

大気大循環モデルを用いた金星極域の構造に関する理論的研究

安藤紘基(宇宙研), 杉本憲彦(慶応大), 高木征弘(京産大),
檜村博基(JAMSTEC), 今村剛(宇宙研)

1. 背景

金星の極域は、高温の極渦を冷たい緯度帯 (cold collar) が取り囲むという独特な構造をしている。これは Pioneer Venus ミッションの時から観測されており、また Venus Express ミッションでも同様にその存在を確認されている。故に、この構造は半永久的に存在していると考えられる。観測的研究は多くなされているにもかかわらず、この構造を再現できた理論的な研究はこれまでのところ存在せず、どのようにして生成・維持されているのか理論的な考察もない。我々は、大気大循環モデル AFES を用いて金星極域の構造を再現し、それがどのようにして生成・維持されるのか調べた。

2. AFES について

AFES は金星大気用にチューニングを施した非線形球面 GCM である。基礎方程式系は σ 座標でのプリミティブ方程式である。高度領域は 0-120 km であり、60 層に分割されている。一方、東西・南北方向には 128 分割と 64 分割している。スポンジ層は 80 km から 120 km に設置した。物理パラメーターとして、金星半径 = 6050 km, 重力加速度 = 8.89 m s^{-2} , 自転周期 = 243 日, 標準地表気圧 = 92 bar としている。また定圧比熱と気体定数は各々 $1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ and $191.4 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ とした。

本研究では 2 種類のケースを用意した。一つは太陽加熱を東西平均したものとその日変化を考慮したもの、もう一つは東西平均した太陽加熱のみを含んだものである。以後、前者のケースを Q_t 、後者を Q_z と呼ぶことにする。赤外領域の放射はニュートン冷却で簡略化している。本研究では、準平衡状態になってから最後の 2 金星太陽日 (234 地球日) を解析した。モデルについての詳細は、Sugimoto et al. (2014a; b) を参照されたい。

3. 結果

図 1 は背景場 (時間平均と東西平均を両方行ったもの) の温度場と速度場を表

す。これらは共に最近の Venus Express の観測で得られたものと整合的であり、過去の数値モデルに比べて現実的な構造が再現できている。図 2 は高度 62 km, 68 km, 75 km における東西平均した温度の各緯度における時間変化を示している。高度 62 km では極に向かって単調に温度は減少し、高度 75 km では逆に温度が単調に増加している。しかし高度 68 km では緯度 60° 辺りに局所的に冷たい領域が常に存在している。これが cold collar に相当するものであると考えている。そして図 3 は高度 68 km における温度分布を北極から見た時のプロットを 1 日ごとに並べたものである。緯度 60° に冷たい領域があり、それが高温の極を取り囲んでいる様子が見られる。また東西波数 1 の構造も卓越しており、経度に対して殆ど位相が固定されていることから、ローカルタイムに構造が依存する擾乱、則ち熱潮汐波である可能性が高い。実際に最近の光学観測により、cold collar に東西波数 1 の熱潮汐波が卓越して見えていることが報告されており、それと整合的である。

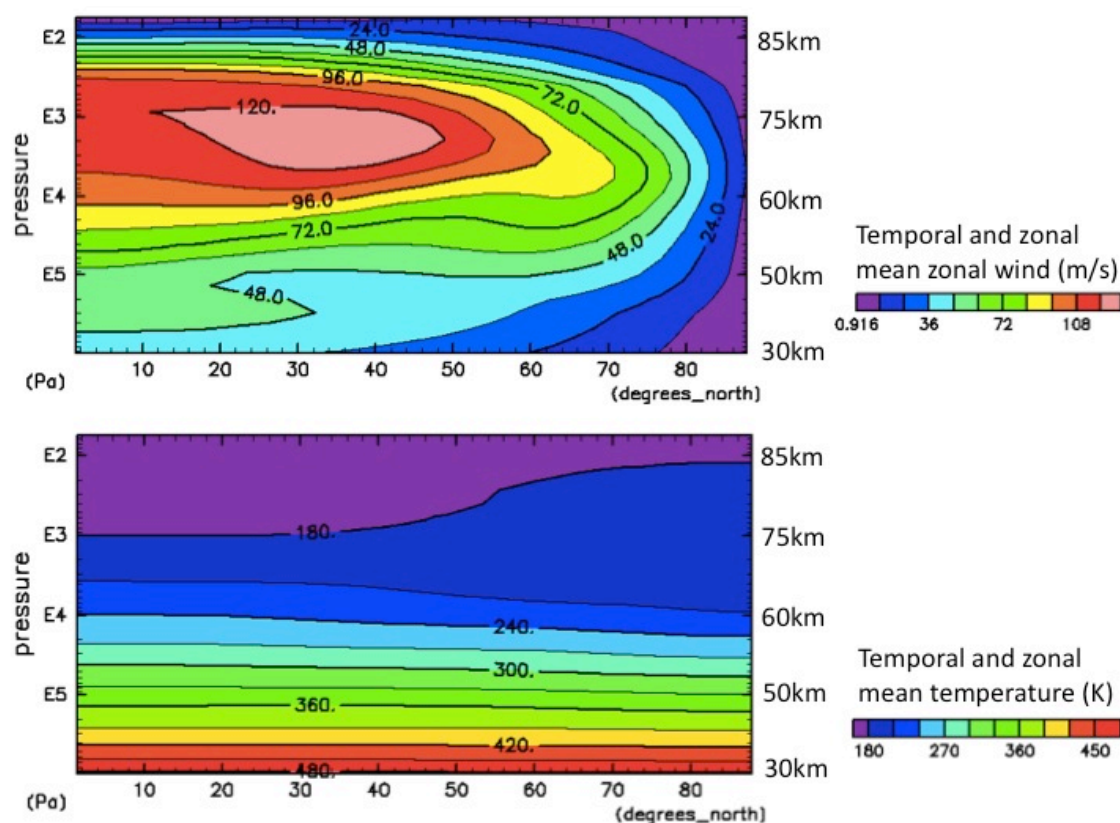


図 1 背景場の風速分布(上)と温度分布(下)。データの平均期間は、準定常状態に落ち着いてから最後の 2 金星太陽日である。

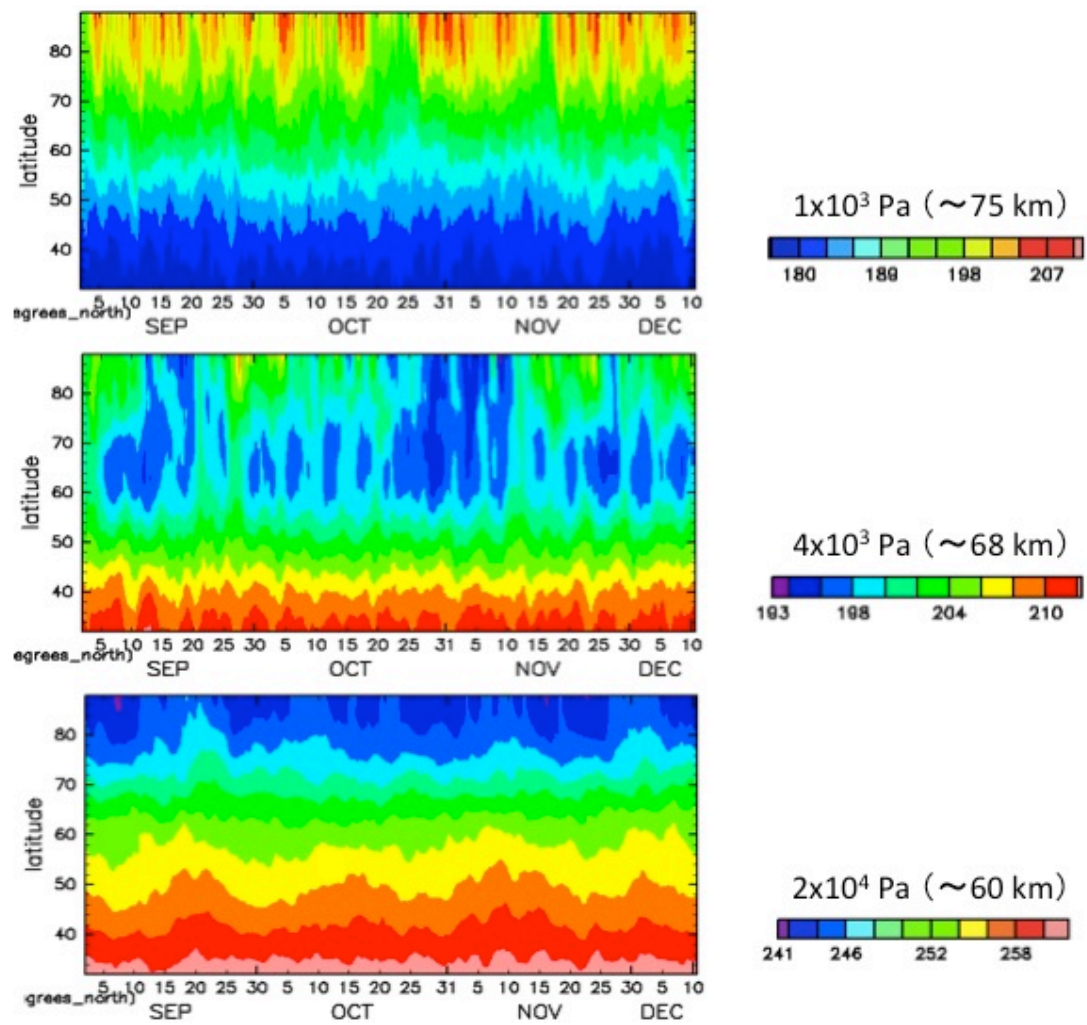


図 2 1×10^3 Pa (上), 4×10^3 Pa (中), 2×10^4 Pa (下) における東西平均した温度の時間変化の緯度分布。

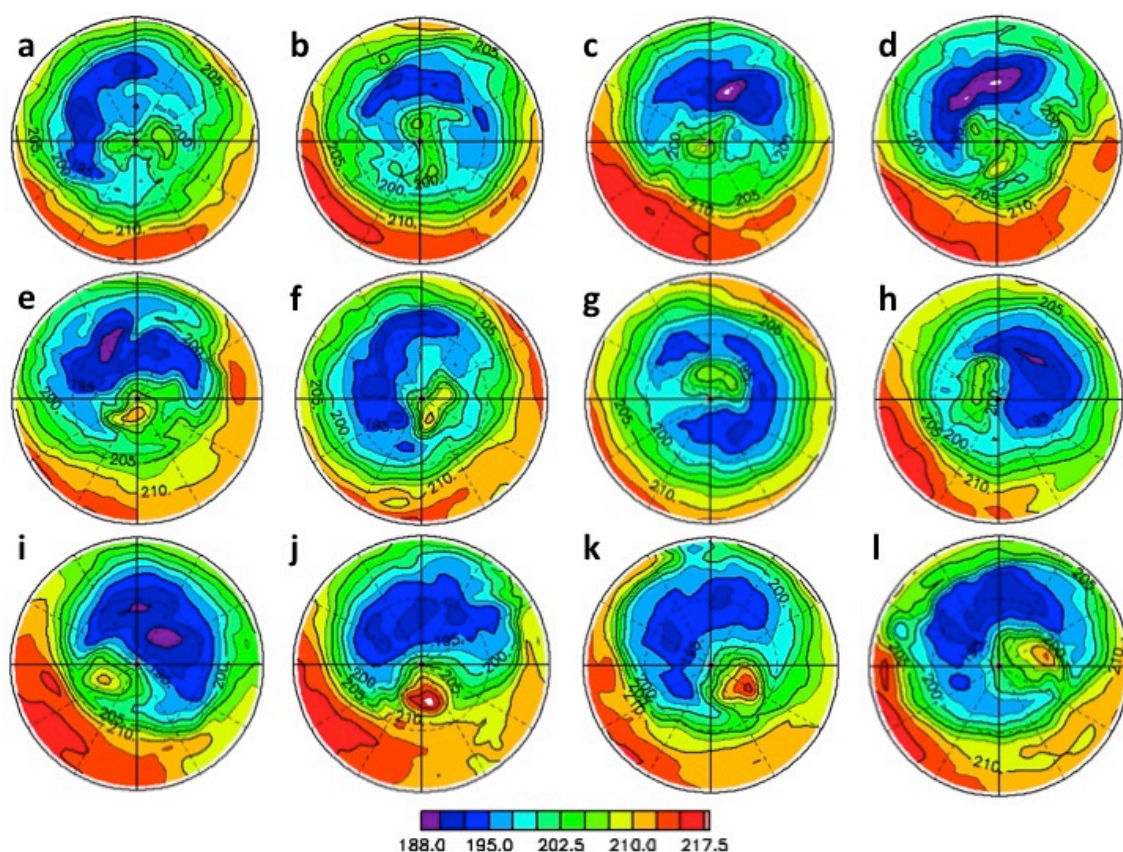


図 3 4×10^3 Pa における北極から見た時の温度分布の 1 日ごとの変化。緯度 30°N から 90°N までを表示した。

4. 考察とまとめ

図 3 を見ると熱潮汐波が寄与していることが示唆される。そこで熱潮汐波がある時とない時で温度分布や風速分布を比較した。また正味の熱輸送は残差子午面循環によってなされるため、その違いについても言及した。

図 4 と図 5 は、 Q_t と Q_z それぞれにおける高度 65 km より上での風速分布と温度分布、そして残差子午面循環を示したものである。これらを比較すると、 Q_t のケースでは残差子午面循環が高緯度まで到達し、極域で強い下降流が発生しており、その分だけ極がさらに加熱されて cold collar を際立たせていることが分かる。一方 Q_z のケースでは、残差子午面循環が極まで届かず、強い加熱を引き起こしていない。従って熱潮汐波が極域の構造に強く関係していることが、この結果から示唆される。

Q_t の時の方が残差子午面循環が強くなる理由は以下のように考えられる。熱潮汐波は雲層の上下でスーパーローテーションを減速させる働きをする。それ

に応じて残差子午面循環が強くなり、コリオリ力による加速がその減速を補おうとする。故に、極域まで残差子午面循環が到達するようになり、また強くなった分だけ極域で下降流が増幅される。なぜ残差子午面循環がこのような構造を持つのか、ということについては、熱潮汐波の伝播を明らかにする必要があるだろう。

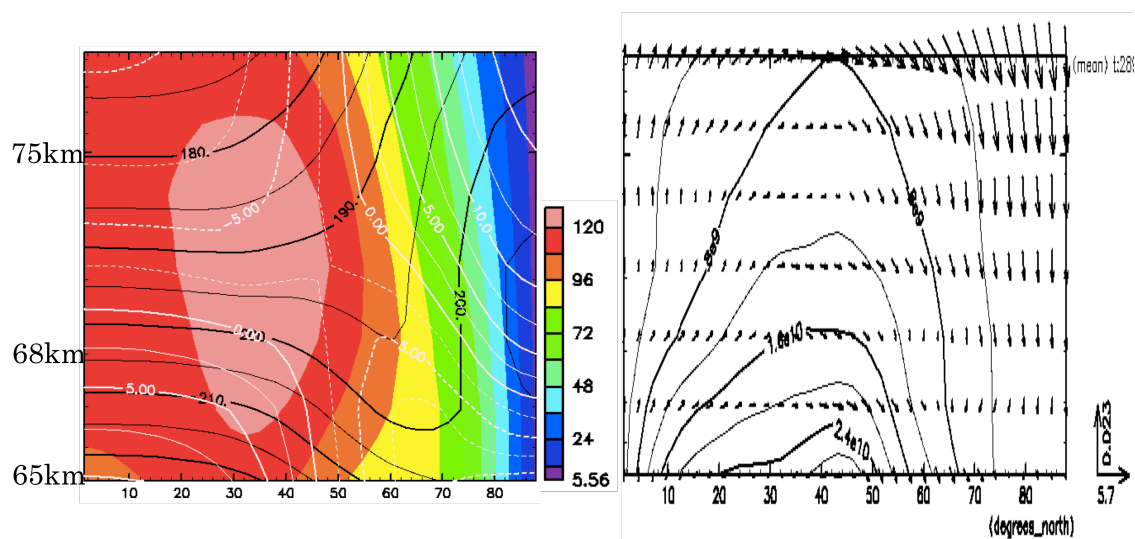


図 4 (左)ケース Q_t のときの背景場の温度(黒実線), 水平平均からの温度のズレ(白点線), 東西風風速(カラーシェード)。(右)ケース Q_t のときの残差子午面循環(ベクトル)と質量流線関数(コンター)。それぞれのデータの平均期間は、準定常状態に落ち着いてから最後の 2 金星太陽日である。

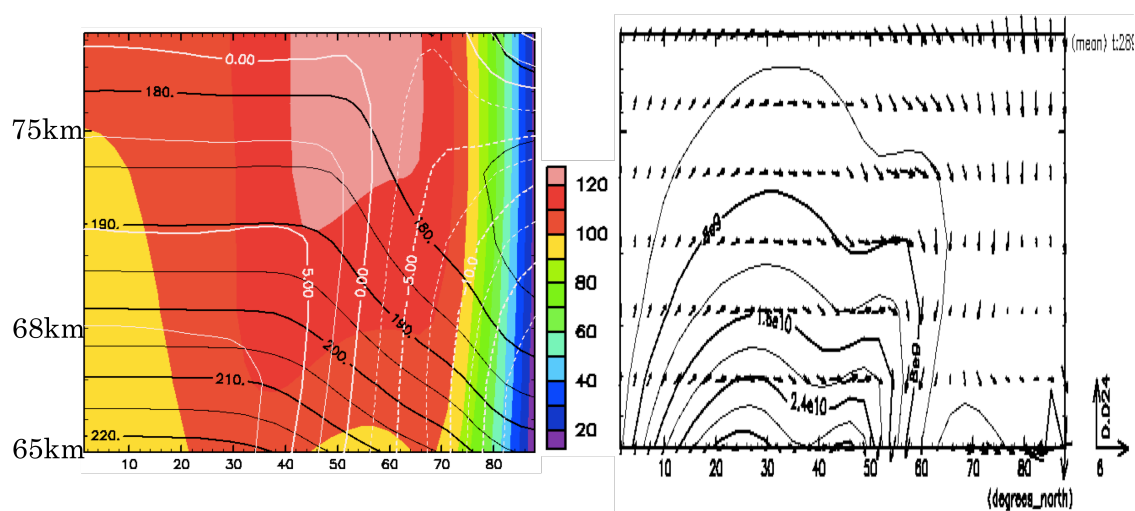


図 5 ケース Q_z のとき。表示しているものは図 4 に同じ