

A three-dimensional hybrid simulation of small magnetospheres and its applications

Masao Nakamura[1]

[1] Dept. of Aerospace Eng., Osaka Prefect. Univ.

Small magnetospheres are formed around magnetized small objects and crustal magnetic anomalies of planetary and lunar surfaces and are also artificially formed for magnetosail propulsions and solar storm shelters relevant to spacecraft protection from solar energetic protons. We study ion scale magnetospheres by performing a three-dimensional global hybrid simulation. The dayside stand-off distance of the ion scale magnetosphere are several to a hundred times larger than the ion Larmor radius of the solar wind proton at the stand-off position where the magnetic field pressure equals to the solar wind dynamic pressure. Since the hybrid simulation treats ions as kinetic super particles via a particle-in-cell method and electrons as a massless fluid, it is suitable for the study of the ion scale magnetosphere. The spatial scale and shape of the ion scale magnetosphere are similar to those of a down-sized MHD scale magnetosphere but its local structures are considerably different from the MHD ones due to the finite Larmor radius effects in the interaction between the solar wind and the magnetosphere. The local structures are considerably controlled by the interplanetary magnetic field. These are important for understanding the formation and structure of small magnetospheres for their various applications.

月面磁気異常上空の太陽風電子ダイナミクスの3次元シミュレーション解析

松原 琢磨 [1]; 白井 英之 [2]; 沼波 政倫 [3]; 松本 正晴 [4]; 西野 真木 [5]; 三宅 洋平 [6]

[1] 神戸大・システム情報; [2] 神戸大・システム情報; [3] 核融合研; [4] 東大・情基セ; [5] 名大 STE 研; [6] 神戸大学

Three-dimensional analysis on the solar wind electron dynamics above a lunar crustal magnetic anomaly

Takuma Matsubara[1]; Hideyuki Usui[2]; Masanori Nunami[3]; Masaharu Matsumoto[4]; Masaki N Nishino[5]; Yohei Miyake[6]

[1] System Informatics, Kobe Univ.; [2] System informatics, Kobe Univ.; [3] NIFS; [4] ITC, UTokyo; [5] STEL, Nagoya University; [6] Kobe Univ.

The objective of this research is to study the response of solar wind plasma to a lunar crustal magnetic anomaly, particularly the three-dimensional behavior of the solar wind electrons above the magnetic anomaly. We will examine the electron responses to a magnetic anomaly called Reiner Gamma by performing three-dimensional full particle-in-cell simulations.

In the simulation domain, we set one magnetic dipole under the lunar surface as the Reiner Gamma magnetic anomaly. We define the size of the magnetic anomaly L as the distance between the dipole center and a position where the solar wind dynamic pressure balances the magnetic pressure. At the location of L above the magnetic anomaly, the Larmor radius of electrons is much smaller than L and that of ions is larger than L . In the previous works, it is reported that a mini-magnetosphere was formed in this situation and that intense electric field induced by the difference of dynamics between the solar wind electrons and ions above the magnetic anomaly plays an important role in the formation of the mini-magnetosphere. In the simulations, we observed strong current around the boundary layer of the magnetosphere. The boundary current mainly consists of electrons flow. In the low latitude region, electrons make a drift motion in the dawn-to-dusk direction. In the mid- and high- latitude regions, on the other hand, the electron drift direction is reversed. In the aspect of the electron current path, it seems that the current path is closed between the low latitude and the high latitude, forming a kind of current loop in the dayside region of the mini-magnetosphere both in the Southern and Northern hemisphere. In this study, we will report the detail of the three-dimensional behavior of the solar wind electrons in the boundary layer region of the mini-magnetosphere.

本研究の目的は、月面磁気異常に対する太陽風プラズマ応答、特に小型磁気圏境界層領域の電子ダイナミクスに着目し、それを運動論的観点から3次元プラズマ粒子シミュレーションにより解明することである。シミュレーションでは、磁気異常における特に磁場密度の高い領域での空間解像度を上げるために適合格子細分化法 (AMR) を導入した。

我々は月面磁気異常の一例として Reiner Gamma をモデルとして採用し、月面下に中心を持つ1つの磁気ダイポールを Reiner Gamma 磁気異常としてシミュレーション領域内に設定する。ダイポール中心から磁気圧と太陽風動圧が釣り合う点までの距離を磁気異常の代表長 L とすると、磁気異常ではその代表長 L が太陽風電子のジャイロ半径よりも十分大きく、イオンのジャイロ半径より小さい。このような状況において、磁気異常上空において小型磁気圏が形成されることはこれまでの研究において明らかにされており、磁気圏境界層における太陽風電子とイオンの磁場に対する応答差に起因する静電界が磁気圏形成に重要な役割を果たしていることも知られている。磁気圏境界層では、強い電流が観測されており、本研究では特にこの境界層における太陽風プラズマ、特に電子の3次元的挙動に着目する。境界層低緯度領域においては朝側から夕方側に向かう電子ドリフト運動が顕著であるが、中高緯度領域においては逆に夕方側から朝側に向かう電子の流れが主に見えた。このような二層の電子ドリフト運動の構造により磁気圏層間側、すなわち磁気異常上空の南北両半球において電子電流の渦的構造が見られた。地球磁気圏における Chapman Ferraro 境界層電流に相当するが、磁気異常による小型磁気圏の場合、月面があるため磁気異常上空で閉じた電流構造となっている。本講演ではシミュレーション結果を用いてこれらの電流構造の詳細を議論する。

太陽風プロトンとアルファ粒子が月磁気異常領域によって受ける影響の比較

加藤 大羽 [1]; 齋藤 義文 [2]; 西野 真木 [3]; 横田 勝一郎 [2]
[1] 東大・理・地惑; [2] 宇宙研; [3] 名大 STE 研

Comparison of the effects of lunar magnetic anomalies on the solar wind protons and alpha particles

Daiba Kato[1]; Yoshifumi Saito[2]; Masaki N Nishino[3]; Shoichiro Yokota[2]
[1] EPS, Univ. of Tokyo; [2] ISAS; [3] STEL, Nagoya University

Since the Moon is mostly located outside the Earth's magnetosphere except for the full moon period, lunar surface is directly affected by the solar wind. Observation of the solar wind ions around the Moon is very important in understanding not only the lunar plasma environment but also the space weathering of the lunar surface.

Investigating the interaction between the Moon and the solar wind is one of the typical science targets of the lunar plasma observation. In the lunar plasma environment, the solar wind ions are the major supplier of ion. Therefore, detailed study of the solar wind ions is important in understanding the lunar plasma structure. The flux of the magnetically reflected solar wind ions was reported to be about several tens of percent of the incident solar wind ion flux. The solar wind consists of protons as a major component, several percent of alpha particles as a second major component, and a small amount of heavier ions. Although the solar wind ions consist of multiple ion species, nobody has ever investigated the reflected solar wind ions over lunar magnetic anomalies separating the ion species.

We have analyzed the data obtained by low energy charged particle analyzers MAP-PACE and magnetometer MAP-LMAG on Kaguya. We have found that the reflected protons and the reflected alpha particles show significantly different behavior over lunar magnetic anomalies. In particular, the ratio of the reflected flux to the incident solar wind flux, and the bulk speed of reflected ions are different.

We will put focus on the bulk speed of the reflected protons and reflected alpha particles. We have newly found a relation between the observed direction and the magnitude of the deceleration where the magnitude of the deceleration is different between the reflected ions parallel and tangential to the lunar surface. This relation has no dependence on the angle between the incident solar wind ions and the lunar surface. It may be due to the different behavior between protons and alpha particles after being reflected by magnetic anomalies.

In order to understand the observation, we have made a model of the magnetic anomaly and calculated the trajectory of the solar wind protons/alpha particles. We have calculated the proton and alpha particle trajectory after magnetic mirror reflection, at the same observation position, with same magnetic field intensity, and with the same incident bulk speed and direction. In this case, Larmor radius of the alpha particle is twice larger than that of the proton. Therefore alpha particles have trajectory with larger spatial scale than protons. It can explain not only the difference in the deceleration but also the difference in the ratio of the reflected flux to the incident flux between the solar wind protons and alpha particles.

It has been thought that the solar wind ions over strong lunar magnetic anomalies are reflected by the magnetic field, and most of the reflected ions will not reach the lunar surface. The result of this study shows that the interaction between the solar wind and the Moon is different between the different solar wind ion species. Therefore, the amount of the solar wind ions that impact the Moon surface depends on the ion species. It is applicable to the research of lunar surface evolution process because the ion species reaching the lunar surface can be determined. This study can contribute to the lunar plasma physics and solid planetary science.

月は満月の前後の短い期間を除き、大部分の期間で地球磁気圏の外に位置している。この期間、月は直接太陽風と相互作用しており、月面近傍まで到達した太陽風イオンは月プラズマ環境や月表面の宇宙風化に大きな影響を与えている。

月面と太陽風の相互作用の解明は、月周辺のプラズマ環境の研究における代表的な科学目標である。厚い大気も大局的な固有磁場も存在しない月のプラズマ環境において、太陽風は最大のプラズマ粒子源である。月の磁気異常領域上空では、太陽風イオンの数十パーセントが磁場によって反射されることが知られている。太陽風イオンはプロトンが主成分であるが、ヘリウムの2価イオンである、アルファ粒子も数パーセントほど含まれており、ごく微量ながら酸素イオン等も確認されている。このように月へ飛来してくる太陽風イオンには複数の種類が存在しているにも関わらず、太陽風イオンをイオン種別に分類した上で月のプラズマ環境の議論はこれまで行われていない。太陽風イオンをイオン種で分類し比較することではじめて得られる情報を用いて詳細な議論を行うことで、月表面の磁場構造の把握やその上空の電場構造を含む、月周辺環境の理解を進めることができる。

月探査衛星「かぐや」に搭載されたプラズマ・磁場観測装置 MAP-PACE, LMAG の観測データを用い、磁気異常上空で反射されたイオンについて質量分析を含めた解析を行った。解析の結果、磁気異常領域上空において、磁気異常によって反射された太陽風イオンのプロトンとアルファ粒子は異なる分布を示すことが明らかとなった。特に反射フラックスの強度と、反射後の減速の度合いがこの2種類のイオン粒子で異なることが顕著に確認された。

本発表では、特に反射されたプロトンとアルファ粒子の減速に焦点を当てて発表を行う。同じ速度、同じ方向から入射してきた太陽風プロトンとアルファ粒子が、月磁気異常領域の磁場によって反射され高度を上げ、「かぐや」高度で観測

されたときの反射速度と観測方向の関係性を調べた。まずは月表面と垂直方向に入射してきた太陽風イオンが強い磁気異常によって反射されたとき、その上空で観測を行っていた「かぐや」の観測データを確認した。その結果、月表面から垂直方向に飛来してきた反射粒子と平行方向から飛来してきた反射粒子とで、減速の仕方に違いが確認された。またフラックス強度についても反射方向によって強度差が存在した。これらの特徴はプロトンよりもアルファ粒子の方が顕著に観測された。次に、太陽風イオンの入射方向に注目し、太陽風イオンの入射方向と月表面の角度が垂直方向でない場合についても調べたところ、同様の結果が得られた。このような太陽風イオンの反射方向と減速の関係は、太陽風イオンの入射角度に依らず確認されることから、反射後のプロトンとアルファ粒子が持つ特徴の差が表れていると考えられる。

この解析結果を理解するために、モデルとなる磁気異常を想定して入射太陽風イオンの反射軌道の計算を行った。入射速度、入射方向、磁場強度、観測位置などが同じ条件下でのプロトンとアルファ粒子の反射後の軌道を計算した。この場合、アルファ粒子のラーマー半径はプロトンのものの2倍の長さとなる。このラーマー半径の大きさの差によって、月面付近に到達した太陽風アルファ粒子は太陽風プロトンよりも大きな空間スケールの軌道を描いて反射し、観測高度まで到達するはずである。ラーマー半径の違いを考慮すると、太陽風プロトンとアルファ粒子の間の減速の仕方の違いだけでなく、反射後のフラックス強度の減少比の違いについても説明することができる。この粒子軌道計算結果と、「かぐや」観測の解析結果についての整合性についても本発表で併せて報告する。

これまで、月の強い磁気異常領域に飛来してきた太陽風イオンは磁場によって反射され、月表面にはほとんど到達しなくなると考えられてきた。しかし本研究の結果から、太陽風プロトンとアルファ粒子で月プラズマ環境の影響を受けた後の振る舞いが異なることが示唆された。このことはイオンの種類によって月表面への到達率が異なるということであり、月周辺空間におけるプラズマ物理学だけでなく固体惑星科学の分野にも役立つ情報を得られる事が期待できる。

Subsurface structures beneath Reiner Gamma on the Moon: constraint from the Kaguya Lunar Radar Sounder

Norihiro Nakamura[1]; Atsushi Kumamoto[2]; Yuichi Bando[3]

[1] Earth Science, Tohoku Univ; [2] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [3] Geology, Tohoku Univ.

Reiner Gamma is a sinuous feature in Oceanus Procellarum; it has a higher reflectance of the visible wavelength than the surrounding flat mare basalt, and displays a high crustal magnetic field, called 'mini-magnetosphere'. Contradictory depths of magnetic source bodies in the lunar crust have been proposed as either shallow origin or deep one of Reiner Gamma. If a shallow highly magnetized ejecta layer existed beneath the Reiner Gamma formation, a subsurface lithological boundary between the denser mare basalt and the less dense ejecta blanket would be expected. This presentation examines subsurface stratifications using the Lunar Radar Sounder (LRS) onboard the Kaguya spacecraft. Taking into account the LRS-determined dielectric constants, the influence of surface clutter, and the energy loss of the LRS radar pulses in the high frequency band (5 MHz), no evidence was found of subsurface boundaries down to a depth of 1000-m at Reiner Gamma. Given the LRS range resolution of 75-m, the source of the magnetic anomaly is considered to be either strongly magnetized thin breccia layers at depths shallower than 75-m, or less magnetized thick layers at depths deeper than 1000-m. This study was also able to determine the range of dielectric constants for surface regolith and mare basalt.

地球磁気圏ローブ中の月周辺のイオンサイクロトロン波の発生特性

中川 朋子 [1]; KAGUYA/MAP/LMAG Team 綱川 秀夫 [2]; 斎藤 義文 [3]
[1] 東北工大・工・情報通信; [2] -; [3] 宇宙研

Occurrence properties of ion cyclotron waves near the moon in the Earth's tail lobe detected by Kaguya

Tomoko Nakagawa[1]; Tsunakawa Hideo KAGUYA/MAP/LMAG Team[2]; Yoshifumi Saito[3]
[1] Tohoku Inst. Tech.; [2] -; [3] ISAS

<http://www.ice.tohtech.ac.jp/~nakagawa/>

Occurrence properties of narrowband ion cyclotron waves in the vicinity of the moon in the earth's tail lobe was investigated by using 1-s averages of the magnetic field data obtained by MAP/LMAG magnetometer on board Kaguya during the period from October 2007 to June 2009. The occurrence rate was 0.4% throughout the period, and higher (0.65%) at lower altitude (2009) while lower (0.31%) at higher altitude. The ion cyclotron waves were detected on the dayside and on the nightside, irrespective of the magnetic anomaly of the moon, or the magnetic connection to the lunar surface.

月が地球磁気圏尾部のローブ中にあるとき、周期約 10 秒のイオンサイクロトロン波が月面上で観測されている (Chi et al., 2013)。この波は、周波数がプロトンのサイクロトロン周波数よりやや低く、狭帯域で、左回りの偏波が卓越するという特徴を持っている。その励起機構として、月面での吸収により高まったプラズマ温度異方性によるサイクロトロン不安定と、ピックアップイオンのサイクロトロン共鳴の2つが提案されているが、詳細は未解明である。

このサイクロトロン波は、アポロ 15-16 号ミッションで月面上に固定された磁力計によって発見されたため、発生機構を考えるうえで重要な、空間分布に関する情報が少ない。そこで本研究では、月周回衛星かぐや搭載の磁力計 LMAG によって観測された磁場 3 成分 1 秒値を用い、その発生特性を調べた。

2007 年 10 月から 2009 年 6 月までの期間中、衛星が地球の磁気圏尾部中にある時期を選び、120 秒ごとにフーリエ変換ののち、ピーク周波数におけるパワーが $0.3\text{nT}^2/\text{Hz}$ 以上で、かつ、まわりの周波数のパワーより 17dB(50 倍) 以上高いものを現象として検出した。まわりの周波数のパワーが $0.03\text{nT}^2/\text{Hz}$ を超える場合は、ローブではなくてマグネトシートやプラズマシートの可能性が高いので除外した。

これにより、ローブ中の磁場観測期間の 0.4% でイオンサイクロトロン波が検出された。そのピーク周波数はおよそ 0.1Hz で、その場のプロトンサイクロトロン周波数の 0.6 倍ないし 2 倍、左回りのほぼ円偏波であることから、アポロミッションで発見されたものと同じであることがわかる。

このイオンサイクロトロン波は月の昼側（地球側）でも夜側（尾部側）観測されており、昼側がやや多いものの、検出位置に際立った特徴はない。月面上の固有磁場との関係もあまり見られない。磁力線が月面と探査機をつないでいるときも、そうでないときも観測されており、月面によるプラズマ吸収による温度異方性による励起とは考えにくい。波形を見ると、いくつかのパケット状になっていることがよくあり、間欠的に発生しているのではないかと感じられる。年ごとに分けて検出率を求めてみると、衛星高度が高かった（おおむね 90km 以上）2007-2008 年の検出率は 0.31% であったのに対し、高度を下げた（40 - 90km）2009 年の検出率は 0.65% であり、低高度での波の励起が示唆される。

Observation of wake edge turbulence polarized around the Moon in the solar wind

Yasunori Tsugawa[1]; Yuto Katoh[2]; Naoki Terada[3]; Hideo Tsunakawa[4]; Futoshi Takahashi[5]; Hidetoshi Shibuya[6]; Hisayoshi Shimizu[7]; Masaki Matsushima[8]

[1] STEL, Nagoya Univ.; [2] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [3] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [4] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH; [5] Kyushu Univ.; [6] Dep't Earth & Env., Kumamoto Univ.; [7] ERI, University of Tokyo; [8] Dept Earth & Planetary Sciences, Tokyo Tech

As a result of the solar wind interruption by obstacles, whistler / fast and slow magnetosonic wakes or shocks are formed depending on effective scales of the obstacles [Omidi et al., 2002, 2003; Blanco-Cano et al., 2003; Russell et al., 2005]. The Moon, a less-conductive and airless body without global magnetic field but with local magnetic anomalies, forms the global lunar wake and local wakes of the magnetic anomalies in the solar wind. The wake edge is predicted to be perturbed or phase-standing in the solar wind. However, signatures of the wake edge turbulences have not been clarified because of their small phase velocity in the Moon frame, which makes it difficult to observe them.

We find the evidence of the wake edge turbulence by utilizing ARTEMIS observations, when the two probes simultaneously passed through almost the same region but in opposite directions. At that duration, the probes detected low frequency magnetic turbulences less than ~ 0.01 Hz with different polarizations, indicating that they are the same waves Doppler-shifted by opposite spacecraft velocities. The waves should be phase-standing in the Moon frame, and propagating upstream against the solar wind with the phase velocity comparable to the solar wind velocity. They are suggested to be whistler-mode waves because they are right-hand polarized when the spacecraft orbits in the solar wind direction, which would be the opposite direction of the wave phase velocity, and are left-hand polarized in the opposite case. We investigate the waves observed by Kaguya and ARTEMIS, and reveal their statistical properties. The results suggest that they are whistler wake turbulences phase-standing in the Moon frame caused by the solar wind interruption with the charged surface or the magnetic anomalies.

A long-term all-sky imager observation of lunar sodium tail

Masaki N Nishino[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Yuichi Otsuka[2]

[1] STEL, Nagoya University; [2] STEL, Nagoya Univ.

The Moon possesses long tail of neutral sodium atoms that are emitted from the lunar surface and transported anti-sunward by the solar radiation pressure. Since the earth crosses the lunar sodium tail for a few days around the new moon, the resonant light emission from sodium atoms can be detected from the ground. Here we show a long-term (over 15 years) observation of the lunar sodium tail using all-sky imager at Shigaraki Observatory (35N, 136E), Japan. We have surveyed our database of all-sky sodium images at a wavelength of 589.3 nm to find more than 20 events in which a bright spot emerges around the anti-lunar point during the new moon periods. So far, we could not find clear correlation between the sodium brightness and solar wind parameters (density, speed, dynamic pressure, and F10.7 index). In particular, no enhancement of the sodium spot brightness is detected even under high density solar wind conditions (80/cc), which suggests that solar wind sputtering is not effective for the formation of the lunar sodium exosphere. We will present the latest results of our data analysis to discuss signatures of the lunar sodium tail as well as the possible origin of the lunar sodium exosphere.

地球から月への酸素イオン輸送

横田 勝一郎 [1]; 齋藤 義文 [1]; 北村 成寿 [2]; 西野 真木 [3]; 綱川 秀夫 [4]
[1] 宇宙研; [2] JAXA 宇宙研; [3] 名大 STE 研; [4] 東工大・理・地惑

Transport of oxygen ions from the Earth to the Moon

Shoichiro Yokota[1]; Yoshifumi Saito[1]; Naritoshi Kitamura[2]; Masaki N Nishino[3]; Hideo Tsunakawa[4]
[1] ISAS; [2] ISAS/JAXA; [3] STEL, Nagoya University; [4] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH

It is believed that the Moon was formed due to the impact between the Earth and a planet-sized body, which we have called Theia. In order to confirm that the impact had taken place, many studies were done by numerical modeling and measuring the ratios between the isotopes. Theoretical models proposed that the Moon would form mostly from Theia, and thus would be expected to be compositionally different from Earth. However measured isotope ratios are similar between the Earth and Moon. Measured isotope ratios and theoretical models conflict with each other. Recent measurements used lunar samples from the Apollo 11, 12 and 16 missions and found significantly higher levels of $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ than Earth's counterparts.

One of the reasons of the similarity of the isotope ratio is isotope exchange with water from the Earth especially in lunar samples arrived via meteorites. We propose the other reason, oxygen ion transport from the Earth to the Moon, because many satellites such as GEOTAIL and STEREO observed the ion escape from the Earth in the Earth's magnetotail.

KAGUYA, a Japanese lunar orbiter, conducted scientific observation in 100 km altitude in 2008. An ion mass analyzer on KAGUYA detected oxygen ions coming from the Earth to the Moon in the Earth's magnetosphere. Here we show the amount of the oxygen ion transport estimated by using KAGUYA data and discuss the effect to measuring the isotope ratios.

月はかつて、テイアと名付けられた巨大隕石が地球へ衝突したのを機に形成されたと広く考えられている。この隕石衝突による月形成モデルは数値計算等で理論的に研究されていて、また月から得た試料の同位体分析による実証の試みがなされている。数値計算モデルによる研究では月の物質の大部分はテイアから供給されたということが提唱されている。しかしながら、同位体分析では月と地球の試料で非常に近似した結果が得られていて、これは地球が月に対して大きく物質供給したことを示唆することになる。数値計算と同位体計測はそれぞれ矛盾した結果を示していたが、最近になってアポロによる月試料を精度良く分析することで、 $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ において地球の試料とは異なる結果も出るようになってきている。

同位体分析が月と地球の試料で近似した結果が出た理由として、地球での試料の汚染などがまず考えられている。一方で、GEOTAIL 衛星を始めとした地球磁気圏観測衛星により、特に酸素イオンが地球起源粒子として地球から散逸し、地球磁気圏尾部へと流されていくことが観測されている。最も遠い場合だと 200 地球半径離れた地球磁気圏で、地球起源の酸素イオンが観測されている。酸素イオンの流出は太陽風の状態に大きく依存した間欠的なイベントではあるが、月は一月に 5 日ほど 60 地球半径離れたところで地球磁気圏を通過するため、地球起源の酸素イオンは月表面に輸送されていると考えることが出来る。

月探査衛星「かぐや」は太陽風が静穏な時期ではあるが 2008 年を 100km 高度で周回した。イオン分析器が「かぐや」には搭載されていて、地球磁気圏において地球起源と思われる酸素イオンが地球から月面へ流入する状況を観測した。我々はこの酸素イオンの流量と観測時間から、地球から月へと輸送される酸素イオンの量を見積もった。本発表では酸素イオンの輸送量を示し、月試料の同位体分析に対する影響を考察する。

かぐや波形観測データに関する類似現象検索システムの検索効率と検索精度の改善

宮崎 大夢 [1]; 笠原 禎也 [1]; 後藤 由貴 [1]
[1] 金沢大

Improvement of efficiency and precision of the similar data retrieval system for KAGUYA/WFC-L

Hiromu Miyazaki[1]; Yoshiya Kasahara[1]; Yoshitaka Goto[1]
[1] Kanazawa Univ.

In recent years, measuring plasma wave has a critical role in understanding the physical phenomena in the solar terrestrial plasma. Measuring plasma wave is particularly essential to understand the microcosmic elementary process of plasma. However, the quantity of measured raw waveform data is very big, and it is extremely difficult to classify and analyze this data manually. Therefore, our study group has been developing a method to extract data similar to the wave phenomena designated by a user automatically from a large quantity of data measured by Akebono and KAGUYA. The purpose of this study is to improve efficiency and precision of the similar data retrieval system especially for the waveform data measured by WFC-L onboard KAGUYA.

The WFC-L data measures electric field waveform less than 100 kHz at sampling frequency 250 kHz, however, it is difficult to define the similarity when we directly treat this waveform data. In this study, we apply short-time Fourier transform to the WFC-L data to make spectrogram data and regard this spectrogram as an image, and calculate similarity of two dimensional images instead of comparing the waveform data directly.

Because the frequency coverage of the WFC-L is very wide from a few Hz to 100 kHz, we usually draw a spectrogram image using a logarithmic frequency scale. On the other hand, we apply FFT to the original waveform data in the conversion process into frequency domain, so that the frequency component is given by linear scale. In this study, we apply pixelization to the higher frequency range so as to make the size of each pixel uniform in a logarithmic frequency scale.

In the preparation process of the key parameters for similar data retrieval, we prepared several kinds of datasets which have different frequency and time resolution in order to meet the requirement of researchers depending on their interests in wave phenomena, which have various kinds of time and frequency scale. Improvement of the system is still in progress, and we plan to evaluate the performance and accuracy of the search results in the near future.

近年、太陽・地球系プラズマ中の物理現象の理解のために、プラズマ波動観測が重要な役割を果たしている。特に波形観測は、ミクロなプラズマ素過程の理解に必須であるが、生波形データはデータ量が非常に大きく、これらのデータを手作業で分類・解析することは困難を極める。このため、我々の研究グループでは、あけぼの及びかぐやで取得した大量の観測データから、ユーザがある一つの特徴的な波動現象を指定すると、それと類似したデータを自動抽出する方法の研究を行ってきた。本研究では、かぐや衛星搭載の WFC-L が取得した波形データを対象に、類似現象の検索効率と検索精度向上を目指す。

WFC-L データは 100kHz 以下の電界波形をサンプリング周波数 250kHz で計測するが、波形データをそのまま扱う場合、類似性の定義が難しい。そこで本研究では、WFC-L データに対して短時間フーリエ変換を実行して、スペクトログラムを作成し、このスペクトログラムを画像として捉え、二次元画像の類似性を求めることで、WFC-L データを直接比較する代わりとしている。

WFC-L データは対象とする周波数帯が数 Hz から 100kHz までと非常に広い為、検索で用いるスペクトログラム画像は周波数方向を対数で描いている。しかし、画像の元となるスペクトログラムは、波形データを FFT して求めるため、周波数成分が線形である。このため、類似性の算出にはこの差異の解決が必須であった。そこで本研究では、作成したスペクトログラムをそのまま用いるのではなく、低周波から高周波にかけてセルが指数関数的に大きくなるグリッドを用いて、スペクトログラムにモザイク処理を施したデータを作成し、検索に用いることにした。これにより、作成したデータが、周波数軸を対数で描いたスペクトログラム画像上で高周波から低周波まで均等に画像分割が可能となる。

WFC-L データは周波数・時間分解能が非常に高いという特徴を有している。このため、WFC-L データを対象とする類似検索では、ユーザが検索元データを選択する際に、研究目的に応じて、非常に細かいものから大きなものまで、幅広いスケールで対応することが要求されていた。そこで本研究では、先述のモザイク処理の粗さに複数の段階を設けることで、時間・周波数スケールの異なる複数のデータを作成することにした。作成された複数種のデータを検索によって使い分けることで、ユーザの検索目的に応じたスケールの違いに対応した検索の実現をめざした。

現在、新たに提案したアルゴリズムを採用した類似現象検索システムの改良を行っている。今後、新たなアルゴリズムが従来に比べてどの程度改善されているか評価を行う。

かぐやLRSを用いた月表層の誘電率と電気伝導度の推定

本郷 圭悟 [1]; 藤 浩明 [2]; 熊本 篤志 [3]

[1] 京大・理; [2] 京都大学・大学院・理学・地磁気センター; [3] 東北大・理・地球物理

Estimation of the permittivity and the electrical conductivity of lunar surface from LRS data

Keigo Hongo[1]; Hiroaki Toh[2]; Atsushi Kumamoto[3]

[1] Kyoto Univ; [2] DACGSM, Kyoto Univ.; [3] Dept. Geophys, Tohoku Univ.

Lunar Radar Sounder (LRS) onboard the SELENE (KAGUYA) spacecraft is a frequency modulated continuous wave (FMCW) radar. Its purpose is exploring lunar subsurface structures. LRS succeeded in global sounder observations and detection of subsurface reflectors in some maria(Ono et al., 2009).

The permittivity of the lunar surface is needed to determine the actual distance of reflectors. We can know only the delay time of echos from observations. The propagation speed of the electromagnetic wave in mediums is needed to convert delay time of the echo into actual distance. If the permeability in mediums is equal to it in the vacuum, the propagation speed is determined by the permittivity. The permittivity is important for understanding lunar subsurface structures. In the past, the permittivity is estimated from lunar sample rocks of Apollo, but it is not enough because sample rocks are extracted from confined areas. From the analysis of sample rocks(Shkuratov and Bondarenko, 2001), the permittivity is related to the density or ilmenite. It has the locality. Therefore, it is necessary to estimate the permittivity in each area.

The purpose of this research is estimating the permittivity and the electrical conductivity by comparing echos of the lunar surface and subsurface reflectors. The permittivity and conductivity are parameters of the reflection and loss of the electromagnetic wave. We make the horizontal two layers model and it has the permittivity and the conductivity as parameters. We calculate wave propagation of LRS in the model space. The permittivity and conductivity are estimated by comparing calculations with observations.

At present, the permittivity and conductivity are not unique because we consider only the amplitude of echos. However, we can restrict the conductivity from analysis of sample rocks, the permittivity is mostly 3~6. Estimated values are mostly equal to the sample rocks. We can analyze limited sea regions because of the influence of surface roughness. In the future, we understand the influence of surface roughness and wave propagation. Analysis methods adapted more regions are needed.

LRS (Lunar Radar Sounder) は日本の月探査衛星「かぐや」に搭載された周波数変調連続波 (FMCW) レーダーである。月の地下構造の探査を目的とし、HF (High Frequency) 波によるサウンダー観測が月の全球で行われ、複数の月の海の領域で地下の反射層の検出に成功した (Ono et al., 2009)。

観測データから実際の反射層の深さを決めるには、月表層の誘電率が必要である。観測から分かるのは反射エコーの遅延時間であり、それを距離に変換する際に電波の伝搬速度が必要になる。電波の伝搬速度は媒質の誘電率と透磁率によって決まるが、透磁率が真空中と同じと考えてよいなら誘電率のみによって決まる。よって誘電率は月の地下構造を理解する上で重要な量である。過去の研究では、月の誘電率は Apollo が持ち帰った月の石サンプルの解析結果を参照することが多かったが、赤道付近の限られた領域のサンプルしかないため十分とは言えない。実際、月の石サンプルの解析結果 (Shkuratov and Bondarenko, 2001) から、月の誘電率は密度やチタン鉱物の含有量と関係があり、地域性があると考えられる。月の各領域毎に誘電率の値を推定する必要がある。

本研究では LRS の観測データを用いて、月面と地下反射面それぞれからのエコーの大きさを比較する事により、月表層の誘電率及び電気伝導度を推定することを目的とする。誘電率と電気伝導度はそれぞれ、電波の反射率と損失を決めるパラメータである。月表層を2層の水平成層で近似したモデルに電波が垂直に入射する場合を考え、誘電率と電気伝導度をパラメータとして組み込み、レーダー方程式から LRS の電波伝搬を計算する。そのモデルの計算値と観測値を比較することで月表層の誘電率と電気伝導度を推定する。

今のところ、エコー比の振幅しか考慮していない為、誘電率と電気伝導度の両方を一意に決めることはできない。しかし、月サンプルの解析結果を参照して電気伝導度の取りうる値を制約することができ、例えば比誘電率の多くは3~6の範囲にある事が分かった。推定値はおおむね月の石サンプルの値の範囲内に収まっている。反射エコーの見えづらい場所や地形の効果が大きい場所ではエコー比がうまく求められず、比較的平坦な海領域の限られた部分しか解析できないので、今後は、地形の効果や電波の伝搬の仕方などをより良く理解し、更に多くの領域に適応できる解析手法が求められる。

月縦孔プラズマ静電環境：日向－日陰境界付近の月面帯電特性

三宅 洋平 [1]; 西野 真木 [2]
[1] 神戸大学; [2] 名大 STE 研

Electrostatic plasma environment of lunar holes: surface charging properties near sunlit-shadow boundary

Yohei Miyake[1]; Masaki N Nishino[2]
[1] Kobe Univ.; [2] STEL, Nagoya University

Japanese lunar explorer “Kaguya” has discovered vertical holes on the Moon surface. The diameter and depth of the holes are both in a range of 50 through 100 m, which produces a higher depth-to-diameter ratio than typical impact craters. The holes are thus expected to create characteristic plasma and dust environment around it. It is of practical importance to assess such a distinctive environment, reminding that a future landing mission plans to explore the lunar holes and caverns associating to the holes. In the present study, we apply our original particle-in-cell simulator EMSES to assessment of day-side plasma environment around lunar vertical holes.

In the present study, we focus on surface charging properties near the sunlit-shadow boundary inside the lunar hole. Normally, sunlit and shadowed surfaces have positive and negative potentials, respectively, depending on if photoelectrons are emitted. Meanwhile, near sunlit-shadow boundary, the present simulations reveal 1. the potential overshoot of the width of several tens of cm, and 2. the positive surface charging even in the shadowed region. The horizontal transport of photoelectrons as well as the solar wind proton trajectories are found to play an important role for the distinctive charging properties. The results are applicable not only to the lunar hole environment but also to other landscapes producing a sunlit-shadow boundaries.

「かぐや」衛星による地形カメラ観測により、月面に特徴的な縦孔構造が発見されている。縦孔のサイズは直径、深さともに、50～100 m に及び、通常のクレーターに比べ大きな深さ／直径比を持つため、その周辺では特異なプラズマ静電環境が形成されていると予想される。このような縦孔構造や地下空洞を直接探査する UZUME 計画が立案されている中、将来の着陸探査への影響を知る上でも縦孔周辺プラズマおよび帯電ダスト環境を事前評価することは重要である。本研究では、ミクロスケールのプラズマ現象解析に幅広く用いられている Particle-In-Cell (PIC) シミュレーション技術を応用し、月面昼側にある月縦孔周辺プラズマ・ダスト環境の定量評価を行う。

前回の報告以降、縦孔の内部に形成される日向－日陰境界付近の静電環境に着目してシミュレーション解析を実施した。光電子放出の有無に関連して、月面は通常、日向側は正に、日陰側は負に帯電する。しかし日向－日陰境界付近では、数 10 cm の幅の電位オーバーシュートが形成されること、境界から数 m の範囲では日陰にあっても月面は正に帯電すること、が今回の解析で確認された。またこれらの特徴的な月面帯電特性に、横方向の光電子輸送、および太陽風イオンの軌道が大きな役割を果たしていることが判明した。これらの結果は縦孔以外の月面地形における日向－日陰境界にも適用できると考えられる。

科学衛星搭載電界観測アンテナの低周波特性

井町 智彦 [1]; 東 亮一 [2]; 尾崎 光紀 [3]; 八木谷 聡 [1]
[1] 金沢大; [2] 石川高専; [3] 金沢大・理工・電情

Low Frequency Characteristics of a Wire Antenna aboard a Scientific Satellite

Tomohiko Imachi[1]; Ryoichi Higashi[2]; Mitsunori Ozaki[3]; Satoshi Yagitani[1]
[1] Kanazawa Univ.; [2] Ishikawa NCT; [3] Electrical and Computer Eng., Kanazawa Univ.

Observation of plasma waves in space is an important task for scientific satellites. For the observation of the electric field, a wire antenna is often used. In order to accurately determine the magnitude of the electric field, the calibration of the sensor must be accurate. The effective length is one of the needed characteristics, however, it is difficult to acquire it in a ground test.

In order to study the estimation of the effective length, we have performed a rheometry experiment. In this experiment, a signal applied to two metal plate in water generates a quasi-static field between them. The field is considered as the electric field of an electromagnetic wave and receiving it by an antenna, we can measure its output voltage.

And we have made a theoretical calculation method. In this calculation method, the electric field is approximated to a parallel circuit of potential sources. According of this method, we can make an equivalent circuit of the experiment, and calculate the value of the effective length as a function of the frequency.

In the present research we have investigate frequency dependence of the effective length of simple wire antennas. In this time we made a structure model of the actual satellite "ERG", and investigate the effect of the deployment structure such as solar battery panels to the wire antenna. We will show the detail at the meeting.

宇宙空間における電磁波動の観測は、科学衛星の重要な観測目的の一つであるが、波動の電磁界成分の大きさを正確に知るには、センサの正確な校正が不可欠である。電界成分の観測にはワイヤを用いたダイポールアンテナがよく用いられ、その校正に必要な特性の一つに実効長が挙げられるが、これを打ち上げ前の地上試験で測定することは難しい。ワイヤ長が数10メートルにおよぶ場合があることと、衛星周辺のプラズマ環境を地上で再現するのが難しいことが、その主な理由である。

この実効長を推定を行うため、レオメトリ実験を執り行っている。この実験では、水中に配置した2枚の電極板に信号を印加することで、極板間に準静電界を発生させる。そしてこれを電磁波の電界成分とみなし、これをアンテナで受信してその出力電圧を測定すると、発生させた電界の大きさを元に実効長を計算することができる。我々の実施した実験では、周波数帯は10Hzから100kHzを対象とした。

また、我々は等価回路から実効長を理論的に推定する計算手法も構築している。この計算手法においては、ワイヤ鉛直方向の電界を、ワイヤに並列接続された無数の交流電源に近似することで等価回路を形成し、実効長を周波数の関数として計算することができる。この計算手法を上記レオメトリ実験の環境に適用すると、計算結果と実験結果はよい一致を示すことが確認されている。この計算手法の利点として、絶縁被覆等、ワイヤの詳細構造を計算パラメータに含められることが挙げられる。我々は、この計算手法により、ワイヤ側面の絶縁被覆が低周波帯においてワイヤアンテナの実効長に影響を与えることを発見しており、レオメトリ実験においてもそれを裏付ける結果が得られている。

我々がこれまで行ってきた解析は、比較的単純な構造のワイヤアンテナについてのものであったが、今回我々はERG衛星の縮小サイズ模型を作成した。これを用いて、太陽電池パネル等の進展物による電界観測アンテナへの影響の有無等を解析している。詳細および結果については、発表時に説明する。