

論文審査の結果の要旨

氏名 山本 幸生

本論文は小惑星探査機 MUSES-C に搭載される蛍光 X 線分光計の機上データ処理方法の提案，開発，および性能試験についてまとめたものである。

探査機による，惑星表面からの蛍光 X 線の観測は，惑星の表層元素組成の決定に有力な手法として，1970 年代の NASA の Apollo 計画から始まり，近年では NEAR Shoemaker 探査機でその成果を挙げている。しかしながら，従来惑星探査用として使用されてきた蛍光 X 線分光計は X 線の検出器として比例計数管を主体としたものを用いていた。比例計数管は惑星の構成物質として重要な Mg, Al, Si の固有 X 線を分離するのにエネルギー分解能が十分ではなかった。実際 Apollo, NEAR の探査ではこの問題点を解決するためにフィルタを用いて行ったが，定量分析として十分な結果は得られていなかった。本研究で使われる蛍光 X 線分光計は主として Mg, Al, Si の定量分析を目的とし，X 線の検出器として X 線 CCD を使用することによりこれを実現しようとするものである。X 線 CCD は 1993 年に打ち上げられた日本の X 線天文衛星 ASCA で使用され，比例計数管と比べてエネルギー分解能が 5 倍以上とその威力を十分に発揮し，近年の(地球周回)X 線天文衛星で主要な X 線検出器の 1 つとして用いられているが，惑星探査では使用の前例がない。

本論文では，以下のようにこの開発における重要な視点が述べられている。X 線 CCD を惑星探査用として用い，その本来持つ高い性能を発揮させるにあたって，最も大きな問題点の一つはデータ量の問題である。X 線 CCD は 2 次元エリアセンサであり，データは通常「画像」として取得される。データ量としては通常 1 画像あたり 1~2MB 程度であり，実際に解析を行う際には，X 線のフラックスにもよるが通常 100 枚以上の画像，すなわち 100MB 以上のデータを使用して解析を行う。このデータ量は送信データ量が極めて制限される惑星探査機では深刻な問題となる。実際 MUSES-C 探査機では，蛍光 X 線分光計は 1 日あたり約 1 MB のデータ量が送信可能な量として予定されている。したがって，惑星探査において X 線 CCD を用いるために，X 線 CCD の高いエネルギー分解能を維持したまま，このデータ量を削減することが不可欠である。

X 線のエネルギースペクトルを得るにあたって，X 線 CCD の画像データを必要とするのは，取得された画像データから X 線の入ったピクセルを抽出し，スペクトルを悪化させる原因である，スプリットイベントと呼ばれる現象 (X 線イベントが隣接する複数個のピクセルにまたがってカウントされる現象) を除去する必要があるため

である。この処理を探査機上で行うことにより、多くの画像データを必要とせず、データ量の大幅な削減を行うことが可能である。

以上の考察を行った上で、これらに対処するための方法の提案と開発を進めている。まずハードウェアによって処理速度を必要とするダークレベル（0点）の計算とX線イベント抽出処理（Event Thresholdを超える波高値をもつピクセルの抽出を行っている。スプリットイベントに対処するためにはピクセルの縦方向 Binning 処理を行い、ソフトウェアによって機上波高ヒストグラム処理を導入することによって行っている。これによって、分解能を落とさず、データ量を下げ、かつノイズの低減を行っている。これまで惑星探査機で使用されてきた CPU は機上解析処理を行うには性能が低く、主にコマンド・テレメトリなど通信制御処理のみを行ってきた。本論文では SH7708(SH3)と呼ばれる CPU を使用し、宇宙用に新開発したマザーボード SH-OBC に搭載し駆動周波数 60MHz で動作させた。この 60MHz という動作周波数は惑星探査用としては最速であり、通信制御、装置制御、解析処理を全てこの CPU を用いて行うことによって、このような機上解析を可能にしている。さらにデータサイズの減少法を反映した蛍光 X 線分光計の性能評価を通して、X 線のイベント検出を行う際の重要なパラメーターである Event Threshold の設定値の適正化や、バックグラウンドデータ計算時における不良データ発生の原因とそれに対する処理方法の考案などを行うことによって性能向上を試みている。

このように設計し開発した蛍光 X 線分光計について試験を行い、その結果、通常の方法で、X 線 CCD の画像 100 枚、データ量 200MB を処理して得られる X 線スペクトルの分解能とほぼ同等の分解能を、機上解析を行って 11KB のデータ量にしたものから得られていることを本論文では示している。最終的に、エネルギー分解能は $180\text{eV}@5.9\text{keV}$ を達成し、過去の惑星探査機と比べて 5 倍以上のエネルギー分解能を有したものを完成させている。

また蛍光 X 線分光計開発の目標である Mg, Al, Si などの主要元素の定量分析を行う準備として、 MgO , Al_2O_3 , SiO_2 の調合試料の測定結果も例として挙げられており、実際にこれらの蛍光 X 線を分離することが可能な性能を有していることが示されている。

惑星の構成元素として重要な Mg, Al, Si などの元素を、従来より各段に高い高分解能で定量分析可能な惑星探査機搭載用 CCD 蛍光 X 線分光計をはじめて開発したことは、MUSES-C のみならず今後の惑星探査にとって非常に重要で、惑星科学における意義は大きい。

以上、本論文は博士論文として価値を十分に有していると判断された。したがって博士（理学）の学位を授与できると認める。