

VEX/VMC 紫外画像解析による金星大気乱流のエネルギー輸送の推定

寺口 朋子[1]; 笠羽 康正[1]; 星野 直哉[1]; 高橋 幸弘[2]; 渡部 重十[2];

山田 学[3]; 松田 佳久[4]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 北大・理・宇宙理学; [3] ISAS/JAXA;

[4] 東京学芸大・自然科学系

1. 序論

金星大気中には様々なスケールの波が混在し、乱流を形成している。

2次元乱流の古典論では、粘性が無視できない流体中では波数 k でのパワースペクトル強度は $P(k)=C_k k^{-n}$ で表され、 $n=5/3$ のとき energy cascade、 $n=3$ のとき enstrophy cascade が主に起こっているとされる。

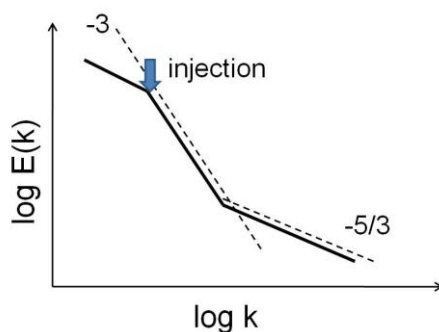


Fig. 1 エネルギースペクトルの概念図

本研究では、金星大気中の乱流のエネルギー輸送を推定することを目的とし、金星の雲頂高度（約 65km）における雲の輝度分布のパワースペクトルを導出した。用いたデータは金星周回機 Venus Express に搭載された Venus Monitoring Camera (VMC) によって撮影された UV 画像である。VMC は打ち上げから 4 年以上にわたり $\sim 0.2\text{-}45 \text{ km/px}$ という高空間解像度の撮像を続けている。本研究では 2006 年 5 月から 2010 年 1 月までの金星全体が視野に入っている画像のうち 44 画像について解析を行った。

2. 解析手法

公開されている VMC の紫外線画像データ (<http://www.planetary.org/data/vex/>) を用い、緯度 20S–70S の雲画像について、

1. 輝度の天頂角依存性を除去

輝度分布モデル(Belton et al., 1991)を使用

2. 直交地理座標に展開
3. 東西方向の輝度分布をフーリエ変換しパワースペクトル密度 (PSD) を計算という手順で解析を行った。

3. 結果・考察

- (1) 雲画像のスペクトルはほとんどが変曲を示しており (e.g. Fig. 2)、低波数側の傾きは高波数側より急峻である。この結果は地球における kinetic energy spectra の特徴と一致する(Nastrom et al., 1984; Nastrom and Gage, 1985)。
- (2) 経度 360° 中の波数(Planetary wavenumber) (20S で $k \sim 0.001 /\text{km}$ に相当)の領域ではスペクトルの傾きは-3 と-5/3 の中間的な値を示した。これは同じ波数範囲における金星での先行研究(Peralta et al., 2007)を裏付ける結果である。さらに、3年以上の長期にわたってこの傾向が不変であることが確かめられた。
- (3) VMC の高解像度の画像を用いたことにより、先行研究より高波数(0.002 - 0.01 /km)での傾きを求めることができた。この範囲の傾きは時に 0 に近いケースが見られたが、これは地球の kinetic energy spectra には見られない現象であり、より詳細な検証が必要である。
- (4) スペクトルが数時間という短い周期で時空間変動している様子を初めて示すことができた(Fig. 3)。この結果はスペクトルの傾きが緯度に固定の特徴を持たないことを示唆する。
- (5) スペクトルの変曲点は波数 0.001 - 0.003 /km (波長 $\sim 330\text{-}1000\text{km}$)に集中していた。成層乱流のモデル研究の結果(Kitamura and Matsuda, 2006)から、このスケールにおける変曲が 2次元乱流と 3次元乱流の境界であることが推定される。したがって本研究の結果は低波数側で 2次元乱流によるエンストロフィカスケードが、高波数側で 3次元乱流によるエネルギーカスケードが起こっていることを示唆する。

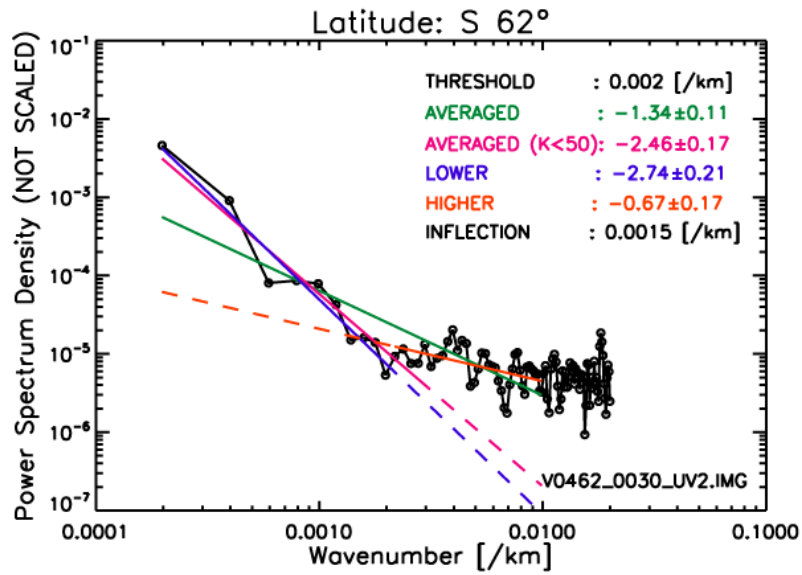


Fig.2 PSD の例 (2007-07-27 03:30:17) 62S

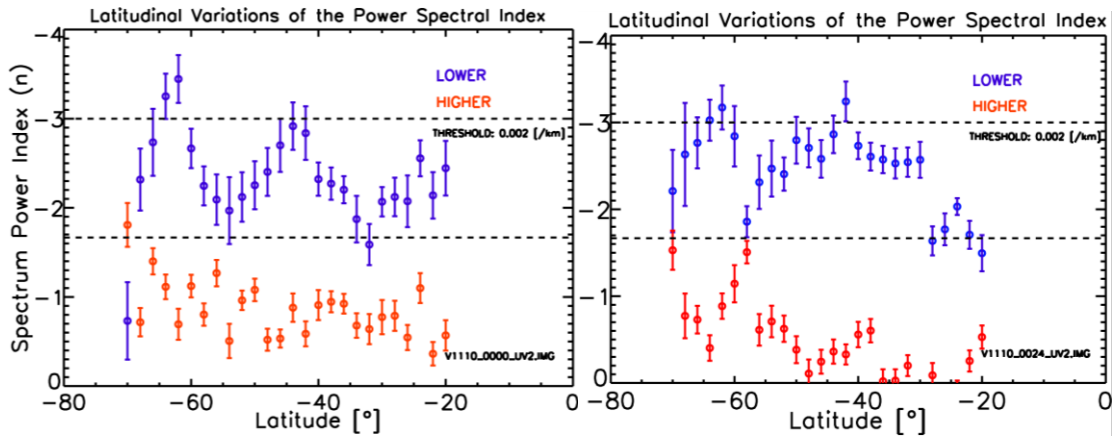


Fig. 3 PSD の傾きの緯度変動

(左)2009-05-04 17:23:17 , (右) 2009-05-04 23:08:17 のデータ。

4. まとめ

本研究では 2006 年 5 月から 2010 年 1 月の期間に撮像された画像のうち 44 画像について解析を行った。緯度 20S-70S の波数 0.0001 /km から 0.01 /km の範囲のパワースペクトルを求め、長期的な特徴を調べた。

その結果、多くのスペクトルにおいて地球の kinetic energy spectra と同程度のスケール (波数 0.001 - 0.003 /km) で変曲が見られた。この変曲は 2 次元乱流と 3 次元乱流の境界であると推定される。また、スペクトルが数時間という短い周期で時空間変動している様子を初めて示した。

また、得られたスペクトルの傾きは低波数・高波数側共に理論値より緩い傾向が見られた。

参考文献

Belton, M. J. S., and 20 colleagues, (1991), Images from Galileo of the Venus cloud deck, *Science*, 253, 1531-1536

Kitamura, Y., and Y. Matsuda (2006), The k_H^{-3} and $k_H^{-5/3}$ energy spectra in stratified turbulence, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L05809.

Nastrom, G. D., K. S. Gage and W. H. Jasperson (1984), Kinetic energy spectrum of large and mesoscale atmospheric process, *Nature*, 31, 36-38

Nastrom, G. D., and K. S. Gage, (1985), A climatology of atmosphere wavenumber spectra of wind and temperature observed by commercial aircraft, *J. Atmos. Sci.*, 42, 950-960

Peralta, J., Hueso, R., Sanchez-Lavega, A., (2007), Cloud brightness distribution and turbulence in Venus using Galileo violet Images, *Icarus*, 188, 305-314