

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：12613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400449

研究課題名(和文)低軌道衛星の精密軌道決定が拓く全球規模の測地学

研究課題名(英文)Global-scale geodesy benefited from precise orbit determination of low Earth orbit satellites

研究代表者

大坪 俊通(Otsubo, Toshimichi)

一橋大学・大学院社会学研究科・教授

研究者番号：70358943

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文):低軌道にある人工衛星の精密軌道決定を通して、地球基準座標系や地球重力場の解析を重点的に行った。衛星レーザ測距の実データ・シミュレーションデータを使い、新しい測距観測局を地球上のどこに置くことが効率的であるかを定量的に示した。なかでも、現在最大の空隙域になっている南半球高緯度域の有用性が示され、日本のみならず海外の動向にも影響を与えている。さらに、衛星レーザ測距データから地球の重心移動の年々変化(2~9年周期)を導出し、その駆動源となった質量変動に注目した。大気・海洋・陸水・氷床モデルと照合した結果、重心移動の年々変化を駆動する主要な質量変動源は時期によって変化することを解明した。

研究成果の概要(英文):Improvement of terrestrial reference frames and gravity field of the Earth was investigated through precise orbit determination of low-Earth-orbit satellites. A simulation study is carried out to find out the best position for a new SLR (satellite laser ranging) tracking station, and we found the high-latitude area in the southern hemisphere is effective. We also focused on the inter-annual variation of Earth gravity field derived from SLR data, and, by matching it with atmospheric, oceanic, hydrologic and glacial models, the primary cause was found to be changing in time.

研究分野：宇宙測地学，精密軌道決定

キーワード：宇宙測地学 精密軌道決定 衛星レーザ測距 地球基準座標系 地球重力場 全球統合測地観測システム

1. 研究開始当初の背景

数ミリ/年という海面高変動に代表されるように、地球環境の変化が全球あるいはそれに近い規模で及ぼす現象は、極めて小さな量となる。その長期かつ正確な監視のためには、地球の幾何学的・力学的形状を高い精度で計測し続けることが不可欠である。

GRACE 衛星による地球重力場ストークス係数決定の高精度化・高解像度化によって、GRACE のみならず低い軌道を周回している測地衛星の軌道決定精度が大きく向上することがわかってきた。一方で、全球規模でミリメートル精度を追求するうえで、測地衛星の果たす役割の明確化や将来の観測局拡充の重要性については、定性的に訴えられてはいたが、定量的な議論に欠けていた。

2. 研究の目的

低軌道の人工衛星の力学モデル・補正モデルの精密化や、測地観測局の配置の効率化、複数の測地技術の統合解析により、GGOS (全球統合測地観測システム) の掲げる全球規模での測位精度 1 mm・0.1 mm/year の達成可能性を検証する。

地球重力場の低次項や地球重心の位置の決定が、衛星に作用する摂動加速度モデルの誤差から受ける影響を評価する。そのためには、測地観測データの細かい補正も必要となる。過去 10 年 GRACE 衛星が築いてきた高い精度の地球重力場を生かすと同時に、近づく当衛星の機能停止を見越してその後の解析手段を確立する。

特に極域の測地観測網や質量移動現象に着目し、将来の地球環境変動観測計画に対してインパクトのある研究とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究全体を通して、観測データとしては、主に SLR (衛星レーザ測距) 観測データを ILRS (International Laser Ranging Service) から取得して用いた。観測データに含まれる系統誤差の評価について、特に光学信号応答の視点から重点的に量的評価を試みることにした。具体的には、最新の測地衛星 LARES および小型の測地衛星 STARLETTE・STELLA の衛星詳細データを入手したうえで、各反射鏡の位置や特性から、反射パルスの乱れをモデル化した。遠方界回折の不確定さから、純粋なモデルと合わない部分については、シングルフォトン測距局の観測データを別途入手し、経験的なモデルを構築することにした。

(2) 研究代表者・大坪を中心とし、国内外の研究者とともに宇宙測地解析ソフトウェア“c5++”を開発しており、本研究ではこれへの機能追加およびこれを使った各種解析を行った。特に、現存しない観測局のデータを仮想的に作ったうえでシミュレーション解析を行えるようにし、既存の SLR 観測ネッ

トワークにさらにどこに観測点を加えることが有効であるかを定量的に示すこととした。

(3) 地球上で起こる大規模な質量移動現象の時空間的な特徴を明らかにするために、SLR 観測データから導出される地球の低次重力場変動解の高精度化に取り組んだ。摂動加速度モデルの改良や、各 SLR 観測局のデータ重量の最適化、測距バイアスの推定などを、解析戦略に導入し、従来よりも空間分解能を高めるとともに、推定精度の向上に臨んだ。得られた低次重力場変動解は、GRACE 衛星などの他の測地データとの比較や、地球物理モデルを用いた数値的シミュレーションとの比較によって評価を行った。

(4) 本研究を起点として、グローバルスケールの測地研究を国内外で推進したい。2015 年の、地球規模の測地基準座標系に関する国連決議は画期的なものであったが、研究者としていかに具現化していくか方策を探る。同時に、解析や解釈を行う立場だけでなく、観測システム開発・観測データ提供側の貢献も外から見えるように努める。

4. 研究成果

(1) 小型の測地衛星 LARES・STARLETTE・STELLA の光学応答に関する経験的モデルを構築した。観測システムや観測方法によって、最大 7 mm 程度のバイアスが発生することが明らかになった。これまで、これらの小さな衛星については、観測局依存性を考えずに一律の補正值で SLR データを解析することが一般的であったが、1 mm 測位精度を求める場合には依存性の考慮が不可欠であることが示された。特に、LARES 衛星は近々測地解析に本格的に用いられることが計画されており、この研究結果は国際的にも注目され、将来の標準モデルとしての使用が検討されている。

(2) SLR の実データ・シミュレーションデータを使い、地球基準座標系や地球重力場の解析を重点的に行った。既存の SLR 局 (40 局程度) に加えて、地球上のどこかに 1 局設置すると仮定して、各測地パラメータの決定精度がいかほど改善するかをシミュレーション解析によって示した。LAGEOS 衛星だけでなく、軌道の低いあじさい・LARES・STARLETTE・STELLA 衛星も加えて解析を行った。衛星の軌道高度や軌道傾斜角により、可観測数が緯度に大きく依存することがわかった。得られた多くの結果のうち、図 1 に示した 3 図は地球重心の 3 次元位置決定精度の改善率を示したものである。XY 成分 (赤道面内成分) には高緯度域の特に南半球の局が、Z 成分 (両極を向く成分) には低緯度域の局が有効であることが示された。世界 10 位程度の観測量を仮定したとき、XY 成分の改善率は南極点にて最大で 18% に達した。同様の評価を地球重力ストークス係数についても実施した結果、J2 など Zonal 項は低

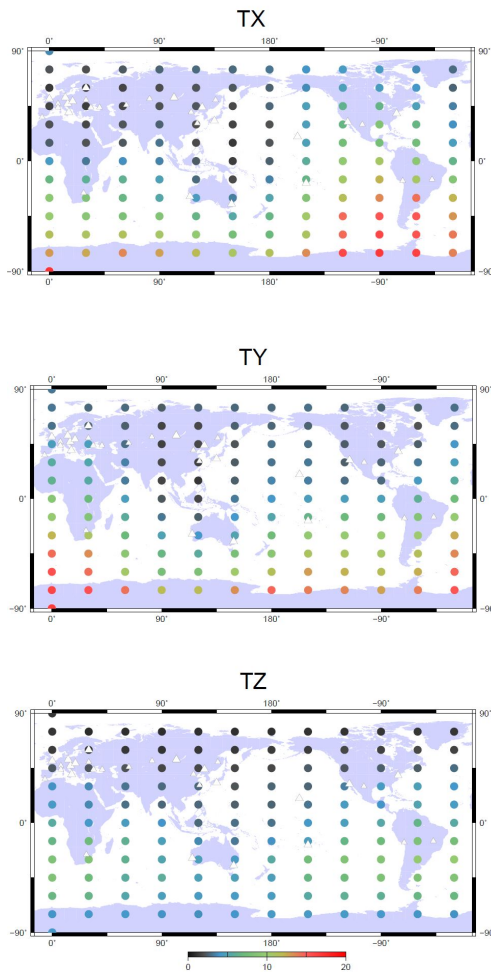


図1：既存 SLR 点 () に 1 点 (色付き) のいずれかを追加したときの、地球重心位置 XYZ 成分の改善率。

緯度局が、C22, S22 など Sectoral 項は高緯度局が有効であり、やはり既存局の少ない南半球の局の有効性が示された。なかでも、現在最大の空隙域になっている南半球高緯度域における新局の有用性が定量的に示された。このインパクトは大きく、国立極地研究所では将来の SLR 局設置に関する萌芽研究が始まったほか、ノルウェー・Kartverket においてもこの結果が彼らの極域プロジェクトに結び付けられている。将来、そのような局配置が実現するよう、国内・海外の各機関と連携して研究を進めたい。

(3) 宇宙測地解析ソフトウェア“c5++”を用いて、SLR 観測データから地球の重心移動の年々変化(2~9年周期)を導出し、その駆動源となった質量変動の解明に臨んだ。大気・海洋・陸水・氷床モデルを用いて地球の重心移動を数値的にシミュレーションし、SLR から推定される結果と照らし合わせることで、その解釈を行った。その結果、重心移動の年々変化を駆動する主要な質量変動源は、年によって異なることが分かり、例えば、2002-2007 年は極域氷床の縮退が主要因であ

った一方、2007-2011 年は大気変動、2011-2014 年は陸水変動が主要な原因であった。また、エルニーニョ南方振動に連動した海洋・陸水質量変動によっても、地球重心が最大 4mm ほど年々変化することも明らかになり、その影響は特に地球の Y 軸(東経 90 度)方向で顕著であった。これらの研究に加え、SLR 観測データから導出される地球の低次重力場解の精度向上に関する研究を行った。これまでの解析戦略に、SLR 局位置の推定、測距バイアスの推定、経験的加速度の導入、大気抵抗モデルの導入、時間変動項を含む初期重力場モデルの導入、などの改良を施し、地球重力の解を 6 次の係数まで算出した。GRACE 衛星が観測する重力解と比較し精度検証を行ったところ、これまでの解と比べ GRACE 解との適合度(RMS 減少率)が平均で約 50%向上した。

(4) 研究代表者・大坪を中心として、測地学会誌にて「GGOS 特集号」を企画した。宇宙測地に関する日本の最新情報を論文として集約するなか、自ら衛星レーザ測距に関する論文を執筆した。そこでは本研究によって解明された研究結果を包括的に紹介している。研究代表者・大坪は、2016 年度に研修年を取得し、欧州に滞在する機会を得た。(1)(2)のテーマについては、それぞれイギリス NERC・ドイツ GFZ の研究者と研究を進展させつつある。また、GGOS の幹部会に当たる GGOS Days 2018 を日本(つくば・国土地理院)で開催することを決めるなど、日本の宇宙測地観測・研究を盛り上げる努力を続けている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 17 件)

大坪 俊通, 横田 裕輔, 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, 測地学会誌, 査読有, 63 巻, 2018, 75-79, DOI:10.11366/sokuchi.63.75

松尾 功二, 新しい標高体系の構築に向けた精密重力ジオイドの開発, 平成 29 年度国土交通省国土技術研究会論文集, 査読有, 2017, 277-282,

H. Araki, S. Kashima, H. Noda, H. Kunitomori, K. Chiba, H. Mashiko, H. Kato, T. Otsubo, Y. Matsumoto, S. Tsuruta, K. Asari, H. Hanada, S. Yasuda, S. Utsunomiya, H. Takino, Thermo-optical simulation and experiment for the assessment of single, hollow, and large aperture retroreflector for lunar laser ranging, Earth, Planets and Space, 査読有, 68:101, 2016, 1-12,

DOI: 10.1186/s40623-016-0475-4

T. Otsubo, K. Matsuo, Y. Aoyama, K. Yamamoto, T. Hobiger, T. Kubo-oka, M. Sekido, Effective expansion of satellite laser ranging network to improve

global geodetic parameters, Planets and Space, 査読有, 68:65,2016,1-7, DOI: 10.1186/s40623-016-0447-8
 D. Kucharski, G. Kirchner, T. Otsubo, H-C Lim, J. Bennett, F. Koidl, Y-R Kim, J-Y Hwang, Confirmation of gravitationally induced attitude drift of spinning satellite Ajisai with Graz high repetition rate SLR data, Advances in Space Research, 査読有, 57, 4, 2016, 983-990, DOI: 10.1016/j.asr.2015.12.010
T. Otsubo, R. A. Sherwood, G. M. Appleby, R. Neubert, Center-of-mass corrections for sub-cm-precision laser-ranging targets: Starlette, Stella and LARES, Journal of Geodesy, 査読有, 89, 2015, 303-312, DOI: 10.1007/s00190-014-0776-y
 Y. Tanaka, K. Heki, K. Matsuo, N.V. Shestakov, Crustal subsidence observed by GRACE after the 2013 Okhotsk deep focus earthquake, Geophysical Research Letters, 査読有, 42, 2015, 3204-3209, DOI: 10.1002/2015GL063838.
松尾功二, 福田洋一, 大坪俊通, 鈴木知良, 重力衛星が捉えるグリーンランド氷床の縮退, 月刊地球, 査読無 37巻,2015,25-31

〔学会発表〕(計 71 件)

1. K. Matsuo, T. Miyazaki, B. Miyahara, Y. Kuroishi, An improved gravimetric geoid model for Japan based on the Stokes-Helmert scheme with a deterministically modified Stokes' kernel, AGU fall meeting 2017 (国際学会), New Orleans Ernest N. Morial Convention Center (New Orleans・米国), 2017
2. 松尾 功二, 新しい標高体系の構築に向けた精密重力ジオイドの開発, 平成29年度国土交通省国土技術研究会, 中央合同庁舎2号館(東京都), 2017
3. 大坪 俊通, 青山 雄一, SLR 置局改善のための軌道決定シミュレーション, 第61回宇宙科学技術連合講演会, 朱鷺メッセ(新潟県), 2017
4. 松尾 功二, 宮崎 隆幸, 宮原 伐折羅, 黒石 裕樹, 日本の精密重力ジオイド・モデルの開発(その3), 第128回日本測地学会講演会, 瑞浪市総合文化センター(岐阜県), 2017
5. K. Matsuo, T. Otsubo, M. Blossfeld, A. Kehm, H. Mueller, SLR contributions to time-variable gravity field and thermospheric neutral density estimates, 2017 ILRS Technical Workshop (国際学会), University of

- Latvia (リガ・ラトビア), 2017
6. T. Otsubo, SLR error sources in the kHz repetition era: How should we improve the range measurement and the products?, 017 ILRS Technical Workshop (国際学会), University of Latvia (リガ・ラトビア), 2017
 7. T. Otsubo, H. Mueller, E. Pavlis, C. Schwatke, The ILRS Rapid Service Mail: a tool to inform stations quickly about potential problems, 2017 ILRS Technical Workshop (国際学会), University of Latvia (リガ・ラトビア), 2017
 8. T. Otsubo, K. Matsuo, Y. Aoyama, K. Yamamoto, T. Hobiger, T. Kubo-oka, M. Sekido, U. Hugentobler, R. Koenig, Effective expansion of satellite laser ranging network for improving geodetic products and satellite orbits, Joint Assembly of IAG-IASPEI 2017 (国際学会), 神戸国際会議場(兵庫県), 2017
 9. K. Matsuo, T. Otsubo, SLR monthly gravity solutions using the C5++ software, Joint Assembly of IAG-IASPEI 2017 (国際学会), 神戸国際会議場(兵庫県), 2017
 10. K. Matsuo, T. Miyazaki, B. Miyahara, Y. Kuroishi, An improved gravimetric geoid model for Japan based on the Stokes-Helmert scheme with a deterministically modified Stokes' kernel, Joint Assembly of IAG-IASPEI 2017 (国際学会), 神戸国際会議場(兵庫県), 2017
 11. T. Otsubo, B. Miyahara, R. Kawabata, Y. Aoyama, Y. Fukuda, Y. Yokota, H. Yamao, S. Matsuzaka, Space Geodetic Activities and GGOS Working Group in Japan, Joint Assembly of IAG-IASPEI 2017 (国際学会), 神戸国際会議場(兵庫県), 2017
 12. T. Otsubo, International, Western Pacific & Japanese Activities of Satellite Laser Ranging, Asia-Oceania VLBI Meeting 2017(招待講演)(国際学会), 神戸商工会議所(兵庫県), 2017
 13. T. Otsubo, Y. Yokota, M. R. Pearlman, C. E. Noll, G. Bianco, International and Japanese Activities of Satellite Laser Ranging for Global Geodesy, JPGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会), 幕張メッセ(千葉県), 2017
 14. T. Otsubo, Y. Aoyama, U. Hugentobler, R. Koenig, Satellite Laser Ranging Network: Where Should a New Station Be Placed? [Part II] For Better Satellite Orbits, JPGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会), 幕張メッセ(千葉県), 2017

15. K. Matsuo, T. Otsubo, SLR monthly gravity solutions using the C5++ software, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 幕張メッセ (千葉県), 2017
16. 松尾 功二, 宮崎隆幸, 宮原伐折羅, 黒石裕樹, 日本の精密重力ジオイド・モデルの開発 (その 2), 第 126 回日本測地学会講演会, 奥州市文化会館 (岩手県), 2016
17. T. Otsubo, A. Hattori, M. Kobayashi, M. Wilkinson, J. Rodriguez, Detection of various SLR systematic errors for mm accuracy, 20th International Workshop on Laser Ranging (国際学会), GFZ Potsdam (ポツダム・ドイツ), 2016
18. T. Otsubo, M. Wilkinson, C. Potter, T. Shoobridge, J. Griffiths, Time series of SpinSat return intensity: How long can BK7 reflectors survive in space?, 20th International Workshop on Laser Ranging (国際学会), GFZ Potsdam (ポツダム・ドイツ), 2016
19. K. Matsuo, T. Otsubo, Interannual geocenter motion with relation to El Nino Southern Oscillation, 20th International Workshop on Laser Ranging (国際学会), GFZ Potsdam (ポツダム・ドイツ), 2016
20. T. Otsubo, K. Matsuo, K. Yamamoto, Y. Aoyama, T. Hobiger, T. Kubo-oka, M. Sekido, Satellite laser ranging network: Where should a new station be placed?, 20th International Workshop on Laser Ranging (国際学会), GFZ Potsdam (ポツダム・ドイツ), 2016
21. 松尾 功二, 日置幸介, 衛星重力計測によるアジア高山域の氷河質量収支の再推定, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ (千葉県), 2016
22. 大坪 俊通, 松尾 功二, 山本 圭香, 青山 雄一, ホビガー トーマス, 関戸 衛, 久保岡 俊宏, 衛星レーザ測距観測網の拡充: 新たな局はどこに?, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ (千葉県), 2016
23. K. Matsuo, T. Miyazaki, B. Miyahara, Y. Kuroishi, Development of a new gravitational geoid model for Japan, 世界測量者連盟 2016 年大会 (国際学会), Horncastle Arena (Christchurch・ニュージーランド), 2016
24. 大坪 俊通, 松尾 功二, 山本 圭香, 青山 雄一, ホビガー トーマス, 久保岡 俊宏, 関戸 衛, 衛星レーザ測距観測網の拡充: 新たな局はどこに?, 国立極地研究所研究集会「極域でのレーザー測距観測の意義と技術課題の検討」国立極地研究所 (東京都), 2016
25. 松尾 功二, 日置幸介, アジア高山域における氷河質量収支の再推定, 国立極地研究所研究集会「極域でのレーザー測距観測の意義と技術課題の検討」, 国立極地研究所 (東京都), 2016
26. T. Otsubo, Systematic range error 2014-2015, 2015, ILRS Technical Workshop (国際学会), Casa Cava (マテラ・イタリア), 2015
27. 松尾 功二, 大坪 俊通, 宗包浩志, 日置幸介, 地球重心の年々変動とエルニーニョ・南方振動, 日本測地学会第 124 回講演, 九州大学・西新プラザ (福岡県), 2015
28. 松尾 功二, 宮崎隆幸, 宮原伐折羅, 黒石裕樹, 日本の精密重力ジオイド・モデルの開発 (その 1), 日本測地学会第 124 回講演, 九州大学・西新プラザ (福岡県), 2015
29. 大坪 俊通, 松尾 功二, G. M. Appleby, SLR の衛星依存・観測局依存誤差が地球基準座標系に与える影響, 日本測地学会第 124 回講演, 九州大学・西新プラザ (福岡県), 2015
30. 大坪 俊通, 青山 雄一, 土井 浩一郎, 国森 裕生, 久保岡 俊宏, 布施 哲治, 秋山 恭平, 山本 圭香, 松尾 功二, 松坂 茂, 南極における衛星レーザ測距測地観測の意義とシステム開発, 第 7 回南極観測シンポジウム, ベルサール八重洲 (東京都), 2015
31. T. Otsubo, K. Matsuo, G. M. Appleby, Millimeter-level SLR Error Sources and the Scale of a Terrestrial Reference Frame, AOGS 12th Annual Meeting (国際学会), Suntec Singapore (シンガポール), 2015
32. K. Matsuo, T. Otsubo, H. Munekane, K. Heki, Abrupt changes in drift trend of the earth's geocenter and rotational pole in 2012-2014, The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2015) (国際学会), Prague Congress Center (プラハ・チェコ), 2015
33. T. Otsubo, K. Matsuo, G. M. Appleby, Impact of station-dependent, satellite-dependent SLR observations on global geodetic parameters, The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2015) (国際学会), Prague Congress Center (プラハ・チェコ), 2015
34. 松尾 功二, 大坪 俊通, 宗包浩志, 日置幸介, 2012-2014 年における地球重心と回転極の移動傾向の急変, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ (千葉県), 2015
35. 大坪 俊通, ホビガー トーマス, 関戸 衛, 久保岡 俊宏, GGOS 時代に向けた宇宙測地解析戦略, 幕張メッセ (千葉県), 2015
36. 松尾 功二, 宗包浩志, 畑中雄樹, 日本列

- 島の重力変化と上下変位, 幕張メッセ (千葉県), 2015
37. 松尾 功二, 福田洋一, 田中愛幸, アウターライズ地震後に発生する重力の急上昇: melt-rich channel による粘弾性応答の可能性, 幕張メッセ (千葉県), 2015
38. 松尾 功二, 変動する地球-衛星重力ミッションが捉えた新たな描像, 地学オリンピック とつぷ・レクチャー(招待講演), 産業総合研究所・共用講堂(茨城県), 2015
39. T. Otsubo, M. Kobayashi, S. Takakura, Two-fold Quality Assessment of Global SLR Data, 19th International Workshop on Laser Ranging, Historic Inns of Annapolis (アナポリス・米国), 2014
40. K. Matsuo, T. Otsubo, Geocenter Motion Driven by Large-Scale Mass Redistribution, 19th International Workshop on Laser Ranging, Historic Inns of Annapolis (アナポリス・米国), 2014
41. T. Otsubo, Systematic Range Error 2013-2014, 19th International Workshop on Laser Ranging, Historic Inns of Annapolis (アナポリス・米国), 2014.
42. 松尾 功二, 大坪 俊通, 宗包浩志, 福田洋一, 大規模な質量再分配によって駆動される地球重心の移動, 第 122 回日本測地学会講演会, つくばサイエンス・インフォメーションセンター(茨城県), 2014
43. 大坪 俊通, 久保岡俊宏, 松尾 功二, 精密軌道決定において経験的加速度推定が測地パラメータに与える影響, 第 122 回日本測地学会講演会, つくばサイエンス・インフォメーションセンター(茨城県), 2014
44. K. Matsuo, Y. Fukuda, K. Suzuki, Accelerated/Decelerated ice thickness variations in Greenland from ICESat altimetry (2003-2009), AOGS 11th Annual Meeting (招待講演), ロイトン札幌(北海道), 2014
45. K. Matsuo, Y. Fukuda, High resolution mapping of ice mass trend in Greenland using GRACE GFZ solution, AOGS 11th Annual Meeting, ロイトン札幌(北海道), 2014
46. T. Otsubo, K. Matsuo, R. A Sherwood, G. M. Appleby, R. Neubert, Scale Parameters of the Earth Sensitive to the Optical Response of Spherical SLR Targets, AOGS 11th Annual Meeting, ロイトン札幌(北海道), 2014
47. K. Matsuo, Y. Fukuda, Y. Tanaka, Detection of Postseismic Signatures of the 2006 and 2007 Kuril Islands Earthquakes From Satellite Gradiometry, International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards in 2014, ホテル大観荘(宮城県), 2014
48. 松尾 功二, 福田洋一, GRACE GFZ 解 (RL05a) を用いたグリーンランドの経年氷床質量変動の高分解能マッピング: 相関フィルターとスレピアン関数の適用, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜(神奈川県), 2014
49. 松尾 功二, 福田洋一, 鈴木知良, グリーンランドの加速的・減速的な氷厚変動: ICESat 衛星(2003-2009)による観測, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜(神奈川県), 2014
50. 大坪 俊通, 松尾 功二, R. A Sherwood, G. M. Appleby, R. Neubert, SLR 衛星の光学応答に敏感な地球のスケールパラメータ, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜(神奈川県), 2014
- 〔図書〕(計 1 件)
福島登志夫(編), 伊藤孝士, 大坪 俊通, 片山真人, 細川瑞彦, 本間希樹, 矢野太平, 吉川真, 日本評論社, 天体の位置と運動[第 2 版] シリーズ現代の天文学第 13 巻, 2017, 260 ページ(pp. 25-28, 41-42, 139-180)
- 〔その他〕
一橋大学地学研究室
<http://geo.science.hit-u.ac.jp/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
大坪 俊通 (OTSUBO, Toshimichi)
一橋大学・大学院社会学研究科・教授
研究者番号: 70358943
- (2) 研究分担者
松尾 功二 (MATSUO, Koji)
国土地理院・地理地殻活動研究センター・研究官
研究者番号: 80722800