

磁気嵐の季節変化

吉田明夫（所長）外谷 健（調査課）
吉田真希子（東京大学大学院）

2003年8月8日受付，2003年10月31日改訂，2003年11月5日受理

要 旨

地磁気観測所で観測された1924-2002年の期間の磁気嵐のデータを用いて，その季節変化を調べた。磁場の水平成分の最大変化量が100nT以上の磁気嵐は，急始磁気嵐（Ssc），緩始磁気嵐（Sg）とも，ほぼすべて記録されていると推定される。磁気嵐の数は片対数プロットで最大変化量とともに線形的に減少する。その傾きはSgの方がSscよりも大きい。磁気嵐が春と秋に多く，夏と冬に少ないという季節変化は100nT以上のSgについて明瞭に認められる。Sscに関しては，季節変化は150nT以上のものについて認められるが，100-150nTのものについてははっきりしない。規模とともに磁気嵐の数が減少する仕方は，Sscの場合，夏と冬に比べて春と秋の季節で緩やかである。Sgに関しては，そのような季節による違いは明瞭ではないが，100-150nTの磁気嵐の数に対する150nT以上の磁気嵐の数の比はやはり春・秋の方が大きい。磁気嵐の発生数の季節変化は，equinoctial効果によるという考えに基づいて，昼側磁気圏界面の磁気再結合は，(1) IMFと地球の双極子磁場が反平行になるとき最大となり，(2)太陽風—地球磁気圏システムの構造の対称性に依存する，という仮説を提唱した。

1. はじめに

地磁気活動に半年周の，いわゆる季節変化が見られることを指摘した報告は19世紀半ばに遡る（Broun, 1848; Sabine, 1856）。以来，地磁気活動の季節変化については，大きな磁気嵐の月別発生数や，Dst, am, aa, ap, Kp, Apなどの種々のインデックスに基づいて多くの解析が行われ，また，それを説明する様々なモデル，アイデアが提案されてきた（Cortie, 1912; Chapman and Bartels, 1940; McIntosh, 1959; Priestler and Cattani, 1962; Meyer, 1966; Fraser-Smith, 1972; Russell and McPherron, 1973; Holzer and Slavin, 1982; Green, 1984; Crooker and Siscoe, 1986; Gonzalez and Tsurutani, 1992; Gonzalez *et al.*, 1993; 1994; Cliver *et al.*, 2000; 2001; 2002など）。地磁気観測所でも地磁気活動の長期的な変動に関連して，太陽活動との相関と合わせて季節変化にも注意が向けられたが，過去の文献を見ると，前者への関心の方がずっと高かったようである。例えば，季節変化を扱っても太陽活動のサイクルによって季節変化に違いが見られるかどうかなどの視点から主として論じられている（永井, 1983; Sano and Saito, 1984など）。

ここでは，柿岡の長期間の観測データを基に，磁気嵐発生数に関するいくつかの統計的な特徴とともに，季節変化そのものに焦点を当てた調査を行い，季節変化が生じる原因に関連してそれらの統計的特徴が示唆する意味を考察する。

2. データ

磁気嵐に関するデータが地磁気観測所報告に一定の観測基準で記載されるようになったのはIGY（国際地球観測年，1957-58年）以後である。それ以前は，磁気嵐の諸要素の暫定値及び概況が地磁気観測所報告，気象要覧等で定期的に公表されてきたが，長期間にわたる磁気嵐データを通覧するには不便で，また記載の形式が必ずしも統一されていなかった。このため，横内（1953）はそれまでの発表資料を参考にしながら磁気記録に直接あたって，1924-51年の期間の磁気嵐及び急始擾乱を読み取り，それを公刊した。本調査では，1957年以後は地磁気観測所報告を，また，1951年以前については横内（1953）のデータを用いた。1952-1956年に関しても同じく横内（私信）の資料を使った。

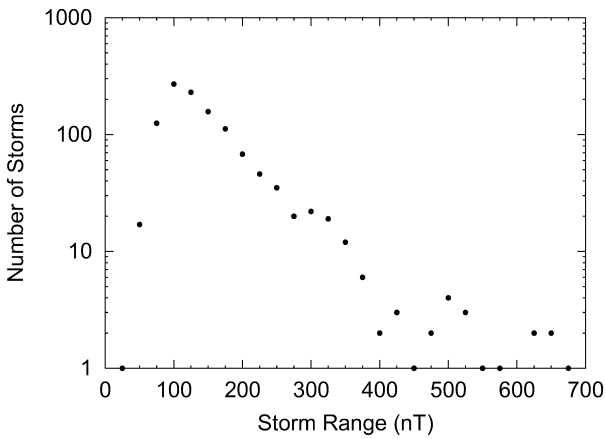


図1 1924-2002年の期間に柿岡で観測された急始磁気嵐 (Ssc) の規模別度数分布. 横軸は磁場水平成分の最大変化量. 横軸が100nTのところプロットされているのは81nTから100nTの磁気嵐の個数で, 以下の度数分布を示した図はすべて同様. 吉田・他 (2003) による.

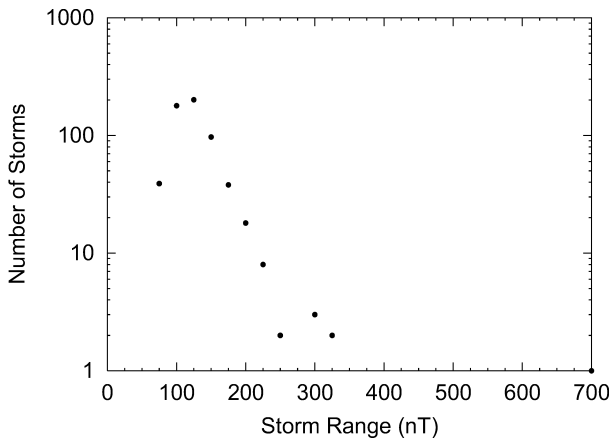


図2 1924-2002年の期間に柿岡で観測された緩始磁気嵐 (Sg) の規模別度数分布. 横軸は磁場水平成分の最大変化量. 吉田・他 (2003) による.

図1, 図2は, 1924-2002年の期間に柿岡で観測された急始磁気嵐 (Sscと略記) と緩始磁気嵐 (Sgと略記) それぞれについて, 水平成分の最大変化量に関する規模別度数分布を表したものである. 分布のピークはいずれの場合も100nT付近にあって, それから大きい方でも小さい方でも数は少なくなっている. 特に大きい方では対数プロットに対して数が直線的に減少している. その傾きはSgの方がSscより明らかに急であることに注意したい. このことの意味については後で若干議論する.

大きさとともに数の片対数プロットが直線的に減少するという性質は, 地震の規模別度数分布と類似している. 地震の場合, その傾きはb値と呼ばれ, その大小は地震発生場の物理的性質を反映することがわかっている. b値はまた, 岩盤破壊現象としての地震のフラクタル次元との関連でも議論されている. なお, 地震の場合, マグニチュードの小さな側で数が一見少なくなるのは, 小規模の地震が十分に

検知されていないことを示すと考えられている. 同様に, 図1, 図2で100nT未満の磁気嵐の数が減っているのは, 実際に数が少ないのではなく, その規模の磁気擾乱の記録の漏れを表していると推定される.

図1に関して, もう一つ指摘しておきたいのは, 400nT以上のSscが, 上述した規模別分布の直線性からはずれたところにプロットされていることである. 地震の場合も, 一群の中の最大規模の地震, 例えば本震は余震の規模別度数分布から離れたところに, 通常プロットされる. その理由として, 本震と余震とはそのテクトニックな意味合いに違いが存在するためと考えられている. それから類推すると, 400nT以上の磁気嵐は, 単に統計的な確率分布に従って起きているのではなく, 特別な条件が整ったときに発生しているのではないかと推定される. その条件が何であるかを明らかにすることができれば, 大きな磁気嵐発生の仕組みの解明のみならず, その予測にもつながると期待される.

3. 季節変化

図3は1924-2002年の期間におけるSscの各月の発生数を示したものである. 100nT以上, 150nT以上のいずれについても春と秋に多く, 夏と冬に少ないという季節変化が認められ, 特に150nT以上について明瞭である (図3中). 100nT以上150nT未満のSscについては季節変化がほとんど見られない (図3右). これに対して, Sgに関しては, 100nT以上, 150nT以上のいずれにおいても, また100nT以上150nT未満のSgを取り出して見た場合でも, 季節変化が明瞭に認められる (図4). ただし, ここで注意する必要があるのは, 柿岡で記録している磁気嵐の際の水平磁場成分の最大変化量は, 急始変化 (SC) の振幅が込みになっていることである. SCの振幅を差し引いた変化量に関して毎月の数の分布を見ると, 図5に示すように, 100nT以上150nT未満の範囲のSscについても季節変化が認められる.

図6, 7は, それぞれSscとSgについて, 磁気嵐が多く発生する春と秋の季節と少ない夏と冬の季節で分けて, その規模別度数分布を比べて見たものである. Sgに関しては, 度数分布の特徴に春・秋の季節と夏・冬の季節で違いははっきりしないが, Sscについては, 規模の大きなものの数の減少の仕方が, 春・秋の季節では夏・冬の季節と比べて緩やかになっている様子が見える. この特徴は, 水平磁場成分の最大変化量からSCの振幅を差し引いた変化量に関して見た場合にも認められる (図8). SgとSscの規模別分布の季節変化に関するこの差異は, 図1, 2

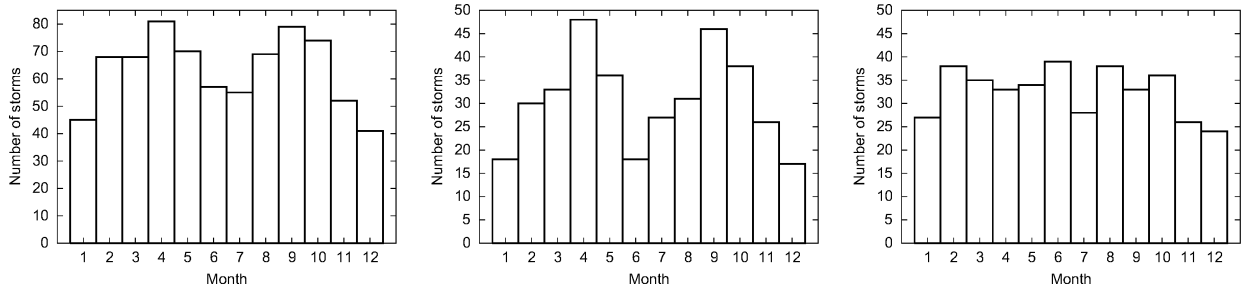


図3 Sscに見られる季節変化. 左: 100nT以上, 中: 150nT以上, 右: 100nT以上150nT未満.

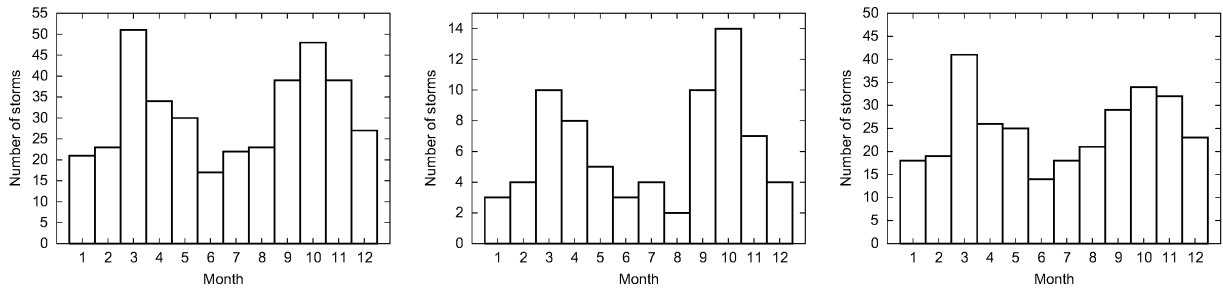


図4 Sglに見られる季節変化. 左: 100nT以上, 中: 150nT以上, 右: 100nT以上150nT未満.

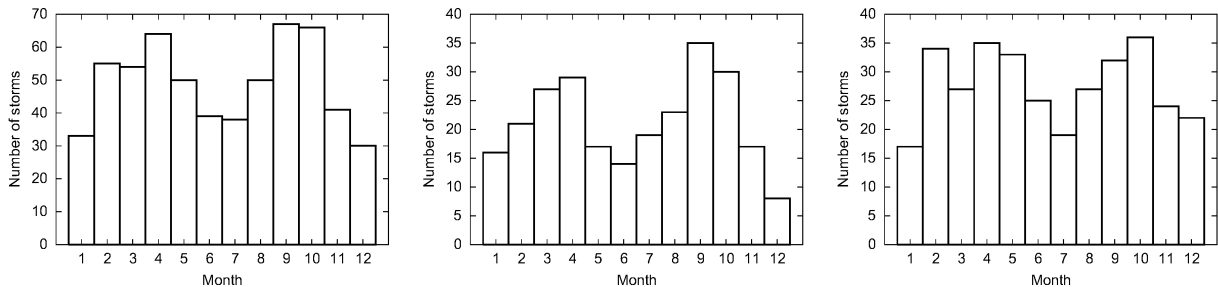


図5 Ssc-Scについて見た季節変化. 左: 100nT以上, 中: 150nT以上, 右: 100nT以上150nT未満.

に見られる違いとともに、それぞれのタイプの磁気嵐が発達する際の外的要因（太陽風の物理的特性）の違いを反映していると考えられる（次節の議論を参照）。なお、Sgについては頻度分布に季節による違いが明瞭に認められないとはいえ、100nT以上150nT未満の磁気嵐に対する150nT以上の磁気嵐の数の比は、夏・冬が0.17であるのに対して、春・秋のそれは0.29である。このことはSgに関して、Sscと同様、春・秋の方が夏・冬よりも磁気嵐が大きく発達しやすい傾向があることを示している。従って、Sg、Sscとも、季節変化は相対的に規模の大きな磁気嵐ほどより明瞭であるといえることができる。

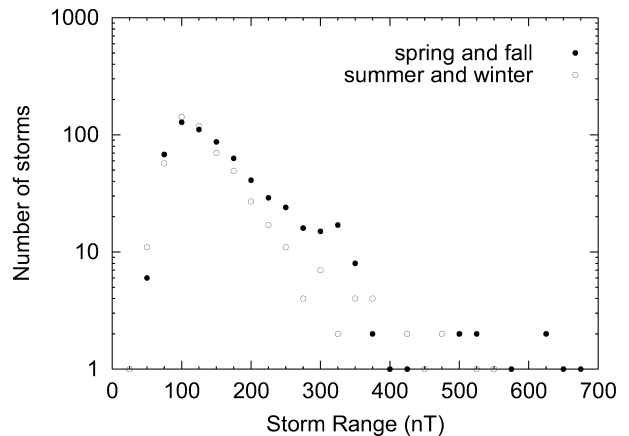


図6 春と秋、夏と冬に分けてプロットした時のSscの規模別度数分布。ここで春と秋とは3月21日と9月23日を中心に、それぞれ前後45日をとった期間をいう。図7も同様。

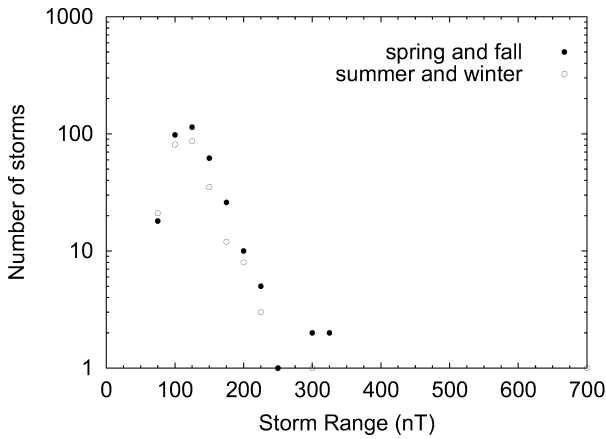


図7 春と秋、夏と冬に分けてプロットした時のSgの規模別度数分布

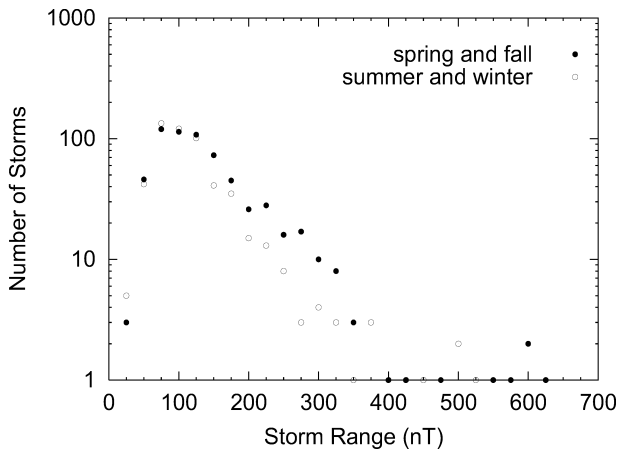


図8 春と秋、夏と冬に分けてプロットした時のSsc-Scの規模別度数分布

4. 議論

磁気擾乱に季節変化が見られる原因に関しては多くのアイデアが提案されてきた。その中で、主なものは、“axial仮説”（例えば、Cortie, 1912; Priestler and Cattani, 1962）と“equinoctial仮説”（例えば、McIntosh, 1959; Bartels, 1963）, それから“Russell and McPherron説”であろう。“axial仮説”は太陽の自転軸が黄道面に対して傾いていることによって、太陽と地球のそれぞれの中心を結ぶ線と太陽面との交点が、3月初めと9月初めに最も高緯度（ 7.2° ）にあることに注目する。というのは、太陽面上で活動の高い領域は赤道上ではなく 10° - 20° の緯度帯に来るからである。また“equinoctial仮説”は、地球の双極子磁場の軸と太陽と地球を結ぶ線（太陽風の流れの方向）との角度を問題とし、この角度が直角となる春分（3月21日頃）と秋分（9月23日頃）の時期に太陽風中のエネルギーが地球磁気圏内にもっとも入って来易いと考えられる。前者が太陽面上あるいはそれから飛び出してくる太陽風の側に季節変化の起源を探すとすれば、後者は太陽風を受け止める地球の側にその原因を求めると言っても良い。これらに対して、

Russell and McPherron (1973) は、地磁気活動の季節変化は太陽風中の磁場（以後IMFと略記）の南向き成分（地球双極子磁場と反対向きの磁場成分）の大きさが半年周変化をすることによって生じるとするアイデアを提出した。彼らは、IMFが太陽赤道面内においてアルキメデス螺旋を描き、その強度は変わらないとしたときに、太陽の自転軸と地球の自転軸がそれぞれ黄道面に対して傾いていること、また地球回転軸と磁気双極子軸が角度を持つことによって、IMFの南向き成分は4月初めと10月初めに大きくなることを示した。“Russell and McPherron説”は、磁場の南向き成分という概念を持つことによって、ある意味で“axial仮説”、“equinoctial仮説”がそれぞれ基礎としている考え方をうまく一部取り入れたものになっているとすることができる。

磁気擾乱の季節変化にはこれらのうちの複数の原因が関与しているという考えも、その後、出されたが（例えば、Murayama, 1974; Berthelier, 1976; Holzer and Slavin, 1982; Gonzalez *et al.*, 1993など）、主原因が何であるかについてのコンセンサスはなかなか得られなかった。とは言うものの、20世紀の終わり頃には、Cliver *et al.* (2000) が述べているように、Russell and McPherron効果が一般に有力視される状況となっていた（Orlando *et al.*, 1993; 1995; Siscoe and Crooker, 1996）。その理由としては、Russell and McPherron説がIMFの南向き成分に着目したアイデアであったことが大きかったと考えられる（Cliver *et al.*, 2000）。太陽風のエネルギーの磁気圏への流入が磁力線の再結合を通して生じること、そして再結合はIMFが南向き成分を持つときに進行することが、1960年代以降、理論的に、また衛星観測によって確かな事実となっていたからである。

衛星によるIMFデータの収集はまた、磁気擾乱の季節変化の要因の定量的な評価を可能にした。Cliver *et al.* (2000) は、1963-1993年の期間におけるIMFの南向き成分（ $-B_z$ ）とam指数のデータを用いて、 $-B_z$ の季節変化よりもam/ $-B_z$ の比の季節変化の方が顕著であることを示した。これは、磁気再結合に対する $-B_z$ の効果が、春・秋と夏・冬で同等でなく、前者の方が大きいことを意味する。 $-B_z$ の大きさの季節変化をRussell and McPherron効果、 $-B_z$ による磁気再結合の効率をequinoctial効果としたとき、彼らは、季節変化への寄与は後者が前者のほぼ2倍になると推定している。

Cliver *et al.* (2001) は同様な解析をDst指数と $(-vB_z)$ （太陽風の速度 v とIMFの南向き成分 $-B_z$ の積）との関係について行い、同じ $(-vB_z)$ の値に対するDstの値（絶対値）は夏・冬の季節より春・

秋の季節の方がやはり大きいことを示した。Cliver *et al.* (2001) は、また、静穏な日のDstデータを使った解析から、磁気擾乱時の季節変化よりむしろ非擾乱時の季節変化の方が、Dst指数の季節変化への寄与が大きいと述べている。

O'Brien and McPherron (2002) も、Dstの変化を太陽風のパラメータを用いて記述する彼らのモデルに基づいて、Dstの季節変化にはRussell and McPherron効果もあるがequinoctial効果の方が大きいことを認めている。

これらの最近の研究成果により、地磁気活動に季節変化が生じる原因についての理解は相当に進んだように見えるが、本論の主題である磁気嵐の季節変化の問題もこれで解決されたかという点、著者らは必ずしもそうは思わない。その理由を以下に述べる。

Cliver *et al.* (2000) は、季節変化の要因に関する“Russell and McPherron効果”と“equinoctial効果”の違いを、前者が“山をつくる”のに対して後者は“谷を削る”という言い方で端的に表している。どちらも、麓から見て山の頂を高める働きをする。Russell and McPherron効果が山をつくるというのは、IMFと地球磁場の再結合が(-Bz),あるいは(-vBz)の大きさに依存し、それらの(絶対値での)量が大きければ大きいほど再結合プロセスが強まるからである。これに対して、“equinoctial効果”と再結合プロセスとの関係は自明ではない。Cliver *et al.* (2000) は、“equinoctial効果”を示す事実が相当あったにもかかわらず、“Russell and McPherron効果”が広く受け入れられたのは、“equinoctial効果”と再結合プロセスとの関係が明快に理解されなかったからであると述べている。この点について、Cliver *et al.* (2000) が“equinoctial効果”に対して“谷を削る”という表現を与えたのは、“equinoctial効果”を、equinox以外の時期の再結合プロセスの効率を下げるという消極的な意味合いで捉えたことを示している。しかし、そのような理解の仕方では、前節の最後に述べた、磁気嵐の季節変化に関する本論の解析結果の要約、すなわち、equinox時には磁気嵐を大きく発達させやすい傾向があるということを説明するのは難しいように思われる。われわれの結果は、むしろ、その時期に再結合プロセスが進行しやすいということを示唆している。

amとBz, DstとvBzの関係を解析したCliver *et al.* (2000; 2001) の結果、例えばCliver *et al.* (2001) のFigure 3を注意深く見ると、DstとvBzの関係はvBzが0から-4000nTkms⁻¹の範囲全体で直線的ではなく、vBzが-2000から-4000の範囲の点は、0から-2000までのところのデータを使って求めた回帰直線から下

方にきている。更に、同じvBzの値に対する、春・秋のときと夏・冬のときのDstの値の差は、vBzの絶対値が大きくなるほど開いてくる。こうした事実は、IMFの南向き磁場と地球磁場の再結合過程がvBzに関して線形的ではないことを示唆している。

Watanabe *et al.* (2002) は、vと-BzがDstの発達に関して果たす寄与はまったく同等というわけではなく、-Bzの効果の方が大きいことを指摘した。これに関連して、先に本論文で示した、衝撃波を伴うSscの方が、それと関係なく発生するSgに比べて大きな磁気嵐の割合が高い(図1と図2)ということや、強い衝撃波が来たことを示す大きなSCの場合には小さなSCの場合に比べて、大きなSscが発達しやすい傾向が見られるということ(吉田・他, 2003)は、例えばCrooker *et al.* (1992) が考案したようなメカニズムが働いて、衝撃波の後に大きな南向き磁場が生じているためであると考えることができよう。

このように、IMFの南向き成分が大きいと非線形的に磁力線の再結合プロセスが増幅される可能性はあるが、著者は、equinox時に大きな磁気嵐が発達しやすい傾向があるのはそのような非線形効果だけでなく、先に述べたように磁気再結合を促進するという意味での“equinoctial効果”が重要な役割を果たしていると考えている。これに関連して、今のところまだ十分な論拠を示すことはできないが、次のような2つの仮説を提案したい。

1. 再結合の効率は、IMFと地球磁場が反平行のとき最大となる。
2. 再結合の効率は、太陽風から見たときの磁気圏の構造の対称性に依存する。

春分点付近で起きる磁気嵐はIMFが太陽の方向を向いている場合が多く、秋分点付近では逆向きの場合が多いことが知られている(Gonzalez *et al.*, 1993) この事実はRussell and McPherronモデルと整合するという視点から理解されているが、著者らは、別の見方をとる。IMFのBzが南向きのときを考えると、春分点付近ではIMFが太陽の方向を向く場合、秋分点付近では逆に外空間の方向を向く場合に、IMFと地球磁場はz-y面(x軸は太陽と地球を結ぶ方向にとる)でより反平行に近くなる。つまり、磁気再結合の効率にはIMFの南向き成分の大きさだけでなく、IMFと地球磁場のベクトル場としての反平行性が効いているのではないかというのが1番目の仮説の意味である。

次に、春と秋には地軸と太陽風の方向は直交し、太陽風の衝突前面は地球の赤道付近にある。これに対して夏は太陽風の衝突前面が北半球にずれ、冬は南半球側にずれる。もし、太陽風が磁気圏に当たる

ところで磁力線の再結合が生じるとすると、その“X点”に対して春と秋には磁気圏の構造は南北対称であり、夏と冬には非対称となる。この構造の対称性が再結合の効率に関係しているのではないかというのが2番目の仮説の趣旨である。荻野・他(2003)は、夏のような状況でIMFと地球磁気圏との相互作用をシミュレートしたとき、磁力線の再結合が生じるのはIMFの衝突前面でなく、それから磁気赤道の方にずれるということを描いた。これは上の仮説の視点で見たとき、示唆的である。何故なら、“X点”から見た磁気圏の構造が対称的でなかった場合、なるべく対称になるような形で再結合が生じるといことを、その結果は示しているからである。何故、構造の対称性が再結合の効率と関係するか？これに対して著者らは次のように考えている。磁気再結合の速度はいわゆるX点近傍の状態だけでは決まらない。再結合が生じるといことは、太陽風のなかの西向き電場が磁気圏の中に入ってくることを意味する。そのためには磁気圏の側でもX点に向かう流れが起きている必要がある。この対流運動の起き易さが構造の対称性と関係し、結果として磁気再結合の効率に結びついているのではないかというのが著者らの予想である。

5. まとめ

柿岡の長期間の観測データを基に、急始磁気嵐(Ssc)と緩始磁気嵐(Sg)のそれぞれについて、季節変化の特徴を調べた。その主な結果を要約すると、

1. Ssc, Sgとも、規模とともにその発生数は片対数プロットで直線的に減少する。その時、Sscの規模別度数分布の勾配はSgのそれに比べて緩やかである。すなわち、相対的に規模の大きなものの割合がSgに比べて多い。
2. Ssc, Sgとも100nT付近に度数分布の極大があり、それより規模の小さなものの数は少なくなる。また、400nT以上の大規模な磁気嵐も直線的な分布特性(フラクタル性)からはずれてくる。
3. Ssc, Sgともに春・秋に多く、夏・冬に少ないという季節変化が見られる。ただし、150nT未満の規模のSscについては季節変化ははっきりしない。一方、Sgについては150nT未満の規模のものについても季節変化が明瞭である。
4. 春・秋のSscの規模別度数分布の勾配は、夏・冬のそれと比べて緩やかである。これに対して、Sgについては規模別分布の勾配にそうした季節による違いは明瞭に見られないが、150nT以

上とそれ未満の磁気嵐の数の比は春・秋の方が大きい。

Sscの規模別度数分布の勾配がSgのそれに比べて緩やかなのは、SscではIMFが圧縮されていて、その結果、南向きのBz成分も大きいということによるのではないかと考えられる。SscとSgの度数分布に認められるフラクタル性及び400nT以上の大規模のSscがそれからはずれることについての意味の解明は今後の課題である。100nT未満のSsc, Sgの度数分布が直線性からはずれるのは、その程度の規模の磁気嵐がすべて記録されていないためと推定される。

磁気嵐に何故、季節変化が存在するか。その物理的本質を統計的調査のみによって明らかにすることはできないが、本論文では、この季節変化が磁気再結合の効率のequinoctial効果によるという考えに立って、(1) 磁気再結合の効率はIMFと地球磁場が反平行になるとき最大となる。また、それは、(2) 太陽風が当たる磁気圏前面から見たときの磁気圏の構造の南北対称性に依存するという仮説を提案した。

参考文献

- Bartels, J., Discussion on time-variations of geomagnetic indices Kp and Ap, *Ann. Geophys.*, **19**, 1-20, 1963.
- Berthelier, A., Influence of the polarity of the interplanetary magnetic field on the annual and the diurnal variations of magnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **81**, 4546-4552, 1976.
- Broun, J. A., Observations in magnetism and meteorology made at Makerstoun in Scotland, *Trans.R Soc. Edinburgh*, **18**, 401-402, 1848.
- Chapman, S. and J. Bartels, *Geomagnetism*, Oxford University Press, New York, 1940.
- Cliver, E.W., Y. Kamide and A.G. Ling, Mountains versus valleys: Semianual variation of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **105**, 2413-2424, 2000.
- Cliver, E.W., Y. Kamide, A.G. Ling and N. Yokoyama, Semiannual variation of the geomagnetic Dst index: Evidence for a dominant nonstorm component, *J. Geophys. Res.*, **106**, 21297-21304, 2001.
- Cliver, E.W., Y. Kamide, A.G. Ling, The semiannual variation of geomagnetic activity: Phases and profiles for 130 years of aa data, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, **64**, 47-53, 2002.
- Cortie, A. L., Sunspot and terrestrial magnetic

- phenomena, 1898-1911, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **73**, 52-60, 1912.
- Crooker, N. U., E. W. Cliver and B. T. Tsurutani, The semiannual variation of great geomagnetic storms and the postshock Russel-McPherron effect preceding coronal mass ejection, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 429-432, 1992.
- Crooker, N. U. and G. L. Siscoe, The effect of solar wind on the terrestrial environment, in *Physics of the Sun, vol.III, Astrophysics and Solar-Terrestrial Relations, Geophys. Astrophys. Monogr.*, edited by P. A. Sturrock, T. E. Holzer, D. M. Mihales, and R. K. Ulrich, pp.193-249, D. Reidel, Hingham, Mass., 1986.
- Fraser-Smith, A. C., The spectrum of the geomagnetic activity index A_p , *J. Geophys. Res.*, **77**, 4209, 1972.
- Gonzalez, A. L. C., W. D. Gonzalez, S. L. G. Dutra, and B. T. Tsurutani, Periodic Variation in the geomagnetic activity: A study based on the A_p index, *J. Geophys. Res.*, **98**, 9215-9231, 1993.
- Gonzalez, W. D., J. A. Joselyn, Y. Kamide, H. W. Kroehl, G. Rostoker, B. T. Tsurutani, and V. M. Vasyliunas, What is a geomagnetic storm?, *J. Geophys. Res.*, **99**, 5771-5792, 1994.
- Gonzalez, A. L. C. and B. T. Tsurutani, Terrestrial response to eruptive solar flares: Geomagnetic storms, in *Eruptive Solar Flares*, edited by Z. Svestka, B. V. Jackson and M. E. Machado, pp. 277-286, Springer-Verlag, New York, 1992.
- Green, C. A., The semiannual variation in the magnetic activity indices A_a and A_p , *Planet. Space Sci.*, **32**, 297-305, 1984.
- Holzer, R. E. and J. A. Slavin, A quantitative model of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **87**, 9054-9058, 1982.
- Meyer, J., A semiannual wave in the recurrence tendency of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **71**, 2397-2400, 1966.
- McIntosh, D.H., On the annual variation of magnetic disturbance, *Phil Trans. Roy. Soc. London, Ser. A*, **251**, 525-552, 1959.
- Murayama, T., Origin of the semiannual variations of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **71**, 2397-2400, 1974.
- 永井正男, 統計的にみた地磁気嵐の諸特性, *Mem. Kakioka Mag. Obs.*, **20**, 17-38, 1983.
- O'Brien, T.P. and R.L. McPherron, Seasonal and diurnal variation of Dst dynamics, *J. Geophys. Res.*, **107**, No. A11, 1341, 2002.
- 荻野竜樹・山藤貴之・朴 京善, The configuration of the magnetosphere as a function of dipole tilt and IMF orientation, 地球惑星科学関連学会2003年合同大会, **E040-003**, 2003.
- Orlando, M., G. Moreno, M. Parisid M. Storini, Semiannual variation of the geomagnetic activity and solar wind parameters, *Geophys. Res. Lett.*, **20**, 2271-2274, 1993.
- Orlando, M., G. Moreno, M. Parisi and M. Storini, The diurnal modulation of geomagnetic activity by the southward component of the geomagnetic field, *J. Geophys. Res.*, **100**, 19565-19570, 1995.
- Priester, W. and D. Cattani, On the semiannual variations of geomagnetic activity and its relations to the solar corpuscular radiation, *J. Atmos. Sci.*, **19**, 121-126, 1962.
- Russell, C.T. and R.L. McPherron, Semiannual variation of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **78**, 92-108, 1973.
- Sabine, E., On periodical laws discoverable in the mean effects of the larger magnetic disturbances, *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A*, **146**, 357, 1856.
- Sano, Y. and T. Saito, Secular and solar cycle variations of geomagnetic storm occurrences at Kakioka, *Mem. Kakioka Mag. Obs.*, **21**, 1-24, 1984.
- Siscoe, G. and N. Crooker, Diurnal oscillation of Dst : A manifestation of the Russell-McPherron effect, *J. Geophys. Res.*, **101**, 24985-24989, 1996.
- Watanabe, S., E. Sagawa, K. Ohtaka and H. Shimazu, Prediction of the Dst index from solar wind parameters by a neural network method, *Earth Planets Space*, **54**, 1263-1275, 2002.
- 横内幸雄, 柿岡における地球磁気擾乱の観測結果 (1924-1951), *Mem. Kakioka Mag. Obs.*, **6**, 204-248, 1953.
- 吉田明夫・外谷 健・吉田真希子, 磁気嵐の太陽活動周期変化と半年周変化, 地学雑誌, 2003, 印刷中.

Seasonal Variation of Magnetic Storms

by

Akio YOSHIDA¹, Takeshi TOYA¹, and Makiko YOSHIDA²

¹Kakioka Magnetic Observatory

²University of Tokyo

Received 8 August 2003; received in revised form 31 October 2003; accepted 5 November 2003

Abstract

We investigated the seasonal variation of magnetic storms based on the data at the Kakioka Magnetic Observatory since 1924. First we show that magnetic storms with the range of 100 nT or larger are considered to have been almost completely recorded for both types of storms, i.e., those with a sudden commencement (Ssc) and those with a gradual commencement (Sg). The number of storms decreases linearly with the range in a semi-logarithmic plot. The inclination of the decrease is steeper for Sg than for Ssc. The seasonal variation, i.e., more storms are observed in the spring and fall seasons than in the summer and winter seasons, is clearly seen for Sg storms with the range of 100 nT or larger. For Ssc storms the seasonal variation is recognized for those with the range of 150 nT or larger, but it is not clear for those with a smaller range. The inclination of the decrease of storm numbers with the range is gentler in the spring and fall seasons than in the summer and winter seasons for Ssc. Though such a difference is not apparently seen for Sg, the ratio of the number of storms with the range of 150 nT or larger to that of storms with the range between 100 nT and 150 nT is larger for the spring and fall seasons. On the basis of the idea that the seasonal variation in the occurrence of large storms is attributed to the equinoctial effect, we propose a hypothesis that the magnetic reconnection process is most efficient when (1) IMF is anti-parallel to the geomagnetic field, and (2) the magnetosphere-solar wind system has a north-south symmetry.