

# 平成23年東北地方太平洋沖地震(M<sub>w</sub> 9.0)の前後における 奥多摩地磁気3成分データの統計的パラメータ変化

竹内昭洋<sup>1)</sup>・長尾年恭<sup>1)</sup>

Statistical Parameter Variations in the 3 Components of Geomagnetic Field at Okutama  
in Central Japan before and after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Akihiro Takeuchi<sup>1)</sup> and Toshiyasu Nagao<sup>1)</sup>

## Abstract

We have observed the 3-component geomagnetic fields with a fluxgate magnetometer at 32 Hz sampling in Okutama in central Japan since December 2003. Okutama is located just outside the area where the seismic activity increased after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. In this study, we confirmed whether or not there are changes in statistical parameters of the observed data before and after the earthquake. Because the daytime data included noises mainly from trains driven by DC electric power, we used only the nighttime data from 2:30:00 to 3:04:08 in JST after 1-sec averaging. The power spectrum densities, especially of pc1-3, had seasonal variations. The median, 1<sup>st</sup> quartile, and 3<sup>rd</sup> quartile were calculated for the differences between the power spectrum intensities and the seasonal variations from March 12 to October 31 each year. As a result, we confirmed that the median and 1<sup>st</sup> quartile slightly decreased after the earthquake while the 3<sup>rd</sup> quartile increased. One of the possible reasons of the decreases is a decline of the use of electric power after the earthquake. Moreover, one of the possible reasons of the increase may be a change of the local groundwater conditions after the earthquake.

## 緒 言

日本時間で2011年3月11日14時46分に、モーメントマグニチュード9.0の平成23年東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震と略す)が発生した(Hirose *et al.*, 2011)。また、余震のみならず、その周辺域における地殻ひずみの再配分により誘発されたと推測されるマグニチュード6級の地震も多発し(Okada *et al.*,

2011)、微震動を伴う火山活動も活発化した(Yukutake *et al.*, 2011)。

さらに、東北地震は大規模な津波の発生も伴った(Maeda *et al.*, 2011)。この津波により発生した大気重力波が電離層まで達し、電離層のプラズマを擾乱させた(Liu *et al.*, 2011; Tsugawa *et al.*, 2011)。また、地震発生後の地磁気データには比較的大規模な変化も観測された。この変化を津波という導体が地球磁場中を

---

1) 東海大学海洋研究所地震予知研究センター 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1  
Earthquake Prediction Research Center, Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 3-20-1  
Orido, Shimizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan  
(2011年12月28日受付 / 2012年2月18日受理)

移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(津波ダイナモ効果)であるとする報告もある(Utada *et al.*, 2011). このように, 東北地震はその発生に伴って電磁気学的な変化を誘導した. これらは過渡的な電磁気現象であると言えよう. それでは, もっと長周期または定常的な地磁気脈動のような電磁気学的パラメータに変化はないのであろうか.

東海大学海洋研究所地震予知研究センター(以下, センターと略す)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ことが期待される. 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検証する.

### 奥多摩地磁気観測データ

Fig. 1に示すように, センターの奥多摩地磁気観測点のセンサーは, JR青梅線の奥多摩駅から日原街道(都道204号線)を約10 km北上し, 街道から北東方向に約100 m逸れた東京都水道局の水源かん養林用地内(35°50'56"N, 139°02'19"E)にある. 地磁気センサーはフラックスゲート型(テラテクニカ製FR-725)であり, 沢の斜面を横切る小道沿いの地中約1 mの深さに埋設してある. この小道は普段は溪流釣り客が稀に通る程度である. 計測器本体(データロガー)は日原街道沿いの観測小屋に設置され, アンプおよびケーブルは小道の脇に埋設されている. 32 Hz サンプリングで地

磁気3成分を常時観測している. 計測器本体にデータが保存される. 観測データは, ISDN 回線を用いて清水のセンター研究室内に設置されたデータ解析サーバにより毎日自動回収されている. 回収された観測データは, 自動処理プログラムにより1秒平均値化され, 観測結果が関係者に毎日メールで配信されている.

観測データの1例として, 2011年3月11日(日本時間)のプロットをFig. 2に示す. 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

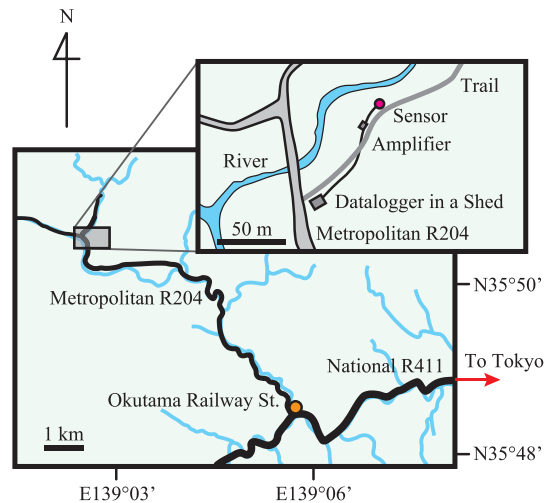


Fig. 1 Location of the Okutama geomagnetic field observation site. This area is about 70 km west of Tokyo central part. The sensor (35°50'56"N, 139°02'19"E) is a fluxgate type buried in the ground at 1 m depth.

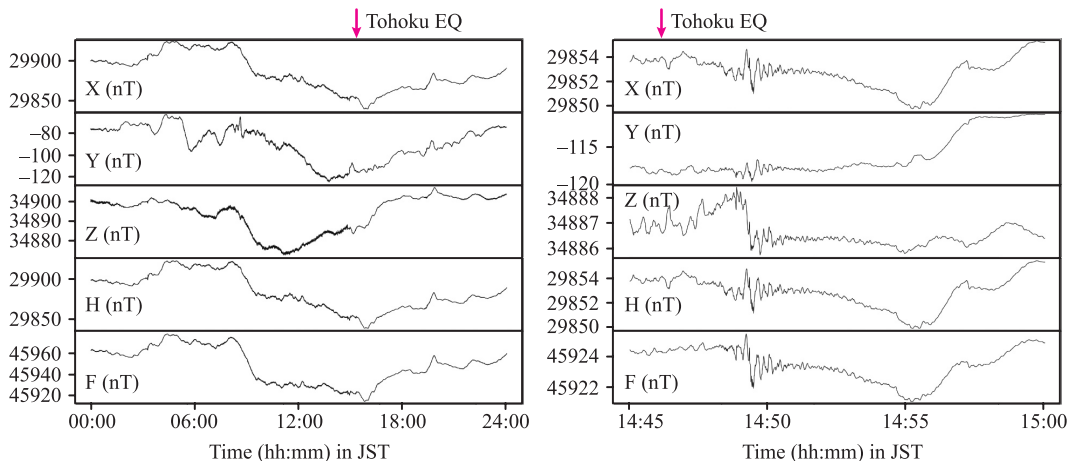


Fig. 2 The 1-sec averaged geomagnetic fields at the Okutama site. (Left columns) The 1-day variations of each component on March 11, 2011 JST. (Right columns) The 15-minute variations of each component before and after Tohoku earthquake. H and F components are calculated from X, Y and Z components.

力 (F) のプロットも示す。昼間の時間帯、特に Z 成分にはノイズが卓越している。一般的にこのようなノイズの主な原因は、直流電源により駆動する電車からの漏洩電流であると考えられている。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地磁気各成分に現れる。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 (Nagao *et al.*, 2000; Widarto *et al.*, 2009) 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 (地震ダイナモ効果: Honkura *et al.*, 2004; Ujihara *et al.*, 2004) 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。

### 地磁気データの統計解析手順

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夜中の 1 秒平均値化データのみを用いた。具体的には、日本時間で 2 時 30 分 00 秒から 3 時 04 分 08 秒までの 2048 秒間 (データ数) のデータを採用した。また、以下のデータ解析では、基本的に H 成分と Z 成分について解析を実施した。

日本時間で 2011 年 3 月 11 日 2 時 30 分 00 秒から 3 時 04 分 08 秒までのデータに関するパワースペクトルを Fig. 3 に示す。スペクトル解析には、統計解析ソフト

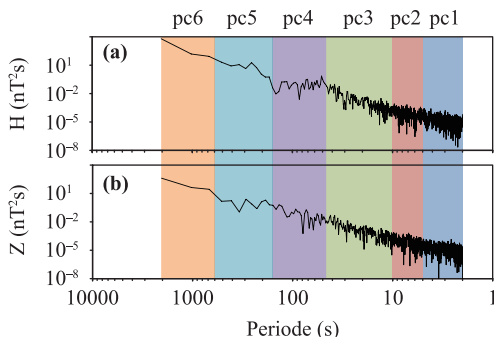


Fig. 3 Power spectrum densities of H (a) and Z (b) components of the geomagnetic field at the Okutama site from 2:30:00 to 3:04:08 (for 2048 sec) on March 11, 2011 JST.

「R」の spec.pgram() 関数を用いた。2048 秒間の時系列データから平均値を引いた後に、高速フーリエ変換によりペリオドグラムを計算した。得られたパワースペクトル密度を周期に対して 6 つに分けた。これらは国際地球電磁気・超高層物理学協会による連続型地磁気脈動の分類に準じており、それぞれ、

- 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)
- pc6 (周期 600–2048 秒)

に相当する。以下、地磁気 H 成分の pc1 (周期 2–5 秒) を例に取り上げ、Fig. 4 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。

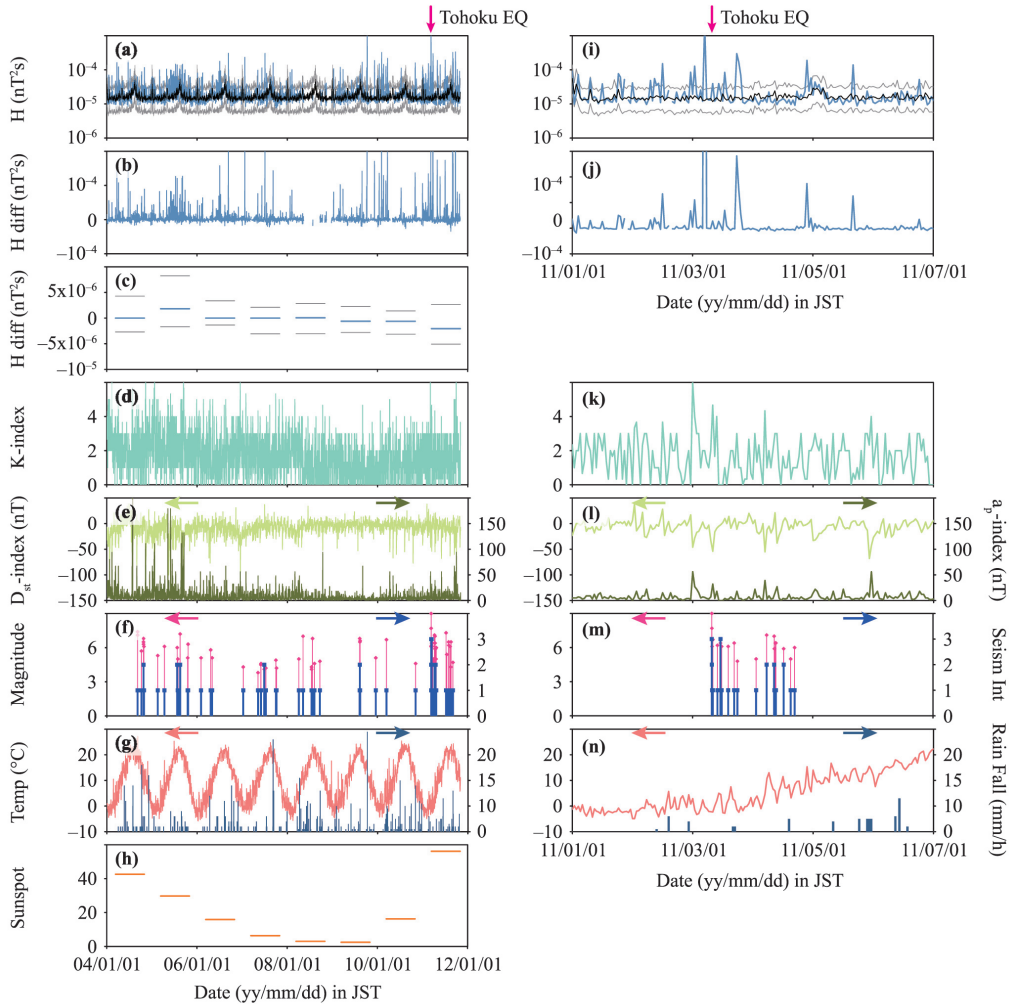
地磁気 H 成分 pc1 の範囲には、1 日あたり 615 のスペクトル値が存在する。このデータセットから中央値、第 1 四分位数および第 3 四分位数の 3 パラメータを求め、その日の値とする。この計算を全観測期間にわたって行なう。次に、東北地震発生前までの各年の同一日のデータにおける 3 パラメータのそれぞれの中央値を求める。つまり、例えば、2004 年から 2011 年の 1 月 1 日 (計 8 日) における中央値、第 1 四分位数および第 3 四分位数のそれぞれの中央値を求め、1 月 1 日の値とする。3 月 12 日以降の値は、2011 年のデータを使用しないため、計 7 日のデータセットから計算されることになる。この計算から得られた時系列データが Fig. 4a および Fig. 4i である。このグラフだけ縦軸は対数表示になっている。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。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いる。ちなみに、これら日付中央値 (365 日周期) の計算のために、2004 年 2 月 29 日と 2008 年 2 月 29 日のデータは除かれている。

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. 4b および Fig. 4j 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. 4c である。

Fig. 4 には、得られた解析結果を後章で検討するため、地磁気活動度、地震活動度、気象条件および太陽

活動度に関する時系列データも加えてある。Fig. 4d および Fig. 4k は、気象庁の3ヶ所の地磁気観測点(柿岡, 女満別, 鹿屋)における日本時間で0-3時のK指数の平均値を示す。Fig. 4e および Fig. 4l は、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ドイツのGeoForschungsZentrum Potsdamにより算出された日本時間で0-3時の $D_{st}$ 指数と $a_p$ 指数を示す。Fig. 4f および Fig. 4m は、奥多摩地磁気

観測点から最寄りとなる防災科学研究所の奥多摩町氷川観測点における有感地震のマグニチュードと震度を示す。Fig. 4g および Fig. 4n は、奥多摩地磁気観測点から最寄りとなる気象庁の小河内観測点における日本時間で2時台の平均気温と降水量を示す。Fig. 4h は、ベルギー王立天文台のSolar Influences Data Analysis Centerにより算出された毎年3-10月における太陽黒点数の平均値を示す。



**Fig. 4** (a and i) Median of pc1 (2:30:00–3:04:08 JST) of H component everyday (blue) with medians of the median (black) and 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (gray) for each date calculated from the pc1 data before Tohoku earthquake. (b and j) The difference of the pc1 median from the seasonal variation, obtained from the blue line minus the black line in (a) and (i). (c) The median (blue) with the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (gray) of the pc1 median difference (Mar. 12–Oct. 31 JST). (d and k) The average of K-indexes (0:00–3:00 JST) at Kakioka, Memanbetsu, and Kanaya in Japan. (e and l)  $D_{st}$ -index and  $a_p$ -index (0:00–3:00 JST). (f and m) Magnitude and seismic intensity of the felt earthquakes at Okutamacho-Hikawa site. (g and n) The average of air temperature and rain fall (2:00–3:00 JST) at Ogouchi site. (h) The average sunspot number (Mar. 12–Oct. 31).

## 議 論

地磁気 H 成分 pc1 の中央値 (Fig. 4a の青線) は、1 月頃と 5 月頃の小さなピークおよび 8 月頃の大きなピークを持つ季節変動を有していることが確認できる。また、時折大きなスパイク状の値を示す。特に大きなピークの一つが 2011 年 3 月 8 日に発生している。この日の観測データを Fig. 5 に示す。統計解析に使われた日本時間で 2 時 30 分 00 秒から 3 時 04 分 08 秒の時間帯に、異常な乱れのあることが確認できる。断定はできないが、偶然に不定期の夜行貨物列車が運行されていたか、計測上の問題とも考えられる。他の小・中スパイクに関しても同様の疑念を持つことができるが、原因を判別することは現段階では極めて困難である。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、少数派である異常に大きなデータの影響を矮小化できていると仮定し、解析を進めた。

他機関による地磁気パラメータ (Fig. 4d, 4e, 4k および 4l) 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. 4f および 4m) にも季節的な偏りは確認できない。センサーがフラックスゲート型であるため、たとえ地中に埋めていたとしても、温度特性の効果 (おおよそ線形の関係) を疑うことができる。確かに最も気温が高くなる 8 月 (Fig. 4g および 4n) にスペクトル強度のピークが現れるのは調和

的であるが、1・5 月のピークは説明できない。また、降水による地温の低下とも関係がなさそうである。現在のところ、この季節変動の原因は不明である。

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. 4c) 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. 4c 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のも確認できる。ここで注意すべきことがある。季節変動からの差をとることで、1 年以上の周期を持つ太陽活動変化の影響を取り去ることはできない。よって、Fig. 4c に示された結果には、そのような影響も含まれていることが予想される。しかし、中央値差の中央値の変遷 (Fig. 4c) と太陽黒点数の変遷 (Fig. 4h) との間に明確な相関は確認できない。

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。その結果をまとめたものを Fig. 6 および Fig. 7 に示す。H 成分と Z 成分とでは、基本的に同様な統計的傾向を示す。比較的短周期な pc の中央値 (左コラム) 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 に対して、中央

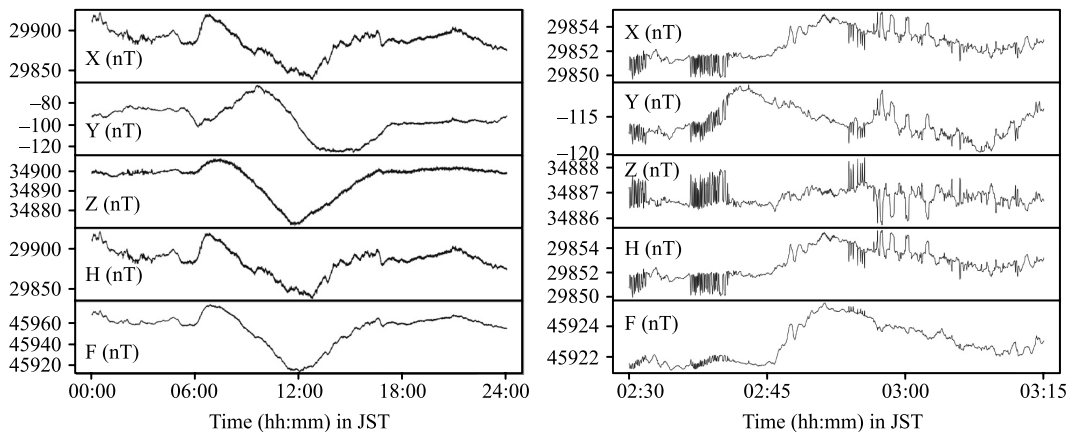
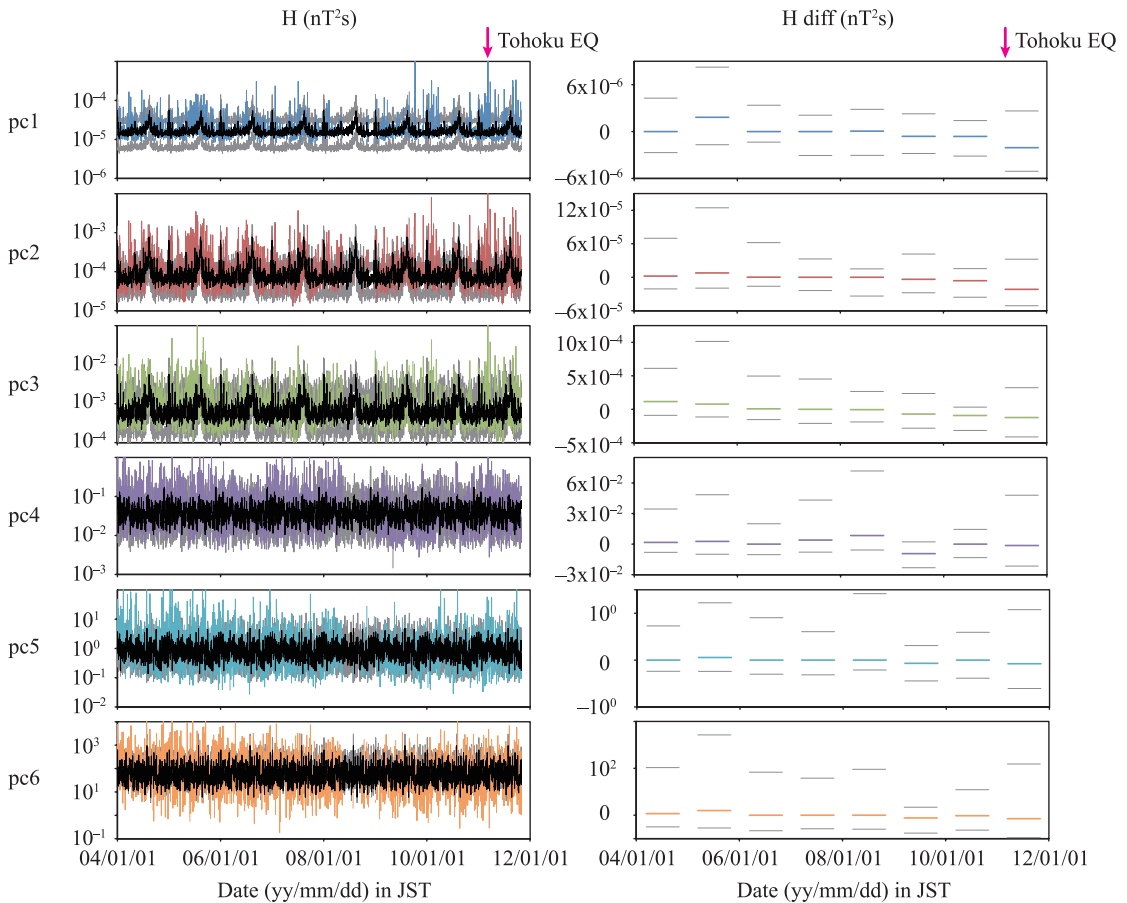


Fig. 5 The 1-sec averaged geomagnetic fields at the Okutama site. (Left columns) The 1-day variations of each component on March 8, 2011 JST. (Right columns) The 45-minute variations of each component before and after Tohoku earthquake. H and F components are calculated from X, Y and Z components.

値差の中央値(右コラムの色線)が東北地震後に減少していることが確認できる。ただし、その傾向は周期が短い pc ほど顕著である。また、四分位数範囲(2本の灰色線に挟まれた値)に関しては、東北地震後に大きくなっているのが確認できる。

もし、東北地震後における中央値差の中央値(Fig. 6 および Fig. 7 の右コラムの色線)が真に減少しているとする、その原因は何であろうか。まず考えられるのが、福島原子力発電所事故に起因する節電要請による使用電力量の低下である。「奥多摩地磁気観測データ」でも述べたように、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。しかし、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。例えば、伊豆半島における地磁気・地電流の 100 秒周期成分を主成分解析すると、第 2 主成分に人間活動時間帯と呼応する増減が確認できる(Uyeda *et al.*, 2002)。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、もし使用電力量の低下が原因ならば、第 3 四分位数(Fig. 6 および Fig. 7 の右コラムの上側灰色線)や四分位数範囲(Fig. 6 および Fig. 7 の右コラムの 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。そもそも、大型工場由来の漏洩電流は 50 Hz または 60 Hz の周波数を持った交流であ



**Fig. 6** (Left columns) Median of pc1–6 (2:30:00–3:04:08 JST) of the H component everyday (colored) with medians of the median (black) and 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (gray) for each date calculated from the pc1–6 data before Tohoku earthquake. (Right columns) The median (colored) with the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (gray) of the pc1–6 median differences (Mar. 12–Oct. 31 JST).

ると予想され、特に長周期の pc には影響が現れにくいと考えられる。以上のことから、東北地震後における中央値差 (Fig. 6 および Fig. 7 の右コラム) 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る。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 (Takahashi, 2011)。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 (Roeloffs, 1998; King *et al.*, 1999; Huang *et al.*, 2004) 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 (Kümpel, 1992; Ji and Herring, 2012) 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。地殻内には、太陽風と電離層との相互作用により発生する地磁気に対する誘導電場 (電流) が存在する。更に、地殻内の局所的な電磁気的不均一性により、この誘導電場が局所的に変化し、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。地下水の存在状態が変化すれば、電磁気的不均一性も変化するため、誘導電場の局所の変化および2次誘導磁場も変化するであろう。以上のことから、地下水の存在状態が地震発生後に時間変化するとともに、2次誘導磁場の強度も増減し、結果として各 pc の中央値差の四分位数範囲が大きくなったのではないかと予想される。

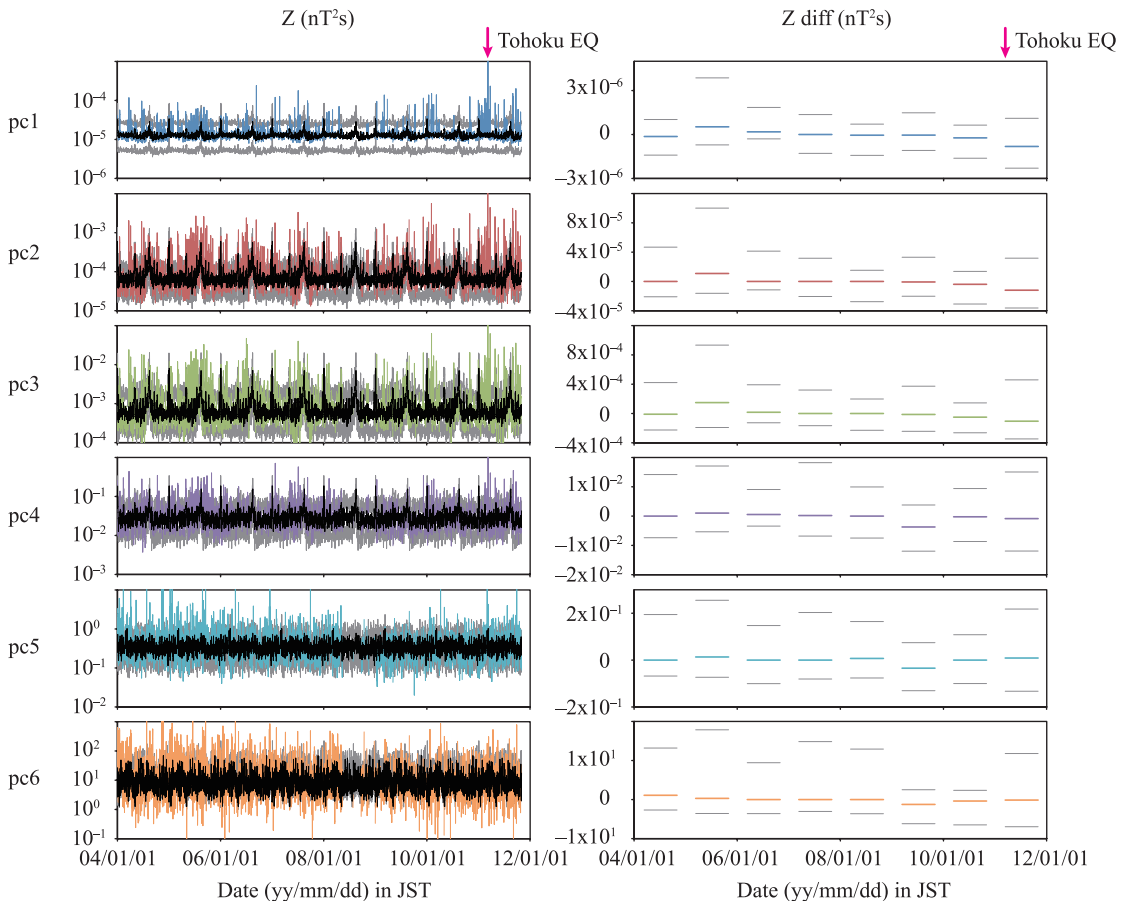


Fig. 7 (Left columns) Median of pc1-6 (2:30:00-3:04:08 JST) of the Z component everyday (colored) with the medians of the median (black) and 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (gray) for each date calculated from the pc1-6 data before Tohoku earthquake. (Right columns) The median (colored) with the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (gray) of the pc1-6 median differences (Mar. 12-Oct. 31 JST).

## 結論と今後の課題

センターが奥多摩において約8年にわたって観測している地磁気の水平成分(H)および垂直成分(Z)において、東北地震の発生前後における統計パラメータの変化を検証した。結果として、統計的には誤差の範囲内での変化しか確認されなかった。具体的には、パワースペクトル強度(周期:2-2048秒, 季節変動からの差)の各年3月12日-10月31日期間における中央値が若干減少し、四分位数範囲が若干増加した。中央値減少の原因の1つとして、夜間電力使用量の減少に伴うノイズ強度の減少が考えられる。また、中央値減少および四分位数範囲増加の原因の1つとして、局所的な地下水の存在状態の変化が考えられる。

本研究では、スペクトルの時系列データに時折見られるスパイク状の異常値の影響は、統計解析において中央値を用いることにより矮小化できていると仮定している。しかし、より精度よく解析するためには、やはり全ての観測データを精査し、明らかな計測エラーや夜行列車の影響のある日のデータを解析対象から丁寧に取り除くような作業が必要であろう。また、センターの奥多摩3成分地磁気は32 Hz サンプリングで観測されているため、1-32 Hzの周波数帯ではどのような統計パラメータの変化が現れるのか確認する必要がある。もし夜間電力使用量との関係があるならば、より顕著な変化が現れると予想される。更に、他地点の地磁気データや地電位差データでも同様の解析を行い、解析結果の地域差から統計パラメータに現れる季節変動の原因や地下水との具体的な関係が議論できるようにするだろう。

## 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による「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た。また、気象庁柿岡地磁気観測所および防災科学技術研究所より地震データ, K指数データおよび気象データを提供して頂いた。さらに、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ドイツのGeoForschungsZentrum Potsdamより  $D_{st}$  指数データおよび  $a_p$  指数データを提供して頂いた。そして、

ベルギー王立天文台のSolar Influences Data Analysis Centerより太陽黒点数データを提供して頂いた。

## 引用文献

- Hirose, F., K. Miyaoka, N. Hayashimoto, T. Yamazaki and M. Nakamura (2011): Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake ( $M_w$  9.0) - Seismicity: foreshocks, mainshock, aftershocks, and induced activity -. *Earth Planets Space*, **63**, 513-518.
- Honkura, Y., H. Satoh and N. Ujihara (2004): 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 Planets Space*, **56**, 109-114.
- Huang, F.-Q., C.-I. Jian, Y. Tang, G.-M. Xu, Z. -H. Deng, and G.-C. Chi (2004): 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.
- Ji, K.H. and T.A. Herring (2012): Correlation between changes in groundwater levels and surface deformation from GPS measurements in the San Gabriel Valley, California. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L01301.
- King, C.-Y., S. Azuma, G. Igarashi, M. Ohno, H. Saito and H. Wakita (1999): Earthquake-related water-level changes at 16 closely clustered wells in Tono, central Japan. *J. Geophys. Res.*, **104**, 13073-13082.
- Kümpel, H.-J. (1992): About the potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust. *Tectonophysics*, **211**, 317-336.
- Liu, J.-Y., C.-H. Chen, C.-H. Lin, H.-F. Tsai, C.-H. Chen and M. Kamogawa (2011): Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, **116**, A06319.
- Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai and S. Shinohara (2011): Significant tsunami observed at ocean-bottom pressure gauges during the 2011 off the



- Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, **63**, 803-808.
- Nagao, T., Y. Orihara, T. Yamaguchi, I. Takahashi, K. Hattori, Y. Noda, K. Sayanagi and S. Uyeda (2000) : Co-seismic geoelectric potential changes observed in Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1535-1538.
- Okada, T., K. Yoshida, S. Ueki, J. Nakajima, N. Uchida, T. Matsuzawa, N. Umino, A. Hasegawa and Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2011) : Shallow inland earthquakes in NE Japan possibly triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, **63**, 749-754.
- Roeloffs, E.A. (1998) : Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes. *J. Geophys. Res.* **103**, 869-889.
- Takahashi, H. (2011) : 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 Planets Space*, **63**, 741-744.
- Tsugawa, T., A. Saito, Y. Otsuka, M. Nishioka, T. Maruyama, H. Kato, T. Nagatsuma and T. Murata (2011) : Ionospheric disturbances detected by GPS total electron content observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, **63**, 875-879.
- Ujihara, N., Y. Honkura and Y. Ogawa (2004) : Electric and magnetic field variations arising from the seismic dynamo effect for aftershocks of the M7.1 earthquake of 26 May 2003 off Miyagi Prefecture, NE Japan. *Earth Planets Space*, **56**, 115-123.
- Utada, H., H. Shimizu, T. Ogawa, T. Maeda, T. Furumura, T. Yamamoto, N. Yamazaki, Y. Yoshitake and N. Nagamachi (2011) : Geomagnetic field changes in response to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami. *Earth Planet. Science Lett.*, **311**, 11-27.
- Uyeda, S., M. Hayakawa, T. Nagao, O. Molchanov, K. Hattori, Y. Orihara, K. Gotoh, Y. Akinaga and H. Tanaka (2002) : Electric and magnetic phenomena observed before the volcano-seismic activity in 2000 in the Izu Island Region, Japan. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA*, **99**, 7352-7355.
- Yukutake, Y., R. Honda, M. Harada, T. Aketagawa, H. Ito and A. Yoshida (2011) : Remotely-triggered seismicity in the Hakone volcano following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, **63**, 737-740.
- Widarto, D.S., T. Mogi, Y. Tanaka, T. Nagao, K. Hattori and S. Uyeda (2009) : Co-seismic geoelectrical potential changes associated with the June 4, 2000's earthquake (Mw7.9) in Bengkulu, Indonesia. *Phys. Chem. Earth*, **34**, 373-379.

