

房総半島に分布する海成中新統に挟在するスコリアの 起源とテクトニックな意義

高橋雅紀*

Masaki TAKAHASHI(1998) Origin of scoria in the Miocene marine sequence in the Boso Peninsula, central Japan and its tectonic significance. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 49, (4), p. 157-177, 13 figs.

Abstract: Geologic age of the stratigraphic extent of scoria beds within the Middle Miocene to Pliocene fore-arc sediments in the Boso Peninsula, central Japan, has been estimated to clarify the initiation of the basaltic volcanism occurred near the peninsula. Based on the microfossil biostratigraphy and geochronology, it has been concluded that the volcanism occurred since 13 Ma until recent. The facts that the scoria beds are intercalated in the marine sequences in the Boso and Miura Peninsulas only, and they are absent in the Kakegawa area, west of the Izu Peninsula, suggest that the source volcanoes of these scoria should have been located between the Kakegawa and Miura areas, almost the same location to the northern tip of the present Izu-Bonin arc from 13 Ma until recent. The long time eruption of basalt strongly suggests that the northern extent of the Izu-Bonin arc, proto-Izu-Bonin arc, has been located almost at the position of the present Izu-Bonin arc and has subducted or accreted at the South Fossa Magna during Mio.-Pliocene. This also implies that the location of the T-T-T triple junction, offshore the Boso Peninsula, has not migrated so much far from the present position since ca. 13 Ma, which imposes crucial constraint on reconstruction of the Philippine Sea Plate motion during late Neogene.

要 旨

房総半島の嶺岡隆起帯より北方の中・鮮新統は、本州弧の典型的な前弧海盆堆積物であり、その中に挟在する多数のスコリアの層位分布とそのテクトニックな意義について考察した。南部フォッサマグナは中新世以降の伊豆-ボニン弧と中部日本の衝突帯と考えられており、解釈の必要条件として、中期中新世以降は伊豆-ボニン弧の北端はつねに南部フォッサマグナに位置していたことが仮定される。南部フォッサマグナをとりまく中・鮮新世堆積盆の層序を比較した結果、スコリアは三浦および房総半島のみ認められることから、それらの給源火山は掛川地域と三浦・房総半島の間限定されることが明白である。房総半島においてスコリアの層位分布を調べた結果、最下位のスコリアの年代はおよそ13 Maであることが判明した。より上位の地層中には、多数のスコリアがほぼ連続的に挟在することから、これらスコリアを供給した玄武岩質火山活動が、少なくとも13 Ma以降最近まで、房総半島の近傍、すなわち現在の伊豆半島や伊豆大島など伊豆-ボニン弧の北端において、継続したことが示される。このことは、伊豆-ボニン弧北端の火山活動は少なくとも13 Maに房総半島の近傍において活動を開始したか、あるいは活動的伊豆火山弧が13 Maに、房総前弧海盆に多量のスコリアを供給できるほど近くに移動してきたことを示している。この中期中新世の伊豆-ボニン弧北端の

位置を限定する地質学的証拠は、フィリピン海プレートの後期中新世以前の復元においても重要な制約条件である。

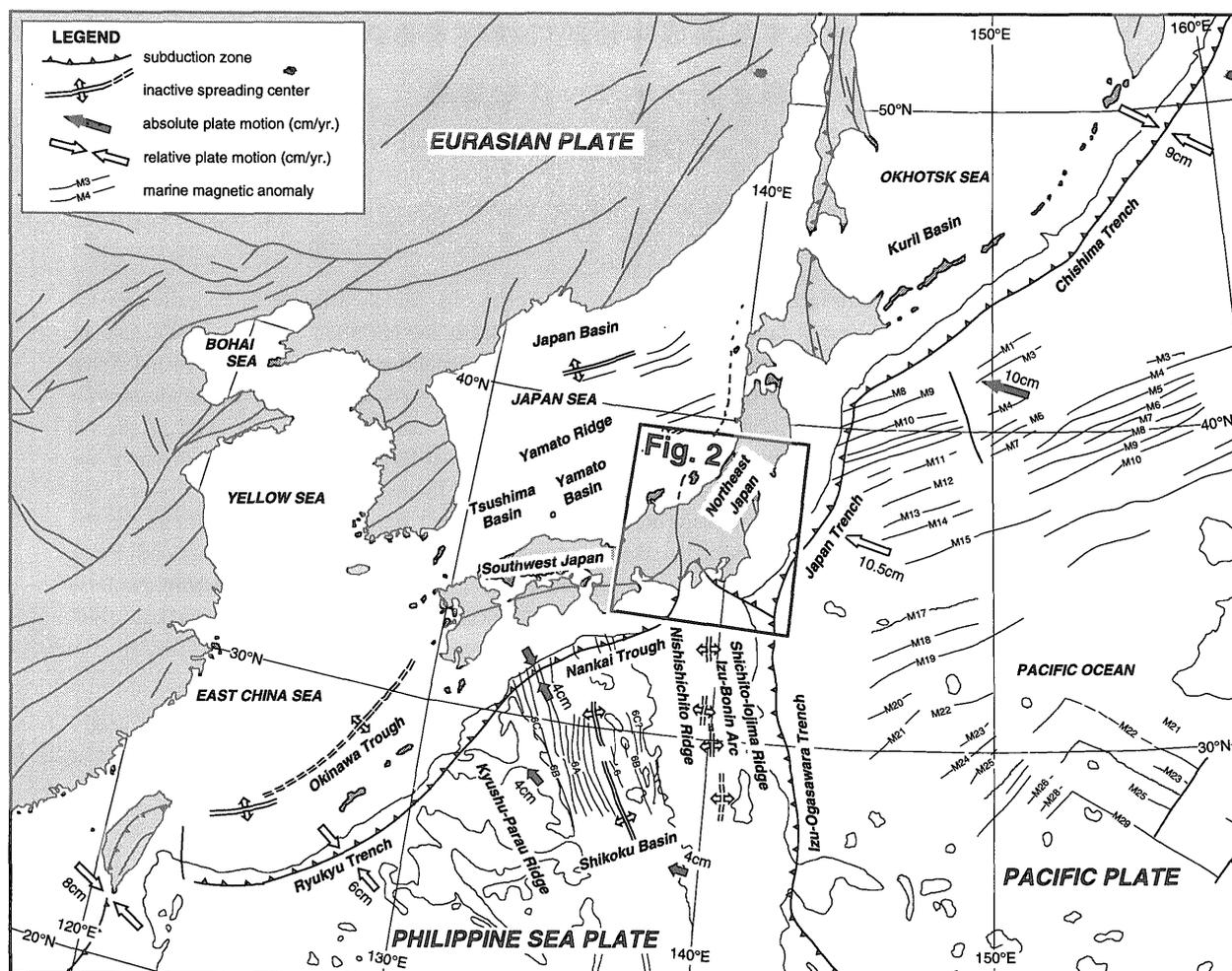
1. はじめに

典型的島弧である日本列島はユーラシア大陸の東縁に位置し、その新生代テクトニクスは太平洋プレートおよびフィリピン海プレートの沈み込みに大きく支配されてきたことが推察される(第1図)。近年の古地磁気学的研究により明らかにされた東北・西南両日本弧の回転時期は中新世であることは疑いもなく、したがって現在見られる弧状列島としての構造が形成されたのはわずか2,000万年以前以降である。後期新生代においては日本付近における太平洋プレートの運動方向はほぼ東西で一定であったことが海山列の解析などから明確にされている(Engelbretson *et al.*, 1985)が、地質時代におけるフィリピン海プレートの運動については、非常に不確定である。日本列島の新第三紀テクトニクスを考える上でフィリピン海プレートの運動像を把握することは非常に重要であるが、逆に陸上で観察される地質学的証拠に基づいてフィリピン海プレートの運動に対し何らかの制約条件を提示することも可能である。

ところで、南部フォッサマグナは島弧と島弧が衝突しつつある世界的にも非常にまれな現象が観察される場所(第2図)であり、各種の地質学的・地球物理学的研究が

*資源エネルギー地質部 (Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

Keywords: Izu-Bonin arc, triple junction, Miocene, tectonics, Boso Peninsula, central Japan

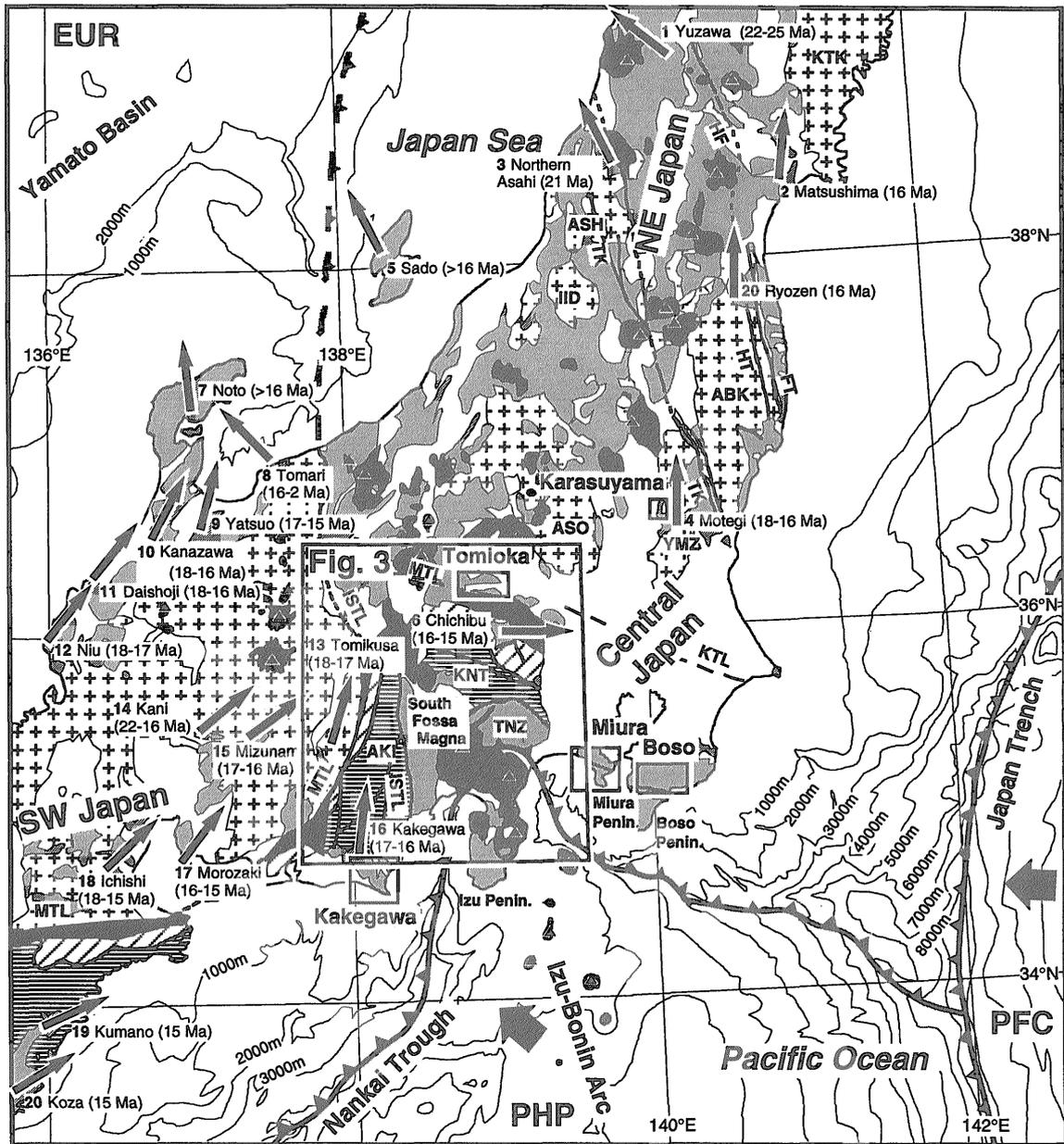


第1図 日本および周辺地域の構造図。

Fig. 1 The present tectonic sketch of the Japanese islands and adjacent area.

精力的に進められてきた(Matsuda, 1962, 1978; 松田, 1984, 1989; Niitsuma and Matsuda, 1985; 徐・谷口, 1988; Niitsuma, 1989; Amano, 1991 など)。この島弧-島弧衝突帯としての南部フォッサマグナについては、個々の衝突したブロックの認定とその衝突時期の確定が主要な目的とされてきたが、衝突に起因すると思われる本州弧の先中新統基盤岩類の屈曲構造(関東対曲構造: Kanto Syntaxis; 第3図)との関連や、東北・西南両日本弧の回転をも考慮すべきである。さらには衝突したと解釈した島弧そのものの存在についても、暗黙理の仮定ではなく何らかのデータにもとづいて議論すべきであろう。とくに、最近示されたフィリピン海プレートの復元モデル(Hall *et al.*, 1995a, b, c)は、後期中新世以前は伊豆-ボニン弧が現在の位置よりかなり西に位置していたことを示しており、中期中新世の伊豆-ボニン弧の衝突そのものに対して否定的解釈を提示している。日本海の拡大にともなう本州の移動と、前面に位置していたであろう伊豆-ボニン弧の衝突が、赤石山地と関東山地に分布する

先中新統基盤岩類の屈曲構造の形成の原因と考えられているが(Takahashi and Saito, 1997 など)、この解釈は当時衝突した伊豆-ボニン弧が現在とほぼ同じ位置に位置していたことが暗黙の必要条件である。関東対曲構造を形成させた中部日本の後期新生代テクトニクスは、西南日本の時計回りの回転(Otofuji and Matsuda, 1983, 1984, 1987; Otofuji *et al.*, 1985a, b, c; Hayashida and Ito, 1984; Nakajima and Hirooka, 1986; Hayashida, 1986 など)と東北日本の反時計回りの回転(西谷・田上, 1988; Tosha and Hamano, 1988; Otofuji *et al.*, 1994; Hoshi and Takahashi, 1997 など)、さらに南部フォッサマグナにおける伊豆-ボニン弧と中部日本の衝突現象が密接に関係している。本論では、それらについて概要を紹介するとともに問題点を整理し、あわせて中期中新世以降の伊豆-ボニン弧の位置を推定する上での地質学的制約条件として、房総半島の海成中新統に挟在するスコリアの層序学的位置を明確にし、すくなくとも13 Ma以降、伊豆-ボニン弧は現在の位置から大きく離れていなかったことを



LEGEND

- Quaternary volcanics
- ▲ active volcano
- Neogene
- Pre-Neogene
- Inner zone
- Shimanto Belt
- Chichibu Belt
- Sanbagawa Belt

Present Plate Motion

Subduction Boundary

Paleomagnetic declination

MTL: Median Tectonic Line
 ISTL: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line
 KTL: Kanto Tectonic Line
 TK: Tanakura Shear Zone
 HT: Hatakawa Shear Zone
 FT: Futaba Shear Zone

KTK: Kitakami Mts.
 ASH: Asahi Mts.
 IID: Iide Mts.
 ABK: Abukuma Mts.
 YMZ: Yamizo Mts.
 ASO: Ashio Mts.
 KNT: Kanto Mts.
 AKI: Akaishi Mts.
 TNZ: Tanzawa Mts.

PFC: Pacific Plate
 PHP: Philippine Sea Plate
 EUR: Eurasian Plate

1,3: Otofui et al. (1985c)
 2: Yamazaki (1989)
 4: Hoshi and Takahashi (1997)
 5,7: Hirooka et al. (1986)
 6: Hyodo and Niitsuma (1986)
 8: Itoh and Watanabe (1988)
 9: Itoh (1986)
 10-12: Nakajima et al. (1990)
 13: Hayashida (1992)
 14: Hayashida et al. (1991)
 15: Hayashida (1986)
 16: Hayashida (1994)
 17: Hayashida (1985)
 18: Hayashida and Ito (1984)
 19: Tagami (1982)
 20: Takahashi et al. (1997)

第2図 中部日本および周辺地域に分布する下部中新統および中部中新統最下部について測定された古地磁気方位。先新第三系基盤岩類(外帯)の帯状配列と古地磁気方位が調和的であることに注目。中部日本における帯状配列の屈曲構造(関東対曲構造)が15 Ma以降に形成されたことを示している。

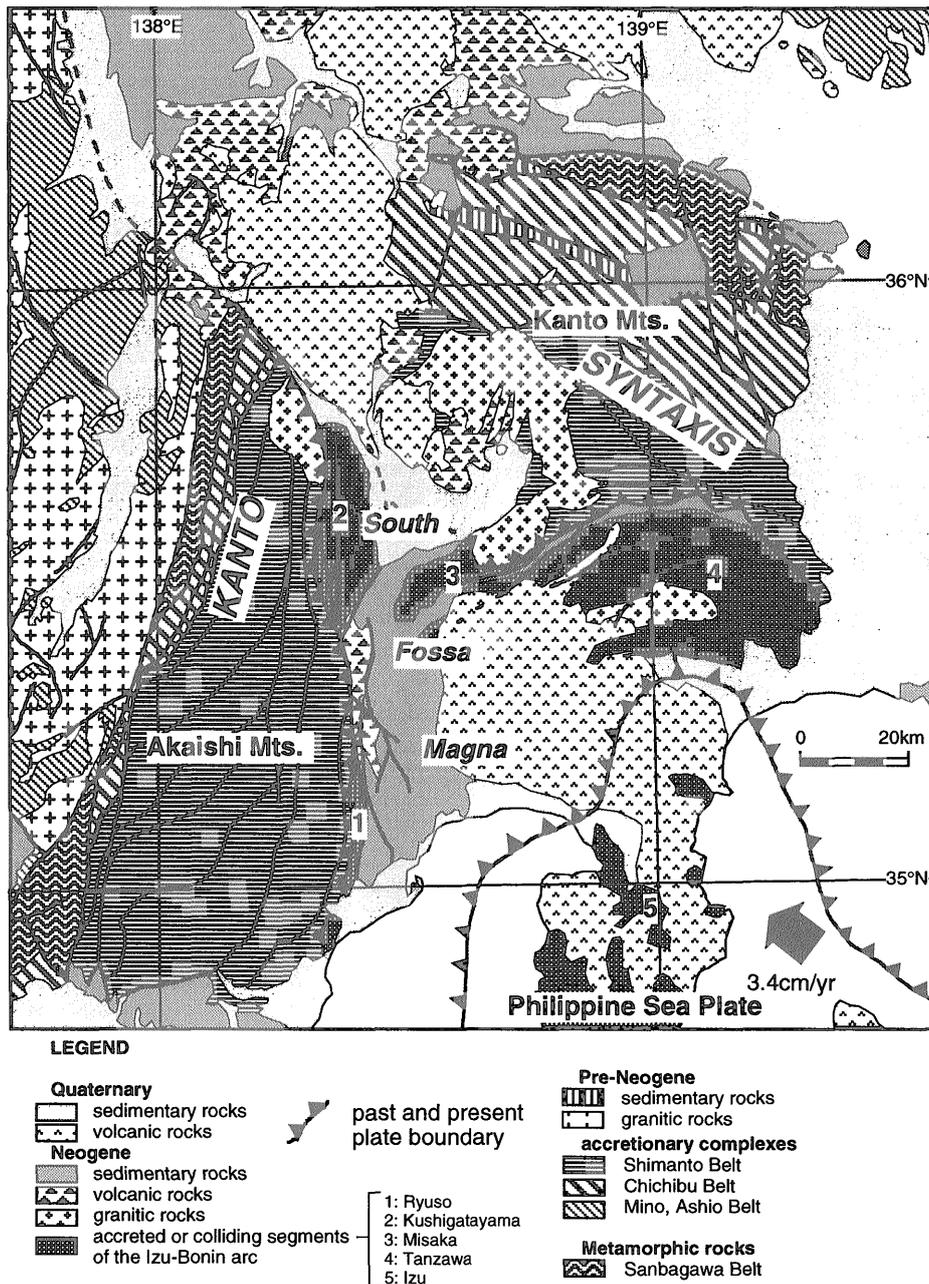
Fig. 2 Paleomagnetic declinations of the Early to earliest Middle Miocene strata in and around central Japan. It is obvious that the paleomagnetic directions are concordant with the trend of zonal arrangement of pre-Neogene geologic terranes, which implies that the northward convex structure (Kanto Syntaxis) was formed after 15 Ma.

明示する。伊豆-ボニン弧はフィリピン海プレートの東縁、すなわちフィリピン海プレートと太平洋プレートの境界に位置しているので、伊豆-ボニン弧北端の位置は、そのままフィリピン海プレート北東端の位置を限定していることになる。

2. 古地磁気による関東山地の回転

九州から西南日本外帯に連続する三波川・秩父および四万十帯の先中新統基盤岩類の帯状配列が、中部地域において大きく北に湾曲していることは、既に前世紀には認められていて、関東対曲構造(第2, 3図)としてその

形成時期および形成メカニズムについて議論されてきた。形成メカニズムに関しては、もともと直線的な配列が後の変形により屈曲したものとする後生説がほとんどであり、南東に移動する本州に対し伊豆-ボニン弧が障害物となって形成されたと直感的に考えられてきたが、変形過程を定量的に議論するには至っていなかった。1980年代にはいって古地磁気学的手法により西南日本の回転過程が明確にされるにともない、中部日本の変形過程に関しても、古地磁気方位の年代変化を元に議論されるようになった(Itoh, 1986, 1988; Itoh and Ito, 1989; Hirooka *et al.*, 1990; Takahashi and Saito, 1997; Otofujii *et al.*, 1997 など)。関東山地においては、Hyodo and Niitsuma



第3図 中部日本の地質図。
Fig. 3 Detailed geologic map of central Japan.

(1986)によりはじめて秩父盆地の中新統の古地磁気測定された。関東山地は関東対曲構造の東翼に位置しており、東偏した秩父盆地の古地磁気方位は、秩父盆地の中新統の堆積後に関東山地が回転したことによると解釈された。秩父盆地の中新統は浮遊性有孔虫化石帯(Blow, 1969)の zone N. 8 であることから、90°におよぶ関東山地の回転はおよそ15 Ma 以降であると判断される(第4図)。その後、秩父盆地西方に露出する秩父石英閃緑岩の古地磁気(Takahashi and Nomura, 1989)が測定されたが、その方位は南北方向からの偏りは認められず、閃緑岩の貫入・固結年代である6 Ma(Saito *et al.*, 1996)以降には関東山地は全く回転していないことが示された。したがって、関東山地の90°あまりの回転は15 Ma 以降で6 Ma 以前に限定された(第4図)。さらに、関東山地北西に位置する中部中新統八重久保層の安山岩溶岩の古地磁気方位は35°前後時計回りに偏っていることから、関東山地は15-12 Ma の間に50-60°、12-6 Ma にさらに30°前後回転したことが明らかにされた(Takahashi and Watanabe, 1993)。これらの古地磁気により明らかにされた90°以上におよぶ関東山地の時計回りの回転は、15 Ma に生じた西南日本の40°以上の回転(Otofuji *et al.*, 1991)とその後の関東山地のみの回転の総和として考えられている。関東山地から西南日本に至る各地域の古地磁気方位(第2図)をもとに、15 Ma 以前の復元をすると、外帯の帯状配列はほぼ直線状になる。したがって、関東対曲構造の形成は西南日本の回転時期以降であり、その後の関東山地の回転は、湾曲構造をより屈曲させることとなったと考えられている。この15 Ma 以降の回転の原因として、伊豆-ボニン弧の衝突によるものとする解釈が最も考えやすい。したがって、関東山地の15 Ma 以降の回転と伊豆-ボニン弧の衝突現象の時間的詳細の把握により因果関係が明確にされると期待されている。

3. 南部フォッサマグナにおける伊豆-ボニン弧の衝突現象

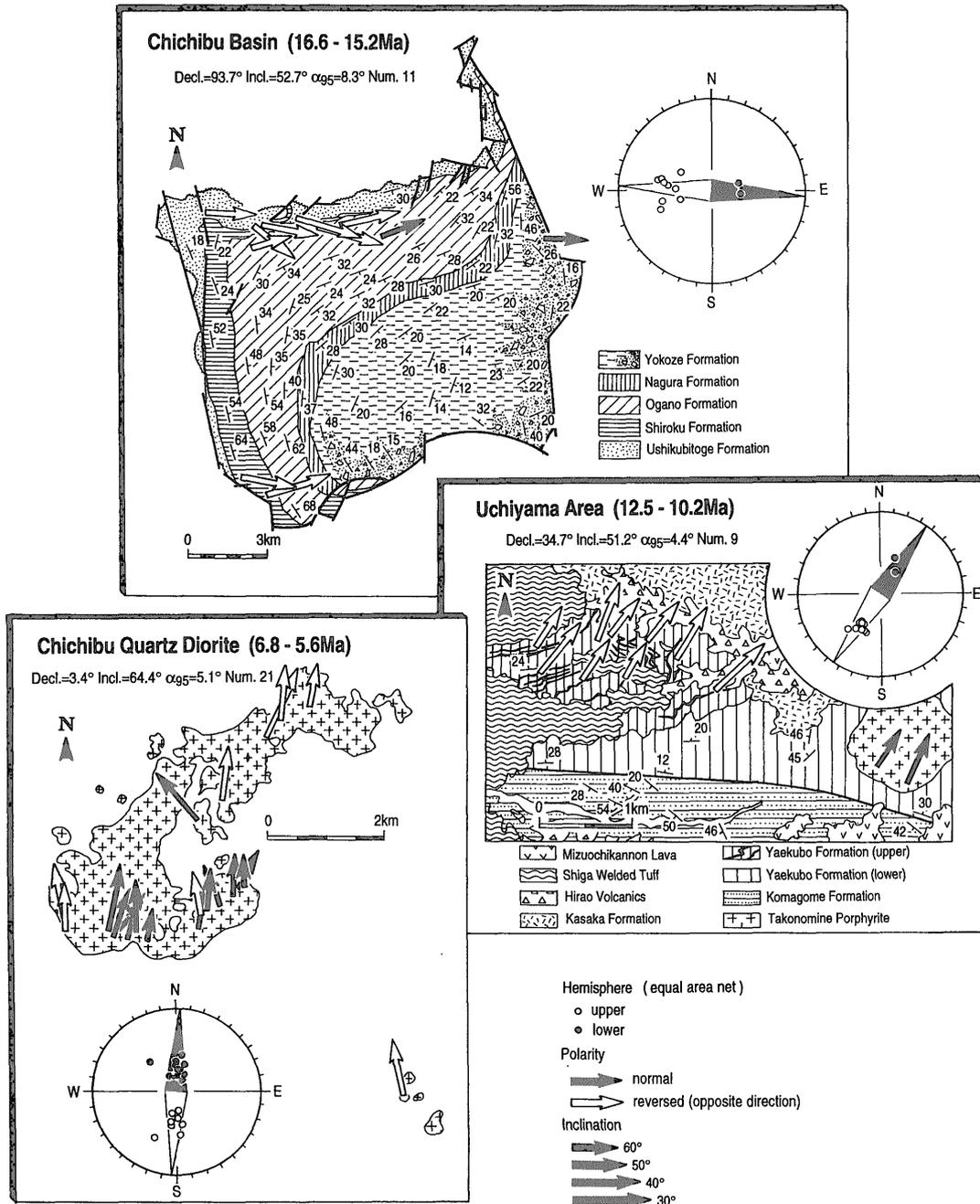
西南日本の回転時期はおよそ15 Ma と考えられているので、関東山地の15 Ma 以降の回転は伊豆-ボニン弧の衝突が原因と考えるに難くない。ここでは、南部フォッサマグナにおける衝突モデルについて概要を示すとともに、関東山地の回転時期との比較をおこなう。

伊豆半島がフィリピン海プレートに属し、現在丹沢山地と衝突していることが杉村(1972)によって示されて以降、島弧(本州)と島弧(伊豆-ボニン弧)の衝突帯として南部フォッサマグナ地域が位置づけられ、地質学的・地球物理学的研究が精力的に進められた。伊豆半島の北方に位置する丹沢山地の火山岩類も、伊豆半島と同様かつてはフィリピン海プレート上の島弧地殻であり、伊豆の衝突に先だって関東山地に衝突・付加したと考えられている(Niitsuma and Matsuda, 1985; 徐・谷口, 1988など)。

丹沢ブロックの衝突の時期は、丹沢山地と関東山地の間に分布するトラフ充填堆積物の微化石年代により、5 Ma と推定されている(Niitsuma and Akiba, 1985)。すなわち、丹沢山地と関東山地の間に分布する寺家泥岩の年代はCN9(Okada and Bukry, 1980)であり、当時は両山地の間に深いトラフが存在したと考えられ、寺家泥岩を埋積した礫岩の供給は丹沢山地の衝突にともなう関東山地の急激な隆起によると解釈されている。伊豆ブロックの衝突時期も、丹沢山地との間に分布する足柄層群を、衝突にともなうトラフ埋積物と解釈して、およそ1Ma と考えられており、南部フォッサマグナは多重衝突帯として注目を集めた。その後、丹沢山地の西方に分布する御坂山地の火山岩類(御坂ブロック)や、南部フォッサマグナ北西端に分布する巨摩山地の著しく変質・変形した地層(楯形山ブロック)も、かつてはフィリピン海プレート上に属しており、丹沢ブロックの衝突(5Ma)以前に衝突したものであろうと推定されている(Koyama, 1991)。それらの衝突の時期を明瞭に示す地質学的証拠はないが、Amano (1991)は粗粒堆積物の発達する層準に基づいて、楯形山ブロックは13 Ma 頃に、また御坂ブロックは9 Ma 前後に衝突したと考えた。これに対し、松田(1989)は丹沢・御坂および楯形山ブロックは別個に衝突したのではなく、西南日本の回転(15 Ma)以降で、12 Ma 以前に同時に衝突・付加したものであると考えた。とくに、御坂および丹沢ブロックと関東山地の四万十帯の境界断層と考えられている藤野木-愛川線に進入している10 Ma の貫入岩体は、断層による変形が軽微であることから(石田, 1989)、5 Ma の丹沢ブロック衝突説は受け入れがたいとしている。一方、赤石山地の東縁部に南北にのびて分布する竜爪層群も、岩相の類似性から伊豆-ボニン弧に属していたと考えられ、衝突時期は中期中新世初期と推定されている(遅沢, 1986; Osozawa, 1988など)。このように、南部フォッサマグナは、竜爪・楯形山・御坂・丹沢そして伊豆ブロックなど多量の付加した岩石と、それらをおおう本州弧からの碎屑物からなる厚い堆積岩からなる。伊豆ブロック以外の衝突時期については未だ論争中である(第5図)が、いずれのモデルにしても西南日本の回転時期(15 Ma)直後には、南部フォッサの前面(南)には、その後衝突・付加する伊豆-ボニン弧の北方延長、すなわち古伊豆弧(谷口ほか, 1991a)の存在が、暗黙裡に仮定されている。

4. フィリピン海プレートの回転と伊豆-ボニン弧の東進モデル

前述のように、南部フォッサマグナの前面には中期中新世以降、伊豆-ボニン弧が存在し、フィリピン海プレートの北西進にともなう島弧が衝突・付加したことが陸上の地質より推定されている。一方、フィリピン海プレートの運動については、ホットスポットによる海山列や



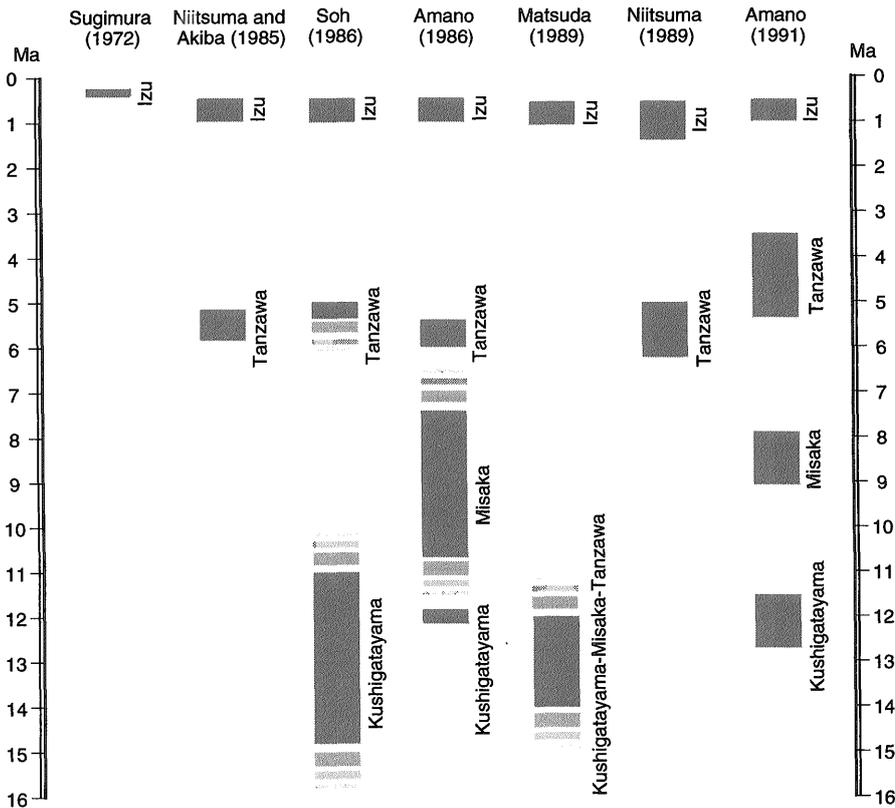
第4図 関東山地に位置する秩父盆地の海成中新統 (Hyodo and Niitsuma, 1986), 内山地域の中新世火山岩 (Takahashi and Watanabe, 1993), および秩父石英閃緑岩 (Takahashi and Nomura, 1989) について測定された古地磁気方位。このことから、関東山地は15 Ma から6 Ma の間におよそ90°時計回りに回転したと考えられている (Takahashi and Saito, 1997)。

Fig. 4 Paleomagnetic results of the Chichibu Basin (Hyodo and Niitsuma, 1986), Uchiyama area (Takahashi and Watanabe, 1993) and the Chichibu Quartz Diorite (Takahashi and Nomura, 1989) in the Kanto Mountains after Takahashi and Saito (1997). Approximately 90° clockwise rotation of the Kanto Mts. took place between 15 and 6 Ma.

中央海嶺の存在など、その履歴を推定する情報がないために、鮮新世以前についてはほとんど議論されていない (Seno *et al.*, 1993 など)。しかしながら、最近、フィリピン海プレートより得られた古地磁気データに基づいてフィリピン海プレートの運動が推定され、はじめてユーラシアプレートに対するフィリピン海プレートのオイラ

一点の位置と回転速度が定量的に示された (Hall *et al.*, 1995a, b, c)。

最近、Ali and Hall (1995)によりフィリピン海プレートの南部において古地磁気データが報告され、既存のデータとあわせて、フィリピン海プレートの中新世のオイラ点の位置が現在の位置に比べかなり南に位置してい



第5図 中部日本に付加した古伊豆弧の地塊の衝突時期。

Fig. 5 Relationship of the proposed timings of collided segments of the proto-Izu-Bonin arc with central Japan.

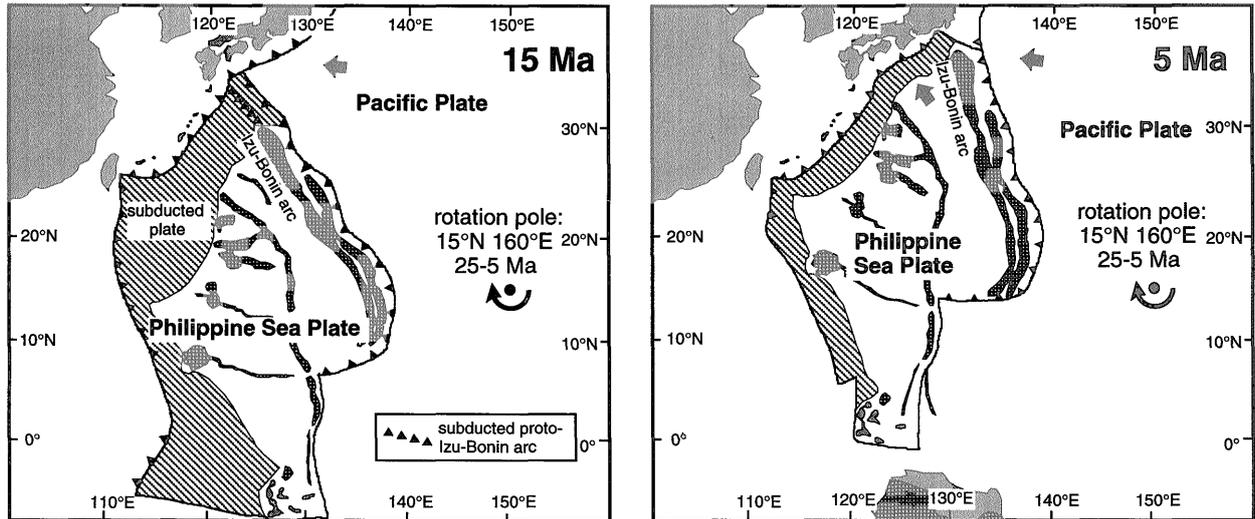
たことが指摘されている。かれらの求めたオイラー点は、25 Ma から5 Ma の間は北緯15°東経160°に位置し、回転量は反時計回りに34°であったとされている。この結果、Hallらのモデルに基づく、後期中新世以前には伊豆-ボニン弧は現在の位置より数100km 南西に位置していたことになる。したがって、伊豆-ボニン弧の北方延長である古伊豆弧は明らかに南部フォッサマグナより西方に位置していたと考えられ、例えば中期中新世初頭(15 Ma 頃)には古伊豆弧の北端は、四国から紀伊半島沖に位置していたことになる(第6図)。このことは、中期-後期中新世の南部フォッサマグナにおける伊豆-ボニン弧の衝突モデルとは明らかに矛盾する。

一方、Seno *et al.* (1993) は中新世までさかのぼったフィリピン海プレートの運動方向については述べていないが、仮に彼らの求めた運動方向をもとにフィリピン海プレートを中期中新世まで復元すると、伊豆-ボニン弧は現在の場所から数100km 南東に位置したことになり、その北方延長は明らかに南部フォッサマグナより数100km 東方にあったことになる。また、陸上の地質や構造をもとに復元された Otsuki (1990) の解釈でも、中期中新世の伊豆-ボニン弧は数100km 東方に位置しており、南部フォッサマグナ近傍に古伊豆弧が到達するのは鮮新世以降と考えている。フィリピン海プレートの復元を試みたこれら

の地質学的・地球物理学的解釈は、中期中新世以降南部フォッサマグナにおいて島弧が衝突したとする地質学的解釈と明らかに矛盾する。南部フォッサマグナにおける衝突テクトニクスを研究している地質学者のほとんどは、中期中新世にはすでに島弧が現在の伊豆-ボニン弧と同様に南部フォッサマグナの前面に位置していたと暗黙裡に考えているが、その根拠となる地質学的根拠を次に示す。

5. 三浦・房総半島における火山碎屑岩の起源

そもそも、南部フォッサマグナの南縁付近における火山活動の推定は、Matsuda (1962) によってはじめて試みられている。Matsuda (1962) は南部フォッサマグナおよび周辺地域に多量に分布する火山岩の存在と、三浦および房総半島の海成層に多量に挟在する火砕岩の存在から、南部フォッサマグナ周辺にいくつかの供給火山の存在を推定した。とくに三浦および房総半島の南端の極近傍(10 km 以内)にそれぞれ給源火山を推定し、その後“幻の湘南火山帯”(松田, 1980; 小川ほか, 1992)として地質学的・地球物理学的研究を進めるきっかけを提示した(Ito, 1986; 藤岡・塚脇, 1991など)。三浦半島においては、Soh *et al.* (1989, 1991) や谷口ほか(1991a, b), 有馬ほか(1991)などの精力的な研究が進められた。



第6図 Hall *et al.* (1995c)による5 Maおよび15 Maのフィリピン海プレートの復元モデル。彼らのモデルでは、15 Maには伊豆弧の北端が四国沖、すなわち現在の伊豆弧の位置より数100km西に位置していたとされる。

Fig. 6 Reconstructions of the Philippine Sea Plate at 5 and 15 Ma by Hall *et al.* (1995c). It is noted that the northern tip of the Izu-Bonin arc was located offshore of the Shikoku island, several hundreds km west of the present location, at 15 Ma in their model.

三浦半島の葉山-嶺岡隆起帯以南におもに分布する三浦層群三崎層には、火山ガラスを主とする火山噴出物を多く含む半遠洋性シルト岩中に多数のスコリアが挟在している。一部のスコリアからなる凝灰岩層底部の粗粒部には、下位のシルト岩層に直接めり込んだ構造が認められ、また火山弾や火山豆石を含んでいることから、降下火山碎屑物であると考えられている。とくに径10cm大のパン皮状火山弾や径1cmほどの火山豆石の存在、さらに後者に含まれる本質火山ガラスの形態的特徴から、これらの火山碎屑物はストロンボリアン・タイプとスルツェアン・タイプの火山噴火の産物であり、火口までの距離は10km以下であると推定されている(Soh *et al.*, 1989)。また、降下火山礫の全岩化学組成は低アルカリソレアイト系列の玄武岩および玄武岩質安山岩であり、組成変化のトレンドや組織の特徴は、現在の伊豆大島に見られる火山礫のそれとよく似た傾向が指摘されている(有馬ほか, 1991; 谷口ほか, 1991b)。さらに、火山礫層に含まれる火山弾の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr同位体組成比は $0.703505 \pm 0.000023 (2\sigma)$ であり、伊豆-ボニン弧で得られた値の範囲内にあるが、東北日本弧のその値とは異なることが示されている。これらのことから、三崎層に含まれる降下火山噴出物の給源火山は、現在の伊豆-ボニン弧と似た海洋内島弧であったと考えられ、しかも堆積盆の近傍に位置していたと推定されている。現在のところ、三崎層の西側には降下火山噴出物を供給したと思われる火山体の確認はされておらず、給源火山はフィリピン海プレートの北上にともなって、南部フォッサマグナにおいて沈み込んだ、あるいは一部付加したものと考えられている。三崎層の年代は産出する浮遊性微化石により10-3 Maと考えられている(蟹

江・服部, 1991)ので、少なくとも10 Ma以降は三崎層堆積盆の近傍に活動的的海洋内島弧が存在したと判断される。この活動的島弧は伊豆-ボニン弧の北方延長であると考えられ、古伊豆弧と呼ばれている(谷口ほか, 1991a)。しかしながら、Soh *et al.* (1989, 1991)や谷口ほか(1991a, b)などは、三崎層は古伊豆弧の前弧海盆堆積物で、堆積後本州弧へ付加したものと考えているため、10 Ma以降に現在の三浦半島の近傍に海洋性島弧の存在を考える十分条件にはならない。

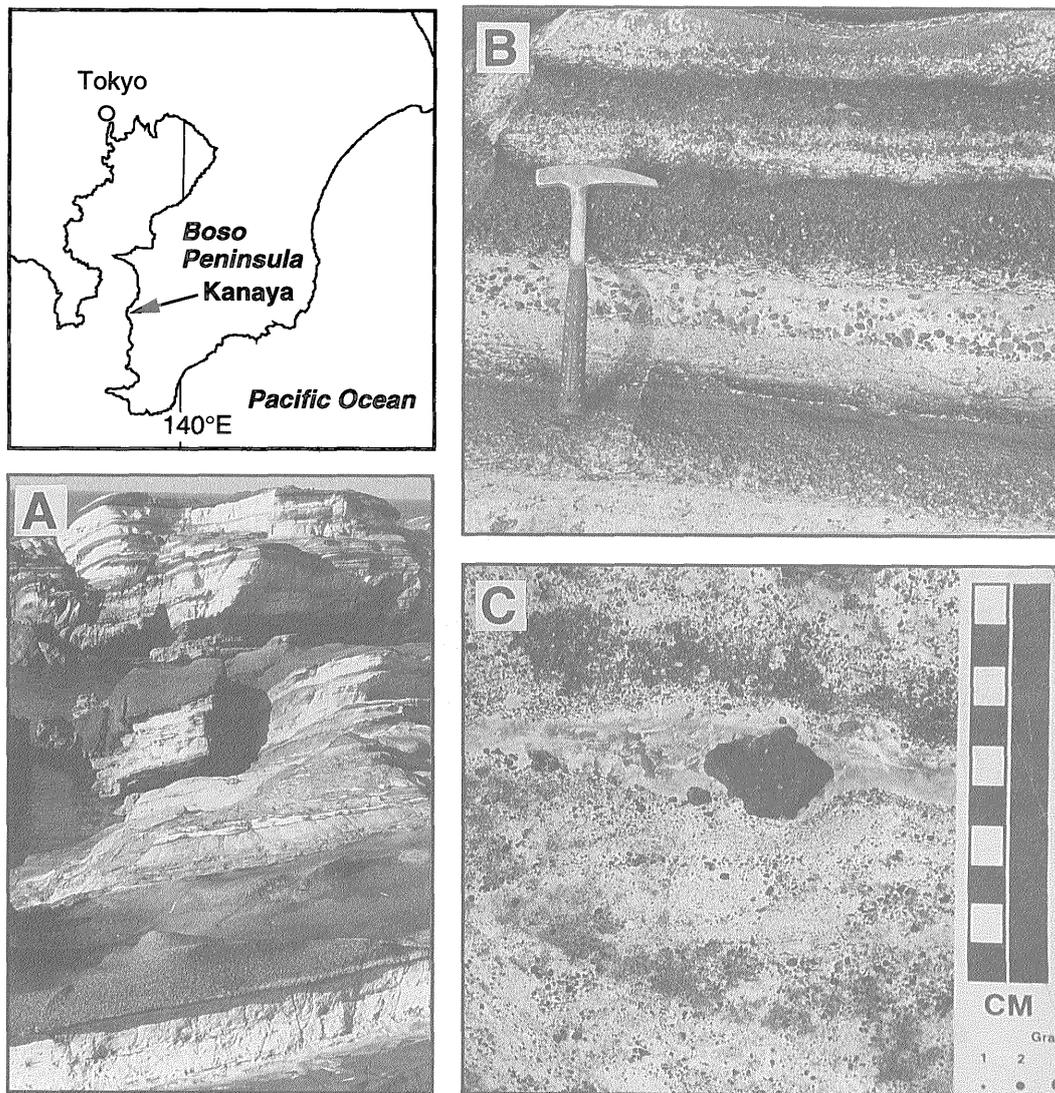
一方、房総半島の嶺岡隆起帯の南に発達する中・鮮新統は、本州弧の付加帯とその上に堆積した海成層からなり、陸化した現世付加帯として注目されている(斎藤, 1992; 斎藤ほか, 1991)。これらの海成層にも多数のスコリアなど玄武岩質火砕岩が多数挟在している。斎藤ほか(1992)はこれら海成層に挟まれる火山岩やスコリア、火山碎屑性砂岩などについて化学分析を予察的に行い、三崎層に対比される天津層の堆積時期(8-6 Ma)は、伊豆大島の噴出物などに代表される現在の伊豆-ボニン弧と類似の火山フロントから、火山岩類が供給されるようになったと推定した。嶺岡隆起帯以南の中・鮮新統は本州弧の前弧域に堆積した海成層であり、少なくとも8-6 Ma以降には海洋内島弧、すなわち古伊豆弧が近傍に存在したことが考えられる。しかしながら、スコリアの挟在する層準の層序の広がりに関する検討がなされていないため、古伊豆弧の存在が推定される8-6 Maの年代が、現時点での下限である。

6. 房総前弧海盆中のスコリアの年代と意義

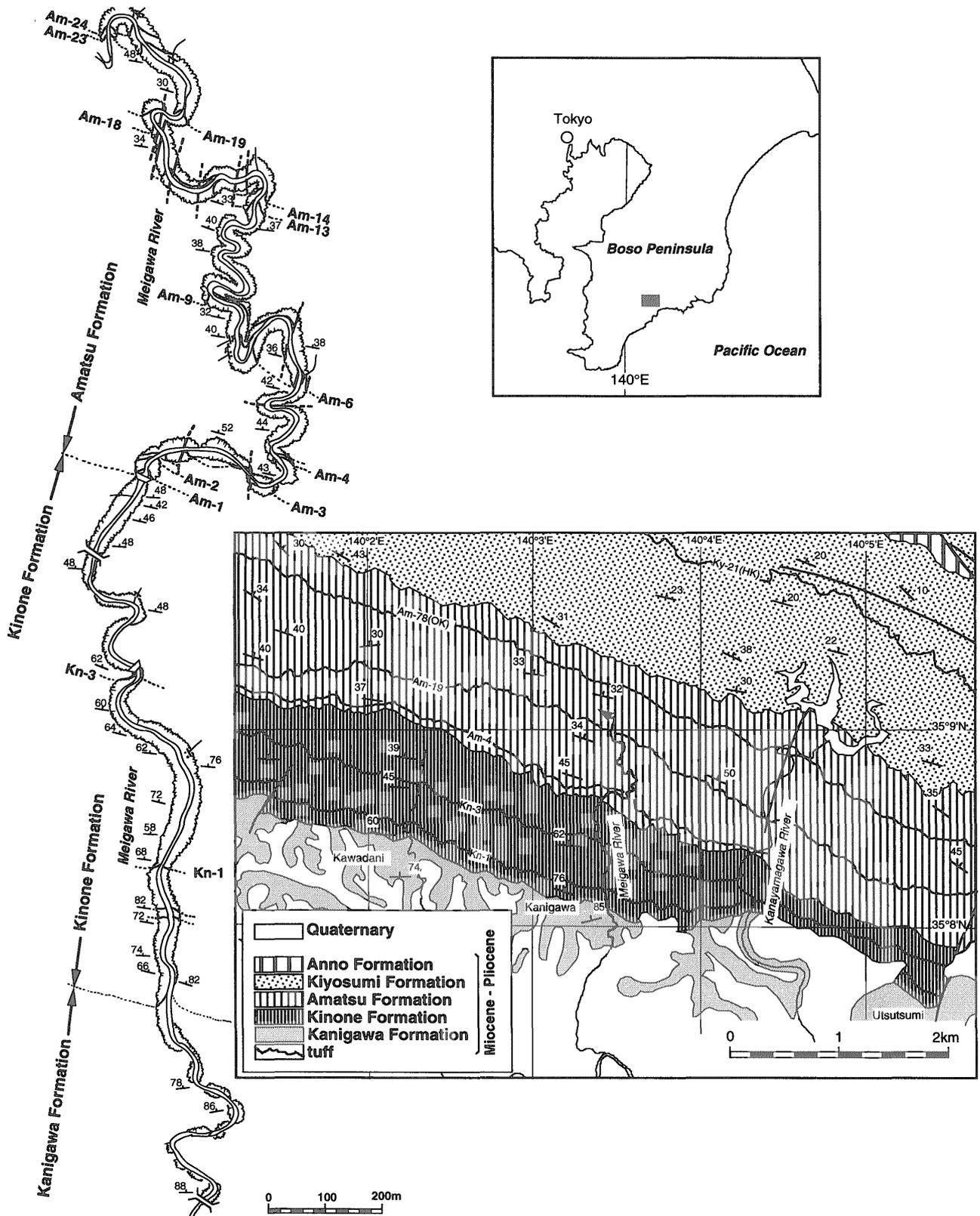
房総半島には上部新生界が厚く分布しているが、半島中央を東西にはしる嶺岡隆起帯を境に地質構造が大きく異なる。中・鮮新統に関しては、嶺岡隆起帯の南には付加帯を構成する地層とその上に発達する複数の堆積盆が復元され、世界でもまれな陸上に露出した中期中新世以降の付加帯として考えられている。これに対し隆起帯の北側にも非火山性碎屑岩を主とする海成層が厚く堆積しているが、波長の長い緩い褶曲構造を示すのみであり、本州弧の前弧海盆堆積物と考えられている。嶺岡隆起帯の南部に発達する付加帯と同様に、北部に分布する前弧海盆堆積物中にも無数のスコリアが挟在している。これ

らのスコリアは数 cm から数10cm の厚さを有し、また粗粒であることから(第7図), 給源火山は現在の伊豆弧から大きく離れていたとは考えられない。三浦半島や房総半島南部の地層においても無数のスコリアが観察されるが、一部のみしか露出していないため、スコリアの挟在し始める層準を確定することはできない。これに対し、嶺岡隆起帯以北に発達する前弧海盆堆積物においては、スコリアが天津層最下部から認められることから、その層準の年代を明らかにすることにより、玄武岩質火砕岩を供給し始めたタイミングを知ることができる。

第8図は房総半島中部の神川地域の銘川ルートを鴨川地域の地質図上に示したものである。房総半島の中・鮮新統は安房層群として一括されており、下位より神川・



第7図 房総半島西端に露出する稲子沢層(上部中新統)の半遠洋性シルト岩に含まれる玄武岩質火山碎屑岩。A：半遠洋性堆積物(明色部)中に頻繁に挟在するスコリア(暗色部)，B：スコリアと軽石質砂質凝灰岩の有律互層，C：火山弾。
 Fig. 7 Photographs of the basaltic fragments within the hemipelagic siltstone of the Inakozawa Formation (Late Miocene) in the western Boso Peninsula. A: Frequent intercalation of scoria beds (dark color) within the hemipelagic siltstone (light color). B: Rhythmic alternating beds of scoria beds and pumiceous sandy tuff. C: An example of a volcanic bomb.



第8図 房総半島の鴨川地域の地質図と銘川のルートマップ。
Fig. 8 Geological map of the Kamogawa area and the route map of the Meigawa River.

木の根・天津・清澄および安野層に区分され、神川地域には最下位の神川層から天津層下部までが連続的に露出する(中嶋ほか, 1981)。銘川ルートは石灰質微化石(Honda, 1981)のみならず、石灰質ノジュールより珪質微化石が抽出され、石灰質ナノ化石(Honda, 1981)・珪藻(渡辺・高橋, 1997)および放射虫化石層序(本山・高橋, 1997)が確立されている。さらに、いくつかの凝灰岩について放射年代が測定されており(Takahashi and Danhara, 1997)、房総半島の中中部中新統の模式的セクションである(第9図)。したがって、直接放射年代を測定できないスコリアの年代を微化石年代等を基準に外挿して求めることができる。第9図には主要な凝灰岩鍵層とともにスコリアの挟在している層準についても示してある。図から明らかなように、最も下位のスコリアは天津層最下部のAm-1であり、その年代は13 Maと見積もられる。Am-1は数cmから10cm程度の厚さを有する複数層のスコリアで、凝灰質細粒砂岩に挟まれている。天津層最下部は堆積速度が小さいことが微化石年代から推察され、その部分にスコリアが頻繁に挟在するのは堆積速度の低下に起因していると考えられる。しかしながら、Am-1より下位にはスコリアのみならず、珪長質凝灰岩の挟在も極端に少ないことは、安房層群下部の大きな特徴のひとつである。すなわち300m以上の厚さを有する神川層には全く凝灰岩は挟まれておらず、またその上位の木の根層(800m以上)には、Kn-1, 2, 3の3層の凝灰岩鍵層のほかには薄い白色細粒凝灰岩がまれに挟在するのみである。これに対し、天津層には100セット以上の凝灰岩鍵層(第10図)が確認され、活発な火山活動による頻繁な火砕岩の供給が推定される。また、清澄層および安野層についても無数の凝灰岩層を共有しており、天津層最下部のAm-1を境に、火砕岩の供給が急増したことが明らかである。

これら天津層以上の層準には含まれる火砕岩の半数以上はスコリアからなり、三浦半島の三崎層や房総半島南部の付加帯に挟まれるスコリアと同様、古伊豆弧からもたらされたものであろう。安房層群に認められる最下位のスコリアの年代は13 Maであり、このことは、少なくとも13 Maにこれらを供給した玄武岩質火山活動が、房総前弧海盆の近傍で開始したか、あるいは活動している火山が、スコリアを堆積盆に供給できるほど近くまで移動してきたことを示していると考えられる。そしてその活動は13 Ma以降最近まで継続していたことが、スコリアが天津層から上位の地層に連続的に挟在していることから示される。

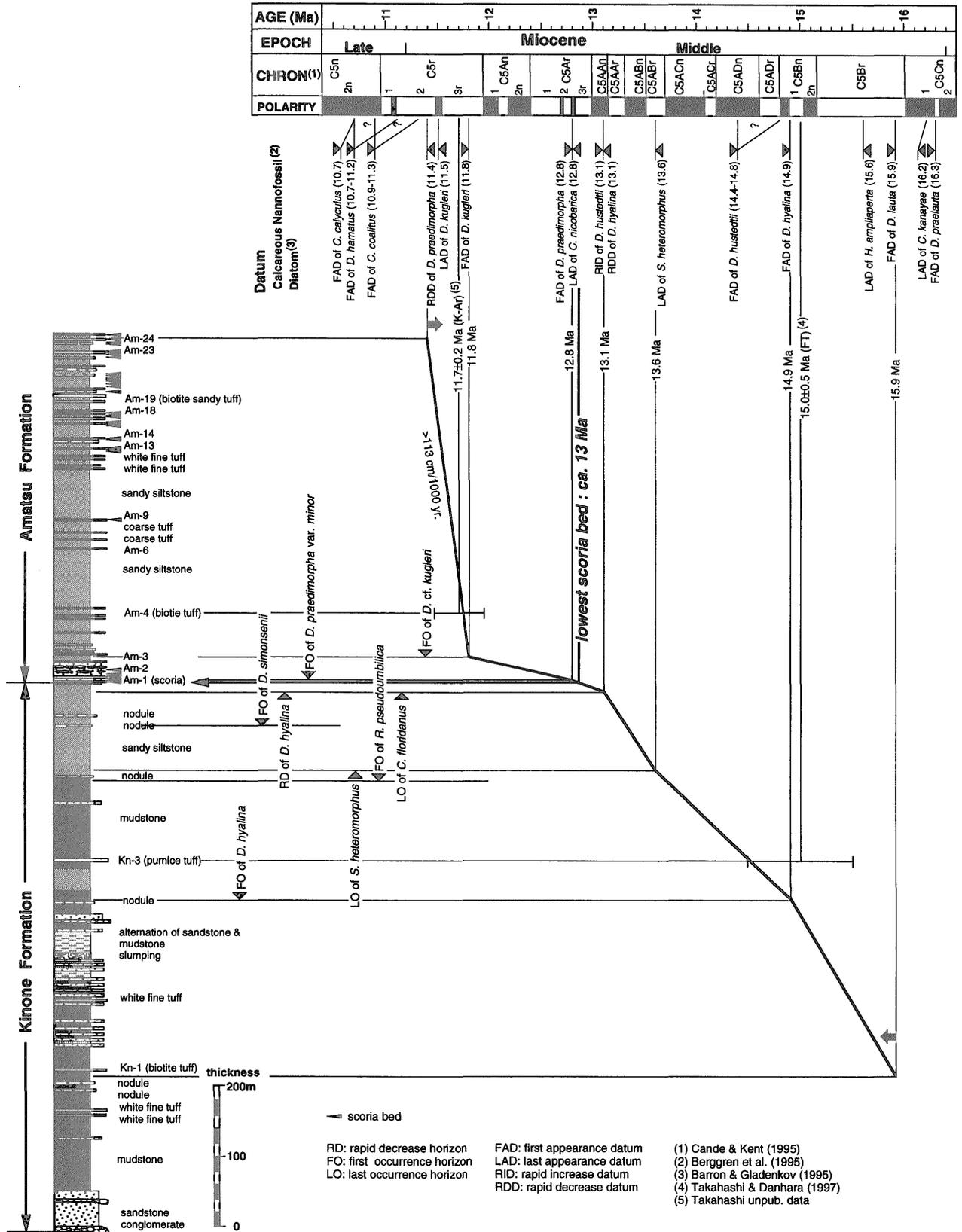
13 Ma以降の堆積物にみられるスコリアについて、その給源火山すなわち古伊豆弧の北端までの距離の定量的な推定はなされていない。しかしながら、南部フォッサマグナをとりまく中・鮮新世堆積盆の層序を比較すると、給源火山の位置についてある程度の制約が与えられる。第11図は南部フォッサマグナをとりまく堆積盆として、

掛川・富岡・岩殿・烏山地域と、三浦および房総半島の層序を示したものである。掛川地域は伊豆半島の西方に位置しており、後期中新世以降の本州弧の前弧海盆堆積物が厚く堆積している。石灰質微化石の詳細な検討により、4000mにおよぶ海成層の正確な地質年代が確立されているが、挟在する凝灰岩は非常に少なく、またスコリアの報告もない(茨木, 1986)。伊豆半島を挟んで東に位置する房総半島と距離的にも同等であり、また房総半島や三浦半島において認められるスコリアが、掛川地域の年代的に対比される層準に全く見られないことは、偏西風による火山噴出物の運搬を考慮すると、当時の給源火山が掛川地域の東方で三浦半島の近傍であったことは間違いないであろう。掛川地域の堆積物の年代を考慮すると、少なくとも11-12 Ma以降には、掛川地域にスコリアを供給するほど近傍には、玄武岩質火山活動はなかったと判断される。さらに玄武岩質細粒火砕物も見られないことから、掛川地域の西方に火山活動を推定することはできない。したがって、三浦・房総半島にみられるスコリアの起源として、現在の伊豆弧北端付近の火山、すなわち現在の伊豆半島や伊豆大島付近に限定され、中期中新世以降、継続的に活動した火山から、多量の噴出物が東方の三浦・房総半島の堆積盆に供給されてきたと判断される(第12図)。

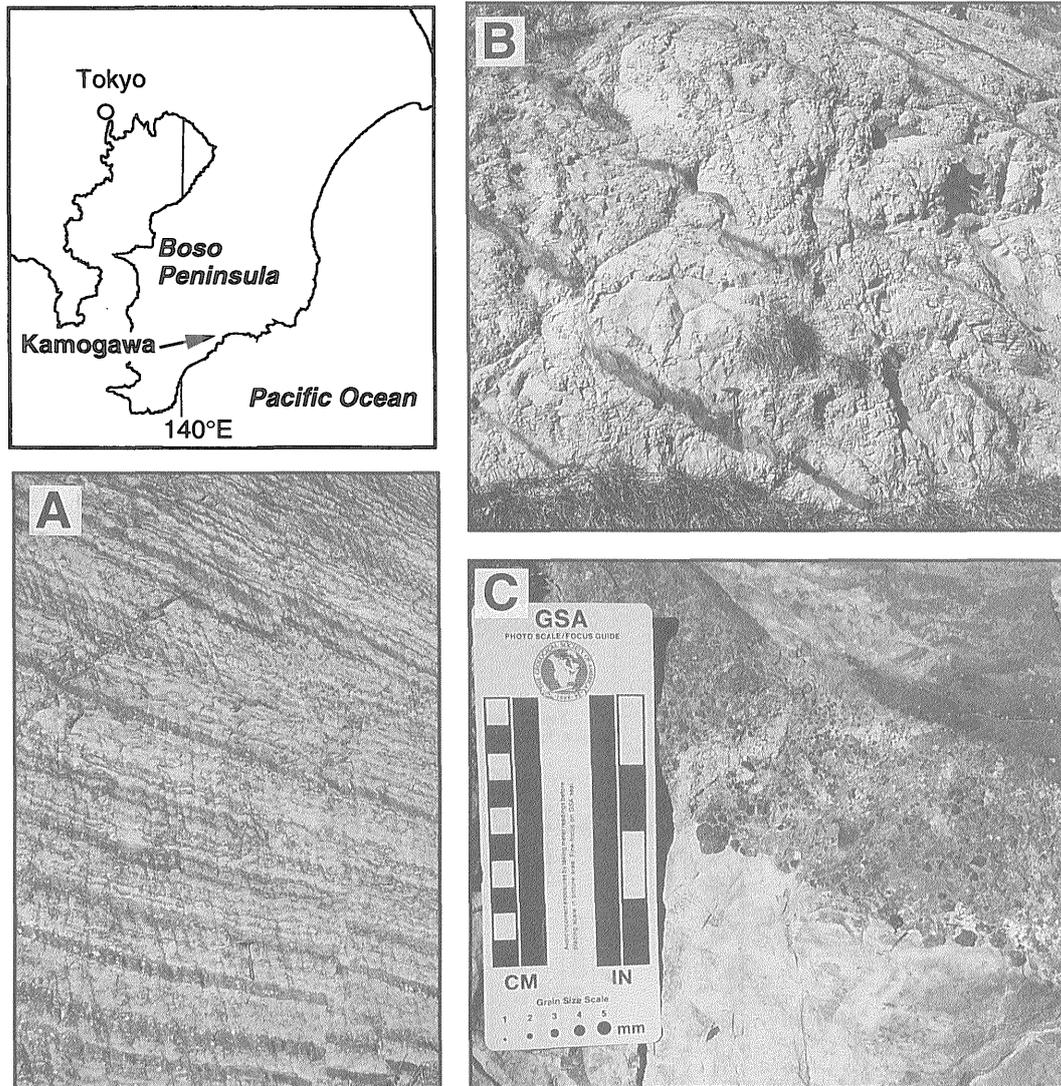
一方、南部フォッサマグナの北方の堆積盆ではどうであろうか。富岡地域は関東山地の北縁に位置し、浮遊性有孔虫化石帯のN. 8-N. 14に対比される海成層が広く分布している(大石・高橋, 1990)。細粒砂岩・シルト岩を主とする非火山性碎屑岩からなり、珪長質凝灰岩を挟有するが、玄武岩質火砕岩は全く認められない。富岡地域は中新世火山弧に位置する北方の水上地域と、非火山性外弧である関東山地に挟まれた弧間堆積盆に位置し、挟在する凝灰岩は当時の火山弧から供給されたと考えられる。実際、原市層に挟在する馬場凝灰岩は数10km離れた水上地域の三峰山層の軽石流堆積物に酷似し、前弧側の非火山性堆積盆に挟在する珪長質凝灰岩の大部分は、当時珪長質火山活動が活発であった脊梁地域よりもたらされたものであろう。

関東山地の北東部に位置する岩殿丘陵についても、富岡地域と同様珪長質凝灰岩が10数層認められるのみである。岩殿層はシルト岩を主とし、各種の微化石により確定された年代から、富岡地域の庭谷層から原市層に対比される(小池ほか, 1985)。また、挟在する將軍沢凝灰岩および奥田凝灰岩は、富岡地域の北村および馬場凝灰岩に直接対比されるものと考えられているが、どちらも珪長質であり、また給源も脊梁地域と推定されている(高橋・林, 1991)。

栃木県の烏山地域は脊梁地域の火山弧の東方で非火山性外弧である阿武隈・八溝山地の西端に位置し、およそ15-8 Maまでの海成層が連続的に堆積している(酒井、



第9図 銘川ルートにおける木の根層および天津層下部の柱状図と、スコリアの挟在する層準。浮遊性微化石等による年代をもとに得られた堆積曲線から、最下位のスコリアの年代はおよそ13 Ma と見積もられる。
 Fig. 9 Stratigraphic positions of the scoria bed on the detailed stratigraphic column of the Kinone and lower Amatsu Formations along the Meigawa River. The age of the lowest scoria bed can be estimated as ca. 13 Ma based on the biostratigraphic constraints.

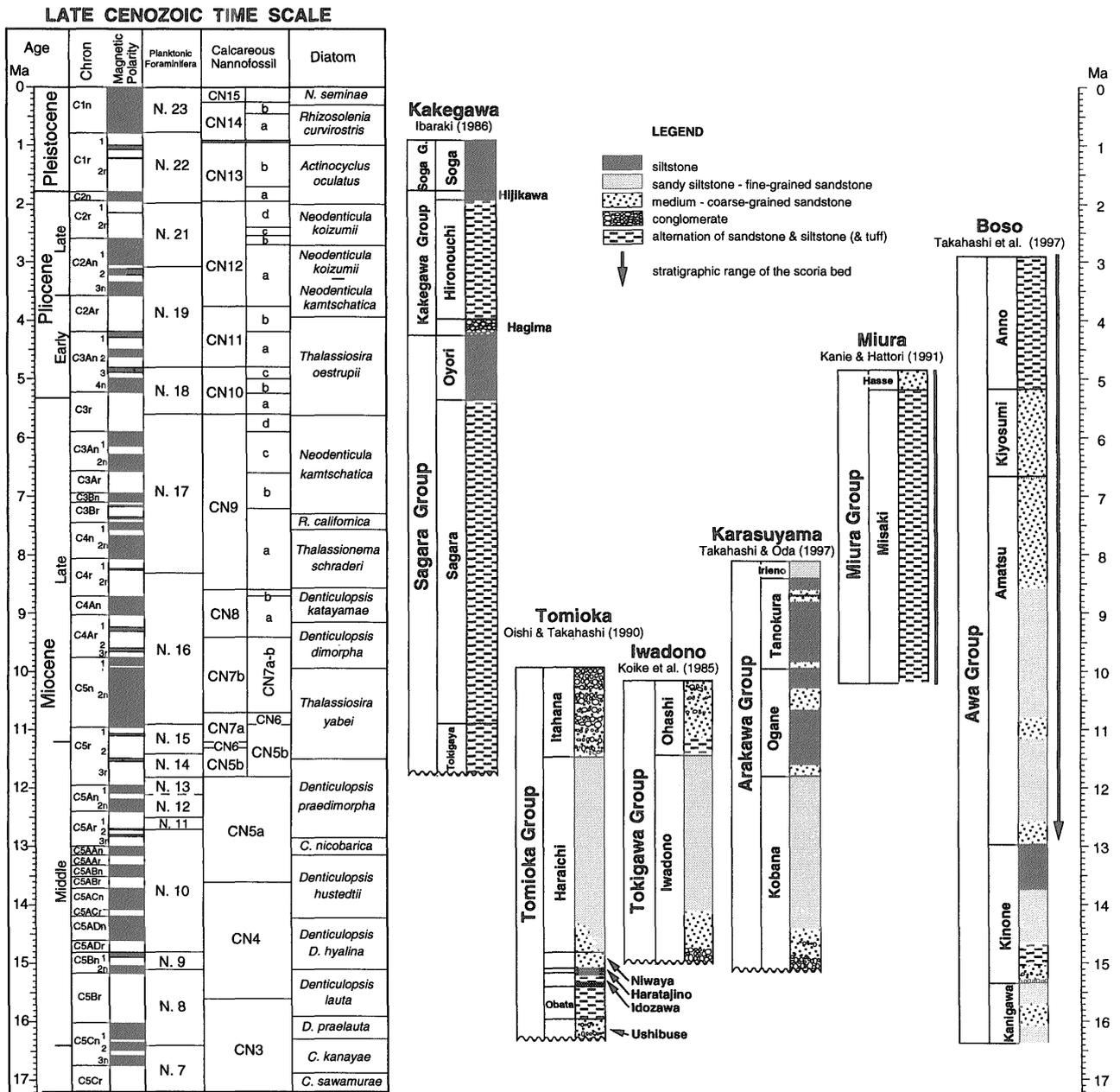


第10図 房総半島東部に露出する天津層(中部中新統)の半遠洋性シルト岩中に挟在するスコリア。A：半遠洋性堆積物(明色部)中に頻りに挟在するスコリア(暗色部)，B：天津層下部に挟在するスコリア(凝灰岩鍵層の Am-14層準付近、およそ12 Ma)，C：玄武岩質極粗粒火山砕屑物。

Fig. 10 Photographs of the scoria beds within the hamipelagic siltstone of the Amatsu Formation (Middle Miocene) in the eastern Boso Peninsula. A: Frequent intercalation of scoria beds (dark color) within the hemipelagic siltstone (light color). B: Scoria beds within the lower part of Amatsu Formation (around Am-14: ca. 12 Ma). C: Very coarse basaltic fragments in the scoria bed.

1986)。地層の層厚は750mであり、他の中・鮮新統に比べ堆積速度が小さい。下部は砂岩・シルト岩を主とし、上部は珪藻質シルト岩からなる。最近、複合層序学的研究が進められており(宇佐美ほか、1995、1996など)、100セット以上の凝灰岩鍵層が記載され、一部については放射年代が測定されている。各凝灰岩鍵層セットはほとんどが複数の凝灰岩よりなるので、凝灰岩の総数は数100を越える。これらの大部分は珪長質細粒凝灰岩と軽石凝灰岩の厚層であるが、小堀層中部の凝灰岩 Kb15の数m直下および大金層下部のOg13の2層準にのみ、薄いスコリアが確認されている。この2枚のスコリアのみが上記掛川・富岡・岩殿そして烏山地域の中・鮮新統より確認されて

いるが、その起源はもちろん伊豆弧とは考えられない。いずれにせよ、三浦・房総半島で無数に挟在するスコリアは、両地域にのみ認められることを特徴とし、また粒度や組成・堆積構造などから推定される給源火山は伊豆弧北端であることは、疑う余地がないと思われる。以上のことから、三浦・房総半島の海成層に挟在するスコリアの存在およびその層位分布から、現在の伊豆半島近傍に玄武岩質火山活動が少なくとも13 Ma以降継続的に続いていた、そしてその活動は伊豆-ボニン弧の北方延長にあった海洋内島弧(古伊豆弧)であって、その後のフィリピン海プレートの北上にともなって、南部フォッサマグナにおいて本州弧下に沈み込んだ、あるいは一部衝突・



第11図 南部フォッサマグナ周辺地域に分布する上部新第三系の層序。
Fig. 11 Some Late Cenozoic marine sequences around the South Fossa Magna, central Japan.

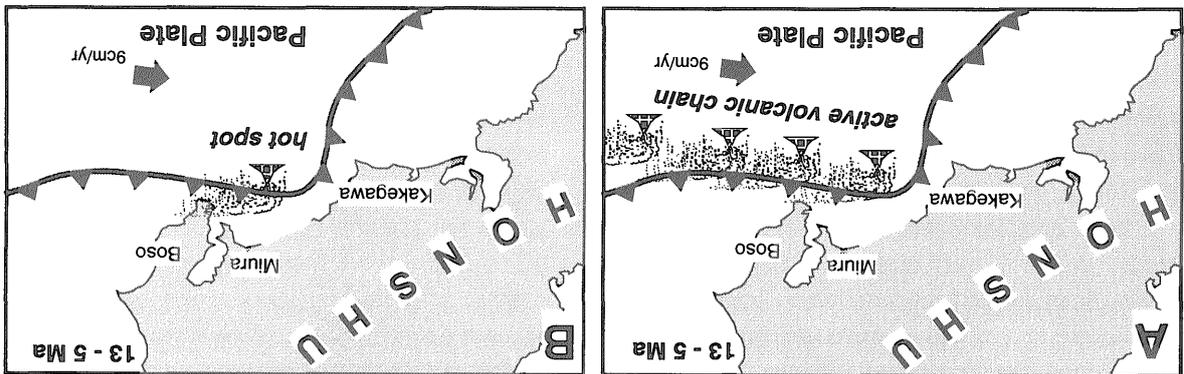
付加したのであろうと結論づけられる。

13 Ma 以降の伊豆半島近傍での火山活動が、現在の伊豆弧の北方延長で既に沈み込んでしまった、あるいは一部南部フォッサマグナにて付加した火山弧によるものと考えられることはもっともと思われる。前述したように、Hall *et al.* (1995a, b, c) などのフィリピン海プレートの復元モデルに基づくと、少なくとも後期中新世以前には古伊豆弧は現在の伊豆弧より西に位置していたことになり、よって南部フォッサマグナの前面(南側)には、西に9cm/year で移動する太平洋プレートが存在していたことになる。Hall らによる伊豆-ボニン弧東進モデルでは、伊豆-

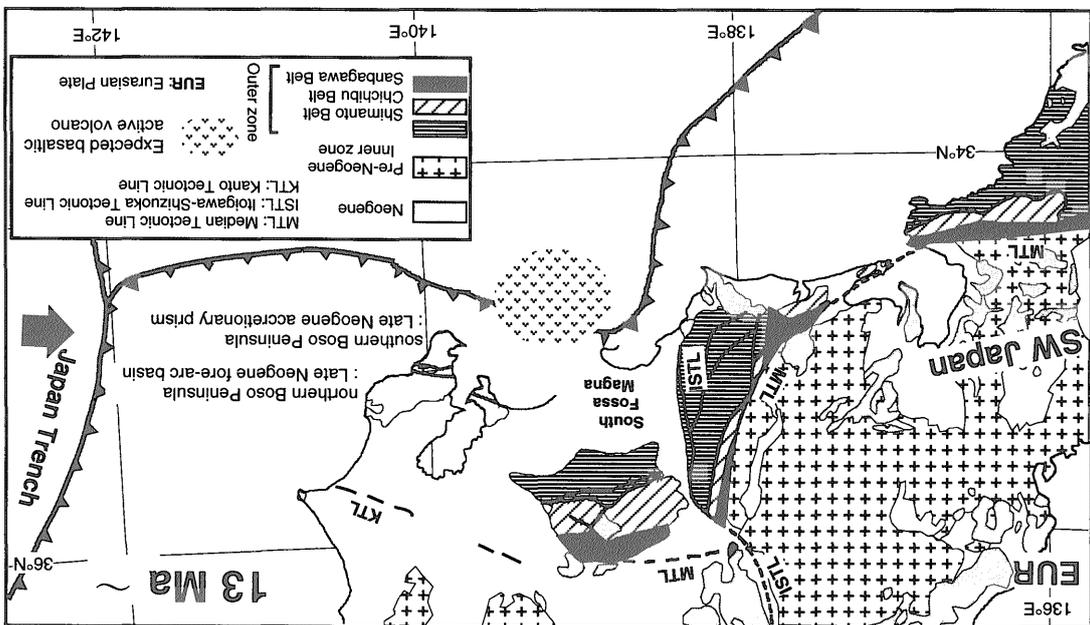
ボニン弧の北端が南部フォッサマグナの近傍に到達するのは後期中新世であるとしているので、13 Ma 以降の南部フォッサマグナ前面での火山活動の継続性を説明するためには、太平洋プレートの移動方向と速度を勘案すると、少なくとも東西に数100km にのびた活動的火山弧を考えるか、三浦・房総半島の近傍にホットスポットを仮定し、スコリアの給源とするしかない(第13図)。ホットスポット・モデルは、スコリアの組成から棄却されよう。また、東西にのびた火山弧を三浦・房総沖に仮定し、火砕岩の給源と考えることも、後期中新世に西方から南部フォッサマグナに移動してきた古伊豆弧の火山噴出物が、

新世初頭以降ほぼ固定されていたとする Hibbard and Karig (1990a, b) の解釈と調和する。これらのことは、伊豆-ボニン弧の方向と大きく斜交していなかったことを示唆し、さらに房総半島沖の海溝三重点 (T-T-T triple junction) の位置も大きく移動しなかったことを意味し、中期中新世のフイリピン海プレートと伊豆-ボニン弧の構築に対する重要な地質学的制約条件のひとつと考えられる。

第13図 Hall *et al.* (1995b, c) のモデルに基づいた場合に考えられる、掛川・三浦半島間の火山活動の可能性。彼らのモデルでは、13-5 Ma には古伊豆弧および太平洋プレート/フイリピン海プレート境界はかなり西に位置していたため、スコリアの給源として西進する太平洋プレート上で1000万年以上継続する火山活動を想定する必要がある。



第12図 三浦半島および房総半島に分布する海成中・鮮新統中にみられる降下火砕堆積物から推定される玄武岩質火山活動。Fig. 12 Expected basaltic volcanic activities deduced from the pyroclastic fall deposits within the marine sequence in the Mira and Boso Peninsulas.



房総半島に分布する海成中新統に挟在するスコリア (高橋)

掛川地域の上部中新統に全く認められないことから否定される。以上の地質学的観察事実より、スコリアの層位分布から推定される13 Ma以降の三浦・房総半島近傍での継続的火山活動は、現在の伊豆-ボニン弧の北方延長で既に沈み込んでしまった、あるいは一部南部フイリピン海プレートに付加した古伊豆弧の存在を示す地質学的証拠といえる。すなわち、少なくとも13 Ma以降は伊豆-ボニン弧とその北方延長は、本州弧の方向に対しては南部フイリピン海プレートにほぼ固定されたと判断される。このことは、四国海盆の拡大軸が西南日本の外帯に対し、中期中

7. まとめと今後の課題

本論では、三浦・房総半島の中・鮮新統にみられるスコリアが、南部フォッサマグナ周辺の他の堆積盆埋積物には認められないことを示し、スコリアの給源火山の位置が現在の伊豆-ボニン弧の北端(伊豆半島や伊豆大島)付近に限定されることを示した。さらに、スコリアの層位分布を各種の浮遊性微化石データや放射年代に基づき明らかにし、13 Ma から最近まで玄武岩質火山活動が房総半島近傍で継続したことを示した。このスコリアの層位分布から推定される13 Ma 以降の三浦・房総半島近傍での継続的火山活動は、現在の伊豆-ボニン弧の北方延長で既に沈み込んでしまった、あるいは一部南部フォッサマグナにて付加した古伊豆弧の存在を示す重要な地質学的証拠といえる。さらに、房総半島沖の海溝三重点(T-T-T triple junction)の位置が中期中新世以降大きく移動していないことが示唆され、フィリピン海プレートの復元モデルの構築に対する重要な地質学的制約条件のひとつとして提示した。

現段階では、中期中新世以降に伊豆-ボニン弧の北方延長と本州弧とが会合する位置を大きく東西に移動させることは地質学的に困難と考えられる。よって、南部フォッサマグナに分布する竜爪・櫛形山・御坂・丹沢や伊豆ブロックなどは、古伊豆弧の北上あるいは本州中部の南下にともなって関東山地および赤石山地に衝突・付加したものと解釈することが可能である。しかしながら、それらの衝突の時期については南部フォッサマグナの研究者間でも一致した見解は得られていない。例えば、丹沢ブロックの衝突は関東山地と丹沢山地の間に分布する寺家泥岩の微化石年代を根拠に5 Ma と推定されているが、寺家泥岩をフィリピン海プレートの移動にともなって北西進した丹沢ブロックの前面のトラフ堆積物、寺家泥岩をおおう礫岩を衝突にともなって隆起した関東山地起源のトラフ埋積物とする解釈に基づいており、その解釈いかんによっては5 Ma 衝突説は衝突時期の根拠を失ってしまう。また、丹沢ブロックと関東山地境界断層である藤野木・愛川線に進入している10 Ma の貫入岩体は、断層による変形が軽微であり、丹沢ブロックの5 Ma 衝突説に否定的である。一方、丹沢ブロック以前に衝突したと考えられている御坂さらに櫛形山ブロックについても、それら相互の間の明瞭なブロック境界断層は確認されていない。竜爪ブロックはもとより櫛形山および御坂ブロックの衝突時期は非常に不確定であり、今後の研究に期待したい。さらに、5 Ma に丹沢ブロックが衝突したとすると、6 Ma 関東山地が全く回転していないことから、ブロックの衝突と関東対曲構造の形成に関連が認められず、非常に不可解な印象を感じる。松田(1989)が指摘しているように、丹沢ブロックの衝突時期についても再度検討し直す必要があると感じられる。とくに本論で指摘した13 Ma

のスコリアの挟在し始める年代と、赤石山地の四万十帯のフィッシュトラック熱年代学的検討により示された13 Ma の熱的イベント(山際ほか, 1997)との関連については、とくに興味深いと思われる。

中部日本のテクトニクスに関しては、東北・西南両日本弧の回転が大きく影響したことは当然であろう。しかしながら、日本海の拡大に関連したと思われる東北および西南日本の回転時期については、近年ますます活発に議論されていて、一定の見解には達していない。かつては、西南日本は15 Ma のごく短い期間に47°時計回りに回転したと考えられていたが、最近の放射年代測定結果によると、回転時期はより新しい時期に推定されている。紀伊半島に広く分布する室生酸性岩類は溶結凝灰岩類からなり、時計回りに60°ほど偏った古地磁気方位が得られている(Torii, 1983; Matsuda *et al.*, 1986)。この偏りは西南日本の回転に起因していると考えられており、最近報告された14.4 Ma の放射年代値(宇都ほか, 1996)は回転時期の下限を示していると考えられる。また、紀伊半島に広く露出する熊野酸性岩類は、正・逆両磁化方位とも時計回りに偏っており(田上, 1982)、その年代(14.4-14.2 Ma; 角井ほか, 1997)は室生酸性岩類と同様、西南日本の回転時期が15 Ma より明らかに新しいことを示している。一方、東北日本の反時計回りの回転の時期については、西南日本と同様15 Ma とする考えが示されていたが、採取された古地磁気測定試料が時空間的広がりに対して不十分であり、東北日本のリフティングに起因する個々のブロックごとの回転と島弧規模の回転を充分分離できているとは思われない(山路ほか, 1994)。最近示された八溝山地南部の茂木地域の火山岩類の古地磁気結果は、少なくとも18 Ma 以降は回転運動がなかったことを示している(Hoshi and Takahashi, 1997)。さらに、阿武隈山地北部の霊山地域(高橋ほか, 1997)や東北日本北部の二戸地域(Hoshi and Matsubara, 1998)の古地磁気結果も、16 Ma 以降に回転運動がなかったことを示していることから、東北日本の回転時期は西南日本とは対照的に15 Ma よりは明らかに古い方にシフトしている。東北日本の回転時期は、陸上の地質から推定された島弧地殻のリフティングの時期と調和的であるが(山路, 1989; Yamaji, 1990; 山路・佐藤, 1989など)、東北・西南両日本弧の回転時期が異なることは、中部日本のテクトニクスを考える上で、ますます困難さを与える結果となっている。西南日本外帯に連続する先中新統基盤岩類の帯状配列は関東山地まで追跡されることから、15 Ma 以降に回転した西南日本の東限は関東山地以東で八溝山地との間に求められる。したがって、現在は関東平野の厚い第四系の下に、東北・西南両島弧を境する境界断層が存在するはずであり、可能性として関東構造線が示唆される(第2図)。しかしながら、東北日本の回転後で西南日本が回転する前には、それぞれの島弧の南ないし東縁は数

100km以上離れていたと考えざるを得ず、東北日本と西南日本が現在の配置になる直前の16 Ma頃の中部日本の古地理図を描くことは現段階では非常に困難である。世界的にもまれな島弧-島弧衝突帯のテクトニクスを解明するためには、単にその地域(南部フォッサマグナ)の研究のみでは不十分であり、中新世以降の東北・西南両島弧の回転時期の特定と、伊豆-ボニン弧北端の移動方向を把握する必要がある。

謝辞 西南学院大学の松田時彦教授、筑波大学小川勇二郎教授および九州大学徐垣博士には、三浦・房総半島の中・鮮新統に挟在するスコリアの起源について、議論していただいた。また、地質調査所資源エネルギー地質部の徳橋秀一博士、中嶋輝允博士および渡辺真人技官には、房総半島の地質に関しご教授していただいた。東京大学海洋研究所の斎藤実篤博士には、房総半島南部の地質およびスコリアの化学分析結果に関しご教授いただいた。地質調査所地質部の山元孝広技官には、粗稿を読んでいただくとともに、適切なアドバイスをいただいた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

文 献

- Ali, J. R. and Hall, R.(1995) Evolution of the boundary between the Philippine Sea Plate and Australia: Paleomagnetic evidence from eastern Indonesia. *Tectonophysics*, **251**, 251-275.
- 天野一男(1986) 多重衝突帯としての南部フォッサマグナ. 月刊地球, **88**, 581-585.
- Amano, K.(1991) Multiple collision tectonics of the South Fossa Magna in central Japan. *Modern Geol.*, **15**, 315-329.
- 有馬 真・平田大二・猪俣道也・相原延光(1991) 三浦層群に含まれるスコリアの岩石学. 月刊地球, **13**, 35-38.
- Barron, J. A. and Gladenkov, A. Y.(1995) Early Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 145. In Rea, D. K. et al. eds., *Proc. ODP, Sci. Results*, **145**, College Station, 3-19.
- Berggren, W.A., Kent, D.V., Swisher, C.C. and Aubry, M.-P.(1995) A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W.A. et al. eds., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Special Volume*, no. 54, 129-212.
- Blow, W.H.(1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann et al. eds., *Proc. First Intern. Conf. Planktonic Microfossils, Geneva 1967*. E. J. Brill, Leiden, 1, 199-422.
- Cande, S.C. and Kent, D. V.(1995) Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, **100**, 6093-6095.
- Engelbreton, D. C., Cox, A. and Gordon, R. G. (1985) Relative Motions between Oceanic and Continental Plates in the Pacific Basin. *Geol. Soc. America Special Paper* **206**, 59p.
- 藤岡換太郎・塚脇真二(1991) 火山フロントの火砕物質のゆくえ-伊豆・小笠原弧北端部と房総半島南部間の相鴨トラフでの付加-. 火山, **36**, 51-59.
- Hall, R., Ali, J. R. and Anderson, C. D.(1995a) Cenozoic motion of the Philippine Sea Plate: Paleomagnetic evidence from eastern Indonesia. *Tectonics*, **14**, 1117-1132.
- Hall, R., Ali, J. R., Anderson, C. D. and Baker, S. J.(1995b) Origin and motion history of the Philippine Sea Plate. *Tectonophysics*, **251**, 229-250.
- Hall, R., Fuller, M., Ali, J. R. and Anderson, C. D. (1995c) Philippine Sea Plate paleomagnetism and reconstructions. In Taylor, B. and Natland, J. eds., *Active Margins and Marginal Basins: Synthesis of Western Pacific Drilling Results. AGU Monograph*. **88**, 371-404.
- 林田 明(1992) 中新統富草層群の古地磁気方位. 瑞浪化石博物館報告, **19**, 67-74.
- Hayashida, A.(1985) Paleomagnetic study of Miocene strata in the Chita Peninsula, central Japan. *Sci. Engineer. Rev. Doshisha Univ.*, **26**, 180-185.
- Hayashida, A.(1986) Timing of rotational motion of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of the Setouchi Miocene Series. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 295-310.
- Hayashida, A.(1994) Paleomagnetism of Miocene sedimentary rocks in the Kakegawa area and implication for tectonic rotation in central Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **46**, 1, 051-1,066.
- Hayashida, A. and Ito, Y.(1984) Paleoposition of Southwest Japan at 16 Ma: Implication from paleomagnetism of Miocene Ichishi Group. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **68**, 335-342.
- Hayashida, A., Fukui, T. and Torii, M.(1991) Paleomagnetism of the Early Miocene Kani

- Group in Southwest Japan and its implication for the opening of the Japan Sea. *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1,095-1,098.
- Hibbard, J. P. and Karig, D. E.(1990a) Alternative plate model for the early Miocene evolution of the Southwest Japan margin. *Geology*, **18**, 170-174.
- Hibbard, J. P. and Karig, D. E.(1990b) Structural and magmatic responses to spreading ridge subduction: An example from Southwest Japan. *Tectonics*, **9**, 207-230.
- Hirooka, K., Sakai, H., Takahashi, T., Kinoto, H. and Takeuchi, A.(1986) Tertiary tectonic movement of central Japan inferred from paleomagnetic studies. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 311-323.
- Hirooka, K., Yamada, R., Yamashita, M. and Takeuchi, A.(1990) Paleomagnetic evidence of the rotation of central Japan inferred from paleomagnetic studies. *Jour. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **77**, 345-354.
- Honda, N.(1981) Upper Cenozoic calcareous nannofossil biostratigraphy of the Pacific side of Japan. Ph. D. dissertation, Tohoku Univ., 110p.
- Hoshi, H. and Matsubara, T.(1998) Early Miocene paleomagnetic results from the Ninohe area, NE Japan: Implications for arc rotation and intra-arc differential rotations. *Earth, Planets Space*, **50**, 23-33.
- Hoshi, H. and Takahashi, M.(1997) Paleomagnetic constraints on the extent of tectonic blocks and the location of their kinematic boundaries: Implications for Miocene intra-arc deformation in Northeast Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **103**, 523-542.
- Hyodo, H. and 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. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 335-348.
- 茨木雅子(1986) 掛川地域新第三系の浮遊性有孔虫生層序基準面とその岩相層序との関係. 地質学雑誌, **92**, 119-134.
- 石田 高(1989) 南部フォッサマグナ北縁部の新第三紀鶴ヶ鳥屋山貫入岩体-関東山地と御坂山地の衝突テクトニクス-. 山梨大学教育学部研究報告, no. 40, 62-70.
- Ito, M.(1986) Neogene depositional history in Oiso Hill: Development of Okinoyama Bank Chain on landward slope of Sagami Trough, central Honshu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **92**, 47-64.
- Itoh, Y.(1986) Differential rotation of northeastern part of Southwest Japan: Paleomagnetism of Early to Late Miocene rocks from Yatsuo area in Chubu district. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 325-334.
- Itoh, Y.(1988) Differential rotation of the eastern part of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of Cretaceous and Neogene rocks. *Jour. Geophys. Res.*, **93**, 3,401-3,411.
- Itoh, Y. and Ito, Y.(1989) Confined ductile deformation in the Japan arc inferred from paleomagnetic studies. *Tectonophysics*, **167**, 57-73.
- 伊藤康人・渡辺真人(1988) 古地磁気から推定した富山県東端部泊地域の回転運動. 地質学雑誌, **94**, 457-460.
- 蟹江康光・服部陸男(1991) 三浦層群のクロノロジーと古環境に関する諸問題-日本地質学会第97年討論会の紹介と最近の研究の動向-. 地質学雑誌, **97**, 849-864.
- 小池美津子・武井暁朔・下野敏弘・町田二郎・秋元和實・橋屋 功・吉井博厚・平社定夫(1985) 岩殿丘陵の中新統・都幾川層群. 地質学雑誌, **91**, 665-677.
- Koyama, A.(1991) Collision of the Kushigatayama Block with the Honshu arc during the Middle Miocene. *Modern Geol.*, **15**, 331-345.
- Matsuda, T., Torii, M., Tatsumi, Y., Ishizaka, K. and Yokoyama, T.(1986) Fission-track and K-Ar ages of the Muro volcanic rocks, Southwest Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 529-535.
- 松田時彦(1980) 伊豆の行方-最近数百万年の移動方向-. 月刊地球, **2**, 164-168.
- 松田時彦(1984) 南部フォッサマグナの弯曲構造と伊豆の衝突. 第四紀研究, **23**, 151-154.
- 松田時彦(1989) 南部フォッサマグナ多重衝突説の吟味. 月刊地球, **11**, 522-525.
- Matsuda, T.(1962) Crustal deformation and igneous activity in the South Fossa Magna, Japan. *Crust of the Pacific Basin. AGU Monograph*, **6**, 140-150.

- Matsuda, T.(1978) Collision of the Izu-Bonin arc with central Honshu: Cenozoic tectonics of the Fossa Magna, Japan. *Jour. Phys. Earth*, **26**, *Suppl.*, S 409-S 421.
- 本山 功・高橋雅紀(1997) 房総半島, 中部中新統木の根層および天津層の放散虫化石層序-珪質・石灰質微化石層序の統合に向けて-. 石油技術協会誌, **62**, 226-238.
- 中島正志・沢田順弘・中川登美雄・林 昌代・板谷徹丸(1990) 福井県北部新第三系の K-Ar 年代と古地磁気-西南日本ブロックの回転に関して-. 岩鉱, **85**, 45-59.
- Nakajima, T. and Hirooka, K.(1986) Clockwise rotation of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of Miocene rocks in Fukui Prefecture. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 513-522.
- 中嶋輝允・牧本 博・平山次郎・徳橋秀一(1981) 鴨川地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 107 p.
- Niitsuma, N.(1989) Collision tectonics in the South Fossa Magna, central Japan. *Modern Geol.*, **14**, 3-18.
- Niitsuma, N. and Akiba, F.(1985) Neogene tectonic evolution and plate subduction in the Japanese island arcs. In Nasu, N. *et al.* eds., *Formation of Active Ocean Margins*. Terrapub, Tokyo, 75-108.
- Niitsuma, N. and Matsuda, T.(1985) Collision in the South Fossa Magna area, central Japan. *Recent Prog. Natural Sci. Japan*, **10**, 41-50.
- 西谷忠師・田上誠二(1988) 男鹿半島における古地磁気学的研究. 秋田大学鉱山学部資源地質学研究所施設報告, no. 53, 69-75.
- 小川勇二郎・谷口英嗣・藤岡換太郎(1992) 幻の湘南火山帯. 月刊地球, 号外 no. 5, 149-156.
- 大石雅之・高橋雅紀(1990) 群馬県高崎地域に分布する中新統一とくに庭谷不整合形成過程について. 東北大学理学部地質古生物研究邦文報告, no. 92, 1-17.
- Okada, H. and Bukry, D.(1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Mar. Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 遅沢壮一(1986) 高草山およびその西方の瀬戸川帯. 北村信教授記念地質学論文集, 337-350.
- Osozawa S.(1988) Accretionary process of the Tertiary Setogawa and Mikasa Groups, Southwest Japan. *Jour. Geol.*, **96**, 199-208.
- Otofujii, Y. and Matsuda, T.(1983) Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 349-359.
- Otofujii, Y. and Matsuda, T.(1984) Timing of rotational motion of Southwest Japan inferred from paleomagnetism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **70**, 373-382.
- Otofujii, Y. and Matsuda, T.(1987) Amount of clockwise rotation of Southwest Japan-Fan shape opening of the southwestern part of the Japan Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **85**, 289-301.
- Otofujii, Y., Hayashida, A. and Torii, M.(1985a) When was the Japan Sea opened?: Paleomagnetic evidence from Southwest Japan. In Nasu, N. *et al.* eds., *Formation of Active Ocean Margins*. Terrapub, Tokyo, 551-566.
- Otofujii, Y., Matsuda, T. and Nohda, S.(1985b) Opening mode of the Japan Sea inferred from the paleomagnetism of the Japan arc. *Nature*, **317**, 603-604.
- Otofujii, Y., Matsuda, T. and Nohda, S.(1985c) Paleomagnetic evidence for the Miocene counter-clockwise rotation of Northeast Japan-Rifting process of the Japan arc. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **75**, 265-277.
- Otofujii, Y., Itaya, T. and Matsuda, T.(1991) Rapid rotation of Southwest Japan - Paleomagnetism and K-Ar ages of Miocene volcanic rocks of Southwest Japan. *Geophys. Jour. Int.*, **105**, 397-405.
- Otofujii, Y., Kambara, A., Matsuda, T. and Nohda, S.(1994) Counterclockwise rotation of Northeast Japan: Paleomagnetic evidence for regional extent and timing of rotation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **121**, 503-518.
- Otofujii, Y., Nishizawa, Y., Tamai, M. and Matsuda, T.(1997) Paleomagnetic and chronological study of Miocene welded tuffs in the northern part of Central Japan: Tectonic implications for the latest stage of arc formation of Japan. *Tectonophysics*, **283**, 263-278.
- Otsuki, K.(1990) Westward migration of the Izu-Bonin Trench, northward motion of the Philippine Sea Plate, and their relationships to the Cenozoic tectonics of Japanese island

- arcs. *Tectonophysics*, **180**, 351-367.
- Saito, K., Takahashi, M. and Onozuka, N.(1996) A K-Ar investigation of the Chichibu Quartz Diorite and some discussions on its cooling history. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **48**, 1,103-1,109.
- 斎藤実篤(1992) 房総半島南部の新生界の層位的学的研究. 東北大学地質古生物研邦報, no. 93, 1-37.
- 斎藤実篤・酒井豊三郎・尾田太良・長谷川四郎・田中裕一郎(1991) 房総半島南部の三浦層群-陸化した現世前弧域-. 月刊地球, **13**, 15-19.
- 斎藤実篤・吉田武義・青木謙一郎(1992) 房総半島に発達する火山岩及び火砕岩類の化学組成とそのテクトニクス上の意義. 東北大学核理研研究報告, **25**, 241-255.
- 酒井豊三郎(1986) 中新統荒川層群(栃木県)の模式地における層序. 宇都宮大学教養部研究報告, no. 19, 49-70.
- Seno, T., Stein, S. and Gripp, A. E.(1993) A model for the motion of the Philippine Sea Plate consistent with NUVEL-1 and geological data. *Jour. Geophys. Res.*, **98**, 17, 941-17, 948.
- Soh, W.(1986) Reconstruction of Fujikawa Trough in Mio-Pliocene age and its geotectonic implication. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral*, **52**, 1-68.
- 徐 垣・谷口英嗣(1988) 本州弧に付加した古伊豆-小笠原弧. 月刊地球, **10**, 611-615.
- Soh, W., Taira, A., Ogawa, Y., Taniguchi, H., Pickering, K. T., and Stow, A. V. (1989) Submarine depositional processes for volcanoclastic sediments in the Mio-Pliocene Misaki Formation, Miura Group, central Japan. *In* Taira, A. and Masuda, F. eds., *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*. Terrapub, Tokyo, 619-630.
- Soh, W., H., Pickering, K. T., Taira, A. and Tokuyama, H.(1991) Basin evolution in the arc-arc Izu-Collision Zone, Mio-Pliocene Miura Group, central Japan. *Jour. Geol. Soc. London*, **148**, 317-330.
- 杉村 新(1972) 日本付近におけるプレートの境界. 科学, **42**, 192-202.
- 角井朝昭・内海 茂・新正裕尚・下田 玄(1997) K-Ar 法による熊野酸性岩と大峰酸性岩の年代の再検討. 日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 396.
- 田上高広(1982) 熊野酸性岩類の古地磁気とフィッション・トラック年代. 大阪微化石研究会機関誌, no. 9, 23-32.
- 高橋雅紀・林 正雄(1991) ジルコンの結晶形態による関東地方の中新世凝灰岩の分類と対比. 地質学雑誌, **97**, 451-459.
- 高橋雅紀・星 博幸・山元孝広(1997) 古地磁気による阿武隈山地の前期中新世回転運動. 日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 179.
- Takahashi, M. and Danhara, T.(1997) Fission track age of Miocene Kn-3 Tuff in central Japan: Towards better age-control on magneto-biostratigraphic time scale. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **49**, 89-99.
- Takahashi, M. and Nomura, S.(1989) Paleomagnetism of the Chichibu Quartz Diorite-Constraints on the time of lateral bending of the Kanto Syntaxis. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **41**, 479-489.
- Takahashi, M. and Oda, M.(1997) The potential for integrated stratigraphic studies of Middle Miocene sequence in central Japan. *In* Montanari, A. et al. eds., *Miocene Stratigraphy: An Integrated Approach*. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 371-379.
- Takahashi, M. and Saito, K.(1997) Miocene intra-arc bending at arc-arc collision zone, central Japan. *The Island Arc*, **6**, 168-182.
- Takahashi, M. and Watanabe, Y.(1993) Paleomagnetism of the Miocene igneous rocks in the Uchiyama area, central Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **45**, 89-101.
- Takahashi, M., Oda, M. and Uchida, E.(1997) Preliminary results and potential for integrated stratigraphy of the volcano-sedimentary sequence in the Boso Peninsula, central Japan. *In* Montanari, A. et al. eds., *Miocene Stratigraphy: An Integrated Approach*. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 575-579.
- 谷口英嗣・小川勇二郎・徐 垣(1991a) 伊豆弧と古伊豆弧の発達とそのテクトニクス. 地学雑誌, **100**, 514-529.
- 谷口英嗣・徐 垣・小川勇二郎(1991b) 三崎層に含まれる火山岩類の起源とそのテクトニクス. 月刊地球, **13**, 31-34.
- Torii, M.(1983) Paleomagnetism of Miocene rocks in the Setouchi province: Evidence for rapid clockwise rotation of Southwest Japan at Middle Miocene time. Doc. Thesis, Fac.

- Sci., Kyoto Univ., 126p.
- Tosha, T. and Hamano, Y. (1988) Paleomagnetism of Tertiary rocks from the Oga Peninsula and the rotation of Northeast Japan. *Tectonics*, **7**, 653-662.
- 宇佐美守弘・高橋雅紀・尾田太良(1995) 荒川層群小埧層の浮遊性有孔虫による微化石層序. 日本地質学会第102年学術大会講演要旨, 137.
- 宇佐美守弘・尾田太良・高橋雅紀(1996) 荒川層群小埧層の浮遊性有孔虫化石層序. 日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 144.
- 宇都浩三・阿武 賢・須藤正史・内海 茂(1996) 西南日本, 中期中新世室生火山岩の K-Ar 年代. 火山, **41**, 257-261.
- 渡辺真人・高橋雅紀(1997) 房総半島, 中部中新統木の根相および天津相下部の珪藻化石層序. 石油技術協会誌, **62**, 215-225.
- 山際敦史・長谷部徳子・田上高広(1997) 赤石山地の上昇冷却史-フィッシュトラック年代学からの証拠. 日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 177.
- 山路 敦(1989) 温海附近の地質と羽越地域における前期中新世のリフティング. 地質学論集, no. 32, 305-320.
- Yamaji, A. (1990) Rapid intra-arc rifting in Miocene Northeast Japan. *Tectonics*, **9**, 365-378.
- 山路 敦・佐藤比呂志(1989) 中新世における東北本州弧の沈降運動とそのメカニズム. 地質学論集, no. 32, 339-349.
- 山路 敦・百瀬 洋・鳥居雅之(1994) 羽越地域の古地磁気と中新世 transtensional tectonics. 日本地質学会第101年学術大会講演要旨, 175.
- Yamazaki, T. (1989) Paleomagnetism of Miocene sedimentary rocks around Matsu-shima Bay, Northeast Japan and its implication for the time of the rotation of Northeast Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **41**, 533-548.

(受付: 1997年12月22日; 受理: 1998年1月14日)