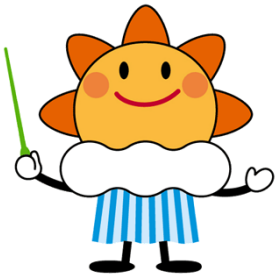
災害対策技術講演会2015@沖縄
2015年7月2日

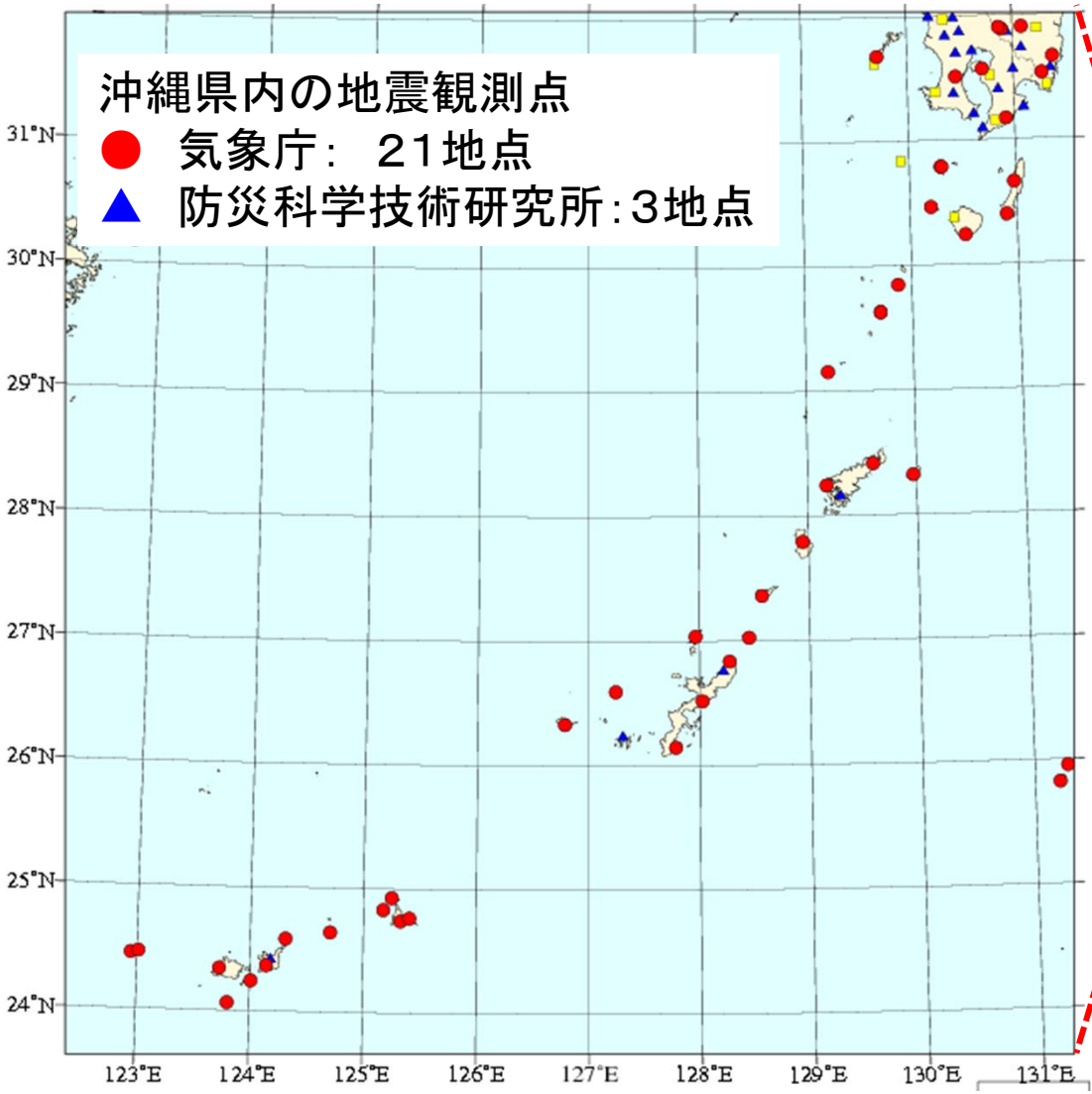
沖縄における地震・津波防災の現状と課題

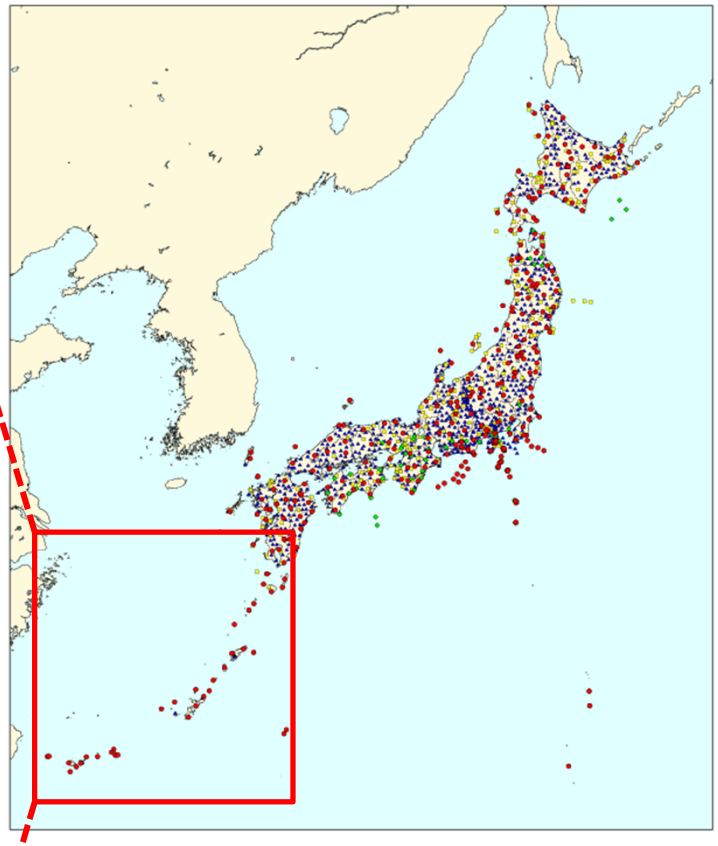
沖縄気象台地震火山課
草野　利夫



地震津波の観測網　～地震観測点～

全国約300箇所の地点に整備

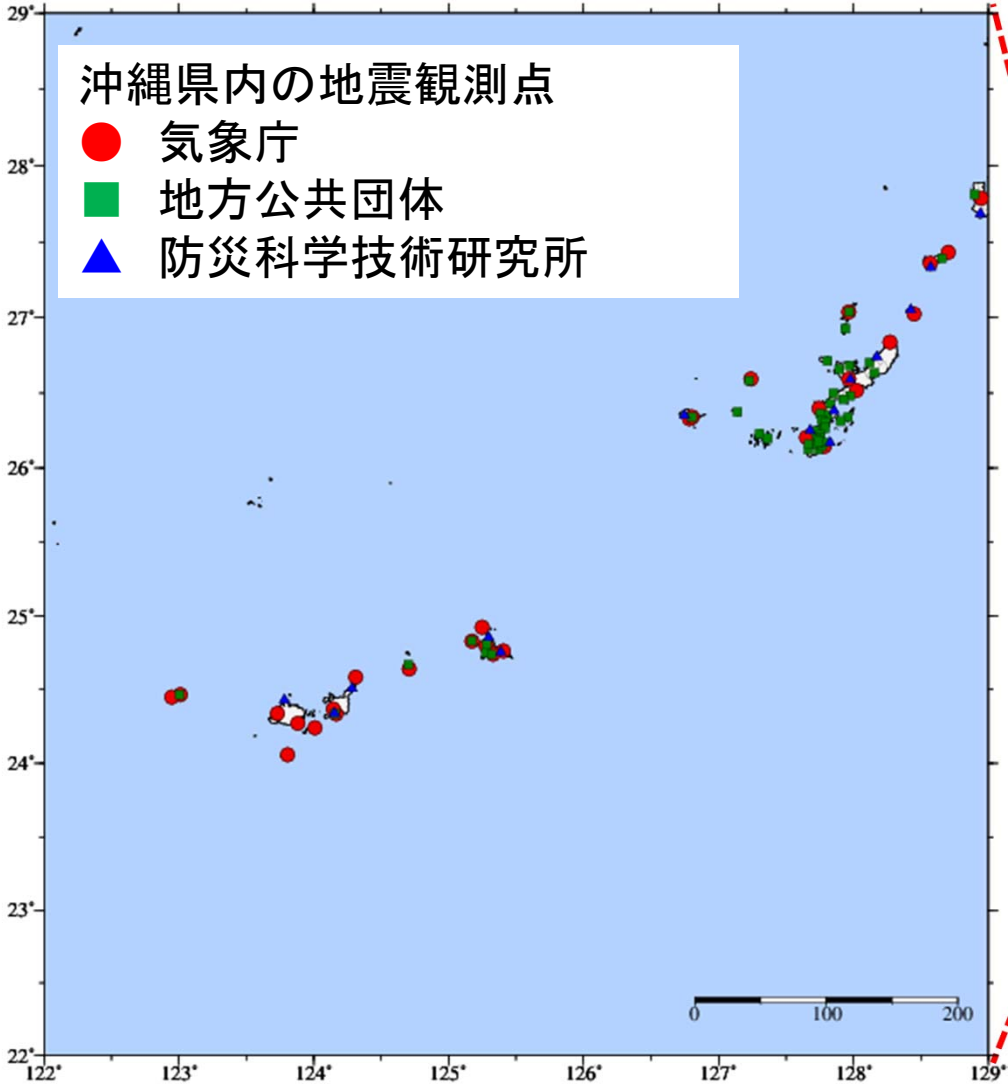


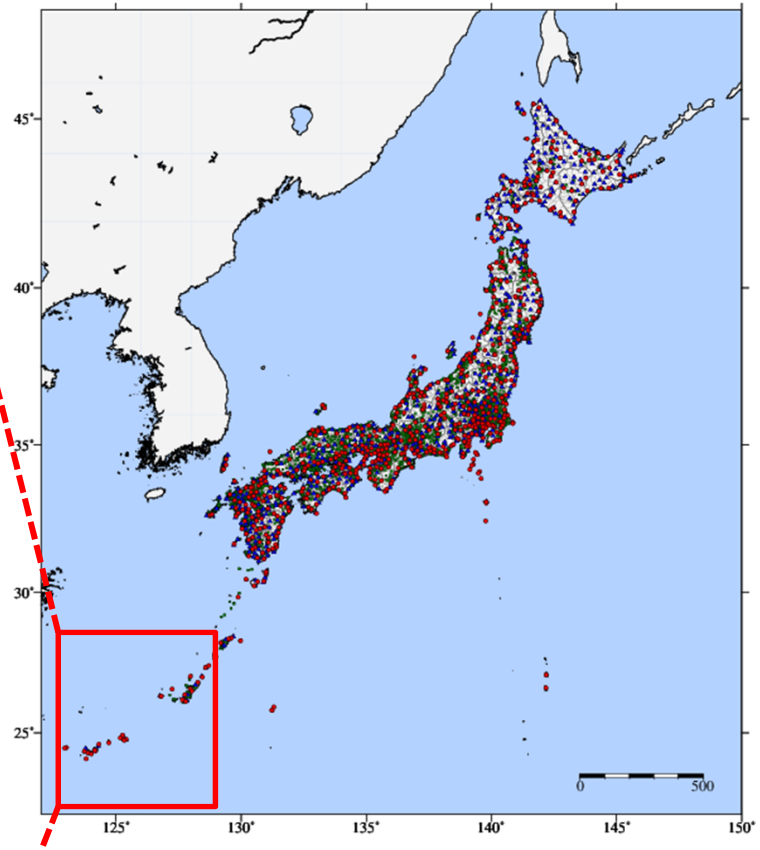


気象庁が用いる地震計
速度型地震計
加速度型地震計
長周期型地震計／広帯域地震計

地震津波の観測網　～震度観測点～

全国約4400箇所の観測地点



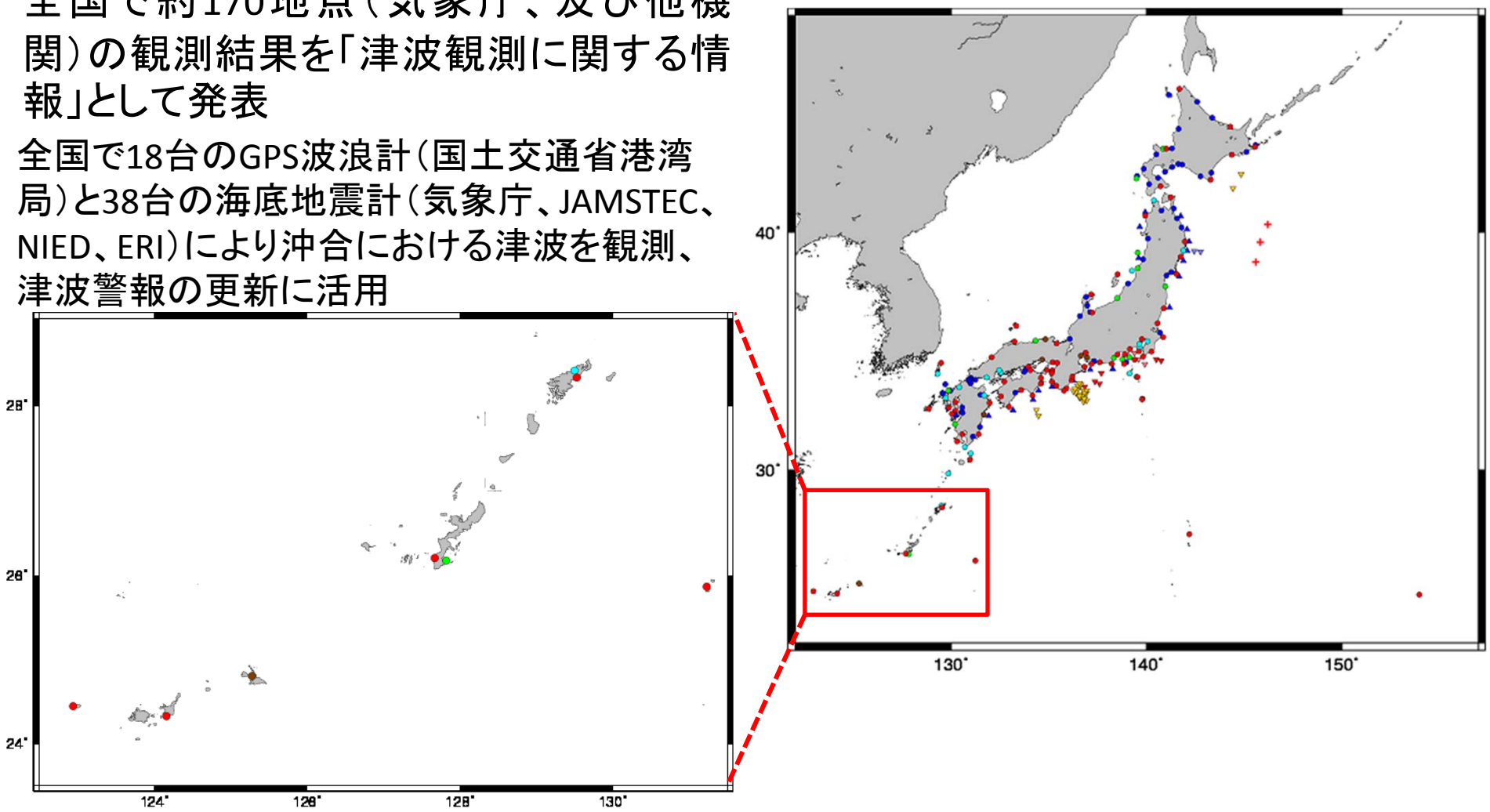


気象庁震度計は、人工衛星を
活用した通信機能を備えている。
（通信障害時のバックアップ対応）

地震津波の観測網　～津波観測点～

全国で約170地点（気象庁、及び他機関）の観測結果を「津波観測に関する情報」として発表

全国で18台のGPS波浪計（国土交通省港湾局）と38台の海底地震計（気象庁、JAMSTEC、NIED、ERI）により沖合における津波を観測、津波警報の更新に活用



＜観測機器＞

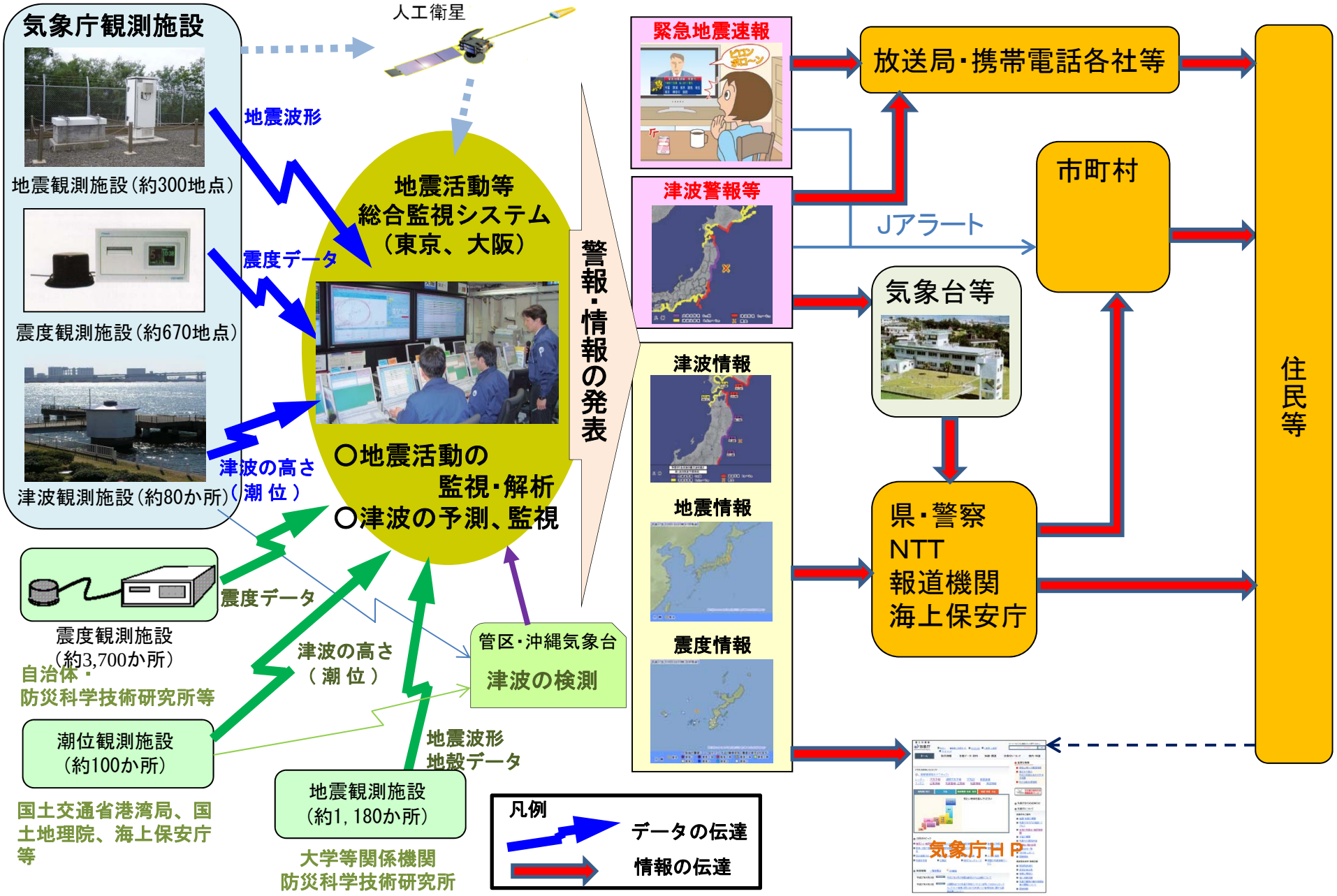
● 津波観測計 ▲ GPS波浪計 ▼ ケーブル式海底津波計 ＋ ブイ式海底津波計

＜所属機関＞

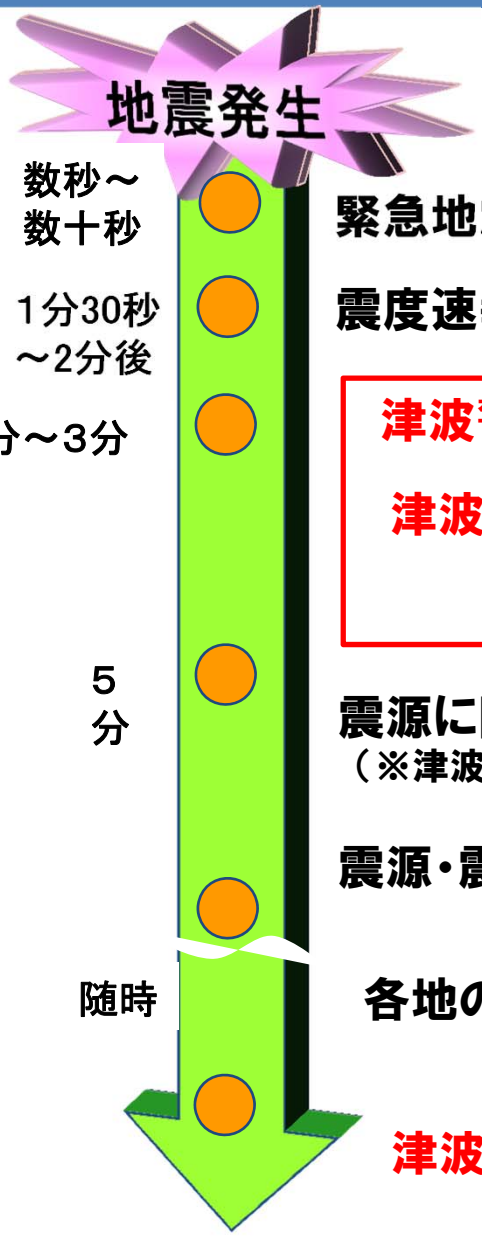
赤色 気象庁　青色 国土交通省港湾局　黄緑 国土地理院　水色 海上保安庁

黄色 海洋研究開発機構　桃色 防災科学技術研究所　紫色 東京大学地震研究所　茶色 その他の機関

データの収集と発表した情報の流れ



地震津波に関する防災情報の発表タイミング



緊急地震速報（震度５弱以上が予想されるとき）　→強い揺れ警戒

震度速報（震度３以上を観測した地域）　→　揺れの情報

津波警報・津波注意報

津波情報

津波の到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報

各地の満潮時刻・津波の到達予想時刻に関する情報

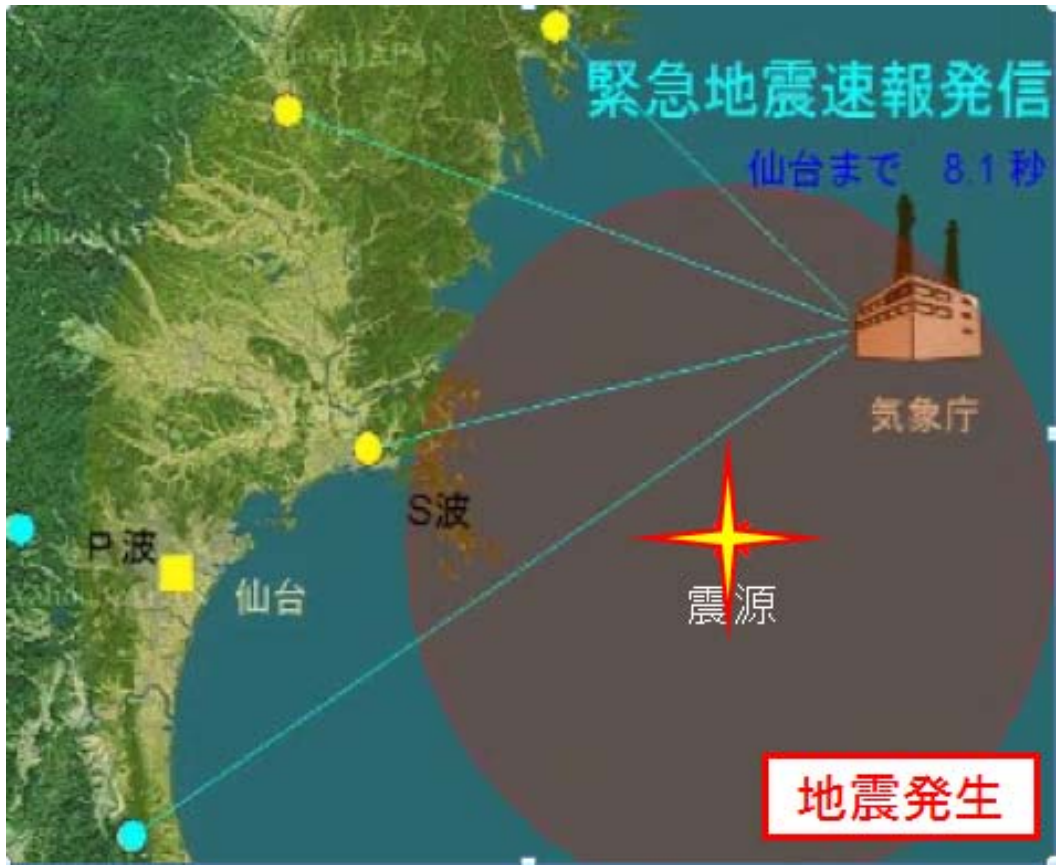
震源に関する情報（震度３以上）　→　震源情報を追加
（※津波注意報等を発表しない場合）　付加分にて「津波の心配なし」

震源・震度に関する情報（震度３以上）　→　震源情報を追加
震度５弱以上と考えれる地域

各地の震度に関する情報　→　震度１以上の地点など
震度５弱以上と考えれる地点

津波情報（観測値の情報）

緊急地震速報の原理としくみ



２種類の地震波の速度の違いを利用
P波：最初に伝わる波（秒速約7km）
S波：揺れの強い波（秒速約4km）

①震源に近い地震計が
　揺れを（P波）を感知

↓

②震源、マグニチュード、
　震度等を瞬時に推定・予測

↓

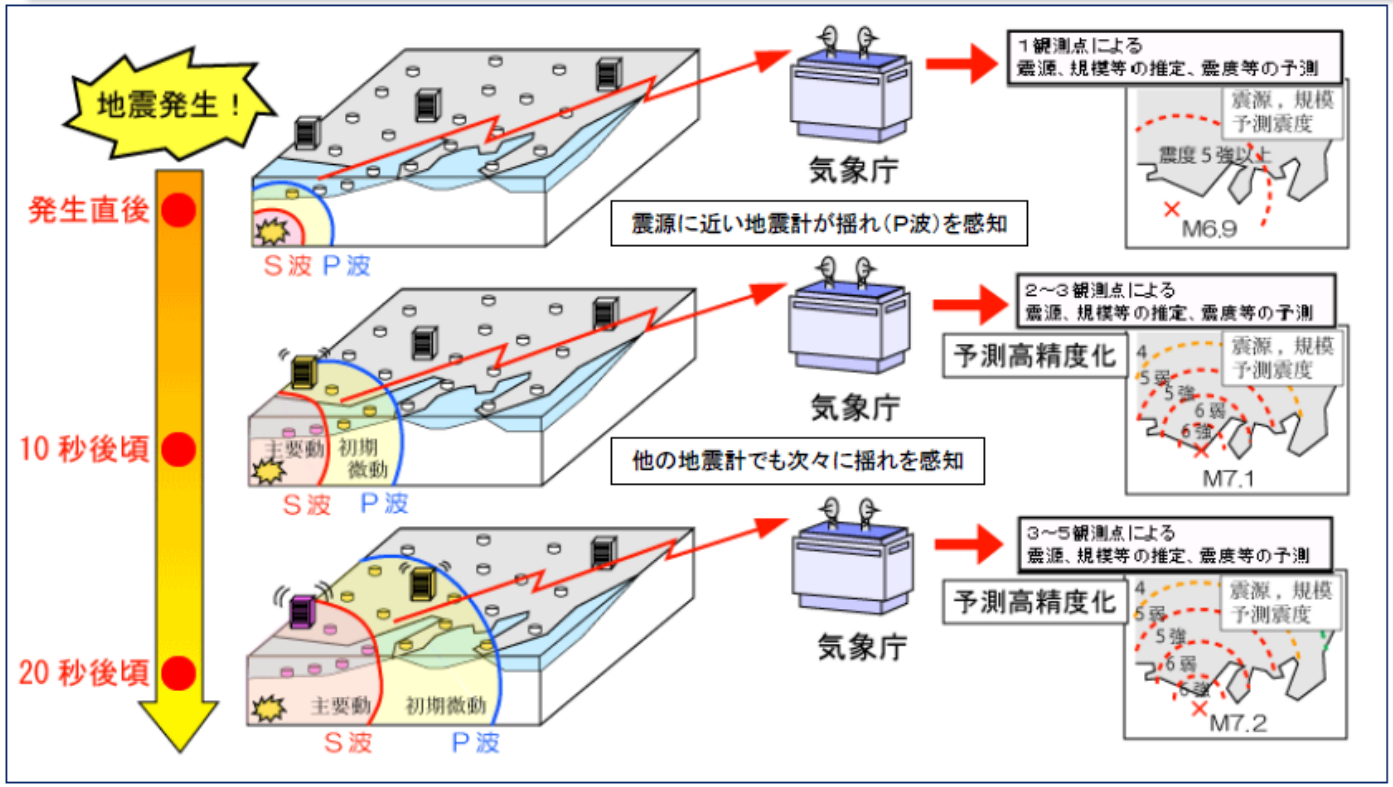
③強い揺れが来る前に
　緊急地震速報を発表

- 地震の発生を素早くとらえる観測体制
- 少ない観測データから揺れの強さを速やかに予測する技術
- 発表した情報を素早く伝えるなどの情報通信技術

※緊急地震速報は公益財団法人鉄道総合技術研究所と気象庁による共同技術開発と、国立研究開発法人防災科学技術研究所による技術開発の成果により可能となりました。

緊急地震速報の処理

地震の発生直後に、震源に近い地震計でとらえた観測データを解析して震源や地震の規模（マグニチュード）を直ちに推定し、これに基づいて各地での主要動の到達時刻や震度を予測し迅速に発表



B-Δ法
主成分分析法

Territory法

Grid　Search法

時間経過と共に精度が向上

単独観測点処理
- 主成分分析法（地震波の来た方向）
- B－Δ 法結果（震央距離）
- P波到達時刻
- 変位最大振幅

等を現地で波形処理し、結果を気象庁本庁へ送信

複数観測点処理

単独観測点処理結果を受けて、気象庁本庁で処理
- 震源の位置
- 地震の規模　を推定

・各地の震度
・到達時刻（S波）
を予測

精度の良い続報を発表

緊急地震速報

＊時間がたつにつれ精度は良くなるが、強い揺れには間に合わなくなる

○震度5弱以上を予測した場合に一般向け緊急地震速報を発表（原則1回のみ）
○予測した震度には±1程度の誤差あり
○震源に近い地域では、緊急地震速報が強い揺れに間に合わない

緊急地震速報の警報と予報

警報

（強い揺れが予想される地域を発表）

２観測点以上の観測値に基づき、最大震度５弱以上を予測した地震について、震度４以上を予想した地域に対して発表

震源地（震央位置）、地震の規模（マグニチュード）、震度４以上が予想される地域（全国１８８地域に分割）等を発表

ある地域で、震度３以下の予測が震度５弱以上になった場合、対象全地域に後続報を発表

テレビ、ラジオ、携帯端末（エリアメール）等を通じて気象庁が提供する

入手方法により、放送や報知される地域は異なるが、報知する基準は原則として同じ。

予報

（予想震度、強い揺れの到達予想時刻などを発表）

マグニチュード３．５以上を推定、または震度３以上を予想した場合に発表

１観測点だけで100galを超える加速度を観測した場合に発表

震源地（震央位置）、地震の規模（マグニチュード）等を気象庁が発表
事業者が、予想震度等を付加して提供

予想した内容が一定基準変化する度に、複数会（時に10回以上）発表

気象庁が発表する震源情報をもとに、専用の受信端末や表示ソフトウェアを通じて民間の配信事業者等が提供する

特定の場所や任意の基準で、利用者ニーズに合わせて報知させることができる。

※予想される地震動の大きさが震度6弱以上である地域は地震動特別警報に位置付け（2013年8月30日～）

津波警報等の発表～過去の災害による教訓と対策～

1983年　日本海中部地震：死者104人（内、100人が津波による犠牲）

・当時、気象庁は津波警報の発表は約20分以内としていた
・仙台管区気象台が地震発生後14分で津波警報を発表
・震源に近い沿岸では地震発生後7～8分で津波が来襲

地震波形データの自動処理等を行う計算機処理システムを開発
－震源計算や情報作成等、人手を介していた部分を飛躍的に短縮
－地震発生後7分程度での津波警報発表を目指せるようになった

1993年　北海道南西沖地震：死者202人,不明者28人（理科年表による）

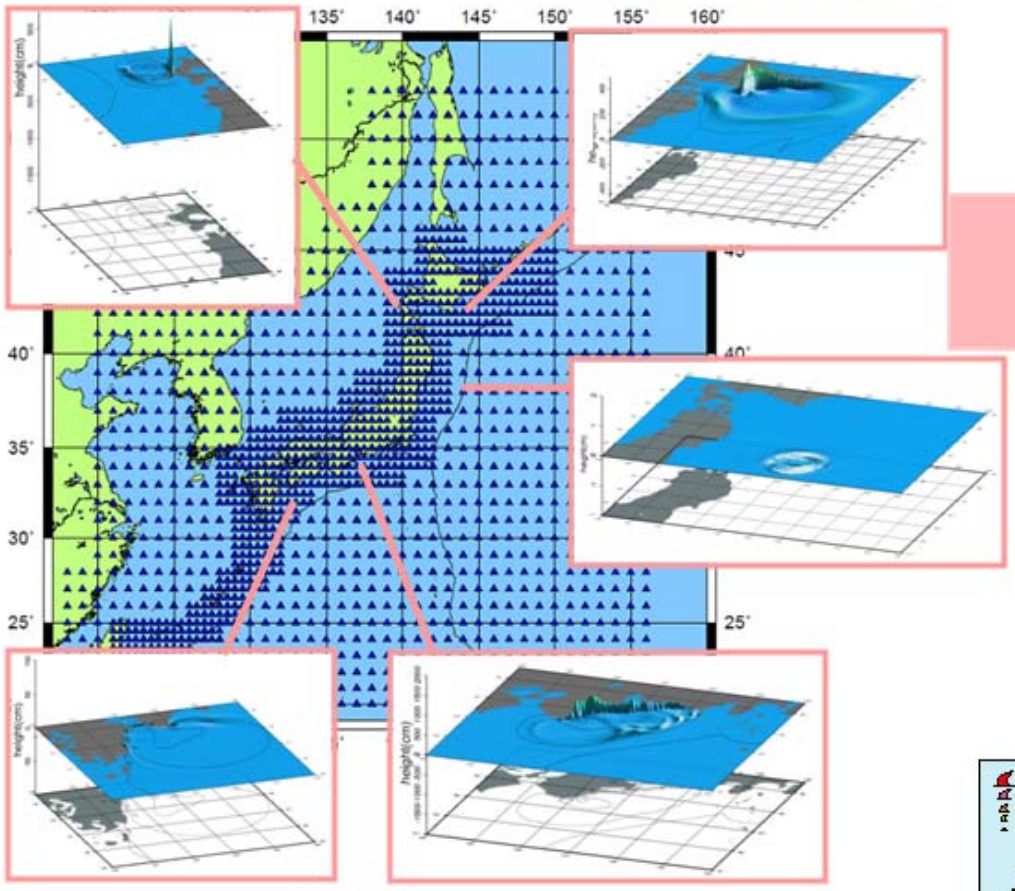
・札幌管区気象台が地震発生後5分で北海道日本海沿岸に大津波警報を発表
・震源に近い奥尻島などでは、早い所で地震発生後3～4分程度で津波が襲来

・津波地震早期検知網の導入（約180箇所の地震計ネットワーク）（1994年）
・NTT専用回線を用いたリアルタイムでのデータ伝送システムを整備
⇒津波警報発表までの時間を最短で3分程度までに短縮
・「量的津波予報システム」を開始（津波予測精度の改善）（1999年）

津波警報等の発表～津波予報データベースの構築～

沿岸近くで発生した地震に伴う地震の場合、発生してから計算開始したのでは、警報発表が津波到達に間に合わない。

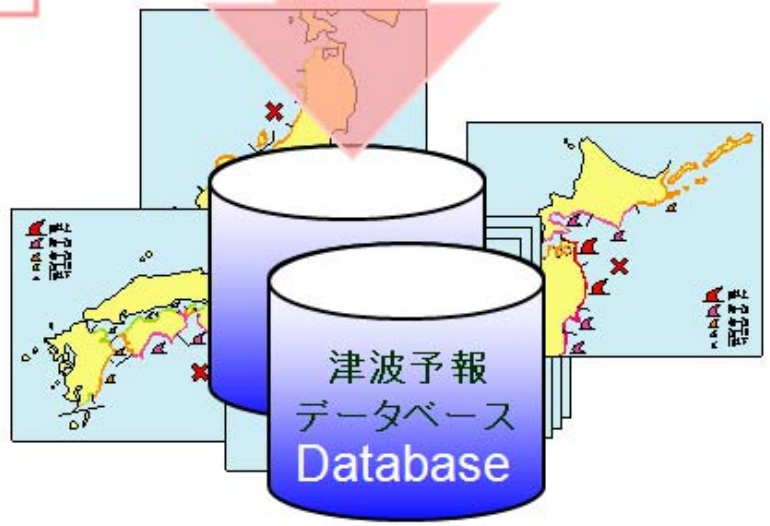
津波の数値シミュレーションを多数実施



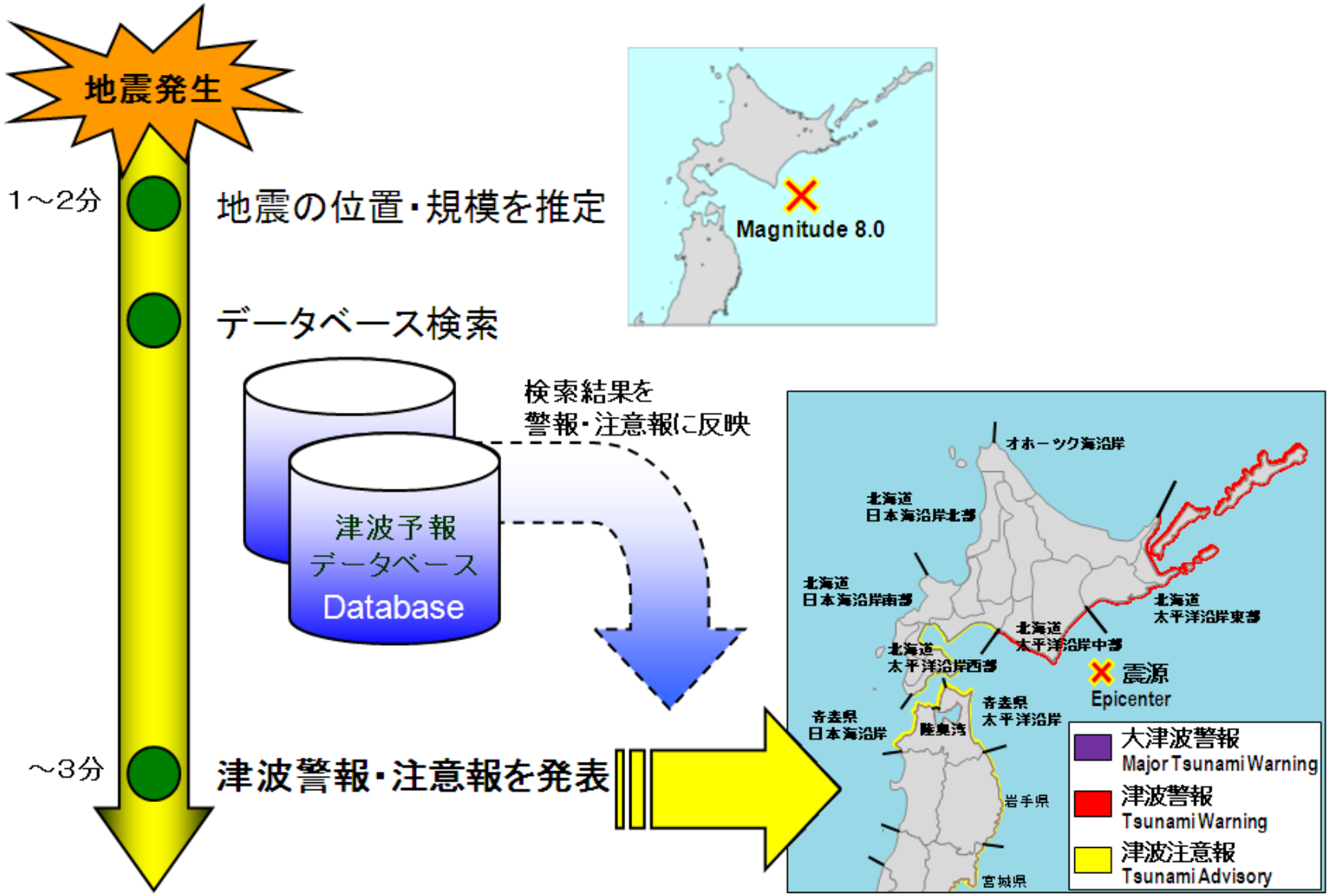
▲：想定する震央（断層の中心）

緯度×経度×深さ×M の
全ケース数は約10万

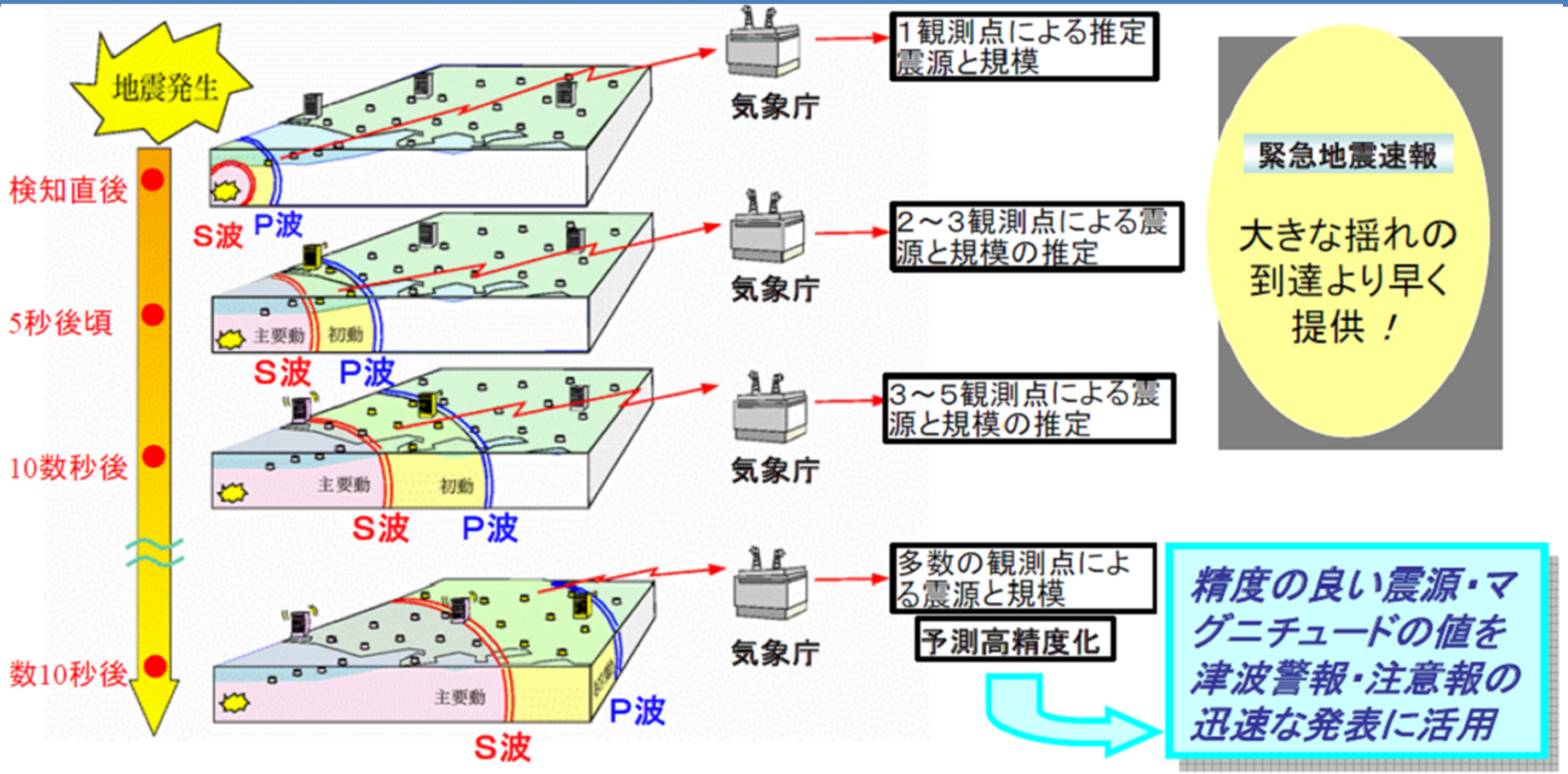
シミュレーション結果を
データベースに
保存・蓄積



津波警報等の発表～DB駆動による警報等の発表～



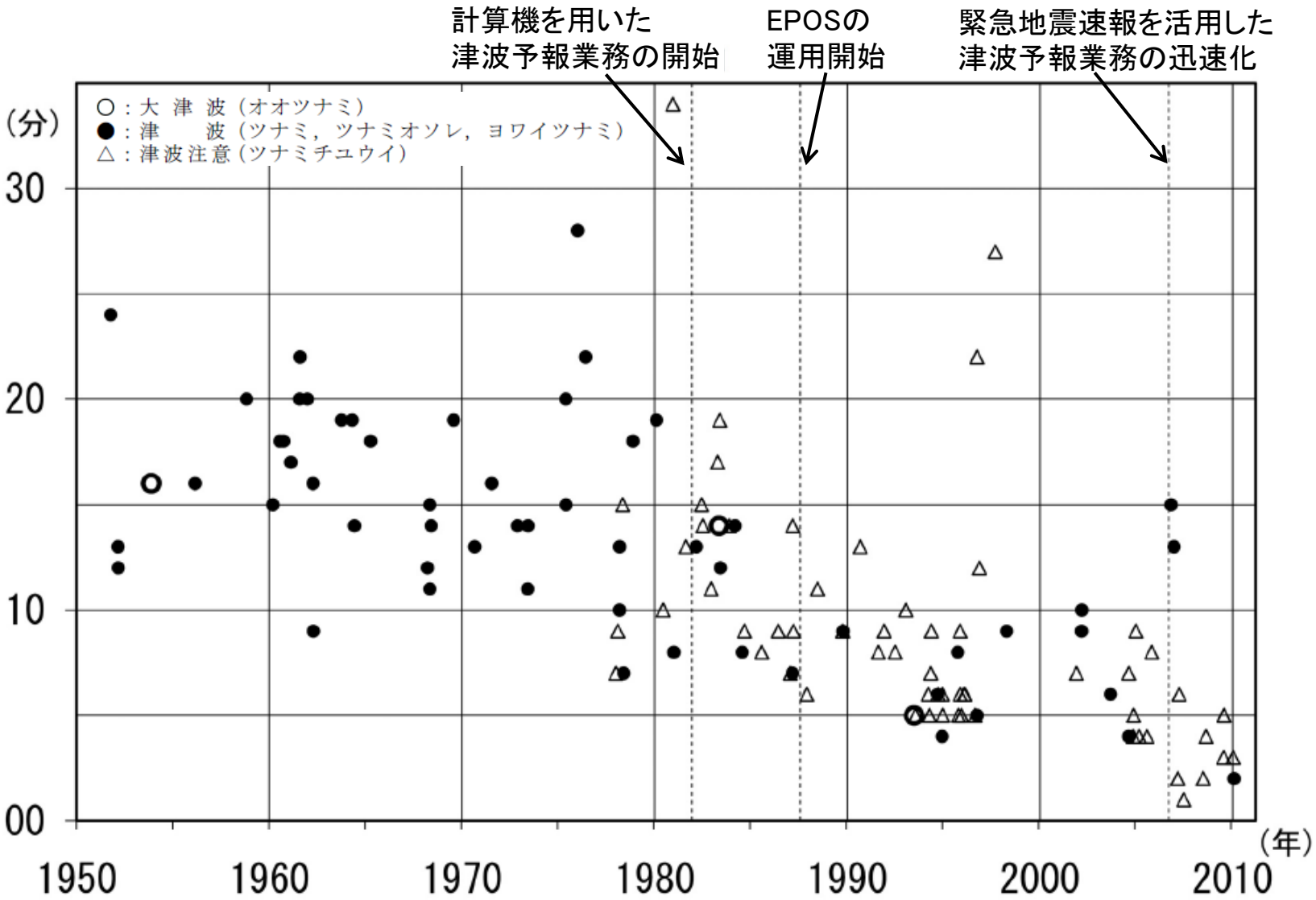
緊急地震速報を活用した津波警報・注意報の迅速化



2006年（平成18年）10月より、一部の地震については、津波警報・注意報の発表に必要な震源要素（位置・規模）が短時間で得られることから、発表が2分程度に短縮可能

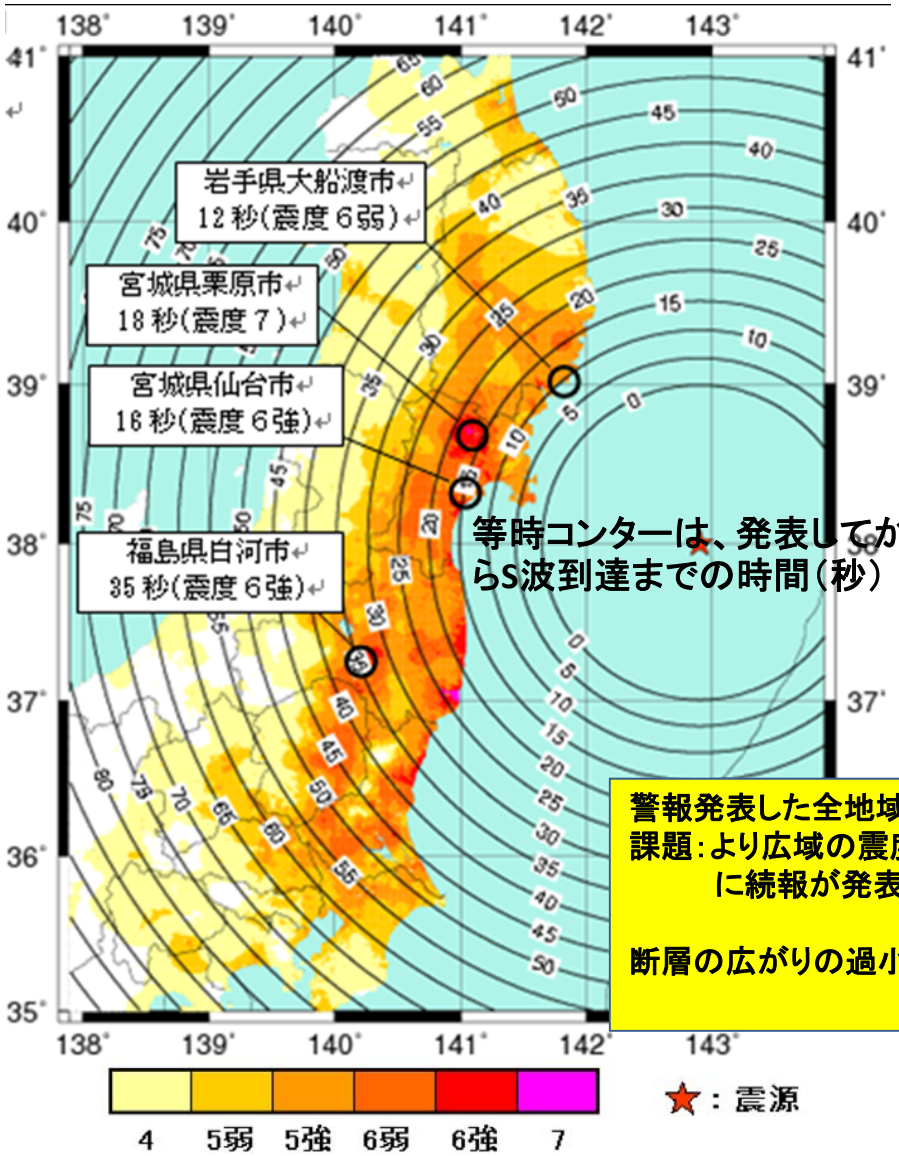
実際の例：「平成19年（2007年）能登半島地震」（2007年3月25日）
地震発生から1分40秒程度で津波注意報を発表

津波警報・注意報の発表に要した時間の変化



地震発生から津波警報等を発表するまでに要した時間（草野・横田（2010）より）

東北地方太平洋沖地震に対して発表した緊急地震速報



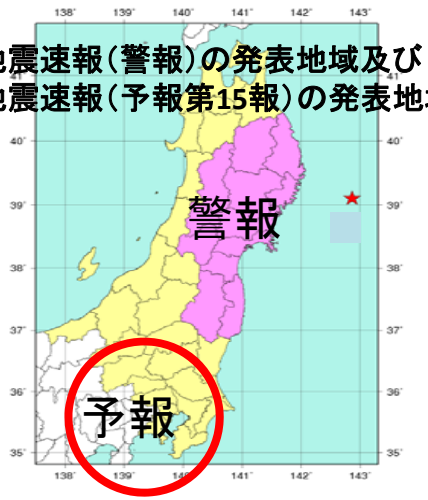
緊急地震速報（警報）の発表から主要動到達までの時間及び推計震度分布図

発表時刻等 / 震源要素等		地震波検知からの経過時間（秒）	震源要素 北緯	震源要素 東経	震源要素 深さ	震源要素 ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ	発表から主要動到達までの時間（秒） 宮城県石巻市	宮城県栗原市	福島県浪江町	茨城県高萩市	栃木県宇都宮市	東京都千代田区	予想した最大震度	警報の発表
地震波検知時刻	14時46分40.2秒													
1	14時46分45.6秒	5.4	38.2	142.7	10km	4.3	6	19	19	35	49	67	1	
2	14時46分46.7秒	6.5	38.2	142.7	10km	5.9	4	18	18	34	48	66	3	
3	14時46分47.7秒	7.5	38.2	142.7	10km	6.8	3	17	17	33	47	65	4	
4	14時46分48.8秒	8.6	38.2	142.7	10km	7.2	2	15	16	32	46	63	5弱	○
5	14時46分49.8秒	9.6	38.2	142.7	10km	6.3	1	14	15	31	45	62	4	
6	14時46分50.9秒	10.7	38.2	142.7	10km	6.6	0	13	14	30	43	61	4	
7	14時46分51.2秒	11.0	38.2	142.7	10km	6.6	0	13	14	29	43	61	4	
8	14時46分56.1秒	15.9	38.1	142.9	10km	7.2	－	8	9	24.	38	56	4	
9	14時47分02.4秒	22.2	38.1	142.9	10km	7.6	－	2	2	18	32	50	5弱	
10	14時47分10.2秒	30.0	38.1	142.9	10km	7.7	－	－	－	10	24	42	5弱	
11	14時47分25.2秒	45.0	38.1	142.9	10km	7.7	－	－	－	－	9	27	5弱	
12	14時47分45.3秒	65.1	38.1	142.9	10km	7.9	－	－	－	－	－	7	5強	
13	14時48分05.2秒	85.0	38.1	142.9	10km	8.0	－	－	－	－	－	－	5強	
14	14時48分25.2秒	105.0	38.1	142.9	10km	8.1	－	－	－	－	－	－	6弱	
15	14時48分37.0秒	116.8	38.1	142.9	10km	8.1	－	－	－	－	－	－	6弱	

地震波検知から5.4秒後に緊急地震速報（予報）を、8.6秒後に緊急地震速報（警報）を発表

警報発表した全地域に間に合ったが・・・
課題：より広域の震度5弱以上を観測した地域に続報が発表できなかった。
↓
断層の広がりの過小評価による震度の過小予測

緊急地震速報（警報）の発表地域及び
緊急地震速報（予報第15報）の発表地域



東北地方太平洋沖地震の余震活動での緊急地震速報

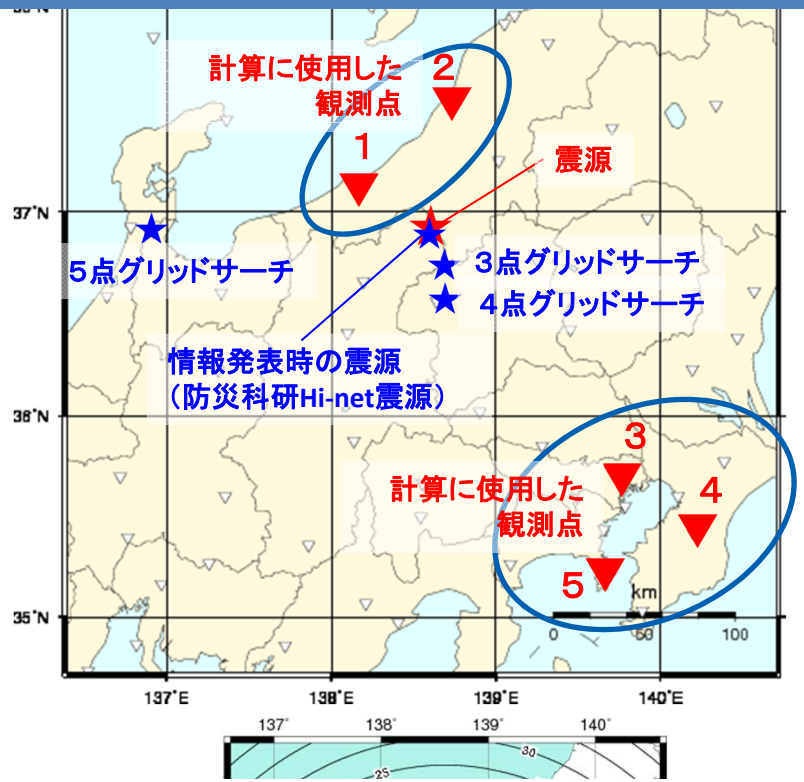
複数の地震を同じ地震と判断し、震源計算結果が大きく乱れる

2011年3月15日01時36分の事例

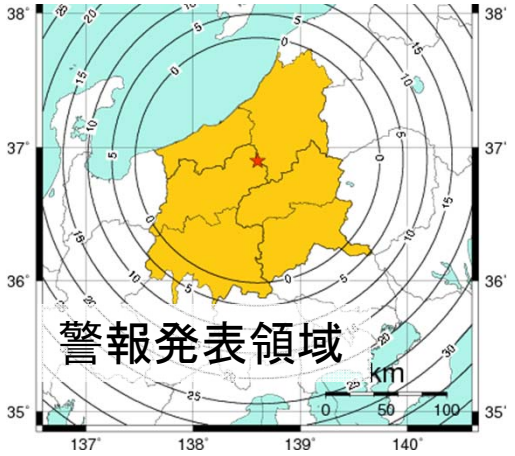
①新潟県中越地方を震源とする地震
（M2.5、最大震度2）が発生

②東京湾を震源とする地震
（M3.3、最大震度2）が発生

③両者を同一の地震として処理し、
M5.9、最大震度5弱程度とする緊急地震速報（警報）を発表



M5.9、最大震度5弱として警報を発表



●検測値同士で同一地震と判定する範囲を、適正に狭める改修を行うことで改善済み。

緊急地震速報の信頼性向上に向けた今後の計画

東北地方太平洋沖地震とその余震活動で明らかとなった課題
①主として震源断層の広がりの過小評価（Mの飽和）による首都圏等の震度の過小予測
②同時多発する余震を適切に分離できないことによる誤報

→ 原因特定型予測の高度化（従来型：震源要素依存）

→ 時間発展型予測の開発（観測事実をモニタ）

→ ハイブリッド

単独観測点処理の高度化

●従来の「トリガ送信モード」に加え「連続送信モード」を追加

連続的な強震動監視・予測処理のための基礎データが、トリガの有無に関わらず常に確保でき、全ての観測点の現在の状況を把握できることになる

同時発生した地震の分離や推定された震源の妥当性の評価等に利用

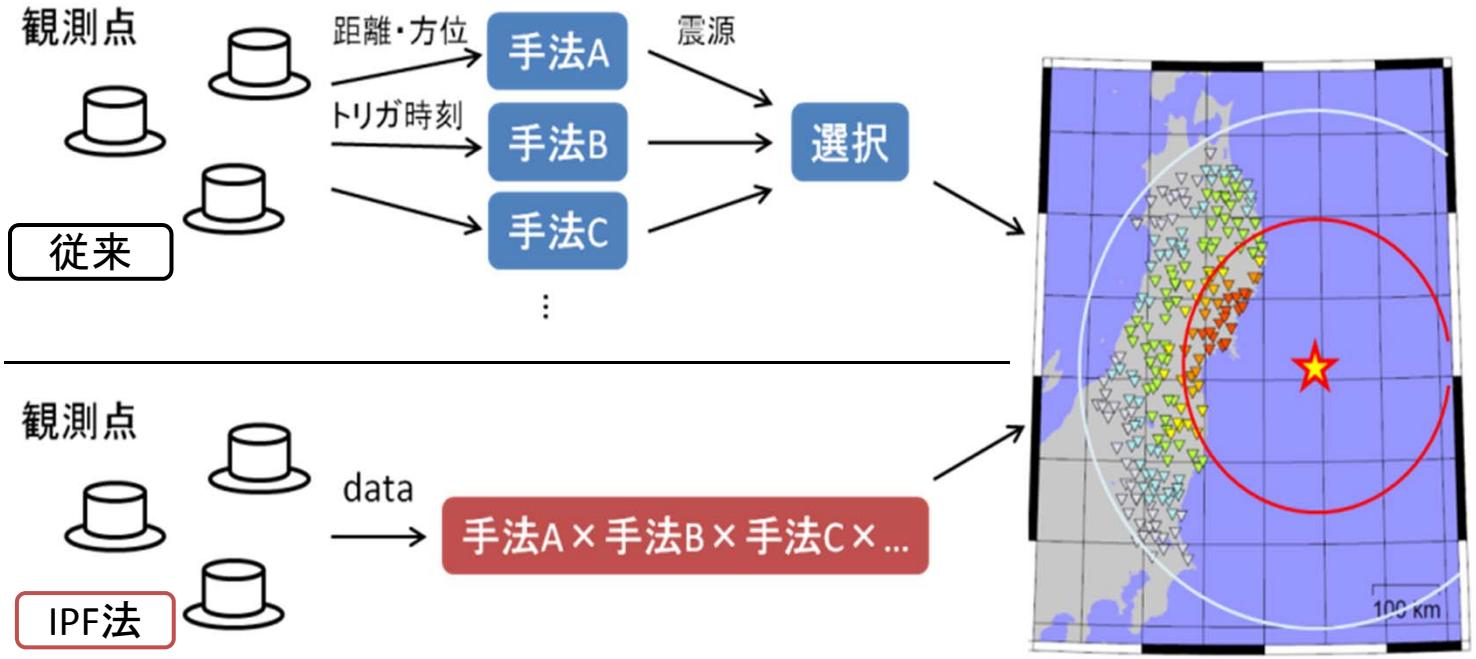
●実時間震度相当値の導入

1. 強震動域の広がりをリアルタイムに監視
2. より直接的な震度相当データからの震度予測処理を模索
3. 同一地震判定や決定された震源要素の妥当性評価として活用

従来型の震源要素に基づく予測の高度化

IPF法（Integrated Particle Filter法）　複数の地震を分離・識別

従来独立に行っていた**複数のデータ・手法（走時残差や振幅等）を統合**し、震源決定や同一地震判定を実施。



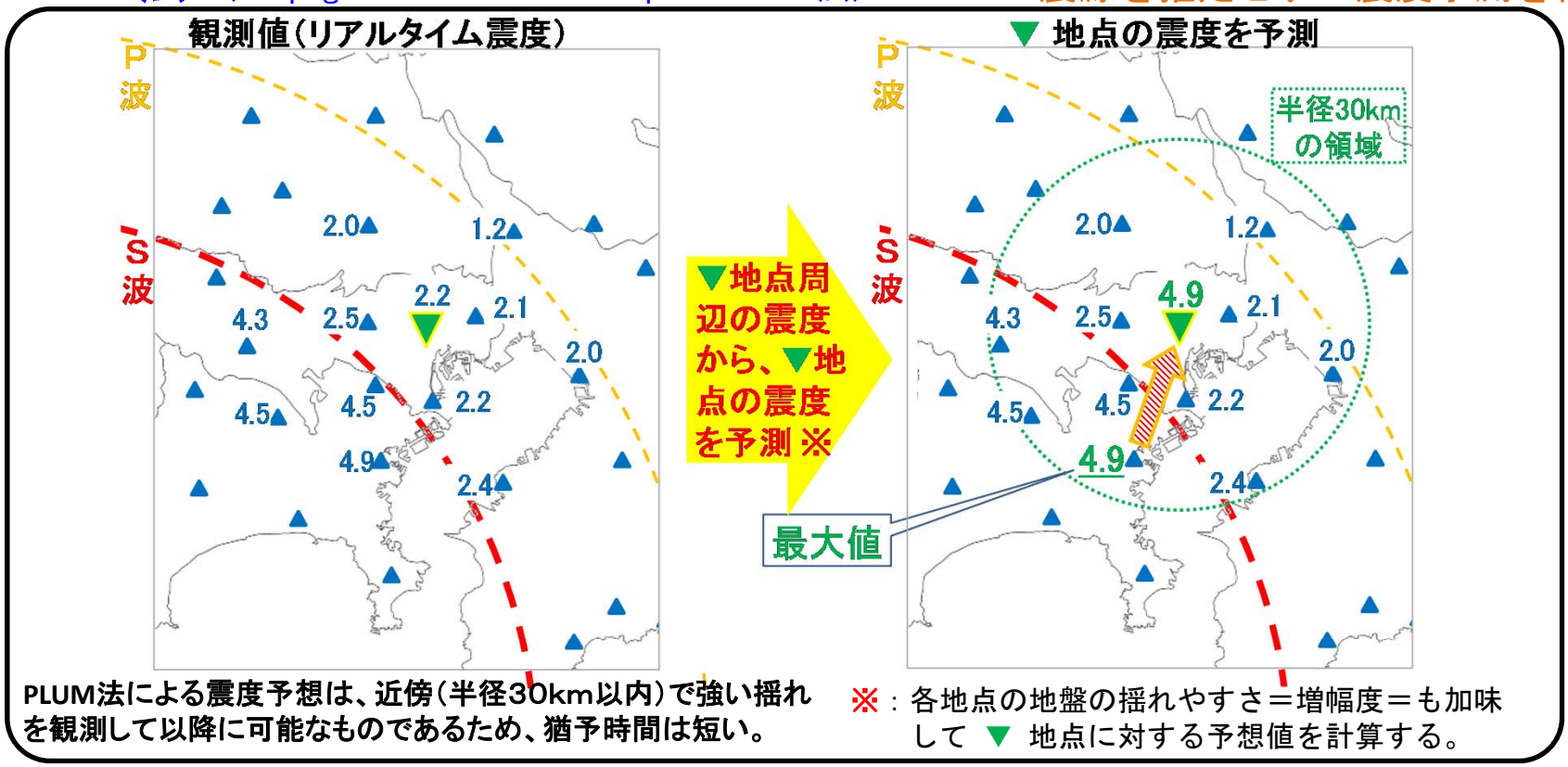
＜目的＞複数の地震が同時に発生した場合に、一つの大きな地震と誤認して過大な警報を出すことを避け、それぞれの地震に応じた適切な緊急地震速報の発表が可能となる。

＜効果＞・平成25年8月8日の広域に発表した過大な震度予想事例の回避
・平成23年3月から4月に発表した全21誤報事例の回避
・平成23年4月の全データで、成績は52%から79%に改善

時間発展型震度予測技術の開発

After the research of MRI (干場)

PLUM法 （Propagation of Local Undamped Motion 法）　震源を推定せずに震度予測を行う

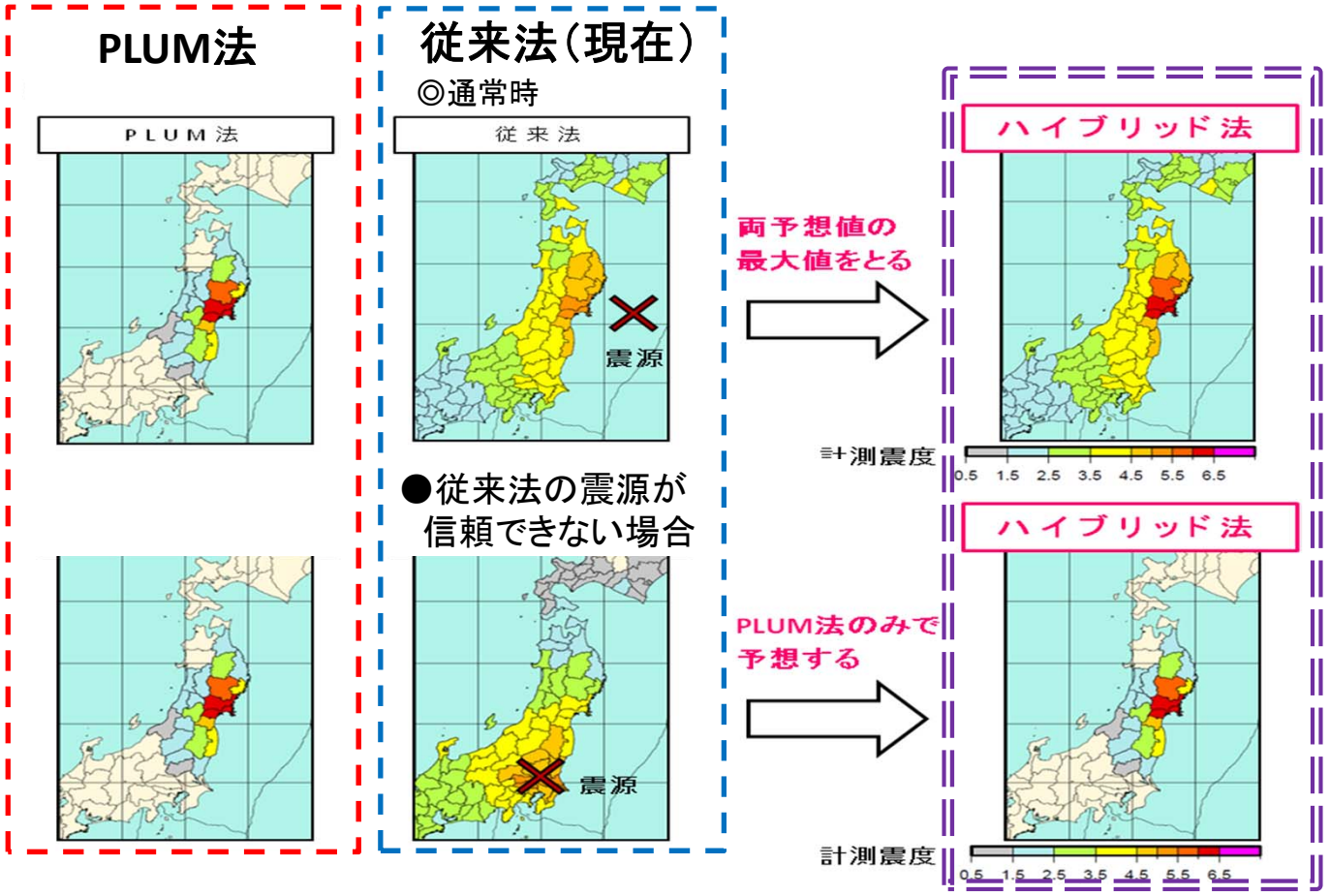


＜目的＞震度の観測値（リアルタイム震度）を基に震度を予測するため、震源の位置に関係なく震度の予想が可能。
平成23年3月11日のような巨大地震の場合も、震源から遠い地域に対しても警報の発表が可能となる。

＜効果＞東北地方太平洋沖地震による関東の強震動域の適切な推定。
（５弱以上を観測した全41予報区について、はずれは３予報区のみ）

各手法の長所を組み合わせた活用

PLUM法と従来法の長所を
生かし組合わせて活用



＜目的＞地震発生当初は従来法、巨大地震の場合はPLUM法の特徴を生かして迅速・確実な緊急地震速報の発表が可能。
PLUM法の予測値だけで緊急地震速報が発表できる。

＜効果＞東北地方太平洋沖地震以後2011年12月までに発生した、警報を発表した全94地震について、予報区域別に見た場合、予想した震度が±１階級に収まる割合が76%から88%に改善されることを確認。

新しい手法の導入による改善の効果

１．同時に発生した地震に対する識別能力が向上し、誤った震源に基づく誤報や過大警報を回避できます。（IPF法）
２．震源の推定精度が向上し、震度予測の精度が向上します。（IPF法）
３．巨大地震時に震源から遠い地域に対して警報を発表できます。（PLUM法）
４．震源が推定できなかった場合でも緊急地震速報を発表できます。（PLUM法）
５．深さ150kmを超える深い地震についても震度予測ができます。（PLUM法）
６．「見逃し」（震度４以上を観測したが、緊急地震速報を発表していない）事例が減ります。（PLUM法）
７．推定震源に矛盾がある場合はそれを採用しない（PLUM法による震度予測で発表する）ことで、誤った震源に基づく誤報や過大警報を避けられます。
（新手法導入に伴う品質管理の強化：PLUM法）

新しい手法の導入に関連して想定される技術的課題

１．一つの地震について、複数の地点で観測したリアルタイム震度を別の地震によるものと判断し、複数の情報を発表する場合があります。
（例：深発地震、遠方の地震等）

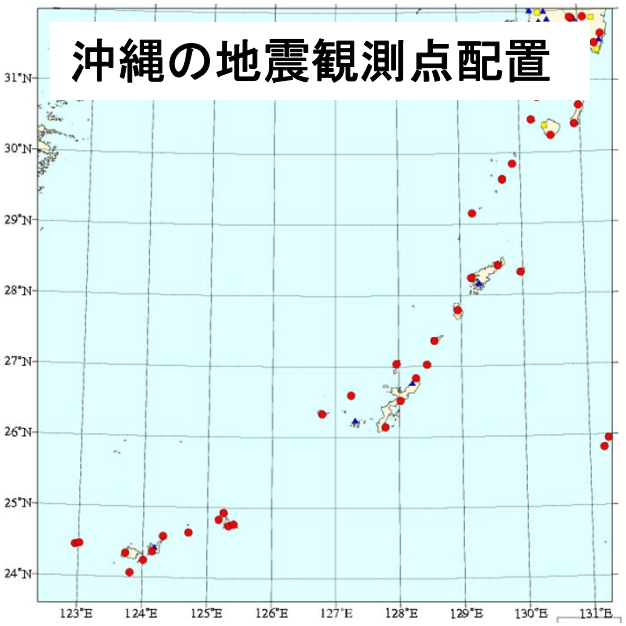
２．一つの地震について、従来法で推定した震源と、観測したリアルタイム震度を適切に結びつけられず、複数の情報を発表する場合があります。
（例：深発地震、遠方の地震等）

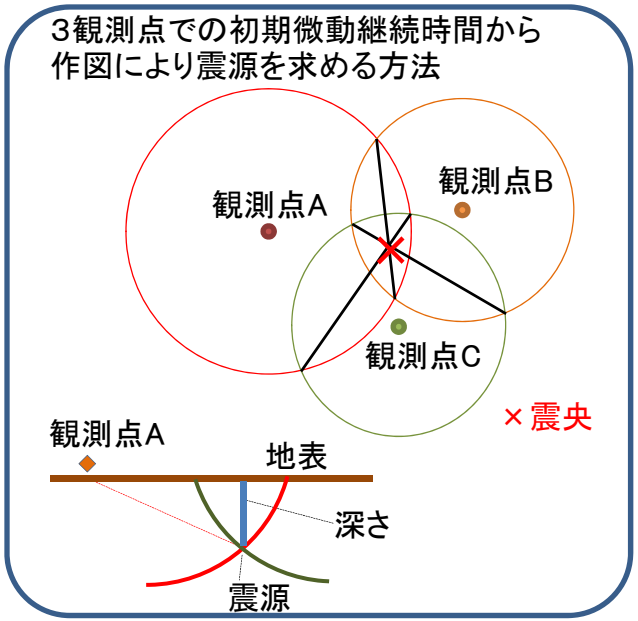
３．IPF法導入後も、複数の地震を１つの地震とみなして情報発表する場合があります。
（例：ごく近い場所で間を置かずに地震が連発した場合等）

４．その他、地震の規模や震度を過大に予測する事例、強い揺れの見逃し事例等、誤差のある事例が完全に無くなるわけではありません。

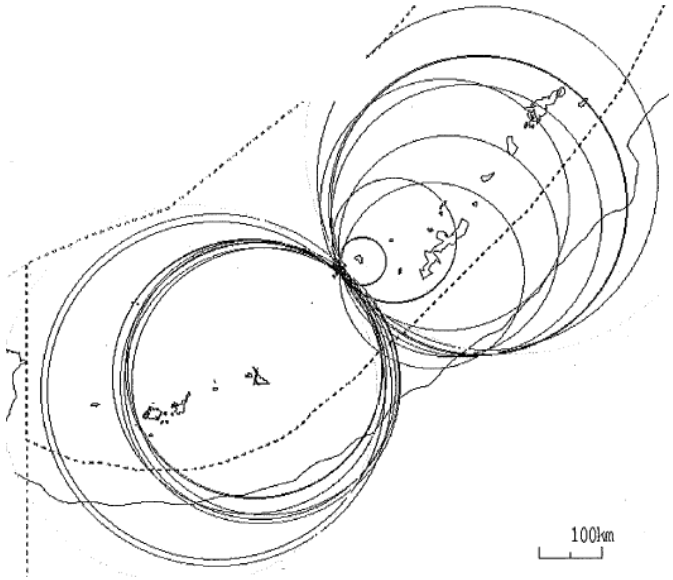
技術的課題については今後も改善に向けて検討

島嶼部の観測点の線上配置による留意点





沖縄地方で震源を求めた場合の例



沖縄のような島嶼部では、観測点の配置が線状に分布

⇒ 例えば、本州のような面的な観測点分布図ではないため、3円交線（＝震源）が本州等に比べ、求めづらい。

震源位置（特に深さ）で精度が悪くなる場合がある

顕著な例：1999年台湾　集集地震