

氏名・（本籍）	きた　むら　まさ　とし 北　村　正　亟
学位の種類	理　学　博　士
学位記番号	理　第　1　5　3　号
学位授与年月日	昭和42年6月21日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和31年3月 東京理科大学専攻科　物理学専攻卒業
学位論文題目	Investigation on the Mechanism of the Cosmic-Ray Storm (宇宙線嵐の機構に関する研究) (主査)
論文審査委員	教授加藤愛雄　教授山本義一 教授鈴木次郎 助教授上山弘

## 論　文　目　次

序　　論	
第1章 太陽微粒子流による宇宙線嵐について	
§ 1. 緒　　論	§ 3. フォルブッシュ減少の緯度効果
§ 2. 宇宙線粒子の磁気雲内への拡散	§ 4. 結　　語
第2章 宇宙線嵐の機構に関する研究	
§ 1. 緒　　論	
§ 2. 宇宙線嵐時における宇宙線強度減少のエネルギー依存性及びその時間的变化	
§ 3. 宇宙線嵐の一般的特性と磁気雲の模型	
§ 4. 磁気雲内における宇宙線粒子の拡散	
4.1 宇宙線強度変化の一般的考察	
4.2 球状磁気雲内における宇宙線粒子の拡散	
4.3 太陽微粒子流内における宇宙線粒子の拡散	
§ 5. 磁気雲の膨脹による宇宙線粒子の減速　—宇宙線嵐の理論—	
§ 6. 宇宙線嵐のDSの機構	
§ 7. 結　　語	
〔付録〕 宇宙線粒子のエネルギー変化による宇宙線強度のエネルギー・スペクトルの変化	
第3章 宇宙線嵐の機構について	
§ 1. 膨脹する磁気雲による宇宙線粒子の減速	
§ 2. 宇宙線嵐のDSの機構	
総　　括	
参　考　論　文	

# 論文内容要旨

## 序 論

宇宙線強度の時間的変化を大別すれば周期的変化と非周期的変化とに分けられ、前者に属する現象としては半日変化、日変化、27日変化、季節変化、11年変化、22年変化等が知られており、後者に属する現象としては太陽フレアに伴なう増加現象と地磁気嵐に伴なう減少現象が主なものである。本論文では地磁気嵐に伴なって発生する宇宙線強度減少、即ち宇宙線嵐（又はフォルブッシュ減少ともいう）について解析的及び理論的研究を行ない、その発生の機構を明らかにする。

そのために、第1章においては従来宇宙線嵐の原因と考えられていた宇宙線粒子の拡散の考え方を地磁気嵐を起こすと考えられる太陽微粒子流に適用し、この模型が適当でないことを指摘する。

第2章においては、前半において宇宙線嵐の解析的研究を行ない、宇宙線強度減少量のエネルギー依存性及びその時間的変化を明らかにし、かつ宇宙線強度の変調因数なる量を定義し、観測と理論との比較を便にする。後半においては、宇宙線嵐に関する理論的研究を行ない、まず従来の模型についての一般的検討を行なった後、宇宙線粒子の拡散の模型が前章で触れた太陽微粒子流の場合だけでなく、他の場合についても適当でないことを指摘し、最後に膨脹する磁気雲の内部における宇宙線粒子の減速効果を計算し、この値と観測された宇宙線強度減少量とが一致することを明らかにする。

第3章においては、太陽から放出される磁気雲の構造との関係において宇宙線粒子の減速過程を要約し、宇宙線嵐の機構に関する理論を述べる。

## 第1章 太陽微粒子流による宇宙線嵐について

### §1 緒 論

宇宙線嵐の理論に対する総括的批判は次章において行なうが、古くは地磁気嵐を起こすと考えられる赤道環電流の効果、太陽微粒子流内の電場又は地球中心の電場の影響等が議論されたが、それらは何れも成功しなかった。それに代って磁気雲内における宇宙線粒子の拡散の効果が議論されるようになってきた。本章においては、地磁気嵐を起こすと考えられる太陽微粒子流内に拡散する宇宙線粒子の強度変化について検討する。

### §2 宇宙線粒子の磁気雲内への拡散

太陽から放出された磁気雲内の磁場が乱れている場合は宇宙線粒子は其中で散乱され、その伝播過程は拡散方程式によって記述される。ここでは太陽微粒子流に対して厚板状の近似を用い、微粒子流が太陽から放出されて後、地球軌道付近に到達するまでに浸入する宇宙線の強度を計算し、その中を地球がよぎる場合に期待される宇宙線微分強度の時間変化を求め、地球が微粒子流に接触してから1日後、2日後及び4日後の値を拡散係数の函数として図示する。

### § 3 フォルブッシュ減少の緯度効果

前節で求めた微分強度の値を用いて宇宙線嵐時における積分強度の変化量をエネルギーの函数として求める。その場合、拡散係数(D)のエネルギー依存性、従って散乱平均自由行路( $\ell$ )のエネルギー(E)依存性が分らなければならない。ここでは  $\ell = K E^n$  なる形を仮定し、 $n$ の各種の値に対する宇宙線積分強度減少量の緯度効果を求めた。一方、IGY期間の顕著な宇宙線嵐の資料を解析して、強度減少量の緯度効果を求め、前述の計算と比較した結果、計算値と観測値が大体一致するのは  $\ell \propto E^{0.2}$  の場合となり、従来考えられていたエネルギー依存性と著しく異なる結果となる。

### § 4 結 語

この章では、太陽微粒子流内における宇宙線粒子の拡散を計算し、かつ微粒子流と地球の相対速度を考慮して、地球上で期待される宇宙線強度の減少量を計算した。しかし計算値と観測値が一致するためには、散乱平均自由行路のエネルギー依存性を  $\ell \propto E^{0.2}$  としなければならない。それは従来考えられていたエネルギー依存性と著しく異なる。このことはここで取り扱った拡散の模型が適当でないことを示唆している。宇宙線嵐に対する拡散の模型は P. Morrisonによって始めて提唱されたものであるが、観測と合わせるためにはかなりの困難があることが分った。我々は次の章において宇宙線嵐の理論について拡散の模型も含めて、更に詳細な検討を行なう。

## 第 2 章 宇宙線嵐の機構に関する研究

### § 1 緒 論

前章においても若干触れたが、宇宙線嵐の現象は Forbush が最初にそれを発見して以来、多くの研究者によってその機構が研究され、宇宙線嵐の機構に関しては多くの理論があるが、それらを大別すれば(A)地球中心的模型と(B)惑星空間的模型の二つに分けられる。

(A)地球中心的模型の中には、(A 1)赤道環電流の効果 (Johnson, Hayakawa et al., Treiman), (A 2)地球中心的電場の効果 (Nagashima), (A 3)地球周辺での宇宙線の拡散機構 (Parker)があるが何れも困難を伴ない、(A 1)の効果は地球上における宇宙線を増加させる方向にあり、事実と反することが分っている。(A 2)は所要の電場を地球周辺につくることにおいて困難があり、又(A 3)によると地球表面近くと遠方とでは減少の仕方が異なる筈であるが、Explorer VIIの観測はそれと異なる情報をもたらしており、更にこの機構によって起こる宇宙線強度減少の緯度効果は、事実より遥かに大きなものになってしまい、かつ数日間の宇宙線強度減少の継続時間を説明することが困難であり、又要請される磁気雲内の磁場が大きすぎる等の難点がある。

一方、(B)惑星空間的模型の中には、(B 1)太陽微粒子流内の電場の効果 (Alfvén), (B 2)太陽磁場内における宇宙線粒子の運動を考慮した Alfvén 理論の拡張 (Brunberg 及び Dattner), (B 3)太陽微粒子流による磁気切断の効果 (Dorman), (B 4)惑星空間内の

磁気雲による宇宙線拡散効果 (Morrison), (B5) 乱流磁場内における宇宙線の拡散減速の理論 (Singer) 等があるが, 何れも理論的困難を伴っている。(B1) によれば宇宙線減少の前に先駆的增加現象が発生することになるが, 観測事実は必ずしもそうではない。(B2) は粒子の三次元的運動を考慮していないだけでなく, 太陽微粒子流内の磁場による宇宙線粒子の偏倚を考慮していない。(B3) によれば宇宙線粒子の太陽微粒子流内に浸入しうる距離は粒子のエネルギーに依存することになるが, それから導かれる宇宙線嵐の緯度効果は観測事実と一致しない。(B5) は宇宙線粒子と乱流磁場との相互作用に関する考察に問題があり, この理論によって求めた緯度効果は事実と一致しない。

以上のように, 従来の宇宙線嵐に関する理論は何れもそれぞれ難点をもっている。そこで我々は IGY で得られた資料を用いて, 宇宙線嵐に関する解析を行ない, 宇宙線強度減少量のエネルギー依存性とその時間的変化を明らかにし, 本章の後半において宇宙線粒子と磁気雲の相互作用を考察し, 宇宙線嵐の機構について検討を行なう。

## § 2 宇宙線嵐時における宇宙線強度減少のエネルギー依存性及びその時間的変化

IGY 期間中の顕著な宇宙線嵐について "重ね合わせの方法" を用いて各観測点ごとに宇宙線嵐の時間的変化の平均状態を求める。結果として第 1 に分ったことは高緯度 (即ち低エネルギー) 程宇宙線強度の減少量が多いということである。しかし磁気切断エネルギーが 2 BeV 以下になるような高緯度では減少量は緯度によらずほぼ一定になる。切断エネルギー(E)が 2 BeV 以上の観測点については, 宇宙線嵐時の積分強度 ( $I_s$ ) 及び平常時のそれ ( $I_0$ ) はそれぞれ  $E^{-\gamma_s}$  及び  $E^{-\gamma_0}$  で近似され, 従ってその比は  $E^{\Delta\gamma}$  で近似され (ここで  $\Delta\gamma = \gamma_0 - \gamma_s$ ), しかも  $\Delta\gamma$  が時間的に変化すること, 即ち宇宙線嵐時のエネルギー・スペクトルが時間的に変動しているということが明らかになった第 2 の点である。第 3 は  $I_s(E)/I_0(E) = 1$  になるような E, 即ち宇宙線嵐を起こす粒子のエネルギーの上限を  $E^*$  で表わすと  $E^*$  は大体数 + BeV の程度であることである。

次に嵐時における宇宙線強度の変化分 ( $\delta I/I_0$ ) も時間的に変わり, かつ  $\delta I/I_0 = aE + b$  で近似され,  $a$  及び  $b$  の値が時間の函数として求まる。ところで今, 宇宙線嵐時及び平常時における宇宙線微分強度をそれぞれ  $j_s(E)$  及び  $j_0(E)$  とし,  $j_s(E) = \eta(E) j_0(E)$  で変調因数  $\eta(E)$  を定義すると  $\eta(E)$  は  $a$  及び  $b$  を用いて表わされることが分かる。後の節で分かるように  $\eta(E)$  は理論値と観測値を比較する際に便利な量である。 $a$  及び  $b$  の値を用いて求められた  $\eta(E)$  の時間的変化も図示される。

## § 3 宇宙線嵐の一般的特性と磁気雲の模型

宇宙線嵐の構造並びにそれと関連する他の諸現象, 即ち太陽及び地球物理学的諸現象との関係を整理することによって宇宙線嵐の機構に関する一つの模型を得ることが出来る。

まず Explorer VI の観測, 即ち宇宙線嵐は地球より地球半径の 6 ~ 7 倍の遠方でも観測され

るという事実は、§ 1で述べた模型の中(B)惑星空間的模型が有利であることを示している。更に宇宙線嵐と地磁気嵐の発生に対応から考えて、地磁気嵐を起こす太陽微粒子雲はその中に磁場が存在するものとし、ないものとの二種類に大別することが出来、前者が宇宙線嵐を起こすと考えられる。この考えを支持する事実として太陽電波Ⅳ型爆発がある。なぜならⅣ型爆発がシンクロトロン放射だとすれば、そこに磁場が存在することになるからである。更にⅣ型爆発の発生が太陽面の周辺近くであっても宇宙線嵐の発生する事実から、この磁気雲は太陽の半径方向のみでなく横方向にも膨張し、広く惑星空間に拡がる事が考えられる。宇宙線嵐中のPolarcap blackoutの発生は、嵐中に $\sim 10\text{Mev}$ 程度の低エネルギー粒子が太陽から到達しており、それが沿って来る雲内の磁力線が太陽に連結していることを示している。

以下の節においては、惑星空間内の磁気雲と宇宙線粒子との相互作用についての考察が行なわれるが、それには二つの主な物理的過程が考えられる。宇宙線粒子の拡散過程と減速過程がそれである。

#### § 4 磁気雲内における宇宙線粒子の拡散

宇宙線粒子の拡散の考えは最初P. Morrisonによって提唱され、問題点の一部はすでに第1章においても触れたが、ここでまとめて検討を加える。まず宇宙線強度変化の一般的考察を行ない、続いて磁気雲内における宇宙線粒子の拡散について検討を行なう。

##### 4.1 宇宙線強度変化の一般的考察

或地点における宇宙線積分強度はその地点における磁気切断エネルギー ( $E_{\lambda}$ )、一次宇宙線のエネルギー・スペクトル ( $j(E)$ ) 及びその場所の overall multiplicity ( $m(E)$ ) によって決まる。従ってその何れが変化しても宇宙線強度の変化が観測される。磁気嵐時の宇宙線の増加は  $E_{\lambda}$  の減少により、今考える宇宙線嵐の機構は  $j(E)$  の変化によるものであり、又、気象の影響は大気構造の変化による  $m(E)$  の変化に帰せられる。

以下においては、諸種の機構に対して  $j(E)$  がどのように変化するかを検討する。

##### 4.2 球状磁気雲内における宇宙線粒子の拡散

前に述べたように磁気雲の内部が乱れた磁場で満たされている場合、その中で宇宙線粒子の伝播は拡散方程式で記述される。今、磁気雲を半径  $10^{13}\text{cm}$  の球状とし、しかも発生して1日後に地球に接触したとして、地球がその中心を過ぎる場合及び中心より半径の  $1/2$  の距離を過ぎる場合について変調因数  $\eta$  を計算するとそれは観測から得られたものとは一致しない。又、磁気雲内の磁場の強さを仮定して、積分強度の緯度効果を求めても観測と一致しないことが分かり、かつ宇宙線減少の継続時間が事実と比して遙かに短くなり、結局この模型は宇宙線嵐を説明出来ないということが結論される。ここで散乱平均自由行路はLarmor半径で近似した。

##### 4.3 太陽微粒子流内における宇宙線粒子の拡散

前章でも触れたが、太陽微粒子流を厚板状で近似し、その中で拡散による宇宙線強度の変化を計算した。散乱体が太陽から放出されて地球軌道に到達するまでの時間を  $1.5 \times 10^{13}$  /

$2 \times 10^8$  秒, 地球が微粒子流を過ぎる速度を  $\frac{2\pi}{27} \frac{\text{AU}}{\text{Day}}$  とした。この場合は散乱体が連続的に太陽から補給されているので宇宙線減少の継続時間は適当に保ち得るが, その緯度効果を説明するためには散乱平均自由行路のエネルギー依存性が  $E^{0.2}$  に比例しなければならないという不自然な結果になる。

以上のことから分るように拡散機構によって宇宙線嵐を説明することは出来ないということが結論される。

## § 5 磁気雲の膨脹による宇宙線粒子の減速

### 一 宇宙線嵐の理論 一

宇宙線粒子と磁気雲との相互作用の中, 拡散過程は宇宙線嵐に対して本質的な役割を果たしていないことが分かったので, ここでは磁気雲内における宇宙線粒子の減速機構について検討し, これが宇宙線嵐の本質的な機構であることを結論する。

§ 3 で述べたように, 宇宙線嵐の原因は惑星空間において膨脹しつつある磁気雲にあると考えられる。今, 便宜上, 磁気雲の外の惑星空間を領域Ⅰ, 磁気雲の外側の部分で乱れた磁場が存在していると考えられる部分を領域Ⅱ, その内部を領域Ⅲとし, 領域Ⅲは磁気嵐を起こす程高い密度の微粒子が存在し, 磁場はむしろ弱くて規則正しいと考える。このような構造をもった磁気雲が膨脹するとき, 宇宙線粒子との相互作用において次の点を考慮しなければならない。即ち, [i] 領域Ⅱの幅はどれ位か, [ii] 領域Ⅱにおける低エネルギー粒子の振舞, [iii] 領域Ⅲにおける宇宙線粒子のエネルギー損失, [iv] 拡散時間と宇宙線粒子の磁気雲内での滞在時間等である。以下にその概要を述べる。

#### [i] 領域Ⅱの幅

§ 2 で求めた  $E^*$  の値より, 数 + Bev 以上の粒子はこの領域を自由に出入できるものと考えられるので, 磁場の平均の強さを  $\sim 10^{-4}$  ガウスとすればこの領域の幅は  $(2 \sim 3) \times 10^{12}$  cm 程度と考えられる。

#### [ii] 領域Ⅱにおける低エネルギー粒子の振舞

領域Ⅱは磁場が乱れているために  $E^*$  以下のエネルギーの粒子はこの領域で散乱されるが, もしそのためにフェルミ加速による粒子のエネルギー変化があるとすればどの程度になるかを見積った結果, この効果は宇宙線嵐にとって本質的なものではないことが明らかになった。

#### [iii] 領域Ⅲにおける宇宙線粒子のエネルギー損失

膨脹している磁気雲の領域Ⅱは外方に向かって運動している磁場であるから, 領域Ⅲの宇宙線粒子がこれに追突するとエネルギーを失なう。今, 領域Ⅲの粒子が雲外に脱出しなくて領域Ⅱに追突する回数を粒子のエネルギーに反比例するとし, かつ自由に脱出できる粒子のエネルギーを  $\sim 6 \times 10^{10}$  ev 以上とすると磁気雲内で失なう粒子のエネルギー ( $\delta E$ ) は  $\sim 4 \times 10^8$  ev となり, この値を用いて積分強度の減少量及びそのエネルギー依存性を求めると宇宙線嵐最盛

期の観測値と一致する。かつ  $6 \times 10^{10}$  eV という値は § 2 で求めた  $E^*$  と矛盾しない値である。

又、最盛期のみでなく、宇宙線嵐全期間にわたって積分強度減少量のエネルギー依存性および強度の時間的変化が  $\partial E$  の変化と全くよく対応しており、ここで述べた機構による宇宙線粒子のエネルギー損失が、宇宙線嵐の本質的な機構であることが明らかになった。

#### 〔iv〕 拡散時間と滞在時間

最後にこの機構が磁気雲内で有効に作用するかどうかを検討するために、拡散によって磁気雲内外に出入する時間 ( $\tau_d$ ) と雲内に滞在して減速を受ける時間 ( $\tau_s$ ) との比較を行なってみると  $\tau_d > \tau_s$  となり、上に述べた減速機構が有効であることが結論される。

### § 6 宇宙線嵐の D S の機構

宇宙線嵐の変化には汎世界的変化 ( $D_{st}$ ) と地方時によって変化する部分 (D S) とがあり、前節までの説明は  $D_{st}$  に対して適用される。本節では同一の模型で D S も説明されることを示す。

太陽から放出される磁気雲は太陽の半径方向に最大の膨脹速度をもっていることが考えられる。従って地球が磁気雲の領域Ⅲ内にある場合、領域Ⅱの磁場によって反射される宇宙線粒子の中、夜側から反射されて来る粒子が最もエネルギー損失が大きく、夜側と昼側とでエネルギー・スペクトルが異なり、磁気雲内で非等方性が生じる。これが D S の原因と考えられる。但し磁気雲内の宇宙線粒子の Larmor 半径は磁気雲の大きさの約  $1/10$  程度であるので  $D_{st}$  に比して大きな量ではなく、観測される程度の振幅になることが考えられる。

### § 7 結 語

本章においては前半で宇宙線嵐の解析的研究が行なわれ、強度減少のエネルギー依存性、宇宙線嵐を起こす粒子のエネルギーの上限 ( $E^*$ ) および変調因数 ( $\eta$ ) 等が導かれ、宇宙線嵐の一般的特性を明らかにした。後半においては、以上の事実および他の現象との関連において宇宙線嵐の機構に関する理論的研究を行ない、宇宙線粒子と磁気雲との相互作用として、磁気雲内における宇宙線粒子の拡散および減速過程について検討を行なった。結果として、二つの過程の中、磁気雲内における宇宙線粒子の減速過程が宇宙線嵐の本質的な機構であることが分かり、それは他の諸現象との関連をも含めて宇宙線嵐の諸特性を説明するものであることが明らかになった。

#### 〔付 録〕

##### 宇宙線粒子のエネルギー変化による宇宙線強度のエネルギー・スペクトルの変化

本論文中において宇宙線粒子のエネルギー損失の場合の宇宙線強度変化の計算を行なったが、一般に宇宙線粒子のエネルギー損失のエネルギー依存性  $f(E)$  が  $E^n$  に比例するとして、 $n = -1, 0, 1$  の三通りの場合について、変調因数 ( $\eta$ ) および積分強度変化 ( $\Delta I/I_0$ ) のエネルギー依存性を求めた。

以上の結果から  $n = 0$  の場合が最もよく観測事実に適合していることが分かる。 $n$  の値は宇宙線粒子の減速機構に対応するが、本論文中で取扱ったのは  $n = 0$  の場合に対応している。このことは宇宙線嵐の機構として本論文中で述べた宇宙線粒子の減速機構の正しいことを示している。

### 第3章 宇宙線嵐の機構について

#### § 1 膨張する磁気雲による宇宙線粒子の減速

前章においては宇宙線嵐の解析的研究およびそれに基づく理論的考察について詳述したが、本章においてはその要点を整理し、要約する。宇宙線嵐の本質的機構は惑星空間において膨張しつつある磁気雲内において、宇宙線粒子が運動している磁場に追突して起こるエネルギー損失である。それはあたかも断熱膨張によって気体が冷却するようなものである。

まず容器に相当する磁気雲の構造について考察し、磁気雲を外部（領域Ⅱ）と内部（領域Ⅲ）に分けて考え、全体の大きさ  $\sim 10^{13}$  cm に対して領域Ⅱの幅を  $(2 \sim 3) \times 10^{12}$  cm、その領域の乱れている磁場の平均の強さを  $\sim 10^{-4}$  ガウスとすれば、 $\sim 60$  BeV 以下の宇宙線粒子はこの領域を拡散によって伝播され、宇宙線嵐に寄与する。一方領域Ⅲはむしろ弱い磁場で乱れていないと考えれば、この領域内の宇宙線粒子は外方に運動している領域Ⅱの磁場に追突してエネルギーを失ない、これが宇宙線嵐の本質的な機構となる。この追突回数を宇宙線粒子のエネルギーに反比例するものとし、これに寄与するエネルギーの上限を  $\sim 60$  BeV とすればエネルギー損失の量は  $\sim 4 \times 10^8$  ev となり、宇宙線減少が充分説明される。

#### § 2 宇宙線嵐の D S の機構

宇宙線嵐の D S は、D<sub>sc</sub> を起こす磁気雲の膨張速度の非等方性を考慮すれば説明されることを示し、粒子のエネルギー変化に対する D S の振幅を求めた。

### 総 括

本論文においては、宇宙線嵐に関する解析的および理論的研究を行ない、解析的研究においては宇宙線嵐の際の宇宙線の強度減少量のエネルギー依存性およびその時間的変化の形態を明らかにし、かつ変調因数なる量を導入して観測と理論との比較を便ならしめた。

以上の解析的事実および他の諸現象との関連を整理し、それらの基礎の上に宇宙線嵐の機構に関する理論的考察を行ない、従来の理論の欠点を指摘し、最後に惑星空間で膨張する磁気雲内における宇宙線粒子の断熱減速の機構を提唱し、これが宇宙線嵐の本質的機構であることを示した。この理論は他の諸現象との関連をも含めて、宇宙線嵐の構造をよく説明するものである。



## 参 考 论 文

- (1) Time Variation of the Energy Spectrum of Cosmic-Ray Particles during the Forbush-Type Decrease, by Masatoshi KITAMURA and Masahiro KODAMA, Proceedings of the Moscow Cosmic Ray Conference (Moscow, 6 - 11, July, 1959), Vol. 4, p. 202 - 207.
- (2) Some Features of November 1960 Events as Inferred from Cosmic - Rays, by Masahiro KODAMA and Masatoshi KITAMURA, Report of Ionosphere and Space Research in Japan, Vol. 15, No. 2 (1961), p. 270 - 272.
- (3) Some Features of the November 1960 Events as Inferred from Cosmic - Rays, by Masahiro KODAMA and Masatoshi KITAMURA, Space Research II. (Proceedings of the Second International Space Science Symposium, Florence, 10 - 14, April, 1961), p. 766 - 775.
- (4) Geomagnetic Storm Effect on the Solar Cosmic - Rays in November 1960 and Their Propagation Process in the Interplanetary Space, by Masahiro KODAMA and Masatoshi KITAMURA, Proceedings of the International Conference on Cosmic - Rays and the Earth-Storm (Kyoto, 4 - 15, September, 1961), II, p. 298 - 302.
- (5) On the Unusual Increase of Cosmic - Ray Intensity on February 23, 1956, by Masatoshi KITAMURA, Report of Ionosphere Research in Japan, Vol. 11, No. 2, (1957), p. 55 - 59.
- (6) On the Unusual Increase in Cosmic - Ray Intensity on February 23, 1956, by Masatoshi KITAMURA, Proceedings of the Second International Conference of United Nations Peaceful Uses of Atomic Energy, (Geneva, September, 1958), Vol. 30, p. 76 - 80.
- (7) The Solar Diurnal Variation of the Cosmic - Ray Intensity, by Masatoshi KITAMURA, Proceedings of the Ninth International Conference on Cosmic - Rays, (London, September, 1965), Vol. 1, p. 201 - 203.
- (8) What Types of Magnetic Storm are Accompanied by the Decreases of the Intensity of Cosmic - Rays ? by Masatoshi KITAMURA, The Special Geomagnetic Number of the Indian Journal of Meteorology and

- Geophysics, Vol. 5, (1954), p. 153 — 156.
- (9) *On the Distribution of Geomagnetic Storms in the Sunspot Cycle*,  
by Masao NAGAI and Masatoshi KITAMURA.  
Memoirs of the Kakioka Magnetic Observatory, Vol. 8, No. 2, (1958) . p.  
3 — 12.
- (10) *On the Magnetic Disturbance Caused by the Electrical Leakage Current into  
the Earth*,  
by Gyoroku ISHIKAWA, Masatoshi KITAMURA and Muneyasu KADENA,  
Journal of Meteorological Research, Vol. 4, No. 8, (1952) , p. 569 — 579.
- (11) *An Effect of the Atmospheric Electric Field upon the Observation of Ions  
in the Atmosphere*, by Gyoroku ISHIKAWA, Muneyasu KADENA and Masatoshi  
KITAMURA.  
Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, Vol. 4, No. 1, (1952).

## 論文審査結果の要旨

本論文は、地磁気嵐に伴って発生する宇宙線強度の減少、即ち宇宙線嵐について解析的及び理論的研究を行い、従来の学説に於ては観測の事実を説明するに重大な欠陥のあることを示した後、観測結果とよく調和する宇宙線嵐発生機構に関する新たな理論を展開したものである。

本論文は3章から成るが、第1章に於いては従来最も信用されていた学説即ち太陽から放出された磁気雲内への宇宙線粒子の拡散が宇宙線嵐の原因であるとの説に於ける矛盾を論じている。即ち観測される宇宙線強度のエネルギースペクトルの時間的変化を拡散説により説明するためには宇宙線粒子の拡散自由行程がエネルギーの0.2乗に比例するとしなければならないことを示した。これは一般に考えられている拡散係数のエネルギー依存性と甚だしく異なるので拡散説の重大な欠点であると論断した。第2章に於ては先ず宇宙線嵐の解析的研究を行い、宇宙線強度減少量のエネルギー依存性及びその時間的変化を明かにし、観測と理論との比較に便利な宇宙線強度の変調因数なる量を導いた。この量を根拠として宇宙線嵐に関して従来提唱された種々の学説に対しても批判検討を行い、その何れもが観測結果と調和しないことを示して別の機構の必然性を結論した。よって著者は宇宙線嵐に関する諸観測事実及び関連する太陽及び地球物理学的諸現象との関係を総合的に考察した結果太陽面フレアに伴って放出される磁気雲の膨脹による宇宙線粒子の減速が宇宙線嵐の原因であるとの見解をとるに至った。この見解に基づき、著者は先ず数十Bev以上の粒子には強度減少がない事実から磁気雲周辺の乱れた磁場の領域の厚さが2～3千万Kmであると見積り、次に磁気雲内部にある宇宙線が膨脹する周辺部に衝突することによる減速効果を計算した結果、数十Bev以下のエネルギーの粒子は400Mev程度の減速を受けることを明らかにした。この結果理論的に期待される宇宙線の積分強度の減少量、そのエネルギー依存性、更に宇宙線嵐の時間的特徴の何れもが観測結果とよく一致することを示した。第3章に於ては宇宙線嵐の機構に関する上記の磁気雲膨脹説を明確に整理記述した後、この説によれば宇宙線嵐の日変化に於ける特徴をも説明し得る等の議論を加えた。

著者の磁気雲膨脹による減速説は著者独自の新たな見解であり、宇宙線嵐の観測事実を説明する上に従来の学説を卓越するものであると考えられる。

よって、北村正亟提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。