# 金星 O2-1.27µm 大気光への大気波動の影響

星野直哉[1],藤原均[1],高木征弘[2],高橋幸弘[3],笠羽康正[1]

[1] 東北大学·理, [2] 東大·理, [3] 北大·理

# 1.イントロダクション

金星中間圏(80-110 km)・熱圏(>110 km)研究において、大気光観測は、高度約100 kmの風速場を 推定する手段として頻繁に用いられてきた。例えば、Bougher and Borucki [1994]では、探査機 Pioneer Venus により行われた N0 大気光観測の結果から、高度約115kmにおいて、西向きの高速東 西風(約100 m/s)と真夜中付近における風速の活発な時間変動の存在が示唆されている。これら、熱 圏の高速東西風や風速場時間変動にとって重要と考えられるのは、大気波動を介した金星熱圏と下層 大気(<70 km)の相互作用である。これまでの大気大循環モデル(GCM)を用いたシミュレーション研究 により、金星下層大気から上方伝播する小規模(波長数十〜数百 km)の大気重力波が、西向きの運動量 を上方に輸送し、熱圏高速東西風を駆動することが示唆されている[Zhang et al., 1996]。しかし、 従来の研究では、小規模な大気重力波には着目するものの、下層大気において存在が確認されている 惑星規模の波(熱潮汐波、ケルビン波、ロスビー波)の考慮はなされてこなかった。本研究では、これ まで考慮されてこなかったこれらの波を考慮した数値計算をおこない、惑星規模の波の金星中間圏・ 熱圏風における伝搬特性(卓越する波の種類、波長、周期など)を調べた。また、それらの波が、金星 02-1.27µm大気光分布へ与える影響も見積もった。

# 2. モデルの概要

本研究では、我々が独自に開発した金星用 GCM を用いて数値計算を行った。本数値モデルは圧力座 標系を用いた球面上のプリミティブ方程式を解いている。水平分解能は経度、緯度方向に 5°×10°、 鉛直分解能は 0.5 スケールハイト(約3 km)であり、高さ方向を 38 層に区切っている。高度領域は 80 - 約180 km である。考慮した物理過程は、渦拡散、分子拡散、EUV 加熱、赤外加熱、CO2-15 µm 冷却 であり、EUV 加熱効率を 0.2、太陽活動極大期(F10.7=250 @地球)の条件で計算を行った。GCM で計算 される物理パラメータは、風速(東西、南北、鉛直)、温度、数密度場(0, CO, CO2)である。本数値計 算では、モデルの下端(80 km)において、惑星規模の大気波動に対応したジオポテンシャル擾乱を与 え、それをその波の位相速度で移動させることによって、強制的に波を励起している。励起する波は、 熱潮汐波、ケルビン波、ロスビー波である。熱潮汐波は、波数 1 および 2 の波で、117 日かけて金星 を一周することが過去の観測から知られている[Rossow et al., 1990]。また、ケルビン波、ロスビ 一波は波数1で、周期は4日及び5日である[Del Genio and Rossow, 1990]。これらの波の情報(位 相の緯度依存性や振幅など)は Del Genio and Rossow [1990]より与えている。

また、本研究では GCM から計算される 0, CO2 分布をもとに、一次元 O2-1.27 μm 大気光モデルを用 いて、大気光分布の計算を行っている。大気光モデルは、0 原子の結合による O2\*の生成過程、O2\*と N2, CO2, O2, O の衝突による脱励起過程、O2\*の発光過程を考慮し、化学平衡を仮定して計算している。 大気光分布計算に必要な微量気体(C1, C10, O2, HO2)の分布は Yung and Demore [1982] から与えてい る。

## 3. 結果

#### 中間圏・熱圏における波動伝搬

数値計算の結果、下端から励起させた大気波動は高度約 120 km 付近まで伝搬した(図 1)。波による 風速擾乱は高度約 95 km で最大となり、最大振幅は約 9 m/s であった。伝搬する波の波数は 1,金星 を一周する周期は約 4 日であった。これより、下層から励起した大気波動(熱潮汐波、ケルビン波、 ロスビー波)のうち、ケルビン波(周期約 4 日)が中間圏・熱圏にて卓越することが、数値計算より示 唆された。

図2は、高度約95kmの赤道における東西風擾乱の時間変動を表している。西向きに伝搬する、



図 1.赤道での東西風擾乱の時間変動 (@約 95 km)



図 2. 東西風擾乱の赤道面分布(正が東向 き、負が西向き) 4周期のケルビン波の他に、東向きに伝搬する約120日周期の波が存在することがわかる。この約 120日の周期は、熱潮汐の周期約117日に対応している。この擾乱の伝搬は、ケルビン波を考慮しない数値計算では見られないことから、ケルビン波と熱潮汐波の相互作用により生じていると考えられる。

#### 大気光分布への大気波動の影響

大気光分布への大気波動の影響を見積もるため、大気波動を考慮した場合としない場合の2ケース で大気光の発光分布を計算した。大気波動を考慮しない場合の大気光発光分布を図3に示す。計算の 結果、最大発光強度は約9 MR となった。これは、観測による先行研究(e.g., Crisp et al. [1996])の値にくらべて2-3倍程度大きい。波を考慮しない場合の発光ピークは、真夜中(00:00LT)に 位置しており、発光ピークのシフトが大気波動により引き起こされるという、先行研究の考えと整合 的である(e.g., Bougher et al. [2006])。

一方、大気波動を考慮した場合の計算結果では、大気光発光ピークの位置が時間変動する結果を得た。図4は、大気波動を考慮した場合としない場合において、大気光発光ピークの位置を時系列順に プロットしたものである。横軸が時間、縦軸が発光ピークの経度方向の位置(ローカルタイム表示)を 表している。大気波動を考慮しない場合、発光ピークは時間によらず、00:00 LT に存在している。一 方、大気波動を考慮した場合、発光ピーク位置は約3.5 - 4.5 日の周期で朝側にシフトする結果を得



図 3. 02-1.27 µm 大気光の水平面分布



た。先の解析により、中間圏・熱圏において卓越する 波がケルビン波であったことから、この大気光変動も ケルビン波により生じていると示唆される。発光位置 のシフト幅はおよそ 00:00 LT - 00:40 LT であった。 過去の 02-1.27 µm 大気光の観測では、02:00 LT 付近ま で発光領域がシフトする様子が観測されている。その ため、今回考慮していない波、特に、小規模な大気波 動なども、大気光時間変動に寄与する可能性がある。

(赤:波あり、黒:波なし)

### まとめ

金星中間圏・熱圏を含んだ GCM を用いて、下層大気起源の惑星規模の波を考慮した数値計算を行った。 その結果、これまで存在が確認されている惑星規模の波のうち、中間圏・熱圏ではケルビン波が卓越 し、高度約 120 km まで伝搬することが初めて示唆された。高度約 100 km 付近で発光する 02-1.27 µ m 大気光の発光分布に対し、このケルビン波が約 4 日周期の時間変動をあたえ、発光領域を 00:00 LT-00:40 LT の間でシフトさせる可能性が示された。2010 年打上の日本の金星探査機「あかつき」では、 高度約 100 km の大気光を観測する雷・大気光カメラが搭載される。このカメラは約 30 時間毎に一回、 金星夜側の大気光分布を取得する。LAC による継続的な観測により、本研究で示唆されたケルビン波 などの惑星規模の波に起因する数日スケールの大気光変動の様子を捉えることが可能である。本研究 と LAC による大気光観測を組み合わせることにより、下層起因の大気波動の中間圏・熱圏への伝搬特 性(波長、周期など)やその影響をより正確に見積もることができると期待される。

## 参考文献

Bougher, S. W. and W. J. Borucki (1994), Venus O2 visible and IR nightglow: implications forlower thermosphere dynamics and chemistry., J. Geophys. Res., 99, 3759-3776.

図 4. 大気光発光ピーク位置の時間変動

- Bougher, S. W., S. Rafkin, and P. Drossart (2006), Dynamics of the Venus upper atmosphere: Outstanding problems and new constraints expected from Venus Express, Planet. Space. Sci, 54, 1371-1380.
- Crisp, D., V. S. Meadows, B. Bezard, C. de Bergh, J. P. Maillard, and F. P. Mills (1996), Ground-based nearinfrared observations of the Venus nightside: 1.27 – µm O2(a∆g) airglow from the upper atmosphere, J. Geophys. Res, 101, 4577-4594.
- Del Genio, A. D. and W. B. Rossow (1990), Planetary-scale waves and the cyclic nature of cloud top dynamics on Venus, J. Atmos. Res, 47, 293-318.
- Rossow, W. B., A. D. Del Genio, and T. Eichler (1990), Cloud-tracked winds from Pioneer Venus OCPP images, J. Atmos. Sci, 47, 2053-2084.
- Yung, Y. L., and Demore, W. B. (1982), Photochemistry of the stratosphere of Venus Implications for atmospheric evolution, Icarus, 51, 199-247.
- Zhang, S., S. W. Bougher, and M. J. Alexander (1996), The impact of gravity waves on the Venus thermosphere and O2 IR nightglow, J. Geophys. Res, 101, 23195-23205.