

金星雲の明暗変化と風速変動の関連性

神山徹¹⁾, 今村剛²⁾, 佐藤 毅彦²⁾, 今井正堯³⁾, 中村正人²⁾

¹⁾産業技術総合研究所, ²⁾宇宙科学研究所, ³⁾北海道大学

1. 研究背景と目的

金星大気雲頂高度では惑星規模の雲の明暗模様が4~5日周期で金星を一周していることがMariner 10号, Pioneer Venus, Galileo 探査機, Venus Express の観測によって報告されている(cf, Del Genio and Rossow, 1990; Kouyama et al., 2012). この周期は大気が固体部分の自転速度をはるかに上回る速度で回転する「スーパーローテーション」における, 金星雲頂上高度での回転周期(~4日周期)とほぼ同等の周期である。一方, Kouyama et al. (2012) の報告では惑星規模の明暗模様の分布は, 風速擾乱から見出された Kelvin 波的構造と対応関係が示唆されており, 観測される雲の明暗模様はスーパーローテーションとともに回転しているのではなく金星大気中を伝搬する大気波動に伴う形で存在している可能性がある。この場合, Kelvin 波が持つ内部位相速度分だけ惑星規模の明暗模様の回転速度はスーパーローテーションと異なることになる。また Yamamoto and Tanaka (1997)における金星大気循環モデル(GCM)による計算では, 金星大気中を伝搬する大気波動の分布が未知の吸収物質の分布に影響を与えることを示している。

このように惑星規模の雲の明暗模様はスーパーローテーションと共に回転しているというよりは, スーパーローテーションと少し異なる速度で回転している様子が示唆されている。ただし現在のところ, 惑星規模の雲の明暗模様と大気波動の周期特性の関連性に着目して観測データに基づいて調査した例はなく, 観測的裏付けがなされていない。そこで本研究では Venus Express / Venus Monitoring Camera(VMC)の6年以上にわたる観測データに基づき, Kouyama et al. (2013)で示された東西風速や南北風速がもつ周期的擾乱成分の周期と雲の明暗模様の回転周期を調査・比較することで, 風速擾乱と雲の明暗模様の対応について観測データに基づく調査を行う。

2. 使用したデータ/解析手法

本研究では, ESA によって公開されている Venus Express 観測データのうち, VMC によって 2007年7月~2010年3月に撮像された紫外雲画像データを使用した。各軌道での雲の明るさ程度を求める解析では, 金星に対する衛星軌道、姿勢情報を基に画像に写る金星に緯度・経度座標を対応付け, Belton et al. (1990)によって提示された輝度補正式によって雲の明るさを規格化した(図 1)。規格化後, 緯度経度展開を行い, Kouyama et al. (2013)で風速擾乱の解析が行われているローカルタイム 13時を中心とした±1時間の明るさを軌道ごとに調査し, その時間変化を導出した。ここで衛星軌道, 姿勢情報は ESA 提供のものを利用し, NASA によって配布されている SPICE tool kit により緯度経度の導出を行った。

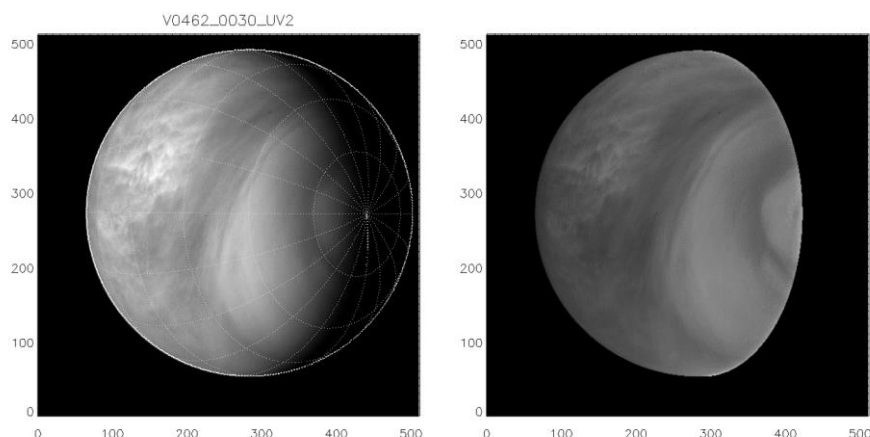


図 1. (左)VMC によって撮像された金星雲紫外画像(2007 年 7 月 27 日). 衛星軌道・姿勢情報から導出した緯度経度線も示してある. (右)Belton et al. (1990)の補正式による規格化雲画像例.

Venus Express の軌道の制限により軌道ごとに撮像されるローカルタイム帯が異なるため、低緯度帯まで昼面が連続して撮像された期間が区切られる。本研究では風速擾乱と明暗模様変化の比較が可能となるよう、Kouyama et al. (2013)で定義されている期間に分けて解析を行っている(表 1)。また Belton et al (1990)の補正式は Galileo 探査機の観測画像に基づき経験的にパラメータが求められているため、VMC 紫外雲画像での補正に最適化されているかは未調査のままである。一方で Belton et al (1990)の補正式は太陽光入射角・衛星出射角をモデル化したもので、衛星出射角を同じとした場合、補正モデルと実際の明るさ変化の違いの影響は太陽光入射角のみに依存する。この変化は金星の太陽日周期で変化するものであることを考慮すると、本研究で着目する数日周期の変動は Belton et al (1990)の補正式による規格化を行ったうえでも抽出することができるものと考えられる。図 2 に軌道番号 648-698 の期間に得られた雲の明るさ変化のデータと、それを Lomb-Scargle Periodogram (Lomb, 1976; Scargle, 1980)を利用して求めた周期解析例を示す。この期間においては約 5 日周期の変動が低緯度から中緯度帯にわたって卓越していたことがわかる。

表 1. 解析に用いたデータ期間. 各期間で卓越していた大気波動を Dominant wave の列に示す

Period	Venus Express Orbit No.	Number of orbits	Dayside-mean zonal velocity at 18°S [m s ⁻¹]	Dominant wave*
Jun. 30, 2007 – Sep. 17, 2007	436 – 515	62	89±8	Kelvin
Jan. 28, 2008 – Mar. 18, 2008	648 – 698	77	101±9	Rossby
Apr. 6, 2009 – May 27, 2009	1082 – 1133	44	108±9	Rossby
Jan. 23, 2010 – Mar. 11, 2010	1374 – 1420	35	117±8	Rossby

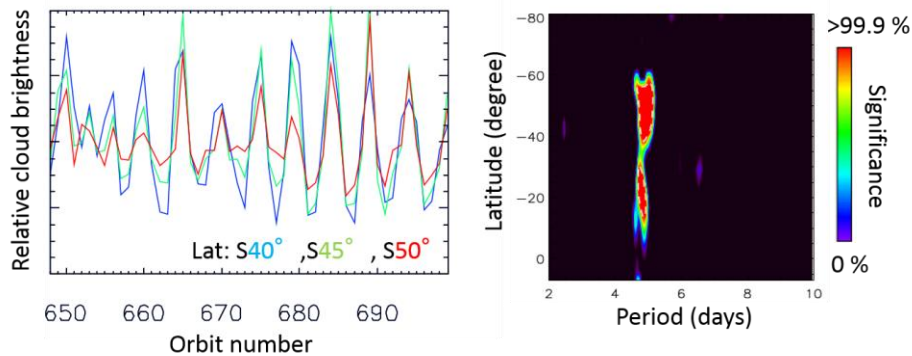


図 2. (左)ローカルタイム 13 時±1 時間の領域における，雲明るさの時間変化例. (右) 明るさ変化の周期特性分布.

3. 解析結果

図 3 に表 1 で挙げた各期間における東西風速擾乱，ローカルタイム 13 時における雲明るさ変化の周期解析結果を示す．雲明るさの変動周期は対地周期に変換をしている．どの期間においても東西風速擾乱が卓越していた周期において雲の明るさ変動の卓越周期が存在していた．また雲の明るさ変化の卓越周期は東西風速擾乱と同様，背景の東西風速の緯度分布に影響されることなく同一の周期をもって広い緯度範囲にわたって卓越していた．こ

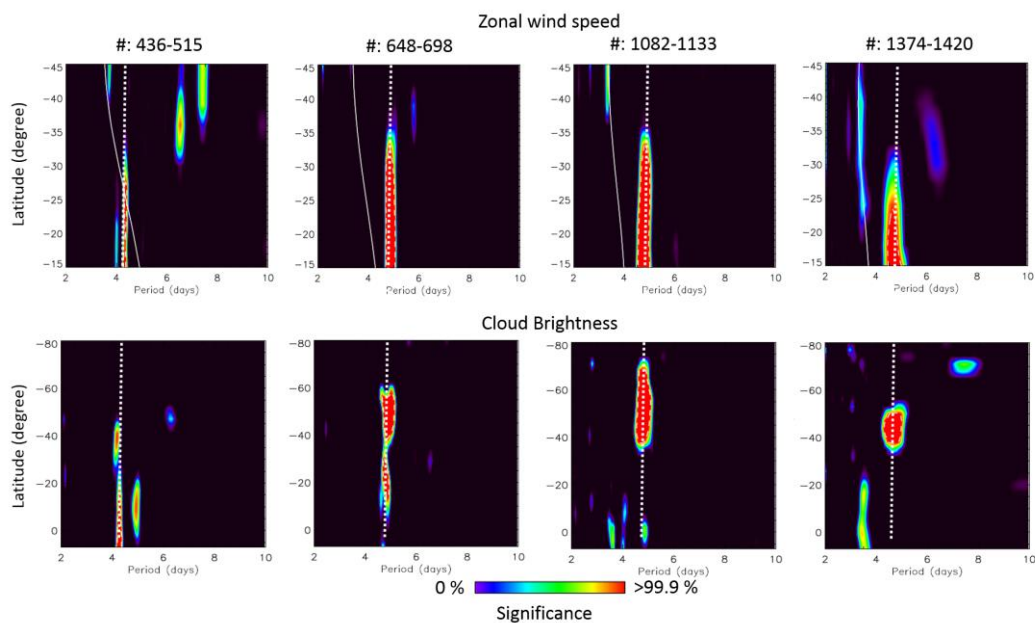


図 3. (上段)東西風速擾乱成分の周期成分分布と(下段)雲の明るさ変化の周期成分分布. 東西風速での白実線は昼面で平均した東西風速の緯度分布，白点線は東西風速擾乱でもっとも卓越していた成分の周期を示す.

の結果から惑星規模の大気波動が卓越している期間においては、惑星規模の雲の明るさ変化は紫外吸収物質が背景にあるスーパーローテーションに流されて生じるのではなく、大気波動の伝搬に伴って生じていたと言える。

4. 結論/今後

Venus Express/VMC が取得した紫外雲画像データに基づき、固定したローカルタイムに着目して、大気波動が卓越していることがわかっている期間において雲明るさの変動周期を調査した。その結果、惑星規模の雲の明暗模様はスーパーローテーションに流される形で分布しているというよりは、その時々卓越している大気波動に伴う形で金星上空を回転していることが分かった。今後は風速擾乱と雲の明暗模様の位相関係を調べ、大気波動がどのように雲の明暗模様形成に寄与しているかを調査したい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K17767 の助成を受けたものです。

参考文献

Belton, M. J. S., P. J. Gierasch, M. D. Smith, P. Helfenstein, P. J. Schinder, J. B. Pollack, K. A. Rages, D. Morrison, K. P. Klaasen and C. B. Pilcher (1991), Images from Galileo of the Venus cloud deck, *Science*, **253**, 1531-1536.

Del Genio, A. D. and W. B. Rossow (1990), Planetary-scale waves and the cyclic nature of cloud top dynamics on Venus, *J. Atmos. Sci.*, **47**, 293-318.

Kouyama, T., T. Imamura, M. Nakamura, T. Satoh and Y. Futaana (2012), Horizontal structure of planetary-scale waves at the cloud top of Venus deduced from Galileo SSI images with an improved cloud-tracking technique, *Planet Space Sci.*, **60**, 207-216.

Kouyama, T., T. Imamura, M. Nakamura, T. Satoh and Y. Futaana (2013), Long-term variation in the cloud-tracked zonal velocities at the cloud top of Venus deduced from Venus Express VMC images, *J. Geophys. Res.*, **118**, 37-46.

Lomb, L. R. (1976), Least-squares frequency analysis of unequally spaced data, *Ap. Space Sci.*, **39**, 447-462.

Scargle J. D. (1982), Studies in astronomical time series analysis. II – Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data, *Astrophys. J.*, **263**, 835–853.

Yamamoto, M. and H. Tanaka (1997), Formation and maintenance of the 4-day circulation in the Venus middle atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, **54**, 1472-1489.