

海溝付近の変動地形と地震

米倉伸之*

1. はじめに

断層と地震の関係を考察する場合に、日本付近では多くの海底地震が発生しているので、海底における地殻変動について知ることが大切である。陸上とちがって、海底地震に伴う地殻変動を知るには、地震波、津波の解析などにたよらざるをえない。しかし、海底地形は陸上ほど侵蝕作用を受けていないので、変動地形が保存されやすく、地形が地質構造や地殻構造を直接に反映しているという利点がある。

わが国においても最近、海上保安庁水路部の「海の基本図」作成作業をはじめ、海底地形や海底地質構造の調査が進展しつつある（例えば、茂木・佐藤, 1975; 佐藤・茂木, 1975）。本論では今までの研究成果により、海溝に近接する地域の海底地形の特徴を述べ、海底の変動地形と地震に伴う地殻変動との関係について考察する。

2. 島弧—海溝系の巨大地震

島弧—海溝系では浅い地震（微小地震から巨大地震まで）が数多く発生している。とくに海溝の陸側斜面から大陸斜面にかけて海溝軸に平行して帯状に集中しており、「外側地震帯」とよばれている。また日本列島の本州弧をはじめ、いくつかの島弧では、火山性内帯で地殻内地震が活発で、「内側地震帯」とよばれている（Mogi, 1968）。外側地震帯の浅い地震の多くは、島弧に直交または斜交する方向に、海側のブロックが島弧の下へもぐりこむ逆断層型のメカニズムを示す（Isacks *et al.*, 1968; Sykes *et al.*, 1970）。しかし数は少ないが海溝の直下から海側斜面にかけては、海溝軸にほぼ平行する正断層型の地震もおきている（Stauder, 1968; Katsumata and Sykes, 1969）。

島弧—海溝系の巨大地震（M8級）または大地震（M7級）は、陸地の地殻変形や津波（＝海底の地殻変形）を伴う（Yonekura, 1972）。巨大地震や大地震は、地震時に放出されるエネルギーが大きいだけでなく、数 m の断層変位と長さ数 10—数 100 km（ときには 1000 余 km）の変動域をもつので、地殻変動の進行に重要な役

割を果している。太平洋の海溝ぞいの巨大地震に伴う地殻変動については、すでにいくつかのまとめが発表されている（金森, 1972; Plafker, 1972; 米倉・安藤, 1973）。それらによれば、海溝系の巨大地震の多くは、低角逆断層型の断層モデルによってよく説明され、これらの巨大地震の発生は、大洋プレートが大陸プレートの下にもぐりこむ動きを直接示す証拠と考えられるに至った。またこれらの地震に伴う地殻変動と第四紀地殻変動との関係も考察されはじめている（吉川, 1968; Katozuka *et al.*, 1973, Yonekura, 1975）。

3. 海溝地形の特徴

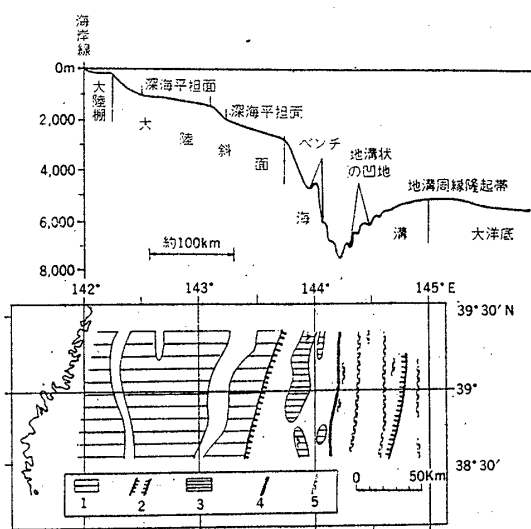
千島海溝・日本海溝・伊豆—小笠原海溝は太平洋の北西縁を画し、それぞれ千島弧・東北日本弧・伊豆—小笠原海嶺の前面の深まりをなしている。これらの島弧—海溝系では、海溝帯・非火山性外帯・火山性内帯・縁海という地形配列が明瞭である。一方、南海舟状海盆・琉球海溝は、西南日本弧・琉球弧と対をなしている。西南日本弧は火山帯の発達が貧弱なこと、深発地震がないこと、前面の深まりが浅いことなど、活動度の低い島弧といわれている（上田・杉村, 1970; Sugimura and Uyeda, 1973）。

海溝付近の模式的な地形断面を第 1 図に、南海舟状海盆付近の地形学図を第 2 図に示す。大洋底から海溝への移りかわりは、大陸側にくらべて漸移的で、海溝大洋側斜面の外側には、海溝周縁隆起帯がある。この地形的ふくらみは、巾 200—400 km で、比高 200—300 m 位の長波長の地殻変形を示す。海溝帯と非火山性外帯との境界は、大陸斜面と海溝陸側斜面との傾斜変換部により地形的に定義される。海溝帯では海溝軸に平行する階段状の起伏が発達し、海溝斜面全体としては陸側がより急傾斜で、三陸沖では陸で平均 6°, 大洋側で 2° 位である（岩淵, 1968, 1969, 1970a; 佐藤, 1969, 1972）。

3—1. 海溝軸の外側

海溝大洋側斜面には、海溝軸に平行で長い地溝状凹地があり、斜面上の新しい堆積物と基盤を切る正断層群が発達している。この凹地は一般に海溝軸に近いほど比深が大きく 200—400 m に達し、大洋底に近づくと数 10 m と小さくなる（Ludwig *et al.*, 1966; 岩淵, 1968;

* 東京大学理学部地理学教室

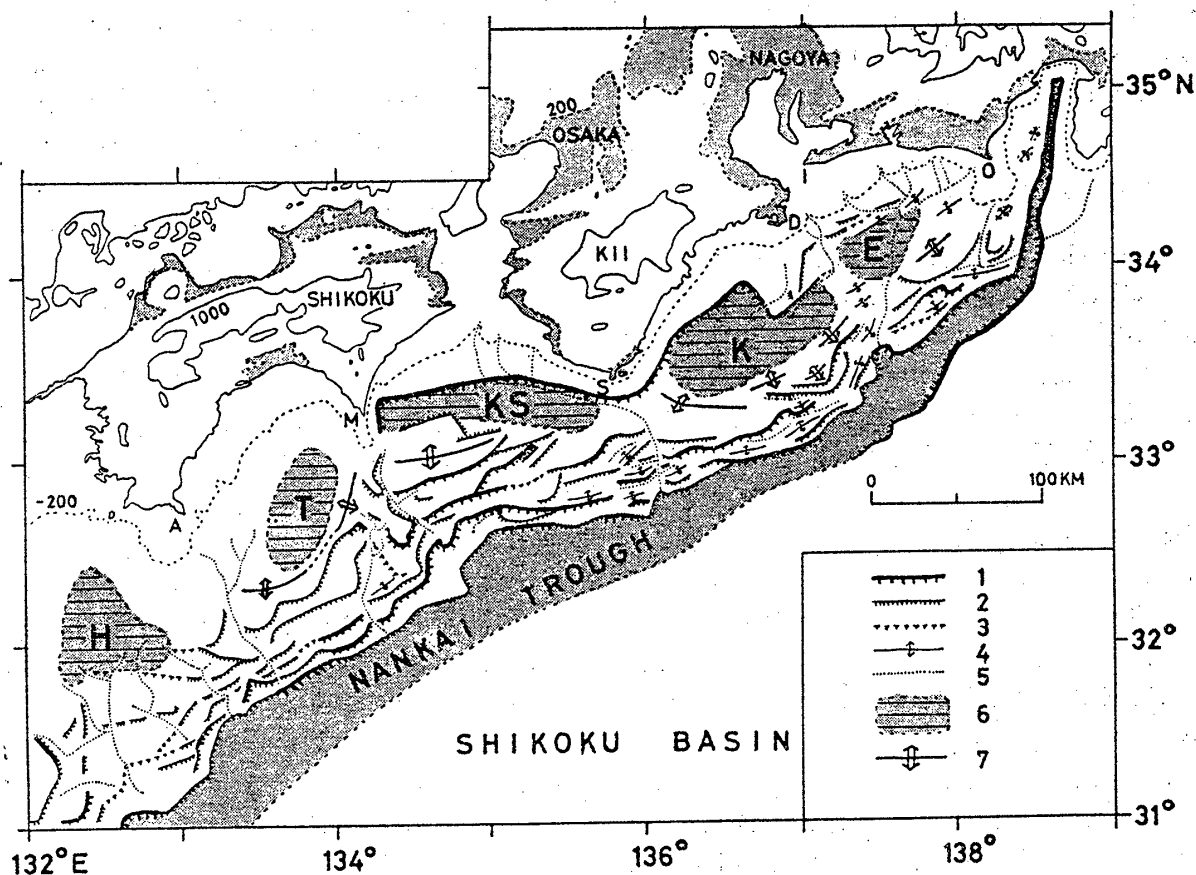


第1図 海溝を中心とする模式地形断面(上図・岩測, 1970)と三陸沖日本海溝付近の地形学図(下図・岩測, 1968),

1. 深海平坦面, 2. 海溝帯, 3. ベンチ,
4. 海溝軸, 5. 地溝状凹地

DEN *et al.*, 1971; HOTTA, 1970). 海溝底は堆積物がなくV字形を示す場合と, 堆積物で埋積されて平坦な地形を示す場合とがある. 海溝底堆積物は二層からなり, 大洋底から島弧側へ傾きさがる遠洋性堆積物の上に, 陸源性タービダイトを主とする水平層理の堆積物がのる. 海溝底堆積物は海溝陸側斜面に abut する部分以外では, 一般に変形をうけていない (HILDE *et al.*, 1969; LUDWIG *et al.*, 1973).

海溝付近のこのような地形・地質の特徴は, 海洋地殻が島弧の下へもぐりこむ際に, 大陸地殻の抵抗をうけて盛りあがり, たわんで破断をうけていることを示すと考えられる. 海溝軸付近の正断層型の浅い地震は, 上述の海洋地殻のもぐりこみに伴う変形と調和的で, 海洋地殻の上部に局地的な展張場が生ずるため発生するものと理解されている (ISACKS *et al.*, 1968). しかし, 1933年三陸地震のように, 海溝軸付近の正断層型巨大地震の断層面は, 傾斜が大きく海洋地殻の深部にまで達しており, 上述の局地的変形とは全く異なる変動様式を示す



第2図 南海舟状海盆付近の地形学図

- 1: 比高 600 m 以上の急斜面, 2: 比高 200 m 以上の急斜面, 3: 比高 200 m 以下の急斜面,
4: リッジ, 5: トラフおよび海底谷, 6: 深海平坦面, E: 遠州灘凹地, K: 熊野灘盆地,
KS: 紀伊水道盆地, T: 土佐盆地, H: 日向灘盆地, 7: Outer Ridge (YONEKURA, 1975)

(金森, 1972).

チリ海溝やアリューシャン海溝などで、海溝底堆積物が変形を受けていないことが、島弧や大陸の下への海洋地殻のもぐりこみ説に対する反証としてあげられたことがある (SCHOLL *et al.*, 1968, 1970; VON HUENE and SHOR, 1969). しかし、最近の地震反射法のデータによれば、海溝底堆積物が大陸斜面基部で褶曲や隆起などの変形を受けていること、さらに海洋地殻が海溝軸を越えて大陸斜面下にもぐりこんでいることが、多くの海溝で明らかにされつつある (CHASE and BUNCE, 1969; EWING *et al.*, 1969; HILDE *et al.*, 1969; HAYES and EWING, 1970; VON HUENE, 1972; HOLMES *et al.*, 1972; BECK and LEHNER, 1974; SEELEY *et al.*, 1974).

3-2. 海溝軸の内側

海溝に面する大陸斜面は、傾斜変換部によって急傾斜の海溝陸側斜面から区別され、三陸沖では大陸斜面外縁は水深 2400—3400 m 付近にある。この傾斜変換部は、Trench Slope Break (DICKINSON, 1973) とよばれ、地形的高まり (Outer Ridge, 吉井ほか, 1970; LUWIG *et al.*, 1973) や、基盤の高まり (Midslope Basement High, KARIG, 1971) が認められる。大陸斜面と海溝陸側斜面とは単に傾斜だけでなく、多くの点で性格を異にする。

海溝陸側斜面上には何段かの階段状のベンチ地形が分布する。その外縁には、比高数 10—数 100 m の地形的高まりがあり、内側の凹地には堆積物が堆積している。海溝陸側斜面上の起伏にとむ地形は、海溝軸に平行して帯状に分布しているので、この地帯をとくに Ridge and Trough Zone とよぶことがある (岩淵, 1970b)。地震反射法によれば、この斜面は、音響的不透明層から成っている。

一方、大陸斜面上には、巾の広い深海平坦面が発達している。三陸沖では水深 1000—1800 m 面がもっとも広く、巾 50 km 以上、長さ 110 km に達するが、常磐沖・鹿島灘では小規模になる (岩淵, 1968)。南海舟状海盆に面して、土佐海段 (水深 800—1000 m)、日向海段 (水深 1600—2000 m) とよばれる広い深海平坦面が発達している (田山, 1950) (第 2 図)。大陸斜面の堆積層は 3 層に区分される。深海平坦面は表層の水平堆積層の堆積面で、その下には褶曲した厚い堆積層があって、深海平坦面の外縁部で構造的な高まり (Outer Ridge) をなしている。第 3 層は音響的不透明層で上述の堆積層の基盤をなし、深海平坦面外縁部から海溝陸側斜面の海底に露出している (佐藤・徳弘, 1969; DEN *et al.*, 1971; LUDWIG *et al.*, 1966; HOTTA, 1970, HILDE *et al.*, 1969; 岩淵, 1970; 吉井ほか, 1970, LUDWIG *et al.*, 1973)。

このような深海平坦面の内部構造は、深海平坦面が構造性盆地に起源した堆積面であることを示し、陸源堆積物が海底谷を通じて供給され、Outer Ridge によりせきとめられて、盆地を埋積したと考えられる。深海平坦面下の凹地と Outer Ridge は中新世ないし鮮新世の褶曲した堆積層からなり、Outer Ridge に abut して凹地を埋めている水平堆積層は鮮新世ないし第四紀層であろう (佐藤, 1970; 佐藤・茂木, 1975)。

さらに地殻構造の点からみると、大陸斜面の下には地震波速度 5 km/sec 以上の大陸地殻が、大陸斜面外縁部付近まで分布している。一方、大洋底をなす海洋地殻は海溝軸直下、あるいは海溝陸側斜面下まで達している (LUDWIG *et al.*, 1966; HOTTA, 1970, DEN *et al.*, 1971, YOSHI *et al.*, 1973)。したがって、大陸斜面と海溝の間に地殻構造の急変部があり、深部の地殻構造の gap が大陸斜面と海溝の間の地形の gap, すなわち海溝陸側斜面として表現されており、Trench Slope Break は単に地形的境界であるだけでなく、地殻構造上の大きな境界といえる。

太平洋側の浅発大地震の余震域がブロック構造を示し、それが深海平坦面の分布や大陸斜面を横断する構造起伏と関係深いことが指摘されている (田, 1968; MOGI, 1969; NAGUMO, 1970)。また余震活動の特性から、海溝に近い地域ほど地殻がよく破碎されているという推定 (MOGI, 1967) は、海溝斜面が大陸斜面より波長の短い小単元の地形からできているという特徴と調和的である。

4. 海溝付近の地殻変動

4-1. 大陸斜面の沈降

飯島・加賀美 (1966) は、三陸沖の大陸斜面外縁部 (水深 2350 m) 付近から採取した底質を分析し、この海域が鮮新世中後期には浅海の環境にあったこと、大洋底と海溝底の水深差が三陸沖の大陸斜面の外縁水深によく一致することなどから、日本海溝および大陸斜面外縁が鮮新世末ないし第四紀初頭以降に 2000 m 余り沈降したと推定した。また北海道東方沖の水深 1400—2000 m の深海平坦面の表層堆積物の下には、陸上侵蝕とみられる不整合面が認められることから、三陸沖と同様に 2000 m におよぶ大陸斜面の沈降が推定されている (DEN *et al.*, 1971)。さらに、日本周辺の大陸斜面・陸棚斜面そのものが、日本列島の曲隆に伴った周辺部の撓曲を示すということが指摘されている (奈須ほか, 1968; 茂木, 1975a)。

村内・安井 (1968) は、大洋底と海溝底の水深差は、

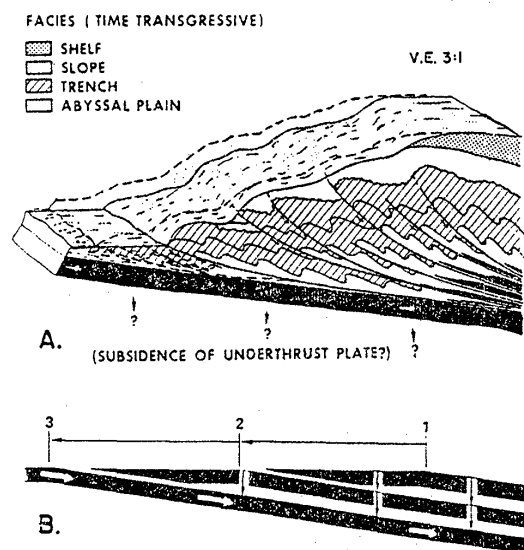
大陸斜面の外縁水深よりも、それと海溝陸側斜面上のベンチとの水深差の方によく一致することから、海溝の形成は大陸斜面外縁とベンチとの間に断層を伴ない、海溝陸側斜面では地殻が沈降すると考えた。さらに、東北日本の現在の島弧—海溝系と斜交する古い地質構造が常磐沖に延びて、海溝付近で消失していることから、大洋プレートが海溝付近から島弧の下へもぐりこむのに伴ない、大陸地殻の一部が沈下し、海溝下にまきこまれ消失したと考えた(村内, 1971)。杉村(1972)は、東北日本と西南日本の古い地質構造の連続性を考慮して、村内の考えを支持した。

さらに、東北日本の火山フロントは、第四紀のものより、中新世のものの方が 50 km 以上太平洋側に位置している。中村(1969)はこの現象を、東北日本弧が日本海溝側へ移動したと解釈した。海溝軸と火山フロントの距離(Arc-Trench Gap, DICKINSON, 1971)が各島弧でほぼ一定であるとすれば、火山フロントの東方への移動量だけ、海溝付近で大陸斜面が消費されたことになり、上述の考えを支持するデータといえよう(村内, 1971; 杉村, 1972)。

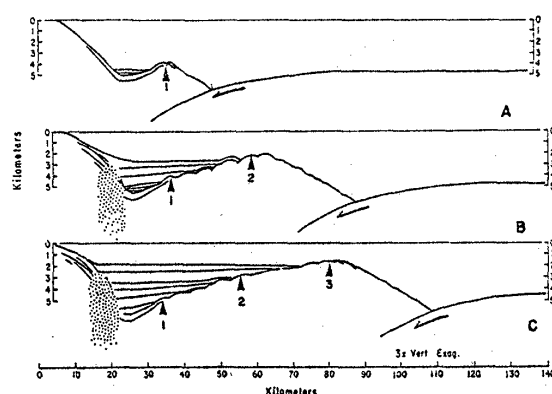
4-2. 大洋底堆積物の添加

海溝付近は重力の負異常により特徴づけられ、負異常帯の軸は海溝軸ないしその内側に位置する。MATSUDA *et al.*, (1967) は、東北日本沖の重力負異常帯付近に、中新世以降現在におよぶ“三陸・常磐沖地向斜”を考えた。最近の地震波屈折法の結果によれば、海溝陸側斜面下には地震波速度のおそい堆積層の存在が考えられ、大陸斜面の Outer Ridge から海溝底にかけての斜面をつくる音響的不透明層は堆積層起源らしい(LUDWIG *et al.*, 1966; MURAUCHI *et al.*, 1968; DEN *et al.*, 1971; HOTTA, 1970; 吉井ほか, 1970)。

この堆積層を大陸斜面の陸側からの成長として解釈する説もあるが、最近では、大洋プレート上の堆積物がプレートのもぐりこみに伴ない、海溝陸側斜面にかきあつまられ大陸地塊に添加されたものとする説が主張されている(吉井ほか, 1970; HOTTA, 1970; SEELEY *et al.*, 1974; KARIG and SHARMAN, 1975)。この考えによれば、堆積物の添加につれて、地形上の海溝軸は大洋側に移動し、海溝陸側斜面に添加された堆積物の荷重により、島弧の下にもぐりこむ大洋プレートは海溝の内陸側で押し下げられる。その結果、大洋プレートのもぐりこみの角度はより低角度になる(第3・4図)。海溝から島弧の下へつづく震源面は、海溝帯から非火山性外帯の下で浅い部分では緩傾斜であるが、火山帯に近づくにつれて深くなるとともに傾斜が大きくなる。この緩傾斜で



第3図 海溝陸側斜面の内部構造モデル(A)と大洋プレートの折れまがり場所の海側への移動と島弧側の沈降を示すモデル(B) (SEELEY *et al.*, 1974)

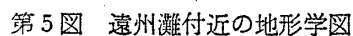


第4図 大洋底堆積物の海溝陸側斜面への添加モデル。堆積物の添加につれて海溝軸・Outer Ridgeの位置は海側へ移動する。数字はA—Cの段階における trench slope breakの位置とその変化を示す(KARIG and SHARMAN, 1975)

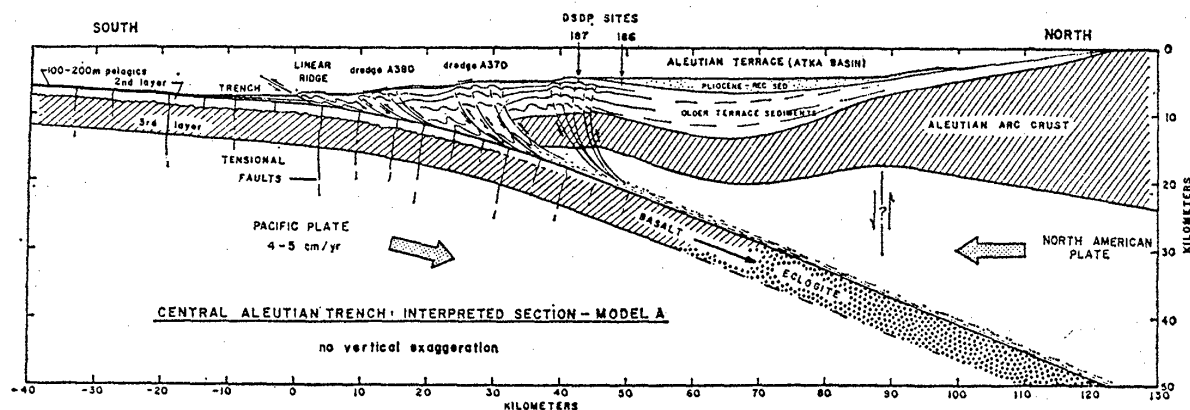
浅い震源面の海溝からの巾は、Arc-Trench Gapの巾と、相関が高く、例えば東アリューシャンはトンガよりも200 km も巾広い(KARIG and SHARMAN, 1975)。

前節で述べた海溝の形成・深化に伴う大陸斜面の沈降・大陸地塊の消失という考えと、海溝陸側斜面への大洋底堆積物の添加・海溝軸の大洋側への移動という考えは、現在のところ両立しがたいようにみえる。しかし、チリ海溝とアリューシャン海溝における大陸斜面・陸棚斜面の性質のちがい(PLAFKER, 1972)は、両説が地域的な相違として、あるいは海溝の発展段階の差として理

Outer Ridge から海溝陸側斜面にかけては、基本的には海溝形成に関連した断層・褶曲を主とする一連の変動地形からなり、Outer Ridge の隆起で代表される地殻変形は、海溝斜面の基部までつづくものとみられる。海溝陸側斜面の地形は、海洋地殻と大陸地殻の間の構造急変



黒地は Outer Ridge, あらい砂目・横線・細かい砂目はそれぞれ深海平坦面をつくる海盆, 海段をつくる小舟状海盆, 南海舟状海盆, 1. 丹沢隆起帯, 2. 御坂隆起帯, 3. 竜爪隆起帯, I. 富士川沈降帯, II. 桂川沈降帯 (茂木, 1975).



第6図 中部アリューシャン海溝付近の地殻構造推定図 (Grow, 1973)

部を反映しており、大洋プレートの島弧下へのもぐりこみに対応した島弧側の変動の地形的表現といえよう (第3・6図)。

海溝に沿う逆断層型の巨大地震は、大洋プレートと大陸プレートの間の運動を直接的に示すと考えられている。両プレート間の境界—巨大逆断層の断層面—は、多くの場合海溝軸から島弧の下へ震源面に沿ってもぐりこんでいるように表現されている。しかし、大陸斜面外縁部から海溝陸側斜面にかけての地形や最近の地震反射法のデータによれば、海溝陸側斜面では褶曲と低角逆断層が基本的な構造であり、巨大逆断層は単一の断層面ではなく、地表近くでは何本かに分岐した逆断層群からなる巾広い断層帯をつくっている。それらの逆断層群は、海溝からはなれるにつれて陸側への傾斜がより大きくなり、全体として覆瓦構造 (imbricate structure) をなしていると推定される (Von Huene, 1972, Plafker, 1972, Grow, 1973, Beck and Lehner, 1974, Seeley et al., 1974, Karig and Sharmán, 1975)。さらに、陸上地質にみられる mélange belts の構造から、かつて海溝斜面を形成していた地帯ははげしい褶曲・衝上構造を示し、それらの堆積物には大洋プレート上の堆積物に由来するものがあることが指摘されている (Hamilton, 1969; Hsü, 1971, Burk, 1972, Ernst, 1970, 1975)。

5. おわりに

海溝付近の変動地形と地殻変動について、逆断層型の巨大地震との関連性を考慮しつつ若干の考察を試みた。Outer Ridge の隆起は巨大逆断層の上盤の隆起によると考え、海溝陸側斜面の地形は巨大逆断層の覆瓦構造を反映しているという立場をとったので、海溝の深化・大陸斜面の沈降についての説明は不十分である。また日本海東縁 (広く言えば縁海) の変動地形と地震との関係については別の機会に考察したい。

文 献

- BECK, R.H. and LEHNER, P. (1974), Oceans, new frontier in exploration. *Amer. Assoc. Petro. Geol. Bull.*, vol. 58, p. 376-395.
- BURK, C.A. (1972), Uplifted eugeosynclines and continental margins. *Geol. Soc. Amer. Memoir* no. 132, p. 75-85.
- CHASE, R.L. and BUNCE, E.T. (1969), Underthrusting of the eastern margin of the Antilles by the floor of the western North Atlantic ocean, and origin of the Barbados ridge. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 74, p. 1413-1420.
- 田 望 (1968), 海底地形と浅発地震の震央分布. 北大地物研報. vol. 20, p. 111-124.
- DEN, N., HOTTA, H., ASANO, S., YOSHII, T., SAKAJIRI, N., ICHINOSE, Y., MOTOYAMA, M., KAKIUCHI, K., BERESNEV, A.F., and SAGALEVITCH, A.A. (1971), Seismic refraction and reflection measurements around Hokkaido, Part 1, Crustal structure of the continental slope off Tokachi. *Jour. Phys. Earth.* vol. 19, p. 329-345.
- DICKINSON, W.R. (1971), Clastic sedimentary sequences deposited in shelf, slope, and trough settings between magmatic arcs and associated trenches. *Pacific geol.*, vol. 3, p. 15-30.
- DICKINSON, W.R. (1973), Widths of modern arc-trench gaps proportional to past duration of igneous activity in associated magmatic arcs. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 78, p. 3376-3389.
- ERNST, W.G. (1970), Tectonic contact between the Franciscan mélange and the Great Valley sequence—Crustal expression of a late Mesozoic Benioff zone—. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 75, p. 886-901.
- ERNST, W.G. (1975), Systematics of large-scale tectonics and age progression in Alpine and Circum-Pacific blueschist belts. *Tectonophysics*, vol. 26, p. 229-246.
- EWING, M., HOUTZ, R., and EWING, J. (1969), South Pacific sediment distribution. *Jour. Geophys. Res.*

- vol. 74, p. 2477-2493.
- GROW, J.A. (1973), Crustal and upper mantle structure of the central Aleutian arc. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 84, p. 2169-2192.
- HAMILTON, W. (1969), Mesozoic California and underflow of Pacific mantle. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 80, p. 2409-2430.
- HAYES, D.E. and EWING, M. (1970), Pacific boundary structure. *The sea* (MAXWELL, A.E. ed.), vol. 4, p. 29-72.
- HILDE, T.W.C., WAGEMAN, J.M., and HAMMOND, W.T. (1969), The structure of Tosa terrace and Nankai trough off southeastern Japan. *Deep-sea Res.*, vol. 16, p. 67-75.
- HOLMES, M.L., VON HUENE, R., and McMANUS, D.A. (1972), Seismic reflection evidence supporting underthrusting beneath the Aleutian arc near Amchitka Island. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 77, p. 959-964.
- HOTTA, H. (1970), A crustal section across the Izu-Ogasawara arc and trench. *Jour. Earth. Phys.*, vol. 18, p. 125-141.
- Hsu, K.J. (1971), Franciscan melanges as a model for eugeosynclinal sedimentation and underthrusting tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 76, p. 1162-1170.
- 飯島 東・加賀美英雄 (1961), 三陸沖一釧路沖大陸斜面の新第三紀以降の構造発達史, 地質雑, vol. 67, p. 561-577.
- ISACKS, B., OLIVER, J., and SYKES, L.R. (1968), Seismology and the new global tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 73, p. 5855-5899.
- 岩淵義郎 (1968), 日本列島東方沖の海溝地形について. 地質雑, vol. 74, p. 37-46.
- 岩淵義郎 (1969), 北西太平洋の海溝地形. うみ, vol. 7, no. 3, p. 15-23.
- 岩淵義郎 (1970a), 海溝. 深海地質学, p. 145-200, 東海大出版会, 東京.
- 岩淵義郎 (1970b), 紀伊半島沖の地形・地質. 島弧と海洋 (星野通平・青木斌編), p. 149-154, 東海大出版会, 東京.
- 貝塚爽平 (1974), 関東地方の島弧における位置と第四紀地殻変動. 関東地方の地震と地殻変動 (垣見俊弘・鈴木耐元編), p. 99-118, ラテイス, 東京.
- KAIZUKA, S., MATSUDA, T., NOGAMI, M., and YONEKURA, N. (1973), Quaternary tectonic and recent seismic crustal movements in the Arauco Peninsula and its environs, central Chile. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, no. 8, p. 1-49.
- 金森博雄 (1972), 巨大地震と島弧—アラスカからマリアナまで—, 科学, vol. 42, p. 203-211.
- KARIG, D.E. (1971), Structural history of the Mariana island arc system. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 82, p. 323-344.
- KARIG, D.E. and SHARMAN III, G.F. (1975), Subduction and accretion in trenches. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 86, p. 377-389.
- KATSUMATA, M. and SYKES, L.R. (1969), Seismicity and tectonics of the western Pacific: Izu-Mariana Caroline and Ryukyu-Taiwan regions. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 74, p. 5923-2948.
- LUDWIG, W.J., EWING, J.I., EWING, M., MURAUCHI, R., DEN, N., ASANO, S., HOTTA, H., HAYAKAWA, M., ASAMUNA, T., ICHIKAWA, K., and NOGUCHI, I. (1966), Sediments and structure of the Japan trench. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 71, p. 2121-2137.
- LUDWIG, W.J., DEN, N. and MURAUCHI, S. (1973), Seismic reflection measurements of Southwest Japan margin, *Jour. Geophys. Res.*, vol. 78, p. 2508-2516.
- MATSUDA, T. (1962), Crustal deformation and igneous activity in the South Fossa Magna, Japan, Crust of the Pacific basin. *Geophys. mono.*, no. 6, p. 140-150.
- MATSUDA, T., NAKAMURA, K., and SUGIMURA, A. (1967), Late Cenozoic orogeny in Japan. *Tectonophysics*, vol. 4, p. 349-366.
- 茂木昭夫 (1975a), 西南日本の continental margin と第四紀地殻変動. フィリピン海の地質学的諸問題 (地質学会82年大会資料集), p. 13-16.
- 茂木昭夫 (1975b), フィリピン海北縁部の海底地形—Outer Ridge について—, 海洋科学, vol. 7, p. 531-536.
- 茂木昭夫・佐藤任弘 (1975), 日本周辺大陸縁辺部の海底 I. 科学, vol. 45, p. 551-559.
- MOGI, K. (1967), Regional variation of aftershock activity. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 45, p. 711-726.
- MOGI, K. (1968), Some features of recent seismic activity in and near Japan (1). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 46, p. 1225-1236.
- MOGI, K. (1969), Relationship between the occurrence of great earthquakes and tectonic structures. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 47, p. 429-451.
- 村内必典 (1971), 島弧の更新と marginal sea の構造運動. 島弧と縁海 (浅野周三・UDINSTEV, G.B. 編), p. 39-56. 東海大出版会, 東京.
- 村内必典・安井 正 (1968), 日本近海における海洋底地球物理学の研究. 科学, vol. 38, p. 192-200.
- MURAUCHI, S., DEN, N., ASANO, S., HOTTA, H., YOSHII, T., ASANUMA, T., HAGIWARA, K., ICHIKAWA, K., SATA, T., LUDWIG, W.J., EWING, J.I., EDGAR, N.T., and HOUTZ, R.E. (1968), Crustal structure of the Philippine sea. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 73, p. 3143-3171.
- NAGUMO, S. (1970), Development of the aftershock area and the block structure of the focal region of the 1968 Tokacho-Oki earthquake. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 48, p. 759-768.
- 中村一明 (1969), 島弧のテクトニクス I 仮説. 「グリーンタフに関する諸問題」討論資料, p. 31-38.
- 成瀬 洋 (1968), 関東地方における第四紀地殻変動, 地質学論集, no. 2, p. 29-32.
- 成瀬 洋 (1971), 新生代後期における房総半島の地殻変動速度. 大阪経大論集, no. 80, p. 228-245.
- 奈須紀幸・土 隆一・本座栄一 (1968), 駿河湾西域の

- 海底地質構造. フォッサマグナ (地質学会75年大会資料集), p. 191-195.
- PLAFKER, G. (1972), Alaskan earthquake of 1964 and Chilean earthquake of 1960: Implications for arc tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 77, p. 901-925.
- 佐藤任弘 (1969), 海底地形学. 191 p. ラテイス, 東京.
- 佐藤任弘 (1970), 大陸斜面の構造. 海洋科学, vol. 2, p. 29-34.
- 佐藤任弘 (1972), 太平洋の海底地形. 海底物理 (友田好文編), p. 189-220, 東大出版会, 東京.
- 佐藤任弘・徳弘 敦 (1969), 1968年日向灘地震と1968年十勝沖地震の震央付近における海底構造調査. 地学雑誌, vol. 78, p. 379-390.
- 佐藤任弘・茂木昭夫 (1975), 日本周辺大陸縁辺部の海底II. 科学, vol. 45, p. 622-629.
- SCHOLL, D.W., VON HUENE, R., and RIDLON, J.B. (1968), Spreading of the ocean floor: Undeformed sediments in the Peru-Chile trench. *Science*, vol. 159, p. 869-871.
- SCHOLL, D.W., CHRISTENSEN, M.N., VON HUENE, R., and MARLOW, M.S. (1970), Peru-Chile trench: Sediments and sea-floor spreading. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 81, p. 1339-1360.
- SEELEY, D.R., VAIL, P.R., and WALTON, G.G. (1974), Trench slope model. *The geology of continental margins* (BURK, C.A. and DRAKE, C.L. eds.), p. 249-260.
- STAUDER, W. (1968), Tensional character of earthquake foci beneath the Aleutian trench with relation to sea-floor spreading. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 73, p. 7693-7701.
- 杉村 新 (1972), 日本付近におけるプレートの境界. 科学, vol. 42, p. 192-202.
- SUGIMURA, A. and UYEDA, S. (1973), *Island Arcs—Japan and its environs*—, 247 p. Elsevier, Amsterdam.
- SYKES, L.R., OLIVER, J., and ISACKS, B. (1970), Earthquakes and tectonics. *The sea* (MAXWELL, A.E. ed.), vol. 4, p. 353-420.
- 田山利三郎 (1950), 四国沖の海底地形, とくに大陸斜面の形態について. 水路部要報, 増刊号, vol. 7, p. 54-82.
- 上田誠也・杉村 新 (1970), 弧状列島. 156 p. 岩波書店, 東京.
- VON HUENE, R. (1972), Structure of the continental margin and tectonism at the eastern Aleutian trench. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 83, p. 3613-3626.
- VON HUENE, R., and SHOR, JR., G.G. (1969), The structure and tectonic history of the eastern Aleutian trench. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 80, p. 1889-1902.
- 吉井敏尅・田 望・堀田 宏・坂尻直巳・村内必典・浅沼俊夫・秋山 純・渡部暉彦・石井晴雄・服部陸男, LUDWIG, W.J., and EWING, J.I. (1970), 土佐海段—南海舟状海盆の地殻構造について. 島弧と海洋 (星野通平・青木斌編), p. 93-103, 東海大出版会, 東京.
- YOSHII, T., LUDWIG, W.J., DEN, N., MURAUCHI, S., EWING, M., HOTTA, H., BUHL, P., ASANUMA, T., and SAKAJIRI, N. (1973), Structure of southwest Japan margin off Shikoku. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 78, p. 2517-2525.
- 吉川虎雄 (1968), 西南日本外帯の地形と地震性地殻変動. 第四紀研究, vol. 7, p. 157-170.
- YONEKURA, N. (1972), A review on seismic crustal deformations in and near Japan. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, no. 4, p. 17-50.
- YONEKURA, N. (1975), Quaternary tectonic movements in the outer arc of Southwest Japan with special reference to seismic crustal deformations. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, no. 7, p. 19-71.
- 米倉伸之・安藤雅孝 (1973), 海溝系の大地震に伴う地殻変動と地形. 科学, vol. 43, p. 92-101.

Tectonic Relief and Earthquakes in Trenches

Nobuyuki YONEKURA

(Abstract)

Tectonic relief in and near trenches around the Japanese Islands are described and discussed in terms of mode of tectonic deformations associated with large shallow earthquakes.

Outer Ridges bordering the deep-sea terraces developed on the continental slopes are parts of uplifting during the recent geological times, probably Plio-

cene and Quaternary. Uplifts of the Outer Ridge are interpreted to be originated from low-angle thrust faultings between the continental block and oceanic one. A model of imbrication structure of the megathrust beneath the Outer Ridge and the landward slope of the trench is presented.