静岡地域の地質構造発達史
― 特に，多重褶曲構造と最近の地殻変動について ―

Tectonic History of the Shizuoka District with Special Reference to Superimposed-fold Structures and Recent Crustal Movements

杉　山　雄　一*
Yuichi SUGIYAMA

Abstract　The central part of Shizuoka Prefecture is characterized by complex folded structures. The complex structures are ascribed to multiple foldings of different age and with different axial directions. NE- to NNE-trending folds, which form the fundamental folded structures of the Shizuoka District, have been developed by several tectonic movements since the Paleogene. NE-trending folds formed before the Late Pliocene were subjected to refolding with NW- to NNW-trending axes. NE- and N-trending folds formed after the Early Plistocene, however, show no remarkable evidence of refolding with NW-trending axes. Therefore, the folding with NW- to NNW-trending axes is considered to have occurred in the Late Pliocene to Early Plistocene time. In the Kakegawa District, however, it is estimated from the deformation of terrace deposits that the folding with NW- to NNW-trending axes have continued to form throughout the Quaternary (TSUCHI, 1961, 1974).

The type of faulting along the Itoigawa–Shizuoka and the Jūmaiyama Tectonic Lines seems to have changed from left-lateral strike-slip type into thrust type through the folding event with NW- to NNW-trending axes.

The axis of maximum horizontal compressive strain determined by triangulation is NW-SE direction and is subparallel to the inferred $\sigma_{H\ max}$ axis of the stress field which formed NE-trending folds in the past. On the other hand, the axial direction of $\sigma_{H\ max}$ indicated by focal mechanism solution of crustal earthquakes and hydrofracturing experiment is NE to E-W and is quite different from that by triangulation. It is rather subparallel to the inferred $\sigma_{H\ max}$ axis of the stress field which formed NW- to NNW-trending folds in the Late Pliocene to Early Plistocene. These facts are considered to indicate that the crust of the Shizuoka District has an anisotropy (more ductile in NW direction and more brittle in NE direction) probably caused by complicated folded structures, as well as that the district is subjected to compressive forces of two directions (NW-SE and NE-SW to E-W directions).

Small earthquakes occurred near Shizuoka City in the recent years are closely related with the preexisting geologic structures, especially, with salient faults or shear zones. The source area of M3.4 earthquake on October 26, 1976 and its aftershocks is located on a cross line (or cross plane) between the Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line (or The Ryūsōzan shear zone) and the inferred subsurface fault with N70°W strike. There is a possibility that the N70°W-trending fault was formed simultaneously with the above-mentioned NW-trending folds.

*地質調査所環境地質部

●訂正　本稿中筆者の誤りで Pleistocene (更新統・世) を Plistocene と表記してしまいました。
おわびして訂正いたします。

1. はじめに

筆者は，数年来，静岡地域の地質構造の解析とその歴史的発達過程の解明を目標として研究を行っている。本稿では，これまでに明らかになった主要な点を，特に多重褶曲構造，および最近の地殻変動と既存地質構造との関連性に注目して述べてみたい。なお，本稿は，地震学会昭和55年度秋季大会，構造地質研究会昭和55年度冬の例会および日本地質学会第88年学術大会において講演した内容をまとめたものである。

2. 地質概説

静岡県中西部地域の地質構造は，掛川～御前崎付近の遠江南部地域を除くと，より新しい地層がより東側に分布していることによって特徴付けられている。すなわち，静岡県中部地域には，Fig. 1に示したように，西から東へ順に，四万十（三倉）層群（主として白亜系，一部古第三系？），瀬戸川層群および大井川層群（古第三系～最下部中新統），高草山層群（下部中新統），富士川層群（上部中新統～鮮新統）が分布している。これらの5層群は，それぞれ，ほぼ南北走向の顕著な構造線を境界として接しているため，これらの地層の整合・不整合関係を野外で直接確かめることはできない。四万十層群と瀬戸川層群との境界断層は笹山構造線，瀬戸川層群と高草山層群（従来の竜爪層群を含む）との境界断層は，十枚山構造線と呼ばれている。高草山層群と富士川層群との境界断層は，糸魚川－静岡構造線である。

一方，遠江南部地域では，一般により新しい地層ほど南西側に分布している（Fig. 1）。掛川の北，および相良町相良付近には，高草山層群と同時代（前期中新世）の堆積物である三笠層群と女神累層が，それぞれ分布している。三笠層群は瀬戸川層群を著しい傾斜不整合に覆っており，瀬戸川層群の主要な褶曲期が前期中新世以前であったことを示している。また，南部フォッサマグナ地域の富士川層群とほぼ同時代の堆積物である相良層群および掛川層群は，女神累層および三笠層群を傾斜不整合に覆っている。

3. 地質構造

（1）岡部町付近にみられる再褶曲構造

岡部町付近には，Fig. 2Aに示したように，瀬戸川層群，大井川層群および高草山層群が分布している。瀬戸川層群と大井川層群には，北東～北北東走向の軸面を有する褶曲が発達していることが古くから知られていた（千谷，1931；槇山，1963；徳岡，1964など）。また，十枚山構造線の東側に分布する高草山層群には，南北～北北東走向の軸面を有する褶曲が発達していることが明らかにされている（徳山，1972）。これらの3層群に見られる北東～南北走向の軸面を有する褶曲は，褶曲構造の幾何学的形態と方向ならびに変形様式の違い，および掛川地域での三笠層群と瀬戸川層群間の著しい傾斜不整合の存在などから，それぞれ，異なった時期に形成されたものと考えられる（Fig. 2のF_1，F_2，F_3）。

筆者の研究の結果，岡部町付近には，このような褶曲に重なって，より新しい時代に形成された北西～北北西走向の軸面を持つ褶曲（波曲）（F_4）が発達していることが判明した（Fig. 2A）。

瀬戸川層群には，波長200～1000m，波高／波長比0.7～1.5程度の北東～北北東走向の軸面を有する褶曲が発達している（杉山・下川，1981）。上述した北西走向の軸面を有する褶曲は，宇津ノ谷以西の地域では，北東方向の褶曲軸の鉛直方向への波曲（北西走向のデプレッションとカルミネーション）という形で表現されている（Fig. 2A）。一方，十枚山構造線に隣接した宇津ノ谷以東の地域では，北東方向の褶曲軸の鉛直方向への波曲よりも，水平方向への屈曲（S字状屈曲）の方が顕著である（Fig. 2A）。このような屈曲は，十枚山構造線の東側に分布している高草

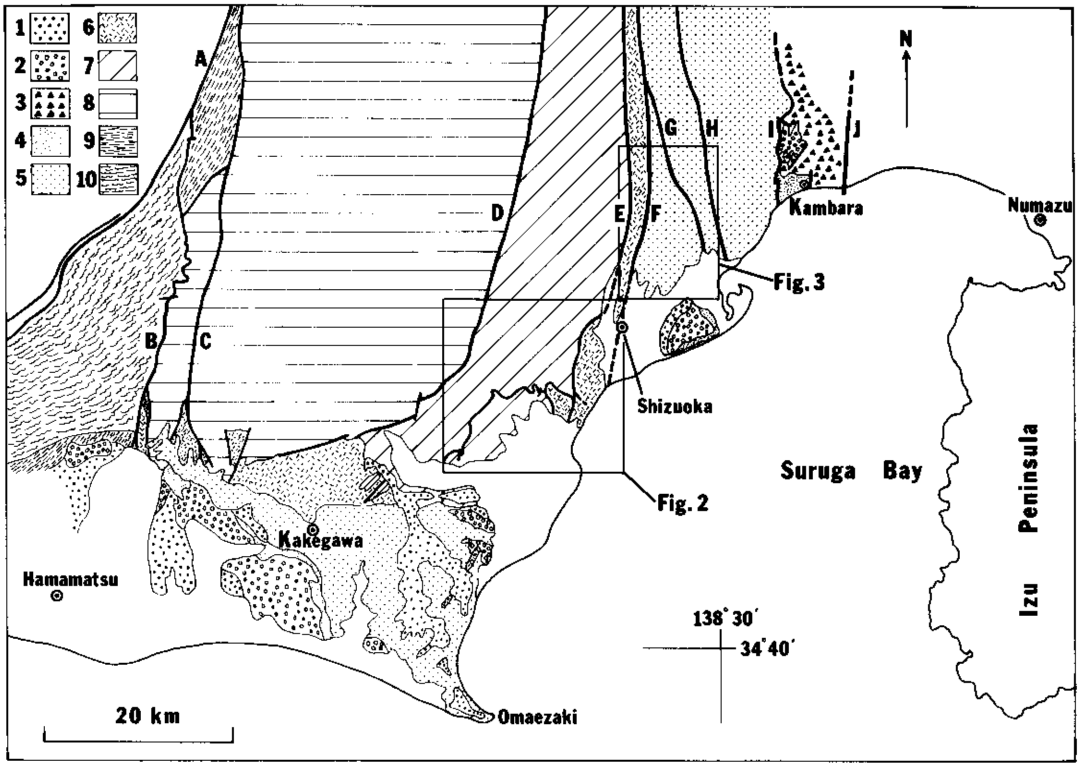


Fig. 1　Geologic map of the central and western parts of Shizuoka Prefecture. A: Median Tectonic Line, B: Akaishi Tectonic Line, C: Kōmyō Fault, D: Sasayama Tectonic Line, E: Jūmaiyama Tectonic Line, F: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, G: Tashiro-tōge Fault, H: Nakagōchi Fault, I: Iriyama Fault, J: Fujikawa Fault;
1: middle & lower terrace deposits (Upper Plistoc. & Holocene), 2: higher terrace deposits (Middle Plistoc.), 3: Iwabuchi Andesite (Lower Plistoc.), 4: Soga, Negoya and Kambara Fms. (Lower Plistoc.), 5: Sagara, Kakegawa and Fujikawa Gps. (Middle Mioc.–Pliocene), 6: Futamata, Mikasa and Takakusayama Gps. and Megami Fm. (Lower Mioc.), 7: Setogawa and Ooigawa Gps. (Paleogene–Lowest Mioc.), 8: Shimanto (Mikura) Gp. (Mesozoic–Lower Paleogene), 9: Chichibu-Sambosan Gp. (Paleozoic–Lower Mesozoic), 10: Sambagawa-Mikabu metamorphic rocks.

山層群にも見られる。また，大井川層群にも，Fig. 2Aに示したように，くの字状の屈曲が見られる。このようなS字状およびくの字状の屈曲は，Fig. 2B－2に模式的に示したように，北西走向の軸面を有する褶曲と共に，北東－南西方向の圧縮力によって形成されたものと推定される。大井川層群と瀬戸川層群との境界断層は，大井川層群中の北東方向の褶曲軸跡と共に，複雑に屈曲しているが，これも北西方向を軸とする再褶曲の影響と考えられる（杉山，1980およびFig. 2A）。

なお，十枚山構造線は，従来，高草山層群と瀬戸川層群との分布の境界をもって，その構造線の位置とされていたため，高草山の北で鋭角的に屈曲すると考えられていた（土，1974）。しかし，筆者や下川浩一の調査の結果，同構造線は，高草山の北で屈曲することなく南に延び，高草山層群自体を切っていることが明らかになった。また，この十枚山構造線の西側に，角状に突出

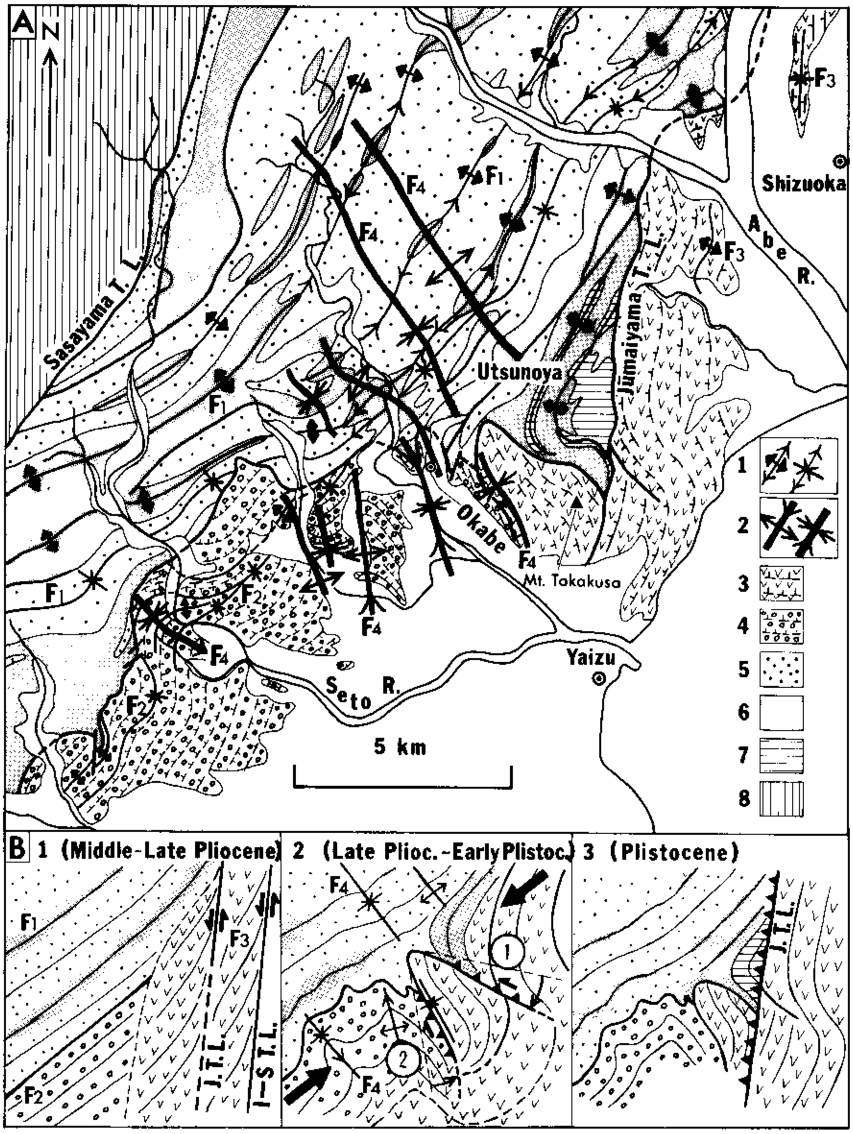


Fig. 2 A: Structural map of the Okabe area showing the refolded structures resulted from superimposed folding with NW- to NNW- trending axes. 1: axial trace and plunge of NE- and N- trending folds (F_1, F_2, F_3), 2: Axial trace and plunge of NW- to NNW- trending folds (F_4), 3: Takakusayama Group, 4: Ooigawa Group, 5–7: Setogawa Group, 5: Upper Fm., 6: Middle Fm., 7: Lower Fm., 8: Shimanto Group.

B: Successive stages in the structural development of the Okabe area. F_1, F_2 and F_3 folds were formed in this order before the left-lateral strike-slip faulting along the Itoigawa–Shizuoka and Jūmaiyama Tectonic Lines. ①: S–shaped bending, ②: く–shaped bending.

した高草山層群の分布と，その分布を画する断層とは，Fig. 2B－2に示したように，北西走向の軸面を有する褶曲の形成と同時に形づくられたものと考えられる。

（2）清水市付近にみられる再褶曲構造

富士川層群（松田，1961）に含まれる静岡累層にも，Fig. 3に示したように，北東走向の軸面を有する褶曲に重なって，より新しい時代に形成されたと考えられる北西走向の軸面を有する褶曲が発達していることがわかった。静岡累層からは，後期中新世を指示する有孔虫化石が発見されている（茨木，1981）。従って，前述した岡部町付近の北西走向の軸面を有する褶曲と清水市付近の同方向の褶曲とが，同一時期に同一の構造運動によって形成されたものであるとすると，その時期は少なくとも，上部中新統の静岡累層に北東走向の軸面をもつ褶曲が形成された後であることになる。

Fig. 3に示したように，富士川層群に含まれる和田島累層（上部中新統）および清見寺（せいけんじ）累層（鮮新統）には，北北西～北西方向の褶曲構造が発達している。筆者は現時点では，これらの褶曲の形成と同時期に，瀬戸川層群・大井川層群・高草山層群および静岡累層などが，同方向の再褶曲作用を被った可能性が大きいと考えている。

また，入山断層（Fig. 1）の西側に分布している浜石岳（はまいしだけ）累層（鮮新統）および小河内（こごうち）累層（上部中新統～鮮新統）の地質構造は，筆者の予察的観察によると，基本的には北北西～南北走向の軸面をもつ褶曲によって特徴づけられているようである。浜石岳累層は，後述するような単純な背斜状構造をもつ蒲原（かんばら）礫層（下部更新統）によって，著しい傾斜不整合に覆われている。この事実は，小河内累層および浜石岳累層に見られる北北西～南北方向の褶曲が，蒲原礫層の堆積に先立って形成されたものであることを暗示している。

（3）蒲原町付近の第四系にみられる地質構造

入山断層の東側には，下部更新統の蒲原礫層，これを整合に覆う岩淵安山岩類，および上記2層を不整合に覆う中部更新統の鷺ノ田礫層が分布している。

蒲原礫層中には，角閃石の斑晶を含む安山岩岩脈が貫入しているが，この岩脈群では北東－南西方向に伸長したものが多い。この事実は，安山岩岩脈貫入時には，最小水平圧力軸の方位が北西－南東であったことを暗示している。これらの岩脈の貫入時期は，1）岩淵安山岩類（複輝石およびカンラン石・複輝石安山岩）や鷺ノ田礫層中には，角閃石安山岩の岩脈が存在しないこと，2）芝川町大晦日（おおずもり）や古田付近では，蒲原礫層と岩淵安山岩類との漸移部に，上述の岩脈と極めてよく類似した角閃石を含む安山岩質の凝灰岩が含まれていることから，岩淵安山岩類の噴出直前であったと考えられる。

蒲原礫層には，南北～北北東走向の軸面をもち，翼の開いた一つの大きな背斜構造がみられる。一方，同礫層を不整合に覆っている鷺ノ田礫層には，北東走向の軸面をもつ褶曲が発達している。

以上に述べた事実をまとめると，蒲原町付近では，蒲原礫層堆積後の応力場が，Ⅰ：最小水平圧力軸の方位が北西－南東の時期（岩脈貫入期），Ⅱ：最大水平力軸の方位がほぼ東西の時期（鷺ノ田礫層堆積前），Ⅲ：最大水平圧力軸の方位が北西－南東の時期（鷺ノ田礫層堆積後）と変化したものと推定される。

（4）身延地域にみられる再褶曲構造

松田（1958）によると，身延地域に分布する富士川層群にも，より古い時代に形成された東北東走向の軸面をもつ褶曲とより新しい時代に形成された南北走向の軸面をもつ褶曲（正確には，北北西方向と南北方向の2方向の褶曲）とが認められている。徳山ほか（1979）は，南部フォッサマグナにみられる南北方向の褶曲は，東北東方向の褶曲が糸魚川－静岡構造線に沿う，数10 kmにおよぶ左横ズレの断層運動に伴ってドラッグされた結果，形成された可能性が大きいとして

いる。しかし，1）南北や北北西走向の軸面をもつ褶曲は，上述したように，糸魚川－静岡構造線から遠く離れた地域に分布する浜石岳累層や和田島累層にも発達していること，2）清水地域に分布する富士川層群では，前節までに述べたように，まず北東方向の褶曲，その後に北西～北北西方向の褶曲という順序で，造構応力場の変化に伴って異なる方向の褶曲が形成されたのであって，北西～北北西方向の褶曲が糸－静線などの南北方向の断層に沿う左横ズレ断層運動のドラッグの結果として形成されたものではないこと（この点は，Fig. 3に示した2方向の褶曲の重なり合いから明らかであろう），などから判断して，身延地域の南北および北北西方向の褶曲の成因を単純に糸－静線に沿う左横ズレ断層運動に伴うドラッグに帰することには問題が多いと考える。

このような議論を，身延地域で南北および北北西方向の褶曲が顕著にみられる曙累層は，清水地域で同方向の褶曲が卓越している浜石岳累層，清見寺累層と同時代（鮮新世）の堆積物であることと合わせ考えると，身延地域にみられる南北および北北西方向の褶曲も，岡部町付近や清水市付近にみられる北北西～北西方向の褶曲と同様に，広域応力場の変化に伴って，その帰結として形成された褶曲であると思われる。

（5）北西～北北西方向の褶曲が形成された時期

前節までに述べたことを総括すると，岡部町付近から，南部フォッサマグナにかけての地域に発達している北西～北北西走向の軸面を有する褶曲は，鮮新統の浜石岳・清見寺および曙累層などの堆積後に，かつ，下部更新統の蒲原礫層の堆積前に形成されたものと考えられる。

（6）糸魚川－静岡構造線および十枚山構造線に沿う断層運動

瀬戸川層群の褶曲軸跡を北東方向に追跡すると，安倍川以北の地域では，十枚山構造線に近づくにつれて，軸跡の方向が北東から北北東，さらに南北へと変化している。このような褶曲軸跡の屈曲は，瀬戸川層群に発達している北東方向の褶曲形成後に，十枚山構造線に沿って左横ズレの断層運動があったことを示している。また，高草山層群中にみられる南北～北北東走向の軸面をもつ褶曲は，既に徳山（1972）によって指摘されているように，元来は北東走向の軸面をもつ褶曲として形成されたものが，その後の糸－静線，十枚山構造線に沿う左横ズレの断層運動に伴うドラッグの結果，南北方向になったものである可能性が大きい。高草山層群に北東あるいは南北走向の軸面をもつ褶曲が形成された時期については不明な点が多いが，既に第一節で述べたように，少なくとも北西方向の褶曲よりも前に形成されたと考えられることから，中新世中期以降，更新世前期以前（おそらく，鮮新世中・後期頃）であると推定される。したがって，高草山層群中の南北方向の褶曲構造が，糸－静線および十枚山構造線に沿う左横ズレ断層運動に件うドラッグの結果形成されたものであるとすると，この左横ズレ断層運動は，鮮新世中・後期，またはそれ以降に起こったものと推定される。

安部川以南の地域に分布する瀬戸川層群の褶曲軸跡には，十枚山構造線に沿う左横ズレ断層運動を暗示するようなドラッグはまったく認められない（Fig. 2A）。また，この地域の十枚山構造線の東西それぞれの側に分布する瀬戸川層群と高草山層群には，既述したように，北西方向の褶曲と同時に形成されたと考えられる顕著なS字状屈曲構造が認められる。このS字状屈曲は，明らかに十枚山構造線によって切られているが，その水平左ズレ変位量は，大きく見積っても2 kmを越えない*(Fig. 2A)。この事実は，十枚山構造線に沿う左横ズレ断層運動の主要な時期が，上述したS字状屈曲の形成以前（したがって，北西方向の褶曲形成以前）であったことを示唆している。また，筆者や下川浩一の予察的調査によると，Fig. 3に示した静岡累層中の北西方向の褶曲軸跡は，糸－静線および十枚山構造線を“越えて”，竜爪山帯，瀬戸川帯中へほぼ直線的に追

*S字状屈曲の形成と同時に形成されたと考えられる北西走向の断層（高草山の北側の断層）の転移量から推定した。

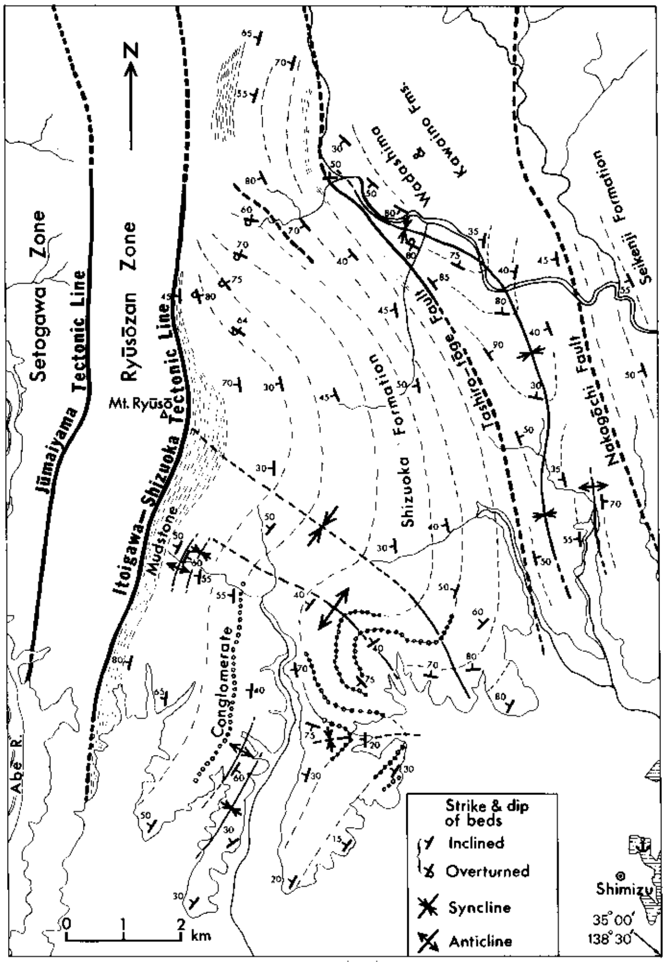


Fig. 3 Structural map of the Fujikawa Group in the Shimizu area. Note the interference pattern of bedding strikes of the Shizuoka Formation caused by two successive foldings (first folding with NE-trending axes and second folding with NW-trending axes).

跡できるようである。なお，同図に示されている糸－静線および十枚山構造線の屈曲も北西走向の軸面をもつ褶曲の影響である可能性が強い。

以上に述べたことをまとめると，糸－静線および十枚山構造線に沿う左横ズレの断層運動の主要期は，高草山層群や富士川層群に北東方向の褶曲が形成された後，かつ北西方向の褶曲が形成される以前であったと考えられる。地質年代としては，鮮新世中・後期頃と考えられる。また，北西方向の褶曲形成後には，糸－静線および十枚山構造線に沿う断層運動では，西側地塊が東側地塊の上に衝上する逆断層成分が卓越していたものと考えられる。

4. 構造発達史

3章までに述べたことを基に，古第三紀中葉以降の静岡地域周辺の地史をまとめると，Table 1のようになる。この表からも明らかなように，静岡地域では，鮮新世から更新世にかけての時代に応力場の激しい変動があったものと考えられる。また，同地域では，鮮新世後期以降，同地域の基本的な地質構造を形成した北西方向の圧縮力のほかに，それとほぼ直交する北東～東北東方向の圧縮力が重なって働くようになったとも考えられる。このような2方向の圧縮力の存在は，後述するように，静岡地域における現在の地殻変動にも認められる。また，現世における北東方向を軸とする褶曲作用と北北西方向を軸とする褶曲作用との共存が，御前崎付近に分布する牧ノ

Table 1 Sedimentary and tectonic history of the Shizuoka District and the Surrounding areas. In addition to the present author's data, data are taken from BARCELONA(1978, MS.), CHIJI & KONDA (1978), IBARAKI (1981), MATSUDA (1958), TOKUYAMA & HANDA(1978), TOKUYAMA *et al.* (1979), TSUCHI (1974) and TSUNEISHI *et al.* (1975).

I – S T. L.: Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line, J. T. L.: Jūmaiyama Tectonic Line.

	KAKEGAWA AREA			SHIZUOKA AREA				SHIMIZU AREA		MINOBU AREA	
	Sedimentation	Folding	Akaishi T. L. Komyo Fault	Sedimentation	Folding	Sasayama T.L.	I–S T.L. J.T.L.	Sedimentation	Folding	Sedimentation	Folding
Recent		NE-SW trend & NNW-SSE trend			NE-SW trend				NE-SW trend		
Plistocene	Makinohara Bed Ogasayama Bed Soga Fm.	NNW-SSE trend		Oshika Bed Kunōzan Bed Negoya Fm.	NNW-NW trend		thrust faulting	Saginota Bed Iwabuchi Andesite Kambara Fm.	N-S trend NNW to N-S trend		
Pliocene	Kakegawa Gp.	NE-SW trend			NE-SW trend		left-lateral strike-slip faulting	Hamaishidake & Seikenji Fms. Kogōchi & Kawaino Fms.	NE-ENE trend (?)	Akebono Fm. Minobu Fm. Shimobe Fm.	NNW to N-S trend ENE trend
Late Mioc.	Sagara Gp.			Shizuoka Fm.				Wadashima Fm.		Tokiwa Fm.	
Middle Mioc.		NE-SW trend	thrust faulting		NE-SW trend (?)	thrust faulting				Furusekigawa Fm.	
Early Mioc.	Mikasa & Futamata Gps.			Takakusayama Gp.	NE-SW trend						
Oligocene		NE-SW trend	left-lateral strike-slip faulting	Ooigawa Gp.	NE-SW trend	left-lateral strike-slip faulting					
Eocene	Setogawa Gp.			Setogawa Gp.							

原礫層（上部更新統）の変形から指摘されている（TSUCHI, 1961；土, 1974)。

このような事実は，次章で述べる最近の静岡地域における地殻変動が，基本的には鮮新世後期～更新世における同地域での地殻変動と一連のものであることを示唆している。

5. 静岡地域の最近の地殻変動と既存地質構造

（1）現在の応力場と地殻の異方性

国土地理院による三角測量および三辺測量の結果は，Figs. 4，5に示したように，最近の90年間に，静岡地域に南東－北西方向を主軸とする地殻の短縮があったことを示している(檀原,1980)。このような地殻のひずみは，現在，静岡地域に南東－北西方向を主軸とする圧縮力が作用していることを示唆している。この圧縮力の方位は，過去の地質時代に，瀬戸川層群・大井川層群・富士川層群，さらには第四系の鷺ノ田礫層などに，北東走向の軸面をもつ褶曲が形成された際の応力場における推定最大水平圧力軸の方位とほぼ平行である。

一方，ICHIKAWA(1971)，大井田・伊藤（1974），山崎・大井田（1979，1980），山崎ほか(1980)，および鵜川（1981）などによると，過去50年間に静岡地域に発生した地震の発震機構は，Figs. 6，7，Table 2に示したように，深さ20km以深のものでは，南北～北北東の主圧力軸方位を示し，20km以浅のものは北東～東西の主圧力軸方位を示している。このような傾向は，塩野（1976）および鵜川（1981）によると，西南日本外帯全域に亙ってみられる一般的な特徴であって，地殻底および最上部マントル内地震（静岡地域ではおおよそ20km以深の地震）の東西テンション（または南北コンプレッション）メカニズムは，フィリピン海プレートとユーラシアプレートとの相互作用の一つの現れと考えられている。

また，塚原ほか（1978）によると，岡部町において水圧破壊法によって得られた地表面下約95mの地点の最大水平圧力軸の方位はS 49° W（±30°）である。この方位は，Fig. 6に示したように，'76年10月に岡部町の地下17kmの地点を震源として発生した地殻内地震の主圧力軸の方位とほぼ平行である。この地震および水圧破壊実験の結果が示す最大水平圧力軸の方位は，鮮新世後期～更新世初期に，北西～北北西方向の褶曲が形成された際の応力場における推定最大水平圧力軸の方位ともほぼ平行である。

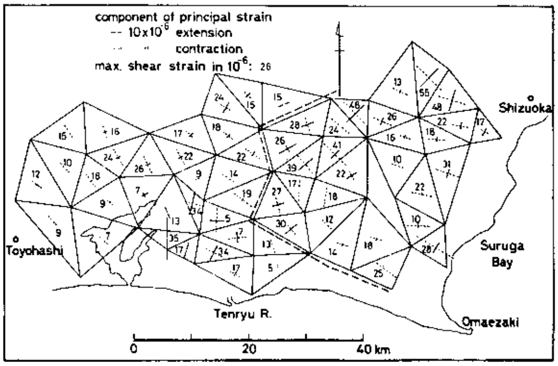


Fig. 4 Horizontal strains in the Tokai District in 1885–1974 measured by triangulation and trilateration by G. S. I. (After DAMBARA(1980).)

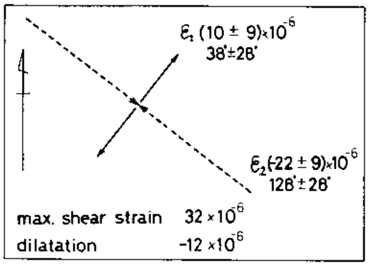


Fig. 5 Mean horizontal strain of 27 triangles within a broken line of Fig. 4. (After DAMBARA(1980).)

以上に述べたように，静岡地域では20km以浅の地震の発震機構および水圧破壊実験の結果が示す最大水平圧力軸の方位（北東～東西）と測地測量から求められた最大水平圧縮ひずみの方位（北西－南東）とが大きく異なっている。筆者は，このような特徴をもった静岡地域における最近の地殻変動は，主として次の二つの要因によって惹起されていると考えている。

1：静岡地域には，現在，北西方向の圧縮力と北東～東西方向の圧縮力とが，共に働いていること

2：静岡地域の地殻には，北西－南東方向により塑性的（厳密には，延性的），北東－南西方向により脆性的な異方性が存在すること

要因として挙げた第1の点は，本章におけるこれまでの記述の他に，1）前章で述べたように，上部更新統の牧ノ原礫層には，北北西および北東方向を軸とする2方向の褶曲（曲隆）が見られる（Tsuchi，1961）こと，2）国土地理院による駿河湾四辺形基線網から求めた地殻ひずみでは，北東－南西が，Fig. 5に示したものと同様に ε_1 方位であるが，その値が負（すなわち，同方向にも圧縮となっている（檀原（1980）のFig. 6）ことからも支持されよう。

このような2方向の圧縮力の根本的原因が何なのであるかは，今後の研究を要する問題であるが，現時点では，北西方向の圧縮力はフィリピン海プレートとユーラシアプレートとの相互作用，北東～東西方向の圧縮力は太平洋プレートとユーラシアプレートとの相互作用に起因するものと考えている。

要因として挙げた第2の点については次のように考えている。静岡地域の地殻構造（少なくとも，地表付近のそれ）は，第3章で述べたように，複雑な褶曲，特に北東走向の軸面を有する褶曲によって特徴付けられている。このような褶曲構造の典型的な例は，Fig. 2，11に示したように，瀬戸川層群に見られる。地表で見られる褶曲構造が地下深部の構造とどのように結びついているかは，不明な点が多いが，定性的には次のようなことが言えると思われる。すなわち，静岡

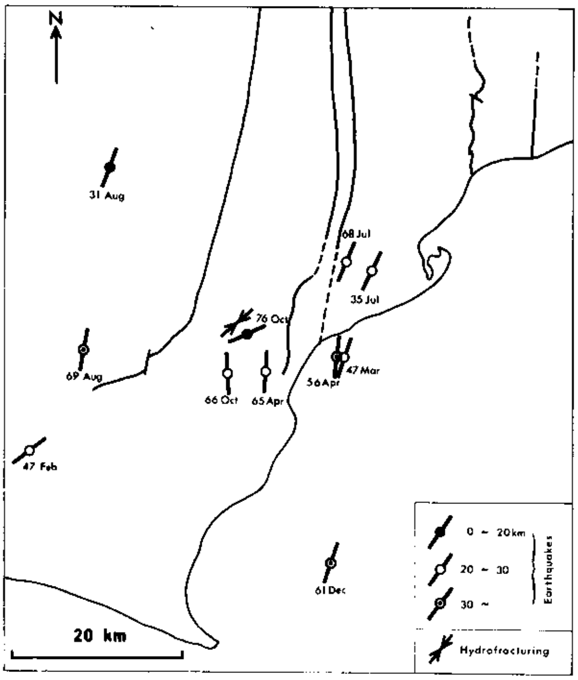


Fig. 6 Axial direction of maximum horizontal compressive stress indicated by focal mechanism solution of earthquakes and hydrofracturing experiment. See Table 2 for numerical data and data sources.

地域の地殻は，基本的褶曲構造の走向方向（北東－南西）には，より脆性的性質が強く，一方，これと直交する北西－南東方向には，より延性的性質が強いと思われる。これは，Fig. 8に概念的に示したように，同地域の地殻を一種の蛇腹状の物体と考えるとうまく説明できるように思われる。すなわち，北西方向の圧縮力（Fig. 8のP_{NW}）に対しては，あたかも蛇腹が閉じるように，既存の褶曲構造を利用してスムーズに地殻が短縮・変形することによって応力を解放していると考えられる。一方，東北東方向の圧縮力（Fig. 8のP_{ENE}）に対しては，蛇腹の開閉方向とは高角度で交わるため，弾性変形→破壊（地震）というかたちで応力を解放しているのではないかと思

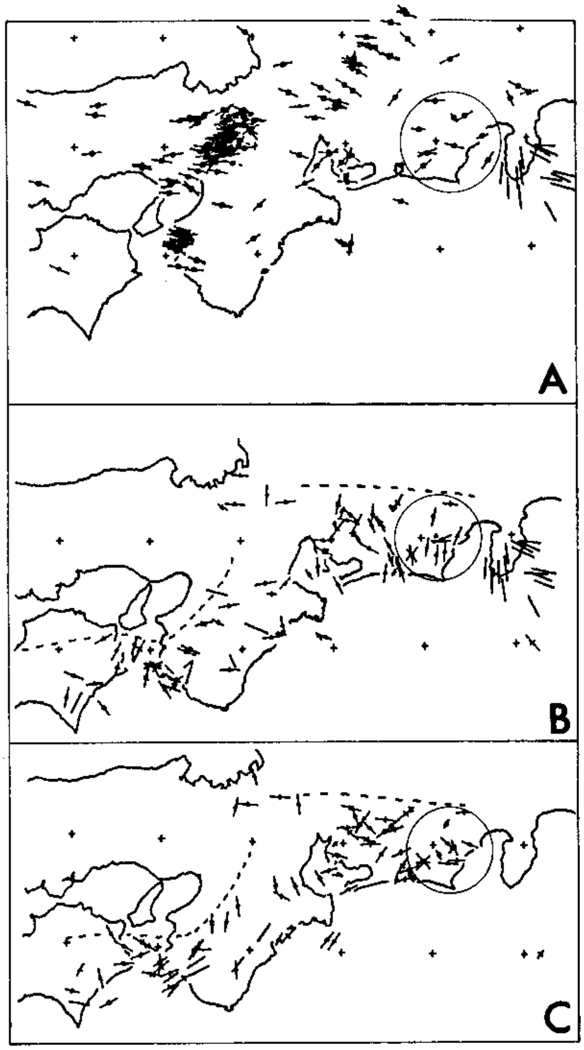


Fig. 7　Focal mechanism solutions of earthquakes occurred in Southwest Japan.　(After UKAWA (1981).)
A:　maximum pressure axes of shallow earthquakes (D ≦ 20km),
B & C:　maximum pressure and tension axes of deep earthquakes (D ＞ 20km) respectively.

Table 2 Focal mechanism solution of earthquakes which occurred in the Shizuoka District and direction of maximum horizontal compressive stress measured by hydrofracturing method. A: azimuth of maximum pressure (P) and maximum tension (T) axes measured anticlockwise from north, I: inclination angle (angle between P or T axes and the vertical axis).

Focal mechanism of earthquakes

Date	Epicenter long.	Epicenter lat.	Depth (km)	M	P A	P I	T A	T I	Data Source
1931 Aug 10	138°06'	35°06'	10	5.9	159	90	69	90	Ichikawa(1971)
1935 Jul 11	138°26'	34°59'	20-30	6.3	154	90	64	90	Ibid.
1947 Feb 21	138°00'	34°48'	20	5.7	125	90	35	90	Takeo et al.(1979) Ichikawa(1971)
1947 Mar 11	138°24'	34°54'	20	5.9	163	90	73	90	Ibid.
1956 Apr 4	138°24'	34°54'	30	4.7	175	90	85	90	Ibid.
1961 Dec 24	138°23'	34°41'	240	5.4	164	54	69	84	Ibid.
1965 Apr 20	138°18'	34°53'	20	6.1	174	90	84	90	JMA(1974) Ichikawa(1971)
1966 Oct 27	138°15'	34°53'	20	4.4	185	90	95	90	Ibid.
1968 Jul 21	138°24'	35°00'	21	3.7	336	90	68	54	Ooida & Ito(1974)
1969 Aug 27	138°04'	34°55'	52	3.7	348	72	209	27	Ibid.
1976 Oct 26	138°16'	34°55'	17	3.4	approx. 293	90	approx. 23	90	Yamazaki & Ooida(1979)

Hydrofracturing stress measurement

Date of measurement	Location of test site		Depth (m)	Direction of the maximum horizontal compressive stress	Data Source
1978 Feb-Mar	138°16'	34°56'	94-96	S49°W±30°	Tsukahara et al.(1978)

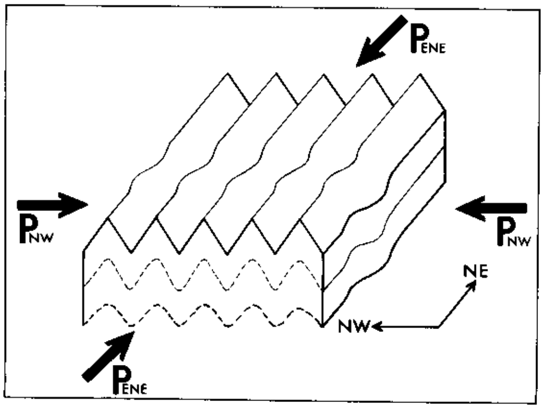


Fig. 8 Conceptional scheme for explanation of the inconsistent relationship between the maximum horizontal compressive strain by triangulation and maximum horizontal compressive stress by earthquake mechanisms. Explanations in the text.

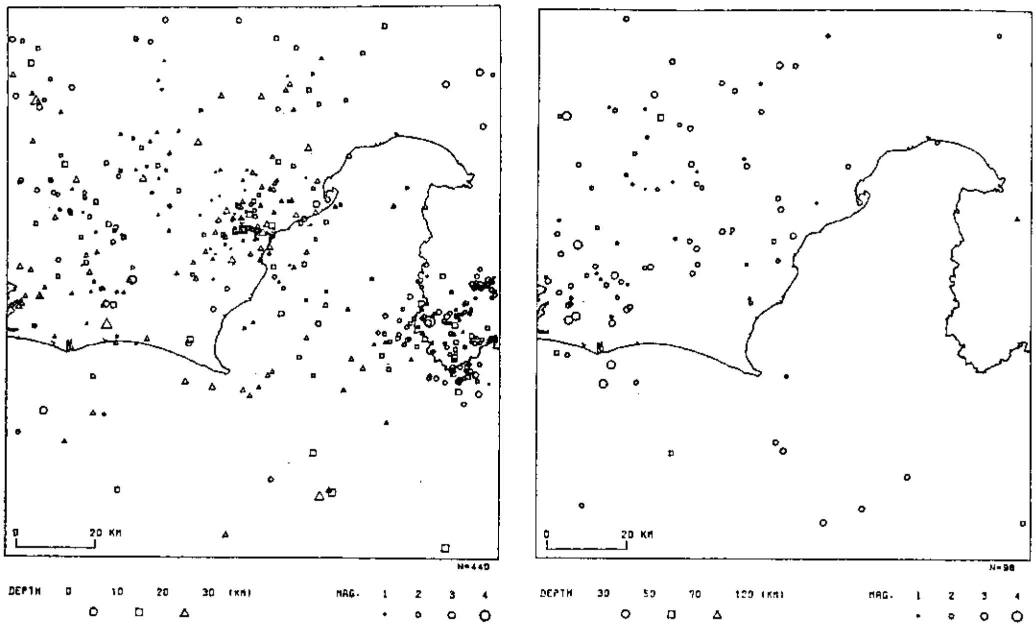
われる。このように考えると，静岡地域における測地測量による最大水平圧縮ひずみの方位と地殻内地震の発震機構および水圧破壊法による最大水平圧力軸方位との大きな相違は，うまく説明できるように思われる。

（2）地震と既存の断層－破砕帯との関係

名古屋大学の地震観測網による観測の結果，岡部町から焼津市北部・静岡市南部にかけての地域に微小地震活動の活発な地域が認められている（Fig. 9）。この地域は，第3章で述べたS字状屈曲の存在する地域にほぼ対応している。この屈曲は，Fig. 2B－2に示したように，共役剪断帯を伴う，ほぼ垂直な軸をもつ褶曲の片翼として，または，共役剪断帯のドラッグとして形成されたと推定されることを考慮すると，微小地震は地殻内の既存の弱線に沿って起っているように思える。

'76年10月26日に岡部町を震源として発生したマグニチュード3.4の地震については，本震の発震機構および余震の分布が得られている（山崎・大井田，1979）。これらの一連の地震の震央分布は，Fig. 10に示したように，ほぼN70°W方向に直線的に並んでいる。本震のメカニズム解における節面の走向と傾斜（Fig. 10）を考慮すると，この直線的な震央分布は，本震の断層面と地表面との交線にほぼ一致するものと考えられる。

このような余震分布によって示されるN70°W走向の断層は，茂木（1977）の駿河トラフを横断する断層と位置的にほぼ一致している。また，十枚山構造線以西の地域については，恒石・杉山（1978）の駿豆（すんず）断層とも位置的に一致している。しかし筆者や恒石幸正のその後の調査によって，少なくとも地表には，これらの断層に相当する北西～西北西走向の断層や破砕帯は存在しないことが判明した。このような事実を余震の震源分布（Fig. 11）と合わせ考えると，N70°W走



(a) (b)

Fig. 9 Distribution of epicenters during the period from July, 1975 to December, 1977. Events with shallow foci (0-30km) are shown in Fig. 8a and those with deep foci (30-120km) are shown in Fig. 8b. (After YAMAZAKI& OOIDA(1979).)

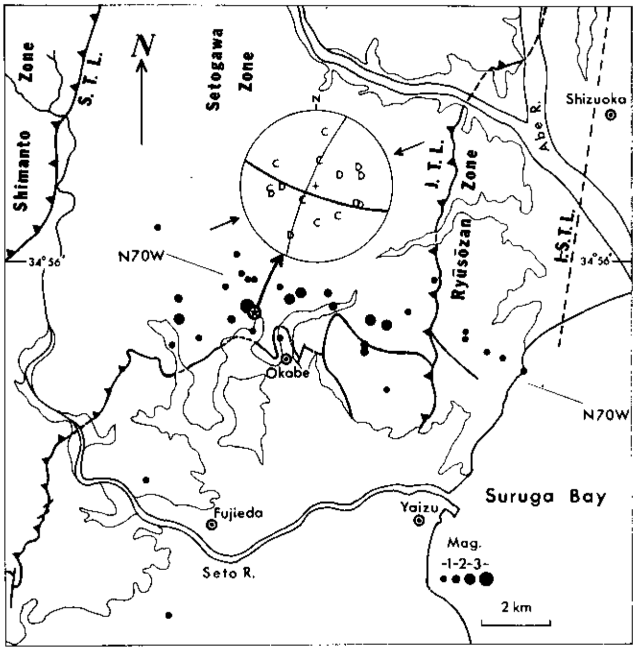


Fig. 10 Epicentral distribution of M3.4 earthquake on October 26, 1976 and its aftershocks, and focal mechanism solution for the mainshock.
(After YAMAZAKI, courtesy of Regional Center for Earthquake Prediction Observation, Nagoya Univ.)

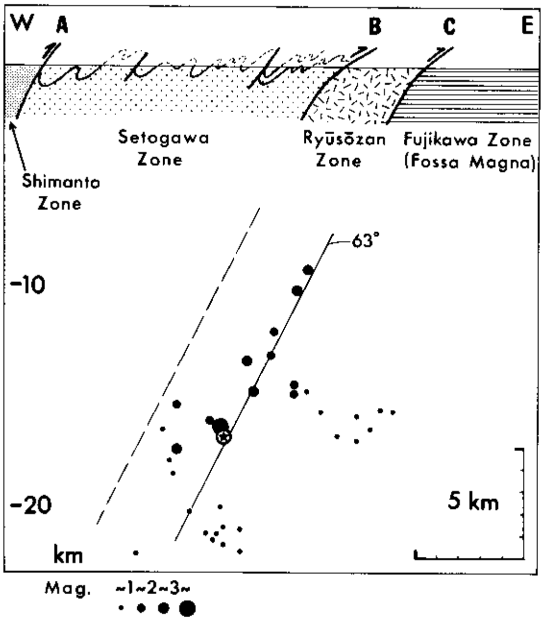


Fig. 11 W–E geologic cross section of the Shizuoka District and hypocentral distribution of earthquakes occurred on October 26, 1976. Cross section is cut along 34°56′ N Lat. and earthquake foci are projected on the section. A: Sasayama Tectonic Line, B: Jūmaiyama Tectonic Line, C: Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line. (Seismic data by YAMAZAKI, courtesy of R. C. E. P. O., Nagoya Univ.)

向の断層は，地表にまで達していない，地下9～22km付近の断層と考えられる。

また，山崎・大井田（1979）によると，余震の震源分布から推定される断層面積ないしは断層の長さと本震のマグニチュードとを比較すると，従来知られている関係（UTSU，1961）に比べて，マグニチュードの割に面積または長さが大きい。この事実は，N70°W走向の地下断層が，'76年10月の地震の際に新しく形成されたものではなく，既存の断層であることを示唆している。

この断層の形成された時期や形成機構に関しては不明な点が多いが，1）余震分布域が既述したS字状屈曲および北西方向の褶曲が見られる地域に対応していること，2）本震の発震機構が東北東－西南西のほぼ水平な主圧力軸方位を示し，この方位は，S字状屈曲が形成された際の応力場における推定最大圧力軸の方位とほぼ平行であることから，静岡地域にS字状屈曲および北西方向の褶曲が形成された時期（鮮新世末～更新世初期）に，左横ズレ断層として地下に形成された可能性があると考えている。

また，'76年10月の地震とその余震の震源を東西断面に投影してみると，マグニチュード2以上の地震の震源は，約60°Wの傾斜をもって直線的に配列している。この直線的配列の地上への延長は，糸魚川－静岡構造線に一致している（Fig. 11)。この事実は，N70°W走向のほぼ垂直な断層面上において，実際に破壊の生じた部分は，この断層面と糸－静線との交線，またはこの断層面と竜爪山帯との“交わり”であることを強く示唆している（Fig. 12)。すなわち，破壊（地震)は，二つの既存断層あるいは破砕帯の“交わり”という地殻内の最も脆弱な部分に沿って，選択的に起ったものと考えられる。

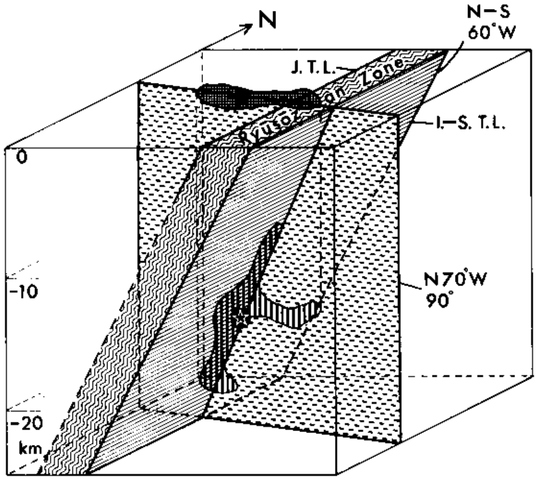


Fig. 12 Block diagram illustrating the relationship between the preexisting geologic structures and earthquake event occurred in October 1976. J. T. L.: Jūmaiyama Tectonic Line, I. – S. T. L.: Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line, Plane with N70°W strike: fault plane causing the earthquake event inferred by YAMAZAKI & OOIDA(1979).
Hatched and crosshatched portions represent the source area and epicentral area respectively.

6. まとめ

本稿のまとめとして次のことが指摘される。

1　静岡県中部地域には，同地域の基本的地質構造を規定している北東走向の軸面をもつ褶曲に重なって，北西～北北西走向の軸面をもつ褶曲（波曲）が発達している。

2　北東方向の褶曲は，古第三紀から現在に至る期間に，数回の構造運動によって形成された。一方，北西～北北西方向の褶曲は，岡部町付近に分布する瀬戸川層群と高草山層群に見られるS字状屈曲，および大井川層群に見られるくの字状屈曲と共に，鮮新世後期～更新世初期に形成されたものと推定される。

3　糸魚川－静岡構造線および十枚山構造線に沿う左横ズレの断層運動の主要期は，上述した北西～北北西方向の褶曲が形成される以前（おそらく鮮新世中・後期）であったと考えられる。

4　測地測量によって求められた最近の静岡地域における最大水平圧縮ひずみの方位（北西－南東）は，地殻内地震の発震機構および水圧破壊法によって得られた最大水平圧力軸の方位（北

東～東西）と大きく異なっている。最大圧縮ひずみの方位は，過去の地質時代に，北東走向の軸面をもつ褶曲が形成された際の応力場における推定最大圧力軸の方位とほぼ平行である。一方，地殻内地震の発震機構などが示す最大圧力軸の方位は，北西～北北西走向の軸面をもつ褶曲が形成された際の応力場における推定最大圧力軸の方位とほぼ平行である。

5 このような事実は，1）静岡地域では現在，北西－南東および北東～東西の異なる2方向の圧縮力が共に作用していること，2）同地域の地殻には，複雑な褶曲構造に起因すると考えられる異方性（北西方向により延性的，北東方向により脆性的）が存在すること，を暗示していると思われる。同時に，1）の状態は，少なくとも鮮新世後期～更新世前期まで遡れることを示しているものと考えられる。

6 岡部町および静岡市南部付近で発生している地殻内微小地震の震源は，既存の断層・破砕帯および破断帯などの地殻内の弱線部に沿って起っている。'76年10月に岡部町の地下17kmの地点を震源として発生したM3.4の地震とその余震は，N70°Wの走向で，ほぼ垂直な傾斜をもつ既存地下断層を断層面として発生したと考えられる。しかし，断層面上における実際の破壊は，この断層面と糸魚川－静岡構造線（または竜爪山帯）との“交わり”という最も脆弱な部分に沿って起った。

謝辞

本研究を行うにあたり，地質調査所の下川浩一氏には，野外および室内において多大の援助と議論をしていただいた。また，同所の垣見俊弘地震地質課長・佃栄吉氏，東京大学理学部の木村敏雄教授，同地震研究所の恒石幸正氏の各氏には，有益な御助言をいただいた。さらに，名古屋大学理学部の山崎文人氏には，岡部町付近の地震に関する詳細なデータを提供していただいた。これらの方々に心から感謝の意を表する。

文献

BARCELONA, B. M., 1978: The development of, and the subsequent deposition in the Sagara-Kakegawa basin, southern Shizuoka, Japan. M. Sc. thesis, Univ. Tokyo (MS.).

千地万造・紺田 功，1978：富岡層群および西八代層群・静川層群の浮遊性有孔虫による生層序.「日本の新生代地質」(池辺展生教授記念論文集)，73－92．

千谷好之助，1931：7.5万分の1地質図「静岡」，同説明書．48P．，地質調査所．

檀原 毅，1980：東海地震予知の問題点について．地震予知研究シンポジウム（1980)，85－95．

茨木雅子，1981：浮遊性有孔虫による南部フォッサマグナ新第三系の地質年代．地質雑，**87**，47－49．

ICHIKAWA, M., 1971: Reanalyses of mechanism of earthquakes which occurred in and near Japan, and statistical studies on the nodal plane solutions obtained, 1926-1968. *Geophys. Mag.*, **35**, 207–274.

気象庁，1974：日本付近の深さ70km以深の地震表（昭和36年～昭和48年)．地震月報別冊第5号．

槇山次郎，1963：5万分の1地質図「掛川」，同説明書．30P．，地質調査所．

松田時彦，1958：富士川地域北部第三系の褶曲形成史．地質雑，**64**，325－345．

———，1961：富士川谷新第三系の地質．同上，**67**，79－96．

茂木清夫，1977：伊豆・東海地域の最近の地殻活動の解釈について．地震予知連絡会東海部会資料，45－51．

大井田徹・伊藤 潔，1974：近畿地方東部および中部地方における浅発地震の発震機構．地震2，**27**，246－261．

塩野清治，1976：西南日本における発震機構とその地学的意味．地質学論集，No.12，99－108．

杉山雄一，1980：静岡県中部に分布する第三系大井川層群の海底地すべり堆積物と異地性角礫岩塊，地質雑，**86**，673－685．

杉山雄一・下川浩一，1981：静岡県中部に分布する古第三系瀬戸川層群の古地理学的研究．同上，**87**，(印刷中)

徳岡隆夫，1964：静岡県下の瀬戸川層群，大井川層群についての概説．同上，**70**，1－11．

徳山　明，1972：糸魚川－静岡線沿いの竜爪山帯と大崩海岸地域の地質概説．静大地学研報，**3**，7－11．

———・半田孝司，1978：フォッサマグナの基盤構造と現在の地殻運動．地学雑，**87**，14－27．

———・吉田鎮男ほか，1979：山梨県下部周辺地域の新第三系の地質，特に剪断褶曲について．静大地学研報，**4**，1－17．

TSUCHI, R., 1961: On the Quaternary sediments and molluscs in the Tokai Region, with notes on the Late Cenozoic history of the Pacific coast of Southwest Japan. *Japan Jour. Geol. Geog.*, **32**, 457–478.

土　隆一(編)，1974：静岡県の地質，154P.，静岡県．

塚原弘昭ほか，1978：静岡県岡部町における水圧破壊法による地殻応力の測定．地震2，**31**，415－433．

TSUNEISHI, Y., YOSHIDA, S. and KIMURA, T., 1975: Fault-forming process of the Komyo Fault in Central Japan. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **50**, 415–442.

恒石幸正・杉山雄一，1978：駿河トラフを横断する駿豆断層．地震予知連絡会会報，**20**，138－141．

鵜川元雄，1981：中部地方・西南日本の地殻底地震発生のメカニズム．地震学会昭和56年度春季大会講演予稿集，56．

UTSU, T., 1961: A statistical study on the occurrence of aftershocks. *Geophys. Mag.*, **30**, 521–605.

山崎文人・大井田徹，1979：駿河湾及びその周辺の地震活動．地震2，**32**，451－462．

———・———，1980：フィリピン海プレートのサブダクションに伴う地震のメカニズム．地震学会昭和55年度秋季大会講演予稿集，162．

———・———・青木治三，1980：フィリピン海プレートのサブダクション．同上，161．