日本惑星科学会誌 遊・星・人

第22巻 第3号

目 次

卷頭言 阪本 成一	
「2012年度最優秀発表賞受賞論文」	
K-Ar法を用いた惑星探査におけるその場年代計測法の開発	
長 男一郎, 二浦 弥生, 諸田 省兄, 杉田 稍可	
みんなでふたたび木星へ,そして氷衛星へ その1	
~人類として為すべき木星圏総合探査JUICE ~	146
火の鳥「はやぶさ」 未来編 その3 ~ SCI/DCAM3と 衝突の 科学~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	
荒川 政彦, 和田 浩二, はやぶさ2 SCI/DCAM3チーム	
研究会報告:Workshop on Martian Young Volcanism 栗田 敬	
New Face 鎌田 俊—	
日本惑星科学会2013年度秋季講演会プログラム	
2013年度日本惑星科学会秋季講演会実行委員会	
Whiteboard	
JSPS Information	

表紙デザイン:BROOKS

Contents

Preface	S. Sakamoto	131
Development of an in-situ K-Ar dating instrument		132
Y. Cho, Y. N. Miura, T. Moro	a, and S. Sugita	
Back to Jupiter, with renovated interest in the system and fresh focus on the icy moons (1) — Jupiter system exploration mission "JUICE" as the m J. Kimura, S. Sasaki, a	tission by manki and M. Fujimoto	nd — 146
Phoenix "Hayabusa" : A tale of the future (3) — SCI/DCAM3 and Science of planetary impact — M. Arakawa, K. Wada, and Hayabusa2 Se	CI/DCAM team	152
Report: Workshop on Martian Young Volcanism	K. Kurita	159
New Face	S. Kamata	162
Program of 2013 Fall Meeting of JSPS Local Organizing Committee of JSPS 2013 Fall Meeting		164
Whiteboard		172
JSPS Information		173

巻頭言

空前の宇宙ブームといわれて久しい. 2010年6月の「はやぶさ」の帰還は一つのきっかけだが, もはやそれは一過性のブームではないようだ.「はやぶさ」や「かぐや」は日本の科学衛星の中 でも特によく知られた存在になった. だがそれが惑星科学全体に対する国民の理解を深めるこ とにつながったかというと,私は懐疑的だ.

例えば「はやぶさ」では、プロジェクト遂行におけるマネジメントやヒューマンドラマ、道 徳的な側面などが強調されがちで、次いでイオンエンジンをはじめとする工学的成果が語られ、 小惑星探査そのものの科学的意義について深く紹介されることは稀だ.「かぐや」でも、ハイ ビジョンカメラがとらえた月面や、月から見た地球の美しさ、月利用への発展性などが強調さ れ、得られた科学的成果について触れられることが少ない.地形カメラやレーザ高度計などの 成果は目立つが、その他の機器については初期観測の状況報告以降、情報発信はとだえがちだ.

これから本格運用や打ち上げを迎えるミッションはさらに厳しい状況が予想される.精力的 な広報活動を行っている金星探査機「あかつき」はともかく,IMAPやGLIMS,惑星分光観測 衛星 SPRINT-A,ジオスペース探査衛星 ERG,そして水星磁気圏探査機 MMOと,どれも一般 人にはとっつきにくいプラズマ物理系のものばかりだからだ.ただこの分野はポッと出のもの ではなく,日本の宇宙科学のお家芸とされる分野でもある.例えばSPRINT-Aは「のぞみ」や「か ぐや」UPIによる紫外線観測の延長線上にあり,ERGや MMOは「あけぼの」やGEOTAILの延 長線上にある.しかし,これまでの一連の研究成果は十分に一般向けに情報発信されてきたと は言えない.

これは私をはじめとする広報担当の力不足による部分も多いが,研究者側からの事前の連絡 がなかったためにプレスリリースの機会を逃したケースも少なくない.研究の大きな進展が あったとき,"でも一般人には理解されないだろう"などと遠慮せず,そのワクワク感を外向け にもっと語ってほしいし,そのために宇宙科学研究所の広報をもっと利用してほしいと願って いる.

阪本 成一(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)

「2012年度最優秀発表賞受賞論文」 K-Ar法を用いた惑星探査におけるその場年代 計測法の開発

長 勇一郎¹, 三浦 弥生², 諸田 智克³, 杉田 精司^{1,4}

(要旨) 惑星表面に生起した地質学的イベントのもつ絶対年代は,惑星の進化を理解する上で不可欠の物理 量でありながら,アポロ・ルナの回収試料を除いて直接の計測がなされていない.その原因は,正確な年代 計測に必要な岩石のサンプルリターン探査が未だ困難なためである.それに対し,惑星表面上で岩石の年代 計測が可能となれば,探査計画のコストやリスクの大幅な軽減が可能となり,将来のサンプルリターン探査 においても惑星上での試料選別が可能になるなど,非常に大きな利点を持つ.本研究では,惑星探査で実績 をあげつつあるレーザー誘起発光分光法(LIBS)と四重極型質量分析計(QMS)に着目し,それらを組み合わ せたカリウム-アルゴン年代計測法の基礎技術を新規に開発した.これまでのところ,約18億年の年代を もつ3個の鉱物試料に対して,17±1,19±3,20±2億年のモデル年代を得たほか,18.5±0.4億年の模擬的 なアイソクロン年代をもつ試料群に対し,16.9±2.3億年という計測値を達成している.本成果は,惑星表面 上その場年代計測の実用化が近い将来であることを強く予感させるものである.

1. 惑星表面の年代決定

太陽系惑星の起源と進化の体系的な理解は惑星科学 の究極のゴールのひとつに位置づけられる.その達成 には、リモートセンシング探査による全球マッピング、 着陸探査による詳細な地質学・岩石学的調査、および リターンサンプルの精密な物質科学的分析からなる三 者のマルチスケールでの効果的な結合が必須であるこ とは言うまでもない.高解像度の全球リモセン探査が 一段落した内惑星探査にあっては、全球サーベイによ って注意深く選定された地点に着陸して物質科学計測 を行い、個々の天体の進化モデルを取捨選択すること、 またそれによってさらに洗練された太陽系・惑星進化 の描像を得ることを目指すという方向が、今後の探査 の主流になると考えられる.

- 3. 名古屋大学環境学研究科
- 4. 東京大学新領域創成科学研究科

惑星進化の理解のために決定的に重要な情報として 地質ユニットのもつ絶対年代がある.惑星探査による 岩石の絶対年代の獲得はアポロ計画以来の悲願だが, サンプルリターンの技術的な困難さから,その後40 年以上にわたって月惑星表面から新たな年代試料が得 られない状況が続いてきた.

このような状況の下で,サンプルリターンを伴わず に岩石のその場年代計測を行う技術が獲得されれば, 惑星年代学の進展にとって非常に大きなブレイクスル ーになる.岩石の元素組成や鉱物組成から岩石形成当 時の環境を推定することは着陸探査の王道であるが, これに加えてその環境が存在した年代の絶対値を手に できるということが惑星進化の理解の進展にもつ意味 は計り知れない.さらにその場年代計測は,将来のサ ンプルリターン探査の際に惑星表面上で予備分析を行 う役割を担うことにもなるだろう.このことは持ち帰 る価値の高い試料の選別を可能とするので,サンプル リターン探査の科学的価値を最大限に高めることがで きる.

^{1.} 東京大学理学系研究科

^{2.} 東京大学地震研究所

cho@astrobio.k.u-tokyo.ac.jp

惑星表面年代学の現状と未解決 問題

2.1 惑星表面年代学の不定性

現在,惑星表面のもつ絶対年代は専らクレーター年 代学によって決められている.クレーター年代学とは, 古い地表は高いクレーター密度をもつという性質に基 づき,単位面積あたりのクレーター個数から地表の年 代を推定する手法である.数密度の大小は地表の新旧 を相対的に示すに過ぎないが,そこにクレーター数密 度と絶対年代との対応関係を持ち込むと,画像計測で 得られるクレーター数密度からその地質ユニットの絶 対年代を計算することができる.そのような一種の較 正関数は年代学関数と呼ばれる[1].この関数は,ア ポロ・ルナ探査機の着陸地点のクレーター密度とそこ で回収された岩石の放射年代とを較正点として滑らか に繋いだものとして得られる[e.g., 2, 3].

月で得られた年代学関数は、衝突確率やクレーター 形成に関するモデルを複合的に用いることによって、 火星や水星、金星、さらには氷衛星など太陽系惑星表 面の年代決定に広く利用されている[e.g., 4]. これに よって、サンプルの得られていない惑星の歴史にも絶 対年代の目盛が入れられ、火成活動、気候進化、テク トニックな活動の変遷などに関する描像が得られてき た. このように、惑星表層進化史に対する我々の知見 の多くがクレーター年代学に依拠している.

ところが、これらの議論は大きな不確定性を持つ年 代モデルの上に成り立っていることに注意しなければ ならない.というのは、年代学関数の決定に際してア ポロ・ルナ岩石試料中で絶対年代と地質イベントとの 対応がとれているものは、30~39 億年前の海の玄武 岩や1億年よりも若いクレーターに限られており、1 ~30 億年前と40億年前以前の年代範囲のクレーター 年代学関数には未だ大きな不確定性が残されているた めである[5].例えば20億年程度のクレーター年代を 持つ領域の場合、用いる天体衝突史モデルによって、 得られる年代値には6億年にも上る差異が生じてしま う.

また火星においては、クレーター密度が既知の地点 からの試料は一つも得られておらず、試料の絶対年代 と地質イベントとの対応は取れていない、そのため火 星地表の絶対年代には、採用するモデルによって10 億年以上の差異が生じうることが指摘されている[6].

このように、月惑星の年代学における絶対時間軸は 確立されたとは言い難いのが現状である.月面におけ る未取得年代範囲の試料や火星を初めとする各惑星の 試料を獲得し、表層進化史に実証的に時間軸を入れる ことは、今後の固体惑星探査の最重要課題のひとつで ある.

2.2 月惑星年代学における重要問題

着陸探査による年代計測によって年代学関数を制約 することは、単にクレーター年代学の物差しを精密化 するだけに留まらず、惑星科学の重要問題へのアプロ ーチでもある。例えば、月の年代学における重要問題 の一つに火成活動の終焉時期がある。月の最も若い玄 武岩は、サンプルが無く年代学モデルの不確定性の大 きな30-15億年前に対応するクレーター密度をもつ[7, 8,9]. 三次元熱対流計算によると、マグマのもととな る部分溶融層の寿命は月の初期温度に強く依存するこ とが示されており[10]、最も若い溶岩流の噴出時期が 30億年前に近いのか10億年前に近いのかを判定する ことによって、月の初期温度(起源)と冷却史(進化)を 制約できる可能性がある。

また、火星の温暖湿潤気候から乾燥寒冷気候への遷 移時期であるとされるヘスペリア紀-アマゾニス紀境 界の年代もこの時代に相当しており、その絶対年代は モデルによって37億年前から15億年前まで変わりう る[11]. アウトフローチャンネルと呼ばれる洪水地形 の形成を許す温暖な気候が37億年前に終了したのか、 天体衝突が落ち着いた約15億年前まで続いていたの かでは、温暖湿潤気候の維持メカニズムや気候遷移の 描像は大きく変わってしまう. このように30-1億年前 の年代学関数の制約は、火星の気候遷移の問題に対し ても示唆を与えるものである.

40億年前より過去の年代学関数もまた,サンプル によって較正されていない不確定領域である.この時 代に関係する最重要問題として,後期重爆撃期仮説の 検証[5,12]や,火星ノアキス紀終了時期の推定,火星 ダイナモの停止時期の決定などが挙げられる.

以上のように,注意深く選ばれた岩石の年代計測は, 一つの岩石の来歴を知ることに留まらない広範な意義 を持つ.年代計測に適した岩石の選定は必ずしも簡単 なことではないが,その戦略については長ほか[12]を 参照して頂きたい.

3. その場年代計測

3.1 K-Ar法による年代計測

以上で述べた重要性から,我々はカリウム-アルゴ ン(K-Ar)法と呼ばれる年代測定法を用いて,惑星着 陸探査によって岩石の固化年代をその場計測する装置 の開発を進めている[12]. K-Ar法とは,カリウムの放 射性同位体である⁴⁰Kが⁴⁰Arに放射壊変する現象(⁴⁰K の半減期 = 12.5億年)を利用して岩石の固化年代を推 定する方法である. K-Ar法には岩石結晶化後の再加 熱や変成によるAr損失などの弱点があるが,他の年 代測定法に比べて岩石中の親核種の存在度が高い(数 百ppm~数wt%)ことや,希ガスであるArの測定が 比較的簡便であることから,技術的実現性が高い手法 として注目されてきた.

3.2 その場年代計測計画の現状

K-Ar法によるその場年代計測の計画は欧米のミッションでも提案されてきたものの,どの国も惑星上で 実施したことがない開発途上の技術である.2003年 に打ち上げられたESAのMars Express探査機に着陸 機として搭載されていたBeagle 2においては,X線蛍 光法によるKの全岩計測と,700℃~1100℃の高温炉 によって岩石から抽出するArの磁場型質量分析計に よる計測とを組み合わせたその場年代計測が計画され ていた[13].しかし火星投入時に通信が途絶するトラ ブルに見舞われ,年代計測は実現しなかった.

2009年になって, Bogardらは火星でのその場年代 計測が困難であるとの指摘を展開した[14]. その理由 は、(a)火星の岩石には初生比不明のマントル由来ア ルゴンが岩石固化時に既に含まれており(過剰⁴⁰Ar), その寄与によって年代が過大評価される恐れがあるこ と、(b)電気炉の作り出せる温度とその継続時間では 鉱物中のArを全て抽出できず,正確な年代計測がで きない恐れがあることである.(a)の問題を解決する ためには,異なるK濃度を持つ相からのArを測定す るアイソクロン計測が必要となる.しかし従来型の全 岩分析ではK濃度は全岩平均濃度に収束してしまう ことが予期される.同じ年代を持ちながらも低濃度から高濃度までK濃度に幅をもつ試料を複数選び出して,統計学的に有意なアイソクロンを引くことは,事 実上不可能ではないかというのが彼らの懸念である.

一方で、2012年8月に火星に着陸したNASAの大型ローバMars Science Laboratory (Curiosity)では、 後述するLIBSや a 粒子X線分光計(APXS)による全 岩K計測と、電気炉を用いたAr抽出、およびQMSに よるAr計測を組み合わせたK-Ar年代の評価が提案 されている(AGE: The Argon Geochronology Experiment [15]). この手法は上述のBogardらの批判には 答えられていないものの、成功すれば惑星探査におけ るその場年代計測の最初のケースとなる可能性が高く、 どのようなデータであっても斥候ミッションとしての 価値はあるともいえるだろう.しかし、前述した惑星 科学的な問いに答えうるだけの信頼性のあるデータを 取得するためには、これらの問題点を克服した手法を 考案する必要がある.

このような背景の下,近年その場年代計測手法の開 発は熾烈な国際競争の様相を呈しつつある.例えば, 複数のレーザーによってRbとSrを選択的に励起する 方法を用いてアイソクロン計測を行うその場Rb-Sr法 [16]や,同位体スパイクと経時イオン化を用いること で試料の重量測定を不要とし,高精度の全岩K-Ar年 代の算出を売りにしているその場K-Ar法[17],後述 する本研究の手法と類似した原理に基づくK-Arアイ ソクロン年代計測法(K-Ar Laser Experiment; KArLE)[18]などが開発されている.ただ,一番目の 手法にはRbとSrを励起するための波長可変レーザー, 二番目の手法には⁴⁰Kと⁴⁰Arを時間差でイオン化させ て計測するための質量分析器がそれぞれ大きな開発要 素として残されており,実機の打ち上げに至るまでに は相当な困難も予想される.

3.3 LIBS-QMS法とその特長

このような状況の下で,我々はレーザーアブレーションを共通照射源として分光・ガス分析を組み合わせる手法(LIBS-QMS法)を開発してきた[19, 20, 21]. これは,高エネルギー密度のレーザーパルスを試料に照射して直下点を蒸発・プラズマ化することによってKとArを同時に抽出し,Kをレーザー誘起プラズマ発光分光法(Laser-induced breakdown spectroscopy;

LIBS)によって、Arを四重極質量分析計(Quadrupole Mass Spectrometer; QMS)によって定量するものであ る.本手法ではレーザーによる高空間分解能のスポッ ト分析(レーザーのスポット径~数百 µm)に基づき、

1つの岩石試料に対して複数の鉱物に対してK/Ar比 の計測を行うことができるので,原理的にはアイソク ロン法による計測が可能である.これは従来の提案法 (全岩分析)では不可能であった非放射壊変由来⁴⁰Ar の寄与の分離や,部分脱ガスについての一定の評価が 可能であるため,年代計測の信頼性を格段に向上でき るメリットを持つ.また,試料はレーザーによって瞬 間的には10000 K以上に加熱されるため,照射点直下 に含まれるArは全て放出されることが期待される. そのため試料の加熱が足りずArが充分に放出できな いという問題も解消すると考えられる.

探査機搭載に向けた技術的な準備水準の高さも本手 法の卓越した利点である.本手法の主要部であるレー ザー,分光器,QMS,真空ポンプ,真空容器,ロボ ットアームなどは海外で既にフライト実績があり,大 きな要素技術の開発無しにフライト品製作に取りかか ることが可能である.

さらにLIBS-QMS法は、計測対象の岩石に関する多 くの物質科学的情報を年代値と同時に明らかにできる というメリットもある.これは、限られたミッション 機会の中で多くの科学を可能にするという観点から重 要である.計測によって得られたいかなる年代値も, 着陸地点の地質学的コンテクストの下で解釈されて初 めて意味を持つ、LIBS計測からはK以外にも主要・ 微量元素組成計測が可能で、鉱物種の推定もある程度 は可能であると考えられる.この情報が岩石形成当時 の環境推定に使えることは勿論、着陸地域の他の岩石 と組成を比較することで、計測対象の岩石がその地質 ユニットを代表する岩石なのか、天体衝突に伴って他 地点から飛来してきた転石に過ぎないのかが推定でき る. また. QMSによるガス分析から. 試料中に含ま れるガスの組成が分かる. 試料が太陽風に汚染されて いる場合には、逆に火星表層における太陽風の同位体 比が制約できる。岩石がマントル由来のガスに汚染さ れている場合にも、マントルの希ガス組成が制約でき る、火星のマントルのもつ希ガス・同位体組成は、火 星大気の起源と散逸過程を考える上で重要である。 こ のようにLIBS-QMS法は、試料が年代計測には向かな



図1:LIBS-QMS法による年代計測装置の概念図.

いことが分かった場合でも探査として全くの空振りに なることがなく、年代以外にも着陸地点の地質を多角 的に検証・理解できるという強みを持つ。

3.4 年代計測原理

本節では、LIBS-QMS法による年代計測原理と較正 実験の結果について詳述する。

まず計測装置の概念図を図1に示す。年代計測は次 の手順を辿る. 試料を真空容器内にセットした後に. 試料に吸着した大気を取り除き装置全体の真空度を高 めるため、真空中で180℃・24時間のベーキングを行う、 CCDカメラの画像からレーザー照射位置を決定し. XYステージで試料をレーザー照射直下点へ移動する. 計測前にレーザーを2パルス照射して、ベーキングで 取り除ききれなかった表面吸着ガスを取り除く. 真空 度が10⁻⁶ Pa台の前半まで到達したところで計測を開 始する. 試料ヘレーザーを照射し, 生成するプラズマ からの発光スペクトルを取得する.発光スペクトルを 後述する要領で解析し、試料に含まれるKの濃度を定 量する.年代計測実験においては、レーザー照射回数 は500回とした. このとき. およそ直径500 µm深さ 500 µmの領域が掘削される. レーザー照射に伴って 試料から放出されたガスを700-800℃に加熱されて いるTi-Zrゲッターに8分間通すことで活性ガスを除 去する.希ガスはゲッターでは除去されず,液体窒素 で冷却したチャコールトラップによって一時的にAr 以上の重希ガスを捕獲する. トラップ以外のガスは排 気し、その後再度ラインを閉鎖系にしてトラップを加 熱することでArを含むガスを放出する. これをゲッ ターによって再び精製してから、QMSへと導入して 質量分析を行う. 試料からのAr量と同位体比を算出



図2: K濃度に関する検量線. 既知のK濃度(横軸)を持つ標準試料を計測し,縦軸に酸素輝線強度で規格化した769 nmのK輝線強度をとった.これを冪関数によってフィッティングして検量モデルとする.破線で示すものは信頼係数75%の予測区間である(本文参照).

するために, 試料へのレーザー照射以外の手順を全く 同様に進めるランニングブランク計測でスペクトルを 取得しておいて, 測定マススペクトルから差し引く.

実際の探査では装置全体を大幅に小型化することが 必要だが、小型の質量分析計(QMS,磁場型MS)やゲ ッター,真空ポンプ(イオンポンプ,ターボ分子ポンプ), バルブなどは過去の火星着陸探査機(Viking, Phoenix, Curiosity)に搭載された実績があり,海外では既に確 立された技術である。着陸機ではないものの、日本の 火星周回機「のぞみ」にもQMSが搭載されている。ま た、探査機に搭載する真空ラインは現在の基礎実験装 置より大幅に小型化できる可能性が高い。その場合, Arを濃縮するために用いたチャコールトラップは必 須ではなく、液体窒素のような冷媒も不要である。

(1) LIBSによるK定量モデルの構築と検出限界・誤差

本 手 法 で は K を LIBS (Laser-induced breakdown spectroscopy) によって定量する. LIBS とは, パルス レーザーが作るプラズマに含まれる励起された元素の 発する原子発光を分光計測することで, 試料中に含ま れる元素を定性・定量分析する手法である. K原子の 発光効率は他の主要元素と比較して必ずしも高くなく, 最も強い二本が766.5 nm と 769.9 nm に存在するのみ である. さらに悪いことに, レーザー誘起プラズマは

高真空下(<10⁻² Pa)では急速に散逸してしまうため, 大気中でのLIBS計測と比較して発光効率が一桁程度 低下するという問題がある[22].本研究では低ブラン クのAr計測を行う必要があることから,サンプル容 器内は10⁻⁶ Pa台に保たれている.そのため,K定量 のためには非常に微弱なK輝線を計測する必要があ った.そこで本研究では,K輝線の存在する近赤外領 域に感度の高いCCDと高反射率の回折格子をもつ分 光器を選択し,集光光学系の効率化とあわせて輝線計 測のS/N向上を図った.

LIBSによるKの定量は、K濃度が既知の試料にレ ーザーを照射してスペクトルを取得し、そのシステム に固有のK濃度-K輝線強度関係を予め較正しておく ことによって行う(検量線法).較正試料として、産業 技術総合研究所(AIST)や米国地質調査所(USGS)で 配布されている岩石標準試料の粉末を高圧プレスによ って押し固めたペレットを用いた.レーザーには Nd:YAGレーザー(波長1064 nm,パルス幅6 ns,パル スエネルギー100 mJ,スポット径500 µm)を用いた. レーザー照射によって生成したレーザー誘起プラズマ からの光はレンズによって集められ、光ファイバを通 じて小型分光器(Ocean Photonics HR2000+)へ導入さ れた.プラズマの発光開始前から分光器のシャッター を開き、1 msに渡って時間積分したスペクトルを取 得した. 高真空下ではレーザープラズマは数10 μsで 散逸するので, プラズマ発光の最初から最後までを計 測していることになる.

図2に既知のK濃度とK輝線の強度との関係を示す. 発光輝線の絶対強度は、レーザーエネルギーの変動や 試料表面状態の変化、光学系の透過率等の諸要因によ って変動しうる.さらに厄介なことに、レーザーの繰 り返し照射に従って発光強度が徐々に増大していく現 象がしばしば見られる(図3).しかも増大の割合は試 料によってまちまちである.そのためK輝線強度の絶 対値を検量モデルに用いた定量はかなり困難である. そこで本研究では、岩石試料に普遍的にほぼ一定の割 合で存在する酸素原子に着目し、これの呈する輝線 (777 nm)の強度でK輝線(769 nm)の強度を規格化す ることで、発光強度変動の影響を取り除く(内標準化 法).このような規格化法はマトリックス効果(鉱物種 や共存元素、試料の表面状態によって同じK濃度でも 発光輝線強度が変化する現象)の軽減にも役立つ[23].

Kの最も強い輝線は766.5 nmに存在するが,今回 用いた分光器の分解能では分離不可能な0.05 nm離れ た波長にMgと思われる輝線が重なってしまっている. そこで,周囲に妨害元素の輝線が少なく二番目に強い 769.9 nmのK輝線を定量に用いる.発光強度を算出 するにあたって,S/Nを向上させるため100個のスペ クトルを足し合わせた.縦軸のエラーバーは1つの試 料につき計測した4点の標準偏差である.このように して得られた各データ点を冪関数でフィッティングし て検量線とした.検量線の傾きはK濃度の高い場所で は頭打ちになっている.これは光学的に厚いプラズマ 中のK原子が放出した光が別のK原子に吸収される, いわゆる自己吸収効果[e.g.,24]であると考えられる.

K検量線に伴う検量誤差は、予測帯(prediction band)と呼ばれる統計量によって定量化した[25]. 予 測帯とは、得られたデータの分布から、次のデータが 或る確率で入ることが統計的に期待できる領域である. その確率として現時点では正規分布の1σよりやや良 い値である75%を使っている.これに基づいて、あ る信号強度(縦軸の値)に対して得られる予測帯の横方 向の広がりを誤差と定義する.あるK輝線強度に対応 するK濃度で誤差を規格化して相対誤差を求め、K濃 度の関数として図4に示す.

Kの検出限界と定量限界は、この予測帯から定義で



図3: レーザー繰り返し照射に伴う発光成分の強度変化(634 nm のSi輝線,777 nmのO輝線,連続発光成分,および769 nm のK輝線)と,酸素輝線で規格化したK輝線強度変化(K 769 nm/O 777 nm). いずれも1パルス目の強度を1と規格化し てある. K輝線の絶対強度は500パルス目には約1.6倍にま で増大しているが,酸素輝線強度で規格化した値は平均値 の周り10%の範囲で一定である.



図4: K定量の相対誤差.実線と破線はそれぞれ正負の誤差を示 す.シンボルは実際の測定データの検量誤差である.相対 誤差が20%となる濃度は約1 wt%である(定量限界).

きる.検出限界とは,濃度推定値の誤差下限が0に達 する試料濃度のことで,今回は約300 ppmと求まった. つまり,300 ppmの濃度をもつ試料を繰り返し計測し た場合,8回のうち6回は予測帯の内側に位置し,8回 に1回は輝線強度が予測帯よりも大きな値を示し,残 りの8回に1回は輝線を検出できないということにな る.ただし、検出限界はあくまで信号を検出できる限 界値であって、定量分析に耐えうる計測精度が得られ るものではないことに注意する必要がある.そこで、 より実用的な定量下限濃度として、定量限界(limit of quantification)という概念がある[25].その定義には 検出限界同様に様々な流儀が存在するが、今回は「K の定量誤差が相対誤差にして20%よりも小さくなる 濃度」とした.この場合、定量限界値は1 wt%であっ た(図4).

(2) Ar分析手法:QMSの較正と検出限界

一方,岩石からレーザーで抽出されたArの定量は, 既知の量のArガスをシステム内に導入してQMSの 信号強度(イオン電流値)と対応をつける,いわゆる感 度法を用いる.計測の際には二次電子増倍管(SEM) の電圧を調整して,信号強度が適当な値になるように 調節する.典型的な計測におけるSEM電圧は1600-1800 Vであった.Ar信号強度の算出にあたって,Ar ピーク強度の時間変化を測定することで,ガス導入時 点でのQMS電流値と同位体比を推定する作業を行う. これは計測時のイオン化によってArが時間と共に失 われたり,真空配管内部のArが叩き出されて増加し たりするためで,どちらの効果が卓越するかはガスの 圧力によって概ね決まっている.Ar計測の誤差はこ の時間原点への外挿の誤差を用いている.

QMS計測によるAr 定量の難しさは、極めて微量の ³⁶Arを定量することにある.³⁶Arは放射壊変によって は生成されないが、化学的には⁴⁰Arと同じ挙動を示 すため、岩石の固化時に大気やマントルから混入した ⁴⁰Ar量の目安となる。例えば現在の火星大気の ⁴⁰Ar/³⁶Ar比は1800程度であり、大気の混入のみを考 慮する場合には、計測された³⁶Arの1800倍の⁴⁰Arを 非放射壊変由来として差し引けば良いことになる.ま た. Shergottite 中に存在するマントル由来⁴⁰Ar 量は $4-9 \times 10^{-11} \text{ mol/g} (1-2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}) であるとの$ 報告があるが[26]、探査地点によって異なる可能性も 充分考えられる. そこで、測定された40Arが確かに その場の⁴⁰Kから生成されたと結論するためには, ⁴⁰Arよりも4桁以上含有量の少ない³⁶Arをモニターし ておいてトラップ成分の寄与が無視できることを示す か.³⁶Arが検出された場合にはアイソクロンによって



図5: 年代標準試料のLIBSスペクトル.777 nmの酸素輝線強度で 規格化してある.



図6: 年代標準試料から抽出されたガスおよびランニングブラン クのQMSによるマススペクトル. Arの同位体は36,38,40 に存在する.

トラップ成分を差し引く必要がある.火星の表面で既 に見つかっているような1 wt%程度のKを含む岩石 [27]が20億年間で蓄積する⁴⁰Arはおよそ4×10⁻⁹ mol/ g (1×10⁻⁴ cm³ STP/g)であるから,約500回のレー ザー照射で蒸発可能な試料量10⁻⁴ gを用いると、ト ラップの有無を評価するためには10⁻¹⁷ mol (10⁻¹² cm³)程度の³⁶Arが計測出来ることが望ましい.

現在の本装置の検出限界は、残留ガスのピーク(ブ ランク)によって決められている。特に³⁶Ar,⁴⁰Arに対 してはそれぞれ2×10⁻¹⁷ mol(5×10⁻¹³ cm³ STP),4 ×10⁻¹⁶ mol(8×10⁻¹² cm³ STP)という値が得られて いる(図6).このブランクに寄与する成分は質量数36, 40をもつ炭化水素類であると推測される。ブランク レベルが安定していれば、上述した10⁻¹⁷ molの³⁶Ar はモニター可能である。³⁶Arをより高いS/Nで計測す るためには、レーザー照射数を増やしてより多くの試 料を蒸発させることが最も単純な方法であるが、あま り多くの試料を蒸発させると計測部位の組成が平均化 されてしまい、本手法の強みである分析の局所性が失 われていくというジレンマに注意する必要がある。

(3) 試料質量計測:クレーター体積計測

通常のK-Ar法では試料重量を求める必要がある. これは、QMSによって計測されるArが絶対量(mol, cm³)の次元であるのに対して、Kは濃度(wt%)として 求まることによる.ところが重力の小さい惑星上で天 秤を用いて微量試料の秤量を行うことは実は簡単では なく、LIBS-QMS法による年代計測では、レーザーに よって掘削された孔の体積と試料密度の積として試料 重量を推定する.現時点では顕微鏡によって掘削され た孔の体積計測を行っている.体積の誤差評価は難し いが、計測を数回繰り返して標準偏差を算出している.

将来の探査では,探査機に搭載できる小型顕微鏡や, 小型のレーザー変位計等を用いて体積を確認すること を念頭に置いている.岩石や鉱物の密度の違いは小さ い(典型的には±10%程度)ことから,現状では鉱物 の密度を仮定して計算を進めている.今後,カメラ等 による岩石の空隙率推定やLIBSによる鉱物種の特定 が可能になれば,その場でより正確な密度計測ができ るはずである.また,既知のAr/K比(年代)を持つ試 料を複数測定して[⁴⁰Ar信号強度(QMS)]/[K輝線強度 (LIBS)]との間で較正曲線を描き,掘削体積を年代計 算に使用しない手法を開発することも同時に目指して いる.

(4) モデル年代計算手法

K-Ar法のモデル年代は以下の式によって算出する.

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{\lambda}{\lambda_e} \frac{[{}^{40}\text{Ar}]_{\text{rad}}}{[{}^{40}\text{K}]} + 1 \right) \tag{1}$$

ここで λ (=5.543×10⁻¹⁰ yr⁻¹)は⁴⁰Kの壊変定数, λ_{e} (=0.581×10⁻¹⁰ yr⁻¹)は⁴⁰Kの⁴⁰Arへの壊変定数を 表す(⁴⁰Kは10.5%が⁴⁰Arに, 89.5%が⁴⁰Caに壊変する [28]). [⁴⁰Ar]_{rad}は放射起源⁴⁰Ar量, [⁴⁰K]は現在の⁴⁰K 量を表す.トータルのK量と⁴⁰Kとの関係は,現在の 同位体存在度⁴⁰K/K=0.0001167 [28] によって求める.

検出された⁴⁰Arから放射壊変由来の⁴⁰Ar_{rad}を求めるために,地球大気のアルゴン同位体比 ⁴⁰Ar/³⁶Ar=296を用いて,大気混入の寄与を差し引く.

$${}^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} = [{}^{40}\text{Ar}_{\text{total}} - [{}^{40}\text{Ar}_{\text{atm}} = [{}^{40}\text{Ar}_{\text{total}} - 296 [{}^{36}\text{Ar}_{\text{lot}}]$$
(2)

式(1)を実験でよく使う量で書き換えると,次の年代 計算式を得る[29].

$$t [Ga] = 1.804 \ln \left\{ 1 + 1.428 \times 10^{-4} \frac{[^{40}\text{Ar}]_{rad} [10^{-8}\text{cm}^3 \text{ STP/g}]}{[\text{K}][\text{wt\%}]} \right\}$$

$$(3.1)$$

$$= 1.804 \ln \left\{ 1 + 3.199 \times 10^8 \frac{[^{40}\text{Ar}]_{rad} [\text{mol/g}]}{[\text{K}][\text{wt\%}]} \right\}$$

$$(3.2)$$

$$\text{また年代値の誤差 } \Delta t \text{は式}(3.1) \text{ から 次のよう に求める}$$

$$\text{ことができる}.$$

$$\Delta t \ [Ga] = \frac{1.804 \times 1.428 \times 10^{-4} [{}^{40}\text{Ar}]_{\text{rad}}}{[\text{K}] + 1.428 \times 10^{-4} [{}^{40}\text{Ar}]_{\text{rad}}} \sqrt{\left(\frac{\Delta [{}^{40}\text{Ar}]_{\text{rad}}}{[{}^{40}\text{Ar}]_{\text{rad}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta [\text{K}]}{[\text{K}]}\right)^2} \ (4)$$

ここでΔ[⁴⁰Ar]_{rad}およびΔ[K]はそれぞれ放射壊変由 来ArとKの誤差を表す.

4. 年代計測結果

4.1 モデル年代の算出

LIBSおよびQMSの感度較正が済んだ段階で,年代 既知の試料を計測した.試料は鉱物分離された Hornblende (K_2O =1.12 wt%, age=1.75 Ga), Plagioclase (K_2O =1.42 wt%, age=1.77 Ga), Biotite (K_2O =8.45 wt%, age=1.78 Ga)[30]をレーザー照射実 験に適するよう高圧プレスでペレット状に成型したも のである.図5にこれらの試料のLIBS計測で得られ た発光スペクトルを示す.発光スペクトルは酸素輝線 の強度で規格化してある.K濃度に応じてKとOの輝 線強度比が大きく異なることが分かる.図6には QMS計測によって得られたマススペクトルを示す. Arの安定同位体は質量数36,38,40をもつ. 質量数37 と39のピークは炭化水素である. 地球大気Arの ³⁸Ar/³⁶Ar比は0.188であるが,分析試料の38/36比は それより高く,38の大部分は炭化水素であると考え られる. 質量数36についても,残留ガスのマススペ クトルからArと炭化水素の混合であると推測され る.

今回用いた年代標準試料の一つ一つは分離された単 一鉱物を押し固めたものである。従ってこれらの試料 は均質性が高く、一つの試料からアイソクロンを引く ことができない、そこでまずは式(3)によってK-Arモ デル年代を求めた. ここではHornblendeの或る一回 の計測に基づいて説明する。まずLIBS計測で得られ たK輝線強度を検量モデルに当てはめ、K₂O=1.13± 0.25 wt%を得た. これは既知の値である1.12 wt%と よく一致する、さらに、レーザーによって放出された Kの絶対量(mol)を見積もるために、試料が掘削され た体積をレーザー顕微鏡(Kevence VHX-2000)によっ て計測した。得られた断面形状の一例を図7に示す。 レーザーのビーム形状と概ね相似のガウス関数的なク レーターができていることが確認できる。レーザーパ ルスによる掘削体積は $(4.3 \pm 0.5) \times 10^{-5}$ cm³であった. ここでHornblendeの密度として3.2±0.2 g/cm³を仮 定することで、レーザーによって掘削された試料の質 量を(1.4 ± 0.2) × 10⁻⁴ g, LIBSでの濃度推定値よりそ の中のK原子の数を(3.3 ± 0.7)×10⁻⁸ molと推定した.

一方,放出されたガスのQMSスペクトルから,検 出された⁴⁰Arのうち放射壊変起源の⁴⁰Arは(1.85± 0.09)×10⁻⁸ [cm³ STP]=(8.3±0.4)×10⁻¹² [mol]である と見積もった(STP:標準温度圧力).全⁴⁰Arに占める 放射壊変由来⁴⁰Ar_{rad}の割合は約98%であり,地球大 気の混入の寄与はほぼ無視できた.これらを式(3)お よび(4)に代入することで,K-Arモデル年代2.0±0.3 Gaを得た.これはHornblendeの既知の年代1.75 Ga と誤差の範囲で一致する.同様の解析をHornblende について2計測,Biotiteについて2計測,さらに Plagioclaseについて1計測行い,毎回の計測で年代値 まで算出した.得られたデータの重み付き平均を算出 したものを表1に示す.モデル年代はいずれの試料に 対しても誤差の範囲内で既知値と一致する.K・Ar計 測に更なる精度の向上が必要なことは言うまでもない が,LIBS-QMS法で地質試料の年代が算出できること を強く示唆する結果が得られた.

ここで誤差の要因について考える.まず、Biotite で顕著なKの過小評価の原因として、自己吸収の強い 高濃度領域で検量線が良くフィットできていないこと や、検量線の傾きが小さくなることで少しの輝線強度 の違いが大きな検量誤差を生む構造になっていること が挙げられる、マトリックス効果を補正し切れていな い可能性もある. また. 粉末を固めたペレットで作製 した検量線が岩石や鉱物試料にうまく適用できていな い可能性もある.この効果を検証するために、元素組 成が明らかになっている標準ガラス試料を較正サンプ ルに加えてLIBS計測を行い、検量モデルを見直す実 験を既に開始している。他方⁴⁰Arの過小評価はQMS 感度較正のずれや、計測日時による感度変動を第一に 追究する方針である.既に計測装置への大気Ar導入 の手順とデータ解析法に幾つかの改良を施しており, QMS感度較正はルーティンとして確立しつつある. さらに, 蒸発体積の見積もりの不定性も誤差に寄与す る. 現在のところ、レーザーによって掘削された孔は 全て蒸発したものと近似している.しかし実際には、 レーザーによって破壊されArを放出することなく粉 末として飛散する部分が一定量存在するはずである. このようにして蒸発質量が過大に見積もられる結果, 計測部位のAr濃度は低く計算され,年代値は若返る 方向に偏る. 特に今回用いた年代標準試料は100 µm

表1: 実験結果のまとめ. HornblendeとBiotiteは2回の計測結果の加重平均を示す. Plagioclaseは1回の計測データ を示す. [K]=0.829[K₂O](単位は共にwt%)であることに注意.

	Hornblende		Biotite		Plagioclase	
	LIBS-QMS	Known	LIBS-QMS	Known	LIBS-QMS	Known
K ₂ O [wt%]	0.98 ± 0.16	1.12 ± 0.02	7.1 ± 0.4	8.45 ± 0.17	0.96 ± 0.23	1.42 ± 0.03
$^{40}\mathrm{Ar_{rad}}\left[10^{.9}\ \mathrm{mol/g} ight]$	4.9 ± 0.5	4.77 ± 0.01	30 ± 3	36.9 ± 0.4	4.5 ± 0.9	6.12 ± 0.04
Age [Ga]	2.0 ± 0.2	1.75 ± 0.02	1.7 ± 0.1	1.78 ± 0.02	1.9 ± 0.3	1.77 ± 0.02



図7: レーザー照射によってBiotite試料に掘削された孔の断面プ ロファイル、レーザービームの強度分布にほぼ相似なガウ ス関数的な形状が現れる.表面(y=0)付近に見られる凹凸 は、押し固められた一つ一つの鉱物粒子の輪郭を表す.

ほどの鉱物片を圧縮して固めたものであるから、天然 の岩石と比較して強度が弱く、この影響を受けやすか った可能性がある.

これまでの実験では見えていないものの、逆にAr 量の過大見積もりによって真値よりも古い年代が得ら れる危険性も考慮するべきである. Ar量の過大見積 もりの可能性の代表例としてレーザー掘削孔周縁部か らのAr放出がある。Arは希ガスなので、レーザー掘 削孔の周囲で発生する中間的な加熱部からも拡散放出 される恐れがある. そのためレーザーで掘削された部 分の体積を求めただけでは、測定部位のAr 濃度が過 大評価されるかもしれない.また,元素の揮発性に応 じて元素分別や同位体分別が起こる危険性もある. そ こで我々は、掘削孔周辺部からの脱ガスの寄与を見積 もる目的で、玄武岩試料を3000発のレーザー照射に よって掘削し、生成したクレーターの断面を電子顕微 鏡で観察した(図8). その結果、クレーターの縁に付 着した溶融層の厚みは約10 µmであり、玄武岩が溶 融する約1300℃に達した領域はこの程度の厚さであ ると見積もった. ここからArが放出されるかどうか は、高温状態の継続時間と温度毎のArの拡散係数に 依存している。約1300℃のメルト中のArの拡散係数 は鉱物によって異なるが、仮に10⁻¹⁰ m²/sとすると [31]. Arが10 µmの距離を移動するのに必要な時間 は約0.5秒となる.また、岩石の典型的な熱拡散率を 10⁻⁶ m²/sとすると、熱伝導によって10 µmの層が冷 却する時間スケールはおよそ100 µsとなる. これは



図8: レーザーによって掘削されたクレーターの底付近に付着し たメルト層の電子顕微鏡写真. 一度融けた岩石が急冷して 割れたガラス状の構造が見られる. ガラスの厚みは約10 μmである.

500 msよりも充分に短いので、クレーター周縁部から拡散放出されるArの量は限定的となる可能性がある. 一方Heの拡散はこれよりも数桁速く、レーザーによる瞬間的な加熱によって脱ガスする可能性が高い.

また、クレーターを直径500 µm, 深さ500 µmの 円柱であると近似すると、周縁加熱部の体積と掘削体 積の比は約8%であり、その寄与は現状の実験では大 きくはない. 但し、空間分解能を高めるためにスポッ ト径を小さくするとこの比率が高くなり、加熱された 周縁部からの脱ガスの影響が相対的に大きくなる危険 性はあるため、今後評価していくことが必要である. 一方でレーザーによる周縁部の加熱は、波長の短い紫 外レーザーやパルス幅の短いピコ秒・フェムト秒レー ザーを使うと軽減できるという報告がある[32]. 将来 的にはそのようなレーザーを利用することも検討した い.

4.2 模擬アイソクロン計測

LIBS-QMS法の強みは局所分析によってアイソク ロンを引けることにある。今回用いた3つの試料は同 ーの岩帯起源であって、ほぼ同じK-Ar年代をもつ。 各々の試料は均質でありその中でアイソクロンを引く ことはできないが、これら3つの鉱物が或る岩石の複 数の鉱物相であったと見なしてK濃度と⁴⁰Ar_{rad}量との 関係をプロットすると、LIBS-QMS法によるアイソク ロン計測を模擬することができる(図9).ただしこれ は厳密にはK-⁴⁰Arプロットと呼ぶべきもの[14]で、



図9: K-⁴⁰Arプロットによる模擬的なアイソクロン. 縦軸に放射壊変由来の⁴⁰Ar濃度を, 横軸にK濃度をとる. LIBS-OMS法によって得られたデータ(黒)と, 既知の年代データ(灰色)を示す. 各計測点のもつ誤差楕円は 1σであり, 回帰分析によって得られる傾き(年代値)の誤差は2σ範囲を示す.

(⁴⁰Ar/³⁶Ar)_{atm}=296を仮定して大気トラップ成分を差 し引くことで傾きが年代に対応するようにしてある. 一般のアイソクロン計測ではこの同位体比を仮定する ことなしにアイソクロン年代と初生Ar比を求めるた め、³⁶Arの量で規格化する必要があることに注意を要 する.

傾きから年代を算出するに当たり,年代計測パッケ ージIsoplot 4.1 [33]を用いて、計測誤差の大きさに依 存した重み付きの回帰分析を行った.既に確立された 手法で得られているK-40Arradの関係をKおよびArの 測定誤差と共にプロットし、その傾きから年代値を求 めたところ18.5 ± 0.4億年という模擬的なアイソクロ ン年代値が得られた(本文中では4.1節のモデル年代と 合わせるために誤差を1σとして表記する). 一方 LIBS-QMS法で得られたデータを用いて同様の解析を 行ったところ, 16.9 ± 2.3 億年という値を得た. 回帰分 析の最尤値の既知値とのずれ(分析の確度)は10%で あり、分析誤差(分析の精度)は13%であった、これ は3つの鉱物試料の計測結果を組み合わせた模擬的な ものではあるものの、LIBS-QMS法によるアイソクロ ン計測の第一歩としては悪くない数字であると言える. なお、天然の岩石試料を用いたアイソクロン計測実験

を現在行っている.

5. 探査への適用に向けて

5.1 K・Arの計測可能性

最後に、これまでに得られた検出限界の値と月および火星表面に存在すると考えられるK・Ar量とを比較することで、惑星探査における年代計測の原理的な適用可能性を考える.いま、500回~1000回程度のレーザー照射を行って100 μ g (直径500 μ m, 深さ500 μ m)の試料を蒸発させKとArを抽出する状況を考える.

図10は、或る時間の経過後に生成される放射壊変 由来⁴⁰ArをK濃度の関数として示したものである. この図の領域を次の三つに分割する.すなわち,K・ Arともに検出限界以下の「検出不能」領域(黒),検出 限界以上ではあるが定量限界以下で定量性の高くない 「検出可能」領域(灰色),定量限界以上の「定量可能」 領域(白)である.Kと⁴⁰Arの検出限界はそれぞれ300 ppm,4×10⁻¹⁶ mol (8×10⁻¹² cm³ STP),定量限界は それぞれ1 wt%,4×10⁻¹⁵ mol (8×10⁻¹¹ cm³ STP)で



図10:Kから生成される放射壊変由来⁴⁰Ar量.等高線が年代に対応している.Kが多く年代が古いほど⁴⁰Arが増加していくことを表す.左下の黒く塗られた領域はK,Arともに検出限界以下の「検出不能領域」である.灰色の部分は、検出は可能だが定量的な計測が難しい「検出可能領域」、右上の白い領域はK,Arともに定量計測が可能となる「定量可能領域」である.レーザー照射によって放出される⁴⁰Arの計測は現状で充分可能である.Gusevクレーターの年代は現状の装置で計測が可能であると見積もられる.検出可能領域に来た他の試料も、着陸地点において1wt%以上のKを持つ岩石や鉱物を見つけられれば、定量性のある年代計測が可能であると考えられる.

ある. 今,⁴⁰Arの定量限界は検出限界の10倍とした. 例えば,1 wt%のKが1億年で蓄積する⁴⁰Arは定量可 能な領域に来ている.

この図の上に、探査でターゲットとなり得る惑星上 の点をプロットしていく、火星最大の火山地帯である Tharsis山地の溶岩流がもつK濃度は、軌道上からの y線計測からは3000-4000 ppm程度と見積もられてい る[34]. この地質ユニットの年代を仮に38億年とする [35]と、生成される⁴⁰Arの濃度は3-4×10⁻⁹ mol/g (7-10×10⁻⁵ cm³ STP/g)となり、検出可能領域に来る. 温暖湿潤気候の終了を記録していると考えられるヘス ペリア紀-アマゾニス紀境界の岩石は、そのK濃度を 3000 ppm,年代をクレーター年代から30億年と仮定 すれば[4]検出可能領域に来る. これらの地点のK濃 度は定量限界に届かないが、ローカルに見ると、K濃 度の高い岩石や鉱物が発見される可能性はある. 実際, Mars Exploration Rover (MER)の着陸したGusev craterでは、1 wt%以上のK濃度を持つ岩石も発見さ れている[27]. この地点のクレーター年代が約37億年 であるから[36], MERが本年代計測装置を搭載して いれば定量的な年代計測ができた可能性がある.一方 で代表的な火星隕石であるShergottiteは, K濃度が 低いために正確な年代計測は現時点では難しい.また, 月表側に位置する若い玄武岩は y 線計測から3000 ppm程度のK濃度と[37],およそ20億年のクレーター 年代を持つ[8]. ここでも,局所的にK濃度の高い長 石系の鉱物を見つけられるかが年代計測の鍵となる.

5.2 今後の課題

図10をみると、Arの検出感度は現状でも十分であ り、LIBSによる1000 ppm台のK計測の定量性が向上 すれば、LIBS-QMS法の適用可能範囲がかなり広がる ことが分かる.そこで本節では、今後のLIBSによる K計測の高精度化に有効と考えられる方法について述 べる.ここでは (a)分光器の波長分解能の向上、(b) レーザー誘起プラズマの温度・電子密度の測定に基づ く輝線強度補正、および(c)発光輝線の時間ゲート計 測について述べる.

まず,最も単純な方策として,分光器の波長分解能 を現在の約二倍にまで向上させることが挙げられる. これは,Kの濃度が1000 ppm程度まで低下すると, 771 nmにあるSi輝線(図5)の裾野の重なりがK輝線 強度に対して無視できない大きさになり,K輝線の計 測精度低下の大きな要因となってくるという事情によ る.現状の小型分光器の波長分解能は半値全幅にして およそ0.65 nmであるが,分光器の波長分解能を0.3 nm程度まで向上させることで,輝線強度の計測の高 精度化を達成できる可能性がある.勿論,このときに は波長分解能の向上と光量低下とのトレードオフに注 意しなければならない.

第二に、LIBS計測の際にプラズマの温度や電子密度といった物理量を同時に計測することが有効となる可能性もある.原子発光の強度は、発光元素種の数密度、プラズマ温度、および電子密度によって決定される.このことは、同じ組成の試料を計測してもプラズマ温度や電子密度の変動によって輝線強度が変化しうることを意味する。今回検量に用いた酸素輝線(777 nm)とカリウム輝線(769 nm)の励起エネルギーはそれぞれ10.7 eVおよび1.6 eVであり、その差は小さくない.従ってプラズマ温度の変化に対する輝線強度変

化の敏感さは酸素の方が大きいなど、両者で異なる. このことから、鉱物の透明度や表面状態次第でレーザ ーの加熱条件が変化することで、同じK濃度の試料で あっても輝線強度比I(K)/I(O)が変化し検量線のばら つきの原因となっているのかもしれない.ここで、温 度や電子密度などの物理量を毎回計測してその変動の 効果を補正することができれば、LIBSの定量性が向 上する可能性がある.たとえば380-390 nmに存在す る鉄の輝線群はプラズマ温度を計測するのに最適であ る.実際、これらを常に計測することで較正試料なし に元素分析を行うCalibration-Free LIBSという手法 もある[38].

第三に、プラズマの時間ゲート分光計測がK定量精 度を向上させる方法になるかもしれない. Stipeら[39] は、分光計測にプラズマ生成後1.5 μsの遅延をかけて プラズマ発光初期に見られる強い連続発光成分を取り 除いた. このことによってK輝線を高精度で計測し、 非常に相関の良い検量モデルを構築している. 彼らは 輝線発光強度が真空中よりも高くなる大気圧下で実験 しているが、同様の方法が真空下でも有効である可能 性は高い.本研究では惑星探査の条件に近づけるため に時間積分型の小型分光器を使用したが、時間分解分 光が高精度のK定量の切り札になる可能性はある.

上記K定量の高精度化に加えて、前述したQMS感 度較正の精密化、ガラス試料の計測によるLIBS検量 線のマトリックス依存性調査、天然の岩石試料を用い たアイソクロン計測の実証などが今後解決すべき課題 となる。特に天然岩石の計測に当たっては、鉱物毎に 加熱・蒸発効率が異なることによるLIBS計測のマト リックス効果の顕在化、レーザー照射で鉱物の劈開や 破砕が起こることによる蒸発体積見積の難しさ、単一 のレーザースポットに異なる鉱物が存在する場合のカ リウム・アルゴン計測への影響評価などが解決すべき 課題になると予想される。さらに工学的な観点からは、 年代計測装置へのサンプル導入方法の確立、小型 QMSや小型レーザーなどを含む年代計測プロトタイ プ装置の製作などが急がれる。

本稿では触れなかったミッション形態,リソース見 積もり,および年代計測に適した試料選定方法などに ついては,長ほか[12]をご参照頂きたい.

6. まとめ

地質ユニットの年代は、惑星表面の進化を理解する 上で不可欠の情報である.しかし、主にサンプルリタ ーンの困難さから、アポロ計画の終了以降一度も月惑 星表面から絶対年代データが得られない状況が続いて いる.本研究では、レーザー誘起発光分光装置(LIBS) と四重極型質量分析計(QMS)を組み合わせたカリウ ム-アルゴン年代計測法の基礎技術を新規に開発した. 本研究で得られた結果をまとめると次の通りである: (1) LIBSによって300 ppm以上のKが検出可能で、1

- wt%以上のKが定量可能であることを示した.
 (2) QMSによって1 wt%のKが1億年で蓄積する⁴⁰Ar が定量可能であることを示した.
- (3) 18億年の年代をもつ3個の鉱物試料に対してそれ ぞれ17±1, 19±3, 20±2億年(確度11%, 精度 15%)のモデル年代を得た.
- (4) アイソクロン年代(18.5±0.4億年)をもつ3つの鉱
 物試料の計測の結果, 16.9±2.3億年(確度10%, 精度13%)のアイソクロン年代を得た.

以上の成果は,惑星表面上その場年代計測の原理的 実証をしたものであり,今後の開発の礎になるものと 考えている.

謝 辞

東京大学の長尾敬介教授には年代標準試料を提供し て頂きました.また愛媛大学(前東京大学物性研究所) の八木健彦教授,東京大学物性研究所の後藤弘匡氏に は,高圧プレスを使った試料の作製をさせて頂きまし た.感謝いたします.東京大学地震研究所の三部賢治 助教にはArガスを封入したガラス試料の作製をお願 いしました.千葉工業大学惑星探査研究センターの荒 井朋子上席研究員からはKの定量に必要な標準試料 を多数提供して頂きました.株式会社キーエンスの大 木重美様からは,蒸発体積計測や試料の観察に必要な レーザー顕微鏡,光学顕微鏡,および電子顕微鏡を何 度もお借りしました.匿名の査読者からは,本稿を改 善し本研究を進展させる上で非常に有意義かつ建設的 なコメントをいくつも頂きました.皆様に感謝致しま す.本研究を遂行するにあたり,日本学術振興会から の援助を頂きました.

参考文献

- Neukum, G., 1983, hablilitation thesis, Ludwig-Maximilians-Univ., Munich, Germany.
- [2] Stöffler, D and Ryder, G., 2001, Space Sci. Rev. 96,9.
- [3] Marchi, S. et al., 2009, Astronom. J. 137, 4936.
- [4] Hartmann, W. and Neukum, G., 2001, Space Sci. Rev. 96, 165.
- [5] 諸田智克, 2011, 日本惑星科学会誌 20, 324.
- [6] Doran, P.T. et al., 2004, Earth Sci. Rev. 67, 313.
- [7] Hiesinger, H. et al., 2010, J. Geophys. Res. 115, E03003.
- [8] Morota, T. et al., 2011, Earth Planet. Sci. Lett. 302, 255.
- [9] Cho, Y. et al., 2012, Geophys. Res. Lett. 39, L11203.
- [10] Spohn, T. et al., 2001, Icarus 149, 54.
- [11] Carr, M., 2006, The Surface of Mars (New York: Cambridge University Press).
- [12] 長勇一郎ほか, 2012, 日本惑星科学会誌 21, 267.
- [13] Talboys, D. L. et al., 2009, Planet. Space Sci. 57, 1237.
- [14] Bogard, D. D. 2009, Meteorit. Planet. Sci. 44, 3.
- [15] Swindle, T. et al., 2003, 34th LPSC, Abstract #1488.
- [16] Anderson, F. S. et al., 2012, 43rd LPSC, Abstract #2844.
- [17] Farley, K. A. et al., 2013, Geochim. Cosmochim. Acta 110, 1.
- [18] Cohen, B. A. et al., 2012, 43rd LPSC, Abstract #1267.
- [19] Cho, Y. et al., 2011, 2011 PERC Planetary Geology Field Symposium, Abstract #30.
- [20] Cho, Y. et al., 2012, International Workshop on Instrumentation for Planetary Missions, Abstract #1093.
- [21] Cho, Y. et al., 2013, 44th LPSC, Abstract #1505.
- [22] Lasue, J. et al., 2012, J. Geophys. Res. 117, E01002.
- [23] Sallé, B. et al., 2006, Spectrochim. Acta B 61, 301.

- [24] Griem, H. R., 1964, Plasma Spectroscopy (New York: McGraw-Hill).
- [25] Mermet, J. -M., 2008, Spectrochim. Acta B 63, 166.
- [26] Bogard D. D., J. Park, D. Garrison, 2009, Meteorit. Planet. Sci. 44, 905
- [27] Ming, D. W. et al., 2008, J. Geophys. Res. 113, E12S39.
- [28] Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Earth Planet. Sci. Lett. 36, 359.
- [29] 長尾敬介, 板谷徹丸, 1988, 地質学論集 29, 5.
- [30] Nagao, 1984, unpublished data.
- [31] Behrens, H., 2010, Reviews in Mineralogy & Geochemistry 72, 227.
- [32] 平田岳史ほか, 2011, フィッショントラックニュー スレター 24, 79.
- [33] Ludwig, K. R., 2011, http://www.bgc.org/isoplot_ etc/isoplot.html.
- [34] Boynton, W. V. et al., 2007, J. Geophys. Res. 112, E12S99.
- [35] Neukum, G. et al., 2010, Earth Planet. Sci. Lett. 294, 204.
- [36] van Kan Parker, M. et al., 2010, Earth Planet. Sci. Lett. 294, 411.
- [37] Kobayashi, S. et al., 2010, Space Sci. Rev. 154, 193.
- [38] Ciucci, A. et al., 1999, Appl. Spectrosc. 53, 960.
- [39] Stipe, C. B. et al., 2013, Spectrochim. Acta B 70, 45.

みんなでふたたび木星へ、そして氷衛星へその1 ~人類として為すべき木星圏総合探査JUICE~

木村 淳¹, 佐々木 晶², 藤本 正樹³

(要旨)日本が木星系探査に参加する.2012年5月に欧州宇宙機関(ESA)の大型惑星探査プログラムとして 選定され2022年の打ち上げを目指す木星氷衛星探査機JUICE(ジュース:JUpiter ICy moons Explorer)は、 日本チームもその開発に参加する国際協同計画として始動した.太陽系最大の衛星ガニメデの周回探査とエ ウロパ、カリストのフライバイ探査を行って氷の表面に広がるテクトニクスの全容や内部海の存否を明らか にし、さらに木星大気や磁気圏プラズマ環境などの調査を通して、木星と衛星、それらの相互作用の様相を つまびらかにする.日本のコミュニティにとって数年前まではただの夢だった木星探査へついに手が届くよ うになった経緯を記し、これからのあゆみを連載していく.

1. 地球外生命圏に思いを馳せて

北イタリアのトスカーナ大公国、斜塔で有名な街ピ サで生まれたガリレオ・ガリレイは、1610年に自作 の望遠鏡を使って木星の4衛星を発見、大公国君主一 族の名を取り「メディチ家の星(Medicean stars)」と 名付けられ、後にガリレオ衛星と呼ばれることになる それらの衛星は、地動説に有利な証拠のひとつとして 天動説を大きくぐらつかせ、人類の宇宙観に大転換を もたらすきっかけとなった. それから約360年後、人 類が送り込んだ探査機パイオニアは初めて木星圏に到 達してガリレオ衛星の撮影に成功し、その実績を礎と した探査機ボイジャーは衛星の多様な地質活動を露わ にした.そして1989年,無人探査機に名を載せたガ リレオは1995年から約8年間にわたり木星系を調査し、 衛星エウロパなどの内部に液体水の海が存在する可能 性を提示し、ガニメデで衛星唯一の固有磁場を発見す るなどの成果を挙げ、氷に閉ざされた静かな世界とい う従来の描像を覆し独特の生態系の存在をも予感させ た、そうして探査機が木星を訪れるようになった頃、

地球では深海熱水孔が各地で発見され,地球生命の発 現地に関する認識は一変した.また太陽系外では 1995年のペガスス座51番星における惑星発見を皮切 りに多様かつ多数の系外惑星が観測に捉えられ,従来 の太陽系と地球の理解に根ざしていた生命居住可能性 (ハビタビリティ)の認識は,今や大きな見直しが迫ら れている.しかし我々はいまだ,地球外生命の存在は おろか居住可能性をまともに議論できるような環境す ら確認できていない.かつて天動説をひっくり返した 木星系は,宇宙生命学(アストロバイオロジー)をキー ワードに今ふたたび人類の認識を大きく変えうる可能 性を秘めている.地球生態系の理解と地球外生命の想 像,そしてさらなる系外惑星の発見を踏まえつつ将来 の宇宙生命学の発展を展望し,全世界をあげて実施す べき探査として,JUICEは立ち上がった.

2. いまだベール厚き木星系

太陽系の全容や起源を明らかにする上で,木星系が その大きな鍵を握っていることは言うまでもないだろ う.木星は,太陽を除く太陽系天体の中で他を圧倒す る大きな質量と角運動量を持つ点で太陽系を代表する 存在であるだけでなく,近年進歩のめざましい系外惑

 ^{1.}東京工業大学地球生命研究所
 2.大阪大学
 3.宇宙航空研究開発機構

junkim@elsi.jp

星の観測では、木星のような巨大ガス惑星が宇宙にお いて普遍的な形態であることも分かってきた. すなわ ち木星系を理解することは、より普遍的な惑星形成過 程とその進化の解明という惑星科学の究極的な目標へ と繋がる重要なマイルストーンと言える。また木星に は、惑星サイズとも言える大きな衛星らが従い、それ ぞれが多彩な表層活動や内部状態を持っていることか ら、古くから「ミニ太陽系」と喩えられてきたことも 周知の通りである. その中の衛星エウロパやガニメデ. カリストは表面をHoO主体の氷で覆われ、内部では その氷が全球的に融解した「内部海」として存在して いる可能性が示唆されており、アストロバイオロジー の観点でも最重要サイトであろう.また、木星が持つ 強大な磁気圏のダイナミクスを把握し.太陽系惑星最 強の粒子加速器の物理を理解することは、普遍的な宇 宙プラズマ物理学の構築にも重要な貢献をもたらす。

このように、木星系理解の重要性は長きにわたり研 究者間で共有されてはきたが、現状は理解する以前に その全容把握すら全くおぼつかない. 1970~80年代 にパイオニアおよびボイジャーが木星のフライバイ調 査を行い、1990年代後半から2001年にかけてはガリ レオ探査機が木星周回軌道に入って観測を行った。し かしガリレオ探査機は高利得アンテナの展開失敗やデ ータレコーダの故障によってデータ通信量に大きな制 約を受け、取得した科学データ量が限定されるという 重大な障害があった。また衛星の調査においては、フ ライバイ観測という制約から全面観測がなされていな い上に空間分解能も不十分であることに加え、潮汐や 火山活動など連続的な時間変化が重要となるデータも 取得できていない. また磁気圏やプラズマ物理の面で は、低エネルギー粒子の観測が欠落しているとともに 高エネルギー粒子のデータも時間分解能が悪く、加速 機構の解明やダイナミクスの理解を困難にしている. さらに木星本体、特に大気についてもそのダイナミク スの理解に重要な連続撮像データは特定地域の限定的 な期間にとどまるほか、木星バルク組成の理解に重要 な情報となる水蒸気検出を目指した大気プローブは非 常に乾燥した領域に突入したため、木星大気の水蒸気 量は今もって謎のままである.現在はJUICEに先ん じて、NASAの木星探査機 JUNOが木星へ向かってお り、2016年に木星へ到着し極周回軌道で木星の大気 組成、重力場、内部磁気圏を調べる、大気の科学につ



図1:木星系に到着し調査を行うJUICE((C)ESA).

いては、JUNOが大気組成を調査しJUICEが大気のダ イナミクスを把握する、という役割分担があり、また 磁気圏の理解においては、JUICEは撮像観測による 全体像の把握と「その場」観測による局所精密情報を 組み合わせた「スケール間結合」という、従来の探査 にはない視点でプラズマ現象を根源的に理解する. JUNOの遠木点はカリスト軌道よりも外側になるため、 ガリレオ衛星はほとんど観測しない.

LAPLACEからEJSM、そして JUICEへ

冒頭で「日本のコミュニティにとって木星探査はた だの夢だった」と書いた、我が国には「すいせい」によ るハレー彗星探査から、月周回衛星「かぐや」や小惑 星探査機「はやぶさ」に至る成功体験がある.火星探 査機「のぞみ」も最終的には失敗ではあったが、火星 領域へ到達しデータを取得する点においては経験を得 ている.しかし木星以遠となると、原子力電池を事実 上使えず太陽光が微弱な中での電力確保や、巨大惑星 周囲での放射線対策,はるか彼方との遠隔通信など, 多くの課題が立ちはだかる. そしてこれらは欧州にと っても同様であった.日本として海外(とりわけ米国) の探査をただ指をくわえて見ていたわけではなく、 1970年代には東北大のグループから木星を目指す提 案が出されていたほか、2003年には宇宙科学研究所 の工学グループが太陽電力セイルミッションとしての 木星探査を提案するなど、具体的なアクションは取ら れてきた、しかしどうしても大型計画となってしまい、 また技術的成熟度という点からも時期尚早という感が 否めずこれらの提案のミッション化は実現しなかった が、最近の太陽電池技術の向上などを受けて、2006 年に日欧共同での木星探査ミッションLAPLACE(ラ プラス)の検討がついにはじまった.これは決して突 然湧いてきた話ではなく、2015年打ち上げ予定の水 星探査機BepiColombo検討での協力関係の中で培わ れた日本のコミュニティに対する高い信頼に裏打ちさ れた流れであった. LAPLACEでは三つの探査機 (JPO=Jupiter Planetary Orbiter, JMO=Jupiter Magnetospheric Orbiter, JEO=Jupiter Europa Orbiter)を準備し、編隊にて木星圏の総合探査を目指 すこととなった. 日本はこのうちJMOを製作し、ヨ ーロッパが打ち上げるJPOやJEOとの相乗りで運ば れることになっていた. こうした枠組みでLAPLACE は欧州宇宙機関(ESA)の次世代宇宙探査計画[コズミ ックビジョン2015-2025 (2015年~2025年の打ち上 げを目指す大型計画について2007年から募集がはじ まった)へ申請され、日本でも2007年に宇宙科学研究 所に国際共同木星圏総合探査計画ワーキンググループ が作られてミッション検討が始まった。

翌年にはアメリカ(NASA)も加わり,LAPLACEは 欧日米の協同体制からなるEJSM(Europa Jupiter System Mission)という枠組みへ発展する.アメリカ がJEO,ヨーロッパはJGO(Jupiter Ganymede Orbiter),そして日本がJMOをそれぞれに製作・打ち上げ し,現地でランデブーするという壮大な計画である. この経緯において,日本のJMOは打ち上げ重量の問 題からJGOとの相乗りではなく日本独自に打ち上げ ることになり,太陽電力セイルを使った木星到達探査 機(母船)にJMOを含む複数の小型木星周回機を搭載 し、木星フライバイ時に小型機を木星周回軌道へ投入 しつつ母船はトロヤ群小惑星を目指すというプランを 2020年の打ち上げを目指して検討し始めた. ところ がその後、アメリカが脱退してしまう. 2011年3月に 発表されたアメリカの将来惑星探査10ヶ年計画 (Decadal Survey)での将来計画の優先付けにおいて、 JEOが次期大型探査計画の最上位にならなかったこ とやその後の予算縮小のために、JEOは事実上の計画 中止となってしまった.

木星圏探査は再び欧州主導へと戻り、LAPLACEで の衛星調査はガニメデ周回観測だけだった計画にエウ ロパとカリストのフライバイ観測を加えるなどのアッ プグレードが図られ、ミッションは「JUICE」と名前 を変えた. その後JUICEは2012年5月にESAコズミ ックビジョンのLクラスミッション(大型探査計画)と して採択され、2022年の打ち上げを目指して計画が 始動した. 同じく最終選考に残ったNGO(New Gravitational wave Observatory)とATHENA(Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics)を 抑えての選定であった.

日本もこれに並行して,JMOを中心とする独自の 探査機開発と太陽電力セイルを融合した形での検討を 継続してきたが,セイルは重量がかさみ衛星重量が少 なくなってしまい木星磁気圏観測のサイエンス要求を 満たせないことや,2011年3月,アメリカが次期10ヶ 年計画を発表した月惑星科学会議(LPSC)のまさに最 中に起こった東日本大震災に伴う予算縮小などの影響 を受け,日本単独で2022年の打ち上げを目指し木星 系探査機を開発するという大型の貢献案は現実的でな いと判断され,中止となった.しかしLAPLACEの 提案準備段階から続いてきた日本の貢献をはじめ共同

観 測 装 置	
JANUS (Jovis, Amorum ac Natorum Undique Scrutator)	可視分光撮像カメラ
MAJIS(Moons And Jupiter Imaging Spectrometer)	可視·近赤外撮像分光計
UVS(UV Imaging Spectrograph)	紫外撮像分光計
SWI(Submillimetre Wave Instrument)	サブミリ波観測器
GALA (GAnymede Laser Altimeter)	レーザ高度計
RIME (Radar for Icy Moons Exploration)	レーダーサウンダ
J-MAG(Magnetometer for JUICE)	磁力計
PEP(Particle Environment Package)	プラズマ環境観測パッケージ
RPWI(Radio and Plasma Wave Investigations)	電波・プラズマ波動観測器
3GM (Gravity and Geophysics of Jupiter and Galilean Moons)	重力観測器
PRIDE (Planetary Radio Interferometer and Doppler Experiment)	惑星間電波干渉・ドップラー実験

表1:搭載する科学観測機器.

研究の深化や学会開催などの多様な協同体制が、欧州 側から寄せられる大きな信頼の礎となり、日本の複数 の研究者に対してJUICE開発への協力提案が出され た.

ESAは 2012年6月に, JUICEへ搭載する観測機器 の公募(AO, Announcement of Opportunity)を開始.

審査を経て2013年3月には11の科学観測機器が選定 され、うち4機器の開発と2機器の科学検討という形 で日本チームが正式にJUICEへと参加することとな った(表1).かつては日本の惑星科学コミュニティに とっての「夢」に過ぎなかった木星圏探査が、ついに 自らの手で実現可能なところまできたのである.現在、 日本側ではJUICEをJAXAのプロジェクトとするべ くまずは2014年のプリ・プロジェクト化を目指した 準備を行っている.

JUICEでふたたび木星,そして 氷衛星へ

JUICEは衛星エウロパ,カリストのフライバイ観 測とガニメデの周回観測,木星本体や磁気圏プラズマ 環境計測などを行う.大まかなミッションスケジュー ルを表2に示す.2022年6月に打ち上げを予定してい るJUICEは,地球や金星の重力で加速しながら7年あ まりの時間をかけて木星へ向かう.木星周回軌道へ入 った後,減速し軌道半径を次第に小さくしながら2回 のエウロパのフライバイと3回のカリストフライバイ を行う.その後はカリストの重力アシストによって軌 道傾斜角を最大29度まで上げ,9か月間に9回のカリ ストフライバイをしながら木星本体および磁気圏の高 緯度観測を行う.2032年9月にはガニメデの極周回軌 道に乗り,全球観測へと入る.周回軌道投入直後の5 ヶ月間は近ガニメデ点高度200 km,遠点高度10,000 kmの長楕円軌道に乗り,その後は高度5,000 kmの円 軌道,そしてさらに高度を下げ,高度500 kmでの周 回観測を約3か月,最終的には高度200 kmでの観測 を約1か月間行う.

JUICEが木星圏で目指す理解は、巨大ガス惑星圏 における生命居住可能領域(ハビタブルゾーン)の発現 についてであり、それに向けた巨大ガス惑星の代表格 である木星(系)の理解、および、生命居住可能領域の 候補としての氷衛星の理解、をターゲットとしている. 具体的な調査対象は大きく3つ挙げられる、衛星、木 星大気、そして木星磁気圏である.

第一に衛星調査の意義は、原始木星円盤中で形成されたと考えられるガリレオ衛星の全容を把握し、木星 本体とのシステムの起源を解明することが、普遍的な 惑星系形成過程の解明という惑星科学の最大目標のひ とつに繋がるという点である.活発なシリケイト火山 を持つ衛星イオのように地球以上に地質学的に活発な ものから、カリストのようにほとんど活動の痕跡を示 さないものまで、ガリレオ衛星は極めて幅の広い個性 を持っている.これらの個性がどのように形作られた のかについて、地球との共通点と各衛星に特有の現象 とを区別しながら原因を探っていく過程こそが惑星科 学の本質であり、太陽系全体の天体、さらには系外惑 星の多様性にも考察の礎を与えるだろう.ガリレオ衛 星はその幅の広い個性において、このような問題設定 の格好のサンプルと言えるのである.

2022年6月	打ち上げ	
	地球-金星-地球-地球重力アシスト	
2030年1月	木星周回軌道投入	
	木星ツアー	- エウロパフライバイ2回
		- カリストフライバイ3回
		高軌道傾斜角フェイズ
		- カリストフライバイ9回
2032年9月	ガニメデ周回軌道投入	ガニメデツアー
		高高度楕円軌道周回フェイズ(1か月)
		高高度(5000 km)円軌道周回フェイズ(3か月)
		高高度楕円軌道周回フェイズ(1か月)
		中高度(500 km)円軌道周回フェイズ(3か月)
		低高度(200 km)円軌道周回フェイズ(1か月)
2033年6月	ノミナルミッション終了	

表2:ミッションスケジュール.

IUICEのメインターゲットである衛星ガニメデは、 衛星の中で太陽系最大のサイズ(半径2631 km)を有し, 衛星で唯一の固有磁場と磁気圏を持ち [1]. 表面には 衝突クレータで飽和した極めて古い地質ユニットと大 規模な正断層が群がるユニットとが共存し[2]. 内部 海の存在可能性が示唆されている [3]氷衛星である. その周囲には木星磁気圏と表面氷の相互作用で生じた 酸素を主成分とする希薄大気が存在しオーロラを輝か せている [4]. 太陽系の中でこれほど多様な現象・活 動性を持つ固体天体は他になく、それが地球半径の4 割ほどのサイズ、かつ約半分が氷から成る揮発性天体 で作り出されている点は非常に興味深い. またフライ バイ観測を行うエウロパでは、内部海 [5]や限局的な 内部湖 [6]の存在が予想されており、深部の岩石核と 水の反応によって生成したと思われる塩が表面の亀裂 周辺で確認されている [7]. 内部海の組成を見通す窓 としてこのような地形を調査し、物質の化学組成を厳 密に特定しかつその地形依存性を把握することが、"氷 衛星アストロバイオロジー"の重要な次なる一歩とな ろう.同じくフライバイ観測を行うカリストでも、エ ウロパやガニメデと同様に内部海の存在可能性がある [8]. 地質活動の痕跡は皆無に近く極めて古い表面を持 つが、クレータ底での二酸化炭素の存在 [9]に代表さ れるように、カリストはガス惑星形成末期の化石とし ての状態を保持していると考えられ、その表面の分光 観測は木星系が形成時に経た温度環境への示唆、ひい ては惑星形成論へひとつの制約を与える可能性がある.

第二に木星大気観測の重要性は、その物理的・化学 的諸過程を把握しダイナミクスを認識すること、なら びに、大気組成とその鉛直構造の把握を通して木星深 部も含めたバルク組成の理解に繋げることにある. JUICEでは軌道傾斜角を上げることで可能となる木 星高緯度観測によって、木星の対流圏上部から熱圏に 至る高度範囲を全緯度帯にわたって観察し、包括的か つ長期間・高時空間解像度の風速・温度・雲・化学成 分の挙動に関するデータベースが得られる(例えば [10]).一方で対流圏下部以深についての直接的情報は 得られないが、探査機JUNOによって得られる木星深 部に関する知見を補完することで、木星バルク組成の 解明に寄与できると見込んでいる.

第三の木星磁気圏観測は,磁気圏のその場観測から 普遍的宇宙プラズマ物理の理解への発展にその意義の 重要性が集約される、木星は自身が強力な固有磁場を 持ちながら高速で回転し、その中で荷電粒子が加速さ れる太陽系最強の粒子加速器となっている. またその 磁気圏内部に衛星を抱えており、それら(特に毎秒1 トンの火山ガスを放出する衛星イオ)がプラズマ源や 擾乱源となることで興味深いプラズマ現象が展開して いる、そしてその現象が木星の極域オーロラとして写 し出されている。オーロラは、極域上空にあると考え られる粒子加速域で加速された電子が木星大気へ降り 込むことによって光る(メインオーロラやメインオー ヴァルと呼ばれる)が、その加速域は剛体回転する木 星双極子磁場たる内部磁気圏と、太陽風の影響が無視 できない外部磁気圏との接続領域にあたり、その接続 過程やイオを源とするプラズマガスの外部への輸送過 程、さらに磁力線の引き延ばしや自転からの遅延とい ったオーロラ電流系の駆動メカニズムは理解されてお らず、JUICEの精査によってその描像が明らかとなる. また、加速場を支えている低エネルギー粒子や電磁場 の様子を捉えたデータも現状では不足していることは. 先に言及した通りである. さらに衛星との相互作用と いう観点では、イオのプラズマ源としての寄与のみな らず, 公転運動に伴う磁力線の変形によって木星に生 じるフットプリントオーロラの発生(エウロパに対し ても同様の現象が起きている)[11]や、木星磁気圏に 内包されているガニメデ固有磁場の挙動、さらにはエ ウロパ、ガニメデ、カリストの氷の表面が直接プラズ マガスと相互作用し表面からイオンが供給される過程 なども、重要な観測ターゲットである. とりわけ留意 すべきは、こうした衛星周辺環境の理解が、生命居住 可能系における宇宙放射線環境の把握という意味づけ を持つ点である.

以上, JUICEが目指すサイエンスについて駆け足 で触れたが,次回以降のレポートでは,日本チームが その開発に参加している観測機器を中心に,個々の観 測が持つサイエンスや開発状況をはじめ,関連する研 究の最前線について順次より詳細に紹介していきたい. また,JUICEの科学的成果をより高めるために学会 セッションや研究会などを企画し,皆さんからの様々 な提案やアイディアを取り入れる場を持つので,是非 とも多くの方々から積極的な関わりをいただければと 思っている.少し前まで「木星探査はただの夢」だっ た日本の惑星科学の土壌は「かぐや」や「はやぶさ」の 成功などによって一気に耕され,数々の重要な科学的 知見を得る花を咲かせた.そしていま国際協力によっ て現実となった木星探査で地球外生命圏へのアプロー チという大きな実りを得るために,緊張感と使命感を 持って臨まねばならない.20年後,その果実を搾り つくし味わうために.

5. 謝辞

本連載を提案していただいた谷川享行編集員とはし もとじょーじ編集委員長に感謝する.

参考文献

- [1] Kivelson, M. G. et al., 1996, Science 384, 537.
- [2] Pappalardo, R. T. et al., 2004, in Jupiter, 363.
- [3] Kivelson, M. G. et al., 2002, Icarus 157, 507.
- [4] McGrath, M. A. et al., 2013, J. Geophys. Res.: Space Physics 118, 1.
- [5] Kivelson, M. G. et al., 2000, Science 289, 1340.
- [6] Schmidt, B.E. et al., 2011, Nature 479, doi:10.1038/ nature10608.
- [7] McCord, T. B. et al., 1999, J. Geophys. Res. 104, 11827.
- [8] Khurana, K. K. et al., 1998, Nature 395, 777.
- [9] Hibbits, C. A. et al., 2002, J. Geophys. Res. 107, 5084.
- [10] 宇野健 ほか, 2011, 遊星人 21, 22.
- [11] 垰千尋 ほか, 2011, 遊星人 21, 29.

火の鳥「はやぶさ」未来編 その3 ~ SCI/DCAM3と衝突の科学~

荒川 政彦¹, 和田 浩二², はやぶさ2 SCI/DCAM3チーム

(要旨) はやぶさ2には小型の衝突装置(SCI)が搭載されており,これは秒速2 kmで小惑星表面に衝突して クレーターを形成する.このクレーターは小惑星内部を覗くための小窓であり,リモートセンシング観測や サンプル回収から,小惑星表面の宇宙風化や浅内部構造に関する知見を得る.一方,SCIが衝突する様子は 分離カメラ(DCAM3)により撮影され、イジェクタカーテンの拡大する様子や小惑星周囲を飛び交うダスト を観察する.SCIによる小惑星への衝突は宇宙衝突実験ともいえる.我々はこの世界で最初の小惑星におけ る宇宙衝突実験の機会を利用して,微小重力下における「本物の小惑星物質」のクレーター形成過程を明ら かにする.

1. 惑星科学と衝突

1.1 SCIの目的

SCIとはSmall Carry-on Impatorの略で、日本語で は小型搭載型衝突装置と呼んでいる機器である. はや ぶさ2では、はやぶさ初号機と比較して幾つかの新し い試みがなされているが、このSCIはその中でも最も チャレンジングな試みである. また、このチャレンジ をその場で観測するために分離カメラ(DCAM3)が搭 載されている. 簡単にSCIの機能を説明すると、SCIは、 母船から切り離された後、ライナーと呼ばれる約2 kgの弾丸を爆薬により加速し、衝突速度約2 km/sで 小惑星表面に衝突させる機器である. また、DCAM3は、 このSCIの衝突過程を観測するカメラであり、SCIの 衝突前に母船から切り離されて観測を行う.

SCIの目的は非常に単純で,単に小惑星の表面に穴 を掘ることである.この穴が小惑星の内部にアクセス する小窓となり,表面のリモセン観測だけでは得られ ない様々な情報をもたらしてくれるはずである.さら に穴をあけた時の放出物(イジェクタ)も貴重な観測対

 神戸大学大学院理学研究科
 千葉工業大学惑星探査研究センター masahiko, arakawa@penguin, kobe-u, ac, jp 味ではテンペル第一彗星に対するDeep Impactや月 に対するLCROSSなど、NASAが行った衝突機を用 いた惑星探査の延長上にある.両者は主として放出物 の観測に重点を置いており、地上望遠鏡でも観測でき るほど大規模な放出物の形成を目標としていた. そし てDeep Impact では放出物の観測に成功したが. LCROSSでは地上望遠鏡からの観測はかなり難しかっ たようである.また、両者ともクレーター孔の同定に は非常に苦労したようである. SCIは両者と比べて遙 かに衝突エネルギーが小さく、そのため形成されるク レーターも小さく、放出物の量も少ない.ただ、衝突 前後の小惑星表面を詳細に観測できるという点で2つ の探査にはないアドバンテージがある。はやぶさ2で は、形成されるクレーターは小さいが、<10 cm/pixel という高空間分解能の可視カメラ(ONC)で観測する 予定であり、またDCAM3による衝突時のその場観測 も予定している. 我々はこれらの手段により、確実に 衝突放出物と衝突点を捉える予定である。

象である. 放出物には様々な深さから出てきた物質が 含まれているはずなので,これを採取したり観測する ことにより.小惑星内部の情報に確実にアクセスでき

る.このようにSCIは表層掘削の手段であり、その意

一方,衝突探査には避けては通れない問題がある. それは衝突時に形成されるクレーターサイズなど,ク

レーターの物理量に関する事前の予想が難しいという ことである.はやぶさ2が探査対象とする小惑星 1999IU3の場合もそうであるが、天体表面の状況は行 ってみるまでわからない. 探査計画を立案する上では. 衝突規模の見積もりは安全性や観測可能性の検討の上 でも必須であるが、この検討が極めて難しいのである、 従って, 事前の計画ではあらゆる可能性を検討するこ とになるが、あまりにも悲観的な見積もりをすると SCIを撃つこと自身に意味が見いだせなくなる。我々 が、SCIの科学目標を検討して行く中で一番困ったの がこの点である。そこで、我々は、このSCIの持つ穴 掘り機能を宇宙における衝突実験と見なして、その科 学的意義について見直すことにした. その結果, 非常 に小さな穴であっても、それはその小惑星の表面物性 を表すものであり、さらにその物性において得られる 衝突クレーターの情報は、地上では得られない貴重な 実験データとなることに気づかされた.

1.2 地上実験と惑星衝突をつなぐ宇宙衝突実験

はやぶさ2でSCIが搭載されることになったのは、 これまでの日本の惑星衝突に関する研究とは無縁でな いと思う.その搭載には様々な議論があったと思うが、 結果として30年以上行われてきた日本の衝突実験の 実績を生かす良いチャンスとなった.日本では1980 年代に惑星衝突に関する室内実験が本格的に開始され て以来、一時は研究が下火になった時期もあったが、 衝突破壊やクレーター形成に関する研究が次々と新し い視点から行われてきている.

世界的に見れば衝突クレーターに関する研究は. 1990年代には地上実験とそれに基づいた解析から理 論(スケーリング則)が整備され、クレーターサイズや イジェクタの速度分布などが予測できるようになって いた [1]. このクレーター形成に関する理論を用いる とSCIにより形成されるクレーターの物理量を推定す ることが可能である、しかしながら、この理論は均質 標的に対して構築されたものであり、そこから大きく 外れる性質を持つ表層に対して応用することは難しい. 2000年代に入って頻繁に行われるようになった小惑 星探査から、エロスのような岩石質の一枚岩天体だけ でなく、C型小惑星のマチルデのように50%以上の高 い空隙を持つ天体やイトカワのようにラブルパイル構 造を持つ天体までも発見され、小惑星の表層は多様で あることが改めて認識された、その結果、現在のクレ ーター形成に関する研究では、空隙率、物質強度、粒 径などといったこれまでスケーリング則構築の上であ まり考慮されてこなかった要素がクレーター形成に及 ぼす影響を調べることが中心となっている。一方、実 際の小惑星を構成している表層の物性を推測すること は困難であり、その一部分を隕石の物性から類推する しかない.

スケーリング則は、室内実験の結果を実スケールの 天体衝突に応用するために提案されているが、本当に



図1:小型搭載型衝突装置(SCI)の説明.(a)概観,(b)爆薬部の断面図.

このスケーリング則を信じてcmスケールの結果を kmスケールの現象に適用して良いのか常に心配にな る.このスケールの問題としては、物質強度の減少や 重力の影響などが挙げられるが、地上実験では両者と も実現するのが難しく、その多くは数値シミュレーシ ョンによる研究に依存しているのが現状である.

このように小惑星衝突を模擬する地上実験(数値実 験も含む)には、対象物の不定性と物質強度や重力な どのスケールに由来する問題が常に存在しており、こ れを解決するのは極めて困難である.SCIによる小惑 星表層への衝突は、地上実験では解決が難しいこの2 つの問題に対して、解決の糸口を与えてくれる.すな わち、SCIの衝突は、(1)本物の小惑星の表面を標的 にしている、(2)弾丸大きさが1桁以上大きい、(3) 標的は微小重力下にある、という地上では得難い3つ の特徴を持っており、衝突実験としてはまたとないチ ャンスである.こうして表面の穴掘りのために搭載さ れたSCIは、本物の小惑星における世界初の宇宙衝突 実験のための装置として見直されることになった.

2. 小型搭載型衝突装置と分離カメラ

2.1 機器の紹介

2.1.1 小型搭載型衝突装置 (Small Carry-on Impactor) この装置の概略を図1aに示す.サイズは直径30 cm, 高さ30 cm ほどで、 質量は約20 kgとなっている. 母 船の-Z面(アンテナとは反対側の面で小惑星に対峙す る)に設置され、分離機構により小惑星へと投下される. 内部にはコーン型の爆薬部があり、このコーンの底面 に円盤型のライナーが取り付けられている(図1b). ライナーは質量2.5 kg, 直径26.5 cmの銅板であり, コーン中のプラスチック爆弾の爆破によって加速され る. その加速による初速度は2 km/s程度である. ラ イナーは加速中に徐々に中空の球殻へと変形していく. 最終的には直径15 cm 程の半球殻状の弾丸に成形され、 質量2 kg以上に保って小惑星に衝突することが期待 されている. これまでにSCIの実爆実験が野外試験場 で実施されているが、その実験からこの半球殻は、加 速時に回転運動が加わることがあり、衝突時の弾丸の 衝突面は制御できないことが分かっている。球殻の閉 じた方向からぶつかる場合と球殻が開いた方向からぶ



図2:分離カメラ(DCAM3)の構造.

つかる場合でクレーター形成に対して何らかの影響が あるのかは、模擬SCI弾丸を使用した室内実験により 確認していく予定である.一方,このような半球殻の 弾丸は通常の室内実験では利用しないため、この半球 殻弾丸に対してスケーリング則を適応する時に問題が 生ずる.それは、直径15 cm程度の外形は持つが、中 空まで含めた時の密度は銅よりかなり低くなるという 点である.通常の弾丸は中味が平均的に詰まった球形 もしくは円筒形であるので、そのような弾丸と比較し た場合、この半球殻弾丸をどのように扱うべきかにつ いても室内実験で確認しておく必要がある.

2.1.2 分離カメラ (Deployable CAMera 3)

分離カメラは、SCI運用時に母船から分離して、衝 突の様子を撮影する小型可視光カメラである. その原 型は、小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSに搭 載されたDeployable CAMera 1,2であり、そのヘリ テージを生かして、はやぶさ2において開発されてい る(そのため通称DCAM3と呼ばれる). このDCAM3 は、図2にあるように直径78 mmの小さな筐体であ るが、その中にミニ衛星の機能を詰め込んである、そ れらは、レンズ、光学センサーユニット、バッテリー、 送信機ユニット、それにアンテナである、また、この DCAM3には冗長性を考慮して二種類のカメラユニッ トが搭載されている、それは、科学観測に用いるデジ タル系カメラと工学モニター用のアナログ系カメラで ある. デジタル系カメラが急遽, 準備不足の状態で搭 載されることになったため、そのバックアップの意味 もありアナログ系カメラとの同居となった。この二つ のカメラを区別するためにデジタル系カメラを

火の鳥「はやぶさ」未来編 その3 ~ SCI/DCAM3と衝突の科学~/荒川, 和田, はやぶさ2 SCI/DCAM3チーム 155

DCAM3-D, アナログ系カメラをDCAM3-Aと呼んで いる.ここでは科学観測に用いるDCAM3-Dに関して 簡単に紹介する.

このカメラの特徴は非常に広い視野を持つことであ る.距離1 km程度離れた位置から後述するように爆 発前のSCIと小惑星上での衝突地点を撮像できるよう に74°×74°の視野を持つ.その爆発前のSCI,すなわ ち母船との分離後に小惑星へと落下する小さなSCI本 体を観測し,かつ放出されるイジェクタも明瞭に撮像 するために明るくシャープに撮像可能な光学系を持つ. 光学センサーは2000×2000 pixelの画素数を持つ CMOSである.この光学系で得られる空間分解能は, 撮影対象までの距離にもよるがおおよそ数10 cm/ pixelから1 m/pixelとなる.なお,取得する画像の階 調はモノクロ8 bitである.

カメラで観測する被写体はSCI運用の時間とともに 変わっていく.DCAM3は、母船が小惑星の裏側へ避 難する途中で分離されるが、姿勢を安定化させるため に光軸と回転軸が一致するような回転が分離時に与え られる.分離時にはまずSCIの落下を観測する予定で ある.SCI表面から散乱する太陽光を観測することに より、SCIが点火・発射されるまでの軌跡を追尾する. SCI発射後からは、小惑星表面から成長するイジェク タカーテンの観測を行う(図3).この期間は、100m/s までの高速のイジェクタを観測する事を狙って毎秒1 枚づつ撮影を行う予定である.イジェクタカーテンは、 小惑星の重力により徐々にその形状を変化させ、最終的にはダストの数密度が低くなりカーテンとしては認識できなくなる.そのためイジェクタカーテンの観測は20分程度を予定しており、その後は、小惑星の重力により落下する個々のダストを観測する.このダスト観測モードでは、10秒おきに5×5 binning画像を取得し、カメラの周囲を通り過ぎるダストの撮影を試みる.DCAM3の電源の寿命は1~2時間であるので、この寿命が尽きるまでダスト観測を行う.ただ、小惑星の重力によっては電源寿命以前に小惑星に落下・衝突する可能性もあるため、その場合は衝突によりDCAM3が故障した時点で撮影終了となる.

2.2 SCIの運用シナリオ

図4にSCIの運用シナリオを示す.まず,母船の制 御により小惑星上にSCIの照準を合わせる.その後, 小惑星から高度500 mの位置でSCIは母船から切り離 される.切り離しと同時に母船は退避マヌーバを開始 し,SCIの爆破後の破片や小惑星からの放出物の直撃 を受けない位置まで移動する.移動の途中,ちょうど SCI衝突を真横から観測できるような位置でDCAM3



図3: 分離カメラで撮像した衝突クレーターの想像図. NASA dawn-image-072311を改変.



図4:小型衝突装置(SCI)の運用シーケンス.

を分離する.DCAM3はその時点から撮影を開始し, SCIが小惑星に落下する様子を観測し続ける.はやぶ さ2が,DCAM3とは通信可能であるが,衝突デブリ からは安全な位置にまで退避した後,SCIは点火され 弾丸が発射される.

SCI衝突後は、母船は最低2週間、衝突によるダス トが小惑星周囲から消えるまで退避を続ける.その後、 衝突孔の探索を行うためにホームポジションに復帰す る.この時、予測される最大径のクレーター(10 m) が形成されているなら、可視カメラ(ONC)により観 測できるはずである.この後、衝突クレーター付近か らサンプル採取を行うために、衝突孔を探すことにな るが、DCAM3で観測した衝突点を参考に徐々に高度 を下げながらクレーター孔探しを行う.運良く(?)ク レーターが見つかれば、ONC以外のリモセン機器(近 赤外線分光計 NIRS3、中間赤外カメラ TIR、レーザ ー高度計 LIDAR)でも詳細観測が可能となる.さらに、 クレーターのサイズやクレーターが形成された周囲の 地形等を考慮しながら可能であればサンプル採取を試 みることになる.

3. 宇宙衝突実験

3.1 衝突条件を押さえる

SCI衝突を宇宙衝突実験として考えた時、室内実験 と同様に衝突条件を押さえることが重要である. 弾丸 の衝突速度や質量は、その場観測はできないので地上 の実爆実験の結果から推定することになる、ただし、 これまでの実爆実験の結果を見ると再現性は良いよう である、一方、SCI弾丸は、母船から分離した後、真 っ直ぐ小惑星に向かって飛ぶとは限らない. そのため 衝突角度は実測する必要がある。角度の計測には SCI の点火位置を正確に求める必要がある. 切り離し時の 母船の速度誤差や切り離し後のSCIのニューテンショ ンの大小により衝突位置の精度が決まる。そこで切り 離し後のSCIの運動を知るために母船からSCIが落下 する様子を、ONCで撮像する予定である、ONCによ る分離後のSCIの観測とDCAM3によるSCIの発射高 度の記録から発射点を決定する. この発射点と小惑星 表面の着弾点を結ぶことにより、実際の衝突角度を求 めることができる. さらに、着弾点付近は事前に

ONCによりあらかじめ撮像しておくことで、局所的 な衝突面の傾きや凸凹具合などの情報も考慮して衝突 角度を推定する.

3.2 スケーリング則への貢献

実際の小惑星表面において既知の衝突条件でクレー ターを作ることができれば、それは今後の衝突研究に おける重要なベンチマーク(基準点)になるはずである. 地上実験では、小惑星のアナログ物質を用いて実験す るしかないが、このアナログ物質を選定するためにも 貴重なデータとなる、衝突クレーターのスケーリング 則には、クレーターサイズやイジェクタ速度を表すも のがあるが、それらのスケーリング則を現実の小惑星 上の衝突実験から検証・改訂することができる。例え ば、クレーターサイズに関しては、1999JU3のような 微小重力下で重力がクレーター形成に対してどのよう に影響するかは、これまで良く分かっていない、まず、 地上実験の例が少ないのと、その結果も研究毎に矛盾 している[2]. 微小重力下での衝突クレーターの形成は、 小惑星だけでなく、微惑星の様な微小天体上でも頻繁 に起きていたと考えられる.従って、この過程は小惑 星の衝突進化だけでなく、惑星形成論を研究して行く 上でも重要な素過程である。もちろん。1999IU3が微 惑星というわけではないが、微小重力下に長期間おか れた表層・内部構造を持つ天体という意味では、微惑 星のような力学構造を持つ天体と言えるかもしれない. くどいようだが、地球上で微小重力実験を行うのは至 難の業である.確かに落下棟や専用の飛行機を使えば ある程度長時間の微小重力を作り出せるし、それだけ の時間があれば衝突実験は可能である.しかしながら. 問題は実験時の微小重力だけではない、その標的試料 そのものが微小重力下で準備されていなければ不十分 なのである。地上実験では1Gの元で標的を準備する ため、砂であれガラスビーズであれ自重による圧縮を 受けている。また、1G下では砂やビーズ同士の結合 力より、はるかに重力が大きいため100 μm以上の粒 子では、ほぼランダム最密充填となってしまう、一方、 微小重力下では粒子同士の結合力のため、ある程度大 きな粒子サイズであっても重力に抗して構造を保つこ とが可能となり、最密充填より遙かに大きな空隙率を 持つことができる. 微惑星や微小天体の表層はそのよ うな状態になっているのではないかと想像する。そう

いう意味でも1999JU3への衝突実験は、微小重力下での衝突過程に関して我々に全く新しい知識をもたらしてくれる可能性がある。

クレーターサイズのスケール則の構築に関しては、 SCI衝突だけでなくサンプラーによる衝突クレーター も参考になる.サンプラーでは300 m/sで弾丸を発射 し放出される破片を資料として回収する機構を採用し ている.この衝突によって最大1 m程度のクレーター が形成される可能性があるが、衝突条件はSCIとは大 きく異なる.SCI衝突地点をサンプリング地点に近接 させることができれば、表面状態が似通った条件で、 衝突速度や弾丸サイズの異なる実験データを得ること ができる.これは、はやぶさ2の探査データのみでク レーターサイズに対するスケーリング則のパラメータ ーを決めることができることを意味しており、宇宙衝 突実験にはSCIだけでなくサンプラーの衝突孔観察も 重要である.

一方, イジェクタの速度分布に関するスケール則は, クレーターサイズほど確立したものではない. イジェ クタの速度分布は、天体の衝突破壊・再集積、レゴリ ス形成、それに惑星間塵の生成率を調べるためには必 須の素過程であるが、3次元的に広がる多数の高速飛 翔粒子を計測するという実験的困難さからその研究は あまり進んでいない.現在でも速度分布を計測するた めの室内実験が引き続き行われている. 先行している 理論的研究によれば、クレーター中心から放出される イジェクタの速度分布はクレーターサイズのスケーリ ング則と同じく点源近似と終段階有効エネルギーに関 連するパラメーターで記述できることが分かっている. 一方、クレーターリム付近では、その理論からは外れ た挙動を示すことが分かってきた、リム近傍では、粒 子間の固着力など表層物質の性質に依存している可能 性があり、この領域の室内実験を進めることがSCIの イジェクタカーテンを解析するには重要であると思わ れる.

イジェクタの速度分布は,DCAM3により観測され たイジェクタカーテンの形状やその時間変化を解析し て求める予定である.しかしながら,イジェクタカー テンの形状から速度分布を求めるような研究はこれま で室内実験では例がなく,我々は,まずこの解析手法 の構築から始めなくてはならなかった.現在,個々の イジェクタ粒子の軌跡とその粒子が作るイジェクタカ ーテンの関係を理論的に整理し、その結果得られた理 論式に基づいた解析手法を試験中である. SCIによる 宇宙衝突実験を成功させるためには、室内実験を中心 として検討すべき課題が数多く残されている.

3.3 本当はもっと複雑

1999JU3の表面はいったいどの様になっているので あろうか、当初、SCIの衝突クレーターの検討におい ては、砂面と岩盤の2種類を典型的な例として検討し ていた、しかしながら、イトカワの表面やマチルデの 空隙率を考慮し、その後、さらに検討を重ねた結果、 現在では図5にあるような分類を考えている. 表面を 特徴づける量としては、構成物の強度、サイズ、空隙 率が挙げられるが、粉体層(粒径1 mm以下)では、バ ルクの強度が重要であり、粒子層(粒径 1mm~ 1.5m)では、バルク強度はほぼ0となるので個々の構 成粒子の強度が重要となる。一枚岩では、もちろんバ ルクの強度がクレーターサイズを制御する最も重要な 物理量である. 1999JU3の表面は図5にあるすべてが 可能性のある表面となる.従って,SCIによって形成 されるクレーターサイズを検討するには、これらすべ ての想定される表面状態において形成されるクレータ ーの特徴を押さえておく必要がある、これまでの研究 から推定される衝突クレーターの大きさやイジェクタ カーテンの特徴を表1に示す.また.それぞれの表面 状態においてクレーター形成を支配するメカニズムも 列挙している. これまでの知見から予測可能な表面状 熊もあるが、粒子サイズの影響や粉体上に形成される クレーターの研究などは、さらなる詳しい研究が必要

表1:小惑星の表面多様性と予測されるクレーターサイズ.

表面地形の分類:表層構造均質ケース

分類	細分類	クレーター径	イジェクタ	スケール則
一枚岩 >I.5m	高強度層	15cm-1m	45°以外 高速破片	強度
	弱強度層	lm-10m	45 *以外 根本で分離	強度+重力
粒子層 Imm-I.5m	ガレ場I5cm-I.5m	<15cm - 1m	45°以外、大破片、 暗い	強度
	小石場5cm-15cm	Im -10m	見えない	重力
	砂場 Imm-5cm	lm - >10m	45°, 広い領域	重力
粉体層 <imm< td=""><td>Ф=40-45%</td><td>Im - 10m</td><td>45°, 広い領域で明 るい, 根本で分離</td><td>重力+強度</td></imm<>	Ф=40-45%	Im - 10m	45°, 広い領域で明 るい, 根本で分離	重力+強度
	Φ=45-70%	30cm - 1m	低速で薄い、観測 困難	重力+強度
	Φ>70%	< 30cm	見えない	強度+重力 ^{*1}
Φ: 空隙率 *I 天井崩落				



図5:小惑星表面の多様性.

である. 均質標的に対して構築された既存のスケーリ ング則が多様な表面に対してそのまま利用できれば良 いが,そうでない場合には,スケーリング則の改訂を 含むクレーター形成メカニズムの探求まで考慮したし っかりした研究が必要となる. これまでのように実験 室の良く制御された均質な標的だけを見ていては, SCI衝突実験の結果を十二分に理解して,そこから重 要な物理を引き出すことはできない. 今後は現実的な 小惑星表面での衝突過程を扱うことができる理論を整 えてく必要がある.

4. まだまだ先は長い

我々は、はやぶさ2プロジェクトの中でSCI/ DCAM3によるサイエンスを実現するために様々な検 討を重ねてきた.一方、SCIがその発射時に生成する 自身のデブリや小惑星表面から発生するイジェクタは、 母船に対して極めて危険な存在である.それ故、我々 はSCI運用のリスクとそれに見合った科学的価値があ るかどうかを常に問われてきた.リスクに関しては今 後も検討を重ねてはやぶさ2プロジェクトが破綻しな いように注意していきたいと思っている.サイエンス の検討は、ここまで書いてきたように地上実験を含め て我々がやらなくてならないことは多く残っている. 宇宙衝突実験という新しい探査の形をしっかりと実現 して行くためにも、一つ一つステップを踏んで実績を 積み重ねて行くつもりである.さらに、DCAM3の開 発は現在佳境を迎えている.他の機器と比べてかなり 遅れて開発が始まったこの機器は、常にプロジェクト のお荷物として迷惑をかけ続けている.開発メンバー は最高のパフォーマンスで仕事をこなしてくれている が、それ以上に課題が増えるという状況がずっと続い ている.今後半年は厳しい開発状況が続くと思われる が、SCIにより最高のサイエンスを実現するには DCAM3は無くてはならない機器であるので、なんと か開発を成功させたいと思っている.

最後にこのSCI/DCAM3について我々の意気込み をまとめてみたい.小惑星への人工クレーターの形成 実験は世界初であり、その詳細観測により、天体衝突 過程に関するベンチマークが得られると期待される. 我々は、以下をモットーとして衝突の"SCIENCE"を 発展させることに努める.

Small Carry-on Impactor Elucidates the Nature of Craters and Ejecta (SCIENCE).

(つづく)

参考文献

- Housen, K. R. and Holsapple, K. A., 2011, Icarus 211, 856.
- [2] 高木靖彦, 2012, 日本マイクログラビティ応用学会 誌 29(4), 163.

研究会報告:Workshop on Martian Young Volcanism

地球の半分ほどの大きさの火星は、地球と較べて現 在の内部活動度は低く、より進化の進んだ、冷却の進 行した天体と考えられてきた. タルシスなどに存在す る巨大火山の活動度は最近の10億年ほどの間に低下 してきたことが山体のクレーター年代学の解析から明 らかにされ[1], 熱史のシミュレーション結果[2]とも調 和的である.一方近年これらの見方とおおきく矛盾す る観測事実が明らかになってきた. それは、1)極め て若い年代を示す特異な溶岩流の存在[3]、と2)フォ ボスの軌道変動から見積もられた火星マントルの大き な散逸量[4] である。両者は現在の火星のマントル が融点に極めて近い状態にあることを示唆しており, 「冷却の進行した火星」という今までの描像とは矛盾 したものである.現在この若い火山活動の存在は火星 の内部状態や内部の熱的進化を考える上で一つのキー ポイントとなりつつある. このような問題意識を共有 して、7月18日に小規模な研究集会 [Workshop on Martian Young Volcanism」が東京大学地震研究所に 於いて開かれた.研究集会では研究成果の発表という よりは現状の認識と今後この問題をどのように理解し ていくべきか、と言う研究展開に関する議論に焦点を 絞った.本報告では研究集会で議論された重要なポイ ントを拾い出して解説をする.

1. 東京大学地震研究所 kurikuri@eri.u-tokyo.ac.jp

1. 最近の研究の現状

1.1 火成活動の変遷について:

栗田敬(東京大学), D.Baratoux (Midi Pyrenees Obs., France)により火星の火成活動の特徴, その時間的な変遷などのレビュー報告があった.オリンポスモンスをはじめとする巨大シールド火山のマグマが基本的には地球におけるホットスポット火山と同等な玄武岩であること, ガンマ線スペクトルの解析からマグマの化学組成が年代とともに系統的に変化していること, pMELTSなどのプログラムを用いてマグマ組成変動を推定すると, 融解が時代が新しくなるにつれて深い領域へ移行と同時に融解の程度が減少している, と言う系統的な変化が報告された.

1.2 若い火山活動について:

詳細な研究が進められているCentral Elysium Planitiaの溶岩流の年代,地形学的な特徴,溶岩流の 給源域などが栗田敬,D.Baratoux,野口里奈(東京大 学)により紹介された.形成年代は極めて若く,噴出 溶岩は低粘性であり,そのために起伏が乏しく,地形 的な特徴が乏しく「溶岩流」であるとの同定が困難で あったが,高解像度の画像によりRootless Cone (pseudocraterとも呼ばれる.溶岩と水(氷?)との相 互作用で形成された2次的爆発性小型砕屑丘)の存在 が明らかにされ,高温の溶岩流であることが確定した 経緯が野口により報告された.またこの「Rootless Cone の存在」を判定基準として全球的な溶岩流の探 素を行ったところ,南北半球境界の北部低地側に数得

栗田 敬1

多く存在していることが報告された. 高解像度の画像 データが断片的であるために溶岩流と確定しているわ けではないが,候補地が多数見つかったことは,大き な火山体を形成しない,低粘性の溶岩流が火星には多 数存在している可能性を示唆している. これらのこと は巨大な山体を形成する火成活動とは別のスタイルの マグマ活動:低粘性の溶岩原の形成と単成火山的性質, が存在していることを示している.

1.3 潮汐散逸から推定される火星マントルの 熱的状態

従来フォボスの軌道情報から火星のフォボスによっ て引き起こされた潮汐の散逸がおおきいことが示唆さ れてきた. Bills[4]によるフォボスの影の画像から推 定した潮汐散逸量(Q=86)は地球のマントルと比べて おおきな値であり、火星の内部の温度が融点(ソリダ ス)に近いことを示唆している. 栗田は同様な結果を 得た最近の他の研究(Laineyらの研究)も含めてレビ ューを行った.

2. 若い火山活動の理解のために今後 焦点を当てるべき研究課題

2.1 鉄に富んだ重い地殻

火星の地殻の密度は重力異常の解析から2900 kg/ m³程度とされてきたが、実はその根拠はさほど明確 ではない.この値はSNC隕石から推定された値やガ ンマ線スペクトロスコピーから推定された火星地殻の 化学組成とも矛盾していることがD.Baratouxにより 報告された.密度として3100 kg/m³程度、玄武岩の 化学組成としてはFeO 20 wt% が妥当な値であるこ とが示された.また小川佳子(会津大)は重力のアドミ ッタンス解析に基づいた研究で表層地殻密度として 3100 kg/m³程度が求まったことを報告した.このこ とは次項で述べる下部地殻の安定性と関連して重要な 新しい知見であり、更に詳細な研究が必要とされる.

2.2 鉄に富んだマントルの融解条件とメルト組成

鉄に富んだ系の高圧融解実験の結果が松影香子(京都大学)により報告された.地球のマントルペリドタイトと比ベソリダス温度は100度以上低く,メルト組成の圧力,温度依存性などが実験的に決められた.本

発表では精度の高いデータが提出されているSNC隕 石の化学組成との比較が行われたが,惑星探査データ との対比が次の期待される展開である.pMELTSに 基づきローバーが分析した表層玄武岩の化学組成や軌 道上からのガンマ線スペクトロスコピーの結果を解析 しているD.Baratouxから,現状に於いて鉄の多い系 への適用に問題を残すpMELTSへの貴重なリファレ ンスであるとのコメントが寄せられ,今後の共同研究 が議論された.またD.Baratouxから鉄の多い玄武岩 の粘性に関する実験的研究の紹介があった.鉄(FeO) は粘性の低下をも引き起こす.

2.3 鉄に富んだ下部地殻の安定性

玄武岩は高圧でエクロジャイトに相転移するが,鉄 の多い組成ではその相転移の圧力が低圧側にシフトす ることが大森聡一(放送大学・栗田が代読)により示さ れた.火星はサイズが小さいために内部圧力が低く, そのためバサルト・エクロジャイト転移は起きないと 考えられてきたが現在の地殻下部(60-80 km)で十分に 生じうることが熱力学計算により明らかになった.ま た南部高地の地殻の厚さがこの相転移によって決まっ ている可能性も示唆された.これは火星のマントルダ イナミクスを考える上で極めて重要な,鍵となる研究 結果であり更に詳細な検討が待ち望まれる.

2.4 下部地殻の剥離過程とマグマ生成

下部地殻がエクロジャイトに相転移を起こせば、鉄 の多いマントル組成においても十分に重くなりうる. すなわち地殻下部が周囲よりも重くなることで剥離が 生じ、レーリー・テーラー型の不安定をおこし、沈降 することが予想される、大森の発表においても、この ような剥離に続き強制的に生じた上部マントルの断熱 上昇部分が融解を起こす可能性が示唆されている.市 川浩樹(愛媛大学)により剥離・レーリー・テーラー不 安定・断熱上昇融解の可能性(空間スケールの要請・ タイムスケール)に関する理論的な考察が紹介された. 地球の地殻においてP. Molnar, H. Schmelingなどが その可能性をモデリングで示しているが、地殻下部の レオロジーの取り扱い、温度構造の取り扱い、3次元 への拡張など問題が残されている。また栗田により下 部地殻の剥離駆動のマグマ生成が火星の若い溶岩流火 成活動の原因となっている可能性が議論された.

2.5 地球上の類似火山活動

惑星科学において常に問題となることは、「Ground Truth」となるデータが得にくい点である.本研究課 題に則せば、地球上に同様な火山活動が存在すればそ の比較研究から得るところはおおきい. 栗田はそのよ うな例としてピレネー山中のGarrotxa Volcanic Zone を紹介し、その類似性を議論した.地球においては下 部地殻やリゾスフェアの剥離により生じたと想定され る火山活動には米国コロラド高原の玄武岩活動やルー マニア・カルパチア山中の玄武岩活動などがある. ど のような比較研究が可能であるのか、議論された.

3. 残された問題点

今回の研究集会を通して明らかになった未解決問題 を以下に挙げる.

厚いリゾスフェア? それに「保護」されている 熱いマントル?

巨大火山や南北の極冠による荷重変形の解析からは 極めて厚いリゾスフェアが推定されている. このよう な厚いリゾスフェアを作り出すメカニズムはなにか?

一方アドミッタンス解析からは遙かに薄いリゾスフ ェアが推定されるが,解析手法による違いは何を表し ているのか? 本研究会で考察を進めた剥離駆動型火 山活動が成立するためにはリゾスフェア直下のマント ルには融点近傍の温度状態が必要である.またフォボ スによる潮汐変形の強い散逸は同様な状態を示唆して いる.「厚いリゾスフェアの下の熱いマントル」を作 りだしている機構はなにか? 地球のマントルダイナ ミクスと何が異なっているのか? 火星のみならず地 球の理解においても興味深い問題である.

2) 初生マグマ組成の謎?

地球上においては表層で見られるマグマは玄武岩と いえどもマントルでの融解の直接的な生成物であるこ とは珍しく,何らかの変更を受けている.その解明が 岩石学の主要な課題であった.火星においては McSweenをはじめ多くの研究者が分析された玄武岩 組成は初生マグマ組成に近いと考えている.今回の発 表においてもガンマ線スペクトロスコピーから推定さ れる表層地殻の玄武岩組成はpMELTSが予測する初 生マグマ組成に極めて類似していることが示された. なぜ厚いリゾスフェアを通過してきたマグマが初生マ グマなのか?,否,むしろ厚いリゾスフェアを通過で きたからこそ初生マグマなのか,地球の大陸地域の玄 武岩マグマの活動と関連して興味深い.

3)火星のマントルダイナミクス vs. 地球のマント ルダイナミクス

地球においてはプレートテクトニクスが内部の熱輸 送・物質循環をコントロールしている.とくに沈み込 み帯を通しての表層物質のリサイクリングがマントル の化学進化を支配している.一方プレートテクトニク スの働いていない火星においてはどのような形の熱輸 送・物質循環が起きているのか,興味深い.本研究会 に於いて議論された剥離駆動火成活動はその一つの可 能性を示唆している.地球とは異なったこの「火星シ ステム」に関して総合的な取り組み(物質科学,惑星 探査,宇宙測地学,熱流体モデリング,,,)が次のステ ップとして望まれる.

参考文献

- [1] Werner, S. C., 2009, Icarus 201, 44.
- [2] Ogawa, M. and Yanagisawa, T., 2012, J. Geophys. Res. 117, doi:10.1029/2012JE004054.
- [3] Vaucher, J. et al., 2009, Icarus 204, 418.
- [4] Bills, B. et al., 2005, J. Geophys. Res. E 110, E07004.

New Face

鎌田 俊—(北海道大学大学院理学研究院)

皆様,はじめまして、2013年3月に東京大学大学院 理学系研究科で学位を取得しました,鎌田俊一と申し ます.指導教員は新領域創成科学研究科の杉田精司教 授で,博士課程からは副指導教員として理学系研究科 の阿部豊准教授にもご指導いただきました.現在は北 海道大学大学院理学院の倉本圭教授の下,学振研究員 として固体惑星進化に関する研究に励んでおります.

私の学位論文のタイトルは"The long-term deformation of the Moon inferred from Kaguya geodetic data and implications for its thermal evolution"です. 月探査衛星「かぐや」で得られた地形・ 重力場データの理論的解析を行い. 月の長期熱進化を 制約したという内容です. この度New Face執筆の機 会をいただきましたので、私と「かぐや」、そしてそ れを通じた出会いを中心に学生生活を振り返ることで、 自己紹介をさせていただこうと思います.

「かぐや」が打ち上がったのは私が学部4年の9月で した.そのライブ中継を、学部演習で当時お世話にな っていた村上豪先輩らと共に見ていました.村上先輩 は月から地球プラズマを観測する装置"UPI"に関わっ ていたのですが、私は「かぐや」のどの機器にも関わ る予定もなく、単に先輩に混じってお祭り騒ぎしてい るだけでした.それから数ヶ月後にかぐやメンバーに なるとは思いもせず...

惑星業界におられる多くの方々同様,私も小さな頃 から宇宙や惑星に興味を持っており,中でも惑星探査 に興味を持っていました.上記のようなこともあり, 学部終わり頃から探査ミッションとの関わりを模索し ていました.ある時,ひょんなことからJAXAで技 術職をされている方を紹介されて,更にその方から飲 み仲間として紹介されたのが,子衛星ミッションの





Sub-PIをされていたJAXAの岩田隆浩准教授でした. 飲み仲間として紹介されたので,当然いきなり飲みに なるわけです.おそらく岩田先生から重力場観測につ いて熱く語っていただいたと思うのですが,(あまり 覚えていないことから察するに)その魅力に気がつく こともできませんでした.

ちょうどその頃、大学院での研究室配属が決まり, 進学予定の杉田研で学部演習を行うことにしました. 杉田先生は「かぐや」重力場観測ミッションのCoIで したが、演習の内容はそれとは関係なく、惑星探査用 の元素分析装置開発に関わるレーザー実験でした.演 習とは全くの別件として、杉田研からの「かぐや子衛 星運用メンバー」としてリクルートされたのでした.

そんなこんなでB4の終わりからM1の終わりまで の約1年半,かぐや子衛星の運用業務に関わりました. 「かぐや」は多彩な観測機器を積んだ総合探査ミッシ ョンでしたが,その中でも私の関わった子衛星ミッシ ョンはやや特殊で,装置に異常がなくともミッション の人が運用を行いました.主衛星が地球から可視の時 (つまり表側にいる時)はメーカーの方が主衛星の運用 をされていて,主衛星が不可視になると子衛星チーム の出番,という流れです.運用は日本から月が見えて いる時間に行われるので,毎日1時間ずつ運用時間が New Face

ずれていき,昼間だけのときもあれば夜中から早朝ま でという回もありました.運用はスーパーバイザ(ス タッフレベルの方)と支援(学生)の二人一組,シフト 制で行われたため,多くの子衛星関係者の方々と仕事 をする機会をいただきました.大晦日~元旦の運用で 組んだRSATのPI,並木則行先生から(この年にもな って)お年玉をもらったのはうれしい思い出です.子 衛星落下時の最終運用も担当させていただいたのです が,その回は飲みで出会った岩田先生とでした.

運用だけではなくデータ解析にも関わってみたいと 思い,国立天文台水沢観測所へ行ったのはM1の夏で した.そこで菊池冬彦博士を中心にVLBIデータの解 析法を叩き込んでもらい,柏に帰ってからは遠隔操作 で解析をしました.その際,計算機環境整備でお世話 になった松本晃治准教授にはその後もご協力いただい て,水沢の計算機を比較的自由に使わせていただける ことになりました.学位論文で示した計算結果の大半 が,この水沢の計算機ではじき出されたものです.

毎月運用や解析を行ってはいたものの,M1前半で の研究テーマは学部演習のままでした.しかしどうも 私はレーザー実験よりも数値計算の方が合いそうだと 気がつき,研究テーマをかぐや測地データの理論的解 析に据えたのはM1の後半でした.阿部先生が過去に 受け持たれていた学生の研究テーマ復活に近いところ から始まったので,研究の初期段階では杉田先生より も阿部先生と頻繁に議論していました.そのため、実 験系の杉田研に在籍しつつも,大量の数式が並ぶ理論 系の修論になりました[1].このようなこともあり, 博士課程では阿部先生に副指導教員として正式にご指 導いただくことになりました.

飲み会のワイワイした雰囲気が好きな私は,博士課 程に入る頃には学会・研究会を通じて知り合った測地 ミッション以外のかぐや関係者とも飲むようになって いました.よく一緒に飲んでいた,LISMの大竹真紀 子助教,諸田智克助教,GRSの唐牛譲博士,小林進 悟博士,晴山誠博士,同期の長岡央くん,測地の石原 吉明博士と私の8人で若手研究会を立ち上げて,D1 の秋頃に一回目の研究会を開きました.当時,私は研 究テーマの落としどころを見つけられずにいました. そんな中開かれた本研究会においてGRSの中の人か ら表層熱源物質の話を非常に詳しく聞けたことがきっ かけとなり,「測地データから探る(ガンマでは計測で きない)地下の熱源物質量」を一つの落としどころに 決めました[2].

このように私は「かぐや」を通じて多くの方の出会い, 支えられ,恵まれた学生生活を送ることができました. もちろん,学生生活を振り返る上で杉田先生の熱く厳 しい指導についても触れたいところですが,書き出し たらキリがないほどエピソードがありますので,どう ぞ飲み会に誘って聞き出していただければと思います.

今年(2013年)終わりからはカリフォルニア大学サ ンタクルーズ校のFrancis Nimmo教授の下で研究す る予定です.D3の後半に,JGRのAssociate editorを されているNimmo教授から同誌に投稿された論文の 査読依頼があったときは、学生のうちから一研究者と して世界に認められたようで大変うれしかったです. 今後は倉本教授とNimmo教授の下でこれまで以上に 研究に励むと同時に、私が多くの方に支援していただ いたように、私が学生の支えに少しでもなることがで きればとも思っております.今後ともどうぞよろしく お願い申し上げます.

- Kamata, S. et al., 2012, J. Geophys. Res. Planets 117, doi:10.1029/2011JE003945.
- [2] Kamata, S. et al., 2013, J. Geophys. Res. Planets 118, 398.

日本惑星科学会2013年度秋季講演会 プログラム

2013年度日本惑星科学会秋季講演会実行委員会

●一般講演会

- 場所:石垣市民会館 大ホール(開館9時) 〒907-0013 沖縄県石垣市浜崎町1丁目1番2 日時: 2013年11月23(土・祝)13:30~ (開場 13:00) **題目**:「New Worlds:太陽系外惑星観測の最前線| **講演者**:田村(たむら)元秀(もとひで) (東京大学大学院理学系研究科・教授) **主催**:石垣市教育委員会 共催:日本惑星科学会,国立天文台 ●秋季講演会 **場所**:石垣市民会館 〒907-0013 沖縄県石垣市浜崎町1丁目1番2 口頭発表会場:大ホール ポスター発表会場:1階ホワイエ **日程**: 2013年11月20(水)~11月22日(金)(3日間) 講演数:口頭 113件 ポスター 83件 (最優秀研究者賞特別講演および最優秀発表 賞選考を含む) ●プログラム概要 ○11月20日(水)
- 09:00 開場・受付
- 09:30 特別セッション 最優秀発表賞選考
- 10:55 口頭セッション1 地球型惑星 I
- 11:45 昼食
- 12:40 ポスターセッション 1
- 13:40 口頭セッション2 地球型惑星 II

aloc@wakusei.jp

- 14:50 口頭発表セッション3 系外惑星
- 16:50 口頭発表セッション4 惑星形成

○11月21日(木)

- 09:20 口頭発表セッション5 円盤・物質
- 10:40 ロ頭発表セッション6 衛星系・リング
- 12:00 昼食
- 12:50 ポスターセッション2
- 13:50 口頭発表セッション7 小天体 I
- 14:20 口頭発表セッション8 衝突
- 16:30 総会
- 17:20 最優秀研究者賞特別講演
- 18:30 懇親会 (会場:ホテルミヤヒラ)

○11月22日(金)

- 09:20 口頭発表セッション 9 はやぶさ
- 11:50 昼食
- 12:50 ポスターセッション**3**
- 13:50 口頭発表セッション10 小天体 II
- 15:10 ロ頭発表セッション11 月科学・探査
- 17:30 口頭発表セッション12 分析・実験
- 18:30 口頭発表セッション13 惑星大気

●ロ頭発表プログラム

口頭発表の講演時間は特別セッション15分(3分間の 質疑時間含む),一般セッション10分(2分間の質疑時 間含む)です.下記では講演開始時刻,講演番号,第 一著者名,和文表題を掲載しています.(註1)

11月20日

09:00-09:25 受付(9時より開場) 09:25-09:30 開催挨拶,連絡事項 日本惑星科学会2013年度秋季講演会プログラム

- **特別セッション**(最優秀発表賞選考) (座長:城野信一)
- 09:30 S01 **高空隙ダストの静的圧縮を考慮した微惑 星形成** 片岡章雅(総研大)
- 09:45 S02遠赤外スタッキング解析による太陽系外
オールト雲ダストの発見オールト雲ダストの発見有松亘(東大理)
- 10:00 S03 月面マリウス丘における玄武岩質溶岩噴 出の時間推移に関する研究 今枝隆之介(東大 理)
- 10:15 S04 **周惑星円盤との相互作用による不規則衛 星の捕獲** 末次 竜(神戸大理)
- 10:30 S05 粉体物質の熱伝導率測定実験と月惑星表 層の熱伝導率構造 坂谷尚哉(総研大)

10:45-10:55 休憩

- **ロ頭発表セッション1**(地球型惑星 I) (座長:玄田英典)
- 10:55 O1-01 地殻のリサイクリングと地球型惑星の 進化 小河正基(東大教養)
- 11:05 O1-02 **水の散逸を伴う地球型惑星の進化**小 玉貴則(東大理)
- 11:15 O1-03 ハビタブルゾーンにおける地球型水惑
 星表層環境に対する炭素循環の影響 門屋辰太郎(東大理)
- 11:25 O1-04 系外惑星の直接撮像へ向けた系内天体 の測光特性モデリング 藤井友香(東工大ELSI)
- 11:35 O1-05 星雲遭遇によるK-Pg境界の大量絶滅二村徳宏(岡山天文博物館)
- 11:45-12:40 昼食
- 12:40-13:40 ポスターセッション1
- **ロ頭発表セッション2**(地球型惑星 II) (座長:玄田英典・臼井寛裕)
- 13:40 O2-01 **火星表層水の水素同位体組成** 臼井寛 裕(東工大理工)
- 13:50 O2-02 **火星着陸生命探査計画MELOS1** 佐藤 毅彦(JAXA)
- 14:00 O2-03 MELOS火星着陸探査システムの概念設計現状 藤田和央(JAXA)
- 14:10 O2-04 **MELOS1 生命探查装置:火星表面用**

自動蛍光顕微鏡の開発状況 山岸明彦(東京薬 科大生命科学)

- 14:20 O2-05 小型飛行機を用いた火星上空での風速観測 平栗弘貴(金沢大自然)
- 14:30 O2-06 フォボスにみられるグルーブの形態的 特徴と分布 菊地 紘(東大総合研究博物館)

14:40-14:50 休憩

- **ロ頭発表セッション3**(系外惑星) (座長:成田憲保・堀安範)
- 14:50 O3-01 短周期低質量系外惑星の内部組成と起 源:大気スペクトル観測の重要性 生駒大洋(東 大理)
- 15:00 O3-02 スーパーアースGJ1214bの多波長トラ ンジット観測とその惑星大気組成 成田憲保 (国立天文台)
- 15:10 O3-03 **可視近赤外同時観測によるhot Uranus** GJ3470bの大気調査 福井暁彦(国立天文台)
- 15:20 O3-04 M型星まわりの短周期低質量惑星の熱 進化:GJ3470bの場合 黒崎健二(東大理)
- 15:30 O3-05 **低温度星周りでの低質量惑星の特徴付** け:水の存在量と大気量 堀安 範(国立天文台)
- 15:40 O3-06 水素大気を持つSuper-Earthの大気散
 逸が惑星組成に与える影響
 黒川宏之(名大理)
- 15:50 O3-07 ホットスーパーアースの大気の放射特 性と検出可能性 伊藤祐一(東工大理工)
- 16:00 O3-08 水蒸気大気とマグマ・オーシャンに覆 われた惑星のスペクトル:系外惑星系での検出 可能性 濱野景子(東大理)
- 16:10 O3-09 月食データを用いた地球大気の透過光高分散分光観測 川内紀代恵(東工大理工)
- 16:20 O3-10 HD 209458b大気の流体力学的散逸の 数値モデリング 渡辺健介(北大理)
- 16:30 O3-11 極めて若いホットジュピター CVSO40bの赤外トランジット観測 鬼塚昌宏 (総研大)

16:40-16:50 休憩

ロ頭発表セッション4(惑星形成) (座長:長沢真樹子・生駒大洋)

- 16:50 O4-01 **原始惑星の自転特性** 柴田 雄(東大理 /国立天文台)
- 17:00 O4-02 **火星は重い原始惑星系円盤中で小さい 微惑星から形成された** 小林 浩(名大理)
- 17:10 O4-03 Density Independent Smoothed Particle Hydrodynamicsによる巨大衝突シミ ュレーション 細野七月(東工大理工)
- 17:20 O4-04 ジャイアントインパクトは見えるか? 玄田英典(東工大ELSI)
- 17:30 O4-05 中心星加熱円盤における惑星のタイプ **I軌道移動の数値計算と解析的見積もり**前島 直彦(名大環境)
- 17:40 O4-06 **Type I惑星移動に対するダストの影響** について 山田 耕(早稲田大政経)
- 17:50 O4-07 高精度測光と高分散分光観測を用いた 星の自転軸傾斜角測定 平野照幸(東工大理工)
- 18:00-18:10 休憩
- 18:10 O4-08 **巨大惑星まわりの原始惑星系円盤ギャ** ップ構造 金川和弘(北大低温研)
- 18:20 O4-09 巨大ガス惑星の影響下での微惑星集積のN体計算 押野翔一(国立天文台)
- 18:30 O4-10 ホットジュピター存在下での多重惑星 系の形成 荻原正博(名大理)
- 18:40 O4-11 太陽系外における木星型連惑星の形成 落合裕道(東工大理工)
- 18:50 O4-12 原始惑星のガス捕獲による軌道進化~ 円軌道長周期巨大ガス惑星の形成~ 菊地章宏 (東工大理工)

11月21日

- **ロ頭発表セッション5**(円盤・物質) (座長:谷川享行)
- 09:20 O5-01 新学術領域研究「宇宙における分子進 化:星間雲から原始惑星系へ」 香内 晃(北大 低温研)
- 09:30 O5-02 惑星間塵中の有機物と生命の起源:地 上および宇宙実験による検証 小林憲正(横浜 国立大工)
- 09:40 O5-03 **原始惑星系円盤における有機分子生成** 古家健次(神戸大理)

- 09:50 O5-04 **原始惑星系円盤の水氷に対する光脱離** 反応の検出における理論的示唆 高附翔馬(東 工大理工)
- 10:00 O5-05 焼結ダストアグリゲイトの衝突数値シ ミュレーション 城野信一(名大環境)
- 10:10 O5-06 **原始惑星系円盤における大局磁場の輸** 送と進化 奥住 聡(東工大理工)
- 10:20 O5-07 HD142527 に付随する非対称ギャップ 円盤のALMA 観測 百瀬宗武(茨城大理)

10:30-10:40 休憩

- **ロ頭発表セッション6**(衛星系・リング) (座長:奥住聡)
- 10:40 O6-01 波構造を考慮にいれた土星Aリングの 温度モデル 森島龍司(カリフォルニア大)
- 10:50 O6-02 **周惑星円盤中の固体分布** 谷川享行 (北大低温研)
- 11:00 O6-03 **周惑星円盤の形成・進化についての理** 論的解析 藤井悠里(名大理)
- 11:10 O6-04 **惑星まわりの粒子円盤の進化と衛星形** 成 兵頭龍樹(神戸大理)
- 11:20 O6-05 **周惑星ガス円盤中で集積する巨大氷衛 星の原始大気** 三上 峻(北大理)
- 11:30 O6-06 土星衛星エンセラダスにおける熱水活動 関根康人 (東大新領域)
- 11:40 O6-07 **木星の影におけるガニメデからの近赤 外線放射** 津村耕司(JAXA)
- 11:50 O6-08 JUICE搭載レーザ高度計(GALA)のサ イエンス目標 木村淳(東工大ELSI)

12:00-12:50 昼食

12:50-13:50 ポスターセッション2

ロ頭発表セッション7(小天体I) (座長:小久保英一郎)

- 13:50 O7-01 ケンタウルスの軌道進化と彗星活動2 樋口有理可(東工大理工)
- 14:00 O7-02 トロヤ群小惑星の力学進化 岡山博明 (神戸大理)
- 14:10 O7-03 **原始惑星系円盤内で高速になる微小天** 体の軌道進化 長沢真樹子(東工大広域理)

日本惑星科学会2013年度秋季講演会プログラム

口頭発表セッション8(衝突)

(座長:道上達広·荒川政彦)

- 14:20 O8-01 天体スケールにおける衝突破壊モデルの再検討 藤田智明(東大理)
- 14:30 O8-02 普通コンドライト母天体を形成した微
 惑星の低速度衝突実験:同サイズ試料の衝突破
 壊に対する斜め衝突の影響 河本泰成(神戸大理)
- 14:40 O8-03 C型小惑星模擬物質への衝突実験 岡本千里(JAXA)
- 14:50 O8-04 事前衝突を経験した多結晶氷の衝突破 壊条件に関する実験的研究:氷天体の蓄積ダメ
 ージの見積もり 保井みなみ(神戸大自然)
- 15:00 O8-05 高空隙な始原天体の衝突進化:衝突キ ャビティ形成の実験的研究 岡本尚也(神戸大 理)
- 15:10 08-06 カンラン岩ターゲットへの高速度衝突 により放出される破片の3次元形状分布 島田 玲(大阪大理)
- 15:20-15:30 休憩
- 15:30 O8-07 斜め衝突時の衝撃圧縮段階の超高速撮像観測爆構介(千葉工大)
- 15:40 O8-08 **衝突エネルギー密度と玄武岩衝突破片** の形状分布 道上達広(近畿大工)
- 15:50 O8-09 クレーターエジェクタの速度分布に関 する実験的研究:Wada's methodの応用 辻 堂さやか(神戸大理)
- 16:00 O8-10 C型小惑星含有鉱物における太陽風プ ロトンの影響 仲内悠祐(総研大)
- 16:10 08-11 炭素質隕石の衝突蒸発:室内実験の結 果と引き起こされる環境変動 大野宗祐(千葉 工大)
- 16:20 O8-12 ガラスビーズ焼結体の熱伝導率測定と微惑星熱進化への応用 津田彰子(東大理)
- 16:30-17:20 総会
- 17:20-18:10 最優秀研究者 受賞講演
- 18:10-18:30 休憩 (会場移動)
- 18:30-20:30 懇親会 会場:ホテルミヤヒラ

〒907-0012 沖縄県石垣市美崎町4-9

11月22日

口頭発表セッション9(はやぶさ)

(座長:千秋博紀・渡邊誠一郎)

- 09:20 O9-01 はやぶさNIRS/LIDARデータの再解 析で分かった小惑星ltokawaの宇宙風化と重力 傾斜の相関 阿部新助(日大理工)
- 09:30 O9-02 多バンド画像を用いたイトカワ表面ス ペクトルの高空間分解能解析 古賀すみれ(東 大新領域)
- 09:40 O9-03 イトカワ表面の礫の姿勢・サイズ・形 状測定による表層流動性の考察 青木隆修(神 戸大理)
- 09:50 09-04 **鉛直振動を受けた粉体層の対流構造と** その速度のスケーリング 山田智哉(名大環境)
- 10:00 O9-05 はやぶさ2の統合サイエンスと運用戦略 渡邊誠一郎(名大環境)
- 10:10 O9-06 **小惑星 1999JU3の重力および軌道推定** について 池田 人(JAXA)
- 10:20 O9-07 CVコンドライト及びCRコンドライト
 の水質変成について
 小松睦美(早稲田大高等研)
- 10:30 O9-08 炭素質コンドライトの可視・近赤外反 射分光特性の「はやぶさ2」ミッションへの応用 廣井孝弘(ブラウン大)
- 10:40 O9-09 はやぶさ2の試料採取地点の決定に向 けた隕石反射分光実験 武井亮斗(立教大理)

10:50-11:00 休憩

- 11:00 O9-10 はやぶさ2LIDARによるアルベド観測 の検証 山田竜平(国立天文台)
- 11:10 O9-11 はやぶさ2LIDARを用いたダスト観測 千秋博紀(千葉工大)
- 11:20 O9-12 「はやぶさ2」中間赤外カメラ(TIR)の 開発の現状 岡田達明(JAXA)
- 11:30 O9-13 はやぶさ2DCAM3-Dの光学性能検証試験 石橋 高(千葉工大)
- 11:40 O9-14 はやぶさ2 ONC-Tの光学較正試験結 果について 佐藤允基(立教大理)

日本惑星科学会誌 Vol. 22, No. 3, 2013

11:50-12:50 昼食

12:50-13:50 ポスターセッション3

口頭発表セッション 10(小天体 II)

(座長:渡部潤一)

- 13:50 O10-01 太陽系小天体名の発音調査 佐藤 勲
- 14:00 O10-02 地球近傍小天体2012 DA14の可視分 光観測 浦川聖太郎(日本スペースガード協会)
- 14:10 O10-03 メインベルト小惑星のアルベド分布 の傾向 臼井文彦(東大理)
- 14:20 O10-04 石垣島天文台105cmむりかぶし望遠 鏡による太陽系小天体観測 花山秀和(国立天 文台)
- 14:30 O10-05 反射スペクトルから見た木星の小衛 星とヒルダ群・トロヤ群小惑星との関係 高遠 徳尚(国立天文台)
- 14:40 O10-06 チェリャビンスク隕石の現地調査と 衝突前発見の可能性 高橋典嗣(日本スペース ガード協会/明星大)
- 14:50 O10-07 チェリャビンスク火球の光度曲線柳澤正久(電通大情報理工)

15:00-15:10 休憩

- **ロ頭発表セッション11**(月科学・探査) (座長:小林直樹・山田竜平)
- 15:10 O11-01 月バルク組成制約に向けたマグマオ
 ーシャン熱進化モデルの構築 酒井理紗(東大理)
- 15:20 O11-02 月高地地殻のMg#とTh濃度相関か ら考察するマグマオーシャン固化過程 大竹真 紀子(JAXA)
- 15:30 O11-03 月隕石DaG 400に含まれるトロクト ライト地殻 荒井朋子(千葉工大)
- 15:40 O11-04 月の海の玄武岩組成が示唆する月マ ントルの進化史 加藤伸祐(名大環境)
- 15:50 011-05 月核条件でのFe-O-S系の融解とオ リビン・鉄メルトの反応:月核マントル境界へ の応用 赤松明香(東北大理)
- 16:00 O11-06 かぐやGRSで得られた月表面の鉄成 分の全球分布 晴山慎(聖マリアンナ医科大)
- 16:10 O11-07 観測衛星による連続分光データを使

った月面上のCaに富む輝石の全球捜索 山本 聡(国立環境研)

- 16:20 O11-08 アポロ試料粒子形状を用いた月表面
 での影隠し衝効果のシミュレーション 丸山薫
 (大阪大理)
- 16:30 O11-09 月・小天体・火星の縦孔・地下空洞 探査の科学目的 春山純一(JAXA)
- 16:40 O11-10 月縦孔・地下空洞探査に向けたキャ スティングシステムの開発 有隅 仁(産総研)
- 16:50 O11-11 **月惑星熱流量の精密観測手法に関す** る検討と測定プローブの基礎開発(2) 堀川大 和(総研大)
- 17:00 O11-12 ボロノイ図を用いたクレーターの空 間分布の評価 木下達生(会津大コンピュータ ー理工)
- 17:10 O11-13 火山観測ロボット野外実証試験活動 報告 佐伯和人(大阪大理)

17:20-17:30 休憩

ロ頭発表セッション 12(分析・実験) (座長:永原裕子)

17:30 O12-01 K-Ar法を用いた惑星着陸探査におけ

- るその場年代計装置の開発:天然岩石のもつア イソクロン年代の算出 長 勇一郎(東大理)
- 17:40 O12-02 **真空紫外LIBSによるK-Ar年代測定** 方法の検証 奥村裕(立教大理)
- 17:50 O12-03 Type IIコンドリュールに含まれるカ ンラン石斑晶に見られるFeO-rich overgrowth 層の形成条件 三浦 均(名古屋市立大システム 自然科学)
- 18:00 O12-04 **珪酸塩の高温加熱過程の放射光によ** るその場観察実験 上相真之(JAXA)
- 18:10 O12-05 観測ロケット"S-520-28号機"を用い た微小重力実験から探る鉄微粒子の生成過程 木村勇気(東北大理)
- 18:20 O12-06 分子間水素原子移動によるHOCOラ ジカルの分解 大島 基(大阪大理)

口頭発表セッション 13(惑星大気)

(座長:林祥介)

18:30 O13-01 大気大循環モデルを用いた木星型惑

星大気の数値実験 高橋芳幸(神戸大理)

- 18:40 O13-02 木星大気における雲の凝結メカニズ
 ム:放射対流平衡モデルを用いた大気成分鉛直
 分布の推定 高橋康人(北大理)
- 18:50 O13-03 **同期回転惑星大気の数値実験:非灰色** 放射スキームと雲スキームを用いた場合 石渡 正樹(北大理)

●ポスター発表プログラム

ポスターは3日間掲示できます.下記では発表番号, 第一著者名,和文表題をコアタイム毎に掲載してい ます.ポスターは最終日の口頭発表セッション12 開始前までに撤収して下さい.(註1)

ポスターセッション1:1日目(11/20)12:40~13:40

- S01 **高空隙ダストの静的圧縮を考慮した微惑星形成** 片岡章雅(総研大)
- S02 遠赤外スタッキング解析による太陽系外オール ト雲ダストの発見 有松 亘(東大理)
- S03 月面マリウス丘における玄武岩質溶岩噴出の時 間推移に関する研究 今枝隆之介(東大理)
- S04 **周惑星円盤との相互作用による不規則衛星の捕** 獲 末次 竜(神戸大理)
- S05 粉体物質の熱伝導率測定実験と月惑星表層の熱 伝導率構造 坂谷尚哉(総研大)
- P1-01 **周惑星円盤内におけるガス抵抗による微惑星軌** 道進化 清水俊平(神戸大理)
- P1-02**オールト雲起源新彗星の力学進化** 伊藤孝士 (国立天文台)
- P1-03N体計算と統計的計算を組み合わせた惑星集積 コードの開発 森島龍司(カリフォルニア大)
- P1-04 **原始惑星からの地球型惑星形成**小久保英一郎 (国立天文台)
- P1-05 高解像度シミュレーションによる地球型惑星形 成における巨大惑星の移動中の検証 Sofia Lykawka Patryk(近畿大総合社会)
- P1-06 平均運動共鳴への捕捉条件の導出と系外惑星が 経験した惑星移動速度への制限 荻原正博(名 大理)
- P1-07 惑星がつくるギャップ形状を考慮したガス惑星 の成長と軌道進化 和田義輝(東工大理工)

- P1-08 **散逸円盤中のスーパーアースの大気獲得** 廣瀬 翔(東大理)
 - P1-09 トランジット低質量系外惑星の透過スペクトル モデル 川島由依(東大理)
 - P1-10 **海惑星が有するH₂O層の構造と熱的状態**中山 陽史(東大理)
 - P1-11 **氷ダストの"こしとり"による地球への水供給 量の調整** 佐藤貴央(東工大理工)
 - P1-12**楕円軌道ガス円盤の永年進化** 今枝佑輔(東工 大総合理工)
- P1-13 光蒸発を考慮した中質量星周りでの原始惑星系 円盤の散逸 國友正信(東工大理工)
- P1-14 **原始惑星系円盤でのダスト落下問題における電** 荷を帯びたダストの運動と磁場の影響について 平井研一郎(東北大理)
- P1-15 原始惑星系円盤のガス圧力バンプおけるダス
 ト・ガス密度分布の進化とストリーミング不安
 定性 瀧 哲朗(東工大理工)
- P1-16 **層流円盤におけるダスト層の重力不安定性の数** 値シミュレーション 石津尚喜(国立天文台)
- P1-17 **原始惑星系円盤初期のダストの組成分布~熱力 学的平衡計算とParticle Tracking Model** ~ 中田 守(東大理)
- P1-18 **始原的隕石と斑状コンドリュールのストロンチ** ウム安定同位体異常に関する研究 奥井航(東 工大地惑)
- P1-19 **有機物マントルをもつダストの衝突合体速度の** 温度依存性 上田裕太(東大理)
- P1-20 **湖汐場における自己重力アグリゲイトの衝突破** 壊 兵頭龍樹(神戸大理)
- P1-21 Density Independent Smoothed Particle Hydrodynamicsの非理想気体への拡張 細野 七月(東工大理工)
- P1-22 任意の物理量の微分可能性を必要としない SPH法の開発 山本智子(東工大理工)
- P1-23 **火星の表層水量の進化:火星隕石中の水素3位 体からの制約** 黒川宏之(名大理)
- P1-24 **火星大気の組成混合比変動を考慮したMG4電** 波掩蔽観測データの再導出 野口克行(奈良女 子大理)
- P1-25 火星隕石 Tissint の地球化学的研究:火星マン トル化学進化の理解に向けて 森脇涼太(東工

大理工)

- P1-26 **火星回転計測のための逆 VLBI宇宙実証実験** 岩田隆浩(JAXA)
- P1-27 InSight で観測される大気励起火星常時微動 小林直樹(JAXA)
- P1-28 Viking Lander 2 地震計のデータ復元 山本幸 生(JAXA)
- ポスターセッション2:2日目(11/21)12:50~13:50
- P2-01 最近の13個の彗星(核)の偏光撮像観測結果 古荘玲子(都留文科大)
- P2-02 北大ピリカ望遠鏡による探査候補小惑星の観測 関ロ朋彦(北海道教育大旭川校)
- P2-03 **地球大接近小惑星2012 DA14 の表面特性測定** 寺居 剛(国立天文台)
- P2-04 **2012 DA14地球最接近時の近赤外カラー観測** 高橋隼(兵庫県立大 天文科学センター)
- P2-05 NASA Deep Impact/EPOXIフライバイ探査タ ーゲット小惑星 (163249)2002 GTの多色ライト カーブ観測 阿部新助(日大理工)
- P2-06 **Sub-km メインベルト小惑星のカラー分布** 吉 田二美(国立天文台)
- P2-07 太陽系小天体の深撮像観測に特化した可視広帯 域フィルターの開発と性能評価 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)
- P2-08 沖縄地方における小惑星による恒星の掩蔽の予 報 佐藤 勲
- P2-09 **小惑星表面の温度場に対する2次加熱とその応** 答について 滝田 隼(東大理)
- P2-10 熱水実験と反応理論モデルに基づくセレスの表 面鉱物の解釈:形成・熱進化への示唆 森 愛美(東大理)
- P2-11 チェリャビンスク隕石火球:微気圧および広帯 域地震観測網に記録された衝撃波シグナルの特 徴 石原吉明(産総研)
- P2-12 木星火球の観測 今井啓輔(電通大情報理工)
- P2-13 **木星火球シミュレーション** 片桐陽輔(電通大 情報理工)
- P2-14 **木星火球のメタンバンド観測** 森山正和(電通 大情報理工)
- P2-15 **木星衝突発光現象の検出の試み** 渡部潤一(国 立天文台)

- P2-16 小天体衝突によりガス惑星大気中に生成された 揮発性分子の化学進化 飯野孝浩(名大太陽地 球環境)
- P2-17 **模擬星間環境中での宇宙線による複雑態アミノ** 酸前駆体の生成 小林憲正(横浜国立大工)
- P2-18 宇宙線による星間物質からの核酸塩基無生物的 生成の検証 小林憲正(横浜国立大工)
- P2-19 最新のカッシーニ探査データに基づくディオー ネの表層進化史 平田直之(東大総合研究博物 館)
- P2-20 **ガニメデの金属核形成と膨張地形形成,カリス** ト・タイタンとの進化の分岐 木村 淳(東工大 ELSI)
- P2-21 鉛直加振による粉粒体・液体系の液状化と流体 輸送の実験 安田奈央(金沢大自然)
- P2-22 砂への低速度衝突による衝突励起地震の観測 松本恵里(神戸大理)
- P2-23 低密度脆性弾丸による空隙率を持つ標的への衝 突実験 原田竣也(神戸大理)
- P2-24 レゴリス模擬標的に対するインパクターの破壊 と破片固化 長岡宏樹(神戸大理)
- P2-25 **粘性流体への固体弾衝突によるフィンガリング 不安定性とクレーター構造** 桂木洋光(名大環 境)

ポスターセッション3:3日目(11/22)12:50~13:50

- P3-01 NaClを含むはやぶさ帰還粒子のコンソー1アム 研究 矢田達(JAXA)
- P3-02 はやぶさ試料のコンソーシアム研究:最大試料 の分析について 上椙真之(JAXA)
- P3-03 はやぶさ試料のコンソーシアム研究:金属粒子 およびリン酸塩鉱物を含む粒子の分析につい て 唐牛 譲(JAXA)
- P3-04 C型小惑星の位相曲線:地形による影の影響 北里宏平(会津大先端情報科学)
- P3-05 はやぶさ 2 近赤外分光計 NIRS3の運用計画 北里宏平(会津大 先端情報科学)
- P3-06 **はやぶさ2LIDARの光トランスポンダ機能を使** った機器アラインメント測定 野田寛大(国立 天文台)
- P3-07 Hayabusa 2 DCAM3 Dの耐環境設計と検証 試験 小川和律(東大新領域)

日本惑星科学会2013年度秋季講演会プログラム

- P3-08 はやぶさ2搭載DCAM3-D用CMOS光学セン サの性能評価 白井 慶(JAXA)
- P3-09 はやぶさ2小型衝突装置の中空弾丸がクレータ ー形成過程に及ぼす影響 荒川政彦(神戸大理)
- P3-10 はやぶさ2 探査機データを用いた小惑星形状モ デル作成手法の検討 平田成(会津大コンピュ ータ理工)
- P3-11 はやぶさ2搭載ミネルバ2における紫外LEDを 用いた有機鉱物検出の試み 出村裕英(会津大 コンピュータ理工)
- P3-12**月・水星・小惑星のナトリウム大気** 亀田真吾 (立教大理)
- P3-13かぐや搭載マルチバンドイメージャの分光画像 データ校正・解析最前線 大竹真紀子(JAXA)
- P3-14かぐやレーダサウンダ観測による月表層媒質の 実効誘電率及び密度の推定 熊本篤志(東北大 理)
- P3-15かぐや衛星搭載レーダーサウンダーと地形・分
 光カメラに基づいた月玄武岩層のバルク誘電率
 と空隙率の推定
 石山 謙(東北大理)
- P3-16**月の物理探査:次のターゲット** 佐々木 晶(大 阪大理)
- P3-17 次期月探査計画 SELENE 2の検討状況(3) 田 中 智(JAXA)
- P3-18**月レーザ測距用ホロー型新規月面反射板の開発** 荒木博志(国立天文台)
- P3-19 DOE (Diffractive Optical Element)を用いた月 面天測望遠鏡の開発及びDOE 試作状況 鹿島 伸悟(国立天文台)
- P3-20 月面 CCR の光学応答解析及び CCM 作製基礎検 討 鹿島伸悟(国立天文台)
- P3-21 月縦孔・地下空洞探査 春山純一(JAXA)
- P3-22**月の線状重力異常地域の地形的特徴**澤田なつ 季(金沢大理工)
- P3-23 月面 swirl4地域における分光特徴量の比較と swirl形成過程への制約 小川佳子(会津大 先 端情報科学)
- P3-24 月の初期分化におけるチタンの役割 堀 文子 (東大理)
- P3-25 クレータ生成率モデルの修正と月進化史への影響 諸田智克(名大環境)
- P3-26 模擬低重力下での砂標的へのクレーター形成実

験 木内真人(神戸大理)

- P3-27 **玄武岩標的クレーター形成実験から求められた** スケーリング則 高木靖彦(愛知東邦大)
- P3-28 イジェクタカーテン観測からイジェクタの放出 角度と速さを推定する方法 和田浩二(千葉工 大)
- P3-29 CReSS を用いた火星気象予測実験 杉山耕一 朗(北大理)
- P3-30 ピリカ望遠鏡とVMCによる金星の同時紫外測 光の手法開発とスーパーローテーション周期の 持つ寿命推定 今井正尭(北大理)

註)

- プログラムの詳細は、日本惑星科学会のホームペ ージに記載されております。下記アドレスをご参 照下さい。
 https://www.wakusei.jp/meetings/fall_ meeting/2013/program.html
- プログラムに関するお問い合わせは、学会LOC宛 (下記メールアドレス)までお願い致します. aloc@wakusei.j

Whiteboard

「宇宙科学奨励賞」候補者推薦依頼

公益財団法人 宇宙科学振興会

公益財団法人宇宙科学振興会では、宇宙科学分野で優れた研究業績を挙げ、宇宙科学の発展に寄与 した若手研究者を顕彰し、宇宙科学奨励賞を授与いたします.ここに2013年度の第6回宇宙科学奨励 賞候補者のご推薦を募集いたします.詳細は当財団のホームページ(http://www.spss.or.jp)に掲示し ておりますが、当奨励賞の概要は以下の通りです.今年度より副賞賞金を30万円に増額いたしました. 皆様の周りで優れた業績を挙げ将来の活躍が期待される若手研究者をご推挙いただけますようお願い 申し上げます.

- 表彰の趣旨:宇宙理学(地上観測を除く)分野及び宇宙工学分野で独創的な研究を行い,宇宙科学の 進展に寄与する優れた研究業績をあげた若手研究者個人を顕彰.
- •授与機関:公益財団法人 宇宙科学振興会
- 候 補 者:上記分野で優れた業績をあげた当該年度の4月1日現在37歳以下の若手研究者個人. 候補者の推薦は他薦に限る.
- ・業績の審査:業績の審査は,推薦理由となる研究業績に関連して発表された論文に基づいて,当財
 団が設置する選考委員会において行う.
- ・賞の内容:授賞は原則として毎年宇宙理学関係1名,宇宙工学関係1名とする(ただし適格者のいない場合は受賞者なしとする場合がある).受賞者には本賞(賞状と表彰楯)および副賞(賞金30万円)が贈られる.
- 推薦締切日: 2013年10月31日(木)必着.
- 表彰式:選考結果は2014年1月に推薦者と受賞者に通知するとともに、当財団ホームページにおいて発表する。その後2014年3月に表彰式を行い、受賞者には受賞対象となった研究に関する 講演をして頂く。

なお,推薦の手続きの詳細については財団のホームページ(http://www.spss.or.jp)をご覧いただき, 推薦書式をダウンロードして必要事項を記載の上,(1)候補者の略歴,(2)論文リスト,および(3)推 薦の対象となる論文の別刷等必要書類を添付の上,電子メールにて投稿下さい.

•お問い合わせ先および推薦書送付先:

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1 公益財団法人宇宙科学振興会 事務局 TEL:042-751-1126 FAX:042-751-2165 E-mail:admin@spss.or.jp

JSPS Information

◇日本惑星科学会第101回運営委員会議事録 ◇日本惑星科学会第102回運営委員会議事録 ◇日本惑星科学会第103回運営委員会議事録 ◇日本惑星科学会第39回総会議事録 ◇日本惑星科学会替助会昌名簿

◇日本惑星科学会主催・共催・協賛・後援の研究会情報

◇日本惑星科学会第101回運営委員会議事録

- 日 時:5月19日(日) 18:30-20:30
- 場 所:連合大会会場203号室
- 運営委員会委員:
 - (出席) 田近 英一, 渡邊 誠一郎, 倉本 圭, 中村 昭子, 荒川 政彦, 林 祥介, 並木 則行, 千秋 博紀, はしもと じょーじ, 平田 成, 荒井 朋子, 小久保 英一郎, 藤本 正樹, 橘 省吾, 佐々木 晶, 城野 信一, 小林 直樹, 中本 泰史, 生駒 大洋
 - (欠席 委任状有) 永原 裕子, 井田 茂, 渡部 潤一
 - (欠席 委任状無) 杉田 精司
 - オブザーバー:

玄田 英典(連合大会プログラム委員)

題・報告事項:

1. 会計第11期下期決算

荒井財務専門委員長より, 概ね予算通りの執行との報告がなされた.まず, 収入について, 会費滞納回収 が想定を上回った(想定は45万円であったが, 実際は100万円回収)ことによる増額, 匿名の方からの寄付に よる10万円の増額があったことが報告された.寄付金については, 秋季講演会での最優秀発表賞の賞金に 回すことにする.

一方,支出について,学会誌(3号)のページ増に伴う支出増,研究会補助(探査育英会15万円)に伴う支 出増,最優秀研究者賞の賞金を廃止したことによる学会賞特別会計での支出減(10万円),管理費の基礎開 発費未支払費(21万円増)があったという報告がなされた.

なお,総会用に印刷した貸借対照表にミスがあり,総会において口頭で修正することとする. 監査には報告済みである. 会計第11期下期決算は了承された.

2. 会計第12期上期予算執行状況報告

荒井財務専門委員長より,今年度の会計も予定通りであるとの報告がなされた.2013年度は会費免除者 なし.また本年度も同様に10万円の寄付金あった.

林運営委員から、今年度から最優秀研究者賞受賞者に対して副賞として記念品を贈呈することになったが、

贈呈品の予算計上がどうなっているかという質問があった. それについて, 計上されていないのでマイナス 会計となるが,本年度は特別であり,次年度から恒常化すればよい,という回答があった. 会計第12期上 期予算執行状況報告は承認された.

3. 第11期下期活動報告ならびに第12期活動計画

平田総務専門委員長より活動報告書と計画書について説明があり、内容は了承された.

4. 学会賞選考委員の入れ替え

平田総務専門委員長から学会賞選考委員の入れ替えの報告がなされた.退任が4名(野口高明会員・岡田 達明会員・関根康人会員・小林直樹会員),就任が4名(佐伯和人会員・杉田精司会員・小林浩会員・和田浩 二会員)である.次期委員長は,次の学会賞選考委員会会合で決まる予定である.学会賞選考委員の入れ替 えは承認された.

5.入退会状況について

平田総務専門委員長から入退会状況について報告がなされた.

6. その他総務からの案件

平田総務専門委員長から総会の議長として松本晃治会員,書記として鎌田俊一会員が提案され,運営委員 会によって承認された.

7. 遊星人の発行状況報告

はしもと編集専門委員長より、滞りなく発行が進んでいるとの報告があった.

8. 2012年度最優秀研究者賞について

林学会賞選考委員長より,2012年度最優秀研究者賞として,学会賞選考委員会は成田憲保会員を推薦す るとの報告があった.推薦者は生駒大洋会員.評価文が読み上げられ,講評が述べられた.運営委員会はこ れを承認した.

9. EPSとJpGUジャーナルについて

佐々木欧文誌専門委員長より, JpGUの新ジャーナルに関する報告がなされた. JpGUの中で EPS に属さ ない学会から新しいジャーナルを作りたいという議論が2~3年前に立ち上がった. EPSを拡大するという 議論はあったが,新ジャーナルを立ち上げることになった. (ただし,将来的に合併する可能性は残ってい る.)2016年からスタートする予定である. 新ジャーナル名は "Progress of Earth and Planetary Science". 両ジャーナルとも科研費の公開促進費で賄えるようになった. これを用いて,投稿費の減額や海外エディタ ーの招聘などを考えている. 連合会員がたくさん論文を投稿することが強く求められる. ミッションなどの 特集号を出すようにしてほしい.

中本会員に代わって大槻圭史会員が新たなEPS編集委員になった.そのために、大槻会員を欧文誌編集 委員に追加する.

EPS誌参加5学会長会議では、将来JpGUジャーナルとどのような関係になるべきかについては、あまり 議論されなかった.分担金は当面変わらない.今回科研費が通らなかった場合、赤字がでれば5学会で負担 する取り決めであるが、科研費が通ったので出費はなくなった.(田近会長)

- Q:紙媒体ではなく電子ジャーナルである.何に費用が必要なのか?(渡邉会員)
- A:投稿料の減免に使う予定(佐々木会員)
- Q: EPSについて,特集号を作る際に海外からの投稿が半分以上を占める必要があるという縛りは残っているのか?(林会員)
- A:現在は、それほど強い縛りはない(中本会員)

10. 連合関係

永原連合連携委員長代理で、田近会長から連合大会関連の報告があった. 来年度の連合大会は4月28日 ~5月2日にパシフィコ横浜で開催される. 会場変更の理由は、セッション数の増加のため幕張メッセでは 手狭になったから.再来年度は、幕張メッセに戻るが、その後は不明.

11. 2013年秋季講演会・学会賞実施案等

小久保2013年度秋季講演会組織委員会総務から,準備が順調に進んでいるという報告があった.日程は11 月20日~22日.21日に総会と懇親会,発表賞受賞講演が行われる.講演会場は石垣市民会館.懇親会はホ テルミヤヒラ.詳細は,遊星人の次号に載る.

なお,石垣島にある2つの天文台を開放し,会員は自由に見学できるようにする予定である.また,夜の 観望会も企画している.

Q:ネットはどうするか?

A:経費を費やせば用意できるが、今のところその予定はない.(小久保)

Q:運営委員会など会議スペースはあるのか?

A:確保するようにする.(小久保)

12. 2014年秋季講演会について

玄田2014年度秋季講演会組織委員会委員から2014年度の秋季講演会に関する報告があった.2014年度の LOCは東工大.委員長は井田茂会員である.場所は、大岡山キャンパス.日程は現在検討中.

13. 2015年秋季講演会LOCの提案

中村行事部会長から,2015年度秋季講演会のLOCとして東北大学が提案された.委員長については,中 村智樹会員にお願いしている.その他詳細は未定.運営委員会はこれを承認した.

14. 連合大会プログラム委員からの報告

今期の連合大会も滞り無く行われていると玄田連合大会プログラム委員から報告があった. 来期について, 正プログラム委員として山田耕会員が, 副委員として納田明達会員が提案された. また, 惑星科学セッショ ンのコンビナーとして, 奥住聡(正)と黒沢康祐(副)が提案された. 運営委員会はこれを承認した.

その他の報告事項として、宇宙惑星科学セクションにも学生賞を設けることに対する要請があると佐々木 会員から報告があった。2014年度から始める予定。

15. 木星系探査研究会の設立について

並木将来惑星探査検討グループ長より木星系探査研究会を設立するという提案がなされ、承認された.

16. 来る10年第三段階について

並木将来惑星探査検討グループ長より,来る10年の活動報告があった.3つの提案について,第3段階で1時間ずつのヒアリングを行った.まだMC案として不十分なので,練り直しが必要.そのために,サポートを付けて,この夏に完成度をあげてもらう予定.可能であれば,来年の連合大会までに何らかの答えを出すつもりでいる.

次に,田近会長から今年1月の宇宙基本計画制定以降日本の宇宙科学・探査を取り巻く現在の厳しい情 勢についての説明があった。

17. 今後の惑星探査の中長期ビジョンについて(渡邊副会長ほか)

渡邊副会長から,(1)理学研究の宇宙科学研究所への機能集約,(2)木星探査ミッションJUICEへの参加,(3) 理工一体プロジェクトなど宇宙探査の取り巻く状況の説明があった.惑星科学コミュニティが考えなければ ならないこととして,

- ε ロケットを使った惑星探査
- ・基礎技術実証のミッション(地球のエアロキャプチャ)
- ・ピギーバックの有効利用
- ・外惑星領域クルーズ vs 固体惑星(月)着陸
- ・固体内部 vs 地質 vs 大気観測 vs プラズマ【火星】
- ・超長期ミッション(JUICSは2032年到着)

- ・世界初の工学成果:ピンポイント着陸/超夜はOK?
- ・政策ミッションにつきあえるか?
- ・どのような枠組みを構築するか:大型計画

が挙げられた.

次に,藤本会員からコメントがあった.それぞれバラバラにお金を取ってくるのではなく,計画を決めて から行う必要がある.国際協力が必要.日本では、本格的なミッションはできない.チャンスをつかむ実力 をつけるために独自のミッションを行っている.うまく立ち回るために、工学との連携を強化する必要があ る、宇宙研では、そろそろ機運が高まって来たので、今がチャンスである.

その後、今後の対応について、荒川会員を中心に討論された。

18. その他

○大規模計算ワークショップについて

林会員から,秋季講演会期間中に,石垣で大規模計算ワークショップを行うという報告があった.また, 関連する研究者の講演を最終日のセッションに集めてくれるようLOCに要請があった.

○学術の大型研究計画公募への対応

倉本副会長から学術の大型研究計画公募への対応について説明がなされた.

- ・JPGU「学術の大型研究呼び調査」2012年11月15日締切
- ・地惑全分野から合計25件の提案.うち10件が惑星科学関連
- ・2012年12月13日「大型研究懇談会」を呼びかけ、できれば集約したい、
- ・10件のうち半分はミッション提案.残りはコミュニティにサービス提案
- ·会長指名で倉本副会長がとりまとめ.
- ・2013年2月28日「宇宙惑星科学の将来を語る会」でコンソーシアム構想の素案を紹介. 学術ゴールを明確に
- ・2013年3月31日ウェブ入力フォームから応募

「太陽系生命前駆環境の実証的解明のための統合プログラム」

- 探査を中心に
- 申請者:田近会長
- 推薦者:中島(学術会議),中村正人(連携会員),圦本尚義(連携会員)
- ・2013年4月5日日本学術会議地球惑星科学ヒアリング

・今後学術会議内で計画を策定

◇日本惑星科学会第102回運営委員会議事録

- 期 間:2013年6月3日(月)~6月10日(月)
- 議 題:編集専門委員会委員の新任の承認

運営委員会委員:

出席者 23名

田近 英一,渡邊 誠一郎,倉本 圭,中村 昭子,荒川 政彦,林 祥介,生駒 大洋,渡部 潤一,並木 則行, 永原 裕子,井田 茂,千秋 博紀,はしもと じょーじ,平田 成,荒井 朋子,小久保 英一郎,藤本 正樹, 橘 省吾,佐々木 晶,城野 信一,小林 直樹,中本 泰史,杉田 精司 欠席者 なし 成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす 議決方法:上記期間内にe-mailにより投票

- 議 題:編集専門委員会委員の新任の承認 編集委員の新任
 - *成田憲保(国立天文台)
 - * 上椙真之(宇宙研)
 - * 三浦均(名古屋市立大) 議題は全会一致で承認された(可23, 否0). なお,これに伴って現職編集委員の杉田精司(東大)は退任とする.

◇日本惑星科学会第103回運営委員会議事録

- 期 間:2013年6月20日(木)~6月27日(木)
- 議 題:1.秋季講演会LOC担当年度の入れ替えの承認
 - 2. 行事部会委員の新任の承認
- 報 告:東北大秋季講演会LOCの人事について
- 運営委員会委員:
- 出席者 22名

田近 英一,渡邊 誠一郎,倉本 圭,中村 昭子,荒川 政彦,林 祥介,生駒 大洋,渡部 潤一,並木 則行, 永原 裕子,井田 茂,千秋 博紀,はしもと じょーじ,平田 成,荒井 朋子,小久保 英一郎,藤本 正樹, 橘 省吾,佐々木 晶,城野 信一,小林 直樹,中本 泰史

- 欠席者 1名
- 杉田 精司
- 成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす 議決方法:上記期間内にe-mailにより投票

議題1. 秋季講演会LOC担当年度の入れ替えの承認をお願いしたい

[変更前] 2014年:東京工業大学 2015年:東北大学 [変更後] 2014年:東北大学 2015年:東京工業大学

<中本泰史東工大秋季講演会実行委員からの説明>

2012年の夏頃,2014年秋季講演会LOCの打診を受けて受諾したあと、東工大・地惑メンバーを中心とし たWPIプログラムが採択され、2012年12月、東工大内に地球生命研究所(以下ELSI)が設立されました、そ こでは、惑星科学に深く関係したテーマの研究が展開されます。さらに2013年春、ELSIの新棟建設も決ま りました。2014年度末の完成を目指し、2013年夏頃から工事が始まります。こうした流れを踏まえ、惑星科 学会秋季講演会を東工大LOCで開催するのなら、ELSIの新棟完成後にそのお披露目もかねて開催するのが、 ELSIにとってはもちろん,惑星科学会のみなさんにとってもよいのではないかと考えました.そこで東北 大の中村智樹さんに相談したところ,ご協力いただけるというお返事をいただいたので,正式にLOC入れ 替えのお願いをする次第です.

<中村昭子行事部会長からの説明>

行事部会では、東工大が2015年に開催を希望される理由を理解し、さらに、東北大の2014年開催について ・東工大からは、複数人分のマンパワーについて協力の内諾を得ている. 業務分担(www-adminを東工大からという案も含め)についてはこれから話し合う.

今年の秋季講演会引継ぎ会への東北大の主なメンバーの旅費は確保されている.

- ・会場は候補が複数ある.
- ことを確認しました. 議題は全会一致で承認された(可22, 否0).
- 議題2. 行事部会委員の新任の承認をお願いしたい

木村勇気(東北大)

議題は全会一致で承認された(可22, 否0).

- 報告. 東北大秋季講演会LOCの人事について 東北大秋季講演会の正副実行委員長が以下のように決定した.
 - •委員長: 中村智樹
 - · 副委員長: 笠羽康正

◇日本惑星科学会第39回総会議事録

 日 時:5月20日(月) 13:00-14:00
 場 所:日本地球惑星科学連合2013年大会会場304号室 千葉県千葉市美浜区中瀬2-1 幕張メッセ国際会議場
 正 会 員:610
 定 足 数:61
 参加人数:61(議事3.1時点),62(議事3.2時点)

委任状:118通(議長114, 生駒大洋会員1, 林祥介会員1, 佐々木晶会員1, 千秋博紀会員1)

1. 開会宣言

平田総務専門委員長が開会を宣言.

2. 議長団選出

運営委員会からの推薦で議長に松本晃治会員,書記に鎌田俊一会員が選出された.

3. 議 事

3.1. 第11期下期(2012年度)活動報告

·基調報告

田近会長より2012年度の事業概要,連合大会と秋期講演会の概要,学会誌発行状況等の説明がなされた. ・会計報告

荒井財務専門委員長より概ね予算通りの収入・支出であったことが報告された.また,滞納分支払いが 前年度と比較して大幅に増えたことが報告された.

· 会計監査報告

関谷会計監事より誤りがないことが確認したと報告された.

·2012年度最優秀研究者受賞者発表

林学会賞選考委員長より成田憲保会員に決定されたことが報告された.

- · 各種専門委員会報告
- · 欧文誌専門委員会

佐々木欧文誌専門委員会委員長よりJPGUによる新雑誌の名前が「Progress of Earth andPlanetary Science (PEPSI)」に決まったこと、また同誌と従来の欧文誌「EPS」との関係が報告された.また,2014 年度から連合大会学生発表賞に宇宙惑星科学部門が参加することが報告された.

・採択

第11期下記活動報告の採択が行われ, 賛成:179(うち出席者61), 反対:0, 保留:0により採択された.

3.2. 第12期上期(2013年度)活動方針

·基本方針

田近会長より惑星探査を取り巻く状況に関して報告がなされた. ピギーバック問題などを例に,理工連携による協力体制や10-20年スパンの惑星探査ロードマップの必要性に関して説明がなされた. これらについては田近会長より荒川将来計画委員会委員長に検討するよう指示があったことも報告された.

· 各種専門委員会活動方針

例年通りで特に報告はなし.

- ・質疑応答:なし
- ・採択

第12期上期活動方針の採択が行われ, 賛成:189(うち出席者62), 反対:0, 保留:0により採択された.

4. 報告事項

4.1. 2013年秋季講演会について

小久保2013年度秋季講演会組織委員会総務委員より会場やその周辺,一般講演の内容等について報告 がなされた.

4.2. その他

林運営委員より2013年度秋期講演会前日に開催予定のシンポジウムに関するアナウンス,千秋運営委員によるフロンティアセミナーに関するアナウンスがあった.また倉本副会長より,連合大会期間中における惑星探査コンソーシアムの説明予定が報告された.

- 5. 議長団解任
- 6. 閉会宣言

◇日本惑星科学会賛助会員名簿

2013年9月25日までに, 賛助会員として本学会にご協力下さった団体は以下の通りです. 社名等を掲載し, 敬意と感謝の意を表します. (五十音順)

アメテック株式会社カメカ事業部 株式会社五藤光学研究所 有限会社テラパブ 株式会社ニュートンプレス

◇日本惑星科学会主催・共催・協賛・後援の研究会情報

(a)場所,(b)主催者,(c)ウェブページ/連絡先など.

転記ミス,原稿作成後に変更等があるかもしれません.各自でご確認ください.

2013/09

27-28 可視化情報全国講演会(2013会津)

(a)会津大学 (b)一般社団法人 可視化情報学会(日本惑星科学会協賛)(c)http://web-ext.u-aizu.ac.jp/conference/vis2013/

2013/10

 9-11
 第57回宇宙科学技術連合講演会

 (a)米子コンベンションセンター
 (b)日本航空宇宙学会(日本惑星科学会協賛)

 (c)http://ukaren57.u-aizu.ac.jp

2013/11

 14-16
 第54回 高圧討論会

 (a)新潟市(朱鷺メッセ)
 (b)日本高圧力学会(日本惑星科学会協賛)

 (c)http://www.highpressure.jp/new/54forum/

20-22 日本惑星科学会秋季講演会

(a)石垣市民会館,沖縄県,石垣市(b)日本惑星科学会主催(c)https://www.wakusei.jp/meetings/fall_meeting/

編集後記

本号掲載の2012年最優秀発表賞受賞論文はいかが でしたでしょうか.惑星表面その場年代計測のための 装置開発という挑戦的かつ期待度の高い研究です.ま だ読まれていないという方はぜひご一読ください.編 集後記を読んでいる場合ではありません.

この原稿を執筆している8月上旬の名古屋は茹だる ような暑さで気を失いそうです.名古屋の夏は今年で だいたい3年目になりますが,まだ慣れません.先日, あまりにも暑かったためにキンキンに冷えたビールを 堪能したのち,エアコンをつけたまま就寝しました. 顔面に直風だったために,次の日には喉がやられ,話 すのもつらかったです.声が荒れている原因について 説明が面倒だったので一部の方には「酒やけ」とだけ 説明しましたが,正確ではありませんでした.すみま せん.みなさんも体調管理にはくれぐれもお気をつけ 下さい. 編集委員 はしもとじょーじ[編集長],諸田智克[編集幹事] 生駒大洋,上椙真之,岡崎隆司,奥地拓生,木村勇気,倉本圭,小久保英一郎, 白石浩章,杉山耕一朗,関口朋彦,田中秀和,谷川享行,成田憲保,本田親寿,三浦均, 山本聡,渡部潤一,渡部直樹,和田浩二

2013年9月25日発行

日本惑星科学会誌 遊・星・人 第22巻 第3号

定価 一部 1,750円(送料含む)

編集人 はしもと じょーじ(日本惑星科学会編集専門委員会委員長)

印刷所 〒501-0476 岐阜県本巣市海老A&A日本印刷株式会社

発行所 〒105-0012 東京都港区芝大門2-1-16 芝大門MFビルB1階 株式会社イーサイド登録センター内 日本惑星科学会

e-mail : staff@wakusei.jp

TEL:03-6435-8789/FAX:03-6435-8790

(連絡はできる限り電子メールをお使いいただきますようご協力お願いいたします)

本誌に掲載された寄稿等の著作権は日本惑星科学会が所有しています.

複写される方へ

本誌に掲載された著作物を個人的な使用の目的以外で複写したい方は,著作権者から複写等の 行使の依託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい.

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会

TEL: 03-3475-5618/FAX: 03-3475-5619

e-mail:kammori@msh.biglobe.ne.jp

著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は,直接日本惑星科学会へご連絡下さい.