

恐山周辺の低周波地震活動*

弘前大学理工学研究科 小菅 正裕

1. はじめに

東北日本弧内陸において発生する浅発地震の震源の深さの下限は15~20 kmで、それ以深の下部地殻から最上部マントルの深さにおいて発生する地震は、例外なく低周波地震である [Hasegawa *et al.* (1993), Hasegawa and Yamamoto (1994)]。低周波地震の卓越周波数は1~5 Hzで、同程度の規模の通常地震の卓越周波数よりは有意に低い。低周波地震は、その規模が最大でもマグニチュード (M) 2.5程度であるので、低周波微小地震と呼ばれる。または、火山の火口付近で発生する低周波地震と区別して、深部低周波地震とも呼ばれる。深部低周波地震は東北地方においては主に火山フロントに沿って分布する [Hasegawa and Yamamoto (1994)] が、火山から離れた場所でも発生していることが明らかになっている [鎌谷・勝間田 (2004)]。西南日本においては、活断層の深部延長付近や2000年鳥取県西部地震の震源下での発生が知られている [大見 (2002), Ohmi and Obara (2002)]。深部低周波地震の発生する深さは岩石の脆性-流動境界よりも深いので、その発生には通常の浅発地震とは異なるメカニズム、例えばマグマまたはそれから派生した流体の関与などが考えられてきた [Hasegawa and Yamamoto (1994)]。波形インバージョンから震源メカニズムを推定した例もある [西富・武尾 (1996), 岡田・長谷川 (2000), 佐鯉・他 (2001)] が、発生機構の一般的な特徴は明らかになっていない。マグマから派生した地殻流体が内陸大地震の発生をもたらすというモデルも提案されている [Hasegawa *et al.* (2005)] ので、低周波地震の発生メカニズムの解明は地震防災上の観点からも重要である。

青森県下北半島の恐山の北方は、低周波地震の定常的な発生領域の一つとなっている (図1) [小菅・長谷川 (1992), Hasegawa and Yamamoto (1994), 佐鯉・他 (2001)]。震央の分布域はむつ市大畑の沖合であるが、2009年10月には陸域での発生が見られた [中村 (2009, 私信)] ので、本論では1997年以降の地震活動の時空間変化について調査を行った。

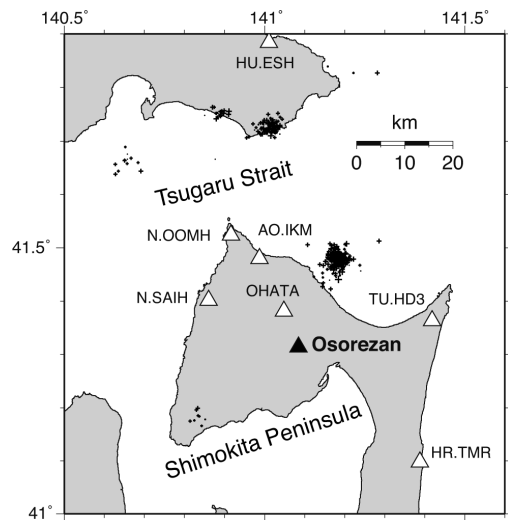


図1 下北半島とその周辺での低周波地震の震央分布 (十字印)。黒い三角印は恐山の位置を表す。白い三角印は均質観測点法での震源決定に用いた観測点を表す。

*Seismic Activity of Low Frequency Earthquakes around the Osorezan Volcano by Masahiro Kosuga

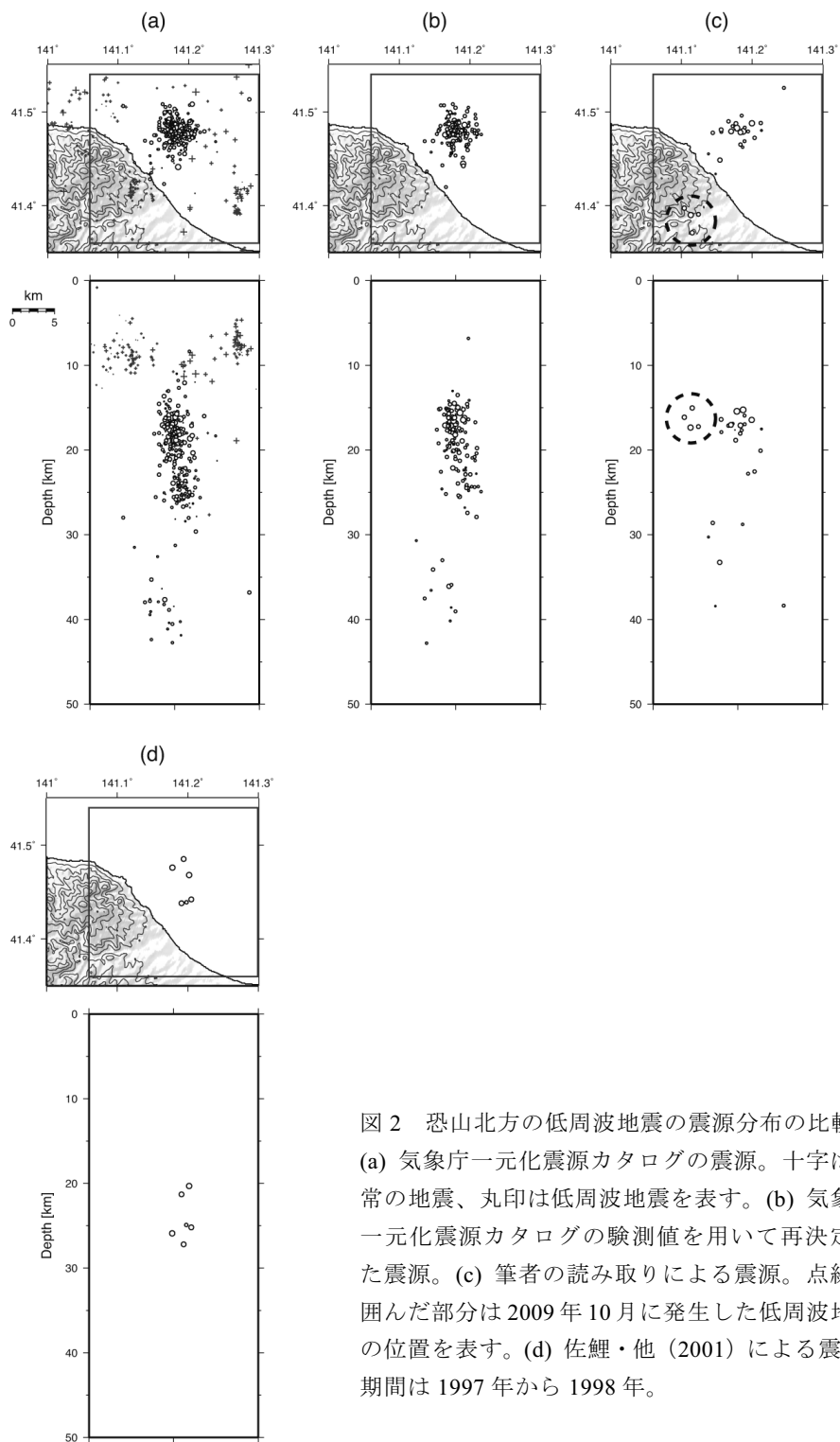


図2 恐山北方の低周波地震の震源分布の比較。
 (a) 気象庁一元化震源カタログの震源。十字は通常の地震、丸印は低周波地震を表す。(b) 気象庁一元化震源カタログの験測値を用いて再決定した震源。(c) 筆者の読み取りによる震源。点線で囲んだ部分は2009年10月に発生した低周波地震の位置を表す。(d) 佐鯉・他(2001)による震源。期間は1997年から1998年。

2. 震源分布

2-1. 異なるデータ及び震源決定法による震源の比較

低周波地震の波形の特徴として、S波は振幅が大きく初動も明瞭であるのに対して、P波初動の振幅が小さいことが挙げられる。そのため、P波初動到達時刻の読み取りには、験測者による差異が生じる可能性がある。そこで本研究では、いくつかのデータおよび震源決定法による震源分布の比較を行った。使用したデータ及び方法は以下の通りである。

- (1) 気象庁一元化震源カタログの震源要素。1999年以降のカタログには、低周波地震を表すフラグが付けられている。使用した期間は1999年2月～2009年7月である。
- (2) 気象庁一元化震源カタログの験測値を用い、東北大学においてルーチン処理の震源決定に用いられている地震波速度構造 [Hasegawa *et al.* (1978)] を使用して再決定した震源。
- (3) 弘前大学大学院理工学研究科附属地震火山観測所で収録した地震波形データから、筆者が験測を行って求めた震源。
- (4) 佐鯉・他 (2001) による震源。期間は1997年～1998年である。

それぞれの震源分布を図2 (a)～(d)に示す。(a)においては通常地震の震源を+印で示している。(a)を見ると、低周波地震の震源は深さ12 km程度から45 km程度まで深さ方向に細長く伸びた分布をしている。その領域は深さ30 km付近で上下に分けられ、浅部での活動の方が活発である。(b)の震源分布は(a)とほぼ同じで、震源決定に用いる速度構造及び震源決定プログラムの違いは、震源分布にほとんど影響しないことを表している。(c)は数が少なく浅部での活動が深さ方向にあまり広がっていないが、これは、相対的に規模の大きな地震の分布を表しているためである。(c)において点線で囲んだ範囲の地震が、2009年10月に発生したものである。この領域での活動はそれ以前には認められない。(d)は期間が異なるが、深さ20～30 kmでの活動であったものと考えられる。以上のことから、恐山北方の低周波地震の震源位置は、使用したデータや震源決定の方法にあまり依存しないことが明らかになった。

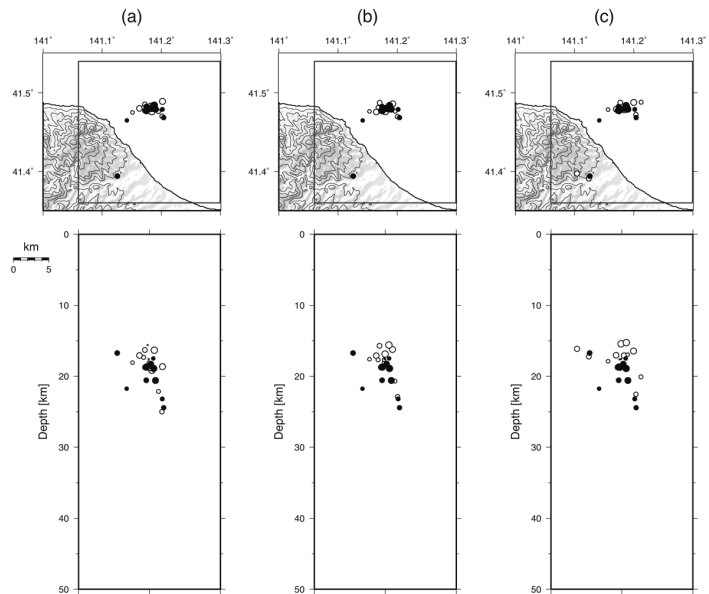


図3 均質観測点法による震源（黒丸）と比較した震源分布。黒丸に対応する地震の震源を白丸で示す。(a) 気象庁一元化震源カタログの震源。(b) 気象庁一元化震源カタログの験測値を用いて再決定した震源。(c) 筆者の験測による震源。

2-2. 均質観測点法による震源との比較

低周波地震の規模はあまり大きくないので、ノイズの大小によって検出ができた観測点が異なり、それが震源のばらつきを生む可能性がある。そこで、筆者が読み取った(c)のデータを用い、観測点の組み合わせを固定して震源を決める方法（均質観測点法）で震源の再決定を行った。図1に示した観測点の全てで検測値がある地震の震源を決定した。図3は、均質観測点法による震源を黒丸で、図2(a)~(c)の震源で均質観測点法による震源と対応するものを白丸で示している。いずれの場合にも震央はややまとまり、深さ15~18 kmの範囲の地震がやや深くなるが、顕著な違いはない。このことから、ルーチン的な震源決定によって震源位置に大きなバイアスは生じていないと考えられる。

2-3. 浅部及び深部の低周波地震の波形

図2において、低周波地震の震源が分布する深さ方向の範囲は30 kmにも及ぶ。一般に、震源の深さの決定精度が悪い場合には深さ方向に伸びた震源分布となるが、30 kmの範囲は震源決定誤差に起因するばらつきよりもはるかに大きい。図4は浅部と深部で発生した地震について、易国間(AO.IKM)観測点での波形を比較したものである。深部の低周波地震は規模が小さくS/N比が悪いが、震源の深さに対応したS-P時間となっていることは明らかである。このことから、低周波地震の震源が深さ方向に伸びているのは有意であると考えられる。図2では、震源は浅部と深部のクラスターを形成し、浅部の活動の方が活発である。この特徴は十和田における低周波地震の活動〔大谷(2003)〕と共通している。ただし、十和田の場合は浅部の活動は15 km、深部は30 km程度と、深さの絶対値は異なる。

3. 震源の時空間変化

次に、気象庁一元化震源カタログを基に、震源の時空間的な変化を検討する。そのため、低周波地震の震央分布域の中心(図5の十字)を設定し、そこからの距離と方位角、及び震源の深さの時間変化を調べた。結果を図6に示す。黒丸は低周波地震、+印は高周波地震を示し、距離と方位角の変化は高周波地震についてのみ示す。

地震数が多い浅部の低周波地

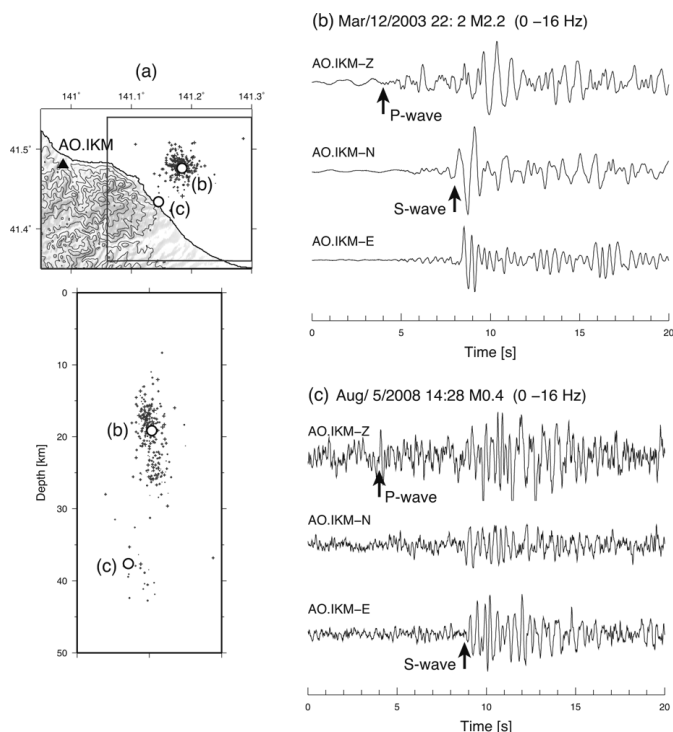


図4 浅部(b)と深部(c)の低周波地震の波形の比較。カットオフ周波数16 Hzの低域フィルターを通した波形。

震の活動は比較的定常的であるが、深部での活動は間欠的である。深部での活動がやや活発であった2000年～2001年、及び2005年～2006年には、浅部での低周波地震の震源が相対的に深いという相関が見られる。その中間の2003年には浅部低周波地震の震源が浅く、活動が活発であった。ただし、2007年には深部での活動があったが、浅部でそれに対応するような活動の変化は認められない。

低周波地震と高周波地震の活動にも相関が認められる期間がある。浅部低周波地震の活動が活発であった2003年に一時的な活動の中断があるが、その時期には高周波地震の活動が活発化するという相補的な関係が見られる。図5と図6を見比べると、高周波地震の活発化は図5において大畑の東のクラスターでの活動であったことがわかる。また、2007

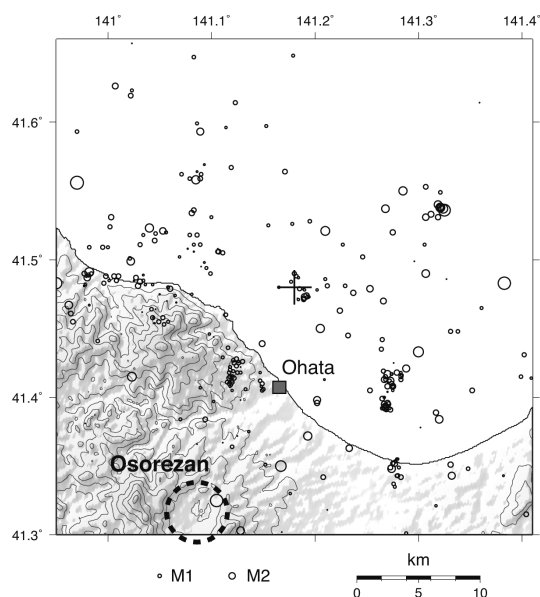


図5(上) 低周波地震の震央分布域周辺での通常の高周波地震の震央分布。低周波地震の分布域の中心を十字で示し、図6の距離と方位角はこの点を基準として測った。

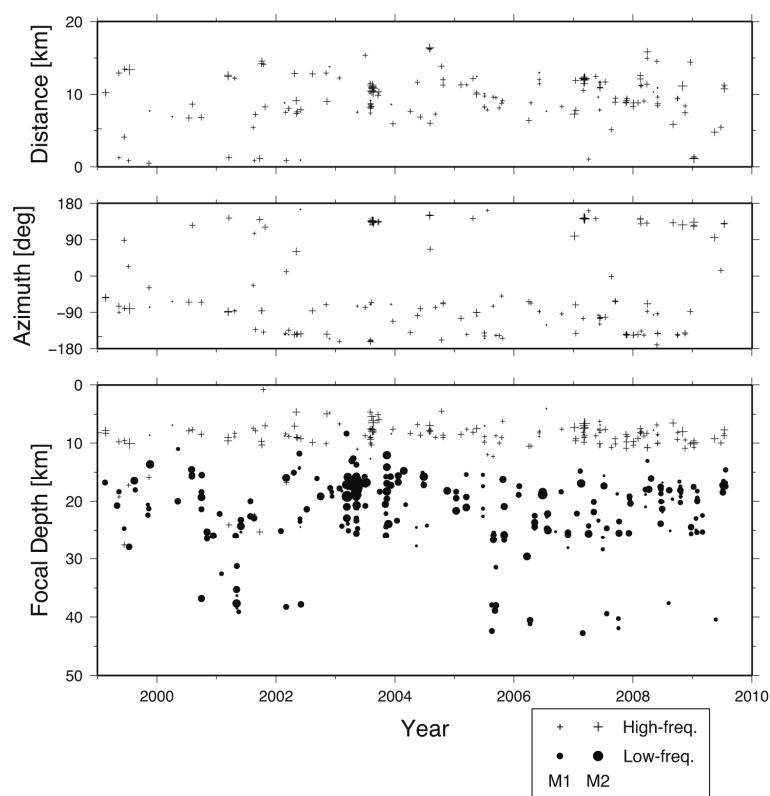


図6 低周波地震(黒丸)及び高周波地震(+)の震源の時空間変化。上段の距離と中段の方位角は、低周波地震の震央分布域の中心(図5)を基準として求めた。方位角は中心から北向きが0度で、時計回りを正としている。

年以降は、浅部低周波地震の深さの上限の時間変化と、高周波地震の深さ変化が対応するように見える。この変化には、大畑の東のクラスターの他に、大畑の西のクラスター、及び図5の十字の西側（下北半島北岸付近）の広範囲の活動が関わっているようである。低周波地震の活動が高周波地震の活動に影響を及ぼす要因としては、低周波地震の発生によって地殻浅部に応力変化がもたらされることなどが考えられる。これまで低周波地震の発生メカニズムの検討は、震源メカニズムを直接のターゲットとしてきていたが、地震活動の相関も検討の材料になることが示唆される。今後は、東北日本各地域での低周波地震について、高周波地震活動との相関を調べる必要がある。

4. まとめ

本論文では、気象庁一元化震源カタログ及び弘前大学で収録している地震波形データを基に、恐山北方の低周波地震の震源分布とその時間変化について検討した。低周波地震の震源分布域は浅部と深部に分けられ、浅部での活動が活発である。この特徴は十和田における低周波地震の活動と共通する。震源の時空間変化に着目すると、浅部と深部の低周波地震、及び浅部低周波地震と高周波地震の震源の深さの時間変化に相関が見られる場合があることがわかった。低周波地震と高周波地震の震源分布の相関は、低周波地震の発生メカニズム検討のための一つのデータとなる可能性がある。

謝辞

仙台管区気象台の中村浩二地震情報官には、2009年10月の地震活動の変化について情報を提供していただき、それが本研究のきっかけとなった。本研究で使用した気象庁一元化震源は、北海道大学、東北大学、独立行政法人防災科学技術研究所、青森県等が提供した地震波形データを、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理した結果である。以上の関係者・関係機関に厚くお礼申し上げます。

文献

Hasegawa, A. and A. Yamamoto, 1994, *Tectonophysics*, **233**, 233-252.

Hasegawa, A. *et al.*, 1978, *Tectonophysics*, **47**, 43-58.

Hasegawa, A. *et al.*, 1993, *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. A.*, **342**, 167-178.

Hasegawa, A. *et al.*, 2005, *Tectonophysics*, **403** 59-75.

鎌谷紀子・勝間田明男, 2004, *地震*, **57**, 11-28.

小菅正裕・長谷川 昭, 1992, シンポジウム内陸地震—発生の場合と物理—, 22-27.

西富一平・武尾 実, *火山*, **41**, 43-59.

大見士朗, 2002, 京都大学防災研究所年報, **45B**, 545-553.

Ohmi, S. and K. Obara, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1.1029/2001GL014469.

大谷佳子, 2003, 弘前大学修士論文, 66 pp.

岡田知己・長谷川 昭, 2000, *火山*, **45**, 47-63.

佐鯉央教・他, 2000, *地震*, **54**, 397-414.