

## 革新的“質量分析技術”開発で拓く宇宙・地球・生命科学

### ① 計画の概要

近年、我が国では海外メーカーの汎用分析機器を購入し、欧米で構築された分析手法を模倣し解析するだけということが多く行われており、現状では先駆的な研究を行なっていくことは難しい。一方で、大阪大学の質量分析グループは、1930年代後半に国内で最初の質量分析装置を開発して以来、長い装置開発の歴史があり、二重収束質量分析装置『CQH』や、マルチターン飛行時間型質量分析計『MULTUM』のような世界に誇れる革新的な装置開発と、それらを用いた独創的な研究を行ってきた。本研究計画では、イオン光学系を独自にデザインできる大阪大学理学研究科が「核」となり、サンプル前処理やイオン化法に詳しい日本地球化学会や日本質量分析学会との連携のもと、世界に類を見ない“サイエンス指向型”の質量分析装置をデザインし、宇宙・地球・生命科学の最先端を切り拓くことを目的としている。

本計画のサイエンスタargetは、はやぶさが採取する小惑星微粒子、火山や土壌で発生するガス、河川や海水析など多岐にわたるが、特に、[1]高感度・高空間分解能を追求することで拓く先太陽系史の解読と、[2]小型化を追求することで拓くオンサイト・リアルタイム地球惑星科学を2大課題に掲げ、新たな学問領域を創生する。さらにここで得られた技術は、[3]生体高分子などの網羅的解析（オミクス）や、[4]医療現場での疾病病態診断などの生命科学分野へと展開することができ「生命現象のメカニズム」などの知見獲得に繋がる。このように、「前太陽系史の解明」と「オンサイト・リアルタイム地球惑星科学の創成」という地球惑星科学の新たな学問領域開拓への技術的な挑戦を皮切りに、材料科学、ライフサイエンス、環境科学、農学など、様々な科学分野の発展において「扇子の要」となっている質量分析科学コミュニティ全体の基盤向上を目指す。

### ② 学術的な意義

分析対象は多岐にわたるが、計画全体として以下の二つの学問領域を新たに創生する。

[1]高感度・高空間分解能を追求した先太陽系史の解読：研究代表者は、市販の装置ながら数ミクロンのはやぶさ微粒子の局所 U-Pb 同位体分析を行い、地球近傍小惑星の衝突・破壊史を世界で初めて明らかにした(Terada+ 2018)。現在計画中の装置開発に大型予算がつけば、市販の装置より空間分解能を2桁、感度を1桁上げることが達成でき、隕石中に稀に存在するプレソーラー粒子から太陽系誕生前の情報を引き出すことが可能となる。他方、分担者の平田は、多重検出器型 ICP-MS 質量分析計を改造し、世界に先がけてナノ粒子の元素・同位体分析が可能な質量分析システムの開発に成功した(Hirata+ 2019)。このシステムは重元素合成過程の解明に応用できる。一般に地球惑星科学は「太陽系形成後46億年の事象」を扱う学問分野であったが、本計画により、宇宙開闢から太陽系の形成までの宇宙史の前半3分の2に実質的に切り込むことができ、学術的にも大きなブレイクスルーとなる。

[2]小型化を追求したオンサイト・リアルタイム地球惑星科学：研究代表者の寺田は、月周回衛星かぐや搭載の質量分析計を用い、月面に到達する地球酸素の実測に成功し、人類の世界観を変えるパラダイムシフトを起こす一方(Terada et al. Nature Astronomy 2017)、同位体比を分析するには至らなかった。現在開発中の小型・高質量分解能の装置開発が実用化すれば、火山ガス、地下水などの地球化学的データをオンサイト・リアルタイムで同位体モニタリングが可能となる。

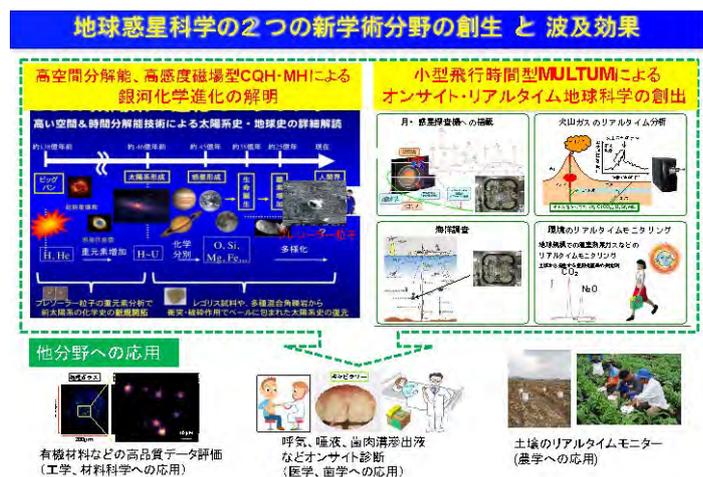
さらにここで得られた技術は、[3]生体高分子などの網羅的解析や、[4]医療現場での疾病病態診断などの生命科学分野へと展開することができる。

### ③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

現在、国内外の地球惑星科学の研究機関に汎用質量分析装置が配備され強力なツールとなっている。しかし世界的なシェアを担っているのは数社であり、分析技術の独自性は希薄である。我が国が同分野で世界を牽引するためには、各研究テーマに特化した、独創的な装置開発が必要不可欠である(かつて、UCLAではNASAの太陽風粒子採取計画に合わせ、SIMSと加速器マスを組み合わせたユニークな質量分析計を開発し大きな成果を挙げた)。「はやぶさ2」や、深海掘削船「ちきゅう」、国際宇宙ステーションによる「たんぽぽ計画」など国家的なリターンサンプルや、惑星探査機搭載型超小型MULTUMに対し、分析・研究開発の面でも日本独自の装置の開発が急務であり、時機を得た提案であると言える。

一方、生命科学の分野では、アルツハイマー病等の三大疾病に伴う代謝変化を、銅の同位体組成異常により検出する試みが国際的に進んでいる。分担者の平田は、Ca、鉄、銅、Moの精密同位体と微量元素イメージングを組み合わせることで、わずかな金属代謝変化を捉える研究を始めるなど、質量分析技術の学術シーズ共創の基盤が整っている。

### ④ 実施機関と実施体制



空間分解能と感度を追求する大型の磁場型質量分析計 R&G 拠点として3拠点、小型化を追求した飛行時間型質量分析計 R&G 拠点として10拠点を設置する。イオン光学系は阪大でデザインし、分析試料の化学特性に左右されるサンプル処理部やイオン化部などは地球化学会、質量分析学会に属する研究機関で開発を行う。完成した新型装置は全国共同利用設備として広く享受するとともに、質量分析のアナリティカル・テクニカルな知見も共有し、材料科学、ライフサイエンス、環境科学、農学などの様々な科学分野の発展において「扇子の要」となっている質量分析科学コミュニティ全体の基盤向上に役立てる。

<大型磁場型質量分析計 R&G 拠点>

大阪大学：研究総括拠点、および飛行時間型質量分析計(Post-Ionization SIMS)、東京大学：大型磁場型質量分析計(全元素同時分析 LA-ICP-MS)、高知コアセンター：大型扇形磁場型質量分析計(MEGA-SIMS)

<小型飛行時間型質量分析計 R&G 拠点>

東京大学：火山ガス MULTUM、JAXA：探査機搭載 TULTUM、筑波大：堆積岩 MULTUM、JAMSTEC：潜水艇 MULTUM、名古屋大学：生物地球化学 MULTUM 大阪市環境研究所：河川水 MULTUM、東北大学病院：薬学用 MULTUM、大阪大学：医学歯学用 MULTUM、北海道大：土壌学 MULTUM、京都大：農芸化学用 MULTUM

⑤ 所要経費

ポストイオン化 CQH 型質量分析装置の開発 (阪大)	10 億円
完全多元素・多同位体同時質量分析計 (東大)	10 億円
高感度 MEGA-SIMS の開発 (高知コアセンター)	10 億円
FIB-MULTUM 型質量分析装置の開発 (阪大)	5 億円
投影型有機物質量分析計 (阪大)	2 億円
惑星探査用小型質量分析計の開発 (JAXA)	2 億円
潜水艇用小型質量分析計の開発 (JAMSTEC)	2 億円
環境モニタリング用小型質量分析計の開発 (東大、つくば)	4 億円
人為影響ジオミクス (鳥取環境科学大学)	2 億円
生体地球化学 (名古屋大学)	2 億円
生物圏環境ジオミクスの開発 (京大、北大)	4 億円
医療診断用小型質量分析計の開発 (東北大病院、阪大)	4 億円
加速器質量分析装置の開発 (東京大学・総合研究博物館)	5 億円
新規准教授ポスト2名、研究員6名 (×10年)	5 億円
装置附帯設備 (各機関)	2 億円
新規建物 (阪大)	5 億円
合計	74 億円

⑥ 年次計画

本計画の最初の3年は、現在基礎技術開発をしている部分を発展させる。まず一つ目は、高精度の局所同位体分析測定のためのポストイオン化 CQH 型質量分析装置の開発で、3年後には現在の感度数十 ppm から 1ppm へ向上させ、実用化を目指す。2つ目の柱は、小型かつ可搬型の多重周回飛行時間型質量分析計(MULTUM)の開発で、すでに培養土壌からの脱ガス分析、歯周病患者の唾液の分析など実験室レベルでは実績がある。今後は電源周りの小型化をすすめ、屋外で使える仕様を3年で達成する。

一方、大型磁場型の質量分析計である完全多元素・多同位体同時質量分析計や、SIMS と加速器質量分析計を組み合わせた MEGA-SIMS は、大型の磁場マグネットを製作するのに費用がかかるため、開発の目処は立っていない。しかしながら、完全多元素・多同位体同時質量分析計で採用する「Matthaus-Herzog 型」イオン光学系は既に試作し性能評価をしており、技術的には実現可能な状態となっている。これらは5年を目処に設計/開発し、7年で実用化できると見込んでいる。

母体が大阪大学であるので、教育基盤体制は整っており、夏の学校やSTEP10 制度を利用した次世代を担う学生の基礎教育や、企業エンジニア向けの「先端計測リカレント教育」や研修を行う。期間終了後は、リノベーションセンターなどを通し受注を受けた分析費用で年間200万円程度のランニングコストを回せるよう努力する。

⑦ 社会的価値

【国民の理解/知的価値】本計画は「宇宙・地球・生命という人類の好奇心 (大命題) への挑戦」であり国民の理解は得られやすい。逆に、この人類古来の課題に実質的に切り込むには、本技術開発が不可欠である。

【経済的・産業的価値】本計画は、島津製作所/日本電子ほか企業が90%を占める日本質量分析学会と連携しており、応用分析のみならず製品化への道筋はある。すでに阪大の MULTUM 技術をベースとしたベンチャー企業も立ち上がっており、経済的・産業的な波及効果の見通しは明るい。

【SDGs への貢献等】ここで得られた質量分析技術を、歯科医用 X 線 CT や簡易放射線検出器のように普及させることができれば、呼吸や唾液や血清のオンサイト診断や、個々の店舗における品質検査など、高品位の安全安心データを国民が広く享受できる新しい社会基盤が実現する。このように、本領域の研究開発とそこから期待できる成果は、SDGs の定めるゴールの (3 全ての人に健康と福祉を) (9 産業と技術革新の基盤を作ろう) (12 作る責任、使う責任) に資する。

⑧ 本計画に関する連絡先

寺田 健太郎 (大阪大学大学院理学研究科)

サイエンスオリエンテッドな装置開発

- 阪大はオリジナルなイオン光学系を開発してきた伝統と実績
- 地球化学会、質量分析学会は、コンタミを含まない試料調整、イオン化、検出器開発のエキスパート集団 → 本計画でタッグを組むことで、サイエンスオリエンテッドな装置開発を実現!

