

第 1 章 繰り返し相似地震について

勝間田明男（気象研究所地震火山研究部）・吉川澄夫（地磁気観測所）

所属は平成 24 年度当時

1.1 はじめに

20 世紀後半に地震観測網が飛躍的に整備されるようになるにつれて日本各地で波形のよく似た地震（相似地震）の存在が知られるようになり、その発生機構に関する議論もなされるようになった（例えば、辻浦，1979；水越・森谷，1980）。このような相似地震の発生原因の理解はあまり進展してこなかったが、近年、プレート境界で発生している相似地震について、デジタルデータを用いた効率的かつ客観的な解析がなされるようになったことにより、プレート境界における相似地震が小固着域の繰り返しすべりによって発生すると解釈されるようになった（Matsuzawa *et al.*, 2002）。

相似地震の概念を図 1.1 に示す。これは沈み込むプレートのイメージを描いている。色がついている部分が固着域であり、地震発生のパテンシャルを有する場所である。色のついていない部分が非固着域であり、通常状態ではプレートの動きにつれて定常的に非地震性すべりを生じているとされる場所である。個々の相似地震を起こしている場所はそれぞれ固着域であり、プレート運動すなわち周辺の非固着域の非地震性すべりにつれて、応力が蓄積し地震発生に至ると考えられている。固着域の大きさが発生する地震の規模を決め、大きな固着域は大きな地震を発生させ、小さな固着域は小さな地震を発生させる。そのため、震源の位置や大きさがほぼ同じ地震がほぼ一定の時間間隔で繰り返し発生し、それが相似地震として観測されると考えられる。

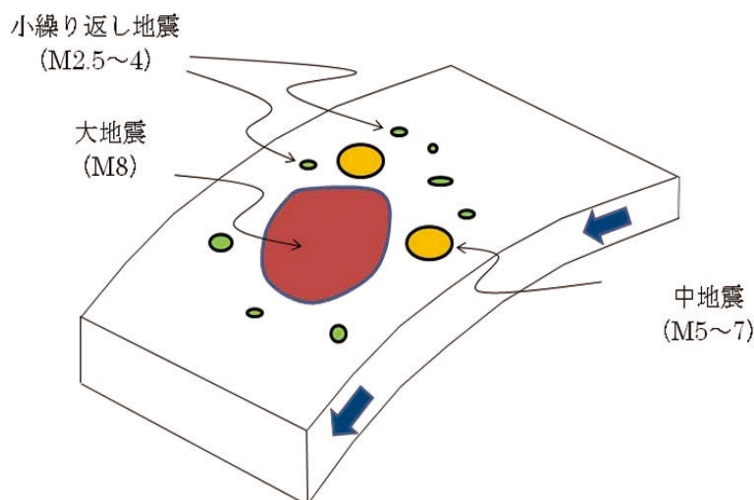


図 1.1 相似地震の震源の概念図。

また、相似地震の発生状況は、その周辺の非固着域のプレート間定常すべり速度に依存していると考えられるので、その発生様式からプレート間の固着状態や周辺のすべり速度が推定されている（例えば、Nadeau and Johnson, 1998；Matsuzawa *et al.*, 2002）。地震の規模が同じ程度の相似地震を比べた場合、相似地震の発生間隔が短ければプレート間すべりが速く、発生間隔が長ければプレート間すべりが遅いとみられる。相似地震の発生している場所付近に関するプレート運動の情報が得られるので空間分解能が高く、GNSS データによる固着状態の推定では十分な信頼性を得ることが困難な海溝軸付近の固着状態の情報が得られる利点がある（例えば、Uchida *et al.*, 2003）。但し、このプレー

ト間すべり速度の推定は地震の発生に依存することから、南海トラフ沿いのプレート境界のように、地震の発生頻度が低い地域では情報が得られない。

なお、相似地震に関連して、「固有地震」、「繰り返し地震」など似た意味を表す用語がある。溜瀧・他(2010)などにも解説があるが、「固有地震」は「特定の断層で発生する最大規模の地震は、ほぼ同じ大きさの地震が繰り返し発生する」という概念(Schwartz and Coppersmith, 1984)に基づくものであるのに対し、「相似地震」は狭義の意味では観測波形の相似性に注目した表現である。また「繰り返し地震」は発生間隔の規則性に注目した表現となっている。ここでは、「繰り返し相似地震」として、震源が同一でほぼ同じ発生間隔で繰り返す波形が相似な地震の発生状況を把握することとしている。

1.2 調査方針

近年デジタルデータが蓄積されるようになって以降、比較的小規模な相似地震に関する調査が大学や研究機関により盛んになされており、詳細な解析が進んでいる(Igarashi *et al.*, 2003; Uchida *et al.*, 2003; Okada *et al.*, 2003; Uchida *et al.*, 2004; Uchida *et al.*, 2005; Matsubara *et al.*, 2005; Kimura *et al.*, 2006; Uchida *et al.*, 2007)。これに対して、M5以上の中規模の繰り返し相似地震については、Matsuzawa *et al.* (2002)をはじめとした一連の研究や長谷川・他(2005)、溜瀧・他(2010)、気象庁地震予知情報課(2010)、中村・他(2010)などの調査はあるものの、全国的には十分に調査が進んでいるとは言えない。このような中規模の相似地震については発生間隔が長くなることから、デジタル記録以前の地震記象紙を保有する気象官署も含めた調査が望まれてきた。

調査にあたっては、デジタル地震波形の相似性に基づいて溜瀧・他(2011)によって抽出された地震のグループについて、地震活動経過図(M-T図)等を使って時間を遡って活動を調査する方法等が用いられている。デジタル記録に基づいた相似地震に関する調査については、本報告書の第2章に記述されている。鎌谷・勝間田(2010)の発生間隔の規則性に注目して震源カタログを用いて候補を抽出する手法も用いられている。発生間隔の規則性に注目した候補の抽出については本報告書の第3章に記されている。抽出された候補については、デジタル地震記録やマイクロフィルム保管されている地震記象紙を用いて波形の相似性を確認する。発生間隔の規則性や地震波形の相似性が確認された地震グループについては、岡田(2009)の小標本論に基づいて次の地震の発生時期を計算している。相似地震の発生時期の算出には、長谷川嘉臣技官(大阪管区気象台(平成24年度当時))が作成した地震長期発生確率計算ツール(L-cat)が用いられている。

なお、相似地震は発生の規則性から、「規模」・「時間」・「場所」の3要素を併せた発生予測が可能であることから、新たな相似地震系列の発掘が進むことにより、統計的評価を含めて予測可能性のある地震を増やすことにつながると考えられる。一般的にM5以上の地震が内陸や沿岸付近で発生すれば人家や構造物に被害をもたらす可能性があるため、この予測結果が防災面で貢献できることが考えられる。現在のところ相似地震以外の地震が圧倒的に多いことから、一般的な注意喚起につながることは困難な面もあるが、「予測可能」な地震数の拡大に結びつくことは少なからず有意義な成果と言えよう。

謝辞

マイクロフィルム利用環境の改善において、地震火山部関係官の尽力を得た。

参考文献

長谷川安秀・橋本徹夫・草野富士雄・吉川一光・大西星司, 2005: 東北地方における中規模地震の固有地震的地震活動の検出, *地震*2, 58, 67-70.

- Igarashi, T., T. Matsuzawa, A. Hasegawa, 2003: Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, **108**, doi:10.1029/2002JB001920.
- 鎌谷紀子・勝間田明男, 2010: 全国の中規模固有地震活動($M \geq 4.5$)検出の試み, *日本地震学会秋季大会講演予稿集*, P02-32.
- Kimura, H., K. Kasahara, T. Igarashi, and N. Hirata, 2006: Repeating earthquake activities associated with the Philippine Sea plate subduction in the Kanto district, central Japan: A new plate configuration revealed by interplate aseismic slips, *Tectonophysics*, **417**, 101-118, doi:10.1016/j.tecto.2005.06.013.
- 気象庁地震予知情報課, 2010: 中～大規模の繰り返し地震についての規則性と不規則性, *地震予知連絡会報*, **83**, 613-632.
- Matsubara, M., Y. Yagi, and K. Obara, 2005: Plate boundary slip associated with the 2003 Off-Tokachi earthquake based on small repeating earthquake data, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L08316, doi:10.1029/2004GL022310.
- Matsuzawa, T., T. Igarashi, and A. Hasegawa, 2002: Characteristic small-earthquake sequence off Sanriku, northeastern Honshu, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1543, doi:10.1029/2001GL014632.
- 水越育郎・森谷武男, 1980: 有珠山群発地震の広帯域・広ダイナミックレンジ観測—相似地震とその断層運動の平滑化—, *地震2*, **33**, 479-491.
- Nadeau, R. M. and L. R. Johnson, 1998: Seismological studies at Parkfield VI: Moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, 790-814.
- 中村雅基・今村翔太・溜淵功史・山田安之・高木康伸・石垣祐三・前田憲二・岡田正実, 2010: 全国で見つかったいくつもの固有地震的地震活動, *日本地球惑星科学連合大会予稿集*, SSS013-P05.
- 岡田正実, 2009: 繰り返し地震および余震の確率予測, *地震2*, **61**, 特集号, S143-S153.
- Okada, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, 2003: Comparison of source areas of $M4.8 \pm 0.1$ repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: Are asperities persistent features?, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **213**, 361-374, doi:10.1016/S0012-821X(03)00299-1.
- Schwartz, D. P. and K. J. Coppersmith, 1984: Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones, *J. Geophys. Res.*, **89**, 5681-5698.
- 溜淵功史・山田安之・石垣祐三・高木康伸・中村雅基・前田憲二・岡田正実, 2010: 宮古島近海における固有地震活動, *地震2*, **62**, 193-207.
- 溜淵功史・中村雅基・山田安之, 2011: 全国を対象とした客観的な相似地震の抽出, *日本地球惑星科学連合大会予稿集*, SSS026-P02.
- 辻浦賢, 1979: 地震波形の相似性からみた前震と群発地震の違いについて(序報), *地震研究所彙報*, **54**, 309-315.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, T. Igarashi, and A. Hasegawa, 2003: Interplate quasi-static slip off Sanriku, NE Japan, estimated from repeating earthquakes *Geophys. Res. Lett.*, **30**, doi:10.1029/2003GL017452.
- Uchida, N., A. Hasegawa, T. Matsuzawa, and T. Igarashi, 2004: Pre- and post-seismic slow slip on the plate boundary off Sanriku, NE Japan associated with three interplate earthquakes as estimated from small repeating earthquake data, *Tectonophysics*, **385**, 1-15, doi:10.1016/j.tecto.2004.04.015.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, A. Hasegawa, and T. Igarashi, 2005: Recurrence intervals of characteristic $M4.8 \pm 0.1$ earthquakes off-Kamaishi, NE Japan—Comparison with creep rate estimated from small repeating earthquake data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **233**, 155-165, doi:10.1016/j.epsl.2005.01.022,
- Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, T. Okada, and A. Hasegawa, 2007: Source parameters

of a M4.8 and its accompanying repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: Implications for the hierarchical structure of asperities and earthquake cycle, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L20313, doi:10.1029/2007GL031263.