

地磁気嵐とその先駆現象としての sfe の関聯について

永 井 正 男

概 要

地磁気嵐は太陽フレアの際に放出される荷電微粒子流によっておこされるものと、太陽の自転にもなって27日の回帰性をもつ M 領域から放出される荷電微粒子流によっておこされるものと2種類に分けられるが、ここでは前者の太陽フレアの際に放出される荷電微粒子流によっておこされるものの中 solar flare effects (sfe) をともなった地磁気嵐についてその関聯性を調べ、さらに太陽電波の outbursts との関聯についても調査をすすめた。

その結果 sfe の約30%が2~3日後に地磁気嵐をともなうことをたしかめ、又 Type IV の outbursts をともなった場合においては約60%の確率で地磁気嵐がおこることがたしかめられた。

さらに sunspot cycles との関聯においては、極小期附近においては sfe と地磁気嵐との関聯はほとんどなくなり、極大期附近においては sfe の 40~50% が地磁気嵐をともなっており、D. Van Sabben (1953) および R. A. Wattson (1957) の研究は太陽黒点の極小期に近い期間において sfe と地磁気嵐との関聯を調べたために何等の関聯を見出せなかったのではないかと M. A. Ellison (1958) の議論を裏づける結果になった。

§1 は し が き

太陽黒点周期と sfe および地磁気嵐の発生頻度との間には大変よい正の相関がみられる。われわれは又 sfe の発生後2, 3日の間に急始磁気嵐を観測することが時々ある。sfe は太陽フレア爆発の際放出される1~20オングストロームの軟X線によって下部電離層が異常電離されることによって生ずる現象であり⁽¹⁾、地磁気嵐は荷電微粒子流が地球近傍に到達することによっておこされる現象であるから、直接の関聯は考えられないが地磁気嵐の先駆現象として見逃せない役割を果している。しかるに sfe と地磁気嵐の関聯を論じた研究は数が少なく、しかも満足すべき結果は得られていない。

D. Van Sabben (1953) は⁽²⁾1949~1951の3年間の ΣKp を使い sfe の前後5日間について調べたが sfe との対応はみられないと報告している。又 R. A. Wattson (1957) は⁽³⁾1949~1954年の Ap インデックスを使い sfe 発生後3日間について調べたが、Ap インデックスの増大はみられなかった。これに対し M. A. Ellison (1958) は⁽⁴⁾1949~1954年の期間は太陽黒点下降期にあたり極小期に近いことから、重要度 3⁺ の大きなフレアの発生が少なかったためであろうと論じている。H. W. Newton (1943, 1954) によれば⁽⁵⁾重要度 3⁺ の大きなフレアと地磁気嵐の発生頻度とは大変よい相関を示すが、重要度 2 或いは 1 との対応はよくないことが示されている。

以上のことから一応、太陽黒点極小期附近には sfe と地磁気嵐との関聯がよくないことが予想出来るが、実際にはどういう結果が得られるであろうか? このような疑問をたしかめるために、著者は1957~1961の5年間における IAGA に報告された最終的な全世界の sfe の

資料を使い、sfe の発生5日前から7日後にいたる A_p インデックスを調べた結果、sfe の少なくとも30%が2～3日後に地磁気嵐をともなうことをたしかめた。

ここではさらに太陽電波の outbursts と地磁気嵐との関聯および3サイクルにわたる太陽活動周期における sfe と地磁気嵐との関聯についても報告する。

§2 sfe との地磁気嵐

太陽活動が盛んになりフレアの発生回数が多くなるとそれにとまって sfe や地磁気嵐等の発生回数も多くなる。第1図には1932～1961年の30年間における太陽黒点数と柿岡地磁気観測所で観測した sfe および急始地磁気嵐の発生回数が示されている。黒丸実線が太陽黒点数、白丸点線が sfe, ×印鎖線が急始地磁気嵐の変化で一見して太陽黒点周期とよい対応を示しながら増減しているのがみられる。しかしよくみると sfe の発生回数は3サイクルとも太陽黒点極大の年より2年遅れて最大となっている。これに対し急始地磁気嵐は、1948年および1949年を除いては極大の年に最大の発生回数であらわれている。

第1表には 1957～1961年の5年間の太陽黒点数と、IAGA に報告された全世界における sfe の中 doubtful を除いたものの発生回数および sfe にともなわれた A_p インデックスが

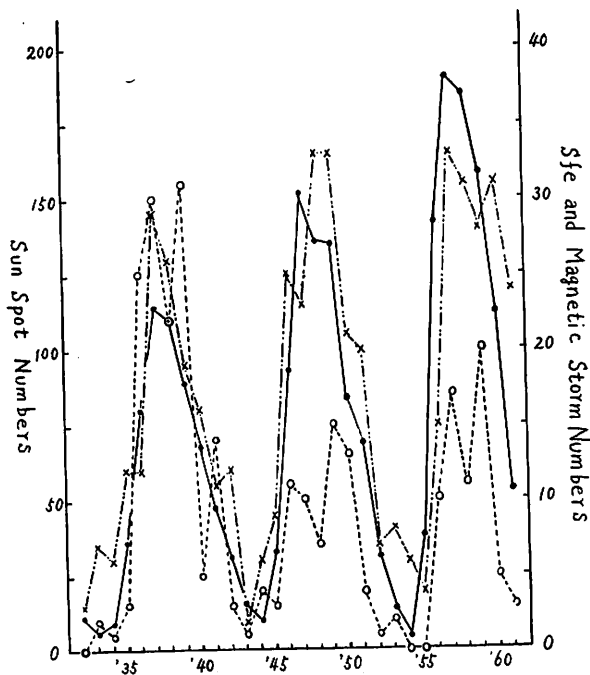


Fig. 1. Relation between sun spot numbers, sfe's and magnetic storms reported at Kakioka during 3 solar cycles 1932～1961.

- sun spot numbers
- sfe's reported at Kakioka
- × magnetic storms reported at Kakioka

30以上の地磁気嵐のおこった回数およびその発生頻度が百分率で示されている。幾分かのパラッキはあるが、5年間の平均は32%を示し、sfeの大体1/3が地磁気嵐をともなっていることがわかる。

第2図は1957~1961年の第1表におけるsfeとApインデックスとの関聯が、sfeのおこる5日前から7日後まで各年ごとに示される。

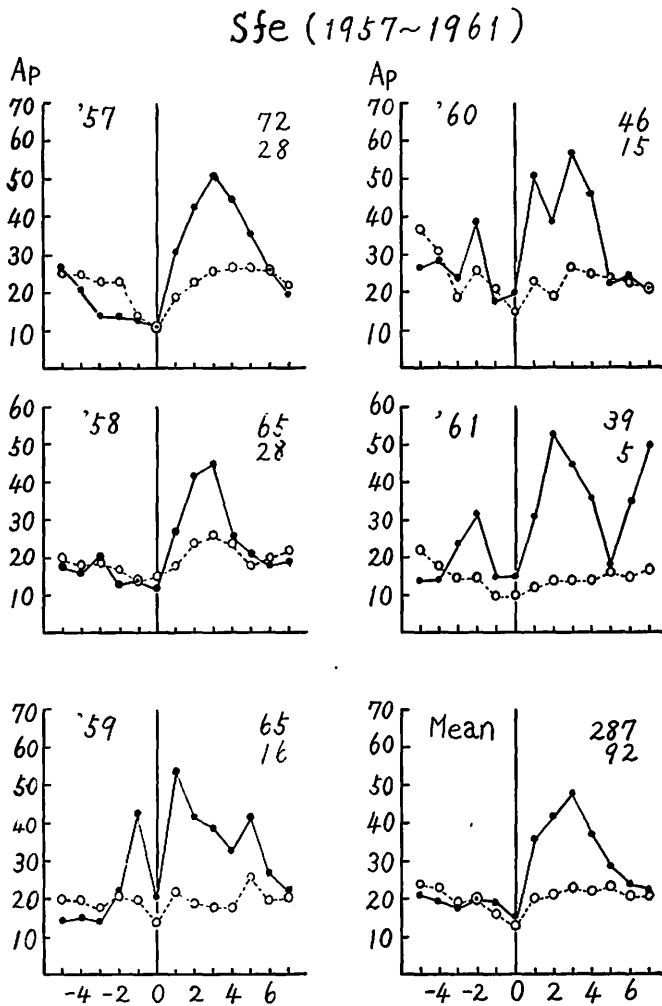


Fig. 2. Mean magnetic activity showed by Ap indices from 5 days before to 7 days after all days on which sfe's occurred during 1957~1961.

- mean Ap indices for all sfe's occurred in each year (upper numbers on right side).
- mean Ap indices corresponding to magnetic storms which $Ap \geq 30$ within 4 days (lower numbers on right side).

Table I. Relation between the solar flare effects and associated geomagnetic storms

Year	Sunspot Number	No. of sfe	No. of associated Mag. storm	occurrence frequency %
1957	190	72	28	39
1958	185	65	28	43
1959	159	65	16	25
1960	112	46	15	33
1961	53	39	5	13
Mean		287	92	32

右側の上の数字は sfe の数を示し下の数字は sfe にともなわれた地磁気嵐の発生回数を示す。又白丸は上の数字で示された sfe による A_p インデックスの平均値であり、黒丸は A_p インデックスが sfe の 1~3 日後に 30 以上を示した下の数字であらわされた地磁気嵐の平均の A_p インデックスの変化を示している。白丸の変化は sfe のおこる前後ではっきりした傾向が認められないが、黒丸は sfe の後 1~3 日後に明瞭な A_p インデックスのピークを示している。従って sfe のある種のもは地磁気嵐の先駆現象として予報的役割を果していることがわかる。

§3 outbursts と地磁気嵐

太陽面で爆発がおこると、それと同時にメートル波・センチメートル波における太陽電波の outbursts が観測される。ここでは、Fort Davis (Texas) において 1957 年の 1 月から記録され、A. Maxwell⁽⁶⁾等によって作製された太陽電波の Type II (Slow-Drift) および Type IV (Continuum) outbursts の表を用い、地磁気嵐との関聯を調べてみた。

第 2 表には 1957~1961 年の 5 年間における太陽電波の Type II, Type IV およびその両方

Table II. Relation between the solar radio outbursts and associated geomagnetic storms

Year	Type II outbursts			Type IV outbursts			Type II+IV outbursts		
	Number	No. of associated Mag. storm	occurrence frequency %	Number	No. of associated Mag. storm	occurrence frequency %	Number	No. of associated Mag. storm	occurrence frequency %
1957	33	15	45	12	5	42	6	4	67
1958	24	8	33	14	10	71	4	3	75
1959	26	10	38	8	6	75	5	4	80
1960	21	4	19	8	7	87	17	8	47
1961	11	3	27	4	2	50	6	3	50
Mean	115	40	35	46	30	65	38	22	58

がひき続いておこった Type II+IV の3つの outbursts のグループとそれが Ap インデックス30以上の地磁気嵐をともなった回数および発生頻度が%で示されている。これをみると Type II の outbursts がおこった後地磁気嵐をともなう確率は sfe の場合とほぼ同じ35%であるが, Type IV の outbursts の観測された後地磁気嵐のおこる確率は1957年の最低 42% から1960年の最高87%までバラツキはみられるが平均65%を示し, sfe 或いは Type II outbursts の場合の約2倍の割合高い確率で地磁気嵐がおこっていることがわかる。又 Type II+IV の outbursts の場合は Type IV outbursts だけの場合とほぼ同じ58%の確率で地磁気嵐をともなっているのがみられる。

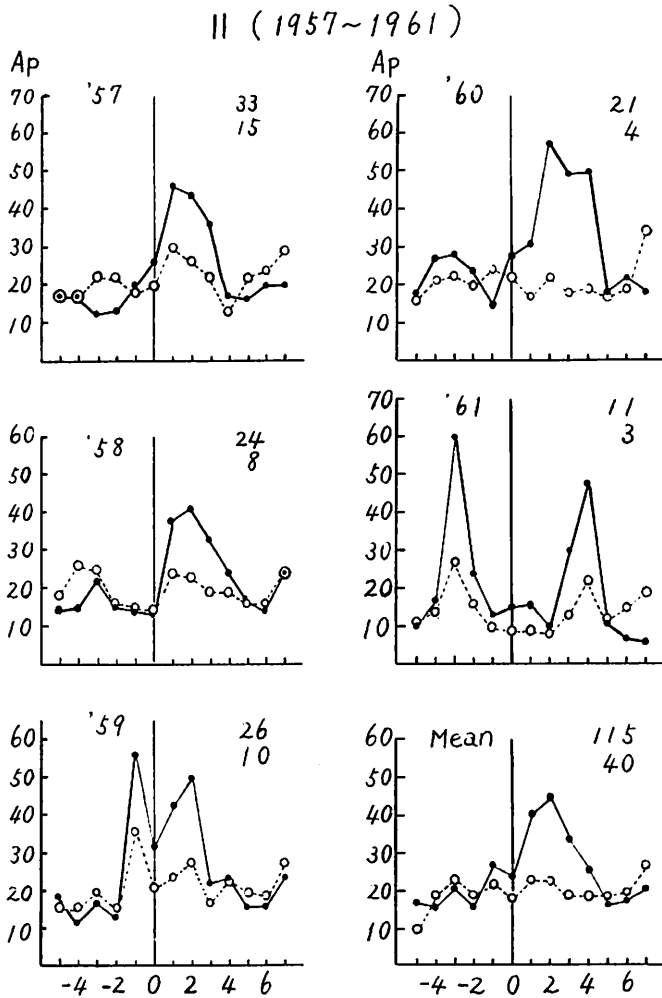


Fig. 3. Mean magnetic activity showed by Ap indices from 5 days before to 7 days after all days on which Type II solar radio outbursts occurred during 1957~1961.

第3図には Type II outbursts が観測された5日前より7日あとの Ap インデックスの変化の様子が1957~1961年の5年間にわたって各年ごとに示されている。右側の上の数字は Type II outbursts の観測された回数を示し、白丸と点線で示された変化はその平均値を示している。いずれの年も Type II outbursts のおこった前後ではっきりした変化の傾向を示していない。これに対し下の数字は Type II の outbursts にともなわれた Ap インデックスが30以上の地磁気嵐の数をあらわしている。黒丸と実線で変化の様子が示され平均すると Type II の outbursts の後2日目に Ap インデックスのピークがあらわれているが、1957年では1日目に、1961年では4日目にあらわれている。

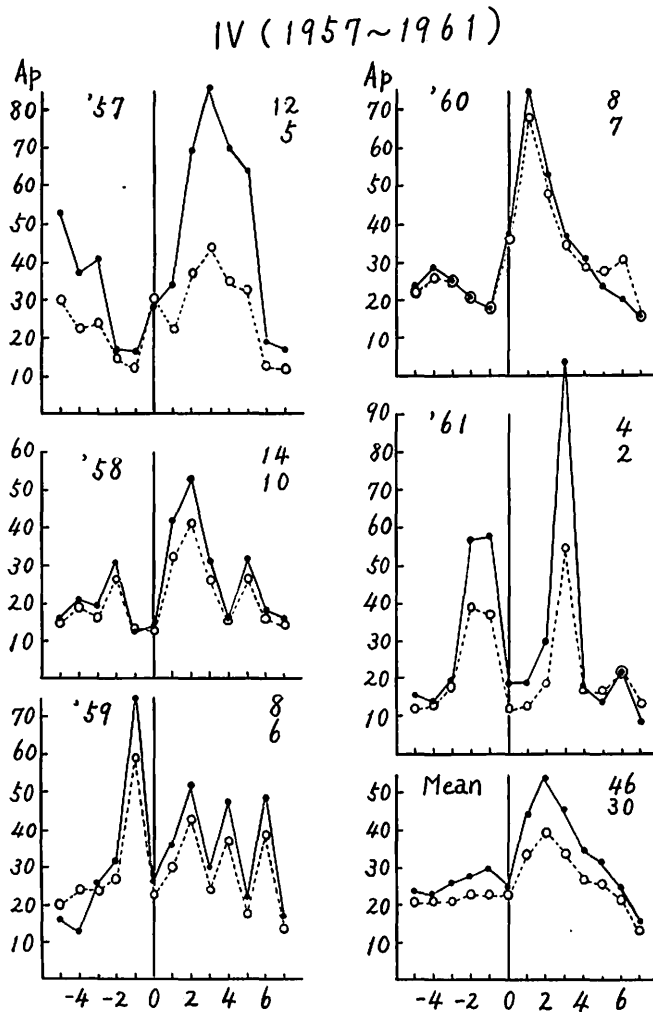


Fig. 4. Mean magnetic activity showed by Ap indices from 5 days before to 7 days after all days on which Type IV solar radio outbursts occurred during 1957~1961.

第4図には Type IV の outbursts と地磁気嵐との関聯が示されている。白丸および黒丸の關係は第3図と同様であるが、黒丸のピークが Type II outbursts の時に比べかなり大きいのが目立つ。又黒丸のピークのあらわれている所で白丸もピークを示している。これは Type IV の outbursts の65%が地磁気嵐をともなっているためで、その確率の大きい1960年ではほとんど黒丸と白丸とが一致している。この傾向は第5図の Type II+IV と地磁気嵐との関聯においても同様である。

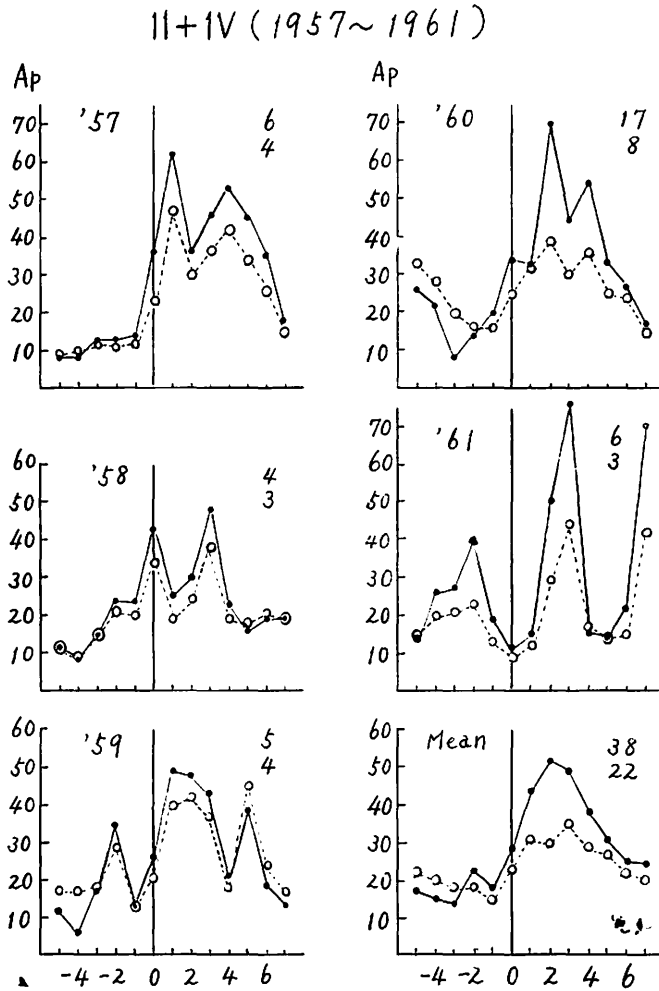


Fig. 5. Mean magnetic activity showed by A_p indices from 5 days before to 7 days after all days on which Type II accompanied by Type IV solar radio outbursts (Type II+IV) occurred during 1957~1961.

§4 フアレーの重要度と地磁気嵐

前述した如く、H. W. Mewton⁽⁵⁾によれば重要度 3+ の大きなフレアーと地磁気嵐の発生頻度とは大変よい相関を示すが、重要度 2 或いは 1 との対応はよくないことが示されている。

ここでは、sfe, Type II の outbursts, Type IV の outbursts および Type II+IV の outbursts をおこしたそれぞれのフレアーの重要度と A_p インデックスの関聯をそれらの先駆現象のおこる 5 日前から 7 日後まで調べてみた。

第 6 図左側は sfe をおこしたフレアーであり、右側は Type II の outbursts をおこしたフレアーと A_p インデックスとの関聯を図示したものである。これらを見るといずれも重要

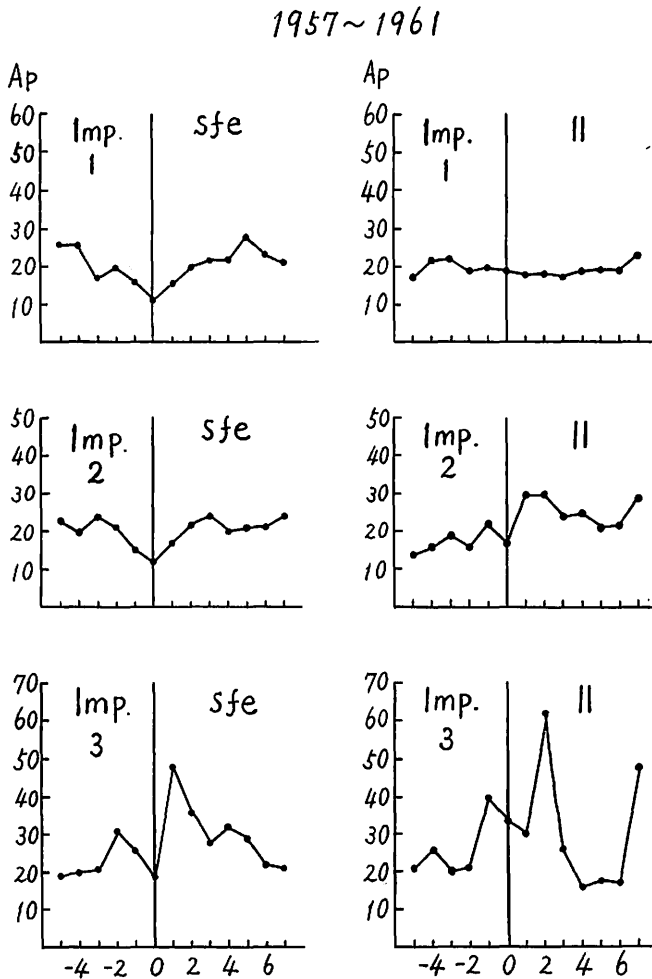


Fig. 6. Mean magnetic activity (A_p indices) classified by importances of solar flares from 5 days before to 7 days after all days on which sfe's and Type II solar radio outbursts occurred during 1957~1961.

度3においては1~2日後にピークがあらわれているが、重要度2あるいは1においては明瞭な傾向があらわれていない。

第7図左側は Type II と Type IV の両方の outbursts をおこしたフレアーであり、右側は Type IV だけの outbursts をおこしたフレアーと A_p インデックスとの関聯を图示したものである。これらを見ると重要度1においては明瞭な傾向は認められないが、重要度2および3においては明瞭なピークがあらわれている。これは特筆すべきことで Type IV の outbursts をともなった場合は Type II の outbursts のあるなしにかかわらず他のフレアーとは異なって、重要度が2のフレアーでも地磁気嵐をおこすことがみられる。

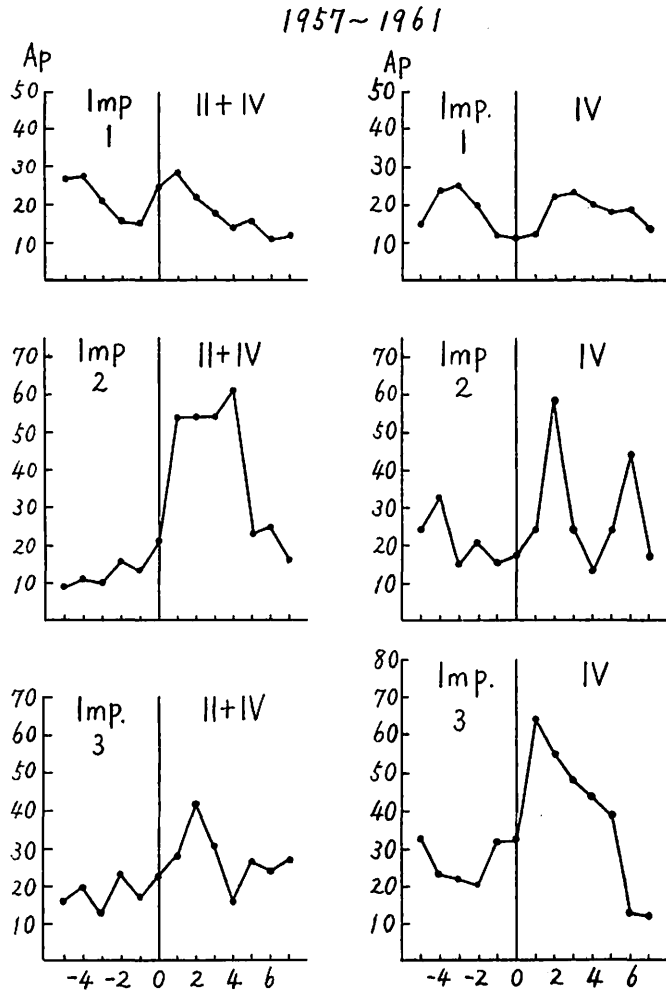


Fig. 7. Mean magnetic activity (A_p indices) classified by importances of solar flares from 5 days before to 7 days after all days on which Type II+IV and Type IV solar radio outbursts occurred during 1957~1961.

§5 先駆現象としての sfe および outbursts

地磁気嵐が何時どれ位の大きさであられるかを予測することは現状では無理である。しかし将来においては人工衛星による常時観測とあいまって定量的な予測をすることもかなりの精度で可能であろう。ここでは地磁気嵐の先駆現象としての sfe および outbursts と A_p インデックスとの関聯を1957~1961年の5年間の平均値によって調べてみることにする。

第8図右側の上の数字は5年間に観測された sfe, Type II, Type IV, Type II + IV の outbursts の発生回数を示し、それぞれ、287, 115, 46, 38となりその平均の A_p インデックスがそれらの現象のおこる5日前から7日後まで白丸で示される。sfe および Type II の

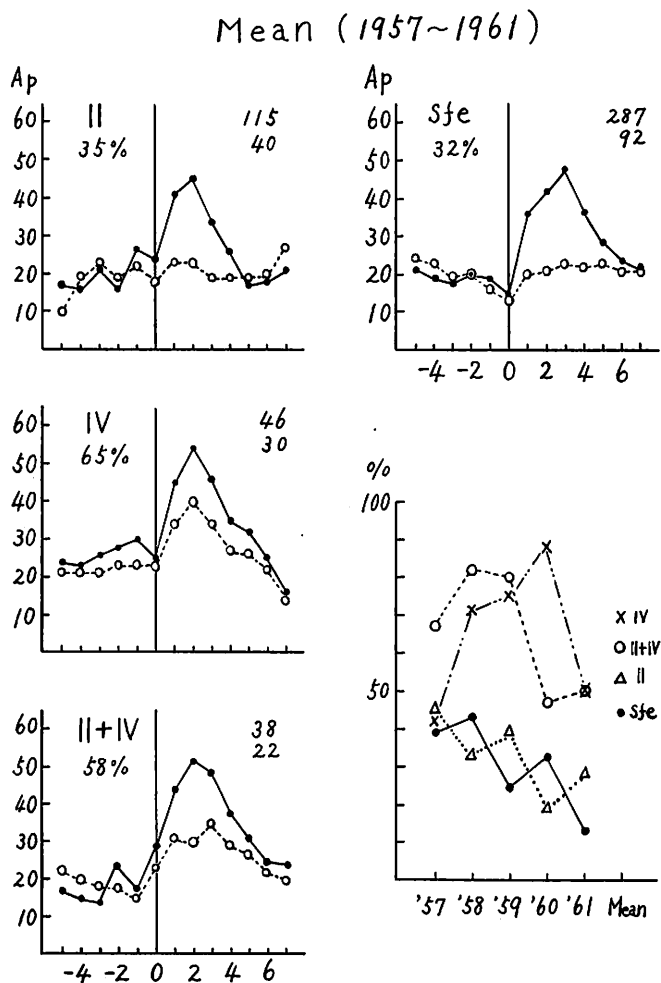


Fig. 8. Statistical examination of the probability (1957~1961) of a magnetic storm with A_p indices ≥ 30 developing within 4 days after the time of occurrence of a sfe, Type II, Type IV and Type II+IV solar radio outbursts, respectively.

outbursts においては前後で明瞭な差が認められないが, Type IV および Type II+IV の outbursts においては2~3日後にはっきりしたピークを示している。又下の数字は先駆現象がおこってその後 A_p インデックスが30以上の地磁気嵐がおこった回数を示し, それぞれ 92, 40, 30, 22 となりその平均の A_p インデックスが5日前から7日後まで黒丸で示される。sfe では3日後に他の現象では2日後にピークがあらわれており, Type IV および Type II+IV では, sfe および Type II に比べピークの値が大きい。

第8図の左側の%で示されている値は先駆現象があつて A_p インデックスが30以上の地磁気嵐のおこった発生頻度で, それぞれ32%, 35%, 65%, 58%を示し, 明らかにこれらのものが先駆現象の役割を果していることがわかる。さらに Type IV および Type II+IV の outbursts においては, sfe および Type II outbursts の2倍近い確率を示しているのが特徴的である。

第8図右下には1957~1961年の5年間における地磁気嵐の発生頻度の推移が, 先駆現象別に表示されている。sfe は黒丸, Type II は白三角, Type IV は×印, Type II+IV が白丸で示される。これをみていえることは, sfe および Type II outbursts が先駆する場合は, 地磁気嵐の発生する確率がだんだん減少し, 太陽活動の活発だった1957~1958年で40%前後の確率を示すが1960~1961年では半分の20%前後の確率になっている。これに反し Type IV の outbursts では1957年が42%で一番小さく, 1960年の87%まで次第に増加し, 1961年に50%まで急に減少しているのがみられる。Type II+IV の outbursts においては Type IV の outbursts の時のみとはやや異なるが, 太陽黒点極大の年よりは遅れて1958年, 1959年に地磁気嵐をとまなう確率が增大しており, 明らかに sfe, 或いは Type II の outbursts の場合とは異なることがうなずかれる。

§6 太陽黒点周期と sfe にともなわれた地磁気嵐の発生頻度

M. A. Ellison (1958)⁽⁴⁾も指適しているように, 太陽黒点の極小期附近においては sfe の発生回数も少なく, sfe にともなわれた地磁気嵐のおこる回数も少ないであろうことは想像できるが, その頻度は一体どのように変化するものであろうか。それを調べるために第9図には1932~1961年の30年間における柿岡で観測された sfe と A_p インデックスが30以上の sfe にともなわれた地磁気嵐の発生回数(下図)とその発生頻度が%で示されてい

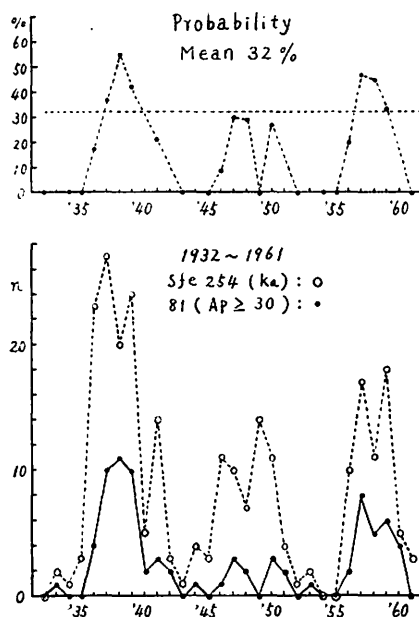


Fig. 9. Relation between 254 sfe's reported at Kakioka and associated 81 magnetic storms with A_p indices ≥ 30 (lower figure), and variation of each probability during 3 solar cycles 1932~1961 (upper figure).

る(上図)。sfe の数は第1図に示されたものと同じであるが、地磁気嵐の発生回数は明らかに第1図のそれに比べて少ない。これは第1図の方は sfe が先駆したものと同先駆しないものとの全ての地磁気嵐をふくんでいることと、storm range のより小さい地磁気嵐まで選ばれておるためである。このため第1図では sfe の発生回数の多い1933~1943年の第1サイクルで、地磁気嵐の発生回数が1944~1954年の第2サイクル、および1954~1964年の第3サイクルより少なくなっているが、第9図において示されるように、 A_p インデックスが30より大きくしかも sfe にともなわれた地磁気嵐の発生回数は第1サイクルの方が多く、次は第2サイクルで、第3サイクルが一番回数が少なくなっておりほぼ sfe の発生回数に比例している。

第9図上は下図に示された sfe と A_p インデックスが30以上の sfe にともなわれた地磁気嵐の発生頻度が%で示されている。これを見ると明らかなように発生頻度は黒点数の極大の時大きな値を示しており、極小期附近においては0を示して太陽黒点周期に従って変動しているのがわかる。

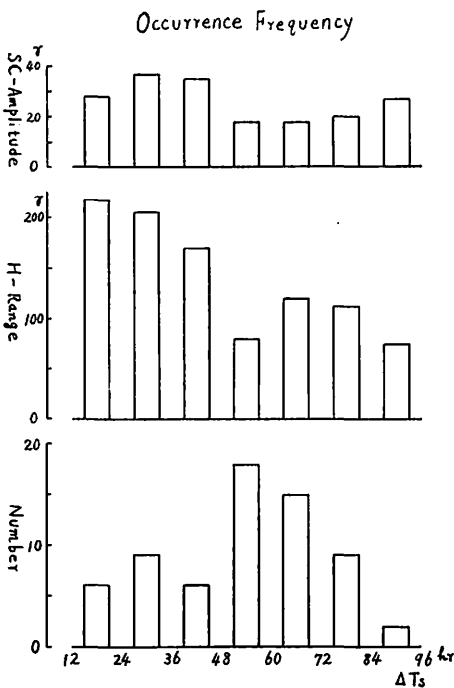


Fig. 10. Occurrence frequency of the time interval (ΔT_s hr) between a sfe and a sudden commencement (lower figure), mean range of horizontal component of magnetic storm (middle figure) and mean amplitude of horizontal component of sudden commencement (upper figure) at Kakioka classified by 12hr time intervals.

§7 太陽微粒子流の速度と地磁気嵐の特性

sfe の開始時刻から急始地磁気嵐のおこるまでの時間 ΔT_s は太陽—地球間を太陽微粒子流がどんな速度で飛できたかをあらわしている。第10図は ΔT_s の時間が12~96時間まで12時間おきの間隔で7段階にわけて横軸に示され、これに対して縦軸は下からそれぞれ地磁気嵐の発生回数、水平分力の地磁気嵐較差および急始立上りの水平分力の大きさが示されている。 ΔT_s は48~60時間のものが多く18回で次は60~72時間のものが15回で、これら2~3日の間におこった地磁気嵐が全体61回の54%をしめている。又2日以内におこったものは34%である。

地磁気嵐の水平分力の較差は逆に ΔT_s の時間が小さいものほど大きくなっており、太陽—地球間をはやい速度でやってくる磁気雲ほど大きな地磁気嵐をおこしていることがわかる。これは最近 space probes (Mariner II) による太陽プラズマ流の直接観測の結果太陽風の速度と地球上における地磁気活動度 ΣKp の間にはよい相関がみられることがわかったが⁽⁷⁾、柿岡における地磁気嵐の水平分力の較差は D_{st} の方が大きく寄与するのに対

し、 Kp インデックスの方はむしろ Ds 或いは Dp の発達が寄与すること、および測定された期間が Aug. 1962~Jan. 1963 の黒点極小期附近における期間でプラズマ流の速度が27日の回帰性を示し、M-region によっておこされる地磁気嵐と密接に關聯していることを除けば、大体同じ傾向を示している。

又急始の立上りの大きさも $4T_9$ が2日以内の速度のはやいものの方が大きくなっているのが注目される。

§8 む す び

以上のべてきたことを要約すると次のようになる。

- (1) sfe がおこるとその約30%が4日以内に急始地磁気嵐をおこす。そして48~72時間の間におこるものの数が他のものより多く全体の54%をしめている。
- (2) sfe の発生回数は太陽黒点数の極大の年より2年遅れ、地磁気嵐の発生回数は大体極大の年か1年遅れて最大となるが、sfe がおこった後4日以内に地磁気嵐をとまなう確率はほぼ極大の年附近で最大となり、極小期附近の年においては0になってしまう。このため D. Van Sabben, R. A. Wattson の研究は太陽黒点極小期附近においてなされたため sfe と地磁気嵐との關聯が見出せなかったであろうという M. E. Ellison の議論を裏づける結果になった。
- (3) 予報的観点から地磁気嵐の先駆現象としておのおのをみてゆくと、Type IV の outbursts との対応が最も確率がよく65%を示し、次は Type II と IV が続いておこったもので58%、Type II outbursts だけの場合は sfe の場合とほぼ同じ35%を示すだけとなり、Type IV の outbursts と地磁気嵐との対応が他に比べてよいことおよび活動度が大きいことがたしかめられた。
- (4) フレアーの重要度との關聯は sfe および Type II の場合には重要度3だけが地磁気嵐と対応するのに反し、Type IV および Type II+IV においては重要度3および2が地磁気嵐との対応を示している。これからみても Type IV の outbursts と地磁気嵐との關聯は特別のものがあることがうなずかれる。
- (5) 地磁気嵐の大きさ或いはその活動度は、重要度3或いは2のフレアーがおこり、そのフレアーから急始地磁気嵐が発生するまでの時間が48時間以内の短いもので、Type IV の outbursts にともなわれたものが最大となる。IGY 期間中の Sept. 13 (1957), Feb. 11 (1958), July 8 (1958) におこった3つの極大地磁気嵐はみなこの条件をみたしている。

謝 辞

終りにこの研究をまとめるにあたって種々ご援助をいただいた地磁気観測所長柳原一夫氏ならびに本文の校閲をなされ御助言をいただいた観測課長久保木忠夫氏に厚く御礼申し上げます。(昭和44年4月)

文 献

- (1) Ohshio, M., N. Fukushima, and T. Nagata (1963): Solar flare effect on geomagnetic variation, *Res. Ionos. Space Res. Japan*, Vol. 17, No. 2, p. 77.
- (2) D. Van Sabben. (1953): Solar flare effects and magnetic storms *J.A.T.P.* Vol. 3, No. 5, p. 270.
- (3) R. A. Wattson (1957): Magnetic activity following a solar flare *J.A.T.P.* Vol. 11, No. 1, p. 59.
- (4) M. A. Ellison (1958): *J.A.T.P.* Vol. 12, p. 214.
- (5) Newton, H. W. (1943): Solar flare and magnetic storms, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, Vol. 103, p. 244.
Newton, H. W., and Milson, A. S. (1954): The distribution of great and small geomagnetic storms in the sunspot cycle. *Journ. Geophys. Res.*, Vol. 59, p. 203.
- (6) A. Maxwell, M. P. Hughes, and A. R. Thompson (1963): Catalog of Type II (slow-Drift) and Type IV (continuum) Solar Radio Bursts. *Journ. Geophys. Res.*, Vol. 68, No. 5, p. 1347.
- (7) Snyder, C. W., M. Neugebauer, and U. R. Rao (1963): The solar wind velocity and its correlation with cosmic-ray variations and with solar and geomagnetic activity, *Journ. Geophys. Res.*, Vol. 68, No. 24, p. 6361.

On the Relation between the Solar Flare Effects and associated Geomagnetic Storms

M. NAGAI

Abstract

It has been suggested that the occurrence of a solar flare effect (sfe) in the magnetogram is an indication that the flare is capable of producing a magnetic storm which will usually follow within the 2 or 3 days.

In here, evidence is examined which suggests that either there is no increase of magnetic activity due to a sfe or that the increase is a significant event. A statistical investigation of the connection between sfe and magnetic storm in this present analysis gives positive result in some 32% of sfe which shows increase of magnetic activity within the 4 days, against two studies of D. Van Sabben (1953) and R. A. Wattson (1957).