

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82645

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887056

研究課題名(和文)電波掩蔽法による金星熱潮汐波の観測的研究

研究課題名(英文)Venusian thermal tides investigated by radio occultation measurement

研究代表者

安藤 紘基(Ando, Hiroki)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：00706335

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ESAの金星周回機Venus Expressの電波掩蔽観測データを解析し、熱潮汐波の鉛直構造を捉えることが目的である。報告者は、2006年から2010年までの電波掩蔽観測データから得られた気温分布を利用して、基本的に振幅が大きいと予想される赤道域の熱潮汐波の構造を試験的に計算した。その結果、雲層高度から下向きに伝播する東西波数2の熱潮汐波を捉えた。しかしデータ数が不足しており、十分下の高度や特定の地方時における熱潮汐波の構造を捉えることができていない。報告者は、2011年以降に取得された電波掩蔽観測データも解析してサンプル数を増やし、より鮮明に熱潮汐波の構造を捉える。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to investigate the vertical structure of the thermal tides by analyzing radio occultation data of Venus Express. We used temperature profiles retrieved from radio occultation data obtained in 2006 to 2010 and tried to investigate the structure of the thermal tides in the equatorial region, where the thermal tides will have a large amplitude. As a result, we detected the thermal tides with zonal wavenumber-2, which propagate downward from the cloud layer. However, we did not investigate it at much lower altitude and specific local time because the number of data is too small. In the future we are going to analyze the data obtained after 2011 and investigate it more precisely.

研究分野：大気科学

キーワード：電波掩蔽 金星大気 熱潮汐波 Venus Express

1. 研究開始当初の背景

金星大気力学の最大の謎として、高速東西風「スーパーローテーション」が挙げられる。そして、その駆動メカニズムとして、鉛直伝播する熱潮汐波による角運動量輸送が有力視されてきた¹。従来の金星探査では光学機器を用いた観測が主流であったが、それではある特定高度の大気の水平構造しか分からず、波動の鉛直構造を調べるのが難しい。そして、この現状を打開するための有力な観測手段が、鉛直温度分布を高精度（温度測定誤差 ~ 0.1 K）・高分解能（鉛直分解能 ~ 1 km）で測定できる電波掩蔽法である。本研究は、欧州宇宙機関（ESA）が打ち上げた金星周回機 Venus Express の電波掩蔽観測データを解析して遂行される。

2. 研究の目的

熱潮汐波は、太陽光を金星の雲層が吸収して加熱されることで励起され、その位相が太陽と共に動きながら雲層の上下に伝わる。そして金星の雲層は太陽が動く方向とは逆向き（西向き）に加速され、その上下の大気は太陽の動く向きと同方向（東向き）に加速される（図1）。熱潮汐波が大気中にとどまっている限り大気全体の運動量は0なので大気は回転していないことになるが、下向きに伝わる熱潮汐波が地面にぶつかって潰れることで、この波の持つ運動量が大気に受け渡され、地面付近の大気は東向きに加速される。すると地面との摩擦を介して西向きの運動量が地面から供給され、大気が正味で西向きの運動量を持つ。故に、雲層より下向きに伝わる熱潮汐波は、スーパーローテーションの駆動に本質的な役割を果たす。本研究では、この雲層から下向きに伝播する熱潮汐波成分を捉えることが最大の目的である。

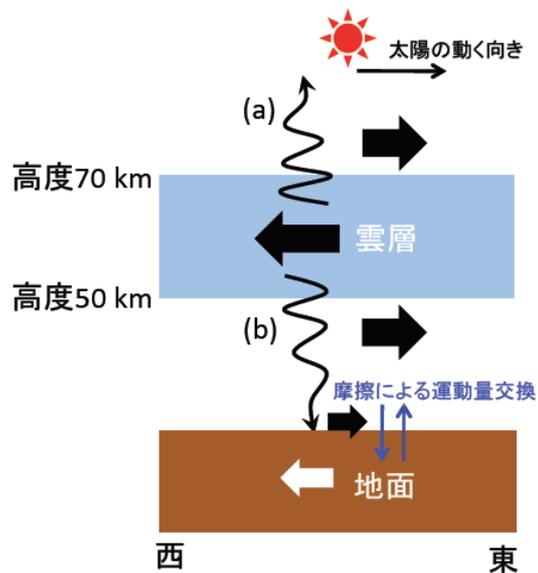


図1 金星熱潮汐波の概念図。太矢印は熱潮汐波により大気が加速される方向を、白矢印は金星の自転方向を表す。雲層より上に伝わる熱潮汐波(a)は過去にも観測されている。本研究では、雲層より下に伝播する成分(b)を捉えるのが目的。

3. 研究の方法

本研究は、鉛直温度分布を高精度・高分解能で測定できる電波掩蔽法を用いる。電波掩蔽法とは、衛星が惑星の背後に隠れる時、または、背後から出てくる時に無変調の電波を地球に向けて射出し、受信周波数のドップラーシフトから大気鉛直温度分布を算出する観測手法である。Venus Express の電波掩蔽観測データには、Closed-loop と Open-loop の2種類ある。前者の解析は容易だが、S/N の都合によって高度 55 km より上までしか温度分布を測定できない。後者は解析は困難であるが、高度 40 km まで温度分布を測定できる。申請者は Venus Express 電波掩蔽チームとの協力関係の中で技術と経験を評価され、Open-loop データの解析を一任されている。Takagi and Matsuda (2007)¹によれば、金星の雲層より下に伝播する熱潮汐波の振幅は 1 K 未満である。従来の電波掩蔽観測では、このような微弱な振幅を持つ波動を捕捉できるほどの温度分解能が無く、これを観測す

ることが出来なかった。一方、Open-loop データを用いる本研究では、Venus Express に搭載された超高安定な発振器から作り出される電波を利用し、前述の 0.1 K という温度分解能を達成できる。この温度測定精度を武器に、金星雲層の下に伝播する微弱な熱潮汐波を検出する。本研究では、この Open-loop データを全て解析して高度 40 km までの温度分布を全球的に調べ、熱潮汐波の鉛直構造を明らかにする。

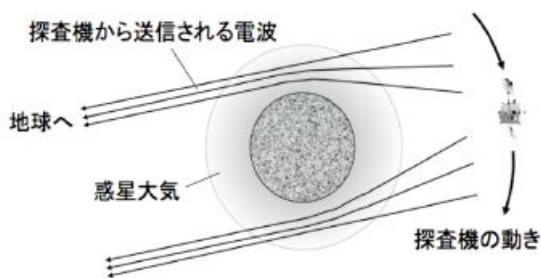


図 2 電波掩蔽観測の概念図

4 . 研究成果

熱潮汐波の位相は地方時に固定される。よって電波掩蔽観測データから導出した気温分布を地方時の関数と見なす事で、熱潮汐波に伴う温度擾乱を各高度で取り出すことができる。図 3 は、2006 年から 2010 年までに得られた Venus Express の電波掩蔽観測データを用いて試験的に求めた熱潮汐波に伴う温度擾乱の地方時-高度分布である。この結果から、申請者は、2011 年以降の Venus Express の電波掩蔽データを解析すれば、熱潮汐波の検出は可能であるとの十分な感触を得ている。そして波の振幅と鉛直波長から、波動の線形論を用いて熱潮汐波に伴う角運動量輸送量および大気の加速率の緯度-高度分布を定量し、過去の力学モデルの計算結果と比較して熱潮汐波の寄与を確認する。

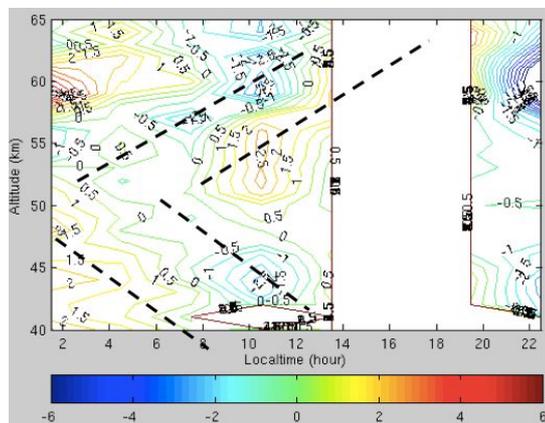


図 3 2006 年から 2010 年における Venus Express 電波掩蔽観測データから試験的に計算した、赤道域 (緯度 0-20 度) における熱潮汐波の振幅分布(横軸:地方時 [hour]、縦軸:高度[km])。東西波数 2 の熱潮汐波(半日潮)の位相が高度 65 km 以下で朝側に傾き、下向きに伝播している様子が見えるが、データ数の不足により地方時 14-20 h におけるデータの欠損が見られるなど、確かな結論が得られていない。申請者は解析期間を最大限に広げ、熱潮汐波の鉛直構造を正確に把握する。

<引用文献>

1. Takagi, M. and Y. Matsuda, Effects of thermal tides on the Venus atmospheric superrotation, *J. Geophys. Res.*, **112**, 2007, doi:10.1029/2006JD007901.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

H. Ando, T. Imamura, T. Tsuda, S. Tellmann, M. Pätzold, B. Häusler, Vertical wavenumber spectra of gravity waves in the Venus atmosphere obtained from Venus Express radio occultation data: evidence for saturation, *J. Atmos. Sci.*, 2015, in press.

M. Miyamoto, T. Imamura, M. Tokumaru, H. Ando, H. Isobe, A. Asai, D. Shiota, T. Toda, B. Häusler, M. Pätzold, A. Nabatov, M. Nakamura, Radial distribution of compressive waves in the solar corona revealed by Akatsuki radio occultation observations, *Astrophys. J.*, **797**, 51(7pp), 2014, doi:10.1088/0004-637X/797/1/51.

T. Imamura, M. Tokumaru, H. Isobe, D. Shiota, H. Ando, M. Miyamoto, T. Toda, B. Häusler, M. Pätzold, A. Nabatov, A. Asai, K. Yaji, M. Yamada, M. Nakamura, Outflow structure of the quiet Sun corona probed by spacecraft radio scintillations in strong scattering, *Astrophys. J.*, **788**, 117, doi: 10.1088/0004-637X/788/2/117, 2014.

T. Imamura, T. Higuchi, Y. Maejima, M. Takagi, N. Sugimoto, K. Ikeda and H. Ando, Inverse insolation dependence of Venus' cloud-level convection, *Icarus*, **228**, 2014, 181-188.

[学会発表](計 5 件)

安藤紘基, 杉本憲彦, 高木征弘, 櫻村博基, 今村剛, 松田佳久, GCM で再現した金星極域の大気構造について, 第16回惑星大気研究会, 仙台, 2015.

安藤紘基, 今村剛, Venus Express 電波掩蔽観測による金星下層大気構造に関する研究, 第136回地球電磁気・地球惑星圏学会, 松本, 2014.

H. Ando, N. Sugimoto, M. Takagi, H. Kashimura, T. Imamura and Y. Matsuda, Venusian polar vortex reproduced in an atmospheric general circulation model, 40th COSPAR, モスクワ (ロシア), 2014.

安藤紘基, 杉山耕一郎, 小高正嗣, 中島健介, 今村剛, 雲解像モデルを用いた金星重力波の2次元数値実験, 日本地球惑星科学連合・連合大会2014年大会, 幕張, 2014.

H. Ando, T. Imamura, S. Tellmann, M. Pätzold and B. Häusler, Vertical wavenumber spectra of gravity waves in terrestrial planetary atmospheres, 10th AOGS, ブリスベン (オーストラリア), 2013

[その他]

10th AOGS にて Best Student Poster Award を受賞

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

安藤 紘基 (ANDO, Hiroki)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・宇宙航空プロジェクト研究員
研究者番号：00706355