

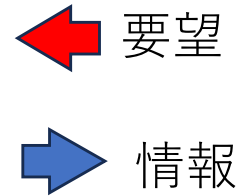
地震予知研究の発展方向を考える

中川 徹 (大阪学院大学 名誉教授)

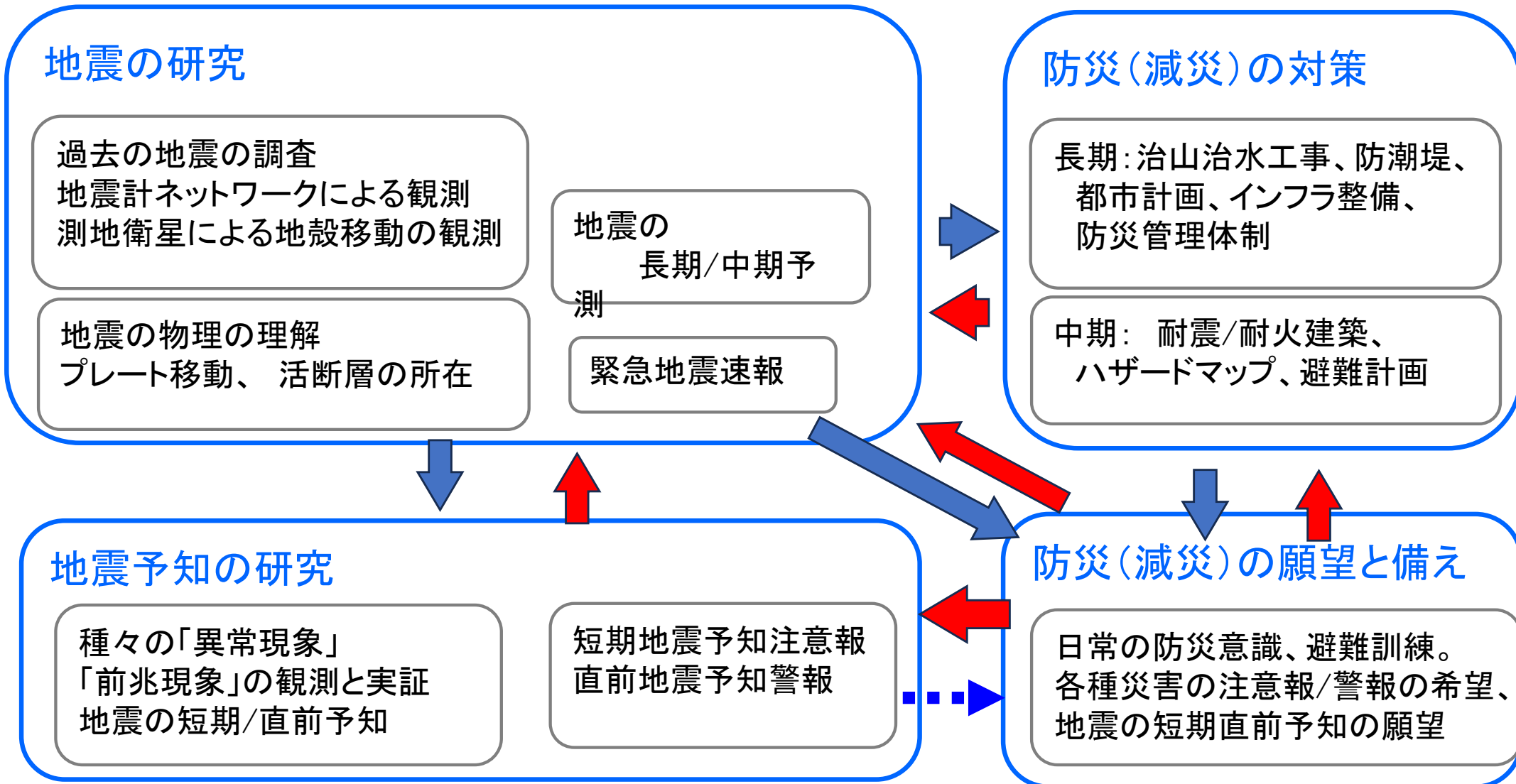
目次

1. 地震予知研究の位置づけ、従来の地震研究 #2, #3
2. 地震予知研究のあり方 #4, #5, #6
地震予知システム確立の3段階、「前兆現象」を実証するには、
有望な「前兆現象」(候補)を選択する観点
3. 注目する地震予知の2方法とその研究推進 #7, #8, #9
 - (1)「地中の(直流)電場変動の観測」(筒井稔(京都産業大学 名誉教授)、2022)
観測装置、実測事例(形態1: 激しい土の変動、形態2: 平均電場の上昇と持続)
==>(中川) 複数サイトによる実証プロジェクトの提案 #10
 - (2) 人工衛星による全球観測: 巨大地震の予知のために #11
4. 今後の課題 #12

地震予知研究の位置づけ：



地震研究、地震予知研究、防災（減災）の対策



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

地震の短期/直前予知には、どうすればよいだろうか？

種々の「異常現象」
動物の異常行動、地震雲、発光現象、...

種々の観測データ： 前震、地下水位、
地中/地上/上空電磁波、人工衛星による観測

予備的考察：「前兆現象」：地震との関連性、観測可能性（高感度、低ノイズ、連続観測）

実験科学のアプローチ
仮説 → 実験 → 実証

実測方法・実測
装置の開発

実測データ
の蓄積

データ解析
相関性

一サイトでの
有望結果

実測結果の検討： 地震との相関性の判断、観測方法・装置の改良

複数サイト/装置での
同時並行実測

地震との
相関関係の実証

予知する地震
の推測データ

地震予知の
一方法の確立

実用化のための統合と検証

複数の予知方法の
比較検討と統合

広域の観測
ネットワーク

地震の多様性に
応じた予知方法

予知方法
の実績・検証

地震予知シス
テムの確立

地震短期/直前予知の「鍵」: 「前兆現象」を捉えて、相関関係を実証する

現象Xが「前兆現象」であることの基本条件:

明確に観測(測定)できる。

種々の人工／自然起因の類似現象(ノイズ)から区別できる。

現象Xのいくらかの後(数週～数分後)に地震が起こるという、「相関関係」がある。

さらに具体的に要請される条件:

一つの地震に対して、現象Xが複数の場所や装置で、ほぼ同時同様に観測される。

震源に近いほど強く観測される。

多数の別の地震に対しても、同様に観測される。

現象Xを観測した地震について、その後に地震が起こった割合が高い(「空振り」が少ない)。

実用上、さらに、望ましい条件:

自動的で安定した、連続測定が可能である。

発生すると予知した地震の、時、所、大きさ(マグニチュード)などを、推定できること。



地震は多様だから、前兆現象も多様。

現象Xの万能性を前提してはいけない。

地震のタイプに応じた複数の観測方法が必要。

最終的には、地震プロセスの理解に基づいた、「因果関係」の実証が必要

有望な「前兆現象」を選択するための観点、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

地中の
(垂直)電場

地上の
(水平)電場

地上の
電磁波

電離層の
電氣的性質

成層圏の
電氣的性質

測地
衛星

圧力計
／歪計

地震計

垂直電極
連続観測

地上の東西／南北アンテナ
連続観測、多様な周波数

電磁波の
反射の測定

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

局所的予知情報

世界規模の予知情報

有望な観測法(1) 地中の垂直電場＋地上の水平電場 筒井稔(京都産業大学)(2022)

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:

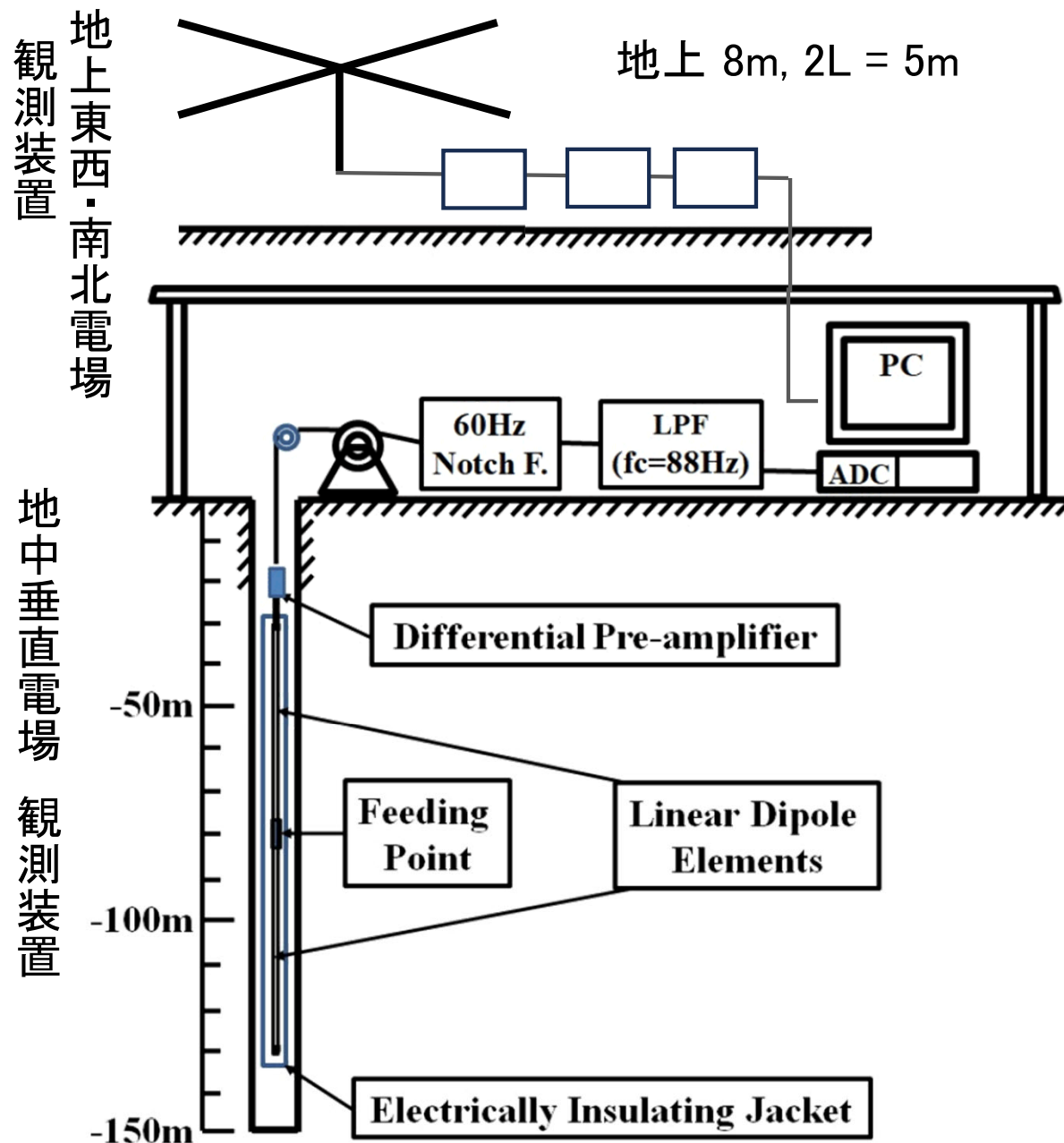
線形ダイポール型DC電場センサー(100m)
紀伊半島南端の小島の神社の一隅に設置
地下150mのボアホール(10cmΦ)内
差動増幅器も恒温の地下20mに設置。

⇒ 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。



観測結果 筒井稔 (2022)

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:

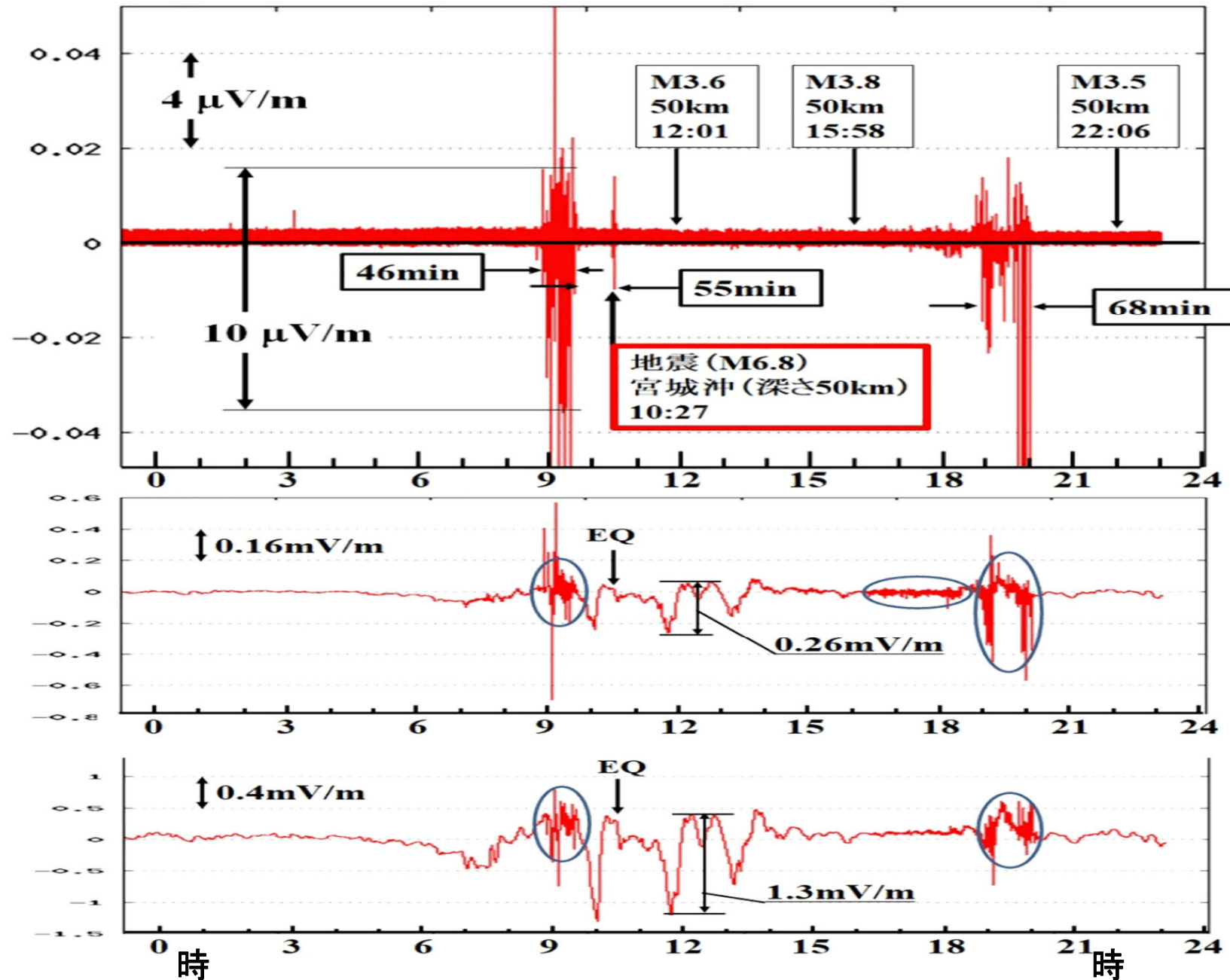
08:50～と19:00～
激しい土の変動
(地中観測と同様)

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



観測結果

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

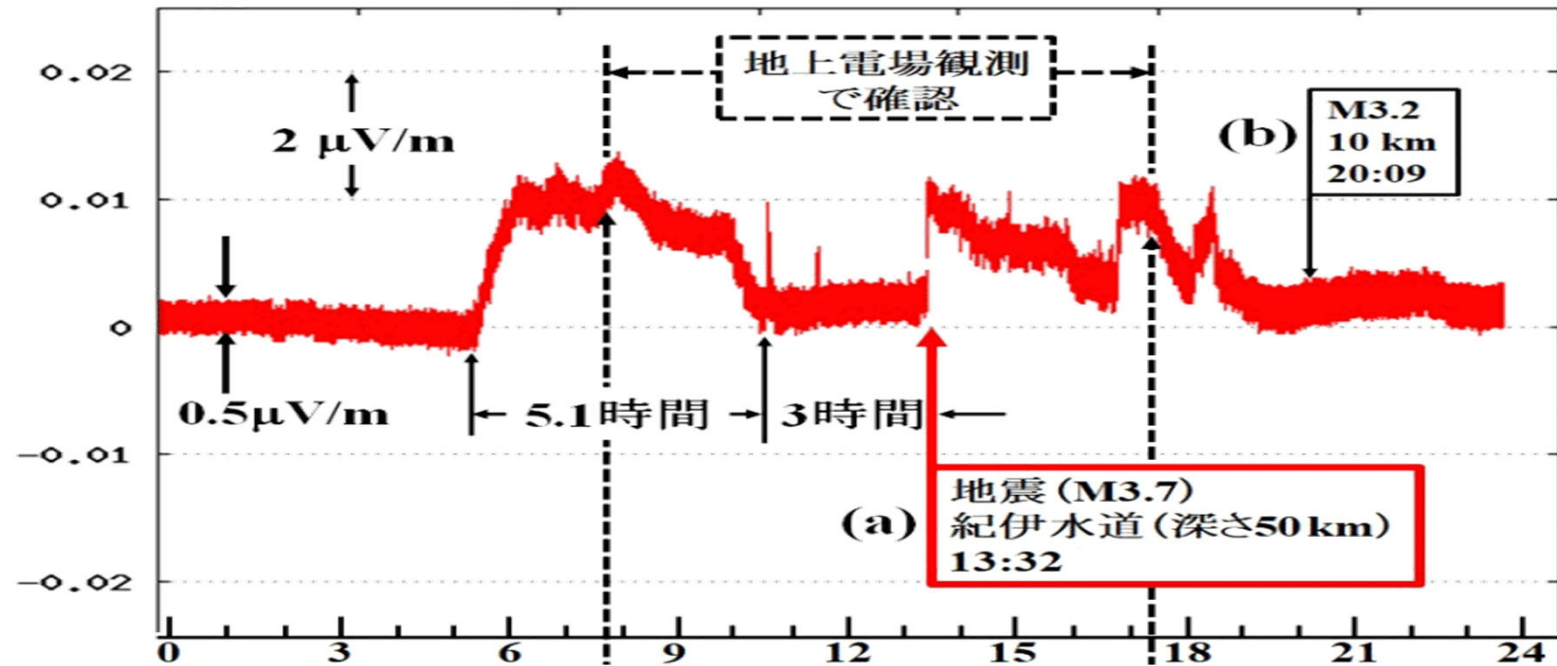
地中電場データ:

05:25から平均電場が
 $+2\mu\text{V/m}$ 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 $+2\mu\text{V/m}$
(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。

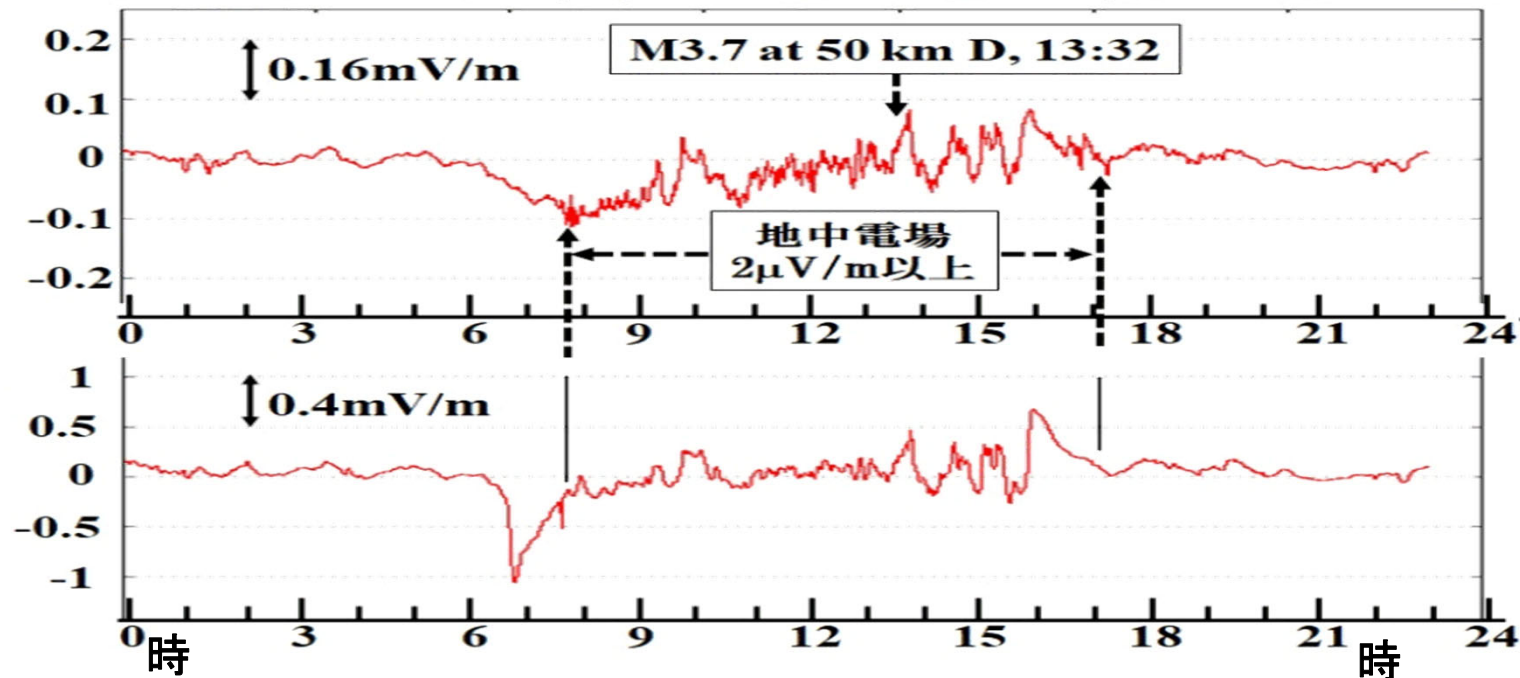
地上電場データ:

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



「地中電場の観測」を「地震(直前)予知の方法」として確立するために

現段階の評価： 「地中電場の変動」現象を、極めて高いS/N比で、連続観測可能にした。
観測データは、複数の形態での挙動を精密に示し、地震との相関が強く示唆される。

提案： 筒井名誉教授をサポートして、本方法を「地震(直前)予知の方法」として、確立しよう。

第1段階： 本件の実験サイト（装置）を複数（5-6）作り、同時並行観測する。

同時同様の観測結果 ==> 有意の信号、信号源の位置と信号強度を推定できる。

一部で観測、他は無観測 ==> 信号源が近く局所的？信号に異方性？信号経路に減衰域？

一つだけで観測 ==> 近辺の人為的／自然的ノイズ？装置の不備？

第2段階： 観測データを解析/蓄積して、地震との相関関係を明確にする。

有意の観測データに対応する地震がある場合 ==> 相関データ

----- // ----- 見つからない場合 ==> 非相関データ

相当規模の地震があったのに、有意の観測データがない場合 ==> 無観測データ

これらの解析から、観測データ（の挙動）と地震のタイプ/規模/距離との相関が分かる。

第3段階： 観測データから、後の地震の時、所、規模、性質などを推定する方法を創る。

観測データのパターン ==> 時（何時間後など）；多地点の信号到着時間差/強度 ==> 所；

信号強度と推定地震源の距離 ==> 規模を推定し、震度/被害を推定する。

有望な観測法(2) 人工衛星による成層圏/電離層の観測

- ねらい:** 人工衛星を使って、全球規模で観測し、大規模地震を予知する。
大規模地震の観測機会は、各国では少ないが、地球規模では1桁多い。
大規模地震は被害甚大だから、予知し減災する意義が大きい。
大規模地震に対しては、局所的な観測法よりはるかに有効である。
- 現象:** 圧電効果による地殻の電場変動が、地上/大気圏/電離層/成層圏へと伝搬し、これらの電氣的性質を変える。
- 研究体制:** 日本ではJAXAや産総研などが推進している。国のプロジェクト。
世界では、米・仏・中などが先行している。国際協力が有益/必要。
- 立場:** 注目すべき方法だが、当学会が独自に進められる規模でない。
本発表の計画には含めない。

おわりに： 今後の課題

地震予知の研究の確実/迅速な推進が、近い将来の減災のために重要である。

日本地震予知学会としても、テーマや方針を討論・判断し、研究プロジェクトを立ち上げるとよい。

「地中電場の変動現象」は、地震の「前兆現象」として最有望で発展性がある。

当面の目標は、複数の観測サイトを作り、観測装置を設置し、観測データを解析して、地震の前兆現象であることを実証し、地震予知の一つの方法として確立すること。

研究プロジェクトは、複数年の研究計画を立て、研究協力者／協力グループを集め、研究資金を得る必要がある。

一足跳びの計画ではなく、科学的に成果を実証しつつ、資金についても人についても、地道に着実に獲得・拡大していくのがよい。