

甲府における宇宙線全成分強度の時間変化

小玉 正弘, 牛田恵美子

1984年1月から1989年6月までの5年半に亘って甲府で観測された宇宙線全成分強度の記録を整理しグラフで表示した。このデータを基に、季節による高層気温変化と宇宙線変動の相関関係、ならびに1989年3月に起こった Forbush decrease 現象と、これらに係わる宇宙線計立体角の影響について述べる。

1. はじめに

宇宙線観測に使用された鉛直宇宙線計の詳細については既に報告したので¹⁾、ここでは得られた5年半の観測記録を見易い形に整理し、それについて若干の解析と考察を加える。記録そのものは1時間ごとに行われたが、残念ながら観測装置を納めた恒温槽の恒温化が不十分であったため、槽温の昼夜差に起因する見掛けの宇宙線強度日周変化を完全に除き切れていない。このため、特別の場合を除き、ここではすべて槽温変化の影響をほとんど受けない1日平均値のみを取り扱うことにした。

観測点の地理的緯度・経度は35°36'N, 138°32'E, 高度は260mである。鉛直4層に配置されたプラスチックシンチレータ(4 cm×1 m×1 m)の2重, 3重, 4重各同時放電により、立体角がそれぞれ±77.3°, ±46.2°, ±27.3°の3成分を記録している。以下の記述では、これらの3成分をWide, Medium, Narrowの意味で、W77, M46, N27と略記することにする。

この種の観測においては、1次宇宙線の変動を研究対象とするならば中間子(muon)の観測が普通であり、全成分の観測は殆んど行われていない。建物の構造上、鉛吸収層などの重量物の設置が困難であったため、敢えて全成分の観測としたが、気象学的研究のためにはこれでも十分意味のあるデータが得られた。

2. 1時間値変化

連続観測が開始された1984年は、まだ室内温度未調

節のせいもあってテーブルパンチャーが安定せず、表1に示すようにかなり欠測が多かったが、その後は数%以内の欠測率にとどまった。これら欠測の主な原因は

表1 年間の欠測率, 室内温度差, 宇宙線振幅(W77)

年	欠測率	室温差(ΔT)	振幅(ΔI)
1984	25.7%	23.1°C	5.52%
1985	0.8	3.1	2.41
1986	2.5	7.2	3.95
1987	1.1	6.9	4.79
1988	3.8	5.7	4.23
1989	0.8	—	—

一時的停電後における高圧電源(非自動復帰型)の手動回復の遅れである。1時間値はすべて月毎に表とグラフにまとめた。W77, M46, N27各成分の1時間あたりの計数誤差は、 \bar{N} の値でそれぞれ0.23%, 0.34%, 0.38%である。図1 a, bは1989年2月, 3月における宇宙線相対強度, 室内温度, 恒温槽温度それぞれの時間変化の例である。ただし、宇宙線強度は気圧効果係数-0.13%/mbを用いた気圧補正值で、その変動グラフからもそれぞれ統計的変動の様子は推定できる。

先に述べたように、温度調節が必ずしも完全でなかったことによる系統的誤差の混入を避けられなかった。図1に見るように、1カ月間に約8°C幅で変化した室温に対して、恒温槽内では一応2°C幅以内には押さえられたが、日周変化は明らかに残った。これの宇宙線変化への影響は無視できないため、例えば宇宙線日変化の解析は本来意味がない。逆に言えば、もともと当初の段階からこれを研究目的としていなかったの、この程度の精度の温度調節としたとも言える。

しかし1日周期以上の変化については十分意味のあるデータとして扱ってよい。たとえば数日周期の一次

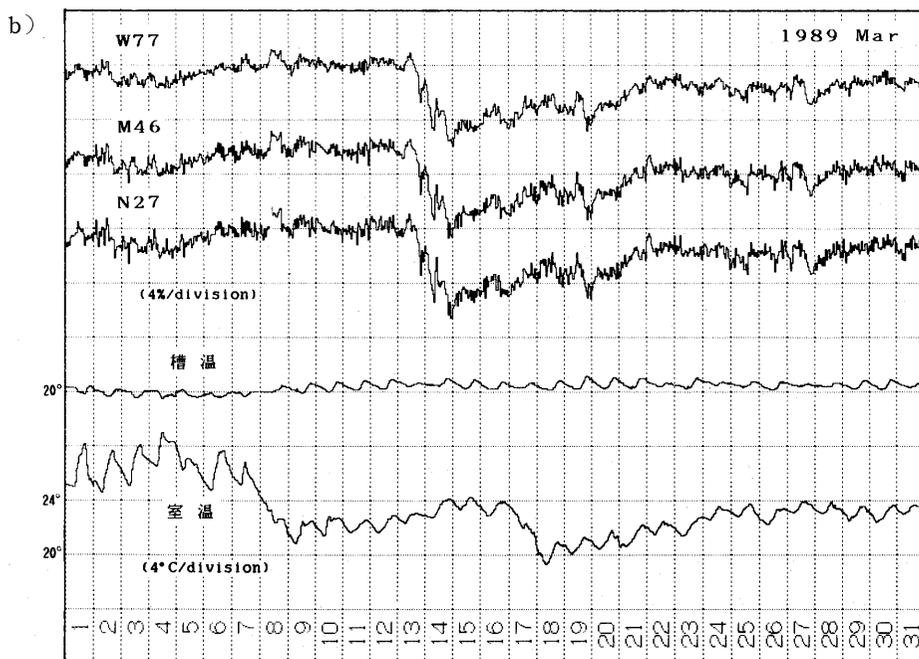
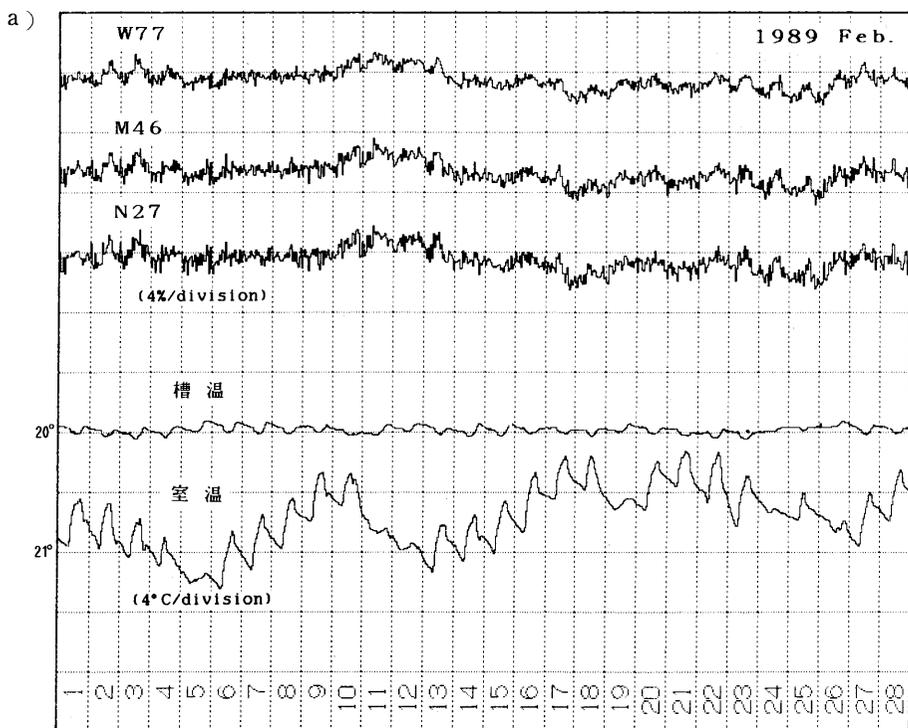


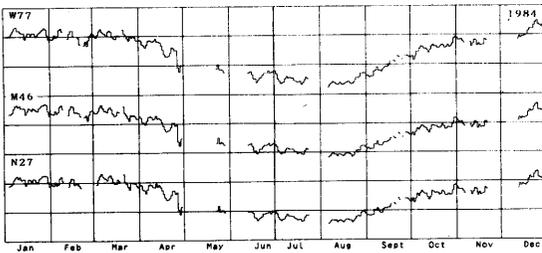
図1 3種類(W77, M46, N27)の宇宙線全成分強度, 室内温度, 恒温槽温度の1時間値変化, a) 1989年2月, b) 1989年3月

宇宙線変動はしばしば認められ、とくに1989年3月13日から1週間以上に亘って極めて顕著なForbush減少が観測された。これについては4で述べる。

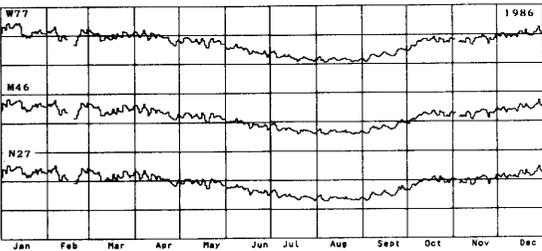
3. 逐日変化

図2a から図2f まで、宇宙線相対強度1日平均値を1年ごとにまとめてそれぞれ示した。これらから直ちに

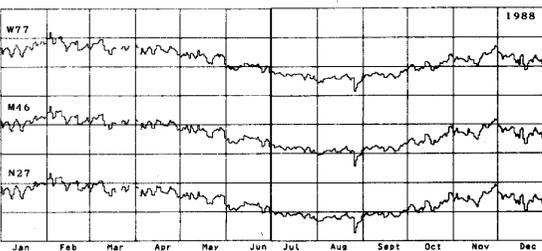
a)



c)

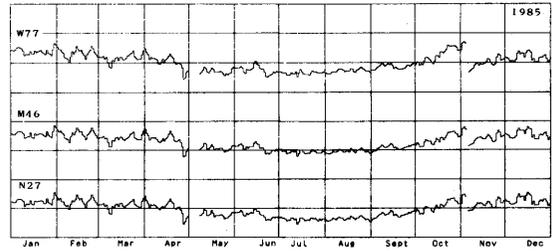


e)

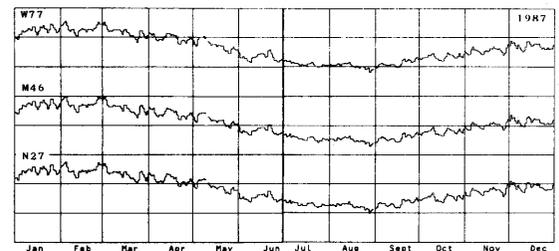


分かることは、毎年すべての成分について顕著な季節変化つまり1年周期変化が認められることである。これは主として高層気温の変化による負気温効果に起因するものであるが、表1に示した温度差による検出器の感度変化も若干含まれている。前者の場合、どの高度の気温が最も大きく寄与するかということと、毎年定量的に同じ効果であるかどうかの問題である。muonだけの観測ならば、理論的にも観測的にも

b)



d)



f)

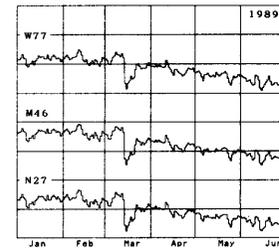


図2 3種類(W77、M46、N27)の宇宙線全成分強度1日平均値の年周変化、a)1984年、b)1985年、c)1986年、d)1987年、e)1988年、f)1989年

0.1%/°C程度の気温効果を示すはずであるが²⁾、もともと気温変化とは無関係の電子成分も含む全成分の場合には、必ずしも一定とは限らないと考えられる。それにはラジオゾンデによる高度別の実測気温変化との関係を統計的に調べる必要がある。

先ず高層気温の1年分データがほぼ完全に揃ってい

る1984年から1987年の各年ごとに、1000mbから50mbまでの間の18等圧面高度別に宇宙線と気温との相関を調べた。気温データとしては、甲府は館野と輪島のほぼ中間に位置するので、両地点の気温の月平均値を使用することにした。ただし、1日2回の観測のうち9時の観測値のみを採用した。表2には代表値として200

表2 気温効果係数 a ($\%/^{\circ}\text{C}$) と相関係数 r

気圧 高度	宇宙線 成分	1984年		1985年		1986年		1987年	
		a	r	a	r	a	r	a	r
900mb	W77	-0.314	-0.951	-0.108	-0.885	-0.134	-0.928	-0.230	-0.918
	M46	-0.280	-0.975	-0.099	-0.956	-0.130	-0.944	-0.235	-0.943
	N27	-0.260	-0.967	-0.099	-0.957	-0.132	-0.951	-0.226	-0.923
700mb	W77	-0.293	-0.934	-0.113	-0.878	-0.128	-0.924	-0.233	-0.931
	M46	-0.264	-0.967	-0.104	-0.944	-0.124	-0.939	-0.239	-0.959
	N27	-0.261	-0.956	-0.103	-0.945	-0.125	-0.945	-0.229	-0.923
500mb	W77	-0.326	-0.950	-0.119	-0.868	-0.139	-0.935	-0.234	-0.920
	M46	-0.291	-0.973	-0.110	-0.942	-0.134	-0.950	-0.240	-0.953
	N27	-0.270	-0.965	-0.109	-0.943	-0.136	-0.956	-0.230	-0.926
300mb	W77	-0.433	-0.927	-0.142	-0.840	-0.209	-0.953	-0.293	-0.948
	M46	-0.384	-0.946	-0.135	-0.933	-0.202	-0.966	-0.292	-0.954
	N27	-0.358	-0.941	-0.136	-0.936	-0.204	-0.970	-0.286	-0.949

mb ごとに、気温効果係数と相関係数を宇宙線 3 成分それぞれについて示した。ただし、1985年11月上旬にプレンプの一部が動作不安定のため交換したので、この時期の前後では、図2bに見るように、明らかに絶対強度レベルに変化が生じた。よって、11月と12月のデータは統計から除いた。また、1986年7、8月と1987年7月の気温データは入手できなかった³⁾。

表2から直ちに分かるように、年によって気温効果係数 a にはかなりの差がある。とくに室内温度差の大きい1984年は最大の値を示すのに対し、逆にそれが小さい1985年は最小値である。このことは室温の影響が混入していることを示し、従って a の絶対値については議論できない。相対的に比較したとき、どの年についても言えることは、 a は宇宙線計の立体角が大きいほど大きくなる。相関係数の重みを考慮するとこの傾向は更に有意となる。このことは、鉛直入射成分よりも斜め入射成分の方が気温変化に敏感であることを意味する。muon の崩壊確率が、その飛程距離に比例して大きくなることを考えれば、斜め入射成分をより多く含むW77の効果係数が最大となることは説明できる。

次に高度による相対変化を調べると、地上から300mbまでは相関係数はあまり変わらないが、それより上空では次第に減少し、70mb-200mb間の温度逆転層では完全に正相関となる。50mbでは再び負相関となるが値は小さくあまり意味はない。このことから全成分に対する気温効果は、地上から300mb高度までの気温がほぼ均等に寄与していると言える。これは

muon の場合と殆ど同じで、全成分観測によっても大気効果研究の可能であることを意味する。

4. 1989年3月 Forbush 減少

1989年3月13日、宇宙線観測史上1、2を争う顕著な Forbush 減少 (以下 FD と略記) が世界各地で同時に観測された。減少の最大振幅は、neutron 成分では東京で約8%、スイスの Jungfrauoch では約15%に達した⁴⁾。muon 成分では名古屋および甲府W77で約5%であった(図3)。丁度太陽活動極大期に向かう途中に起こった独立した現象なので、解析し易く多方面から注目を集めた。

STE 討論会資料⁵⁾によれば、この FD は3月10日1922UT に発生した太陽フレアに起因する地磁気嵐に伴うもので、14日0023UT の極小時(柿岡で-644nT を記録)に対応して storm time increase (STI)⁶⁾ が認められる。STI はもともと neutron に顕著であり、多くの研究もこの成分についてなされているが、今回は muon や全成分にも認められた。

立体角の差による FD 振幅の違いは統計誤差の範囲内でほとんど認められない。つまり、FD 時の一次変化スペクトルを考慮すると、立体角が小さいほど大きい振幅が予想されるが、今回の測定精度ではその識別は困難であった。また、名古屋データと比較したとき、図1に示した日変化への温度変化の影響は無視してよさそうである。

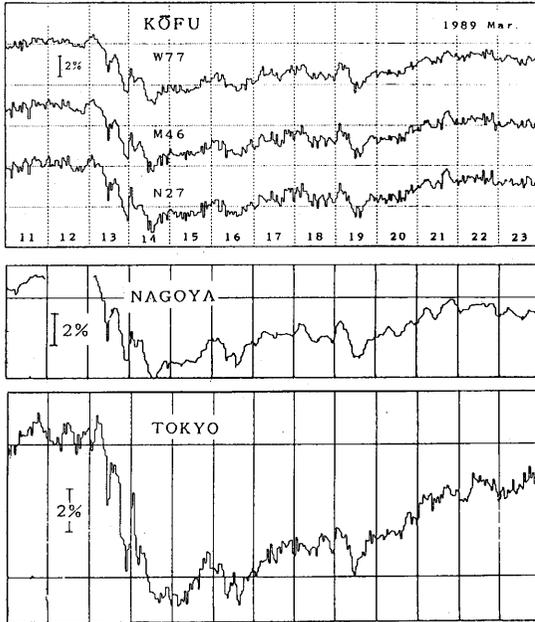


図3 1989年3月のForbush decreaseの現象の1時間値変化、甲府全成分、名古屋 muon、東京 neutron の比較

5. 考察とまとめ

ここでの報告内容は完全にデータ整理の段階に止どまる。しかし5年半のデータが解析の対象としてどこまで利用できるかどうかについての判断を与えるだろう。問題は槽内温度変化の影響である。図1は比較的に変化幅の小さい例であるが、中には1987年6月のように約8°C幅に達した例もある。これは検出器のシングル温度効果係数 $-1.28\%/^{\circ}\text{C}$ を適用すると、宇宙線の変化幅は10%を起えることになるが、実際の宇宙線変化は3%を超えていない。ということは、同時放電に対する効果係数値は $-0.4\%/^{\circ}\text{C}$ 以下と推定される。これは丁度宇宙線日変化振幅と同等の大きさである。しかし次のような観測例もある。

温度調節を未だ実施していなかった1985年4月26日のFD前後のタイムプロファイルを東京データ³⁾と比較したのが図4である。これを見ると、FDはもとより日周変化の消長もそのままよく対応している。ということは、槽温変化の影響は上の予想値より小さいとも判断される。

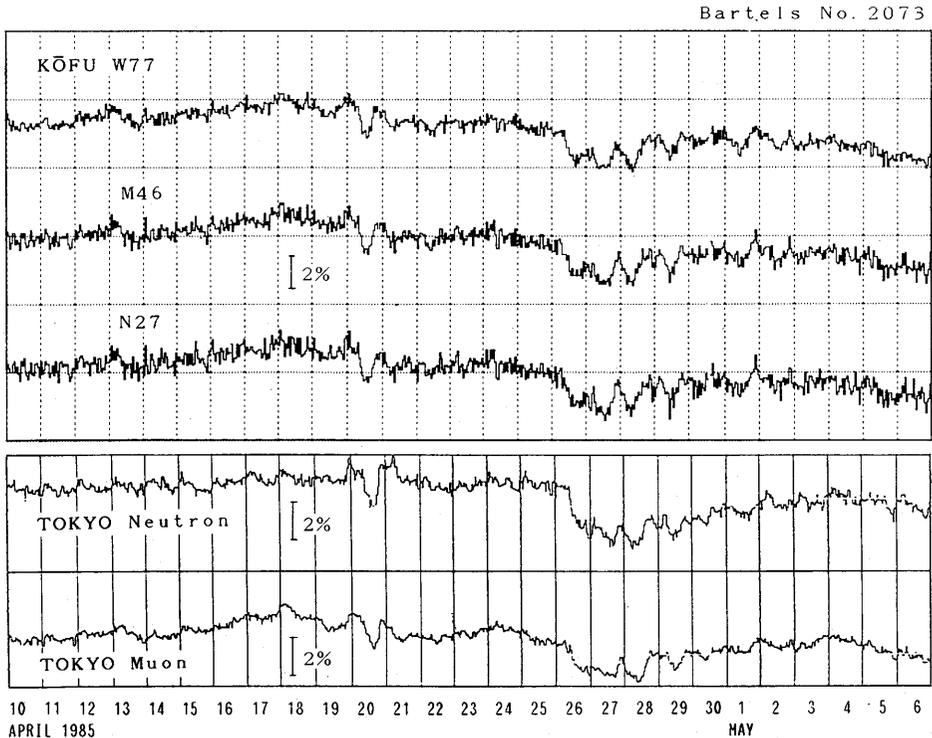


図4 甲府全成分、東京 neutron、東京 muon 各成分強度変化の比較

しかしながら図2の1年変化については室温効果は明らかに認められる。表2のaの値と表1を比較してみると、 ΔI と ΔT は比例関係にあるので、aの絶対値は ΔT に比例することになる。つまり室温変化が見掛け上のaの絶対値を大きくしている。それが定量的にどの程度か求めてみよう。

気温の極大・極小または宇宙線計数の極小・極大はほぼ毎年8月と1月に起こる。前者を T_8 、 T_1 後者を N_8 、 N_1 とすると正しい気温効果係数aは

$$a = (\ln N_1 - \ln N_8) / (T_1 - T_8) \quad (1)$$

と定義される。これに対し、槽温変化のため N_8 が N'_8 になったときの見掛けの気温効果係数を a' とすると、

$$a' = (\ln N_1 - \ln N'_8) / (T_1 - T_8) \quad (2)$$

このとき、

$$\ln N'_8 = \ln N_8 - b\Delta T \quad (3)$$

ただし、 $b\Delta T$ は槽温変化 ΔT による宇宙線変化分である。(1), (2), (3)より

$$a' = ab\Delta T / (\ln N_1 - \ln N_8) \quad (4)$$

を得る。表2において、1985年のaを真値と仮定したとき、他の年のbつまり槽温効果係数は、表1の ΔT 、 $\Delta I (= \ln N_1 - \ln N_8)$ を用いて、(4)より1986年は1.2%/°C、1987年は2.7%/°C、1984年は0.8%/°Cとなり必ずしも一定していない。これは実験的には考えにくいことなので、むしろaが一定ではなくて年によって変化していることを意味する。しかし、物理的にそのようなことがありうるかどうかも含めて今後の検討を要する問題であろう。

本研究は昭和57-59年度文部省科学研究費一般研究(C)の補助を受けた。

文 献

- 1) 小玉正弘, 小宮恵美子: 宇宙線による高層気温リモートセンシング-甲府における鉛直宇宙線計一, 山梨医大紀要, 1, 46-50, 1984.
- 2) 例えば, Dorman, L. I.: Cosmic ray variation, State Pub. House, Literature, Moscow, 1957.
- 3) 理化学研究所の好意による
- 4) FLuckiger, E.: 私信, 1989.
- 5) STE シンポジウム, 東京, 1989年4月.
- 6) Kudo, S., M. Wada, P. Tanskanen and M. Kodama: Local time and cutoff rigidity depen-

dences of storm time increase associated with geomagnetic storms, J. Geophys. Res., 92,7733-7738 (1987).

<追補>

1989年9月29日23時(JST)頃, 図5に示すように1時間あたり最大約6%の短時間増加現象が観測された。おそらく太陽宇宙線の到来によるものと思われるが, もしそうだとすると次に述べる特徴から判断して, 極めて注目すべき異常増加現象であることは間違いない。

1. この異常増加は, 33年前に起こった最大規模の太陽宇宙線現象(1956年2月23日)に匹敵するかそれ以上と考えられる。日本のような低緯度の地上で, 6%に達するmuon増加(東京 neutronは16%)は殆ど前例がないほどの大増加量である。
2. デルタ関数型の急激な立ち上がりと回復は過去に例がない。立ち上がりはともかく, 回復は指数関数型を示すのが普通である。
3. 発生時刻は日本では夜側に当たり, 従って太陽宇宙線は直接到来しにくい領域だけに, これまでの拡散伝搬の概念では2は説明し難い。

いずれにしても, 世界各地からの観測例の集積を待つての詳しい解析が望まれる。

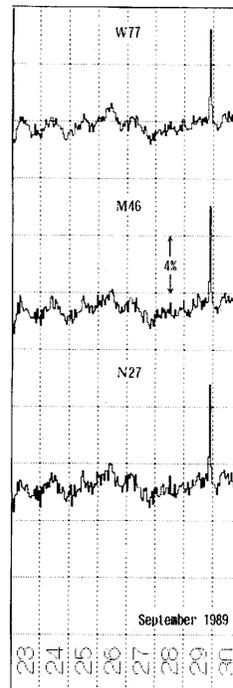


図5 1989年9月29日の異常増加

Abstract**Continuous Observations of Cosmic Ray Intensities
at Kofu**

Masahiro KODAMA and Emiko USHIDA

Continuous observations of three different components of ionizing cosmic rays have been carried out during the period from January 1984 to June 1989 at Yamanashi Medical College, Kofu. Day-to-day and/or annual intensity variations are discussed as regard the atmospheric temperature effect and the Forbush decrease event of March 1989.

Department of Physics