

Title	金星大気の衛星間電波掩蔽観測計画に向けた観測システムシミュレーション実験
Sub Title	Observation system simulation experiment for intersatellite radio occultation observation mission of Venus' atmosphere
Author	藤澤, 由貴子(Fujisawa, Yukiko) 杉本, 憲彦(Sugimoto, Norihiko) 森本, 睦子(Morimoto, Mutsuko)
Publisher	
Publication year	2024
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2023.)
JaLC DOI	
Abstract	金星探査機「あかつき」に続く金星の衛星探査計画において、金星の周囲に複数の小型衛星を配置した衛星間の電波掩蔽観測が候補として期待されるが、これは地球以外では初めての試みとなる。本研究では、世界初の金星データ同化システムを用いて観測システムシミュレーション実験（OSSE）を行った。軌道計算により得られる観測範囲や観測頻度について、これをさまざまに変化させたOSSEを実施し、金星衛星間電波掩蔽観測の有効性を調査した。 Radio occultation observations between multiple small satellites on Venus are expected to be a candidate for the Venus satellite mission following the Venus Orbiter 'Akatsuki'. This is the first attempt on a planet other than Earth. In this study, we conducted 'Observation System Simulation Experiments (OSSE)' using the Venus data assimilation system developed for the first time in the world. We conducted OSSE with various observation ranges and observation frequencies obtained from orbit calculations, and investigated the effectiveness of the intersatellite radio occultation observations on Venus.
Notes	研究種目：基盤研究 (C) (一般) 研究期間：2020～2023 課題番号：20K04064 研究分野：惑星気象学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20K04064seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04064

研究課題名 (和文) 金星大気の高層電波掩蔽観測計画に向けた観測システムシミュレーション実験

研究課題名 (英文) Observation system simulation experiment for intersatellite radio occultation observation mission of Venus' atmosphere

研究代表者

藤澤 由貴子 (FUJISAWA, Yukiko)

慶應義塾大学・自然科学研究教育センター (日吉)・研究員

研究者番号：00868185

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,300,000 円

研究成果の概要 (和文) : 金星探査機「あかつき」に続く金星の高層電波掩蔽観測計画において、金星の周囲に複数の小型衛星を配置した高層電波掩蔽観測が候補として期待されるが、これは地球以外では初めての試みとなる。本研究では、世界初の金星データ同化システムを用いて観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を行った。軌道計算により得られる観測範囲や観測頻度について、これをさまざまに変化させたOSSEを実施し、金星高層電波掩蔽観測の有効性を調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金星高層電波掩蔽観測の有効性を調査した本研究は、新しい金星の高層電波掩蔽観測計画の推進に寄与するものである。また観測システムシミュレーション実験は、地球では観測機器の導入や調整等に用いられているが、地球に比べて観測や数値シミュレーションモデルが未熟な金星大気では、これまでに行われた例はなかった。観測システムシミュレーション実験が金星においても衛星軌道や観測計画を最適化するために利用でき、将来の観測計画の立案に有効であることを示した。

研究成果の概要 (英文) : Radio occultation observations between multiple small satellites on Venus are expected to be a candidate for the Venus satellite mission following the Venus Orbiter 'Akatsuki'. This is the first attempt on a planet other than Earth. In this study, we conducted 'Observation System Simulation Experiments (OSSE)' using the Venus data assimilation system developed for the first time in the world. We conducted OSSE with various observation ranges and observation frequencies obtained from orbit calculations, and investigated the effectiveness of the intersatellite radio occultation observations on Venus.

研究分野：惑星気象学

キーワード：高層電波掩蔽観測 観測システムシミュレーション実験 データ同化 金星大気 大気大循環モデル

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 金星は、全球を高度 45~70 km にある厚い雲層が覆っており、大気内部の観測が難しい。金星探査機「あかつき」のカメラ観測によって、雲頂付近の東西風速や温度は明らかにされてきたが、大気の鉛直構造については十分な観測はなされていない。あかつき観測では、探査機と地球地上局との間で電波掩蔽観測（探査機からの電波を金星の大気中を通るように地球地上局に送信することで、高度 40~100 km あたりの温度分布を観測する）が行われているが、金星を周回する探査機が頻繁に金星の裏にかくれてしまい、大気を通して地球に送信できる位置関係にない時が多いため、頻回な観測は不可能である。あかつきの後継となる金星の衛星探査計画を策定する上で、金星の周囲に複数の小型衛星を配置した衛星間の電波掩蔽観測が候補として期待される。この観測により温度の鉛直分布の多地点連続観測が可能になる。

(2) 観測システムシミュレーション実験 (OSSE) は、仮想の観測に基づいた疑似的な観測データを用意して、データ同化の技術を用いて数値モデルに取り込むことで、仮想の観測網の有効性の評価や数値モデル精度の向上を行うものである。OSSE は地球の大気海洋分野において、既存の観測システムの最適化、新しい観測計画の検証等に不可欠なものとなっている。しかしながら、OSSE の惑星大気の観測計画への活用は初期段階にある。特に観測や数値モデル開発が不十分な金星ではこれまでに実施した例はなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、複数の小型衛星を用いた衛星間電波掩蔽観測観測を想定した OSSE を実施し、観測の実現可能性と有効性を実証する。複数衛星の軌道に対して、そこで得られる温度の疑似観測データを同化することで、観測ターゲットとする大気現象の再現性を元に、観測範囲や観測頻度を様々に変えた場合の各軌道の有効性を評価する。

(2) 本研究は、我々のグループがこれまでに開発してきた、海洋開発研究機構が有するスーパーコンピュータである地球シミュレータ上で稼働する金星大気大循環モデル AFES-Venus、及び世界初の金星大気データ同化システム ALEDAS-V を用いることで実現できる世界初の試みである。OSSE が今後の金星探査計画の立案において、衛星軌道や観測計画を最適化するためにも使用できることを示す。OSSE が将来のより効果的な観測計画を立てることができることを示し、新しい惑星大気研究の方法を提案するものである。

3. 研究の方法

(1) 本研究は、衛星軌道や観測条件を様々に設計し、観測ターゲットとする大気現象が適切に表現されたモデルの出力から疑似観測データを作成し、データ同化を実行してその観測を評価する、という 3つの研究を再帰的に繰り返す。適切な観測条件を探索するため、1つのテーマの OSSE に対して多数の試行が必要となる。

(2) あかつきの後継となる次期金星衛星探査計画では、衛星間電波掩蔽観測だけでなく、あかつきと同等のカメラ観測を行う案も検討されている。あかつきでは、紫外イメージャ (UVI) の画像の雲追跡から得られる水平風速、中間赤外カメラ (LIR) の画像から導出された温度の水平分布等の金星大気データが蓄積されてきている。また、観測ターゲットとする大気現象の時間空間スケールによって、適切な観測機器の選択が必要であろう。このため、本研究では、当初の計画の衛星間電波掩蔽観測の OSSE に加え、あかつきと同等のカメラ観測による OSSE も実施し、双方の OSSE の経験を積み上げることとした。当初の研究目的に比べ、電波掩蔽観測の有効性をより客観的に評価できるようになった。

(3) 本研究では、衛星間電波掩蔽観測を想定した 2種類の OSSE に加え、様々な波長帯におけるカメラ観測を想定した 2種類の OSSE を実施した。研究計画当初に挙げた 4つの大気現象（コールドカラー、惑星規模赤道ケルビン波、熱潮汐波、スーパーローテーション）の再現性調査を実施し、有効な衛星軌道や観測条件について調査した。

4. 研究成果

(1) 小型衛星間の電波掩蔽観測の観測システムシミュレーション実験（引用文献⑥）

将来の金星衛星探査に役立つことが期待される小型衛星間の電波掩蔽観測のための OSSE を実施した。現実的な軌道計算に基づく観測の有効性は、金星の極大気における独特の熱構造「コー

ルドカラー」の再現性によって評価した。

コールドカラーとは、金星大気における高度約 65km 付近、緯度 60 度から 80 度の暖かい極渦を取り囲む寒冷帯である。これらは 1980 年に実施された NASA の金星探査機 Pioneer Venus が赤外線を使った観測によって発見され、現在でも存在することが確認されている。2000 年代に行われた ESA の金星探査機 Venus Express のカメラ観測などから極域大気の水平構造は頻繁に観測されているが、鉛直構造に関する観測は少ない。また、金星大気大循環モデルによる数値シミュレーションにおいても、金星の力学的機構をふまえた形で適切に再現されるような段階には至っていない。

本研究では、Ao 博士 (NASA ジェット推進研究所) による複数衛星の軌道計算によって得られた電波掩蔽観測の観測点を用いて、温度の鉛直分布観測の有効性を調査した。衛星の配置は図 1 の通りであり、最大 3 基の衛星を用いた極軌道観測を想定している。OSSE に用いる疑似観測データは、Lebonnois 博士 (フランス気象力学研究室) による金星大気大循環モデル出力を用いた。このモデルは放射強制によりコールドカラーを意図的に再現しているモデルである。我々の大気大循環モデル AFES-Venus では、現状の設定ではコールドカラーは再現されておらず、OSSE の結果はコールドカラーの再現性によって評価する。

図 2 は、北極から見た高度 67km の温度である。衛星を 3 基用いた OSSE (実験 P1P2P3) では、極域がその周辺より暖かく、最も鮮明にコールドカラーが再現された。衛星 3 基を用いた実験では、極域が周辺よりも暖かくなるまでに高緯度を 1 日に 2 回程度、5 地球日程度を要する (図 2 では 10 日後にはすでに極域が暖かい様子が確認できる)。このことから、少なくともコールドカラーを再現するためには、約 5 地球日以上にわたる連続観測が必要であることが示唆される。また観測頻度の低い 2 基のみを用いた OSSE では極域が温まるのにより時間がかかることも分かった。

極域の循環場を確認したところ、下降流が強化されることが分かった。先行研究ではコールドカラーは極域の下降流による断熱加熱によって暖められることによって生じるという主張がなされており、本研究はそれを支持する結果となった。また温度のみの同化にも関わらず、平均東西風 (スーパーローテーション) の改善も見られ、今回の OSSE により、電波掩蔽観測は、数値モデルにおいて、高度 40~90km の広い範囲で、極域だけでなく全球大気循環の改善に役立つことを示唆する結果となった。

小型衛星間の電波掩蔽観測の有効性をより客観的に評価するため、Venus express と同等の LIR 観測について OSSE を行ったが、本実験設定においては LIR 観測の OSSE 結果に比べ、電波掩蔽観測の OSSE 結果の方が安定的にコールドカラーの再現が維持された。衛星間の電波掩蔽観測用の小型衛星の打ち上げは、一般に LIR 機器用の大型衛星よりもコストが低くなる。今後、実際の惑星ミッションでは、こうした予算状況だけでなく、OSSE の結果も勘案しながら進めていくことができるようになるだろう。

本研究は、小型衛星間の電波掩蔽観測は、金星大気観測において有効な手段であることを示した。これは現在検討が続けられている、次期金星探査計画の推進をサポートする結果である。また、OSSE は、地球のみならず金星大気においても、特定の大気現象の再現性の観点から、衛星軌道や観測計画を最適化するためにも使用でき、将来のより効果的な観測計画を立てることができることを示した。さらに、OSSE による現象の再現性はその現象を取り巻く力学的機構にも及んでいることから、今後はコールドカラーのみならず様々な現象の力学的機構を解明するために利用することも期待できる。

本研究は、IUGG (国際測地学・地球物理学連合) 2023 総会をはじめとする国内外の学会で発表し、引用文献⑥として学術誌に出版した。

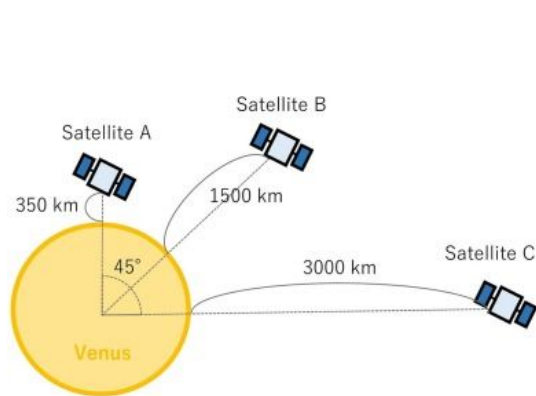


図 1 衛星の位置関係。軌道計算における初期状態を示す。

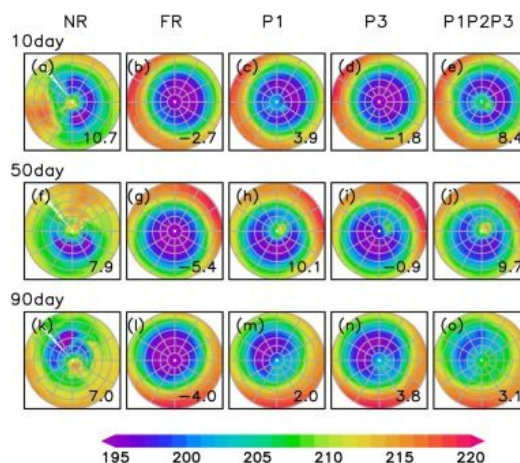


図 2 北極から見た高度 67km の温度。左列から NR (疑似観測のフランスのモデル出力)、FR (AFES-Venus)、P1、P2 (衛星 3 基のうち 2 基のみを用いた OSSE の結果)、P1P2P3 (衛星 3 基を用いた OSSE の結果)、上段から実験から 10、50、90 日目の結果を示す。

(2) 金星小型衛星間電波掩蔽観測の軌道検討 (引用文献①)

将来の金星衛星探査に役立つことが期待される小型衛星間の電波掩蔽観測の現実的な軌道について検討を行った。引用文献⑥のような理想的な軌道は、軌道投入時の衛星の状況や燃料コストを考えると現実には難しい。観測頻度と燃料コストの両方を最大化する最適な軌道配置について検討を行った。次期金星探査計画において現実的な知見を提供するものである。本研究は、引用文献①として学術誌に出版した。

本衛星軌道は引用文献⑥の軌道と比較して低緯度に多く観測点が配置されるため、OSSE において熱潮汐波やスーパーローテーションの再現性が期待できる。この OSSE の結果については、JpGU (日本地球惑星科学連合) 2021 年大会をはじめとする学会で発表し、現在学術誌への投稿準備を進めている。

(3) 紫外イメージャ (UVI) 観測の観測システムシミュレーション実験 (引用文献②③)

あかつきの UVI 画像の雲追跡から得られる雲層上端部の水平風速は、これまでに様々な金星大気現象を明らかにしてきている。本研究では、将来の金星衛星探査計画に向けて、あかつきの観測上の制約を取り払った OSSE を実施し、より有効な観測条件について調査した。観測の有効性は、惑星規模波動であるケルビン波の再現性によって評価した。

金星大気の雲頂における惑星規模の4日周期のケルビン波は1980年代から報告されているが、これらの波は金星大気大循環モデルでは再現が難しい。近年の研究から惑星規模波が金星の最大の謎とされるスーパーローテーションの生成維持に寄与していると言われており、ケルビン波の構造や役割を解明することは金星大気研究における大きな関心事である。

本研究では、山本勝准教授(九州大学)によるケルビン波強制を加えた CCSR/NIES 金星 AGCM、及び神山徹研究員(産業総合研究所)によるケルビン波を陽に表現する線形3次元モデルにおける雲頂高度である高度 70km の出力を疑似観測データに用いた。我々の大気大循環モデル AFES-Venus では、現状の設定ではケルビン波の出現は弱く、OSSE の結果はケルビン波の再現性によって評価する。

実験の結果、ケルビン波の再現のためには、日中の緯度 15 度以内という限られた領域で6時間おきの観測があれば、十分にケルビン波を再現することができた。また、ケルビン波のスーパーローテーションの加速への寄与について定量的な見積もりを示した。本研究は、(1)で示したような次期金星探査計画の推進への寄与のみならず、あかつき UVI 観測により得られる水平風速を同化することで得られる客観解析データ(引用文献④)について、その作成過程における基礎資料として利用された。

本研究は、JpGU (日本地球惑星科学連合) 2021 年大会をはじめとする学会で発表し、引用文献②③として学術誌に出版した。また、本研究の続きとして、惑星規模波動の1つであるロスビー波の再現性についても調査しており、日本気象学会 2023 年度秋季大会をはじめとする学会で発表し、現在学術誌への投稿準備を進めている。

(4) 中間赤外カメラ (LIR) 観測の観測システムシミュレーション実験 (引用文献⑤)

UVI から得られる水平速度の OSSE (引用文献②③) に続いて、LIR から得られる温度について、あかつきの観測上の制約を取り払った OSSE を実施し、より有効な観測条件について調査した。観測の有効性は、熱潮汐波の再現性によって評価した。

太陽加熱は、熱潮汐波と呼ばれる惑星大気中の惑星規模の大気波を励起し、一般に太陽の日周運動とともに移動する。金星では、金星の雲で太陽加熱が大量に吸収されるため、熱潮汐波が雲層(高度 45~70km)で強く励起される。先行研究より熱潮汐波は運動量輸送を通じてスーパーローテーションの生成維持に重要な役割を果たしていると考えられている。

本研究では、我々の大気大循環モデル AFES-Venus 自身の出力を疑似観測データに用いた。AFES-Venus では、熱潮汐波の赤道域における波数2の構造について、その位相に観測との大幅なずれが確認されている。このため、東西方向にデータを30度ずらした疑似観測データを高度70kmに同化し、結果は熱潮汐波の位相の改善性によって評価する。

実験の結果、熱潮汐波の位相には、日中もしくは夜間の6時間おきの観測で、温度のみならず水平風についても改善が見られた。また、全球的に高度60~80kmの広い領域で温度や水平風に変化をもたらした。熱潮汐波の改善は、その運動量や熱輸送の変化を通じて大循環に大きな影響を与えることを示唆している。

本研究は、(1)、(3)で示したように、次期金星探査計画の推進への寄与のみならず、あかつきの LIR により得られる温度を同化することで得られる客観解析データを作成する上で、その基礎資料として利用している。

本研究は、JpGU (日本地球惑星科学連合) 2021 年大会をはじめとする学会で発表し、引用文献⑤として学術誌に出版した。

<引用文献>

- ① Yamamoto, T., Ikari, S., Ando, H., Imamura, T., Hosono, A., Abe, M., Fujisawa, Y.,

- Sugimoto, N., Kawabata, Y., Funase, R., Nakasuka, S., 2021: Orbit Design Optimization for Planetary Crosslink Radio Occultation. JOURNAL OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES 69(5), 179-186, <https://doi.org/10.2322/jjsass.69.179>.
- ② Sugimoto, N., Fujisawa, Y., Shirasaka, M., Hosono, A., Abe, M., Ando, H., Takagi, M., Yamamoto, M., 2021: Observing System Simulation Experiment to Reproduce Kelvin Wave in the Venus Atmosphere. Atmosphere, Vol.12, No.1, 14, 16pp, doi:10.3390/atmos12010014.
 - ③ Sugimoto, N., Fujisawa, Y., Shirasaka, M., Abe M., Murakami Sy., Kouyama, T., Ando, H., Takagi, M., Yamamoto, M., 2022: Kelvin Wave and Its Impact on the Venus Atmosphere Tested by Observing System Simulation Experiment. Atmosphere 2022, 13, 182. <https://doi.org/10.3390/atmos13020182>.
 - ④ Fujisawa, Y., Murakami, Sy., Sugimoto, N, Takagi, M., Imamura, T., Horinouchi, T., Hashimoto, G. L., Ishiwatari, M., Enomoto, T., Miyoshi, T., Kashimura, H., Hayashi, Y.-Y. 2022: The first assimilation of Akatsuki single-layer winds and its validation with Venusian atmospheric waves excited by solar heating. Sci Rep 12, 14577. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18634-6>.
 - ⑤ Sugimoto, N., Fujisawa, Y., Komori, N., Ando, H., Kouyama T., Takagi, M, 2022: Akatsuki LIR observing system simulation experiments evaluated by thermal tides in the Venus atmosphere. Geosci. Lett., Vol.9, 44, <https://doi.org/10.1186/s40562-022-00253-8>.
 - ⑥ Fujisawa, Y., Sugimoto, N., Ao, O.C., Hosono, A., Ando, H., Takagi, M., Garate-Lopez, I., Lebonnois, S., 2023: Evaluation of new radio occultation observations among small satellites at Venus by data assimilation. Icarus, 406, 115728, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115728>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Fujisawa Yukiko, Sugimoto Norihiko, Ao Chi O., Hosono Asako, Ando Hiroki, Takagi Masahiro, Garate-Lopez Itziar, Lebonnois Sebastien	4. 巻 406
2. 論文標題 Evaluation of new radio occultation observations among small satellites at Venus by data assimilation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 115728～115728
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.icarus.2023.115728	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Ando Hiroki, Fujisawa Yukiko, Sugimoto Norihiko, Takagi Masahiro, Matsuda Yoshihisa	4. 巻 128
2. 論文標題 Cold Collar Reproduced by a Venus GCM With the Akatsuki Horizontal Wind Assimilation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Planets	6. 最初と最後の頁 —
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JE007689	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 Fujisawa Yukiko, Murakami Shin-ya, Sugimoto Norihiko, Takagi Masahiro, Imamura Takeshi, Horinouchi Takeshi, Hashimoto George L., Ishiwatari Masaki, Enomoto Takeshi, Miyoshi Takemasa, Kashimura Hiroki, Hayashi Yoshi-Yuki	4. 巻 12
2. 論文標題 The first assimilation of Akatsuki single-layer winds and its validation with Venusian atmospheric waves excited by solar heating	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 —
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-18634-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Sugimoto Norihiko, Fujisawa Yukiko, Komori Nobumasa, Ando Hiroki, Kouyama Toru, Takagi Masahiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Akatsuki LIR observing system simulation experiments evaluated by thermal tides in the Venus atmosphere	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoscience Letters	6. 最初と最後の頁 —
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40562-022-00253-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Sugimoto Norihiko, Fujisawa Yukiko, Komori Nobumasa, Kashimura Hiroki, Takagi Masahiro, Matsuda Yoshihisa	4. 巻 75
2. 論文標題 Super-rotation independent of horizontal diffusion reproduced in a Venus GCM	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 —
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-023-01806-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

1. 著者名 Sugimoto Norihiko, Fujisawa Yukiko, Kashimura Hiroki, Noguchi Katsuyuki, Kuroda Takeshi, Takagi Masahiro, Hayashi Yoshi-Yuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Generation of gravity waves from thermal tides in the Venus atmosphere	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24002-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

1. 著者名 Yamamoto Tomotaka, Ikari Satoshi, Ando Hiroki, Imamura Takeshi, Hosono Asako, Abe Mirai, Fujisawa Yukiko, Sugimoto Norihiko, Kawabata Yosuke, Funase Ryu, Nakasuka Shinichi	4. 巻 69
2. 論文標題 Orbit Design Optimization for Planetary Crosslink Radio Occultation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOURNAL OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 179~186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/jjsass.69.179	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 Sugimoto Norihiko, Fujisawa Yukiko, Shirasaka Mimo, Abe Mirai, Murakami Shin-ya, Kouyama Toru, Ando Hiroki, Takagi Masahiro, Yamamoto Masaru	4. 巻 13
2. 論文標題 Kelvin Wave and Its Impact on the Venus Atmosphere Tested by Observing System Simulation Experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 182~182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos13020182	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

1. 著者名 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 安藤紘基, 高木征弘, AFES-Venusチーム, ALEDAS-Vチーム	4. 巻 31
2. 論文標題 一番星へ行こう！日本の金星探査機の挑戦 その49「金星大気初のデータ同化への挑戦：あかつき観測と数値計算の融合」	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 遊・星・人, 日本惑星科学会	6. 最初と最後の頁 88～93
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Sugimoto Norihiko, Fujisawa Yukiko, Shirasaka Mimo, Hosono Asako, Abe Mirai, Ando Hiroki, Takagi Masahiro, Yamamoto Masaru	4. 巻 12
2. 論文標題 Observing System Simulation Experiment to Reproduce Kelvin Wave in the Venus Atmosphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 1～14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/atmos12010014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

〔学会発表〕 計49件（うち招待講演 4件／うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Norihiko Sugimoto, Chi Ao, Asako Hosono, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Itziar Garate Lopez, Sebastien Lebonnois
2. 発表標題 Reproducibility of Cold Collar by Observation System Simulation Experiment on Venus
3. 学会等名 JpGU Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Norihiko Sugimoto, Yukiko Fujisawa, Nobumasa Komori, Hiroki Kashimura, Masahiro Takagi, Yoshihisa Matsuda
2. 発表標題 Super-rotation independent of horizontal diffusion reproduced in a Venus GCM (AFES-Venus)
3. 学会等名 IUGG BERLIN 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Norihiko Sugimoto, Chi Ao, Asako Hosono, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Itziar Garate Lopez, Sebastien Lebonnois
2. 発表標題 Observation system simulation experiment for new radio occultation observations using multiple small satellites on Venus.
3. 学会等名 IUGG BERLIN 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ando Hiroki, Yukiko Fujisawa, Norihiko Sugimoto, Masahiro Takagi, Yoshihisa Matsuda
2. 発表標題 Thermal Structure of the Upper Atmosphere in the Venusian Polar Region Simulated by a GCM with the Akatsuki Horizontal Wind Assimilation.
3. 学会等名 AOGS2023 20th Annual Meeting
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉本憲彦, 藤澤由貴子 小守信正, 檜村博基, 高木征弘, 松田佳久
2. 発表標題 AFES-Venus で再現された水平超粘性に依存しないスーパーローテーション
3. 学会等名 日本海洋学会 2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小守信正, 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 阿部未来, 神山徹, 安藤紘基, 高木征弘, 山本勝
2. 発表標題 UVI 雲追跡風の観測システムシミュレーション実験によるロスビー波の再現とその金星大気循環への影響
3. 学会等名 日本海洋学会 2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	Norihiko Sugimoto, Yukiko Fujisawa, Nobumasa Komori, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Hiroki Kashimura, Yoshihisa Matsuda, AFES-Venus team & ALEDAS-V team
2. 発表標題	General circulation model (AFES-Venus) and data assimilation system (ALEDAS-V) for the Venus Atmosphere.
3. 学会等名	55th Annual Division for Planetary Sciences (DPS) meeting joint with the Europlanet Science Congress (EPSC)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Yukiko Fujisawa, Norihiko Sugimoto, Nobumasa Komori, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Toru Kouyama, Masaru Yamamoto, Chi Ao, Itziar Garate-Lopez, Sebastien Lebonnois, AFES-Venus & ALEDAS-V teams
2. 発表標題	Series of Observation System Simulation Experiments for the Venusian atmosphere.
3. 学会等名	9th International Symposium on Data Assimilation
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Nohiriko Sugimoto, Yukiko Fujisawa, Nobumasa Komori, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Hiroki Kashimura, AFES-Venus & ALEDAS-V teams
2. 発表標題	AFES (GCM) LETKF Data Assimilation System for Venus.
3. 学会等名	9th International Symposium on Data Assimilation
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	萩野藍霞, 野口克行, 安藤紘基, 今村剛, 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 高木征弘
2. 発表標題	金星探査機あかつきによる電波掩蔽観測で得られた鉛直気温構造に関する研究
3. 学会等名	日本気象学会 2023 年度秋季大会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 小守信正, 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 阿部未来, 神山徹, 安藤紘基, 高木征弘, 山本勝
2. 発表標題 UVI 雲追跡風の観測システムシミュレーション実験によるロスビー波の再現とその金星大気循環への影響
3. 学会等名 日本気象学会 2023 年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤澤由貴子, 杉本憲彦, 小守信正, 安藤紘基, 高木征弘, 村上真也, 神山徹
2. 発表標題 あかつき中間赤外カメラから得られる温度を用いた金星データ同化実験
3. 学会等名 日本気象学会 2023 年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小守信正, 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 阿部未来, 神山徹, 安藤紘基, 高木征弘, 山本勝
2. 発表標題 UVI雲追跡風の観測システムシミュレーション実験によるロスビー波の再現とその金星大気循環への影響
3. 学会等名 第25回惑星圏研究会 (SPS2024)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa
2. 発表標題 Data assimilation with AKATSUKI winds and temperature.
3. 学会等名 Workshop on Venus and other related atmospheres
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 杉本 憲彦, 藤澤 由貴子, 檜村 博基, 野口 克行, 黒田 剛史, 高木 征弘, 林 祥介
2. 発表標題 金星大気における熱潮汐波からの自発的な重力波放射
3. 学会等名 JpGU Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Shin-ya Murakami, Norihiko Sugimoto, Masahiro Takagi, Takeshi Imamura, Takeshi Horinouchi, George L. Hashimoto, Masaki Ishiwatari, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, Hiroki Kashimura, Yoshi-Yuki Hayashi
2. 発表標題 Thermal tides in assimilation experiments using horizontal winds obtained from Akatsuki UVI observations
3. 学会等名 COSPAR 2022 44th Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Shin-ya Murakami, Norihiko Sugimoto, Masahiro Takagi, Takeshi Imamura, Takeshi Horinouchi, George L. Hashimoto, Masaki Ishiwatari, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, Hiroki Kashimura, Yoshi-Yuki Hayashi
2. 発表標題 Venus' thermal tides in assimilation experiments using horizontal winds derived from Akatsuki UVI observations
3. 学会等名 AOGS 2022 VIRTUAL 19th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本 憲彦, 藤澤 由貴子, 小守 信正, AFES-Venusチーム, ALEDAS-Vチーム
2. 発表標題 AFES-Venusによる「あかつき」データ同化の試み
3. 学会等名 日本海洋学会 2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Shin-ya Murakami, Norihiko Sugimoto, Masahiro Takagi, Takeshi Imamura, Takeshi Horinouchi, George L. Hashimoto, Masaki Ishiwatari, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, Hiroki Kashimura, Yoshi-Yuki Hayashi
2. 発表標題 Thermal tides reproduced in the assimilation results of horizontal winds obtained from Akatsuki UVI observations
3. 学会等名 Europlanet Science Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤澤由貴子, 杉本憲彦, Chi Ao, 細野朝子, 安藤紘基, 高木征弘, Itziar Garate Lopez, Sebastien Lebonnois
2. 発表標題 金星大気の次期衛星観測を想定したデータ同化によるコールドカラー再現実験
3. 学会等名 日本気象学会 2022 年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤紘基, 藤澤由貴子, 杉本憲彦, 松田佳久
2. 発表標題 あかつき水平風速データ同化を用いた金星大気大循環モデルによるコールドカラーの再現
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第151回総会及び講演会 (2022年秋学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩野藍霞, 野口克行, 安藤紘基, 今村剛, 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 高木征弘
2. 発表標題 金星探査機あかつきによる電波掩蔽観測で得られた気温擾乱に関する研究
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第151回総会及び講演会 (2022年秋学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤澤由貴子
2. 発表標題 データ同化による金星探査機「あかつき」観測データの利活用
3. 学会等名 2022年度 第3回J-STAGEセミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤澤由貴子
2. 発表標題 電波掩蔽観測の観測システムシミュレーション実験によるコールドカラー再現性，あかつき解析プロダクトの公開準備について
3. 学会等名 金星大気の観測・シミュレーション・データ同化に関する研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Shin-ya Murakami, Norihiko Sugimoto, Masahiro Takagi, Takeshi Imamura, Takeshi Horinouchi, George HASHIMOTO, Masaki Ishiwatari, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, Yoshi-Yuki Hayashi
2. 発表標題 Data assimilation of horizontal wind obtained from Akatsuki UVI observations focusing on thermal tides and attempts to produce Venus first analysis
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Norihiko Sugimoto, Mirai Abe, Asako Hosono, Momo Shirasaka, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Chi Ao, Itziar Garate Lopez, Sebastien Lebonnois, Tomotaka Yamamoto, Yosuke Kawabata, Satoshi Ikari, Takeshi Imamura, Masaru Yamamoto, Shin-ya Murakami, Masataka Imai, Toru Kouyama
2. 発表標題 Observing system simulation experiments for new satellite observation missions on Venus
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤澤 由貴子, 杉本 憲彦, 阿部 未来, 細野 朝子, 白坂 翠萌, 安藤 紘基, 高木 征弘, Ao Chi, Garate Lopez Itziar, Lebonnois Sebastie, 山本 智貴, 川端 洋輔, 五十里 哲, 今村 剛, 山本 勝, 村上 真也, 今井 正堯, 神山 徹
2. 発表標題 金星大気の新しい衛星観測計画に向けた観測システムシミュレーション実験
3. 学会等名 日本惑星科学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤澤 由貴子, 村上 真也, 杉本 憲彦, 高木 征弘, 今村 剛, 堀之内 武, はしもと じょーじ, 石渡 正樹, 榎本 剛, 三好 建正, 林 祥介
2. 発表標題 あかつき観測から得られる水平風速を用いた客観解析データ作成の試み
3. 学会等名 日本惑星科学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤澤 由貴子, 村上 真也, 杉本 憲彦, 高木 征弘, 今村 剛, 堀之内 武, はしもと じょーじ, 石渡 正樹, 榎本 剛, 三好 建正, 林 祥介
2. 発表標題 金星探査機「あかつき」の水平風速を用いた客観解析データ作成の試み
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第150回総会及び講演会（2021年秋学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤澤 由貴子, 村上 真也, 杉本 憲彦, 高木 征弘, 今村 剛, 堀之内 武, はしもと じょーじ, 石渡 正樹, 榎本 剛, 三好 建正, 林 祥介
2. 発表標題 熱潮汐波に着目したあかつき水平風速のデータ同化 ― 金星客観解析データ作成の試み―
3. 学会等名 日本気象学会 2021 年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本 憲彦, 藤澤 由貴子, 檜村 博基, 野口 克行, 黒田 剛史, 高木 征弘, 林 祥介
2. 発表標題 金星大気中の自発的な重力波放射の数値実験
3. 学会等名 日本気象学会 2021 年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本 憲彦, 藤澤 由貴子, 安藤 紘基, 高木 征弘, AFES-Venusチーム, ALEDAS-Vチーム
2. 発表標題 金星大気大循環モデルとデータ同化システムの紹介
3. 学会等名 惑星圏研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤 紘基, 五十里 哲, 今村 剛, 川端 洋輔, 山本 智貴, 杉本 憲彦, 高木 征弘, 佐川 英夫, 藤澤 由貴子, 船瀬 龍
2. 発表標題 複数の小型衛星を用いた金星衛星間電波掩蔽観測についての検討
3. 学会等名 惑星圏研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤澤 由貴子
2. 発表標題 金星データ同化システム ALEDAS-V による客観解析データの作成と観測システムシミュレーション実験
3. 学会等名 金星大気の観測・シミュレーション・データ同化に関する研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白坂 翠萌, 細野 朝子, 杉本 憲彦, 藤澤 由貴子, 阿部 未来, 安藤 紘基, 高木 征弘, 山本 勝
2. 発表標題 金星大気惑星規模波動の再現に向けたデータ同化による研究
3. 学会等名 気象学会ジュニアセッション2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fujisawa, Y., M. Shirasaka, N. Sugimoto, A. Hosono, M. Abe, H. Ando, M. Takagi, M. Yamamoto
2. 発表標題 Data Assimilation of the Venus Atmosphere to Reproduce Planetary-scale Wave
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hosono, A., Y. Fujisawa, N. Sugimoto, M. Abe, Y. Kikuchi, T. Yamamoto, Y. Kawabata, S. Ikari, H. Ando, M. Takagi, I. G. Lopez, S. Lebonnois, C. Ao
2. 発表標題 The study for designing the future Venus atmosphere observing mission of radio occultation measurement among small satellites using data assimilation
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ando H., S. Ikari, T. Imamura, T. Yamamoto, Y. Kawabata, S. Sano, N. Sugimoto, M. Takagi, H. Sagawa, Y. Fujisawa, M. Morimoto, M. Abe, A. Hosono, R. Funase, Cross-link radio occultation measurements of Venus atmosphere by using multiple small satellites
2. 発表標題 Cross-link radio occultation measurements of Venus atmosphere by using multiple small satellites
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名
Imamura, T., H. Ando, N. Sugimoto, H. Sagawa, M. Takagi, K. Noguchi, K. Ogohara, A. Yamazaki, T. Iwata, T. Yamamoto, S. Ikari, Y. Kawabata, S. Sano, Y. Fujisawa, R. Funase, M. Morimoto, M. Abe, A. Hosono
2. 発表標題
Satellite-to-satellite radio occultation for the exploration of planetary atmospheres
3. 学会等名
JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年
2020年

1. 発表者名
Fujisawa, Y., S. Murakami, N. Sugimoto, M. Takagi, T. Imamura, T. Horinouchi, G. L. Hashimoto, M. Ishiwatari, T., Enomoto, T. Miyoshi, Y.-Y. Hayashi
2. 発表標題
Trials toward first Venus analysis product by data assimilation of Akatsuki observation
3. 学会等名
JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年
2020年

1. 発表者名
Mimo Shirasaka, Norihiko Sugimoto, Yukiko Fujisawa, Asako Hosono, Mirai Abe, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Masaru Yamamoto
2. 発表標題
Horizontal winds assimilation to reproduce equatorial Kelvin wave in the Venus atmosphere
3. 学会等名
Europlanet Science Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年
2020年

1. 発表者名
Asako Hosono, Yukiko Fujisawa, Norihiko Sugimoto, Mirai Abe, Yukako Kikuchi, Tomotaka Yamamoto, Yosuke Kawabata, Satoshi Ikari, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Itziar Garate Lopez, Sebastien Lebonnois, Chi Ao
2. 発表標題
Observing system simulation experiment for radio occultation among small satellites introducing real orbits of the Venus atmosphere
3. 学会等名
Europlanet Science Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年
2020年

1. 発表者名 山本 智貴, 五十里 哲, 安藤 紘基, 今村 剛, 細野 朝子, 阿部 未来, 藤澤 由貴子, 杉本 憲彦, 川端 洋輔, 船瀬 龍, 中須賀 真一
2. 発表標題 惑星大気の衛星間電波掩蔽観測のための最適軌道に関する研究
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mimo Shirasaka, Norihiko Sugimoto, Yukiko Yamada(Fujisawa), Asako Hosono, Mirai Abe, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Masaru Yamamoto, 2020: Observing system simulation experiment to reproduce Kelvin wave in the Venus atmosphere
2. 発表標題 Observing system simulation experiment to reproduce Kelvin wave in the Venus atmosphere
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Norihiko Sugimoto, Mimo Shirasaka, Yukiko Fujisawa, Asako Hosono, Mirai Abe, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Masaru Yamamoto
2. 発表標題 Observing system simulation experiments of the Venus atmosphere to reproduce planetary-scale waves
3. 学会等名 43rd COSPAR Scientific Assembly 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukiko Fujisawa, Asako Hosono, Norihiko Sugimoto, Mirai Abe, Yukako Kikuchi, Tomotaka Yamamoto, Yosuke Kawabata, Satoshi Ikari, Hiroki Ando, Masahiro Takagi, Takeshi Imamura, Itziar Garate Lopez, Sebastien Lebonnois, Chi Ao
2. 発表標題 Feasibility Study of Radio Occultation Measurement Among Small Satellites by Data Assimilation for Designing the Future Venus Atmosphere Observing Mission
3. 学会等名 43rd COSPAR Scientific Assembly 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本憲彦, 藤澤 由貴子, ALEDAS-V team
2. 発表標題 ALEDAS-V (金星大気データ同化システム)を用いた研究の紹介
3. 学会等名 九州大学応用力学研究所共同利用研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本憲彦
2. 発表標題 金星大気データ同化システム (ALEDAS-V) による観測システムシミュレーション実験の試み
3. 学会等名 金星大気の観測・シミュレーション・データ同化に関する研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤澤 由貴子
2. 発表標題 熱潮汐波に着目したあかつき UVI 観測から得られる水平風速のデータ同化と金星客観解析データ作成の試み
3. 学会等名 金星大気の観測・シミュレーション・データ同化に関する研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	杉本 憲彦 (Sugimoto Norihiko) (10402538)	慶應義塾大学・法学部（日吉）・教授 (32612)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	森本 睦子 (Morimoto Mutsuko) (50435509)	慶應義塾大学・法学部（日吉）・助教 (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------