

# 地震ダイナモ効果の観測

栗城麻由<sup>1</sup>, 本蔵義守<sup>1</sup>, 松島政貴<sup>1</sup>, 小川康雄<sup>2</sup>

1: 東京工業大学地球惑星科学専攻

2: 東京工業大学火山流体研究センター

## Several Observations of the Seismic Dynamo Effect

Mayu Kuriki, Yoshimori Honkura, Masaki Matsushima, and Yasuo Ogawa

Tokyo Institute of Technology

### Abstract

Some characteristic variations in the electric field on the Earth's surface as observed in association with earthquakes have been well interpreted in terms of the so-called 'seismic dynamo effect.' We have been continuing observational studies to confirm the mechanism whenever observations are possible; in fact, we have made seismic and electric observations during blasting in various places in Japan. In 2009, some blasting experiments were available and at three sites we could obtain some interesting results.

So far, the sampling interval for recording was set at 200 Hz, but this turned out to be insufficient in the cases of blasting; in fact, the dominant frequencies of ground velocity were about 30 Hz. So we changed the sampling interval to 1,000 Hz and we could obtain clearer records of ground velocity and electric field. The results are summarized as follows. In two cases, left-handed circular polarization was found and interpreted as reflecting the response of Na ion in groundwater to the ground velocity. It should be remembered here, that the cyclotron frequency of Na ion for the Earth's magnetic field at the observation sites is about 30 Hz and hence a resonant-like behavior is expected in the electric field generated by the ground motion under the Earth's magnetic field. In all the cases, electric field variations started a little bit earlier than the arrival of seismic wave at the observation sites. If we combine all the results which we obtained so far, such circular polarization and earlier arrival are commonly observed, confirming the mechanism of 'seismic dynamo effect.'

We also calculated the frequency response functions which can connect two components of electric field (NS, EW) to two components of ground velocity (NS, EW). The data is from aftershocks of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008. It is well known that the ground water contains several ions such as  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . In terms of the mechanism, some peaks at the frequency of ions are predicted; there are frequency variations but they are far from clear peaks, though the result is the average of 15 data.

### 1. はじめに

地震発生時に観測される電場が円偏光する現象を説明する理論として、“地震ダイナモ効果” (Honkura et al., 2009) が提案された。地震ダイナモ効果は、“ $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  効果” (Honkura et al., 2000; Gershenson and Bambakisis, 2001; Matsushima et al., 2002) を拡張して、地下水層のイオンのローレンツ力による振動を加味したモデルである。地震動の速度を  $\mathbf{v}_0$ 、地球磁場を  $\mathbf{B}_0$  とすると、 $\mathbf{v}_0 \times \mathbf{B}_0 \neq \mathbf{0}$  のときイオンには  $\mathbf{v}_0$  と  $\mathbf{B}_0$  に垂直な方向の運動が付加され、イオンの速度と逆向きの電場  $\mathbf{E}$  がつくられる。地震動の周波数がイオンのサイクロトロン周波数に近づくと、磁場の方向に対して陽イオンは反時計回り、陰イオンは

時計回りの円運動となり、円偏光した電場が観測される。ローレンツ力を加味したイオンの速度  $\mathbf{v}$  は式(1)で表される。ここで、 $\tau$ はイオンの緩和時間である。

$$m\left(\frac{d\mathbf{v}}{dt} + \frac{\mathbf{v}}{\tau}\right) = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0) + q\mathbf{v}_0 \times \mathbf{B}_0 \quad - (1)$$

## 2. 発破における観測

地震ダイナモ効果を検証するべく、2009年に実施された発破実験の際に地震動(UD,NS,EW)および電場(NS,EW)の観測を行い、新潟県上越市および新潟県東蒲原郡阿賀町において合計3箇所の観測地点でデータを得た。さらに、これまでは200Hzサンプリングで測定していたのに対し、発破時の地震動の周波数が約30Hzであることから、本研究では地震動と電場を1kHzサンプリングで同時測定した。各観測地点および観測結果は以下のとおりである。

### 1) 新潟県上越市：site E (図1)

地震の到達より早い段階で電場の変動が始まっていた。  
変動初期の電場は反時計回りの円偏光をしていた。

### 2) 新潟県東蒲原郡阿賀町：site E (図2)

地震の到達より早い段階で電場の変動が始まっていた。  
変動初期の電場は反時計回りの円偏光をしていた。

### 3) 新潟県東蒲原郡阿賀町：site W (図2)

地震の到達より早い段階で電場の変動が始まっていた。  
電場が直線偏光から円偏光(反時計回り)に変化する様子が見られた。

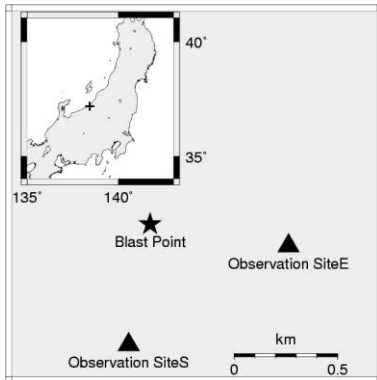


図1. 発破地点および観測地点(新潟県上越市)

Fig.1 Location of the blast point and the observation sites (Joetsu, Niigata).

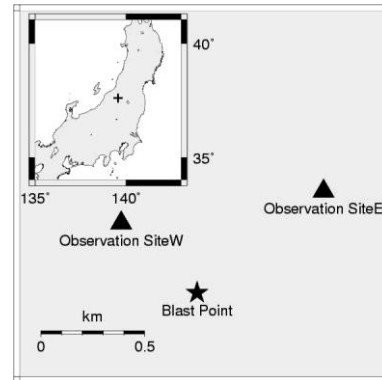


図2. 発破地点および観測地点(新潟県阿賀町)

Fig.2 Location of the blast point and the observation sites (Agamachi, Niigata).

電場の反時計回りの円偏光は、地震ダイナモ効果によって、以下のように説明される。イオンの共鳴は、イオンのサイクロトロン周波数  $\Omega$  と地震動の周波数  $\omega$  の比が1に近づくとき起こり、正の場合は反時計回り、負の場合は時計回りになる。 $\Omega$  は、イオンの質量数  $A$ 、イオンの原子価  $Z$  を用いて式(2)で表される。

$$\Omega = \frac{qB_0}{m} = 9.58 \times 10^7 \frac{ZB_0}{A} \quad - (2)$$

本観測に適用して地震動の周波数を 30Hz、地球磁場を 48000nT として計算すると、周波数の比は式(3)で表されることから、 $|A/Z| \sim 25$  で共鳴する。このような A、Z を持つイオンとしては、 $\text{Na}^+$  ( $A=23$ ,  $Z=+1$ ) がある。

$$\frac{\omega}{\Omega} = 4.1 \times 10^{-2} \frac{A}{Z} \quad - (3)$$

以上より、観測された電場の反時計回りの円偏光は、発破地点-観測地点間の地下水層において、地震動に共鳴して反時計回りに円運動した  $\text{Na}^+$  によってつくられたと解釈できる。

### 3. 周波数応答関数の計算

式(1)より導かれる磁場に垂直なイオンの速度 ( $v_x, v_y$ ) は式(4)で表される。

$$\begin{cases} E_x \propto v_x \propto -\frac{v_{0x} + ih_\omega v_{0y}}{1 - h_\omega^2} \\ E_y \propto v_y \propto -\frac{v_{0y} - ih_\omega v_{0x}}{1 - h_\omega^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} \propto \frac{1}{1 - h_\omega^2} \begin{pmatrix} -1 & ih_\omega \\ ih_\omega & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{0x} \\ v_{0y} \end{pmatrix} \quad - (4)$$

地震ダイナモ効果の理論が正しければ、イオンの運動(地震動)と電場の周波数応答関数は、地下水層を占めるイオン ( $\text{HCO}_3^-, \text{Na}^+, \text{Cl}^-, \text{Ca}^{2+}$  など) の共鳴周波数でピークを持つ。このことを証明するため、2008年岩手-宮城内陸地震(M7.2)の余震の観測データ15個を用いて、周波数応答関数を計算したところ(図6)、期待していた明瞭なピークは得られなかった。周波数応答関数に卓越した成分がなく、全体的に小さいことから、ノイズの影響を受けていると考えられる。また、震源-観測地点間の地下水層が2つ以上にまたがって存在することで電場が合成されたとも考察できる。

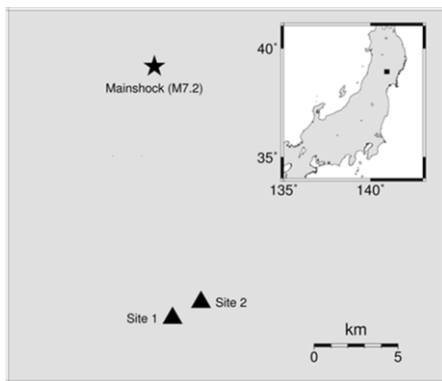


図 3. 2008年岩手-宮城内陸地震の震源および観測地点

Fig.3 Location of the epicenter of the M7.2 earthquake of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 and the observation sites.

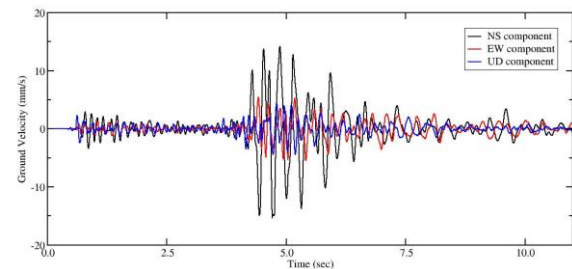
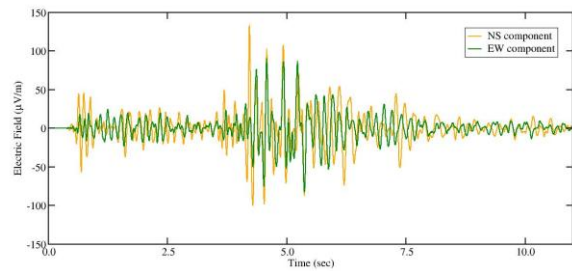


図 4. 余震の観測データ例

Fig.4 An example of the records of a aftershock.

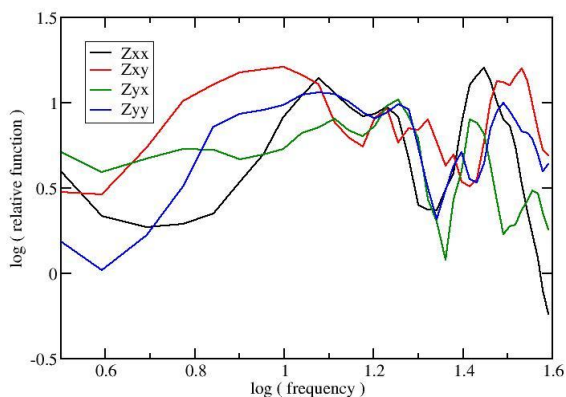


図 5. 図 4 の余震の観測データから計算した周波数応答関数  
 Fig.5 Four components of response functions calculated from the record of the aftershocks shown in Fig.4.

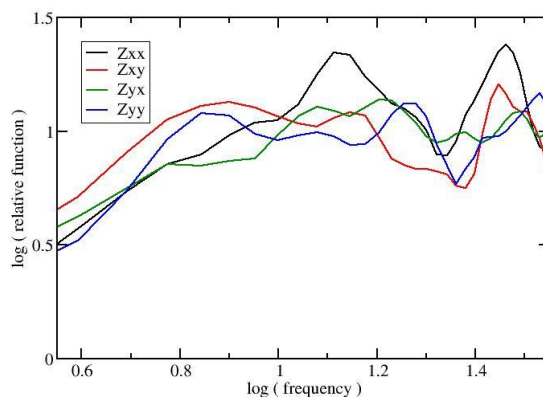


図 6. 15 個の観測データから計算した周波数応答関数の平均  
 Fig.6 Four components of response functions averaged over 15 data windows.

#### 4. まとめ

発破時の 3 箇所での観測結果のうち、2 箇所では電場の円偏光が、1 箇所では電場が直線偏光から円偏光へ変化する様子が見られ、それらの円偏光はすべて反時計回りであった。反時計回りの円偏光は、地震ダイナモ効果によって、観測地点の地下水を占める  $\text{Na}^+$  イオンが地震動に共鳴してできた誘導電場であると説明できた。よって、この結果は地震ダイナモ効果の裏づけといえる。また、すべてのケースで電場変動が地震動に対して先行する様子も見られた。

余震のデータ 15 個から周波数応答関数を計算したが、期待していた明瞭なピークは得られなかった。その理由としては、周波数応答関数の各成分がほぼ同じで小さいことから、ノイズの影響を受けたと考えられる。また、観測地点周辺には 2 つ以上の地下水層が存在している可能性も考えられ、以上より、この観測地点は周波数応答関数の解析に不適であると結論づけた。今後は別の地震の観測データから周波数応答関数を計算し、地震ダイナモ効果の正当性を追及する。

#### 謝辞

本研究における新潟県東蒲原郡阿賀町での観測は、「ひずみ集中帯の重点的観測・研究」の一環として 2009 年 9 月 16 日未明に実施された「佐渡一会津測線」地殻構造探査のための発破に伴う地震動を利用させていただきました。東大地震研・佐藤比呂志教授および株式会社地球科学総合研究所に感謝いたします。

また、新潟県上越市の観測は、石油資源開発株式会社・株式会社地球科学総合研究所が 2009 年 11 月に実施した発破に伴う地震動を利用させていただきました。感謝いたします。

## 参考文献

- Honkura Y, Ogawa Y, Matsushima M, Nagaoka S, Ujihara N, Yamawaki T (2009): A model for observed circular polarized electric fields coincident with the passage of large seismic waves, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 114, B10103.
- Honkura Y, Isikara AM, Oshiman N, Ito A, Ucer B, Baris S, Tuncer MK, Matsushima M, Pektas R, Celik C, Tank SB, Takahashi F, Nakanishi M, Yoshimura R, Ikeda Y, Komut T (2000): Preliminary results of multidisciplinary observations before, during and after the Kocaeli (Izmit) earthquake in the western part of the North Anatolian Fault Zone, *Earth Planets and Space*, 52, 293-298.
- Gershenson N., and Bambakidis G.(2001): Modeling of seismoelectromagnetic phenomena, *Russian Journal of Earth Sciences*, 3, 247 – 275.
- Matsushima, M., Honkura, Y., Oshiman, N., Baris, S., Tuncer, M.K., Tank, S.B., Celik, C., Takahashi, F., Nakanishi, M. Yoshimura, R. Pektas, R. Komut, T. Tolak, and E. Ito A. (2002): Seismoelectromagnetic effect associated with the Izmit earthquake and its aftershocks, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 350 – 360.