

# 福島県いわき沖合 40km 地点における ハイドロフォン連続観測

東北大学理学部地震予知観測センター 長谷川 昭・山本 明  
海野 徳仁・高木 章雄  
(株)明豊エンジニアリング 佐藤 孝雄

(昭和 62 年 6 月 19 日受理)

## Continuous Seismic Observation by Hydrophones at a Point 40 km off Iwaki, Fukushima Prefecture

Akira HASEGAWA, Akira YAMAMOTO  
Norihito UMINO, Akio TAKAGI

Observation Center for Earthquake Prediction,  
Faculty of Science, Tohoku University

Takao SATO

Meiho Engineering Corporation

(Received June 19, 1987)

Seismicity off Fukushima Prefecture is extremely high and many microearthquakes are located in this region by the seismic network of Tohoku University. Since the stations of Tohoku University are located in land area far from the focal region, the accuracy of focal depth is quite low for these shallow earthquakes. The means of improving the accuracy of focal depth is to make seismic stations in this region beneath the sea.

Continuous seismic observation by hydrophones has been carried out at a platform which was constructed for producing natural gas. The platform is located 40 km off the coast of Iwaki, Fukushima Prefecture. Output seismic signals from hydrophones are transmitted to the Observation Center in Sendai via the relay station by using radio telemetry. P arrival data at the hydrophone station improve strikingly the accuracy of focal depth of shallow earthquakes occurred off Fukushima Prefecture, which enables us to estimate precisely the location of the upper boundary of the descending Pacific plate. The hydrophone data also made possible to identify the fault plane of the shallow event with magnitude 6.7 which occurred in this region on February 6, 1987.

### §1. はじめに

日本海溝から太平洋沿岸にかけての地域は過去に多くの被害地震が発生し、現在でも浅発地震活動の極めて活発な地域である。特に福島県沖から茨城県沖にかけては、三陸沖にみられるような巨大地震の発生の記録はないが、現在最も地震活動度の高い地域の一つである。東北大学微小地震観測網ではこの地域に数多くの微小地震の震源が決定されている。(Fig. 1). しか

昭和 62 年 4 月 11 日発表

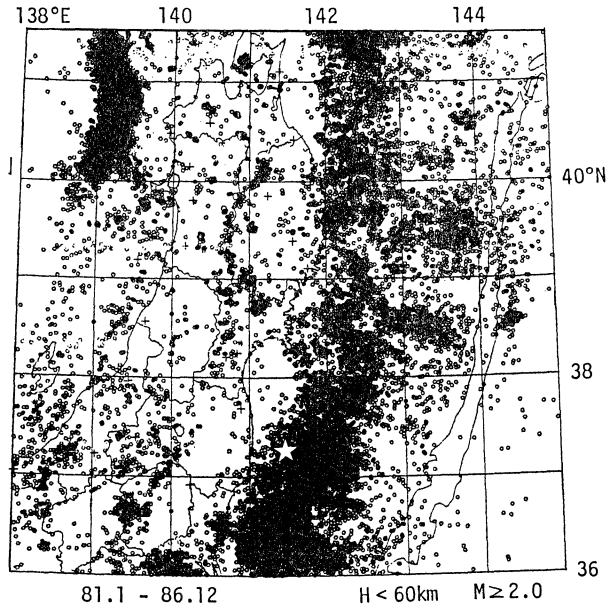


Fig. 1. Epicenter distribution of shallow microearthquakes located by the seismic network of Tohoku University. The platform constructed for producing natural gas is located 40 km off the coast of Iwaki and is shown by star.

しながら、震源域から離れた陸上の観測網データのみによっているため、震源の深さの決定精度は良くない。深さの精度を上げるためには、震源域の直上である海域に観測点を設ける必要がある。

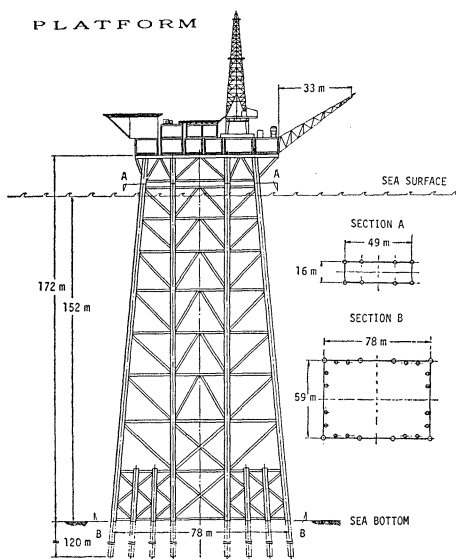


Fig. 2. Side view of the platform of Offshore Iwaki Petroleum Co., Ltd.

東北大学地震予知観測センターではこの地域の地震活動を詳しく調べる目的で、福島県楢葉町沖合 40 km の地点 (Fig. 1 に星印で示す) にある天然ガス採掘用のプラットフォーム (磐城沖石油開発株式会社所有) を利用したハイドロフォン連続観測を 1986 年 8 月 5 日から開始した。観測開始から半年後の 1987 年 2 月 6 日には福島県沖に  $M6.4$ ,  $6.7$  の地震が発生し、その後 4 月 7 日  $M6.6$ , 4 月 17 日  $M6.0$ , 4 月 23 日  $M6.5$  と  $M6$  を越す地震が相ついで発生する等、この地域での活動が活発化している。これらの地震とその余震の記録を含め、これ迄に良好な記録が得られたので報告する。

§ 2. 無線テレメータを用いたハイドロフォン連続観測

磐城沖石油開発株式会社所有のプラットフォームは、福島県楡葉町沖合 40 km, 水深 152 m の地点に設置されている。プラットフォームの構造を Fig. 2 に示す。プラットフォームの 8 本の脚のうち、4 本の脚にそれぞれ 1 台ずつのハイドロフォンを取り付けた。各々のハイドロフォンの間隔は、およそ 16 m あるいは 13 m である。ハイドロフォンはジオスペース社製の MP-24L1 (固有周波数 6 Hz, 電圧感度 7.5 V/bar) を使用しており、プラットフォームの脚部に固定されたステンレスパイプ (SUS 304) の底部 (水深およそ 10 m) に収容されている。プラットフォームからの雑音を遮断するため、ハイドロフォンは吸音材を介してステンレスパイプに固定されている。

4 台のハイドロフォンの出力信号は、信号ケーブルを通してプラットフォーム上の居住区内の一室に置かれた増幅器に送られる。そこから無線テレメータを用いて電波にのせ陸上の中継局 (宮城県丸森町手倉山, 標高 672 m) 経

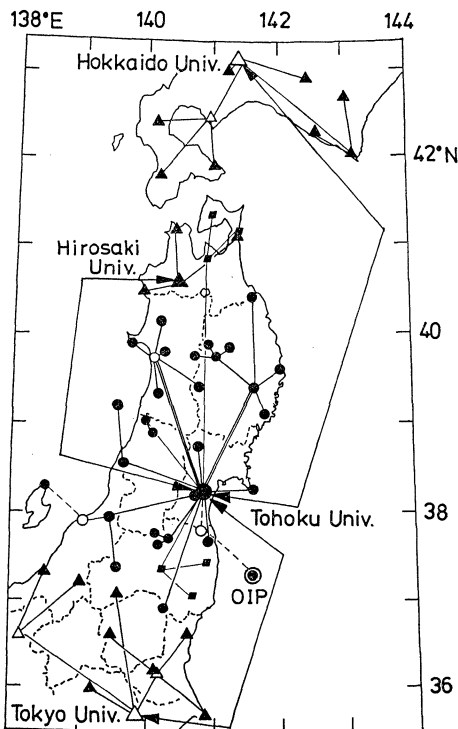


Fig. 3. Locations of stations of the seismic network of Tohoku University. Solid triangles show the stations of Tokyo University, Hokkaido University or Hirosaki University, whose seismic signals are transmitted to the Observation Center of Tohoku University by telephone telemetry. Location of the hydrophone station (OIP) is denoted by double circle.

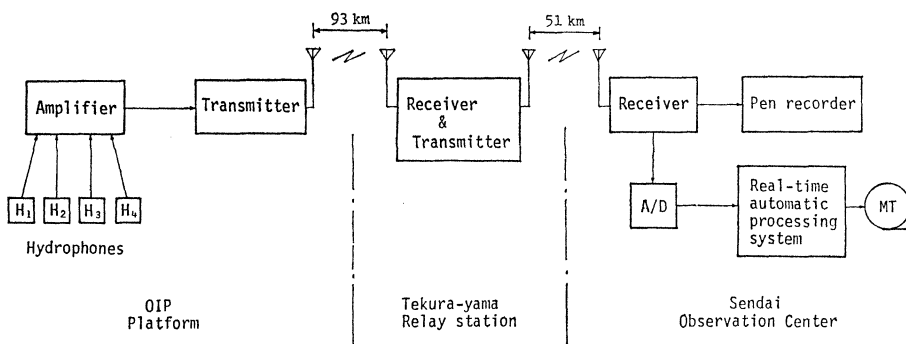


Fig. 4. Simplified block diagram of the hydrophone observation system.

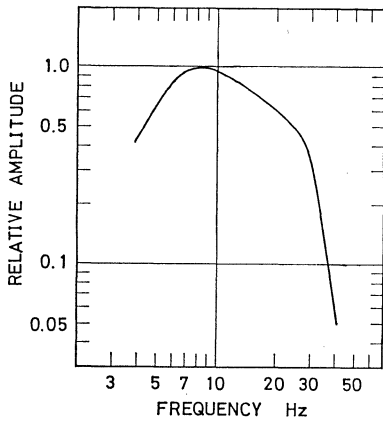


Fig. 5. Over-all frequency response of the hydrophone observation system.

す。Fig. 5 は観測システムの周波数特性であるが、低周波側はセンサーの特性（固有周波数 6 Hz）で、高周波側は無線テレメータ（FM 方式 4 ch）の特性でそれぞれ規定されている。

由で、仙台の地震予知観測センター迄リアルタイムで伝送される。Fig. 3 にハイドロフォン観測点 (OIP) の位置を二重丸で示す。地震予知観測センターで受信した信号のうち 1 成分は遅送りのペン書きモニター記録計で連続記録されるとともに、4 成分ともすでに開発されている地震波自動処理システム [長谷川・他 (1986)] に取り込まれ、地震信号部分は東北大学微小地震観測網の陸上観測点データと一緒に磁気テープにデジタル収録されている。

ハイドロフォン連続観測システムのブロックダイアグラムを Fig. 4 に示

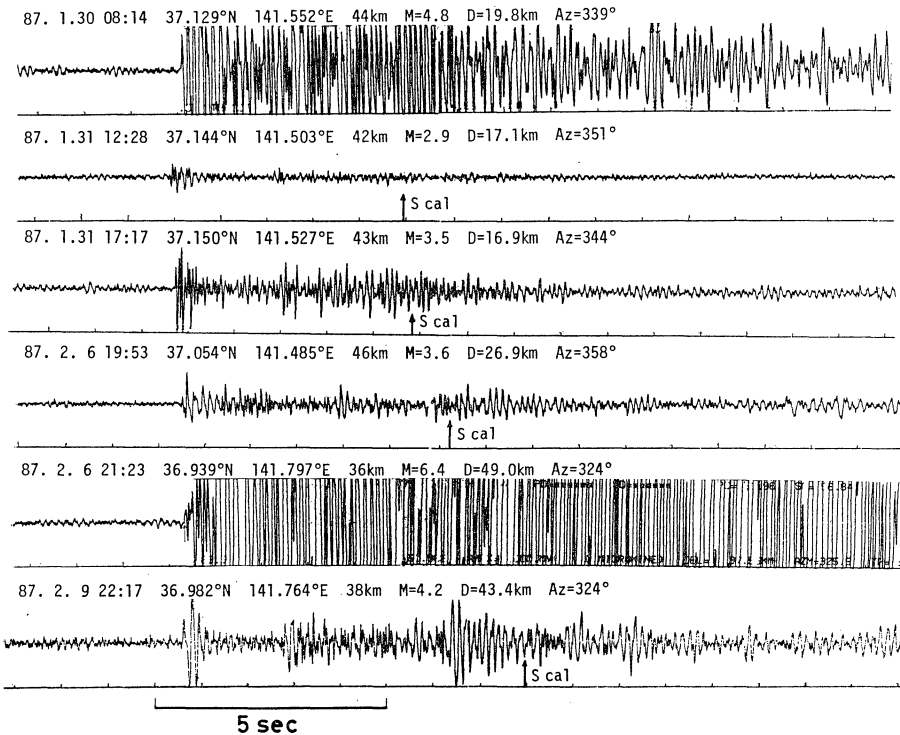


Fig. 6. Examples of seismograms observed at the hydrophone station (OIP). Calculated S arrival times for the relocated hypocenters are denoted by arrows.

得られた観測データは次節で示すように、他の陸上観測点のデータと合わせることで、福島県沖に発生する浅発地震の深さの決定精度の向上に大きく貢献している。

§3. 観測結果

Fig. 6 に観測点 (OIP) 周辺で発生した地震のハイドロフォンによる波形記録例を示す。これらのハイドロフォンで観測された OIP 周辺の地震について、陸上の観測網データと合わせ震源の再決定を行なった。用いた速度構造モデル及び震源決定法は東北大学微小地震観測網の定常処理に使われているもの [HASEGAWA *et al.* (1978a)] と同じである。震源の深さの決定精度には OIP 直下の堆積層による影響が効くであろう。ここでは堆積層を通過してくることによる走時の遅れ分を、OIP での観測点補正を加えることにより取り除いた。観測点補正は以下のようにして見積もった。

太平洋下の二重深発地震面下面及び太平洋沿岸部の二重深発地震面上面で発生する地震は、陸上観測網からの距離に比較して震源が深い (およそ 50~60 km 以深) ため、太平洋沖合の浅い地震の場合と異なり、震源の深さも精度良く決まる。事実、これらの地震について陸上観

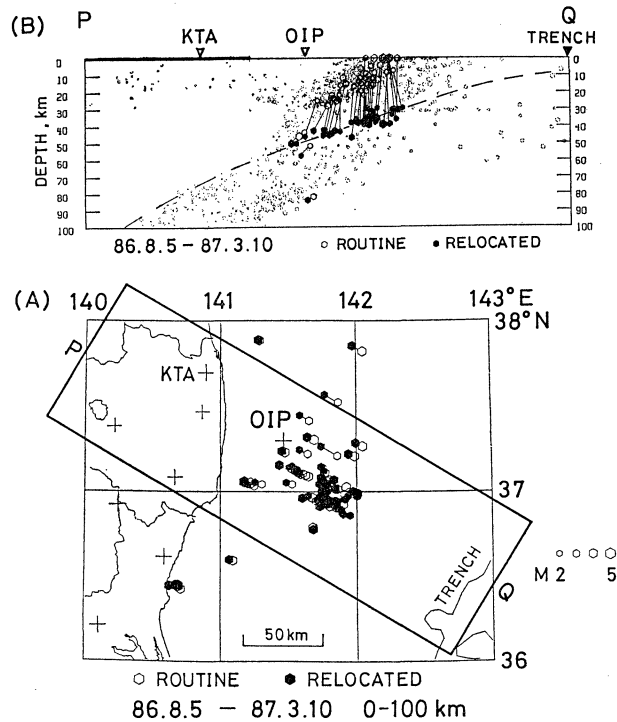


Fig. 7. (A) Epicenter distribution and (B) vertical cross section of earthquakes detected at the hydrophone station (OIP) for the period from Aug. 5, 1986 to March 10, 1987. Routinely located hypocenters (open circles) are relocated by adding P arrival data at the hydrophone station. The relocated hypocenters are shown by solid circles. Background seismicity is also shown with a light tone in the vertical cross section. Broken line in the vertical section denotes the estimated upper boundary of the descending Pacific plate.

測網データに OIP での P 波初動時刻データを加えて震源の再決定をした場合、震源位置は OIP データがない場合と殆ど変わらない。陸上観測網の P 波、S 波初動時刻データのみで震源の深さが充分押えられているからである。

そこでこれらの地震のうち、OIP で観測された比較的近い地震 (5 個) を用いて観測点補正値を求めた。陸上観測網データのみにより決められた震源に対して、OIP での走時残差の 5 個の地震での平均値は 1.06 秒である。この値は OIP に比較的近い常磐沖の海域で行なわれたエアガンによる地下構造調査結果 [SUYEHIRO *et al.* (1984)] と調和的である。即ち、SUYEHIRO *et al.* による P 波速度 1.7~2.9 km/sec の堆積層部分での P 波の垂直走時とここで仮定した構造によるそれとの差は 0.7 秒程度で、これに海水中を通過するのに要する時間約 0.1 秒を加えると期待される走時残差は 0.8 秒程度となり、さきに求められた平均走時残差 1.06 秒と良い一致を示している。

OIP での観測点補正 -1.06 秒を用いて、ハイドロフォンで観測された福島県沖及びその周辺の地震の震源の再決定を行なった。Fig. 6 には再決定された震源に対して計算された S 波到達時刻の位置を矢印で示してある。明らかに予想される S 時刻付近には S 波に相当すると思われる位相はみられず、それより数秒前に顕著な位相が現われている。この位相は震源の位置及び到達時刻より、モホ面で S 波から P 波に変換した SP 変換波であろうと推定されるが、今後データの蓄積を待って詳しく調べてゆくつもりである。

観測開始から 1987 年 3 月 10 日迄の期間に、再決定された地震の震源を Fig. 7 に黒丸で示す。比較のために、陸上の観測網データのみによる震源位置を再決定震源 (黒丸) と結ん

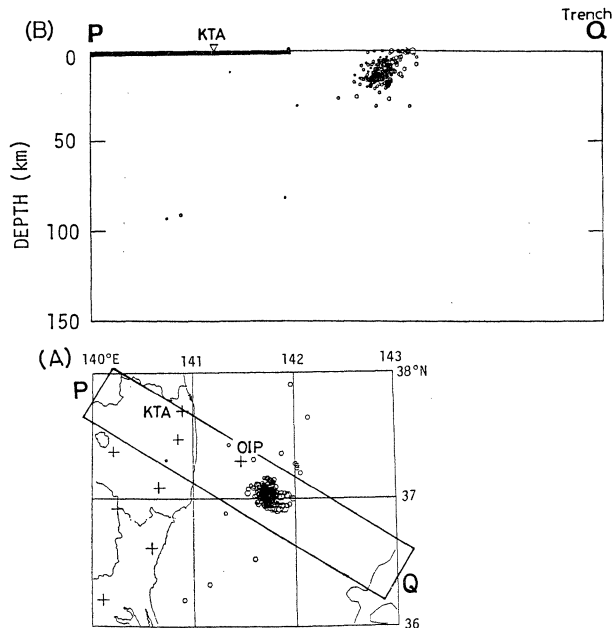


Fig. 8. (A) Epicenter distribution and (B) vertical cross section of the  $M$  6.7, 6.4 events of Feb. 6, 1987 and their aftershocks. Hypocenters are routinely located ones by using land stations of the seismic network of Tohoku University.

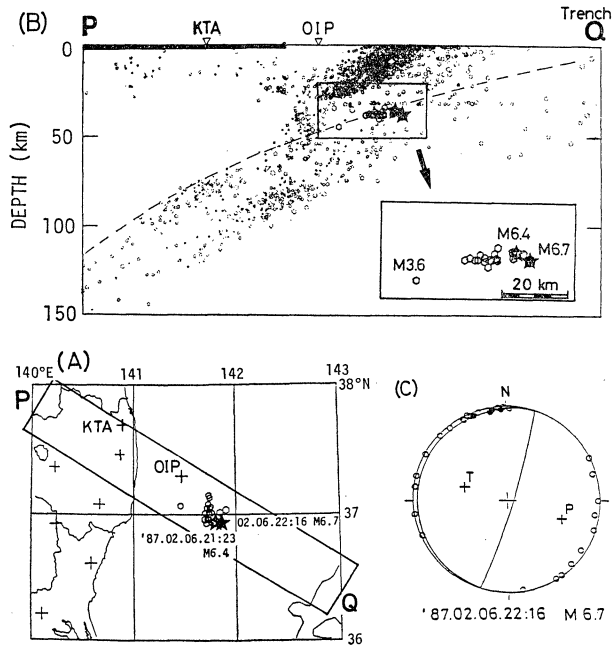


Fig. 9. (A) Epicenter distribution and (B) vertical cross section of the  $M6.7$ ,  $6.4$  events of Feb. 6, 1987 and their aftershocks. Hypocenters are relocated ones by adding P arrival data at the hydrophone station. The  $M6.7$  and  $6.4$  events are shown by solid and open stars, respectively. Background seismicity is also shown with a light tone in the vertical cross section. Broken line is the estimated upper boundary of the descending Pacific plate. (C) Focal mechanism solution for the  $M6.7$  event of Feb. 6, 1987, projected on the lower focal hemisphere by equal area projection.

で白丸で示す。図から震央の位置は黒丸と白丸とでそれ程変わらないが、OIPよりさらに沖合の浅い地震の深さが従来系統的にかなり浅く決められていたことがわかる。速度構造モデルを変えれば、陸上の観測網データのみでも今回再決定された震源位置に近い位置に決められようが、いづれにしても陸上観測網から離れた沖合の浅い地震の深さを海域での観測データなしで精度良く決めることはできない。OIP観測点の設置により、福島県沖ではFig. 7にみられるように震源の深さの決定精度が格段に向上した。

震源の深さの決定精度の向上により、例えばこの地域に発生した1987年2月6日の地震( $M6.7$ )の断層面の同定が可能となった。Fig. 8には陸上観測網データのみによるこの地震及びその約1時間前に発生した $M6.4$ の地震とそれらの余震の震源分布を示す。海溝軸にほぼ直交する鉛直断面(図の(B))でも、震源はダンゴ状にかたまわって分布しており明瞭な傾向は読み取れない。これに対し、OIPでのP波初動データを陸上観測網データに加えて再決定した震源がFig. 9(A), (B)に示されている。Fig. 9(C)には最大地震( $M6.7$ )のメカニズム解を示す。また(B)図には1985年~1986年の期間に、(A)図のPQの領域に発生した微小地震の震源分布を重ねて薄く示してある。(B)図より、今回の余震は陸側に向かって極めて低角度で傾斜した面状に分布していることがわかる。これは(C)のメカニズム解で低角の

節面が断層面であり、従ってこの地震がプレート境界面で発生した低角逆断層地震であることを示すものである。

ここで得られた結果より太平洋プレートの上部境界面は Fig. 9 (B) に示された 2 月 6 日の地震の余震域を通るはずであるし、一方陸域下ではプレート境界面での変換波の走時データの解析により二重深発地震面の上面に位置していることがわかっている。[HASEGAWA *et al.* (1978b), MATSUZAWA *et al.* (1986)]. 推定された太平洋プレート上部境界面の位置を (B) 図に破線で示す。Fig. 7 (B) にも 1985 年～ 1986 年の期間に発生した微小地震の震源分布を重ねて薄くプロットしてあるが、この図にも同様に推定された太平洋プレート上部境界面の位置を破線で示す。

#### §4. おわりに

以上みてきたように、海域でのハイドロフォン連続観測は震源の深さの決定精度の向上に極めて有効であることが示された。従来、陸上の観測網データのみで震源決定されてきた福島県沖の浅発地震は真の深さより系統的に浅く決められたもので、実際にはその殆どがより深い位置にある太平洋プレート上部境界面付近で発生したものであると思われる。

いわき沖 40 km 地点でのハイドロフォン連続観測は、現在活発化しつつある福島県沖の今後の地震活動を適確に把握する上で、重要な貢献をするものと期待される。また変換波の解析等、この地域の地下構造を知る上でも役立つものと思われる。今後も観測を続けデータを蓄積するとともに、この地域の地震活動の特性を詳細に検討してゆくつもりである。

#### 謝 辞

磐城沖石油開発株式会社の関係各位の御好意により、プラットフォームでのハイドロフォン連続観測が可能となった。ハイドロフォン設置に当っては、運輸省第二港湾建設局小名浜港工事事務所 横浜機械整備事務所の各位に、また陸上中継局の設置に当っては NTT 仙台中統制無線中継所にお世話になった。またハイドロフォン観測の実施に当っては、東京海上各務記念財団の御援助を頂いた。その他多くの方々の御理解、御協力を頂いて、本観測計画を実行することが可能となった。ここに記して衷心から謝意を表します。

#### 文 献

- HASEGAWA, A., N. UMINO and A. TAKAGI, 1978a, Double-planed Structure of the Deep Seismic Zone in the Northeastern Japan Arc, *Tectonophysics*, **47**, 43-58.
- HASEGAWA, A., N. UMINO and A. TAKAGI, 1978b, Double-planed Deep Seismic Zone and Upper-mantle Structure in the Northeastern Japan Arc, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **54**, 281-296.
- 長谷川昭・海野徳仁・山本 明・高木章雄, 1986, 微小地震観測網データの自動処理システム, *地震* **2**, **39**, 381-395.
- MATSUZAWA, T., N. UMINO, A. HASEGAWA, and A. TAKAGI, 1986, Upper Mantle Velocity Structure Estimated from PS-converted Waves beneath the Northeastern Japan Arc, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **86**, 767-787.
- SUYEHIRO, K., H. INATANI, T. KONO and K. YAMAMOTO, 1984, Upper Crustal Structure beneath the Continental Slope off the Joban Coast, Honshu, Japan, *J. Phys. Earth*, **32**, 83-96.