

エウロパにおける隕石衝突を使った地震波探査の可能性 Potential for seismic investigation of Europa using meteorite impacts

辻 大輔^{1*}; ティーンビィ ニコラス²
TSUJI, Daisuke^{1*}; TEANBY, Nicholas²

¹名古屋大学大学院環境学研究科, ²ブリストル大学地球科学専攻

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan, ²School of Earth Sciences, University of Bristol, UK

木星のガリレオ衛星の一つであるエウロパは、地表が氷層で覆われており、その下に液体の水が存在している可能性が高いと考えられている [1]。それ故、生命の存在の可能性が示唆されており、将来の探査計画の候補地として、注目を浴び続けてきた。実際、2022年の打ち上げを目標とした木星とガリレオ衛星の探査計画 JUICE (Jupiter Icy Moon Explorer) がLクラスの1番目のミッションとしてESAに採択された。

惑星の内部構造の理解のためには、地震波による探査が最も有効となり得る。Apollo計画における地震波探査では、数多くの地震波を探知することに成功し、我々の月の内部に対する理解を深めた。火星においても、Viking計画で、主に設置箇所の問題上成果は得られなかったものの、無人探査機による地震計設置の可能性を示した。なお、2016年のNASAのInSight計画において、再び地震計が火星に設置される予定である。

本研究では、エウロパ表面における隕石衝突に起因する地震波の探知可能性を調べた。震源として氷層の破碎によって生み出される地震波を考えると、地震計のデータにより震源決定するためには、一般には距離が離れた複数の地震計の設置が必要となる。しかし、隕石衝突に起因する地震波を探知することができ、エウロパ表面の観察等によりその衝突の位置が推定可能であれば、単一の地震計で内部構造の推定が可能となる。近年の研究では、火星について単一の地震計を使った地震波内部探査の可能性が調べられている [2]。そこで、我々はエウロパで一年間に単一の地震計で探知することのできる隕石衝突起源の地震波の数を、以下の関係を明らかにすることを経て見積もった。

1) エウロパ表面下におけるクレーターサイズと衝突エネルギーの関係を、衝突実験、爆破実験、シミュレーションで得られたデータを組み合わせることで導く。

2) エウロパにおける1年間当たりの隕石の衝突頻度を推定する。

3) 1)と2)の結果を組み合わせ、一年間に探知することのできる地震波の数を推定する。

4) 以上の結果を利用して、探査において利用可能な地震計の精度を踏まえ、最終的には隕石衝突を利用したエウロパ内部の地震探査計画の現実性を評価する。

参考文献

[1] F. Cammarano et al., J. Geophys. Res., 111, E12009 (2006)

[2] N. A. Teanby and J. Wookey, PEPI, 186, 70 (2011)

キーワード: エウロパ, 氷衛星, 衝突励起地震, 惑星探査

Keywords: Europa, icy satellites, meteorite induced seismicity, planetary exploration

飛翔体搭載用電場観測装置の開発 Development of electric field instrument onboard spacecraft

石坂 圭吾^{1*}; 小嶋 浩嗣²; 笠羽 康正³; 阿部 琢美⁴
ISHISAKA, Keigo^{1*}; KOJIMA, Hirotsugu²; KASABA, Yasumasa³; ABE, Takumi⁴

¹ 富山県立大学, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 東北大学, ⁴ 宇宙科学研究所
¹Toyama Prefectural University, ²RISH, Kyoto University, ³Tohoku University, ⁴ISAS

Measurements of electric fields are one of key elements for various missions. The detection of electric field is useful to identify global plasma dynamics and energetic processes in magnetosphere and ionosphere. The concrete examples are as follows.

- Electric field structure associated with the charged particle precipitation
- Electric field structure associated with the global motion of the ionosphere
- The role of the electric field in the acceleration and heating mechanisms of ions
- Propagation mechanism of the electric field in the auroral ionosphere to the low latitude ionosphere
- Electric field structure in the equatorial ionosphere

Many electric field measurements have been carried out in Japan. And the electric field detector onboard sounding rockets and satellites have been successfully used in the D, E and F regions of the ionosphere and in the magnetosphere.

The double probe technique have been extensively used on sounding rockets in order to measure electric field in the ionosphere. And the passive double probe technique has been proven to be a reliable technique in the high electron density plasmas of the ionosphere. The technique has been extended to the lower density plasmas of the D region of the ionosphere. For electric field measurement, a wire antenna has been used as a sensitive sensor onboard Japanese sounding rocket. And this antenna will be used for several spacecraft in the future mission. However, its extension mechanism is complicated and it is difficult for the sounding rocket to extend a wire antenna in the ionosphere. Accordingly new type antennas are developed in order to measure the electric field by the sounding rocket. Their antennas fulfill the severe requirements to the antenna system, i.e., light mass, enough stiffness, compact storage, safe extension, and reasonable test efforts. Three antennas were newly developed for the electric field measurement. These antennas were loaded on three sounding rocket in Japan (S-310-37, S-520-23, S-520-26). And these new style antennas deployed normally during the flight of a sounding rocket, and succeeded in the electric field observation in the ionosphere.

This paper describes about the basic measurement techniques of the electric field in the ionosphere. In particular it explains about three new type antennas in detail. Then we show the electric field in the ionosphere measured by the new type antenna onboard the Japanese sounding rocket.

キーワード: 電場観測装置, 電場観測センサー, アンテナ, 観測ロケット, 小型衛星

Keywords: electric field instrument, electric field sensor, antenna, sounding rocket, small satellite

プラズマ波動観測装置-プラズマ粒子観測装置間インターフェース用チップの開発 Developing of a chip for the interface between plasma wave instruments and plasma particle instruments

大西 啓介^{1*}; 頭師 孝拓¹; 小嶋 浩嗣²; 斎藤 義文³
ONISHI, Keisuke^{1*}; ZUSHI, Takahiro¹; KOJIMA, Hirotsugu²; SAITO, Yoshifumi³

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系
¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²Research institute for sustainable humanosphere, Kyoto University, ³Solar System Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Explora

宇宙空間は希薄なプラズマで満たされており、プラズマ粒子の持つ運動エネルギーは粒子の衝突ではなくプラズマ波動を介してやり取りされる。このプラズマとプラズマ波動の相互作用を粒子波動相互作用と呼び、宇宙空間で発生する電磁気学的な物理現象を解明する上で非常に重要である。

波動粒子相互作用を直接定量的に捉える手法として、「波動粒子相互作用解析装置 (WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer)」が提案され、我が国の次期衛星ミッション ERG に搭載されている。この WPIA では、観測粒子ひとつひとつの観測タイミングを、プラズマ波動観測の波形サンプリング時間と同程度の精度でとらえる必要がある。ERG 衛星ではプラズマ波動観測器が配信する時間情報を利用して、両者の相対的な時刻精度を保証しているが、一番正確なのは、粒子の検出信号を、プラズマ波動観測器内で、プラズマ波動をサンプリングしているクロックで、同時サンプルすることである。そこで、粒子観測パルスがプラズマ波動観測器内にインターフェースする回路があれば、時刻合わせのための複雑な手順が不要となり、よりシンプルで高精度な観測ができるようになる。そこで本研究では粒子観測器が捉えた荷電粒子到来パルスひとつひとつを、プラズマ波動観測装置への入力とするためのインターフェース回路を開発する。プラズマ粒子観測器からの出力は、その視野の分割数に従った多チャンネルの出力になるため、それをディスクリット部品で製作すると大きな規模になってしまう。特定用途向け集積回路 (ASIC) 技術を用いて新しい専用チップをつくることで粒子観測器からの信号を効率良くプラズマ波動観測器に取り込む。

インターフェース回路は電荷を検知し電圧として出力する前段部分と、電圧から粒子の到来を検出する後段部分からなり、それぞれにボルテージフォロワ回路とコンパレータを用いた。現在までに前段部分の設計を行った。想定される前段への入力波形は数 GHz 程の電流パルスである。この電流パルスを遅延や歪みの小さな電圧波形に変換する必要があるため、高速に動作するオペアンプ及びそれを用いたボルテージフォロワ回路を設計し、チップの試作を依頼している。発表では設計したインターフェース回路の詳細に加え、試作したチップの測定結果について述べる。

キーワード: 波動粒子相互作用, インターフェース, ASIC
Keywords: Wave-particle interaction, Interface, ASIC

ASICを用いた小型プラズマ波動波形受信機のダイナミックレンジの改善 Improvement of dynamic range of ASIC waveform receiver for plasma wave observations

糞 宏樹^{1*}; 尾崎 光紀¹; 八木谷 聡¹; 小嶋 浩嗣²; 頭師 孝拓²; 吉田 朗¹
KOJI, Hiroki^{1*}; OZAKI, Mitsunori¹; YAGITANI, Satoshi¹; KOJIMA, Hirotsugu²; ZUSHI, Takahiro²;
YOSHIDA, Akira¹

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科, ² 京都大学生存圏研究所

¹Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, ²Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Further reductions in mass, volume, and power of analog circuits are important in developing scientific instruments of plasma wave observations. Typical plasma wave receiver is roughly divided into two types: one is a waveform receiver and the other is a spectrum one. The waveform receiver provides a waveform with a high time resolution and phase information of a plasma wave. On the other hand, the spectrum receiver provides a frequency spectrum with a high frequency resolution and a high signal-to-noise ratio in comparison with waveform receivers.

We have been developing a plasma waveform receiver using Application Specific Integrated Circuit (ASIC) technology. Previous ASIC waveform receiver consists of a differential Gm-C Low-Path Filter (LPF), a main amplifier for the gain adjustment, a switched capacitor LPF for anti-aliasing with the cutoff frequency of 100 kHz, and a Gm-C LPF for reducing the clock pulse noise of the switched capacitor LPF. The previous ASIC receiver shows a sufficient low noise performance (210 nV/sqrt(Hz) at 10 kHz) and low power consumption (60 mW). However, the dynamic range of output voltage is not sufficient due to using operational transconductance amplifiers (OTAs) of Gm-C LPFs. In order to improve the dynamic range of the ASIC receiver, we have redesigned the ASIC receiver to exclude OTAs. In this study, we used active LPFs consisting of operational amplifiers (OPAs) instead of Gm-C LPFs using OTAs. As a result, the dynamic range increased by 80%. Moreover, the layout area decreased by 18%, and the number of transistors decreased by 60% in comparison with the previous ASIC receiver.

In this presentation, we will present the design principles of our ASIC receiver for plasma wave observations and discuss its electrical performances in detail.

キーワード: アナログ ASIC, プラズマ波動波形受信機

Keywords: Analog ASICs, Plasma waveform receiver

MMO搭載MIA センター特性の偏心モデル計算 A model calculation of MIA sensor characteristics on board MMO

宮崎 祥一^{1*}; 三宅 亙²; 斎藤 義文³; 横田 勝一郎³
MIYAZAKI, Shoichi^{1*}; MIYAKE, Wataru²; SAITO, Yoshifumi³; YOKOTA, Shoichiro³

¹ 東海大学大学院工学研究科, ² 東海大学工学部, ³ 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Engineering, Tokai University, ²School of Engineering, Tokai University, ³ISAS

MMO に搭載される MIA はトップハット型の静電分析器であり、水星周辺のイオンのエネルギー分析をおこなう。この MIA の地上校正試験によれば、ほぼ設計通りの性能を示している。しかし、本来は完全な軸対称であるはずが、イオン入射方位角に対して、透過エネルギーや透過仰角、Gファクターなどの分析器特性にわずかな依存性がみられる。この原因を、内球部・外球部・トップハット部の同心性のずれにあると仮定し、その再現をモデル計算で試みている。まず3次元軸対称でおおよそのずれに対する見積もりを計算し、精度を考察したうえで、3次元非軸対称でシミュレーションする。最終的には、より設計に近い静電分析器の実現につなげる。

キーワード: MIA, MMO

Keywords: MIA, MMO

衛星による火星表面サブミリ波偏波観測の模擬実験 Laboratory experiment simulating Martian surface observation with submillimeter-wave polarimetric radiometry

有村 健斗^{1*}; 落合 啓²; 笠井 康子²; 菊池 健一²; 北 和之³

ARIMURA, Taketo^{1*}; OCHIAI, Satoshi²; KASAI, Yasuko²; KIKUCHI, Kenichi²; KITA, Kazuyuki³

¹ 茨城大学大学院理工学研究科, ² 情報通信研究機構, ³ 茨城大学理学部

¹Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Faculty of Science, Ibaraki University

近年の観測から、火星大気と固体表層の間で有意な水循環が存在することが示唆されている。火星の水循環への理解を深めるためには火星表面温度の変動や気相-固相間の物質交換過程を広範囲かつ継続的に観測することが重要であるが、火星大気中のダストが妨げとなり光学的な観測が困難とされてきた。そこで、サブミリ波偏波放射観測が火星表面観測を行う上で有効であると考えられる。サブミリ波はダスト粒径よりも長い波長であるため、ダストの影響を受けない観測を可能にし、偏波観測を行うことで大気と地表の放射を区別した観測を実現する。サブミリ波偏波放射観測では地表の放射率が入射角と偏波によって変化することを利用し、地表面のサブミリ波放射を入射角/偏波を変えながら測定することで、放射率を推定し、温度・物質組成についての情報を得る。また、地表面から数波長程度の深さまでサブミリ波が透過すると考えられるため、地中の温度構造や物質組成などの情報が得られることが期待される。しかし、従来の惑星探査においてサブミリ波偏波観測の実施例は存在しないため、観測の実現可能性を十分に検討することが要求される。サブミリ波観測から表面物質組成の区別が可能かどうか、地中のどの程度の深さの情報まで得られるかについて実験的に十分に調べられていない。

そこで本研究では観測を模擬した室内実験システムを構築し、サブミリ波偏波観測で物質組成の違いを区別できる深さについて検討を行った。実験システムは物質の散乱・放射特性の偏波・入射角依存性の測定が可能となるように設計されており、火星表面気圧、表面温度を再現し、送受信機両方を使用して物質の散乱特性の測定を、また、受信機のみを使用することで物質の放射特性の測定を行うことが可能となっている。本測定系は入射角が $\pm 1^\circ$ の精度で測定する事が可能であり、約2Kの温度分解能を持つ。

実験では周波数230GHzの送受信機を用いて反射率の測定を行った。測定対象が滑らかな表面を持つ場合、放射観測で得られる放射率は一から反射率を引いた値と等しい。出力が既知である反射測定は放射測定と比べて測定値の解釈が容易であることから、放射観測の見通しを立てる上で反射測定を行うことが必要となる。火星の岩石と氷の区別が可能か検討するため、測定対象として火星に存在する岩石の主成分が珪酸塩鉱物であることからガラス板を、この周波数帯で氷に近い誘電率をもつことからPET板を選定した。入射角/偏波を変えながら5.0mm厚のガラス板とPET板の反射率を測定し比較することで、反射率から物質組成の差異を区別できるか試みた。その結果、入射角20-70度のV偏波の反射率からのガラス・PETの区別ができることがわかった。さらに、ガラスの下にPETを配置し、上層のガラス層厚を変えて反射測定を行うことで、地表面が二層構造となった場合に観測から下層物質の存在を検出できるかどうかの検討を行い、またその深さの上限値を調べた。二層構造の反射率測定結果から、入射角65度および70度のV偏波でガラスのみの反射率と下層にPETがある場合の反射率の差異を検出することができ、そのときのガラス層厚の上限値は3.0mmであることがわかった。この厚さは本実験における測定波長の約二倍にあたる。このことから、ガラスと同程度の誘電率をもつ地表面の放射観測を行った場合に波長の二倍の深さまでに氷があるかどうかや、下層の温度変化を検出することが期待できると考えられる。今後は放射測定でも同様にガラス・PETの差異を検出できるか確認を行う予定である。また、ガラス以外の物質を上層に配置して同様の測定を行い、誘電率の変化によって氷を検出できる上限の深さが変わるか、その深さは誘電率から予測できるか検討を行う必要がある。

キーワード: 火星, 表面観測, サブミリ波

Keywords: Mars, surface observation, submillimeter-wave