

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2014

課題番号：21540460

研究課題名(和文)地上分光撮像観測による金星大気化学・力学過程の研究

研究課題名(英文)Study of Venusian atmosphere based on ground-based spectroscopy

研究代表者

岩上 直幹 (IWAGAMI, Naomoto)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30143374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：金星大気の謎を解明するため地上から赤外分光観測を行った。最大の力学的謎は大気の「超回転」と呼ばれるもので、惑星本体の60倍の速さで大気が回転している。分光観測から大気中の波を検出し、それらによる運動量輸送の考察から超回転維持機構解明を試みた。また最大の化学的謎は「CO₂大気安定性問題」と呼ばれるもので、主成分であるCO₂が安定に再生され96%に保たれている過程が解らない。分光観測によりHCl・COなど微量成分半球分布を測定し、Cl触媒サイクルなどによるCO₂再生経路を検討した。

研究成果の概要(英文)：To clear up riddles of the Venusian atmosphere, we performed ground-based IR spectroscopic observations. The largest dynamical issue is the “Super Rotation” of the atmosphere. The atmosphere is rotating 60 times faster than the solid body. By picking up atmospheric waves from spectra, we tried to understand the acceleration mechanism of the Super Rotation. The largest chemical issue is “Stability of the CO₂ atmosphere”. The process for CO₂ to be kept at 96% has not been understood. By using spectroscopic observations, we measured HCl and CO abundances, and then investigated catalytic reaction cycles to reproduce CO₂.

研究分野：惑星大気化学物理

キーワード：金星 赤外分光

1. 研究開始当初の背景

金星雲下の情報に関しては、1980年代に近赤外に窓が発見され、大気および地表の熱放射が漏れ出してきていることが解った。そのスペクトルから雲下における物質分布を得ることができる。地上分光観測は1990年代から国外グループによって行われており、スペクトル形成過程から始まり、物質分布などまでが議論されてきたが、継続性に乏しくデータの基本的性質の検討に留まってきた。本観測計画は組織的に雲上・下組成と熱圏大気光を狙う試みであり、「CO₂大気安定性問題」および「大気超回転問題」を含む金星大気科学全体への貢献が期待できる。

2. 研究の目的

中層大気における微量成分および熱圏における昼夜対流の半球分布を分光測定し、それらを制御する化学・力学過程を明らかにすることを目的とする。化学的にはCO₂が光解離してCOとOになると簡単には元には戻れず、96%のCO₂がたもてないという「CO₂大気安定性問題」がひとつの標的であり、力学的には雲上大気が地表の60倍もの速度で回っているという「大気超回転問題」がもうひとつの標的となる。

3. 研究の方法

国内外の既設望遠鏡およびその付属分光装置を用い、1年半毎に訪れる好条件期に、昼夜両面を分光撮像することにより、各種大気パラメタの半球分布を得ることで、化学的・力学的謎の解明を目指す。想定している分解能40000の装置を使えば赤外窓領域昼面においてHCl、COなどの半球分布の他、CO₂吸収から雲高度を得ることができる。夜面では1.27 μ m大気光分布から昼夜対流の情報を得ることができる。雲高度には大気超回転への運動量輸送を担うと思われるケルビン波・ロスビー波の姿が見えていることが期待でき、超回転維持機構の理解につながる。

4. 研究成果

(1) 2007年11月にハワイ・マウナケア山頂のNASA/IRTF 3m望遠鏡付属CSHELL分光器により得た2.3 μ mデータからは雲上COの半球分布を定量し、雲形成に関する化学過程を議論した(Iwagami他2010)。

(2) 同じくIRTF/CSHELL分光器を用い、2010年8月に行ったデータからは雲上のD(重水素)を定量し、D/H比の高度分布からDの逃散流速を議論した(Matsui他2012)。

(3) また2010年8月データに2007年5月・11月データをあわせ、雲高度半球分布から高度60km付近における惑星規模大気波動を搾り出すことに成功した。これまでこの種の波が捉えられてきた高度はUVによる昼面70kmとIRによる夜面50kmに限られてきたため、この60km情報は大気超回転問題解明にブレークスルーをもたらす可能性がある(Hosouchi他2012)。

(4) 2012年7月のIRTF/CSHELL観測では1.27 μ m大気光とともに酸素原子同位体異常 $\delta^{17}O$ と $\delta^{18}O$ の同時測定に成功し、精度が不十分ではあるものの、金星大気に関する3同位体プロットを世界で始めて示すことができた。結論は「誤差の範囲で地球・月系と矛盾しない」というやや平凡なものだが、原始太陽系雲に関する新知見となった(Iwagami他2015印刷中)。

(5) 金星探査機あかつきが2010年12月の周回軌道投入に失敗したため、予定していたデータが入ってこなくなった。そこで欧州の金星探査機VEXとの共同研究を企画し、VEX搭載の分光装置SOIRのデータを使わせてもらうために院生をベルギー・ブラッセルに派遣した。その結果「雲上にあるとされる上部もや層が高度90km以上で光学厚みを増している」というやや奇妙ではあるが興味ある観測事実を見出した。「観測誤差ではない」ということを示す慎重な吟味・議論の末、博士

論文として結実した。(高木聖子 博士論文
2014 東京大学)

(6) 2014 年 5 月には IRTF/CSHELL により

(3) に述べた 60km 大気波動と比較すべく

欧州 VEX の UV データ (70km) との同時観測
を企画したが実現せず、代替として 5 μ m 域に
おいて 70km 波動の観測を行ない 10 日分のデ
ータを得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文](計 12 件)

Satoh, T., Ohtsuki, S., Iwagami, N.,
Ueno, M., Uemizu, K., Suzuki, M.,
Hashimoto, G. L., Sakanoi, T., Kasaba,
Y., Nakamura, R., Imamura, T.,
Nakamura, M., Fukuhara, T., Yamazaki,
A., Yamada, M., Venus' Clouds as
inferred from the phase curves
acquired by IR1 and IR2 on board
Akatsuki, Icarus 248, 査読有 213-220,
2015

doi:10.1016/j.icarus.2014.10.030

Iwagami, N., G.L. Hashimoto, S.
Ohtsuki, S. Takagi and S. Robert,
Ground-based IR observation of oxygen
isotope ratios in the Venus atmosphere,
Planet. Space Sci., 査読有, available
on line 12 Nov 2014

doi:10.1016/j.pss.2014.10.004

Nakamura, M., Y. Kawakatsu, C. Hirose,
T. Imamura, N. Ishii, T. Abe, A.
Yamazaki, M. Yamada, K. Ogohara, K.
Uemizu, T. Fukuhara, S. Ohtsuki, T.
Satoh, M. Suzuki, M. Ueno, N. Iwagami,
S. Watanabe, Y. Takahashi, G.L.
Hashimoto and H. Yamamoto, Return to
Venus of the Japanese Venus Climate
Orbiter AKATSUKI, Acta Astronautica 93,
査読有 384-389, 2014

doi:10.1016/j.actaastro.2013.07.027

Hosouchi, M., T. Kouyama, N. Iwagami,
S. Ohtsuki and M. Takagi, Wave
signature in the Venus cloud layer at
58-64 km observed by ground-based
dayside infrared spectroscopy, ICARUS
220, 査読有, 552-560, 2012

Taguchi, M., T. Fukuhara, M. Futaguchi,
M. Sato, T. Imamura, K. Mitsuyama, M.
Nakamura, M. Ueno, M. Suzuki, N.

Iwagami and G. L. Hashimoto,
Characteristic features in Venus'
nightside cloud-top temperature
obtained by Akatsuki/LIR, ICARUS 219,
査読有, 502-504, 2012

Matsui, H., N. Iwagami, M. Hosouchi, S.
Ohtsuki and G. L. Hashimoto,
Latitudinal distribution of HDO
abundance above Venus' clouds by
ground-based 2.3 μ m spectroscopy, あ
ICARUS 217, 査読有, 610-614, 2012

Fukuhara, T., M. Taguchi, T. Imamura,
M. Nakamura, M. Ueno, M. Suzuki, N.
Iwagami, M. Sato, K. Mitsuyama, G.
Hashimoto, R. Ohshima, T. Kouyama, H.
Ando and M. Futaguchi, LIR: Longwave
Infrared Camera onboard the Venus
orbiter Akatsuki, Earth Planets Space
63, 査読有, 1009-1018, 2011

Iwagami, N., S. Takagi, S. Ohtsuki, M.
Ueno, K. Uemizu, T. Sato, T. Sakanoi
and G.L. Hashimoto, Science
requirements and description of the 1
 μ m camera onboard the Akatsuki Venus
Orbiter, Earth Planets Space 63, 査読
有, 487-492, 2011.

Nakamura, M., T. Imamura, N. Ishii, T.
Abe, T. Satoh, M. Suzuki, M. Ueno, A.
Yamazaki, N. Iwagami, S. Watanabe, M.
Taguchi, T. Fukuhara, Y. Takahashi, M.
Yamada, N. Hoshino, S. Ohtsuki, K.
Uemizu, G. L. Hashimoto, M. Takagi, Y.
Matsuda, K. Ogohara, N. Sato, Y. Kasaba,
T. Kouyama, N. Hirata, R. Nakamura, Y.
Yamamoto, N. Okada, T. Horinouchi, M.
Yamamoto, and Y. Hayashi, Overview of
Venus orbiter, Akatsuki, Earth Planets
Space 63, 査読有, 443-457, 2011.

Takagi, S. and N. Iwagami, Contrast
sources for the infrared images taken
by the Venus mission AKATSUKI, Earth
Planets Space 63, 査読有, 435-442,
2011.

Iwagami, N., T. Yamaji, S. Ohtsuki, and
G.L. Hashimoto, Hemispherical
distribution of CO above the Venus'
clouds by ground-based 2.3 μ m
spectroscopy, ICARUS 207, 査読有,
558-563, 2010

Satoh, T., Imamura, T., Hashimoto,
G.L., Iwagami, N., Mitsuyama, K.,
Sorahana, S., Drossart, P. and
Piccioni, G., Cloud structure in Venus

middle-to-lower atmosphere as inferred from VEX/VIRTIS 1.74- μm data, J. Geophys. Res. 114, 査読有, E00B37, 2009

[学会発表](計 56 件)

Hosouchi, M., T. Kouyama, N. Iwagami, S. Kano, S. Ohtsuki and M. Takagi, Venus Atmospheric waves at 60km by 1.7 μm ground observation, Symposium on Planetary Science 2015, 2015年2月17日, 東北大学(宮城県仙台市)

Kano, S., N. Iwagami and F. Suzuki, 5.0 μm Spectro-imaging of the Venus Dayside, Symposium on Planetary Science 2015, 2015年2月17日, 東北大学(宮城県仙台市)

Iwagami, N., M. Hosouchi, S. Kano and G.L. Hashimoto, Venusian 4.7 μm CO airglow, Symposium on Planetary Science 2015, 2015年2月17日, 東北大学(宮城県仙台市)

Suzuki, F., N. Iwagami, S. Kano and M. Hosouchi, Interpretation of Brightness Contrast of Venus in 5 μm , Symposium on Planetary Science 2015, 2015年2月17日, 東北大学(宮城県仙台市)

狩野咲美、岩上直幹 金星昼面 5 μm 分光撮像観測, 大気圏シンポジウム 2014年12月7日 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

高木聖子, A. Mahieux, V. Wilquet, S. Robert, R. Drummond, A.C. Vandaele, 岩上直幹, Venus Express 太陽掩蔽観測による金星上部もや層の研究, 大気圏シンポジウム 2014年12月7日 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

Iwagami, N., S. ROBERT, Ground-based IR observation of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere (revised), 地球電磁気・地球惑星圏学会第136回講演会 2014年11月1日信州大学(長野県松本市)

Kano, S., Iwagami, N., 5 μm spectro-imaging of the Venus dayside, 地球電磁気・地球惑星圏学会第136回講演会 2014年11月1日信州大学(長野県松本市)

細内麻悠, 神山徹, 岩上直幹, 大月祥子, 高木征弘, 今井正堯, 地上赤外観測による金星大気波動現象の解析, VMC/Venus Express および北大ピリカ天文台の紫外画像との比較研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会第136回講演会 2014年11月1日信州大学(長野県松本市)

高木聖子, A. Mahieux, S. Robert, V. Wilquet, R. Drummond, A.C. Vandaele, 岩上直幹, SOIR/VEX から明らかにする金星上部もや層の描像, 地球電磁気・地球惑星圏学会第136回講演会 2014年11月1日信州大学(長野県松本市)

岩上直幹 マウナケア作戦 (招待講演) 赤外分光研究会 2014年8月27日 京都産業大学(京都府)

TAKAGI, S., N. IWAGAMI, A. MAHIEUX, V. WILQUET, S. ROBERT, A. C. VANDAELE, Study of the Venus' upper haze, AOGS(Asia Oceania Geosciences Society), 30July 2014, Rayton Sapporo Hotel(北海道)

岩上直幹, 金星大気酸素同位体比, あかつきサイエンス会議 2014年6月5日 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

松井裕基、岩上直幹 金星大気D/H比, あかつきサイエンス会議 2014年6月5日 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

細内麻悠、岩上直幹 金星大気60km波動, あかつきサイエンス会議 2014年6月5日 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

高木聖子、岩上直幹 金星大気高高度もや層, あかつきサイエンス会議 2014年6月5日 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

高木聖子, A. Mahieux, V. Wilquet, A. C. Vandaele, 岩上直幹, 金星上部もや層の研究, 地球惑星科学連合大会 2014年4月30日 横浜パシフィコ(神奈川県横浜市)

大月祥子, 岩上直幹, S. Robert, 佐川英夫, 神山徹, 佐藤隆雄, IRTF/CSHELL 観測による金星 O₂ 大気光の時間変動, 地球惑星科学連合大会 2014年4月30日 横浜パシフィコ(神奈川県横浜市)

TAKAGI Seiko, N. Iwagami, Study of the Venus' upper haze, Symposium on Planetary Science 2014, 2014年2月20日東北大学(宮城県仙台市)

Hosouchi, M., T. Kouyama, N. Iwagami, S. Ohtsuki and M. Takagi Study of the images of Venus Express/VMC, comparing with the ground infrared observations, Symposium on Planetary Science 2014, 2014年2月20日東北大学(宮城県仙台市)

21 岩上直幹 ハワイ望遠鏡で金星ウォッチング(招待講演)あかつき応援企画 2013年12月8日 相模原市博物館(神奈川県相模原市)

市)

22 大月祥子, 岩上直幹, 金星 02 大気光層温度変化の地上観測, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 134 回講演会 2013 年 11 月 4 日, 高知大学(高知県高知市)

23 細内麻悠, 神山徹, 岩上直幹, 大月祥子, 高木征弘, スーパーローテーション加速域における金星大気波動現象の理解, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 134 回講演会 2013 年 11 月 4 日, 高知大学(高知県高知市)

24 IWAGAMI, N., G.HASHIMOTO, S. ROBERT, S. OHTSUKI, S. TAKAGI, Ground-based IR observation of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere, International Venus Workshop, 13 June 2013, Catania, Italy

25 TAKAGI, S., N. IWAGAMI, A. MAHIEUX, V. WILQUET, S. ROBERT, R. DRUMMOND, A.C. VANDAELE, High-altitude source for the Venus' upper haze found by SOIR/Venus Express, International Venus Workshop, 13 June 2013, Catania, Italy

26 岩上直幹, 金星にカメラを飛ばした(招待講演)関西城北会 2013 年 5 月 26 日, ホテル・グランビル(大阪府)

27 岩上直幹, はしもと じょーじ, 金星雲上酸素同位体比の赤外分光測定, 地球惑星科学連合大会 2013 年 5 月 20 日 幕張メッセ(千葉県)

28 高木聖子, A. Mahieux, V. Wilquet, A.C. Vandaele, 岩上直幹, 金星探査機 VenusExpress から明らかにする金星雲もや層の描像, 地球惑星科学連合大会 2013 年 5 月 20 日 幕張メッセ(千葉県)

29 大月祥子, 岩上直幹, S. Robert, 地上観測による金星 O₂ 大気光層温度分布地球惑星科学連合大会 2013 年 5 月 20 日 幕張メッセ(千葉県)

30 Iwagami, N., S. Ohtsuki, S. Takagi, G.L. Hashimoto, S. Robert, Quantification of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere, 大気圏シンポジウム 2013 年 2 月 29 日, 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

31 細内麻悠, 神山徹, 岩上直幹, 大月祥子, 高木征弘, スーパーローテーション加速域における金星大気波動現象の理解, 大気圏シンポジウム 2013 年 2 月 29 日, 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

32 TAKAGI, S., N. IWAGAMI, A. MAHIEUX, S.

ROBERT, V. WILQUET, R. DRUMMOND, A.C. VANDAELE, Study of the Venus cloud upper haze Symposium on Planetary Science 2013, 2013 年 2 月 21 日 東北大学(宮城県仙台市)

33 Iwagami, N., S. Ohtsuki, S. Takagi, G.L. Hashimoto and S. Robert, Quantification of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere and detection of SO a-X 1.7 um airglow, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回講演会 2012 年 10 月 22 日北海道大学(札幌市)

34 Takagi, S., A. MAHIEUX, S. ROBERT, V. WILQUET, R. DRUMMOND, A.C. VANDAELE, 岩上直幹, J-L. BERTAUX, 金星探査機 Venus Express から明らかにする金星雲もや層の描像, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回講演会 2012 年 10 月 22 日北海道大学(札幌市)

35 細内麻悠, 神山徹, 岩上直幹, 大月祥子, 高木征弘, 加速域における金星大気波動現象の理解, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回講演会 2012 年 10 月 22 日北海道大学(札幌市)

36 大月祥子, 岩上直幹, はしもとじょーじ, 高木聖子, S. ROBERT, 2012 年 7 月の CSHELL/IRTF による金星 02 大気光地上観測初期報告, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回講演会 2012 年 10 月 22 日北海道大学(札幌市)

37 高木聖子, 岩上直幹, Arnaud Mahieux, Valerie Wilquet, AnnCarine Vandaele, Venus Express SOIR・地上分光観測結果による金星全球雲モデルの構築地球惑星科学連合大会 2012 5月23日 幕張メッセ(千葉県)

38 松井裕基 岩上直幹, Venus Express/SOIRとの比較による金星大気D/H比検討地球惑星科学連合大会 2012 5月23日 幕張メッセ(千葉県)

39 大月祥子, 岩上直幹, 佐藤毅彦, あかつき搭載 1μm カメラ IR1:現状とこれまでの観測結果地球惑星科学連合大会 2012 5月23日 幕張メッセ(千葉県)

40 Takagi, S., A. Mahieux, S. Robert, V. Wilquet, R. Drummond, A.C. Vandaele, N. Iwagami, J.L. Bertaux, The SPICAV/SOIR team, A model to study the Venus cloud structure based on several Venus observations, wherein SOIR solar occultations on Venus Express, European Geoscience Union, 2012 年 4 月 15 日 Viena (オーストリア)

41 Matsui, H., A. Mahieux, S. Robert, V. Wilquet, R. Drummond, A.C. Vandaele, F. Montmessin, N. Iwagami, J.L. Bertaux, The SPICAV/SOIR team, Investigation of the HD0/H2O ratio on Venus from SOIR solar occultations on board Venus Express, European Geoscience Union, 2012年4月15日 Viena (オーストリア)

42 Iwagami, N., H.Matsui and G.L. Hashimoto, Does D/H ratio in Venus atmosphere increase with height?, Symposium on Planetary Science 2012年4月4日 東北大学(宮城県仙台市)

43 Taguchi, M., T. Fukuhara, M. Futaguchi, T. Imamura, M. Nakamura, M. Ueno, M. Suzuki, N. Iwagami, M. Sato, K. Mitsuyama and G. L. Hashimoto, The atmospheric structure in the cloud-top altitude region of Venus, Symposium on Planetary Science 2012年4月4日 東北大学(宮城県仙台市)

44 Hosouchi, M., T.Kouyama, N.Iwagami, S.Ohtsuki and M.Takagi, Wave signature found at 60 km in the Venus atmosphere, Symposium on Planetary Science 2012年4月4日 東北大学(宮城県仙台市)

45 Takagi, S., A. Mahieux, S. Robert, V. Wilquet, R. Drummond, A.C. Vandaele, N. Iwagami, J.L. Bertaux, and The SPICAV/SOIR team, A model to study the Venus cloud structure based on several Venus observations, wherein SOIR occultation on Venus Express, Symposium on Planetary Science 2012年4月4日 東北大学(宮城県仙台市)

46 Ohtsuki, S and Iwagami N., O₂ 1.27 μm airglow on Venus by ground-based observation, France-Japan Sakura meeting 6 Mar.2012 Paris (フランス)

47 Takagi, S. Iwagami N. and V. Wilquet, Optical extinction due to aerosols above the Venus clouds as observed with SOIR on board VEX, France-Japan Sakura meeting 6 Mar.2012 Paris (フランス)

48 岩上直幹「金星にカメラをとばした！」(招待講演)アストロトーク 2012年1月8日 千葉市科学館(千葉市)

49 Hosouchi M. and Iwagami N., Wave signature found in the Venus cloud region by CO₂ absorption, Venus atmospheric waves workshop 25 Nov 2011, ESTEC (オランダ)

51 Ohtsuki S. and Iwagami N., O₂ 1.27 μm airglow on Venus by ground-based observation, Venus atmospheric waves workshop 25 Nov 2011, ESTEC (オランダ)

51 Iwagami, N., Source of positive gradient of D/H ratio above the clouds, France-Japan Venus meeting 22 Nov 2011, 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)

52 高木聖子、岩上直幹、Venus Express・地上分光観測結果と放射輸送計算による金星全球雲モデルの構築、地球電磁気・地球惑星圏学会第130回講演会 2011年11月3日 神戸大学(神戸市)

53 細内麻悠、岩上直幹、大月祥子、高木征弘、地上観測およびVenus Expressによる金星大気波動解析、地球電磁気・地球惑星圏学会第130回講演会 2011年11月3日 神戸大学(神戸市)

54 松井裕基、岩上直幹、細内麻悠、金星雲上における HD0 の緯度分布定量、地球電磁気・地球惑星圏学会第130回講演会 2011年11月3日 神戸大学(神戸市)

55 Hosouchi, M. and Iwagami, N., Wave signature found in the Venus cloud region by CO₂ absorption, Planetary Science meeting 4 Oct 2011, Nanto (フランス)

56 Ohtsuki, S. and Iwagami, N., O₂ 1.27 μm airglow on Venus by ground-based observation, Planetary Science meeting 4 Oct 2011, Nanto (フランス)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1) 研究代表者
岩上 直幹 (IWAGAMI Naomoto)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 30143374