

## 第9章 データ解析

### 9.1 中層大気擾乱と地磁気変動\*

#### 9.1.1 はじめに

地磁気変動には、地球内部起源のもの、地球外部に原因があるもの等種々のものがあり、それぞれが何らかの形で中層大気に関連しているらしいと考えられてきた。

日本のような中低緯度において観測される定常的な地磁気変動である地磁気静穏日日変化(Sq)は、下部電離層での中性大気の運動と直接かかわりあっているが、これには中層大気の風系、密度等の擾乱の影響がおよんでいる可能性がある。また、代表的な地磁気擾乱である磁気嵐は、太陽風と磁気圏の相互作用の結果生ずるものであり、その意味で太陽活動の一指標として位置づけられるが、他方、中層大気の温度場やオゾン濃度等と太陽活動との相関が近年注目されつつあり、従って、一次的な相互作用ではないにしても、磁気嵐と中層大気擾乱との間に有意な関連のあることは十分に考えられる。更には、地磁気の原因である核起源の地球主磁場の永年変化が、中層大気や気候の変動に影響しているという考えもある。

このように、地磁気変動は非常に広範囲の周期帯にわたって中層大気と関連していることが示唆される。本研究では、地磁気資料、電離層資料、高層気象資料、地上気象資料をもとにデータ解析を行い、短周期から長周期にわたる地磁気変動と中層大気擾乱及び気候変動との関連についての研究を進めてきた。その結果、直接的ではないにしても、地磁気変動と中層大気擾乱との間に有意な関連性が存在することを示唆する観測事実をいくつか見いだすことができたので、以下にそれらを報告する。

#### 9.1.2 Sq 電流系の日々変動と中層大気擾乱

Sq は電離層大気の潮汐運動によるダイナモ作用によって生ずる。その基本式は次の形で表現される。

$$J = \Sigma \cdot (E + V \times B) \quad (9.1)$$

ここで、 $J$ 、 $\Sigma$ 、 $E$ 、 $V$  及び  $B$  はそれぞれ電離層（主としてE層）の電流密度、電気伝導度、静電場、中性風の速度及び地球主磁場を表す。

この電離層電流によって地上に生ずる磁場変化が Sq である。電離層電気伝導度の日変化のため、

---

\* 桑島正幸、角村 悟、原田 朗：地磁気観測所

下道正則：気象庁観測部・白木正規：予報研究部

中島只一：元地磁気観測所・河村 謙：気象庁地震火山部

この電流は夜間にはほぼゼロになり昼間には南北各半球の赤道から中緯度まで至る渦電流系で近似されることは良く知られている。日本では、正午ごろ上空付近に渦の中心が来ることになっており、従って日本の観測点の日変化の形を比較することによって Sq 電流系の中心緯度が推定できる。というのは、Sq 電流系中心を挟んで高緯度側と低緯度側とで南北 (H) 成分の日変化が逆向きになるからである。

Sq 電流系は何らかの原因により常にゆらいでおり、その中心緯度も日々変動している。図 9.1.1 は 1971 年 5 月 11 日～13 日にかけて見られた Sq 電流系の日々変動の典型的な例を示している。5 月 11 日の H 成分の日変化を見ると、女満別と柿岡では昼間に減少し、父島では逆に増加しているので、Sq 電流系の中心は女満別や柿岡よりも低緯度側、父島よりも高緯度側に位置していると推定され、更に、鹿屋での変化が増加とも減少ともはっきりしないことから鹿屋付近の緯度にあると考えられる。5 月 12 日には、その中心が鹿屋から一挙に柿岡の上空を通り越して女満別の上空近くまで移動したことが読み取れ、そして 5 月 13 日には、再び鹿屋の上空付近に戻っていると推定される。

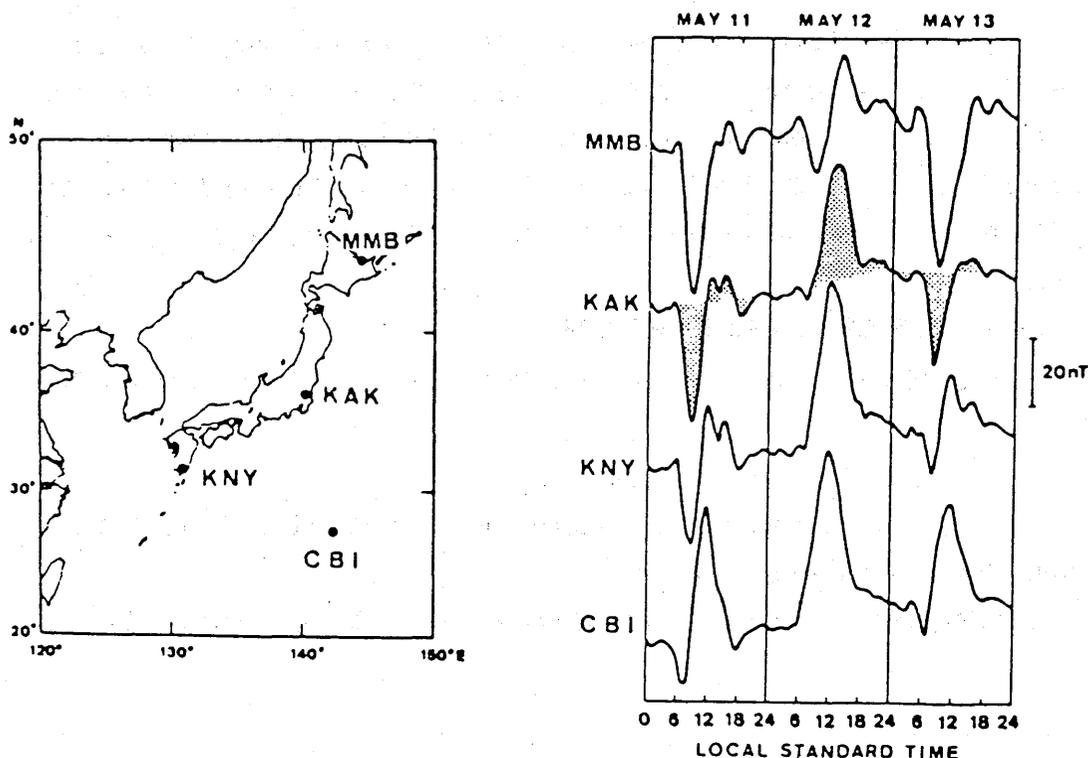


図 9.1.1 : 1971 年 5 月 11 日～13 日に日本で観測された地磁気静穏日日変化 (Sq) の日々変動

このような Sq 電流系の日日変動の原因として、次の三つが考えられる。

- (1) 電離層電子密度（(9.1) 式の  $\Sigma$  に相当）の日日変動
- (2) 電離層風（(9.1) 式の  $V$  に相当）の日日変動
- (3) 電離層電場（(9.1) 式の  $E$  に相当）の日日変動

このうち、(1)と(3)については Sq 電流系の中心緯度の日日変動を説明できるような観測例はないが、(2)については、流星風レーダーによる電離層風の直接観測で、2日周期程度の変動が確認されており（Ito et al. 1984）、従って、Sq 電流系の中心緯度の日日変動の原因として電離層風の日日変動が最も有力な要因であると考えられる。電離層風のゆらぎについては、京都大学の MU レーダーによる観測を初め MAP 期間中の多くの観測によって解明されることが期待される。一方、Sq の解析から電離層風のゆらぎを逆に検出することは難しい問題であるが、中層大気の流れと関連するものとしての Sq の日日変動を詳細に調べ、何らかの系統性を見いだしておくことは重要である。

地磁気観測所の観測点、女満別、柿岡、鹿屋の3地点の1958～75年の18年間のH成分の日変化から推定した Sq 電流系の中心緯度の変動を調べる。各観測点毎に、赤道環電流の影響を取り除くために、緯度補正した Dst 成分を差し引いた H 成分について、昼間（10～14時 JST）と夜間（22～02時 JST）の差  $\Delta H$  を求め、 $\Delta H$  が0になる所が中心緯度であるとして、それを最小二乗法により求める。図9.1.2は太陽活動の極大期（1958年）と極小期（1964年）における Sq 電流系の中心緯度の日日変化を  $\Sigma Kp$  とともに示したものである。中心緯度が10°程度の幅で日日変動して

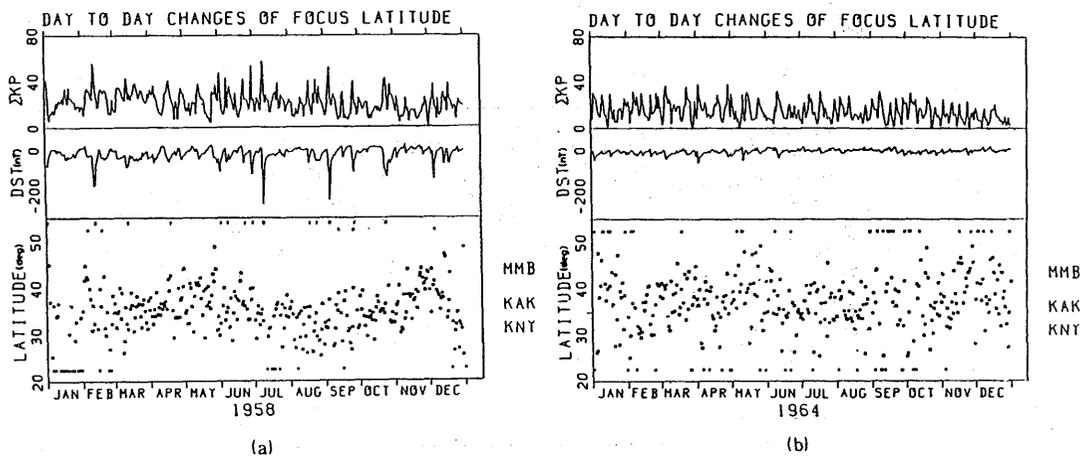
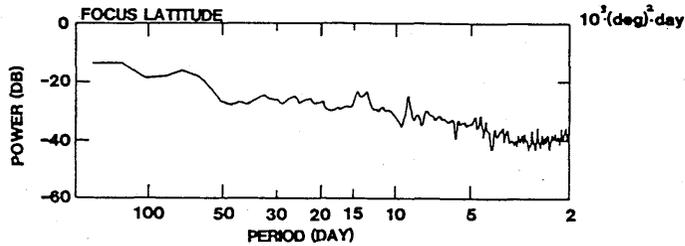


図 9.1.2 太陽活動極大期（1958年）および太陽活動極小期（1964年）における地磁気活動度  $\Sigma Kp$  (上)、Dst (中)および Sq 電流系の中心緯度の日々変動 (下)

いることがわかる。極小期の方がばらつきが大きいのは、極大期に比べて  $S_q$  の振幅が小さく、中心緯度を推定する際の誤差が大きくなるためと考えられる。

こうして得られた  $S_q$  電流系の中心緯度の日々変動に規則性があるかどうかを調べるために、上記期間についてスペクトル解析を行った。結果を図 9.1.3(a)に示す。スペクトル解析の結果、60日、15日、8日付近にスペクトルのピークが見られる。一方、磁気嵐等の地磁気擾乱に関連する27日周期に対応するピークは明らかでない。このことから  $S_q$  電流系の中心緯度の日々変動を引き起こす原因は磁気圏内よりもむしろ電離層内にあることが示唆される。図 9.1.3(b)では、スペクトルピークの時間変化を見るために1972～75年の4年間についてダイナミックパワースペクトルを求め、その卓越成分(周期)のみを示した。卓越周期に季節変化が認められて、冬期間には10～15日周期が卓越し、冬期間以外の季節では30～60日周期の変動が卓越している。10～15日周期の変動に

(a)



(b)

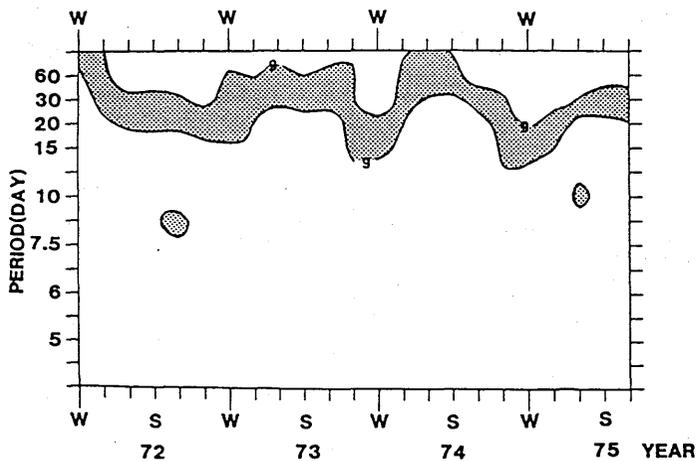


図 9.1.3  $S_q$  電流系の中心緯度の日々変動のスペクトル解析結果(a)およびスペクトル解析結果による卓越成分(周期)の時間変化(b)

については、冬期間にこれに対応する周期のプラネタリー波動が対流圏、成層圏から中層大気を経て下部電離層まで上方伝播することが知られており (Salby, 1984)、Sq 電流系の中心緯度の変動の原因として注目される。冬期間以外に見られる30~60日の変動については、今のところ発生原因は不明である。

### 9.1.3 sfeに伴う変動と中層大気擾乱

sfeは、太陽面爆発に伴って太陽から到来するX線が中層大気分子を電離する結果、Sq が強められたような地磁気変化として出現する現象 (solar flare effect) で、継続時間は数10分~1時間である。よって、sfe電流系の消長過程は1日周期で起こるSq電流系の構造を短時間で具現しているといえる。但し、Sq電流系が電離層E層 (~100km) に主に存在するのに対し、sfe電流系はE層とD層 (~70km) の両方に分布し、むしろD層を流れる電流の方がE層を流れるものより大きいということがこれまでに報告されている (Veldkamp and Sabben, 1960; Sabben, 1968)。この意味でsfe現象はまさに中層大気擾乱の一部であると考えることができる。また、sfeに重なって更に短い周期の振動が見られることがしばしばある。これはPsfeとよばれ、周期は約60秒~100秒程度である。このような短い周期に対応する変動が中層大気擾乱の中に存在するかどうかを調べることも、中層大気の様子を探る上で重要なことと考えられる。

sfeは太陽面爆発に伴ってのみ出現するので、Sqに比較して出現数も少なく、従ってSqのように統計的な調査をすることは難しい。ここでは、1984年4月に日本で観測された顕著なsfe現象についての調査結果と中層大気擾乱との関連について報告する。

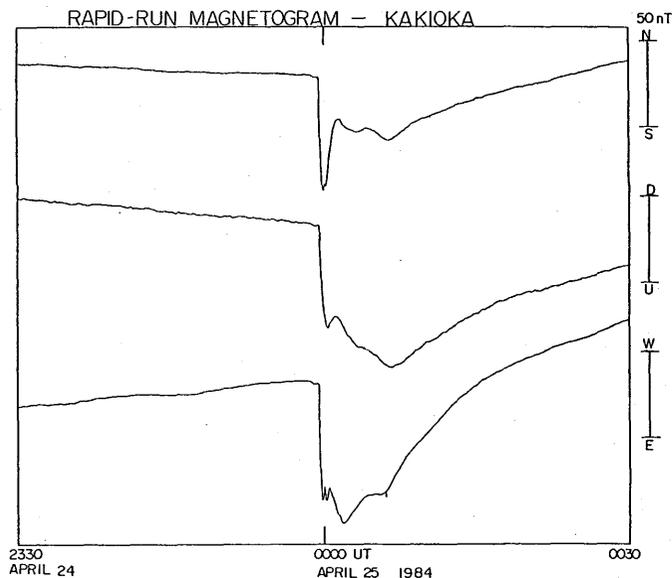


図 9.1.4 1984年4月24日23時59分開始のsfeの柿岡における変化

図9.1.4は柿岡で1985年4月24～25日に観測されたsfeに伴う地磁気変動を示している。この図は光ポンピング磁力計による毎秒計測値を利用して作成された。4月24日の23時59分UTにsfeの開始が見られ、引き続いてSq変動を増大させる傾向でのsfe変動が数10分続いているのがわかる。このsfe変動に伴って周期70秒程度の変動が存在しており、特に東西(D)成分のsfe開始時に顕著に見られる。これがPsfeとよばれる現象である。

Psfeが中層大気擾乱とどのような関係を持つのかを探るため、sfe或いはPsfeが関連していると考えられる電離層D層(～70km)の情報を与えるものとして、オーストラリアから送信されるVLF信号(NWC, 2.23 KHz)の変調の様子を調べた。VLFは地面と電離層D層の間を反射しながら伝播するので、電離層の情報に加えて地下の電気構造の情報も含んでいる。しかし、地下の電気構造の時間変化はPsfeのような早い変動と比較すると極めてゆっくりであり、ほぼ一定とみなしてよいので、VLFの時間変動は中層大気すなわち電離層D層における大気状態の変動に起因すると考えることが許される。図9.1.5に、電波研究所の犬吠出張所で受信されたVLFと柿岡におけるPsfeとをあわせて示した。Psfeは脈動性を強調するために微分波形で示してある。23時59分UTのsfe開始と同時に周期約70秒のPsfeが見られるが、VLFでもPsfeに対応する脈動が存在することがわかる。この結果はsfeに伴って周期70秒程度の変動が電離層D層において存在していることを意味する。

このように脈動性の現象となる理由としてまず考えられるのは、地球磁力線の磁気流体的共鳴振動である。磁気流体的共鳴振動の周期( $T$ )は次式で示される。

$$T = 2 \int_s \frac{(\mu_0 B)^{\frac{1}{2}}}{\rho} ds \quad (9.2)$$

ここで $\mu_0$ は真空における透磁率、 $\rho$ はプラズマ密度、 $B$ は磁場の強さで $s$ は磁力線の線分である。柿岡(磁気緯度 $26.2^\circ$ )付近で予測される磁気流体的共鳴振動の周期は、実在するプラズマモデルと磁場モデルによって計算すると10～15秒となる。従って図9.1.5にあるような周期70秒のPsfeを磁力線の磁気流体的共鳴振動で説明することはできない。残る可能性としては、sfeに伴って到来するX線の中に周期70秒程度の振動成分が含まれているということである。実際、太陽電波の観測や静止衛星軌道におけるX線の観測でもこれを裏付ける報告がある(菊池他、1984)。

太陽面爆発に伴って発生したX線が電離層下部或いは中層大気で短周期の脈動性擾乱を引き起こすことは、中性大気と電離大気の相互作用を研究する上で興味あることであり、今後の研究の発展が期待される。

#### 9.1.4 Sqの振幅の準2年周期振動

気象学的には、大気大循環に関連して赤道域東西風の準2年周期振動(QBO)が、近年注目をあびている。また、オゾン全量にも準2年、準4年周期振動のあることが報告されている(長谷部

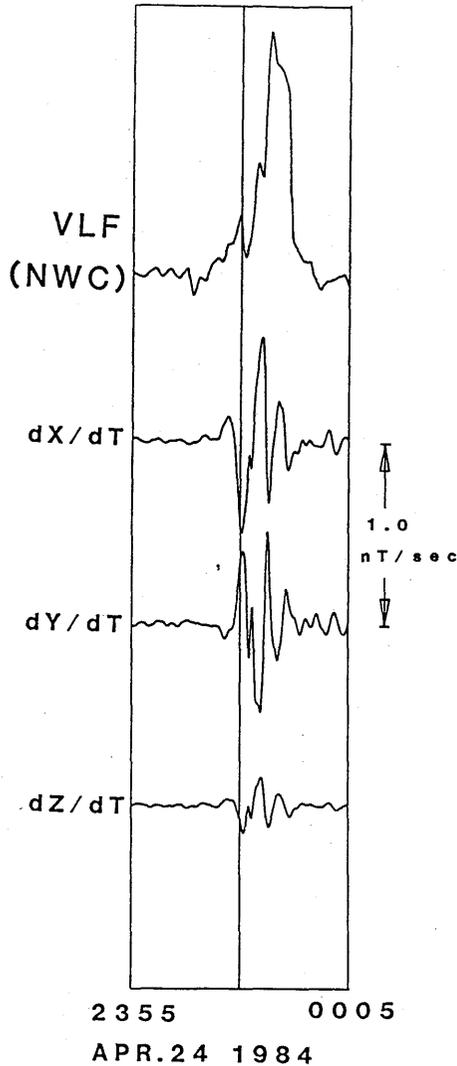


図 9.1.5 1984年4月24日23時59分開始の sfc に伴う VLF (2.23 KHz) と地磁気短周期変動。

他、1983：長谷部、1984)。一方、Sugiura et al. (1977) は Dst 指数や太陽黒点数に QBO があると報告している。これらを総合すると、太陽面から地表近くの対流圏にいたるまで到るところに準2年周期振動 (QBO) が存在することになる。そこで、中層大気と関連のある Sq についても準2年周期があるのか、あるとすればどういう形で存在するのかを調査してみた。解析に当たっては、約2年の周期帯を取り出すため、各物理量の月平均値を12か月移動平均したものに4年以上の長周期成分を除去するようなフィルターをかけた。

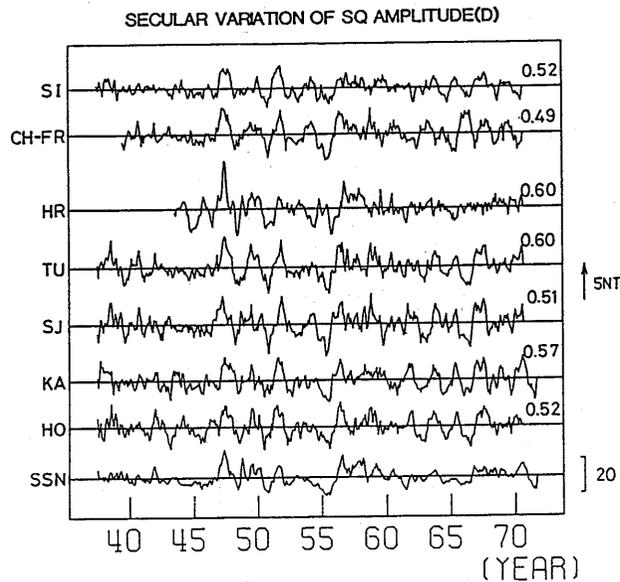


図 9.1.6 : Sitka (SI), Cheltenham(CH), Fredericksburg (FR), Hermanus (HR), Tucson (TU), San-Juan (SJ), Kakioka (KA), Honolulu (HO), における国際地磁気静穏日での Sq (D-成分) の振幅と太陽黒点数(SSN) の経年変化

図 9.1.6 に、世界 7 地点での国際地磁気静穏日における Sq の D 成分及び太陽黒点数について得られた結果を示す。国際地磁気静穏日に限定したのは、地磁気擾乱の影響を除去するためである。右端の数字は各地点での変動の太陽黒点数変動に対する相関係数である。波形は一定していないが、2 年ぐらいの周期の変動が全地点にわたって見られている。ここに現れている QBO は Dst のそれと直接には関連していないが、太陽黒点数との相関から見て、太陽活動の影響は何らかの形で受けていると思われる。太陽活動（太陽黒点数）に伴って太陽電波放射にも QBO が認められており、(Sugiura et al, 1977)、ここでもし太陽紫外線強度にもそのような変化があるとすれば、電離層状態に影響し更に Sq の QBO を引き起こすということは十分考えられるが、太陽紫外線についてのこの様な観測例はまだなく、衛星等による観測データの蓄積を待つばかりである。

図 9.1.7 は、地磁気擾乱 (Ap 指数)、foE、オゾン全量の Sq(D 成分) に対する時間ずらし相関を示したものである。foE、オゾン全量とも、時間差 0 のところで相関が有意なピークを持つが、Ap 指数はむしろ無相関であることがわかる。このことは、Sq と電離層とは QBO においても密接なかかわりを持つが、地磁気擾乱はそれ程 Sq の QBO に影響していないことを示唆する。オゾン全量と電離層状態及び Sq については、両者が直接に影響しあっているのか、それとも共に太陽活動の影響を受けるため、見掛け上相関があるだけなのかは不明である。

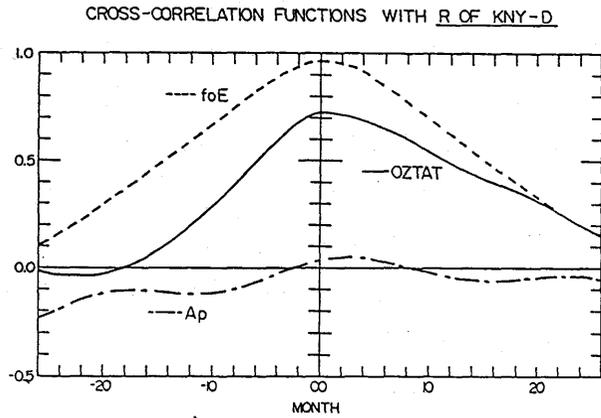


図 9.1.7 : 東京 (国分寺) における電離層 E 層の臨界周波数 ( $f_oE$ )、館野におけるオゾン全量 (OZTAT)、地磁気活動度 ( $A_p$ ) と柿岡における  $S_q$  (D-成分) の振幅との相互相関関数

### 9.1.5 地磁気経年変化と地表気温の相関

長期の気候変動は、太陽活動や地磁気変化によって引き起こされているのではないかと古くから考えられてきた。近年、諸種の連続観測データの蓄積量が充実し、太陽活動気候変動相互関係

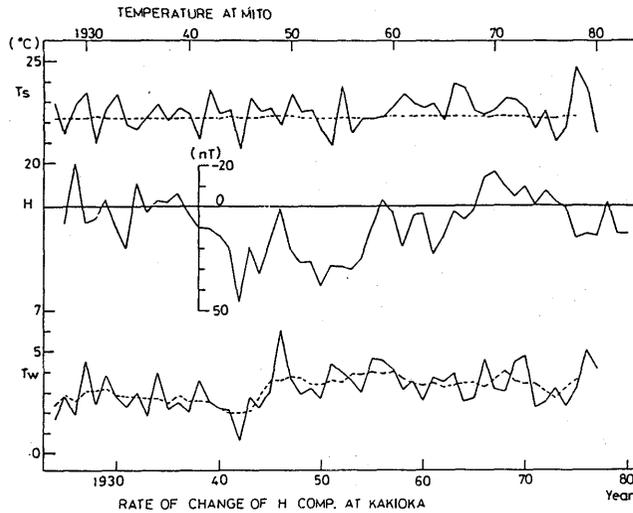


図 9.1.8 : 柿岡の地磁気水平成分年変化量 ( $\Delta H$ ) と水戸の夏 ( $T_s$ )、冬 ( $T_w$ ) 各平均気温の経年変化

(Solar-Weather Relation) についての解析が盛んに進められているが、それらについて言えることは、時間的、空間的に相関の良い部分、悪い部分がまちまちに分布していることである。

相関の仕方が時間的に変動する例として、図9.1.8に柿岡の地磁気H成分の年変化量(年平均値-前年平均値)と水戸の夏、冬各平均気温の経年変化を示す。地磁気と冬気温とが時間差を持った相関を示すため、地磁気の方を3年遅らせ、すなわち地磁気変動が気温変化に先行する形で書いてある。冬気温が地磁気年変化量と一時期良く平行しているように見え、全体の相関係数も-0.46と低くない値を持っているが、これでは地磁気と気温との間に有意な相関があるとは言い切れない。

一方、地表気温と地磁気とが相関を持つとすれば、高層気象と地磁気はより高い相関を示すと考えられる。

図9.1.9は、20、50、100、500mb高度における気温とオゾン全量の夏、冬各平均値及び柿岡における地磁気H成分の月間擾乱日平均と月間静穏日平均の差( $M_d - M_q$ )の経年変化を示したものである。地磁気についてこのような差を取ったのは、地磁気永年変化分を除去し、かつ、純粋な擾乱分を取り出すためである。夏平均には、系統性は特に見られないが、冬平均については、長期的

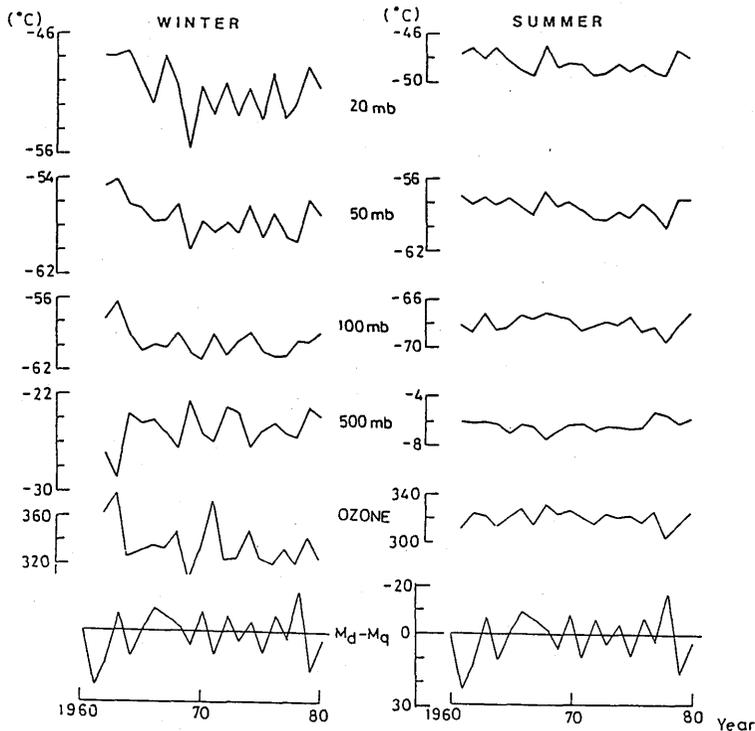


図9.1.9：館野における20mb、50mb、100mb、500mb高度の気温とオゾン全量の夏、冬各平均値および柿岡における地磁気擾乱度( $M_d - M_q$ )の経年変化

に見て、20、50、100mbの気温とオゾン全量が正、500mbの気温と地磁気が負の2次曲線的な変化をしているように見え、何らかの関係を持っているように見える。オゾン全量が100mb気温と良い相関を持つことは良く知られており(関原他、1978)、この結果はそれと調和しつつ、しかも成層圏界面を越えて下層(500mb)で、逆相関になることを示唆している。但し、地磁気変動、オゾン全量はそれぞれ太陽活動に影響されており、オゾン全量が高層気温に関係しているとすれば、ここで見られる相関には太陽活動の影響が間接的に出ている可能性があることを忘れてはならない。

このように物理的に直接的な結びつきを持たない地磁気と気象要素の関係を探るには、今後、例えば両者の相関の良い時期と悪い時期を分離して系統性を探る等、方法を工夫しながら、時間的、空間的に範囲を広げて解析を行う必要がある。

#### 9.1.6 まとめ

以上、いろいろな周期帯で太陽活動、地磁気、気象要素の相互関係について調べた結果を述べた。全体について言えることは、これらの変動の仕方にはある程度の相関が見られるが、現象の周期が長くなるにつれて物理的因果関係がはっきりしなくなっていくということである。

各周期帯の現象の理解を深めるとともに、あらゆる周期帯での太陽地球気象相互関係を物理的に体系付けることができる様に、総合的な視野を持って研究を進めて行くことがこれからとるべき方向であろう。

### 参考文献

- 長谷部文雄、山元龍三郎 1983; "オゾン全量経年変化の全球的解析" MAPシンポジウム第3回、286-290.
- 長谷部文雄 1984; "オゾン全量の4年周期振動" MAPシンポジウム第4回、p. 121-122.
- Ito R., Tsuda T., Aso T. and Kato S. 1984; "Long-Period Oscillations in the Meteor Winds Observed over Kyoto during 1978-1983" J. Geomag. Geoelectr., **36**, 173-188.
- 菊地崇、大塩光夫、大谷晃、貝沼昭司、1984; "1984年4月24日の脈動性電離圏突然擾乱" 地球電磁気学会第76回講演会予稿集、p. 17.
- Sabben D. Van 1968; "Solar flare effects and simultaneous magnetic daily variation" J. atmos. terr. Phys., **30**, 1641-1648.
- Salby L. Murry 1984; "Survey of Planetary-Scale Traveling Waves: The State of Theory and Observations" Reviews of Geophys. and Space Phys., **22**, 209-236.

関原疆、池田弘、菊地直次郎、田村竹男 1978 ; “成層圏気温の長期変動について”高層気象台彙報、  
39, 21—28.

白木正規、下道正則、河村謙 1980 ; “中層大気擾乱に関連した地磁気日変化の解析” M A P シン  
ポジウム第1回., p. 286—290.

## 9.2 地磁気擾乱の地球大気の循環におよぼす影響について \*

### 9.2.1 はじめに

太陽活動・地磁気擾乱などが地球大気におよぼす影響については実に様々な報告がある(例えば SCOSTEP ワーキング ドキュメント II, 1977)。また、その機構についても同様に色々な説がある。しかし、昔考えられたようには太陽活動の影響は直接対流圏に与えられるのではなく、中層大気の循環の変化を通して対流圏に影響がおよぶという考え方が近年強くなってきた。この場合、まず最初にどのレベルに太陽活動の影響が現われるかによって二つの考え方がある。ひとつは、Angell and Korshover (1976), Geller and Alpart (1980) 等の人々のように、成層圏のオゾン濃度や温度場の変化に太陽黒点周期も同様の変動があることから、太陽活動による UV の変化で成層圏の循環がまず変わるという見方である。もう一方は、Hines (1974) のように、もっと上の下部熱圏・中間圏上部の変化が伝わって来るのだという考えである。

さて、太陽活動と気象・気候等の関係は古くより議論されている。太陽黒点周期に関連した約 11 年周期のような長い時間スケールの現象だけでなく、地磁気擾乱や惑星空間磁場のセクターの地球通過のあった数日以内に起る短い時間スケールの現象も近年報告されている。Roberts and Olson (1973) は磁気嵐の後でアラスカ湾付近でトラフが発達することを V A I (Vorticity Area Index) という指数をもちいて示した。これに引続いて Wilcox et al. (1973, 1975) は解析の範囲を北半球全体に広げ、惑星空間磁場のセクター通過後、1 日後に V A I が極小になると、また、この現象は冬季にのみ現われることを示した。さらに、Larsen and Kelley (1977) は Roberts and Olson (1973) と Wilcox et al. (1973) の仕事を統一的に解釈すべき解析を行ない、また、北アメリカ域の Fine Mesh Model による数値予報の 12 時間、24 時間予報値をもとに計算した V A I の予報精度がセクターの通過後悪くなることを示した。

こういった指数をもちいた解析の他に、磁気嵐の後で対流圏の循環パターンがどう変化するかを直接調べる方法もある (Bucha, 1980; Mustel et al. 1980)。これは現象の全体像の把握という観点から重要である。本研究では、まず地磁気擾乱の後、対流圏の循環がどのように変化するか

---

\* 小寺邦彦：高層物理研究部

全般的な様相を各気圧高度で調べ、さらに、その変動が対流圏の内的な要因によるものでないかの吟味を数値予報の資料をもちいて行なった。

### 9.2.2 データ・解析法

気象データは気象庁により編集された北半球客観解析資料データ・セットANALMONの12Zの値をもちいた。解析期間は1976年11月から1981年2月までの5冬期とした。この冬季の選択は、太陽活動等の影響は冬期間に明白にあらわれるという報告(Wilcox, 1975)によったものである。地磁気擾乱後の平均的な対流圏の応答を調べる為、地磁気擾乱のあった日をキイ・デイ(key day)として重ね合わせ平均(superposed mean)を取った。

$$\tilde{Z}(n) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Z(n + k_m)$$

ここで  $Z$  : 気圧高度および地上気圧

~ : 重ね合わせ平均

$k_m$  :  $m$ 番目のキイ・デイ

$M$  : キイ・デイの総数

$n$  : キイ・デイから数えた日数

キイ・デイとしての地磁気擾乱日の選択は、Roberts and Olson (1973) によって用いられた選択基準——日平均 $A_p$ 指数が15以上で、前日の日平均値より少なくとも月平均以上増加した日——を用いて決定した。そして、さらに、前の擾乱日より4日以上離れているもの32の地磁気擾乱日をキイ・デイとした。

数値予報資料は気象庁編集によるデータ・セットNHPMONの12Z時の値をもちいた。ところで、気象庁で用いている数値予報モデルは期間によって異なるので同一のモデル(北半球4層グリッド・モデル)による期間1979年11月から1981年2月の2冬期間についてのみ解析を行なった。500mb高度のイニシャル、24時間及び48時間予報値について、客観解析データと同じく重ね合わせ平均をとって解析を行なった。ただし、予報データの場合は期間が短いためキイ・デイとして用いた地磁気擾乱日は全部で14である。

### 9.2.3 気圧高度変化

地磁気擾乱の前と後で地上気圧の変動に違いがあるかどうかをまず調べた。図9.2.1に地磁気擾乱日前の地上気圧変化分( $\Delta P_S^-$ )と、地磁気擾乱後の変化分( $\Delta P_S^+$ )を示す。変化分は2日間の差をとり以下のように定めた：

$$\Delta P_S^- = \tilde{P}_S(0) - \tilde{P}_S(-2)$$

$$\Delta P_S^+ = \tilde{P}_S(2) - \tilde{P}_S(0)$$

ここで、 $\tilde{P}_S(n)$ は重ね合わせ平均をとった地上気圧、 $n$ はキイ・デイから数えた日数である。

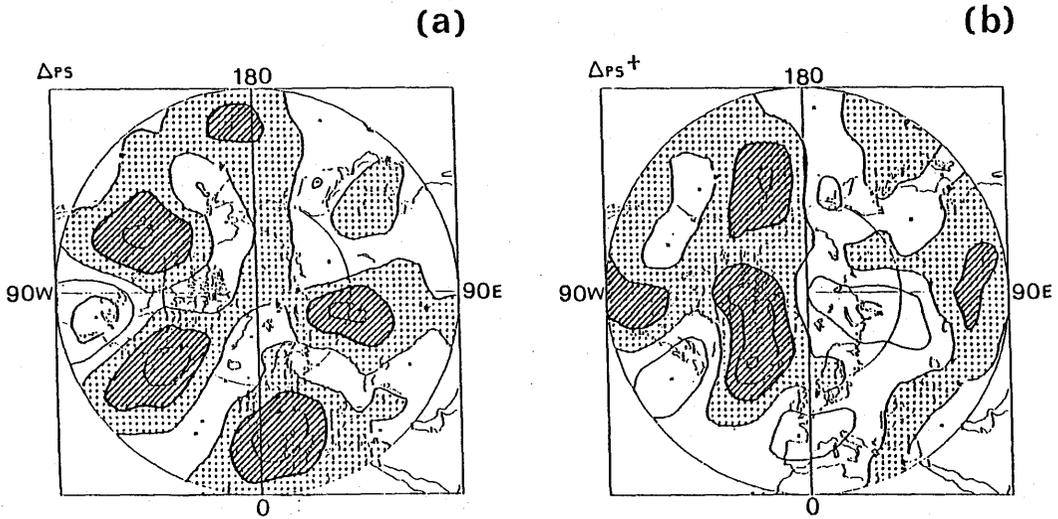


図 9.2.1 (a)地磁気擾乱日とその2日前の平均地上気圧差。  
等圧線は 2 mb 間隔、影は負値、斜線は -2 mb  
以下の値を示す。  
(b){a)に同じ。ただし、地磁気擾乱日とその2日  
後の平均地上気圧差。

等圧線は 2 mb おき、負値は影をつけ、斜線は -2 mb 以下の値を示す。地磁気擾乱の前と後では現われる気圧変化のパターンに大きな違いが見られる。前には、中緯度 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ にかけて波数 5 ~ 6 の波のパターンがきれいに見える。それに反し、地磁気擾乱後にはより高緯度に波数 1 ~ 3 のパターンが現われている。図 9.2.1 は 2 日間の変化分を示したが、1 日ごとの変化分のパターンを調べると、前の場合には、波数 5 ~ 6 のパターンは約 $15^{\circ}$ 経度/日で西から東へ流れていく。一方、擾乱後の高緯度のパターンは、ほぼ同じ場所にとどまっているのがわかる。このことにより、磁気擾乱の前に見える変動は低高気圧システムの空間的な移動ともなう変化で特に意味はないと思われる。それに反し、擾乱後に見られるパターンは、定在波の活動の変化と関連していると考えられる。図 9.2.2 にキイ・デイにおける地上気圧、 $P_s(0)$  を示す。等値線の間隔は 5 mb、H は高圧部、L は低圧部を示している。冬季の定在波のパターンであるアリューシャン・アラスカ湾及びグリーンランド、アイスランドの低圧帯とシベリアの高圧帯がはっきりと見えている。図 9.2.1 (b) の地磁気擾乱後の気圧変化のパターンと、図 9.2.2 の定在波のパターンを比べてみると、大ざっぱに言って、気圧低下部と低圧部とが対応しているのがわかる。

次に、地磁気擾乱後の変動の鉛直構造を調べてみる。図 9.2.3 に、地上気圧の変化分 ( $\Delta P_s^{\pm}$ ) と同様に計算した 500 mb 高度の地磁気擾乱後の高度変化分 ( $\Delta Z_{500}^{\pm}$ ) を示す。等高線は 20 m おき、影は負値、斜線は -20 m 以下の値を示す。500 mb 高度の変化も地上気圧の変化とほぼ同一の

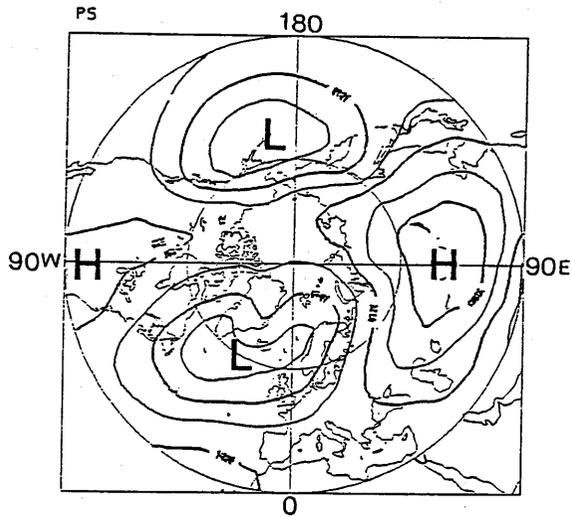


図 9.2.2 地磁気擾乱日の地上気圧。等圧線は 5 mb 間隔、L は低圧部、H は高圧部を表わしている。

パターンが見られる。さらに、各気圧高度で磁気擾乱後の高度変化がどうなっているか、70°N の緯度における高度変化分を図 9.2.4(a) に示す。上から順に 100 mb、300 mb、500 mb、700 mb の高度変化分であり、スケールは右端に記してある。なお横軸は経度（東経）を示す。対流圏全体をと

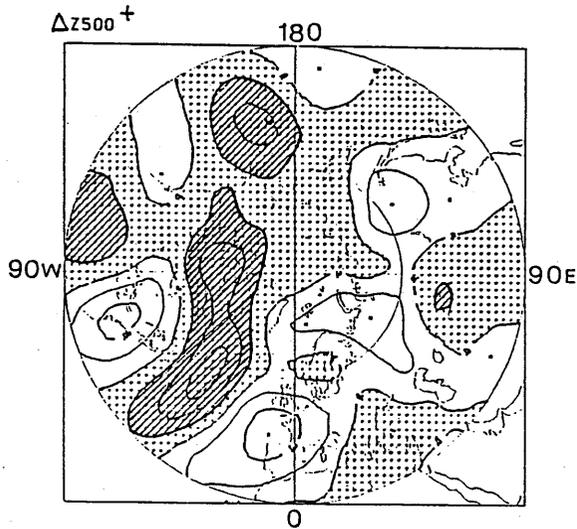


図 9.2.3 地磁気擾乱日とその 2 日後の平均 500 mb 高度差。等高線は 20 m 間隔、影は負値、斜線は -20 m 以下の値を示す。

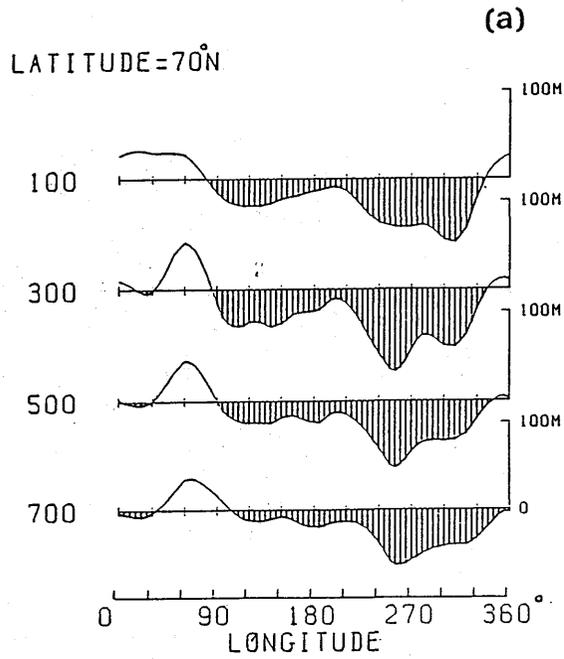
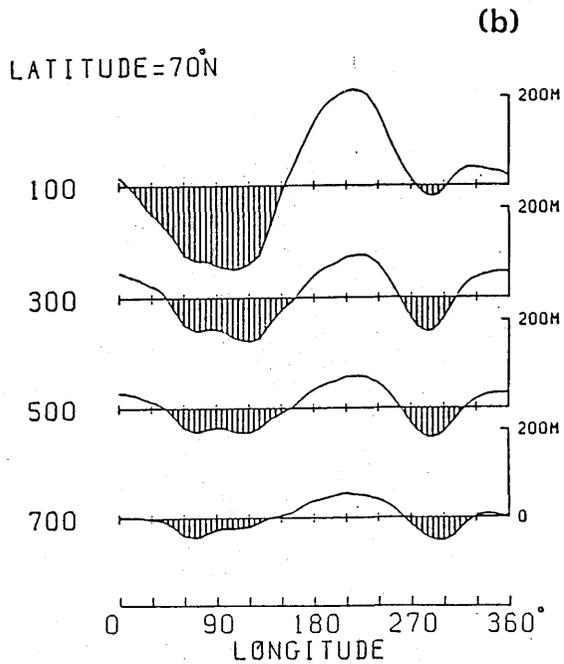


図9.2.4 (a) 北緯70度における、地磁気擾乱日とその2日後の平均気圧高度差。上から順に、100、300、500、700 mbの各レベルでの値。スケールは右端に示し、負値は線で影をほどこしてある。



(b) (a)に同じ。ただし、地磁気擾乱日当日における気圧高度の帯状平均からの偏差。

おしてはほぼ同じ変動が見られる。特に対流圏上層では、 $150^{\circ}\text{W}$ の両側で高度の低下が著しい。この経度はちょうど定在波のリッジに位置している。図9.2.4(b)に図9.2.4(a)と同じく $70^{\circ}\text{N}$ にそった、キイ・デイにおける各気圧高度場の帯状平均からの偏差を示す。すでに地上気圧の変動のところで述べたように、磁気擾乱後の気圧高度変化にも対流圏全体を通して定在波のパターンとの対応が見られる。

#### 9.2.4 予報誤差

前節において磁気擾乱日のあとで、プラネタリー波の定在波の構造との関連を示唆するような変動が対流圏全体で見られることがわかった。こういった変動が対流圏以外の要因によって引き起こされているのなら、その変化は対流圏予報モデルでは予報しえないものであるから予報誤差の増加として現われてくるはずである。従って、地磁気擾乱の後に予報精度がどう変化するかを解析を行なった。

図9.2.5に、A) カナダ北部 ( $70^{\circ}\text{N}$ ,  $130^{\circ}\text{W}$ ) と B) 北太平洋 ( $45^{\circ}\text{N}$ ,  $180^{\circ}\text{W}$ ) の2地点のまわり約  $3 \times 10^6 \text{ km}^2$  で平均した 500 mb 高度の平均 48 時間予報誤差 ( $\epsilon_{48}$ ) を示す。横軸はキイ・デイから数えた日数である。エラー・バーは  $\sigma/\sqrt{M}$  を表わし、 $\sigma$  は標準偏差、 $M$  は重ね合わせの数

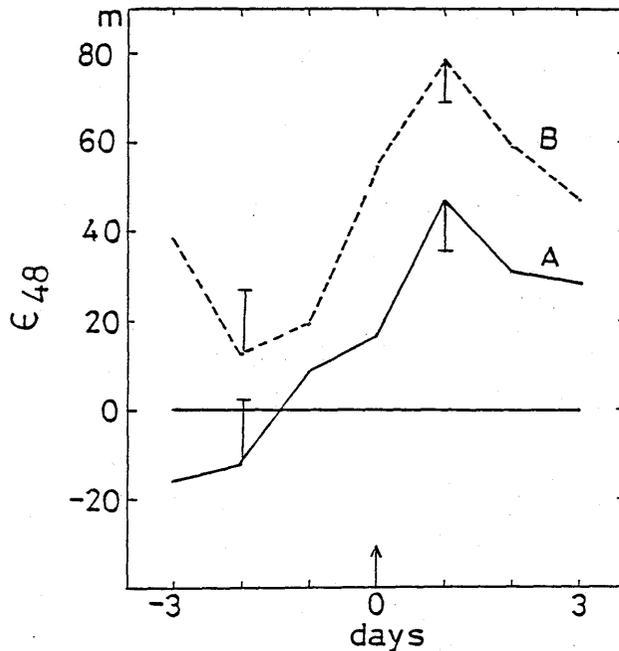


図 9.2.5 500 mb 高度の平均 48 時間予報誤差。横軸は地磁気擾乱日から数えた日数。A) はカナダ北部 ( $70^{\circ}\text{N}$ ,  $130^{\circ}\text{W}$ )、B) は北太平洋 ( $45^{\circ}\text{N}$ ,  $180^{\circ}\text{W}$ ) における値

で今の場合14である。両地点ともキイ・デイの1日後に予報誤差の明白な増加が見られる。この地磁気擾乱後に予報誤差の増大する二地点は、前節で示した地磁気擾乱の後に高度の減少する150°W付近のリッジの両側の地域に対応しており、地磁気擾乱後の気圧高度の変動を数値予報モデルはうまく予報できていないと考えられる。

次に地磁気擾乱の後での予報誤差の増大が全球的規模でどのようになっているかについて調べてみる。ところで図9.2.5から明らかのように、B点の予報誤差はA点より常に約30m大きい。こういった時間的にあまり変化しない、明らかにモデル自身に由来する誤差を除くため気圧高度そのものではなくその時間変化分 ( $\Delta Z / \Delta t$ ) とその予報値 ( $\Delta Z_F / \Delta t$ ) をまず次のように求めた。

$$\Delta Z / \Delta t = \{ \tilde{Z}_0(n) - \tilde{Z}_0(n-1) \} / \Delta t$$

$$\Delta Z_F / \Delta t = \{ Z_{48}(n-2) - Z_{24}(n-2) \} / \Delta t$$

ここで  $\tilde{Z}(n)$  は重ね合わせ平均をとった500mb高度、添え字、0、24、48はそれぞれ、イニシャル、24時間予報、48時間予報値を示す。

こうして得た500mb高度の時間変化分とその予報値の相互相関係数を北緯30°N以北の範囲について計算した。図9.2.6。キイ・デイの前では相関係数はおよそ0.5であるが、キイ・デイの1日後には0.17と大きな減少を示している。このことにより、地磁気擾乱の後で全球的規模で数値予報精度が悪くなっているといえる。

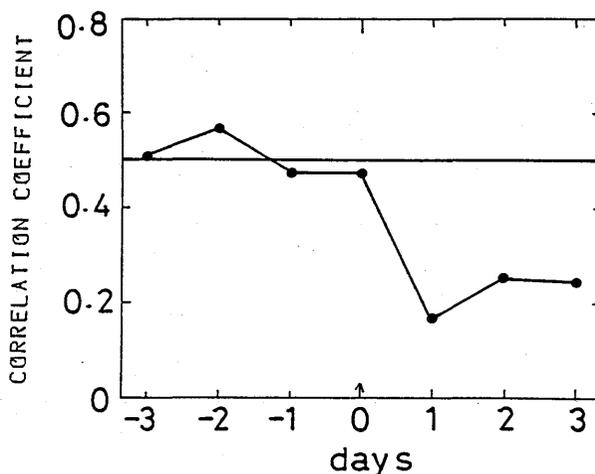


図9.2.6 平均500mb高度の時間変化分とその予報値の相互相関係数。相関係数は北緯30度以北について積分。横軸は地磁気擾乱日から数えた日数。

### 9.2.5 議論およびまとめ

地磁気擾乱などで引き起こされた中層大気の擾乱が対流圏まで影響をおよぼしているかどうかを5年の冬のデータをもちいて調べた。地磁気擾乱のあった日をキイ・デイとしてデータを重ね合わせて解析を行ない、その結果、地磁気擾乱の後、2日以内にアラスカ湾・カナダ北部・グリーンランド・アイスランド付近で地上気圧の低下(～5 mb)が認められた。この結果は、今回とは別の期間(1880-1974)を同様な方法で解析したMustel et al. (1980)の結果とよい対応を示している。このような磁気擾乱後の気圧変化のパターンが冬期の気圧配置の定在波のパターンと良い対応を示すことから、磁気擾乱後の気圧変化は直接的にはプラネタリー波の構造の変化から引き起こされていると推察できる。また、この変動の鉛直構造を調べた結果も今回解析した100 mb 高度まで対流圏全体で地上気圧の変化と同様な変化が認められた。こうした磁気擾乱後の変化が対流圏の外からの原因によって引き起こされているのであれば、当然、対流圏数値予報モデルでは予報できないので予報誤差の増大という形で現われてくるはずである。北半球4層モデルによる24時間、48時間予報値をもちいて解析を行なった結果、磁気擾乱の後で気圧高度の低下する北太平洋、カナダ北部で磁気擾乱のあった1日後に予報誤差の増大が認められた。また、気圧高度の時間変化分とその予報値について北緯30°以北の範囲で相関係数を調べた結果からも、地磁気擾乱から1日後に予報精度が悪くなることが見い出された。

以上の結果より、地磁気擾乱の後、中層大気に起こった変化によりプラネタリー波の伝播特性が変化し、その結果、対流圏においてもプラネタリー波の構造が変化し、それが今回解析したような気圧変化や高度変化として現われると考えることができよう。

今回は、主に、磁気擾乱の後にどのような形でその信号が対流圏に現われるのか、その全体像の把握に重点をおいて解析を行なった。今後は、さらに、どのような機構を通して影響が伝播して行くのか調べていく必要がある。

### 参考文献

- Angell, J. K., and J. Korshover, 1976: Global analysis of recent total ozone fluctuations. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 63-75.
- Bucha, V., 1980: Mechanism of the relations between the changes of geomagnetic field, solar corpuscular radiation, atmospheric circulation and climate. *J. Geomag. Geoelectr.*, **32**, 217-264.
- Geller, M. A., and J. C. Alpert, 1980: Planetary wave coupling between the troposphere and the middle atmosphere as a possible sun-weather mechanism. *J. Atm. Sci.*, **37**, 1197-1215.

Hines, C. O., 1974 : A possible mechanism for the production of sun-weather correlations. *J. Atm. Sci.*, **31**, 589-591.

Larsen, M. F., and M. C. Kelley, 1977 : A study of an observed and forecasted meteorological index and its relation to the interplanetary magnetic field. *Geophys. Res. Lets.*, **4**, 337-340.

Mustel, E. R., V. E. Chertoprud and N. B. Moulukova, 1980 : The reality of solar-weather relations and the changes of atmospheric circulation of solar origin. *Proceedings in Sun and climate, Toulouse, C. N. E. S.*, 151-161

Roberts, W. O., and R. H. Olson, 1973 : Geomagnetic storms and wintertime 300-mb trough in the North Pacific-North America area. *J. Atm. Sci.*, **30**, 135-140.

SCOSTEP, 1977 : Solar-terrestrial physics and meteorology : Working document, I I. Spec. Comm. for Solar-Terr. Phys., Nat. Acad. of Sci., Washington D.C.

Wilcox, J. M., P. H. Scherrer, L. Svalgaard, W. O. Roberts and R. H. Olson, 1973 : Solar magnetic sector structure : Relation to circulation of earth's atmosphere. *Science*, **180**, 185-186.

———, L. Svalgaard and P. H. Scherrer, 1975 : Seasonal variation and magnitude of the solar sector structure-atmospheric vorticity effect. *Nature*, **255**, 539-540.