

気塊持ち上げ混合による積雲対流シミュレーションの初期擾乱作成手法

*野澤知弘¹、若月泰孝²

(1: 筑波大院生命環境、2: 筑波大生命環境系)

1. はじめに

環境場を代表する積雲対流を雲解像大気モデルで発生させる場合、しばしば、適当な大きさの温位擾乱（ボーガス）を自由対流高度付近に置く方法が取られる。しかし、この方法では、発生する積雲対流が必ずしも大気場を反映したものになるとは限らず、擾乱温位の大きさによって発生する対流の強さや深さが変わってしまうという問題がある。また、温位擾乱は必ずしも自然に発生する積雲対流の温位変化パターンと整合がとれていないわけではなく、不自然な対流の立ち方をしたり、不自然な重力波を生成したりする。

擾乱をモデルの初期時刻に配置する手法は古くから用いられ、初期擾乱についての議論も多くなされてきた (Klemp et al, 1978, Crook et al, 1988, Naylor et al, 2012 など) が、どのような擾乱を与えることがより現実の大気に近いのか、その結論には未だ至っていない。

そこで本研究では、積乱雲を構成する対流セルが下層の未飽和な気塊が持ち上げ効果によって発生することを考え、地表面の空気塊を自由対流高度より上空へ持ち上げたときの持ち上げプロファイルと、周囲の空気の混合により気温差、水物質の混合比差を計算し、擾乱として初期場に与える手法について検討した。

2. 初期擾乱の与え方

地表面の水平格子内の空気塊を鉛直方向に持ち上げるとする。空気塊の何割がどこまで持ち上がるかという高度分布 $D(z)$ を、

$$D(z) = \frac{\gamma}{\int_{z_{LFC}}^{z_{LFC}+2z_r} \gamma dz}$$

$$\gamma = \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{z - z_{LFC} - z_r}{z_r} \right) \quad \left(-1 \leq \frac{z - z_{LFC} - z_r}{z_r} \leq 1 \right)$$

とする。 z_{LFC} は自由対流高度、 z_r は鉛直分布の広がりを決めるパラメータである。また持ち上げ空気塊の水平方向の割合 $N(x, y)$ を、

$$N(x, y) = \exp \left\{ - \frac{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}{2 \cdot \sigma_r^2} \right\}$$

で与える。 x_c, y_c は中心座標、 σ_r は水平分布の広がりを決める形状パラメータである。

次に持ち上げられた空気塊と周囲の混合についてであるが、本研究では鉛直に持ち上がる空気塊はすべて最下層のものとし、持ち上げる空気塊上の空気はすべて水平に拡散することを仮定した。このような仮定の下で持ち上げ気塊気温 $T_c(z)$ と周囲 $T_a(z)$ との混合後の気温 $T_m(x, y, z)$ を求めると、

$$T_m(x, y, z) = N(x, y) \cdot A(z) \cdot T_c(z) + (1 - N \cdot A) \cdot T_a(z)$$

$$A(z) = \int_{z_{LFC}}^{z_{LFC}+2z_r} D(z) dz$$

となる。また混合は水蒸気混合比についても同様であり、

$$q_{v_m}(x, y, z) = N \cdot A \cdot q_{v_c} + (1 - N \cdot A) \cdot q_{v_a}$$

となる。ここでの持ち上げ水蒸気混合比は、下式の通り持ち上げ凝結高度 (LCL) より上層では持ち上げ空気塊の飽和混合比に等しくした。

$$q_{v_c} = q_{v_{sc}} \quad (LCL < z)$$

$$q_{v_c} = q_{v_{so}(z=0)} \quad (LCL \geq z)$$

さらに、LCL を越えた高度では水蒸気の雲水への変換が起こるから雲水の混合も同様に行われ、

$$q_{c_m} = N \cdot A \cdot q_{c_c} + 0$$

$$q_{c_c} = q_{v_{so}(z=0)} - q_{v_{sc}} \quad (LCL < z)$$

$$q_{c_c} = 0 \quad (LCL \geq z)$$

となる。この定式化で、積雲対流の位置以外に必要なパラメータは、 z_r と σ_r の2つで、それぞれ、強制的に持ち上げる空気の厚みと持ち上げ空気塊の水平方向の大きさを示している。

下図は周囲の気温、気塊の持ち上げ温度とその混合割合の鉛直構造を示したものである。2つの温度プロファイルからも分かるように、先述の混合によって LFC よりも下層の大気は冷却され、上層では加熱される。その影響は、ガウス関数によって、積雲対流の中心から離れるにつれて、周囲の空気と混合し小さくなる。

3. 結果

本手法を雲解像大気モデル (CReSS) に実装した。その結果良好な再現に成功した。発表ではパラメータを変化させた感度実験結果の詳細や、過去の対流発生手法との比較実験結果について紹介する。

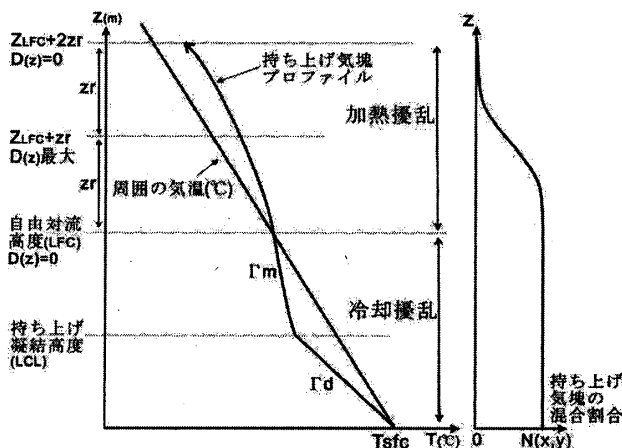


図 左) 周囲の空気の気温プロファイルと最下層気塊の持ち上げ気温プロファイル。右) 持ち上げ気塊の混合割合の鉛直構造。混合割合は LFC まで $N(x, y)$ 一定で、 $LFC+2z_r$ で 0 となる。 z_r は混合の最大高度とピーク高度を決定する調整パラメータ。