

最終講義「静岡大学とプレートテクトニクス」

新妻信明¹

The last lecture “Shizuoka University and Plate Tectonics”

Nobuaki NIITSUMA¹

Abstract The last lecture by the author was held at lecture room B202 of School of Science, Shizuoka University in the afternoon of 29th February 2008. The lecture consists of two parts, activities of Shizuoka University in Plate Tectonics revolution and understandings of Tokai Earthquake on Plate Tectonics.

Institute of Geosciences, Shizuoka University was the first institution in Japan with the course of Marine Geology, in which Plate Tectonics was nurtured. The institute has acted as a center in the Plate Tectonics revolution of Japan and world for the last 30 years. Especially, the institute was a key in the 1980s international project in the earth science, Dynamics and Evolution of Lithosphere Project, for the task group of collision in the South Fossa Magna, and working group on scientific drilling, and also submersible studies. The geologic and paleomagnetic studies verified the relation between collisional process in the South Fossa Magna and Plate Tectonics.

Tokai Earthquake is an earthquake expected along the subducting boundary of the Philippine Sea Plate. The subduction and collision of the Philippine Sea Plate observed with submersible “Shinkai 2000” at off-Matsuzaki along the Suruga Trough. The Suruga Trough connects at the south end to the Nankai Trough with reentering angle. The descending slab along the Plate boundary with reentering angle should be ruptured with breakage along the backside. The backside breakage appears as Zenisu, and the ruptures of descending slab are recognized as the discontinuities in the contours of hypocenter depth for the earthquakes along the Suruga Trough and Nankai Trough. Because the ruptures in the slab are correlated well with large scale topography, the large scale topography such as Ise Bay, Kii Peninsula, Shikoku Island and Kyushu Island, should be related to the descending slabs. One of the ruptures under the Ise Bay fits with the estimated rupture from Zenisu of the backside breakage. The depths of ruptured slabs represent descending of west slab under east slab. The overlapping of the slabs with descending should induce upward propagation of the top end of the rupture.

The colliding volcanics at off-Matsuzaki along the Suruga Trough axis is covered with shallow marine sandstone, which deposited also under the geologic situation of backside breakage as Zenisu. The rupture estimated from off-Matsuzaki backside breakage fits to the synclinal axis of descending slab. The synclinal form also represents overlapping with descending of west slab, and the rupture crossed the axis of the Izu Arc along the Kannawa Fault by the upward propagation which occurred as step out of the subduction plate boundary.

The slabs are related directly with the collisional process, and important for the forecasting of the Tokai Earthquake.

Key words: Shizuoka University, Plate Tectonics, Tokai Earthquake, Marine Geology, South Fossa Magna, Philippine Sea Plate, Slab, rupture, backside breakage

¹ 420-0805 静岡市葵区城北 9-3

¹ 9-3 Johoku, Aoi-ku, Shizuoka, 420-0805 Japan

静岡大学とプレートテクトニクス

地球の 70% を占める海洋域は、可視光線を通し難い海水におおわれているため長い間人類にとって未知の領域であったが、太平洋と大西洋を戦場とした第二次世界大戦は海洋調査法を急速に発展させた。その結果、海洋についての総合的な研究が可能になり、海洋地質学という新しい学問分野が形成された。その成果として 1967 - 1968 年に誕生したのがプレートテクトニクスである。

プレートテクトニクスは、人類の自然観を根本的に変換した 10 大科学革命の一つに数えられている。この科学

革命は簡単に受け入れられたわけではなく、定着するためには多大な労力と時間を要した。筆者が 1978 年に静岡大学に赴任してからの 30 年間は、正にプレートテクトニクス革命の時代であった。その間、当大学は日本および世界におけるプレートテクトニクス革命の拠点としての役割を果たしてきた。本稿では、このプレートテクトニクス革命と静岡大学の関係、およびプレートテクトニクスの発展が東海地震発生についてどの程度の理解を深めたかを講じた最終講義（図 1）の内容に加え、時間の関係で割愛した内容も含め紹介する。本文中では敬称を省略させていただく。



図 1 2008 年 2 月 29 日午後静岡大学理学部 B202 教室で開催された最終講義「静岡大学とプレートテクトニクス」。高橋雅紀撮影。

Fig. 1 The last lecture entitled “Shizuoka University and Plate Tectonics” was held at lecture room B202 of Faculty of Science, Shizuoka University on afternoon of 29th February 2008. Convened by Masaki Takahashi of Geological Survey of Japan.



図 2 静岡大学理学部地球科学教室 5 階図書室からの富士山。2007 年 12 月 7 日撮影。手前は傾動する有度丘陵。

Fig. 2 Mt. Fuji from library at the 5th floor of Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, on 7th December 2007. In the forefront the tectonically tilted Udo Hills is seen.

静岡大学の立地

日本最高峰富士を仰ぐことができる静岡は（図2）、日本アルプスが北風を遮るため温暖で住み良い地である。徳川家康が隠居地に選んだ由縁でもある。南は駿河湾に面しており、伊豆半島を望むのどかな地に見えるが、漁船が間違っって網を落とすと数百mも落下して桜えびが引き上げられたと言われる深海である。この高低差はヒマラヤ山地に匹敵する（図3）。

静岡大学が立地する有度丘陵は、景勝地である日本平を載せているが、この平らな面は10万年前の最終間氷期の海岸平野が隆起傾動したものである（図2）。最高標高が300mを越していることから、年間3mm以上の速度で隆

起しており、プレート運動が最も顕著に表れている地域と言える（新妻・中野，1991；新妻ほか，1996；新妻，1998a）。

学部学生時代に野外巡検で激しいテクトニクスによって変形した富士川流域と南海の香りの漂う伊豆半島を訪れたことがある。この時、世界の屋根ヒマラヤがインドの衝突によって造られたように、日本アルプスが伊豆半島の衝突によって造られたのではないかという印象を受けた。この衝突変形過程がプレート運動によって説明できるかどうかは、地球科学上の第一級の問題であり、静岡はプレートテクトニクスの成否を直接確かめることのできる試金石とも言える。また、静岡は明日にも起こると言われている東海地震の震源域でもある。

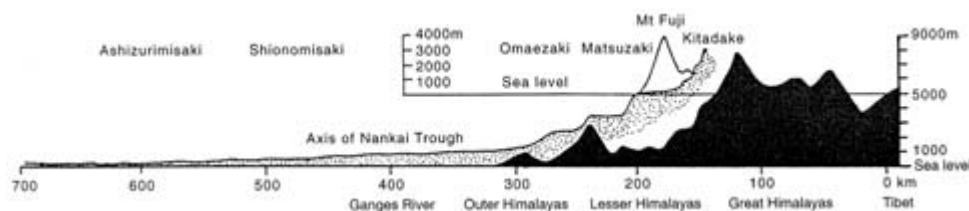


図3 静岡とヒマラヤの地形起伏の比較（Niitsuma, 1992）。南海トラフ底をヒマラヤの海水準に合わせて比較すると同程度の激しい起伏の存在がわかる。

Fig. 3 Comparison on the topographic relief of Shizuoka and Himalaya areas (Niitsuma, 1992). The reliefs are comparable if the sea level for Himalaya area is adjusted to the bottom level of Nankai Trough for Shizuoka area.

静岡大学と地球科学

静岡大学は新制国立大学として第二次大戦後設置されたが、その母体となった旧制静岡高等学校には、プレートテクトニクスを先取りしたと言われる「大東亜地体構造論」を著し、地球科学界の碩学として有名な望月勝海がおられた。望月勝海は、大塚弥之助（元東京大学）・松本達郎（元九州大学）・杉村 新（元神戸大学）・橋本光男（元茨城大学）・成瀬 洋（元大阪経済大学）・加藤芳郎（元静岡大学）・端山好和（元東京農業大学）・高橋太郎（元コロンビア大学）・酒井 均（元東京大学）らを育てた。望月勝海の構想の元に文理学部が1949年に創設された。

その後の文理改組を経て1975年からは、新制国立大学理理学部4学科制から5学科制への移行に伴って地球科学科が新設され、プレートテクトニクスを導いた「海洋地質学」講座が設置された。当時、日本初の講座であった。米国の深海掘削計画に参加し掘削された海底堆積物から太平洋のプレート運動を明らかにし、日本海溝域の深海掘削航海の主席研究者を務められた岡田博有が初代教授として1976年に就任された。

教養部には、国土地理院において明治時代以来の測地測量結果をまとめ、赤石山地が最高速度の年間3mmで隆起していることを明らかにし（檀原，1971）、地震予知連絡会を作られた檀原 毅がおられた。



図4 八木健三（左）と筆者。1990年日本地質学会年会にて宇留野勝敏撮影。

Fig. 4 Kenzo Yagi at the annual meeting of Geological Society of Japan in 1990 (Photo by Katsutoshi Uruno).

地球科学への経歴

戦時中、父親が軍の東京召集中の1943年に王子で出生し、米軍機の空襲の中、三鷹、仙台、登米と疎開して終戦を迎え、その後、大曲、青森、山形、仙台と父の転勤のため転居した。青森で小学校に入学し、仙台で卒業した後は、仙台で中学・高校・大学生活を送った。蛙や鱒採りから、昆虫・植物・化石採集、地質調査、天体観測に夢になる理科少年として育ち、生物進化研究に憧れた。

1961年に東北大学理学部に入学し、ハワイ火山の移動・アイスランドの拡大・アフリカの裂開・大陸移動と古地磁気を教養部1年地学の八木健三の講義で聴き地球科学

にも興味を持った(図4)。1962年のWatson・Crickのノーベル賞の報に接し生物学は峠を越えたことを感じ、地質学古生物学教室に進学した。卒業論文としては、北村 信の指導の下に桧原湖周辺の層序と構造を調査し(新妻, 1998a), 東北地方の脊梁山地にも外洋性の浮遊性有孔虫を含む堆積物があること、褶曲構造と断層が対応して形成されていることを明らかにした(新妻, 1967)。

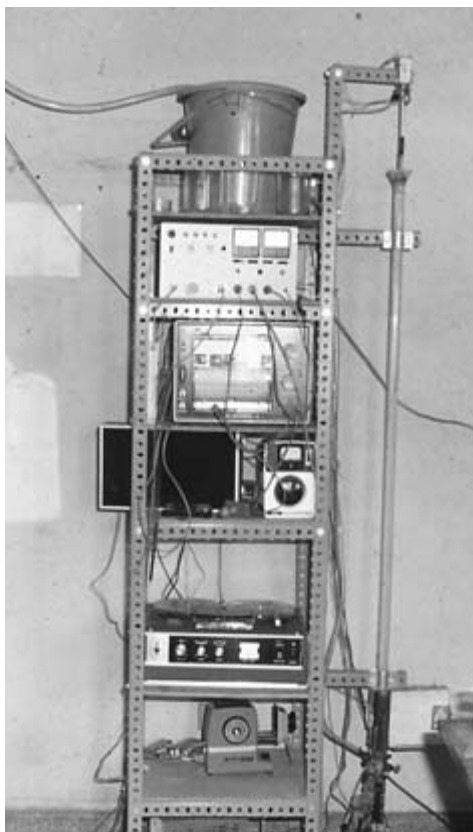


図5 自動粒度分析機。

Fig. 5 Automatic Grain Size Analyzer for sedimentological analysis.

生物進化への挑戦

生物は環境との相互作用によって進化するので、その解析の出発点として環境と生物双方の定量的把握を目標として研究を進めた。

堆積物から堆積当時の流体力学環境を定量的に読み出すために、堆積物粒度分析機を当時大学院生であった服部陸男の協力を得て学部学生であった目加田義正・平朝彦とともに開発・測定を行った(図5; 新妻, 1971a; 新妻・目加田, 1971, 1972)。機器の開発には、地球電磁気学者の小坂由須人(新妻, 1999)の協力のもとに仙台天文台の工作機器を使用した。自動粒度分析機は、蔵書と標本のみの地質学古生物学教室への最初の測定機器導入となった。このような先輩後輩との協同開発研究は、一人では達成困難な成果をあげることができるのみならず、労苦を共にして分からなかったことを理解した瞬間の喜びを分かち合えるので、単独研究よりも喜びが大きく、以後先輩・後輩・学生とともに多くの協同研究を行

う出発点となった。

生物の群集構造については、大学院生であった服部陸男・大場忠道と学部学生であった酒井豊三郎とともに電子計算機による解析を行った(新妻, 1968; Niitsuma *et al.*, 1971)。また、生物学を学ぶために修士1年時に生物学教室の学部3年、修士2年時に学部4年の講義・実習を受講した。

修士論文研究としては仙台付近の層序とテクトニクスを野外調査主体にまとめ、名取層群と秋保層群の不整合関係を明らかにするとともに、名取層群中の遠洋性堆積物の旗立層の粒度分析と有孔虫群集解析をまとめた(新妻, 1968)。

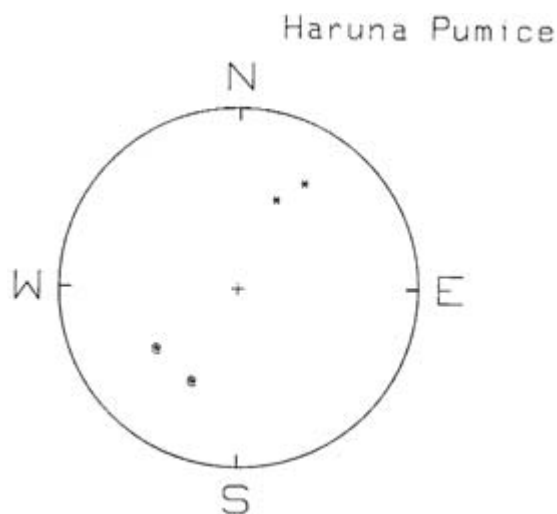


図6 榛名山の自己逆転磁化する軽石の磁化。ピンク色の軽石は自己逆転するが(@印), 灰色の軽石は自己逆転せず地場方向に磁化する(*印)。@: 上向, *: 下向。

Fig. 6 Magnetization of pumice from Mt. Haruna, Kanto, Japan. Pink colored pumices (@) are magnetized toward reversed direction of magnetic field, however, grey colored pumices (*) are magnetized toward direction of magnetic field. @: upward, *: downward.



図7 永田 武(右端)とAllan Cox(左端)。1977年国債地球電磁気学会 IAGA 懇親会場にて。

Fig. 7 Takeshi Nagata (right) and Allan Cox (left) at the reception of International Assembly on Geomagnetism and Aeromagnetism in 1977.

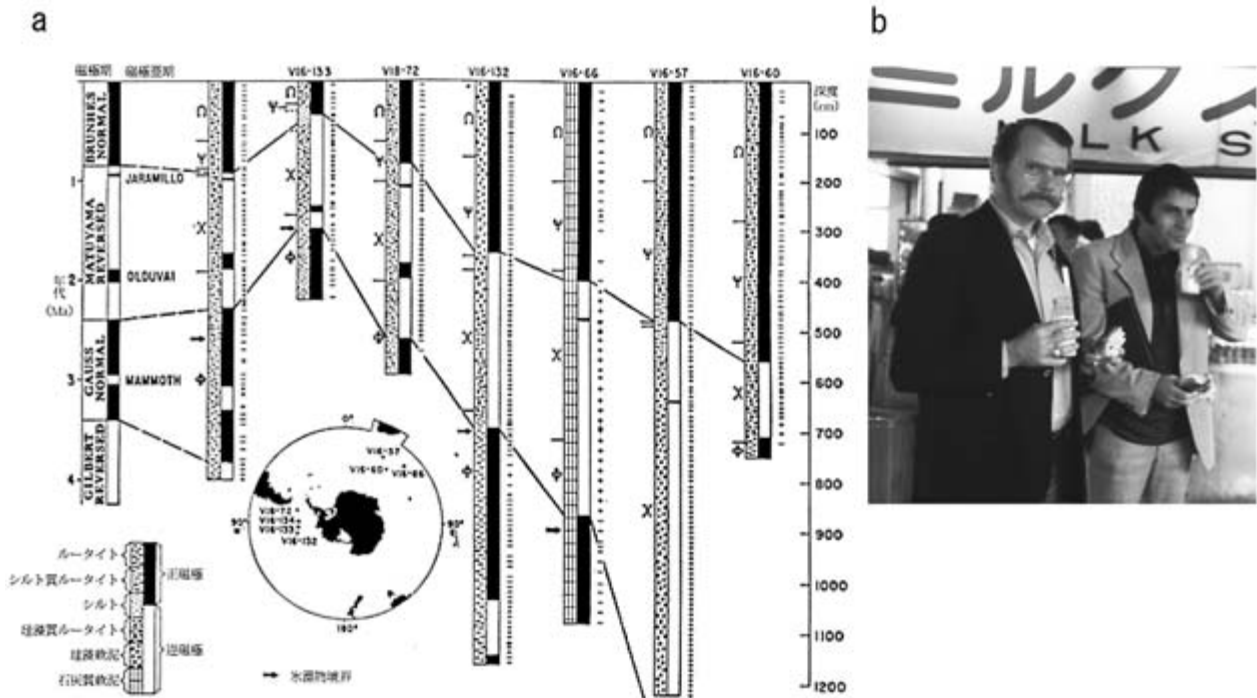


図8 Opdyke *et al.* (1966) により報告された南氷洋深海底堆積物. a: 南氷洋堆積物の地磁気極性層序と放散虫化石層序 (Opdyke *et al.*, 1966 に基づく新妻, 2007). 白: 逆磁極, 黒: 正磁極, ギリシャ文字: 放散虫化石層序帯. b: Neil Opdyke (左). 1974 年秋葉原駅にて. Fig. 8 Magnetic polarity of the Antarctic Ocean sediments reported by Opdyke *et al.* (1966). a: Magnetic polarity and radiolarian bio-stratigraphy of the Antarctic Ocean sediments (Niitsuma, 2007, in Japanese, based on Opdyke *et al.*, 1966). b: Neil Opdyke (left) at platform of Akihabara Station in 1974.

地球磁場逆転

地球磁場が繰り返し逆転していることは京都大学物理地質学講座の松山基範によって玄武洞を始めとする西南日本・朝鮮半島・満州の玄武岩古地磁気測定に基づき既に指摘されていた (Matuyama, 1929). しかし, 地球磁場中で加熱して冷却すると地球磁場と逆方向に磁化する自己逆転の軽石が榛名山で見つかり (図6), 東京大学理学部永田研究室の永田 武 (図7)・秋元俊一・上田誠也・小嶋 稔・庄野安彦がその物理機構解明のため岩石磁気学を発展させた (小嶋・小嶋, 1972 など). 教養2年地学の講義でこの自己逆転の話を聴き, 地球磁場は逆転しないものと思っていた.

修士の時の教室の雑誌会で Opdyke *et al.* (1966) の論文紹介を聞いた (図8). 自己逆転の起きない南氷洋の深海底堆積物の古地磁気記録が Cox *et al.* (1963) の火山岩の古地磁気と放射年代の測定によって作成された地球磁場逆転の年代表と合致するものであった. この合致は, 松山基範の指摘した地球磁場の繰り返し逆転を明瞭に支持する結果である. また, この堆積物に含まれる放散虫化石の出現や絶滅する層準が地球磁場逆転層準と調和的であることは, 化石層序学で使用されている層準が広域的に同時であることを示しており, 後に地球科学発展において重要な役割を演ずる化石層序学の基礎を与えるものであった. 当時, 放散虫は古生代から進化せず, 化石層序学には役に立たない代表と教えられたが, この結果は, 最も役に立つと考えられていた浮遊性有孔虫よりも

短期間に絶滅・出現を行っており, より詳細な化石層序学に使用できることを示していた.

地質時代の判定に大陸移動による古地磁気を使用するにはその変化が小さく困難であろうが, 地球磁場が逆転するのなら古地磁気も逆方向を向くので検出可能であり, しかもその逆転は全球同時に起こるので層序の国際対比にも使用できる. 化石を含む堆積岩の古地磁気逆転を測定し, 地磁気極性層序の上に位置付けることができれば, 生物進化記録を全球的に検討することが可能になる. また, 当時は地球科学の七不思議と教わった海洋の縞状地磁気異常も海洋底拡大時の地球磁場逆転史の記録であれば, 海洋底拡大史や大陸移動と生物進化記録を直接比較することができる.

測定不能と言われていた堆積岩の古地磁気測定を試みた. 無定位磁力計を自作して世界最高感度に調整し, 現在の地球磁場による影響を交番磁場消磁によって除き, 路面電車の止まる深夜から早朝にかけて学部学生であった早坂 功と協同で測定した. 測定試料は, 数千mの厚さを持ち, ほぼ連続的に堆積し, 多数の火山灰鍵層を挟在する房総半島の堆積物である. 房総半島の層序の専門家である中川久夫と協同でこの測定試料を採取した.

1967年仙台で開催された地球電磁気学会で房総半島の地磁気極性層序 (図9; 中川ほか, 1969; 新妻, 1976; 新妻, 1979) を発表し, 永田 武・力武常次・加藤愛雄・小林和男・小嶋 稔・木下 肇・河野 長に認められたことは, 後の研究活動発展の重要な契機となった.

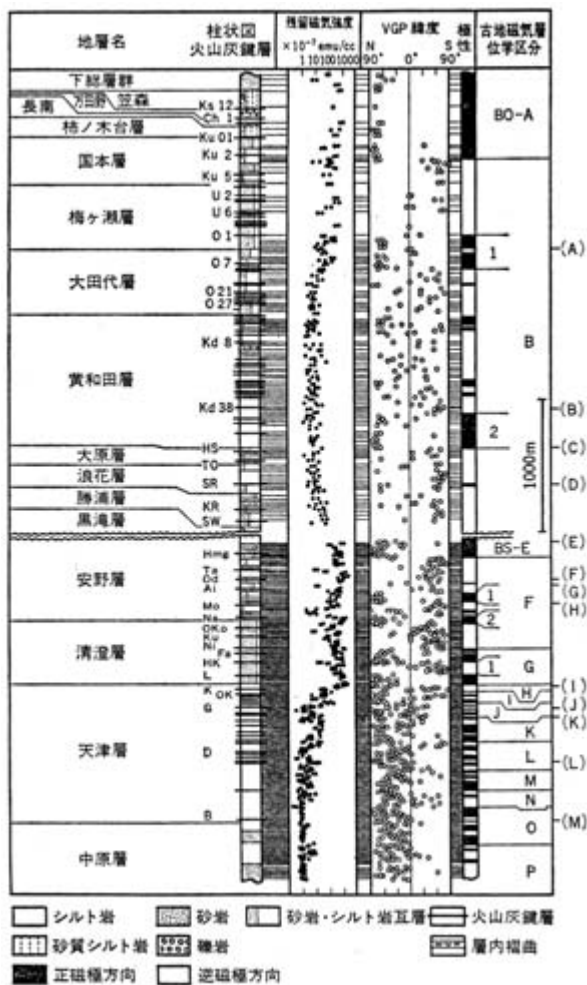


図9 房総半島の地磁気極性層序と微化石層序(新妻, 1979). (A) – (M): 微化石層序基準面.

Fig. 9 Magnetic polarity and microfossil stratigraphy of the Boso Peninsula (Niitsuma, 1979). A-M: datum plane of microfossil stratigraphy.

地球磁場逆転と生物進化

陸奥湾における堆積物と現生底生有孔虫の研究(新妻・目加田, 1972), 日本各地およびイタリアの地質時代模式層の地磁気極性層序の確立(中川・新妻, 1970; Niitsuma, 1970; 新妻ほか, 1972 など), 電子顕微鏡による有孔虫殻構造の解析(Takayanagi *et al.*, 1968), 生物殻の酸素同位体比による古水温の研究(堀部ほか, 1969a, b; 新妻ほか, 1971b) など手広く研究を展開していたが, 教室の片平丁から青葉山への移転・学生紛争による生物棟封鎖などの状況の中で博士論文をまとめる時期に至った。そこで選択したのが, 地球磁場逆転と生物の関係である。

房総半島養老川支流の柳川に露出する 78 万年の松山逆磁極期から現在の Brunhes 正磁極期への地球磁場逆転を含む 4m の層準範囲から後輩の協力を得て連続的に試料を採取し, 古地磁気測定・粒度分析・有孔虫群集解析・有孔虫殻の酸素同位体比測定を行った(Niitsuma, 1971; 新妻, 1971b)。この地磁気逆転では磁極が日本列島を通

過し(図 10), 海洋浅層に生息する南方系の浮遊性有孔虫が激減することを明らかにし, 博士論文とした(図 11)。

学問第一主義の恩恵

東北大学は学問第一主義の大学であると言われる。日米開戦の朝, 主任教授であった半沢正四郎は教室一同を集め「何故か分からないが, 戦争が始まってしまった。しかし, 戦争は必ず終わる。終わった時にこんなことしかしていなかったのかと言われぬように研究に励め」と話したそうである。

終戦後, 占領軍は全国の大学に地質学調査団を派遣した。Stanford 大学の Schenck 教授が調査団長として東北大学地質学古生物学教室を訪れ, 半沢正四郎の大型有孔虫・畑井小虎の腕足貝・浅野 清の小型有孔虫の研究を見て感心し, 戦時中入手困難であった文献を寄贈するとともに, 後に金谷太郎を Stanford 大の留学生として受け入れた。寄贈された最新文献を利用して地質学古生物学教室は微古生物学の国際拠点となった(図 12)。

プレートテクトニクスを育んだ海洋地質学に微古生物学が関与していたことから, 別刷交換を通じてプレートテクトニクス確立の様子が教室職員にもたらされ, 教室の雑誌会や講義で紹介されていたので, プレートテクトニクスは学生の間でも身近な存在になっていた。

金谷太郎は米国のモホール計画掘削井の珪藻化石層序と群集解析を行い(Kanaya, 1971), 海洋地質学を講じていた(新妻, 1986)。渡米中の斎藤常正がプレートテクトニクスの根幹である海洋底拡大説を深海掘削によって証明したこと(Maxwell *et al.*, 1970; 斎藤, 1998) も励みになった。そのような中で 1970 年, 平 朝彦は新設されたテキサス大学ダラス校大学院生募集に応じて渡米した(図 13)。



図 10 房総半島の古地磁気による Brunhes / 松山磁極期境界の地磁気逆転時の見かけの磁極の移動(Niitsuma, 1971 に基づく Okada & Niitsuma, 1989)。数字: 留まる年数と移動に要する年数。

Fig. 10 Path of virtual Geomagnetic Pole during reversal of Brunhes / Matuyama Magnetic Polarity Chron boundary (Okada & Niitsuma, 1989, based on Niitsuma, 1971). Numericals indicate the number of years.

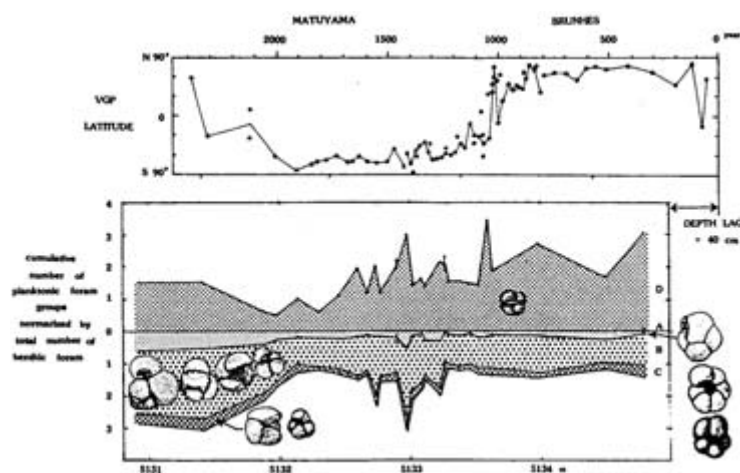


図 11 Brunhes / 松山磁極期境界の地磁気逆転と浮遊性有孔虫群集変動 (Niitsuma, 1971 に基づく新妻・藤井, 1984).

Fig. 11 Faunal change of planktonic Foraminifera during reversal of Brunhes / Matuyama Magnetic Polarity Chron boundary (Niitsuma & Fujii, 1984, based on Niitsuma, 1971).

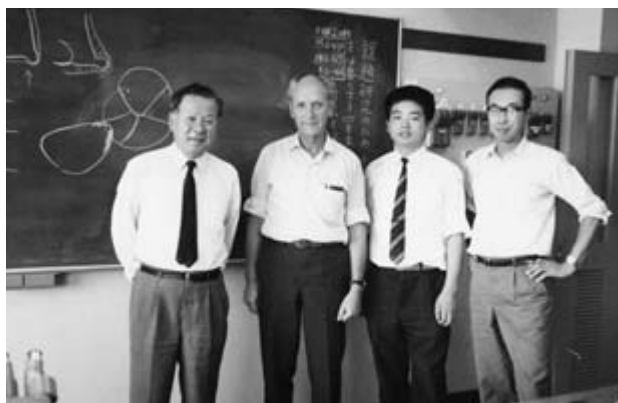


図 12 浮遊性有孔虫化石層序学の先駆者 H. Bolli (中央左) の東北大学地質学古生物学教室来訪。浅野 清 (左)・高柳洋吉 (右) と *Globorotalia tosaensis* Takayanagi and Saito (1962) の模式標本を見ながら *G. truncatulinoides* への進化についての議論。的場保望撮影。

Fig. 12 Visit of H. Bolli, to Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University who initiated biostratigraphy based on planktonic Foraminifera. Discussion on evolution from *Globorotalia tosaensis* Takayanagi and Saito (1962) to *G. truncatulinoides* beside the type specimen of *G. tosaensis*. Kiyoshi Asano (left) and Yokichi Takayanagi (right). Photo by Yasumochi Matoba.



図 13 平 朝彦 (左) 米国留学見送り。右端が金谷太郎その左が小泉 格, 1970 年仙台駅。

Fig. 13 Departure of Asahiko Taira to Texas University at Dallas from Sendai Station in 1970. Taro Kanaya (right end) and Itaru Koizumi (left of Kanaya).

就職と渡米

大学院修了後、東北大学教養部地学の純増のポストに就職できた。教養部の地学の教官数は学生として学んでいた時の 5 から一つ増えて 6 になったが、この間に学生数は工学部・理学部の増員によって倍になっていた。教養部教官の講義・実験の負担が倍増していたことは、増員した学部には余り知られていなかった。このような状況を打開するために、地学関係の学部学科と研究所の教官から成る地学関係カリキュラム懇談会を設け、理解を求

めて今で言う教養教育についての全学支援体制を整えた。

教養部で担当した地学実験は、理学部と工学部向けに開講されていた。理学部向けには地質調査・岩石顕微鏡実験に地球物理・天文関係の実験も加えて複数コースを並列する方式にし、実験書を作製した。天文関係のテーマには電波望遠鏡による銀河の渦巻き構造の解析を加えた。実験書執筆中に銀河の渦巻きの腕を通過する時期と地質時代の対応を解析した (図 14; 新妻, 1973; Niitsuma, 1973)。工学部向けは、受講生が選択したテーマについて各自実験を行う奥津春生の方式を踏襲した。このテーマ

として古地磁気測定用超伝導磁力計の開発・交番磁場消磁装置の開発・岩石の破壊靱性測定（高橋ほか，1979）など全学の装置を利用する最先端のものも選ばれた。

野外調査としては国内の他，地質時代模式層の地磁気極性層序確立のために渡欧して試料採取を行い，多くの後輩の協力のもとに測定を行った（Nakagawa *et al.*, 1977 など）。

1975 年秋から 1977 年春まで，米国南カリフォルニア大学（University of Southern California）の顧 徳隆（Teh Lung Ku）の元に同位体比測定研究員として滞在した。同大学の堆積学者 Donn Gorsline やカリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）の Mike Fuller の協力も得て，南太平洋のナスカ海嶺から採取された深海底堆積物の古地磁気・堆積物組成・同位体比を測定した。現在，深海掘削計画で定常測定に使用されているような通過型の超伝導磁力計を用いて古地磁気を測定した。同位体比は，有孔虫殻 1 個でも測定できるように質量分析機を改良し，炭素と酸素について測定した。測定結果を解析し，帯状磁化モデル（Niitsuma, 1977）・陸棚モデルを提唱し，地球磁場逆転時に生物量が減少したことを明らかにした（新妻・顧，1977）。

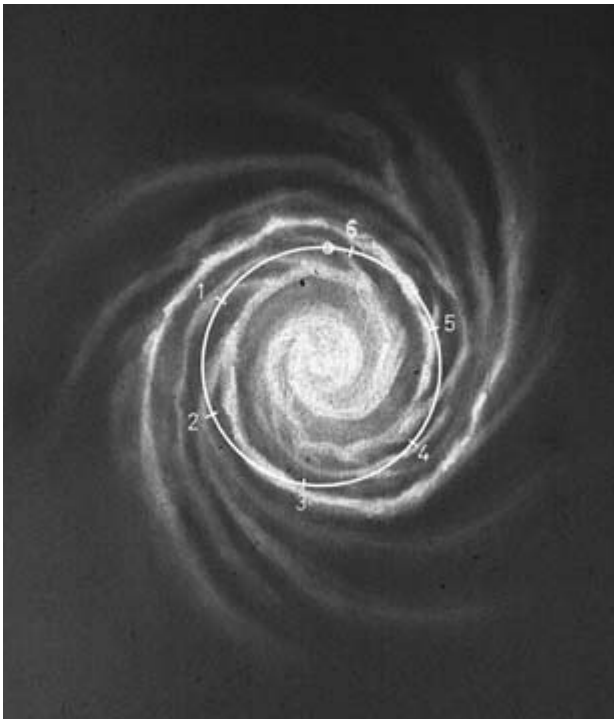


図 14 銀河回転と太陽系（新妻，1973；Niitsuma, 1973）。数字（億年前）：密度波説に基づく銀河系における太陽系の位置。

Fig. 14 Position of Solar system in the Galaxy (Niitsuma, 1973, in Japanese; Niitsuma, 1973). Numericals are age in 100 Ma based on density wave theory.

地磁気極性層序と日本列島のプレートテクトニクス

同一堆積物について地磁気極性層序と化石層序を確立できれば，汎世界的な年代対比が可能になる。ヨーロッパの模式層に基づき提唱された地質年代も地磁気極性層

序確立によって直接対比できる。日本列島各地で確立した地磁気極性層序と化石層序の結果は，それまで考えられていた地質年代対比と異なり，大幅に若返る地域が多かった。この対比結果と逆転層準の年代から算出される堆積速度から地殻変動史を定量化し，海洋底拡大史および海陸分布や古水深と対応させた。日本列島のテクトニクスは太平洋スラブの沈み込みと切断に関係していることを明らかにし，プレートテクトニクスが日本列島の地質解明に不可欠であることを示した（Niitsuma, 1978; 新妻，1979；図 15）。

「地球表層は変形しないプレートでおおわれている」というプレートテクトニクスは，1967 年から 1968 年にかけて，球面上の変形しない板の幾何学であるオイラーの定理を用いた Jason Morgan・Xavier LePichon・Dan McKenzie の論文によって確立された。その功績によって 1992 年に彼らに「日本国際賞」が授与されている（新妻，2007；図 16）。これらの成果は，上田誠也を中心に岩波書店の「科学」や中央公論社の「自然」などの科学誌に紹介された。

岩波書店はプレートテクトニクスに基づく岩波講座「地球科学」を 1978 年から 1980 年にかけて刊行し，その海洋地質の部分を分担執筆した（佐藤・新妻，1980）。

静岡大学理学部地球学科海洋地質講座に赴任した 1978 年当時は，プレートテクトニクスに対し強硬に反対を唱える者も多く，プレートテクトニクスによる地球科学の見直しという科学革命の進行中であつた。また，東海地震の地震予知計画が進められていた。

東京大学地震研究所の故中村一明（図 17）の「私もプレートテクトニクスのできる時代に生きたかった。気が付いた時には残念ながら既に出来上がっていた。」に代表されるように，日本国内におけるプレートテクトニクスの受け入れは東北大学とは異なっていたのである。

静岡大学の新体制

静岡大学へ赴任当時，試行錯誤の段階にあつた新設地球科学科のカリキュラムの検討が行われた。卒業研究として野外調査研究の成果をまとめられるように卒業研究の 2 年体制が導入された。また，卒業研究に関連する単位は，調査日数や測定試料数に応じて与える体制が採用された。2 年体制によって海外野外調査による卒業研究も可能になり，静岡大学教養部から転出された鮫島輝彦が滞在するニュージーランドにおける野外調査を卒業研究および修士研究として実現した（Fujii *et al.*, 1994）。講義のない夏季・冬季・春季休暇を使う 100 日を越す野外調査と講義期間中の採取試料の処理・測定によって挙げられた成果は，国内学会はもとより国際学会で発表され，国際誌に掲載された（Hyodo & Niitsuma, 1986; Okada & Niitsuma, 1989）。

それまで教員の研究紹介が非公式に談話会で行われていたが，学生の教育に必要であるのなら単位を与えるべきであるので，学生が最新論文を紹介し，教員が研究の紹介をする公式の地球科学演習（必修 2 単位）が毎週月曜午後開始された。

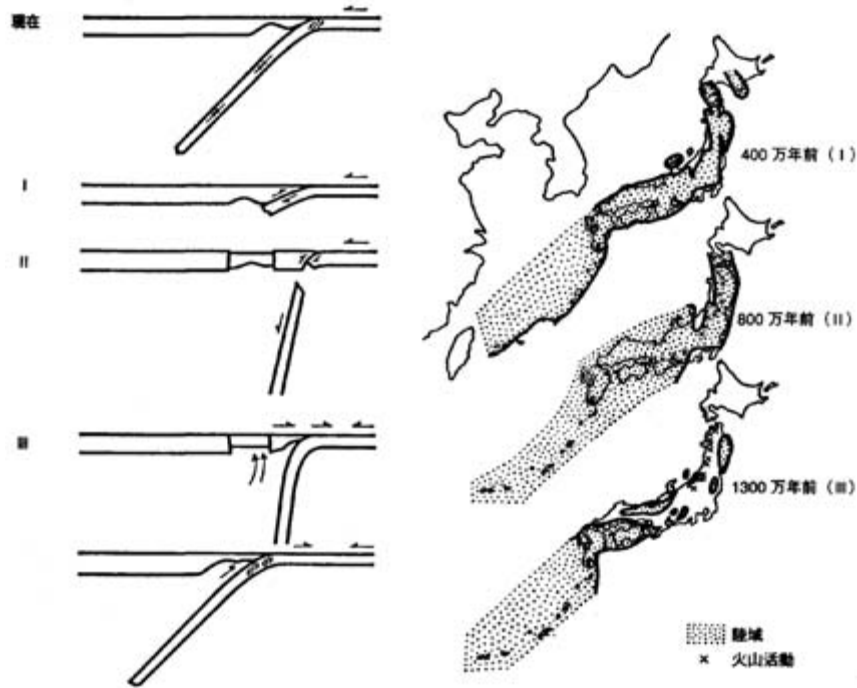


図 15 日本列島の太平洋スラブ周期的沈み込み・切断モデル (Niitsuma, 1978 に基づく新妻, 2006).

Fig. 15 Cyclic evolutionary model on subduction and detachment of Pacific Slab along Japanese Island Arc (Niitsuma, 2006, in Japanese, based on Niitsuma, 1978).

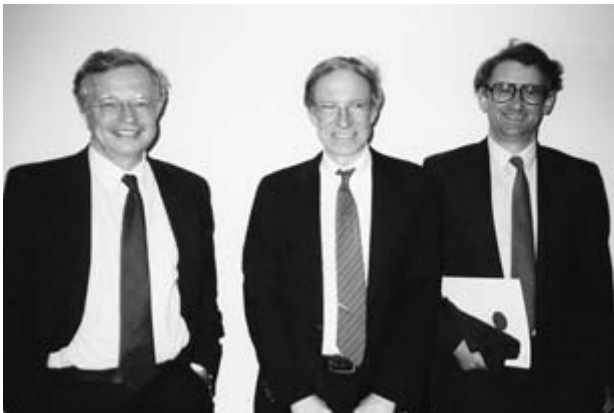


図 16 1992 年日本国際賞記念晩餐会におけるプレートテクトニクスを確立した Xavier LePichon (左)・Jason Morgan (中央)・Dan McKenzie (右).

Fig. 16 The pioneers of Plate Tectonics, Xavier LePichon (left), Jason Morgan (center) and Dan McKenzie (right) at dinner party of Japan Prize Commendation Ceremony in 1992.

学生実験では新たな測定機器を開発し、それを用いて測定・観測を行った。この実験によって測定装置の充実が計られた。測定者による測定値のばらつきや誤操作などの防止のため、測定機器制御・自動測定に電子計算機が積極的に取り入れられた。

海洋地質学演習では、英語の教科書を分担して全訳し、その全訳をもとに訳本（ブロッカー、1980）や教科書（サイボルトほか、1986）が出版された。

他講座の教員・学生や先輩・後輩が気楽に交流できる



図 17 1985 年仏潜航調査船ノチールの撮影禁止札の前で喫煙のパフォーマンスをとる中村一明、右端は平 朝彦、斎藤靖二撮影。
Fig. 17 Kazuaki Nakamura enjoying a smoke in front of submersible Nautille with warning plate of no photography. Asahiko Taira (right end). Photo by Yasuji Saito.

機会を確保するため毎月ビールパーティを教室で開催した。特に、来客や非常勤講師による集中講義の際には定例的に開催された。

試金石「静岡」における調査

プレートテクトニクスの試金石となる静岡周辺の地域（図 18）が卒業研究論文や修士論文の野外調査の対象に選ばれた。事前調査として、既存の研究資料である学会誌、

「地学しずはた」などの各大学の研究報告、静岡大学・横浜国立大学・東北大学の卒業論文などの未公表資料を調査し、静岡大学地球科学研究報告に地層名辞典「伊豆半島」(小山・新妻, 1980)・「南部フォッサマグナ」(金子ほか, 1983)として公表した。卒業論文・修士論文では、フィリピン海プレート運動の開始(中尾ほか, 1986)、伊豆半島の本州衝突(小山, 1982)、伊豆半島衝突前の丹沢衝突と回転(太田ほか, 1986)、日本海拡大と丹沢衝突による関東山地の回転(Hyodo & Niitsuma, 1986)、富士川流域の衝突横ずれ運動(田村ほか, 1984)、地球磁場逆転の細部様相と環境変動および堆積物の磁化機構(新妻・藤井, 1984; Okada & Niitsuma, 1989)などが明らかにされた。

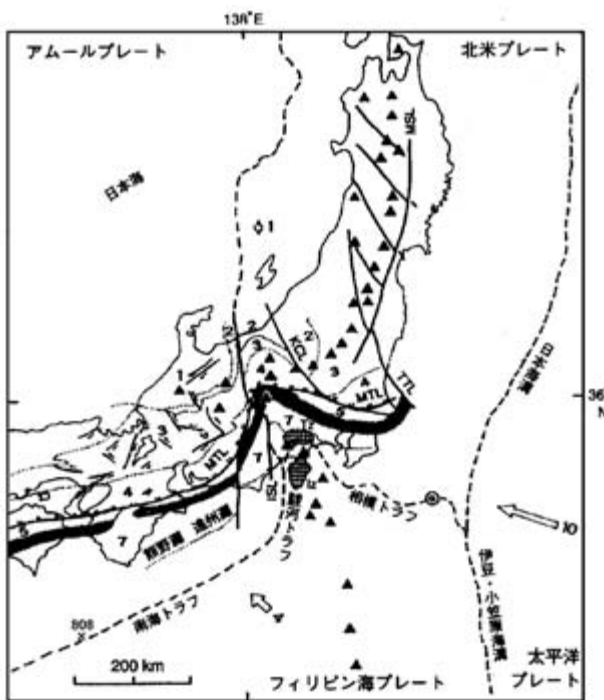


図 18 プレート境界と日本列島の地質帯状構造(新妻, 2007).
Fig. 18 Plate boundaries and geologic zones of Japanese Island Arc (Niitsuma, 2007, in Japanese).

プレートテクトニクスの巨頭も注目する試金石「静岡」

静岡はプレートテクトニクスにおいて地球上で最も多くのプレートが接する地域にある。房総沖と富士山の下にある3つの収束プレート境界が交わる3重会合点は、地球上でこの2点にしか存在しない(図18)。このような興味深い地域に静岡大学地球科学科という新拠点ができた。量子力学のNiels Bohrに相当するプレートテクトニクスの根幹をなす海洋底拡大説(Dietz, 1961)の提唱者Dietz(図19)や、量子力学のErwin Schrödingerに相当するプレートテクトニクス確立者LePichon(1968)(図20)も当大学に来訪している。

国際地球科学研究計画と静岡大学

地球科学における最初の国際研究計画は、1900年の国際緯度観測事業(ILS)であるが、1957年に実施された国際地球観測年(IGY)は地球科学の全分野にわたり総合的に実施された。日本は昭和基地を建設して南極観測を開始し、ソ連はスプートニクを打ち上げ人工衛星観測の道を拓いた。

この世界的成功を受けて1960年代には上部マントル探査開発計画(Upper Mantle Project; UMP)が実施され、米国は地殻とマントルの境界のモホ面掘削を目指すモホール計画をカリフォルニア沖で開始した。このような背景の下でプレートテクトニクスが生み出された。日本でも学術ボーリング候補地が検討された。

1970年代にはジオダイナミクス計画(Geodynamics Project; GDP)が実施され、日本では海域の調査が系統的に行われた。ソ連はコラ半島で上部地殻と下部地殻境界のコンラッド面を目指して超深層ボーリングを開始した。

静岡大学に赴任した1978年は、1980年代の国際地球科学研究計画をどのように進めるかを国際的に検討していた時期にあり、クラスタルダイナミクス(Crustal Dynamics)が候補名として挙げられていた。静岡大学の関係者と検討してクラスタルダイナミクス計画静岡大学案(新妻・吉田, 1978)を作成して全国に配布した。静岡大学案では、未知試料の入手・直接証明の重要性を指摘し、学術ボーリングや潜航調査推進を提案している。その後の検討によって1980年代の計画は、国際リソスフェア探査開発計画(Development and Evolution of Lithosphere Project; DELP)に決定され、静岡大学は課題「南部フォッサマグナにおける衝突現象の解明」と「学術ボーリング」を分担することとなった。

リソスフェア探査開発計画 DELP 課題「南部フォッサマグナにおける衝突現象の解明」

1985年から開始された研究計画では、地質学・地球物理学の垣根を無くし、野外の事実に基づいた議論を行うために野外討論会を定例的に開催することを基本姿勢とした。

この国際研究計画には、日本中の研究機関からプレートテクトニクスを支持する旗頭も強硬に反対する旗頭も参加したので、プレートテクトニクスの関ヶ原であったと言える。何時までもにらみ合いを続けていたのでは、本来の研究目的を達成できないので、プレート運動と南部フォッサマグナのテクトニクスについての意見分布を知るため参加者全員にアンケートを配布し、集計を行った。その集計結果は、

1) 「南部フォッサマグナにおいて衝突が起こったか」

起こった: 18

起こっていない: 2

答えられない: 3

無回答: 4

2) 「何時衝突が起こったか」

中新世から現在まで: 14

古第三紀から現在まで：2

白亜紀から現在まで：1

3) 「衝突の起こった場所」

丹沢地塊の北側（後期中新世—鮮新世），足柄（更新世）：
10

丹沢地塊の北側：3

4) 「どの様におこったか」

西南日本帯状構造の屈曲はこの衝突の結果である：10
南部フォッサマグナ内の断層・褶曲で衝突は消化されて
いる：3

ある程度の屈曲も伴っている：5

衝突の場所は時代とともに移動している：15

とプレート運動との関連を基本的に支持するものが多数
を占めた。この集計結果は、1986年5月14日発行のDELP
南部フォッサ・マグナ NEWS LETTER に公表され、研
究計画をプレートテクトニクス派の主導のもとに推進し
て目覚ましい成果をあげる（Matsuda & Niitsuma, 1989;
Niitsuma, 1991）契機となり、後の日本地質学会の改革
および地球惑星連合への参加など日本の地球科学界の大
変革へと発展した。

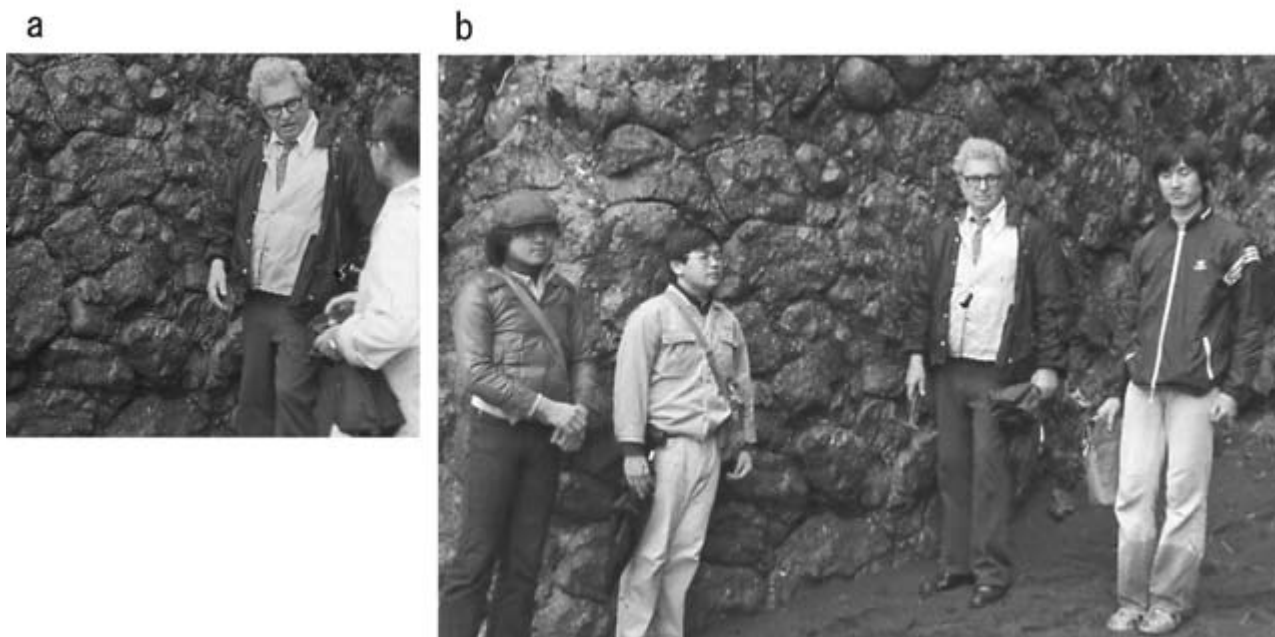


図 19 大崩海岸を 1981 年に訪れたプレートテクトニクスの根幹となる海洋底拡大説の提唱者 Robert Dietz. a：岡田博有と議論する Dietz. b：右から小山真人，Dietz，武藤鉄司，田村 努。

Fig. 19 Robert Dietz, who advocated of the Ocean Floor Spreading theory, which is the foundation of Plate Tectonics, at Okuzure Beach during his visit to Shizuoka in 1981. a: Discussion with Hakuyu Okada. b: Masato Koyama, Robert Dietz, Tetsuji Muto and Tsutomu Tamura (from right to left).



図 20 静岡を 1985 年に訪れたプレートテクトニクス確立者の Xavier LePichon.

Fig. 20 Xavier LePichon's visit to Shizuoka in 1985. Plate Tectonics concept was put forward by him.

学術ボーリング・潜航調査と静岡大学

静岡大学では、米国の深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Project; DSDP) の太平洋掘削 Leg 20 に堆積学者として参加経験のある岡田博有は、国際深海掘削計画 (International Phase of Deep Sea Drilling Project; IPOD) に移行して日本海溝を掘削した Leg 56 の主席研究者を務めた。新妻信明は中米海溝の Leg 66 と南海トラフ・日本海溝の Leg 87 に古地磁気学者として参加し、国際海洋掘削計画 (Ocean Drilling Program; ODP) に移行して茨木雅子が古生物学者としてペルー海溝の Leg 112、新妻信明が主席研究者としてインド洋オマーン沖の Leg 117 (図 21)、海野 進が岩石学者として赤道太平洋の Leg 140、新妻信明が古地磁気学者として日本海溝の Leg 186、木村浩之が微生物学者として南西太平洋の Leg 193、海野 進が赤道太平洋の Leg 206、統合国際海洋掘削計画 (Integrated Ocean Drilling Program; IODP) に移行して道林克楨が構造地質学者として北大西洋の EXP 304/305、海野 進が主席研究者として赤道太平洋の EXP 309 に参加している。

これらの実績によって統合国際海洋掘削計画の主力掘削船「ちきゅう」建造計画検討にも参画し、弱気であった事務局を説得して、人類の夢であるモホ面掘削を建造目的に入れた。

陸上掘削では、国際リソスフェア探査開発計画 (DELP) においてドイツがパイロイト南方のボヘミア地塊西縁部で陸上深層ボーリング (KTB) を実施した (図 22)。日本では日本学会会議の「陸上学術ボーリングワーキンググループ」事務局が静岡大学に開設され、定常的にシンポジウムを企画・開催するとともに 1981 年から「学術ボーリングニュースレター」を発行して学術ボーリングに関

する内外の活動を紹介した。日本各地で掘削されていたボーリングについて「既存ボーリング資料集」を 1982 に発行、1983 年からは日本における掘削候補地を検討し、1988 - 89 年に「陸上学術ボーリング候補地集 I・II・III」を出版、1993 年から現地検討会を開催した。これらの成果は 1996 年 2 月に筑波で開催された第 8 回掘削による大陸地殻観測国際ワークショップ (VIII International Symposium on the Observation of the Continental Crust through Drilling) において報告された (新妻, 1998c)。

海底には未知の世界が残されており、潜航調査は地球科学における未知の事実を直接探査する重要な手段である。日本では水深 2,000m まで潜航可能な「しんかい 2000」が建造され、新妻信明が駿河トラフのプレート衝突境界において最初の研究者調査潜航を行った。その後、同海域で大塚謙一・里村幹夫・北里 洋・小山真人・新妻信明が潜航調査し、プレート衝突過程を解明するための重要な発見がなされた。

フランスではプレートテクトニクス確立者 LePichon (図 20) の主導の元に水深 6,000m 潜航可能なノチール (Nautilus) が建造され (図 17)、日仏 KAIKO 計画が 1984 年から開始された (Okada & Cadet, 1989)。静岡大学からは、岡田博有・狩野謙一が南海トラフ調査に参加したが、試験潜航を兼ねて行われた潜航で負傷者の出る事故が発生した。新妻信明は静岡済生会病院に入院したフランス人負傷者対応を行うとともに、日本海溝で潜航調査を行った。これらの経験をもとに、日本で建造計画中であった 6,000m 級潜航調査船の性能について再考が加えられた。ノチールで調査のできなかった海溝斜面下部は地球科学的に重要であるため、潜航可能深度を 6,500m に増やした「しんかい 6500」の建造を実現した。



図 21 1987 年 9 月 29 日国際海洋掘削計画の最長掘削記録 3,841m を破った Leg 117 航海。右端が協同主席研究者の Warren Prell, その左が掘削責任者の Lamar Hayes。

Fig. 21 Ocean Drilling Program Leg 117 broke a record on recovery of 3841m in 29th September, 1987. Co-chief scientist Warren Prell (right end) and operation superintendent Lamar Hayes (its left).



図 22 ドイツの超深層掘削 (KTB) と伊藤久男・米国の Mark Zoback.
Fig. 22 Mark Zoback of USA and Hisao Ito at the drilling site of Kontinentales Tiefbohrprogramm KTB of Germany in 1993.

東海地震とプレートテクトニクス

プレート運動が日本列島のテクトニクスを支配していることは、プレートテクトニクス革命によって明らかにされたが (新妻, 2007), 1978 年の赴任時に明日にも起こると言われていた東海地震についての理解はどの程度進展したかを最新の解析結果も含めて述べる。

プレート沈み込み面積とプレート境界地震の変位面積

収束プレート境界である海溝やトラフに沿って起こるプレート境界地震は、実際プレート運動と関連して起こっているのであろうか。

気象庁発行の地震・火山月報 (防災編) に「日本及びその周辺で発生した主な地震」として掲載されている 1997 年から 2005 年の地震について、マグニチュードから算出される地震断層の長さからマグニチュードから算出される変位量を掛け合わせた面積を各プレート境界について積算し、プレート運動モデルから算出される各プレート境界における収束面積と比較したところ、良く対応していることが分かった (図 23; 新妻ほか, 2005)。この対応は、プレート運動がプレート境界地震を起こしていることを

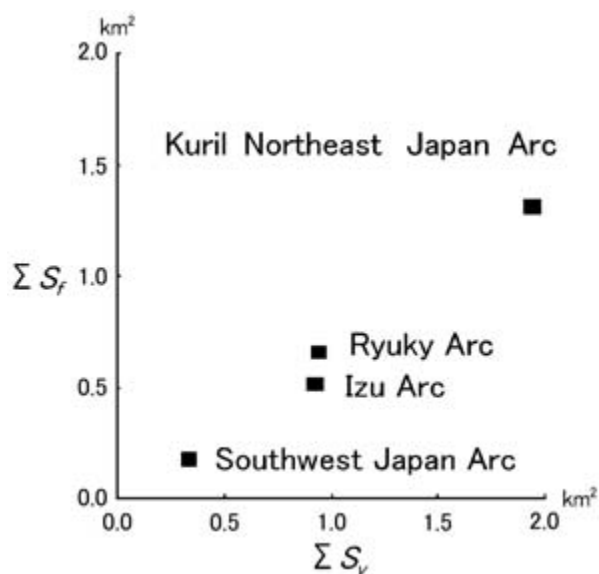


図 23 1997 年 1 月から 2005 年 1 月までの地震断層変位面積 (ΣS_d) とプレート収束面積 (ΣS_c) (新妻ほか, 2005)。

Fig. 23 Relation of cumulative areas for dislocations (ΣS_d) with earthquakes along plate boundaries from January 1997 - January 2005 to convergent areas (ΣS_c) (Niitsuma *et al.*, 2005, in Japanese).

明確に示している。

東海地震を起こすプレートの沈み込み

東海地震は駿河トラフ・南海トラフに沿って沈み込むフィリピン海プレートの沈み込みによって起こると考えられている。駿河トラフではフィリピン海プレートに属する伊豆半島側の海底が本当に沈み込んでいるのだろうか。

松崎沖の駿河トラフ軸部にある石花海海底峡谷において、伊豆側の火山岩の海底が静岡側の泥岩の崖に衝突していることが「しんかい 2000」の潜航調査によって観察されている (図 24: 新妻ほか, 1990; 小山ほか, 1992; 新妻, 1994)。この火山岩は不整合で水深 50m 以浅の底生有孔虫を含む浅海成砂によっておおわれている (図 25)。この砂の存在は、堆積後現在的水深である 1500m まで沈み込んだことを直接証拠立てている。

伊豆弧における浅海域分布

浅海成砂の存在は、その砂が堆積した当時はこの松崎沖の海域が浅海であったことを意味しているが、この海域は伊豆弧中軸の天城山から 40km 離れている。現在の伊豆弧では伊豆弧中軸から 20km 以上離れれば、水深 1,000 - 2,000m 以上の深海域となり、浅海域は存在しない。ただし、唯一の例外として銭州が伊豆弧中軸から 45km 離れて海面上に顔を出している (図 26)。



図 24 駿河トラフ軸上の石花海海底峡谷における伊豆側の火山岩の衝突によって変形している静岡側の泥岩。

Fig. 24 Deformed mudstone of Shizuoka side by collision of volcanics of Izu side at Senoumi Gauge on the Suruga Trough axis.

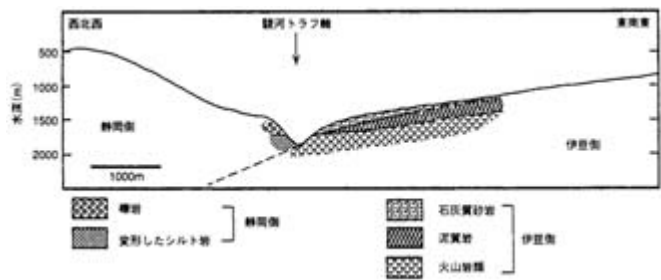


図 25 フィリピン海プレートとして沈み込み、石花海海底峡谷で衝突する伊豆側の火山岩の上に載る浅海成砂。断面位置は図 26 参照。

Fig. 25 Cross section of shallow marine sandstone covering on colliding volcanics of Izu side on Philippine Sea Plate at Senoumi Gauge. The position of cross section is shown in Fig.26.

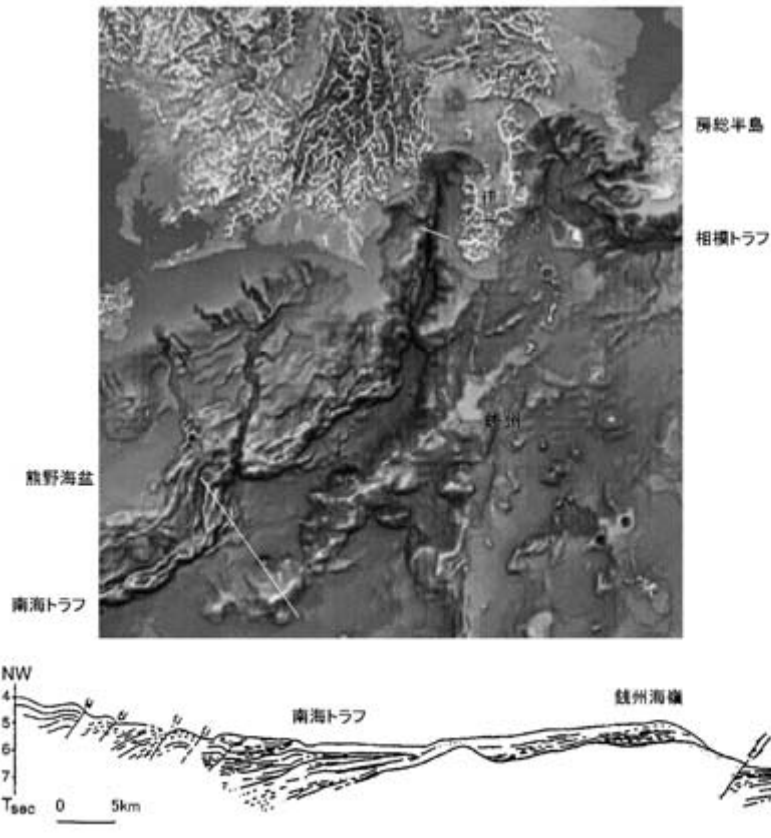


図 26 伊豆弧と駿河トラフ・南海トラフと銭州海嶺の海底地形と反射法地震探査断面 (新妻, 2007)。上：アジア航測社提供の赤色立体地図，白線は下図および図 25 の断面位置。下：反射法地震探査断面 (LePichon *et al.*, 1987 による)。

Fig. 26 The topographic relief of Izu Arc, Suruga Trough, Nankai Trough and Zenisu Ridge and seismic reflection profile (Niitsuma, 2007, in Japanese). Upper: red color relief map by Asia Aero-survey Co., white lines represent the positions of cross section of lower figure and Fig.25. Lower: seismic reflection profile crossing Zenisu Ridge (LePichon *et al.*, 1987).

浅海砂を載せた火山岩の形成と銭州

南北方向で直線状に伸びる駿河トラフは南西方向に伸びる南海トラフ東端に接続している (図 26)。フィリピン海プレートの海底はプレート運動によって駿河トラフと

南海トラフに沿って沈み込んでいる。この沈み込み境界は、沈み込む側から見ると凹角である。沈み込み境界が凸角の場合には、テーブルクロスが机の角でひだを作るように沈み込みスラブが過剰となりひだになるが (新妻ほか, 1992; 図 27a), 凹角の場合には逆に不足する。沈

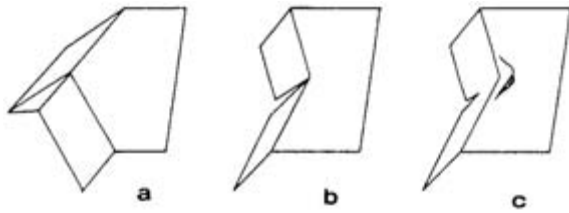


図 27 沈み込み境界角と沈み込みスラブ形態 (新妻ほか, 1992).
a: 境界角が凸角の場合にはテーブルクロスのようにひだをつくる. b: 境界角が凹角の場合には, 凹角の頂部の沈み込み境界まで沈み込みスラブに裂け目があれば沈み込める. c: スラブの裂け目が沈み込み境界まで達していない場合には, 沈み込む海底に歪が累積して沈み込みの背面が破断する.

Fig. 27 Shapes of the descending slab along a curved boundary (Niitsuma *et al.*, 1992, in Japanese). a: angle of the subduction boundary less than 180 degrees, measured from the descending side. b: more than 180 degrees, with complete rupture and separation from the boundary. c: more than 180 degrees, without complete rupture and with breakage in the backside.

み込んだスラブを沈み込み境界を軸に回転させて水平に戻すと凸角の場合には, スラブの間に隙間ができるが, 凹角の場合にはスラブが重なり合う. 幾何学的にはこの隙間がひだになる過剰分に相当するが, 重なり合う部分は不足分になり, 重なり合いに相当する面積の裂け目が生じなければ, 海底は沈み込めない.

スラブの裂け目が沈み込み境界の凹角の接合部まで達していれば, 海底は沈み込めるが (図 27b), この裂け目が沈み込み境界まで達していなければ, 沈み込む海底側に歪が集積し, 沈み込み境界の背面に破断を生じる (図 27c). 集積する歪は凹角の二等分線上で最大になるが, 銭州が駿河トラフ軸と南海トラフ軸の二等分線上に位置している. 南海トラフの南東に沿う銭州海嶺の背面にはモホ面にまで達する断層があり, 銭州は凹角境界に沿って沈み込む海底の背面破断の頂部である (図 26).

銭州と類似する松崎沖の浅海砂も凹角沈み込み境界の背面破断によって形成されたのであろう (新妻, 1991; 新妻, 2006; 図 28). 松崎沖で衝突している火山岩は, 伊豆半島の中央を北東-南西方向に通過する松崎隆起帯の南西延長部にあり, 銭州が銭州海嶺の頂部が海面上に顔

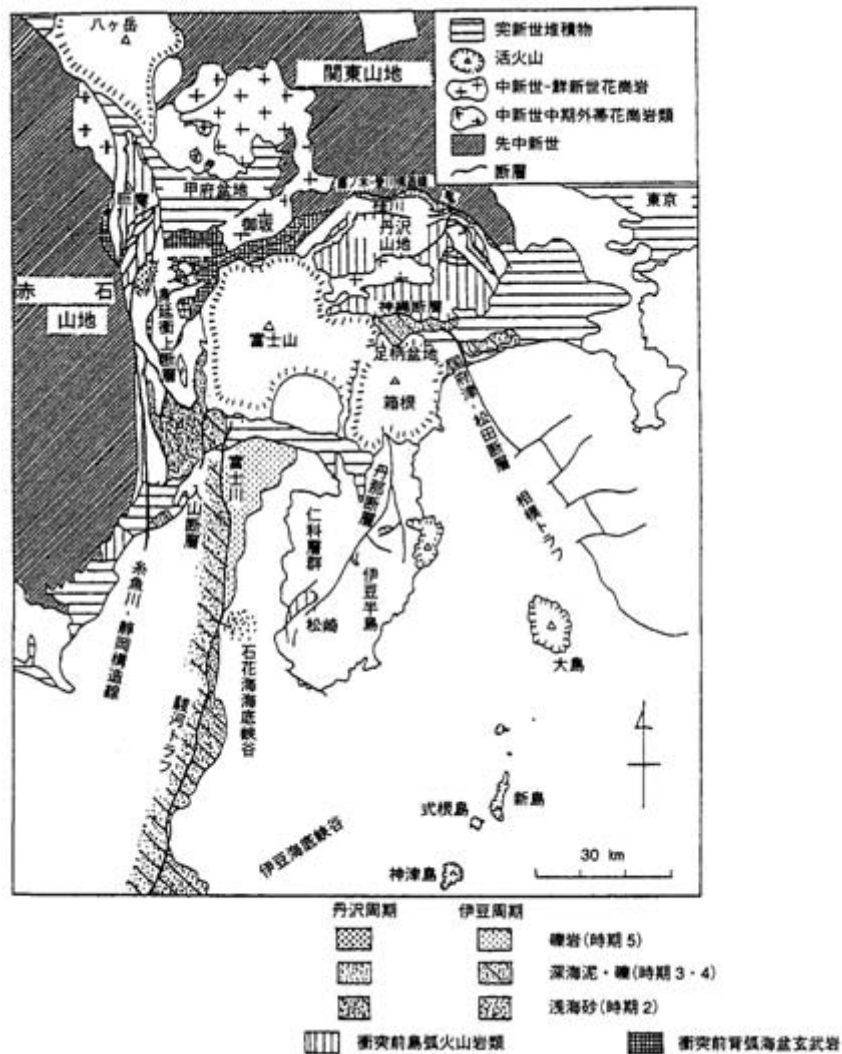


図 28 伊豆弧衝突域の南部フォッサマグナにおける岩相分布 (Niitsuma, 1999 に基づく新妻, 2006).

Fig. 28 Geologic map of the South Fossa Magna (Niitsuma, 2006, in Japanese, based on Niitsuma, 1999).

を出しているように、松崎沖の浅海砂は松崎隆起帯の頂部が海面上に顔を出し、波浪侵食を受けた不整合面上に堆積したもので、伊豆半島全体を含む広域なテクトニクスのもとに形成されている。

銭州や松崎隆起帯と全く同様な事例は南部フォッサマグナ北部の甲府盆地南縁にある御坂隆起帯にも見出すことができる（新妻，1991；新妻，2006；図28）。御坂山地

は深海底に噴出した枕状玄武岩溶岩と水深4,000mの方解石補償深度で深で堆積した深海泥の勝坂泥岩から成るが、その西端部には浅海の珊瑚・苔虫・腕足貝・二枚貝化石を含む浅海成砂からなる遅沢砂岩が載る。松崎隆起帯の位置が御坂隆起帯と銭州の中間にあることは、凹角沈み込み境界の背面破断が規則的に起こっていることを示している（新妻，1991；Niitsuma，1992，1999；図29）。

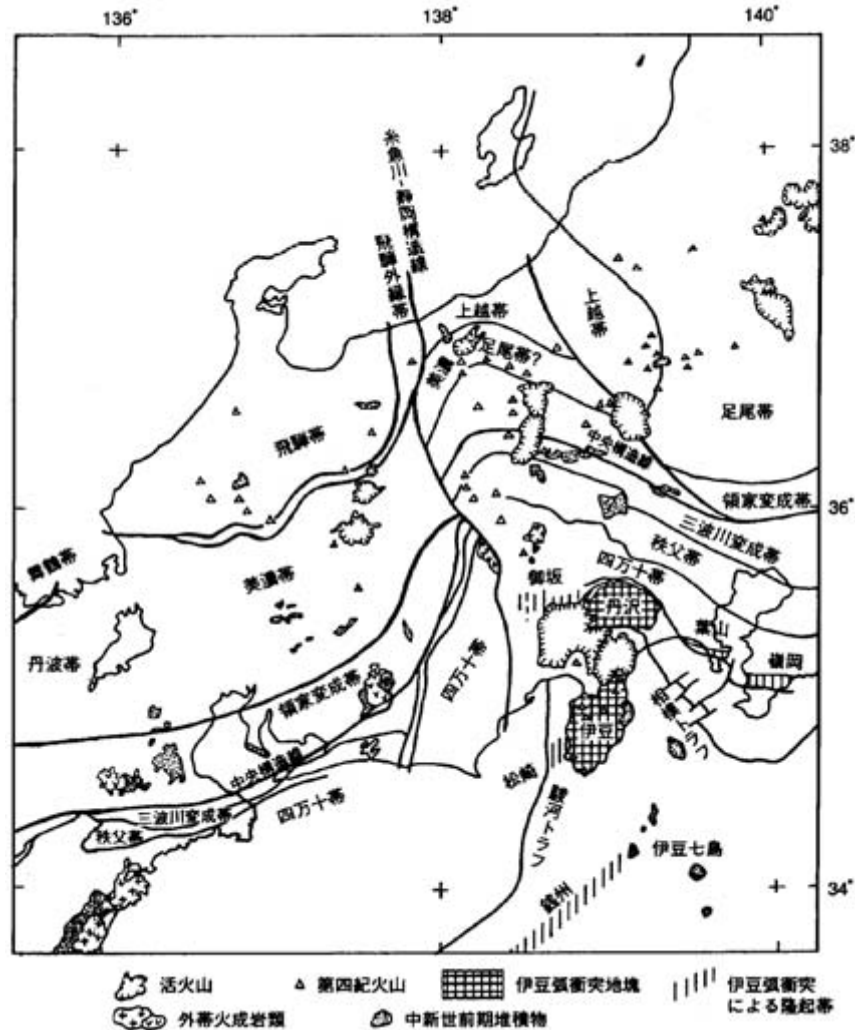


図29 伊豆弧の衝突と日本列島の地質帯状構造の屈曲および凹角沈み込み境界背面破断による隆起帯（新妻，2006）。

Fig. 29 Colliding Izu Arc, bending of geologic zonal structure of Japanese Islands, and breakage in the backside (Niitsuma, 2006, in Japanese).

伊豆・丹沢の衝突過程

伊豆弧と日本列島との衝突過程は、次のようになっていることが南部フォッサマグナ地域の地質調査から判明している。日本列島からの堆積物の到達しない南海の火山弧にあった丹沢地塊が、フィリピン海プレート運動によって関東山地南縁の沈み込み境界に到達して沈み込みかけて深海化し、日本列島由来の深海成泥からなる寺家泥岩が堆積する（太田ほか，1986；図28）。しかし、丹沢地塊は沈み込めず、沈み込み境界には衝突によって関東山地から供給される大量の礫から成る落合礫岩に埋積さ

れる。衝突によって丹沢地塊のプレート運動は関東山地によって阻止され、沈み込み境界は丹沢地塊南縁に転移する。

丹沢地塊南縁に沿って沈み込むプレート運動によって伊豆地塊が丹沢地塊南縁に到達すると、深度を増して日本列島由来の深海成泥からなる横山シルト岩を堆積させた（小山，1982；図30）。その後、伊豆地塊は丹沢地塊に衝突し、沈み込み境界は丹沢地塊由来の大量の礫からなる足柄層群の塩沢層に埋積される（今永，1999；図28）。

丹沢地塊の衝突は500万年前、伊豆地塊の衝突は100万年前に起こったが、背面破断は衝突の前に起こり御坂隆

起帯および松崎隆起帯が形成された。衝突後に駿河トラフはこの隆起帯に遮られ、大量の礫がその北側に曙礫岩

および富士川河口海底扇状地を形成した（新妻，1991；新妻，2007；図 31）。



図 30 伊豆地塊が丹沢地塊の南縁の神縄断層に沿って沈み込みかけて深海化して堆積した伊豆半島中伊豆の横山シルト岩。白尾元麿撮影。

Fig. 30 Yokoyama Siltstone on Nakaizu of Izu Peninsula, deposited on Izu Block which descended and subsided along the Kannawa Fault of southern margin of Tanzawa Block. Photo by Motomaro Shirao.

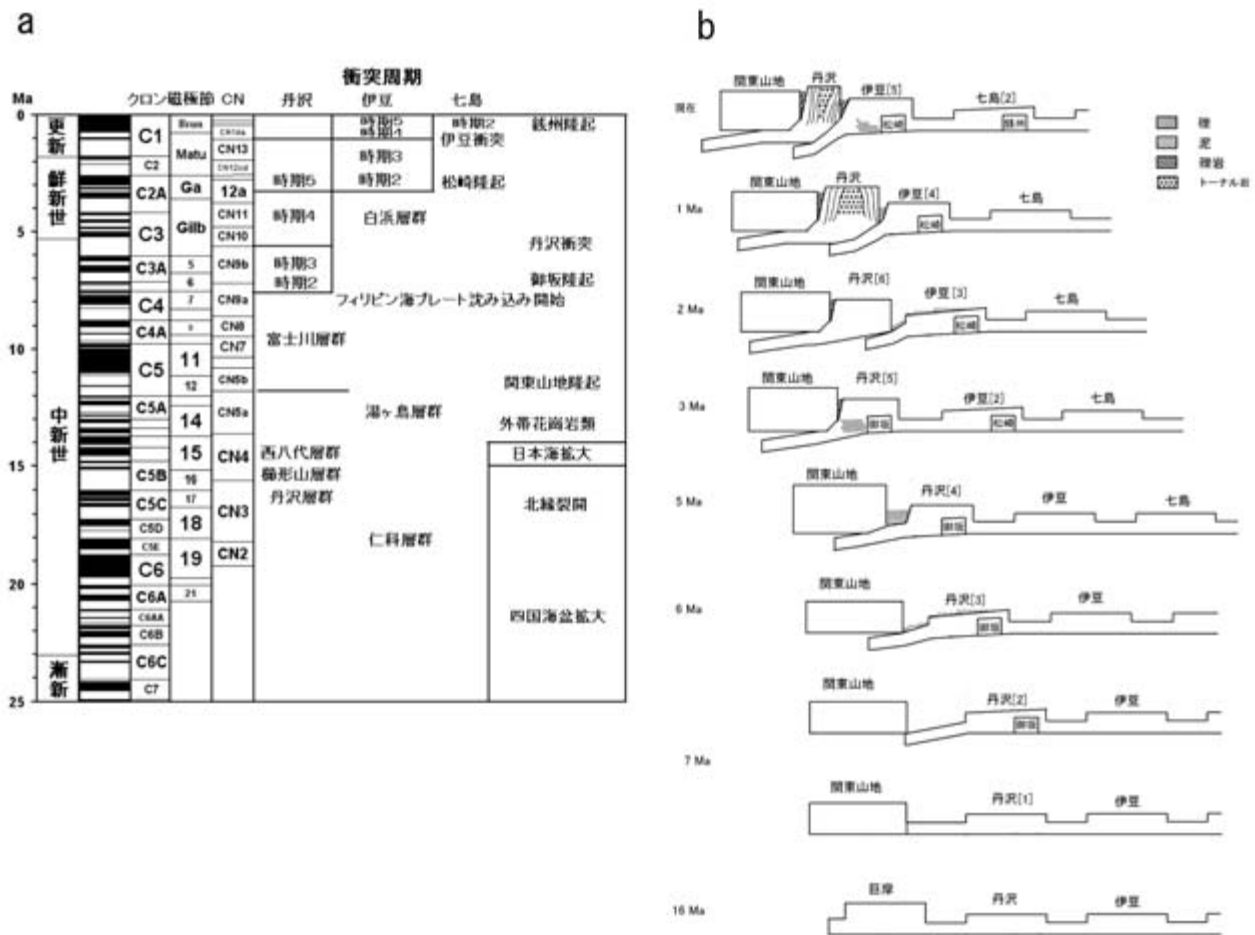


図 31 伊豆弧の衝突過程（新妻，2007 に基づく）。a：丹沢・伊豆・七島の衝突周期年代表。b：伊豆弧衝突周期と沈み込みスラブおよび背面破断。

Fig. 31 Collisional cycles of Izu Arc (based on Niitsuma, 2007, in Japanese). a: Collisional cycles with respect to geologic age. b: Schematic cross section of collisional cycles.

衝突過程と沈み込みスラブ

南部フォッサマグナの地質から判明した伊豆弧の衝突過程に従うと、丹沢地塊と伊豆地塊には寺家泥岩および横山シルト岩に対応する丹沢スラブと伊豆スラブが二重に沈み込んでいるはずである（新妻，2007；図 31b）。

2007 年 10 月 1 日と 6 日に箱根付近で起こった神奈川県西部の地震の震源域周辺における過去 1 年間の震源分布図には（気象庁，2007），関東山地南縁の藤ノ木・愛川断層に沿って沈み込む丹沢スラブと丹沢地塊南縁の神縄断層に沿って沈み込む伊豆スラブが認められ、箱根付近の地震は伊豆スラブ内で起こっている（図 32）。

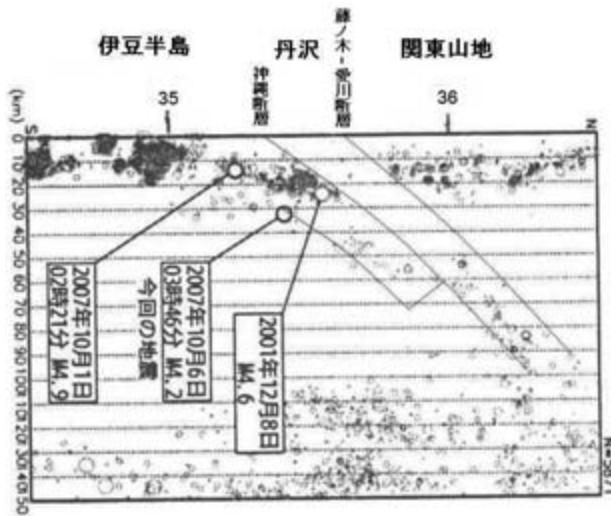


図 32 箱根の地震域の南北断面に沿う震源分布図（東経 139 度 5 - 25 分）。丹沢地塊南縁の神縄断層に沿って沈み込む伊豆スラブと関東山地南縁の藤ノ木・愛川断層に沿って沈み込む丹沢スラブが認められる。100km 以深の震源は太平洋スラブの地震。数字は北緯（度）。

Fig. 32 Hypocenter distribution of earthquakes along 139° 5 - 25' E. Izu Slab and Tanzawa Slab along Tonoki-Aikawa Fault along the southern margin of Kanto Mountains. Kan-nawa Fault along the southern margin of Tanzawa Block can be recognized. The hypocenters deeper than 100km represent Pacific Slab. Numericals represent north latitude in degree.

現在沈み込んでいるスラブの裂け目

丹沢スラブの下に沈み込む伊豆スラブは、丹沢地塊と伊豆地塊の間にあった海底がプレート沈み込み境界の転移によって丹沢地塊南縁に沿って裂け、沈み込んだものである。丹沢地塊南縁の裂け目は側方にどれだけ連続するのであろうか。

沈み込みスラブの形態は、プレート沈み込み境界に沿って発生する地震の震源分布から知ることができる。駿河トラフ・南海トラフに沿う震源は一樣な面状の分布をしておらず、伊勢湾・紀伊水道・豊後水道に震源深度の不連続、すなわちスラブ深度の不連続が認められる（山崎・大井田，1985；溝上・中村，1988；図 33）。

中央構造線に代表される地質帯状構造は九州から四国・

紀伊半島・伊勢湾へと連続するが、大地形区分は地質帯状構造を縦断している（図 29）。この大地形境界がスラブの不連続に対応していることは、九州・四国・紀伊半島・伊勢湾の大地形区分が沈み込みスラブによって形成されたことを示している。

備後水道のスラブ不連続は四国海盆西縁の九州パラオ海嶺、紀伊水道の不連続は四国海盆拡大軸の紀南海山列に対応させることができ、沈み込む海底の性質の相違に関係している。しかし、伊勢湾の不連続は同じ四国海盆東翼部の海底が沈み込んだスラブ内にあり、沈み込んだ海底の性質に差はない。駿河トラフと東南海トラフの接合部が伊勢湾のスラブ不連続の延長上にあることは、伊勢湾のスラブ不連続が凹角境界から沈み込んだスラブの裂け目に対応することを示している（図 33）。

伊勢湾不連続の南西の紀伊半島側の東南海スラブの深度は北東の中部日本側の駿河スラブ深度よりも深い、この深度差は駿河スラブの下に東南海スラブが沈み込んで重なり合って形成されたのであろう。

裂け目の伸長と衝突境界の転移

伊豆地塊が丹沢地塊に衝突して神縄断層に沿う沈み込みが減速すると、伊豆地塊に連続する駿河スラブも減速するため、減速しない東南海スラブは駿河スラブの下に沈み込んで重なり合う。東南海スラブが駿河スラブに沈み込めば、スラブの裂け目は上方に進展する（図 34b）。上方に進展するスラブ裂け目が沈み込み境界を通過して伊豆弧軸にまで達すると、このスラブ裂け目が新たな沈み込み境界となり、沈み込みプレート境界の転移が起こる（図 34c）。

現在は、東南海スラブが既に駿河スラブの下に沈み込みを開始しているので、沈み込みプレート境界が丹沢地塊南縁の神縄断層から伊豆地塊南縁の石廊海底峡谷に転移する準備段階と言える。

一時代前の銭州に当たる松崎沖背面破断に対応するスラブ裂け目は駿河スラブ内に予想される。震源の深度分布から描かれた駿河スラブは、北北西方向に軸を持つ向斜状の形態をしている（図 33）。松崎沖の背面破断から予想されるスラブ裂け目の位置（図 35）がこの向斜軸に一致していることは、この軸がスラブ裂け目であり、西側のスラブが東側のスラブの下に沈み込み重なり合っている状態と言える。このスラブ重なり合いによるスラブ裂け目の上方への進展位置に丹沢地塊南縁の神縄断層がある（図 36）。

神縄断層の形成はフィリピン海プレートの沈み込み境界を関東山地南縁から丹沢地塊南縁に転移させた衝突過程における重大な出来事であるが、裂けたスラブの重なり合いによるスラブ裂け目の上方進展機構によって形成されたことを示している。すなわち、神縄断層に沿って丹沢地塊から分離した沈み込みプレート境界の側方延長は、松崎沖の背面破断に対応する駿河スラブ中央のスラブ裂け目なのである。裂け目の西側が伊豆スラブ、東側が丹沢スラブになる。

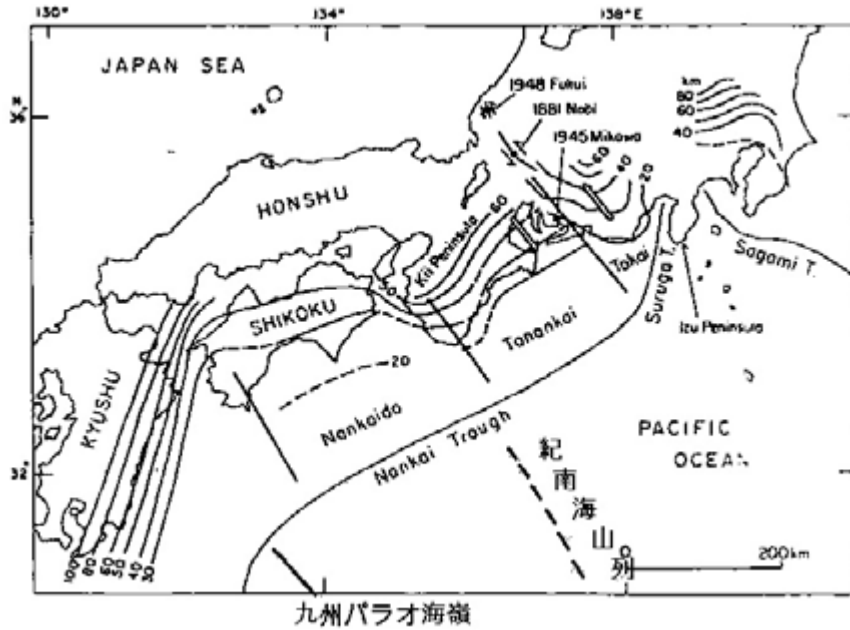


図 33 フィリピン海プレート沈み込み境界に沿う地震の震源深度（溝上・中村，1988 に基づく）。数字は深度（km）。

Fig. 33 Depth contour map in km on hypocenters of earthquakes along the subducting boundary of Philippine Sea Plate (Mizoue & Nakamura, 1988, in Japanese).

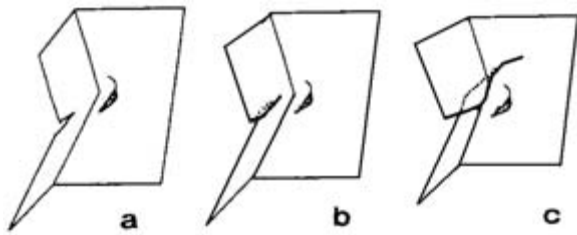


図 34 裂開スラブの重なり合いとスラブ裂け目の上方進展. a: 凹角沈み込みによってスラブに裂け目ができ、背面破断もする (図 27c). b: 裂け目で裂開したスラブが重なり合うと、裂け目は上方に進展する. c: 進展した裂け目が沈み込み境界を通過して島弧軸に達すると沈み込み境界の転移が起こる。

Fig. 34 Overlap of ruptured slabs and upward propagation of the rupture. a: Incomplete ruptured slabs and breakage in the backside along curved boundary with more than 180 degree (Fig. 27c). b: Overlapping of the incomplete slabs and upward propagation of the rupture. c: Creation of new subduction boundary by the propagation and crossing of the Arc axis.

台湾地震と静岡の地震

駿河トラフにおける衝突・伊豆と丹沢の衝突と東海地震を起こすフィリピン海プレートが沈み込んだ駿河スラブとの対応をつけることができた。現在は、伊勢湾で東南海スラブと駿河スラブとの重なり合いが進行中であり、伊豆半島と七島との間の石廊海底峡谷に新たな沈み込み境界が形成されようとしている段階である (Niitsuma, 1992, 1999)。では、東海地震の起こる前兆を知ることができるか検討する。

フィリピン海プレートの運動は、太平洋プレートの運動と殆ど同じであるが、フィリピン海プレート西縁北側の南部フォッサマグナと南側の台湾の衝突によって減速され、東縁の伊豆・マリアナ海溝に沿って太平洋プレートに載り上げている (新妻, 2000; 図 37)。この運動様式は、フィリピン海プレートの運動において南部フォッサマグナと台湾の衝突が重要な役割を果たすとともに、両地域間の地震活動や衝突過程に相互関係のあることを予想させる。

台湾は死者千人を超える震災を繰り返し被っているが、台湾の地震と静岡の地震は極めて良く対応して起こっている (新妻, 2000; 表 1)。特に注目されるのは、静岡大学のある大谷を震源として 1935 年 7 月 11 日に起こった大谷地震 M6.4 である。この地震の死者は人家がまばらであったため 9 人と少ないが、倒壊家屋は千近くに達しており、同規模の地震が現在起これば密集した学生アパートなどで多数の死傷者の出ることが心配される。この大谷地震の前の 1935 年 4 月 21 日に台湾では死者 3,276 人を出した M7.1 の地震が起こっている。

次に注目されるのは、1917 年 5 月 18 日に起こった死者 2 人の静岡県中部地震 M6.3 である。この地震は、志田順が世界に先駆けて地震動の初動の向きが象限分布を持つことを明らかにしたことでも有名である。明治以降整備されてきた日本の地震計網のほぼ中央でこの地震が起こったのでこの様な解析が可能になったのである。初動の象限分布は地震を起こす発震機構と結び付けられ、プレートテクトニクス確立のために重要な役割を果たした。また、この地震の前年の 1916 年 11 月 26 日に明石海峡で死

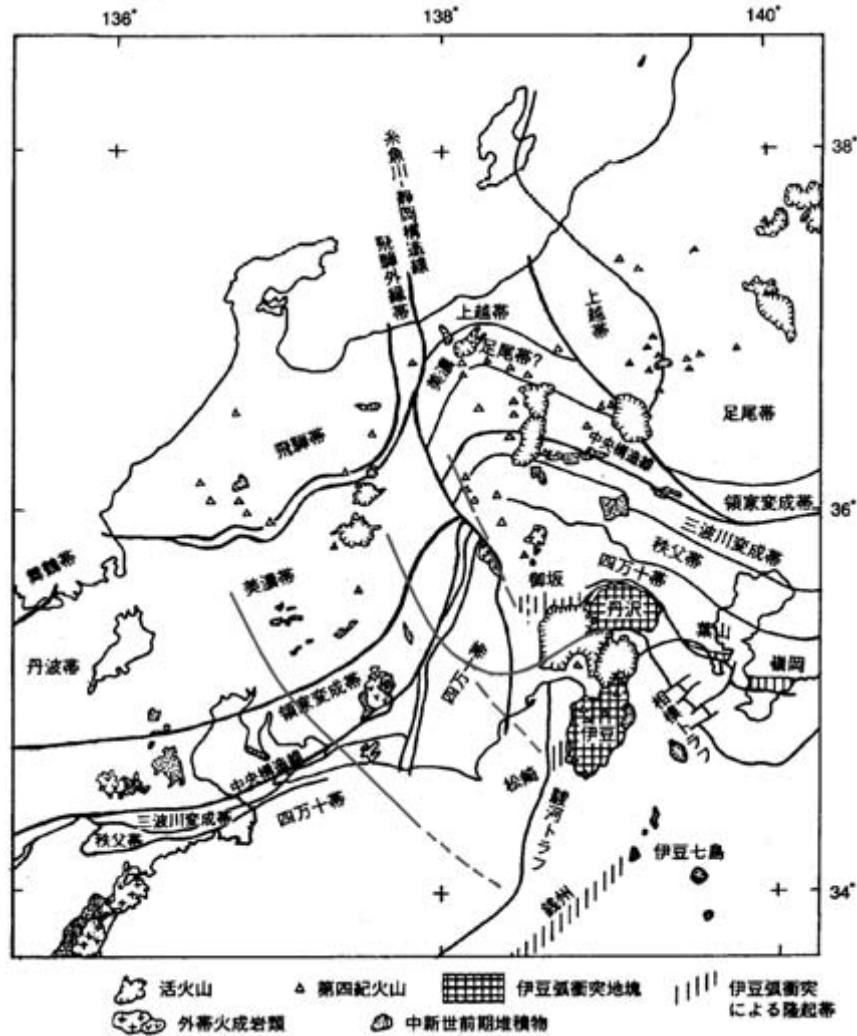


図 35 伊豆弧衝突過程によって形成された凹角沈み込み境界背面破断から予想されるスラブ裂け目 (図 29 に加筆).

Fig. 35 Ruptures of slabs estimated by breakages in the backside of collisional cycles of Izu Arc (touching up on Fig.29).

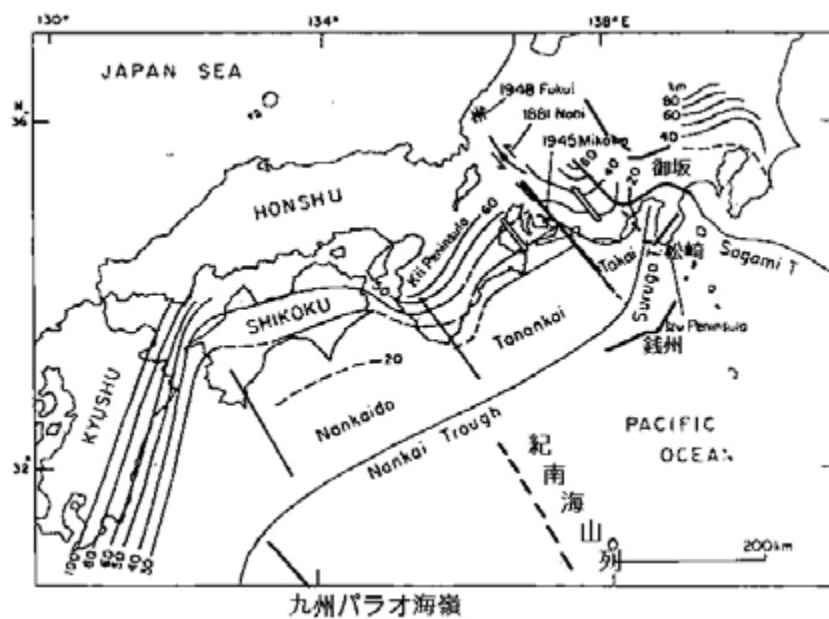


図 36 背面破断から予想されるスラブ裂け目とスラブ深度不連続 (図 33 に加筆).

Fig. 36 Estimated slab ruptures inferred by breakages in the backside and discontinuities of slab depth along subduction boundary of Philippine Sea Plate (refer to Fig.33).

者1人を出した M6.1 の地震が起こっている。この明石海峡の震源は、1995 年 1 月 17 日に死者 6,434 人を出した阪神大震災 M7.2 の震源と同じ位置にある。これらの地震の前に台湾では 1916 年に死者 1 人の M6.0 と 16 人の M6.5、1917 年に死者 57 人の M6.2 が 10 年間の静寂を破って起こっている。

台湾で 1941 年に死者 357 人の M7.0 の地震の後、1944 年 12 月 7 日に死者 1,223 人の東南海地震 M7.9 と 1945 年

1 月 13 日に死者 2,306 人の三河地震 M6.8 が起こり、1946 年 12 月 5 日に台湾の M6.7 の直後の 1946 年 12 月 21 日に死者 1,330 人の南海地震 M8.0 が起こっている。また、台湾で 1964 年 1 月 18 日に死者 106 人の M7.0 の後、1965 年 4 月 20 日に死者 2 人の静岡県中部地震 M6.1 が起こっているが、その前年の 1964 年 6 月 16 日には死者 26 人の新潟地震 M7.5 が起こっている。

表 1 台湾と静岡周辺の地震。

Table 1 Comparison of earthquakes in Taiwan and Shizuoka.

前回からの 経過年数	台 湾			静 岡 周 辺			
	発生日	規模	死者数	発生日	場所または地震	規模	死者数
	1904年	M6.0	145人	1905年 6 月 2 日	安芸灘	M7 1/4	11人
				1905年 6 月 7 日	大島近海	M5.8	
	1906年 3 月17日	M6.8	1,258人				
10年	1916年	M6.0	1人	1916年 2 月22日	浅間山	M6.2	
	1916年	M6.5	16人	1916年11月26日	神戸	M6.1	1人
	1917年	M6.2	57人	1917年 5 月18日	静岡中部	M6.3	2人
18年	1935年 4 月21日	M7.1	3,276人	1935年 7 月11日	大谷	M6.4	9人
				1936年 2 月21日	河内	M6.4	9人
				1936年12月27日	新島	M6.3	3人
6年	1941年	M7.0	357人	1941年 7 月15日	長野	M6.1	5人
				1941年11月19日	日向灘	M7.2	2人
				1944年12月 7 日	東南海地震	M7.9	1,223人
5年	1946年12月 5 日	M6.7		1945年 1 月13日	三河地震	M6.8	2,306人
	1947年 9 月27日	M7.4		1946年12月21日	南海地震	M8.0	1,330人
	1951年10月21日	M7.0	47人				
	1951年10月22日	M7.1					
	1951年11月25日	M7.3					
	1957年 2 月23日	M7.3	7人				
	1959年 4 月26日	M7.7	1人				
	1959年 8 月15日	M7.0	17人				
	1963年 2 月13日	M7.3	15人				
	1964年 1 月18日	M7.0	106人	1964年 6 月16日	新潟地震	M7.5	26人
				1965年 4 月20日	静岡中部	M6.1	2人
				1965年 8 月 3 日	松代群発地震		
5年	1966年 3 月12日	M7.8	7人				
6年	1972年 1 月25日	M7.5	1人				
	2008年 4 月24日	M7.0					
19年	1990年12月13日	M6.2					
				1993年 8 月 7 日	草薙	M4.5	
				1995年 1 月17日	阪神大震災	M7.2	6,434人
				1998年 5 月 3 日	伊豆半島東方沖群発地震	M5.7	
9年	1999年 9 月21日	M7.7	2,119人	2001年 4 月 3 日	静岡県中部	M5.3	

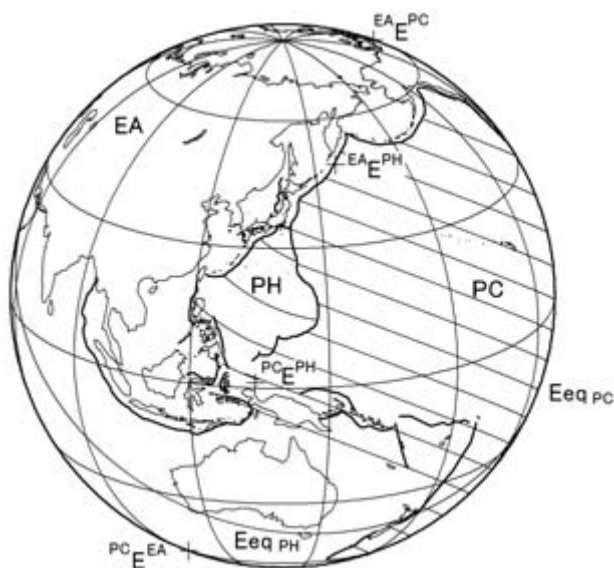


図 37 太平洋プレート運動とフィリピン海プレート運動の関係(新妻, 2000). PC: 太平洋プレート, PH: フィリピン海プレート, EA: ユーラシアプレート. プレート上の線はユーラシアプレートに対するプレート相対運動方向で間隔はプレート相対運動速度に反比例している. E はオイラー極, Eeq はオイラー赤道.

Fig. 37 Relative motion of Pacific and Philippine Sea Plates with respect to Eurasia Plate (Niitsuma, 2000, in Japanese). PC: Pacific Plate. PH: Philippine Sea Plate. EA: Eurasia Plate. Curves represent the directions of the plate motion. Interval of the curves is in inverse proportion to the velocity of plate motion. E: Euler pole, Eeq: Euler equator.

有度丘陵と草薙断層

1995 年 1 月 17 日の阪神大震災は、活断層活動に関する認識を欠いた兵庫県や神戸市の造成施策によって予想を遙かに上回る被害を出したが、その後地震学者は一斉に地震予知は不可能との大合唱を始めた。静岡では地震予知が可能であるとの前提に防災訓練などが実施されていたが、地震予知を担っていた地震学者の中で地震予知不可能論が主体を占め、東海地震震源域の住人は困惑してしまった。

地震はプレート運動によって蓄積した歪みが解放される現象であるので、歪みの蓄積を捉えることができれば地震予知は可能なはずである。歪みの蓄積は地殻変動として観測可能である。1970 年代の地震予知計画では地殻変動観測のためにレーザー光波測距儀が多くの研究機関に導入された。静岡大学の地殻活動観測所にもレーザー光波測距儀があったが、定常観測に至っていなかったもので、学生実験で定常観測を開始した(新妻・小田川, 1993)。かつて鳴り物入りで登場したレーザー光波測距儀であったが、表立った成果が出ないまま、多くの研究機関では GPS による観測に移行を始めていた。米国の軍事衛星を利用する GPS は、人工衛星の精密な軌道要素を入手するために一か月程を要するので、一か月以上前に東海地震の前兆が出る場合にしか予知に使用できない。どのよう

な前兆が出るかも手探りの現状において、東海地震に怯える住人としては、東海地震の前兆を捉える目的でレーザー光波測距儀を本格的に開始した。測定原理に遡る本格的検討によって、レーザー光波測距儀によって測定できるレーザーの往復時間の測定精度と同等の mm 単位の距離変化を知るためには、光路の気温を 0.2°C よりも高精度に知らなければならないことが判明し(新妻ほか, 1996)、電子計算機を使用した連続観測を開始した。光路の気温は日周変化を繰り返しているが、レーザーを往復させる光波測距儀と反射プリズム間の光路長は短期間で大きく変動しないであろうから、距離は変動しないとしてレーザー往復時間から光路気温を算出し、光路下の静岡地方気象台で定常観測されている地上気温と比較した。もし、光路気温と気象台気温の差が系統的に変動した場合には光路長が変動したことになり、地殻変動を捉えることができる。光路気温と地表気温の差と光路の屈曲角が理論値と一致していることが観測によって確かめられ、測定算出された光路気温の正しさが裏付けられた(新妻, 1998b, 2000)。

測定光路として選定したのは、有度丘陵上の静岡大学の地殻活動観測所と、有度丘陵傾動隆起の境界断層である草薙断層を挟んだ谷津山の東海大学鉄塔である(図 38)。有度丘陵は草薙断層に沿う円弧すべりによって駿河トラフに沿って沈み込むフィリピン海プレートに載り上げている(新妻・中野, 1991)。南アルプスの隆起が、草薙断層に沿う円弧すべりの主要な駆動営力であるが、有度丘陵が載り上げているフィリピン海プレート運動の影響も受けている。

光路長は伊豆半島東方沖の地震の発生と良く対応して変動していたが、1999 年 9 月 21 日の台湾の M7.7 の地震の後に大きく短縮し、台湾の地震の影響が有度丘陵の地殻変動にも及んでいることを示した(新妻, 2001, 2002; 新妻ほか, 2005; 図 39)。また、2004 年の 8 月末の大きな変動の後に紀伊半島沖地震が起きている。

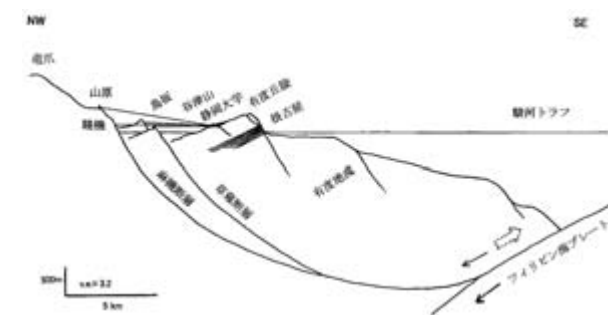


図 38 有度丘陵傾動境界断層の草薙断層とレーザー光波測距測線およびフィリピン海プレート沈み込み(新妻, 2000 に基づく, 新妻, 2007)。

Fig. 38 Cross-section for tectonic setting of tilting Udo Block showing the collapse along Kusanagi and Asabata Faults and subduction of the Philippine Sea Plate with Laser paths ranging method (Niitsuma, 2007, in Japanese, based on Niitsuma, 2000, in Japanese).

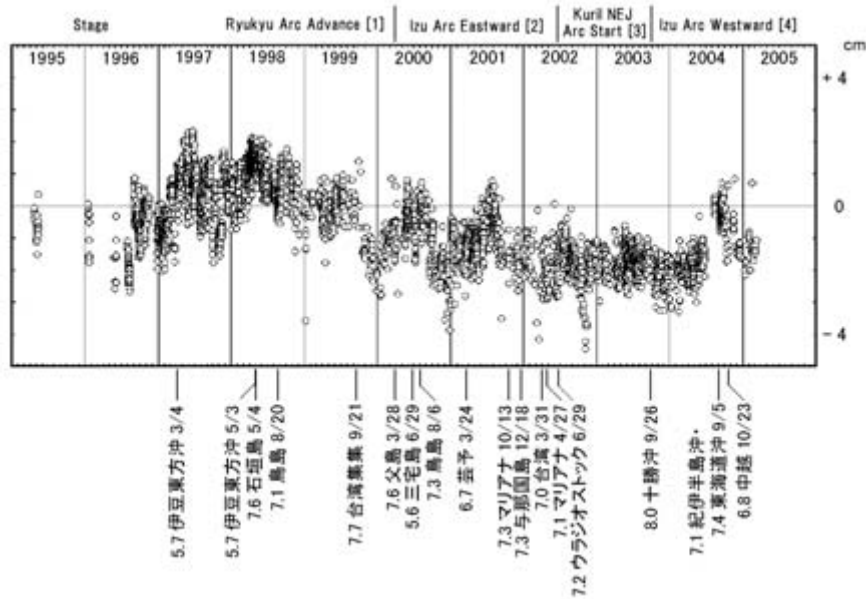


図 39 レーザー光波測距による測線長変動と地震活動（新妻ほか，2005）。期間区分は図 40 参照。

Fig. 39 Monitoring on the distance of laser path and seismic activities (Niitsuma, et al., 2005, in Japanese). Stage division is based on the behavior of occurrence of earthquakes along the plate boundaries around Japanese Island Arcs (Fig.40).

地震予報への道

1997 年から 2005 年の間のプレート境界に沿って起こる地震から算出される変位面積の累計がプレート収束面積に極めて良く対応していることは最初に述べたが（図 23），地震は間歇的に起こり，プレート境界によって活発に起こる時期と殆ど起きない時期がある（新妻ほか，2005；図 40）。

2002 年までは，千島・日本海溝沿いの地震活動はプレート収束面積の半分相当しか起こっていなかったが，2003 年 8 月 10 日の十勝沖地震 M8.0 によって収束面積を越した。それ以前は，伊豆・マリアナ海溝沿いおよび南海トラフ・琉球海溝沿いで地震が盛んに起こっていた。太平洋プレートに対するフィリピン海プレートの運動が伊豆・マリアナ海溝と南海トラフ・琉球海溝に沿う収束運動と直結していることを示す地震活動の象徴である（図 37）。

東北日本は弧状の形態をしているが，この弧状屈曲は東北日本テクトニクスによって次第に成長してきた。東北日本テクトニクスは，フィリピン海プレート運動によって伊豆・マリアナ海溝が日本海溝に対し西進することによって進行してきた（Niitsuma, 1996）。プレート境界は地震が起こらなければ固着し，沈み込むプレートと同じ運動をする。2002 年以前の不活発な千島・日本海溝と活発な伊豆・マリアナ海溝の地震活動は，太平洋プレートに固着する千島・日本海溝を西進させ，伊豆・マリアナ海溝を東進させるため，東北日本弧の弧状屈曲を緩和し，

東北日本テクトニクスを逆行させる。2002 年以後の千島・日本海溝に沿う活発な地震活動と伊豆・マリアナ海溝に沿う低調な地震活動は東北日本弧を東進させ伊豆・マリアナ海溝を西進させるので，東北日本のテクトニクスの進行を促進する。2002 年の地震活動変換後の東北日本テクトニクスの促進によって 2004 年 10 月 23 日に中越地震 M6.8 が起こった（新妻，2005；新妻ほか，2005）。

プレート境界における地震活動域の変遷と日本列島のテクトニクスとは対応しており，その対応関係からどのような地震が起こるかという地震予報も可能になるであろう。

東海地震の予報

東海地震は，南海トラフ・琉球海溝および伊豆・マリアナ海溝に沿うフィリピン海プレート収束境界の地震活動と直結しているので，プレート収束面積と地震活動とを比較することによって監視できる。静岡の地震に先駆けて台湾で多数の死者を伴う大地震が起こるので，台湾で地震活動があったら警戒を要する。

南部フォッサマグナにおける伊豆弧の衝突過程によって沈み込みスラブに裂け目が生じ，重合し，大地形を形成する濃尾地震・三河地震・福井地震も起こることから（図 36），これらのスラブに対応する地殻変動や地震活動と東海地震の関係が明らかになれば予報も可能になるであろう。

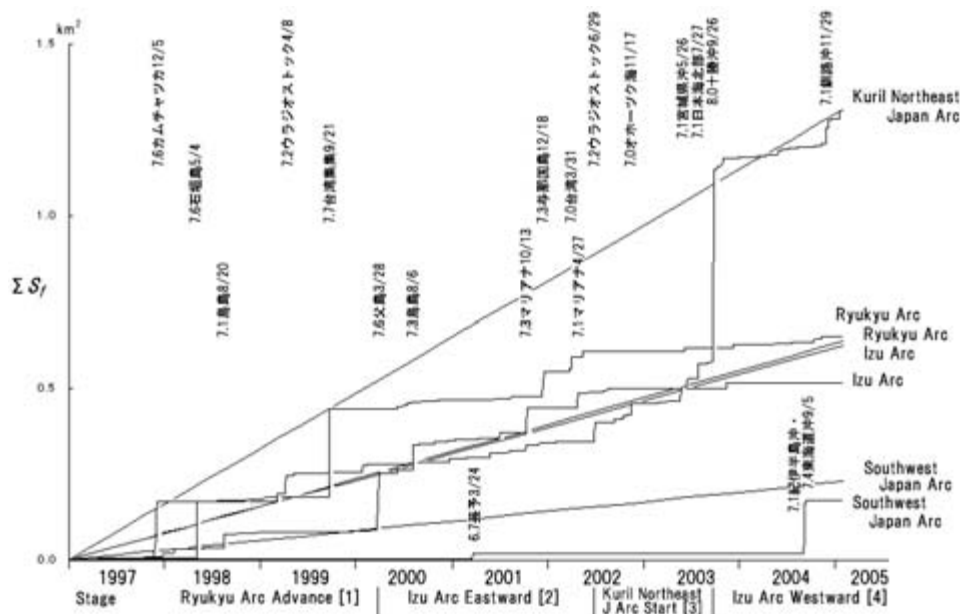


図 40 日本列島のプレート沈み込み境界に沿う地震の地震断層変位の累積面積 (ΣS_f) とプレート境界の活動度に基づく期間区分 (新妻ほか, 2005). Stage は日本列島のプレート境界における地震発生様相に基づいた時期区分. 直線は 1997 年 1 月から 2005 年 1 月までに千島東北弧の地震で解放された変位面積累計を基準としてプレート運動から算出される琉球弧・伊豆弧・西南日本弧の一樣累積直線を示した.

Fig. 40 Cumulative curves of dislocated area (ΣS_f) for earthquakes along Plate boundaries around Japanese Island Arcs and stage division. Stage division is based on the behavior of occurrence of earthquakes along the plate boundaries around Japanese Island Arcs. Straight lines represent cumulative convergent area by the relative Plate motion along the Plate boundaries, normalized by the cumulative dislocated area for earthquakes along Kuril Northeast Japan Arc from January 1997 to January 2005.

あとがき

今春、プレートテクトニクス革命期に過ぎた静岡大学における 30 年間の研究・教育生活を終えた。これらを総括する最終講義の内容を紹介する本稿を作製しているところに、産業技術総合研究所地質情報研究部門の高橋雅紀博士が、最終講義当日の写真を組写真に編集して提供下さったので、当日の様子を記録に残すため掲載させていただいた。また、本稿の写真として、自ら撮影したものその他にこれまで寄贈いただいたものも掲載させていただいた。

プレートテクトニクス確立が大学院の時代にあり、地球科学の新たな展開の中で育ち、全く幸運であった。この幸運については本稿の前半でまとめさせていただいた。第二次大戦中の多くの困難の中で大学の研究機関としての役割を遂行した積み重ねが、何代も後にプレートテクトニクス革命の推進として花開くことになった。この幸運と地球科学の発展のために協同研究に参集して下さいました皆様方への感謝の念から、最終講義前日まで検討して準備したのが、後半の東海地震を起こす沈み込みスラブの裂け目と伊豆弧衝突過程における沈み境界転移の関係である。

プレートテクトニクスの基本に立脚し、プレートの幾

何学を突き詰めた結果であるが、これまでの地球科学の挑戦対象の外にあった大地形の形成とスラブの裂け目の形成とその進展を、地質野外調査によって積み上げられた事実に基づく衝突過程の中に位置づけて解明できたことは、望外のよろこびである。野外の膨大な情報に圧倒され、どのように整理して理解するか分からず長年試行錯誤を繰り返して、2007 年 6 月に静岡で開催された地質学会中部支部総会シンポジウムにおいて取り上げたが、年を越してもまとめ切れずに教室の月曜午後の演習で紹介して討論いただき、地球惑星連合大会の発表申込を経て到達した内容である。閉塞感の漂う地球科学の現状において大地形の形成に地質学およびプレートテクトニクスの知見を裏付けることができた。人類生存に直結する地球科学発展の契機になることを期待するとともに、その発展に今後も貢献できたらと願っている。このような機会を与えて下さった静岡大学理学部地球科学教室の皆様および太田英将退職記念会代表をはじめ参集下さった皆様方に感謝し、本稿を閉じることとする。

地球科学総合研究所の樋口 雄博士・秋葉文雄博士は本稿執筆を奨励下さり、静岡大学地球科学教室の里村幹夫博士・宗林留美博士・Satish Kumar 博士には校閲いただき、国友孝洋博士には文献をご教示いただいた。

引用文献

- ブロッカー W. S. 著, 新妻信明訳 (1980), 海洋化学入門, 東京大学出版会, 東京, 217p.
- Cox A., Doell R. R. & Dalrymple G. B. (1963), Geomagnetic polarity epochs and Pleistocene geochronometry. *Nature*, **198**, 1049-1051.
- 檀原 毅 (1971), 日本における過去 70 年間の総括的上下変動. 測地学会誌, **17**, 100-108.
- Dietz R. S. (1961), Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, **190**, 854-857.
- Fujii N., Yamamoto T. & Niitsuma N. (1994), Stratigraphy of the Neogene marine sequence to the east of Dannevirke, southern Hawke's Bay, New Zealand. *Geoscience Reports of Shizuoka University*, **20**, 91-113.
- 堀部純男・大場忠道・新妻信明 (1969), 水温変化と酸素同位体比. 化石, 増刊号, 15-20.
- 堀部純男・新妻信明・酒井豊三郎 (1969), 生物遺骸の示す古水温. 化石, 増刊号, 31-37.
- Hyodo H. & Niitsuma N. (1986), Tectonic Rotation of the Kanto Mountains, related with the opening of the Japan Sea and collision of the Tanzawa Block since Middle Miocene. *Journal of Geomagnetism and Geoelectriscity*, **38**, 335-348.
- 今永 勇 (1999), 足柄層群の構造. 神奈川県立博物館研究報告, **9**, 41-56.
- Kanaya T. (1971), Some aspects of pre-Quaternary diatoms in the oceans. In: Funnell B. M. & Riedel W. R. (eds.) *Micropaleontology of Oceans*, Cambridge University Press, Cambridge, 545-566.
- 金子 剛・石黒 均・田村淳一・新妻信明 (1983), 南部フォッサマグナ地域新生界地層名辞典. 静岡大学地球科学研究報告, **9**, 1-228.
- 気象庁 (2007), 神奈川県西部の地震. 地震・火山月報 (防災編), 平成 19 年 10 月, 気象庁, 8-9.
- 小山真人 (1982), 伊豆半島北東部中伊豆町一伊東市地域の層序. 静岡大学地球科学研究報告, **7**, 61-85.
- 小山真人・新妻信明 (1980), 伊豆半島新生界地層名辞典. 静岡大学地球科学研究報告, **5**, 37-120.
- 小山真人・新妻信明・狩野謙一・高木圭介・内村竜一・吉田智治・唐沢 譲・田邊裕高 (1992), 駿河トラフ伊豆側斜面の地質とテクトニクス—「しんかい 2000」第 579 潜航の成果—. 海洋科学技術センター試験研究報告, 第 8 回「しんかい」研究シンポジウム報告書, 145-161.
- LePichon X. (1968), Sea-floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research*, **73**, 3661-3705.
- LePichon X., Iiyama T., Chamley H., Faure M., Fujimoto H., Fruta T., Ida Y., Kagami H., Lalemant S., Leggett J., Murata A., Okada H., Rangin C., Renard V., Taira A. & Tokuyama H. (1987), The eastern and western ends of Nankai Trough: result of Box 5 and Box 7 Kaiko survey. *Earth and Planetary Science Letters*, **83**, 199-213.
- Matsuda T. & Niitsuma N. (1989), Collision Tectonics in the South Fossa Magna, Central Japan. *Modern Geology*, **14**, 1-152.
- Matuyama M. (1929), On the direction of magnetization of basalt in Japan, Tyosen and Manchuria. *Japan Academy Proceedings*, **5**, 203-205.
- Maxwell A. E., Von Herzen R. P., Andrews J. F., Boyce R. E., Milow E. D., Hsu K. J., Percival S. F. Jr, & Saito T. (1970), *Initial Reports Deep Sea Drilling Project*, **3**, 806p.
- 溝上 恵・中村正夫 (1988), 和歌山平野の群発地震活動と震源掘削の意義. 陸上学位ボーリング候補地集, **II**, 19-33.
- 中川久夫・新妻信明・早坂 功 (1969), 房総半島新生代地磁気編年. 地質学雑誌, **75**, 267-280.
- 中川久夫・新妻信明 (1970), 房総半島とカラブリア半島における更新統の下限について. 第四紀研究, **9**, 67-73.
- Nakagawa H., Kitamura N., Takayanagi Y., Sakai T., Oda M., Asano K., Niitsuma N., Takayama T., Matoba Y. & Kitazato H. (1977), Magnetostratigraphic correlation of Neogene and Pleistocene between the Japanese Islands, central Pacific and Mediterranean regions. *Proceedings of 1st International Congress on Pacific Neogene Stratigraphy*. Tokyo, 285-310.
- 中尾誠司・小竹信宏・新妻信明 (1986), 房総半島南部石堂地域の地質. 静岡大学地球科学研究報告, **12**, 209-238.
- 新妻信明 (1967), 福島県松原湖周辺の新第三系. 地質学雑誌, **73**, 223-236.
- 新妻信明 (1968), 底生有孔虫群集の解析. 化石, **16**, 25-32.
- Niitsuma N. (1970), Some geomagnetic stratigraphical problems in Japan and Italy. *Journal of Marine Geology*, **6**, 99-112.
- 新妻信明 (1971a), 自動粒度分析機—堆積物解析用として—. 東北大学地質学古生物学教室研究邦文報告, **72**, 25-36.
- 新妻信明 (1971b), 地球磁場逆転と古環境並びに有孔虫群集変化について. 第四紀研究, **10**, 60-68.
- Niitsuma N. (1971), Detailed study of the sediments recording the Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal. *The Science Report of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, **43**, 1-39.
- 新妻信明 (1973), 銀河回転と地球の歴史. 科学, **43**, 650-651.
- Niitsuma N. (1973), Galactic rotation and geomagnetic reversals. *Rock Magnetism and Paleogeophysics*, **1**, 130-133.
- 新妻信明 (1976), 房総半島における古地磁気層位学. 地質学雑誌, **82**, 163-181.
- Niitsuma N. (1977), Remanent magnetization of slumped marine sedimentary rocks. *Rock Magnetism and Paleogeophysics*, **4**, 44-52.

- Niitsuma N. (1978), Magnetic stratigraphy of the Japanese Neogene and the development of the island arcs of Japan. *Journal of Physics of the Earth*, **26 Supplement**, 367-378.
- 新妻信明 (1979), 東北日本弧の地質構造発達—プレート沈み込み過程を探る—. 科学, **49**, 36-43.
- 新妻信明 (1986), 「海洋地質学」のもう一つの序文. 私の歩んだ道 (金谷太郎編), 38-42.
- Niitsuma, N. (1991), Collision tectonics in the South Fossa Magna, Central Japan II. *Modern Geology*, **15**, 314-411.
- 新妻信明 (1991), 駿河トラフにおけるプレート沈み込みと南部フォッサマグナの地質. 月刊地球, 号外**3**, 174-179.
- Niitsuma N. (1992), Arc-Arc Collision in the South Fossa Magna, Central Japan. In: Kato H. & Noro H. (eds.) *29th IGC Field Trip Guide Book Vol. 2, Island Arcs: Cenozoic Stratigraphy and Tectonics of Japan*. Geological Survey Japan, Tsukuba, 109-149.
- 新妻信明 (1994), 採取試料の古地磁気測定と駿河トラフ石花海ゴージにおけるプレート衝突—「しんかい2000」第707潜航報告—. JAMSTEC 深海研究, **10**, 353-362.
- Niitsuma N. (1996), The trench-trench-trench type triple junction and tectonic evolution of Japan. *Geoscience Reports of Shizuoka University*, **23**, 1-8.
- 新妻信明 (1998a), 北村先生の野外調査指導. 運根鈍—北村信先生追悼文集, 北村信先生記念会, 福島, 194-199.
- 新妻信明 (1998b), 光波測距による大気境界層の気温連続測定と地殻変動. 静岡大学地球科学研究報告, **25**, 31-49.
- 新妻信明 (1998c), 脱皮する陸上学術ボーリング計画と21世紀の地質学. 地質学論集, **49**, 199-225.
- 新妻信明 (1999), 小坂さんの存在. 星座, **49**, 16-17.
- Niitsuma N. (1999), Rupture and delamination of island arc crust due to the arc-arc collision in the South Fossa Magna, central Japan. *The Island Arc*, **8**, 441-458.
- 新妻信明 (2000), 光波測距による大気境界層の日周・年周変動およびフィリピン海プレートによる有度地塊傾動機構の解明. 静岡大学地球科学研究報告, **27**, 17-35.
- 新妻信明 (2001), 光波測距による草薙断層と麻機断層の活動監視. 静岡大学地球科学研究報告, **28**, 45-56.
- 新妻信明 (2002), 光波測距による大気境界層変動と草薙断層・麻機断層の活動監視. 静岡大学地球科学研究報告, **29**, 77-93.
- 新妻信明 (2005), 2004年10月の新潟県中越地震と日本列島テクトニクス—三重離脱面の上に載る中越地方—. 地質学会 News, **8**, 10-11.
- 新妻信明 (2006), プレート運動と中部地方のテクトニクス. 日本地方地質誌4, 中部地方 (日本地質学会編), 朝倉書店, 東京, 39-75.
- 新妻信明 (2007), プレートテクトニクス—その新展開と日本列島. 共立出版, 東京, 292p.
- 新妻信明・藤井 昇 (1984), 地球磁場逆転にともなう環境及び生物量変化の解析. 静岡大学地球科学研究報告, **10**, 123-132.
- 新妻信明・木村勝弘・酒井豊三郎 (1972), 日本油田ガスの新第三系古地磁気層序について. 石油技術協会誌, **37**, 411-415.
- 新妻信明・目加田義正 (1971), 陸奥湾底質の自動粒度分析機による解析. 東北大学地質学古生物学教室研究邦文報告, **72**, 37-48.
- 新妻信明・目加田義正 (1972), 自動粒度分析機による堆積物の解析. 岩井淳一教授記念論文集, 201-208.
- 新妻信明・中野 進 (1991), 有度丘陵における地震動振幅と地質構造. 静岡大学地球科学研究報告, **17**, 131-147.
- 新妻信明・西田光二・水藤 尚・武田 浩 (1996), レーザー測距儀による気温の測定. 静岡大学地球科学研究報告, **23**, 9-18.
- 新妻信明・大場忠道・北里 洋 (1971), 炭酸カルシウム結晶生成の問題点. 化石, **21**, 38-42.
- 新妻信明・小田川信哉 (1993), 谷津山—静岡大学間のレーザー光波測距. 静岡大学地球科学研究報告, **19**, 35-44.
- 新妻信明・大塚謙一・狩野謙一・和田秀樹・佐藤隆一・渋谷朝紀・竹内真司・吉田智治・大浦坂勝利 (1990), 駿河トラフにおけるプレート沈み込みの直視観察. 海洋科学技術センター試験研究報告, 「しんかい2000」研究シンポジウム特集, **6**, 261-276.
- Niitsuma N., Sakai T. & Hattori M. (1971), Statistical analyses of populations by electronic computer. *The Science Report of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, **43**, 41-58.
- 新妻信明・徐 垣・Dresser, D. (1992), 伊豆ゴージにおけるプレート境界の「しんかい6500」潜航調査, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第8回「しんかい」研究シンポジウム報告書, 135-144.
- 新妻信明・顧 徳隆 (1977), 地球磁場逆転時に何が起きたか. 科学, **47**, 671-678.
- 新妻信明・篠間 俊・伊藤広和・吉本拓二 (2005), 地殻活動観測所における光波測距による中部日本の歪と2004年新潟県中越地震との関係. 静岡大学地球科学研究報告, **32**, 11-24.
- 新妻信明・吉田鎮男 (1978), クラスタルダイナミクス計画静岡大学案. 静岡大学, 静岡, 17p.
- 太田英将・石黒 均・岩橋 悟・新妻信明 (1986), 丹沢山地東部の地質. 静岡大学地球科学研究報告, **12**, 153-189.
- 小嶋 稔・小嶋美都子 (1972), 岩石磁気学, 共立出版, 東京, 242p.
- Okada H. & Cadet J. P. (1989), Geology, geochemistry and biology of subduction zones, *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology*, **71**, 203p.
- Okada M. & Niitsuma N. (1989), Detailed paleomagnetic records during the Brunhes-Matuyama geomagnetic reversal, and a direct determination of depth lag for magnetization in marine sedi-

- ments. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **56**, 133-150.
- Opdyke N. D., Glass B. P., Hays J. D. & Foster J. H. (1966), Palaeomagnetic study of Antarctic deep-sea cores. *Science*, **154**, 349-357.
- 斎藤常正 (1998), 海洋掘削によるプレートテクトニクスの証明. 地質学論集, **49**, 33 - 42.
- 佐藤任弘・新妻信明 (1980), 日本列島周辺海域の地形と地質. 岩波講座地球科学 15 (勘米良亀齡編), 岩波書店, 東京, 251-301.
- サイボルト E.・バーガー H. W.・新妻信明 (1986), 海洋地質学入門, シュプリンガー・フェアラーク, 東京, 296p.
- 高橋秀明・菊池正明・鈴木正明・阿部博之・新妻信明 (1979), 岩石の破壊靱性試験へのアコースティック・エミッション法の応用. 非破壊検査, **28**, 237-242.
- Takayanagi Y., Niitsuma N. & Sakai T. (1968), Wall microstructure of *Globorotalia truncatulinoides* (d'Orbigny). *The Science Report of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, **40**, 141-170.
- Takayanagi Y. & Saito T. (1962), Planktonic foraminifera from the Nobori Formation, Shikoku, Japan. *The Science Report of the Tohoku University, 2nd Series (Geology), Special Volume 5*, 67-106.
- 田村淳一・金子 剛・新妻信明 (1984), 山梨県西部・巨摩山地南部の地質. 静岡大学地球科学研究報告, **10**, 23-54.
- 山崎文人・大井田 徹 (1985), 中部地方におけるフィリッピン海プレート沈み込みの形状. 地震第 2 輯, **38**, 193-202.