

7 - 3 北陸・中部地方の地殻変動

Crustal Movements in the Hokuriku and Chubu District

国土地理院

Geographical Survey Institute

[GPS ベクトル図 余効変動]

第1図は、新潟県中越沖地震の余効変動を示すGPS連続観測によるベクトル図である。上段の出雲崎、新潟三島、柏崎1、柏崎2、P柏崎、小木などで、地震時の変動ベクトルに近い方向を向いていることから、余効変動が観測されたと見られる。

[余効変動モデル 新潟県中越沖地震]

第2図は、新潟県中越沖地震の余効変動を矩形断層での余効滑りでモデル化した図である。なお、観測値として示した変位は、2004年11月-2007年3月の期間で、トレンドと年周成分を推定し、そこからの非定常成分を示したものである。この非定常地殻変動データを用いて、走行と傾斜角を本震と同じと仮定し、他のパラメータをインバージョンで推定した。その結果、余効変動は本震と同じ逆断層滑りで説明でき、その位置も本震と大きく違わないと考えられる。

[GPS 時系列 余効変動]

第3～4図は、新潟県中越沖地震の余効変動を示すGPS連続観測時系列グラフである。富山観測点をベクトルの始点とする、柏崎1、柏崎2、P柏崎に向かう3つのベクトルの3成分について、左の列に長期、右の列に地震後の短期の時系列が示されている。余効変動は、着実に減衰している。第3図下段の柏崎1の東西成分には、最近逆戻りするような変動が見えているが、2006年6月15日の受信機交換、23日のアンテナ交換の後に年周的な変動が見られ、今回も春以降東に動くという見かけ上のものである可能性がある。

第5図は、新潟県中越沖地震の余効変動の終息を判断するため、柏崎1、柏崎2、P柏崎観測点の各成分の変化率（変動速度）を時系列で示したものである。どの観測点でも、東西・南北成分の変化率は、地震前の変化率に戻りつつあるがまだ完全には戻りきっていないとみられる。

[震源断層モデル 新潟県中越沖地震]

第6～26図に、地殻変動の計算に用いる媒質（半無限または成層構造）と北西傾斜の断層の有無を変えた3種類の断層モデルを示す。断層モデル作成には、地震に伴う地殻変動データ（GPSデータ、水準測量データ、SAR干渉画像）を用い、東京大学地震研究所等による海底地震計を用いて決定された精密余震分布から断層面を仮定してインバージョンにより断層面上での滑り分布を推定した。なお、断層面は、

余震の多くを通るような南東傾斜の1枚の面を仮定し、面上を2×2kmの小領域に分割して、それぞれの小領域での滑り角と滑り量を推定した。また、震源域の北東部に見られる北西傾斜の余震を通るような北西傾斜の逆断層を追加したモデルについても検討をおこなった。

第6図は、今回推定した3種類の断層モデルと前回の予知連で最有力とした矩形断層モデルの比較表である。地殻変動のデータに関するフィッティングと推定された滑り分布という2つの観点から各モデルを評価した。地殻変動データとの整合性の観点から見ると、モデル3が最も整合的であるが、この4つのモデルの差はそれほど小さくなく、データの残差のみから断層モデルの優劣を決めることは難しい。

滑り分布を比較すると、半無限媒質を仮定したモデル1では、断層面上での滑りが大きくばらついており、現実的な滑り分布とは考えられない。また、成層構造媒質を仮定したモデル2においても、震源域北東部の1点に収束するような滑り分布を示しており、不自然な点が残る。南西傾斜断層に加えて震源域北東部で北西傾斜断層を仮定したモデル3においては、比較的単純な滑り分布が得られ、滑りの大きな領域の周辺域で余震が活発なように見える。以上、総合的に考えると、震源断層モデルとしては、モデル3が有力である。また、モデル1とモデル2の比較から、この地域では、地殻構造による地殻変動理論値の計算に与える影響は大きいことが明らかになった。

[震源断層モデル1 南東傾斜（半無限媒質）]

第7～12図は、第1の断層モデルで、余震分布から決定した南東傾斜の断層面を用い、半無限媒質を仮定して地殻変動の理論値を計算したものである。第7図にGPSとの比較、第8図に水準測量との比較、第9図にDescending軌道からのSAR干渉画像との比較、第10図にAscending軌道からのSAR干渉画像との比較、第11図に観測値から計算値を差し引いたSAR干渉画像の残差を示した。第12図は、推定された滑り分布と余震分布を比較したものである。

[震源断層モデル2 南東傾斜（成層媒質）]

第13～18図は、第2の断層モデルで、モデル1と同じ南東傾斜の断層面を用い、成層媒質を仮定して地殻変動の理論値を計算したものである。なお、成層媒質の構造は、東京大学地震研究所等で余震分布の決定に用いた地震波速度構造に準拠している。

第13図にGPSとの比較、第14図に水準測量との比較、第15図にDescending軌道からのSAR干渉画像との比較、第16図にAscending軌道からのSAR干渉画像との比較、第17図に観測値から計算値を差し引いたSAR干渉画像の残差を示した。第18図は、推定された滑り分布と余震分布を比較したものである。

[震源断層モデル3 南東 + 北西傾斜 (成層媒質)]

第19~26図は、第3の断層モデルで、モデル1, 2と同じ南東傾斜の断層面に北西傾斜の断層面(震源域北東部のみ)を追加し、モデル2と同じ成層媒質を仮定して地殻変動の理論値を計算したものである。

第19図にGPSとの比較、第20図に水準測量との比較、第21図にDescending軌道からのSAR干渉画像との比較、第22図にAscending軌道からのSAR干渉画像との比較、第23図に観測値から計算値を差し引いたSAR干渉画像の残差を示した。第24~25図は、推定された滑り分布と余震分布を比較したものである。第26図は、設定した断層面のうち概ね滑り量1m以上の領域を長方形で近似した面を模式的に示した概念図である。

[西山丘陵での隆起 新潟県中越沖地震]

第27~29図は、新潟県中越沖地震に伴って西山丘陵西側斜面での帯状隆起に関する資料である。第28図に詳細な説明を記したので、以下では簡単な説明を記す。図1は、中越沖地震本震の震源断層(断層モデル3)による理論地殻変動を取り除いた干渉図を周辺の地質構造とともに示したものである。隆起域は小木ノ城背斜の西翼のみに存在し、隆起域の西端が常楽寺断層およびその南延長に位置していることがわかる。

図3は、図1に示したA-A からD-D 断面での2つの視線方向を通る面上での変動ベクトル図である。この図から、隆起域では西向きの水平変動を伴い、小木ノ城背斜の約1km西方で変動方向が急変するという特徴が明らかであり、変動方向が急変する位置付近に上端を持つ南東傾斜の逆断層でのすべりで、合理的に説明できる(図3, 図4)。SAR及び水準測量データから南東傾斜の逆断層のパラメータを推定すると、浅部(深さ0.1-1.2km)の逆断層が約10cm動いたと推定される(図4)。図5は、隆起域を横切る水準路線の上下変動を表す。水準点3749は、今回地震に伴って約4cm隆起したが、周囲の水準点に対して過去40年以上にわたり隆起傾向があったことがわかる。

地震に伴ってこのような急激な活褶曲の成長が原因としては、以下のような

(1) 中越沖地震断層のすべりによる応力再配分の結果、西北西 東南東方向の応力が増加したため非地震性滑りが加速された。

(2) 中越沖地震断層のうち北西傾斜断層面が低角化し、小木ノ城背斜の下部まですべりが達したことにより、非地震性滑りが加速された。

2つの可能性が考えられる。図6は、本震の震源断層モデル(断層モデル3)による浅部での南東傾斜の逆断層(図4)に対するクーロン応力変化を計算したものである。隆起域は、概ね応力変化が正の領域に対応していることがわかる。

[GPS 高度地域基準点測量 (繰り返し観測) 中越]

第30～31図は，中越地区の三角点のGPS繰り返し観測の結果である．2004年10月23日の平成16年(2004年)新潟県中越地震(M6.8)及び2007年7月16日の平成19年(2007年)新潟県中越沖地震(M6.8)の影響が見られる．中越沖地震の際に海岸沿いの多くの三角点が北西に動いたのに対し，震源に近い椎谷(観音岬)の三角点が東南東方向に動いたため，海岸沿いの三角網は北西 - 南東方向の縮みとなっている．

[GPS 石川県能登地方の地震]

第32～33図は 2008年1月26日に発生した石川県能登地方の地震(M4.8)に伴う地殻変動が，GPSで観測されたかどうかを確かめるための図である．GPS基線成分変化時系列では，飛びは見られない．また，地震前後に特に目立った地殻変動は見られない．

[水準測量 中京地方]

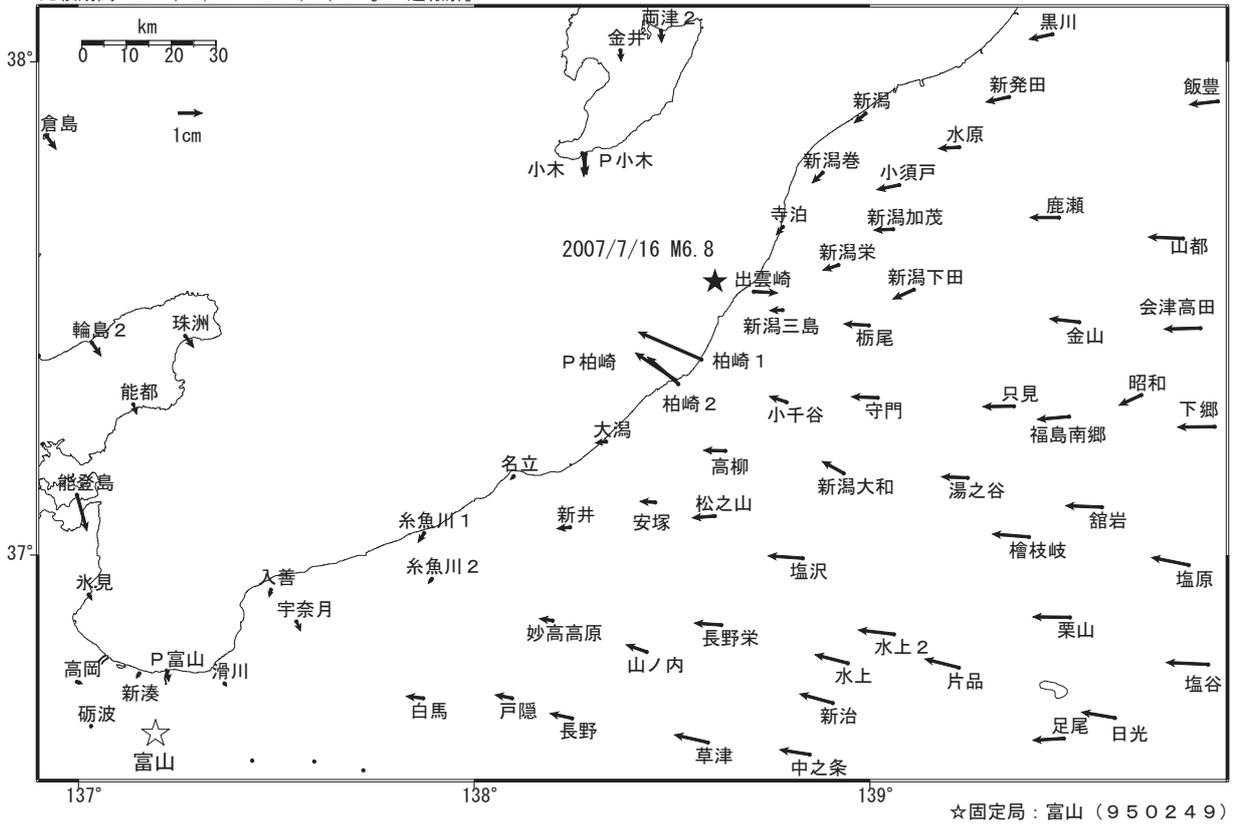
第34図は中京地方の水準測量結果である．顕著な変動は見られない．

参 考 文 献

- 1) 国土地理院，2004，中部・近畿地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，72，510-514．
- 2) 国土地理院，2005，北陸地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，73，269-317．
- 3) 国土地理院，2005，中部・近畿地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，73，426-463．
- 4) 国土地理院，2005，北陸地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，74，331-345．
- 5) 国土地理院，2005，中部・近畿地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，74，365-380．
- 6) 国土地理院，2006，北陸地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，75，443-450．
- 7) 国土地理院，2006，長岡における絶対重力測定，地震予知連絡会会報，75，451-452．
- 8) 国土地理院，2006，北陸・中部地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，76，446-463．
- 9) 国土地理院，2007，北陸・中部地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，78，424-456．
- 10) 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，79，403-477．

水平変動ベクトル図

基準期間：2007/07/17 - 2007/07/21 [F2:最終解]
 比較期間：2008/02/07 - 2008/02/11 [R2:速報解]

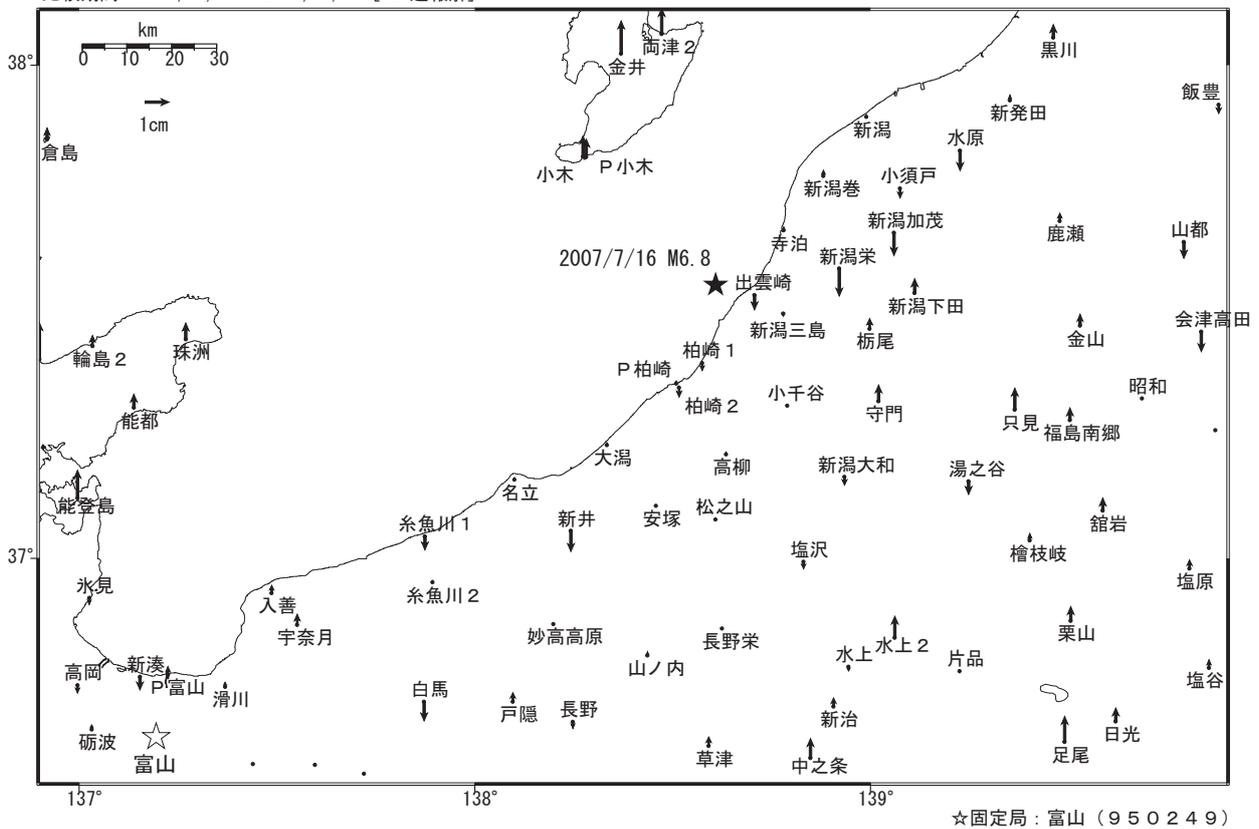


第1図a 中越沖地震後の地殻変動（余効変動，水平変動ベクトル図）

Fig. 1a Crustal deformation after the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 (horizontal displacement).

上下変動ベクトル図

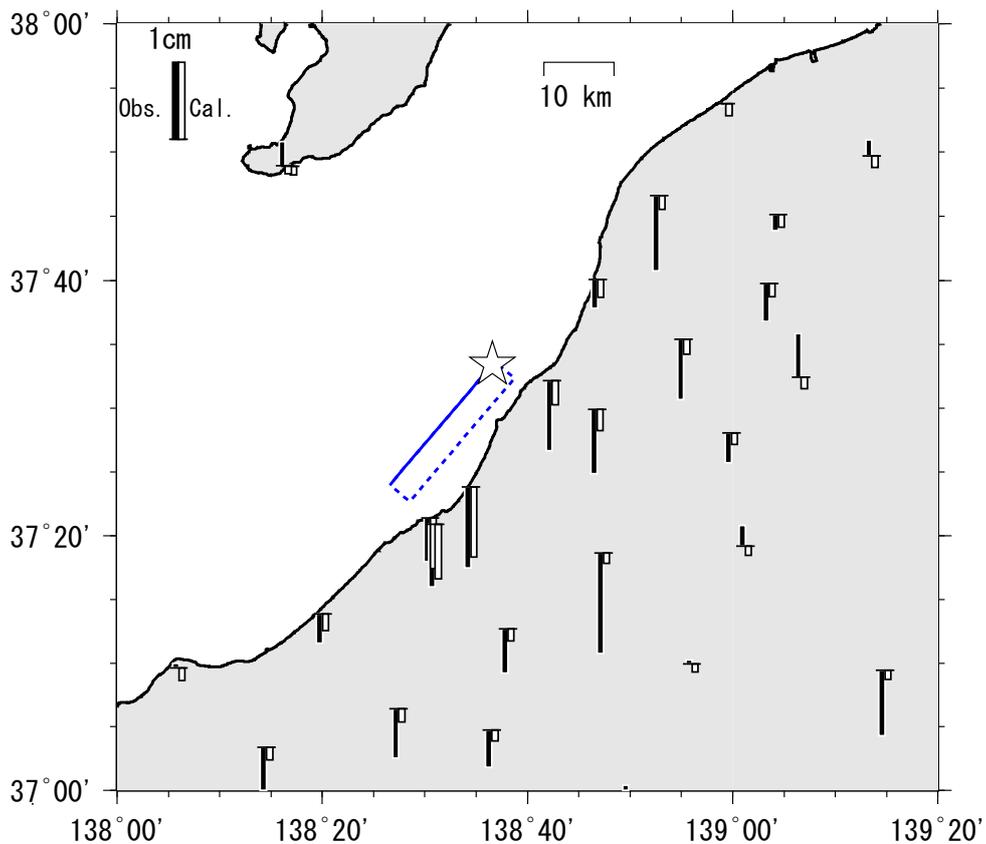
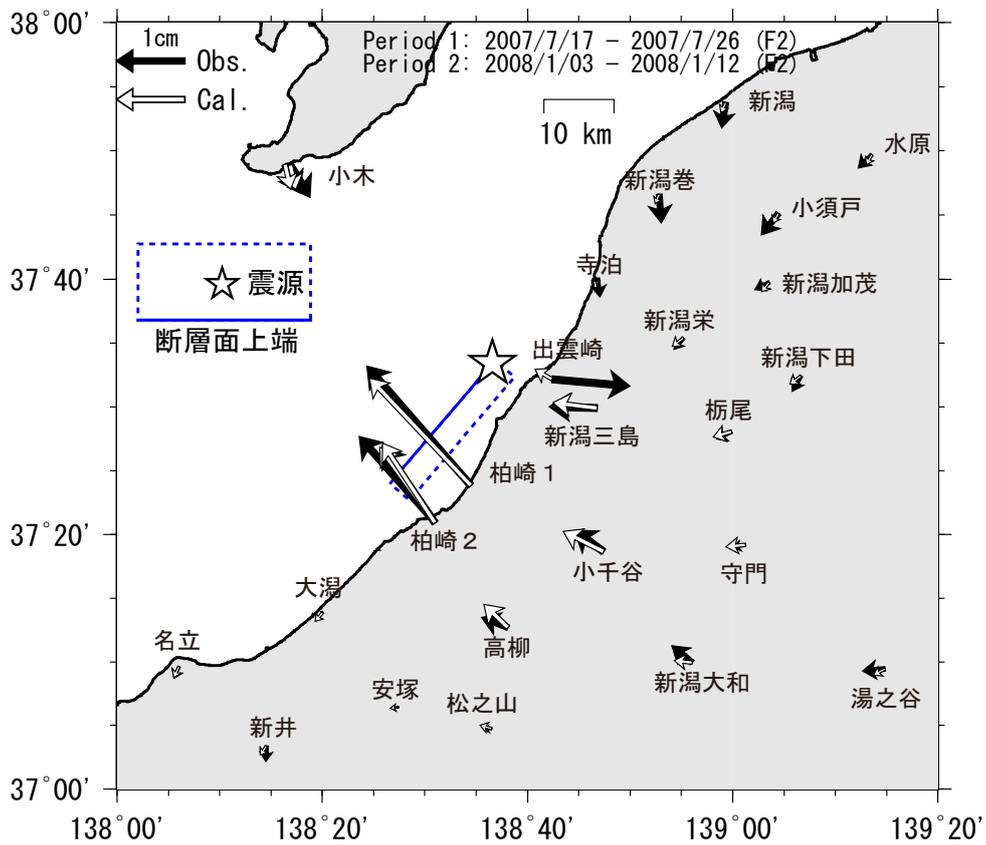
基準期間：2007/07/17 - 2007/07/21 [F2:最終解]
 比較期間：2008/02/07 - 2008/02/11 [R2:速報解]



第1図b 中越沖地震後の地殻変動（余効変動，上下変動ベクトル図）

Fig. 1b Crustal deformation after the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 (vertical displacement).

新潟県中越沖地震余効変動モデル（余効滑りモデル）



37.400 138.443 D 2.6km L 23.4km W 4.9km Strike 40 Dip 40 Rake 82 Slip 0.27m Mw 5.90
 2004年11月-2007年3月の期間でトレンドした時系列を用いている。 (Rigidity:30GPa)

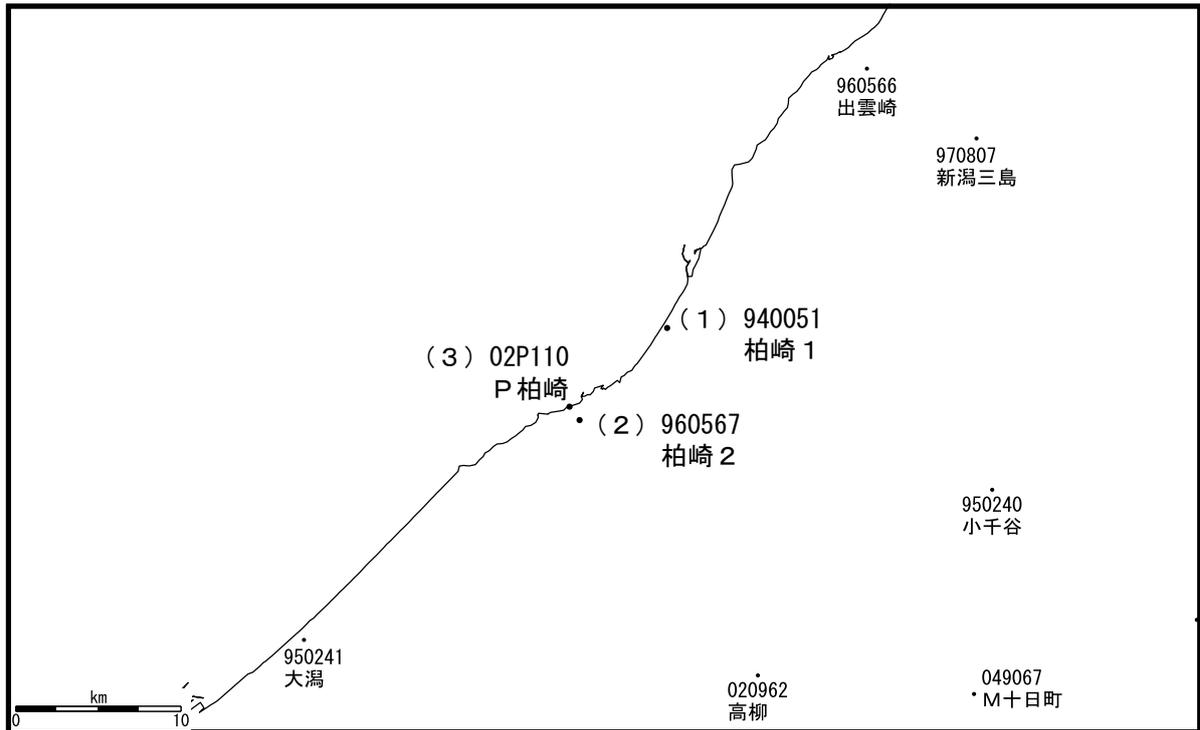
第2図 新潟県中越沖地震の余効滑りモデル

Fig. 2 Models of afterslip of the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007.

平成19年（2007年）新潟県中越沖地震後の地殻変動（1）

GEONETによる平成19年（2007年）新潟県中越沖地震前後の傾斜・年周・半年周グラフ。

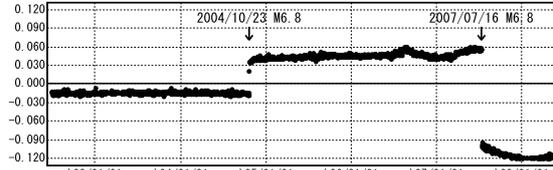
電子基準点配点図



傾斜・半年周・年周補正グラフ（2002年～）

期間：2002/07/01～2008/05/10 JST

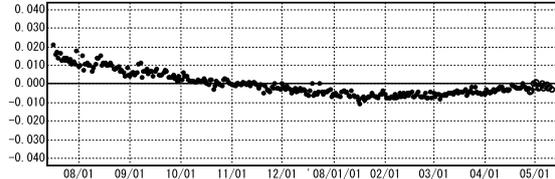
(m) (1) 富山(950249)→柏崎1(940051) 東西 基準値：122733.687m



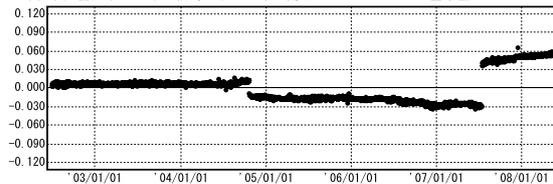
傾斜・半年周・年周補正グラフ（地震後）

期間：2007/07/16～2008/05/10 JST 計算期間：2002/07/01～2004/07/01

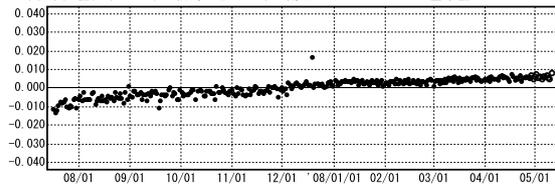
(m) (1) 富山(950249)→柏崎1(940051) 東西 基準値：122733.558m



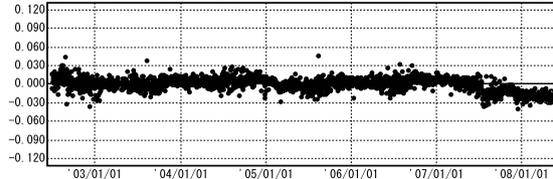
(m) (1) 富山(950249)→柏崎1(940051) 南北 基準値：84717.510m



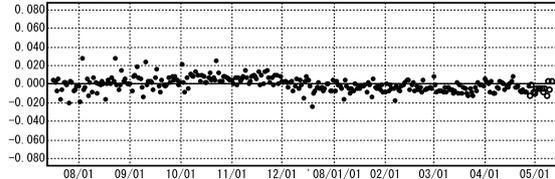
(m) (1) 富山(950249)→柏崎1(940051) 南北 基準値：84717.559m



(m) (1) 富山(950249)→柏崎1(940051) 比高 基準値：-24.980m



(m) (1) 富山(950249)→柏崎1(940051) 比高 基準値：-24.992m



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

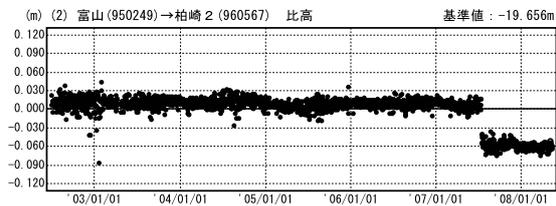
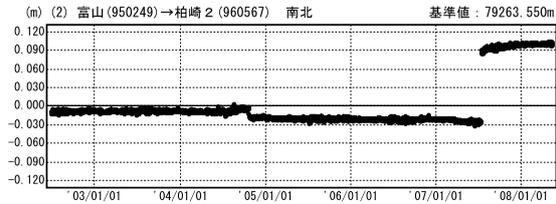
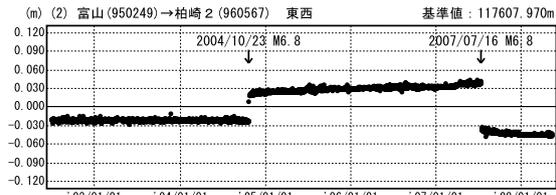
第3図 新潟県中越沖地震以降の地殻変動（1/3）

Fig. 3 Time series of baseline length from GEONET solution after removing trend, annual and semiannual terms. (1/3)

平成19年（2007年）新潟県中越沖地震後の地殻変動（2）

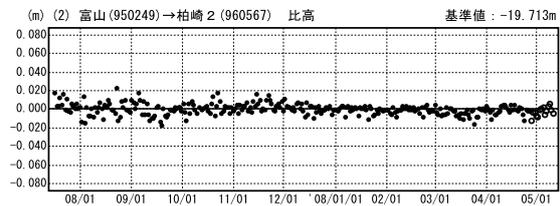
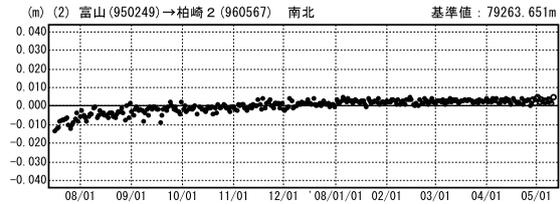
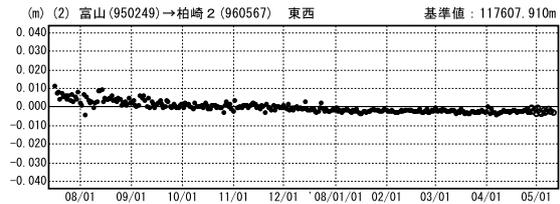
傾斜・半年周・年周補正グラフ（2002年～）

期間：2002/07/01～2008/05/10 JST



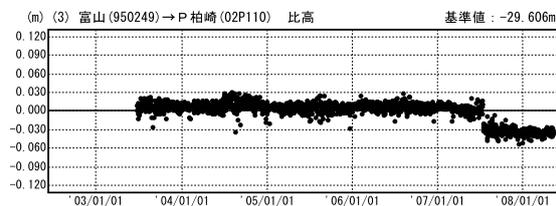
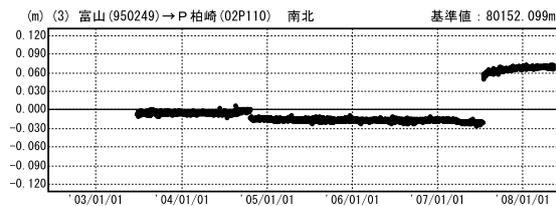
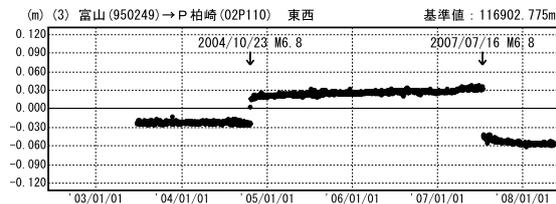
傾斜・半年周・年周補正グラフ（地震後）

期間：2007/07/16～2008/05/10 JST 計算期間：2002/07/01～2004/07/01

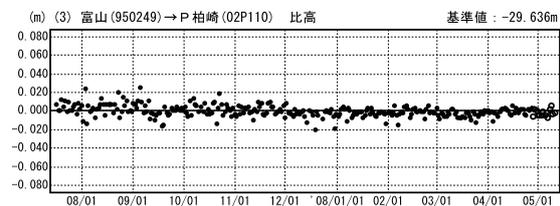
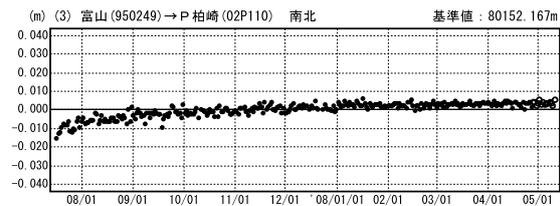
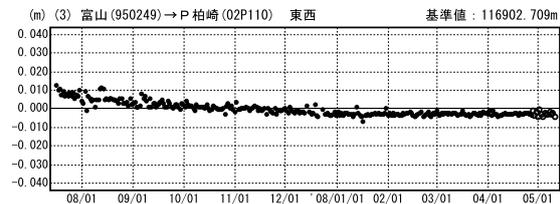


● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解] ※「柏崎 2」の傾斜による変位は補正しています。

期間：2002/07/01～2008/05/10 JST



期間：2007/07/16～2008/05/10 JST 計算期間：2002/07/01～2004/07/01



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

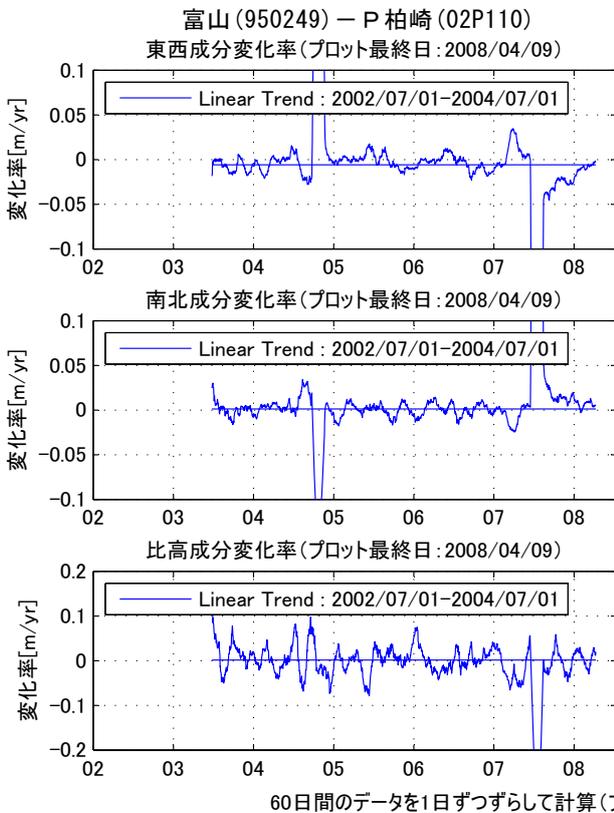
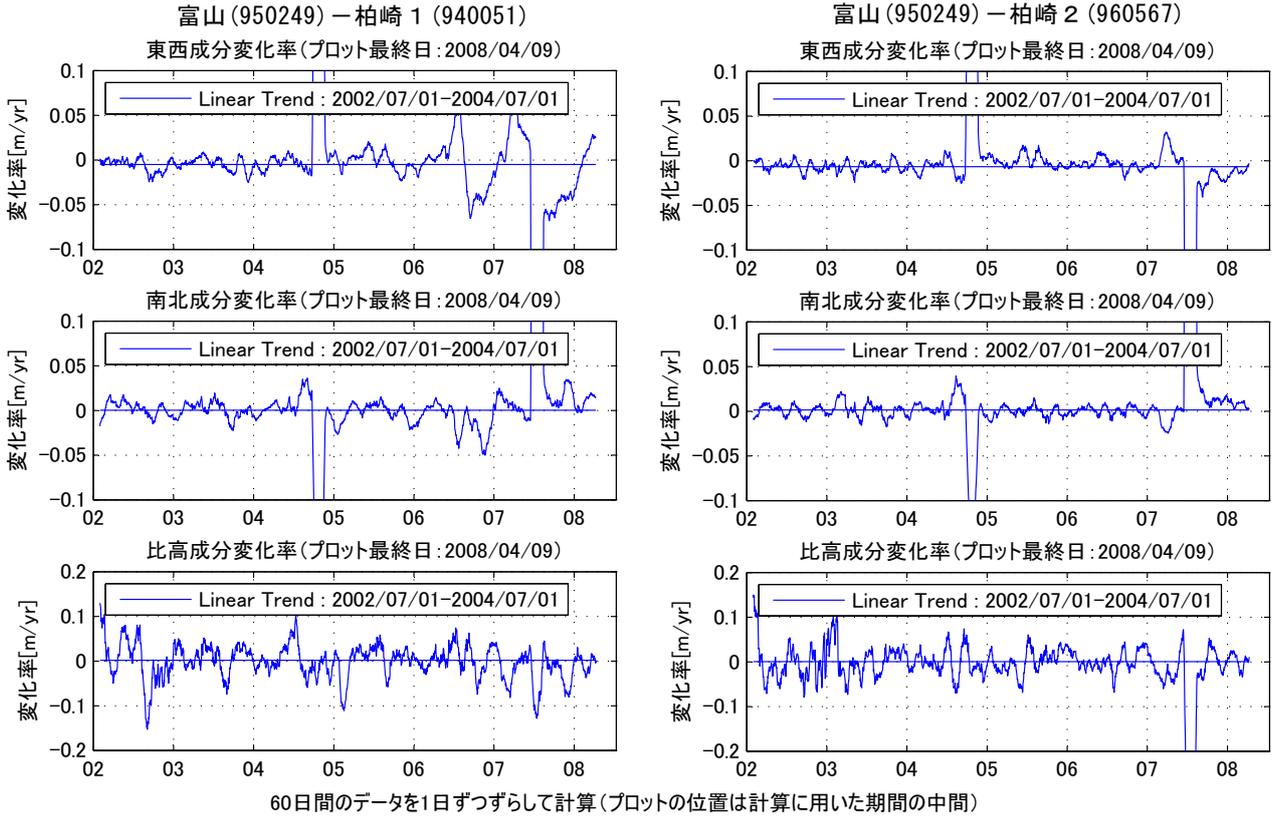
第 4 図 新潟県中越沖地震以降の地殻変動（2/3）

Fig. 4 Time series of baseline length from GEONET solution after removing trend, annual and semiannual terms. (2/3)

平成19年(2007年)新潟県中越沖地震後の地殻変動(3)

GEONETによる平成19年(2007年)新潟県中越沖地震前後の基線成分の変化率グラフ。

成分変化率グラフ



東西・南北成分の変化率は、地震前の変化率に戻つつあるが、まだ完全には戻りきっていないとみられる。

第5図 新潟県中越沖地震以降の地殻変動(3/3)

Fig. 5 Time series of baseline length from GEONET solution after removing trend, annual and semiannual terms. (3/3)

余震分布を考慮した地殻変動データに基づく新潟県中越沖地震の震源断層モデル

東京大学地震研究所による海底地震計を用いた新潟県中越沖地震の余震観測の結果、余震分布の多くは南東方向に傾斜して分布することが明らかになった。ここでは、2007年11月27日の地震調査委員会における委員長からの要請に基づき、東京大学地震研究所から提供を受けた余震分布及び地下構造と国土地理院で観測・解析を行なった地殻変動データを統合した震源断層モデルの推定を行なった結果について報告する。

断層モデルの推定には、まず余震分布に合わせるような断層面を仮定した。そして、地殻変動データ(GPS, 干渉SAR, 水準測量)から断層面上での滑り分布をインバージョンで推定した。解析結果は、震源域に近い観音岬などの海岸線付近の地殻変動データ(特に、干渉SARデータ)に大きく依存する。インバージョンには、アセンディング、ディセンディングともに1つのペアしか用いていないが、それ以外の地震を挟むペア(撮影日の異なるデータ)においても、本質的な干渉画像のパターンは同一であり、大気遅延の不均質等によるノイズは小さいことを確認している。

モデル1は、南東傾斜の余震群を通るような長さ32km、幅22kmの面(走向40°, 傾斜40°)を設定し、2km四方の小領域に分割してそれぞれの小領域での滑り量を求めたものである。地殻変動の理論値の計算は、Okada(1985)の半無限媒質を仮定している。滑り分布を滑らかにする拘束条件を課し、ABIC最小化の基準で滑り分布を推定した。モデル2は、地殻変動の理論値計算を表2のような水平成層構造を仮定した計算手法(Wang et al., 2003)に変えたものである。モデル3は、モデル2に余震域の北東側で見られる北西傾斜の地震群を通るような長さ16km、幅16kmの面(走向220°, 傾斜50°)を加えて、滑り分布を推定したものである。

成層構造の影響を正しく評価すれば(モデル2)、余震分布から示された南東傾斜の断層面上での滑りで地殻変動データは説明できる。ただし、推定された滑り分布は、震源域北東部の1点に収束するような方向のすべりとなっており、不自然である。一方、震源域北東部に共役な北西傾斜の断層面を加えると(モデル3)、比較的単純な滑り分布で地殻変動データを説明することができる。南東傾斜の断層面と北西傾斜の断層面の地震モーメントを比較すると、南東傾斜の断層面が約4倍大きい。よって、地殻変動データと余震分布を考慮すると、中越沖地震は南東傾斜の断層と北西傾斜の断層(震源域北東部のみ)が動いたと推定される。

表1. モデルの比較

震源断層モデル	用いた構造	地殻変動データとの整合性	マグニチュード(Mw)	特徴	総合評価
モデル1 余震分布に合わせた南東傾斜の断層面を仮定して滑り分布を推定.	半無限媒質	\triangle $\chi^2=1,167$	6.86	断層面上での滑り分布が大きく乱れていて、現実的ではない.	\times
モデル2 断層面はモデル1と同じ.	成層構造	\circ $\chi^2=1,051$	6.71	モデル1よりは、単純な滑り分布であるが、震源域北東部の1点に収束するような滑り分布が見られ、不自然である.	\triangle
モデル3 モデル1の断層面に加えて、震源域北東部で北西傾斜の断層面を仮定.	成層構造	\circ $\chi^2=961$	6.70 (南東傾斜断層が6.64, 北西傾斜断層が6.24)	比較的単純な分布. 南東傾斜の断層面で滑りの大きな領域は、震源域南西部, 北西傾斜の断層面で滑りの大きな領域は、震源域中央部に位置する.	\circ
参考・矩形モデル3(北西+南東傾斜) 震源域北東部で北西傾斜, 震源域南西部で南東傾斜の矩形断層(一様滑り)を仮定.	半無限媒質	\triangle $\chi^2=1,134$	6.65	海底地震計から得られた余震分布とは整合しない.	\times

表2. 用いた地下構造(水平成層構造, 地震研による海底地震観測結果に用いられた速度構造に準拠)

下端深さ(km)	P波速度(km/s)	S波速度(km/s)	密度(kg/m ³)	剛性率(GPa)
3.25	2.355	0.850	1800	1.30
6.00	3.745	1.764	2400	7.46
7.40	4.976	2.876	2600	21.51
19.41	6.199	3.583	2700	34.67
34.42	6.650	3.844	2900	42.85
∞	8.000	4.620	3300	70.44

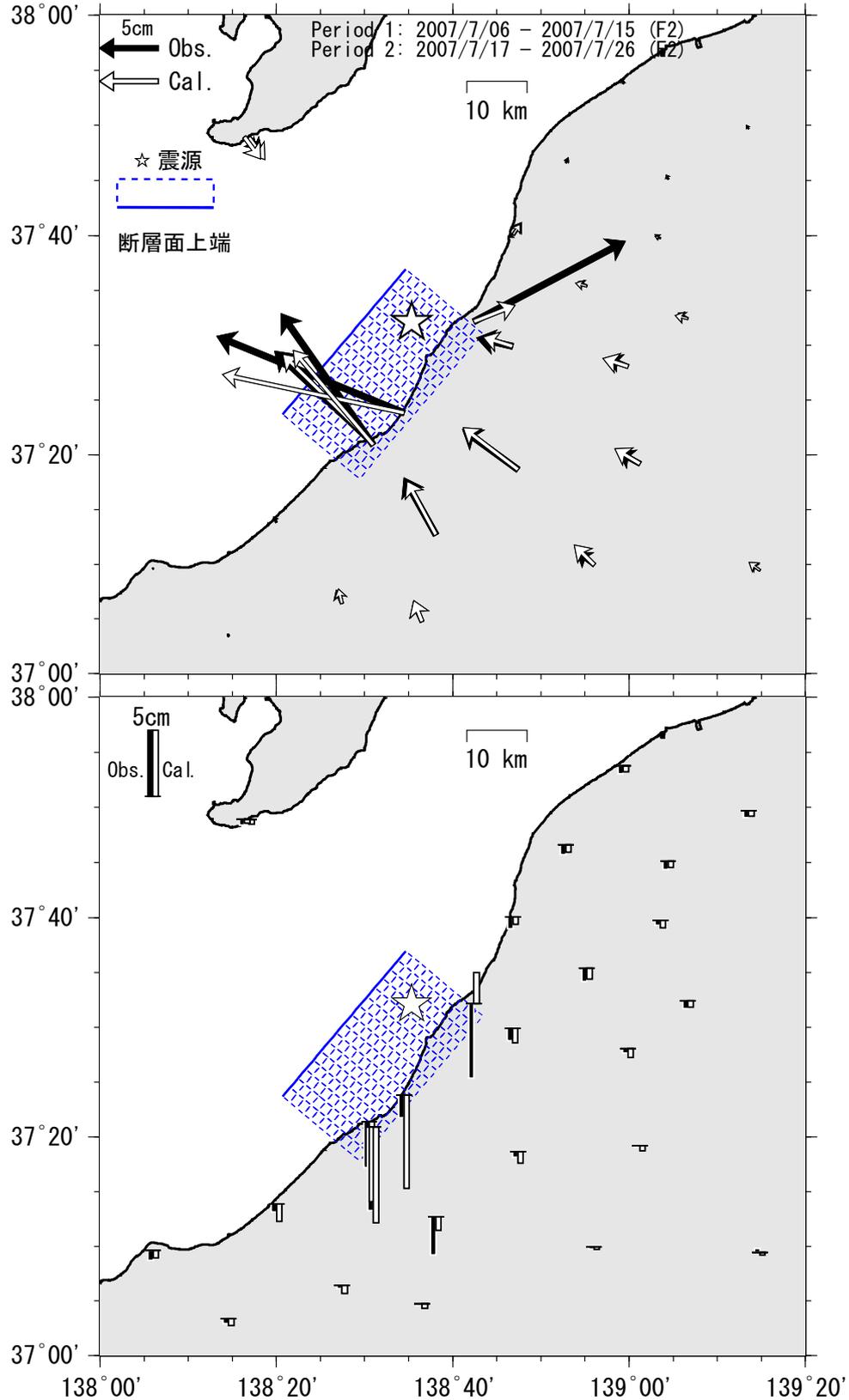
謝辞: 震源と地下構造データは、東京大学地震研究所より提供を受けました。

第6図 地殻変動データに基づく新潟県中越沖地震の震源断層モデルのまとめ

Fig. 6 Comparison of earthquake source fault models of the Chuetsu-oki Earthquake.

平成19年新潟県中越沖地震

南東傾斜震源断層モデル(半無限媒質)と地殻変動<電子基準点観測との比較>

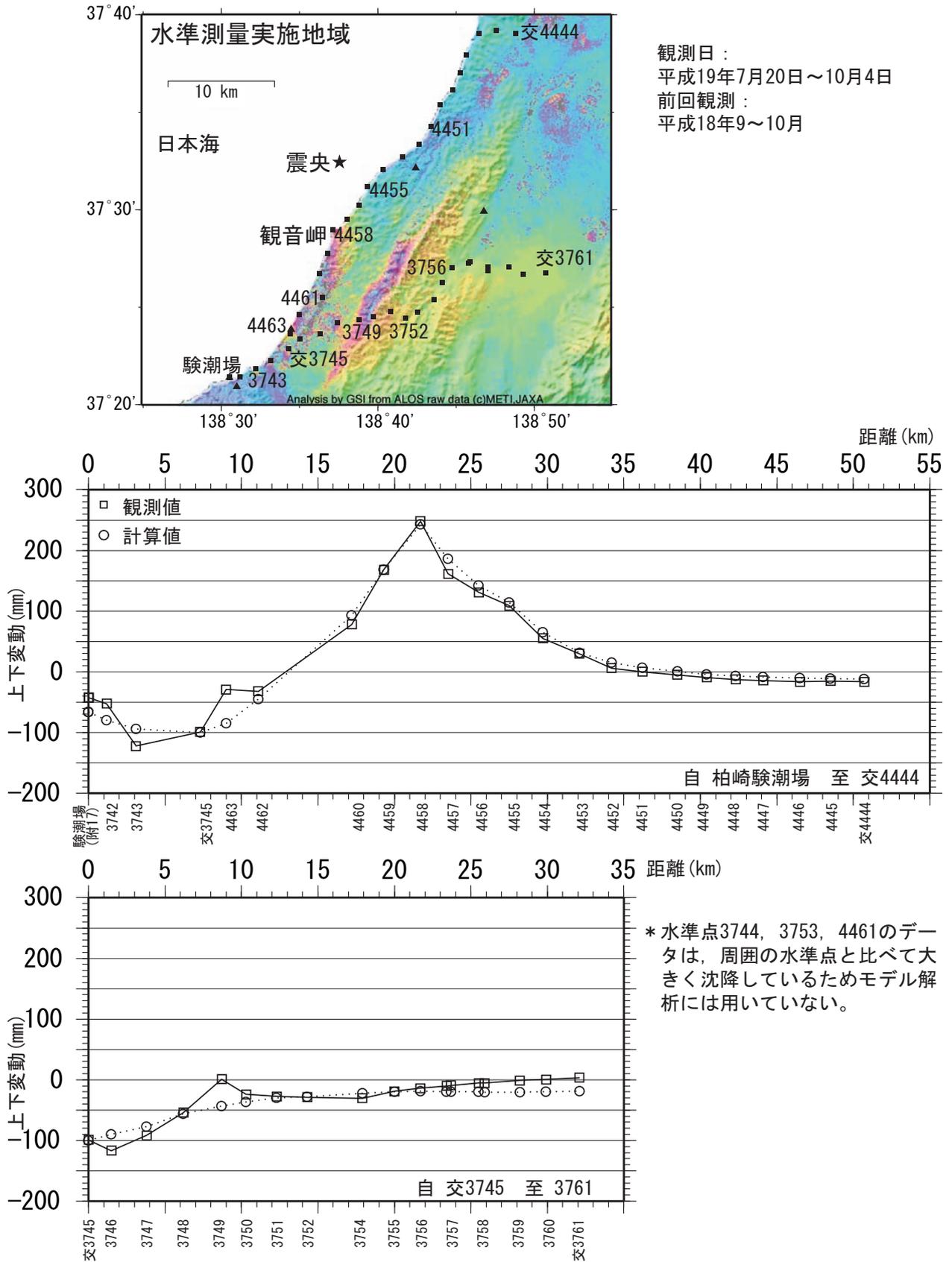


m1-1

第7図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（半無限媒質）と地殻変動

Fig. 7 Comparison of horizontal and vertical displacements between GPS observation and model calculation (Case of the model of a southeast-dipping fault with a homogeneous half-space medium).

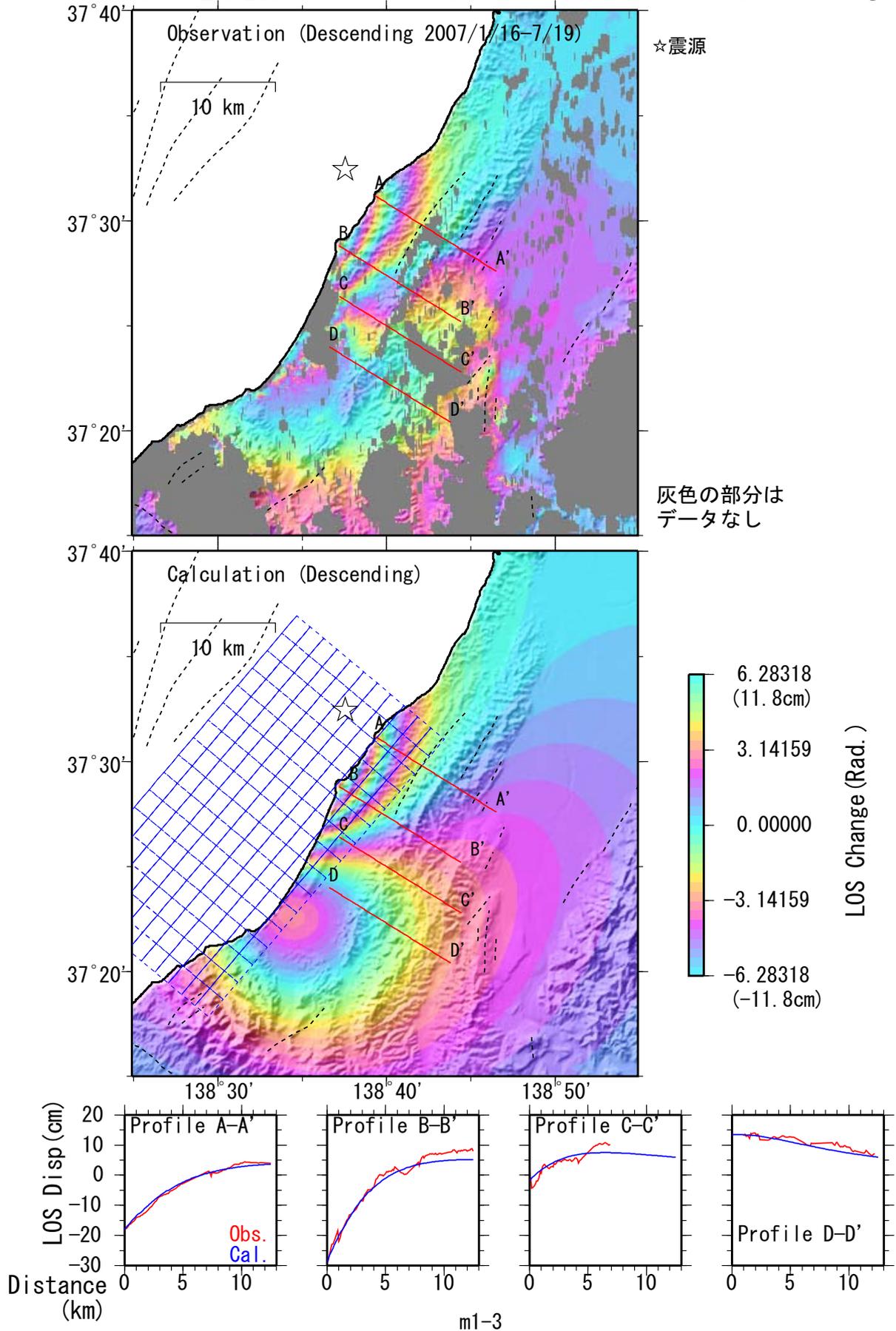
平成19年新潟県中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル(半無限媒質)と水準測量



m1-2

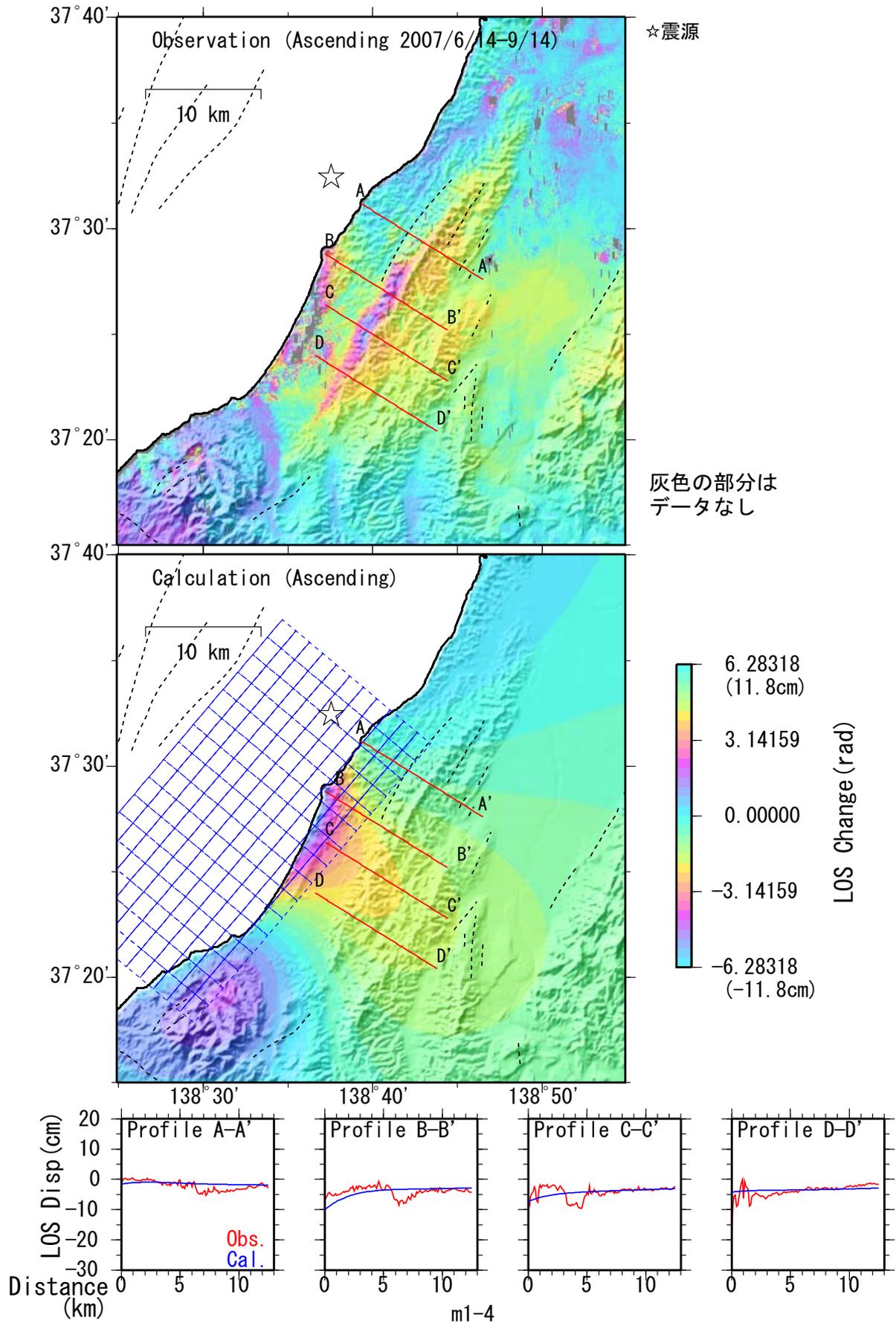
第8図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（半無限媒質）と水準測量

Fig. 8 Comparison of vertical displacements between leveling observation and model calculation (Case of the model of a southeast-dipping fault with a homogeneous half-space medium).



第9図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（半無限媒質）とInSAR画像（Descending）

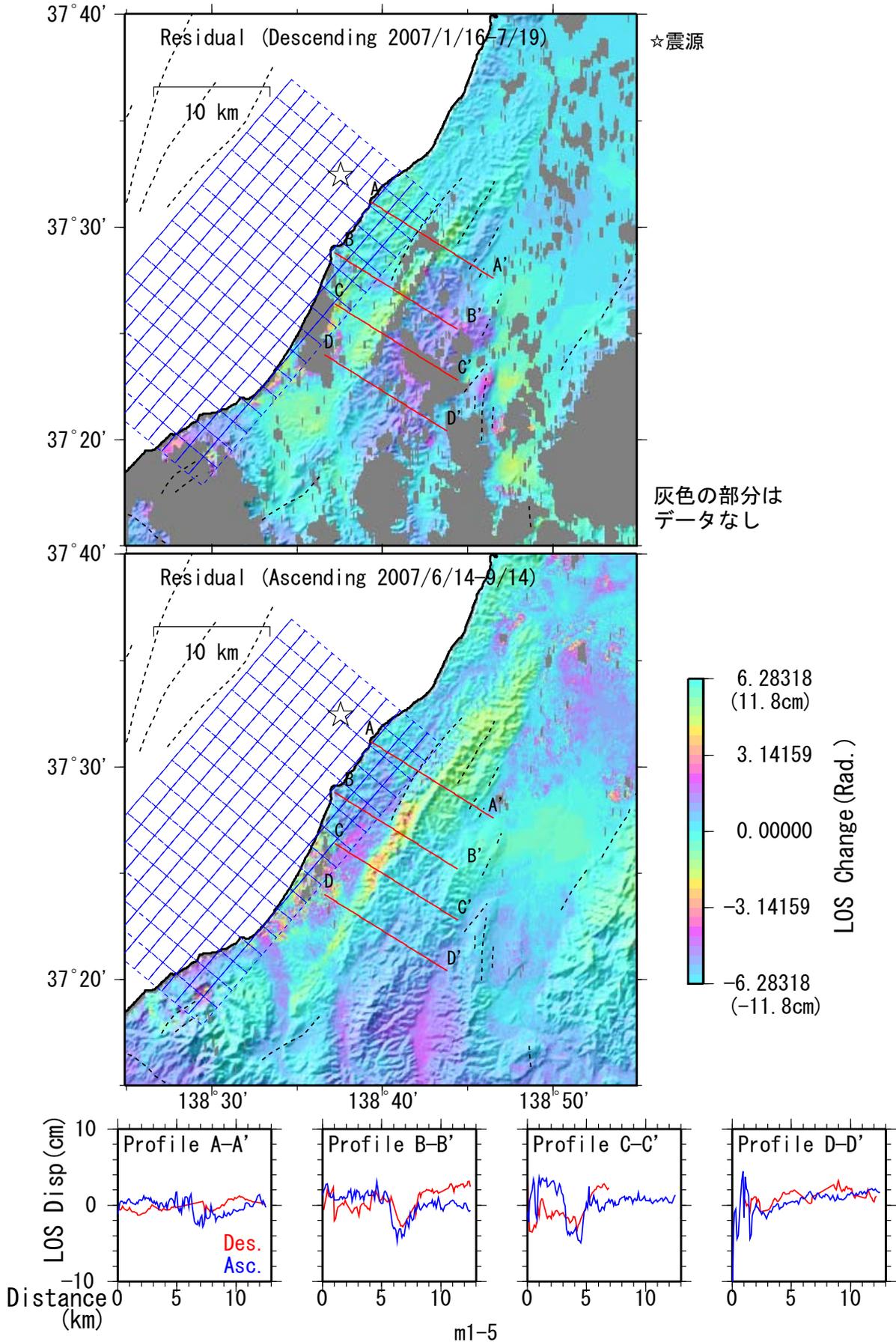
Fig. 9 Comparison of SAR interferograms between observation and model calculation for descending orbit (Case of the model of a southeast-dipping fault with a homogeneous half-space medium).



第10図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（半無限媒質）とInSAR画像（Ascending）

Fig. 10 Comparison of SAR interferograms between observation and model calculation for ascending orbit (Case of the model of a southeast-dipping fault with a homogeneous half-space medium).

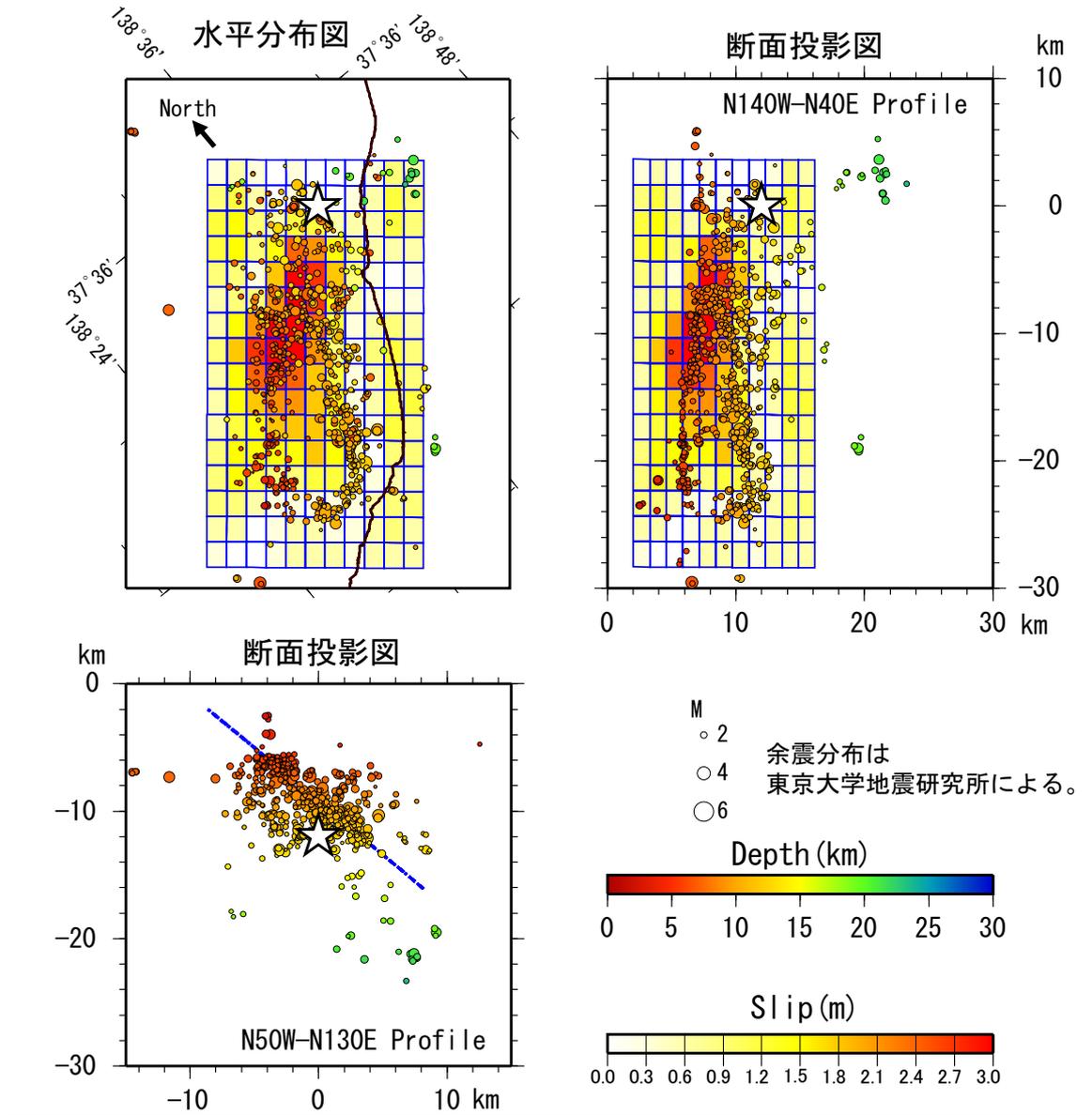
平成19年新潟県中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル(半無限媒質)とInSAR画像(残差)



第11図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（半無限媒質）とInSAR画像（残差）

Fig. 11 Residual interferograms (observation minus calculation) (Case of the model of a southeast-dipping fault with a homogeneous half-space medium).

平成19年新潟県中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル(半無限媒質)と地震分布の位置関係



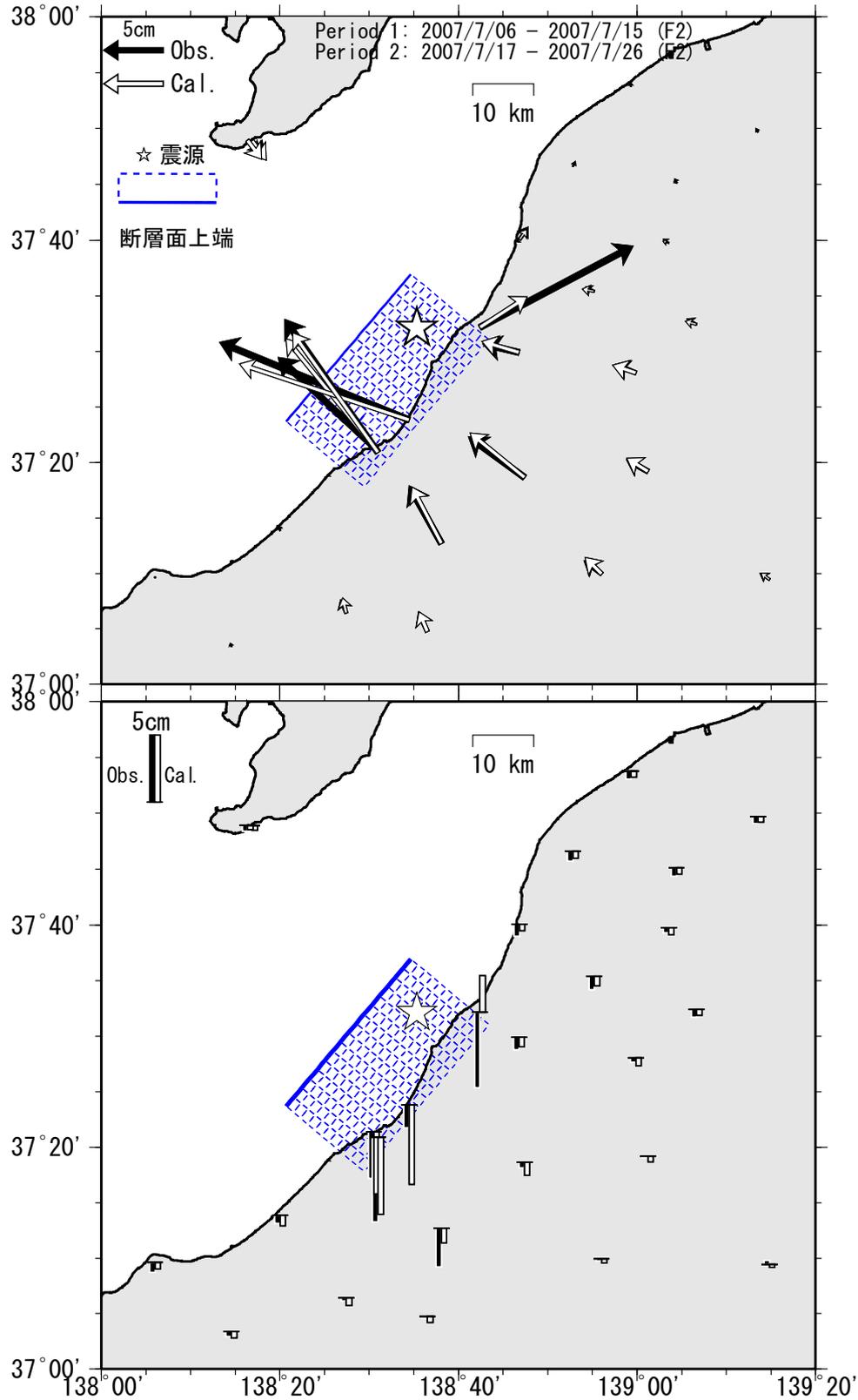
m1-6

第12図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（半無限媒質）と地震分布の位置関係

Fig. 12 Locations of the model fault and hypocenters of aftershocks (Case of the model of a southeast-dipping fault with a homogeneous half-space medium).

平成19年新潟県中越沖地震

南東傾斜震源断層モデル(成層媒質)と地殻変動<電子基準点観測との比較>

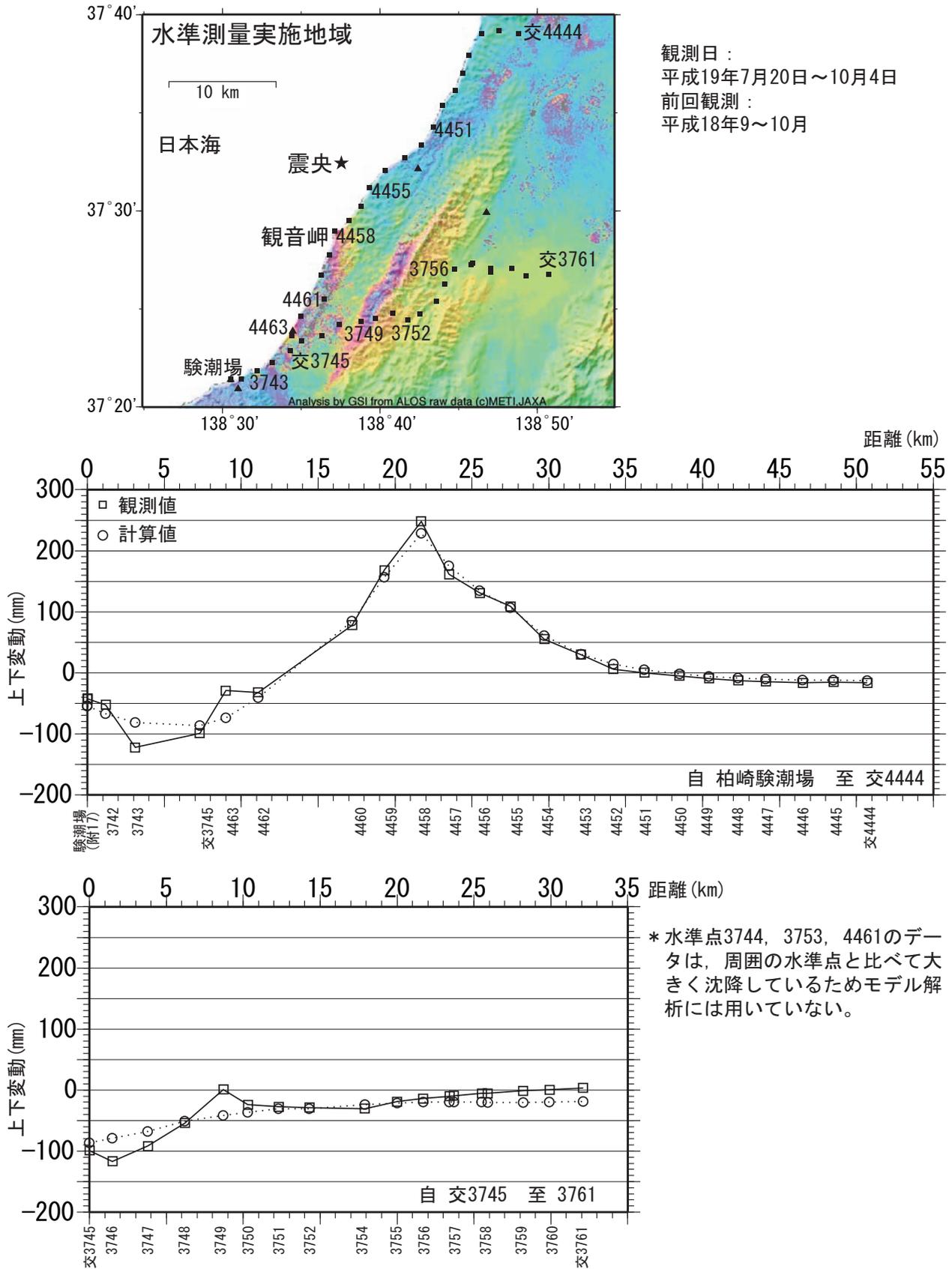


m2-1

第13図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地殻変動（電子基準点観測との比較）

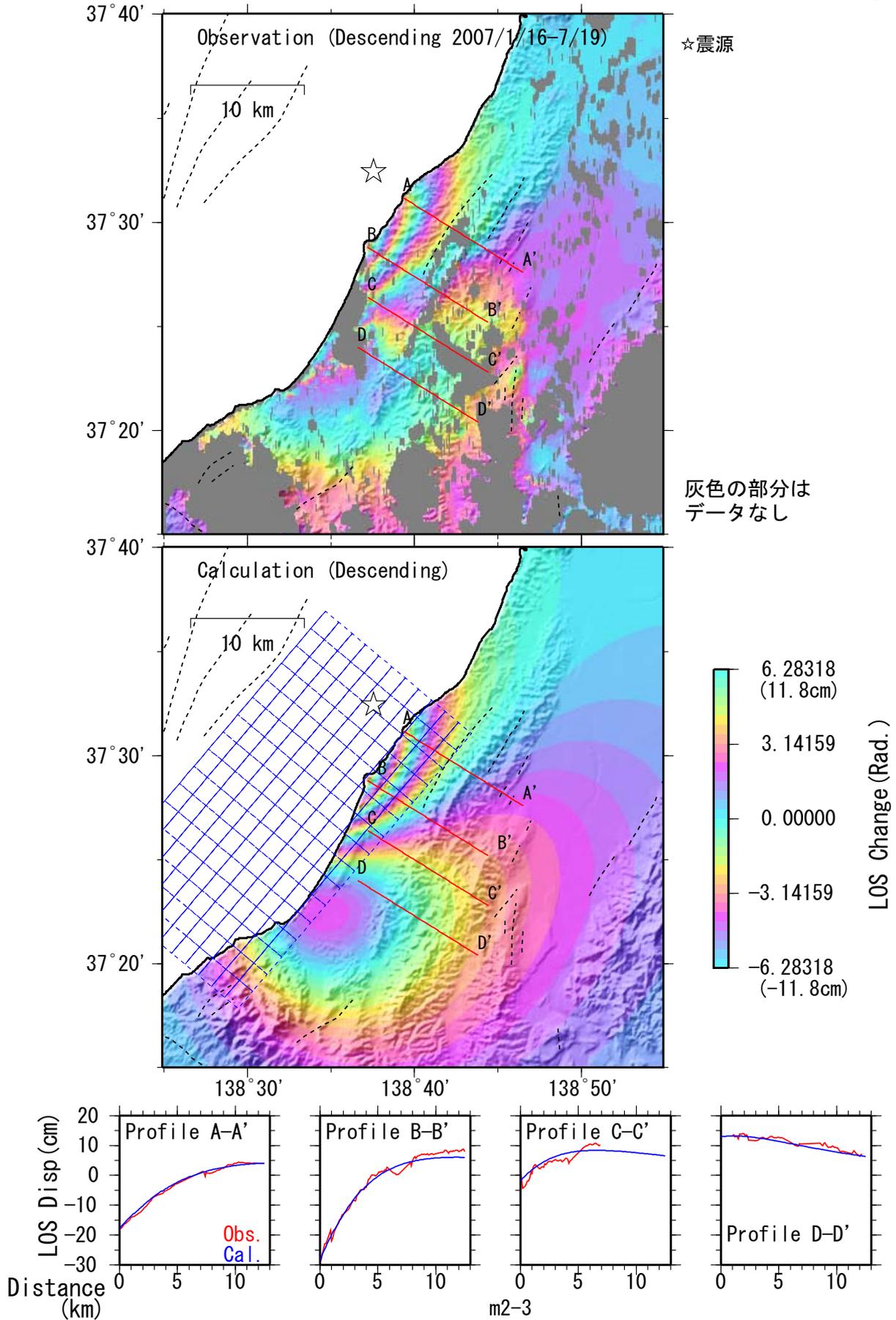
Fig. 13 Comparison of horizontal and vertical displacements between GPS observation and model calculation. (Case of the model of a southeast-dipping fault with a layered half-space medium).

平成19年新潟県中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル(成層媒質)と水準測量



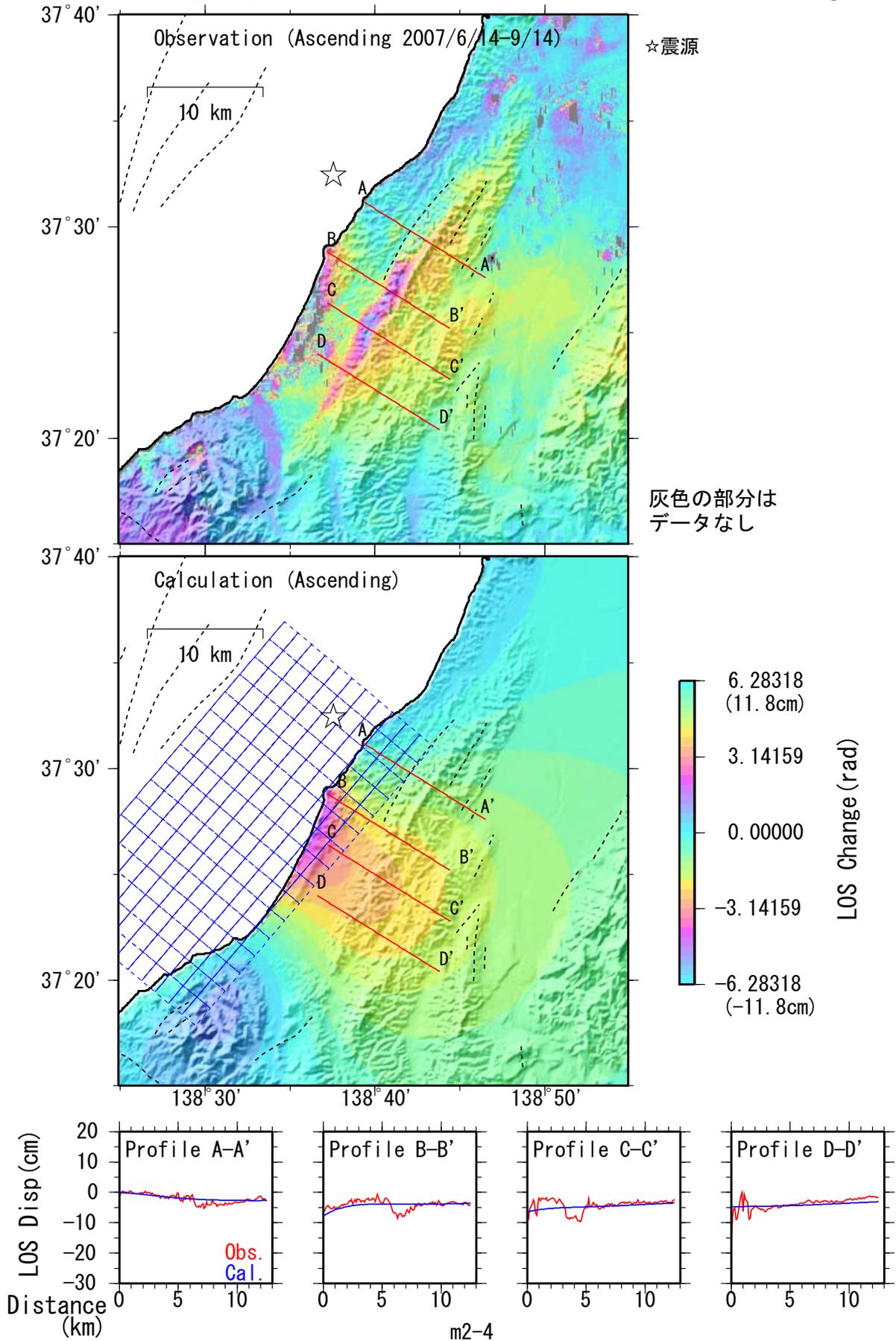
m2-2

第14図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）と水準測量（電子基準点観測との比較）
Fig. 14 Comparison of vertical displacements between leveling observation and model calculation (Case of the model of a southeast-dipping fault with a layered half-space medium).



第15図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）とInSAR画像（Descending）

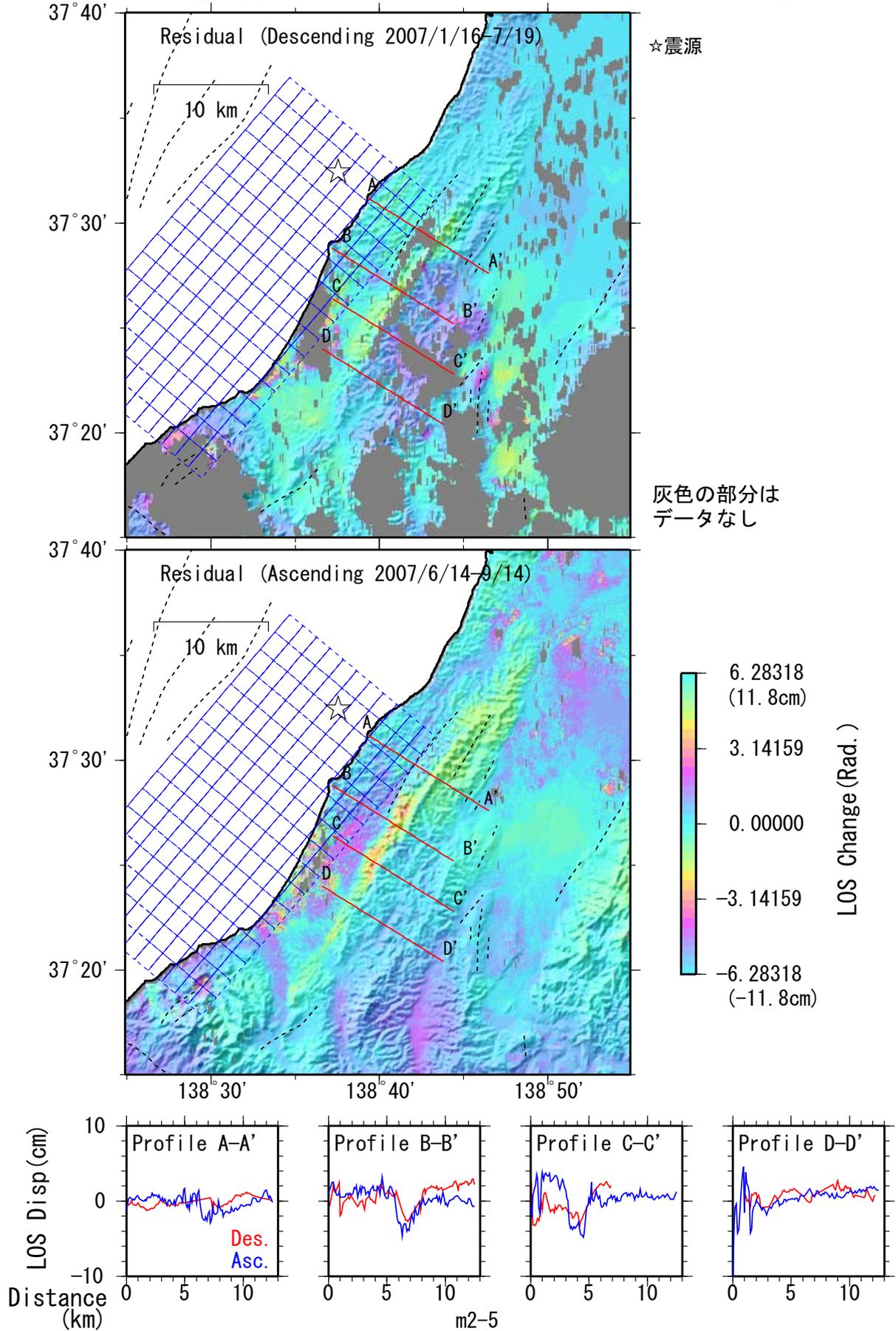
Fig. 15 Comparison of SAR interferograms between observation and model calculation for descending orbit (Case of the model of a southeast-dipping fault with a layered half-space medium).



第16図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）とInSAR画像（Ascending）

Fig. 16 Comparison of SAR interferograms between observation and model calculation for ascending orbit (Case of the model of a southeast-dipping fault with a layered half-space medium).

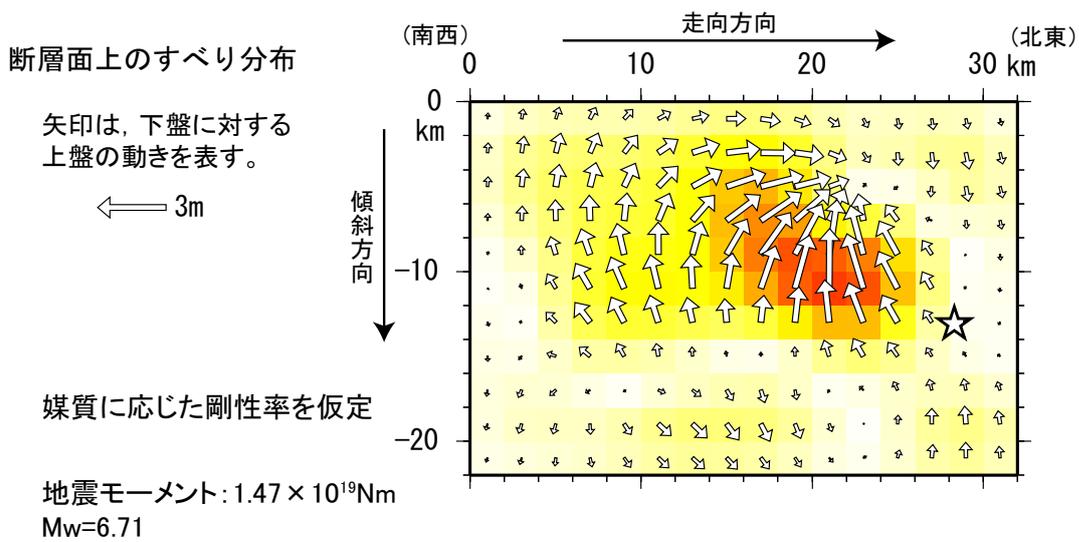
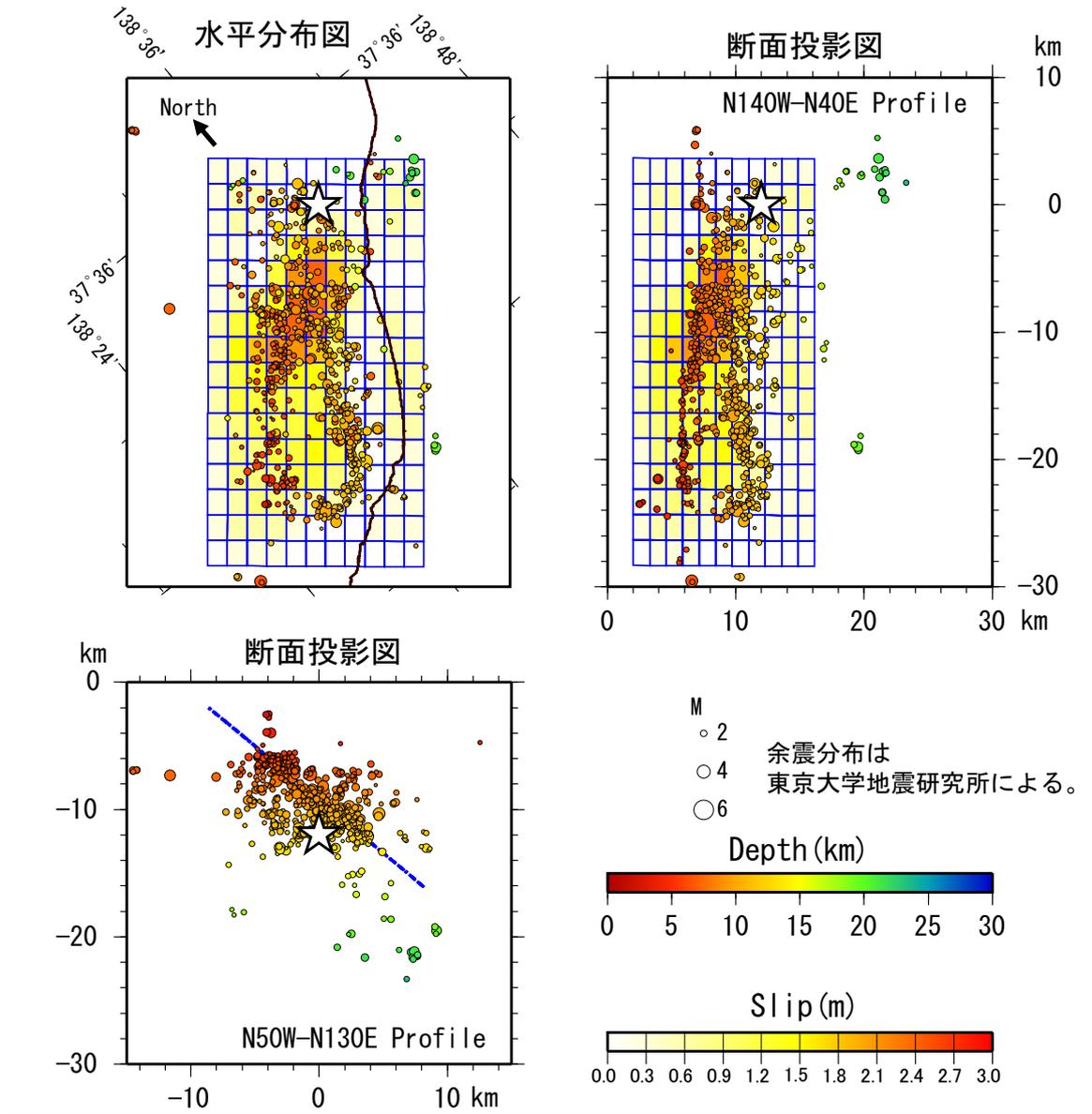
平成19年新潟県中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル(成層媒質)とInSAR画像(残差)



第17図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）とInSAR画像（残差）

Fig. 17 Residual interferograms (observation minus calculation) (Case of the model of a southeast-dipping fault with a layered half-space medium).

平成19年新潟県中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地震分布の位置関係



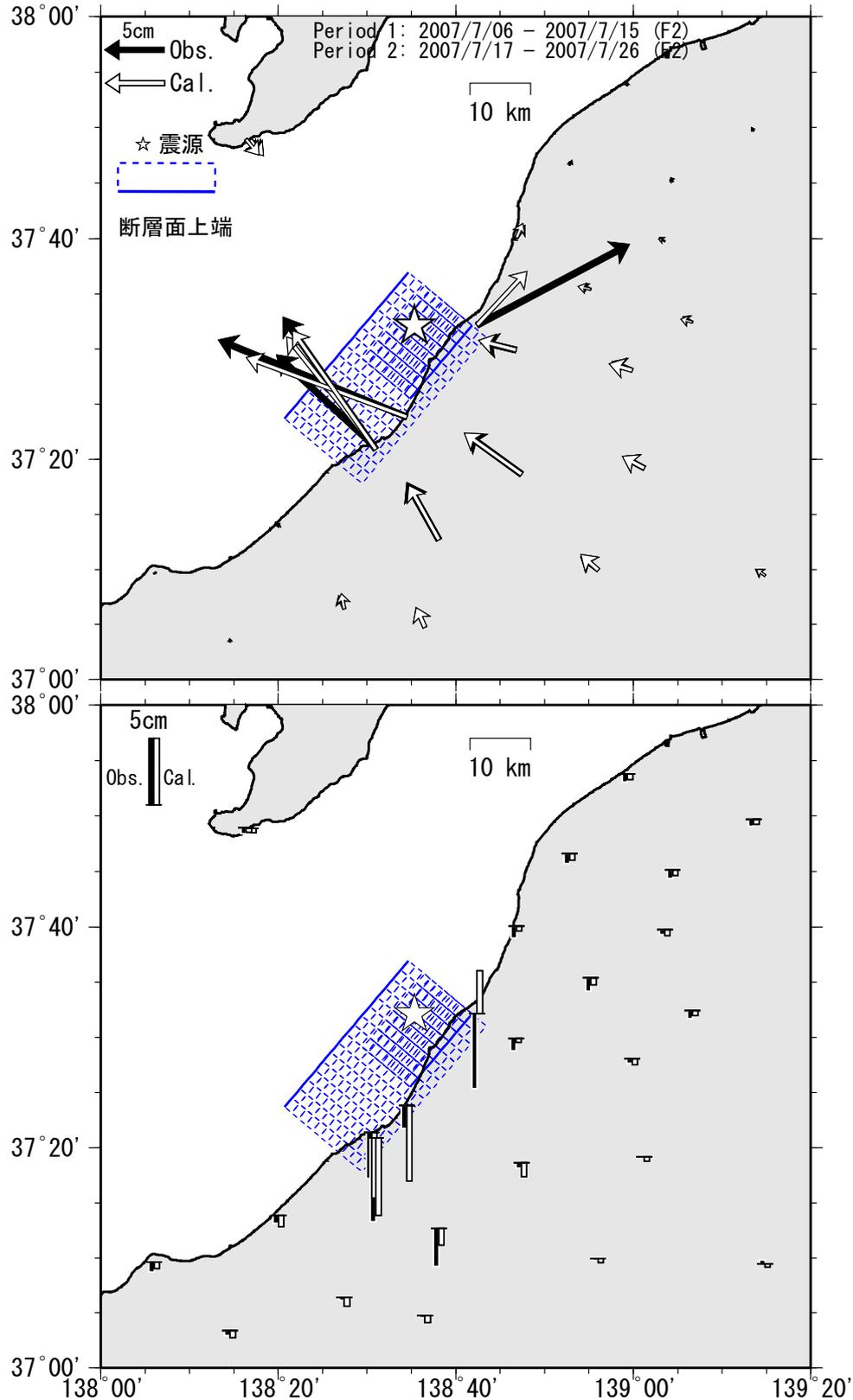
m2-6

第18図 中越沖地震 南東傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地震分布の位置関係

Fig. 18 Locations of the model fault and hypocenters of aftershocks (Case of the model of a southeast-dipping fault with a layered half-space medium).

平成19年新潟県中越沖地震

南東＋北西傾斜震源断層モデル(成層媒質)と地殻変動<電子基準点観測との比較>

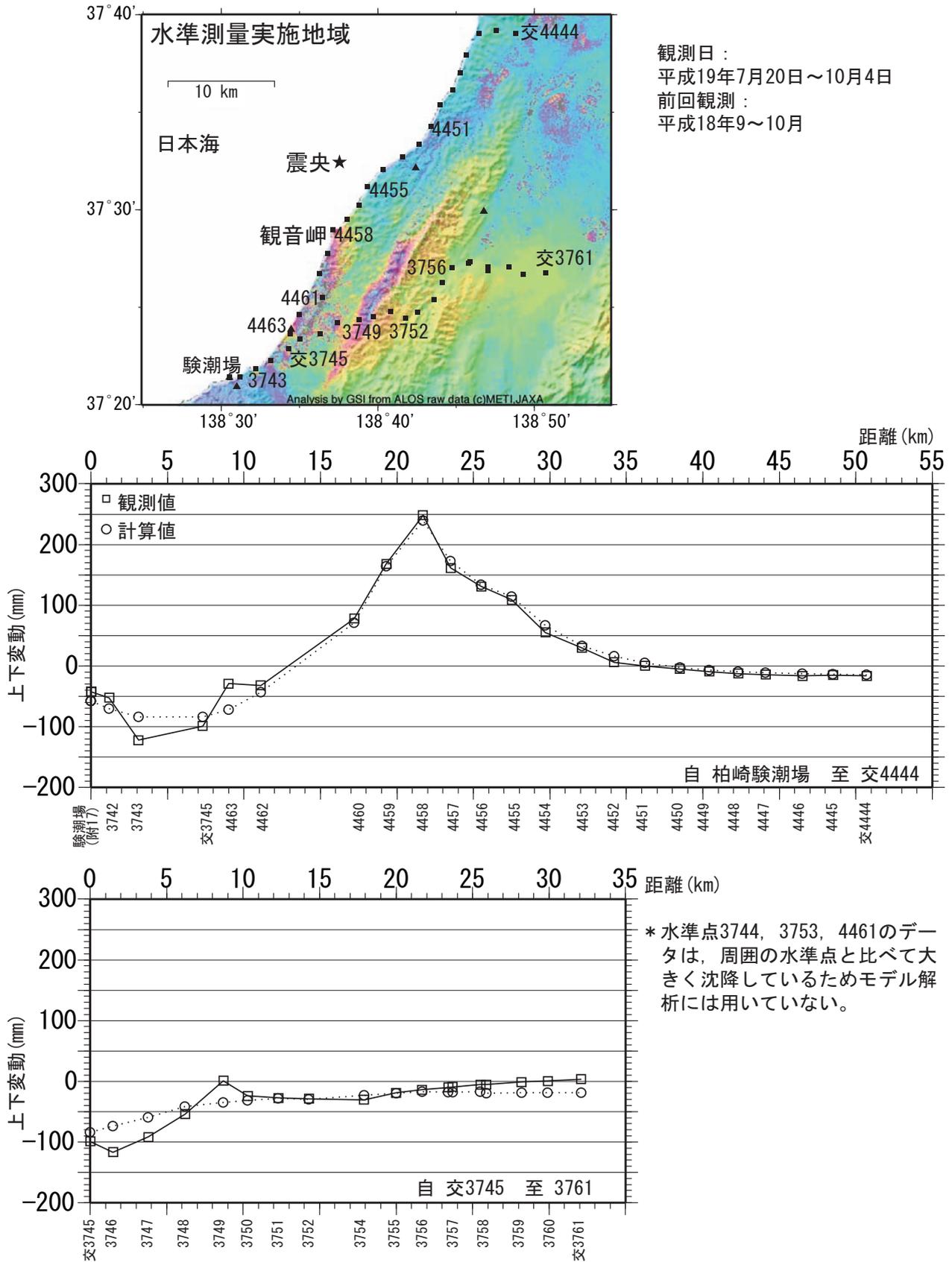


m3-1

第19図 中越沖地震 南東＋北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地殻変動（電子基準点観測との比較）

Fig. 19 Comparison of horizontal and vertical displacements between GPS observation and model calculation (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a layered half-space medium).

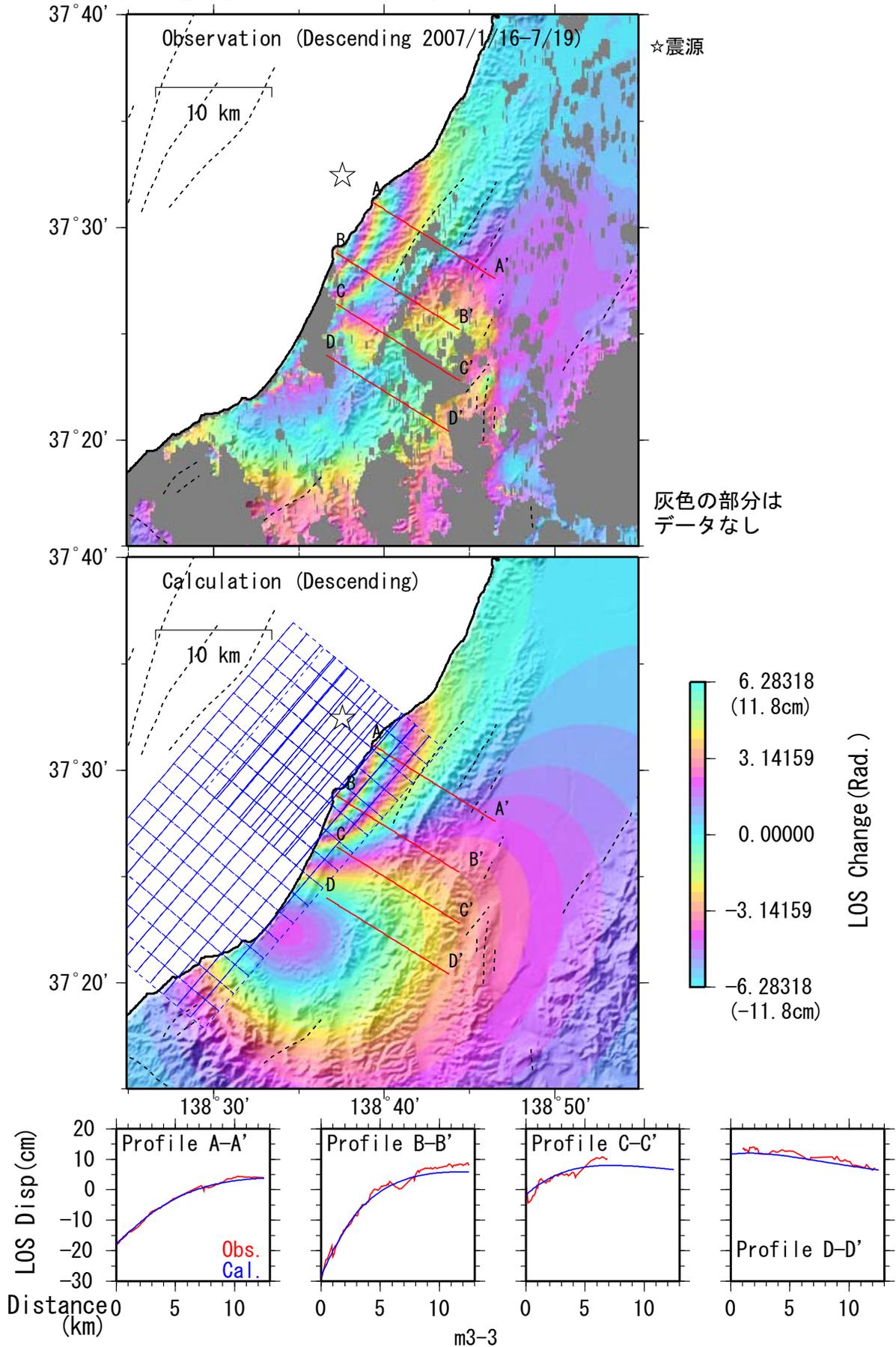
平成19年新潟県中越沖地震 南東＋北西傾斜震源断層モデル(成層媒質)と水準測量



m3-2

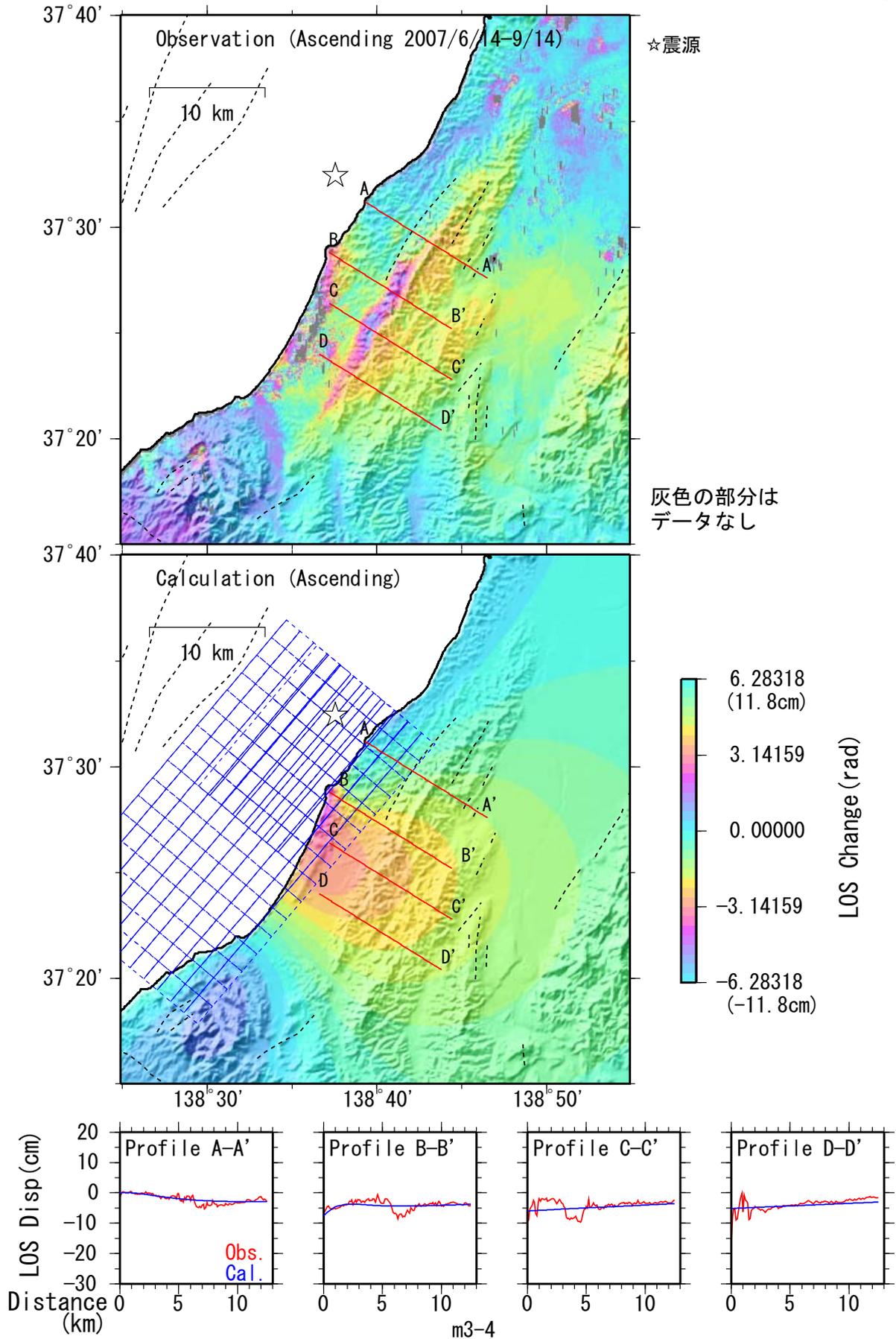
第20図 中越沖地震 南東＋北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）と水準測量

Fig. 20 Comparison of vertical displacements between leveling observation and model calculation (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a layered half-space medium).



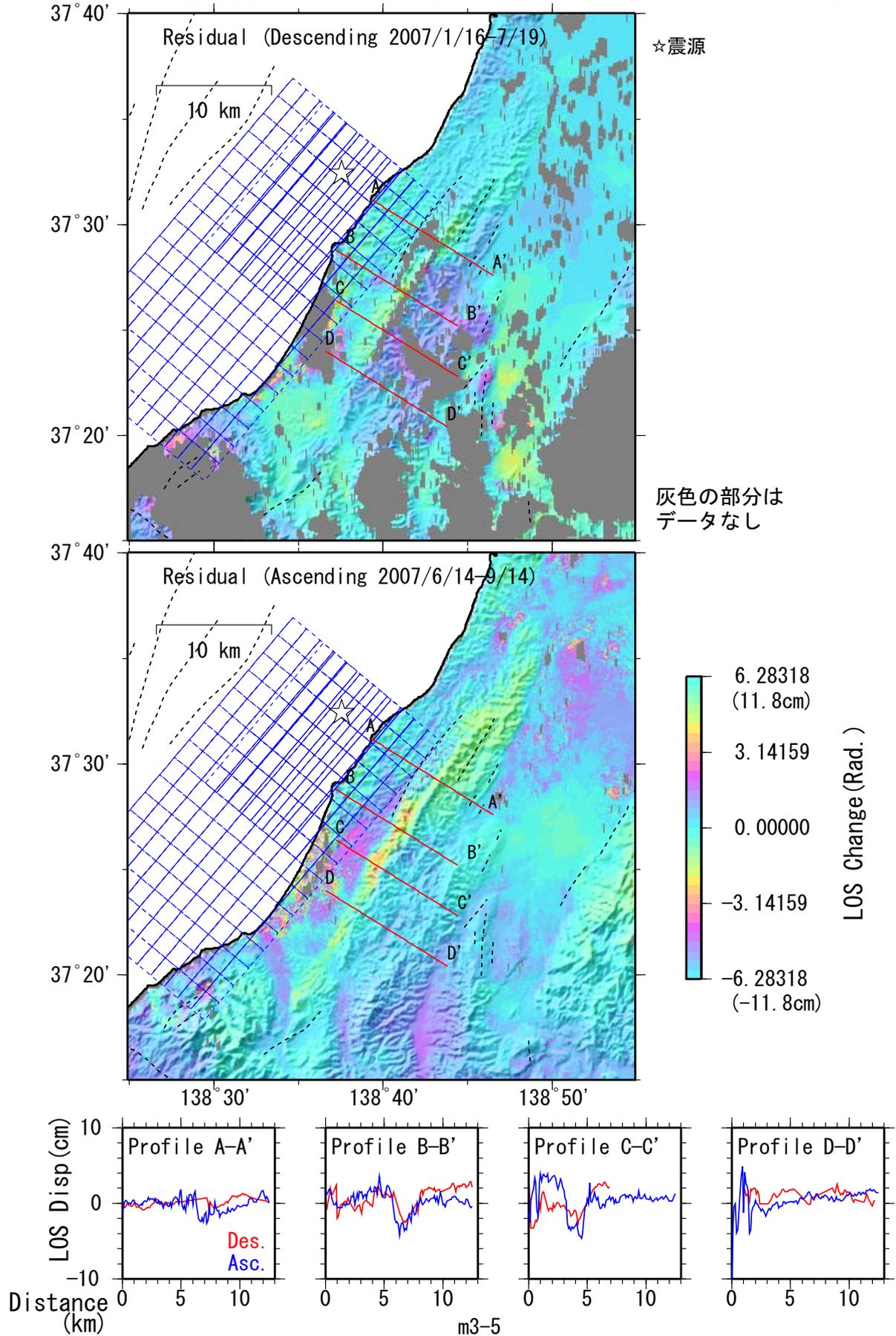
第21図 中越沖地震 南東＋北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）とInSAR画像（Descending）

Fig. 21 Comparison of SAR interferograms between observation and model calculation for descending orbit (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a layered half-space medium).



第22図 中越沖地震 南東＋北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）とInSAR画像（Ascending）

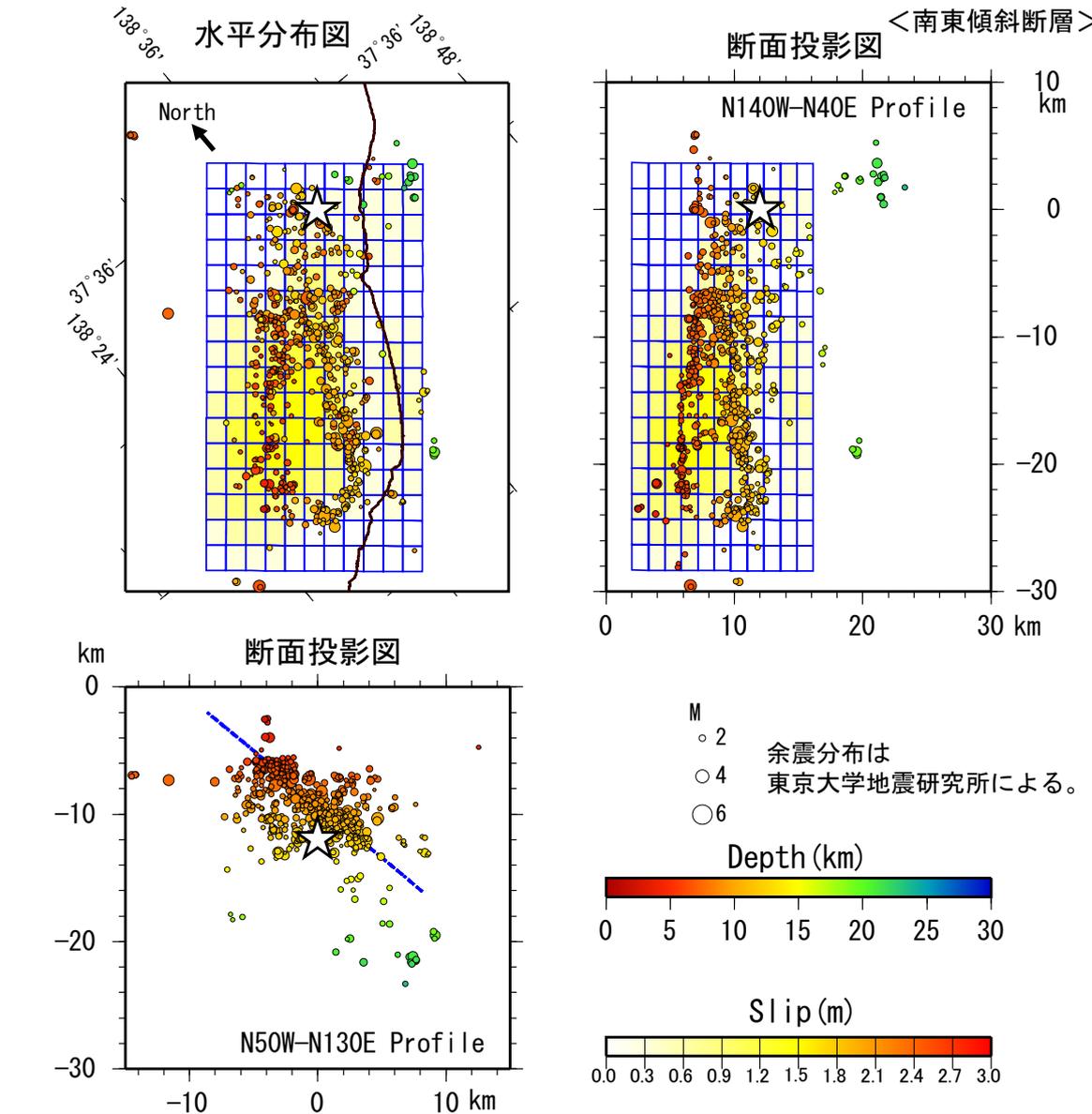
Fig. 22 Comparison of SAR interferograms between observation and model calculation for ascending orbit (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a layered half-space medium).



第23図 中越沖地震 南東+北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）とInSAR画像（残差）

Fig. 23 Residual interferograms (observation minus calculation) (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a layered half-space medium).

平成19年新潟県中越沖地震 南東+北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地震分布の位置関係1



南東傾斜断層面上の
すべり分布

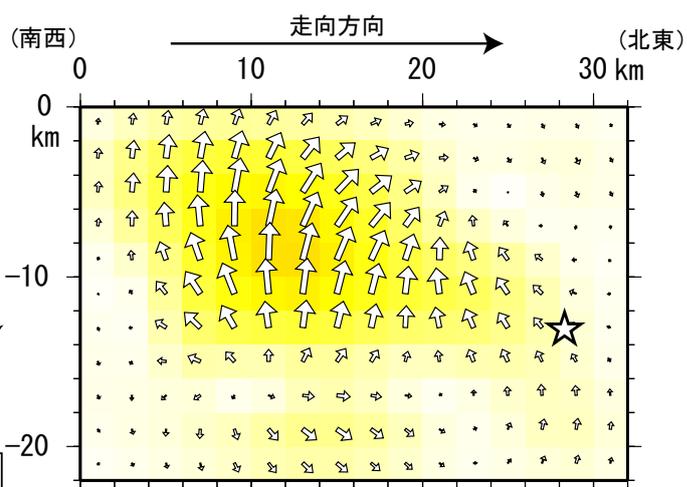
矢印は、下盤に対する
上盤の動きを表す。

← 3m

傾斜方向

地震モーメント： $1.14 \times 10^{19} \text{Nm}$
Mw=6.64

合計（南東+北西）：
地震モーメント： $1.43 \times 10^{19} \text{Nm}$
Mw=6.70

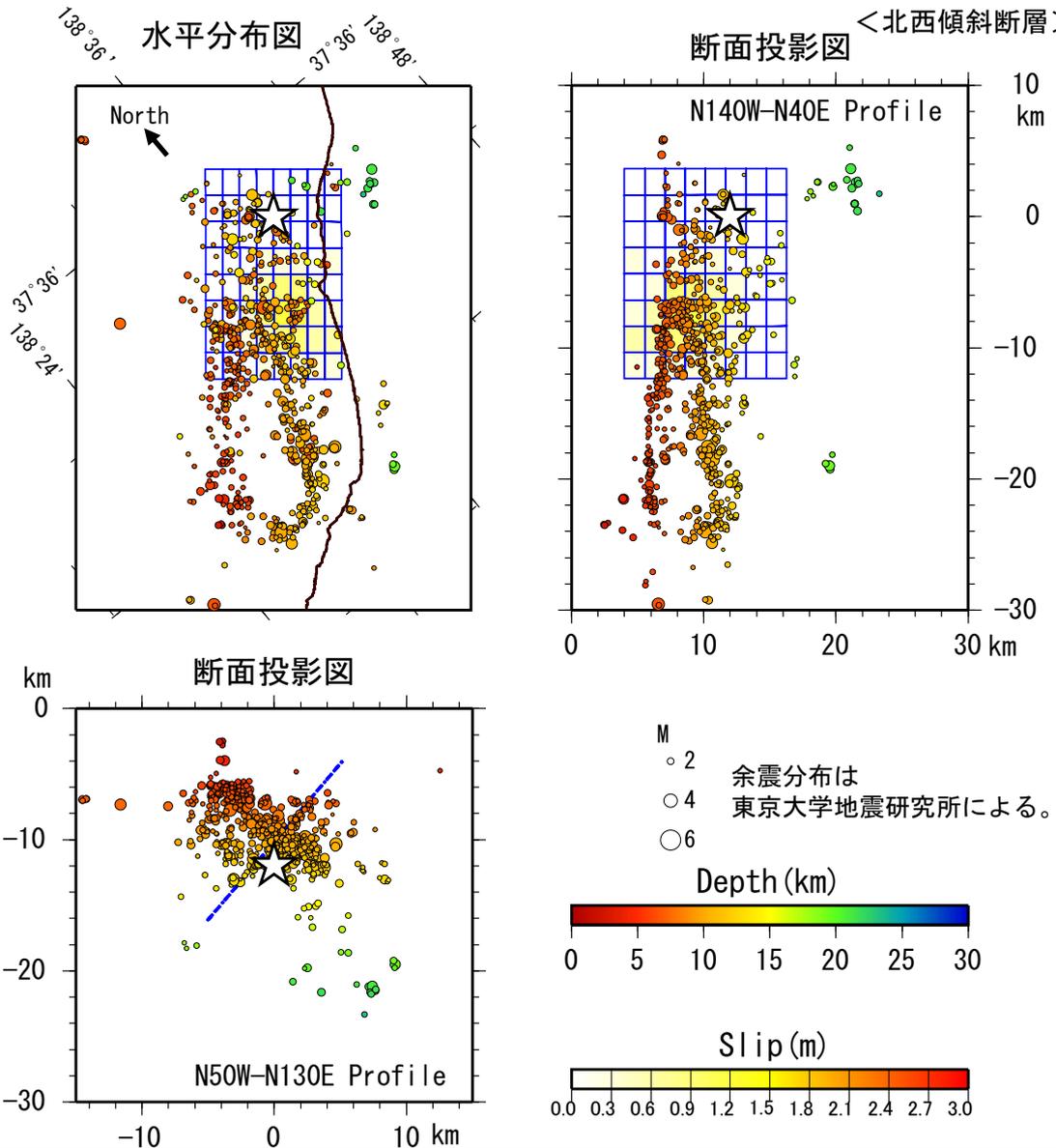


m3-6

第24図 中越沖地震 南東+北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地震分布の位置関係(1/2)

Fig. 24 Locations of the model fault and hypocenters of aftershocks (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a homogeneous half-space medium). (1/2).

平成19年新潟県中越沖地震 南東+北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地震分布の位置関係2



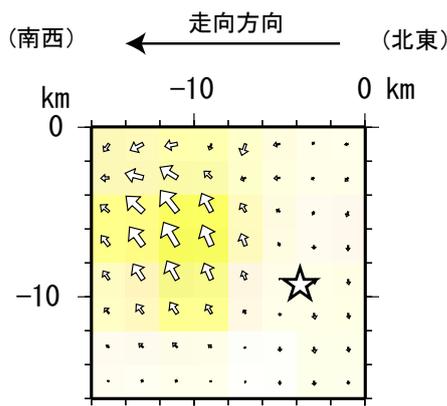
北西傾斜断層面上の
すべり分布

矢印は、下盤に対する
上盤の動きを表す。

← 3m

傾斜
方向

地震モーメント： $0.29 \times 10^{19} \text{Nm}$
Mw=6.24



合計（南東+北西）：
地震モーメント： $1.43 \times 10^{19} \text{Nm}$
Mw=6.70

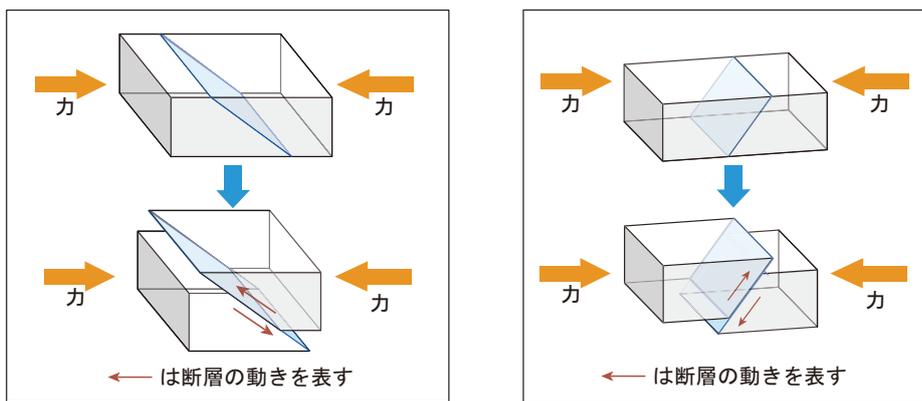
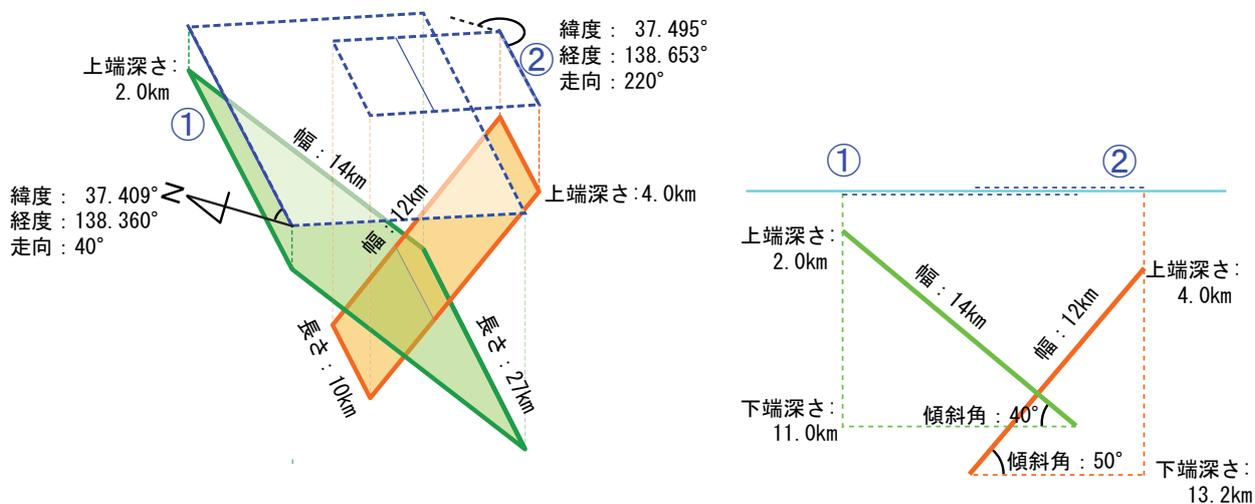
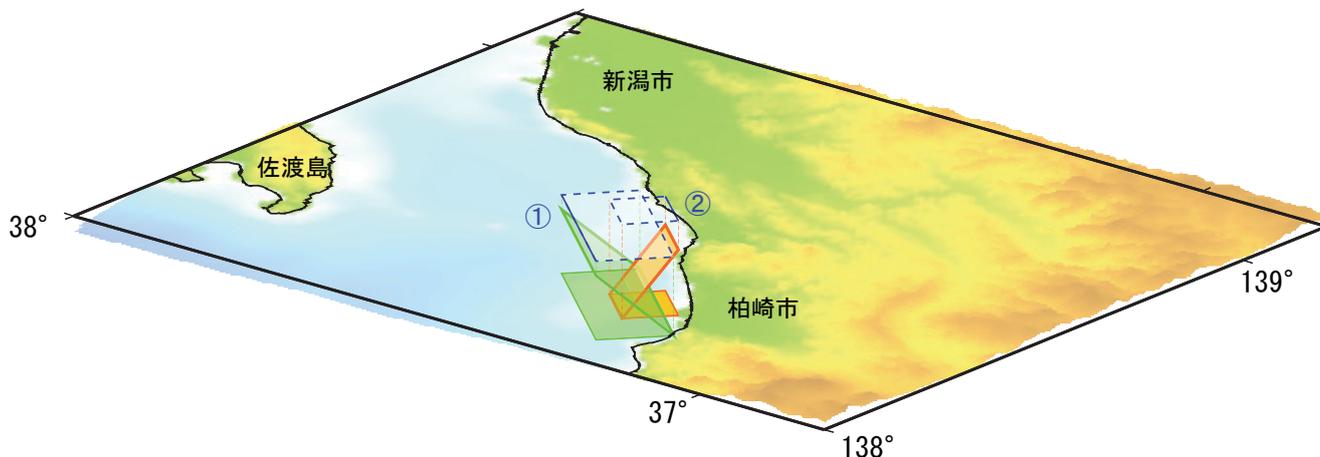
m3-7

第25図 中越沖地震 南東+北西傾斜震源断層モデル（成層媒質）と地震分布の位置関係(2/2)

Fig. 25 Locations of the model fault and hypocenters of aftershocks (Case of the model of southeast- and northwest-dipping faults with a homogeneous half-space medium). (2/2)

平成19年新潟県中越沖地震 推定された主要な滑り面の概念図

(主要な滑り面：おおむね滑り量1m以上の領域を長方形で近似した面)



断層面の概略パラメータ

	緯度	経度	上端深さ	長さ	幅	走向	傾斜角	モーメントマグニチュード
①	37.409°	138.360°	2.0km	27km	14km	40°	40°	6.64
②	37.495°	138.653°	4.0km	10km	12km	220°	50°	6.24

Total Mw 6.70

m3-8

第26図 中越沖地震 推定された主要な滑り面の概念図

Fig. 26 Schematic diagram and fault parameters of the earthquake source fault model of the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007.

西山丘陵西側斜面での隆起について

地球観測衛星「だいち」の合成開口レーダー(SAR)干渉解析から、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震に関連した地殻変動として、西山丘陵西側斜面に帯状の隆起域が見つかり、活褶曲が成長したことは、昨年の調査委員会にも報告済である。本資料では、この隆起域をより詳細に検討し、隆起の原因、メカニズムについて考察した結果を示す。

図1に示すように、中越沖地震本震の震源断層(断層モデル3として報告)による理論地殻変動を取り除くと、Descending軌道の干渉図では、それほど明瞭ではなく、Ascending軌道の干渉図に顕著に見られるという特徴がある。これは、隆起域では単純に隆起のみが起こっているのではなく、水平変動を伴っていることを示している。また、隆起域は小木ノ城背斜の西翼のみに存在し、隆起域の西端が常楽寺断層およびその南延長に位置している。

図3に、A-A'からD-D'断面での2.5次元変動分布図を示す。この図から明瞭なのは、隆起域では西向き水平変動を伴い、小木ノ城背斜の約1km西方で変動方向が急変することである。このような変動パターンは、変動方向が急変する位置付近に上端を持つ南東傾斜の逆断層を想定することで、最も単純かつ合理的に説明できる(図2、図3)。SAR及び水準測量データから南東傾斜の逆断層のパラメータを推定すると、浅部(深さ0.1-1.2km)の逆断層が約10cm動いたと推定される(図4)。小木ノ城背斜の左翼のみが隆起した原因としては、小木ノ城背斜を形成した地下の断層の全体ではなく、左翼側の断層浅部のみが動いたためかもしれない。

図5は、隆起域を横切る水準路線の上下変動を表す。水準点3749は、今回地震に伴って約4cm隆起したが、周囲の水準点に対して過去40年以上にわたり隆起傾向があったことがわかる。この隆起が、地震に伴った隆起と同一のメカニズムで起こっていたとすれば、小木ノ城背斜の地下浅部でクリープが進行していたことになり興味深い。

地震に伴ってこのような急激な活褶曲の成長が原因としては、以下のような

(1) 中越沖地震断層のすべりによる応力再配分の結果、西北西—東南東方向の応力が増加したため非地震性滑りが加速された。

(2) 中越沖地震断層のうち北西傾斜断層面が低角化し、小木ノ城背斜の下部まですべりが達したことにより、非地震性滑りが加速された。

2つの可能性が考えられる。図6は、本震の震源断層モデル(断層モデル3)による浅部での南東傾斜の逆断層(図4)に対するクーロン応力変化を計算したものである。隆起域は、概ね応力変化が正の領域に対応しており、上記(1)の可能性を支持するものである。

第27図 西山丘陵西側斜面での隆起について

Fig. 27 Uplift in the west side of Nishiyama hill. (1/3)

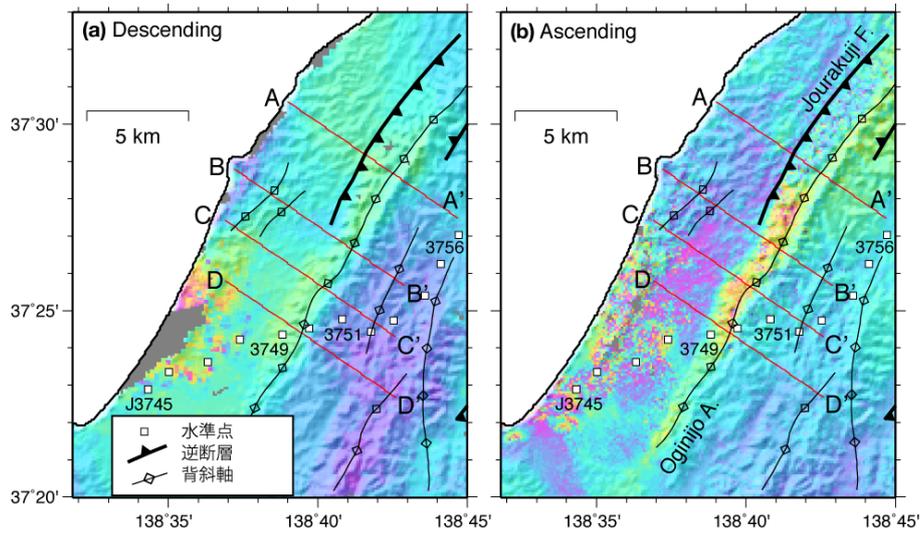


図1 断層モデル3を用いて中越沖地震本震断層による変動を取り除いた SAR 干渉図. 活断層 (活断層研究会, 1991) 及び背斜軸 (地質図幅「柏崎」, 地質調査所) および水準点位置を示した. 原データは, Descending が 2007 年 6 月 14 日と 9 月 14 日, Ascending 軌道が 2007 年 1 月 16 日と 7 月 19 日に取得されたもの.

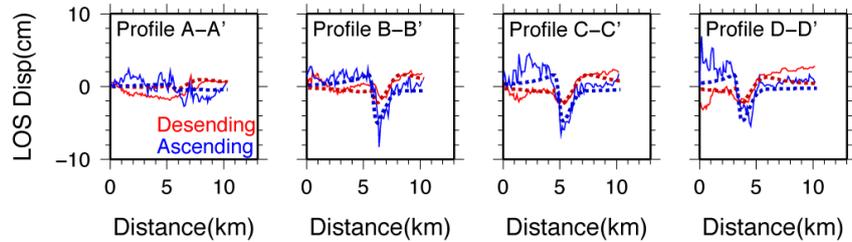


図2 A-A'から D-D'断面における視線方向変動量の分布. 細実線が観測値, 太点線がモデルによる計算値を表す. 断面の位置は, 図1に示す.

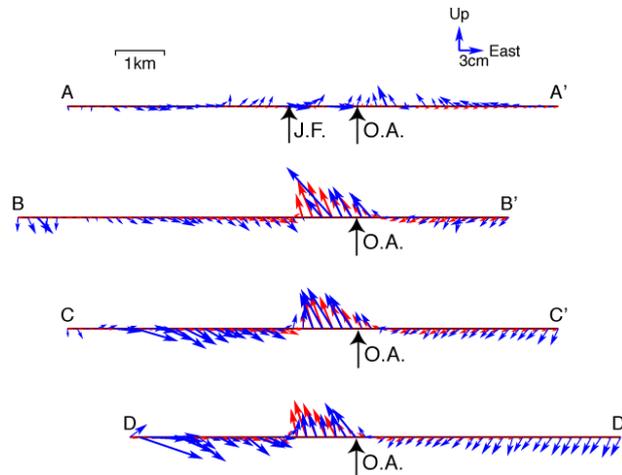


図3 A-A'から D-D'断面における 2.5 次元変動量の分布. 青矢印が観測値で, 赤矢印が計算値. O.A. は小木ノ城背斜, J.F.は常楽寺断層の位置を表す. Descending 軌道と Ascending 軌道の視線方向変動量の合成により, 2つの視線方向が作る面上での変動ベクトルを示した.

第28図 西山丘陵西側斜面での隆起について

Fig. 28 Uplift in the west side of Nishiyama hill. (2/3)

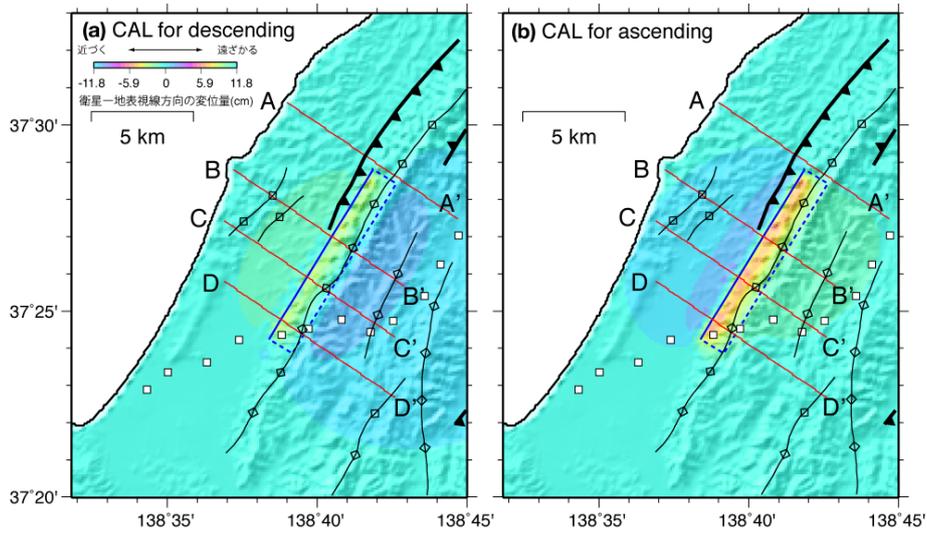


図4 南東傾斜の逆断層モデルによる計算値. 断層位置を青四角で表す. 推定された断層パラメータは, 上端 0.1km, 長さ 9.9km, 幅 1.8km, 走向 31度, 傾斜 41度, 滑り角 93度, 滑り量 10cm.

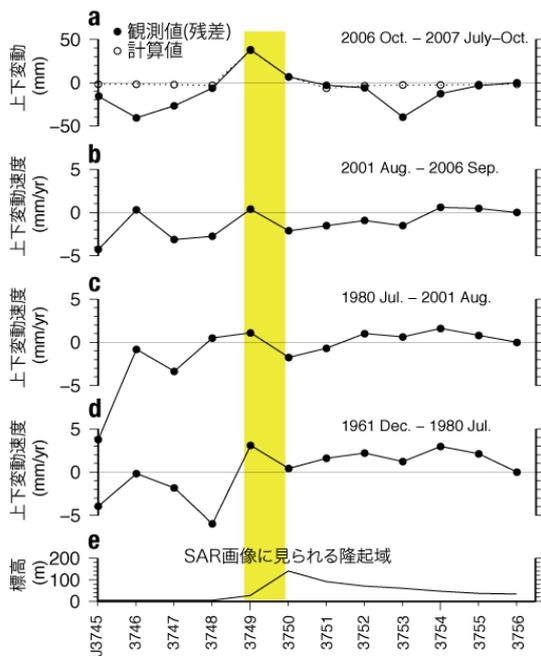


図5 水準測量による小木ノ城背斜周辺の上下変動. (a)中越沖地震を含む上下変動, (b)-(d)中越沖地震以前の上下変動速度. 水準点 3749は, 3750に対して40年以上にわたり 2mm/yr程度で隆起を続けていたことがわかる.

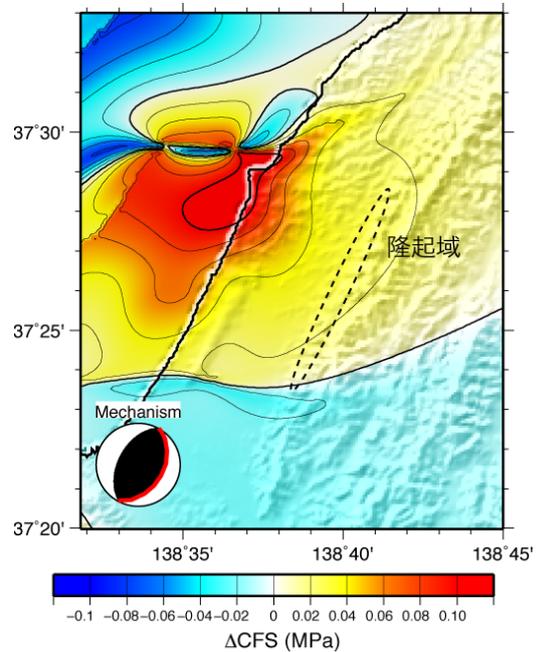
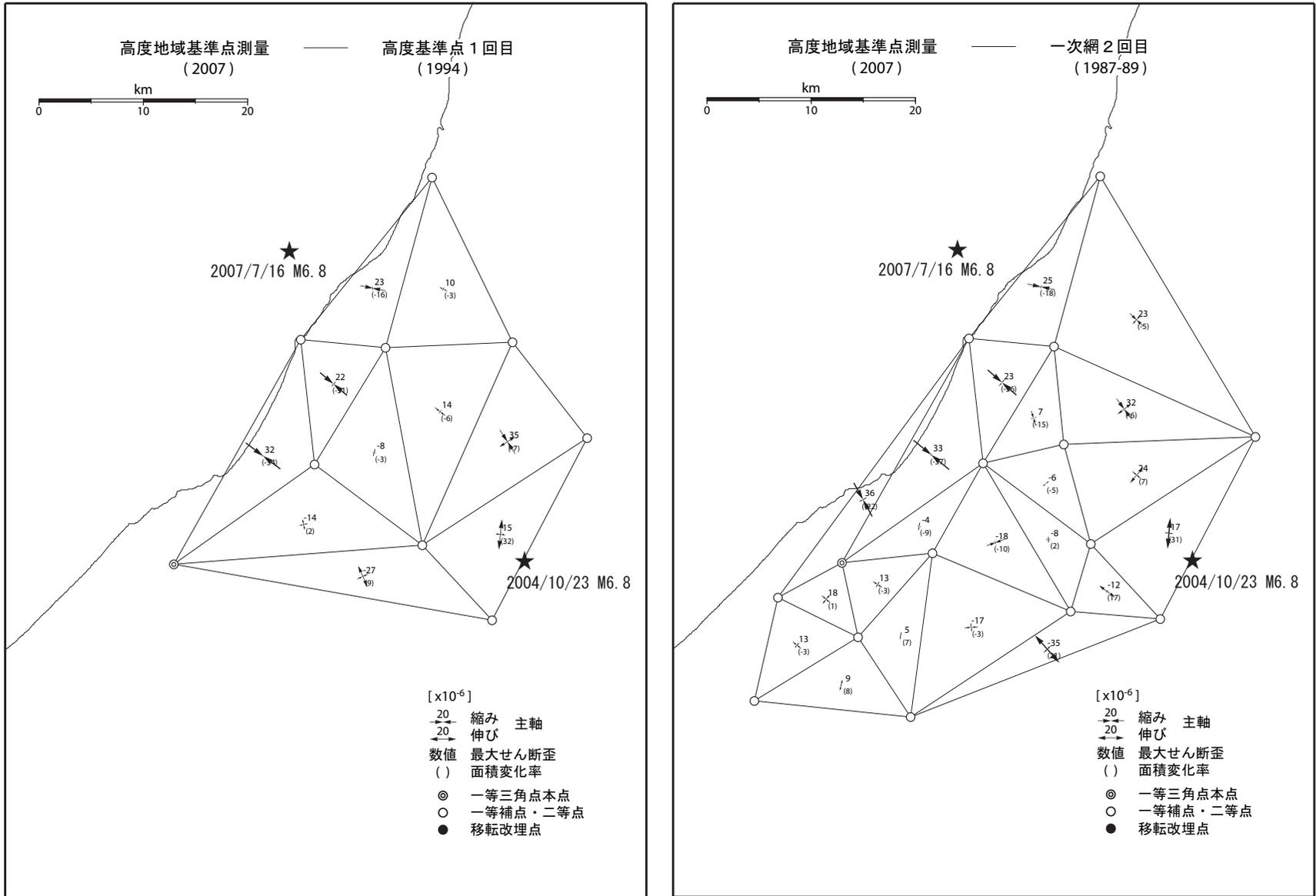


図6 中越沖地震本震の震源断層モデルによる深さ1kmでのクーロン応力変化分布. 断層モデル計算と同じ成層構造媒質を用い, 震源球の赤線で示した断層面に対する応力変化を計算した. 等値線間隔は, 0.02MPa.

第29図 西山丘陵西側斜面での隆起について

Fig. 29 Uplift in the west side of Nishiyama hill. (3/3)

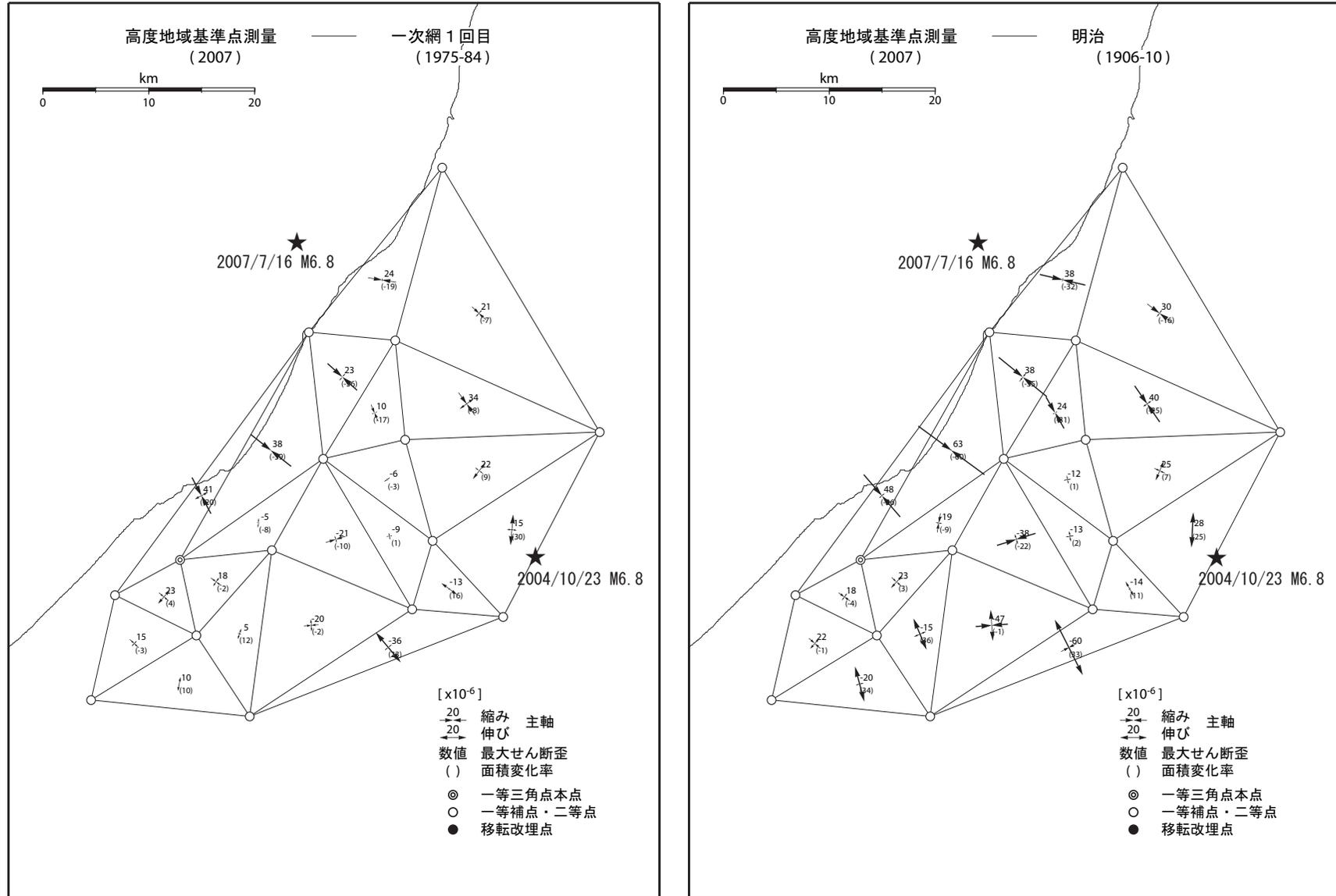
高度地域基準点測量による中越地区の水平歪



第30図 高度地域基準点測量による中部地区の水平歪 (1/2)

Fig. 30 Horizontal strain in Chubu district derived from continuous GPS measurements. (1/2)

高度地域基準点測量による中越地区の水平歪



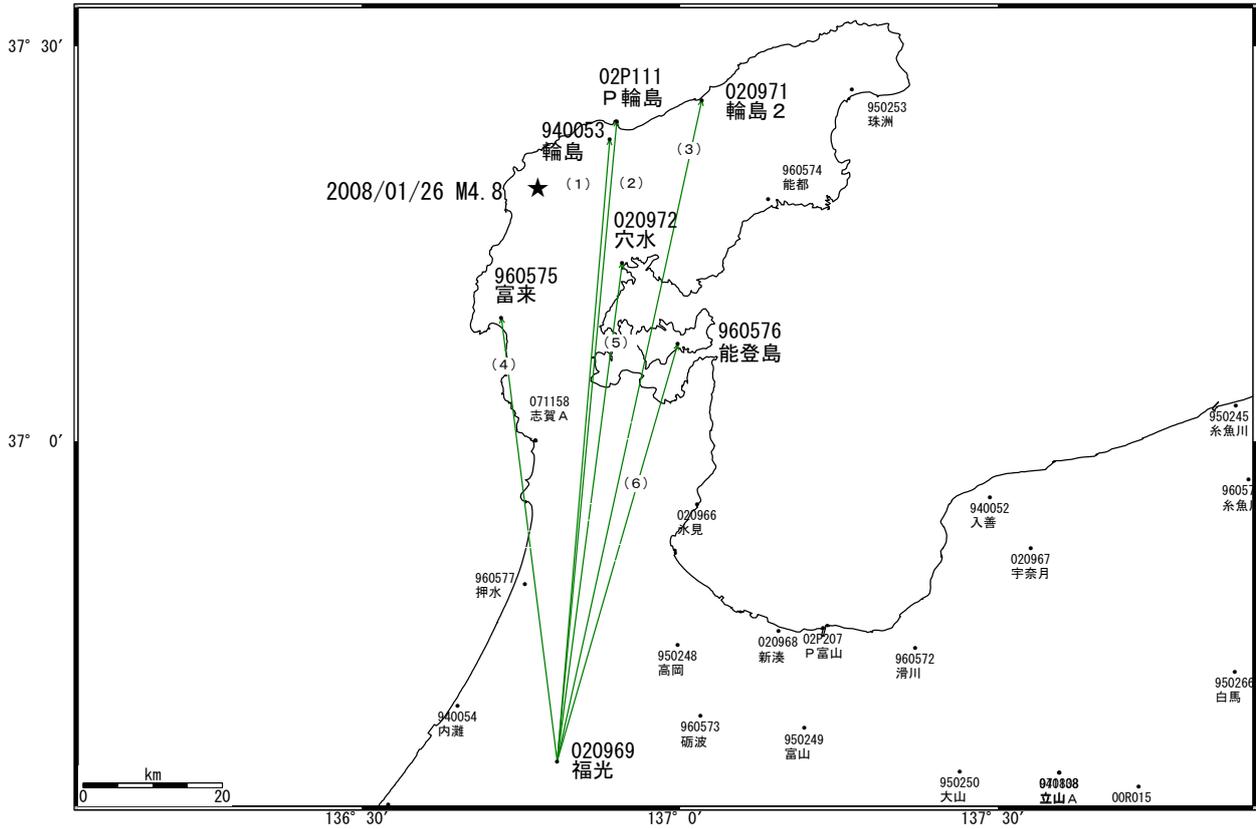
第31図 高度地域基準点測量による中部地区の水平歪 (2/2)

Fig. 31 Horizontal strain in Chubu district derived from continuous GPS measurements. (2/2)

石川県能登地方の地震(2008/1/26, M4.8)前後の地殻変動

GEONETによる石川県能登地方の地震(2008/1/26 M4.8)前後の基線変化グラフ。
この地震に伴う地殻変動は見られない。

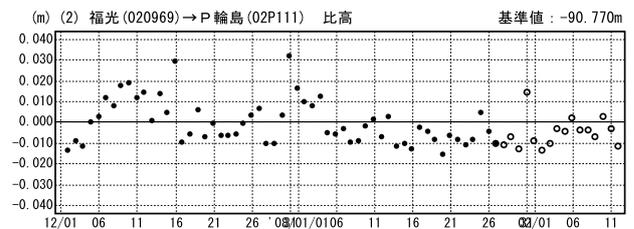
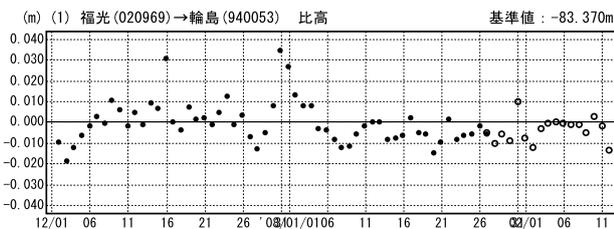
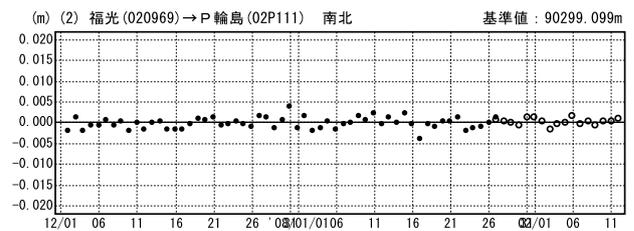
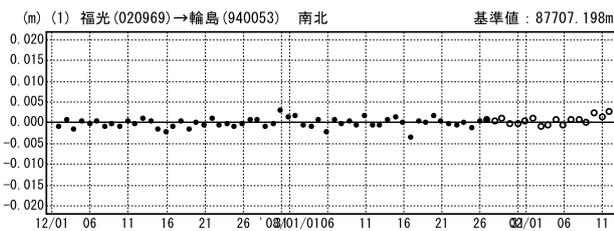
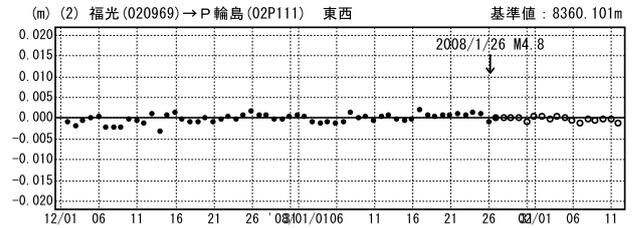
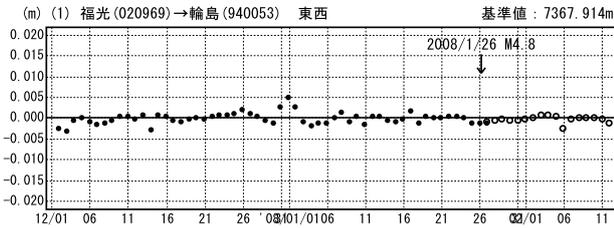
GPS連続観測 基線図



成分変化グラフ

期間：2007/12/01~2008/02/11 JST

期間：2007/12/01~2008/02/11 JST



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

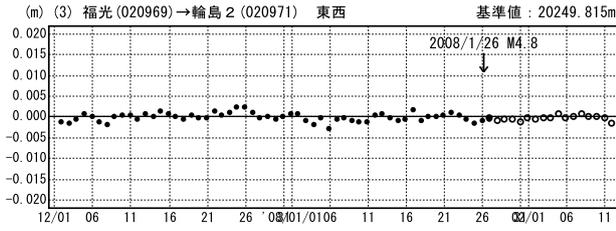
第32図 2008年1月26日の石川県能登地方の地震前後におけるGPS連続観測結果

Fig. 32 Result of continuous GPS measurements associated with a M4.8 earthquake occurred on January 26, 2008 in Noto region.

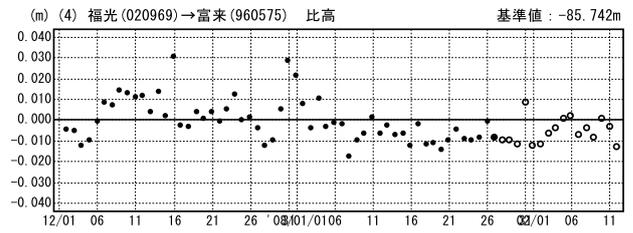
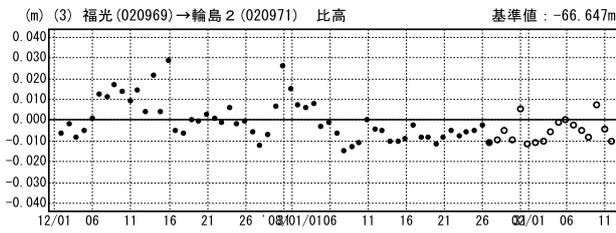
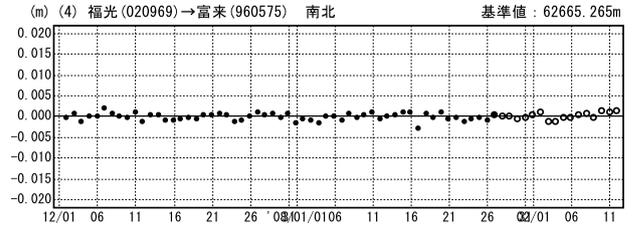
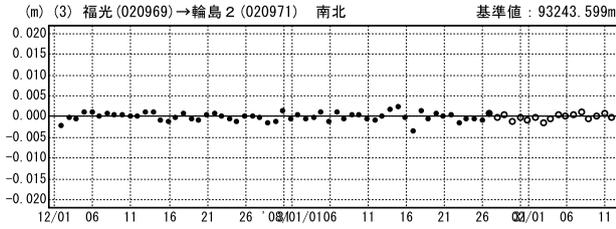
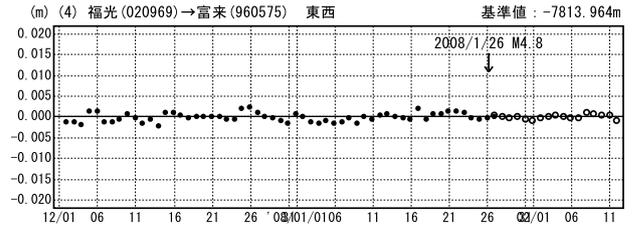
石川県能登地方の地震(2008/1/26, M4.8)前後の地殻変動

成分変化グラフ

期間：2007/12/01～2008/02/11 JST



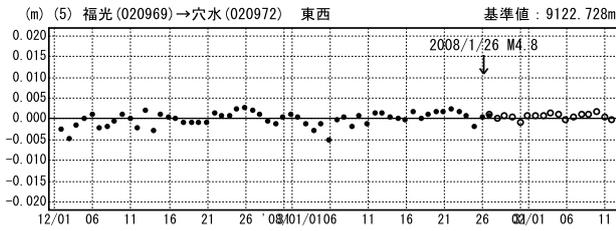
期間：2007/12/01～2008/02/11 JST



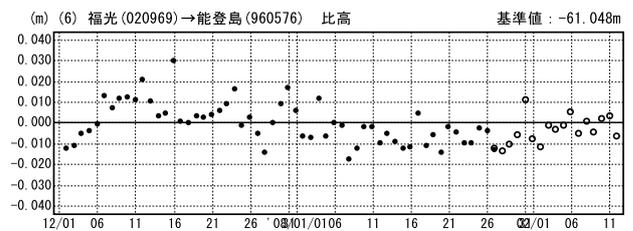
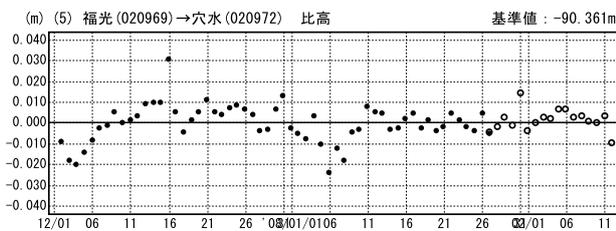
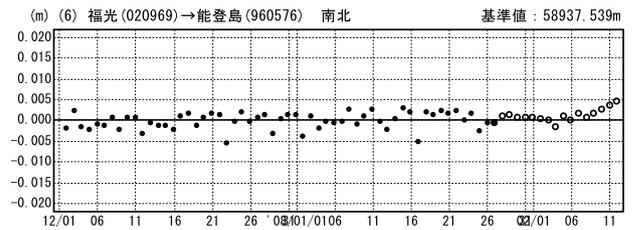
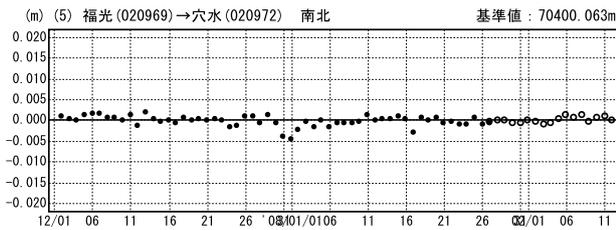
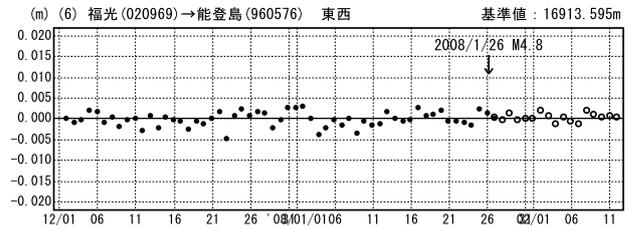
● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

成分変化グラフ

期間：2007/12/01～2008/02/11 JST



期間：2007/12/01～2008/02/11 JST

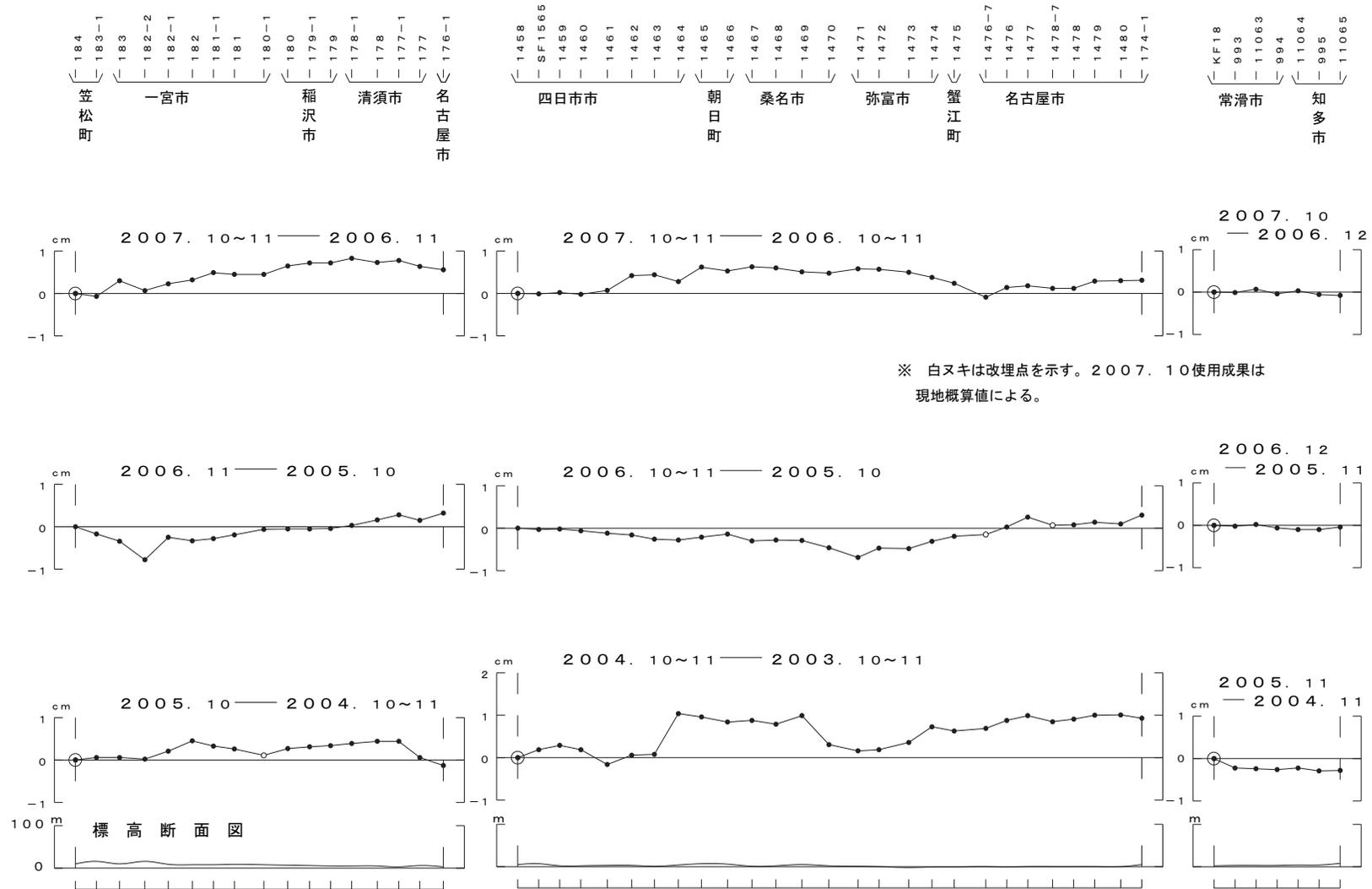


● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

第33図 2008年1月26日の石川県能登地方の地震前後における地殻活動

Fig. 33 Crustal deformation associated with around a M4.8 earthquake occurred on January 26, 2008 in Noto region.

中京の上下変動



第34図 中京の上下運動

Fig. 34 Results of Leveling Survey of Chukyo region.