

## 秋田県森吉山周辺の誘発地震活動の時空間変動\*

弘前大学理学研究科 小菅 正裕・増川 和真・千葉 正堯・渡邊 和俊

### 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の発生後、余震活動に加えて、震源域から離れた領域での地震活動、すなわち誘発地震活動が活発になった（例えば、Hirose *et al.* (2011)）。誘発地震活動の原因の解明は、内陸地震の発生機構の理解を深める上でも重要である。東北地方北部においては秋田県内の活動が活発で、中部の大仙市周辺と北部の森吉山周辺が主な活動域となっている（図1）。森吉山周辺での地震活動は、2012年10月にそれまで最大規模のM4.9の地震が発生するなど、依然として活発な状態が続いている。小菅・渡邊（2012）及び小菅・他（2012）は、気象庁一元化震源カタログを基に2011年の森吉山周辺での地震活動の特徴について報告した。前者では、森吉山北方のクラスターの震源が鉛直方向に伸びた特異な形状を示すことを指摘した。しかし、震源域近傍には地震観測点が存在しないので、震源の深さの精度には問題があると考えられる。そこで我々は、2012年9月に震源近傍に臨時地震観測点を設置して観測を開始した。ここでは、臨時観測データも含めて震源を決め直し、2011年3月～2012年11月までの1年8か月間の地震活動の時空間変動の特徴について述べる。

### 2. 震源再決定

臨時地震観測は、森吉山北方の最も活発な地震クラスターの直上付近に1点、その点より7km程度北西部に9点のアレイ観測点を設置した。アレイ観測は、森吉山西方で発生している深部低周波地震と、森吉山周辺の地震に見られる後続波（小菅・渡邊（2012））の解析を目的にしている。震源決定には、クラスター直上の単独点とアレイ内の1点のデータを使用した（図2(b)）。

震源再決定は以下のような手続きで行った。まず、9月28日～11月17日の期間に発生した106個の地震に対して、臨時地震観測点も含めた検測

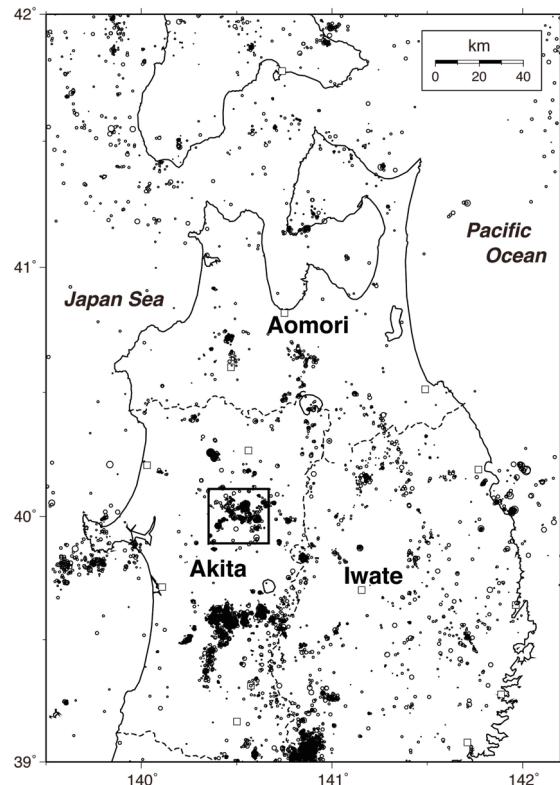


図1 2011年3月～2012年11月の期間に東北地方北部で発生した浅発地震（深さ30km以浅）の震央分布。四角で囲んだ領域を図2に示す。

\* Spatiotemporal variation of seismicity near the Moriyoshi-zan volcano in the Akita prefecture by Kosuga, M., K. Masukawa, M. Chiba, and K. Watanabe

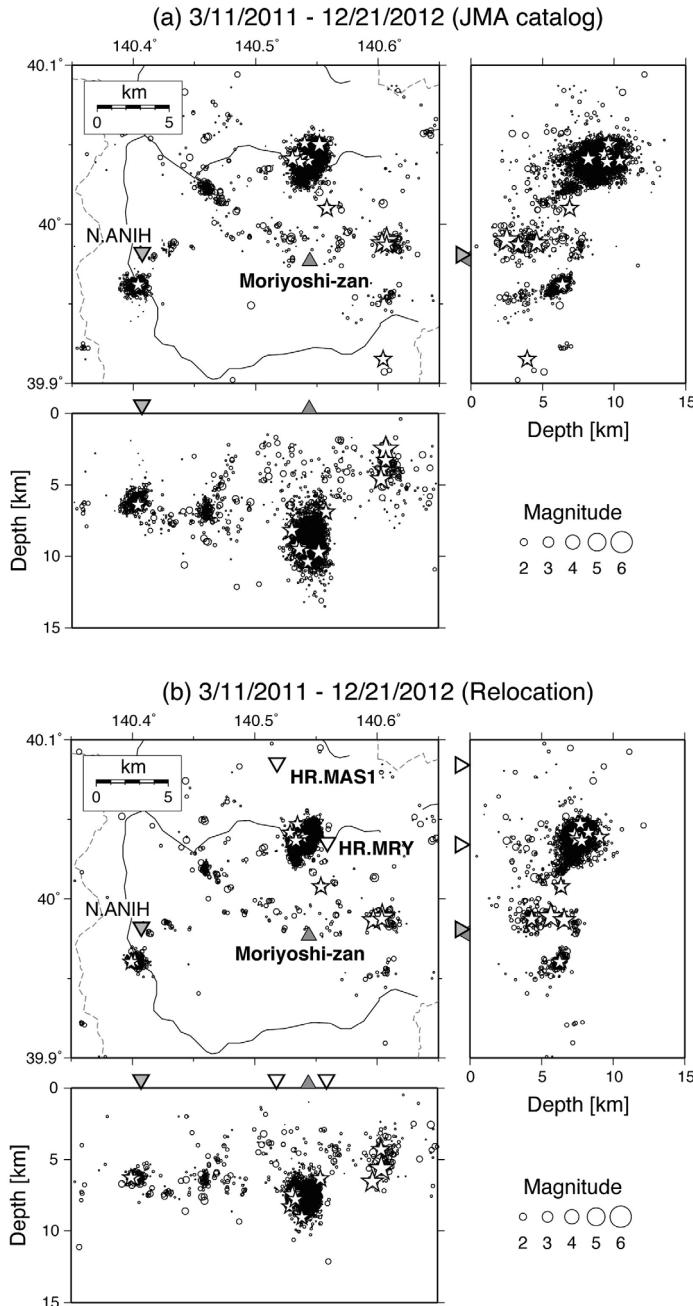


図2 森吉山周辺での震源分布(平面図と南北及び東西断面図)。(a)は気象庁一元化震源カタログ、(b)は再決定した震源分布。逆三角形は観測点の位置を表し、(b)の白い三角形は臨時観測点を表す。星印はM3以上の地震の震源を示す。

を行った後、観測点の組み合わせを固定して震源を決定した。定常観測点は、2011年3月以降の観測数が多い順に8点を選んだ。次に、この震源決定での走時残差を観測点補正値とし、再度震源決定を行った。使用した観測点と観測点補正値の分布を図3に示す。最後に、気象庁一元化処理の観測値と観測点補正値を用いて、2011年3月以降の震源を再決定した。この際にも観測点は上記の8点に固定した。

図4は、同じ地震の組に対して、使用するデータ及び震源決定法への依存性を示したものである。(a)は気象庁一元化震源カタログの震源である。(b)は臨時観測点を含めた著者らの観測値と観測点補正値を用い、観測点の組み合わせを固定して決定した震源である。この震源は、小さなクラスターの分布が明瞭になり、震源決定精度が向上したことを示している。震源の深さは、一元化震源では8~10 kmであるのに対し、臨時観測点のデータを含めた震源では7~8.5 km程度と浅く、範囲がやや狭くなった。(c)は気象庁一元化処理の観測値に観測点補正値を加えて再決定した震源である。この場合の震源の深さは7~9.5 km程度で、観測点補正値を用いると系統的に浅くなることが判明した。また、深さ方向の震源のばらつきはあまり変わらないが、東西方向のばらつきが小さくなつた。再決定震源においてばらつきが減少した要因は、

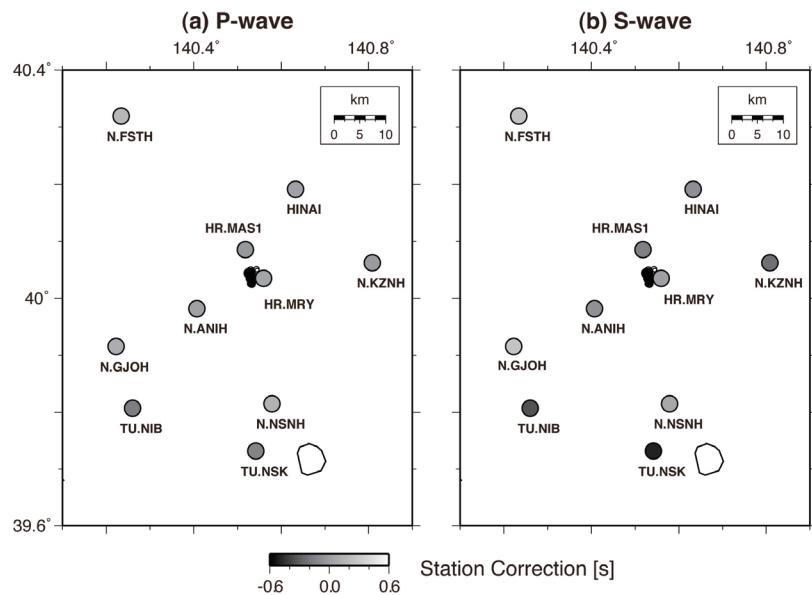


図3 観測点補正值の分布。左がP波、右がS波についてのもの。HR.MRY観測点付近の黒丸が、観測点補正值を求めるのに用いた地震の震央を表す。

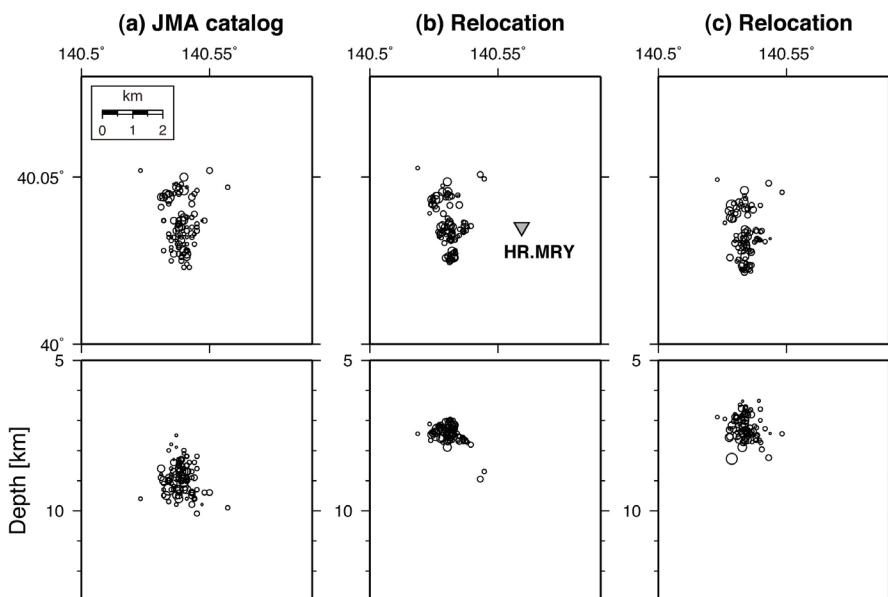


図4 森吉山北方のクラスターの震源位置の比較。(a)は気象庁一元化震源カタログによるもの。(b)は著者らによる観測値(臨時観測点も含む)を用い、観測点の組み合わせを固定し、観測点補正值を加えて決定した震源。逆三角形は臨時観測点の位置を示す。(c)は気象庁一元化処理の観測値を用い、観測点の組み合わせを固定し、観測点補正值を加えて決定した震源。

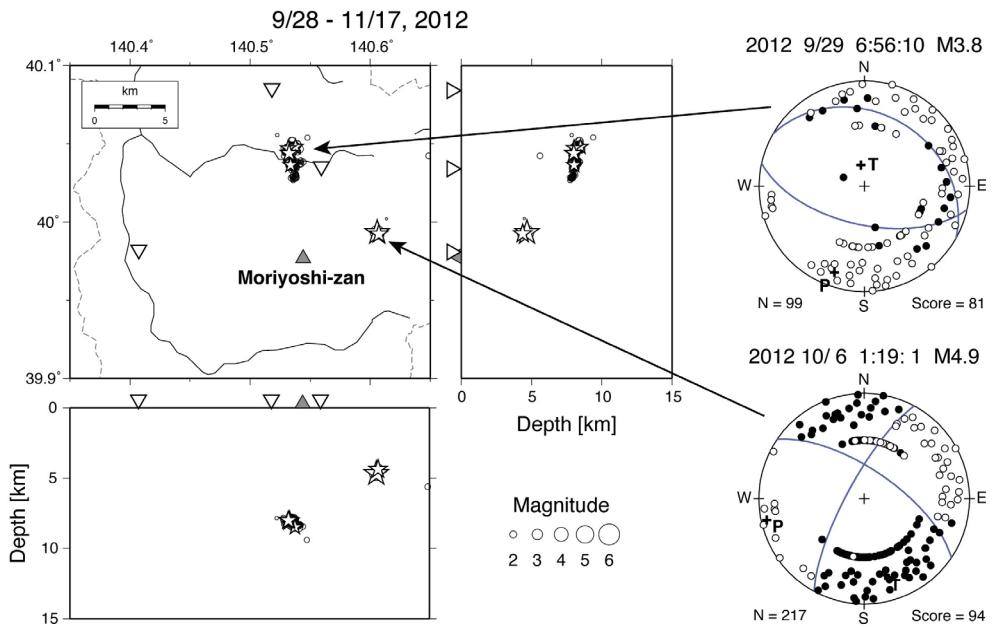


図 5 森吉山周辺で発生した地震の震源分布とメカニズム解。臨時地震観測データのある期間について、著者らの観測値を用い、観測点の組み合わせを固定し、観測点補正値を加えて決めた震源を示す。星印はM3以上の地震の震源を示す。メカニズム解は等積投影法の下半球投影で、黒丸はP波初動の押し、白丸は引きを表す。P及びTと示した十字はP軸とT軸の位置を表す。

観測点の組み合わせを固定したことにあると考えられる。一般的に、震源から遠い観測点のデータを含めて決定した震源は深く求まる傾向がある。一方、観測点補正値は震源の絶対位置の改善に効果があると考えられる。これらのことから、観測点の組み合わせを固定し観測点補正値を用いて決定した震源の方がカタログ震源よりも決定精度が高いものと判断し、以下ではこれを用いて議論する。

### 3. 震源位置の時空間変化

図2(b)の再決定震源において、地震活動が最も活発な森吉山北方のクラスターの大きさは、南北方向に3 km、東西方向に2 km、深さ方向に3~4 km程度の大きさをもつ。小菅・渡邊(2012)は、震源が深さ方向に細長く伸びた形をしていることが特徴であるとしたが、それは小菅・他(2012)が指摘したように、震源の深さの決定精度が十分ではなかったための見かけ上のものと考えられる。

図2で森吉山の東のクラスターは、2012年10月6日に発生したM4.9の地震とその余震群を表す。この期間について臨時観測点のデータが使えるので、図2(b)と同様な方法で決定した震源の分布を図5に示す。M4.9の地震とその余震群は、深さ4 km程度の狭い範囲に集中的に発生していることがわかる。図5に示すM4.9の地震のメカニズム解は横ずれ型を示すが、森吉山北方のクラスター内の地震のメカニズム解は逆断層型である。このように10 kmも離れていない2つの地震のメカニズム解が異なるが、森吉山北方のクラスター内でも逆断層型と横ずれ型の両方の地震が発生していることが小菅・他(2012)によって示されている。

森吉山北方のクラスターの震源分布をさらに詳しく見ると、北北西- 南南東方向に伸びた3つのクラスターが北東から南西にかけて並んでいるように見える。図6は震源分布を6つの期間に分けて示したものである。森吉山北方での活発な地震活動は、東北地方太平洋沖地震から2か月程度経過した2011年5月に始まった。活動は3つのクラスターのうちの中央部で始まり、次第に北東側のクラスターでの活動に移り変わった。この間の地震活動の推移は比較的定常で、震源移動の速さは10 m/day程度である。2012年5月以降になると西側のクラスターを形成する活動が始まった。活動は9月以降に最も活発になり、小クラスター内の北端部、深さ方向では最深部においてM3以上の地震が頻発した。この時期には森吉山北方のクラスター外での地震活動も活発になり、10月6日に森吉山の東方でM4.9の地震(図5)が発生した。このように、地震活動の活発化が何度も繰り返していることを説明するには、流体の間欠的な流入などが考えられるが、期間を区切っても、震源移動が拡散モデルによって十分に説明できるように見えない。その理由の一つとして、再決定震源の精度がまだ十分ではないと考えられる。現在も継続中の臨時地震観測のデータを用いて、ある程度長期間にわたって震源の時空間変化を精度良く求めることができれば、誘発地震活動の発生機構についての議論も可能になると期待される。

#### 4. まとめ

我々は、森吉山北方において2012年9月から臨時地震観測を開始した。そのデータを用いて震源決定の観測点補正值を求め、2011年3月以降に発生した地震の震源を再決定した。その結果、森吉山北方のクラスターは北北西- 南南東方向に伸びた3つの小クラスターが北東から南西にかけて並んでいて、地震活動は中央、北東、西方のクラスターの順に推移したことが判明した。ただし、震源の時空間変化は単純ではなく、震源移動が拡散モデルで説明できるかどうかの議論には、さらなる震源精度の向上が望まれる。

#### 謝辞

本研究には気象庁一元化震源カタログのデータを使用した。一元化震源は、国立大学、防災科学技術研究所等の地震観測データを気象庁が収集し、一元的に処理して得られた結果である。震源の再決定及び震源メカニズム解の決定には、北海道大学、東北大学、防災科学技術研究所、気象庁、及び青森県の地震観測点で収録された地震波形データを使用した。臨時地震観測の実施にあたっては、米代東部森林管理署及び同署上小阿仁支所のご協力をいただいた。これらの関係機関に厚くお礼申し上げる。本研究の経費の一部は科研費(課題番号21109002)の助成によるものである。

#### 文献

- Hirose, F., K. Miyaoka, N. Hayashimoto, T. Yamazaki, and M. Nakamura, 2011, Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0)—Seismicity: foreshocks, mainshock, aftershocks, and induced activity—, *Earth Planets Space*, **63**, 513-518.
- 小菅正裕・渡邊和俊, 2012, 東北地方太平洋沖地震に誘発された秋田県森吉山周辺の地震活動, 東北地域災害科学研究, **48**, 23-28.
- 小菅正裕・渡邊和俊・橋本一勲・葛西宏生, 2012, 2011年東北地方太平洋沖地震後の東北地方北部での誘発地震活動, 地震, **65**, 69-83.

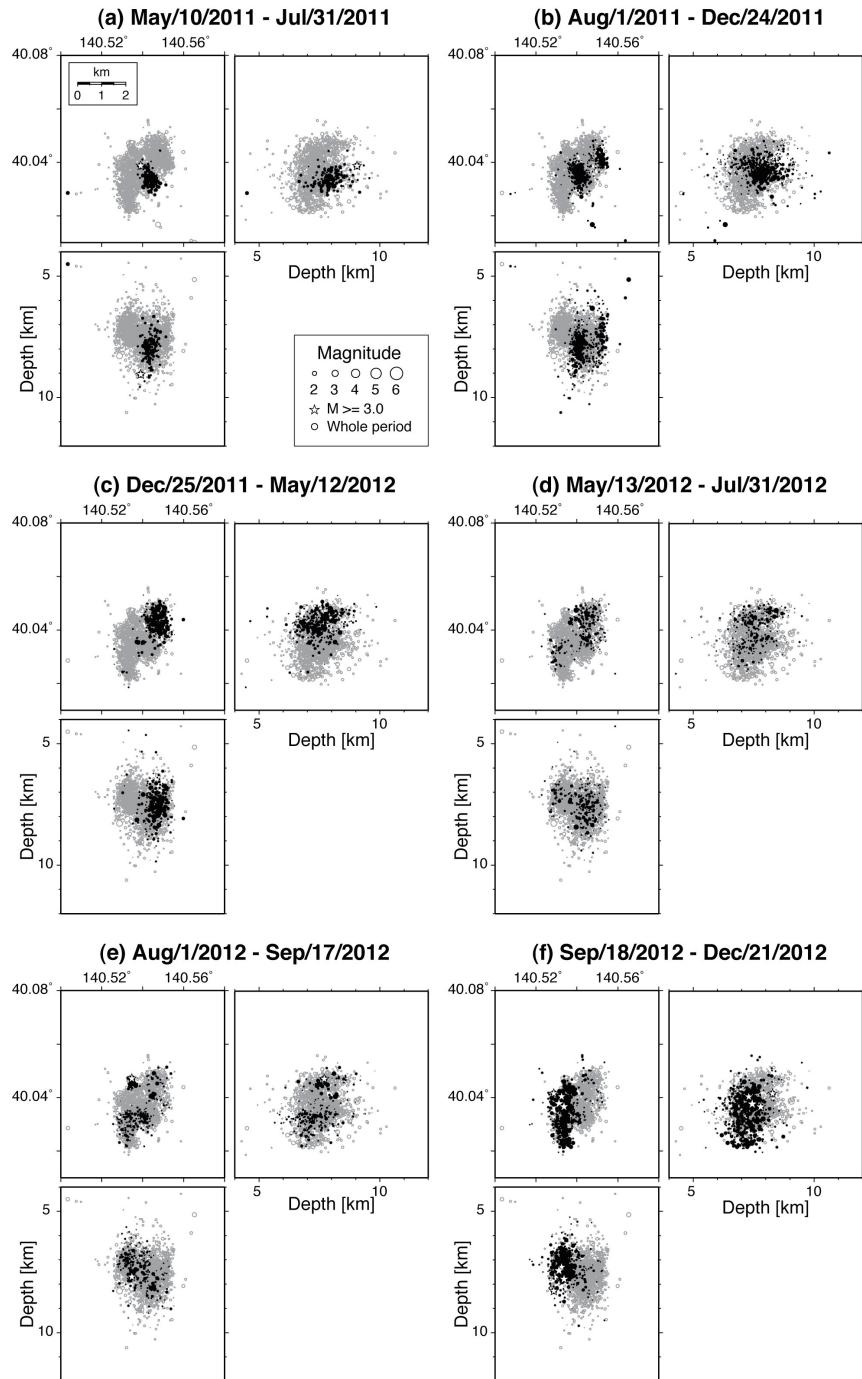


図 6 森吉山北方のクラスターの震源分布の時間変化。灰色の丸は全期間の震源を、黒丸は図の上に示した期間の震源を表す。三角印はM3以上の地震の震源を示す。