HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	雲のモデル化とシミュレーション
Author(s)	柳田, 達雄
Citation	電子科学研究, 3, 99-100
Issue Date	1996-01
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/24360
Type	bulletin (article)
File Information	3_P99-100.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

雲のモデル化とシミュレーション

情報数理研究分野　柳　田　達　雄

雲の多様な形態の生成メカニズムを調べる為，浮力・拡散・粘性・断熱膨張・相転移・液滴の重力による落下とそれによるまわりの大気の引きずりの効果を考慮したモデルを構成した。このモデルは層雲・積雲・積乱雲などの多様な雲のパターンを再現する。

1．はじめに

雲の生成・消滅の動力学は大気運動と相転移との絡み合いによって生じており，流体運動を記述するNavier-Stokes方程式や熱力学の方程式精確に計算すれば現象を再現できるはずである。このような系を数値解析する時，要素現象の時間空間スケールが異なっているため，一方のスケールに合わせた解析を行うと他方のスケールの現象を見ることができない。実際，現在のコンピュータでは基礎方程式をもとにしてこのような複雑系を全ての時間・空間スケールにわたって精確にシミュレーションすることはできていない。ここではモデルを〝作る〟ことによって雲の動力学の解明をこころみる。

2．モデル

雲の多様なパターンがどのようなダイナミクスにより維持され，パラメータ空間でいかなるパターンが生成されるか調べるためのモデルを構築する。まず，空間を正方格子で離散化し，雲のパターンの生成・消滅のダイナミクスを表現する場の変数として速度$\vec{v}(x, y)$・温度$T(x, y)$・蒸気量$w_v(x, y)$・液滴量$w_l(x, y)$を選ぶ。雲が生成・消滅する過程として図1のようなシナリオを考える[1]。

このシナリオを支配する物理的要因として，(1)浮力，(2)粘性，(3)拡散，(4)非圧縮性効果，(5)移流，(6)断熱膨張，(7)相転移，(8)潜熱，(9)引きずり，(10)液滴の落下を考え，簡単なダイナミクスに置き換えることによってモデルを構成する。詳しくは[2, 3]を参照されたい。

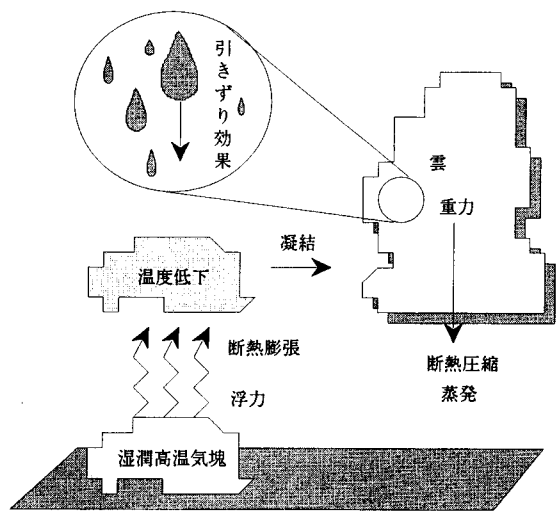

図1　雲の生成・消滅のシナリオ
温暖気塊の浮力による上昇により断熱膨張が生じ温度が低下する。このため水蒸気が凝結し雲が生成される。この凝結に伴う潜熱の放出が浮力によるさらなる上昇を生み雲は発達する。凝固する水蒸気が減少すると成長は弱まり重力による液滴の落下によって衰退が始まる。

3．シミュレーション

ここではモデルを時間発展させ液滴量$w_l(x, y)$の時間空間変化を調べた結果を報告する。底面温度T_bと全体の総水分量Wを変化させると定性的に異なった幾つかの雲パターンが現れる。ここでは，代表的な空間パターンの時間発展を図2に示す。

4. まとめ

自然界には現象を個々の物理的要因に分解し，おのおのの清い世界だけを調べていただけでは理解できない複雑な系が多い。このような現象はえてして，時間・空間スケールの異なる系が結合しているため，そのマクロな現象をとらえるためにはミクロ・スケールの物理的要因にモデルを導入する必要がある。ここで取り扱った雲の動力学はマクロな流体運動とミクロな相転移の結合系であり個々の物理的要因は詳しく調べられている。しかしながら，これらの要因が複合した雲のパターン・ダイナミクスはほとんど知られていない。

ここで用いたモデル化は動力学の大まかなシナリオを作り上げ，個々の物理的要因を簡単なダイナミクス（プロセス）で置き換えるという構成論的方法である。

このモデルは，演算量が非常に少なくて済むため手元にあるワークステーションで計算と同時に速度場・温度場などの情報を描画・表示することができる。このため，パラメータ変化に対する運動の動的挙動を直接ディスプレイで観察できる。我々の視覚はこのような複雑な振る舞いのダイナミックな性質を捉えるのに適しており，新現象の発見的研究に威力を発揮すると思われる。

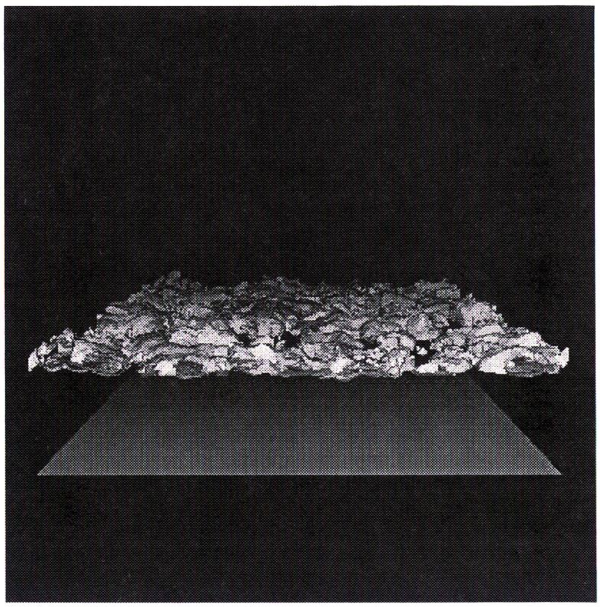

図2　三次元モデルの雲型
三次元モデルをランダムな初期状態から時間発展させ，$t = 2{,}000$ での液滴量 $w_l(x, y) = 0.01$ の等高面により雲型パターンを示した。$T_b = 0.3$, $W = 0.015$, $N_x = N_y = 80$, $N_z = 40$。

【参考文献】

[1] 木村竜治　浅井冨雄，武田喬男．雲や降水を伴う大気，volume 2 of 大気科学講座．東京大学出版会，1981.

[2] T. Yanagita K. Kaneko. Rayleigh-Bénard convection, patterns, chaos, spatiotemporal chaos and turbulent. *Physica D*, 82: 288-313, 1995.

[3] K. Kaneko T. Yanagita. 雲の多様なパターン．物性研究．

4. まとめ

自然界には現象を個々の物理的要因に分解し，おのおのの清い世界だけを調べていただけでは理解できない複雑な系が多い。このような現象はえてして，時間・空間スケールの異なる系が結合しているため，そのマクロな現象をとらえるためにはミクロ・スケールの物理的要因にモデルを導入する必要がある。ここで取り扱った雲の動力学はマクロな流体運動とミクロな相転移の結合系であり個々の物理的要因は詳しく調べられている。しかしながら，これらの要因が複合した雲のパターン・ダイナミクスはほとんど知られていない。

ここで用いたモデル化は動力学の大まかなシナリオを作り上げ，個々の物理的要因を簡単なダイナミクス（プロセス）で置き換えるという構成論的方法である。

このモデルは，演算量が非常に少なくて済むため手元にあるワークステーションで計算と同時に速度場・温度場などの情報を描画・表示することができる。このため，パラメータ変化に対する運動の動的挙動を直接ディスプレイで観察できる。我々の視覚はこのような複雑な振る舞いのダイナミックな性質を捉えるのに適しており，新現象の発見的研究に威力を発揮すると思われる。

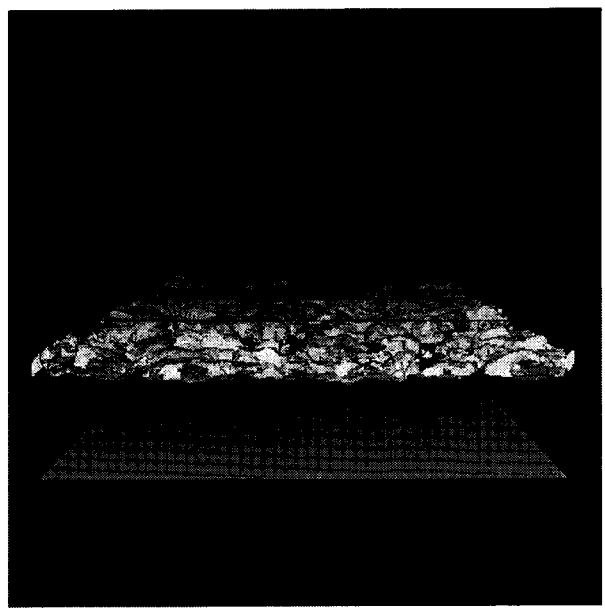

図2　三次元モデルの雲型
三次元モデルをランダムな初期状態から時間発展させ，$t = 2{,}000$ での液滴量 $w_l(x, y) = 0.01$ の等高面により雲型パターンを示した。$T_b = 0.3$, $W = 0.015$, $N_x = N_y = 80$, $N_z = 40$。

【参考文献】

[1] 木村竜治　浅井冨雄，武田喬男．雲や降水を伴う大気，volume 2 of 大気科学講座．東京大学出版会，1981.

[2] T. Yanagita K. Kaneko. Rayleigh-Bénard convection, patterns, chaos, spatiotemporal chaos and turbulent. *Physica D*, 82: 288-313, 1995.

[3] K. Kaneko T. Yanagita. 雲の多様なパターン．物性研究．