

宇宙探査用放射線サーベイメータの開発

放医研 保田浩志*、矢島千秋、高田真志、東北大 中村尚司、大阪大 福田光宏、
原子力機構 佐藤達彦、広島大 長沼毅、奈良医大 大西武雄

Development of a Radiation Survey Meter for Space Exploration

Hiroshi Yasuda*, Kazuaki Yajima, Masashi Takada, Takashi Nakamura,
Tatsuhiko Sato, Mitsuhiro Fukuda, Takeshi Naganuma and Takeo Ohnishi

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

E-Mail: h_yasuda@nirs.go.jp

Abstract: A novel survey meter for application to future interplanetary exploration has been developed. It is expected that the survey meter will measure separately exact doses of various cosmic-ray particles at any places even on the ground of moon and Mars. This feature surpasses those of other onboard active monitors or present crew personal dosimeters.

将来の月・火星探査を視野に、宇宙船の内外を移動する宇宙飛行士が自ら周囲の放射線場（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、宇宙環境に適した性能を持つサーベイメータ型の放射線モニタの開発を進めた。本報では、その宇宙用放射線サーベイメータの特長と開発の現状について概要を述べる。

研究の背景と意義

これまでスペースシャトルやISS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べく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を進めてきた。その実用化に必要な測定技術の一部については、(財)日本宇宙フォーラム公募地上研究による支援を受けて開発に取り組んだ。

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、ISS 宇宙

飛行士の被ばく管理に直ちに役立つ重要なインフラの1つとして直ちに活用できるだけでなく、将来の月面や火星での有人探査時において、飛行士自身がリアルタイムに被ばく状況を把握しながら安全に任務を遂行できるようになると期待される。

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するに至った。

プロトタイプの検出部には、宇宙船内の高エネルギー中性子測定を狙いとして設計した、複合シンチレータ（フォスウィッチ）型のセルを採用した。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）。内側のシンチレータには、単独で中性子と γ 線の弁別ができるものを採用した。

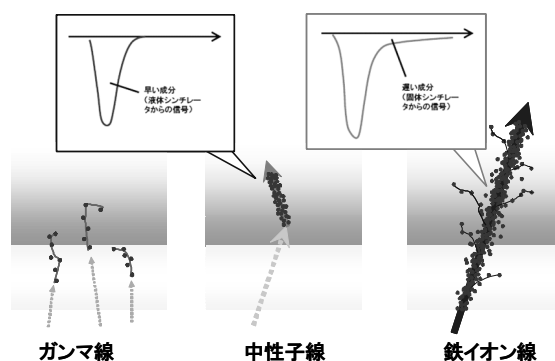


Fig.1. Illustration of the principle for particle discrimination.

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、 $-20\sim 400\text{ns}$ 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ごとに弁別、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するプログラムを製作した。

この測定システム (Cosmic Radiation and Energetic Particle Analyzing System, “CREPAS” と命名) を用いて、富士山頂の旧富士山測候所において宇宙線の観測を行った結果を Fig.2 に示す。図の横軸は $-20\sim 100\text{ns}$ の積分値、縦軸は $150\sim 400\text{ns}$ の積分値である。この結果から、低気圧や低温の環境においても、中性子、陽子、ミュー粒子、ガンマ線の弁別が可能であることが確認できた。但し、エネルギー範囲によっては信号の重複が観られ、エネルギースペクトルを求める際に若干工夫を要した。

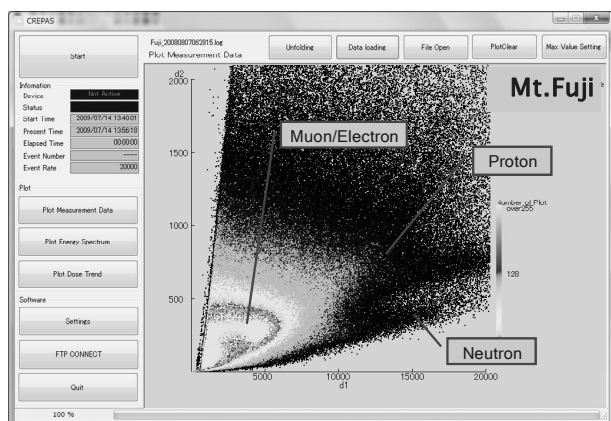


Fig.2 The data taken in the Mt. Fuji Weather Station located at the summit of Mt. Fuji (3,776m alt.) using the survey meter.

現在の進捗状況

プロトタイプの第 1 号機は感度を重視して設計したもので、長さが 50cm 近く、外容器を含めた重量が 20kg 超あるため、portable とはいえない。これにデータ処理部を加えた一式を宇宙船内に運び入れることは、リソースや打ち上げコストの点で困難である。さらに、粒子弁別能の高さに着目して採用した有機液体シンチレータは、揮発性や可燃性のある液状物質であることから、運航安全上の問題が在り、宇宙船のみならず移動用航空機への搭載も制限を受けることが懸念される。

そこで、有機液体シンチレータに代えて、常温で固体の 2 インチスチルベンシンチレータを採用、粒



Fig.3 Photos taken during the measurement using a newly developed survey meter at Spitsbergen, Svalbard Islands, Norway on August, 2009.

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。

宇宙線粒子に対する応答関数については、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。試験を実施した加速器施設は、日本原子力研究開発機構の放射線標準施設 (FRS)、同機構高崎研究所のイオン照射研究施設 (TIARA)、大阪大学核物理研究センター (RCNP)、放医研の重粒子線がん治療装置 (HIMAC) 及びサイクロトロンで、網羅するエネルギー範囲は 0.5MeV から 400MeV に及ぶ。これらの施設で得られた応答データから、最適な弁別条件を決定した。

並行して、実際に宇宙線に対する粒子弁別能を確認するため、旧富士山測候所や北極圏内にあるノルウェー・スバルバル諸島 (Fig.3)、成田ーノルウェー間を飛行する航空機内での実測を行った。これらの実測で得られた結果から、低気圧や低温の環境においても、中性子や陽子の弁別が可能であることを確認した。今後は、応答関数を精緻に求めて高精度なエネルギースペクトルを導出するとともに、オンサイトで簡便かつ正確にデータが得られるようサーベイメータとしての機能向上を図っていく。

謝辞

本装置の開発には、日本宇宙フォーラム公募地上研究による支援を頂いた。フィールド観測の一部は、NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行われた。また、本研究の一部は、宇宙環境利用委員会研究班 WG の活動ならびに科学研究費補助金 (18255005) の助成を受けて実施された。重イオン照射は放医研重粒子線がん治療装置の共同利用の一環として行なわれた。TIARA ならびに FRS での中性子照射においては、原子力機構の遠藤章氏、志風義明氏、谷村嘉彦氏、堤正博氏らのお力添え頂いた。その他多くの方々から様々な形のご支援を賜った。この場をお借りして厚く御礼申し上げる。