

氏 名 永松 愛子

学位（専攻分野） 博士（工学）

学位記番号 総研大甲第 1193 号

学位授与の日付 平成 20 年 9 月 30 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 加速器科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 受動積算型線量計 PADLES による低地球軌道における
宇宙放射線計測

論文審査委員	主 査 教授	伴 秀一
	准教授	俵 裕子
	教授	平山 英夫
	教授	佐々木 慎一
	准教授	小林 克己
	名誉教授	道家 忠義（早稲田大学）
	名誉教授	近藤 健次郎（高エネルギー加速器 研究機構）

論文内容の要旨

国際宇宙ステーション (Internal Space Station: ISS) では、種々のライフサイエンス宇宙実験が実施される。これらの目的の一つは、搭乗員が長期にわたって宇宙に滞在するためのリスク評価や生物試料に対する宇宙放射線影響を定量的に解明することである。宇宙放射線の存在は、無重力や高真空などと並んで宇宙環境の特異性を代表する重要な要素である。そのため、有人宇宙開発において、宇宙放射線に対する被ばく線量計測は最も重要な技術のひとつとなっている。

宇宙飛行士のフライト当たりの滞在日数や生涯搭乗日数は被ばく線量で制限されるため、宇宙放射線計測には精度の高いが必要である。また、長期宇宙滞在のリスク評価や遮蔽設計、飛行計画策定のためにも精度の高い被ばく線量測定データの蓄積が求められている。

宇宙放射線場では、陽子から鉄核までの種々の線質の異なる重荷電粒子が被ばくの主要な原因となる。そのエネルギー範囲の上限は $\sim 10\text{GeV}$ を超える。これらの重荷電粒子の線エネルギー付与 (linear energy transfer: LET) 分布は $0.2\text{keV}/\mu\text{m}$ から数百 $\text{keV}/\mu\text{m}$ の範囲にわたる。このような広い LET 分布を持つ放射線混合場における生物の被ばく効果を調べるためには、吸収線量測定だけでは不十分である。なぜなら、数 $\text{keV}/\mu\text{m}$ \sim 数百 $\text{keV}/\mu\text{m}$ の高 LET 領域では、吸収線量当たりの生物学的効果 (例えば発ガンなど) が低 LET 領域よりも大きく発現するからである。従って、宇宙放射線計測では、LET 分布測定が必須となる。

CR-39 プラスチック飛跡検出器は約 $4\text{keV}/\mu\text{m}$ 以上の重荷電粒子に対して飛跡生成感度を持つ。従って、宇宙生物実験や宇宙飛行士の被ばく管理のために宇宙放射線計測で必要とされる高 LET 成分の LET 分布を測定できる。CR-39 と熱蛍光線量計 (Thermoluminescent dosimeter: TLD) を組み合わせることにより、宇宙放射線に対する吸収線量、線量当量、平均の線質計数を測定することが可能になるこの原理に基づき、宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency: JAXA) では PADLES 線量計測システム (Passive Dosimeter for Life Science Experiments in Space: PADLES) が開発された。PADLES は 2.5cm 角厚さ 5mm 程度と小型なので生物試料のごく近傍に設置が可能であり、人体への装着も容易である。また、CR-39 と TLD を組み合わせた線量計は、LET 分布の測定が可能な宇宙環境用受動型線量計としては現在最も信頼性が高いと考えられている。

本研究では、二種類の受動型線量計 TLD と CR-39 から構成される PADLES 線量計を用いて、広い LET 領域に渡って、宇宙放射線に対する線量を測定できる線量計測手法を、特に以下の項目に重点をおいて確立することを目指した。

- ① 重イオン加速器を用いた地上照射実験による線量計の校正、
- ② CR-39 を用いた宇宙放射線に対する核飛跡 (エッチピット) 解析手法の検討、
- ③ TLD と CR-39 を高速・高精度に解析するための線量計測システムの開発。

本論文では、CR-39 と TLD のデータを組み合わせて宇宙放射線の線量を評価するための方法、CR-39 の高速・高精度・自動解析システム、PADLES を用いた ISS における宇宙放射線計測実験の結果と考察について述べる。

論文の審査結果の要旨

国際宇宙ステーション (ISS) では放射線の線量率が地上での数百倍あるため、宇宙飛行士の滞在日数が宇宙放射線による被ばく量で制限される。このため精度の良い線量計の開発は不可欠であるが、陽子から鉄核までの重荷電粒子のエネルギーは 10GeV/u 以上に広がっており、他にも中性子、電子、ガンマ線など多種の粒子があり、線量測定は難しい。

固体飛跡検出器と熱蛍光線量計を組み合わせることで粒子の線エネルギー付与から線質を測定する方法は、小型で電源が不要で飛行士や生物試料の被ばく線量評価に適しており開発が進められてきたが、多種の線種に対する校正方法・宇宙環境での特性試験法が確立しておらず、精度が悪く迅速な測定も出来なかった。永松愛子氏は、放医研の重イオン加速器を用いて陽子から鉄核までの地上照射で線量計の応答の線エネルギー付与依存性、角度依存性を測定した。素子毎に校正・検査する方法を確立し、宇宙環境を模擬した場でのフェーディングの評価、精度評価ができるようになった。2002-2006 年の宇宙放射線の線量計の国際比較プロジェクト ICCHIBAN でも各国の個人線量計と比べて最も良い成績を上げている。

固体飛跡検出器の飛跡から線エネルギー付与を求める解析手法の改良を行ない、迅速・高精度に測定するための自動計測システムを開発した。飛行士の帰還から2週間以内に測定するためのシステムを作った。氏の研究開発により2007年からISSの日本人・アジア人宇宙飛行士の個人線量計としての採用が決まり、現在、実用されている。2008年から日本実験モジュール「きぼう」内での、放射線場のモニタとしての使用も始まった。

氏の開発した方法は active な検出器を使わないのに個々の重粒子の線エネルギー付与が測れるため、汎用性があり人体とは放射線効果の異なる他の生物学的な測定、機器の損傷の研究にも使える。この線量計を用いたこれらの応用の一部が博士論文に採り上げられており、ロシア・サービス・モジュールの船内外での測定や CCD カメラ損傷実験にも用いられている。個人線量計としても米国・ロシア・欧州の ISS で同様の方法が採用されつつあり、氏の研究は先駆的なものであるといえる。

これらのことより、申請者の論文は学位論文として十分ふさわしいものであると、審査委員会の全員一致で判断した。