

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510067

研究課題名（和文） 高エネルギー中性子測定による下層大気中の宇宙線環境の解明

研究課題名（英文） Study on cosmic radiation environment in lower atmosphere by high-energy neutron measurement

研究代表者

矢島 千秋（YAJIMA KAZUAKI）

独立行政法人放射線医学総合研究所・福島復興支援本部・主任研究員

研究者番号：20392243

研究成果の概要（和文）：国内の高度あるいは緯度の異なる観測点においてフォスウィッチ検出器を用いた高エネルギー宇宙線中性子（10～200 MeV）エネルギースペクトル測定を実施した。100 MeV に現れるピークは計算値から予期されるピークよりも鋭く、多減速材付中性子検出器に比べ高分解能での測定に成功した。宇宙線中性子スペクトルの高度依存性、緯度依存性を定性的に捉えることが出来たが、計算値と実測値との間に定量的な差異が認められた。

研究成果の概要（英文）：Measurements of energy spectra of high energy cosmic-ray origin neutron (10-200 MeV) have been carried out using a phoswich-type scintillation detector at the various geographical latitudes or altitudes in Japan. The measured peak that appeared in 100 MeV was sharper than a calculated value, namely, we succeeded in the measurement more high-resolution than a multi-moderator spectrometer with. The new method of high energy neutron energy spectrum measurement using the phoswich-type scintillation detector adopted in this work was able to catch qualitatively the latitude and altitude dependence of the cosmic-ray origin neutron energy spectra though quantitative differences have been existed between measured values and calculated values.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：放射線科学

科研費の分科・細目：環境学・放射線・化学物質影響科学

キーワード：宇宙線、宇宙線被ばく、中性子、放射線計測、線量評価

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙線の強度は高度が高くなる程、緯度が大きくなる程増加する。航空機高度（10～12 km）では宇宙線被ばくの実効線量率は平地の百倍近くに達するため、放射線防護の観点か

ら国内外で高高度の宇宙線環境研究が行われている。特に宇宙線被ばく線量への寄与率が大きい中性子への関心が高い。しかし、先行研究で宇宙線中性子スペクトル測定に用いられてきた多減速材付中性子検出器（ボナ

ーカウンタ)にはアンフォールディング時の初期推定値依存性や10MeV以上の高エネルギーでのエネルギー分解能の低さ等の問題も指摘されている。一方、航空機内の宇宙線被ばく線量を推定する宇宙線線量計算プログラムは、国あるいは地域により異なるものが使用されているが、条件によってはそれらの計算結果に30%近い差異が生じることも判っている。そこで、ボナーカウンタとは異なる高分解能の測定器を用いた新しい高エネルギー宇宙線中性子測定手法を開発し、その測定値から宇宙線線量計算プログラム計算結果の評価を行うことが出来れば、宇宙線被ばく線量評価の精度向上が叶うのではないかと考え、本研究に着想した。

## 2. 研究の目的

本研究は、人間の活動範囲である下層大気(0~15 km)中の宇宙線環境の解明を目指している。具体的には宇宙線被ばく研究において関心の高い中性子に着目し、フォスウィッチ型シンチレーション検出器(二種類の異なるシンチレータを光学的に結合して一本の光電子増倍管に組み合わせた検出器、以後は「フォスウィッチ検出器」と呼ぶ。)を用いた可搬型中性子測定装置を製作して緯度又は高度が異なる国内観測点において従来より優れた分解能・精度で10 MeV以上の高エネルギー宇宙線中性子スペクトルと周辺線量当量率を実測すること、その実測データを参照して既存の宇宙線線量計算プログラムの精度検証を行って計算プログラムの精度向上について議論を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) フォスウィッチ検出器、高速波形処理装置、小型高圧電源、制御・記録用ノートパソコン、Liイオンバッテリー、温湿度計、気圧計から構成される測定系一式をキャリー式ボックス内に配置し、可搬型中性子測定装置を製作する。本研究で用いたフォスウィッチ検出器のプロブ部分は、直径約13cm長さ約13cmの液体シンチレータ(発光減衰時間3.2 ns)を1.5cm厚さのプラスチックシンチレータ(発光減衰時間285 ns)で覆ったものである。

(2) フォスウィッチ検出器による宇宙線測定で得られるシグナルには、中性子成分だけでなく、陽子や光子、ミュー粒子など他の宇宙線粒子成分から発生したシグナルが混在しているため、波形弁別の手法により中性子

シグナルのみを抽出し、FERDO-Uコードを用いたアンフォールディングにより中性子エネルギースペクトルを得た。

(3) 可搬型中性子測定装置を用いて東京大学宇宙線研究所乗鞍観測所(標高2,770 m)及び乗鞍観測所に近い鈴蘭連絡所(標高1,460 m)において観測実験を行い宇宙線中性子エネルギースペクトルを得た。

(4) 可搬型中性子測定装置を用いて稚内市(北緯45.4度)、弘前市(北緯40.6度)、鹿児島市(北緯31.6度)、糸満市(北緯26.1度)において短期集中観測実験を行い、宇宙線中性子エネルギースペクトルを得る。

(5) 観測実験から得られた宇宙線中性子スペクトル及び宇宙線線量計算プログラム「EXPACS」の計算値から、宇宙線中性子スペクトルの高度依存性、緯度依存性について考察する。そして、フォスウィッチ検出器を用いた宇宙線中性子スペクトル測定手法の応用性・実用性について議論・考察する。

## 4. 研究成果

(1) 乗鞍観測所(標高2,770 m)と鈴蘭連絡所(標高1,460 m)においてフォスウィッチ検出器を用いて測定された宇宙線中性子スペクトルと宇宙線線量計算プログラムEXPACSの計算結果を図1に示す。100MeV近辺のピークと30MeV近辺のピークが見られるが、30MeVのピークは計算値には現れない。

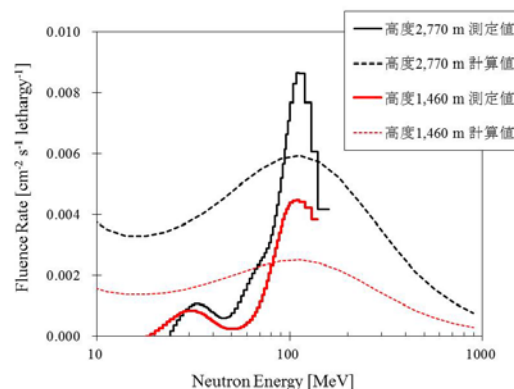


図1 フォスウィッチ検出器を用いて測定された宇宙線中性子エネルギースペクトル(実線)及びEXPACSによる計算値(点線)

30MeV ピークはデータ解析処理上生じた疑似ピークの可能性があると考えている。測定値の 100MeV ピークは計算値に比べてピーク値が大きく幅が狭い。つまり高分解能である。20MeV から 130MeV の範囲の中性子フルエンス率 [ $\text{cm}^2/\text{s}$ ] を比べる。高度 2,770m の場合では、測定値は計算値の半分程度である。測定値と計算値の間の定量的差異は依然として無視できる量ではない。100MeV ピーク値について、(高度 2,770m/高度 1,460m) の値をとると、測定値では 1.9、計算値では 2.4 となった。また、20~130MeV のフルエンス率 (周辺線量当量率) について同様の比をとると測定値では 1.7 (1.6)、計算値では 2.4 (2.4) となった。高度依存性に関しては、測定値と計算値は概ね同じ傾向を示した。

(2) 弘前市と糸満市の観測実験で得られた宇宙線中性子エネルギースペクトルと計算値 (図は省略) から、ピーク値での比較では、弘前市 (北緯 40.6 度) / 糸満市 (北緯 26.1 度) が実験値 1.22、計算値 1.36 となった。高緯度の弘前市のピークの方が大きく、計算値との比較でも概ね同傾向であり、フォスウィッチ検出器を用いた測定で緯度依存性を確認できたと言える。ただし、稚内市及び鹿児島市での観測データは、実験上の不具合と誤差のためスペクトル導出が出来ていない。

(3) (1)、(2) よりフォスウィッチ検出器を用いた高分解能測定によって宇宙線中性子スペクトルの高度依存性・緯度依存性は定性的には再現された。定量的な差異は無視できる程度ではなく、今後の考察が必要である。フォスウィッチ検出器を用いた宇宙線中性子スペクトル測定手法の応用の可能性については期待させる結果である。

(4) 国内外の先行研究におけるボナーカウンタを用いた中性子測定結果は、EXPACS によってスペクトル形、線量値ともよく再現されている。本研究で得られた宇宙線中性子スペクトルの信頼性が十分なものとなれば、これは国内外の従来の研究とは一線を画す新しい成果であり、同分野での議論は必至である。ただし、本研究には、アンフォールディング計算に残るあいまいさや実験誤差の詳細な検討など、まだ考察・議論を尽くすべき余地があるのも確かであり、本研究内で得られた成果の確からしさの向上のため、今後も追試実験等を実施する予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 矢島千秋, 松澤孝男, 瀧田正人, 二次宇宙線中性子の高度依存線量評価, 東京大学宇宙線研究所 平成 24 年度共同利用研究成果発表会, 2012 年 12 月 8 日, 東京大学柏キャンパス柏図書館, 千葉県柏市
- ② 矢島千秋, 松澤孝男, 保田浩志, 瀧田正人, ホスウィッチ検出器を用いて測定した宇宙線起因中性子エネルギースペクトルの高度依存性, 日本放射線安全管理学会第 11 回学術大会, 2012 年 12 月 5 日, 大阪大学吹田キャンパス・コンベンションセンター, 吹田市
- ③ Kazuaki Yajima, Hiroshi Yasuda, Measurements of cosmic-ray origin neutron energy spectra using a phoswich detector at the various geographical latitudes in Japan, 12th International Conference on Radiation Shielding and 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (ICRS-12 & RPSD-2012), September 5, 2012, Nara Prefecture New Public Hall, Nara, Japan.
- ④ 矢島千秋, 保田浩志, 瀧田正人, フォスウィッチ型検出器を用いた宇宙線中性子の地上測定, 日本保健物理学会第 45 回研究発表会, 2012 年 6 月 16 日, 名古屋大学, 名古屋市
- ⑤ Kazuaki Yajima, Hiroshi Yasuda, Latitude dependence of cosmic-ray origin neutron energy spectra measured using a phoswich-type detector, International Symposium on the Natural Radiation Exposure and Low Dose Radiation Epidemiological Studies, March 3, 2012, Hirosaki University, Hirosaki, Japan.
- ⑥ 矢島千秋, 保田浩志, 松澤孝男, 瀧田正人, 二次宇宙線中性子の高度依存線量評価, 東京大学宇宙線研究所 平成 23 年度共同利用研究成果発表会, 2011 年 12 月 16 日, 東京大学柏キャンパス宇宙線研究所, 千葉県柏市
- ⑦ 矢島千秋, 松澤孝男, 保田浩志, 瀧田正人, 乗鞍観測所における宇宙線起因中性子の測定, 日本放射線安全管理学会第 10 回学術大会, 2011 年 12 月 1 日, 東工大すずかけホール, 横浜市
- ⑧ 矢島千秋, 保田浩志, 高エネルギー宇宙線中性子スペクトルの高度・緯度依存性, 日本放射線安全管理学会第 9 回学術大会, 2010 年 12 月 2 日, 広島大学, 東広島市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢島 千秋 (YAJIMA KAZUAKI)  
独立行政法人放射線医学総合研究所・福島  
復興支援本部・主任研究員  
研究者番号：20392243

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

保田 浩志 (YASUDA HIROSHI)  
独立行政法人放射線医学総合研究所・放射  
線防護研究センター・上席研究員  
研究者番号：50250121