

Fig. 1. Example of a typical "sinusoidal noise". Sonograms as recorded on SonoGraph. Contours correspond to 6-dB amplitudes intervals. H refers to horizontal channel of OBS. Notice main peaks for earthquakes around 8 Hz. Strong 3.3 Hz peak showing noise excited by earthquake (a) and/or 3.3 Hz peak appeared before P-arrival possibly caused by deep-sea bottom current (b) (After KASAHARA and HARVEY, 1976). P shows P-wave arrival, S for S-wave arrival and T for T-phase arrival.

こと、(2) 最良の地震計をデザインをすること、(3) もし雑音が底層流によって発生するのなら、それを使って底層流の有無を調べること、である。大槌湾の観測とほぼ重複する期間、三陸沖に4台の浮上式海底地震計を入れ、それらからも雑音に関するデータが得られた。

## 2. 観測方法

1980年5月17日～31日、三陸大槌湾水深15mの海底に浮上式海底地震計 ERI-P79型(笠原他, 1979)と日本油脂製デジタル式流向流速計(モデル CCM-01)を約10m離して設置した(Fig. 2, E点)。流速計は海底面から約40cmの流速を計測し、海底地震計のセンサー位置とほぼ同じ高さにした。

これとほぼ重複する期間、大槌湾に設置したと同じ浮上式海底地震計4台を大槌湾東方約70～140kmの距離の水深1,045～1,950mの海底に設置した(Fig. 2, A～D点)。

大槌湾、三陸沖の海底地震計の設置位置、観測期間はTable 1にまとめた。大槌湾での設置と回収は東大海洋研究所臨海研究センター所属の観測船「弥生」、三陸沖の4点は

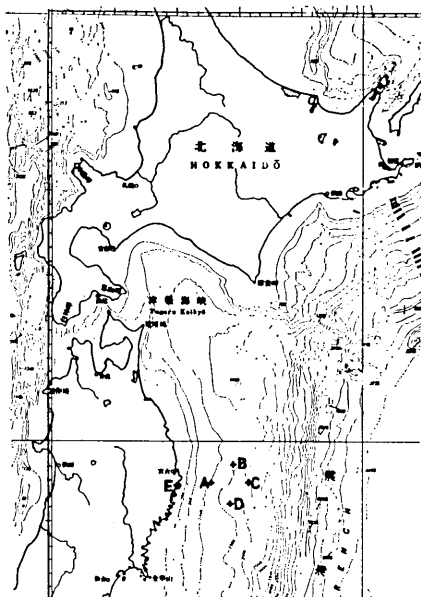


Fig. 2. Locations of OBS station A-E. Bottom current meter at also station E.

Table 1. Locations and observation period of OBS's and bottom current meter.

STATION NAME	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH m	OBSERVATION PERIOD in 1980	COMMENTS
A	39°29.9'	142°32.7'	1045	May 20, 15H38M ~May 28	East of Sanriku coast. Pop-up OBS.
B	39°42.9'	142°53.7'	1310	May 20, 12H44M ~May 28	same as above.
C	39°30.0'	143°09.0'	1950	May 20, 09H55M ~May 28	same as above.
D	39°14.7'	142°51.1'	1742	May 20, 06H36M ~20, 14H18M	same as above.
E	39°20.1'	141°54.8'	15	May 17-31	In Ozuchi Bay. Pop-up OBS and digital current meter.

同じ海洋研究所の観測船「淡青丸」にて行った。

海底地震計増幅器の増幅率は、上下動 66 dB, 水平動 60 dB, ハイドロフォンのそれは 60 dB とした。

### 3. 結 果

大槌湾の流速計の結果を Fig. 3 に示した。流速は10分間の平均流速を示している。この結果から、14 日間の観測期間中最大流速 9 cm/s が2 回発生した。最低流速は 3 cm/s であり、平均流速は 4~5 cm/s であった。同時に観測した水温計は設置後9.5 日目に約 1

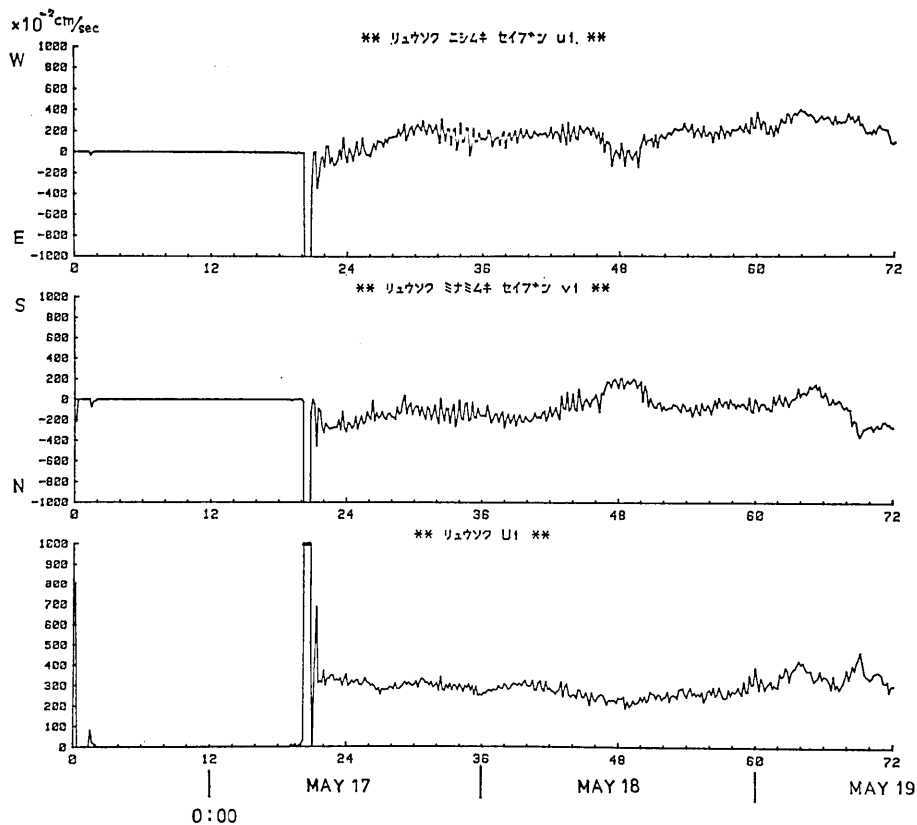


Fig. 3(a).

Fig. 3, (a)-(e): Velocity of bottom current at station E (in Ozuchi-Bay).  
 top: W-E component of bottom current.  
 middle: N-S component of bottom current.  
 bottom: total velocity of bottom current.

度の大きな変化を示した。それ以外はほぼ連続的变化を示した。この時間は流速記録における大きな変化の始まりに相当していた。

大槌湾海底地震計には観測期間中海岸近くの陸上の観測点で通常みられる脈動に由来すると考えられる 2 Hz 付近の、ノイズ・レベル以上の 2~3 Hz の正弦波的雑音は現われなかった<sup>1)</sup>。その代り、海底地震計から約 800 m はなれた大槌湾をとり巻く沿岸道路を走る自動車によって発生したと思われる 10 Hz 以上の雑音と海中浮遊物の衝突によって発生したと思われる継続時間 1~2 秒の雑音が目立った。この種の雑音は通常の海底地震観測では記録に現れない種類のものであり、浅い湾であったために発生したと考えられる。

1) 浮上式海底地震計に発生する 2-3 Hz のノイズは、通常 66 dB の増幅率 (上下動地震計) でもすぐ飽和する (250  $\mu$ kine 以上)。大槌湾の 2-3 Hz のノイズが通常の脈動なのか浮上式海底地震計に特有のノイズなのか現時点で不明であるが、本論文では 250  $\mu$ kine ものノイズレベルを発生する原因について考察する。

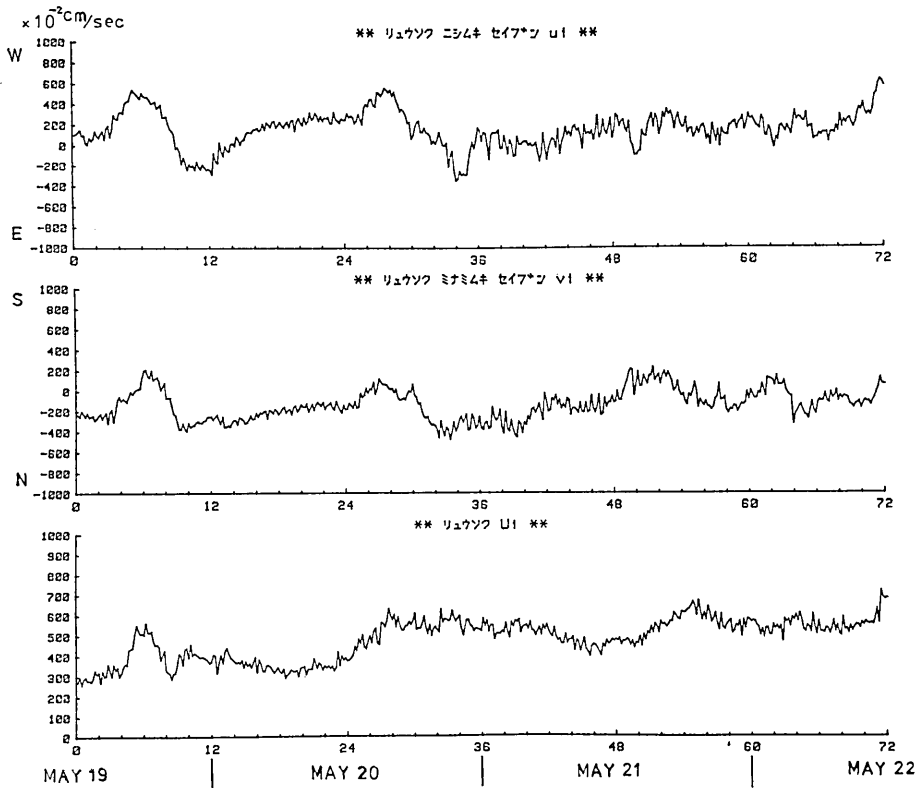


Fig. 3(b).

一方、三陸沖 A~C 点は時間的に変化する 2.2 Hz の正弦波的雑音を示した (Fig. 4). 観測記録時間は約 8 時間と短かったが、この観測時間内に D 点には雑音は発生しなかった (Fig. 5). 雑音の例を Figs. 6, 7 に示した.

Figs. 5~7 でわかるように、約 50 km 離れた海底地震計相互で、雑音のピークとピークの対応はみられない。5 月 20~22 日前後までは雑音レベルは高く、その後比較的静かであった。日周変化に近いものも C 点に有るが、A 点、B 点では見られない。

この異常に大きな振幅 (>250  $\mu$ kine) を持つ正弦波雑音は、地震計の上下動、水平動に著しく現われるが、ハイドロフォンでは明瞭ではない (Fig. 6, 7 の HYD), この差は、ハイドロフォン増幅器の周波数特性の違い<sup>2)</sup> によるばかりでなく、音圧レベルがハイドロフォンに感ずるに十分な音圧 (約 1 Pa) を超えなかったことによるのであろう。

同じ時期の大槌湾の気圧変化 (大槌臨海研究センターでの記録) を Fig. 5 上図、5 月 20~28 日 9 時の天気図を Fig. 8 に示した。これらの図から判るように、5 月 22 日午前中に三陸沖を中心気圧 980 mb の台風 (台風 Ellen) が通過し、Fig. 5 上図中の 1,003 mb

2) ハイドロフォン増幅器は 10 Hz 以下の特性が -3dB 落ちている。ハイドロフォンは地震計の約 5 cm 下に取付けてあり、地震計とハイドロフォンに働く速度・加速度は著しく変化してはいないだろう。総合特性については笠原他 (1979) を参照されたい。

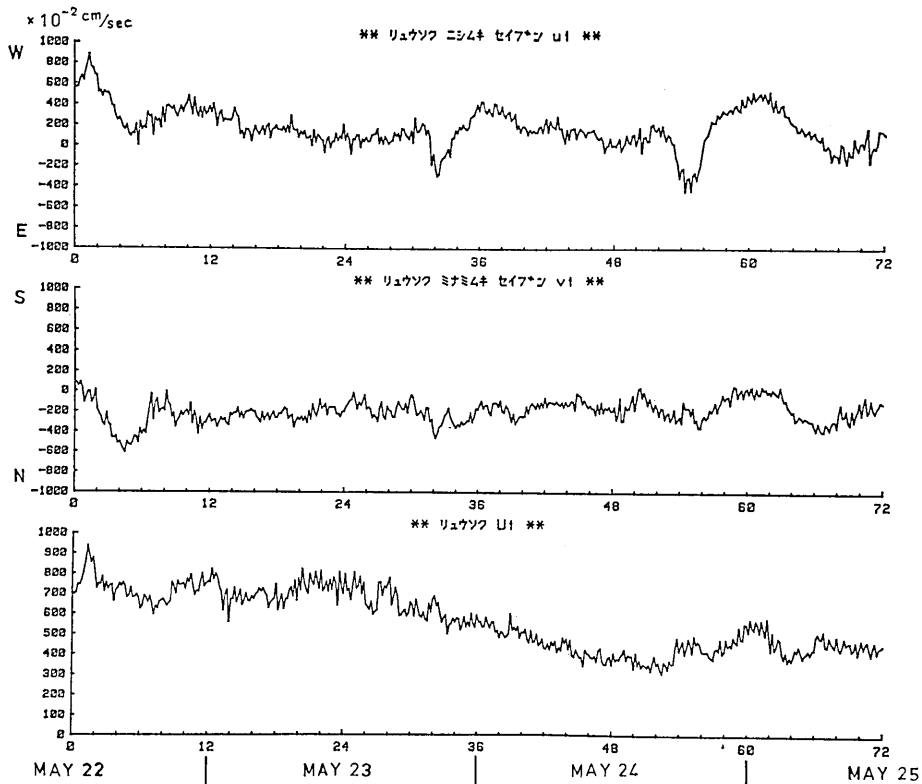


Fig. 3(c).

の低い気圧はこれに相当している。26日深夜の 990 mb は日本海を通過した低気圧によるものである。これら2つの低気圧は、大振幅正弦波的雑音と強い相関はないが、比較的深度の浅い ST-A は台風の接近時まで雑音が大きい傾向を示した。しかし、ST-B, ST-C ではこの傾向は見られない。

#### 4. 考察及び結論

##### (1) 正弦波的雑音に対する他の研究

浮上式海底地震計で発生した  $250 \mu\text{kin}$  を超える正弦波的雑音は、アンカード・ブイ式 (例えば, NAGUMO et al., 1968; 長谷川・南雲, 1970; RYKUNOV and SEDOV, 1965), テレメータ式 OBS (SUTTON et al., 1970) には現われていない。KASAHARA and HARVEY (1976) は、千島海溝東方の海底地震計に見られる 3.3 Hz の雑音と観測期間中の気象衛星による海上の天候、数十キロ離れた流速計の水深 1500 m までの流速、と比較した結果それらとの相関を見出せなかった。また海洋潮汐の持つ半日周期、1日周期も見出せなかった。

地震研究所でも浮上式海底地震計の示す 3 Hz 付近の雑音の原因を検討した。原因の 1

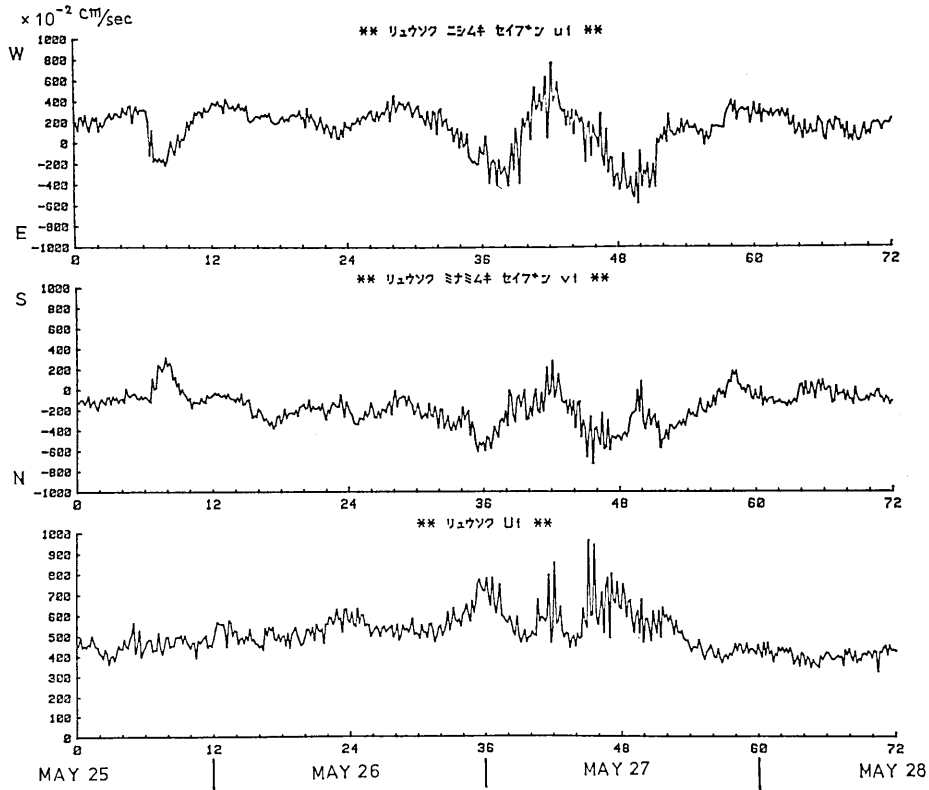


Fig. 3(d).

つの可能性と思われた地震計を入れたジンバルの共振点は 2~3 Hz の共振点を持たなかった。しかし、浮上式海底地震計の持つ、浮心が上、重心が下という構造によって、海底地震計全体が一種の水平振子として動作する可能性は残った。

笠原他 (1979) は、雑音が発生する原因の 1 つとして深海底における底層流の可能性を検討した結果、BRADNER 他 (1965) の示唆同様、流速が 10~20 cm/sec を超えると発振器のアンテナ周囲のカルマン渦による振動数は数 Hz となり、海底地震計に対して重大な雑音源となることを示した。同じ海底地震計 P-79 は、船型試験水槽における曳航実験の結果、曳航速度 18~30 cm/sec 付近で、発振器のアンテナは曳航方向に直角に大振幅の振動を起した (笠原他, 1980)。その振動数は今回の観測で得られた振動数 (2.2 Hz) より高い約 3.2~3.7 Hz であり、この振動数はアンテナの空気中での固有振動数にはほぼ等しかった。その振幅は、アンテナの根本でさえも 1.5 mm の変位を示した。この振幅から考えれば、海底地震計の高感度増幅器はこの振動で飽和すると考えられる。またこの振動数は、前述のハワイ大学海底地震計<sup>3)</sup>の観測した 3.3 Hz とほぼ一致している。

最近、DUENNEBIER 等 (1980) は、ハワイ付近に設置した海底地震計 (浮上式かケーブ

3) ハワイ大学の海底地震計は  $f_0=4.5$  Hz の地震計, ERI-P79 は  $f_0=2$  Hz のものを使用している。

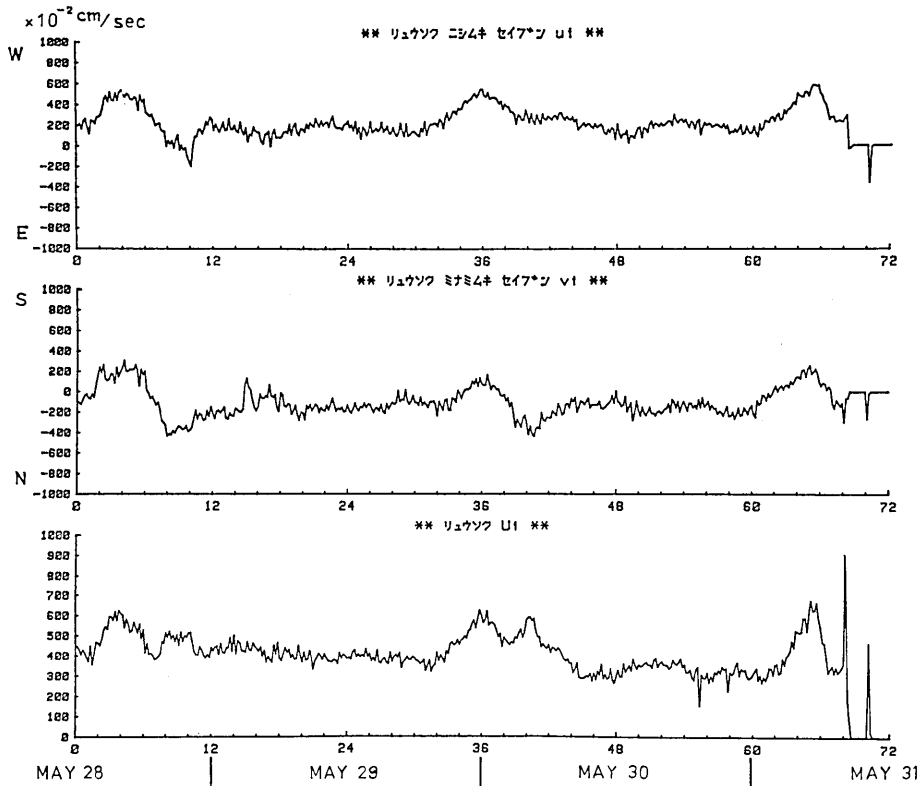


Fig. 3(e).

ル式か不明)のノイズを調べ、その周期性が理論的海洋潮汐の周期性と極めて良い相関を示した。しかし、50 km はなれた場所の流速計による測定結果との相関は必ずしも良くない。このノイズが 2-3 Hz のものなのか、絶対振幅が本論文で議論しているものに相当しているのか不明であるが、少なくともノイズと流れ(海洋潮汐)とは関係が有りそうである。

底層流の大きさについては海洋学研究者の間でも議論がわかれている。これは、深海底での流速の測定が困難であり、測定例が非常に少いことと多くの海洋学研究者の興味が必ずしも深海底にまで及んでいないことによるのであろう。数少ない測定例によれば、平坦な深海底でも 20~40 cm/sec 程度の流れがある(平啓介・寺本俊彦, 1979; HARVEY, 私信)。また、フィリピン海溝のような地形の複雑な所では流速は複雑に変化し、9,605~9,806 m の海底で 11~30 cm/sec の流れが観測された(HESSLER et al., 1978)。

以上、実験室での実験、理論的考察、いくつかの深海底の流速の測定例から、浮上式海底地震計に現われる雑音源は深海底の底層流とそれによって発生するアンテナ周囲のカルマン渦による振動、と推測される。



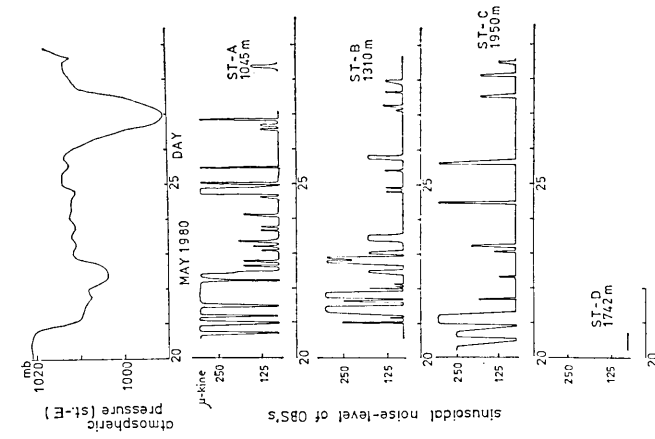


Fig. 5. Top: atmospheric pressure at sea-level at station E. Others: sinusoidal noise level of OBS's station A-D observed by horizontal seismometer. Unit of sinusoidal noise:  $\mu$ kine ( $10^{-6}$  cm/sec). Lowest noise level is less than figures for frequencies higher than 6 Hz, approximately 30  $\mu$ kine.

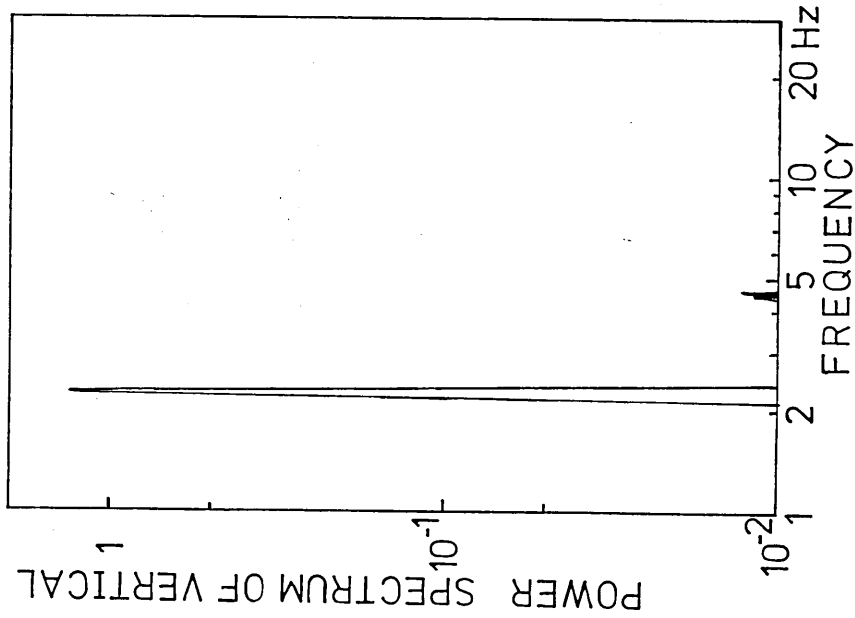


Fig. 4. Power spectrum of sinusoidal noise for vertical seismometer at station A.

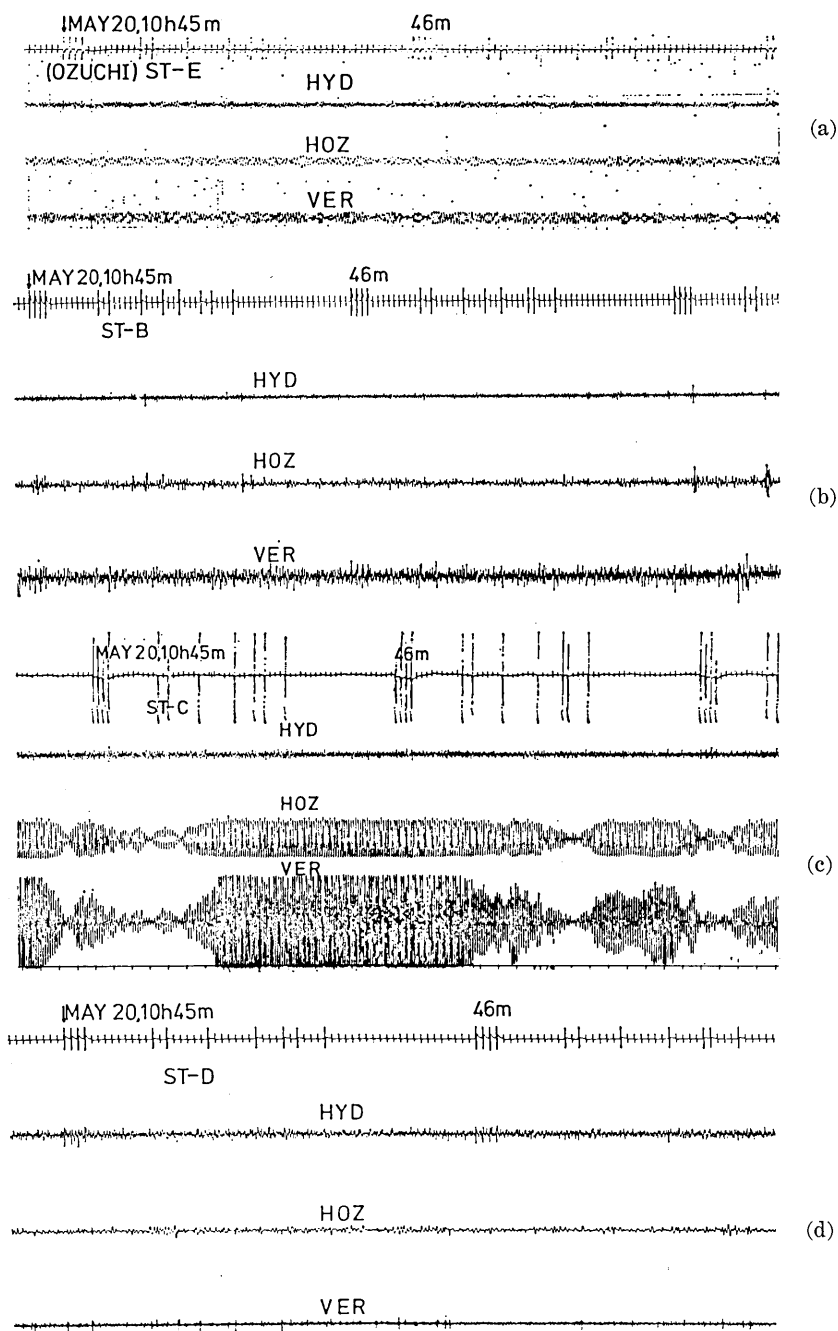


Fig. 6. Examples of noise records. (a) Ozuchi (station E), (b) station B, (c) station C, (d) station D. Time scales are not exactly equal. HYD is hydrophone channel, HOZ is horizontal seismometer and VER is vertical seismometer. Note station C show large (greater than  $250 \mu$ kine) sinusoidal noise, but other three show relatively small noise. Station A were still on ship-board during the time.

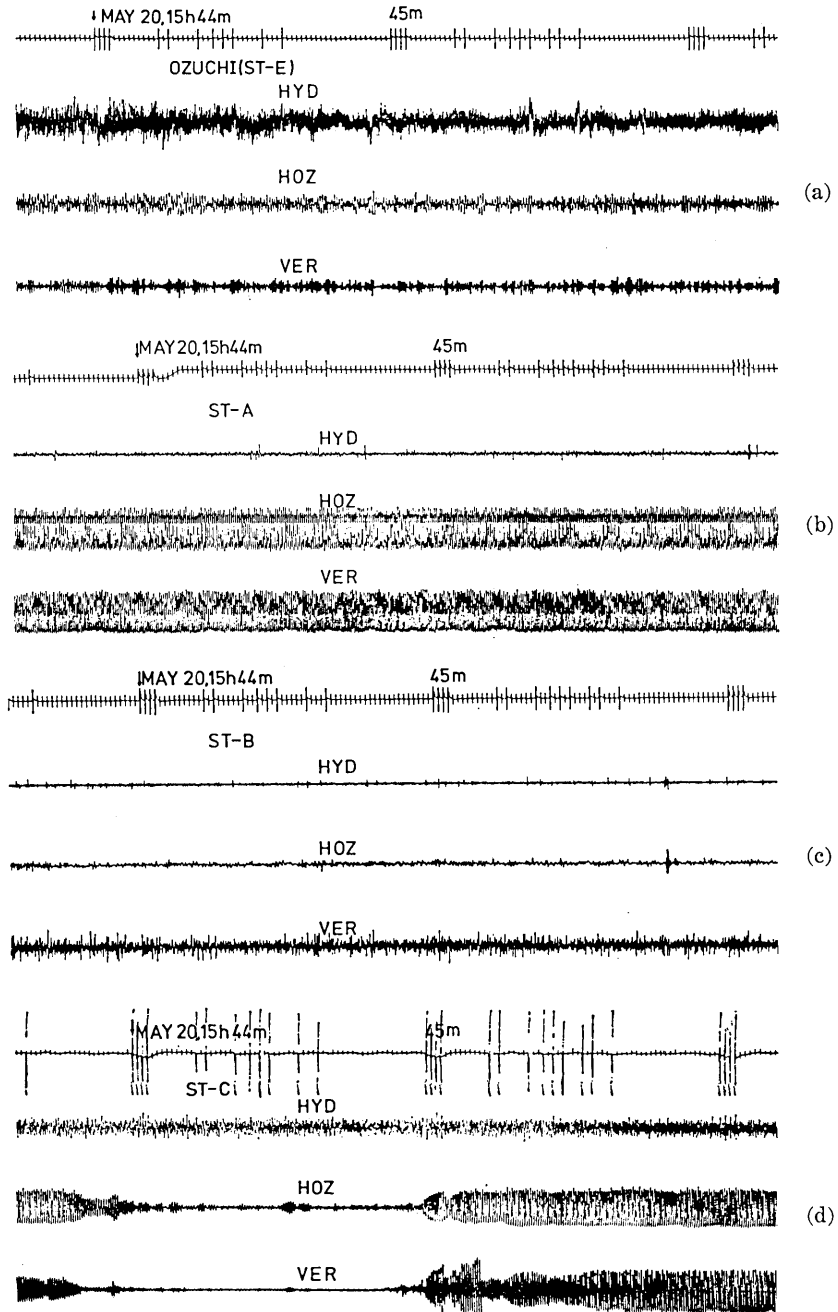


Fig. 7. Examples of noise records. (a) Ozuchi (station E), (b) station A, (c) station B, (d) station C. Station A and C show large sinusoidal noise. During the time, station E and station B were relatively small noise. Station D were already on sea surface.

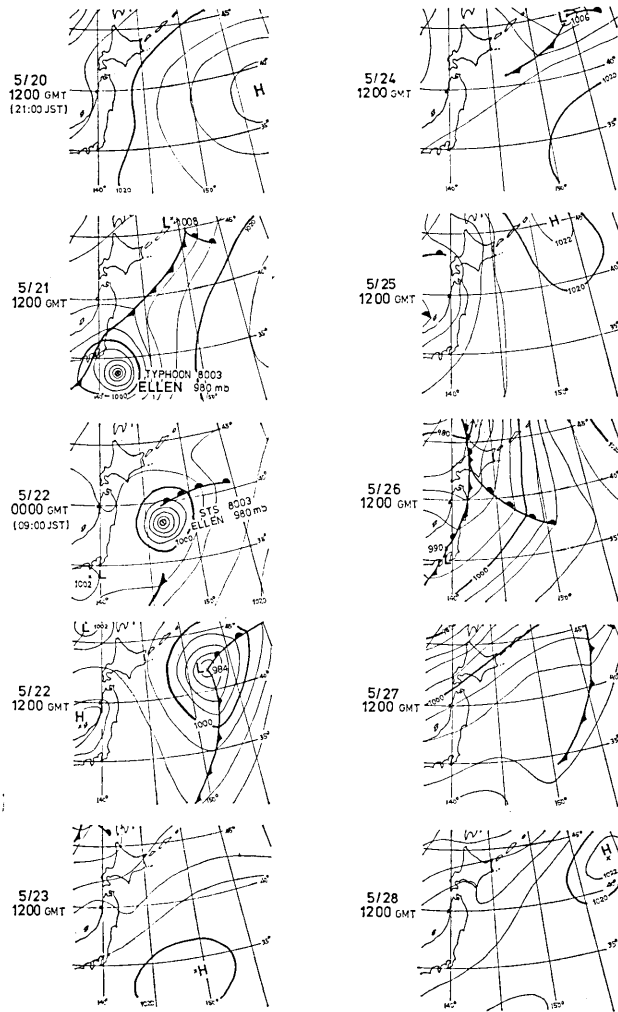


Fig. 8. Weather maps during observation period, May 20-28, 1980 (modified JMA data).

## (2) 観測結果の考察と結論

大槌湾内の海底地震計と流速計との同時観測から、少なくとも流速  $9 \text{ cm/sec}$  以下では  $250 \mu\text{kine}$  をこえる正弦波的雑音は発生しないことがわかった。  $2 \sim 3 \text{ Hz}$  の正弦波振動は全くゼロというわけではないが、他の浮上式海底地震計でみられる振幅よりはるかに低かった。同じ時期、大槌湾から約  $70 \sim 140 \text{ km}$  離れた海底地震計4台中3台は  $250 \mu\text{kine}$  を超える  $2.2 \text{ Hz}$  の正弦波的雑音を記録した。海上の天気の影響は明瞭には現われなかった。三陸沖海底地震計間で、A, B, C 点は投入後2日間の雑音レベルは比較的大きくその後静かであった。しかし、ピーク対ピークの対応はつかない。また、海洋潮汐が持っているような日周・半日周変化は明瞭ではない。

正弦波的振動の振動数は、曳航実験では 3.2~3.7 Hz (笠原他, 1980), 実験の観測値では 2.2 Hz を示した. 前者が加速度計でアンテナ自身の振動を調べたものであり, 後者は 2 Hz の地震計を使って海底地震計全体の振動を記録したものである. また, 4.5 Hz の地震計を使ったハワイ大学では 3.3 Hz を記録した (KASAHARA and HARVEY, 1976). これらの差はカルマン渦によるアンテナの振動と地震計の固有振動が重なった結果であると解釈できる.

大槌湾の底層流が 10 cm/sec を超えなかったので, 底層流による雑音の発生という推定の直接の証明にはならなかった. しかし曳航実験 (笠原他, 1980) でわかったように, 10 cm/sec 以下では大振幅の正弦波雑音が発生しなかったという結果は「流速 18~30 cm/sec では大振幅の正弦波振動が発生する」という推定に対して大きな傍証が得られたと考えられる. 三陸沖の A~C 点では底層流の流速がこの大きさに達したと考えられる. 雑音が底層流によって発生するとの推定が正しいとすれば, 三陸沖水深 1,000~1,900 m の海溝斜面での底層流は非常に大きいことになる. 18~30 cm/sec という流速値は, 黒潮が普通 100 cm/sec (=2 ノット) 程度であること, 従来 2,000 m の深海底では流速は 1 cm/sec 程度と考えられていたということを考えれば海底地震計の雑音は底層流が非常に大きいことを示していることになる. 底層流は 50 km 離れた海底地震計間で一様でなく, エディ・カレントの様な局所的性格の強いものと考えられる.

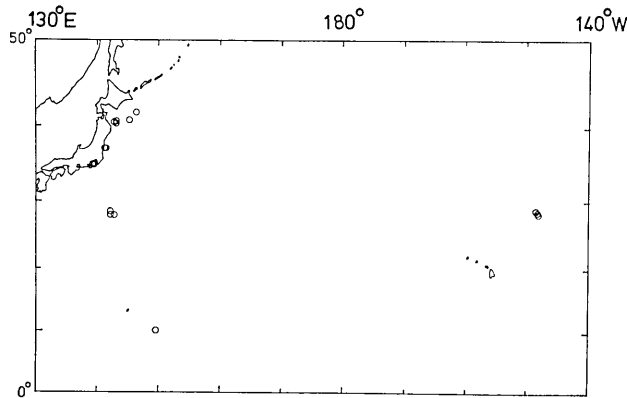


Fig. 9. Summary map of Pop-up OBS's locations deployed by ERI.

今回の観測結果以外にも正弦波的雑音を示した浮上式海底地震計の観測例がある. Fig. 9 に地震研究所単独及びハワイ大学と共同で設置した浮上式海底地震計の位置を示した. このうち, 東大太平洋の 3 点, 北海道沖 1 点はハワイ大学と類似の型 (SUTTON et al., 1978) であり, マリアナ海盆の 1 点 (10°N, 150°E) は, 初期の浮上式海底地震計である. しかし, いずれの型も OAR 製の発振器とそのアンテナを使用していた. これらの観測点中, 東大太平洋の 3 点は正弦波的雑音を示さなかったが, 他の全ての点は雑音を記録した. 海底地震計の設置場所が海溝付近に片寄っているけれども, 水深 6,000 m に及ぶ深海底まで, 流速 20 cm/s に及ぶ底層流はかなり普通に存在する現象と考えられる. このような海溝付近の大きな底層流は, 地質学上のハイエタス (hiatus) の原因の 1 つであるかも知れな

い。

1980年7月, 11月の観測においては今回の結果を考え海底地震計のアンテナをより剛性の大きな直径の大きな丸棒(直径 20 mm)に沿わせた結果雑音をある程度軽減できた。

今回の同時観測では大槌湾において 16~18 cm/sec を超す底層流が発生しなかったために, 大振幅 (>250  $\mu$ kine) の正弦波的雑音発生の直接的原因究明に至らなかったけれども, 今後より大きな流速の発生しそうな場所での同時観測を計画中である。

## 謝 辞

この研究を行うにあたり, 大槌湾における海底地震計と流速計の設置・回収および気圧データ・風速データの収集に対し多大の御助力をいただいた, 東大海洋研究所大槌臨海研究センターの四笹信行助手, 川村忠技官, 及び全般に渡り御助力いただいた沼地健一助教授, 淡青丸における海底地震計の設置・回収を行っていただいた五十嵐宏船長および乗組員の方々に感謝の意を表します。流速計を貸していただいた日本油脂株式会社, および調整・データ処理を行っていただいた日本油脂川越工場笠貫登氏, 海底地震計の整備に協力していただいた地震研究所大工原保技官, 原智美技官, 天気図データ収集に御協力いただいた東大理学部楠昌司氏に感謝いたします。

この研究は, 東大海洋研究所大槌臨海研究センター共同利用, 淡青丸 KT-80-7, 80-8 航海によって行ないましたことを感謝いたします。この研究の初期の企画をされた地震研究所南雲昭三郎教授に感謝の意を表します。

## 文 献

- ARNETT, R.A., and T.W. NEWHOUSE, 1965, Ocean bottom seismograph, *Proc. IEEE*, 53, 1889-1905.
- BRADNER, H., 1964, Seismic measurements on the ocean bottom, *Science*, 146, 208-216.
- BRADNER, H., J. DODDS and R. FOULKS, 1965, Coherence Measurements with time sampling ocean-bottom seismometers, *Proc. IEEE*, 53, 1906-1908.
- DUENNEBIER, F.K., G. BLANKINTON and G.H. SUTTON, 1980, Current-generated noise recorded on ocean bottom seismometers, in "Lopez island ocean bottom seismometer intercomparison experiment", edited by G.H. SUTTON et al., *HIG Report*, 80-4, J-1-J-10.
- 長谷川修二, 南雲昭三郎, 1970, 海底地震計用長期間磁気テープレコーダの試作および海底地震記録の特長, 地震研究所彙報, 48, 967-981.
- HESSLER, R.R., C.L. INGRAM, A.A. YAYANOS and B.R. BURNETT, 1978, Scavenging amphipods from the floor of the Philippine Trench, *Deep Sea Res.*, 25, 1029-1047.
- IBRAHIM, A.B.K. and G.V. LATHAM, 1978, A comparison between sonobuoy and ocean bottom seismograph data and crustal structure of the Texas shelf zone, *Geophysics*, 43, 514-527.
- KASAHARA, J. and R.R. HARVEY, 1976, Ocean bottom seismometer study of the Kuril trench area, *HIG report*, 76-9, 1-64.
- 笠原順三, 1978, 変動期を迎えた海底地震学, 自然, 9月号, 60-70.
- 笠原順三, 是沢定之, 大内 徹, 南雲昭三郎, 1974, 自由落下・自己浮上方式海底地震計の開発, 地震研究所速報, 第13号, 1-16.
- 笠原順三, 是沢定之, 南雲昭三郎, 大工原保, 原 智美, 安藤誠一, 1979, 自己浮上式海底地震計

- (ERI 型 P-79), 地震研究所彙報, 54, 515-530.
- 笠原順三, 南雲昭三郎, 是沢定之, 大工原保, 宮田秀明, 1980, 底層流による海底地震計周囲の渦の発生の実験的観察, 地震研究所彙報, 55, 169-182.
- NAGUMO, S., H. KASAHARA and S. KORESAWA, 1968, Sea-bottom observation at Sagami Bay, (1) Seismic activity, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 46, 877-888.
- RYKUNOV, L. N. and V. V. SEDOV, 1965, Seismic noise in the frequency range 2-15 cps on the floor of the black sea, *Bull. (Izv.) Acad. Science USSR, Geophys. Ser.*, No. 7.
- SUTTON, G., M. E. ODEGARD, N. MARK and N. J. LETOURNEAU, 1970, Research in seismology related to the Columbia ocean-bottom seismograph, *HIG report*, 70-12, 1-66.
- 平 啓介・寺本俊彦, 1979, 伊豆小笠原海溝東方の底層ジェット流, 日本海洋学会秋季大会講演予稿集.

11. *Preliminary Report for Large Bottom Current at the Deep Ocean Floor Inferred from Ocean Bottom Seismic Observations.*

By Junzo KASAHARA, Sadayuki KORESAWA  
and Yuji NISHI,

Earthquake Research Institute.

To prove experimentally the former conclusion that the cause of "sinusoidal noise" with the frequency of 2-3 Hz observed by a pop-up ocean bottom seismometer (pop-up OBS) is the Kármán vortexes around an antenna produced by the bottom current with a greater speed than 16 cm/sec, a comparative measurement between a pop-up OBS and a bottom current meter was carried out in the Ozuchi Bay. During the above measurement, four OBS's which is the same type as the above were deployed east of the Sanriku coast.

The OBS in the bay showed no "sinusoidal noise" greater level than 250  $\mu$  kine and the bottom current observed showed a maximum current speed of 9 cm/sec during 15 days. On the contrary, three of four OBS's at depth from 1,000 meter to 1,900 meter showed a large 2.2 Hz "sinusoidal noise" varying with time and place.

If the cause for the noise is a bottom current greater than 16 cm/sec, the bottom current at the abyssal slope east of Sanriku coast might be greater than 16 cm/sec. Several other pop-up OBS measurements performed by ERI also showed similar sinusoidal noises suggesting a common feature of large deep-sea bottom currents.