

|             |                                                                                            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | 浅 井 富 雄<br>あさ い とみ お                                                                       |
| 学 位 の 種 類   | 理 学 博 士                                                                                    |
| 学 位 記 番 号   | 論 理 博 第 83 号                                                                               |
| 学位授与の日付     | 昭 和 39 年 12 月 22 日                                                                         |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当                                                                    |
| 学 位 論 文 題 目 | <b>Study of Cumulus Convection Based on Numerical Model Experiment</b><br>(数理模型による積雲対流の研究) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 速水頌一郎 教 授 田村雄一 教 授 小沢泉夫                                                       |

### 論 文 内 容 の 要 旨

流体を下面から加熱した場合に生ずる対流のうち、定常細胞状対流、いわゆる Bénard cell convection についての基礎的理論は Rayleigh (1916) によって与えられたが、大気中の対流現象、とくに、積雲対流の発展過程に対する力学的研究はまだ極めて初歩的段階にある。積雲対流においては、空気中に含まれる水蒸気の凝結に伴う潜熱の放出があり、また、下降気流、上昇気流、あるいは飽和域、未飽和域などでそれぞれ熱力学的に異なった非定常過程をたどりうるので、このような過程を制御し、再現する物理実験を行なうことは極めて困難である。数値実験の利点は条件制御の困難性が除かれるところにあるが、初期条件を完全に知ることができず、また、対流機構もまだ十分把握されていない現状では、えられた結果が物理的に有意義であるか否かについては慎重な考慮が必要である。本論文は、数値実験の方法に基づいて、積雲対流の性質、とくに、その力学的側面を考察したもので、3部からなっている。

第1部では、水平に数 km、鉛直に10数 km のスケールをもった鉛直気柱を大気中に想定し、その気柱内の空気と周囲の大気との間には捕捉と乱流混合によってのみ空気の交換が行なわれるといういわゆる気柱モデルを採用している。高度 11km 以上では成層圏の温度を、それ以下では通常の温度減率  $6\sim 8^{\circ}\text{C}/\text{km}$  の条件付不安定成層をおき、種々の相対湿度を仮定している。そして、気柱内の空気の鉛直速度、温度ならびに水蒸気量を支配する方程式系を数値積分して、その時間的发展過程を追跡しているのであるが、えられた結果は二つの型にわけられる。一つは  $10\sim 15\text{ min}$  の周期をもつ減衰安定振動で、内部重力波に对应し、他の一つは数  $10\text{ min}$  の寿命をもつ対流運動である。これら両者の臨界を地上気温と相対湿度に對して与えているが、それは、気温、湿度がともに高くなるほど、積雲対流が起こりやすいという経験事実とよく合致している。

第1部の方法は、力学的にみると本質的にはいわゆる Parcel 法の域を出ないもので、一般的には浮上空気と周囲空気とを1体の連続流体とした統一系に基づく理論が望ましい。第2部では、この見地に立って、積雲規模の対流を記述するのに適当な方程式を摂動論に基づいて一般的に論じ、音波を除去した内部

重力波に対する非線型方程式系を導き、これを静止大気中における積雲対流の数値実験に適用して、対流の時間的发展過程を追跡している。すなわち、高さ 5 km、水平幅 10 km の鉛直 2 次元の領域をとり、条件付不安定の成層をなす静止湿潤大気を想定し、下半層に温度攪乱を与えて、そこに対流が惹起するものとする。計算の結果によると、対流の寿命は 20~30 min であって、対流の初期、すなわち、発達期には、上昇域が下降域にくらべて次第に狭くなり、上昇速度が下降速度にくらべて強い循環系が生成、強化される。上昇速度や凝結率が最大になる最盛期に達すると、そのあと直ちに減衰期に入り、やがて減衰安定振動を示すに至る。また、温暖および寒冷な気層中の積雲対流には大きい差異ができるが、それは中緯度地方の暖候期に活発な対流活動が頻発することによく対応している。

第 3 部では、第 2 部で用いたモデルを速度の鉛直勾配がある風系に適用し、その場合に生ずる積雲対流と一般風系との相互作用の力学的側面を数値実験によって明らかにしている。すなわち、風速の鉛直勾配がある場合には、対流の軸対称性は崩れ、対流の中心軸は高さとともに風下の方へ傾く。その結果として、対流運動系から一般風系へ向かう運動エネルギーの流れが生じる。また、上昇流の中心軸と温暖域の中心軸とは一致しなくなるが、これは位置エネルギーから対流の運動エネルギーへの変換を減少せしめる。これらはいずれも対流の抑止作用として働くから、風系に平行な面内の対流運動にくらべて、風系に直角な面内のそれが卓越する。これは、大気中でしばしば観測される風系に平行な積雲の帯状構造の生成機構を示唆するものである。

参考論文 5 編のうち 2 編は主論文への基礎的研究であり、他の 3 編は高層気象観測資料を解析して、豪雨、寒気の吹き出しなど下層における特異気象の構造を解明したものである。

## 論文審査の結果の要旨

大気中の対流現象、とくに、積雲対流の発展過程に対する力学的研究はまだ極めて初歩的段階にある。対流における諸過程を制御し、再現する物理実験を行なうことは極めて困難であるが、数値実験は条件制御の困難性を除きうる点において有力な研究方法である。本論文は、数値実験の方法に基づいて、積雲対流の性質、とくに、その力学的側面を考察したものである。

まず、本論文の第 1 部では、いわゆる気柱モデルを採用し、水平に数 km、鉛直に 10 数 km のスケールをもった鉛直気柱を大気中に想定し、その気柱内の空気と周囲の空気との間には捕捉と乱流混合によってのみ空気の交換が行なわれるものとし、気柱の温度、相対湿度には実際にみられる条件を仮定して、対流の時間的发展過程を追跡している。気柱内空気の鉛直速度、温度ならびに水蒸気量を支配する方程式系を数値積分するのであるが、運動は数 10 min の寿命をもつ対流と周期 10~15 min の減衰安定振動との二つの型にわけられ、両者の限界が地上気温と相対湿度に対して示されている。積雲対流は気温、湿度がともに高くなるほど起こりやすくなるが、これは経験事実とよく一致している。

第 1 部の方法は、力学的にみると、いわゆる parcel 法の域を出ないものである。第 2 部では、理論をさらに発展させ、積雲規模の対流を記述するのに適当な方程式を摂動論に基づいて一般的に論じ、音波を除去した内部重力波に対する非線型方程式系を導いている。数値実験としては、高さ 5 km、水平幅 10 km の鉛直 2 次元の領域をとり、条件付不安定な成層をなす静止湿潤大気を想定し、下半層に温度攪乱を与え

て、そこに発生する対流を追跡しているのであるが、対流の寿命は 20~30 min であって、対流の発達期には、上昇域が下降域にくらべて次第に狭くなり、上昇速度が下降速度にくらべて強い循環系が生成、強化される。対流は最盛期に達すると、そのあと直ちに減衰する。これは、積雲対流の維持には下層からの水蒸気補給が重要なことを示唆する。また、温暖および寒冷な気層中での積雲対流には大きい差異が認められるが、それは中緯度地方の温暖期に活発な対流活動が頻発することによく対応している。

第3部では、第2部のモデルを速度の鉛直勾配がある風系に適用している。この場合には、対流の軸対称性は崩れ、対流の中心軸は高さとともに風下の方へ傾き、また、上昇流の中心軸と温暖域の中心軸とは一致しなくなる。これらはいずれも風向に平行な面内での対流の発達を抑制するから、この結果は、積雲の観測でしばしば認められる風系に平行な帯状構造の生成機構を示唆するものである。

要するに、著者浅井富雄は数理模型実験によって積雲対流の発達・減衰過程を解明し、問題の所在を明らかにして、いまだ極めて初歩的段階にある積雲対流の力学的研究を進展させたもので、気象学の進歩に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。