

先新第三系中に発達する鉛直に近い回転軸を持つ 様々な形態の褶曲 (屈曲)

— 中期中新世における西南日本の時計回り回転と関連して —

Various folds (bends) with subvertical/vertical rotation axes

in the pre-Neogene terranes of Southwest Japan

- their significances on the Middle Miocene clockwise-rotation of Southwest Japan

狩野謙一*・小坂和夫**・村田明広***・柳井修一****

Ken-ichi Kano, Kazuo Kosaka, Akihiro Murata and Shuichi Yanai

Abstract: Various folds (bends) with subvertical/vertical axes are widely developed in the pre-Neogene terranes of Southwest Japan. They are variable in shape, conical folds, accordion folds, megakink bands and so on, and some of them are associated with strike-slip faults. Their size ranges from several meters to 10 km or more in half-wavelength. Their deformation style indicate that they were produced under a brittle condition in a shallow level of the crust. They are superimposed on the pre-existing structures, and are regarded to have been formed mostly during the Middle Miocene contemporaneously at the time of the clockwise-rotation of Southwest Japan. The presence of them, thus, suggests that the upper crust of island arc is easily deformable around subvertical/vertical rotation axes to form various folds (bends) and locally strike-slip faults during its rotation.

はじめに

日本列島の先新第三系中には北薩の屈曲、根尾の対曲、赤石-関東山地の対曲などの大規模な屈曲構造が存在する。これらの成因や形成時期などについては、従来から数多くの議論がなされ、日本列島の構造発達史を解明する上での基本的な問題の一つとされてきた。最近、これ

らの大屈曲地域内をも含めた各地に半波長10数km以下のサイズの、鉛直-急傾斜した運動学的回転軸と、地体構造に大きく斜交したヒンジ面をもつ褶曲(屈曲)が存在することが明らかになってきた。これらは島弧の回転や、島弧と島弧との衝突に伴って形成された可能性が大きい。本論はこれらのうち、とくに糸魚川-静岡構造線(以下、糸静線)以西および関東山地の

*静岡大学理学部地球科学教室

**日本大学文理学部応用地学教室

***東京大学理学部地質学教室

****東京大学教養学部宇宙地球科学教室 (現所属: サフソフトサイエンス(株))

ものについての概要を示し、その意義について議論する。なお、鉛直に近い軸をもつ褶曲のうち大規模なものは、地質図上で地層の走向変化として表現されるため、屈曲あるいは対曲という言葉が用いられることが多い。また本論では紙数の制限のため、主題となる褶曲（屈曲）構造を理解する上で必要な最近の文献を中心に引用し、地域地質や広域テクトニクスに係わる数多くの文献については、その引用を省略した。

褶曲・屈曲構造の実態

西南日本外帯

外帯では、本論で問題とする屈曲構造は、秩父帯のジュラ系～最下部白亜系から四万十帯の白亜系～古第三系（一部にジュラ系、最下部中新統を含む）を主とする地層群にわたって発達している。このうち特に四万十帯中のものが顕著であり、その解析も進んでいる。以下では西から東へと四万十帯中の屈曲構造を記していく。三波川帯中ではその認定が難しいためもあるが顕著とはいえない。

九州南部

九州南部における西南日本弧から南西諸島弧への大屈曲は、北薩屈曲、人吉屈曲、野尻屈曲の3屈曲に代表される（橋本，1962；寺岡ほか，1981）。このうち人吉屈曲の構造が詳細に調べられた（Murata, 1987a）。その結果、ここには北北西方向（北部）あるいは東西方向（南部）で、トレースが10km以上におよぶヒンジ面と、半波長1～4kmまたはそれ以上で、翼間角度90°以上の曲線的なヒンジ部を持つ褶曲が発達することが明らかになった。そして、これらの褶曲は鉛直の回転軸を持つ円錐形褶曲であると指摘された。さらに北薩の屈曲地域にも同様な構造が存在することが明らかになった（Murata, 1987b, 米田・岩松，1987）。

四国一紀伊

四国から紀伊半島にかけては、外帯の東西性帯状構造が典型的に発達している地域とされて

いるが、その内部構造をより細部にわたってみると、そこには多数の屈曲構造が認められる。これらは、北東～南北方向と北西方向でトレースが10km以上におよぶヒンジ面と、数kmまたはそれ以上の半波長をもつ（Yanai, 1986）。大部分は翼間角度90°以上で、幅の狭いヒンジ部をもつキंक褶曲状の形態をもち、その一部は共役褶曲状に配列している。

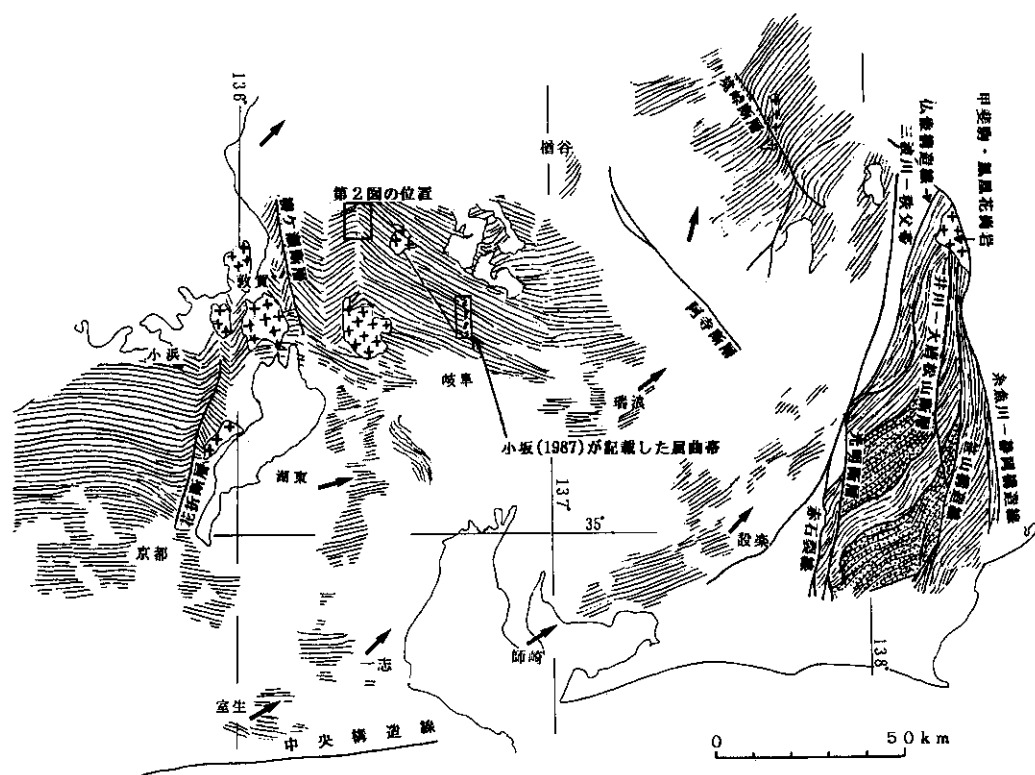
赤石山地

外帯の東西性帯状構造は、赤石山地西部からフォッサマグナに向かって大きく北方に屈曲をはじめ。このうち山地南西部の四万十帯は東北東～北東の一般走向で、四国や紀伊半島の四万十帯と大局的には同様な地層配列・地質構造をもつ（Kano & Matsushima, 1988）。この地域では、西から東に赤石裂線、光明断層、井川～大唐松山断層、笹山構造線などの南北性左横ずれ断層が発達し、これらの変位によって東側が北方にシフトしている（第1図）。一方、山地北東部では、地層は南北方向の一般走向を有して南西部よりも強く変形し、その西部では仏像構造線を含めて地層は東に傾斜する。さらに、南部で見られる幅数10km以上の地帯（第1図中の砂目部分）が北部では欠如するとともに四万十帯の幅も狭くなる。

関東山地

関東山地の四万十帯のうちその中部に分布する白亜系は北西の一般走向をもつ。この地層中にヒンジとヒンジ面とが共に急傾斜する半波長数100mサイズのアコーディオン状褶曲や、低プランジの軸をもつ等斜褶曲とストレッチングリニエーションとを共に再褶曲させるほぼ鉛直の軸を有する褶曲が見出された（Kosaka et al., 1988）。また、北部のジュラ系中にも半波長数10m以下のサイズの地層の屈曲が存在する（坂井，1982MS）。山地の南西縁部では、中期中新世徳和バソリスを間に挟んで、その西側の地層は東北東走向、東側は北西走向となる。

西南日本内帯



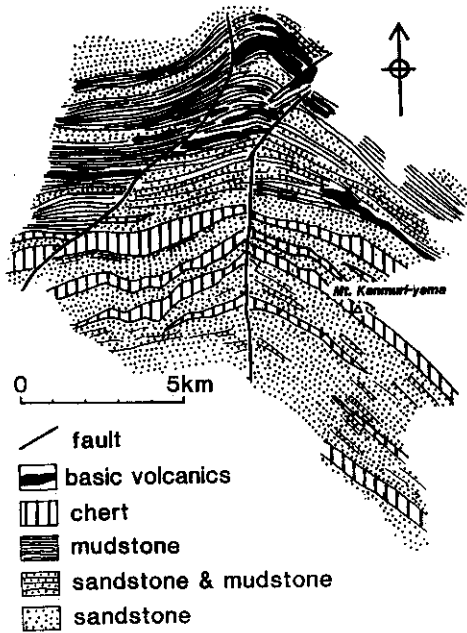
第1図. 美濃一丹波一領家帯および赤石山地四万十帯の屈曲。岐阜県(1970)山田ほか(1974), 滋賀自然環境研究会地形地質調査部(1979), 近畿地方土木地質図編纂委員会(1981)および本文で引用した文献中の地質図などを使用してコンパイルした。屈曲が顕著な地域の花崗岩のみ模様をつけ、濃飛流紋岩類や領家帯花崗岩は省略した。美濃一丹波帯の一般走向として、東西性の正立褶曲の軸が西にプランジする地域では軸の方向を示した。この褶曲軸のプランジのために、地層は実際にはこの図よりも見掛け上より複雑な屈曲パターンを呈している。太い矢印は古地磁気方位(データソースはItoh [1988] 参照)

美濃一丹波帯のナップ・メランジュ複合体を構成する中生界には、前期白亜紀に形成された開いた翼をもつ波長数km以上の正立褶曲が発達し、その軸が西にプランジしていることの反映として波曲した地層分布がみられる(Mizutani, 1964; など)。しかし、この地域には正立褶曲の軸のプランジだけではその成因が解決できない屈曲構造が存在する。これらは外帯と同様に地体構造と直交、ないしは大きく斜交するヒンジ面をもつ(第1図)。特に丹波地域東部から根尾地域にかけての屈曲構造が顕著である。一方、美濃一丹波帯の地層が変成作用を受けた領家帯中にはこのような屈曲構造は目立たず、変

成岩の一般走向は紀伊半島から中部地方に向かって、東西から東北東をへて北北東へと連続的に大きく変化する(第1図)。

丹波東部一根尾西部

丹波地域西一中部の中生界の一般走向はほぼ東西であるのに対して、美濃地域中部のそれは西北西である。両者に挟まれた地域(根尾の対曲地域)では、層理面のトレースが著しく屈曲している。ここでの屈曲構造は大局的には南北方向のヒンジ面をもつアコーディオン状の形態を持つ。半波長10km程度、ヒンジ面のトレースが数10kmに達するものもある。その多くは90度



第2図. 根尾の対曲地域東部冠山周辺の地質図. 服部・吉村(1979)と狩野の未公表資料をコンパイル.

以上の開いた翼間角度をもつが、一部には90度未満のものもあり、大部分は比較的角ばったヒンジ部をもつ。特に柳ヶ瀬断層、花折断層のトレースとほぼ一致した位置にあるヒンジ面が顕著である。一部には山型褶曲から同心褶曲に南から北へと移行していくような形態のものもある(第2図)。

美濃中部

この付近では西北西の一般走向をもつ地層中に、北北東方向で幅1-2km、延長10km以上に渡る屈曲帯が存在する(第1図)(小坂, 1987)。屈曲帯内では地層は北東の走向をもつ。この屈曲帯は濃尾活断層系に属する複数の断層により数kmの左横ずれ変位をしている。なお、この地域の西北西方向の構造は、おおそ長良川を境として、それより東側で東西方向に変化する。

木曾

濃飛流紋岩類分布地域(濃飛地域)と松本盆

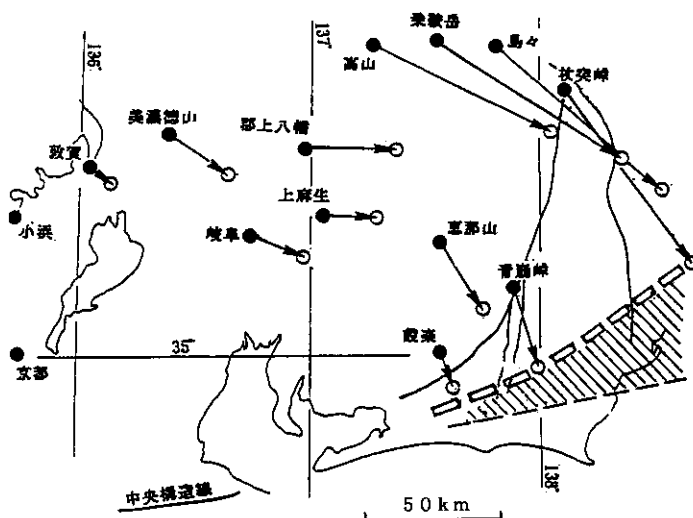
地との間の木曾地域に分布する中生界は、その西部では東北東の、東部では北東の一般走向をもつ。この一般走向が変化する部分に、北北西-南南東に走る延長約50km、変位量最大4.5km程度に達する高角左横ずれ断層(境峠断層)が存在する(狩野・佐藤, 1988)(第1図)。この断層はほぼ全域に渡って、その両側に幅数kmの引きずり帯を有し、その部分のみ地層は南北方向となる。

内帯の屈曲と赤石の屈曲

丹波中部の東西方向の構造から根尾の対曲構造に移化していく京都-小浜をむすぶ線(東経 $135^{\circ}45'$ 線)以西を固定させて、それより東側の屈曲構造部の地層の走向をできるだけ東西になるように引き伸ばしてみよう。その際、濃尾活断層系、阿寺断層、境峠断層等の変位量が知られている断層(最大の変位量をもつものは阿寺断層中部で、約7km)については断層変位ももともどず。また地層の一般走向と直交する方向での幅にできるだけ変化がないようにし、重複する部分や空隙がなるべくできないようにする。紀伊半島や中部地方の領家帯のうち花崗岩が主体となり構造方向が不明な地域、濃尾平野や三河湾などの基盤岩類がみられない地域については、周辺のものとは同様なトレンドをもち、内部に屈曲構造は発達しないものとして扱う。

この作業の結果(第3図)、根尾の対曲地域は約20km程度東西にのび、木曾山地及び中部地方領家帯は、現在の配置を基準として時計回りの回転をする。同時に中央構造線(以下MTL)も回転し、現在のMTLと糸静線との接合点である諏訪湖南方杖突峠付近は南東方へ70km以上移動する。ここまでの復元作業で、MTLは第3図の白ヌキの破線の位置にくる。この際、屈曲構造の伸張と回転が重要な役割をしめ、断層変位が与える影響は大きくない。さらに中部地方領家帯とMTLとの間に、両者が斜交($20^{\circ}-30^{\circ}$)している分だけクサビ状の地質体(第3図斜線部分)を付け足してやると、

先新第三系中の鉛直回転軸を持つ褶曲（屈曲）



第3図. 内帯の屈曲構造を引き伸ばした際に生じる各地点の移動。黒丸は現在の位置、白丸は移動後の位置、白抜き破線の破線は引き伸ばし後の中央構造線の位置、斜線部分は現在の中央構造線と領家帯の間に存在したと思われる地帯。詳細は本文参照。

赤石裂線と光明断層に沿う変位はゼロになり、MTLの位置は四国一紀伊半島のMTLを延長した位置にほぼ一致する。

以上に述べた復元作業はきわめてラフなものであり、復元の前題にかなりの問題点もある。それにしても、赤石山地の北方へのシフト量と内帯の短縮・回転量が量的にうまく対応していることは単なる偶然とは思わず、両者が強く関係していることを示唆している。なお上記でその存在を推定した地質体に相当するものについては、既に幾つかの指摘がある（例えば小野，1981）。屈曲構造の形成に伴ってこの地質体は、地表部または北方に抜け出して消滅、またはフォッサマグナの先新第三系に被覆されてしまったことを意味する。

変形メカニズム

以上にのべたとおり、内・外帯には地域により形態や規模などで幾つかの相違はあるが、鉛直一急傾斜した回転軸をもつ褶曲（屈曲）構造が発達する。これらは、ほぼ水平な回転軸をもつ褶曲や衝上断層運動を受け急傾斜化した地層

が、さらに上記の軸を中心として水平面内での回転をおこした結果できた構造とみなすことができる。同じ四万十帯内で屈曲構造を円錐状褶曲とみなすか（Murata, 1987a）、キंक褶曲とみなすか（Yanai, 1986）は、屈曲部の形態をどの程度の精度で捉えるかの問題であり、地質図のスケールでみる限り、運動学的には大きな相違があるとはいえない。

九州一紀伊の四万十帯中のものについては、キंकバンドに対する応力解析法が適用され、主応力線図が求められた（Yanai, 1986）。その主応力方向と短縮量の地域差から、これらの構造は島弧の長軸と平行な圧縮によるバックリングが原因であろうと解釈された。根尾の対曲地域のアコーディオン状屈曲も、南北方向のヒンジ面を持ち東西方向に短縮しているの、東西方向からの圧縮に起因するものと思われる。

一方、赤石山地の構造は、内部に南北方向の大規模左横ずれ断層を伴う単斜キंकバンド状屈曲帯とみなすことができる。三波川一秩父一三宝山帯の構造をも考慮すると、山地内部の基盤構造は、本来は他の西南日本外帯と連続した東西方向の構造が反時計回りに回転し、回転量

の大きい北部または北東部では走向が南北を向くと同時に、傾斜方向を変化させる回転も伴って東傾斜の構造が形成されたものと思われる (Kano & Matsushima, 1988)。さらに、この回転に伴いかなりの幅の地質体の変位・消滅したことになる。この構造の形成は、従来から指摘されているように、島弧と直交あるいは大きく斜交する方向からの圧縮によるベンディングが原因であろう。

木曾山地境畔断層周辺への屈曲も、断層形成に伴ったひきずりの結果形成されたものとみなされる。

これらの構造の内部には、赤石山地北部のように ductile な変形を伴った可能性のある部分もある (Kano & Matsushima, 1988) が、全体的には山型褶曲的ないしは同心的に褶曲 (屈曲) している。これらは非変成岩として扱われている地域に発達し、変成作用との関係は明瞭ではない。これらに伴われる断層はカタクラサイトと断層ガウジをもち、マイロナイトは発達しない。以上から、これらの構造の大部分は brittle 領域での変形構造であり、地殻上部で形成されたものと考えられる。

形成時期

外帯

これらの屈曲構造は、外帯では四万十帯の白亜系—古第三系—下部中新統中に発達している。そして中期中新世の外帯花崗岩は屈曲構造と無関係にそれらを切って貫入している。たとえば、九州では紫尾山花崗岩、紀伊中央部では大峰酸性貫入岩体、赤石山地では甲斐駒—鳳凰花崗岩体、関東山地では徳和パソリスである。

赤石山地の屈曲の形成時期については、関東山地との対曲構造、フォッサマグナの形成と関連して、多くの議論がなされてきたが、これについての最近のデータを用いて再検討してみよう。この屈曲は、赤石裂線や光明断層などの帯状構造を切る南北方向の左横ずれ断層の活動を伴って形成されたと考えられている (Kimura, 1961; 松島, 1973; など)。この帯状構造には

三倉層群や瀬戸川層群などの下部中新統を含む地層が参加している (Kano & Matsushima, 1988)。MTL および光明断層に近接した下部中新統和田層は横ずれ断層運動の影響を受けて強く変形している (松島, 1983)。赤石裂線南端部では、左横ずれ断層運動により下部中新統が変形し (狩野, 1988)、光明断層南端部では、下部中新統を変位させる断層面上に横ずれを示す断層条線が認められ (狩野, 未公表資料)、変形した下部中新統は鮮新統掛川層群に不整合に覆われる。現在赤石山地南端部の山地と平野の境界は、大局的には両断層をまたいで連続し、かつ山地の帯状構造とは斜交する。

以上を総合し、前述した花崗岩およびその周囲の接触変成帯との関係を含めると、赤石山地の屈曲構造形成の主要な時期は、前期中新世の後期から中期中新世頃に限定できる (狩野・松島, 1985; Kano & Matsushima, 1988)。ただし、赤石山地東縁部の糸静線およびそれ以东は、フォッサマグナの形成に伴って中新世以降活発に変動している。この変動は現在でも続き、糸静線に沿って、中新世頃と同じセンスの変位ベクトルが測地学的に得られている (橋本・多田, 1987)。しかし、糸静線より西側の山地内には鮮新世以降に大きな変位量をもって活動した断層は知られていない。中期中新世以降に山地東部で屈曲を伴う変動があったとしても、それは前述した古期の変動に比べて総変位量が一桁以上違う小規模なものであろう。そして赤石山地は後期中新世以後に剛体化し、ほぼ一体となって西に傾動する隆起をしている。

内帯

内帯の屈曲構造は、琵琶湖北方や東方に分布する白亜紀後期の花崗岩や濃飛流紋岩類に切られているようにみえる (第1図)。もしそうならば、この屈曲構造の大部分は花崗岩貫入以前に形成されたことになる。一方、前述した内帯の屈曲と赤石山地の屈曲の量的対応が正しければ、その形成時期は中期中新世頃となる可能性が大きい。この場合、花崗岩は貫入後に基盤構造の屈曲に伴って変位・変形をしていなければ

ならない。しかしながら、後述する古地磁気学的データをのぞけば、この時期の屈曲を指示する地質学的証拠は得られていない。

内帯地域は第四紀断層の分布地域であり、この断層変位が屈曲の形成に関与している可能性も考えられる。たとえば、木曾地域の境峠断層周辺の南北方向の構造については、断層に伴う破砕帯内の石英粒子の破面解析や、大地形との関連などから、第四紀における断層変位に伴う引きずりによる可能性が大きいものと判断される（狩野・佐藤，1987；狩野，1987）。しかし、美濃中部の様に、屈曲構造が断層変位に先立って形成されている例もある（小坂，1987）。前述した屈曲の引き伸ばしには活断層に伴う断層変位は大きな影響を与えていないので、第四紀における屈曲の形成・進行は現在迄のところでは局所的なものと思われる。さらに、内帯では横ずれ断層による外部回転量と地層の屈曲そのものによる回転量との大小関係も問題となる。たとえば花折断層についてみると、Yoshida (1986) は周辺の地層が数度曲げられた後に、そのヒンジ面付近で小断層の形成とそれに続く主断層の形成が進行し、さらに主断層にそう変位によって30度程度の引きずり回転が行われたとした。しかし、広域的屈曲構造との位置関係（第1図）から判断すると、むしろ上記の屈曲構造形成の後期以降に、屈曲のヒンジ面の弱面に花折断層が形成された可能性も考えられる。柳ヶ瀬断層についても同様な起源が考えられる。

屈曲構造の形成と西南日本の回転・ 日本海の拡大

西南日本は、従来から解析されてきた島弧と直交ないしは大きく斜交する方向からの圧縮・展張による変形に加えて、ここで問題とした鉛直に近い回転軸をもつ褶曲（屈曲）構造により強く重複変形している。この屈曲構造がある範囲に集積すると大規模な水平回転を起こすことになる。したがって、これらは大規模地質体の水平移動・回転に伴って形成された可能性が大きい。

ところで、近年の古地磁気学的研究によって、本州弧の回転の様子や時期が詳細に解析されてきた。その結果、西南日本は15Ma頃の比較的短期間に起こった日本海の拡大に伴って時計回りに回転したことが明らかとなった（鳥居ほか，1985；など）。上記の褶曲（屈曲）構造は、その発達位置、形態、形成時期などからみて、この大事変と密接に関連しているとみなされる。前述した内帯の褶曲（屈曲）構造がこの時期に形成された可能性は、この古地磁気学からも示唆できる。

瑞浪、設楽、師崎地域の下部中新統および湖東地域の白亜紀後期の流紋岩類の示す磁方位は、周辺の基盤岩の東西-東北東の一般走向とはほぼ平行か、反時計回りに最大20°程度斜交している（第1図）。一方、木曾地域と美濃地域との間の濃飛地域は、中期中新世に前記地域に対して50°前後反時計回りに回転したことが古地磁気学的解析から指摘された（Itoh, 1988）。これは、北、東、南の三方を濃飛流紋岩類に囲まれた岐阜県檜谷地域の基盤岩が北東-北北東の走向を持ち、前記地域の基盤岩の走向と古地磁気方位との斜交角度とはほぼ同様であることと調和的である。一方、濃飛地域の東方で、境峠断層の西側の地域の基盤岩の一般走向は東北東を呈し、濃飛地域の古地磁気方位より約45°時計回りの方向をもつが、同断層の東側では再び北東の一般走向となる。以上のような基盤岩の一般走向と古地磁気方位の斜交性から、濃飛地域、境峠断層西側、同東側はいくつかの部分に分かれて折れ曲がりながら、西南日本主部に対して反時計回り回転をした可能性が示唆できる。ただし、このことは根尾の対曲地域の構造も同時に生じたということを積極的に示しているわけではない。またやや不都合なのは、紀伊半島領家帯の高温部にあたる室生、一志地区の古地磁気方位が変成岩の一般走向と最大40°ほど斜交していることである。今後基盤岩のトレンドを考慮に入れた古地磁気方位の解析が必要となろう。

以上の結果を古地磁気学から導かれた中期中新世の広域テクトニクス（鳥居ほか，1985；な

ど)と関連させてみよう。九州南部の屈曲はもともとは一続きであった南西諸島弧と西南日本弧が日本海の拡大に伴った回転差により生じた大規模な褶曲のイントラダスにあたる部分に形成された (Yanai, 1986; Murata, 1987a, b)。四国一紀伊の構造は、西南日本弧と平行な方向からの圧縮によるバックリンが原因と考えることができる (Yanai, 1986)。ちなみに柳井 (1988) は、この島弧に平行な圧縮が日本海拡大の原因となり、さらにそれを促進したのだと主張している。赤石山地の屈曲は、西南日本弧の急速な回転と、その前面に存在した伊豆一小笠原弧との衝突に起因する。この結果、赤石山地の背後 (北側) にある中部地方領家帯および濃飛一木曾地域は、赤石山地の基盤岩のみかけの北上に伴って、西南日本弧主部に対して反時計回りに回転した。すなわち西南日本弧東部は前面の障害物 (伊豆一小笠原弧) のために、同主部の回転についていかれなかったのである。従来から言われてきた伊豆一小笠原弧自体の北 (北西) 進よりも、西南日本弧の回転のほうが、屈曲構造の形成には主要な役割を果たした。根尾の対曲地域は、この西南日本弧主部と同東部の差別回転により生じた大規模褶曲のイントラダスに位置し、島弧平行方向の圧縮によりアコーディオン状の褶曲を形成しながら短縮した。またこれに伴って、兵藤 (1986) や高橋・野村 (1988) の古地磁気データが示すように、関東山地の基盤岩は赤石山地と反対方向に回転し、フォッサマグナをはさんだ対曲構造が形成された。

以上のように、各地に発達する鉛直に近い回転軸を持つ褶曲 (屈曲) を、中期中新世における日本海の拡大・西南日本弧の時計回り回転と結び付けると、一挙にそれらの形成が説明できる。基盤岩の構造から見る限り、赤石山地一関東山地の対曲の形成時期を古第三紀以前に求める諸説 (Matsuda, 1978; Hara et al., 1980; 木村, 1983; など) は成立しがたい。また同様な理由で鮮新世以降 (新妻, 1981) と考える積極的な根拠はない。

おわりに

島弧や大陸の移動・回転に関して、現在迄に古地磁気学は大きな貢献をしてきた。ところがこの方法では移動・回転に対して定量的な解析はできても、そのプロセスに力学的な説明を与えることは難しい。一方、地層・岩石の変形構造から島弧の移動・回転によると思われる歪の痕跡を見出し、これらを作った応力場や歪量分布などを解析できれば、島弧の移動・回転運動のプロセス・メカニズムを知る重要な情報となる。Faure & Lalevee (1987) は、本州弧全体の屈曲は大規模な曲げスリップ褶曲に相似しうとした。これに対して本論は、新たに見出されてきた鉛直に近い軸をもつ様々なサイズ・形態の褶曲に注目することにより、古地磁気学とは別の立場から、島弧の移動・回転に関する議論をさらに発展させられる可能性を示した。

本論での最も重要な点は以下のようにまとめられる。すなわち、背弧海盆の拡大に伴う島弧の回転や、島弧とそれに大きく斜交する別の島弧もしくは非震性海嶺との衝突によるカスプ状の大地形形成に際して、島弧の地殻上部は剛体として振る舞うのではなく、急傾斜した運動学的回転軸をもつ様々なサイズ・形態の褶曲や、引きずり変形を伴う横ずれ断層を形成しながら変形していく。

以下に今後考慮すべき幾つかの問題点を指摘する。

1. この問題は基本的には島弧の重複変形をどのように把握するかという点にある。水平な軸をもつ褶曲に、別方向の水平な軸をもつ褶曲が重なる重複変形については既にいくつかの報告がなされている。ここでの重複変形の特徴は、重複する褶曲の軸が鉛直に近いという点にある。この解析にはMurata (1987a) に代表される詳細な方位解析が最も基本的かつ有効であろう。しかし、この方法では緩傾斜した面構造上の重複変形を認定しにくい。従来、やや軽視されてきた感のある小地域での走向・傾斜の変化やバラツキの意味について、上記の可能性を含めて、今後より詳しく検討していく必要がある

う。

2. 本論の議論中で、この構造の形成時期の指標に、外帯では花崗岩をもちい、内帯では花崗岩を無視するような形となった。ここには、変形前の形状がわからないために歪解析という観点からは無視されてきた塊状岩石の変形をどのように扱うかという問題が介在している。木村（1983）は、中部地方恵那地区に剪断の著しい花崗岩がある一方、寝覚めの床などに剪断のない白亜紀最後期—古第三紀初期の花崗岩があり、この変形の差が屈曲に関連した可能性を指摘した。これは本論の結果とは时期的に一見不調和なようだが、今後屈曲との位置関係をふまえて、塊状岩石の変形を解析していく必要がある。

3. 現時点でのこの屈曲構造の解析は、地質図スケールでの見方を主としてきた。通常褶曲の解析には、そのような見方とともに、メソあるいはマイクロスコピックな構造解析が、造構時の変形条件やメカニズムを解析する有力な鍵となる。ここで問題とした構造も、より小さいスケールの構造を伴っている可能性が大きく、それらを抽出し解析していく必要がある。これに関連して、四国西部でのキンクバンド、エシェロンベイン、スレートへき開と屈曲構造との関係（梅村・坂下，1987）、紀伊半島で半波長数m以下のサイズの急傾斜した軸を持つ非対称褶曲の記載（Yamamoto, 1986）、赤石山地での大構造に斜交して発達するスレートへき開や山地北部にのみ見られる流れ褶曲の形成に関する議論（狩野ほか，1986）、などがある。

4. 烏弧の回転に伴う変形は、本論で述べた範囲を地域的にも時代的にもはみだして生じている可能性が大きい。たとえば、美濃—丹波帯の東方延長の足尾山地や八溝山塊にも同様な構造が発達している可能性がある（Aono, 1985）。飛騨帯内部の屈曲構造の一部も本論で述べた屈曲に関係するかもしれず、中国山地や九州北部にも関連した構造があるかもしれない。対馬対州層群中の褶曲軸の屈曲も興味深い。また、屈曲構造の形成に伴い、M T L 東部は赤石裂線や光明断層とともに中期中新世に活動していかな

ければならない。しかしながら、M T L 沿いからはこの時期の断層活動を示す同位体年代値は報告されていない（柴田・高木，1988）。糸靜線から約20km離れた富山県泊地域周辺は、中期中新世の回転に重なって、第四紀にも大きく反時計回り回転をおこしたらしい（伊藤・渡辺，1988）。ちなみに、この地域東方の基盤岩は北北西の一般走向をもつ。

5. ここで扱った構造は堆積岩を主体とする層状岩石中のもので、比較的地殻浅部で形成されたものとみなされる。このような構造が形成されるためには、地殻深部も同時に大きく変形しなければならない。塊状の深成岩体が主体をしめるであろう地殻深部での変形過程は殆ど解っていないといつてよい。また、地表部ではどのような変形を伴うのであろうか？赤石山地の四万十帯の一部や、現在のM T L と領家帯との間に存在したと思われる地帯は、屈曲の進行に伴って、どのようにして消失したのであろうか？烏弧の水平回転に伴う変形現象の解明には、以上の点についても考慮していく必要がある。

文献

- Aono, H., 1985: Geologic structure of the Ashio and Yamizo mountains with special reference to its tectonic evolution. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B*, 6, 21-57.
- Faure, M. and Lalevee, F., 1987: Bent structural trend of Japan: Flexural slip folding related to the Neogene opening of the Sea of Japan. *Geology*, 15, 49-52.
- 岐阜県, 1970: 15万分の1岐阜県地質鉱産図. 岐阜県.
- Hara, I., Shyoji, K., Sakurai, Y., Yokoyama, S. and Hide, K., 1980: Origin of the Median Tectonic Line and its initial shape. *Mem. Geol. Soc. Japan*, 18, 27-49.
- 橋本 勇, 1962: 鹿児島県北薩地方の時代未詳層群の層序と構造. 九大教養地学研

- 報, 8, 47-62.
- 橋本 学・多田 堯: 1987, Fossa-Magna地域の応力場とテクトニクス(3). 地震学会講演予稿集, 2, 49.
- 服部 勇・吉村美由紀, 1979: 美濃帯北西部南条山地における古生代緑色岩・石灰岩塊を含む地層の産状と分布. 福井大学教育学部紀要, 第II部, 自然科学, 29, 1-16.
- 兵頭 浩, 1986: 秩父盆地新第三系の地質と古地磁気. 静大地球科学研報, 12, 115-152.
- Itoh, H., 1988: Differential rotation of the eastern part of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of Cretaceous and Neogene rocks. *Jour. Geophys. Res.*, 93, B4, 3401-3411.
- 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. 地質雑, 94, 457-460.
- 狩野謙一, 1987: 木曾山地北部-飛騨山地南部の大地形形成における境峠断層の役割. 地震学会講演予稿集, 2, 43.
- , 1988: 赤石裂線の中新世以降における左横ずれ運動. 地質雑, 94, 629-63.
- ・松島信幸, 1985: 中期中新世における赤石山地の基盤構造の屈曲. 日本地質学会第92年学術大会講演要旨. 490.
- Kano, K. and Matsushima, N., 1988: The Shimanto Belt in the Akaishi Mountains, eastern part of Southwest Japan. *Modern Geol.*, 12, 97-126.
- 狩野謙一・村松 武・廣田 豊, 1986: 四万十累層群の変形様式-赤石山地南部の上部白亜系に見られる例-. 静大地球科学研報, 12, 89-114.
- ・佐藤博文, 1987: 断層ガウジ中の石英粒子の破面解析-木曾山地北部の境峠断層と奈良井断層における例-. 地震学会講演予稿集, 2, 42.
- , 1988: 境峠断層(木曾山地北部-飛騨山地南部の活断層)の基盤岩変位量. 地質雑, 94, 51-54.
- Kimura, T., 1961: The Akaishi Tectonic Line in the eastern part of southwest Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, 32, 119-136.
- 木村敏雄, 1983: 日本列島-その形成に至るまで-[III 上]. 古今書院, 東京, 917-1268.
- 近畿地方土木地質図編纂委員会, 1981: 20万分の1近畿地方土木地質図. 国土開発技術研究センター.
- 小坂和夫, 1987: 美濃帯中・古生層の大規模な折れ曲がり帯とそれを変位させる“濃尾活断層系”. 地質雑, 93, 369-372.
- Kosaka, K., Itoga, H. and Yanai, S., 1988: Macroscopic and mesoscopic chevrons and kinks of the Kobotoke group in the southern Kanto Mountains, central Japan. *J. Geol. Soc. Japan.* 94. 221-224.
- Matsuda, T., 1978: Collision of the Izu-Bonin Arc with Central Honshu: Cenozoic tectonics of the Fossa Magna, Japan. *Jour. Phys. Earth*, 26, Suppl., S409-S421.
- 松島信幸, 1973: 赤石山地の中央構造線. 「中央構造線」(杉山隆二・編), 東海大学出版会, 9-27.
- , 1983: ポスト和田変動について-赤石・関東両山地の対曲はいつできあがったか. 下伊那教育会, 自然研究紀要, 6, 133-138.
- Mizutani, S., 1964: Superficial folding of the Paleozoic system, central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, 12, 17-83.
- Murata, A., 1987a: Conical folds in the Hitoyoshi Bending, south Kyushu, formed by the clockwise rotation of the Southwest Japan arc. *J. Geol. Soc. Japan.*, 93, 91-105.
- , 1987b: Hokusatsu Bend and clockwise rotation of the Southwest Japan arc. *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II*, 21, 333-349.
- 新妻信明, 1981: プレートテクトニクスの試金石-南部フォッサマグナ. 月刊地球, 4, 326-332.

- 小野 晃, 1981: 領家変成帯, 高遠-鹿塩地方の地質. 地質雑, 87, 249-257.
- 坂井 充, 1982: 関東山地小河内層群の地質学的研究. 日大文理卒論, 52P.
- 柴田 賢・高木秀雄, 1988: 中央構造線沿いの岩石および断層内物質の同位体年代-長野県分杭峠地域の例一. 地質雑, 94, 35-50.
- 滋賀自然環境研究会地形地質調査部, 1979: 10万分の1 滋賀県地質図. 滋賀県自然保護財団.
- 高橋雅紀・野村 哲, 1988: “秩父石英閃緑岩”の古地磁気と関東山地の回転の時期. 日本地質学会第95年学術講演要旨, 472.
- 寺岡易司・今井 巧・奥村公男, 1981: 九州外帯の屈曲構造. 中生代造構作用の研究, 3, 87-98.
- 鳥居雅之・林田 明・乙藤洋一郎, 1985: 西南日本の回転と日本海の誕生. 科学, 55, 47-52.
- 梅村隼夫・坂下伸文, 1987: 高知県足摺岬, 清水層中のキンクバンドとエシェロンベイン. 日本地質学会第94年学術大会講演要旨, 565.
- 山田直利・片田正人・端山好和・山田哲雄・仲井 豊・沓掛俊夫・諏訪兼位・宮川邦彦, 1974: 20万分の1 中部地方領家帯地質図. 地質調査所.
- Yamamoto, T., 1986: Note on deformation facies - coexistence of different facies: an example from the Shimanto belt in the Kii peninsula, southwest Japan. Sci. Rept., Niigata Univ., Ser. E, 7, 103-119.
- Yanai S., 1986: Megakink bands and Miocene regional stress field in outer southwestern Japan. Sci. Pap. Coll. Arts Sci., Univ. Tokyo, 36, 55-79.
- 柳井修一, 1988: 日本海拡大に伴う島弧の変形と応力場. 地学雑, 97, 710-730.
- 米田茂夫・岩松 暉, 1987: 鹿児島県北薩地域の四万十累層群の層序と地質構造. 地質雑, 93, 881-895.
- Yoshida, S., 1986: Hanaori Fault, a left-lateral strike-slip fault northeast of Kyoto. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, 21, 223-237.

[後記]

本論文は構造地質研究会1987年冬の例会における講演内容を骨子として執筆され, 1988年9月に脱稿した. 本論に関連して, 根尾の対曲地域および赤石裂線地域については, その後の調査結果をふまえた追加講演が, それぞれ1988年冬の例会および1989年夏の例会(本号に要旨あり)においてなされた. また本論文の内容を発展させ, 再構成した下記の論文がTectonophysics誌において現在印刷中である. 本論文とTectonophysics版との主要な相違点は, 前者が問題提起的に書かれているのに対して後者はやや断定的であり, 前者では紙数の制限で割愛された付図が後者には掲載されている, などである.

Kano, K., Kosaka, K., Murata, A. and Yanai, S.: Intra-arc deformations with vertical rotation axes: case of the pre-Middle Miocene terranes of Southwest Japan. Tectonophysics (in press).

(受理: 1990年4月2日)