

(2-4) 震源断層近傍における地震前後におけるひずみ速度テンソルの変化—2000 年鳥取県西部地震

川方裕則（立命館大学理工学部）

kawakata@se.ritsumeai.ac.jp

豊田暁来（京都大学大学院理学研究科）

toyoda@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

小林知勝（京都大学防災研究所）

tkoba@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

橋本学（京都大学防災研究所）

hasimoto@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

(a) 業務の要約

地震現象のような高速破壊現象が発生する前には、破壊開始点近傍（震源域）で非弾性変形が卓越することが知られているが、自然地震に関しては具体的な検出例がないため、その先行時間・変形量が明らかにされていない。地殻内で発生する非弾性変形を検出するためには応力とひずみの両者を独立な手法で同時モニターすることが必要である。本業務では、地殻変動データと地震波形から推定される応力パラメタから、非弾性変形の進行を抽出するためのモニタリング・システムを構築することを最終的な目的としている。平成 17 年度はひずみモニタリング手法として、国土地理院で展開されている GEONET による地殻変動データがどの程度のひずみ速度の変化を検出できるかをチェックするために、大規模地震発生前後におけるひずみ速度テンソルの変化を推定した。その結果、地震発生前後のひずみ速度テンソルの比較から、地震発生前に震源域近傍において局所的に広域なものとは異なるひずみの蓄積があったことを示唆する結果が得られた。

(b) 業務の実施方法

国土地理院による GPS 連続観測システム（GEONET）が整備された後に発生した内陸における大規模地震として 2000 年鳥取県西部地震（2000 年 10 月 6 日 13 時 30 分（JST）発生、 $M_{JMA}=7.3$ ）が挙げられる。この地震の発生前に収縮方向のひずみ速度が減少していることが GEONET のデータを用いた三角網による解析結果から Nishiwaki and Sagiya (2005)¹⁾によって指摘されている。三角網による解析の場合、空間分解能は観測点間隔と同程度に高くすることができるが、未知パラメタ 6 つ（並進 2 成分、回転成分、二次元ひずみテンソル 3 成分）に対し、6 つの観測値（3 点の水平座標変化 2 成分）しか与えられないため、観測誤差に対する依存性が高くなってしまふ。一方、一般によく用いられる距離に対する重み付けによる平滑化を利用した解析では個々の観測値に対する依存性が低くなり、誤差に左右されにくくなるが、空間分解能はかなり低下してしまふ。そのため、震源域における局所的なひずみ速度の変化をとらえるには不十分となってしまう。そこで、本業務においては、グリッドを使用して解析をおこないつつ、各グリッド近傍の 5 観測点のデータに対し、観測点とグリッド間の距離の重みをかけない計算方法を用いた。

データは GEONET の F2 解水平 2 成分を使用した。計算領域は本州西南日本の各 GEONET 観測点とし、計算期間は、1997 年 4 月から地震直前の 2000 年 9 月まで、およ

び 2002 年 10 月から 2005 年 3 月までとし、1.5 年のタイム・ウィンドウで 1 ヶ月ずつずらしながら計算をおこなった。各タイム・ウィンドウにおいて水平 2 成分データ時系列から、最小二乗法により、地震時のステップ変動・年周変動・アンテナ交換時の変動などを除去しながら、定常的な平均水平速度 2 成分を推定した。推定式は以下のとおりである。

$$x_n^i(t) = a_n^i + b_n^i t + \sum_{k=1}^M c_n^{i,k} H(t-t_0^k) + \sum_{k=1}^M d_n^{i,k} (1 - \exp(-(t-t_0^k)/\tau_k)) + \sum_{j=1}^N m_n^{i,j} H(t-t_1^j) + s_n^i \sin(2\pi t/365.25 + \phi^i) + E(t)$$

ただし、 i は観測点番号、 n は水平 2 成分の成分番号、 x は与えられた日座標値、 a は定数、 b は日平均水平速度、 k は期間中に発生した地震の番号、 c は地震時のステップ的な変動、 t_0 は発震時刻 (日)、 d は地震の余効変動、 τ は余効変動の時定数、 m はアンテナ交換等の人為的なステップ的な変動の大きさ、 t_1 はアンテナ交換等の人為的なステップ的な変動の発生日、 s と ϕ は年周変動の振幅と位相を、 E はモデル誤差を各々あらわす。

異常点を解析対象から除去した後、推定した変位速度から、0.2 度毎に設けられたグリッドに対するひずみ速度テンソルを上記の方法により算出した。推定式は、Shen et al. (1996)²⁾によるものから距離に対する重みを考慮しない、以下のものを使用した。

$$\begin{pmatrix} U_i \\ V_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & 0 & \Delta y_i \\ 0 & 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & -\Delta x_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ \dot{\epsilon}_{xx} \\ \dot{\epsilon}_{yy} \\ \dot{\epsilon}_{xy} \\ \omega \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_x^i \\ \epsilon_y^i \end{pmatrix}$$

ただし、 i は観測点番号、 U 、 V はグリッド近傍の 5 点の観測点各々の水平速度 2 成分、 Δx 、 Δy は観測点とグリッドとの距離、 u 、 v はグリッドにおける水平速度、 $(\dot{\epsilon}_{xx}, \dot{\epsilon}_{yy}, \dot{\epsilon}_{xy})$ はグリッドにおけるひずみ速度、 ω はグリッドにおけるひずみの回転成分を各々あらわしている。

(c) 業務の成果

地震発生前および発生後のひずみ場の変化を調べるために、震源断層付近のグリッドと、震源断層から離れたリファレンスとしてのグリッドの結果を比較した。各グリッドと使用した観測点を図 1 に示す。図 2 に示すとおり、リファレンス・グリッドにおけるひずみ速度テンソルの時間変化には、地震前後で大きな変化は見られず、本推定手法の安定性を確認することができた。

一方、鳥取県西部地震発生前に関して、震源断層付近のグリッドでは、ひずみ速度テンソルの最大収縮主ひずみが減少傾向を示し、地震発生の直前に増加傾向に戻っていることが挙げられる (図 3)。また、もう 1 つの特徴として、震源断層近傍のグリッドのひずみ速度テンソルの最大収縮軸が北西—南東からほぼ南北方向に回転していることが挙げられる。このことにより、東西方向の収縮ひずみ速度は減少し、この結果は、Nishiwaki and Sagiya (2005)¹⁾で報告されている、三角網を使用して計算されたひずみ速度の変化とも調和的である。

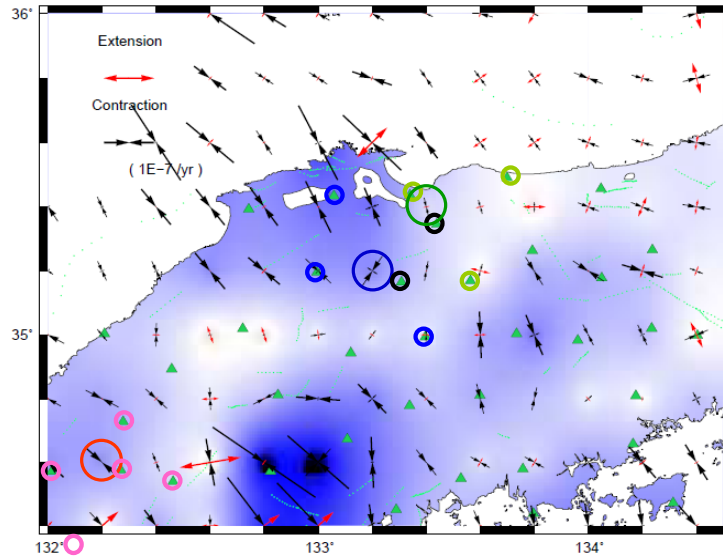


図1 使用した観測点と計算されたグリッド。背景は 1998/4/1 から 1999/9/30 までの 1.5 年間のひずみ速度場である。濃青と緑の丸で囲まれたグリッドを 2000 年鳥取県西部地震の震源断層近傍のグリッドとして、赤丸で囲まれたグリッドをリファレンス・グリッドとした。青と黒の小丸で囲まれた観測点を濃い青のグリッドを計算するために、黄緑と黒の小丸で囲まれた観測点を濃い青のグリッドを計算するために、桃色の小丸で囲まれた観測点を赤のグリッドを計算するために各々使用した。

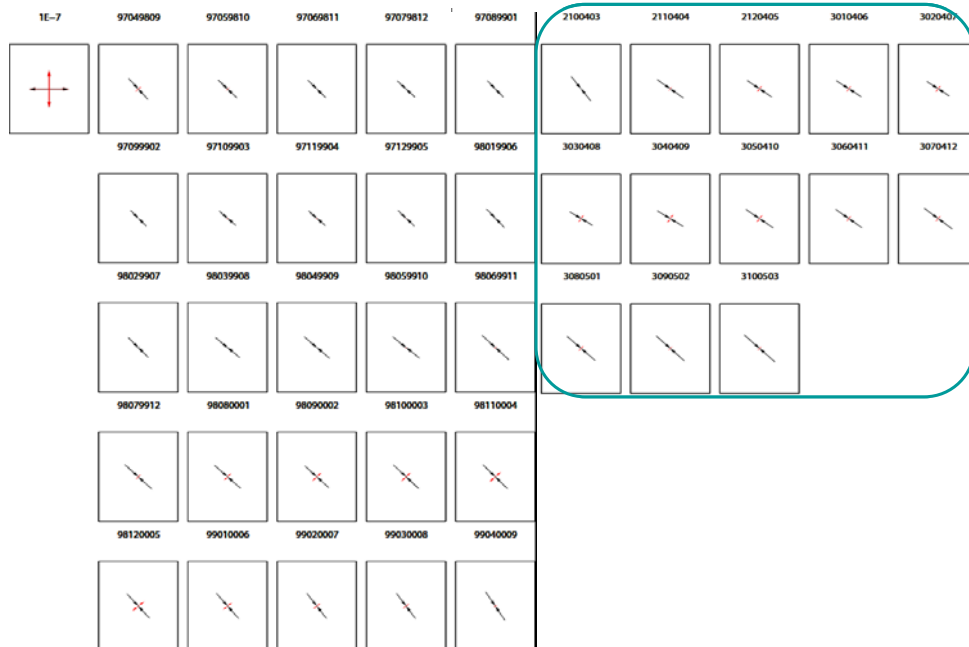


図2 リファレンス・グリッド（図1中の赤丸）におけるひずみ速度テンソルの時間変化。左側五列が地震発生前のひずみ速度テンソルを示しており、左から右方向にタイムウィンドウが1ヶ月ずつずれていく。右側五列の緑枠で囲まれた部分が地震発生後のひずみ速度テンソルを示している。



図3 震源断層近傍のグリッド（図1中の緑丸）におけるひずみ速度テンソルの時間変化。その他は図2と同じ。



図4 震源断層近傍のグリッド（図1中の濃青丸）におけるひずみ速度テンソルの時間変化。その他は図2と同じ。

地震発生後のひずみ速度テンソルを、地震発生前のそれと比較する。震源断層付近のグリッドについては、地震前に北東—南西または北西—南東方向に示されていた主収縮軸が、回転する時期に違いが見られるものの、地震後には東西収縮よりに変化している（図4）。地震発生前における局所的なひずみ速度テンソルの主値・主軸方向の小さい変化が見られたことも成果の一つであるが、地震発生後の明瞭なひずみ速度テンソルの回転が特筆すべき一つのポイントといえる。

(d) 結論と今後の課題

本研究では、国土地理院によるGEONETのデータを利用して、地震発生に関連するひずみ速度変化を示唆する結果を得た。地震発生前のひずみ速度場および応力場をモニターすることが本業務の目的であるが、地震後のひずみ速度場と比較することによって、地震前に局所的なひずみ蓄積があったことが示唆されたことは、ひずみ蓄積過程を解明する上で大きな成果といえる。この局所的なひずみ蓄積が、地震発生に対してどのような意味を持ち得たかを明らかにすることは重要な課題であり、今後、本手法とKawakata et al. (2006)³⁾による応力場モニター手法とを併用することにより、地震発生準備過程における応力とひずみの関係を推定することにより、この課題に取り組んでいく。

(e) 文献

- 1) Nishiwaki, S., and Sagiya, T.: Detailed Crustal Strain Distribution Around Hypocentral Regions of Large Earthquakes and Its Temporal Change, Eos Trans. AGU, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G11A-1181, 2005.
- 2) Shen, Z., Jackson, D .D., and Ge, B. X.: Crustal Deformation Across and Beyond the Los Angeles Basin from Geodetic Measurements, J. Geophys. Res. Vol. 101, pp. 27,951-27,980, 1996.
- 3) Kawakata, H., Ogasawara, H, Sekiguchi, S., Uyama, S., and Mino, K.: Stress change prior to the major events in the 1989 earthquake swarm off the eastern Izu Peninsula, Japan, Earth, Planets and Space, Vol. 58, pp. 305-314, 2006.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定
なし