

複雑な地殻構造による地磁気誘導電流の増幅効果 Amplification of induced current due to complicated resistivity structure in the earth

後藤 忠徳^{1*}

GOTO, Tada-nori^{1*}

¹ 京都大学大学院工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

巨大地磁気嵐によって地下に引き起こされる誘導電流は、送電線網やパイプラインなどのインフラストラクチャを破壊する可能性があることが指摘されている。このような自然災害を未然に防ぐためには、事前の誘導電流強度の予測が必要である。巨大地磁気嵐の発生頻度や大きさについては従来からも研究がなされているが、誘導電流の発生場所である地殻やマンツルの比抵抗構造不均質が強度予測にどの程度の影響を与えているかについては、これまでに研究はなされていない。本研究では2次元・3次元地下構造に対する誘導電流発生の数値シミュレーションを実施し、この問題を議論した。特に水平方向の比抵抗変化が大きい海陸境界に注目して計算を行ったところ、海岸線から20km程度の陸域では誘導電流の大きさは約6倍増幅されることが明らかとなった。また半島部のように海側にせり出した陸域でも同様に誘導電流の増幅効果があることが分かった。これらから、巨大地磁気誘導電流の事前評価を行う際には、その地域の地下および海底下の比抵抗構造を調査し、予測モデルに組み込むことが必要であることが示唆される。

キーワード: 地磁気変化, 誘導電流, 海陸構造, 比抵抗

Keywords: Geomagnetic field, Induced current, Land-Ocean interaction, resistivity

三次元比抵抗モデルを用いた地磁気誘導電場の数値シミュレーション A Numerical Simulation of the Geomagnetically Induced Electric Field with the Three-Dimensional Resistivity Model

遠藤 新^{1*}; 藤田 茂²; 藤井 郁子³
ENDO, Arata^{1*}; FUJITA, Shigeru²; FUJII, Ikuko³

¹ 気象庁, ² 気象大学校, ³ 地磁気観測所

¹Japan Meteorological Agency, ²Meteorological College, ³Magnetic Observatory

カナダやスウェーデンといった地磁気的に高緯度の地域では、地磁気誘導電流 (GIC:Geomagnetically Induced Current) が送電網にダメージを与え、停電を引き起こすことが知られている。そのような高緯度帯に比べ日本のような地磁気的に中低緯度の地域では、GIC が電力網にそれほど大きなダメージを与えるとは考えられてこなかった。しかし、極端宇宙天気現象が発生した場合の GIC についてはこれまで十分に想定されてこなかった。また、GIC は比抵抗分布の局所性にも大きく左右されるが、日本のような地下構造が複雑な地域において三次元的な比抵抗分布を鑑みて GIC を見積もられたこともなかった。そこで本研究では日本における GIC 推定の一歩目として、三次元電磁誘導問題を解くコードを使用し、日本における地磁気誘導電場を数値計算した。その結果、日本における地磁気誘導電場は場所によって値に 10 倍の開きができることがわかった。また 1000 年に一度の磁場擾乱発生時には、地磁気誘導電場が日本の陸上で最大 65.9V/km となることがわかった。

キーワード: 地磁気誘導電流, 急始, 比抵抗, 電気伝導度, 磁気嵐

Keywords: Geomagnetically Induced Current, SC, resistivity, conductivity, magnetic storm

時間領域 MT 法に基づく地磁気時間変化と地下比抵抗構造の同時インバージョン Simultaneous inversion of temporal magnetotelluric signal change and conductivity structure using the time domain simula

今村 尚人^{1*}; Schultz Adam²; 後藤 忠徳¹; 武川 順一¹; 三ヶ田 均¹
IMAMURA, Naoto^{1*}; SCHULTZ, Adam²; GOTO, Tada-nori¹; TAKEKAWA, Junichi¹; MIKADA, Hitoshi¹

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² オレゴン州立大学

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University, ² Oregon State University

MT 法は地下比抵抗構造を求める探査法であるが、その際に MT 信号源の強度変化については論じないことが多い。しかし高緯度地域や地球規模スケールでは、MT 信号源の時間変化と地下構造を同時に議論することが必要である。これまでに、観測される電磁場から MT 信号源となる地磁気変動と地下比抵抗構造を推定する手法が幾つか提案されている。例えば Koch and Kuvshinov (2013) では、地磁気変動と地下比抵抗構造を周波数領域で推定している。Koch and Kuvshinov (2013) では、地磁気変動と比抵抗構造のうち片方を固定しもう片方をインバージョンするフローを交互に行っている。しかしながら、インバージョンの安定化と、一般的に非定常な時系列変化である MT 信号源の特性を考慮すると、周波数領域ではなく時間領域において、MT 信号源である地磁気の時系列変化と比抵抗構造を同時に逆解析することが、より高精度な推定法であると考えられる。そこで本研究では、数値計算モデルに対して時間領域での逆解析手法を適応した。その結果、観測される電磁場にノイズを含んだ場合であっても地磁気時間変化と地下比抵抗の両方を推定可能であることが明らかとなった。さらに数値的に作成した観測される電磁場の時系列波形に対して、今回開発した時間領域での逆解析と周波数領域での逆解析を比較したところ、時間領域での逆解析を用いることでより高解像度な逆解析結果を得られることが明らかとなった。

キーワード: マグネットテルリック法, 時間領域解析, 同時インバージョン

Keywords: Magnetotelluric method, Time domain modelling, Simultaneous inversion

柿岡・鹿屋・女満別の地電位差の特徴 Goelectric Field at Kakioka, Kanoya, and Memambetsu

藤井 郁子^{1*}
FUJII, Ikuko^{1*}

¹ 気象庁地磁気観測所

¹ Kakioka Magnetic Observatory, JMA

気象庁地磁気観測所では、柿岡、鹿屋、女満別において地電位差観測を連続的に行っており、80年余りのデータの蓄積がある。これらのデータを地磁気誘導電流（GIC）の研究に利用できるか、可能性と注意点を調べた。

柿岡、鹿屋、女満別の地電流観測は、地理的な南北東西にそれぞれ電極を配置し、地電位差の南北成分、東西成分を観測している。時期によって、電極位置、基線長、サンプリング間隔、電極素材、機器フィルターなど観測の詳細が異なり、データの質にも差がある。

3地点の地電位差の性質を調べるにあたり、2000年1月～2011年2月の期間を選んで、解析を行った。この期間を選んだ理由は、高速サンプリングが可能になっていたため多様なデータが利用できることと、比較的最近であるため観測の詳細について調査がしやすかったことである。また、この期間であれば、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の影響や、その後の機器の更新などの影響も避けることができる。

選択した期間は、観測所構内の200～300mの短い基線長を利用した観測のため、電極の不安定性が無視できず、長期的には不安定なデータであった。短期的には、静穏時の周期100秒以下で地磁気3成分データとの相関が低く、定常的な人工ノイズの存在が示唆されるものの、周期100秒～1日では地磁気3成分データとの相関は十分高くなり、誘導電位差を良好に計測していることが示された。柿岡では東西成分が南北成分より約10倍振幅が大きく、女満別では南北成分のほうが東西成分より振幅が大きいなど、場所による特徴がみられた。

地下構造の影響推定とノイズ分離のために、3地点でそれぞれMT応答関数を計算した。周期10000秒以下は、2003年～2004年の大規模磁気嵐時の0.1秒値、1秒値、1分値を用いて、BIRRP(Chave and Thomson, 2004)によりロバスト推定を行った。周期10000秒以上は2000年1月～2011年2月の1時間値を用い、Fujii and Kanda (2008)のカルマンフィルターを改良して異常値に対応できるようにし、電極の不安定性などによるトレンドと段差型変化を除去してから、MT応答関数の推定を行った。0.1秒値、1秒値では、機器フィルターの影響が計測値に残っており、観測所に残されていたフィルター係数を用いて補正を行ったが、0.1秒値では周期数秒以下、1秒値では周期数十秒以下で完全には信号を回復できなかった。4種類のサンプリングデータの利用可能範囲を組み合わせることで、周期数秒から10日までのMT応答関数を得ることができた。このMT応答関数をコンボリューションにより時間領域でのフィルターに変換すれば、地磁気観測値から地電場を推定することができる。

その前に、地電位差に含まれる地下浅部の見かけの影響を見積もるため、地磁気3成分データから求めたC応答関数(Fujii and Schultz, 2004)とMT応答関数を比較した。周期5日以上の周期帯では、地下が1次元構造であればMT応答関数のZxy成分とC応答関数が一致するはずで、差があった場合は、地下浅部の小規模な不均質が見かけの地電位差を作っていると考えられている。柿岡のZxy成分は周期5日以上でも1000?mを越える極めて高い値を示していたが、浅部の不均質により約100倍に増幅されていることが示唆された。

柳原・横内(1965)は、柿岡の地電位差の周期100秒程度の特徴について、筑波山塊を形成する基盤岩が観測所近傍では地表まで露出しており、堆積物との間に顕著な電気伝導度境界を形成して、地電流の南北成分をせき止めていると説明した。このモデルは深度方向には2km程度の不均質であり、この地下構造が周期5日以上の電磁誘導が浸透する約800kmの深度スケールまで顕著な影響を与えているとすると、地下構造やGICの推定にとって考慮すべき事情となる。今後、Forwardモデルによる確認を行う予定である。

柿岡、鹿屋、女満別の3地点での地電位差データについて調べた結果から、GICの推定に利用する場合について考察してみる。3地点とも、GICの主要な周期帯である数百秒以下では、擾乱時に地磁気変化に対応した変化をしており、基本的には誘導電場の推定に利用できる。しかし、基線長が短いため、誘導電位が十分増幅されず、電極周辺に起因する変化が、特に柿岡では頻発する。電極関係の変化を誤解する事例を防ぐためには、基線長を長くするか、電極周りの環境変化対策を行うなどの観測の手直しが必要だろう。また、観測点によっては局所的な影響が非常に強く、地域の平均的な誘導電場を推定するには誤差が大きい。予め局所的な影響を調べておく必要がある。

キーワード: 地電場, 電磁誘導, 地磁気誘導電流, MT 応答関数

Keywords: geoelectric field, induction, geomagnetically induced current, MT response

MT 法探査とソースフィールド Magnetotelluric method and the source field with finite wave number

小川 康雄^{1*}
OGAWA, Yasuo^{1*}

¹ 東京工業大学火山流体研究センター
¹ Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

MT (magneto-telluric) 法は現在では地殻や上部マントルの構造の研究のために広く使われ、近年では3次元構造がルーチ的に解析できるにまで至っている。MT法のソースは通常平面波として仮定されている。しかしながらソースが有限長の波長を持つ場合には、電磁場の比として定義されるインピーダンス(そこから計算される見掛け抵抗と位相)と、地磁気変換関数は影響を受ける。単純に、一様な比抵抗を持つ大地に有限長の波長を持つソースが入射する場合について計算すると、平面波を仮定して計算される見掛け抵抗は下方にバイアスされ、位相は増える方向にバイアスされる。また地磁気変換関数は、その位相が $\pi/4$ になり、実部と虚部が等しくなる。

実際の高緯度地域や磁気赤道地域で行なわれた MT 観測データについても、レビューする。

キーワード: MT 法, ソースフィールド
Keywords: magnetotelluric method, source field

電離層電流の地電流電磁的結合：非一様・非等方性伝導度の効果
Electromagnetically coupled system between non-uniformly and anisotropically conducting inner earth and upper atmosphere

吉川 顕正^{1*}
YOSHIKAWA, Akimasa^{1*}

¹九州大学国際宇宙天気科学・教育センター
¹International Center for Space Science and Education, Kyushu University

Electromagnetically coupled system between upper atmosphere and inner earth, is discussed. It is well known that upper atmosphere and inner earth system is electromagnetically coupled across very small conducting atmospheric region, which means 'primary' induced electric field produced by the mutual coupling is almost inductive (divergence free). However if the conductivity distribution is inhomogeneous, 'secondary' polarization (curl-free) electric field can be produced at the region of conductivity gradient. In the ionosphere, non-uniform Hall conductivity distribution induces the Hall polarization field, which becomes cause of current concentration and potential deformation by the Cowling effect. Formation of Cowling channel is one of the most important and peculiar nature of weakly ionized system under strongly background magnetic field distribution.

In this presentation, we will introduce basic feature of electrodynamics at the non-uniform and anisotropically conducting ionosphere, and will discuss a possible electromagnetic coupling mechanism when the telluric conductivity distribution is non-uniform and anisotropic.

キーワード: 電離層電流, 地電流, 電磁結合系

Keywords: ionospheric current, telluric current, electromagnetically coupled system

磁気嵐による地球内部電磁誘導の全体分布 The distribution of the internal geomagnetic field during a magnetic storm

岩下 耕大^{1*}; 藤 浩明²
IWASHITA, Kodai^{1*}; TOH, Hiroaki²

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism,

磁気嵐時の地上で観測した磁場データを用いて、磁気ポテンシャルのガウス係数を求め、それから地球内部に流れる電流を推定する。

地表で観測される磁気嵐には、突発性のもの太陽の自転周期と同期したものの二種類がある。では地球は、この様な強い外部磁場擾乱に対し、どのような応答を示すのだろうか。

今回は、導体としての地球が、巨大磁気嵐のような強い磁気変化に対し、どのくらいの誘導電流を作るかを、球面調和関数展開と地球内部電磁誘導の三次元時間領域順計算コードを使って定量的に見積もった。球面調和関数展開では、地磁気センターに保存されている海底を含む地表の地磁気観測網データを使用し、それぞれの擾乱現象毎に地球磁場の内外分離を行う。また、三次元電磁誘導計算では、球面調和関数展開で求めた外部ガウス係数の時間変化を用い、磁気嵐の際に地球内部に誘導される電流を可視化、定量化する。

この研究では、巨大磁気嵐の際に地表付近のどの程度誘導電流が流れるかや、求めた内外比から導体地球の電気伝導度を推定するといった展開が考えられる。

キーワード: 誘導電流, 磁気嵐

Keywords: induced current, magnetic storm

キャリントンストームはなぜ急速に回復したのか？ Why did the Carrington storm recover very rapidly?

桂華 邦裕^{1*}; 海老原 祐輔²; 片岡 龍峰³
KEIKA, Kunihiro^{1*}; EBIHARA, Yusuke²; KATAOKA, Ryuho³

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 国立極地研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ³National Institute of Polar Research

1859年9月2日に発生したキャリントン磁気嵐は、その規模と発達率はそれぞれ1時間平均値換算で約850 nT、約400 nT/hと極めて大きい。巨大地磁場変動は磁気嵐主相だけにとどまらず回復相にも見られ、回復率はインドのボンベイで1000 nT/h以上、1時間平均値でも300 nT/h以上に達した。20世紀および21世紀初頭に観測された巨大磁気嵐も、他の平均的な磁気嵐に比べ回復率が大きい。

磁気嵐の発達は、太陽風速度や密度、惑星間磁場の大きさや向きに大きく依存する一方で、磁気嵐の回復は地球内部磁気圏での物理プロセス、特にプラズマ圧を減少させるプロセスが重要な役割を担う。これまで提唱されているプロセスとしては、(1)電荷交換反応による酸素イオンの中性化、(2)イオンの磁気圏外への流出、(3)EMIC波動との相互作用に伴うピッチ角散乱による大気への降り込み、などが提唱されている。また、(4)もし磁気嵐のピーク時周辺で太陽風動圧が急激に増加すれば、磁気圏界面電流の増強により磁気嵐の回復がより速くなると考えられている。

本講演では、太陽風データが入手可能な巨大磁気嵐 (Dst minimum < -200 nT) の回復相に着目し、太陽風パラメータとDst指数との相関を示すBurton経験則を修正することで、太陽風密度変動に関連するイオン流出過程で速い回復を説明できるかどうか調査する。また、電荷交換反応のみで再現するために必要な酸素イオン量、波動粒子相互作用のみで説明するために必要なEMIC波動活動領域の広さ、磁気圏界面電流の急増のみで説明するために必要な太陽風動圧変化、をそれぞれ見積もる。その上で、キャリントンイベントのような超巨大磁気嵐の回復相では磁気圏内で何が発生し得るか、どの程度大きな磁気嵐回復率、すなわち地上磁場時間変動を作り出すことができるか議論する。

キーワード: キャリントンイベント, 巨大地磁気誘導電流, 環状電流, 磁気圏界面電流, 惑星感空間衝撃波, コロナ質量放出
Keywords: The Carrington event, Geomagnetically induced currents (GICs), Ring current, Magnetopause current, Interplanetary shocks, Coronal mass ejections (CMEs)

誘導電流の考察——地磁気急始変化 (SC) の場合 Consideration of geomagnetically induced currents — a case of geomagnetic sudden commencement(SC)

荒木 徹^{1*}; 新堀 淳樹²

ARAKI, Tohru^{1*}; SHINBORI, Atsuki²

¹ 中国極地研究所, ² 京大生存圏研究所

¹Polar Research Institute of China, ²RISH, Kyoto University

Siscoe et al. (1968) は、地磁気急始変化 (SC) の H 成分振幅 ΔH と太陽風動圧 P_d との関係を、 $\Delta H = f g k \Delta(\sqrt{P_d})$ と仮定し、実験的に比例係数 k を求めた。ここで、 f は、太陽風と磁気圏の相互作用に関わる係数 (1-2 の値を取る) で、 g は地下誘導電流効果を表し、1.5 と取られた。力武先生は、「SC には、誘導電流が効く筈ですよ」と言っておられたが、その後も誘導電流効果の理解は進まなかった。ここでは、今の SC モデルの下での物理的考察を深めたい。

SC(H 成分) 波形の汎世界的分布を眺めると、SC の擾乱場が、低緯度で卓越する階段状増加 (DL と記す) と、高緯度で大きい 2 パルス構造 (DP_{pi} + DP_{mi} と表す) の重畳になっていることが判る。pi は、最初のパルス (preliminary impulse) を、mi は、引き続く主パルス (main impulse) を表す。DL 場の主たる源電流は、磁気圏圧縮時に強化される磁気圏界面電流 (MC) であり、DP 場は、圧縮に伴って生じる沿磁力線電流 (FAC) と、それによる電離層電流 (IC) によって作られる。したがって、SC 時の誘導電流を作る源電流としては、MC、FAC、IC の 3 種を考えねばならない。FAC は、ほぼ南北方向に流れるので、H の変化に着目する時は無視できる。

電離層は海水と同程度の電気伝導度を持つから、MC の誘導電流は電離層と地球内部の両方に流れる。地上場は、地球内部誘導電流によって強められ、電離層誘導電流によって弱められるから、DL 場に対する誘導電流効果は、大きくないとして良いであろう。DP 場を作る IC の誘導電流は、地球内部のみに流れるから、DP 場はそれにより強化される。

日本付近の緯度での H と D の SC 振幅は、8hLT 頃で、H は最小に、D は最大になる。一方、現実的電離層分布を与えて、極地方に出入りする一対の FAC による IC の緯度 LT 分布を計算すると、中低緯度の 8hLT 頃では電流が南北方向に流れる事が判る。つまり、観測と計算の結果は一致して、8hLT 付近で観測される SC(H) は、IC にも FAC にも影響されない DL 場であり、かつ、これには誘導電流も大きな影響を与えないと考えられる。

このように、SC の緯度 LT 分布と源電流の理解が、誘導電流効果の考察に必要なになる。

キーワード: 地磁気急始変化 (SC), 誘導電流, 電離層電流, 磁気圏界面電流, DL/DP 場

Keywords: sudden commencement, induced current, ionospheric current, magnetopause current, DL/DP-field

地磁気誘導電流に現れる準周期 DP2 変動 Quasi-periodic DP2 fluctuations in the geomagnetically induced currents

菊池 崇^{1*}; 亘 慎一²; 橋本 久美子³; 海老原 祐輔⁴

KIKUCHI, Takashi^{1*}; WATARI, Shinichi²; HASHIMOTO, Kumiko³; EBIHARA, Yusuke⁴

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 情報通信研究機構, ³ 吉備国際大学, ⁴ 京都大学生存圏研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Kibi International University, ⁴Research Institute for Sustainable Humanosphere

GIC(Geomagnetically induced current) は地磁気南北成分 B_x の時間変化による誘導電流と理解されているが、北海道で測定された GIC が東西成分 B_y とよい相関関係にあることが Watari et al. [Space Weather 2009] により示された。一方、GIC に日変化や季節変化のあることが報告され、太陽放射の影響を受けて日変化や季節変化する電離圏電流のリターン電流である可能性が指摘された [Braendlein et al., JGR 2012]。Braendlein et al. [JGR 2012] は、Kikuchi and Araki[JATP 1979] が提案した Earth-ionosphere waveguide(EIW) モデルを応用して、GIC が TM0 モード波が誘導する地面電流である可能性を指摘した。KA1979 モデルによると、TM0 モードの波面電流が地面電流と電離圏電流をつないでおり、地面電流は電離圏電流のリターン電流とみなすことができる。しかし、KA1979 モデルは半無限長の導波管を仮定しているために、TM0 モード波が光速度で低緯度方向へ伝搬する途中の過渡的な電流系を実現しているが、実際の電離圏電流や GIC は準定常電流であり、準定常電流が TM0 モード波の波面電流で結合するかどうかが課題であった。この問題を解決するために、Kikuchi[JGR 2014] は有限長伝送線理論を適用して、TM0 モード波が高緯度と赤道の間を繰り返し伝搬することにより電流が時間とともに増加し、1 秒から 10 秒程度の時定数を持って電離圏と地面に準定常電流を流すことを示した。本研究では、2006 年 12 月 14 日に発生した太陽風磁場の周期変動に起因する DP2 地磁気変動に伴う GIC を解析し、Kikuchi[JGR 2014] の MIG(magnetosphere-ionosphere-ground) 伝送線モデルが示すように、磁気圏から極域電離圏さらに赤道電離圏へ流入する電流のリターンとして中緯度 GIC を理解できることを示す。解析した DP2 変動は 2006 年 12 月 14 日 21 - 23UT の時間帯で発生し、周期 40 分の赤道ジェット電流 EEJ の振動を伴った。EEJ の振動は IMF の周期振動に対応し、R1FACs(領域 1 型沿磁力線電流) と R2FACs が交互に赤道電離圏へ流入することで発生した [Kikuchi et al., JGR 2010]。EEJ 振動は、午前中に位置する中低緯度 (Para Tunka, Memambetsu, Kakioka) の地磁気 D 成分の振動と正相関にあり、電離圏電流が高緯度から午前の中低緯度を経て赤道へ流入したことを示している。一方、北海道で測定された GIC は中低緯度地磁気 D 成分と正相関にあり、したがって、赤道 EEJ とも正相関にあることが明らかになった。この結果は、中緯度 GIC が地面電離圏導波管の TM0 モード波の波面を経由して地面へ流入するリターン電流とみなすことができることを示している。また、磁気圏から地面まで電流が流れる MIG 伝送線回路が現実に機能することを示している。

キーワード: 中緯度地磁気誘導電流, 中緯度磁場 D 成分, 赤道ジェット電流, 地面電離圏導波管 TM0 モード波

Keywords: midlatitude geomagnetically induced current, midlatitude D-component magnetic field, equatorial electrojet, TM0 Earth-ionosphere waveguide mode

太陽型星におけるスーパーフレアの統計的性質 Statistical properties of superflares on solar-type stars

前原 裕之^{1*}; 柴山 拓也²; 野津 湧太²; 野津 翔太²; 本田 敏志³; 野上 大作²; 柴田 一成²
MAEHARA, Hiroyuki^{1*}; SHIBAYAMA, Takuya²; NOTSU, Yuta²; NOTSU, Shota²; HONDA, Satoshi³; NOGAMI, Daisaku²
; SHIBATA, Kazunari²

¹ 東京大学, ² 京都大学, ³ 兵庫県立大学

¹University of Tokyo, ²Kyoto University, ³University of Hyogo

太陽フレアは太陽大気中で起こる爆発現象で、典型的には 10^{29} - 10^{32} erg のエネルギーを解放する。近年の宇宙空間からの高精度の測光観測によって、太陽と似た恒星 (自転の遅い G 型主系列星) において、最大級の太陽フレアの 10 から 10000 倍ものエネルギーを解放する「スーパーフレア」が起こることが明らかとなった。

我々はケプラー衛星による高時間分解能 (時間分解能 1 分) の約 1300 個の太陽型星のデータの解析を行ない、20 天体における約 150 個のスーパーフレアを新たに検出した。検出されたフレアのエネルギーは 10^{33} - 10^{35} erg (GOES クラスで X100 から X10000 の太陽フレアのエネルギーに相当する) だった。これらのフレアのデータと、時間分解能の低いデータから検出したスーパーフレア (279 星で 1547 フレア) の結果をあわせるとスーパーフレアの発生頻度分布は指数-2 のべき関数分布となることがわかった。さらに、自転周期 10 日以上、表面温度 5600-6000K の太陽と似た星におけるスーパーフレアの発生頻度分布と太陽フレアの発生頻度分布は、ほぼ同じべき関数の上にあることもわかった。これらの結果からスーパーフレアの平均発生頻度を求めると、 10^{33} erg のスーパーフレアで約 100 年に 1 回、 10^{34} erg のスーパーフレアでは約 1000 年に 1 回程度になる。また、スーパーフレアの継続時間はフレアで解放されるエネルギーに依存しており、太陽型星におけるスーパーフレアの継続時間はエネルギーの 1/3 乗に比例して長くなる傾向がみられた。これは太陽フレアの継続時間とエネルギーの関係と同様である。これらの結果は太陽型星のスーパーフレアと太陽フレアの統計的な性質が同様であることを示唆する。

キーワード: スーパーフレア, 太陽フレア

Keywords: superflare, solar flare

オーロラジェット電流指数の極値統計解析 Extreme value statistics analysis of the auroral electrojet indices

中村 雅夫^{1*}; 米田 麻人¹; 坪内 健²
NAKAMURA, Masao^{1*}; YONEDA, Asato¹; TSUBOUCHI, Ken²

¹ 大阪府立大学, ² 東京工業大学
¹Osaka Prefecture University, ²Tokyo Institute of Technology

The worst space environment phenomena have a possibility of damaging electric transmission grids due to large induced currents on the earth and causing satellite anomalies due to increased high energy plasma on satellite orbits. Therefore a statistical study of the worst substorm events is important. For the study, we utilize extreme value statistics, which focus on the statistical behavior in the tail of a distribution. We analyze the one-minute values of the auroral indices (AE, AU, AL) in 1996-2012. These indices are derived from geomagnetic variations in the horizontal component observed at twelve observatories along the auroral zone in the northern hemisphere. The AU and AL indices are the uppermost and lowermost envelopes of the superposed horizontal component perturbations, and are thought to represent the maximum eastward and westward electrojet currents over the auroral zone, respectively. The AE index is defined by the separation between the upper and lower envelopes ($AE=AU-AL$) and commonly used as an index of the aurora activity. As a result of the analysis, we can estimate the upper limit of AU and the lower limit of AL, which suggests the maximum strengths of the eastward and westward electrojet currents. However, it is found that the AE index is not suitable for the extreme value statistics analysis, because it is a combined index. The largest values of AE are not generated by a single process and do not show a simple extreme value distribution.

キーワード: オーロラジェット電流指数, 極値統計
Keywords: Auroral electrojet index, Extreme value statistics

柿岡・女満別・鹿屋の地磁気変動量の統計的推定
Statistical estimations of geomagnetic disturbances at Kakioka, Memambetsu and Kanoya

源 泰拓^{1*}; 藤田 茂²; 仰木 淳平¹; 原 昌弘¹
MINAMOTO, Yasuhiro^{1*}; FUJITA, Shigeru²; OOGI, Junpei¹; HARA, Masahiro¹

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 気象庁気象大学校

¹Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ²Meteorological College, Japan Meteorological Agency

巨大地磁気誘導電流を引き起こす地磁気擾乱の規模について、気象庁による地磁気観測データの統計解析を行った。

1. 柿岡における 1932 個の磁気嵐観測例から、千年に一度生じうる磁気嵐の規模を推算した。
2. 柿岡・女満別・鹿屋における、各々 2848 個、2408 個、2257 個の storm sudden commencements、sudden impulses 観測例から千年に一度生じうる現象の規模を推算した。
3. 柿岡・女満別・鹿屋における、約 30 年間の地磁気毎分値から、地磁気変動量の統計的特性を見出し、起こりうる顕著な変動量を検討する。

キーワード: 磁気嵐, si, ssc, 統計値, 地磁気観測所

Keywords: magnetic storm, sudden impulse, storm sudden commencement, statistics, magnetic observatory

日本における地磁気誘導電流測定データの解析 Analysis of geomagnetically induced current measured in Japan

巨 慎一^{1*}
WATARI, Shinichi^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Informaton and Communications Technology

地磁気嵐に伴う地磁気誘導電流により送電網に障害が発生する可能性があることが知られている。地理緯度に比べて、地磁気緯度の低い日本では、その影響は、小さいと考えられている。しかし、日本と同じくらいの地理緯度の南アフリカ共和国で、2003 年 10 月の大きな地磁気嵐の際に、地磁気誘導電流の影響によりトランスが焼損した事例が報告されている。2005 年から 2007 年にかけて北海道電力の協力を得て女満別の変電所のトランスで地磁気誘導電流の測定を行った。このデータと気象庁女満別観測所の地電流測定による電場データとの比較を行った。その比較結果を基に電場の観測データを使って過去の大きな地磁気嵐に伴う地磁気誘導電流の評価を行った。その結果について報告を行う。

キーワード: 地磁気誘導電流, 地磁気嵐, 地電流, 電力網, 宇宙天気

Keywords: Geomagnetically Induced Current, geomagnetic storm, earth current, power grids, space weather

グローバルMHDシミュレーションを用いた太陽風動圧の大きな急上昇に対する磁気圏応答
Global MHD simulation of the magnetospheric response to large and sudden enhancement of the solar wind dynamic pressure

久保田 康文^{1*}; 片岡 龍峰²; 田光江¹; 田中 高史³; 長妻 努¹; 藤田 茂⁴
KUBOTA, Yasubumi^{1*}; KATAOKA, Ryuho²; DEN, Mitsue¹; TANAKA, Takashi³; NAGATSUMA, Tsutomu¹; FUJITA, Shigeru⁴

¹ 情報通信研究機構, ² 国立極地研究所, ³ 九州大学, ⁴ 気象大学校
¹NICT, ²NIPR, ³Kyushu University, ⁴Meteorological College

A large and sudden enhancement of the dynamic pressure in the solar wind generates a geomagnetic sudden commencement (SC). The magnetic field variation of SC at auroral latitudes shows a bipolar change which consists of preliminary impulse (PI) and main impulse (MI). Fujita et al. [2003a, 2003b] reproduced the PI/MI magnetic field variation using a magnetosphere-ionosphere coupling simulation and clarified the fundamental mechanisms. Interestingly, Araki et al. [1997] reported an anomalously large-amplitude SC of more than 200 nT with an unusually spiky waveform at low latitude, which occurred when the magnetopause was pushed inside geostationary orbit. Such a super SC is the target of this study. We investigate the large-amplitude SC at auroral latitudes when a large solar wind dynamic pressure impinges on the magnetosphere using a newly developed magnetosphere-ionosphere coupling simulation which has advanced robustness. We simulate two SC events of dynamic pressure enhancement of 16 times larger than the standard value, caused by the density enhancement and velocity enhancement, respectively. As an initial result of the comparison with the SC events, it is found that magnetic field variation of PI/MI is larger and sharper in the case of velocity rise than the case of density rise. It is therefore suggested that high-speed solar wind may be needed to create large and sharp SC. It is also found that a magnetic field variation similar to so-called Psc appears after PI/MI only in the case of velocity rise. When the high-speed solar wind impinges on magnetosphere, vortices are repeatedly formed at the equatorial magnetopause, probably due to the K-H instability. It seems that the high pressure of the vortices play an essential role as a current generator to drive the field-aligned currents and the magnetic field oscillation. In this presentation, we discuss the mechanisms of super SC in more detail, combining the other interesting simulation results.