

「海溝型地震を対象とした地震発生予測の高精度化に関する調査観測の強化、地震動即時予測及び地震動予測の高精度化」に関する実績等について

平成29年6月27日
地震本部事務局

①総合的な調査観測研究

① 総合的な調査観測研究

これまで地震本部では、ある地域において大きな被害をもたらすと予想される地震の発生時期がある程度推定できれば、それに応じた防災・減災対策が可能になるという観点で、地震発生の可能性の長期評価を実施し、一定の成果を上げてきた。しかしながら、これまでの長期評価では、主として過去の地震発生履歴に基づいた統計的手法によるため、東北地方太平洋沖地震のような発生間隔が長いと考えられているM9クラスの超巨大地震を対象とした評価には、その地震発生履歴データが十分にはないことなどから限界がある。また、地震の時間的及び空間的な連動発生の可能性等の評価を行えるものではない。この状況を打破するためには、津波堆積物・海底活断層・海底堆積物及び歴史文献資料等の調査による過去の地震発生履歴データの充実や、海域の地震観測や海底地殻変動観測、プレート境界面からの地質試料の採取・分析等から得られたデータによるプレート境界付近の応力やすべり速度等の現状評価の高度化等に取り組むとともに、それらの成果を数値シミュレーションに取り込むこと等によって、地震発生の予測精度を向上させる必要がある。

このため、基本目標として、

○M9クラスの超巨大地震の発生や海溝型地震の連動発生の可能性評価を含めた地震発生予測の精度向上を設定する。

基本目標の達成に向けて、

- ・海域における重点的なリアルタイム地震観測網の整備
- ・プレート境界の応力等の把握のための地震・地殻変動観測
- ・海陸統合の地殻構造調査
- ・深部掘削によるプレート境界面の地質試料採取・分析
- ・津波堆積物・海底活断層・海底堆積物及び歴史文献資料等の調査の充実
- ・海溝型地震の物理モデル構築のための調査研究
- ・海溝型地震の発生予測手法の開発

等を、科学技術・学術審議会測地学分科会における議論の上で、策定された学術的な観測研究計画である「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」に基づく基礎的観測研究の成果も活用しつつ、総合的に推進する。

(次ページに続く)

(前ページの続き)

東海・東南海・南海地震については、地震本部の長期評価による発生確率が極めて高いたけでなく、中央防災会議もその発生に伴う甚大な被害を予測している。これらの地震が発生した場合、日本の社会・経済活動に深刻な影響を及ぼすおそれがあるため、東海・東南海・南海地震についての総合的な調査観測研究を推進する。なお、大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域及びその周辺における観測、測量等についても推進し、予知の可能性のある東海地震に関する観測監視体制や予知精度の向上に引き続き努力する。

また、日本海溝については、東北地方太平洋沖地震により、活発な余震活動が続いている震源域や、誘発地震のおそれのある震源域周辺では、今後も大きな被害を及ぼす地震・津波が発生する恐れがあるため、これら地域を対象に調査観測研究を推進する。さらに、千島海溝で発生する地震も大きな被害をもたらす恐れがあるため、調査観測研究を実施する。なお、詳細な地震像の把握が出来ていない他の海溝型地震についても、大きな被害を及ぼす地震及び津波が発生する可能性があることを常に念頭に置いて調査観測を推進し、知見の蓄積を行っていく必要がある。

さらに、東北地方太平洋沖地震の影響により日本列島において大きな地殻変動が観測されており、地震本部では、全国の活断層の断層面にかかる力が変化し、一部の活断層による地震の発生確率が高くなっている可能性がある」と指摘している。また、東海・東南海・南海地震と同期して内陸の地震も活発化したという過去の事例もある。これらのことから、海溝型地震と内陸の地震の関連性についても留意して、内陸の地震の長期評価を進めていくことが重要である。

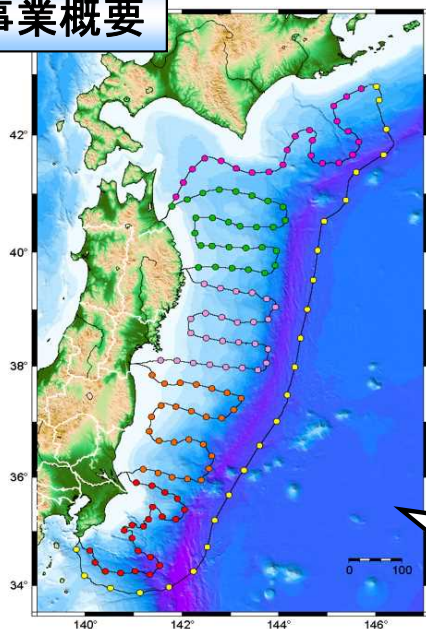
プレート運動の現状と周囲への影響を正確に把握し、海溝型地震の発生に至る推移予測を実現することで、国、地方公共団体、民間企業、NPO等、さらには個人に対して、より実際のニーズに即した情報を提供することが可能となり、防災・減災対策の促進や国民の意識向上に大きく寄与するものと考えられる。

海域における重点的なリアルタイム地震津波観測網の整備②(S-net)

背景

- 東北地方太平洋沖では引き続き規模の大きな海溝型地震が発生し、今後も強い揺れや高い津波に見舞われるおそれがある。
地震・津波の観測網の整備及び正確な地震・津波情報の提供は、東北地方を地震・津波から守り、災害に強いまちづくりを進める上で極めて重要。
- 現行の津波警報は、主に陸上の地震計により津波の高さを推定しているため精度に限界。このため、海域の観測網により津波を直接検知し、早期に正確な情報を提供することは、適切な防災・減災のために必要不可欠。
- 東北地方太平洋沖で発生する詳細な地震像は明らかになっておらず、震源域に近い海域で、地震を連続観測し、精度高く地震像を解明することは、将来の地震発生予測に貢献するとともに、復興過程における被災地の都市計画、防災計画に貢献。

事業概要



- 今後、大きな余震や誘発地震のおそれのある日本海溝沿いに地震計・水圧計を備えたケーブル式観測網を整備し、地震・津波を観測監視(H23補正～H26)。
- 事業が遅れている4海域での整備を平成27年度～平成28年度に繰り越したうえで完了し、試験運用を行うとともに、平成29年度から本格的な運用を行う。
- 観測データ等を用いて、津波即時予測技術の開発に向けた基礎的なデータ処理等を行う。



ケーブル式海底観測装置
(地震計・水圧計)



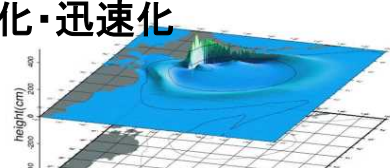
海底光ケーブル

スケジュール

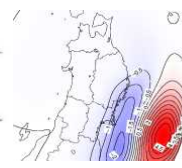
H23年度	機器の製造、ルート選定
H24年度	機器の製造、海域調査等
H25年度	機器の製造 「房総沖」に敷設
H26年度	「三陸北部」に敷設。「宮城・岩手沖」に敷設開始
H27年度	「宮城・岩手沖」(H26から継続)、 「茨城・福島沖」、「釧路・青森沖」に敷設、運用開始
H28年度	「海溝軸外側」に敷設

期待される成果

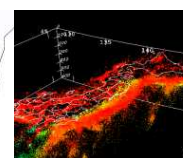
- 津波即時予測技術の開発及び津波情報提供の高精度化・迅速化
- 東北地方の地震像の解明
- 地殻変動(垂直方向)の観測
- 将来起きる地震の正確な予測
- 緊急地震速報の高度化(最大30秒程度早く検知) 等



高精度な津波即時予測



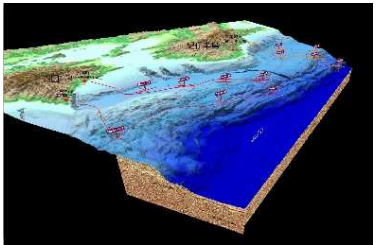
地震像の解明



緊急地震速報への活用

DONET及びS-netを用いた社会実装例

DONETを用いた即時津波予測システムの構築

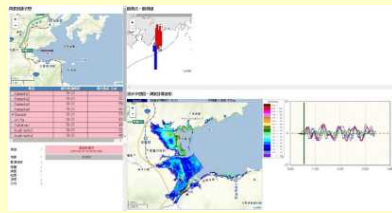


リアルタイム観測データ
(地震・津波)

○リアルタイム波形表示



○即時津波予測



予測結果を表示

多数の断層モデルを用いて事前に津波計算し、データベース化。その中から観測点での水圧値に合致するモデルを抽出。

- ・和歌山県: 気象庁より津波予報業務許可を取得。みなべ町から那智勝浦町の沿岸における、第一波到達予想時刻・最大予想津波高・津波浸水域予測・津波浸水深予測を、当該市町の防災部局に提供。また、津波を観測した情報を当該市町の住民に緊急速報メールにて配信。
- ・三重県: 県庁内でのシステム利用。津波を観測した情報を当該市町の住民に緊急速報メールにて配信。また、当該システムを用いて内閣府のM9モデルケースで避難訓練実施。
- ・尾鷲市: 市役所内でのシステム利用。将来、市が免許を取得したワンセグ放送と連携
- ・中部電力: 企業内でのシステム利用。別途設置したレーダーやGPS波浪計とシステムを統合

S-netを用いた津波予測システムの開発

内閣府プロジェクトSIPレジリエントな防災・減災機能の強化 課題①津波被害軽減のための基盤的研究



- ・日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の観測データ等を活用して津波検知後数分以内に陸域への津波遡上を予測する技術を開発し、災害レジリエンス情報ネットワークの概念に基づき構築される情報共有システムへの津波情報の提供を実現する。
- ・観測データと合わせて津波予測情報を分かりやすく速やかに提供するための技術の開発と、これらの技術を用いた実証実験を実施して課題抽出、高度化を行う。今後、本システムの千葉県への実装が計画されている。

地方自治体や民間企業等の地震・津波防災対策の向上に貢献

海底地殻変動観測技術の開発

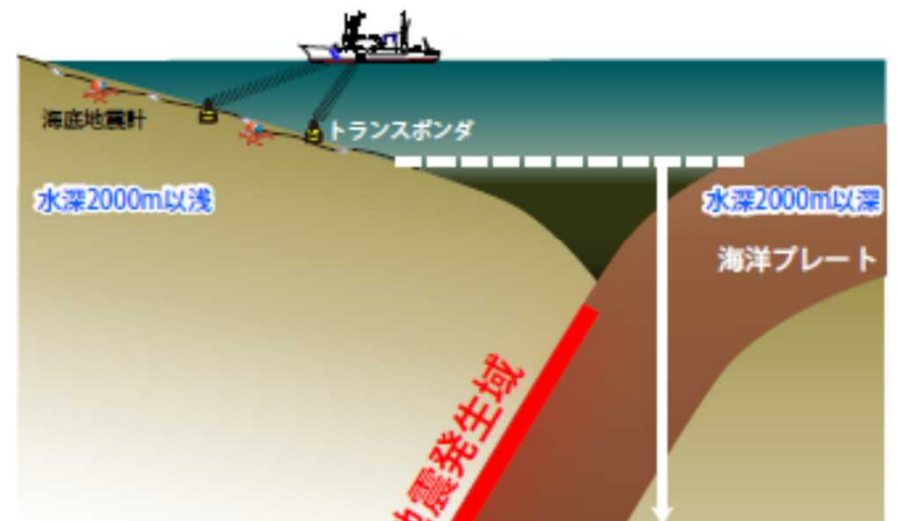
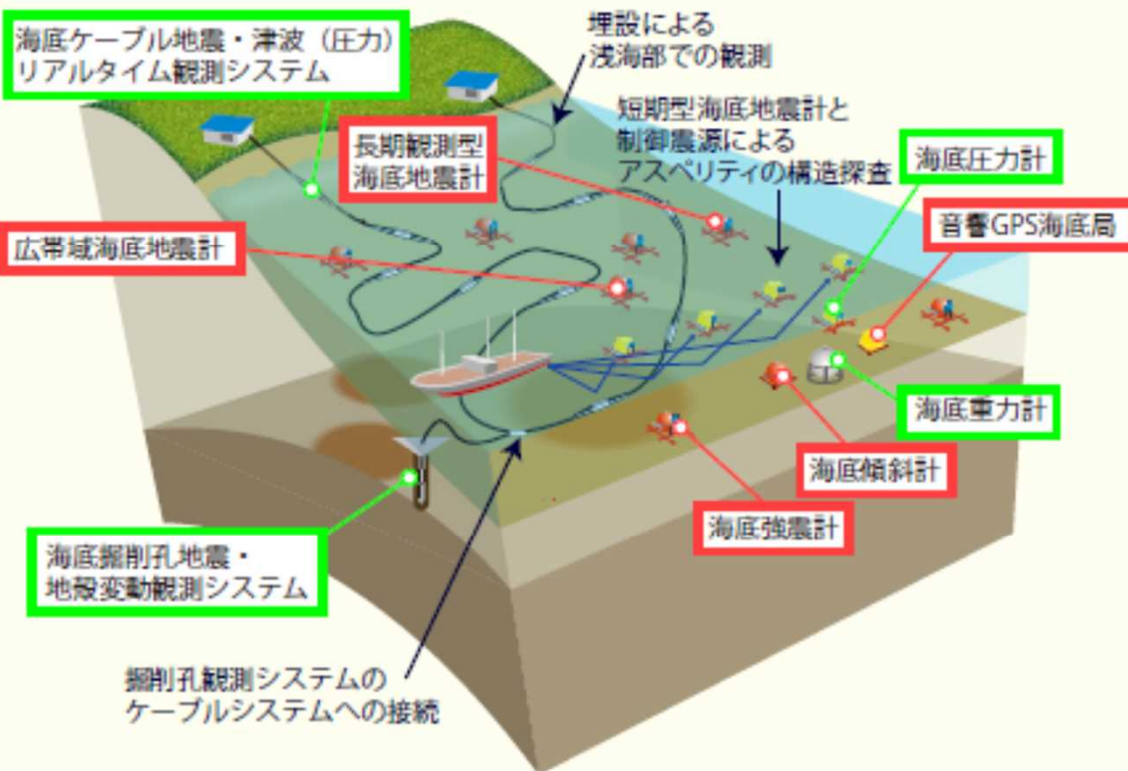
○ 様々な海底地殻変動観測技術が開発され、実用可能な段階まで進みつつある。

実用可能になってきた観測技術

長期型海底地震計、GPS音響結合地殻変動観測システム（水深2000mまで）
海底強震計、海底圧力計、広帯域地震計

開発中の観測技術

海底掘削孔観測システム、海底重力計、海底傾斜計



深海底での観測

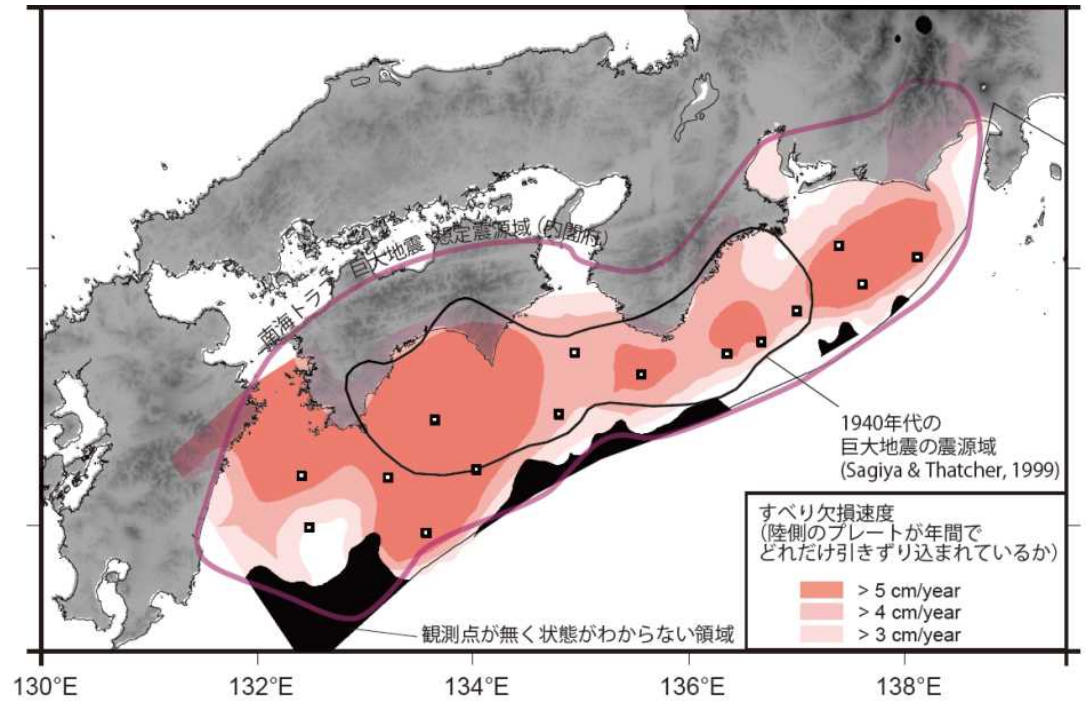
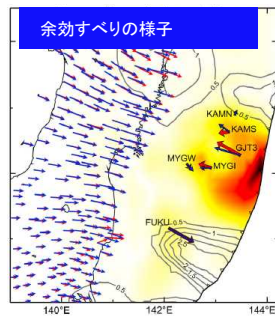
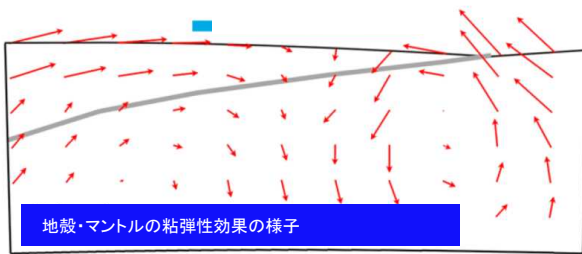
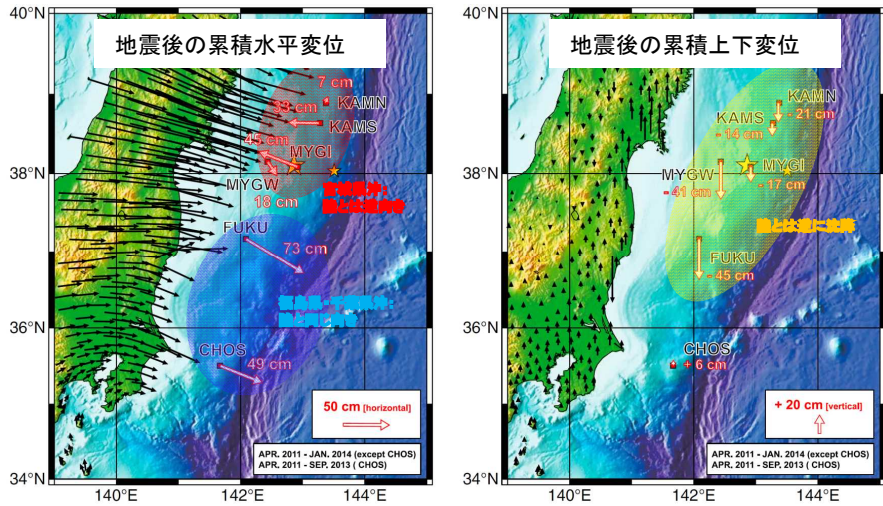
- 海底地殻変動観測
- 海底圧力計
- 超深海型海底地震計など（伸縮計）

→観測技術の開発が必要

海底観測技術の進展により、プレート境界の震源域に近づいたが、極近傍の観測は実現できていない

GPS-A海底地殻変動観測による成果

○ GPS測位と音響測距を用いた海底地殻変動観測によって、東北沖地震後の余効変動や南海トラフ想定震源域の固着の分布状態が明らかとなった。

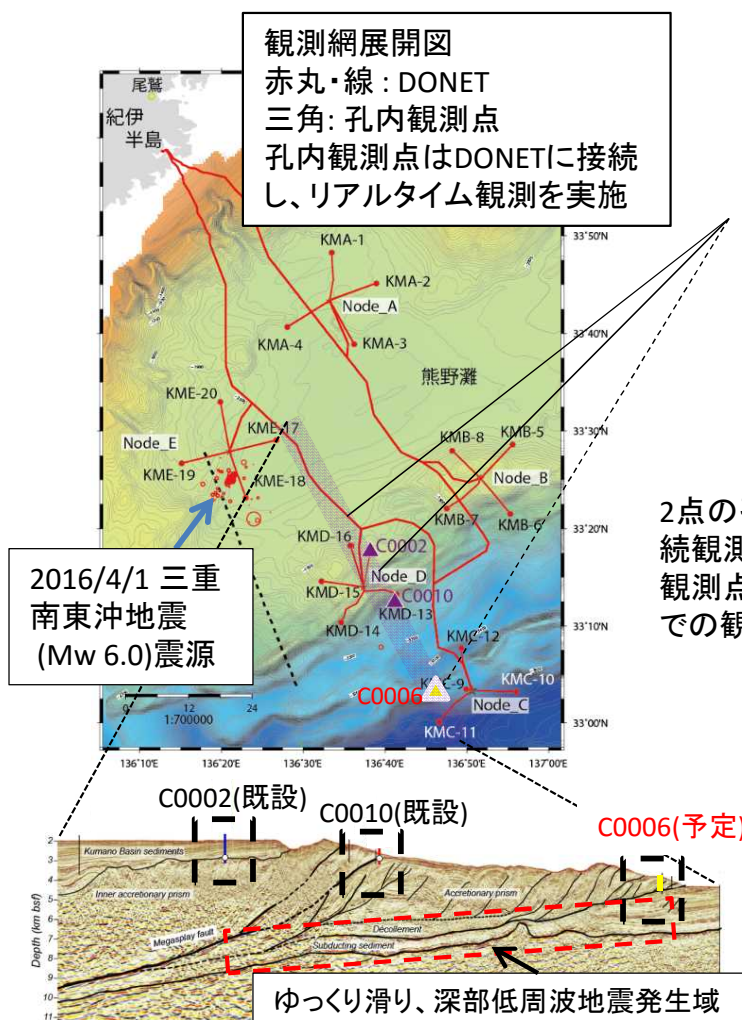


南海トラフ想定震源域の固着の分布状態が明らかになった

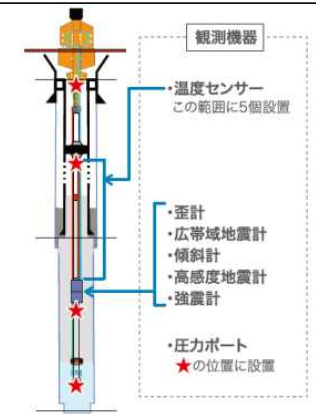
東北沖地震後の余効変動を明らかにするとともに、モデル化

南海トラフ震源海域における長期孔内計測

- 統合国際深海掘削計画 (IODP、2013年より国際深海科学掘削計画) の南海トラフ地震発生帯掘削計画の一環として、南海トラフ熊野灘海底下約1,000mまで掘削された孔内にひずみ計や傾斜計、地震計、温度計、圧力センサで構成される長期孔内観測装置を設置し、海底下地震・地殻変動のリアルタイム観測を開始。
- 今後、孔内観測点を広域に展開することで、プレート境界地震発生域直上における応力分布を時空間的に把握することが可能となり、南海トラフで繰り返し発生するプレート境界型巨大地震の発生予測精度向上への寄与が期待される。

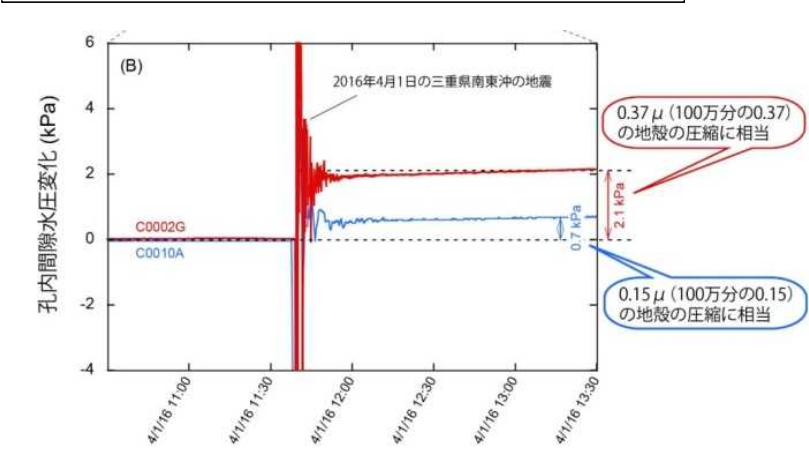


孔内観測装置構成図

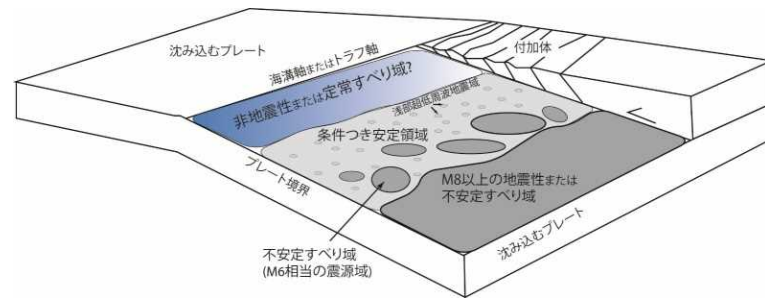


2点の孔内観測点 (C0002, C0010) で連続観測を実施中。2017年度にはC0006観測点の設置を予定しており、合計3点での観測を開始する予定。

地震発生にともない発生した孔内間隙水圧変化



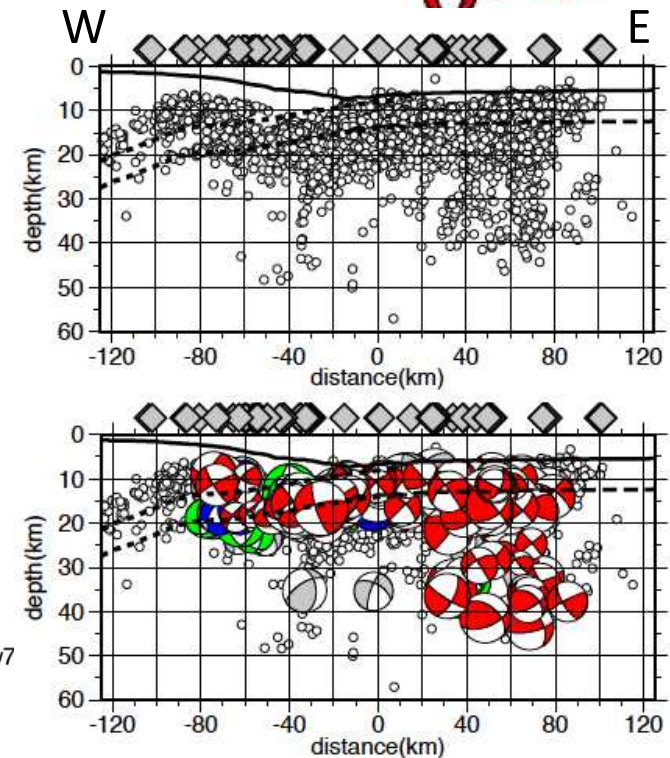
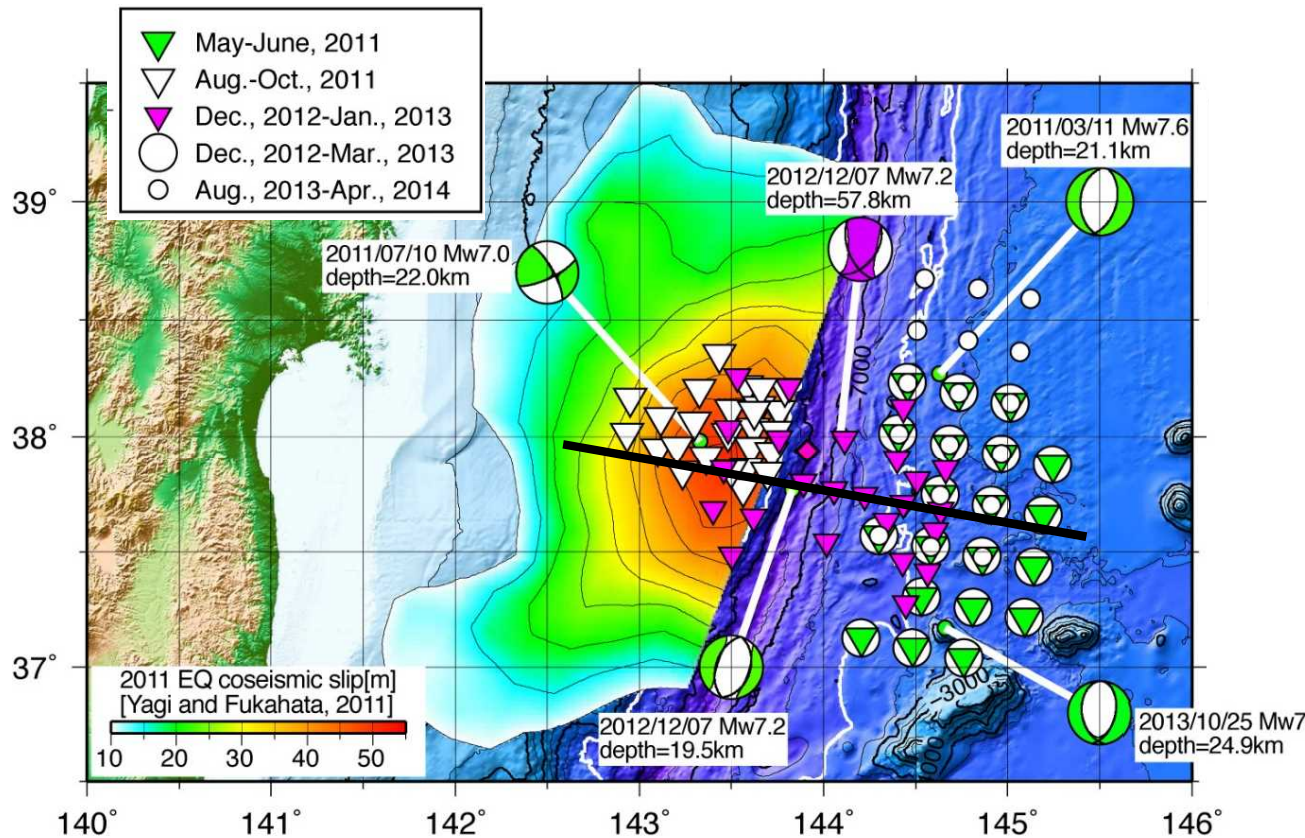
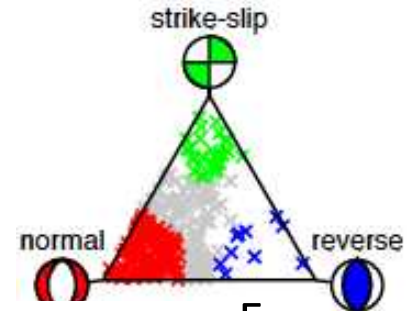
⇒ 観測孔周辺の地殻変動 (ひずみ変化) を観測
 長期の連続データでは、ゆっくり滑りの発生も観測された。



孔内観測点の広域展開 +リアルタイム観測により、南海トラフ巨大地震震源域近傍広域での海底地殻変動の監視が可能となる。

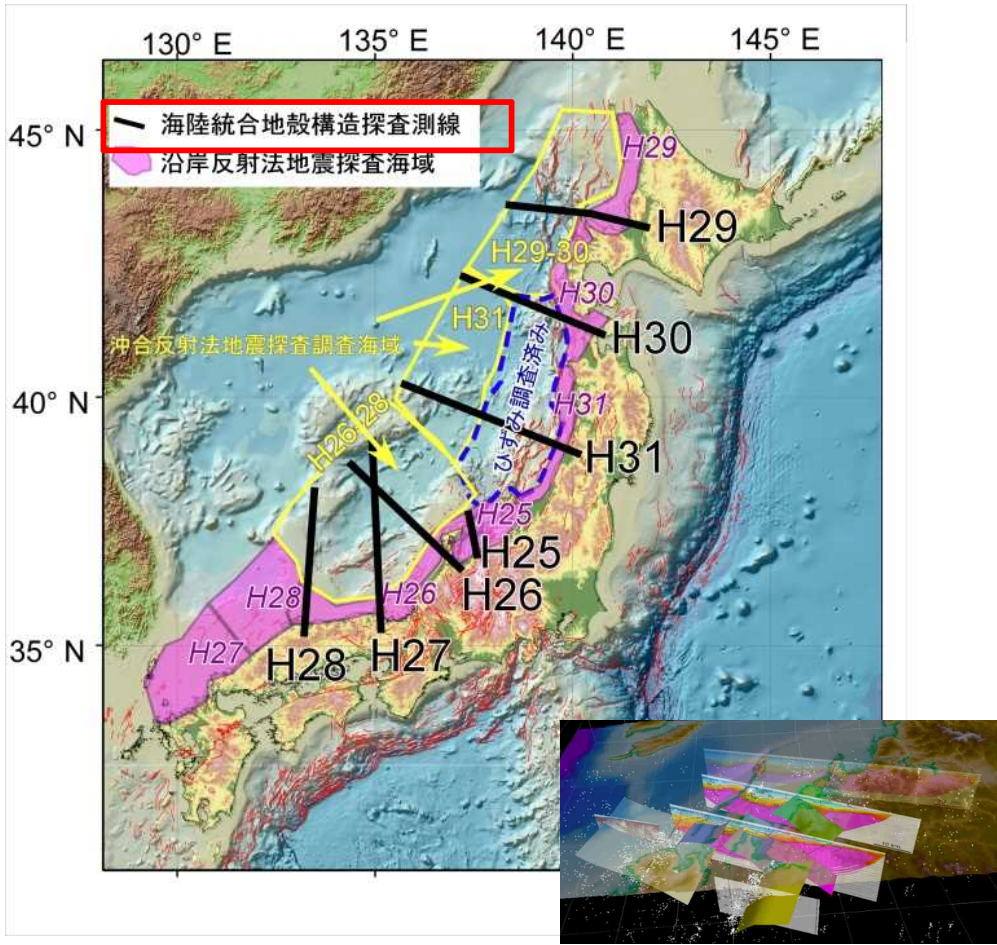
東北沖での応力等把握のための調査航海

- 東北地方太平洋沖地震の際に、プレート境界において巨大な滑りが発生した海溝軸近傍の海溝陸側斜面と、東北沖地震以降プレート内地震活動が活発化したアウターライズ領域において、巨大地震後の応力場把握を目的に、新たに開発した超深海型海底地震計を含めて繰り返し地震観測を実施。
- 太平洋プレート内部ならびに上盤プレートでは、伸張応力場が卓越しており、正断層型の地震が発生しやすい状況になっていることを明らかにし、巨大地震後の地震活動予測に貢献が図れた。



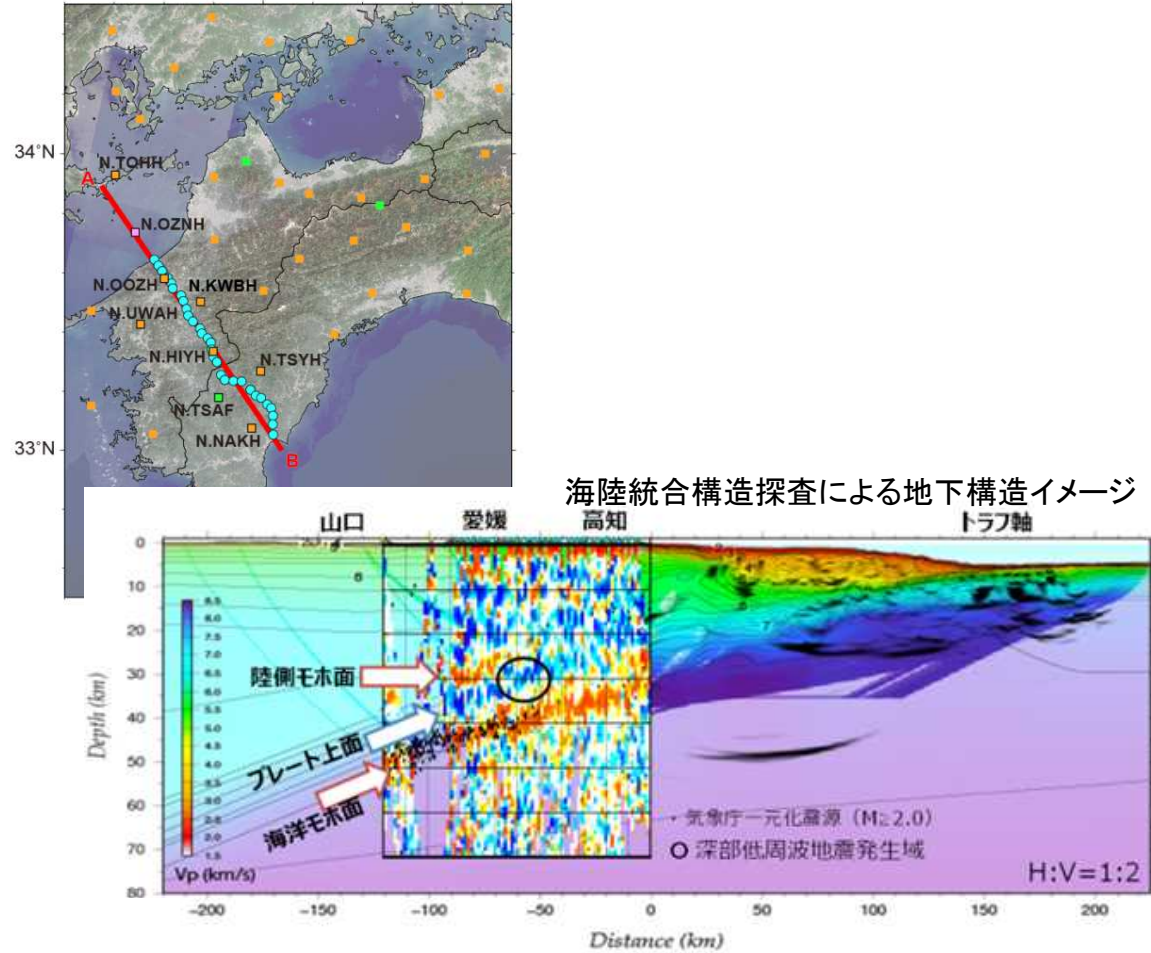
海陸統合の地殻構造調査

○ 文部科学省の事業において、海陸統合の地殻構造調査を実施。



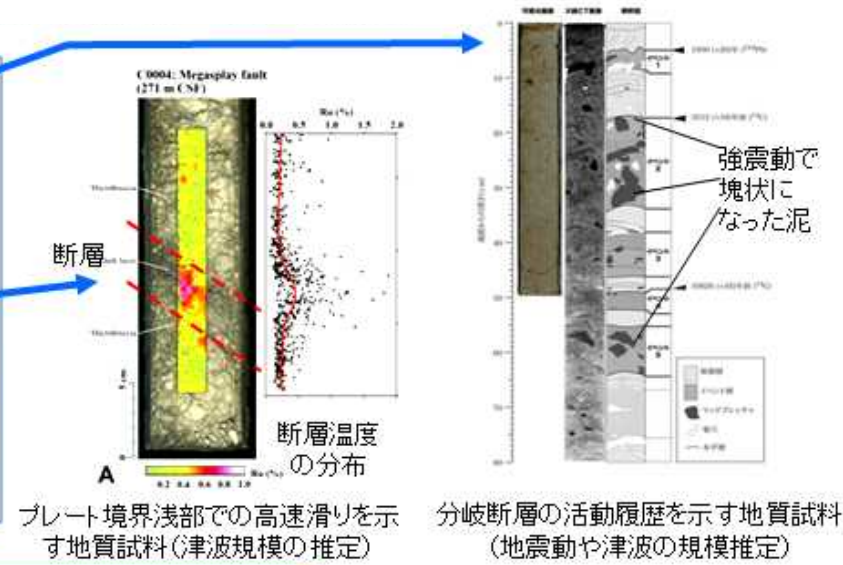
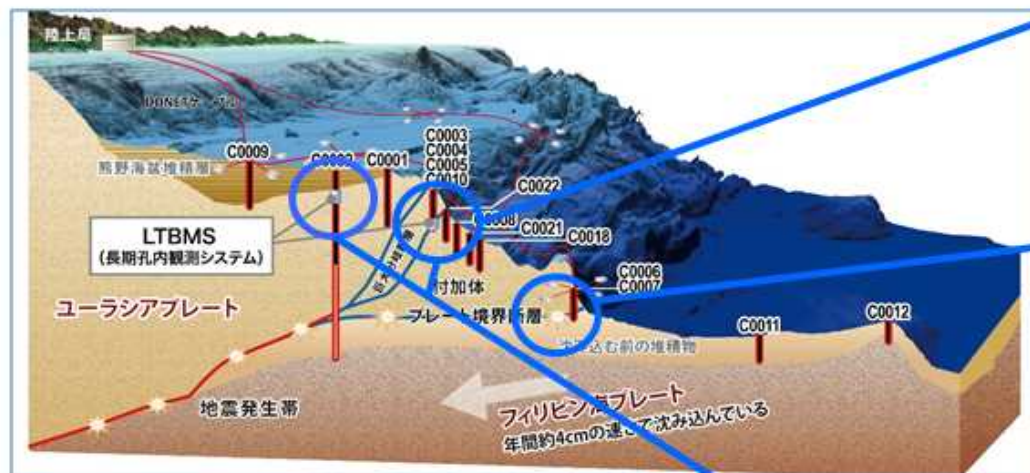
海陸統合探査によって得られた新
潟地域の震源断層モデル

日本海地震・調査プロジェクト

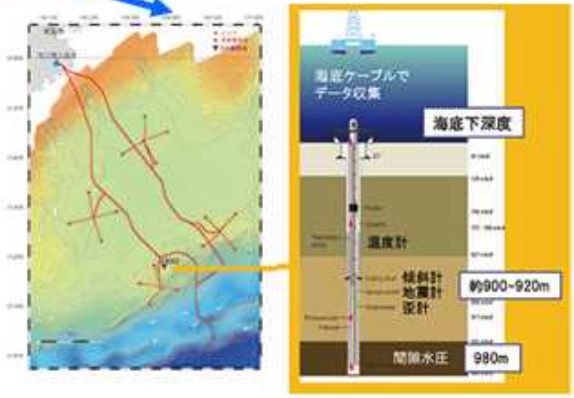


南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

南海トラフ地震発生帯掘削計画



- 海溝軸付近において東北地方太平洋沖地震と同様と考えられる滑りをした痕跡を発見し、南海トラフにおいてもプレート境界浅部が広い範囲で高速で滑り、**想定より大きな津波を発生させる可能性を示唆**。(2011年4月発表)
- **巨大分岐断層が1944年の東南海地震時に活動した痕跡を発見し、次の東南海地震においても活動する可能性が高いことを証明**。(2011年10月発表)
- 掘削孔に設置した長期孔内観測装置を、地震・津波観測監視システム(DONET)に接続し、**海底下の微細な地殻変動の連続リアルタイム観測を実現**。観測データは気象庁等へ配信。(2013年2月(C0002孔)、2016年7月(C0010孔)発表)
- 海底泥火山の掘削試料から、最高310℃と推定される高温を経験した水を検出し、沈み込む海洋プレートから脱水した**地下水がプレート境界の断層の滑りやすさ等に作用している可能性を示唆**。(2015年2月発表)
- 東北地方太平洋沖地震と南海トラフの断層試料の分析・解析から、**南海トラフの海溝付近の断層すべり量は30~50m程度になることを定量的に評価**(2016年6月発表)
- DONET及び長期孔内観測装置により得られたデータの解析により、**2016年4月に三重県沖で起きたM6級地震が、前回の東南海地震以来72年ぶりのプレート境界地震であったことを解明**。(2016年11月発表)



掘削孔に設置した長期孔内計測装置

遠くない将来に懸念される南海トラフ巨大地震について、地震・津波規模の推定や発生条件などそのメカニズム解明に貢献
また、連続リアルタイム観測により、緊急地震速報等の防災・減災情報への活用や、微小な地震動や地殻変動に伴う海底下の歪みや温度、圧力等の変化と巨大地震発生との関連性に関する研究への展開

東北地方太平洋沖地震調査掘削(JFAST)

巨大地震・津波を引き起こしたプレート境界断層の摩擦特性を解明。沈み込み帯先端部(海溝付近)が、巨大津波の発生に関して、極めて重要であることを見出し、内閣府中央防災会議における次期南海トラフ地震のシミュレーションに反映。

- 東北地方太平洋沖地震の地震断層の同定と試料採取に成功。
- 断層は薄く(5m以下)弱かった(粘土層)ことが判明。
- さらに、サーマルプレシャライゼーション作用が働き、断層の摩擦係数が極度に低下したことが分かった。
- そのため、海溝付近で海底が水平方向に50m、垂直方向に7-10m変動し、大津波が発生したことが明らかとなった。



※海溝型地震：プレート境界面の深いところにある固着域でひずみをためこみ、それが破壊されることで地震が起こる



◀ 海底下約820mから採取された日本海溝のプレート境界断層試料

すべりにより生じた摩擦熱の測定を目的とした孔内温度計の設置作業

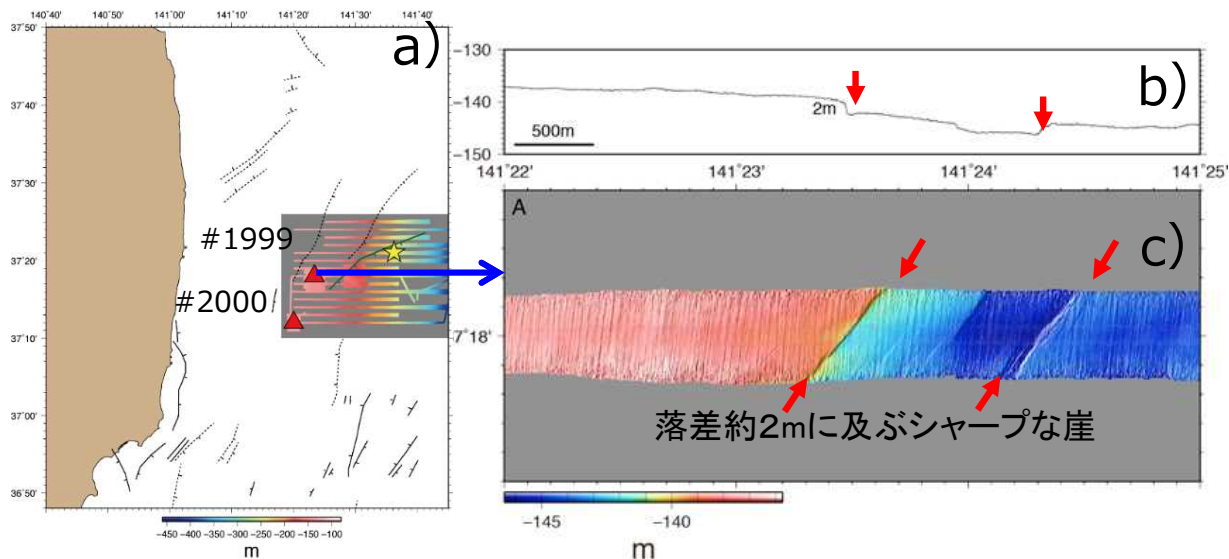


福島沖地震に伴う震源断層の調査

○未調査活断層の詳細位置把握のため調査を実施。

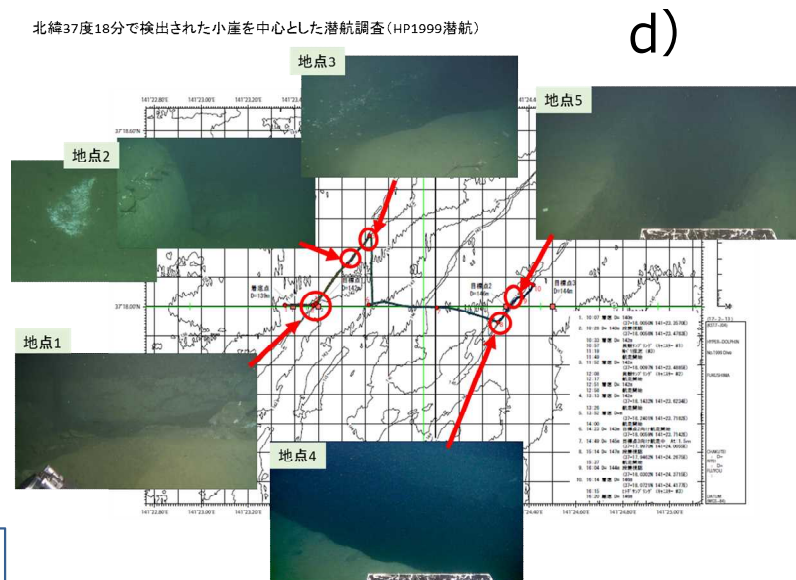
○2016年11月22日による海底変動把握のため、緊急航海等による海底地形データ取得、海底観察を実施。取得された地形データの解析から、震源域に北東—南西走行を持つ連続した崖地形のマッピングに成功。潜航調査で地震断層崖を目視で確認。

○この観測結果を、11月22日に福島県沖で発生した地震に関する資料として、地震調査委員会へ提供した。これにより地震調査委員会では、同定した崖として見られる海底地形は、これまでの海底地質図では示されておらず、少なくとも東北地方太平洋沖地震以降に活動した断層であると結論付けた。



#1999 潜航調査

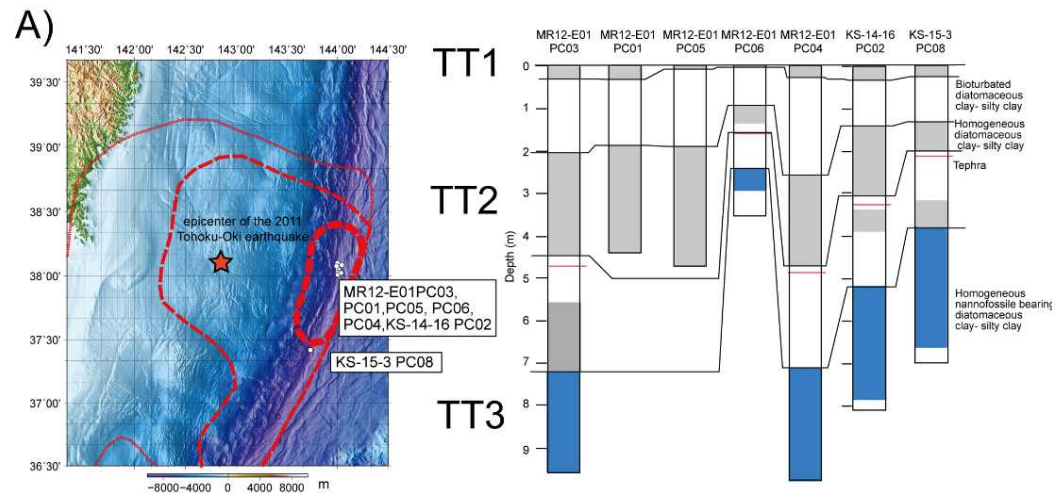
北緯37度18分で検出された小崖を中心とした潜航調査(HP1999潜航)



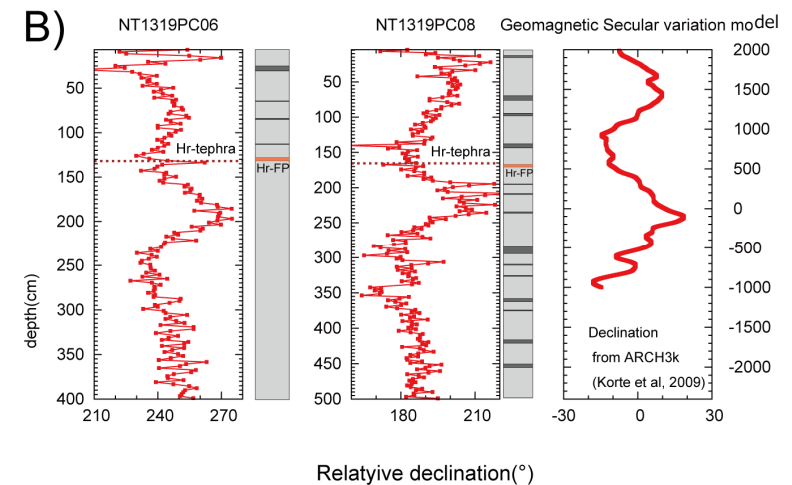
a) 福島沖これまで認識されていた断層（黒）および発生当初に震源断層として指摘された断層（緑）と地震後の地形・潜航調査域（▲）。
b) 地形の段差が認められた測線(#1999上の青線)の地形断面図, c) と詳細海底地形図。d) #1999潜航における段差崖の潜航観察映像。

東北沖日本海溝での堆積物調査による地震履歴調査

- ・海底堆積物による海溝型履歴調査を日本海溝で実施。2011年地震発生海域で、2011年と同様な地震の痕跡と考えられる古い2回のイベント層を発見(1454年享徳地震および869年貞観地震と推定)。
- ・また日本海溝陸側斜面でも同様に地震イベント層の保存を確認。タービダイトの規模は小さいが1万年前までの長時間スケールで詳細年代解析が可能なことを確認。



A) 2011年地震破壊域近傍で、**2011年地震** (TT1) , **1454年享徳地震** (TT2) 、 **869年貞観地震** (TT3) に対応すると考えられる3つの地震イベント堆積層が特徴的に分布することを見いだした (Ikehara et al., 2016から抜粋加筆)。今後、海溝広域で同様の産状があるか明らかにする必要がある。



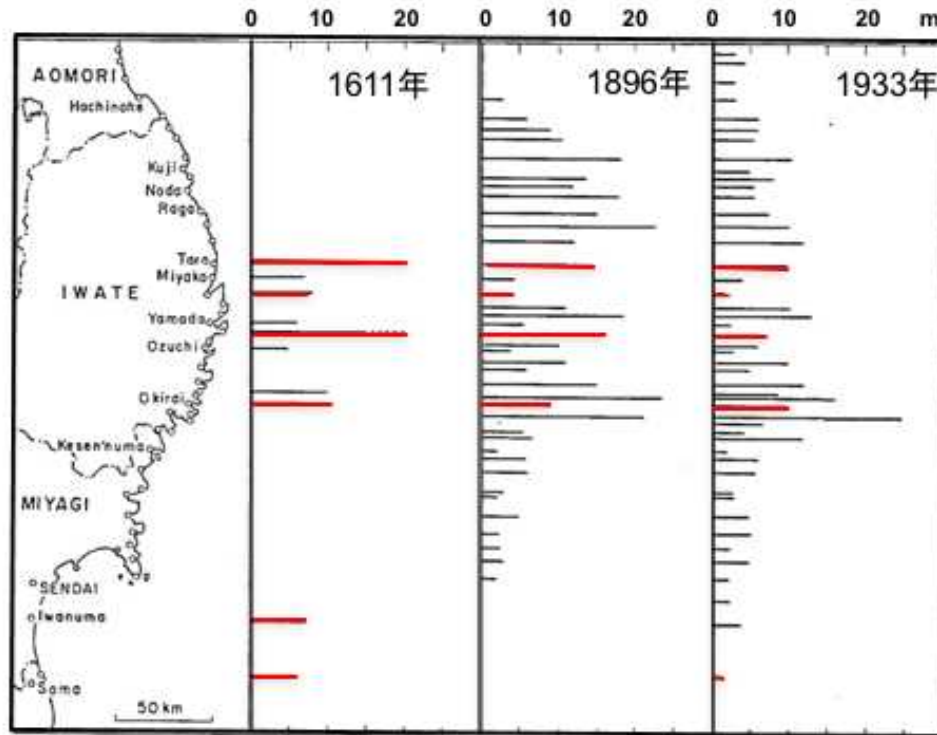
B) 斜面海盆のタービダイト (黒色) と古地磁気永年変化記録(赤色)。リファレンス (右柱状) との比較により詳細な年代解析が可能である (Kanamatsu et al., 投稿中から抜粋) 。

西暦

歴史文献資料調査による1611年慶長三陸地震の震源モデル構築

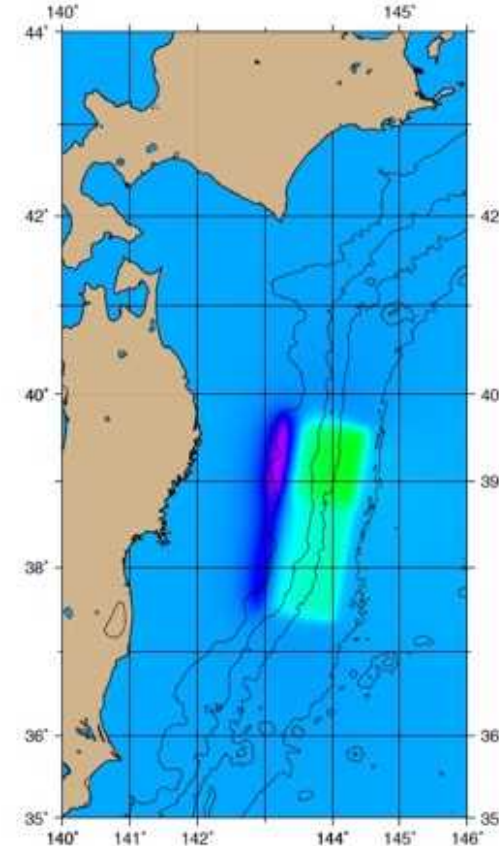
- 歴史資料から各地の波高を推定し、比較することで、1611年の津波が他のものより高い可能性を指摘。
- 津波初期波高を推定。

・歴史史料から各地の波高を比較



1611年の津波が1896年、1933年、
2011年よりも高い可能性

津波初期波高



2枚の矩形断層 ($M_w 9.0$)

北部

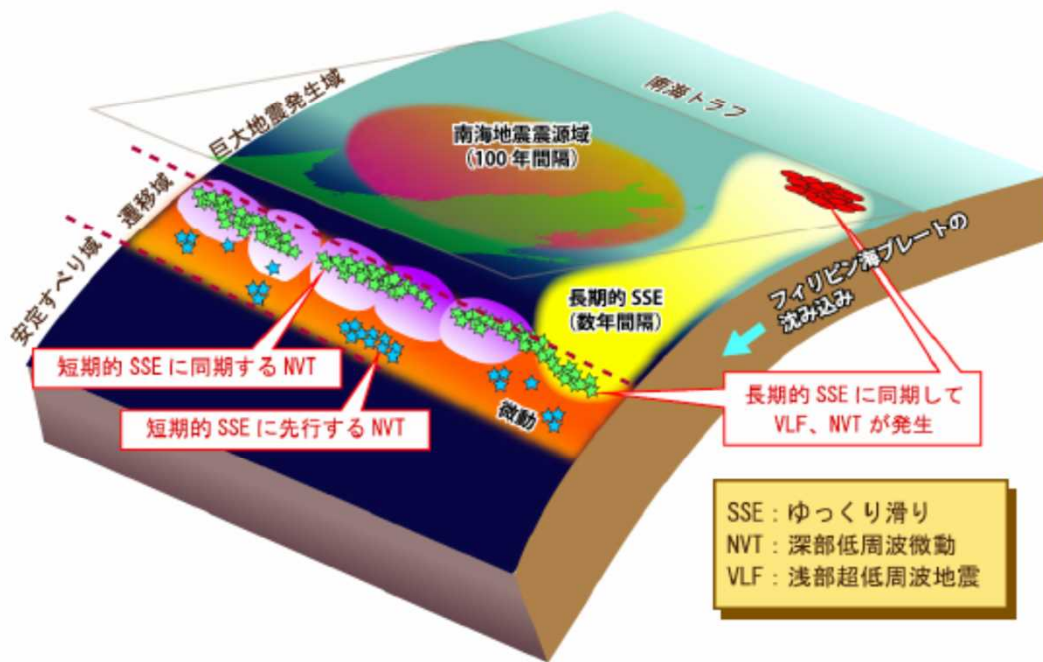
長さ、幅: 100km すべり量: 80m

南部

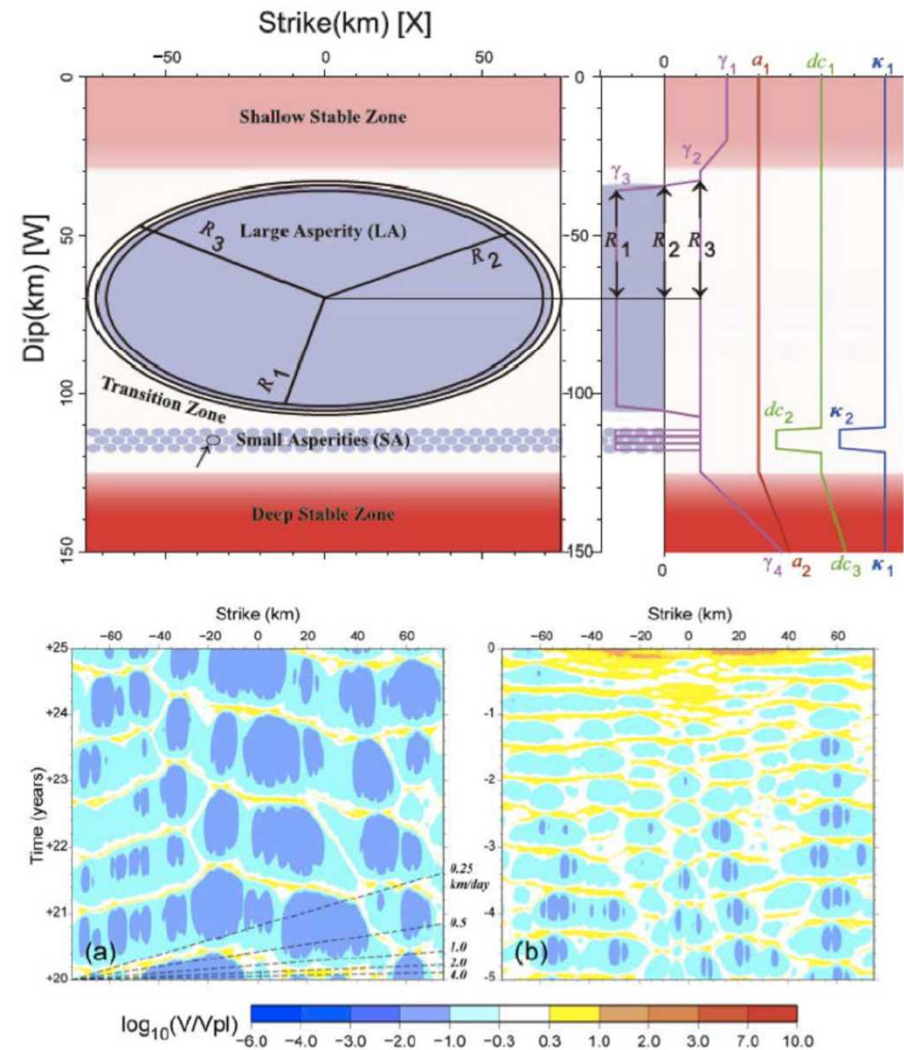
長さ: 150km 幅: 100km すべり量: 40m

プレート境界における多様な滑り現象の発見と物理モデル

プレート境界滑りの多様性と相互作用

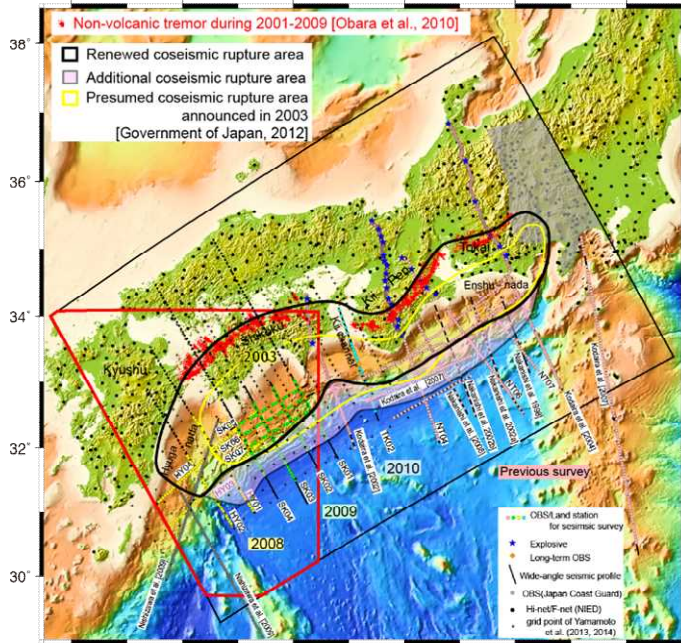


深部低周波微動のシミュレーション



南海トラフの3次元プレートモデルと速度構造モデルの構築

○構造探査の結果および自然地震観測による深部構造を考慮した南海トラフ域の3次元プレート形状および3次元速度構造モデルを構築



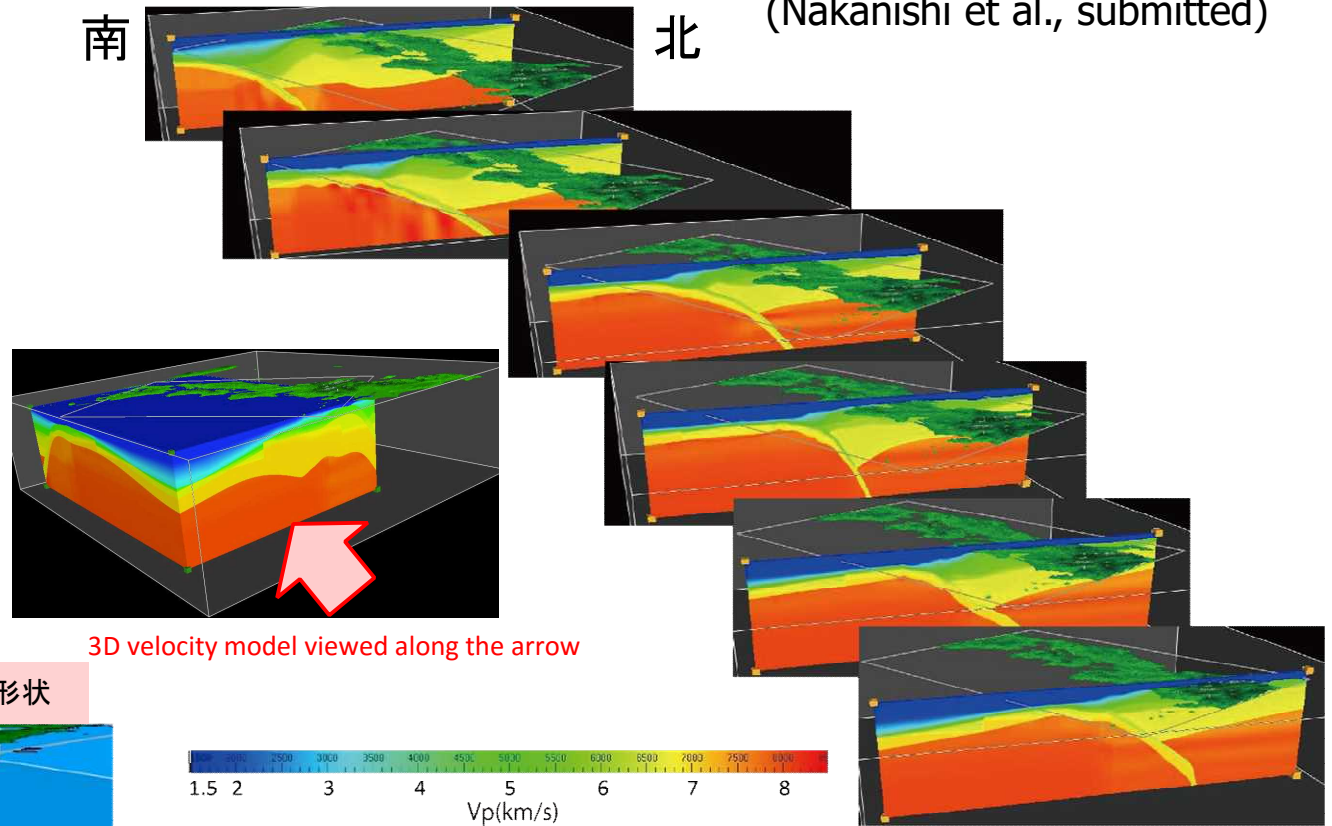
モデル構築に使用した探査測線と観測点の配置

速度構造の東西方向の変化

南

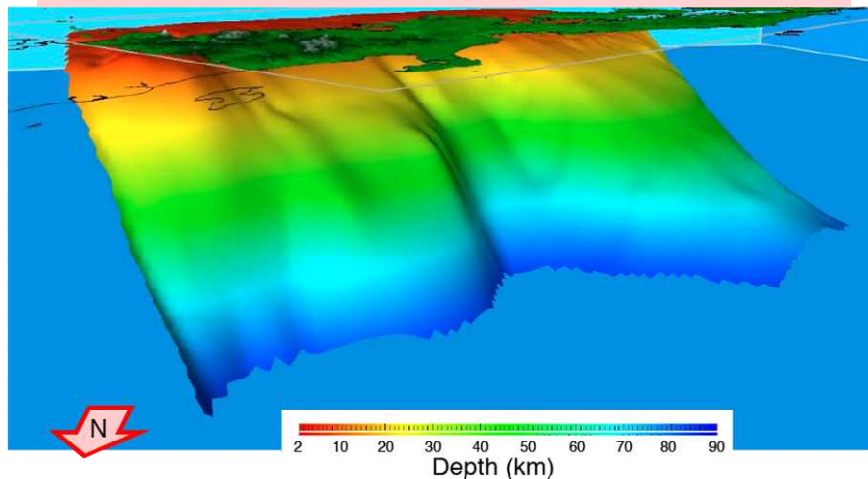
北

(Nakanishi et al., submitted)



3D velocity model viewed along the arrow

北から見た沈み込むフィリピン海プレートの3次元形状

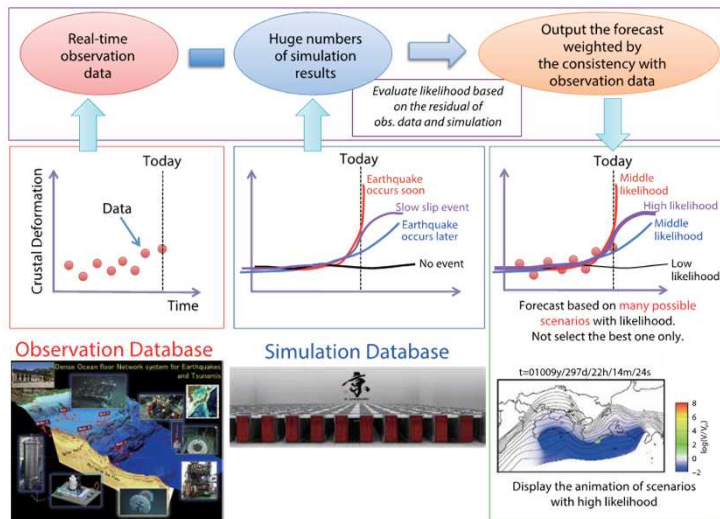


[Landmark DecisionSpaceDesktop]

海溝型地震の発生予測手法の開発

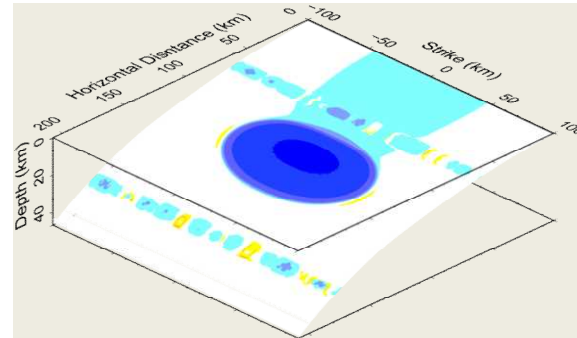
海溝型地震の繰り返しをプレート境界における固着・すべりの時空間変化でモデル化する地震発生サイクルのシミュレーションをベースとして、異なる観点での発生予測手法を開発した。今後起こり得る地震発生シナリオの予測という観点では、過去の地震発生パターンをある程度再現するシミュレーションを多数行うことで、これまで指摘されていなかった日向灘地震による南海地震の誘発や南海地震の先行発生、宮城県沖地震の発生がM9後に早まる可能性等を指摘した。また、リアルタイム地殻活動データにもとづく予測として、ゆっくり地震の活動度変化にもとづく予測可能性を指摘するとともに、事前に計算する多数シナリオとリアルタイムデータとの比較による逐次同化手法を導入し、プロトタイプを稼働させた。

事前シナリオとリアルタイムデータによる逐次同化手法の提案



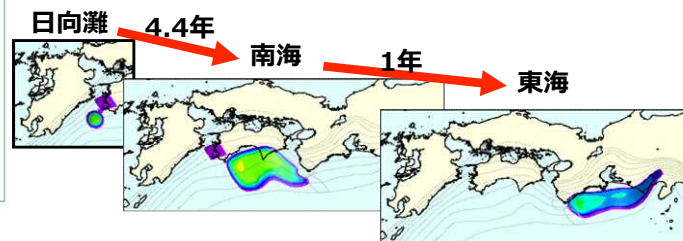
(Hori et al., 2014)

巨大地震前のゆっくり地震活動変化



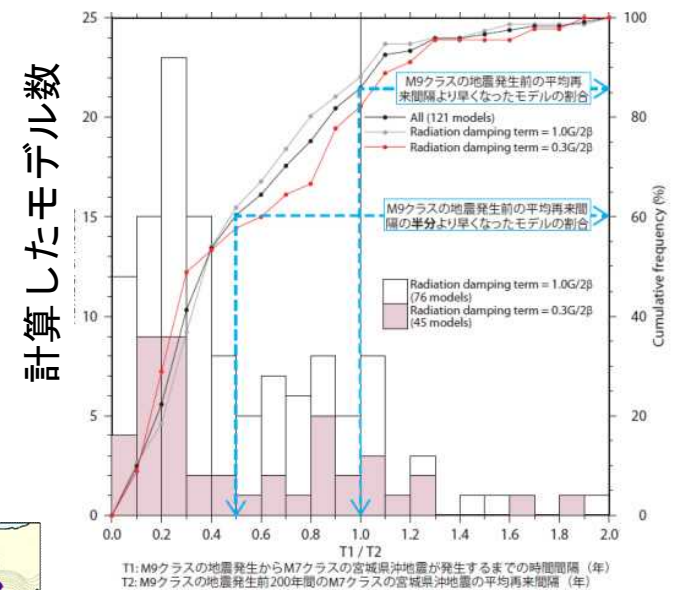
(Ariyoshi et al., 2014)

日向灘地震による南海地震誘発



(Hyodo et al., 2016)

宮城県沖地震が早まる例 宮城県沖地震が遅くなる例



(Nakata et al. 2016)

東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト

背景

- 東海・東南海・南海地震の今後30年以内の地震発生確率は極めて高い(想定東海地震:M8.0程度87%、東南海地震:M8.1前後70%程度、南海地震:M8.4前後60%程度(※1))。過去の記録や最新の研究成果によると、これらの地震は**将来連動して発生する可能性が高い**とされている。
- これらの地震は過去に多様な連動様式(数分~約2年の時間差連動を含む)を示し、発生する被害も多様。これらの**連動可能性を見極めた適切な防災対応が必要**。(特に、どれか一つの地震が発生したときに他の地震の連動発生の有無、連動間隔を見極めることは応急対応時の二次災害を防ぐ観点からも非常に重要。)
- 東海・東南海・南海地震が**同時発生した場合**、最大で**経済的被害が81兆円**、**死者が2万5千人**に至るとされ、**東日本大震災を上回る人的・物的被害**が想定されている。(※2)

(※1)地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価より、(※2)中央防災会議報告より

【過去の地震の履歴】

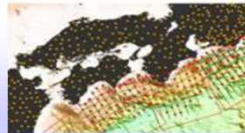


西暦	A	B	C	D	E
1605	102年				
1707	147年		32時間差		
1854					
1944	90年		2年差		
1946					

事業概要

① 稠密海底地震・地殻変動観測

- ・海底地震計の稠密・広域展開等による、南海トラフ全域の**精緻な地殻構造イメージング**
- ・自然地震観測を用いた**地殻活動評価**
- ・津波堆積物調査による**津波履歴の解明** 等

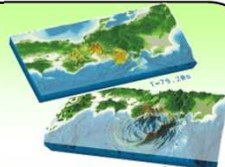


② 物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究

- ・①に基づいた**高精度な地震発生モデル構築**
- ・連動・非連動条件解明のための地震発生**シミュレーションの実施** 等

③ 強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

- ・②を踏まえた**強震動**及び**津波予測**の高精度化
- ・沿岸部ハザードマップ作成、高層ビル等構造物の**被害予測手法**
- ・地元の地方公共団体等と連携した、効果的な防災対策に資する情報の提供 等



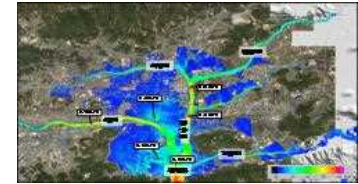
現在までの主な成果



いままで知られていなかった日向灘の地震までの連動の可能性を指摘
今後は、海溝軸付近の連動も検討が必要



地殻構造探査・物理モデルを活かした津波シミュレーションを実施。
今後は、津波履歴調査等の情報を取り入れ高度化



高知市をモデルに津波浸水域の時系列変化・津波の流速等を考慮した動的津波ハザードマップを作成、今後は詳細な構造物を反映し、高度化

本施策の防災への貢献

- 南海トラフ沿いの海溝型地震の**連動発生パターン**及び**発生メカニズム**解明への貢献
- 津波浸水域の時系列変化・津波の流速等を踏まえた**全く新しいハザードマップ**の提示による適切な避難行動への貢献
- 連動発生パターンを踏まえた**適切かつ効果的な住民の避難行動**・**地方公共団体の防災対策等**への貢献
- 東海・東南海・南海地震の危険性に対する**国民、地方公共団体の関心・理解の向上**

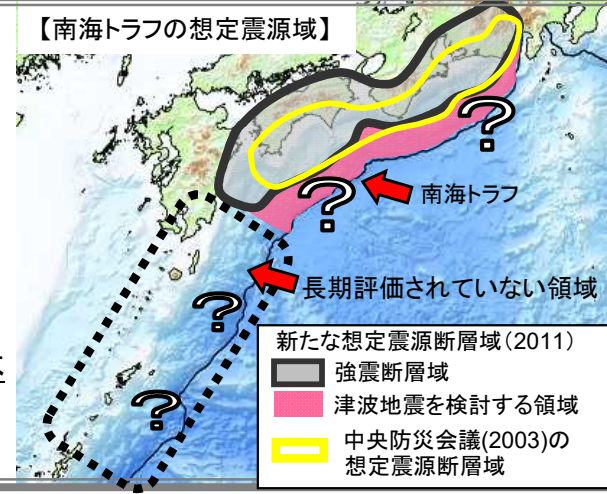


南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

背景

- 南海トラフのM8～9クラスの地震の後30年以内の地震発生確率は高く(※)、中央防災会議は南海トラフの巨大地震について、マグニチュード9.1(最大震度7、最大津波高34m)、死者32万人の最大想定を発表し、関係地域は防災・減災対策の一層の強化が求められている。
- 本想定を検討には「東海・東南海・南海地震連動性評価研究プロジェクト(H20～24)」の調査結果の成果が活用されたが、大津波の発生要因となる海溝軸付近の詳細構造は十分に調査されておらず、今後発生する津波の実態を把握する上でもこの領域の調査観測等を実施することは極めて重要。
- 南海トラフ沿い西方の南西諸島海溝周辺の領域は、過去に地震・津波が繰り返し発生した履歴が確認されているが、地震の発生する場所、大きさ、繰り返し間隔が十分に分からない調査未領域で、地震本部の長期評価(地震発生確率等の評価)が未実施。自治体の被害想定等のためにも調査観測が必要。

(※)地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価 規模:M8～M9クラス、30年確率:70%



事業概要

地域連携減災研究

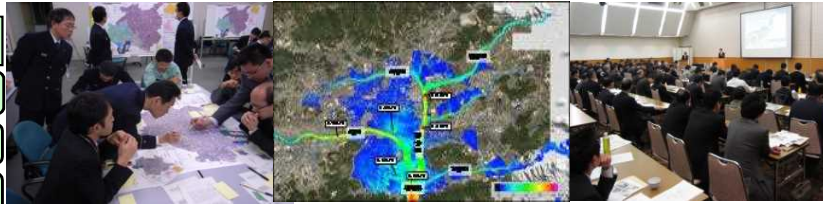
東日本大震災教訓活用

地震・津波被害予測

防災・減災対策

災害対応・復旧復興対策

防災・災害情報発信



減災研究ワークショップ

地域特性に応じた動的ハザードマップ研究

合同地域研究会

巨大地震震源域調査研究

南海トラフ震源域調査

南西諸島震源域調査

地震・津波シミュレーション



津波石調査

津波・地震動シミュレーション研究

【南海トラフ震源域】海溝軸沿いの詳細構造、すべり履歴等調査する。これに基づき、南海トラフ広域において津波シミュレーション研究を行う。

【南西諸島震源域】地下構造探査、陸域津波履歴調査等の調査を行い、これに基づき、地震・津波シミュレーションを行う。調査結果は地震本部の長期評価にも役立てる。

【東日本大震災教訓活用】東日本大震災での災害とその対応を整理し南海トラフの防災対策に活用する。

【地震・津波被害予測】「巨大地震震源域調査研究」の成果等を活用して、地盤モデルや構造物への影響等も考慮した、より現実的な地震・津波被害予測を実施。

【防災・減災対策】被害予測に基づき、災害に強い都市計画、避難行動対策等の防災・減災対策を研究。

【復旧・復興対策】人口・産業等の現状や将来見込み等に基づき、震災直後の応急対応、事業継続、復興時の都市再建等の復旧・復興計画の策定を検討する。

【防災・災害情報発信】被害想定から避難行動、応急対応、復旧・復興に至るまで、広域の自治体の連携による対応等を支援するための横断的な情報共有・発信システムの開発を行う。

年度展開案

	地域連携防災・減災研究	巨大地震震源域調査研究
H25	・地域研究会の継続・拡充	・海域構造探査は南海トラフ～南西諸島域。沖合詳細構造調査は南海トラフを中心に。
H26	・災害前→災害時→災害後における防災対策・復旧復興活動を総合的に減災に資するための議論を進めていく。	・津波履歴調査は四国→九州→琉球→紀伊半島→東海
H27		・自然地震観測等の調査・研究は南西諸島中心。
H28		・シミュレーション研究は南海トラフより開始し、南西諸島の調査観測の結果を随時取り入れる。
H29		
H30		
H31		
H32	総合的取りまとめ	

本施策の防災への貢献

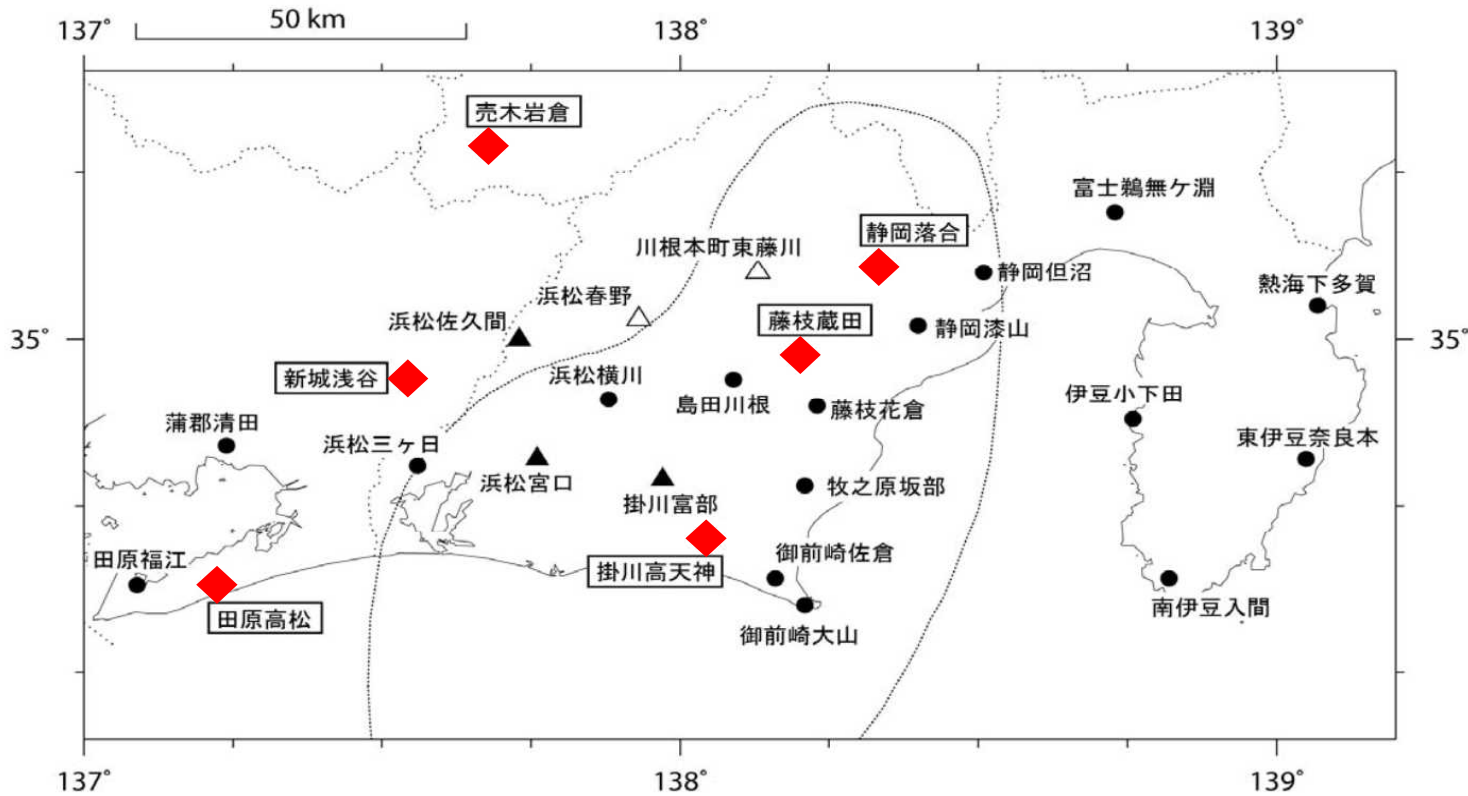
- 地震・津波の正確な被害予測に基づく防災・減災対策
- 人口変動等を考慮した円滑な復旧・復興に資する「復旧・復興計画」の策定
- 住民の避難行動、自治体の応急対応、復旧・復興等に資する総合的な情報基盤システムの研究開発
- 南海トラフの巨大地震により発生する津波の高精度な評価
- 南西諸島付近における長期評価、自治体の地震・津波の被害想定への貢献



南海トラフで発生する津波の高精度予測

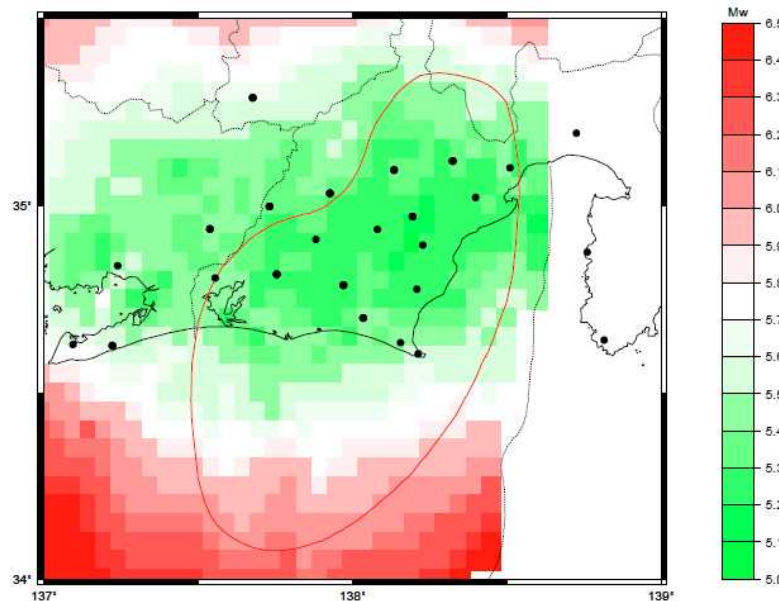
都市計画や土地利用開発への活用

多成分ひずみ計整備による前兆すべり検知能力の向上

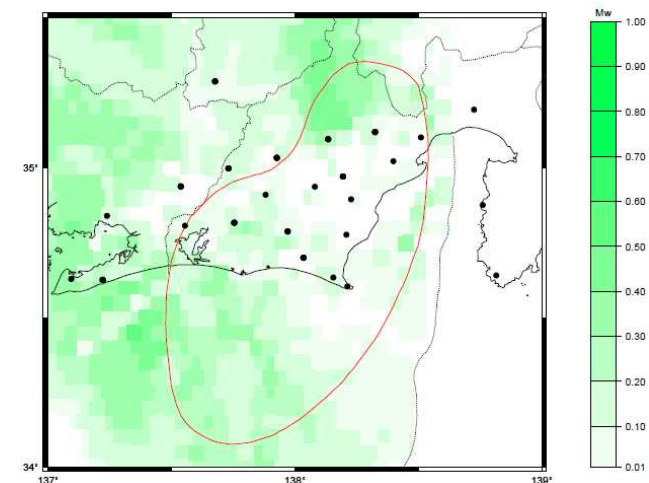


気象庁整備による
多成分ひずみ計
(H23.1運用開始)

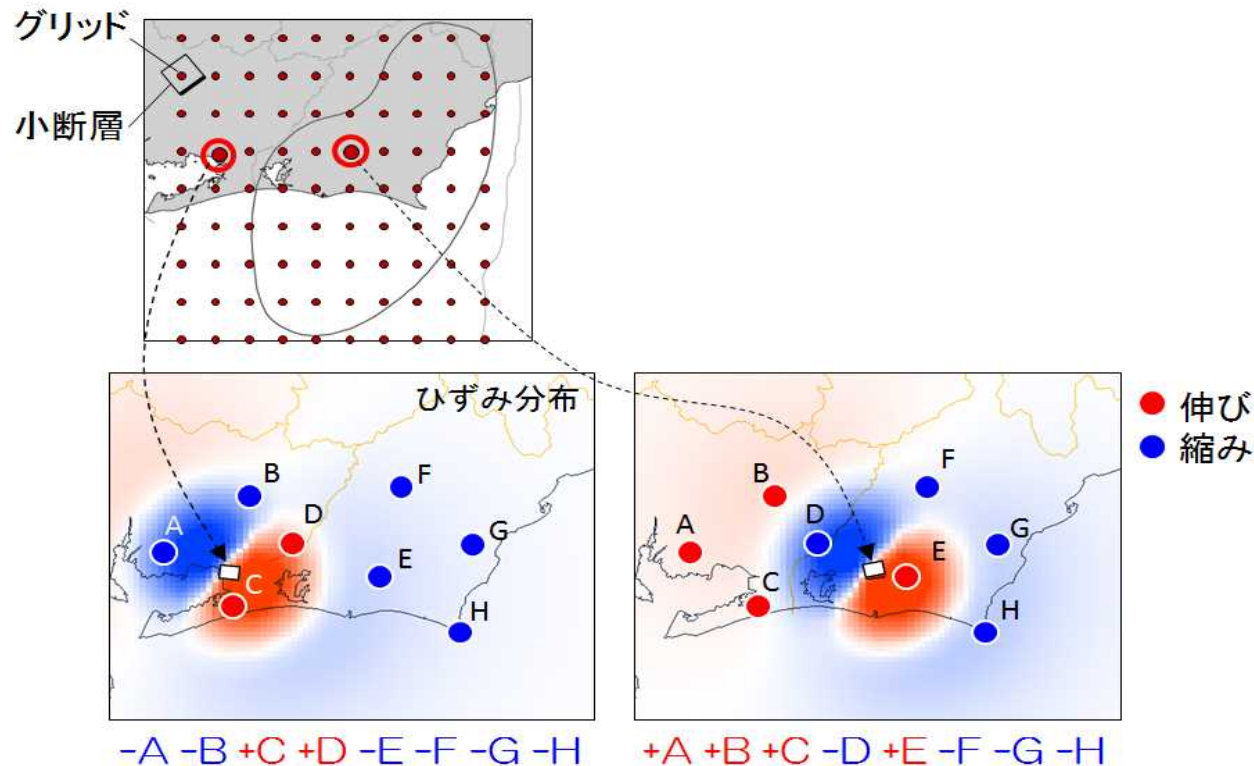
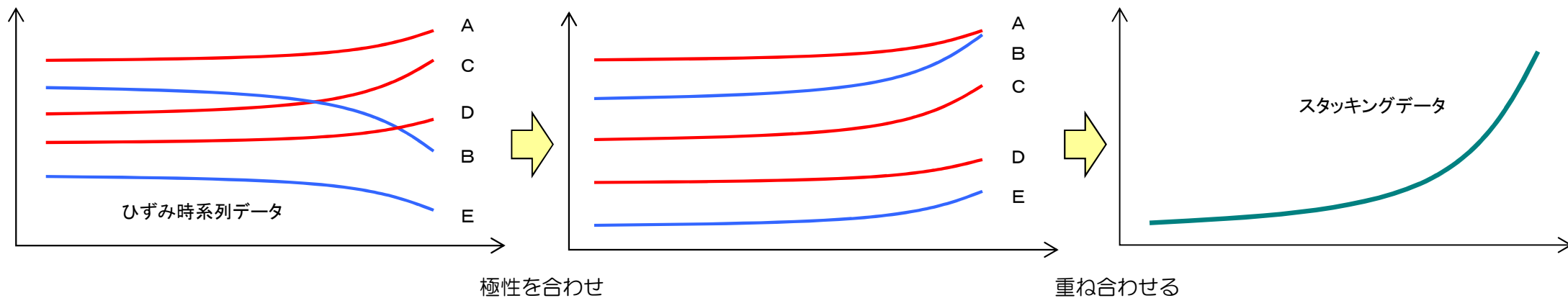
気象庁ひずみ観測点の
検知能力



想定震源域でMw換算で0.1~0.3程度、
検知能力が向上した



スタッキング手法によるゆっくりすべり検知技術の高度化



スタッキング法

- ・複数のひずみ計のデータを重ね合わせるによりSN比を向上させ、検出能力を高める手法。
- ・平成25年3月より導入
- ・短期的スロースリップイベントの検知能力はMw換算で0.3向上

②地震動即時予測及び地震動予測の高度化

② 地震動即時予測及び地震動予測の高度化

緊急地震速報は、地震学の知見と情報通信技術の融合によって、総合基本施策で実用化されたシステムで、地震による被害軽減のために有効な手段である。しかしながら、東北地方太平洋沖地震のように大規模な海溝型地震が発生した場合、海域下の震源域の広がりを瞬時に推定することが困難である等の理由から、震源域近傍における大きな予測誤差が技術的問題として残されている。これを解決するため、海域での地震観測網の強化を推進するとともに、これを活用した即時震源域推定手法の開発等の予測技術の高度化を図る。また、異なる場所でほぼ同時に発生した地震を一つの地震として誤って処理し、緊急地震速報が適切に発表できなかった事例等を踏まえ、予測技術の改善を図る。

直接被害に結びつく地震動の諸特性の解明については、全国地震動予測地図の作成等を通じて、ある程度の成果があったと言えるが、詳細については未解明の課題も多い。例えば、東北地方太平洋沖地震発生時に、広範にわたって高層ビル等に被害を及ぼした長周期地震動については、同地震による長周期地震動の発生機構の解明をはじめ、今後さらに調査研究を推進していく必要がある。また、我が国では、重要な産業施設が埋め立て地等の軟弱地盤上にあることが多く、東北地方太平洋沖地震発生時には、長時間にわたる高加速度の地震動により、広い範囲で液状化現象が発生した。そのため、今後発生が懸念される東海・東南海・南海地震等にも備えて、海溝型地震が発生した際の軟弱地盤の挙動を正確に把握しておくことは、我が国の経済活動の危機管理上、極めて重要であると言える。

また、強震動予測の高精度・高解像度化については、例えば、人口稠密地域の分解能をまず高める等、各地域の特性に合った強震動予測を実施していく必要がある。

このため、基本目標として、

○震源破壊過程の即時推定技術及び各地域の特性に応じた強震動予測の高精度・高解像度化、並びにそれらの適用による緊急地震速報の高度化

を設定する。

(次ページに続く)

(前ページからの続き)

基本目標の達成に向けて、

- ・海域を中心とした地震観測網の強化
- ・各地域の特性に応じた地盤データの収集
- ・海溝型地震により発生する強震動に関する調査研究
- ・地震動の即時予測技術の高度化
- ・海溝型地震を対象とした強震動シミュレーションの高度化

等を総合的に推進する。

これらの成果を緊急地震速報に取り入れることにより、その高度化が図られ、減災効果が一層高まることが期待される。なお、緊急地震速報の高度化については、海溝型地震のみならず、沿岸部や内陸の活断層で発生する地震に対する減災効果も図るべく、現行システムの技術的困難の克服を目指した研究開発等を推進する。

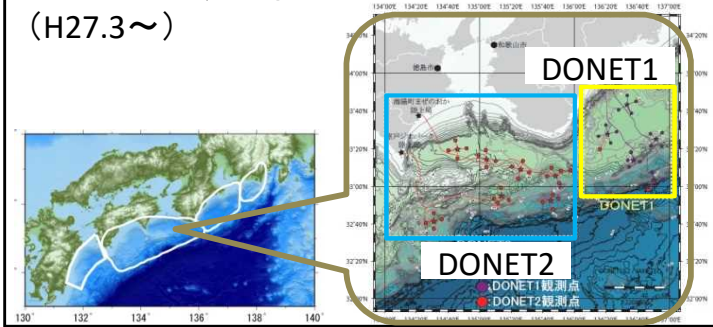
また、強震動予測の高精度・高解像度化については、例えば長周期地震動の場合、東海・東南海・南海地震発生時の各地域の地盤データを基にした推定地震動の波形やそのスペクトル等を基礎データとともに地図上で提供する等、成果を広く社会が利用できるものにする。これらの成果については、防災・減災のための工学・社会科学研究の前提条件として活かすとともに、中央防災会議や地方公共団体等における防災・減災対策や、国民の具体的な行動判断に活用できるものとなるよう、留意する。

緊急地震速報の高度化

迅速化、精度向上

南海トラフ地震に対する緊急地震速報

防災科学技術研究所が所有する海底地震計データ(DONET1)を、気象庁の緊急地震速報に取り込み。(H27.3~)



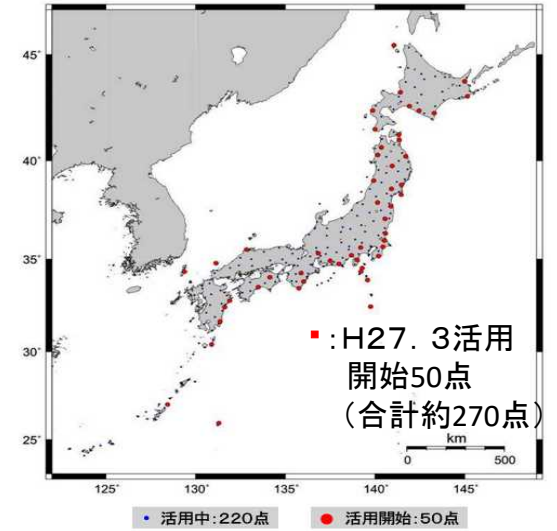
首都直下地震に対する緊急地震速報

防災科学技術研究所が所有する基盤強震観測網(KiK-net)のうち、南関東に設置された地震計(井戸底)のデータを、気象庁の緊急地震速報に取り込み。(H27.3~)



気象庁多機能型地震計の活用

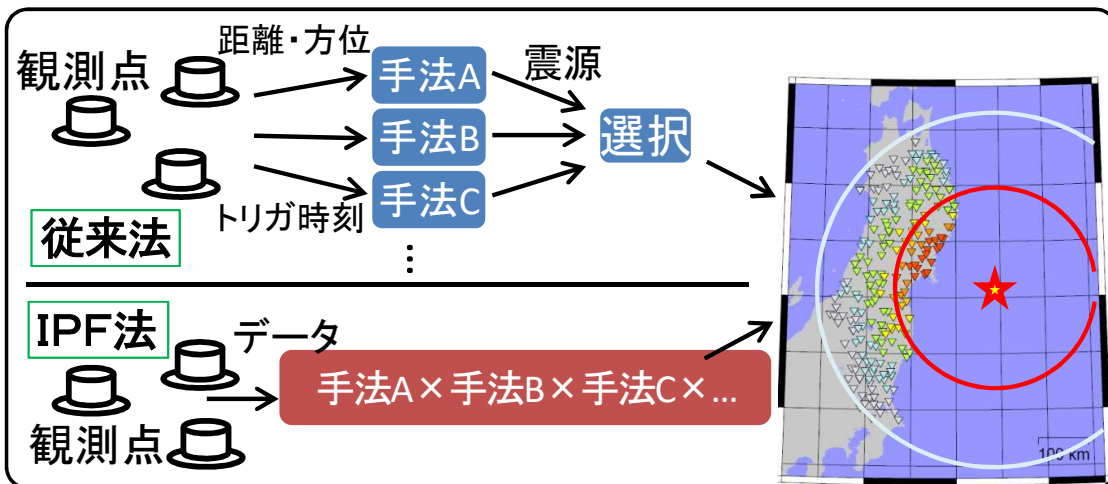
H21. 8/H23. 3/H27. 3



同時多発地震に対応

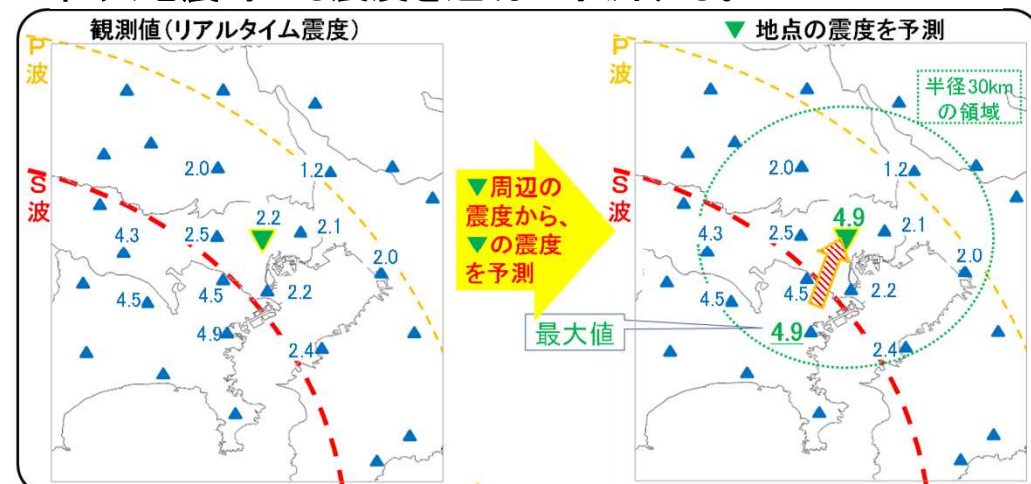
<IPF法(H28.12~)>

同時多発地震を識別して誤報を回避し、適切に震度を予測する。



<PLUM法(運用に向けて準備中)>

地震計で観測された揺れの強さから直接震度を予測し、巨大地震時でも震度を適切に予測する。



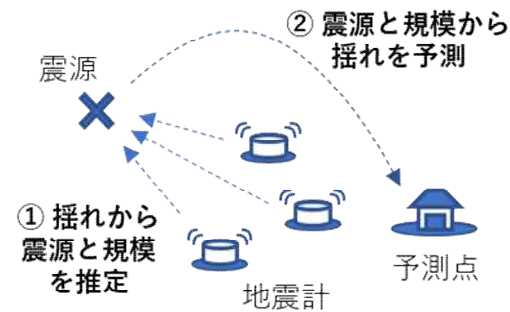
PLUM法 ～巨大地震が発生した場合における精度の向上～

「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」においてマグニチュード9.0の巨大地震が発生した際、震源から遠く離れた関東地方でも大きな揺れを観測しましたが、従来手法ではこの強い揺れを精度良く予測することができませんでした。

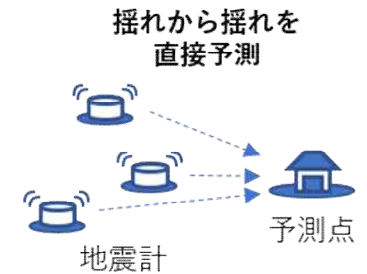
PLUM法は、巨大地震が発生した際でも精度良く震度が求められる新しい予測手法です。PLUM法では、震源や規模の推定は行わず、地震計で観測された揺れの強さから直接震度を予測します(右図)。これは「予測地点の付近の地震計で大きな揺れが観測されたら、その予測地点も同じように大きく揺れる」という考えに従った予測であり、予測してから揺れがくるまでの時間的猶予は短時間となりますが、広い震源域を持つ巨大地震であっても精度良く震度を予測できます。

従来手法やIPF法とPLUM法の違い

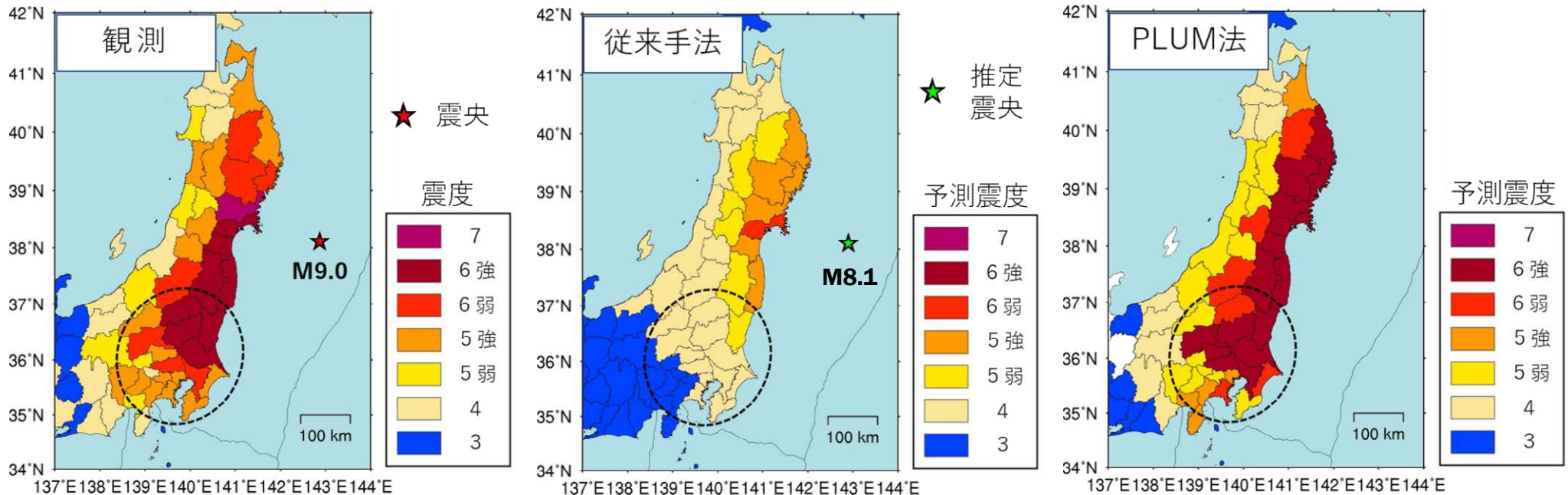
従来手法やIPF法



PLUM法



PLUM法による改善事例(平成23年東北地方太平洋沖地震 マグニチュード9.0の地震)



(左)観測震度と実際に発生した地震の震源。(中)実際に発表された、従来手法による推定震源及び予測震度(右)仮にPLUM法を導入していた場合の予測震度。従来手法は震源域の広がりに対応できなかったため、関東地方の強い揺れが予測できなかった(図中黒円内)。PLUM法は揺れの広がりそのものから揺れを予測するため、震源から離れた関東地方の強い揺れも予測できる。

IPF法 ～ほぼ同時に複数の地震が発生した場合における精度の向上～

「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の後などの活発な地震活動では、ほぼ同時に発生した複数の地震を1つの地震として処理したために、正しい震源位置及び規模が求められず、過大な震度を予測する事例がありました。

IPF法は、この技術的課題を解決するための新しい震源決定手法です。IPF法では、1つの地震か否かを判別する際、観測データの時刻情報だけではなく、揺れの大きさの情報も活用する方法を採用しています(右図①)。これにより、複数の地震の発生タイミングが偶然重なったとしても、それらを高い確度で識別できるようになりました。また、従来別々に用いていたデータや手法を統合的に用いることで(右図②)、より安定して精度の良い震源を推定できるようになりました。

これにより、たとえ地震の識別が完全にはできなかったとしても、大きく離れた位置に震源を決めてしまうことが少なくなりました。

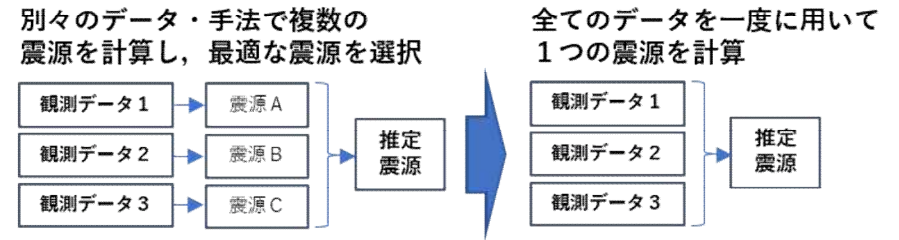
※本手法は、内閣府の最先端・次世代研究開発支援プログラムに採択された「東南海・南海地震に対応した正確な地震情報を提供する実用的早期警報システムの構築」(代表:京都大学 防災研究所 山田真澄助教)の成果のひとつです。

従来手法とIPF法の違い

① 揺れの大きさの情報も用いて地震を分離



② 震源計算を統合化



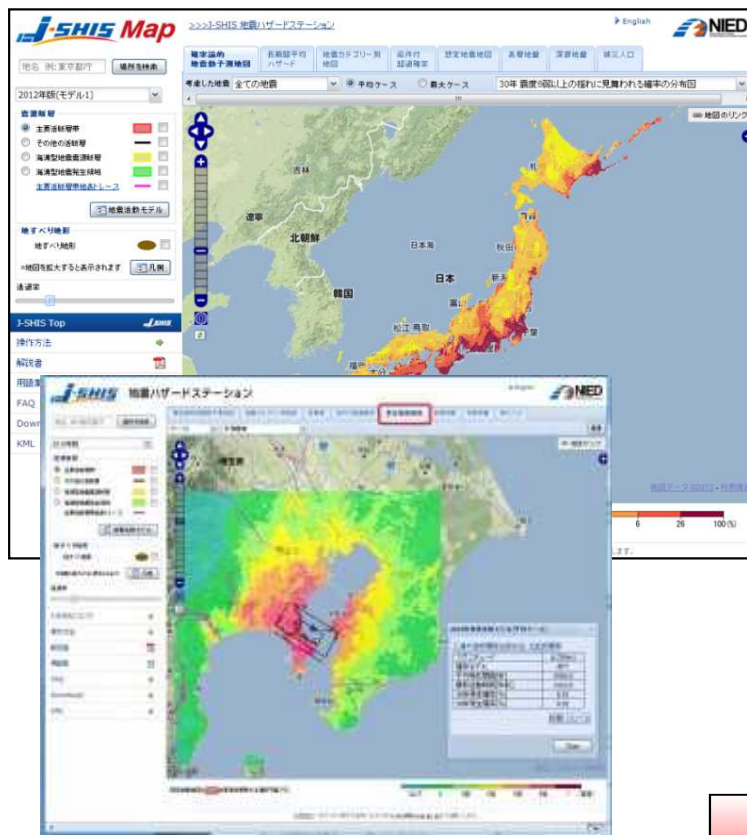
IPF法による改善事例(平成23年3月22日12時38分頃の地震)



(左) 観測震度と実際に発生した地震の震源、(中) 実際に発表された、従来手法による推定震源及び警報発表区域、(右) 仮にIPF法を導入していた場合の推定震源及び予報発表区域。

千葉県東方沖の地震の直前に発生した福島県浜通りの小さな地震の影響を受け、従来手法(中図)では、福島県浜通りの地震(M7.2)として広範囲に警報を発表した。IPF法(右図)では二つの地震を識別し、千葉県東方沖の地震に対して最大予測震度4の緊急地震速報(予報)を発表する。

J-SHISによる地震ハザード情報、地下構造等の公開



地震ハザード情報、地下構造等の情報を網羅的に提供するポータルサイトを構築した。

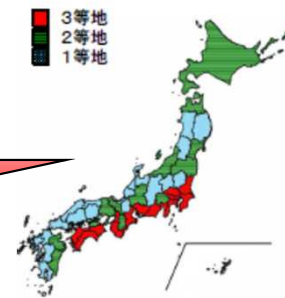
- ・地震本部の地震の長期評価結果や地震動の評価結果に基づいた「全国地震動予測地図」や、その予測に用いた基盤データを提供。
- ・住所検索やクリックした場所での地震の揺れの発生確率や揺れやすさ、活断層の大まかな位置等が閲覧可能。
- ・J-SHISで表示している情報をメッシュ形状とともに取得することができるJ-SHIS Web APIを公開。

API powered by J-SHIS

活用事例

- 国や地方自治体等の防災対策検討
- 地震保険基準料率の算定根拠(損害保険料率算出機構)
- 事業者の工場・事業所の立地検討
- J-SHIS Web APIを用いた独自サイト(例:朝日新聞等)

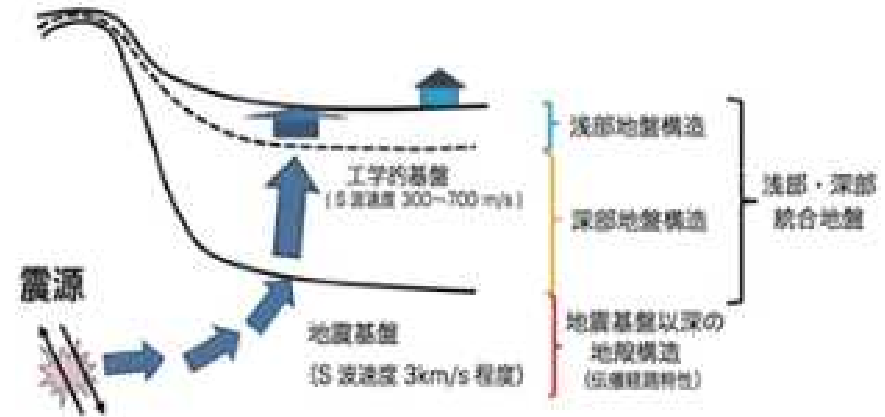
「揺れやすい地盤」サイト http://www.asahi.com/special/saigai_jiban/



地下構造モデル

地震動予測地図、長周期地震動予測地図の作成に用いた地下構造モデルのデータや、地下構造モデルの作成手順などをまとめた資料「地下構造モデル作成の考え方」をダウンロードできます。

データ、資料等のダウンロード



地震本部の地下構造モデルの活用状況

関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル:

モデル構築中の二次データも含めて内閣府に提供

国土地理院とも二次データ提供について調整中

全国1次地下構造モデル:

自治体の被害想定を行う際に初期モデルとして利用

(13都道府県、名古屋市等)

内閣府(2013、2015)の地震動評価の初期モデルとして利用

J-SHISモデル:

自治体の被害想定、強震動評価の研究に広く用いられている

地下構造モデル作成の考え方(平成29年4月27日公表)

- 地下構造モデル作成の際に指針となる考え方と手順をまとめた資料地震本部で作成した地下構造モデルの作成法を基準とした指針。地下構造モデルを作成する場合の一般的な作成方法や注意事項をまとめている。

地震本部での評価に用いた地下構造モデルはDL可能(差分計算用モデル)

■ 地震動予測地図の地震動評価に用いた構造モデル

● 「関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル」(平成29年4月公表)

工学的基盤上面を $V_s=350\text{m/s}$ とし、関東平野中央付近で $V_s=500\text{m/s}$ より速度の小さい層を詳細にモデル化。堆積層による地震増幅率の再現性が高い。

「全国地震動予測地図2017年版」で関東地域の活断層に対する詳細法計算に用いた

● 「J-SHISモデル」(平成21年防災科研のWebシステムで公表)

これまで公表した「全国地震動予測地図」に用いたモデル(2014年からバージョン2)

■ 長周期地震動計算に用いた構造モデル

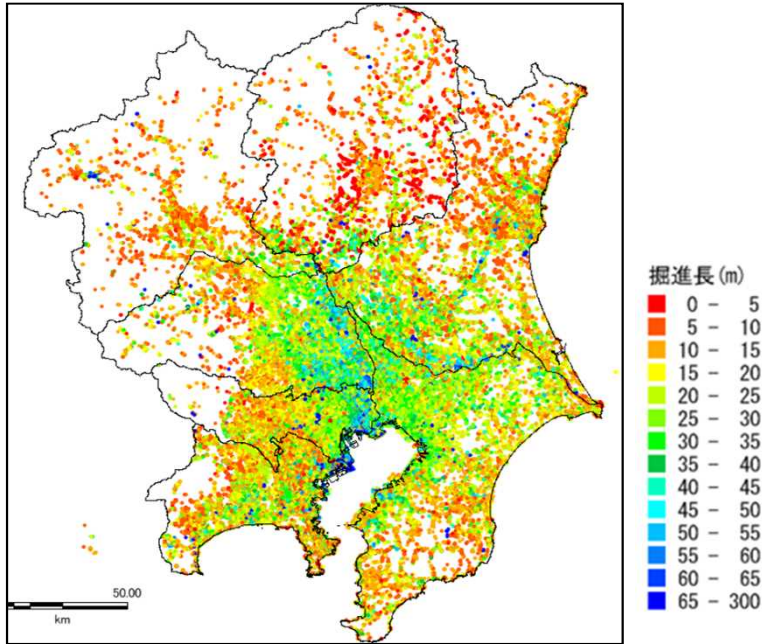
● 相模トラフ巨大地震による長周期地震動計算に用いたモデル(平成28年10月公表)

● 「全国1次地下構造モデル(暫定版)」(平成24年1月公表)

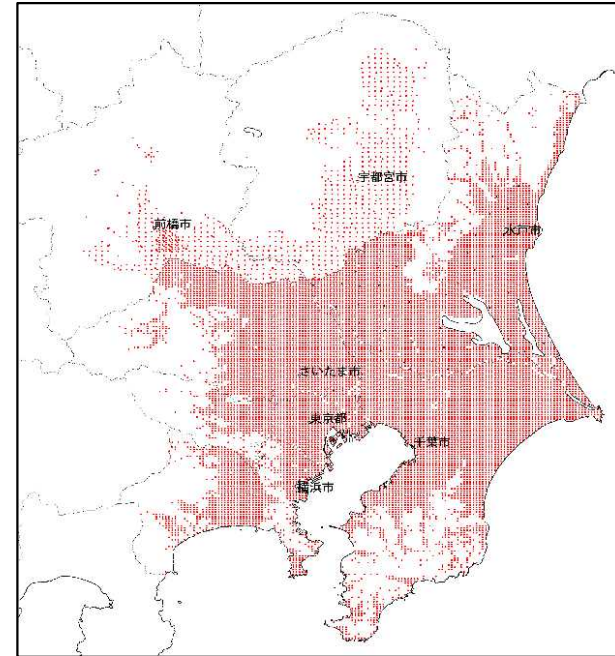
● 想定東海地震、東南海地震、宮城県沖地震を想定した長周期地震動計算に用いたモデル(平成21年9月公表)

ボーリングデータと微動アレイデータによる地盤モデル構築

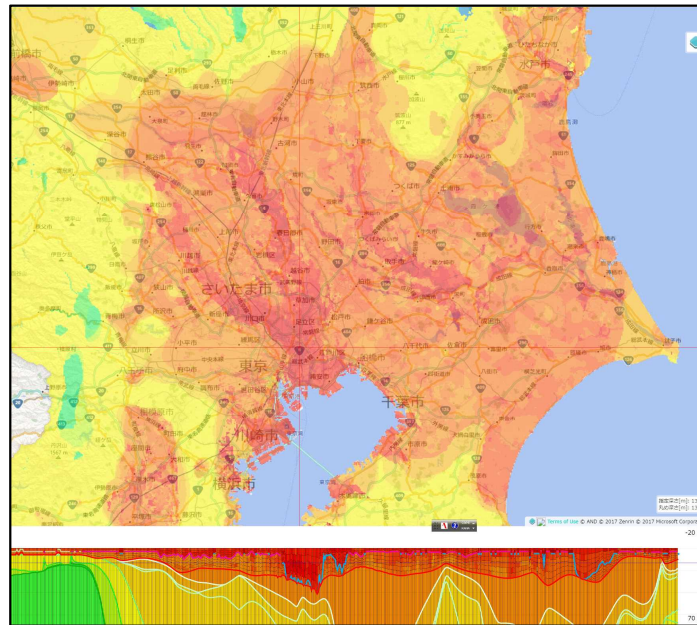
ボーリングデータ(約28万本)



微動アレイデータ(約11,000箇所)



浅部・深部統合地盤モデル



地質初期
モデル

S波速度構造
モデル

地質・土質モデル
のチューニング

「揺れから揺れの予測研究の基盤」となる強震動リアルタイム補間

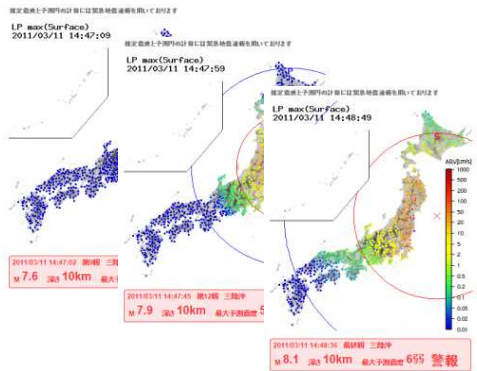
不均一に分布した強震観測データを補間し、規則的(1km格子)なデータを1秒毎に得るシステムを構築した。このシステムは今後の揺れから揺れの予測研究の基盤となる。

WEB閲覧のみ

強震動リアルタイム補間

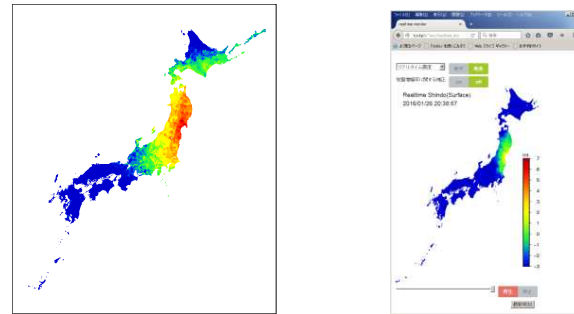
「揺れから揺れの予測」へ

強震モニタ(地震動の実況)



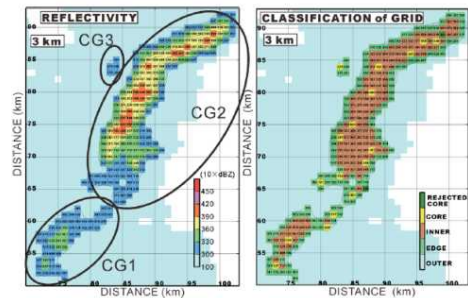
数値化

(1kmメッシュ版強震モニタ)



日本全国を対象として1kmメッシュ、1秒値、の地盤増幅補正済みの強震動データを生成可能

データ同化技術の適用(今後)



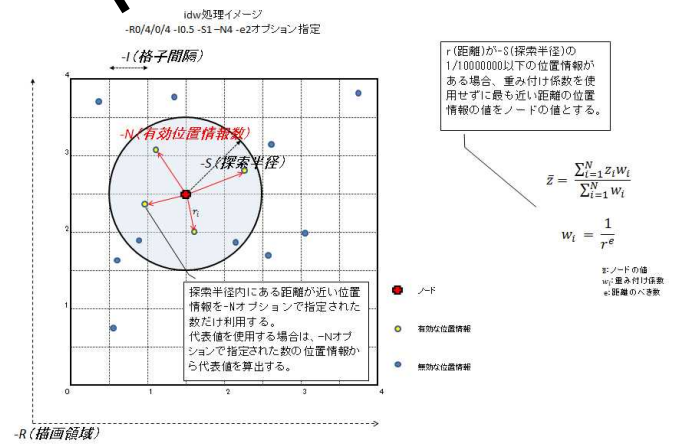
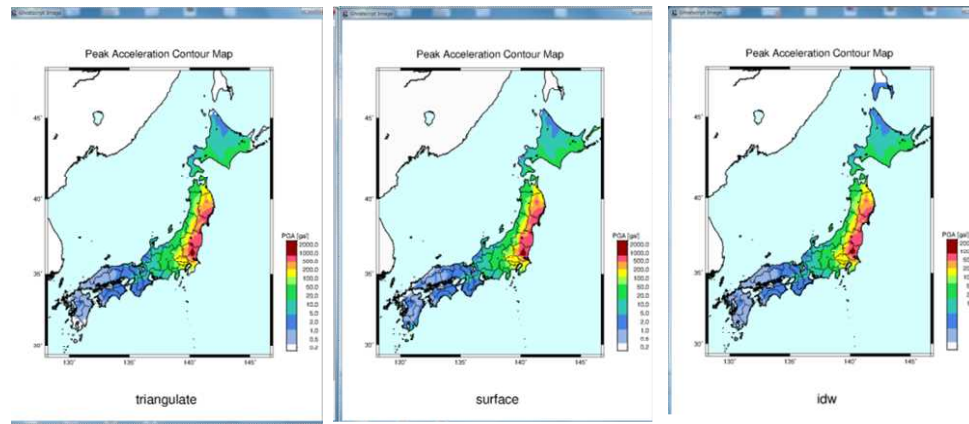
自動対流セル追跡法(AITCC)
気象データへの適用例

各種の補間法を検討

(高速演算可能なIDW法を選択)

高速処理
プログラム作成

(IDW法による強震動補間の定式化)



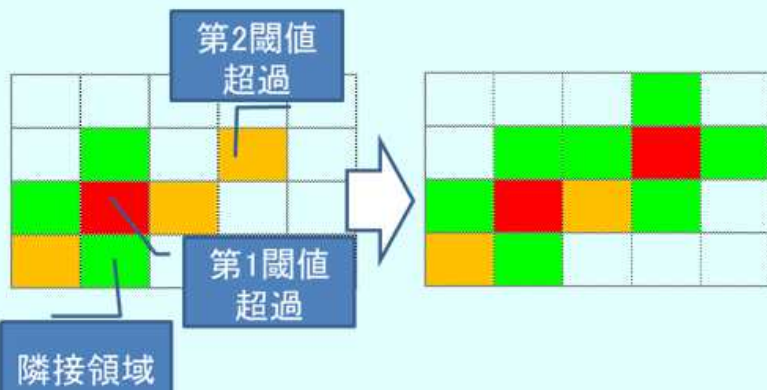
震度の概算値を用いた領域警報判断手法

緊急地震速報の課題

- 内陸直下の地震、巨大地震、ほぼ同時地震では震源決定に基づく即時予測では対応が難しい。
 - 震源決定を行わず、観測値から判断する。
- 緊急地震速報の基本指標は震度であるが、計測震度はリアルタイム演算向きの指標でない。
 - 功刀・他(2013)による震度の概算値(リアルタイム震度)を用いる。強震計に搭載可能なアルゴリズム。

新手法の概要 特願2014-218866

- ①全国を警報判断を行う領域に分割する。
気象庁の緊急地震速報や震度速報区域を参考に分割(188領域)
- ②各領域内の観測点が第1閾値 ■ を超過した時点で、その領域を警報領域と判断する。
- ③②で警報領域の隣接領域 ■、及び第2閾値 ■ (<第1) を超過した領域を警報領域と判断する。

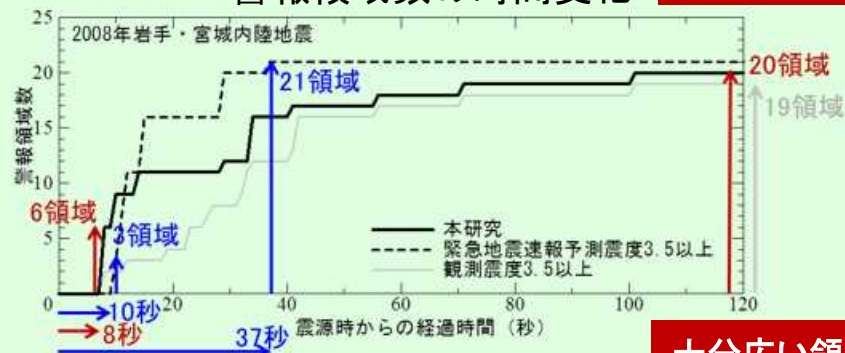


- 第2閾値、隣接領域 → 早期性
- 震源決定に依らない判断 → 巨大地震や同時地震にも対応

適用事例

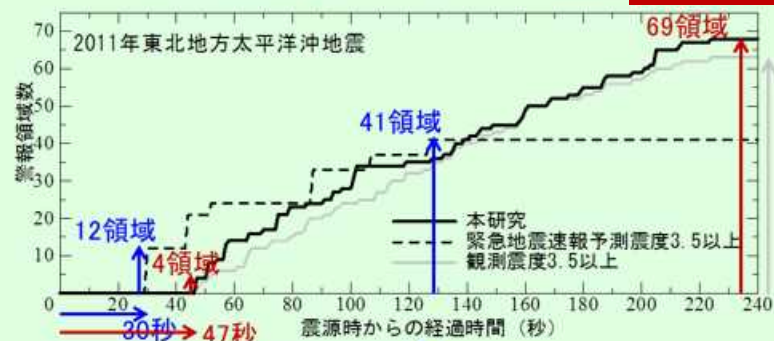
2008年岩手・宮城内陸地震

警報領域数の時間変化



早期に、広い領域に警報を発することが可能

2011年東北地方太平洋沖地震



十分広い領域に警報を発することが可能

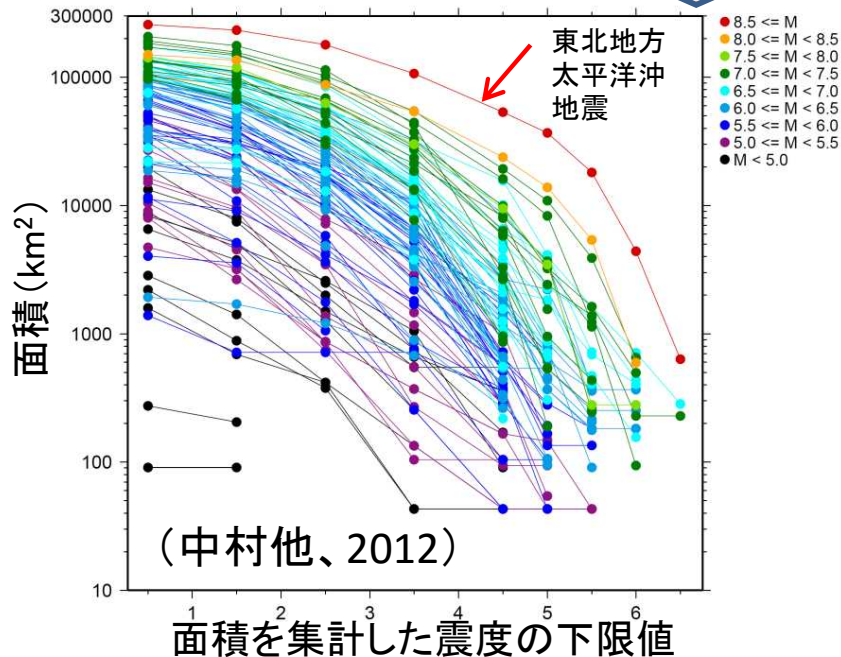
揺れた領域の面積を用いた地震規模の推定

巨大地震における地震動即時予測の地震規模推定の過小評価を克服するため、揺れた領域の面積から、巨大地震の地震規模を早期に推定する手法を構築



マグニチュードが大きいほど広い範囲が揺れる(特願2012-246322)

揺れの面積を集計

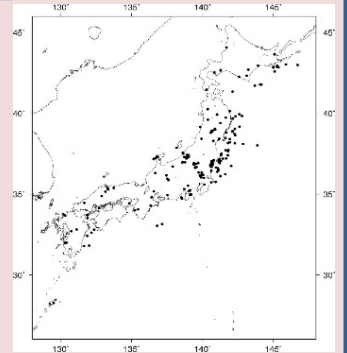


マグニチュード推定の回帰式を作成

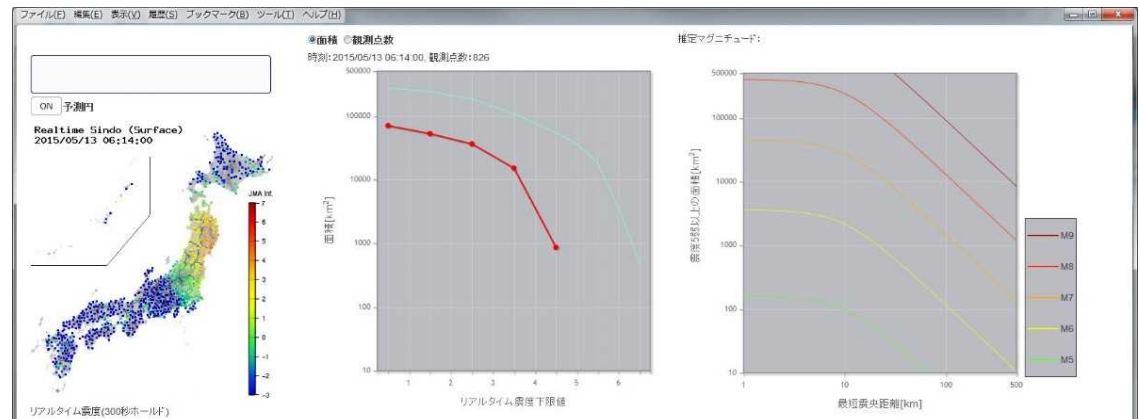
$$M = a \cdot \log C_{5弱} + b \cdot \log \sqrt{(\Delta \min^2 + 10^2)} + c$$

震度5弱以上の面積

震源域からの距離に関するパラメータ
(緊急地震速報が活用可能)



推定手法を実装したシステムの構築



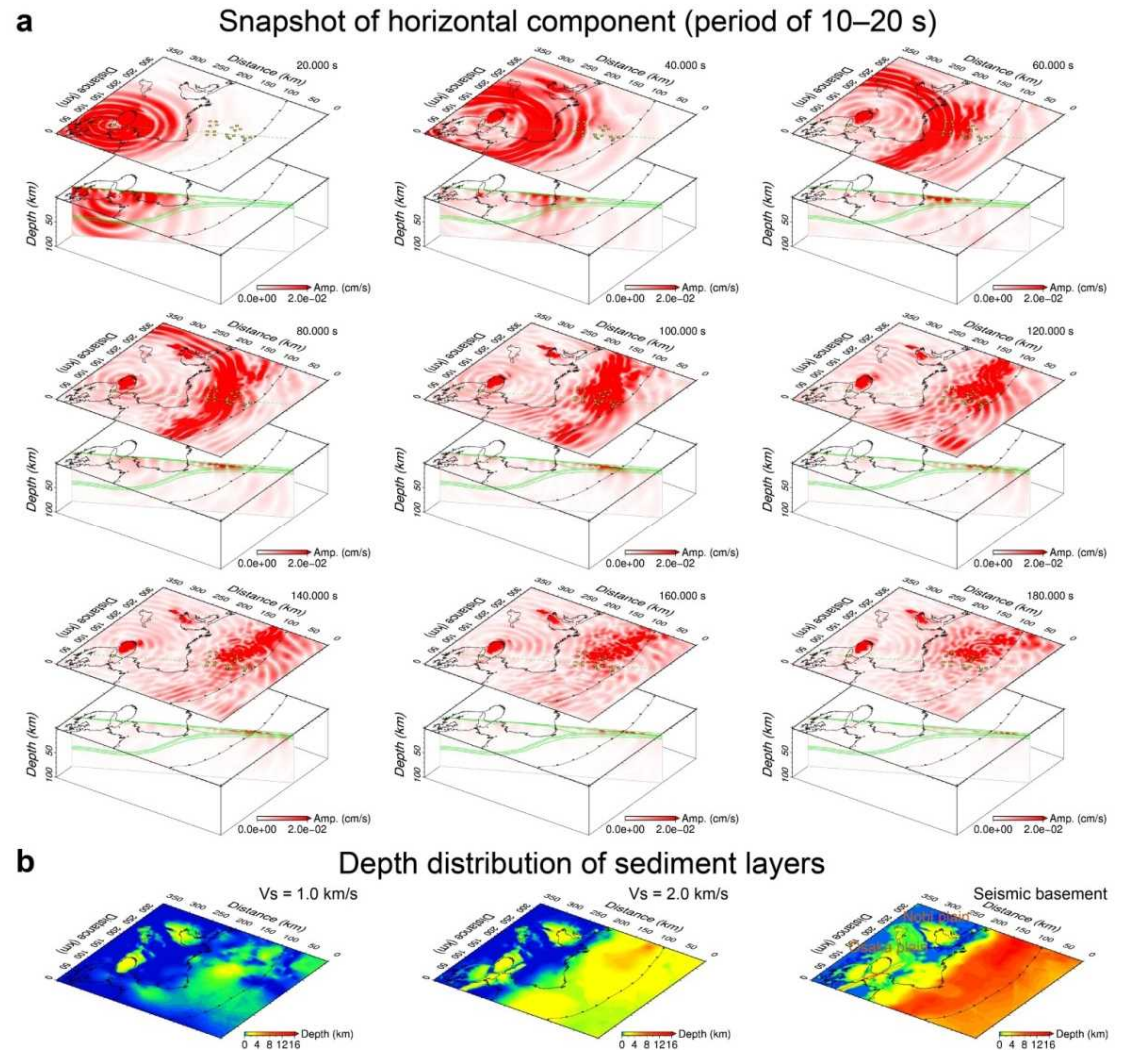
海溝型地震を対象とした強震動シミュレーションの高度化

◎海底観測点で長周期成分の振幅が数倍増幅する。それをシミュレーションで再現し、海洋堆積層における表面波の発達が主な要因であることを示した。

◎沈み込み帯に発達する付加体での長周期地震動の増幅を定量的に扱えることや海底観測・大規模計算の有用性を示した。

◎成果社会還元・貢献

気象庁緊急地震速報でDONETデータを用いた際の規模推定精度向上が期待される。



(Nakamura et al., 2015)

長周期地震動に関する情報の提供

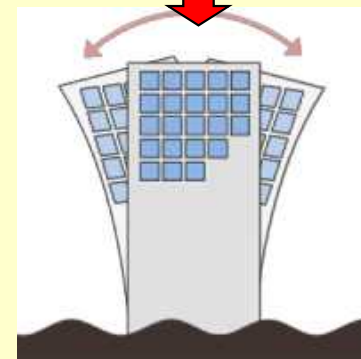
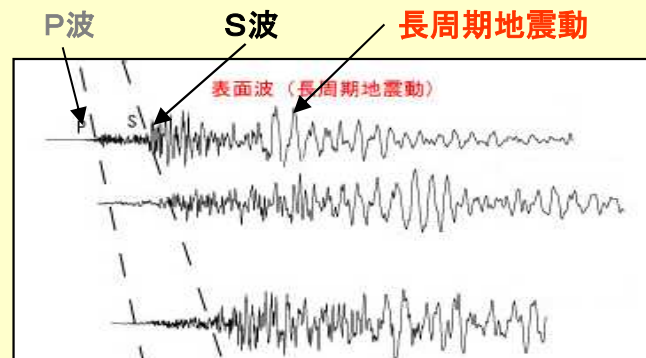
○長周期地震動の特徴

- ・高層ビルを大きく長時間揺らす。
- ・遠くまで伝わりやすい性質があり、地震が発生した場所から数百km離れた場所でも大きく長く揺れることがある。

≪長周期地震動による被害例≫

・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(M9.0)

震源から遠く離れた東京や大阪でも、高層ビルが長時間にわたって大きく揺れ、内装材の破損、エレベーターの停止などが発生。



高層ビルの高層階における被害

高層ビル内における防災対応に資するため、新たに「長周期地震動階級」を導入し、「長周期地震動に関する観測情報」を提供

長周期地震動に関する観測情報(試行)

長周期地震動階級関連解説表

H25年3月
HPによる提供開始

The screenshot shows the official website for long-period seismic motion observation information. It includes a map of Japan with observation points marked by colored dots corresponding to the hazard levels. A pink oval highlights the text 'H25年3月 HPによる提供開始'.

長周期地震動階級	人の体感・行動	室内の状況	備考
長周期地震動階級1	室内にいたほとんどの人が揺れを感じる。驚く人もいる。	ブラインドなど吊り下げものが大きく揺れる。	—
長周期地震動階級2	室内で大きな揺れを感じ、物に掴まりたいと感じる。物につかまらなると歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。	キャスター付き什器がわずかに動く。棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。	—
長周期地震動階級3	立っていることが困難になる。	キャスター付き什器が大きく動く。固定していない家具が移動することがある。不安定なものは倒れることがある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が入ることがある。
長周期地震動階級4	立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされる。	キャスター付き什器が大きく動き、転倒するものがある。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が多くなる。

予測情報の提供について

〔情報のあり方について報告書〕
をとりまとめ(H29年3月)

- ・長周期地震動階級3以上が予想される場合にも緊急地震速報(警報)を発表し、警戒・注意を呼びかけ。
- ・個々の高層ビル等の「多様なニーズに対応する予測情報」は民間の役割が重要であるとされ、WGを設置し予測技術・利活用等について検討。

長周期地震動の即時予測とリアルタイム可視化

長周期地震動は多くの場合、震源域が遠く、ピークが後続波によりもたらされるため、猶予時間を生かした効果的な対策に資するリアルタイムの予測と可視化を実現

長周期地震動階級の即時予測手法を開発
(Dhakai et al., 2015, 日本地震工学会論文集)

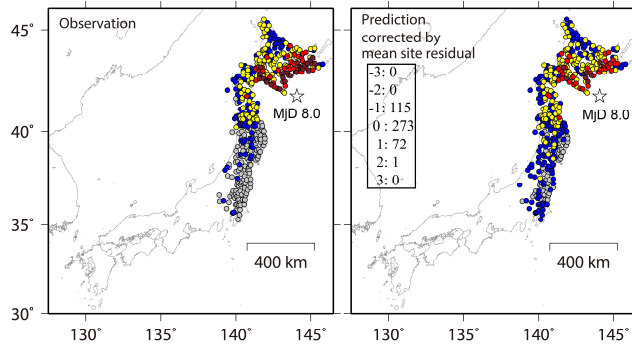
長周期地震動モニタの構築

緊急地震速報の震源情報を用いた予測値の表示

2011年東北地方太平洋沖地震

観測

予測

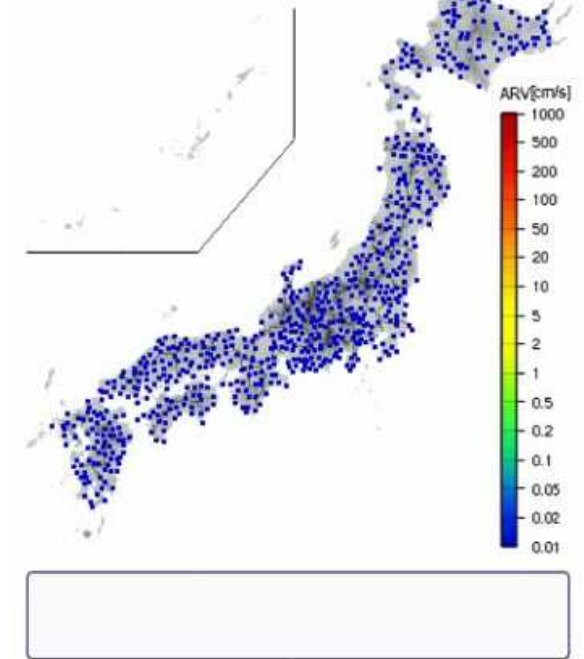


- 即時予測に適した迅速に推定できる入力値を採用
 - 気象庁マグニチュード
 - 震源距離
- 盆地内の増幅を適切に取り込み
 - 観測点ごとの補正
 - J-SHIS地盤構造モデルを用いた補正
- 高精度な予測の実現
→ 全データの98%で階級1以内の予測

気象庁が採用

推定震度と予測円の計算には緊急地震速報を用いております

LP max(Surface)
2011/03/11 14:46:20

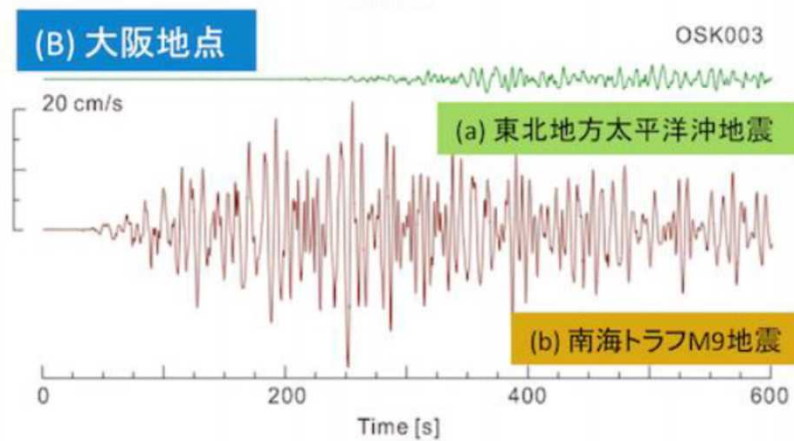
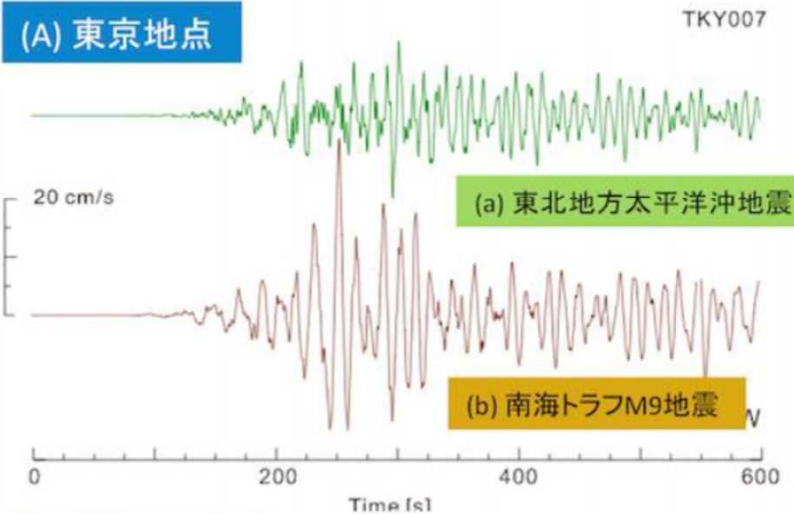
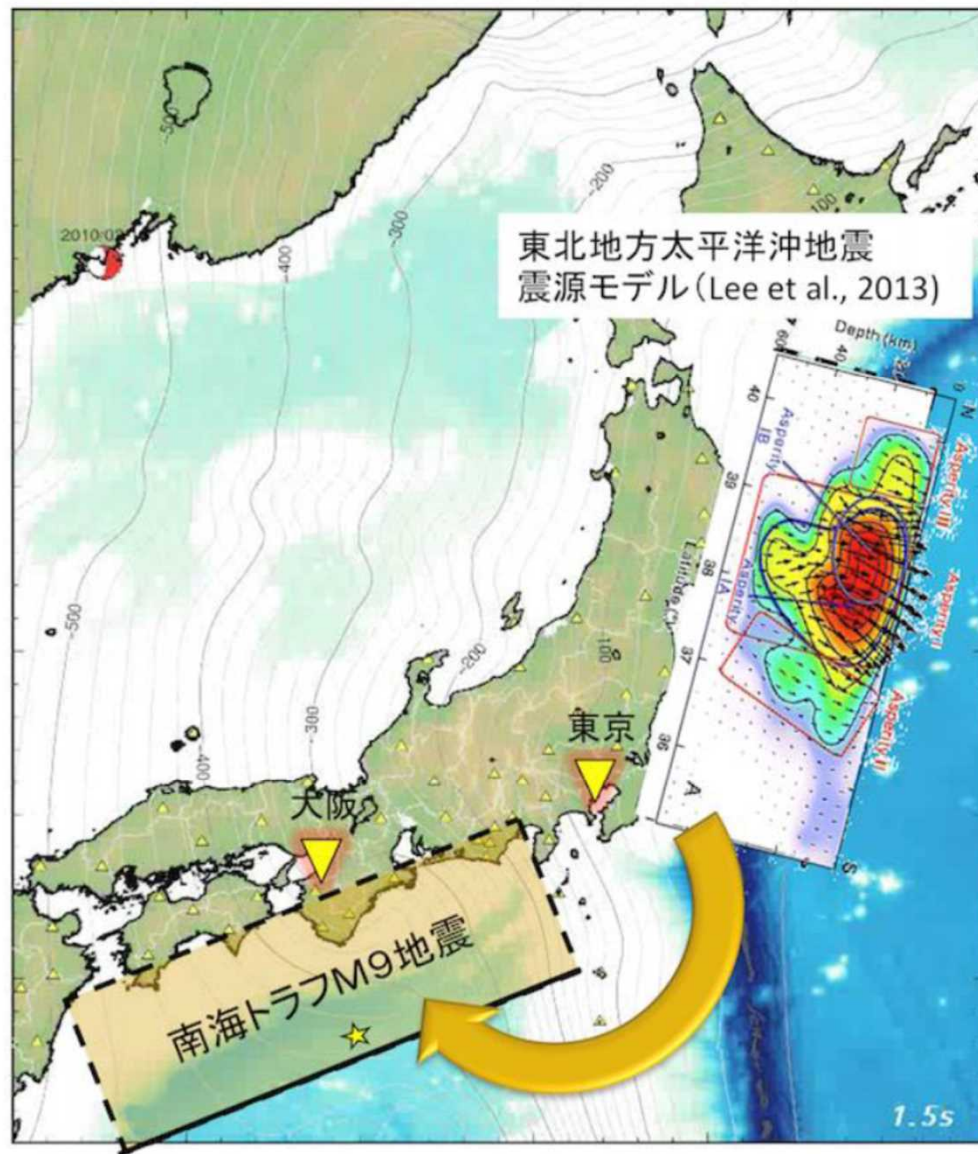


K-NET、KiK-netによるリアルタイム観測情報を可視化

地震計内で絶対速度応答値をリアルタイムに計算可能な効率的演算法を開発(功刀・他, 2013)

特願2015-009254 (新技術説明会にて民間企業が採用検討)

仮想南海トラフM9地震による長周期地震動の評価



当該分野の調査研究等が実社会に活用された主な例

■緊急地震速報の高度化、認知向上

- ・緊急地震速報が迅速化、精度向上したほか、新しい手法を導入したことで、同時多発地震にも対応。
- ・緊急地震速報の国民の認知度は高い。
(※)緊急地震速報の全国認知度は70.1%(気象庁アンケート調査による(平成26年1月実施))
- ・個別地点の予想震度や猶予時間を入手できる緊急地震速報(予報)について、一般向けではスマホやタブレットのアプリ等によって普及が進んでいるものの、更なる認知度の向上や利活用の推進が必要。事業者向けでは、「人の安全確保」を目的とした導入が多い(館内放送やエレベータの自動制御など)。
(※)東京23区、大阪市、名古屋市居住者における緊急地震速報(予報)の認知度は53.5%(気象庁アンケート調査による(平成29年2月実施))

■研究成果が地方自治体の防災に貢献

- ・DONETの観測データを津波即時予測につなげるシステムを和歌山県が実装。
- ・文科省の実施する日本海PJ、南海トラフPJで得られた様々な観測データやシミュレーション結果が、地方自治体の防災計画等に活用。
- ・新総合基本施策の下で実施されてきた調査研究の成果が、着実に地方自治体の防災対応に貢献している。

■南海トラフ地震の被害想定に調査研究の知見が活用

- ・内閣府によって発表された南海トラフ巨大地震の被害想定について、震源域の範囲の見直しなど、地震調査研究の成果が活用。



次期総合基本施策を見据え、レビューにあたって ご議論いただきたい観点(案)

【成果・実績、課題】

- ・当該分野に、この他の重要な成果、実績がないか。
- ・当該分野は、計画当初に期待されていた成果が創出されてきたか。されていないとすれば、課題は何か。
- ・当該分野の調査研究は、我が国の防災力の向上に貢献したか。していないとすれば、課題は何か。

【今後の方向性】

- ・当該分野の調査研究が、今後我が国の防災力の向上に貢献するために、どのような調査研究や取組が必要か。
- ・また、それらの優先順位をどのように考えるべきか。