

— 総 説 —

JAMSTECにおける地殻構造探査システムの変遷

三浦 誠一^{1a*}

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、海底下深部構造を求め地震や津波の発生メカニズムを解明するため、1995年より制御震源による構造探査を開始した。1997年からは海溝型巨大地震発生過程解明をめざして「かいれい」に構造探査システムを艤装、1999年にエアガン大容量化とOBS100台化および「かいれい」「かいよう」2船体制となった。2004年に伊豆小笠原海域等での集中的探査に対応するため、ストリーマーカーケーブル延長やOBS台数追加という増強を実施した。これらにより海溝型巨大地震発生過程や島弧成長過程の解明に関する重要な知見が得られた。しかし今後構造研究と掘削等による物質科学との統合をめざすため、構造探査システムの高精度化をはかる必要がある。このような観点から、2008年に「かいれい」のエアガンアレイチューンドアレイ化、ストリーマーカーケーブルの高分解能化を行い、想定した性能を確認した。今後も科学的要求にこたえるべく技術的更新や増強をはかる必要があると考えられる。

キーワード：エアガン、ストリーマーカーケーブル、マルチチャンネル反射法、海底地震計

2009年2月10日受領；2009年7月16日受理

1 独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター

現在の所属

a：独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域

代表執筆者：

三浦 誠一

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域

〒236-0001 横浜市金沢区昭和町3173-25

045-778-5396

miuras@jamstec.go.jp

著作権：独立行政法人海洋研究開発機構

— Reviews —

A History of JAMSTEC Seismic Data Acquisition System

Seiichi Miura ^{1*}

For understanding mechanisms of large earthquakes and tsunami, JAMSTEC has been conducting active-source seismic surveys using own seismic system since 1995. The seismic system was mounted on the new R/V Kairei in 1997. In 1999, the seismic system was upgraded for larger volume airgun array (total volume of 197 L), which was mounted on both R/Vs Kairei and Kaiyo. Operation of 100 OBS was also started in 1999. In 2004, the number of section of the streamer cable on the R/V Kairei and OBS were increased for intensive surveys in the Izu-Bonin-Mariana region. The seismic system has provided several important new findings concerning seismogenesis and arc evolutions. However, further improvement of data quality was required for making integrated study of seismic study and material study, which was necessary for the IODP study. To meet the requirements, the new seismic system with a tuned airgun array and a streamer cable with dense group interval have been fit out to R/V Kairei in 2008, and the required capability have been confirmed by field data. Future improvements would be necessary to achieve future scientific requirements.

Keywords : Airgun, Streamer cable, MCS, OBS

Received 10 February 2009 ; Accepted 16 July 2009

1 Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Corresponding author :

Seiichi Miura

Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

3173-25, Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-0001, Japan

+81-45-778-5396

miuras@jamstec.go.jp

Copyright by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

日本列島周辺には複数のプレートが存在しており、そのプレートの収束運動によって地震や火山が発生している。海洋研究開発機構（JAMSTEC）では海溝型巨大地震発生過程や島弧成長過程の解明をめざして、制御震源を用いた地震学的構造探査を実施してきている。構造探査に用いる構造探査システムは、科学的要求の変化に伴い、たびたびグレードアップを経てきている。本論では科学的要求や背景とともに、JAMSTECにおける構造探査システムの変遷を概観する。

2. 構造探査システムの変遷

JAMSTECにおける構造探査システムの変遷概要を表1に示す。エアガンやマルチチャンネル反射法地震探査（MCS）用ストリーマーケーブルおよび海底地震計（OBS）のスペックを元に、5段階の時期を挙げることができる。なお、比較的小容量のGガンやGIガン、およびシングルチャンネル用ストリーマーケーブル等については、表1に含まず文章のみとする。

2.1. 第1段階（1995年）

海陸プレートの収束域での海底下深部構造を求め地震や津波の発生メカニズムを解明するため、1994年度に最初のMCSシステムを導入し、1995年に海洋調査船「かいよう」に搭載して日本海溝や日本海での調査を実施した。詳細は松本ほか（1996）に詳しいが、ここでは概要を記す。

深部地殻構造探査用として770 cu. in. (13 L) エアガン4本による総容量3080 cu. in. (51 l) のエアガンアレイを用いた。また高分解能地殻探査用として150 cu. in. (2.5 l) エアガン（Gガン）4本による総容量600 cu. in. (9.8 L) のエアガンアレイも導入した。前者を船速4ノットで

50m間隔発振した際に2000 psi（約140気圧）の圧力が確保できるよう、17 t コンテナ式コンプレッサー2台を使用した。受振部としてグループ間隔25mで120 chのデジタルストリーマーケーブルを使用した。リードインセクション、ストレッチセクション等を加えて全長3.5 kmである。このストリーマーケーブルの展開・揚収には油圧電動モーターのストリーマーケーブルウインチを用いた。

2.2. 第2段階（1997年）

1994年度に導入した構造探査システムは、1997年度に就航した「かいれい」に艀装された（図1）。エアガン容量は1000 cu. in. (16 L) 4本に増強され、投入・揚収用のエアガンダビットとともに船尾両舷に設置された。調査時には片舷2本ずつをフレームに固定して曳航した。コンプレッサーは作業甲板下に常設された。ストリーマーケーブルはストリーマーケーブルウインチとともに、「かいれい」格納庫内に設置された。「かいこう」との共用を可能とするため、ストリーマーケーブルウインチは「かいこう」用レール上を可動式とするとともに、「かいこう」作業時には右舷側に収納可能である。

OBSは音響通信による自己浮上式であり、3成分速度計とハイドロフォンをセンサーとし、16 bit A/D変換で100 Hzサンプリングによる記録が約3週間可能である（金沢、1986；篠原ほか1993）。OBS15台を10-20km間隔で設置して屈折法地震探査を行った。

上記システムにより、日本海溝、南海トラフにおいて探査を行い、沈み込み帯の深部構造を明らかにした（e.g. Tsuru et al., 2000; Nakanishi et al., 2002; Miura et al., 2003）。

Table 1 History of Seismic system in JAMSTEC.

Year	Phase	Ship	Airgun	Steamer	OBS	Institute	Department	Project
1995	H7	1st	(portable)	770 cu. in. x 4 = 3080 cu.in.	120 ch, 25 m group, 3500 m		Japan Marine Science and Technology	Deep Sea Research department
1996	H8							Frontier Research Program for Subduction Dynamics
1997	H9	2nd	KR	1000 cu. in. x 4 = 4000 cu. in.		15		
1998	H10							
1999	H11	3rd	KR, KY	1500 cu. in. x 8 = 12000 cu. in.	156 ch, 25 m group, 4000 m	100		
2000	H12							
2001	H13						Institute for Frontier Research on Earth Evolution	
2002	H14							
2003	H15							
2004	H16	4th	KR, KY	(KR) (KY)	204 ch, 25 m group, 5500 m	150	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Institute for Research on Earth Evolution
2005	H17							
2006	H18							
2007	H19							
2008	H20	5th	KR/KY	7800 cu. in. tuned array (KR)	444 ch, 12.5 m group, 6000 m	150/318		
2009	H21							Nankai EQ, Tectonic Zone

2.3. 第3段階（1999年）

海溝型巨大地震発生過程解明にむけて、大深度までを対象とする長大測線，大規模探査を実施する必要が生じた．そのためにエアガンの大容量化およびOBS100台体制を実現するため，「かいいい」だけでなく海洋調査船「かいよう」の改造も行った（図2）．

エアガンは「かいいい」「かいよう」とともにBOLT社



Fig.1 Seismic systems in Phase 2. (Top): Airguns. (Middle): Streamer cable. (Bottom): OBS.



Fig. 2 Seismic systems in Phase 3. (Top): Airguns of Kairei. (Second from the top): Streamer cable of Kairei. (Second from the bottom): Airguns of Kaiyo. (Bottom): One hundred OBS on Kaiyo.

1500LLタイプの1500 cu. in. (25 L) エアガン8本による総容量12000 cu. in. (197 L) アレイとなった。

「かいいい」のストリーマーケーブルは156 ch, 4 kmに増強して、より深部までの探査を可能とした。また、「かいよう」にグループ間隔25 mで12 chのMCSストリーマーケーブルを導入した。屈折法探査の際に曳航し、OBSによる速度構造の浅部境界面形状等を把握するために用いた。

本システムにより、南海トラフにおける巨大海山沈み込みを発見 (Kodaira, et al., 2000)、分岐断層のイメージングに成功 (Park et al., 2002) などの顕著な成果を得ることができた。

またデータ取得手法に関する試みも行われた。「かいいい」「かいよう」を用いた二船式反射法による深部イメージング (鶴ほか, 2004) やエアガン指向性によるPS変換波検出試験 (三浦ほか, 2005)、およびMCSデータとOBSデータを用いて浅部から深部までのイメージング向上をめざした統合イメージング (三浦ほか, 2006) 等である。

2. 4. 第4段階 (2004年)

大陸棚確定調査に資する伊豆小笠原海域等での集中的探査のため、OBS100台超による探査が年間4-5回実施することとなる。そのためOBS約150台による効率的運用をはかる増強を行った。また、ストリーマーケーブルはストリーマーケーブルウインチの容量いっぱいとなる204ch, 5.5kmまで増強した。

この集中的探査により、海洋性島弧の成長や地殻分化による大陸性地殻形成に関する重要な知見が得られた (Takahashi et al., 2007; Kodaira et al., 2007)。

2. 5. 第5段階 (2008年)

ここまで地球科学に対して数々の成果をあげてきたが、それは長大測線による概査的データによる。今後の構造研究は「ちきゅう」による掘削科学などとの連携が不可欠である。そのためには構造探査システムの高精度化をはかる更新が必要である。そのため2008年春に「かいいい」の構造探査システム更新を実施した (図3)。

エアガンアレイはBOLT社のAPGタイプで、100-600 cu. in. (1.6-9.8 L) までの容量が異なるエアガンを32本組み合わせた総容量7800 cu. in. (128 L) のチューンドアレイとした。バブルノイズの抑制により浅部詳細イメージングが可能となり従来不可能であった微細構造の把握ができるようになった。

ストリーマーケーブルはグループ間隔を12.5 mとし、水平方向空間分解能とS/N向上をはかる。その結果444 chで6 kmとなった。また従来のケロシン充填方式からソリッド方式となり曳航深度安定性向上や環境対策も行った。

データ例を図4に示す。ほぼ同じ測線における更新前後のMCSデータ例である (三浦, 2008)。更新前のシステムによるデータでは、海底下に大振幅のバブルノイズが顕著の上繰り返しも複数みられ、浅部詳細構造は確認できない。更新後のシステムによるデータはバブルノイズが抑制され、従来確認できなかった微細構造が明瞭に確認できる。深部境界面のイメージもシャープになり、浅部だけでなく深部でもイメージが改善された。さらに深部を対象とするOBSデータでも初動屈折波だけでなく、後続の反射波が確認しやすくなり、MCS、OBSともに更新による効果が確認できた。

また、巨大地震連動性評価のため、文部科学省より受託研究の一環として318台のOBS貸与を受けて南海

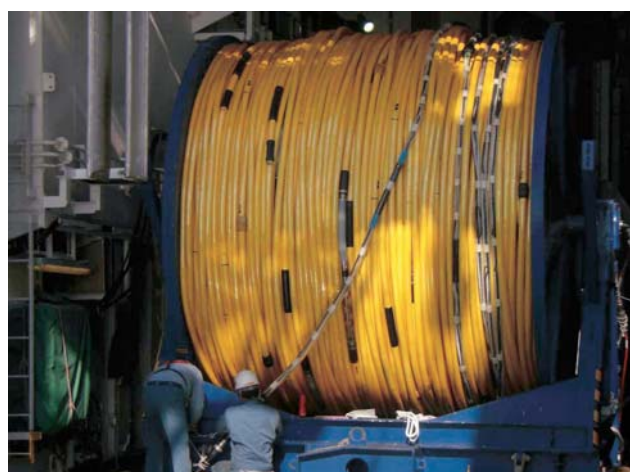


Fig. 3 Seismic System in Phase 5. (Top): Airguns of Kairei. (Bottom): Streamer cable.

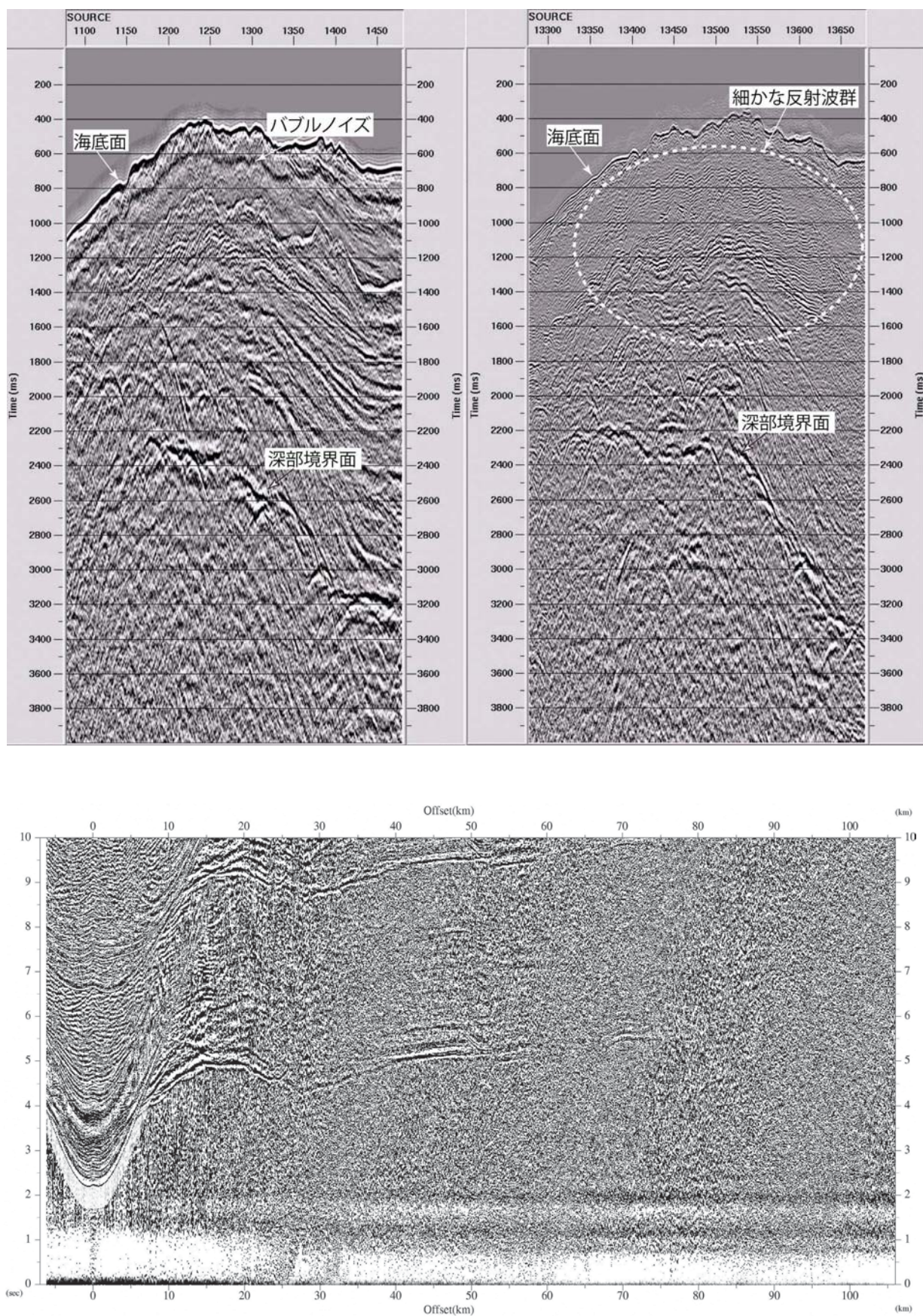


Fig. 4 Data examples with seismic systems in Phase 5. (Top left): MCS data in Phase 3. (Top right): MCS data in Phase 5. (Bottom): OBS data.

トラフでの集中的観測を開始した。このOBSと「かわいい」の新システムによって新たなデータ取得体制も動き出し、新たな知見が得られることが期待される。

3. まとめ

JAMSTECにおける構造探査システムは、科学的要求等により増強を繰り返し、新たな知見を得てきた。2008年の更新によっても重要な知見が得られると期待される。今後も科学的要求にこたえるべく技術的更新や増強をはかる必要があると考えられる。

引用文献

- 金澤敏彦 (1986), 7成分記録・低消費電力の超音波切離式海底地震計, *地震学会講演予稿集*, 2, 240 (1986).
- Kodaira, S., N. Takahashi, A. Nakanishi, S. Miura, and Y. Kaneda (2000), Subducted Seamount Imaged in the Rupture Zone of the 1946 Nankaido Earthquake, *Science*, 289, 104-106..
- Kodaira, S., T. Sato, N. Takahashi, S. Miura, Y. Tamura, Y. Tatsumi, and Y. Kaneda (2007), New seismological constraints on growth of continental crust in the Izu-Bonin intra-oceanic arc, *Geology*, 35, 11, 1031-1034.
- 松本剛, 笠原敬司, 平田賢治, 一北岳夫, フィリップジャービス, 西澤あずさ, 倉本真一, 仲村明子, 伊藤弘志, 二宮悟, 伊藤敦夫, 青木美澄, 片山健, 内田真人, 仁平孝夫, 池田十四生, 石川浩司, 浦木重伸, 木村大輔, 澤田次郎, 寺山文男, 村田義彦, 小林和男, 堀田宏, 木下肇 (1996), プレート収束域における海底下深部構造—MCS95調査航海成果速報, *JAMSTEC 深海研究*, 12, 45-64.
- Miura, S., S. Kodaira, A. Nakanishi, T. Tsuru, N. Takahashi, N. Hirata, and Y. Kaneda (2003), Structural characteristics controlling the seismicity of southern Japan Trench fore-arc region revealed by ocean bottom seismographic data, *Tectonophysics*, 363, 79-102.
- 三浦誠一, 鶴哲郎, 野徹雄, 笠原順三 (2005), エアガンレイによる指向性制御実験, *物理探査*, 58(3), 215-224.
- 三浦誠一, 鶴哲郎, 藤江剛, 中島義成, 浅川栄一 (2006), OBS/MCS統合イメージング処理の実用化に関する検討, *物理探査*, 56(12), 485-495.
- 三浦誠一 (2008), 「かわいい」の新構造探査システム, 日本深海技術協会会報, 2008年4号
- Nakanishi, A., N. Takahashi, J. O. Park, S. Miura, S. Kodaira, Y. Kaneda, N. Hirata, T. Iwasaki, and M. Nakamura (2002), Crustal structure across the coseismic rupture zone of the 1944 Tonankai earthquake, the central Nankai Trough seismic zone, *J. Geophys. Res.*, 107, 2-21.
- Park, J. O., T. Tsuru, S. Kodaira, P. R. Cummins, and Y. Kaneda (2002), Splay Fault branching along the Nankai subduction zone, *Science*, 297, 1157-1160.
- 篠原雅尚, 末広潔, 松田滋夫, 小沢和男 (1993), DATレコーダーを用いたデジタル大容量海底地震計, *海洋調査技術*, 5, 21-31.
- Takahashi N., S. Kodaira, S. L. Klemperer, Y. Tatsumi, Y. Kaneda, and K. Suyehiro (2007), Crustal structure and evolution of the Mariana intra-oceanic island arc, *Geology*, 35(3), doi:10.1130/G23212A.1
- Tsuru, T., J. O. Park, N. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kido, Y. Kaneda, and Y. Kono (2000), Tectonic features of the Japan Trench convergent margin off Sanriku, northeastern Japan, revealed by multichannel seismic reflection data, *J. Geophys. Res.*, 105, 16403-16413.
- 鶴哲郎, 三浦誠一, 野徹雄 (2004), 2002年熊野灘二船式反射法探査実験における長大オフセットの効果に関する考察, *物理探査*, 57(2), 173-181.