

シリーズ論説

## 東北地方太平洋沖地震の直前のマイクロクラックの検出

正会員 藤縄 幸雄

(一般社団法人 防災減災技術開発機構 最高技術顧問)

### 1. まえがき

地震予知研究が本格的に始まった当初から参加して40年になるが、その間の10年ほどの期間をのぞいて、30年以上の長きにわたって直接研究に携わっている。地震予知研究は、当初の最盛期から始まって、様々な変遷を経て、現在否定的な雰囲気の中で、次の出口を模索しているといえる。器用な生き方ができない性格の故に、いまだに地震予知はライフワークだと公言し、尽力しているが、巻頭言を請われ、やむなく最近の研究を紹介し巻頭言に代えさせていただく。

巨大地震の発生の8日前の2011年3月3日に新たな計測器を波崎に設置した。地震の後の記録では、3月4日から前兆と思われるパルス状で特徴的な電界現象が急増し、地震後には極端に少なくなっていたことがわかった。本現象に類似する現象は、ボアホールによる地震電磁界の1989年から10数年の観測研究によって、地震・火山噴火の前兆現象の有力な候補として注目していたものである。これまで同定されていた周期数秒以上の波形をもつ現象以外に、SLF帯(300Hz~500Hz)に3種類の波形を持った現象およびそれらの混合型が見出された。さらに4kHz帯に高周波が検出された。そのうちSLF帯の現象が、地震の直前にしか発生しないことから、地震予知技術の開発に有効と考えている。これまで、日本語での発表をさぼっていたので、この機会に概要をお伝えさせていただく。

### 2. 観測

観測は、元電波研の高橋耕三さんと高橋博(故)元防災科研所長の発想による長さ数百mの地中アンテナにより鉛直電界を計測している。1989年から観測点を増やし、2002年の定年まで日本中央部の7都県において最高13の観測点を設置して観測を行った。その間、火山噴火、地震活動に関するデータを取得し、前兆的な異常現象に的を絞り解析を進めていた。その結果、同アンテナは地震などとの関係が深い現象の検出に優れていることが分かっていた。

ここで報告するのは2011年3月3日から茨城県神栖市(旧波崎町)で行われたもので、810mの



地震予知研究のための地下水観測用の掘削井(ボアホール)を使った地中電界観測システムによった。計測周波数帯は、DC帯(0-1.5Hz)、ELF・SLF(1.5Hz-9kHz)帯の2帯域で、高分解能(16ビット)かつ高サンプリング(18kHz)な計測ができたために、これまで見えなかった現象を見出すことができ、新たな展望が開けた思いがする。

### 3. それまでの研究

多様な地質環境での観測・研究の結果、2002年の時点で次のような結論・推論に達していた。

①火山噴火、地震(特に群発地震)の前後に平常時と明確に異なる変動が、3つの観測帯域に多かれ少なかれ観測されていた。(例えば1989年伊豆半島群発地震、1992年伊豆大島の小噴火活動、1996年東京湾の地震、1998年焼岳周辺の群発地震、1999年日光白根山付近群発地震、2000年三宅島火山噴火など)

②これら事象に共通して発生した異常現象で、特徴的な波形を有する変動として、“ULF帯パルス状変動”がある。この現象は、大きな地震・火山噴火などの地殻現象の前後に検出されるが、平常時にはほとんど発生しない。波形が、間歇泉の高さの消長に似ていることから、間歇泉型変動と言っている(図1)。

③発生の機構としては、地震・火山噴火に伴う微小破壊・微小スリップの発生する空隙に高圧のイオンを含んだ地下水が流れ込み、その際に流動電位効果により電流が発生するためと推測していた。

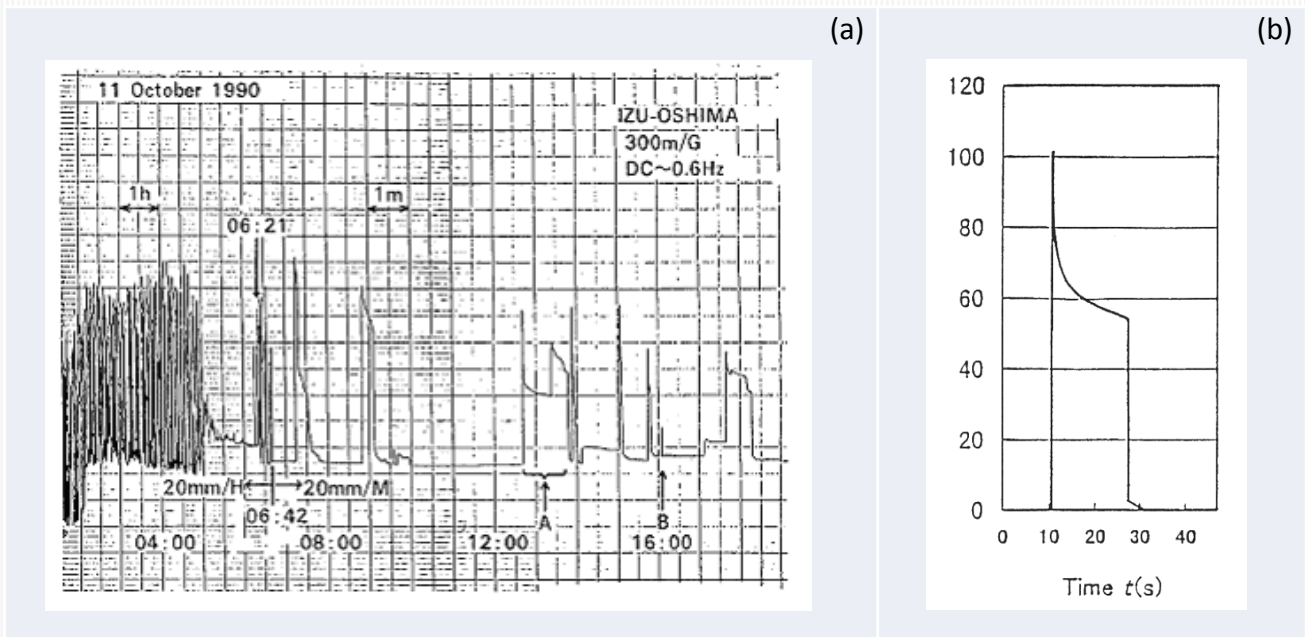


図1 (a) 伊豆大島における1990年10月の微少噴火活動時期のULF/VLF帯の変動<sup>1)</sup> (Fujinawa et al., 1992)。 (b) モデル波形<sup>2)</sup> (Fujinawa et al., 2000)。

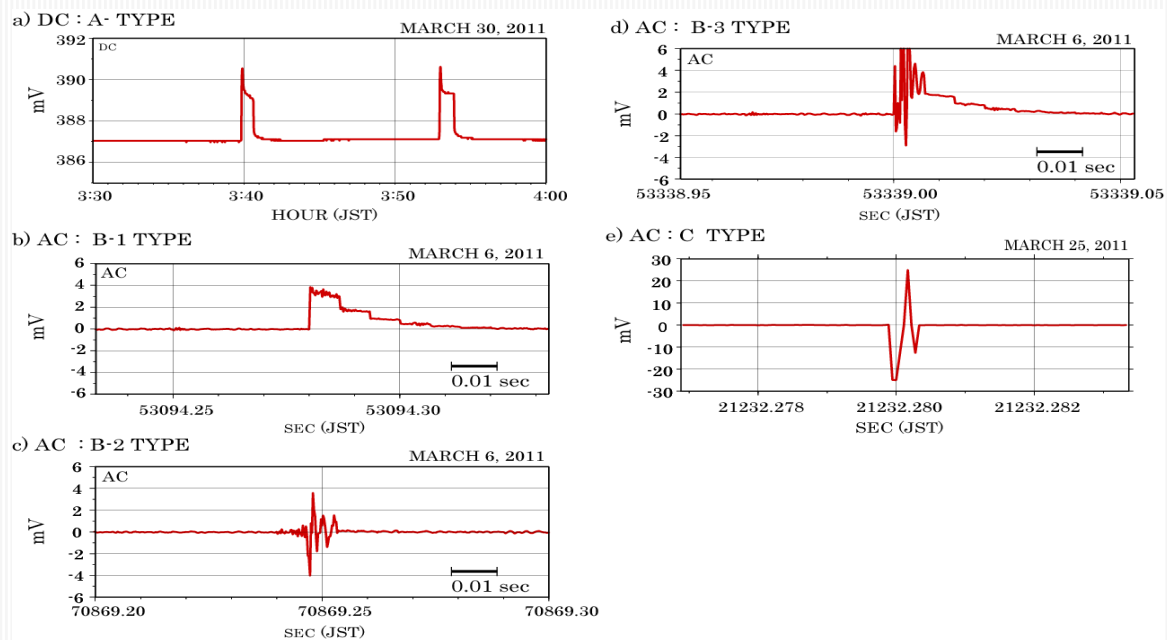


図2 東日本大震災の際に観測されたイベントの3種類

#### 4. 新たな観測結果

ほぼ一ヶ月間のデータの解析の結果、定常的なバックグラウンドノイズの他にはパルス状のイベントがあるだけであった。ノイズレベルの10倍以上のイベントの波形は大きく分けて、3種類 (A型: パルス幅分オーダー、B-型: 周波数約400Hz、C-型: 周波数5 kHz) に分類され、その他の現象はなかった。B-型はさらに波形から3種類 (B-1、B-2、B-3) に分類された (図2)<sup>3)</sup>。

クラックの形態には、3種類あることが知られている。開口型 (I 型) とシヤ型 (II 型、III 型) である。地震のメカニズム解は初動の押し引きの分布から決められ、シヤ型がダブルカップル、開口型が同一極性となることなど、AE波形の解析により求められている。我々の検出したB-1型は地震波によく似ており、ダブルカップルであろう推定される。これに対して、A型は開口型と思われる。

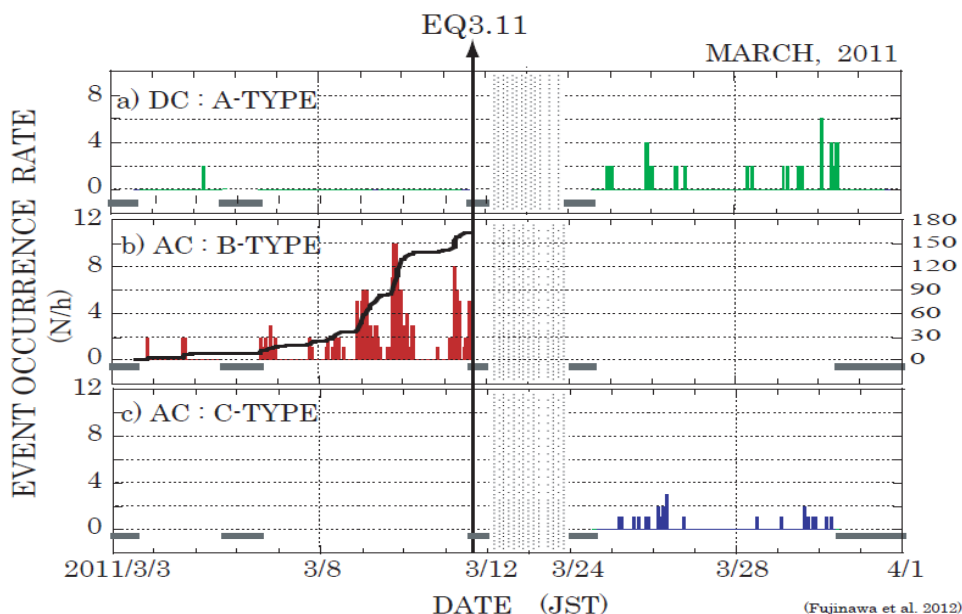


図3 3種類のパルス状イベントの発生数（毎時）経過

#### 1) 時間変動

各型のパルスの時間当たりの発生数を図3に示す<sup>3)</sup>。A型は地震の前にはたった1個で、全体28個の内27個が地震後となっている。また、B型は、地震の前だけに発生して、本震後には、発生がない。高周波成分（C型）は、逆に地震後にのみ発生し、振幅は最も大きい。この結果から、これらのイベントが、東日本大地震の発生準備過程と密接な関係を有していることが、推定される。

前震の時間・空間分布をしらべた研究<sup>4), 5)</sup>では、積算数は発生時 $T_f$ を起点にして $(T_f - t)$ の指数 $n$ の逆べき乗則に従い、空間分布は、時間とともに断層域に集中するという結果となっている<sup>6)</sup>。B型のマイクロクラックにつき、時間毎の発生数の積算数の時間変化を調べると、変形大森の式 $(T_f = 10.6, n = 3)$ に大まかに沿っている。このようなマイクロクラックの活動の時間的推移から、ここで観測したELF・SLF帯のパルス状現象が3.11地震の破壊核形成期に密接に関係していると推測した。

### 5. 議論

#### 1) 波形

地震直前の波形として、SLF帯に3種の特徴的な波形を同定できた。このうち、ステップ状の間歇泉型は、岩石実験による結果<sup>7)</sup>とよく似た波形となっている。岩石の破壊前の電界変動の計測において、破壊核形成期の安定滑り時のAEの発生に伴う電界変動の波形が記録されているが、その波形は今回の波形B-1型の波形をよく似ている。類似点は、①急速にたちあがり、その

後全体として指数関数的に減衰すること、②高周波成分が混じること、③極性に陰陽があることである。相違するのは、①時間スケールが1,000倍異なること（岩石実験で50 $\mu$ 秒であるのに対して、野外観測で、50m秒）、②混じる高周波成分と基本形との強度に大きな変動があること、である。室内実験での結果と類似の特性を有することから、今回の現象が単なるノイズでなく、破壊の準備過程と有意な関係の存在を示唆するものと考えた。

#### 2) 定量的検証

当初、流動電位効果を取り入れ、拡散方程式によって検討をおこなったが、クラック論との結合に悩んでいた。多孔質媒体での破壊現象につきPride<sup>8)</sup>が統一的な形式化をおこない、それに基づき、クラックによる地震動、電磁場を表現するGao and Hu<sup>10)</sup>による研究によって、定量的な議論ができるようになった。観測したクラックによる電場の強さを理論値と比較したところ、一定の範囲で説明でき、観測の現実性を確かめることができた<sup>3), 10)</sup>。

### 6. 結論と展望

SLF帯現象は地震の直前に発生し、2011年3月6日から増加し、3月9日に最大、10日に少なくなり、続いて増加に転じ11日の地震を迎えた。

発生の時間変化は、破壊時を10.6日とする変形大森公式によって表され、地震発生の11.6日とよい対応を示した。間歇泉型は殆ど地震後に発生した。地震後には、最も高い周波数(ULF帯)を有する現象も検出された。これらのことから、SLF帯パルス状変動は、断層面付近で間隙水の運

動が関与したマイクロクラックの発生を示唆された。多段間欠泉型は、開口性のクラック（第Ⅰ型）、波束型はシェア型（第Ⅱ、第Ⅲ型）クラックに、混合型は第Ⅰ型と第Ⅱ、Ⅲ型との複合と推察される。また、ULF帯現象は、本震のあとの余効段階におけるジョイントのかみ合い、infra-ELF帯現象は、ジョイントへの間隙水の出入によるものと推定している。

観測されたSLF/ULF帯の変動は、岩石破壊実験でのAE波形・時空間分布と類似しており、地震直前の破壊核形成期での現象と考えることができる。野外において、観測点近くで発生した破壊直前のAEを検出できたと考えられる。東日本大地震に関連する可能性が高く、この種の現象をモニターすることにより地震直前予測の実用的手法の要となるものと考えられる。

電磁界変動現象と力学的な現象との相互作用が明確でないことが、両分野の会話が成り立たない大きな原因である。そのメカニズムには、すでに、ピエゾ電磁界効果、MHD効果、流動電位効果などが上げられ、対象とする現象のスケールにより、卓越する相互作用が、大体予測がついている<sup>11)</sup>。今回の知見により、地震学の対象である微小破壊、流動電位効果を介する複合作用を裏付ける具体的な事象を提示できたことから、両分野の協調が進むことが期待される。

## 参考文献

- 1) Y. Fujinawa, T. Kumagai and K. Takahashi : A study of anomalous underground electric variations associated with a volcanic eruption, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 9-12, 1992.
- 2) Y. Fujinawa , Y. Noda, K. Takahashi, M. Kobayashi, K. Takamatsu, and J. Natsumeda: Field Detection of Microcracks to Define the Nucleation Stage of Earth-quake Occurrence, *Intern. J. Geophys.* Volume, Article ID 651823, 18 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/651823>. 2013.
- 3) Y. Fujinawa , Y. Yoichi Noda: Characteristics of seismoelectric wave fields associated with natural microcracks, *Pure Appl. Geophys.* DOI 10.1007/s00024-015-1043-8, 201.
- 4) M. Saito: Forecasting time of the slope failure by tertiary creep, *Proc.7th intern. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2, 677-683
- 5) D. J. Varnes: Predicting earthquakes by analyzing accelerating precursory seismic activity, *Pure Appl. Geophys.* Vol. 130, 661-686, 1989.
- 6) K. Maeda: Time evolution of immediate foreshocks obtained by stacking method, *Pure Appl. Geophys.* Vol.155, 381-394, 1999.
- 7) S. Yoshida, and T. Ogawa: Electromagnetic emissions from dry and wet granite associated with acoustic emissions, *J. Geophys. Res.*, vol.109, B09204, doi:10.1029/2004JB00309, 2004.
- 8) S. Pride; Governing equations for the coupled electromagnetics and acoustics of porous media, *Phys. Rev. B*, Vol. 50, No. 21, 15678–15696, 1994.
- 9) Y. X. Gao and H. S. Hu: Seismoelectromagnetic waves radiated by a double couple source in a saturated porous medium, *Geophys. J. Int.* Vol. 181, 873–896, 2010.
- 10) Y. Fujinawa , Yoichi Noda, Y., Characteristics of seismoelectric wave fields associated with natural microcracks, *Pure Appl. Geophys.* DOI 10.1007/s00024-015-1043-8, 2015.
- 11) N. I. Gershenzon, M. B. Gokhberg, A.V. Gul'yel'mi: Electromagnetic field of seismic pulses, *Phys. Solid Earth (English Translation)* , Vol. 29, pp. 789-794, 1994.

## 役員選挙の結果

一般社団法人日本地震予知学会  
会員各位

一般社団法人日本地震予知学会  
選挙管理委員会 植竹富一  
井筒 潤  
浅野智計

### 一般社団法人日本地震予知学会役員選挙結果

2018年4月10日に開票が行われました一般社団法人日本地震予知学会役員選挙の結果、下記の方々が選出されましたので、日本地震予知学会定款第4章に基づき、お知らせいたします。

#### 【日程】

- ・ 公示 2018年2月9日（金）
- ・ 候補者受付開始 2018年2月9日
- ・ 候補者受付締切 2018年2月28日
- ・ 投票開始 2018年3月1日（水）
- ・ 投票締切 2018年4月1日（木）

○役員候補者（計36名）敬称略；括弧内は得票数

#### 理事候補（有効投票数 計334票）

早川正士（46）、長尾年恭（50）、服部克己（46）、児玉哲哉（39）、神山 眞（37）、  
藤縄幸雄（30）、芳原芳英（30）、鴨川 仁（5）、本島邦行（5）、小山孝一郎（4）、  
國廣秀光（4）、横井佐代子（4）、古宇田亮一（3）、山口弘輝（3）、楠城一嘉（3）、  
榎本祐嗣（3）、筒井 稔（2）、井筒 潤（2）、練木道夫（1）、大崎俊彦（1）、  
斉藤好晴（1）、佐々木宏（1）、田代亮介（1）、森谷武男（1）、吉岡 匠（1）、  
入江健二（1）、吉田佳一（1）、植竹富一（1）、池田真一朗（1）、劉 正彦（1）、  
Ouzounov Dimitar（1）、村山隆一（1）、浅野智計（1）、山内寛之（1）、中野 裕（1）、  
荻原洋聡（1）

#### 監事候補（有効投票数 計47票）

古宇田亮一（36）、小泉尚嗣（3）、山口弘輝（2）、筒井 稔（2）、長尾年恭（1）、  
児玉哲哉（1）、神山 眞（1）、芳原芳英（1）

なお、今回選出された役員候補は、社員総会の決議により役員として正式に選任されます。理事候補者36名中 理事8名、監事候補者8名中 監事1名になります。その後、新たに理事会が開かれ、役員の中から代表理事（会長）を選任し、会長が副会長を指名します。

選任された場合、役員としての任期は2018年5月22日の総会から2020年5月の総会まで（第3期 2018-2019）となります。



## 行事開催報告

### 第5回社員総会

日時:2017年(平成29年)  
12月26日(火) 16:35~17:00  
会場:電気通信大学  
東3号館3階301号室

#### 総会次第

- ①定足数の確認
- ②議長選出
- ③議事録署名人選出
- ④議事
  1. JpGUでの学会主催セッション
  2. 総会の開催(時期、JpGU開催地行)
  3. 次期理事の選出と理事会の開催(新代表理事の選出など)
  4. ニュースレターの出版
  5. 学会活動の活性化
    - (1) 学術講演会での発表論文の出版(特集号)
    - (2) 地震予知に関する本の出版
    - (3) 学術講演会での新企画
- ⑤その他
- ⑥閉会の辞

第5回社員総会が2017年度の第4回学術講演会の終了後、同じ会場で開催された。これは、独立な行事として開催されてきたこれまでの総会の補完、および多くの会員の出席が期待できるものとして、「ミニ総会」の意味合いで昨年度に続き開催されたものである。

正会員は総数74票に対して40票(出席19票、委任状21票)、法人会員については会員数総票29票に対して19票(出席15票、委任状4票)により、59票となり、過半数(52票)を超えていることが事務局から報告され、議事に入った。次第経過の概要は以下の通り。

議長選出: 早川会長の選出

議事録証明人选出: 長尾副会長、児玉理事

議事経過の概要は以下の通り。

1. JpGU(日本地球惑星科学連合2大会)でのセッションの件

日本地震予知学会が中心となる国内セッションと国際セッションを提案することを了承した。

2. ニュースレター発行の件

担当理事から年2回のペースの発行と発行内容などが報告されるとともに、原稿提出への協力が要請された。

3. 次期役員の選出の件

次期の理事、監事を選挙で選出することが決定された。

4. 学会活性化の件

学会の活性化に向けて(1)学術講演会での発表論文の出版、(2)学会固有の雑誌、(3)地震予知に関する本の出版、(4)社会へのアピールなどが議論された。

報告者: 本会理事 神山 眞



## 行事開催報告

### 第6回社員総会

日時:2018年(平成30年)  
5月22日(火) 12:30~13:30  
会場:JpGU(日本惑星科学連合)2018(千葉幕張メッセ  
国際会議場)106会議室

#### 総会次第

- ①定足数の確認
- ②議長選出
- ③議事録署名人選出
- ④議事
  1. 第4期事業報告書承認の件
  2. 第4期決算報告書承認の件
  3. 理事会報告
  4. ニュースレターの発行
  5. 役員選挙報告
  6. 2018年度方針
  7. 今後の戦略
- ⑤その他
- ⑥閉会の辞

本学会の第6回社員総会が以下のように開催された。

現在の会員数99(正会員71票、法人会員28票)の内、出席票数19、委任状提出票数34、合計53票で定款の総会成立要件の過半数(50票)を超えていることが事務局から報告され、議事に入った。次第経過概要は以下の通り。

議長選出: 早川会長の選出

議事録証明人选出: 長尾副会長、服部理事

議事経過の概要は以下の通り。

1. 第4期事業報告書承認の件

プロジェクタへの資料内容の投影、説明により早川会長から報告され、承認された。

2. 第4期決算報告書承認の件

会計担当の藤縄理事から同様にプロジェクタへの資料内容の投影により貸借対照表、資産と負債について説明報告され、承認された。併せて、古宇田監事の代理として藤縄理事からの監査報告がなされ、承認された。監査報告の中で会費未納への対処の必要性が指摘された。

3. 理事会報告

早川会長から5月15日付でメール審議により開催された理事会での審議内容の概要が報告され、承認された。

4. ニュースレターの発行の件

神山広報担当理事から経過、編集要領が説明され、承認された。

5. 次期役員の選挙結果

植竹選挙管理委員長から口頭により選挙結果が報告され、本総会の決議として現理事、現監事の全ての再任が承認された。

報告者: 本会理事 神山 眞



## 行事開催報告

### 日本地震予知学会第4回学術講演会

日時:2017年(平成29年)

12月25日(月) 9:30~17:30

12月26日(火) 9:30~17:25

会場:電気通信大学 東3号館3階301号室

共催:関西サイエンス・フォーラム

後援:電気通信大学

本学会の第4回学術講演会が例年と同じ要領で開催された。発表された講演の総数は26編。昨年に続き、従来の「特別講演」は「招待講演」と改称され、関連分野の先進研究者を「招く」という意味合いが強く打ち出されるようになっている。

これまでの学術講演会での発表件数の推移は表1の通りであり、総数は従来の講演会に比べて減少したものの、多彩なグループ活動講演の発表が多くなされ、活発な質疑応答が展開された。今回は両日も80名前後の参加者があり、初めての参加者も多く見られた。

参加者のかなりの方が非会員であったことも印象的であった。初日の夕刻には懇親会も行われ、40名の参加者があり盛況であった。

今回の招待講演は以下の通りで、多岐にわたる専門分野からの話題提供がなされた。

○牛尾知雄氏(首都大学東京・大阪大学)

フェーズドアレイ気象レーダの研究開発

○梅野健氏(京都大学大学院)

ノイズの中のシグナル検出

- スペクトル拡散通信(カオス通信)から大地震直前の電離圏異常の検出へ -

表1 学術講演会の発表件数推移

| 分類         | 招待講演 | グループ活動講演 | 一般講演 | 特別セッション | 総数 |
|------------|------|----------|------|---------|----|
| 第1回(2014年) | 3    | 7        | 10   |         | 20 |
| 第2回(2015年) | 4    | 4        | 25   |         | 33 |
| 第3回(2016年) | 3    | 5        | 20   | 5       | 33 |
| 第4回(2017年) | 2    | 13       | 11   |         | 26 |

報告者:本会理事 神山 眞



## 理事会からの報告

一般社団法人日本地震予知学会  
会員各位

一般社団法人日本地震予知学会  
理事会

### 一般社団法人日本地震予知学会の役員体制

平成30年5月22日開催の第6回社員総会での決定を受けて次期(2018年5月22日の総会から2020年5月の総会まで(第3期 2018-2019))の理事および監事は次の方々(敬称略、役員選挙管理委員会の発表順)です。

理事:早川正士、長尾年恭、服部克己、児玉哲哉、神山 眞、藤縄幸雄、芳原芳英

監事:古宇田亮一



## 関連行事案内

### International Workshop on Earthquake Preparation Process 2017, - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP4))開催報告

服部 克巳<sup>1)</sup>

1) 副会長 千葉大学大学院理学研究科・教授, hattori@earth.s.chiba-u.ac.jp

1995年兵庫県南部地震、2004年スマトラアンダマン地震、2008年中国四川地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震など甚大な被害をもたらした地震が毎年のように発生しています。また、地上や衛星データの解析からさまざまな地震前兆現象が報告されています。最近の成果では、地震に先行して観測された異常変動と地震との統計的有意性や再現性、普遍性などが報告されつつあります。そこで、これらの地震前兆現象の地震短期予測への応用について議論するとともに、発生機構や伝搬機構などの物理的なメカニズムについても検討することを目的として、“地震準備過程に関する国際ワークショップ2017 (International Workshop on Earthquake Preparation Process 2017, - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP4))”を本学会との共催で、2017年5月26日～27日に千葉大学西千葉キャンパスにおいて開催しました。本ワークショップは2014年8月に北海道大学で開催した第1回から4年連続の開催となります。本ワークショップで取り上げた主たるトピックは地震準備過程や地震前兆現象の物理メカニズムに関する一般的な議論、地震前兆現象の発生・伝搬や地震サイクルに関する理論、モデル、室内実験、計算機シミュレーションなど、地震前兆現象の観測、検知、検証、地震前兆現象と地震学との関連や相関に関する検討などです。

実際のところはIWEPの直前に開催された日本地球惑星圏学会連合(JpGU)と米国地球物理連合(AGU)の初めての合同大会で折角日本まで来ていただいた研究者の方に15分程度の講演だけで帰っていただくのは大変もったいないので、本ワークショップにて最新の研究成果を十分に話していただき、意見交換や相互理解、研究交流を深めようという趣旨です。3年連続で実施すると結構浸透したようで、口頭31件、ポスター17件の合計48件の発表がありました。参加者は中国、台湾、アメリカ、ロシア、パキスタン、イタリヤ、トルコ、日本の8か国から64名の参加があり、活発な議論がおこなわれました。学生・院生も北大、東京学芸大、千葉大、東大、台湾大などから参加がありました。

今回のワークショップでは、打ち上げ直前の中国地震電磁気衛星の情報について中国国家地震局の張学民博士(衛星開発の総責任者の申旭輝博士は直前で多忙のため来日キャンセルとなり、代理報告)から現状の報告を兼ねる講演がありました。また、複数のセンサで観測されたデータを解析し、多角的に前兆をとらえる報告もいくつかありました。また、統計数理研究所の庄建倉博士による統計解析についての講演もなかなか面白いものでした。少し変わった講演としては、浅沼博千葉大学大学院工学研究科教授による、smart active津波防潮堤の開発に関連する講演もありました。平時は海底にて波浪発電等によって自己発電を行い(smart)、津波襲来時には自律的に浮力で浮上し津波の侵入を防ぐ(active)という新しい発想のインフラストラクチャーの提案でした。

その他の講演としては地震に先行して出現する温度異常や赤外異常など衛星リモートセンシングを用いたもの、電離圏の地震先行現象をとりあつかったもの、地上観測に基づくもの、モデル計算などにわたり各講演とも活発な議論がなされました。特に印象的だったのは統計解析結果に基づいてprospectiveに予測を行う方向性の講演が多く見られたことです。今後は通常の学会でもこの方向になっていくのだと思います。

4年間継続して開催すると、観測や解析方法がだんだん洗練されてきて、前兆現象の物理機構にせまるような成果もでつつあるように感じられます。私も本ワークショップで、地震予測の研究分野は極めて学際的であることを再認識するとともに、毎年いろいろな刺激を受けます。

さて、2018年5月25-27日に千葉大学西千葉キャンパスにてIWEP5を開催します。IWEP5は地震・火山噴火予知研究協議会の「地震先行現象・地震活動評価」計画推進部会の国際地震予測シンポジウム(Int'l Symp. on Earthquake Forecast : ISEF)と合同開催予定で、地震学や統計地震学の専門家も多数参加する予定です。わが学会と地震研究者との間で有益で建設的な議論がなされることを期待します。まずは前兆現象の存在についてコンセンサスが得られることが重要と考えています。



写真1 IWEP4の集合写真

## シリーズ・研究訪問

### 地震関連電磁波の観測研究 － 観測装置と研究成果 －

筒井 稔

(正会員、京都産業大学名誉教授、  
メールアドレス：tsutsui@cc.kyoto-  
su.ac.jp)

#### 1. はじめに

1995年1月17日に発生した阪神淡路大震災の直後には、その前兆現象として様々な情報が溢れていた。特に電磁波雑音の報告が多かった。しかし、地震関連との確かな証拠が示されないため、月日の経過と共にそれらの報告の数は激減していった。筆者は検出される電磁波雑音が地震と関係しているかどうかを明らかにする必要があると考え、その観測研究を開始した。地震という地中での強大な力学的エネルギーの散逸過程の一つとして地下岩盤での圧電効果による電磁波の励起を考え、その証拠を見つける事から始めた。

地中での力学現象（地震）であるので、地中における電磁波の検出を目指し、先ずボアホールを構築した。次にその中に挿入する電磁波センサーの開発、そして検出された電磁波の客観的描像を把握するためのモニター装置と物理的振る舞いを明確にするための様々なデータ解析方法の開発・改良を繰り返してきた。そして地震との関連を明確にするために地震波の観測も加えた結果、地震との関連を見つける事が出来た。更にその地上への放射状況を明らかにするために、地上での電磁波検出を追加し、これらの同時観測によるデータ解析を行ってきた。ここではそれらについて述べる。

#### 2. 地震関連電磁波の観測装置

##### 2.1 電磁波観測用ボアホール

地震関連電磁波を見つける目的で、地中でのそれを検出するために、地上の電磁波雑音の影響を軽減させる方策として、地中ボアホールを構築した。電磁波を遮蔽させる事無く、地下水を侵入させなくて、電磁波センサーを挿入できる空間を確保する必要があったので、底部を密封した塩化ビニル製のボアホール（内径10 cm、深さ100 m）を京都産業大学構内に構築した。

##### 2.2 電磁波検出用センサーシステム

構築したボアホール内底部で電磁波の到来方位を特定するために、磁界3軸方向成分を検出する高感度センサーを開発した。長さ8 cm（ボアホール内径以下とするため）の高磁性パーマロイコアの周囲に10,000回巻きの磁界サーチコイルを3本製作した。検出された磁界信号は増幅率500倍の差動増幅回路によるプリアンプを用いている。検出磁束密度の精度良さを確認するために、サーチコイルの感度と周波数特性等の基礎データを得るための較正装置（直径30 cmのダブルヘルムホルツコイル）を製作した。このダブルヘルムホルツコイルの中心軸に、製作したサーチコイルを固定させ、別途特注した1辺1 mから成る磁気シールドボックス内でサーチコイルの較正データを取得した。これにより、サーチコイルの感度は0.01 nTである事を確認した。



図1. 地中ボアホール内挿入用3軸磁界及び垂直電界検出センサーシステム

(ボアホール底部でのセンサーの東西南北の向きは上部に取り付けている方位磁石に向けたモニターカメラにより確認できる)

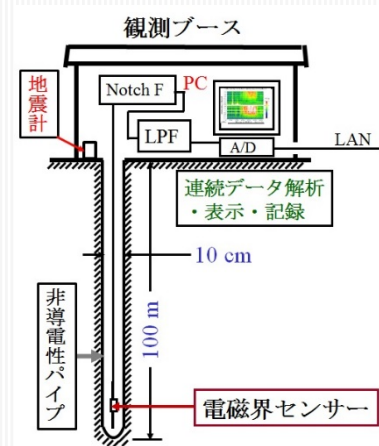


図2. 地中電磁波観測施設

(内径10 cm、深さ100 mの塩化ビニル製のボアホール内にセンサーを挿入し、検出した電磁界信号を上部のパーソナルコンピュータで解析・表示・記録の連続観測を行った。同様の観測施設を白浜及び紀伊大島にも構築し、観測を行ってきた)

製作したサーチコイル3本を用いて3軸方向成分の磁界を測定するが、コイル間に相互干渉があると測定誤差を生じるので、試行錯誤により干渉の無い相互間距離を確保し、3次元磁界センサーシステムを完成させた。

電磁波の到来方位を決定するためには、3次元磁界成分に加え、垂直電界成分のデータが必要であったので、磁界センサーシステムの下端に特殊な給電方法を施した全長5 mの垂直電界検出用ダイポールアンテナを釣り下げた。

観測時にボアホール底部に吊り下げた磁界センサーの向きを確認する必要があったので、磁界センサーシステム上部に方位磁石を取り付け、それに向けた小型カメラによる画像を地上でモニターし、その角度を到来方位算出用パラメータのデータとしてコンピュータに入力した。

これらにより狭隘なボアホール内底部でも電磁波の到来方位を算出できるようになった。そのセンサーシステムの外観を図1に示す。

### 2.3 観測データのモニター装置と実時間解析用コンピュータプログラム

図2は本観測施設全体を示している。深さ100 mのボアホール上部の観測ブース内にパーソナルコンピュータを設置し、開発した各種解析プログラムを搭載し、検出電磁界データの実時間解析・表示・記録による連続観測を実現させた。

電磁波の検出状況を把握するために、電磁界センサーで検出された3次元方向の各磁界各成分と垂直電界のアナログ信号を上部観測ブースに設置しているパーソナルコンピュータに導き、そこに装着したAD変換器を介して取り込み、実時間でそれらの周波数成分を分析しながら、周波数（強度を色でプロット）対時間変化（ $f-t$ ）の表示・記録方式を採った<sup>1)</sup>。地中媒質中の電磁波伝搬の性質を考えた結果、最終的にはこの表示周波数範囲を0~25 Hzとした。

地震関連電磁波を検出後は地震計も加えて同時観測を行った。

自然界には時間的にゆっくり変動する電磁波雑音に加えて、パルス状の電磁波雑音も存在するので、その波源位置を特定する必要があったので、そのための新たな解析方法をも開発した<sup>2)</sup>。これを用いて時々刻々変化するパルス電磁波の到来方位を表示できる装置を完成させた。ある地震が発生した時、本装置で検出された電磁波の波源位置が、その時の震源位置に一致した<sup>3)</sup>。

研究が進むにつれて、電磁波の3次元到来方位を決定する事を目指し、ボアホール内において電界の3軸方向成分を検出できるダイポールアンテナシステムを開発し、電磁界6成分による到来方位決定システムを完成させた<sup>4)</sup>。

これら各種の解析システムの内、あるパラメータを変更して観測を行ったところ、地震発生と同時にパルス状電磁波を検出・確認できた。そこで地震計を設置して、地震波と電磁波との同時観測を始め、両者のパルス波形の詳細な解析プログラムを開発した。更に検出電磁波の地上への放射状況を調べるために、同種のセンサーシステムを地上にも設置して、同時観測を進めた。

これら開発・改良を続けて、本観測法の確立までに13年の歳月を要した。

### 3. 研究成果

本観測研究で得られた成果を以下に列挙する。

1. 磁波的に極めて静穏な白浜の海岸にも構築したボアホール内で検出した膨大な数の電磁波パルスの偏波面の解析を行った。その結果、ほとんどが雷放電パルスであり、地震電磁波では無い事を確認した(図3)<sup>5)</sup>。
2. 送電線付近で検出される電磁波は、送電線に乗った雷放電パルスや家庭用電気器具からの人工雑音パルスが輻射されている事を確認した。
3. 地中での3次元到来方位の観測では、入射雷放電パルスがボアホールよりも深い地中で反射し、その上昇時に検出されている事も判った<sup>6)</sup>。

検出周波数範囲を0~25 Hzにした時点で初めて地震関連電磁波を検出した。

4. 地中での電磁波励起を解明するために、実験室で花崗岩への衝撃印加実験を行い、電磁波は地震P波成分により励起される事を確認した<sup>7)</sup>。

5. 地中電磁波センサーと地震計の同時観測で、地震波到来時に電磁波を検出したが、その到来方位は震源方向とは無関係である事を確認(図4)<sup>8)</sup>。

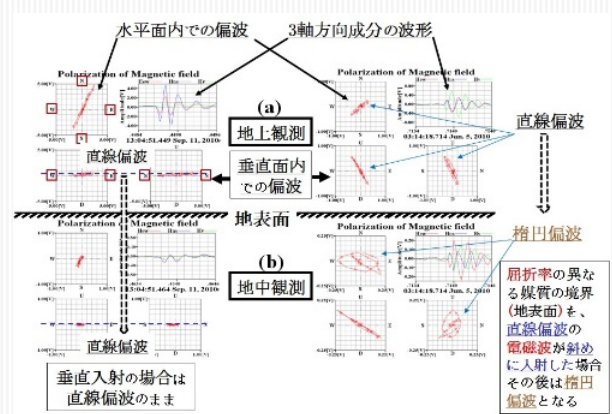


図3. 白浜観測点で検出された電磁波パルスの(a)地上及び(b)地中での偏波状況

(地上では全てが直線偏波を示していた。これが地中に入射する時、地表面に対する傾きが0度かそれ以外で、地中では夫々直線偏波、及び楕円偏波となる事から、地上起源の電磁波である事を確認)

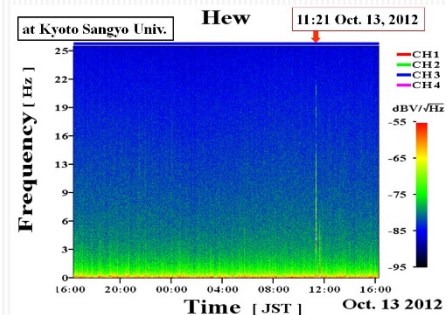


図4. 地震発生と同時刻 (11:21 Oct. 13, 2012) に検出された磁界東西成分のパルス状スペクトル

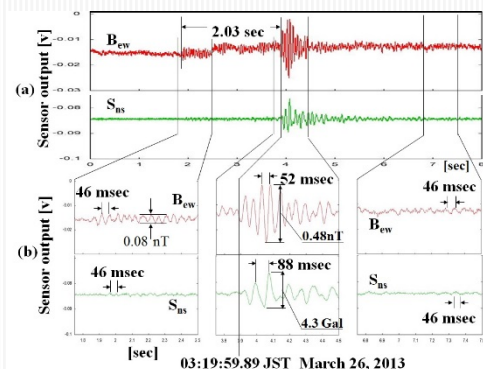


図5. 地震波(Sns)と電磁波の磁束密度(Bns)の同時観測結果

(地震 S波が電磁波観測点に到達(03:19:59.89 JST)する2.03秒前にP波が到達した段階で、電磁波を感度良く検出している。電磁波の変動周期とP波のそれとは同じであるが、S波とのそれとは異なっている。S波はP波形を大きく歪ませるため、電磁波の振幅も増大させる事で、それがCo-seismicと認識される)

6. 検出され地震関連電磁波は震源から伝搬して来たものではなく、岩盤内を伝搬する地震P波で常に励起され、S波の波頭でその電磁波振幅が増大されるため、それがCo-seismic 電磁波パルスとして認識されている事を確認した(図5)。しかしその電磁波パルスは、地中

媒質の高導電率のため、短距離で急激に減衰する事も確認した<sup>8, 9)</sup>。

7. 地震波により励起されたCo-seismic電磁波パルスは極めて弱い上にそれはほぼ垂直上向きに地上に放射されるため、電磁波観測点から遠い地点で地上に放射された成分を検出する事はできない事が判明。

#### 4. おわりに

電磁波伝搬の基本性質を考慮して高精度な電磁波検出装置を完成させ、それを用いて観測してきたが、検出できたのは地震P波による圧電効果で励起され、S波で大振幅化された後、急激に減衰するCo-seismic電磁波パルスのみであった。即ち地震P波により励起された電磁波であるため、地震の前兆現象としては成り得ない事が明白となった。現在も電磁波を用いて地震予知を試みている研究者もおられるが、電磁波は地震発生以降にしか現れない事を認識すべきであり、電磁氣的に地震予知を目指すなら、電磁波以外の電磁気現象を見極め、電磁気の基本原則に基づいた精緻な方法で探索を行うべきである。

#### 参考文献

- 1)筒井 稔、自然界における電磁波動の観測 —地中電磁波の観測—、京都産業大学計算機科学研究会所報、第17巻、1号、67-109頁、2000.
- 2)筒井 稔、小長谷重雄、香川忠與、周波数分散特性をもったパルス電磁波の到来方位測定法、電子情報通信学会論文誌 B Vol.J89-B, No. 1, pp. 1-9, 2006.
- 3)Minoru Tsutsui, Identification of earthquake epicenter from measurements of electromagnetic pulses in the Earth, Geophys. Res. Letters, L20303, doi:10.1029/2005GL023691, 2005
- 4)M.Tsutsui, M. Kamitani and T. Nakatani, Development of Poynting vector direction method for electromagnetic pulse in the earth, Proc. XXXth URSI GA, 10.1109/URSIGASS 20116-51035, 1-4, 2011
- 5)M. Tsutsui, T. Nakatani, M. Kamitani and T. Nagao, Polarization and propagation property of electromagnetic pulses in the earth, Proc. IGARSS 2011, 10.1109/IGARSS. 2011.6049261, 838-841, 2011.
- 6)M. Tsutsui, T. Nakatani, M. Kamitani, Three Dimensional Propagation Directions of Electromagnetic Pulses Detected in the Earth, Proc. IGARSS 2012, 10.1109/IGARSS. 2012.6350876, 590-593, 2012.
- 7)筒井 稔、柳谷 俊、加納靖之、花崗岩に衝撃を加えた時の電磁界放射実験、京都産業大学先端科学技術研究所所報, Vol. 11, pp. 1-6, 2012.
- 8)Minoru Tsutsui, Behaviors of Electromagnetic Waves Directly Excited by Earthquakes, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 11, PP. 1961-1965, 2014.
- 9)筒井 稔、地震波で励起された電磁波による地中媒質の電気的パラメータの算出、電気学会論文誌 A、Vol. 136, N0. 5, pp. 221-226, 2016.

## EPSJ CALENDER

(本会および関連学協会の行事予定)

#### ○本会（日本地震予知学会）第5回学術講演会

- ・ 日程：2018年12月25日(火)～12月26日(水) 2日間
- ・ 場所：東京都内(会場未定)
- ・ 詳細：本会ホームページ

#### ○第15回日本地震工学シンポジウム

- ・ 日程：2018年12月6日(木)～8日(土)
- ・ 場所：仙台国際センター(宮城県仙台市青葉区)
- ・ 詳細：<http://www.15jees.jp/>

#### ○日本地球惑星科学連合2019年大会

JpGU-AGU Joint Meeting 2019

- ・ 日程：2019年5月26日(日)～5月30日(木) 5日間
- ・ 場所：千葉県 幕張メッセ 国際会議場, 国際展示場 / APAホテル東京ベイ幕張
- ・ 詳細：<https://www.member-jpgu.org/jpgu/ja/>

## 速報

平成30年6月13日開催の平成30年度第1回理事会において第3期の会長、副会長が次のように決定されました。

会長：長尾年恭 理事、 副会長：服部克己 理事、芳原芳英 理事

日本地震予知学会理事会

## 祝速報

当学会名誉会員の上田誠也・東京大学名誉教授が平成30年6月9日に、公益社団法人東京地学協会(1879年設立)から荣誉ある「東京地学協会メダル」を受賞されました。記してお祝い申し上げます。なお、プレートテクトニクスに関する上田誠也先生の記念講演会が11月16日に予定されていますので、詳細が判明したら、またご報告いたします。

日本地震予知学会理事会

## 会員の皆様へー日本地震予知学会理事会からのお願いー

本学会は会員の皆様からの会費で運営が成り立っております。毎年度初めに事務局から会費納入(年5,000円)の案内をさせていただいておりますが、未納入の方が散見されます。学会の運営円滑化のためにも、確実に会費納入をお願いいたします。

会費振込先：三菱東京UFJ銀行、神楽坂支店、普通口座 0232399

受取人：一般社団法人 日本地震予知学会

## ニュースレター 記事募集

会員の皆様からのニュースレター記事を募集します。

地震予知に関する意見、感想、地震予知に関する研究ノート、書籍紹介、地震予知に関するイベントの案内・開催報告、等々地震予知に関する様々な話題をお寄せ下さい。

投稿記事のフォーマットや様式は任意で。

下記の学会メールアドレスまでメール添付ファイルとしてお寄せ下さい。

E-mail: [office@eqpsj.jp](mailto:office@eqpsj.jp)

## 編集後記

日本地震予知学会のニュースレター第6号をお届け致します。

平成30年5月22日開催の第6回社員総会で新たな役員体制が決定・承認されました。理事、監事の全員が再任の形になりましたが、初めての選挙による選任の新しい体制です。会員により信任を受けた新体制の新たな進展が期待されます。

本号では藤縄理事に巻頭言をお願いしました。また、京都産業大学の筒井先生には研究紹介の原稿をお寄せいただきました。今後とも「継続は力」の格言の通り、ニュースレター発行に努めます。皆様のご愛読、ご支援をお願い申し上げます(編集担当理事：神山)。

一般社団法人 日本地震予知学会

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町11番地 清風ビル3階

TEL、FAX: 03-5579-8470

E-mail: [office@eqpsj.jp](mailto:office@eqpsj.jp)

Website: <http://www.eqpsj.jp>

<本ニュースレターの内容を許可なく転載することを禁じます。>