

2005年8月16日に発生した宮城県沖の地震の余震観測

日野亮太¹・西野実¹・桑野亜佐子¹・山本揚二郎¹・鈴木健介²・金沢敏彦³・山田知朗³・中東和夫³・望月公廣³・篠原雅尚³・青木元⁴・田中昌之⁵・荒木英一郎⁶・小平秀一⁶・藤江剛⁶・金田義行⁶

¹東北大学大学院理学研究科, ²東北大学理学部, ³東京大学地震研究所,
⁴仙台管区気象台, ⁵気象庁地震火山部, ⁶海洋研究開発機構

要旨

2005年に発生した宮城県沖の地震の本震・余震を海底地震計により観測し、そのデータを用いて震源分布を求めた。余震分布の特徴は、Hino et al. (2006, 本報告)で指摘されているものと一致しており、時間の経過に伴って余震域が拡大するなどの顕著な変化は見られない。多点海底地震観測により得られたP波初動の押し引きデータを用いて、余震のメカニズム解を求めたところ、本震と同様な低角逆断層型をもつもののほか、それより高角な節面をもつ逆断層型のメカニズム解をもつ余震群が、本震の破壊域の東縁部に集中して発生していることが分かった。これは本震の破壊に起因する上盤側プレート内の応力変化によるものである可能性がある。

1. はじめに

2005年8月16日11:46に宮城県沖で発生したM7.2の地震は、政府地震調査委員会によって近い将来高い確率で地震が発生すると評価されていた領域内において発生したものであり、今回の地震と発生が予測されていた地震との関係が注目された。今回の地震が1974年の地震の再来であるかどうかを判断する上で、それぞれの破壊域の大きさと位置の関係を正確に評価することは重要である。一方で、宮城県沖地震としては、1974年の地震と同程度の規模でとどまる「単独型」の地震とともに、1981年宮城県沖地震(M7.2)の破壊域が位置するような、より海溝側のアスペリティとの「連動型」の地震の発生が想定されており、今回の地震の破壊域あるいは余効すべり域の海溝側への拡がりを正しく知ることまた、宮城県沖地震の繰り返し系列の中での2005年の地震の位置づけを評価する上で非常に重要である。

2005年の地震の破壊域の位置とその広がりを正確に知るためには、震源域近傍における余震活動が必要不可欠であり、本研究においては海底地震計を震源域に展開することにより余震観測を実施した。宮城県沖地震の発生が予測されていた海域においては、すでに気象庁・東京大学・東北大学の共同研究により海底地震繰り返し観測が2002年より着手されており、2005年8月16日の地震はこうした観測網の直下で発生した。そこで、今回の余震観測では、既存の観測点とあわせることにより観測点密度を向上させ、可能な限り多くの余震について震源メカニズム解を求めることを指向した。得られた震源メカニズム解の情報を正確な震源分布とあわせることにより、本震のすべり面上と面外の地震を区別することが可能となるものと期待されるが、こうした面内

外の余震の空間分布は、本震の破壊域の拡がりや本震の発生が周囲の応力場に及ぼす影響を理解し、2005年の地震の宮城県沖における地震テクトニクス的な意義を考える上で重要であると考えたからである。

2. 観測概要

表1に観測点配置を示す。震源域の周辺では、地震発生当時すでに19観測点においてOBSが稼働しており、本震とその発生直後の余震が観測されている。そこで、本研究では、これらにさらに11点を加えることによって、観測点密度を向上させた。また、本震の正確な震源をいち早く知るために、すでに観測中であった19観測点のうち、本震の震央に近い5点(S01, S02, S03, S04, S05)でOBSの回収・再設置を行った。これら5地点のOBSのデータを用いた解析結果はHino et al. (2006, 本報告)で報告されている。地震の発生直後、本震の震央の近傍における余震活動が非常に活発であったため、この領域へのOBSの設置を先行して行った。設置は大型ヘリコプター(朝日航洋AS332型)により8月20日(8月19日を予定していたが濃霧による視界不良のため延期となった)に行われ、震央近傍のE05, E06, E06, E09, E10の5点で8月20日の12:00から観測を開始した。また本震前から観測していた5観測点のOBSの回収とその地点への再設置および11観測点の新設は、海洋研究開発機構・支援母船「よこすか」により8月27日~31日の期間(当初8月22日~28日の予定であったが、台風通過の影響で延期となった)に実施した。この航海で設置したOBS(合計16台)はいずれも設置直後から観測を開始している。OBSの回収は、海洋研究開発機構・学術研究船「白鳳丸」、函館海洋気象台・観測船「高風丸」、㈱オフショア・オペレーション・作業船「第五海工丸」により行った。

3. データ処理・解析

この観測に使用したOBSは、いずれも3成分速度型地震計の出力波形をハードディスクドライブに連続記録するもので、内蔵の高精度水晶時計により記録の刻時管理が行われている。内蔵時計と日本標準時刻との時刻差を、OBSの設置直前と回収直後に測定し、観測期間中の時刻ずれの変化レートが一定であると仮定して、波形記録に対する時刻補正を行った。時刻補正後の連続記録は1分長に切り分けられ、全観測点のデータを1ファイル(winフォーマット)に統合されて、整理保存され、この波形ファイルを用いて、震源決定のための地震波到達時刻の検出作業を行った。

検出の対象としたのは、気象庁一元化カタログに掲載された地震のうちOBSの観測期間中に発生した地震である。検出はwinシステムを利用し、はじめに全観測点に対して、P波初動到達時刻を、初動の極性ととも読みとった。次に、各観測点の水平動の記録から、OBS直下の堆積基盤においてP波からS波に変換してOBSに到達するPS変換波とP波との到達時間差(PS-P時間)を計測した。PS-P時間は海底下表層の低地震波速度の堆積層による走時おくれを補正するための観測点補正値を求めるために用いた。PS-P時間の計測は、1観測点の水平動成分の記録をP波到達時刻揃えて複数の地震について並べて表示することにより行った。このようにして観測点補正

値を求めた後に S 波の到達時刻の検測を再び win システムを用いて行った。観測点補正值なしでは、S 波の到達時刻の観測点ごとのバラツキが非常に大きくなるため、このような手順で検測作業を行っている。本報告執筆時点では、S 波の検測作業が進行中である。

震源決定は、Hino et al.(2006, 本報告書)にあるのと同様な手順で行った。すなわち、まず絶対走時を用いた通常の震源決定法を行い、その結果を初期震源分布としてダブル・ディファレンス法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) による震源決定を行った。初期震源の決定では、1 次元の速度構造を仮定した (使用した構造は、Hino et al. (2006)の Fig. 2 を参照)。現段階では、S 波の検測が完了していないため、P 波の到達時刻のみを用いて解析を行った。このように震源決定ができた地震のうち、初動極性が十分な数の観測点で読みとることができた地震に関しては、震源メカニズム解を求めた。メカニズム解は P・T 軸の方向を回転させながら、極性データの不一致の数が最小となるものをグリッドサーチにより求めた。現時点では、定量的な誤差の評価ができていないが、P・T 軸の方向が十分に constrain されているものを目視で選び、震源位置ごとのメカニズム解の違いを調べた。

4. 予察的な解析結果

図 1 に P 波到達時刻データだけを用いて求められた余震分布を示す。余震分布の特徴は、本震発生直後に回収した 5 点の OBS の解析結果 (Hino et al., 2006) と顕著な相違はみられず、余震域の拡大は起こっていないものと思われる。図 2 には本震の震央付近における余震分布を示したものである。こうした地震のうち、P 波初動の押し引きからメカニズム解を決定することのできた地震の震源を星印で示した。メカニズム解を決定することができた余震の多くは、本震と同様な低角逆断層型のメカニズム解をもつが、それより高角の節面をもった逆断層型のものも存在することが分かった。これら 2 種類のメカニズム解をそれぞれ、「本震型」と「高角逆断層型」と呼ぶことにして、どのように空間分布しているかに注目すると、「本震型」は本震震源付近に集中し、余震の震源深さをみるとプレート境界面に対応すると思われる面に沿った非常に薄い分布を示している。こうした余震は、本震の破壊面の面内あるいはその延長上で発生しているものと考えることができる。一方、「高角逆断層型」は余震域の比較的外側に多く分布する。注目されるのは、本震の震源よりも北東側にある北東-南西の方向に線状分布する余震群に「高角逆断層型」が多く含まれることである。この線状分布する余震群は、Yaginuma et al.(2006)が地震波形記録から推定した本震のすべり域の東縁とほぼ一致し、Hino et al. (2006)はこの活動が破壊域先端の周辺における応力集中により活発化している可能性を指摘している。

5. まとめ・今後の課題

海底地震観測のデータを用い、2005 年宮城県沖の地震の本震および余震の震源決定を行った。多くの余震はプレート境界面と考えられる本震の破壊面の面内あるいはその延長で発生しているが、震源位置およびメカニズム解から、面外での余震活動を認めることができた。今後、さらに検測を進めることにより、できるだけ多くの地震の震源位置およびメカニズム解を精度よく決定

し、本震の破壊面の周囲で余震活動がどのように分布するかを詳細に明らかにしていきたい。

謝辞

本海底地震観測を実施するにあたり、宮城県漁業協同組合連合会、宮城県沖合底びき網漁業協同組合、宮城県小型機船底曳網漁業協同組合をはじめとする多方面の皆様のご協力を頂きました。海洋開発機構支援母船「よこすか」および学術研究船「白鳳丸」、函館海洋気象台・観測船「高風丸」、(株)オフショア・オペレーション作業船「第五海工丸」の船長および乗組員の皆様のご支援に深く感謝致します。また、船上作業においては寺田育正、小泉透、柴田英紀、清水洋芳各氏の支援を頂きました。

参考文献

- Hino, R., Y. Yamamoto, A. Kuwano, M. Nishino, T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, M. Shinohara, K. Minato, G. Aoki, N. Okawara, M. Tanaka, M. Abe, E. Araki, S. Kodaira, G. Fujie and Y. Kaneda, Hypocenter distribution of the main- and aftershocks of the 2005 Off Miyagi Prefecture Earthquake located by ocean bottom seismographic data, 本報告書, 2006.
- Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 1353-1368, 2000.
- Yaginuma, T., T. Okada, N. Umino and A. Hasegawa, Asperity of the 2005 off Miyagi earthquake (M7.2) estimated by waveform inversion, *Program Abstr. Seism. Soc. Japan*, PM16, 2005 (*in Japanese*).
- Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, *J. Geophys. Res.*, 109, 2003JB002683.

表 1. 海底地震計を設置した観測点の表

観測点名	緯度 (北緯)	経度 (東経)	水深 (m)	観測期間
S01	38° 20.853'	142° 06.941'	519	2005/7/13 ~ 8/28
Sa1	38° 20.846'	142° 06.947'	520	2005/8/28 ~ 10/24
S02	37° 58.967'	142° 05.045'	537	2005/7/13 ~ 8/28
Sa2	37° 58.972'	142° 04.921'	537	2005/8/28 ~ 10/26
S03	38° 10.952'	142° 18.950'	971	2005/7/13 ~ 8/29
Sa3	38° 11.033'	142° 18.941'	960	未回収
S04	38° 29.276'	142° 29.969'	1104	2005/7/13 ~ 8/28
Sa4	38° 30.002'	142° 29.938'	1089	2005/8/28 ~ 10/24
S05	37° 56.963'	142° 28.889'	1068	2005/7/13 ~ 8/29
Sa5	37° 56.968'	142° 29.013'	1053	2005/8/29 ~ 10/25
S06	37° 49.950'	142° 10.000'	704	2005/7/13 ~ 10/26
S07	37° 53.985'	142° 48.011'	1377	2005/8/28 ~ 10/24
S08	38° 7.996'	142° 44.952'	1507	2005/8/29 ~ 10/24
S09	38° 11.960'	143 08.120'	2049	2005/8/28 ~ 10/22
S10	38° 29.992'	143 00.211'	1985	2005/7/13 ~ 10/21
E01	38° 25.818'	142° 0.026'	356	2005/8/27 ~ 11/9
E02	38° 13.694'	141° 58.985'	289	2005/8/28 ~ 11/9
E03	37° 58.745'	141° 55.423'	329	2005/8/28 ~ 11/10
E04	37° 57.968'	142° 14.355'	818	2005/8/20 ~ 10/14
E05	38° 07.211'	142° 08.508'	546	2005/8/20 ~ 10/14
E06	38° 26.652'	142° 15.106'	724	2005/8/20 ~ 10/13
E07	38° 35.987'	142° 08.982'	539	2005/8/28 ~ 11/9
E08	38° 42.163'	142° 31.919'	1181	2005/8/28 ~ 11/9
E09	38° 19.095'	142° 25.355'	1026	2005/8/20 ~ 10/14
E10	38° 07.207'	142° 32.653'	1216	2005/8/20 ~ 10/14
E11	37° 51.002'	142° 36.566'	1101	2005/8/28 ~ 11/10
E12	38° 19.339'	142° 40.400'	1322	2005/8/28 ~ 11/10
E13	38° 18.611'	142° 55.624'	1437	未回収
E14	38° 30.692'	142 44.6887'	1442	2005/8/28 ~ 11/9
E15	38° 39.158'	143° 06.433'	1981	2005/8/28 ~ 11/9
F01	37° 35.950'	142° 12.023'	661	2005/6/20 ~ 10/14
F02	37° 26.973°	142° 15.024'	936	2005/6/20 ~ 10/14
F03	37° 41.986'	142° 02.966'	552	2005/6/20 ~ 10/14
F04	37° 30.266'	142° 28.012'	1135	2005/6/20 ~ 10/14
F05	37° 39.971'	142° 25.972'	1071	2005/6/20 ~ 10/14
LS1	38° 40.78'	142° 16.85'	716	2005/5/14 ~ (観測中)
LS2	38° 54.91'	142° 30.82'	1211	2005/5/14 ~ (観測中)
LS3	38° 45.78'	142° 49.78'	1410	2005/5/15 ~ (観測中)
LS4	38° 17.87'	142° 42.10'	1414	2005/5/15 ~ (観測中)
LS5	37° 59.91'	142° 25.05'	1038	2005/5/15 ~ (観測中)

太字で示した観測点が、本研究の余震観測のために海底地震計を設置した観測点。

図1. 2005年8月16日宮城県沖の地震 (M7.2) の本震および余震の震源分布. 海底地震計におけるP波走時を用いて再決定したもの. 余震は本震発生直後から10月30日までのもの (検測作業中なので全ての地震が網羅されているわけではない). 星印と黒丸印で本震と余震の震源を示す. 十字印は海底地震計の設置点. 図中に示した陸上観測点 (5点) のデータも震源決定に用いた. コンターは Yaginuma et al. (2006) および Yamanaka and Kikuchi (2004) による, 2005年 (黒線) および1974年 (灰色線) の地震の地震時すべり量分布.

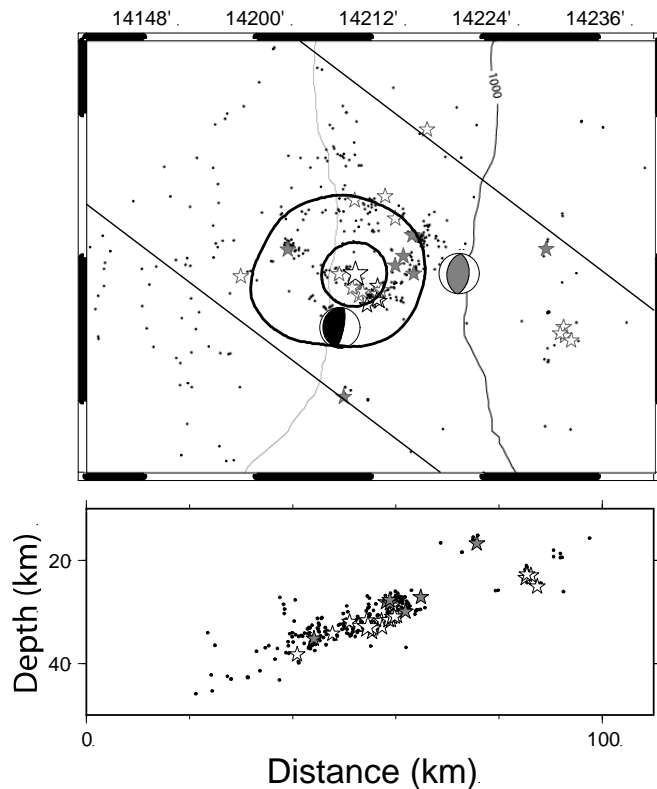
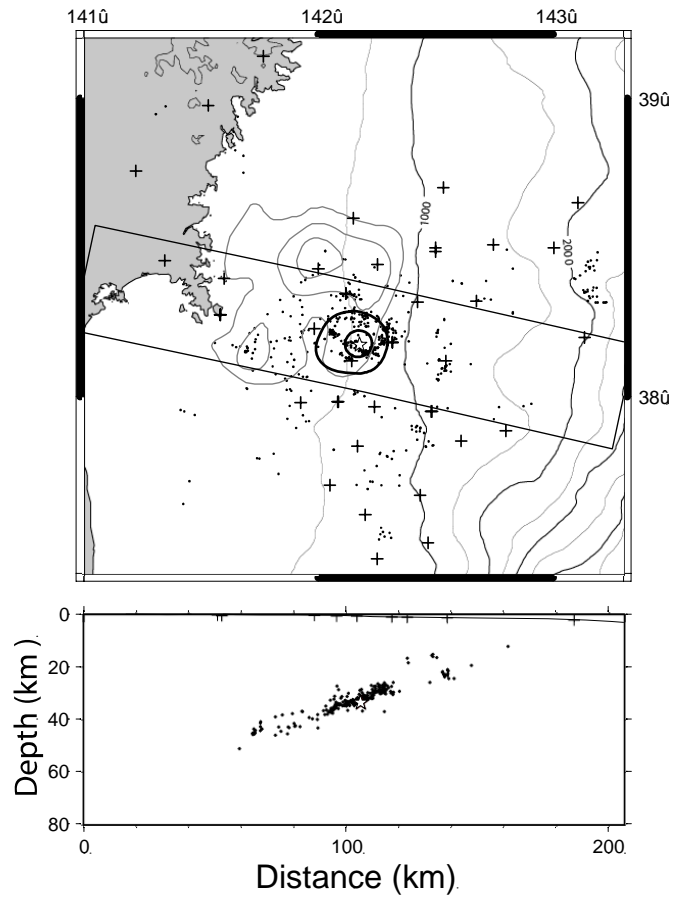


図2. 本震の震央付近における震源分布の拡大図. 本震と同様な低角逆断層型のメカニズム解 (例を黒の beach ball で示す) をもつ余震の震源を白星, それより高角な節面をもつメカニズム解 (例を灰色の beach ball で示す) の余震の震源を灰色星で示す. 大きな白星は本震の震源.