

東北地震前後での奥多摩地磁気 3 成分データにおける統計的パラメータの変化

竹内 昭洋、長尾 年恭 (東海大)

Statistical Parameter Variations in the 3 Components of Geomagnetic Field at Okutama before and after the Mw9.0 Tohoku Earthquake

Akihiro Takeuchi and Toshiyasu Nagao (Tokai University)

Abstract

We have observed the 3-component geomagnetic fields using a fluxgate magnetometer at 32 Hz sampling in Okutama in Central Japan since December 2003. Okutama is located just outside the rim of the area where the seismic activity increased after the Mw9.0 Tohoku earthquake on March 11, 2011. In this study, we verified whether or not there is any variation in statistical parameters of the observed data before and after the earthquake. We used only the nighttime data from 02:30:00 to 03:04:08 (JST) after 1-sec averaging. The power spectrum densities, especially of pc1-3, had seasonal variations. The median, 1st quartile, and 3rd quartile were calculated for the differences between the power spectrum intensities and the background seasonal variations in the period from March 12 to October 31 each year. As a result, we confirmed that the median and 1st quartile slightly decreased after the earthquake while the 3rd quartile increased.

1. はじめに

日本時間で 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に、Mw9.0 の平成 23 年東北地方太平洋沖地震（以下、東北地震と略す）が発生し、その余震のみならず、M6 級の誘発地震や微震動を伴う火山活動も活発化した。東海大学海洋研究所地震予知研究センターでは、東京都の奥多摩町で 2003 年 12 月より地磁気 3 成分の常時観測を行っている。奥多摩はこの地震学的活性化領域の外縁に位置しており、東北地震の前後において地磁気特性に変化の現れている可能性がある。そこで本研究では、約 8 年にわたる時系列データのスペクトルを統計解析することにより、地磁気特性変化の検証を行なった。

2. 奥多摩地磁気観測データとその統計解析手順

奥多摩地磁気観測点 (35°50'56"N, 139°02'19"E) では、フラックスゲート磁力計 (テラテクニカ製 FR-725) を用いて地磁気 3 成分を 32Hz サンプルングで常時観測している。観測データの 1 例として、日本時間で 2011 年 3 月 11 日の 1 秒平均値プロットを Fig.1 に示す。また、3 成分観測値 (X、Y、Z) に加え、それらから求められる水平成分 (H) と全磁力 (F)

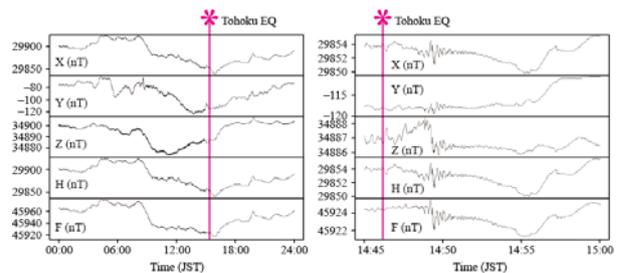


Fig.1: 1-sec-averaged geomagnetic field in Okutama in Central Japan on March 11, 2011 JST.

もあわせて示す。昼間の時間帯、特に Z 成分にはノイズが卓越しており、直流電源により駆動する電車からの漏洩電流が原因であると考えられる。しかし、東北地震の地震動により電車の運行が止まったと同時にノイズレベルが格段に小さくなっていることが確認できる。また、地震波到達時には約 15 秒周期の減衰振動が現れている。過去の地磁気や地電位差の観測においても、このような地震動に伴う信号の検出がしばしば報告されており、流動電位との関係[1]や大地という導体が地球磁場中を振動することにより発生する誘導電流により 2 次的に誘導される磁場[2]などが示唆されている。今回の減衰振動波形が単なるセンサーの振動によるものなのか流動電位などの物理現象によるものなのかは、現在のところ不明である。

解析期間は日本時間で 2004 年 1 月 1 日から 2011 年 10 月 31 日までの約 8 年間である。本研究では、経験的に電車由来ノイズのほとんどないと思われる 02 時

30 分 00 秒から 03 時 04 分 08 秒の 1 秒平均値データ (2048 点) のみを採用し、基本的に H 成分と Z 成分について解析を進めた。2011 年 3 月 11 日 02 時 30 分 00 秒から 03 時 04 分 08 秒までの 1 秒平均値データに関するパワースペクトル密度分布を Fig.2 に示す。得られたスペクトルを周期に対して 6 つ (pc1 (周期 2-5 秒)、pc2 (周期 5-10 秒)、pc3 (周期 10-45 秒)、pc4 (周期 45-150 秒)、pc5 (周期 150-600 秒) および pc6 (周期 600-2048 秒)) に区切った。以下、地磁気 H

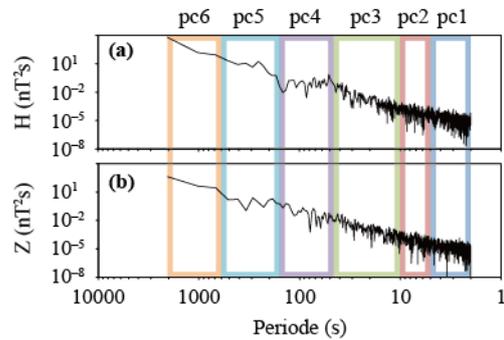


Fig.2: Power spectrum densities of H and Z components of the geomagnetic field in Okutama, obtained from data 2:30:00 – 3:04:08 on March 11, 2011 JST.

成分の pc1 を例に取り上げ、Fig.3 に示される一連の統計解析結果を得るための解析手順を説明する。

地磁気 H 成分 pc1 の範囲には、1 日あたり 615 個のスペクトル値が存在する。このデータセットから中央値、第 1 四分位数および第 3 四分位数の 3 パラメータを求め、その日の値とする。この計算を全観測期間にわたって行なう。次に、東北地震発生前までの各年の同一日のデータにおける 3 パラメータのそれぞれの中央値を求める。つまり、例えば、2004 年から 2011 年の 1 月 1 日 (計 8 日) における中央値、第 1 四分位数および第 3 四分位数のそれぞれの中央値を求め、1 月 1 日の値とする。この計算から得られた時系列データが Fig.3a である。青線は各日の中央値であり、黒線は中央値の日付中央値、2 本の灰色線は第 1 四分位数と第 3 四分位数の日付中央値である。ちなみに、中央値の日付中央値 (黒線) と第 1 四分位数と第 3 四分位数の日付中央値 (灰色線) は、1 年毎 (365 日毎) に同じ曲線を繰り返させてあり、2004 年 2 月 29 日と 2008 年 2 月 29 日のデータは計算に使われていない。次に、中央値 (青線) と中央値の日付中央値 (黒線) の差分を取った時系列データが Fig.3b である。さらに、各年の 3 月 12 日から 10 月 31 日における差分値の中央値、第 1 四分位数および第 3 四分位数を求め、プロットしたのが Fig.3c である。

他にも、柿岡・女満別・鹿屋地磁気観測点 (気象庁) における日本時間で 0-3 時の K 指数の平均値を Fig.3d に示す。また、日本時間で 0-3 時の D_{st} 指数と a_p 指数 (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および GeoForschungsZentrum Potsdam) を Fig.3e に示す。そして、奥多摩町氷川観測点 (防災科学研究所) における有感地震のマグニチュードと震度を Fig.3f に示す。最後に、小河内観測点 (気象庁) にお

ける日本時間で2時台の平均気温と降水量を Fig.3g に示す。

3. 議論

地磁気 H 成分 pc1 の中央値 (Fig.3a の青線) には、1・5 月頃の比較的小さなピークおよび 8 月頃の比較的大きなピークを持つ季節変動があり、時折大きなスパイク状の値が現れる。例えば 2011 年 3 月 8 日には特に大きなスパイクが発生していた。時系列データを目視すると、矩形的な波がこの時間帯に断増的に存在することが確認されたが、この原因は不明である。しかし、本研究では平均値ではなく中央値を採用することにより、少数派であるスパイクの影響を矮小化できていると仮定し、議論を進める。

他機関による地磁気パラメータ (Fig.3d および 3e) には、1・5・8 月にピークを持つような季節変動が確認できない。よって、奥多摩観測点の地磁気データに現れる季節変動は広域的なものではないと考えられる。有感地震の発生 (Fig.3f) にも季節的な偏りは確認できない。最も気温が高くなる 8 月 (Fig.3g) にスペクトル強度のピークが現れることから地温の変化を疑うこともできるが、1・5 月のピークは説明できない。また、降水による地温変化とも関係がなさそうであり、明確な原因は不明である。

地磁気 H 成分 pc1 の中央値から季節変動を差し引いた値に対して、日本時間で各年の 3 月 12 日から 10 月 31 日までの期間だけから求めた中央値、第 1 四分位数および第 3 四分位数 (Fig.3c) は、東北地震前後において統計的には誤差の範囲以内でおおよそ一致しているように見える。しかし、やはり年ごとに若干の変化があり、中央値差の中央値 (Fig.3c の青線) に関しては、東北地震前に比べて東北地震後には減少していることが確認できる。また、四分位数範囲 (2 本の灰色線に挟まれた値) は、東北地震後に大きくなっていることも確認できる。

以上の統計解析を他の分類 (pc1-6) や地磁気成分 (H および Z) に対しても行なったが、基本的に同様な統計的傾向を示す。比較的に短周期な pc の中央値 (例: Fig.3a の青線) には季節変動が見られるが、長周期になるにつれ不透明になる。統計的誤差の範囲以内とはいえ、全ての pc について中央値差の中央値 (例: Fig.3c

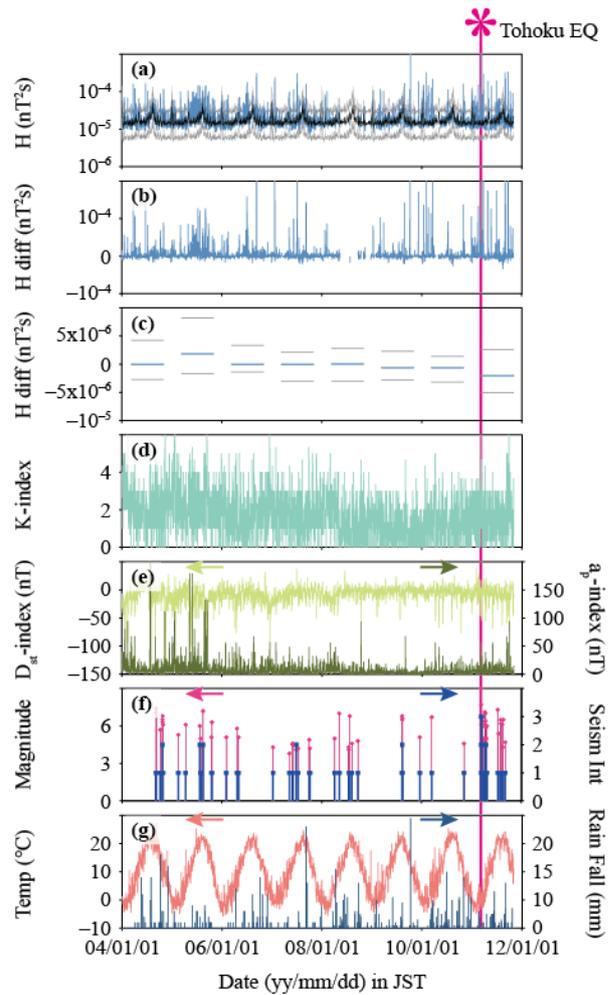


Fig.3: (a) Median of pc1 of H component (2:30:00–3:04:08 JST) everyday at Okutama (blue) with 3 medians of the median (black) and 1st and 3rd quartiles (gray) for each date before Tohoku earthquake. (b) Difference of the pc1 median from the seasonal variation, obtained from the blue line minus the black line in (a). (c) Median (blue) with the 1st and 3rd quartiles (gray) of the pc1 median difference (Mar. 12–Oct. 31 JST). (d) Average of K-indexes (0:00–3:00 JST) at Kakioka, Memanbetsu, and Kanoya in Japan. (e) D_{st} -index and a_p -index (0:00–3:00 JST). (f) Magnitude and seismic intensity of the felt earthquakes at Okutamacho-Hikawa site. (g) Air temperature and rain fall (2:00–3:00 JST) at Ogouchi site.

の青線)が東北地震後に若干減少しており、その傾向は周期が短いpcほど顕著である。

東北地震後における中央値差の中央値 (Fig.3c の青線)が減少した理由としてまず考えられるのは、福島原子力発電所事故に起因する節電要請による電力使用量の低下であろう。上述のように、電車からの漏洩電流が地磁気データに現れるノイズの主な原因であるが、それ以外にも大型工場などからの漏洩電流による影響も含まれていることが十分に考えられる。震災前は24時間操業していた工場などが震災後には停止しており、昼間だけではなく夜間の漏洩電流量も減少していたはずである。しかし、もしこれだけが原因ならば、第3四分位数 (例: Fig.3c の上側灰色線) や四分位数範囲 (例: Fig.3c の2本の灰色線に挟まれた値) も減少すべきではないかと考えられるが、相反して解析結果は増加を示している。よって、東北地震後における中央値差 (Fig.3c の青線) の変化は、電力使用量の低下という人工的なもののためだけではないと考えられる。

次に考えられる原因は地下水であろう。東北地震の前後で東日本全域の地殻応力・歪み分布は大きく変わっている[3]。また一般的に、地震後に井戸水の水位が一時的または永続的に変化すること[4]や地殻応力や地表面の歪みと地下水位との間に相関のあること[5]が報告されている。これらのことを総合的に判断すると、奥多摩地域においても、地下水の存在状態が東北地震後に変化していることが期待できる。地殻内の誘導電場が地下水により局所的に変化すれば、2次的に誘導される局所的な磁場が発生していることも期待される。この地下水の存在領域が変化すれば、誘導電場の局所変化および2次誘導磁場も変化するであろう。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」(課題番号: 2501)および東海大学海洋研究所「個別プロジェクト研究、東海地方における地震・火山・津波災害軽減のための学際的研究」の支援を受けて実施されている。また、気象庁・防災科学技術研究所・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・GeoForschungsZentrum Potsdamより各種データを提供して頂いた。

参考文献

- [1] Nagao, T., Y. Orihara, T. Yamaguchi, I. Takahashi, K. Hattori, Y. Noda, K. Sayanagi and S. Uyeda, Co-seismic geoelectric potential changes observed in Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1535–1538, 2000.
- [2] Honkura, Y., H. Satoh and N. Ujihara, Seismic dynamo effects associated with the M7.1 earthquake of 26 May 2003 off Miyagi Prefecture and the M6.4 earthquake of 26 July 2003 in northern Miyagi Prefecture, NE Japan. *Earth Planet. Space*, **56**, 109–114, 2004.
- [3] Takahashi, H., Static strain and stress changes in eastern Japan due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, as derived from GPS data. *Earth Planet. Space*, **63**, 741–744, 2011.
- [4] Huang, F.-Q., C.-I. Jian, Y. Tang, G.-M. Xu, Z.-H. Deng, and G.-C. Chi, Response changes of some wells in the mainland subsurface fluid monitoring network of China, due to the September 21, 1999, Ms7.6 Chi-Chi Earthquake. *Tectonophysics*, **390**, 217–234, 2004.
- [5] Ji, K.H. and T.A. Herring, Correlation between changes in groundwater levels and surface deformation from GPS measurements in the San Gabriel Valley, California. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L01301, 2012.