

2004 年紀伊半島南東沖地震時の地電位変化

村上英記*・山田 守**・中山 武・原 和臣*

* 高知大学理学部

** 名古屋大学大学院環境科学研究科地震火山・防災研究センター

Self-potential variations associated with the southeast off Kii-peninsula earthquake on
September 5, 2004

Hideki Murakami*, Mamoru Yamada**, Takeshi Nakayama, Kazuomi Hara*

* Faculty of Science, Kochi University

** Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Self-potential variations associated with the seismic wave arrivals of the southeast off Kii-peninsula earthquake (M7.4) and its foreshock (M6.9) on September 5 2004 were observed at Kakegawa, Central Japan. The observed vertical and horizontal variations of self-potential were the order of 10^{-6} V/m. It was not clear that the self-potential variation was prior to the arrival of the P wave due to very large noise. However, the self-potential for the foreshock increased prior to the arrival of the S wave and that for the main shock increased simultaneously with the arrival of the S wave.

1. はじめに

地震波動に関連すると考えられる地電位変化がこれまでも幾例か報告されている。自然地震の地震動に関連すると考えられるものや (Honkura et al., 2000, 2002, 2004; Matsushima et al., 2002; Mogi et al., 2000; Nagao et al., 2000; Ujihara et al., 2004), 砕石爆破による地震動に関連するものなどがある (山田・村上, 1982)。これらの中には, 地震波動の到達以前に地電位変動が始まるという例がある。最近, その原因として Honkura et al. (2000) は seismic dynamo 効果を提唱している。しかしながら, その原因や特性を十分に議論できるほどの観測例が報告されているわけではない。

本報告では, 2004 年紀伊半島南東沖地震 (19h07m M6.9, 23h57m M7.4) の地震波動に関連した自然電位変化について報告する。

2. 観測点および観測について

Fig.1 に名古屋大学の地震観測点を示す。このうち, 板取・水見色・新野・掛川において自然電位の観測をおこなっている。これらの観測点では, 鉛直ケーシングパイプ (塩化ビニル) の外側に鉛を巻き付け電極としている。山田ほか (1990) は, 新野の自然電位が遠地地震の地震動により変動することを打点式記録計による記録の中に見つけて報告している。

現在, 板取・水見色・新野では自然電位の鉛直成分を観測し, 地震観測と同じくイベント・トリガー観測 (100Hz サンプリング) をおこない衛星回線を経由して名古屋大学でデータを取得している。3 観測点においても地震動に関連する自然電位変動が観測されているが,

パケット・ロスなどがあるために時刻精度がないので本報告ではこれらについては省略する。

掛川では、100m離れた3つの縦孔がありそれを使い自然電位の水平と鉛直成分を観測している。観測を行っているのは深さ 8m における東西南北の水平2成分、深さ 24m における東西南北の水平2成分、深さ 8m と 50mの間の鉛直1成分の合計5成分と長周期地震計 CGM3 をサンプリング周波数 100Hz で白山工業のデータロガーLS7000 に連続で収録している。

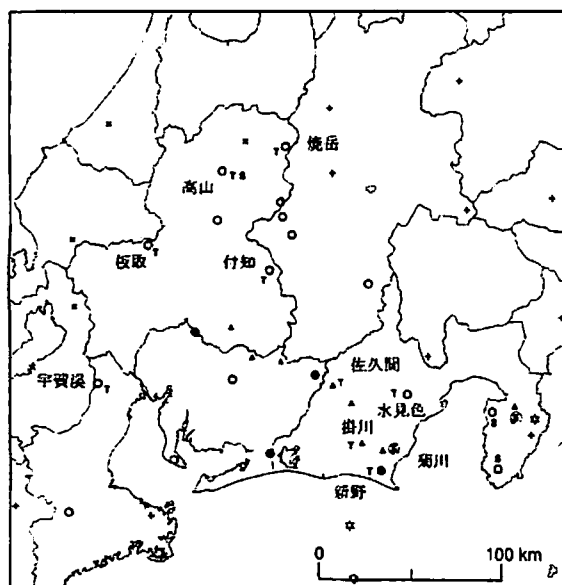


Fig.1 Location map of self-potential observation sites. Vertical electric fields are observed at Itadori, Mizumiro, and Niino. Vertical and horizontal electric fields are observed at Kakegawa.

3. 地震動に関連する自然電位

Fig.2 に掛川における地震波形と自然電位の測定データを示す。Fig.2(a)が M6.9 (発震時：19h07m) で Fig.2(b) が M7.4 (発震時：23h57m) に対応する長周期地震計 CGM3 (上下動) と自然電位5成分を示している。これらの地震の震央距離は、約 200km である。

Fig.2(a) を見ると地震波の振幅の大きい部分 (S 波) に対応して自然電位の鉛直成分 (C8-C50) が変動していることがわかる。しかしながら、水平成分4成分についてはノイズ以上の変動は見られない。また、Fig.2(b) についても同様に鉛直成分は変動しているように見えるが水平成分については明らかではない。

ノイズの主たる原因は測定装置の商用電源 (60Hz) と考えられる。すべての記録は、100Hz サンプリングでおこない入力段で特にフィルタをかけていないので、実際の記録ではエリasingのために 40Hz のノイズとなっている。この商用電源からのノイズだけでなく、原因は特定できていないが比較的周期の大きな変動成分を取り除くために以下のような処理を施した；(1) メディアンフィルタ (項数 55) に通す、(2) その出力を生データから差し引く、(3) さらにその出力をバンドパス・フィルタ (1-10Hz) に通す。その結果を Fig.4 に示す。地震波形にも共通の処理を施しているが、M7.4 の地震動は途中でオーバースケールし地震計が不調になっているので、地震波形として信頼できるのは途中までである。

バンドパス・フィルタを通した結果を見ると、地震動に対応する自然電位変動が明瞭に

記録されていることがわかる。2つの地震とも、水平成分と鉛直成分に変動が現われており次のような共通の特徴がある；（1）水平成分で比較すると深さ 8m の電場変動の方が深さ 24m の水平成分よりも大きい、（2）鉛直成分（電極間距離 42m）は水平成分（電極間距離 100m）とほぼ同じ大きさで変動している、（3）東西成分（E8-C8）は南北成分（S8-C8）よりも小さい。また、最大振幅を比較すると震動の大きい M7.4 の地震による自然電位変動の方が水平及び鉛直成分とも大きい。

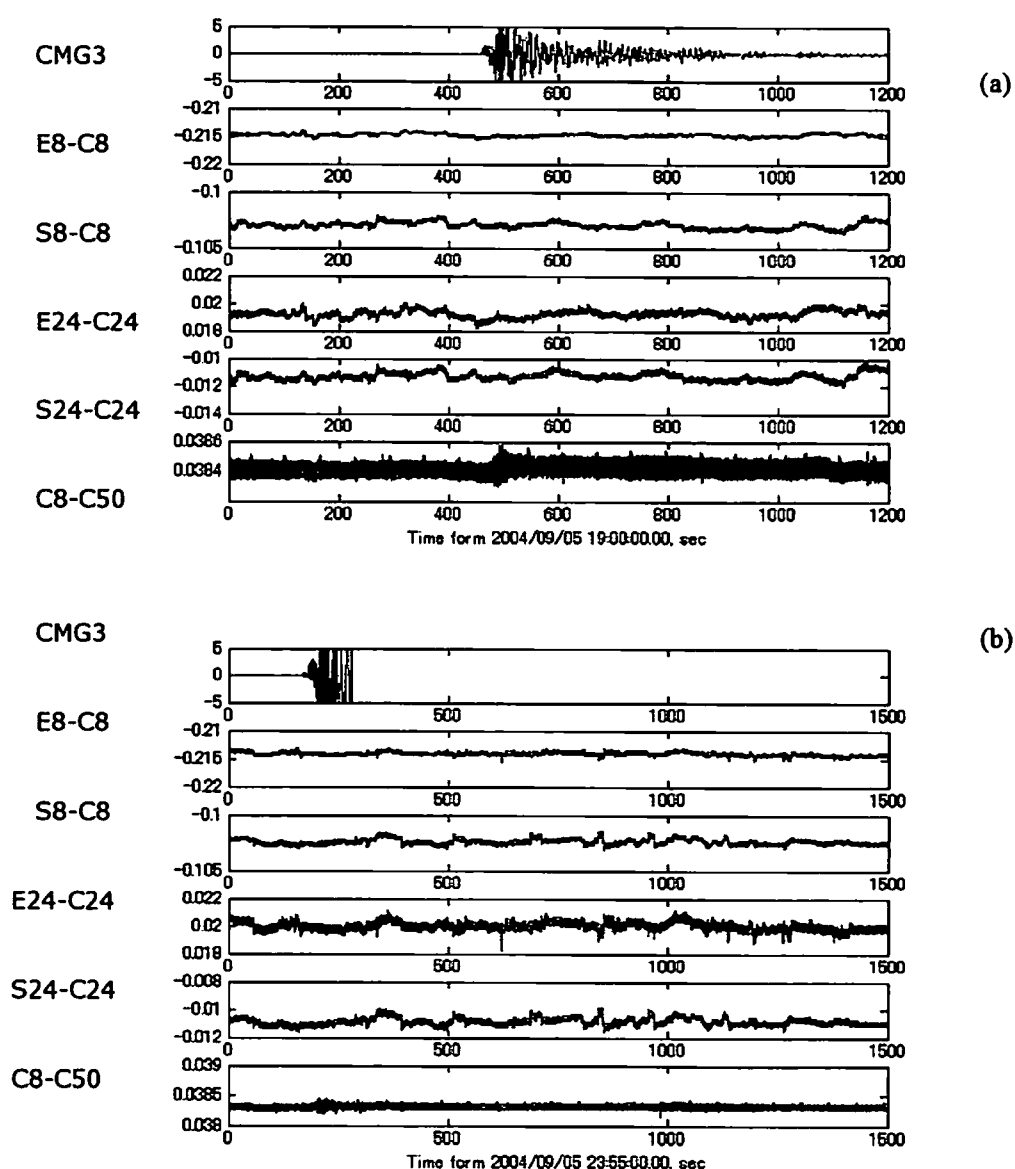


Fig.2 Observed signals at Kakegawa. (a) Seismic wave [x 1/1500 m/sec] and self-potential variations for the earthquake of magnitude 6.9. (b) Seismic wave [x 1/1500 m/sec] and self-potential variations [V] for the earthquake of magnitude 7.4.

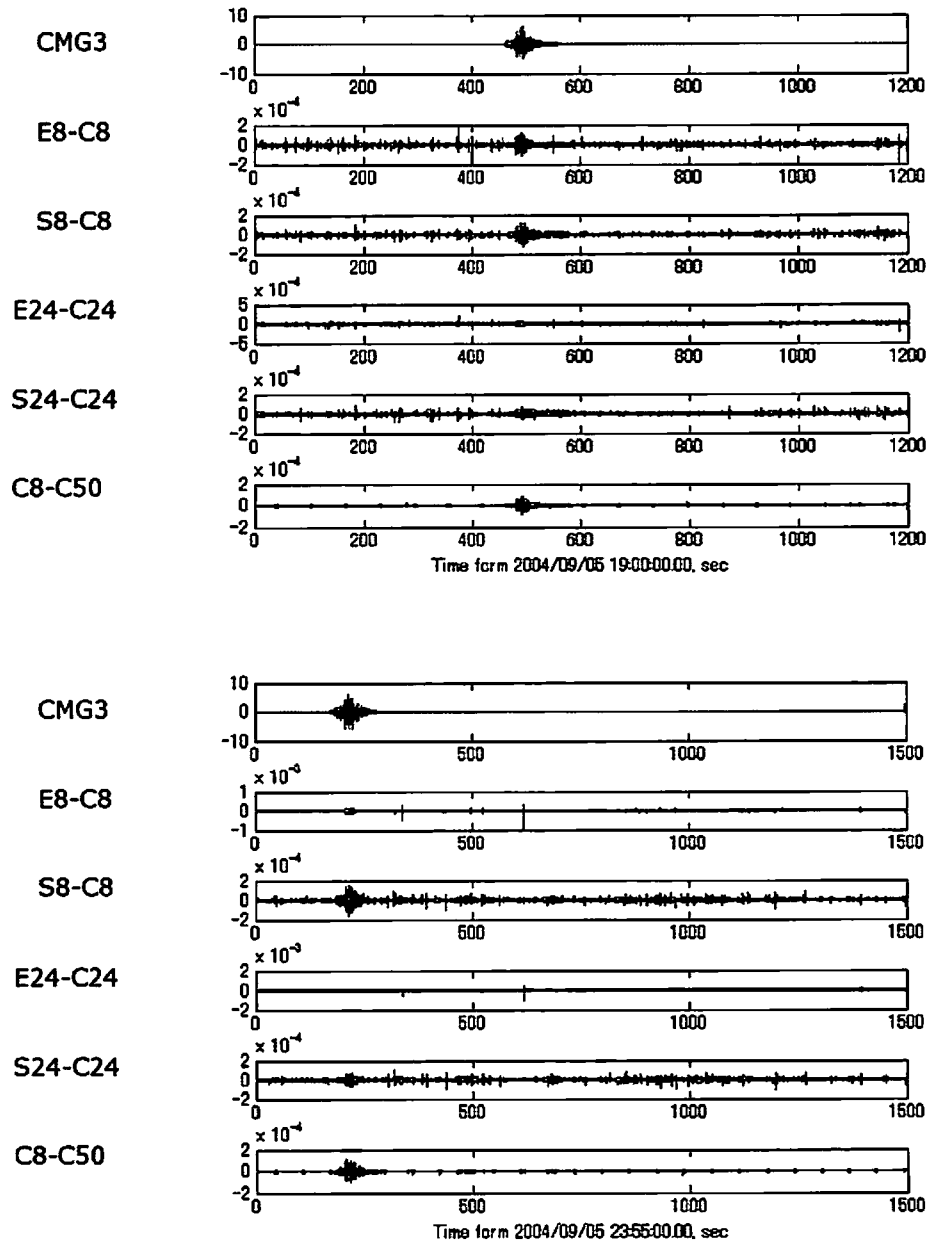


Fig.3 Band-pass filtered signals at Kakegawa. (a) Seismic wave [$\times 1/1500$ m/sec] and self-potential variations [V] for the earthquake of magnitude 6.9. (b) Seismic wave [$\times 1/1500$ m/sec] and self-potential variations [V] for the earthquake of magnitude 7.4.

4. 考察

観測されたこれらの変動は地震動によりケーブルが地球磁場を横切るために生じる誘導電位の可能性があるか評価してみると、上下動の最大地震動速度が $3 \times 10^{-3} [\text{m/sec}]$ でありこの地域の水平磁場の大きさが $306000 [\text{nT}]$ 程度なの誘導電場の大きさは $9.2 \times 10^{-8} [\text{V/m}]$ となる。電極間隔が 100m であれば $9.2 \times 10^{-6} [\text{V}]$ となるが、観測されている大きさは $10^{-4} [\text{V}]$ のオーダーであり、ケーブルの震動による誘導電位として説明することは難しい。

地震動の初動に先行して自然電位が変化しているかどうかを議論するにははまだノイズが大きいく議論できる段階にない。また波形の類似性についてもそれほど明瞭ではない。そこで地震波形との対応を見るために地震波形ならびに自然電位の包絡線 (Hilbert 変換) を求めたものを Fig.4 に示す。M6.4 の地震動の振幅が大きくなる部分と自然電位の変動を比較すると明らかに自然電位の変動が先に始まっている。水平成分ならびに鉛直成分のすべてにおいて先行していることが確認できる。しかし、M7.4 の地震の際にはそのような関係は明瞭ではない。

上記の地震動と自然電位の変動との関係を定量的に見るために相互相関関数を計算し Fig.5 に示す。M6.9 の地震に対しては包絡線の比較で明らかなように最大で 0.5 秒程度 ($\text{Lag } 50 \times 0.01$ 秒) 自然電位が地震動に先行して変動していることがわかる。M7.4 の地震では、このような明瞭な関係は見られず地震動と自然電位の間に時間の先行あるいは遅れはないように見える。

M6.9 の地震では自然電位の変動が S 波に先行している、M7.4 ではほぼ同時の変動であるが単に地震動によるケーブルの揺れなのでは観測されている変動の大きさが説明できないなど、地震動にリンクした自然電位変動メカニズムの存在を考える必要がある。深さ 8m の水平成分が深さ 24m の水平成分の振幅よりも大きいという観測事実は、自然電位の変動が地下深部から電磁波として伝搬してきたものと考えたと説明が難しい。もちろん詳細な比抵抗構造がわかっていなので断定することは難しいが、原因を考える上で一つの制約条件になりそうである。

5. まとめ

2004 年 9 月 5 日に発生した紀伊半島南東沖地震の 2 回の地震動に関連して自然電位の鉛直及び水平成分の 10^{-6}V/m 程度の変動が観測された。この自然電位変動は地震動の S 波に対応する部分は地震動と同時あるいは最大で 0.5 秒程度先行しており、深さ 8m における水平成分が深さ 24m の水平成分よりも振幅が大きいという特性を持っていた。また自然電位の鉛直成分も水平成分と同程度の振幅が観測された。

自然電位の鉛直成分と深さの異なる水平成分が観測できるという特徴を持った観測データの蓄積は、地震動に関連する自然電位変動発生モデルを検討していく上で大変有用なデータになるものと思われる。

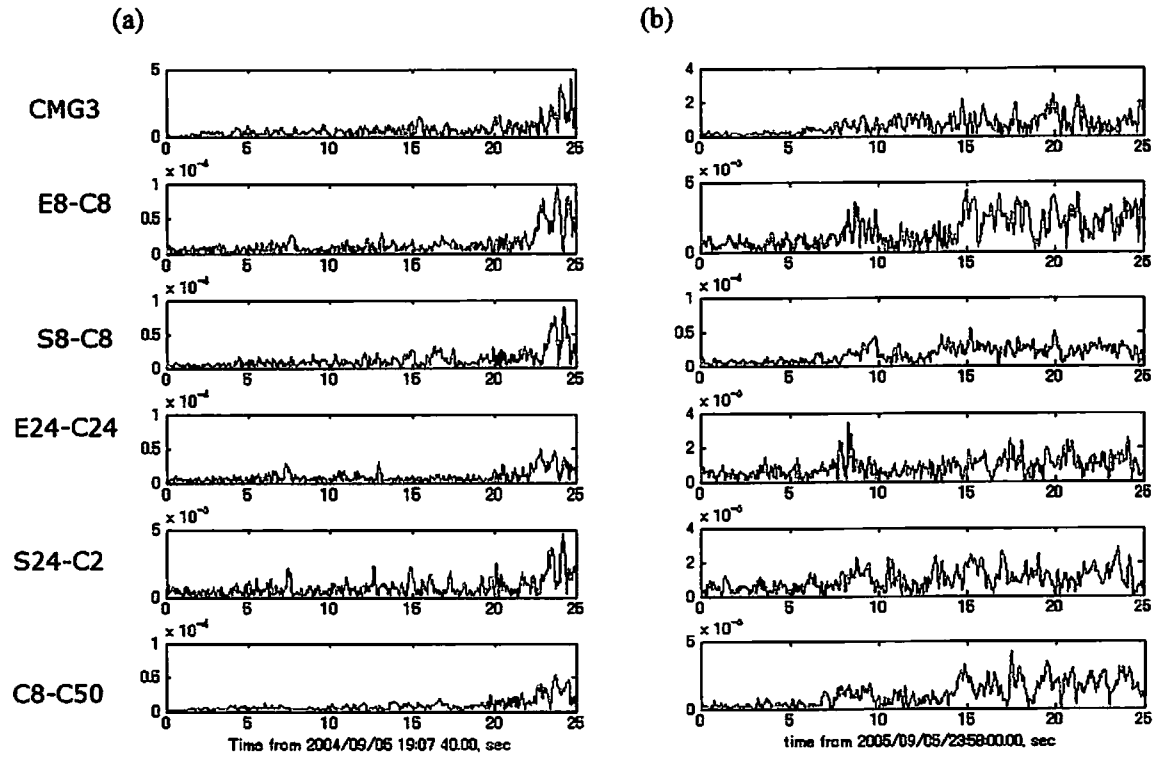


Fig.4 The envelope of band-pass filtered signals. (a) Envelopes of seismic wave and self-potentials for the earthquake of magnitude 6.9. (b) Envelopes of seismic wave and self-potentials for the earthquake of magnitude 7.4.

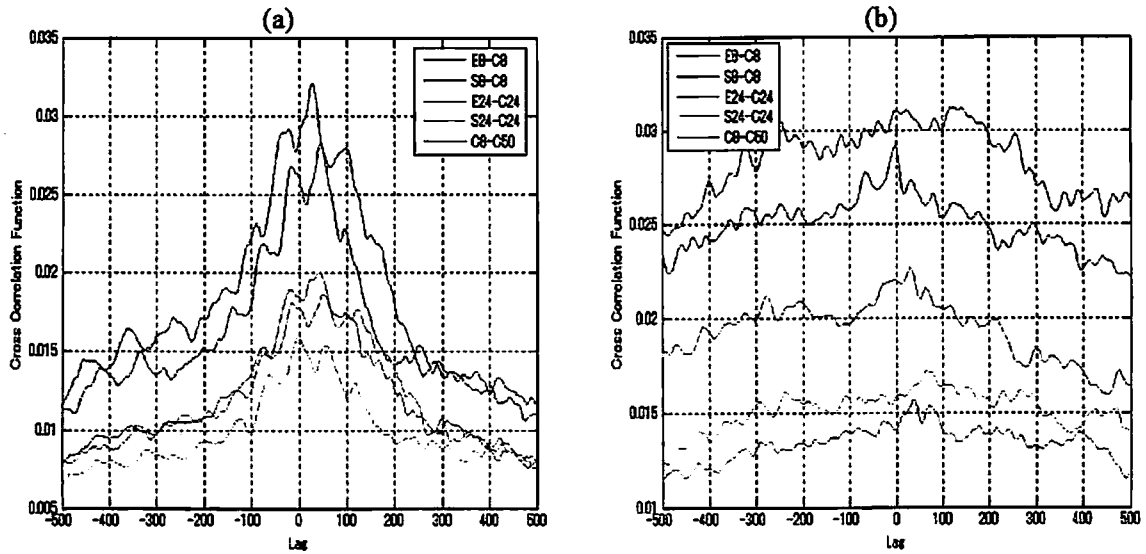


Fig.5 The cross correlation function of seismic wave and self-potential. (a) The cross correlation functions for the earthquake of magnitude 6.9. (b) The cross correlation functions for the earthquakes of magnitude 7.4.

参考文献

- Honkura,M., A.M.İşikara, N.Oshiman, A.Ito, B.Üçer, S.Bariş, M.K. Tunçer, M.Matsushima, R.Pektaş, C.Çelik, S.B.Tank, F.Takahashi, M.Nakanishi, R.Yoshimura,Y.Ikeda, and T.Komut, 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 Space*, 52, 293-298, 2000.
- Honkura,Y., M.Matsushima, N.Oshiman, M.K.Tunçer, S.Bariş, A.Ito, and A.M.İşikara, Small electric and magnetic signals observed before the arrival of seismic wave, *Earth Planets Space*, 54, e9-e12, 2002.
- Honkura,Y., H.Sato, 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 Planets Space*, 56, 109-114, 2004.
- Matsushima,M., Honkura,M., N.Oshiman, S.Bariş, M.K. Tunçer, S.B.Tank, C.Çelik, F.Takahashi, M.Nakanishi, R.Yoshimura, R.Pektaş, T.Komut, A.Ito, Y.Iio, and A.M.İşikara, Seismo-electromagnetic effect associated with the Izumit earthquake and its aftershocks, *Bull.Seismol.Soc.Am*, 92, 350-360, 2002.
- Mogi,T., Y.Tanaka, D.S.Widarto, E.M.Arsadi, N.T.Puspito, T.Ngao, W.Kanda, and S.Uyeda, Geoelectric potential difference monitoring in southern Sumatra, Indonesia-Co-seismic change-, *Earth Planets Space*, 52, 245-252, 2000.
- 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.
- Ujihara,N., Y.Honkura, and Y.Ogawa, 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, 2004.
- 山田功夫・村上英記, 碎石爆破に伴う地電位の変化, *地震*, 35, 393-400, 1982.
- 山田 守・中村 勝・角野由夫・奥田 隆・宮島力雄・山田功夫・村上英記, 中部日本における地電位観測網について, *CA研究会論文集*, 55-60, 1990.