

研究課題終了時評価表

1. 研究課題名：測地観測に基づく地殻活動イベントの検知能力に関する研究

2. 研究期間：平成23年4月 ～ 平成26年3月 （3年間）

3. 予算：特別研究経費 35,928千円 （3年間の総額）

4. 成果の概要

（1）地殻活動イベントの検知能力の検証

日本列島周辺のプレート境界域（以下「プレート境界域」という。）及び内陸主要活断層帯周辺（地震調査研究推進本部が長期評価を公表している110の活断層帯に含まれる活断層230本、以下「活断層帯周辺」という。）における断層すべり、活火山地域（日本の活火山総覧第4版に記載されている110の活火山、以下「活火山地域」という。）におけるマグマ溜りの膨張・収縮・貫入を、対象とする地殻活動イベントと想定し、既存の測地観測網によって検知可能な地殻活動イベントの場所と大きさの検証を行った。プレート境界域では、海岸線付近で検知能力が高いこと、海溝軸付近や内陸直下では低いこと、太平洋プレート上での検知可能な頻度が高い断層すべりの大きさはモーメントマグニチュード（以下「 M_w 」という。）6.8程度、フィリピン海プレートでは M_w 6.5程度であることが分かった。活断層帯周辺では、検知可能な頻度が高い断層すべりの大きさは M_w 6.0程度であること、すべりの発生場所が深いほど検知能力が低い傾向にあること、検知能力は観測点配置にも大きく依存することが分かった。活火山地域では、検知可能な頻度が高い体積変化量は220万 m^3 程度であること、マグマ溜りの場所が深いほど検知能力が低い傾向にあること、検知能力は観測点配置にも大きく依存することが分かった。

（2）地殻活動イベント表示・検索システム等の構築

（1）の検証において計算・解析を行った各地殻活動イベントに対して、イベントの発生によって生じる地殻変動の計算結果（以下「地殻変動表示システム」という。）及びイベントの検知能力結果（以下「検知能力表示システム」という。）を表示するシステム、地殻変動の計算結果を利用して想定される地殻活動イベントを検索するシステム（以下「検索システム」という。）を構築した。地殻変動表示システムは、想定する地殻活動に対して格子点、GEONET観測点、水準点での地殻変動の表示が可能で、地殻変動の把握や必要な観測場所の把握等への活用が見込まれる。検知能力表示システムは、検知可能なイベントの場所と大きさが表示可能で、地殻活動の検知能力の良否場所の把握や観測精度向上の目安の把握等への活用が見込まれる。検索システムは、1～10点の観測点の地殻変動データを与えることで、想定された地殻活動イベントの検索及び各イベントによる地殻変動の計算結果の表示が可能で、地殻変動の発生メカニズムの早期把握を通して、災害発生前の迅速な対応及び適切な防災・減災対策への寄与が期待される。

5. 当初目標の達成度

（1）当初計画における目標

本研究では、地震・火山噴火等の自然災害による被害軽減を目指して、先行現象の早期検出及び先行現象の推移予測の精度向上に寄与することを目的とし、想定される地震・火山噴火の先行現象（先行すべり、スロースリップ、マグマの膨張・収縮等）を含めた地殻活動イベントの検知

能力を検証し、検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにすることを目標とした。

(2) 最終達成度

イベントの発生場所は、プレート境界域、活断層帯周辺、活火山地域についてそれぞれ以下の通りとした。プレート境界域は、太平洋プレート上の深さ0～120km、フィリピン海プレート上の深さ0～60kmの日本列島全域をカバーする総計12,248点にすべりの候補点を配置した。活断層帯周辺は、110の活断層帯に含まれる230の各活断層において想定される最大地震の断層面上にすべりの候補点総計36,008点を配置した。活火山地域では、110の活火山の各火口を中心とした約15km四方、深さ10kmまでの領域にマグマ溜りの候補点総計69,300点を配置した。イベントの大きさは、プレート境界域及び活断層帯周辺では、断層すべりの大きさ M_w 5.5～7.5、 M_w 5.0～7.0を想定した。活火山地域では、マグマ溜りの膨張・収縮の体積変化量20万～420万 m^3 、マグマの貫入量の大きさ10～100cmを想定した。以上の日本列島全域で想定される断層すべり・マグマ溜りの候補点での最小イベントの大きさの算出を行うことで、「検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにする」という目標を達成した。

6. 成果公表状況

研究報告書	4件
発表論文	0件
学会発表	4件
特許等	0件

7. 成果活用の見込み

(1) 活用見込み

本研究で実施した計算・解析成果は、地殻変動表示システム、検知能力表示システム、検索システムとしてシステム構築され、それぞれのシステムは各地殻活動イベントによる地殻変動の把握、必要な観測場所の把握、地殻活動イベントの検知能力の良否場所の把握、観測精度向上の目安の把握等に活用が期待される。特に、検索システムは数点の観測点の地殻変動データから想定された地殻活動イベントの検索が可能であり、通常とは異なる変動が検知された際に、変動メカニズムの早期把握が可能であり、災害発生前の迅速な対応及び適切な防災・減災対策へ寄与することが期待される。

(2) 活用実績

前記の活用見込みに挙げた事項は、以下の国土地理院事業へ活用された。

- ・電子基準点測量事業への活用：電子基準点喪失時の復旧の必要性（2011年9月13日台風12号による大塔観測点（奈良県）の喪失の影響評価）に関して、プレート境界域の検知能力の検証結果が、プレート境界面上の断層すべりによる地殻変動監視への影響評価の定量的な判断材料として活用された。
- ・地震防災対策強化地域高精度三次元測量事業への活用：GNSS観測と水準測量に基づいた地殻活動監視の優位性に関する検討（御前崎、東海地方の水準測量のあり方について、静岡県が実施する菊川水準のあり方について、房総半島の水準測量のあり方について）に関して、プレート境界域の検知能力の検証結果が（GNSS観測と水準測量の比較）、プレート境界面上の断層すべりによる地殻変動監視の優劣を示す定量的な判断材料として活用された。

- ・高精度三次元連続観測事業及び電子基準点測量事業への活用：GEONETと高精度比高連続観測に基づいた地殻活動監視の優位性及び観測点の移設候補地の選点に関する検討に関して、プレート境界域の検知能力の検証結果が（GEONETと高精度比高連続観測の比較）、プレート間固着状態の監視の優劣及び観測点の移設候補地の優先度を示す定量的な判断材料として活用された。
- ・観測点設置候補地の選点：2013年初旬より低周波地震活動の活発化、膨張性の地殻変動が観測されはじめた八甲田山周辺へのGNSS観測点の選点において、既存の観測点の変動量からのマグマ溜りの場所と膨張量の検索結果（検索システム試作版による）及び地殻変動の計算結果が（地殻変動表示システムによる）、最も適切な設置場所の選点に活用された。

8. 達成度の分析

（1）有効性の観点からの分析

本研究の成果は、地殻活動イベントの検知能力の観点から、異なる測地観測手法の優劣や想定されるイベントの検出に適した観測場所の判断材料を定量的に提供可能である。こうした情報は、適切な観測手法・場所や新点の設置及び移設候補地の選点において、有効な情報としてすでに活用されている。また、本研究で開発したシステムは、変動メカニズムのモデル、先行現象か否かの判断材料、先行現象の有無の判断材料を迅速かつ定量的に提供可能である。通常とは異なる変動の検出時の変動メカニズムの把握や先行現象か否かの判断、地震・火山噴火の発生後の先行現象の有無の判断において、有効な情報として活用されることが考えられる。

（2）効率性の観点からの分析

想定される地殻活動イベントの検知能力の検証に際して、既存の研究成果（プレート形状、震源断層・火山噴火モデル等）、公表されている成果（長期評価等）を活用し、イベントの発生場所と、発生様式を絞り込むことで検知可能なイベントの場所と大きさの定量的な把握を効率的に実現することができた。また、膨大な量の計算結果の可視化に際して、パラメータの選択によって結果を表示するシステムを構築することで効率的に成果をまとめることができた。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

地殻活動イベントによって生ずる地殻変動の計算は、半無限均質弾性体の仮定の下に実施した。近年の研究成果によると、活断層帯周辺や火山地域等で特に浅い場所で発生する地殻活動イベントの解析では、地下の物性の不均質構造や地形の影響等が問題視されている。今後、こうした地下の物性の不均質構造や地形の影響等を考慮した地殻変動の解析、簡便に計算が実施できるプログラム開発が必要である。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

11. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

TEL：029-864-1111(内8241)

FAX：029-864-2655

平成 23 年度～平成 25 年度特別研究
「測地観測に基づく地殻活動イベントの検知能力に関する研究」
に関わる成果公表リスト

[研究報告書]

国土地理院調査研究年報（平成 23 年度，平成 24 年度，平成 25 年度予定）

地震及び火山噴火予知のための観測研究計画，平成 23 年度年次報告，6014 プレート境界面上
の滑りと固着の時空間変化の把握

[発表論文]

（査読付き）

（査読無し）

[学会等発表]

水藤尚（2011）：GEONET による太平洋プレート上での断層すべりの検知能力，日本地球惑星
科学連合 2011 年大会．

水藤尚（2011）：GEONET による日本列島周辺のプレート境界面上の断層すべりの検知能力，
2011 年度日本地震学会秋季大会．

水藤尚（2011）：GEONET による内陸活断層帯周辺での断層すべりの検知能力，日本測地学会
第 116 回講演会．

水藤尚（2012）：GEONET による主要活断層帯周辺での断層すべりの検知能力，2012 年度日本
地震学会秋季大会．

[その他]

（地震予知連絡会会報）

国土地理院，2011，東北地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，第 86 巻，222．

（地震予知連絡会提出資料）

第 190 回地震予知連絡会国土地理院資料 2-8 ページ（2011 年 4 月）

（南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会）

水藤尚，GEONET によるプレート境界面上の断層すべりの検知能力，南海トラフ沿いの大規模
地震の予測可能性に関する調査部会第 2 回（2012 年 8 月 6 日）

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会（報告 別冊—参考資料—）委員
提供資料集，186-202，2013 年 5 月．

測地観測に基づく地殻活動イベントの 検知能力に関する研究

国土地理院 地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室

【研究期間】

平成23年4月～平成26年3月（3年間）

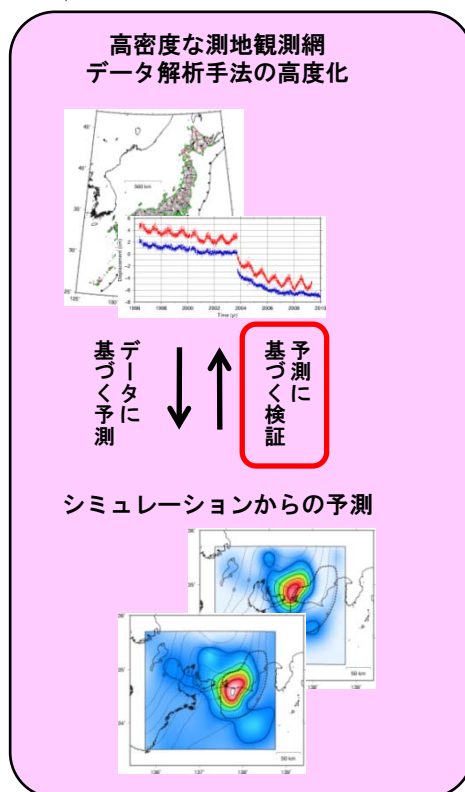
【予算】

特別研究経費35,928千円（3年間の総額）

研究背景・必要性 …… 先行現象はどこまで検知できるのか？



地震・火山噴火による被害軽減
← 先行現象を捉えることができれば、
適切な対策を講ずることで被害軽減が可能



- ・数値シミュレーションからは、
地震発生前に先行現象が発生する可能性が指摘されている
- ・観測網の整備と解析手法の高度化が実現
しかし、
- ・地震発生前に先行現象に伴う明瞭な地殻変動が観測され、
災害の発生予測に至った事例はない

- 先行現象に伴う明瞭な地殻変動が捉えられていないのは
- ・実際に先行現象が発生しなかったのか
 - ・先行現象を捉えるための観測網・観測精度が不十分なのか

先行現象はどこまで検知できるのか？
・定量的な検証が必要

研究目的・目標

研究目的・目標

地震・火山噴火等の自然災害の軽減を目指して、
先行現象※の早期検出および推移予測の精度向上への寄与
を目的とし、
地殻活動イベント※の検知能力を検証し、
検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにすること
を目標とした

※先行現象

本研究では先行現象として、
測地観測によって検出可能な地殻活動イベント※を想定
→ GNSS連続観測(GEONET)、水準測量

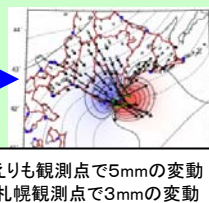
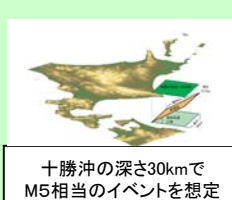
※地殻活動イベント

- ①日本列島周辺のプレート境界域 (**プレート境界域**)
プレート境界面上の断層すべり
- ②内陸主要活断層帯周辺 (**活断層帯周辺**)
内陸活断層周辺での断層すべり
- ③活火山地域 (**活火山地域**)
活火山地域におけるマグマ溜りの膨張・収縮・貫入
- ④過去の地震・火山噴火発生場所

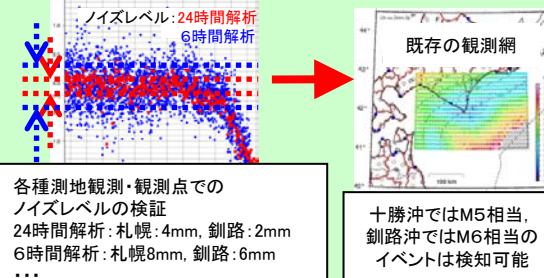
(1)地殻活動イベントの検知能力の検証

直営にて実施

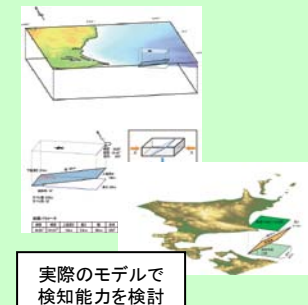
1)地殻活動イベントによる地殻変動の計算



2)地殻活動イベントの検知能力の検証



3)過去の地震・火山噴火モデルの検証

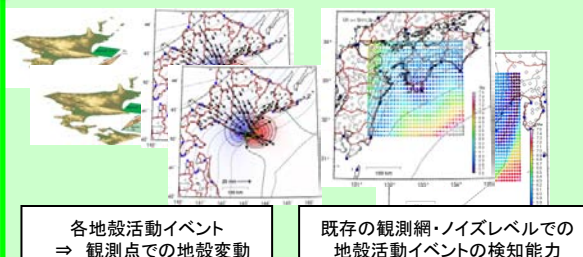


4)データセットの格納

4)データセットの格納

4)データセットの格納

外注にて実施



(2)地殻活動イベント等検索・表示システムの構築

4. 成果の概要

成果(1)地殻活動イベントの検知能力の検証

= 各地殻活動イベントの検知可能なイベントの場所と大きさ
 → 検知可能な最小のイベントの大きさ=検知能力の把握

①プレート境界域

→ プレート境界面上の断層すべりの場所と大きさ

②活断層帯周辺

→ 内陸主要活断層帯での断層面上での断層すべりの場所と大きさ

③活火山地域

→ 火山地域におけるマグマ溜りの膨張・収縮・貫入の場所と大きさ

④過去の地震・火山噴火発生場所

→ 過去の断層モデル・噴火モデルで検知能力を検証

成果(2)地殻活動イベント等検索・表示システムの構築

→ 上記(1)で実施した計算・解析結果の表示、イベントの検索

⑤地殻活動イベントによる地殻変動表示システム

→ 地殻活動によって生じる地殻変動の把握、必要な観測場所の把握

⑥地殻活動イベントの検知能力表示システム

→ 地殻活動の検知可能な場所と大きさ、
 良否場所の把握、観測精度向上の目安の把握

⑦地殻活動イベントの検索システム

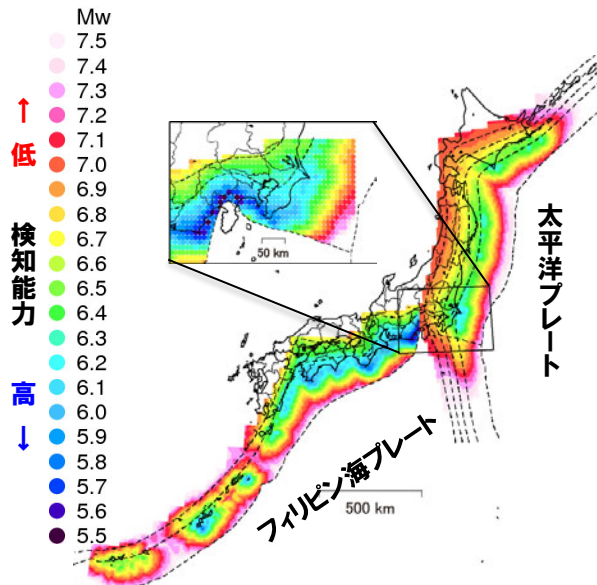
→ 地殻変動から地殻活動イベントの早期把握

成果(1)地殻活動イベントの検知能力の検証

検知可能な最小のイベントの発生場所と大きさ

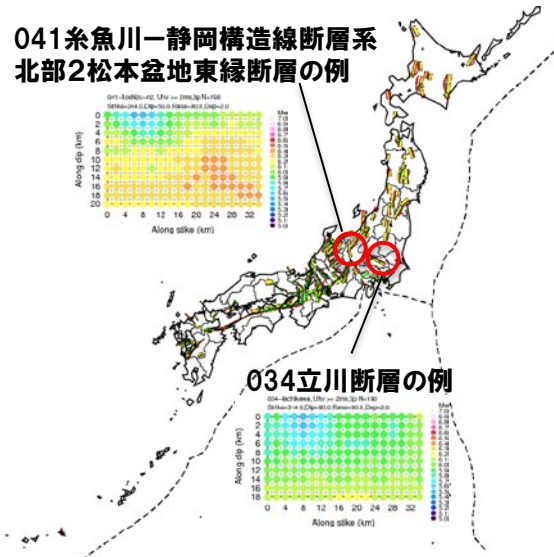
①プレート境界域

太平洋・フィリピン海プレート上



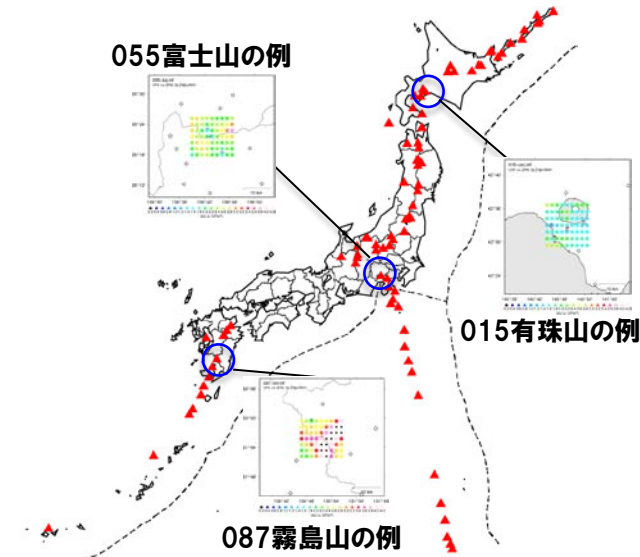
②活断層帯周辺

230の活断層の断層面上



③活火山地域

110の活火山地域



●成果

- ・海岸線付近で検知能力は高い
- ・海溝軸付近、内陸直下では低い
- ・フィリピン海プレート上の方が検知能力は高い

●成果(統計的に見ると)

- ・検知可能な頻度が高い大きさは $M_w 6.0$ ※
 $M_w 6.0$: 断層面(16km×8km)で33.5cmのすべりに相当
- ・すべりの発生場所が深いほど検知能力が低い傾向
- ・検知能力は観測点配置にも大きく依存

●成果(統計的に見ると)

- ・検知可能な頻度が高い体積変化量は $220万m^3$ ※
参考: 東京ドーム約1.8個分に相当
(東京ドームの体積124万 m^3)
2011年1月の霧島山噴火前の推定膨張量約700万 m^3
- ・マグマ溜りの場所が深いほど検知能力が低い傾向
- ・検知能力は観測点配置にも大きく依存
- ・観測点が設置されていない活火山が約30

成果(1)地殻活動イベントの検知能力の検証

④過去の地震・火山噴火発生場所

1)2007年3月25日能登半島地震の例

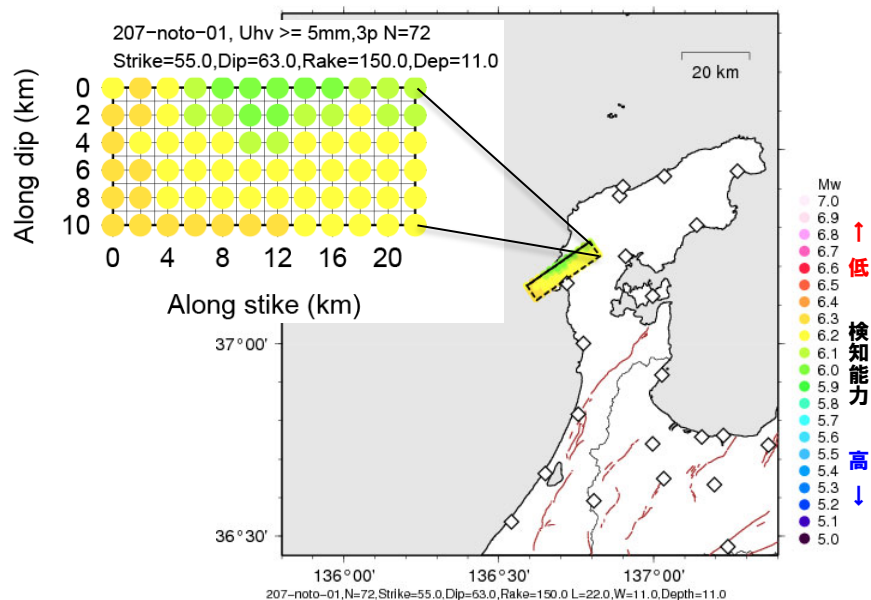


図1: 検知可能な断層すべりの場所と大きさの分布 ※

●**成果:**2007年能登半島地震の断層面上での断層すべりは少なくとも M_w 6.0以上でないと検知できない※

※GEONETに基づく
閾値5mm、観測点数3点の場合

2)2006年4月伊豆東部火山群の例

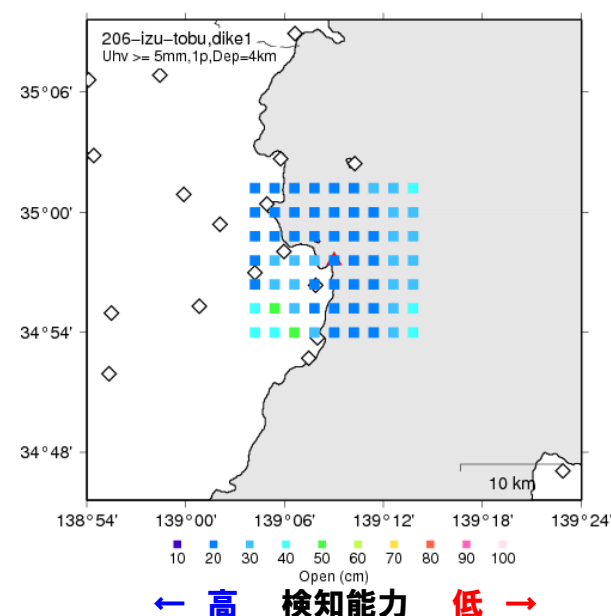


図2: 検知可能なマグマ溜りの場所と貫入量の分布 ※

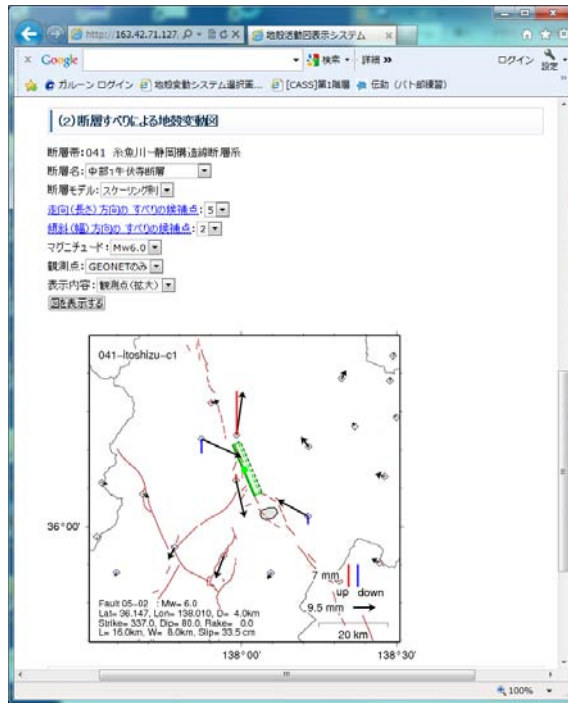
●**成果:**2006年4月の伊豆東部火山群へのマグマ貫入モデルは深さ4kmの場合には、少なくとも20cm以上の貫入がないと検知できない※

※GEONETに基づく
閾値5mm、観測点数1点、深さ4kmの場合

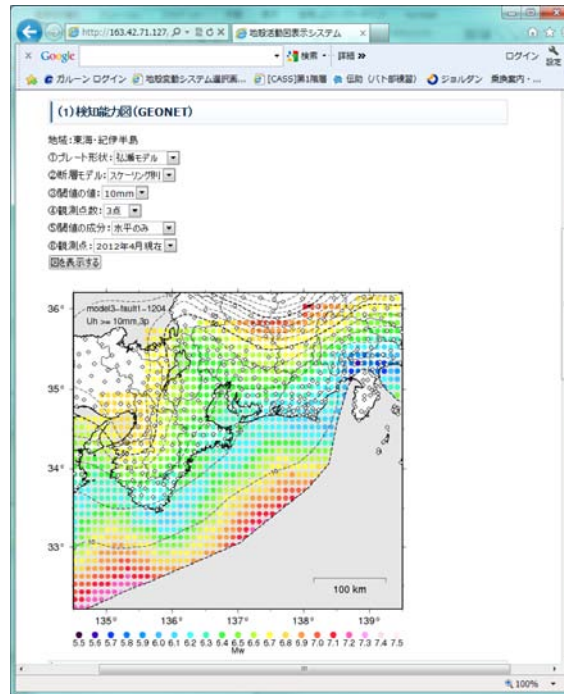
成果(2)地殻活動イベント等検索・表示システムの構築

(1)で実施した計算・解析結果の表示、イベントの検索

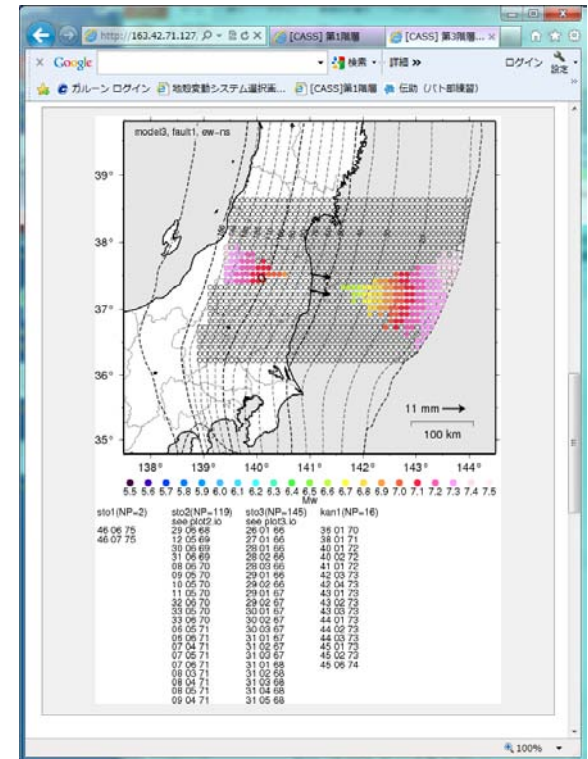
⑤地殻変動表示システム



⑥検知能力表示システム



⑦検索システム



各地殻活動イベントに対して
地殻変動の表示が可能
→ 地殻活動によって生じる
地殻変動の把握
→ **必要な観測場所の把握**

各地殻活動イベントの
検知可能な場所と大きさ、
検知能力の差の表示が可能
→ **検知能力の良否場所**
→ **観測精度向上の目安**

数点の地殻変動データから
想定した地殻活動イベントの
検索が可能
→ **地殻活動イベントの早期把握**

5. 当初目標の達成度

（目的・目標）

地震・火山噴火等の自然災害の軽減を目指して、
先行現象の早期検出および先行現象の推移予測の精度向上への寄与
を目的とし、地殻活動イベントの検知能力を検証し、
検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにすること
を目標とした

（達成度）

日本列島全域で想定される断層すべり・マグマ溜りの候補点

①プレート境界域(太平洋・フィリピン海プレート上12,248点)

②活断層帯周辺(230活断層帯36,008点)

③活火山地域(110活火山69,300点)

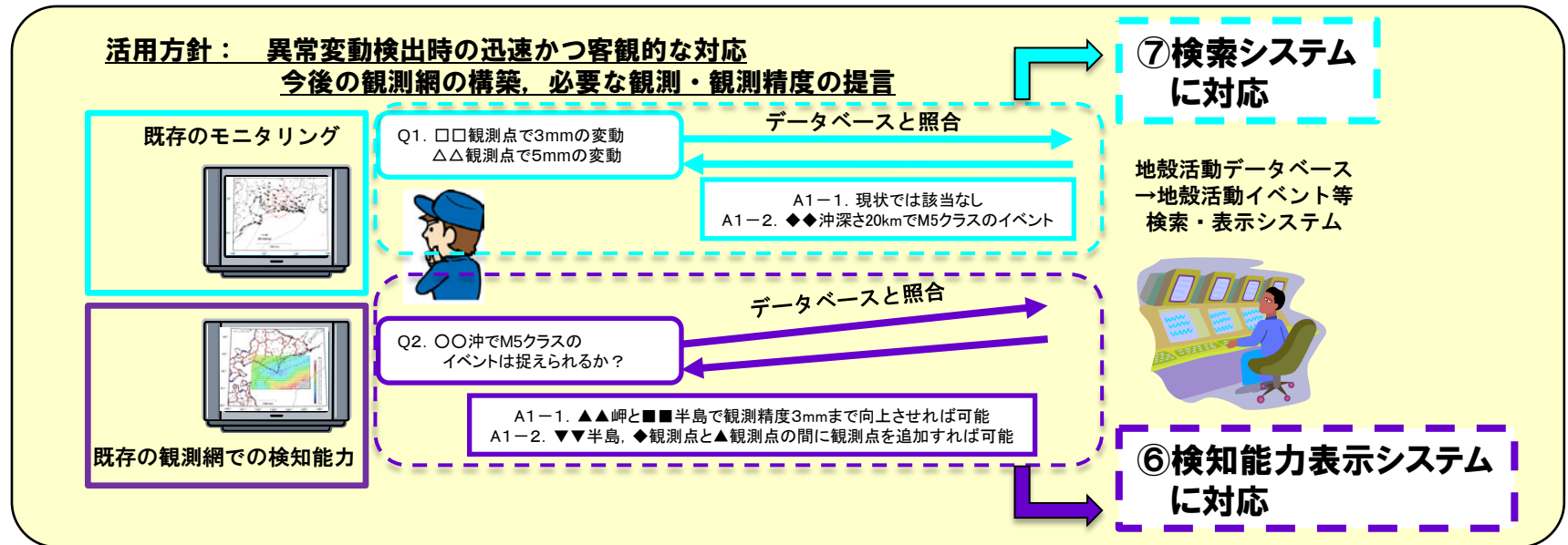
④過去の地震・火山噴火発生場所

での、最小のイベントの大きさの算出

→「検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにする」
という目標を達成

7. 成果活用の見込み(1)活用見込み

活用イメージ



- ⑤地殻活動イベントによる**地殻変動表示システム**
→ 地殻活動によって生じる地殻変動の把握、
必要な観測場所の把握
- ⑥地殻活動イベントの**検知能力表示システム**
→ 検知能力の良否場所の把握、
観測精度向上の目安の把握
- ⑦地殻活動イベントの**検索システム**
→ 地殻変動から地殻活動イベントの早期把握

- ・新点・臨時点・移設候補地の
選点時の参考資料
- ・地表の観測結果に対する地下の原因候補の
可能性の提示
→不確定さが大きいため、
他の観測結果も踏まえて
専門家による総合的な判断が必要

院内での運用

7. 成果活用の見込み (2)活用実績

(2)活用実績(研究実施期間中)

●電子基準点測量事業への活用

電子基準点喪失時(2011年9月13日台風12号による大塔観測点)の復旧の必要性

●地震防災対策強化地域高精度三次元測量事業への活用

GNSS観測と水準測量に基づいた地殻活動監視の優位性に関する検討

●高精度三次元連続観測事業及び電子基準点測量事業への活用

GEONETと高精度比高連続観測に基づいた地殻活動監視の優位性及び観測点の移設候補地の選点に関する検討

●観測点設置候補地の選点

2013年八甲田山周辺への観測点の設置候補地の選点

●地殻活動イベント発生の可能性の早期把握

東海地方における2013年3月以降の通常とは異なる微小な変動

観測点設置候補地の選点(2013年八甲田山周辺への観測点の設置)

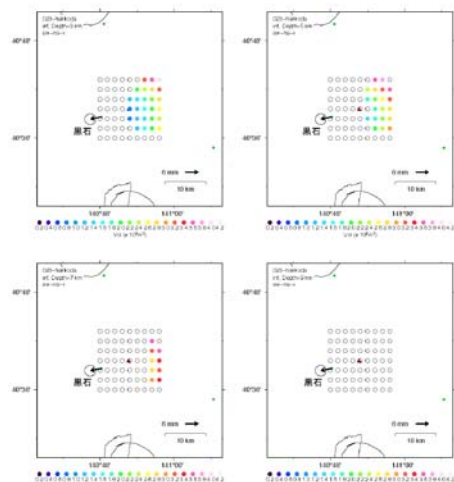
→ 検索システム試作段階における地殻活動イベントの検索結果と地殻変動表示システムによる地殻変動の把握

→ 適切な新点設置場所の判断材料 → 地殻活動の推移予測の精度向上へ寄与

第126回火山噴火予知連絡会

國土地理院

八甲田山周辺の地殻変動力源モデル



八甲田山周回の電子基準点「黒石」に西向き512mm、南向き1512mm、上下125mmの変動を想定した場合に、深さ30m、50m、70m、90mに0.2°間隔のグリッド点をそれぞれで球状膨張の体積増加量を算定した。

山体直下に力源があると仮定すれば、深さ30mでは山体直下に0.8 (x 10¹⁰N) の膨張力が算定される。

最大の体積増加量を4.2 (x 10¹⁰m³) とした場合、深さ50m以上では、山体直下の力源算定は不可能となる。

图2a: 格子点

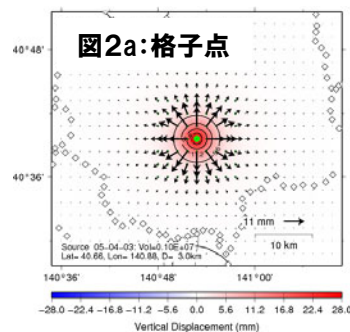


図2b: GEONET観測点

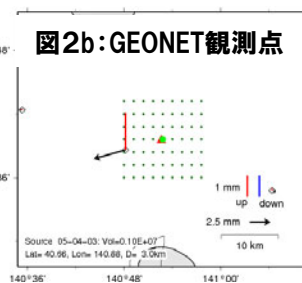


図2c:水準点

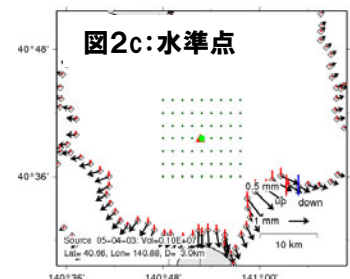
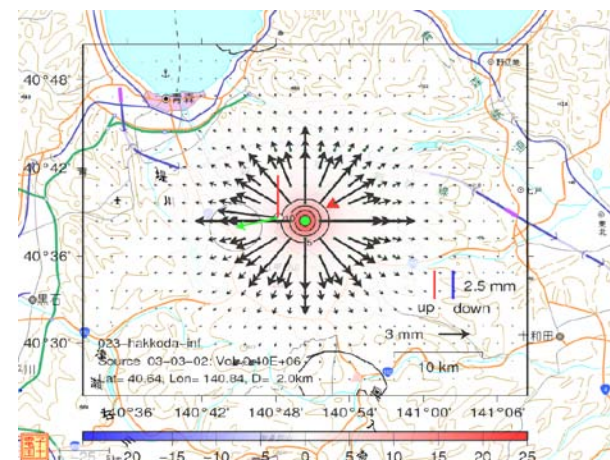
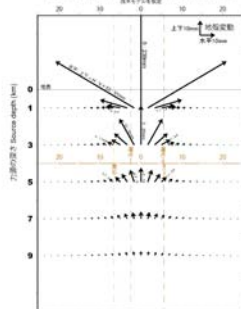


图2d: 断面图



3. 地理院地図上でより具体的な観測点設置候補地の選点 (変動が最も大きいと想定される位置の把握)

1. 観測された地殻変動(1点)から 想定されるマグマ溜りの 場所と大きさを検索

2. 想定されるマグマ溜りの膨張に伴う地殻変動の把握

→ 変動が最も大きいと想定される場所の把握

試作段階 ← | → 完成版

8. 達成度の分析

(1) 有効性の観点からの分析

- 本研究の成果は、地殻活動イベントの検知能力の観点から、
 - ・異なる測地観測手法の優劣
 - ・想定されるイベントの検出に適した観測場所
 の判断材料が定量的に提供可能である。こうした情報は、**適切な観測手法・場所、新点設置・移設候補地の選点**において、有効な情報として活用されている。
- 本研究で開発したシステムは、
 - ・変動メカニズムのモデル、先行現象か否かの判断材料、
 - ・先行現象の有無の判断材料
 を迅速かつ定量的に提供可能である。こうした情報は、通常とは異なる変動の検出時の**変動メカニズムの早期把握や先行現象か否かの迅速な判断、地震・火山噴火の発生後の先行現象の有無の判断**において、有効な情報として活用されると考えられる。

(2) 効率性の観点からの分析

- 想定される地殻活動イベントの検知能力の検証に際して
 - 既存の研究成果**(プレート形状、震源断層・火山力源モデル等)、**公表されている成果**(長期評価等)
 - を活用し**、イベントの発生場所・様式を絞り込むことで検知可能なイベントの場所と大きさの定量的な把握を効率的に実現することができた。
- 膨大な量の計算結果の可視化に際して、**パラメータの選択によって結果を表示するシステムを構築**することで効率的に成果をまとめることができた

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

地殻活動イベントによって生じる地殻変動の計算は、
半無限均質弾性体の仮定の下に実施した。

近年の研究成果によると、活断層帯周辺や火山地域等で
特に**浅い場所で発生する地殻活動イベント**の解析では、
地下の物性の不均質構造や地形の影響等が問題視されている。

今後、こうした地下の物性の不均質構造や地形の影響等を考慮した
地殻変動の解析、簡便に計算が実施できるプログラム開発が必要である。

参考資料

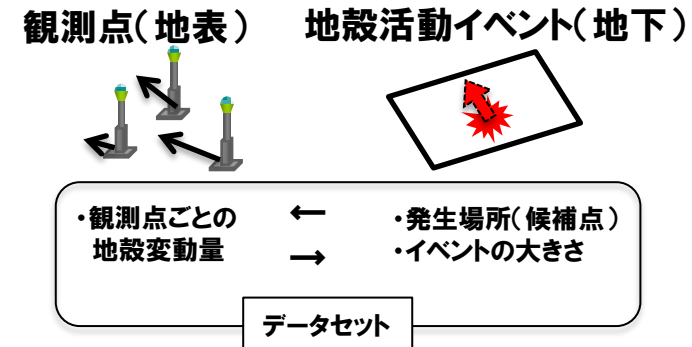
(A) 想定した地殻活動イベントによる地殻変動の計算

データセットの作成

- ・イベントの発生場所(候補点)と大きさ
- ・各観測点ごとの地殻変動量

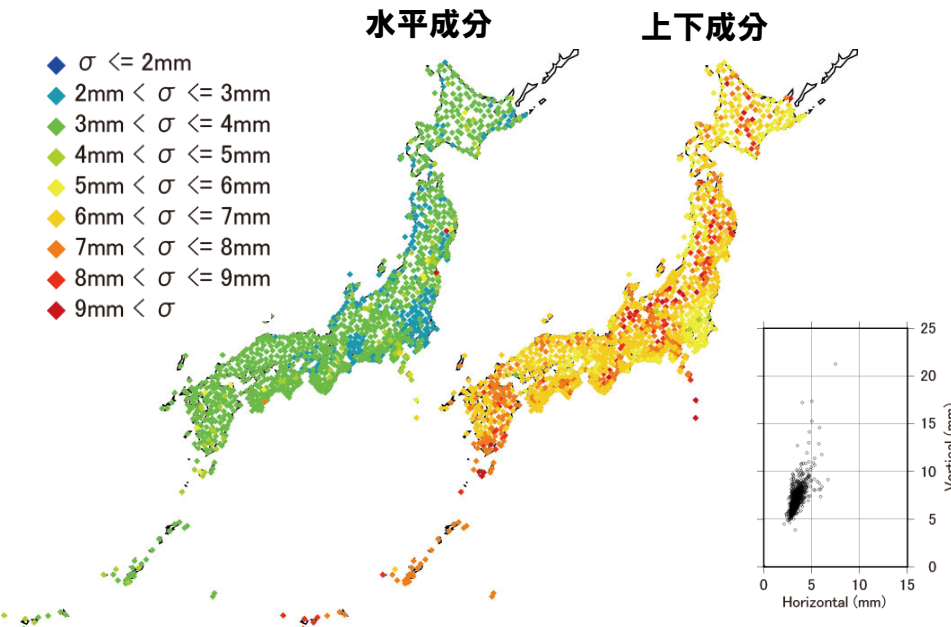
(B) イベントの検知基準の設定

- a) 閾値(U): 観測点でシグナルとみなす変動量の大きさ
 b) 観測点数(N) シグナルとみなす変動量が観測される観測点の数
 「**N点以上の観測点で閾値U、以上の地殻変動が算出される場合に、その候補点でのイベントは検知可能**」



(C) 地殻活動イベントの検知能力の解析

(A)のデータセットと(B)の判断基準から、
断層すべり・力源の候補点での**最小のイベントの大きさの算出**



a) 閾値の設定について(GEONETの場合)

- 全観測点一定の場合: 1~10mmまで1mm刻み、10~30mmまで5mm刻みに設定
- 各観測点で異なる場合: 左図
 σ : 各観測点ごと1年間の時系列データから平均変動速度からの残差二乗和を算出し、2006年と2010年の結果の平均値を使用
 ただし、
 ・片方しかない場合は片方の年の値
 ・2011年以降に設置された観測点は、最新1年間の値)

①プレート境界域の例

太平洋プレートとフィリピン海プレート上
すべりの候補点総数12,248点

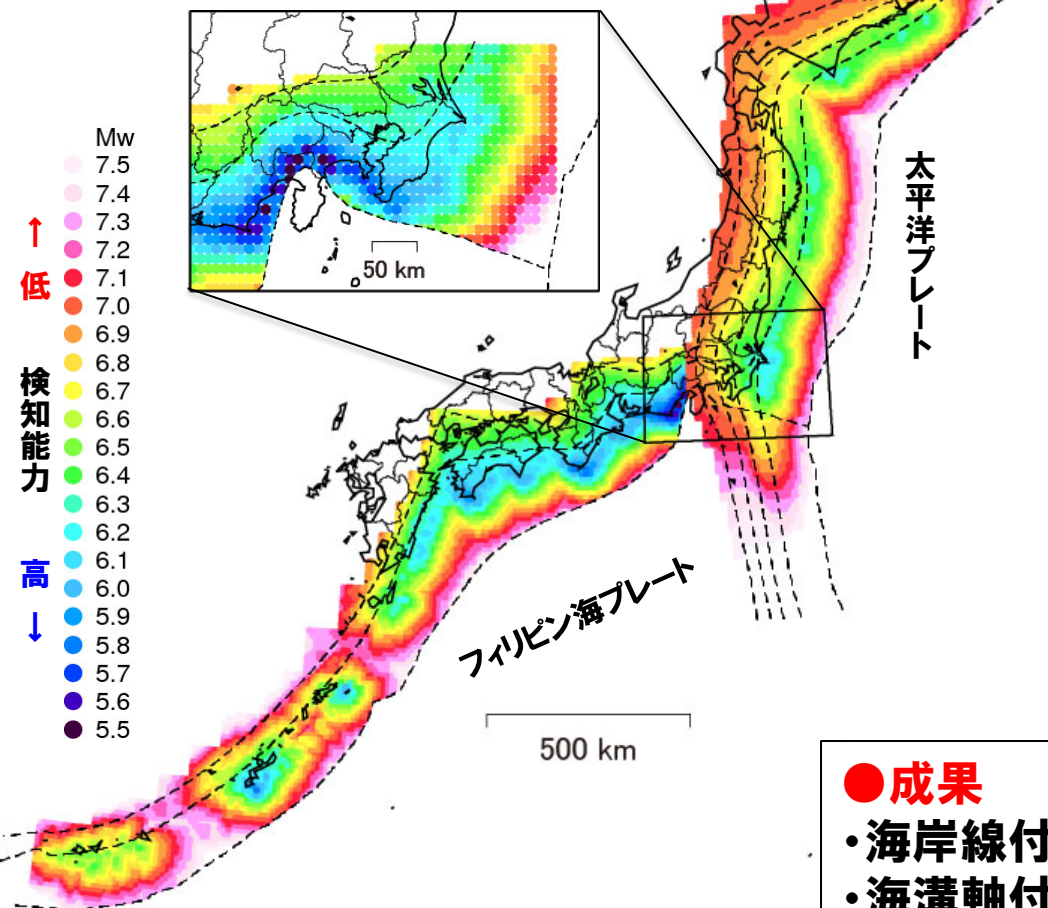


図1:プレート境界面上における
検知可能な断層すべりの場所と大きさ分布※

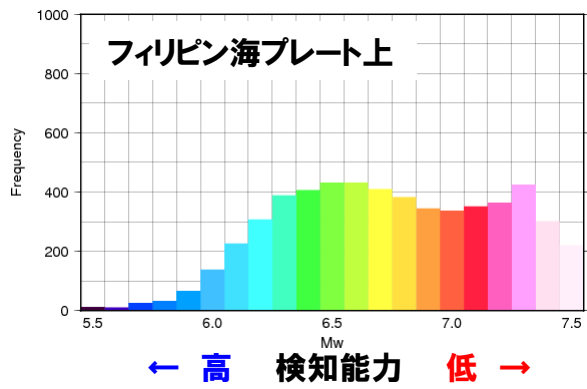
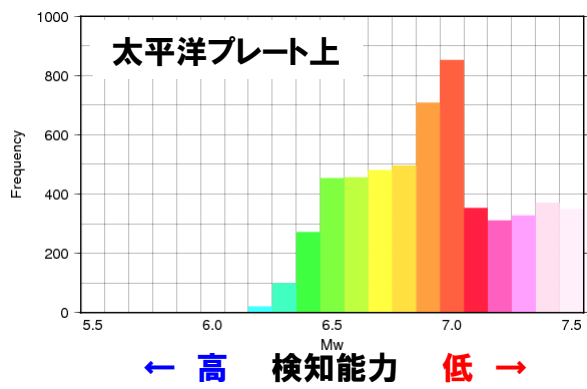


図2:検知可能な断層すべりの
大きさの頻度分布※

- 成果
- ・海岸線付近で検知能力は高い
- ・海溝軸付近、内陸直下では低い
- ・島と島の間等では低い
- ・フィリピン海プレート上の方が検知能力は高い
- ・フィリピン海プレートは検知能力のばらつきが大きい

※GEONETに基づく
閾値2σ、観測点数3点の場合

成果(1)地殻活動イベントの検知能力の検証

②活断層帯周辺の例

230の活断層の断層面上
すべりの候補点総数36,008点

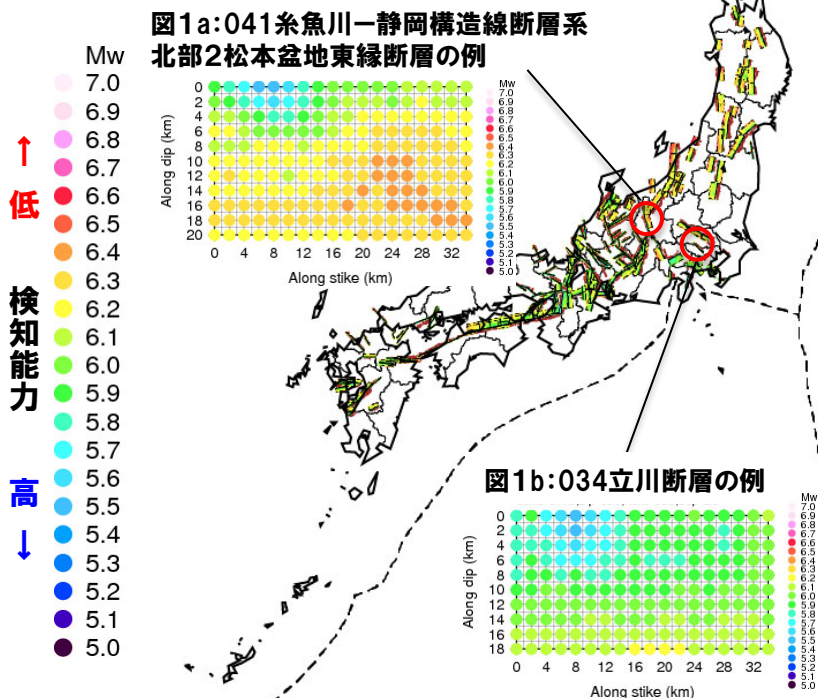


図1:各活断層帯における断層面上での
検知可能な断層すべりの場所と大きさの分布※

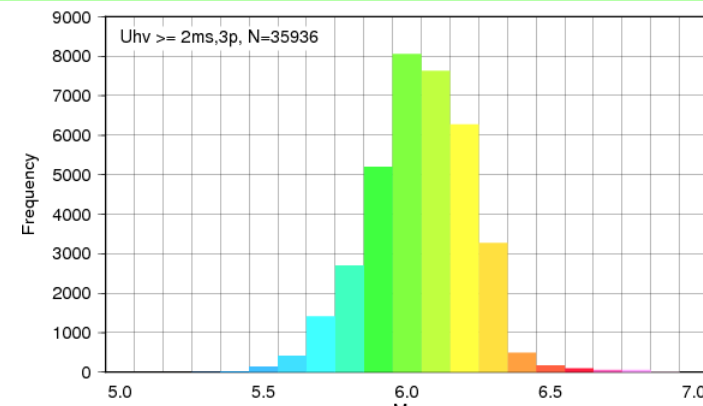


図2:検知可能な断層すべりの大きさの頻度分布※

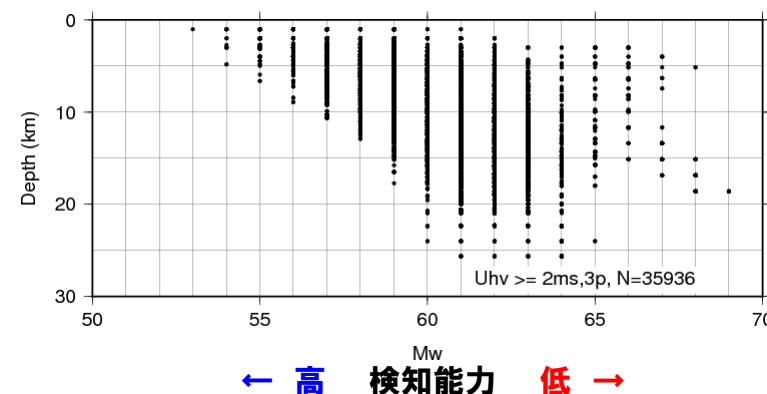


図3:検知可能な断層すべりの大きさの深さ分布※

●成果(統計的に見ると)

- ・検知可能な頻度が高い大きさは M_w6.0 ※
M_w6.0:断層面(16km×8km)で33.5cmのすべりに相当
- ・すべりの発生場所が深いほど検知能力が低い傾向
- ・検知能力は観測点配置にも大きく依存

※GEONETに基づく
閾値2σ、観測点数3点の場合

成果(1)地殻活動イベントの検知能力の検証

③活火山地域の例

110の活火山地域

各活火山の火口約15km四方深さ10km

マグマ溜りの候補点総数69,300点

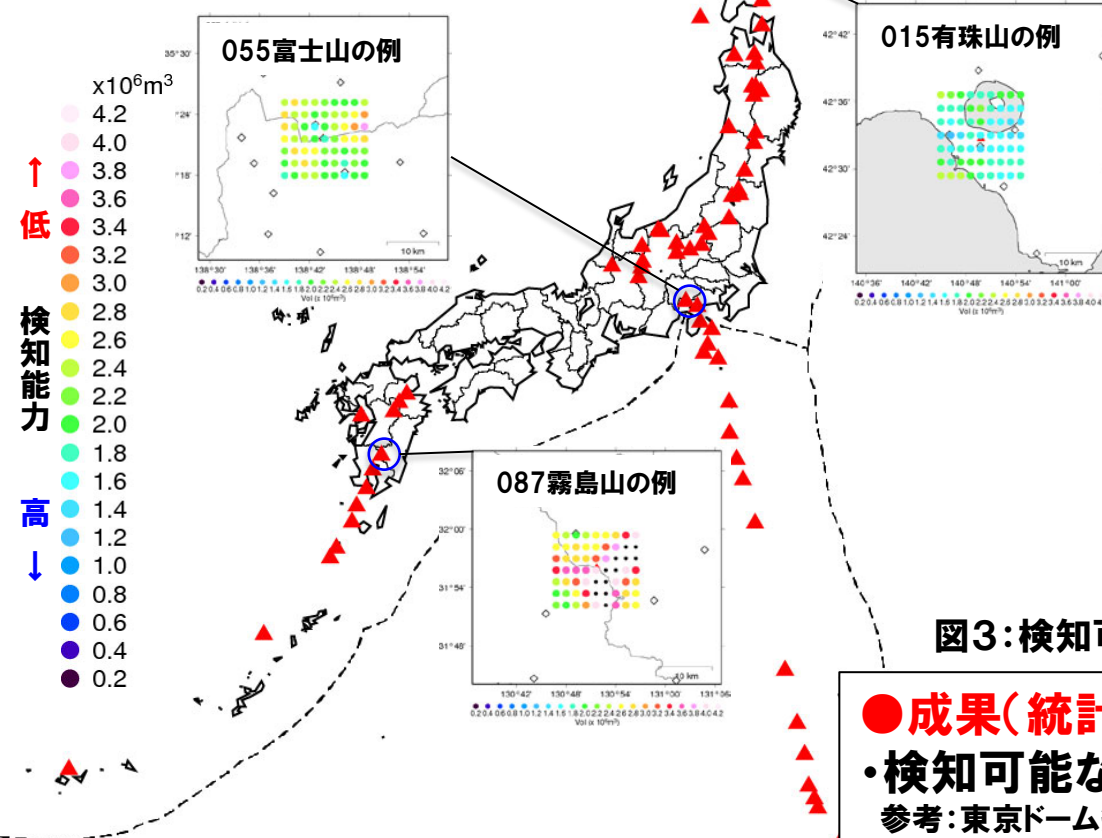
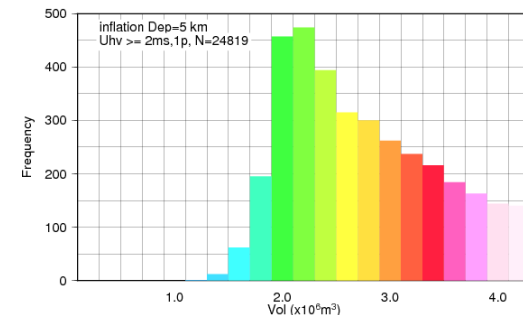
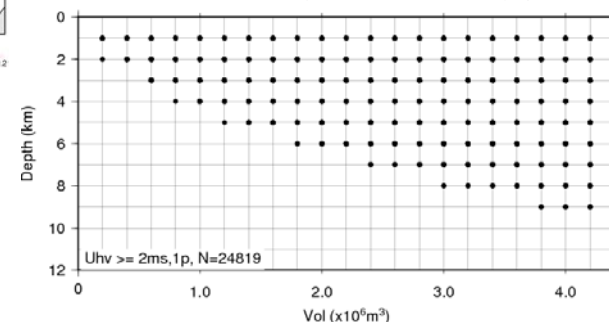


図1: 想定した活火山分布と検知可能なマグマ溜りの場所と体積変化量の分布の例※



← 高 検知能力 低 →

図2: 検知可能なマグマ溜りの膨張の体積変化量の頻度分布※



← 高 検知能力 低 →

図3: 検知可能なマグマ溜りの膨張の体積変化量の深さ分布

●成果(統計的に見ると)

・検知可能な頻度が高い体積変化量220万 m^3 ※

参考: 東京ドーム約1.8個分に相当(東京ドームの体積124万 m^3)

2011年1月の霧島山噴火前の推定膨張量約700万 m^3

・マグマ溜りの場所が深いほど検知能力が低い傾向

・検知能力は観測点配置にも大きく依存

・観測点が設置されていない活火山が約30

※GEONETに基づく

閾値2 σ 、観測点数1点、深さ5kmの場合

検知能力の成果 ③活火山地域

Sub-slide 20

⑤地殻活動イベントによる地殻変動表示システム

→ 各地殻活動イベントに対して地殻変動の表示が可能

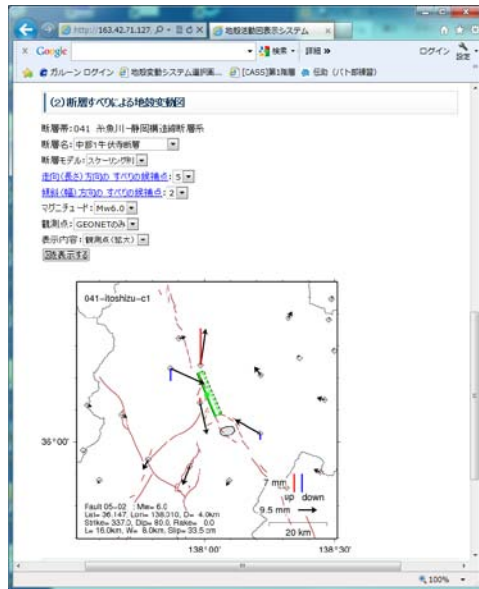


図1:表示画面

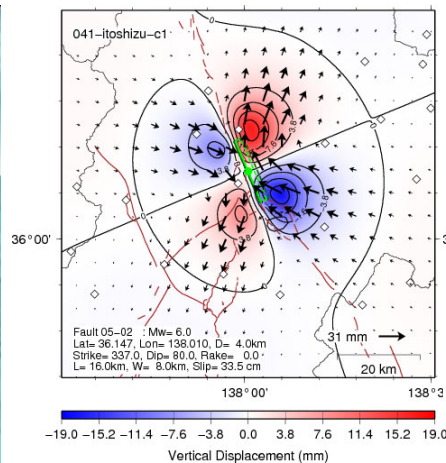


図2:格子点

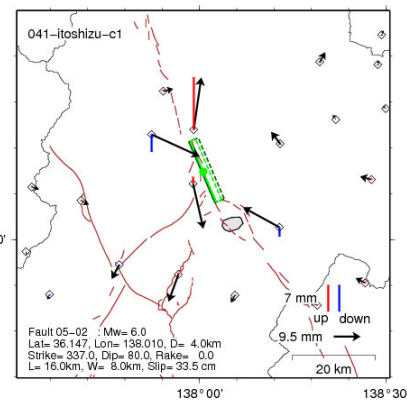


図3:GEONET観測点

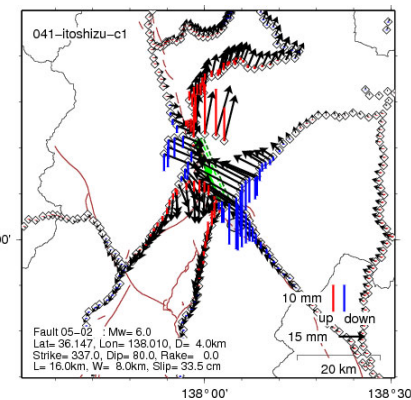


図4:水準点

②活断層帯周辺:041糸魚川―静岡構造線断層系 中部1牛伏寺断層の例

●システム活用事例

- ・地殻活動によって生じる地殻変動の把握
 - どこでどの程度の変動が想定されるのか？
- ・必要な観測場所の把握
 - どこに設置するのが最も効果的なのか？

⑥地殻活動イベントの検知能力表示システム

→ 各地殻活動イベントの検知可能な場所と大きさ、検知能力の差の表示が可能

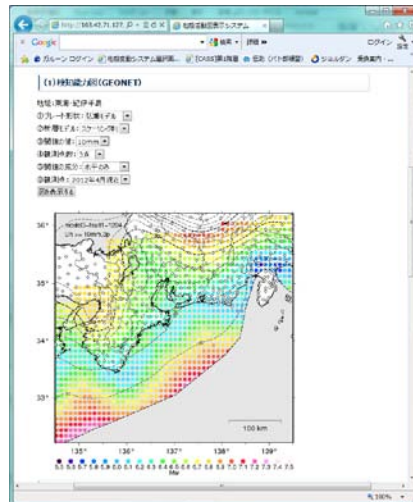


図1:表示画面

①プレート境界域 東海地方の例

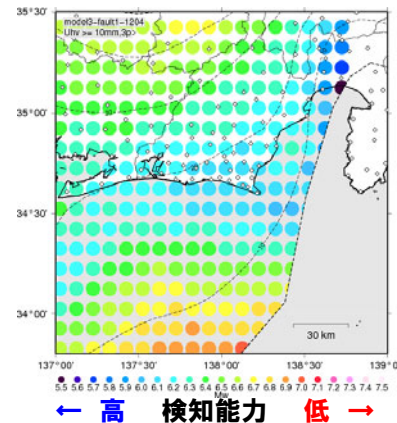


図2:検知可能なイベントの場所と大きさ(GEONET)

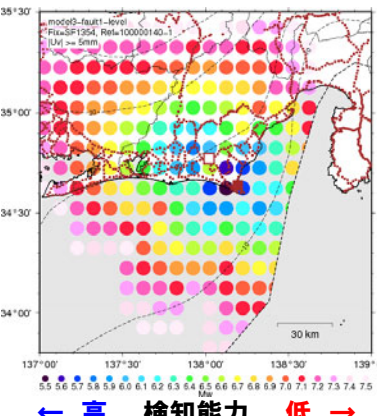


図3:検知可能なイベントの場所と大きさ(水準測量)

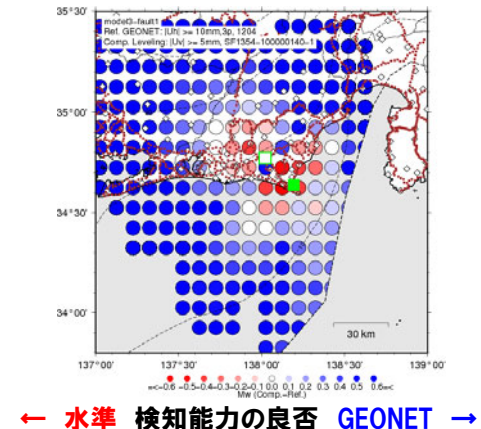


図4:検知能力の差 (GEONET v.s. 水準測量)

●システム活用事例

- ・地殻活動の検知能力の良否場所の把握
 - イベントの検知力が悪い場所はどこなのか？
- ・観測精度向上の目安の把握
 - 観測精度をどの程度まで向上させればイベントの検知能力がどの程度上がるのか？

①プレート境界域 東北地方周辺の例



4. イベントによる 地殻変動の表示 (出力結果は地理院地図へ 重ね合わせが可能)

→ 災害発生前の迅速な対応、
適切な防災・減災対策への寄与

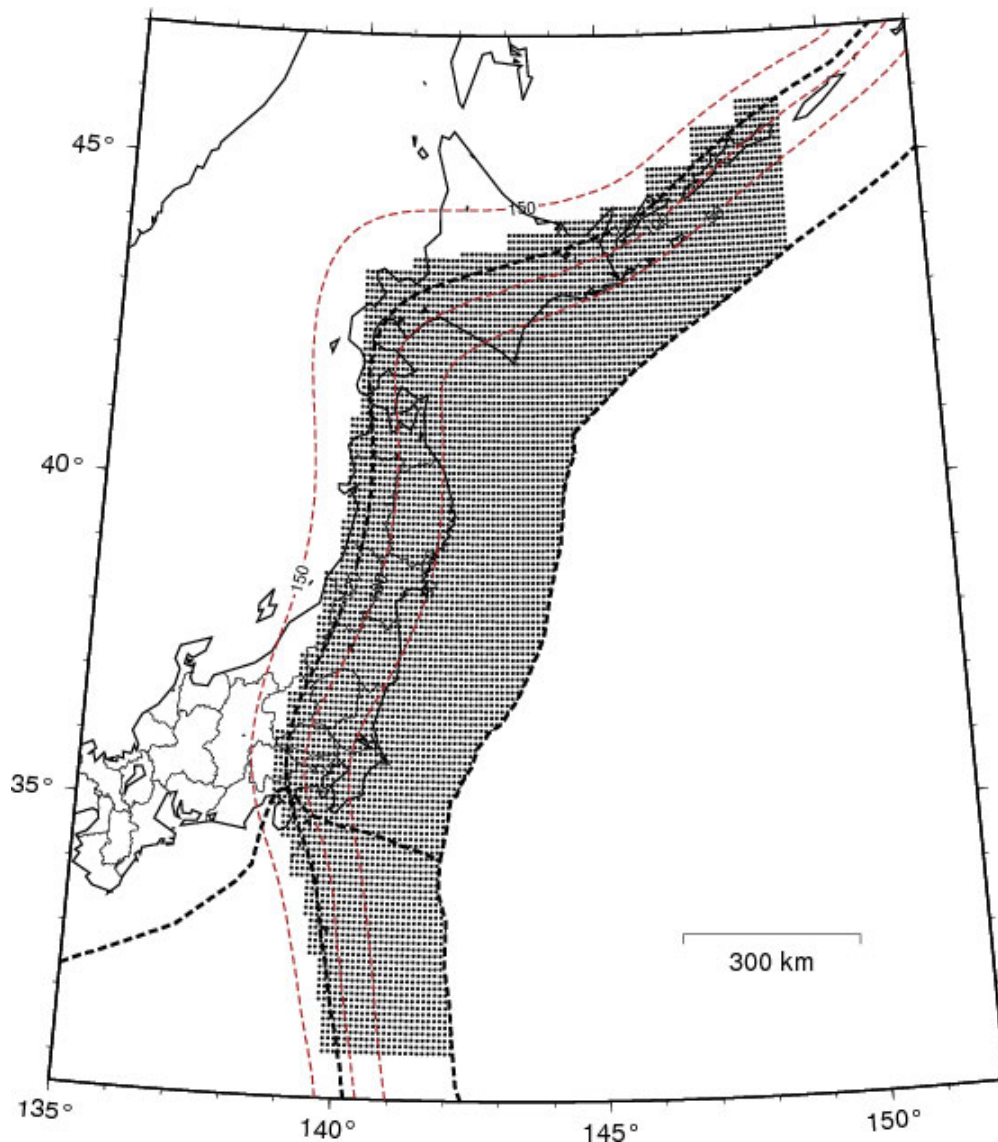
①プレート境界域

プレート境界面上の断層すべり

1. 断層すべりの候補点の作成
太平洋プレート, フィリピン海プレートの等深線
2. 断層パラメータの作成
静的断層パラメータの定義(矩形断層)
9つの静的断層パラメータ
 M_w と断層の長さ, 幅, すべり量(スケーリング則)
3. 断層すべりによる地殻変動の計算
Okada (1985)に基づく計算
4. 断層すべりの検出基準の選定
閾値と観測点数
5. 断層すべりの検知能力(プレート境界域)
 $M_w 5.5 \sim M_w 7.5$

1. 断層すべりの候補点の作成

① 太平洋プレート境界面上の断層すべりの候補点

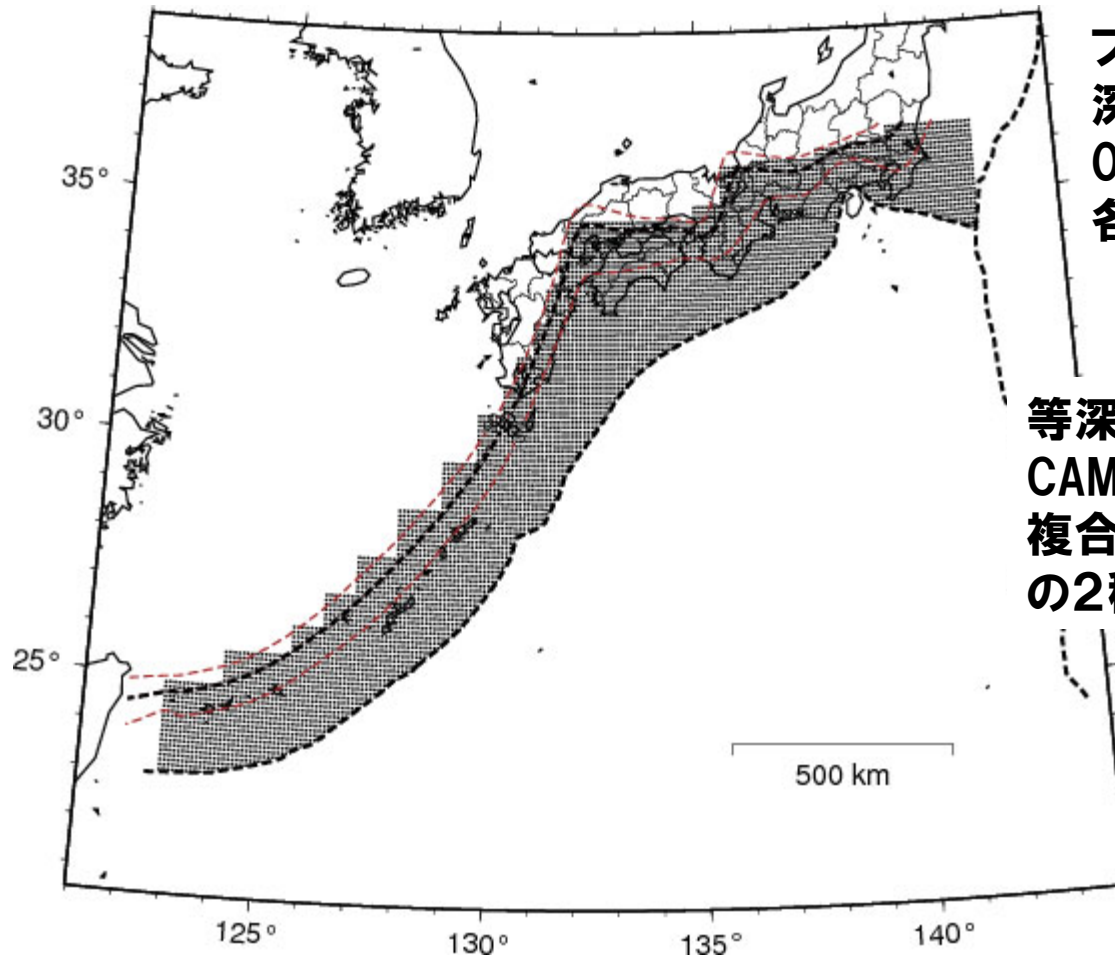


太平洋プレートの等深線に沿って
深さ0～120kmをカバーする
0.1×0.1度間隔のグリッド(6278点)
各グリッドが断層すべりの候補点

等深線は
CAMPモデル(Hashimoto et al., 2004)
複合モデル(弘瀬・ほか, 2008, etc)
の2種類を作成

1. 断層すべりの候補点の作成

② フィリピン海プレート境界面上の断層すべりの候補点



フィリピン海プレートの等深線に沿って
深さ0～60kmをカバーする
0.1×0.1度間隔のグリッド(5970点)
各グリッドが断層すべりの候補点

等深線は
CAMPモデル(Hashimoto et al., 2004)
複合モデル(弘瀬・ほか, 2008, etc)
の2種類を作成

2. 断層パラメータの作成

① 静的断層パラメータの定義

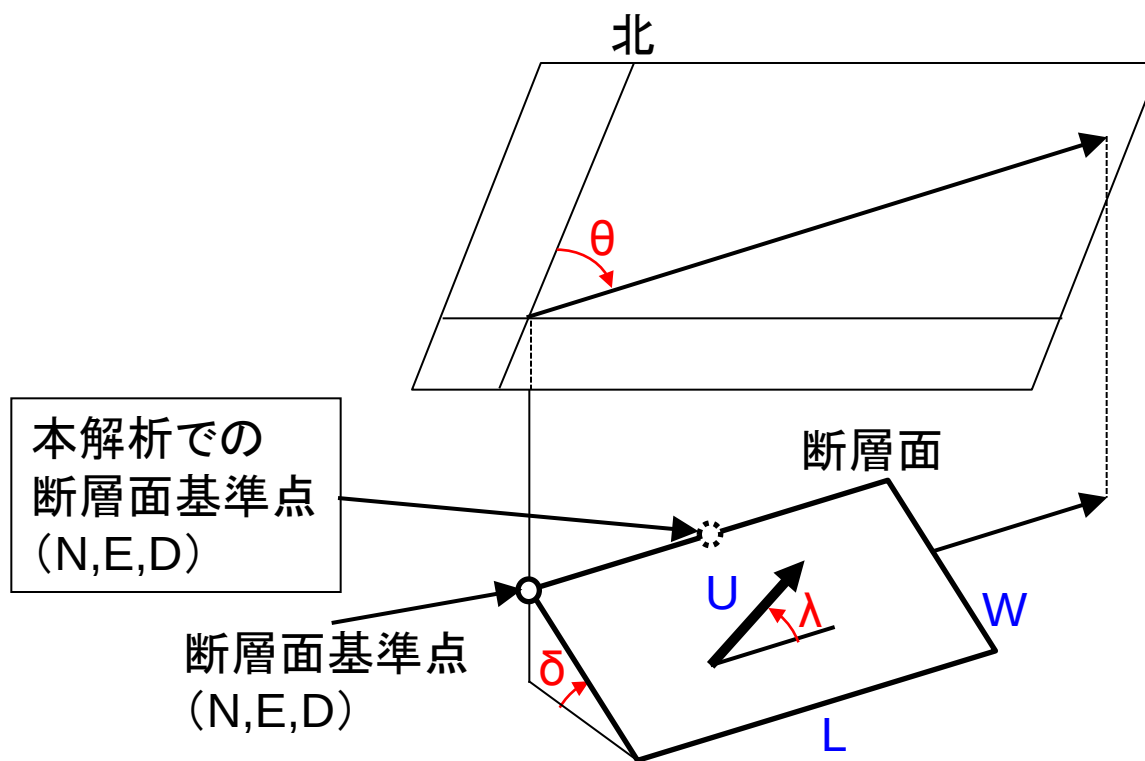
すべりの候補点上での断層すべりを矩形断層で計算(Okada, 1985)

→ 矩形断層を規定する9つの静的断層パラメータ

断層の位置(緯度N, 経度E, 深さD)

断層の向き(走向 θ , 傾斜角 δ , すべり角 λ)

断層の大きさ(長さL, 幅W), すべり量U



2. 断層パラメータの作成

②9つの静的断層パラメータ

◎断層の位置(緯度, 経度, 深さ):

太平洋プレート: 深さ0~120kmをカバーする

0.1×0.1度間隔のグリッド

フィリピン海プレート: 深さ0~60kmをカバーする

0.1×0.1度間隔のグリッド

◎断層の向き(走向, 傾斜角, すべり角):

走向: プレート等深線に平行

傾斜角: プレート等深線の傾斜

すべり角: 太平洋プレート: 太平洋プレートに対する北米プレートの
相対運動の回転極から求めた速度ベクトルの向き

フィリピン海プレート: フィリピン海プレートに対する

アムールプレートの相対運動の回転極から求めた

速度ベクトルの向き (Sella et al., 2002)

◎断層の大きさ(断層の長さ, 幅)・すべり量:

モーメントマグニチュード(M_w) 5.5~7.5まで(0.1刻み)

地震のスケーリング則に基づき, M_w から長さ, 幅, すべり量を算出
(長さとの幅の比は2:1)

2. 断層パラメータの作成

③ M_w と断層の長さ, 幅, すべり量

地震のスケーリング則

・マグニチュードと長さの関係

$$\text{Log} L = 0.5 M_w - 1.8$$

$L = 2W$ と仮定

・マグニチュードとすべり量の関係

$$\text{Log} U = 0.5 M_w - 1.475$$

・モーメントとマグニチュードの関係

$$\text{Log} M_0 = 1.5 M_w + 9.1$$

$$M_0 = \mu U S$$

M_w : モーメントマグニチュード

L : 断層の長さ(km)

W : 断層の幅(km)

S : 断層面積(km²)

M_0 : 地震モーメント(Nm)

U : すべり量(cm)

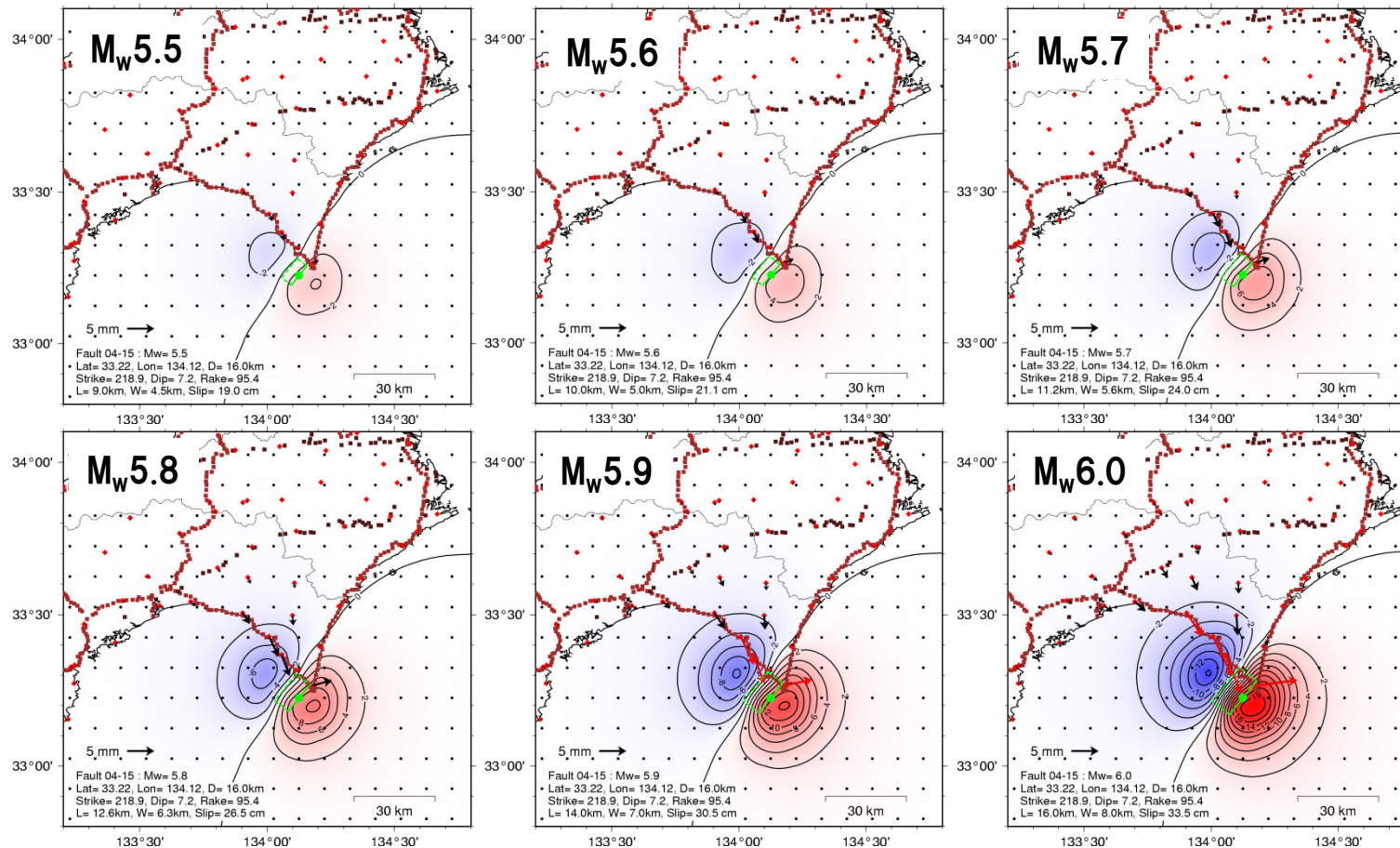
μ : 剛性率(GPa)

M_w	長さ(km)	幅(km)	すべり量(cm)
7.5	89.1	44.6	188.4
7.4	79.4	39.7	167.9
7.3	70.8	35.4	149.6
7.2	63.1	31.5	133.4
7.1	56.2	28.1	118.9
7.0	50.0	25.1	105.9
6.9	44.7	22.3	94.4
6.8	39.8	19.9	84.1
6.7	35.5	17.7	75.0
6.6	31.6	15.8	66.8
6.5	28.0	14.0	60.0
6.4	25.0	12.6	53.0
6.3	22.0	11.0	50.0
6.2	20.0	10.0	42.0
6.1	18.0	9.0	37.0
6.0	16.0	8.0	33.5
5.9	14.0	7.0	30.5
5.8	12.6	6.3	26.5
5.7	11.2	5.6	24.0
5.6	10.0	5.0	21.1
5.5	9.0	4.5	19.0

3. 断層すべりによる地殻変動の計算

断層すべりによる地殻変動の計算例

9つの静的断層パラメータ → 断層すべりによる地殻変動の計算 (Okada, 1985)



作成したすべての候補点に対して、断層すべり($M_w 5.5 \sim 7.5$)による地殻変動の計算
各候補点の断層すべり → 任意の観測点での地殻変動量

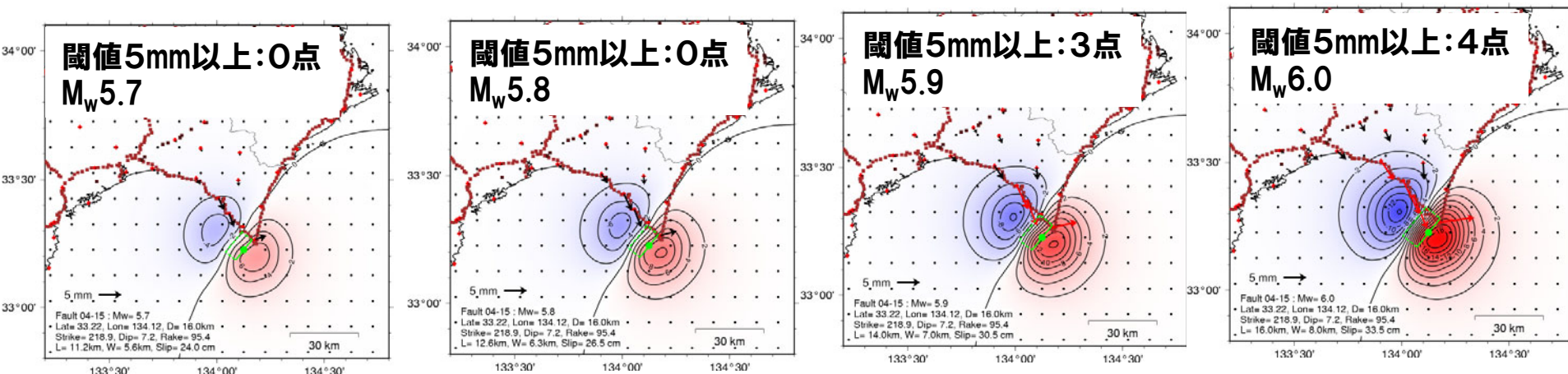
4. 断層すべりの検出基準の選定

“候補点上での断層すべりを検知できる”との判断基準は？

- 1) 閾値(U): 観測点でのシグナルとみなす変動量の大きさ
- 2) 観測点数(N): シグナルとみなす変動量が観測される観測点の数

“N点以上の観測点で、閾値U以上の地殻変動が、
想定される場合に、その候補点での断層すべりは検知できる”
と考え、候補点での最小の断層すべりの大きさ(M_w)を算出。

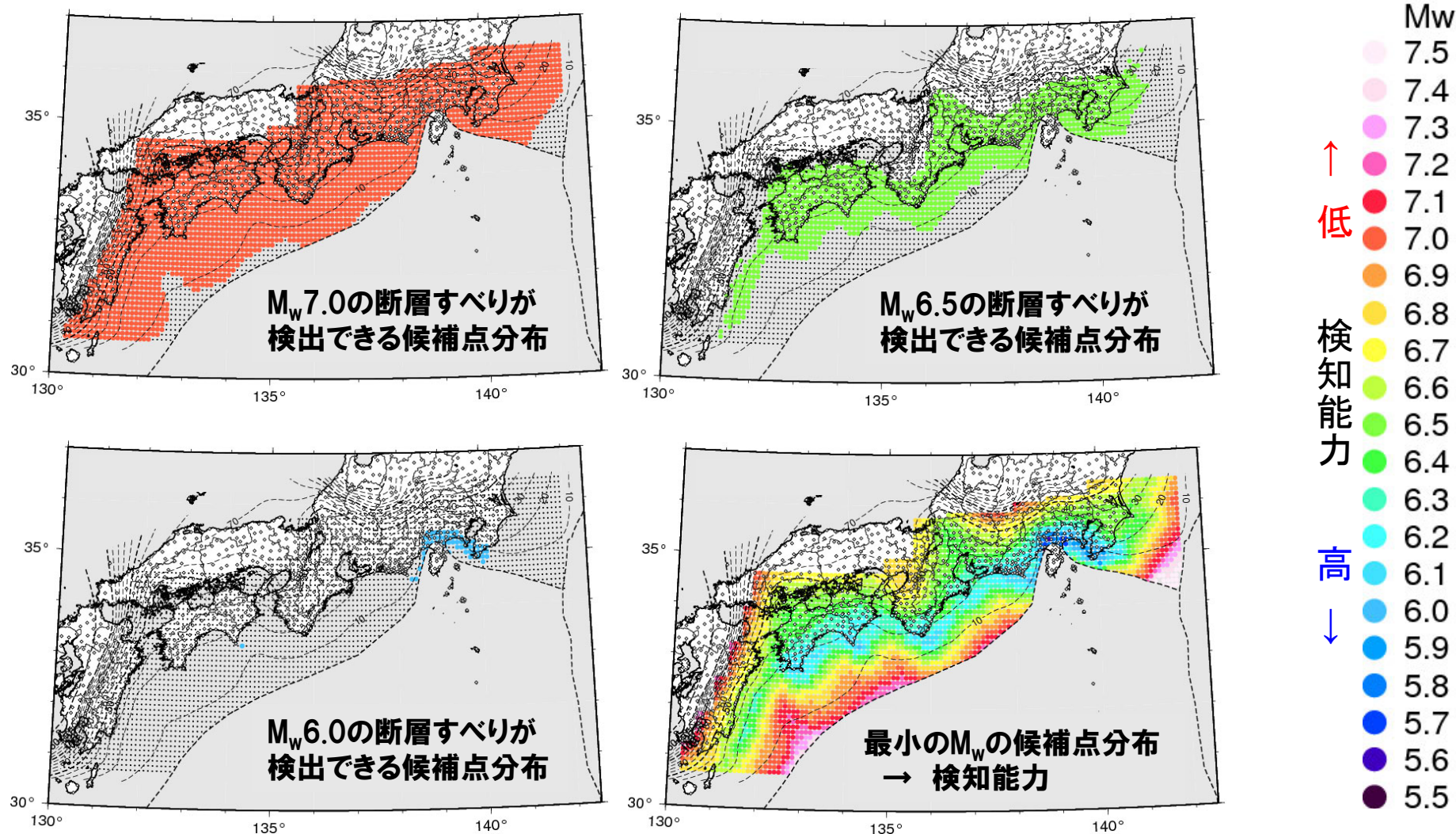
緑丸で示す断層すべりの候補点での最小の断層すべりの大きさ(M_w)の算出の例



例えば... 閾値: 5mm, 観測点数: 3点 → M_w 5.9
閾値: 5mm, 観測点数: 4点 → M_w 6.0

5. 断層すべりの検知能力(プレート境界)

候補点で最も小さい M_w の大きさ → 検知能力の高低



観測点数:3点以上, 閾値:水平10mm, 上下30mm

5. 断層すべりの検知能力(プレート境界)

●実施内容

- 想定したプレート境界域: 太平洋プレートとフィリピン海プレート
- 断層すべりの候補点: 12,248点
 - 太平洋プレート上: 6278点(深さ0~120km)
 - フィリピン海プレート上: 5970点(深さ0~60km)
- 大きさ: M_w 5.5~7.5(0.1刻み)
- 計算したイベント総数: 134,728通り

●成果

- 海岸線付近で検知能力は高い
- 海溝軸付近、内陸直下では低い
- 島と島の間等では低い
- フィリピン海プレート上の方が検知能力は高い
- フィリピン海プレートは検知能力のばらつきが大きい

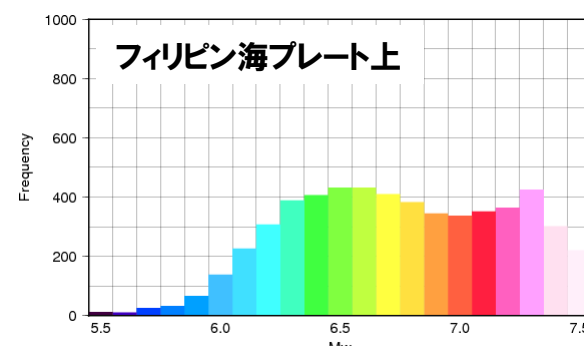
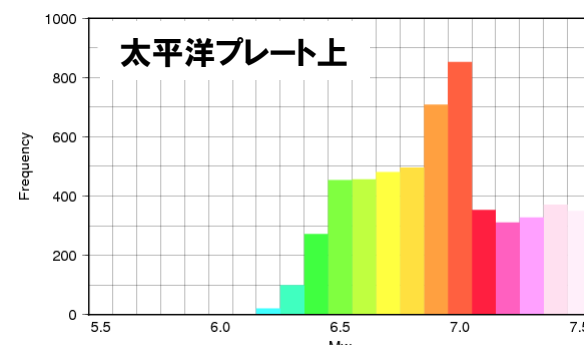
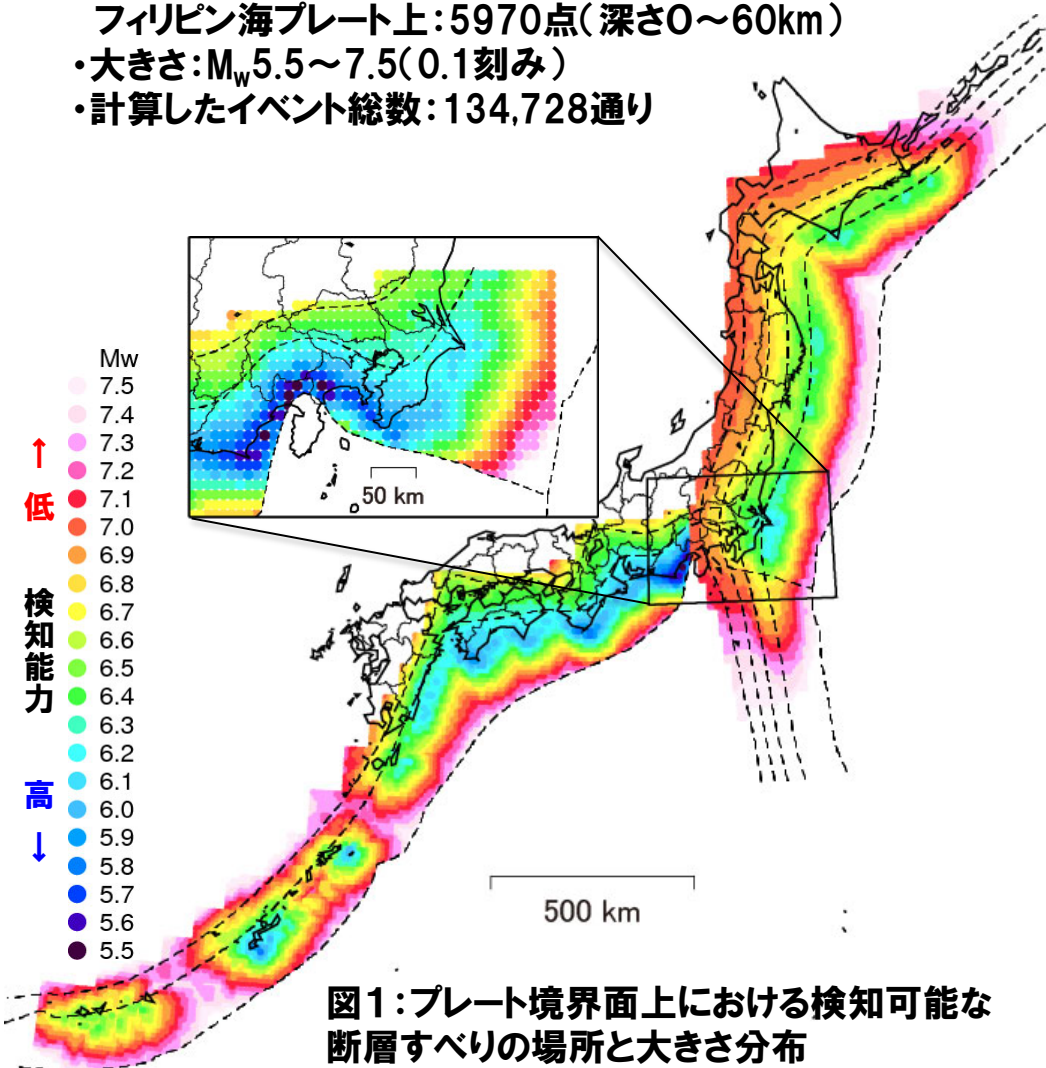
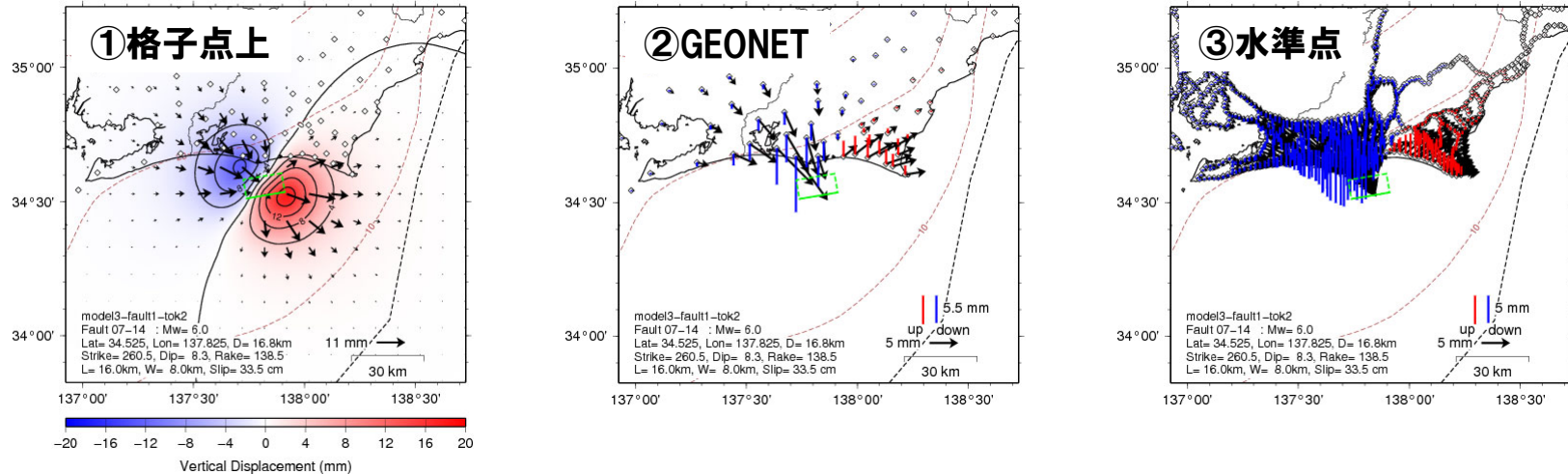


図2: 検知可能な断層すべりの大きさの頻度分布

5. 断層すべりの検知能力(プレート境界)

フィリピン海プレート上、東海地方の例

●断層すべりに伴う地殻変動



●断層すべりの検知能力

