

# 九州西方-山陰・北陸海域

## 日本海南部における鮮新世以降の応力場変遷

伊藤 康人<sup>1)</sup>・荒戸 裕之<sup>2)</sup>

### 1. はじめに

九州西方-山陰・北陸海域では, 石油公団による多くの基礎物理探査(昭和48年度「北陸」, 昭和49年度「北陸-山陰」, 昭和56年度「富山沖・北陸-隠岐沖・山陰沖」, 平成元年度「山陰-北九州沖」, 平成7年度「対馬沖」)が実施されている。また, 基礎試錐(昭和57年度「鳥取沖」, 昭和60年度「金沢沖」, 昭和63年度「香住沖」, 平成8年度「五島灘」)や企業による資源探査坑井(山陰沖については南(1979); 北陸沖については帝国石油(株)とガルフオイルによる「金沢沖-1x」および「香住沖-1x」)の資料も利用でき, 構造発達史について詳細な解釈が可能である。今回は6Ma以降に絞って, 日本海南部における造構応力場の変遷とテクトニクスを議論する。

### 2. 地質構造の概要と海底地形

九州西方海域(第1図): 対馬の西縁に沿った北北東-南南西方向の対馬-五島断層(伊藤ほか, 1997)は第三紀から存在した断層で, 対州層群相当層が堆積したハーフグラベン<sup>1)</sup>の東部にあたる。前期中新世の日本海拡大時には右横ずれ, 6Maの不整合形成期には左横ずれ活動を起こした(Itoh and Nagasaki, 1995, 1996)。第四紀にも活動した可能性があり, 同じトレンドを持つ韓国東部の梁山断層系との関連が注目される。福江海盆には, 対馬-五島断層の右横ずれ活動に伴う多くの断層が存在する。それらは中新世で活動を停止し, 6Ma前後に軽微な不整合が形成されたが, それ以降頭

著な構造運動はない。五島灘においては, 6Ma以降に急速な沈降が生じている(Itoh *et al.*, 1999)。堆積盆地東縁は野母崎延長の北東-南西方向基盤隆起(第1図破線)で, 海底面に変位地形が現れている。

対馬西方には島列に平行な対馬トラフがあり, その東縁は急斜面をなす。五島列島西方には, 第三紀以降に発達した福江海盆がある。南方では水深400m程度に達し, 五島海底谷につながっている(井上, 1982)。それ以外は概ね水深200m以浅の平坦面が発達している。

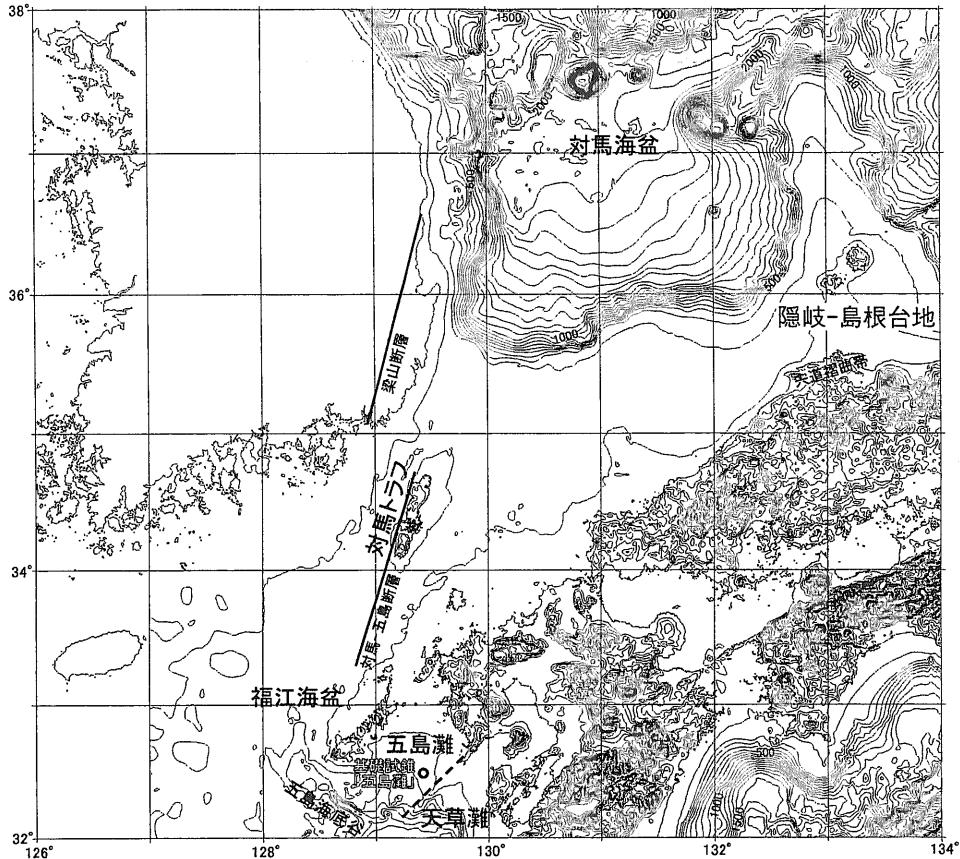
山陰沖海域(第1図): 本海域の基盤岩類と中新統には, 島根半島に見られる宍道褶曲帯の延長である東北東-西南西方向の褶曲・逆断層が発達し, 西方へ向かって構造方向を北東-南西へシフトさせながら対馬の褶曲構造に収斂していく。このトレンドは6Ma前後に形成された傾斜不整合より上位の地層には観察されない。より新しい構造トレンドは南北方向であり, 第四紀に成長を続けて不整合面を変形させている。

本海域の南部は概ね水深200m以浅の平坦面, 北部は対馬海盆南縁の斜面からなる。平坦面の幅は萩沖では120km程度であるが, 東に向かって狭まり日御碕沖では40km程度になる。平坦面上には上述の南北トレンドに対応する南北方向の隆起帯が2つ存在し, 西側は見島~千里ヶ瀬, 東側は隠岐-島根台地に相当する。対馬の島列方向も, ほぼこれに近い。

北陸沖海域(第2図): 日本海南部, 特に能登台地と隠岐-島根台地に挟まれた海域には, 新第三系・第四系堆積盆地が分布する。これ以降, 能登

1) 大阪府立大学 総合科学部 自然環境科学科:  
〒599-8531 大阪府堺市学園町1-1  
2) 帝国石油株式会社 探鉱部:  
〒151-8565 東京都渋谷区幡ヶ谷1-31-10

キーワード: 活構造, 応力場, 地震探査, 坑井地質, 九州西方, 山陰沖, 北陸沖



第1図 九州西方-山陰沖の海底地形ならびに坑井位置図. 水深の単位はm.

台地から隠岐-島根台地に至る海域を、便宜的に北陸沖海域と呼ぶ。

北陸沖海域は、複雑な構造形態と複数の構造性堆積盆地の発達で特徴づけられ、これを埋積する厚層の新第三系・第四系堆積物は、堆積後に複雑な構造的変形を被っている(田中, 1979; 田中・小草, 1981; Yamamoto, 1993)ばかりでなく、堆積様式そのものも構造運動の影響を受けており(池原ほか, 1991など)、地質構造形態の一部は北陸沖海域における現在の海底地形にも反映されている。堆積物の変形様式から読みとることのできる構造運動は、中期中新世までに起こった日本海の拡大以降、現世に至る複数の時期にわたっており、それぞれ異なる地質的特徴を有する。

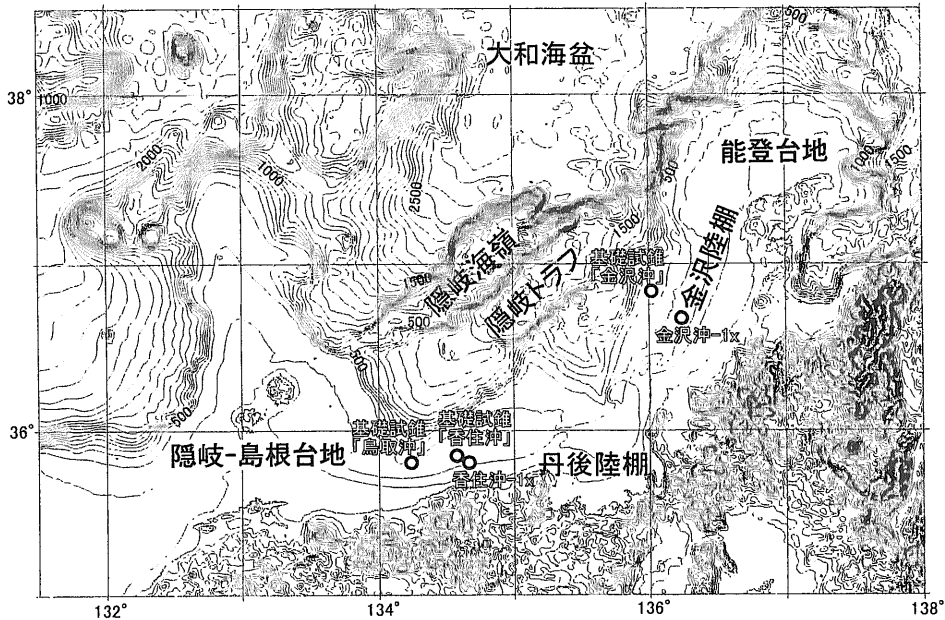
北陸沖海域の海底地形は、おおまかにみて、能登台地、金沢陸棚、丹後陸棚、隠岐トラフ、隠岐海嶺、大和海盆、隠岐-島根台地に区分される。

### 3. 火成活動

九州西方海域の五島列島周辺には、更新世～完新世のアルカリ火成活動が見られる。五島灘においても、地磁気異常や反射法地震探査における連続性に乏しい強い反射パターンから、最近の火成岩が伏在していると推定される。

山陰沖海域の隠岐諸島付近では、日本海周辺に特徴的なアルカリ火成活動が見られる(Itoh, 1991)。萩沖の石油坑井では中新統に貫入岩が確認されている(南, 1979)。その周辺には強い地磁気異常が発達していることから、広域の貫入活動が推定される(Itoh and Nagasaki, 1996)。

北陸沖海域では、基礎誌録「金沢沖」「香住沖」で前期～中期中新世の玄武岩・流紋岩などが確認されている(Itoh et al., 1997)。それ以降は、火成活動はあまり活発ではない。



第2図 北陸沖の海底地形ならびに坑井位置図. 水深の単位はm.

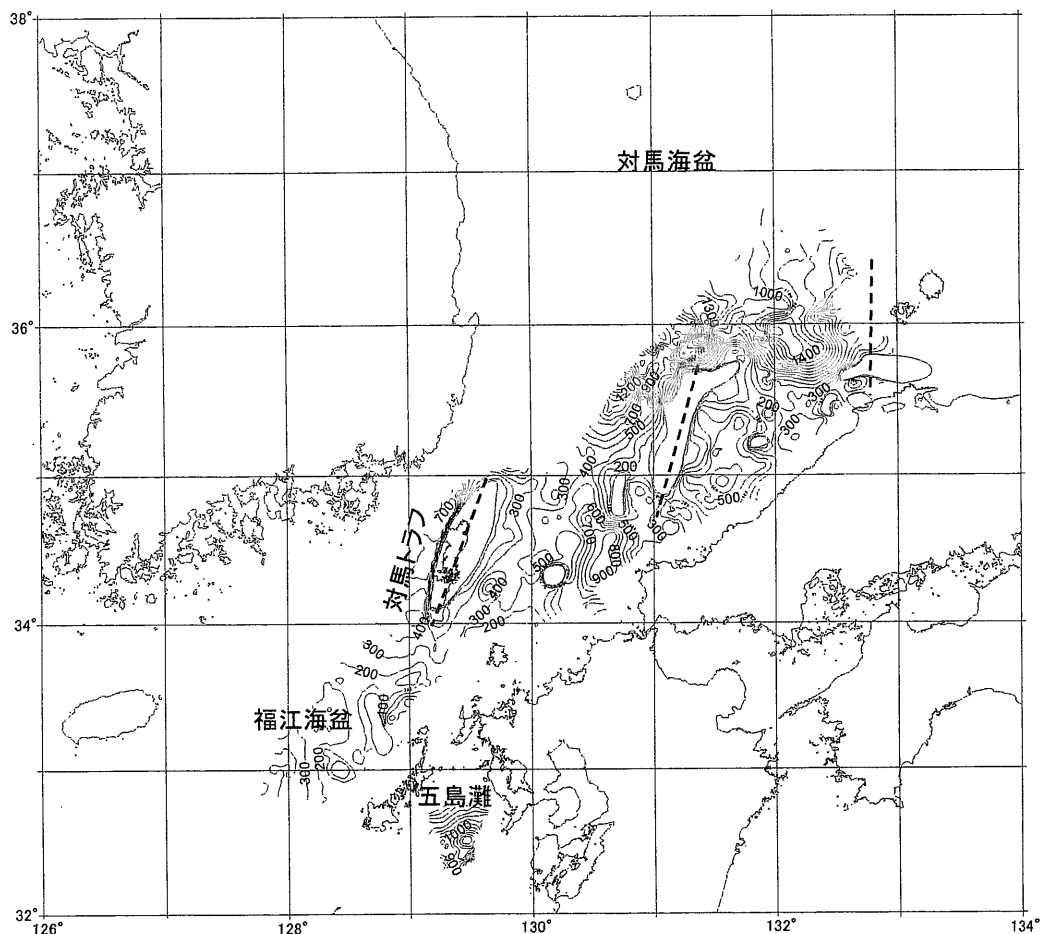
#### 4. イベントとして抽出した音響反射面と等層厚線図

九州西方-山陰沖海域(第3図): 山陰沖海域では、褶曲・逆断層構造を剝する大規模な傾斜不整合が発達し、地震探査記録上で強い音響反射面として認識される。この反射面は対馬周辺を經由して、福江海盆では軽微な傾斜不整合面に相当する(Itoh and Nagasaki, 1995)。五島列島南方は基盤岩露出地域であるため追跡不能になるが、五島灘でもほぼ同時と考えられる反射面が確認できる(Itoh et al., 1999)。基礎試錐「鳥取沖」および「五島灘」などの坑井層序との対比から、形成年代は概ね6Maであり、地域によって8Ma～5Maの範囲で年代が異なる可能性がある。

山陰沖海域では、イベント反射面から海底面までの地層は、対馬海盆に向かって厚くなる傾向を示し、隠岐-島根台地、見島～千里ヶ瀬、対馬の南北隆起帯(第3図破線)周辺で薄く背斜部では欠如する場合がある。その両側には、褶曲・逆断層を伴う。対馬トラフ～福江海盆では一般に薄く変化に乏しい。対照的に五島灘東部では極めて厚く、鮮新世以降に急速な沈降が生じたことを物語っている。基礎物理探査「対馬沖」の測線密度が十分

ではないので、走向は決定できないが、五島灘東部には鮮新世～第四紀に活動した多数の断層を確認できる(Itoh et al., 1999)。

北陸沖海域(第4図): 地震探査記録上で5層準の不連続面(discontinuities: 上位から順にdc10, dc20, dc30, dc40ならびにdc50)を同定した。基礎試錐「香住沖」は、基礎物理探査測線HS74-C-2上のSP.2,730に掘削されており、本検討における不連続面・ユニット区分と坑井における岩相層序を直接対比することが可能である。基礎試錐「鳥取沖」は、基礎物理探査測線上に掘削されていないが、帝国石油(株)-ガルフオイルによる東西測線SJX-106によってHS74-DおよびHS74-Eと対比することが可能である。その結果によれば、dc10とdc30はそれぞれ更新統/鮮新統境界面付近と鮮新統/中新統境界面付近の層準に相当する。また、dc40およびdc50はそれぞれ中部中新統内部、中部/下部中新統境界面付近の層準と解釈される。これらの関係は、帝国石油(株)-ガルフオイルの測線上に掘削された基礎試錐「金沢沖」においても、ほぼ矛盾なく確認される。ただし、dc20はいずれの坑井によっても確認することができず、したがって今回利用した資料からは直接その形成年代を決定することはできない。しかし、dc10とdc30の



第3図 九州西方-山陰沖海域の鮮新/更新統の等層厚線図。層厚の単位はm。破線は鮮新世以降に発達した隆起帯の軸。

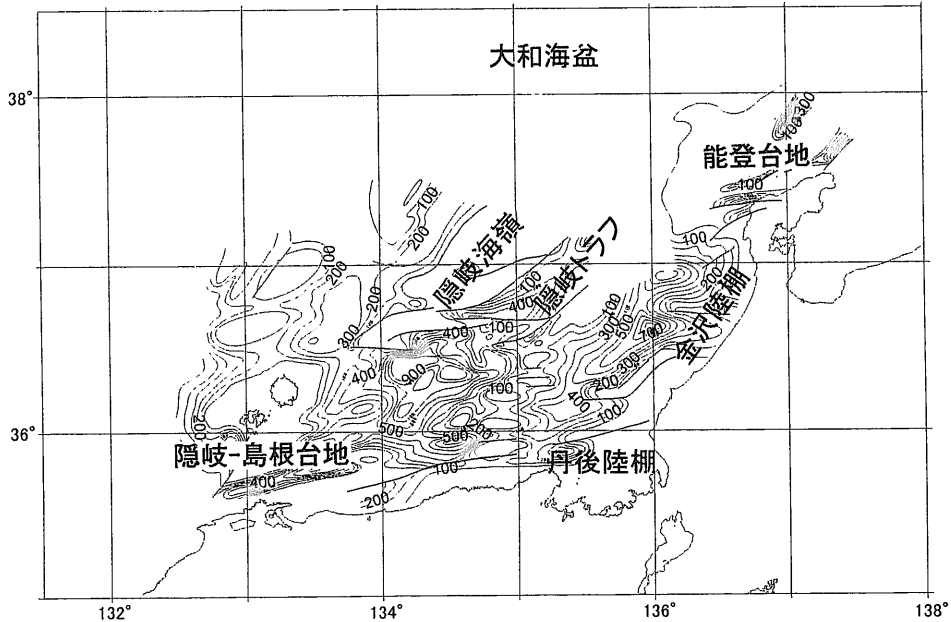
間、すなわち鮮新統内部の不連続面であることに間違いはなく、ここでは便宜的に上/下部鮮新統境界面付近に対比した。

海底面と5層準の不連続面によって区分される地層に上位から順にUnit A, B, C, D, EならびにFと名付け、おおよそ下部鮮新統に相当するUnit Cの等層厚線図(アイソパックマップ)を作成した。この図上で解釈された断層・褶曲ひとつひとつを区別し、震探解釈から判明した断層の特徴を記載するとともに、断層・褶曲形成のタイミングとユニットの堆積や不連続面形成の前後関係の検討を行った。

能登台地では、基礎物探の解釈結果から見る限り、基本的にUnit Fが海底面に露出すると解釈されるが、一部地域の浅層に断層が認められ、この

活動に伴って形成された小規模で浅い凹陷をUnit AとUnit Cの堆積物が埋積している。能登台地に認められる断層は、北東-南西の方向を有し断層面が南東に傾斜する逆断層と、東北東-西南西方向で北北西落ちの正断層に分類される。逆断層は、海底面を含めたUnit Aを変位させていることから、第四紀の活動と解釈される。これに対して、Unit Cがアバットする正断層は、変位をほとんど受けていないUnit Aに覆われることから、逆断層よりも古い時期、少なくとも鮮新世前期の活動と推定される。金沢陸棚から能登台地にかけての海域では、Unit Bがほとんど分布しないことから、鮮新世後期の構造運動像を推定することは困難である。

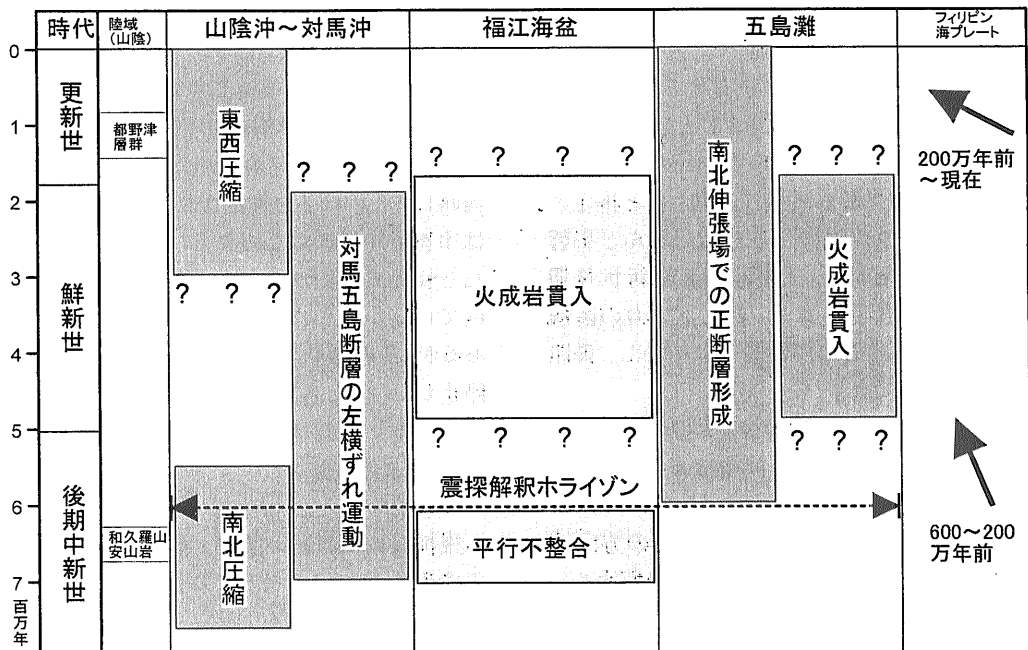
金沢陸棚域に認められる断層は、東西方向~北東-南西方向に伸びる正断層と解釈される。基礎



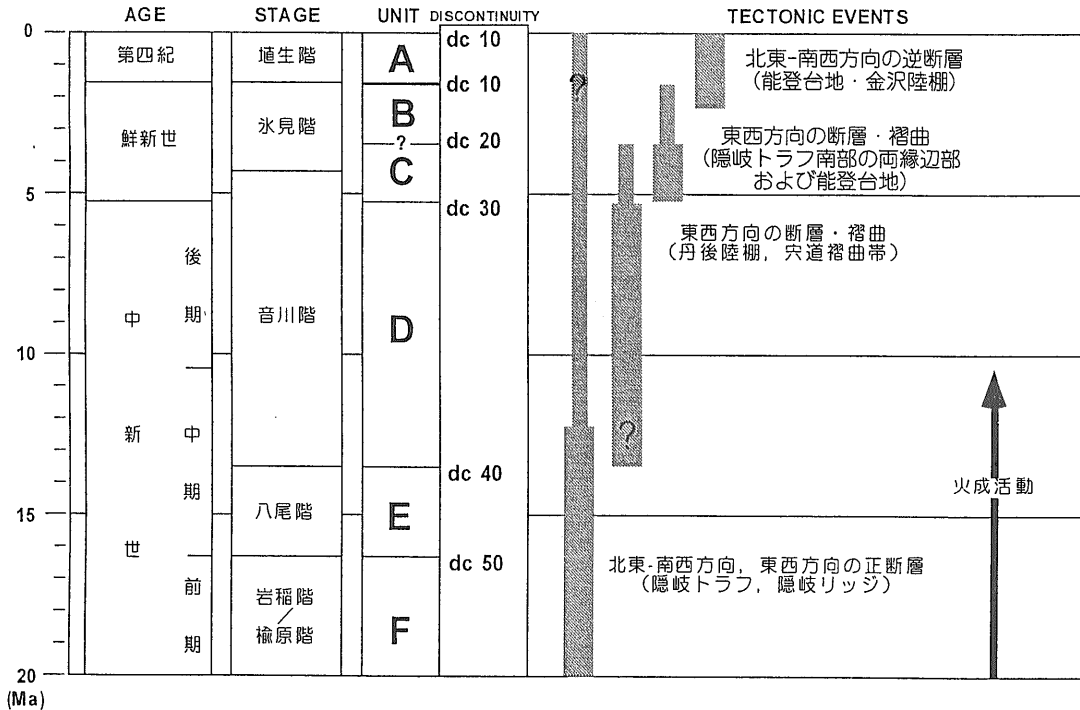
第4図 北陸沖海域Unit Cの等層厚線図. 層厚の単位はm.

物探記録断面から見る限り, その一部は逆断層の可能性もある. これらの断層は, Unit Dを変位させ, かつUnit Cの層厚に大きな影響を与えている

ことから, Unit Cが堆積した鮮新世前期に最も活発に活動したと解釈される. なかでも東経136°付近の地塁は, 一部Unit Aが欠如しており, 断層活



第5図 九州西方-山陰沖海域のテクトニックイベント一覧. 参考とした文献は, 井上(1982), Itoh (1991), Itoh and Nagasaki (1995,1996), Itoh et al. (1997,1999), 伊藤ほか(1997), 南(1979), Tada (1994), 田中・小草(1981), Yamamoto (1993).



第6図 北陸沖海域のテクトニックイベント一覧。参考とした文献は、池原(1992,1993), 池原ほか(1991), 岩崎(1992), 田中(1979), 田中・小草(1981), Yamamoto(1993)。

動が現世におよんでいる可能性があるが、無堆積ないし剝削による可能性もある。

丹後陸棚域に認められる断層・背斜・地壘構造は、基本的に東西方向の伸びを有する。これらの構造は、Unit Eを変位させ、Unit DとUnit Cの層厚変化に大きな影響を与えていることから、中新世後期～鮮新世前期に最も活発に活動したと推定される。また、Unit Aの層厚変化にはほとんど影響を与えていないことから、その活動は鮮新世後期までに終了したと解釈される。最も陸寄りの断層は、島根半島の宍道褶曲帯延長部に相当し、長距離にわたって追跡できる。

隠岐海嶺に認められる断層は、そのほとんどが現在の海底地形に表れている断層である。隠岐海嶺北東部における断層は、おおよそ北東-南西の方向性を有するが、南西部では一部東西の方向性を有し、かつ東西方向の正断層が雁行配列することによって隠岐海嶺の南東縁を形作っている。断層で取り囲まれた隠岐海嶺上の大部分の範囲では、海底面にUnit Fが露出していると解釈される。これに対して、隠岐海嶺北西方の大和海盆や南東

方の隠岐トラフではUnit A間での堆積が認められ、Unit E～Aの堆積物は隠岐海嶺を取り囲む正断層にアバットしている。したがって、厳密な意味ではこれらの断層の活動期間を特定することは困難である。しかし、当該海域の構造発達史から推し量る限り、隠岐海嶺そのものの形成は日本海の形成当時にさかのぼると推定されるので、これらの断層は中新世中期のはじめまでには活発な活動を行ったと解釈できよう。これらの断層が現在も活動を続けているか否かについても特定することは困難であるが、その活動は表層の状態からみて、ほとんど停止していると考えて差し支えなからう。

隠岐トラフは、地質構造の特徴から北東部と南西部に区分することができる。隠岐トラフ南西部は、隠岐海嶺と丹後陸棚域の項で述べたとおり、小規模な東西方向の断層・背斜の雁行配列によって境界を規制される。これに対してトラフ北東部は、南東縁と北西縁の両方を北東-南西方向に伸びる正断層によって境される。また、トラフ南西部とトラフ北東部の境界は、東西方向に伸びる断層と解釈される。これらの断層は、隠岐海嶺を取り

囲む断層とほぼ同じタイミングで形成されたと推定される。また、隠岐トラフ縁辺部の陸棚斜面には、Unit A が削剥されたと解釈される現象が認められる。このような現象は、隠岐トラフ南西部の南西縁と南東縁の陸棚斜面に特徴的な現象である。池原ほか(1991)は、地質調査所が実施したシングルチャンネルの高精度音波探査とドレッジ試料に基づいて、この現象は陸棚縁辺部の隆起による陸棚斜面の崩壊と隠岐トラフ南西部におけるデブリフロー堆積物の堆積と判定している。

## 5. テクトニクス(第5, 6図)

以上の解釈に基づき、6Ma以降における九州西方-山陰沖および北陸沖の応力場を以下の時期・区域に分類する。

1) 6~4 Ma : 山陰沖海域における傾斜不整合は6Ma前後に形成された。これに伴って対馬を含む日本海西縁が隆起し、地震探査記録から見て対馬海峡は閉塞したと考えられる。 $\sigma_{Hmax} = \sigma_1$ で方向はN10-30° Wと推定される。この時期に、五島灘や隣の天草灘では、急速な沈降と伸張が始まる。鮮新世中頃になると、日本海に暖流系珪藻が再び出現する(Tada, 1994)ことから、圧縮応力場が弱まり隆起は沈静化したと考えられるが、北陸沖では後期鮮新世まで継続した可能性がある。

2) 4~0 Ma : 九州西方海域(五島・天草灘)では依然沈降が継続するのに対して、山陰沖海域では、南北隆起帯が成長する。 $\sigma_{Hmax} = \sigma_1$ で方向はN70-90° Wと推定される。一方、北陸沖では $\sigma_{Hmax} = \sigma_1$ で方向はN30-50° Wとなつて、日本海南部の応力場に地域性が見られる。

## 文 献

- 池原 研(1992): 海底堆積物から読み取れる陸棚及びその周辺海域の海洋環境. 地質ニュース, no.452, 51-58.
- 池原 研(1993): 海底堆積物からみた山陰沖外側陸棚以深の底層水の流動. 堆積学研究会報, 38, 25-32.
- 池原 研・佐藤幹夫・山本博文(1991): 高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用. 地質学雑誌, 96, 37-49.
- 井上英二(1982): 対馬海峡をめぐる白亜系・第三系の地質学の問題 - その2 - 海域の地質と総括. 地質ニュース, no.340, 46-61.
- Itoh, Y. (1991): Tertiary geothermal events around the Japan Arc. *Tectonophysics*, 198, 123-128.
- Itoh, Y., Matsuoka, K. and Takemura, K. (1999): Paleogene and Plio-Pleistocene basin formation around northwestern Kyushu, Japan. *The Island Arc*, 8, 56-65.
- Itoh, Y. and Nagasaki, Y. (1995): Post-Cretaceous structural evolution of offshore basins to the west of Kyushu, Japan. In: K.H. Chang and S.O. Park (Editors), *Environmental and Tectonic History of East and South Asia*. Kyungpook National University, Taegu, pp. 203-217.
- Itoh, Y. and Nagasaki, Y. (1996): Crustal shortening of Southwest Japan in the Late Miocene. *The Island Arc*, 5, 337-353.
- Itoh, Y., Nakajima, T. and Takemura, A. (1997): Neogene deformation of the back-arc shelf of Southwest Japan and its impact on the palaeoenvironments of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 281, 71-82.
- 伊藤康人・竹村恵二・長崎康彦(1997): 九州周辺の第三紀テクトニクス-反射法地震探査からみた伸張/圧縮イベント-. 月刊地球, 号外17, 101-105.
- 岩崎哲治(1992): 北陸~山陰海域の石油地質. 石油技術協会誌, 57, 59-66.
- 南 明(1979): 山陰・対馬沖の堆積盆地の分布と性格. 石油技術協会誌, 44, 321-328.
- Tada, R. (1994): Paleooceanographic evolution of the Japan Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108, 487-508.
- 田中 隆(1979): 北陸・山陰沖の堆積盆地の分布と性格. 石油技術協会誌, 44, 308-320.
- 田中 隆・小草欽治(1981): 山陰沖における中期中新世以降の構造運動. 地質学雑誌, 87, 725-736.
- Yamamoto, H. (1993): Submarine geology and post-opening tectonic movements in the southern region of the Sea of Japan. *Marine Geology*, 112, 133-150.

ITOY Yasuto and ARATO Hiroyuki (1999): Tectonic stress around the southern part of Japan Sea since the Pliocene: western Kyushu, San'in, and Hokuriku offshore areas.

<受付: 1999年8月2日>