

京都大学防災研究所 正員 大石 哲 京都大学大学院 学生員 ○木谷有吾
 京都大学防災研究所 正員 中北英一 京都大学防災研究所 正員 池淵周一

1 序論 日本の河川は洪水到達時間が短いこと、河川流量の変動が激しいこと、築堤河川が多く流速も大きい等の流出特性が原因となって土石流や洪水などの災害を引き起こし大きな被害をもたらしてきた。この被害を軽減するためには、ダム、堤防等のハード面の整備だけではなく、降雨量および流出量の予測、その情報を用いたダム制御および避難情報の提供等のソフト面からのアプローチが必要である。後者のアプローチの一つとして洪水到達時間を超えるような長いリードタイムの洪水予測を行う場合30分～数時間、1～10 kmのスケールの降雨予測が必要となり、それを行うのが短時間降雨予測である。短時間降雨予測を困難にしている要因として大気中の対流現象のメカニズムが明らかにされていないことがある。特に日本では複雑な地形による大気の乱れが存在し、更に豪雨の一般形態が雹、霰、氷晶等の氷を含む Cold Rain であることから、地形が局地的豪雨に与える影響の物理的な理解は非常に困難な状況にある。この問題に対して、現在の観測網では積雲自体の時間的、空間的スケールの集中性、局地性が問題となり、十分なデータを得ることができない。そこで計算機を用いた数値実験を行うことにより、積雲による対流性降雨のメカニズムを理解することが本研究の目的である。

2 計算及び考察の方法 本研究では Takahashi らの開発した2次元対流雲モデルを用いて数値実験を行う。このモデルの特徴は、以下のようである。

- Cold Rain のシミュレーションが可能である。
- パラメタライズされていない雲の微物理過程を導入しており、各過程における降水粒子の生産量が出力できる。

このため物理的根拠をもって日本の豪雨現象をシミュレートすることが可能である。

地形が積雲の発達に与える影響を調査する第一段階として、地形によって生じられたとみなすことがで

きる下層収束を与え、これが積雲の発達に与える影響を調査する。モデルを構成する基礎式から風速は連続式を満たさなければならないので流れ関数を用いて左右対称状の Circulation 状としてあたえる。その流れ関数 Φ を次に示す。

$$\Phi = -8.0 \times 10^6 \sin \frac{\pi(x-2)}{(X-2)/2} \sin \frac{\pi(z-1)}{Z} \quad (1)$$

ただし X は計算領域全体の幅に相当する格子点番号(=55)、 Z は初期風速をあたえる領域の上限に相当する格子点番号である。

初期風速を与えた状態は地形等の影響を受けて大気中に偶然生じたものと考え、初期風速を最初に与えた後は強制的な外力によって風を維持するような状態にはしない。それは、積雲が成長するきっかけとしての鉛直風の役割を調べるためである。

具体的には、初期下層収束の最大値を以下の3通りに与えてシミュレーションを行った。

- Case 1. 0 [cm/sec]
- Case 2. 20 [cm/sec]
- Case 3. 40 [cm/sec]

Case 1. と Case 2. を山岳地形により鉛直上昇流が生じられた場合とそうでない場合とみなし、これらの比較から初期の下層収束が積雲の生じ状況、成長のスピード、寿命、地表面降雨強度、鉛直上昇流の継続時間に与える影響を考察し、Case 2. と Case 3. を比較することでその強さが上述の項目に与える影響を考察する。

3 計算結果とその考察

1. 積雲の成長のスピード シミュレーション開始以後同じ経過時間における雲頂高度を比較すると、高い場合から順番に Case 3.、Case 2.、Case 1. となった。また、同じ時刻での降水粒子の分布に着目すると、衝突過程によって粒径を増し空中に留まることのできなくなった降水粒子が落下し始

める時刻は Case 3.、Case 2.、Case 1. の順番で早い。これらの事実から成長のスピードは初期の下層収束によって大きくなったと言える。

2. 寿命 上昇気流が最高到達点に達した後、風は水平方向に発散するが、その領域の高度に注目すると、Case 3. が最も高く約 6~7 km、Case 1.、Case 2. では約 5~6 km であった。高度 6~7 km は氷晶(密度 $0.1 \text{ [gcm}^{-3}]$)が多く分布する領域であり、高度 5~6 km は雹(密度 $0.7 \text{ [gcm}^{-3}]$ 以上)が主に分布する領域である。Case 1.、Case 2. では雹の分布域が上昇気流からより遠くにまで発達し、Case 3. では氷晶の分布域が同様に発達する。雹は氷晶の 7 倍以上の密度を持つため上昇気流から遠くに分布する雹は落下し始め、下降気流を雲内に発生させる。この下降気流が上昇気流を減衰させ積雲の寿命を終わらせる。以上のことから下層収束が強ければ積雲の寿命を延長するとは限らない。

3. 降水効率 降水粒子の生産量は Case 1.、Case 2.、Case 3. の順番で多かった。特に氷晶などの軽い降水粒子について、その差は大きい。すなわち、下層収束が強いほどより多くの水蒸気を雲内に取り込むことが可能であり、しかもそれを氷晶などの軽い粒子として留めておくことができる。一方、降水効率に関しては下層収束は必ずしもプラスに作用するとは言えない。なぜなら軽い降水粒子は落下しにくいからである。

以上に述べてきた違いは、上昇させることができる水蒸気量とその高度の違いによってもたらされたと見える。それを決定するのが初期に生成する高温で飽和した気塊(雲の種)である。“雲の種”が濃く大きいほど凝結による潜熱の放出が活発であり、雲内が高温になる。この潜熱放出による気温上昇がそれ以後どこまで上昇できるかを左右し、積雲の発達に主導権を持つ。

4 結論 地形が与える積雲の発達過程に及ぼす影響を調査する第一段階として地形によって生じられたと見なすことができる下層収束を与え、その効果を調査した。その結果、次のような結論を得た。

1. 下層収束は積雲発生時における“雲の種”により多くのエネルギーを効率よく集中させることに有効である。この“雲の種”にいかにより多くのエネルギーを集めることができるかが、その後の積雲の発達に伴って水蒸気が降水粒子に変換される効率を決定する。

2. 降水効率に関しては下層収束が必ずしもプラスに作用するわけではない。なぜなら初期鉛直風が強い場合には降水粒子への変換は活発になるが、氷晶などの密度の軽い粒子の割合が高くなるので地上に落下せずに蒸発してしまうこともあるからである。

3. 雲の寿命、鉛直上昇流の継続時間に対しても同様で、下層収束はこれらの期間を延長する効果を持つとは限らない。なぜなら水蒸気を効率よく降水粒子に変換すればそれだけ雲内における降水粒子の重量の総和が大きくなり、降水粒子は自重のために落下し始め下降気流を発生させるからである。このことは、特に氷晶などの密度の小さい降水粒子を生成することができる程度の“雲の種”ができない場合に顕著である。

本研究によって明確になった事実として下層収束が積雲の発達に与える影響は、上昇気流が下層の気塊をより高高度にまで吹き上げるという直接的かつ力学的な影響ではなく、下層に広く分布する水蒸気をより小さな領域に集約する事によって潜熱という積雲発達に利用できるエネルギーの収束をもたらすという間接的かつ熱力学的な影響であるということである。

以上のように本研究では地形によって生じられたと見なすことのできる下層収束が積雲の成長過程、その寿命、降水効率にいかなる影響を与えうるのかということ、これまでの研究では詳細に調査されてこなかった各微物理過程の生産量と、その影響に着目することによって詳細に理解することができた。

[参考文献]

高橋 助・阿波田 康裕(1993)詳細な雲の微物理過程を導入した二次元積雲の数値実験, 京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-2, pp.189-217