

1995年兵庫県南部地震に先行した広域地殻歪について

森井 亙・尾上謙介・中村佳重郎・大谷文夫・細 善信・和田安男

要 旨

京都大学防災研究所附属地震予知研究センターの地殻変動観測所のうち近畿地方に分布する3観測所（屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬）で、1989年終盤から1995年初頭にかけて顕著な地殻歪の変動が記録され、その後1995年兵庫県南部地震が発生した。上記3観測所の記録は、何れも1989年終盤から約3年の間南北方向の圧縮が増大したことを示し、その後約2年の間は南北方向の圧縮の増大が沈静化したことを示している。さらに1994年半ばからは、逆に南北方向の伸長が急激に増大したことを示している。この様に圧縮と伸長が入れ替わる変動を震源断層のプレスリップで説明することは困難である。我々は、1989年終盤から始まった地殻歪の変動を紀伊半島下に潜り込むプレートと地殻下部の部分的な固着によって引き起こされた変動と考え、単純なモデル計算を行った結果、観測記録をよく説明できることが分かった。当該の地殻歪変動は、兵庫県南部地震の準備過程を捉えたものではなく、それとは独立に生じた現象であり、むしろ、この急激な地殻歪の変動が兵庫県南部地震を誘発したものであると考えられる。

キーワード：地殻歪，プレート運動，地震予知

1. はじめに

京都大学防災研究所附属地震予知研究センターでは、西日本を中心に多数の地点で地殻変動連続観測を行っている。それらの観測点の中で、近畿地方に設置された3点（屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬）の記録に、1989年終盤から1995年初頭にかけて、同じ原因によると考えられる異常変動が見られたので報告する。

2. 地殻歪の変化の特徴

近畿地方中部に設置された地震予知研究センターの地殻変動観測所の配置を図1に示す。1989年終盤から始まった地殻歪の異常変動が最も顕著に現れたの



Fig1. Distribution of observatories

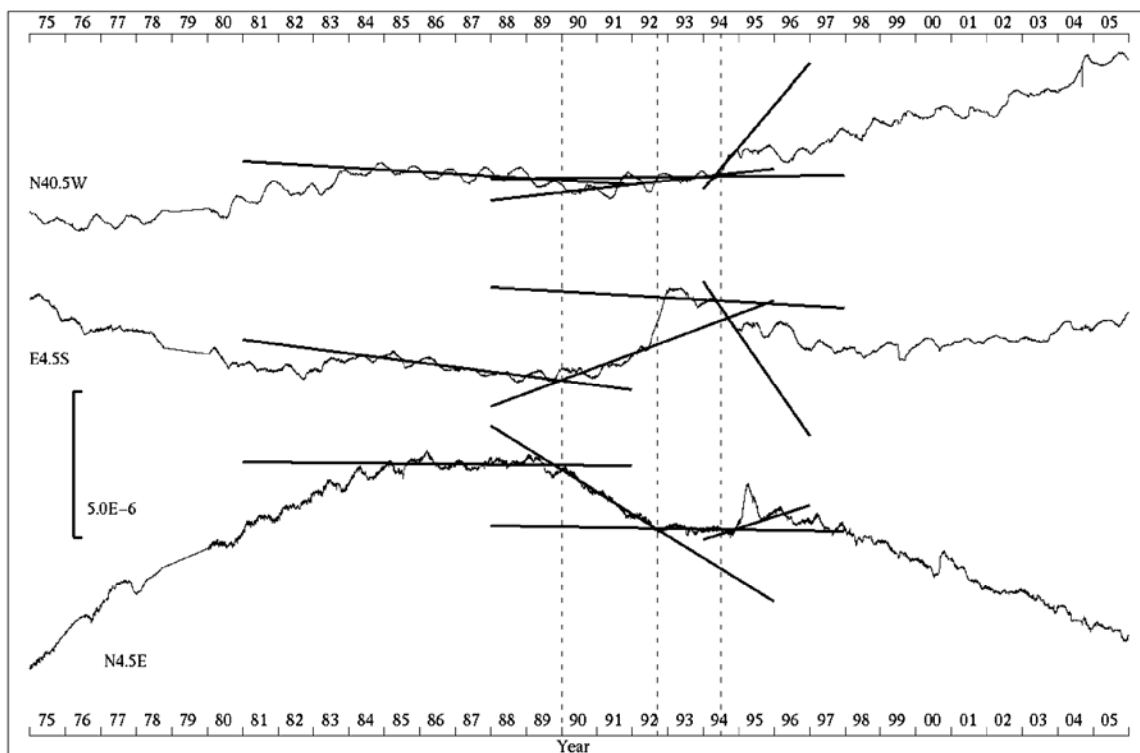


Fig.2 Extensometer records obtained at the Donzurubou observatory.

は、屯鶴峯観測所の記録である。図2に屯鶴峯観測所の記録を示す。図2に示したように、ほぼ南北の向きの成分 (N4.5E) において、歪の変動が最も明瞭に確認でき、その様相は時間を追って明瞭に変化している。N4.5Eの成分について言えば、1989年終盤から急激な縮みを示すようになり、その傾向は約3年間継続した。その後約2年間ほぼ一定の値を保ち、1994年半ば頃から急激な伸びに転じている。他の成分についても、N4.5E成分と同期して伸縮の傾向が変化を示している。屯鶴峯観測所の記録ほどには明瞭でないが、阿武山・天ヶ瀬の両観測所の記録にも同じ時期に歪の傾向の変化が見られた。屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬の3観測所の歪変化の様子を比較するために、夫々の観測所の歪記録を座標変換して、南北方向と東西方向の歪を求めて図に示した。図3は3観測所の南北方向の歪を、図4は東西方向の歪を夫々示している。図3と4を比べれば明らかなように、歪変動は主として南北方向に顕著に現れていることが分かる。屯鶴峯観測所の記録に見られたほど明瞭ではないが、1989年の終盤から南北方向の縮みが増大し、その傾向が約3年間継続する現象は阿武山・天ヶ瀬の

両観測所の記録にも共通している。また、1994年半ばから南北方向の伸長が顕著になる傾向も3観測所に共通のものであることが分かる。以上の様に、複数の観測点で同じ時期に歪の傾向が変化する現象が見られることから、当該の歪変化は近畿地方中部の広域な地殻歪場の変動を示しているものと考えられる。

屯鶴峯観測所の記録で指摘したように、歪レートは1989年終盤から1995年初頭までの間に何度か急激な変化を示しているが、レートが変化した後はしばらくの期間一定の傾きを維持している。以後の議論の便宜上、歪レートの違いに基いて、解析区間を4つの相に分割する。1989年終盤に南北方向の圧縮が増大する以前の期間を第1相、1989年終盤から1992年半ばまでの南北方向の圧縮増大が継続する期間を第2相、1992年半ばから1994年半ばまでの期間を第3相、1994年半ばから1995年初頭までの南北伸長が増大を続ける期間を第4相と呼ぶことにする。

図3、4に示したように、第1相から4相までの各相の内部においては、年周変化等による短周期の変動が重畳しているものの、歪レートが単一の直線で近

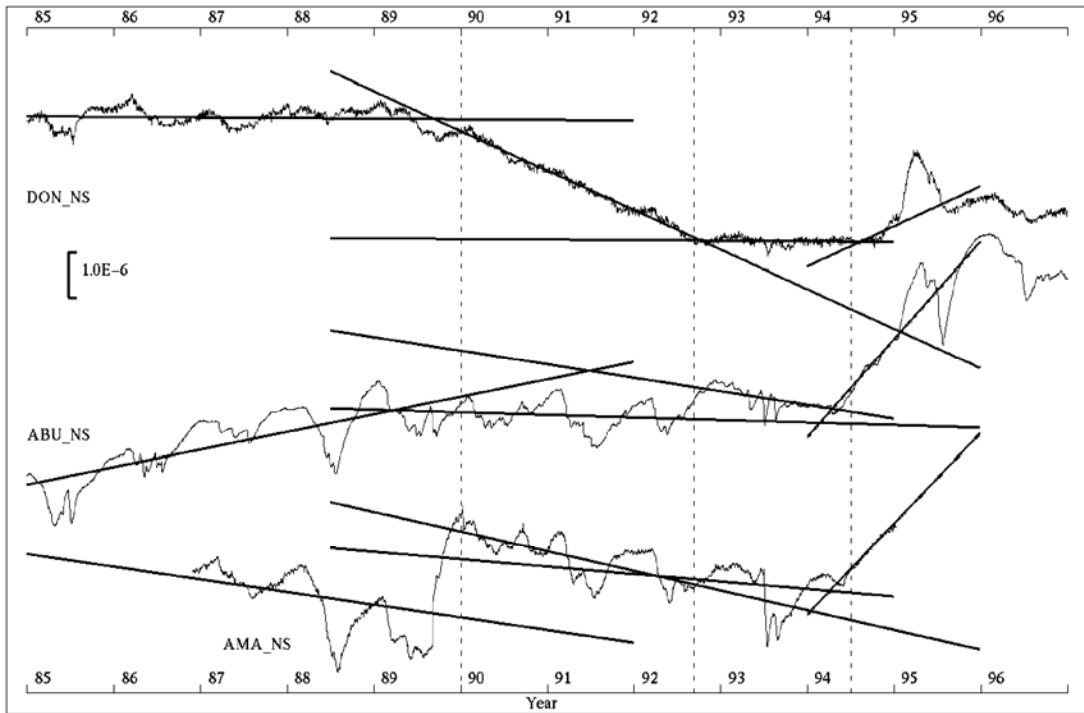


Fig.3 N-S components of strain records obtained at the Donzurubou, the Abuyama and the Amagase observatories.

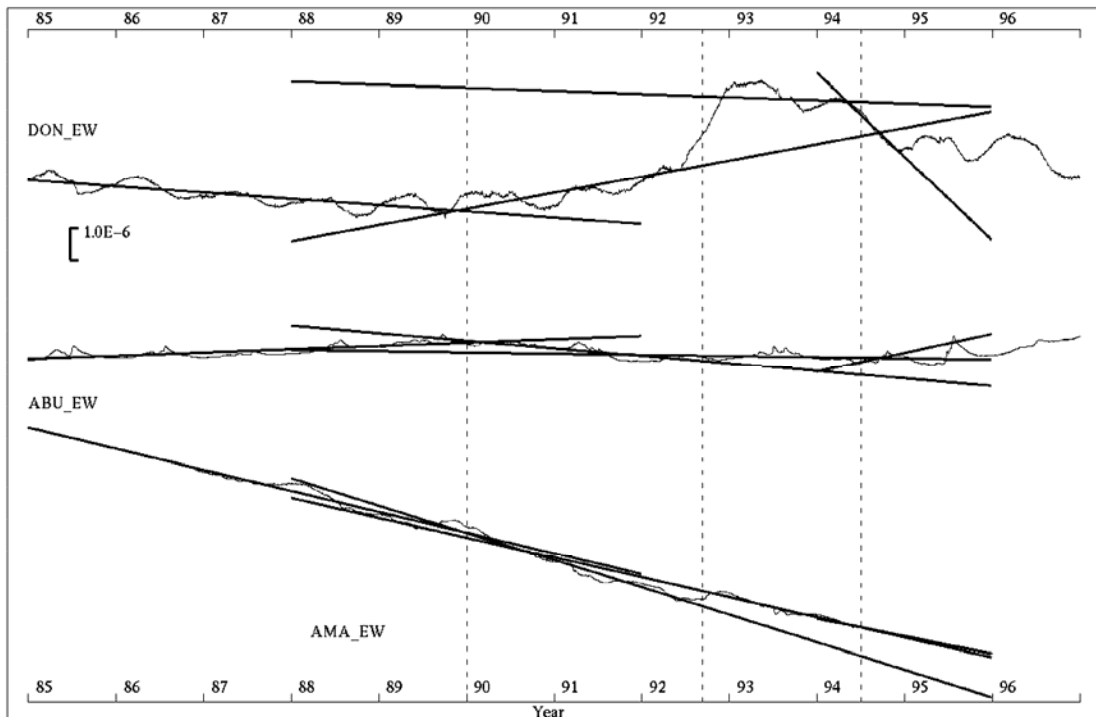


Fig.4 E-W components of strain records obtained at the Donzurubou, the Abuyama and the Amagase observatories.

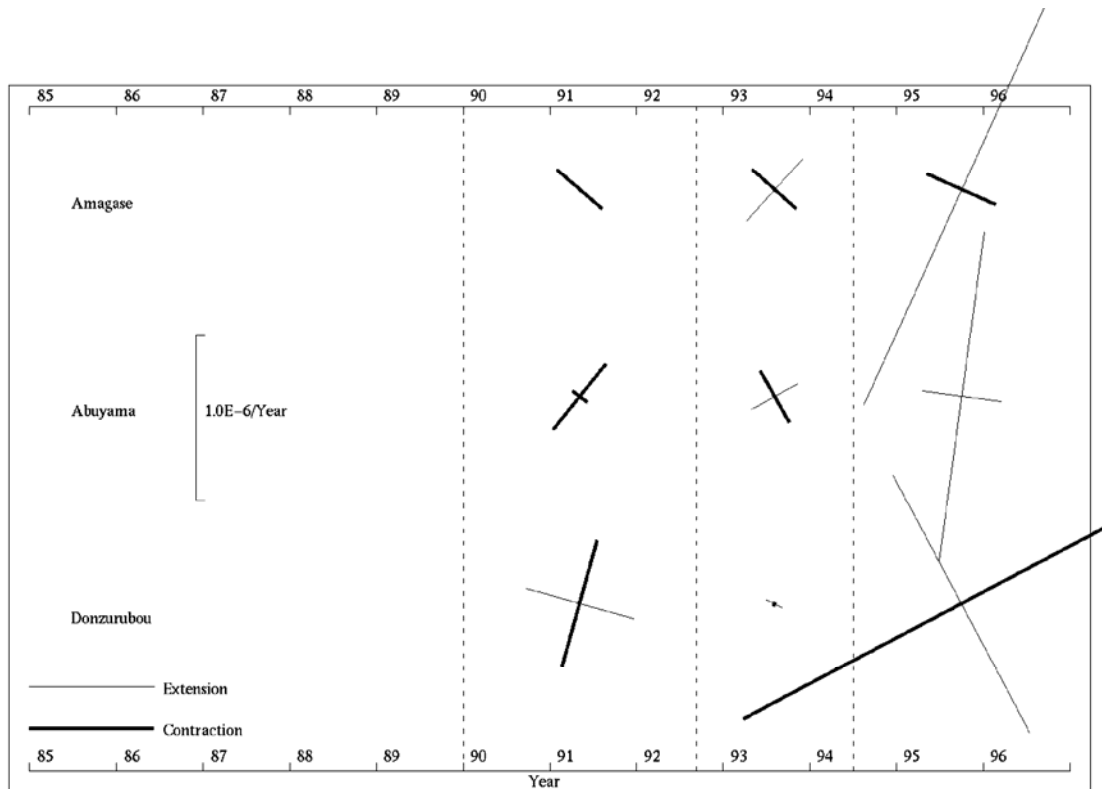


Fig.5 Changes of the principal strains at the Donzurubou, the Abuyama and the Amagase observatories,

似できる。この近似直線の傾きに基いて、各観測所における各相の主歪の方向を求め、図5に示した。図に示した主歪の値は、第1相に対する変化量を示し、値は各相での全歪量ではなく、1年間当たりの歪変化量である。

図5から明らかなように、第1相に比べて第2相では3観測所すべてにおいて南北ないしは北東-南西方向の縮みが顕著に増大している。第3相においては、各観測所で程度の差は有るものの、第2相に見られた南北方向の縮みの増大傾向が減少している。更に、第4相においては3観測所全ての記録で、南北方向の伸長が急激に増大していることがわかる。

3. 歪変動を引き起こす運動のモデル

上述のように、本論で問題にしている地殻歪の変動は異なる3観測所で同じ時期に同じ傾向を示している。このことから、歪変動の原因となった運動はかなり広域な歪変動をもたらす大規模なものであると考えられる。

当該の歪変動が1995年兵庫県南部地震の発生に先行していることから、歪変動の原因として第1に考えられることは、震源断層のプレスリップである。し

かし既に述べたように、当該の歪変動は第2相で南北方向の縮み、第4相で南北方向の伸長、という逆向きの変動を示している。この様な歪変動を震源断層のプレスリップで説明しようとするれば、第2相と第4相で震源断層が逆向きのスリップを起こしたと考えなければならない。震源断層でプレスリップが生じるとすれば、震源域に蓄積された応力エネルギーを開放する方向にすべる筈であり、1方向のすべりしか生じないはずである。従って、当該の歪変動の特徴を震源断層のプレスリップで説明することは、定性的に不可能である。

次に考えられる原因としては、プレート運動の変化である。よく知られているように、南海道地震発生の数十年前から西日本の内陸地震活動が活発化するとされている。南海道地震を引き起こす原因は間違いなくプレートの沈み込みである。その南海道地震に先行して内陸地震活動が活発化するのであれば、その原因もプレート運動にあると考えるのが一般的である。現在は既に南海道地震に先行する内陸地震活動の活発化の時期に入っているとされている。従って、広域な地殻歪変動を引き起こすような

プレート運動が生じている可能性が考えられる。

この様な考えに基づいて、我々は当該の歪変動の第1相から第4相までの歪変動を引き起こす原因となる現象を次のように考えた。

1) 第1相は、通常のプレートの沈み込みが生じている期間である。2) 第2相は、何らかの原因で、プレート上面の一部と地殻下部に固着が生じた期間である。プレート上面と固着した地殻は、沈み込むプレートに引きずられて、強い変形を受ける。これが南北方向の縮みを増大させた原因である。3) 第3相は、第2相で生じたプレートと地殻の固着が減少する期間である。固着の減少に伴い、プレートの沈み込みに伴って生じていた南北方向の縮みの増大も緩やかに成って行く。4) 第4相では、プレートと地殻の固着が完全に消失し、それまでに生じていた地殻の変形が解消される方向に向かう。これが南北方向の伸長が増大した原因である。

以上の仮説に基づいて、単純なモデル計算を行った。図6に示したように、紀伊半島北東部で1辺の長さ約50 kmの矩形の固着域をプレート上面に仮定した。この固着域がプレートの沈み込みに伴って引きずられたと考えて、屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬の各観測所の位置での主歪を計算した。固着域のモデルの詳細は表1に示すとおりである。計算結果を図6に示す。歪の絶対値については、観測値が計算値よりも一桁大きく、検討の余地が残されているが、定性的にはかなり良く観測値と整合する。屯鶴峯観測所については、歪の主軸方向並びに圧縮/伸長の比率が観測値と良い一致を示した。阿武山観測所については、圧縮軸の方向が観測値と一致した。また、屯鶴峯観測所の圧縮値と阿武山観測所の圧縮値の比率も観測値と整合している。

第4相では、第2相で蓄積された地殻歪がいわゆるスロースリップで解消されたと考えられる。図7に矩形で示した領域にスロースリップが生じたと仮定すると、屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬各観測所の南北方向の伸長が定性的に説明できる。スロースリップの生じた領域の詳細は表2に示したとおりである。第2層のスリップ量に関しては、プレートの沈み込み速度に規定されるため年間6 cmとしたが、第4相のスリップ量に関しては、プレートの沈み込み速度を考慮する必要はなく、更に大きな値を仮定することが可能であるが、本論では定性的な議論にとどまっているので、第2相に適用したものと同一スリップ量を仮定した。伸長軸の方位は、屯鶴峯・阿武山・天ヶ瀬の3観測所全てにおいて、観測値と計算値が良い一致を示している。

第2相および4相の主歪の観測値と計算値は表3お

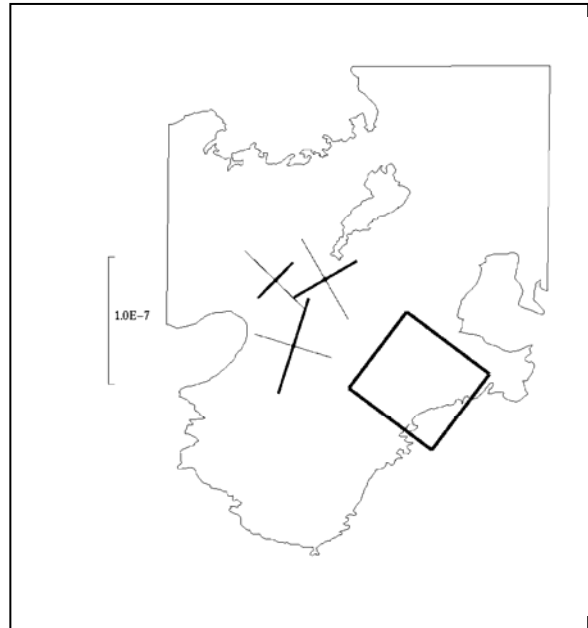


Fig.6 A Fault model for the phase 2 and principal strains calculated for the Donzurubou, the Abuyama and the Amagase observatories.

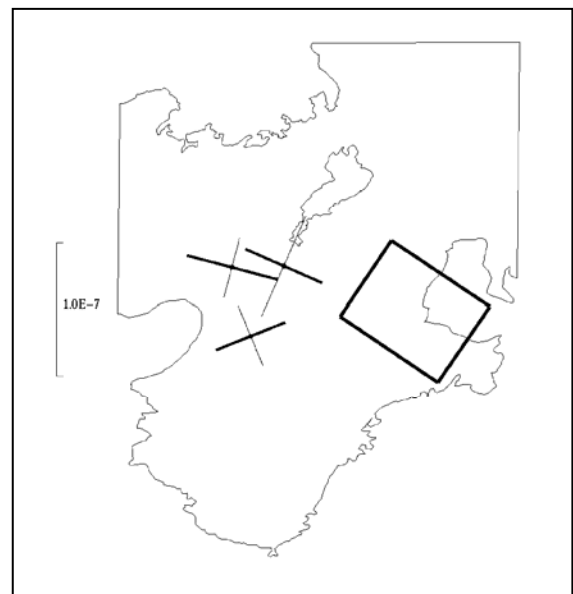


Fig.7 A Fault model for the phase 4 and principal strains calculated for the Donzurubou, the Abuyama and the Amagase observatories.

よび4にまとめたとおりである。

Table1 A fault model for the phase2.

Strike	3 7°
Dip	1 5°
Depth Top	3 2 k m
Bottom	4 6 k m
Length	5 0 k m
Width	5 6 k m
Strike-Slip	0 c m
Dip-Slip	6 c m/year

Table2 A fault model for the phase4.

Strike	3 4°
Dip	1 5°
Depth Top	3 1 k m
Bottom	4 7 k m
Length	4 6 k m
Width	6 1 k m
Strike-Slip	0 c m
Dip-Slip	− 6 c m/year

Table3 Principal strains observed and calculated for the phase2.

		Donzurubou	Abuyama	Amagase
Azimuth	Obs.	1 7°	4 0°	− 4 2°
	Calc.	1 5°	4 4°	6 0°
Contraction	Obs.	8.0E-7	5.1E-7	3.7E-7
	Calc.	6.4E-8	3.2E-8	4.6E-8
Extension	Obs.	6.7E-7	—	1.2E-8
	Calc.	5.0E-8	5.4E-8	5.8E-8

Table4 Principal strains observed and calculated for the phase4.

		Donzurubou	Abuyama	Amagase
Azimuth	Obs.	− 2 7°	8°	2 4°
	Calc.	− 2 3°	1 5°	2 4°
Contraction	Obs.	3.0E-6	—	4.6E-7
	Calc.	4.4E-8	5.6E-8	6.6E-8
Extension	Obs.	1.7E-6	2.0E-6	2.8E-6
	Calc.	3.9E-8	3.7E-8	6.6E-8

4. おわりに

以上述べたように、第2相の圧縮と第4相の伸長について、定性的には提案したモデルによってかなり良く説明が出来た。しかし、いくつかの問題が残されている。問題の第一は、歪の絶対値が観測と計算で大きく異なる点である。第2は、屯鶴峯観測所を除く他の2観測所において、各相で計算した主歪の圧縮と伸長の比率が観測値と大きく異なる点である。例えば、阿武山観測所の観測値から求めた主歪に関して、第2相において伸長が認められなかったのに対して計算値では圧縮を上回る伸長が認められた。

観測値と計算値の間にこのような差異が見られる原因はいくつか考えられる。モデル計算においては、半無限弾性体の中に矩形の変位面を仮定して計算した。しかし実際の構造では、地殻とプレートは弱い結合状態にあり、その境界面の一部に変位を与えた場合、半無限弾性体とは異なった挙動をすることは間違いないところである。同様に、地殻は均質な弾性体ではなく、多くの弱面を含むことは確実で、地殻下部に加えられた変形が、その弱面の影響で増幅或いは減衰させられることは有り得る事である。このような可能性については、今後の課題としたい。

Unusual Change of the Crustal Strain Preceding the 1995 Hyogoken-nanbu Earthquake

Wataru MORII, Kensuke ONOUE, Kajuro NAKAMURA, Fumio OHYA,
Yoshinobu HOSO and Yasuo WADA

Synopsis

The crustal movement records obtained at plural observatories distributed in the central part of Kinki district show the unusual change of the crustal strain which were kept on from the end of 1989 to the beginning of 1995. At the first, the contraction in the direction of north and south turned to increment and kept on increasing about 2.6 years. After that, the increment of the contraction became still for 2 years and half a year before the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake strain rates turned to extension. This alternate change of the strain rate could not be explained qualitatively by the pre-slip of the active fault which raised the Hyogoken-nanbu earthquake. We explained this alternate change of strain rate as a result of interaction between the Philippine Sea plate and the lower crust of the Kii-pen. We think that a partial sticking between the Philippine Sea plate and lower crust of Kii-pen may raise the increment of the north-south contraction. The north-south extension may be raised by a slow slip event occurred after the release from the partial sticking between the plate and crust. Based on this hypothesis, we estimate crustal strain changes using simple models. The results of the estimation showed that models used could explain the alternate change of the strain rate qualitatively.

Keywords: crustal strain, plate tectonics, earthquake prediction