

# 科学技術学術審議会測地学分科会における 地震発生先行過程の研究について

文部科学省研究開発局

地震・防災研究課

測地学分科会事務局

平成24年10月26日

# 背景

- 地震予知については、昭和40年度(1965年度)から、当時の文部省測地学審議会(現・科学技術・学術審議会)が、文部大臣(現・文部科学大臣)をはじめ関係大臣に建議した地震予知研究計画に沿って、大学法人や関係機関が協力・連携し、取り組んできた。
- しかしながら、平成7年(1995年)兵庫県南部地震を契機として、短期的な地震予知は当面できないと判断され、まずは地震の観測により、その発生メカニズムなどの解明とその結果としての地震動の予測に重点を置き、その成果を将来実現されるであろう地震予知につなげていくために、「地震予知のための観測研究計画」に一変され、現在に至る。



# 防災・減災のための地震研究

応用的  
実用的

競争的研究  
• 地震防災研究戦略プロジェクト  
• JST-JAICA  
他

政府主導の国家プロジェクト  
• 緊急地震速報  
• 津波予測  
• 長期予測  
• 強震動ハザードマップ  
• 「東海地震予知」

基礎的

「地震・火山噴火予知研究  
(建議)」

科研費:特別研究促進費

運営費・科研費等による学術研究(研究者の自由な発想な研究)

基盤的

基盤的モニタリングシステム:基盤的観測網  
Hi-net, GEONET.DONET,新海底地震津波観測システム、活断層調査

# 地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について（建議） の概要

## 地震予知研究

- 地震予知計画（第1～7次）（昭和40年度～平成10年度）
- 地震予知のための新たな観測研究計画（第1～2次）（平成11～20年度）
  - 地震発生に至る全過程の把握により、その最終段階で発現する現象を理解し、**地震発生の時期、場所、規模の定量的な予測**を目指す

## 火山噴火予知研究

- 火山噴火予知計画（第1～7次）（昭和49年度～平成20年度）
  - 火山の構造を把握し、前兆現象や噴火機構など火山活動の理解を深めることにより、**噴火の時期、場所、規模、様式及び噴火開始後の推移の定量的な予測**を目指す

### 現段階の目標到達度

- プレート境界で発生する大地震
  - 場所と規模の予測に一定の見通し
- 内陸地震
  - 発生機構のモデル化を開始

### 現段階の目標到達度

- 適切な観測体制が整備された火山
  - 噴火時期をある程度予測可能（噴火警戒レベルの導入）

## 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」

### ●二つの計画を統合した本計画のポイント

- 現計画の成果を引き継ぎ、地震予知研究及び火山噴火予知研究を着実に推進するため、**平成21年度から5年間を見据えた計画**
- 特に、これまでの基礎的な観測研究やモニタリングの成果に基づき、**「予測システムの開発」をより明瞭に志向した研究**を推進
- 共通する地球科学的背景を持つ**地震・火山現象を共同で観測研究**することは、**それぞれの現象理解に有効**
- 稠密な地震・地殻変動の観測網などの**研究資源を有効活用**することにより、**効率的で効果的な研究**を実施

### 地震・火山現象解明のための観測研究

予測システムの基礎となる観測研究を行う。

- ・日本列島及び周辺域での長期的・広域的現象
- ・地震・噴火に至る準備過程
- ・地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程
- ・地震発生・火山噴火素過程

### 地震・火山現象予測のための観測研究

モニタリングを更に発展させ、そのデータを用いて**地震・火山現象の予測システムを開発**する。

- ・モニタリングシステムの高度化
- ・地震発生・火山噴火予測システムの構築
- ・データベースの構築

### 新たな観測技術の開発

地震・火山噴火予知に資する**新たな観測技術の開発**を行う。

- ・海底における観測技術の開発と高度化
- ・宇宙技術等の利用の高度化
- ・観測技術の継続的・高度化

### 計画推進のための体制の強化

計画推進体制の整備

観測研究体制の強化

予算・人材の支援

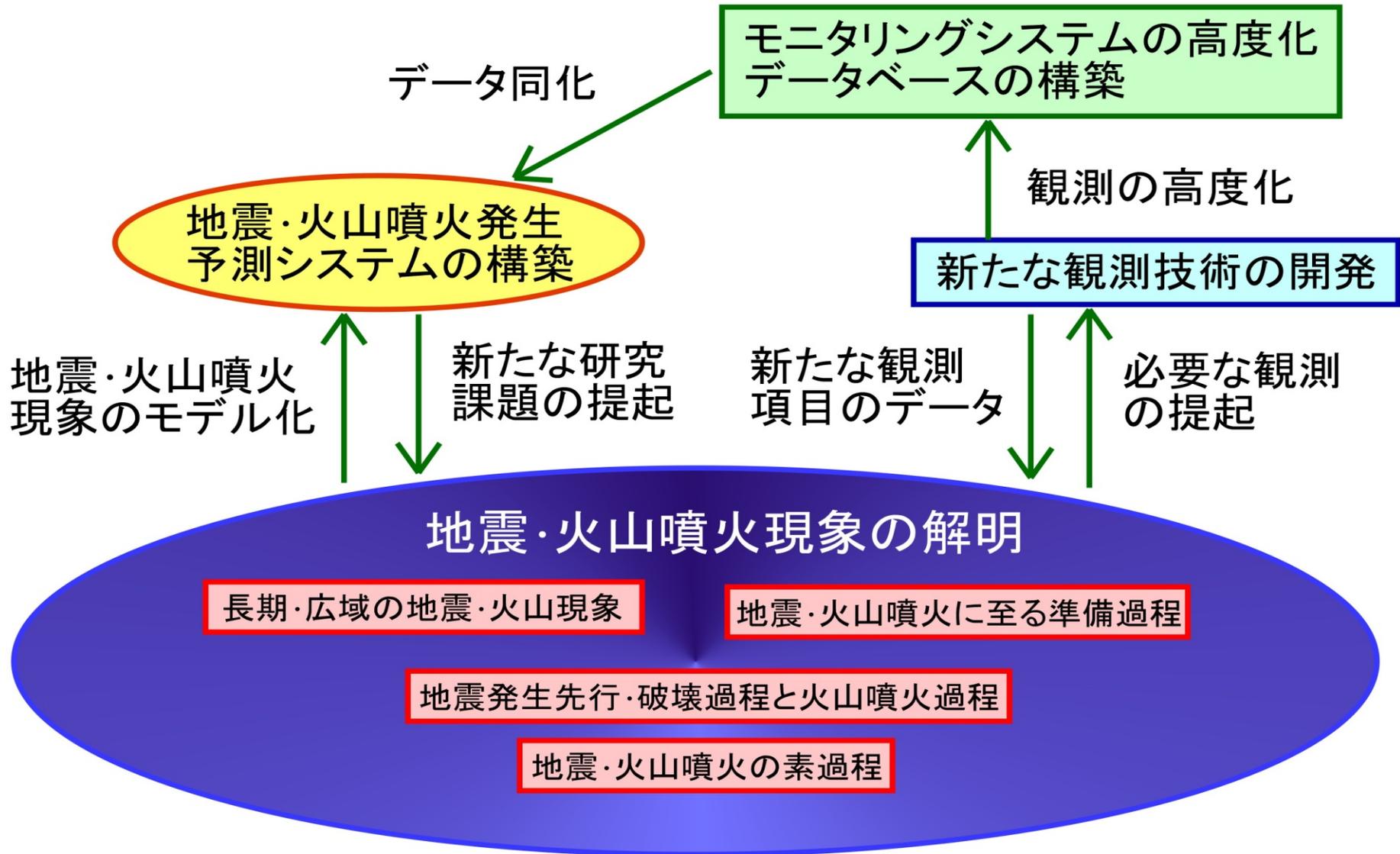
人材の養成・確保

国際協力・共同研究の推進

研究成果の社会還元

安全・安心な社会の実現に寄与

# 地震及び火山噴火予知のための観測研究



# 地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議) (平成20年7月17日 科学技術・学術審議会)

## 1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

- (1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化
- (2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築  
地震発生予測システム, 火山噴火予測システム
- (3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

## 2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

- (1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象
- (2) 地震・火山噴火に至る準備過程  
地震準備過程, 火山噴火準備過程
- (3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程  
地震発生先行過程, 地震破壊過程と強震動, 火山噴火過程
- (4) 地震発生・火山噴火素過程

## 3. 新たな観測技術の開発

- (1) 海底における観測技術の開発と高度化
- (2) 観測技術の高度化
- (3) 宇宙技術等の利用の高度化

## 4. 計画推進のための体制の強化

- (1) 体制の整備・強化
- (2) 予算的措置
- (3) 人材の育成・確保
- (4) 国際共同研究・国際協力の推進
- (5) 研究成果の社会への還元

# 計画の骨子

全部で192の個別課題

- 1 地震・火山現象予測のための観測研究
- 2 地震・火山現象解明のための観測研究
  - (1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象
  - (2) 地震・火山噴火に至る準備過程
  - (3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程
    - (3-1) 地震発生先行過程
      - ア. **観測データによる先行現象の評価** . . . . . (7 課題)
      - イ. **先行現象の発生機構の解明** . . . . . (4 課題)
    - (3-2) 地震破壊過程と強震動
    - (3-3) 火山噴火過程
  - (4) 地震発生・火山噴火素過程
- 3 新たな観測技術の開発

# 地震発生先行過程

## 【目的】

- ・ 地震発生の予測の時間精度を高め、短期予測を可能にするためには、地震発生の直前に発生する非可逆的な物理・化学過程（直前過程）を理解して、予測シミュレーションモデルにそれらの知見を反映させ、直前過程に伴う現象を的確に捕捉して活動の推移を予測する必要がある。このために、地震に先行する地殻等の諸過程を地震発生先行過程と位置付けて研究し、そのメカニズムを明らかにして、特定の先行過程が地震準備過程や直前過程のどの段階にあるかを評価する研究を行う。

# 地震発生先行過程個別課題

[観測データによる先行現象の評価]			
①	地震に関連する電磁気現象の観測研究	北海道大学	茂木透
②	大地震サイクルと関連した地震活動変化の詳細な解明	東京大学地震研究所	鶴岡弘
③	地殻流体のフラックス測定に基づいた化学的地震先行現象発現機構の解明	東京大学大学院理学系研究科	田中秀美
④	地震波干渉法による構造変化の検出手法の開発	京都大学防災研究所	大見士朗
⑤	南アフリカ大深度金鉱山における準備期・直前期の地震破壊域近傍の岩盤挙動の観測	立命館大学	小笠原宏
⑥	電磁気学的広帯域先行現象の観測的検証とその発現メカニズムに関する研究	東海大学	長尾年恭
⑦	伊豆半島東部における地磁気全磁力及び自然電位観測	気象庁	笹岡雅宏
[先行現象の発生機構の解明]			
⑧	準静的滑りの時空間変化に基づく地震発生切迫度評価の研究	東北大学	内田直希
⑨	南アフリカ大深度金鉱山における応力パラメタの先行変化の発生機構の解明	東京大学地震研究所	加藤愛太郎
⑩	大地震サイクルと地震活動の関連を説明する物理メカニズムの提案	東京大学地震研究所	中谷正生
⑪	近畿地方北部における地殻活動異常と地震先行現象の関係の解明	京都大学防災研究所	片尾浩

# 地震発生先行過程の実施状況①

## 【観測データによる先行現象の評価】

大学は、鉱山の採掘に伴って発生する地震の震源域ごく近傍で地震・地殻変動を観測し、地震やゆっくり滑りの先行過程について調べた。また、日本全域の応力場を推定するために、国立大学観測網地震カタログ（JUNEC）のP波初動極性を用いて、1985年7月から1998年12月までに日本で発生した約14,000個の地震の発震機構解を推定し、カタログ化した。

大学は、巨大地震前にGPS観測で得られる総電子数（TEC）の異常が現れるかを検証した。また、地震発生に先行してVHF帯の電波が見通し外に伝播（でんぱ）する異常現象（地震エコー）を検出するために、観測手法の高度化と連続観測を実施した。

大学は、大気中ラドン濃度連続データから、気象由来の変動成分を評価することによって、地殻応力に起因する変動を推定するモデルを作成した。また、地下水溶解ガスの連続観測を継続するとともに、観測装置の改造を行った。大学と気象庁は、地殻構造の時間変化を監視する新しい手法として、地動の雑微動記録に地震波干渉法を適用し、観測点間の相互相関に基づいてプレート境界からの反射波を検出する試みを行った。

## 地震発生先行過程の実施状況②

### 【先行現象の発生機構の解明】

大学は、室内実験データの詳細な検討により得られた新しい摩擦則を用いて、地震活動の消長から応力変化を推定するための理論モデルを構築し、地震サイクルのシミュレーションを行った。

大学は、1995年（平成7年）兵庫県南部地震などの前後に微小地震活動度が大きく変化したことが指摘されている北近畿の丹波山地において、高密度の多項目観測を実施した。

防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は、西南日本における深部低周波微動と、その浅部延長にあるプレート境界巨大地震のアスペリティを載荷する深部の準静的滑りとの関係を明らかにするために、プレート境界深部の準静的滑り域の中に、多数の微小なアスペリティを仮定したシミュレーションを行った。

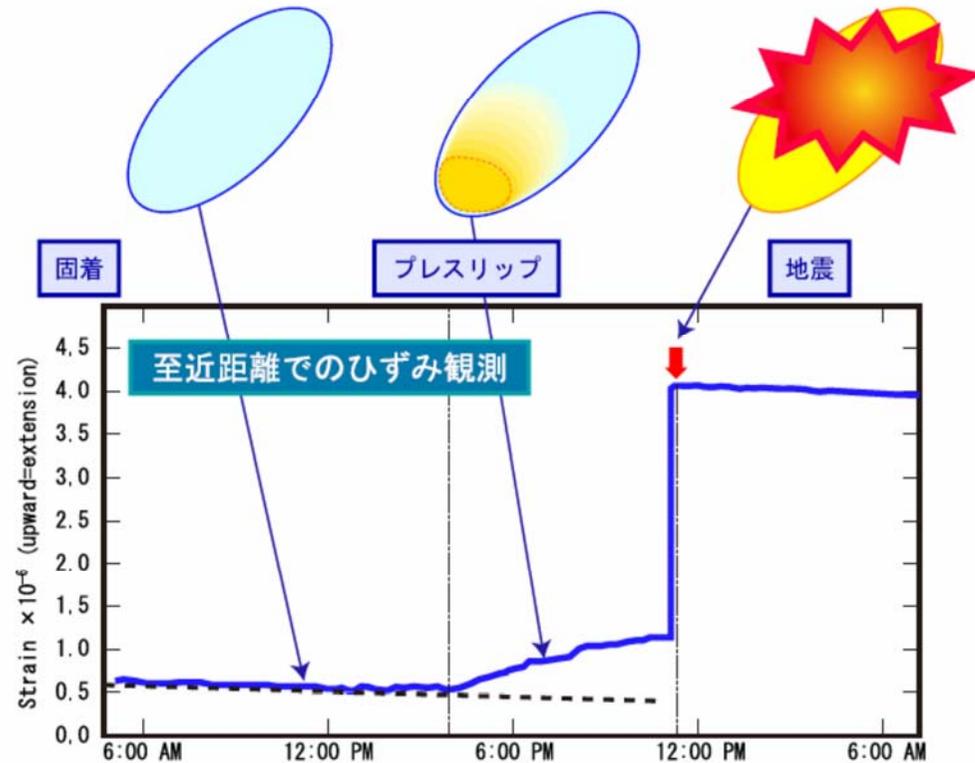
大学は、電磁気現象と地震発生との関連を明らかにするため、電磁場が応力によって変動する機構の理論的・実験的研究を進めた。

# 59

## 至近距離でのひずみ観測により捉えられたプレスリップ



南アフリカ金鉱山にひずみ計を設置

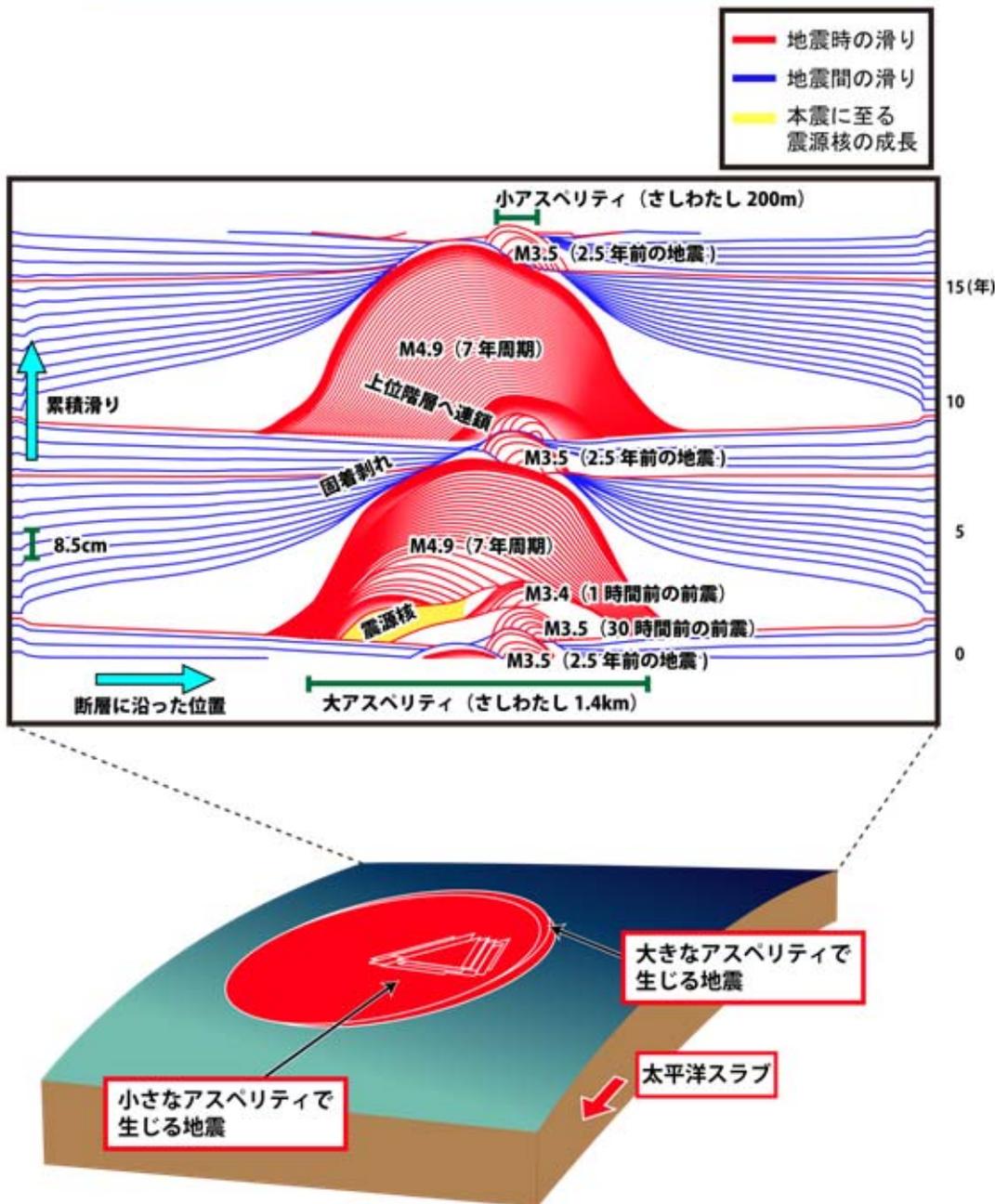


ひずみ計

南アフリカ大深度鉱山内で震源極近傍で観測されたひずみ記録

震源極近傍に設置したひずみ計で、地震前の明瞭なひずみ変化が捉えられた。ただし、これまで極近傍観測において、より大きな地震に対して先行ひずみが観測されなかった例も多数確認されている。

階層的不均質断層モデルにおける震源核成長

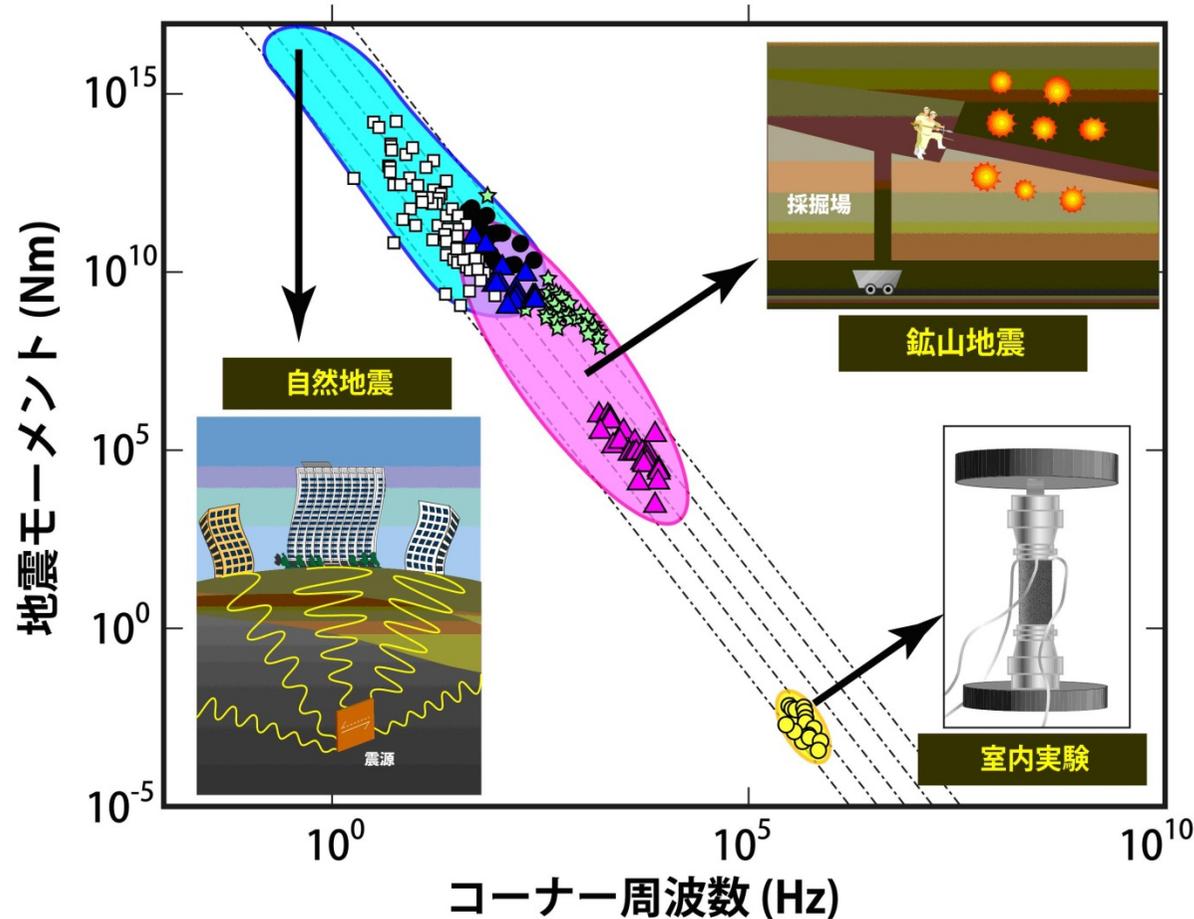


階層的不均質断層モデルにおける震源核成長

横軸は断層の走向方向にとった距離、縦軸は各地点の積算滑り量を示す。赤線は地震発生時の0.1秒ごとの積算滑り量、青線は地震間の0.5年ごとの積算滑り量を表す。ただし、赤線は最大滑り速度が0.1 m/秒以上になった場合の0.01秒ごとの積算滑り量を示している。大きなアスペリティのなかに小さなアスペリティが存在する断層モデルでの地震サイクルシミュレーションの結果を示している。大きな震源核が準静的に成長して大地震に至る場合と、小地震が上位階層のアスペリティの破壊を動的にトリガーする場合とが交互に起きていることがわかる。

9

自然地震、鉱山地震、室内実験の規模依存性



コーナー周波数と地震モーメントの関係

実験室の花崗岩試料中で発生したAE(黄丸), 鉱山の地震(青三角, 緑星, 赤三角), 自然地震(白四角, 黒丸)のコーナー周波数と地震モーメントの関係。AE, 鉱山の地震, 自然地震で, この関係に大きな違いはない。点線は地震モーメントがコーナー周波数の $-3$ 乗に比例する関係(応力降下量一定)を示す。

# 地震発生先行過程の成果① レビュー報告書より

## 【観測データによる先行現象の評価】

- 南アフリカ大深度鉱山内で震源ごく近傍に設置したひずみ計では、従来からゆっくり滑りに相当するイベントについてはプレスリップが発生する事例が多数あったが、地震のプレスリップはこれまで見付けられていなかった。今回、M0.3の地震について、震源から20 m以内にあるひずみ計で、明瞭なひずみ変化が6.5時間前から開始した事例が見付かった。このことは、実験室以外でプレスリップが世界で初めて捉えられた可能性が高い。ただし、室内実験や数値シミュレーションで示されているような、地震発生が近づくとプレスリップが加速する現象は観測されなかった。また、このようなプレスリップが、より大きな地震に先行して観測されなかった事例も多数確認されている。今後は、どのような場合にプレスリップが起こるのかを、良質なデータを増やして十分に検討する必要がある。
- 2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）に際し、地震発生の約40分前から東北地方上空で最大10%程度の総電子数（TEC）の正の異常の報告があった。これは、GPS衛星が送信するマイクロ波の解析から推定されたものである。2004年スマトラアンダマン地震（M9.1）や2010年チリ地震（M8.5）でも、同様の異常が見られることが報告されている。一方で、東北地方太平洋地震の約10分後に大気音波が電離層に到達し、その後数10分続くTECの減少も観測されている。地震前のTECの正の異常と地震後の負の異常が連続して発現しているため、観測データの解釈には注意が必要であり、更に精査する必要がある。大地震による大気音波の擾乱（じょうらん）が電離層に到達して生じる変動のうち、周期数百秒の振動成分についてはモデルが提案されているが、数10分間継続するTECの減少機構は分かっていない。地震前にTECに正の異常が生じる機構を解明するとともに、地震後のTECの変動を定量的に説明するモデルの構築を行うことが必要であろう。
- M4以上の地震に対して地震エコーが観測された事例が、50以上収集できた。さらに、地震エコーの継続時間の総和と発生する地震のマグニチュードの間に関係があることが報告された。
- 新たにカタログ化された発震機構解を用いると、静的クーロン応力変化と地震活動変化の相関が明瞭になり、応力場解析が地震活動の予測に有効であることが示された。また、地震波干渉法によりモホ面や地殻内反射面からの信号が認められ、地殻構造の時間的変化検出の可能性が示された。

# 地震発生先行過程の成果② レビュー報告書より

## 【先行現象の発生機構の解明】

- 新たに提案された摩擦則を用いて、単一バネ - ブロックによる地震サイクルのシミュレーションを行った結果、従来の摩擦則に比べてサイクル後半の固着がより一層小さくなることが示された。さらに、固着度の低下はサイクルの後半約1/3の期間で著しく加速するため、なんらかの方法で固着度を観測できれば、地震サイクルの中でどの段階にあるかを、推定できる可能性がある。
- シミュレーションにより、西南日本の深部低周波微動の活動域が移動する現象が再現できた。また、巨大地震発生前には、上記の固着度の低下に伴い、深部低周波微動の発生間隔が短くなる可能性が示された。
- 微小破壊を伴わない条件で岩石試料を加圧する室内実験を行い、正孔電荷キャリアの拡散により起電力が発生する可能性が示された。また、伊豆諸島の電位観測では、地震の発生場所により地電位異常の極性が決まることが分かった。2011年東北地方太平洋沖地震が発生した際、地震波の到来に伴う顕著な地電位の変化が検出された。

## 観測データによる先行現象の評価

### ●H21年度

南アフリカの大深度鉱山では、大規模な採掘により短期間で大きな応力変化がおこり、多数の地震が誘発されるため、採掘部の至近距離で地震を観測し、2台のひずみ計から25m以内で発生したマグニチュード0.3の地震の6時間半前から、顕著な非地震性の変化が捉えられた。

地震の発生に先行してVHF帯の電波が異常に長距離まで伝播する現象を、複数の観測点で捉えた。

### ●H22年度

南アフリカ大深度鉱山で観測された先行現象は、地震によるひずみ変化の極性と、地震に先行するひずみ変化の極性が一致していることなどから、天然の地質構造の中で発生した地震の前駆滑りが、世界で初めて明瞭に捉えられた例である可能性が非常に高いが、前駆滑り加速する振る舞いは見られなかった。

規模の大きい地震の数日前に電離層に存在する総電子数の日変化の振幅が小さくなることが、海外の事例も含めて幾つか観測された。

### ●H23年度

破壊成長抵抗の分布に階層的な不均質を与えた断層のモデルを用いたシミュレーションを行った(図11)。その結果、準静的な大きな震源核形成を経て大地震が発生する場合と、小地震が上位階層のアスペリティの破壊を誘発する場合とが交互に起こることが見いだされた。つまり、たとえ階層構造が存在しても、階層が下位のアスペリティから破壊がいつも始まるわけではなく、最上位のアスペリティ自身の内部でプレスリップを伴いながら震源核が成長して本震に至るケースも可能であることを示した。

## 先行現象の発生機構の解明

### ●H21年度

帯水層中の状態の変化など様々な要因をモデルに組み込むことで、ラドン濃度の減少を定量的に説明することができた。

### ●H22年度

室内実験データの詳細な検討により、新たな摩擦測が提案された。この摩擦測を用いて、地震発生サイクルのシミュレーションで検証し、従来の摩擦測によるモデルと比較したところ、地震発生サイクル後半の固着状態の減少がかなり大きくなることがわかった。この摩擦測が正しければ、地震発生前の前駆滑りが大きくなるので、観測により検出できる可能性が従来考えていたことよりも高いことが分かった。

### ●H23年度

GPS観測データの解析によって、東北地方太平洋沖地震の約40分前から、震源域上空の電離圏で全電子数(TEC)が最大一割近く増大する異常が見つかった。同様の異常変化は2010年2月のチリ地震、2004年12月のスマトラ地震、1994年10月の北海道東方沖地震においても見いだされた。