

火星境界層乱流の LES 実験

*西澤誠也(AICS), 八代尚(AICS), 宮本佳明(AICS), 小高正嗣(北海道大学), 高橋芳幸(CPS), 林祥介(CPS), 富田浩文(AICS), 竹広真一(京都大学), 石渡正樹(CPS), 中島健介(九州大学), 佐藤陽祐(AICS), 杉山耕一朗(CPS), Team SCALE, 地球流体電脳倶楽部

1. はじめに

地球や火星大気の地表面付近では、太陽加熱により活発な対流(乱流)活動が生じる境界層が存在する。大気と地表面との間の熱や運動量、物質の授受は、地表付近の大気状態に依存するため、大気大循環にとって、境界層が及ぼす影響は大きい。特に、火星地表付近の乱流は、地表面の砂を巻き上げ、ダストストームを発生させ、大循環に大きな影響を及ぼす。したがって、境界層内の運動を理解することは火星大気を理解する上で欠かすことができない。

境界層内の流れの時間および空間スケールは非常に小さいため、その再現のために、近年、ラージエディシミュレーション(LES)による実験が行われている。しかしながら、実験設定の違いにより、再現された変動には違いが生じる。本研究では、解像度およびドメインサイズに対する、再現される境界層乱流の依存性を調べる。

2. モデルおよび実験設定

使用したモデルは、RIKEN/AICS で開発された SCALE-LES ver.3 である。SCALE-LES は、超並列計算機において高い計算効率を出すことを目的に開発された LES 用のモデルであり、高い並列化効率が特徴である。

本研究では、各種パラメータを火星の値を用いて計算を行った。湿潤過程は考慮せず、乾燥大気による実験を行った。放射過程は、Odaka et al. (2001) による一次元放射対流平衡モデルで得られた日変化する加熱・冷却分布を与えた。地表温度は、同じく Odaka et al. (2001) で得られた地表面温度を与え、バルク法によりフラックスをモデル最下層に与えた。水平境界条件は、周期境界とした。ダストの光学的厚さ(τ)として、0.0, 0.3, 1.0 の3通りの値を与えた。初期条件は、Odaka et al. (2001) の鉛直温度分布に微少な温位擾乱を加えた静止大気とし、0:00 (火星時間) から計算を行った。

ドメインサイズおよび解像度を変えて実験を行った。ドメインサイズ依存性実験では、解像度および鉛直ドメインサイズをそれぞれ 200m, 20km に固定し、水平ドメインサイズを 20km および 40km の2通りに変えて実験を行った。解像度依存性実験では、ドメインサイズを水平・鉛直ともに 20km にとり、解像度を、200m, 100m, 50m, 25m の4通りで実験を行った。

3. 結果

図1は、対流混合層の深さの時間変化である。日中、混合層が発達していく様子が見てとれる。混合層は、 τ が小さいほど深く、持続時間も長いことが分かる。 $\tau=0.0$ の場合、対流混合層は10km程度まで成長しており、地球の混合層と比べると、非常に深いことが分かる。

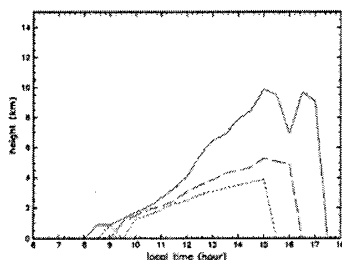


図1. 200m 解像度実験における。対流混合層の時間発展。実線、破線、点線はそれぞれ、 $\tau=0.0, 0.3, 1.0$ の実験の結果。

図2は、対流活動が最も活発な14:00における高度2kmにおける速度場である。既存のLES実験では、ドメインサイズは、混合層の深さ程度($\sim 10\text{km}$)にとられているものが多い。しかしながら、ドメインサイズ20km実験の結果をみると、上昇・下降域のセル構造は、波数2(波長10km)の四角い構造をとっている。これは、計算ドメインの影響を受けていると考えられ、計算領域サイズが十分ではないことが示唆される。ドメインサイズを40kmにした結果では、20kmの場合に比べ、セルのサイズがやや大きくなっており、波数3程度である。セルの形は、四角形や六角形に近いものが見られるが、依然として、ドメイン境界の方向にそった構造が見られており、計算ドメインの影響を受けていることが示唆される。

次に、高度2kmにおける鉛直速度の確率密度分布(図3)をみると、鉛直速度の分布は負の方向に歪んでいる(正の歪度をもつ)ことが分かる。解像度200mおよび100mの結果では、正の方向にほぼ一定の割合で頻度が下がっているのに対し、解像度50mおよび25mの結果では、分布に肩が見られ、正負ともに強い鉛直速度の割合が増加している。解像スケールの物理量は、格子サイズで平滑化された値であるため、解像度が粗い場合は、強い鉛直速度が現れにくくなっていると考えられる。

4. まとめと議論

本研究では、LESによる火星境界層乱流の実験を行い、再現される境界層乱流の実験ドメインサイズおよび解像度に対する依存性を調べた。再現された混合層内の変動は、実験のドメインサイズおよび解像度に強く依存しており、本研究の実験範囲(ドメインサイズ80km, 解像度25m)ではまだ十分に収束していないことが示唆された。また、ドメインサイズ依存性実験は解像度200mで行ったが、ドメインサイズ依存性が解像度に依存する可能性もある。今後さらなる実験を行い、火星境界層乱流の再現に必要な解像度・ドメインサイズを明らかにする。

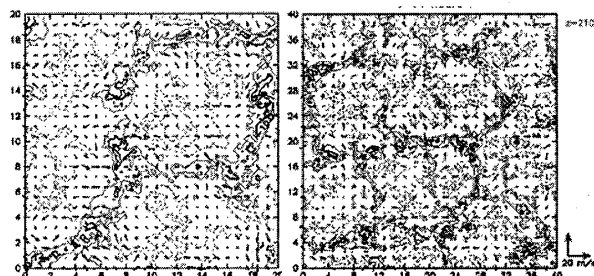


図2. $\tau=0.0$ での、高度2kmにおける鉛直速度(等値線)および水平速度(ベクトル)の水平断面図。左はドメインサイズ20km実験、右は40km実験の結果。等値線間隔は5m/sで、実験は正、破線は負をあらわしている。なお、0.0m/sの等値線は省略している。

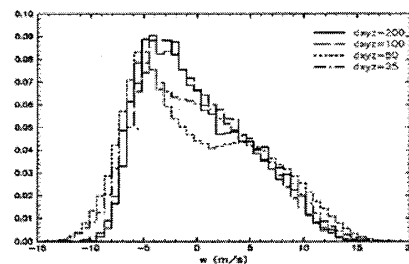


図3. $\tau=0.0$ での、高度2km, 14:00での鉛直速度の確率密度分布。実線、破線、点線、一点鎖線はそれぞれ解像度200m, 100m, 50m, 25m実験の結果。