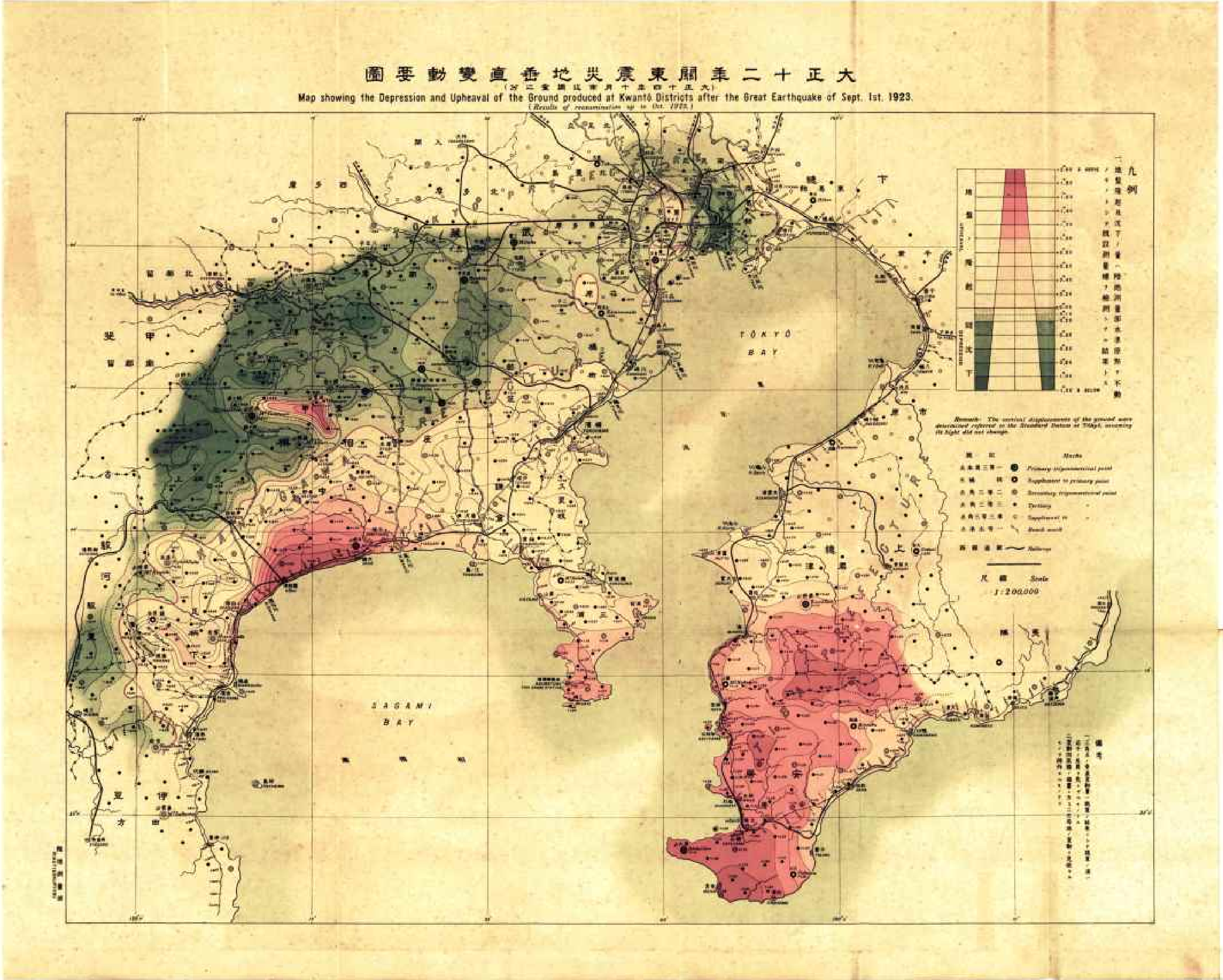


関東大震災（5） 地震の垂直変動量

水準測量の成果に三角測量の成果を含め面的に表示されています。

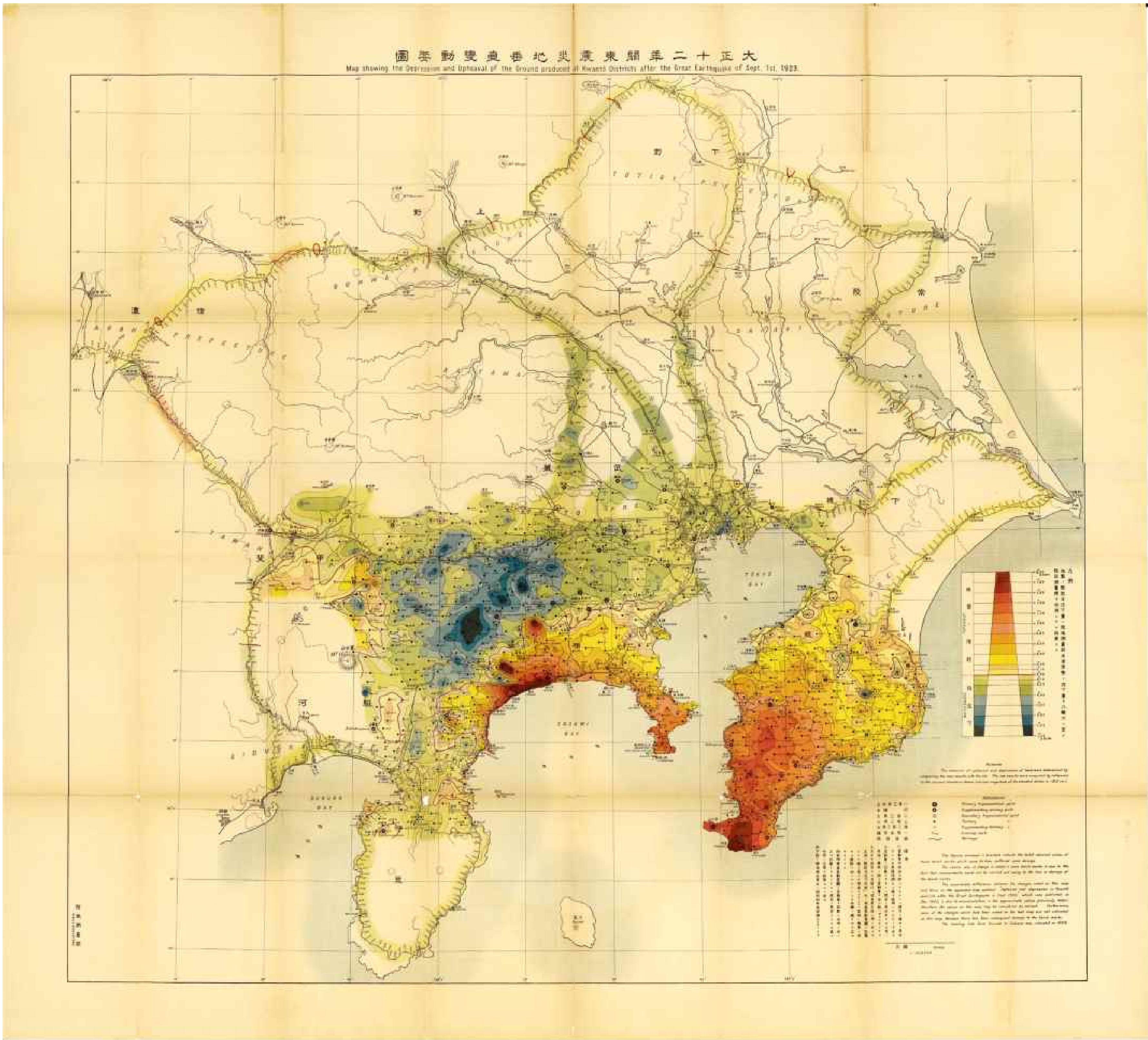
「関東震災地一帯ニ於ケル土地ノ隆起及沈下状態」（大正14年12月）より



大正十二年関東震災地垂直変動要図

水準原点の標高改定をうけて広域に計算しなおした水準測量の成果と、この水準成果を反映して改測された三角点の標高値をともに面的に表現したのが垂直変動要図です。

「関東震災地復旧測量記事」（昭和5年2月）より



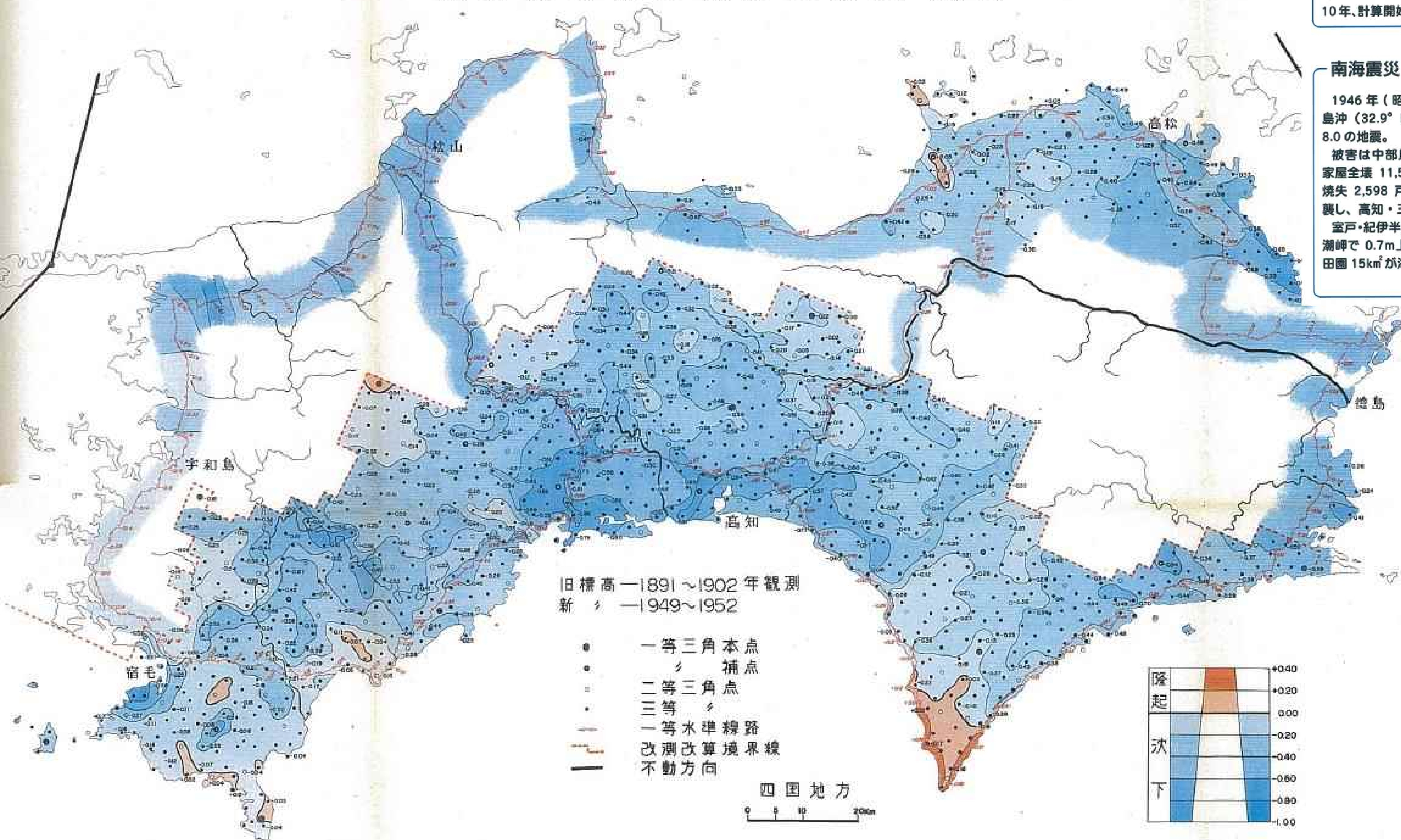
大正十二年関東震災地垂直変動要図

作業年		作業期間	延長距離 (km)	延べ日数	測量官人日	測夫人日	常傭人日	日傭人日
1923	大正12	9月下旬～3月中旬	466	475	475	1,105	607	271
1924	大正13	5月下旬～3月下旬	633	696	696	874	1,269	311
1925	大正14	4月上旬～3月下旬	971	1,171	1,171	1,539	1,666	303
1926	大正15	4月1日～3月下旬	552	577	577	690	841	227
合 計			2,622	2,919	2,919	4,208	4,383	1,112

水準測量の各年度の作業距離と作業人日数(1班4名体制)

南海地震

南海震災地区高低変動図 付図14



ここに展示した図は南海地震（1946 年）後に実施された復旧測量の成果から得られた地震前後の変動を示したもので、1960 年 6 月の測地部技術報告に掲載されています。

一等三角点の改測は 1948 年～ 50 年、二・三等は 1949 年～ 52 年に測量を終了。計算は一等三角点は 1951 年に完了しましたが、二・三等は改測改算合わせて 4,000 点に及ぶ膨大なもので、完了までに震災発生以来 10 年、計算開始以来 6 年という長い年月を必要としました。

南海震災（1946 年）

1946 年（昭和 21 年）12 月 21 日に発生した、紀伊半島沖（32.9° N、135.8° E）を震源とするマグニチュード 8.0 の地震。

被害は中部以西の日本各地にわたり、死者 1,330 名、家屋全壊 11,591 戸、半壊 23,487 戸、流失 1,451 戸、焼失 2,598 戸。津波が静岡県より九州にいたる海岸に襲来し、高知・三重・徳島沿岸で 4～6m に達した。

室戸・紀伊半島は南上がりの傾動を示し、室戸で 1.27m、潮岬で 0.7m 上昇、須崎・甲浦で約 1m 沈下、高知付近で田園 15km² が海面下に没した。

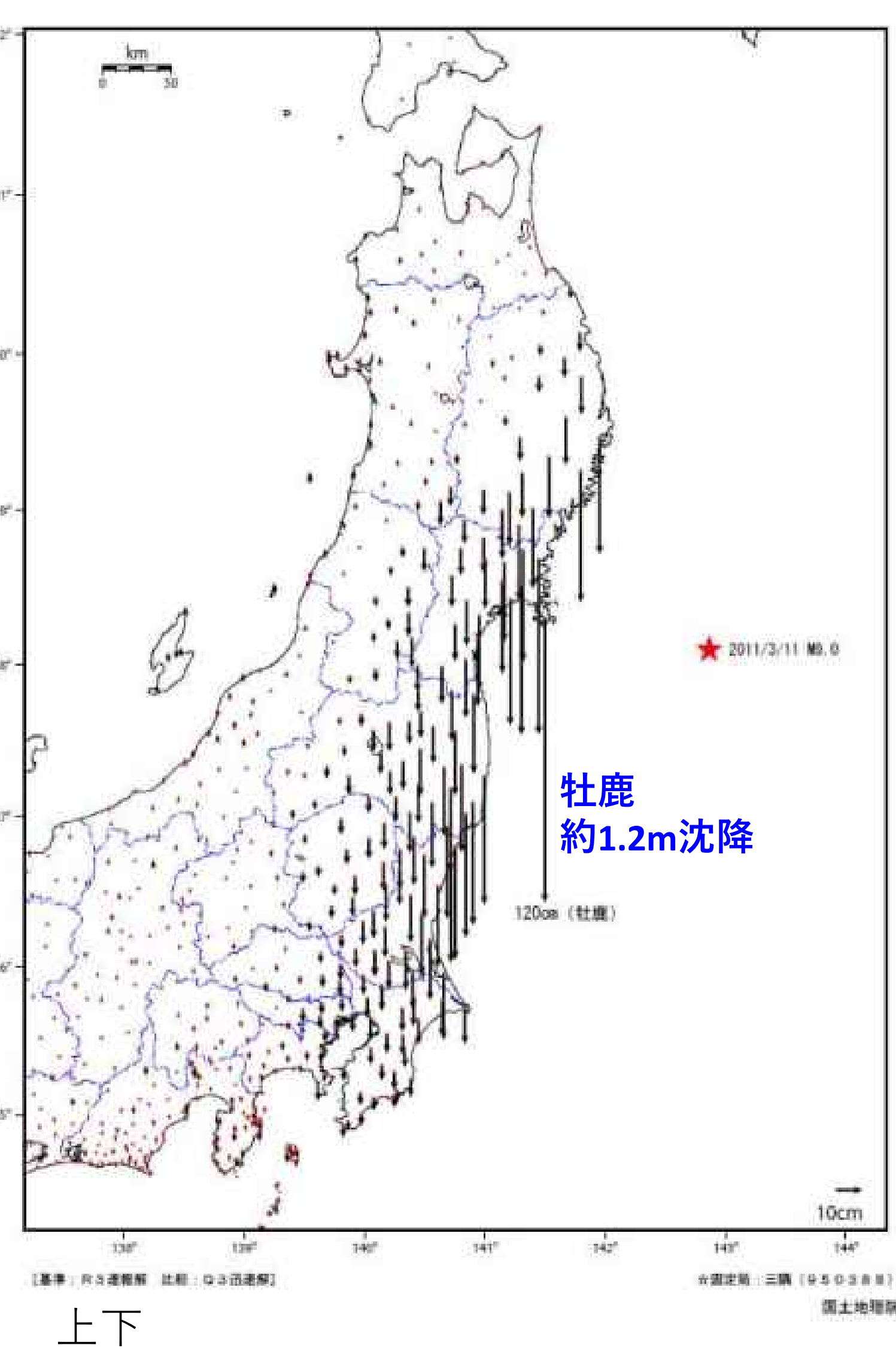
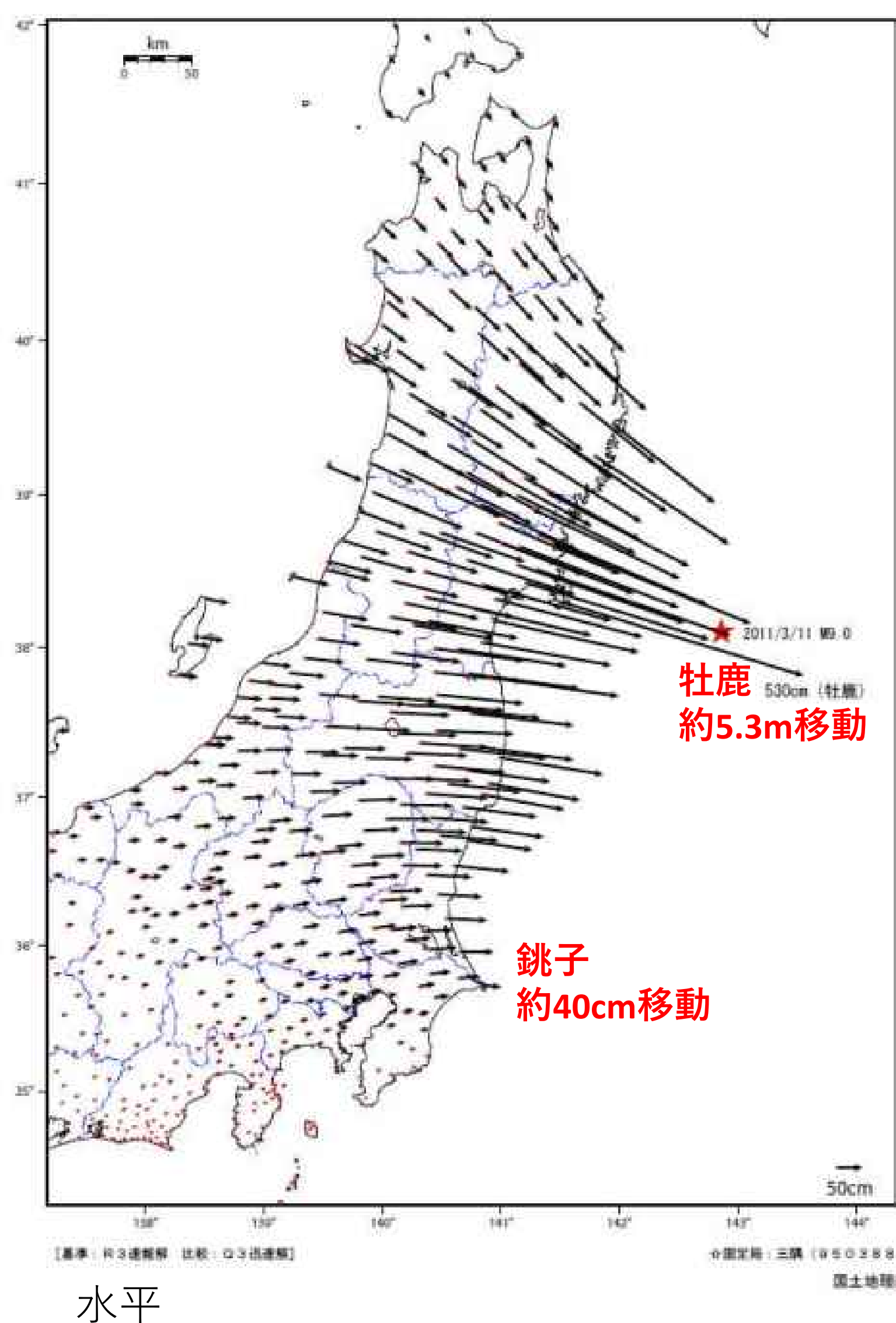
（「理科年表 平成 24 年版」による）

東日本大震災

地殻変動の観測

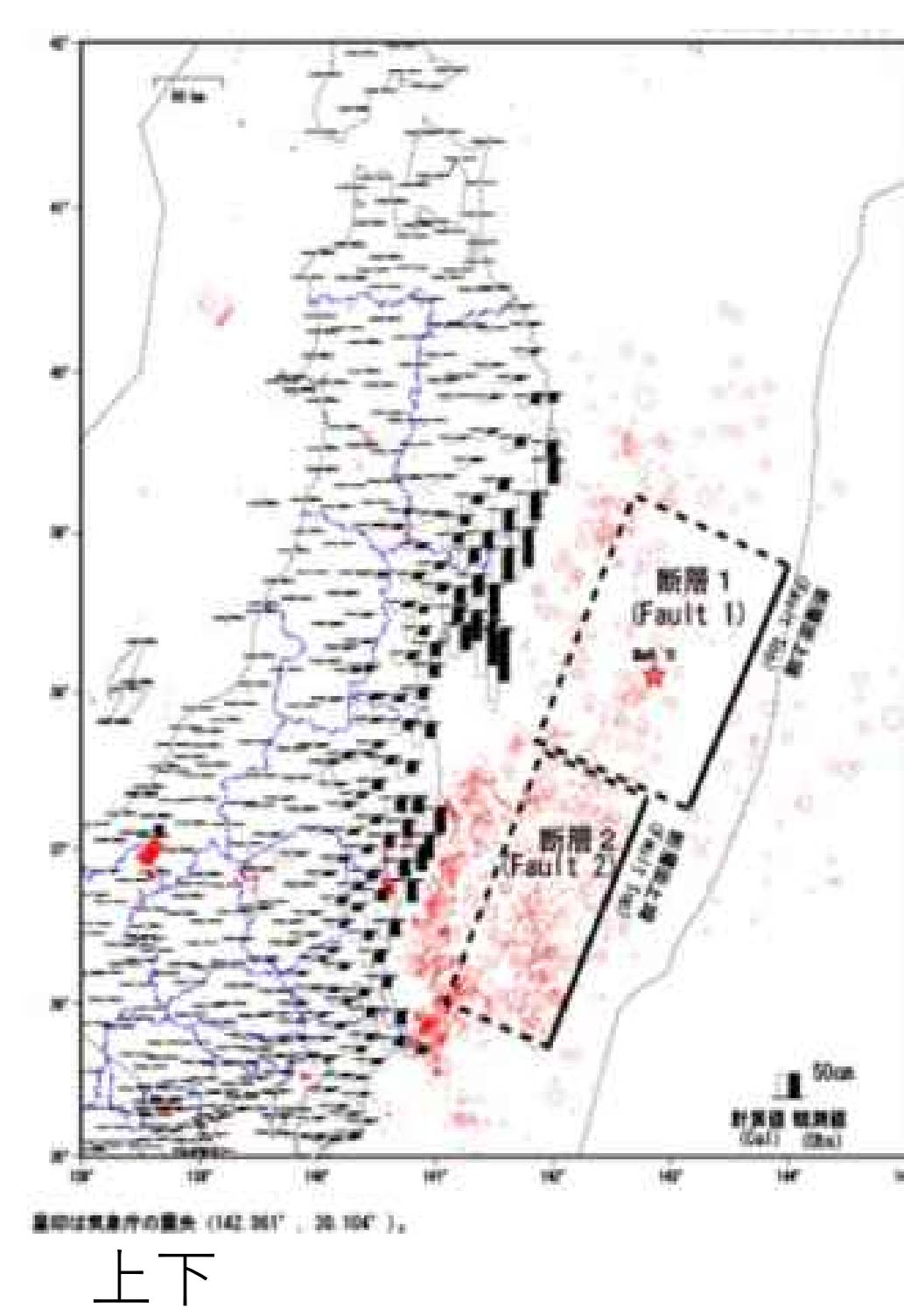
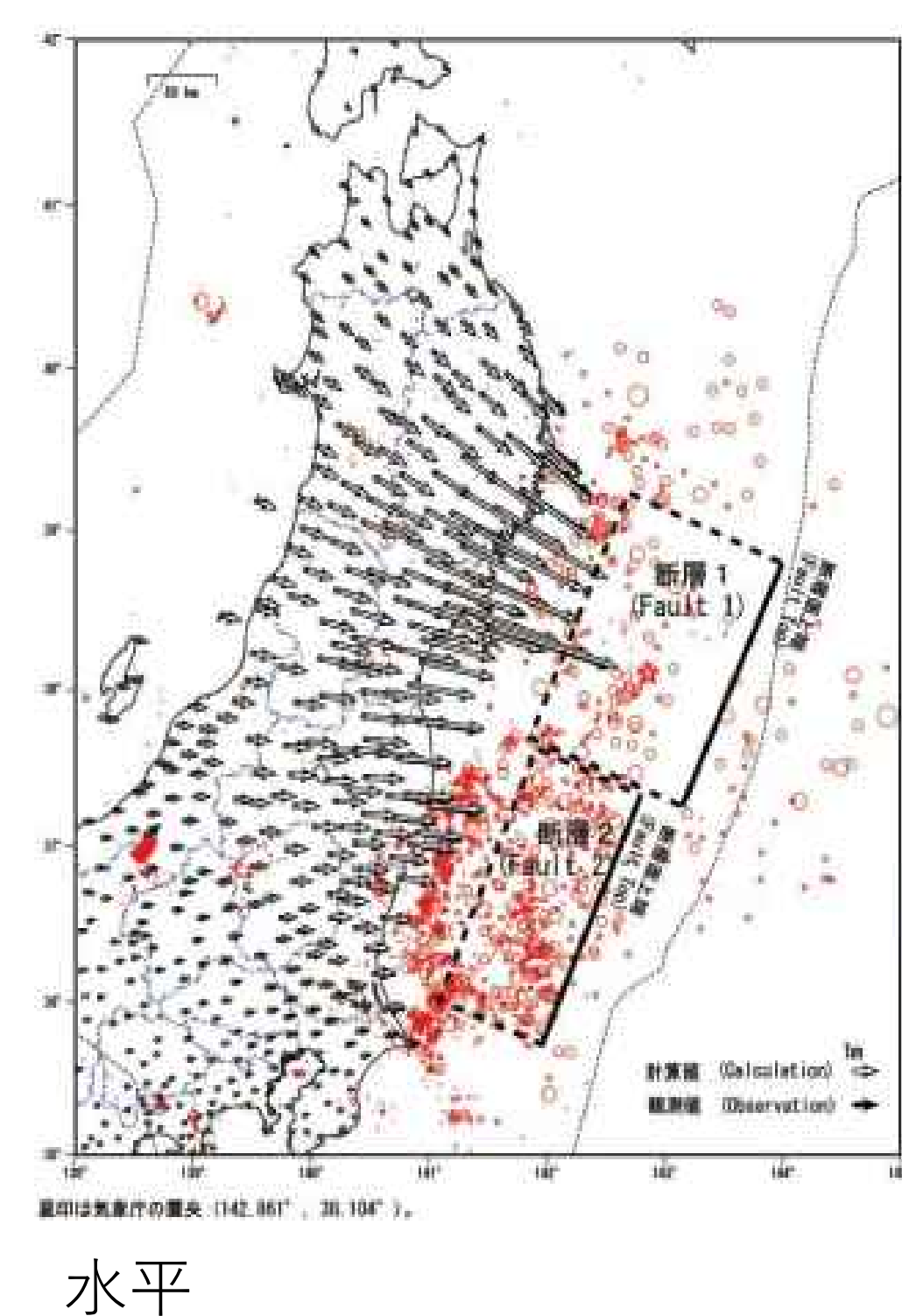
2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、電子基準点「牡鹿」（宮城県石巻市）が、東南東方向へ約5.3m動き、約1.2m沈降するなど、北海道から近畿地方にかけて広い範囲で地殻変動が観測されました。

（この図は、島根県にある電子基準点「三隅」が地震前後で動いていないと仮定して計算したものです。）



地殻変動データから震源断層モデルを推定

- 断層面の形状は、日本海溝に沿った2枚の長方形で近似
- 総延長約380km、幅が約90～130kmで、西に傾き下がる断層面
- 西側の地塊が東側に対して乗り上げるような逆断層運動
- すべり量は北側が約25m、南側が約6m
- この断層モデルから推定されるモーメントマグニチュードは8.9



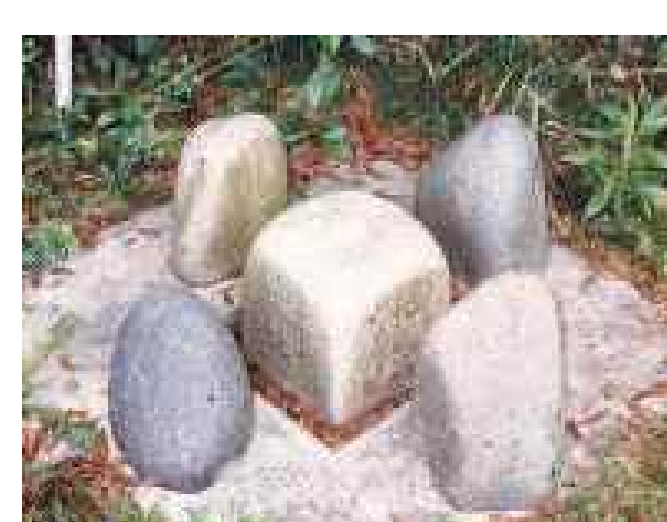
基準点測量成果の改定（2011年10月31日公表）

基本測量の基準点は、国や地方公共団体の実施する公共測量の基準として使用されており、東日本大震災に伴う公共事業等の復旧・復興には不可欠です。このため、顕著な地殻変動が認められた地域の国家基準点を対象に成果を改定しました。

■基本測量の実施



三角点
約43,000点の成果を改定
（約1,900点を測り直しました）



水準点
約1,900点を測り直し、成果を改定

■基本測量の結果



日本経緯度原点の数値も改定（ほぼ東に約27cm移動）
 経度 旧 東経139度 44分 28秒 8759
 新 東経139度 44分 28秒 8869
 緯度 北緯 35度 39分 29秒 1572（変更なし）

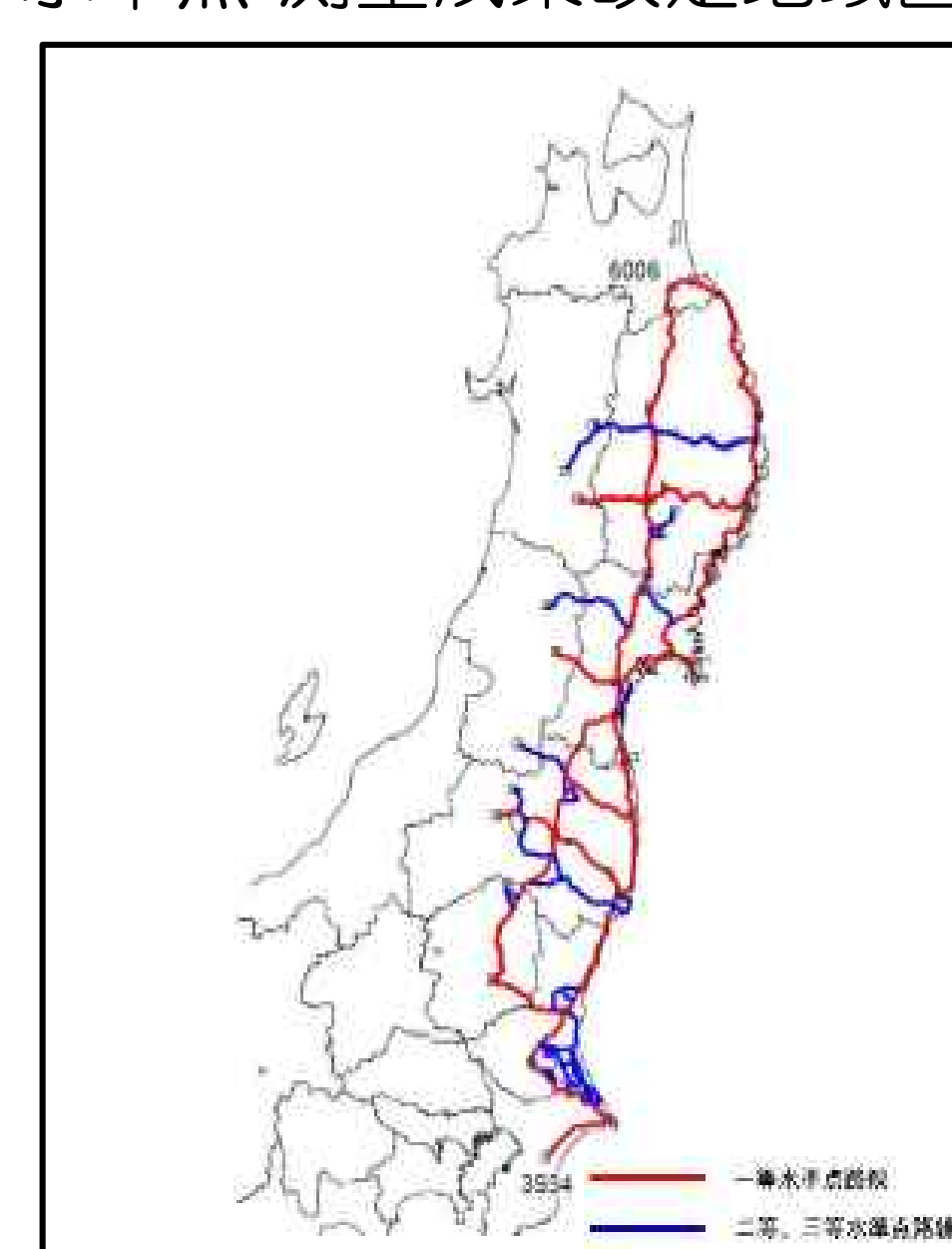


日本水準原点の数値も改定（2.4cm沈降）
 東京湾平均海面上24.500m（設置時）
 // 24.414m（1923年(大正12年)関東地震）
 // 24.3900m（2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震）

三角点 測量成果改定地域図



水準点 測量成果改定地域図

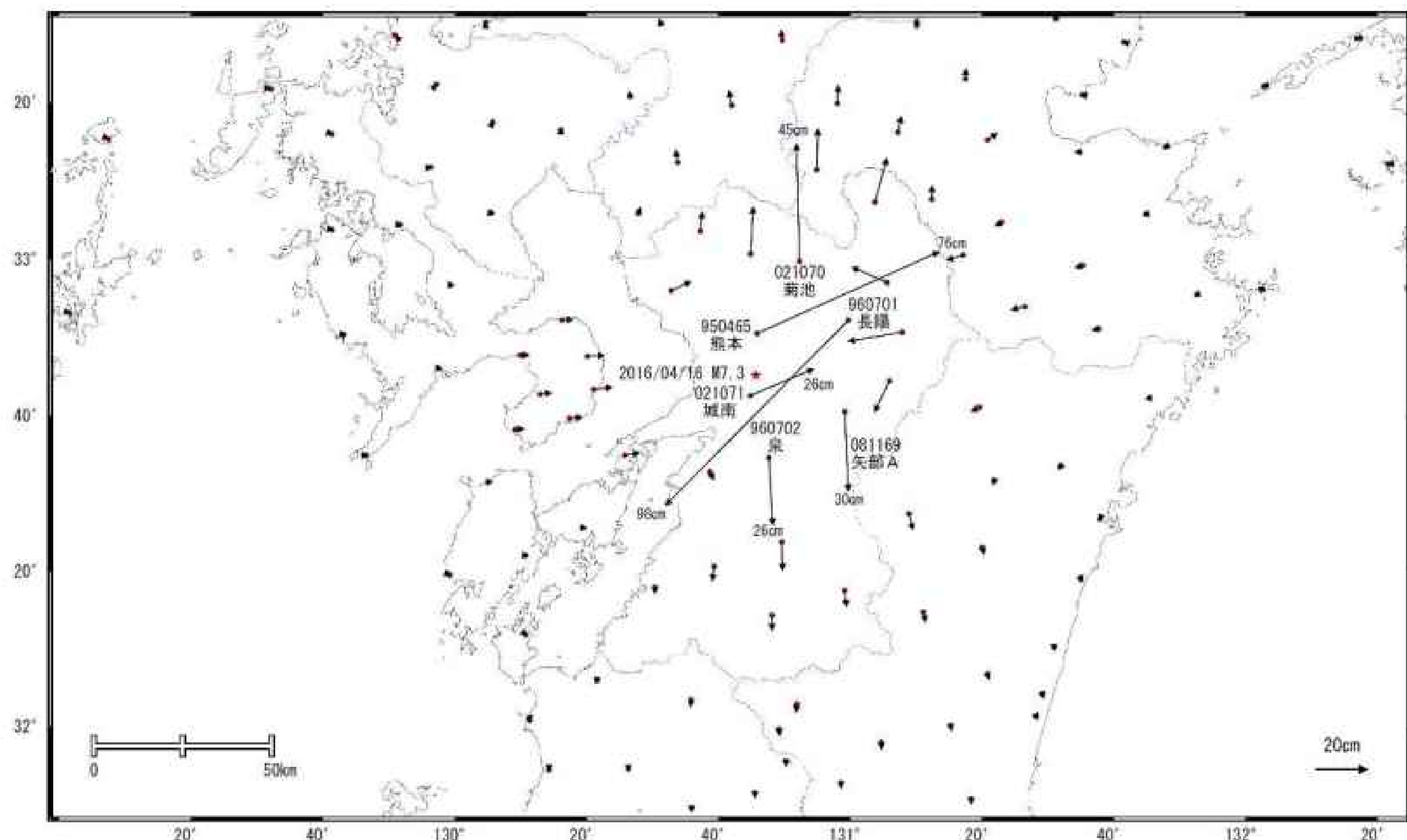


熊本地震

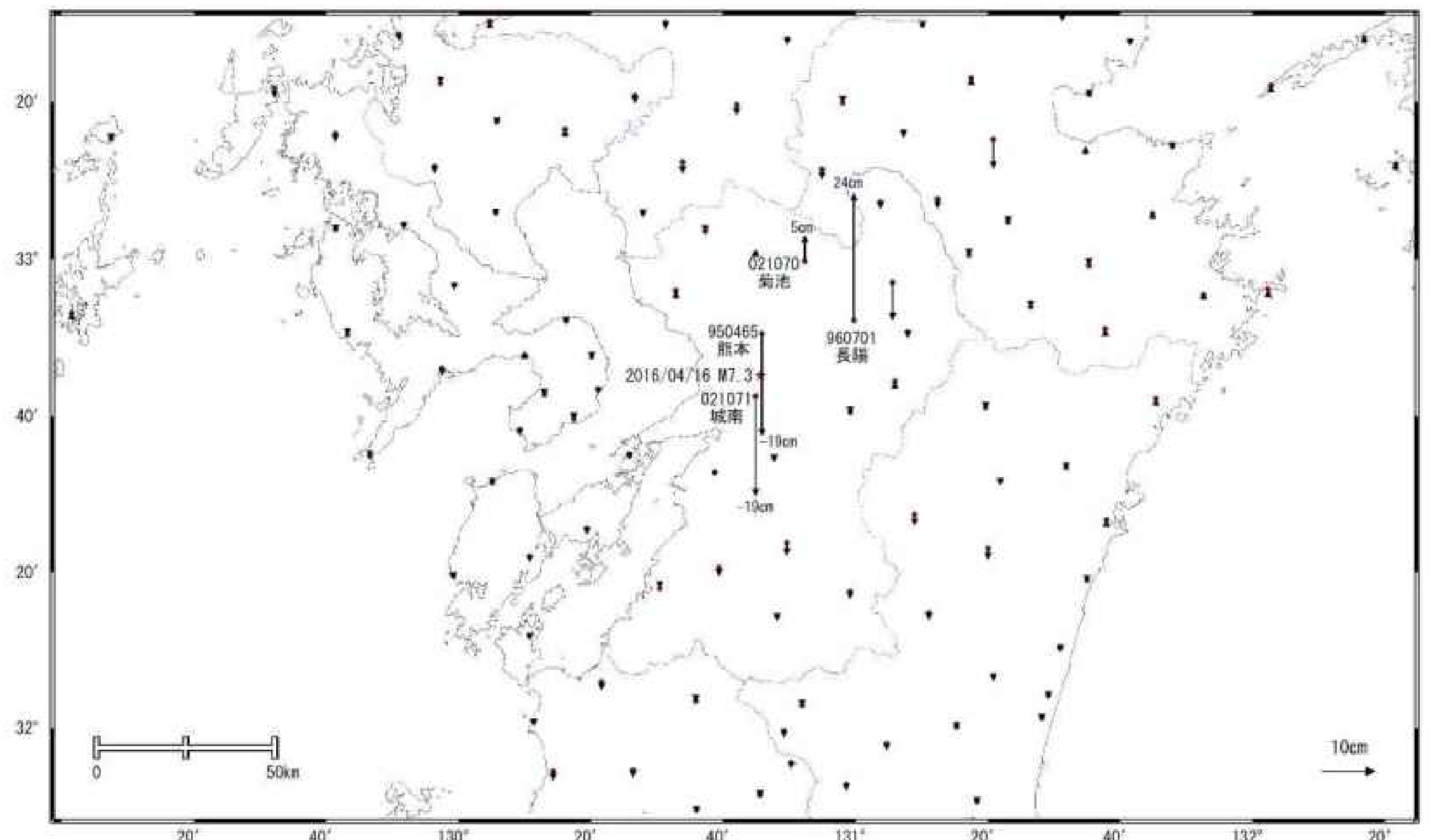
電子基準点による地殻変動の観測

2016年(平成28年)4月16日1時25分に熊本県熊本地方で発生した地震について、震源域周辺の電子基準点で観測されたデータを解析した結果、震源に近い電子基準点「長陽」(熊本県阿蘇郡南阿蘇村)が南西方向に約1 m変動し、約20cm隆起したのをはじめ、熊本県を中心とした地域で大きな地殻変動が観測されました。

地殻変動(水平)

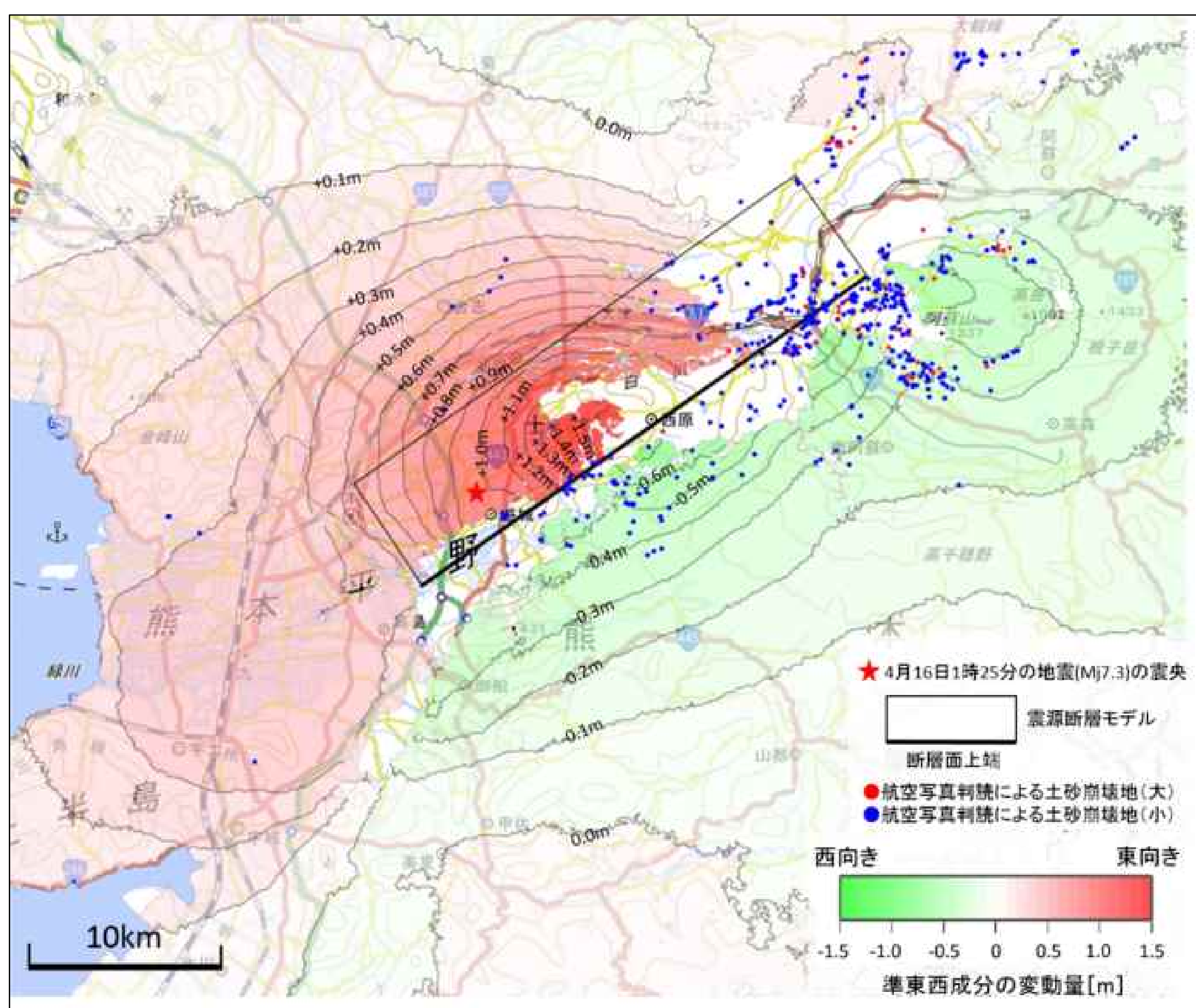


地殻変動(上下)

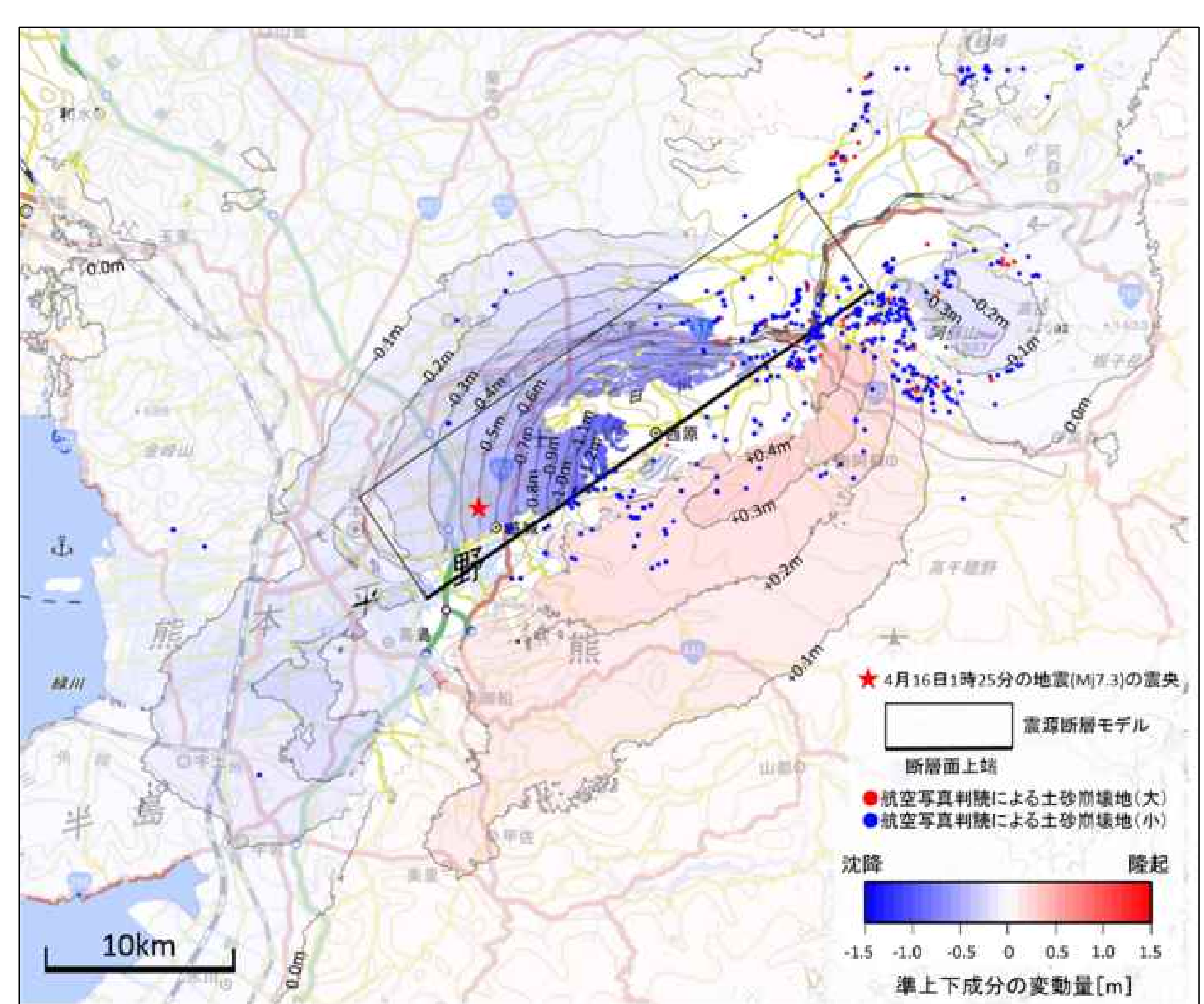


衛星合成開口レーダー(SAR)による地殻変動の観測

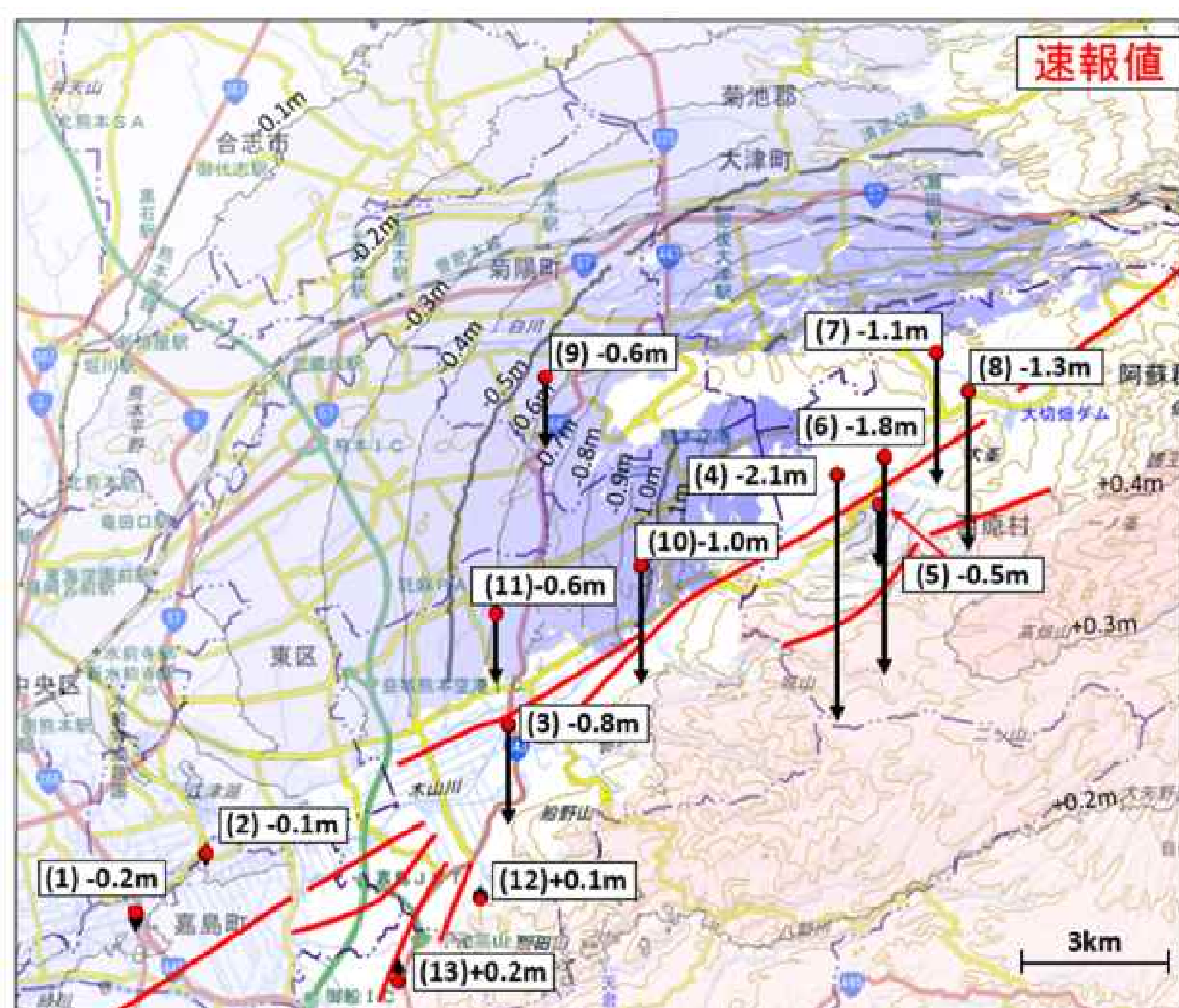
陸域観測技術衛星「だいち2号」のデータを使用した干渉SARによる解析により、地殻変動の水平成分と上下成分を明らかにしました。



- 水平方向には、断層の北側で東向きに最大1 m以上、断層の南側で西向きに最大50cm以上の変動



- 上下方向には、断層の北側で最大1m沈降、断層の南側で最大30cm以上隆起
- 水平・上下ともに平成28年4月19日までの観測結果をもとに推定、4月20日に公表



断層付近の変動が大きな(干渉SARによる解析ができない)地域で、緊急GNSS観測を実施

最大で2.1mの沈降が確認されました。

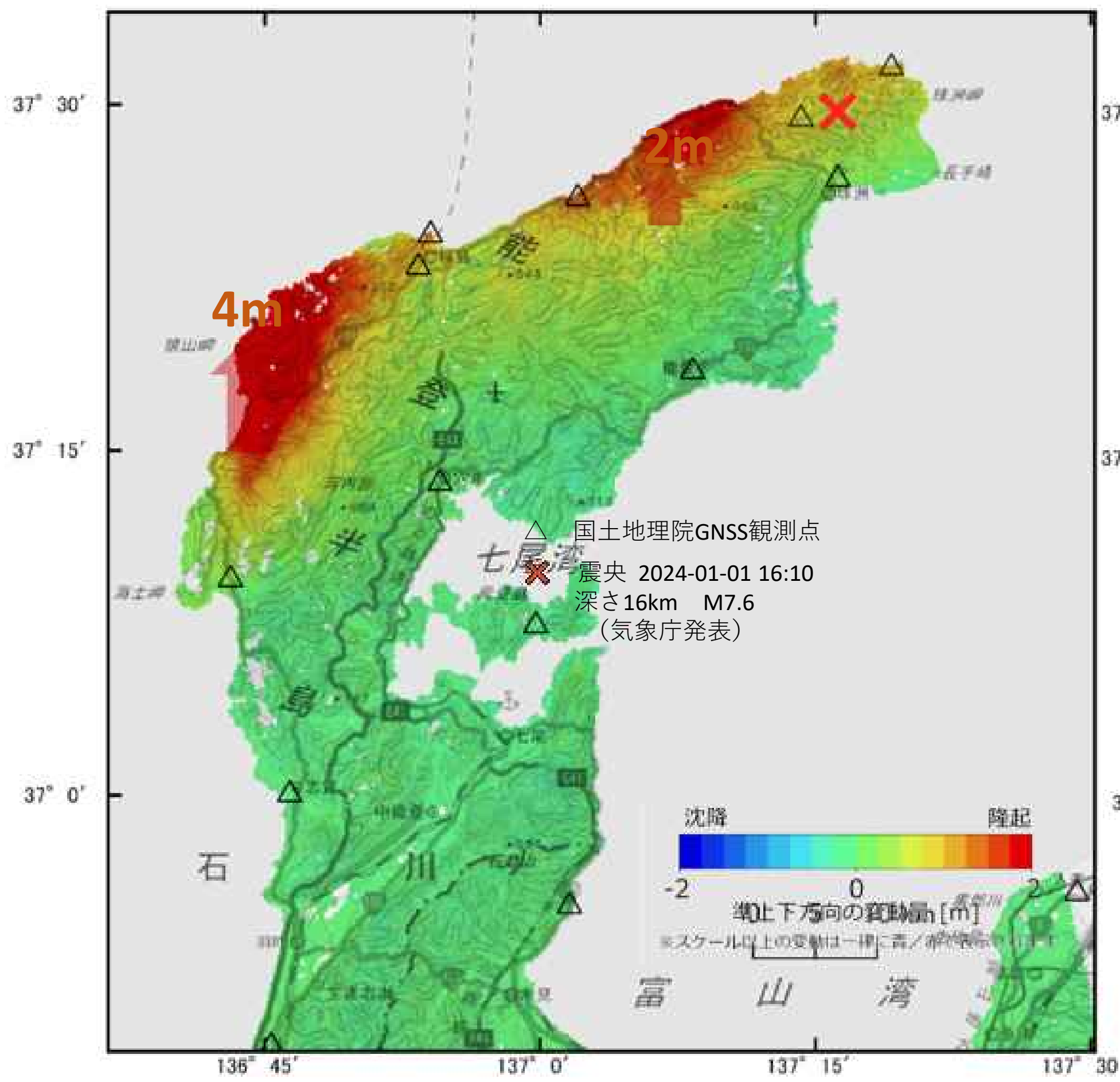
※ 活断層(赤線)は地震調査研究推進本部による

能登半島地震

SARで捉えた4mの隆起

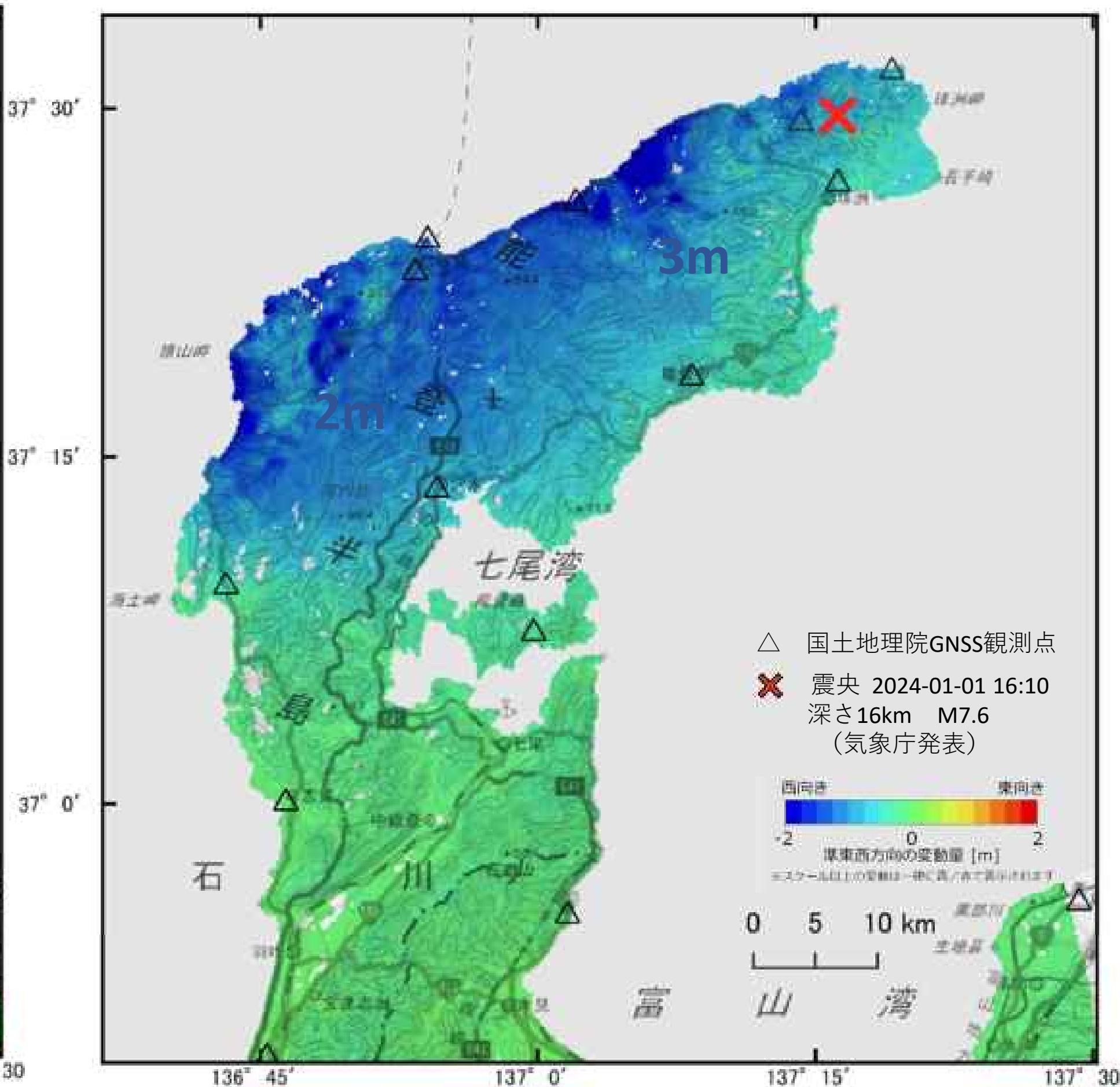
2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震に伴う地殻変動を把握するため、宇宙開発研究機構（JAXA）が運用する人工衛星「だいち2号」（ALOS-2）の緊急観測データを用いて解析を実施しました。その結果、輪島市西部で約4mの隆起、珠洲市北部で約3mの西向きの変動など、地震に伴い大きな地殻変動が生じたことが明らかになりました。

上下方向の地表の変動



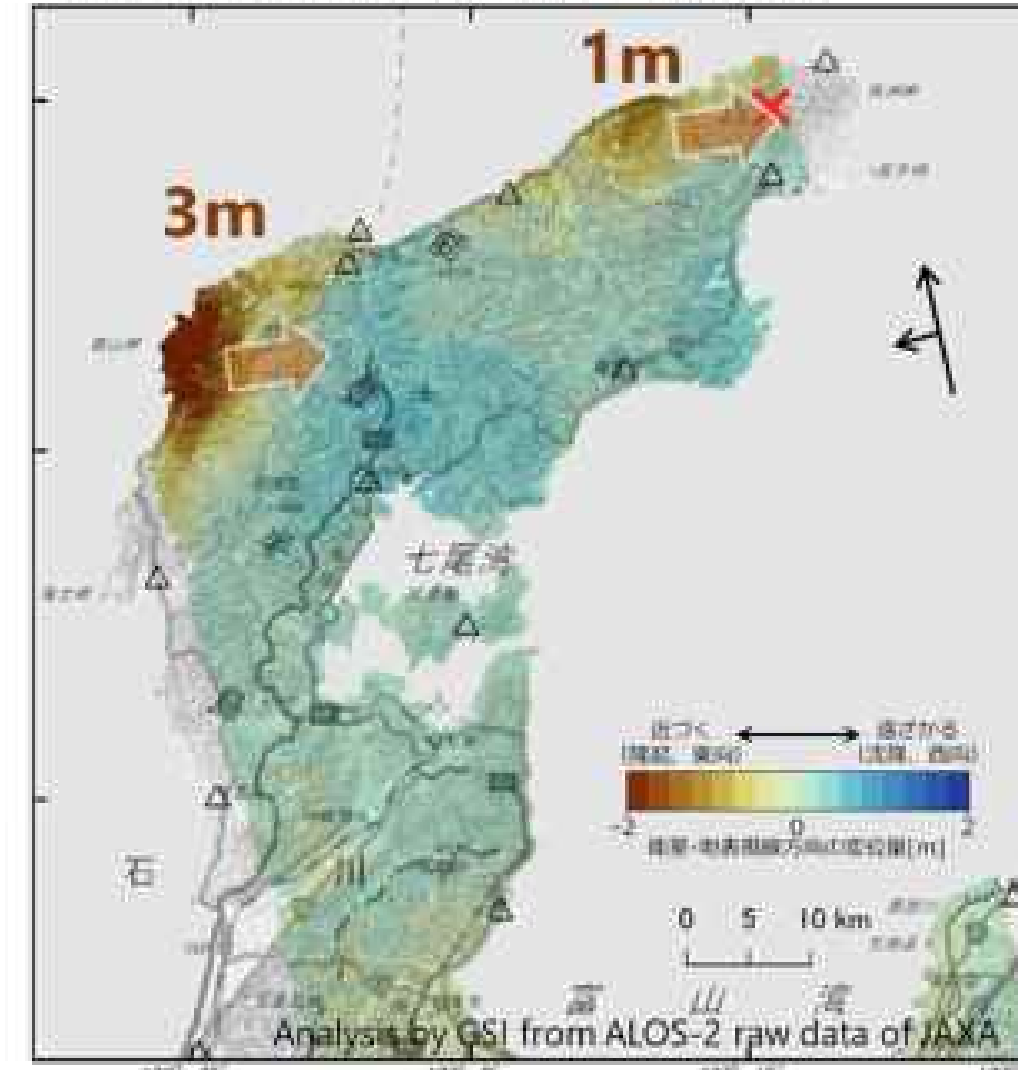
Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA

東西方向の地表の変動

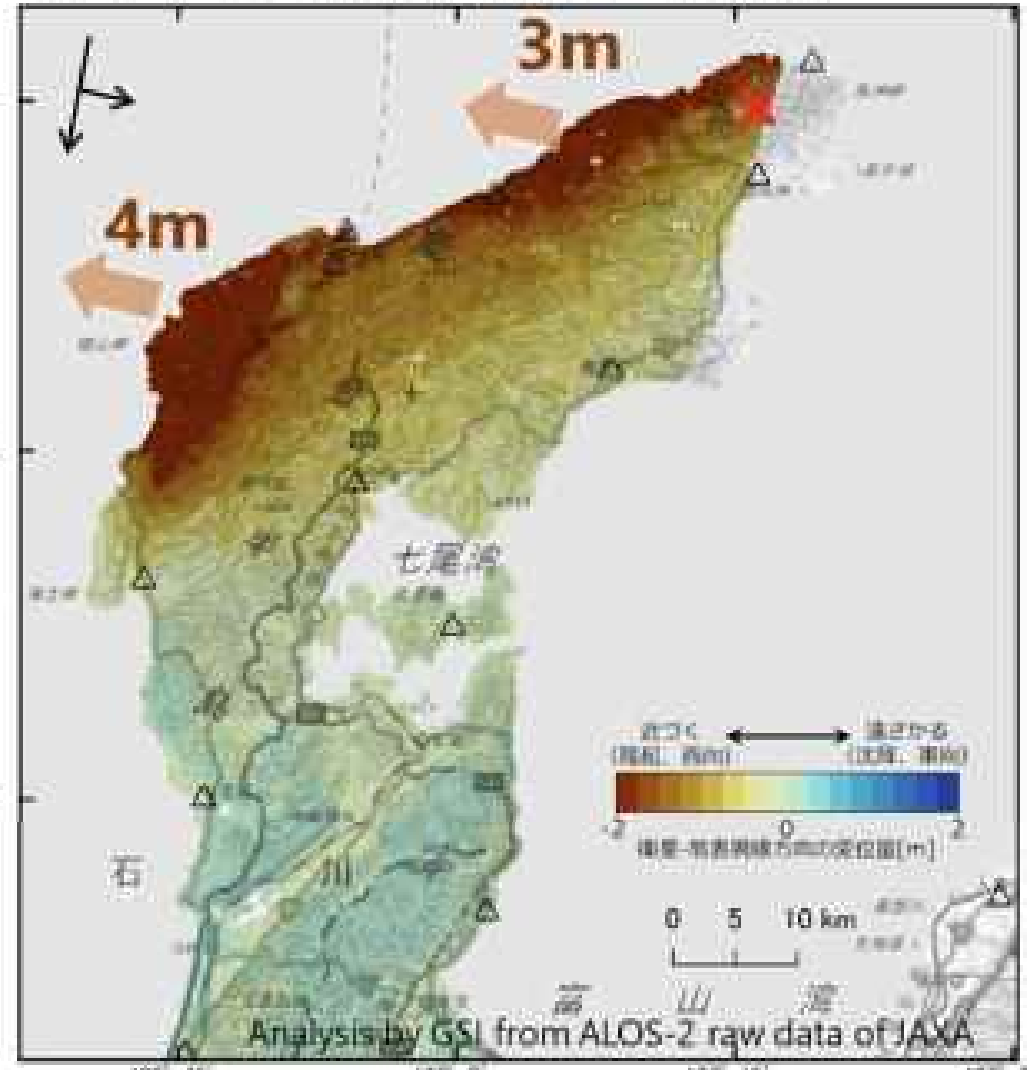


Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA

1月1日の観測(東側から観測)



1月2日の観測(西側から観測)



1月1日～15日の観測データを組み合わせて、上下・東西方向の地表の動きを計算

輪島市西部

最大約4mの隆起

最大約2mの西向きの変動

珠洲市北部

最大約2mの隆起

最大約3mの西向きの変動

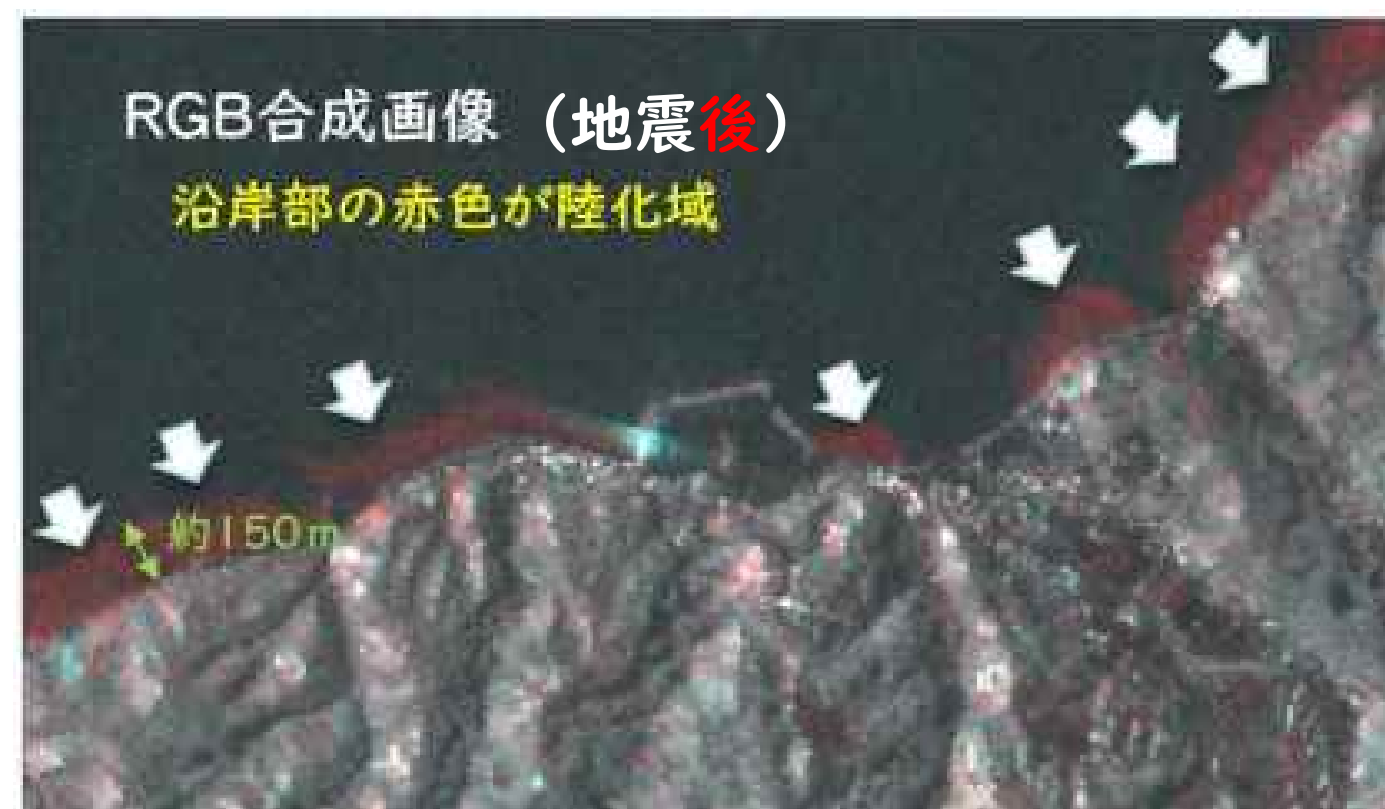
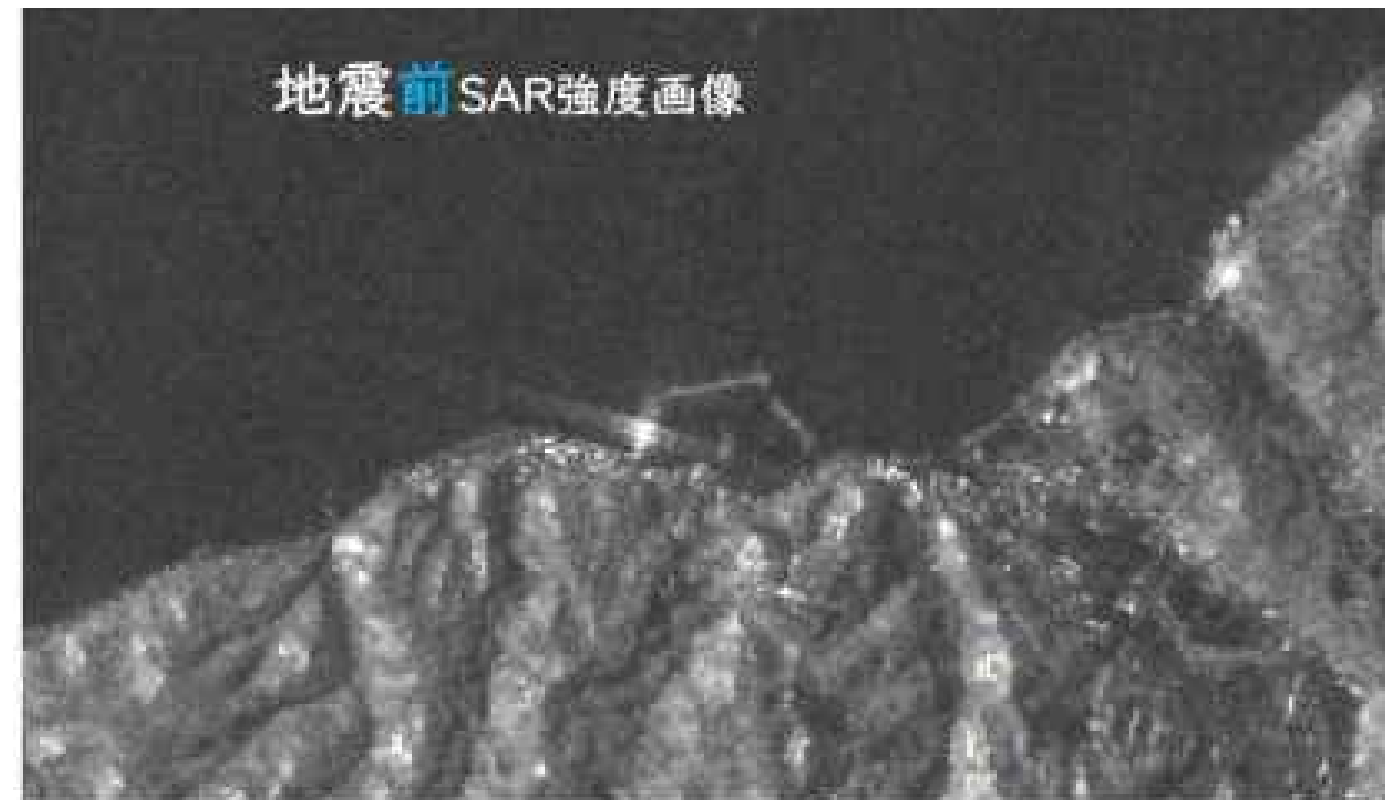
沿岸域の陸化

能登半島北部の広い範囲において隆起に伴う沿岸の陸化を確認しました。特に、約4mの隆起が検出された皆月湾周辺では、約200mの海岸線の変化を確認しました。

沿岸の陸化域と拡大図



① 名舟港付近



③ 皆月湾周辺



② 輪島市周辺



衛星を活用した地殻監視 ～電子基準点～

電子基準点は、全国に平均20～25kmの間隔で約1,300か所設置されたGNSS連続観測点です。GNSS衛星からの電波を24時間365日観測取得しています。

◆観測データから電子基準点の正確な位置が常時求められ、我が国の位置の基準（測量の基準点）として公共測量等で用いられるほか、日々の位置の変化（地殻変動）を監視

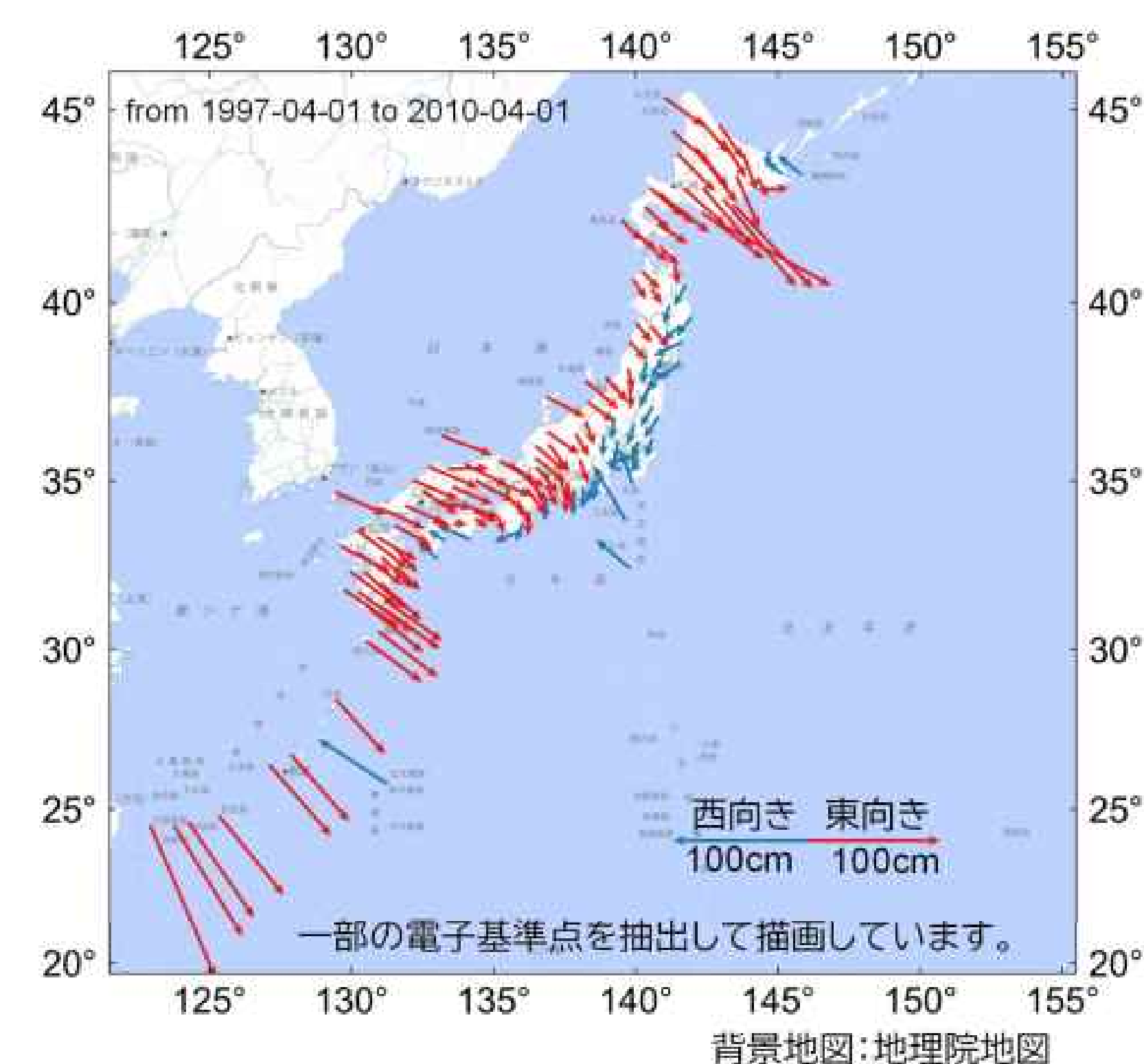
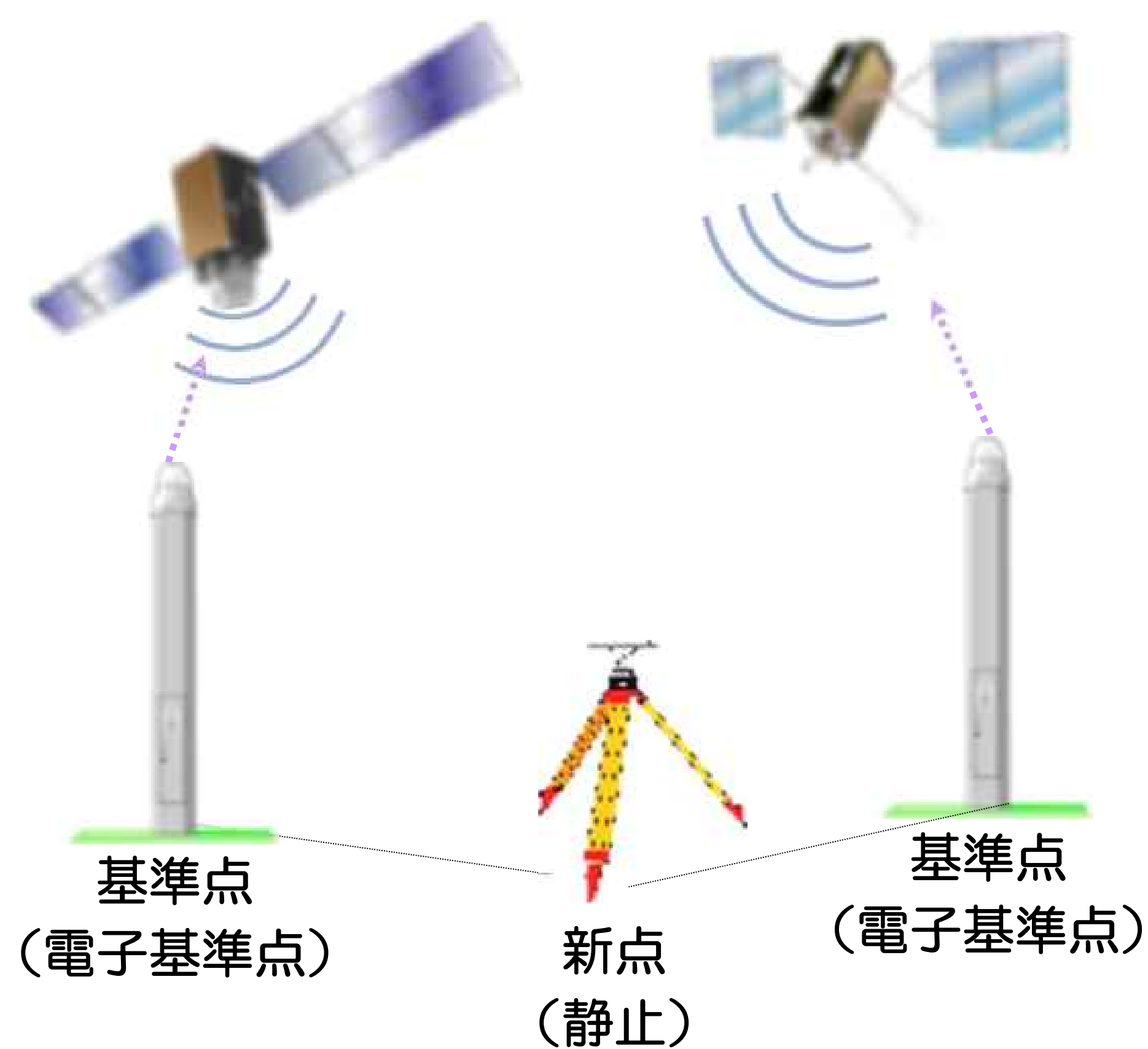
◆さらに、リアルタイムで配信される観測データは、準天頂衛星（みちびき）CLAS等の高精度測位サービスに不可欠

CLAS（シーラス：Centimeter Level Augmentation Service）とは、センチメートル級測位補強サービスのこと。



電子基準点（高さ5m）

電子基準点網 GNSS衛星



衛星を活用した地殻監視 ～合成開口レーダー～

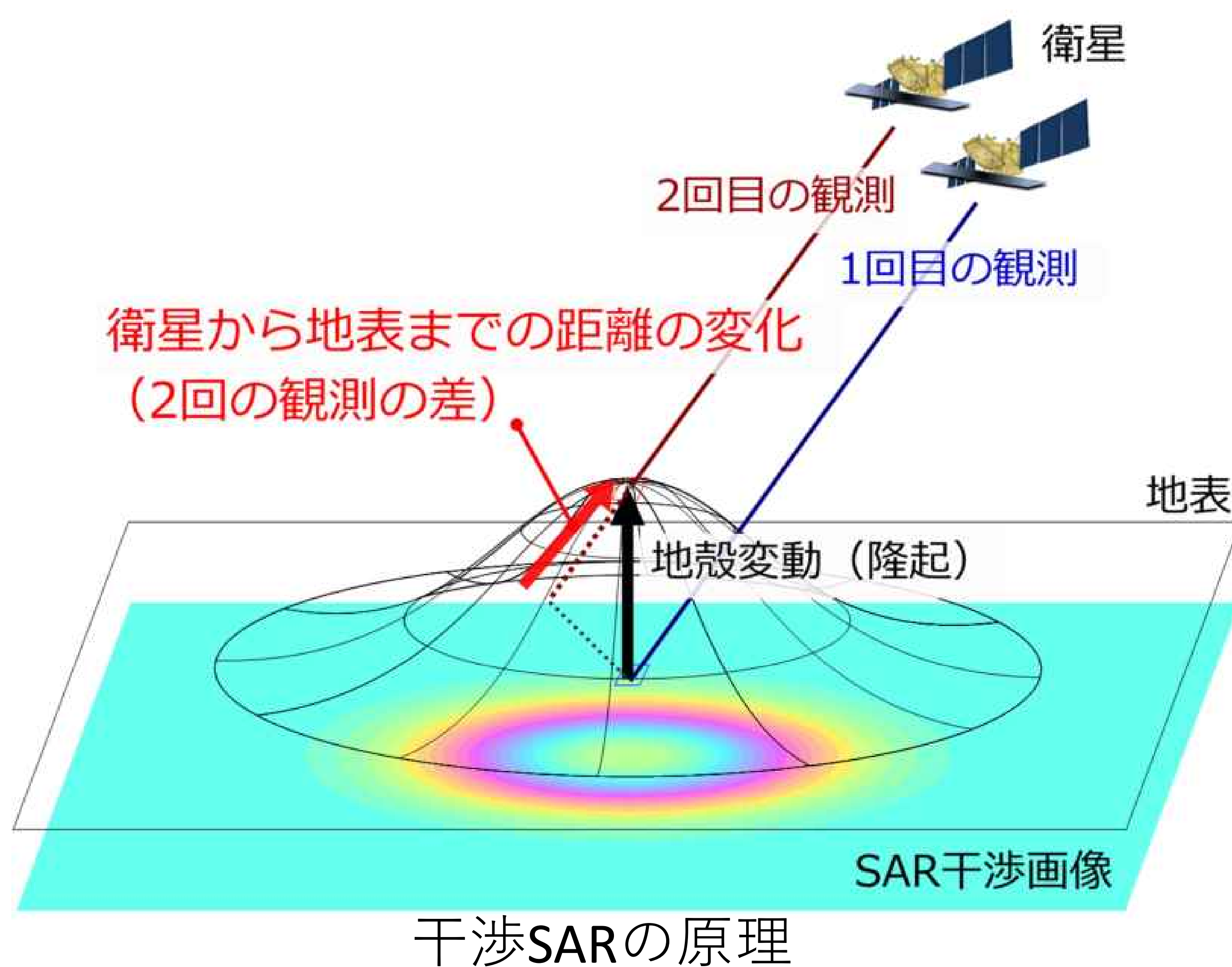
衛星SARによる監視

国土地理院では、「だいち2号」に搭載された**SAR※** による観測データを解析し、**日本全国の地表の動きをくまなく監視**しています。

※ SAR（Synthetic Aperture Radar）：合成開口レーダー

衛星データによる干渉SARは、雲や噴煙の有無、また昼夜を問わず広域かつ面的に地表の動きを観測することができ、**人の立入りが困難な離島や活動が活発な火山でも、地殻変動を把握することが可能**です。

国土地理院では、2024年7月1日に打ち上げられた「**だいち4号**」のSARデータを用いて、**より詳細に全国の活火山を監視**する予定です。

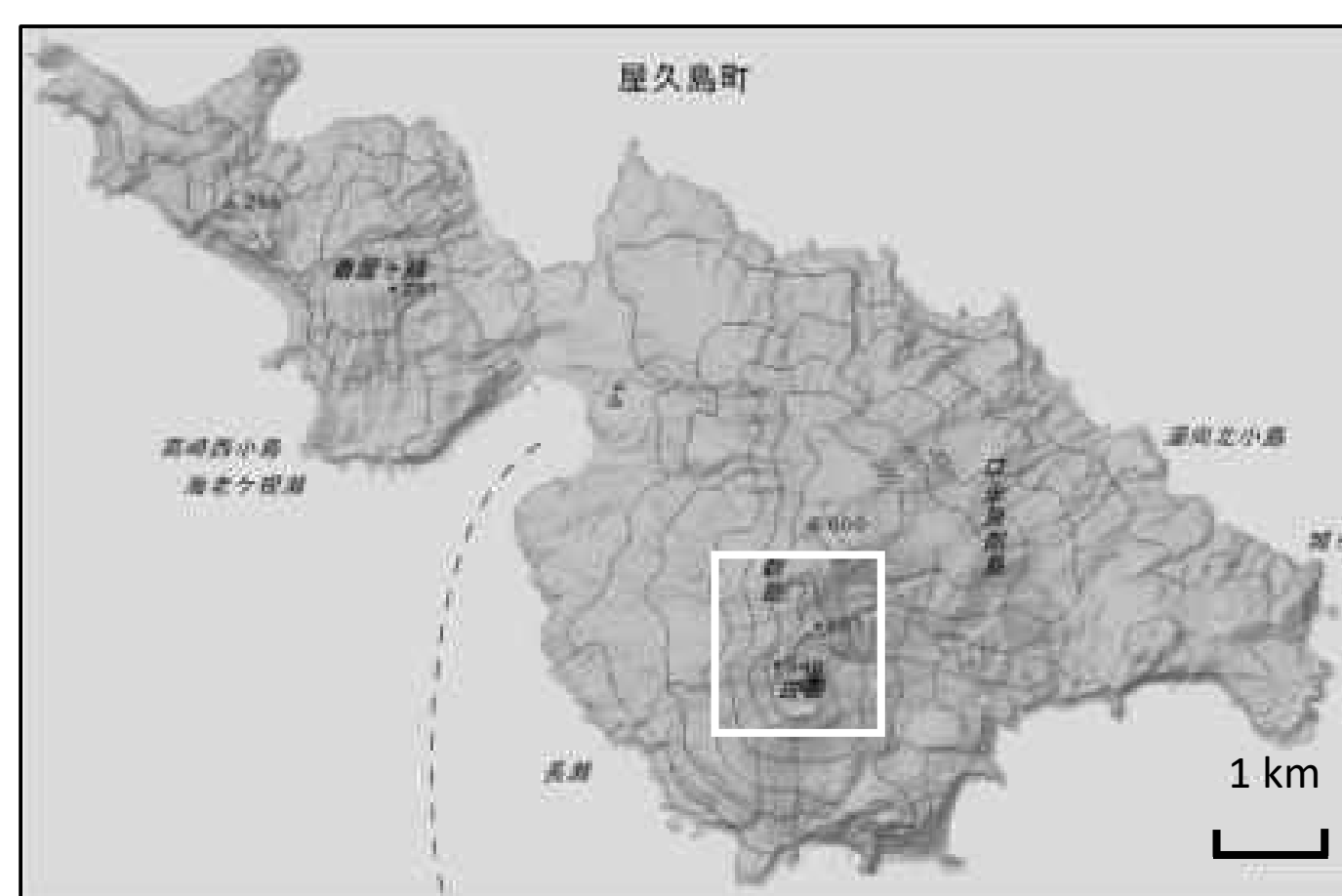


「だいち2号」及び「だいち4号」
宇宙航空開発機構（JAXA）が
運用する人工衛星

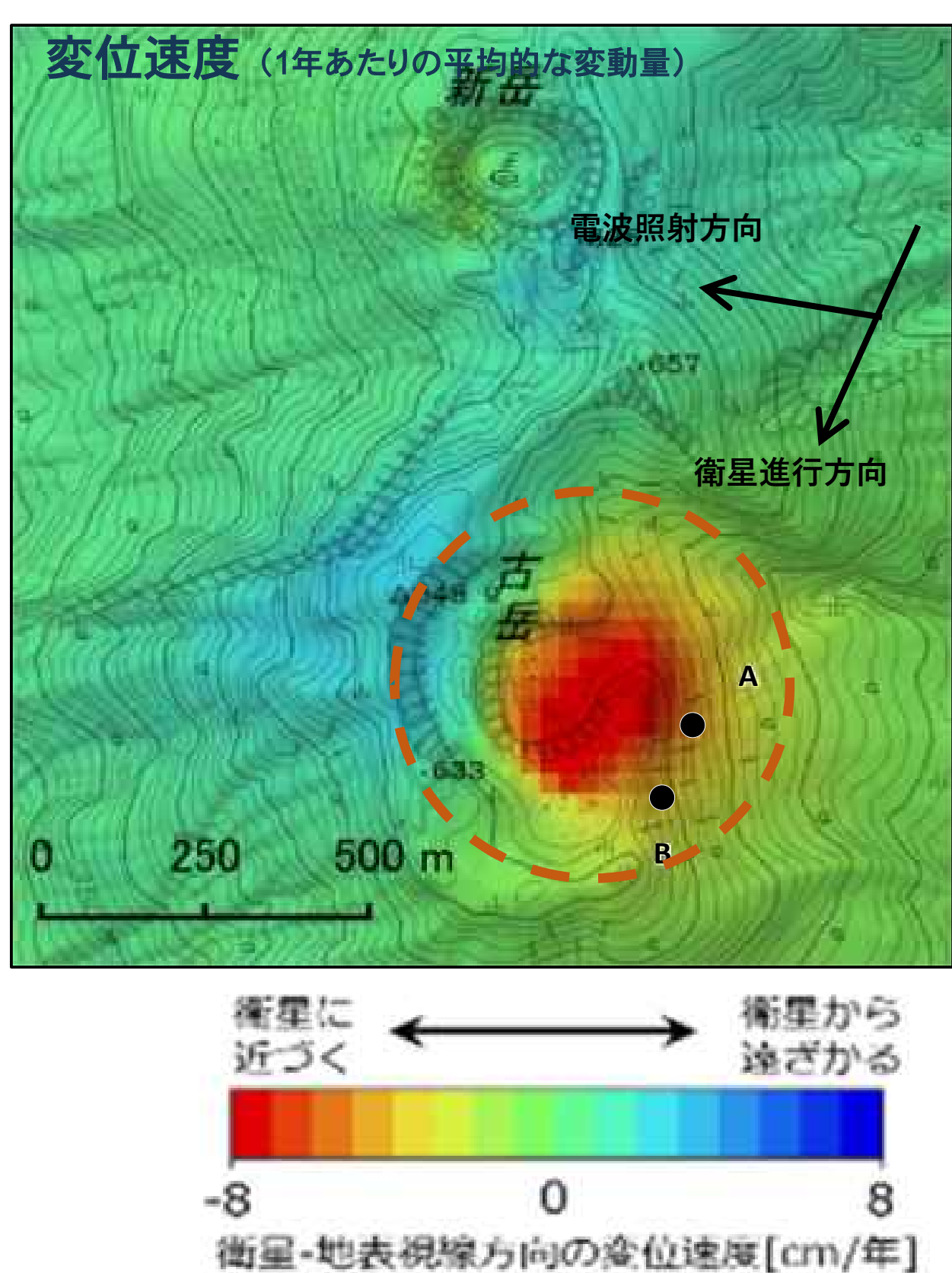
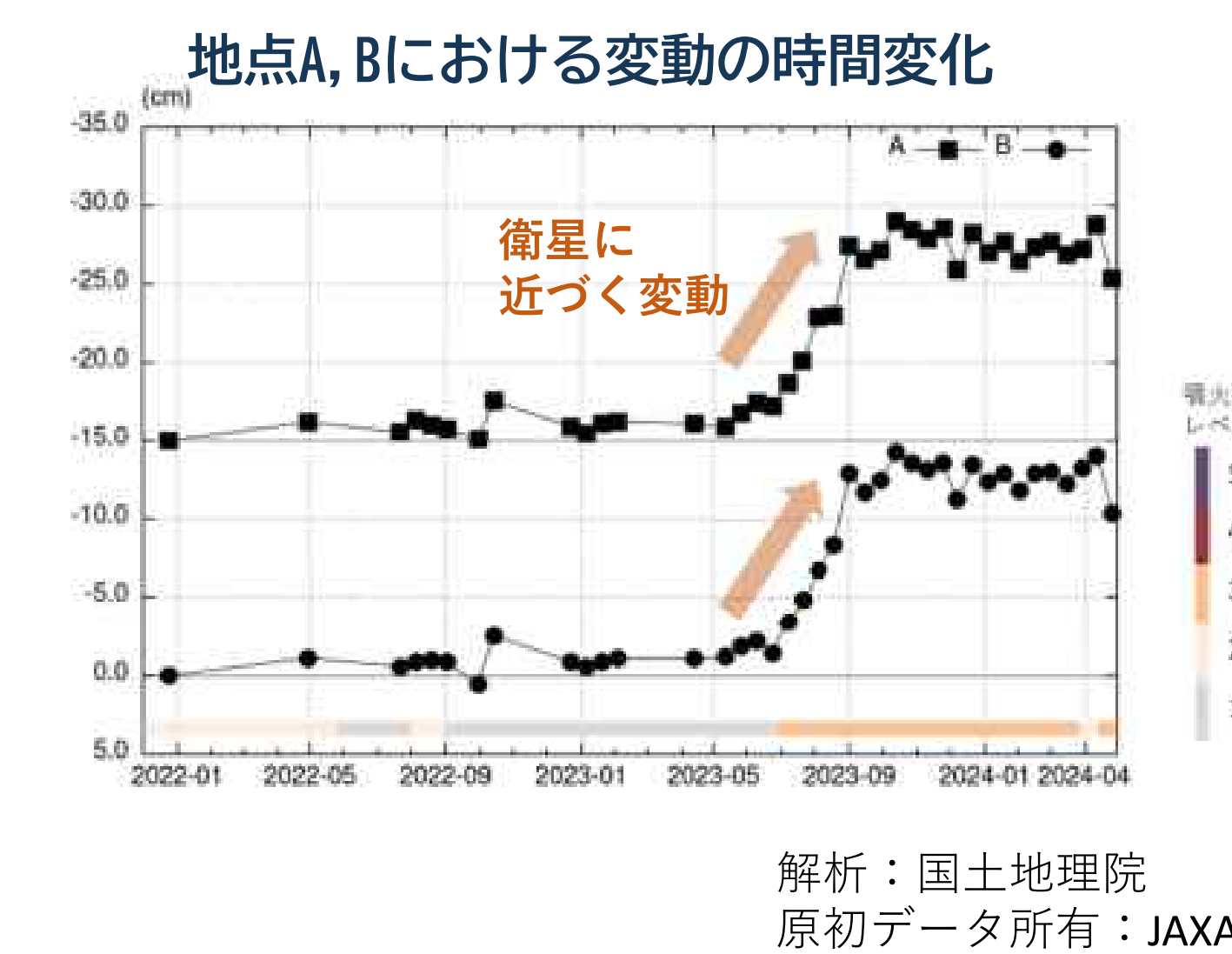
衛星SARで捉えた火山活動に伴う地殻変動 （最近の事例）

口永良部島

口永良部島において、2023年6月以降、火山活動が活発化したため、「だいち2号」の観測データを用いた干渉SAR時系列解析※を実施しました。
その結果、**古岳山頂付近で、2023年5月～9月に衛星に近づく変動を検出**しました。

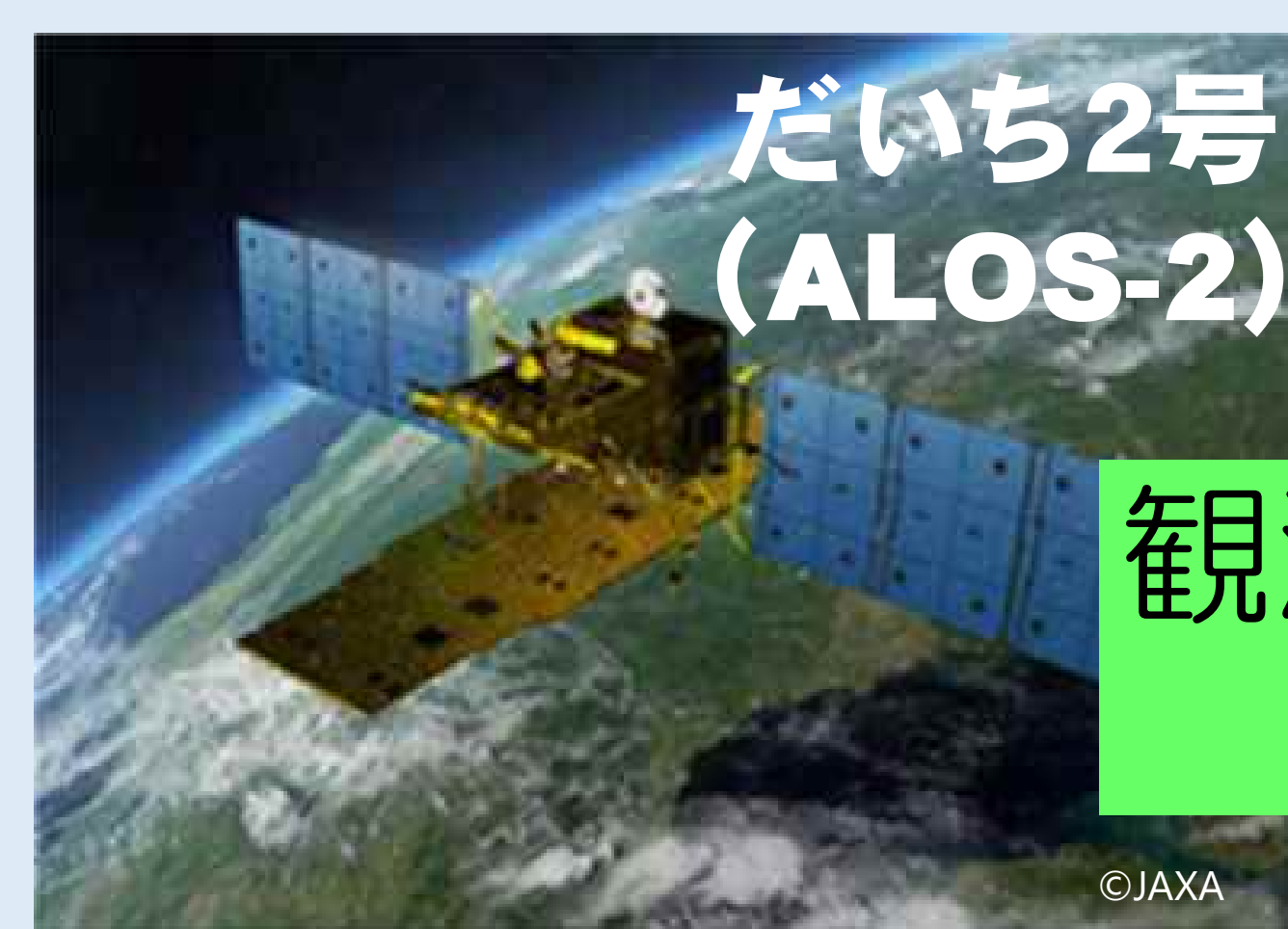


※ 干渉SAR時系列解析とは、多数のSAR干渉解析結果を統計的に処理することで、変動の検出精度の向上と変動の時間推移の把握を可能とする解析手法

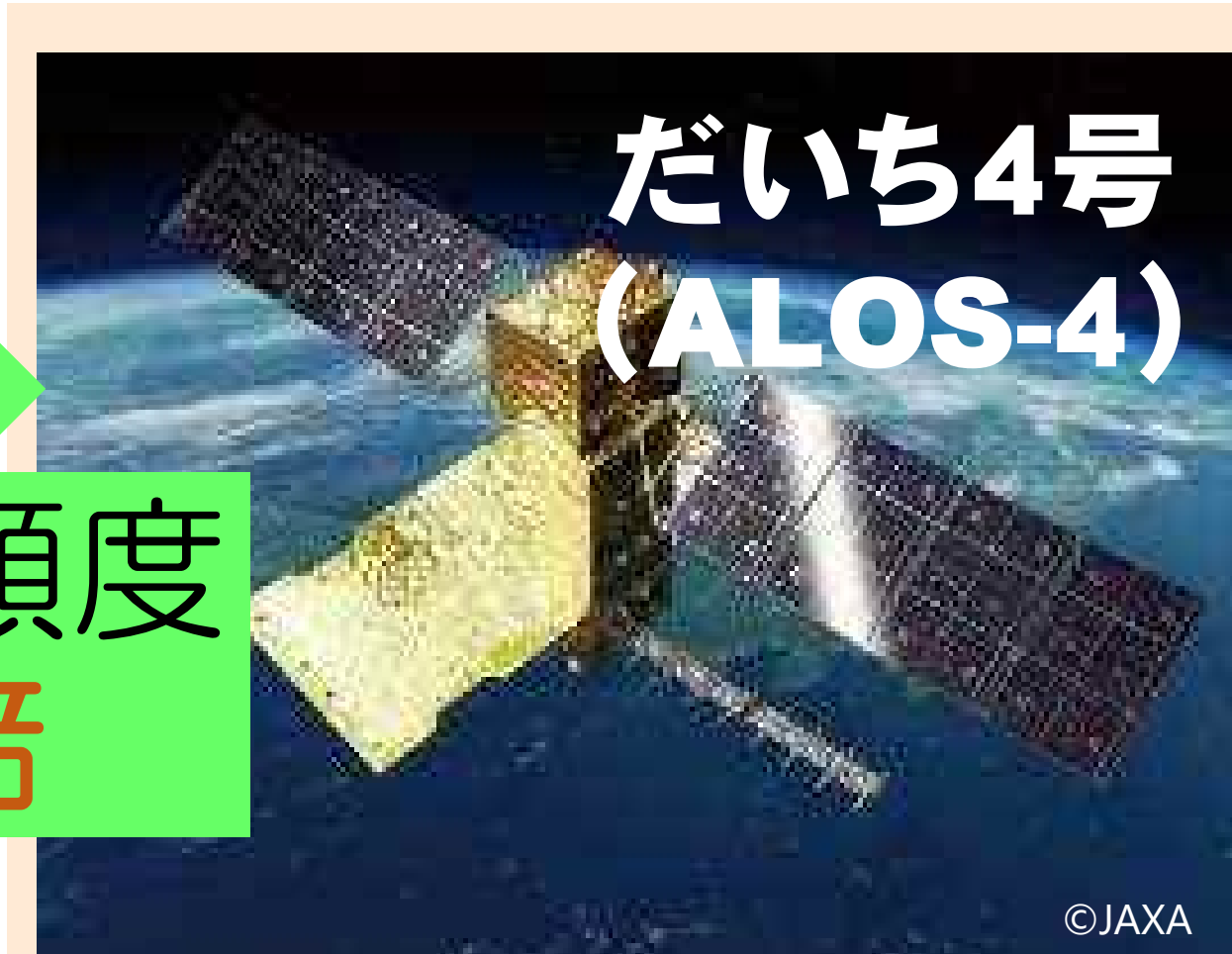


本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

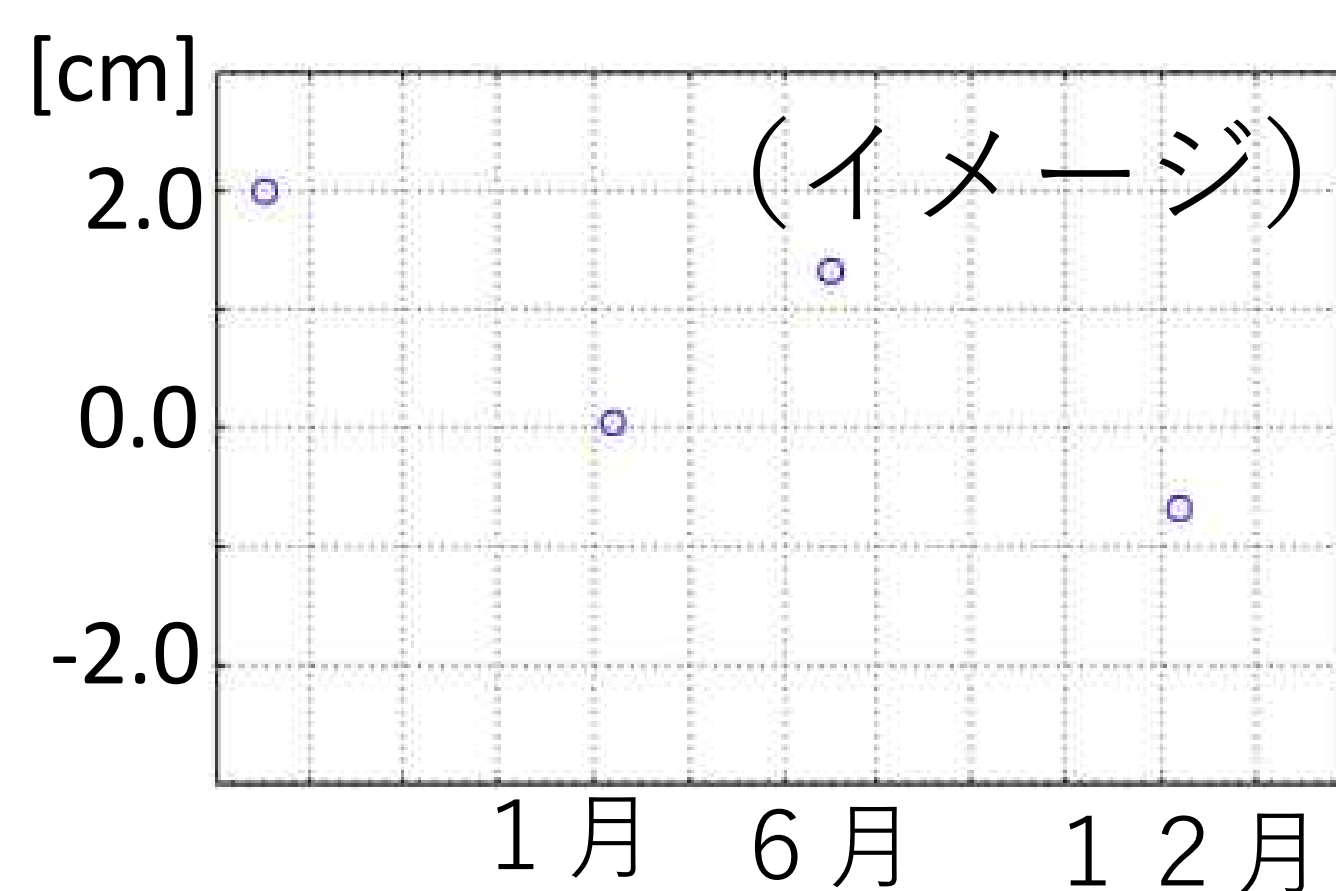
「だいち4号」を用いた火山監視へ



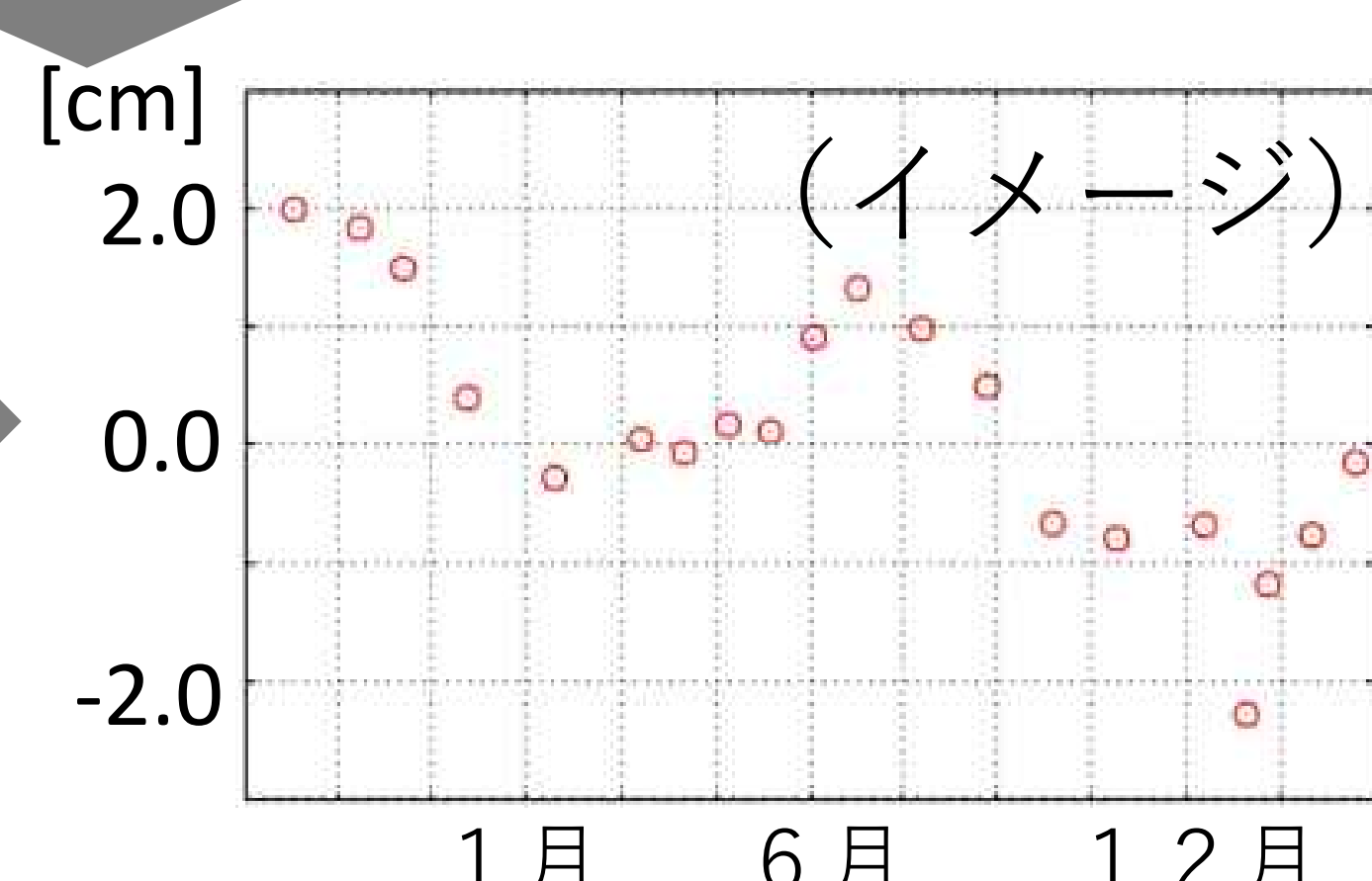
観測頻度 年間 4 回



観測頻度年間 20 回



観測頻度：年間4回



観測頻度：年間20回

「だいち4号」の高頻度観測データを用いて、全国の活火山の火山活動に伴う地殻変動の時間推移をより詳細に把握し、防災・減災に貢献します。

より詳細に変動の時間変化を把握可能に

富士山の標高①

富士山の標高は江戸時代から何度も測られている

測定年		測定者	測定法	標高	備考
1727	享保12	福田 某	三角法	3,895m	
1803	享和3	伊能 忠敬	三角法	3,928m	
1826	文政9	シーボルト	六分儀	3,793m	
1834	天保5	内田 恭	象限儀など	3,476m	
1860	安政7 万延元年	クニッピン	気圧計	3,729m	
1874	明治7	スチュワート	オムニメートル	3,769m	オムニメートルの詳細不明、沼津から山頂まで97回測定と記録あり
1880	明治13	中村精男他	気圧計	3,823m	田中館愛嬌らの重力測量と同時に実施
1880	明治13	チャップリン	三角測量	3,787m	
1887	明治20	参謀本部	三角測量、平板測量	3,778m	
1926	大正15 昭和元年	参謀本部	三角測量、平板測量	3,776m	震災（関東地震）復旧測量

富士山の標高の決め方 大正15年(1926)測量



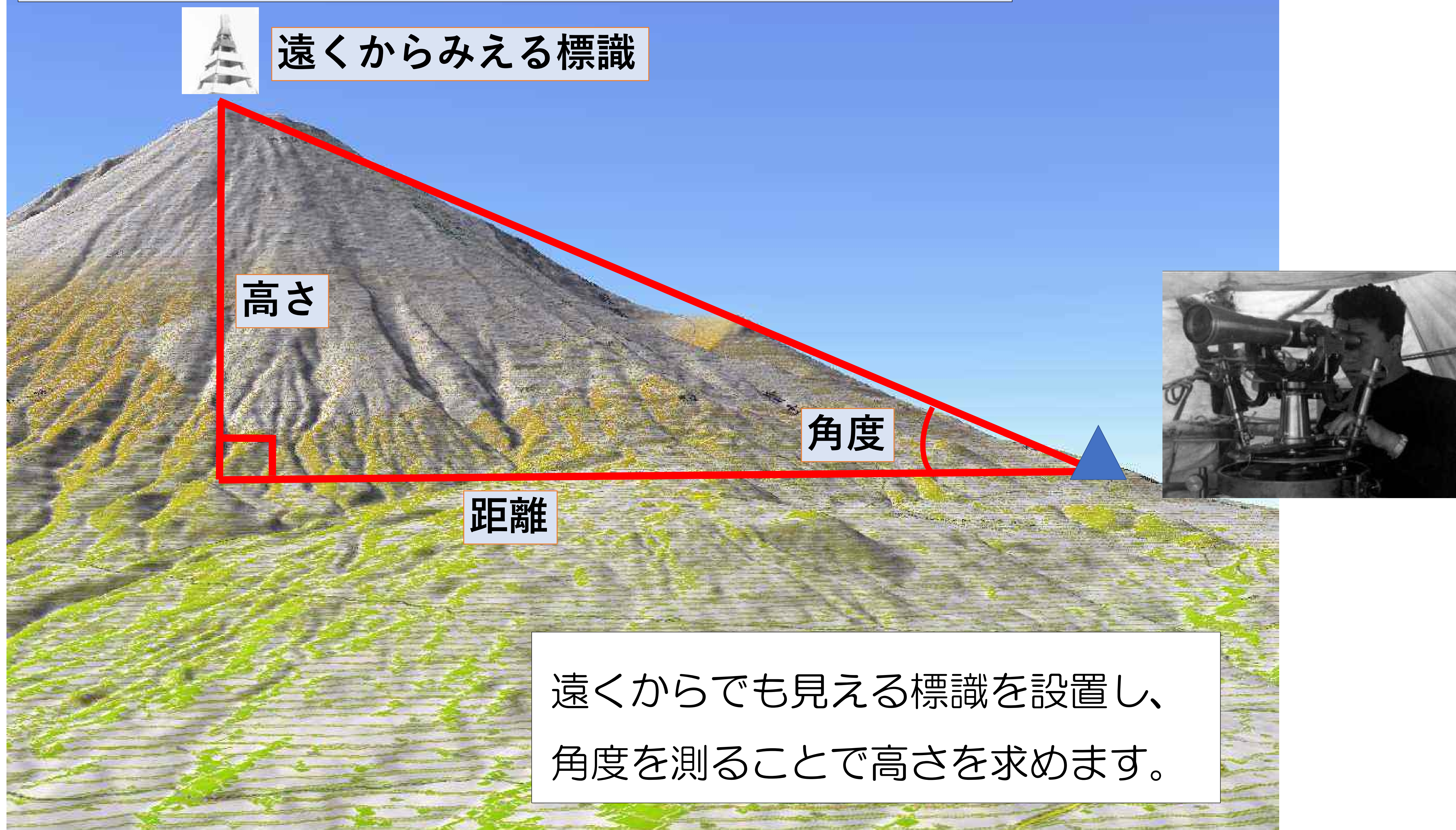
日本水準原点を出発して麓の三角点の標高を求めます。



三角測量（三角点との角度を測る）で各三角点の標高を決めます。

富士山の標高②

富士山の標高の決め方 角度を測り決める



富士山の標高はこうして決めた！



1926年（大正15年）の測量で三角点の標高を3776.29mと決定しました。



（一部加工しています。）

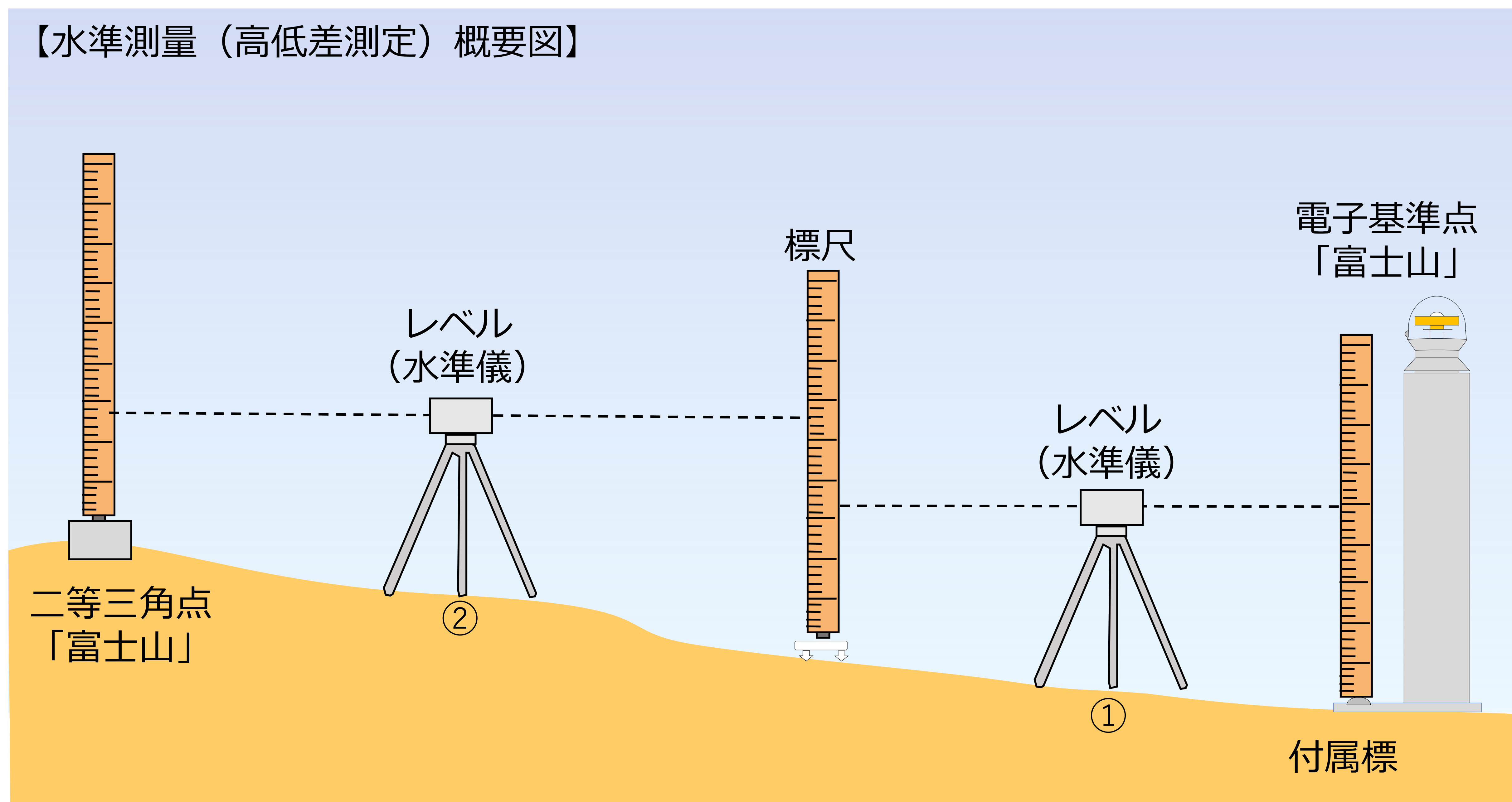
三角点は1962年（昭和37年）に標石が露出したため、66cm掘り下げて、3775.63mとなりました。その後、2014年（平成26年）3月に三角点の標高改算（再計算）を行い、**3775.51m**になりました。

なお、富士山の最高地点は、三角点の北側の岩の上で、三角点より61cm高い**3776.12m**です。

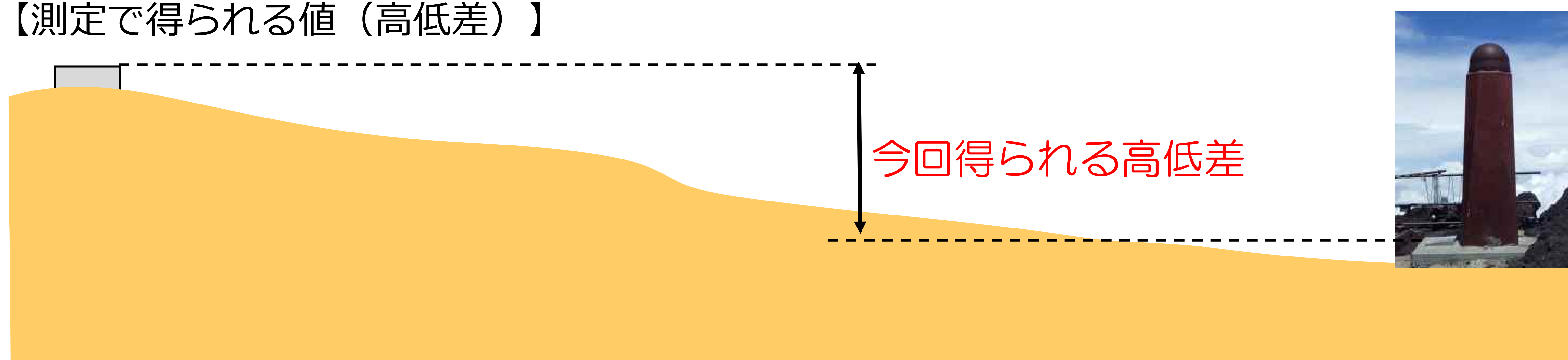
富士山の標高③

国土地理院は、全国の基準点の標高成果について、令和7年4月1日に改定します。その改定に向けた準備の一環として、令和6年7月25日に富士山において電子基準点と三角点の高低差を水準測量で測定しました。

【水準測量（高低差測定）概要図】



【測定で得られる値（高低差）】



①地点で高低差を測定後、②地点にレベルを移動して測定。これを2回（往復）行い、正確な高低差を測定します。



測量の結果、電子基準点付属標から三角点までの高低差は0.659mであることが確認できました。この結果は、三角点の新しい標高成果を算出する際に利用する予定です。