

## 月例会「大気数値シミュレーション」(第4回)

### —積雲のシミュレーション—の報告

はじめに

近藤洋輝(気象研究所台風研究部)

積雲は、個々のスケールは数 km 程度であるが、その集団の効果は大きく、中小規模擾乱における降水、台風が発生・発達さらには大気大循環における熱源などを考える上で重要な役割を果たしている。従って、雲物理学的な立場から留まらず、大規模場におけるパラメタリゼーションをより向上させるという見地からも、積雲のふるまいに対する理解を深めることが必要である。

積雲はそのおかれた力学的・熱力学的な場の中で極めて複雑で微細な物理過程をたどる為に、そのシミュレーションには多くの課題がある。今回の月例会では、この積雲のシミュレーションの問題を取り上げ、去る9月3日気象庁において、三つの話題を提供していただき討論した。ここにその要旨を報告する。

#### 1. ヒートアイランドが積雲対流におよぼす影響

米谷恒春(国防防災科学技術センター)

ヒートアイランドが積雲対流の発達に大きな影響を及ぼすことを、数値実験により調べた結果と、この数値実験の結果から期待される状態が東京の都心で生じていることを報告する。

数値実験の結論を先に記しておく。積雲対流に及ぼすヒートアイランドの影響は、ただ単に、地表の気温が高い分だけ大気の静的安定が悪いという事ではない。積雲がヒートアイランドの上空にあるときは、ヒートアイランドに伴う循環の分だけ、雲底より下層での上昇流が大きくなる。従って、積雲対流のエネルギーである水蒸気が、より多く下層から雲中に補給される。この結果、ヒートアイランドの上空では積雲対流は活発化する。

軸対称モデルを用いた数値実験の結果は次のとおりである。ヒートアイランドは、半径が  $r_h$ 、中心から  $r$  での気温が地表で  $\Delta T_h(1-r^2/r_h^2)$  だけ周囲より高いとした。

(1) ヒートアイランドが存在しなく、地表気温が(2)に記すヒートアイランドの中心での気温と同じとした場

合。初期条件として与えた半径 2 km の積雲のじょう乱は顕著な発達を示さなかった。

(2)  $\Delta T_h=1.2^\circ\text{C}$  とし、 $r_h$  を 1 km, 3 km, 6 km とした場合。ヒートアイランドにより変質した大気状態と、積雲対流の発達との関係を調べる。ヒートアイランドによる循環をまずシミュレートし、上昇速度が最大を示した時刻に、(1)と同じ積雲のじょう乱を与えた。

3 ケースとも、積雲は(1)よりもはるかによく発達した。ただし、 $r_h=1\text{ km}$  の場合は中心近辺でのみよく発達し、発達の程度は三つの中では最も悪い。最もよく発達したのは  $r_h=3\text{ km}$  の場合であった。

(3)  $\Delta T_h=2.0^\circ\text{C}$  とし、 $r_h$  を 1 km, 3 km, 6 km とした場合。積雲が形成され、よく発達した。積雲は、 $r_h$  の小さい方が早い時刻に形成され、 $r_h$  の大きい方がより発達した。

現実の東京では、都心と郊外との気温差の大きい日だが、1970年代に入ってから多くなっている(河村, 1977)。これと時を同じくして、8月の、日降水量 31 mm 以上の日数が、東京の都心で最近多くなった(Yonetani, 1982)。このことは、ヒートアイランドが積雲対流を活発化していることを支持する。

#### 文 献

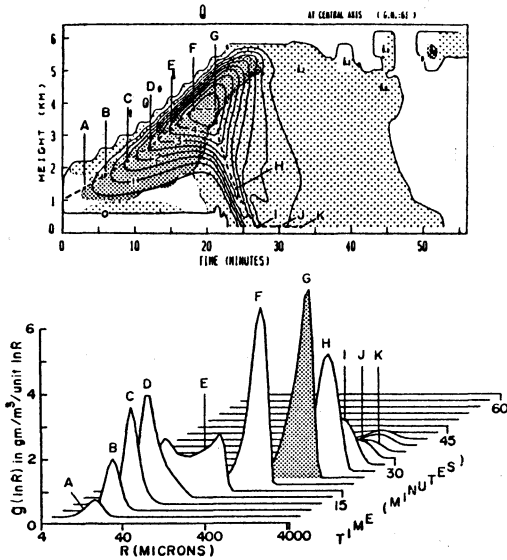
河村 武, 1977: 都市気候の分布の実態, 気研ノート, 133, 26-47.

Yonetani, T., 1982: Increase in number of days with heavy precipitation in Tokyo urban area, J. Appl. Met., 21 (10月号掲載予定).

#### 2. 降水形成の微物理過程を含む積雲モデルによる降水発達のシミュレーション

椎野純一(気象研究所台風研究部)

積雲の降水のメカニズムを明らかにすることは、積雲の数値シミュレーション的研究の大きな課題の一つである。雲の降水機構に関する数値的研究においては、雲の力学的過程と降水形成の微物理過程との相互作用、雲と雲が存在する大気の間との相互作用、水の相変化、凝結



第1図 背の高い積雲の中心部における凝結水 (liquid water,  $Q$ ) の時間-高度断面と3分毎の $Q$ の極大高度における水滴の粒径分布の時間変化。

核や氷晶核の性質、複雑な微物理過程の取り扱いのアルゴリズム、数値計算上の技法など考慮されねばならない様々の問題があるが、これまで実際に近い雲モデルの中で降水形成の微物理過程を詳細に扱った研究は非常に少なかった。ここでは深い湿潤対流の軸対称二次元モデルを用いて、微物理過程として凝結核と水蒸気の過飽和度に依存した雲粒の生成、過飽和空気中での雲粒の成長、衝突・併合による大水滴の形成、水滴の落下・分裂・蒸発など出来るだけパラメタライズしないやり方で考慮し、暖かい積雲の降水発達シミュレーションを行った。得られた結果を背の低い積雲を例に観測事実と比較した結果、海洋性積雲における降水粒子の成長と降水の発達をかなり良く再現することが出来た。と同時に降水粒子の扱い方に伴う人為的影響、微物理過程をパラメタライズした既存のモデルの問題点、背の高い積雲と低いそれを比較した時の、降水強度や降水能率に対する初期粒径分布の影響度の相違等についての知見が得られた。結果の一部を第1図に示す。これは背の高い積雲の中心部における凝結水(liquid water,  $Q$ )の時間-高度断面と3分毎の $Q$ の極大高度における水滴の粒径分布の時間変化

を示したものである。下層での小さな雲粒が上層にゆくにつれて成長し、中層での顕著な衝突・併合により大きな雨滴となり地上へ落下してゆく様子が示されている。

### 3. 雲核が積雲の微細構造におよぼす影響の数値モデルによる研究

武田喬男 (名古屋大学水圏科学研究所)

雲核が積雲の微細構造におよぼす影響を数値モデルにより調べる場合、雲核・水滴のふるまいをなるべく正確に評価することが必要になる。特に、雲粒が雲核上に形成され、凝結により成長し、粒径分布がつくられていく過程は、後の微物理過程に大きく影響するため、正しく扱わないと、数値モデリングの結果、人為的な結果を得るおそれがある。雲核の活性化、雲粒の凝結成長のような過程では、その粒子がどのような環境をどれだけの時間経験していくかが重要であるため、Euler流を基本とした数値モデルでは、近似を相当高めない限り妥当に評価することは出来ない。紹介する数値モデルは、力学系はEuler流で扱い、雲粒の形成・凝結成長については、雲底上500mの高度まではLagrange流で扱ったものである。簡単のため、大気を軸対称として、雲域、遷移域、雲外補償流域の三つに分け、それぞれの領域内の物理量を平均化した上で、それらの時間変化を1次元モデル的に計算した。ただし、領域間の相互作用(乱流混合、水平移流)は考慮されている。この雲域で、下層から次々と水蒸気と雲核を含む空気塊を上昇させ、その中の雲粒の形成・成長を計算する。空気塊の上昇速度はEuler流の力学系から時間ステップ毎に与えられ、逆にEuler系の各格子点での水滴粒度分布、水蒸気量は空気塊内のそれらから与えられる。このような方法により6ケースの計算を行った結果、背の低い積雲内の大雲粒の形成への雲核の影響について、次のような結論を得た。雲核数が少ない場合は、大雲粒のほとんどが、大粒子の核の上に形成された雲粒をもとに併合過程を通して形成され、巨大粒子の核の存在は大雲粒の数にほとんど寄与しない。しかし、雲核数が多い場合は、巨大粒子の核の上に形成された雲粒をもとに大雲粒が形成され、巨大粒子の核の数が増せば、その分だけ大雲粒の数が増す。すなわち、巨大粒子の核の重要性は雲核の総数に著しく依存する。