

東西日本の地質学的境界【第六話】日本海の拡大

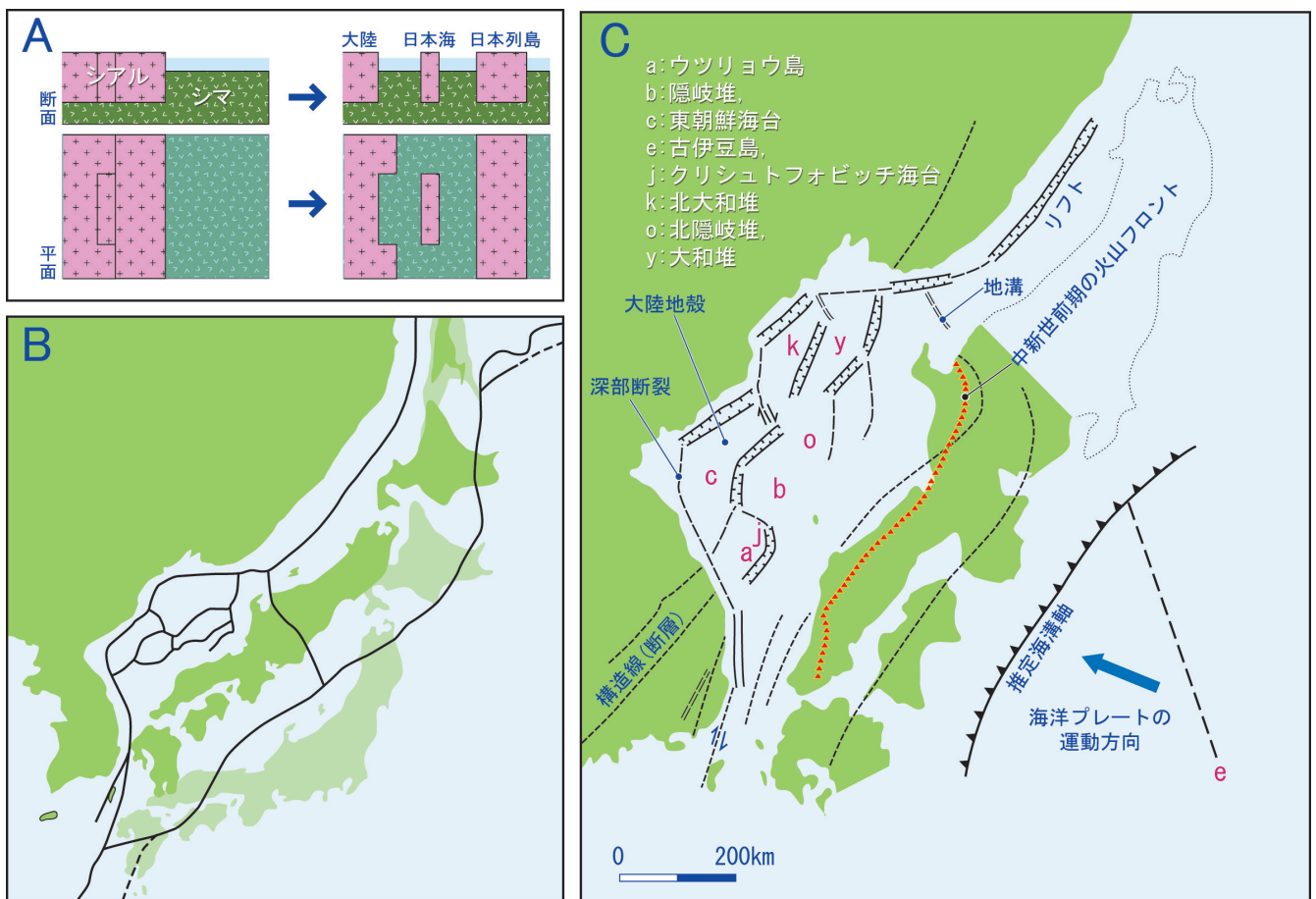
高橋雅紀¹⁾

1. 日本海の拡大

日本列島を日本海の拡大以前に復元する試みは、非常に古くからなされてきた(第1図)。日本海の拡大に関する研究史は、鮎野(1989)等によって分かりやすくまとめられている。海藻学者の岡村金太郎が「日本海の出現が太平洋に比べて新しい」という示唆(Okamura, 1927)を述べた同じ年、寺田寅彦は日本海側の島列について考察し(Terada, 1927)、さらに1934年には、日本海の深海部(日本海盆)が大陸地殻の“裂開分離”によるとする仮説(Terada, 1934)を提唱した。当時、大陸を構成する岩石

(花崗岩質層)と海洋域を構成する岩石(玄武岩質層)は異なっていて、それらはシアル(Si+Al)とシマ(Si+Mg)と呼ばれていた。寺田は日本列島がシアルで形成されているのに対して、日本海盆はシアルを欠く海洋型の地殻(シマ)からなると考え、日本海の拡大を考えたのである(第1図のA)。その当時、海外ではウェーゲナーの大陸移動説に関する論争が盛んであった。寺田は大陸移動説を日本国内に好意的に紹介していたが、それは日本列島の移動に対する自身の考えと符合したからであろう。

日本列島と大陸の陸上地質の類似性に基づいて、かつては日本列島がアジア大陸と接続していたとする発想は、小



第1図 日本海の拡大に関する古典的モデル(一部、加筆)。初期のモデルでは地形に基づいて日本列島を大陸縁に復元していた(A: Terada, 1934やB: 村内, 1966を基に作成)が、1970年代には古地磁気学の基づく復元が試みられ始めた(C: 笹島・鳥居, 1973を基に作成)。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード: 日本海の拡大, 古地磁気, テクトニクス, 中央構造線, 黒瀬川帯

林貞一 (Kobayashi, 1941, 1956) によって示されたとされる。その後、陸上あるいは海域から地質学的あるいは地球物理学的情報が得られるごとに、様々な日本列島復元モデルが提案されてきた。その中で問題となったのは、日本列島がいつ大陸から分離して現在の場所まで移動したのか、言い換えるならば、日本海がいつ拡大したのか、そのタイミングであった。

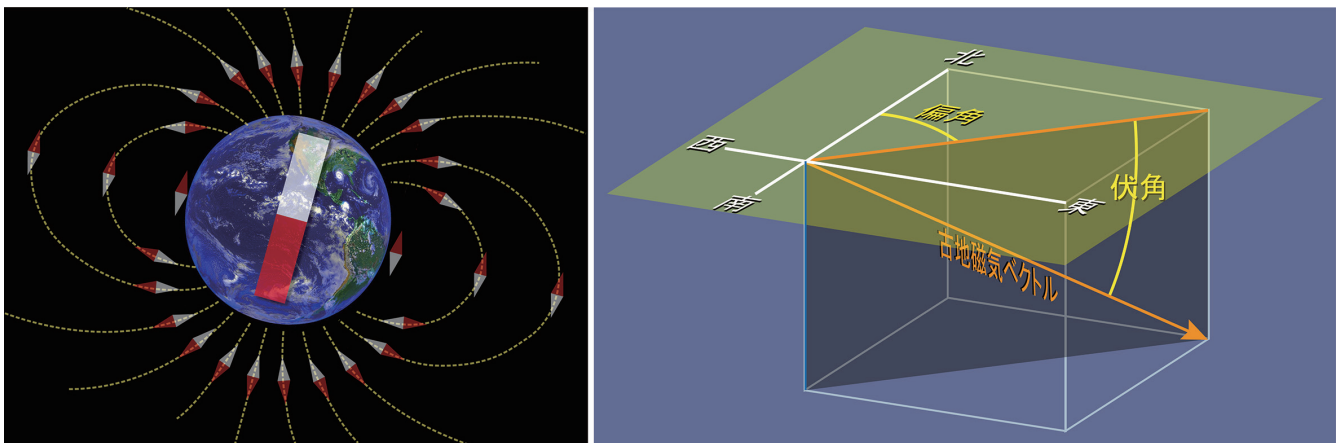
一旦は忘れ去られたウェーゲナーの大陸移動説を復活させた古地磁気学的研究は、日本海の拡大に関する問題に対しても画期的な情報を提供した。地球磁場そのものを直接見ることはできないが、永久磁石 (棒磁石) の周囲には、砂鉄が並んでできた見事な縞模様として磁場が表される。地磁気は永年変化など多少の変動があるが、大局的には地球の中心に置いた無限小の長さの棒磁石が作り出す磁場分布 (双極子磁場) で表される (第2図の左)。もちろん、地下数十 km になればキュリー温度を超える高温状態になるので、仮に地球内部に棒磁石を置いたとしても地球磁場は発生しない。地磁気は地球中心の核 (コア) 内の熱対流によって磁場が作られるとするダイナモ理論で説明され、磁場の維持だけでなく地磁気の反転まで再現することが可能となっている (Glatzmaier and Roberts, 1995)。

棒磁石ほどではないが、ほとんどの岩石は弱い磁石となっている。岩石はその岩石が形成されたとき、例えば高温のマグマが固結しキュリー温度まで冷却したとき、あるいは磁性鉱物を含む砂や泥が水底に静かに堆積してしばらく時間がたったとき、当時の地球磁場を獲得する。すなわち、地層や岩石は“地磁気の化石”といえる。この地層や岩石に記録されている残留磁化を測定して、過去の地球磁場を研究する学問が古地磁気学である。現在は正磁極期で

方位磁石 (コンパス) の針は北を指すが、かつては南を指していた。地球磁場は地質時代を通じて何度も反転したことが明らかにされている。

地層に記録されている過去の地磁気の向き、すなわち古地磁気ベクトルは全磁力と呼ばれ、通常は偏角 (水平成分の向き) と伏角 (水平からの傾斜角) で表される (第2図の右)。古地磁気ベクトル (全磁力) のうち偏角は当時の磁北 (ないし磁南) を表すので、ある地層が記録する過去の磁北とその場所での現在の真北との差は、その地層が古地磁気を獲得して以降の回転運動とみなすことができる。一方、伏角は第2図で示されるように赤道でゼロとなり、北極では 90° となって高緯度ほど大きい。したがって、ある地層が記録している古地磁気ベクトルのうち、伏角はその地層が古地磁気を獲得した場所の緯度 (古緯度) に読み替えることができる。その結果、緯度方向の移動を復元することが可能となる。

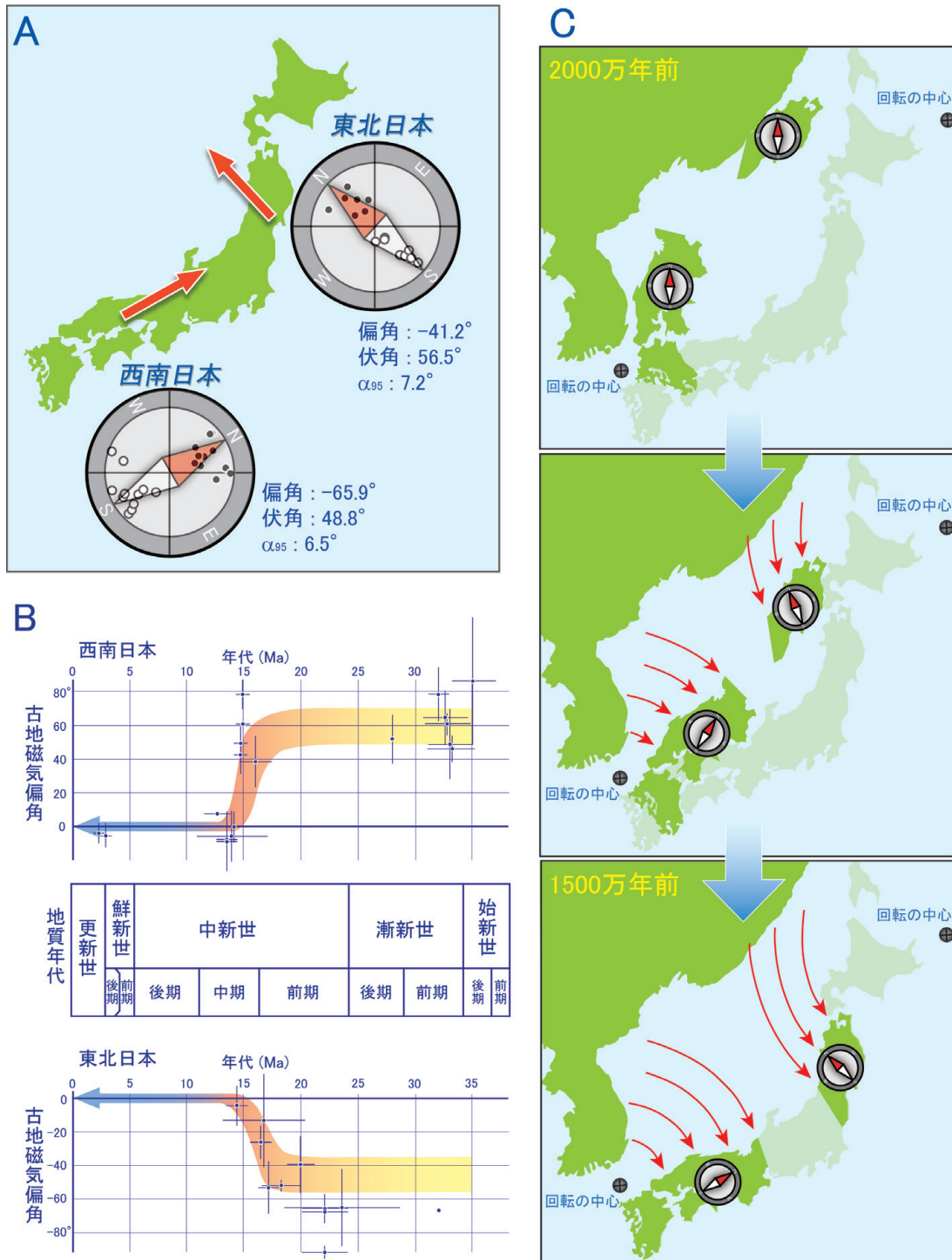
さて、このような特徴を有する古地磁気学は、プレートテクトニクス理論の確立において重要な役割を演じた。そして、国内においても、古地磁気学に基づいてフォッサマグナを境に西南日本は時計回りに、東北日本は反時計回りに回転したとする「日本列島の折れ曲がり」説が提唱された (Kawai *et al.*, 1961)。その後、日本列島の陸上地質について多数の古地磁気学的研究が進められ、さらに放射年代や微化石による年代決定に基づいて日本列島の回転運動が復元された。その際、西南日本外帯の見事な直線的帯状配列は、日本海の拡大時期に西南日本が細かく分断されることなく、一体となって回転・移動したとする根拠とされた (Otofujii *et al.*, 1985 など)。そして、日本海の拡大をターゲットにした古地磁気学的研究は、先行した西南日本



第2図 地球磁場 (左) と地磁気ベクトル (右)。地層や岩石を分析して、過去の地球磁場を研究する学問が古地磁気学である。古地磁気ベクトルのうち、北 (真北) からの偏りを偏角 (D : declination)、ベクトルを含む鉛直面の水平からの角度を伏角 (I : inclination) という。偏角は回転運動を、伏角は緯度方向の移動を表す。

に追従するように東北日本でも精力的に進められ、東北日本と西南日本が別個の回転運動を伴いながら日本海が拡大したことが明らかにされた(第3図)。そのタイミングはおよそ1,500万年前の短期間で、日本海の拡大は、当初考えられていた白亜紀に比べて非常に新しいことが明らかとなった。

日本海の拡大時期を明らかにする目的で、日本海の海底で観測された地殻熱流量の測定や海洋底地磁気異常の解析、さらに日本海における掘削調査などが精力的に進められた(Seama and Isezaki, 1990; Tamaki *et al.*, 1992; Kaneoka *et al.*, 1992 など)。しかし、海洋底地磁気異常の縞模様は複雑で一義的な結論に至らず、水深や地殻熱流量

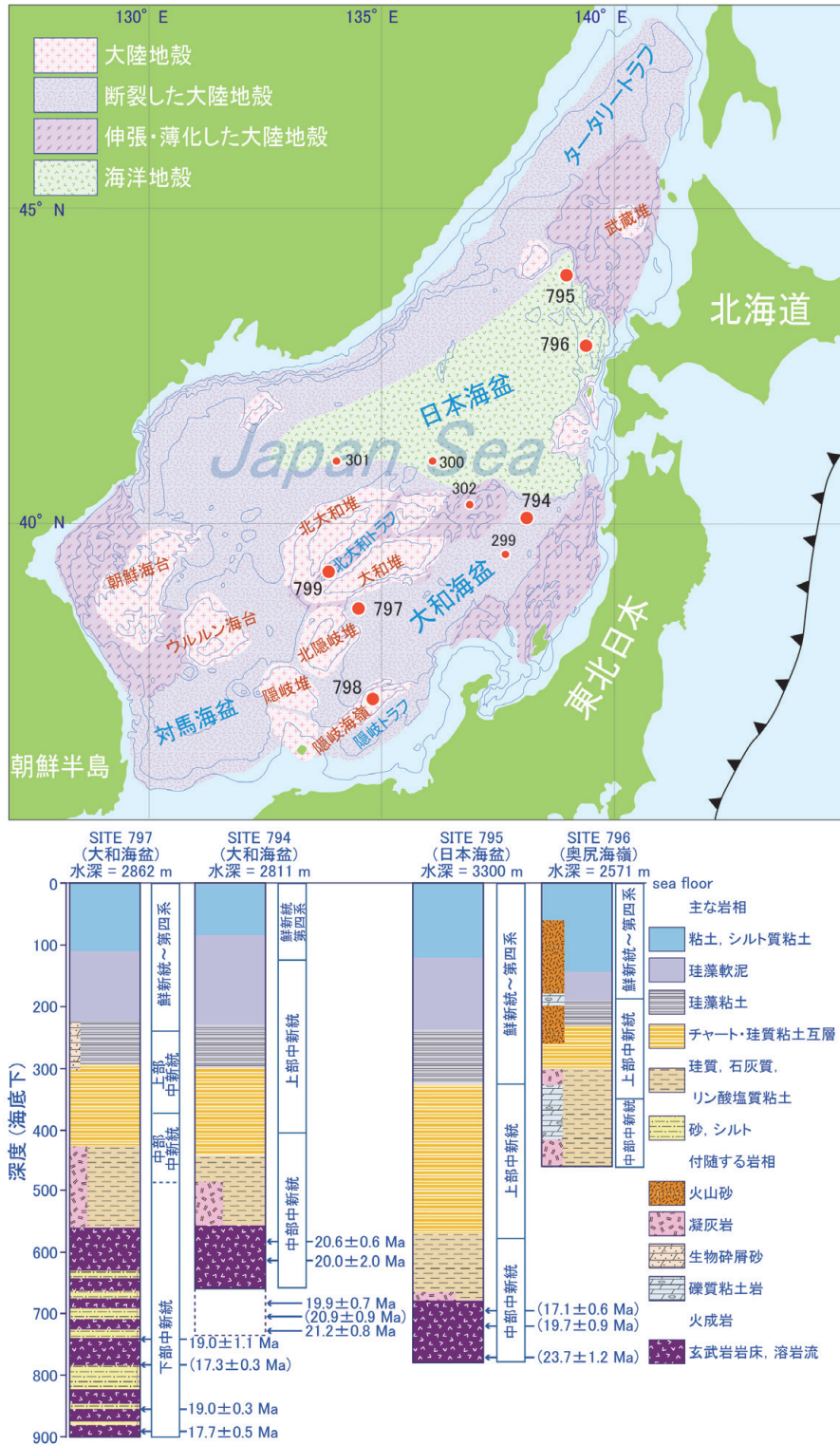


第3図 1,500万年前以前の地層の古地磁気方位が東北日本では西向きに西南日本では東向きに偏っていることから、日本海の観音開きモデルが提案された(A: Otofujii *et al.*, 1985)。古地磁気偏角の時間変化から、中新世の中頃に日本海が拡大したことが判明した(B: Takahashi and Saito, 1997 より作成)。Cは日本海の拡大過程の概念図(Otofujii *et al.*, 1985 を元に作成)。

と海洋底の形成年代との相関式(いわゆるルート t 則)を用いた拡大時期の見積もりも、2,500～5,000 万年前と幅が広い。日本海で掘削されたボーリング試料の微化石年代や玄武岩などの放射年代測定結果は、日本海の拡大に起因すると思われる火山活動の時期や水没に伴う海成層の堆

積開始が前期中新世の後期であることを示している(第4図)。

同時期に拡大していた四国海盆との配置を考慮するならば、日本海の拡大のクライマックスは、前期中新世の後半のおよそ2,000～1,500 万年前であったと推定される。



第4図 日本海地殻構造図(玉木, 1992)とODP Leg 127及びLeg 128のボーリング柱状図ならびに玄武岩試料の⁴⁰Ar-³⁹Ar年代(玉木, 1992及び兼岡, 1991を基に作成)。括弧内の年代は相対的に信頼性が乏しい。

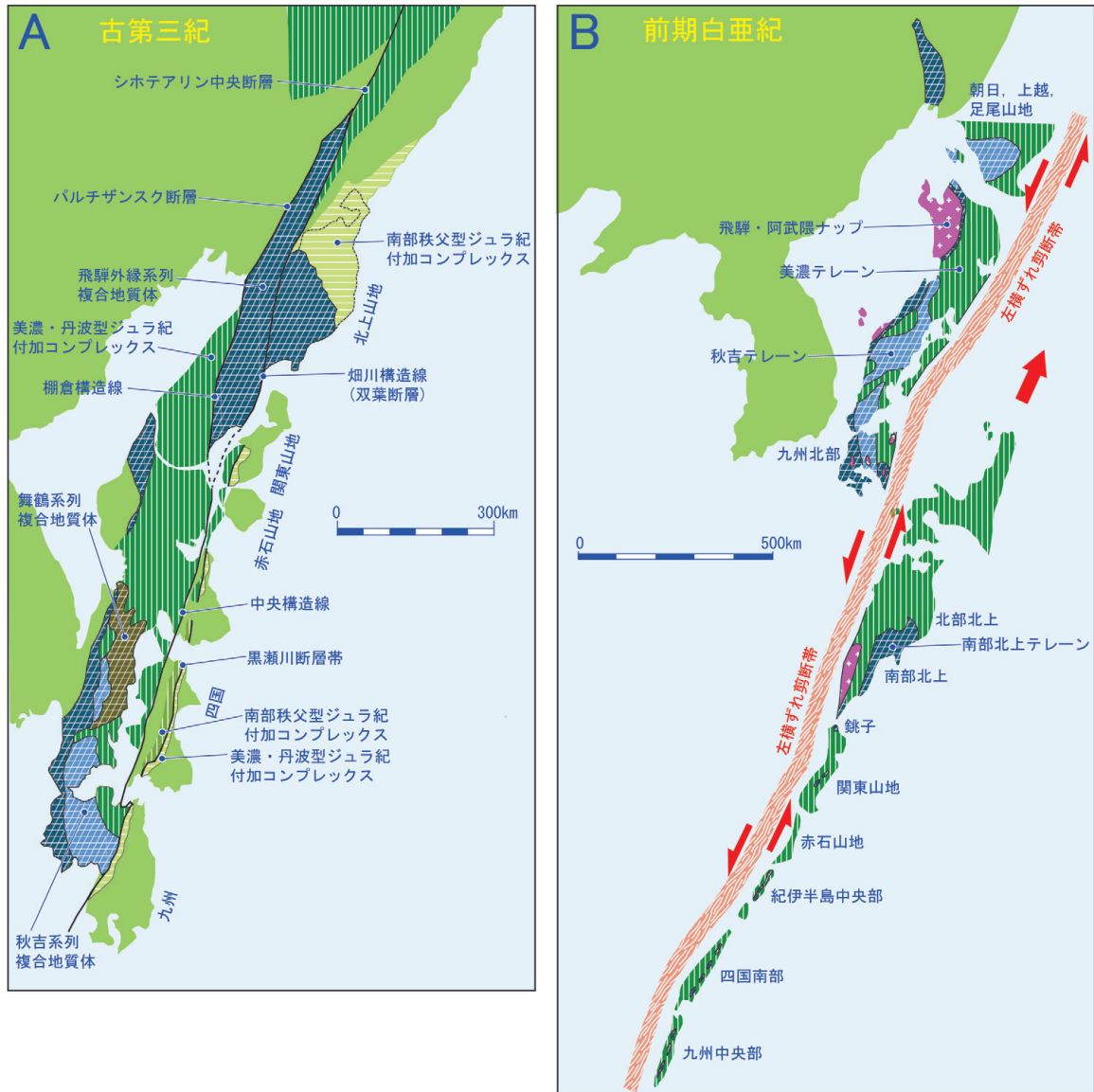
2,500 万年前に四国海盆が海洋底拡大を開始し、追従するように日本海が拡大したと考えるならば、2,500～2,000 万年前には日本列島はリフトの活動が開始して、徐々に大陸から離れ始めていたと推定される。

2. 日本海の拡大前

日本海の拡大が中新世の中頃に起こったことが地質研究者に受け入れられると、日本海の拡大に伴う日本列島の大規模な変形運動(テクトニクス)や、日本海拡大前の日本列島の復元モデルが次々と提案された。西南日本外帯に続く直線状の帯状配列が本州中央部で大きく北に湾曲し、さらに東北日本の棚倉破砕帯に沿って北北西に延びる変成帯に連続する大規模な屈曲構造が、日本海の拡大時期の

地殻変動によるとする大胆なモデル(Faure and Lalevee, 1987)は、国内の多くの地質研究者にとって挑発的とも受け止められた。そして、日本の陸上地質の詳細が明らかにされるにつれ、それぞれの専門分野のデータに立脚したモデルが現れ、シンポジウムが開催されるごとに、あるいは特集号が企画されるごとに、個々のモデルの妥当性が主張されてきた。

中新世の中頃に日本海が拡大したことに異論を挟む地質研究者がほとんどいない今日において、日本海拡大前の日本列島の配置に関する問題は、主として中・古生界の研究者によって議論されている。例えば、山北・大藤(1999, 2000a, b)では、日本海拡大前の中央構造線は関東で棚倉構造線と畑川構造線に分岐したのち、シホテアリン中央断層に収斂する長大な横ずれ断層に続くと考えている(第5

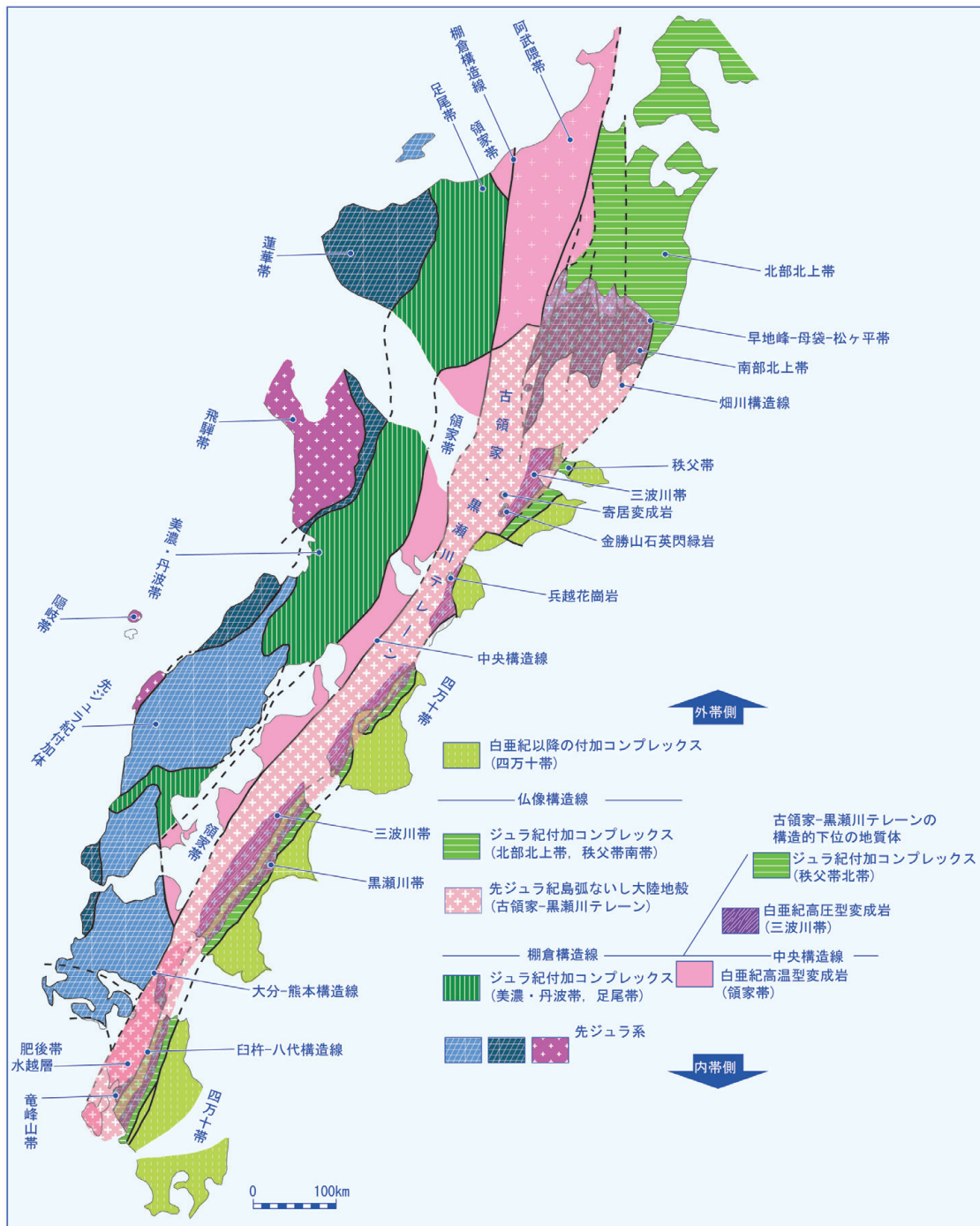


第5図 日本列島の基盤岩類の帯状配列やジュラ紀付加体の複数配列などが、中央構造線などの断層に沿う大規模な横ずれ運動によるとするモデル(A: 山北・大藤, 2000a及び B: 田沢, 2004aを基に作成)。

図). そして、秩父帯の中央部に点在する先ジュラ系が蛇紋岩に取り囲まれながら点在する黒瀬川帯も、中央構造線と同様の長大な断層帯と考え、それらの横ずれ断層の運動によって、日本列島の地帯配列の基本構造が形成されたと主張している。また、田沢(2000a, b; 2004a, b)など一連の論文は、中央構造線に沿う 1,500 ~ 2,000 km の左横ずれ変位によって、前期白亜紀~古第三紀に日本列島の骨格が形成されたと考えた。いずれのモデルでも、西南日本と東北日本の陸域に分布する類似の地質体が元々は連続

していたと考え、横ずれ断層に沿う大規模な変位によって現在の地帯配列を再現しようと試みている。

これに対し、大規模な横ずれ運動を想定せず、かつての大陸縁での基盤岩類の分布を復元したモデルも提案されている。例えば、高木・柴田(2000)は、中央構造線に沿って断片的に分布するペルム紀の深成岩体や、それらと岩相ならびに年代が符合する南部北上帯や黒瀬川帯の古生界が、かつては同一の大陸片ないし島弧の断片と考え、それらの分布範囲を古領家帯と呼んでいる(第6図)。彼らは



第6図 高木・柴田(2000)による古領家帯モデル(高木・柴田, 2000を基に作成)。

古領家帯の成因について議論していないために、前記した横ずれ断層モデルと同様に考察することはできないが、このモデルでも、西南日本外帯の地帯配列が東北日本の陸域に続いていると考えている。すなわち、日本列島の基盤岩類に関する東西日本の対比モデルは、すべて西南日本外帯の地帯配列が東北日本の陸域に連続するとしている。したがって、西南日本に明瞭な中央構造線の東方延長は、東北日本の陸域を通過していると解釈しているのである。

このように、日本列島の基盤岩類の地帯配列の成因は、今日においても第一級の地質学的問題である。その構造は、日本海が拡大する以前、すなわち日本がまだ大陸縁の陸弧であった時代には既に形成されていたと考えられていることから、地体構造論において日本海の拡大は避けては通れない地質学的出来事である。しかしながら、先新第三系基盤岩類の地体構造の形成と新生代の中頃に起こった日本海の拡大は、年代的には全く重ならない出来事であるにもかかわらず、それぞれが独立に考察されているわけではない。すなわち、一方を説明するために、他方を合理的に仮定しているのである。

例えば、大規模な横ずれ断層運動を想定したモデルでは、中央構造線と棚倉構造線を連続する同一の断層と考えているので、日本海の拡大直前には、それらが一直線になるように配置している。他方、古領家帯を想定しているモデルでも、彼らが着目する中央構造線沿いの先ジュラ系深成岩体と南部北上帯や黒瀬川帯を、日本海拡大前には連続するように配置している。言い換えるならば、日本海拡大前の日本列島の配置は、いずれのモデルでも先新第三系基盤岩類を目印(マーカー)として復元されているが、研究者ごとに着目する地質体が異なるので、採用するマーカーも研究者ごとに異なっている。したがって、いずれのモデルも解釈を根拠として配置を復元しているので、いわば循環論に陥っている危惧がある。

(第七話につづく)

お詫び：本連載の「第五話 鍵は夫婦ヶ鼻層」において、銚子のシンボルであるマリントワーはポートタワーの誤りです(著者)。

文 献

Faure, M. and Lalvee, F. (1987) Bent structural trends of Japan: flexural-slip folding related to the Neogene opening of the Sea of Japan. *Geology*, **15**, 49–52.
Glatzmaier, G. A. and Roberts, P. H. (1995) A three-

dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal. *Nature*, **377**, 203–209.

兼岡一郎 (1991) 日本海の形成時期を探る – 放射年代を基にして –. 地質ニュース, no. 442, 16–29.

Kaneoka, I., Takigami, Y., Takaoka, N., Yamashita, S. and Tamaki, K. (1992) ^{40}Ar - ^{39}Ar analysis of volcanic rocks recovered from the Japan Sea floor: Constraints on the formation age of the Japan Sea. *In* Tamaki, K. et al., eds., *Proc. ODP Sci. Results*, **127/128**, Pt. 2, 819–836.

紮野義男 (1989) 日本海盆の起源論と形成モデルの系譜. IGCP-246 「日本海の形成とそれに伴う新第三紀地史的イベント」, 5–30.

Kawai, N., Ito, H. and Kume, S. (1961) Deformation of the Japanese Islands as inferred from rock magnetism. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, **6**, 124–129.

Kobayashi, T. (1941) The Sakawa Orogenic Cycle and its bearing on the origin of the Japanese Island. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, **II**, **5**, 219–578.

Kobayashi, T. (1956) The insular arc of Japan, its hinter basin and its linking with the Peri-Tunghai arc. *Proc. 8th Pacific Sci. Congr.*, **II**-A, 799–807.

村内必典 (1966) 日本列島の成因. 青淵, 1966年5月号, 20–23.

Okamura, K. (1927) On the nature of the marine algae of Japan and the origin of the Japan Sea. *Bot. Mag.*, **41**, 588–592.

Otofuji, Y., Matsuda, T. and Nohda, S. (1985) Opening mode of the Japan Sea inferred from the paleomagnetism of the Japan arc. *Nature*, **317**, 603–604.

笹島貞雄・鳥居雅之 (1973) 古地磁気と陸地の移動 – とくに日本海の生成と関連して. 地学雑誌, **92**, 478–487.

Seama, M. and Isezaki, N. (1990) Sea-floor magnetization in the eastern part of the Japan Basin and its tectonic implications. *Tectonophysics*, **181**, 285–297.

高木秀雄・柴田 賢 (2000) 古領家帯の構成要素と古領家 - 黒瀬川帯の復元. 地質学論集, no. 56, 1–12.

Takahashi, M. and Saito, K. (1997) Miocene intra-arc bending at arc-arc collision zone, central Japan. *The Island Arc*, **6**, 168–182.

玉木賢策 (1992) 日本海の形成機構 新しい背弧海盆拡大モデル. 科学, **62**, 720–729.

- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, J. C. and Pisciotto, K. A. (1992) Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling. *In* Tamaki, K. *et al.*, eds., *Proc. ODP Sci. Results*, **127/128**, Pt. 2, 1333–1348.
- 田沢純一 (2000a) 飛騨外縁帯・南部北上帯・黒瀬川帯の古生界：対比と造構史. *地質学論集*, no. 56, 39–52.
- 田沢純一 (2000b) 西南日本内帯のペルム紀腕足類フォーナと先新第三紀テクトニクス. *地団研専報*, no. 49, 5–22.
- 田沢純一 (2004a) 横ずれ説：日本列島の起源と形成についての考察, *地質学雑誌*, **110**, 503–517.
- 田沢純一 (2004b) 飛騨外縁帯の古生界～中生代テクトニクスに関する従来の研究と今後の課題, *地質学雑誌*, **110**, 565–577.
- Terada, T. (1927) On a zone of islands fringing the Japan Sea coast-with a discussion on its possible origin. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **3**, 67–85.
- Terada, T. (1934) On bathymetrical features of the Japan Sea. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **12**, 650–656.
- 山北 聡・大藤 茂 (1999) 日本海形成前の日本とロシア沿海州との地質学的連続性. 富山大学環日本海地域研究センター研究年報, XXIV, 1–16.
- 山北 聡・大藤 茂 (2000a) 白亜紀左横すべり断層系としての中央構造線 - 黒瀬川断層系による日本列島先白亜紀地質体の再配列過程の復元. *地質学論集*, no. 56, 23–38.
- 山北 聡・大藤 茂 (2000b) 中央構造線の後期白亜紀左横すべり変位量の推定とその西南日本の地帯配列における意味. *地団研専報*, no. 49, 93–104.
-
- TAKAHASHI Masaki (2017) Geological problem for the tectonic boundary between Northeast and Southwest Japan -Opening of the Japan Sea-.
(受付：2016年4月20日)