

U003-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

金星大気における熱潮汐波による運動量輸送と平均流生成

Momentum transport and mean zonal flow induced by thermal tides in the Venus atmosphere

荒井 宏明^{1*}, 今村 剛², 高木 征弘¹

Hiroaki Arai^{1*}, Takeshi Imamura², Masahiro Takagi¹

¹ 東大, ²ISAS/JAXA

¹EPS, Univ. of Tokyo, ²ISAS/JAXA

金星大気では東西風速が高さとともに増大し高度 65km では風速 100m/s にも達する。これはスーパーローテーションと呼ばれ大きな謎の一つとなっている。

金星には高度 45-70km の領域に硫酸の雲が存在しており、雲層上部で太陽光の吸収により熱潮汐波が励起される。この熱潮汐波に伴う上下への運動量輸送がスーパーローテーションの維持・生成に重要な役割を担っていると考えられている。(Fels and Lindzen, 1974; Plumb, 1975; Takagi and Matsuda, 2007)

熱潮汐波の伝播に伴って輸送される運動量は、基本場の風速や大気安定度など様々なパラメータにより決まる。また、仮に熱潮汐波が励起される加熱域の高度分布や加熱率が異なる場合にも、輸送される運動量や平均流の加速率は異なると予想される。

本研究では数値計算によりそれらのパラメータを変化させたときに輸送される運動量がどう変化するかを調べ、その鉛直分布からスーパーローテーションの維持・生成にはどのパラメータのどのような鉛直構造が本質的な寄与をしているかを考察する。

キーワード: 金星, 熱潮汐波, スーパーローテーション

Keywords: Venus, thermal tides, superrotation

U003-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

金星探査機・地上分光観測結果と放射輸送計算による金星雲構造の検討 A plan to study the Venus cloud structure based on the several Venus observations

高木 聖子^{1*}, 岩上 直幹¹

Seiko Takagi^{1*}, Naomoto Iwagami¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹The University of Tokyo

金星は約 30 km にも及ぶ厚い濃硫酸の雲で一様に覆われている。金星の雲は非常に分厚く、下方まで含んだ雲の高度情報を得ることは困難であるため、雲に関して不明な点は数多くある。現在の雲に関する知見の大部分は、かつて打ち上げられた数少ない降下プローブ (Venera・Pionner Venus など) によって得られたものである。それらの観測結果を元にいくつかの金星雲モデル (光学的厚さの鉛直分布) が作られている。現在最も広く用いられている雲モデルとして、Pollack et al.(1993) が挙げられるが、この雲モデルは局所的な雲モデルであり金星全体の雲を反映するものではない。さらに、この雲モデルには改善すべき問題点があることが分かった。

本研究は様々な金星探査機 (Venera, Pioneer Venus, Venus Express) や地上分光観測から得られる観測データと放射輸送計算を用いて雲モデル Pollack et al.(1993) の問題点を克服した広範囲の金星雲モデルを作ることを目的とする。

キーワード: 金星, 雲

Keywords: Venus, cloud

U003-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

VEX/VMCによる金星南極極渦の二次元的風速分布の導出

Derivation of two-dimensional wind velocity distribution in south polar vortex of Venus from VEX/VMC

佐藤 瑞樹^{1*}, 笠羽 康正¹

Mizuki Sato^{1*}, Yasumasa Kasaba¹

¹ 東北大・理・地球物理

¹ Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.

金星の両極域には、極渦 (polar vortex) と呼ばれる大気の渦構造が存在する。極渦は地球など太陽系の他の天体にも存在するが、地球の極渦は平均温度が周囲より低いのに対して、金星極渦の温度構造を赤外域で見ると、極域に polar dipole と呼ばれる高温域があり、その周囲を polar collar または cold collar と呼ばれる低温域が取り囲んでいるのが特徴である。

金星の極渦に特異的なのは、高温域が dipole (双極子) 型または oval (卵) 型と形容されるような形状をしており、経度方向の大きな不均一性を持っていることである。この高温域は 2.5 日から 3 日で 1 回転しているが、これは金星の自転周期の 243 日に比べて極めて速い。金星の中低緯度にはスーパーローテーションと呼ばれる、赤道で約 4 日周期の東西風が吹いていることが知られているが、これは緯度 70° 付近で約 3 日の周期になり、極渦周縁部の回転周期と一致する [Markiewicz et al., 2007]。このことは、dipole の回転とスーパーローテーションが連続していることを示唆する。一方で、collar の低温域は dipole のような高速回転をせず、local time に対して固定されていて、明け方付近が最も低温である。すなわち dipole には波数 2、collar には波数 1 の構造があるが、dipole は形状の変動が激しく、波数 1 や 3 のモードや、さらに複雑な形状も観測されている [Piccioni et al., 2010]。

1978 年の Pioneer Venus Orbiter (PVO)、1990 年の Galileo が金星極渦を観測したが、これらは北極のみの観測であり、また短期間だった。2006 年に金星軌道投入された Venus Express (VEX) は南極極渦を初めて観測し、また現在に至るまでの長期間にわたってデータを取得し続けている。VEX には Venus Monitoring Camera (VMC) と Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer (VIRTIS) と呼ばれる観測機器が搭載されている。このうち VIRTIS では近赤外の広い波長域を観測しており、dipole や collar の構造が明瞭に観察できる。これは雲頂からの熱放射であり、雲頂温度の分布を反映している。一方、VMC の紫外域 (365nm) は全球に明瞭な模様が見える波長であり、雲層上部にあたる高度約 70km までの未知紫外吸収物質の分布を反映していると推定されている。極域にも模様が見られるが、dipole や collar は赤外域ほど明瞭ではない。

本研究では、VMC による 365nm のデータを cloud tracking の手法を用いて解析し、南極渦域の二次元的な風速分布を導出することを目指す。VEX の観測データを用いた cloud tracking による風速分布の導出は、VMC を用いた Markiewicz et al. [2007] や Moissl et al. [2009]、VIRTIS を用いた Sanchez-Lavega et al. [2008] などにより行われているが、これらは経度平均および数度ごとの緯度平均をして風速の緯度分布を導出したものである。そのため経度方向に大きな不均一性を持つ dipole の構造を観察するには不適であり、緯度方向の細かい構造も議論できない。経度平均されていない風速分布が導出されていないため、赤外域で見える dipole や collar のような経度不均一性が極域の未知紫外吸収物質の運動に見られるかどうかは分かっておらず、それを確認するためには先行研究より高い解像度で二次元的な風速分布を導出することが必要である。

また、先行研究における cloud tracking は、類似する模様を目視で確認する manual tracking 法を用いているが、人間の目に頼ることから客観性や解析できる量に限界がある。本研究では、中低緯度域の風速緯度分布を求めるために開発された、相互相関係数を用いた雲の特徴追跡法 [神山ら, 2009] を高緯度域に適用し、客観的な基準を用いて自動的に風速が導出できるか検討する。高緯度域では、雲の移動が直進とみなせず回転を伴うことや、雲の模様のコントラストが低く筋状であることなど特有の困難があるため、極渦の風速分布の導出にはこれらの問題を解決することが必要になる。

キーワード: 極渦, 金星, 風速分布, Venus Express, VMC, Venus Monitoring Camera

Keywords: Polar vortex, Venus, wind velocity distribution, Venus Express, VMC, Venus Monitoring Camera

U003-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

代数方程式から見積もられるスーパーローテーション強度 Superrotation Strength Estimated from Algebraic Equations

山本 博基^{1*}, 余田 成男¹

Hiroki Yamamoto^{1*}, Shigeo Yoden¹

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Geophysics, Kyoto Univ.

金星や土星の衛星タイタンでは自転の何倍もの速さで自転方向に回転する高速東西風が観測されている。このような大気現象はスーパーローテーションと呼ばれている。スーパーローテーションの生成・維持メカニズムとして様々な仮説が提案されてきた。現在でも有力な説のひとつは Gierasch (1975) が提案した、「子午面循環による角運動量の上向き輸送と強い水平拡散による角運動量の赤道向き輸送とによってスーパーローテーションは維持されている」とする説であり、これはギーラシメカニズムと呼ばれている。このギーラシメカニズムに基づくスーパーローテーション強度のパラメータ（自転速度や南北加熱差、水平拡散の強さなど）に対する依存性は Matsuda (1980) によって調べられた。しかし、Gierasch も Matsuda も熱の南北移流の効果を考慮していなかった。そこで本研究では、この効果を加えて、Gierasch と Matsuda の研究を拡張する。

我々は、定常自転軸対称なブシネスク流体のプリミティブ方程式系の未知関数（風速や温位）を、その代表的な大きさを表すスカラー量の未知数で置き換えることにより、一組の代数方程式系を導いた。ここで、定常自転軸対称なブシネスク流体のプリミティブ方程式系とはギーラシメカニズムが働きうる、大気の運動と状態を記述する偏微分方程式系である。このようにして導いた代数方程式系の未知数は大気上端の東西流速、極向きの流れ、赤道向きの流れ、極と赤道との平均温度差の大きさをそれぞれ表す4つの無次元数である。そして代数方程式系の係数は、外部熱ロスビー数（自転速度と南北加熱差の大きさを表す無次元数）、水平及び鉛直エクマン数、ニュートン加熱冷却の緩和時間から構成される。

我々は熱ロスビー数が 10^{-2} から 10^5 までの範囲で、代数方程式系の解と、元々のプリミティブ方程式系の数値解の代表的な大きさを比較した。その結果、元々のプリミティブ方程式系の数値解から求めたスーパーローテーション強度（大気上端で緯度平均した東西風速を赤道上的自転速度で割った量）は我々が導いた代数方程式系の解によって見積もることが出来た。その見積もりの精度は、ほとんどの場合で70%以上であった。また、熱ロスビー数が大きくなると、南北方向の運動方程式における釣り合いは、遠心加速度と熱の南北移流によって弱められた圧力勾配となる。この場合、スーパーローテーション強度は熱ロスビー数の三乗根に比例する。

キーワード: スーパーローテーション, 大気大循環, 惑星大気, 大気力学, 地球流体力学

Keywords: superrotation, atmospheric general circulation, planetary atmospheres, atmospheric dynamics, geophysical fluid dynamics

VEX/VMC 紫外画像による金星大気乱流のエネルギー輸送の研究 Energy transportation of Venusian atmospheric turbulence evaluated by VEX/VMC UV images

寺口 朋子^{1*}, 笠羽 康正¹, 星野 直哉¹, 佐藤 隆雄¹, 高橋 幸弘², 渡部 重十², 山田 学³, 松田 佳久⁴, 神山 徹⁵, Dimitri Titov⁶, Wojciech Markiewicz⁶

Tomoko Teraguchi^{1*}, Yasumasa Kasaba¹, Naoya Hoshino¹, Takao M. Sato¹, Yukihiro Takahashi², Shigeto Watanabe², Manabu Yamada³, Yoshihisa Matsuda⁴, Toru Kouyama⁵, Dimitri Titov⁶, Wojciech Markiewicz⁶

¹ 東北大学理学研究科地球物理学専攻, ² 北海道大学宇宙理学専攻, ³ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部, ⁴ 東京学芸大学宇宙地球科学分野, ⁵ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻, ⁶ Max Planck Institute

¹ Dep. Geophysics, Tohoku Univ., ² Dep. Cosmo sciences, Hokkaido Univ., ³ ISAS/JAXA, ⁴ Astro and Earth Sci, Tokyo Gakugei Univ., ⁵ Dep. Earth and Planetary Sci, Tokyo Univ., ⁶ Max Planck Institute

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。

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 6km）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 0.2-45 km/px という高空間解像度の撮像を続けており、これは初めての成果である。

乱流の古典理論によると、波数 k におけるパワースペクトル強度は $P(k)=C_k k^{-n}$ で表される。 k の次数 $-n$ は $P(k)$ を対数表示したときの傾きに相当し、パワースペクトルを特徴づける値である。 $-n$ が -3 のときは過度の二乗平均であるエンストロフィが、 $-5/3$ のときはエネルギーがそれぞれカスケードしていると考えられている。

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。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。また、得られたスペクトルの傾きと理論値 (-3 , $-5/3$) の対応について評価した。

本研究の主な結果を下記に示す。

(1) 雲画像のスペクトルはほとんどが変曲を示しており、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 $k \sim 0.001$ /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。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 ~ 330 -1000km) 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。

Tung and Orlando (2003) は、乱流へのインジェクション (エネルギー流入) は総観スケールで起こるという描像を示した。しかしながら、UV の 1 画像でとらえられる経度範囲には限界がある。インジェクションの要因としては傾圧不安定波や熱潮汐波が考えられるが、それを特定することはエネルギー・エンストロフィ流の機構を解明するために非常に重要である。解析の観点からは、複数の画像を合成し総観スケールに及ぶスペクトルを得ることが有効と考えられる。

さらに、現在 VMC の画像を用いた風速導出の研究が進んでいる (Moissl et al., 2009)。風速から導出される kinetic energy spectra と cloud brightness spectra を比較することで、金星乱流についてのより深い理解につながると期待される。

キーワード: 金星, 紫外, 雲頂高度, スペクトル解析

Keywords: Venus, UV, cloud top, spectral analysis

U003-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

金星雲上 HDO 定量 Latitudinal distribution of HDO above the Venus's clouds

松井 裕基^{1*}, 岩上 直幹¹

Hiroki Matsui^{1*}, Naomoto Iwagami¹

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science

金星の HDO を定量することは金星大気の性質を知るのに有用である。

例えば、D/H 比を調べてやれば大気の散逸過程についての知見が得られる。

重水素は水素に比べ重いため散逸しにくい。

従って D/H 比が大きいほど、その惑星の大気は散逸していることになる。

金星の HDO は、雲下 (高度 40km) の大気の熱放射による定量例はいくつかあり、D/H 比は地球の 120 倍と言われてきた。ところが 2007 年の VEX の観測により高度 80km では D/H 比は地球の 250 倍であることが発見された。

しかし、これらの間をうめる雲上 (高度 60km) における定量例はほとんどない。

今回昼側観測による雲上 HDO の定量を、2010 年 8 月 3-10 日にマウナケアの

IRTF3m 望遠鏡・CSHELL 分光器を用いて行った。スリット長手方向を金星の

南北方向に取った分光撮像で、波長および緯度方向情報を同時に取得し、

高度 60km 付近の HDO の緯度分布を定量した。

本発表では、上記のような分光定量観測を行うのに必要な放射輸送理論とその計算手法について説明し、得られた結果について議論する。

キーワード: 惑星, 金星, 重水素, 脱水, 散逸

Keywords: Venus, HDO

U003-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

多重散乱計算を用いた金星雲モデルの検討 Constructing a new Venus cloud model using a multiple scattering method

大坪 秋生^{1*}, 岩上 直幹¹

Akio Otsubo^{1*}, Naomoto Iwagami¹

¹ 東大・理・地惑

¹Earth and Planets, U Tokyo

多重散乱計算を用いた 標準金星雲モデルの検討 (Constructing a new Venus cloud model using a multiple scattering method)

金星大気は高度 45km ~ 90km の範囲に分厚い雲が存在し、惑星全体を覆っている。これまで、過去の観測によって金星の雲は 3 種類の粒子半径によって構成される 3 つの雲層と、上下 2 つのもや層から成ることが明らかにされた。これらのデータをもとに複数の雲モデルが考案されているが、いくつかの問題点があることが指摘されている。例として、当研究室の過去の研究について考える。この研究では金星の CO の半球分布を決定する雲モデルとして Pollack et al(1993) を用いた。このモデルは研究の際に良く用いられている雲モデルであるが、本研究の際には経度方向に過去の観測とは食い違う大きな雲高差が生じてしまった。これは、雲のパラメータを調整することによって解決したがこの新たな雲モデルを用いて作成した理論吸収スペクトルは、観測スペクトルをうまく再現できていない。

こういった雲モデルの問題点を考察するために、本研究ではマウナケアの IRTF3m 望遠鏡・CSHELL 分光器を用いて得られた CO₂ の分光データを用いて、輝度分布、吸収線の形状 (等価幅) という観点から放射輸送計算によって新たな雲モデルを作成する。今回はその最初の段階として、当研究室で作成した雲モデルと、Pollack et al(1993) の雲モデルを上記の観点で比較した結果を報告する。

キーワード: 金星, 雲モデル

Keywords: Venus, cloud model

U003-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

金星夜面雲頂高度の温度分布に見られる特徴

Characteristic features seen in a temperature distribution at nightside cloud top of Venus

二口 将彦^{1*}, 田口 真¹, 福原 哲哉², 佐藤 光輝², 今村 剛³, 中村 正人³, 上野 宗孝³, 鈴木 睦³, 岩上 直幹⁴, はしもと じょーじ⁵

Masahiko Futaguchi^{1*}, Makoto Taguchi¹, Tetsuya Fukuhara², Mitsuteru Sato², Takeshi Imamura³, Masato Nakamura³, Mune-taka Ueno³, Makoto Suzuki³, Naomoto Iwagami⁴, George HASHIMOTO⁵

¹立教大理, ²北大理, ³宇宙研, ⁴東大理, ⁵岡山大理

¹Rikkyo Univ., ²Hokkaido Univ., ³ISAS/JAXA, ⁴U. Tokyo, ⁵Okayama Univ.

あかつき搭載中間赤外線カメラ (Longwave Infrared Camera:LIR) は世界で初めて金星夜面全体の撮像に成功した。LIRは濃硫酸の雲から放射される赤外線を可視化する。得られた放射強度を温度に変換することで雲頂の温度分布をみることができる。

今回、金星夜面雲頂の温度分布に見られる特徴をまとめた。過去に観測がある位置では温度の比較もおこなった。主な特徴は、極域やポーラーカラーにみられる大きなスケールでの低温構造、金星ディスク全体で視線方向の違いで見られるリムダークニング、高緯度から低緯度に見られる帯状構造、さらに小さなスケールでの温度構造である。

リムダークニングの解析をすすめることで雲の光学的厚さの高度分布を導出することができる。

今回 LIR によって得られたデータは、夜側での雲頂高度付近の大気ダイナミクスや雲生成化学の理論研究に制約を与える。

キーワード: あかつき, 金星, 中間赤外カメラ

Keywords: Akatsuki, venus, LIR

U003-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 16:15-18:45

金星の雲画像から探る紫外吸収物質高度分布

Vertical distribution of UV absorber in the Venusian cloud layer inferred from cloud images

飯塚 裕磨^{1*}, 今村 剛², 佐藤 毅彦², 中村 正人²

Yuma Iizuka^{1*}, Takeshi Imamura², Takehiko Satoh², Masato Nakamura²

¹ 東大・理・地球惑星, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

¹EPS, Univ. Tokyo, ²ISAS/JAXA

金星を紫外域で観測すると様々な模様を見ることができる。これは紫外模様と呼ばれていて、紫外吸収物質の存在によるものと考えられている。金星大気紫外吸収物質としてはSO₂の存在が古くから知られている。しかしもう一種類存在するとされる未同定吸収物質の種類や高度分布などは未だ明らかになっていない。過去に行われた紫外観測において、365nm付近を中心に比較的大きなコントラストがあることが経験的に知られており、これが未同定吸収物質による影響と考えられている。この未同定吸収物質の分布を知ることは、この物質の生成に関する情報を得る手がかりとなり、また、可視域付近まで吸収があるため、その高度付近のエネルギー収支および大気の運動への影響を知る手がかりとなることが期待される。

雲層内の吸収物質の高度分布には、金星ディスクの大局的な輝度分布に反映されると考えられる。例えば、吸収が無く散乱のみ行う雲層の場合、太陽直下点が最も明るく夜側に向かって暗くなるはずである。しかし、散乱のみ行う雲層の上に吸収層がある場合にはディスクの端で暗くなる傾向が強くなり、逆に吸収層の上に薄い散乱層がある場合には逆の傾向が現れるであろう。

本研究ではこれについて、放射輸送計算と Venus Express 搭載 VMC による撮像データとを比較することによるアプローチを行った。