

9. 宮城県沖の地震（2005 年 8 月 16 日，M7.2）

松澤 暢（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）

1. はじめに

宮城県沖では過去に 37 年の平均再来間隔で M7.5 程度の大地震が繰り返してきたことから，地震調査研究推進本部地震調査委員会では 2000 年 11 月 27 日に「宮城県沖地震の長期評価」を発表した¹⁾．その 5 年後の 2005 年 8 月 16 日 11 時 46 分に M7.2 の地震が宮城県沖で発生し，これが想定されていた「宮城県沖地震」であったかどうか議論となった．結論として，1978 年の宮城県沖地震を生じたアスペリティのうち一部が破壊したということが明らかになり，近い将来に 2005 年と同程度以上の地震が生じる可能性が高いことがわかってきた．ここでは，この地震について明らかになったことについて報告する．

2. 地震の概要

この地震により，お盆休み明けの U ターンラッシュを迎えていた新幹線が半日停止し，仙台市内の公共施設ではつり天井の化粧パネルが落下するなどの建造物の被害が生じ，また多数の負傷者が出た．図 1 に気象庁一元化震源データによる本震発生後 1 ヶ月間の余震分布を示す．

上記の長期評価が発表されたことを受けて，2002 年度から 3 ヶ年計画で「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点的調査観測」が，また 2005 年度から 5 ヶ年計画で「宮城県沖地震における重点的調査観測」が実施されていたことによって，2005 年の本震発生の前から臨時海底地震観測網が整備されており，本震や余震の震源分布を高精度で推定することができた．このような海底地震観測データも加えて，Hino et al. (2006)²⁾ によって再決定された本震と余震の震源分布を図 2 に示す．

気象庁一元化震源では，本震は余震域の縁に位置していたが，再決定の結果，本震は約 10km 西側に移動して余震域の中に入っていたことがわかる．このようにして再決定された震源分布と地震時すべり量分布，および地下構造との関係を示したのが図 3 である．

図 3 の震央分布を見ると，余震はいくつかのクラスタに分かれて分布しており，とくに本震の震央が含まれる西北西-東南東方向に線状に並ぶクラスタとそれに直交して北北東-南南西方向に並ぶクラスタから構成される L 字型の分布が顕著である．Yaginuma et al. (2006)³⁾ によるすべり量分布と比較すると，この L 字型の分布の内部で本震時に大きなすべりが生じていたことがわかる．また，断面図からわかるように，余震は陸側に傾き下がる面状に分布しており，この面の走向と傾斜は 197° と 24° であり，F-net によるメカニズム解 (197° ， 22°) とよく一致している．一方，北北東-南南西方向に並ぶク

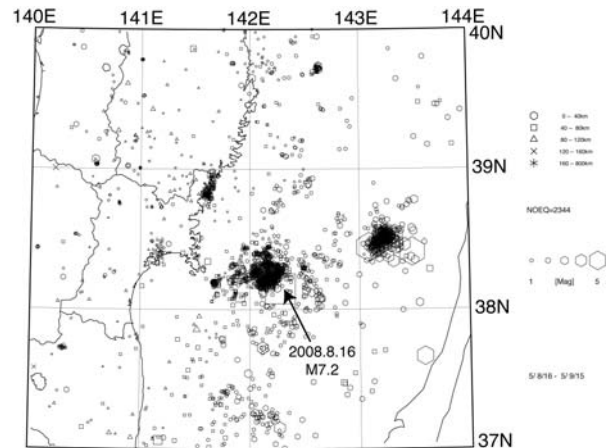


図 1 気象庁一元化震源データによる 2005 年 8 月 16 日に発生した宮城県沖の地震（M7.2）の本震と 1 ヶ月間の余震分布．

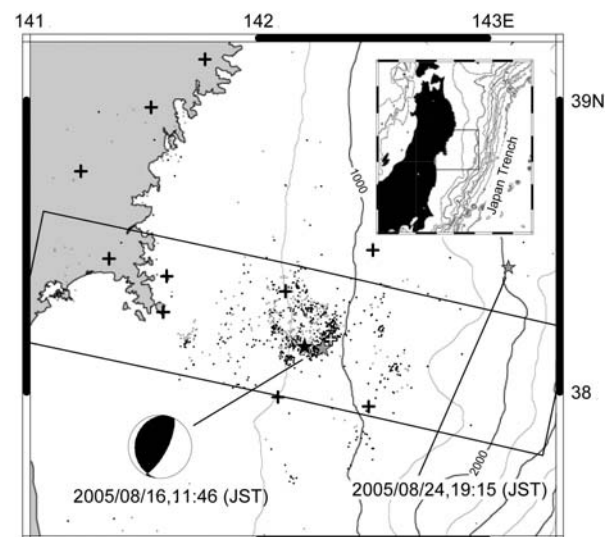


図 2 Hino et al. (2006)²⁾ による，2005 年宮城県沖の地震の本震と余震（8 月 24 日 19 時 15 分まで）の分布の気象庁一元化震源（灰色）と海底地震観測に基づく再決定震源（黒色）との比較．本震のメカニズム解は F-net による．十字印は震源決定に用いた観測点の位置を示す．

ラスタは，すべり量分布の東縁にほぼ一致しており，断面を見ると厚みを持った分布をしており，またメカニズム解も低角逆断層ではない地震が多く含まれている．

3. 震源域周辺の地震波速度構造

図 3(b) に示したように，震源分布の鉛直断面図に Ito et al. (2005)⁴⁾ が人工地震探査によって求めたプレー

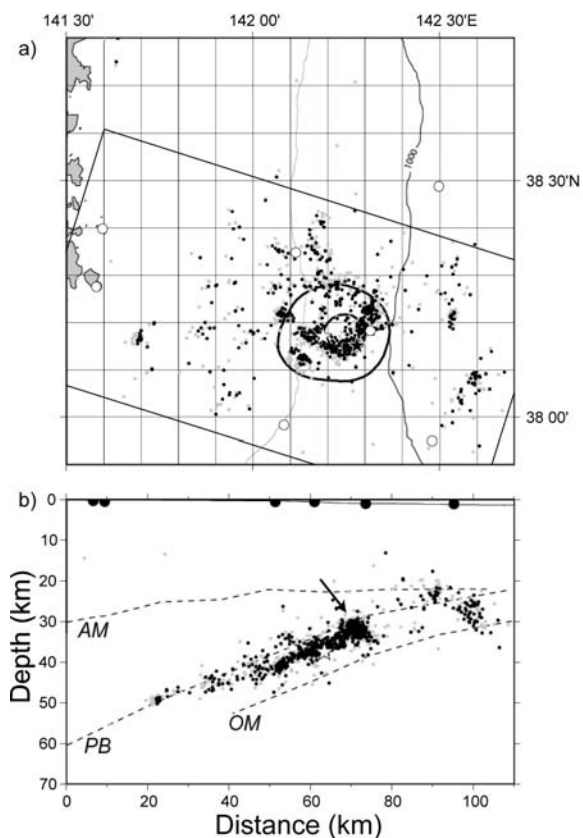


図3 Hino et al. (2006)²⁾ が海底地震観測によって再決定した本震・余震分布 (黒点). (a) 震央分布. 黒星印は気象庁一元化震源カタログによる本震の震源, 白星印は再決定された震源を示す. 白丸は観測点の位置, 太線は Yaginuma et al. (2006)³⁾ による本震の滑り量分布 (0.3 m 間隔) を示す. (b) 図(a) の矩形内の地震の震源分布の鉛直断面図. 破線は人工地震探査に基づき Ito et al. (2005)⁴⁾ によって推定された主要な構造境界であり, AM, PB, OM はそれぞれ島弧地殻のモホ面, プレート境界, 海洋性地殻のモホ面を表す.

ト境界の位置を重ねてみると, プレート境界と余震分布がよく一致していることがわかる. 厳密には余震分布のほうが僅かに深く決定されているようにも見えるが, 震源と構造の両方の誤差を考えると, 有意な差とはいえないと考えられる.

余震域とすべり分布と構造とを比較すると, 主破壊域の東縁とプレート境界の折れ曲がり点がほぼ一致していることがわかる. Ito et al. (2005)⁴⁾ も, プレート境界面の屈曲と 1978 年宮城県沖地震の東縁に対応関係があると考察しており, 1978 年の地震も 2005 年の地震も, 東側への破壊がプレート境界の屈曲によって阻害された可能性がある.

図 4 は, Yamamoto et al. (2006)⁵⁾ による 3 次元 P

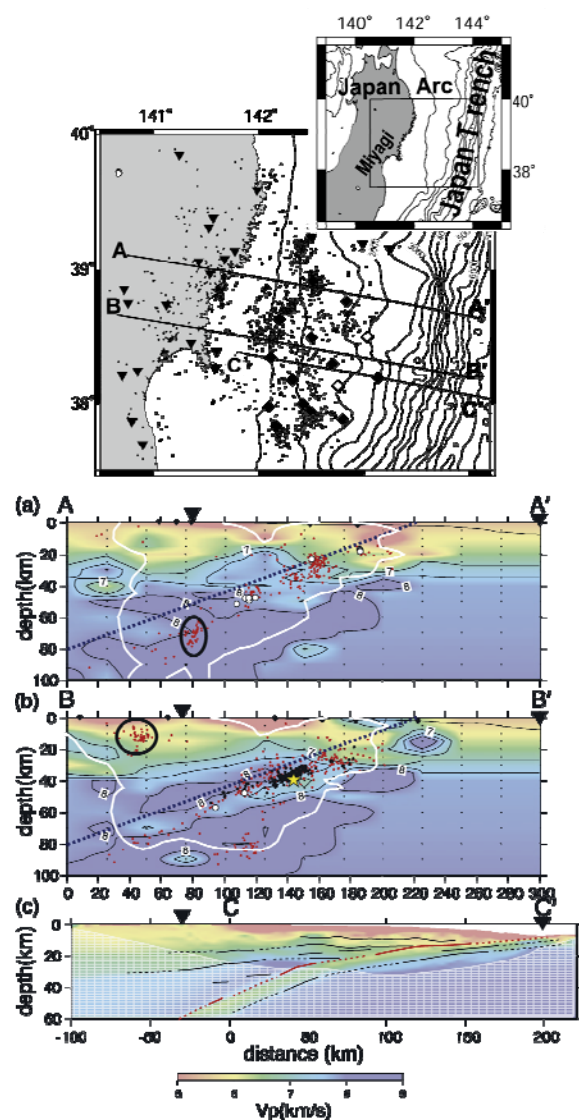


図4 Yamamoto et al. (2006)⁵⁾ による宮城県沖の P 波速度構造. (a) 上図の A-A' の測線での速度構造. 赤点は再決定された 2002 年 6 月から 2004 年 4 月までの地震を示す. (b) 上図の B-B' の測線での速度構造. 2005 年の地震の本震と余震を黄色星と黒点で表す. (c) 上図の C-C' 測線における Ito et al. (2005)⁴⁾ による人工地震探査の結果.

波速度構造と余震分布の比較である. 図 4(b) に見られるように, 沈み込む海洋性地殻と考えられる低速度域の上縁に沿って本震と余震が分布しており, 今回の地震がプレート境界で生じたことを明瞭に示している.

図 4 の点線で示したプレート境界直上の速度構造を示したのが図 5 である. 1978 年や 2005 年の地震の震源域の直上ではマントルウェッジは高速度になっているが, それよりも北側では相対的に低速度となっていることがわかる. このような不均質性が生じる原因としては, マントルウェッジの蛇紋岩化が場所によって異なっている

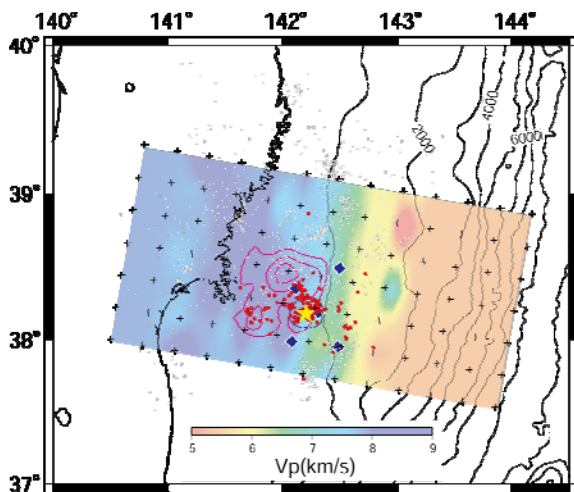


図5 Yamamoto et al. (2006)⁵⁾ によるプレート境界直上のP波速度構造. 図4の点線に沿った構造を示す. 赤コンターはYamanaka and Kikuchi (2004)⁶⁾ による1978年宮城県沖地震のすべり量分布, 青コンターはOkada et al. (2005)⁷⁾ による2005年宮城県沖地震のすべり量分布を示す. 黄色星と赤点は2005年宮城県沖地震の本震と余震を表す.

可能性が考えられ, それによってプレート境界の摩擦特性が規定されているのかもしれない.

4. GPS観測による地震時滑りと余効滑りの分布

Miura et al. (2006)⁸⁾ は, 国土地理院のGEONETと東北大学のGPS観測網のデータを用いて地震時すべり量分布を求めた. その結果を図6に示す. 海域で発生したM7程度以下の地震の場合, GPS観測データですべり量分布を推定するとどうしても広がりが大きく推定されがちである. そのことを考慮して, この図を見ると, 震源近傍がすべり量分布の中心となっており, 1978年の地震の震源域のうちの南東の一部分だけを破壊したことが明瞭となっている. 推定された地震モーメントは $6.5 \times 10^{19} \text{ Nm}$ (Mw7.1) となった.

この地震の後の余効滑りをGPSデータから推定した結果が図7である. この地震の直後では, 余効滑りは本震の震源域の南西を中心としていた(図7(a))が, 2005年12月2日の最大余震(M6.6)の後, 震源域の北東が余効滑りの中心となったようである(図7(b)). これらの余効滑りの積算地震モーメントは最大余震の前が $3.7 \times 10^{19} \text{ Nm}$ (Mw7.0), 後が $3.2 \times 10^{19} \text{ Nm}$ (Mw6.9) であり, 総計 $6.9 \times 10^{19} \text{ Nm}$ (Mw7.2) となり, 本震とほぼ同程度の地震モーメントが放出されたことになる. なお, 図7(b)で岩手県沿岸付近の紫色の領域は, この時期にここでバックスリップが増加した, つまりプレート間の固着が強ま

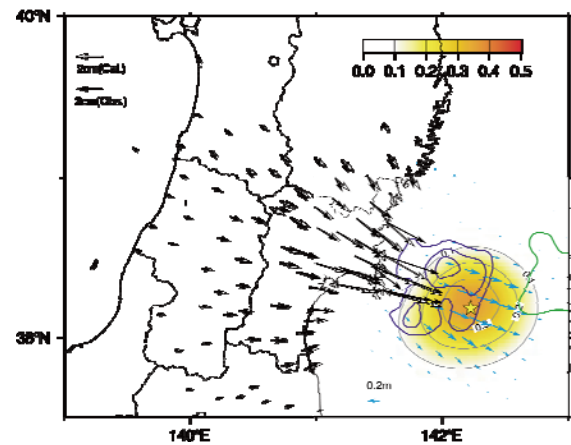


図6 GPS観測データからMiura et al. (2006)⁸⁾ によって推定された2005年M7.2の地震の地震時滑り量分布. 黒, 白抜き, 青色のベクトルはそれぞれ観測変位, 計算変位, 上盤側のすべり量を表す. 黄色星印は2005年の地震の震央を示す. 紫色と緑色のコンターは, Yamanaka and Kikuchi (2004)⁶⁾ による1978年(M7.4)と1981年(M7.0)の宮城県沖の地震のすべり量分布を表す.

ったことを示している.

5. 2005年の地震と1978年および1930年代の地震との関係

Okada et al. (2005)⁷⁾ は, 1978年と2005年の宮城県沖地震の余震の震源分布をDD法を用いて相対的に精度良く再決定を行った. その結果を図8に示す. 2005年の余震分布は1978年の余震分布の一部と重なっており, 2005年の地震が1978年の地震の震源域の一部を破壊したことを示唆している. 図8の赤コンターはYamanaka and Kikuchi (2004)⁶⁾ による1978年の地震のすべり量分布, 黄色の矩形はSeno et al. (1980)⁹⁾ による1978年の地震の3セグメントモデルを, また青コンターはYaginuma et al. (2006)³⁾ による2005年の地震のすべり量分布を示している.

これらの結果を見ると, 1978年の地震は, 3つのアスペリティの複合破壊によって生じており, そのうちの震源(破壊開始点)近傍のアスペリティが単独で破壊したのが2005年の地震であったと考えられる. 一方, Wu et al. (2008)¹⁰⁾ は, 1978年と2005年地震のすべり量分布を求め, 1978年の地震の3つのアスペリティのうち, 南側の2つのアスペリティを壊したのが2005年の地震であったと解釈している. 図8を見ても, 2005年の余震分布は1978年の地震の3つのアスペリティのうちの南西のアスペリティ近傍にまで達しており, この付近まで破壊が進展していた可能性を完全には否定できない.

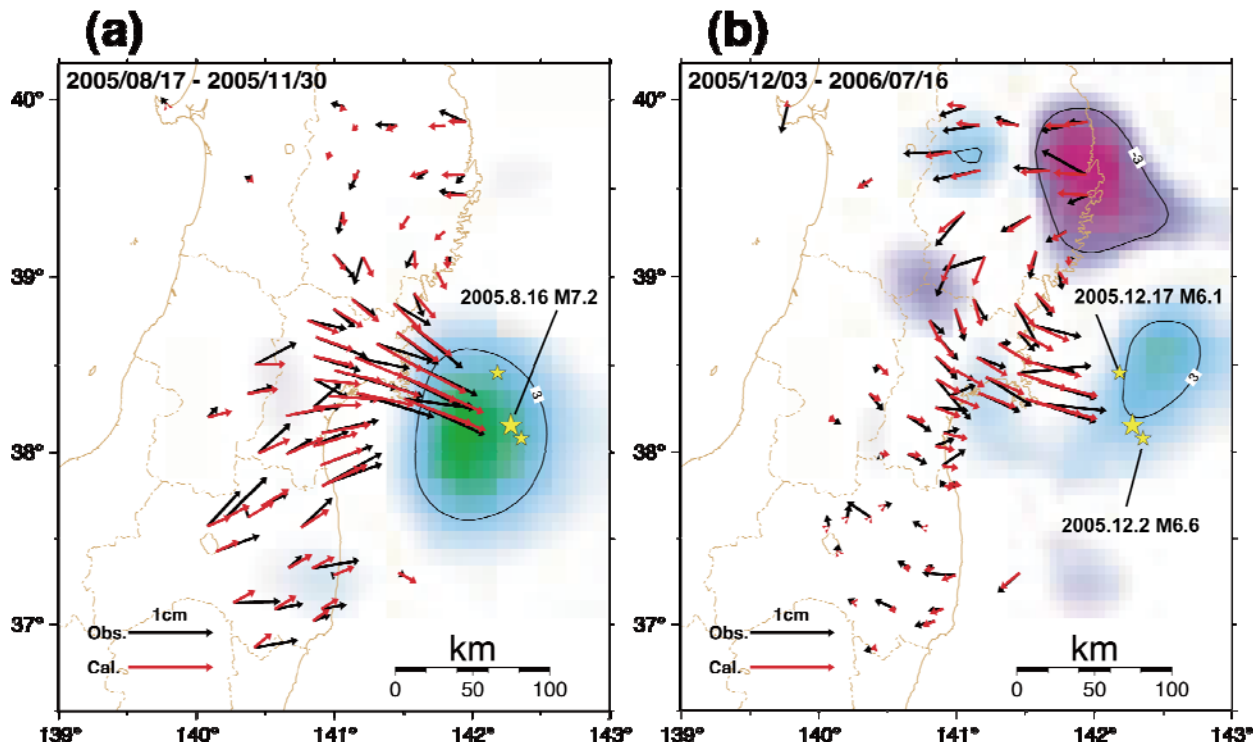


図7 GPS観測データから推定された余効滑り (Miura et al. (2006)⁸⁾ に加筆). 黒と赤のベクトルは、それぞれの観測点での変位量の観測値と計算値を表す. (a) 最大余震 (2005 年 12 月 2 日 M6.6) の前まで. (b) 最大余震の発生後.

地震調査研究推進本部地震調査委員会による評価¹⁾によれば、1978 年の一つ前の宮城県沖地震は、1936 年の M7.4 の地震となっている. しかし、Kanamori et al. (2006)¹¹⁾ が古地震記録を比較したところ、1936 年の地震と 2005 年の地震は規模も深さも同程度であることが明らかになった. また、河野・他 (2007)¹²⁾ は、1930 年代の宮城県沖の地震の震度分布を丹念に調べ、新聞記事による被害状況から推定された 1936 年の地震の震度分布と 2005 年の地震の震度分布がよく一致していることを示した.

1936 年の震源 (破壊開始点) が、1978 年や 2005 年の震源ときわめて近いことと上記の研究結果は、1936 年の地震が 2005 年の地震と同様に 1978 年の地震の破壊開始点付近のアスペリティのみを破壊した Mw7.2 程度の地震であったことを示している.

Umino et al. (2006)¹³⁾ は、1930 年代の大地震がプレート境界で発生していると仮定し、S-P 時間を用いて 1978 年および 1933 年 (M7.1), 1936 年 (M7.4), 1937 年 (M7.1) の 1930 年代の 3 つの地震の本震と余震の震源再決定を行った. その結果を図 9 に示す. 図 8 で 2005 年の地震の余震が 1978 年の地震の余震の一部となっているのと同様に、1930 年代の地震の余震は 1978 年の地震の余震の一部を占めていることがわかる.

以上のことから、1978 年の地震は少なくとも 3 個のア

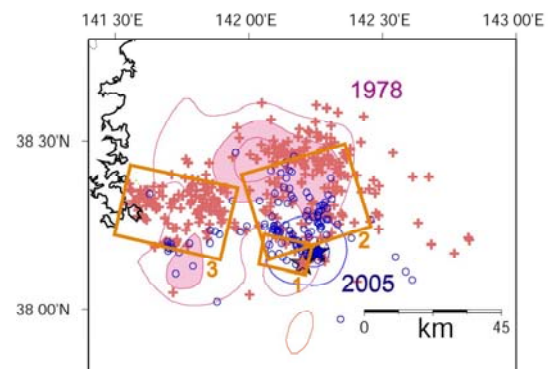


図8 1978 年と 2005 年の宮城県沖地震の比較. 赤十字印と青丸はそれぞれ Okada et al. (2005)⁷⁾ によって再決定された 1978 年と 2005 年の本震発生後 2 日間の余震分布を表す. 橙色と青色の星印は、それぞれ 1978 年と 2005 年の本震の震源 (破壊開始点) を示す. 赤コンターは Yamanaka and Kikuchi (2004)⁶⁾ による 1978 年の地震のすべり量分布, 橙色の矩形は Seno et al. (1980)⁹⁾ による 1978 年の地震の 3 セグメントモデルを表す. 青コンターは Yaginuma et al. (2006)³⁾ による 2005 年の地震のすべり量分布を示す.

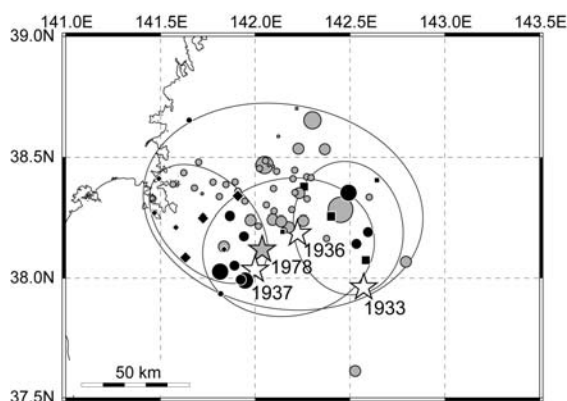


図9 Umino et al. (2006)¹³⁾ による宮城県沖の M7 級の地震とその余震の震源再決定結果。黒四角, 黒丸, 黒菱形, 灰色丸はそれぞれ 1933 年, 1936 年, 1937 年, 1978 年の地震の余震の震央を表す。

スベリティの複合破壊であり, 1930 年代はこれらが別々に破壊し, そのうちの 1936 年の地震の再来が 2005 年の地震であったと考えられる。1978 年の主破壊域である, 一番北側のアスベリティは, 2008 年時点ではまだ壊れ残っていると考えられるが, これが 1933 年の地震のアスベリティに相当しているかどうかはよくわからない。1933 年の地震がこの 1978 年の地震の主アスベリティの破壊にしては M7.1 と小さすぎるため, 1978 年の主破壊域のアスベリティは 1930 年代には破壊せず, 2000 年代にも破壊せずに次のサイクルで 1978 年型の地震を発生させる可能性も否定できない。

ただし, いずれにしても, 2005 年の地震が発生したことにより, その周囲のアスベリティでの応力が増大したことは間違いなく, 1978 年の主破壊域のアスベリティが近い将来に破壊する可能性が高いと考えるべきであろう。その場合, 2005 年よりも大きな地震が陸に近い側で発生することになるため, 2005 年の地震で被害なかった場所でも宮城県沖地震への備えを怠るべきではない。

6. おわりに

2005 年の宮城県沖地震の発生を契機として, 1930 年代の地震の理解が進み, それをもとにして 1978 年宮城県沖地震が複数のアスベリティの複合破壊の地震であったことが明らかになった。このことは, 2000 年当時に地震調査委員会で考えたよりも宮城県沖地震の発生過程は複雑であり, かつ地震の規模や再来間隔も揺らぎが大きくなる可能性を示している。しかし, これは決して地震の長期予測の不可能性を示しているのではないことに注意が必要である。現時点において地震の長期予測が困難なのは, 宮城県沖のアスベリティの全体像と破壊履歴が完全

には把握できていないことに起因している。将来的に宮城県沖の複数のイベントの詳細と, アスベリティの分布と破壊履歴が明らかになれば, 現時点よりも, 高信頼度の長期予測が実現できるはずである。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2000. 宮城県沖地震の長期評価. <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.htm>.
- 2) Hino, R., Y. Yamamoto, A. Kuwano, M. Nishino, T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, M. Shinohara, K. Minatao, G. Aoki, N. Okawara, M. Tanaka, M. Abe, E. Araki, S. Kodaira, G. Fujie, and Y. Kaneda, 2006. Hypocenter distribution of the main- and aftershocks of the 2005 Off Miyagi Prefecture earthquake located by ocean bottom seismographic data. *Earth Planets Space*, **58**, 1543-1548.
- 3) Yaginuma, T., T. Okada, Y. Yagi, T. Matsuzawa, N. Umino, and A. Hasegawa, 2006. Coseismic slip distribution of the 2005 off Miyagi earthquake (M7.2) estimated by inversion of teleseismic and regional seismograms. *Earth Planets Space*, **58**, 1549-1554.
- 4) Ito A., G. Fujie, S. Miura, S. Kodaira, R. Hino, and Y. Kaneda, 2005. Bending of the subducting oceanic plate and its implication for rupture propagation of large interplate earthquakes off Miyagi, Japan, in the Japan trench subduction zone. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, doi:10.1029/2004GL022307.
- 5) Yamamoto Y., R. Hino, M. Nishino, T. Yamada, T. Kanazawa, T. Hashimoto, and G. Aoki, 2006. Three-dimensional seismic velocity structure around the focal area of the 1978 Miyagi-Oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L10308, doi:10.1029/2005GL025619.
- 6) Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, 2004. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data. *J. Geophys. Res.*, **109**, B07307, doi:10.1029/2003JB002683.
- 7) Okada, T., T. Yaginuma, N. Umino, T. Kono, T. Matsuzawa, S. Kita, and A. Hasegawa, 2005. The 2005 M7.2 Miyagi-Oki earthquake, NE Japan: Possible rerupturing of one of asperities that caused the previous M7.4 earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, doi:10.1029/2005GL024613.
- 8) Miura, S., T. Iinuma, S. Yui, N. Uchida, T. Sato, K. Tachibana, and A. Hasegawa, 2006. Co- and post-seismic slip associated with the 2005 Miyagi-oki earthquake (M7.2) as inferred from GPS data. *Earth Planets Space*,

58, 1567-1572.

- 9) Seno, T., K. Shimazaki, P. Somerville, K. Sudo, and T. Eguchi, 1980. Rupture process of the Miyagi-Oki, Japan, earthquake of June 12, 1978. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **23**, 39-61.
- 10) Wu, C, K. Koketsu, and H. Miyake, 2008. Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes. *J. Geophys. Res.*, **113**, B08316, doi:10.1029/2007JB005189.
- 11) Kanamori, H., M. Miyazawa, and J. Mori, 2006. Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms. *Earth Planets Space*, **58**, 1533-1541.
- 12) 河野俊夫・海野徳仁・長谷川昭, 2007. 1930 年代に発生した M7 クラスの宮城県沖の地震の震度分布について. *地震* 2, **59**, 339-353.
- 13) Umino, N., T. Kono, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsuzawa, N. Uchida, A. Hasegawa, Y. Tamura, and G. Aoki, 2006. Revisiting the three M~7 Miyagi-oki earthquakes in the 1930s: possible seismogenic slip on asperities that were re-ruptured during the 1978 M=7.4 Miyagi-oki earthquake. *Earth Planets Space*, **58**, 1587-1592.