

凝結過程のバグに関する報告

凝結量の評価におけるバグ

主成分凝結対流計算では、非物理的な凝結を防ぐために、雲密度の閾値 ρ_s^T を導入して凝結量 M_{cond} を評価している。凝結量の条件判定を表 1 にまとめてある。

これまでモデルでは

- $S > Scr$ の場合
- $S \geq Scr$ かつ $\rho_s > \rho_s^T$ の場合
- それ以外

の 3 通りに分けて M_{cond} を以下のように評価していた。

$$M_{cond} = \begin{cases} \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & (S > Scr \text{ の場合}) \\ \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & (S \geq Scr \text{ かつ } \rho_s > \rho_s^T \text{ の場合}) \\ A(\rho_s, S) \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1). & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (1)$$

但し

$$A(\rho_s, S) = 0.25[-1 + \text{sign}(1, -\rho_s)][-1 + \text{sign}(1, S - 1)] \quad (2)$$

である。また $\text{sign}(x, y)$ は $|x|$ に y の符号をつけるという fortran の組み込み関数である。便宜上

- $0 < \rho_s < \rho_s^T, S \leq 1$ の場合を case 1
- $0 < \rho_s < \rho_s^T, S \leq 1$ の場合を case 2
- $\rho_s = 0, S \leq 1$ の場合を case 3

	$S \leq 1$	$1 < S \leq Scr$	$S > Scr$
$\rho_s > \rho_s^T$	蒸発	凝結	凝結
$0 < \rho_s < \rho_s^T$	蒸発 (case 1)	何も起きない (case 2)	凝結
$\rho_s = 0$	何も起きない (case 3)	何も起きない (case 4)	凝結

表 1: 非物理的な凝結を防ぐ為の凝結量 M_{cond} の条件判定。

- $\rho_s = 0, S \leq 1$ の場合を case 4

と呼ぶことにし, (1), (2) に従ってそれぞれの場合について M_{cond} を書き下すと,

$$M_{cond} = \begin{cases} \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & \text{(case 1)} \\ 0, & \text{(case 2)} \\ \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & \text{(case 3)} \\ 0 & \text{(case 4)} \end{cases} \quad (3)$$

となる. つまり (1), (2) の下では, case 3 の凝結量を意図した通りに評価できていなかったことになる¹⁾.

新しいプログラムでは M_{cond} の評価式を以下のように変更した.

$$M_{cond} = \begin{cases} \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & (S > Scr \text{ の場合}) \\ \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & (S \geq Scr \text{ かつ } \rho_s > \rho_s^T \text{ の場合}) \\ B(\rho_s, S) \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1). & \text{(それ以外)} \end{cases} \quad (4)$$

但し

$$B(\rho_s, S) = 0.25[1 + \text{sign}(1, \rho_s - \text{epsilon}(0.0d0))][1.0 - \text{sign}(1, S - 1)] \quad (5)$$

である. このとき

$$M_{cond} = \begin{cases} \frac{4\pi r_d \bar{\rho} N}{R_h} (S - 1), & \text{(case 1)} \\ 0, & \text{(case 2)} \\ 0, & \text{(case 3)} \\ 0 & \text{(case 4)} \end{cases} \quad (6)$$

となり, 凝結量は意図した通りに評価される.

雲密度の時間発展計算におけるバグ

上記の凝結量の誤評価の為に, 雲密度が正しく評価されない場合が生じる.

今までの雲密度の計算は以下の手順で行なっていた.

$$\rho'_s = \rho_s + \Delta\tau(M_{cond} + Flux + Turb + Num), \quad (7)$$

$$\rho''_s = \max(\rho'_s, 0), \quad (8)$$

$$M'_{cond} = \max[M_{cond}, -(\rho_s/\Delta\tau + Flux + Turb + Num)]. \quad (9)$$

¹⁾この誤りは山下が $\text{sign}x, -0.0 = x$ となると思い込んでいたことに起因している. sign はあくまでも第二引数の符号を見ているのであって, $\text{sign}x, -0.0 = -x$ と評価される.

今までの方式では、移流計算で生じていた負の雲密度を凝結率で調整していた。

特に case3 において M_{cond} を誤評価した場合、 $|M_{cond}| > |Flux + Turb + Num|$ および $Flux + Turb + Num > 0$ が満たされたときを考える。この場合 (7), (8), (9) より

$$\rho'_s = \Delta\tau(M_{cond} + Flux + Turb + Num) > 0 \quad (10)$$

$$\rho''_s = \max(\rho'_s, 0) = \rho'_s > 0 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} M'_{cond} &= \max[M_{cond}, -(\rho_s/\Delta\tau + Flux + Turb + Num)]. \\ &= -(Flux + Turb + Num) < 0 \end{aligned} \quad (12)$$

となり、本来 0 であるべき調整後の凝結量 M'_{cond} が負となってしまう。