

P1-060 赤外レーザーヘテロダイン分光器開発と金星中間圏風速場観測

¹中川広務, ²M. Sornig, ¹星野直哉, ¹笠羽康正, ²G. Sonnabend, ²D. Stupar, ¹青木翔平, ¹村田功, ¹岡野章一 (1:東北大学, 2:University of Cologne)

序論

金星大気は、大きく3つの領域に区分される。高度45kmから70kmに存在する雲層を含む下層域対流圏は、探査機ヴェネラ4号から14号、そしてパイオニアビーナスのエントリープローブによって風速・温度構造が実測された。雲層上部で100m/sの風スーパーローテーションが吹き、温度は高度65km付近で225K程度から地表にかけて735Kまで上昇する [Steiff, 1987]. 地表面付近は90バールにまで及ぶ。高度70kmから上層域の中間圏・熱圏は、太陽紫外線加熱による昼夜間対流(30-160m/s)と、数~100m/s程度の東西風により構成されていることが、地上観測から分かっている [e.g., Sornig et al., 2008]. スーパーローテーションが卓越する下層大気と、昼夜間対流・東西風が混在する上層大気とがどのように結合しているのか、その一つの候補が重力波といった波動伝搬による運動量輸送が考えられる。これは地球の成層圏における準2年振動といった現象としてよく知られており、これを金星大気に適応しようとしたものである。実際に、パイオニアビーナスにより得られた風速高度分布では波動構造を示唆する結果が得られており [Steiff and Kirk, 1982], ヴィーナステクスプレスによる最新の観測結果からも雲頂部において波状構造が多数確認されている [Markiewicz et al., 2007; Peralta et al., 2008]. 結合部となる高度100km付近の中間圏風速場の観測が非常に重要であるが、これまでの地上観測は非常に限定的である。サブミリ波帯における観測が精力的に行われてはいるものの [e.g., Lellouch et al., 1994; Lellouch et al., 2008], 空間分解不足から詳細な議論ができなかった。また、先行研究の風速結果もばらつきがみられることから激しい時間変動が示唆されてきたが、具体的な時間変動を示唆する連続観測はこれまで皆無だった。数値実験的研究においても、重力波効果を検討する研究が精力的に行われてきたが [Bougher et al., 1988; Zhang et al., 1996], 観測証拠不足から実際的な重力波パラメータ導入に至っていないのが現状である。

本研究の目的は、ケルン大学で開発された赤外ヘテロダイン分光器を用いた金星中間圏風速場連続観測結果から時間変動を初めて明らかにし、その特徴をまとめることにある。特に、東北大学で開発が進められている金星大気大循環モデル [Hoshino et al., submitted] との初期的な比較検討を報告する。

観測手法

観測対象は、高度110km付近におけるCO₂ non-LTE輝線(波長10μm)で、ド

ップラーシフトを検出し、その高度の風速場を直接高精度に導出するものである。誤差±10m/s の高精度な観測のためには、波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda=10^7$ に達する超高波長分解能が要求され、これは直接分光方式では困難、実現出来るのはヘテロダイン分光方式のみである。ケルン大学で開発された赤外ヘテロダイン分光器[詳細は *Sonnabend et al.*, 2008 を参照]は、アメリカ・アリゾナ州 Kitt Peak National Observatory にて McMath-Pierce 太陽望遠鏡 (1.5m 鏡, 視野 1.7 秒角) に実装され、定期的に金星中間圏風速場観測を実施している。特に 2009 年 3 月 16 日から 23 日に観測された連続観測データを解析した結果を示す。ドップラーシフトはガスセル吸収線の位置を参照に、ガウシアンフィットした観測輝線のピーク位置を決定することで導出する。この時、金星の視直径は 57 秒角に達し、先行研究にない空間分解が達成されている。

結果と考察

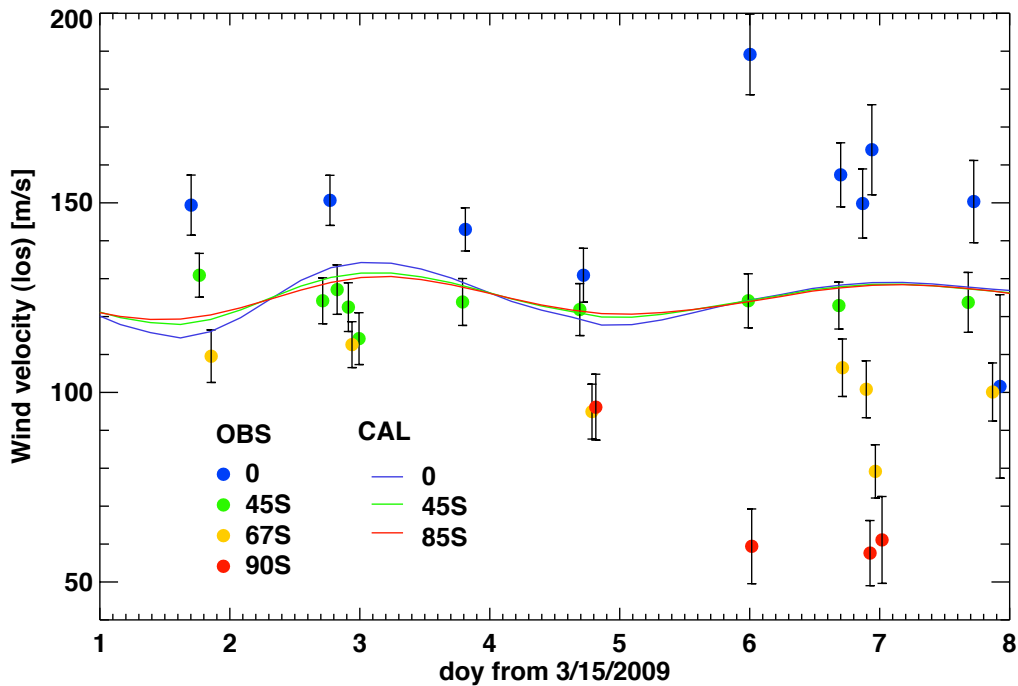


図 1. 2009 年 3 月 16 日から 23 日の昼夜境界付近に当たるリム風速観測結果。

昼夜境界付近に当たるリム観測結果を図 1 に示す。横軸は日数、縦軸は視線方向の風速場強度を示す。緯度 0 度、45 度、67 度、90 度帯の観測結果を色別にしてある。この図から、数日スケールの数十 m/s に及ぶ強い時間変動がみてとれるが、これが本研究で発見された重要な点である。また、それが緯度帯によ

って位相が異なっている点も注目したい。低緯度（青）においては後半期間において増大傾向があるのに対して，高緯度（赤）では逆に減少傾向を示した。中緯度帯（緑）はその間，比較的一定の推移を示した。これら時間変動を理解するため，我々のグループで開発を進めている金星大気大循環モデルとの比較を開始した。モデル詳細は，ここでは割愛するが *Hoshino et al.* (PSS, submitted) を参照したい。図 1 中の実線が計算結果に当たり，緯度 0 度，45 度，85 度帯の結果が色別に示されている。数値実験結果は，約 4 日周期のケルビン波起源による 10m/s 程度の数日変動を示唆している。注目すべきは，観測された風速変動が計算結果のそれよりも，非常に大きいことである。これは，雲層スーパーローテーションの影響、つまり下層境界ならびに重力パラメタリゼーションをさらに検討する必要がある。また，赤道域が他緯度帯よりも変動が大きいというのは調和的だが，緯度毎の異なる位相の変動は再現することができない。これは，陽に極渦等を考慮した下層境界を必要とすることを示唆している。今後，これらの不一致をもとに，数値実験による下層境界等の試行実験を繰り返し，時間変動の要因解明を目指す。また，得られた観測データから昼夜間対流成分・東西成分を分離し，各緯度分布を数値実験と比較することで定量的な評価を進める。

結論

金星下層上層大気結合を理解するため，赤外ヘテロダイナミクス分光器によって得られた中間圏風速場の連続観測結果を詳細に調べた結果，数日スケールの数十 m/s に達する時間変動を初めて検出した。数値実験との比較から，観測された風速場変動は，数値実験の予測を上回る大きな変動であることが明らかになった。さらに高い空間分解能観測により，緯度毎に異なる位相を持つ時間変動が存在することも初めて明らかとなり，下層境界の極渦・スーパーローテーションの上層大気への影響を評価していく必要がある。

参考文献

- Seiff, *Adv. Space Res.*, 7, 12, 5, 1987.
- Sornig et al., *Planetary Space Sci.*, 56, 1399, 2008.
- Seiff and Kirk, *Icarus*, 49, 49, 1982.
- Markiewicz et al., *Nature*, 450, doi:10.1038, 2007.
- Peralta et al., *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2008JE003185, 2008.
- Lellouch et al., *Icarus*, 110, 315, 1994.
- Lellouch et al., *Planetary Space Sci.*, 10, 1355, 2008.
- Bougher et al., *Icarus*, 73, 545, 1988.
- Zhang et al., *J. Geophys. Res.*, 101, 23195, 1996.
- Sonnabend et al., *JQSRT*, 109, 1016, 2008.