

日本TRIZ協会 第20回 TRIZシンポジウム2024  
2024. 8.29-30 早稲田大学 西早稲田キャンパス

# 地震短期予知の研究に TRIZの考え方を導入する

中川 徹 (大阪学院大学 名誉教授)

## 目次

1. はじめに： 地震(予知)研究の背景
2. 地震予知研究の位置づけ
3. 筒井の方法 (2022.12)
4. 地震予知研究の方策を考える (1) 準備検討段階
5. 地震予知研究の方策を考える (2) 開発段階(実験、測定、分析)
6. 地震予知研究の方策を考える (3) 公的認知と実用の段階
7. おわりに： まとめと今後

## 1. はじめに： 地震（予知）研究の背景

日本は地震による大規模な災害にしばしば襲われてきた。

日本地震学会が1880年に創設され、戦前・戦後を通じて、地震観測網が広範・高度に開発され、海溝型および内陸型の地震の歴史的経過、分布、機構などが随分と明確になった。

地震予知の研究も行われ、中～大規模地震の（地域を指定した）長期／中期予測が確率論的に出されるようになっている。

しかし、阪神・淡路大震災(1995年)、東日本大震災(2011年)の地震は「想定外」で、全く予知できなかった。

このため、日本地震学会と政府は、

「地震の短期／直前予知は現在の技術では到底不可能である。今後、短期地震予知研究に重点を置かず、地震の観測と解析に重点を置き、地震の基本的理解に務める」と宣言した。

## はじめに（続）： 地震予知研究の背景

それでもやはり国民の大多数は、  
「地震の短期予知を可能にし、人的／物的／社会的被害を  
減少させたい」と願っている。

そこで「日本地震予知学会」が2014年に設立された。  
私も2015年2月に加入した。正会員70名未満の弱小学会。

電磁氣的現象に注目することが、当初からの方向。  
しかし、最近まで有効な方法の目処が立たず、暗中模索。

2022年12月に、筒井稔が、地中電場の変動の観測例を報告。  
私はその素晴らしさを理解し、有効性を確信した。

==> 私は、筒井の方法を支援・発展させるべく、  
研究プロジェクトを興すことを地震予知学会内で提唱し、  
实用技術にまで高めることを大目標にして活動を始めた。

## 2. 地震予知研究の位置づけ：

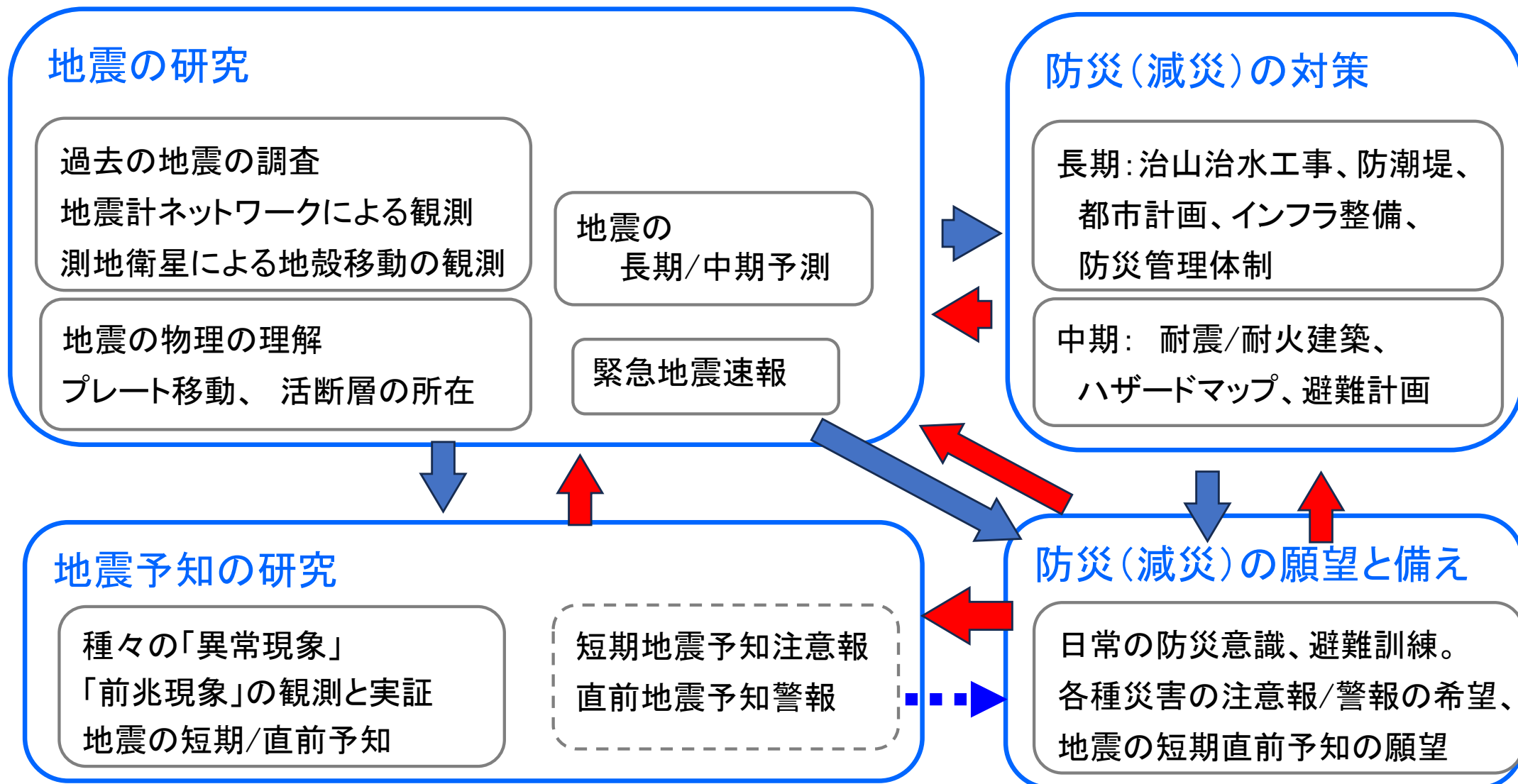


要望



情報

### 2A. 地震研究、地震予知研究、防災（減災）の対策



## 2B. 地震の研究 (従来の地震学)

### 過去の地震の調査

断層、堆積物、古文書

### 地震計ネットワークによる観測

高感度地震計ネットワークによる観測

強震計ネットワークによる観測

地震波の解析 → リアルタイム解析

→ 詳細解析(震源域、マグニチュード、地震プロセス、

### 測地衛星による地殻移動の観測

多地点の相対移動の経時測定、ストレスの蓄積

### 地震の物理の理解

プレート境界と地殻構造、プレート移動、

活断層の所在と歴史経過

ストレスの蓄積の評価

地震のプロセスの理解(仮説)

### 緊急地震速報

震源、マグニチュード、  
震度(地域別)予想、  
津波の警報

緊急避難に有効  
(間に合わないことも)

### 地震の長期/中期予測

確率論的予測

被害想定(ハザードマップ)

### 短期/直前予知ができない

(地震学会 & 政府は  
予知研究を忌避)

力学的観測  
の限界

## 2C. 地震予知研究の状況： 暗中模索の中に明確な光明

### 根本の 困難

- ・ 地震エネルギー(歪み)の蓄積は 数千年～数十年  
一方、破壊(地震)は一瞬(数秒～数分)
- ・ 震源の物理的状況が、個別的・複雑・未解明である。
- ・ 破壊(地震)のプロセス(発端→核の破壊→進展...)が未解明。
- ・ 破壊に伴う現象(特に前兆現象、力学的・電磁氣的など)が未解明。

### 前兆現象 の模索

- ・ 動物の異常行動、異常な雲、発光、... ==> 客観的測定が不足
- ・ 地上での電磁波などの観測 ==> ノイズが多く不明瞭、
- ・ 電離層の異常の地上からの観測 ==> 情報が間接的、ノイズ多く不明瞭

### 最新の 成果

- ・ 筒井稔(京都産業大)(2022.12) 地中の垂直電場の変動を、連続測定：  
地震の1.5hr前～9hr後に、明瞭( $S/N \geq 30$ )で微細構造を示す信号を観測。
- ・ 神山真ら(東北工大)(2023.12) 地殻の歪の異常(3年～3月前)を観測(衛星データ)
- ・ 日置幸介(北大)(2023.12) 電離層全電子数の局所的増大を観測(10～100分前)

### 希望

これらを発展させると、20年後(?)に「地震直前予知警報」を実現できる

### 3. 筒井の方法(2022.12) : 3A. 実験方法: 地中の垂直電場+地上の水平電場

地中の垂直電場を高感度で連続観測し、震源域での電場の地震前後の変動を、地殻内の電気信号として遠隔で捉える。

地震の二次効果としては直接的、震源域での現象の平均化したものを観測  
→ 直流成分の信号が大きい

#### 地中の垂直電場の観測

ノイズを減らし、S/N比を上げる:

線形ダイポール型DC電場センサー(100m)  
紀伊半島南端の小島の神社の一隅に設置

地下150mのボアホール(20cmΦ)内  
差動増幅器も恒温の地下20mに設置。

⇒ ノイズは  $0.5 \mu\text{V/m}$  で定常的

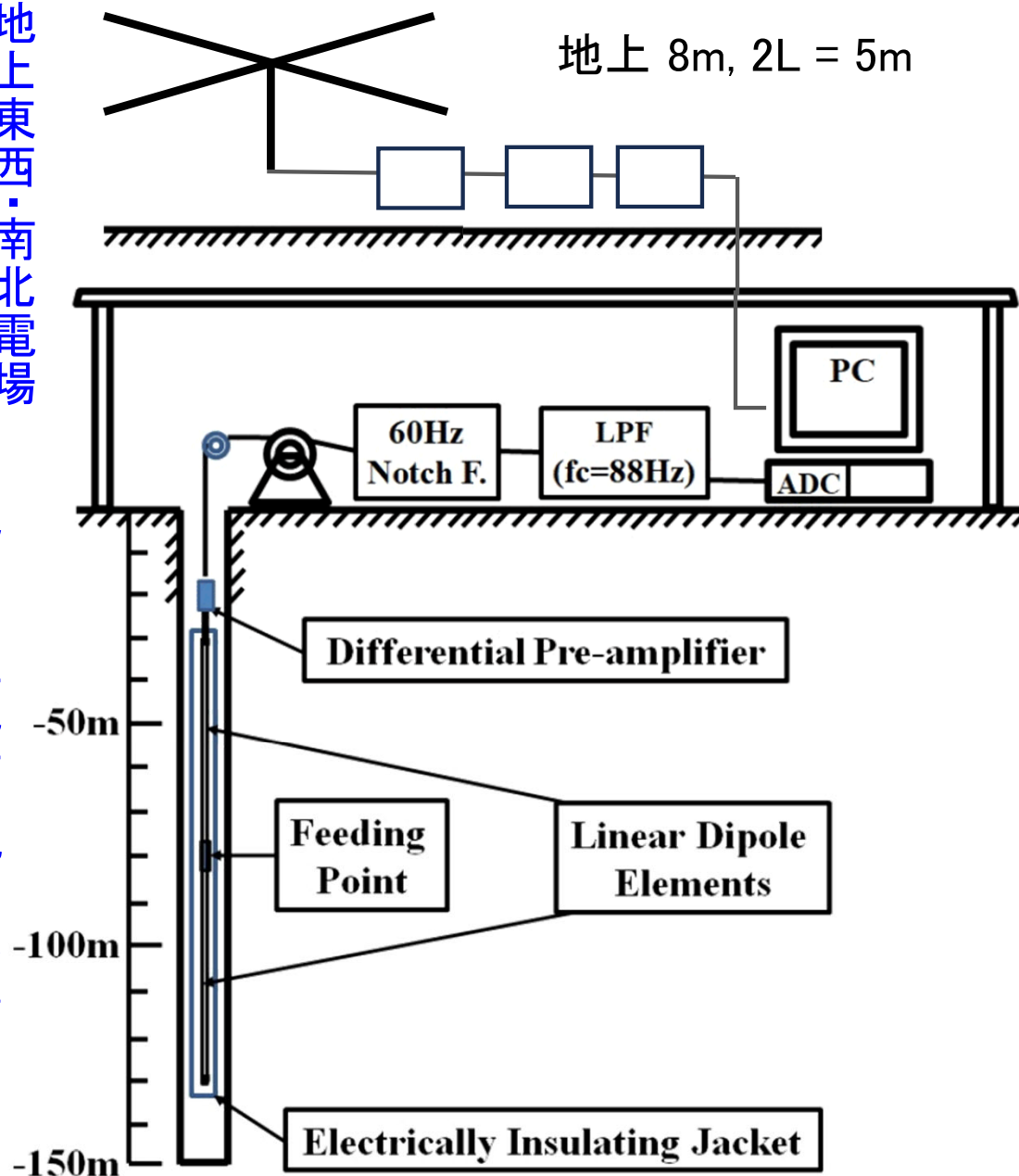
信号は1秒間隔で連続観測、PCに記憶。

#### 地上の水平(東西/南北)電場の観測

同じ敷地内の地上8mに設置。長さ $2L = 5\text{m}$ 。  
地中センサーと同時並行で連続観測。

地上東西・南北電場  
観測装置

地中垂直電場  
観測装置



### 3B. 観測結果 (1)

2021年4月～7月の2ヶ月半 稼働。2形態の貴重な結果を得た。

#### 形態1： 2021年5月1日 観測

#### 激しい土の変動

##### 地中電場データ:

ノイズは定常的:

08:50から46分間、  
激しい土の変動

10:27 スパイク信号  
(同時刻に地震あり。  
宮城沖 M6.8)

19:00から68分間、  
激しい土の変動

##### 地上電場データ:

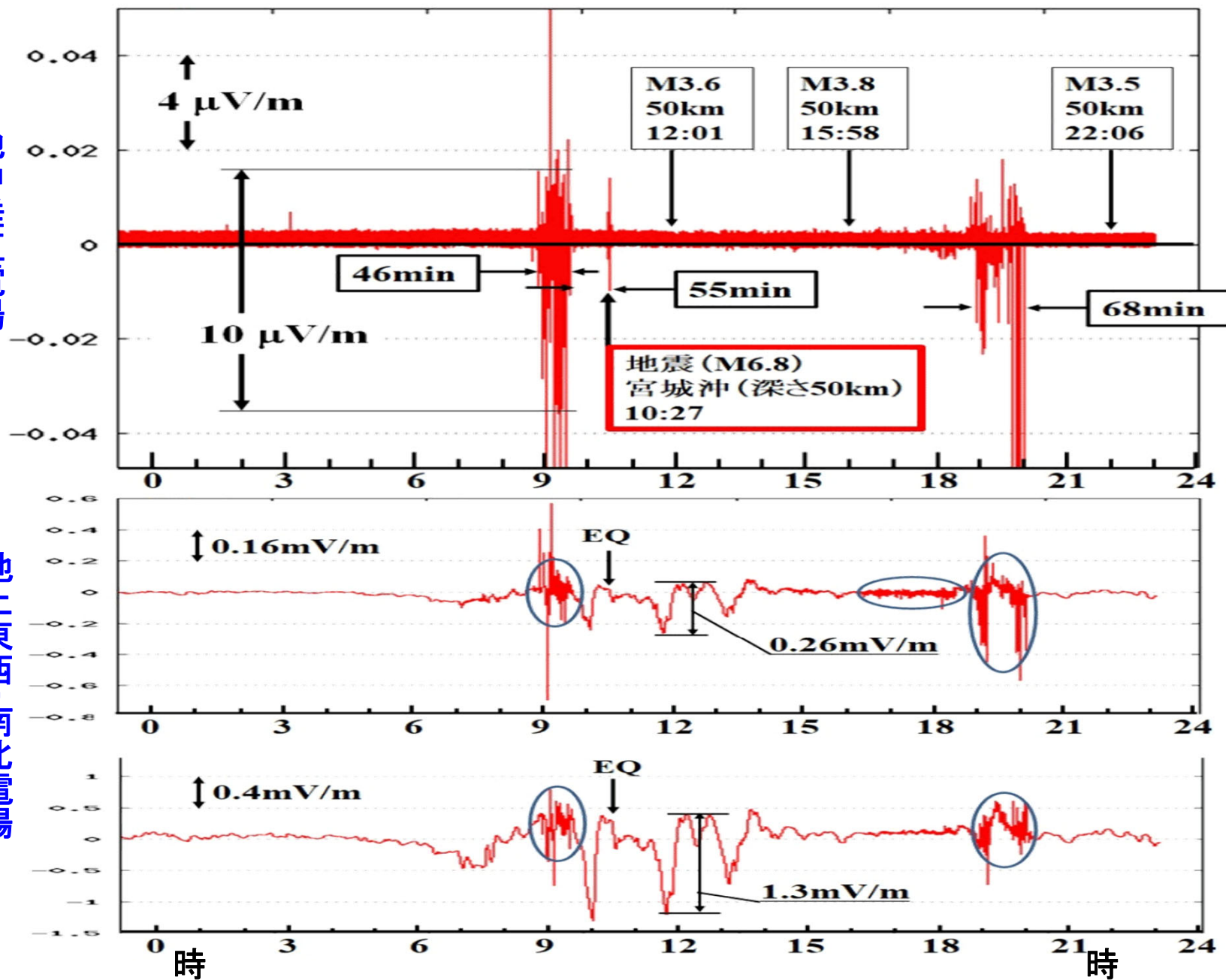
08:50～と19:00～  
激しい土の変動  
(地中観測と同様)

10:27 信号変動微弱

日中： 電離層電場の  
緩やかな日周変化

地中垂直電場

地上東西・南北電場





### 3C. 観測結果 (2) 形態2: 2021年5月6日 観測 平均電場の上昇と数時間の持続

#### 地中電場データ:

05:25から平均電場が  
 $+2 \mu\text{V}/\text{m}$  まで上がり、  
 約5時間持続。

ほぼ0電位で約3時間持続、

13:30 急上昇 $+2 \mu\text{V}/\text{m}$

(同時刻に地震あり。

紀伊水道 M3.7)

その後約6時間かけて  
 0電位に戻った。

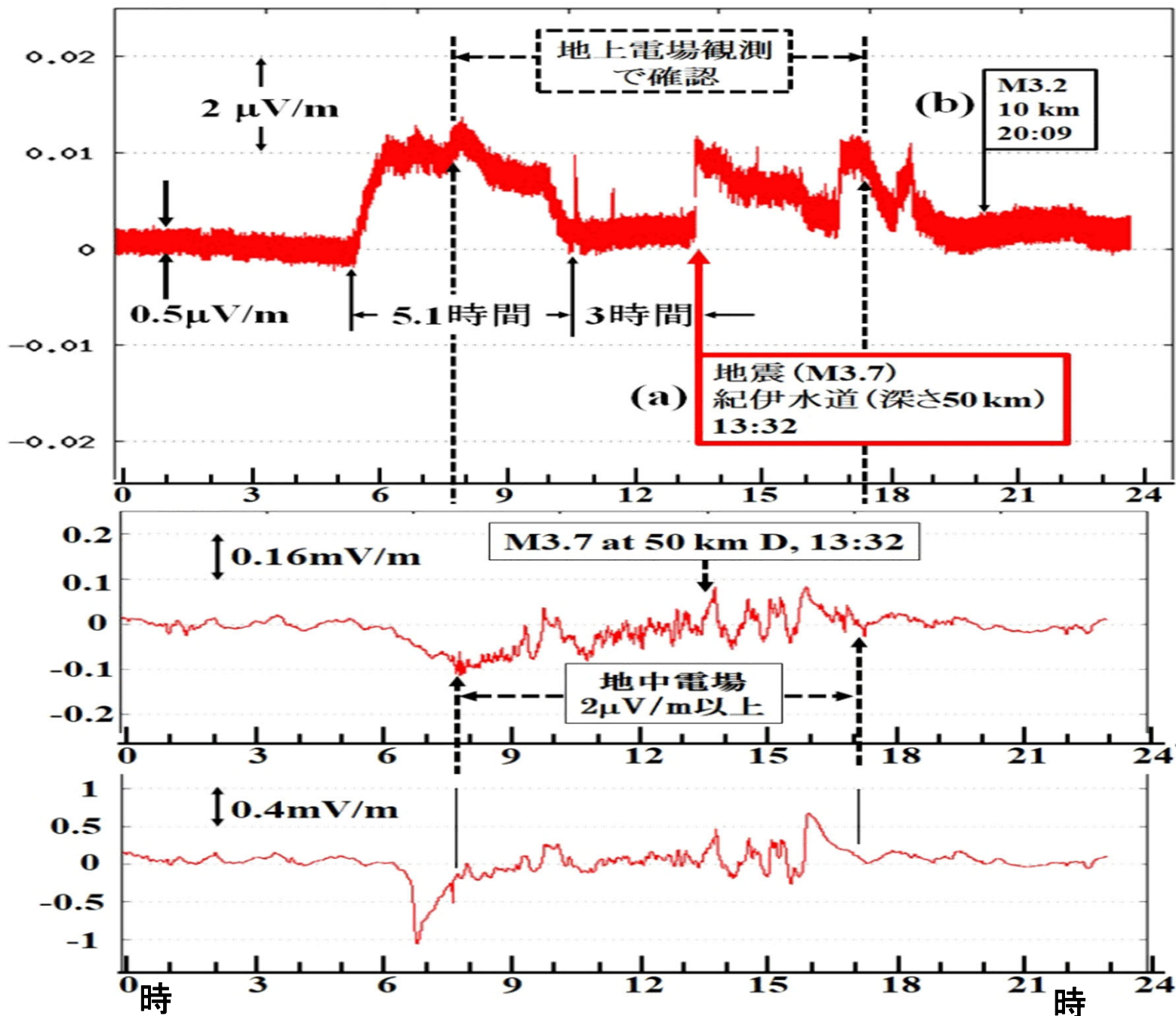
#### 地上電場データ:

8時~17時に、  
 地中電場の変動に  
 相当する変動を観測。

他原因のノイズ多し。

地中垂直電場

地上東西・南北電場



## 4. 地震予知研究の方策を考える (1)準備検討段階

### 4A. 準備検討段階の概要

- (a) 従来の地震学の力学的／測地学的観点では、  
地震という破壊現象のタイミングを予期できない。  
何らかの予兆の観測が必要である。
- (b) 予兆現象の種々の可能性を考え、実測・実験により選択していく。
- (c) 岩盤内で圧電効果により起こる電磁気学的な種々の現象が  
大きな鍵である。  
力学的技術から電磁気学的技術への転換は、TRIZが奨める方向。
- (d) 岩盤内での電磁気現象の種々の伝搬形態と付随効果を考える。
- (e) 信号の検出場所(地中、地表、空中、観測衛星など)の選択が重要。  
現象の種類や混入ノイズが異なる。

## 4B. 短期地震予知のための前兆現象に対する要件 (Requirements)

- (0) 根本要件: (各種の地震に対して)現象Xが地震と関係し、地震によって引き起こされ、短時間の後に地震が発生すること、...  
=> 広範な観測・解析の後でないと、確認できない。
- (I) 基本要件: 高いS/N比で、明確に観測・測定できること。  
=> 測定法／測定装置を開発する必要がある。(一つの観測サイトで)
- (II) 確認要件: 多くの地震について、複数サイトで同様に観測でき、予知したように地震が発生することを確認できること。  
=> 複数の観測サイトでデータを蓄積し、地震との相関を確認する。
- (III) 実用要件: 測定が自動的／安定的／連続的に行え、地震発生の予知方法(いつ、どこで、どの規模で)が得られること。  
=> 信頼できる技術システムを作り、実験データを徹底的に解析する。
- (IV) 高度要件: システムとして統合し、地震からの因果関係を証明できること  
=> 地震学、特に地震発生プロセスについて、高度な研究が必要。
- (V) 社会的要件: 短期地震予知／警報システムを信頼できる形で運用する。  
=> 学界、社会、政府などから認知／承認されることが必要。

# 4C. 種々の「前兆現象」とその観測法： 選択のための観点、考察

地震 = プレート間／断層間の  
移動圧力による破壊現象

エネルギー蓄積は 数千年～数十年  
破壊は 数分～数秒

基本は  
力学的現象

二次的効果  
効果は小、  
震源が大規模

電氣的現象  
(圧電効果)

磁氣的、  
電磁氣的現象

その他  
種々の現象

力学的現象  
の観測

電磁氣的現象  
の観測

現象の多様性と広域伝搬。  
多様で高感度の測定法

- 水平/上下移動
- 圧力/歪
- 前震
- 測地衛星
- 圧力計/歪計
- 地震計

- 地中の(垂直)電場
- 垂直電極連続観測

- 地上の(水平)電場
- 地上の電磁波
- 地上の東西/南北アンテナ連続観測、多様な周波数

- 電離層の電氣的性質
- 電磁波の反射の測定

- 成層圏の電氣的性質
- 人工衛星による全球観測

破壊のタイミングを  
予知するのが困難

信号は直接的  
S/N比が大

観測は容易で、高感度。  
しかし、ノイズが多い。

大規模地震に  
対して有望

精度向上

局所的予知情報

世界規模の予知情報

## 5. 地震予知研究の方策を考える

### (2) 開発段階 実験、測定、分析)

#### 5A. 開発段階（実験、測定、分析、体系化）の概要

- (f) (I) まず 1サイトの観測 を繰り返し、地震との相関性を見る。
- (g) (II) 次に、複数サイトでの並行観測により、相関性を確認する。
- (h) (III) さらに多数の観測で、この前兆を示す地震のタイプを判定し、  
予知する地震の場所・時・大きさなどを推定する方法を創る。  
これらができて初めて、一つの技術システムになる。
- (h) (IV) 異なる前兆現象の観測法をも統合して、  
より広範で確実な技術体系を創る。

## 5B. 開発段階の (I) : 単一観測サイト段階の研究課題

- (I-1) 観測対象とする「前兆現象(候補)」を選ぶ
- (I-2) 「前兆現象(候補)」の観測・測定方法を考える
- (I-3) 観測施設、観測サイト、観測装置などを設営／開発する。
- (I-4) 試験観測を開始し、信号の感度を上げ、ノイズを除去・分離する。
- (I-5) 測定データの取得・記録・転送・蓄積・図示などのシステムを作る。
- (I-6) 全測定データを図示し、有意の信号を見つけ、地震との相関を検討する。
- (I-7) 地震との相関ケース、非相関ケース、非観測ケースを明確にする。
- (I-8) 実験法、観測データ、地震との相関分析、成果・考察をまとめて、学会報告する。
- (I-9) この研究を総括し、改良、方向転換、次段階への進展などを判断・実行する。

## 5C. 単一サイト段階の事例：筒井稔(2022)の研究プロセスと成果

- (I-1) 前兆現象(候補)として、「(遠隔の)震央からの(直流)電場の変動」を選ぶ
- (I-2) 「地中の穴で、垂直の直流電場の変動を連続測定する」(震源からの直接ルート)
- (I-3) 紀伊半島南端のサイトで、地下150m、長さ100mのセンサーを、開発設置した。
- (I-4) 大規模センサー、ノイズの少ない地域と地中、各種フィルターで、非常に高いS/N比を実現。  
信号の飛来方向を知る実験法も欲しい。
- (I-5) 1秒間隔での連続測定、デジタル記録、PC保存を実現。データ転送未実現。図示ソフト実現。
- (I-6) 顕著な一群の信号(2形態あり)を観測(高S/N、明瞭な微細構造)、地震との相関が明瞭。
- (I-7) 相関ケース2件を発表。それ以外の相関／非相関／非観測のケースは言及なし。未発表。
- (I-8) 実験法、観測データ、地震との相関の証明、などを学会発表済み。非常に顕著な成果。
- (I-9) 総括： 実験設備にときどきトラブルがある。孤軍奮闘中。  
方法としては、非常に優れた成果を出している。  
次段階(複数サイトでの同時並行観測)にぜひ進むのがよい。共同研究体制が必要。

## 5E. 事例. 筒井の方法を複数サイトで実施する計画の課題

**最大の課題は、筒井の方法の 第2、第3、...サイトを造り、共同研究すること。**

まず、この方法の意義と将来性を理解して、共同研究する研究グループを得る。

研究グループの近傍で、ノイズが少なく、保守しやすい観測サイトを選定する。

サイトに、深いボアホールを造り、センサーや観測設備を設置する。

これらの設備に多額の費用を要する。(研究ポストと人件費もちろん必要)

複数サイトからの観測データを集約し、共同で使用するソフトシステムの構築が必要。

ノウハウの伝授・継承と、共同で研究する体制が必要。

これらすべてのために、研究プロジェクトを興し、財源を獲得し、運営する必要あり。

**これらの準備態勢が整えば、前記の一般論(5D)の研究課題はすべて順調に進展できる。**

(Ⅱ-1) 複数(5~6)の観測サイトを造り、並行して運用する。

(Ⅱ-2) データを解析/蓄積して地震との相関性を検証する。

(Ⅱ-3) 予期する地震の 発生時間/場所/規模(マグニチュード)の推定法を創る。

(Ⅱ-4) 上記の推定法を(過去と現在の)実測地震データに適用・テストする。



## 5D. 開発段階の（Ⅱ）複数観測サイトでの開発段階の研究課題（一般論）

### （Ⅱ-1）複数（5～6）の観測サイトを造り、並行して運用する。

同様の信号を同時に観測 ==> 有意な信号 → 位置と大きさを推定。

一部サイトで信号を観測、他サイトで無観測 ==> 局所的な地震？異方性？減衰領域？

一つのサイトだけに信号 ==> 周辺に人工/自然ノイズ？機器の不備？

### （Ⅱ-2）データを解析/蓄積して地震との相関性を検証する。

有意な信号に対応する地震が存在する場合 ==> 相関ケース

有意な信号に対応する地震が存在しない場合 ==> 非相関ケース

かなりの大きさの地震に対して信号が観測されない場合 ==> 非観測ケース

### （Ⅱ-3）予期する地震の発生時間/場所/規模(マグニチュード)の推定法を創る。

信号のパターン ==> 発生時間を推定(数時間後など)、地震のタイプの推定も。

複数地点での信号の受信方向、受信時間と強さの違い ==> 場所を推定、

信号の強さ ==> 規模(マグニチュード)/被害を推定。

### （Ⅱ-4）上記の推定法を(過去と現在の)実測地震データに適用・テストする。

信号受信開始後の、どのタイミングでどのように判断するのが良いか？

推定法(=地震短期予知方法)をさらに改良し、信頼性と有用性を高める。

## 5F. (Ⅲ) 一つの方法を技術システムとして確立・展開する段階 (例： 筒井の方法を全国規模で展開し、技術システムとして確立する)

前段の「複数サイトでの実験・検証」をパスした方法を、展開・実験する。

学界(地震学会など)で認められる努力をし、科研費などの予算措置を得ることが望ましい。  
全国をカバーするように観測サイトを配置する。約40サイト。150~200km程度の間隔。

研究拠点を、全国で10拠点程度、作る。

(例： 札幌、仙台、つくば、千葉、東京、名古屋、京都、広島、福岡、沖縄)

研究拠点は、複数の研究者、複数の実働技術者を持ち、

担当地域の観測サイトの設営、運用・保守、データの管理と分析、研究などを行う。

各サイトの観測データは、各研究拠点を通じて、プロジェクト本部にリアルタイムに集められ、  
図示、分析、監視、緊急注視などを行う。これらの結果は、全研究拠点到フィードバックされる。

この段階で、次のような点を検証・明確化・確立するべきである。

- (Ⅲ-1) この前兆観測と地震との相関関係の明確化、相関／非相関／非観測ケースの整理。
- (Ⅲ-2) 地震のタイプ別でのこの前兆観測の有効性、特徴的なパターン、予測方法の明確化。
- (Ⅲ-3) 予知地震の推定法(どこで、いつ、どの規模)を作成・検証・確立する。
- (Ⅲ-4) この予知方法の特長・有効性・汎用性・信頼性の把握。この方法の限界の認識。

## 5G. (IV) 他の方法を統合して、地震短期予知警報システムを確立する。

(例: 筒井の方法を、神山の方法、日置の方法などで補強する)

項目 \ 方法	神山の方法	筒井の方法	日置の方法
検出する事象	局所地域の地殻の歪	DC垂直電場の変動	イオン層の全電子数 (TEC) の変動
検出方法	測地衛星のGEONETデータの三角メッシュ解析	地下150mの竖穴。DCダイポールセンサ	GNSS (移動) 衛星と地上局の交信を解析
地震のタイプ	すべてのタイプ	電磁現象を伴う地震 (ほぼすべて)	電磁現象を伴う地震 (ほぼすべて)
検出地震の範囲	全国。地上観測点のメッシュ範囲。海溝型に弱い。	全国と周辺。各サイトから遠距離も。海溝型も検出可。高感度。大・中規模地震。	全世界。地上観測点の近傍どこでも。海溝型に少し弱い。大規模地震 M $\geq$ 7向き。
異常検出の時間範囲	3年前~3月前。(以後継続的)。直前を予知しない。	数時間前から。継続した微細構造の信号。地震の瞬間も検出。	地震の100~10分前から継続。微細構造なく、地震の瞬間を検出しない
時間分解能	毎日1回。(より短時間にできるが有意でない)	毎秒1回、連続デジタル計測。微細構造も顕著	1分程度。微細構造なし。
検出感度 S/N	有意、明瞭。	高いS/N (30以上も)。M6.8の地震 (距離750km), M3.8の地震 (距離100km)	信号が通常の3~30%増。ノイズは0.5%程度。増加判断のアルゴリズムが必要。

## 6. 地震予知研究の方策を考える(3)

### (V) 公的認知と実用の段階

#### (i) 学界・社会の認知を得て、全国規模でこの技術体系を実装する。

技術体系は、必要・適切・有効なものから逐次拡充する。

地震の長期／中期予測、地震解析、地震プロセスの研究などと連携して進める。

中規模地震を予知した場合、事前情報を関係機関にのみ知らせ、事後に公開する。

大規模被害地震を予知した場合は、1-2時間前に、緊急地震予知警報を発表する。

数年以上の運用と実地検証の中で、技術体系を改良し、次段階の準備をする。

#### (j) 公的な地震予知警報体制を確立する。

学術的・公的な議論を経て、公的な制度として(気象庁から(?)) 発表する。

地震予知注意報(数日～1日前)と、地震予知緊急警報(数～半時間前)を運用する。

#### (k) これらの過程で、国際協力をし、世界的実装の可能性を探る。

## 6. おわりに：まとめと今後

地震予知の研究は、今まで暗中模索の段階にあった。

日本の地震学会と政府は、地震予知は不可能だと考え、予知研究を忌避している。

その中で、日本地震予知学会内で、つい最近画期的な研究発表があった。

特に、筒井稔の地中の垂直DC電場の連続測定の結果は貴重である。

紀伊半島南端の観測サイトで、宮城沖のM6.8の地震を捉え、1.5時間前から9時間後まで、S/N30以上で、微細構造を示す、明瞭な信号を得た。

現在は一つのサイトでの孤軍奮闘の研究であるが、

この方法の意義を理解し協力する研究者たちで、5~6か所の観測サイトを並行運用すれば、地震との相関関係を実証し、地震がどこで、いつ、どの規模で発生するかを、1~2時間前に予知できるであろう。

観測と実証をくりかえして、順次体制を強化し、学会や社会の認知を拡大していくことにより、20年後の将来には、「地震短期予知注意報」と「地震直前予知警報」を公的に運用できるであろうと信じる。

本研究はすべて、TRIZの考え方と、実験科学のアプローチに基づくものである。

地震予知の実現のために、皆さんをはじめ、多くの人々の理解と協力をお願いしたい。