

全球気候モデルにおけるマイナーに見える取り扱いの重要性

川合秀明、吉田康平、神代剛、行本誠史

近年、全球気候モデルにおけるチューニングの重要性が深く認識され、それを文献等に明示的に記述することについても理解が進んでいる (e.g., Mauritsen, et al. 2012, Hourdin, et al. 2017, Schmidt, et al. 2017)。しかし、モデルのパフォーマンスに大きく影響するのはパラメータチューニングだけではない。全球気候モデルで用いられているパラメタリゼーションにおける、様々な下限値やちょっとした取り扱いなど、一見マイナーな取り扱いと思われることがモデルの振る舞いに非常に大きな影響を与えることは、モデル開発経験者にはよく知られていることである。これらの中には、パラメータの下限値、上限値、スキームやプロセスの閾値による on/off、2つのスキームを並行して動かすか1つのみを排他的に動かすか、鉛直解像度、物理過程の詳細な数値計算法、バグなどが含まれる (図1)。パラメータチューニングが、曲がりなりにも観測データなど

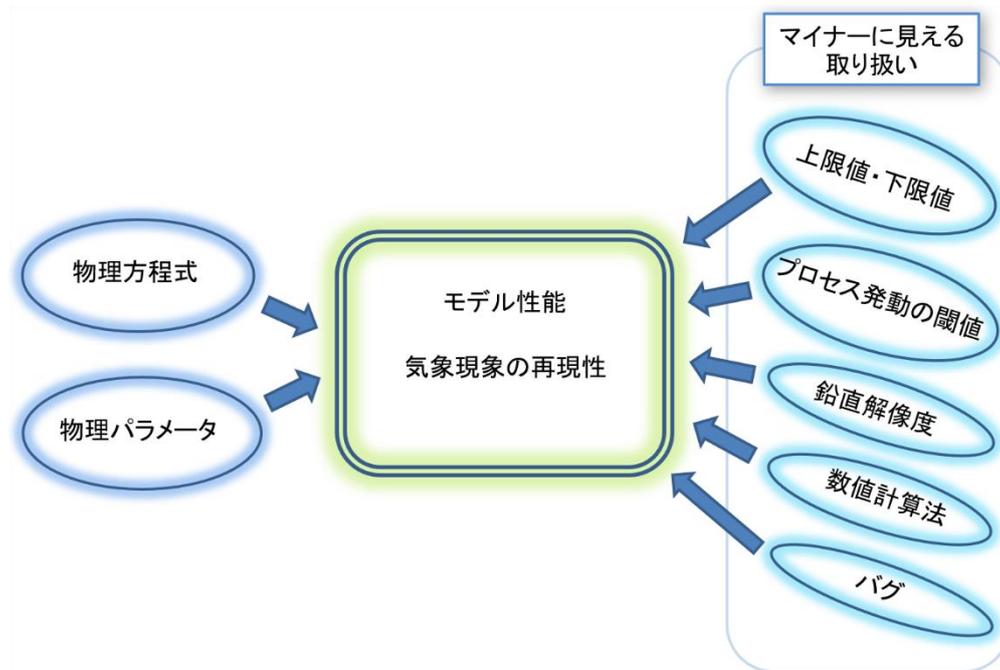


図1 全球気候モデルにおけるマイナーに見える取り扱いの重要性の概念図。

を参照にして、物理的な観点から行いうるのに対し、これらのマイナーに見える扱いは、必ずしも物理的な根拠に基づいて検証できないものも多い。そして、下限値や上限値の値などは、モデルのパフォーマンスを見ながら、試行錯誤で適当に決められていることも多い。

しかし、モデルのパラメタリゼーションにおけるそうした設定や扱いが、モデルにおける雲の表現や、全球平均気温の将来予測に極めて大きな影響を示すことがある。時として、こうした扱いのインパクトは、パラメタリゼーションの精緻化や新スキームの導入、新しい予報変数の追加などによるインパクトよりも大きいことがある。だが、一般に、そうした新スキームや精緻化の影響が詳細に議論される一方で、それと同様か時にはそれ以上のインパクトを持つこともある、マイナーに見える取り扱いの議論はそれほど詳細には行われなことが多い。また、そのインパクトが認識されず見過ごされていることもあるように見受けられる。

そこで、マイナーに見える取り扱いが大きな影響を与える例を、MRI-ESM2 を用いてできるだけ包括的に調査し、論文にまとめた (Kawai et al. 2022)。マイナーに見える扱いは、様々な物

理過程の様々なプロセスに及んでおり、それらの例を表 1 に示す。

表 1 全球気候モデルにおけるマイナーに見える取り扱いの例。2 列目は、それぞれのマイナーに見える取り扱いに敏感な主要な物理量または現象。

マイナーに見える取り扱い	敏感な物理量または現象
雲マクロ物理	
PDF 雲スキームにおける水蒸気等の揺らぎの下限值	雲量
積雲対流からデトレインする雲の瞬時蒸発の取り扱い	熱帯中下層雲
光学的に薄い雲の雲量の有無を決める雲水量の閾値	上層雲量
雲頂乱流	
乱流拡散係数の鉛直方向平滑化	下層雲
雲微物理 (質量密度)	
飽和調節、WBF 効果の実装法	過冷却水と氷の雲の割合
雲から雨への変換過程における雲粒粒径による閾値	20 世紀昇温再現
雲微物理 (数密度)	
雲粒数密度の下限值	産業革命以降のエアロゾルの放射強制力
エアロゾルの活性化計算における鉛直速度の下限值	雲粒数密度
積雲対流	
対流の固定された雲底高度	対流の強さ・活動度
対流の雲底の物理量の定義	対流の強さ
対流スキームを発動する条件	対流の活動度
雨を降らせる対流の深さの下限值	下層雲量
エントレインメント率の上限值	下層雲
エントレインメント率の下限值	対流の高さ・活発度、上層雲
乱流	
成層圏の乱流拡散係数の下限値	QBO
地表付近の乱流拡散係数の下限値	地表付近の気温
鉛直解像度	
対流圏下層の鉛直解像度	下層雲
対流圏上層の鉛直解像度	上層雲
数値計算法	
物理過程の計算の順序	雲水量など
parallel または sequential splitting 法	様々な要素
雲氷の落下スキーム・雲氷の雪への変換の計算法	雲氷量
放射計算の時間・空間の間引き	下層雲など
バグ	様々な要素

また、これらのうちから、図 2 に地表付近の乱流拡散係数の下限値の 2m 気温への影響の例を、図 3 に浅い積雲対流を境界層が安定な場所で off にする扱いのインパクトの例を示す。こうしたマイナーに見える取り扱いの影響をより深く認識し、気候モデル開発、及び気候モデル解析コミュ

ニティにおいて透明性を持って議論することは極めて重要であると考えられる。なお、マイナーに見える取り扱い、全球気候モデルに限らず、数値予報モデルや領域気候モデルなどにおいても、共通するものも多く、そうしたモデルにおいても重要性が高いのは同様である。

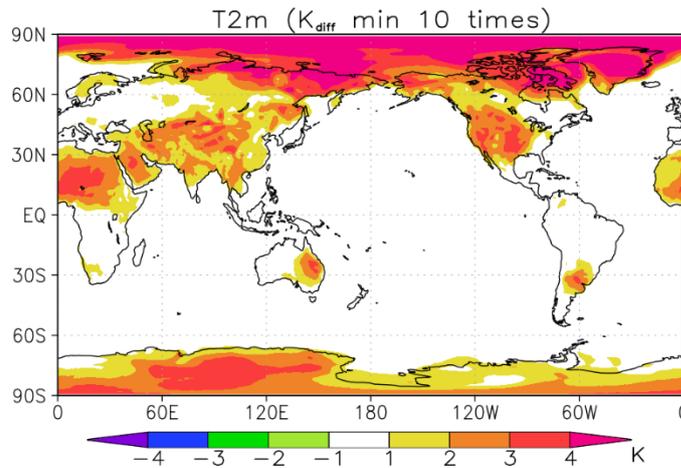


図 2 地表付近の乱流拡散係数の下限値の 2m 気温への影響。地表付近の乱流拡散係数の下限値を 10 倍した時のインパクト。2001-2005 年の 12 月-2 月平均。MRI-ESM2 使用。特に、夜間の雪氷面上など、強安定の場合には、乱流拡散係数の下限値で地表温度が大きく左右されてしまうことを示している。

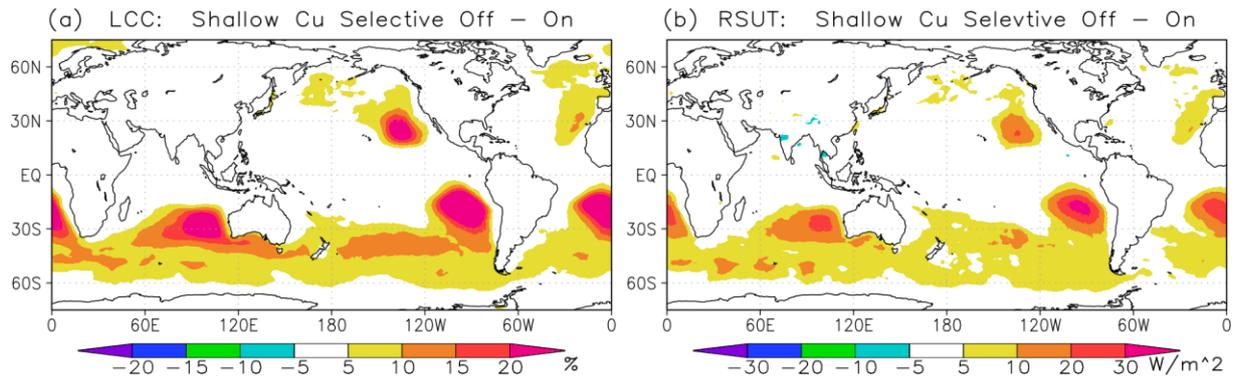


図 3 浅い積雲対流を境界層が安定な場所で off にする扱いのインパクト。左が下層雲量へのインパクト、右が大気上端上向き短波放射へのインパクト。2001-2010 年の平均。MRI-ESM2 使用。浅い積雲対流を、境界層が安定な場所で off にただけで、層積雲状の下層雲が亜熱帯大陸西岸や南大洋で大きく増加することを示している。(浅い積雲対流は、境界層内の湿りを自由大気中に運び、境界層を乾燥化する役割がある。境界層が安定な場所は、安定度 ECTEI (Kawai et al. 2017) を用いて判定している。)

参考文献

- Hourdin, F., Mauritsen, T., Gettelman, A., Golaz, J.-C., Balaji, V., Duan, Q., et al. 2017: The art and science of climate model tuning. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98(3), 589–602.
- Kawai, H., T. Kosshiro, and M. J. Webb, 2017: Interpretation of Factors Controlling Low Cloud Cover and Low Cloud Feedback Using a Unified Predictive Index. *J. Climate*, 30, 9119-9131.
- Kawai, H., K. Yoshida, T. Kosshiro, and S. Yukimoto, 2022: Importance of Minor-Looking Treatments in Global Climate Models. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 10.1029/2022MS003128.

- Mauritsen, T., Stevens, B., Roeckner, E., Crueger, T., Esch, M., Giorgetta, M., et al. 2012:
Tuning the climate of a global model. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 4(8), M00A01.
- Schmidt, G. A., Bader, D., Donner, L. J., Elsaesser, G. S., Golaz, J.-C., Hannay, C., et al. 2017:
Practice and philosophy of climate model tuning across six US modeling centers. *Geosci. Model Dev.*, 10(9), 3207–3223.