

# 地質学的手法(潜水, 堆積物, 地質構造調査)に基づいた 日本海東縁海域の海底活断層調査の試み

産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門 岡村行信・池原 研・荒井晃作・七山 太

富山大学 理学部 竹内 章

産業技術総合研究所 活断層研究センター 佐竹 健治

産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 中嶋 健

Preliminary study of offshore active faults based on geological surveys (dive, sediments and geologic structural survey) along the eastern margin of Japan Sea

Yukinobu Okamura, Ken Ikehara, Kohsaku Arai, Futoshi Nanayama

Institute for Marine Resources and Environment, AIST, Site C7 1-1-1 Higashi, Tsukuba  
Ibaraki, 305-8567 Japan

Akira Takeuchi

Department of Earth Science, Toyama University, Toyama, Japan

Kenji SATAKE

Active Fault Research Center, AIST, Site C7 1-1-1 Higashi, Tsukuba  
Ibaraki, 305-8567 Japan

Takeshi Nakajima

Institute for Geo-Resources and Environment, AIST, Site C7 1-1-1 Higashi, Tsukuba  
Ibaraki, 305-8567 Japan

Many offshore active faults are distributed along the eastern margin of Japan Sea and some of them caused large earthquakes. Their recurrence intervals are not well known, because the intervals are longer than the period of historical records. We have been studying offshore faults by geological methods to clarify their recurrence intervals. Geologic structure inferred from seismic profiling survey indicates that many active faults form 3-4 parallel zones along eastern margin of Japan Sea and they have grown during the period of the last 2-3 Ma. Because resolution of seismic profiles is limited, activity during the last tens of thousand years can not be resolved. Recent fault activities recorded as sea bottom disruption such as slope failures, debris flow deposits, fissures so on, can be observed by dive surveys, while earthquake faults are not exposed on the sea bottom. In the source area of the 1940 Shakotan-Hanto-oki earthquake, recent slope failure and debris flow deposits are widely observed and a coarse fraction layer at the sea-bottom covering muddy sediments was recovered during a dive survey. The coarse fraction layer was correlated to the 1940 earthquake. Earthquakes are generally recorded as coarse fraction layers

on gentle slopes just below fault scarps and recover of the sediments are one of the most important surveys for the estimation of recurrence interval of offshore active faults. The earthquake may trigger large-scale slope failure and deposit turbidites in the basin. Some of the basins surrounded by structural ridges include turbidites in the eastern margin of Japan Sea and they can be regarded as records of earthquakes. The recurrence interval of turbidites in the basins varies from 250 to 3000 years, but the interval in and around the Okushiri and Sado Ridges is about 1000 years. One of the most serious problem for these studies is difficulty of age determination due to lack of carbon in the deep sea sediments in Japan Sea, but our knowledge about the activity of offshore faults in this area has been increasing by these surveys.

### § 1. はじめに

日本海東縁では、20 世紀に4回のマグニチュード 7.5 を超える地震が発生するなど、プレート境界と見なしてよい地球物理学的、地質学的条件を備えており、近い将来に地震が発生する可能性が高い地震空白域の存在も指摘されている(第1図)[Ohtake (1995)]. しかしながら、それぞれの活断層の活動間隔が長いこと、地震発生間隔を推定するための歴史地震の資料が不十分である。陸域では、トレンチ調査によって断層の活動履歴と地震発生間隔が明らかになりつつあるが、海域ではトレンチ調査が不可能なため活動履歴は全く明らかになっていない。本報告では、このような日本海東縁の海底活断層に対する、地質学的な調査解析手法に基づいた活動周期の解明の試みを紹介する。

### § 2. 海域活断層と地質学的歪み集中帯

日本海東縁には南北から北北東-南南西方向に延びる地形的な高まりが数多く発達している。それらの多くは最近 200-300 万年間に成長してきた逆断層の上盤に形成された背斜構造である[岡村・加藤(2002)]. 背斜構造は非対称な断面を持ち、急傾斜する斜面の基部から背斜構造の下に向かって深度を増す逆断層が伏在すると考えられる。断層の累積変位量を正確に見積もることは困難であるが、背斜構造の隆起量から数百 m-2km 程度であると推定されている[岡村(2002)]. さらに、これらの活断層は佐渡海嶺や奥尻海嶺などに集中している。そのような活断層の集中帯は陸域から海域を含めて、日本海東縁に3-4 列存在し、最近 200-300 万年間の地殻の短縮変形がこれらの活断層帯に集中してきたことを示している[岡村(2002)].

しかしながら、既存の音波探査プロファイルの深さ方向の分解能は 50m 程度であるので、それ以下の規模の変形構造を観察することはできない。日本海東縁の大陸斜面以下の堆積速度は 1000 年で数 cm-数十 cm であることから、厚さ 50m の地層は約 10 万年から 100 万年の期間に堆積していることになり、それ以下の時間スケールで断層の活動履歴を明らかにすることはできず、今後も活動する可能性があるのかどう

かも判断が困難である。

### § 3. 潜水調査

潜水船を用いた活断層調査は、音波探査プロファイルとは異なる時間スケールで海底地震活動を明らかにできる。1993 年の北海道南西沖地震の震源域では数多くの潜航調査がなされ、広範囲にわたって斜面崩壊が発生したことが明らかにされた[岡野・他(1995), Takeuchi et al.(1998)]. その後、1940 年の積丹半島沖地震の震源域に近い忍路海山でも新しい時期の斜面崩壊が観察され[岡村・他(1999, 2001)], 1983 年日本海中部地震震源域でも新鮮な地割れが広く観察されている[Okamura et al.(2002)]. これらの潜航調査によって、大地震の震源域には特徴的な斜面の崩壊・破壊が生じることが明らかになった(第2図)。

1993 年の北海道南西沖地震では、サイドスキャンソナーや高分解能音波探査プロファイルから、奥尻海嶺の東縁に沿って地震断層が露出することを予測されたが、潜航調査では海底の盛り上がりや新鮮な割れ目が観察されただけで、その直下に断層が伏在すると考えられている[Takeuchi et al.(1998)]. 従って、潜水調査でも、地震断層を直接観察し、それに基づいて活動履歴を明らかにすることは困難である。むしろ、斜面の崩壊・破壊が生じた年代を推定する方が、地震発生時期の推定に有効であると考えられる。

忍路海山の潜航調査では、崩壊した斜面直下の緩斜面で柱状試料を採取している。その海底表層には粗粒の崩壊堆積物があり、その下には泥質堆積物が堆積していることから、通常は泥質堆積物がたまる環境であるのが、1940 年の積丹半島沖地震時に斜面が崩壊し、粗粒の堆積物が供給されると解釈した[岡村・他(1999)]. また、忍路海山の北側の海山で実施した潜航調査では、3枚の崩壊堆積物が含まれている長さ約 15cm の柱状試料を採取している[岡村・他(2001)]. このことは、地震の繰り返し崩壊堆積物として保存されていることを示している。今のところ堆積物の年代が明らかになっていないため、地震の発生周期は不明である。

1940 年、1983 年および 1993 年の震源域では、い

ずれも新しい斜面崩壊や海底の変動が観察されているが、それらの震源域以外にも、逆断層運動によって多くの海山や海嶺が形成されている。例えば、1940年と1993年の震源域の間にも、奥尻海嶺が連続し、音波探査プロフィールでも活断層が分布するが、最近の地震は報告されていない。このような地点で潜航調査を実施すると、新鮮ではないが、斜面崩壊・破壊が埋積されずに海底に広がっているのが観察される[Takeuchi et al. (2000), Okamura et al. (2002)]。これらの断層崖では1000年に10cm前後の厚さの泥質堆積物が堆積しつつあると考えられることから、断層が比較的最近に活動しており、今後も地震を発生させる可能性が高いと推定される。残念ながら、活動間隔を推定できるような複数の斜面崩壊堆積物は得られていない。また、1993年の地震震源域の南側の活断層でも同じような斜面崩壊・破壊が観察されている[Takeuchi et al. (2000)]。

このように、潜水調査では地震によって生じた斜面崩壊や地割れなどの海底の変動を直接観察することができ、過去数千年間の地震の有無を明らかにでき、条件によっては地震発生周期を解明できる可能性もある。

#### §4.タービダイト

タービダイトは地震によって斜面崩壊が生じた場合に、斜面の下側の堆積盆地内に形成されることから、過去の地震の記録と考えることができる。ただし、海盆周辺の地形・地質条件によっては地震以外の原因でタービダイトが形成されることもあるし、地震が起ってもタービダイトが生じないこともある。従って、タービダイトから地震発生頻度を推定する場合には、その周辺の地形や地質を考慮し、タービダイトと地震とが関連しているかどうかを十分に検討する必要がある。

日本海東縁には断層運動で隆起した海山・海嶺に挟まれて、陸地から孤立した堆積盆地が数多く形成されており、その中にタービダイトが含まれていることがよくある。今までにタービダイトが採取されているのは、最上トラフ、佐渡海嶺中の小トラフ、西津軽海盆、津軽西方沖の日本海盆、奥尻海盆、後志トラフ、日本海盆東部、礼文トラフなどである。最上トラフなどは陸上の洪水によってタービダイトが形成される可能性を否定できないが、それ以外の大部分の堆積盆地は陸域からタービダイトが供給される可能性が低く、地震によって形成された可能性が高い。

佐渡海嶺中の小トラフでは約1000年に1回の頻度でタービダイトが形成されている(中嶋 健, 未公表データ)。また、日本海中部地震の震源域では約250年に1回の頻度でタービダイトが形成されている[中嶋・金井(1995)]。奥尻島北側の後志トラフでは約1000年に1回の頻度で[下川・池原(2002)]、礼文島西方の礼文トラフでは約3000年に1回の頻度で[池原(2000)]、

タービダイトが形成されている。このうち、日本海中部地震の震源域でのタービダイト発生頻度が高いが、単純に地震の頻度が高いとは考えにくく、その原因は今後検討する必要がある。一方で、1964年新潟地震の震源域については地震発生頻度を示すようなタービダイトは得られていない。

#### §5.今後の課題

このような調査によって、海底活断層の活動状況がかなり明らかになりつつある。しかしながら、日本海の深海堆積物には年代決定に用いる炭酸カルシウムがほとんど含まれていないことから、地震に伴うイベント堆積物が見いだされても、断層の活動年代を精度よく推定できないことが、最大の課題である。テフラや環境変動に伴う岩相変化などが、信頼できる年代指標として用いられているが、年代を決めることのできる層準が少ないことや、条件や場所によって全く年代を推定できないこともある。

このように現状では、精度の高い断層の活動履歴の解明は困難であるが、海域でも様々な地質学的手法を組み合わせることによって、地震発生間隔をある程度の精度で推定することが可能になってきた。今後はさらに精査を行うことによって、地震発生年代の推定精度と信頼性を向上させることが必要である。

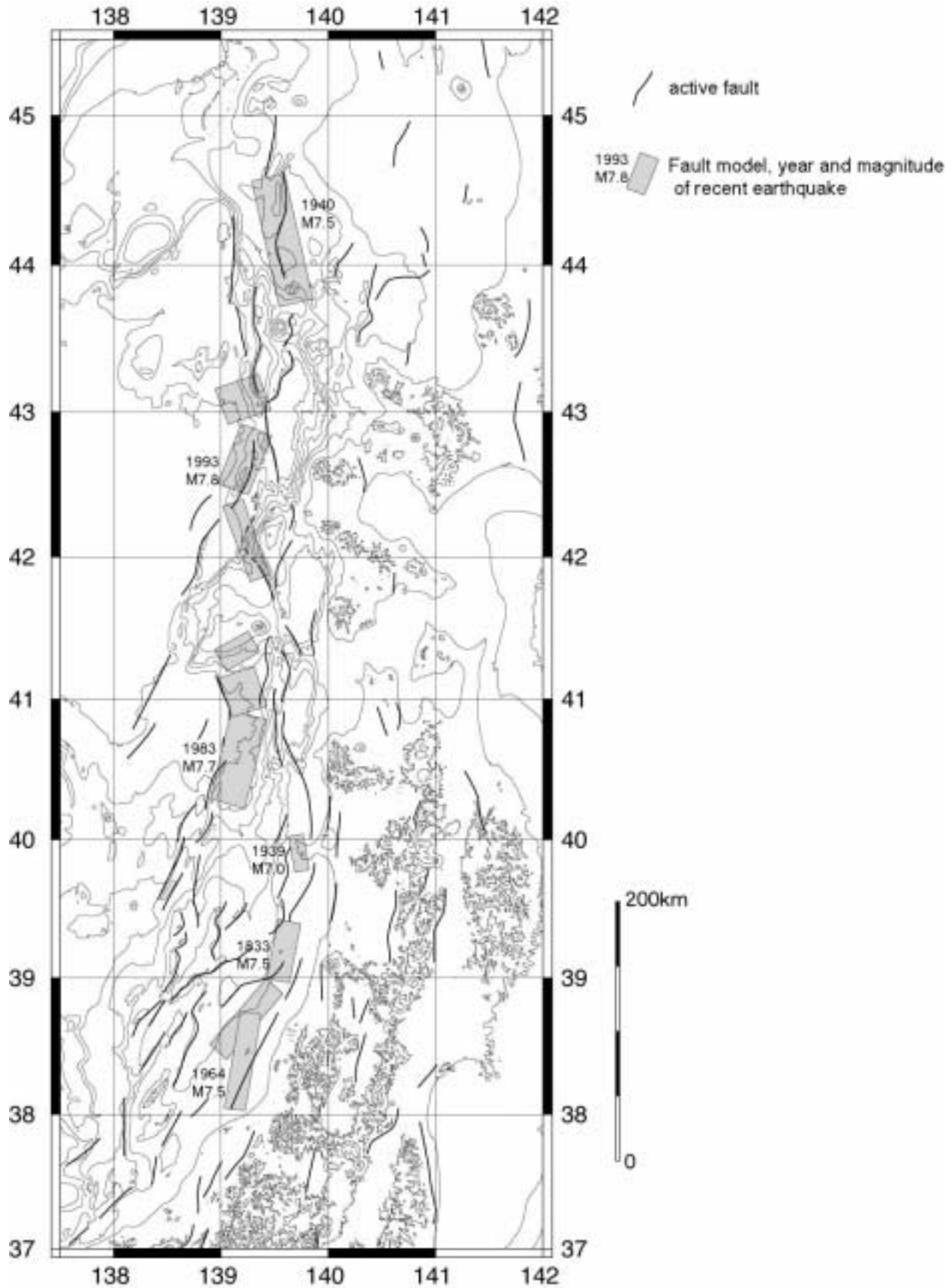
#### 謝辞

査読者の加藤祐三氏には原稿の不備を指摘頂いたことに感謝します。本研究は地質調査船「白嶺丸」、潜水調査船「しんかい2000」及び母船の「なつしま」、潜水調査船「しんかい6500」及び母船の「よこすか」を用いた調査データに基づいている。それらの乗組員及び運行チームの皆さんに感謝致します。

#### 文献

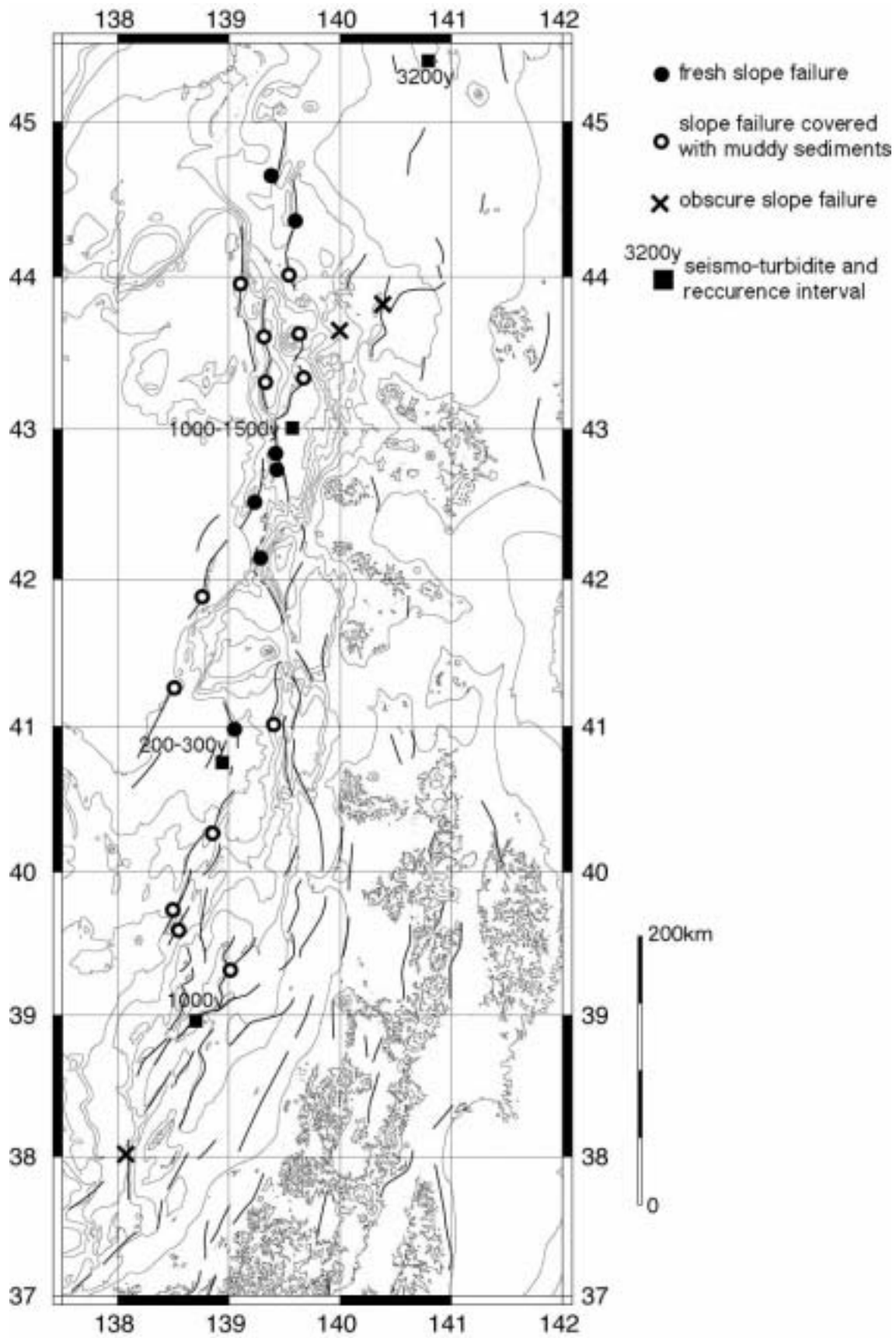
- 池原 研, 2000, 日本海北端部, 利尻トラフの海底堆積物にタービダイトとして記録された地震, 第四紀研究, 39, 569-574.
- 中嶋 健・金井 豊, 1995, 1983年日本海中部地震震源域でのタービダイトによる地震発生間隔の推定, 地震, 48, 223-228.
- Ohtake, M., 1995, A seismic gap in the eastern margin of the Sea of Japan as inferred from the time-space distribution of past seismicity, The Island Arc, 4, 156-165.
- 岡村行信・佐竹健治・荒井晃作・池原 研, 1999, 北海道西方沖の地震震源域及び空白域の潜航調査, JAMSTEC 深海研究, no.15, 109-122.
- 岡村行信・佐竹健治・荒井晃作・池原 研, 長尾哲史・桧物豊, 2001, 北海道西方沖の地震震源域

- 周辺における活断層の潜航調査, JAMSTEC 深海研究, no.18, 31-46.
- 岡村行信, 2002, 新第三紀以降の歪み集中帯, 大竹政和・太田陽子・平 朝彦編, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス. 東京大学出版会, 111-121.
- 岡村行信・加藤幸弘, 2002, 海域の変動地形及び活断層, 大竹政和・太田陽子・平 朝彦編, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス. 東京大学出版会, 47-69.
- Okamura, Y., Satake, K., Takeuchi, A., Gamo, T., Kato, C., Sasayama, Y., Nanayama, F., Ikehara, K. and Kodera, T. , 2002 , Tectonic, geochemical and biological studies in the eastern margin of the Japan Sea -preliminary results of Yokosuka / Shinkai 6500 YK01-06 Cruise-, JAMSTEC 深海研究第20号, 77-114.
- 岡野 肇・藤岡換太郎・田中武男・竹内 章・倉本真一・徳山英一・徐 垣・加藤 茂, 1995, 北海道南西沖地震直後の海底, JAMSTEC 深海研究, no.11, 379-394.
- 下川浩一・池原 研, 2002, 堆積物に残された古地震. 大竹政和・太田陽子・平 朝彦編, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス. 東京大学出版会, 95-108.
- 竹内 章・岡村行信・加藤幸弘・池原 研・張 勁・佐竹健治・長尾哲史・平野真人・渡辺真人, 2000, 日本海東縁, 奥尻海嶺及び周辺の大地震と海底変動. JAMSTEC 深海研究, no.16, 29-46.
- Takeuchi, A. and Shipboard Scientific Party of R/V Yokosuka, Japan Sea Cruise, 1998, Bottom response to a tsunami earthquake: Submersible observations in the epicenter area of the 1993 earthquake off southwestern Hokkaido, Sea of Japan, Jour. Geophys. Res., 103, 24109-24125.
- Takeuchi, A., Okamura, Y., Kato, Y., Ikehara, K., Zhang, J., Satake, K., Nagao, T., Hirano, M. and Watanabe, M. , 2000 , Large earthquakes and bottom disturbances in the Okushiri ridge along the eastern margin of Japan Sea. JAMSTEC J. Deep Sea Res., 16, 29-46.



第 1 図 日本海東縁の活断層及び震源断層モデル。

Fig. 1 Active faults and fault model along the eastern margin of Japan Sea.



第2図 潜水調査による海底観察結果及び地震性タービダイトの分布と発生間隔。

Fig. 2 Sea bottom observation by submersible and location of seismo-turbidite and its interval.