

機関番号：34304

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540414

研究課題名（和文） 地中電磁波パルスの波源位置と地震発生との関連

研究課題名（英文） Relation between source locations of earth-origin electromagnetic pulses and earthquake occurrences

研究代表者

筒井 稔 (TSUTSUI MINORU)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：10026172

研究成果の概要（和文）： 地殻活動に伴って電磁波パルスが放射されるとの仮説に基づき、地中深さ 100 m のボアホールを確保し、その中に電磁波センサーを挿入し、地中励起の電磁波パルスの確認のための観測を行ってきた。これにより地中で検出される電磁波パルスの振る舞いを明らかにできたが、圧倒的に多い雷放電や電力線からの電磁波パルスの中から地中励起電磁波パルスを分離するための高感度センサーと特殊な解析法の開発し、新たな観測を開始した。

研究成果の概要（英文）： Based on a hypothesis that electromagnetic (EM) pulses would be generated due to Piezo-electric effect by stress impacts to earth crusts, we have been observing EM pulses using sensor systems inserted into deep boreholes. Almost all detected EM pulses were lightning discharges and artificial pulses radiated from power lines. However we are confident about detections of earth-origin EM pulses because we have recently developed higher sensitive detection system and skilful analysis method for finding them and began to observe them.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：地中電磁波パルス、地震関連電磁波、波源位置特定、多点観測網

1. 研究開始当初の背景

1995年に発生した阪神淡路大震災の直前に様々な人がラジオや専用受信機に電磁波雑音が混入した事を報告していた。自然界における電磁波の励起や伝搬機構を研究していた本研究代表者は、この地震と電磁波励起に関して、それは「地中の地殻活動に伴った力学的エネルギーが圧電効果（注1）により電磁波パルスに変換されたものである」との仮説を立てた。そして、それら多くの人が経

験した現象を確かめるのが電磁波研究者の責務であると考え、その確認のための観測研究を開始した。

（注1：水晶などの岩石に圧力を加えると、その表面の両側に正負の電気が発生する。これを圧電効果と言い、逆にその表面に電圧を印加すると岩石が歪むが、これを逆圧電効果という。印加する圧力が瞬間的であれば高い電圧が瞬間的（パルスの）に発生する。これによって岩石外に電磁波パル

スが放射されると考えている。)

2. 研究の目的

地殻活動に伴って岩盤から電磁波が励起される現象としては圧電効果を想起するが、それは岩石への衝撃的応力印加によるパルス性電磁波の励起が基本であると考えた。そこで本研究としては以下の項目を明らかにする事を目的としていた。

- (1) 検出された電磁波パルスが地中で励起された事を確認する。
- (2) 地中内での電磁波パルスの伝搬特性（距離による減衰傾向、伝搬速度など）を実験的に確かめる。
- (3) 地中で励起されたとする電磁波パルスの波源位置を特定する。
- (4) 検出された電磁波パルスと地震発生との時間的・空間的關係を明らかにする。
- (5) 地中起源電磁波パルスの発生状況から、地震発生予測の可能性について調べる。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下の手順で研究を進めてきた。

- (1) 地中励起の電磁波パルスを確認する基本は、地中においてそれを検出する事であるので、電磁波センサーを地中に挿入するためのボアホール（穴）の確保。
- (2) 電磁波とは変動電気成分（電界）と変動磁気成分（磁界）から成り立っているため、それらを同時に検出する必要があり、そのためのセンサーシステムの完成。
- (3) 電磁波パルスの波源位置を特定するために、複数観測点を設け、同時に同一の電磁波パルスを検出し、それらの到来方位を長時間で求める装置の完成。
- (4) 複数観測点で得られたそれぞれの到来方位データを一か所に集めて、地図上で3角測量の方法でそれらの交点を求め、水平面内での位置を決定するシステムの完成。
- (5) 水平面内での波源位置に対して、地震データとの時間的・空間的關係の定量的な調査。
- (6) (4)では深さ情報は得られないので、新たに深さを含めた電磁波パルスの波源位置を特定する方法の開発研究。

4. 研究成果

検出される電磁波パルスの波源位置を特定するためには地中に100mのボアホール（穴）を備えた観測点が2か所以上必要であり、その確保が本研究の基礎部分であった。

- (1) 学会等で本研究の必要性を訴えた結果、名古屋大学の美杉地震観測施設の深さ90mのボアホールを提供して頂き、京都産業大学との間(82 km)で2地点観測を開始した。その結果、電磁波パルスの波源位

置と思われた多くの交点が地図上にプロット出来た。しかし、そのデータを詳細に調査した結果、それらは各観測点近傍にある送電線から放射された電磁波雑音パルスであり、地中励起の電磁波パルスでは無い事が判明した。

- (2) この観測経験から次の状況が考えられる。

日本列島を覆う送電線網が一種の巨大なアンテナとして機能し、地中であれば、地上であれば、発生した電磁波パルスは、その近傍にある送電線網によってピックアップされ、送電線上を伝搬しながら再輻射をしているものと思われる。我々は送電線が張り巡らされているいろいろな地域で測定した結果、極めて多くの電磁波パルスの検出を確認した。

この送電線網のアンテナとしての機能は地震発生時にもその研究に影響を及ぼしている可能性がある。即ち、地震発生時またはその直前に電磁波が発生した場合、地下の波源から電磁波が四方に広がりを持って放射され、地上に漏れ出たとしても、その電力密度は微弱である。しかし、広範囲に張り巡らされた送電線網によりピックアップされるため、送電線上でのそのパルスの電力は重畳され、比較的強い電磁波雑音となって送電線に沿って伝搬しながら再輻射を続けている可能性がある。地上で受信機やセンサーでこの電磁波雑音を検出した場合、地震発生位置とは関係の無い場所で、強く検出される場合もあり、地震との関連性研究に混乱をもたらす。この事からこの種の自然電磁波の観測研究がいかに注意を要するかが理解できる。

- (3) 上記の問題について考えた場合、地中で励起している電磁波を確認するために、「送電線の影響の少ない場所に観測点を確保する事」を念頭に新たな観測点候補地を探索した。そして京都大学の瀬戸臨海実験所（白浜町）の敷地内の一部を借用し、そこに深さ100mのボアホール（内径14cm）とその上部に観測ブースを完成させた（2008年7月）。ボアホール内で検出した電磁波パルスの減衰は他のボアホール内に比べて極めて大きい事を確認した。

- (4) 上記の結果を踏まえて、それまでとは異なり、磁界3軸方向成分を測定できるセンサーを、地中と地上の両方に設置して、両検出点での電磁波パルスの振る舞いを調べた。その結果、地上と地中との媒質の違いによる両者の境界の影響は大きく、場合によっては地中で直線偏波であったり、楕円偏波（注2）であったりと様々な様相を呈している事を測定により確認した。

上下両検出点で直線偏波を示したデータを用いて、この場所での地中媒質の電気的パラメータを数値的に得る事もできた。

(注2：空間のある点で検出した電界・磁界の振動の向きを表わすもので、直線偏波とは、それらがある方向と逆方向の間で直線的に強度変動を繰り返す様子で、楕円偏波とは、それらの向きが空間内のある面内で回転しており、その向きによって強度が変わり、結果としてその軌跡が楕円となる場合の様子)

観測で得られた直線偏波の例を図1に、楕円偏波の例を図2に示す。

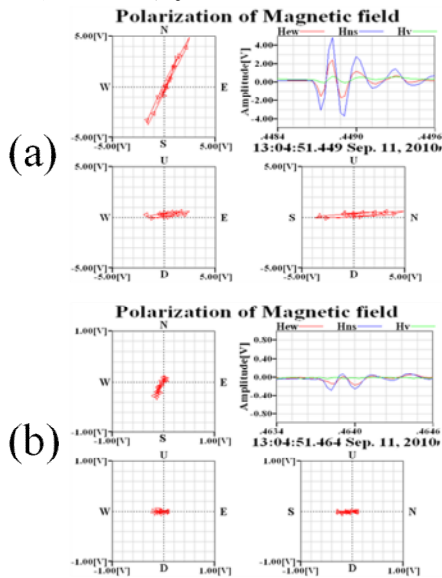


図1. 上下両検出点(a) (b)で共に直線偏波.

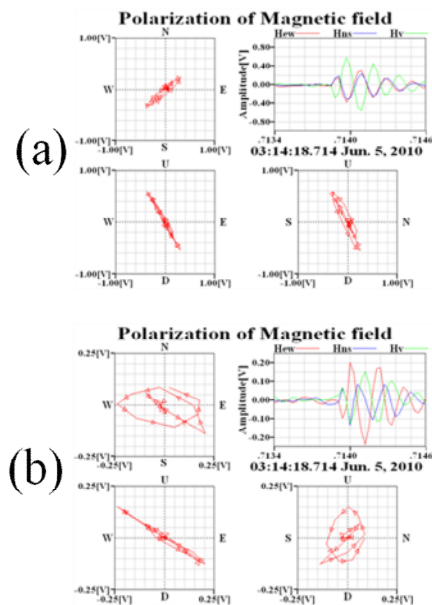


図2. 地上(a)では直線偏波、地中(b)では楕円偏波.

図中(a)は地上での観測で、(b)は地中での観測結果であり、各図で右上枠内は検出

した磁界データの3軸方向成分の波形であり、その左枠内には水平面内での偏波の様子、その下は東西—上下面内での、右下枠内は南北—上下面内での偏波の様子を描いており、上下検出点で共に直線偏波である場合もあれば、地上では直線偏波であるにも拘わらず、地中では楕円偏波となっている場合も確認できた。

- (5) 上記のように、楕円偏波を生じている電磁波パルスでは地中と地上とで検出した波形からは時間差測定をする事が出来ないため、そのパルスが上下どちらの方向の向かって伝搬しているか判断が出来ない。

この問題を解決するためには、これまでとは別の方法で、到来方向を決定する必要に迫られた。その方策として、電磁波伝搬理論の原点である「電磁波エネルギーの流れる方向」を示すポインティングベクトル \mathbf{P} の方向を求める事であり、それを実現させる事にした。

電磁波のエネルギーの伝搬方向 (\mathbf{P} の方向) は電磁波が持っている電界 \mathbf{E} の振動ベクトル (注3) と磁界 \mathbf{H} の振動ベクトルにより、ベクトル式

$$\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (1)$$

で表わされるので、観測としては、電界 \mathbf{E} と磁界 \mathbf{H} の各3軸方向成分、計6成分を測定し、それらを \mathbf{P} を求める式に代入し、 \mathbf{P} の方向成分の合成から、その流れの方向を知る方法である。

(注3：ベクトルとは物理量を記述する方法で、大きさと方向を同時に表現する)

- (6) 地中ボアホール内で、電界 \mathbf{E} 及び磁界 \mathbf{H} の各3軸成分、計6成分を検出できるセンサーシステムを開発した。磁界 \mathbf{H} に関しては、これまでの10倍の感度を持つ磁界センサーを完成させた。一方、狭いボアホール内で電界 \mathbf{E} を測定する3軸センサーはこれまで実現しなかったが、研究室でその試作と測定実験を繰り返した結果、ボアホール内に挿入できる高感度な電界3軸成分検出用センサーシステムを完成させた。このシステムに関しては現在、特許出願中である。

- (7) 白浜観測点の地質は貝殻と砂岩から成っており、海水が浸透しており、地中電磁波パルスは地中深くから伝搬してくる途中で大きく減衰を受ける事が予想されるので、地中励起電磁波を検出するにはあまり有利では無い事が判った。開発した電磁界6成分検出センサーシステムを用いて、地中励起の電磁波パルスを検出するために、岩盤まで達しているボアホールの確保が必要であったので、紀伊大島の雷公神社の境内の一部を借用し、そこに新たに150 mのボアホールを構築した。そこは50m以下では堅い岩盤である事が確認できているので、そ

こに紀伊大島観測点を設置した。

- (8) 電磁界の各3軸方向成分のデータを取得し、到来方位を実時間で求めるための信号処理用のコンピュータプログラムも同時に完成させたので、完成させた電磁界6成分同時検出用センサーシステムを紀伊大島観測点のボアホール内に挿入して、2011年3月から観測を開始し、現在は検出されたデータや信号処理の妥当性についてチェックを行っている段階である。

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1件)

- ① Minoru Tsutsui, Method of Pointing Source locations of Earth-origin Electromagnetic Pulses as a Precursor of Earthquakes, IEEJ, Vol. 29, 840-844, 2009, 査読有り

〔学会発表〕(計16件)

- ① 筒井 稔、地中励起の電磁波パルスの確認に向けての観測研究、関西サイエンスフォーラム、2011年3月26日、京都府木津川市・国際高等研究所。
② 筒井 稔、地中で検出される電磁波パルスの形態、地球電磁気・地球惑星圏学会 第128回総会・講演会、2010年11月3日、那覇市・沖縄県市町村自治会館。
③ 筒井 稔、地殻活動に伴い励起される地中電磁波パルスの検出に向けて、日本地震学会2010年度秋季大会、2010年10月29日、広島市・広島国際会議場。
④ Minoru Tsutsui, Propagation Characteristics of Electromagnetic Pulses in the Earth, 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference, 2010年9月23日、富山市・富山国際会議場。
⑤ 筒井 稔、地中励起の電磁波パルスの伝搬形態、日本地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月27日、千葉市・幕張メッセ。
⑥ 筒井 稔、地中励起電磁波パルスの発見、地震予知先行部会、先行現象研究集会、2010年2月16日、東京大学地震研究所。
⑦ 筒井 稔、地震関連の地中励起電磁波パルス検出のための条件と弁別方法、日本地震学会2009年度秋季大会、2009年10月21日、京都市・京都大学。
⑧ Minoru Tsutsui, Earth-origin EM pulses Propagating in Electrically High Conductive Medium, 2009 Asia Oceania Geosciences Society, 2009年8月14日、シンガポール。
⑨ 筒井 稔、高導電率媒質中での地中電磁波パルス伝搬、日本地球惑星科学連合2009年大会、2009年5月21日、千葉市・幕張メッ

セ。

- ⑩ 筒井 稔、地殻活動により励起される地中電磁波パルスの波源位置の実時間測定—地震発生予測に向けて—、IFREEセミナー、海洋研究開発機構(JAMSTEC)地球内部変動研究センター、2008年12月22日、横須賀市。
⑪ Minoru Tsutsui, A System for Pointing Source Location of Earth-origin Electromagnetic Pulses as a Precursor of Earthquakes, The 7th General Assembly of Asia Seismological Commission, 2008年11月27日、つくば市・つくば国際会議場。
⑫ Minoru Tsutsui, Source Locations of Earth-origin Electromagnetic Pulses as a Precursor of Earthquakes, The 7th General Assembly of Asia Seismological Commission, 2008年11月27日、つくば市・つくば国際会議場。
⑬ 筒井 稔、地震源と地中電磁波パルスの波源位置との地理的關係、日本地震学会2008年度秋季大会、2008年11月24日、茨城県・つくば市・つくば国際会議場。
⑭ 筒井 稔、地中で発生する電磁波パルスの波源位置と地殻変動との関連研究、電気学会平成20年基礎・材料・共通部門大会、2008年8月22日、津田沼市・千葉工業大学。
⑮ Minoru Tsutsui, Pointing Source Locations of Earth-origin EM pulses as a Precursor of Earthquakes, International Union of Radio Science, 2008年8月14日、米国・シカゴ市。
⑯ 筒井 稔、地中電磁波パルスの2地点観測による励起位置の精密測定結果、日本地球惑星科学連合2008年大会、2008年5月28日、千葉市・幕張メッセ。

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：地中電磁波3次元成分検出センサー
発明者：筒井 稔
権利者：京都産業大学
種類：特許
番号：特願2011-57420
出願年月日：平成23年3月16日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

筒井 稔 (TSUTSUI MINORU)
京都産業大学・コンピュータ理工学部・教授
研究者番号：10016272

(3) 連携研究者

古本宗充 (FURUMOTO MUNEYOSHI)
名古屋大学大学院・環境学研究科・教授
研究者番号：80109264