

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：82116

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11632

研究課題名（和文）人工衛星の軌道の揺らぎから紐解く地球の質量分布の時空間的な変動

研究課題名（英文）Spatio-temporal variations of mass distribution on the Earth revealed from fluctuations of satellite trajectories

研究代表者

松尾 功二（Matsuo, Koji）

国土地理院（地理地殻活動研究センター）・その他部局等・主任研究官

研究者番号：80722800

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）：衛星レーザー測距（SLR）で観測される人工衛星の軌道変化から地球の低次重力場変動を推定し、陸圏・海圏・雪氷圏間で取引される水の移動量（質量収支）の時間変化の追跡を試みた。2002-2017年の顕著な経年質量変化のシグナルとしては、(1)グリーンランドの氷床消失に伴う質量減少、(2)西南極の氷床消失に伴う質量減少、(3)東南極の積雪量増加に伴う質量増加、(4)海洋質量の増加、(5)北米大陸の後氷期回復に伴う質量増加、などが確認された。これらの結果は、重力衛星GRACEや地球物理モデルに基づく結果とも調和的であり、SLRは全球質量収支の時間変化の追跡に十分活用可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SLR衛星は一般的な人工衛星よりも堅牢性が高く運用寿命が長いという強みを持つ。本研究成果は、気候変動等に伴う全球質量収支を長期的かつ安定的に監視することを可能とするもので、学術的にも社会的にも高い意義を持つと言える。

研究成果の概要（英文）：We attempted to track temporal changes in water transfers (mass balance) traded between the land, ocean, and cryosphere by inferring low-degree gravity field variations of the Earth from changes in satellite orbits observed by satellite laser ranging (SLR). Based on our SLR analysis, we confirmed the following signals of linear mass changes over the period 2002-2017; (1) mass loss associated with the loss of the Greenland ice sheet, (2) mass loss associated with the loss of the West Antarctic ice sheet, (3) mass increase associated with increased snow cover in East Antarctica, (4) increase in ocean mass, and (5) mass increase associated with glacial isostatic adjustment in the North American continent. These results were consistent with those based on GRACE gravimetry and geophysical models, indicating that SLR can be fully utilized to track temporal changes in the global mass balance.

研究分野：宇宙測地学

キーワード：宇宙測地学 衛星レーザー測距 重力変化 質量収支 気候変動

1. 研究開始当初の背景

地球上の水は、太陽熱をエネルギー源として、氷・水・水蒸気と姿を変えながら陸・海・氷床間を移動する。地球システムが安定的に機能すれば、水は規則的に循環するが、実際には、太陽活動や人間活動等に起因する環境変動の影響を受けることから、このサイクルは僅かに乱れる。その結果、陸・海・氷床で貯蔵される水の量(質量)は時間とともに変化する。つまり、陸・海・氷床の質量分布の時間推移は、地球環境変動の変遷を反映する。

地球上の質量分布の時間推移は、重力の時空間変化を計測することで観測できる。重力変化を広範的かつ連続的に捉えるには、人工衛星を用いた計測手法が効果的であり、これは人工衛星の軌道と速度の変化を精密に計測することで行われる。衛星重力計測として最も成功した衛星ミッションは、2002年から米独共同で実施されている GRACE である。GRACE は、従来の衛星重力計測と比べ空間分解能が格段に高く、測地学、水文学、固体地球科学、海洋学、雪氷学など多岐に渡る学問分野で活用され、目覚ましい業績を残している。

GRACE によって地球上の質量移動に関する理解が飛躍的に進展したが、衛星重力計測は、衛星レーザ測距 (Satellite Laser Ranging; SLR) によって 40 年以上も前から継続的に行われている。SLR とは、地上に設置したレーザ測距儀を用いて、人工衛星の軌道を精密に追尾する技術である。SLR の軌道決定精度は極めて高く、特に、衛星表面を反射鏡で覆った SLR 専用衛星であれば、軌道の変化をミリメートルの精度で計測することができる。SLR 専用衛星には、1975 年に仏国が打ち上げた Starlette 衛星、1976 年に米国が打ち上げた LAGEOS-1 衛星、1986 年に日本が打ち上げた Ajisai 衛星などがあり、多数の SLR 専用衛星が現在運用されている。

SLR は長期に及ぶ衛星軌道データを保有するが、SLR で導出される重力解は空間分解能が非常に低いという弱点がある。これは、観測システムの設計上避けられない問題(地上局が大陸に偏ることや SLR 衛星の軌道高度が比較的高いことなど)もあるが、SLR データの解析手法に関わる技術的な問題(物理補正モデルの未発達やシステム誤差の内在など)もある。そこで Matsuo et al. (2013) は、解析手法の改良によって SLR 重力解の高精度化を図り、SLR から地球上の質量移動の観測を試みた。その結果、1991 年から 2010 年におけるグリーンランドの加速的な氷床融解のシグナルを検出することに成功した。しかしながら、SLR 重力解の精度は未だ十分ではなく、グリーンランドに次いで大規模な質量変化が生じている南極のシグナルを検出するには至らなかった。

2. 研究の目的

本研究では、まず SLR 解析手法の改良に取り組み、SLR 重力解のさらなる高精度化を目指した。そして、これまで困難であった南極や海域を含む全球の質量収支の時間推移を新たな SLR 重力解を用いて評価することを目的とした。

3. 研究の方法

SLR データの解析には、研究分担者である一橋大学の大坪俊通教授らが開発を進める宇宙測地データ統合解析ソフトウェア“c5++”を使用した。本研究では、Matsuo et al. (2013) による先行研究に以下の改良を施すことで、SLR 重力解の高精度化に取り組んだ; (1) SLR 衛星及び SLR 観測局毎にレンジバイアスを推定、(2) SLR 局位置の初期座標を与える測地基準座標系の更新 (ITRF2008→ITRF2014)、(3) No-Net-Rotation 拘束のもと SLR 局位置を推定、(4) 大気抵抗の影響を補正するため DTM2013 大気モデルを導入、(5) 経験的加速度の周期項を along-track と cross-track に対して推定、(6) 背景重力場モデルの更新 (EGM2008→GOCO06S)、(7) 太陽と月等の暦を更新 (DE421→DE430)、(8) 海洋潮汐モデルの更新 (EOT11a→FES2014)、(9) 地球姿勢パラメータの更新 (IERS08→IERS2014)、(9) 新たな SLR 衛星の追加 (LAGEOS-1、2、Ajisai、Starlette、Stella に加え Larets、LARES を使用)。これらの解析手法の改良のもと、地球重力場の時間変化をストークス係数の次数 5 まで月毎に推定した。そして、Wahr et al. (1998) に手法に倣い、ストークス係数を重力変化または質量変化に変換した。

4. 研究成果

まず、新たな解析戦略による SLR 重力解の高精度化に関わる研究成果についてまとめる。図 1 に、先行研究の SLR 重力解 (Old solution) と本研究の SLR 重力解 (New solution) を用いて推定された (a) グリーンランド、(b) アフリカ大陸、(c) 西南極、(d) 東南極における重力時系列変化図を示す。比較のため、GRACE 重力解の重力時系列変化 (2002 年 4 月以降) も併せて示す。いずれの地域も、先行研究の SLR 重力解と比べ、本研究の SLR 重力解は GRACE 重力解と高い整合性を示した。新旧の SLR 重力解の精度を評価するため、SLR 重力解の重力変化と GRACE 重力解の重力変化の差の標準偏差を計算した。図 2 に SLR 重力解及び GRACE 重力解を用いて推定された重力変化の差の標準偏差図を示す。評価期間は 2002 年 4 月から 2015 年 12 月までである。各格子点での平均標準偏差は、先行研究の SLR 重力解が $1.6\mu\text{Gal}$ 、本研究の SLR 重力解が $1.1\mu\text{Gal}$ であった。これにより SLR 重力解の精度向上が確認できた。

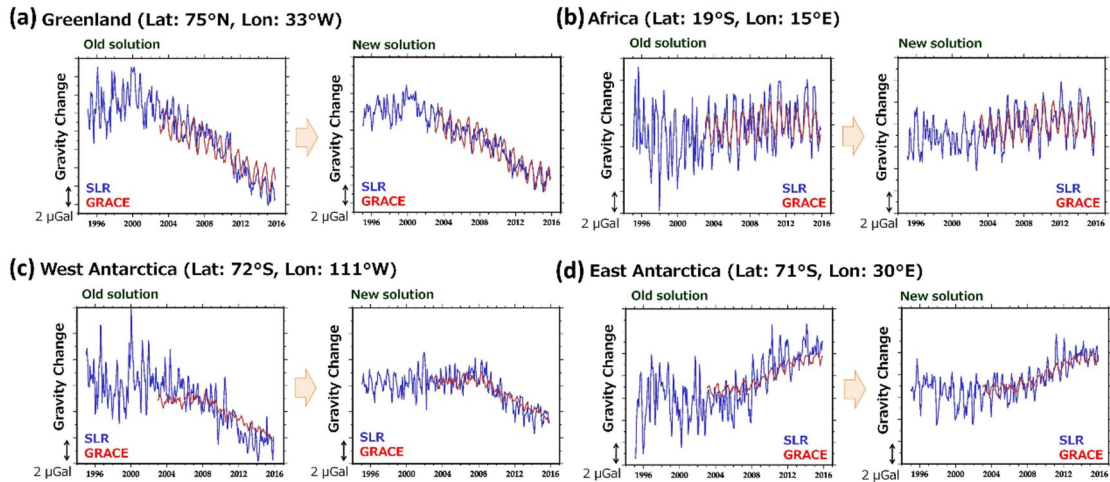


図1 先行研究のSLR重力解 (Old solution)、本研究のSLR重力解 (New solution)、GRACE重力解を用いて推定された(a)グリーンランド、(b)アフリカ大陸、(c)西南極、(d)東南極における重力時系列変化図。青線がSLR重力解で、赤線がGRACE重力解の結果を示す。

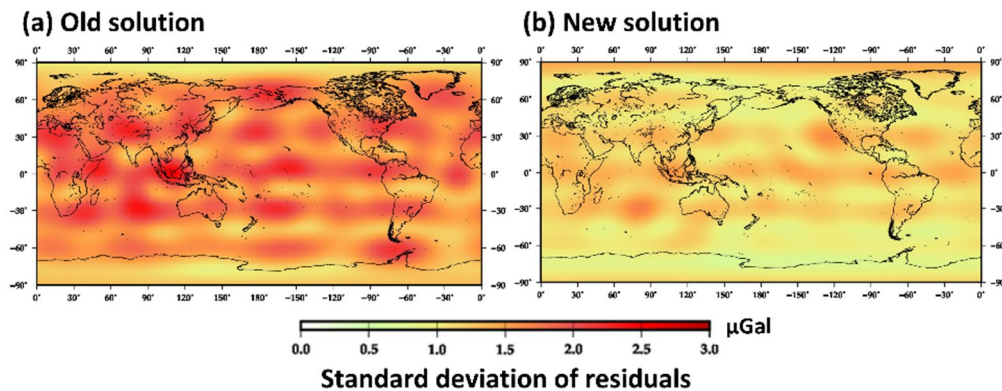


図2 SLR重力解の重力変化とGRACE重力解の重力変化の差の標準偏差図。(a)は先行研究のSLR重力解を示し、(b)は本研究のSLR重力解を示す。

続いて、新たなSLR重力解を用いて導出された全球質量変化とその地球物理的解釈についてまとめる。得られた全球質量変化の原因を考察するため、地球物理モデルを用いてその再現を試みた。地球上または内部を移動する物質のうち大規模な重力変化を伴うものとしては、大気質量、陸水質量、海水質量、陸氷質量、後氷期回復に伴うマントル流動などが挙げられる。大気質量の変化はECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) モデルの大気再解析データをもとに推定した。陸水質量はGLDAS (Global Land Data Assimilation System) モデルの陸水貯留量データをもとに推定した。なお、本モデルには表層水 (河川や湖沼など) や200cm以深の地下水の寄与は含まれていない。海水質量の変化は衛星高度計が観測する海面高データとArgoフロートが観測する海水温・塩分濃度データをもとに推定した。陸氷質量の変化については、グリーンランド氷床と南極氷床を考慮し、衛星高度計の地表高度データと氷床モデルのFirm密度データをもとに推定した。後氷期回復による質量変化は、Peltier et al. (2015) のモデルを用いた。さらに、SLR重力解及び物理モデルの結果の妥当性を確認するため、GRACE重力解との比較も行った。なお、SLR、物理モデル、GRACEそれぞれの時間幅を合わせるため、解析した期間は2002年4月から2017年12月までとした。

図3に、(a)SLR、(b)物理モデル、(c)GRACEから導出された経年的な全球質量変化を示す。それぞれの空間パターンはおおよそ一致するが、SLRの結果は他の結果と比べ北極域や南極域のシグナルが大きい。SLR重力解の各ストークス係数の時系列を確認したところ、帯状偶数項 (C20項とC40項) の変化の振幅が他の解と比べて大きい傾向にあるようであった。これらの項の精度にはまだ改善の余地があると言える。

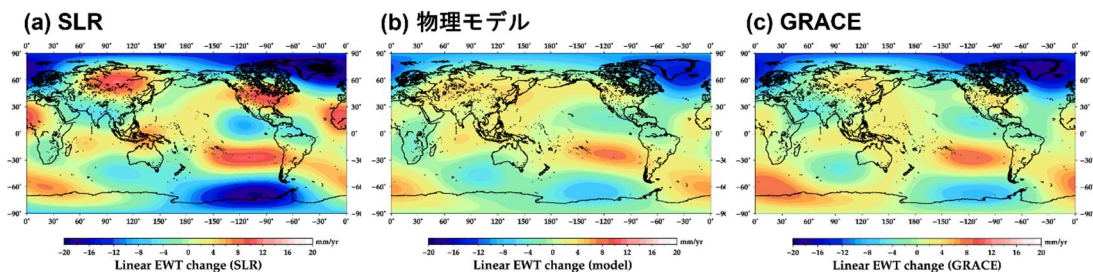


図3 (a)SLR、(b)物理モデル、(c)GRACE から導出された全球質量変化（次数 5 次まで）の経年変化。質量変化は相当水厚（Equivalent Water Thickness: EWT）変化で表現されている。

SLR 重力解で確認される顕著な経年質量変化のシグナルとしては、(1)グリーンランド周辺における質量減少、(2)南極における質量変化、(3)海域における質量変化、(4)北米大陸における質量増加、(5)ユーラシア大陸北東部における質量増加、(6)アフリカ大陸北西部における質量増加、などが挙げられる。これらを解釈するため、図4に物理モデルに基づく(a)大気質量、(b)陸水質量、(c)海水質量、(d)グリーンランド氷床、(e)南極氷床、(f)後氷期回復の経年質量変化を示す。(1)については Matsuo et al. (2013) でも報告しているが、気候変動に伴う氷床消失を捉えており、図4(d)とも良く一致する。(2)と(3)については、気候変動に伴う氷床消失と積雪量増加及び後氷期回復によるもので、空間パターンは図4(e)と(f)の和と一致する。(3)については、極域の強いシグナルで生じるギブスの振動の影響もあるが、全体傾向としては図4(c)で示される海水質量の増加を反映している。(4)については、後氷期回復によるものと考えられるが、図4(f)で示される物理モデルと比べて振幅が大きいことから、ギブスの振動や SLR 重力解の誤差の影響も考えられる。(5)と(6)については、原因としては陸水質量や大気質量の変化が考えられるが、図4(a)と(b)で示される物理モデルでは再現されていないため、SLR 重力解の誤差の可能性が高い。

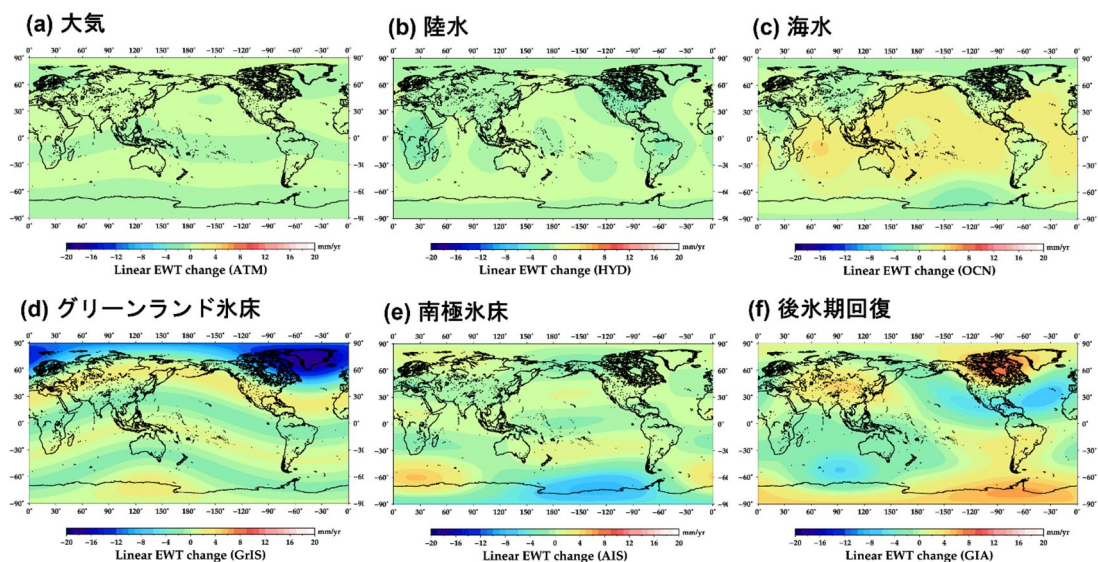


図4 物理モデルに基づく(a)大気、(b)陸水、(c)海水、(d)グリーンランド氷床、(e)南極氷床、(f)後氷期回復の経年質量変化（次数 5 次まで）。解析期間は 2002 年 4 月から 2017 年 12 月までである。

以上の結果から、SLR が地球の全球質量収支の時間変化の追跡に十分活用可能であることが示された。しかしながら、現在の SLR 重力解は帯状偶数項の精度にまだ改善の余地があることから、質量収支の定量評価への活用にはさらなる研究が必要であろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Noda Hiroto, Senshu Hiroki, Otsubo Toshimichi et al.	4. 巻 71
2. 論文標題 Demonstration of deep-space synchronous two-way laser ranging with a laser transponder aboard Hayabusa2	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 4196 ~ 4209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2022.12.057	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 該当する
1. 著者名 Mitsui Yuta, Uehara Keiji, Kosugi Issei, Matsuo Koji	4. 巻 598
2. 論文標題 Along-strike distribution of seismicity and large slow slip correlated with gravity at the Nankai Trough	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 117824 ~ 117824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2022.117824	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 Wang Yan Ming, Sanchez Laura, Agren Jonas, Huang Jianliang, Forsberg Rene, ..., Matsuo Koji, et al.	4. 巻 95
2. 論文標題 Colorado geoid computation experiment: overview and summary	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geodesy	6. 最初と最後の頁 1~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00190-021-01567-9	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 該当する
1. 著者名 古屋 正人、宮原 伐折羅、渡邊 俊一、日置 幸介、大坪 俊通、福田 洋一、市川 隆一、田中 愛幸、松尾 功二	4. 巻 67
2. 論文標題 国際測地学協会2021年学術総会（北京/オンライン）報告	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 測地学会誌	6. 最初と最後の頁 40 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11366/sokuchi.67.40	査読の有無 無
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 Suzuki Kazuyoshi、Hiyama Tetsuya、Matsuo Koji、Ichii Kazuhito、Iijima Yoshihiro、Yamazaki Dai	4. 巻 34
2. 論文標題 Accelerated continental scale snowmelt and ecohydrological impacts in the four largest Siberian river basins in response to spring warming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrological Processes	6. 最初と最後の頁 3867 ~ 3881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/hyp.13844	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 Yamamoto Keiko、Otsubo Toshimichi、Matsumoto Koji、Noda Hiroto et al.	4. 巻 72
2. 論文標題 Dynamic precise orbit determination of Hayabusa2 using laser altimeter (LIDAR) and image tracking data sets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01213-2	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 Klopotek Grzegorz、Hobiger Thomas、Haas R?diger、Otsubo Toshimichi	4. 巻 94
2. 論文標題 Geodetic VLBI for precise orbit determination of Earth satellites: a simulation study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geodesy	6. 最初と最後の頁 1-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00190-020-01381-9	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 Kucharski Daniel、Kirchner Georg、Otsubo Toshimichi、Flegel Sven K.、Kunimori Hiroo、Jah Moriba K.、Koidl Franz、Bennett James C.、Steindorfer Michael、Wang Peiyuan	4. 巻 174
2. 論文標題 Quanta Photogrammetry of Experimental Geodetic Satellite for remote detection of micrometeoroid and orbital debris impacts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 24 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actaastro.2020.04.042	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 該当する

1. 著者名 Matsumoto Koji, Noda Hiroto, Ishihara Yoshiaki, Senshu Hiroki, Yamamoto Keiko, Hirata Naru, Hirata Naoyuki, Namiki Noriyuki, Otsubo Toshimichi, et al.	4. 巻 338
2. 論文標題 Improving Hayabusa2 trajectory by combining LIDAR data and a shape model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 113574 ~ 113574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2019.113574	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 Matsuo Koji, Kuroishi Yuki	4. 巻 72
2. 論文標題 Refinement of a gravimetric geoid model for Japan using GOCE and an updated regional gravity field model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01158-6	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 鈴木和良, 松尾功二	4. 巻 50(2)
2. 論文標題 GRACEによる陸水貯留量変動推定と水文科学分野での応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本水文科学会誌	6. 最初と最後の頁 1 ~ 15
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 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 Jose Rodriguez, Appleby Graham, Otsubo Toshimichi	4. 巻 93
2. 論文標題 Upgraded modelling for the determination of centre of mass corrections of geodetic SLR satellites: impact on key parameters of the terrestrial reference frame	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geodesy	6. 最初と最後の頁 2553 ~ 2568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00190-019-01315-0	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 該当する

1. 著者名 Kucharski Daniel, Kirchner Georg, Otsubo Toshimichi, Kunimori Hiroo, Jah Moriba K., Koidl Franz, Bennett James C., Lim Hyung-Chul, Wang Peiyuan, Steindorfer Michael, So?nica Krzysztof	4. 巻 64
2. 論文標題 Hypertemporal photometric measurement of spaceborne mirrors specular reflectivity for Laser Time Transfer link model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 957 ~ 963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2019.05.030	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 該当する

1. 著者名 Hampf Daniel, Schafer Ewan, Sproll Fabian, Otsubo Toshimichi, Wagner Paul, Riede Wolfgang	4. 巻 11
2. 論文標題 Satellite laser ranging at 100 kHz pulse repetition rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CEAS Space Journal	6. 最初と最後の頁 363 ~ 370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12567-019-00247-x	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 該当する

1. 著者名 Otsubo Toshimichi, Muller Horst, Pavlis Erricos C., Torrence Mark H., Thaller Daniela, Glotov Vladimir D., Wang Xiaoya, So?nica Krzysztof, Meyer Ulrich, Wilkinson Matthew J.	4. 巻 93
2. 論文標題 Rapid response quality control service for the laser ranging tracking network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geodesy	6. 最初と最後の頁 2335 ~ 2344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00190-018-1197-0	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 該当する

1. 著者名 Hattori Akihisa, Otsubo Toshimichi	4. 巻 63
2. 論文標題 Time-varying solar radiation pressure on Ajisai in comparison with LAGEOS satellites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 63 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2018.08.010	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 Otsubo Toshimichi, Muller Horst, Pavlis Erricos C., Torrence Mark H., Thaller Daniela, Glotov Vladimir D., Wang Xiaoya, Sosnica Krzysztof, Meyer Ulrich, Wilkinson Matthew J.	4. 巻 1
2. 論文標題 Rapid response quality control service for the laser ranging tracking network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geodesy	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00190-018-1197-0	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 該当する

1. 著者名 大坪 俊通、横田 裕輔	4. 巻 63
2. 論文標題 グローバル測地技術としての衛星レーザ測距：現状と課題	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 測地学会誌	6. 最初と最後の頁 75~79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11366/sokuchi.63.75	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 -

〔学会発表〕 計55件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Koji Matsuo
2. 発表標題 Current status of a gravimetric geoid model for Japan
3. 学会等名 The Second Asia Pacific geoid workshop for IAG-SC2.4 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松尾 功二
2. 発表標題 海洋残差地形モデルの導入による沿岸ジオイドの精密化
3. 学会等名 日本測地学会第138回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松尾 功二
2. 発表標題 航空重力データと海洋残差地形モデルの導入による沿岸域ジオイド決定の高精度化の試み
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松尾 功二, 大坪 俊通
2. 発表標題 SLR 非標準衛星の精密軌道決定：(2) 地球重力場決定への効果
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪 俊通
2. 発表標題 グローバル宇宙測地技術としての衛星レーザー測距
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪 俊通, 荒木 博志, 横田 裕輔, 松本 岳大, 土井 浩一郎, 青山 雄一, 國森 裕生, 柳本 教朝, 高嶋 徹, 亀岡 航, 小林 美穂子
2. 発表標題 小型・低価格 Omni-SLR システムの開発：追尾系と室内ターゲット測距
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪 俊通, 松尾 功二
2. 発表標題 SLR 非標準衛星の精密軌道決定 (1) 衛星形状モデルの導入
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪 俊通, 荒木 博志, 横田 裕輔, 松本 岳大, 小林 美穂子, 河野 賢治, 土井 浩一郎, 青山 雄一, 高嶋 徹, 柳本 教朝
2. 発表標題 小型・低価格 Omni-SLR 組み上げ試験 (1) 概要と追尾系
3. 学会等名 日本測地学会第138回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Otsubo, H. Araki, Y. Yokota, T. Matsumoto, M. Kobayashi, K. Kouno, K. Doi, Y. Aoyama, T. Takashima, N. Yanagimoto
2. 発表標題 System design and concept of small-size, low-cost, multi-purpose Omni-SLR System
3. 学会等名 22nd International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Otsubo, M. Kobayashi, H. Araki, Y. Yokota, T. Matsumoto, Tetsu Takashima
2. 発表標題 Development of Omni-SLR System: (2) Tracking subsystem
3. 学会等名 22nd International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Otsubo
2. 発表標題 Systematic range residuals 2021-2022
3. 学会等名 22nd International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Otsubo, B. Miyahara, Y. Yokota
2. 発表標題 Report from GGOS Japan
3. 学会等名 GGOS Days 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koji Matsuo, Tomokazu Kobayashi, Ryosuke Ando, and Takayuki Nakano
2. 発表標題 Impact of topographic density variations on subsurface structure estimation by gravity inversion- a case study in Aso Caldera, Japan
3. 学会等名 The American Geophysical Union Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾功二
2. 発表標題 ストークス・ヘルメルト法に基づく精密ジオイド決定のための凝縮地形質量の最適な深度の検討
3. 学会等名 測地学会第136回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji Matsuo
2. 発表標題 Examining the optimal depth of the condensed topographic masses for precise geoid determination based on the Stokes-Helmert scheme - A case study in Colorado
3. 学会等名 Scientific Assembly of the International Association of Geodesy 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾功二
2. 発表標題 3次元最小二乗コロケーション法による航空重力データの精度評価
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2021: Virtual
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪 俊通
2. 発表標題 グローバル宇宙測地技術としての衛星レーザー測距
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪 俊通, 荒木 博志, 横田 裕輔, 松本 岳大, 小林 美穂子, 土井 浩一郎, 国森 裕生, 中島 潤一
2. 発表標題 小型・低価格 Omni-SLR 要素技術開発 (1) システムコンセプト
3. 学会等名 日本測地学会第136回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshimichi Otsubo, Basara Miyahara, Shinobu Kurihara, Yusuke Yokota, Yu Takagi, Shin'ichi Watanabe, Hiroshi Takiguchi, Yuichi Aoyama, Koji Matsuo
2. 発表標題 Coordinating global geodesy in Japan: GGOS Japan
3. 学会等名 Scientific Assembly of the International Association of Geodesy 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪 俊通, 宮原 伐折羅, 栗原 忍, 横田 裕輔, 高木 悠, 渡邊 俊一, 瀧口 博士, 青山 雄一, 松尾 功二
2. 発表標題 GGOS Japan: 2019-2021 トピックス
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪 俊通, 荒木 博志, 横田 裕輔, 土井 浩一郎, 國森 裕生, 小林 美穂子, 塚越 涼, 友松 雅人, 松本 岳大
2. 発表標題 SLR 装置の小型化・低価格化: Omni-SLR 進捗報告
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Matsuo
2. 発表標題 Geoid determination using airborne gravity data in the Kanto area of Japan
3. 学会等名 American Geophysical Union fall meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松尾功二
2. 発表標題 航空重力データの重力ジオイド計算への適用- 関東地方を例に
3. 学会等名 測地学会第134回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松尾功二
2. 発表標題 房総半島における航空重力データを用いた重力ジオイド計算の初期的結果
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松尾功二
2. 発表標題 国際高さ基準座標系への貢献に向けた日本列島の重力ポテンシャル値の推定
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Matsuo, M. Miyahara
2. 発表標題 Current status of Japan geoid model and ongoing project of airborne gravity surveys for geoid improvement
3. 学会等名 First Asia Pacific geoid workshop for IAG-SC2.4e (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Otsubo, B. Miyahara, S. Kurihara, Y. Yokota
2. 発表標題 GGOS Japan: Seven-year history and hot topics
3. 学会等名 American Geophysical Union fall meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大坪 俊通, 宮原 伐折羅, 栗原 忍, 横田 裕輔
2. 発表標題 GGOS Japan: グローバル宇宙測地推進剤として
3. 学会等名 VLBI懇談会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大坪 俊通, 荒木 博志, 横田 裕輔, 土井 浩一郎, 国森 裕生, 小林 美穂子, 塚越 涼, 友松 雅人, 松本 岳大
2. 発表標題 SLR 装置の小型化・低価格化の試み: Omni-SLR 計画の概要
3. 学会等名 測地学会第134回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Otsubo, B. Miyahara, Y. Yokota, S. Kurihara
2. 発表標題 GGOS Japan 's roles and activities as a GGOS Affiliate
3. 学会等名 JPGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Otsubo, B. Miyahara, Y. Yokota, S. Kurihara, H. Muneane, S.Watanabe, T. Miyazaki, H. Takiguchi, Y. Aoyama, K. Doi, Y. Fukuda, K. Matsuo, T. Jike, T. Matsumoto, R. Ichikawa
2. 発表標題 GGOS Japan: Uniting Space Geodetic Activities in Japan
3. 学会等名 EGU General Assembly 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Otsubo
2. 発表標題 Elaborated Time-Varying Model of Earth Radiation Pressure Acceleration Tested with Satellite Laser Ranging Data
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Otsubo, Y. Aoyama, A. Hattori, K. Doi, M. Pearlman, C. Noll
2. 発表標題 The Final Frontier for Satellite Laser Ranging: Antarctica
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横田 裕輔, 大坪 俊通, 宮原 伐折羅, 宗包 浩志
2. 発表標題 近年のGGOS とGGOS Japanの活動
3. 学会等名 VLBI懇談会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大坪 俊通
2. 発表標題 IUGG 2019 報告
3. 学会等名 第132回日本測地学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大坪 俊通
2. 発表標題 地球輻射圧加速度の精密モデル構築と SLR 解析への適用
3. 学会等名 第132回日本測地学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 功二
2. 発表標題 地球の球面性を考慮した完全ブーゲ重力異常の計算
3. 学会等名 第132回日本測地学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Otsubo
2. 発表標題 Opening remarks from GB Chair: Highlighting the significance of the workshop
3. 学会等名 ILRS Technical Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Morishita, T. Otsubo
2. 発表標題 ADS-B aircraft safety system assembled at less than EUR/USD 100
3. 学会等名 ILRS Technical Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大坪 俊通
2. 発表標題 グローバル測地学と南極測地観測
3. 学会等名 令和元年度国立極地研究所共同利用研究集会「多時間スケールにおける極域の氷床-海洋-固体地球相互作用の解明
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 -T. Otsubo, B. Miyahara, T. Wakasugi, Y. Aoyama, Y. Yokota, T. Miyazaki, Y. Fukuda
2. 発表標題 Space Geodetic Activities Organized by GGOS Working Group of Japan
3. 学会等名 27th International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Matsuo, R. Forsberg
2. 発表標題 Gravimetric geoid computation over Colorado based on the Remove-Compute-Restore Stokes-Helmert scheme
3. 学会等名 27th International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 -T. Otsubo, Y. Yokota, T. Ishikawa, M. Sekido, T. Miyazaki, S. Kurihara
2. 発表標題 Current status and problems of geodetic observation data distribution
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 功二、 R. Forsberg
2. 発表標題 航空重力データを用いた重力ジオイド・モデリング：米国コロラド州を例に
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Matsuo, T. Yahagi, Y. Hiraoka, R. Forsberg, A. Olesen, A. Kasen
2. 発表標題 The current status and future plans of height reference system in Japan
3. 学会等名 International Symposium Gravity, Geoid and Height Systems, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Matsuo, R. Forsberg
2. 発表標題 Interannual crustal load deformations induced by non-tidal oceanic mass variations around Japan
3. 学会等名 American Geophysical Union fall meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Yi, K. Matsuo, K. Heki
2 . 発表標題 Implication of Low-Degree Gravitational Change on Sea Level Variations
3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th annual meeting (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Hattori, T. Otsubo, Y. Aoyama, K. Doi, C. Higashino
2 . 発表標題 Syowa Geodetic Station in Antarctica: Current Status and Future Prospects
3 . 学会等名 21st International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Otsubo
2 . 発表標題 Systematic SLR errors detected in precise orbit determination
3 . 学会等名 21st International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Hattori, T. Otsubo
2 . 発表標題 Precise modeling of solar radiation pressure acceleration for spherical geodetic satellites
3 . 学会等名 21st International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Rodriguez, G. M. Appleby, T. Otsubo
2. 発表標題 Updated centre of mass correction tables for LAGEOS, Etalon, LARES, Starlette and Ajisai
3. 学会等名 21st International Workshop on Laser Ranging (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大坪 俊通, 山本 圭香, 松本 晃治
2. 発表標題 はやぶさ2 LIDAR 初期データの解析 (2) c5++ の機能拡張
3. 学会等名 第130回日本測地学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大坪 俊通, 日置 幸介, 宮原 伐折羅, 福田 洋一, 土井 浩一郎, 青山 雄一
2. 発表標題 測地観測網最大の空白: 南極大陸
3. 学会等名 南極観測シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 O. Kristiansen, L. Combrinck, H. P. Kierulf, D. MacMillan, T. Otsubo, P. E. Opseth, L. M. Tangen
2. 発表標題 Do we need a new Fundamental Geodetic Station in Antarctica?
3. 学会等名 International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2018 General Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Rodriguez, G. M. Appleby, T. Otsubo
2. 発表標題 Further improvements in mitigating systematics in geodetic laser ranging
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本リモートセンシング学会	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 758
3. 書名 リモートセンシング事典 (担当: 分担執筆, 項目タイトル: GRACE)	

〔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	大坪 俊通 (Otsubo Toshimichi) (70358943)	一橋大学・大学院社会学研究科・教授 (12613)	

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
---------	---------