山越え気流による雲発生シミュレーションの試み

A simulation of formation of the typical clouds by the stratified flow past a mountain

○学 久保 美華 (お茶大) 准 土屋 なお子 (富士通インフォソフトテクノロジー)
正 河村 哲也 (お茶大)

Mika KUBO, Ochanomizu University, Otsuka2, Bunkyo-ku, Tokyo
Noko TSUCHIYA, Fujitsu Info Soft Software Technologies Limited
Tetsuya KAWAMURA, Ochanomizu University

Key Words: Humidity, lapse rate, wind velocity, froud number, cloud outbreak

1. はじめに

本研究は数値シミュレーションにより、雲の形と大気の状態との関連性を解析することを目的とする。特に山越え気流による雲は、特徴的な形状が多く、山という目印によりその変化が捉えやすいため、山越え気流による雲に着目し、シミュレーションを行った。山越え気流では安定状態において様々な波動・流動現象が出現することは知られている。よって本研究では安定状態、すなわち $\gamma < 9.76^\circ\text{C}/\text{km}$ の場合に限定してシミュレーションを行う。

2. モデル化

本研究では実際の現象に近づけるため、3次元で計算を行う。Xを東西方向、Yを南北方向、Zを鉛直方向として考える。風は西から東へ吹くものとする。対象となる山を富士山と想定して直径を40 km、最大高度4.0 kmの円錐形とし、周囲の山を除外してモデル化する。雲は地上から上空12 kmまでの対流圏で主に発生するため、計算領域はX方向80 km、Y方向40 km、Z方向12 kmとする。

3. 計算手法と数値解法

3.1 基礎方程式

風の流れは、圧力をかけても縮まない非圧縮性の流れとみなすことができる。また、拡散を仮定、ブシネスク近似を用いる。したがって支配方程式として、連続の式、非圧縮性ナビエ-ストークス方程式、密度方程式を用いた。これらの方程式をMAC法で解いた。

3.2 差分法

本研究では、高レイノルズ数でも安定した計算ができるように、ナビエ-ストークス方程式、密度方程式の移流項には、3次元精度上流差分を用いて近似した。ただし、境界の1つ内側では1次精度上流差分を用いている。時間微分には前進差分、その他には中心差分を用いた。

4. 計算結果

現象を支配すると考えられるパラメータを変化させて計算を行った。

①湿度による比較

50%, 70%, 90%のときを比較した。湿度は高いほど広範囲に雲ができた。雲の発生位置はほぼ同じだった。

②気温減率による比較

(湿度 70%)

$\gamma = 5.00, 6.50, 8.00^\circ\text{C}/\text{km}$ を比較した。

気温減率が大きいほど広範囲に大きな雲が発生した。これは、気温減率が大きくなると、フルード数が大きくなり、大気の安定性が弱まることが原因と考えられる。

山の風下側では、気温減率が小さいほど山に近い位置に雲が発生していることがわかる。また、気温減率が大きくなるにつれ、発生する雲の数・量も増える。雲底の高さは、気温減率が大きいほど低くなることわかる。気温減率は雲底の高さ、頂上の高さに関係することがわかった。

③風速による比較

$U = 5.0, 10.0, 15.0\text{m/s}$ を比較した。風速が大きいほど早く雲が発生し始める。これは風速が大きいほど粒子が山に到達するまでにかかる時間が短くなるためと考えられる。雲が発生した後も激しく動き、風に流されていく。また、フルード数も大きくなるので、雲が広範囲に発生していることがわかる。結果として、風速が大きいほど広範囲に広がり、その変化も速いということが言える。

④フルード数が一定の条件の下での比較

フルード数を1.2または2.0に固定した上で気温減率と風速を変化させて比較した。風速が大きく気温減率が小さいほうが雲の発生し始める時間が早い。風速が小さく気温減率が大きいほうが雲の量が多く範囲も広がっていることが確認できた。この結果から、フルード数を等しくした場合、気温減率は雲の量に、風速は雲の動き始める時間に影響するのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 河村哲也：大気科学、山海堂、2003
- [2] 内田孝紀、大屋裕二：有限深さ流路内の2次元丘陵地形を過ぎる安定成層流の非定常性—非定常な剥離・最付着流れに対する安定層の効果、ながれ18 1999
- [3] 内田孝紀、大屋裕二：安定成層場における山越え気流の三次元数値シミュレーション—非定常な剥離・最付着流れに対する安定成層の効果、ながれ22 2003
- [4] 九州大学大学院総合理工学術大気海洋環境システム学専攻 編、地球環境を学ぶための流体力学、成山堂書店、2001
- [5] 土屋なお子：平成16年度お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業論文

(湿度 50%)