

伊豆・小笠原弧北端部、箱根火山周辺の 地形・地質テクトニクス

A Review of Geographical and Geological Tectonics around Hakone Volcano in the Northern Part of the Izu-Bonin Arc

平田大二¹⁾・山下浩之¹⁾・川手新一²⁾

Daiji HIRATA¹⁾, Hiroyuki YAMASHITA¹⁾ & Shin-ichi KAWATE²⁾

Abstract. Tectonic history of Hakone volcano and its surroundings is reviewed on the basis of recent geochronological and geochemical data. Hakone volcano is located at the northern tip of the Izu-Bonin arc, due to the Pacific plate subduction beneath the Philippine Sea plate. The Izu-Bonin arc is divided into three parts, i.e. the non-volcanic outer arc, volcanic inner arc, and back arc basin. Hakone volcano in the volcanic front of the inner arc is tectonically and volcanically active in association with northwestward subduction of Philippine Sea plate. The northern plate boundary between the plate and Honshu, Japanese main island, runs along north foot of Hakone volcano connecting the Sagami and Suruga troughs, and the region along the boundary is called the South Fossa Magna, well known as multi-collision zone of oceanic island arc. Many geological and geographical investigations, since Kuno's (1950) pioneering works, in Hakone volcano and around the South Fossa Magna show that the region is important for consideration of geohistory or geotectonics of Japanese islands. Geologic implication of Hakone volcano and its surroundings is reported here in plate tectonic framework.

Key words: Hakone volcano, northern tip of Izu-Bonin arc, collision zone, geographical and geological tectonics

1.はじめに

箱根火山は、現在も活動を続ける活火山である。日本列島の中央部に位置する伊豆半島の付け根に位置し、南は伊豆半島、北は丹沢山地と接し、東は相模湾、西は駿河湾に面する。そして箱根火山の西方には、愛鷹山や富士山、八ヶ岳などの火山が並ぶ。今日の地球科学的な解釈では、箱根火山は南硫黄島から八ヶ岳までつながる伊豆・小笠原弧の火山フロントを形成する火山の一つであり、伊豆・小笠原弧の最北端部に位置する。またこの地域は、伊豆・小笠原弧を乗せるフィリピン海プレート

が本州弧の下に沈み込むプレート境界域であり、伊豆・小笠原弧が本州弧に衝突する現場でもある。このような場にある箱根火山は、地球科学的にみて多様な要素が複雑に絡み合う火山である。

箱根火山についての地球科学的研究は、Kuno (1950a; b; 1951)、久野 (1976)、久野 久原著・箱根火山地質図再版委員会編 (1975)、Kaneko (1970)、鈴木 (1971)、町田・森山 (1968)、町田 (1977)、関東第四紀研究会 (1987) などに代表される地質学、岩石学、地形学、テフロクロノロジーなどの諸研究をはじめ、重力異常や古地磁気、温泉、活断層などについても膨大な研究がなされている (平田, 1999)。最近では、平田 (1999) や日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会編 (2007) など新しい年代測定値や岩石化学分析値を基にした、従来の箱根火山形成発達史とは異なる見解の研究も行われている。また、プレート境界域であり伊豆・小

1) 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
平田大二; hirata@nh.kanagawa-museum.jp

2) 武蔵高等学校
Musashi High School

笠原弧の衝突現場という観点から、箱根火山を含めた伊豆・小笠原弧北端部、いわゆる南部フォッサマグナのテクトニクスに関する研究も数多く行われている(例えば、貝塚, 1984; 高橋, 1986; 小山, 1993; 青池, 1999 など)。箱根火山の形成発達史を理解するためには、箱根火山本体に関する知見だけでなく、伊豆・小笠原弧北端部の衝突地帯周辺を含めた地球科学的な知見もあわせて理解しておく必要がある。フィリピン海プレートの北上に伴う伊豆・小笠原弧の衝突・付加現象などについて、陸域と海域を含めた地形学的、地質学的研究や、重力や地磁気、地震など地球物理学的な研究により、そのテクトニクスが解明されつつある(石橋, 2007)。本論では、伊豆・小笠原弧北端部の地形・地質テクトニクスについて、プレートや地殻の構造を含めて概説する。

2. 地形

伊豆・小笠原弧北端部周辺の陸域と海域を含めた地形を、段彩陰影図(図 1)、傾斜量図(図 2)、および地形図(図 3; 貝塚, 1984)に示す。各図面の範囲は、北緯 36 度 ~ 33 度、東経 138 度 ~ 140 度である。段彩陰影図(図 1)および傾斜量図(図 2)の演算・図化は、Paul Wessel と Walter H. F. Smith が開発した The Generic Mapping Tools (GMT) を使用した (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>)。2007 年に出された Windows 用のバージョン 4.2.0 を使用した。演算に使用した DEM は、海域データとして JODC の「500 m メッシュ水深データ」(http://www.jodc.go.jp/index_j.html) をベースに、陸域データを国土地理院の「数値地図(標高) 250 m メッシュ」から補った。段彩陰影図は `grdgradient` コマンドによって陰影を計算し、`grdimage` コマンドによって図化した。傾斜量図の作成は、方向微分および勾配を計算する `grdgradient` コマンドを用いて演算し図化した。図 3 の地形図は、岡山敏雄氏作製の接峰面等高線(原図は 80 万分の 1 全国図で 1951 年に完成)と海上保安庁水路部海底地形図「中部日本」の等深線を合成したもの(貝塚, 1984)の一部である。

本地域における地形的特徴は、陸域では北から八ヶ岳、富士山、愛鷹山、箱根火山につながる火山列と、身延山地から御坂山地へつながる半円状の地形と丹沢山地、伊豆半島の高まりがある。一方海域は、伊豆半島の東西にある相模湾と駿河湾の急な斜面で挟まれた深い舟状海盆である相模トラフと駿河トラフが特徴的である。そして、これらのトラフの陸域への延長は、相模湾では足柄平野に、駿河湾では沼津から御殿場の地形的低まりにつながる。図 1 ~ 3 までの各図では、相模トラフの延長は丹沢山地西縁から甲府盆地東縁を通り八ヶ岳まで、また駿河トラフの延長は南アルプス東縁から甲府盆地西縁をとおりようにも見える。一方、富士山の北側には、丹沢山地から西につながる御坂山地と身延山地の高まりが連なる。その中心位置する富士山の単独峰の形状と周辺の山地の半円状の地形は、極めて特異に見える。

伊豆・小笠原弧全体の海底地形については藤岡・坂本(1999)が、相模湾および駿河湾の海底地形については茂木ほか(1981)、貝塚(1984)、米倉(1984)、藤岡

ほか(2007)が詳しく紹介している。相模湾と駿河湾では、地形の特徴が異なる。相模湾では、相模トラフの東側は沖ノ山堆列とその間を下刻する海底谷により複雑な地形となっているが、西側斜面は伊豆半島、伊豆大島からの急斜面となっている。また、相模トラフ自体も蛇行している。一方、駿河湾は直線的な凹地となっている。東側は、トラフにむけて急斜面が一様に発達しているが、西側は距離の短い海底谷が発達している。相模トラフの東の延長は、日本海溝と伊豆小笠原海溝との海溝三重点に達する。また、駿河トラフは遠州灘沖の南海トラフにつながる。

伊豆・小笠原弧北部の火山フロントは、八ヶ岳から富士山、箱根火山を経て、伊豆大島、三宅島、御蔵島、八丈島とほぼ南北方向に連なる。伊豆半島周辺の海域をみると、伊豆半島から南南西方向に伊豆海脚が緩やかな高まりとなって伸びる。その南東側には、南海トラフにむけて伊豆東方線と呼ばれる凹地が続く。さらにその南東側には、伊豆大島から新島、式根島、神津島などの火山島とさらに銭州海嶺にまでのびる北東-南西方向の地形の高まりが見られる。これらの高まりと凹地は、火山フロントに斜交するように雁行に並んでいる。

以上のような地形の特徴は、フィリピン海プレートの本州弧への沈み込みと、それに伴う伊豆・小笠原弧北部の本州弧への衝突・付加現象の現れである。

3. 地質

本地域における地球科学研究は、日本の地質学黎明期である明治時代にエドモンド・ナウマン(E. Naumann)がフォッサマグナと命名して以来、現在にいたるまで層序学、岩石学、地球化学、火山学、構造地質学、地質年代学、地球物理学、地震学など他分野にわたり数多く行われてきた。特に、杉村(1972)がプレートテクトニクス論にもとづき伊豆北端部がプレート境界であることを提唱して以降、本地域の地殻構造の形成過程に関する研究が分野を越えて行われ、活発な議論がなされている(青池, 1999)。また、伊豆・小笠原弧の形成過程は、大陸成長史を解明する上で重要である(Taira et al., 1998; 有馬ほか, 1999, 青池ほか, 2001 など)。箱根火山は、以上のように地球科学的に特異な場に存在する火山である。本稿では、伊豆・小笠原弧北端部における箱根火山の地質学的意義を再確認するために、本地域の地質について概観する。

本地域は、いわゆる南部フォッサマグナ地域に位置する。Matsuda (1962) は、E. Naumann が命名したフォッサマグナのうち外側の先第三系と一連の地形発達・褶曲構造を示す南部地域を、南部フォッサマグナとして再定義した。それは、相模トラフや駿河トラフの地球科学的な重要性や、東北日本弧、西日本弧、伊豆・小笠原弧の 3 島弧の集合部であること、あるいは島弧-海溝系の接合部であり、変動帯であることを意識したことによる。1980 年代からは、南部フォッサマグナの地質構造とフィリピン海プレートの運動、伊豆・小笠原弧の衝突との関連を解明することを目的として、国際リソスフェア探査開発計画(DELP)の一環として国内共同研究が

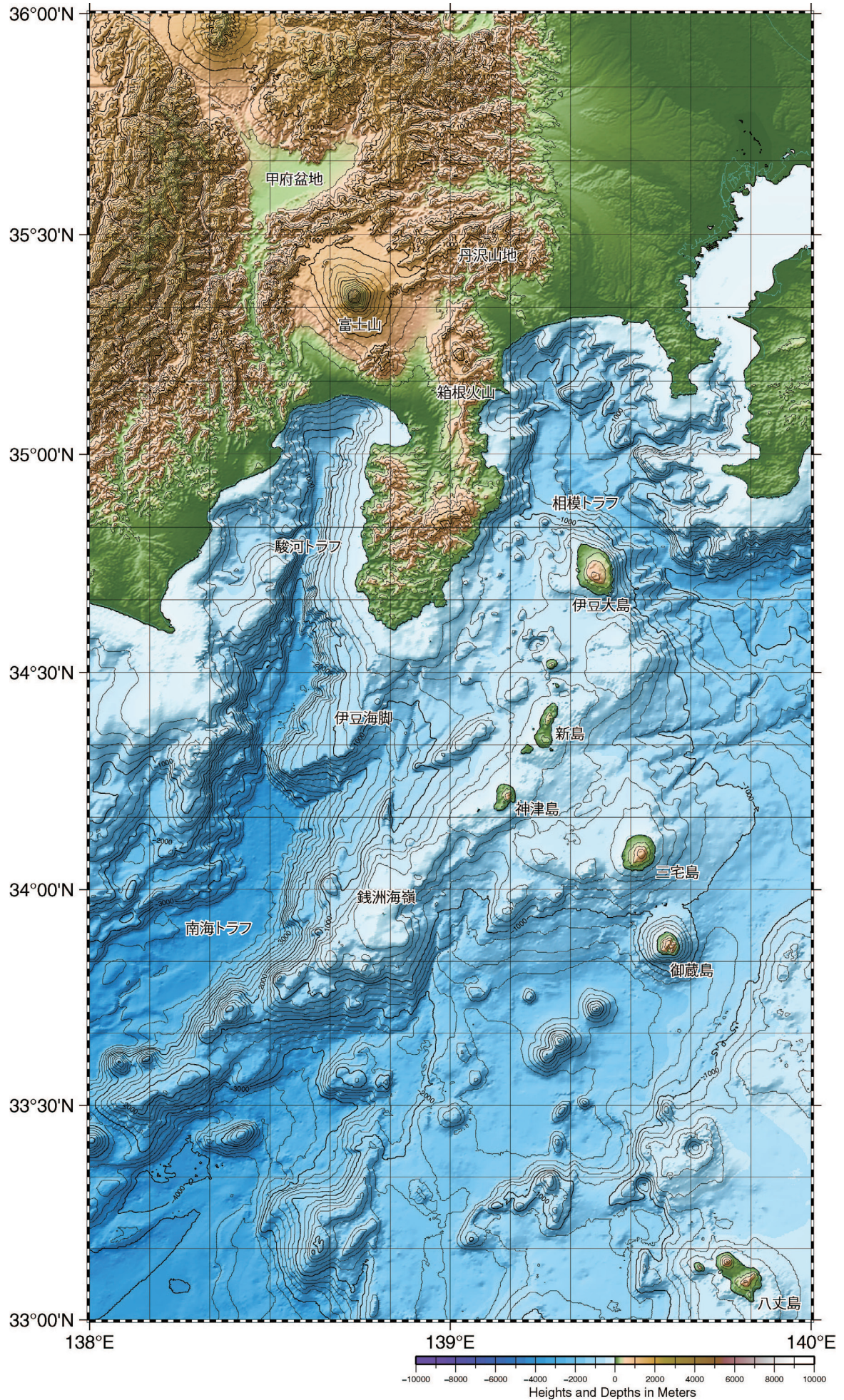


図 1. 伊豆・小笠原弧 北端部周辺の段彩陰影図 (新井田秀一氏作成).

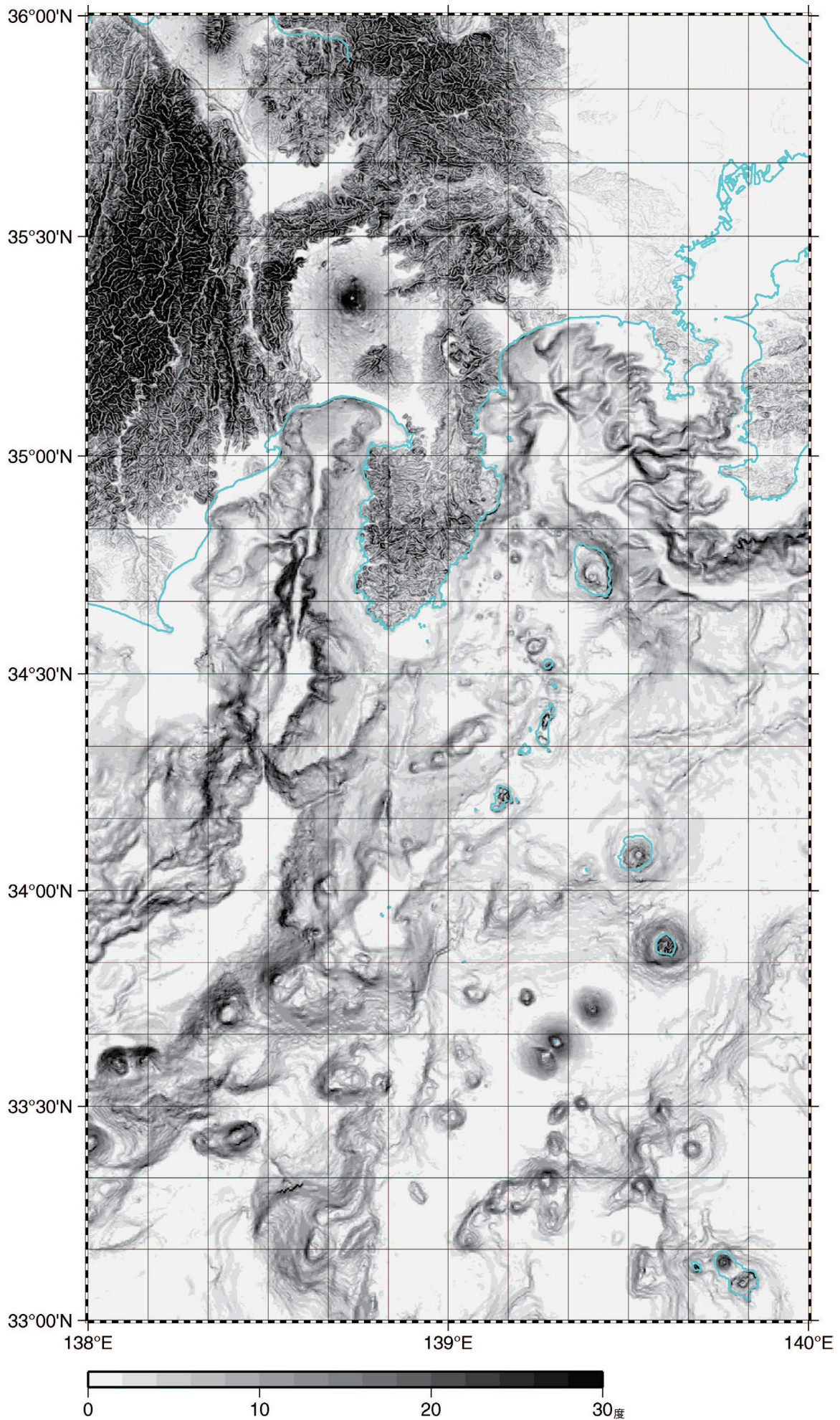


図2. 伊豆・小笠原弧 北端部周辺の傾斜量図（新井田秀一氏作成）.

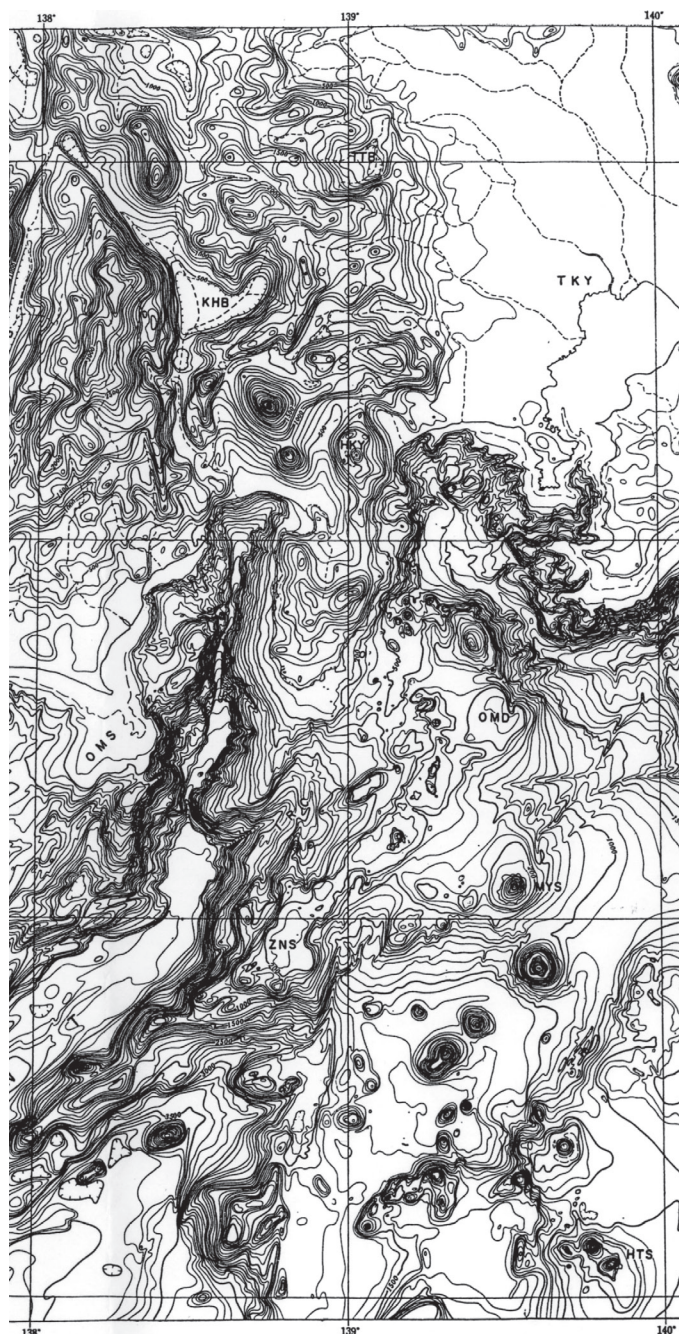


図3. 伊豆・小笠原弧 北端部周辺の地形図 (貝塚, 1984 年より参照)。

行われた。地質学だけでなく地球物理学の研究者も含めた地球科学の総合研究計画であった。本地域における研究史および地質環境については、青池 (1999) および青池ほか (2001) にて包括的かつ詳細に論じられている。以下では、それらをもとに地質の概要をまとめる。

なお、青池は「南部フォッサマグナ」という表現は「断裂帯」というイメージを与え誤解を生み好ましくないとして、赤石、関東山地から伊豆半島周辺域を含めて「伊豆衝突帯」と呼び、いわゆる南部フォッサマグナ地域については「付加島弧区」と称することを提唱している。本地域の地質は、先新第三系堆積岩類 (四万十帯: 瀬戸川層群、小仏層群、相模湖層群)、前期～中期中新世堆積岩類 (嶺岡層群、葉山層群、高麗山層群)、前期～中期中新世火砕岩類 (巨摩層群、西八代層群、丹沢層群、仁科層群、湯ヶ島層群)、中新世深成岩体、後期中新世

火砕岩類 (白浜層群、早川凝灰角礫岩類、愛川層群)、後期中新世～鮮新世堆積岩類 (静岡層群、富士川層群、西桂層群、早戸垂層群、三浦層群)、鮮新世～更新世堆積岩類 (足柄層群、上総層群、熱海層群)、第四紀火山岩類 (箱根火山、愛鷹山、富士山)、および第四紀テフラ (関東ローム層) で構成されている。その分布は、概ね北から南に向かい時代の若い地層が伊豆半島をとりまくように帯状に分布する (図4)。なお、丹沢山地や甲府盆地周辺には、中新世深成岩体が分布している。

先新第三系堆積岩類 (四万十帯: 瀬戸川層群、小仏層群、相模湖層群) は、図4では 15Ma 以前の西南日本外帯付加体基盤の四万十帯として表されている。白亜紀から古第三紀にかけて古アジア大陸東縁の海溝部に堆積した陸源堆積物や海洋性堆積物からなる地層が、陸側に付加したものである。南アルプスの中央構造線と糸魚川静岡構造線に挟まれた地域や、関東山地南部の仏像構造線と藤野木-愛川構造線に挟まれた地域に分布する。本州弧に伊豆・小笠原弧が衝突したことにより形成された、関東シタクスとよばれる本州中部の八の字型地質構造帯の北部を構成する。

前期～中期中新世堆積岩類 (嶺岡層群、葉山層群、高麗山層群) は、図4では表記されていないが、房総半島中央部から三浦半島中央部、神奈川県大磯丘陵東部に断続的に分布する。主体は陸源堆積物や海洋性堆積物からなるが、超塩基性岩類から玄武岩類のブロックを含む。露出が限られていたり、周囲の地層群と断層で接していたりするため、層序学的関係や堆積場など未解明なことが多い。

前期～中期中新世火砕岩類 (巨摩層群、西八代層群、丹沢層群、仁科層群、湯ヶ島層群、富士川層群、西桂層群、早戸垂層群、愛川層群) は、玄武岩質から安山岩質、デイサイト質までの火山岩溶岩および火砕岩類、火山碎屑性砂岩および礫岩からなる。図4では、15Ma 以降の付加体として表されている。中新世に伊豆・小笠原弧北部で形成された上部地殻やトラフ充填堆積物が、伊豆・小笠原弧の本州弧への衝突により付加したもの、あるいは現在付加中のものである。身延山地から巨摩山地、御坂山地、丹沢山地、伊豆半島に分布する。堆積年代は、17Ma～15Ma である。伊豆半島中部から北部にかけて分布する湯ヶ島層群は、箱根火山の基盤を構成する地層のひとつである。

中新世深成岩体 (甲府花崗岩類、丹沢深成岩類) は、上記の前期～中期中新世火砕岩類のうち、すでに本州弧側に付加した地層の分布域内に露出するもので、斑レイ岩、花崗岩から石英閃緑岩、トータル岩などからなる。伊豆・小笠原弧北部の中部～下部地殻を構成する岩体が、伊豆・小笠原弧の衝突付加に伴い陸化し露出したと考えられている。その形成年代は、8Ma～4Ma である。これらの岩体は、伊豆・小笠原弧の中部～下部地殻を研究する上での重要な情報を与えている (Kawate and Arima, 1998; Saito *et al.* 2007)。

後期中新世火山碎屑岩類 (白浜層群、早川凝灰角礫岩類) は、安山岩質からデイサイト質の火山碎屑岩類からなる。図4では、15Ma 以降の付加体のうち、現在付加

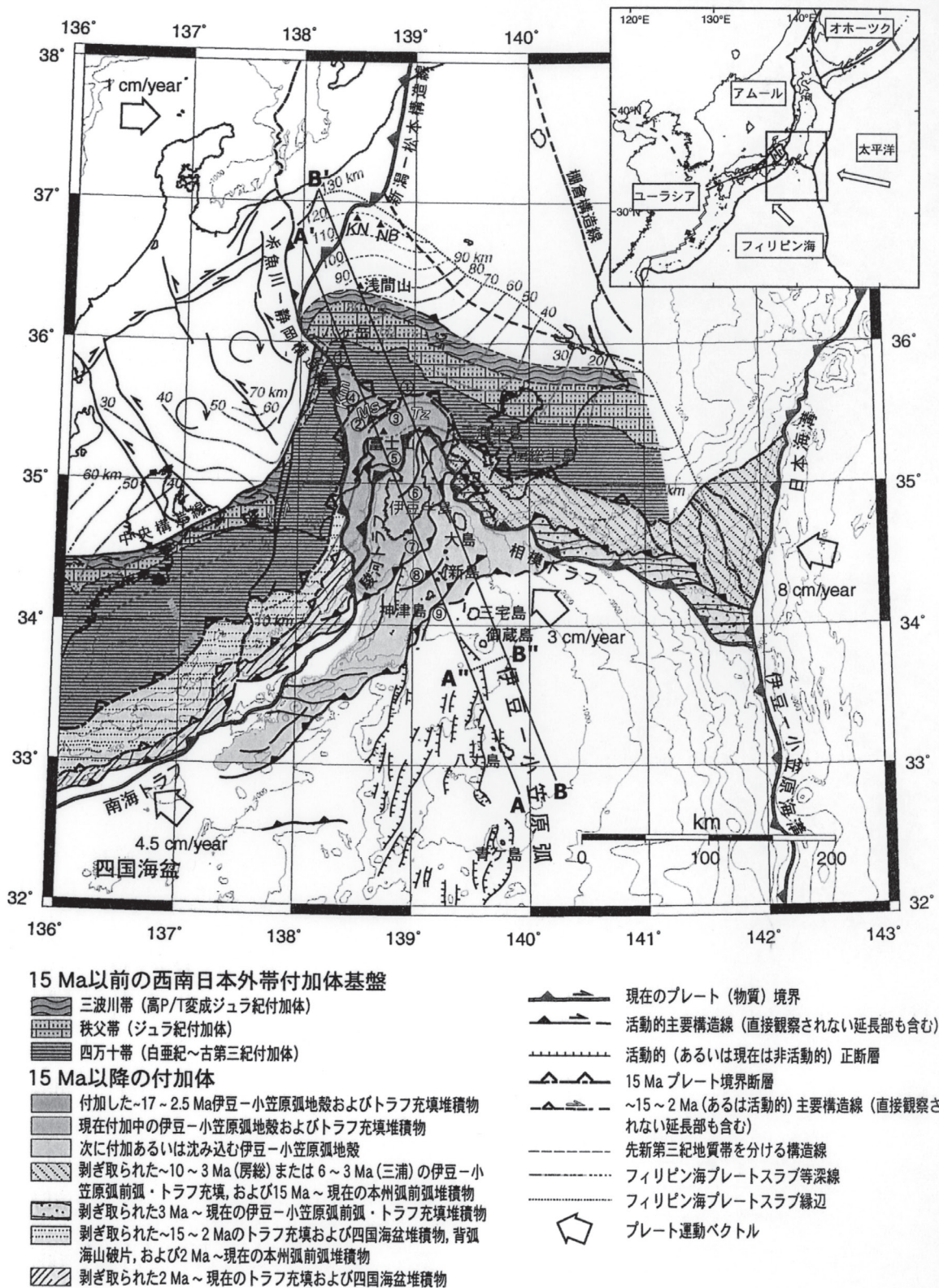


図4. 伊豆衝突帯周辺の概略テクトニックマップ (青池ほか, 2001 より)。

中の伊豆・小笠原弧地殻およびトラフ充填堆積物として表されている。堆積年代は5Ma～4Ma。早川凝灰角礫岩は、珪長質の火山砕屑性のタービダイト堆積物からなる地層で、まれに深成岩礫を含む。堆積年代は4.2Ma (萬年ほか, 2004) で、箱根火山の基盤を構成する地層である。

後期中新世～鮮新世堆積岩類 (三浦層群) は、火山砕屑性タービダイトからなる地層である。図4では、

15Ma以降の付加体のうち、剥ぎ取られた伊豆・小笠原弧前弧およびトラフ充填堆積物として表されている。

鮮新世～更新世堆積岩類 (足柄層群、上総層群) は、陸源性砕屑物からなる地層である。堆積年代は、2Ma～1Ma。足柄層群は、丹沢山地と箱根火山に挟まれた地域に分布するトラフ充填堆積物からファンデルタ堆積物であるが、伊豆・小笠原弧の衝突による変形を強く受

けている。上総層群は、三浦半島北部から房総半島北部にかけて広く分布する陸側前弧海盆堆積物である。

第四紀の火山岩類は、箱根火山、愛鷹山、富士山、東伊豆単成火山群などに見られる。またそれらの火山から噴出したテフラは、神奈川県の大磯丘陵や多摩丘陵を中心とする南関東地域に厚く堆積している。

4. プレートおよび地殻構造

伊豆・小笠原弧北部を含む関東地域は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、オホーツクプレート、ユーラシアプレートの海陸4つのプレートの収束域にある。これらのプレートの相互関係は、陸のプレートであるオホーツクプレートとユーラシアプレートの下に、フィリピン海プレートが沈み込み、さらにその下に太平洋プレートが沈み込むという複雑な状況となっている。このプレートの相互関係が、地殻の内部構造や地表の地質地形の成り立ちに大きく関与している。このプレートの構造を解明するための地球物理学的研究も、数多く行われている(瀬野, 1985 など)。

関東地域下に沈み込んだフィリピン海プレートと太平洋プレートの構造については、地震観測によりその上面の等深線が求められている(例えば図5; 野口, 2007)。そのモデルは、太平洋プレートについてはほぼ同様である。伊豆・小笠原弧北端部半直下のプレート上面深度は、約120~140kmである。伊豆弧の火山フロント直下の深度は、100~120kmである。しかし、フィリピン海プレートについては、複雑な地震観測データであるため各研究者により解釈が異なる(木村ほか, 2001)。山岡ほか(1994)は、伊豆・小笠原弧北側に地震面の空白域があること理由として、伊豆・小笠原弧の火山列の衝突により、フィリピン海プレートのスラブは伊豆・小

笠原弧北端部で、北東方向と北西方向に引き裂かれたとするモデルを提唱した。

また、プレート内部の地殻構造に関する研究も数多く進められている。地震波を用いた地震波速度構造の解析では、Asano *et al.* (1985) が、関東地方山地から銭州海嶺に抜ける地殻構造を示している。また Suyehiro *et al.* (1996) は、伊豆・小笠原弧の中部地殻(6~7km/s 層)および下部地殻(7~7.5km/s 層)の構造を明らかにした。また、Takahashi *et al.* (1998) および Takahashi *et al.* (2007) は、地震波速度測定により伊豆・小笠原弧北部の地殻構造を明らかにしている。これらの結果を参考にして、青池ほか(2001)は伊豆・小笠原弧北部の地殻断面図を示している(図6)。この図は、図4の側線B-B'に沿うものである。フィリピン海プレート上の伊豆・小笠原弧北部の地殻構造やマントルウェッジに沈み込むフィリピン海プレート、太平洋プレートが描かれている。図4に示された各地質単位は、スラスト状の構造線により区切られており、伊豆・小笠原弧北端部におけるフィリピン海プレートの衝突付加の繰り返しを表している。一方、Kitamura *et al.* (2003) は伊豆弧の地震波速度構造が実際にどのような岩石に比較されるのかを検証するために、丹沢深成岩類の岩石弾性波速度測定を行った。その結果、中部地殻(6.1~6.3km/s 層)はトータル岩、下部地殻上層(6.8~6.9km/s 層)は角閃岩斑レイ岩から構成されることを明らかとした。また、Kitamura and Ishikawa (1998) の岩石速度計算や、Nakajima and Arima (1998) の相平衡実験からは北部伊豆・小笠原弧下部地殻はノーライトやパイロキシナイトから構成されることが予想されている(石川, 2007; 図7)。松原ほか(2007)は、防災科研 Hi-net の観測網で得られた大量のデータを用いてトモグラフィー解析を行い、伊豆衝突帯

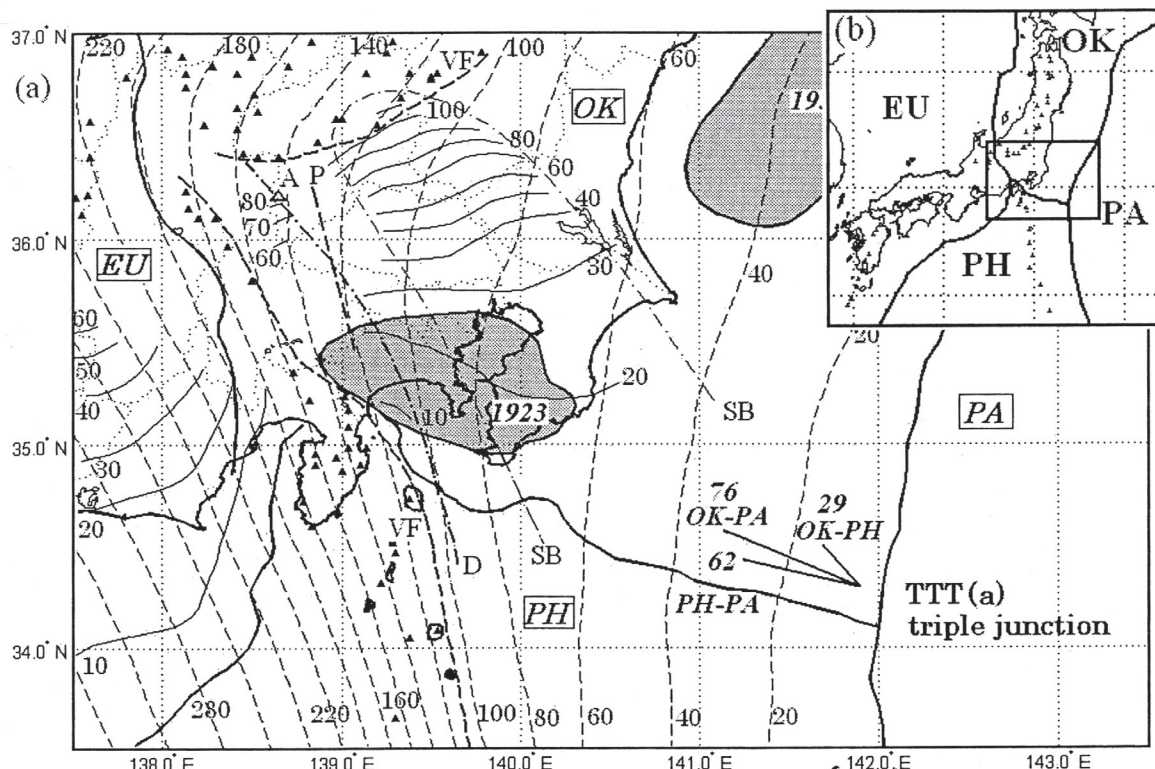
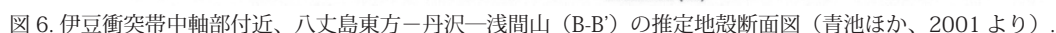
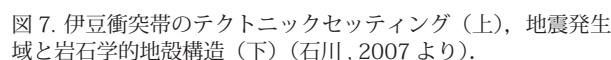


図5. 日本周辺の4プレートとプレート境界 (b) と関東と周辺海域のプレート (a) (野口, 2007 より)。



5. テクトニクス

前者の研究のさがけとなったのは、Matsuda (1962) である。フォッサマグナの南に位置する伊豆半島から南関東にかけての地域を、そこに分布する新第三系の地形・地質構造から南部フォッサマグナ地域と再定義した。その後、杉村 (1972) がプレートテクトニクス理論に基づいて、フィリピン海プレートと本州弧のプレートの境界を、駿河トラフから伊豆半島の北側をとおり相模トラフにつながる凹地とし、田子ノ浦・酒匂構造線と称した。伊豆地塊と本州弧との相互作用を衝突 (collision) という言葉ではじめて表現したのは Matsuda (1978) であ



り、さらに松田は地質学的要素から南部フォッサマグナにおけるプレート境界域の地学現象を解明しようとした(松田, 1982; 1984)。その後、国際リソスフェア探査開発計画 (DELP) の進行もあり、多くの研究者により南部フォッサマグナの地質学的研究だけでなく、島弧の衝突現象から大陸成長史の解明というグローバルな視点にまで発展していった。この一連の研究史については、青池 (1999) が詳しく論じている。

一方、総合的・学際的研究のさきがけとなったのは、中村（1980）や中野（1980）、石橋（1980）、貝塚（1980）などである。これらの研究は、1974年に起きた伊豆半島沖地震を発端とする伊豆周辺の活発な地殻活動を解明することを目的とした研究であり、その後の伊豆・小笠原弧北端部のテクトニックモデルの原型となった（小山，1994）。中村・島崎（1981）は地質学的要素だけでなく地球物理学的な要素を加えて、プレートの沈み込み境

界を物質境界と力学境界にわけて考えることを提唱した。また石橋（1988）は、東海地震や南関東地震の発生が議論されるなか、歴史地震を整理するとともに、伊豆半島東沿岸に「西相模湾断裂」を想定し、フィリピン海プレートの沈み込みに関連する神奈川県西部で発生する大地震を「神奈川県西部地震」と呼び、その起きるメカニズムと将来予測について議論した。その後、本地域におけるテクトニクスに関する研究は、地震や応力場、火山活動、上部地殻構造、プレート幾何学などが多く行われた（松田，1993；小山，1994）。

松田(1993)は、相模湾北西部地域における地震テクトニクスを論じるにあたり、従来のプレート境界に関する構造モデルと、相模湾周辺で発生した大地震との関連性について整理した。

小山 (1994) は、現在および第四紀後期のテクトニクスを統一的に説明しようとしたテクトニックモデルについて分類を行い、各モデルの特徴と問題点の総括を試みた。以下に、小山 (1994) の概要をまとめる。

各モデルは、大きく2つに分類でき、伊豆・小笠原弧北端部を基本的には単一の構造区とみなし、内部に大きな構造境界を考えないモデル(モデル1)と、伊豆・小笠原弧北端部を複数の構造区の集合体とみなし、構造区ごとに異なるテクトニクスを考えるモデル(モデル2)とした。さらに、モデル1の中でも、相模・駿河両トラフでの沈み込みにともなうプレートの曲がりを重視するモデル(モデル1A)(Nakamura *et al.*, 1984)と、伊豆・小笠原弧と本州弧の衝突による圧縮力と相模トラフ下に沈み込んだプレートのスラブプル力を重視するモデル(モデル1B)(Ukawa, 1991)の2種類に区分している。モデル2もAからDの4種類に区分している。モデル2Aは、伊豆半島の北部と南部で異なる構造区を考えるモデルである(Ida, 1991など)。モデル2Bは、伊豆半島を北北東-南南西に縦断する構造線の東西で異なる構造区を考えるモデルである(Kikawa *et al.*, 1989など)。モデル2Cは、伊豆・小笠原弧北端部を伊豆内弧と伊豆外弧の2つの構造区に分けるモデルである(石橋, 1988(図8); Koyama and Umino, 1991など)。モデル2Dは、東伊豆単成火山群地域を地殻拡大域、丹那断層とその延長を地殻拡大域にともなうトランスフォーム断層としてとらえるモデルである(小山, 1993 図9; 山岡ほか, 1994)。小山(1994)は、モデル2Bが構造区分としてより確からしいと評価し、モデル2Dについては東伊豆構造区内の地殻拡大という新しい発想に基づくものとして今後の発展の可能性を示唆している。

さらに小山 (1995) は、相模湾北西部とその周辺地域で明らかとなっている広域地質構造・第四紀地殻変動・第四紀火山活動史の特徴をもとに、応力場・地殻構造・地震分布などのデータを加味して、相模湾北西部の地震テクトニクスに関して考察した。その結果、1) プレート境界は従来の力学境界 / 物質境界の概念 (Nakamura *et al.*, 1984) を改良した「変形フロント」と「沈み込み口」という2つの概念でとらえたほうが良い、2) 西相模湾断裂周辺のプレート幾何学はやや修正すべきである、3) 東伊豆単成火山群を地殻拡大域としてとらえた場合、

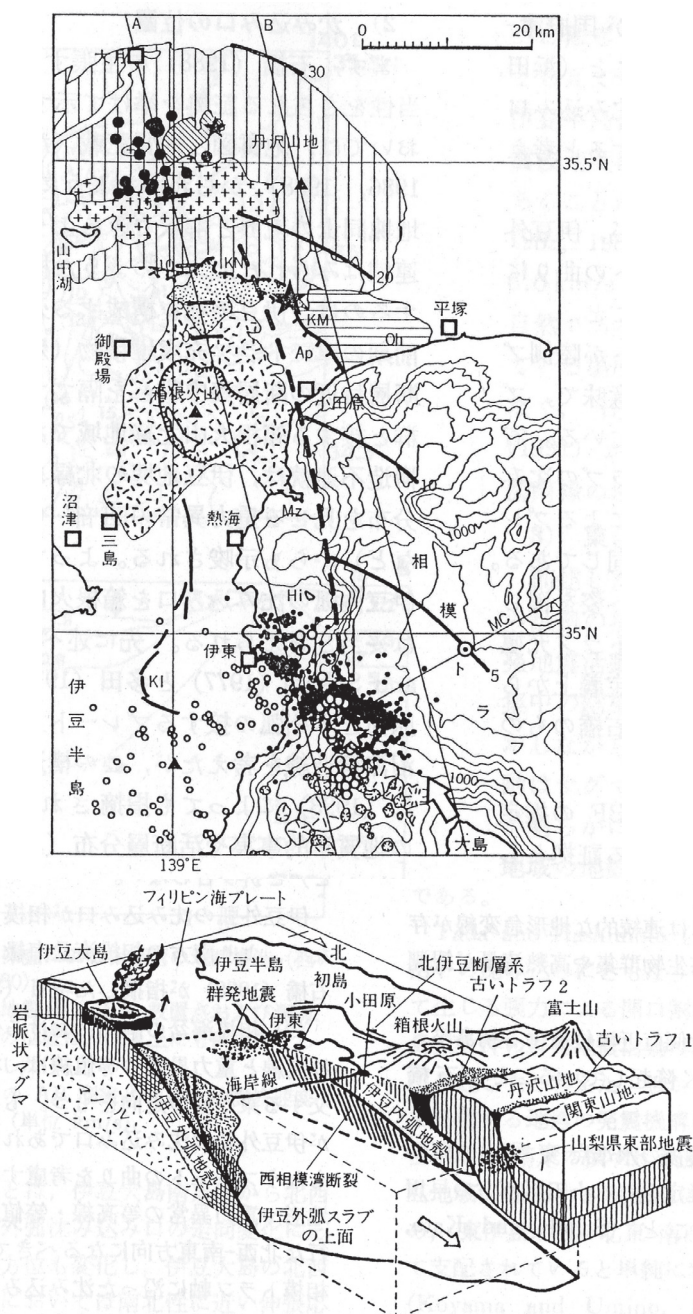


図 8. 相模湾北西部のテクトニックモデル (小山, 1995 より. 原図は石橋, 1988: 1994).

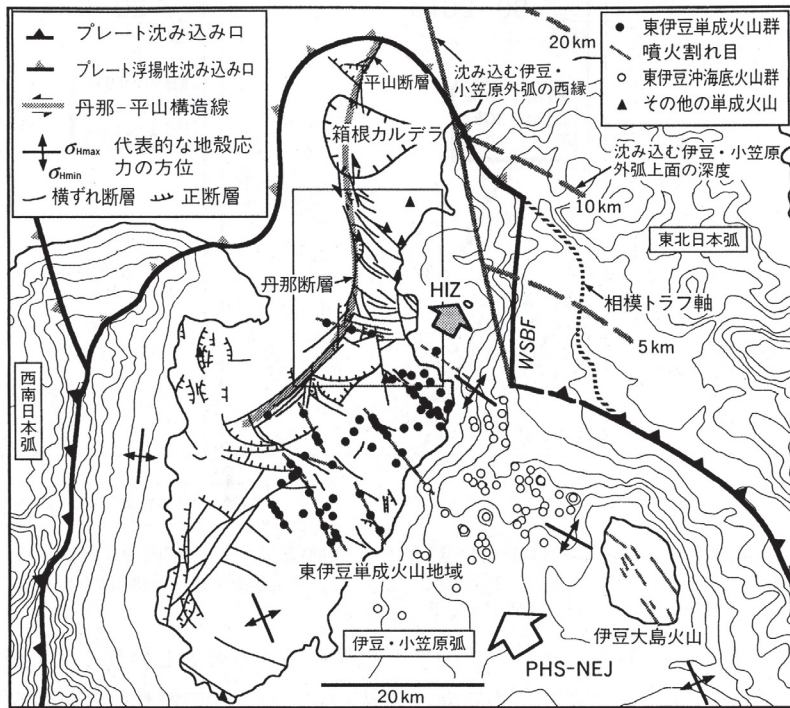


図9. 伊豆半島の地学的状況(小山, 1993より).

伊豆地塊北東部の上部地殻は真鶴「マイクロプレート」として伊豆地塊に対し北北東に移動していると考えられる、4) 新たに提案した西相模湾断裂のプレート幾何学と真鶴「マイクロプレート」の考え方をを用いることにより、未解決であった国府津-マツダ断層周辺のテクトニクス、大磯型地震、丹沢山地の隆起速度の問題を新たな視点から見直すことができる、とした。また、問題点としては、今現在の伊豆地塊がフィリピン海プレートと東北日本弧のどちらに属するのか、衝突の影響によって独立したマイクロプレートとして運動しているのかが明らかにされない限り、相模湾北部や伊豆地塊周辺の地震テクトニクスの議論には不確実性がつきまとうことを指摘している。その解決策として、新しい測地測量法による高密度な長期観測と、従来の測地、地球物理、地形、地質学的調査との連携を唱えた。

その後、石橋(2007)は、2005年に開催された東京大学地震研究所共同利用研究集会「伊豆の衝突と神奈川県西部の地震・火山テクトニクス」(場所: 神奈川県温泉地学研究所)のまとめのなかで、神奈川県西部地震の発生機構やテクトニックな意義の重要性を改めて唱え、箱根火山を含む神奈川県西部の現在の変動は、南部フォッサマグナの過去からの変動と不可分であるという原点に立ち、従来の研究の蓄積と最新の情報とを総合的に検討する必要性を述べている。

6. マグマ活動

伊豆・小笠原弧北端部における第四紀火山体の概要について、高橋(1986)はつぎのようにまとめている。東北日本弧に一般的な主化学組成上の带状配列が存在し、火山フロントより低アルカリ・ソレライト系列に属する大型の成層火山体である伊豆大島三原山火山、小型の成層火山と溶岩丘からなる箱根火山が存在し、その内側にアルカリに乏しい高アルミナ玄武岩系列に属する

東伊豆単成火山群、さらに内側にアルカリに富む高アルミナ玄武岩系列に属する大型成層火山である富士火山が存在する。そして、50万年前以降、火山列の境界が西へ移動しているとし、その原因をフィリピン海プレートの北西方向への移動に求めた。そして、50万年以上という長期間にわたる箱根火山の活動について、25万年より若い時代の活動は、上部マントルからのマグマの供給が絶たれた「根無し」火山であった可能性を示した。

一方、伊藤ほか(1986)、Ito et al., (1989)は、伊豆・小笠原弧北端部を含めた神奈川県西部地域の過去100万年間におけるテクトニクスを議論している。その中で、箱根火山に先立つ火山活動として、古箱根火山、宇佐美火山、多賀火山、湯河原火山などがあり、それらが南北直線状に並び、年代の古いものから順に南から北に並ぶこと、断層系から求められる応力場が、南北方向から北西-南東方向に変化することをあげ、地殻変動と古地理の変遷を述べている。

小山(1993)や高橋・小山(1993)は、伊豆半島の根元にあるほぼ南北の走向をもつ左横ずれ型の活断層である丹那断層と箱根火山との関連性を議論している。丹那断層を北方に延長すると、箱根火山のカルデラ内に入り、足柄山地を横切る活断層である平山断層につづく。一方、丹那断層の南西延長にも構造帯が存在し、伊豆半島の中部まで追跡できる。この一連の断層を丹那-平山構造線と呼んだ。丹那-平山構造線は、地殻内部における何らかの力学的境界となっている。高橋・小山(1993)は、箱根火山は、丹那-平山構造線に沿って生じたプルアパート構造(横ずれ断層の変曲部の断層面が断層変異によって剥離して生じる空隙)にマグマが蓄積することによって大規模な珪長質マグマだまりを成長させたとの仮説を立てた。トランスフォーム境界である丹那-平山構造線が地震変位を繰り返す、その変位が箱根火山の急激な減圧をもたらすことによってマグマの大規模な発泡

をうながし、珪長質マグマの爆発的噴火を定期的におこさせていたのではないかと推察した。

伊豆半島とその周辺地域においては、火山とその噴火史はその火山の置かれたテクトニクス場を鋭敏に反映している（高橋，1994；高橋・長井，2007 など）。

6. おわりに

以上、神奈川県立生命の星・地球博物館の総合研究「箱根火山」の成果を取りまとめるにあたり、箱根火山が位置する伊豆・小笠原弧北端部のテクトニクスについて、地形・地質・プレートおよび基盤構造・テクトニクス・火山活動について、それぞれの概要を大まかにまとめた。箱根火山を理解するためには、周辺の地球科学的環境を理解することが必要である。また、小山（1994）がのべているとおり、伊豆・小笠原弧北端部のテクトニクスに関する理解を深めることが、この地域に生じる火山・地震をはじめとする様々な地学現象の原因を知り、さらには将来予測をするための基礎となる。その意味でも、石橋氏が開催された2005年の研究集会は意義あるものであった。

しかし、箱根火山のマグマ成因論や基盤構造、地殻物質、周辺の活断層の位置や活動などについてはまだまだ不明な点もある。今後の調査と科学技術の進歩にともない、新たなデータや新しい視点がでてくることにより、箱根火山の解明がさらに進むことを期待する。

最後に、段彩陰影図ならびに傾斜量図を作成していただいた、神奈川県立生命の星・地球博物館の新井田秀一学芸員にお礼申し上げる。

引用文献

- 青池 寛，1999. 伊豆衝突帯の構造発達史．神奈川県立博物館調査研究報告（自然科学），(9): 111-151.
- 青池 寛・徐 垣・徳山英一・平 朝彦，2001. 伊豆衝突帯テクトニクスと物質循環．月刊地球，号外 (32): 181-190.
- 有馬 眞・青池 寛・川手新一，1999. 丹沢山地の構造発達史．神奈川県立博物館調査研究報告（自然科学），(9): 57-77, 神奈川県立生命の星・地球博物館．
- Asano, S., Wada, K., Yoshii, T., Hayakawa, M., Misawa, Y., Moriya, T., Kanazawa, T., Murakami, H., Szuki, F., Kubota, R. and K. Suyehiro, 1985. Crustal structure in the northern part of the Philippine sea plate as derived from seismic observations of Hatoyama-off Izu Peninsula explosion. Jour. Phys. Earth, 33: 173-189.
- 藤井陽一郎，1984. 南部フォッサマグナ地域の地殻歪とそのテクトニックな意義．第四紀研究，23(2): 91-103.
- 藤岡換太郎・坂本 泉，1999. 伊豆・小笠原弧の構造．神奈川県立博物館調査研究報告（自然科学），(9): 5-20, 神奈川県立生命の星・地球博物館．
- 藤岡換太郎・山下幹也・木下正高・木戸ゆかり，2007. 相模湾の地形とテクトニクス．月刊地球，号外 (57): 101-114.
- 平田由紀子．1999. 箱根火山の発達史．神奈川県立博物館調査研究報告書（自然科学），(9): 153-178, 神奈川県立生命の星・地球博物館．
- 飯高 隆，2001. 南関東に沈み込む太平洋プレート・フィリピン海プレートの構造とテクトニクス．月刊地球，号外 (34): 79-87.
- 今給黎鉄郎・西村卓也，2007. 測地測量データから見た伊豆衝突帯の変動－丹沢の隆起とブロックモデル－．月刊地球，号外 (57): 83-91.
- 石橋克彦，1986. 南部フォッサマグナのプレート運動史（試論）．月刊地球，8(10): 591-597.
- 石橋克彦，1988. “ 神奈川県西部地震 ” と地震予知 I・II．科学，58(9): 537-547, 58(12): 771-780.
- 石橋克彦，1994. 大地動乱の時代－地震学者は警告する－．岩波新書，138p, 岩波書店，東京．
- 石橋克彦，2007. 巻頭言 伊豆の衝突と神奈川県西部の地震・火山テクトニクス．月刊地球，号外 (57): 5-8.
- 石川正弘，2007. 伊豆衝突帯の岩石学的地殻構造モデルと地震テクトニクス．月刊地球，号外 (57): 166-172.
- 伊藤谷生・上杉 陽・狩野謙一・千葉達朗・米澤 宏・染野 誠・本間睦美，1986. 最近 100 万年間における足柄－大磯地域の古地理変遷とテクトニクス．月刊地球，8(10): 630-636.
- Ito, T., K. Kano, Y. Uesugi, K. Kosaka and T. Chiba, 1989. Tectonic evolution along the northernmost border of the Philippine Sea plate since about 1 Ma. Tectonophysics, 160: 305-326.
- 貝塚爽平，1984. 南部フォッサマグナに関連する地形とその成立過程．第四紀研究，23(2): 55-70.
- 貝塚爽平，1987. 関東の第四紀地殻変動．地学雑誌，96(4): 51-68.
- 神谷眞一郎，2007. 地震波トモグラフィーから見たフィリピン海プレート．月刊地球，号外 (57): 54-59.
- Kaneko, S., 1970. Deformation of Hakone volcano, south-west of Tokyo, Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, 76(5): 247-257.
- 関東第四紀研究会，1987. 大磯丘陵の層序と構造．関東第四紀研究会，(13): 3-46.
- Kawate, S. and M. Arima, 1998. Petrogenesis of the tanzawa plutonic complex, central Japan: Exposed felsic middle crust of the Izu-Bonin-Mariana arc. Island Arc, 7: 342-358.
- 木村尚紀・堀 貞喜・笠原敬司，2001. 関東地方およびその周辺域の応力場と直下地震．月刊地球，号外 (34): 70-78.
- Kitamura, K. and M. Ishikawa, 1998. Rock velocities at atmospheric pressure and room temperature in Tanzawa plutonic rocks from central Japan. In Origin and Evolution of Continents, (ed. Motoyoshi, Y. and Shiraishi, K.), 192-202.
- Kitamura, K., M. Ishikawa and M. Arima, 2003. Petrological model of the northern Izu-Bonin-Mariana arc crust: constraints from high-pressure measurements of elastic wave velocities of the tanzawa plutonic rocks, central Japan. Tectonophysics, 371: 213-221.
- Kodaira, S., T. Sato, N. Takahashi, S. Miura, Y. Tamura, Y. Tsumumi and Y. Kaneda, 2007. New seismological constraints on growth of continental crust in the Izu-Bonin intra-oceanic arc. Geology, 35: 1031-1034.
- 小山真人，1993. 伊豆半島の火山とテクトニクス．科学，63(5): 312-321.
- 小山真人，1994. 伊豆・小笠原火山弧北端部における現在および第四紀後期のテクトニクス．地学雑誌，103(5): 576-590.
- 小山真人，1995. 西相模湾断裂の再検討と相模湾北西部の地震テクトニクス．地学雑誌，104(1): 45-68.
- Koyama, M. and Umino, S, 1991. Why dose the Higashi-Izu monogenic volcano group exist in the Izu Peninsula? : Relationships between late Quaternary volcanism and tectonics on the northern tip of Izu-Bonin arc. Jour. Geophys. Earth. 39: 391-420.
- 久保篤規，2007. 伊豆衝突帯の広域応力場．月刊地球，号外 (57): 77-82.

- Kuno, H., 1950a. Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part I. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec.II, 7: 257-279.
- Kuno, H., 1950b. Petrology of Hakone volcano and adjacent areas, Japan. Bull. Geol. Soc. Amer., 61: 957-1020.
- Kuno, H., 1951. Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part II. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec.II, 7: 351-402.
- 久野 久, 1976. 火山及び火山岩. 岩波全書. 283pp. 岩波書店, 東京.
- 久野 久原著・箱根火山地質図再版委員会編, 1975. 箱根火山地質図説明書. 52pp, 大久保書店, 東京.
- 町田 洋, 1977. 火山灰は語る. 324pp, 蒼樹書房, 東京.
- 町田 洋・森山昭雄, 1968. 大磯丘陵の Tephrochronology とそれにもとづく富士および箱根火山の活動史. 地理学評論, 41:241-257.
- 萬年一剛・堀内誠示・田口公則・山下浩之・平田大二・川手新一・蛭子貞二・谷口英嗣, 2003. 箱根地域・早川凝灰角礫岩から得られた微化石年代とその意義. 地質学雑誌, 109: 661-664.
- 松原 誠・関根秀太郎・林 広樹・小原一成・笠原敬司, 2007. Hi-net のデータを用いた三次元速度・Q 構造によるフィリピン海プレートのイメージング. 月刊地球, 号外 (57):60-70.
- Matsuda T., 1962. Crustal deformation and igneous activity in the South Fossa Magna, Japan. Geophysical Monograph. American Geophysical Union, 6:213-225.
- Matsuda, T., 1978. Collision of the Izu-Bonin arc with central Honshu: Cenozoic tectonics of the Fossa Magna. Japan. Journal Physical Earth, 26, S409-S421.
- 松田時彦, 1982. 地学的にみた伊豆半島. 国立科学博物館専報, (15):9-13.
- 松田時彦, 1984. 南部フォッサマグナの湾曲構造と伊豆の衝突. 第四紀研究, 23(2):151-154.
- 松田時彦, 1993. 相模湾北西部地域の地震テクトニクス. 地学雑誌, 102(4):354-364.
- 茂木昭夫・桂 忠彦・中嶋 遼・桜井 操・加藤 茂, 1981. 駿河・相模トラフ付近の海底調査概報. 月刊地球, 3(7):443-451.
- Nakajima, K. and M. Arima, 1998. Melting experiments on hydrous low-K tholeiite: Implication for the genesis of tonalitic crust in the Izu-Bonin-Mariana arc. The Island Arc, 7:359-373.
- 中道治久・富士山稠密地震観測グループ, 2007. 稠密地震観測による南部フォッサマグナの地震波速度構造. 月刊地球, 号外 (57):71-76.
- 中村一明・島崎邦彦, 1981. 相模・駿河トラフとプレートの沈み込み. 科学, 51(8):490-498.
- Nakamura, K., Shimazaki, K. and Yonekura, N., 1984. Subduction, bending, and exhumation. Present and Quaternary tectonics of the northern border of the Philippine Sea plate. Bull. Soc. Geol. France, 26:221-243.
- 日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会編, 2007. 1. 箱根火山. 日本地質学会.
- 野口伸一, 2007. 関東地方のフィリピン海スラブと太平洋スラブの震源分布と収束形態. 月刊地球, 号外 (57):42-53.
- 小田原 啓・萬年一剛, 2007. 神奈川県西部地域の活断層. 月刊地球, 号外 (57):148-153.
- 大河内直彦, 1990. 相模湾の活構造とテクトニクス. 地学雑誌, 99(5):458-470.
- 坂本 泉・平田大二・藤岡換太郎, 1999. 伊豆・小笠原弧の基盤岩. 神奈川県立博物館調査研究報告書 (自然科学), (9): 21-39.
- Saito, S., M. Arima, T. Nakajima, K. Misawa and J. Kimura, 2007. Formation of distinct granitic magma batches by partial melting of hybrid lower crust in the Izu arc collision zone, central Japan. Journal of Petrology, 48(9):1761-1791.
- 瀬野徹三, 1985. 概説: 関東平野下のプレートとその形態と運動. 月刊地球, 7(2):66-72.
- 島崎邦彦・中村一明・米倉伸之, 1981. 駿河トラフと相模トラフ—測地学的・地形学的変動とプレート運動—. 月刊地球, 3(7):455-463.
- Suyehiro, K., N. Takahashi, Y. Ariie, Y. Yokoi, R. Hino, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Hirata, H. Tokuyama and A. Taira, 1996. Continental crust, crustal underplating, and low-Q upper mantle beneath an oceanic island arc. Science, 272: 390-392.
- 杉村 新, 1972. 日本付近におけるプレート境界. 科学, 42:192-202.
- 鈴木隆介, 1971. 箱根火山の地形—地形の成因. 日本火山学会編「箱根火山」第1章, 7-42, 箱根町, 神奈川.
- Taira, A., S. Saito, K. Aoiike, S. Morita, H. Tokuyama, K. Suyehiro, N. Takahashi, M. Shinohara, S. Kiyokawa, J. Naka and A. Klaus, 1998. Nature and growth rate of the northern Izu-Bonin (Ogasawara) arc crust and their implication for continent crust formation. Island Arc, 7:395-407.
- 高橋正樹, 1986. マグマ活動から見た南部フォッサマグナの「衝突」テクトニクス. 月刊地球, 8(10):586-591.
- 高橋正樹, 1994. 火山活動と地殻応力場—わが国における研究の現状と今後の課題—. 地学雑誌, 103(5):447-463.
- 高橋正樹・長井雅史, 2007. 15 万年前以降における箱根火山の浅部マグマ供給システムとテクトニクス場—横ずれ活断層システムに切られた活火山—. 月刊地球, 号外 (57):173-181.
- Takahashi, N. K. Suyehiro and M. Shinohara, 1998. Implications from the seismic crustal structure of the northern Izu-Bonin arc. Island Arc, 7: 383-394.
- Takahashi, N., S. Kodaira, S. L. Klemperer, Y. Tatsumi, Y. Kaneda and K. Suyehiro, 2007. Crustal structure and evolution of the Mariana intra-oceanic island arc. Geology, 35: 203-206.
- Ukawa, M., 1991. Collision and fan-shaped compressional stress pattern around the Izu block at the northern edge of the Philippine Sea plate. Jour. Geophys. Res., 96: 713-728.
- 山岡耕春・大井田 徹・山崎文人, 1994. 伊豆周辺の地殻活動と中部東海地域に沈み込んだフィリピン海プレートの形状. 地学雑誌, 103(5): 567-575.
- 山崎晴雄, 1984. 活断層から見た南部フォッサマグナ地域のネオテクトニクス. 第四紀研究, 23(2): 129-136.
- 米倉伸之, 1984. 駿河トラフ・相模トラフ周辺の変動地形. 第四紀研究, 23(2): 83-90.