

火星大気の惑星境界層

神戸大学理学部惑星学科
流体地球物理学教育研究分野
入場柚太

目次

- はじめに
- 惑星境界層の構造
- 大気大循環モデル(SCALE-GM)について
- SCALE-GM を用いた数値計算結果と観測結果の比較
- まとめ

はじめに

- 火星大気について
 - 薄い大気で気圧は低い.
 - 大気組成は主に二酸化炭素で割合は約95%である.
 - 大気にはダストを多く含んでいる.
 - ダストデビルからダストストームと呼ばれる砂嵐が起きる.

はじめに

- 惑星(大気)境界層(Planetary Boundary Layer; PBL)とは？
 - 大気層の中で地表面に最も近い層
 - 地表面の摩擦や熱の影響を受ける層
 - 地面摩擦の影響が無視できる高さの大気である自由大気と地表の境界面で運動量, ダスト, 水の交換を媒介している
 - 強い対流・乱流が存在
 - 層の厚さは時間変動し, 火星ではおおよそ 1 km から 10km まで変動する

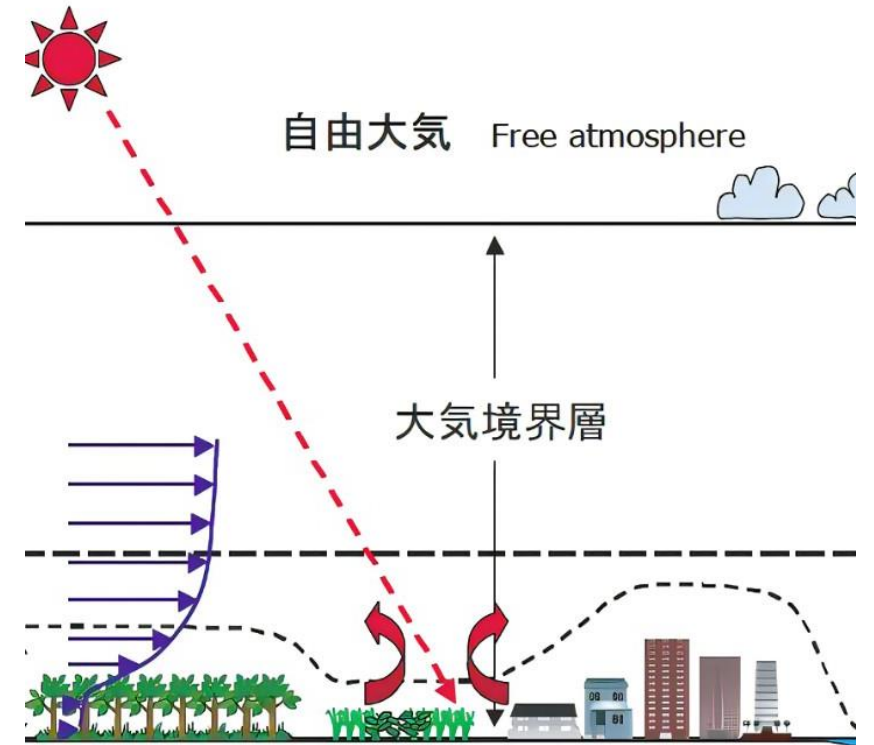


図1：大気境界層の概念図

温位

- 温位とはある高さにある空気塊を断熱的に地上まで移動させたときの絶対温度. 主に θ で表す.

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{R_d}{C_p}}$$

T: 絶対温度, P: 気圧, P_0 : 地上気圧, R_d , 気体定数, C_p : 定圧比熱

- 高度別の温位分布の傾きで大気の安定度が分かる.

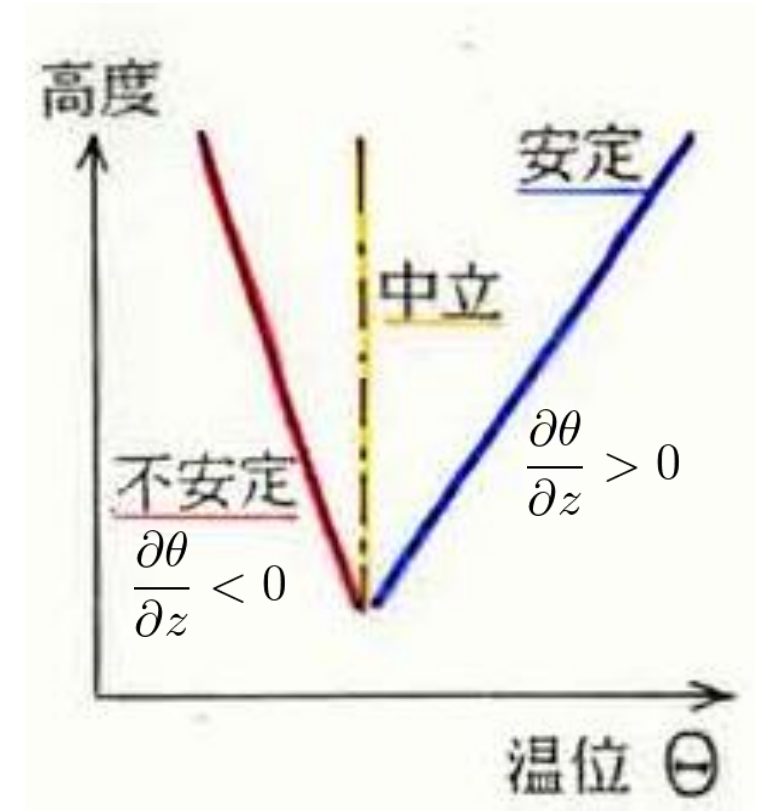


図2：高度別の温位分布

PBL の構造

- 接地層 (Surface Layer)
 - PBL 全体の 1/10 以下の地表に最も近い層.
 - 摩擦の影響を強く受ける.
 - 温位は高度とともに下降する.
- 混合層 (Mixed Layer)
 - PBL の大部分を占める層.
 - 強い混合が起きることがある.
 - 温位は一定.
- エントレインメント帯
 - エントレインメント帯では自由大気からの空気を取り込み, 下方からの混合が急速に減衰する.
 - 高度とともに温位は上昇する.

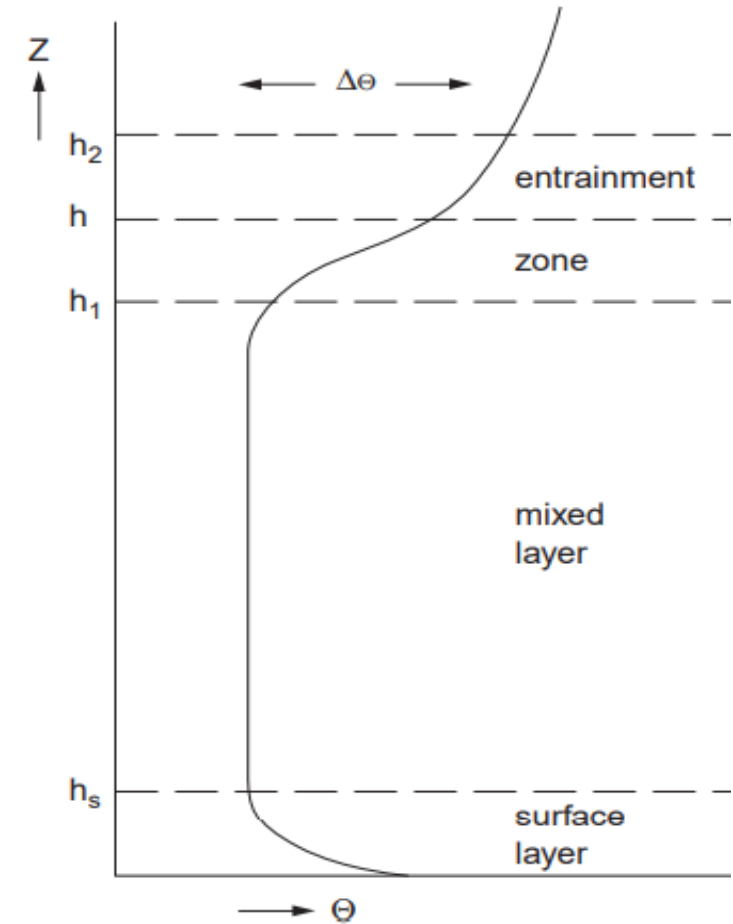


図3:日中对流 PBL の概略構造. 横軸は温位, 縦軸は高度を表している.

大気大循環モデル (火星 SCALE-GM)

- 暖められた空気塊により発生する上昇流とそれを補うように発生する下降流による鉛直対流は, 水平スケールが存在している. 一般に水平スケールと鉛直スケールが 1:1 の対流が起こるとされている.
- 水平数十 km 規模以下の運動を表現するには従来の静力学系の方程式では不適當であるため, 非静力学の方程式を用いている.
- 大規模並列計算に向いている正二十面体準一様格子法を用いている.

モデルを用いた数値計算結果と探査機のデータとの比較 ～PBL の鉛直温度分布～

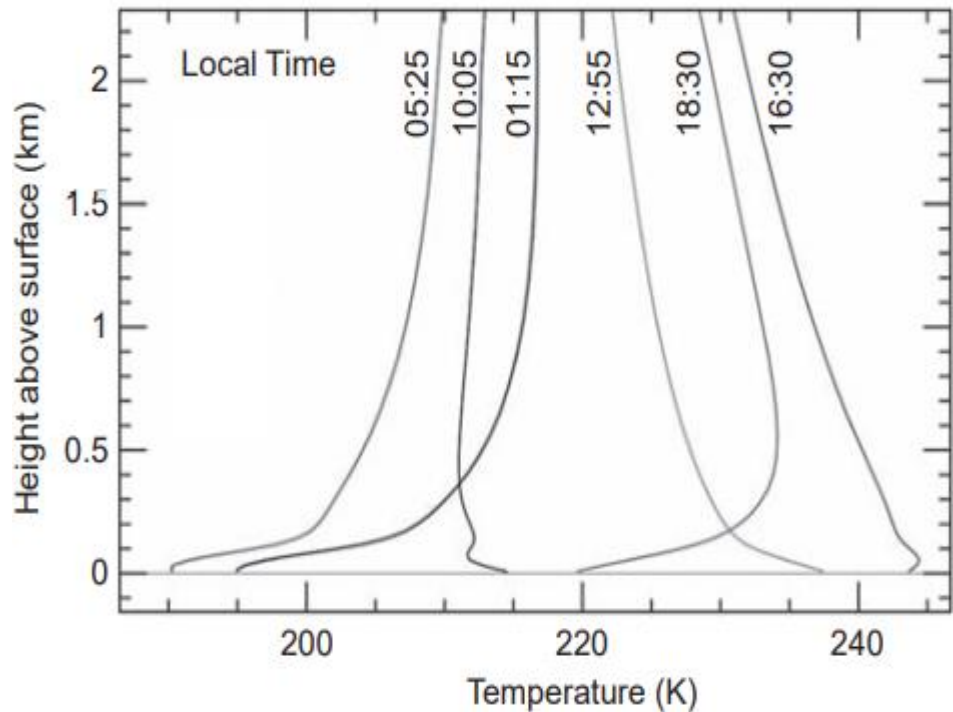


図4: 火星探査機スピリットによる温度分布. ただしスピリットは, 緯度 0 度, 経度 180 度付近に着陸した. グラフの季節は北半球での春分から少し時間が経った頃 ($L_s=5^\circ$). 横軸は温度, 縦軸は高度を表す.

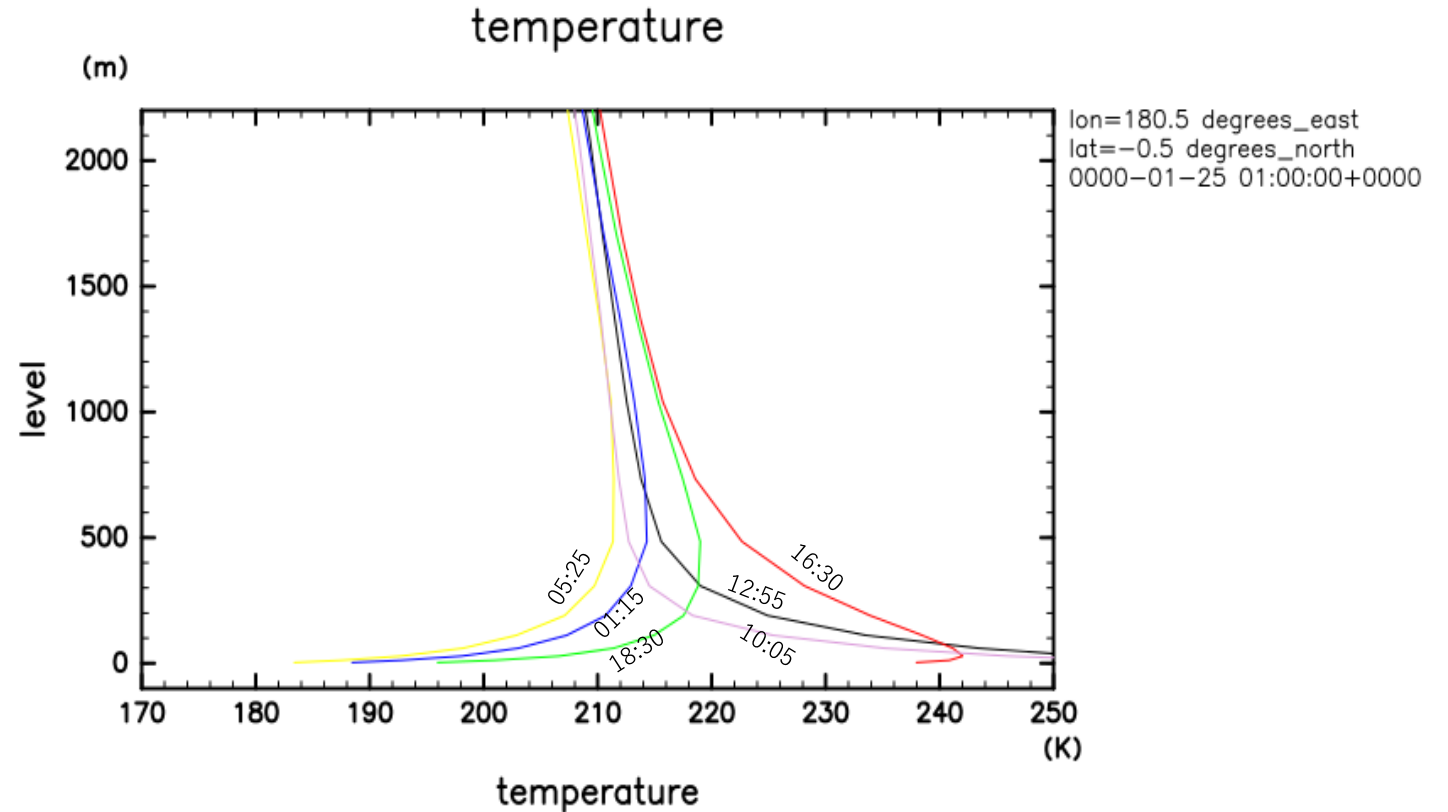


図5: モデルを用いた数値計算結果. 緯度, 経度, 季節は図4 と同様である. 横軸は温度, 縦軸は高度を表す.

図から読み取れること

- 図6,7 から日中は地表面付近に強断熱層が見られる.
- 夜間は高度が上昇するとともに温度が上昇する逆転層が発達している.
- 図8 は夜間における温位を表している
 - 夜間は大気が安定している

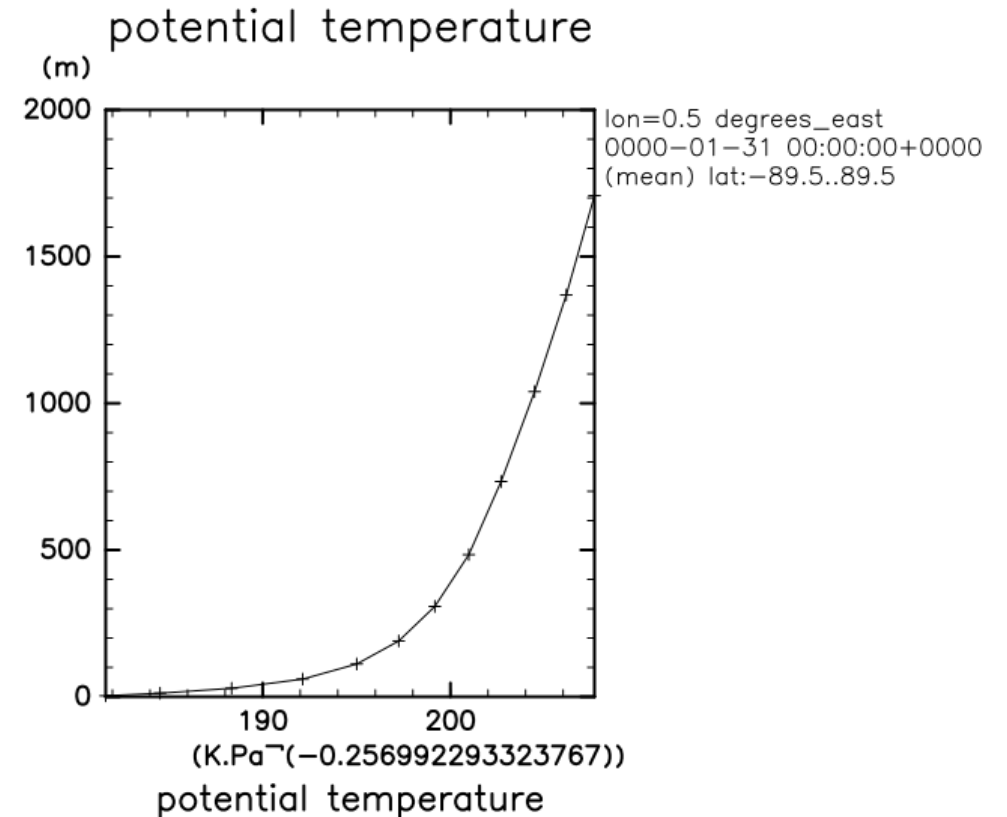


図6：モデルを用いた数値計算結果。横軸は温位, 縦軸は高度を表す。経度0°, 南北平均した。時期は, 北半球の春分から少し経過した日を用いた。

まとめ

- 火星 PBL は地表面に最も近い層で, 地表面の摩擦や熱の影響を受ける. また自由大気と地表の境界面で運動量, ダスト, 水の交換を媒介している.
- 火星 PBL の構造
 - 表層, 混合層, エントレインメント帯に分けられる.
- 大気大循環モデル (火星 SCALE-GM)
 - 非静力学の方程式系, 正二十面体準一様格子法を用いている.
- 火星 PBL の鉛直温度分布
 - 日中は地表面付近に強断熱層が見られる.
 - 夜間は逆転層が発達し, 大気は安定する.

今後の課題

- 大気大循環モデルの方程式の導出
- 大気大循環モデルで計算して計算結果の解析を行い, 惑星境界層の構造を解明する

参考文献

- Read et al. (2017) The Martian Planetary Boundary Layer (Chapter 7 in *The Atmosphere and Climate of Mars*) Cambridge University Press, pp. 172-202.