

日興製缶(株) 正員 ○木谷有吾 京都大学防災研究所 正員 大石 哲
 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 日本の山岳地域では豪雨が頻発する。それが原因となり河川氾濫や、土石流などの災害が頻発し流域に大きな被害を及ぼしてきた。この被害の軽減のために重要である、洪水到達時間を超える長いリードタイムを持つ洪水予測を行う場合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日本における豪雨のメカニズムがよく分かっていないことが挙げられる。

山岳地域での豪雨はレーダーをはじめとする現在の観測手段では十分な情報が得られず、数値モデルを用いた数値シミュレーションによる構造解析が期待されている。本研究ではパラメタライズされない詳細な雲物理過程を導入した高橋ら¹⁾の2次元積雲モデルに座標変換とテンソル解析の手法を用いて地形を導入した。このモデルの式系は非静力学系であり、モデルのメッシュスケールは細かい分解能を持つ。さらにメソβスケール以下の対流現象に影響を与えないことが知られている音波の項を含まない Anelastic(AE)-系である。AE-系で座標変換を用いて地形を導入すると気圧の解法が困難になるという欠点があり、本研究では収束計算により気圧を求めているが、その詳細は後述する。本研究ではこの数値モデルを用いて山岳の水平スケール、一般風の強度、一般風のシアの強度が積雲の成長過程に対しても与える影響を調査する。

2. 山岳導入の手法

2.1 座標系 様々な地形形状に速やかに対応できるように座標変換を用いて山岳を導入する。水平方向の座標は直交座標系と同じで、鉛直座標のみを地形形状に沿った式(2.1)に示すσ座標系に変換する。以下、 $\bar{x}$ を施した変数は座標変換後の変数である。ここで H は解析領域の高さ、 Z_g は山岳の標高で $\bar{x}^1, \bar{x}^2$ の関数であり次のように与える。

$$\bar{x}^3 = H \left(\frac{x^3 - Z_g}{H - Z_g} \right) \quad (2.1) \quad Z_g(\bar{x}^1) = \frac{M_h \cdot A_l^2}{(\bar{x}^1)^2 + A_l^2} \quad (2.2)$$

ここで M_h は山岳の標高、 A_l は山岳の裾野の広がり決定するパラメータであり、以後 A_l / M_h の値をHVR (Horizontal Distance versus Vertical Height Ratio)と呼ぶ。HVRが小さいほど急峻な形状の山岳であることを示す。

2.2 気圧の式の解法 本研究で用いた非静力学 AE-系のモデルでは気圧を求めるために運動方程式を1階偏微分して得られる2階偏微分方程式(Poisson方程式)を解かなければならない。この式系では地形を導入し、座標変換すると Poisson方程式を解くのが非常に困難になるが、これを高速フーリエ変換(FFT)を用いて解く。σ座標系の場合、気圧の式は以下ようになる。

$$C_p \theta_0 \left(\frac{\partial^2}{\partial (\bar{x}^1)^2} + \frac{\partial^2}{\partial (\bar{x}^2)^2} + \frac{\partial^2}{\partial (\bar{x}^3)^2} \right) (G^{1/2} \pi') = g(\pi', \bar{u}^1, \bar{u}^2, \bar{u}^3, \theta, Q_v', \dots) \quad (2.3)$$

左辺だけでなく、右辺にも π' が含まれるので、右辺に時間的に1ステップ前の π' を代入し左辺の π' との間で収束計算を行うことによって気圧を求める。

3. 結果と考察

3.1 検討事例 一般風の鉛直シアのない状態で、一般風の強度とHVRが積雲の成長状況に与える影響を調査するため次の8種類の事例を比較する。山岳の標高が1600mとなっている4事例は、モデル中で設定している大気成層状態における雲底高度(約800m)より高い場合を代表し、標高が600mとなっている4事例は雲底高度より低い場合を代表している。以下山岳の標高が雲底高度以上と雲底高度以下の2つの場合に分けて考察を行う。

事例番号	初期風速	山岳標高	HVR	事例番号	初期風速	山岳標高	HVR
Case. 1	200cm/sec	1600m	1.0	Case. 5	400cm/sec	1600m	1.0
Case. 2	200cm/sec	1600m	1.9	Case. 6	400cm/sec	1600m	1.9
Case. 3	200cm/sec	600m	1.3	Case. 7	400cm/sec	600m	1.3
Case. 4	200cm/sec	600m	3.8	Case. 8	400cm/sec	600m	3.8

3.2 結果及び考察 上述の 8 事例の比較と考察から得られた結果を以下にまとめる。

(1) 山岳の標高が雲底高度以下の場合…モデル中で設定している大気の成層は対流不安定がかなり大きくなっており、この場合HVRや、一般風の強度に関係なく同じ鉛直構造を持った積雲が成長する。その原因は積雲が山岳を越えた領域で主に成長するからである。山岳は対流生起のトリガーとしての効果しか持たない。

(2) 山岳の標高が雲底高度以上の場合…山岳の標高が雲底高度以上の場合では一般風の強度、HVRの違いによって影響の現れ方が以下の様になってしまう。

1. 一般風の強度の小さい場合(初期値が200cm/sec)…HVRの違いに関係なく、最初に生起した積雲によって発生した気流の乱れによって 2 番目以降に生起する積雲の成長が妨げられるので、HVRの違いによる影響の現れ方には違いがない。

2. 一般風の強度の大きい場合(初期値が400cm/sec)…HVRの大きい場合では 2 番目以降に生起する積雲が氷の粒子を含むまでに成長し、新たな降雨域をもたらすが、HVRの小さい場合では 2 番目以降に生起する積雲が風下斜面上空の下降気流域に達するので、成長が妨げられ新たな降雨域は発生しない。

3.3 検討事例 次に一般風のシアアの強度を 2 種類、絶対値を 2 種類与え、合計 4 種類の一般風の初期値を与えた。これは同じシアアの大きさであっても一般風速の絶対値の違いでどの様に積雲の成長状況が変化するかを調査するためである。山岳形状は標高が雲底高度以上の 2 種類を与え、HVRの違いによる影響も調査した。

事例番号	地表面風速	シアア強度	HVR	事例番号	地表面風速	シアア強度	HVR
Shear. 1	400cm/sec	100cm/sec/1km	1.0	Shear. 5	400cm/sec	100cm/sec/1km	1.9
Shear. 2	400cm/sec	200cm/sec/1km	1.0	Shear. 6	400cm/sec	200cm/sec/1km	1.9
Shear. 3	600cm/sec	100cm/sec/1km	1.0	Shear. 7	600cm/sec	100cm/sec/1km	1.9
Shear. 4	600cm/sec	200cm/sec/1km	1.0	Shear. 8	600cm/sec	200cm/sec/1km	1.9

3.4 結果及び考察 上述の 8 事例の比較と考察から得られた結果を以下にまとめる。本章の考察に用いた事例で与えた一般風の初期状態では、ある高度を境に風向が逆転する。この高度を“風向の逆転層の高度”と呼ぶことにする。山岳の裾野の端上空付近で発生した積雲が山頂を越えて移流するまでに、雲頂高度が風向の逆転層に達する場合では、積雲内に空気の循環系が形成される。循環系が形成されると水蒸気が効率よく積雲内に取り込まれ、積雲の成長が促進される。

循環系の形成され易さを評価するために、雲頂が風向の逆転層に到達する時間(逆転層到達時間)と、発生した積雲が山頂を越えて移流するまでの時間(移流時間)を比較すると、逆転層到達時間<移流時間 という条件が満たされる場合に、循環系が形成される可能性が高いと言える。

4. 結論 パラメタライズされない微物理過程を持つ高橋らの積雲モデルに座標変換とテンソル解析を用いて地形を導入した。非静力学系の中でも AE-系という式系を用いている本モデルでは地形を導入すると気圧を求めるのが困難となるが、収束計算を行うことで妥当な解を得ることに成功した。地形が局地豪雨に与える影響に関して本モデルを用いて調査し、一般風の強度と山岳の水平スケール、一般風の鉛直シアアと山岳の水平スケールが積雲の成長過程に与える影響に関して上述の知見を得ることができた。

参考文献 1) 高橋 勲・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, pp189-217