

2.2 地震観測による地殻活動モニタリング

2.2.1 海底地震観測

(1) 研究調査の内容

(a) 課題 海底地震観測

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東京大学地震研究所	教授	金 沢 敏 彦
	助手	山 田 知 朗
東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター	助教授	日 野 亮 太
	助手	西 野 実
	教務補佐	桑 野 亜 佐 子
	大学院生	山 本 揚 二 朗
仙台管区気象台地震火山課	地震情報官	橋 本 徹 夫
	主任技術専門官	草 野 富 二 雄
	調査官	吉 川 一 光
	技術専門官	太 田 健 治
	技術専門官	晴 山 智
気象庁地震火山部	技術専門官	畠 山 信 一
	災害調査解析係長	阿 部 正 雄

(c) 調査観測の目的

1978年宮城県沖地震の震源域およびその周辺の海底において自己浮上式海底地震計による地震観測網を展開し、その長期繰り返しによって、この地域における微小地震活動の時間・空間的な分布を詳細に明らかにすることを目的とする。

(2) 平成15年度の成果

(a) 調査観測の要約

宮城県沖地震の想定震源域およびその周辺における微小地震活動の詳細な把握を目的として、この海域に自己浮上式海底地震計を設置しこれによる微小地震観測を行った。今年度は、気象庁観測船の航海（5, 7, 10月の3航海）によって、長期および短期の海底地震観測のための、自己浮上式海底地震計（OBS）の設置・回収作業を行った。5月に設置した長期観測型のOBS（5台＝16年度回収予定）を除くすべてのOBSは無事回収され、波形データ処理はすべて終了し、各海底観測点におけるPおよびS波の到達時刻の検出作業が進行中である。現時点までの解析結果からは、OBSのデータを陸上観測網のデータに加えることによって、宮城県沖で発生する微小地震の震源位置決定精度が大きく向上することが確認され、海底地震観測データの有効性が示された。

(b) 海底地震計を用いた宮城沖における微小地震観測

1) 調査観測の実施方法

平成15年度の海底地震観測は、平成14年度から継続している長期観測と短期観測型 OBS を用いた平成15年5~10月の約5ヶ月間の短期観測からなる。以下では、それぞれについてその実施方法について述べる。これらの観測には、観測船「清風丸」(舞鶴海洋气象台)の航海(5月15日~22日「第1次航海」と称する)、観測船「高風丸」(函館海洋气象台)の航海(7月1日~8日、第2次航海)、観測船「凌風丸」(気象庁気候・海洋気象部)の航海(10月17日~23日、第3次航海)の3回の航海によって実施された。

・長期海底地震観測

第1次航海において、平成14年度にLS1~LS4の4観測、(図2.2.1-1参照)に設置された長期観測型 OBS の回収および再設置作業を行うとともに、本年度より観測を開始するLS5観測点に OBS を設置した。第1次航海においては、LS1に設置した OBS は回収されなかったが、8月30日北海道室蘭市に漂着し、機材とともに観測データも回収することができた。第1次航海の直後の5月26日に宮城県北部で発生したM7.0の地震の震央は、OBS 流失事故が発生した観測点LS1の直近であった。そこで、貴重なデータの亡失を懸念し、急遽第2次航海においてLS1に設置した OBS を回収し、代わりに短期観測型の OBS を再設置した。この短期 OBS は第3次航海において回収されるとともに、代替の長期 OBS を再設置した。流失の原因の一つとしては、底引き漁業活動が予想されたため、第3次航海の再設置にあたっては、従前より水深が深い位置へ観測点を移設することにした。この長期 OBS と第1次航海でLS2~5に設置された長期 OBS は平成16年度5月に実施される気象庁観測船の航海により回収される予定となっている。

・短期海底地震観測

短期海底地震観測の観測点はS01~10の10観測点である(図2.2.1-1)。第1次航海では、これら10点のうち、S01~05の5観測点に気象庁の OBS を設置し、約2ヶ月間の観測の後、第2次航海で全台無事回収された。これらの OBS が設置された期間中に5月26日の地震が発生しており、きわめて貴重なデータを得ることができた。第2次航海においては、東京大学および東北大学の OBS10台を設置した。S01~S05の5観測点における気象庁の OBS 観測を引き継ぐように再設置を行ったほか、S06~S10の5観測点に新たに OBS を設置した。これらの OBS のうち9台が第3次航海に回収され、また1台は流失・漂流しているところを漁船により引き上げられて回収された。

2) 調査観測の成果

本年度は、第1次航海で回収した長期 OBS のデータ解析を大学で、第2次航海で回収した5台の短期 OBS のデータ解析を仙台管区气象台において行った。

長期 OBS のうち、LS2に設置された OBS では残念ながら記録装置の不調により波形記録を得ることができなかったが、残る3点で良好な連続波形記録を得ることができ、2002年11月3日に宮城沖で発生したM6.1の地震を含む、2002年8月31日~2003年4月30日の約8ヶ月にわたる連続記録を得ることができた。これら OBS の着震時刻デー

タを加えることによって、東北大学微小地震観測網によって検知された宮城沖およびその周辺地域で発生した地震の震源の再決定を行った。再決定の対象となった地震全体のうち5割程度に対しては、いずれかOBSにおいて精度よく着震時刻を読み取ることができ、特に、M2.5以上の地震に関しては、ほとんどの地震に対して震源を再決定することができた。OBSの読み取りを加えることにより、特に深さ方向に精度のよい震源分布が得られた。今回求められた震源分布は、プレート境界の形状を反映すると考えられる陸側へ傾斜した面上に集中する。プレート境界は、海岸線から約130km沖合を境として、海溝側は緩傾斜、陸側は急傾斜となるように傾斜角度を変化させている。この傾斜角度の変化点におけるプレート境界の深さは約20kmであった(図2.2.1-2)。一方、気象庁の短期OBSでは、5観測点(うち2観測点では途中で記録が停止していた)すべてでデータを回収することができ、2003年5月26日に発生した宮城県北部の地震(M7.0)の本震とその活発な余震活動を捉えることができたことは特筆に値する。図2.2.1-3にこれらOBSでのP、Sの初動到達時刻データを加えて再決定することができた5月23日~7月1日までの宮城県沖周辺の震源分布を示す。

3) 結論ならびに今後の課題

2002年に開始した自己浮上式海底地震計による繰り返し観測が軌道にのり、こうした観測により得られたデータによって、宮城県沖で発生する微小地震の震源決定精度の向上が図られた。近年、この海域では2003年5月26日の地震など、M6以上の大きめの地震がいくつか発生しており、地震活動が活発化する傾向にあるように見える。これまでに得られたデータの詳細な解析を進めるとともに、継続して実施している観測により蓄積されつつあるデータの処理・解析をすすめ、現在の地震活動の時空間的な広がりの特徴の抽出に努めていきたい。

(c) 引用文献

伊藤亜妃・日野亮太・西野実・藤本博巳・三浦誠一・小平秀一・長谷見晶子, エアガン人工地震探査による東北日本前弧域の地殻深部構造, 地震2, 54, 507-520, 2002.

Miura, S., A. Nakanishi, N. Takahashi, S. Kodaira, T. Tsuru, A. Ito, R. Hino and Y. Kaneda, Seismic velocity structure of Japan Trench off Miyagi fore arc region, Northeastern Japan using airgun-OBS data, Eos Trans. AGU, 82(47), Fall Meet. Suppl., Abstract T22C-0937, 2001.

山田敏彦, 海底地震計による精密観測に基づくサブダクション領域の震源立体分布と地殻構造, 東京大学博士論文, 222pp, 1980.

(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
日野亮太・西野実・桑野亜佐子・伊藤喜宏・山本揚二郎・山田知朗・中東和夫・金沢敏彦・伊藤進一・阿部正雄・仙台管区気象台海底地震観測グループ	海底地震観測による 1978 年宮城県沖地震震源域周辺の微小地震活動	日本地震学会 2003 年秋季大会講演予稿集, P177	2003
山本揚二郎・日野亮太・西野実・桑野亜佐子・伊藤喜宏・山田知朗・中東和夫・金沢敏彦・太田健治・橋本徹夫	海底地震観測による 1978 年宮城県沖地震震源域周辺の微小地震活動(2)	地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集 S045-011	2004

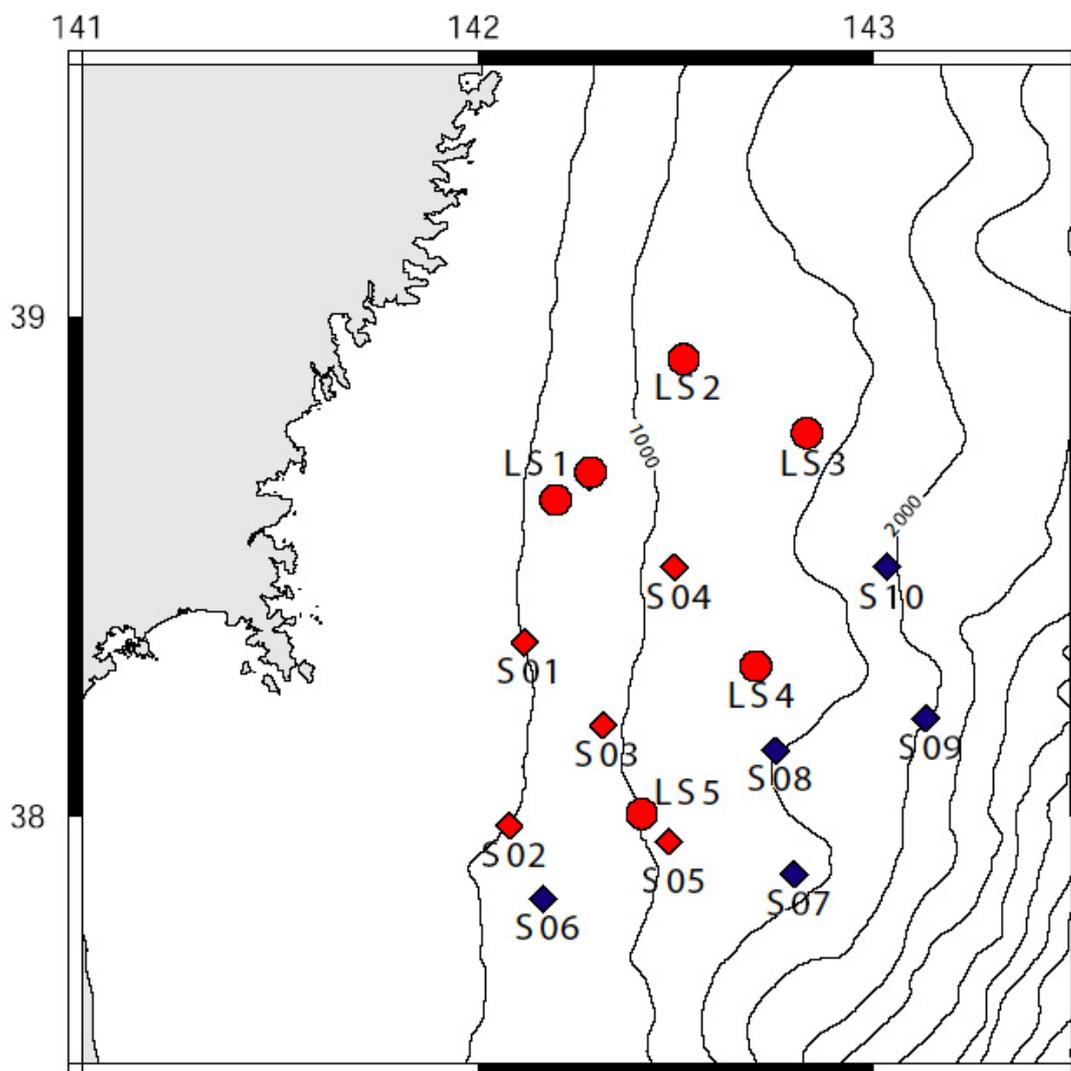


図 2.2.1-1 平成 15 年度に実施した海底地震観測の観測点配置。LS1～LS5：長期 OBS の観測点。S01～05：気象庁（5～7 月）および大学（7～10 月）の機材による短期 OBS の観測点。S06～S10：大学（7～10 月）の機材による短期 OBS の観測点。長期 OBS の観測点 LS1 は流失事故があったため、10 月に観測点を北東側へ移設した。

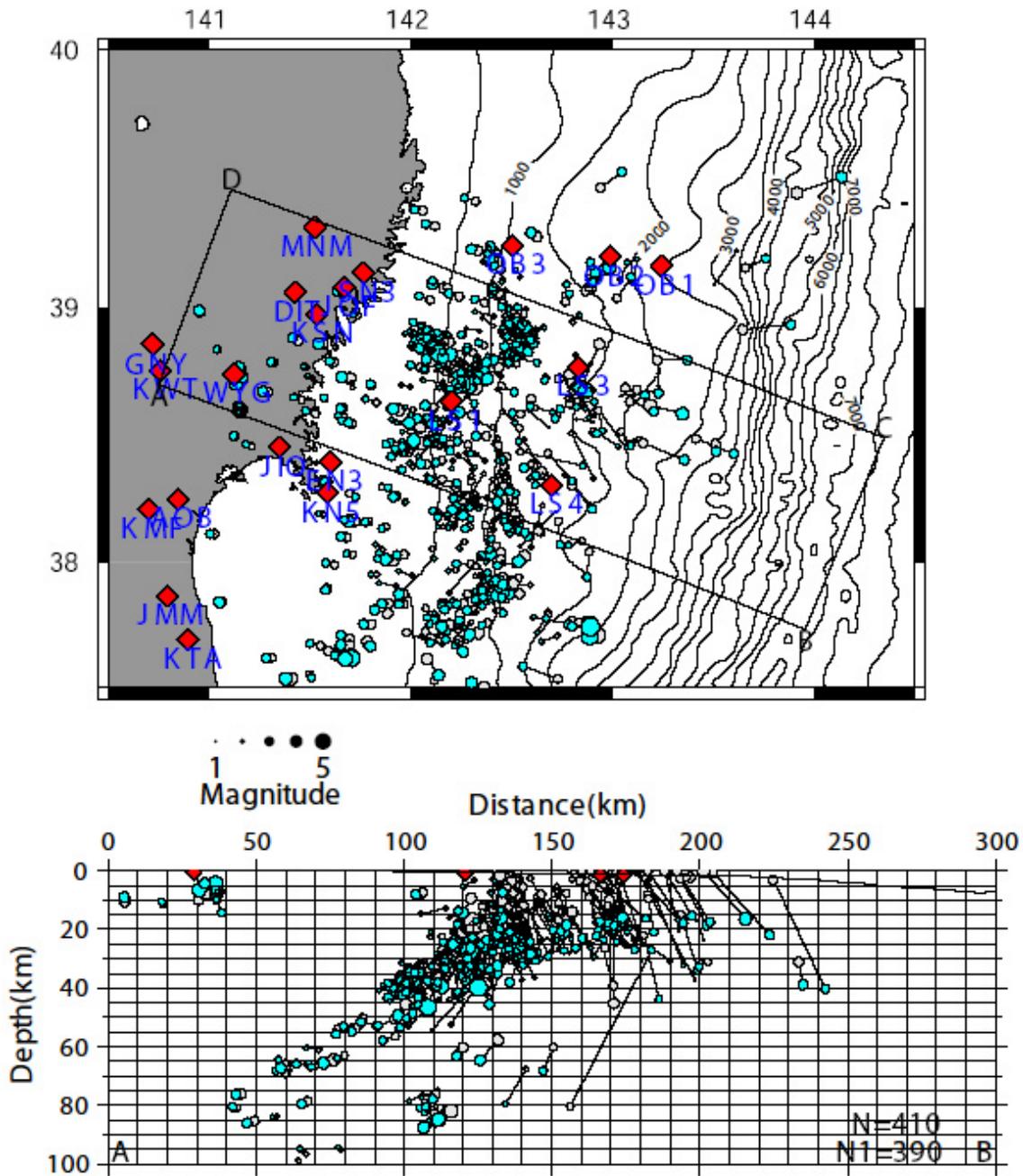


図 2.2.1-2 長期 OBS (LS1, LS3, LS4) のデータを加えて再決定された、2002 年 8 月 31 日から 12 月 31 日までの宮城県沖周辺の震源分布。灰色丸は東北大学のルーチン処理による震源位置、青丸は OBS のデータを加えて再決定された震源位置を示す。

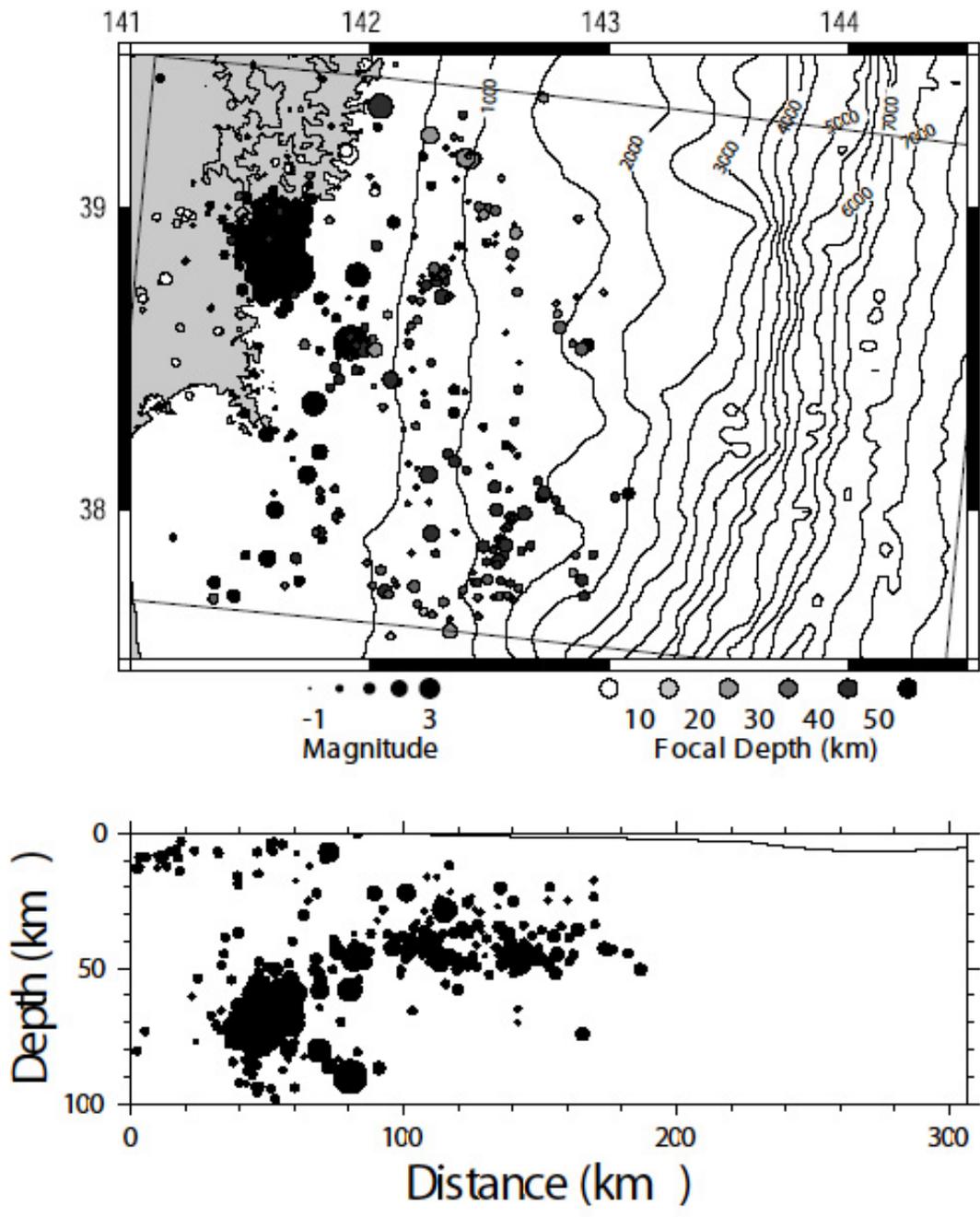


図 2.2.1-3 気象庁 OBS (S01 ~ 05) のデータを加えて再決定された、2003 年 5 月 23 日から 7 月 1 日までの宮城県沖周辺の震源分布。

2.2.2 陸上高感度地震観測網による地殻活動モニタリング

(1) 調査観測の内容

(a) 課 題 陸上高感度地震観測網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

(c) 調査観測の目的

既設の短周期地震計および広帯域地震計観測網（東北大学、気象庁、Hi-net）のデータを用いて、震源域およびその周辺域における地震活動の時空間変化、震源パラメータの変化、相似地震によるアスペリティ分布およびプレート間すべりの時間発展の調査・研究を行う。

(2) 平成15年度の成果

(a) 調査観測の要約

平成15年度は次の各項目を実施した。

- 1) 地震活動および震源パラメータの変化を調査するため、基盤観測網（東北大学、気象庁、Hi-net）および広帯域地震計観測網のデータを調査・収集した。
- 2) 相似地震によるアスペリティ分布およびプレート間すべりの時間発展の調査を行うために、基盤観測網（東北大学、気象庁、Hi-net）および広帯域地震計観測網のデータを調査・収集した。

(b) 地震活動および震源パラメータの変化の調査

1) 調査観測の実施方法

2002年11月3日に宮城県沖のプレート境界でM6.1の地震が発生し、その後、GPS観測データにより、この地震の震源域近傍で余効すべりが観測された。その後、2003年5月26日に宮城県気仙沼の下の深さ約70kmでM7.0の地震が発生した。その2か月後の7月26日には、宮城県矢本町・鳴瀬町付近でM6.4の宮城県北部地震が発生した。さらに、10月31日には福島県・宮城県沖の日本海溝に近い領域で、M6.9のプレート境界地震が発生した。このように、想定されている宮城県沖地震のアスペリティの周辺域では、比較的大きな地震の活動が、最近、活発化しつつある。これらの一連の地震活動およびそれらの震源パラメータの変化を調査するために、基盤観測網（東北大学、気象庁、Hi-net）および広帯域地震計観測網のデータを調査・収集して、震源分布およびモーメントテンソル解を調べた。

2) 調査観測の成果

基盤観測網（東北大学、気象庁、Hi-net）および広帯域地震計観測網のデータを調査・

収集して得られた、最近の宮城県・福島県沖の比較的大きな地震の震央とモーメントテンソル解の分布を図 2.2.2-1 に示す。2003 年 5 月 26 日の地震 (M7.1) は、ダウンディップコンプレッション型のモーメントテンソル解 (Okada and Hasegawa, 2003) であり、太平洋プレート内部で発生した地震であると考えられる。また、7 月 26 日の宮城県北部地震 (M6.4) は、臨時余震観測による高精度余震分布の結果 (Umino et al., 2003; 海野ほか, 2004; Okada et al., 2003) から、陸側プレート内部で発生した浅発地震であり、石巻湾断層の陸側延長部 (須江断層) の深部で発生したすべりであると考えられる。さらに、10 月 31 日の地震 (M6.9) は、低角逆断層型のモーメントテンソル解を示しており、プレート間境界の地震であると考えられる。

2002 年 11 月 3 日の宮城県沖の地震 (M6.1) の後で、GPS 連続観測データの解析から、震源域の深部のプレート境界で余効すべりが発生したことが明らかとなった (三浦ほか?)。この地震により、プレート境界の浅部において固着がはずれた結果、深部のプレート内部の圧縮応力が増大して、5 月 26 日のプレート内地震 (M7.0) が発生したと推定される。また、南隣の領域のプレート境界 (すなわち、1978 年宮城県沖地震の震源域) は依然として固着しており、その結果、陸側プレート内部の東西圧縮応力が増大して、7 月 26 日の宮城県北部地震 (M6.4) が発生したと考えられる。

3) 結論ならびに今後の課題

宮城県沖地震のアスペリティ (Yamanaka and Kikuchi, 2004) の周辺域では、最近、比較的大きな地震の活動が活発化している。これらの地震活動は、この地域のプレート境界の固着状態が変化しつつあることを示唆している。すなわち、宮城県沖地震のアスペリティの北側では、2002 年 11 月 3 日のプレート境界地震 (M6.1) とその後の余効すべりによって、すでに固着は弱まってしまっている、と推定される。また、このアスペリティの南東側では、2003 年 10 月 31 日のプレート境界地震 (M6.9) により同様に固着は弱まっている、と考えられる。

今後は、アスペリティ周辺域の地震活動の推移をさらに注意深く調査していくことが重要である、と考えられる。

(c) 相似地震によるアスペリティ分布およびプレート間すべりの時間発展の調査

1) 調査観測の実施方法

プレート境界には、安定すべり域に囲まれた、大小様々な大きさのアスペリティが分布していると考えられる。それらのアスペリティのうち、小さいサイズのアスペリティは、プレートの沈み込みにもなって、繰り返し破壊しているはずである。地震波形が非常によく似た相似地震は、同一の小アスペリティが繰り返し破壊を起こすことによって発生している、と考えて、過去 20 年間の地震波形記録を調査・収集して、アスペリティ分布およびプレート間すべりの時間発展の調査を実施した。

2) 調査観測の成果

過去 20 年間の地震波形を用いて、P 波および S 波を含む 40 秒間の波形の相互相関係数が 0.95 以上となるような、非常に相似性の高い地震を選び出して、それらの地震の

震央分布を求めた（内田ほか、2004）。図 2.2.2-2 の丸印が相似地震の震央を表す。図中の赤線のコンターは 1978 年宮城県沖地震（M7.4）のモーメント解放量の分布（Yamanaka and Kikuchi, 2004）を表している。1978 年宮城県沖地震のアスペリティ内部には相似地震はほとんど発生していないが、その周辺域にはいくつかの相似地震群が見られることがわかる。

相似地震のマグニチュードから推定したすべり量（Nadeau and Johnson, 1998）の時間変化を、それぞれの相似地震群について、図 2.2.2-3 に示してある。これらの折れ線グラフの傾斜が、プレート境界におけるすべりの速さを示していると考えられる。プレート間すべりの速さを図 2.2.2-3 の下側に示した。

3) 結論ならびに今後の課題

相似地震群は、1936 年、1978 年、1981 年の地震のアスペリティの周辺に存在し、これらの場所で準静的なすべりが存在していることが推定される。1978 年宮城県沖地震のアスペリティの西側に存在する相似地震群（図 2.2.2-2 中の C、D）は、ほぼ一定のすべりレートを示しており、アスペリティの深部のプレート境界で定常的なすべりが存在していることを示唆している。一方、1978 年と 1981 年の地震のアスペリティの間の領域（図 2.2.2-2 中の E、F）では、最近 20 年間の準静的すべりのレートは小さいことが分かる。

相似地震を用いてプレート間すべりの時間発展を調査する方法は、宮城県沖地震の発生プロセスをモニタリングするための非常に有用な手法であると考えられる。今後は、相似地震の検出・調査をより短時間で効率よく進めていくシステムを構築することが重要である。

(d) 引用文献

- Nadeau, R. M., and L. R. Johnson: Seismological studies at Parkfield VI: Moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 790-814, 1998.
- Okada, T., and A. Hasegawa: The M7.1 May 26, 2003 off-shore Miyagi Prefecture earthquake in northeastern 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 the July 2003 northern Miyagi earthquake sequence, NE Japan, estimated from double-difference hypocenter locations, *Earth Planets Space*, 55, 741-750, 2003.
- 内田直希・松澤 暢・五十嵐俊博・中山貴史・長谷川昭：相似地震活動から推定された 2003 年 10 月 31 日福島県沖の地震（M6.8）前後の準静的すべり、地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会、S044-017, 2004.5.13.
- Umino, N., T. Okada, J. Nakajima, S. Hori, T. Kono, T. Nakayama, N. Uchida, J. Shimizu, J. Suganomata, S. S. N. Shantha, A. Hasegawa and Y. Asano: Hypocenter and focal mechanism distributions of aftershocks of July 26 2003 M6.4 northern Miyagi, NE Japan, earthquake revealed by temporary seismic

observation, Earth Planets Space, 55, 719-730, 2003.

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・ガマゲシヤンタ・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 (M6.4) の余震の震源とメカニズム解の分布, 地震 2 , 56 , 425-434 , 2004 .

Yamanaka, Y. and M. Kikuchi: Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, JGR, 2004 (in print).

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

Okada, T., and A. Hasegawa: The M7.1 May 26, 2003 off-shore Miyagi Prefecture earthquake in northeastern 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 the July 2003 northern Miyagi earthquake sequence, NE Japan, estimated from double-difference hypocenter locations, Earth Planets Space, 55, 741-750, 2003.

Umino, N., T. Okada, J. Nakajima, S. Hori, T. Kono, T. Nakayama, N. Uchida, J. Shimizu, J. Suganomata, S. S. N. Shantha, A. Hasegawa and Y. Asano: Hypocenter and focal mechanism distributions of aftershocks of July 26 2003 M6.4 northern Miyagi, NE Japan, earthquake revealed by temporary seismic observation, Earth Planets Space, 55, 719-730, 2003.

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・ガマゲシヤンタ・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 (M6.4) の余震の震源とメカニズム解の分布, 地震 2 , 56 , 425-434 , 2004 .

2) 口頭発表、その他

Nambukara G. S. Shantha・海野徳仁・長谷川昭:Focal depth distribution of aftershocks of October 31, 2003, off-Fukushima earthquake (M6.8) estimated from sP phase、地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会、S045-012, 2004.5.11.

岡田知己・長谷川昭・海野徳仁・Haijiang Zhang・Clifford H. Thurber：DD トモグラフィ法による 2003 年宮城県北部地震の震源断層周辺の世界不均質構造、地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会、S044-011, 2004.5.13.

内田直希・松澤 暢・五十嵐俊博・中山貴史・長谷川昭：相似地震活動から推定された 2003 年 10 月 31 日福島県沖の地震 (M6.8) 前後の準静的すべり、地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会、S044-017, 2004.5.13.

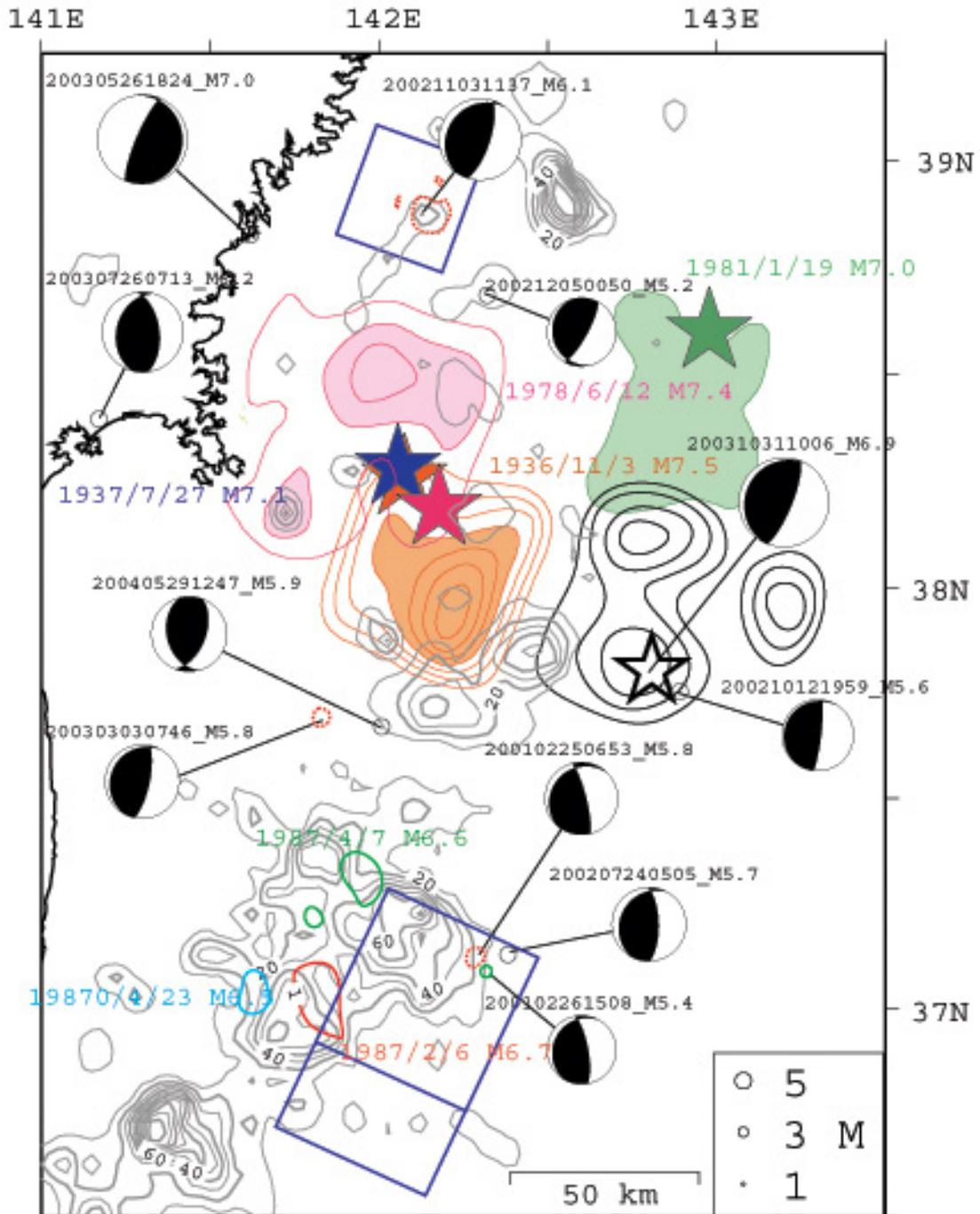


図 2.2.2-1 宮城県沖および福島県沖の地震分布。2002 年から 2004 年 5 月の期間に発生した地震の震央（印、星印）とモーメントテンソル解（下半球等積投影）を示す。カラーコンターは比較的大きな地震のモーメント解放量を示す。灰色コンターは 1983 年 1 月から 2001 年 1 月の M2.5 以上の地震の 0.05 × 0.05 度毎の発生個数の等値線を表す。青色矩形は G P S 観測データを用いてプレート境界に推定された準静的すべり（余効すべり）域を表す。

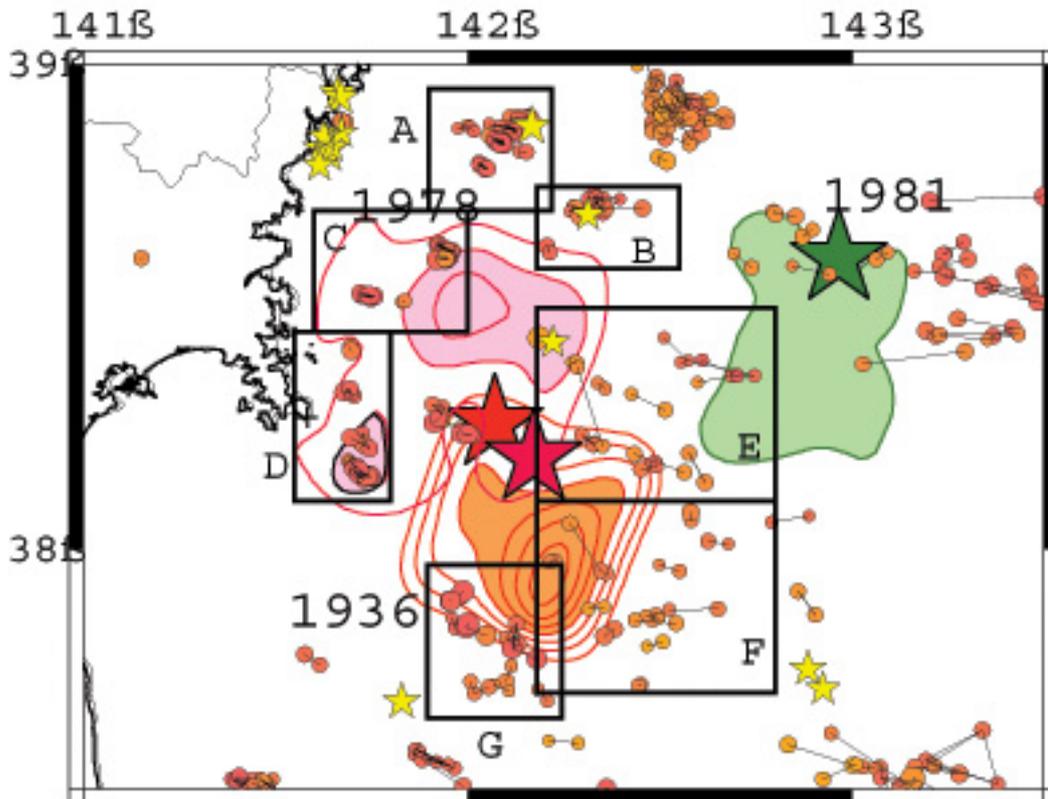


図 2.2.2-2 宮城県沖の相似地震分布。1984 年から 2003 に発生した相似地震の震央を丸印で示す。黄色星印は 2002 年 1 月～2003 年 6 月 12 日の期間に発生した M 5 以上の地震の震央を示す。赤色コンターは 1978 年宮城県沖地震 (M7.4) のモーメント解放量の分布を表す。相似地震群 (A ~ G) を用いて推定されたプレート間すべりの時間変化を図 2.2.2-3 に示す。

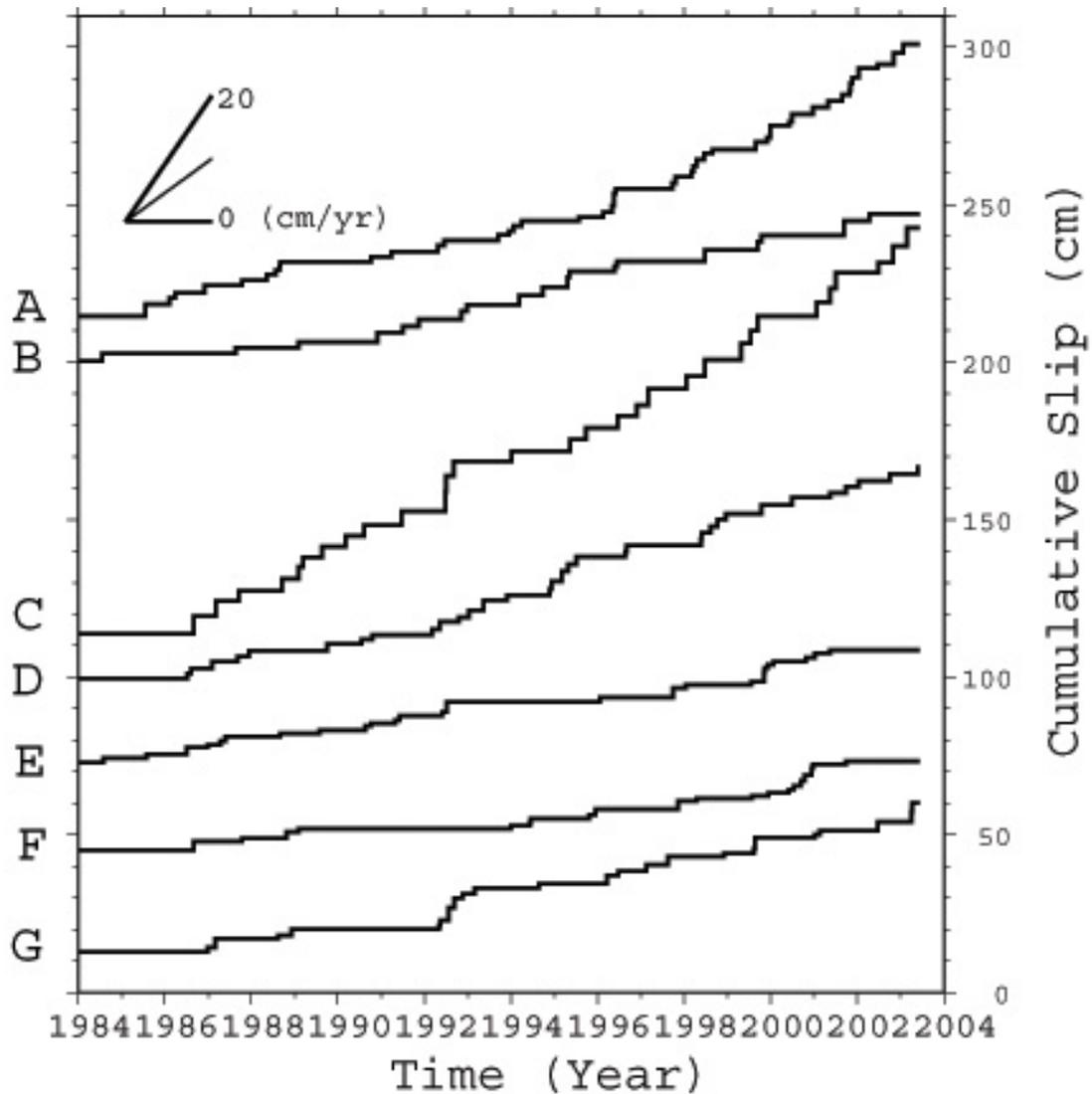


図 2.2.2-3 相似地震群 (A ~ G) を用いて推定されたプレート間すべりの時間変化。
すべり速度の大きさを図の左上部に示す。深部のプレート境界 (C, D) ではほぼ定常的なすべりが見られる。1981年の地震と1978年の地震の間 (E, F) では、すべり速度が小さくなっている。