

# 第1章

## *CReSS* の概要

本章では、*CReSS* の開発の経緯とモデルの概要を説明する。

*CReSS* (Cloud Resolving Storm Simulator) は雲スケールからメソスケールの現象の高精度シミュレーションを行うことを目的として開発された、雲解像の非静力学気象モデルである。

雲、特に強い降水をもたらす積乱雲とその組織化したものは、非常に複雑なシステムで、流れの場と雲物理の複雑な非線形相互作用でその発展が規程される。このような降水システムを数値モデルによってシミュレーションするためには、流れの場のプロセスとともに雲物理学過程を詳細に計算することが本質的に重要である。

*CReSS* は大規模な並列計算機で効率よく実行できるように設計され、その並列計算により雲の詳細な時間発展のシミュレーションを行うことができるモデルである。

## 1.1 開発の経緯

*CReSS* (Cloud Resolving Storm Simulator) は、科学技術振興調整費「高精度の地球変動予測のための並列ソフトウェア開発に関する研究」における「ダウンバースト現象の高度シミュレーションに関する研究」の一環として、愛知学泉大学コミュニティ政策学部 神谷 信彦 教授 の指導のもと、名古屋大学地球水循環研究センター (2000 年 4 月に大気水圏科学研究所より改組) 坪木 和久、財団法人高度情報科学技術研究機構 榊原 篤志 により開発が進められているものである。

本研究計画では、ダウンバースト・マイクロバーストの数值シミュレーションを並列計算機で行えるような数值モデルを開発し、それによりダウンバーストの発生と下降流及びその発散流の振る舞いを調べることを目標にしている。

ダウンバーストは強力に発達した積乱雲から発生し、その形成には雲物理学過程が深く関与している。これを十分シミュレーションできるモデルは積乱雲にかかわる現象を力学的にも雲物理学的にも詳細に表現できるものである。気候モデルにおいて雲は大気の駆動源として重要であるが、このようなモデルは雲の内部構造を、時間変化を含めてモデル化し、雲の気候モデルにおけるパラメーターを明らかにすることにも用いることが期待される。また、マイクロバースト (強風域の直径が 4km 程度以下のダウンバースト) は現象のスケールが個々の積乱雲程度の大きさであるため、そのシミュレーションには雲を解像する数值モデルが不可欠である。下降気流を起こす負の浮力の生成は、降水粒子の相変化による大気の冷却と降水粒子の加重が大気を引きずり下ろすことによって起る。マイクロバーストの生成のシミュレーションには積乱雲の中で降水粒子がどのように形成され、どのように振る舞うかを正確にシミュレートする必要がある (図 1.1)。

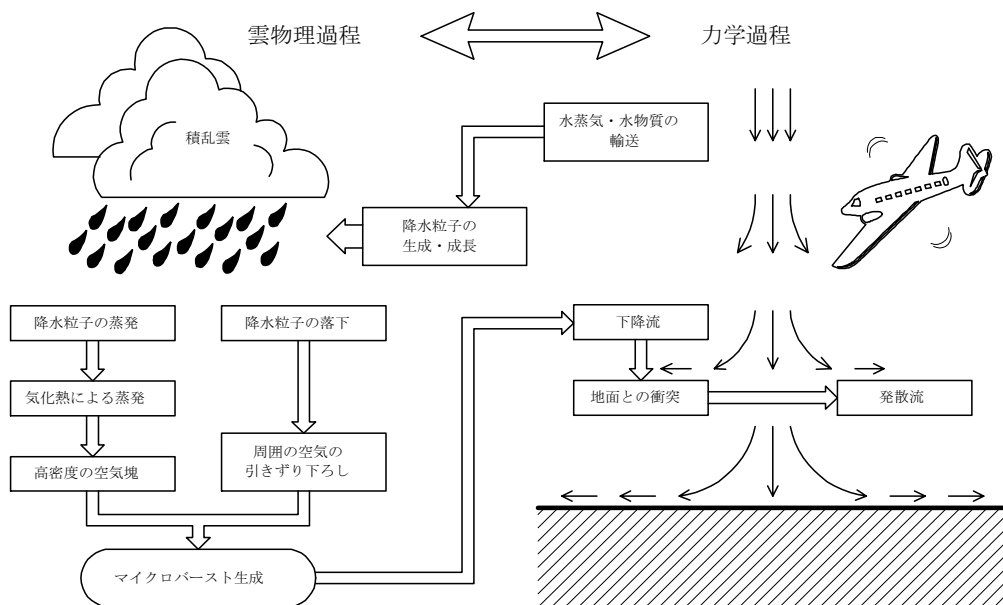


図 1.1. マイクロバーストシミュレーションモデルの概念図。

*CReSS* を開発することにより、このような大気場と降水粒子の振る舞いをシミュレートでき、その数值モデルを並列計算機で最適化された実行ができるようにすることが目標である。

## 1.2 モデルの概要

**CReSS** は、ダウンバースト・マイクロバーストをシミュレーションできるような雲解像モデルで、メソスケール（中規模）の領域を計算領域とするモデルとして開発されたものである。以下に **CReSS** の特徴を挙げる。

- 並列計算機用に設計されており、大規模計算が実行できる。一方で、1つのノードだけを用いるバージョンも用意されており、PC-UNIX でも実行可能である。
- 雲物理学過程を可能なだけ詳細に取り入れた雲モデルである。一方で、ドライのモデルとして詳細な流れの場のシミュレーションも可能である。
- 単独で雲のシミュレーション実験を行うことができるだけでなく、実際の地形と初期場および時間発展する境界条件を与えて、予報実験を行なうことも可能なように設計されている。
- コードはスタンダードな FORTRAN77 ベース（本来の文法規則にはない拡張機能を使用されている）で記述されており、可読性に優れ、かつ、ほとんどの計算機プラットフォームで実行が可能である。

次に、実装されている具体的な機能は以下のとおりである。

- 力学過程の基礎方程式系は非静力学・圧縮系で、地形に沿う座標系の3次元領域で計算を実行する。
- 力学過程の従属変数は、速度の3成分、温位偏差、気圧偏差、乱流運動エネルギーである。
- 雲物理学過程として「暖かい雨のバルク法のパラメタリゼーション」と「氷相を含むバルク法のパラメタリゼーション」を導入している。
- 雲物理学過程の従属変数は、水蒸気・雲水・雨水の混合比に加えて、「氷相を含むバルク法のパラメタリゼーション」では、雲氷・雪・霰の混合比とそれらの数密度である。
- 空間微分は差分法を用い、鉛直水平とも陽解法（HE-VE）または水平陽解法・鉛直陰解法（HE-VI）を用いることができる。
- 時間積分は音波関連項とそれ以外の項を分ける時間分割法で、音波関連項以外の積分には中点蛙飛び法を Asselin のフィルターを併用して用いている。
- 乱流はスマゴリンスキーの1次のクロージャーまたは乱流運動エネルギーを用いた1.5次のクロージャーによるパラメタリゼーションを導入している。
- 移流の計算は、4次または2次精度の中心差分を4次または2次の数値粘性を併用して用いている。
- 初期条件には、高層観測などから1次元プロファイルを水平一様に与えるか、広領域モデルにネスティングする場合は、その出力値を補間した3次元の非均一データを与える。
- 境界条件には、固定壁条件（鏡像条件）、周期境界条件、傾き零の条件、放射境界条件を用いることができる。
- 上部にスポンジ層を用いることができる。
- 並列計算には MPI（Message Passing Interface）を用い、矩形の2次元領域分割により並列計算を実現している。

このユーザズガイドにより、上記に挙げた機能（力学過程・物理過程）の詳細、並列プログラムの実装方法、また、具体的なモデルの実行方法や検証実験の結果を順を追って見るることができる。