平成 19 年（2007 年）能登半島地震についての測地部の対応
Responses of Geodetic Department of GSI to the Noto Hanto Earthquake in 2007

測地部　後藤　清・田上節雄・徳留　護・和田弘人・雨貝知美・岡村盛司
Geodetic Department
Kiyoshi GOTO, Setsuo TANOUE, Mamoru TOKUDOME, Koujin WADA, Tomomi AMAGAI and Seiji OKAMURA

要　　旨

2007 年３月 25 日９時 42 分頃,石川県能登半島沖（輪島市の南西約 30Km）の深さ 11km を震源とする M6.9 の「平成 19 年（2007 年）能登半島地震」が発生し,最大震度６強を観測した.これを受け国土地理院では，同日中に災害対策本部（本部長：国土地理院長）を設置した.

測地部では，まず地震による地殻変動の様相を明らかにするために，宇宙測地課において能登半島地震の震源周辺地域を対象に干渉 SAR 解析を行った.また，災害復旧事業に位置の基準を与えるため，測地基準課及び北陸地方測量部において緊急測量調査（三角点・水準点・電子基準点調査）及び三角点改測を直営で，高精度三次元測量，高度地域基準点測量及び基準点改測作業を外注で実施した.

本稿では，これらの実施内容と結果について概要を報告する.

１．はじめに

地震等の災害時においては，発生直後に短時間で地表の変化を捉えることのできる電子基準点の解析（ポイントの変動），干渉 SAR 解析（面的変動）と，これらの結果から推定される震源断層モデルが，さらに詳細かつ高精度に変動を明らかにする GPS 測量,水準測量等の地上測量を行う地域を決定するための重要な判断材料となる.

宇宙測地課では，能登半島地震の震源周辺地域を対象に干渉 SAR 解析を行い，震源地に近い輪島市門前付近の隆起をはじめ，地表の上下変動等を面的に捉えた.

測地基準課では,上記の電子基準点変動,干渉 SAR 解析から得られた震源断層モデルを基に地殻変動をシミュレーションすることで，基準点成果に影響を与える範囲を推定し，当該地域の基準点の成果公表を停止するとともに，北陸地方測量部と共に緊急測量調査（三角点・水準点・電子基準点調査）を４月中に実施し，直営による三角点改測，外注による高精度三次元測量，高度地域基準点測量及び基準点改測作業を平成 19 年５月～平成 20 年１月にかけて実施した.

２．干渉 SAR による解析

２．１　解析の概要

宇宙測地課は,陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)に搭載されているＬバンド合成開口レーダー（PALSAR）の観測データを用いて，干渉 SAR 解析を定常的に実施している．この定常解析に加え，災害発生時には，災害状況の把握等を目的として，緊急解析も実施している.

能登半島地震発生時,JAXA では国土地理院やその他の関係機関からの緊急観測要求を受け，４月 10 日（地震発生 16 日後）に FBS（高分解能モード１偏波)・北行（Ascending）軌道・オフナディア角 41.5°の観測モード,５月 10 日(地震発生 46 日後)に FBS・南行（Descending）軌道・オフナディア角 34.3°の観測モードによる緊急観測を実施した．これらの観測を受け，宇宙測地課では，表－１に示す，２つの干渉ペアの解析を実施した.

表－１　能登半島地震における緊急解析ペア

観測日(ﾏｽﾀｰ) 観測日(ｽﾚｰﾌﾞ)	ﾓｰﾄﾞ	軌道方向	ｵﾌﾅﾃﾞｨｱ角	基線長 垂直成分
2007/02/23 2007/04/10	FBS FBS	北行軌道	41.5°	+432 m
2006/12/23 2007/05/10	FBS FBS	南行軌道	34.3°	+220 m

これらの成果のうち，地震後初の干渉ペアとなった北行軌道の解析結果については，緊急観測が行われた４月 10 日（夜間観測）の２日後である４月 12 日に，記者発表（国土地理院，2007）にて公表した.

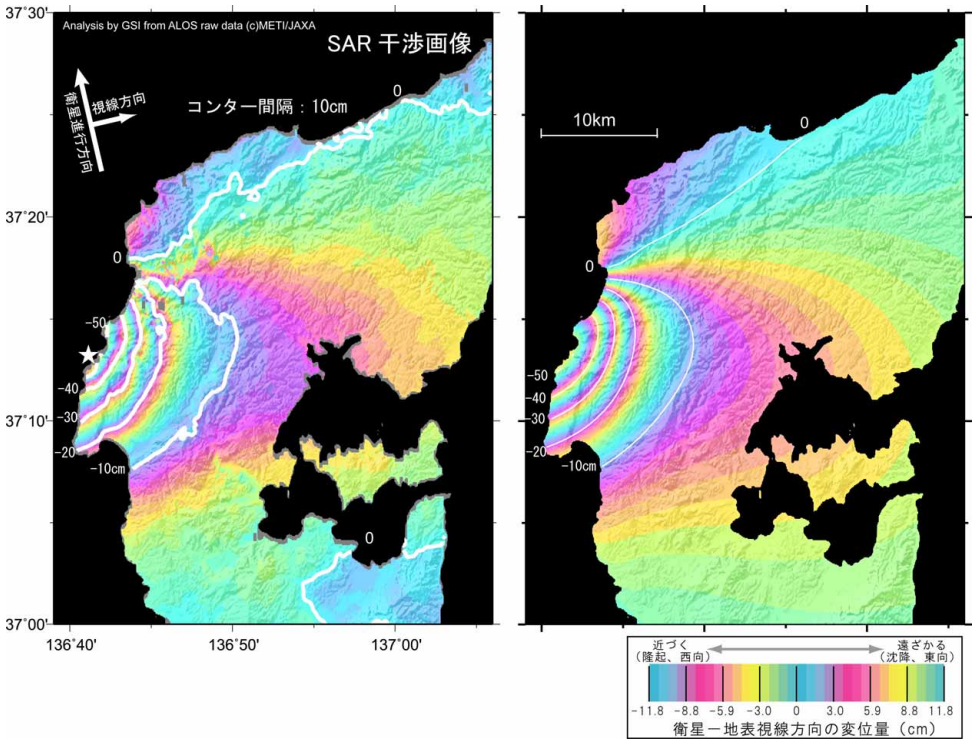
２．２　得られた成果

表－１に示した北行軌道の SAR 干渉画像及び GPS と干渉 SAR の解析結果から推定された震源断層モデル（小沢ほか，2007）によるシミュレーション画像を図－１に示す．同様に，表－１に示した南行軌道の SAR 干渉画像とシミュレーション画像を図－２に示す.

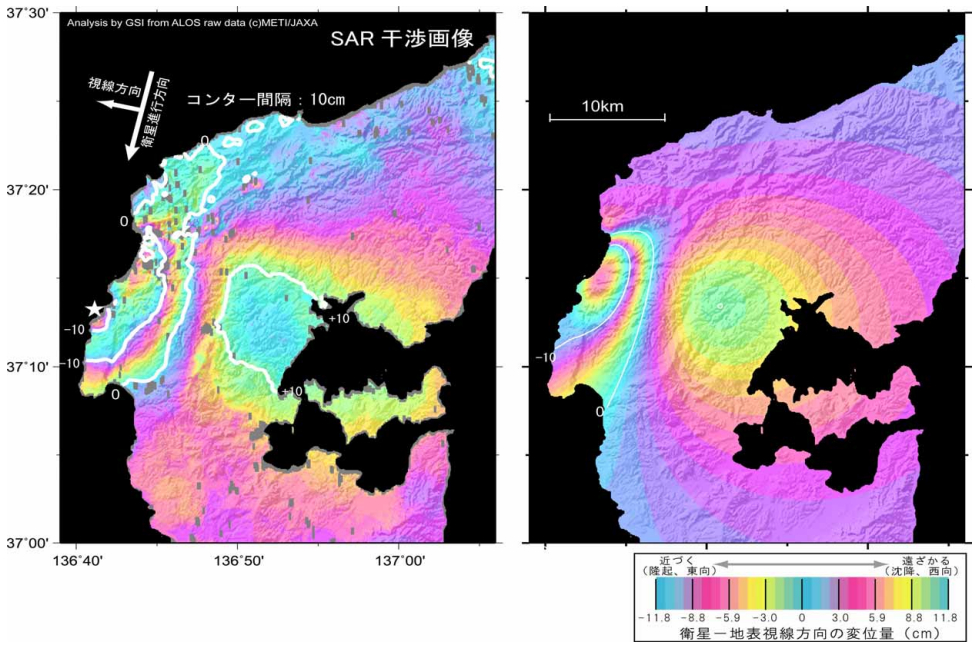
これらの図から分かるとおり，SAR 干渉画像とそれにより推定された震源断層モデルによるシミュレーション画像は調和的である.

これらの解析結果と，GPS データとを統合すると，最も変位の大きい場所は，震源地に近い輪島市門前町付近で，隆起量がおよそ 35cm，水平変動量がおよそ 40cm と推定される．

なお，これら成果及び緊急観測要求の詳細は，雨貝ほか（2007）を参照されたい．



図－１　右：SAR 干渉画像（FBS，Ascending，41.5°）
左：断層モデルによるシミュレーション画像
（観測日：2007/02/23－2007/04/10）



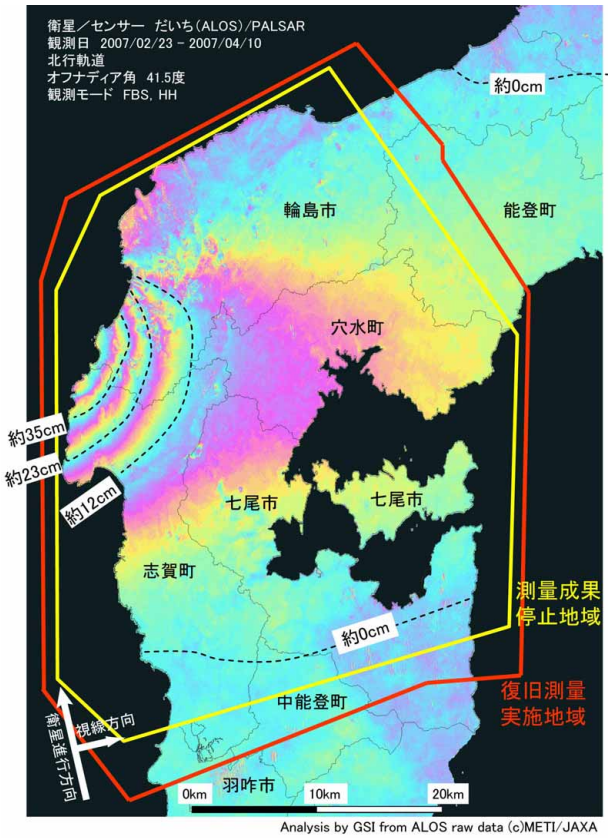
図－２　右：SAR 干渉画像（FBS，Descending，34.3°）
左：断層モデルによるシミュレーション画像
（観測日：2006/12/23－2007/05/10）

２．３　成果の利用

干渉 SAR の最大の利点は，広域な地殻変動を面的に把握することが可能な点である．今回の緊急解析でも，震源域周辺の陸域における地殻変動分布を詳細に把握することができた．干渉 SAR の解析結果は，断層モデルの計算において，これまでネックとなっていた GPS の配点密度の問題を解決することができる．

また，緊急解析における SAR 干渉画像は，現地での作業や調査における参考資料としても活用される．このため，SAR 干渉画像が作成され次第，基準点位置情報や地形図等の重ね合わせた資料を作成し，速やかに現地の作業班へと転送される．また，国土地理院が管理する測地基準点の復旧測量の実施地域を決定する際にも，重要な資料の１つとなる（図－３）．

さらに，今回の解析では，地理地殻活動研究センターにより実施された現地調査と SAR 干渉画像を比較することでいくつかの局所的な地すべりを捉えていることが判明した．地すべりの監視においても，干渉 SAR の有効性を示した．



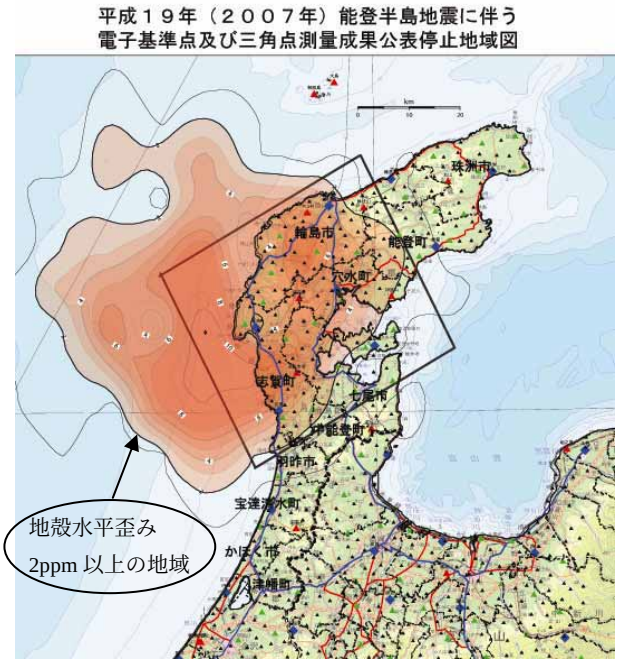
図－３　能登半島地震に伴う測地基準点の復旧測量実施地域

図中の波線は，衛星－地表間の距離の変化（地表の動き）を示す．単位は cm である．

３．基準点成果公表停止

測地基準課は，震源断層モデルを基に地殻水平歪み図を作成し，２ppm 以上の歪みと推定される地域の三角点 369 点について，2007 年３月 29 日に成果の公表を停止するとともに記者発表により周知した．

成果公表を停止した基準点については，早急に三角点改測等の復旧測量を実施し，作業が完了したものから順次改定成果を公表していくこととした．



図－４　基準点成果公表停止地域図

４．緊急測量調査（三角点・水準点・電子基準点調査）

測地基準課は，緊急測量調査（三角点）を４月９日から 13 日までの６日間，石川県七尾市，輪島市，羽咋市，羽咋郡志賀町，鹿島郡中能登町，鳳珠郡穴水町，能登町の３市４町において行った．

作業は，安全管理員１名，作業員４名（職員２名，測手２名）により自動車２台を使用して行い，三角点 85 点の現況を確認した．地震の影響で林道が崩壊しており，自動車の通行が不可能なため迂回して三角点に向かうことも度々あった（写真－１）．

北陸地方測量部は，緊急測量調査（水準点・電子基準点調査）を４月 10 日から 12 日までの３日間，七尾市，輪島市，羽咋市，穴水町，志賀町，宝達志水町の３市３町において行った．

作業は，作業員２名により自動車１台を使用して行い，水準点 81 点，電子基準点４点（輪島，輪島２，富来，志賀）の現況確認を行った．

写真－１　崩壊した林道

５．三角点改測作業

三角点改測作業は，５月８日から５月 25 日まで安全管理員１名，作業員 10 名（職員６名，測手４名）により自動車３台を使用して行った．

写真－２　三等三角点「輪島岬」での GPS 観測

観測作業に併せて，18 点の三角点に IC タグを設置しインテリジェント化を図った（写真－３）．

写真－３　IC タグの設置（三角点）

作業は，三角点 55 点，水準点３点において，GPS 受信機７台を使用して３時間の観測を延べ 13 セッション（13 日間）行った．

図－５に示すとおり，三角点 55 点の水平変動は震源地に近い輪島市門前町周辺で大きく，最大 29cm で，20cm 以上の三角点がこの地域に４点存在している．これらの結果に基づき全点の成果を改定した．

図－５　三角点改測 55 点の水平変動
（改測後の成果－改測前の成果）

６．高精度三次元測量（輪島地区・七尾地区）

６．１　作業地域及び作業量

高精度三次元測量（輪島地区，七尾地区）は図－６の示す地域において，外注により５月 24 日～８月 30 日に実施した．

輪島地区は，基 17 を始点，9237 を終点とする一等水準路線と，9275 を始点，249－122 を終点とする二等水準路線計 93km で構成される．これに加えて電子基準点付属標（輪島，輪島２，富来，志賀）への測標水準，輪島験潮場への取付観測を実施した．

七尾地区は，基 17 を始点，9308 を終点とする一等水準路線と，9287 を始点，249－052 を終点とする二等水準路線計 96km で構成される．これに加えて電子基準点付属標（穴水）への測標水準，七尾港験潮所への取付観測を実施した．

各地区の始点及び終点は，干渉 SAR の解析結果より変動が確認されなかった地域の水準点を選択した．

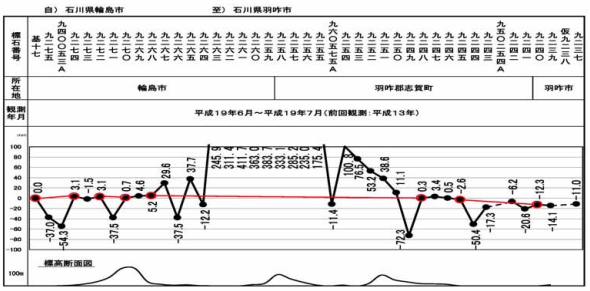
図－６　高精度三次元測量実施地域図

６．２　観測結果

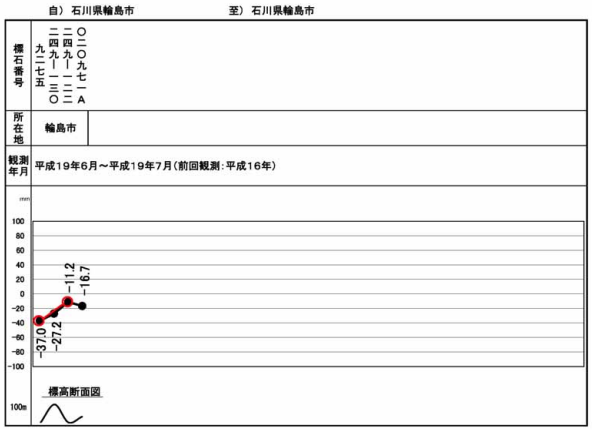
各点における変動量をグラフに表す(図－７(１)・(２)，図－８（１）・（２)). これにより変動の大きい水準点については，成果の改定を行った.

輪島地区は，不動点を基 17 とし，2000 年度平均成果を使用した．震源域に近いこともあり，変動が大きく大幅に成果を改定した．内訳は，改測 26 点（9275, 9271, 9267, 9266, 9265, 9264, 9263, 9262, 9261, 9260, 9259, 9258, 9257, 9256, 9255, 9254, 9253, 9252, 9251, 9250, 9249, 9244, 9243, 9242, 9241, 249-130)，再設１点（9238)，移転１点（9269）である.

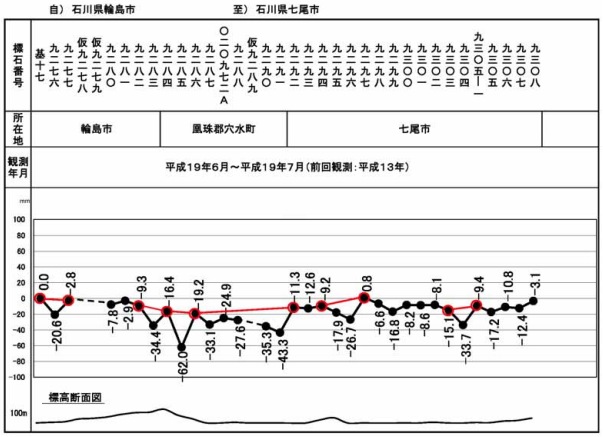
七尾地区は，不動点を基 17 とし，2000 年度平均成果を使用した．輪島地区に比べると変動は小さいものの，改定が必要な水準点の成果更新を行った．内訳は，改測 10 点 (9276, 9283, 9285, 9287, 9288, 9290, 9291, 9295, 9296, 9304)，再設３点（9278, 9279, 9289）である.



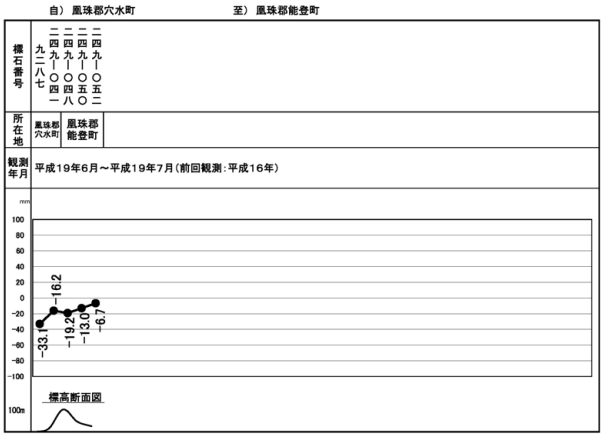
図－７（１）　輪島地区変動グラフ



図－７（２）　輪島地区変動グラフ



図－８（１）　七尾地区変動グラフ

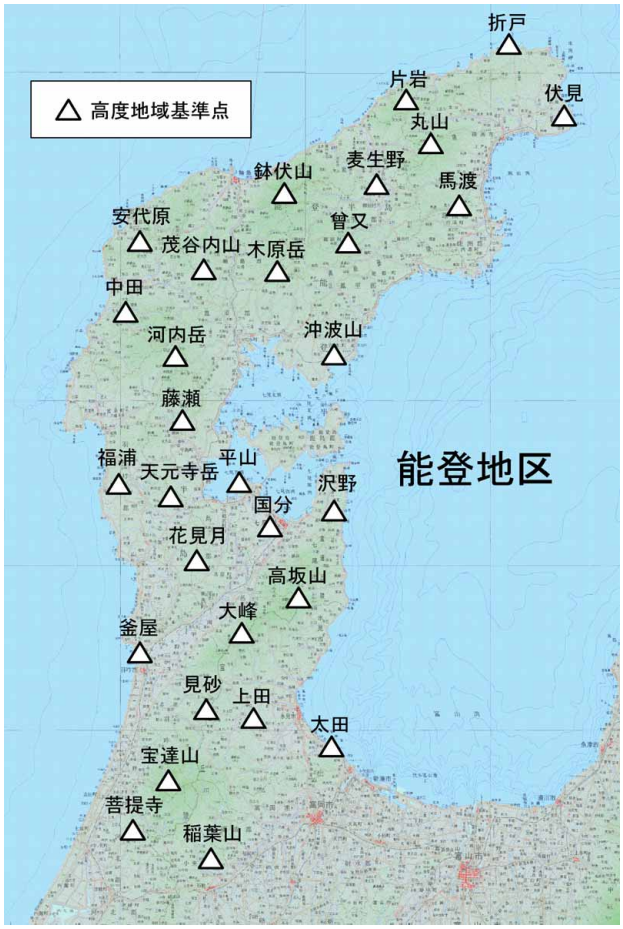


図－８（２）　七尾地区変動グラフ

７．高度地域基準点測量（能登地区）

７．１　作業地域及び作業量

高度地域基準点測量（能登地区）は，高度地域基準点 30 点（一等三角点７点，二等三角点 18 点，三等三角点５点）を対象に外注作業により実施した．作業地域は図－９のとおり能登半島全域である．作業は６時間以上の GPS 観測により行い，５月 16 日～９月 27 日に実施した．この作業の中で二等三角点花見月の再設も行った（写真－４，写真－５）．



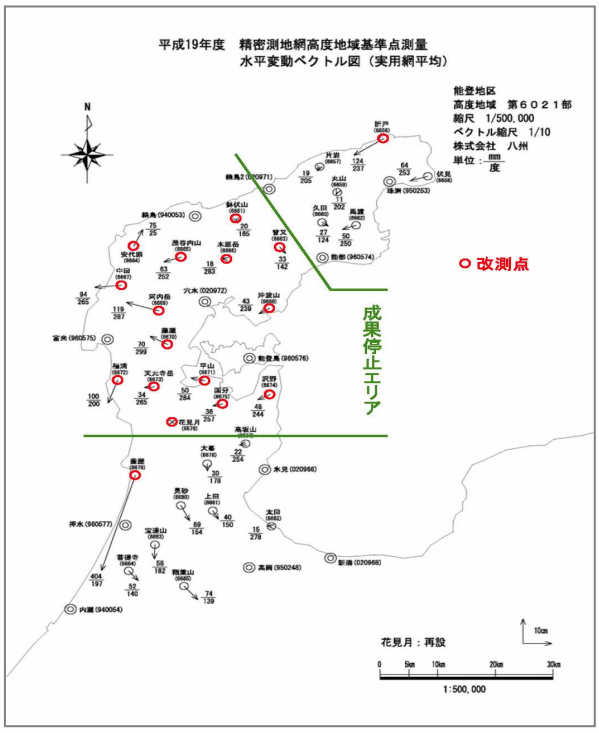
図－９　高度地域基準点測量実施地域図

７．２　計算結果

解析等は，GAMIT と GLOBK による精密基線解析・調整計算により実施した．既知点は先に成果が改定された電子基準点とした．算出した値と地震前成果との差により水平及び高低変動ベクトル図(図－10)を作成した．これにより成果公表停止地域内の 15 点（鉢伏山，曽又，安代原，茂谷内山，木原岳，中田，沖波山，河内岳，藤瀬，福浦，平山，天元寺岳，沢野，国分，花見月）については全て成果を改定し，また，地域外にある点のうち，５点（折戸，片岩，馬渡，釜屋，宝達山）についても変動が大きいため，同様に成果を改定した．

写真－４　二等三角点　花見月（再設）

写真－５　GPS 観測（花見月）



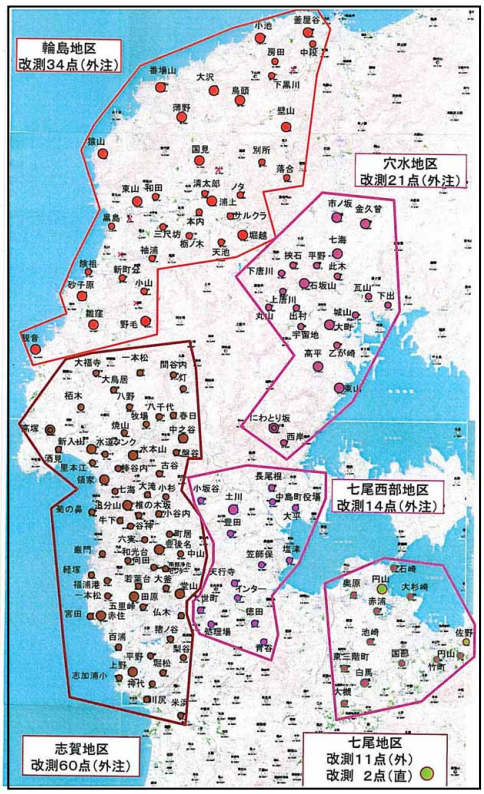
図－10　高度地域基準点測量変動ベクトル図

８．能登半島地震に伴う基準点改測作業

８．１　作業地域及び作業量

能登半島沖地震に伴う基準点改測作業は，北陸地方測量部における外注作業（５地区３物件）で二～四等三角点について実施した（図－11）．

改測を実施した点数は，表－２のとおりである．



図－11　基準点改測作業実施地域図

表－２　改測実施点数

	Ⅱ△	Ⅲ△	Ⅳ△	計
輪　　島		15	19	34
志　　賀	1	10	49	60
穴　　水	1	7	13	21
七尾西部		2	12	14
七　　尾		1	10	11
計	2	35	103	140

８．２　街区基準点改算作業

街区基準点の改算は，三角点の改測作業や高度地域基準点測量の成果改定を受け，平成 18 年度に七尾市と輪島市に設置した街区基準点等について北陸地方測量部が行う改測作業と同時に実施した．

作業量は表－３のとおりである．

表－３　街区基準点改算点数

	街区三角点	街区多角点
七　尾	24	332
輪　島	7	148

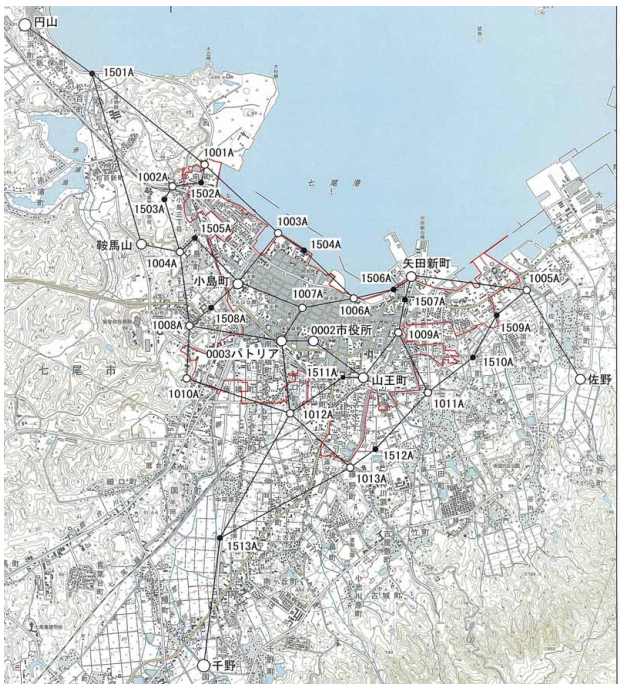
※上記点数には，節点が含まれる

輪島市における街区基準点測量の既知点は，稲舟（Ⅳ△），光浦（Ⅳ△），姫田橋（Ⅳ△）である．これらの三角点は，地震後の三角点改測で観測を実施し平成 19 年 10 月 12 日に新成果を公表した．稲舟（Ⅳ△）については大きな変動量を示したことから，北陸地方測量部の直営作業により稲舟（Ⅳ△）と街区三角点（1003A）において GPS 観測を行い，その観測値（基線ベクトル）を改算時に使用した．

なお，街区三角点（1003A）の使用にあたっては，測量法第 39 条及び第 44 条に基づき国土交通大臣あてに測量標及び測量成果の使用承認申請の手続きを行った．

七尾市の街区基準点は，設置時に既知点とした三角点で，三角点改測等で観測を行わない三角点が２点（円山（Ⅲ△），佐野（Ⅳ△））含まれていたため，この三角点については改算作業前に北陸地方測量部の直営作業で改測を行ってから改算作業の既知点とした．

図－12　輪島市の街区基準点網図



図－13　七尾市の街区基準点網図

８．３　計算結果

改測作業及び改算作業における解析等は，GPS 解析ソフト（GNSS-Pro Ver.6.03 等）により電子基準点を既知点として実施した．計算の結果，すべての基準点において成果を改定した．

輪島地区における街区基準点等の改算結果は，水平成分で約３cm，高さ成分で約２cm の変動量であった．

七尾地区における街区基準点等の改算結果は，水平成分で約 3.5cm，高さ成分で約２cm の変動量であった．

９．成果改定の概要

能登半島地震に伴う基準点成果の改定，公表状況を作業別にまとめる．（表－４，表－５，表－６，表－７）

表－４　三角点改測

種別	点数	公表年月日
Ⅰ△	１点	2007 年 7 月 27 日
Ⅱ△	３点	2007 年 7 月 27 日
Ⅲ△	21 点	2007 年 7 月 27 日
Ⅳ△	30 点	2007 年 7 月 27 日 (うち,7 点は 2007 年 10 月 12 日)

表－５　高精度三次元測量

種別	点数	公表年月日
Ⅰ□	39 点	2008 年 1 月 11 日
Ⅱ□	１点	2008 年 1 月 11 日

表－６　高度地域基準点測量

種別	点数	公表年月日
Ⅰ△	５点	2007 年 12 月 7 日
Ⅱ△	12 点	2007 年 12 月 7 日
Ⅲ△	３点	2007 年 12 月 7 日

表－７　基準点改測

種別	点数	公表年月日
Ⅱ△	１点 １点	2008 年 2 月 １日 2008 年 2 月 14 日
Ⅲ△	25 点 10 点	2008 年 2 月 １日 2008 年 2 月 14 日
Ⅳ△	54 点 49 点	2008 年 2 月 １日 2008 年 2 月 14 日

※上記表中の 2008 年 2 月 14 日公表の 60 点（Ⅱ△１点，Ⅲ△10 点，Ⅳ△49 点）は，志賀地区分

10．おわりに

能登半島地震の発生により震源地付近の住民に甚大な被害がもたらされた．復旧復興事業を進める上で位置の基準となる三角点，水準点の成果は必要不可欠なものであり，その速やかな提供が求められている．測地部及び北陸地方測量部では，この三角点，水準点成果の提供に向けて早期の作業着手により最大限取り組んできたところである．

干渉 SAR 解析は，広域的な地表の変動を短期間で捉え，震源断層モデルの推定，基準点成果公表停止地域の決定に大きく貢献した．今後も大事の際は，位置に関する情報を復旧復興事業のために提供していきたい．

緊急測量調査，三角点改測，高精度三次元測量，高度地域基準点測量，干渉 SAR による衛星画像解析及び基準点改測作業に携わった職員及び測手

職員

測地基準課　豊田友夫，田上節雄，千田進一，大中泰彦，大森秀一，徳留　護，齊藤郁雄，瀬川秀樹

宇宙測地課　和田弘人，雨貝知美，藤原みどり，鈴木　啓

計画課　岡村盛司，三浦優司
機動観測課　塩谷俊治
北陸地方測量部　益子　栄，伊藤純一，石山信郎
測手　佐藤忠義，伊東政志，朝比奈政郎，中島宗治

謝　辞

本報告で使用した「だいち」の PALSAR データの所有権は，経済産業省および宇宙航空研究開発機構にあります．また，これらのデータは，宇宙航空研究開発機構との共同研究協定に基づいて，提供を受けたものです．この場を借りて，御礼申し上げます．

参 考 文 献

国土地理院(2007)：報道発表資料，http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0329.htm（accessed 29 Mar. 2007），http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0412.htm（accessed 12 Apr. 2007）

小沢慎三郎，矢来博司，飛田幹男，宇根　寛，西村卓也（2007）：平成 19 年（2007 年）能登半島地震の震源断層モデル，国土地理院時報，第 113 集，49-53.

雨貝知美，和田弘人，藤原みどり，鈴木　啓，飛田幹男，矢来博司（2007）：衛星合成開口レーダーを用いた平成 19 年（2007 年）能登半島地震に伴う地殻・地盤変動の検出，国土地理院時報，第 113 集，3-11.