

鳥取県西部地震震源域の深部低周波地震とその意味

大見士朗 (京大防災研)

Deep low-frequency earthquakes beneath the focal region of the 2000 Western Tottori Earthquake

Shiro OHMI (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

1. はじめに

深部低周波地震は、これまでの研究では主に火山周辺のマグマ活動に関連して議論されてきた(たとえば, Hasegawa and Yamamoto, 1994; 鷗川・小原, 1993 など)。しかしながら, 日本列島の背弧側には, 火山とは離れた地域で深部低周波地震が発生する活断層がある。西南日本では, 鳥取県西部や京都府中部をはじめとしていくつかの地域でそのような報告がある(たとえば, Ohmi, 2001)。これらのイベントは, 活断層深部で発生するこれまで知られていなかった新しい種類の低周波地震であると考えられる。それらのうち, 平成 12 年鳥取県西部地震の震源域付近では, 本震の発生前から複数の深部低周波地震が発生しており, その活動は本震後も続いている。本報告では, これらの鳥取県西部地震の震源域の深部低周波地震について Ohmi et al. (2005)に基づき報告する。以後, 深部低周波地震(Deep Low-Frequency Earthquake)を DLF 地震と呼ぶ。

2. 鳥取県西部の深部低周波地震活動

鳥取県西部地域では, 2000 年 10 月 6 日に, Mw6.7 の地殻内地震である鳥取県西部地震が発生した(たとえば, Ohmi et al., 2002 など)。図 1a は鳥取県西部地震の本震後 6 ヶ月間の再決定された余震の分布(大見, 2002)と, 気象庁による 1999 年から 2004 年までの DLF 地震を示している。DLF 地震は深さ 30km 内外に分布する。同図には, 本震時のコサイスミックな地殻変動から求められた断層モデル(鷗谷・他, 2002)もプロットしてある。断層モデルは若干西に傾斜しており, DLF 地震は, 断層の延長上周辺に分布しているように見える。図 1b は DLF 地震の時空間分布を示すが, これによると, 本震前に 5 個ほどの DLF 地震が観測されており, また, 本震後に DLF 地震の活動が活発化したことが見てとれる。

3. 波形から見た特徴

観測される DLF 地震は波形の特徴から数種類に分類することができるように見受けられる。図 2 にはこれらの例を示している。図 2a に示した"TYPE-1"は, 最も普遍的に観測されているものである。Ohmi and Obara (2002)による TYPE-1 の波形の特徴は以下の

ようである。(1)卓越周波数は 2 Hz - 4 Hz であるが単色的な地震ではない,(2)P および S の双方の相が見えるが S 波の方が大きな振幅を持つ,(3)継続時間は 1

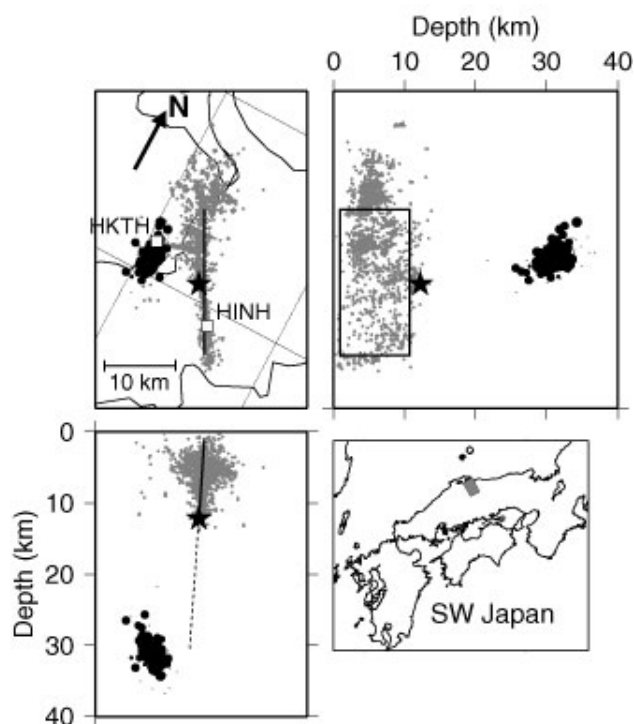


図 1(a): 鳥取県西部地域の深部低周波地震の分布。灰色の点が再決定された余震, 黒丸が深部低周波地震を示す。鷗谷・他(2002)による断層モデルも合わせて示す。点線は, 断層モデルの深部延長を示したものの。

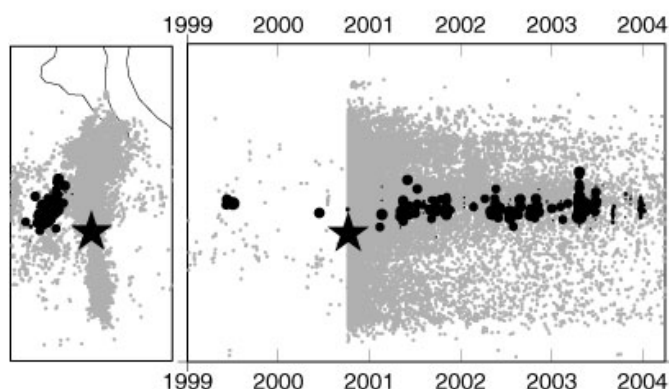


図 1(b): 深部低周波地震の時空間分布。

分ないしそれ以上であり、まれに数分間の継続時間を持つものがある。TYPE-1のマグニチュードは通常1.5よりも小さい。図2bには、TYPE-1よりも大きなP波立ち上がり部分を呈する“TYPE-2”のイベントの例を示す。TYPE-2のマグニチュードはTYPE-1のそれよりも大きく、1.9から2.5の間である。図2cには“TYPE-3”として分類した連続微動型のイベントの例を示している。これは2003年4月に発生したイベントで数十分以上に及ぶ連続微動の様相を呈した。図2dにはこれらのイベントの時系列を示した。TYPE-1は全期間に渡って観測されているが、TYPE-2は2002年半ばから散見されるようになった。TYPE-3のような長時間にわたる微動のような活動は現在までのところ、2003年4月に観測されたのみである。

4. 発生機構の考察

Ohmi and Obara (2002)は、鳥取県西部地震本震の9時間前に発生したTYPE-1イベントの解析を行ない、シングルフォース型力源で発生している可能性を示した。これは、震源域における水やマグマなどの流体の移動を示唆するものである。一方、2002年半ばから観測されるようになったTYPE-2イベントはP波の立ち上がり部分の振幅と継続時間がTYPE-1のそれよりも大きい(図2aと2bを比較するとよい)。TYPE-2

の震源時間関数を見積もるために小地震を経験的グリーン関数として使用してデコンボリューション(e.g. Mori and Frankel, 1990)を行なった。この解析の前に、バックグラウンドノイズを分離するために状態空間モデルを使用した信号の抽出(大見, 2004)を施した。図3に原波形(図3a)およびデコンボリューションで求められた震源での変位波形(図3b)を示す。図3bの変位波形は通常のダブルカップル型震源のそれに近いことから、TYPE-2はダブルカップル型であるとして、震源時間関数から単純な仮定のもとで震源のサイズやモーメントを見積もった。図3cは求められた震源サイズとモーメントの関係を通常の地震のそれと比較したものである。図中、応力降下量一定の直線はKanamori and Anderson (1975)の式によって作成した。通常の地震の応力降下は0.1MPaから100MPaの間に分布するとされるが(e.g. Abercrombie and Leary, 1993)、TYPE-2イベントの応力降下はこれらに比べると明らかに小さな値を示している。これはTYPE-2イベントの断層面に「柔らかい」物質、たとえば流体が飽和したガウジのようなものがある、応力を支えられないためだと考えることもできる。したがって、これもDLF地震の震源域に流体が存在する

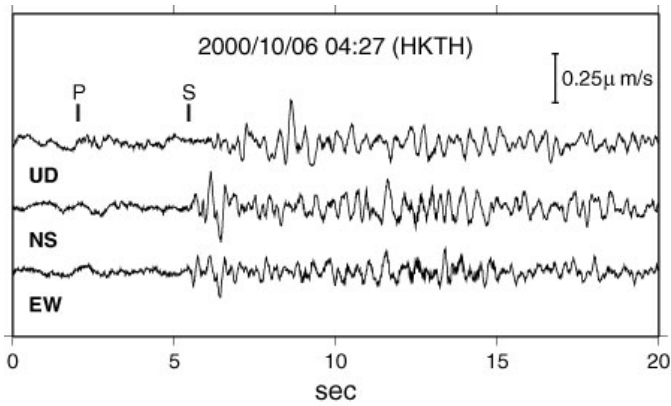


図2(a): “TYPE-1”イベントの3成分波形例

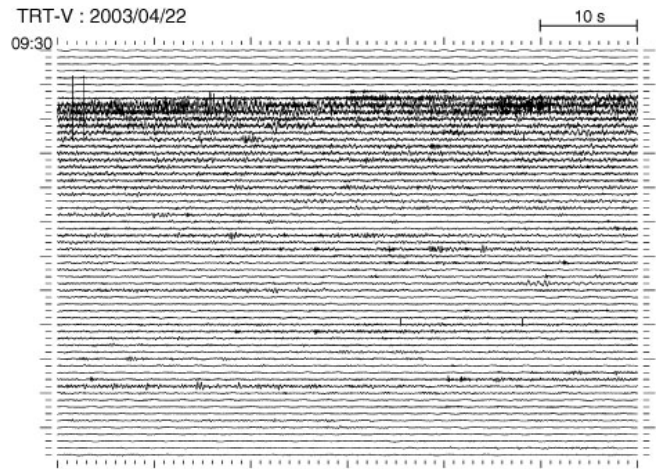


図2(c): “TYPE-3”イベントの波形例。上下動成分の一時間の連続記録。

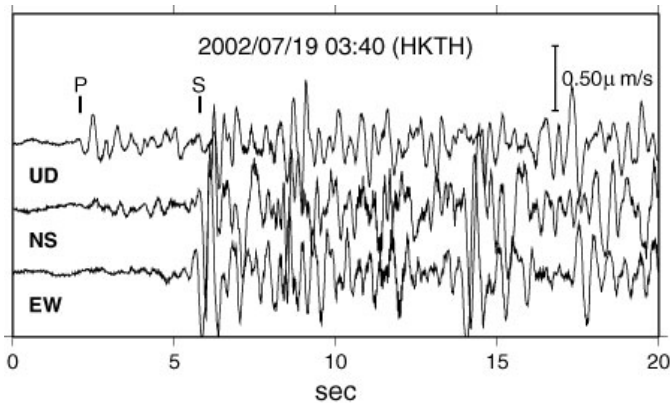


図2(b): “TYPE-2”イベントの3成分波形例

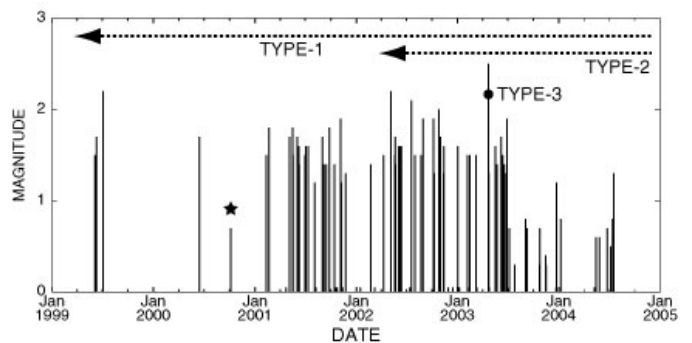


図2(d): DLF地震のM-Tダイアグラム

ことの傍証ということもできる。

TYPE-3 イベントは微動の様相を呈しており, 2003 年4月の活動は数十分以上にわたって継続するイベントが消長を繰り返しながら数日間継続するというものであった。南海トラフやカスケード地域などの沈み込み帯では低周波微動活動が観測され, それらはプレート境界周辺の流体活動によるものだとされている。また, これに伴って間歇的なプレート境界のスリップが観測されることもある (e.g. Obara and Hirose, 2004, Rogers and Dragert, 2003)。したがって, 鳥取

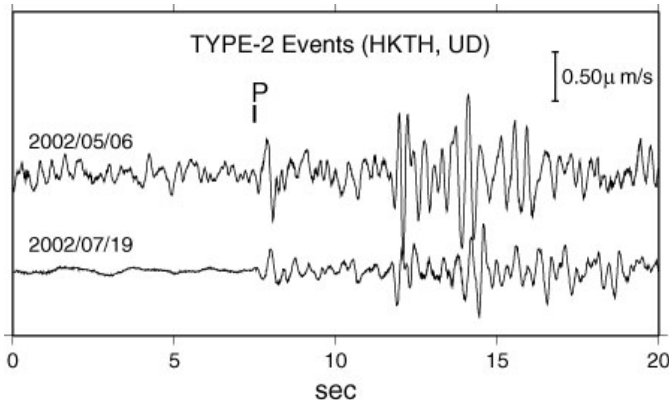


図 3(a): TYPE-2 イベントの上下動成分原波形の例。

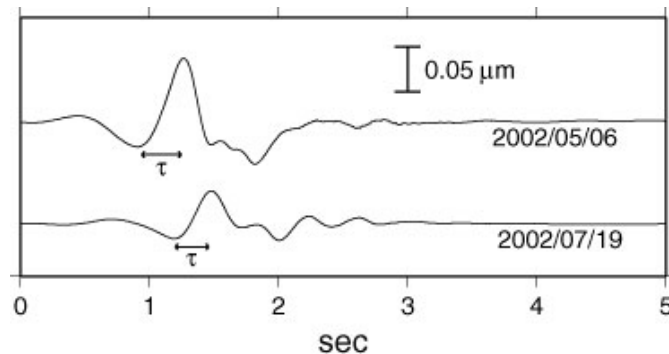


図 3(b): (a)の波形に, ノイズ分離の処理を施した後に deconvolution 処理を行ったもの。

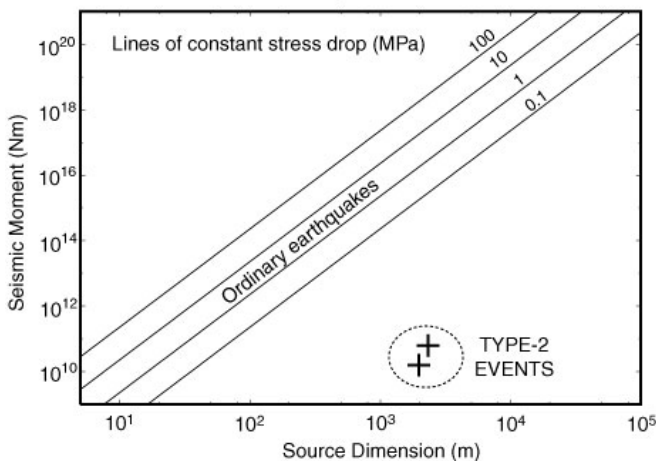


図 3(c): TYPE-2 イベントの震源断層サイズとモーメントの関係を通常の地震のそれと比較したもの。

県西部の微動活動についても, 流体が関与している可能性や, 同期してスリップが発生している可能性も考えられる。後者を検証するために, 同地域に展開されている Hi-net の傾斜計記録の調査を行なった。図 4 が観測された傾斜計記録であるが, 微動発生時の DLF 地震の震源域直上の観測点でも 1.0×10^{-7} radian 以上の傾斜変動を検出することは困難であった。この変動量は, 鷲谷・他 (2002) のモデルを仮定した場合には, 断層面での 1.3 cm 程度のスリップに相当することから, 2003 年の微動活動の際には, 断層面上で 1.3 cm 程度以上のスリップ (Mw5.2 相当) は発生しなかったということができる。

5. 活断層に発生する深部低周波地震の重要性

これまでに述べたように, 鳥取県西部で観測される DLF イベントは流体の関与を示唆するものであることがわかった。DLF 地震の震源域に流体が存在する可能性は他の観測結果からも支持されている。地震波速度トモグラフィ (Zhao et al., 2004) の結果では, 震源域の深部には低速度領域が広がっていることが, また,

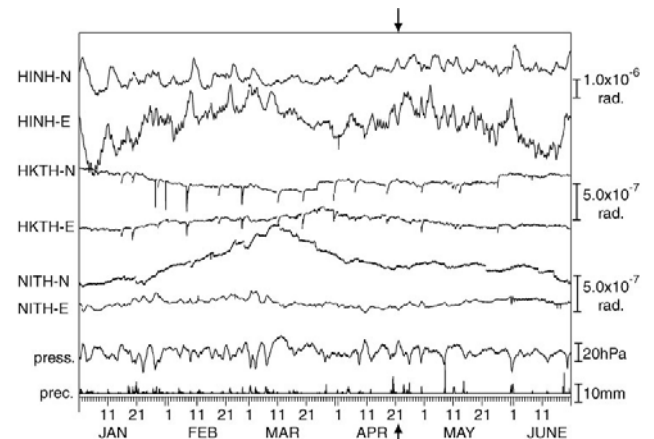


図 4: DLF 発生域周辺の傾斜計記録。図中, 矢印で示した時期が TYPE-3 イベントの発生時期。震源近隣の観測点配置については図 1(a)参照。

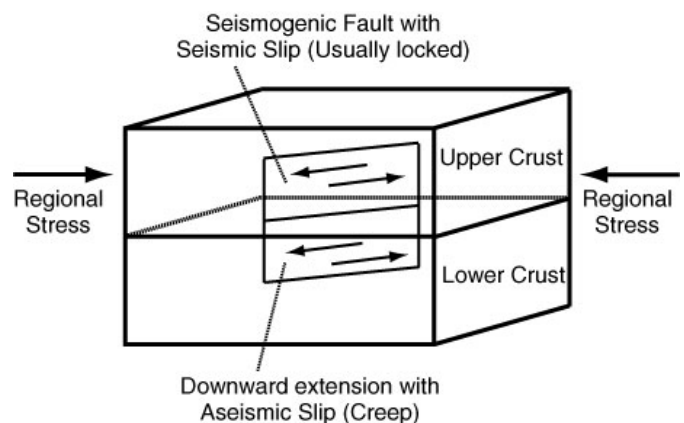


図 5: 震源断層の下部地殻内に存在する非地震性深部延長部の概念。

電気伝導度構造(Oshiman et al., 2003)の調査からは、低比抵抗物質の存在が示されている。これらはいずれも流体等の存在を示唆する観測結果である。

最近、震源断層は下部地殻内に非地震性の深部延長を持つという作業仮説が提唱されている(e.g. Iio and Kobayashi, 2002)。これによれば、上部地殻の地震断層は普段は固着しているが、それに対して下部地殻内の深部延長部は非地震性のスリップを起こしており、これにより上部地殻の地震断層に応力を蓄積するというものである。図5はその概念を表したものである。図1aに示したように、本報告で述べたDLF地震は、震源断層の下部延長付近に分布しており、これらは、断層の非地震性深部延長部周辺での流体の活動の証拠である可能性がある。活断層の深部延長付近に存在する流体は深部延長部のすべり過程に影響を及ぼし、ひいては地震断層の破壊に影響を与えている可能性も考えられることから、これらのDLF地震の理解を進めることは、活断層で発生する地震の準備過程との関連で重要であると考えられる。

謝辞：今回の解析では、防災科学技術研究所のHi-netデータ、および気象庁の速報震源データを参照させていただいた。記して感謝する。

参考文献

大見士朗 (2002): 平成12年鳥取県西部地震の余震分布 - 震源座標の関数としての観測点補正値を用いた震源決定 -, 地震2, 54, pp.575-580.

大見士朗 (2004): 状態空間モデルによる深部低周波地震の信号抽出の試み, 日本地震学会2004年秋季大会, A007.

鷲谷威・西村卓也・畑中雄樹・福山英一・Ellsworth, W. L. (2002): 2000年鳥取県西部地震に伴う地殻変動と断層モデル, 地震2, 54, pp.523-534.

鶴川元雄・小原一成 (1993): 関東地方の火山フロント付近のモホ面周辺に発生する深部低周波地震, 火山, 38, pp.187-197.

Abercrombie, R. and Leary, P. (1993): Source parameters of small earthquakes recorded at 2.5 km depth, Cajon Pass, southern California: Implications for earthquake scaling, *Geophys. Res. Lett.*, **20**, pp.1511-1514.

Hasegawa, A. and Yamamoto, A. (1994): Deep, low-frequency microearthquakes in or around seismic low-velocity zones beneath active volcanoes in northeastern Japan, *Tectonophys.*, **233**, pp. 233-252.

Iio, Y. and Kobayashi, Y. (2002): A physical understanding of large intraplate earthquakes, *Earth, Planets and Space*, **54**, pp. 1001-1004.

Kanamori, H. and Anderson, D. L. (1975): Theoretical bases for some empirical relations in seismology, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **65**, pp. 1073-1095.

Mori, J. and Frankel, A. (1990): Source parameters for small events associated with the 1986 North Palm Springs, California, earthquake determined using empirical Green functions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **80**, pp.278-295.

Obara, K. and Hirose, H. (2004): Episodic deep low-frequency tremor and slow slip in southwest Japan, *Abstracts, Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting*, J078-021.

Ohmi, S. (2001): Deep low-frequency earthquakes associated with active faults in southwest Japan, *Eos Trans. AGU*, **82**, 871.

Ohmi, S. and Obara, K. (2002): Deep low-frequency earthquakes beneath the focal region of the Mw 6.7 2000 Western Tottori earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, No.16, 10.1029/2001GL014469.

Ohmi, S., Watanabe, K., Shibutani, T., Hirano, N., and Nakao, S. (2002): The 2000 Western Tottori Earthquake - Seismic Activity Revealed by the Regional Seismic Networks -, *Earth, Planets and Space*, **54**, pp. 819-830.

Ohmi, S., Hirose, I., and Mori, J. (2005): Deep Low-Frequency Earthquakes Near the Downward Extension of the Seismogenic Fault of the 2000 Western Tottori Earthquake, *Earth, Planets and Space*, in press.

Oshiman, N, Aizawa, K. and Shiozaki, I. (2003): Deep crustal resistivity structure in and around the focal area of the 2000 Tottori-ken Seibu Earthquake, Japan, *IUGG2003, JSA10/30P/D-005*.

Rogers, G. and Dragert, H. (2003): Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip, *Science*, **300**, pp. 1942-1943.

Zhao, D., Tani, H. and Mishra, O. P. (2004): Crustal heterogeneity in the 2000 Tottori earthquake region: Effect of fluids from slab dehydration, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **145**, pp.161-177.