

特異で大きな地磁気急始変化 (SC) Anomalous large amplitude geomagnetic sudden commencement (SC)

荒木 徹^{1*}Tohru Araki^{1*}¹ 中国極地研究所¹Polar Research Institute of China

1991年3月24日0341UT, 磁気圏赤道面近くの地心距離2.6Re(高度8700km), 地方時2.5hの位置で, CRRES衛星が放射線内帯高エネルギー電子の急増を観測した[Blake et al., 1992]. この時, 地上地磁気H成分は短く鋭い大パルスが先行するSCを汎世界的に観測し, その後大きな磁気嵐が発達した. 柿岡のH成分1秒値によれば, このパルスの強度は202nT, 継続時間は約1.5分であった[Araki et al., 1997]. 立ち上がり時間(rise time)は28秒なので, 磁場変化率は $202/28 = 7.2\text{nT/sec}$ になる. 定常観測の1分値データではこのような短いパルスを正確には記録できない. 柿岡の大部分のSCの振幅は50nT以下であり, 立ち上がり時間の最頻値は3-4分であるので, これは異常に大きくて鋭いパルスであり, このようなSCは過去に記録されたことがない. 日本の衛星, あげぼの(EXOS-D)の観測によれば, この放射線内帯は1年以上存続した[Yukimatsu et al., 1996]. Li et al. [1993]のコンピューターシミュレーションは, 磁気圏の急圧縮によって生じて昼側から夜側に伝わる電磁場パルスが磁気圏内荷電粒子を加速して, この放射線帯を作った事を示した. このSCは, 磁気圏圧縮の荷電粒子加速への寄与を初めて明確に示したものとして重要である. このような鋭い大きいパルスを磁気圏内に作る太陽風動圧変化がどのようなものか興味をそそられるが, 残念なことに, この時の太陽風観測は無い.

このSCに刺激されて柿岡の記録がある1924年以降の大振幅SCのリストを作った結果, このSCは2番目の大きさであり, 最大振幅SC(273nT)は1940年3月24日(同じ月日!)に生じていることが判った. MayaudのSCリスト[1973]を参考にすると, このSCは1868年以降最大の歴史的SCであると推定出来る. 柿岡観測所は, SCを後に磁気嵐が続くSSC(storm sudden commencement)と続かないSI(sudden impulse)に分けてリストアップしており, 両者を合わせると1991.3.24SCの大きさは第3位になる. 第2位は, 1960.11.13のSI(220nT)である.

地表送電線や地面に誘起される電流は源電流の時間変化に依存する. 統計的には, SCの立ち上がり勾配と振幅は正相関の関係にある[Araki et al., 2004]ので, 大きなSCほど誘導効果が大きいと言える. 中低緯度のSCの振幅Hとそれを生じさせる太陽風動圧(Pd)変化には, $H = (Pd)^{0.5}$ の関係が仮定され, 実験的に, $\sim 15\text{nT}/(\text{nPa})^{0.5}$ と求められている. 単純にこれを使うと200nTのSCを作るためにはPdが平常値2nPaから210nPaに激増することになるが, 非線形効果を考慮すると, 大振幅SCには, より大きなPdが必要になるであろう(実験値は振幅10-30nTのSCから求められている). 算定の際には, 地下誘導電流の効果を1.5位と仮定している(つまり, 地表SCは1.5倍に増幅されている). 正確に太陽風変化を算出するには, 各SCの時間変化に応じた誘導電流効果を計算し, それを差し引いて太陽風効果を論じるべきだが, そのような研究は未だなされていない.

力武先生は, 「アッパーの人達はSCの振幅をそのまま用いて議論しているが, 誘導効果がかなり効く筈ですよ」と言っておられた.

キーワード: 地磁気急始変化(SC), 史上最大SC, 放射線帯, 粒子加速, 誘導電流

Keywords: geomagnetic sudden commencement(SC), historically largest SC, radiation belt, particle acceleration, induced earth current

Network-MT 法の紹介 - 広域深部電気伝導度構造解明を目指して - Introduction of Network-MT method - toward elucidating nation-wide deep electrical conductivity structure -

上嶋 誠^{1*}, Network-MT 研究グループ²

Makoto Uyeshima^{1*}, Research Group of Network-MT method²

¹ 東京大学地震研究所, ² 関連各大学, 各研究機関

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Respective Universities and Research Institutes

To determine a nation-wide 3-D deep electrical conductivity structure e.g. of several hundreds times several hundreds km² scale, electric field had better be measured with a typical dipole length of 10km or more. In order to estimate spatial variation of the structure in this scale, all the electrodes ideally mutually connected by the observation network. Then, referring to the pioneering works in employing telephone lines for electric dipoles (e.g., Mori, 1985, 1987), Uyeshima et al. (2001) developed an observation technique named Network- MT method. In this method, the telephone line network is fully used to determine horizontal distribution of voltage differences with long electrode spacings. The dipoles in the method are telephone lines connected to electrodes, which are either earths installed for telecommunications facilities by the telephone company, or electrodes purpose built for the experiment. Dipole lengths range from ten to several tens of kilometers. As a reference magnetic field, magnetic records obtained by three component magnetometers at geomagnetic observatories or at purpose built stations are used. Data loggers are often installed at the central telephone station. If we deploy long dipoles, the S/N ratio of electrical records will be enhanced. This enhancement will enable us to extend the experiment both in space and frequency domain (especially toward the lower frequency range). We also obtain responses relatively free from the static effect.

After the telluric voltage difference records are obtained, response functions in the frequency domain between each voltage difference and 2 component horizontal magnetic fields are estimated. Period range is from several s to 10⁵⁻⁶ s. If all the electrode points are connected by the observation network, virtual voltage difference between any pairs of electrodes can be estimated by linear combination of the response functions for real (or measured) dipoles. In this way, after selecting three electrode points in the observation area, voltage differences along two sides of the triangle made by the selected electrode points can be estimated, and then, average 2 component electric fields in the triangle, when a unit magnetic variation occurs in the x- or y-direction at the reference site, can be estimated by linear combination of the response functions. Thus the average impedance tensor for the triangle can be estimated and will be inverted to yield the electrical conductivity structure. At the same time, the response functions or the impedance tensors can be used to evaluate spatial distribution of GIC at large geomagnetic storms.

In order to obtain regional 2-D or 3-D structures from the Network-MT data, several methods were developed. One way is to first compose averaged impedance tensors for triangles made by three electrode points, as mentioned above, and then, conventional inversion schemes are applied to those impedance tensors (Yamaguchi et al., 1999; Shiozaki et al., 1999; Satoh et al., 2001). In Uyeshima et al. (2001, 2002), the response functions between respective voltage difference and magnetic field are directly reproduced in the 2-D or 3-D forward calculations. This method is adopted in a subsequent 3-D inversion scheme by Siripunvaraporn et al. (2004), which is based on a 2-D and 3-D data space Occam's inversions designed for inverting conventional MT datasets (Siripunvaraporn and Egbert, 2000; Siripunvaraporn et al., 2005). Recently, a new 2-D inversion technique for combining conventional and Network MT response functions was developed (Usui, 2010). The technique will be extended for the 3-D problem.

キーワード: Network-MT 法, 広域深部電気伝導度構造, 誘導電流分布

Keywords: Network-MT method, nation wide deep electrical conductivity structure, spatial distribution of induced currents

地面電離層導波管モデルによる中緯度 GIC の理解

Mid latitude GIC as the ground surface currents carried by the TM0 mode waves in the Earth-ionosphere waveguide

菊池 崇^{1*}, 巨 慎一², 橋本 久美子³

Takashi Kikuchi^{1*}, Shinichi Watari², Kumiko Hashimoto³

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

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Kibi International University

GIC 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。同様の指摘はすでいくつかの論文でなされており、一般性のある性質と考えられる。一方、最近、中緯度の地電流に日変化や季節変化のあることが報告され、電離層電流のリターン電流である可能性が示唆された [Braendlein et al., JGR 2012]。地面は太陽の影響を受けないが、電離層の電気伝導度は大きく変化し電離層電流も変化する。したがって、GIC が電離層電流のリターン電流であれば、日変化や季節変化するとの説明である。この説明には、Kikuchi et al. [Nature 1978] が提案した地面電離層導波管モデル (Earth-ionosphere waveguide (EIG)) が応用された。EIG 内の TM0 モード波は極域電離層電場・電流を赤道方向へ光速で伝える。TM0 モード波は伝播方向に垂直な磁場 B_y を伴い、電離層と地面に相互に逆向きの南北電流を伴う。GIC が TM0 モード波の地面電流であるなら、Braendlein et al. が示したように、電離層電流の変化を反映して GIC が日変化や季節変化をすることが理解される。このモデルでは電離層電流が極域電離層から流れ出すために、磁気圏や極域電離層の変動を反映する。本発表では、地面電離層導波管モデルを紹介し、Watari et al. が示した GIC が TM0 mode 波に伴う地面電流である可能性を議論する。

キーワード: 誘導電流, 地面電離層導波管モデル, 電離層電流, 極赤道伝搬

Keywords: Geomagnetically induced current, Earth-ionosphere waveguide, ionospheric current, polar-equatorial propagation

海底 MT 探査法の 3 次元解析手法 Three-dimensional analysis technique for marine magnetotelluric method

多田 訓子^{1*}
Noriko Tada^{1*}

¹ 海洋研究開発機構,
¹JAMSTEC

Magnetotelluric (MT) sounding is a powerful geophysical method to explore electrical conductivity structure in the Earth's interior. The electrical conductivity of Earth material is known to be strongly dependent on physical conditions such as temperature, water content, and degree of partial melting which control their mechanical properties. Especially in oceanic areas, therefore, a number of efforts have been made to obtain accurate images of the electrical conductivity distribution in the upper mantle since the pioneering work by Filloux's (1973).

However, topographic effect makes difficult to obtain accurate electrical conductivity images. The electric and magnetic (EM) fields observed on the seafloor are generally distorted by rugged seafloor topography. The effect of seafloor topography is more significant than that of land topography (e.g., Nam et al., 2008) because seawater, which has extremely high conductivity, produces strong conductivity contrast at the seafloor (Schwalenberg and Edwards, 2004).

In recent years, several works have attempted to solve the problem of topographic effects on the seafloor MT data. Baba and Seama (2002) proposed a three-dimensional (3-D) forward modeling called FS3D which can incorporate precise 3-D topography over arbitrary subsurface structure. Tada et al. (2012) introduced a practical 3-D inversion scheme called WSINV3DMT with approximate treatment of topography (ATT) which expresses conductivity using volumetric averaging in order to describe seafloor, which treats large-scale topographic effect. Furthermore, Baba et al. (submitted) combined the FS3D method with the WSINV3DMT with ATT in order to treat both small-scale and large-scale topographic effects. These techniques allow us to estimate detailed 3-D electrical conductivity structures beneath the seafloor. Now we can perform 3-D inversion analysis for a data set of seafloor EM survey in the Philippine Sea and in the western edge of the Pacific Ocean in order to reveal upper mantle electrical conductivity distribution.

キーワード: 海底 MT 法, 地形効果, 3 次元, フォワードモデリング, インバージョン解析

Keywords: Marine magnetotelluric method, Topographic effect, Three-dimensional, Forward modeling, Inversion analysis

地磁気誘導電流測定装置の開発

Development of measurement equipment for effects of GIC(Geomagnetically-Induced Currents)

大里賢一¹, 中谷英之², 山本康弘², 石倉 定幸^{2*}, 玉木肇²

OOSATO, Kenichi¹, NAKATANI, Hideyuki², YAMAMOTO, Yasuhiro², Sadayuki Ishikura^{2*}, TAMAKI, Hajime²

¹ 東京電力株式会社, ² 日新電機株式会社

¹Tokyo Electric Power Company, ²Nissin Electric Co.,Ltd

【概要】

磁気嵐の影響により電力系統に発生する地磁気誘導電流を測定できる地磁気誘導電流測定装置(以下GICと略す)を開発した。本装置を用いることで、電力の安定供給および運用のために磁気嵐による電力系統の影響をリアルタイムに把握することができる。なお、本装置は、2007年に開発したユニット型電力用記録装置の記録ユニットをベースに開発することで、コストを抑えるとともに、高い信頼性を実現できた。

1. まえがき

これまでの研究により、太陽活動において周期的な黒点の増大に伴い太陽フレアが発生すると地球地磁気に擾乱(以下:磁気嵐)が発生し、異地点で大地電位差が生じる。

これにより、離れた箇所にある電力用直接接地変圧器の中性点に電位差が生じる事から双方の変圧器巻線を通じ、送電線路に地磁気誘導電流(以下:GIC)である準直流電流が流れ、変圧器鉄心が磁束飽和し、鉄心の局所的な発熱から鉄心周囲の絶縁劣化が発生する可能性がある。

そこで、電力の安定供給および運用のために磁気嵐による電力系統の影響を把握することが必要ということから、地磁気誘導電流測定装置を導入し、系統運用の実施判断に用いることが期待されている。今回、地磁気誘導電流測定装置を開発したので紹介する。

2. GIC 測定アルゴリズムの評価

入力が準直流電流であることから、デジタル処理をメインとするコンセプトに基づき、一般的なLPFよりも下記の根拠からFIRフィルタの採用を決定した。なお、FIRフィルタ演算に用いるサンプリング周波数は25.6kHzとしている。

採用理由

- ・直流成分抽出性能において優位。(特性上、交流分の影響を若干受けるが、性能上支障なし)
- ・事故電流通電時、フィルタ出力の過渡応答による影響(実効値)が小さい。
- ・過去入力信号の影響時間が短縮される。

3. システム構成

入力部においてGIC測定用CTを二重に配置する事により入力回路の監視も可能としている。時刻についてもGPSとの接続により、高精度な計測が可能となった。

4. むすび

以上、地磁気誘導電流測定装置の開発について述べた。本装置の開発により計測装置の信頼性向上が図られ、系統の安定運用や電力品質の維持に貢献するものと考えられる。本装置は2010年3月より運用を開始し、順調に稼働している。

キーワード: 地磁気誘導電流, 測定, 電力

Keywords: Geomagnetically induced currents unit, Measurement, Electric power

GIC 研究の為の MT 法による電気伝導度構造探査法と日本列島地殻・上部マントル
電気伝導度構造概観

A general introduction of magnetotellurics and of electrical conductivity distribution beneath Japan for the GIC study

市來 雅啓^{1*}

Masahiro Ichiki^{1*}

¹ 東北大学理学研究科

¹ Graduate School of Science, Tohoku University

地球内部の電気伝導度構造は地磁気誘導電流 (GIC) を規定する重要なパラメータである。数キロを超える深さの電気伝導度構造は一般に地磁気地電流法 (MT 法) によって推定される。本講演では GIC 研究者の為に MT 法の基本的な原理と MT 法によってこれまで推定されている日本列島の電気伝導度構造の概観に関して講演する。

電磁気観測に関する「共有基盤情報データベース」の構築に向けて Toward Construction of iES Database (Database for Information on Electromagnetic Surveys) for Conductivity Structure ben

大志万直人^{1*}, 山口覚², 上嶋誠³, 後藤忠徳⁴, 藤浩明⁵, 吉村令慧¹, 村上英記⁶, 小川康雄⁷, 橋本武志⁸, 高倉伸一⁹
Naoto Oshiman^{1*}, Satoru Yamaguchi², Makoto Uyeshima³, Tada-nori Goto⁴, Hiroaki TOH⁵, Ryokei Yoshimura¹, Hideki Murakami⁶, Yasuo Ogawa⁷, Takeshi Hashimoto⁸, Shinichi Takakura⁹

¹ 京都大学防災研, ² 大阪市立大大学院・理, ³ 東京大学地震研, ⁴ 京都大学大学院・工, ⁵ 京都大学大学院理・地磁気世界資料解析センター, ⁶ 高知大学・理, ⁷ 東京工業大学火山流体研究センター, ⁸ 北海道大学大学院・理, ⁹ 産業技術総合研究所
¹DPRI, Kyoto Univ., ²Graduate School of Science, Osaka City University, ³ERI, The University of Tokyo, ⁴Graduate School of Engineering, Kyoto University, ⁵Graduate School of Science, Kyoto University, ⁶Faculty of Science, Kochi University, ⁷Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ⁸Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

プレート沈み込み場の一つである日本列島とその周辺海域では、地震や火山活動をはじめとする地球科学的活動が極めて活発である。しかも、沈み込むプレートは1枚ではなく、ある地域では、年代の違うプレートが重なって沈み込んでいる。このように非常に3次元的で複雑な沈み込み場となっている島弧において、日本列島規模の3次元電気伝導度構造を把握することは、沈み込みに伴う諸現象を解明するために重要である。すでに地震波の速度構造については幾つかの3次元速度構造モデルが提案されており、地殻変動についてもGPS観測網から日本列島規模の表層のリアルタイム変動が把握できるようになってきている。これらとは独立な物理量である電気伝導度の3次元構造を明らかにすることで温度構造や地殻・マントル内の流体分布について制約を与えることが可能となる。

以上のような目的を達成するため、これまで実施されてきた観測データを最大限に活用しつつ新たな観測点も追加し、日本列島およびその周辺海域を含めた領域で50kmメッシュのデータセットを整備して3次元電気伝導度モデルを構築しようとするものである。全体計画は次の3段階のステップで構成される。

第1ステップ: これまで各種プロジェクト等の基に実施された電磁気観測によって得られた観測データに関する情報を集めデータベース化(共有基盤情報データベース:iES Database)し、既存データを活用して「50kmメッシュ・データベース」が構築できないかに関して検討する。

第2ステップ: 既存の公開観測データに加えて、データの周期帯も考慮しながら新規の観測を実施してデータを拡充し、既存データだけでは、空間的に不足する地域(観測点間隔は概ね50km間隔)での観測点を追加して「50kmメッシュ・データベース」を充実させる。

第3ステップ: 日本列島および周辺海域を含めた広域的3次元構造解析に耐える海陸統合電磁気データセット(50kmメッシュ・データベース)を構築し、日本列島およびその周辺海域を含めた領域での3次元電気伝導度モデルを構築する

このような第1ステップから第3ステップまでの計画全体を、JEMINI (Japan Electro-Magnetic Imaging with Network observation In-depth) プロジェクトと称するが、狭い意味では第3ステップの電気伝導度構造を構築するフェーズをJEMINIプロジェクトと呼ぶ。この講演では、特にJEMINIプロジェクトの第1ステップの中心となる「iES Database」の構築に関して、その詳細を紹介する。

キーワード: 比抵抗構造, 電気伝導度構造, 電磁気観測, データベース

Keywords: resistivity structure, conductivity structure, geo-electromagnetic survey, database

太陽型星のスーパーフレア 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, 長尾崇史², 本田敏志³, 野上大作², 柴田一成²

Hiroyuki Maehara^{1*}, Takuya Shibayama², Yuta Notsu², Shota Notsu², Takashi Nagao², Satoshi Honda³, Daisaku Nogami², Kazunari Shibata²

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

スーパーフレアは主に若い星や近接連星など自転速度の速い天体で観測される爆発現象で、フレアで解放されるエネルギーは 10^{33} から 10^{38} erg (最大級の太陽フレアの 10 倍から 10^6 倍) にもなる。我々はケプラー宇宙望遠鏡で 2009 年 4 月から 2010 年 8 月までの間に観測された、太陽型星 (G 型主系列星) 約 90,000 個の観測データからスーパーフレアを探し、279 個の星で起きた 1500 以上のスーパーフレアを検出した。それらの中には、自転周期が 10 日以上で表面温度が 5600-6000K の、太陽によく似た 25 天体で起きた 60 個のスーパーフレアもあった。

スーパーフレアを起こす天体には、振幅が 0.1 から 10% 程度の準周期的な明るさの変動が見られた。この変動は、自転する星の表面に巨大な黒点があることで生じていると考えられる。エネルギーごとのスーパーフレアの発生頻度は、太陽フレアのそれとよく似ており、指数 -1.6 から -2.0 のべき関数で表すことができた。

フレアの発生頻度は星の自転周期が長くなるほど低くなる傾向が見られたが、観測された最大のスーパーフレアのエネルギーは自転周期には依存しないことが分かった。これらの結果は、我々の太陽のように自転速度の遅い星であっても、スーパーフレアが起こりうることを示唆する。ケプラーのデータから見積もった、太陽に似た星における、 10^{35} erg (最大級の太陽フレアで解放されるエネルギーの 1000 倍) のスーパーフレアの発生頻度の平均値はおよそ数千年に 1 回となった。

キーワード: 太陽フレア, スーパーフレア, 極端宇宙天気現象

Keywords: solar flares, superflares, extreme space weather events

三次元比抵抗不均質による地磁気誘導電流の局所的な集中現象 Concentration of magnetotelluric current caused by local 3-D resistivity heterogeneities

市原 寛^{1*}
Hiroshi Ichihara^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

地磁気変動によって生じる地電流分布は地下の比抵抗分布にも依存する。よって、比抵抗構造が複雑であれば地電流の分布も複雑となる。例えば、良導体の一部において狭くなる形状を呈する場合、狭い領域に電流が集中することが知られている (current channeling)。近年の magnetotelluric 法 (以下 MT 法) の三次元解析手法の進展に伴い、実際にこのような current channeling が、特に良導体である海水に囲まれた日本において、頻繁に発生しうることが明らかとなってきた (Ichihara and Mogi, 2009 ほか)。例えば北海道東部では、女満別東部からオホーツク海にかけて生じた地電流が屈斜路カルデラ周辺において current channeling を引き起こし、更には地電流の方向が反転している事が明らかとなっている (Ichihara et al., in rev)。また、同様の地電流の集中および反転現象は東北地方の北上低地でも報告されている。講演では、局所的な三次元比抵抗不均質が引き起こす current channeling について説明すると共に、上記 2 地域における電流の逆転現象についても紹介する。

キーワード: マグネトテルリック法, 異常位相, 三次元比抵抗構造

Keywords: magnetotelluric, current channeling, out-of-quadrant-phase, 3-D resistivity structure

過去の大きな地磁気嵐に伴う GIC について On GIC associated with past intense geomagnetic storms

巨 慎一^{1*}, 渡辺 堯¹
Shinichi Watari^{1*}, Takashi Watanabe¹

¹ 情報通信研究機構
¹NICT

2005年から2007年にかけて、北海道電力の協力を得て女満別で電力網での地磁気誘導電流の測定を行ったが、太陽活動の極小期に近かったため、この期間に大きな地磁気嵐の発生はほとんどなかった。過去の大きな地磁気嵐の際の地磁気誘導電流(GIC)の測定データを入手することは難しいが、単一の送電線を考えたとき、送電線方向の電場を送電線の単位長当たりの抵抗値で割ったものがGICの最大値を与えることが知られている。そこで、気象庁の柿岡地磁気観測所から提供されている女満別、柿岡、鹿屋の地電流の測定によって得られた電場データを用いて1989年3月にカナダのケベック州で発生した停電の原因となった地磁気嵐や2003年10月に南スウェーデンで発生した停電の原因となった地磁気嵐などに関してGICの評価を行った。その結果について報告する。

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 (GIC), geomagnetic storm, earth current, power grids, space weather

電磁探査と比抵抗検層から推定される関東平野の浅部比抵抗構造の不均質性 Inhomogeneity of the shallow resistivity structure inferred from EM surveys and resistivity logging data in Kanto Plain

高倉 伸一^{1*}Shinichi Takakura^{1*}¹ 産業技術総合研究所¹ Geological Survey of Japan, AIST

地磁気急変に伴う誘導電流 (GIC: Geomagnetically induced current) が送電線や通信網などの社会インフラへ影響を与えることが心配されている。GICによる被害は主として高緯度の地域で起こるが、もし数百年に一度の規模の地磁気急変現象が起これば、日本においても被害が発生する可能性は否定できない。GICの予測には、大地の三次元比抵抗構造 (電気伝導度構造) モデルを使用して地中に誘起される誘導電流をシミュレーションで推定することが有効と考えられる。これまで、学術的な研究や資源探査などで実施されたMT法などの電磁気探査により、都市部を除く地域の比抵抗構造は明らかにされつつある。しかし、GICによる被害が集中すると考えられる都市平野においては、電磁ノイズが大きいことから電磁気探査の実施例が少なく、比抵抗構造はほとんど明らかにされていない。マントルと比較すると一般に地殻は不均質である。特に先第三系基盤岩類より上部は、固結度や含水率や塩分濃度の異なる地層が複雑に分布していることから、その比抵抗構造は深部と比較すると不均質性が高い。したがって、誘導電流も複雑な流れをすると考えられる。地表付近の比抵抗構造の不均質性がGICの大きさにどの程度影響するかは不明であるが、磁場変動によって誘起される電流密度は地表付近が最も大きいので、浅部の比抵抗構造を知ることはGICを予測する上でも重要と考えられる。そこで、我が国で最も人口が集中している関東平野を対象として、先第三系基盤の上に堆積する新第三系・第四系の比抵抗構造の推定を試みた。本研究では、都市部周辺の比抵抗構造の推定では、いくつかの電磁気探査の調査結果を参照した。また、電磁気探査の実施例がほとんどない都市部の比抵抗構造の推定では、防災や土質調査などで掘削されている井戸の比抵抗検層を参照した。その結果、新第三系の比抵抗は数 m 以下と低いことが多く、100~1000 m を越えることの多い先第三系基盤岩累や貫入岩類と大きなコントラストがあることが確認された。関東平野の新第三系堆積層の厚さは水平方向に数1000mを越える違いがあるので、誘導電流の電流密度は水平方向に大きく変化すると予測される。また、第四系堆積層の比抵抗は1~100 m前後と広範囲にわたり、含まれる水の飽和度や塩分濃度に依存していることがうかがえる。地震探査や重力探査などで推定されている地質構造に比抵抗値を与えることで、関東平野の堆積層の比抵抗構造の推定も可能である。しかし、比抵抗は岩石を構成する粒子の大きさや形、間隙率、含まれる水の飽和度や塩濃度、温度などで大きく変化し、弾性波速度や密度と比較すると比抵抗の変化は大きいので、正確な比抵抗構造の把握のためには、実際に電磁気探査を実施することも必要であろう。本発表では、今後のGIC研究のため、都市部で実施することが望まれる電磁気探査の方法についても紹介する。

キーワード: 誘導電流, 地磁気急変, 関東平野, 電磁気探査, 比抵抗検層, 浅部比抵抗構造

Keywords: geomagnetically induced currents (GIC), sudden changes of the geomagnetic field, Kanto Plain, electromagnetic (EM) method, resistivity logging, shallow resistivity structure

巨大磁気嵐と日本における地磁気誘導電流 Super magnetic storms and geomagnetically induced currents in Japan

片岡 龍峰^{1*}
Ryuho Kataoka^{1*}

¹ 東京工業大学
¹ Tokyo Tech

磁気嵐において地上の電導体システムに流れる地磁気誘導電流 (GIC) は、地上インフラに悪影響を与える最重要の宇宙天気現象の一つである。これまでの研究により、サブオーロラ帯における GIC 活動は、磁気嵐の相や、コロナ質量放出 (CME) や共回転相互作用領域 (CIR) などの磁気嵐を引き起こした惑星間空間の構造に依存するが、地上磁場水平成分の時間微分と GIC との関係性は常に同様であることが示されている。しかしながら、日本はさらに低緯度に位置しており、また特徴的な地下伝導度を持つことから、巨大磁気嵐の際に国内でどのように GIC が流れるかは自明でない。さらには巨大磁気嵐時の電離圏電流系自体も明らかでない。巨大磁気嵐における日本の GIC を、限られた観測を用いてどう研究するか、その方法論について議論する。

キーワード: 磁気嵐, 地磁気誘導電流, 地下伝導度
Keywords: magnetic storms, geomagnetically induced currents, ground conductivity

Importance of estimating the extremely large GIC in Japan Importance of estimating the extremely large GIC in Japan

Shigeru Fujita^{1*}

Shigeru Fujita^{1*}

¹Meteorological College

¹Meteorological College

The geomagnetically induced currents (GICs) happen to cause power line failure in the high-latitude countries. Meanwhile, there are no researches about extremes of GICs in Japan with heterogeneous profiles of the underground conductivity. Therefore, to evaluate extremes of the GIC in Japan is not only important for Japanese society but also significant for the scientists. Namely, estimation of extremes of the GIC is a challenging interdisciplinary research from the magnetosphere-ionosphere physics for estimation of the extremely large storms and related phenomena to the solid Earth geomagnetism for electromagnetic response under three-dimensionally heterogeneous conductivity profiles. We also need information from the solar physics for extremely large flares and the interplanetary physics for propagation of the disturbances from the sun to the Earth. This session is a kick-off meeting for investigating the extremely large GIC expected in Japan. By sharing present status of the researches related to evaluation of the extreme GIC, we will discuss future collaborating research among scientists from space science, solid-earth geomagnetism, and related fields toward evaluation of the extremes of GICs.

キーワード: Geomagnetically Induced Current, Extreme space waether condition, nonuniform ground electric conductivity, modelling, statistical analysis

Keywords: Geomagnetically Induced Current, Extreme space waether condition, nonuniform ground electric conductivity, modelling, statistical analysis

情報通信研究機構における宇宙天気研究・業務 Science and Operational Activity of Space Weather in NICT

石井 守^{1*}
Mamoru Ishii^{1*}

¹ 情報通信研究機構
¹ NICT

情報通信研究機構では、通信・放送・測位の安定運用を主な目的とした宇宙天気情報の提供を長年にわたり行っている。宇宙天気は太陽から磁気圏・放射線帯および地球近傍電離圏にわたる広範な範囲を総合的に検討する必要がある。また未だ解明されていないメカニズムも多い。この制約の中で我々は観測とそこから抽出される経験モデルに加え数値シミュレーションを用いた予報システムを構築しつつある。またそのサポートとして、当機構ならではのインフォマティクス技術を利用し効率的な観測運用や大容量データのストレスフリーな解析空間を実現させている。今回のテーマである地磁気誘導電流は宇宙天気の大きなトピックスの一つであり、そのメカニズムの理解と予測技術の開発等におけるコミュニティとの協力について本公演を通じて検討していきたい。

キーワード: 宇宙天気, 衛星測位, 太陽フレア
Keywords: Space Weather, satellite positioning, solar flare

積分方程式法を用いた3次元不均質球体における電磁誘導方程式の数値解法 Numerical solver of EM induction equation in 3-D anomalous sphere by using integral equation method

小山 崇夫^{1*}, 清水 久芳¹, 歌田 久司¹
Takao Koyama^{1*}, Hisayoshi Shimizu¹, Hisashi Utada¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo

本研究では積分方程式法を用いて、不均質球体地球における電磁誘導方程式の数値ソルバーの開発をおこなった。積分方程式法は、不均質構造のバックグラウンドとみなせる平均的な1次元構造の準解析的なグリーン関数を用いるため、数値計算の精度を高められる利点がある反面、グリーン関数はそのままでは膨大な計算メモリーや計算時間を必要とするため、それらを削減することが重要である。

本研究では、横方向には球関数によるモード展開を行い、鉛直方向には変数分離を行うことで、省メモリ化および高速化に成功した。さらに、積分方程式を離散化し行列表示にした際の条件数を格段に減少される modified IDM を pre conditioner とすることでさらなる高速化を行った。

本発表ではこの手法の詳細について紹介を行う。

キーワード: 3次元モデリング, 積分方程式法, modified IDM, グリーン関数, 球関数展開, 変数分離

Keywords: 3-D forward modeling, integral equation method, modified IDM, Green's function, spherical harmonic expansion, variable separation

電離圏電気伝導度モデルの開発 Development of the ionospheric conductivity model

小山 幸伸^{1*}, 新堀 淳樹², 堀 智昭³, 能勢 正仁¹, 田中 良昌⁴
Yukinobu Koyama^{1*}, Atsuki Shinbori², Tomoaki Hori³, Masahito Nose¹, Yoshimasa Tanaka⁴

¹ 京大・理・地磁気センター, ² 京大生存圏研究所, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所 ジオスペース研究センター, ⁴ 国立極地研究所

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University,

³Nagoya University Solar Terrestrial Environment Laboratory Geospace Research Center, ⁴National Institute of Polar Research

著者らは、電離圏電流を定量的に見積もる為に、IRI-2012、NRMSISE-00、そしてIGRF-11という3つのモデルを組み合わせた、電離圏電気伝導度モデルを、IDL言語上で実装した。本発表では、本セッションの主題である地磁気誘導電流そのものには言及せずに、これと関連した電離圏電気伝導度モデルにおける、実装、計算例、配布準備状況、について説明を行う。

キーワード: 電離圏, 電気伝導度, 数値モデル, IDL, IUGONET
Keywords: ionosphere, conductivity, numerical model, IDL, IUGONET

極値統計による最大磁気嵐レベルの推定

Estimation of the extreme geomagnetic storm level by utilizing extreme value statistics

坪内 健^{1*}

Ken Tsubouchi^{1*}

¹ 東京大学

¹The University of Tokyo

巨大な地磁気誘導電流の定量評価においては、対応する巨大地磁気嵐の発生規模・頻度の推定が不可欠である。地磁気嵐の場合、これを定義づける地磁気擾乱指数 (Dst) が長期間に及ぶデータベースとして整備されていることを活用し、本研究では 1957 年から作成されている Dst 指数の統計解析を通じて、特に将来未曾有の大災害となりうる巨大イベント発生の可能性に関する議論を試みる。歴史上記録に残っている最大の地磁気嵐は 1859 年のキャリントンイベントと言われており、このときの Dst 指数は約-1760nT 程度と推定されている一方、正式な指数値としては 1989 年 3 月に記録した-589nT が最大である。こうした過去の事象を基に、Dst 指数に下限は存在するのか、存在するならばそれはいくつなのか、どの程度の規模のイベント発生が数十年あるいは数百年に一回といった確率で見込まれるのか、といった極端事象の問題を扱う上で、対象となる Dst データは全体の分布から見ると極めて稀少な裾部にあたる。そのためデータ全体を用いた統計解析を行うと、極端事象が過小評価される危険性が高い。そこで極端事象のみを抽出したデータセットが従う確率分布として極値統計を導入し、特に一般化パレート分布へ適合させることで上記の問題に対する推定解の導出を行った。その結果、1989 年 3 月のイベントは約 60 年に一度発生するレベルであること、-2500nT あたりに下限値が存在する可能性などが推定された。特に下限値の推定に関しては、最近 Vasylunas (2011) が示した理論的な下限値とほぼ一致していることもあり、極値統計の有用性を示唆するものとなっている。

海底における電磁場観測と地下構造調査の最新事情

Seafloor electromagnetic observation and recent application for imaging sub-seafloor structure

後藤 忠徳^{1*}

Tada-nori Goto^{1*}

¹ 京都大学大学院工学研究科

¹Graduate School of Engineering, Kyoto University

地磁気の急変現象により発生する誘導電流は、パイプラインや送電線などの構造物に甚大な被害を与えることが知られている。このような災害を適確に予測し、対策を行うためには、地磁気観測を実施することと、地下の電気的構造を把握しておくことが必要である。本発表では、これらのうち、海底における地磁気観測の現状を紹介し、海底下の地下構造解析の最新事情について報告する。

海底電磁気観測の歴史は古く、1970年頃から実施されている。具体的には、海底電位差磁力計(OBEM)を一定期間、海底に設置し、この間の海底での電磁場変動を記録する。海底観測において地磁気の変動だけでなく、海中に誘導された電位差変動も測定している。両者ともに、海水がシールドの役割をはたすため、短周期成分は海底まで殆ど届かないが、周期10秒を越えるような長周期成分については減衰が小さいため、水深数千mの海底でも記録可能である。また地磁気のもとで導体である海流が移動することによって、誘導電流が発生するため、この電場信号も記録可能である。

海底での電磁場観測データに対して、マグネトテリク法を適用することによって、海底下の比抵抗構造を求めることが可能となる。OBEMの実用化の当初は、探査対象は、海底下のマントルといった地下100km以上の深部構造に限られていた。しかし近年の観測機器の進歩に伴って、地殻構造調査も可能となっており、海底拡大軸直下のメルトの可視化や、沈み込む海洋プレート上面の逆断層のイメージ化にも活用されている。さらに、自然の地磁気変動やそれによる誘導電流を用いた地下構造調査のみならず、海底付近で人工的に発生させた電磁場を利用し、地殻構造をより細かく捉える試みも精力的になされている。その結果、海底下の石油・天然ガス調査にも電磁場観測が利用され始めている。

本発表では、以上に関する海底測定技術の紹介と、海底下の地殻構造調査の成果紹介を行う。

キーワード: 海底, 地下構造, 電磁場観測

Keywords: ocean bottom, sub-seafloor structure, electromagnetic observation

日本における地磁気現象に関わる統計的調査 A statistical study of geomagnetic events in Japan

源 泰拓^{1*}, 藤田 茂²
Yasuhiro Minamoto^{1*}, Shigeru Fujita²

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 気象庁気象大学校

¹Kakioka Magnetic Observatory, JMA, ²Meteorological College, JMA

気象庁は柿岡、女満別、鹿屋における磁気嵐, si, ssc 等の地磁気現象の読み取りと報告を行ってきている。柿岡、女満別は 1957 年 7 月以降、鹿屋は 1958 年 1 月以降の地磁気現象リストが公開されているほか、柿岡についてはさらに以前の現象リストの電子化がすすめられている。本講演では、過去の地磁気現象のリストから見出された、上記 3 観測所における地磁気現象の統計的な特徴を示す。さらに、“千年に一度”級の地磁気現象がどのようなものとなりうるのかを大胆に推察する。

キーワード: 地磁気, データベース, 磁気嵐, si, ssc

Keywords: geomagnetic, database, magnetic storm, si, ssc

極端な太陽風条件に対する磁気圏対流と地磁気嵐の応答 Responses of Geomagnetic Storm and Magnetospheric convection to the extreme solar wind conditions

長妻 努^{1*}, 国武 学¹
Tsutomu Nagatsuma^{1*}, Manabu Kunitake¹

¹ 情報通信研究機構
¹NICT

地磁気誘導電流の極端値を推定するためには、その原因となる地磁気擾乱とその時間変化の極端値を推定する必要がある。地磁気擾乱は太陽風と磁気圏の相互作用によって駆動され、実際の地磁気の変動には様々な電流系が寄与していることが知られている。そのため、極端な太陽風条件に対して、磁気圏の電流系がどのように応答するかを理解することが重要となる。磁気圏の電流系を考える上で重要な要素として、磁気圏対流と地磁気嵐がある。従来、地磁気嵐は磁気圏対流によって発達すると考えられてきた。しかし、極端な太陽風電場に対する応答が磁気圏対流と地磁気嵐では異なっていることが明らかになりつつある。磁気圏対流は極端な太陽風電場に対して頭打ちになる（非線形応答する）のに対し、地磁気嵐は太陽風電場に対して線形に応答している。本講演では、過去に発生した大磁気嵐イベントを例に、両者の応答の違いや、太陽風電場以外の様々な極端太陽風条件に対して地磁気擾乱がどのような応答になるのかについて考察したい。

キーワード: 地磁気擾乱, 磁気圏対流, 地磁気嵐, 磁気圏電流系, 太陽風 - 磁気圏相互作用
Keywords: Geomagnetic Disturbances, Magnetospheric Convection, Geomagnetic Storm, Magnetospheric Current System, Solar wind - Magnetosphere Interaction

気象庁地磁気観測所における地電位差観測 Goelectric Potential difference observation conducted by Kakioka Magnetic Observa- tory

藤井 郁子^{1*}
Ikuko Fujii^{1*}

¹ 気象庁地磁気観測所

¹Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency

気象庁地磁気観測所では、柿岡で1930年代から、女満別・鹿屋では1950年代から、観測所構内において地電位差の連続観測を行っている。歴史的経緯から地電流観測と呼ばれているが、観測しているのは地中に埋めた2本の電極間の地電位差である。観測開始以来、電極やその位置などは変遷してきた。現在の観測は、銅板または炭素棒を電極として、南北・東西方向に2本の基線(100?300m)を張り、最少サンプリング間隔0.1秒にて水平2成分の地電位差を計測している。

地電位差の定点における長期観測は世界的に見ても非常に珍しく、しかも、地磁気観測所の場合は、ほとんど同じ位置で磁場が同時に計測されているという、構造探査・地磁気急変現象・地殻活動現象などにとって絶好の状況にある。2012年末からは観測所HPよりデジタルデータのダウンロードが可能になり、アクセスが容易になったことから、今後さまざまな利用が進むと考えられる。

講演では、地電位差連続観測の観測システム、観測データの特徴について紹介する。特に、柿岡・女満別・鹿屋の地電位差の特徴の違いと地下構造の関係を中心とする。特に、よく知られた柿岡の地電位差の偏向の解釈について、最近のスペクトル解析手法やモデリング技術の知見で付け加えることができる点があるのかどうか考察したい。

キーワード: 地電位差, 長期観測, 地磁気観測所

Keywords: goelectric potential difference, long term observation, Kakioka Magnetic Observatory

Dst 指数を正確に予測するための地球内部誘起電流寄与の評価 Evaluation of the earth-induced current contribution for a precise prediction of the Dst index

能勢 正仁^{1*}

Masahito Nose^{1*}

¹ 京都大学理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

A precise prediction of the Dst index is one of the important issues in space weather forecasting. The Dst index was developed by Sugiura [1964] to measure the magnitude of the axially symmetric geomagnetic field variations. The field variations during geomagnetic storms are produced by various currents in the magnetosphere, such as, the ring current, the tail current, the magnetopause current, and the field-aligned current. Since the Earth can be considered as a conductor, these magnetospheric currents generate the induced currents inside the Earth, which also contribute to the Dst index. Previous studies have reported that the magnetic field variations due to the induced currents are about 20-30% of the Dst index [Rikitake and Sato, 1957; Anderssen and Seneta, 1969; Langel and Estes, 1985; Hakkinen et al., 2002].

In order to predict the Dst index precisely, we need a more proper evaluation of the contribution of the Earth-induced current. From the property of induction, we expect that the percentage of the Earth-induced current contribution may depend on the rate of change of the disturbance field. Thus, using the magnetic field data obtained at 70-80 ground observatories, we examine how the Earth-induced current contribution changes during magnetic storms. The magnetic field variations are decomposed into portions of the external (i.e., magnetospheric current) origin and the internal (i.e., Earth-induced current) origin by using the spherical harmonic expansion. It is found that the Earth-induced current contribution varies between ~30% and ~50%. We will derive an empirical equation relating the Earth-induced current contribution to the rate of change of the disturbance field.

中緯度地域における地磁気誘導電流のモデリング A modeling of Geomagnetically Induced Currents in Midlatitude Regions

木村 葵¹, 海老原 祐輔^{1*}, 大村 善治¹, 菊池 年晃¹
Kimura Aoi¹, Yusuke Ebihara^{1*}, Yoshiharu Omura¹, Toshiaki Kikuchi¹

¹ 京都大学電気電子工学科

¹Kyoto University Electrical and Electronic

地磁気誘導電流 (Geomagnetically Induced Currents;GIC) を計算するために、地表面に誘起される電磁場について計算した。GIC は導電性の地面と電離圏電流によって発生し、送電網などに大きな影響を与える。地表面での電磁場は電離圏電流のパラメタ (電流密度、分布、周波数、沿磁力線電流) と多層構造の地層のパラメタ (層の厚み、導電率、透磁率、誘電率) に依存する。それらに対して Hakkinen(1986) の手法を用いて、地表面での電磁場を計算し、それぞれのパラメタについて評価した。また、送電網のトポロジーと地表面での電磁場を組み合わせることにより、流れる GIC を計算し、送電網などのインフラ設備への影響を検討した。