

第 232 回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 日本海縁辺域のリフティングとインバージョンテクトニクス

研究発表会の背景とねらい

岡村行信

日本海は背弧拡大によって中新世に形成されたが、第四紀になってその東縁に新たな沈み込み帯が形成され、再び閉じようとしているといわれている。このような背弧海盆の拡大と縮小・消滅は、多くの島弧に共通した変動であることが知られており、島弧の発達過程を理解する上で避けて通れない課題である。日本海の拡大および沈み込みについては、特に 1980 年代に多くのモデルが提出され、1989 年には ODP による掘削が行われた。それらの調査・研究にもかかわらず、日本海の拡大様式について現在でもいくつかのモデルが存在し、決着していない。その最大の原因は、陸上及び海底の地質構造が十分に解明されていないことにあるであろう。地質調査所では 1989-93 年にかけて、東北日本沖の日本海東縁大陸斜面の詳細な地質構造調査を行った。この研究発表会は、このような海域のデータに加えて陸域で最近収集された豊富なデータを基に地質構造を明らかにし、それにインバージョンテクトニクスなどの新しい考えを合わせて日本海の拡大と消滅に関連した変動を考え直し、今後どのように研究を進めるべきかを議論するために計画された。

発表会のちょうど 10 日前の 17 日に兵庫県南部地震が発生し、その直後に環境地質部を中心とするグループが現地調査に入ったため、予定の講演が一部キャンセルされた。本研究発表会の最後に兵庫県南部地震の緊急調査報告が行われたが、その要旨は掲載されていない。

(海洋地質部)

Keywords: Japan Sea, ODP, inversion tectonics

インバージョンテクトニクスの 造山運動論における意味

中村光一

インバージョン (反転) テクトニクスは、はじめ、大陸内部の古いリフト帯の正断層が逆断層として再活動し、リフトの堆積盆地中の堆積体が上昇し、押し出される運動として認識された。同様の現象は、スダ島など、背弧海盆の堆積盆地においても認められている。海洋底拡大まで進んだ受動的縁辺域の堆積盆地の変形である衝突型の造山帯においても、剝ぎ取り型 (detachment) の衝上構造による異地性の地質単位の重要もさることながら、リフト形成期の正断層の逆断層としての再活動による原地性の地質単位の重要性が認識されるに至った (例: 西アルプス)。70 年代から 80 年代前半にかけて研究の進んだ造山帯前縁の衝上断層帯の異地性の地質単位は、主としてリフト形成後の冷却沈降期の堆積盆地に堆積した地層が、衝上断層が発達する以前は、基本的にほとんど変形していない堆積体として再構成可能である。プレートテクトニクス以前の造山運動論の内、ミオ地向斜に関する議論は、冷却沈降期の堆積盆地の再構成に関する議論であったと、今日回顧することができるが、そこで前提された相対的に無構造な堆積盆地は、冷却沈降期の堆積盆地を見ている限りにおいては妥当なものであった。しかし、リフト形成期の堆積物を含む地層の復元となると、無構造で、広い範囲において均一な堆積体を念頭において復元を試みることは正しくない。リフト形成期の正断層群と密接に絡んだ堆積相の変化が、数キロメートルの範囲で生じていることを念頭に置いて考えなければならない。

50 年代に始まった東北日本第三紀の造山論は、地向斜に関する一般的観念を前提としているため、岩相層序の著しい時間斜交性を捨象して、「時階」区分を試みてきた傾向がある。プレートテクトニクス受容後も、「時階」の基本的用法は単なる時間層序上の名称に止めるという読み換えが支配的になっているものの、「時階」区分の考え方に潜む古い造山運動論の観念の伝統について明確に反省

* 平成 7 年 1 月 27 日本所において開催

されたことはない。もちろん、生層序学の進歩によって、岩相層序の斜交性は大いに認識されているが、特に「台島—西黒沢期」以前の堆積体に対して、正断層構造を復元しつつ、堆積相変化を考慮に入れて、層序対比（ひいては地質図）を再検討するという仕事はほとんどない。最近の海洋地質分野における反転構造の発見は、世界各地の反転堆積盆地や造山帯の原地性の地質単位の研究との比較によって、東北日本第三紀の造構史を見直すことが、より良い成果を導く可能性があることを示唆している。

文献

中村光一 (1992) 反転テクトニクス(inversion tectonics)の地質構造表現 構造地質, no. 38, 3-45. (海洋地質部)

Keywords: inversion tectonics, rift

日本海縁辺域のリフティングと海進の時期

鹿野和彦

日本海の成因については数多くの議論がある。だが、いまのところ、大陸縁辺部におけるリフティングと地殻の伸張とによって日本列島が大陸から分離し現在の位置まで到達する過程で形成されたとする説が有力である。

日本列島が大陸から分離して現在の位置まで到達する過程を考える上で考慮すべき事実を整理すると、それらは確かに「リフティングと地殻の伸張」説に整合的であり、大陸から分離し始めたのがおよそ 32 Ma で、現在の位置に到達した時期が 15 Ma 頃であるらしいこともわかる。しかし、この説を具体的に検討するために必要な基本的のことがら、例えば、リフトの形態や、分布、形成時期、形成機構についてはいまだ明らかではない。

そこであらためて日本列島の岩相層序とそれらの年代と分布とを整理し日本海縁辺域堆積盆の形成時期と分布について検討してみると、現時点では次のことがいえる。ひとつは、火成活動の拡大とともに堆積盆が日本海側から太平洋側へと拡大し、19-16 Ma 以降はほとんどの堆積盆の海進が及ぶほど全体に沈降したことである。もうひとつは、堆積物が厚く分布する領域が日本列島に平行に、またはやや斜交する方向に伸張していることである。日本海東縁の音波探査結果を見る限り、堆積盆は半地溝状または地溝状に正断層で境されている。したがって、これら堆積盆はリフティングによって形成された可能性が大であるが、形態や形成機構などについてはより実証的な検討が必要である。 (地質部)

Keywords: Japan Sea, rifting

東北地方日本海側大陸斜面のリフティングとインバージョンテクトニクス

岡村行信

佐渡島南西沖—津軽半島西方沖の大陸斜面（大陸棚から大和海盆東縁まで）には、主に前期中新世の日本海拡大時にリフト群が広く形成されたが、その後、鮮新世末から第四紀にかけて東西圧縮応力による変形が発達した。後者の圧縮構造は、前者のリフトの構造に強く支配されている。両者の関係が明瞭にわかるのが、佐渡島から北へ島弧に平行にのびる佐渡海嶺および最上トラフで、そこでは前期中新世の正断層が鮮新世後期以降に逆断層として再活動したことを示すインバージョンテクトニクスが顕著に発達している。正断層の多くは西落ちで、幅 5-15 km、長さ 20-50 km のハーフグラベン群を伴っていた。正断層が逆断層として再活動することによって、かつてのハーフグラベンの堆積物は隆起して非対称な背斜構造を形成し、現在はかつてのハーフグラベんとほぼ同じ規模の小海嶺群として認められる。そこに分布する地層は、リフト期、ポストリフト期およびインバージョン期の 3 つのユニットに区分できる。リフト期の堆積物は主に前期中新統からなると考えられ、かつてのリフト内にしか分布しない。ポストリフト期の堆積物は中期中新統—鮮新統からなり、かつてのグラベンおよびホルスト全体を覆っている。インバージョン期の堆積物は主に第四系からなり、小海嶺（かつてのリフト）には分布せず、周囲の海盆内に厚くたまっている。インバージョンの開始時期は鮮新世後期から第四紀の初頭で、場所によってやや時期が異なると考えられる。このようなインバージョンテクトニクスが顕著に認められる最上トラフから佐渡海嶺では、堆積物の厚さがリフト内で 3000 m 以上に達することがあるが一般には 2000 m を越えない。それに対して、新潟から秋田の油田地帯では堆積物の厚さは 4000 m 以上に達することが知られている。このことは、この付近により大規模なリフトが形成されたことを示している。油田地帯の中にも大規模な逆断層が発達しているが、それらがかつての正断層であったのかどうかは不明である。佐渡島の西方の富山トラフは堆積物の厚さが最大で 5000 m に達し、油田地帯と同様の大規模なリフトであったと考えられる。その東縁の逆断層は、トラフが佐渡島の下に沈み込むようなセンスの動きを示すことから、かつての正断層の再活動ではない。さ

らに西方の金沢沖—鳥取沖では、堆積物の厚いところが背斜構造に一致することが報告されており、インバージョンテクトニクスで説明可能と考えられる。ただし、短縮変形の時期は中新世から鮮新世で、東北日本より古い。津軽半島西方には第四紀の逆断層によって成長した奥尻海嶺が発達する。奥尻海嶺は佐渡海嶺に比較して幅が狭く、そこに分布する逆断層も規模が大きいという特徴があるが、それらの逆断層がかつての正断層であったという明確な証拠は見あたらない。(海洋地質部)

Keywords: Sado, inversion tectonics, rifting

東北地方中部日本海側の漸新世—前期中新世のグラーベンと火山岩

土谷信之

秋田—山形油田地帯付近の3つの代表的な地域(羽越北部、出羽北部及び阿仁合地域)で漸新世—前期中新世の火山活動、火山岩の岩石学的特徴の変遷を5つのステージに分け、日本海地域のテクトニクスと関連付けて説明することを試みた。

ステージI(漸新世)には出羽北部及び阿仁合地域でカルクアルカリ安山岩を主とし、高アルミナ玄武岩を伴う陸上火山活動が始まった。玄武岩—安山岩はアルカリにやや乏しく、Zr/Y比が高く、東進してきた当時の陸弧の火山フロント付近で噴出したらしい。ステージII(中新世初頭の22–24 Ma頃)に東北日本の広域的な酸性火山岩の噴出活動に伴って、3つの地域でも溶結凝灰岩を伴う酸性火山活動が行われた。ステージIII(21–18 Ma頃)には羽越北部及び阿仁合地域でグラーベンが形成され、その直後から出羽北部地域も含めた3地域で玄武岩—安山岩主体の火山活動が始まった。この時期の玄武岩—安山岩はTiO₂やHFS元素に富むアルカリ玄武岩ないし高アルミナ玄武岩とステージIのものと同様のアルカリにやや乏しい陸弧的な安山岩の二つのタイプがある。高HFS玄武岩はプレート内型火山岩の特徴を帯びていた。ステージIV(18–16 Ma頃)には玄武岩—安山岩主体の活動から酸性火山岩と玄武岩とのパイモダルな火山活動に移行していった。玄武岩マグマはプレート内玄武岩とHFS元素にやや乏しくMgOに富む玄武岩が噴出していた。ステージV(16–15 Ma頃)には油田地帯が急速に沈降し、大規模な玄武岩噴出活動が行われた。この玄武岩はK₂O組成とHFS元素に乏しく、背弧海盆玄武岩と島弧のソレライト玄武岩との中間的な組成を持ち、それ以前の陸弧的な火山岩から、より海洋性島弧火

山岩の特徴に近くなった。

このような3研究地域の火山活動とテクトニクスの変遷は東北日本弧の日本海地域のリフティングと密接に関連している。すなわち、ステージIに東北日本弧のリフティングが始まり、大陸縁辺の火山フロントが太平洋側へ前進して陸弧火山活動が開始した。ステージIIの広域的な酸性火山活動の後、ステージIIIから秋田—山形油田地帯付近は引張応力下でグラーベンが形成され、enrichなマグマが上昇するようになり、TiO₂に富む玄武岩が噴出しはじめ、陸弧的な安山岩—デイサイトの噴出も続いていた。この状況はステージIVまで続いた。ステージVになって、リフティングの最終段階に日本海側地域の地下により枯渇したマンツルの急速な進入またはリソスフェアの破断が起こり、大量の低K₂O玄武岩マグマが形成され、著しく沈降した油田地帯の堆積盆の中に噴出した。(地質部)

Keywords: Japan Sea, graben, Rift valley, volcanic activity

正断層系の幾何学と反転時における断層の選択的再活動および反転の程度

中村光一

東北日本の太平洋側および日本海側に反転構造が見られることは、東北日本の陸部においても同様な構造が存在することを予想させる。しかし、東北日本の陸部においては、第三紀の伸張テクトニクス下において生成された正断層系が、明確に認識され、地質図に示されている地域は少ない。反転構造を認識するためには、まず、伸張構造を復元することを試みなければならない。

秋田県阿仁合地域においては、数百メートルの間隔で発達する正断層によって、層序が繰り返しており、それらを束ねる幅数キロメートルの半盆地(half graben)は、北東に向ってプランジする連携構造(relay structure)をなしている。従来、比立内西方に大略東西に延びる低角の正断層が描かれてきたが、それは連携する正断層群と南西側の基盤にアバットする不整合を一本の断層としてつないで描いたため、低角になったものであることがわかる。今日、炭化水素資源に絡む構造地質学の進展によって、正断層系の幾何学的配置はかなり類型化され得ることが明らかになっているので、その知識を前提にすれば、東北日本第三紀においても伸張構造を読み取ることは可能である。

伸張構造の反転に際して、すべての正断層が再活動して逆断層になるわけではないことは、北海などで多くの

例が示されている。また、反転しても、その程度によって、個々の断層における総変位量は、正断層のままという現象が生じ得ることは、粘土実験などによっても知られている。断層面が曲っている（リストラクティブな）場合に形成される断層変位に伴う上盤側の褶曲は、伸張、反転（短縮）双方のテクトニクス下において類似したものが生成される。

太平洋側の大陸棚上に認められる反転構造の陸上への延長である松島湾周辺の第三系においては、1キロメートル程度の波長の褶曲軸はあるが、露頭で観察される断層はほとんど正断層である。この褶曲が反転時に生成されたものか、または数メートルから10数メートルの間隔で見られる正断層における変位量の違いが、鍵層の高度の違いに反映した結果として、鍵層の包絡面が疑似的に褶曲面として認識されるのかは俄に決し難い。最も反転量の大きい部分と考えられる石巻平野西縁の旭山曲帯においても微小断層はほとんど正断層である。新潟の油田地域においては、過被圧の泥岩層に発する剥ぎ取り構造（detachment structure）が反転構造を複雑なものにさせていると考えられるが、頸城地域の難波山背斜の褶曲軸部に見られる衝上断層は、そうした剥ぎ取り構造の一部である可能性がある。（海洋地質部）

Keywords: inversion tectonics, Northeast Japan

北部フォッサマグナのテクトニクス

加藤 碩一

北部フォッサマグナ北西縁の糸魚川-静岡構造線とその東側を併走する小谷-中山断層に挟まれた南北性の帯状地帯は大峰帯と称される。その南部（松本盆地寄り）は礫・砂や溶結凝灰岩からなる最後期鮮新世の地層（大峰層・日野層ほか）が分布する。大峰帯内部のボーリングコアから有孔虫化石が検出され（吉田史郎氏私信）、日野層下の標高600m付近でN8相当の地層が分布することがわかった。高速地域の守屋層分布域での微化石資料の検討（米谷盛寿郎氏私信）と併せて考えると前期中新世末期（台島期）に糸魚川-静岡線沿いにトラフ状に松本盆地北部付近まで海域が拡大していたことが推定される。

東側の地質との比較から小谷-中山断層は少なくとも後期中新世（～鮮新世）まで東落ちであったが、初期更新世には西落ちの変位を示し、断層運動の逆転が示唆される。新期の断層運動は準平原的な高位小起伏面である大峰面を变形させていない。糸魚川-静岡構造線も松本盆地下の地震波探査記録から大峰面を变形させていない

ことが知られている（山田，1968）。更新世中期以降は松本盆地形成に伴うその両縁の断層が活動し、断層活動位置が西方に変遷する。

長野盆地北西縁構造線（松本-長野線）においても、地震探査記録やボーリング資料などの地質学的解釈から、初期中新世の南西落ち、中-後期中新世の北西落ち、及び更新世の北西上がりが推定される。この断層は後期中新世（6-7 Ma）の裾花凝灰岩の噴出に関与している。最も新期の運動は善光寺地震断層の北西上がりの動きである。同様な断層運動の反転は新潟県下の六日町盆地などでも見られる。新発田-小出線の南西延長である六日町北西縁構造線は魚沼層堆積時までは北西落ちであったが、同盆地北西縁の活断層は北西上がりである。3-2 Ma頃のこれらの断層運動の反転が海域のデータと比較していわゆるインバージョンテクトニクスと見なせるものか、今後検討の必要がある。

また、これらの南北性ないし北東-南西性の断層群は、大峰面形成前に活動した北西-南東性の右横ずれ断層群によって切られていることが多い。このことは同時期（初期更新世初期）に少なくとも見かけ上中間主応力軸の90°近い回転があったことを示唆している。

（国際協力室）

Keywords: Fossa Magna, tectonics, Central Japan

棚倉断層の運動と東北日本のテクトニクス

天野 一男

棚倉断層は茨城県水戸市付近から北北西に延び、山形県酒田付近を通りその北方へと延びている。棚倉断層南部の水戸市付近から福島県棚倉にかけては断層が地表でよく追跡できる。この地域では棚倉断層は幅約3kmの破砕帯から成っており、その破砕帯の東西両側は破砕帯西縁断層と東縁断層によって限られている。西縁断層の西側には、断層に沿っていくつかの中新世の堆積盆が発達している。これらの堆積盆を埋積する中新統は、いずれもその分布の東縁を西縁断層によって限られ、北ないし北西では基盤岩類と断層接触し、南方ないしは南西で基盤岩類を不整合で覆っている。この堆積盆の形態は、左横ずれに伴う横ずれ堆積盆と類似している。

これらの堆積盆の内、堆積相解析学が比較的すすんでいる矢祭の堆積盆を例にとりて、堆積盆形成のテクトニクスと堆積作用について検討した。この堆積盆を埋積している下部中新統は、下位より湖沼成堆積物→扇状地・扇状地三角州堆積物→浅海堆積物となっている。堆積盆

の堆積中心は、時代とともに北方へ移動している。扇状地・三角扇状地堆積物の下部には上方粗粒化のシークエンスがあり、上部には上方細粒化のシークエンスが認められる。上方粗粒化のシークエンスは横ずれ断層の運動に伴って、横ずれ堆積盆を形成しているリストリック断層の運動を反映したものと解釈できる。上方細粒化のメガシークエンスの時代は東北日本でみとめられる西黒沢の海進と時期を一致していることから、このメガシークエンスの成因を海水準の相対的な上昇と解釈した。これは相対的海水準変動の2次のオーダーのサイクルに一致している可能性が高い。

棚倉断層に沿った堆積盆埋積物の研究から、棚倉断層は初期中新世(17-15 Ma)に左横ずれ運動をしたことが予想される。棚倉断層の北方延長部が、大和海盆の北東端部をかすめ、日本海盆の東縁に延びているものとする、棚倉断層は日本海盆の拡大後に起こった大和海盆の拡大に伴って左横ずれ運動をしたものと解釈できる。

東北日本の新生代テクトニクスは、1980年代後半に、それまでのデータを総括したモデルに到達した。それは日本海の拡大に伴うリフト堆積盆の形成とリフト拡大に始まり、第四紀における東西方向の強圧縮応力下での褶曲と逆断層の形成に終わるというストーリーである。しかし、このモデルの中で典型的なリフト堆積盆と考えられている堆積盆群は羽越地域から報告されているが、羽越地域は棚倉断層の北方延長部にあたることを考慮すると、羽越地域でリフト堆積盆とされていたものは横ずれ堆積盆の可能性が強くなる。古地磁気異常のデータも、東北日本弧が一気に反時計回りに回転したという考えは支持しない。東北日本のテクトニクスモデルは、日本海の拡大に伴う横ずれ運動を考慮に入れて、ニューバージョンを考える時期である。東北日本のテクトニクスに関しては、質の高い精密なデータを収集することなく従来のデータをコンパイルして新しいモデルを提唱する時期は終わった、今後は、個々の堆積盆形成メカニズムを明らかにできるような精密な構造解析や堆積盆埋積物の堆積学的研究が必要となろう。(茨城大学理学部)

Keywords: Northeast Japan, tectonics, sequence

日本海東縁の短縮テクトニクスと温度異常

倉本真一

日本海東縁、特に北海道西方沖の奥尻海嶺付近で測られた地殻熱流量値をもとに、地殻に働いている応力を推定することを試みた。奥尻海嶺上で測られた地殻熱流量値のうち、最高値はODPによる掘削坑での測定によるもので、 156 mW/m^2 を示す。これは日本海盆北部の平均的地殻熱流量値に比べて約 40 mW/m^2 程度高い。この地殻熱流量値異常の原因を、奥尻海嶺に見られる衝上断層での摩擦熱が原因と考えると、断層に働いている剪断応力は約 200 MPa と推定できる。ただし楔状の断層モデルを仮定し、それが収斂速度 6 m/ky でプレート間相対運動が生じた場合である。剪断応力を 200 MPa 程度とすると、Byerleeの法則から垂直応力は約 250 MPa になる。これを単純に深さに変換すると約 $7-8 \text{ km}$ になる。これは日本海盆の地殻構造から推定すると、モホ面の深さに一致する。音波探査記録断面に見られる構造からは、断層の位置が深すぎるので、断層以外に熱源が存在するのではないかと推察される。またモホ面程度の深さの断層に原因を求めるとすると、海洋地殻がモホ面で引き裂かれるような構造(デラミネーション)が考えられる。熱源を他に求める場合、流体による影響が強く示唆されるが、音波探査記録の構造から類推すると、平均値より過剰な熱のうち約半分程度が流体の影響と推定される。したがって、断層に働いている剪断応力は約 100 MPa 程度とみなされる。今後、重力データなどを用いて断層モデルの詳細な検討をし、日本海東縁における短縮応力を推定し、音波探査記録と地殻熱流量から断層面における物性の変化についても考察していく予定である。

(海洋地質部)

Keywords: Japan Sea, Okushiri Ridge, heat flow anomaly