

統計的にみた地磁気嵐の諸特性

永井正男

概要

1924~81年の柿岡および1958~81年の女満別・鹿屋における地磁気嵐の資料を使い、地磁気嵐の諸特性を統計的に調査した。さらにこれらの結果を吟味するために、1868~1981年の IAGA の SSC の資料を使って比較検討した。

特筆すべき結果は次の通りである。

- 1) 柿岡における SSC の発生頻度の日変化は、5~7 時の早朝に極小を示し、9時に急増する。そして18時までの昼間で多く、夜間から朝方にかけて少ない。これを IAGA の資料による、同期間の日変化と比較すると、両者ともほぼ似た変化を示す。
- 2) 柿岡における SC の振幅 $\Delta H(nT)$ の日変化は、夜間が大きく、午前 8~10時に極小となる。また女満別では、極大は柿岡・鹿屋より大きく、極小は柿岡・鹿屋より小さい。すなわち、北へ行くほど日変化の振幅が大きいことから、高緯度における SC の二つの電流渦による $D_s(SC)$ の影響が考えられる。

§1. はしがき

地磁気嵐は大別して2種類にわけられる。1つは急始磁気嵐 (SSC) で、フレアーによって起され、急始をともない太陽黒点数極大期に多く発生して、散発的である。またIV型のアウトバーストをともなった場合には、そうでない場合より D_{st} の発達に明瞭で大きな storm range を示すのが特徴である。他の1つは緩始磁気嵐 (Sg) で、コロナルホールから流出する高速の太陽風によって起され、急始をとまわず27日の回帰性を示し storm range も余り大きくはない。

ここでは第一報として、柿岡における1924~81年の58年間および女満別・鹿屋における1958~81年の24年間の地磁気嵐の資料を使い、太陽黒点周期との関連・季節変化・日変化等について、統計的に地磁気嵐の諸特性を調査した。

さらにこれらの結果を比較検討するため、1868~1981年の114年間の IAGA の SSC の資料を使い、長期間の解析を行なった。

§2. 柿岡における地磁気嵐の諸特性

第1図には1924~81年の柿岡における SSC および Sg の storm range (H 較差) による発生頻度分布が示される。SSC, Sg とも 100~150 nT のものが最も多く、50~100 nT のものがその次になっている。しかも SSC では 60%, Sg では 90% が 50~150 nT の範囲に含まれている。そして storm range が大きくなるにつれて数が少なくなり、SSC で

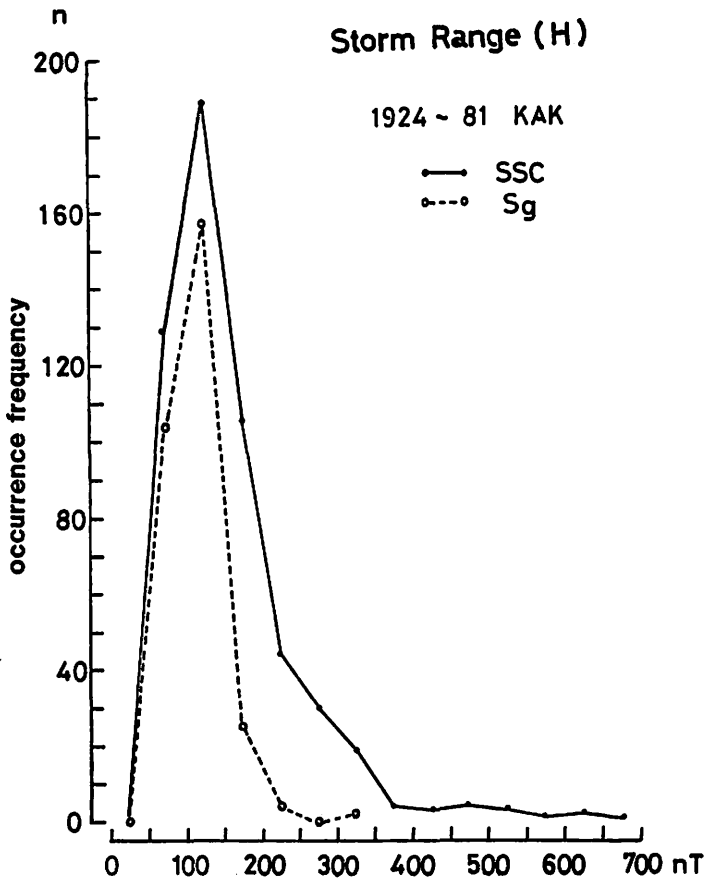


Fig. 1. Frequency distribution of storm-ranges of ssc and Sg (1924-81, Kakioka).

は 350 nT 以上のものは 5%，500 nT をこすものは 1% となっている。これに対し Sg は 200 nT をこすものは極端に少なくなっているのが特徴的である。

第 2 図には 1924~81 年の柿岡における急始 (SC) の振幅 ΔH の頻度分布が示される。10~30 nT で 60% をしめ、50 nT 以上のものは少なくなり 5% となっている。

第 3 図には ΔH と storm range との関係が示される。 ΔH が大きいものは storm range も大きい。相関係数は 0.5 である。

第 4 図には 1924~81 年の柿岡における SC の継続時間 ΔT の頻度分布が実線で示される。2~5 分のものが 85% で大部分をしめ、10 分以上のものは 1% で極端に少なくなっている。また第 4 図には継続時間別の平均の振幅が点線で示される。3 分に極大を示し、1~7 分までは継続時間の頻度分布に比例して増減している。7 分以上では継続時間の頻度分布が急減少するにもかかわらず、振幅の方はそれほど小さくはならない。

第 5 図には初相の継続時間の発生頻度分布が示される。SSC は継続時間の短いもの

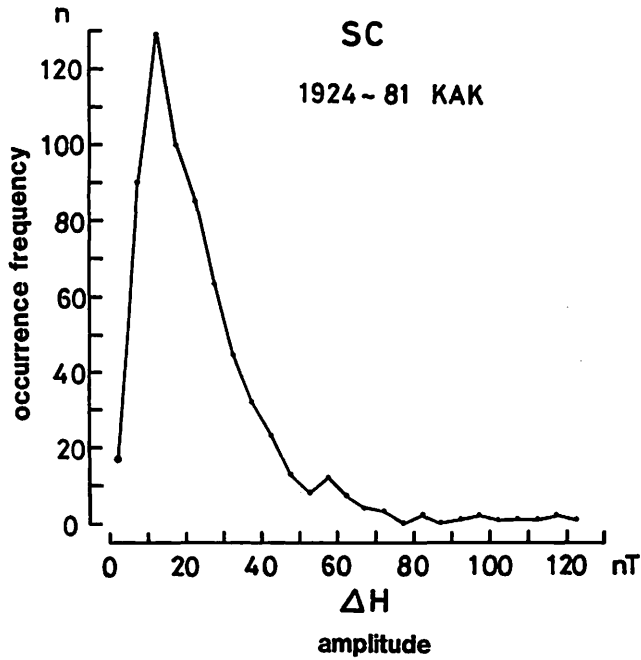


Fig. 2. Frequency distribution of magnitude of SC (1924-81, Kakioka).

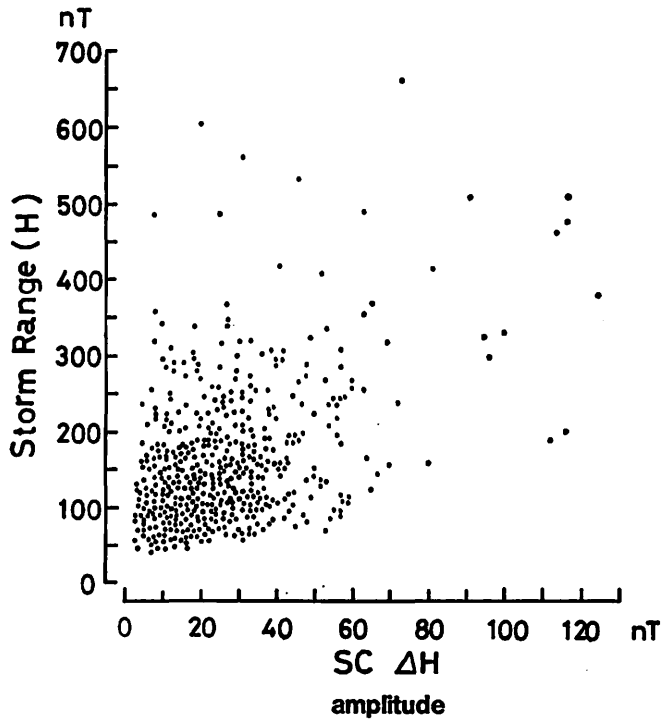


Fig. 3. Relation between magnitude of SC and storm-range of ssc (1924-81, Kakioka).

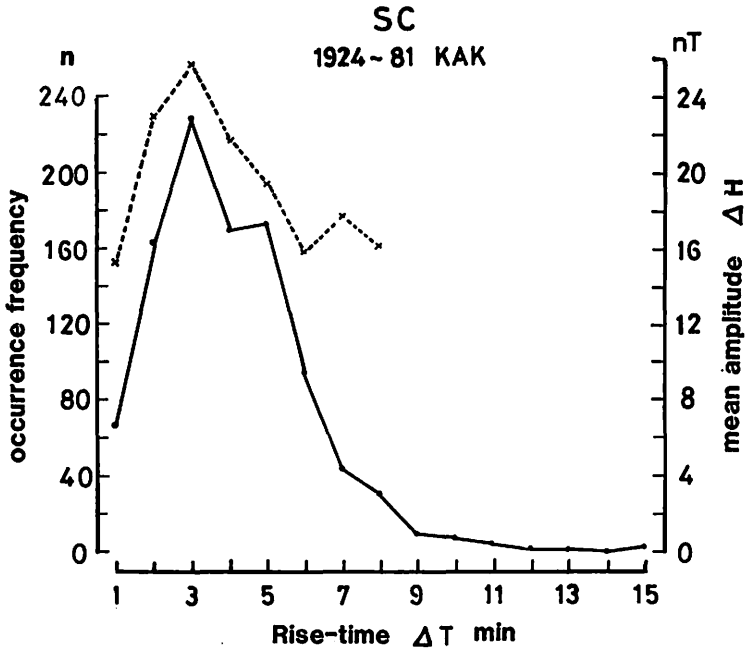


Fig. 4. Frequency distribution of rise-time (real line) and mean magnitude (dotted line) of SC (1924-81, Kakioka).

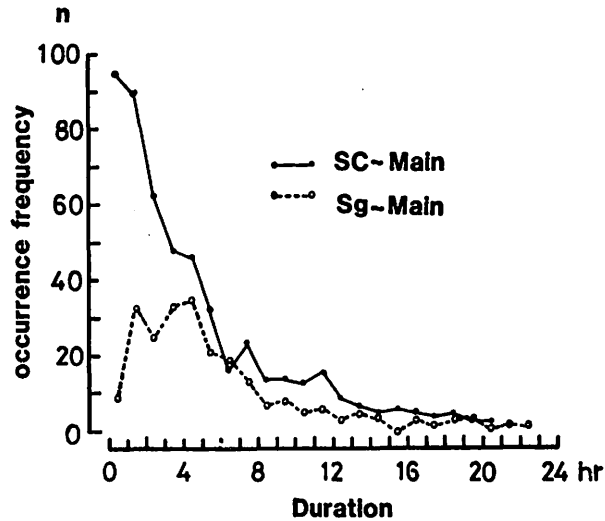


Fig. 5. Frequency distribution of duration of initial phase of ssc and Sg (1924-81, Kakioka).

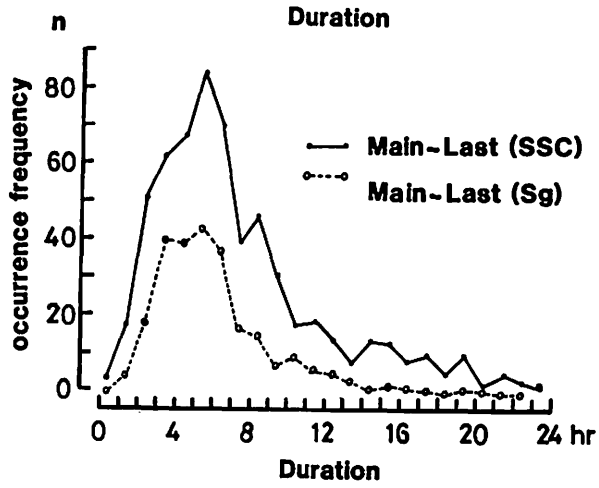


Fig. 6. Frequency distribution of duration of main phase of ssc and Sg (1924-81, Kakioka).

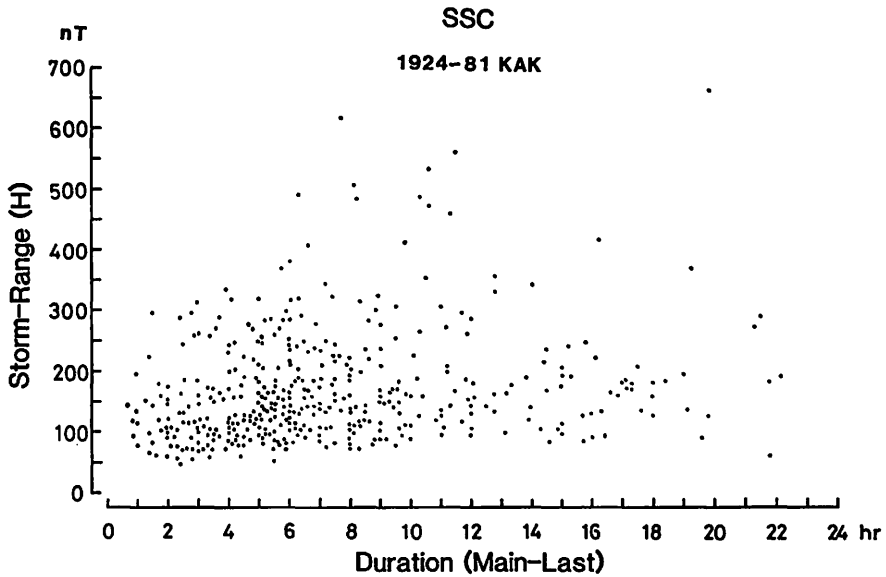


Fig. 7. Relation between storm-range of ssc and duration of main phase (1924-81, Kakioka).

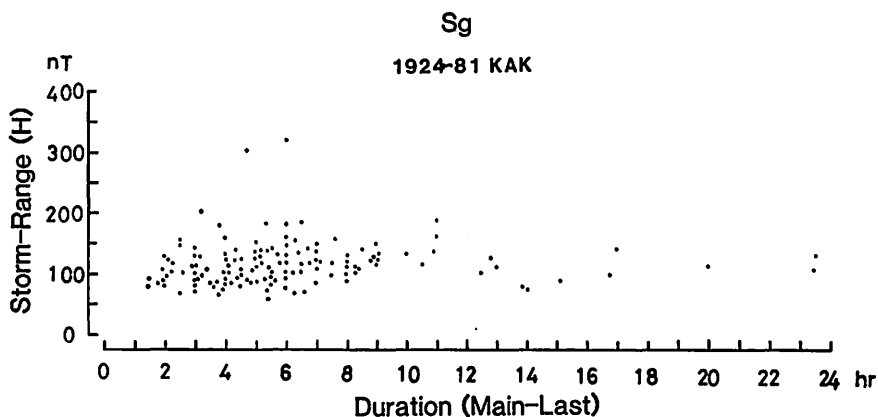


Fig. 8. Relation between storm-range of Sg and duration of main phase (1924-81, Kakioka).

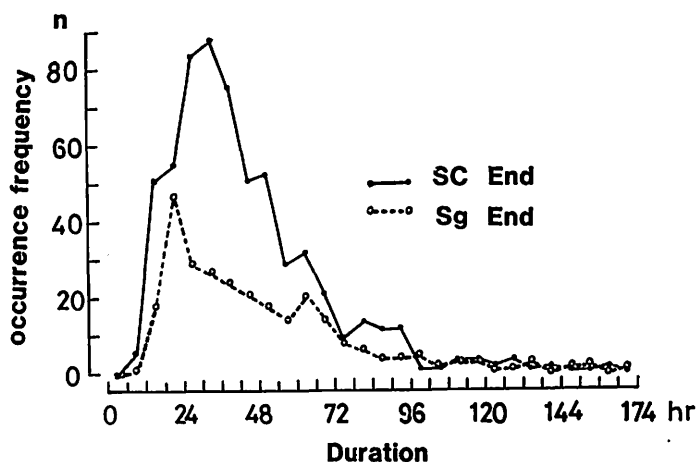


Fig. 9. Frequency distribution of duration of storm time (beginning-ending) of SSC and Sg (1924-81, Kakioka).

程数が多くなり、長いもの程少なくなっている。一方、Sgは1~5時間のものが多く、幅広い時間帯になっているが、これはSgの開始時刻がはっきりしないためと、SSCほど急速に初相が発達しないためよくその特性をあらわしている。

第6図には主相の継続時間の発生頻度分布が示される。SSCの主相の継続時間の発生頻度は5~6時間のところに極大があらわれ、2~7時間の所で56%をしめている。一方、SgはSSCに比べ、極大があまりはっきりせず幅広くなっている、3~7時間継続するものが63%をしめて発生頻度が多くなっている。SSCとSgの特性の違いは初相ほどはっきりはしていない。

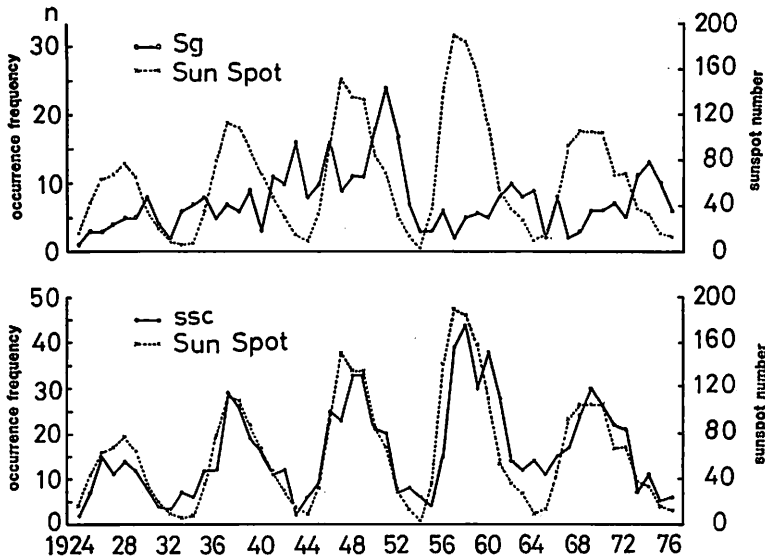


Fig. 10. Relation between annual occurrence frequency of geomagnetic storms (ssc and Sg) and sunspot cycle (1924-76, Kakioka).

第7図には SSC の主相の継続時間と storm range の関係が示される。相関係数は思ったよりも小さく、0.28でやや正の相関が見られる。

第8図には Sg の主相の継続時間と storm range の関係が示される。storm range は継続時間の長短にはあまり関係なく、バラツキは見られるがほぼ一定であり、SSC に比べて特徴的である。

第9図には地磁嵐の継続時間の頻度分布が示される。SSC・Sgとも72時間をこえるものは少くなり、一般に考えられているように、SgがSSCに比べて継続時間の長いものが特に多いという結果にはなっていない。

§ 3. 地磁嵐の諸特性と太陽黒点周期との関係

第10図には1924~76年の楠岡における SSC および Sg の発生頻度と太陽黒点周期との関係が5サイクルにわたって示されている。SSC と太陽黒点周期とは割合よい相関を示し、第11図に示すように黒点数が多くなれば SSC の発生回数もほぼ直線的に増加している。相関係数は0.87である。

しかし、Sg の発生頻度は第12図に示すように、太陽黒点数との関係はバラツキが大きく、相関係数は-0.15である。第10図に示すように Sg の発生頻度は太陽黒点周期の極大期を過ぎた下り坂の途中において多くなっている。そしてサイクル16, 17, 18では黒点数の極大の増加にもなって Sg の発生頻度の極大も次第に大きくなる傾向を示しているが、サイクル19では黒点数が急増加するにもかかわらず、Sg の発生頻度は急減してい

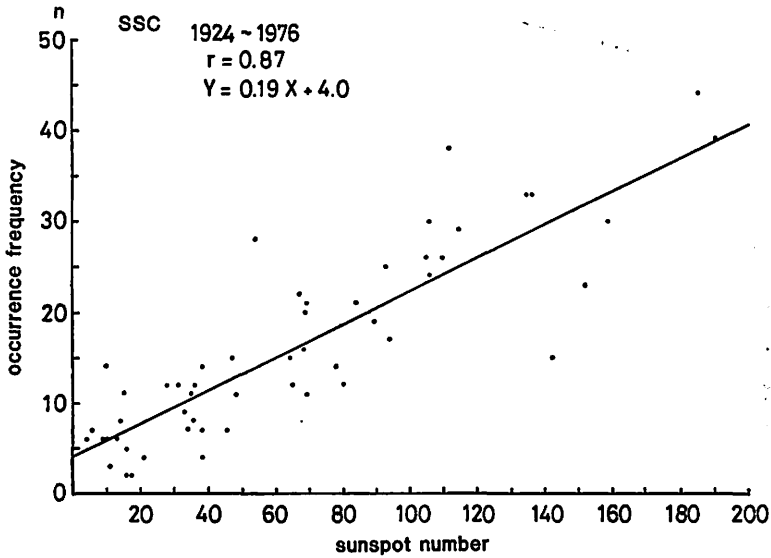


Fig. 11. Correlation coefficient between annual occurrence frequency of ssc and sunspot-number (1924-76, Kakioka).

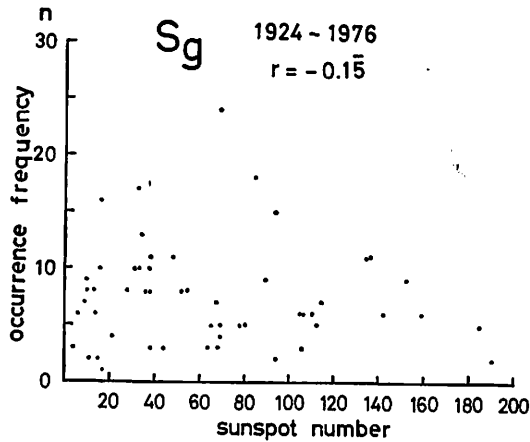


Fig. 12. Correlation coefficient between annual occurrence frequency of Sg and sunspot-number (1924-76, Kakioka).

る。これは SSC に比べて特筆すべきことである。その後はサイクル 20, 21 でやや増加の傾向にあるが、サイクル 16, 17, 18 で示したと同様の経過を辿るかどうかは興味深い。

第13図には 1924~81 年の柿岡における SC* の発生頻度と太陽黒点周期との関係が示される。太陽黒点周期の極大期に多く、極小期に少ない。相関係数は 0.63 で SSC ほど顕著ではないが正の相関が見られる。

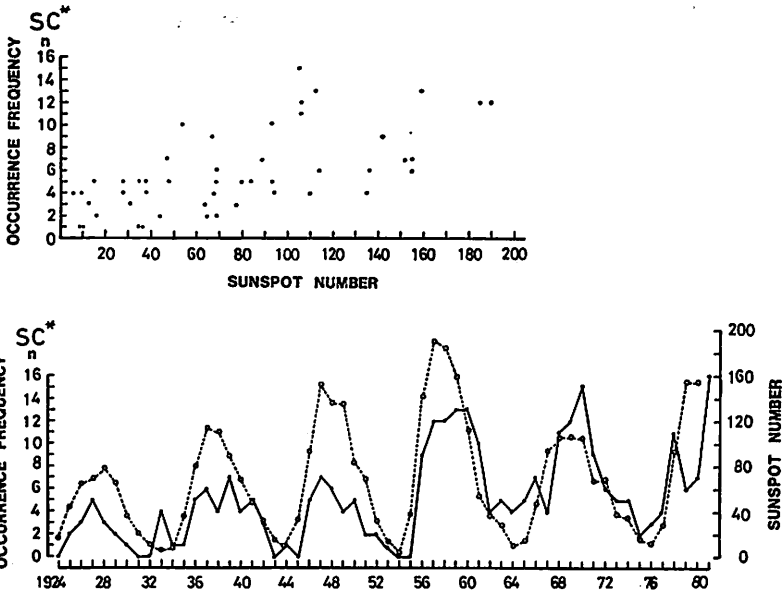


Fig. 13. Relation between annual occurrence frequency of SC* and sunspot cycle (1924-81, Kakioka).

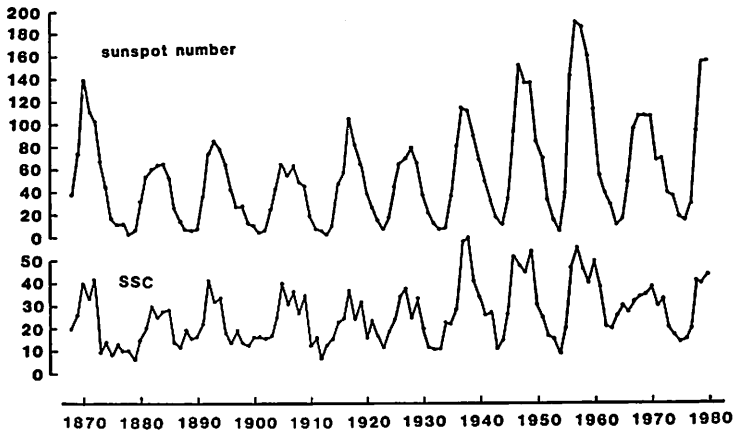


Fig. 14. Relation between annual occurrence frequency of ssc and sunspot cycle (1868-1980).

第14図には柿岡の結果と比較するために、1868～1980年における IAGA の SSC の年発生頻度と太陽黒点周期の関係が10サイクルにわたって示される。SSCの発生頻度と太陽黒点数とは各サイクルともたいへんよい相関を示し、第1表にみられるように相関係数は0.76～0.92を示している。第1表にはまた SSC と太陽黒点数の直線回帰係数も示される。サイクル16, 17, 18, 19では太陽黒点数の極大の値が次第に大きくなっているが、SSC

Table 1. Relation between occurrence frequency of ssc and sunspot-number for each cycle (1868-1975, cycle 10-20). $Y=A+BX$, Y: ssc, X: sunspot number

cycle no.	A	B	r
11	5.88	0.25	0.88
12	8.80	0.28	0.86
13	11.01	0.25	0.78
14	9.62	0.41	0.92
15	12.86	0.20	0.87
16	8.54	0.32	0.88
17	8.86	0.38	0.92
18	11.75	0.27	0.91
19	14.51	0.20	0.89
20	17.96	0.15	0.76
11-20	10.84	0.25	0.84

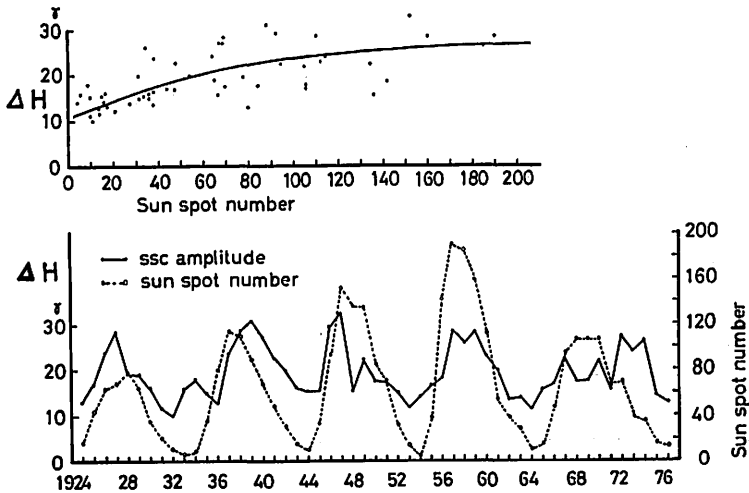


Fig. 15. Relation between magnitude of SC and sunspot cycle (1924-76, Kakioka).

の発生頻度は各サイクルの極大の値には比例せず、17サイクルが一番多い。19サイクルでは黒点数の極大が他のサイクルより大きいにもかかわらず、SSCの発生頻度はこれに比例して多くはなっていない。係数Bの値をみると、最も大きいのはサイクル14の0.41であ

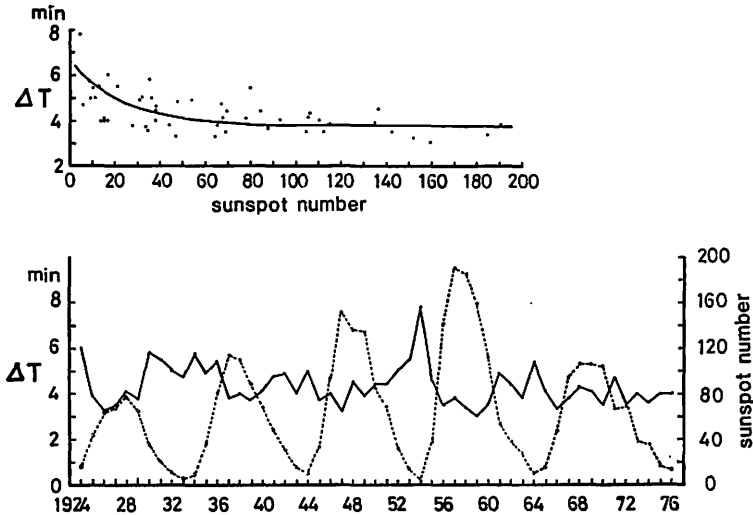


Fig. 16. Relation between rise-time of SC and sunspot cycle (1924-76, Kakioka).

る。偶数サイクルが奇数サイクルに比べ、 B の値が大きくなっている。但しサイクル20は B の値が0.15で最も小さく異常と思われる。

第15図には1924~76年の柿岡におけるSCの振幅 ΔH (nT)と太陽黒点周期(下段)および太陽黒点数(上段)との関係が示される。太陽黒点周期の極大期に振幅は大きくなり、極小期に小さくなる傾向がみられるが、サイクル19で特に目立つほど大きくはなっていない。また1972, 73, 74年では太陽黒点数に比べて大きくなっているのが目立つ。全体を通じて太陽黒点数との関係は二次曲線で示される。

第16図には同じ期間の柿岡におけるSCの継続時間 ΔT (min)と太陽黒点周期(下段)および太陽黒点数(上段)との関係が示される。1954年の極小期を除くと、太陽黒点数によってそれほど大きな変動はみられないが、極大期では短く極小期では長くなっており、二次曲線で示される。

第17図には1924~76年の柿岡におけるSSCのstorm rangeと太陽黒点周期(下段)および太陽黒点数(上段)との関係が示される。極小期では小さいが、極大期よりはむしろ極大期になる1~2年前あるいは極大期より2~3年後にピークが見られる。

第18図には同じ期間の柿岡におけるSgのstorm rangeと太陽黒点周期(下段)および太陽黒点数(上段)との関係が示される。全期間を通じて太陽黒点周期および黒点数には関係なく、バラツキは見られるがほぼ一定の変化を示している。これはSSCに比べて特徴的である。

§4. 地磁気嵐の発生頻度の季節変化

第19図には1924~81年の柿岡におけるSSC・Sg・SC*の発生頻度の季節変化が示され

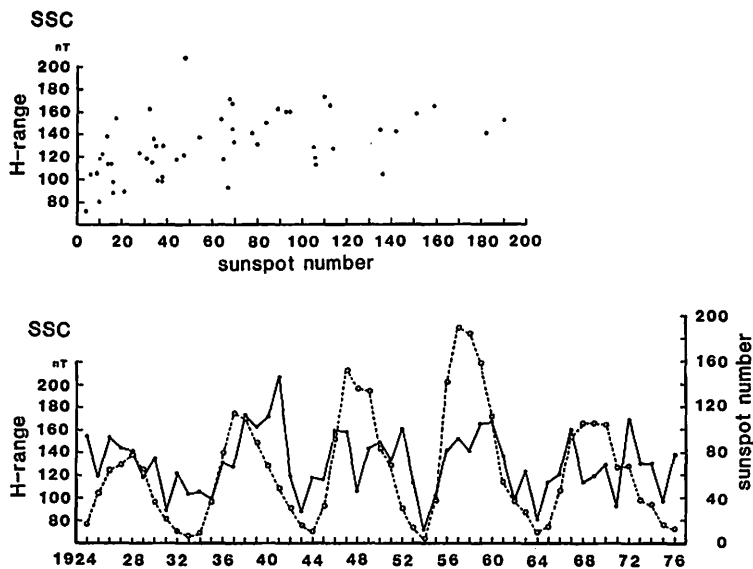


Fig. 17. Relation between storm-range of ssc and sunspot cycle (1924-76, Kakioka).

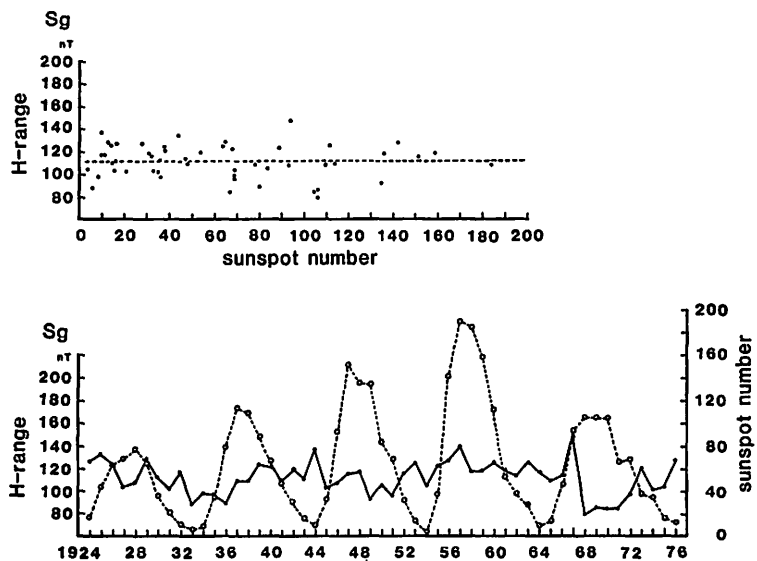


Fig. 18. Relation between storm-range of Sg and sunspot cycle (1924-76, Kakioka).

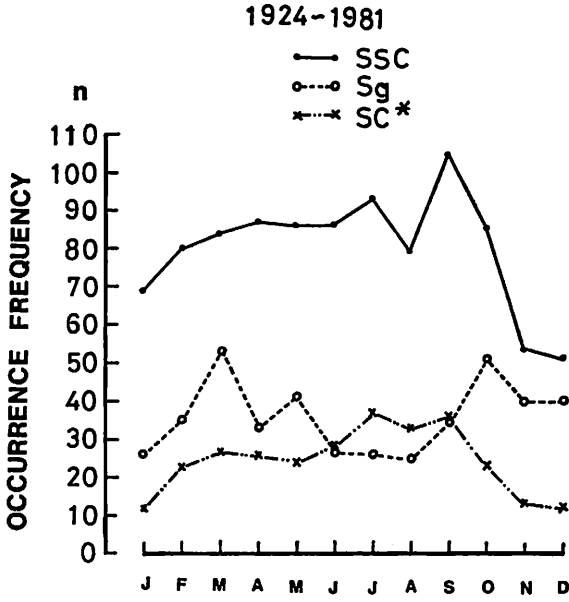


Fig. 19. Seasonal variations of occurrence frequency of ssc, Sg and SC* (1924-81, Kakioka).

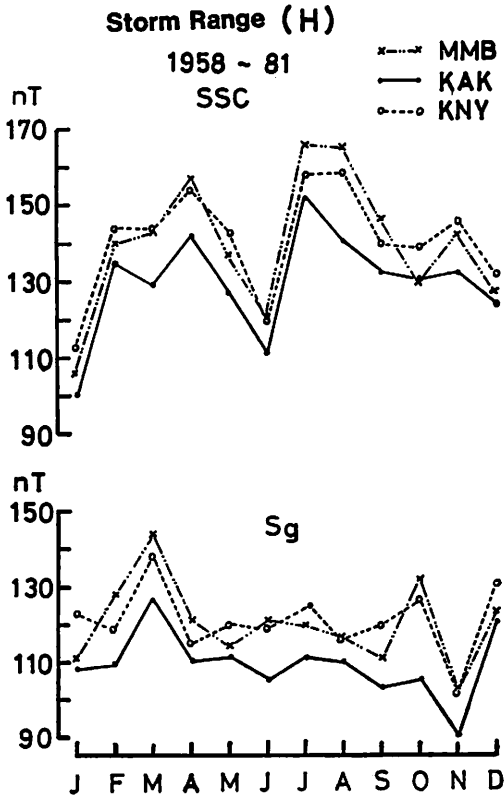


Fig. 20. Seasonal variations of storm-ranges of ssc and Sg (1958-81, Memambe-tsu, Kakioka and Kanoya).

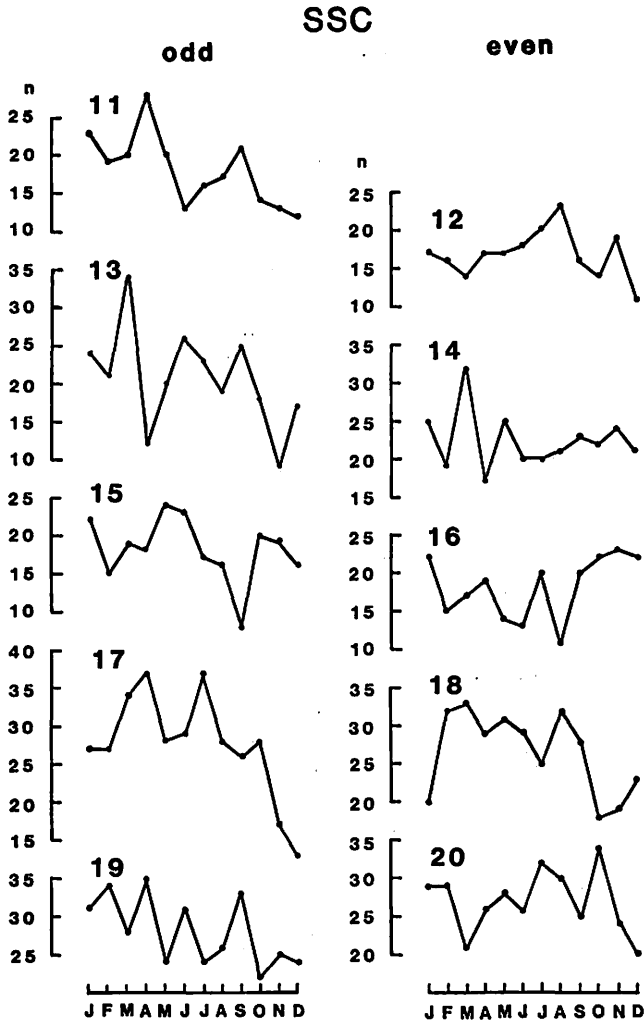


Fig. 21. Seasonal variation of occurrence frequency of ssc for each sunspot cycle (1868-1975).

る。SSC の発生頻度は冬の期間が少なく、9月に最大となり、12月に最小となる。これに反し、Sg の発生頻度は6, 7, 8月の夏の期間が少なく、3月と10月に極大を示している。SC* の発生頻度は SSC の変化と似た傾向を示し、7月・9月で多く、冬の期間が少ない。

第20図には1958~81年の柿岡・女満別・鹿屋における SSC および Sg の storm range の季節変化が示される。SSC と Sg では季節変化の傾向が異なっているのがよくわかる。SSC では6月に極小、4月と7月あるいは8月に極大となり、半年周期の変化を示している。一方、Sg では3月と10月に極大となるが、4~9月ではほぼ一定のなだらかな変化

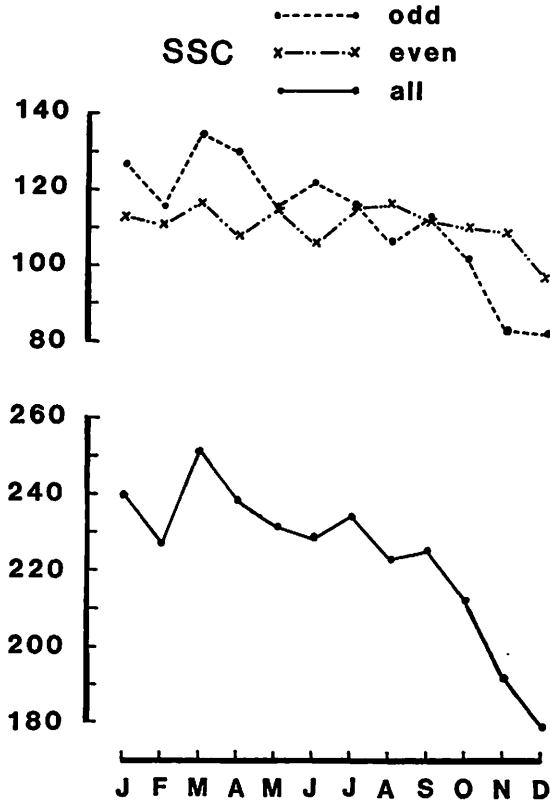


Fig. 22. Seasonal variation of occurrence frequency of ssc for odd and even cycles (1868-1975).

を示し、半年周期の変化は SSC ほどはっきりしていない。また年変化の振幅は SSC よりも小さい。

第21図には IAGA の資料による SSC の発生頻度の季節変化が、サイクル11~20について各サイクルごとに示される。左側は odd サイクル、右側は even サイクルである。各サイクルによってかなり変化がはげしく、季節変化も異なっている。

第22図には SSC の発生頻度の平均の季節変化が示される。3月が最も多く、12月に向かって次第に少なくなっている。これは主として odd サイクルが影響しているためで、even サイクルでは一年を通じて変化が小さい。また第19図に示した柿岡における季節変化と比較すると、柿岡では9月に極大があらわれている。すなわち、いずれも極大が一つしかあらわれず、しかも春と秋とで反対になっていることは、さらに詳細な検討を要する。

第23図には1924~81年の柿岡における SC の振幅 ΔH (nT) および継続時間 ΔT (min) の季節変化が示される。 ΔH は4月と7月に極大を示し、冬の期間で小さい。 ΔT は変化が少なく、一年を通じてほぼ一定である。

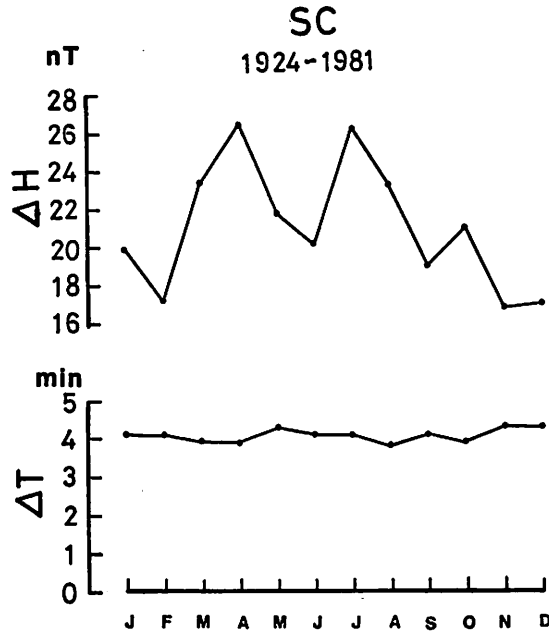


Fig. 23. Seasonal variations of magnitude and rise-time of SC (1924-81, Kakioka).

§ 5. 地磁嵐の発生頻度および SC の日変化

第24図には1924~81年の柿岡における SSC・Sg・SC* の発生頻度の日変化が示される。SSC の発生頻度の日変化は、5~7時の早朝に極小を示し、9時に急増する。そして18時までの昼間に多く、夜間で少ない。これは V.C.A. Ferraro 等が (1951), Cheltenham, Tucson, San Juan, Honolulu, Huancayo, Watheroo の6観測所の SSC の発生頻度の日変化について調べた、13時 LT に極大をもち午後に多いという傾向に一見よく似ている。また Sg の発生頻度の日変化は SSC よりも振幅が大きく、夜間で極めて少ない。13時 LT 付近に極大をもち、9~14時の昼間で多くなっている。SC* も夜間で少なく昼間で多く、ほぼ SSC の傾向と似ている。

第25図には1868~1975年の IAGA の資料による SSC の発生頻度の UT による日変化が示される。SSC は太陽フレアによって起されるものであるから長い期間の統計をとると、日変化はほぼ等分されて、あらわれなくてもよいと考えられる。しかし実際には 0~12時 UT で平均よりも多く、13~24時 UT で平均よりも少ない。1日周期の変動がみられる。また odd サイクル (白丸点線) と even サイクル (×印鎖線) では、odd サイクルが 3~4時 UT に極大となり、21~22時 UT に極小を示すのに対し、even サイクルでは 8~9時 UT に明瞭な極大を示し、18~19時 UT に極小となって、幾分位相のズレが見られるが、取り上げる程の大きな差異はあらわれていない。

第26図上には IAGA の資料と柿岡の SSC の発生頻度の日変化を比較するために、

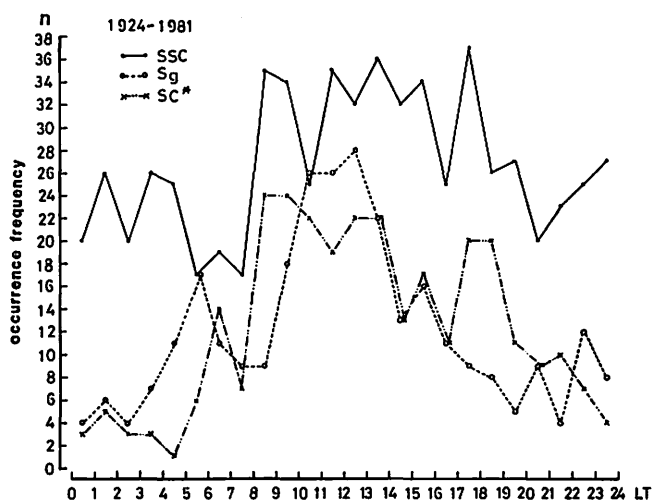


Fig. 24. Diurnal variations of occurrence frequency of ssc, Sg and SC* (1924-81, Kakioka).

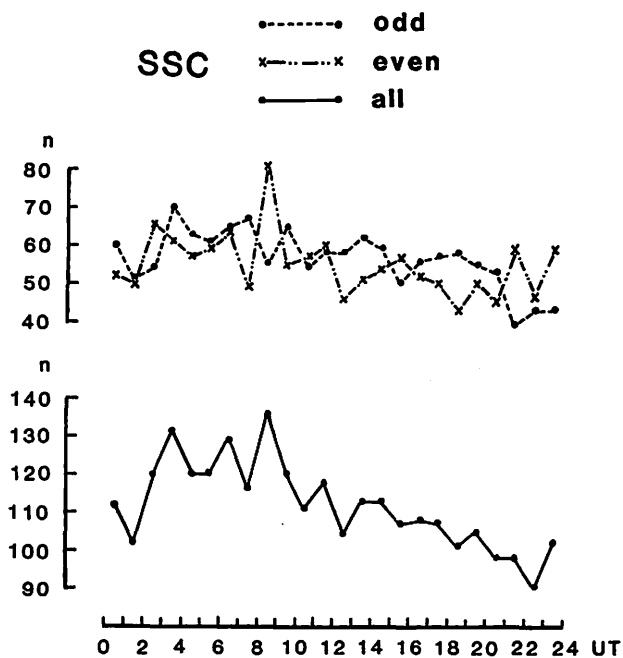


Fig. 25. Diurnal variation (universal time) of occurrence frequency of ssc (1868-1975).

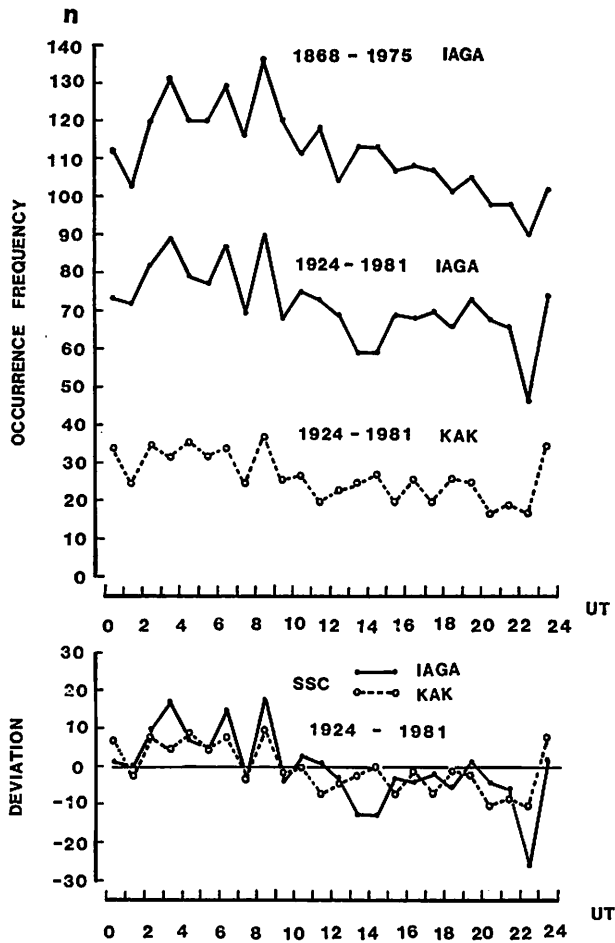


Fig. 26. Comparison of diurnal variation of occurrence frequency of ssc (1924-81, real line: IAGA, dotted line: Kakioka).

1924~81年の結果が示される。また第26図下には、さらにわかりやすくするために各平均値からの偏差が示される。これをみると、IAGAの方がやや振幅は大きいですが、両者ともほぼ0~12時 UT で多く、12~24時 UT で少ないという日変化の傾向が割合よく一致している。すなわち、柿岡では5~7時の早朝に極小を示し、9時 LT に急増して18時 LT まで多く、夜間から朝方にかけて少ないという地方時による日変化は、ほとんどが汎世界的な UT による日変化に依存しており、先に述べた Ferraro 等の経度の異なる6つの観測所の日変化が UT 変化に依存せず、13時 LT に極大をもち午後に多いという傾向はさらによく吟味してみる必要があるように思われる。

第27図には1924~81年の柿岡におけるSCの振幅 ΔH (nT) および継続時間 ΔT (min)

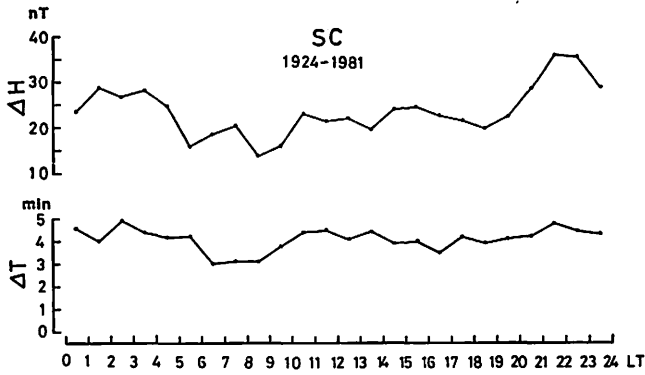


Fig. 27. Diurnal variations of magnitude and rise-time of SC (1924-81, Kakioka).

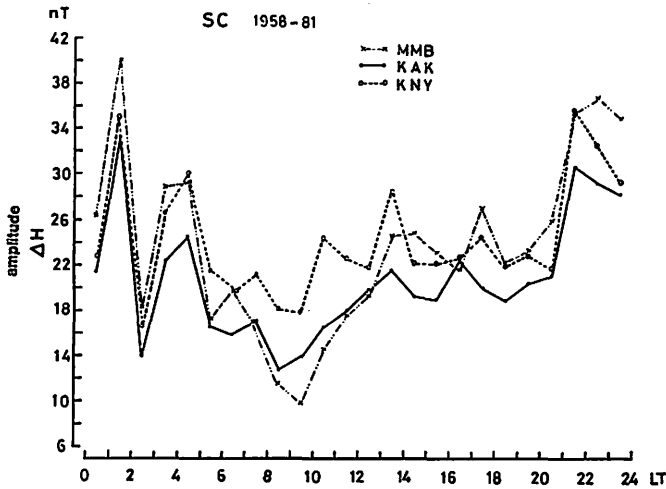


Fig. 28. Diurnal variation of magnitude of SC (1958-81, Memambetsu, Kakioka and Kanoya).

の日変化が示される。 ΔH については、8~9時LTに極小となり、21~23時LTに極大となる。これは大林等によって電流系が示された高緯度地方におけるSCの D_s 成分の影響によるもので、東むきのzonal currentが、 D_s による午前の西むき電流によって減少され、午後の東むき電流によって増大されるためである。従ってこの影響は中・低緯度でも緯度が高くなるほど大きくあらわれている。おそらく D_s 電流の領域が、時によって中・低緯度まで伸びてくることによるためであろう。 ΔT の日変化は ΔH に比べ顕著ではないが、6~9時LTで短く、夜間で長い。

第28図・第29図には女満別・栢岡・鹿屋の3地点における1958~81年のSCの振幅 ΔH (nT) および継続時間 ΔT (min) の日変化が示される。統計期間が24年であるため、

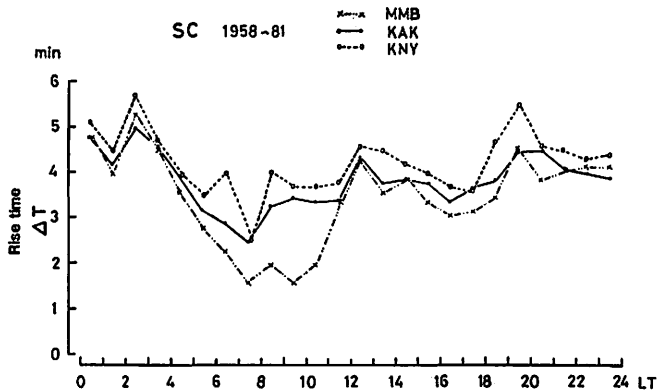


Fig. 29. Diurnal variation of rise-time of SC (1958-81, Memambetsu, Kakioka and Kanoya).

第27図に比べ第28図の変化は凹凸がやや目立つが、8~10時 LT に極小がみられ、明らかに緯度の高い女満別ほど大きな影響を受けているのがわかる。 ΔT についても7~10時 LT に極小があらわれ、女満別ほど短い時間になっている。

第30図上段には SSC・Sg の主相の起時の発生頻度の日変化が示される。SSC・Sg とも似た傾向を示し、15~16時 LT に極大を示し、真夜中付近で頻度が極端に小さくなっている。また中段には終相の起時の発生頻度の日変化が示される。SSC では19~20時 LT に大きな極大を示している。一方、Sg ではSSC とほぼ似た傾向を示しているが、極小の時間が幅広く、3~9時 LT にわたってほとんどゼロに近い発生頻度を示している。これを主相の起時の日変化と比較すると、極大・極小とも終相の方が4~5時間遅れているのが特徴的である。終相の起時の発生頻度の日変化と下段の擾乱日変化 SD (1958~68; 柿岡) を比較すると、SD が極小の時間に終相の起時の発生頻度は極大になっている。また SD の極大の時間はやや幅広くあらわれているが、終相の起時の発生頻度の極小の時間とほぼ一致している。これはたんなる偶然とは思われない。

§6. む す び

以上、柿岡の SSC, Sg および IAGA の SSC 等の資料を使い、太陽黒点周期との関係および季節変化、日変化等について地磁嵐の諸特性について述べて来たが、SSC と Sg ではかなりの差異があることが明らかになった。それは SSC と Sg では単に急始がある、ないという分類上の差異の他に、例えばサイクル19において太陽黒点数が急増大するにもかかわらず、Sg の発生頻度が小さいのは注目に値する。また Sg の storm range は太陽黒点数の増減に関係なくほぼ一定で平均 110 nT を中心に狭い範囲の分布を示すのも特徴的である。

この他、今回の調査結果で特筆すべきことは次の点である。柿岡における SSC の発生頻度の日変化は5~7時の早朝に極小を示し、9時 LT に急増する。そして18時 LT までの

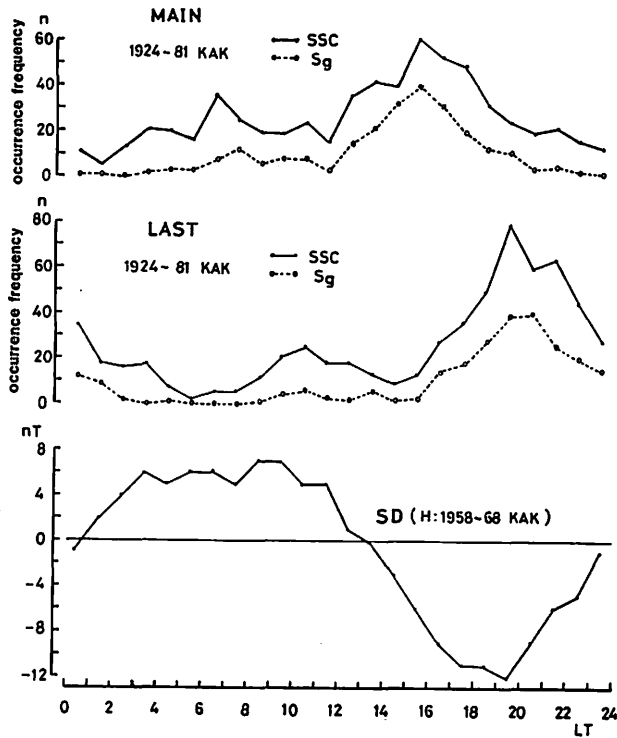


Fig. 30. Relation between diurnal variations of occurrence frequency of the times of beginning of main and last phase of geomagnetic storms (ssc and Sg) and disturbance daily variation SD (1924-81, Kakioka).

昼間で多く、夜間から朝方にかけて少ない。これを IAGA による同期間の汎世界的な日変化と比較すると、両者ともほぼ似た傾向を示し、柿岡特有の日変化ではないことがわかる。しかし Ferraro 等によれば、経度の異なる 6 つの観測所の日変化が、いずれも 13 時 LT に極大をもち午後に多いという一致した傾向をもつということが報告されている。これは今後詳細に吟味する必要がある。SC の振幅 ΔH (nT) の日変化は 8~10 時 LT に極小がみられ、夜間で大きくなる。しかも緯度の高い女満別ほど日変化の振幅が大きく、明らかに SC の D_s 電流による影響がみられる。すなわち東むきの zonal current が、 D_s による午前の西むき電流によって減少され、午後の東むき電流によって増大されて、日変化となってあらわれているのであろう。 D_s 電流による影響は高緯度における特有の現象として考えられて来たが、中・低緯度の日変化にも影響を及ぼしていることは注目に値する。

終りにこの研究に際し、御指導をいただいた地磁気観測所長河村謙氏ならびに御討論下された佐野調査課長に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- Ferraro, V. C. A., W. C. Parkinson, and H. W. Unthank (1951): Sudden commencements and sudden impulse in geomagnetism; their hourly frequency at Cheltenham (M.D.), Tucson, San Juan, Honolulu, Huancayo, and Watheroo, J.G.R. Vol. 56, No. 2, p. 177-195.
- Nagai, M. (1977): Geomagnetic disturbances related to the solar rotation cycle, Solar Terrestrial Environmental Research in Japan, Vol. 1, p. 88-90.
- Obayashi, T., and J. A. Jacobs (1957): Sudden commencements of magnetic storms and atmospheric dynamo action, J.G.R. Vol. 62, p. 589-616.
- Shirgaoka, A. J., and H. Maeda (1963): Local time dependence of the magnitude of geomagnetic-storm sudden commencements, J.G.R. Vol. 68, No. 8, p. 2344-2347.
- Yokouchi, Y. (1953): Principal magnetic disturbances at Kakioka, 1924-1951. Mem. Kakioka Mag. Obs., Vol. 6, No. 2, p. 204-248.

Characteristics of the Geomagnetic Storms based on the Statistical Analysis

by

Masao NAGAI

Abstract

Some characteristics of the geomagnetic storms are statistically investigated by using the data observed at Kakioka (1924-81), Memambetsu (1958-81) and Kanoya (1958-81).

Furthermore, similar examinations are carried out for the IAGA's data of ssc during the period from 1868 to 1981.

Remarkable results are as follows:

1) Since the sudden commencement is a world-wide phenomenon, there should be no local time dependence of the occurrence frequency of SC's. However, there is an apparent diurnal variation at Kakioka showing a tendency for an early morning minimum of occurrence of SC's. This observational result is similar to the diurnal variation for the IAGA's data.

2) Magnitude of SC's (ΔH) grows at the night-time, and diminishes at 8-10 hours in local time. Amplitude of diurnal variation of the ΔH at Memambetsu is larger than those at Kakioka and Kanoya. These results suggest that the electric current of Ds (SC) sometimes extends to lower latitude, and makes a cause of local time dependence of the SC magnitude, even in middle and low latitudes.