

第二瀬戸内海の右横ずれ沈降盆地

— 大規模横ずれ断層の活動領域移動に伴う沈降盆地の変遷モデル —

Right-lateral strike-slip basins in the Second Paleo-Seto Inland Sea

— A model of basin development associated with the migration of active domain of a large-scale strike-slip fault —

杉山 雄一*

Yuichi Sugiyama

Abstract: The 2nd Paleo-Seto Inland Sea is an E-W-trending freshwater to shallow-marine depositional province along the Median Tectonic Line (MTL) of Southwest Japan in the Pliocene to Middle Pleistocene. The 2nd Paleo-Seto Inland Sea on the east of Osaka has been composed of three basins; the Tokai, Kobiwako (old Lake Biwa) and Osaka Basins from the east. These basins have been arranged in right-lateral echelon and have possessed an NE-SW axis diagonal to the MTL. The facts suggest that the basins have been formed as strike-slip basins by right-lateral shearing along the MTL. The estimated formation age of the basins becomes younger westward; 4~5Ma for the Tokai, 3.5~4Ma for the Kobiwako and 3~3.5Ma for the Osaka Basin. The data indicate the westward migration of an active domain of the MTL. The subsidence center of each basin has gradually shifted northwards, and the superposition of N-S structures upon the older NE-SW structures has begun from the south nearby MTL. The fact suggests the northward shifting of right-lateral shear zone and the formation of E-W compressive field nearby MTL in keeping with the decline of the MTL activity. The active tectonics around Ise Bay, a descendant of the Tokai Basin, is controlled by N-S structures, while the active tectonics around the Osaka Basin is characterized by coexistence of NE-SW structures with N-S ones. The active tectonics around Lake Biwa is at the intermediate stage between the Tokai and Osaka Basins. These facts show that the easternmost Tokai Basin is at the most advanced stage of basin development in the 2nd Paleo-Seto Inland Sea. The formation of the 2nd Paleo-Seto Inland Sea is nearly simultaneous with that of forearc basins and inverted L-shaped outer ridges, which is closely related to the beginning of right-lateral oblique subduction of the Philippine Sea Plate along the Nankai Trough.

*地質調査所環境地質部

はじめに

近畿～東海地方の活構造を俯瞰すると、外帯側にはプレート境界地震の震源領域に対応し、逆L字形に屈曲する外縁隆起帯とその北西側の前弧海盆のセットからなる東西幅120～150kmの構造单元(栗田・杉山, 1989)が存在する(Fig. 1). 一方、内帯側の大阪湾、琵琶湖及び伊勢湾に囲まれた地域(Huzita, 1962の近畿トライアングル)には南北性の逆断層が多数存在し、その北東及び北西側(中部山地及び中国山地)の横ずれ断層卓越地域と対照をなしている(Fig. 1). また、近畿トライアングルの西側には播磨灘や燧灘などの雁行盆地からなる瀬戸内海が

存在し、そのテクトニクスは一見、近畿トライアングルのそれとは大きく異なっているように見える. しかし、近畿トライアングルの領域は、鮮新世から中期更新世にかけての時代には中央構造線の北側に沿う淡水～浅海堆積区(第二瀬戸内海; 池辺, 1957)の一部をなしており、現在の瀬戸内海はこの古い瀬戸内海の後身と考えられる. これまでに蓄積されている第二瀬戸内海に関する研究データを総合すると、少なくとも大阪以東の第二瀬戸内海の古地理(大地形)は現在の瀬戸内海の大地形と大変よく似ている. この事実は、第二瀬戸内海の形成及び変遷を支配したテクトニクスの枠組みが現在の瀬戸内海のそれと基本的に同じである可能性を示唆す

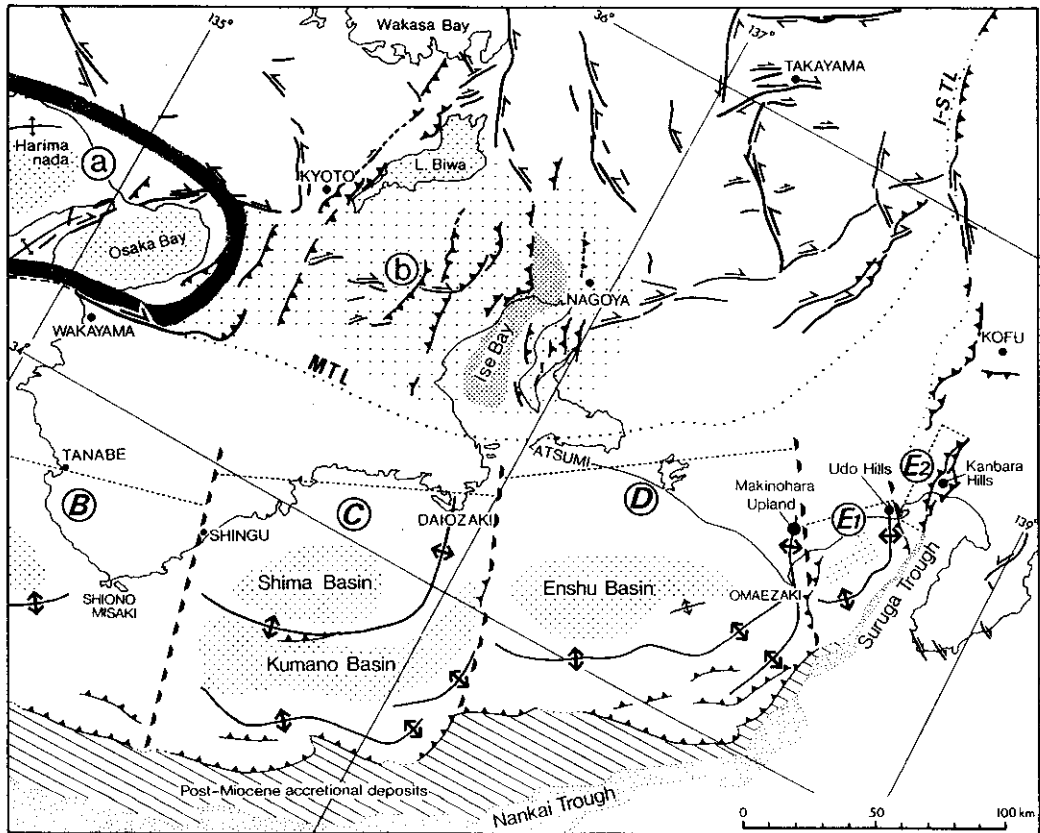


Fig. 1 Active-tectonic map of the Kinki-Tokai district.
 a: Setouchi shear zone (Tsukuda, 1990), b: area of the 2nd Paleo-Seto Inland Sea,
 B-E₂: structural units of the Outer Zone (source areas of plate boundary earthquakes).

る。

本稿は、このような観点から第二瀬戸内海のテクトニクスについて考察したものである。

瀬戸内海の右横ずれテクトニクス

瀬戸内海の大地形は、NE-SW方向の沈降軸を持ち、右雁行配列する4つの沈降盆地(大阪湾、播磨灘、燧灘、伊予灘-安芸灘)とそれらの間のNE-SW方向の島または島列(淡路島、小豆島-家島諸島島列、大島-因島島列)により特徴づけられる(Fig. 2)。このような沈

降盆地と島列の配置は、Fig. 3に模式的に示すように、中央構造線(以下、MTLと呼ぶ)に沿う右横ずれ剪断帯(瀬戸内剪断帯)として理解される(佃, 1988, 1989, 1990)。

第二瀬戸内海の沈降盆地の形成と変遷

第二瀬戸内海に関する従来の研究(総括的なものを挙げると、笠間・藤田, 1957; Huzita, 1962; 桑原, 1968, 1985a, b; 藤田, 1968; 牧野内, 1976, 1985; Takemura, 1985; 市原ほか, 1988; 吉川, 1987; 川辺, 1987, 1989; 吉田, 1990など)

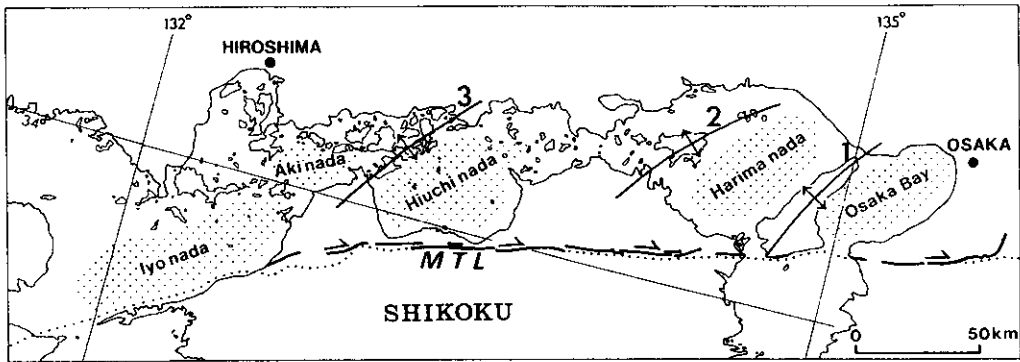


Fig. 2 Major landforms of Setonaikai (the Seto Inland Sea).
1: Awajishima ridge, 2: Shodoshima-Iejima Islands ridge, 3: Oshima-In'noshima ridge.

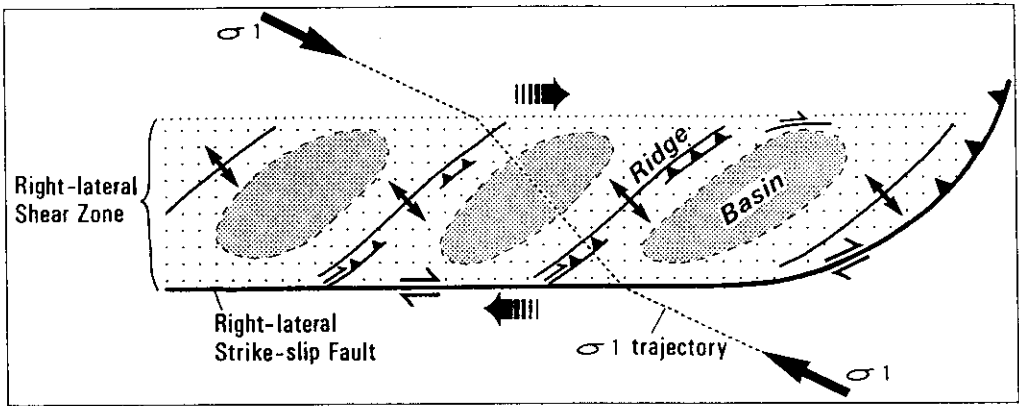


Fig. 3 A schematic formation model of right-lateral en echelon basins and ridges along a major right-lateral strike-slip fault. Modified after Tsukuda (1990).

によると、大阪以東の第二瀬戸内海には3つの大きな沈降盆地(東から東海, 古琵琶湖, 大阪の各湖盆)が存在したと考えられる。以下に、これら3つの沈降盆地の形成時期と変遷について、従来の研究に基づいて簡単に述べる。

沈降盆地の形成時期

第二瀬戸内海の沈降盆地の形成時期は、火山灰層による対比(吉川, 1983; 吉川・吉田, 1989; 吉川・吉川, 1990など)や古地磁気層序(Torii et al., 1974; Otofujii et al., 1975; Hayashida and Yokoyama, 1983など)に基づくと、東海湖盆が最も古く(4~5Ma), 次いで古琵琶湖盆(3.5~4Ma), 大阪湖盆(3~3.5Ma)の順となり、西の湖盆ほど新しい。

沈降盆地の変遷

第二瀬戸内海の沈降盆地の変遷(桑原, 1975)をFig. 4に示す。変遷の詳細については最近の研究による修正が必要な部分もあるが、同図は大筋において以下に略述する各湖盆の変遷を端的に示している。

1. 東海湖盆

桑原(1985a), 牧野内(1985), Takemura(1985)及び吉田(1990)によると、東海湖盆はMTLに隣接する地域(概ね、亀山—瀬戸以南)に発生し、初期の湖盆はENE—WSWないしNE—SW方向の沈降軸を有していた(Fig. 4-A)。時代が下るにつれて湖盆の中心は北へ移動し、鈴鹿—布引山地や養老山地などの南北性隆起の発達に伴って、湖盆は縮小・分化すると共に南北に細長い形に変わって行った(Fig. 4-B~D)。中期更新世以降になると南北性の構造は更に顕著なものとなり、南北性の逆断層で境された断層地塊(傾動地塊)群が形成され、最後に残された沈降域(濃尾傾動地塊西縁部及びその南方延長)には伊良湖水道から海水が浸入し、伊勢湾が形成された(Fig. 4-E)。

2. 古琵琶湖盆

古琵琶湖盆は上野盆地付近に発生し、時代と共に北上し現在の琵琶湖に至っている(池辺, 1960; 川辺, 1989など; Fig. 4-B~E)。川辺

(1989)によると、古琵琶湖盆は南から北へ形成時期が新しくなる4つの堆積盆地に区分される。各堆積盆地における層厚変化、古流向及び地質構造(川辺, 1989など)から判断すると、各時期の古琵琶湖盆はNE—SW方向の沈降軸を有し、同方向及び南北(~NNW—SSE)方向の構造(断層や褶曲)に支配されている。

3. 大阪湖盆

大阪湖盆は現在の大阪湾に引き継がれており(海水の浸入は1.2Ma以降)、その堆積物(大阪層群)の主要部は大阪湾及び大阪平野の地下に分布する。地表における大阪層群の分布は、主として大阪湾の南東~北東側に位置する和泉、羽曳野、枚方、千里山などの丘陵及び奈良—京都盆地沿いの丘陵に認められ(吉川, 1987など)、湖盆域は西~北西へ移動あるいは縮小している。藤田(1982)、市原(1987)などによると、初期の大阪湖盆は“東西性”(ENE—WSW方向)の沈降軸を有し、生駒山地や上町上昇帯などの大阪湖盆東部の南北性隆起(逆断層を伴う)は大阪層群下部層の堆積後(中期更新世以降)に顕在化している。

大規模横ずれ断層の活動領域移動に伴う沈降盆地の変遷モデル

上に略述した第二瀬戸内海の各沈降盆地の変遷を総括すると、以下のような特徴及び共通点が指摘できる。

- ①: 第二瀬戸内海における沈降盆地の形成時期は、東から西へ向かって若くなる。
- ②: 各沈降盆地は少なくとも形成初期には、NE—SWないしENE—WSW方向の沈降軸を有し、全体として右雁行配列する。
- ③: 東海湖盆及び古琵琶湖盆では、沈降の中心が時代と共に北へ移動している。大阪湖盆では沈降中心の移動は明瞭ではないが、湖盆の領域は西~北西へ移動あるいは縮小している。
- ④: 沈降盆地の北あるいは西方への移動に伴い、南北性の構造(隆起帯や逆断層)が沈降軸の方向で代表されるNE—SWないしENE—WSW方向の構造の上に重なって形成されている。

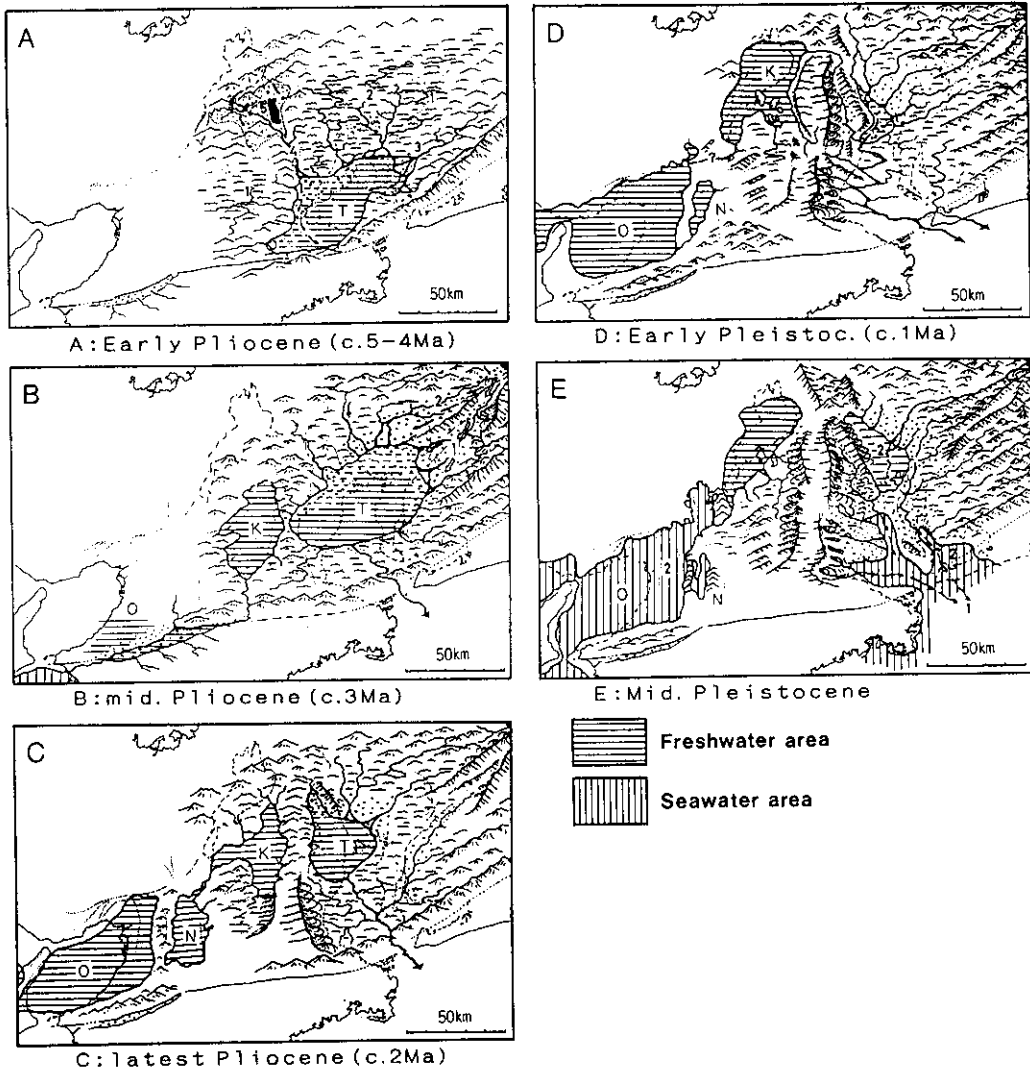


Fig. 4 Paleogeographic maps showing the progressive stages of basin development in the 2nd Paleo-Seto Inland Sea (After Kuwahara, 1975).

T: Tokai Lake, K: Kobiwako Lake, O: Osaka Basin, N: Nara Lake.

⑤: 各沈降盆地におけるアクティブテクトニクスを比較すると、東海湖盆地ではNE-SW方向の構造はほとんど非活動的となり、南北性の構造が支配的になっているのに対して、大阪湖盆地ではNE-SW方向の構造(大阪湾部)と南北性の構造(東部丘陵地域)が並存する(Fig. 1)。また、古琵琶湖盆地のアクティブテクトニクスは、東海及び大阪湖盆地の中間的な段階

に位置する。

これらの特徴のうち②は、東海、古琵琶湖、大阪の各湖盆が現在の瀬戸内海の沈降盆地と同様に、MTL沿いの右横ずれ剪断作用による横ずれ沈降盆地として形成されたことを示唆する。

また、①は、五条～吉野付近のMTLが前期更新世には活動していたこと(Sangawa, 1986)

を考え併せると、MTLの右横ずれ活動領域が時代と共に西へ移動してきたことを示唆する。

更に、③、④、⑤は、MTLの活動が東側の地域から衰退して行き、このようなMTLの活動衰退に伴って、右横ずれ剪断帯(沈降盆地)がMTLから離れて北へ移動すると共に、MTLに隣接する南部地域から東西圧縮性のスラスト型変形構造が顕著になってきたと解釈できる。

以上のように、第二瀬戸内海の沈降盆地の形成と変遷は、第二瀬戸内海を現在の瀬戸内海と同様に、MTL沿いの右横ずれ剪断帯として捉え、MTLの右横ずれ活動領域が時代と共に西へ移動した(東側の地域から活動を停止した)と考えることによりうまく説明することができる。

このような第二瀬戸内海の沈降盆地の形成と

変遷に関するデータ及び考察に基づく、Fig. 5に示すような大規模横ずれ断層の活動領域移動に伴う沈降盆地の変遷モデルが得られる。

このモデルによると、東海湖盆や大阪湖盆で強調されている湖盆形成初期と後期における構造方向や変動様式の違い(桑原, 1985b; 藤田, 1968など)は、MTLの右横ずれ活動期とその後の活動衰退・停止期のテクトニクスの違い(例えば、Fig. 5中のSTAGE 1のAとSTAGE 3のA")に対応する。また、第二瀬戸内海区における鮮新世の南北圧縮性テクトニクス(藤田, 1982など)は、北西-南東ないし東西を主圧縮軸方位とするMTL沿いの右横ずれ剪断テクトニクスに置き換えられる。更に、現在の伊勢湾周辺、琵琶湖周辺、大阪湾周辺、播磨灘周辺、…の東から西へのアクティブテクトニクス

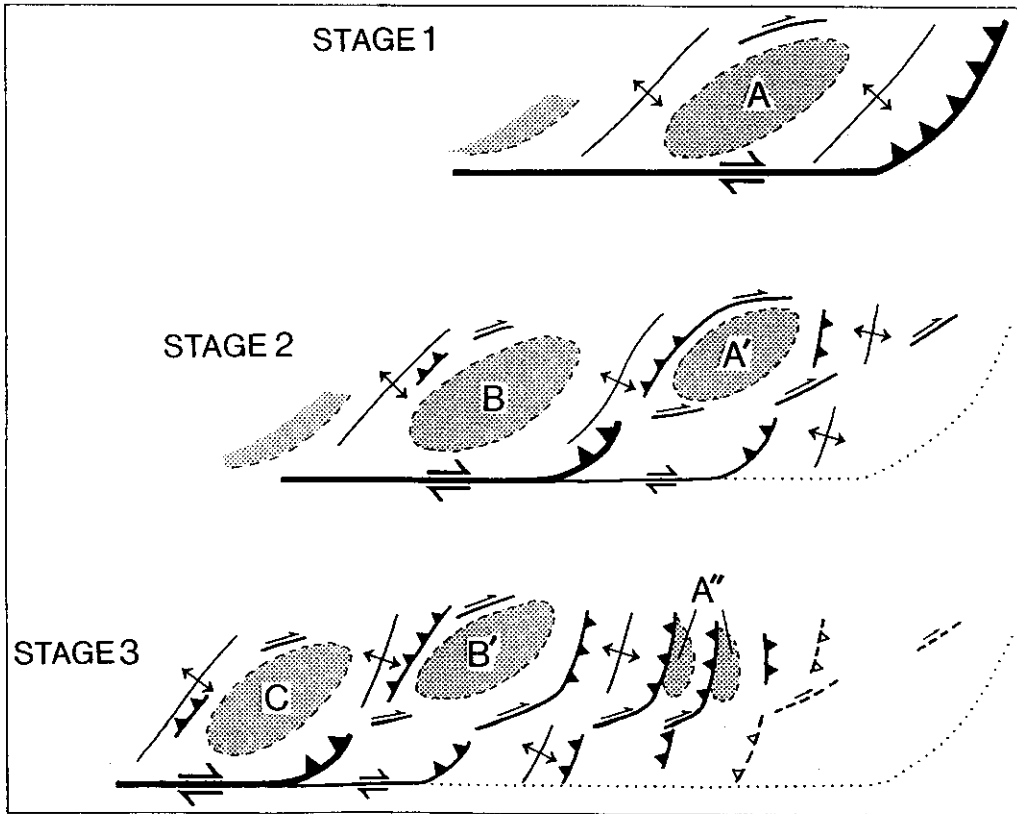


Fig. 5 A schematic model of basin development associated with the migration of active domain of a large-scale strike-slip fault.

の変化は、東側の地域ほどテクトニクスの段階がより進んでいることの反映と理解される。

おわりに

以上、本稿では第二瀬戸内海の形成及び変遷に関するデータと考察に基づいて、大規模横ずれ断層の活動領域移動に伴う沈降盆地の変遷モデルを提示した。最後に、このモデルと関連して筆者が今後の研究課題と考えている点を指摘して、本稿のまとめに替えたい。

モデルの実証に必要な研究

本稿で提示したモデルでは、東海湖盆や古琵琶湖盆の形成はMTL沿いの右横ずれ剪断作用によって形成されたとされる。しかしながら、紀伊半島東部から三河湾付近にかけてのMTLに関しては、これまでのところ鮮新世～前期更新世に活動した明瞭な証拠は得られていない(岡田, 1973など)。この地域のMTL沿いには鮮新統～下部更新統は分布しないため、地層と断層との切断/被覆関係からこの時期の活動を検証することはできない。また、この時代の断層活動を変動地形的に検証することも困難である。したがって、本稿のモデルをMTLについて実証するためには、今後、断層破碎物質のESR年代測定(Fukuchi et al. (1986)はこの方法により、糸魚川-静岡構造線の鮮新世～中期更新世における断層活動を明らかにしている)など、断層破碎物質から直接断層の活動年代を得る研究手法の開発と適用が必要と考えられる。

MTLの右横ずれ活動とフィリピン海プレートの右斜め沈み込みとの関係

本稿で提示したモデルに基づく、MTLの右横ずれ活動は4～5Ma頃に伊勢湾～三河湾付近で始まり、活動領域は次第に西へ移動したと考えられる。MTLの活動が始まった時期は、外帯における掛川堆積盆及びその外縁隆起帯の形成時期(約4Ma)と概ね一致する。掛川堆積盆は構造単元Dに含まれる遠州海盆(Fig. 1)の前身であり、その形成はフィリピン海プレートの

右斜め沈み込みの開始と関連していると考えられる(杉山, 1989)。

したがって、本稿で提示したモデル及び杉山(1989)の考え方が正しいとすると、MTLの右横ずれ活動の開始はフィリピン海プレートの右斜め沈み込みの開始と関連している可能性がある。筆者は現在、4.5～5Ma頃に南海トラフ沿いの沈み込みスラブが切れ、フィリピン海プレートの運動方向が北に偏った方向から真西に近い方向へ変化したため、南海トラフでは右斜め沈み込みが始まり、MTLでは右横ずれ活動が始まったとする仮説(Fig. 6)を持っている。

また、MTLの右横ずれ活動領域の西方移動及び東方からの活動衰退については、南海トラフとMTLとの距離が西ほど大きい(少なくとも現在ではそうになっている)ことが原因の一つではないかと考えている。その理由は、このような東西方向の距離変化があると、MTLの右横ずれ活動を引き起こす外帯側と沈み込みスラブとの強いカップリングが東側ほど早く出現し、また、MTLの活動衰退を引き起こすスラブ先端の内帯側への到達(Shiono, 1980)も東側ほど早くなると期待されるからである。これらの仮説を検証するためには、今後、前期中新世以降の外帯及び内帯の地学現象を歴史的変遷と空間的な“場の移動”という二つの側面から総合的に捉える研究を推進する必要があると考えている。

謝 辞 地質調査所環境地質部の佃 栄吉・水野清秀・吉川清志・粟田泰夫の各氏並びに地質部の吉田史郎氏には、筆者の考察を進める過程でいろいろと議論して頂いた。水野清秀氏にはこのほかに、東海、古琵琶湖及び大阪層群の年代、火山灰層、構造など多岐にわたる情報を御教示頂いた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

文 献

粟田泰夫・杉山雄一, 1989: 南海トラフ沿いの巨大地震に伴う右横ずれ逆断層構造。

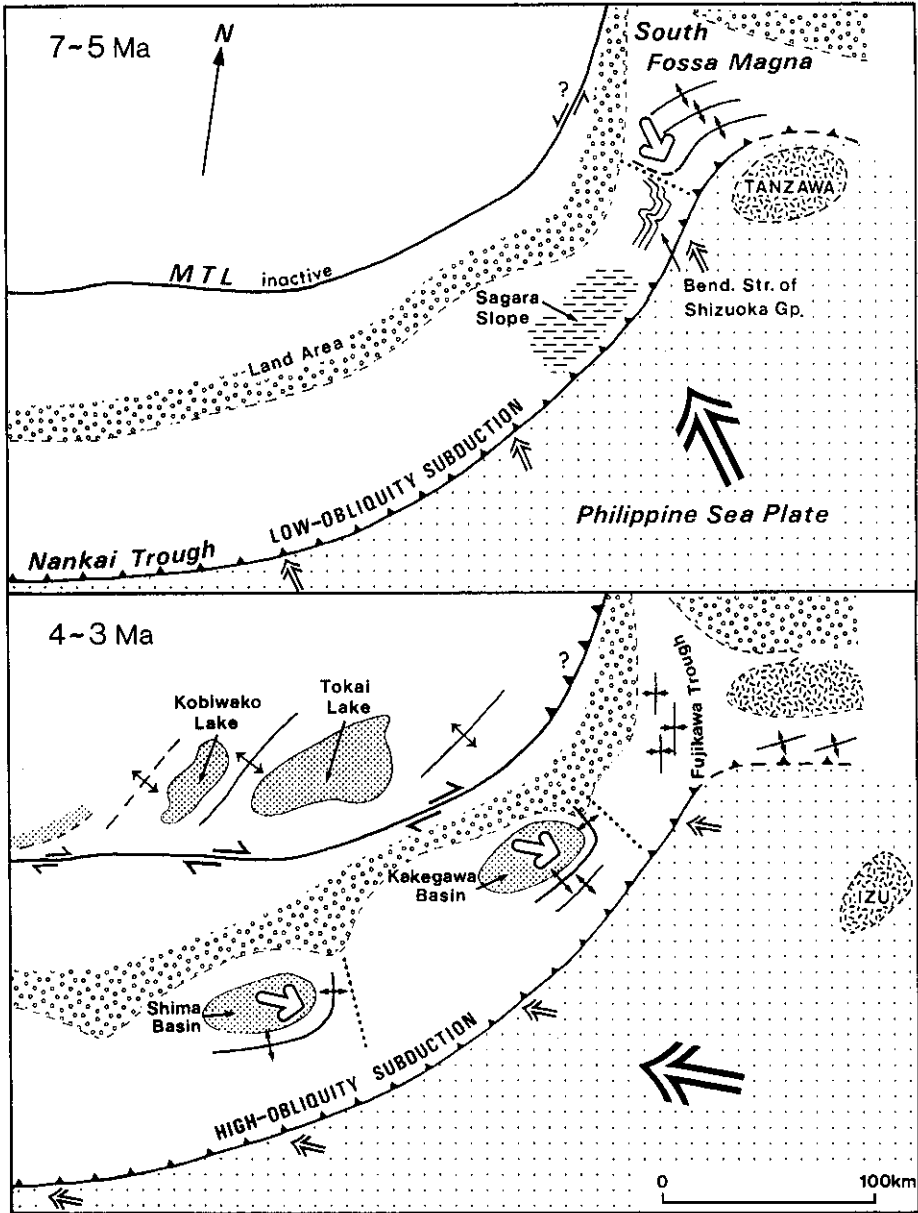


Fig. 6 A possible formation model of right-lateral shear zone along the MTL and right-lateral structural units along the Nankai Trough in connection with the change of interplate motion.

Arrows in the South Fossa Magna (top figure) and in the Kakegawa and Shima Basins (bottom figure) show displacement vectors of the plate boundary earthquakes.

- 地震 2, v.42, 231-233.
- Fukuchi, T., Imai, N. and Shimokawa, K., 1986 : ESR dating of fault movement using various defect centres in quartz; the case in the western South Fossa Magna, Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 78, 121-128.
- Hayashida, A. and Yokoyama, T., 1983 : Paleomagnetic chronology of the Plio-Pleistocene Kobiwako Group to the southeast of Lake Biwa, Central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v.89, 209-221.
- Huzita, K., 1962 : Tectonic development of the median zone (Setouchi) of Southwest Japan, since the Miocene. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, v.6, 103-144.
- 藤田和夫, 1968 : 六甲変動, その発生前後. 第四紀研究, v.7, 248-260.
- , 1982 : 六甲変動. 藤田和夫・笠間太郎著 大阪西北部地域の地質(地域地質研究報告), 地質調査所, 85-87.
- 池辺展生, 1957 : 日本の新生代の積成盆地一特に中新世の積成区一. 新生代の研究, v.24/25, 1-10.
- , 1960 : 古びわ湖. びわ湖研究(びわ湖学術研究会会報), no.1, 2-3.
- 市原 実, 1987 : 鮮新-更新統(6)構造. 日本の地質6:近畿地方, 共立出版, 154-157.
- ・吉川周作・亀井節夫・那須孝悌, 1988 : 近畿地方の第四紀層の層序区分. 地質学論集, no.30, 111-125.
- 笠間太郎・藤田和夫, 1957 : 日本の新生代の堆積区とその変遷(1)-瀬戸内地質区の特性と変遷-. 新生代の研究, v.24/25, 11-19.
- 川辺孝幸, 1987 : 鮮新-更新統(3)古琵琶湖層群. 日本の地質6:近畿地方, 共立出版, 144-151.
- , 1989 : 近畿の鮮新-更新統堆積盆地のブロック運動. 地球科学, v.43, 402-416.
- 吉川清志・吉川周作, 1990 : 東海層群に挟まれる火山灰層の化学組成の特徴と大阪・古琵琶湖層群との対比. 地質学会講演要旨集, 234.
- 桑原 徹, 1968 : 濃尾盆地と傾動地塊運動. 第四紀研究, v.7, 235-247.
- , 1975 : 濃尾傾動盆地の発生と地下の第四系. 地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書(第1報), 愛知県環境部, 111-182.
- , 1985a : 濃尾平野の地下水盆. 東海三県地盤沈下調査会編 濃尾平野の地盤沈下と地下水, 名大出版会, 35-76.
- , 1985b : 瀬戸内区構造運動の特性. 地団研専報, no.29, 171-189.
- 牧野内 猛, 1976 : 知多半島南部の地質構造と伊勢湾周辺地域の構造運動. 地質雑, v.82, 311-325.
- , 1985 : “第二瀬戸内沈降区”発生期の諸問題. 地団研専報, no.29, 53-64.
- 岡田篤正, 1973 : 中央構造線の第四紀断層運動について. 杉山隆二編 中央構造線, 東海大出版会, 49-86.
- Otofuji, Y., Makinouchi, T. and Nishida, J., 1975 : Preliminary report of magnetostratigraphy of Tokoname Group in Chita Peninsula. *Rock Mag. Paleogeophys.*, v.3, 36-40.
- Sangawa, A., 1986 : The history of fault movement since late Pliocene in the central part of Southwest Japan. *Royal Soc. N.Z.Bull.*, v.24, 75-85.
- Shiono, K., 1980 : Seismological study on the Median Tectonic Line of Southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no.18, 155-174.
- 杉山雄一, 1989 : 島弧における帯状構造の屈曲とプレートの斜め沈み込み(第1部及び第2部). 地調月報, v.40, 533-564.
- Takemura, K., 1985 : The Plio-Pleistocene Tokai Group and the tectonic development

- around Ise Bay of central Japan since Pliocene. Mem. Fac. Sci, Kyoto Univ, v.51, 21-96.
- Torii, M., Yoshikawa, S. and Itihara, M., 1974 : Paleomagnetism on the water-laid volcanic ash layers in the Osaka Group, Sennan and Senhoku Hills, southwestern Japan. Rock Mag. Paleogeophys., v.2, 34-37.
- 佃 栄吉, 1988 : 中央構造線の右横ずれテクトニクス. 地質学会講演要旨集, 459.
- , 1989 : 西南日本弧と琉球弧のアクティブテクトニクス. 地質学会講演要旨集, 446.
- , 1990 : 活断層と横ずれテクトニクス. 構造地質, no.35, 77-82.
- 吉田史郎, 1990 : 東海層群の層序と東海湖盆の古地理変遷. 地調月報, v.41, 303-340.
- 吉川周作, 1983 : 大阪層群と古琵琶湖層群の火山灰層の対比. 地団研専報, no.25, 45-61.
- , 1987 : 鮮新-更新統(2)大阪層群. 日本の地質6 : 近畿地方, 共立出版, 133-144.
- ・吉田史郎. 1989 : 三重県亀山地域の東海層群火山灰層. 地調月報, v.40, 285-298.