

# 宇宙探査用放射線サーベイメータの開発研究

放医研 保田浩志\*、矢島千秋、高田真志、原子力機構 佐藤達彦、  
東北大 中村尚司、大阪大 福田光宏、東京都市大 五家建夫、JAXA 石岡憲昭

## Development of a Radiation Survey Meter for Space Exploration

Hiroshi Yasuda\*, Kazuaki Yajima, Masashi Takada, Tatsuhiko Sato,  
Takashi Nakamura, Mitsuhiro Fukuda, Tateo Goka and Noriaki Ishioka

\*National Institute of Radiological Sciences, 4-9-1 Anagawa Inage Chiba 263-8555

E-Mail: h\_yasuda@nirs.go.jp

Abstract: In-flight radiation monitors used in spacecraft have been fixed at certain positions and the data obtained with such monitors just indicate point-scale energy deposition; small passive dosimeters attached to crew have little sensitivities to energetic cosmic-ray neutrons. We have thus developed a new, survey-meter type active monitor that can measure cosmic radiation doses by separating the particle species such as gamma-rays, neutrons, protons, heavy ions, etc. It is expected so far that this monitor will enable astronauts safely to explore outside a spacecraft on the moon or Mars.

当研究チームでは、将来の月・火星探査を念頭に、宇宙船外環境での使用に適したサーベイメータ型の放射線モニタの開発に取り組んでいる。宇宙探査では、宇宙飛行士は宇宙船の外を小型車で移動して土壌や岩石等の成分分析などを長時間行うと予想され、携行するサーベイメータには地殻放射線の探査に使えることに加え、船外作業中に宇宙線によって受ける被ばく線量を飛行士自身が自ら監視・管理できる機能のあることが望ましい。

そこで、我々は、周囲の様々な放射線場の線質と線量をオンサイトでリアルタイムに把握できるようにするため、これまで JSF 公募地上研究等で培ってきた技術を基に、携行性と粒子識別能に優れた検出部を作製し、 $\gamma$ 線、中性子線、重荷電粒子線等に対する応答特性を調べてきた。本報では、平成22(2010)年度に得られた、高エネルギーの中性子と陽子及び $\alpha$ 粒子の弁別能に関して調べた実験結果について報告する。

### 研究の背景と意義

これまでスペースシャトルやISS等の宇宙船で用いられてきたアクティブ型の放射線モニタは船内のある場所に固定されており、直接得られるデータはそのポイントの放射線環境を示すのみである。船外活動時や将来の月・火星探査等においては、宇宙飛行士をとりまく放射線環境は周囲の遮へい環境や太陽活動の変動に伴い時々刻々変化すると考えられ、その被ばく状況を固定されたモニタから推定することは難しい。

そこで、我々は、船外を移動する宇宙飛行士が自ら周囲の放射線環境をリアルタイムかつ正確に捉え、被ばく線量を適切なレベルに抑えるよう主体的

に行動できるよう、宇宙の放射線環境に適した性能を持つ放射線サーベイメータの開発に以前より取り組んできた。その実用化に必要な測定技術の開発にあたっては、(財)日本宇宙フォーラム公募地上研究により支援を受けた。

なお、我々が目指しているような測定装置は世界でも未だ実用レベルのものが無く、本研究により小型・軽量・省電力の装置を完成できれば、将来の宇宙探査に役立てられるだけでなく、低軌道の宇宙ミッションでの被ばく管理にも役立てられるようになること期待される。

### 装置の仕様

我々は、宇宙船内の放射線環境を正確に把握することを狙いとして、2005～2007年度の3年間、(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する公募地上研究」の次期宇宙利用研究課題として、本研究で目標としているサーベイメータの原型となる放射線モニタの開発に取り組み、そのプロトタイプを完成させた。

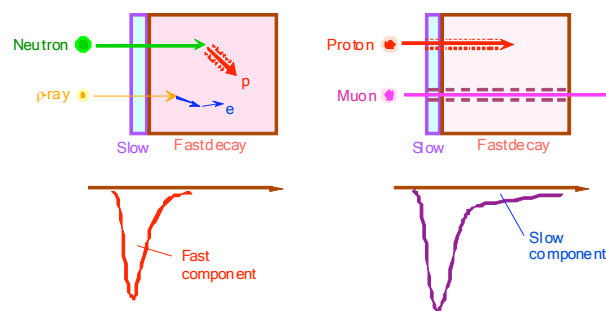


Fig.1 The concept of particle separation using the multi-layered scintillator probe; protons and heavy ions show long-life decay components, whereas neutrons and gamma-rays do not.

当該研究では、宇宙船内の高エネルギー中性子測定を狙いとして、複合シンチレータ（フォスウィッチ）型のセルを使用した。当該セルは、元素組成が人体難組織に近く蛍光寿命が大きく異なる2種類のシンチレータから成り、得られる波形形状の違いから異なる宇宙線粒子（陽子、中性子、光子、電子等）を弁別して検出することが可能である（Fig.1）。プロトタイプでは、内側のシンチレータに、単独で中性子と $\gamma$ 線の弁別ができるナフタレンベースの有機液体シンチレータを、外側に蛍光寿命の比較的に長いプラスチックシンチレータを採用した。

ただし、当該プロトタイプで用いた検出部は直径が16cm以上、長さが40cm以上、重量も10kg以上あり、携行に適さない。そこで、常温で固体の2インチスチルベンシンチレータを採用し、粒子弁別機能は維持しながら、無理なく安全に持ち運べて測定を行えるモニタを設計した。

信号波形の取得は独自に開発・製作した高速データロガーを用いて行い、-20~400nsの範囲の蛍光パルス強度を2ns間隔で255階調のデジタル信号に変換、このデータをUSB2.0インターフェースでWindowsPCへ転送し、専用のデータ処理プログラムにより読み込んでリアルタイムに解析して粒子弁別を行えるようにした。

弁別処理された波高データはPC内部のハードディスクに自動記録し、PC画面上の操作により粒子種を識別、得られた波高分布を予め求めておいた応答関数により逆変換して、各粒子のエネルギースペクトルならびに積算線量を導出できるようにした。

この測定システム（通称：Cosmic Radiation and Energetic Particle Analyzing System, “CREPAS”）を用いて、国内数か所の粒子線加速器施設において中性子又はイオンビームを用いた応答試験を行い、データを取得・解析した。

## 応答試験結果

試験を実施した加速器施設及び利用したビームは、日本原子力研究開発機構の放射線標準施設（FRS）の14.8MeV中性子、同機構高崎研究所のイオン照射研究施設（TIARA）の75MeV中性子、大阪大学核物理研究センター（RCNP）の400MeV陽子及び中性子、放医研の重粒子線がん治療装置（HIMAC）の230MeV陽子及びHeイオンである（Fig.2）。HIMACではアブソーバーを用いて各ビームのエネルギーを5段階変えて照射を行った。

これらの施設での照射実験で得られた波形信号の処理結果をFig.3に示す。今回用いたエネルギー範囲において、Heイオン、陽子、中性子が弁別できていることが分かる。陽子とHeイオンそれぞれでプロットが交差するように見えるのは、検出部の構造から説明できる。

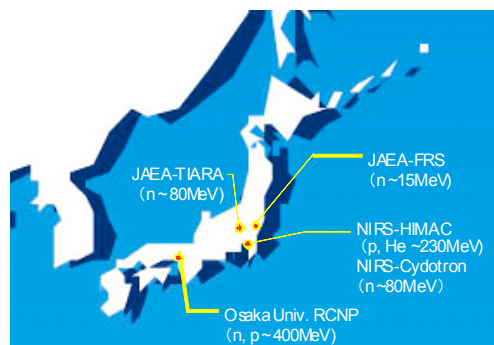


Fig.2 Particle accelerators in Japan where beam irradiation experiments were performed.

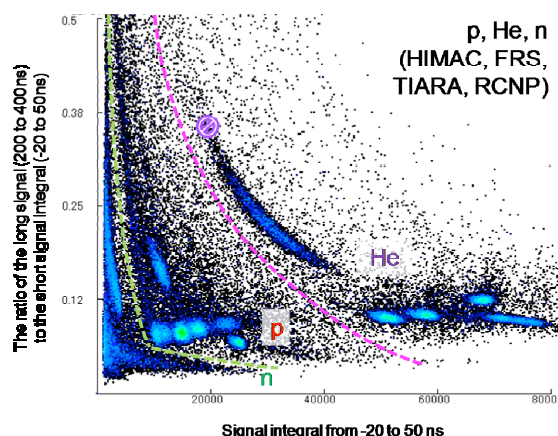


Fig.3 The response of the new scintillation detector exposed to the various particles; the X values are the signal integrals of fast component and the Y values are the ratios of slow/fast components.

本研究で得られた結果から、本モニタにより、宇宙での被ばくで主に問題となる粒子：中性子、陽子、Heイオンについて、粒子種の弁別及びエネルギーの同定が可能であることが確認された。一方、（結果は示していないが）ビームの入射角度に対する依存性が見られ、宇宙のような等方的な場での粒子弁別にはさらに工夫が必要であることが示唆された。

今後は、エネルギーの異なる中性子や他の重荷電粒子、電子や $\mu$ 粒子などの中間子についても応答試験を実施し、粒子弁別技法の最適化を図るとともに、宇宙で利用するために必要な機能（安全性、安定性、耐久性、バッテリーの長寿命化等）を付与・向上するべく研究開発に取り組んでいく。

**謝辞** 本装置の開発の一部は日本宇宙フォーラム公募地上研究による支援を受けた。中性子照射実験では日本原子力研究開発機構の遠藤章博士、志風義明博士、谷村嘉彦博士、堤正博博士、吉澤道夫博士及び運営スタッフの方々にお世話になった。Heイオン及び陽子の照射は、放医研重粒子がん治療装置（NIRS-HIMAC）の共同利用研究の一環で実施された。その他多くの方々からの様々なお力添えに、この場をお借りして厚く御礼申し上げる。