

日本における地磁気誘導電流の極端値評価の試み

藤田茂・遠藤新（気象大学校）

源泰祐（地磁気観測所）

はじめに

1989年3月13日の磁気嵐は、カナダのハイドロケベック社の変電所の変圧器に過剰な地磁気誘導電流（Geomagnetically Induced Current, GIC）を流し変圧器を破壊したため、カナダ南部では大規模な停電を引き起こした。さらに2003年にも同種の停電事故がスウェーデンで発生している。磁気嵐等による磁場擾乱が大きくなり GIC 災害の怖れがある高緯度地域では、これらの停電災害への対応のため、GIC の予測などの研究が進んでいる（例えば、HILF 報告書、2010）。一方、日本のような低緯度域では、磁気嵐の磁場変動も高緯度域の 1/10 以下程度の大きさしかないため(Pulkkinen et al., 2012)、GIC による停電の危険性は低いと考えられ、調査は進んでいるとは言い難い。貴重な研究例としては Watari et al. [2009]が北海道の道東地域において 100km の送電線間の変電所変圧器に流れる GIC を計測したことが挙げられる。この観測では、10nT/min の磁場変化に対して、約 4A 程度の GIC しか検出されず、一般に 200A と言われる変圧器の許容電流に比べると微々たる量であった。このことから、日本は GIC 災害には無縁と考えてもよさそうである。しかしながら、この観測が実施された時期は太陽活動が記録的に小さかった時期であることから、この研究の結果から日本は安全と言い切ることは残念ながら問題があろう。

現在の社会は電力に強く依存しており、大規模な停電が発生すると、社会的な大災害となり得る。特に、1000年に一度と言われる2011年3月11日の東日本大震災を経験した日本においては、数100年~1000年に一度のイベントであっても、それが大きな災害を起こすなら、想定外と無視してはいけないという考えが重視されており、GIC 災害もこのような問題の一つである。特に、我々は数100年~1000年に一度の地磁気変化がどのくらいの大きさを持つものなのか十分に知っていない。

研究方法

我々の研究の究極の目的は、日本において数100年~1000年に一度起こると想定される最大の GIC もしくは誘導電場を得ることである。これを研究するには、太陽研究グループと宙空系から固体系に至る地球電磁気・地球惑星圏学会の分野横断的な協力が必要である。即ち、この目的を達成するには、

- 1) 数100年~1000年に一度の大規模太陽フレアの大きさ、
- 2) 太陽フレアが作り出した大規模な CME の太陽風・磁気圏・電離圏間の伝搬と地球

表面に作り出す磁場擾乱の強度とスペクトル、

3) 磁場擾乱が引き起こす地表誘導電場と GIC、

の3つの点を解明する必要がある。また、研究のアプローチも

A) 過去データの統計解析による最大現象の推定、

B) 理論的考察による最大現象の推定、

C) 太陽・太陽風・磁気圏電離圏・地上磁場・誘導電場・GIC を計算する数値シミュレーション、
(太陽・太陽風・磁気圏電離圏はプラズマ流体であり、地上磁場・誘導電場・GIC の部分は電磁誘導の手法になる。また、GIC を求めるには入手が難しい送電システムのインピーダンスが必要なので、現実的には誘導電場を求めることが目的になる。))

の3つがある。本論では3-A を主に説明し、3-C の電磁誘導計算を行うために必要な考察を行う。

気象庁地磁気観測所における地磁気急変化現象の出現頻度と誘導電場の推定

自然現象には規模と頻度の間に指数則が成り立つものが多い。たとえば、地震のマグニチュードと頻度には簡単な関係が見られ、マグニチュードが1大きいと発生頻度はおよそ1/10になる。これはグーテンベルグ・リヒター則として知られている。そこで、地磁気誘導電場や GIC を引き起こすと考えられる地磁気急変化現象の頻度分布を調べることにした。

気象庁地磁気観測所では、観測した地磁気変化から地磁気現象を読み取り、そのレンジやクラスを決定・公表している。今回の解析では、女満別(北海道大空町、43°54' 36" N, 144°11' 19" E)で観測された地磁気現象のうち、1957年から2012年までの55年間に観測された1590個のssc(磁気嵐の急始部分 Storm Sudden Commencement)、si(Sudden Impulse)SI,SSCを利用した。この期間を用いた理由は、デジタル化された地磁気現象リストが整備されているからである。その頻度分布を調べると、やはり指数則がえられた。この結果から、大胆に1000年に一度の規模のssc, siを推定すると、1000nT/minとなる。この値は1989年3月イベントの約10倍であり、もしこの程度の磁気変化があると、日本でも変電所の変圧器の許容電流を越すGICがあり得るという推定もある。またWatari et al. [2009]の結果を単純に1000nT/minの現象にあてはめると、推定されるGICは400Aとなり、やはり許容電流を上回る。なお、本報告の詳細は別の所で発表する予定である。

Watari et al. [2009]は、北海道道北でGIC観測を行った。これが日本全国で普遍的な結果なら、この結果を利用してGICを推定することが可能であるが、はたしてそれが可能であろうか?この際に問題になるのが、地中の電気伝導度の分布である。もし、地下電気伝導度分布が日本で一様であるなら、同じ磁場変化に対しては女満別と柿岡で観測されている地電位差も同じになるであろう。しかしながら、実際は柿岡の東西成分は女満別のそれに比べて10倍も大きな電場を示す。一般に、日本においては北海道の地下電気伝導度の分布はほぼ水平に一様な深さだけの一次元分布を示すことに対して、特に関東におい

では極めて不均一であることが知られている。このことによって、地磁気変化によって生じる誘導電場も地域特性があり、特に関東地方では場所によっては思いがけない大きな誘導電場とそれに伴う GIC があり得るかもしれない。即ち、巨大 GIC や誘導電場を推定する際には、地下電気伝導度分布を考慮した研究が必要である。Network-MT (Uyeshima et al., 2001) による日本の地下電気伝導度分布推定の完成が待たれる。

最後に

我々は、日本における GIC または誘導電場の極端値を知らない。この状態は放置しておくべきではなかろう。幸いなことに、宙空系では太陽や磁気圏電離圏環境を取り扱う宇宙天気研究が 10 年以上前から取り組まれており、宙空系においてはかなりの知見が得られてきている。今回は宙空系だけでなく固体系の電磁気も含めた分野横断的な研究体制を組み、地球電磁気学会に期待されている役割を果たすべきであろう。

最後に、防災の上で災害の予知としては 2 種類のありかたがあることを指摘したい。まず通常のオペレーションで対応可能な災害-例えば日ごろ我々が日本で遭遇している気象災害やほとんどの衛星障害など-にとっては、発災の場所と大きさ、さらに準備をするために必要なリードタイムが取れる情報を発表することが重要である。一方、極めて規模が大きいが頻度が低い大災害に対しては、発生時刻の予測も重要であるが、それよりも災害に対応するインフラストラクチャの整備が必要となる。今回の大規模 GIC 現象の推定は後者の防災に相当するものである。ただし、本研究は、あくまで日本における最大規模の地磁気変動に対する GIC または誘導電場の客観的な推定値を求めることが目的であることを確認しておく。本論では災害についても言及したが、責任ある防災対応は給電業者および行政機関に委ねられるべきものである。

参考文献

- North American Electric Reliability Corporation and the U.S. Department of Energy (2010), High-Impact, Low-Frequency Event Risk to the North American Bulk Power System: A Jointly-Commissioned Summary Report of the North American Electric Reliability Corporation and the U.S. Department of Energy's November 2009 Workshop, 120 pp., North Am. Elec. Reliab. Corp., Washington, D. C.
- Pulkkinen, A., E. Bernabeu, J. Eichner, C. Beggan and A. W. P. Thomson (2012), Generation of 100-year geomagnetically induced current scenarios, *Space Weather*, **10**, S04003, doi:10.1029/2011SW000750.
- Uyeshima, M., H. Utada and Y. Nishida (2001), Network-magnetotelluric method and its first results in central and eastern Hokkaido, NE Japan, *Geophys. J. Int.* **146**, 1-19.

- Watari, S., M. Kunitake, K. Kitamura, T. Hori, T. Kikuchi, K. Shiokawa, N. Nishitani, R. Kataoka, Y. Kamide, T. Aso, Y. Watanabe, and Y. Tsuneta (2009), Measurements of geomagnetically induced current in a power grid in Hokkaido, Japan, *Space Weather*, **7**, S03002, doi:10.1029/2008SW000417.