

令和 3 年 8 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21891

研究課題名(和文) レーダ・導電バルーンによる小天体内部探査の手法

研究課題名(英文) New technique for internal exploration of the small bodies with radar and conductive balloon

研究代表者

熊本 篤志 (Kumamoto, Atsushi)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：00302076

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：小惑星のバイスタティックレーダ観測によって、内部構造探査が可能であることを、縮小スケールの計測実験で示すことを目的として、0.1～1.3 GHzのチャープレーダの製作、レーダ・反射体と小惑星媒質モデル(直径0.6m、内部に砂・空隙・岩を配置)を用いた計測実験、およびインバージョン解析を行った。探査機2機に分けて送受信機を搭載する方式に加えて、一方に送受信機、他方に反射体を搭載する方式も模擬した。小惑星媒質モデルに対する送信・受信アンテナ・反射体の相対位置を変化させてエコーの強度・遅れ時間を計測した。計測データにキルヒホッフマイグレーションを適用して、良好な内部構造推定イメージを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小惑星近傍でレーダ観測を実施して小惑星の内部構造を明らかにすることができれば、小惑星の起源・進化の議論に新たなブレイクスルーが期待される。本研究によって、小惑星の内部探査にバイスタティックレーダ観測が高い有効性をもつことが示された。本研究で得られた成果は、今後、小惑星探査ミッションにレーダによる内部構造探査の観測提案を行っていく上で、観測方式の選択指針や計測データから期待されるアウトプットに関する有益な知見・示唆を与えるものとなっている。計算機シミュレーション以外の方法で小天体のバイスタティックレーダ観測の検討を進める研究手法を開拓できた点でも意義が高い。

研究成果の概要(英文)：For demonstration of bistatic radar observation of the asteroids by the experiments with scale-down media model, development of linear chirp radar operated in a frequency range of 0.1-1.3 GHz, experiments using scale-down media model (diameter: 0.6 m. including sands, voids, and rocks), and inversion analysis have been performed. Not only the way in which transmitter and receiver were separately installed on two orbiters but also another way in which radar installed on one orbiter and reflector installed on other orbiter were demonstrated. Changing relative locations among the media model, transmitting antenna, receiving antenna, and reflector, the intensity and delay time of echoes scattered within the media model were measured by the radar. By applying Kirchhoff migration to measured data, we could obtain good inversion images of the internal structure of the media model.

研究分野：電波応用惑星科学

キーワード：小惑星 彗星 内部構造 バイスタティックレーダ 導電バルーン 地中レーダ レーダサウンダ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

小惑星の起源・進化は、表面の地形・分光観測によってもたらされた知見をもとに議論されてきた [Wilkinson et al., 2002]。小惑星近傍でレーダ観測を実施して小惑星の内部構造を明らかにすることができれば、小惑星の起源・進化の議論に新たなブレイクスルーがもたらされる可能性がある。内部構造探査には、送受信点双方の位置を変化させるバイスタティックレーダ観測が特に有効であることが、計算機シミュレーションによって指摘されている [Sava et al. 2015; Grimm et al., 2015]。欧州の彗星探査ミッションロゼッタでは、世界で初めて太陽系小天体 (彗星の核) に対するバイスタティックレーダ観測を実施したが、送受信中継機 (トランスポンダ) が着陸機搭載で位置が固定されていたため、内部構造のイメージングまでは行うことができなかった [Kofman et al., 2015]。米国・欧州共同の小惑星探査ミッション AIDA では、周回機搭載レーダによる観測が予定されているが、周回機 1 機で送受信を行うモノスタティックレーダ観測のため、表層構造の導出が期待できる反面、小惑星全体の内部構造決定には不利である。

小惑星に対する本格的なバイスタティックレーダ観測および内部構造イメージングは、いまだ達成されていない将来の探査に残された課題であるが、それらに向けた事前検討は、計算機シミュレーションによっていた。計算機シミュレーションは、バイスタティックレーダによる内部構造探査の原理的な成立性が確認できる一方で、計算機リソースの制約で、媒質の非一様性による散乱などの要因を含みにくいため、楽観的な検討結果が報告されている懸念がある。このため、ある程度、現実的・非理想的な条件も含まれるような計測実験でも、バイスタティックレーダ方式による内部構造探査が可能なことを示す本研究を着想・提案し、実施することとなった。

### 2. 研究の目的

計測実験によって、小惑星のバイスタティックレーダ観測を模擬し、その実現性を示すことを目的とする。本研究で模擬する小惑星のバイスタティックレーダ観測は、送信機を 1 機、受信機をもう 1 機の周回機に搭載して行う方式 I、送受信機を 1 機、送受信中継機 (トランスポンダ) もしくは導電バルーン等の反射体をもう 1 機に搭載して行う方式 II、の 2 種類とする。方式 I は、本来のバイスタティックレーダの定義どおりに異なる位置で送受信を行う方式だが、異なる探査機間で完全にタイミングが一致したクロックを持たせる必要があるため実現が難しい。これに対して方式 II は、送信機で送信して中継器で受信、中継器で送信して受信機で受信、のように異なる位置で送受信を行っているため、バイスタティックレーダと等価と見なせて、同一の探査機に送受信機を搭載できるメリットがある。本研究では、方式 I だけでなく、方式 II でも小惑星の内部構造探査が可能なことを、計測実験で示すことも目的とする。

### 3. 研究の方法

計測実験を小惑星の実スケール (数 100 m) で行うことは困難なため、縮小スケールの小惑星媒質モデル (直径 0.6 m) を計測対象とした。このため、フライトで想定している VHF/UHF 帯レーダ (数 10 ~ 数 100 MHz) は、P/L 帯レーダ (0.1 ~ 1.3 GHz) で模擬することとして、計測実験に用いる P/L 帯送受信機を製作した。また、プリント基板でビバルディアンテナを製作し、送受信アンテナに用いた。導電バルーンを模擬するため、銅シートを巻いた塩ビパイプを反射体として用いた。小惑星の媒質モデルは、直径 0.6 m のポリバケツ内に、土嚢袋に入れた砂、空気入りのポリタンク、岩を配置して、非一様な誘電率分布を模擬した。媒質モデルを回転台上に設置し、その周辺に送受信アンテナ・反射体を配置した。回転台で、媒質モデルの方を回転させることによって、送受信機・反射体搭載周回機の小惑星周回を模擬した。

方式 I の観測模擬では、回転台に対して送信アンテナを設置し (方位角 0 度とする)、受信アンテナの位置を方位角 22.5 度 (1/16 回転) 刻みで変化させて、媒質モデルを 1 回転させ 22.5 度刻みで、送信波に対する受信エコーの遅れ時間を計測した。また方式 II の観測模擬では、回転台に対して送信・受信アンテナを近接して設置し (方位角 0 度とする)、反射体の位置を方位角 22.5 度刻みで変化させて、媒質モデルを 1 回転させ 22.5 度刻みで、送信波に対する受信エコーの遅れ時間を計測した。

これらの計測実験で得られた観測データに、キルヒホッフマイグレーションを適用して、内部構造のインバージョンを行った。得られた内部構造のインバージョンイメージと、実際に媒質モデルに設定した内部構造との比較を行った。

### 4. 研究成果

#### 4. 1. P/L 帯レーダの設計・製作

縮小スケールの小惑星媒質モデルによる計測実験を行うための P/L 帯レーダの仕様を表 1、ブロック図を図 1、外観を図 2 に示す。信号生成部では、D/A 変換器で 12.8 ms の長さののこぎり波を生成し、電圧制御オシレータ (VCO) に入力することで、0.1 ~ 1.3 GHz のチャープ信号を生成する。用いた VCO の発振周波数範囲が 4 ~ 8 GHz だったため、2 個の VCO で差の周波数成分を取り出す方式を取っている。生成したチャープ信号をパワーアンプで +17 dBm に増幅して送信アンテナに給電する。送信信号の一部は方向性結合器を経由して参照信号として受信部に供給さ

れ、受信アンテナで検出されたエコー信号との混合・低周波成分の選択を経て、遅延時間に対応する周波数成分をもつパルス圧縮信号に変換される。この信号を 122 kHz でサンプリングし、Fourier 変換を行うことで、A-scan、すなわち遅れ時間の関数としてのエコー強度のデータを得る。本研究では、コスト削減のため、計測実験に用いる P/L 帯レーダを製造委託せず、内製した。

減衰器もしくは既知の長さの同軸ケーブル(波長短縮率 70%)を介して、送信機の出力を受信機の入力に接続した際の計測データを図 3 に示す。減衰器の減衰率が -70 dB から -20 dB の範囲では受信レベルがおおよそ線形に変化していてダイナミックレンジは 50 dB 程度と確認できる。ケーブル接続時には、ケーブル長 15cm, 30cm に対応して遅延時間 0.8, 1.6 ns が計測できており、0.1~1.3 GHz の周波数帯域幅から期待される分解能 0.8 ns (真空中換算で深さ 12.5 cm) がおおむね達成されていることを確認できる。送受信アンテナは、広帯域で比較的フラットな特性を持つビバルディアンテナを用いることとし、図 4 に示すようなプリント基板 (0.3×0.3 m) の両面にエレメントとなる銅パターンを配置したアンテナを製作した。

表 1. P/L 帯レーダの主な仕様

Operation frequency	0.1-1.3 GHz (Linear chirp)
Pulse duration	12.8ms
Pulse Repetition Frequency	12 Hz
Peak transmit power	17 dBm
Mass	2.13 kg (E-unit) 0.27 kg x 2 (Antenna)
Size	210 x 160 x 150 mm (E-Unit) 300 x 300 mm x 2 (Antenna)
Power consumption	18 W (1.48 A @ 12V, w/o CPU)
Data rate	393 kbps

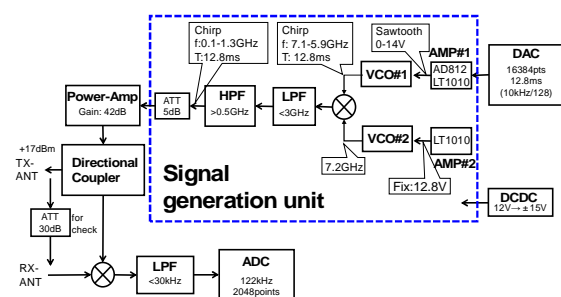


図 1. P/L 帯レーダのブロック図

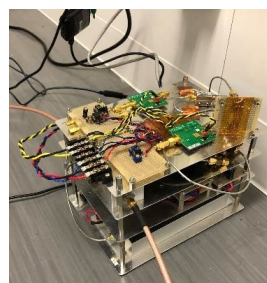


図 2. P/L 帯レーダの外観

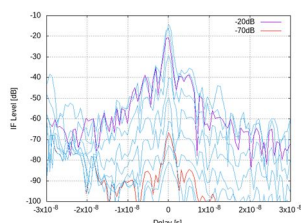


図 3. ダイナミックレンジ, 分解能の確認

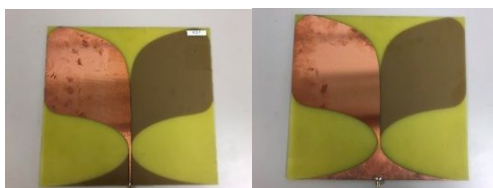


図 4. 送受信に用いたビバルディアンテナ

#### 4. 2. 小惑星媒質モデルのバイスタティックレーダ計測および内部構造推定

製作した P/L 帯レーダを用いて、縮小スケールの小惑星媒質モデルのバイスタティックレーダ計測を実施した。小惑星媒質モデルは、2 種類準備した。モデル 1, 2 の内部を図 5 に示す。モデル 1 は、直径 0.6 m のポリバケツ内に、土嚢袋に入れた砂、空気入りポリタンクを配置した。モデル 2 は、同じく直径 0.6 m のポリバケツに、土嚢袋に入れた砂、岩を配置した。モデル 1 に対する方式 I のバイスタティックレーダ計測の様子を図 6 に示す。この計測の中で、特に送信アンテナを方位角 0 度、受信アンテナを方位角 135 度に設置して、モデル 1 を 22.5 度刻みで回転させて得られた A-scan データの例を図 7 に示す。こうしたデータを受信アンテナの方位角を 0 ~ 180 度の範囲で 22.5 度刻みで変化させて取得した。同じくモデル 1 に対する方式 II のバイスタティックレーダ計測の様子を図 8 に示す。この計測の中で、特に送信アンテナ・受信アンテナを方位角 0 度、反射体を方位角 135 度に設置して、モデル 1 を 22.5 度刻みで回転させて得られた A-scan データの例を図 9 に示す。こうしたデータを反射体の方位角を 0 ~ 180 度の範囲で 22.5 度刻みで変化させて取得した。モデル 2 に対しても同様に方式 I, II のバイスタティックレーダ計測を実施し、A-scan データを得た。

これらの計測データを用いて、内部構造推定の解析を行った。本研究では、最初の試行として比較的簡易なキルヒホッフマイグレーションと呼ばれるインバージョン手法を適用した。キルヒ

ホッフマイグレーションは、媒質モデルの内部構造を矩形に分割し、観測されたエコーは、送信アンテナから受信アンテナ（又は反射体）までの伝播で、その矩形の個所で1回だけ散乱されると仮定して、その場合の遅れ時間で観測されたエコー強度をその矩形の反射強度として加算していく、という比較的簡易なインバージョン手法である。キルヒホッフマイグレーションを適用するためには、媒質内部での平均的な伝播速度を与える必要がある。本研究では、モデル内部の大半を埋める土嚢袋に入れた砂の密度  $1.6 \text{ g/cm}^3$  から砂のバルク誘電率を 2.8 と推定し [Carrier et al., 1991]、その場合の伝播速度 (光速/ $2.8^{0.5}$ ) を仮定した。モデル 1, 2 に対する方式 I, II のバスタティックレーダ計測データに、キルヒホッフマイグレーションを適用した結果得られたインバージョンイメージを図 10~13 に示す。砂でうめられた領域は、微細な空隙を含むためにそれらが誘電率コントラストとなって、diffuse で明るい高反射率領域として観測されている。これに対し、空気で占められた領域（モデル 1）、岩石で占められた領域（モデル 2）は、内部の誘電率コントラストが小さいために暗い低反射領域として観測されている。また、方式 I, II いずれのバスタティックレーダ観測でも、媒質モデルに対して、異なる相対位置の送受信アンテナ・反射体を経由した、様々な伝播経路のエコー強度データを利用できることから、内部構造の特徴を十分にとらえた良好なインバージョンイメージが得られている。一方で、方式 I に比べて、方式 II によるインバージョンイメージでは、現実の内部構造との相違が若干多くみられる。キルヒホッフマイグレーションで仮定する伝播路が、方式 I では片道、方式 II では往復となるため、より長い伝搬路の中で、仮定とは異なる散乱を経た伝播成分がより多く混入しているため、と考えられる。



図 5. 小惑星媒質モデル 1(左), 2(右)の内部



図 6. 方式 I の計測の様子

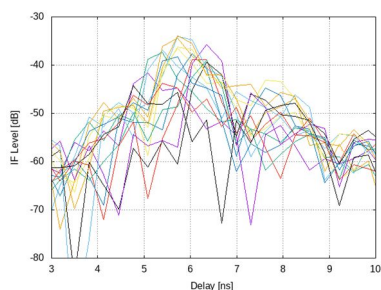


図 7. 方式 I で得られた A-scan データの例



図 8. 方式 II の計測の様子

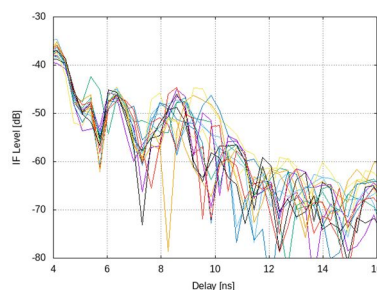


図 9. 方式 II で得られた A-scan データの例

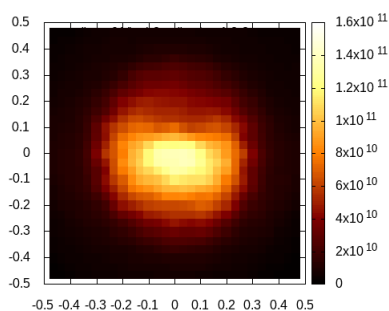


図 10. 小惑星媒質モデル 1 のインバージョンイメージ  
方式 I の計測データから推定

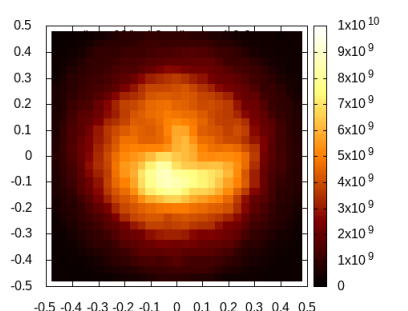


図 11. 小惑星媒質モデル 1 のインバージョンイメージ  
方式 II の計測データから推定



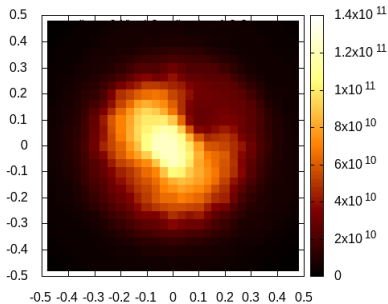


図 12. 小惑星媒質モデル 2 の  
インバージョンイメージ  
方式 I の計測データから推定

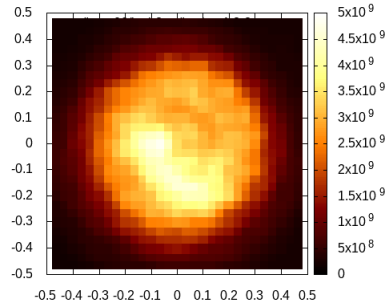


図 13. 小惑星媒質モデル 2 の  
インバージョンイメージ  
方式 II の計測データから推定

#### 4.3. 研究成果のまとめ

小惑星のバイスタティックレーダ観測によって、内部構造探査が可能なことを、縮小スケールの計測実験で示すことを目的として、(1) 計測実験に用いる P/L 帯レーダの設計・製作、(2) 製作したレーダ・反射体と小惑星媒質モデルを用いた小惑星のバイスタティックレーダの観測模擬、および計測データのインバージョン解析を行った。バイスタティックレーダ観測は、異なる探査機に送信機・受信機を搭載する方式 I に加えて、宇宙空間ではより実現しやすい同じ探査機に送受信機を搭載して別の探査機には中継器もしくは反射体を搭載する方式 II も模擬した。

はじめに P/L 帯 0.1~1.3 GHz のチャープレーダを設計・製作し、ダイナミックレンジ 50 dB、分解能 12.5 cm の性能を確認した。プリント基板で 0.3×0.3 m のビバルディアンテナを製作し、送受信アンテナに用いた。

次に、製作したレーダ及び反射体（銅板を貼った塩ビパイプ）を用いて、2 種類の小惑星媒質モデルについて、方式 I、方式 II でバイスタティックレーダ計測を実施した。小惑星媒質モデルは、直径 0.6 m のポリバケツの内部に砂、空隙、岩を配置することで不均質な誘電率分布を模擬した。小惑星媒質モデルを回転台の上に設置し、回転台の周辺に送信アンテナ・受信アンテナ・反射体を相対位置を変えて固定し、回転台を回転させることで、送信機・受信機・反射体を搭載した異なる探査機の小惑星周回を模擬した。小惑星媒質モデルは 22.5 度 (1/16 回転) 刻みで回転させてエコーの強度・遅れ時間をレーダで観測した。

得られた計測データにキルヒホッフマイグレーションを適用して、内部構造の推定を行った。得られたインバージョンイメージは、小惑星媒質モデルの内部に実際に配置した砂・空隙・岩の分布とよく一致しており、バイスタティックレーダ観測の有効性を計測実験によって示すことができた。方式 1 に加えて方式 2 でも比較的良好なインバージョンイメージが得られることが確認された。

本研究の計測実験によって、16 点/1 周回の観測を、送受信機・反射体の相対角を変えて 8 周回観測することで、ある程度の内部構造推定が可能となるバイスタティックレーダ方式の卓越した有効性が示された。今後、より定量的なエコー強度の評価と反射体の必要な大きさの見積もり、同様設定の計算機実験との比較を行って、計測結果のより詳細な理解・検討を進めるとともに、将来の小惑星内部構造探査の観測提案に向けた検討においても、本研究の成果を反映させていくことを予定している。

#### < 引用文献 >

Carrier, W. D. III et al., Lunar Source Book: A user's guide to the moon, in Physical Property of The Lunar Surface, edited by G. H. Heiken, D. T. Vaniman, B. M. French, 475-594, Cambridge Univ. Press, New York, 1991.

Grimm, R. E. et al., Radio reflection imaging of asteroid and comet interiors II: Results and recommendation, Adv. Space Res., 55, 2166-2176, doi:10.1016/j.asr.2015.01.038, 2015.

Kofman, W. et al., Properties of the 67P/Churyumov-Gerasimenko interior revealed by CONSERT radar, Science, 349, 6247, aab0639, doi:10.1126/science.aab0639, 2015.

Sava, P. et al., Radio reflection imaging of asteroid and comet interiors I: Acquisition and imaging theory, Adv. Space Res., 55, 2149-2165, doi:10.1016/j.asr.2014.10.021, 2015.

Wilkison S. L. et al., An estimate of Eros's porosity and implications for internal structure, Icarus, 155, 94-103, doi:10.1006/icar.2001.6751, 2002.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ishiyama Ken, Kumamoto Atsushi	4. 巻 9
2. 論文標題 Volcanic history in the Smythii basin based on SELENE radar observation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-50296-9	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 -
1. 著者名 Michel P., Ballouz R.-L., Barnouin O. S., Jutzi M., Walsh K. J., May B. H., Manzoni C., Richardson D. C., Schwartz S. R., Sugita S., Watanabe S., Miyamoto H., Hirabayashi M., Bottke W. F., Connolly H. C., Yoshikawa M., Laurretta D. S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Collisional formation of top-shaped asteroids and implications for the origins of Ryugu and Bennu	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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/s41467-020-16433-z	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 Morota T., Sugita S., Cho Y., Kanamaru M., Tatsumi E., Sakatani N., Honda R., Hirata N., Kikuchi H., Yamada M., Yokota Y., Kameda S., Matsuoka M., Sawada H., Honda C., Kouyama T., Ogawa K., Suzuki H., Yoshioka K., Hayakawa M., Hirata N., Hirabayashi M., Miyamoto H. et al.	4. 巻 368
2. 論文標題 Sample collection from asteroid (162173) Ryugu by Hayabusa2: Implications for surface evolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 654 ~ 659
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/science.aaz6306	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 HEMMI Ryodo, MIYAMOTO Hideaki	4. 巻 63
2. 論文標題 Morphology and Morphometry of Sub-kilometer Craters on the Nearside of Phobos and Implications for Regolith Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 124 ~ 131
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2322/tjsass.63.124	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 Hongo Keigo, Toh Hiroaki, Kumamoto Atsushi	4. 巻 72
2. 論文標題 Estimation of bulk permittivity of the Moon's surface using Lunar Radar Sounder on-board Selenological and Engineering Explorer	5. 発行年 2020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/s40623-020-01259-2	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 Kumamoto A. Ishiyama K.	4. 巻 52
2. 論文標題 Derivation of Lunar Subsurface Loss Tangent from SELENE Lunar Radar Sounder	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lunar Planet. Sci. Conf.	6. 最初と最後の頁 1510
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 Kumamoto A. Miyamoto H. Nishibori T. Tsuchiya F. Ishiyama K.	4. 巻 52
2. 論文標題 FDTD Simulation and Radar Experiments Using Scale-Down Model for Radar Sounding of the Asteroid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lunar Planet. Sci. Conf.	6. 最初と最後の頁 1838
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18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 熊本篤志, 宮本英昭, 西堀俊幸, 土屋史紀, 石山謙
2. 発表標題 レーダによる月表層・小惑星内部探査の計算機実験
3. 学会等名 日本惑星科学会2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野口里奈, 石山謙, 熊本篤志, 植村千尋, 笠羽康正, 白井寛裕, 大浦愛菜
2. 発表標題 火星のコブラテスカズマにおける地下水圏の分布可能性検討
3. 学会等名 日本惑星科学会2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊本 篤志、宮本 英昭、西堀 俊幸、新原 隆史、土屋 史紀、石山 謙
2. 発表標題 FDTD電磁界シミュレーションに基づくUHF帯GPRによる月表層の氷検出可能性の検討
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 小林 真輝人、新原 隆史、宮本 英昭
2. 発表標題 Preliminary examination of mineral structure effect on relative permittivity
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 大浦 愛菜、笠羽 康正、熊本 篤志、野口 里奈、白井 寛裕、石山 謙、植村 千尋
2. 発表標題 Search of shallow subsurface reflectors around RSLs in Martian Chryse and Acidalia planitiae by the MRO/SHARAD public data
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 春山 純一、岩田 隆浩、山本 幸生、郭 哲也、三宅 互、熊本 篤志、石山 謙、横田 康弘、大野 匠
2. 発表標題 月火星の縦孔と溶岩チューブとその天窓となる縦孔を通しての探査
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 関 華奈子、渡部 重十、中本 泰史、寺田 直樹、山崎 敦、松岡 彩子、臼井 寛裕、関根 康人、藤田 和央、横田 勝一郎、笠原 慧、斎藤 義文、中川 広務、熊本 篤志、前澤 裕之、火星宇宙天気・気候・水環境探査計画 検討チーム
2. 発表標題 戦略的火星探査：周回・探査技術実証機による火星宇宙天気・気候・水環境探査計画
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 岡田 達明, (19名), 熊本篤志, (22名)
2. 発表標題 OKEANOS：ソーラー電力セイルによる木星トロヤ群小惑星の探査とさらなる遠方への挑戦
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 Miyamoto, H., Kumamoto, A., Nishibori, T., Niihira, T., Sato, M., Sensyu, H., Iwata, T., Kobayashi, M., Tsuchiya, F. and Tsuji, T.
2. 発表標題 High-resolution Ground Penetrating Radar for Mapping Structures of Putative Ice Deposits on the Moon
3. 学会等名 Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) 16th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kumamoto A. Ishiyama K.
2 . 発表標題 Derivation of Lunar Subsurface Loss Tangent from SELENE Lunar Radar Sounder
3 . 学会等名 52nd Lunar and Planetary Science Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kumamoto A. Miyamoto H. Nishibori T. Tsuchiya F. Ishiyama K.
2 . 発表標題 FDTD Simulation and Radar Experiments Using Scale-Down Model for Radar Sounding of the Asteroid
3 . 学会等名 52nd Lunar and Planetary Science Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kumamoto, A., Miyamoto, H., Nishibori, T., Tsuchiya, F., Ishiyama, K.
2 . 発表標題 Development of subsurface radar for future Mars, the Moon, and asteroid explorations
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 Kobayashi, M., Niihara, T., Miyamoto, H., Kumamoto, A., Nishibori, T
2 . 発表標題 Permittivity of subsurface on Mars and its importance for electromagnetic wave reflection method such as radar sounder and ground penetrating radar
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 Haruyama, J., Ono, T., Miyake, W., Kumamoto, A.
2. 発表標題 Exploration of Lava tube of the Moon and Mars
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 Oura, A., Y. Kasaba, A. Kumamoto, R. Noguchi, K. Ishiyama, F. Tsuchiya, T. Usui, C. Uemura
2. 発表標題 Search of shallow subsurface reflectors in Chryse and Acidalia Planitiae on Mars
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 石山謙, 熊本篤志
2. 発表標題 FDTD 法に基づいた小惑星内部探査の基礎研究
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大浦愛菜, 笠羽康正, 野口里奈, 熊本篤志, 石山謙, 白井寛裕, 土屋史紀, 植村千尋, 木村智樹
2. 発表標題 火星のクリュセおよびアキダリア平原における地下構造の探索
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊本 篤志, 宮本 英昭, 西堀 俊幸, 土屋 史紀, 石山 謙
2. 発表標題 月・火星・小惑星地下探査レーダ試作機 を用いた検証実験
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020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	宮本 英昭  (Miyamoto Hideaki)  (00312992)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授   (12601)	
研究分担者	西堀 俊幸  (Nishibori Toshiyuki)  (80280361)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・研究領域主幹   (82645)	
研究分担者	土屋 史紀  (Tsuchiya Fuminori)  (10302077)	東北大学・理学研究科・准教授   (11301)	
研究分担者	石山 謙  (Ishiyama Ken)  (90783902)	鶴岡工業高等専門学校・その他部局等・講師   (51501)	

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