

気象庁一元化震源の極微小地震データの地震活動研究への活用について

(公財) 地震予知総合研究振興会 津村建四朗

1. はじめに

気象庁一元化震源は、我が国の地震活動の研究の基盤となるデータとして広く用いられているが、そのカタログに含まれている極微小地震 ($M < 1.0$) クラスの震源データは、これまでほとんど使われてこなかった。それは、各種の数理的解析の際には、時間的、空間的にデータの均質性が保証された M 以上の震源データが用いられており、極微小地震のデータはこのような研究には適さないと考えられたためである。今回、2017年12月6日の長野県中部の $M5.3$ の地震関連の極微小地震レベルの解析例をヒントに、別の観点からは、極微小地震データも活用できるのではないかという発想が浮かんだ。そこで、試行的な調査を始めてみたところ、日本の地震活動の詳細な研究にきわめて重要なデータとして活用できることがわかったので、概要を報告する。

2. 気象庁一元化震源の極微小地震データ

今回の調査対象である北海道から九州までの内陸の深さ 30km 以浅の地震について、1998年から2017年までの極微小地震 ($M < 1.0$) と微小地震以上 ($M \geq 1.0$) との震央分布図を図1、図2に示す。前者の分布は、陸地部と海岸から数十 km の範囲に限られているが、同じ範囲 (図中の折れ線内) で比較すると、地震の総数は、前者が約 106.7 万個に対して、後者は 71.2 万個であって、極微小地震だけの方が、約 50% も多い。さらに、内陸で観測網が密な、たとえば長野県北部などでは、前者が数倍以上になる地域もあることが分かった。しかし、極微小地震の震源決定数には、人為的なノイズの増減に対応する日変化や週日変化があり、日本海側のように、自然のノイズの影響による年周変化が著しい地域もある。

3. 極微小地震の震央分布図

すでに述べたように、極微小地震の震源データは、時間的、空間的に不均質であるが、ある区域の活動度が定常的に周囲に比べて相対的に高ければ、長期間のデータを集積することによってより明瞭に浮かび上がるものと期待される。そこで、まず、中部地方から近畿地方について、極微小地震の震央分布図を作成してみた(図3)。

この図からまず目立つのは、多くの線状分布で、その幅が狭いことから、極微小地震の震源決定精度もかなり高いと推定される。

これらの線状分布のいくつかは、過去の大地震の余震活動に対応しているとみられる。それらは、古い順に、1858年飛越地震 ($M7.0 \sim 7.1$)、1891年濃尾地震 ($M8.0$)、1927年北丹後地震 ($M7.3$)、1943年鳥取地震 ($M7.2$)、1945年三河地震 ($M6.8$)、1995年兵庫県南部地震 ($M7.3$) である。三重・滋賀・奈良県境付近に認められる活動度の高い部分は1854年伊賀上野地震に関連する可能性が考えられる。これらは個別に拡大してみるとより明瞭に線状分布がみられる。図4に濃尾地震の余震域の例を示す。この図の右側には1969年岐阜県中部の地震 ($M6.6$) の余震の線状分布も明瞭にみえる。このように中規模の地震でも余震活動が50年近く続いているものもあることが注目される。一方、他の地域では、本震が $M7$ クラスでも数十年経過した余震活動が極微小地震レベルでも不明瞭なものもある(たとえば、1930

年北伊豆地震 (M7.3))。

4. 定常活動の活発な地域についての解析例

図3にみられるように、近畿地方では、和歌山県北部と京都付近に定常的に地震活動度の高い地域がある。図5は、京都付近の極微小地震を含む震央分布図である。この図では、図3に較べ、震源分布がより詳細が示されているが、活動度の違いや活動の時間経過は分からない。これに対して、津村(1993)が提唱した時間円表示図の手法を適用したTC図(図6)を見れば、細分されたメッシュごとに、時計廻りに一周17年で外向きに10日ごとの地震回数を、赤い円で地震総回数が表示されていて、これらの情報を読み取ることができる。

この図のメッシュは、緯度・経度各0.01°(約1.1km x 0.9km)に細分されている。すぐに気づいたのは、これらのうち1, 2個のメッシュの狭い範囲から極めて短時間に地震が多発したことを示す地震回数(この図の場合10日ごとの回数)の針が出ているものが散在していることであった。これで、一元化震源の極微小地震の震源決定精度がこの地域では高い(誤差1km程度)ということが分かった。筆者自身これまでよく認識していなかったのであるが、この高精度は、一元化震源決定には、気象庁の地震観測網の観測点、防災研のHi-netの観測点の他に、大学等の他の機関の地域的に高密度な観測網の観測点のデータも用いられているためであると考えられる。

5. 極微小地震データも含めた全国的な地震活動図の作成

前節で、例示した仕様の極微小地震の震源データを含む震央分布図とTC図(外向き地震回数)は、地震活動の地域特性を理解する上でもっとも基礎的な資料となるものと考えられたので、同仕様の震央分布図とTC図を、北海道から九州までの陸地部と海岸から約50kmの地域について(計約160区域)を作成した。(以下、全国地震活動図と呼ぶ)

この図の仕様の概要は次の通りである。

各図の範囲：緯度0.5°、経度0.7°

メッシュサイズ：緯度、経度各0.01°

震源データ：(期間)2001年1月—2017年12月

(規模)M -1.0~8.0

(震源の深さ)0km~30km

TC図：外向き10日ごとの地震回数を時計回りに1周17年分示す。(赤いオープンサークルは、地震総回数、赤いソリッドサークルは、定常活動度の指数であるが、縮小版では読み取りにくい。

6. 「マイクロクラスター」の解析例

今回作成した全国地震活動図の震央分布図は大縮尺(プリントした原図は約30万分の1)であって、これまで一般に作られているものよりはるかに詳細な地震活動分布の地域性の違いを示している。さらにTC図によれば、それらの相対的活動度やその時間的経過までを直感的に把握することができる。

全国地震活動図を概観して注目した一つが、3.でも述べたごく狭い範囲で時間的に集中した地震活動が多数存在し、その密度が地域的に大変違っているように見えることである。以下、このような極微小

地震を主体とする時空間的に集中した活動を仮に「マイクロクラスター」と呼ぶ。図7は、島根県東部の例で、40を超えるマイクロクラスターが認められる。

個々のマイクロクラスターについて抜き取り的に通常の活動特性解析を行ってみたところ、本震・余震型や様々な経過の群発地震活動、さらに先行的な活動を伴ったのではないかとと思われる活動が認められた。

その例のひとつとして、極微小地震データの重要性について筆者が注目する端緒となった2017年12月6日の長野県中部のM5.3の地震に関するマイクロクラスター活動の解析結果を図8に示す。

これらの図から、M5.3の本震の余震活動は直後5時間ほどの間に5個の極微小地震の余震が続いただけで極めて低調であったことが分かる。これとは別に、本震の南南東約3kmを中心に誘発されたとみられる群発地震が始まり、7日の21時29分頃から活発化し、22時23分にM2.2の最大地震が発生したことも分かる。この群発地震では6日から9日までに計53個発生したが、そのうち49個は極微小地震であった。また、12月2日08時36分のM1.5の地震は本震のごく近傍に発生しており先行的な地震であったと考えられる。たとえば、M2以上の解析では、M5.3とM2.2の地震があったというだけで、このような注目すべき活動経過は全く知ることができない。

全国地震活動図には全体で千数百個（細かいものまでみると数千個あるかもしれない）のマイクロクラスターが認められる。これらがそれぞれどのような活動であったかを、この例のようにくわしく調べることによって日本の地震活動についての新たな観点での理解がすすむものと期待される。

7. むすび

気象庁一元化震源カタログに含まれる極微小地震データを用いた日本の地震活動の新たな研究の可能性について予備的な調査を行った結果、その活用の重要性が明らかになった。

今回試行的に作成した「極微小地震を含む日本全国地震活動図」を、天文学にたとえてみれば、大縮尺で極微小地震を含む総数約160万個がプロットされている震央分布図は、11~12等星まで含めた詳細な星図で、時間円表示図(TC図)は、注目すべき天体の位置を示した図のようなものであるといえよう。これは専門の地震研究者に新たな発想の研究を促すとともに、うまく解説すれば、天文アマチュアのような地震アマチュアを生み出す可能性も持っているのではないかと考える。

今回の解析は、すべて、地震活動解析ソフト「SEIS-PC for Windows」(中村・石川,2005)を用いておこなった。同ソフトのTC図機能なしには、約2カ月という短期間で全国地震活動図の作成を行い、地震活動の地域的な特徴を概観するという作業は到底行えなかったと考えられる。同ソフトへの筆者提案のTC図作成機能の組み込みと度重なる改善要望に応じていただいた気象庁の中村浩二氏に感謝します。

参考文献

津村建四朗,時系列情報を含む地震活動分布図——時間円表示図——,地球惑星科学関連学会1993年合同大会,239,1993.

中村浩二・石川有三. 卓上で地震活動解析 SEIS-PC for Windows のこの5年,日本地震学会講演予稿集,2005年秋季大会,239,2005.

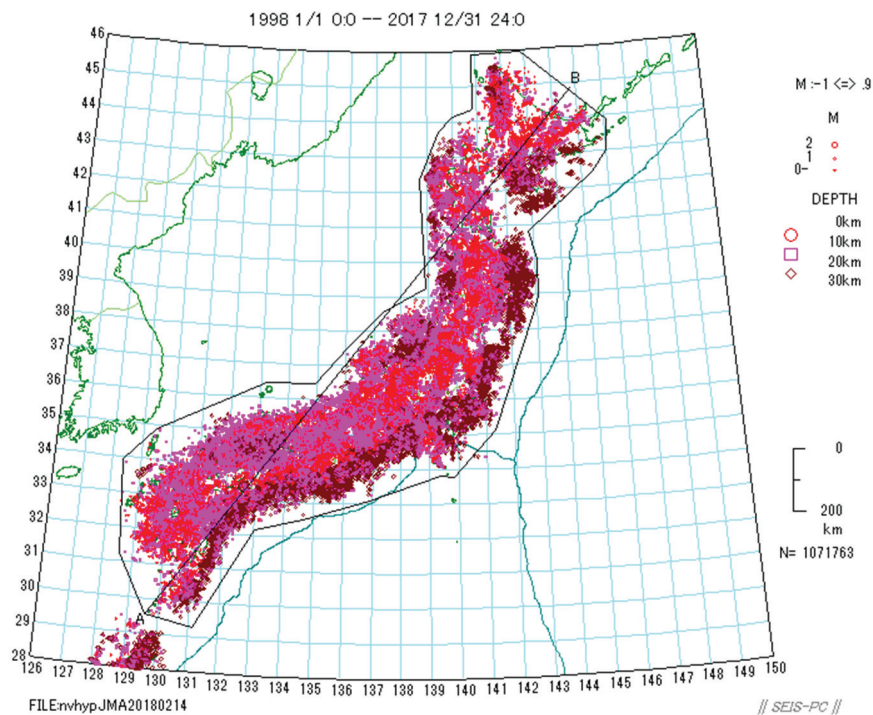


図1. 気象庁一元化震源カタログに含まれる極微小地震 ($M < 1.0$) の震央分布図 (深さ 30km 以浅) .

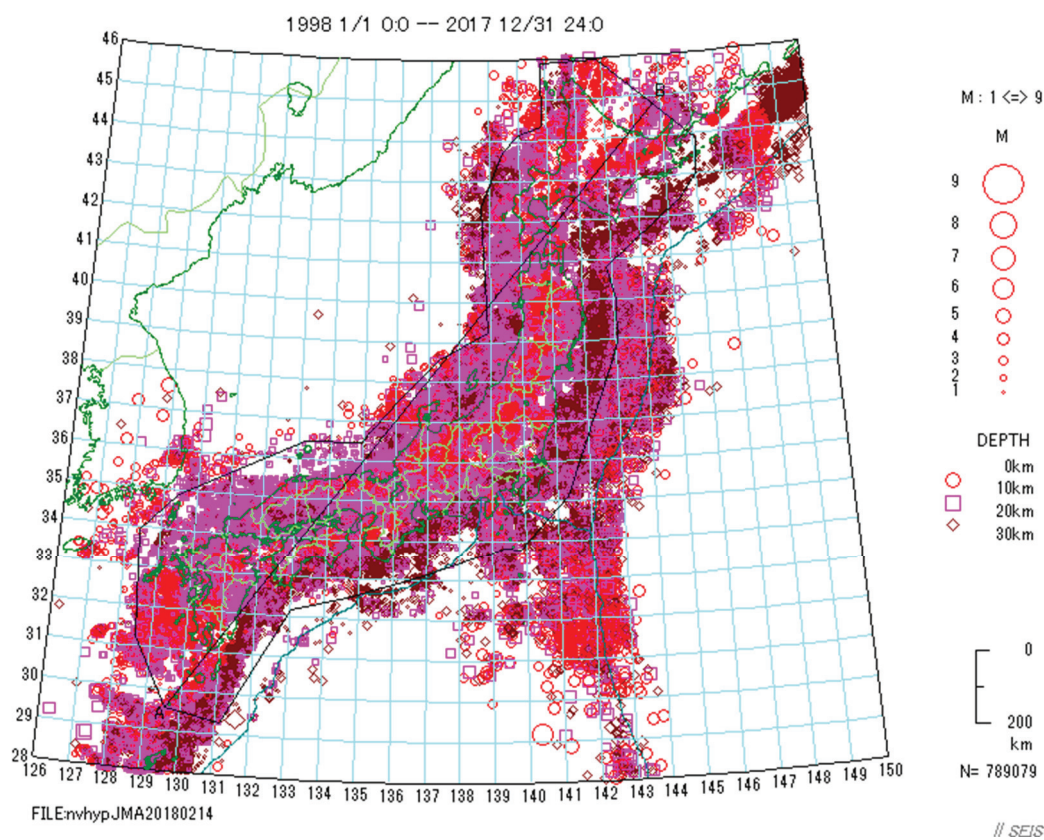


図2. 気象庁一元化震源カタログに含まれる微小地震以上 ($M \geq 1.0$) の震央分布図 (深さ 30km 以浅) .

2001-2017 M<1.0

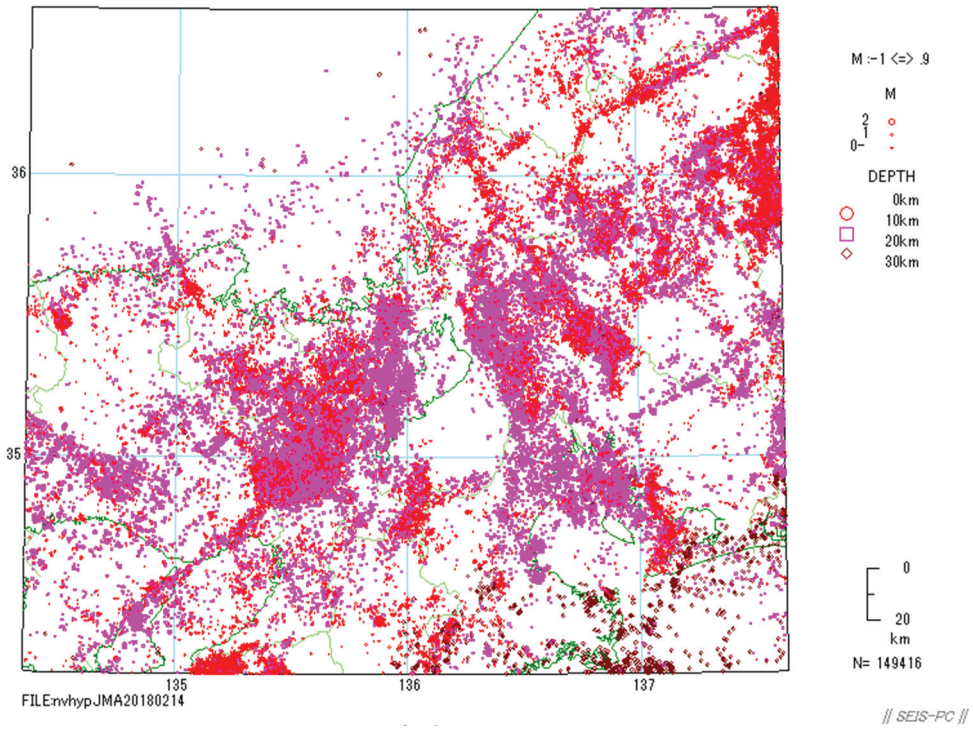


図3. 中部地方から近畿地方にかけての極微小地震だけをプロットした震央分布図（深さ 30km 以浅）.

2001-2017 M<1.0

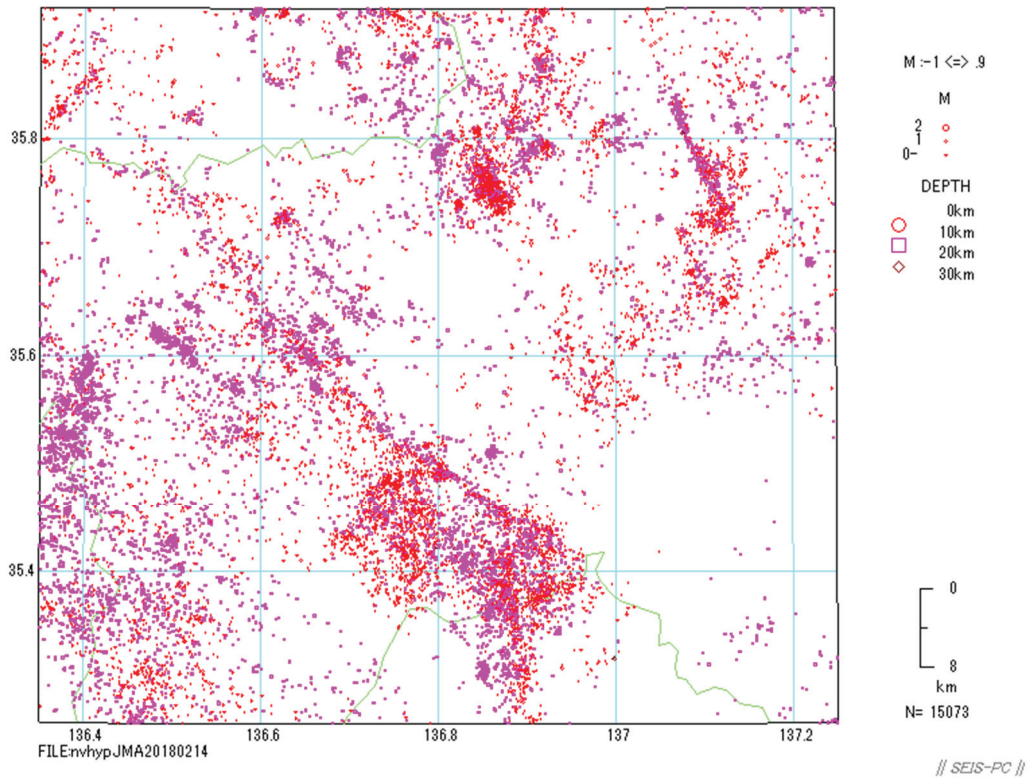


図4. 1891年濃尾地震（M8.0）と1969年岐阜県中部の地震（M6.6）の余震域を含む部分の拡大図.

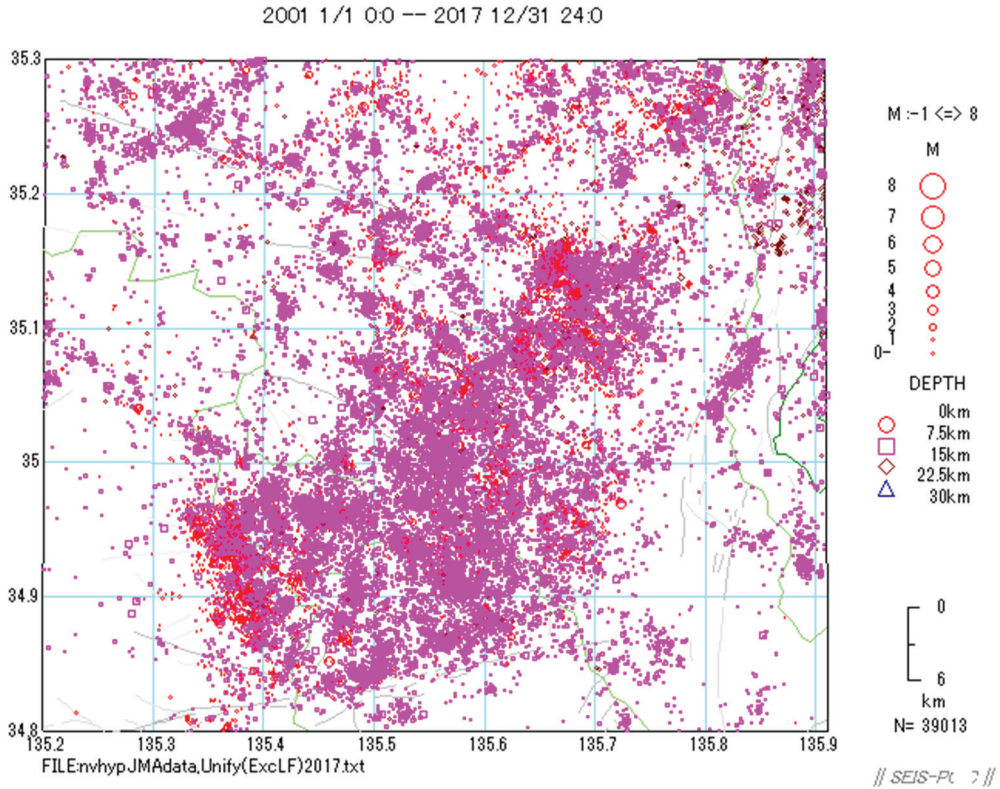


図5. 京都付近の極微小地震を含む震央分布図（深さ 30km 以浅、 $M \geq -1.0$ ）。

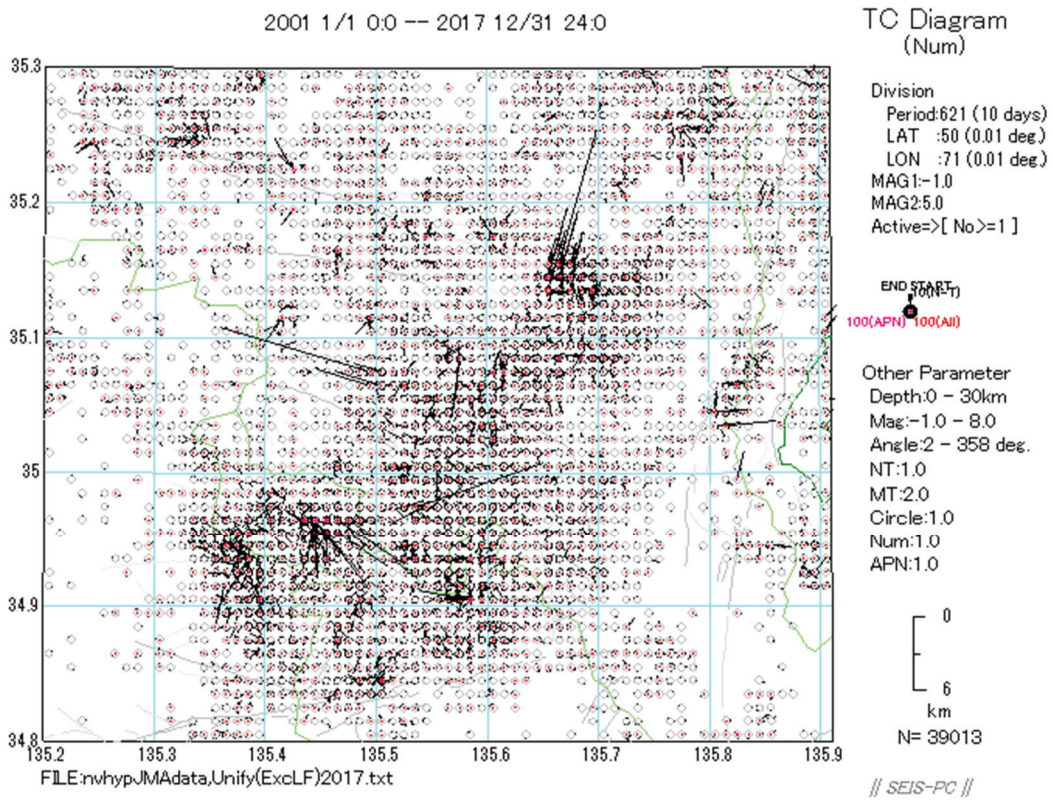
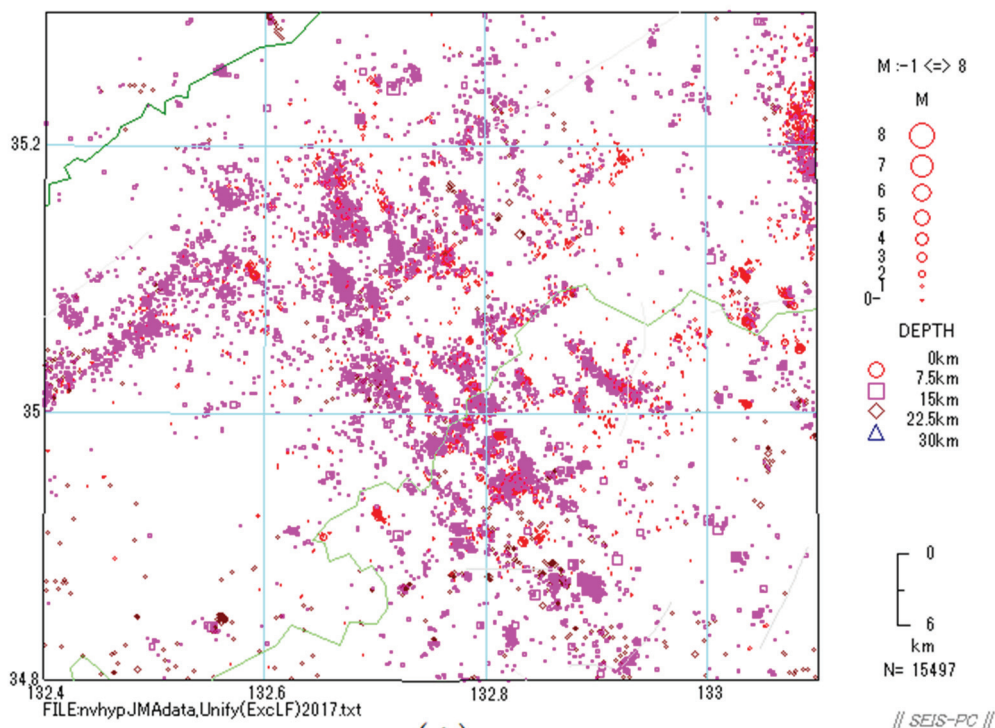


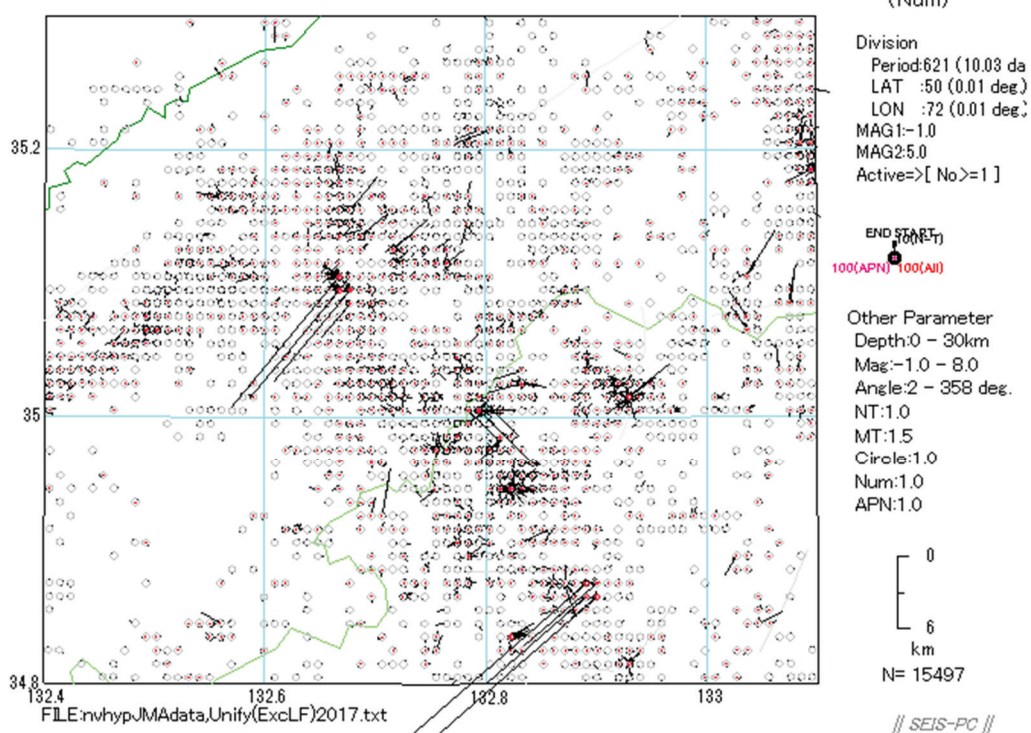
図6. 京都付近の極微小地震を含む地震の時間円表示図（TC 図、外向き 10 日ごとの地震数、時計周りに 1 周が 001 年からの 17 年間）。

2001 1/1 0:0 -- 2018 1/20 24:0



(A).

2001 1/1 0:0 -- 2018 1/20 24:0



(B).

図7. 島根県東部の (A) 極微小地震を含む震央分布図 (深さ 30km 以浅、 $M \geq -1.0$) と (B) 時間円表示図 (TC 図、外向き 10 日ごとの地震数、時計周りに 1 周が 001 年からの 17 年間)。

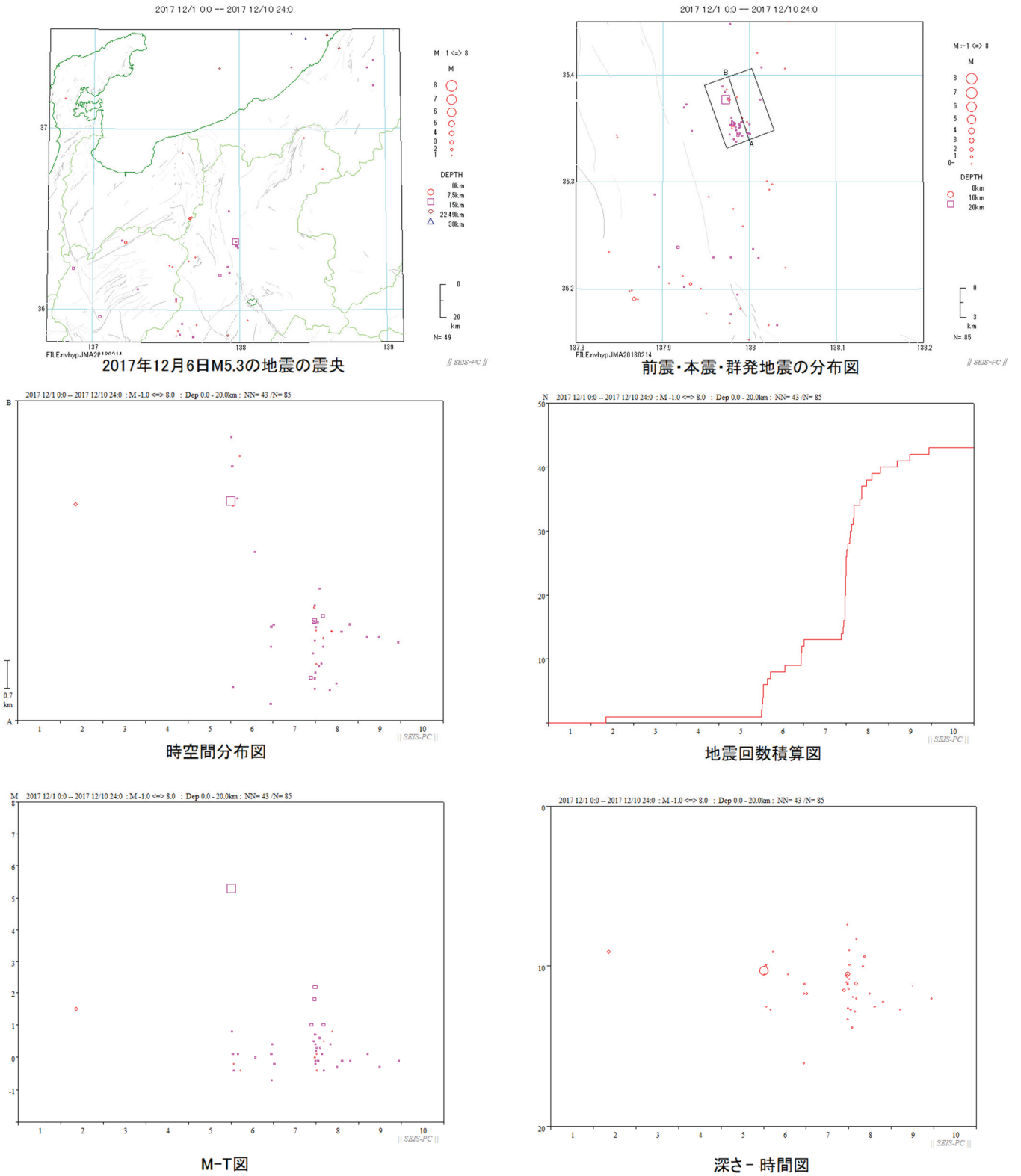


図8. 2017年12月6日長野県中部の地震 (M5.3) 前後の地震活動の解析図.