

海底局マルチ測距手法による海底地殻変動観測の効率化[†]

松下 優*, 小池未空時*

Improving efficiency in seafloor geodetic observation system using a multi-acoustic ranging method[†]

Hiroshi MATSUSHITA* and Mikuto KOIKE*

Abstract

More frequent observations of seafloor movements in the plate subduction zones is crucial to detect temporal changes in crustal deformations. Since December 2015, GPS-A observation time has been shortened by introducing multi-acoustic ranging method. As a result, it became possible to observe both the Japan Trench region and the Nankai Trough region at one cruise. Moreover, flexible observations, such as observing only one reference site on the seafloor while traveling for other survey missions, became possible. The observation frequency per site has been improved by this new observation method. In this paper, we describe its operation method and results.

1 はじめに

海洋情報部では、GPS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測の技術開発をするとともに、日本周辺のプレート沈み込み帯に海底基準点（以下、基準点と呼ぶ）を展開し（Fig. 1）、当庁測量船によって継続して観測を実施している（浅田・矢吹，2001；藤田，2006）。

海底地殻変動観測は、海上で時々刻々と変化する測量船の位置を GPS によって決定し、測量船の船底に設置された音響トランスデューサと海底に設置された基準点を構成する 4 台の海底基準局（以下、海底局と呼ぶ）との間の相対位置を音響信号によって計測する。これらを組み合わせて、各基準点の位置をセンチメートルの精度で求めることで、基準点の移動を測定している。

基準点の移動を高精度で測定することは、プ

レート境界の固着や地震による地殻変動を正確に知るだけでなく、長期的スロースリップのようなゆるやかな変動を捉えるためにも重要である。移動速度の決定精度の向上は観測精度とともに観測頻度を引き上げることで達成できる。2015 年 12 月以降、観測頻度を高めるためのマルチ測距手法が順次導入された。本稿では、この手法により効率かつ柔軟な観測方法を確立するまでの過程を紹介していく。

2 これまでの観測方法

各基準点には、安定した観測結果を得るために複数の海底局が設置され、各局の位置を平均することで、高精度で基準点の移動を求めることができる。これまでは、これら複数の海底局 1 局毎に音響信号を送信して返信信号を受け取る、という

[†] Received September 14, 2017; Accepted October 23, 2017

* 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

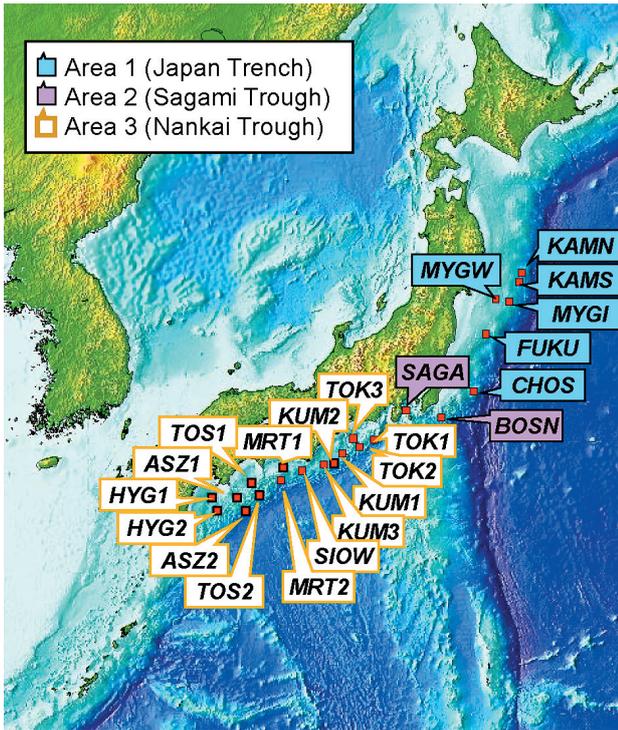


Fig. 1. Distribution map of seafloor reference points.
図 1. 海底基準点の分布図。

音響測距観測を行ってきた（以下、個別測距手法と呼ぶ）。この観測手法は、運用当初から行われてきたものである（浅田・矢吹，2001；富山，2003；成田・他，2005）。個別測距手法による観測は、1局につき10–14秒程度の間隔で音響信号の送受信を行い、1基準点の観測で合計約5000ショットの音響測距データを取得するまで繰り返していたことから、測量船の移動時間や水中音速度観測時間も含めると、概ね最大1日程度の観測時間が必要であった。また、この観測時間の制約から、1行動（2週間から20日程度）で観測できる海域は、南海トラフ沿いのみもしくは日本海溝沿いのみに限られ、最大16基準点が限界であった。

3 観測の高速化

2015年から新たな観測手法が導入された。これは、海底局1局毎に音響信号を送信していたところを複数局まとめて音響信号を送信することで観測効率を高め、観測時間を大幅に短縮する「マルチ測距」手法と呼んでいる観測方法である

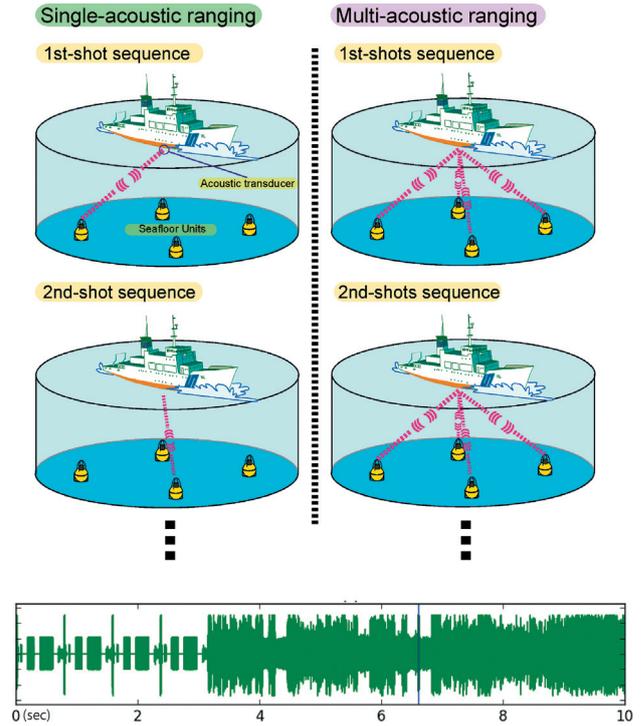


Fig. 2. (top) Schematic pictures of the existing seafloor geodetic observation (single-ranging) system and the new multi-acoustic ranging system. (bottom) An example of an acoustic signal observed by the multi-acoustic ranging system.
図 2. これまでの海底地殻変動観測システムとマルチ測距システムの概念図（上）。マルチ測距によって観測された音響信号の一例（下）。

(Fig. 2). 観測手法の詳細については、横田・奥村（2015）を参照されたい。

この手法を取り入れた観測機器が測量船「拓洋」に実装され、試験観測において精度劣化がないことと大幅な高速化を証明した（横田・他，2017）。

これにより、基準点の水深によるが、観測時間が従来の個別測距の概ね2分の1から3分の1に短縮され、観測の効率化が達成できる見通しとなった。

4 観測効率化の利点

測量船「拓洋」による試験結果を受け、2016年に測量船「明洋」及び測量船「海洋」に同様の観測機器が実装された（Photo 1を参照）。

実装にあたり、測量船「拓洋」の試験結果を踏まえて、これまでの解析結果から1基準点あたり



Photo 1. The transmission part of the newly installed multi-acoustic ranging system.

写真1. マルチ測距システムが導入された音響発信部。

の観測ショット数を見直し、同時に観測測線の最適化を図った。

マルチ測距による最初の本格的な観測は、2016年10月に測量船「明洋」により実施された。その結果、これまで1回の行動において南海トラフ沿いもしくは日本海溝沿いのどちらか片方しか観測できなかったが、天候にも恵まれたこともあり、18日間の行動で全28基準点の観測を完遂し、マルチ測距による観測の大幅な効率化を実証した (Tables 1, 2 及び 3)。

効率化によって、観測時間の短縮のみならず、台風や冬の気圧配置による荒天といった場合に、天候の影響が懸念される基準点を避けて、海

Table 1. Actual observation time (excluding wakeup time and survey time for the undersea sound speed) and shortening ratios for single- and multi-acoustic ranging systems, measured on S/V Meiyō.

表1. 測量船「明洋」によるシングル測距とマルチ測距のそれぞれの場合の実観測時間 (wakeup 時間や音速観測時間を除く) と短縮率。

基準点名 Site name	水深 Depth	連続発信回数 Sequence	個別測距の観測時間 Observation time of single-acoustic ranging	マルチ測距の観測時間 Observation time of multi-acoustic ranging	短縮率 Shortening coefficient
KAMN	2300m	4-times	15h40m	5h03m	32%
MYGI	1700m	3-times	13h35m	5h19m	39%
MYGW	1100m	3-times	13h35m	5h19m	39%
CHOS	1500m	3-times	15h02m	7h14m	48%
TOK1	2400m	4-times	14h24m	5h27m	38%
KUM2	2080m	4-times	15h29m	4h16m	28%
TOS1	1030m	3-times	14h44m	5h50m	40%
TOS2	1770m	3-times	14h51m	7h19m	49%
ASZ2	2910m	4-times	16h53m	5h45m	34%

Table 2. An actual example of 18-day cruise single-range measurement operation in 2016.

表2. 2016年に実施したシングル測距時の18日間行動における実際の行動表。

基準点名 Site name	観測開始時間 Observation start time	観測終了時間 Observation end time
SIOW	6/21 21:13	6/22 13:37
MRT1	6/22 16:39	6/23 09:30
TOS2	6/23 19:09	6/24 09:39
HYG1	6/25 11:40	6/26 00:41
HYG2	6/26 02:57	6/26 22:02
ASZ1	6/27 01:05	6/27 14:51
TOS1	6/27 17:03	6/27 23:48
TOS1	6/30 19:47	7/1 04:50
ASZ2	7/1 09:40	7/2 01:25
MRT2	7/2 08:03	7/3 00:36
KUM3	7/3 05:53	7/3 22:00
KUM2	7/3 23:13	7/4 15:05
KUM1	7/4 16:41	7/5 08:03
TOK2	7/5 10:45	7/6 04:53
TOK1	7/6 07:21	7/6 22:22
SAGA	7/7 04:36	7/7 09:25

Table 3. An actual example of 18-day cruise multi-range measurement operation in 2016.

表3. 2016年に実施したマルチ測距時の18日間行動における実際の行動表。

基準点名 Site name	観測開始時間 Observation start time	観測終了時間 Observation end time
MRT2	10/7 14:36	10/7 21:25
TOS2	10/8 01:34	10/8 09:23
ASZ2	10/8 12:55	10/8 19:17
ASZ1	10/8 21:45	10/9 03:46
HYG2	10/9 09:31	10/9 15:36
HYG1	10/9 18:42	10/9 23:24
TOS1	10/10 05:44	10/10 12:16
MRT1	10/10 19:18	10/11 03:05
SIOW	10/11 06:26	10/11 14:12
KUM3	10/11 18:33	10/12 00:36
KUM2	10/12 02:06	10/12 06:54
KUM1	10/12 08:37	10/12 13:31
TOK2	10/12 16:34	10/13 00:28
TOK3	10/13 02:53	10/13 09:23
TOK1	10/13 13:02	10/13 19:09
FUKU	10/17 08:41	10/17 15:19
MYGW	10/17 20:00	10/18 02:07
MYGS	10/18 04:42	10/18 10:25
KAMS	10/18 13:15	10/18 18:24
KAMN	10/18 19:33	10/19 01:04
#8	10/19 02:49	10/19 08:38
#10	10/19 10:54	10/19 16:53
#12	10/19 18:19	10/20 00:52
#14	10/20 03:43	10/20 09:50
#17	10/20 14:35	10/20 21:48
CHOS	10/21 06:12	10/21 13:52
BOSN	10/21 19:54	10/22 00:52
SAGA	10/22 05:29	10/22 10:12

況の良い基準点を優先的に観測するといった、柔軟な船舶の運用が可能となる。

これにより、1回の行動で南海トラフ沿いもしくは日本海溝沿いのどちらかしか観測できなかったところを、予備日を勘案して1行動20日間程度を見込むことで、全基準点を観測することが可能となった。

また、観測時間が短縮されたことで、別の観測の回航途中に基準点を經由して観測することがこれまで以上に容易になった。実際、「拓洋」によって何度もこのような経路観測を実施している。

経路観測を含め毎月観測を実施できたとすれば、各基準点の観測頻度が増加することで時間分解能が飛躍的に向上し、これまで判別不可能であった短期間の地殻変動を捉えたり、スロースリップによる変動をいち早く発見することも可能となるであろう。

さらに、船舶の行動に余裕ができたことで、現在の運用形態そのままに、基準点の増設による観測の高密度化や広域化が可能となる。

5 今後の課題

観測手法のマルチ測距化は、様々な面においてメリットをもたらすが、いくつかの課題も見えてきた。観測頻度が多くなることで観測機器への負担が増大し、耐久性に懸念が生じてくる。個別測距では、1回の音響信号の発信間隔が10秒以上あったが、マルチ測距では0.7秒～0.8秒毎に3回連続ないし4回連続発信することから、機器への負荷が大きくなり劣化や故障が懸念される。船底に装備している観測機器のため、今のところ、測量船のドック入渠時に併せて定期的なメンテナンスを実施することで、機器の故障を未然に防止していくことが計画されている。

また、観測時間の短縮に伴い、観測頻度が向上することでデータ量が増大し、解析処理にこれまで以上に負荷がかかる。限られた人的、機械的リソースの中で、迅速な解析が求められる今般、解析においても効率化・高度化が必要となってきた

いる。

謝 辞

解析には国土地理院の電子基準点のデータを使用させております。また、横田裕輔氏には本稿執筆にあたり、ご助言、コメントを頂きました。併せて感謝いたします。

文 献

- 浅田 昭・矢吹哲一郎(2001) 熊野トラフにおける長期地殻変動観測技術の高度化, 地学雑誌, 110 (4), 529-543.
- 富山新一(2003) 海底地殻変動観測における音響解析, 海洋情報部技報, 21, 67-72.
- 成田誉孝・畝見潤一郎・望月将志(2005) 海底地殻変動観測における機器の現状とその運用について, 海洋情報部技報, 23, 53-60.
- 藤田雅之(2006) GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測～海上保安庁の取り組み(レビュー)～, 海洋情報部研究報告, 42, 1-14.
- 横田裕輔・奥村雅之(2015) 海底局マルチ測距手法による海底地殻変動観測の効率化に向けた検討, 海洋情報部研究報告, 52, 79-87.
- 横田裕輔・田代俊治・下村広樹(2017) 海底局マルチ測距手法の実装, 海洋情報部研究報告, 54, 32-37.

要 旨

2015年12月以降、GPS-A海底地殻変動観測にマルチ測距手法を導入したことで観測時間を大幅に短縮できることを実証した。この観測方法により、従来、観測期間の制約から南海トラフ沿いもしくは日本海溝沿いの一方しか実施できなかったところ、1回の行動で全ての基準点を観測することが可能となった。また、他の観測の回航途中に立ち寄って、複数の基準点を観測するといった柔軟な運用を可能にした。

本稿では、新しい観測手法による具体的な運用とその結果を述べる。