

地球熱帯海洋上の雲対流の多重スケール構造の数値実験

Numerical Experiment on Multi-Scale Organization of the Earth's Cloud Convection over the Tropical Ocean

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/~ken-suke/>

[相変化対流の一つとしての地球の雲対流]

地球大気の大気対流は水の相変化を伴う「雲対流」として生じている。マントル対流など他の相変化を伴うと対比した場合の雲対流の特徴は、上昇流域（「対流雲」として認識される）での相変化（凝結）で生じた「雲粒」が微物理過程によってマクロなサイズにまで成長して「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こらない。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、下降流域は浮力は復元力として作用するので波動的である。この結果、上昇流域は流速が大きく空間的に集中するものに対して、下降流域は流速が小さく空間的には拡散する。こうして集中した上昇流域での凝結物の落下は、その場所の大気構造を大きく変えてしまうことにより、「雲」の寿命を規定する。その一方で、下降流域の波動性が一種の慣性として働くことにより、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得る。

[地球大気で観測される多重スケール構造]

現実に地球大気で観測される雲対流の様相は、海陸分布を含む下面境界条件の不均一、さらには地球の球面効果や自転の影響を受けて、相当に複雑な様相を示す。その重要な特徴は、時間的・空間的な「多重スケール構造」である（以下、水平スケールを L 、寿命を T と書く）。すなわち、個々の対流雲（ $L=0(1-10\text{km})$, $T=0(1)\text{hour}$ ）は単独あるいはランダムに生じるのではなく、もっと大きなスケールの「メソスケール対流システム」（ $L=0(100-1000)\text{km}$, $T=0(10-30)\text{hours}$ ）に組織化する。さらに、この「メソスケール対流システム」もランダムに生成消滅するのではなく、熱帯低気圧・モンスーン擾乱・偏東風波動・赤道域スーパークラスターなどの大気運動構造（ $L=0(1000-3000)\text{km}$, $T=0(100-500)\text{hours}$ ）の中に組織化する。さらには、これら大気波動の活動も「季節内変動」と呼ばれる準周期的時間変動（ $L=0(5000-40000)\text{km}$, $T=0(20-100)\text{日}$ ）で変調される。そして、これらすべてを時間平均したものとして、モンスーンや熱帯収束帯などの時間平均的な雲の大規模構造（ $L=0(1000-10000)\text{km}$ ）が現れる。これらの多重スケール構造のうち、どの階層が雲対流自身に内在する自発的な構造であり、どの階層が境界条件の不均一などに強制された構造であるのかは、湿潤大気力学の基本問題の一つといえる。

[理想化された雲対流の数値実験]

雲対流に内在する自発的な構造の様相をしらべるために、理想化された熱帯海洋上の雲対流についての数値モデル実験を行った。モデルは水平鉛直の 2 次元のもので、解像度は水平 2km 、鉛直約 1km であり、雲微物理過程のパラメタリゼーションも含むので、個々の対流雲のプロセスを陽に表現できる。その一方で計算領域は水平方向に、地球一周に匹敵する 32768 km をとり、80 日間の時間積分を行うことにより、「季節内変動」に匹敵する時空間スケールの構造を視野に入れる。モデル大気には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、これらの熱的強制により生じる雲対流がどのような時空間構造をもつかを調べる。フラックスの計算においては、下層の平均風に対応する水平非対称を導入する。

[計算結果に見られる多重スケール構造]

計算の進行に伴い、極めて多数の対流雲が生成消滅する。個々の対流雲はランダムではなく、スケール 100km 程度、寿命 1 日程度の集団として生じる。このメカニズムは、落下する雨の蒸発に伴って大気下層に形成される冷たい空気が水平方向に広がって周囲の空気を押し上げることにより雲が次々に生じることである。そして、これらの雲集団は、平均下層風の風上側に向かって進む $0(10000\text{km})$ の波動に組織化される。この波動的構造は、計

算に導入した下層平均風により、海面フラックスが雲活動が活発な領域の風上側で大きくなることにより生成する。さらに、領域全体の平均的雲活動度には、30日程度の時間スケールの準周期的変動が現れる。これとともに、海面からのエネルギー供給、大気の成層安定度なども準周期的に変動する。

以上の詳しい特徴、および、現実大気に見られる多重スケール構造との関係については、当日に議論したい。