

新潟油田地域におけるインバージョン・テクトニクス

Inversion Tectonics of the Niigata Oil Fields

山田泰広*・服部昌樹**・国安 稔***

Yasuhiro Yamada, Masaki Hattori, Minoru Kuniyasu

Abstract: The Yamanaka Anticline, which is located in the southern part of the Niigata sedimentary basin, is an asymmetrical fold characterized by the steep dipping zone with reverse faults of the west wing. The shallow formations gain in thickness toward east, although the deep formations gain toward west. The Katakai-Matto Anticline, the neighbour structure of the Yamanaka Anticline, is known to hydrocarbon-bearing and its complication in deep structure. The structural features of this fold section show that the shallow and deep parts were not formed harmoniously.

Both, Yamanaka and Katakai-Matto, fold structures can be explained as the deformation caused from basement-involved tectonics related with tectonic inversion. The results of the scale model simulations are fitting to the model of the tectonic inversion.

はじめに

新潟堆積盆地内に炭化水素が胚胎することは古くから知られており、日本書紀にもそのことが記されているといわれている。近代になって石油会社や石油公団・地質調査所などによって様々な探鉱活動が行われてきたが、その結果、数多くの炭化水素鉱床が発見され、それに伴い本地域の地質構造が明らかにされてきた。特に最近では探鉱対象がより大深度の構造に移りつつあり、このような探鉱活動の結果、浅部と深部の形態が異なる構造が存在することが知られるようになった(相場, 1982ほか)。しかし、こ

のことは従来のように浅層構造から機械的に深部構造を描くことができないことを示しており、未探鉱地域における深部構造の推定を困難なものにしている。そこで実験構造地質学的手法を応用し、より精度の高い構造評価を行うことが問題解決の一手段として必要とされている。今回は特に特徴的な2地域、すなわち山中背斜地域と片貝構造地域を対象として、構造形成モデルを設定し、スケールモデル実験によりその妥当性を検討し、合わせて実験構造地質学的手法の問題点と可能性を検討したので紹介する。

ここで採用したスケールモデル実験は、相似

1991年12月5日受付。1992年6月30日受理。

* 石油資源開発(株)技術研究所。JAPEX Research Center, Chiba, 261 Japan.

** 石油資源開発(株)探鉱部。JAPEX Expl. Dept., Tokyo, 107 Japan.

***石油資源開発(株)札幌探鉱所。JAPEX Sapporo Office, Sapporo, 064 Japan.

律の検討を行う必要はあるが、深部の構造を対象とする本地域のように、不明の因子や定量化されていない因子が多く存在する場合でも実験を行うことができ、破壊や変形の過程を直接肉眼で確かめられるという利点を有している(小室・藤田, 1980). 以上のことから本論の検討手法にスケールモデル実験を採用し、構造形成モデルの妥当性について検討を加えることとした。

山中背斜地域の形態とスケールモデル実験

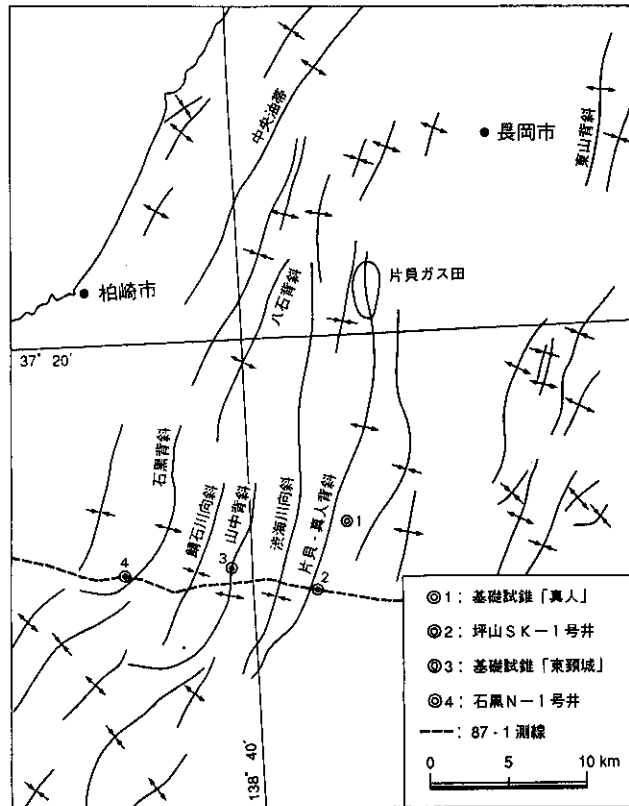
東頸城地域の地表での構造形態は凝灰岩鍵層の追跡などにより明らかにされている(小林ほか, 1989; 風岡, 1988; 高野, 1990ほか)が、その深部構造は厚さ6000mにもおよぶ堆積物の存在のため不明な点が多い。そこで山中背斜地

域を対象地域として、深部構造の推定を試みた。

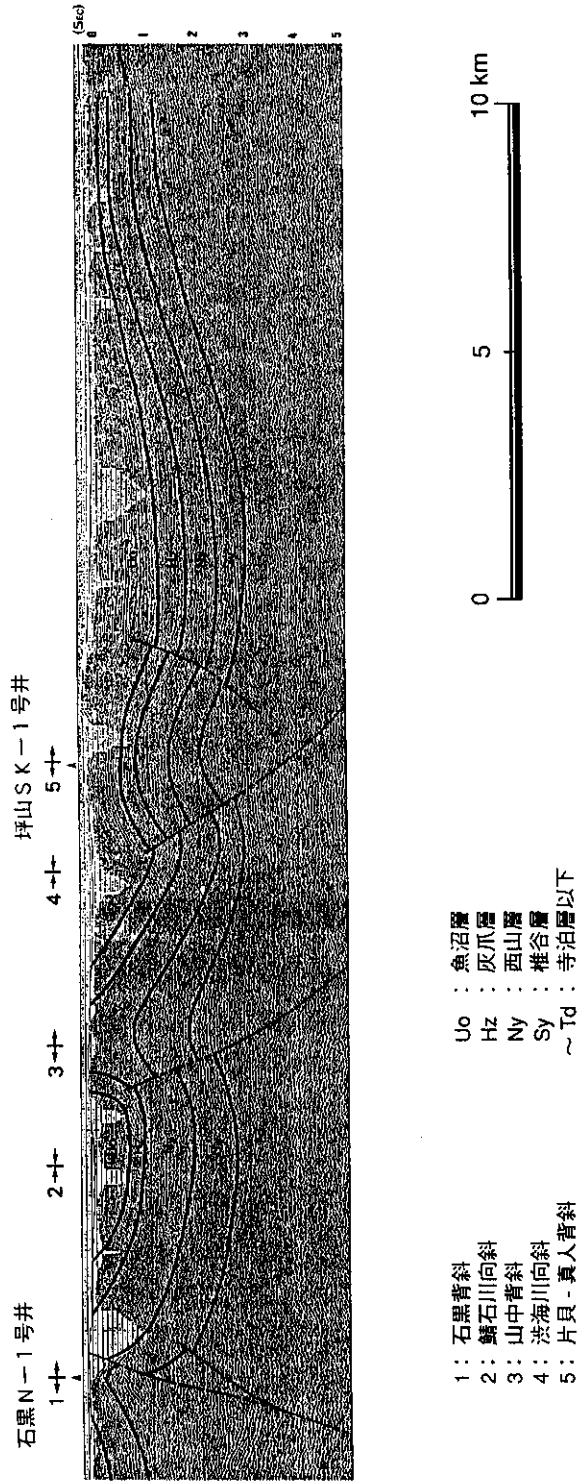
1. 構造形態とモデルの設定

山中背斜地域は西から順に鯖石川向斜, 山中背斜, 洪海川向斜, 片貝-真人背斜の各褶曲構造が, NNE-SSW から NE-SW 方向のいわゆる新潟方向の軸方向で分布している(第1図)。この地域の地質構造データとしては地表地質分布に加え, 地表フラクチャーデータ, 地震探鉱記録断面図(以下震探記録と略す), 坑井データが得られている。以下に構造形態について述べることにするが, 主として震探記録上で説明することにする。

使用した震探記録は, その測線が石黒N-1号井付近と坪山SK-1号井付近を結ぶほぼ東西方向のものである(第1, 2図)。震探記録上の浅部構造の形態としては山中背斜・片貝-真人



第1図 位置図.



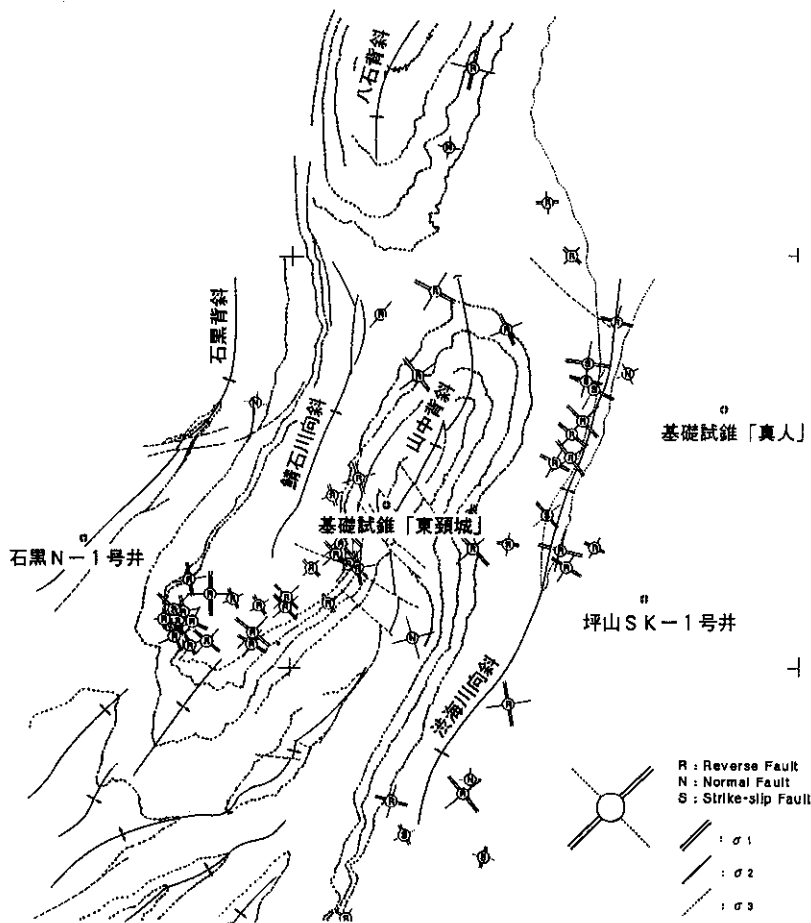
第2図 地震探査記録断面図(基礎調査「頸城一田麦山87-1」).

背斜ともに西急東緩で、地表での構造形態に調和的である。また西翼部に東傾斜の逆断層を伴っている。これらの背斜に挟まれていた洪海川向斜は地表で見られる形態と同様に閉じた (Close; Fleuty, 1964) 形態を示す。また震探記録の縦軸を時間軸から深度軸に変換 (Depth Conversion) した記録を使用して現在の各層の層厚変化を観察した結果、椎谷層より下位の地層は地表の洪海川向斜軸付近から山中背斜軸付近に向けて層厚が増しており、西山層より上位では逆に洪海川向斜軸付近で層厚が増していることが読み取れた。しかも椎谷層以下では山中背斜軸の西側に層厚の急変する箇所があり、東方から徐々に増してきた層厚が急に薄化するこ

とが読み取れる。つまり、層厚の急変する場所は現在の背斜構造とほぼ調和的である。

地表フラクチャーデータを検討した金子ほか (1987MS), 並川ほか (1988MS), 山田ほか (1989MS) による小断層解析結果 (第3図) からは、ほとんどの地域で構造方向 (新潟方向) に直交する方向の圧縮場を示すが、基礎試錐「東頸城」の南方の山中背斜軸部付近で一部伸張場の存在が認められることが読み取れる。ちなみに構造性節理の卓越方向も小断層解析結果を支持している。一方、層面滑りの存在から、フレキシユラル・スリップ型の褶曲運動を示していることも判明した。

また、植村 (1990) は小断層解析による古応力



第3図 小断層解析結果.

場の復元という手法により、山中背斜は形成の初期には北西-南東方向の水平圧縮場のもとで座屈型の褶曲がある程度まで成長し、やがて背斜部の隆起をもたらす応力場に移行して曲げ型褶曲に移行していったと解釈している。同様の見解は、国安ほか(1989)によっても述べられている。

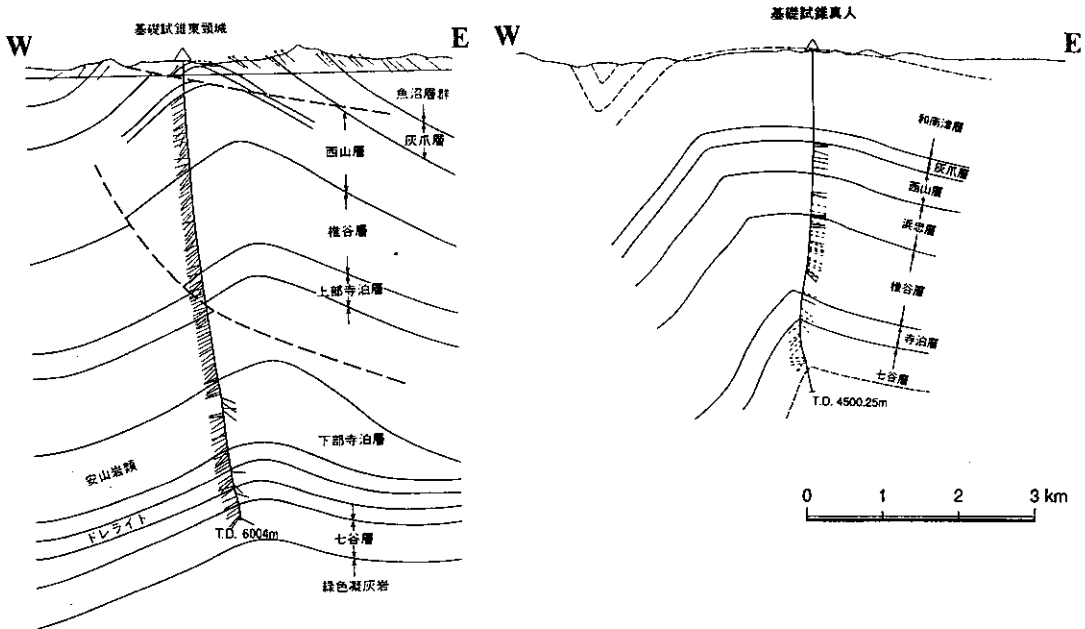
以上のように、本地域の褶曲構造は基本的には水平圧縮の古応力場に支配されて形成されたものと解釈される。

上記した震探記録の測線付近にある既存坑井には、前述した2坑井のほかに、基礎試錐「東頸城」、岡野町SK-1号井、基礎試錐「真人」などがある(第1図)。これらの坑井データのうち、今回は物理検層の一種であるディップメーター(Dipmeter; 地層傾斜測定器)のデータから構造形態を読み取ってみた(第4図)。基礎試錐「真人」の浅部と坪山SK-1号井などのデータからは、いずれも片貝-真人背斜南部の両坑井付近では背斜軸付近の浅部形態が、地表の形態に調和的な緩い(地層傾斜10~20°程度)褶曲形態であることを示している。しかし基礎試錐「真

人」の深部では、地層傾斜が西傾斜で急になり、背斜頂部も閉じた(Close)形態になっていることが読み取れる。このことは、片貝-真人背斜南部の深部構造が西フェルゲンツで、下位ほど閉じた形態を呈することを物語っている。山中背斜の背斜軸付近において掘削された基礎試錐「東頸城」の地層傾斜データは、ほぼ全深度にわたって西傾斜を示しており、山中背斜も西フェルゲンツの形態を呈する事が示されている。

以上、地層の層序分布と褶曲の形態的特徴、古応力場を述べたが、これにより考察された地質構造形成モデルは以下の通りである。

椎谷期までは現在の背斜軸部が最大沈降部となる西に傾動する半地溝(Half Graben)形成の場にあった。それにより東から西へ層厚を増す各層の層厚変化が形成された。西山期以降は半地溝の活動が転換し、沈降部が逆に隆起を始め、構造形成を始めた。つまり半地溝を境に運動像の逆転が見られ、これは広域的な力学場が変化したことを推定させる。恐らく初めは正断層として成長し始め、その後逆断層に運動を転換し



第4図 基礎試錐「真人」・「東頸城」東西断面図。

たのであろう。この運動の転換により半地溝の境界(基盤ブロック境界)から上方の堆積物中に東傾斜の逆断層が成長し始め、その上盤側では背斜構造が形成されていったと考え、圧縮場において褶曲と逆断層が形成されたことを示し、震探記録から読み取れる構造形態、坑井データ・地表フラクチャーデータと整合的であると考えられる。

ちなみに新潟堆積盆地での構造形成過程については2つの解釈があり、1つは東山背斜(小玉ほか, 1974)・新津背斜(新津団研, 1978)・中央油帯(望月, 1962)・富倉背斜(中村, 1982)などの研究による、基盤のブロック運動に伴う被覆層の変形が構造形成の本質であるとの説で、他の一つは後谷背斜(小松・渡辺, 1968)・岩田背斜(小松, 1990)などにおける、西山層内の流動による構造形成説が掲げられている。山中背斜地域の地質構造はこのような説のうち、前者を支持するものと判断され、新潟地域の構造形成モデルの基本タイプの一つを代表するものである。

山中背斜地域の傾動運動の転換は、この地域の広域応力場が伸張場から圧縮場に転換したことと密接に関係していると考えられる。新潟地域の褶曲構造を例としてみると、背斜構造が形成を始めた時期については、新潟堆積盆北部にある榎形背斜では、椎谷層以上の地層がその頂部に向かって層厚を減ずる傾向が認められていることから(片平, 1969)、椎谷期であると考えられる。また、中央油帯ではその西翼部で椎谷層以上の層厚に、東翼では西山層以上の層厚に変化が認められることから(小玉ほか, 1971)、椎谷期から西山期にかけて背斜が形成され始めたと考えられる。山中背斜地域では西山期としたが、これは他地域ともほぼ一致する。一方広域テクトニクスとの関連で考察すると、佐藤ほか(1982)は小断層や岩脈の解析から、水平圧縮応力が強くなるのは東北日本外帯で50万年前頃、内帯で鮮新世末からであるとした。これに対し、竹内(1981)は岩脈を用いて解析を行ない、東西伸張応力場(第II期)から東西圧縮応力場(第III期)に移行したのは後期中新世末(およそ

6.5Ma)であるとしている。山中背斜地域で考えられた西山期は約5Maの鮮新世に該当し、前述の広域テクトニクスとの対応に関しても調和的である。

これまで述べてきた地質構造形成モデルをまとめ、残された課題と実験の目的について述べてみたい。山中背斜地域では半地溝形成活動とその転換により西急東緩の非対象褶曲構造と断層が形成され、向斜軸から背斜軸に向けて層厚を増す層厚変化が形成された、つまり基盤のブロック運動とその運動方向の転換によって構造形成がなされたと総括される。しかし、このような比較的単純な基盤運動のみにより褶曲の非対象形態や断層活動、小断層解析結果から考察される古応力場などがすべて形成されるのか、依然として不明である。そこでスケールモデル実験を行ない、構造モデルの蓋然性を検討する必要が出てきたのである。

2. スケールモデル実験の条件と方法

スケールモデル実験を行うにあたり、次のように地質構造モデルを単純化した。

実験系として山中背斜から片貝-真人背斜系列南部間の2背斜、1向斜構造を採用する。これらの褶曲群は椎谷層までは実験系の水平引張を考え、これが基盤ブロックの差別的傾動運動をもたらしたと考える。傾動をもたらしした差別沈降量は実際の層厚差を再現するように設定する。一方、西山期以降は実験系が短縮運動を起こし、この結果基盤ブロックは水平方向の短縮を伴いつつ差別的に昇降運動を行なったものと考え。これらの実験では、基盤ブロックを想定した実験基盤に油圧モーターと連動したアクチュエーターを連結し、これを水平方向に作動させることによって造構力を発生させた(第5図)。

本論文にて記述する全てのスケールモデル実験には、ベントナイトを純水と混ぜあわした粘土をモデル材料として使用した。この試料は含水率を変化させることで材料物性がコントロールできる。今回は含水率を67~75wt%(粘性率 $10^6 \sim 10^8$ poise: 平行盤粘度計による測定)に変

化させて実験を行なった。

なお、実験に際しての相似条件は第1表に示す通りである。

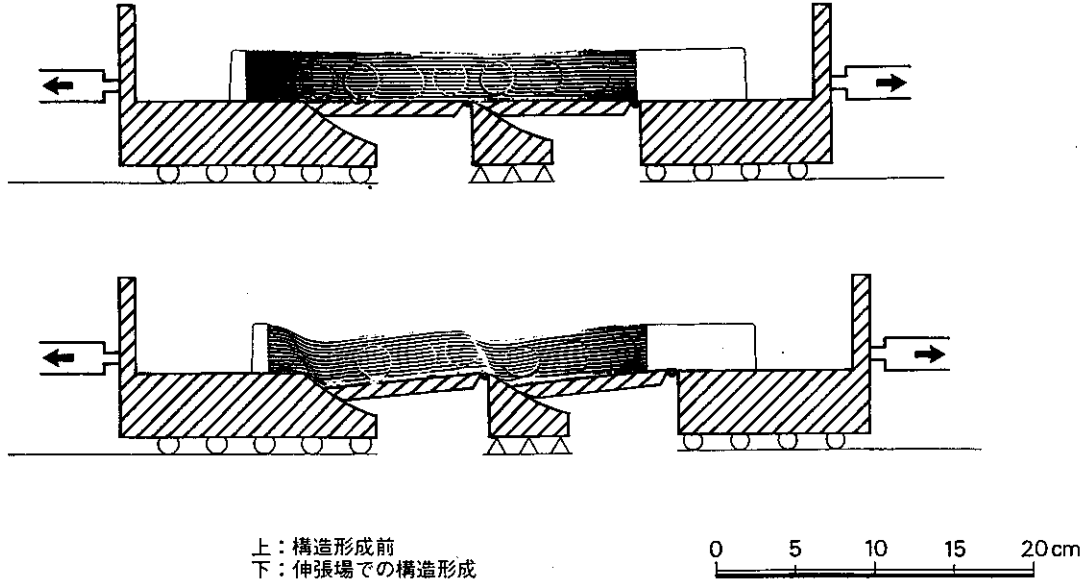
被覆層は基盤岩に比べ粘性率・ヤング率共に桁違いであるため、定性的には被覆層内を1層に扱えると考えられるが、実際には岩相や圧密などに支配されて異なっている。そのため今回の実験では、各地層の力学特性を考慮し、それぞれ異なった材料物性を有する3層、すなわち下位層より粘性値 $10^7 \sim 10^8$ poise, 10^7 poise程度, $10^6 \sim 10^7$ poiseの3層に区分した。

実験方法はまず1層目の材料を上面を水平にした実験基盤上に整形し、アクチュエーターを引張させ、半地溝構造を形成させた(第5図)。

次に1層目の材料の上に2層目の材料を圧密しないように、また上面が水平となるように堆積させた。この後、アクチュエーターの引張により、半地溝を更に強調し、3層目を堆積させる方法をとった。つまりこの実験は椎谷層以下の伸張場における変形過程を観察したことになる。一方、西山期以降の圧縮場については、アクチュエーターを逆に押して、実験基盤を短縮させ、褶曲過程の観察を行った(第6図)。

3. 実験の結果

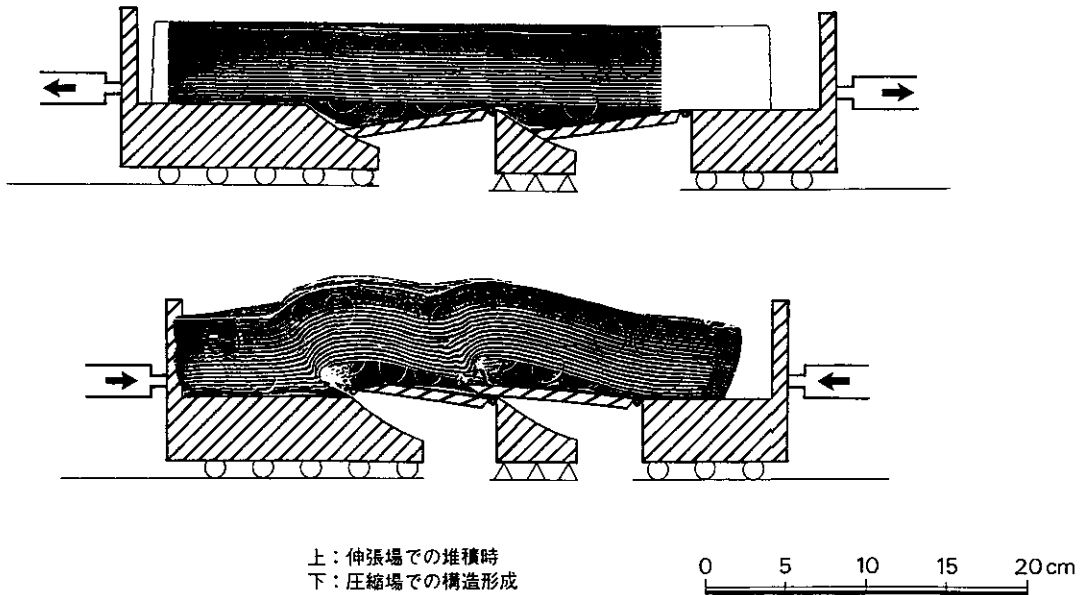
伸張場における半地溝形成の過程では、2層目と3層目の材料は共に地溝部で層厚が増した形態となった。また基盤境界から上方に向かい



第5図 山中構造実験図(伸張場)。

第1表 相似律。

独立因子 (independent parameters)	計算される因子 (calculated parameters)
長さ： $C_l = 2 \times 10^3$	時間： $C_t = C_l / C_r = 4 \times 10^{11}$
速度： $C_r = 5 \times 10^3$	粘性： $C_v = C_d * C_g * C_l * C_t = 4 \times 10^{16}$
密度： $C_d = 5 \times 10^{-1}$	強度： $C_s = C_v / C_t = 10^5$
重力加速度： $C_g = 1$	



第6図 山中構造実験図(圧縮場).

syntheticでlistricな正断層の成長と、小規模なantithetic正断層の形成が観察された(第5図)。これはWithjack et al. (1990)の単層実験結果とはほぼ同一である。

圧縮場に転換した後、実験基盤の短縮による半地溝の復元運動が開始し、それまで地溝部であったところが隆起し、西急東緩の非対象背斜構造が形成し始めた(第6図)。その活動に伴い、伸張場において形成されたlistricな正断層付近に応力集中に起因すると思われる強変形域が形成され、その後最下部では逆断層として運動を開始した。しかし、逆断層面は正断層面と完全に同一ではない。すなわち、実験基盤の境界から正断層面の深部を使用して上方に成長を始めた逆断層は、やや傾斜をゆるめ、実験条件によっては、最上部で衝上断層様の形態を呈するに至ったのである。また、これに共役する左(西)傾斜の小規模な層面すべりの形成も観察された。歪楕円を用いた解析からは、背斜構造頂部で構造形成後期に伸張場に転換することが観察されたことを除けば、実験材料がすべての場所で常に側方圧縮場にあることが読みとれた。

このように、山中背斜地域の構造形態と層厚変化、つまり西翼部に東傾斜の逆断層を伴う西急東緩の非対象背斜構造の形態と、椎谷層以下で観察される西方に層厚が増して背斜軸部が最大層厚部になる層厚変化は、ほぼ再現できたと考えられる。また、小断層解析から考えられた背斜軸部の伸張場、その他の地域の圧縮場さらには層面すべりの存在なども再現された。

一方、山中背斜西翼部の魚沼層最下部付近には垂直から一部逆転した急傾斜帯の存在が知られているが、今回の実験では再現できなかった。また、洪海川向斜の断面形態も実際より緩いものになった。これらは、実際の基盤ブロックの傾動運動量が実験で見積られた量と異なる可能性や、実験材料が相似律を完全には満たしていない可能性、さらには相似律の設定に妥当でない点がある可能性などから由来すると考えられる。

しかし、本地域の地質構造を地域の堆積過程も含めてその形成過程を考察すると、本地域は水平方向の応力に起因した差別的な傾動運動場にあり、しかもその運動センスが反転すること

によって形成されたインバージョンテクトニクスの地域であった事がモデル実験からも証明されたと考えられる。

片貝構造の形態とスケールモデル実験

片貝ガス田地域(第1図)においては当初は浅部貯留層が開発されていたが、より深部に貯留層が発見され、現在では深度5000mを越える坑井が掘削されている。これらの探鉱活動の結果、片貝構造の形態は浅部と深部で異なることが知られるようになった(猪間・赤堀, 1982)。そこで、このような構造がどのような形成過程と形成機構を有しているものなのか、検討を試みた。

1. 構造形態とモデルの設定

この地域の地質構造データとしては地表地質分布に加え、震探記録、坑井データが得られている。

片貝構造浅部(西山層以上)は、宮下ほか(1970)により、今回対象地域としている背斜構造北部で東翼がほぼ垂直であるのに対し、西翼は 20° 以下の緩傾斜の東急西緩の開いた(Open; Fleuty, 1964)比較的単純な背斜構造の形態を示すことが明らかにされた。また、物理検層のディップメーターデータもこれを支持する。広域的な坑井対比を行った結果、片貝構造軸部付近について作成された地質断面図(第7図)からは、現在の背斜軸付近で層厚が薄く、軸から(特に東方に向かって)離れるに従い、層厚を増す傾向にあることが読みとれた。この背斜構造は現在の地形にも反映しており、いわゆる活褶曲として知られている。

一方構造深部(寺泊層・椎谷層)は、東傾・西傾の2系統の逆断層に切断された複背斜構造に移化していることが明らかとなった(第7図)。坑井対比の結果、これら2系統の逆断層は、西傾斜のものが東傾斜のものを切っていることが知られている。また層厚も背斜軸部付近で増す傾向に変化している。さらに深部(七谷層以下)では再び緩やかな構造形態に変化しているものと推定されている(第7図)。

鈴木ほか(1971)は、真人一片貝背斜を東山背斜などと同じ第1級の背斜構造と分類し、地表での形態から片面箱型背斜構造とした。

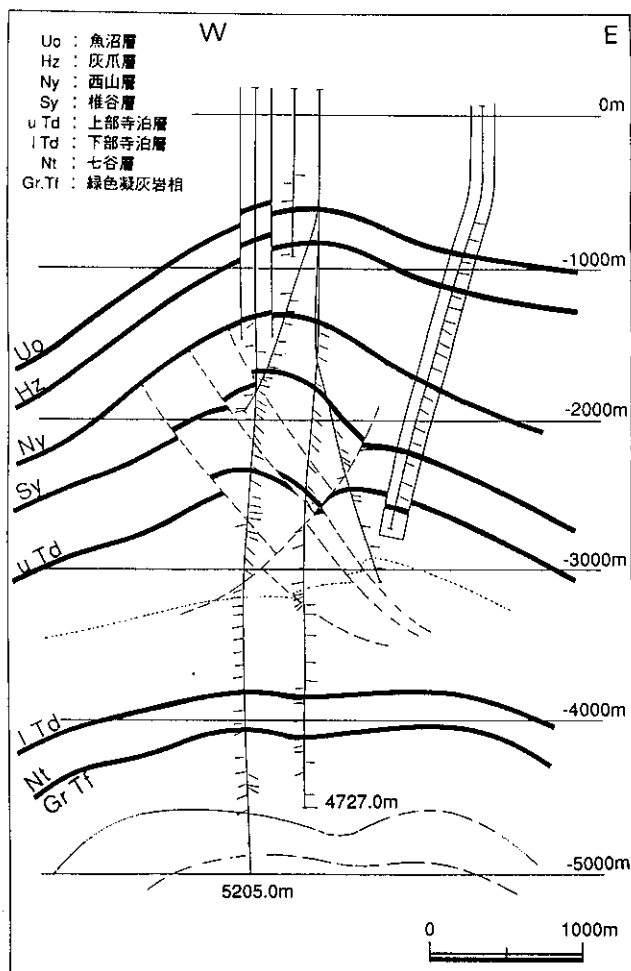
このように深部での複雑な形態を考慮すると、他構造よりやや複雑な形成機構を有すると考えられるが、地域性などから、片貝構造も山中背斜地域と同様に基盤のブロック運動に支配されて構造が形成されたと推察し、本地域の地層の層厚分布、褶曲の形態的特徴、断層の配置様式などから、地質構造形成モデルを以下の通りに設定した。

地表の背斜軸付近に狭い頂部をもつ地塁が地下深部に存在し、その東西両側にある基盤ブロックが傾動運動することによって、片貝構造が形成されたと考える。すなわち、椎谷層以下では現在の背斜構造に向かって層厚を増していることから、東西両側のブロックは椎谷層堆積期までは地塁方向に傾動した。それに対し、西山層以上では現在の背斜構造頂部で層厚が減していることから、ブロックの運動はそれまでと逆に地塁と逆方向に傾動したと考えた。この時期には2つの基盤ブロック境界から発生した2系統の逆断層が形成され、これらによって褶曲構造はより複雑な形態を呈するようになったものと予想される。即ち、基盤ブロックの差別運動は椎谷期までは正断層運動、西山期以降は逆断層運動を行い、本地域は伸張場から圧縮場へと応力場を転換したものと解釈した。この運動転換時期は山中背斜などでの転換時期と一致する。また七谷層は層厚変化や構造変形を示していないと考えられるため、基盤ブロックと同様に脆性的な挙動をしたと考えられる。

このように基盤ブロック運動による構造形成モデルを推定したが、推定した比較的単純な基盤運動のみにより、実際に構造形態が形成されるのか、依然として不明である。そこでスケールモデル実験を行ない、設定された構造形成モデルの蓋然性を検討した。

2. スケールモデル実験の条件と方法

スケールモデル実験を行うにあたり、前述した地質構造モデルをさらに単純化した。実験で



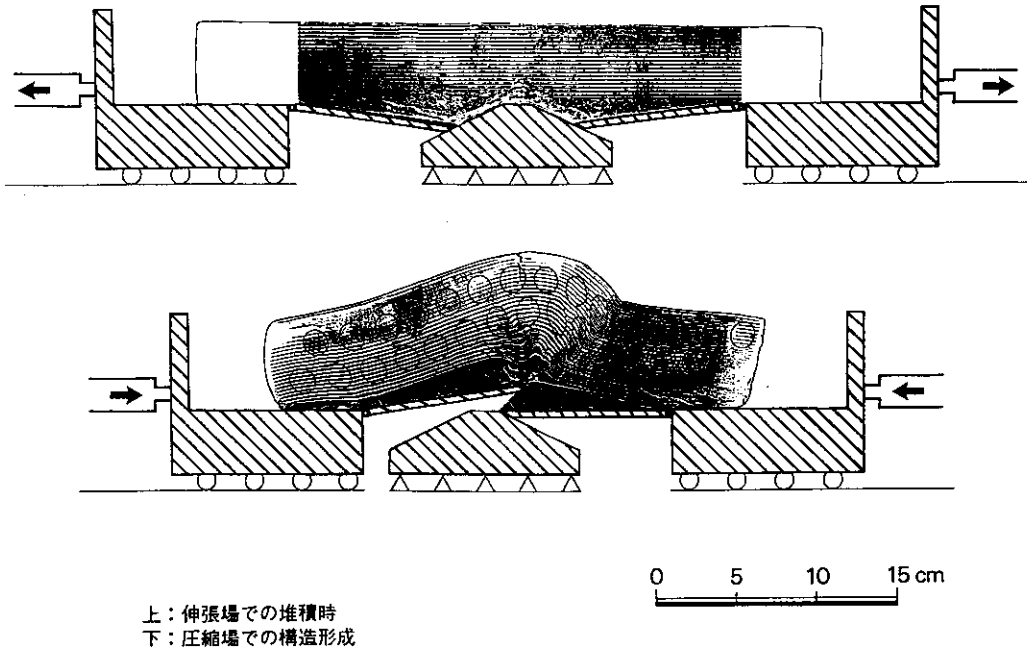
第7図 片貝構造断面図.

は、上述したように片貝構造を堆積時から再現することをとりあげ、地塁構造を呈するような実験基盤を製作し、その両側に差別的傾動運動を起こす可動式の基盤ブロックを配置した。この可動式ブロックは初期に伸張型、後期に圧縮型の造構力を起こすよう、アクチュエーターと連結し、強制的な変形を発生させた(第8図)。これによって圧縮型造構過程で同時に生じると予想される構造浅部の1背斜構造と構造深部の複背斜構造の構造形成過程を検討した。

なお、本実験においては被覆層の物性を単一層として取り扱い、実験材料の物性を均一なも

のとした。

実験方法は以下の要領で行った。まず製作した実験基盤に2つの半地溝を設定し、これを初期形態とした。次に実験材料を上面が水平となるように実験基盤上に整形し、片方のアクチュエーターを短縮させ、半地溝が水平になるまで復元させ、次にもう一方のアクチュエーターを短縮し、半地溝を復元させるといった方法で行った。つまり伸張場での実験は山中背斜地域と同様な実験結果が得られると考えられるため省略し、椎谷層以下の圧縮場における変形過程を観察した。しかし、層厚変化を表現するため、



第8図 片貝構造実験図。

材料の整形前に実験基盤を活動させたわけである。

3. 実験の結果

向かって右(東)側のアクチュエーターを短縮し、半地溝を復元させた結果、それまで地溝部であったところが反転隆起し、山中背斜と同様な軸面が傾いた背斜構造を形成した(第8図)。それに伴い、右側の基盤ブロック境界から左上方に(すなわち東傾斜の)逆断層が成長した。次に左(西)側のアクチュエーターを短縮し、半地溝を復元させた結果、向斜構造を成していた半地溝部が反転隆起し、右傾斜であった軸面が垂直になり、左傾斜に転じた。また背斜構造の成長に伴い、それ以前に形成されていた逆断層を切って、左側の基盤ブロック境界から右上方に逆断層が成長を続けた。その結果、浅部の1背斜構造が深部で複数の断層に切断された複背斜構造に移化する構造形成過程が観察された(第8図)。

歪楕円を用いた解析からは、背斜構造頂部で

構造形成後期に伸張場に転換することが観察されたことを除けば、実験材料が常に側方圧縮場にあることが読みとれた。

片貝構造の形態および層厚変化、つまり浅部で東急西緩の1背斜構造が深部で2系統の逆断層に切断された複背斜構造に移化している構造形態と、浅部で背斜軸から離れる方向に層厚を増す傾向が深部で背斜軸方向に増す傾向になる層厚変化は、実験によりほぼ再現できたと考えられる。このように本地域の地質構造も、基盤ブロックの形態こそ異なるものの、山中背斜地域と同様にインバージョンテクトニクスの地域として統一的に解釈することが可能である。

新潟油田地域における構造形成過程について

山中背斜地域と片貝構造の構造形態および層厚変化が実験によりほぼ再現できたことは、本論で考察された地質構造モデルが妥当なものであったことを示している。これら2つのモデルは「水平方向の応力に起因した基盤ブロックの

差別的傾動運動とその運動センスの反転(テクトニックインバージョン)による構造形成」という考え方で共通したものであった。

前述したように、「基盤のブロック運動による構造形成」という考え方は、東山背斜(小玉ほか, 1974)・新津背斜(新津団研, 1977)・中央油帯(望月, 1962)などで考えられてきたが, 山中背斜地域や片貝構造に対しては, ブロック運動の中でもテクトニックインバージョンが構造形成に重要な役割を果たしている, と総括される。

鈴木(1971)は, 第2級背斜の加茂型褶曲は基盤ブロックの反転運動(つまりテクトニックインバージョン)によって形成され, 第1級背斜は基盤ブロックの隆起運動によって形成されたとしたが, 今回の結果から片貝構造など鈴木ほか(1971)が第1級背斜とした構造も, テクトニックインバージョンにより形成されうると考えられる。ちなみに, Kodama et al. (1985)は中央油帯～東山背斜の構造形成過程を数値シミュレーションにより検討した結果, 本地域の褶曲構造は両翼の形成時期が異なり, 複数の構造変形が累積したことにより, 形成されたものであるとの見解を示している。これはテクトニックインバージョンにより形成された変形構造の浅層形態の一表現と見なすことができる。このような特性は, 新潟地域の褶曲構造に一般的なものであるかもしれない。

また, 広域応力場が構造形成運動の多くを支配していると考えられる東北日本弧では, 他の地域でもテクトニックインバージョンによって形成されたと考えられる構造が存在する。前述の富倉背斜(中村, 1982)は, 基盤地塊の傾動方向の転換によって, 構造が形成されたと考えられている。また中村(1989)は, 仙台平野部から仙台湾にかけての地域では, 伸張テクトニクスの時期に生じた正断層がその後の短縮テクトニクスの時期に逆断層として再活動したことを推定している。これらの研究では, 各地域の堆積史から構造発達史を読み取ることによって, 表現こそ違うものの, いずれもテクトニックインバージョンにより構造が形成されていることを

推定していると考えられる。

まとめと問題点

本論をまとめると以下の通りである。

- ・山中背斜地域の構造形態は西翼部に東傾斜の逆断層を伴う西急東緩の背斜構造である。
- ・山中背斜地域では, 浅部では西方に層厚が増しているのに対し, 深部では逆に東方に層厚が増している。
- ・片貝構造の形態は, 浅部では東急西緩の1背斜構造であるが, 深部では2系統の逆断層に切断された複背斜構造に移化している。
- ・片貝構造地域では, 浅部では背斜軸から離れる方向に層厚を増す傾向であるが, 深部では背斜軸方向に増す傾向に変化している。
- ・このような構造形態・層厚変化はいずれも「基盤ブロックの差別的傾動運動とその運動センスの反転による構造形成」, すなわち「インバージョンテクトニクス」という考え方で説明でき, スケールモデル実験結果もそれを支持する。

残された問題点として以下の事柄があげられる。

- ・実際にはどの層準から基盤と扱えるのか検討する必要がある。
- ・後谷背斜・岩田背斜などにおいて指摘されている, 泥質岩の流動による構造形成の関与の程度を検討する必要がある。
- ・炭化水素の生成と移動の時期などと, ここで提示した地質構造形成モデルを考察し, 片貝ガス田などの鉱床の成立が説明できるか検討する必要がある。

謝 辞 本論文をまとめるにあたり, 石油公団技術部長乗本治男氏には資料の公表を許可していただいた。また, 石油資源開発(株)専務取締役片平忠實博士・同社取締役技術研究所長浅川忠博士には資料の公表を許可していただき, 粗稿を読んでいただいた。同社探鉱部長荒木直也氏には粗稿を読んでいただき, 重要な御教示・

助言をいただいた。スケールモデル実験全般については地質調査所の小玉喜三郎博士に終始御指導を頂いた。また、新潟大学理学部の植村武教授には御教示・御討論いただいた。石油資源開発(株)佐賀 肇氏には震探記録の解釈に際し、御協力を頂いた。同社兼清豊比古氏には様々な御指導・御協力を頂いた。図表の制作は同社小川浩美氏にお願いした。以上の方々に深く感謝の意を表する。

文献

- 相場惇一, 1982: 秋田・新潟油田の貯留構造の二重性。地団研専報, no.24, 299-308
- Fleuty, M. J., 1964: The description of folds. Proc. Geol. Assoc., v.75, 461-489
- 猪間明俊・赤堀芳雄, 1982: 片貝ガス田深部の探鉱。石技誌, v.47, 23-30
- 金子賢嗣・阿部正憲・並川貴俊・国安 稔・江波戸俊和・三宅啓司・御手洗浩文・柴崎俊明, 1987(M S): 「頸城構造解析'86」班地表地質調査報告書(石油資源開発(株)社内資料), 47p.
- 片平忠實, 1969: 新潟県北蒲原平野の基盤構造と地質発達史(上), (下)。石技誌, v.34, 249-256, 314-319
- 風岡 修, 1988: 新潟県東頸城丘陵東部の魚沼層群の層序と層相。地球科学, v.42, 61-83
- 小林巖雄・立石雅昭・黒川勝巳・吉村尚久・加藤碩一, 1989: 岡野町地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 112p.
- 小玉喜三郎・樋口茂生・三梨昂, 1971: 新潟県中永峠に発達する逆断層を伴う小褶曲構造について。地調月報, v.22, 329-341
- 小玉喜三郎・鈴木尉元・小川銀三・丸田美幸, 1974: 箱型褶曲の内部構造について。地調報告, no.250, 121-143
- Kodama, K., Long, X. M., Suzuki, Y., 1985: Structural Analysis of Deep-Seated Volcanic Rock Reservoirs By Tectonic Simulation. Unated Nation ESCAP CCOP Tech. Bull., no.17, 61-79
- 小松直幹・渡辺亨, 1968: 小断層より解析した西山油田の地質構造(予報)。石技誌, v.33, 157-162
- 小松直幹, 1990: 新潟油田の褶曲一形態と形成過程。地質学論集, v.34, 149-154
- 小室裕明・藤田至則, 1980: グリーンタフ造山における陥没盆地の発生機構。地質雑, v.86, 327-340
- 国安 稔・服部昌樹・山田泰広・金子賢嗣・並川貴俊, 1989: 東頸城地域の構造解析。石技誌, v.54, 316-317
- 宮下美智夫・鈴木尉元・島田忠夫・三梨昂・影山邦夫・樋口茂生, 1970: 日本油田・ガス田図7, 魚沼。地質調査所
- 望月 央, 1962: 新潟県下の新第三系の石油地質学的考察一特に中越地区の構造の発達と石油の集積について。石技誌, v.27, 557-585
- 中村和善, 1982: 新潟県高田平野南方地域における後期新生代の構造運動(その1), (その2)。地質雑, v.88, 155-175, 343-362
- 中村光一, 1989: 東北日本後期新生代の partly inverted basin の構造様式。地調月報, v.40, 583-584
- 並川貴俊・山田泰広・田中 豊・岡田欣也・島田忠明・野口清志, 1988(MS): 「頸城構造解析'87」班地表地質調査報告書(石油資源開発(株)社内資料), 36p.
- 新津背斜団体研究グループ, 1978: 新潟油田新津背斜の形成機構。地球科学, v.31, 70-82
- 佐藤比呂志・大槻憲四郎・天野一男, 1982: 東北日本弧における新生代応力場変遷。構造地質研究会誌, no.27, 55-79
- 鈴木尉元・三梨昂・影山邦夫・島田忠夫・宮下美智夫・小玉喜三郎, 1971: 新潟第三系堆積盆地に発達する褶曲の形成機構について。地質雑, v.77, 301-315

- 高野 修, 1990: 北部フォッサマグナ新第三系
田麦川累層のトラフ充填タービダイト
の形成過程. 地質雑, v.96, 1-17
- 竹内 章, 1981: 広域応力場の変遷と堆積盆の
テクトニクス. 地質雑, v.87, 737-751
- 植村 武, 1990: 東北本州背弧南部における後
期新生代の褶曲機構と地殻変動. 地質
学論集, no.34, 199-209
- Withjack, M. O., Olsen, J., Perterson, E., 1990:

Experimental Models of Extensional
Forced Folds. A.A.P.G., v.74,
1038-1054

- 山田泰広・吉田宏生・大野尚樹・東 将司・橋
本 創・松田博貴・塚本一朗, 1989
(MS): 「頸城構造解析'88」班地表地
質調査報告書(石油資源開発(株)社内
資料), 26p.