古地磁気と陸地の移動

——とくに日本海の生成と関連して——

笹嶋 貞雄*・鳥居 雅之*

Paleomagnetism and Land Movements, with
Special Reference to the Spreading of the Japan Sea

Sadao SASAJIMA and Masayuki TORII

I. まえがき

変動帯の形成過程には、褶曲や断層運動だけでなく、種々の異地性地塊の衝突と付加、巨大な横ズレ断層系にはさみこまれた地塊の回転運動、縁海の拡大に伴う島弧の移動といったような大規模な地塊の空間的運動があることが近年明らかになりつつある。古地磁気学は、このような運動を定量的に捉えることのできるほとんど唯一の研究手段といつてよいだろう。例えば北米大陸西岸の変動帯や、日本列島をも含めた太平洋西部地域の複雑な島弧系の形成史に関する種々のモデルは、古地磁気学のもたらした情報に裏付けされてはじめて現実性を帯びてきたといえよう。

西南日本の最近の古地磁気の研究によれば、おそらく大陸縁辺の陸弧の一部であったこの陸塊が、中新世中期に約45°時計回りの回転運動を行った結果、現在の地理的位置を占めるに至ったことが推論される。これを日本海の拡大に起因する事件とみれば、日本列島の島弧活動は中新世前期以前の陸弧期における活動と、拡大後の新しい島弧期の活動との2つが基本的に違った特徴をもって識別されねばならない。第Ⅰ期の陸弧の活動は後期中生代の火山深成活動によって大きく特徴づけられ、グリーンタフ火山活動は背弧盆の裂開（リフティング）の引金の役をなしたものと考えられる。これに対し第Ⅱ期の島弧活動は相対的に規模の小さいもので、四国海盆プレートの生成によって、本州弧が西南日本弧と東北日本弧に分かれ、両弧の相違が明確にされることによって特徴づけられよう。

ここでは、古地磁気データを用いて地塊の移動、回転などを定量的にとらえ、地体構造の大枠の形成過程を解析する（古地磁気構造解析、笹嶋 1983）一例として、日本海の拡大に伴う日本列島の回転運動をとりあげてみる。

II. 古地磁気による地体構造の解析

地球磁場は第一近似をとれば地心双極子によって表わされる。古地磁気極を求めようとする場合、地磁気永年変動による影響や、各採集地点によって違う非双極子磁場による影響を除くため、具体的には後述のような試料採集法が必要である。このような配慮をして求められた古地磁気極はその時代の地球自転軸の北（南）極¹⁾を代表するものと考えてよい。何故なら本来いかなる地質時代の地磁気極も自転の極と一致するという原理に基づくからである。ただし、長い地質時代には自転軸自体もゆっくりと移動したものと考えられ、これが本来の極移動である。しかし、事実上ある大陸から求められた時代による古地磁気極の軌跡は極移動の他に大陸自体の移動の影響も含まれているので、この場合には見掛けの極移動曲線とよ

* 京都大学理学部地質学鉱物学教室 Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University

んで区別されている。欧、米両安定大陸から得られた2つの見掛けの極移動曲線の系統的な不一致が根拠となって、大陸移動説が1960年代からあらためて陽の目を見るようになったことは周知のとおりである。

シールドを中核として周辺に変動帯が付加している欧・米大陸では、安定大陸から決定された標準の見掛け極移動曲線がある。従って同じ地質時代の変動帯から求められた古地磁気極をこの標準極と比較することによって、安定帯に対する変動帯の相対運動を推定することが可能となる。

激しい褶曲、断層運動を受けた地質体やテレン、さらに例えば西南日本レベルの拡がりをもつ地塊の代表的古地磁気極をどのようにして決定するかについて述べよう。

まず、1) ある地質時代に属するサンプルを広い地方にわたり、多くの地域(地質体)から、2) 各地域でもまた多くの地点(sites)から、3) できる限り長い時間間隔にまたがるようにして定方位サンプルを採集する、4) 各サンプルから1~3個の測定用試料を調整して、5) 交流消磁や熱消磁実験によって適切に初生磁化を抽出する条件を見出す。このテストがいかに古地磁気の信頼性を決定づける重要なものであるかは、従来の中新統の研究ではこの実験に不備のあったことで、日本海の新第三紀末生成説を崩すことができなかった大きな原因であることによっても明らかである。

測定データは FISHER (1953) の球面統計によって、それぞれのレベルに応じて平均値を求める。この平均方向は岩体や小地域の古地磁気を表わすとみてよい。各地域の平均方向が第1図aのように一様であれば一つの剛塊とみて問題ないが、第1図例えばbの場合には古地磁気的には3つの構造単位として取扱う。特に変動の激しい地域では小さい単位が識別され、極端な場合には第1図cのように断層で取り囲まれた小ブロックにまで細分化されることになる。

古地磁気構造解析は大小のテレンや陸塊の緯度変化や回転運動の枠組を決めることができる点でユニークな方法であるが、反面で経度に対しては何の規制も与えられない不完全性は見逃せない。また、試料の定方位採集を始めとして、測定結果の最終平均値に至るまでに伴うきけられない誤差は、最も精度の高い第四紀火山岩の場合でも偏角、伏角で $\pm 3^\circ$ (95%信頼度)程度が限度である。伏角の 3° を例えば日本付近における古緯度に換算してみると、やはり 3° 程度となり、距離に直すと330kmとなる。つまり、日本海の南北距離の半分に近いものになる。

第1図 古地磁気方向が意味をもつ構造単位(模式図)

(a): 平均方向が比較的大きい陸塊を代表する場合、(b): 1つの陸塊が少なくとも3つの古地磁気的構造単位から成る場合、(c): 例えば断層運動で著しい影響を受けた小地塊を除けば、全体は古地磁気単位とみられる場合

III. 西南日本と東北日本の古地磁気構造単位

露頭の条件に制約をうけて現実には、上述のような均等な採集地点の分布は望めないが、2, 3の例外的な異常方向を示すもので、明らかに局所的運動によるか、地磁気反転時の中間的な方向を示すと思われるものは除外して、地塊全般を代表する平均方向の信頼度をあげることがある。その一例を第2図に示す。白亜紀以降の西南日本と東北日本(北上山地)の見掛け極移動曲線が大幅に違うことがわかる。また同時に西南日本の、例えば津山、益田、長門峡、桜井などの古地磁気極は局所的な断層運動の反映ともみられるので、西南日本の平均方向の算定から除外されたことを示している。東北日本は単一の地塊として扱いにくいので北上帯を代表して磁極移動を図示した。阿武隈帯は(d)で示したように有意的に北上帯とは違っている。つまり両者は白亜紀以降に相対的な差動運動を行ったことを意味している。

第2図 西南日本と東北日本（北上帯）の見掛けの極移動曲線

J : ジュラ紀, K : 白亜紀, T1 : 古第三紀; 1 : 長門峡, 2 : 津山, 3 : 桜井
4 : 益田, 5 : 三隅, 6 : 多気; b : 津軽, d : 阿武隈帯; その他は省略

KAWAI et al. (1961, 1971) の提唱による白亜紀以降の東北日本と西南日本の折れ曲り説は変動帯における古地磁気の重要性を訴えた点で国際的にも先駆的な研究として多くの論議をよんだ。しかし、東北日本の多くのデータが花崗岩類から得られているため、形成以後の傾動が無視されている点に根本的な問題が残されていた。

傾動補正ができない花崗岩や溶岩流から得られた一つの古地磁気ベクトルは、その偏角異常を岩体の回転運動によるものとし、伏角を古緯度変化として解釈することが多い。しかし、これは決して一義的な解ではなく、適当な走向・傾斜を選び地盤を傾動させる、という“等価”のもう一つ別の解があることに留意する必要がある (ITO et al. 1980, SASAJIMA 1981)。

北部北上帯の宮古層群（前期白亜紀後期）において最近、TOSHA (1982) は興味ある古地磁気結果を得た。傾動補正を行う前の *in situ* の古地磁気方向は、同じ地域の花崗岩類 (125~110Ma, ITO et al. 1980) が示す西偏方向と誤差範囲で一致する。ところが層面傾動の補正を施した後の方向は、朝鮮半島南部から得られた同時期の方向 (OTOFUJI et al. 1982) と有意的な差違は認められない。これは“折れ曲り”が単に西南日本塊の右回り回転運動のみで起った可能性を示唆している。もし北上帯の結果が東北日本全体に適用できるとすれば、折れ曲りの要因を日本海の拡大による西南日本の回転と関連して理解し易い特徴がある。あとに示す第3図の東北日本はこの前提のもとづいて画かれている。

第3図 大陸弧としての日本列島復原図とリフト系（漸新世後期～中新世前期）

(1) : 主要リフト, (2) : 深部断裂, (3) : 構造線(断層), (4) : 中新世前期の火山フロント, (5) : 推定海溝軸, (6) : 大陸地殻の境界, (7) : 構造性地溝, (8) : 海洋プレートの運動方向; A : ウツリョウ島, B : 隠岐堆, C : 東朝鮮海台, E : 古伊豆島, J : クリシュトフォビッチ海台, K : 北大和堆, O : 北隠岐堆, Y : 大和堆

IV. テレンの合体による大陸の成長

1) 北米大陸の事例

比較的長距離におよぶ陸塊の移動や回転を起こす原動力として普通次の3つが考えられている。

(1) 海洋プレートの拡大に伴って、陸塊や海山を一緒に移動させプレートの沈み込み帯で相手の大陸に付加を起こさせる場合で、南アラスカや西部コルジレラのテレンの多くがこの機構によるとされている (e. g. STONE and PACKER 1977, BECK 1976, SIMPSON and COX 1977, MAGILL and COX 1981).

(2) 背弧盆の拡大による縁海の生成に伴って前面の島弧が分裂・移動する場合で、日本列島、琉球弧、伊豆、マリアナ弧などはこれに属する。

(3) トランスカーレント断層によって小陸塊が相対的に長距離を移動した場合。例えば東南アラスカのバラノフ島 (Baranof island) がバンクーバ島 (Vancouver island) 付近から約1,000km北上したとみられている (COWAN 1982)。またニュージーランドのアルパイン断層で約500kmの右ズレ相対運動があったことはよく知られている。北米大陸の太平洋側のコルジレラでは50以上にのぼる外来(異地性)のテレンが識別され、小さいものは長さ数10kmにも達しない。大多数は中生代から新生代の始めに安定大陸の西端に衝突・付加したものとなみなされている (CONEY et al. 1980)。ただし、そのなかのあるものは2, 3のテレンが癒着 (amalgamate) して付加前にスーパーテレンを作っている。しかも多くは古地磁気から古赤道帯の古緯度が推定され、かつ50°~80°に及ぶ顕著な時計回りの回転が偏角から見出されている。その複雑な構造運動の成因は確立されていないが、基本的には北米大陸プレートと太平洋側の Farallon プレートとの間の右ズレ (Shear) によるものと解釈されている。一方、海洋プレートの斜め沈み込みによって引裂かれた古い大陸の西縁の一部地塊がボールベアリング様に回転を伴って両プレート間を北上したとする主張もある (BECK 1980)。

2) 西南日本の場合

西南日本の構造帯の見事な帯状配列に関しては、従来その成因について論議が絶えない基本的な地質学の課題の一つである。筆者は古地磁気の観点から、西南日本の骨組みがテレンの合体によって成長したとする概括的なモデル (笹嶋 1982) を既に提唱したので詳細はそれを参照して頂きたい。本論では上述(1)の海洋プレートの運動によって陸地が移動する一例として簡単に述べるにとどめたい。

① 内陸側の飛騨帯は、おそらく中朝大陸塊 (Sinokorea) の一部としてトリアス紀後期には現在緯度に近い地理的位置にあったことが、東アジアの古地磁気情報から笹嶋 (1982) によって推論された。これはまた HIROOKA et al. (1983) による船津花崗岩 (153~173Ma) の古地磁気結果から、古緯度が約31°である点でも支持された。

② 丹波・美濃帯のペルム紀の緑色岩 (HATTORI and HIROOKA 1979, KATSURA et al. 1980), トリアス~ジュラ紀の赤色チャートや珪質シルト岩の古地磁気 (SHIBUYA and SASAJIMA 1980, HIROOKA et al. 1983) から古赤道帯の古緯度が推定された。

③ 内帯の白亜系・古第三系は西南日本のなかでも古地磁気の研究が最も進んだもので、50°前後の東向きの偏角を示すが、古緯度では殆ど現在緯度に近いことが明らかにされている (e. g. SASAJIMA 1981)。

④ 外帯の黒瀬川構造帯の横倉山におけるシルル紀の溶結凝灰岩、石灰岩層から得られた古地磁気からも5°~15°の低緯度におけるこれら岩体の磁化が結論された (渋谷ら 1983)。

⑤ 四万十帯では中・後期白亜紀の凝灰岩層や陸源砕屑性シルト岩層がほぼ現在緯度に近い古緯度を示す (小玉・上田 1982, 笹嶋 未発表データ) のに反し、前期白亜紀と推定される海洋性のメランジュの古緯度は赤道帯を示す (平 1981)。

⑥ 近年、西南日本の古地磁気の研究から中新世中期に50°に及ぶ時計回りの回転運動が明らかにされ、これは日本海の拡大によるものと解釈できる。これについては第5章で詳述する。

東南アジアのジュラ紀初期 (約200Ma) 以降の海洋底拡大のモデル (HILDE et al. 1977) を古地磁気による枠組みと連けいさせることで、次々とテレンが付加・衝突する営力によって西南日本が成長したとするモデルである (笹嶋 1982)。このモデルは西南日本の構造帯の帯状配列が大陸プレートと海洋プレ

ートとの相互作用に起因することを重視した試案といえる。

V. 日本海の形成に伴う2つの島弧時代

日本海の拡大説と日本列島の漂移説は古く寺田寅彦 (1927, 1934) にまでさかのぼることができる。また小林貞一 (1956) は日本弧と環日本海大陸の弧状造山帯における地質構造・古生物の近縁性に基づいて、日本弧は朝鮮半島の東縁にあったと推論し、これが造山運動による短縮のため、朝鮮、対島海峡のグラベン形成で中新世に分離したとみなしている。日本海の生成を西南日本の古地磁気と関係して論じたのは YASUKAWA (1975) にはじまり、SASAJIMA (1981) は古第三紀末期の日本海の拡大を要因として、KAWAI et al. (1971) の“折れ曲り”の形成過程をとりあげた。

最近、OTOFUJI and MATSUDA (1983) は山陰地方、江川中流の酸性岩類の古地磁気を放射年代測定と平行して研究し、日本海の拡大時期が28Maより若くなることを明らかにした。引続き HAYASHIDA and ITO (1983) は近畿地方の中新統・一志層群の古地磁気から、中新世中期の16Ma以降に回転が開始され、回転角は45°であるとして前述の結果をさらに一步前進させた。他方、TORII (1983) は瀬戸内地域の中新統の延長約500kmにわたる詳細な古地磁気の結果と以上の総括によって、15~13Maの間に西南日本塊が45°±18°の右回りの回転運動を起こしたことを確立した。これらの古地磁気結果を背景として、中新世中期前の西南日本弧をアジア大陸の東縁に復原することを試みてみよう。

海洋底拡大に先んじて大陸リソスフェアが引張応力で薄層化し(約1/3)、やがてリフティング(裂開)の段階をへてアセノスフェアから海洋底玄武岩が湧出・拡大に至るまでの重要な過程については、大西洋のPassive marginにおいてよく調べられている(Le PICHON and SIBUET 1981)。拡大型の縁海については十分わかっていないが、第3図には海洋地殻との漸移層とみられる地殻部分を、大和堆などを含めて試論的に画きだした。この境界線はブーゲー重力異常の勾配の急変帯(TOMODA 1973)と日本周辺海底地質図(1983)や海底地形図を参照している。大陸縁辺部と西南日本の日本海側とのきわだった違いは、背弧盆の伸張・拡大によって日本海が生れた成因やその過程と無縁とは見えない。例えば、大和海嶺や北朝鮮海台などは少なくとも大陸側の薄層化した地殻の一部とみることができそうである。他方、これらの海面下に沈んでいる小地塊と本来は接続関係にあったであろうとみられる環日本海大陸の地質構造・古生物環境と西南日本との近縁性に関しては、小林貞一以来多数の論説がある。それはさておいて、大地形に注目しても復原図の背弧盆を中心として、弧盆生成に先行したドーム構造とそれにつづく陥没・断裂による急崖が大陸縁辺に認められる点は、この縁海生成が若いことを物語る証拠として見逃せない。第3図では海底の拡大によっ漂移した大和海嶺などの小地塊を大陸側に接続させ、次に地殻の漸移帯を含む西南日本塊を約45°左回りに回転させた、最も幾何学的に無理のない復原古地理図がとりあげられている。既に幾つかの復原図が報告されているので、比較のためそれぞれの特徴を参照されたい(中沢ら 1982, HONZA 1979, 小林 1983)。

この復原図で特に注目して頂きたい点は、① 中央構造線をはじめとして西南日本の帯状配列の方向がシニアン方向に平行であること、② 海底拡大の段階において中央海嶺に発展したと思われる主なリフト系も、おそらく本来はシニアンの深層断層系であったらしいこと、さらに、③ 環日本海陸域のグリーンタフ分布(島津 1982)を復原図に画いた第4図とリフト系(第3図)との対照から、グリーンタフ火山活動とは、リフト系からマントル玄武岩と地殻性流紋岩をbimodal的に噴出し(今田 1974)、大陸地殻が大変動(グリーンタフ変動)を伴って、完全に断裂した時階の地質現象を象徴しているものと理解できないか、ということである(BAILEY 1983)。もし、この見解が正しければ、黒鉱々床の生成は断裂の直後で海底の拡大の頭初の所産物と考えられるかも知れない(上田 1983)。

次に拡大の成因について簡単に述べておこう。大陸性の背弧盆から日本海が拡大によって生成された過程を説明するには、42Ma前から運動方向を変えた太平洋プレート(フィリピン海プレート)に遠因を求め

第4図 大陸弧の背弧盆を中心とするグリーンタフ火山の活動域；主に島津（1982）による分布を復原図に加筆したもの

KP：北朝鮮海台，KYB：北大和堆，YB：大和堆，TB：拓洋堆，KOB：北隠岐堆，OB：隠岐堆，OR：隠岐海嶺，BSM：ボゴロフ海山；一点鎖線：鉛・亜鉛／銅・タンゲステン鉱床の分布境界；二点鎖線：主な構造線，OSZ：沃川構造帯，MTL：中央構造線

るのが常道であろう。沈み込みスラブによってアセノスフェア（低粘性層）にマントル渦流が誘起されると（ITO et al. 1983, ナフィ・トクセツ 1983, HSUI and TOKSÖZ 1979），熱い上昇流の中心軸は低角の沈み込みの場合，海溝から約600km内陸側に及ぶこともありうる。朝鮮半島北部一沿海州—シホテアリンの海崖線はこれに一致する（第3図）。

温度の高い上昇流は大陸リソスフェアの最下面を侵食しながら，中心軸の両方に流れるから軸面に直交する方向の引張り応力がリソスフェアに発生する。応力はたかだか50bar程度にすぎないが，リソスフェアで温度の高い部分の落層化を長年に進め，もしリフティング（深部断層）がそこに生じた場合には背弧海盆が発生するものと考えられる。

上田・金森（1978）は，世界の縁海における沈み込みスラブと島弧，背弧盆の力学的実態から，スラブがマントルに投錨状態を作るため，海溝は不動であり背弧内陸のリソスフェアが後退することで背弧海を拡大させると推論した。しかし，少くとも本論の日本海の拡大においてはこれに反し，むしろ SENO and MARUYAMA（1983）がフィリピン海盆の生成で主張した海溝後退によるモデルが支持される。

次に拡大に伴う一つの問題として，日本列島の“折れ曲り”の先駆をなした構造運動は，あるいはリフティングから拡大の過程で起ったのではないか，そしてホッサマグナ地帯に変形のストレスが集約したと考えられないか，という疑問がおきてくる。拡大速度は約12cm/年と見積られている（TORII 1983）。変形のひずみ速度が一番大きいホッサマグナ地域でも下部リソスフェアは容易に粘性流動するが，地殻上部層には脆性破壊が伴ったものとみられる。糸静構造線と利根川構造線に挟まれた三角地帯に複雑な多くの基盤断層が存在するのは，古い断層の再活動によるものが多いとしても，破壊の反映と見ることができよう。また“折れ曲り”と関連があるかもしれない茅原（1976）が述べている上越・足尾・筑波帯の約20°の反時計回りの回転運動は，この時期の変形に関連する可能性が大きい。この地域に散在する中新世・花崗岩体の古地磁気方向に擾乱が見出されるのも変形運動に起因するのかもしれない（ITO 1963）。

VI. おわりに

古地磁気と陸の移動との関わりあいについて，特に日本列島の形成史のなかで具体例をとりあげて原動力と関連させて述べた。西南日本の帯状構造の形成過程については一つの試論をのべたが，東北日本に関しては今後の古地磁気の研究をまっけて憶測をさらに確かめていく必要がある。日本列島の“折れ曲り”の原因については，なお問題が残されたが日本海が背弧盆の一つの進化として，拡大・生成した過程に大きく関連しそうなことがわかってきた。つまり，縁海生成による日本列島の変形にともなうストレスが，糸静—棚倉線間の先ホッサマグナ帯とも仮称される構造帯のなかの特に弱いホッサマグナ地域に集約し，このため再活動が引き起こされたと考えることができる。一方，列島が東南方向に移動した時，熱い四国海盆プレートと冷たい太平洋プレートとの相互作用の違いが“折れ曲り”に影響したかもしれない。南部ホッサマグナ域における伊豆島の衝突現象についてはよく知られているが，おそらく伊豆島と回転移動した西南日本弧との衝突が，少くとも日本海の拡大を停止させた大きな原因と考えてよからう。残された大切な問題の一つは，縁海として類似をみない回転運動からみた短期の拡大（拡大速度が大きい）が，日本海生成の全容を表わしているのか，検知できていない並進的拡大がどの程度あり得るのか，といった古地磁気の推定限界を超えた空白を他の分野の研究から補完することにある。

この推論が正しければ，これに伴って派生する日本弧にとって重要なもう一つの課題がある。従来の島弧論は，中新世中期を境にして，大陸弧としてのアジア大陸時階の島弧活動と，名実ともに若い島弧時階の活動とを成因的に識別して捉え直す必要に迫られる。

終りに，寺田寅彦が画いた海洋底拡大のアイディアと，日本弧と環日本海大陸の比較地質構造論から小林貞一が日本海の生成を中新世とみた遠見が，今日やっと古地磁気の立場から大筋において立証されたことになる。

注

- 1) 以下特にことわらない限り, わかり易いため慣習的に北磁極を意味するものとする。

引用文献

- BAILEY, D. K. (1983) : The chemical and thermal evolution of rifts. *Tectonophysics*, **94**, 585-597.
- 茅原一也 (1976) : 北部ホッサ・マグナ地域の先第三系基盤岩について. 地質学論集, **13**, 83-95.
- 地質調査所 (1983) : 日本周辺海底地質図, 海洋地質図, **23**.
- CONEY, P. J., JONES, D. L. and MOMGER, J. W. H. (1980) : Cordilleran suspect terranes. *Nature*, **288**, 329-333.
- COWAN, D. S. (1982) : Geological evidence for post-40 m. y. B. P. large-scale northwestward displacement of part of southeastern Alaska. *Geology*, **10**, 309-313.
- HATTORI, I. and HIROOKA, K. (1979) : Paleomagnetic results from Permian greenstones in central Japan and their geologic significance. *Tectonophysics*, **57**, 211-235.
- HAYASHIDA, A. and Ito, Y. (1983) : Paleoposition of Southwest Japan at 16 Ma : Implication from paleomagnetism of Miocene Ichishi Group. *Earth Planet. Sci. Lett.*, (submitted).
- HILDE, T. W. C., UYEDA, S. and KROENKE, L. (1977) : Evolution of the western Pacific and its margin. *Tectonophysics*, **38**, 145-165.
- HIROOKA, K., NAKAJIMA, T., SAKAI, H., DATE, T., NITTAMACHI, K. and HATTORI, I. (1983) : Accretion tectonics inferred from paleomagnetic measurements of Paleozoic and Mesozoic rocks in Central Japan. In HASHIMOTO, M. and UYEDA, S. eds. *Accretion tectonics in the Circum-Pacific regions*. 179-194.
- HONZA, E. (1979) : Sediments, structure and origin of Japan Sea. *Geol. Surv. Japan, Cruise Rep.*, **13**, 89-93.
- HSUI, A. T. and TOKSÖZ, M. N. (1979) : The evolution of thermal structures beneath a subduction zone. *Tectonophysics*, **60**, 43-60.
- ISHIHARA, S. (1974) : Magmatism of the green tuff tectonic belt, northeast Japan. *Min. Geol. Spec. Issue.*, **6**, 235-249.
- ITO, H. (1963) : Natural remnant magnetization of Tertiary plutonic rocks affected by tectonic movement of land mass in Central Japan. *J. Geomag. Geoelectr.*, **15**, 37-42.
- , MASUDA, Y. and KINOSHITA, O. (1983) : Mantle vortex induced by downgoing slab : Experimental simulation and its application to trench-arc systems. *Bull. Univ. Osaka Pref., Ser. A*, **32**, 47-63.
- , TOKIEDA, K. and NOTSU, Y. (1980) : A paleomagnetic approach to possible tilting of Kitakami mountains and Oshima Peninsula of Hokkaido. *Rock Mag. Paleogeophys.*, **7**, 113-120.
- KAMERLING, M. J. and LUYENDYK, B. P. (1979) : Tectonic rotation of the Santa Monica Mountains region, western Transverse Ranges, California, suggested by paleomagnetic vectors. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **90**, 331-337.
- KAWAI, N., NAKAJIMA, T. and HIROOKA, K. (1971) : The evolution of the island arc of Japan and the formation of granites in the Circum-Pacific belt. *J. Geomag. Geoelectr.*, **23**, 267-293.
- 小林和男 (1983) : 日本海の拡大と日本列島の移動. 鉱山地質特別号, **11**, 23-36.
- KOBAYASHI, T. (1956) : The insular arc of Japan, its hinter basin and its linking with the Peri-Tunghai arc. *Proc. 8th Pacific Sci. Congress*, II-A, 799-807, Univ. Philippine.
- 今田 正 (1974) : 東北日本弧における Bimodal volcanism. 地質雑誌, **80**, 81-89.
- Le PICHON, X. and SIBUET, J. C. (1981) : Passive margins : A model of formation. *J. Geophys. Res.*, **86**, 3708-3720.
- MAGILL, J. R. and COX, A. V. (1981) : Post-Oligocene tectonic rotation of the Oregon Western Cascade Range and the Klamath Mountains. *Geology*, **9**, 127-131.
- 中沢圭二・齋 剛民・徳岡隆夫 (1982) : 沃川地帯斜帯と飛騨変成帯. 地質学論集, **21**, 91-101.

- ナフィ・トクセツ, M. (1983): リソスフェアの沈み込み. 別冊サイエンス, 60, 69-79, 日経サイエンス社.
- OTOFUJI, Y. and MATSUDA, T. (1983): Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62, 349-359.
- , OH, J. Y., HIRAJIMA, T., MIN, K. D. and SASAJIMA, S. (1982): Paleomagnetism and age determination of Cretaceous rocks from Gyeongsang Basin, Korean Peninsula. In HAYES, D. E. ed.: *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Island*. Part 2, Geophys. Monograph Ser. 27, 388-396, A. G. U., Washington D. C.
- SASAJIMA, S. (1981): Pre-Neogene paleomagnetism of Japanese Islands (and vicinities). In MCELHINNY, N. W. and VALENCIO, D. A. eds.: *Paleoreconstruction of the continents*. Geodynamic Ser., 2, 115-128, A. G. U., Washington D. C. and G. S. A., Boulder, Colorado.
- 笹嶋貞雄 (1982): 古地磁気からみたジュラ紀変動. 月刊地球, 4, 420-427.
- (1983): 古地磁気による東アジア大陸成長論 —特に西南日本の地体構造の成り立ちと 関連して—. 藤田和夫編「アジアの変動帯」, 海文堂出版, 239-256.
- SENO, T. and MARUYAMA, S. (1983): Paleogeographic reconstruction and origin of the Philippine Sea. *Tectonophysics*, (in press).
- 渋谷秀敏, 笹嶋貞雄, 吉倉紳一 (1983): 黒瀬川構造帯, 横倉山レンズ状部, シルル系酸性凝灰岩の古地磁気. 地質雑誌, 89, 307-309.
- 島津光夫 (1982): 日本海の島々の地質とその日本海および周辺地域との地質学的関係. 星野・柴崎編「日本海の地質」, 193-209, 東海大出版会.
- 平 朝彦 (1981): 四万十帯の形成過程. 科学, 51, 516-523.
- 立岩 巖 (1976): 朝鮮—日本列島地帯地質構造論考. 東大出版会, 654p.
- TERADA, T. (1934): On a zone of islands fringing the Japan Sea coast —with a discussion on its possible origin. *Bull. Earthg. Res. Inst.*, 3, 67-85.
- TORII, M. (1983): Paleomagnetism of Miocene rocks in the Setouchi province: Evidence for rapid clockwise rotation of Southwest Japan at middle Miocene time. Ph. D. thesis of Kyoto Univ.
- TOSHA, T. (1982): Paleomagnetic measurement of the Miyako Group in the Kitakami Massif, Northeast Japan. *Rock Mag. Paleogeophys.*, 9, 56-60.
- 上田誠也 (1983): 海底の熱水循環・マリアナトラフ・黒鉱および沈み込みの様式. 鉱山地質特別号, 11, 37-53.
- , 金森博雄 (1978): 海洋プレートの沈み込みと縁海の形成. 科学, 48, 91-102.
- YASUKAWA, K. (1975): Palaeolatitude and relative position of South-west Japan and Korea in the Cretaceous. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 43, 835-846.