

2.3 地殻変動観測による地殻活動モニタリング

2.3.1 海底地殻変動観測

(1) 調査観測の内容

(a) 課 題 海底地殻変動観測

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東北大学大学院理学研究科	教 授	藤 本 博 巳

(c) 調査観測の目的

バックスリップが大きいと予想される地域に海底地殻変動観測基準局を新たに設置して、GPS音響結合海底精密測位観測の問題点の解明と精度向上、および地殻変動の現状把握を図る。

(2) 平成 15 年度の成果

(a) 調査観測の要約

3つの航海にわたって海底測地観測を行い、宮城県沖に海底地殻変動の観測点を2点設置し、海底精密測位観測の基礎を築いた。H14年度に購入したGPS・音響海底精密測位観測用の海底局4台を宮城県沖の陸側の想定震源域に近いGJT3サイト(図2.3.1-1および表2.3.1-1参照)に設置した。陸上のGPS観測により、ここはプレート境界の固着域の中心に近い場所であると推定されている。今年度さらに海底局3台を購入し、宮城県沖の海側に予想されている震源域の海側に位置するGJT4サイトに設置した。測位観測には新造した1.5m四方のブイを用いた。まず、このブイにGPSアンテナ3台と音響送受波器を装備し、船から数10m離して曳航して各海底局の位置決めを行った。各海底局の位置測定の見誤差は10-20cm程度と評価されている。短時間ではあったが各サイトの中心付近で海底局アレイの精密測位観測も行うことができた。この観測を長時間継続すれば、測定値の見誤差は5cmよりよくなると推定される。

(b) 調査観測の経過および成果

1) 調査観測の実施方法

海洋科学技術センター(JAMSTEC)の「なつしま・ハイパードルフィン」によるNT03-06航海レグ1(2003年6月10日横須賀センター岸壁発、6月21日仙台港着)に藤本博巳(東北大、首席研究員)、荒木英一郎・松本浩幸(JAMSTEC)、Aaron Sweeney・伊藤実(東北大)他が乗船し、釜石沖の海底掘削孔内計測用の作業や海底圧力観測のほか、前年度に購入した海底精密測位観測用の海底局3台を宮城県沖のGJT3サイトに設置した。台風6号接近のために2日半の予定であった観測時間が半日になり、測位観測はほとんど実行できなかった。

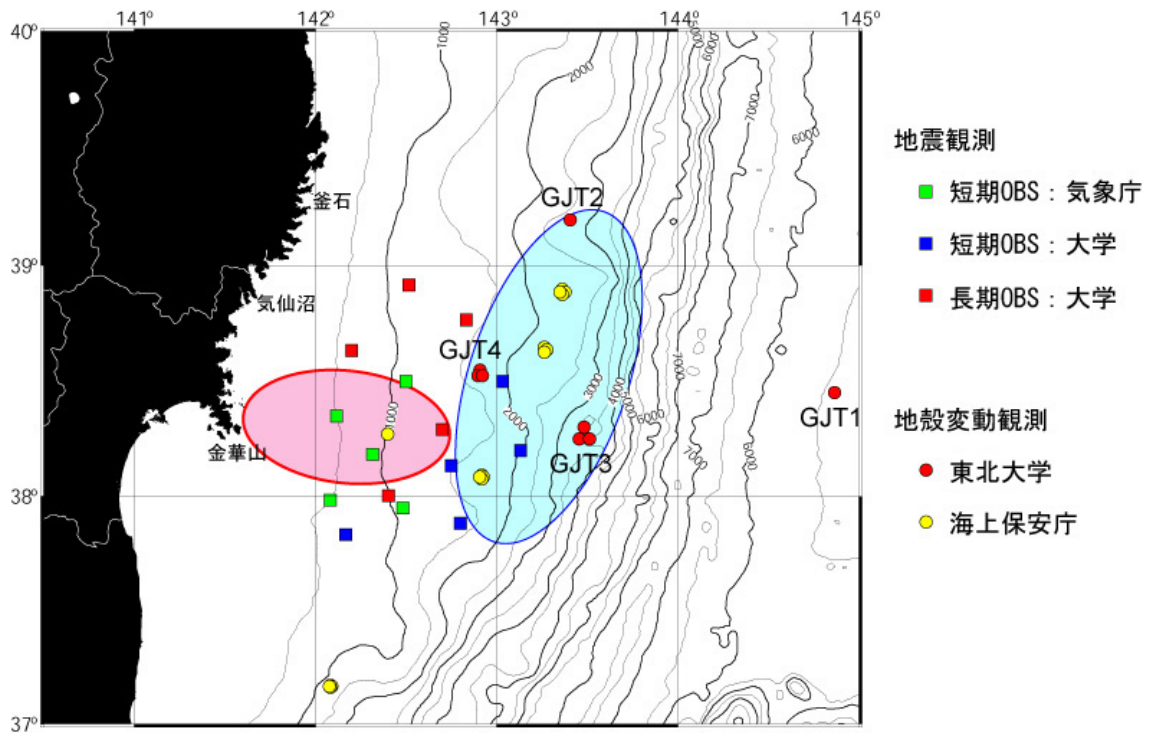


図 2.3.1-1 宮城県沖における海底地震観測点及び海底測地観測点。二つの楕円は想定震源域。

表 2.3.1-1 宮城県沖の海底精密測位用海底局の設置地点（東北大・東大地震研）

GJT1 (Deployment July 2002)

DJ4	38 - 26.9488	144 - 51.4892	5458.3m	7316m	9.76s
DJ5	38 - 23.8639	144 - 47.3511	5478 m	7343m	9.79s
DJ6	38 - 22.8472	144 - 53.3304	5426 m	7273m	9.70s

GJT2 (Deployment November 2001)

Unit 1	39 - 11.800	143 - 24.390	2700 m	3806m	5.07s
Unit 2	39 - 09.430	143 - 26.010	2800 m	3947m	5.26s
Unit 3	39 - 11.730	143 - 27.520	2800 m	3947m	5.26s

GJT3 (Deployment June/August 2003)

EJ13	38 - 17.002	143 - 27.498	3254 m	4105m	5.47s
EJ14	38 - 14.980	143 - 28.996	3274 m	4130m	5.51s
EJ15	38 - 16.978	143 - 30.533	3285 m	4144m	5.53s
EJ16	38 - 19.007	143 - 29.011	3295.8m	4157m	5.54s

GJT4 (Deployment July 2003)

Unit 1	38 - 25.231	142 - 49.976	1489.5m	2114m	2.82s
Unit 2	38 - 24.031	142 - 49.093	1483.8m	2106m	2.81s
Unit 3	38 - 24.027	142 - 50.886	1479.3m	2099m	2.80s

ついで東京大学海洋研究所の KT03-12 航海（8月4日塩釜港発、8月13日東京港着、ただし台風10号避難のため、8月8日から8月10日まで大船渡港内停泊）に藤本博巳（研究主任）・日野亮太・Aaron Sweeney・山本揚二郎・伊藤実・清水淳平・菅ノ又淳一（以上、東北大）、渡辺正晴（東大海洋研）、小濱広志（三井造船）が乗船し、東北沖日本海溝周辺で海底測地観測を行った。まず宮城県沖の GJT4 サイトに3台の海底局を設置し、引き続き6月の航海で3台の海底局を設置した GJT3 サイトにおいて、4台目の海底局に圧力計をつけて設置した。圧力計は設置水深を精密に測定する目的で用いており、海洋潮汐観測終了後回収した。また、前年度に3台の海底局を設置した日本海溝海側の GJT1 サイトにおいて26時間の観測を行い、この点においても初めての精密測位を行った。各海底局のまわりでブイを用いた測位観測を行って精密な位置を求めるとともに、海底局アレイの測位も行った。その後台風避難のため観測を中断したが、海況回復後、本航海で3台の海底局を設置した GJT4 サイトにおいて16時間弱の観測を行い、この点における初めて精密測位を行った。ここでも GJT1 と同じように、各海底局のまわりで測位観測を行って精密な位置を求めるとともに、海底局アレイの測位も行った。

10月には海上保安庁海洋情報部の観測船「かいよう」の三陸航海（10月9日東京港発、10月18日塩釜港着）に矢吹哲一郎（海洋情報部）、伊藤実（東北大）他が乗船し、海洋情報部との共同研究として海底測地観測を行った。4日間の観測日数のうちで、GJT2 と GJT3 において初めての海底測位観測を行った。この観測では、ブイの投入・揚収作業ができなかったため、海洋情報部で用いている GPS 受信機をそのまま使わせてもらい、音響測距には中折れ式の柱の先端に取り付けた音響送受波器を用いた。測位観測中は推進機を止める必要があるため、海底局の位置決めにはまわりの3-4点における測位、海底局アレイの測位観測は船をドリフトさせて行った。

2) 調査観測の成果

宮城県沖地震に関する二つの想定震源域の近くに、GPS 測位と海中音響測位を結合した海底精密測位の観測点を設置するとともに、ブイを用いた海底精密測位観測を行い、海底地殻変動観測の基礎を築いたことが今年度の主たる成果である。宮城県沖の陸側の想定震源域に近い GJT3 サイト（図 2.3.1-1 参照）には海底局4台を設置したが、陸上の GPS 観測により、ここはプレート境界の固着域の中心に近い場所であると推定されている。宮城県沖の海側に予想されている震源域の中心付近に位置する GJT4 サイトにも海底局3台を設置した（Fujimoto et al., 2003; 藤本ほか、2003）。

測位観測には新造した1.5m四方のブイを用いた。このブイに GPS アンテナ3台と音響送受波器を装備し、船から数10m離して曳航して各海底局の位置決めを行ったが、GPS および音響の計測も安定しており、ブイの投入・揚収作業にも問題ないことが確認できた（Fujimoto et al., 2003; 藤本ほか、2003）。各海底局の位置測定の誤差は10-20cm程度であると見積もっている。短時間ではあったが各サイトの中心付近で海底局アレイの精密測位観測も行うことができた。この観測を長時間継続すれば、測定値の誤差は5cmよりよくなると推定される（伊藤ほか、2003）。

3) 結論ならびに今後の課題（今年度目標の達成状況と課題，対策等）

宮城県沖地震に関する想定震源域の近くに、GPS 測位と海中音響測位を結合した海底精密測位の観測点を設置し、ブイを用いた海底測位観測も実施し、海底地殻変動観測の基礎を築いたことができた。この意味で、今年度の目標は基本的に達成されたと言える。ただし、海底局アレイの精密測位には数日間の観測が必要であるが、今年度は各サイトとも半日程度の観測しかできなかった。観測日数の確保が今後の最大の問題である。また解決すべき2つの技術的課題もある。その一つは、海底の精密位置を求めるために各海底局の周りを回って測位観測しているとき、現在は音速構造が時間的・空間的に変化しないと仮定しているが、投げ捨て式の計測装置等を用いてその変化を実測する必要があるということである。二つ目は、3つのGPSアンテナを用いた測位は、普通は安定しているが、まれに誤差が大きくなることがあるという問題で、その原因を調べて、対策を施す必要がある。

(c) 引用文献

藤本博巳・三浦哲・金沢敏彦・長田幸仁、GPS・音響を用いた海底地殻変動観測、京都大学防災研究所研究集会報告、14K-07, 155-159, 2003.伊藤実・藤本博巳・スウィーニアーロン・日野亮太・三浦哲・山本揚二郎・清水淳平・菅ノ又淳一・渡辺正晴・長田幸仁・川上 太一、日本海溝陸側におけるブイを用いたGPS/音響測位、地震学会2003年度秋季大会、C086、京都、2003年10月。

Fujimoto, H., S. Miura, A. Sweeney, M. Ito, Y. Osada, and T. Kanazawa, GPS/Acoustic seafloor positioning experiment in the subduction zone of the Japan Trench, Oceans 2003 Marine Technology and Ocean Science Conference, San Diego, USA, 22-26 September 2003.

(d) 文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著 者	題 名	発 表 先	発表年月日
Osada, Y., H. Fujimoto, S. Miura, A. Sweeney, T. Kanazawa, S. Nakao, S. Sakai, J. A. Hildebrand, and C. D. Chadwell	Estimation and correction for the effect of sound velocity variation on GPS/Acoustic seafloor positioning: An experiment off Hawaii Island	Earth, Planets and Space, 55 (10), e17-e20	Oct. 2003
佐野修・藤本博巳・山岡耕春・金沢敏彦・山内常生・田所敬一	新たな観測・実験技術の開発	月刊地球、292, 773-782	2003年12月
Fujimoto, H.	Seafloor geodesy and an ocean bottom cable system	Proceedings of Scientific Submarine Cable	27 June 2003

		2003 Workshop (SSC'03), 25-27 June 2003, Tokyo, IEEE Catalogue Number 03EX660, 251-254	
--	--	--	--

2)口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
Fujimoto, H., S. Miura, A. Sweeney, M. Ito, Y. Osada, and T. Kanazawa	GPS/Acoustic seafloor positioning experiment in the subduction zone of the Japan Trench	Oceans 2003 Marine Technology and Ocean Science Conference, Marine Technology Society, San Diego, USA	24September 2003
Fujimoto, H.	Seafloor geodesy and an ocean bottom cable system	Scientific Submarine Cable 2003 Workshop (SSC'03), IEEE & ION, Tokyo, Japan	27 June 2003
Fujimoto, H., S. Miura, Y. Osada, A. Sweeney, M. Nishino, H. Shiobara, T. Kanazawa, J.A.Hildebrand, and C. D. Chadwell	GPS/Acoustic seafloor positioning for direct observation of the seismic coupling in the subduction zone of the Japan trench	IUGG 2003, JSS03/03A/A13-006, IUGG, Sapporo, Japan	3 July 2003
Miura, S., A. Sweeney, H. Fujimoto, H. Osaki, E. Kawai, R. Ichikawa, T.Kondo, Y. Osada, and C. D. Chadwell	Evaluation of accuracy in kinematic GPS analyses for seafloor geodesy	IUGG 2003, JSS03/04A/D-001, IUGG, Sapporo	3 July 2003
Osada, Y., H. Fujimoto, S. Miura, H. Shiobara, T. Kanazawa, J. A. Hildebrand, and C. D. Chadwell	Repeatability of GPS/Acoustic seafloor positioning carried out near Hawaii Island and the Japan trench	IUGG 2003, JSS03/04A/D-003, Sapporo	3 July 2003
藤本 博巳・Aaron Sweeney・三浦 哲・長田 幸仁・村上 英幸	釜石沖日本海溝陸側斜面における GPS 音響結合海底測位	地球惑星科学関連学会 2003 年 合同大会、S081-P002、幕張	2003 年 5 月 29 日

長田 幸仁・藤本博巳・三浦 哲・塩原 肇・金沢 敏彦・ J. A. Hildebrand・ C. D. Chadwell	Repeatability of GPS/Acoustic seafloor positioning carried out around Hawaii Island and the Japan trench	地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会、D007-P015、幕張	2003 年 5 月 29 日
藤本博巳・スウィーニー アーロン・伊藤実・日野亮太・三浦哲・山本揚二郎・清水淳平・菅ノ又淳一・荒木英一郎・松本浩幸・渡辺正晴・金沢敏彦・長田幸仁	三陸沖日本海溝周辺海底測地観測の開始	日本地震学会 2003 年度秋季大会、C085、京都	2003 年 10 月 8 日
伊藤実・藤本博巳・スウィーニー アーロン・日野亮太・三浦哲・山本揚二郎・清水淳平・菅ノ又淳一・渡辺正晴・長田幸仁・川上 太一	日本海溝陸側におけるブイを用いた GPS/音響測位	地震学会 2003 年度秋季大会、C086、京都	2003 年 10 月 8 日
Sweeney, A., H. Fujimoto, M. Ito, S. Miura, R. Hino, Y. Yamamoto, J. Shimizu, J. Suganomata, Y. Osada, T. Kanazawa, and M. Watanabe	August 2003 GPS/Acoustic observations east of the Japan Trench	地震学会 2003 年度秋季大会、C087、京都	2003 年 10 月 8 日
藤本博巳・Aaron Sweeney・伊藤実・日野亮太・三浦 哲・金沢敏彦・長田幸仁	三陸沖日本海溝周辺の海底測地観測の進捗状況	日本測地学会第 100 回講演会、講演番号 19、東京	2003 年 10 月 22 日
藤本博巳・日野亮太・金沢敏彦	測地学における海底ケーブルの科学的利用	海底ケーブルの科学的利用に関するワークショップ、東京大学地震研究所、東京	2003 年 11 月 8 日
藤本博巳	海底における地殻変動観測	京都大学防災研究所研究集会「長周期イベントの理解へ向けての現状と今後」、京都大学防災研究所、宇治	2003 年 12 月 16 日

2.3.2 陸上 GPS 連続観測による地殻活動モニタリング

(1) 調査観測の内容

(a) 課題 陸上 GPS 連続観測による地殻活動モニタリング

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東北大学大学院理学研究科	教授	海野 徳仁
地震・噴火予知研究観測センター	助教授	三浦 哲

(c) 調査観測の目的

陸上において GPS 連続観測を実施し、宮城県沖地震想定震源域周辺の地殻活動をモニターする。

(2) 平成15年度の成果

(a) 調査観測の要約

本プロジェクトにて平成14年度に東北大学の金華山地震観測点に設置した GPS 連続観測システム、および国土地理院・東北大学の既設 GPS 連続観測網において得られたデータを蓄積している。平成15年度には想定震源域周辺で5月26日に M7.0 のスラブ内地震、7月26日に M6.4 の内陸地震が発生したため、これらの地震の前後で得られた GPS および水準測量のデータを用いて、測地インバージョンにより断層モデルの推定をおこなった。

(b) 2003年5月26日宮城県沖地震(M7.0)の断層モデルの推定

1) 調査観測の実施方法

2003年5月26日宮城県沖(気仙沼市直下)で M=7.0 の地震が発生した。震度は大きいところでは6弱が観測され、大きな被害がでた。この地震の震央は、想定されている宮城県沖地震の震央より約 80km 北に位置していた。この地震に伴い、地表で顕著な地震時地殻変動が観測された(図 2.3.2-1)。地表変位の特徴としては、震央から放射状に外側を向いており、震央に近いところで変位量は小さい反面、少し離れたあたりで最大となり、さらに震央から遠ざかるにつれて変位量は再び小さくなっている。これは、想定されている宮城県沖地震のようなプレート境界型地震の低角逆断層型地震による地表変位とは大分異なった特徴である。本課題では、あらかじめ地震波形解析などから得られている結果を用いて断層のジオメトリを拘束し、GPS 連続観測によって得られた地震時地殻変動データを用いて、断層モデルを推定する。

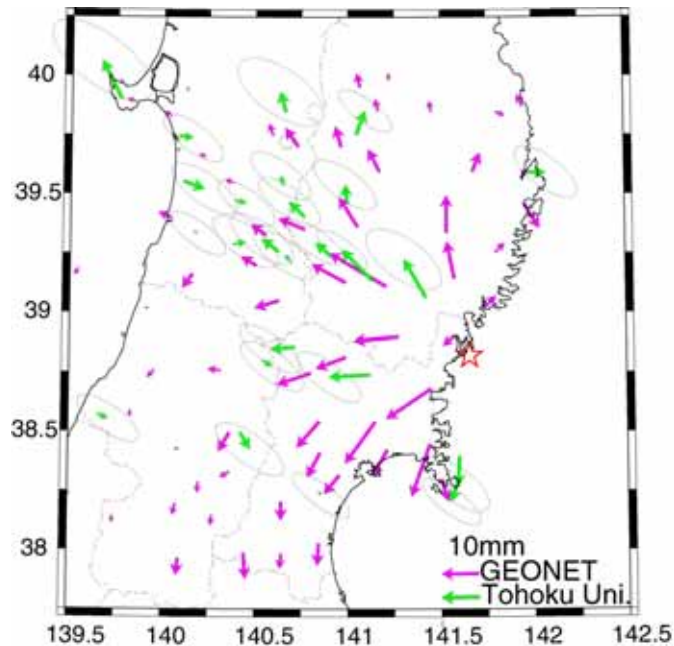


図 2.3.2-1 国土地理院・東北大学の GPS 連続観測点で得られた 2003 年 5 月 26 日の宮城県沖地震(M7.0)の地震時地殻変動。紫が国土地理院、緑が東北大学の観測点の水平変位ベクトルを示す。

断層モデルの幾何学的パラメーターについては、あらかじめ地震波形インバージョンによって得られたメカニズム解(Okada and Hasegawa, 2003)と Double Difference 法を用いて再決定された高精度余震分布(迫田、2003)より、断層のジオメトリ(走向、傾斜、深さ、位置)を拘束し、平面矩形断層面を仮定する(図 2.3.2-2)。すべり方向については傾斜方向の逆断層型に固定し、すべり分布については、Yabuki and Matsu'ura(1992)による手法を用いてインバージョンによって推定した。

2) 調査観測の成果

図 2.3.1-3 に推定されたすべり量分布を示す。すべり量の大きな領域は、余震が多数発生している領域によく対応している。最大すべりは、約 2m で本震の震央(破壊の開始点)の北側に位置していることがわかる。図 2.3.2-4 に八木・他(2003)による地震波形インバージョンの結果を示す。図をみると、南北二つの領域ですべり量が大きなことがわかる。GPS による推定では、そこまでの空間分解能はないと考えると、後者は前者を空間的に滑らかにしたような分布になっており、両者の結果は調和的であると言える。八木・他(2003)による地震モーメントの積算値は、約 $4.0 \times 10^{19} \text{Nm}$ であったのに対し、本研究では、約 $3.9 \times 10^{19} \text{Nm}$ となり概ね一致している。

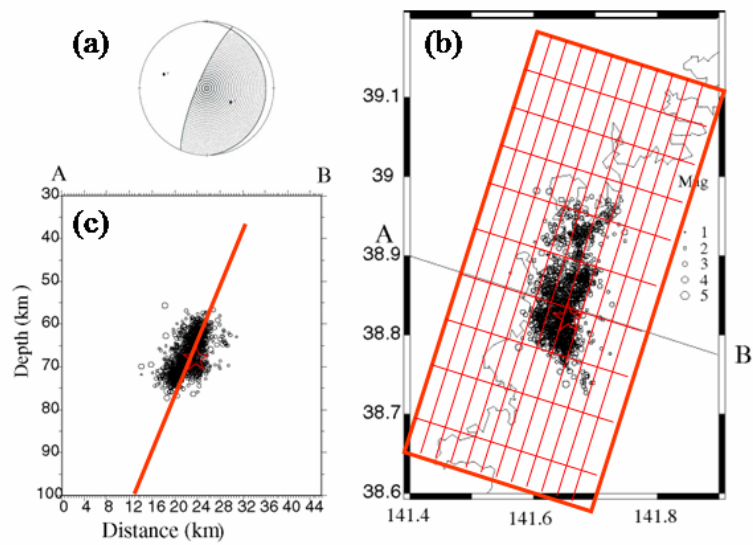


図 2.3.2-2. (a)Okada and Hasegawa (2003)によるメカニズム解。(b)迫田 (2003)による余震の震央分布と、(c)深さ分布。赤線は仮定した断層面を示す。

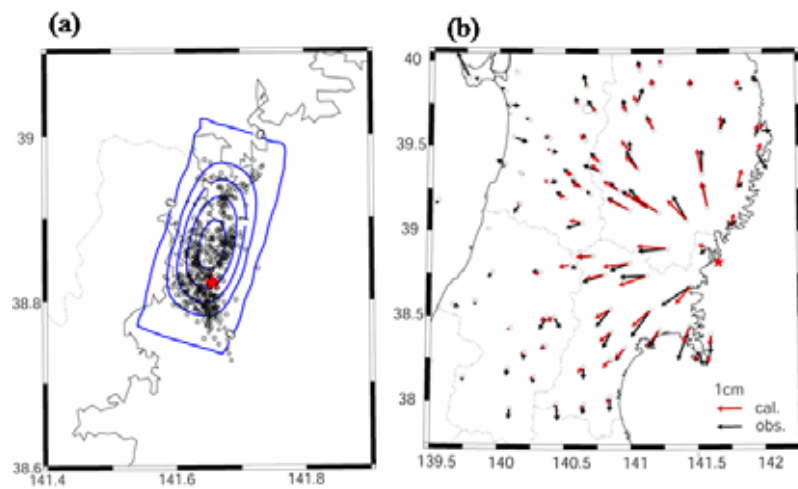


図 2.3.2-3 (a)インバージョンによって推定されたすべり分布。コンター間隔は 0.5m。 (b)観測された地震時水平変位と推定された断層モデルから計算された変位の比較。

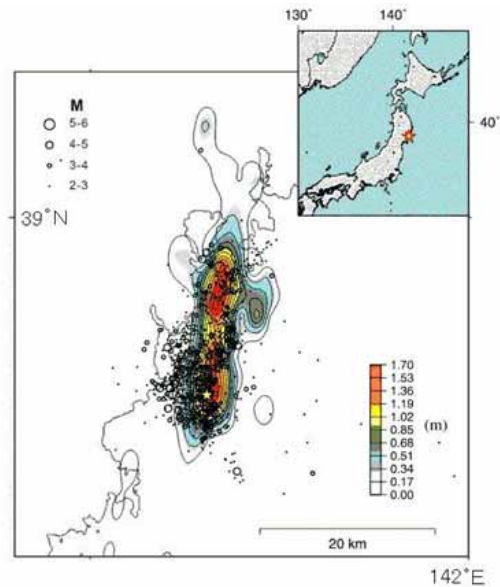


図 2.3.2-4 地震波形インバージョンによるすべり分布(八木・他,2003)

3) 結論ならびに今後の課題

2003年5月26日の宮城県沖地震は、深さ約70kmのスラブ内地震であったが、マグニチュードが7.0と比較的大きな地震であったために、地表でも広い範囲で地震時地殻変動が観測された。この地震は宮城県気仙沼市直下を震源域としており、地殻変動データはその西側のみでしか得られていないが、断層パラメターのうち幾何学的パラメターについては、余震分布やメカニズム解から先験情報として与えてやることによりすべり分布を求めることができた。得られたすべり分布は、地震波形インバージョンによって得られる分布ほどの空間的分解能はないが、その大まかな特徴はとらえることができた。

今後は、水準測量による上下動変動をデータとして与えることにより、どの程度分解能が向上するか検討する必要がある。

(c) 2003年7月26日宮城県北部地震(M6.4)の断層モデルの推定

1) 調査観測の実施方法

2003年7月26日07時13分に宮城県北部を震源とするM6.4の内陸地震(以下では宮城県北部地震と称する)が発生した。この地震は、それぞれM5.6、M5.5の最大前震(同日00:13)、最大余震(同日16:56)を伴っており、これらの震源の深さが約7kmと浅かったこともあって、600人以上がけがをし、家屋10,000棟以上が被害を受けた。

本震発生後約10時間後には、東北大学の地震・噴火予知研究観測センターによって震源域近傍に臨時余震観測網が展開され、Okada *et al.*, (2003)は、得られたデータに、Waldhouse and

Ellsworth (2000)によって考案された二重差震源決定法を適用することにより、非常に高精度な余震分布を得た。海野・他(2003)は、同じデータを用いて、多数の余震のメカニズム解を求めた結果、大部分の余震は逆断層型のメカニズム解を持つこと、また、余震のメカニズム解の主圧力軸は、震源域の南側領域では北西 - 南東、中央部では東西、北側領域では北東 - 南西であることを明らかにした。また、八木・他(2003)は、地震波形インバージョンを行い、前記の三つの主要なイベントのすべり分布を求め、最大すべりが余震域の中央部やや北側に存在することを示した。

例えば Seno *et al.* (1980)などによれば、宮城県沖では、M7.5 クラスのプレート境界型大地震が繰り返し発生していることが知られている。もっとも最近発生したイベントは、1978 年の宮城県沖地震(M7.4)であり、今回の地震はその真西に位置している。政府の地震調査研究推進本部では、過去の歴史地震の記録にもとづいて、宮城県沖地震の長期評価を行い、次の M7.5 クラスの宮城県沖地震が今後 10 年以内に起こる確率を約 40%、30 年以内では約 99% と非常に高い確率で発生する可能性を公表している。

この長期評価の結果に鑑み、国土交通省国土地理院は、既存の GPS 連続観測網における GPS 観測とともに、宮城県北部地域においてキャンペーン方式の GPS 臨時観測、ならびに水準測量を実施した。特に水準測量については、地震発生前日に震源域近傍を通る路線の測量作業を完了していたが、地震発生をうけて急遽 2 回目の測量を行うことにより、地震時の上下変動を捉えることができた。GPS 臨時観測についても地震前に観測を行っており、地震後の再測によって、貴重なデータが得られている(Nishimura *et al.*, 2003)。

Nishimura *et al.* (2003)は、2 枚の矩形断層を用いて観測された地震時地殻変動の説明を試みており、得られたモデルは、観測された地殻変動を概ね説明するものであったが、2 枚のモデル断層は一部重なっており、Okada *et al.* (2003)によって得られた余震分布とは、整合していない。そこで本研究では、Okada *et al.* (2003)による高精度余震分布のデータにもとづいて曲面断層を仮定し、その断層面上でのすべり分布を Yabuki and Matsu'ura (1992)によって考案された測地インバージョン法によって推定した結果について報告する。

2) 調査観測の成果

国土地理院では、全国に 1000 点以上の観測点からなる GPS 連続観測網、GEONET、(GPS Earth Observation Network) を構築している(Miyazaki *et al.*, 1997)。この観測網から得られるデータは、地震時や地震後の地殻変動(例えば、Heki *et al.*, 1997; Nishimura *et al.*, 2000)や、火山活動に伴う地殻変動(例えば、Miura *et al.*, 2000)、歪集中帯の発見(例えば、Sagiya *et al.*, 2000; Miura *et al.*, 2002)等々、日本列島で進行しているさまざまな時間・空間スケールの地殻変動に関して重要な知見を提供している。しかし、平均的な観測点間距離は、20 ~ 30km 程度であり、今回の地震のような M6 クラスの地震による地殻変動を詳細に議論するには十分な観測点密度とは言い難い。

宮城県沖では、前述のように次の M7.5 クラスのプレート境界型地震の発生確率が年々高まっているため、国土地理院では GEONET に加え、数日間の観測を繰り返し行う(キャンペーン観測)

ための測点網を宮城県北部地域に設置し(図 2.3.2-5)、地震前に 1 回目の観測を完了していた。また、地震調査研究推進本部の長期評価にもとづいて、文部科学省では、2002 年から 3 年計画で「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点的調査観測」を行っており、その中の観測項目の一つとして仙台市から牡鹿半島突端に至る一等水準路線の再測量が挙げられていたため、国土地理院では 2003 年 7 月 9 日から測量作業が行われていた。地震前日の 7 月 25 日までは仙台市から石巻市までの路線の測量が終了しており、地震発生を受けて 7 月 29 日から 8 月 4 日にかけて再測が行われている。この結果、地震の直前・直後の貴重な上下変動データが得られている。

GPS 機動観測点と国土地理院および東北大学の GPS 連続観測点、水準測量によって得られた地震時地殻変動を図 2.3.2-2 に示す。図 2.3.2-6(a)の黒矢印は水平変動、(b)の黒三角は水準路線に沿った上下変動を示す。GPS 連続観測点における水平変動の推定誤差は、時系列の短期再現性から約 2 - 3mm 程度、GPS 起動観測点の場合は、観測時間が 48 時間しかないため、その 2 倍程度と考えられる。

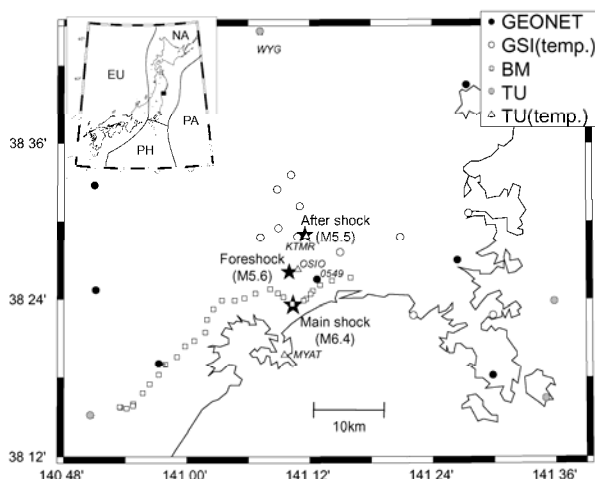


図 2.3.2-5 震源域周辺の測地観測点配置図。黒丸、白丸、白四角は、国土地理院の GEONET 観測点、GPS 機動観測点、水準点を、灰色丸、三角印は、東北大学の GPS 連続観測点および臨時観測点を示す。

震源域に最も近い GEONET 観測点 0549(矢本町立矢本東小学校)の座標値の時系列を図 2.3.2-6(c)に示す。解析には、米国航空宇宙局(NASA)ジェット推進研究所(JPL)で開発された GIPSY/OASIS-II というソフトウェアのなかの精密単独測位法(Zumberge *et al.*, 1997)を用いた。この解析方法では、グローバルな解析によって GPS 衛星の精密軌道暦・時計誤差、地球回転パラ

メーターなどを予め高精度で推定しておき、それらを使って観測点位置を推定するため、特に基準点を必要としない。また、得られる結果は、地球重心に原点を持ち、地球の自転とともに回転する直角座標系(ITRF 座標系)上の座標値として得られる。それを GRS80 という回転楕円体の緯度・経度・楕円体高に変換したものが図示されている。図に示したように、宮城県北部地震によって南東方向に16cm変位しており、また約8cmの隆起が顕著である。なお、5月末にもわずかなステップ的な変化が見られるが、これは、5月26日に気仙沼市周辺直下で発生したM7.1の地震によるものである。

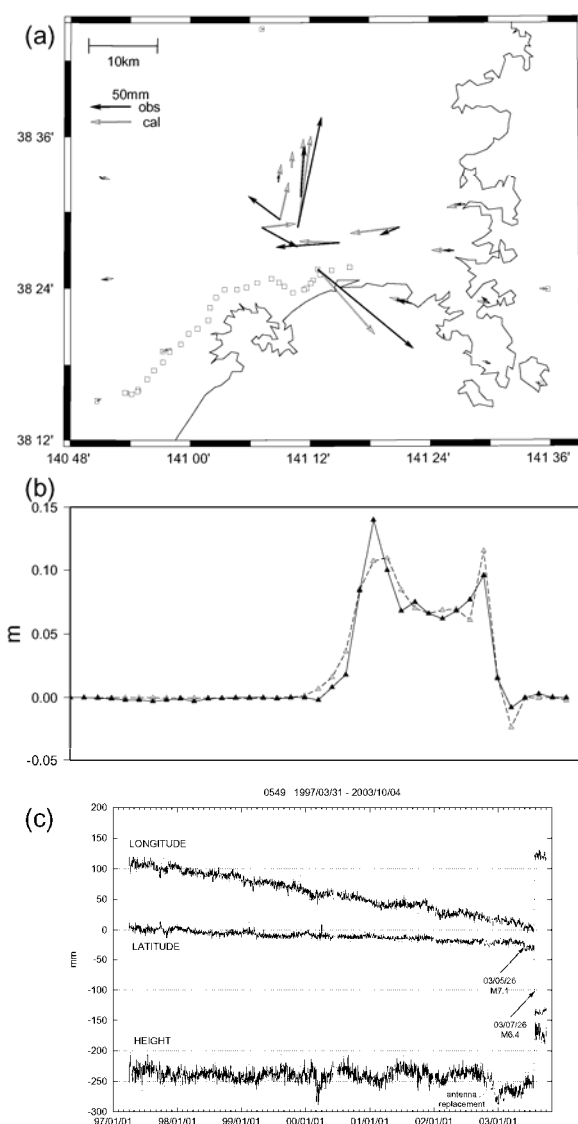


図2.3.2-6 . GPS、水準測量により観測された地震時地殻変動および測地インバージョンにより推定されたすべり分布から計算された地殻変動。(a)黒矢印、灰色矢印はそれぞれ水平変動の観測値および計算値を示す。(b)黒三角、灰色三角はそれぞれ上下変動の観測値および計算値を示す。(c)本震近傍の国土地理院矢本観測点(0549)の座標値の時系列。宮城県北部地震による顕著な地震時地殻変動(南東方向に約16cm、及び約8cmの隆起)が観測されている。5月下旬に見られる小さなステップ的な変化は、5月26日に気仙沼市周辺直下で発生したM7.1の地震による地震時変動である。2002年12月に見られる沈降は、GPSアンテナの交換による見かけの変動である。

震源域から遠方の観測点の水平変位に着目すると、西側の観測点では東向き、東側の観測点では西向きの変位が卓越している。また、震源域近傍では顕著な隆起が観測されている。このような地震時地殻変動の特徴は、地震のメカニズムが逆断層型であることを示しており、海野・他(2003)の結果と一致する。次章では、これらの観測データをもとに、Okada *et al.* (2003)による精密余震分布から示唆される曲面断層面上のすべり分布を測地インバージョン法によって推定する。

測地インバージョン法としては、Yabuki and Matsu'ura (1992)によって考案された手法を用いる。この方法では、予め仮定された断層面(曲面でも可)においてすべり分布を推定する際に、すべり分布は滑らかであるという物理的な先験情報を取り入れ、分布の粗さの度合いは観測データの品質や数によって統計的に最適になるように推定される。

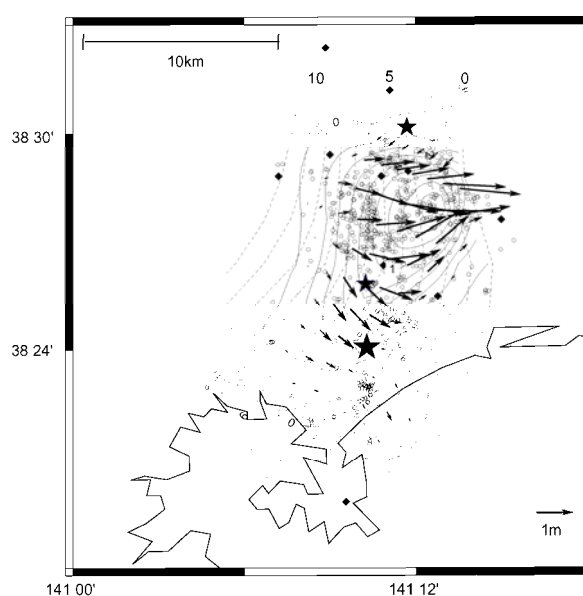


図2.3.2-7 . Yabuki and Matsu'ura (1992)による測地インバージョン法により推定されたすべり分布(黒矢印)。破線はOkada *et al.* (2003)により得られた高精度余震分布(丸印)に基づいて仮定した曲面断層の等深線(1km間隔)。細実線は、すべり量の等値線を示す(0.2m間隔)。星印は、北から最大余震、最大前震、本震の震央を、菱形はGPS観測点を示す。

図 2.3.2-7 は、この手法によって推定されたすべり分布を示す。推定されたすべり分布から計算された水平・上下変位を図 2.3.2-6 に灰色の矢印、および灰色の三角で示した。全体的な特徴については、概ね説明できていると考えられるものの、観測点によっては、計算値と観測値があまりよく合っていない場合も見受けられる。この原因については、例えば地表近くの副次的な断層による局所的な変動や、地震による強振動にさらされたことによるアンテナ固定柱や基準点の不安定性などが考えられる。推定されたすべり分布を見ると、約 1.6m の最大すべり域は、余震域の北側、すなわち最大前震と最大余震の中間付近にある。また、その周辺では、余震活動も相対的に活発であることがわかる。

得られたすべり分布から地震モーメントを積算すると、約 1.8×10^{18} Nm 程度($M_w 6.1$)となり、例えば八木・他(2003)により得られている地震モーメントの推定値と一致している。このことは、今回の地震では、本震発生前後数日間では、特に顕著な非地震性すべりはなかったことを意味する。

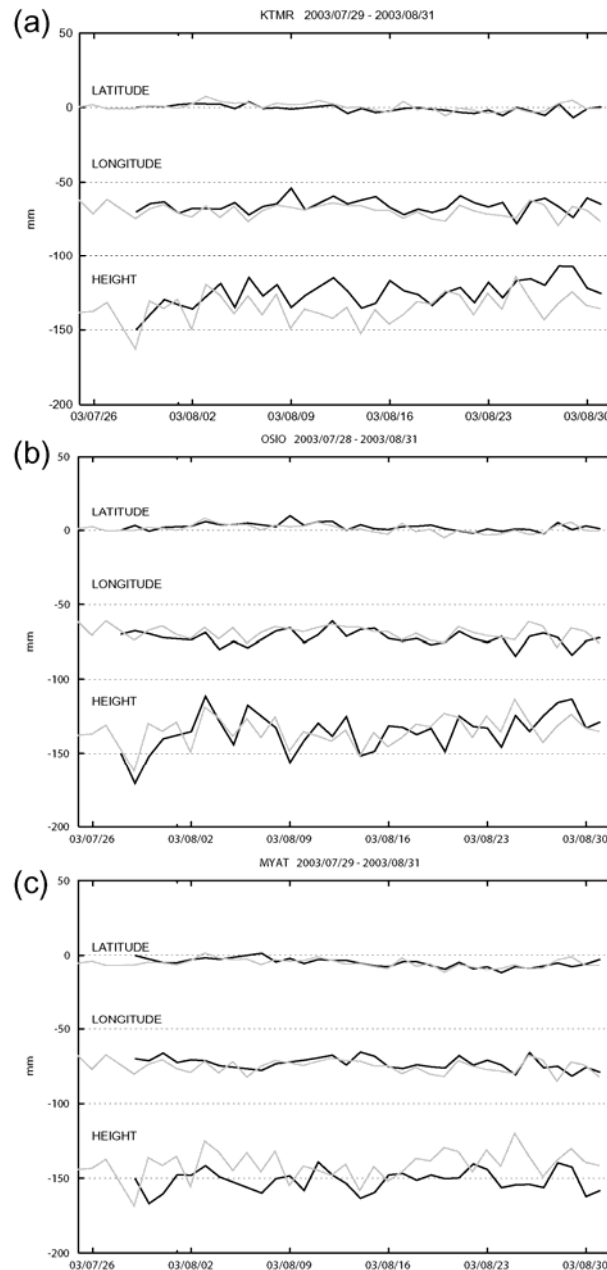


図2.3.2-8 東北大学のGPS臨時観測点の座標値の時系列。(a)河南町北村観測点(KTMR)、(b)矢本町大塩観測点(OSIO)、(c)鳴瀬町宮戸観測点(MYAT)。灰色は震源域から北に約30km離れた位置にある若柳観測点の時系列。

我々は、今回の地震活動にともなって余効変動の有無を確認するため、本震発生の2日後から震源域直上でGPS臨時観測を開始した。観測点配置は、図2.3.2-5の三角印で示してある。

各観測点には、東北大学の GPS 連続観測点と同じ仕様の米国 Ashtech 社製の 2 周波 GPS 受信機とチョークリングアンテナを設置してある。観測されたデータの伝送方法は、鳴瀬町宮戸 (MYAT) と河南町北村 (KTMR) の両観測点については、携帯電話にモデムを接続し 1 日 1 回のダイヤルアップによって収集する方法をとった。矢本町大塩 (OSIO) については、臨時余震観測点でもあったため、全国大学衛星テレメーターシステム (ト部, 1996) を採用し、地震データとともにリアルタイムで仙台の東北大学理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センターに伝送した。なお、MYAT 観測点については、後に携帯電話から一般加入電話に変更した。

データ解析には、前述の GIPSY/OASIS-II (Zumberge *et al.*, 1997) を用いた。この手法は、研究的な用途によく用いられている (例えば、Ohtani *et al.*, 2000; Shoji *et al.*, 2000; Takiguchi *et al.*, 2000)。図 2.3.2-8 にこれらの臨時観測点で得られた座標値の時間変化を示す。各観測点の時系列には、震源域から約 30km 離れており、有意な地震時地殻変動が観測されていない東北大学の若柳観測点の時系列を重ねてしめしてある。両者を比較すると図示した期間においては、顕著な余効的地殻変動は観測されていないようである。

3) 結論ならびに今後の課題

最近約 10 年間の間に、GPS によって観測された内陸地震に伴った地震後地殻変動に関する論文がいくつか発表されている。Shen *et al.* (1994) は、1992 年に米国カリフォルニア州で発生した M7.3 のランダース地震後に約 55mm に達する地震後地殻変動が観測されたことを報告している。観測された変動の時系列に指数関数を当てはめたところ、時定数は約 34 日であった。Nakano and Hirahara (1997) は、1995 年の兵庫県南部地震 (M7.2) 後に、時定数約 50 日で変位量約 20mm の地震後地殻変動を検出している。さらに最近橋本・他 (2003) は、2000 年の鳥取県西部地震 (M7.3) に伴って約 10mm の地震後地殻変動を見出し、それが地震断層上のゆっくりしたすべりで説明できることを示した。

これらの地震後地殻変動の観測例では、地表で観測される地震後地殻変動の地震時地殻変動に対する割合は約 8 ~ 15% である。この割合を単純に今回の地震にあてはめると、KTMR や OSIO などの震源極近傍の観測点では、10 ~ 20mm 程度の地震後地殻変動が期待されるが、前述のように現在までのところ、顕著な地震後変動は観測されていない。このことは、地震後地殻変動の大きさが単に地震本体の大きさだけでは決まらないことを示唆していると考えられる。それ以外の要因、例えば本震の地震断層や地震時には変位しなかった周辺の既存断層あるいは弱面の摩擦特性や、震源域周辺媒質の非弾性的性質に依存する可能性も考えられよう。

図 2.3.2-9 に八木・他 (2003) による地震波形インバージョンの結果を示す。彼らは最大前震、本震、最大余震の三つのイベントについて、それぞれすべり分布を求めている。得られた結果では、最大すべりが、本研究の結果と同様に余震域の北側に位置していることがわかる。インバージョンの際に仮定した断層の幾何学的パラメーターが異なるので、詳細な比較はできないが、全く独立なデータセットを用いた解析結果が大局的に一致したことから、今回の地震によるすべり分布の特徴は、双方の結果によって明らかにされていると考えてよいであろう。

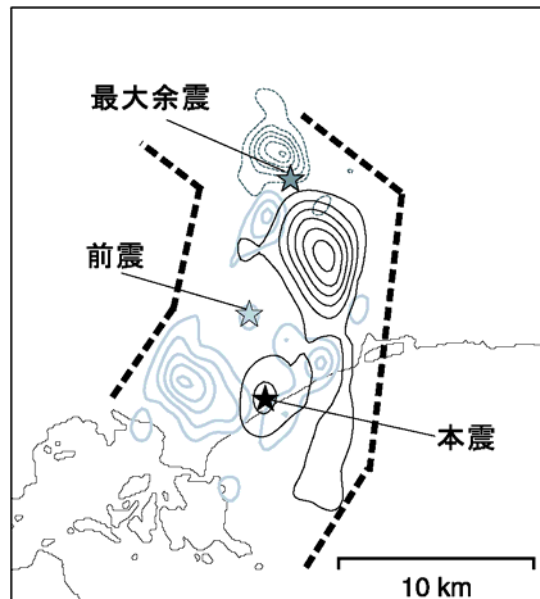


図2.3.2-9. 八木・他(2003)が地震波形インバージョンにより推定した各イベントのすべり量分布。灰色線:最大前震(コンター間隔0.05m)、黒線:本震(コンター間隔0.2m)、点線:最大余震(コンター間隔0.05m)。

海野・他(2003)は、前震・本震・余震のメカニズム解の時空間分布を詳細に調査している。その結果、大部分の余震は逆断層型のメカニズム解を持つこと、余震のメカニズム解の主圧力軸は、震源域の南側領域では北西 - 南東、中央部では東西、北側領域では北東 - 南西であることなどを明らかにした。本研究で得られたすべり分布(図 2.3.2-7)を見ると、最大すべりが推定された震源域の中央部から北側については、上盤側のすべり方向がほぼ東向きであるのに対し、南側の領域ではすべり方向が南東方向に回転している様子が見られる。このような特徴は、海野・他(2003)の結果と整合している。

(d) 引用文献

- 橋本 学・田部井隆雄・鷺谷 威・伊藤武雄, 2000 年鳥取県西部地震の余効変動のモデル化(再訪), 日本地震学会講演予稿集 2003 年度秋季大会, C099.
- Heki, K., S. Miyazaki and H. Tsuji, Silent fault slip following an interplate thrust earthquake at the Japan Trench, *Nature*, 386, 595-597, 1997.
- Miura, S., S. Ueki, T. Sato, K. Tachibana, and H. Hamaguchi, Crustal deformation associated with the 1998 seismo-volcanic crisis of Iwate Volcano, Northeastern Japan, as observed by a dense GPS network, *Earth Planets Space*, **52**, 1003-1008, 2000.
- Miura, S., T. Sato, K. Tachibana, Y. Satake, and A. Hasegawa, Strain accumulation in and around Ou Backbone Range, northeastern Japan as observed by a dense GPS network, *Earth Planets Space*, **54**, 1071-1076, 2002.
- Miyazaki, S., T. Saito, M. Sasaki, Y. Hatanaka, and Y. Iimura, Expansion of GSI's nationwide GPS array, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **43**, 23-34, 1997.

- Nakano, T., and K. Hirahara, GPS observations of postseismic deformation for the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 503-506, 1997.
- Nishimura, T., S. Miura, K. Tachibana, K. Hashimoto, T. Sato, S. Hori, E. Murakami, T. Kono, K. Nida, M. Mishina, T. Hirasawa, and S. Miyazaki, Distribution of seismic coupling on the subducting plate boundary in northeastern Japan inferred from GPS observations, *Tectonophysics*, **323**, 217-238, 2000.
- Nishimura, T., T. Imakiire, H. Yarai, T. Ozawa, M. Murakami, and M. Kaizu, A preliminary fault model of the 2003 July 26, M6.4 northern Miyagi earthquake, northeastern Japan, estimated from joint inversion of GPS, leveling, and InSAR data, submitted to *Earth Planets Space*, 2003.
- Okada, T., and A. Hasegawa, The M7.1 May 26, 2003 off-shore Miyagi Prefecture Earthquake in northeast Japan: Source process and aftershock distribution of an intra-slab event, *Earth Planets Space*, **55**, 731-739, 2003.
- Okada T., N. Umino, and A. Hasegawa, Rupture process of Jul. 26 2003 northern Miyagi earthquake sequence, NE Japan, estimated from double-difference hypocenter locations, submitted to *Earth Planets Space*, 2003.
- Ohtani, R., N. Koizumi, N. Matsumoto, and E. Tsukuda, Preliminary results from permanent GPS array by the Geological Survey of Japan in conjunction with groundwater-level observations, *Earth Planets Space*, **52**, 663-668, 2000.
- 迫田浩司, 三陸沖プレート間カップリング遷移域の地震活動特性の研究, 東北大学修士論文, pp. 77, 2003.
- Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada, Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *PAGEOPH*, **157**, 2303-2322, 2000.
- Seno, T., Shimazaki, K., Somerville, P., Sudo, K., and T. Eguchi, Rupture process of the Miyagi-Oki, Japan, earthquake of June 12, 1978, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **23**, 39-61, 1980.
- Shen, Z. K., D. D. Jackson, Y. Feng, M. Cline, M. Kim, P. Fang, and Y. Bock, Postseismic deformation following the Landers earthquake, California, 28 June 1992, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 780-791, 1994.
- Shoji, Y., H. Nakamura, K. Aonashi, A. Ichiki, H. Seko, and Members of GPS/MET Japan Summer Campaign 1997 in Tsukuba, Semi-diurnal and diurnal variation of errors in GPS precipitable water vapor at Tsukuba, Japan caused by site displacement due to ocean tidal loading, *Earth Planets Space*, **52**, 685-690, 2000.
- Takiguchi, H., T. Kato, H. Kobayashi, and T. Nakaegawa, GPS observations in Thailand for hydrological applications, *Earth Planets Space*, **52**, 913-919, 2000.
- 海野徳仁・岡田知己・中島淳一・堀修一郎・河野俊夫・中山貴史・内田直希・清水淳平・菅ノ又淳一・ガマガシヤンタ・仁田交市・矢部康男・迫田浩司・佐藤凡子・伊藤 実・長谷川昭・浅野陽一・長谷見晶子・出町知嗣・矢島良紀, 余震観測から推定した 2003 年7月 26 日宮城県北部地震 (M6.2)の余震の震源とメカニズム解の分布, 地震, 投稿中.
- ト部 卓, 衛星通信による地震観測テレメタリングシステムの基本設計, 日本地震学会講演予稿集 2003 年度秋季大会, P22, 1996.
- Waldhause, F. and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **90**, 1353-1368, 2000.
- Yabuki, T. and Matsu'ura, M., Geodetic data inversion using a Bayesian information criterion for spatial distribution of fault slip, *Geophys. J. Int.*, **109**, 363-375, 1992.
- 八木勇治・伊藤喜宏・浅野陽一・関根秀太郎, 2003 年7月 26 日宮城県北部で発生した地震の前震・本震・最大余震の震源過程とそれぞれの関係について, 日本地震学会講演予稿集 2003 年度秋季大会, A086, 2003.
- 八木勇治・浅野陽一・伊藤喜宏・汐見・関根秀太郎・針生義勝・小原一成, 防災科研 Hi-net を使用

した震源過程の推定 2003年5月26日宮城県沖の地震(Mj7.0)への適用 , 日本地震学会講演予稿集 2003年度秋季大会, P180, 2003.

Zumberge, J. F., M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, **102**, 5005–5017, 1997.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
Satoshi Miura, Yoko Suwa, Toshiya Sato, Kenji Tachibana, and Akira Hasegawa	Slip distribution of the 2003 northern Miyagi earthquake (M6.4) deduced from geodetic inversion	Earth, Planets and Space	2004年2月9日

2) 口頭発表

発表者	題名	発表先, 主催, 発表場所	発表年月日
油井智史, 諏訪謡子, 三浦 哲, 長谷川 昭	GPS観測データによる2003年5月26日宮城県沖地震(M=7.0)の断層モデル	2004年地球惑星科学関連学会合同大会, 地球惑星科学合同大会運営機構, 千葉市美浜区 幕張メッセ国際会議場	2004年5月10日

2.3.3 PS-InSAR による地殻活動モニタリング

(1) 調査観測の内容

(a) 課題 PS-InSAR による地殻活動モニタリング

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
国土交通省国土地理院	主任研究官	小沢 慎三郎

(c) 調査観測の目的

PS-InSAR 技術を石巻・牡鹿半島地域に適用し、過去 9 年間の地殻変動の様子を調査する。

(2) 平成 15 年度の成果

(a) 調査観測の要約

通常の干渉 SAR では、2 時期の SAR 画像を干渉させて人工衛星と地上点間の距離変化を測定するが、PS-InSAR 技術では、一連の時期の SAR 画像を用いて地上の恒久的な散乱点 (PS 点) と人工衛星間の距離変化を時間変化まで含めて計測できる。この手法では、通常の干渉 SAR では地殻変動を明瞭に同定するのが難しいと考えられる場所においてもかなりの精度で地殻変動を推定することができ非常に有効な新技術と考えられる。本研究では、この PS-InSAR 技術を用いて、石巻市・牡鹿半島地域の地表変動を計測した。

(b) PS-InSAR 解析の実施方法

1) 調査観測の方法

石巻市・牡鹿半島を含む面積約 953.2km² の領域の 1992-2001 年の 20 シーンを用いた初期の解析では、ほとんど石巻市上にしか恒久的な散乱点 (PS 点) は抽出できず牡鹿半島には見出せなかった。これは

- ・限られた使用可能シーン数(97-02 年の間にわずか 3 枚という少なさと全体で 20 枚というシーン数の少なさ)
- ・地形の特徴が、エリア全体の PS 候補点のクラスタの同一化を阻害し、大気位相遅延の推定に致命的である。

という要因によると考えられる。PSInSAR では PS 点と人工衛星間の距離を測るために、このままでは牡鹿半島の地殻変動が得られない。

このため、本研究では、牡鹿半島の地表変動を得るために、解析領域を分割し牡鹿半島内に別の参照点を設定して解析を行った。この処理には 1992-1996 年の 17 シーンのみを用いている。

2) 調査観測の成果

クラスタ 1：石巻市街

処理パラメータの概略は以下の表 2.3.3-1 と図 2.3.3-1 で示され、年間平均速度マップは図 2.3.3-3 に示されている。PS 点の時間変化の例が図 2.3.3-2 に示されている。(ここで選ばれた PS 点の位置は図 2.3.3-3 に示されている)

表 2.3.3-1 クラスタ 1 の PS 解析概要

解析処理面積	953.2km ²
コヒーレンスの閾値	0.89
検出された PS 点の総数	4499
全処理エリア内の平均 PS 密度	4.72 PS/km ²
Ground motion statistics	
クラスタ 1 全体の年間変位速度平均	0.32 mm/year
年間平均変位速度の標準偏差	+/-1.68 mm/year

初めの処理で全解析領域上で 4499 点の PS 点しか識別できなかった。これは大気位相遅延推定時に処理できたシーンの少なさと地形の特徴により、良い PS 点の集団が得られなかったことによる。しかし処理面積は 953.2km² だとしても実際の気位相遅延推定は石巻市上(398km²)に識別された PS 点のみに適用される。これは、PS 点密度が 11.3PS/km² であることと同等である。

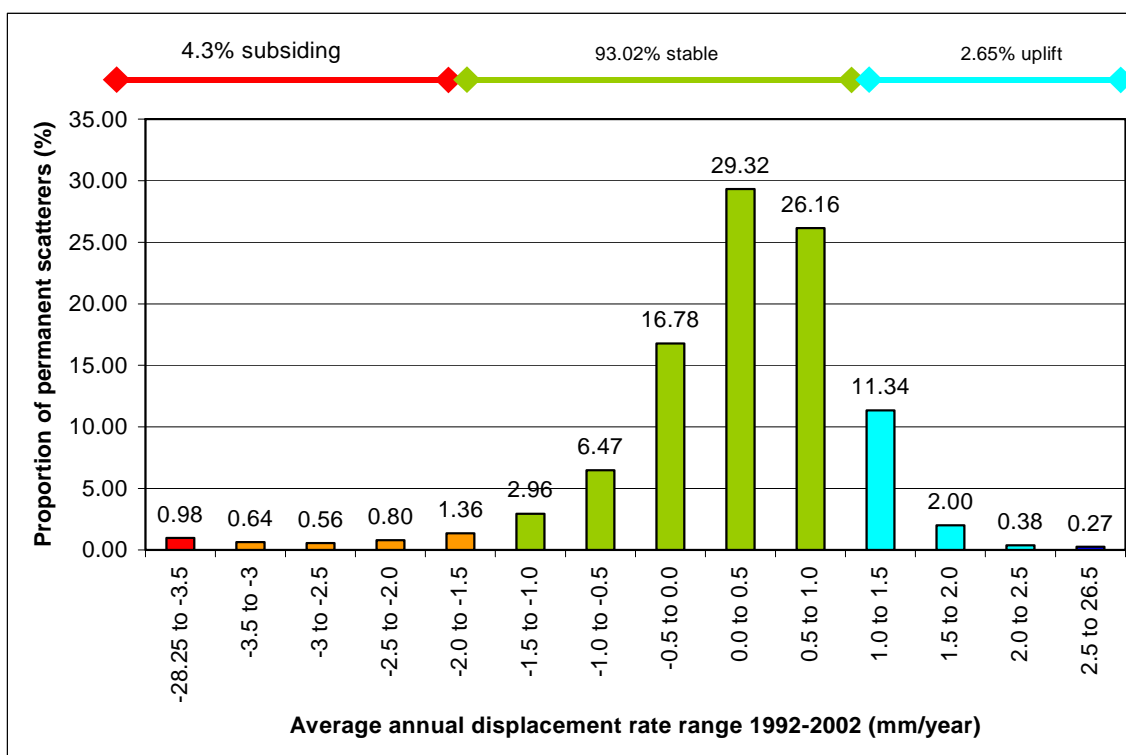


図 2.3.3-1 クラスタ 1 の変位速度別の PS 点の分布

クラスタ 1 (石巻市) の地表変動の統計を見ると (図 2.3.3-1)、石巻市街の PS 点の 93.02% がほぼ安定している (変動値が $\pm 1.5\text{mm}$ の間にある PS は安定と見なす)。変動値の範囲は、クラスタの北西にある -28.25mm/year からクラスタの中心付近にある 26.5mm/year である。図 2.3.3-2 に、AB568 の PS 点の時間変化が示されている。

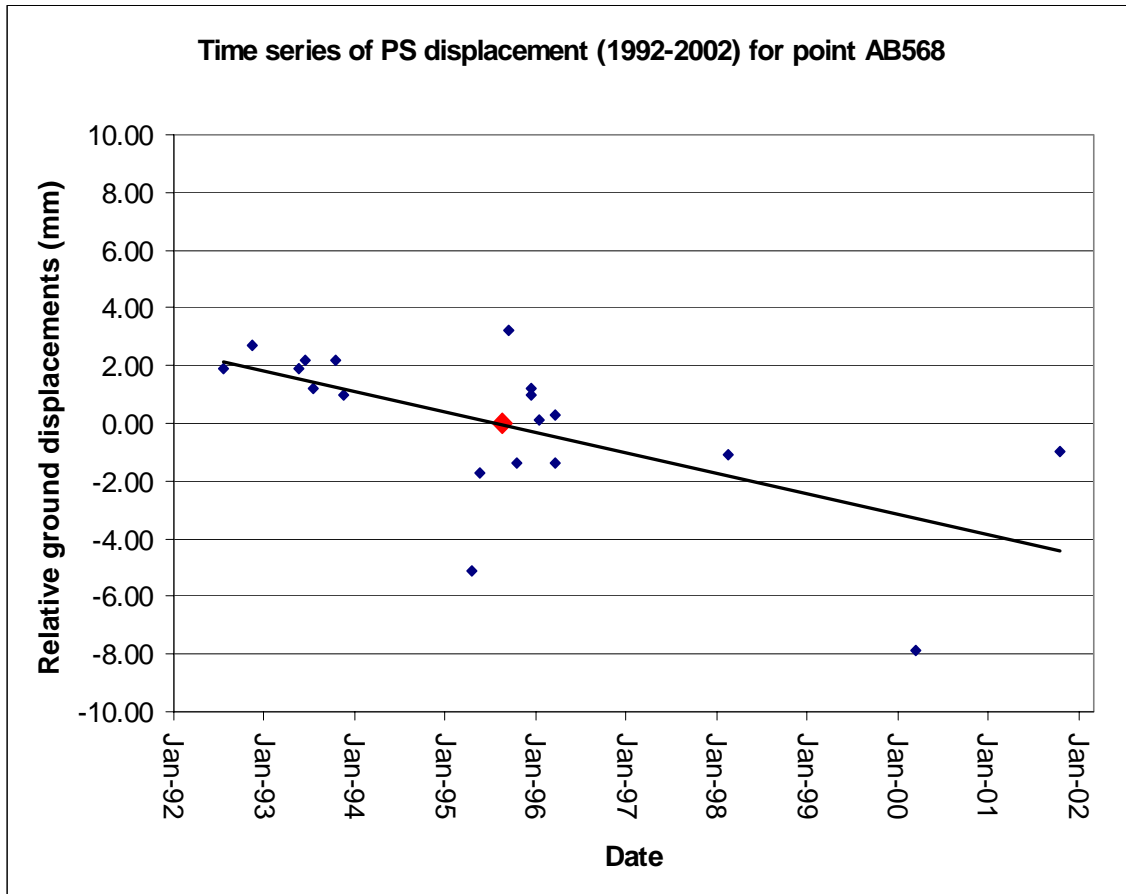


図 2.3.3-2 AB568 の PS 点の非線形時刻暦チャート

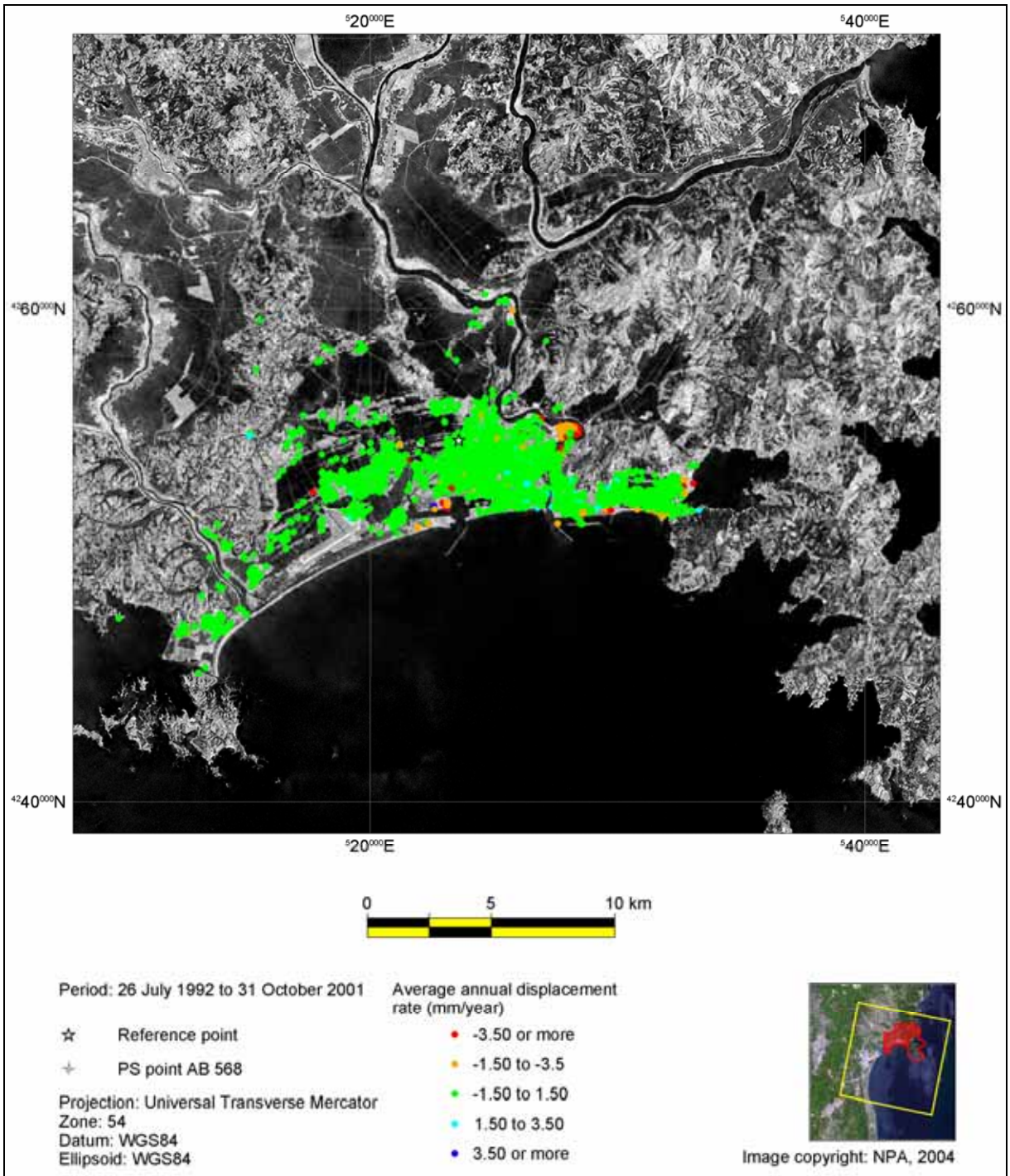


図 2.3.3-3 クラスタ 1 の平均年間変位速度マップ。星印が参照点。+ 印が図 2 の PS 点の位置を示す。

クラスタ 2：牡鹿半島

表 2.3.3-2 と図 2.3.3-4 に、図 2.3.3-6 に示されるエリア全体に沿った処理パラメータと統計の概要を示す。PS 点の時系列図が図 2.3.3-5 に示される。

表 2.3.3-2 クラスタ 2 の PS 結果概要

解析処理面積	387.9 km ²
コヒーレンスの閾値	0.93
検出された PS 点の総数	274
全処理エリア内の平均 PS 密度	0.71PS/km ²
Ground motion statistics	
クラスタ 2 全体の年間変位速度平均	0.06mm/year
年間平均変位速度の標準偏差	+/-1.09mm/year

処理面積は 387.9km² だが、大気位相遅延推定は PS 点が識別できた 162km² について適用されている。

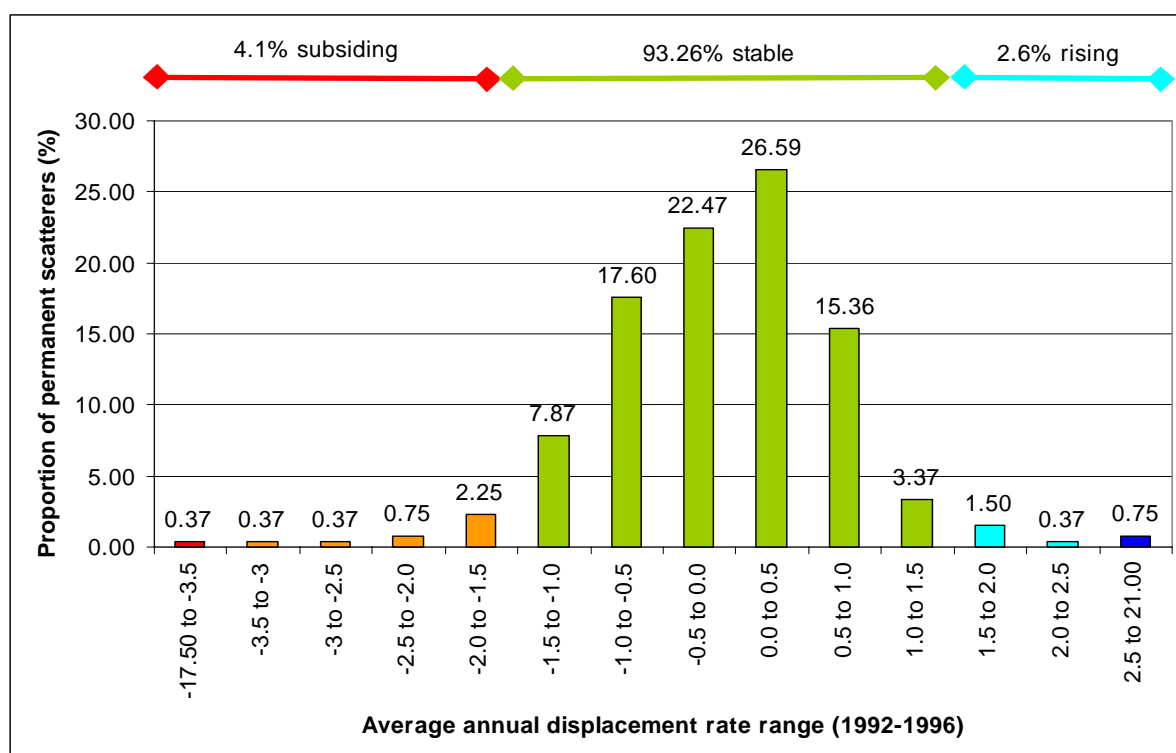


図 2.3.3-4 クラスタ 2 の変位速度別の PS 点の分布

牡鹿半島は初期のターゲットエリア全体の処理では PS 点の識別がうまくいかなかったため分割されて処理された。このクラスタ 2 はクラスタ 1 とは異なる参照点を

半島の中西部エリアに設定し、20の有効シーンのうち17シーンだけを使用した。計274点のPS点が識別され、その変動値の範囲は-17.5mm/yearから21.00/yearで年平均は0.06mm/yearであった。クラスタ2のPS点密度は0.71PS/km²と少ないが、実際に結果がカバーするクラスタの面積は162km²でこれは1.7PS/km²に相当する。PS点の低密度は以下の要因からなる。

- ・半島の植生の多い地形特徴と、それにともなうPS点の少なさ。
- ・市街地が小さく繋がっていない、これによりPS点の相互接続性が低い。
- ・PS点の相互接続性の低さが大気位相遅延の推定を阻害し、信頼性のある測定がなされる範囲を制限する。

地表変動の統計から半島のPS点の93.26%が解析期間中で安定している(図2.3.3-4)、6.7%が目立った変動を示し、その内4.1%が沈下を示している。残念ながら、PS点分布の少なさが半島上の地変動の細かい分析を阻んでいる。

半島の処理における線形条件は解除されていて、全ての半島上のPS点の時系列データは非線形解析アルゴリズムで計算されている。図2.3.3-5はPS点AA271の時系列図を示している。年間平均速度は-0.25mm/yearで解析の期間中安定し続けている。起こった変動は最大沈下年平均-3.39mm/yearと最大隆起3.44mm/yearの異常値の他はごくわずかである。

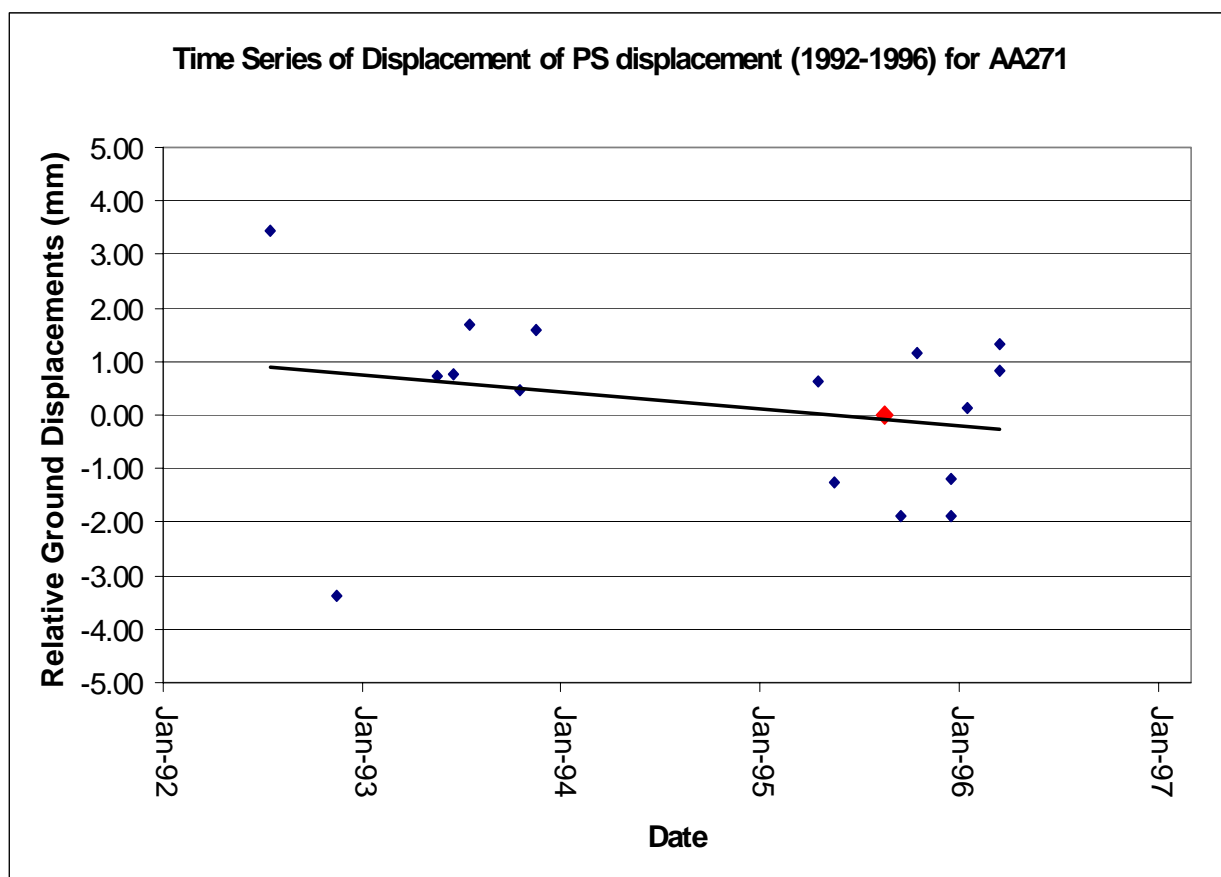
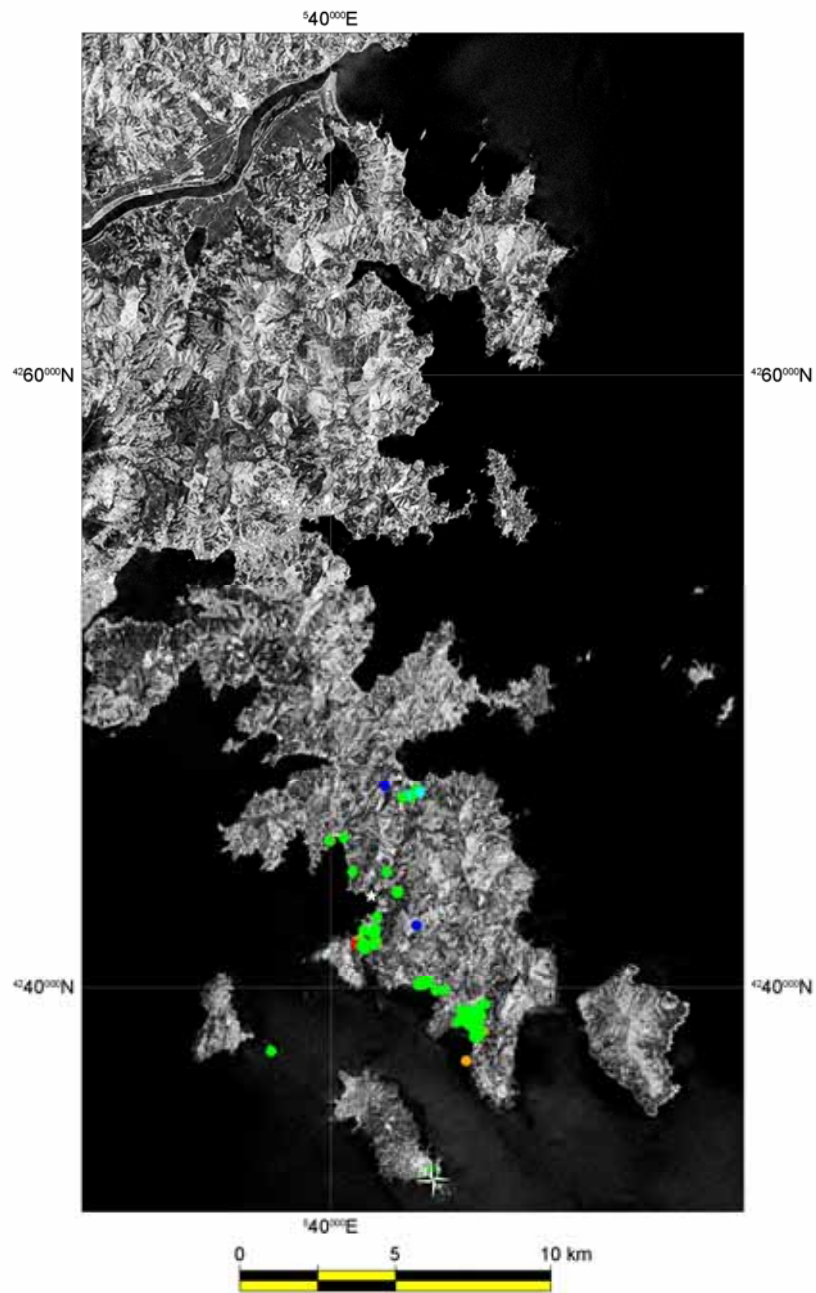


図 2.3.3-5 AA271 の PS 点の非線形時刻暦チャート



Period: 26 July 1992 to 6 March 1996

- ☆ Reference point
- + PS point AA271

Projection: Universal Transverse Mercator
 Zone: 54
 Datum: WGS84
 Ellipsoid: WGS84

Average annual displacement rate (mm/year)

- -3.5 or more
- -1.5 to -3.5
- -1.5 to 1.5
- 1.50 to 2.50
- 2.50 or more



Image copyright: NPA, 2004

図 2.3.3-6 クラスタ 2 の平均年間変位速度マップ。星印が参照点。+ が図 2.3.3-5 の PS 点の位置を示す。

3) 結論並びに今後の課題

本研究の目的は牡鹿半島の変動があればそれを確認することであった。これを実行するために、1992-2001年間の20シーンのERSデータがPS-In-SAR処理をされた。処理可能なシーンが少数であることと半島の急峻な地形のため初期処理では石巻市内にしかPS点を検出できず、その密度は4.72PS/km²で参照点も石巻市内であった。これにより異なる参照点を使って牡鹿半島内にPS点を抽出したクラスタ2上で第2のPS-InSAR処理を行った。この処理は使用可能な20シーンの内、データ取得間隔の広すぎる1997-2001年の3シーンを省いた1992-1996年の17シーンを用いた。クラスタ2のPS密度はやはり0.71PS/kmと悪かった。

二つのPSInSAR処理から得られた結果は、全エリアの93%のPSが安定的で7%のPSが何かしらの動きをしていることを示した。変動として多かったのは沈下である。しかしながら変動パターンの空間的な特徴は明瞭でない。また、2つの異なる参照点で処理が実行されたため、牡鹿半島の変動と本土側の関連を評価することはできなかった。非線形解析では、1997-2001年のデータの時間間隔が悪かったという問題があるとはいえず、明瞭な非線形変動を示さなかった。

本研究では、石巻・牡鹿半島地域で過去9年間のデータに対してPS-InSAR解析を行ったわけであるが、明瞭な変動を捕らえることはできなかった。結論としては、限定されたシーン数でのさらなるPS-InSARは望ましくないと考えられる。代わりにこれから3年あまりで30シーン取得できるENVISATの新規撮影が望まれる。データ期間間隔が密集していることにより抽出されるPS点の数は最大になりそれによって内陸との相対的関連のある半島全体の変動を計測することが可能になると思われる。

(c) 引用文献

なし

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
なし			

2.3.4 重力観測

(1) 調査観測の内容

(a) 課題 重力観測

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東北大学大学院理学研究科	教 授	藤 本 博 巳

(c) 調査観測の目的

海底において重力の経年変化を観測する可能性、および海底圧力観測と合わせて上下方向の海底地殻変動を観測する可能性を調べるために、海底試験観測を行う。海底圧力観測については、宮城県沖で通年観測を開始し、長期安定性に関する問題点を明らかにする。

(2) 平成15年度の成果

(a) 調査観測の要約

既設の重力計を用いて平成14年度に瀬戸内海の浅海で海底重力測定を実施したが、その後も重力計の測定値は安定している。平成16年度の海底重力の試験観測に備えて、この海底重力計の電池交換と保守点検を行った。この重力計のセンサーや計測システム、鉛直保持機構等に問題のないことが確認できた。平成14年度に購入した海底圧力計を宮城県沖に設置し、通年の海底圧力観測を開始した。この場所では、GPS 測位と海中音響測位を結合した海底精密測位観測用の海底局アレイも設置しているので、海底の水平方向の変動と上下変動をモニターする研究を進めることができる。

(b) 調査観測の経過および成果

1) 調査観測の実施方法

既設の海底重力計は、シントレックスの重力計をオイルダンパーとフリージンバル機構で鉛直に保っている重力計であり（藤本ほか、1998；Fujimoto et al., 1998）東京大学海洋研究所で連続観測をしている。1日約0.3ミリガルのドリフトがあるが、そのドリフトは極めて安定している。この海底重力計の電池交換と保守点検を行った。

東京大学海洋研究所のKT03-12航海（8月4日塩釜港発、8月13日東京港着、ただし台風10号避難のため、8月8日から8月10日まで大船渡港内停泊）に藤本博巳（研究主任）ほか、日野亮太・Aaron Sweeney・山本揚二郎・伊藤実・清水淳平・菅ノ又淳一（以上、東北大）などが乗船し、東北沖日本海溝周辺で海底精密測位等の海底測地観測を行った。6月に3台の海底測地観測用海底局を設置したGJT3サイト（図2.3.1-1参照）に海底圧力計を設置した。圧力センサーはParoscientific社製の水晶圧力計であり、1分間隔で1年以上の観測ができる予定である。計測システムは耐圧ガラス球に入っており、音響

切り離し信号により自己浮上することができる設計となっている。

2) 調査観測の成果

平成16年度の海底重力の試験観測に備えて、既設の海底重力計の電池交換と保守点検を行った。測定値は安定しており、この重力計のセンサーや計測システム、鉛直保持機構等に問題のないことが確認できた。平成14年度に購入した海底圧力計を宮城県沖に設置し、通年の海底圧力観測を開始した。計測分解能は水深換算で約1cmであり、1分間隔で1年以上の連続観測が可能になった。

3) 結論ならびに今後の課題（今年度目標の達成状況と課題，対策等）

海底重力測定については、平成17年度に海底試験観測を計画しているため、今年度はそれに備えた準備を行う予定であった。重力計システムの電池交換や保守点検などを計画通り実施し、問題のないことが確認できた。海底圧力観測についても、計画通り、宮城県沖で通年観測を開始できた。今後の課題は、海底圧力の測定値の経年変化を小さくするという点にあり、計測用のクロックの安定度のチェックや、いくつかの圧力センサーを用いた比較観測などが必要であろう。

(c) 引用文献

Fujimoto, H., K. Koizumi, Y. Osada, and T. Kanazawa, Development of instruments for seafloor geodesy, *Earth, Planets and Space*, 50 (11), 905-911, 1998.

藤本博巳・押田淳・古田俊夫・金沢敏彦、海底重力計の開発（英文要旨付き）*海洋調査技術*、10 (1), 25-38, 1998.

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
Fujimoto, H., M. Mochizuki, K. Mitsuzawa, T. Tamaki, and T. Sato	Ocean bottom pressure variations in the southeastern Pacific following the 1997-98 El Niño event	Geophys. Res. Lett., 30 (9), 1456, doi: 10.1029/2002GL016677	May 2003
佐野修・藤本博巳・山岡耕春・金沢敏彦・山内常生・田所敬一	新たな観測・実験技術の開発	月刊地球、292, 773-782	2003年12月
Fujimoto, H.	Seafloor geodesy and an ocean bottom cable system	Proceedings of Scientific Submarine Cable 2003 Workshop (SSC'03), 25-27 June 2003, Tokyo, IEEE Catalogue Number 03EX660, 251-254	27 June 2003

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
Fujimoto, H., T. Sato, M. Mochizuki, K. Mitsuzawa, T. Tamaki	Ocean bottom pressure variations in the southern Pacific following the 1997-98 El Nino event	EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Nice, France	April 2003
Fujimoto, H.	Seafloor geodesy and an ocean bottom cable system	Scientific Submarine Cable 2003 Workshop (SSC'03), IEEE & ION, Tokyo, Japan	27 June 2003
Sato, T., H. Fujimoto, Y. Tamura, K. Matsumoto, and T. Higashi	An ocean bottom pressure measurement project off Sanriku, Honshu, Japan	IUGG 2003 General Assembly, G06/03P/C25-009, Sapporo, Japan	3 July 2003
Sato, T., H. Fujimoto, K. Matsumoto, Y. Tamura, T. Higashi, M. Nishino. R. Hino, and T. Kanazawa	Ocean bottom pressure measurements off Sanriku, Japan	AGU Fall Meeting, G31C-04, San Francisco, USA	10 December 2003
上嶋 正人・石原 丈実・小泉 金一郎・島 伸和・押田 淳・藤本 博巳・金沢 敏彦	瀬戸内海海底重力測定	地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会、D005-003、幕張	2003 年 5 月 28 日
佐藤 忠弘・藤本 博巳・田村 良明・松本 晃治・東 敏博	三陸沖での海底圧力計観測	地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会、S081-007、幕張	2003 年 5 月 29 日
藤本 博巳・Aaron Sweeney・伊藤実・日野亮太・三浦 哲・金沢敏彦・長田幸仁	三陸沖日本海溝周辺の海底測地観測の進捗状況	日本測地学会第 100 回講演会、講演番号 19、東京	2003 年 10 月 8 日
藤本博巳・日野亮太・金沢敏彦	測地学における海底ケーブルの科学的利用	海底ケーブルの科学的利用に関するワークショップ、東京大学地震研究所、東京	2003 年 11 月 8 日
佐藤 忠弘・藤本博巳・松本晃治・田村良明・東敏博・金沢俊彦	衛星重力ミッションと海底圧力観測	地震研究所研究集会「精密衛星測位：衛星重力観測による地球のダイナミクス研究へのブレーク・スルー」、東京	2003 年 11 月 11 日
藤本博巳	海底における地殻変動観測	京都大学防災研究所研究集会「長周期イベントの理解へ向けての現状と今後」、京都大学防災研究所、宇治	2003 年 12 月 16 日