

連続モニタによる空間放射線量測定への太陽フレアの影響

今村和彦 中俣宏二郎 上原満
出雲信明

要 旨

2003年秋にかなり大きな太陽フレアが発生した時の連続モニタによる空間放射線量測定から太陽フレアの影響について検討した。NaI(Tl)シンチレーション検出器と電離箱の空間放射線量率を比較した結果、10月28日に発生した太陽フレアの影響により宇宙線成分が減少し、電離箱の空間放射線量率は3 nGy/h程度の減少を生じたと考えられた。また、電離箱とNaI(Tl)シンチレーション検出器の空間放射線量率の差の変動は、 γ 線波高分布による3MeV以上の計数率の変動とよく一致しており、この差を評価することで宇宙線成分の変動を捉えることができると示唆された。

キーワード：空間放射線量率、電離箱、宇宙線、太陽フレア

1 はじめに

本県では、川内原子力発電所周辺環境放射線調査の一環として連続モニタによる空間放射線量率（以下、「線量率」という。）の測定を実施している。連続モニタは、線量率の時間的変化を速やかに把握できるため、異常の早期発見や原因調査に有効な情報を得ることができる。

線量率は、主に大地、大気からの自然放射線の影響を受け変動しているが、自然放射線のなかで宇宙起源の宇宙線は、通常地上では比較的安定している。しかしながら、太陽活動が活発な時期には太陽磁場の障壁により銀河宇宙線は減少することが知られ¹⁾、銀河宇宙線は約11年の周期で増減している²⁾。また、太陽フレアの発生時には、多数の太陽宇宙線が放出され地球環境への影響が懸念されるが、これらは比較的低エネルギーであるため、通常は地上の線量を著しく増大させることはない³⁾とされている。

本報では、2003年秋にかなり大きな太陽フレアが発生した時の連続モニタによる線量率測定から太陽フレアの影響を考察し、線量率の変動について検討したので報告する。

2 調査方法

2. 1 調査期間

大きな太陽フレアが連続的に発生した2003年10月下旬から11月上旬とした。

2. 2 調査地点

図1に示す川内原子力発電所周辺に配置したモニタリングポスト等のA～Vの22地点とした。

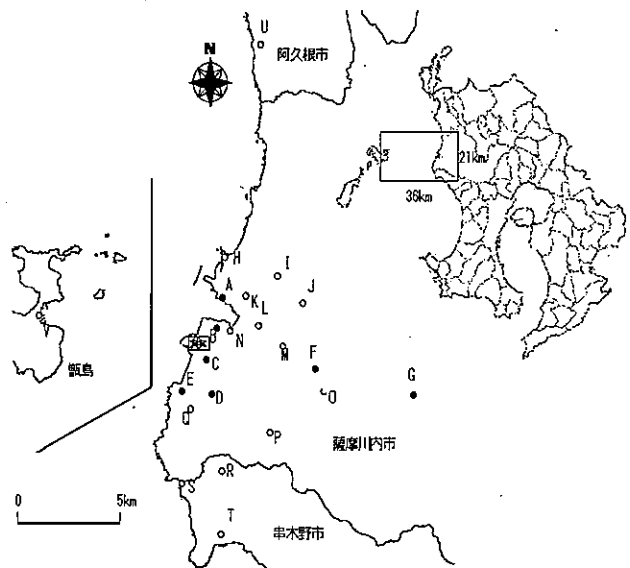


図1 調査地点

2. 3 測定機器

調査地点A~Gの7地点では、NaI(Tl)シンチレーション検出器(三菱電機製MAENGXB, 以下、「NaI検出器」という。)及び電離箱(三菱電機製MAENGXA)の線量率連続測定を、その他の調査地点H~Vの15地点では、電離箱(富士電機製NCE207J1-0)のみの線量率連続測定を行った。

また、調査地点A~Gでは、NaI検出器及び波高分析器(セイコー・イージーアンドジー製7700)によりγ線波高分布を計測した。

3 結果及び考察

3. 1 線量率の変化

日本時間の10月28日18時51分に1975年以來の観測史上3番目となった太陽フレア(X17)が発生し、このフレア発生後、約8分間でX線が地球に直撃し、19時間後にはプラズマ雲のかたまりが到達したという⁴⁾。このフレア発生後、電離箱の線量率に変化がみられる。

3. 1. 1 NaI検出器及び電離箱の線量率連続測定

調査地点Fの線量率等の変化を図2に示す。NaI検出器及び電離箱の線量率結果からは、大気中の短半減期ラドン崩壊生成物の影響と考えられる降雨による線量率上昇や逆転層による日周期がみられる。また、調査地点A

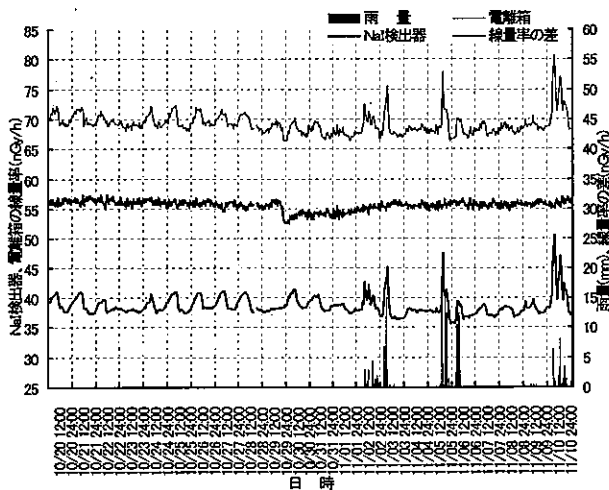


図2 線量率等の変化 (F地点)

~E, Gの線量率の変化を図3に示す。前述の降雨による線量率上昇は同様にみられるが、逆転層による日周期はC, D及びEの3地点では顕著にみられず、既報⁵⁾の日変動の結果と同様であった。これらの結果は、測定器周辺の地理的状況や気象状況の違いが影響していると考えられる。

NaI検出器と電離箱の線量率は、増加、減少の変動を

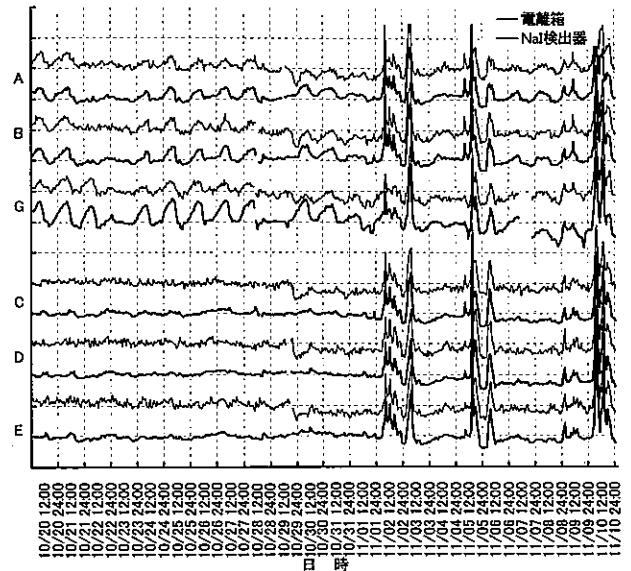


図3 線量率の変化 (A~E, G地点)

同様に示しているが、10月29日の夕方頃から30日にかけて両検出器の線量率の変動に違いがみられる。NaI検出器の線量率は増加する傾向にあるが、電離箱の線量率は逆に減少している。また、29日と30日を境に電離箱は、線量率レベルの低下が長期間うかがえる。

3. 1. 2 電離箱のみの線量率連続測定

調査地点Oの線量率等の変化を図4に示す。電離箱の線量率結果からは、3. 1. 1で述べた降雨による線量率上昇や逆転層による日周期が同様にみられる。また、

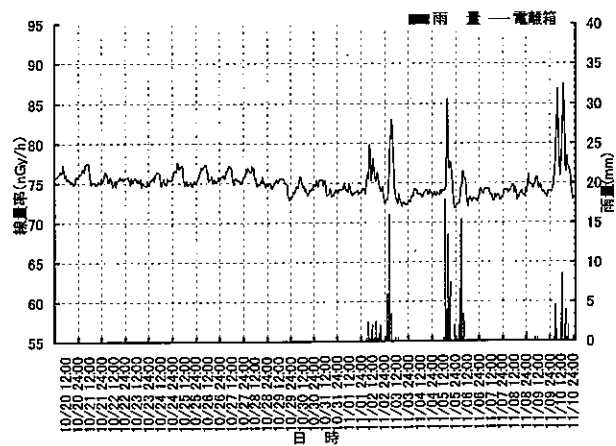


図4 線量率等の変化 (O地点)

調査地点H~N, P~Vについても図5に示すとおり、降雨による線量率上昇が同様にみられるが、逆転層による日周期は地点間で異なっており、測定器周辺の地理的状況などの違いが影響していると考えられる。調査地点H~Vの電離箱は、10月29日の夕方頃から線量率が減少し、29日と30日を境に線量率レベルの低下が長期間うかがえる。

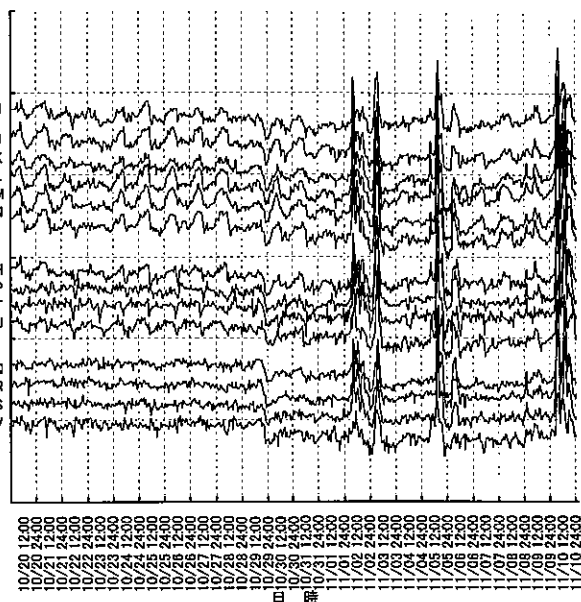


図5 線量率の変化 (H~N, P~V地点)

3. 2 電離箱の線量率減少の原因

すべての調査地点で、電離箱の線量率の減少が10月29日の夕方頃からみられたが、調査地点A~Gの7地点のNaI検出器の線量率には減少がみられなかったことから、線量率の変動の違いは、両測定器の測定エネルギー範囲の違いに起因すると考えられる。NaI検出器の測定エネルギー範囲は、50keV~3MeVであり、3MeV以上の計数については、カットしてある。これに対して、電離箱の範囲には、3MeV以上の高エネルギーγ線成分も含まれることから、3MeV以上のエネルギーをもつ宇宙線成分が変動要因であると推測される。また、ある種の太陽フレア発生時には、プラズマ雲のかたまりにより地球で観測される銀河宇宙線が減少する現象⁶⁾があることや、通信総合研究所が発表した宇宙天気情報などから、29日の夕方頃からみられた電離箱の線量率の減少は、28日に発生したフレアの影響による現象と推定される。

図2に示した線量率の差は、調査地点Fの電離箱とNaI検出器の同じ時間帯の線量率の差であり、主として宇宙線成分にもとづくものであると考えられる。線量率の差は、28日の太陽フレア発生前では31nGy/h程度とほぼ一定であるが、29日の夕方頃から狭まりはじめ、30日にはその差は28nGy/h程度まで縮小している。その後、徐々に拡がり、11月3日にはこのフレア発生前のレベルに収束している。調査地点A~E, Gの線量率の差についても図6に示すとおり、線量率の差は前述と同様の変化を示し、このフレア発生前では27~34nGy/h程度とほぼ一定であるが、発生後の30日には発生前の線量率の差より2~3nGy/h程度の縮小がみられることから、宇宙

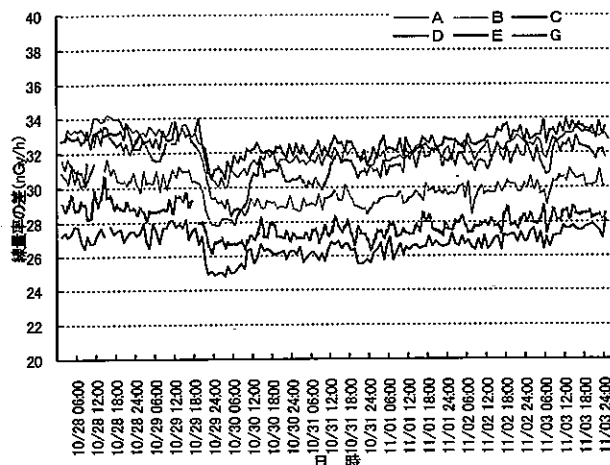


図6 線量率の差の変化 (A~E, G地点)

線成分の減少により、電離箱の線量率は最大3nGy/h程度の減少を生じ、宇宙線成分の減少が数日間続いたと考えられる。なお、地点間で線量率の差が異なるのは機器特性等の違いから生じていると思われる。また、同時期に京都府保健環境研究所も連続モニタで宇宙線成分の減少を捉えた報告がなされている⁷⁾。しかしながら、数日間続いた宇宙線成分の減少が、10月28日の太陽フレアの影響であったのか、または、引き続いて発生した30日のフレア(X10)との関連なのかは、不明である。

3. 3 電離箱の線量率レベル低下の原因

電離箱の線量率レベルの低下が10月29日と30日を境にうかがえた。電離箱の線量率は、太陽フレアの影響で11月3日頃まで減少が続いたと考えられたが、その後も線量率レベルはフレア発生前のレベルに収束していない。

図2及び3からNaI検出器で、11月2日の降雨後に線量率レベルの低下がみられ、線量率が地表の水分による放射線吸収で減少を生じたと推測される。このことから、電離箱も降雨後に線量率が同様の放射線吸収で減少を生じ、2日以降の電離箱の線量率レベルの低下には、地表の水分による放射線吸収が加わり影響したものと考えられる。

3. 4 太陽フレア影響の時間帯

調査地点は東西方向G V間で約36km、南北方向T U間で約21kmの範囲内にあり、広域ではあるものの、10月28日に発生した太陽フレアの影響は、宇宙における放射線環境の変動によることから地域的及び空間的にほぼ同じ時間帯に生じたと考えられる。3.2で述べた線量率の差がほぼ一定であるときの平均値と標準偏差を表1に示す。29日の夕方頃の線量率の差が連続して「平均値-標準偏差」nGy/hの値を下回ったとき、その値を最初に下

回った時間帯をフレアの影響が生じはじめた時間帯と仮定する。最初に下回った時間帯は19時もしくは20時であり、地点間で異なっていたが、線量率測定で解析される1時間値が過去1時間のデータを平均化していることから19時頃に電離箱の線量率が減少しはじめたと考えられ、本県のこの地域では、28日のフレアの影響はフレア発生24時間後であったと推定される。

表1 線量率の差の平均値及び標準偏差

調査地点	A	B	C	D	E	F	G
平均値	33.5	30.9	27.6	33.4	29.0	30.8	32.2
標準偏差	0.6	0.6	0.4	0.4	0.6	0.5	0.4

3.5 γ 線波高分布による解析

3.5.1 3MeV以上の計数率の変化

調査地点Fの γ 線波高分布による3MeV以上の計数率の変化を図7に示す。計数率は、10分収集の γ 線波高分布を加算し1時間毎に解析した。また、3.2で述べた調査地点Fの線量率の差も重ねて示す。

3MeV以上の計数率は、主として宇宙線成分にもとづくものであり、宇宙線の線量を評価する指標として用いられる⁹⁾。計数率は、10月29日19時頃から減少しはじめ、翌日の早朝を底に増加し、11月3日には元のレベルに収束しており、宇宙線成分の減少が数日間続いたことを確認できる。また、3.2で述べた線量率の差は、この計数率の変化とよく似た動きを示しており、電離箱とNaI検出器の線量率の差を評価することで宇宙線成分の変動を捉えることができると示唆される。

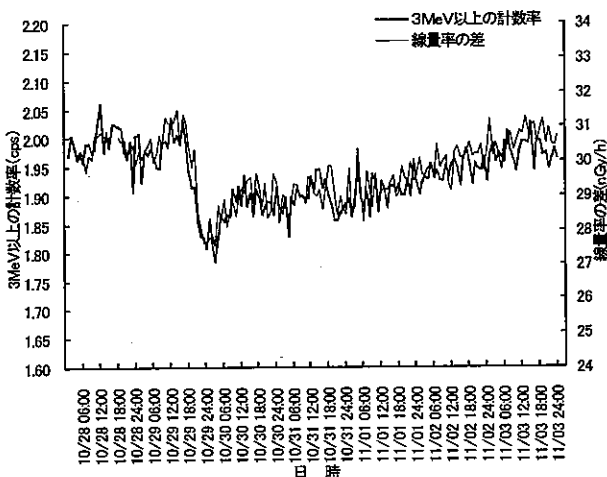


図7 計数率の変化 (F地点)

3.5.2 宇宙線の線量率推定

3"φ球形NaI検出器を用いた宇宙線評価では、3MeV以上の計数率に18.5(nGyh⁻¹)/(cps)を乗じて宇宙線の線量率相当値とすることができる⁹⁾。この手法から得られ

た調査地点A~Gの宇宙線の線量率は28.3nGy/hであった⁹⁾。

連続モニタのNaI検出器は、3"φ×3"円柱形と形状が異なっており、3MeV以上の計数率は、通常は2.0cps程度である。この計数率にさきの定数を乗じると37nGy/h程度となる。3MeV以上の計数率から求められる宇宙線の線量率には10%の誤差があるが、3"φ球形NaI検出器を用いて推定した値⁹⁾と大きく異なる結果となるため、解析に使用されるソフトの定数を、14.2(nGyh⁻¹)/(cps)と変更することで宇宙線の線量率推定が可能になると考えられる。なお、この定数はシンチレータの体積比(円柱形/球形=1.31)に反映していると考えられる。

4 まとめ

連続モニタによる線量率測定から太陽フレアの影響を考察し、線量率の変動について検討を行った。NaI検出器と電離箱の線量率は、増加、減少の変動を同様に示していたが、10月29日の夕方頃から両検出器の線量率の変動に違いがみられた。その前後は、かなり大きな太陽フレアが連続的に発生していた時期でもあり、太陽フレアと何らかの関係があると考え、文献情報などから10月28日に発生したフレアによる影響と推定した。

NaI検出器と電離箱の線量率を比較した結果、このフレアの影響により宇宙線成分が減少し、電離箱の線量率は最大3nGy/h程度の減少を生じ、このフレアの影響はフレア発生24時間後であったと考えられた。また、宇宙線評価の指標である3MeV以上の計数率を解析した結果、宇宙線成分の減少が数日間続いたことが確認され、電離箱とNaI検出器の線量率の差の変動が3MeV以上の計数率の変動とよく一致しており、その線量率の差を評価することで宇宙線成分の変動を捉えることができると示唆された。

5 おわりに

本報では、2003年10月28日に発生した太陽フレアの影響を連続モニタで捉えることができた。しかしながら、10月から11月にかけてのこの時期には大きな太陽フレアが連続的に発生していた。なかでも、11月4日に発生した太陽フレア(X28)の規模は28日のものを上まわっていたが、発生が地球に影響を及ぼす位置関係になかったため⁴⁾、そのフレアの影響を捉えることはできなかった。本事例は、偶然にも線量率に変動を及ぼす太陽フレアの規模、発生状況などにより確認することができたと考えられる。

参考文献

- 1) 藤高和信；宇宙に起因する放射線被曝，保健物理，27，49～58 (1992)
- 2) 坂田俊文；「太陽」を解説する，51～53，株式会社情報センター出版局 (1991)
- 3) 放射線医学総合研究所監訳；UNSCEAR 1982年報告書，放射線とその人間への影響，139～142，株式会社テクノ・プロジェクト (1984)
- 4) 株式会社ニュートンプレス；Newton 2月号，24(2) 66～71 (2004)
- 5) 野田俊一，四反田昭二，他；空間放射線量率の経年変動に係る考察，鹿児島県環境センター所報，12，98～105 (1996)
- 6) 独立行政法人放射線医学総合研究所；放医研NEWS 1月号，No. 86 (2004)
- 7) 藤波直人，渡辺哲也，他；環境放射線モニタに認められた太陽フレアの影響，保健物理，39(3)，215～219 (2004)
- 8) 岡野真治；環境放射線量測定法 (ストリッピング法による空間 γ 線スペクトル測定法)，日本分析センター広報，32，14～27 (1998)
- 9) 脇田安彦，藤崎学，他；環境放射線測定局周辺における自然放射性核種の寄与等について，本誌，3，133～138 (2002)

Effect of Solar Flare in The Environmental γ -Ray Dose measured by Continuous Monitors

Kazuhiko IMAMURA, Kojiro NAKAMATA, Mitsuru UEHARA
Nobuaki IZUMO

(Kagoshima Prefectural Sendai Institute of Environmental Science, 1, Wakamatsu-cho
Satsumasendai-shi, 895-0054, JAPAN)

Abstract

The environmental γ -ray dose measured by continuous monitors was effected a change when one of the most powerful solar flares erupted on Oct. 28th, 2003. As the results obtained from NaI(Tl) scintillation detector and ionization chamber were estimated, the effect of the solar flare was assumed that cosmic-ray contributions with ionization chamber were decreased about 3nGy/h. The balance, which was defined as subtraction γ -ray dose rates with NaI(Tl) scintillation detector from those with ionization chamber, was correlated with the counting rate over 3MeV with NaI(Tl) scintillation detector. It was considered that the variation of cosmic-ray contributions could be estimated from that of the balance.

Key Words : environmental γ -ray dose rate, ionization chamber, cosmic-ray, solar flare