

湿潤対流の数値シミュレーションにおける鉛直解像度の変化に対する  
雲物理スキームの応答

Response of microphysics scheme to change in vertical resolution  
in numerical simulations of moist convection

○山田怜史・竹見哲也

○Reiji YAMADA, Tetsuya TAKEMI

We performed numerical simulations using five different vertical resolutions to investigate how the microphysics processes affect precipitation and convection by changes in vertical resolution. We use five different vertical resolution settings (50, 100, 200, 300, and 400m) in the calculations with grid widths equally spaced from the surface to model top. As a result, the higher vertical resolution, the stronger convection and the more precipitation occur. Our research indicate that the cause of this behavior is the change in the lifted condensation level (LCL) due to the change in vertical resolution. When the vertical resolution is coarse, the altitude of 1000-1500m is not sufficiently resolved. For this reason, PCC (water vapor condensation) at altitudes of 1000-1500m is less with rougher vertical resolution. This difference produces lower-level latent heat release difference, and convective intensity and precipitation vary with vertical resolution.

### 1. はじめに

現在、数値シミュレーションは気象学で広く用いられている。コンピュータの計算性能向上により、年毎により複雑な計算を行うことが可能になる。例として水平解像度や鉛直解像度の高解像度化があげられる。数値モデル内部には、大気中の凝結物（雲水、雨水、氷粒子等）に関する計算を行う雲物理スキームが実装されている。雲や気象、気候のモデリングは雲物理過程の表現（雲物理スキーム）に大きく影響を受ける（Morrison et al. 2020）。Zhang and Wang (2003)では、雲物理スキームが鉛直解像度の変化に敏感すぎる可能性を示唆している。しかし、鉛直解像度の高解像度化に伴い雲物理スキームがどの様に応答しているのか具体的に説明した研究事例は少ない。そこで本研究では5種類の鉛直解像度を用いた数値計算を行い、雲物理スキームにより表現される雲物理過程が鉛直解像度の変化により、降水や対流にどのような影響を与えるのか調査を行った。

### 2. 計算設定

本研究ではWRF モデルのバージョン4.2.1において、Morrison スキームを利用し、水平解像度 500m、領域サイズ 80km×80km×22km の領域にて 2 時間

計算を行う。環境場はWeisman and Klemp(1982)を使用している。放射スキーム、境界層スキーム、積雲スキームは使用しない。本研究では正の温位偏差をもつ回転楕円体のバブルを領域中央に与え、対流を強制的に発生させる。バブルは中心部で最大 3K の正の温位偏差を設定した後、±0.05K の間の値をランダムな擾乱としてバブルを構成する各格子に与える。鉛直解像度の設定は地表面からモデル上端まで等間隔の格子幅で 50, 100, 200, 300, 400m の 5 種類を用いて計算する。（各設定を v050, v100, v200, v300, v400 と呼称する。）ただし、鉛直格子幅は想定した格子幅に対して最大 3%程度の誤差を含む。

### 3. 結果

調査の結果、対流や降水の状態は鉛直解像度の設定により変化した。鉛直解像度が高いほど強い対流が生じる傾向にあり、積算降水量も増加する(図 1a, 1b)。このような振る舞いの原因は、鉛直解像度の変化による持ち上げ凝結高度(LCL)の変化が要因である事が示唆された。図 2 より本研究で使用した環境場において、高度 0-1500m に存在する空気塊の LCL は高度 1000-1500m であることがわかる。しかし、鉛直解像度が粗い場合、高度 1000-

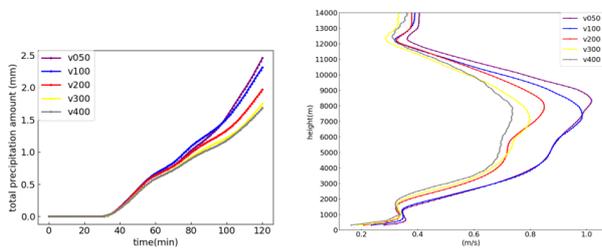
1500m が十分に解像されておらず、本来の LCL にて凝結が発生しない。図 3 では後半 1 時間で時間平均した高度別水平平均雲水変化量を示す。高度 1000–1500m における PCC (水蒸気凝結による雲粒生成) は鉛直解像度が荒いほど少ないことがわかる。そのため、この高度における QC3DTEN (雲水混合比総変化量) も減少している。この違いは、下層潜熱放出量に違いを生み、対流強度が鉛直解像度により変化する。対流強度の違いは鉛直移流に影響し、中層の雨水混合比や雲水混合比を変化させる。その結果、中層では雲氷による雨水捕捉や、あられの雨水捕捉など、あられを生成する雲物理過程の影響が大きくなり、あられ混合比が増加する。中層のあられはやがて下層に落下し融解する。そして、雨水として地表に達する。そのため、鉛直解像度が高い設定ほど積算降水量が大きくなる。

#### 参考文献

Zhang, D.-L., and X. Wang, 2003: Dependence of Hurricane intensity and structures on vertical resolution and time-step size. *Advances in Atmospheric Sciences*, **20** (5), 711.

Morrison, H., and Coauthors, 2020: Confronting the Challenge of Modeling Cloud and Precipitation Microphysics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **12** (8), e2019MS001 689.

Weisman, M. L., and J. B. Klemp, 1982: The Dependence of Numerically Simulated Convective Storms on Vertical Wind Shear and Buoyancy. *Monthly Weather Review*, **110** (6), 504–520.



(upper) Fig 1a: Area average total precipitation (mm).  
 (lower) Fig 1b: Field mean updraft by altitude for time averaged in the second 1 hour (m/s).  
 Different colors represent vertical resolution setting.

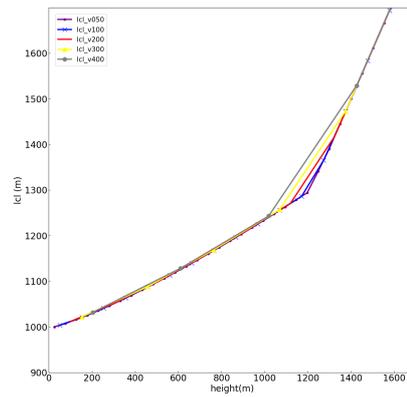


Fig 2: LCL of the environmental field (m).  
 Different colors represent vertical resolution setting.

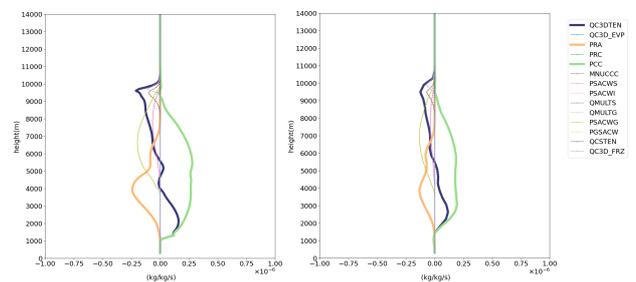


Fig 3: Horizontal mean tendency for cloud water formation by altitude for time averaged in the second 1 hour (kg/kg/s). (left) v050 setting and (right) v400 setting. Different colors represent all cloud water Formation/dissipation processes in Morrison scheme. Details are given in Table 1.

名称	内容	変換前	変換後
QC3DTEN	雲水混合比総変化量		
QC3D_EVP	雲水蒸発	QC	QV
PRA	雨水による雲水捕捉	QC	QR
PRC	雲水から雨水への Autoconversion	QC	QR
PCC	水蒸気凝結による雲水生成/雲水蒸発	QVorQC	QCorQV
MNUCC	雲水の接触凍結	QC	QI
PSACWS	雪の雲水捕捉	QC	QS
PSACWI	氷晶の雲水捕捉	QC	QI
QMULTS	雲水と雪の衝突による multiplication	QC	QI
QMULTG	雲水と霰の衝突による multiplication	QC	QI
PSACWG	あられの雲水捕捉	QC	QG
PGSACW	雪片による雲水捕捉、あられに変換	QC	QG
QCSTEN	雲水の自由落下	QC	QC
QC3D_FRZ	雲水の均質凍結	QC	QI

Table 1: Formation/dissipation process of cloud water as shown in Figure 3.