

航空レーザ計測による 2007 年能登半島地震の地殻変動

野原幸嗣^{1)*}・野口猛雄¹⁾・穴田文浩¹⁾・浜田昌明¹⁾・小野田敏²⁾・沼田洋一²⁾・山野芳樹²⁾・鈴木雄介²⁾・佐藤比呂志³⁾

¹⁾ 北陸電力株式会社・²⁾ アジア航測株式会社・³⁾ 東京大学地震研究所

The Crustal Deformation Associated with the 2007 Noto Hanto Earthquake Studied Using Airborne LiDAR

Koji Nohara^{1)*}, Takeo Noguchi¹⁾, Fumihiko Anada¹⁾, Masaaki Hamada¹⁾, Satoshi Onoda²⁾, Yoichi Numata²⁾, Yoshiki Yamano²⁾, Yusuke Suzuki²⁾ and Hiroshi Sato³⁾

¹⁾ Hokuriku Electric Power Co., Ltd., ²⁾ Asia Air Survey Co., Ltd., ³⁾ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

Abstract

The 2007 Noto Hanto earthquake (M6.9) occurred in the area where the 1m-Digital Elevation Model had been developed by airborne LiDAR. This data package could provide an exceptional opportunity to study crustal deformation associated with the earthquake. We acquired airborne LiDAR data immediately after the 2007 Noto Hanto Earthquake for comparison. We improved the accuracy of DEM to detect earthquake deformation. As a result, differences of elevation between the flight courses were within ± 0.05 m according to the elevation adjustment for whole area. The resultant elevation change suggests an uplift of the coastal area, including Sekinohana in Shika Town, where a maximum uplift of 0.45 m was observed. Elevation changes were not observed 3 km from coastline at an extension of the earthquake source fault in sea area. The pattern of the elevation change accords well to the results from leveling, GPS, and interferometric SAR data. It was the first attempt in the world to detect crustal deformation associated with an earthquake using airborne LiDAR.

Key words: The 2007 Noto Hanto Earthquake, Airborne LiDAR, DEM, crustal deformation

1. はじめに

航空レーザ計測は、航空機から下方にパルス状にレーザを照射しながら飛行することで、地表面の詳細な 3 次元座標を計測する手法である (Fig. 1) (Fowler *et al.*, 2007). 反射光が戻ってくるまでの時間から航空機と地表との距離を計測し、GPS で航空機の 3 次元的位置を、IMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) で航空機の姿勢角を求め、これらのデータからレーザ照射地点の 3 次元位置を算出する。さらに、複数の反射パルスを識別することにより、樹木等の高さや地面の高さを区別できる。初期反射パルスから作成する DSM

(Digital Surface Model: 数値表層モデル) は、樹林地帯では樹冠高度分布を意味する。DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) は、樹木の隙間を通過して地表面に達した最終反射パルスを使用し、さらに人工構造物などの除去処理を加えて作成された地形モデルである。短時間に広範囲のデータ取得が可能で、計測密度が高く測定方向が鉛直に近いために、植生に覆われた地域でも地表面の精密な微地形を再現することが可能である。近年、航空レーザ計測が実用化され、Okazaki *et al.* (2006) の山腹工における航空レーザ計測の適用や、千葉ほか (2007) の航空レーザ計測にもとづく青木ヶ原溶岩

* e-mail: nohara.koji@rikuden.co.jp (〒930-8686 富山市牛島町 15-1)

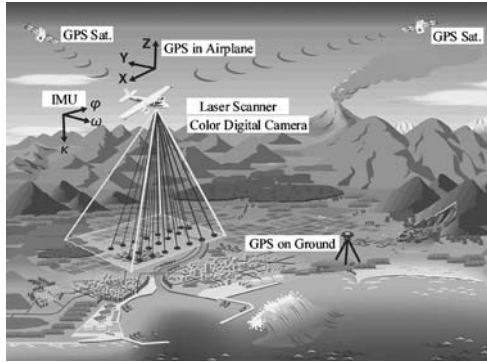


Fig. 1. Illustration of geodetic laser scanning.

の微地形解析等が報告されている。

北陸電力(株)では、能登半島における詳細な微地形情報の取得を目的に、2006年10月～12月に航空レーザ計測を実施し、1m-DEM(1m-Digital Elevation Model: 1m間隔の地表の数値標高モデル)を作成した(地震前計測)。1m-DEMは、航空レーザ計測で直接得られる高さのデータから建物や樹木の高さを取り除くフィルタリング作業を行って得た地表面の高さのデータである。その後、2007年3月25日に能登半島地震が発生した。震源は能登半島沖であったが、余震分布域は陸域に及んでおり、地震前に実施した航空レーザ計測の範囲内にほぼ含まれていた。既に作成していた地震前のDEMと地震後のDEMを比較することにより、地震による地殻変動を3次元的に解明できる可能性が考えられたことから、地震後の1m-DEMの作成を目的に、2007年3月26日および4月7日に航空レーザ計測を実施した(地震後計測)。地殻変動を伴う余震分布域における地震発生前後の航空レーザ計測は世界でこれまでに例がなく、広域的な地殻変動や被害状況を把握するための貴重なデータが得られたと考えている。

本報告は、地震前後の航空レーザ計測データを用いた陸域地殻変動の把握方法および検討結果を取りまとめたものである。

2. 航空レーザ計測

2.1 計測仕様

地震前計測では、能登半島南部から中央部にかけての約1,000 km²について、地震後計測では、震源域を包含する約410 km²について、航空レーザ計測を実施し1m-DEMを作成した(Fig. 2)。航空レーザ計測に用いたプラットフォーム(航空機)は、C207, C404及びTu206gを用い、レーザ装置はOptech社製ALTM3100及びLeica社製ALS50を用いた。データ取得条件は、測点密

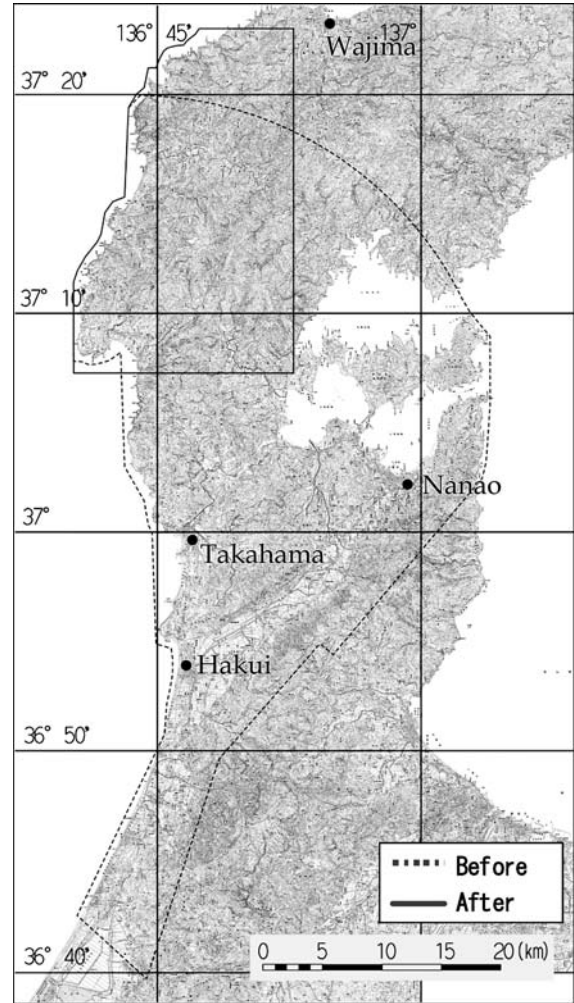


Fig. 2. The traces of the flights.

Table 1. Data acquisition parameters for airborne laser survey.

Items	Parameter(Average)	
	Platform(AirPlane)	C207
Laster Scanner	Optech ALTM3100	Leica ALS50
Measurement Height	1,200m	
Airplane Velocity	65m/sec	
Frequency	70,000Hz	
Distance between courses	About 385m	
Lap ratio between courses	35%	
Distance between Points	About 0.7m	
Numebr of courses	Before 174, After 56	

度が1 m²に1点以上を満たすために、対地高度平均1,200 m, 対地速度65 m/sec, レーザ照射頻度70,000 Hz, 飛行コース間の距離約385 m, 飛行コース間の計測幅の

重複割合 35%, 飛行直角方向の取得点間隔約 0.7 m とし, 飛行コース数は地震前計測で 174 コース, 地震後計測で 56 コースとした (Table 1).

2.2 地上基準局の選点

航空レーザ計測にあたり, 取得データの位置精度の確保のため, 地上基準局 (国土地理院が定める電子基準点) の選定を行い, 地上基準局において GPS 観測を行ったデータを入手した. 地上基準局は, 計測対象エリア内の 30 km 圏内に 1 点を目安として, 地震前計測時では, 電子基準点「志賀」, 「押水」, 「富来」, 「穴水」, 「氷見」, 「能登島」の 6 点とした. 地震後計測時では, 電子基準点「富来」が計測対象エリアに最も近い基準点であったが, 当地点は地震による変位 (南西方向 21 cm, 鉛直方向 +7 cm) が見られたことから (Ozawa *et al.*, 2008), 変位の小さい電子基準点「志賀」 (南西方向 2 cm, 鉛直方向微小) 1 点を使用することとし, 国土地理院の改測結果が公表されるのを待って処理を実施した. また, 計測当日は計測精度の確保のために, GPS 衛星の数や配置等の状況を事前に把握したうえで計測時間帯の設定を行った.

3. DEM データの作成

3.1 オリジナルデータ作成

取得した航空レーザ計測データおよび地上基準局のデータを用いて, 地表に照射されたレーザ計測点の座標を算出し, 精度検証や調整を行い, 地形や地物を表す点群データ (オリジナルデータ) を作成した.

(1) 飛行コース間での調整

航空レーザ計測では, 計測時期や機材の違いなどの影響により飛行コース間で誤差が生じる場合がある. そこで, 隣接する飛行コースで重複している範囲の中で平坦な地点に設定したタイポイント (Tie point: 確認地点) の標高較差を算出し, 複数のタイポイントにおける較差を平均してコース間較差として DEM 作成精度の確保・検証を実施している.

地震前計測, 地震後計測から得られたデータにおける隣接した飛行コース間の標高較差の平均値, 標準偏差および RMS 誤差 (Root Mean Square Error) は, いずれも 0.1 m 未満である.

一方, 能登半島地震による地殻変動は数 cm~数 10 cm とされており (Ozawa *et al.*, 2008), 地殻変動を正確に把握できない可能性がある. そこで, データについて徹底した精度向上を図るとともに, 地震前後の計測データが同一精度基準になることを目標に再調整を実施した. 本研究では, 各飛行コースについてコース間較差

(タイポイントの平均値) を補正值として高さを調整し, 全コースについて飛行コース間の標高補正を実施した. その結果, 地震前及び地震後についても飛行コース間の較差については, 概ね ± 0.05 m 以内に収まっている.

(2) エリア全体での標高調整 (調整用基準点による検証)

実測標高値と航空レーザデータによる標高値の較差を求め, 必要に応じてデータ全体を一律の補正值で高さを調整するため, 駐車場などのある程度の面積を持つ平坦な地点に調整用基準点を設置した.

地震前計測データについては, 国土地理院が定める三角点を 17 点, 過去に実施された GPS 観測結果を 13 点, さらに新たに実測した 13 点の計 43 点を調整用基準点として精度検証を行った.

地震後計測データについては, 地震による変動があるため新たに 18 点を実測するとともに, 地震前計測のデータ作成の際に使用した調整用基準点「標 9」の計 19 点を調整用基準点として精度検証を行った. 地震前計測と地震後計測の調整用基準点の配点図を Fig. 3, Fig. 4 に示す.

調整用基準点における実測標高値と航空レーザデータによる標高値を検証した結果, 地震前計測データにおける標準偏差は 0.13 m, 地震後計測データにおける標準偏差は 0.06 m であった.

但し, 前述した飛行コース間の較差の調整と同様, 徹底した精度向上を図るため, 地震前後の計測データのそれぞれについて, 調整用基準点での実測標高値と同地点でのレーザ計測データを対比し, エリア全体での各点の較差平均が 0 となるように, エリア全体について高さの調整を実施した.

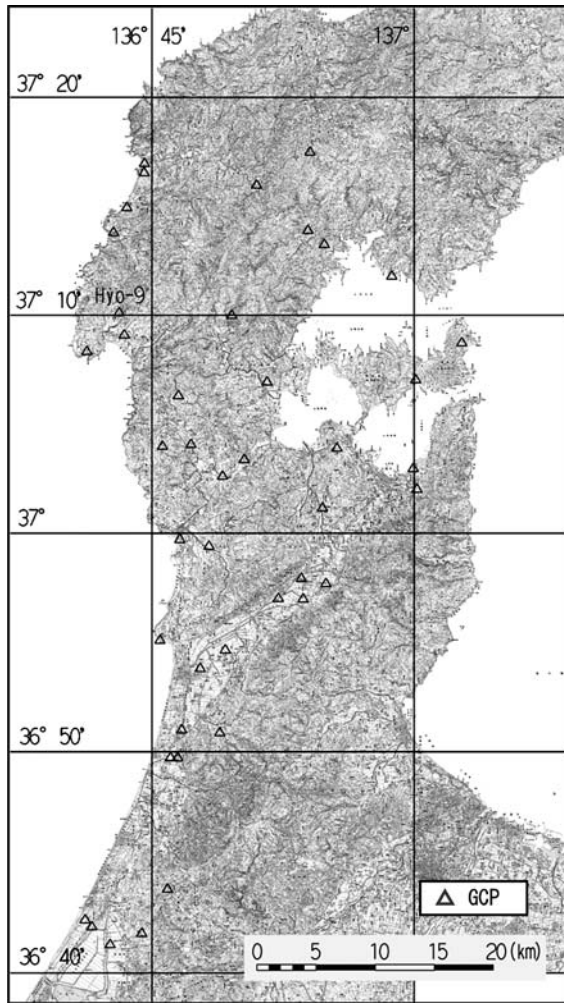
3.2 地表面の数値標高モデル (DEM) 作成

飛行コース間の調整およびエリア全体での調整を行ったオリジナルデータから, 樹木や構造物などを除去するフィルタリング処理を行い, 地表面の標高データを作成した. さらにこの地表面の標高データに, TIN (Triangulated Irregular Network: 不定三角形網) 法による内挿計算を施すことにより, 1 m-DEM を作成した. 1 m-DEM による赤色立体地図 (アジア航測, 特許第 3670274 号) を Fig. 5 に示す.

4. 地殻変動解析

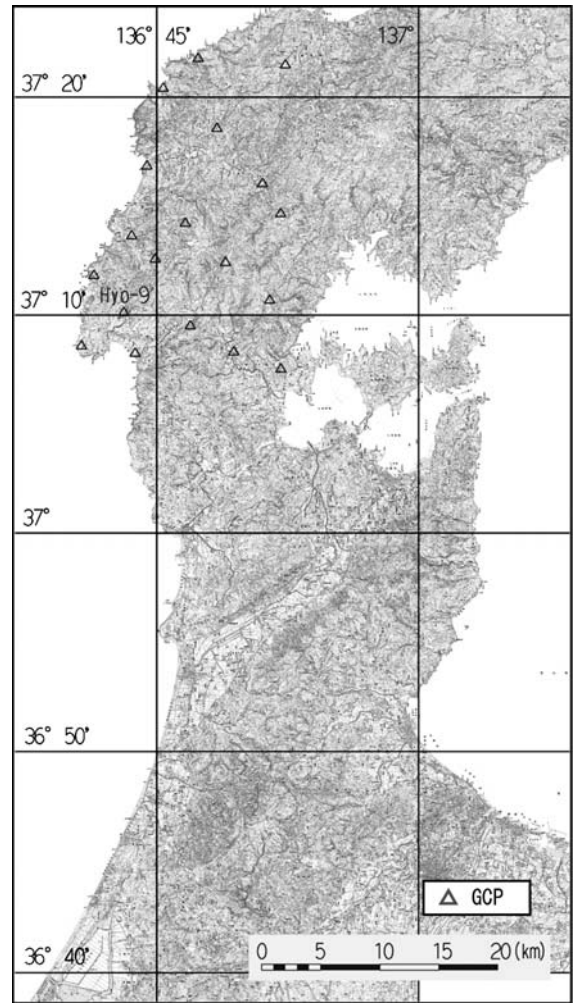
地震前後の航空レーザ計測から得られた 1 m-DEM を用いた標高差分解析を行うことにより, 能登半島地震による鉛直方向の地殻変動の抽出を試みた.

航空レーザ計測は, 樹木下の詳細な地形形状を広範囲



GCP:Ground Control Point

Fig. 3. Ground control points before the earthquake.



GCP:Ground Control Point

Fig. 4. Ground control points after the earthquake.

に取得できる手法であるが、各種の要因により、除去しきれない誤差やエラーデータを含んでいる。一方、能登半島地震による地殻変動量は数 cm～数 10 cm であるため、本研究では、前述したように DEM の誤差要因等を極力排除する方法について検討し、それらの DEM を用いた地震による地殻変動量を出来るだけ正確かつ定量的に抽出できる方法を検討した。

4.1 解析に用いたデータ

地震前後の 1 m-DEM における標高値の差分によって得られる情報は、一般的には真の鉛直変位のみならず、水平変位による鉛直方向の変化も加えた「みかけの」鉛直変位量である。特に傾斜地では水平変位によって生じる「みかけの」鉛直変位量が大きくなり、地殻変動による鉛直変位量を求めることが難しくなる。水平面であれば、地殻変動による水平変位が生じていたとしても、水平変位によって生じる「みかけの」鉛直変位量がなくな

るため、地殻変動による鉛直変位量を把握することは可能である (Fig. 6)。そのため本研究では、対象エリアが丘陵・山地であることから、単純な地震前後の DEM の比較を避け、比較的平坦である道路のほぼ中心に沿って得られた DEM だけを用い、鉛直変位量を把握することとした。鉛直変位量は道路に沿った 1 m 間隔の DEM 算定点を解析点とし、それぞれの点ごとに地震前後の標高値を抽出し、地震後と地震前の差分値から算出した。解析対象エリアの中央部から東部にかけては山間部であり、道路が少ないため解析点の密度が低くなっているが、震源付近である西部の海岸線付近については、国道をはじめとした道路が多いため多数の解析点を設定することができた。

4.2 データの処理

(1) メッシュの作成

鉛直変位量は道路に沿った 1 m 間隔の DEM 算定点ご

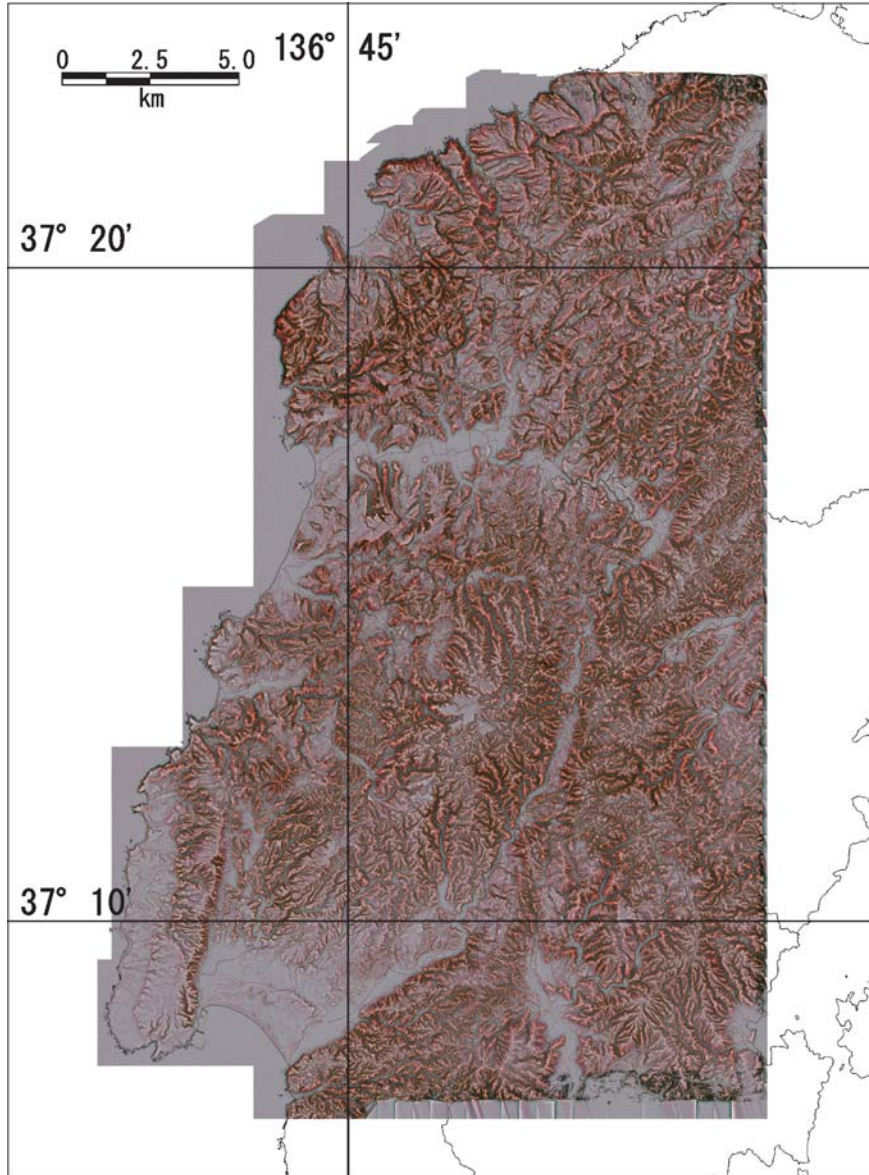


Fig. 5. Red Relief Image Map of 1 m-DEM.

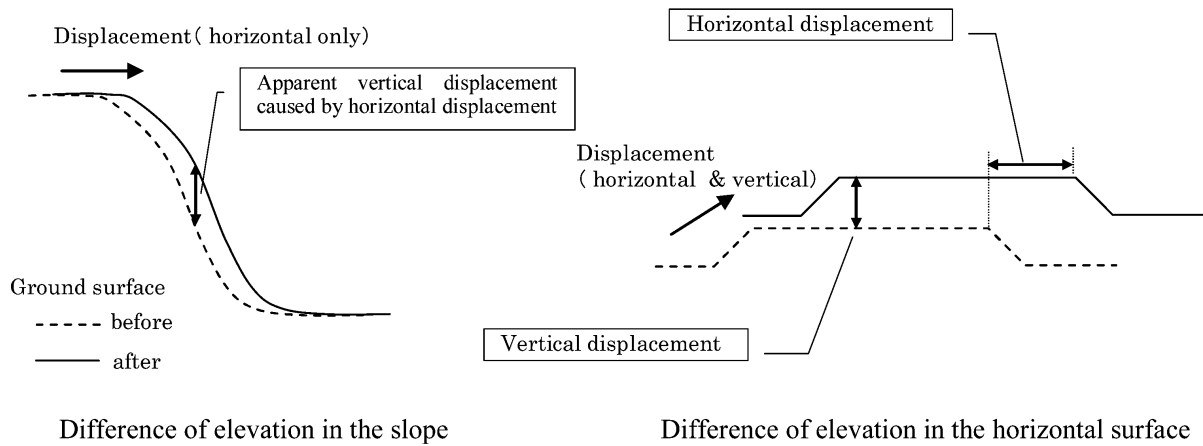


Fig. 6. Vertical displacement detection image in a slope and horizontal surface.

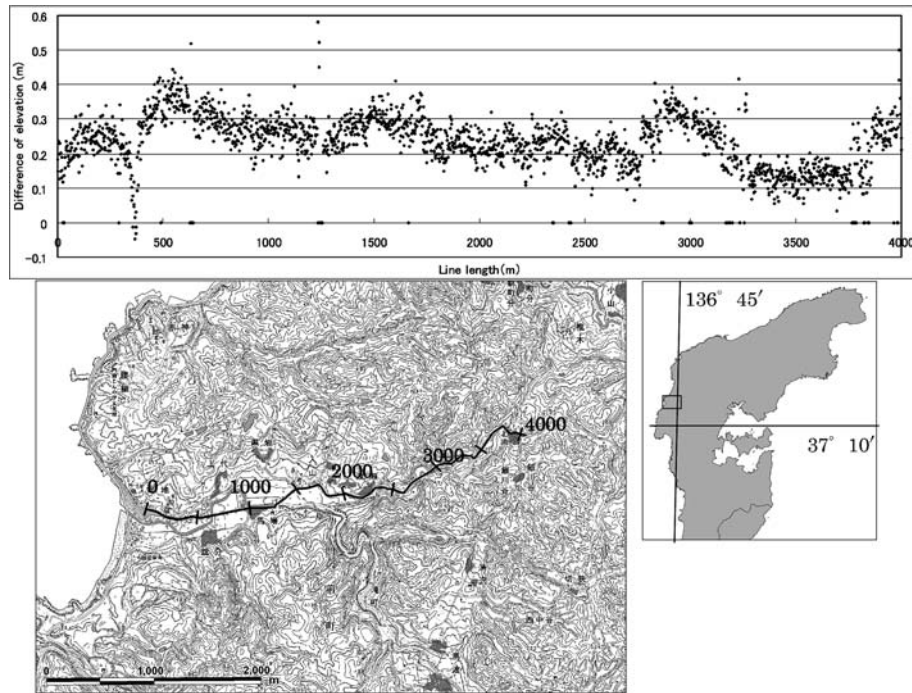


Fig. 7. Example of the measured difference of elevation along road.

とに算出したが、道路上の微小な陥没や隆起の影響で、各測定点の値はばらつきが大きく、また、航空レーザ計測の飛行コース間の微妙な差異を拾ってしまう (Fig. 7)。このため、解析対象エリア内をメッシュで区切り、メッシュに含まれる DEM 算定点の鉛直変位量を平滑化することで、微小領域のばらつきや飛行コース間の差異の影響を小さくした。また、メッシュサイズは 200 m × 200 m と 500 m × 500 m の 2 通りで解析を行った。

各メッシュにおける鉛直変位量の代表値としては、一般的に平均値が考えられるが、メッシュ内の測定点データに特異値がある場合には、その影響で値が大きく変わる可能性がある。特異値だけを除去することも考えられるが、特異値の判断基準は曖昧であり、データの除去の仕方によって平均値が変わる。そこで、特異値の有無に関わらない、メッシュ内の DEM 算定点データにおける最頻値を、メッシュの代表値として用いることにした (Fig. 8)。なお、精度を確保するため、メッシュ内に 50 点以上の測定点が含まれるメッシュだけを対象とした。

Fig. 9 にメッシュ間隔を 200 m とした場合、Fig. 10 にメッシュ間隔を 500 m とした場合の最頻値を代表値とした鉛直地殻変動図を示す。

(2) データの欠如するメッシュの内挿補間

道路がなく測定点がない空白メッシュにおける鉛直変位量については、道路に沿った DEM 算定点から鉛直変位量が求まったメッシュの分布と値を用い、TIN 法で空

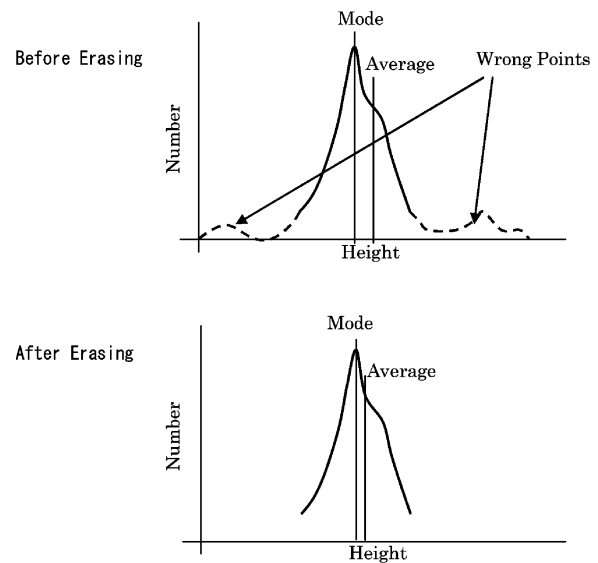


Fig. 8. The example of histogram, before and after erasing of wrong points.

間内挿を行い、空白メッシュにおける鉛直変位量を推定した。TIN 法は一般に、ランダムに存在するデータ点を三角網で結び、三角網の作る平面内で内挿を行う。データの欠測部分が多い場合には、補間結果に三角形が目立つことがあるが、データ値を正確に反映することができる。

内挿補間実施後の 200 m メッシュ、500 m メッシュの

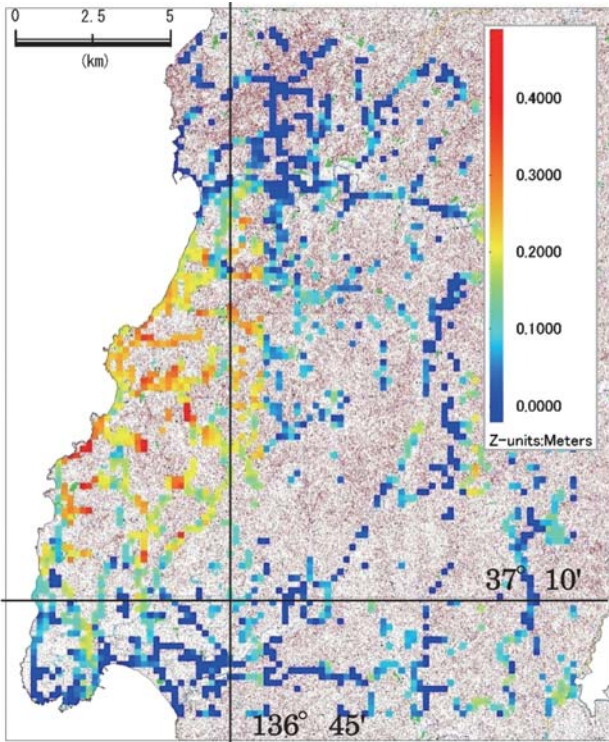


Fig. 9. The vertical displacement map. (200 m Mesh)

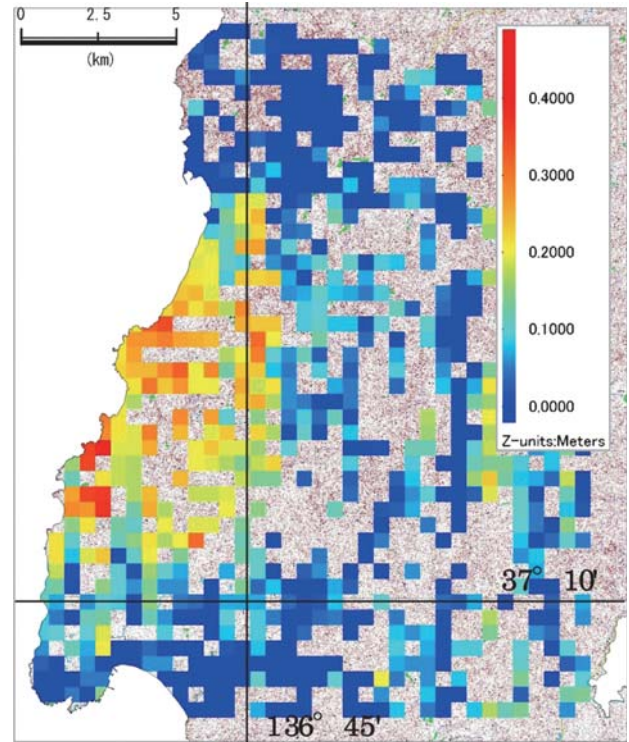


Fig. 10. The vertical displacement map. (500 m Mesh)

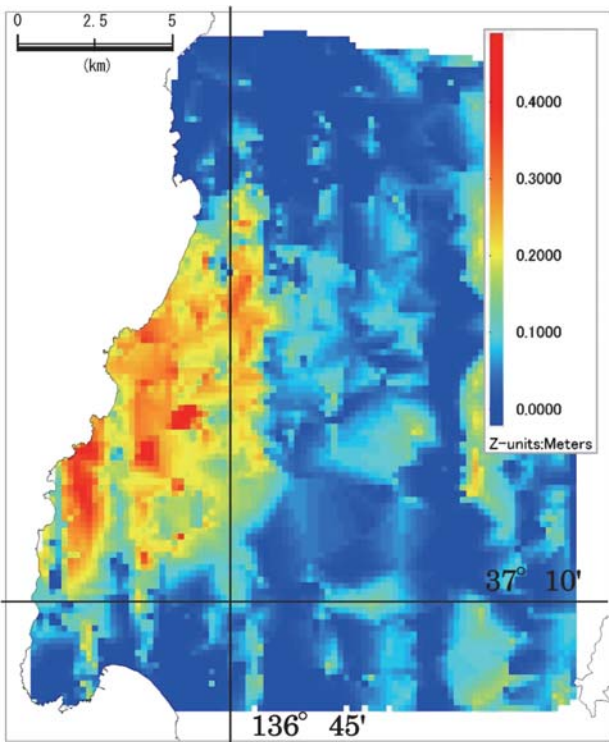


Fig. 11. The vertical displacement map. (Interpolation 200 m Mesh)

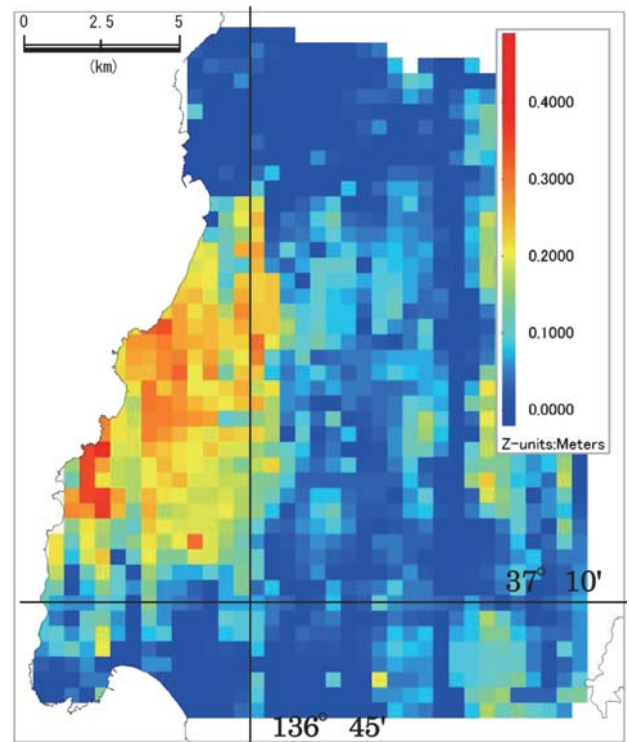


Fig. 12. The vertical displacement map. (Interpolation 500 m Mesh)

鉛直地殻変動図を Fig. 11, Fig. 12 に示す。両者を比較すると、鉛直地殻変動の傾向は一致しているが 200 m メッシュのほうがより詳細に鉛直変動を示している。しかし、局所的な盛土変動や道路陥没の影響、誤差を捉えている可能性もある。両者に見られる南北方向の縞模様は、航空レーザ計測の計測コースの向きと同じであり、飛行コース間較差の影響で調整しきれなかった、飛行コース間較差の影響であると考えられる。また、対象エリアの東側に南北方向に見られる 0.1~0.2 m の変位については、調整用基準点が少ないことや飛行コース間較差の蓄積などが影響しているものと考えられる。

4.3 解析結果

Fig. 13 に 200 m メッシュの鉛直地殻変動分布図に 0.05 m 間隔のコンター線を追加したものと、鉛直地殻変動断面図を示す。

鉛直地殻変動は震源付近を中心に海岸線付近に沿って、やや南北に長い傾向で確認される。海岸線沿いの変動量は、海域の震源断層(井上ほか, 2007)より南側で見られ、志賀町赤崎付近ではほぼ 0 m であるが、北方に向かうほど増大し志賀町関野鼻付近で最大変動量約 0.45 m となり、これより北側では輪島市赤神付近で変動量が大きい部分が認められるが、緩やかに変動量は小さくなり、輪島市鹿磯付近で 0 m となる。また、海域の震源断層より北側の輪島市深見付近の海岸沿い及び海域の震源断層延長の海岸線から約 3 km 内陸では顕著な変動はほとんど認められず、さらに内陸の輪島市中野屋周辺では、精度上の問題もあるが変動量は 0 m となっている。

志賀町剣地付近においては、相対的に隆起量がやや小さい区間が見られる。これは、この区間で測定点を設定した国道が盛土区間であり、また、地震による道路崩壊が著しい区間でもあることから、地震による地殻変動以外に、盛土沈下や道路崩壊の影響を捉えた可能性が大きいことに起因する、と考えられる。

4.4 他観測結果との比較

(1) 国土地理院の水準測量による変動量との比較

国土地理院(2008)は、地震後の 2007 年 6 月に能登半島西海岸沿いの水準点の測量を実施し、2001 年 7~8 月に対する上下変動量を公表している。水準点は道路沿いに設定されていたことから、我々は水準点付近の道路上に半径 3 m の円を設定し、その範囲にある DEM 標高の差分の平均値と比較した(Fig. 14)。水準測量の結果では、標石番号 9263~9254 の間で隆起が観測されており、標石番号 9261 で約 0.4 m の最大隆起が認められる。これは、本研究における鉛直地殻変動の傾向とほぼ整合しているが、標石番号 9261~9258 の間では、本研究にお

ける鉛直地殻変動がやや小さい傾向を示している。この区間は前述した国道の盛土区間にあたり、水準点は、道路の盛土沈下の影響を受けにくい道路脇に設置してあるが、本研究では水準点近傍の道路上の測定点から変動量を求めたため、地震後標高値に盛土沈下等の影響が含まれている可能性が大きいことに起因すると思われる。

(2) GPS 観測結果による変動量との比較

地震前の航空レーザ計測時に調整用基準点として用いた点のうち、地震後計測エリアに含まれる 5 点及び国土地理院が定める三角点 1 点において地震後に GPS 観測を実施し、地震前後の標高差分を求めた。また、Honda *et al.* (2008) は、地震前後で能登半島の重力構造を調査しており、重力測定の際に標高決定の目的で簡易 GPS 観測を実施している。簡易 GPS 観測には Trimble 社の 2 周波受信機を使用し、アンテナは車両の屋根に取り付けて測定を行っている。78 点について地震前後の簡易 GPS 観測を行っており、我々は、このうち地震後の航空レーザ計測エリアに含まれる 23 点について、地震前後の標高差分を求め、航空レーザ計測データとの比較に用いた。これら計 29 点の GPS 観測結果による地震前後の標高差分と、航空レーザ計測により得られた 1 m-DEM の標高差分との比較を行った。1 m-DEM の標高差分値は、GPS 観測点付近の道路上に半径 3 m の円を設定し、その範囲にある DEM の標高差分の平均値とした(Fig. 15, Table 2)。DEM の標高差分値と調整用基準点及び三角点との差については、「剣地」で 0.189 m となっているが、それ以外の点に関しては 0.1 m 以下となっており概ね整合的である。簡易 GPS 観測点との差については、変動量が小さな地点では概ね整合的であるが、変動量が大きな地点では 0.1~0.5 m 程度の差がある。簡易 GPS 観測による標高値は、車両の駐車位置によって変わるため、これらの地点については、地震前後の観測で駐車位置の僅かな違いが影響したのと考えられる。DEM の標高差分値は前述した水準測量との比較では概ね整合的であることから、DEM の精度が問題となるようなものではないと考えられる。

(3) InSAR による変動量との比較

能登半島地震では Ozawa *et al.* (2008), Fukushima *et al.* (2008) は、陸域観測技術衛星「だいち」(宇宙航空研究開発機構)が 2007 年 2 月 23 日と 4 月 10 日および 2006 年 12 月 23 日と 2007 年 5 月 10 日に観測した合成開口レーダー(PALSAR)データを用いて、InSAR (Interferometric SAR: 干渉合成開口レーダー)による解析を行い、震源域周辺の陸域における地殻変動分布を求めている。震源付近で最大変動量が認められ、これより

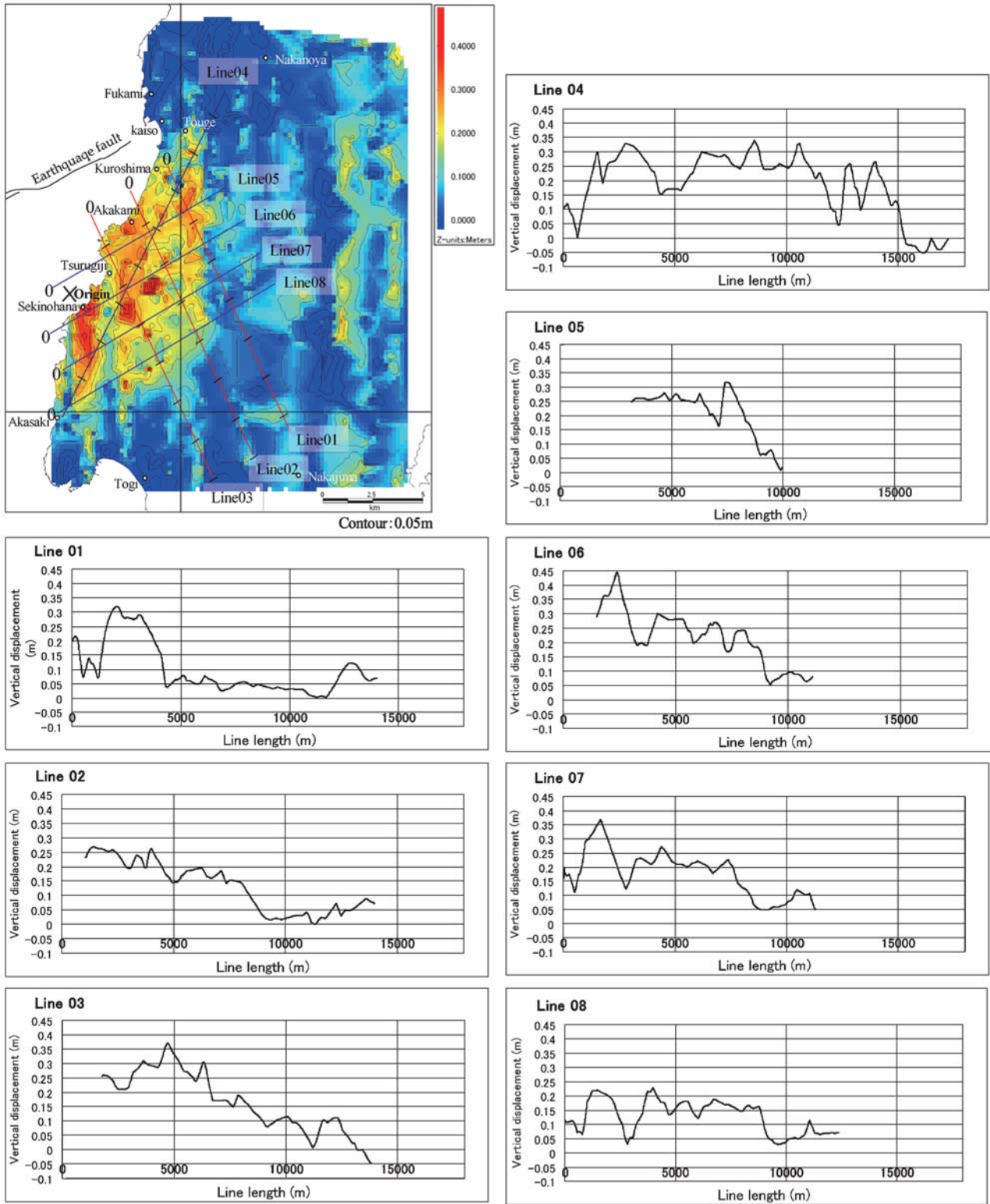
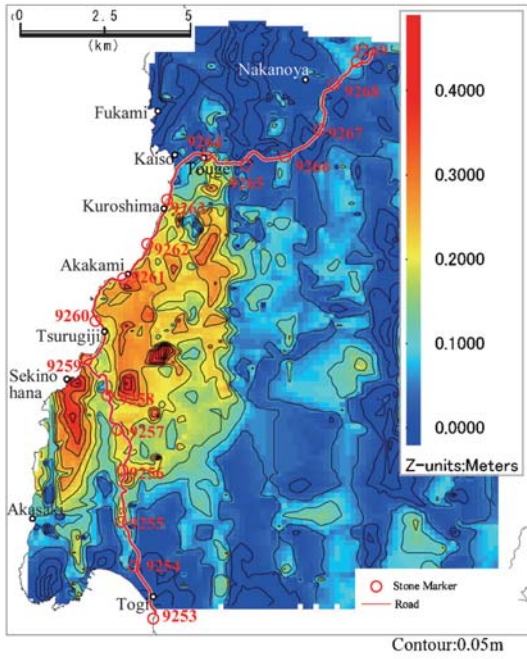
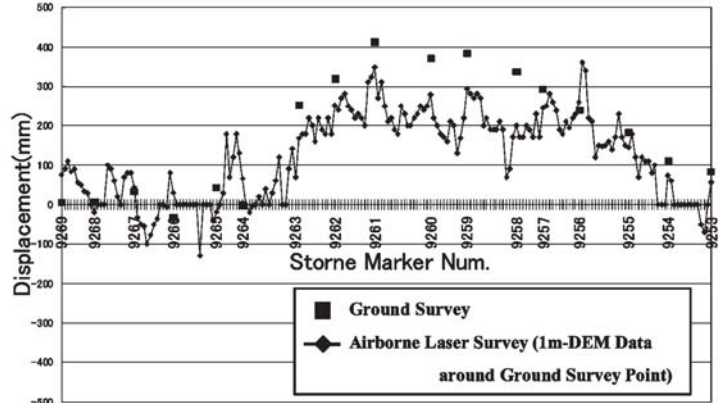


Fig. 13. Profiles of the vertical displacement.



The vertical displacement Map.
(Interpolation 200m mesh)



The profile on the road line.

Fig. 14. Comparison of airborne laser survey data and ground survey data.

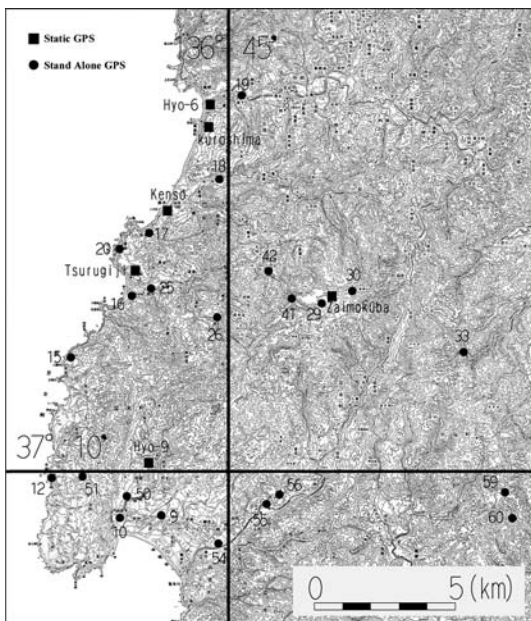


Fig. 15. Comparison of airborne laser survey data and GPS survey data. (Survey points)

Table 2. Comparison of airborne laser survey and GPS survey. (Results)

	Name	GPS Sur. [m]	Laser [m]	Dist. [m]
Static GPS	Tsurugiji	0.428	0.239	0.189
	Kenso	0.295	0.216	0.079
	Kuroshima	0.044	0.031	0.013
	Hyo-6	0.059	0.054	0.005
	Hyo-9	0.193	0.196	-0.003
	Zaimokuba	0.059	0.027	0.032
Stand Alone GPS	9	0.310	0.006	0.304
	10	0.220	0.008	0.212
	12	0.390	0.151	0.239
	15	0.420	0.136	0.284
	16	0.610	0.109	0.501
	17	0.650	0.374	0.276
	18	0.360	0.135	0.225
	19	-0.080	0.111	-0.191
	20	0.450	0.208	0.242
	25	0.370	0.266	0.104
	26	0.170	0.245	-0.075
	29	0.020	-0.075	0.095
	30	0.000	0.061	-0.061
	33	0.090	0.153	-0.063
	41	0.160	-0.073	0.233
	42	0.280	0.129	0.151
50	0.180	0.007	0.173	
51	0.150	0.050	0.100	
54	0.060	-0.016	0.076	
55	0.120	-0.009	0.129	
56	-0.190	-0.075	-0.115	
59	0.030	0.017	0.013	
60	-0.070	-0.015	-0.055	

南側については志賀町富来付近, 北側については輪島市鹿磯付近まで地殻変動が認められる。航空レーザ計測による鉛直地殻変動と比較すると, 変動量が認められる範囲が南側に関してはやや広いが, 北側に関してはほぼ同じであり, 海域の震源断層の北側の海岸線には顕著な変動量は認められず, 海域の震源断層延長部の内陸部には断層方向のパターンは認められない。また, InSARによる変動は震源を中心としてほぼ同心円状を示しているが, 航空レーザ計測による鉛直地殻変動は, 震源付近に見られる最大変動量とほぼ同じ変動が震源の東側の内陸部にも認められる。

航空レーザ計測は, 対象範囲が広域にわたる場合, 数十コースの計測データを接合する必要があるが, 地震前後の各飛行コースが持つ誤差が影響する可能性がある。一方, 合成開口レーダーは, 1軌道(コース)で全域が計測でき, 全体的に均質なデータが得られる利点があるが, 取得される情報が衛星方向(斜め)の変位であること, 植生や大気の影響をどのように受けているか不明であり, 最終的な精度が不明確であるという面もある。

5. まとめ

2007年能登半島地震の発生直前直後の航空レーザ計測により, 1m-DEMを作成した。この地震前後の1m-DEMを用いて鉛直方向の標高差解析を行い, 地震による鉛直地殻変動量を求めた。その結果, 1) 鉛直変動量は, 震源付近を中心に海岸線に沿って, やや南北に長い傾向で確認される。2) 海岸線沿いの変動量は, 海域の震源断層の南部で見られ, 志賀町関野鼻付近で最大変動量約0.45mとなる。3) 海域の震源断層北部にあたる輪島市深見付近の海岸沿い及び海域の震源断層延長の海岸線から約3km程度内陸では顕著な変動量はほとんど認められない。この結果は, 水準測量, GPS観測, InSARといった他の観測による地殻変動の結果とも概ね整合的である。

謝 辞

金沢大学名誉教授の河野芳輝氏には, 地震前後の重力測定の際の簡易GPS観測のデータを提供していただいた。アジア航測(株)の佐藤浩二氏, 藤井紀綱氏には, 航空レーザ計測に際して, 迅速に対応していただいた。また, 渡辺省一氏をはじめ, アジア航測(株)北陸支店の各位には, 地震後のGPS観測等を実施していただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 千葉達郎・富田陽子・鈴木雄介・荒井健一・藤井紀綱・宮地直道・小泉市朗・中島幸信, 2007, 航空レーザ計測にもとづく青木ヶ原溶岩の微地形解析, 富士火山(2007), 山梨県環境科学研究所, 349-363.
- Fowler, R.A., A. Samberg, M.J. Flood, and T.J. Greaves, 2007, Topographic and Terrestrial Lidar, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing., Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual 2nd Edition, 199-52.
- Fukushima Y., T. Ozawa and M. Hashimoto, 2008, Fault model of the 2007 Noto Hanto earthquake from PALSAR radar interferometry and GPS data, *Earth Planets Space*, **60**, 99-104.
- Honda R., Y. Hiramatsu, Y. Kono and H. Katagawa, 2008, Gravity anomalies and the geologic block structures in and around the aftershock area of the 2007 Noto Hanto Earthquake, *Earth Planets Space*, **60**, 111-115.
- 井上卓彦・村上文敏・岡村行信・池原 研, 2007, 2007年能登半島地震震源域の海底活断層, 地震研究所彙報, **82**, 301-312.
- 国土地理院, 2008, 北陸・中部地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **79**, 403-407.
- Okazaki K., S. Hatake, N. Fujii, T. Sano and B. Ota, 2006, Examination of forest evaluation technique by LiDAR, *Silvilaser 2006 Proceedings of the International Conference*, 191-196.
- Ozawa S., H. Yarai, M. Tobita, H. Une and T. Nishimura, 2008, Crustal deformation associated with the Noto Hanto Earthquake in 2007 in Japan, *Earth Planets Space*, **60**, 95-98.

(Received February 1, 2008)

(Accepted March 9, 2008)