

12 - 5 内陸地震発生場解明のための稠密地震観測(0.1 満点地震観測からわかったこと) Dense seismic observation design for capturing background of large inland earthquakes (lessons from "0.1Manten" hyper dense seismic observation)

松本 聡 (九州大学大学院理学研究院)

Satoshi Matsumoto (Faculty of Science, Kyushu University)

はじめに 内陸地震はその発生頻度が数千年から数万年と考えられ、発生時期や場所を予測することは難しい。一方、我々の居住地近傍で発生することからその被害がマグニチュードのわりに甚大となる。2016 年熊本地震でも多くの被害を生み、現在もなおその影響が続いている。このため、将来の内陸地震の予測に資するためには、大地震が発生した領域の活動や構造の特性を把握し、内陸地震発生場解明を進めることが必要である。近年の観測技術向上によって内陸地震発生場の特徴が明らかになってきた。たとえば、地震時大すべり域は高速度異常域に対応し、破壊の開始点直下は低速度異常域になっていることが報告されている¹⁾。また、大地震を引き起こした断層周辺の応力場や地震時変形が詳細に推定されるようになってきた。しかしながら、これらの分解能は数～10km 程度であり、マグニチュード (M) 7 クラスの地震断層の長さ約 30 km と比較すると詳細な活動把握、構造推定が困難なことが多い。そのため、我々は 2000 年鳥取県西部地震震源域に 1000 点の観測点をおよそ 1 年間設置し、余震活動や構造などの詳細把握を試みた。

0.1 満点地震観測 2000 年鳥取県西部地震はおよそ 35 km の範囲で北北西—南南東に広がる余震域を持つ地震である。この領域を取り囲むように 1000 カ所上下動地震計を設置した (0.1 満点地震観測)。観測点密度はおよそ 1 点 / km²、観測期間は 2017 年 3 月から 2018 年 4 月である。各観測点には地震計と新たに開発したデータロガーを設置した。地震計は地面の上下動成分を測定する速度型地震計 (固有周波数 2 もしくは 4.5 Hz) を用いた。通常、活断層調査などの人工地震を用いた物理探査では 10 Hz 程度のものを用いるが、本観測で低周波数地震計を用いるのは観測網内で発生する自然地震を収録対象としていて、その卓越周波数が 10 Hz 程度以下である場合も多くあること、低周波数の波を用いることにより検知深度が地殻全体におよぶことを目的としているためである。また、1000 点という観測点数は反射法地震探査やアメリカで近年実施されている数千点に及び観測よりは少ないが、M7 クラスの地震発生域を取り囲むこと、設置や伝送が簡便であること、低コストなどの条件から最適にデザインした観測である。観測の意義、概要については先行研究¹⁾に詳細に述べられている。

1 年間でおよそ 5000 個の震源決定精度の高い地震が観測された。この観測は構造や活動を詳細に調べるため、高い検知能力、精度の高い発震機構解を得ることを目的にしていた。結果として、推定精度数度以下の発震機構解が得られた^{1), 2)}。また、発生した地震のうち、通常のダブルカップル型地震では説明できない、いわゆるノンダブルカップル (NDC) 成分を持つ地震が発見された²⁾。第 1 図に先行研究²⁾で解析された自然地震の P 波初動極性分布データを地図上にプロットした図を示す。この図を見てわかるように、発震機構解を特徴づける節面の推定が数度以下の精度で推定できていること、顕著な NDC 成分を持った地震が存在することが見て取れる。解析から NDC 成分を持つ地震は断層運動に伴って開口するクラックの寄与を意味し、媒質は流体が貫入しやすい (引張強度の弱い) 地域であることが明らかになった (第 1 図に模式図を示す)。この NDC 成分を持つ地

震は観測点が同じ範囲に 500 点以上なければ検出することができない²⁾ことから、0.1 満点地震観測のスペックによってはじめて明らかになった観測事実である。さらに、高い検知能力・発震機構推定によって、2000 年の本震発生直後と比較して、断層周辺の応力緩和過程をモデリングが可能となった³⁾。これによると、断層周辺域はほぼ $n=5$ 程度のべき乗流体の応答として非弾性ひずみが余震活動によって進行していること、応答では説明できず、何らかの余効的な断層滑りを示唆する部分が余震域北部に存在することなどが見いだされた。

まとめ 以上のように稠密観測により今まで得られなかった地震断層とそれを取り巻く活動や構造特性が明らかになりつつある。今後は同様程度の検出能力を持った観測を M7 クラスの地震断層で行い、特性比較することで内陸地震発生場の理解がより進むと考えられる。しかし、必ずしも 1000 点ではなく、地域の特性をよく理解したうえで観測のスペックをデザインすることが非常に大切であり、同時にそれが可能な人材を育成することが極めて重要である。一方、1000 点の展開は地元ボランティアや地方自治体の協力がなくてはなしえなかった。このような観測は研究者だけではなく社会との連携を深めることの大きなきっかけとなると考える。

(九州大学大学院理学研究院. 松本 聡)

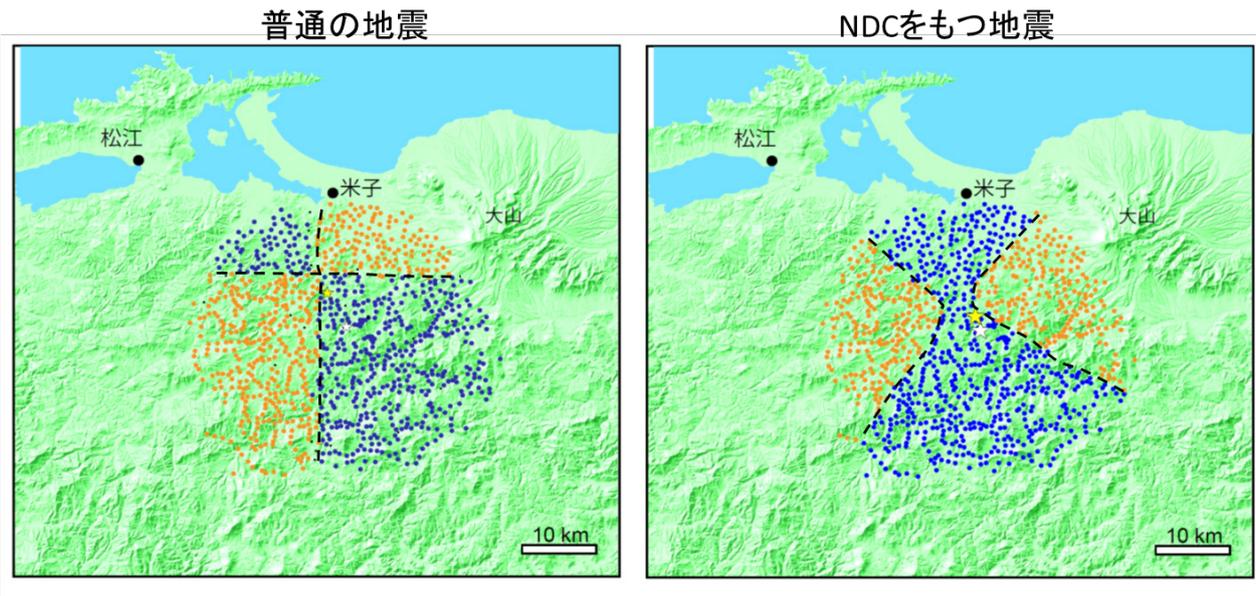
Satoshi Matsumoto

謝辞

0.1 満点地震観測は京都大、東京大、九州大が中心となって多くの研究者とともに実施された観測である。また、地方自治体は地元住民の方々に多大な協力が得られた。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松本聡, 飯尾能久, 酒井慎一, 加藤愛太郎, 0.1 満点地震観測グループ (2020), 超多点稠密地震観測による断層帯発達過程の解明に向けて - 2000 年鳥取県西部地震域への適用 -, *地学雑誌*, **129** 巻 4 号, doi:10.5026/jgeography.129.511
- 2) Hayashida, Y., S. Matsumoto, Y. Iio, S. Sakai, A. Kato (2020), Non-double-couple micro-earthquakes in the focal area of the 2000 Western Tottori earthquake (M 7.3) via hyperdense seismic observations, *Geophysical Research Letters*, **47**, 4, <https://doi.org/10.1029/2019GL084841...>
- 3) Matsumoto, S., Y. Iio, S. Sakai, A. Kato (2020), Inelastic strain in the hypocentral region of the 2000 Western Tottori Earthquake (M7.3) inferred from the seismic moment tensor of the aftershocks, *Earth Planets Space*, **72**, 62, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01186-2>.



地震の
モデル



第 1 図 地表に置いた地震計でとらえた自然地震の P 波の初めの揺れ（極性分布）。初動極性は●：上，●：下を示す。動きのパターンが違うところが断層の方向を示している（黒波線）。左に通常の地震，右に NDC 成分を持つ地震の極性分布を示す。下段には発生メカニズムの模式図を示す。

Fig. 1 Polarity distribution of first P wave onset for earthquakes in double couple type (left) and with non-double couple component (right). Blue and orange circles indicate the polarities observed as “UP” and “DOWN”, respectively. Dashed line shows nodal plane of the focal mechanism. Schematic illustration of fault behavior for the events is shown in the lower part of the figure.