２－５　北海道地方の地殻変動
Crustal Movements in the Hokkaido District

国土地理院
Geographical Survey Institute

［GPS　3ヶ月・1年間］

第1図は，北海道地方の地殻変動について，最近3ヶ月および1ヶ月の水平変動を，トレンド（時系列の傾斜）を補正後のベクトル図で示したものである．上段の3ヶ月の図では，十勝沖地震の余効変動によると見られる変動が日高，十勝を中心とした地域に見られる．

［GPS　2003年9月26日の十勝沖地震以降の地殻変動時系列］

第2～6図までは，日高から根室にかけての北海道太平洋側における地震発生後の余効変動の推移を見るための時系列グラフである．第2図に観測点の配置と，アンテナ交換等保守の履歴を示してある．青森県の岩崎観測点を固定局として，1997年10月～2002年10月を定常状態とし，一次トレンド成分のみ除去したグラフである．2003年9月26日の十勝沖地震と2004年11月29日の釧路沖の地震の余効変動が地震直後に始まり，指数関数的に減衰しながらも長期的に続いた様子を見ることができる．(11)えりも１，(12)様似（さまに）の南北成分では，余効変動が継続している一方，(8)中札内（なかさつない）では2008年になって止まったようにも見え，余効変動の影響範囲が狭くなっているようである．(7)～(14)の水平成分には，2008年9月11日の十勝沖の地震(M7.1)による地殻変動が見られる．

［GPS　2003年9月26日の十勝沖地震以降の地殻変動速度］

第7～8図は，2003年9月26日の十勝沖地震と2004年11月29日・12月6日の釧路沖の地震の余効変動の終息を判断するため，えりも１，根室４観測点の水平変位と変動速度を時系列で示したものである．第7図のえりも１では，2003年9月26日以降余効変動がゆっくり続いて，最近は地震前の変動速度に戻りつつあった．2008年9月11日の十勝沖の地震(M7.1)の影響がみられる．

第8図の根室４では，2004年11月29日，12月6日以降の余効変動が重なっている様子も見られる．しかし，変動速度で見ると，根室４も，ほとんど地震前の状態に戻ったように見える．

［非定常地殻変動　北海道］

第9～13図は2004年11月29日，12月6日の釧路沖の地震以降の非定常地殻変動について，プレート境界面の滑りを想定してその分布を推定したものである．現段階では，2008年9月11日の十勝沖の地震の地震時の地殻変動は，補正を行っていない．

第9図は計算に使用したグリッドと2004年12月8日以降の累積のプレート間滑り分布である．十勝沖地震の本震震源域を含む領域と，その東西の領域とで3分割して滑りのモーメントを計算して下段に示した．釧路沖の地震以降の滑りのモーメントは範囲全体でMw=7.7相当を超えている．領域全体を3つに分けた場合，釧路・根室周辺の東側の領域(4)のモーメント解放量が小さい．西側の領域(2)ではわずかなモーメントの増加が続いている．東側の領域(4)や中央の領域(3)では，2006年8月頃と同様，2007年8月頃には加速を見せた．

第10図は，2004年12月以降の推定滑り分布と観測値と計算値の比較を1年毎に見たものである．左列が推定滑り，中央列が水平変動の観測値と計算値，右列が上下変動の観測値と計算値である．釧路沖にあった大きな滑りの領域が，小さくなり，最近はほとんど見えない．最新の滑り分布には，2008年9月11日の十勝沖の地震(M7.1)の影響がみられる．

第11～13図はモデルによる計算値と観測値の時系列での比較である．

［GPS 2008年9月11日の十勝沖の地震］

第14図は，2008年9月11日の十勝沖の地震(M7.1)前後におけるGEONET等のGPS連続観測点による水平変動ベクトル図及び基線変化グラフである．この地震に伴い電子基準点「えりも２」で約2cmの東南東方向への移動が観測されるなど，十勝・日高地方南部で地殻変動が観測された．

［平成20年9月11日の十勝沖の地震　断層モデル］

第15図は，GPSによる地殻変動データを元に，矩形断層・一様すべりを仮定してインバージョンにより断層パラメータを推定した震源断層モデルである．初期モデルは，防災科学技術研究所のHi-netデータに基づくメカニズム解及び地震調査委員会(2004)によるプレート境界の等深線を参考に設定した．強く拘束したパラメータは傾斜角，弱く拘束したパラメータは緯度・経度・深さ・長さ・幅・走向・すべり角，ほとんど拘束しなかったパラメータはすべり量である．下側に，推定された断層パラメータを示す．太平洋プレートと陸のプレートの境界面上に位置すると考えられる上端深さ約17kmの低角（傾斜角14度）の断層面が，約1.2mの逆断層すべりを起こしたと考えられ，モーメントマグニチュードは6.8と推定された．

上段のベクトル図は，水平ベクトルの観測値とモデル計算値の比較で，計算値が白抜き矢印，観測値が黒塗り矢印で示してある．両者のフィッティングは，良好である．推定された断層の水平位置は，余震分布とほぼ一致する．また推定された断層面もほぼ震源を通る位置に推定された．

［2003年十勝沖地震と2008年十勝沖の地震のすべり分布の比較］

第16図は，2003年十勝沖地震と2008年の十勝沖の地震のすべり分布を比較した結果である．左の列の地殻水平変動では，変動量は大きく異なるものの，2段目の2008年

には2003年と似たような向きの変動ベクトルが観測された．図には示していないが，2003年には襟裳岬付近で大きな沈降が観測されたが，2008年には明瞭な上下変動は観測されていない．これらの地殻変動を元に，矢吹＆松浦の手法で，地震時のすべり分布を推定した結果を右の列に示した．2008年の地震のすべり領域は，2003年の地震のすべり領域より南側に位置している．ただし，2008年の地震に伴う地殻変動は小さく，S/N比は小さいため，すべり分布の推定誤差は大きい．

［平成20年9月11日の十勝沖の地震発生前の地殻変動］

第17図は，平成20年9月11日の十勝沖の地震発生前の地殻変動である．

第17図左は，知内（しりうち）に対する襟裳岬付近の観測点の座標時系列である．半年周・年周成分は取り除いてある．2003年十勝沖地震の後，全ての観測点で見られた東向きの変動が，2006年頃から西向きに変化している．また南への変動速度も時間と共に，小さくなっている．これらのデータは，2003年十勝沖地震の余効すべりが次第に小さくなり，プレート境界の固着が次第に回復しつつあったことを示している．

第17図右は，地震前約１年間の短期の時系列である．どの観測点でも，ほぼ同じ速度で動いており，地震直前のプレスリップ的な変動は見あたらない．

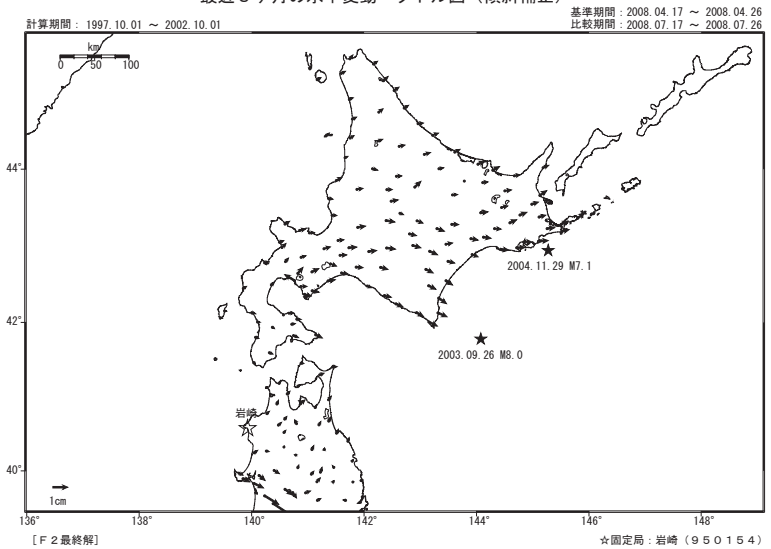
参　考　文　献

１）　国土地理院，2004，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，71，135-187.
２）　国土地理院，2004，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，72，61-95.
３）　国土地理院，2005，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，73，35-60.
４）　国土地理院，2005，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，74，53-68.
５）　国土地理院，2006，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，75，30-58.
６）　国土地理院，2006，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，76，55-82.
７）　国土地理院，2007，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，77，44-64.
８）　国土地理院，2007，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，78，91-111.
９）　国土地理院，2008，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，79，41-61.
10）　国土地理院，2008，北海道地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，80，39-54.

2003年十勝沖の地震後の余効変動

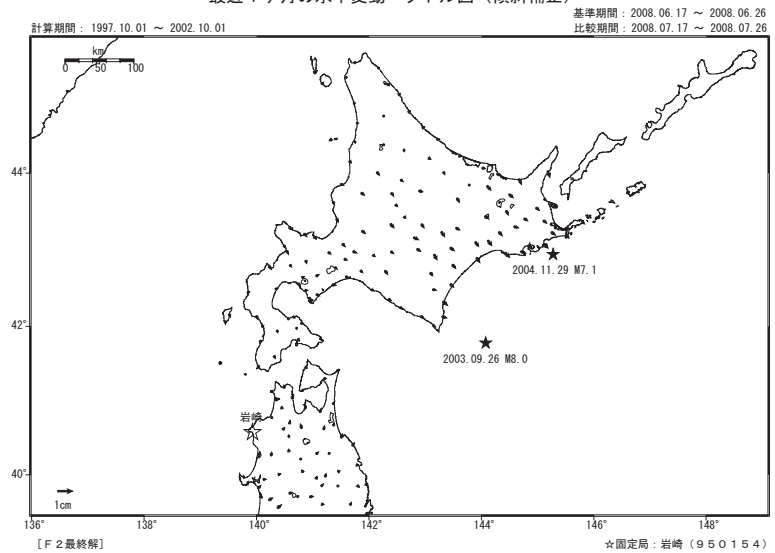
この地震の余効変動がわずかながらも継続しており，地震前の傾向に戻っていない．

最近３ヶ月の水平変動ベクトル図（傾斜補正）



第１図a　北海道地方の非定常地殻水平変動(2008年4月～7月)
Fig. 1a　Horizontal crustal movement in Hokkaido after removing the linear trend and one year cycle and half-year cycle variation components (April 2008 to July 2008).

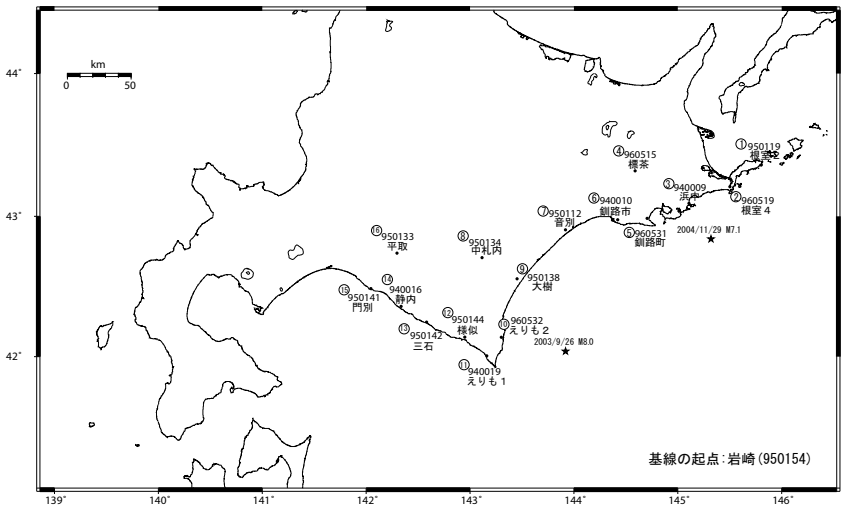
最近１ヶ月の水平変動ベクトル図（傾斜補正）



第１図b　北海道地方の非定常地殻水平変動(2008年6月～7月)
Fig. 1b　Horizontal crustal movement in Hokkaido after removing the linear trend and one year cycle and half-year cycle variation components (June 2008 to July 2008).

北海道太平洋岸　ＧＰＳ連続観測時系列（1）

基線図



観測局情報

点番号	点名	アンテナ交換	アンテナ高調整	周辺伐木	凍上対策
950119	根室２	2002/11/13			2002/4/1
960515	標茶	2002/11/19	2003/7/21		2003/10/3
960519	根室４	2003/3/11			2002/4/1
940009	浜中	2002/11/18			2001/4/1
960531	釧路町	2003/5/29			2003/10/1
940010	釧路市	2001/11/1 2002/11/19			1999/12/1 2003/11/7
950112	音別	2002/11/20	2003/7/18		
950138	大樹	2003/3/15			
950142	三石	2002/11/19	2003/7/10		
950144	様似	2002/11/21	2003/7/10	2005/12/1	
960532	えりも２	2003/3/7			
940019	えりも１	2001/12/7 2002/11/20			
950133	平取	2002/11/14	2003/7/9		
950141	門別	2002/11/25	2003/7/9		
940016	静内	2002/11/13			
950134	中札内	2002/11/9	2003/7/17		

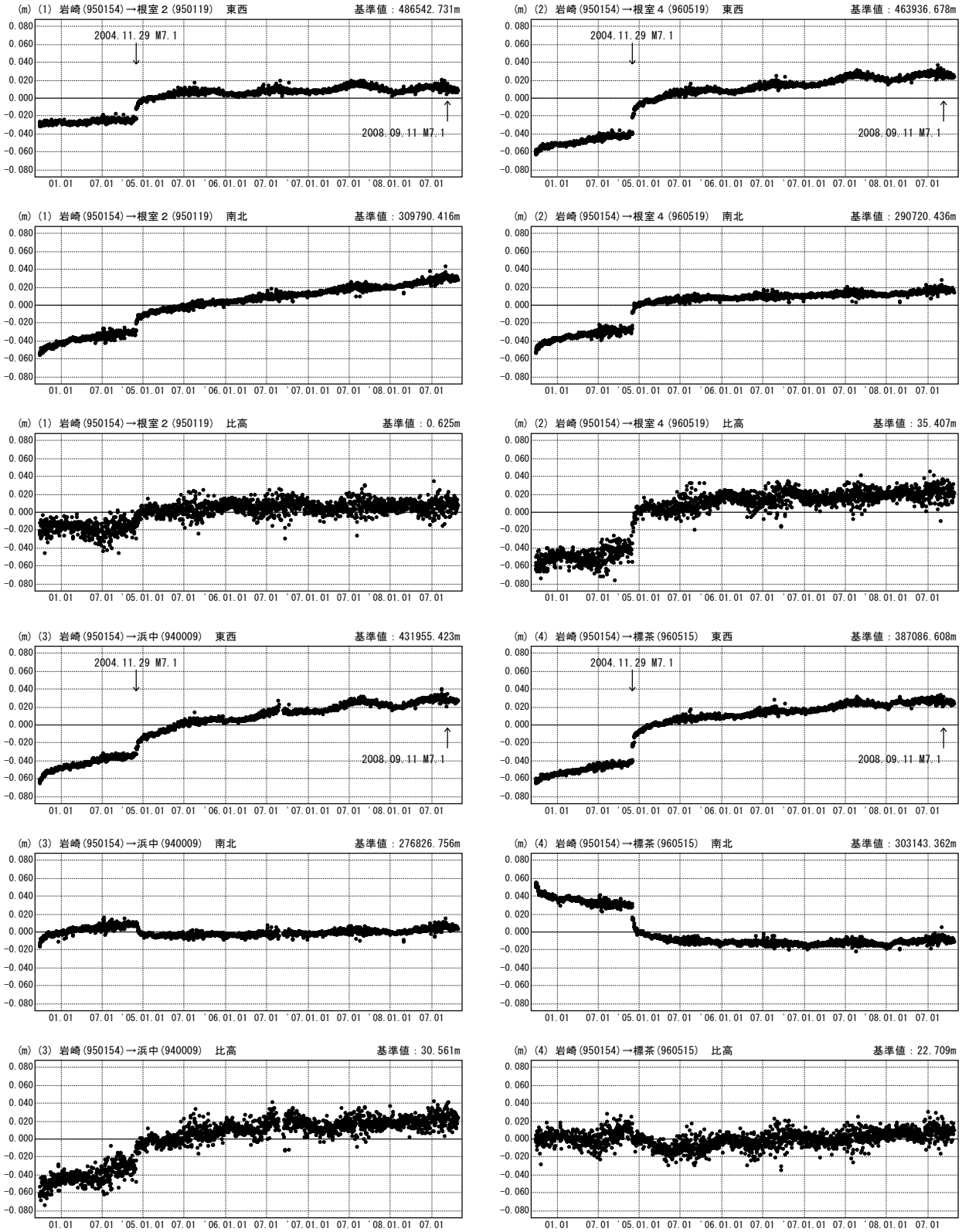
※２００３／３／５に基準局９２１１０（つくば１）のアンテナおよび
　レドームの交換を実施し、解析値に補正をしています。

第２図　北海道地方東部・太平洋岸におけるGPS連続観測結果(観測点配置図・保守状況)
Fig. 2　Results of Continuous GPS Measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: Site location map and records of the maintenance of those sites.

北海道太平洋岸　ＧＰＳ連続観測時系列 (2)

1次トレンド除去後

期間：2003.09.27～2008.10.25 JST　計算期間:1997.10.01-2002.10.01



● ---[F2:最終解]

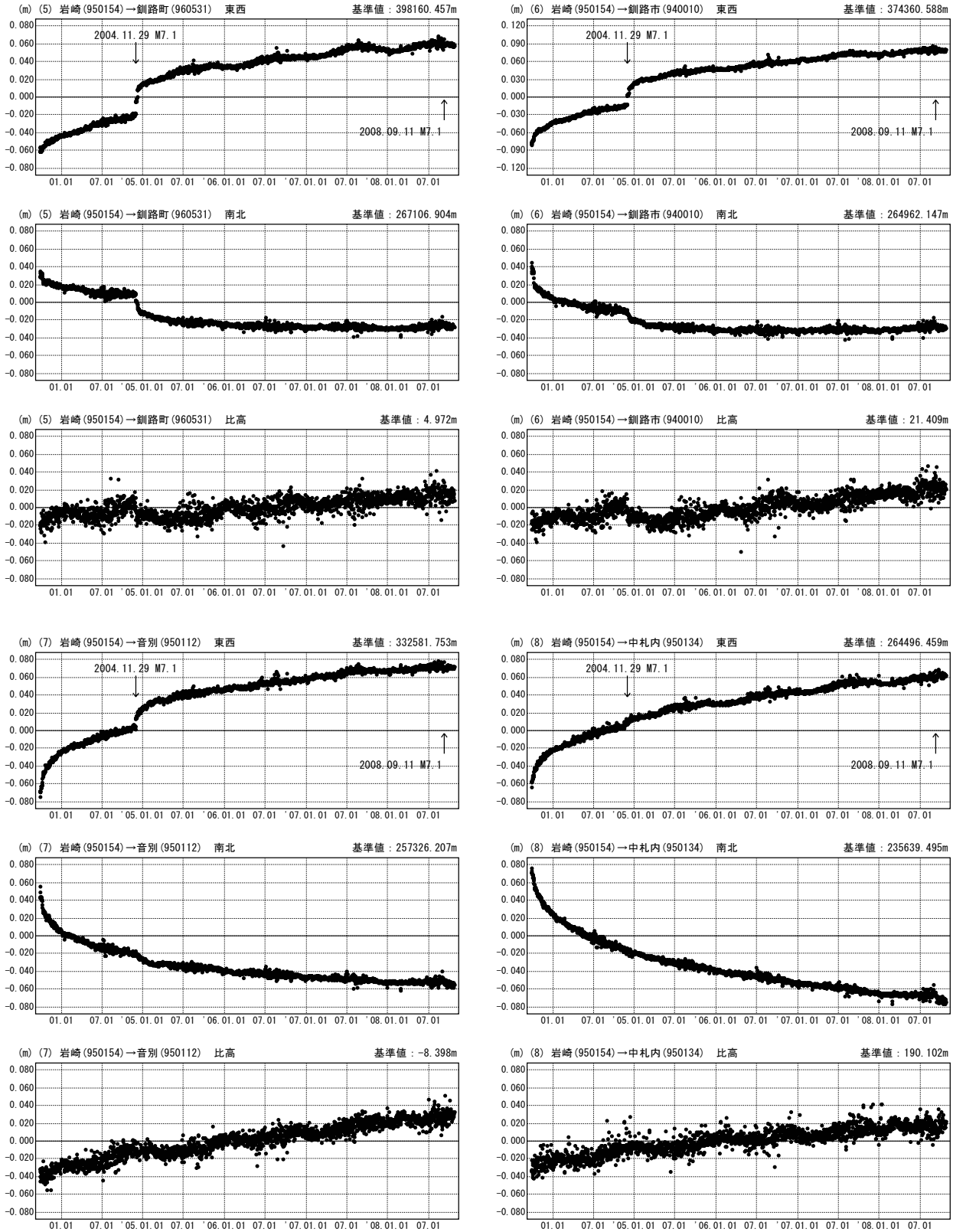
第３図　北海道地方東部・太平洋岸におけるGPS連続観測結果：固定点岩崎に対するトレンド成分を除去した時系列

Fig. 3　Results of Continuous GPS Measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (corrected time series data removing linear trend referred to Iwasaki) (1/4).

北海道太平洋岸　ＧＰＳ連続観測時系列（3）

1次トレンド除去後

期間：2003.09.27～2008.10.25 JST　計算期間:1997.10.01-2002.10.01



● ---[F2:最終解]

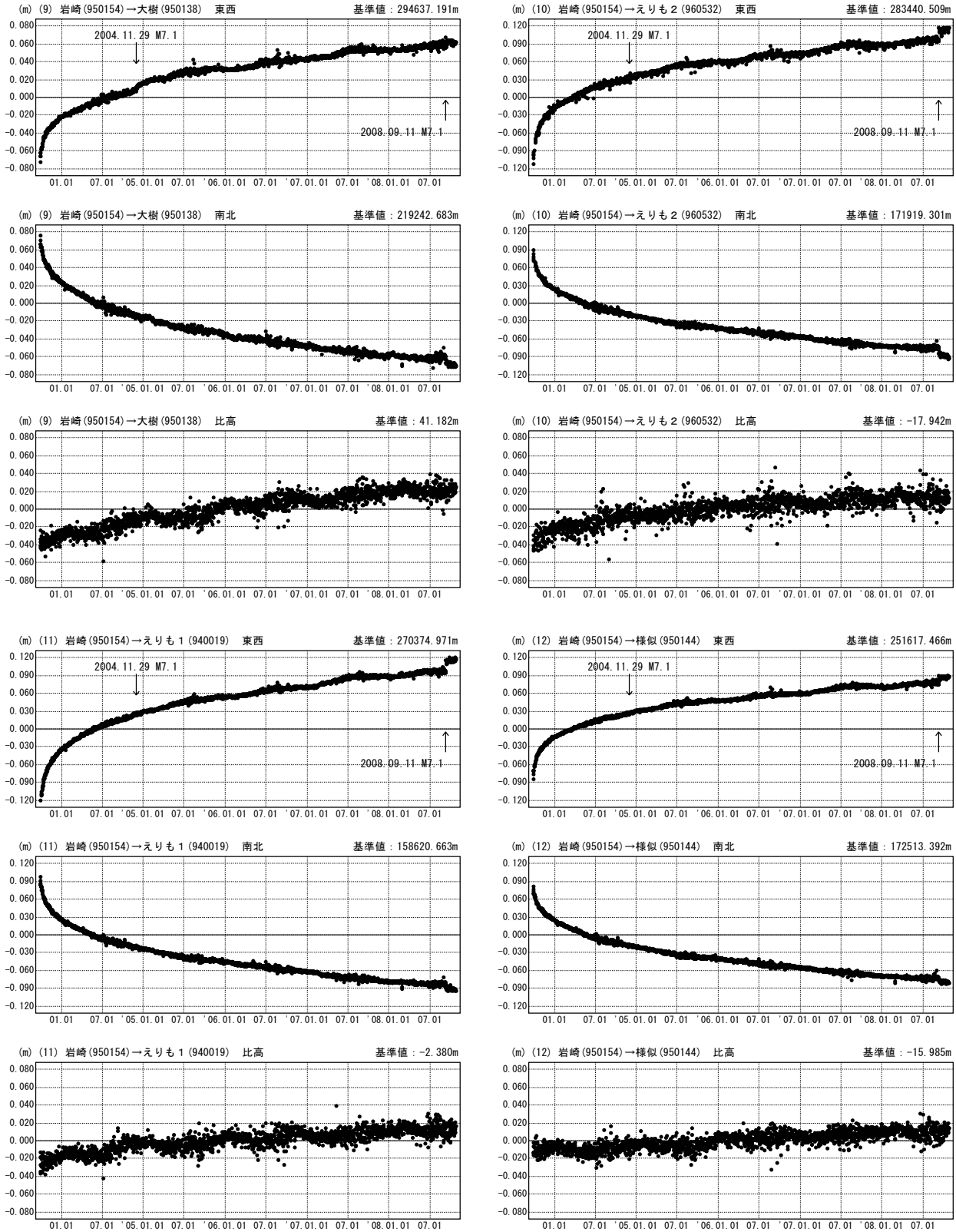
第４図　北海道地方東部・太平洋岸におけるGPS連続観測結果：固定点岩崎に対するトレンド成分を除去した時系列

Fig. 4　Results of Continuous GPS Measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (corrected time series data removing linear trend referred to Iwasaki) (2/4).

北海道太平洋岸　ＧＰＳ連続観測時系列（4）

1次トレンド除去後

期間：2003.09.27～2008.10.25 JST　　期間：2003.09.27～2008.10.25 JST　計算期間:1997.10.01-2002.10.01



● ---[F2:最終解]

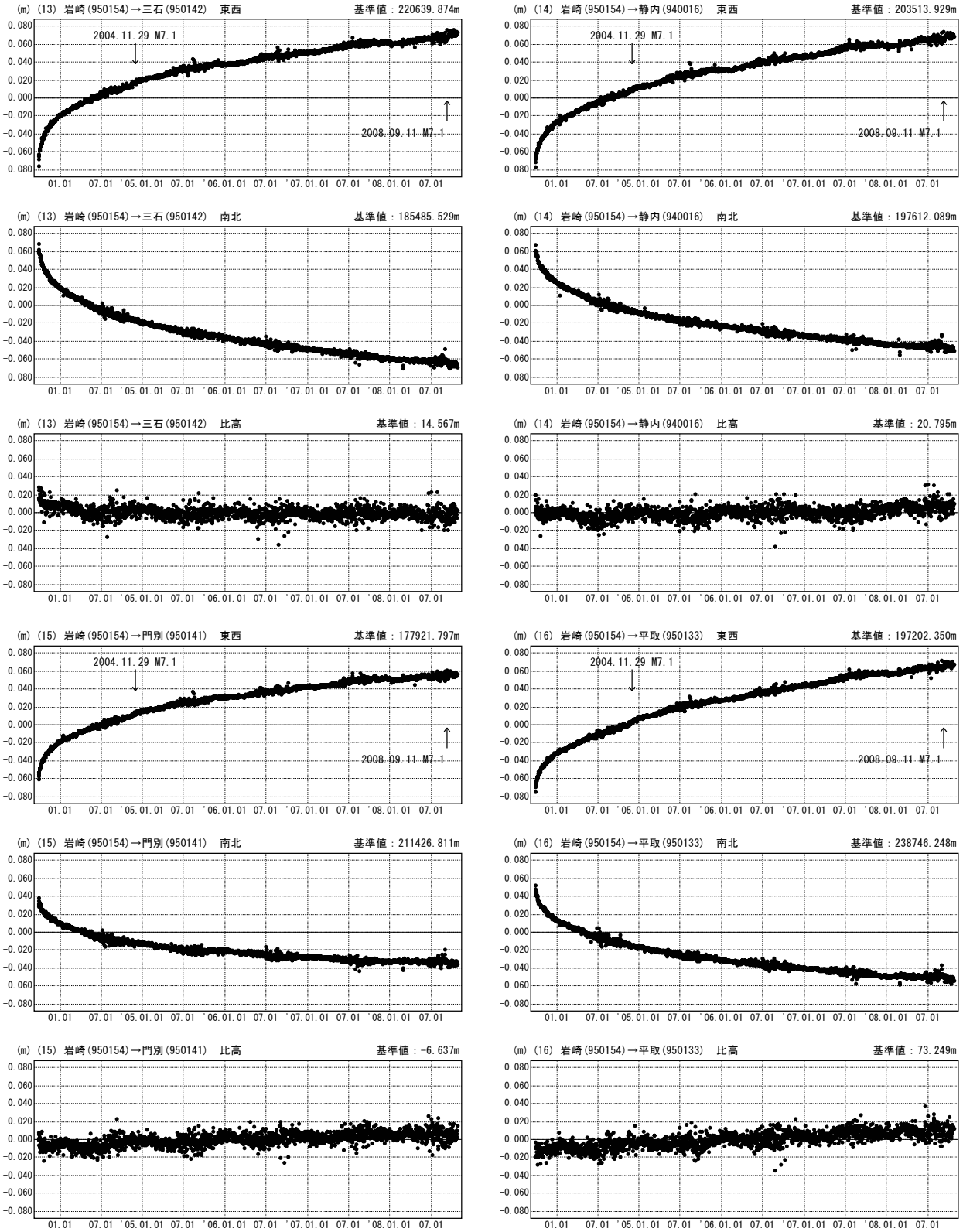
第５図　北海道地方東部・太平洋岸におけるGPS連続観測結果：固定点岩崎に対するトレンド成分を除去した時系列

Fig. 5　Results of Continuous GPS Measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (corrected time series data removing linear trend referred to Iwasaki) (3/4).

北海道太平洋岸 ＧＰＳ連続観測時系列 (5)

1次トレンド除去後

期間：2003.09.27～2008.10.25 JST　計算期間:1997.10.01-2002.10.01



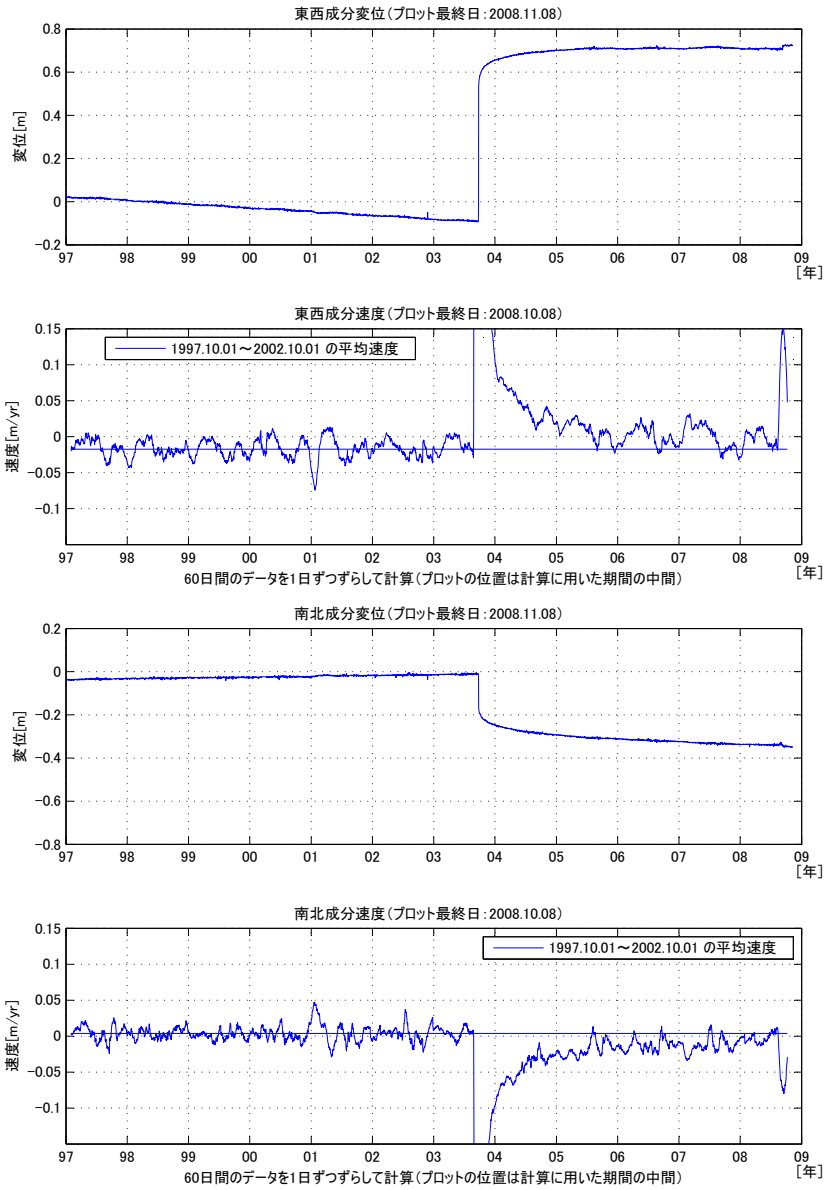
第６図　北海道地方東部・太平洋岸におけるGPS連続観測結果：固定点岩崎に対するトレンド成分を除去した時系列

Fig. 6　Results of Continuous GPS Measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (corrected time series data removing linear trend referred to Iwasaki) (4/4).

2003年十勝沖地震後の地殻変動

岩崎（950154）－えりも１（940019）間の成分変位と速度グラフ

2008年9月11日に発生した十勝沖の地震の影響が見られる．



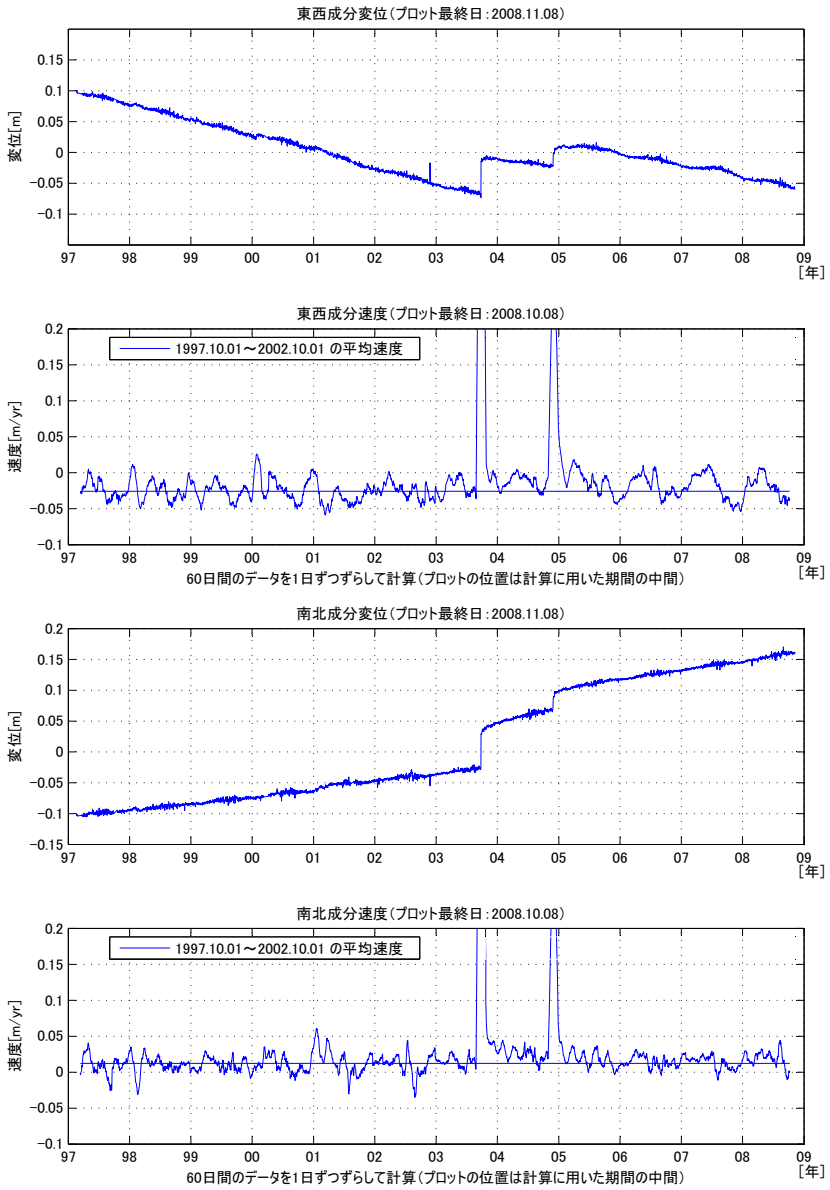
第７図　北海道太平洋岸のGEONET観測点における地殻変動速度の変化（えりも１観測点・時系列）

Fig. 7　Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Hokkaido (Time series at Erimo-1 site).

2004年釧路沖の地震後の地殻変動

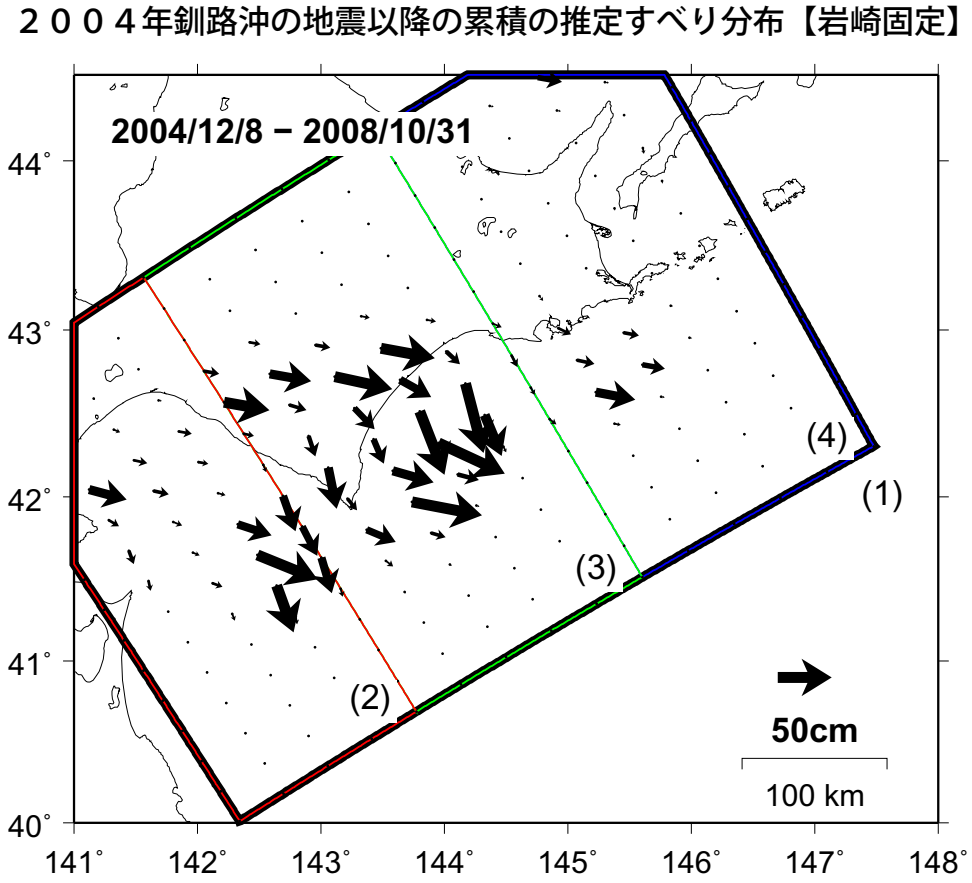
岩崎（950154）－根室４（960519）間の成分変位と速度グラフ

2004.11.29の釧路沖の地震以前の状態にほとんど戻ったように見える．
最新のデータに特段の傾向の変化は見られない．



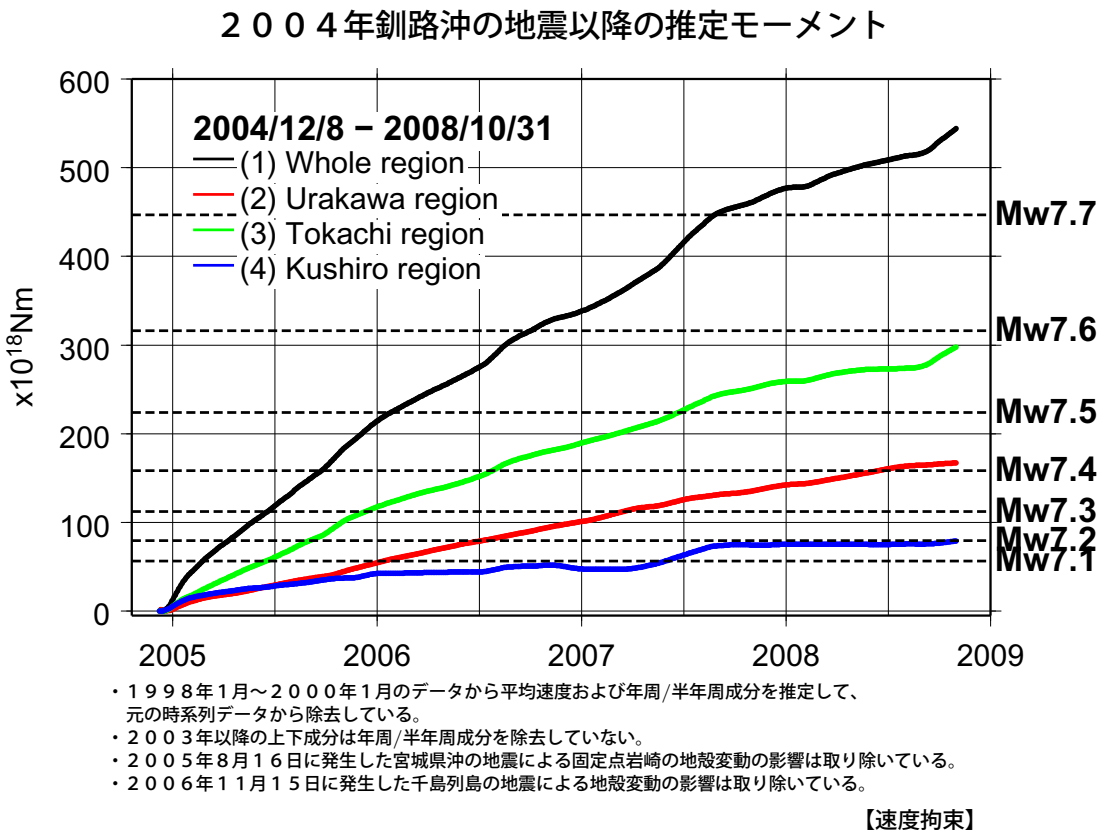
第８図　北海道太平洋岸のGEONET観測点における地殻変動速度の変化（根室４観測点・時系列）

Fig. 8　Crustal movement velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Hokkaido (Time series at Nemuro-4 site).



第９図a　時間発展インバージョンにより推定した2004年12月6日の釧路沖地震以降における北海道東部のプレート間滑り（滑り分布）

Fig. 9a　Slip on the plate boundary in eastern Hokkaido estimated by time dependent inversion after the Off-Kushiro earthquake on December 6, 2004 (Slip vector map).

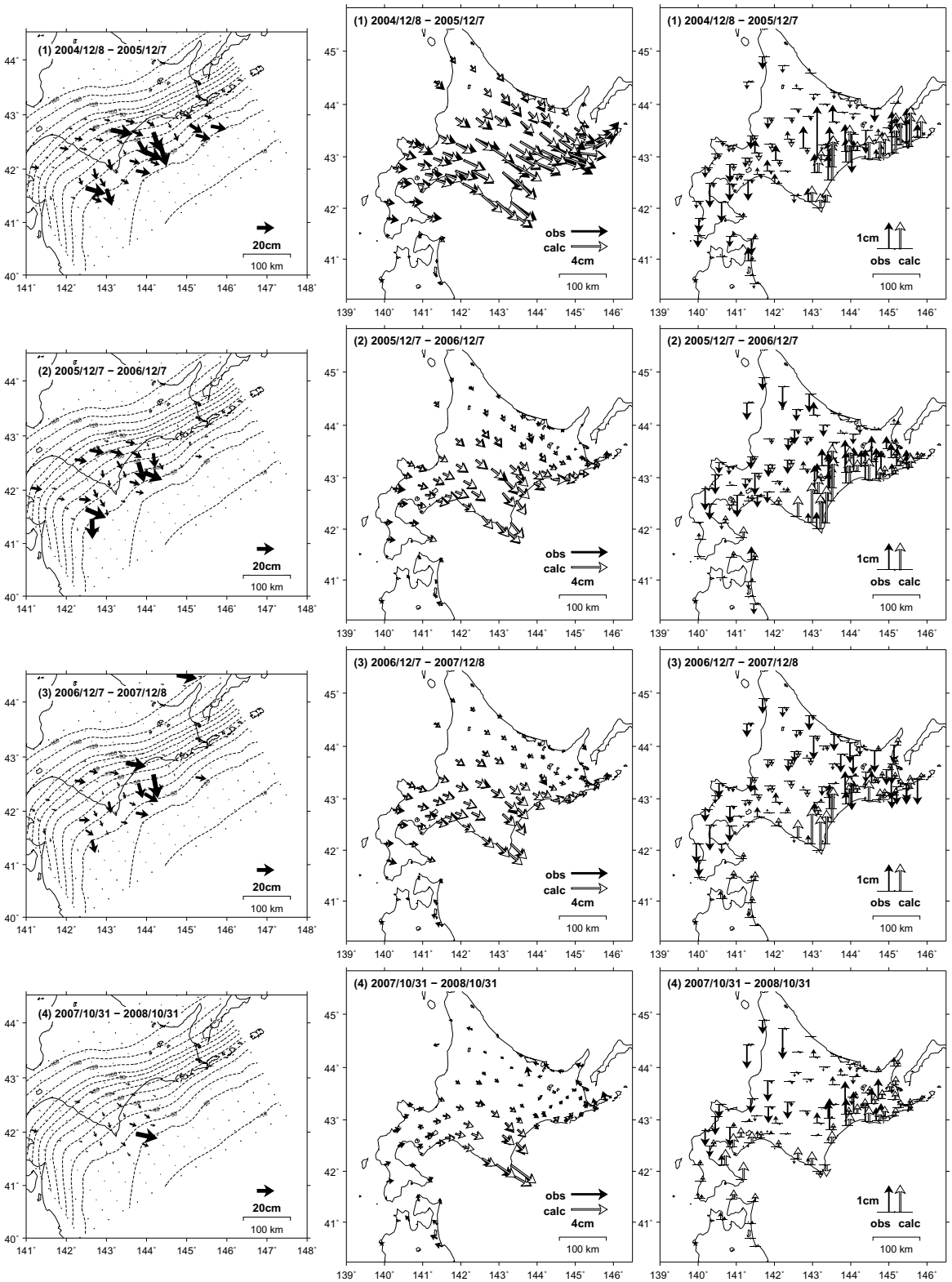


第９図b　時間発展インバージョンにより推定した2004年12月6日の釧路沖地震以降における北海道東部のプレート間滑り（モーメント時間変化）

Fig. 9b　Slip on the plate boundary in eastern Hokkaido estimated by time dependent inversion after the Off-Kushiro earthquake on December 6, 2004 (Time series of released moment).

２００４年釧路沖の地震以降の１年ごとの推定すべり分布
および観測値と計算値の比較（１）【岩崎固定】

【すべり分布】　　【水平変動】　　【上下変動】



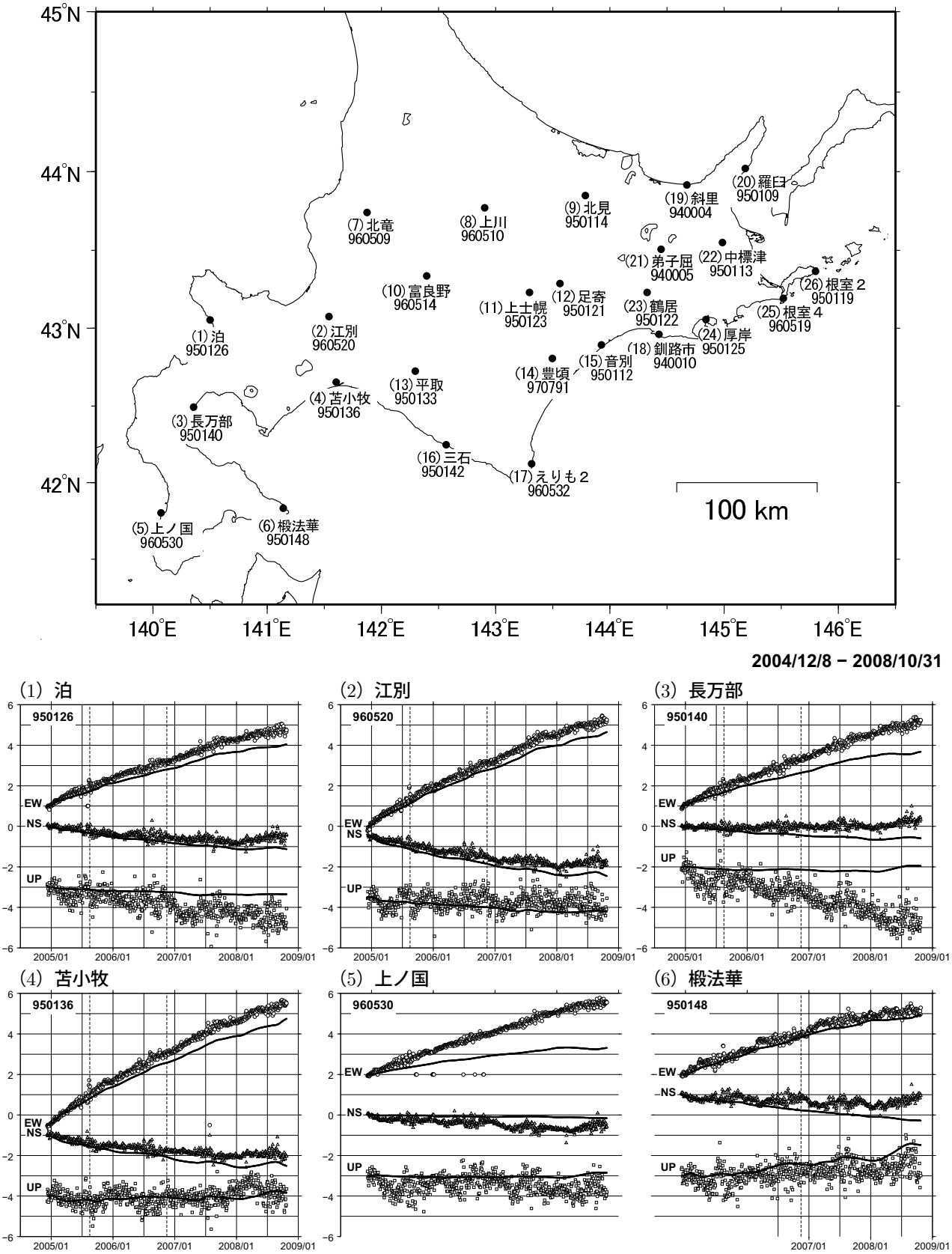
・（1）は、２００５年８月１６日に発生した宮城県沖の地震による固定点岩崎の地殻変動の影響を取り除いている。
・（2）は、２００６年１１月１５日に発生した千島列島の地震による地殻変動は取り除いている。

【速度拘束】

第10図　時間発展インバージョンにより推定した2004年12月6日の釧路沖地震以降における1年毎の北海道東部におけるプレート間滑り分布および観測値と計算値の比較

Fig. 10　Slip on the plate boundary in eastern Hokkaido estimated by time dependent inversion by every years after the Off-Kushiro earthquake on December 6, 2004, and comparison of horizontal and vertical components between observation and the calculation.

２００４年釧路沖の地震以降の観測値と計算値の比較時系列（１）【岩崎固定】

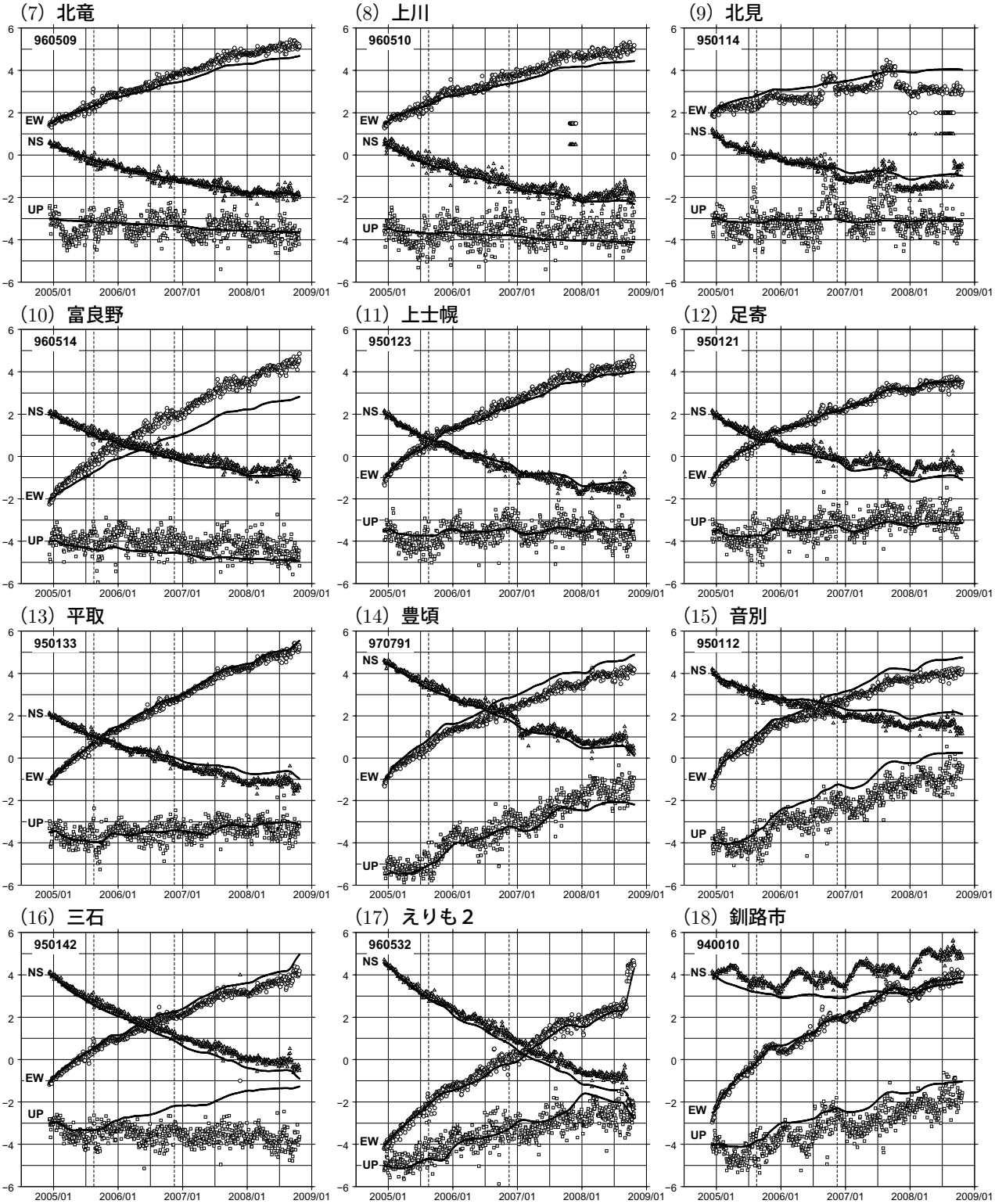


第11図　2004年釧路沖の地震以降における観測された非定常地殻変動とモデルによる計算値とを比較した時系列

Fig. 11　Time series of observed crustal movement compared with estimated movement by the slow slip model after the 2004 Off-Kushiro earthquake (1/3).

２００４年釧路沖の地震以降の観測値と計算値の比較時系列（２）【岩崎固定】

2004/12/8 – 2008/10/31



・点線はそれぞれ２００５年８月１６日宮城県沖の地震、２００６年１１月１５日千島列島の地震の発生日で、
地震時の地殻変動は取り除いている。

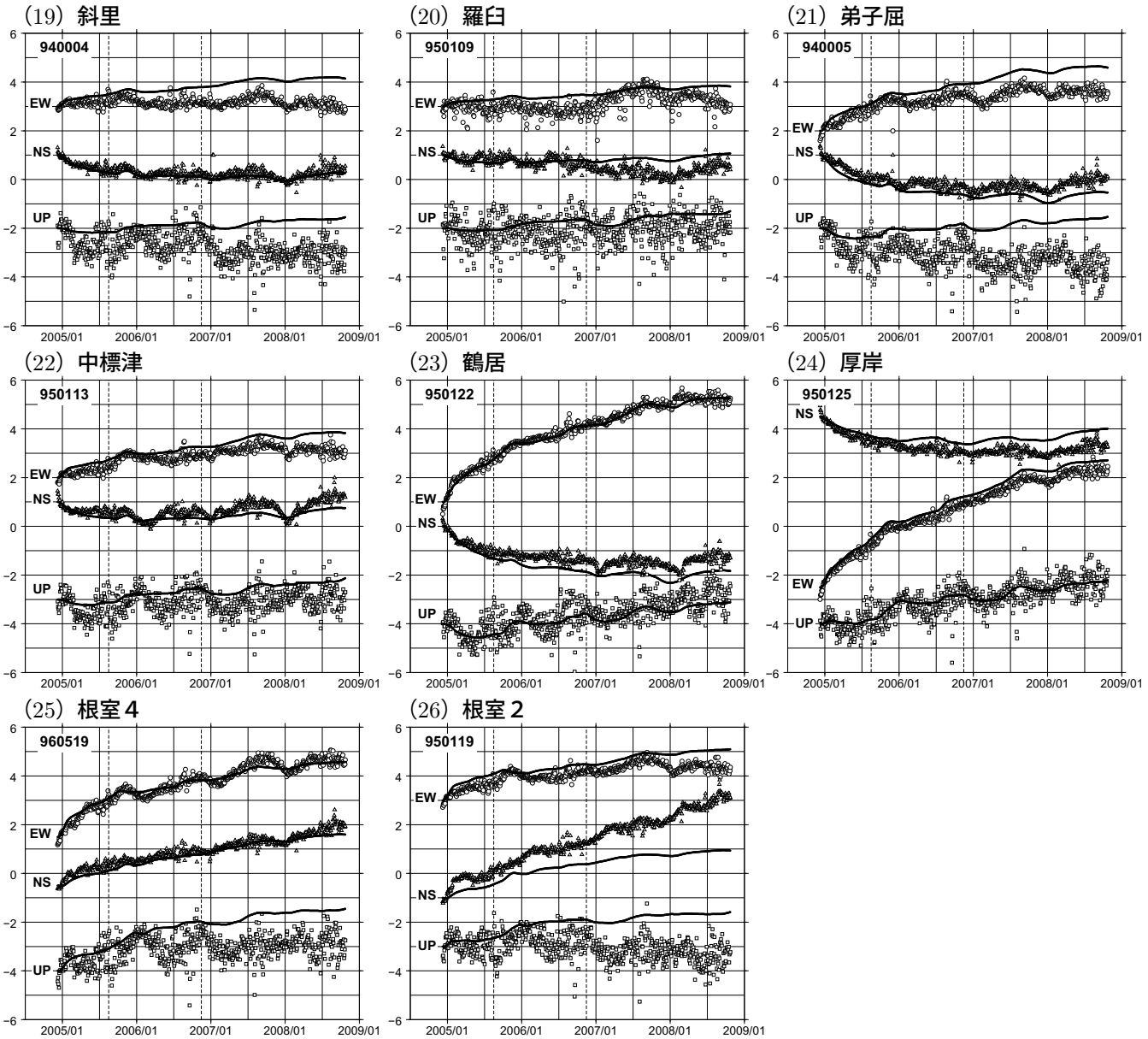
【速度拘束】

第12図　2004年釧路沖の地震以降における観測された非定常地殻変動とモデルによる計算値とを比較した時系列

Fig. 12　Time series of observed crustal movement compared with estimated movement by the slow slip model after the 2004 Off-Kushiro earthquake (2/3).

２００４年釧路沖の地震以降の観測値と計算値の比較時系列（３）【岩崎固定】

2004/12/8 − 2008/10/31



・点線はそれぞれ２００５年８月１６日宮城県沖の地震、２００６年１１月１５日千島列島の地震の発生日で、
地震時の地殻変動は取り除いている。

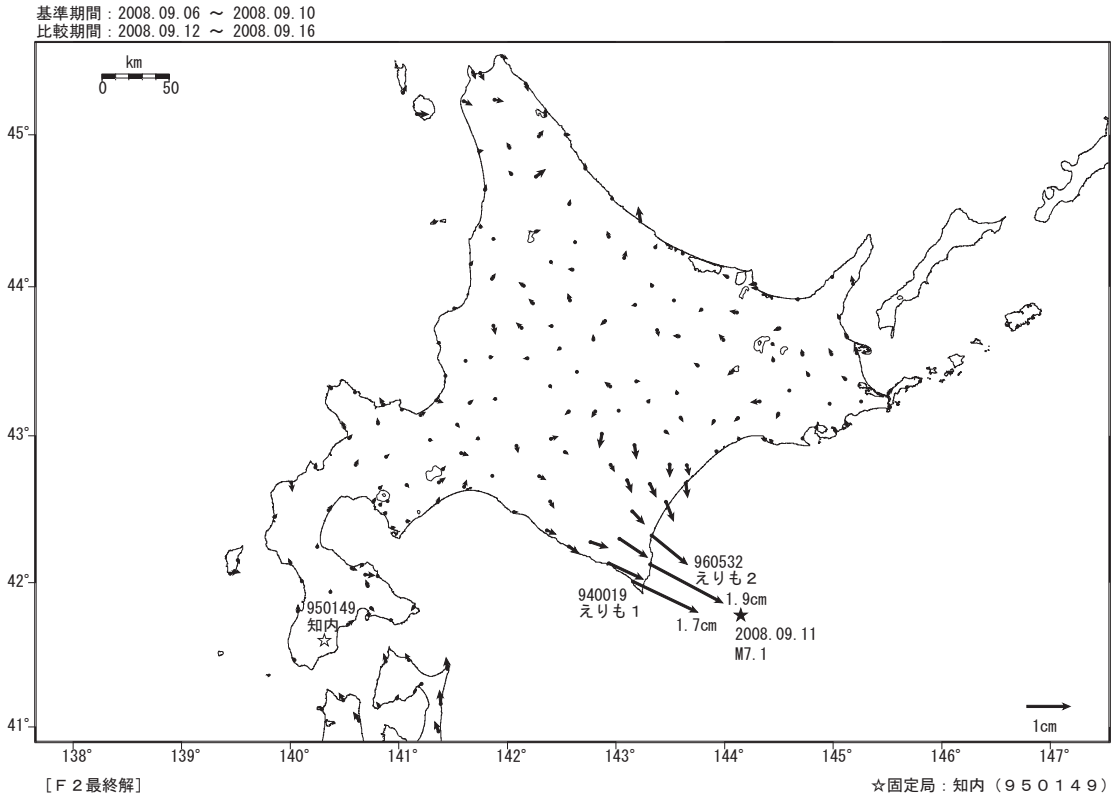
第13図　2004年釧路沖の地震以降における観測された非定常地殻変動とモデルによる計算値とを比較した時系列

Fig. 13　Time series of observed crustal movement compared with estimated movement by the slow slip model after the 2004 Off-Kushiro earthquake (3/3).

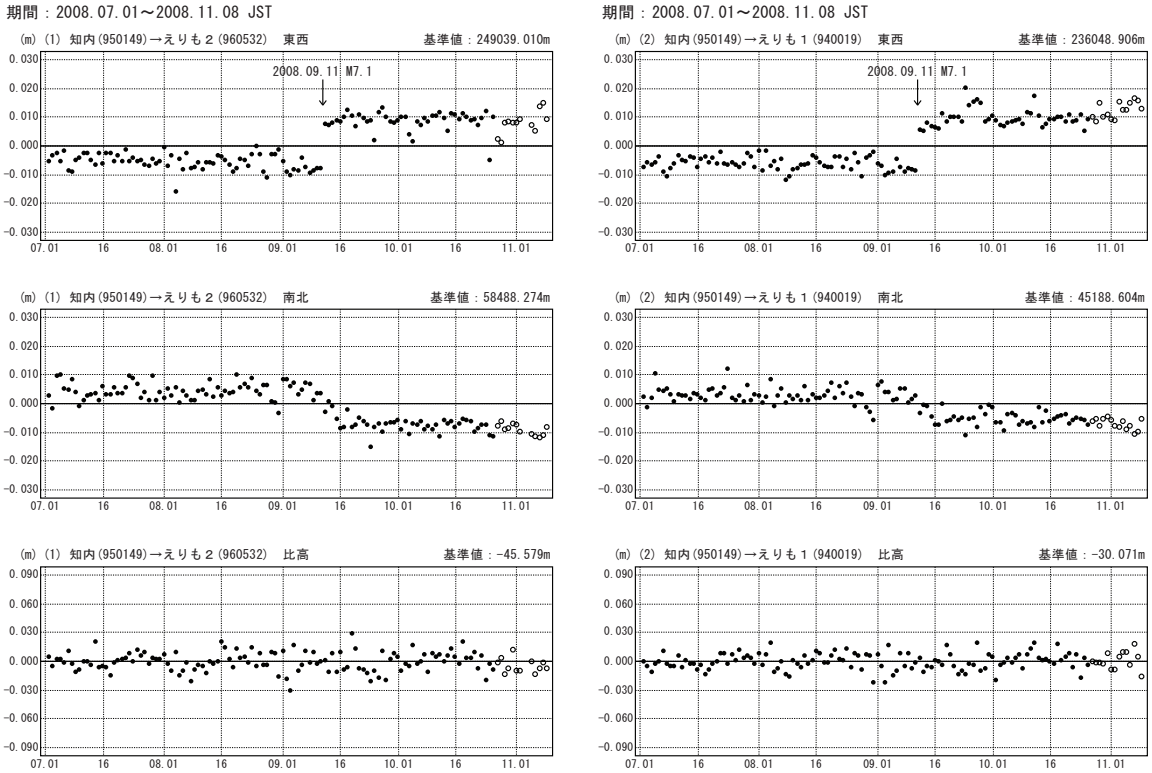
十勝沖の地震(9月11日，M7.1)に伴う地殻変動 暫定

この地震に伴い電子基準点「えりも２」で東南東方向へ約2cmの移動が観測されるなど，
北海道日高地方及び十勝地方の南部を中心とする地域で小さな地殻変動が観測された．

変動ベクトル図（水平）



成分変化グラフ



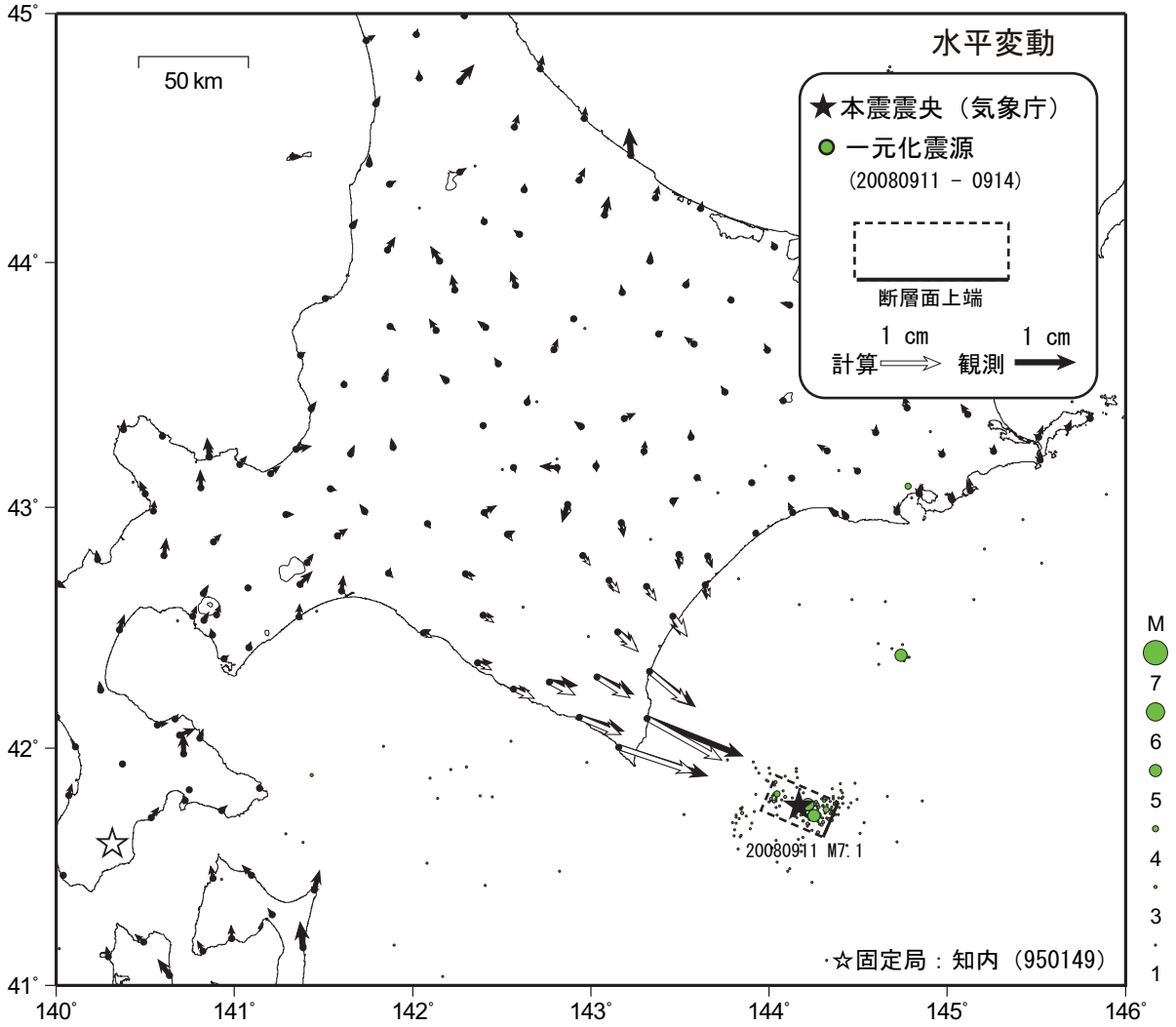
● ---[F2:最終解]　○ ---[R2:速報解]

第14図　十勝沖の地震に伴う地殻変動
Fig. 14　Crustal deformation associated with Tokachi-Oki Earthquake on September 11, 2008 (horizontal).

震源断層モデルと地殻変動
2008年9月11日の十勝沖の地震

基準期間： 2008/09/06 - 2008/09/10　　比較期間：2008/09/12 - 2008/09/14　（R2速報解）

GPSで観測された地殻変動から，北北東－南南西走向の西北西に傾き下がる
低角の逆断層(すべり量約1.2m)が動いたと推定された.



緯度	経度	上端深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜角	すべり角	すべり量 m	Mw
41.77°	144.39°	17	18	33	204°	14°	112°	1.15	6.8

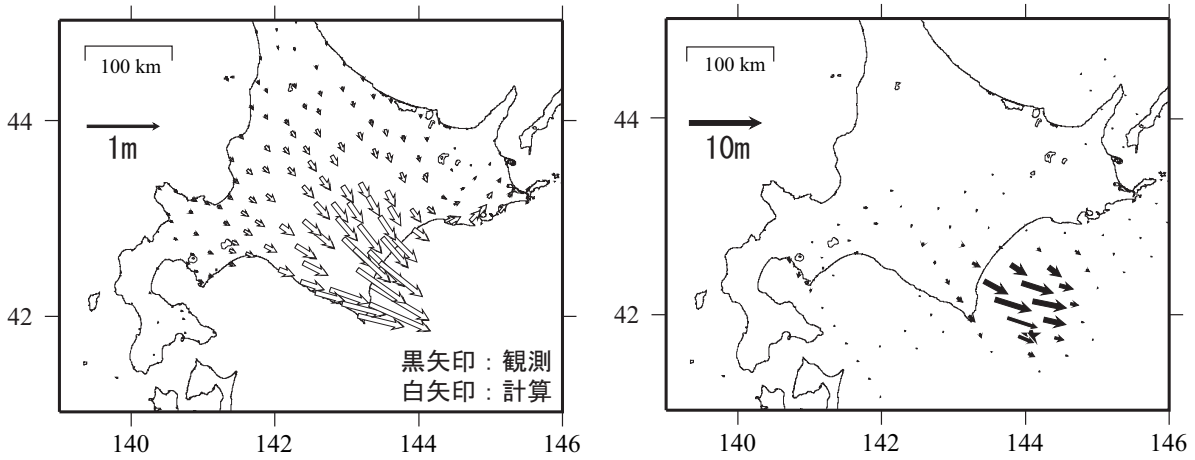
第15図　2008年9月11日の十勝沖の地震　震源断層モデルと地殻変動
Fig. 15　Crustal deformation associated with Tokachi-Oki Earthquake on September 11, 2008 (horizontal). Black arrows show observations, while white arrows show computation values from the model.

2003年, 2008年十勝沖の地震　地殻変動とプレート間滑りモデル

2008年の滑りは，2003年の滑り領域より南側に推定された.

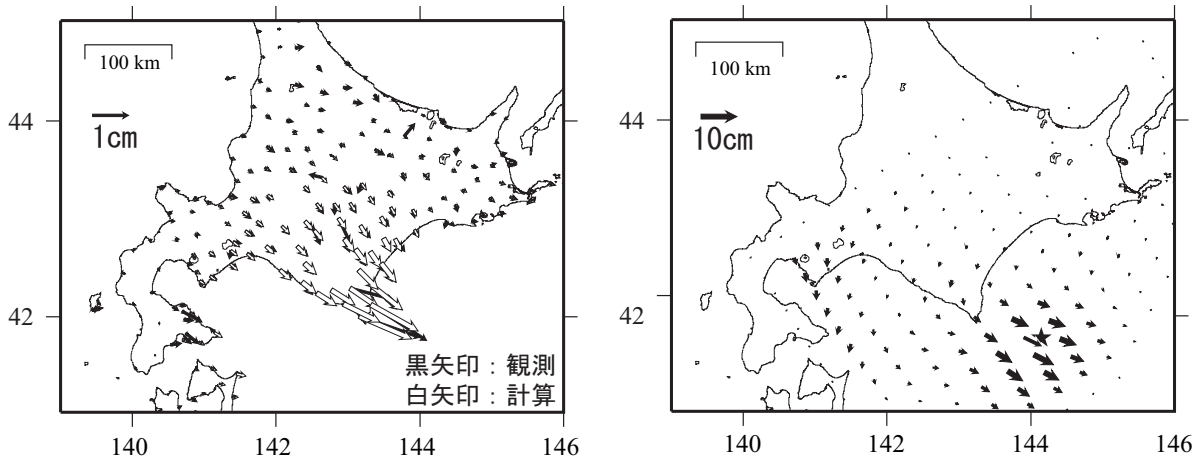
（１）2003年十勝沖地震

地殻変動（水平）　　滑り分布

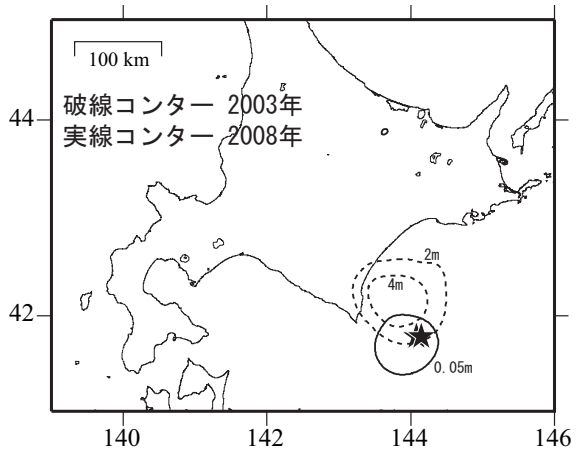


（２）2008年9月11日の十勝沖の地震

地殻変動（水平）　　滑り分布



（３）2003年と2008年の滑り分布の比較

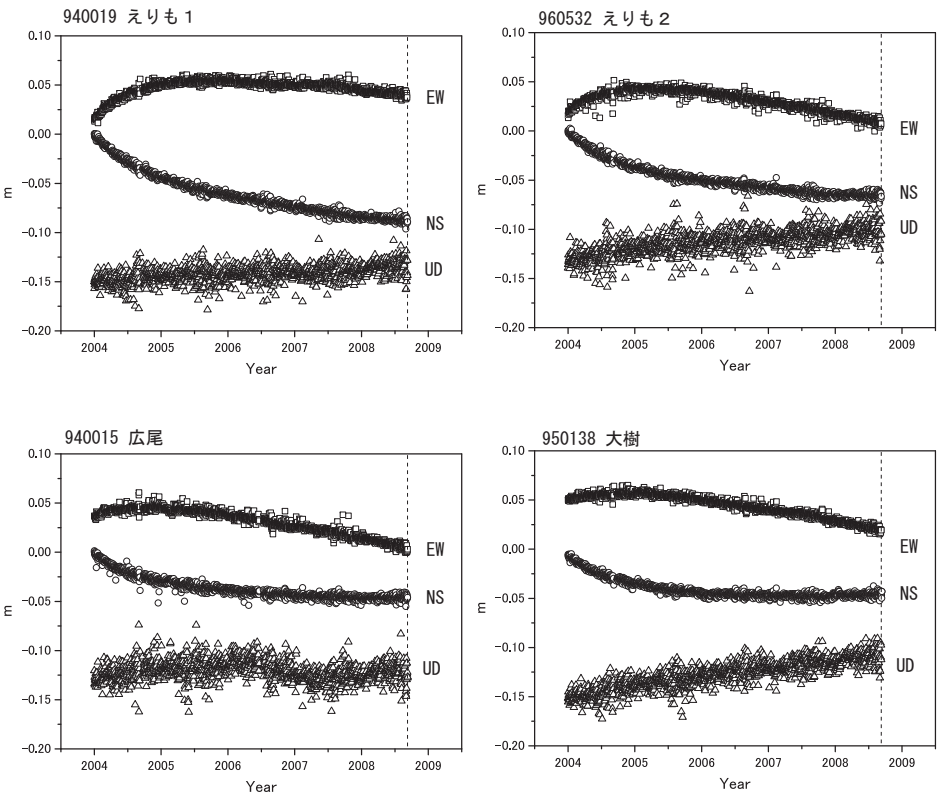


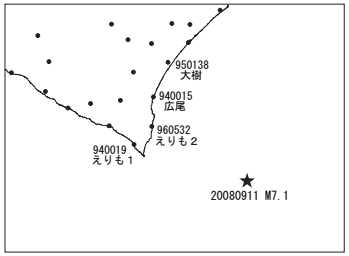
第16図　2003年と2008年の十勝沖の地震に伴う地殻変動及び推定滑り分布．2003年に比べて2008年の地震時地殻変動は内陸において急速に0に近づく．2008年の地震の滑り分布は，2003年の滑り領域の南端の付近に推定された．

Fig. 16　Crustal deformation and inter-plate slip model associated with the 2003 Tokachi-oki earthquake and the 2008 earthquake. Crustal deformation from the 2008 earthquake decreases quickly in an inland area. The estimated slip of the 2008 earthquake comes to the south edge of that of the 2003 earthquake.

2008年9月11日の十勝沖の地震前のＧＰＳ連続観測時系列（1）

南東方向への変動が次第に小さくなり，西向きの変動へと変わった．
これは2003年十勝沖地震の余効滑りが小さくなり，固着が回復しつつあったことを示している．

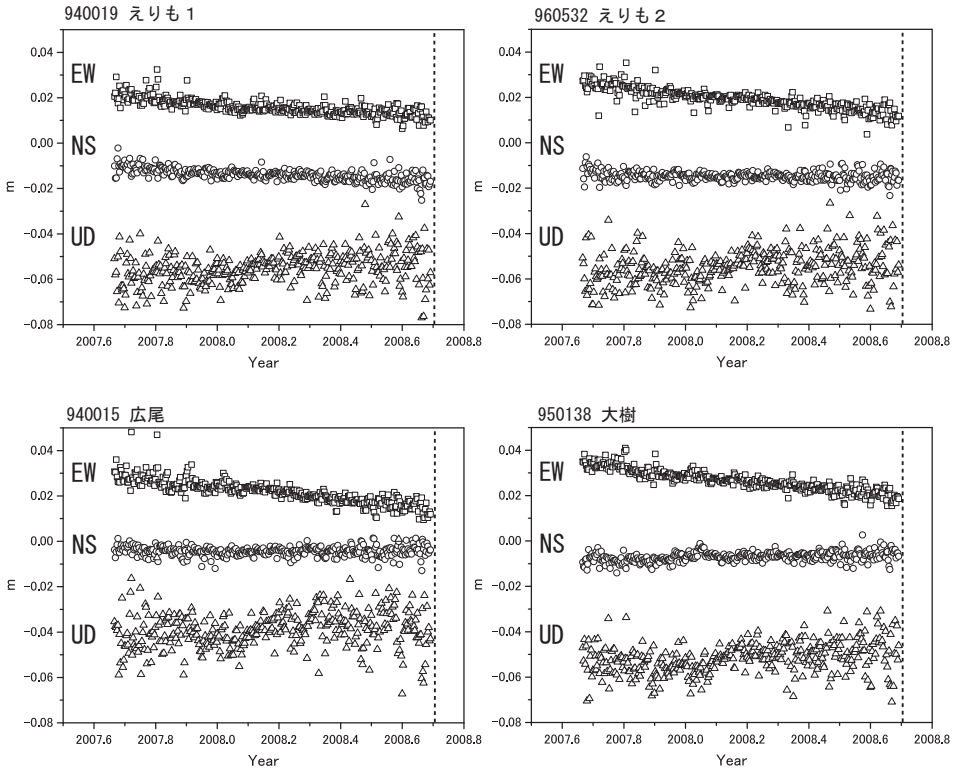


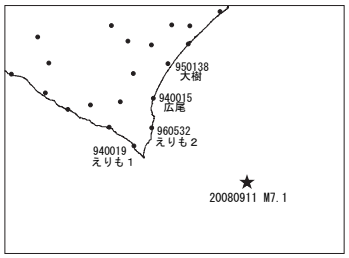


EW，NS，UDは東西，南北，上下成分を表す．
固定局：知内（しりうち）
半年周・年周成分除去後
破線は9/11の十勝沖の地震発生時期を示す．

2008年9月11日の十勝沖の地震前のＧＰＳ連続観測時系列（2）

地震前に短期的な変動は見られない．





EW，NS，UDは東西，南北，上下成分を表す．
固定局：知内（しりうち）
半年周・年周成分除去後
破線は9/11の十勝沖の地震発生時期を示す．

第17図　2008年9月11日の十勝沖の地震前のGPS連続観測時系列．長期・短期的に地震前の前兆と見られる動きは見られない．

Fig. 17　Time-series of observed crustal movement before the 2008 earthquake. There are no precursor signals both in long term and short term movements.