冷却は対流圏上層で強くする。

[数値実験の結果: CISK か CIFK か?]

モデル中では、はじめに波長数千 km・位相速度 20m/s 程度の雲組織化が生じる。これらは全空間で万遍なく分布するが次第にその振幅に全計算領域に及ぶモジュレーションが現れ、50 日程度経つ頃には一つの固定した場所(幅が 3000km 程度)に集中してしまう。

ここで出現した停滞性集中化の空間スケール・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)CIFK の予言と矛盾するものではない。しかし、放射冷却として、下層で強いという鉛直構造のものをを用いると、この集中化は起らなくなる。このように、存否が内部冷却の鉛直構造に支配されるという点で、この停滞性集中化は CISK として解釈すべきである。

発表では、数値実験の結果の解析と wave-CISK 線形論の再吟味を組み合わせ、この点を論証する。