

11 - 5 近畿の地殻活動

Crustal movements in the Kinki District

京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに

近畿北部、特に丹波山地では2003年の初めころから微小地震活動が低下した。ほぼ同じころ京都大学の天ヶ瀬観測室をはじめとする周辺の歪計にも異常な変化が見られた。変化そのものは大きくはないが、1995年兵庫県南部地震の前のそれらと似ていることから、気象庁、国土地理院、防災科学技術研究所、産業技術研究所などにクロスチェックを依頼した。

地震活動については95年の兵庫県南部地震直後に活発化した丹波山地の微小地震活動が時間と共に減少する中での出来事であること¹⁾、GPSデータの解析結果では変化があったかどうかを含め変化した時期は特定できない²⁾との評価を得た。また、産業技術総合研究所³⁾では降雨の影響の可能性も指摘された。

95年兵庫県南部地震のときは、地震が発生した後に、その前のデータを詳細に検討した結果、地震前に異常があったことを見出したが、大地震が発生しないときに、同じ程度の変化が現れたとしても、それを異常と判断するのは難しい。わずかな異常の検出に向けて我々は高精度で客観的なデータの評価方法の確立とそれに対する普遍的な解釈に関する研究を進めてきた。以下では地震活動やGPSデータに関する新しい評価法と地殻変動データの新しい解釈について述べると共に、大都市大震災軽減化プロジェクトなどで得られた地下深部構造に基づいた地殻活動のモデリングを行う。(梅田康弘)

2. 地震活動

大阪府北部から京都府中部、琵琶湖西岸にかけての丹波山地は微小地震活動が定常的に活発な地域である。丹波山地における微小地震活動が、2003年1月末ごろを境に低下していることは、これまで本会報などでも報告している(京都大学防災研究所地震予知研究センター^{4) 5) 6) 7)}、片尾⁸⁾)。

第1図は、京都大学防災研究所地震予知研究センター阿武山系観測網による1999年1月～2006年11月の近畿地方北部の微小地震の積算地震発生数である。第1図上の北東-南西にのびた矩形範囲、すなわち丹波山地から琵琶湖西岸にかけての領域内の30km以浅の地震を用いた。図の下部には月別発生回数のヒストグラムも合わせて示してある。兵庫県南部地震直後から高い発生レートを維持してきた丹波山地の微小地震活動は、2003年1月末頃突然低下し、地震発生数がそれまでの約70%に減少し、その後その低い発生レートを維持し現在に至っている。2つ示されている積算曲線のうち、上側のものは元のカタログそのままのもの、下側のものはReasenber⁹⁾の方法で除群処理した結果に基づくものである。元データにおけるステップ状の増加(M4～5の中規模地震の余震)は除群により取り除かれ、2003年初めの活動低下がより明瞭となっている。

第2図は近畿地方各地において2003年1月末の前後2年間の期間を比較し、地震活動度の変化を示すZ値¹⁰⁾をマッピングしたものである。気象庁による一元化震源データのうちMが0.5以上のものを用いた。赤色が濃いほど、地震活動の低下が顕著であることを示す。2003年初めを契機

とする地震活動の低下を示しているのは、丹波山地中央部（亀岡市付近）、同じく北部（旧京北町付近）、三峠断層系沿い、花折断層・琵琶湖西岸地域、三方断層帯である。丹波山地の中でも西部一帯では、顕著な活動低下は見られないことなどから、静穏化現象にはかなり地域的なバラつきが見られるようである。一方、丹波山地ほど顕著ではないが、和歌山市周辺域の定常活動など丹波山地外の定常活動域でも、2000年初めにやや地震活動が低下しているように見える。これは、丹波同様の活動低下が広域に現れているものかもしれないが、2003年3月の大阪管区気象台におけるトリガー変更の影響を受けた可能性も有り、慎重な議論が必要である。兵庫県北部の赤い領域は、2001年の群発地震によるもので無視できる。兵庫県南部地震震源域は活動低下域となっているが、余震の減衰と分離することは容易ではない。（片尾 浩）

3. GPS

GEONETの各点の座標日値（F2値）から2点間の歪変化時系列を作りそのグラフの勾配の変化点の有無とその時期を精確に確定する手法を開発した。これを近畿地方に適用し、近畿地方中北部に歪速度の不連続変化を示す地域を見出した。近畿全域の142点から障害点などを除外し、測線長40km以下を目安として、2点の全組み合わせ約550ペアにおいてその距離変化を測線長で除し歪の日値を算出する。最近接点以外の組み合わせも含むのが特徴である。

この時系列データの処理法は前報¹¹⁾で概説したが、本稿では第3図に改めて示した。まず最初に3週間を単位長として中央値（Median）を期間中央の日のデータとし、その期間を1日ずつずらして新しい時系列を得る。ここには原データの有意なステップは原則として保存されるので、2004年9月5日の紀伊半島南東沖地震に伴うステップと各点のアンテナの異機種への変更に伴うステップを補正する。補正量は前後が滑らかにつながるように極近傍のみの直線近似をしている。年周変化を補正するため、365日の移動平均をかけた滑らかなデータを差し引いてドリフトを消去してから1月1日から12月31日までの期間で各年のデータをスタッキングして平均する方法で「平均的年周変化」を求め、この値をステップ補正後のデータから差し引く。年変化として特定の関数形などの仮定はおかない。このように得られた時系列を直線1～3本の回帰直線モデルに当てはめた。回帰計算の分割点とその両側における回帰直線の交点とがほぼ一致するように逐次近似し、満足すべき交点を得られた測線のみを抽出した。

2001年から2004年の間に直線の折れ曲がり系が系統的に認められる地域として、丹波山地を含む新潟神戸歪集中帯に当たる地域（第4図）で、2002年後半に北東－南西方向に縮み、北西－南東方向に伸びの歪場で表現できるひずみ速度の変化が起きていることが明らかになった。この歪速度の変化は30km程度の長い測線では検知されているが、隣接点間を結ぶような短い測線では認められない。また、この時期に近畿の他の地域では歪速度変化が生じておらず、歪速度変化はこの場所に限られていることも大きな特徴である。この地域内12本の測線の2007年はじめまでの時系列グラフを第5図に示す。回帰直線は2005年末までのデータによったがその後も最近までほとんど同一勾配で変化していることを示している。この地域の、2002年後半期を境とした前後の歪主軸の比較を第6図に示す。合わせて丹波山地で起きる地震の発震機構のP軸方向の頻度分布グラフも示した。2002年秋に東南東－西北西方向の縮み速度がそれまでの $14 \times 10^{-9}/\text{year}$ から $7 \times 10^{-9}/\text{year}$ に半減し、その直後に、前章で述べられたように同じ方向の応力で発生する丹波山地の地震活動に静穏化が始まったことになる。

なお、本稿の解析には国土地理院のGEONETデータを使用した。国土地理院ならびに関係の皆様

に謝意を表します。

(大谷文夫)

4. 地殻変動

第7図に示す観測点において、第8図に示したように、2003年初頭から歪レートの顕著な変化が観測され、現在も継続中である。歪レートの急激な変化が見られたと同時期に、逢坂山観測所の水位記録に、急激な上昇が見られた。逢坂山で観測される地下水位は、主として降雨量の多寡によって支配されるが、2003年初頭に観測された水位上昇は、水位上昇を招くに十分な降水量が記録された時期よりも100日以上先行して生じている。従ってこの水位上昇は、同時期に生じた歪レートの急激な変化によって生じたものと考えられる。

歪レートの急激な変化は、過去30年の間に2回観測されている(第9図)。1度は上述の例であり、いま1度は1990年から1995年にかけて生じた例である(第10図)。1990～1995年の例では、屯鶴峯観測所(第7図)において最も顕著に歪レートの変化(南北圧縮の増加)が見られたが、他の観測所においても南北方向の圧縮の増加が認められた。このような歪レートの変化を説明する一つのモデルとして、紀伊半島東部におけるスロースリップの発生を考えた(第11図)。このモデルでは、屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬の3観測所の記録から求めた主圧縮軸の方向が良く説明できる。また、屯鶴峯・阿武山の2観測所については、主伸長軸の方向もよく説明できた。(森井 互)

5. まとめ

Hi-netによる地震波の深部速度構造や大都市大震災軽減化プロジェクトによる人工地震の地震波深部反射面の検出などから近畿北部、特に丹波山地直下の深さ60kmより深い所に、フィリピン海プレートの延長部と推定されるスラブがほぼ水平に横たわっていることが判明した。

一方、片尾¹²⁾によって発見された丹波山地直下の25～30km付近の地震波の反射面は、このスラブからデハイドレイトされた流体が、この深さで滞留した結果、流体層としての反射面を見ているものと思われる。丹波山地の微小地震活動の活発化と静穏化は、定性的には第12図のような説明が可能である。

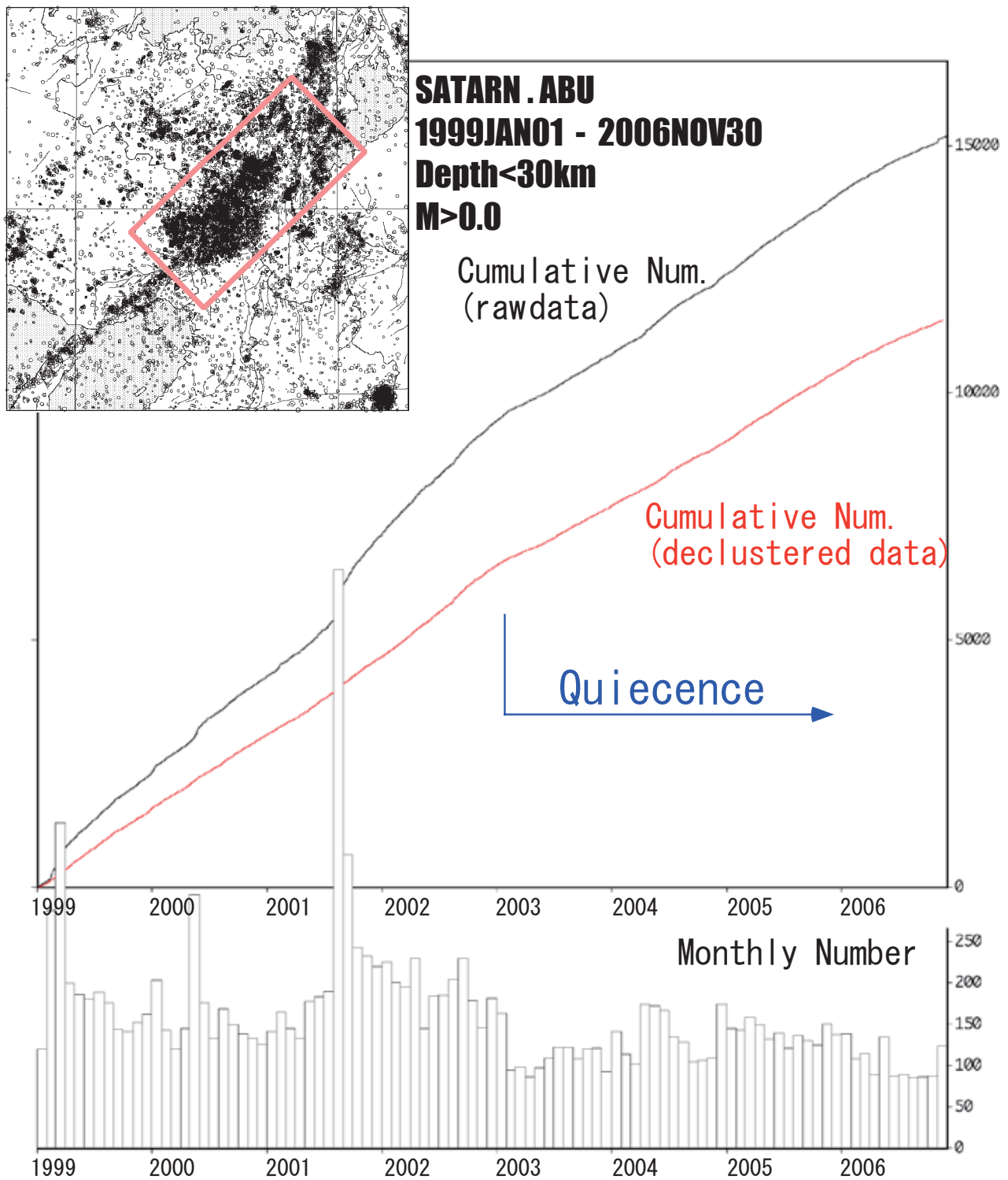
スラブから供給される流体は深さ30km付近まで上昇すると、温度圧力の降下により溶解物質が析出し、流路(クラック)の目詰まりを起こす。この層が地震波の反射面として検出される。目詰まりを起こしている間は、流体は地震発層(深さ5～20km)には上昇できず、地震活動は静穏化する。一方、わずかな広域応力変化があると、目詰まりクラックが破れ、地震発生層での間隙流体圧が上昇し、地震活動は活発化する(第12図)。

第13図には大大特の観測線(上)、反射面(中)と、Matsubara et al.¹³⁾による V_p/V_s (下)を示した。図中、楕円で囲った部分は強い反射部分が見られ、かつ V_p/V_s が大きい。一方、大谷¹¹⁾が示した2002年後半からのGPSデータによる地殻の変形はこの部分でのみ大きく表れており、この領域が変形しやすいことを示している。このことは2002年後半からのプレート運動に起因するわずかなひずみ変化が、丹波山地におけるひずみ変化や地震活動の静穏化を引き起こしたと考えられる。(梅田康弘)

参考文献

参考文献

- 1) 気象庁・大阪管区气象台, 近畿・中国・四国地方その周辺の地震活動 (2003 年 11 月～2004 年 4 月), 連絡会報, 72, 500-509, 2004.
- 2) 国土地理院, 近畿地方の地殻変動, 連絡会報, 75, 472 - 476, 2006 .
- 3) 産業技術総合研究所, 近畿地域の地下水位・歪観測結果 (2003 年 11 月～2004 年 4 月), 連絡会報, 72, 538 - 544, 2004.
- 4) 京都大学防災研究所地震予知研究センター, 丹波山地の地震活動活発化～その後～, 連絡会報, 71, 639-642, 2004.
- 5) 京都大学防災研究所地震予知研究センター, 丹波山地の微小地震活動低下と 2004 年 4 月 16 日亀岡付近 M3.7 の地震について, 連絡会報, 72, 515-521, 2004.
- 6) 京都大学防災研究所地震予知研究センター, 近畿地方の最近の地震活動～丹波山地の微小地震活動低下～, 連絡会報, 73, 557-560, 2005.
- 7) 京都大学防災研究所地震予知研究センター, 丹波山地における最近の微小地震活動の静穏化 (4), 連絡会報, 77, 383-387, 2007.
- 8) 片尾 浩, 丹波山地における最近の微小地震活動の静穏化, 京都大学防災研究所年報, 48, B, 167-174, 2005.
- 9) Reasenber, P., Second-Order moment of Central California seismicity, 1969-1982, J. Geophys. Res., 90, B7, 5479-5495, 1985.
- 10) Habermann, R. E., Teleseismic detection in the Aleutian Island Arc., J. Geophys. Res., 88, 5056-5064, 1983.
- 11) 京都大学防災研究所地震予知研究センター (大谷文夫): 近畿北部の地殻活動 ～GPS データでみる近畿北部のひずみ速度変化～, 連絡会報 76, 532-534, 2006.
- 12) 京都大学防災研究所地震予知研究センター (片尾 浩), 近畿地方の微小地震活動域直下に存在する顕著な地殻内反射面, 連絡会報, 50, 512-515, 1993.
- 13) Matsubara, M., N. Hirata, H. Sato, and S. Sakai, Lower crustal fluid distribution in the northeastern Japan arc revealed by high resolution 3D seismic tomography, Tectonophysics, 388, 33-45, 2004.

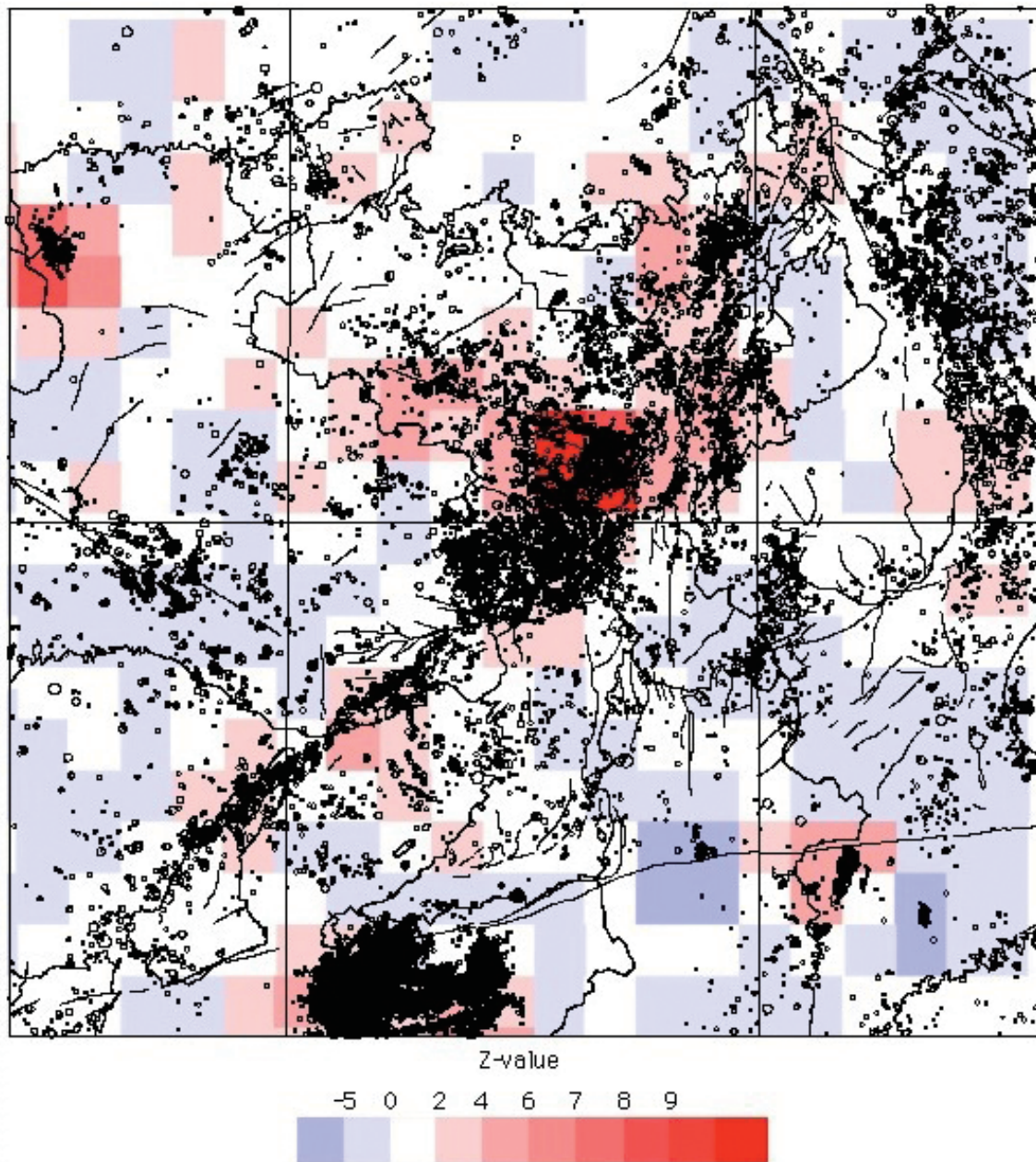


第1図 1999年1月～2006年11月の近畿地方北部の微小地震の震央分布（上），上図矩形範囲内における積算地震発生数（中）および月別地震数（下）．積算発生数グラフにおいて，上側は元のカatalogによるもの，下側はデクラスタしたカatalogに基づくもの．京都大学防災研究所地震予知研究センター阿武山系観測網データ．

Fig. 1 (Upper) Epicenter distribution in the Northern Kinki District. (Middle) Cumulative number of microearthquakes in the Tamba Plateau (1999JAN-2006NOV). The upper line is raw data. The lower line is based on the declustered catalog. (Lower) Monthly number of microearthquakes.

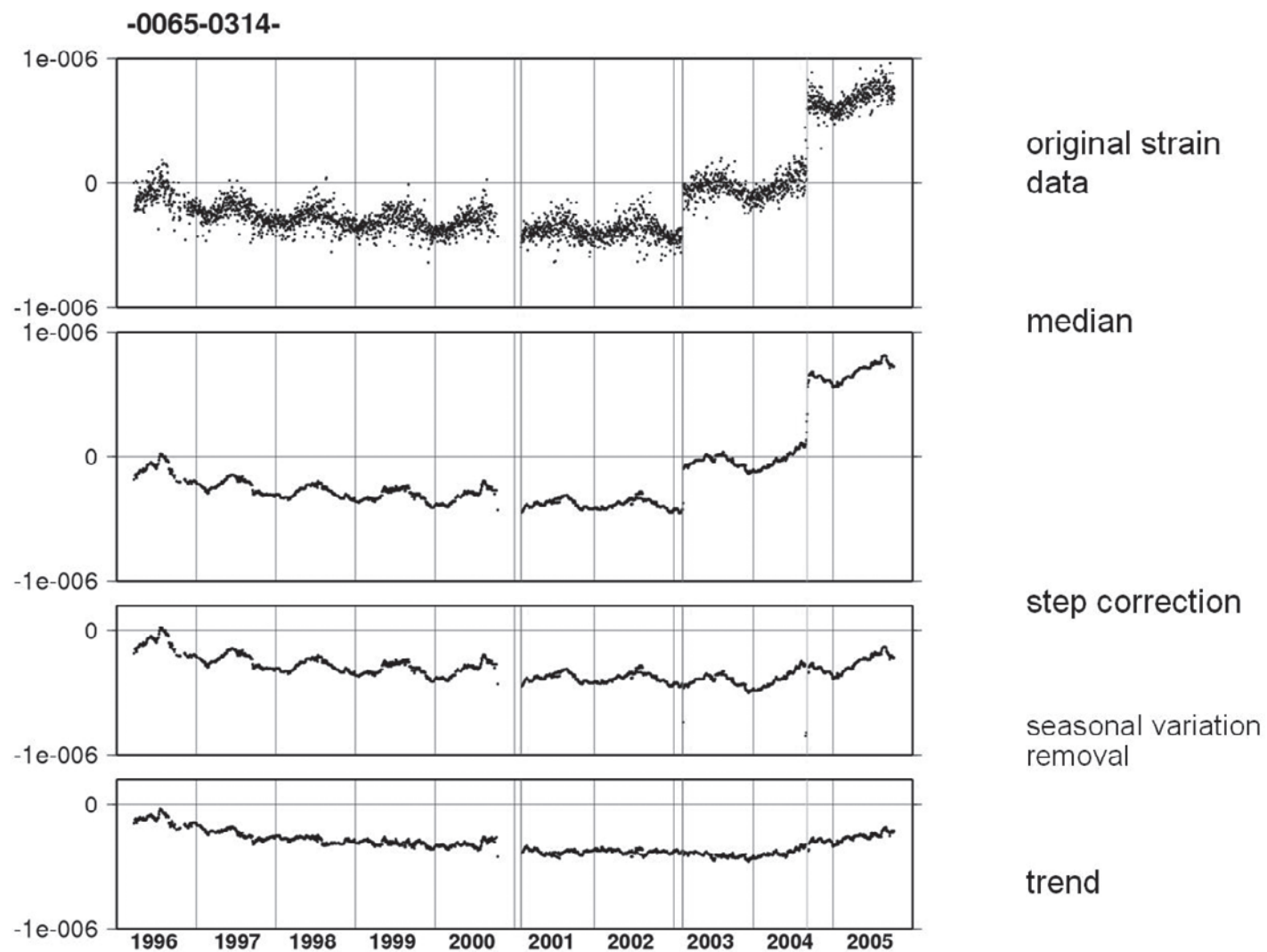
declustered JMA Catalog

2001JAN01-2003JAN31 / 2003FEB01-2005JAN31



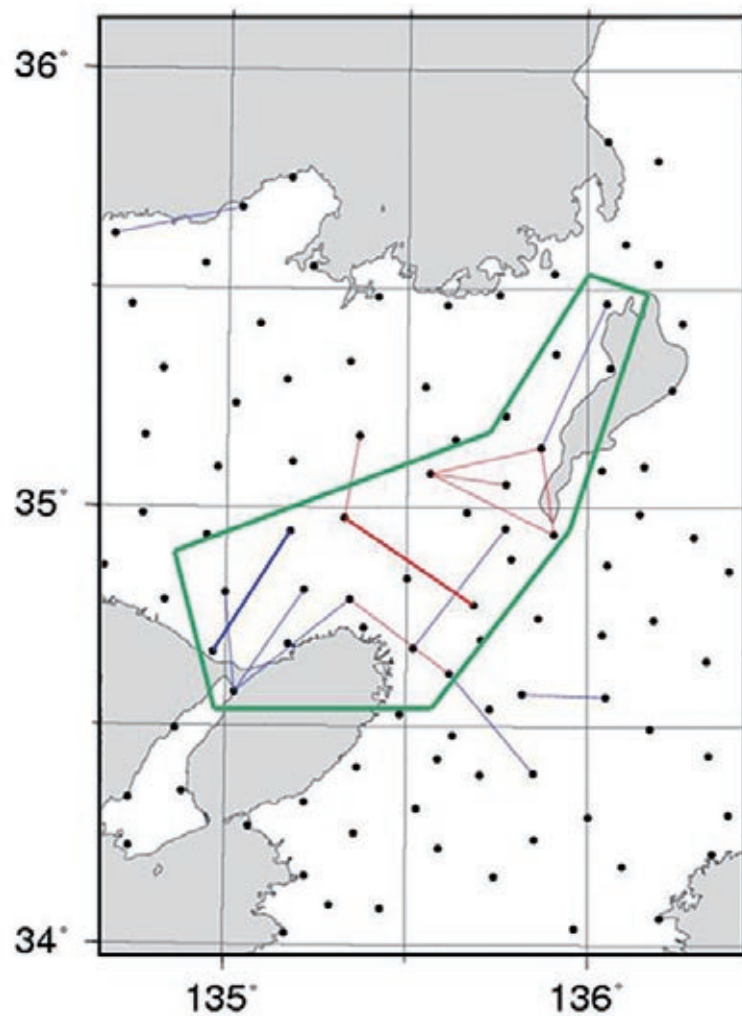
第2図 近畿地方各地域における2003年1月末前後2年間のZ値分布。30km以浅、M0.5以上の気象庁データをデクラスタしたカタログによる。

Fig. 2 Z-value distribution of the Kinki district based on Declustered JMA data comparing the periods of 2 years before and after January 2003.



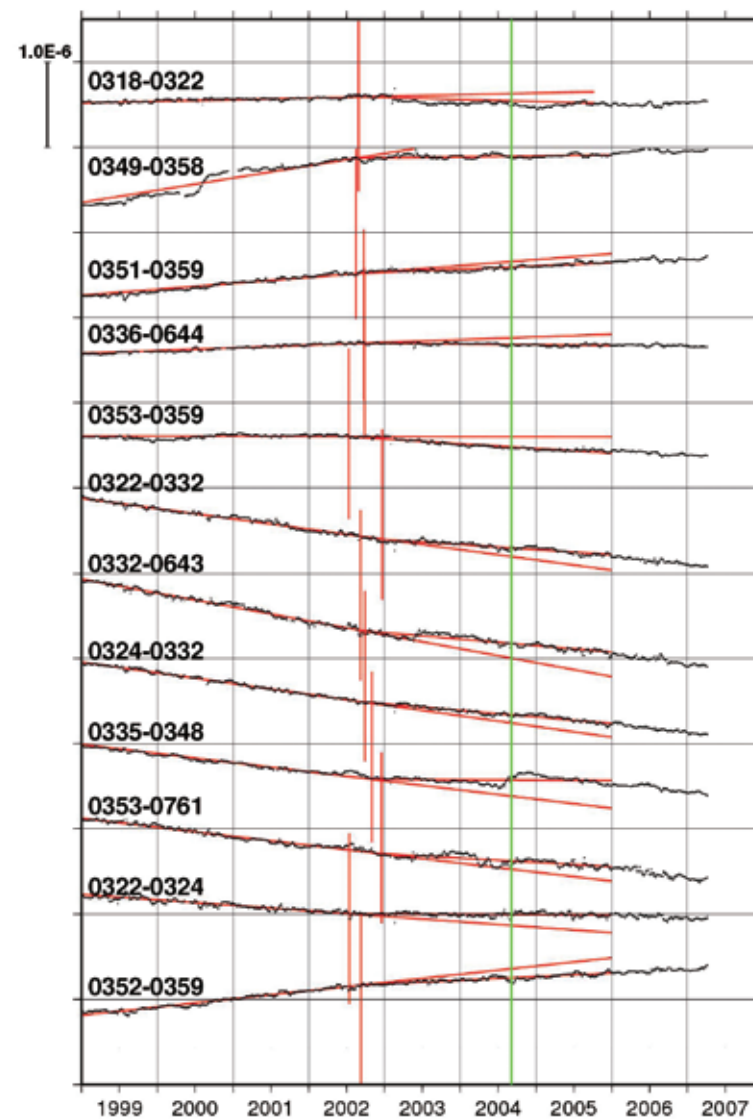
第3図 GPS歪時系列データの処理法. 上段より, 原データ, 21 日間で中央値をとったもの, ステップ補正後, 季節変化を除去したもの.

Fig. 3 Smoothing process of daily strain data from the GPS observation in GEONET operated by GSI.



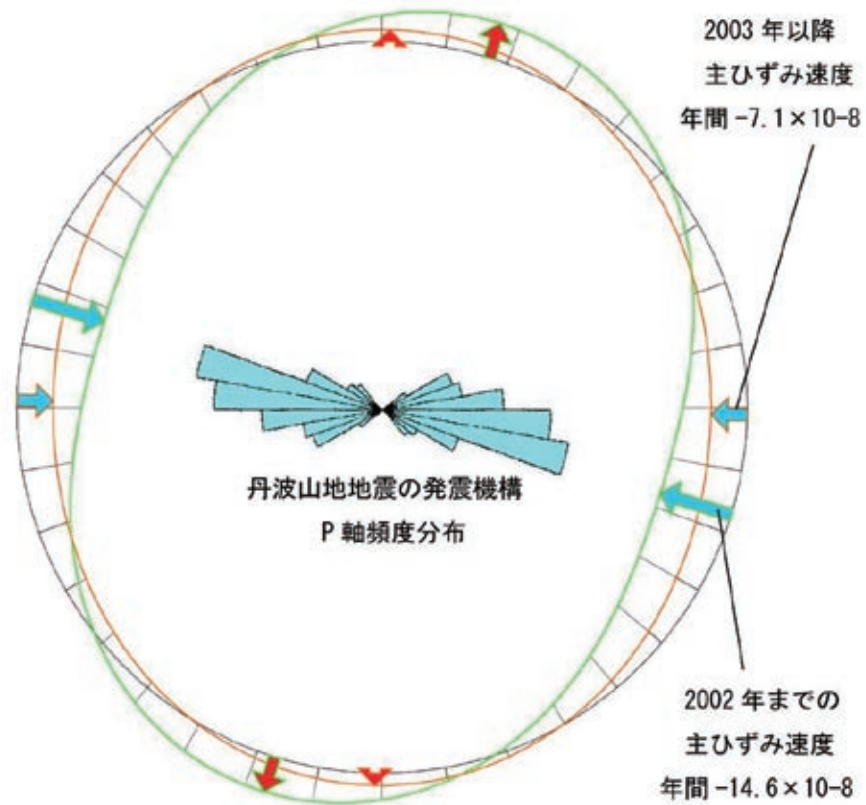
第4図 2002 年秋に歪速度変化が認められた測線。赤が歪速度増加, 青が同減少の測線。緑枠内では北西-南東方向に縮み, 直交方向では伸びと系統的な変化が見られる。

Fig. 4 Area where the strain rate changes are recognized in the later half of 2002 (in the green frame). Red line indicates increasing strain rate and blue line indicates decreasing strain rate.



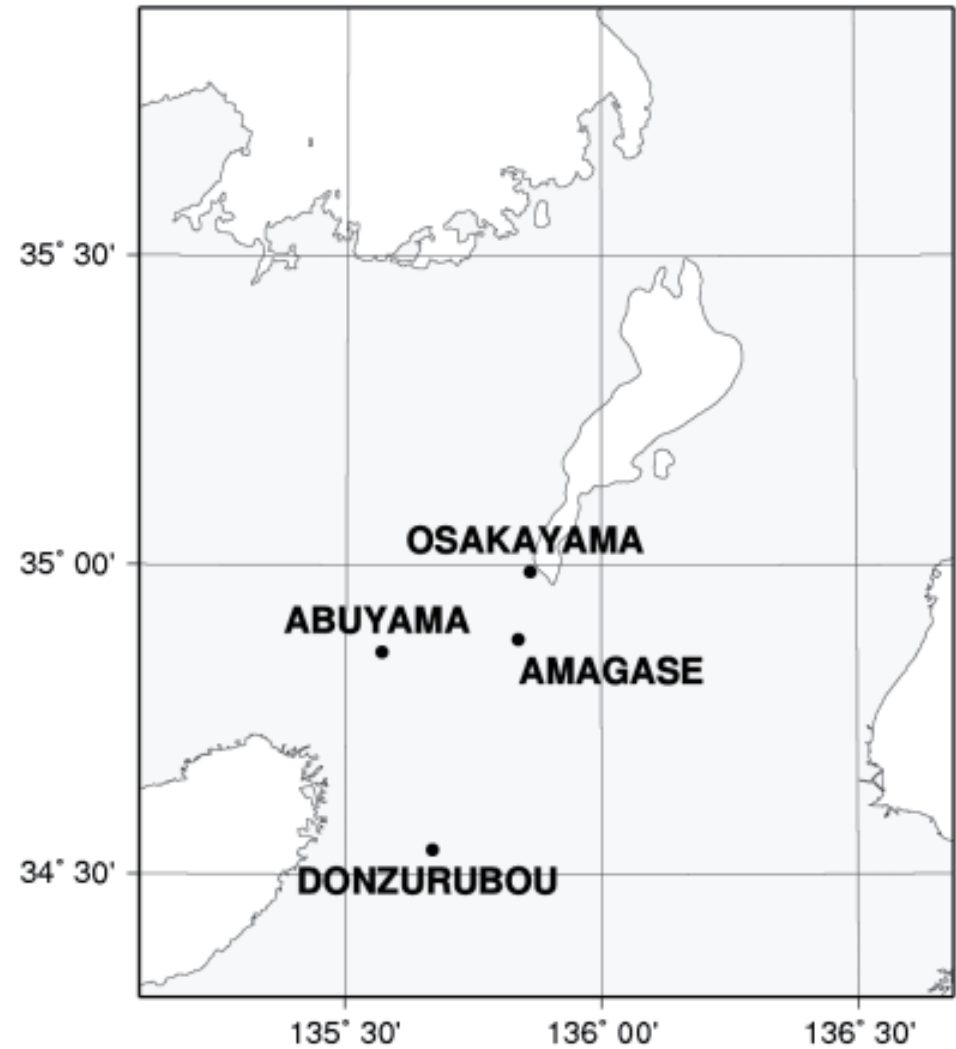
第5図 第4図緑枠内の12 測線の歪時系列グラフ。上段より測線方向順に北より時計回りで表示。

Fig. 5 Time series of strain in the baselines in the northern Kinki district (Fig. 4).



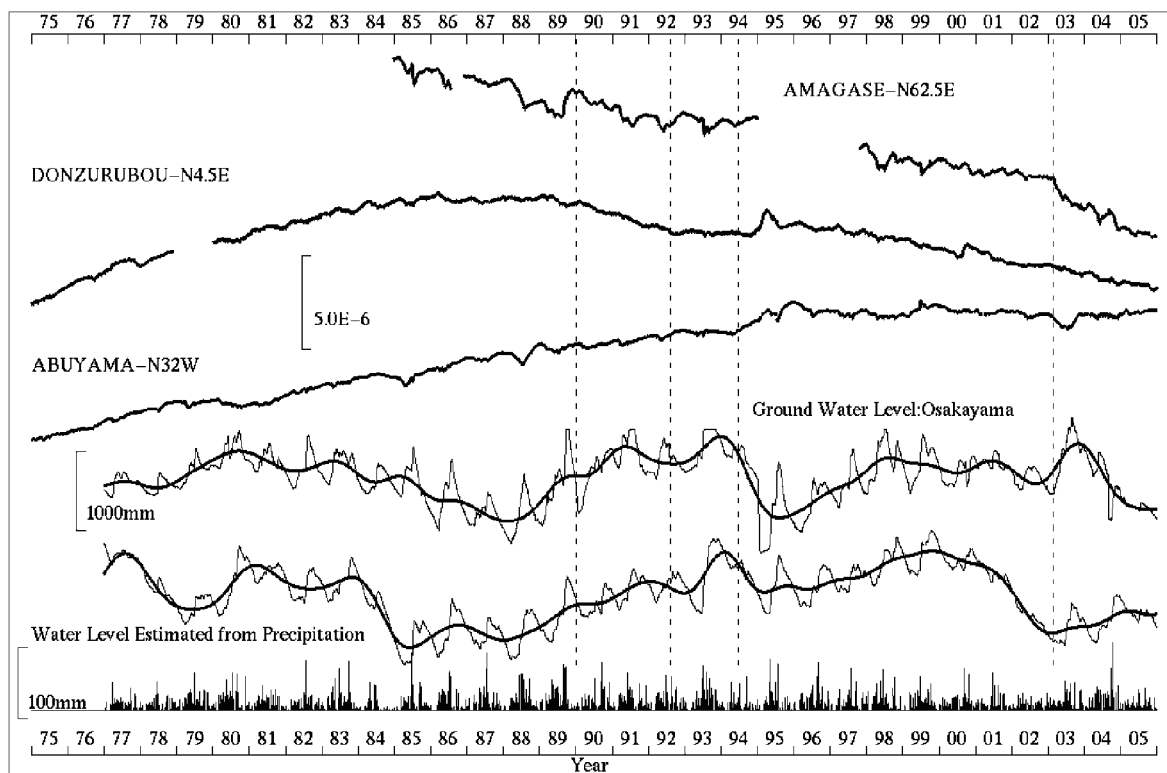
第 6 図 第 4 図緑枠内地域の 2002 年秋を挟む前後の歪主軸の変化と、丹波山地で発生する地震の P 軸方向の頻度分布.

Fig.6 Principal axes of the strain rate before and after the later half of 2002 in the northern Kinki district. Center figure shows the frequency distribution of the direction of the P axis in the seismic mechanism of the earthquakes occurred in the Tamba mountains.



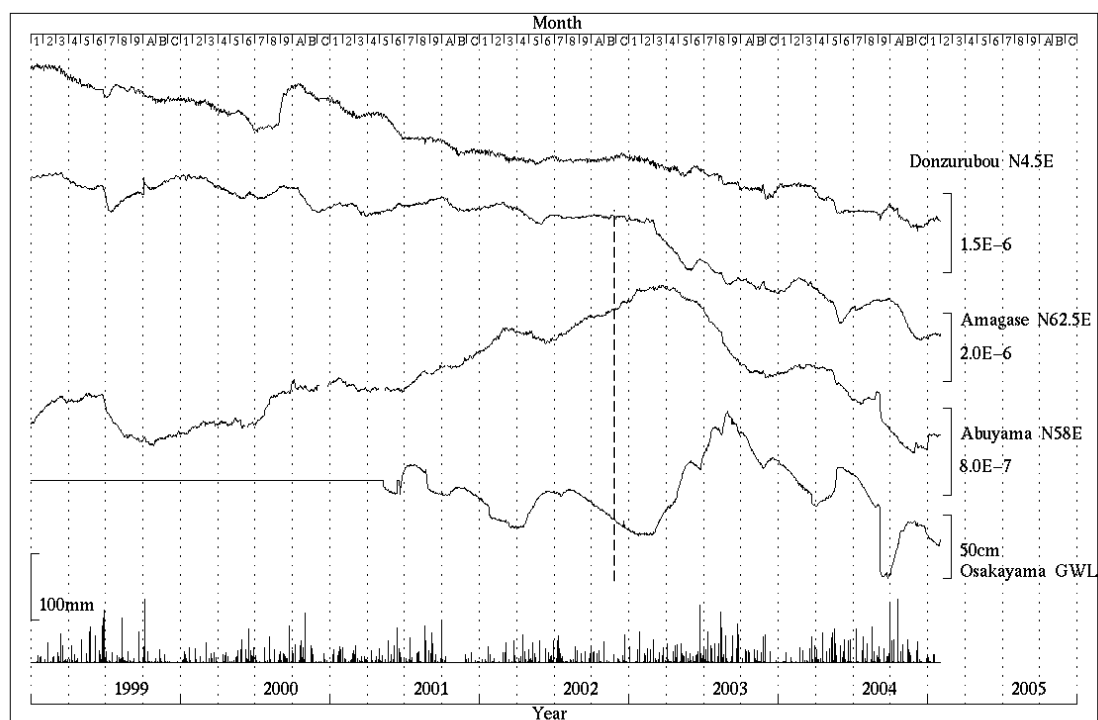
第 7 図 地殻変動観測点の配置.

Fig.7 The distribution of the crustal movement observatories.



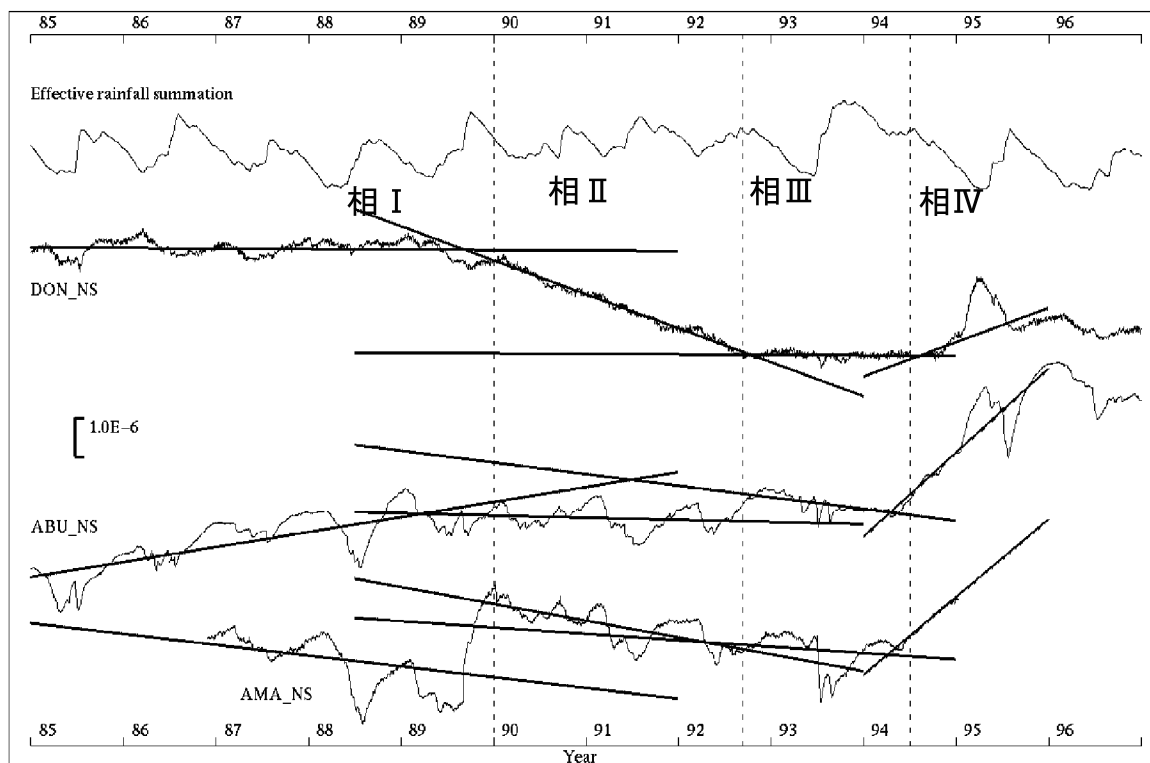
第8図 過去30年間の地殻変動記録

Fig.8 The crustal movement records of last 30 years.



第9図 2003年初頭から始まった、異常地殻変動.

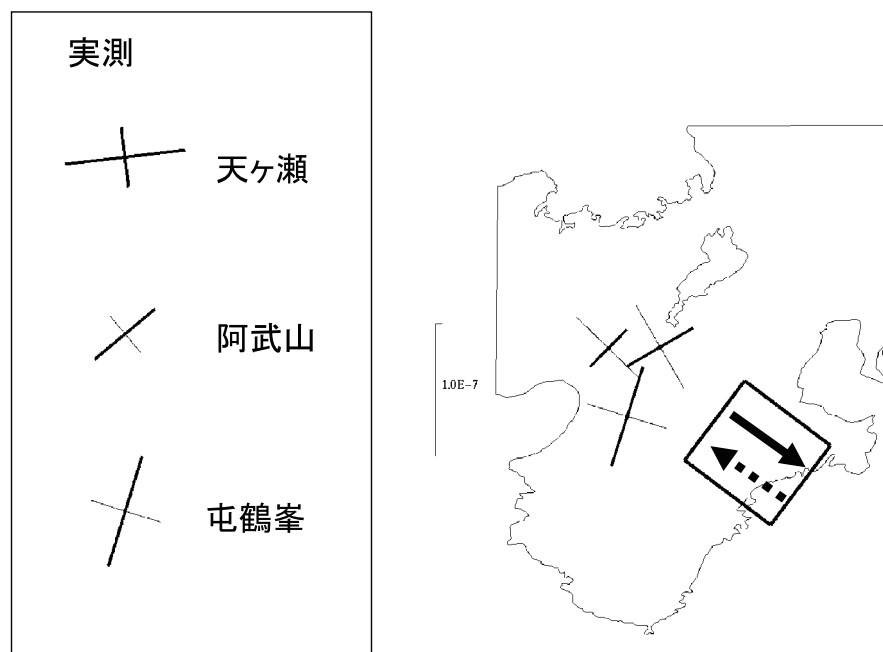
Fig.9 Anomalous crustal movements arising from the beginning of 2003.



第 10 図 1990 年から 1995 年の間に観測された，異常地殻変動。

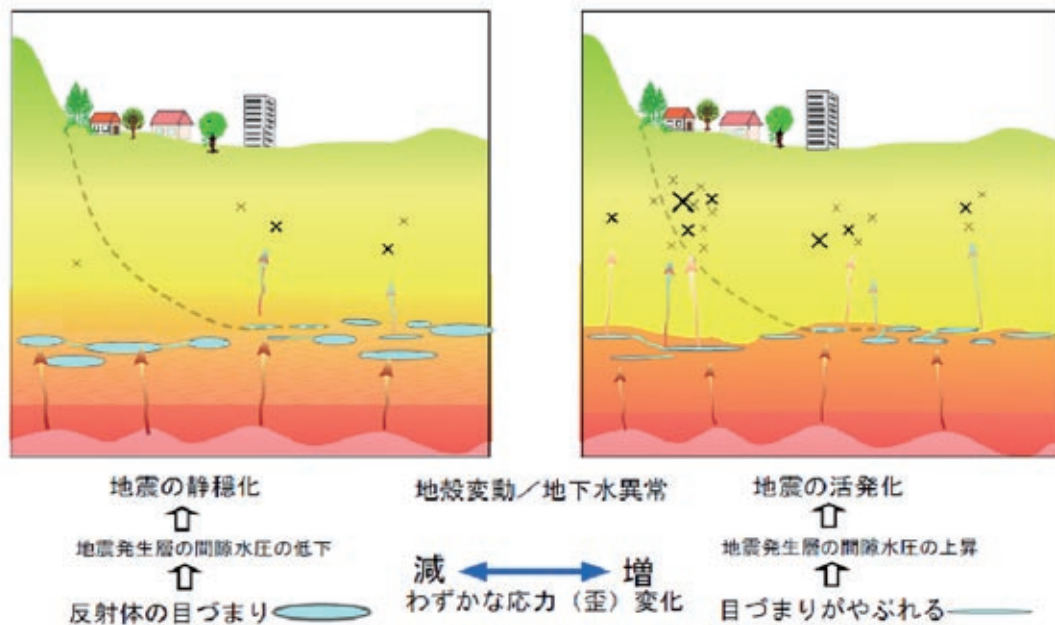
Fig.10 Anomalous crustal movements observed in the interval from 1990 to 1995.

相 II の歪変化のモデル



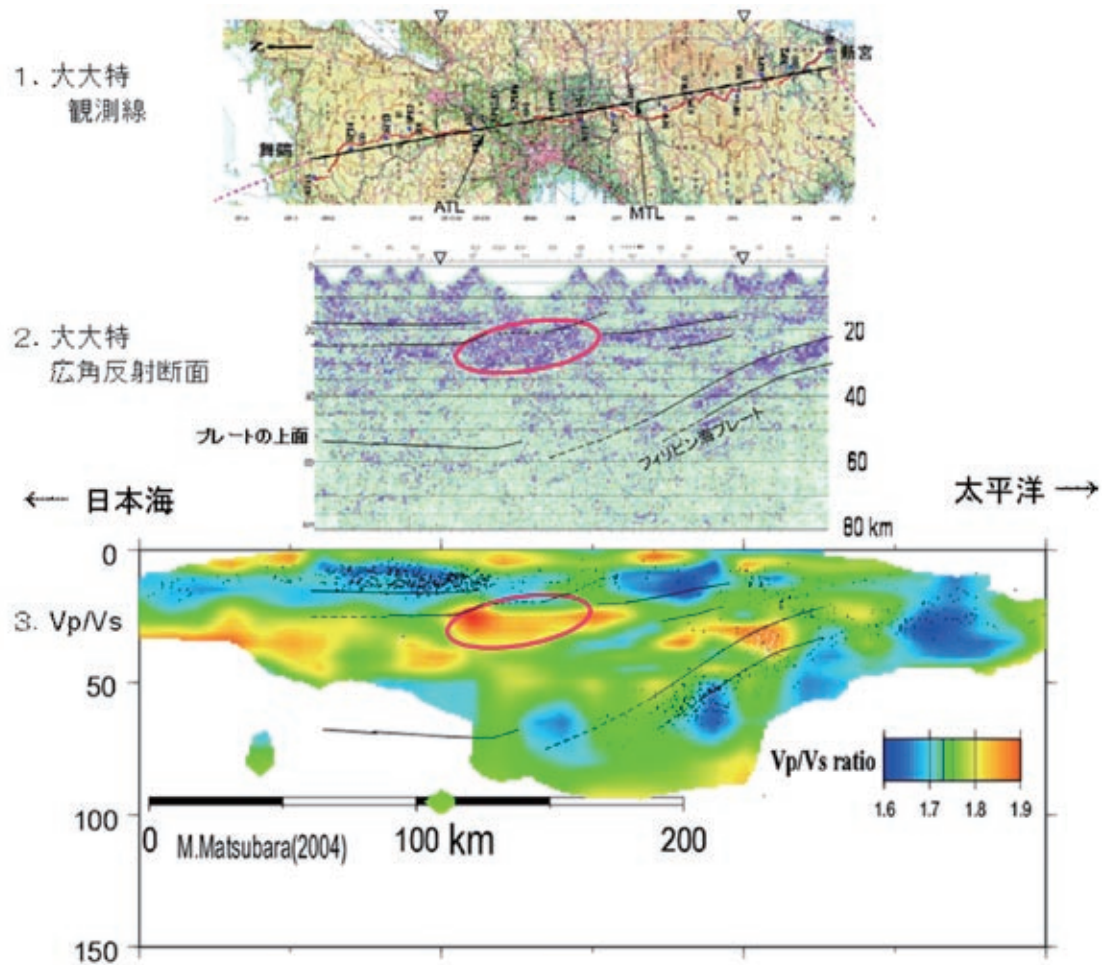
第 11 図 第 10 図に示した異常地殻変動を説明するモデル。

Fig.11 An model giving an account of anomalous crustal movements showing in the Fig.10.



第 12 図 丹波山地の地震の静穏化を示すモデル。

Fig.12 A model showing the quiescence of seismicity in the Tamba area.



第 13 図 大大特による構造調査測線 (上図), その広角反射法断面 (中図) および同じ測線での地震波トモグラフィ¹³⁾による Vp/Vs 構造 (下図) を示す。

Fig.13 Seismic survey line by the Special Project for Strong Motion Estimation in Urban Areas (so called DAIDAITOKU) (upper figure), a migrated reflection section along the line (middle figure) and a Vp/Vs structure along the same line from seismic tomography after Matsubara et al.¹³⁾ (lower figure).