



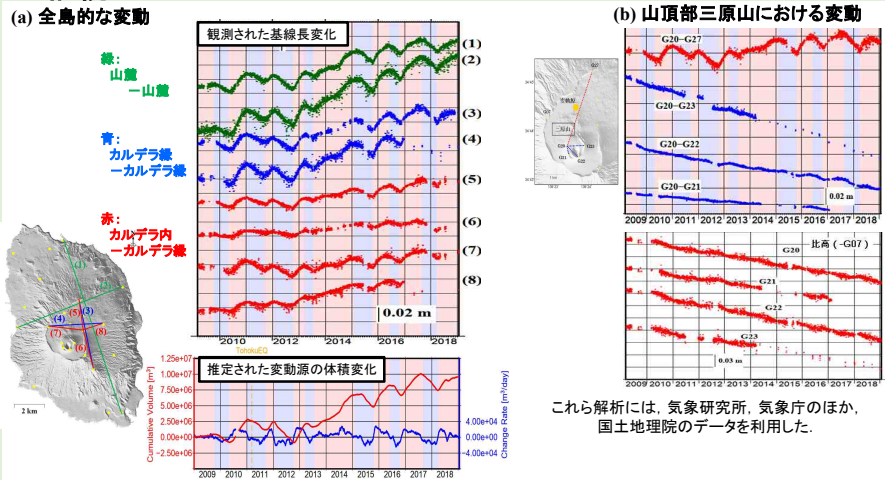
「災害の軽減に貢献するための 地震火山観測研究計画」

平成30年度年次報告

気象庁

伊豆大島における地殻変動観測と解析

伊豆大島ではGNSS等による地殻変動観測を引き続き行い、解析を行った。伊豆大島全体の地殻変動として、長期にわたって継続している膨張と周期1~2年程度の収縮・膨張の繰り返しが見られた。球状圧力源を仮定した場合、2009~2018年の10年間における圧力源の体積増加は約 $10 \times 10^6 \text{m}^3$ と推定された。一方、山頂部三原山においては、ほぼ定常的な沈降・収縮傾向が継続している。



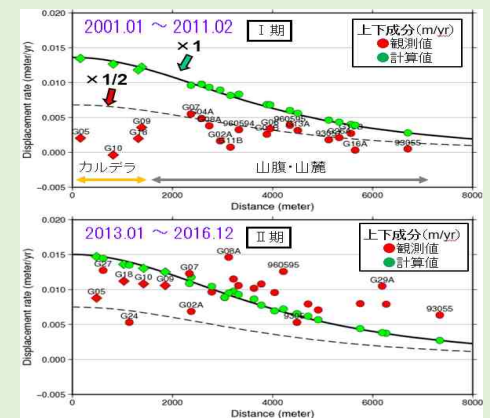
伊豆大島の長期的上下変動

伊豆大島の長期的な変動について、2期間（I：2001~11年2月、II：2013~16年）に分け、火山性の球状圧力源とプレート運動からなるモデルを仮定し、水平成分で最適なモデルパラメータを求め、上下変動の特徴を調査した。

Iでは、隆起速度は山麓~山腹では球状モデルの半分程度であり、圧力源は球状より縦長の形状が示唆される。半径方向の分布からカルデラリム付近での不連続の可能性がある。

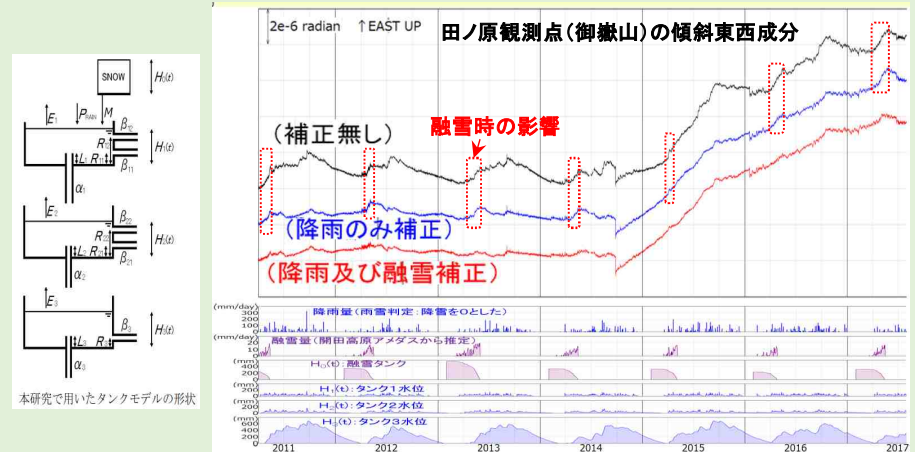
IIでは、Iより平均して0.7cm/yrほど大きく、東北地方太平洋沖地震の余効とより深部の圧力源の膨張が考えられる。その見極めは今後の火山活動の予測に極めて重要で、引き続き検討する必要があります。

謝辞：国土地理院GEONETのGNSS観測データを使用させていただきました。



地殻変動モニタリング手法の高度化 傾斜計データの降雨・融雪補正

火山の傾斜観測において、降水及び融雪の影響とみられる変化を補正することが課題であった。この間にタンクモデルを適用して降水補正のパラメータを最適化する手法を開発した。加えて、気象観測データから融雪量を推定する手法を開発し、タンクモデルに融雪補正を組み込んだ。これらによりデータの中・長期的なSN比が向上することを示した。(新潟大学・信州大学と共同の調査)



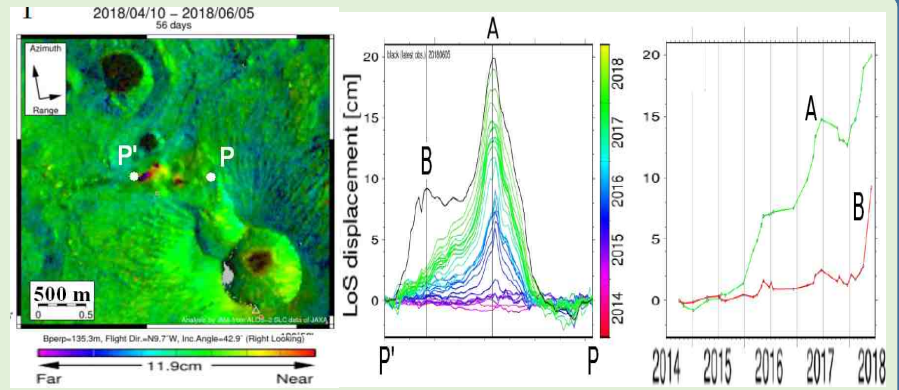
衛星SARによる火山性地殻変動の検出・解析

衛星ALOS及びALOS-2のSARデータを用いて、国内外の多数の火山で差分干渉解析を行い、火山性地殻変動を面的分布として検出した。(国内: 雌阿寒岳、十勝岳、吾妻山、御嶽山、箱根山、伊豆大島、三宅島、西之島、硫黄島、霧島山、桜島、口永良部島、薩摩硫黄島などの25火山)

この中で、空間スケールが数10m程度の変動を検出できることを示した。

また強度画像で詳細地形の変化や、相関画像で火砕流や溶岩流の範囲の解析ができた。いくつかの火山では、面的変動を説明する地殻変動源を推定した。

右図: 霧島山えびの高原(硫黄山周辺)では、測線の変動プロファイルの詳細な時間変化を追跡し、活動評価資料を提供した。

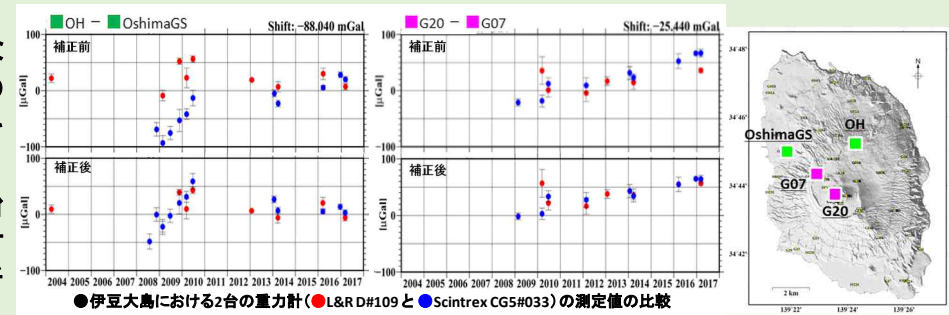


本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験(衛星解析グループ)に基づいて、JAXAにて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXEL で共有しているものであり、JAXAと地震研究所の共同研究契約によりJAXA から提供されたものである。PALSAR-2に関する原初データの所有権は JAXA にある。解析ソフトは、防災科研の小澤拓氏の開発による RINC を、また描画では、国土地理院の数値地図 10m メッシュ(標高)を元にした DEHM を、地形は数値地図 25000(行政界・海岸線)のデータを使用した。

重力繰り返し観測の精度向上への取り組み

伊豆大島での可搬型重力計の絶対重力点における継続的な検定データの解析により、重力計による繰り返し観測の誤差の要因となる機器の感度変化の素性を明らかにし、その補正を行った。

加えて、地盤の上下変動が重力観測に与える影響を、重力鉛直勾配の実測とGNSSデータで定量的に評価することにより、伊豆大島の三原山で継続している重力増加は概ね三原山の局所的沈降で説明できることがわかった。

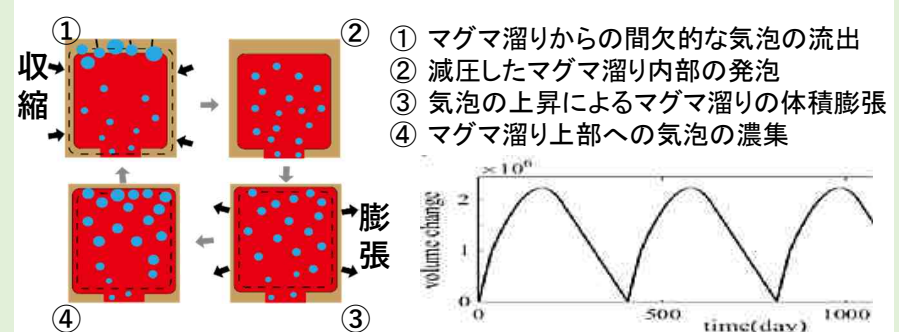


●伊豆大島における2台の重力計(●L&R D#109と●Scintrex CG5#033)の測定値の比較

マグマ溜り内の気泡の上昇による地殻変動のモデル化の試み(伊豆大島)

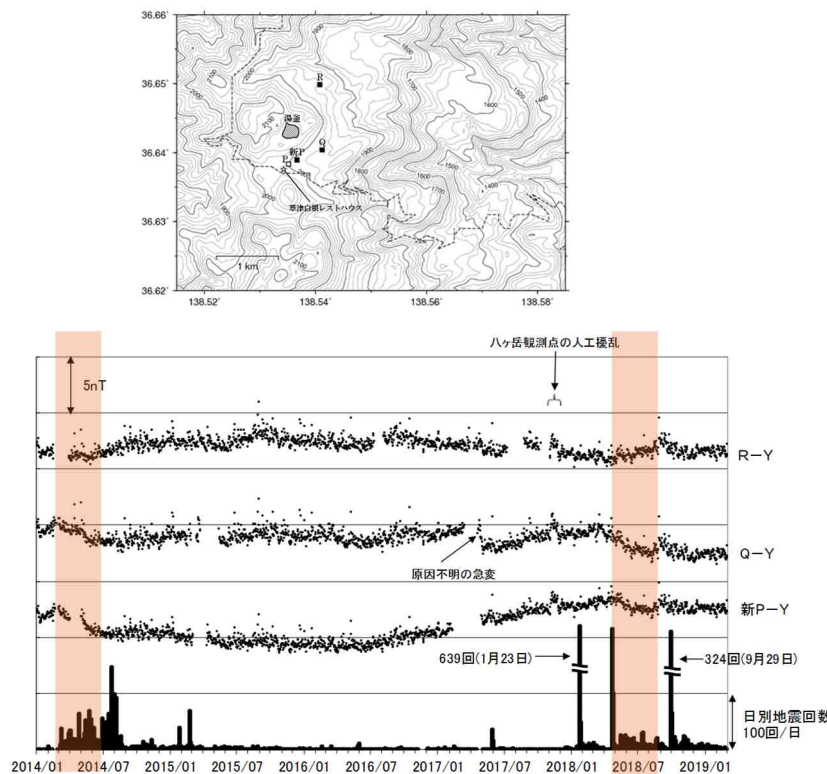
伊豆大島の約1年の周期的な地殻変動に関する、渡辺(2012)の概念モデル(浅部マグマ溜りに濃縮した気泡の間欠的な外部への流出による減圧と深部から上昇してきたマグマの発泡による増圧)の一部分について、物理過程をモデル化して数値計算を試みた。

浅部マグマだまりの玄武岩質マグマの中で生じる気泡の上昇と、それで生じる体積膨張と圧力変化に伴う間欠的な気泡の流出過程を、①～④のサイクルでモデル化して数値シミュレーションを行い、初期気泡半径、体積分率、気泡の上昇距離に適切な値を仮定



した計算により、体積増加量と膨張の持続時間が、概ね観測と同程度の値に再現された。

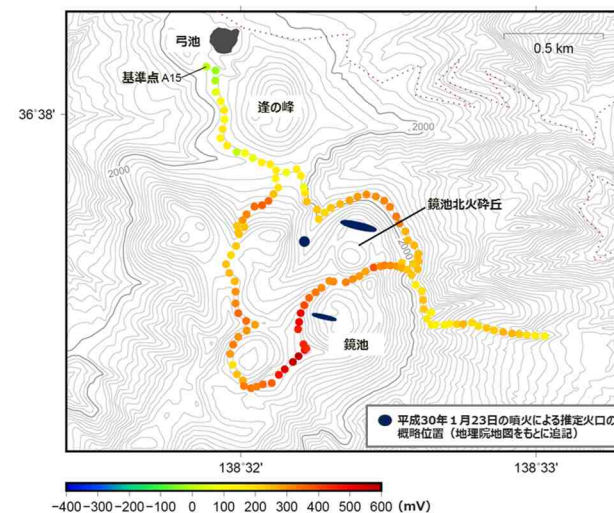
草津白根山における全磁力観測



草津白根山の各全磁力連続観測点における全磁力変化。
基準点は八ヶ岳地球電磁気観測所(東京大学地震研究所)。

草津白根山では湯釜周辺に全磁力連続観測点を3点(新P,Q,R)設置して観測を実施している。最近の変化としては、2014年5月から7月、および2018年4月から7月にかけて小規模な熱消磁とみられる全磁力変化が観測された。同時期に火山性地震活動が活発化し、湯釜周辺地下の膨張を示す地殻変動も観測されており、全磁力変化はこれらの活動と良い対応を示した。

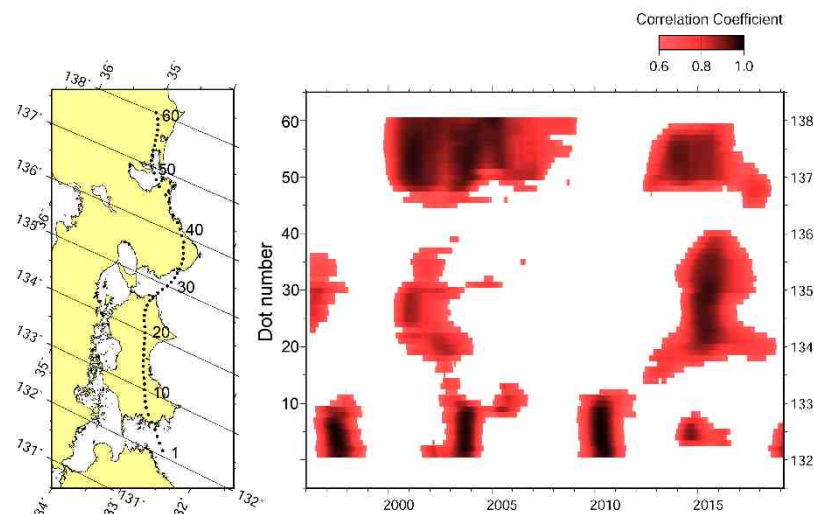
草津白根山(本白根山)における自然電位観測



本白根山自然電位測定結果
(地形効果補正後 電位基準はA15)

2018年1月23日、草津白根山の本白根山で水蒸気噴火が発生した。噴火後の本白根山地下の熱的状态を把握することを目的として、本白根山山頂周辺部において自然電位観測を実施した。測定結果、本白根山山頂部周辺では200~500mVの正の電位分布を示すことがわかった。特に鏡池の西~南西部や、2018年の噴火の主噴火口のある鏡池北火砕丘の周縁部などで局所的に電位の高い領域が認められ、熱水の上昇流を反映している可能性が考えられる。

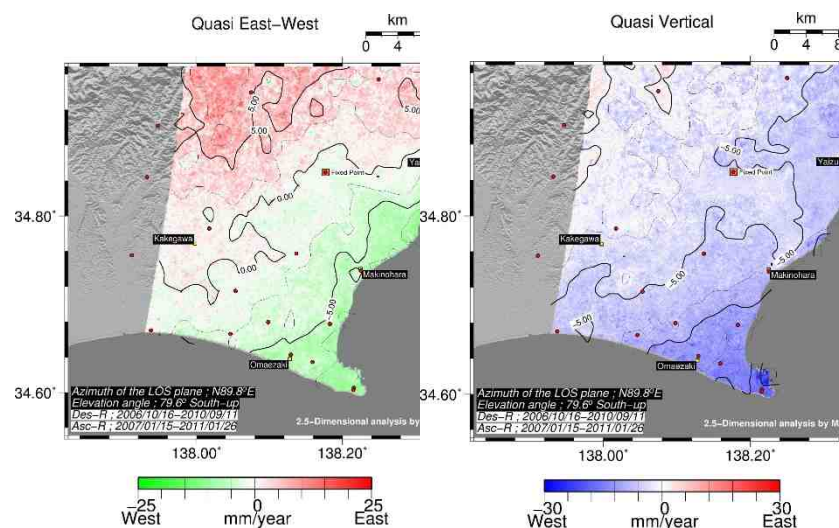
GNSSによる長期的スロースリップ客観検知



相関の高い部分がスロースリップに対応

中国地方を領域固定したGNSS日値を用い、フィリピン海プレートの沈み込みと逆方向の成分について、南海トラフのプレート等深線25km沿いに並べた地点を中心とする一定範囲内の平均を求め、1年間の傾斜期間を持つランプ関数との相関を取ることで、南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観的な時空間分布を得る手法を開発した。これにより、2000～2002年の紀伊水道長期的スロースリップ、2017～2018年の志摩半島付近の小規模な長期的スロースリップを検出した。

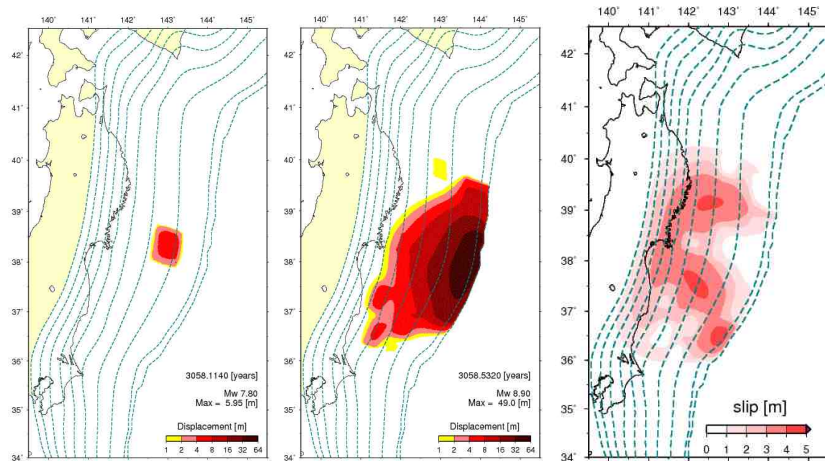
南海トラフ沿い崎周辺における干渉SAR時系列解析(2.5次元解析)



変位速度をもとにした準東西(左図)と準上下(右図)方向の変位速度

SAR衛星ALOS-1のデータを用いた時系列解析により、御前崎、潮岬、室戸岬、足摺岬周辺の定常的な地殻変動の検出を行い、面的に詳細でスムーズな地殻変動分布が得られた。

三陸沖～房総沖における地震発生シミュレーション

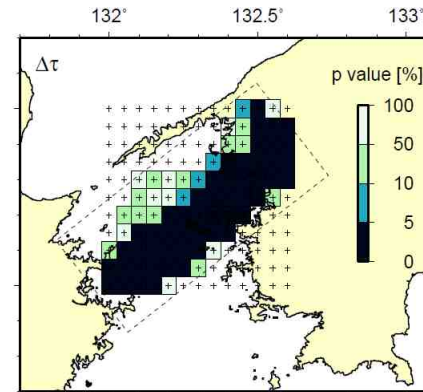


三陸沖で地震 → 日本海溝
寄り地震 余効すべり

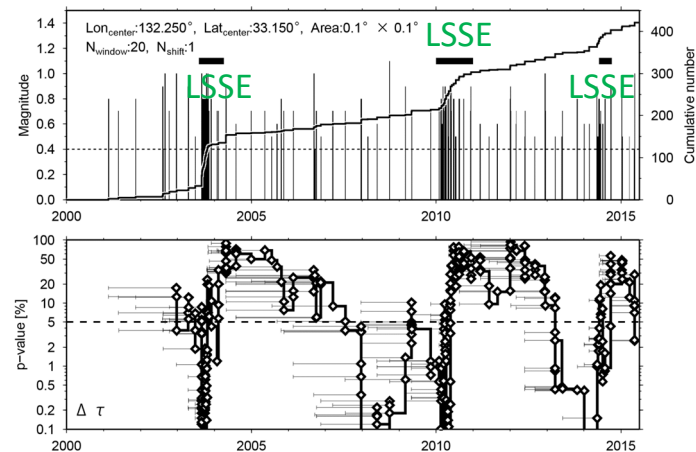
三陸沖～房総沖にかけて繰り返し発生するM7～9クラス地震の発生履歴、すべり量分布、余効すべりを再現するモデルを構築した。

地震の発生履歴を完全には再現出来ていないが、過去にあった続発的地震発生パターンが再現できた。

深部低周波地震と潮汐との関係



豊後水道の深部低周波地震についてのp値の空間分布



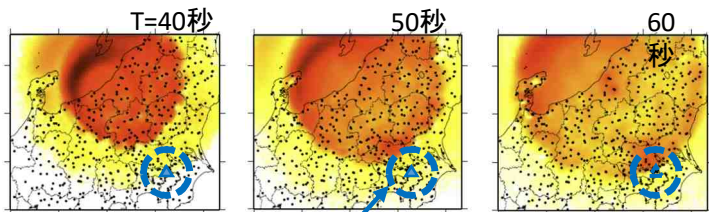
M-Tおよび回数積算図

p値の時間変化

深部低周波地震の領域浅部側に顕著な低p値帯が分布し、深部低周波地震の活動度が特に高い領域において、長期的スロースリップに関連したp値の時間的变化が見られた。

迅速性の向上 → PLUM法の高度化

PLUM法(“揺れの数値予報”の簡易版)の考え方



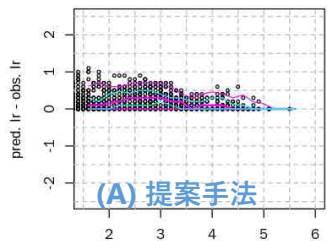
周囲30km以内で強い揺れを検知 → 警報

弱点:
距離減衰がない → 近い未来(10秒まで)の予測に限定

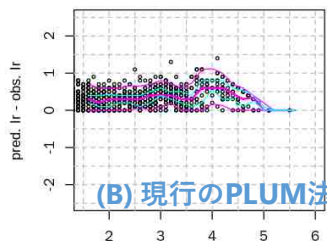
これらを克服するために

- ・P波の活用
- ・距離減衰の導入

予測精度

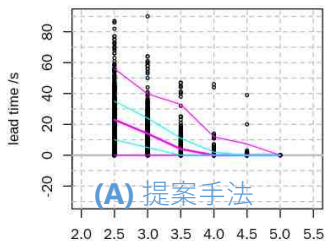


(A) 提案手法

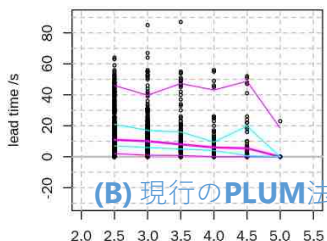


(B) 現行のPLUM法

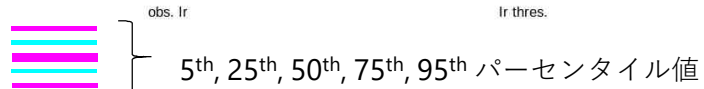
猶予時間



(A) 提案手法

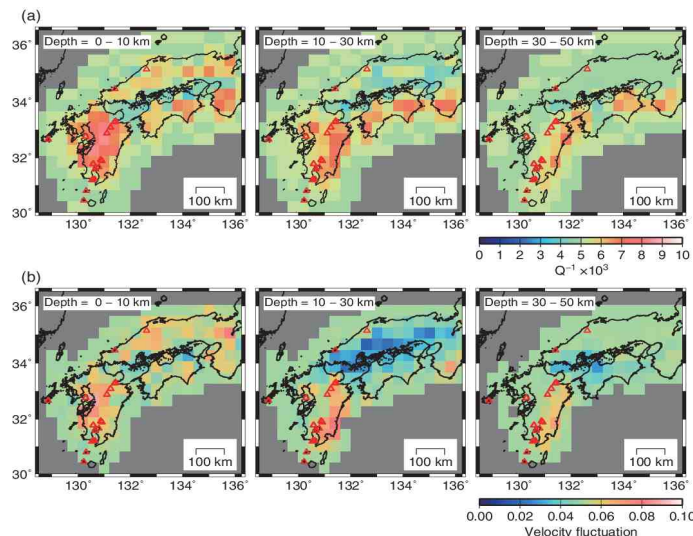


(B) 現行のPLUM法

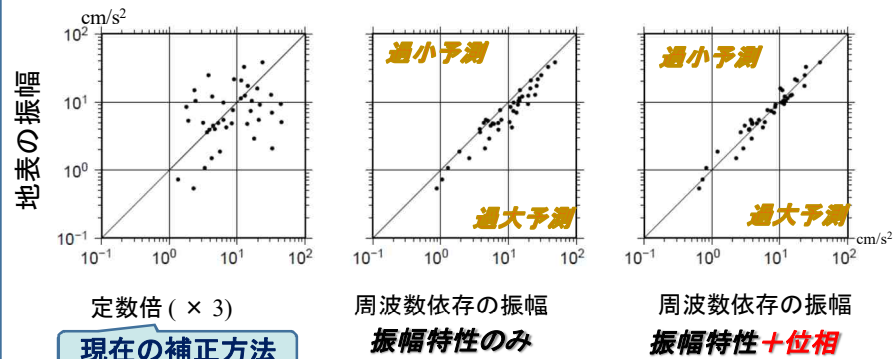


予測精度の向上 →

減衰構造(吸収強度と散乱強度)の導入



地盤増幅特性の高度化 → 長周期への対応



定数倍(×3)
現在の補正方法

周波数依存の振幅
振幅特性のみ

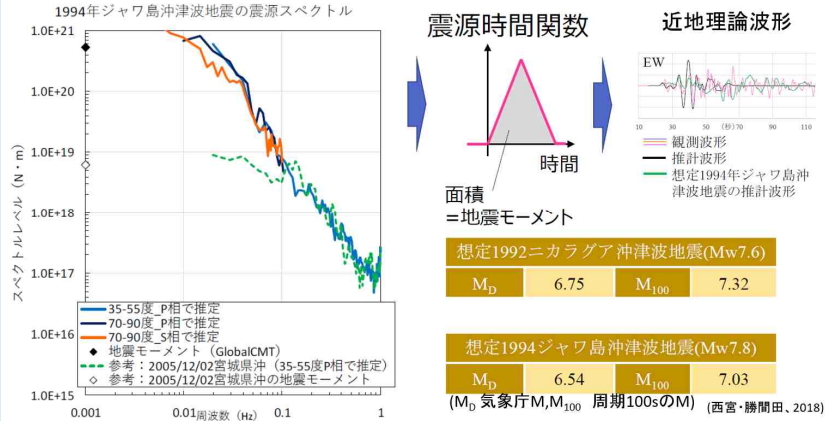
周波数依存の振幅
振幅特性+位相

Boreholeの波形からの予測

【津波地震対策】

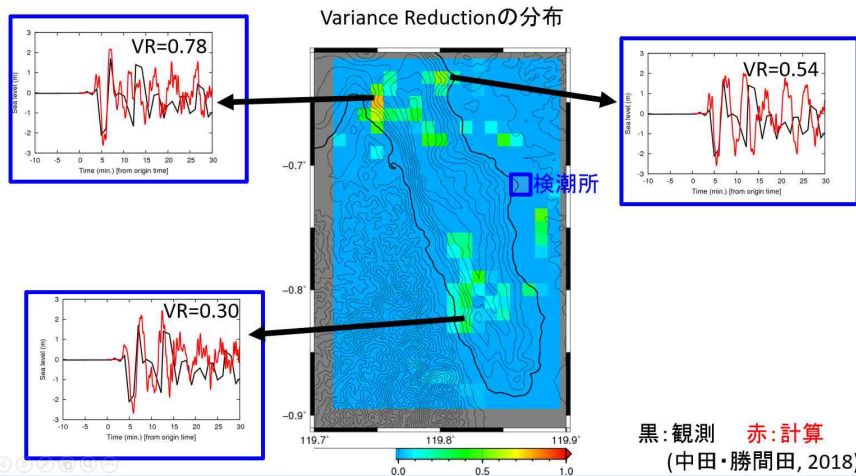
【津波地震の規模推定法の検討】

スロー津波地震が日本近海で発生した場合の評価を実際の津波地震のスペクトルに基づいて行った。気象庁マグニチュードでは1程度の過小評価の可能性があったことが分かった。この対策として、変位を積分した波形の振幅に基づく近地マグニチュードを検討している。



【海底地すべりによる津波】

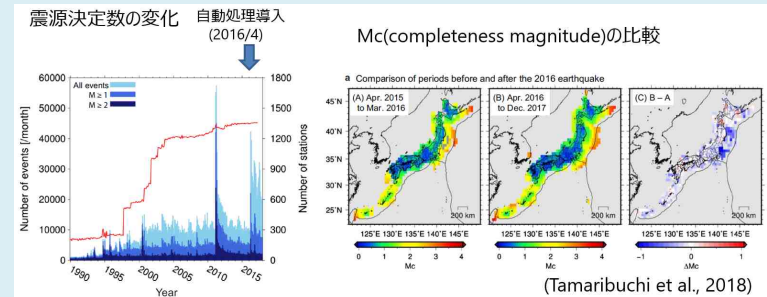
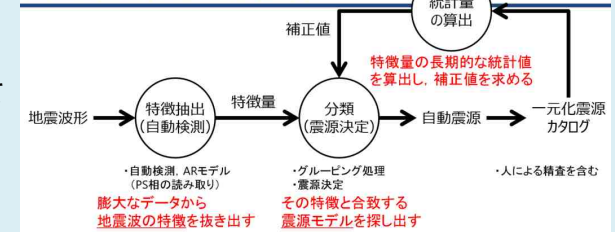
海底地すべりによる津波の定量的評価のため、二層流モデルを用いた海底地すべりによる津波の計算を行った。下の図は2018年9月に発生したインドネシアのスラウェシ島の津波源の検討結果である。湾の入り口あるいは湾の南西部に地すべりを仮定すると、検潮所の記録をよく説明できる。



【自動震源決定手法の改良】

自動震源決定手法(PF法)が一元化震源決定処理に2016年4月から用いられているが、その結果についてMcとして評価した。その結果、広域においてMcの低下が認められた。

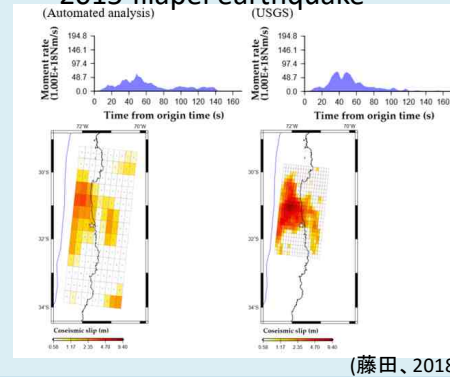
自動震源決定PF法の概要



【震源過程解析の自動化】

遠地実体波震源過程解析の迅速化のため、スケーリング則に基づいた小断層等の設定による処理の自動化を図っている。USGS解との比較(相関係数)によりその評価を行ったが、比較した22地震のうち8割の地震でUSGSの解と整合的な解となった。

20自動解析とUSGS (米国地質調査所) による解析の比較



20地震の相関係数(ρ)による比較

No.	Origin time (y/m/d h:m:s)	ρ
1	2015/09/16 22:54:32.860	0.72
2	2015/05/12 07:05:19.730	0.83
3	2015/05/05 01:44:06.380	0.57
4	2015/04/25 06:11:25.950	0.70
5	2014/04/18 14:27:24.920	0.80
6	2014/04/03 02:43:13.110	0.71
7	2013/02/06 01:12:25.830	0.72
8	2012/10/28 03:04:08.820	0.45
9	2012/08/27 04:37:19.430	0.38
10	2012/03/20 18:02:47.440	0.77
11	2011/08/20 16:55:02.810	0.58
12	2011/03/09 02:45:20.330	0.82
13	2010/10/25 14:42:22.460	0.46
14	2010/05/09 05:59:41.620	0.17
15	2010/04/06 22:15:01.580	0.81
16	2008/02/20 08:08:30.520	0.63
17	2007/11/14 15:40:50.530	0.69
18	2007/09/12 23:49:03.720	0.78
19	2007/09/12 11:10:26.830	0.50
20	2006/11/15 11:14:13.570	0.31
21	2006/07/17 08:19:26.680	0.19
22	2006/05/03 15:26:40.290	0.74

・ 先進的な気象レーダーによる桜島噴煙観測について

気象研究所では2014～18年度の5年計画において、XバンドMPレーダー(MRI-XMP)及びKuバンド高速スキャンレーダー(MRI-Ku)を桜島周辺(図1)に設置し、噴煙の観測・解析を行った。2016年4月29日など複数の桜島噴火事例について、MRI-XMP及びMRI-Kuによる観測データから噴煙の3次元構造を解析し、噴煙内部の二重偏波パラメータの変化傾向を得た(図2)。引き続き、2019年度から開始した5年計画「火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測に関する研究」において、レーダーデータを解析し、噴煙内部の物理量(密度や粒径分布など)の推定とデータ同化に基づく移流拡散モデルの初期値(供給源)の改善を行う。

・ 日々の気象場を入力値とする大規模噴火を想定した降灰予測(2015～17年)

日々の気象場の変化が大規模噴火時の降灰予測に与える影響を点検し、降灰ハザードマップの改良などの研究に活用するため、1707年富士山噴火や1914年桜島噴火の大規模噴火を想定した降灰シミュレーションとして、2015～17年の3年間の気象庁メソ解析の3時間毎の気象場を入力値に用いて、領域移流拡散モデル(JMA-RATM)により予想される積算降灰量1096例を求め、これらの計算結果から予想最大降灰量分布(可能性マップ, 図3)や降灰確率(図4)を試算した。ただしこれらのシミュレーションは、出力格子間隔は5 kmと粗く、供給源には傘型噴煙が表現されていないなど、多くの仮定の下に試行した。今後は新しい移流拡散モデルを開発して計算方法を改良する。

先進的な気象レーダーによる桜島の噴煙観測
(2016年4月29日の桜島噴火の事例)

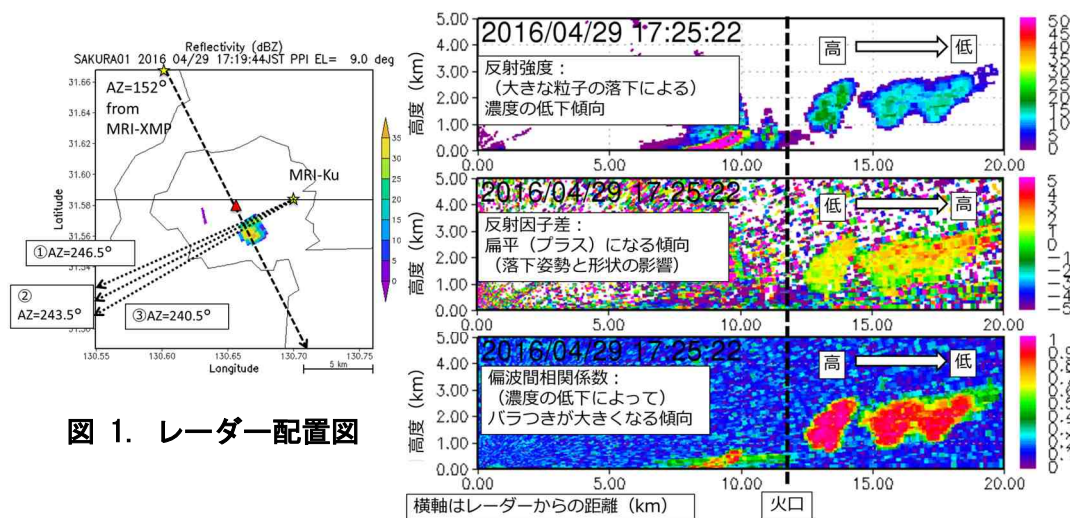


図 1. レーダー配置図

図 2. XバンドMPレーダー鉛直断面(RHI)観測から得られた二重偏波パラメータの変化傾向

富士山宝永噴火を想定した降灰予測
(2015～17年の気象場による試算)

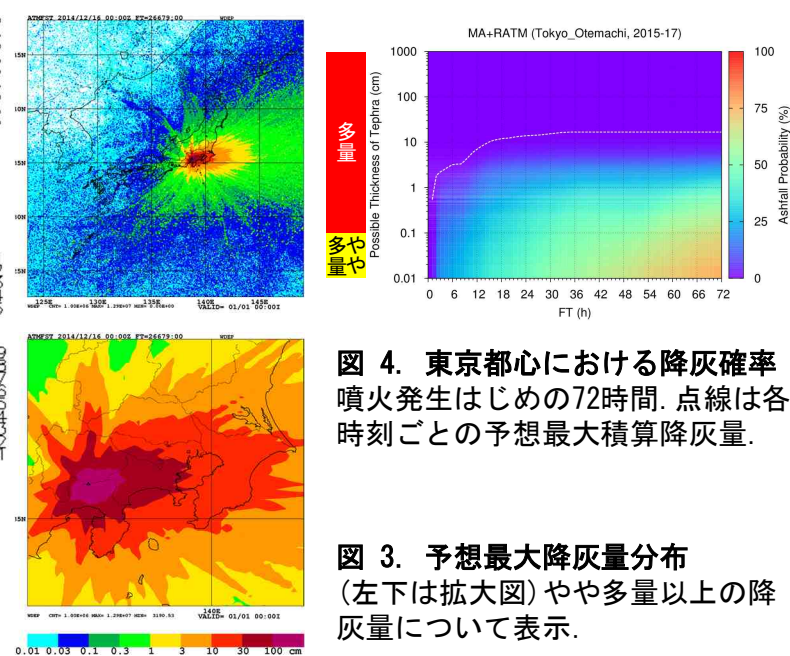


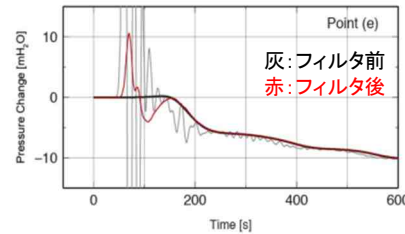
図 4. 東京都心における降灰確率
噴火発生はじめての72時間。点線は各時刻ごとの予想最大積算降灰量。

図 3. 予想最大降灰量分布
(左下は拡大図) やや多量以上の降灰量について表示。

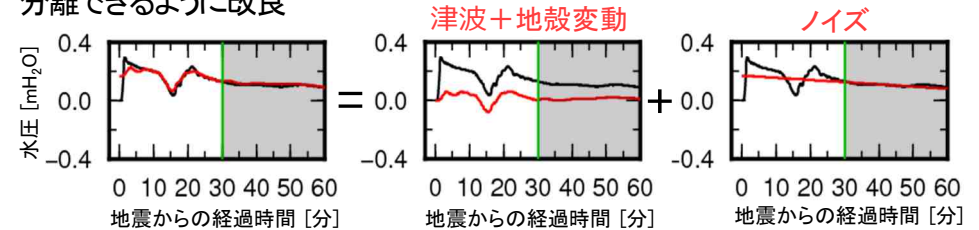
目標：稠密な観測データを活用して津波成分を抽出する手法、津波即時予測手法の高度化を行う。

津波成分の抽出

適切な前処理フィルタにより、地震動・音波等の非津波成分が津波即時予測手法に与える影響は限定的であることを確認

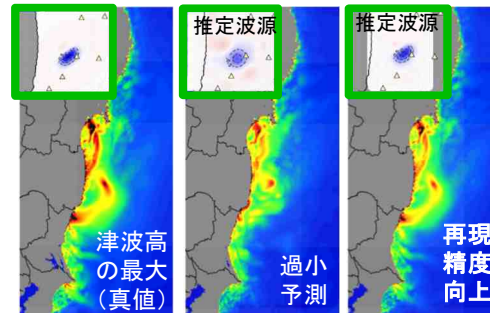


非地殻変動オフセットおよびトレンド変化を津波成分と同時推定して分離できるように改良

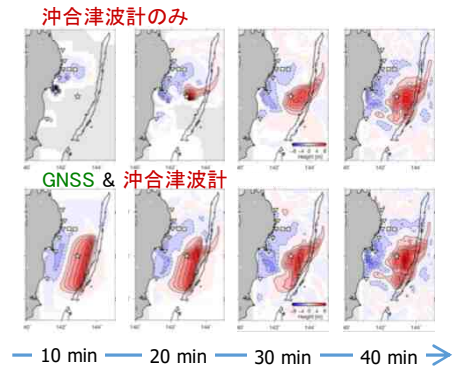


即時予測手法の改良

波源推定の空間分解能が十分でない場合の対処として、状況によって波源の空間分解能を細かくする解析アルゴリズムを考案、想定した性能を発揮することを数値実験にて検証



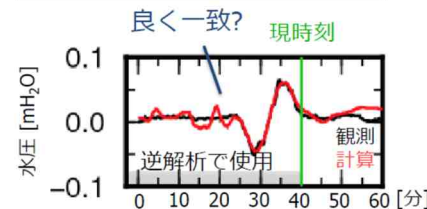
地震発生直後の初期段階において、リアルタイムGNSS測地データ解析による震源断層解と統合できるように改良



予測結果評価手法の開発

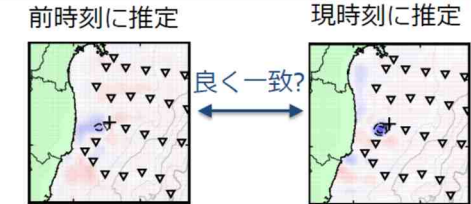
予測結果の妥当性評価のための指標を検討。数値実験に基づいて検証、予測結果の妥当性を適切に評価できることを確認

指標1) 沖合津波波形を使用



逆解析が適切に行われているかを点検 (本指標では、津波・ノイズ成分の分離の程度は計らない)

指標2) 推定した初期水位分布を使用



地震発生から時間が経過し、津波・ノイズ成分を分離推定できるほど津波を多点で十分観測すれば、推定される波源分布が安定すると期待できる。