

フィリピン海プレートが支配する日本列島のテクトニクス

高橋 雅 紀*

Tectonic Development of the Japanese Islands Controlled by Philippine Sea Plate Motion

Masaki TAKAHASHI *

Abstract

The Euler pole position of the Philippine Sea Plate (PHP) relative to the stable Eurasian Plate (EUP) between 15 and 3 Ma can be estimated at around 150°E, 36°N, on the basis of the geological constraint that the intersection of the Izu-Ogasawara Arc with Southwest (SW) Japan has not moved from South Fossa Magna since 15 Ma. The timing of the migration of the Euler Pole to its present location (154°E, 47°N) should have occurred at 3 Ma because the fore-arc basin in SW Japan was once interrupted by the Kurotaki Unconformity at 3 Ma.

PHP moves northwestward and subducts beneath SW Japan at a convergent rate of 4 cm/yr. The Izu-Ogasawara Trench (IT) also moves at the same rate as the westward component (ca. 3 cm/yr.) of the PHP motion. Both the trench-trench-trench (TTT) triple junction and the Japan Trench (JT) should migrate westward, because the thick, cold, and sturdy Pacific Plate (PAP) has never been cut by the transform fault at the TTT junction. Northeast (NE) Japan would also move westward because tectonic erosion along JT would not be sufficient for westward migration of the JT. Thus, the present PHP movement causes the westward migration of IT, TTT junction, JT and then NE Japan. This westward motion of NE Japan against the sturdy oceanic lithosphere of the Japan Sea has caused an E-W contraction of NE Japan since northward motion of PHP changed to NW at 3 Ma.

It is expected that rifting of the thin, heated lithosphere of the Izu-Ogasawara Arc would reach break-up before the thick, cold lithosphere of the PAP would be torn by the right-lateral transform fault at the TTT junction. Once rifting reaches break-up, the northwestward movement of the PHP would be compensated by back-arc spreading, and this motion would not propagate to the IT, the JT nor NE Japan. Therefore, the present E-W contraction in Japan would cease in the geologically near future when back-arc rifting along the Izu-Ogasawara arc reaches break-up.

McKenzie and Morgan (1969) discussed how the TTT triple junction was unstable except under a few uncommon geometrical and kinematic conditions. However, the PHP actually se-

* 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

* Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

本稿は 2005 年 12 月 20 日に行われた講演をまとめたものである。

lected this particular Euler pole position at 15 Ma, and the TTT triple junction had been stable for more than 10 m.y. Although the present TTT junction is in an unstable condition, it would become stable again through back-arc basin spreading of the PHP in the geologically near future. Thus, the TTT triple junction offshore central Japan, which controls tectonics of Japan, would be in a stable state in nature.

Key words : tectonics, triple junction, Philippine Sea Plate, Pacific Plate, Japanese islands
キーワード : テクトニクス, 三重会合点, フィリピン海プレート, 太平洋プレート, 日本列島

I. フィリピン海プレートの過去の運動

日本海が拡大し今日の島弧の骨格が確立された 15 Ma 以降の日本列島のテクトニクスは、太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みに支配されてきたと考えられる。太平洋プレートの運動はおよそ 43 Ma の天皇海山列の屈曲以降は一定している (Harada and Hamano, 2000) が、フィリピン海プレートの過去の運動は、プレート上にホットスポットトラックが全く存在しないために解明されていない。これまでは、古地磁気偏角による回転運動と伏角による北上移動に基づいて過去の運動が推定 (小山, 1991; Hall, 2002) されてきたが、地質学的証拠を満足せずいずれも棄却される (Takahashi and Saito, 1999)。そこで、反対に地質学的情報を満足するようフィリピン海プレートの過去の運動を探った。

日本海の拡大直後の 15 Ma 以降、伊豆 小笠原弧が南部フォッサマグナに衝突し続けて、関東山地と赤石山地が大きく回転した結果、基盤岩類の屈曲 (関東対曲構造) が形成されたことが地質学的に明らかにされている (Hyodo and Niitsuma, 1986)。ということは、過去のフィリピン海プレートのオイラー極は、ほぼ直線 (球面状では大円) である伊豆 小笠原弧が、15 Ma 以降西南日本の島弧方向 (SSW NNE) に沿って東西に移動しないような位置にあったはずである。移動量を最小にするためには、安定であった期間 (15 ~ 3 Ma の 1200 万年; 15 ~ 0 Ma でないのは後述) の中間である 9 Ma に移動が停止するようなオイラー極を与えればよい。その際、伊豆背弧の

雁行火山列がフィリピン海プレート内部の広域応力場 (σ_{H-max}) を示すと考え、それらの収斂位置に当時のオイラー極があったと判断した。また、15 Ma に拡大を終了した四国海盆が西南日本に沈み込みつづけ、第四紀によやく山陰地方の地下深部にまでスラブが到達し島弧火山が形成され始めた判断し、15 Ma 以降のフィリピン海プ

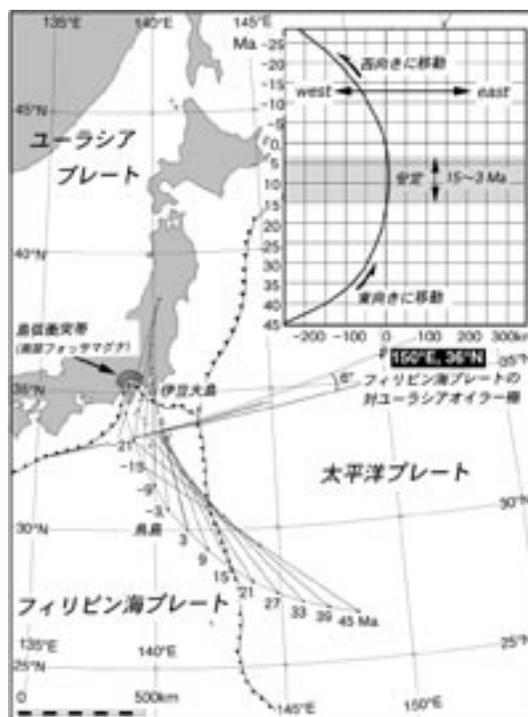


図 1 伊豆 小笠原弧が南部フォッサマグナに衝突し続けるようなフィリピン海プレートのオイラー極の一例 (高橋, 2004a)。回転角速度は現在と同じ 1 fm.y. で計算した。

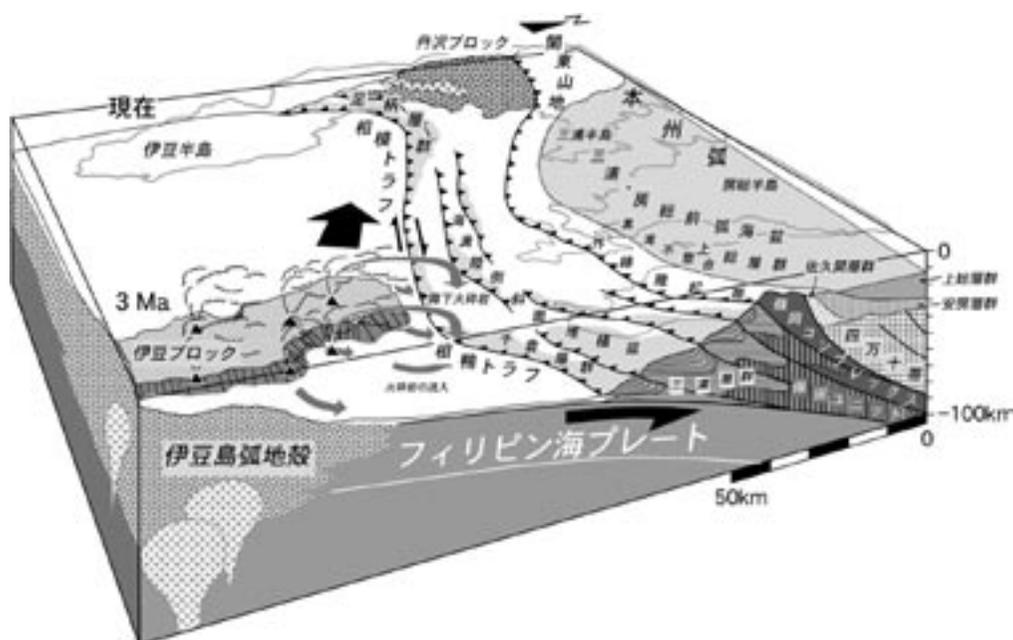


図 2 フィリピン海プレートの沈み込みと房総前弧海盆の形成過程(概念図). フィリピン海プレートのオイラー極が移動しプレートの運動方向が変わると、前弧海盆の成長様式が大きく変化すると予想される。

プレートの沈み込み量をおよそ 400 km と見積もり回転角速度を計算した。それらの地質学的観察事実を総合し、15 ~ 3 Ma のオイラー極は南海トラフの数 100 km 東方(東経 150°; 北緯 36° 付近)に位置していたと判断した(高橋, 2004a; 図 1)。オイラー極の経度方向に関しては数度程度の不確定性が残るが、ひとたび経度を決定すると緯度は ± 1 の範囲に制約される。

II. オイラー極の移動

過去のフィリピン海プレートのオイラー極は海溝-海溝-海溝型(TTT)三重会合点の東方に位置していたことが明らかとなったが、現在のオイラー極は北海道の北東方に位置していることから、過去のある時点でオイラー極が北に移動したはずである。つづいて、オイラー極が現在の位置に移動したタイミングを決定しなければならない。

プレートの運動方向が変化すればプレートの沈み込みにより成長する前弧海盆の発達様式に何らかの地質学的応答が生じると期待されることから、

房総半島に露出する前弧海盆堆積物の地質と年代層序を調べた(図 2)。その結果、15 Ma 以前前弧海盆が形成され木ノ根層が堆積し始めてから現在まで成長しつづけた前弧海盆には、一回だけ堆積の不連続と成長様式の急変(黒滝不整合)が生じている(図 3)。すなわち、房総前弧海盆を形成させたフィリピン海プレートの運動方向が変化したとするならば、そのタイミングは黒滝不整合の形成時期しか考えられない。その年代はおよそ 3 Ma であることから、フィリピン海プレートのオイラー極が現在の位置に移動しプレートの運動方向が変化したのは 3 Ma であったと判断した。同様の前弧海盆の成長様式の急変は西南日本の南方海域でも確認されていることから、黒滝不整合は局所的な地質現象ではなく西南日本前弧域の広域の事象であり、その原因は沈み込むプレートの運動方向の変化によると考えられる。すなわち、黒滝不整合はフィリピン海プレートのオイラー極が現在の位置に移動し、プレートの運動方向が急変した地質学的応答(証拠)であるといえる(高橋, 2004b)。

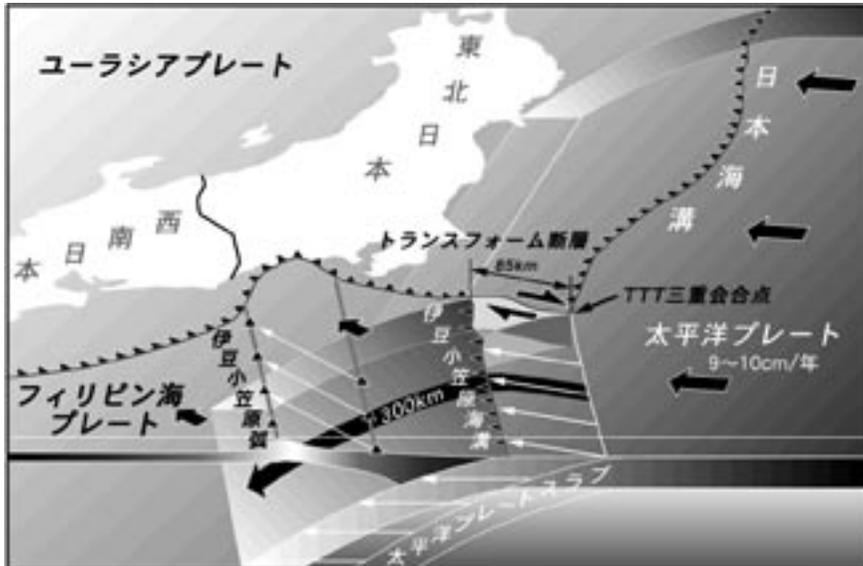


図4 フィリピン海プレートの運動により伊豆 - 小笠原海溝が西に移動すると、日本海溝と右横ずれのトランスフォーム断層が形成される (McKenzie and Morgan, 1969 の予想を概念図化)。この解釈が成り立つためには、TTT 三重会合点に沈み込む太平洋プレートのスラブは剪断され続けなければならない。

III . 圧縮テクトニクスの原因とその終焉

フィリピン海プレートのオイラー極が 3 Ma に現在の位置に移動すると、伊豆 - 小笠原海溝はフィリピン海プレートの運動の西向き成分に匹敵する速度で西に移動してしまう。太平洋プレートは日本海溝と伊豆 - 小笠原海溝の両方に沈み込んでいるので、伊豆 - 小笠原海溝のみが西に移動すると TTT 三重会合点において日本海溝と伊豆 - 小笠原海溝がトランスフォーム断層によって右ずれにずれてしまう (McKenzie and Morgan, 1969 の指摘)。ところが、TTT 三重会合点付近の三次元幾何学を考えると、2つの海溝が右ずれにずれるためには、そこで沈み込んでいる太平洋プレートのスラブが剪断され続ける必要がある (図4)。

オイラー極が現在の位置に移動した 3 Ma 以降にこのような剪断が継続すると、9 ~ 10 cm/年 で西に移動する太平洋プレートのスラブは 300 km 近くも剪断されていなくてはならないが、そのような事実は全く観察されない。したがって、太平洋プレートは TTT 三重会合点で剪断されな

いとすると、日本海溝も伊豆 - 小笠原海溝と同様に西に移動せざるを得ない。この日本海溝の西向き移動成分の一部は日本海溝に沿う造構性浸食 (tectonic erosion) によって消費されるが、残った成分は上盤である東北日本弧を西に移動させる。しかし、日本海は堅い海洋性リソスフェアであるため変形せず、結果として熱的に柔らかい東北日本火山弧 - 背弧 (Hasegawa *et al.*, 1991) が東西に短縮する (図5)。これが、日本海東縁歪み集中帯の成因であり、その東西圧縮応力が応力低下しつつも西南日本内帯を東西に圧縮し横ずれ活断層を形成させていると考えられる。

このように、今日の日本列島の東西圧縮テクトニクスの原因は、太平洋プレートでもアムールプレートでもなくフィリピン海プレートであると結論づけられる。すなわち、3 Ma に突如始まった東西圧縮テクトニクス (いわゆる島弧変動) は、フィリピン海プレートのオイラー極が北 (現在の位置) に移動したことに起因すると判断される。

この枠組みでは、東北日本弧を東西に短縮させている圧縮応力は、フィリピン海プレートの西向



図 5 TTT 三重会合点に沈み込む太平洋プレートのスラブは剪断されない，すなわち日本海溝と伊豆-小笠原海溝が連続するとすると，東北日本は西に移動せざるを得ない．フィリピン海プレートの運動ベクトルの西向き成分で日本海溝が西に移動するが，その一部は日本海溝に沿う造構性浸食 (tectonic erosion) で消費され，残りの成分は東北日本を西に移動させ変形しやすい背弧を東西に短縮させる (高橋, 2004b)．

き成分が三重会合点で沈み込む太平洋プレートのスラブの右横ずれ剪断応力を介して伝わっている。よって，フィリピン海プレートそのものは東西引張場にあり，熱的に変形しやすい伊豆火山性島弧で伸張変形であるリフトが形成されている (スミスリフトや八丈リフトなど)。すなわち，伊豆背弧リフトの伸張テクトニクスと東北日本弧の東西短縮テクトニクスは無関係の現象ではなく力学的に連動している。実際，スミスリフトの拡大開始はおよそ 3 Ma であり，東北日本の東西短縮テクトニクスの開始時期に一致する。

この力学的枠組みの中で最初に破綻するのはどこであろうか。フィリピン海プレートの運動にともなって東北日本島弧地殻は東西に短縮され続けるであろうが，歪み硬化によって徐々に変形しにくくなっていくと予想される。一方，三重会合点に沈み込む太平洋プレートのスラブには右横ずれの剪断応力が働くが，最も厚く固い太平洋プレートが剪断破壊されるとは考えにくい。これらに対し，島弧地殻からなり活動的火山弧である伊豆

小笠原背弧の引張変形 (リフト) は加速度的に進行し，地質学的に近い将来に break-up (リソスフェアの破断) に至ると予想される。

伊豆背弧リフトが背弧拡大に移行すると，北西に移動するフィリピン海プレートの運動は背弧拡大により消費され，伊豆-小笠原海溝，三重会合点さらには日本海溝が西向きに移動する必要はなくなる。そして，東北日本弧も西向きの移動を停止し，東西短縮テクトニクスは終焉を迎えるはずである。その結果，日本列島は中立ないし弱引張応力場 (中期～後期中新世のように) になると予想され，側方圧縮により地形的起伏が成長し広域が陸化している本州の大部分は水没するであろう (日本沈没)。さらに，日本海側の海洋プレートが沈み込みを開始しつつあるとしてプレート境界であると考えられている日本海東縁の東西短縮変形も停止するので，日本海東縁歪み集中帯は沈み込み帯 (プレート収束境界) には成長しない。すなわち，日本海東縁はプレート境界 (中村, 1983) ではなく島弧内変形 (intra-arc

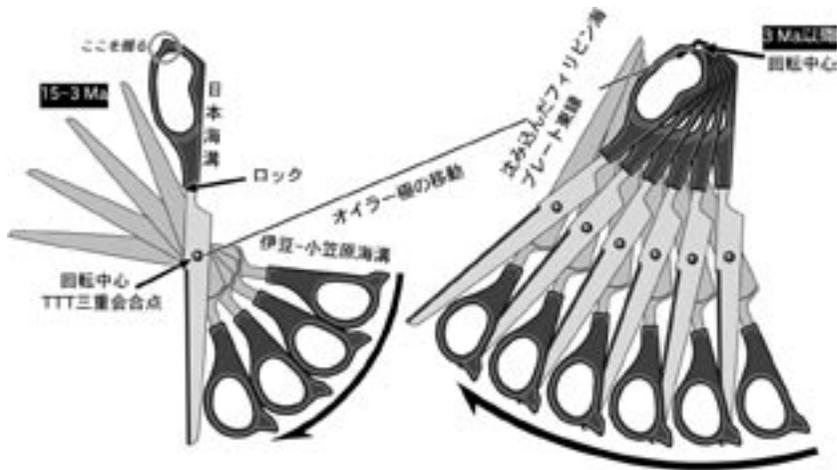


図 6 ハサミの片方の握りを掴んでもう片方の握りを開いていくと、両方の刃をつなぐ軸を中心に回転する。しかし、ハサミがいっぱい開ききると両方の刃が一体となって回転するため、回転中心は握っている上の柄に移動する（高橋, 2005）。

deformation) であると判断される。

IV. オイラー極移動の原因

フィリピン海プレートの運動方向がなぜ 3 Ma に変化したのであろうか。関東地方の下に沈み込むフィリピン海プレートは、上側をユーラシアプレートに下側を太平洋プレートのスラブに挟まれており、両者の間の空間内にしか沈み込むことができない。仮に各プレートの厚さが非常に薄いと仮定しても、時計回りに回転しつつ沈み込むフィリピン海プレートの東端が日本海溝より東側に出ることはあり得ない。すなわち、日本海溝と伊豆-小笠原海溝がなす角度は 180° を越えることは幾何学的にあり得ないのである（高橋, 2005）。

これは、ハサミが 180° 以上開かないことと同じで、幾何学的制約といえる（図 6）。沈み込んだフィリピン海プレートの東端が上下のプレートとの空間にこれ以上入りきれない状態になると、日本海溝と伊豆-小笠原海溝は一体となって回転せざるを得ない。つまり、フィリピン海プレートのスラブ北東部がこれ以上沈み込めなくなったのが 3 Ma であり、その結果、オイラー極が北方に移動したと考えられる。したがって、フィリピン

海プレートのオイラー極が移動したため日本列島が圧縮応力場になったのではなく、オイラー極が移動したことも三重会合点の三次元幾何学的制約による結果で、それはすでに 15 Ma の段階で予定されていたといえる。

V. 三重会合点の安定性

ところで、McKenzie and Morgan (1969) は、房総半島沖の三重会合点の安定性について議論している。それによると、フィリピン海プレートの運動方向が伊豆-小笠原海溝と平行である特殊な場合に限り、三重会合点の形態は変化しない、すなわち安定であるとしている。これに対し、フィリピン海プレートの運動方向がより西向きあるいは東向きの場合は三重会合点の幾何学的形態は変化し、三重会合点は南海トラフあるいは日本海溝に沿って移動していくと予想した。今日の状況は前者のケースに相当し、現在の三重会合点は不安定であると広く認められてきた。

ところが、地質学的時間スケールで三重会合点の安定性を考えると、少なくとも 15 ~ 3 Ma の 1200 万年間にわたり三重会合点は安定で居つづけた、すなわちフィリピン海プレートは、

1000 万年以上も三重会合点が安定である特殊なオイラー極を選択していたと判断される。また、3 Ma には、ついに三重会合点が不安定な幾何学的状況に至ったものの、地質学的に近い将来、今度は伊豆背弧拡大によって再び三重会合点は安定になると予想される。

このように、特殊な場合を除いて三重会合点は不安定であると広く理解されてきたが、実際には三重会合点は安定で居つづけることがその本質であるといえる (Takahashi, 2004)。そして、日本列島のテクトニクスを支配してきたのはフィリピン海プレートの運動であり、さらにその運動を制御してきたのは、幾何学的に安定で居つづけようとする三重会合点である。最も下位のプレート (太平洋プレート) が最も古く固いので容易に剪断されないとする力学的制約と三重会合点の三次元幾何学的制約により、上盤である日本列島や伊豆 小笠原弧のテクトニクスが支配されてきた。すなわち、日本列島の地質構造発達史はプレート相対運動のつじつま合わせとして柔らかい島弧地殻が変形してきた歴史と考えることができよう。この視点に立脚し、さらに古い時代のテクトニクスを紐解いていきたい。

VI. むすび

この研究は、関東地方の地質調査を 22 年間続けてきてようやく日本海拡大以降の地質構造発達史が明らかとなり、つづいてプレートの運動と関連づけるために始めた。その際、フィリピン海プレートの過去の運動が未解決であったことから、逆に地表地質に基づいて過去のフィリピン海プレートの運動を紐解いた結果、現在の圧縮場の原因や開始時期などが統一的に説明できることとなった。

ところで、最近になるまで気がつかなかったが、Niitsuma (1996) は、今日の日本列島の圧縮場や基盤構造の屈曲 (関東対曲構造) の原因が、フィリピン海プレートが 7 Ma に北西に移動し始めたことによるとして説明している。7 Ma 以前にフィリピン海プレートは動いていたのかいなかったのか、なぜ北西に動き始めたのか、さらにそのタイミングがなぜ 7 Ma であったのかなどは説明

しておらず、日本列島の地質現象の原因をフィリピン海プレートの運動に転嫁した感否めない。しかしながら、日本列島の東西圧縮場の原因が太平洋プレートであるとこれまで長年にわたって考えられ、最近ではアムールプレートにその原因を求めている状況で、フィリピン海プレートの運動を三重会合点を介して日本列島のテクトニクスに結びつけようとした試みは、先見の明ありとして評価に値することを最後に記しておきたい。

文 献

- Harada, Y. and Hamano, Y. (2000) Recent progress on the plate motion relative to hotspots. *Geophys. Monogr.*, **121**, 327-338.
- Hall, R. (2002) Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model and animations. *Jour. Asian Earth Sci.*, **20**, 353-431.
- Hasegawa, A., Zhao, D., Hori, S., Yamamoto, A. and Horiuchi, S. (1991) Deep structure of the northern Japan arc and its relationship to seismic and volcanic activity. *Nature*, **352**, 683-689.
- Hyodo 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.*, **8**, 335-338.
- 小山真人 (1991) 古地磁気からみたフィリピン海の構造発達史. 地学雑誌, **100**, 628-641.
- McKenzie, D.P. and Morgan, W.J. (1969) Evolution of triple junction. *Nature*, **224**, 125-133.
- 中村一明 (1983) 日本海東縁新生海溝の可能性. 地震研究所彙報, **58**, 711-722.
- Niitsuma, N. (1996) The trench-trench-trench type triple junction and tectonic evolution of Japan. 静岡大学地球科学研究報告, (23) 1-8.
- Takahashi, M. (2004) The stability of trench-trench-trench (TTT) triple junction offshore central Japan. *EOS, Trans. AGU.*, **85**, T21A-04.
- 高橋雅紀 (2004a) 地質学的制約による 3 Ma 以前のフィリピン海プレートの運動と TTT 三重会合点の安定性. 日本地震学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, P090.
- 高橋雅紀 (2004b) 日本列島の E-W 短縮テクトニクスの原因とその開始時期. 日本地震学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, B048.
- 高橋雅紀 (2005) なぜフィリピン海プレートのオイラー極は 3 Ma に移動したのか? 日本地震学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, A029.
- Takahashi, M. and Saito, K. (1999) Miocene intra arc bending at arc-arc collision zone, central Japan: Reply. *The Island Arc*, **8**, 117-123.