

5.3 近畿・中国・四国地方の繰り返し相似地震

長谷川嘉臣・森田裕貴・廣田伸之・小原久典・山崎智紀（大阪管区気象台地震火山課）

所属は平成 24 年度当時

5.3.1 はじめに

同じ場所が繰り返し破壊されることで発生する同程度の規模の地震のうち、同一観測点での観測波形が相似な地震を繰り返し相似地震といい、釜石沖（e.g., Matsuzawa *et al.*, 2002）や宮古島近海（溜渕・他, 2010）など日本各地で検出されている。繰り返し相似地震の発生状況を調査することで、以下のようなことに貢献できる可能性がある。

- ・繰り返し相似地震のうち被害をもたらす可能性のある地震の分布や地域的特徴の把握
- ・プレート境界の固着状態やプレートの移動速度変化、他の巨大地震への影響の把握
- ・検出した繰り返し相似地震のデータを用いた統計学的地震発生予測

我々は、近畿・中国・四国地方における繰り返し相似地震の発生状況について調査を行った。本節では、その調査結果について報告する。

5.3.2 調査方法

1923 年 8 月～2012 年 1 月に近畿・中国・四国地方及びその周辺で発生した M3.0 以上の地震に対し、鎌谷・勝間田（2010, 2011）及び鎌谷・他（2011）の手法を、内陸地殻内地震以外の地震ではフィリピン海プレートの沈み込み速度（Wei and Seno, 1998、Miyazaki and Heki, 2001）を考慮するように改変したものを適用して、繰り返し相似地震候補となる地震グループの抽出を試みた。

まず、緯度経度の差 2 分以内、深さの差 10km 以内、マグニチュードの差 0.5 以内の空間的に近接した地震グループを抽出した後、グループ内で時間的に隣り合う 3 つのイベントを順次取り出し、それらのマグニチュードの平均 M_{av} と発生間隔の平均 T_{av} を求めた。内陸地殻内地震については、発生時期順に並べて時間的に隣り合う 3 つのイベントを順次取り出し、1 番目と 2 番目及び 2 番目と 3 番目の地震の発生間隔と T_{av} との差が 1 年以内、1 番目と 2 番目及び 2 番目と 3 番目の地震の発生間隔の差が 1 年以内、1 番目と 2 番目及び 3 番目の地震のマグニチュードと M_{av} との差が 0.5 以内のものを抽出することにより、時間的規則性を持つ地震グループを抽出した。内陸地殻内地震以外の地震については、 M_{av} と Hanks and Kanamori (1979) によるマグニチュードと地震モーメントの関係式、Nadeau and Johnson (1998) による地震モーメントとすべり量の関係式及び南海トラフにおけるフィリピン海プレートの沈み込み速度（4.9～6.3cm/年；Wei and Seno, 1998、6.2～6.9cm/年；Miyazaki and Heki, 2001）から、マグニチュード M_{av} の地震の発生間隔の最小推定値 T_{min} と最大推定値 T_{max} を求め、1 番目と 2 番目及び 2 番目と 3 番目の地震の発生間隔が $T_{min}-t_1 \sim T_{max}+t_2$ の範囲にあり、かつ T_{av} との差が 1 年以内、1 番目と 2 番目及び 3 番目の地震のマグニチュードと M_{av} との差が 0.5 以内のものを抽出することにより、時間的規則性を持つ地震グループを抽出した。ここで、 t_1 及び t_2 はプレートの沈み込み速度の揺らぎを補正する係数である。なお、群発地震や余震を除くため、地震発生間隔が半年以内のものは除いた。抽出された地震は、気象庁一元化震源に基づいて震央分布と地震活動経過を確認し、繰り返し相似地震である可能性があると判断できたものを繰り返し相似地震の候補とした。最後に、繰り返し相似地震の候補の速度波形を用いてコヒーレンス（波形の類似度）を溜渕・他（2011）に従って計算し、0.9 以上となるものを繰り返し相似地震とすることとした。以上の流れをフローチャートにしたものを図 5.3.1 に示す。

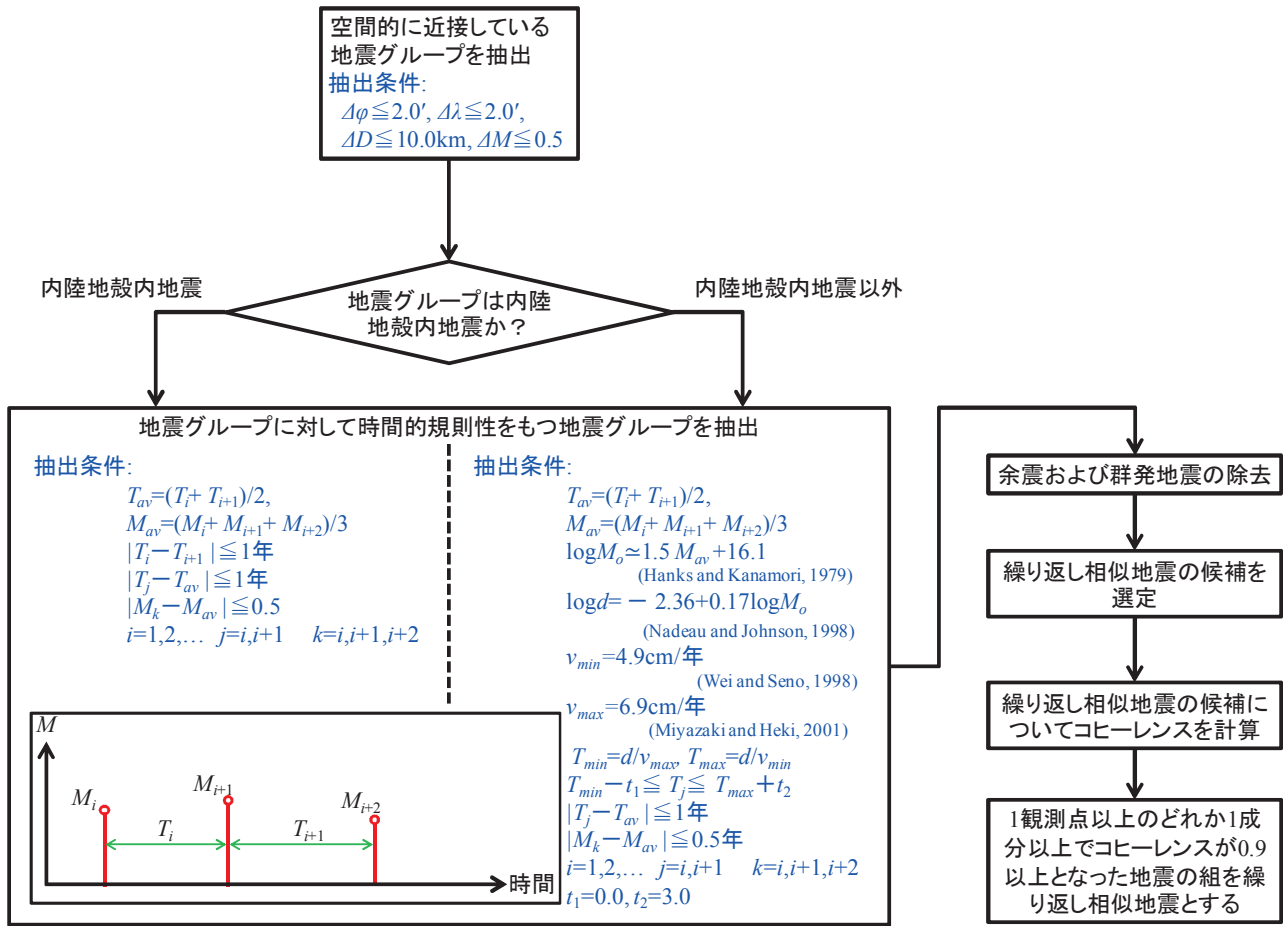


図 5.3.1 調査方法のフローチャート。ここで ϕ は経度、 λ は緯度、 D は震源深さ、 M_o は地震モーメント、 M はマグニチュード、 T は地震の発生間隔、 d はすべり量、 v はすべり速度を表す。

5.3.3 調査結果

繰り返し相似地震候補として 16 個の地震グループが抽出された。これらは全て M5.0 未満の地震であった。

5.3.3.1 和歌山県から四国沖にかけての地震活動

和歌山県から四国沖にかけての地震活動については、図5.3.2に示す5つの地震グループ（グループa～e）が繰り返し相似地震候補として抽出された。各地震グループの地震活動経過図を図5.3.3～図5.3.7に示す。各地震グループについて、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を試みた。グループa, c, eについては、観測点の移設などにより比較可能な地震波形データが不十分であったため、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を行うことが出来なかった。グループb, dについては複数の観測点で地震波形のコヒーレンス計算を行ったが、いずれも0.9を下回っており、地震波形の相似性は見られなかった（もっともコヒーレンスが高かった例を図5.3.8及び図5.3.9に示す）。以上のことから、少なくともグループb, dは、繰り返し相似地震ではなかったと考えられる。

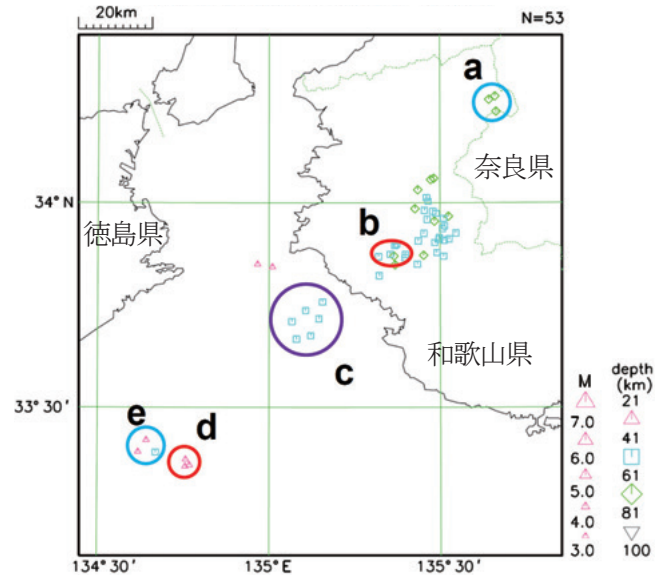


図5. 3. 2 和歌山県から四国沖で繰り返し相似地震候補として抽出された地震グループ（震央分布図）。

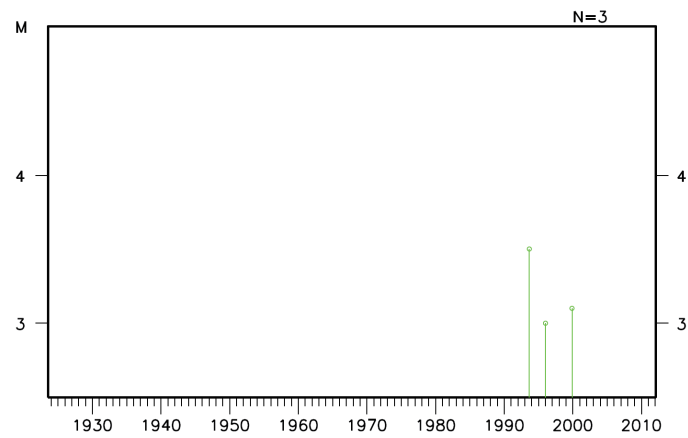


図5. 3. 3 図5. 3. 2中のグループaの地震活動経過図（M-T図）。

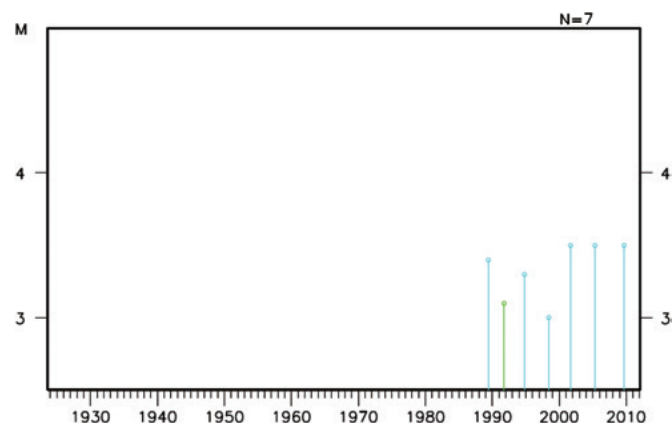


図5. 3. 4 図5. 3. 2中のグループbの地震活動経過図（M-T図）。

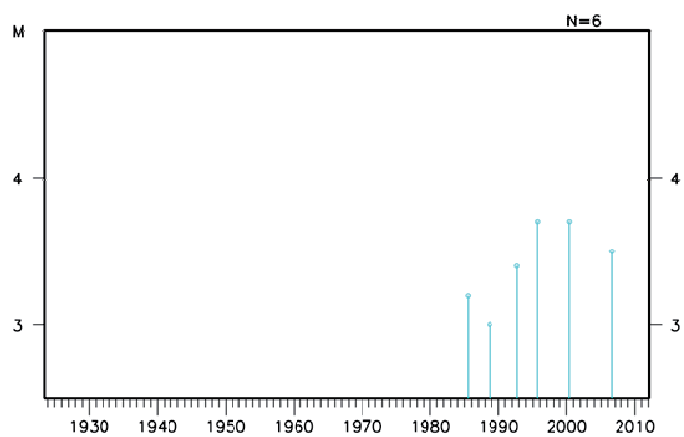


図5.3.5 図5.3.2中のグループcの地震活動経過図 (M-T図)。



図5.3.6 図5.3.2中のグループdの地震活動経過図 (M-T図)。

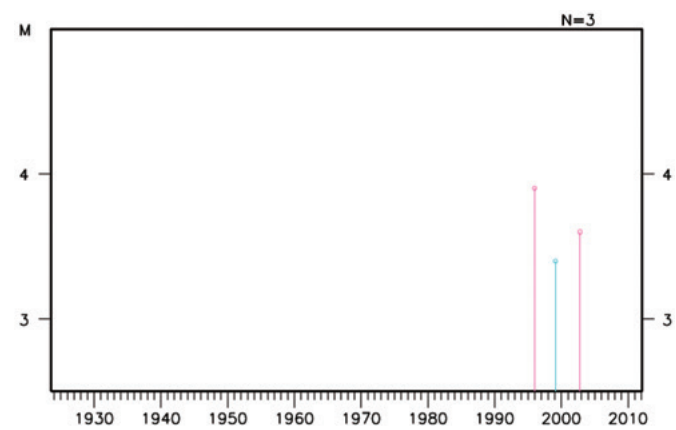


図5.3.7 図5.3.2中のグループeの地震活動経過図 (M-T図)。

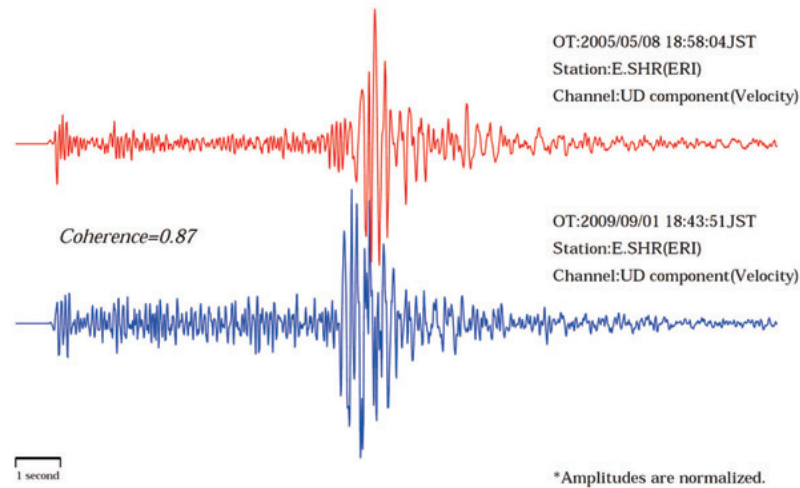


図5.3.8 図5.3.2中のグループbの地震波形比較の一例。初動方向やS波の様相が異なっており、波形の相似性は見られなかった。コヒーレンスは0.87であった。

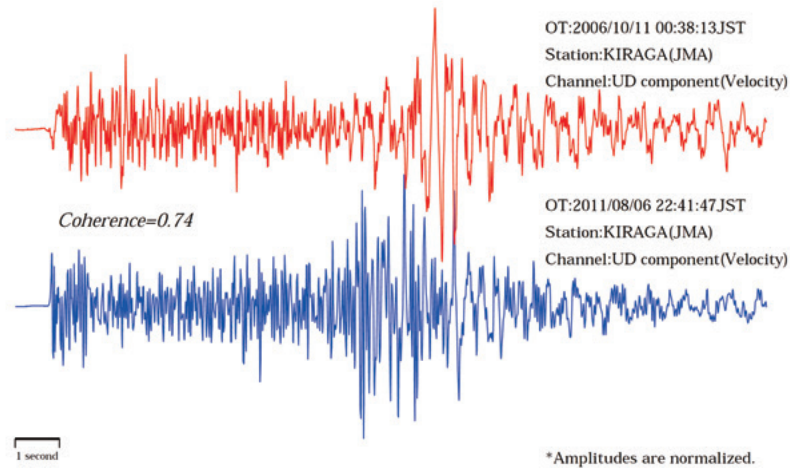


図5.3.9 図5.3.2中のグループdの地震波形比較の一例。図5.3.8と同様に初動方向とS波の様相が異なっており、波形の相似性は見られなかった。コヒーレンスは0.74であった。

5.3.3.2 伊予灘から豊後水道にかけての地震活動

伊予灘から豊後水道にかけての地震活動については、図 5.3.10 に示す6つの地震グループ（グループ f～k）が繰り返し相似地震候補として抽出された。各地震グループの地震活動経過図を図 5.3.11～図 5.3.16 に示す。各地震グループについて、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を試みたが、観測点の移設などにより比較可能な地震波形データが不十分であったため、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を行うことが出来なかった。

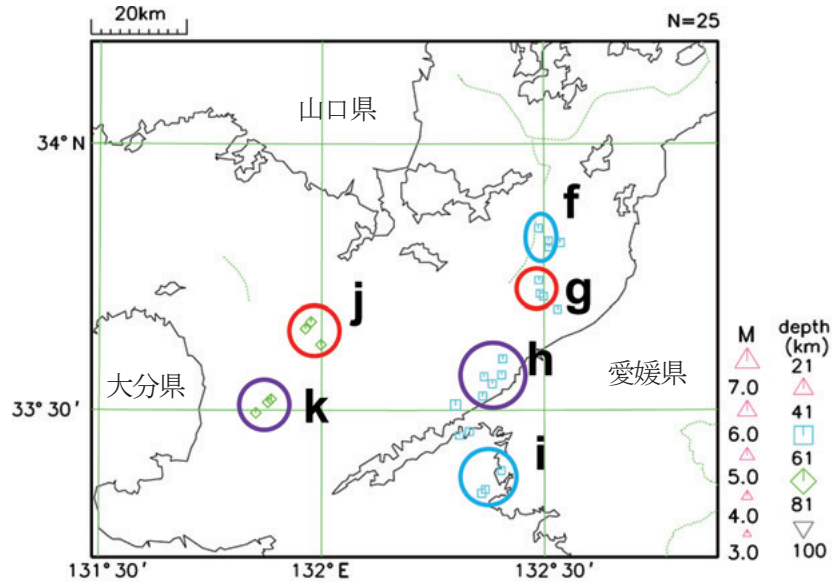


図5.3.10 伊予灘から豊後水道で繰り返し相対地震候補として抽出された地震グループ（震央分布図）。

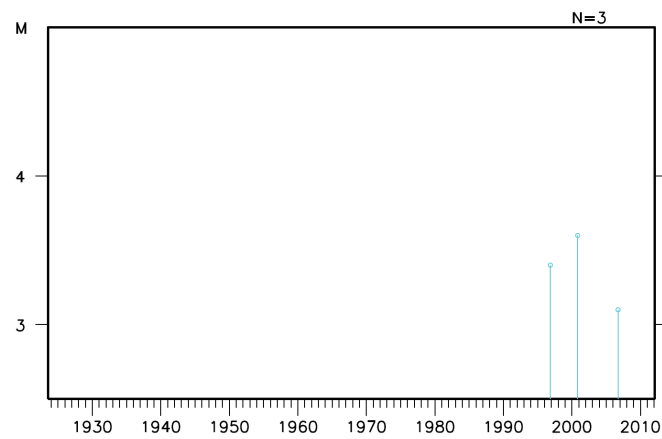


図 5.3.11 図 5.3.10 中のグループ f の地震活動経過図（M-T 図）。

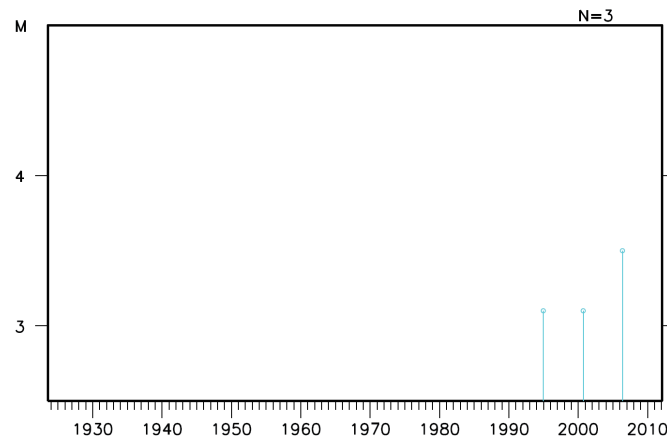


図 5.3.12 図 5.3.10 中のグループ g の地震活動経過図（M-T 図）。

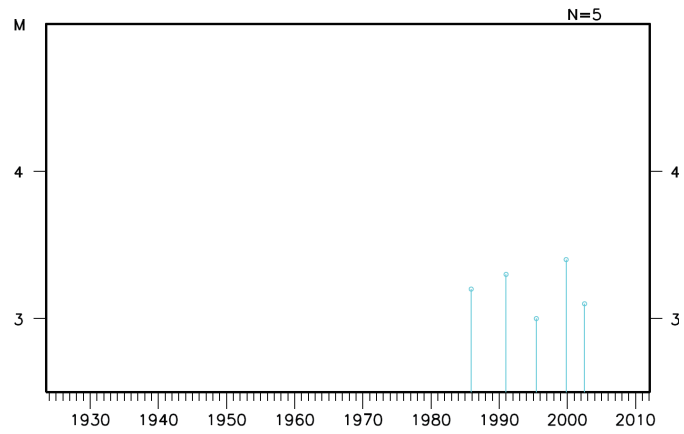


図 5.3.13 図 5.3.10 中のグループ h の地震活動経過図 (M-T 図)。

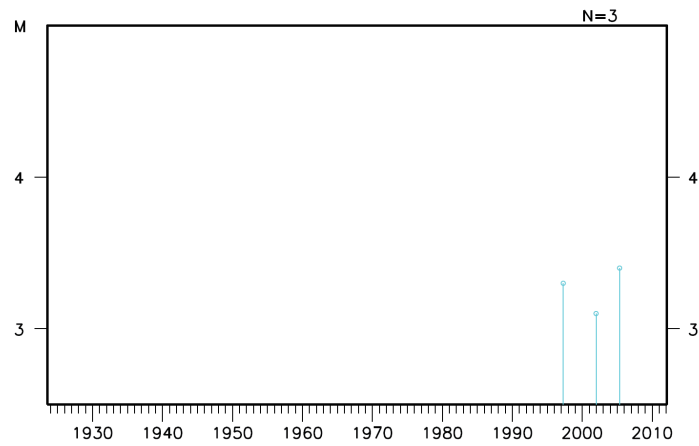


図 5.3.14 図 5.3.10 中のグループ i の地震活動経過図 (M-T 図)。

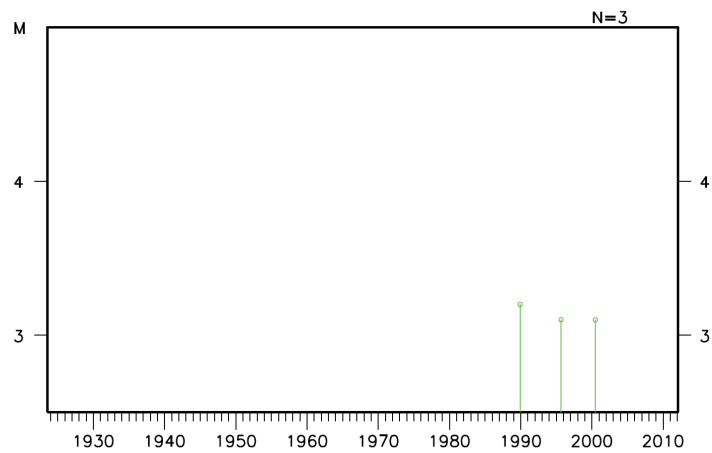


図 5.3.15 図 5.3.10 中のグループ j の地震活動経過図 (M-T 図)。

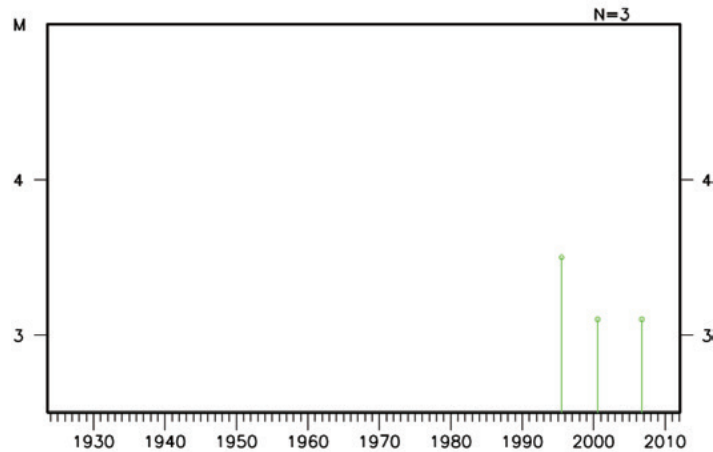


図 5. 3. 16 図 5. 3. 10 中のグループ k の地震活動経過図 (M-T 図)。

5. 3. 3. 3 滋賀県から大阪府にかけての地震活動

滋賀県から大阪府にかけての地震活動については、図5. 3. 17に示す4つの地震グループ（グループ1～o）が繰り返し相似地震候補として抽出された。各地震グループの地震活動経過図を図5. 3. 18～図5. 3. 21に示す。各地震グループについて、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を試みた。グループ1, n, oについては、観測点の移設などにより比較可能な地震波形データが不十分であったため、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を行うことが出来なかった。グループmについては複数の観測点で地震波形のコヒーレンス計算を行ったが、いずれも0.9を下回っており、地震波形の相似性は見られなかった（もっともコヒーレンスが高かった例を図5. 3. 22に示す）。以上のことから、少なくともグループmは、繰り返し相似地震ではなかったと考えられる。

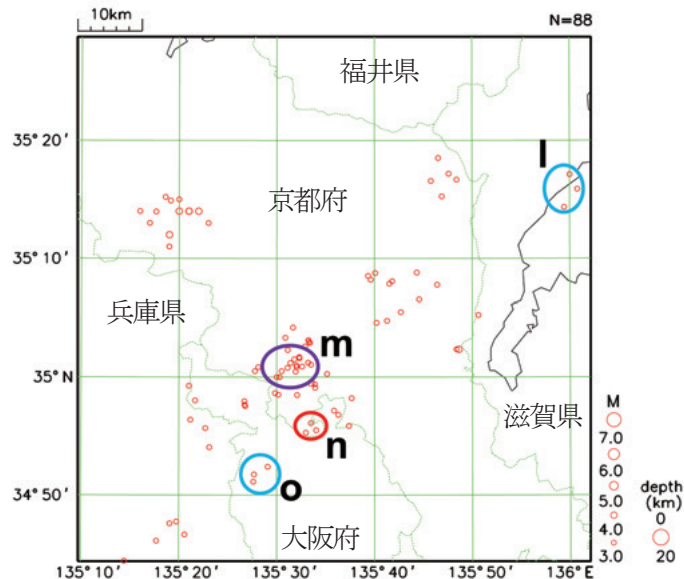


図5. 3. 17 滋賀県から大阪府で繰り返し相似地震候補として抽出された地震グループ（震央分布図）。

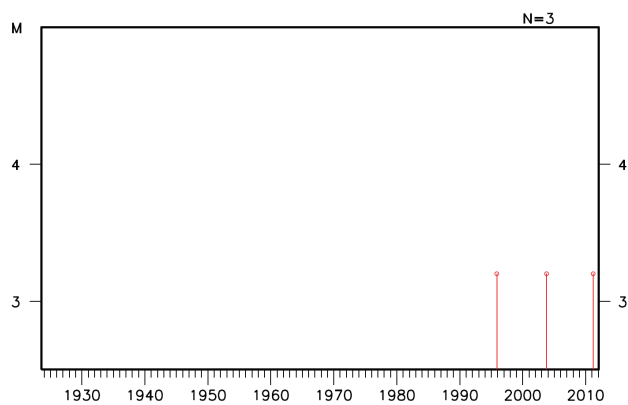


図 5.3.18 図 5.3.17 中のグループ 1 の地震活動経過図 (M-T 図)。

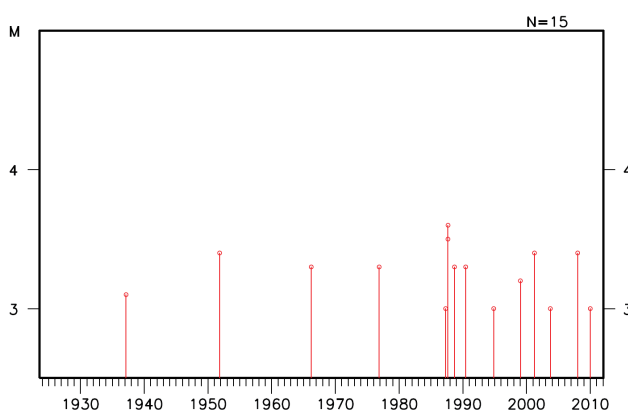


図 5.3.19 図 5.3.17 中のグループ m の地震活動経過図 (M-T 図)。



図 5.3.20 図 5.3.17 中のグループ n の地震活動経過図 (M-T 図)。

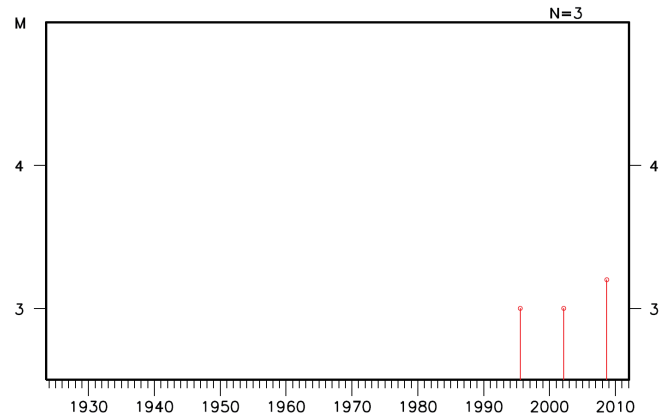


図 5. 3. 21 図 5. 3. 17 中のグループ o の地震活動経過図 (M-T 図)。

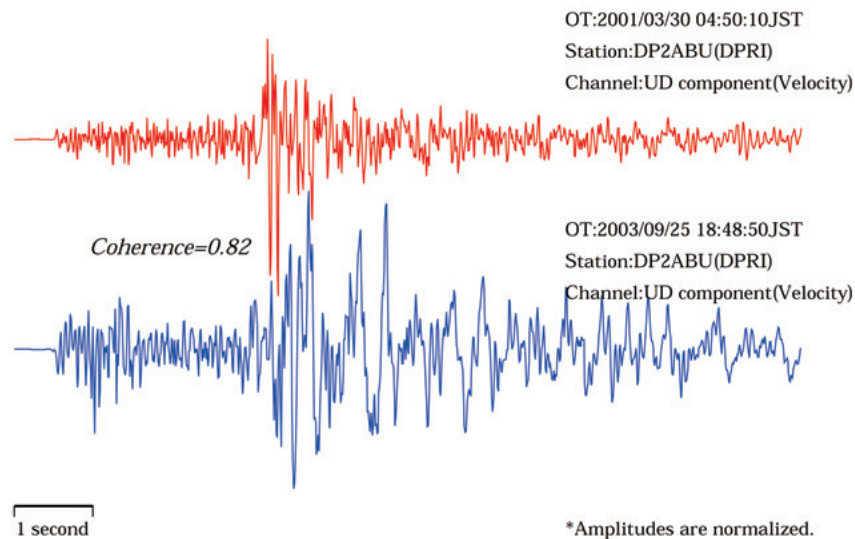


図5. 3. 22 図5. 3. 17中のグループmの地震波形比較の一例。初動方向とS波の様相が異なっており、波形の相似性は見られなかった。コヒーレンスは0.82であった。

5. 3. 3. 4 広島県北部の地震活動

広島県北部の地震活動については、図 5. 3. 23 に示す 1 つの地震グループ (グループ p) が繰り返し相似地震候補として抽出された。各地震グループの地震活動経過図を図 5. 3. 24 に示す。この地震グループについて、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を試みたが、観測点の移設などにより比較可能な地震波形データが不十分であったため、同一観測点の地震波形のコヒーレンス計算を行うことが出来なかった。

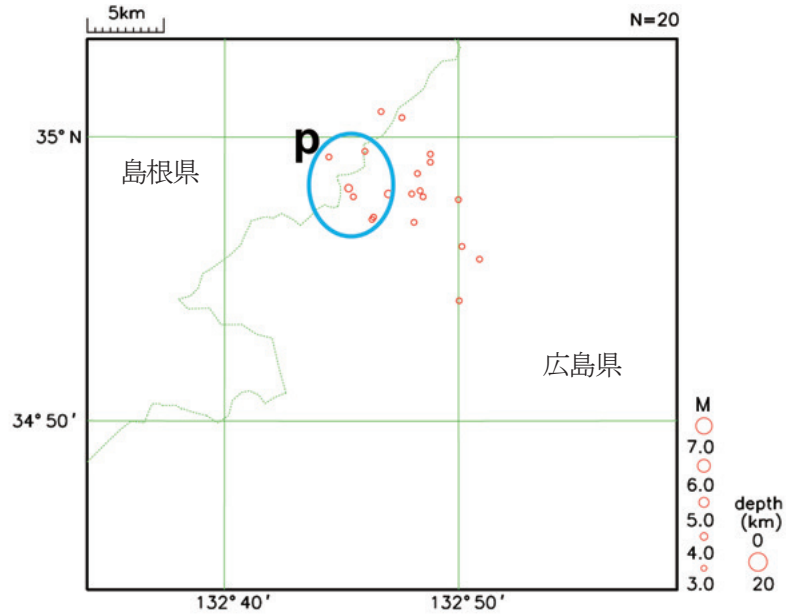


図5. 3. 23 広島県北部で繰り返し相似地震候補として抽出された地震グループ (震央分布図)。

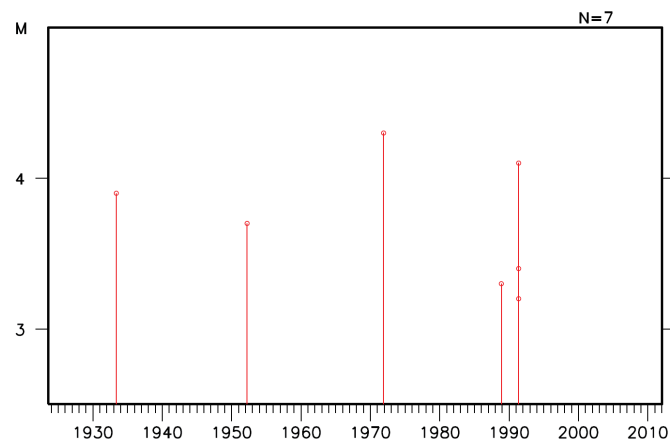


図 5. 3. 24 図 5. 3. 23 中のグループ p の地震活動経過図 (M-T 図)。

5. 3. 3. 5 マイクロフィルム記録の検証

5. 3. 3. 1～5. 3. 3. 4において、波形の相似性の検証にはコヒーレンスを計算できるデジタル記録を用いた。デジタル記録は最近のごく限られた期間しか現存していないため、過去の観測波形に遡って調査するためには、マイクロフィルム記録を確認する必要がある。今回抽出した 16 個の地震グループについて、マイクロフィルム記録の確認を試みたところ、ほとんどのマイクロフィルム記録は判読が不可能であったり、または現存しなかったりした。図 5. 3. 25 には今回抽出した地震グループのうち、グループ b に属する地震のマイクロフィルム記録の一例を示す。NS 成分の 02:41 のタイムスタンプ付近にわずかに波形らしいものが見えるが、ほとんど読めないことが分かる。

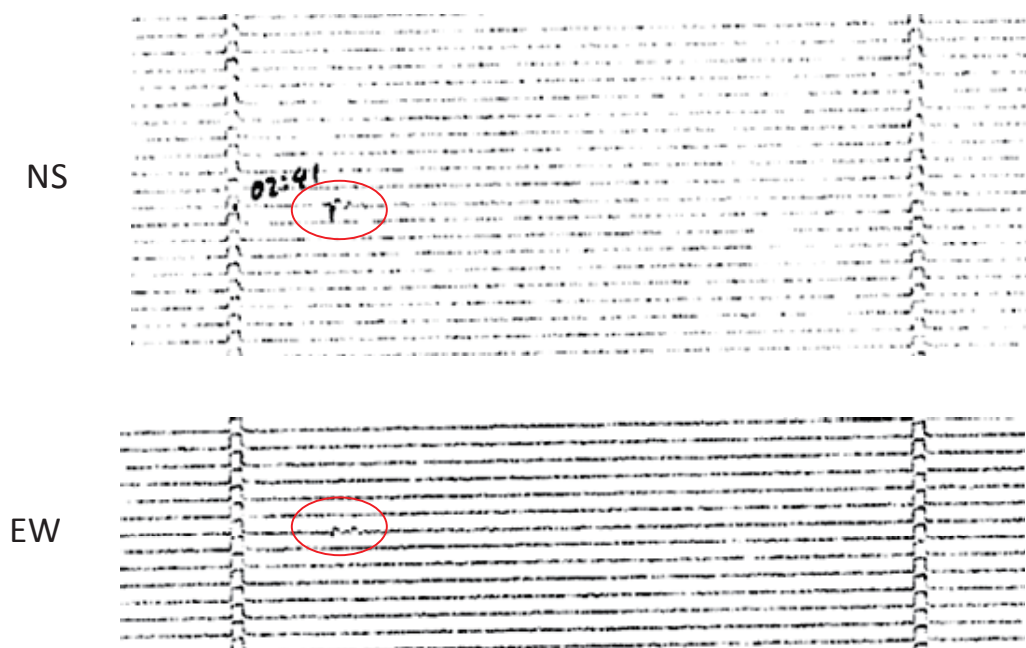


図 5.3.25 図 5.3.2 中のグループ b に属する地震（1994/10/24 02:40 M3.3）の和歌山観測点におけるマイクロフィルム記録（水平動成分）。地震記録は赤丸にて示す。

5.3.4 まとめ

1923 年 8 月～2012 年 1 月に近畿・中国・四国地方及びその周辺で発生した M3.0 以上の地震に対して、繰り返し相似地震候補となる地震グループを抽出し、その観測波形の相似性を検証することで、繰り返し相似地震の発生状況を調査した。その結果、繰り返し相似地震候補として 16 個の地震グループが抽出されたが、これらのグループに属する全ての地震が M5.0 未満であり、13 個の地震グループでは観測波形の相似性を検証できなかった。残り 3 つの地震グループでは、波形の相似性は見られなかった。また、マイクロフィルム記録はほとんどが判読できないか、現存しなかった。したがって、今回の調査では近畿・中国・四国地方において繰り返し相似地震を見出すことはできなかった。

謝辞

本調査には、独立行政法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市及び独立行政法人海洋研究開発機構による地震観測データ及を利用して気象庁が文部科学省と協力して求めた一元化震源及び独立行政法人防災科学技術研究所、東京大学、京都大学による地震観測波形データを使わせていただきました。繰り返し相似地震候補の地震グループの抽出には、気象研究所地震火山研究部 勝間田明男 第二研究室長と気象大学校 鎌谷紀子 講師が作成されたプログラムを改変して使用させていただきました。また、コヒーレンスの計算には、地震火山部地震津波監視課 山田安之 緊急地震速報技術開発係長が作成されたプログラムを使用させていただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- Hanks, T. C. and H. Kanamori, 1979: A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, **84**, 2348-2350.
- 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.

- 鎌谷紀子・勝間田明男, 2011: 東北地方太平洋沖地震後の中規模固有地震活動, *日本地震学会秋季大会講演予稿集*, P3-08.
- 鎌谷紀子・岡田正実・勝間田明男, 2011: 全国の中規模固有地震活動の検出, *日本地球惑星科学連合大会講演予稿集*, SSS025-03.
- 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.
- Miyazaki, S. and K. Heki, 2001: Crustal velocity field of Southwest Japan: Subduction and arc-arc collision, *J. Geophys. Res.*, **106**, 4305-4326.
- 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.
- 溜渕功史・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講演予稿集*, SSS026-P02.
- 溜渕功史・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*, **62**, 193-207.
- Wei, D and T. Seno, 1998: Determination of the Amurian plate motion, Mantle dynamics and plate interactions in east Asia, *Geodynam Ser.*, Vol. 27, ed. M. F. J. Flower, S. L. Chung, C. H. Lo, and T. Y. Lee, AGU, Washington D. C., 337-346.