

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340126

研究課題名（和文） 地震波と地球磁場の共鳴による電磁場生成

研究課題名（英文） Generation of electromagnetic field due to resonance between ground velocity and ions motion in the Earth's magnetic field

研究代表者

松島 政貴（MATSUSHIMA MASAKI）

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：20242266

研究成果の概要（和文）：地震動と電磁場の同時観測データをもとに、地震動に伴う電磁場変動のメカニズムは地下水に含まれるイオンが地球磁場に対するサイクロトロン周波数で共鳴運動することであるとする地震ダイナモ効果を調べた。初期電場変動の円偏光、地震波到達よりも早く観測される電場変動、そして入力を地動速度、出力を電場とする伝達関数の極大位置の周波数とイオンのサイクロトロン周波数との対応は地震ダイナモ効果を強く支持している。

研究成果の概要（英文）：Based on simultaneous observations of ground velocity and electromagnetic field, we have investigated the seismic dynamo effect, in which temporal variations of electromagnetic field associated with ground velocity are caused by cyclotron motion of ions contained in groundwater under the Earth's magnetic field. Circularly polarized electric field, detection of electric field earlier than arrival of seismic waves, and peak frequencies of the transfer function between ground velocity (input) and electric field (output) at cyclotron frequencies for ions in groundwater strongly support the seismic dynamo effect.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震現象，地球磁場

1. 研究開始当初の背景

(1) 地震に伴う電磁場変動を説明するために、数多くの物理的・化学的メカニズムが研究されている。よく知られているものは、界面動電効果、ピエゾ電気効果、ピエゾ磁気効果、そして電磁誘導効果によるものである。地震波到達に伴う電磁場変動のメカニズム

としての顕著な例は、電場変化の始まりが地震波到達と同期するというものである。しかしながら、地震動の観測機器への影響ではないかとの指摘も多く、その実態および物理的メカニズムはわかっていなかった。

(2) 研究代表者・研究分担者のグループは、

1999年、トルコ・北アナトリア断層の比抵抗構造探査中に発生したイズミット地震に伴う電磁場変動を観測した。断層近傍の観測点では、地震波の到達前に電場の時間変化が始まっていることがわかった。このような地震波に伴うと考えられる電磁場変動を再確認するために、広帯域電磁場観測装置と地震計を同じ観測点に設置し、イズミット地震の余震に対する電磁場と地震動の同時観測を実施した。観測結果をもとに、我々はこの現象を地震ダイナモ効果によるものであると説明してきた。

(3) この現象を再確認し、関連したデータを蓄積するためには、地震動と電磁場変動を同時に観測しなければならない。そこで、大きな地震が発生した後の余震に対する観測の他に、地殻構造探査のための人工地震に対する観測も実施してきた。観測によって得られたデータの解析結果から以下のことがわかってきた。

観測された電場変動は機器の震動、例えば、観測に使用されていた電極やケーブルの震動によるものではない。

比較的小さい地震動では、地震波の到達に先行すると考えられる電磁場変動は明白ではない。

自然地震の特徴的時間よりも人工地震の特徴的時間は非常に短いので、地震動および電磁場変動を観測する際のサンプリング・レートを非常に速くしなければならない。

(4) 研究代表者・研究分担者のグループは、地殻浅部流体に含まれるイオンが地球磁場中で地震動と共鳴し、サイクロトロン運動することにより、円偏光する電場が生じると提案している。地震波の到達に伴い、地震ダイナモ効果によって正負のイオンが独自に運動し、電場が生成される。このとき、地球磁場強度とイオンの質量・電荷に対応したサイクロトロン周波数が地震動の周波数と一致すると、電荷の正負に応じて、右回り(負のとき)あるいは左回り(正のとき)にイオンが共鳴運動し、右回り、あるいは左回りの電場変動が観測されるということである。この説を検証するためには、さらに地震動と電磁場変動の同時観測を実施してデータを蓄積し、理論の裏付けをしなければならない。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、地震動および電磁場変動の観測データをもとに、地震波と地球磁場との共鳴によって生じる電磁場変動の素過程を解明することである。特に、地殻浅部地下水中のイオンの振る舞いが重要な役割を担っていることに着目し、仮説として提唱し

た地震ダイナモ効果を解明する。そのために、地震波の到達、地震ダイナモ効果による電場の発生、イオンの運動・共鳴などの素過程を観測データ、理論、そして数値シミュレーションを通して明らかにする。

(2) 地震ダイナモ効果に基づくメカニズムでは、観測点に接近中の地震波によっても電磁場が生成されるので、電磁場変化が地震波の到達に先行する可能性がある。ただし、電磁誘導論が示すように、電磁場変動は地殻(導体)中で減衰するので、その大きさを正確に見積もる必要がある。

3. 研究の方法

(1) 自然地震(ある程度の規模の地震に対する余震)あるいは人工地震(地下構造探査のための発破によるもの)に対して地震動および電磁場変動の同時観測を実施する。後者の時間変化は前者よりも高周波数なので、1000 Hzというサンプリング・レートのデータロガーを使用する。

(2) 取得した地震動および電磁場変動のデータの詳細な解析を行う。

地震波到達に伴う電場変動の初期段階では、明瞭な電場の円偏光が見つかりやすい。

震央と観測点との相対位置を考慮し、観測された地震動および電磁場を水平南北成分・東西成分から動径成分(地震波伝播方向成分)・横向成分へ変換する。地動速度から得られる変位と電場変動とを比較する。

地動速度を入力、電場を出力とする周波数応答関数を調べる。

(3) 地震に伴う電磁場変動を検証するために数値シミュレーションを実施する。観測された地動速度を与えることにより、電場変動を調べる。

4. 研究成果

(1) 地殻構造探査のための発破点の近くに速度型地震計および電磁場計測器を設置し、人工地震による地震動およびそれに伴う電磁場変動を観測した。人工地震の特徴的時間は自然地震の特徴的時間よりも非常に短いので、本科学研究費補助金で導入したデータロガー(サンプリング・レート 1000 Hz)を使用した。これにより、時間的に高解像度のデータを得ることができるようになった(図1)。

(2) 新潟県内では、地震波到達に伴う電場変化の初期段階において、顕著な左回りの電場変動が観測された(図2)。約 30 Hz という周

波数は、観測点における地球磁場に対し、ナトリウムイオンのサイクロトロン周波数に対応する。得られた結果は地震ダイナモ効果を支持するものである。

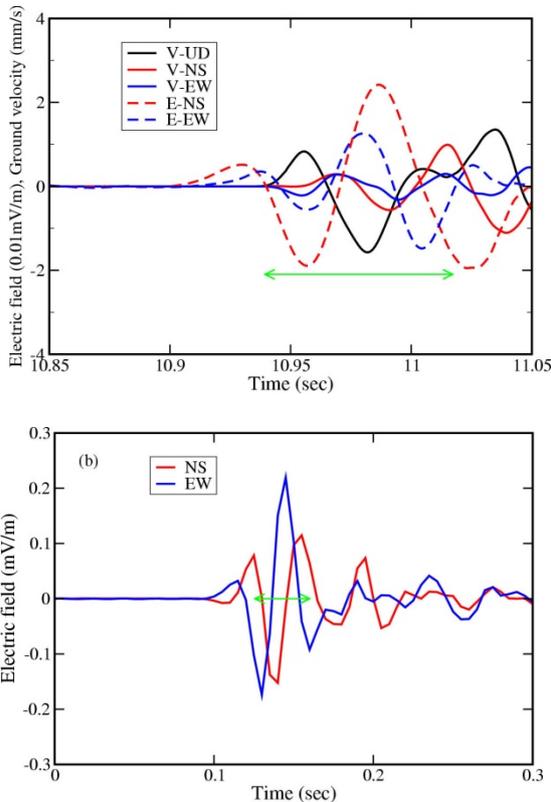


図 1. サンプリング・レート 1000 Hz のデータ (上図) とサンプリング・レート 200 Hz のデータ (下図) の例。

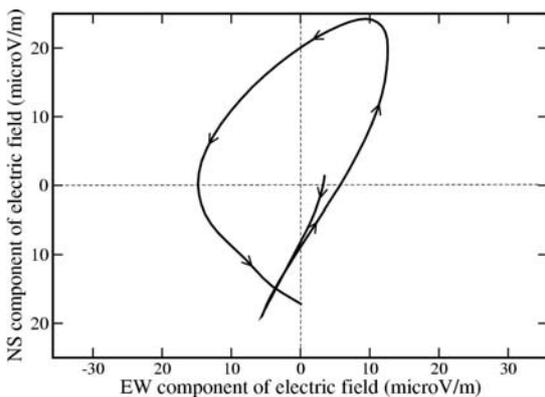


図 2. 図 1 上に描かれている水平電場 2 成分の軌跡。左回りの電場変動が見られる。

(3) 観測点によっては、地震波到達よりも早い段階で電場変動が始まることを確認した (図 1 上)。その原因として考えられることは、地下の帯水層において、地震波到達に伴う地震動の周波数と地下水に含まれるイオ

ンのサイクロトロン周波数との共鳴が起これ、より大きな電場が発生し、地上で観測されるということである。

(4) 自然地震および人工地震に対して得られたデータを使用し、地動速度と電場の周波数応答を調べた。地動速度を入力とし、電場を出力とする伝達関数において、いくつかの極大が見られた。特に、自然地震の場合には、数個の余震に対して得られた伝達関数をスタッキングすることにより、明瞭な極大が見られた (図 3)。その周波数は地下水に含まれるイオンの共鳴周波数に対応することがわかった。この結果は地震ダイナモ効果を強く支持するものである。

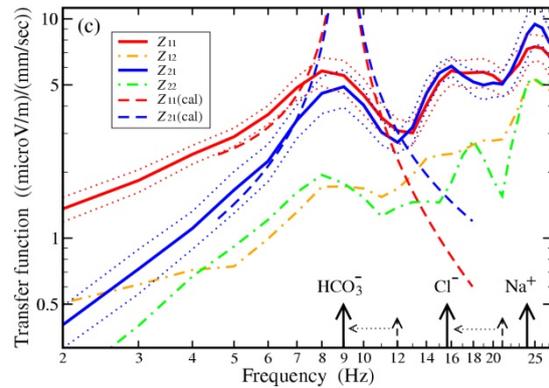


図 3. 地動速度を入力、電場を出力としたときの伝達関数。炭酸水素イオン、塩化物イオン、そしてナトリウムイオンの共鳴周波数において極大が見られる。

(5) 観測された水平成分の地動速度および電場を南北成分・東西成分から地震波伝播方向成分・横向成分に変換した。初期段階の電場変動の方向は地震波伝播方向に卓越するわけではないことを再確認した。この結果は、電場変動を界面動電効果だけでは説明できないことを意味する。

(6) 北半球とは地磁気伏角の符号が異なる南半球では、イオンが地震動と共鳴してサイクロトロン運動する場合、電荷の正負に応じた円偏光の向きが逆になるはずである。したがって、南半球において、地震動および電場の同時観測をすることにより、これまでとは別の見地から、地震ダイナモ効果を確認することが可能である。そこで、2011 年 2 月 22 日に発生したニュージーランド・カンタベリー地震 (M 6.2) の余震に対して、2012 年 2 月 12 日から 3 月 19 日までの約 1 ヶ月間、2 か所の観測点で地震動および電場の同時観測を実施した (図 4)。その結果、マグニチュード 3.5 以上の余震による地震動とそれが引き起こした電場変動のデータを得ることが

できた。しかしながら、ニュージーランドでの地球磁場鉛直成分の強さと電場変動の周波数を考えると、サイクロトロン共鳴するイオンの質量数は100程度となり、通常の地下水に含まれるイオンの中には候補がない。観測された電場の円偏光が何に起因するのかをさらに検討する必要がある。

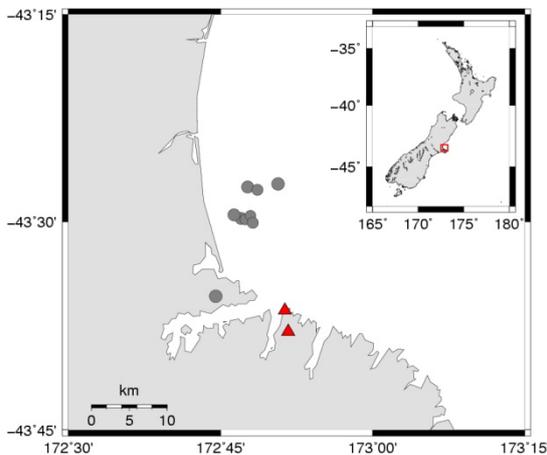


図4. ニュージーランドにおける2か所の観測点位置(三角形)とマグニチュード3.5以上の余震の震央位置(円)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

- Kuriki, M., M. Matsushima, Y. Ogawa, and Y. Honkura, Spectral peaks in electric field at resonance frequencies for seismically excited motion of ions in the Earth's magnetic field, *Earth Planets Space*, 63, 503-507, doi:10.5047/eps.2011.03.010, 2011. 査読有
- 栗城麻由, 本蔵義守, 松島政貴, 小川康雄, 地震ダイナモ効果の観測, *Conductivity Anomaly研究会2010年論文集*, 78-82, 2010. 査読無
- Honkura, Y., Y. Ogawa, M. Matsushima, S. Nagaoka, N. Ujihara, and T. Yamawaki, A model for observed circular polarized electric field coincident with the passage of large seismic waves, *J. Geophys. Res.*, 114, B10103, doi:10.1029/2008JB006117, 2009. 査読有

[学会発表](計14件)

- 松島政貴・本蔵義守・栗城麻由・小川康雄, 地震波とイオンの運動の共鳴による電場生成, 2011年度 Conductivity Anomaly 研

究会, 2011年12月14日, 東京.

Matsushima, M., Y. Honkura, M. Kuriki, and Y. Ogawa, Electric field variations due to resonance between ground velocity and ions motion in the Earth's magnetic field, American Geophysical Union Fall Meeting 2011, December 8, 2011, San Francisco, California, U.S.A.

Matsushima, M., Y. Honkura, M. Kuriki, and Y. Ogawa, Electric field variations due to resonance between ground velocity and ions motion in the Earth's magnetic field, 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2011年11月6日, 神戸.

Kuriki, M., M. Matsushima, Y. Ogawa, and Y. Honkura, Characteristics of frequency response function between electric field and ground velocity for natural earthquakes, 日本地球惑星科学連合2011年大会, 2011年5月26日, 千葉.

本蔵義守・大志万直人・松島政貴・吉村令慧・M. K. Tuncer・S. Barış・S. B. Tank, 地震直前の電磁気異常検出は期待できない?, 2010年度 Conductivity Anomaly 研究会, 2011年2月24日, 宇治.

栗城麻由・本蔵義守・松島政貴・小川康雄, 自然地震における電場と速度の周波数応答関数の特徴, 2010年度 Conductivity Anomaly 研究会, 2011年2月24日, 宇治.

Matsushima, M., Y. Honkura, M. Kuriki, and Y. Ogawa, Circular polarization for electric field associated with seismic waves generated by blasting, American Geophysical Union Fall Meeting 2010, December 13, 2010, San Francisco, California, U.S.A.

Kuriki, M., Y. Honkura, M. Matsushima, and Y. Ogawa, Some characteristics in transfer functions of electric field and ground velocity for natural and artificial earthquakes, 第128回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2010年11月3日, 那覇.

栗城麻由・松島政貴・本蔵義守・小川康雄, 発破に伴う地震動による電場の特徴(2), 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月26日, 千葉.

本蔵義守・小川康雄・栗城麻由・松島政貴, 2007年能登半島地震の余震に伴う電場変化の周波数応答, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月26日, 千葉.

栗城麻由・本蔵義守・松島政貴・小川康雄, 地震ダイナモ効果の観測, 2009年度 Conductivity Anomaly 研究会, 2010年2月16日, 東京.

Kuriki, M., Y. Honkura, M. Matsushima, N. Oshiman, M. K. Tuncer, and S. B. Tank,

On high-frequency EM data before and after the occurrence of the 1999 Izmit earthquake, 第 126 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2009 年 9 月 28 日, 金沢 .

Honkura, Y., M. Matsushima, and Y. Ogawa, Electric field variations generated by ground motion and their application to groundwater research, The 11th Scientific Assembly of International Association of Geomagnetism and Aeronomy, August 27, 2009, Sopron, Hungary.

Honkura, Y., M. Matsushima, and Y. Ogawa, Some characteristics of electric field variations generated by ground velocity due to blasting, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 20 日, 千葉 .

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

松島 政貴 (MATSUSHIMA MASAKI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号 : 2 0 2 4 2 2 6 6

(2) 研究分担者

本藏 義守 (HONKURA YOSHIMORI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・
名誉教授

研究者番号 : 0 0 1 1 4 6 3 7

小川 康雄 (OGAWA YASUO)

東京工業大学・火山流体研究センター・
教授

研究者番号 : 1 0 3 3 4 5 2 5