箱根火山の東傾斜と丹那断層

吉田 明夫* 原田 昌武* 小田原 啓*

Eastward Inclination of Hakone Volcano and Tanna Fault

Akio YOSHIDA*, Masatake HARADA* and Kei ODAWARA*

Abstract

It is demonstrated that the eastern side of the Tanna fault has subsided relative to the western side using digital mesh data of geographic altitudes. The estimated subsidence is concordant with accumulated displacements of the Tanna fault and the fault slip at the 1930 Kita-Izu earthquake. Having noted that the eastern flank of Hakone volcano is steeper than the western flank, Suzuki (1971) concluded that Hakone volcano inclined to the east. This inclination of Hakone volcano is understandable if we note that it may be a manifestation of subsidence at the eastern side of the Tanna fault and its northern extension. We consider that subsidence at the eastern side of the Tanna fault represents a tectonic movement whereby the Manazuru block squared by the Tanna fault, Hirayama fault, Kannawa fault, and Kozu-Matsuda fault performs buoyant subduction. Based on the characteristics of crustal deformation at the Kita-Izu earthquake and aftershock distribution, it has been suggested that the western side of the Tanna fault moved south. Tectonically, this can be interpreted from the thesis that the western side of the Tanna fault, which had been dragged north by the subducting Manazuru block, rebounded at the Kita-Izu earthquake.

Key words : Hakone volcano, Tanna fault, Kita-Izu earthquake, digital altitude data, buoyant subduction

キーワード : 箱根火山, 丹那断層, 北伊豆地震, デジタル標高データ, 浮揚性沈み込み

I. はじめに

鈴木 (1971) は, 箱根火山の東側斜面の方が, 西側斜面よりも傾斜角が大きいことを示して, 箱根火山は東に傾斜していると推定した。また, この傾斜は, 国府津-松田断層による変位が, 大磯側に対する箱根側の相対的沈降を示していることとも調和的であると述べている。火山が自身の重みによって変形することは珍しいことではない。富士山や飯縄火山, 岩木山などで火山体の荷重沈下が知られている (鈴木, 1968)。しかし, 火山体が片方に傾くという例は聞かない。本小論で

は, 箱根火山の斜面の傾斜が東側で急になっていることを示す新たな事実を提示するとともに, その傾動は, 実は丹那断層を境にその東側の地塊が沈降していることの現れとみられることを指摘し, 伊豆半島北東部における衝突と沈み込みのテクニクスの観点から, その地形変動の意義を考察する。

II. 伊豆半島北東端部の地形の傾斜

図 1 は伊豆半島北部の地形図である。実線は活断層を表している。箱根火山の東側では早川, 須雲川による侵食があり, 等高線も西側と違って

* 神奈川県温泉地学研究所

* Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, Odawara, 250-0031, Japan

図 1 伊豆半島北部境界域の地形。国土地理院の地形図による。等高線の間隔は 50 m。実線は活断層（活断層研究会, 1991）を示す。K-MF：国府津-松田断層, KF：神縄断層, TF：丹那断層, HF：平山断層, AsP：足柄平野, As：愛鷹山三角点, Kan：冠ヶ岳三角点。

Fig. 1 Topography in the northern boundary region of the Izu Peninsula from a topographic map of the Geospatial Information Authority of Japan. Contour interval is 50 m. Solid lines indicate surface traces of active faults (Research Group for Active Faults, 1991). K-MF: Kozu-Matsuda Fault, KF: Kannawa Fault; TF, Tanna Fault; HF: Hirayama Fault; AsP: Ashigara Plain; As: Ashitakayama triangular point, Kan: Kamurigatake triangular point.

南北走向でないので、鈴木（1971）が指摘したような、カルデラ外縁の東側の方が西側よりも傾斜が急という特徴を地形図からただちに読み取することは難しい。しかし、箱根火山の南側の地域まで含めて眺めると、ほぼ丹那断層を境に、その東側の方が西側よりも等高線が混んでいる様子がみえる。

丹那断層を境に西側に比べて東側の方が地形の傾きが急であること、そして箱根火山の東斜面が西斜面よりも急傾斜であることは、国土地理院による 50 m メッシュのデジタル標高データを使っ

て求めたメッシュ内の平均傾斜角の分布図（図 2a）において、丹那断層とその北側延長を境にその東側で、傾斜角が大きいことを示す暖色系が目立っていることから容易にみてとれる。図 2a の長方形で囲った丹那断層の南部域では、断層の東側がむしろ緩傾斜になっているが、その領域では図 2b にみるように、中部以北とは反対に丹那断層の東側においても傾斜方向が西落ちとなっていることに注意したい。図 3 は、上述の特徴をより定量的に示すために、丹那断層の両側および箱根火山の東西の斜面を通る南北方向の測線に沿って、傾斜角がそれぞれどのように変化しているかを比較してみたものである。これから箱根火山から丹那断層の中ほどまで、明らかに西側に比べて東側で傾斜角が大きく、傾斜方向が西落ちに変わる南部の領域（図 3c の北緯 35° 04′ 以南）で緩傾斜となっていることがわかる。丹那断層を境にした地形傾斜角のこうした差異は、次に述べる丹那断層の変位の特徴を考慮すると理解できる。

丹那断層は約 1 mm/年の左横ずれの動きを伴う A 級活断層である（活断層研究会, 1991）。Kuno (1936) は丹那断層を境にした川筋の食い違いや地形の不整合性から、丹那断層の左横ずれの積算変位が 1 km に達すると見積もっている。そして、丹那断層の右側地塊を南側に 1 km 戻したとき、それでもなお、断層左右での地形のつながりに不自然さがみられるとして、それを解消するためには、西側地塊を 100 m 下げる必要があることを指摘した。1930 年に北伊豆地震が発生して丹那断層が動いた。そのときに三角測量や水準測量データをもとに推定された丹那断層の水平および鉛直変動（Tsuboi, 1931, 1932）は、Kuno (1936) が地形から見積もった地質学的な時間スケールでみたときの変動の特徴とよく一致していた。また、旧丹那トンネル内に生じた断層の位置は地表で観測された断層の位置より西側にあったが（Kuno, 1936）、それはトンネル内に現われた断層面が高角で西に傾いていたことと対応し、上述の地質学的な時間スケールでの断層変位の蓄積（西側の地塊が東側の地塊に相対的に南へまた上方に移動）とも調和的であった。先に、丹那断層の南部域で

图 2
Fig. 2

图 3
Fig. 3

傾斜角が断層東側で緩やかになっている傾向がみえるのは、その領域で地形が西傾斜になっていることが関係していると述べた。丹那断層の動きによって西傾斜の地塊が東に傾くように沈下すると、その西落ちの傾斜角は緩やかになる。したがって、傾斜角が緩やかという事実が、まさに丹那断層の東側地塊の沈下を表していることになる。

ところで、Tsuboi (1932) は、1930 年の北伊豆地震時に実際に動いたのは丹那断層の西側地塊であったと推定している。その根拠は、愛鷹山-箱根冠ヶ岳（それぞれの三角点の位置については図 1 を参照）を結ぶ測線の方位が変わらなかった（箱根冠ヶ岳の三角点は、そこから愛鷹山を望むほぼ東西方向の測線に垂直な方向には動かなかった）として解析したときに、断層の西側では東側に比べて相対的に断層線から遠く離れた三角点まで大きな変位が生じていることと、断層西側南部で地盤の隆起が観測されたことである。再決定された北伊豆地震の余震の震源のほとんどすべてが、丹那断層の西側に分布すること (Yoshida and Hamada, 1991) や、地震時の被害が断層東側に比べて西側の広い範囲で生じたことも、北伊豆地震時に断層の西側の地塊が動いたことを示唆する。

なお、1930 年北伊豆地震の際に丹那断層系で生じた断層変位が松田 (1972) によってまとめられている。それによると、西北西-東南東走向の

姫之湯断層等が右横ずれだったほかは、南北走向のおもな断層はすべて左横ずれで、水平ずれ成分に関しては地形をもとに Kuno (1936) が推定した変動の特徴とよく一致していた。しかし、垂直成分については、断層系全体にわたって東落ちということではなく、場所によって西落ちのところもみられた。とくに主断層である丹那断層の北部やその北への延長にあたる箱根町断層では東側隆起であったと記載されている。一般に横ずれ断層であっても、屈曲部や不連続なところで垂直変位が生じ、また、断層末端付近では、変位の向かった先の側で隆起が観察されることは珍しくない。こうしたことから、丹那断層系のように活動度の高い断層が何故そこに存在するかというようなテクニクス上の意義を考察する場合には、一回一回の地震発生に伴って個々の場所で生じた垂直変位の分布がどうであったかということよりも、地質学的な時間スケールで何十回、何百回と繰り返した断層運動によって累積した、地形的に認められる断層系全体としての特徴的な変位の方に注目するのがより適当ではないかと考える。

III. 議 論

著者たちは前節において、鈴木 (1971) によって指摘された箱根火山の東への傾動は火山体が傾いたということではなく、丹那断層とその延長部を境にした伊豆半島北東端部の地塊の相対的な沈下の現れの一環であるという見方を提出した。前

図 2 (a) 国土地理院の 50 m メッシュのデジタル高度データを使って求めたメッシュ内の平均傾斜角の分布。傾斜角は水平からの傾き。(b) 同データを使って求めたメッシュ内の平均傾斜方向の分布。傾斜方向は南から時計回りに計った角度。(a), (b) 両図のなかの矩形領域については本文参照。

Fig. 2 (a) Average inclination angle in each mesh of 50 m by 50 m obtained by using digital mesh data of altitude with 50 m meshes of the Geospatial Information Authority of Japan. The inclination angle is measured from the horizontal plane. (b) Average direction of the inclination in each mesh of 50 m by 50 m obtained by using the same data. Direction of the inclination is measured clockwise from the south. See explanations in the text for rectangular regions in both maps.

図 3 丹那断層の東西および箱根火山の東西の斜面における地形傾斜角の比較。(a) に示した線に沿っての、箱根火山の東西の斜面での傾斜角の南北方向の変化を (b) に、また、丹那断層の東西のそれぞれ 3 本の線に沿う傾斜角の平均値を (c) に示す。

Fig. 3 Comparison of inclination angles along the blue and green lines shown on map (a). (b) Variations of the inclination angles between the western and eastern flanks of Hakone volcano. (c) Variations of average inclination angles at the western and eastern sides of the Tanna fault along each of three blue and green lines, respectively.

述したように、Kuno (1936) は、丹那断層の地学的な時間スケールでの変位の蓄積は、西側地塊に相対的な東側地塊の北方への移動だけでなく、東側が沈下する成分をもつことを示している。1930 年北伊豆地震の際に、当時掘削中のトンネル内でみられた断層面のずれの動きも、そうした地学的なスケールでの変位の蓄積の仕方に一致するものであった (Kuno, 1936)。

ここで興味深いのは、北伊豆地震の際の地殻変動や余震分布、それに被害状況にみられる断層の東と西での非対称性から、先述したように、地震時に動いたのは断層西側の地塊だったと推定されていることである。われわれは、このことは丹那断層のテクトニックな意義を考える上で重要な点であると考え。図 4 は、国土地理院が日本列島に展開している GPS 連続観測網 (GEONET) の各観測点における水平変位速度の空間分布をみたものである (固定点は山梨県の牧丘)。この分布図で注目したいのは、丹那断層とその北方延長をほぼ境にして、その両側で変位ベクトルの方位および大きさに顕著な差異が認められ、西側領域では北向きの変位がほとんどみられないことである。防災科学技術研究所の臼田を起点とした GPS 観測網の変位速度図でも同様の特徴をみることができる (防災科学技術研究所, 2010)。現在を地震間の状態であるとする、これは、通常時においては断層の東側領域が本州島弧に対して能動的に北に変位しているのに対して西側領域にはそうした動きがみられないことを示している。このことから、北伊豆地震の際の断層運動で西側地塊が動いたと推定されることは、平時に東側地塊の北向きの動きに引きずられていた西側地塊が地震時に反発したと考えれば理解できる。ところで、平時において丹那断層の西側地塊が真鶴ブロックの動きに引きずられているなら、丹那断層を境に変位はその両側でむしろ連続になるのではないかと推測されるが、図 4 の GPS 観測点網はそのことを確かめられるほど十分に稠密ではない。丹那断層近傍での地塊の動きの詳細をみるには、丹那断層を東西に横切る測線上で多点の観測を実施する必要がある。将来、そうした観測に

図 4 国土地理院の GPS 連続観測網の観測点における水平変位速度。矢印の方位と長さは山梨県牧丘を固定点としたときの、2004 年 1 月 1 日から 2006 年 1 月 1 日までの各観測点における水平変位を示す。

Fig. 4 Horizontal velocity at GPS stations of the Geospatial Information Authority of Japan. Direction, Lengths of arrows indicate horizontal displacements during the period from January 1, 2004 through January 1, 2006.

よって、例えば深部で常時ずれの動きがあり、浅部で固着しているという状況を把握することができのかもしれない。今後の研究を待ちたい。

なお、水準測量から求めた日本列島 100 年間の地殻上下変動図 (国見ほか, 2001) でも、真鶴半島を含む伊豆半島北東端部で沈降し、丹那断層付近を境にその西側で相対的に隆起している様子が、あまり明瞭ではないもののみとれる。

丹那断層のこのような動きの意味をプレート・テクトニクス視点で敷衍するなら、丹那断層を西の境界、そして神縄断層系を北の境界、国府津-松田断層系を東の境界とする領域 (ここではこの領域を真鶴ブロックと仮称する) が、相模ト

ラフから沈み込むフィリピン海プレートの動きに乗って沈下しながら北に向かって進んでいて、その動きに平時は引きずられている上盤側の大磯丘陵や丹沢、丹那断層西側の地塊が、地震時に反発して逆向きに変位するということになる。この考え方を模式的に図5に示す。真鶴ブロックの境界として、丹那断層、平山断層、神縄断層系、国府津-松田断層系、相模トラフと続くところは比較的はっきりしているが、南の境界はあいまいさがある。図5では、ほぼ丹那断層南端の北西-南東走向の共役断層に沿って線を引いているが、実際にはその北東側の伊豆単成火山分布域全体が境界ゾーンを構成していると考えられる。一般に単成火山は引張場でみられること、伊豆半島東方沖の群発地震活動が北西-南東走向のダイクの貫入によって生じている (Okada and Yamamoto, 1991) こと等は、そこが北東-南西方向に引っ張られる張力場になっていることを示唆している。

図5に示したような考え方を最初に述べたのは、伊豆単成火山群域・丹那断層・平山断層を境界とする伊豆半島北東端の領域が、駿河湾から沈み込む伊豆半島主部と別れて北向きに移動していくという仮説を提出した吉田ほか (1979) である。その後、Ito *et al.* (1989) は、沈み込みから衝突に変わった伊豆半島北部のテクトクスの変遷を推定するなかで、同領域のとくにその北部境界での、各ステージにおける断層運動の様式と応力場を論じた。そして、Koyama and Umino (1991) は、伊豆単成火山群がそこに存在することの意義を強調しながら、吉田ほか (1979) と同様の考えに立脚して、伊豆半島北東部における地殻の変形を議論している。また、吉田 (1993) は、1930年北伊豆地震以後の神奈川県西部から山梨県東部にかけての震源分布や伊豆半島東方沖の群発地震の特徴を、伊豆半島の変形テクトクスと関連づけて考察した。

丹那断層の動き、丹那断層およびそれを北へ延ばした線を境にした地形傾斜角の違い、GEO-NETで観測される地殻の変形、それに国府津-松田断層の変動地形は、丹那断層から箱根、平山断層、神縄断層系、国府津-松田断層系で区切られ

図5 真鶴ブロックの境界と伊豆半島北部域における伊豆半島の変形を示す模式図。真鶴ブロックは北部境界で丹沢山塊の下に潜り込んでいる。一方、伊豆半島の主部は駿河湾から東海地域下に沈み込んでいる。また、富士山周辺では南北方向に押し合っている。

Fig. 5 A map showing boundaries of the Manazuru block and deformation of the northern region of the Izu Peninsula. The Manazuru block is performing buoyant subduction on the northern boundary. The principal part of the Izu Peninsula is subducting on the Suruga Trough and colliding with the land plate around Mt. Fuji.

た真鶴ブロックが、フィリピン海プレートの動きに伴って浮揚性の沈み込みをしているという、本論文の基本的な考え方の妥当性を示している。ただし、真鶴ブロックはフィリピン海プレートにしっかりと乗って、それといっしょに同じ速度で沈み込んでいるとは考えられない。丹那断層や国府津-松田断層のずれ速度は神奈川県西部域におけるフィリピン海プレートと陸側のプレートの相対運動速度に比べて1桁小さい。では、この差はどこで解消されているのか。この問題を考えるにあたって、真鶴ブロックの下には、フィリピン海プレートと陸側のプレートのカップリングに起因する関東地震の震源域が存在することに注意し

たい。おそらく、フィリピン海プレートと陸側のプレートの相対運動の大部分は、関東地震の震源域に相応するプレート境界で費消されているとみられる。しかし、これまで、関東地震の発生間隔は南海トラフ沿いのプレート境界地震よりも長いことから、この地域のプレート間相対運動は、何か別の形でも進行しているのではないかと推定されてきた。真鶴ブロックの浮揚性沈み込みは、その別の形の相対運動の一つの候補とみることが出来る。さらにこのほかの候補として、相模湾、東京湾下の地震の震源分布やメカニズムの特徴から、関東地震の震源断層を形成する面の下にもう一つプレート相対運動を担う境界面の存在が推測されている(吉田ほか, 2007) ことも指摘しておく。これら関東下に沈み込んでいるフィリピン海スラブの西縁はどこか、その西縁と丹那断層とはどのような関係にあるかは、伊豆半島の衝突および沈み込みテクトニクスを十全に理解する上で非常に重要な問題であるが、それを論じるのは本小論の範囲を超えるので、将来の研究課題としたい。

なお、真鶴ブロックの北端部で、地質学的な最新の時代に、浮揚性沈み込みに伴う相対運動がどここの断層で生じているかについては明らかでないように思われる。徐(1995)は、神縄断層付近はすでに衝突域に移って、相対運動はその南にある日向断層のところで生じているという考えを提出した。Odawara *et al.* (2010) は、日向断層でなく、それと平行に走る内川断層が相対変位の主要な部分を担っているのではないかと考えている。先述したように、地形変動やGPS観測から、真鶴ブロックの西側境界が丹那断層から箱根火山を縦断してその北方に続いているのは確かと考えられるが、平山断層の活動度は丹那断層や国府津-松田断層に比べると低いと推定されるので(Ito *et al.*, 1987), 真鶴ブロックの北西~北境界における運動形態については、今後、さらに詳しい検討が必要のように思われる。また、箱根カルデラのなかを南北に縦断する断層は知られていないが、2001年以降に3回観測されている箱根火山の膨張歪変動は、中央火口丘下に南北走向の開口

割れ目が生じたと考えることによって説明できることが示されており(原田ほか, 2009), そのような弱面がプレート相対運動の一端を担っている可能性が考えられる。

IV. ま と め

丹那断層を境にその東側が西側に相対的に沈降していることを、標高のデジタルメッシュデータを用いて示した。この沈降はKuno(1936)によって推定された丹那断層の変位の蓄積および1930年北伊豆地震の際の断層変位と整合的である。鈴木(1971)は、箱根火山の東側斜面の方が、西側斜面よりも傾斜角が大きいことを指摘して、箱根火山は東に傾斜していると想定したが、この箱根火山の東傾斜も、丹那断層を北へ延長した線の東側が沈降していることの現れとみなすことができる。丹那断層の東側地塊の沈降は、伊豆単成火山群域、丹那断層、平山断層、神縄断層系、そして国府津-松田断層系を境界とする真鶴ブロックが、フィリピン海プレートの動きに乗りつつ浮揚性沈み込みをしているために生じていると考えられる。北伊豆地震の際には地殻変動や余震分布から、丹那断層の西側地塊が動いたと推定されるが、そのことは、平時に沈降しつつ北へ向かって進む真鶴ブロックに引きずられた丹那断層の西側地塊が地震時に反発したと考えれば理解できる。

謝 辞

傾斜角および傾斜方向の解析に国土地理院のデジタル標高データを、また、変位速度ベクトル図の作成に同院のGPS観測データを使用させていただきました。記して謝意を表します。二人の匿名の査読者からは、原稿を改善する上で有用な多くの助言をいただきました。深く感謝します。

文 献

防災科学技術研究所(2010): 関東地方のGEONET観測網による地殻変動(2006年11月~2009年11月). 地震予知連絡会会報, **83**, 135-138. [National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention(2010): *Report of CCEP*, **83**, 135-138.]
原田昌武・小林昭夫・細野耕司・吉田明夫(2009): 2001年箱根群発地震活動以後の箱根から富士山にか

- けての地殻変動. 温泉地学研究所研究報告, **41**, 7-14. [Harada, M., Kobayashi, A., Hosono, K. and Yoshida, A. (2009): *Bulletin of the Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture*, **41**, 7-14.]
- Ito, T., Uesugi, Y., Yonezawa, H., Kano, K., Someno, M., Chiba, T. and Kimura, T. (1987): Analytical method for evaluating superficial fault displacement in volcanic air-fall deposits: The case of the Hirayama fault, south of Tanzawa mountains, central Japan, since 21500 years B.P. *Journal of Geophysical Research*, **92**, B10, doi:10.1029/JB092iB10p10683.
- Ito, T., Kano, K., Uesugi, Y., Kosaka, K. and Chiba, T. (1989): Tectonic evolution along the northernmost border of the Philippine Sea plate since about 1 Ma. *Tectonophysics*, **160**, 305-326.
- 活断層研究会 (1991): 新編 日本の活断層—分布図と資料. 東京大学出版会, 437p. [Research Group for Active Faults of Japan (1991): *Active Faults in Japan*. University of Tokyo Press, 437p.]
- Koyama, M. and Umino, S. (1991): Why does the Higashi-Izu monogenetic volcano group exist in the Izu Peninsula?: Relationship between late Quaternary volcanism and tectonics in the northern tip of the Izu-Bonin arc. *Journal of Physics of the Earth*, **39**, 391-420.
- 国見利夫・高野良仁・鈴木 実・斎藤 正・成田次範・岡村盛司 (2001): 水準測量データから求めた日本列島 100 年間の地殻上下変動. 国土地理院時報, **96**, 23-37. [Kunimi, T., Takano, Y., Suzuki, M., Saitou, T., Narita, T. and Okamura, S. (2010): *Journal of the Geographical Survey Institute*, **96**, 23-37.]
- Kuno, H. (1936): On the displacement of the Tanna fault since the Pleistocene. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **14**, 619-631.
- 松田時彦 (1972): 1930 年北伊豆地震の地震断層. 星野通平・青木 斌編: 伊豆半島. 東海大学出版会, 73-93. [Matsuda, T. (1972): *Izu Hanto* edited by Hoshino, M. and Aoki, H., Tokai University Press, 73-93.]
- Odawara, K., Aketagawa, T. and Yoshida, A. (2010): Kozu-Matsuda fault system in northern Izu collision zone, western part of Kanagawa Prefecture, central Japan. *AGU Fall Meeting*, T11B-2065.
- Okada, Y. and Yamamoto, E. (1991): Dyke intrusion model for the 1989 seismovolcanic activity off Ito, central Japan. *Journal of Geophysical Research*, **96**, 10367-10376.
- 徐 垣 (1995): 足柄層群南縁の衝上断層 (日向断層) とそのテクトニクス上の意義. 地質学雑誌, **101**, 295-303. [Soh, W. (1995): *Journal of the Geological Society of Japan*, **101**, 295-303.]
- 鈴木隆介 (1968): 火山体の荷重沈下. 火山 2, **13**, 95-108. [Suzuki, R. (1968): *Bulletin of Volcanological Society of Japan*, **13**, 95-108.]
- 鈴木隆介 (1971): 箱根火山の地形. 日本火山学会編: 箱根火山. 7-42. [Suzuki, R. (1971): *Hakone Kazan* edited by Volcanological Society of Japan, 7-42.]
- Tsuboi, C. (1931): On the results of repeated precise levellings around Idu Peninsula. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **9**, 271-290.
- Tsuboi, C. (1932): Investigation on the deformation of the earth's crust in Idu Peninsula connected with the Idu earthquake of Nov. 26, 1930. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **10**, 435-448.
- 吉田明夫 (1993): 神奈川県西部およびその周辺の地震活動とテクトニクス. 地学雑誌, **102**, 407-417. [Yoshida, A. (1993): *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **102**, 407-417.]
- Yoshida, A. and Hamada, N. (1991): Redetermination of hypocenters of foreshocks, main shock and aftershocks of the Kita-Izu earthquake and the Ito earthquake swarm of 1930. *Journal of Physics of the Earth*, **39**, 329-344.
- 吉田明夫・藤井洋一郎・今永 勇 (1979): 伊豆半島周辺域のテクトニクス. 地震学会春季講演予稿集, A53.
- 吉田明夫・野口伸一・細野耕司 (2007): フィリピン海プレート北端部におけるスラブの二重沈み込み. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, S228-002.

(2010 年 11 月 1 日受付, 2011 年 5 月 16 日受理)