

# 1. 自由落下・自己浮上方式海底地震計の開発

地震研究所 { 笠原 順三  
是 沢 定之  
大 内 徹  
南 雲 昭三郎

(昭和48年12月24日受理)

## 1. はじめに

陸上の微小地震観測は、今まで気象庁の観測網ではわからなかった多くの新しい事実を明らかにした(例えば、尾池, 1973; 津村, 1972)。陸上の地震観測網から調べられる海の地震の大きさは、駿河湾や相模湾で  $M \geq 1.5$ , 東海沖, 房総沖, 三陸沖などで  $M \geq 3 \sim 4$  である。従って海底で起る地震について陸上に起る微小地震, 極微小地震と同じ程度の議論をすることはできない。しかし、海底で発生する地震の数は内陸より圧倒的に多い。海底地震計による観測は多くの新しい事実を明らかにした。また今後もしるべきであろう。例えば、今まで行なわれたことのない日本海溝の中とか、海嶺の上とか、海山などは興味深い場所であろう。

海底地震観測は、多くの面で「非常に多くの時間と労力がかかる」という印象を地震関係者に与えてきた。事実、海底地震観測は非常に多くの時間と労力がかかる。海底地震観測が非常に手軽にできるという方法を開発する努力が海底地震研究者の間で続けられてきた。自由落下・自己浮上方式海底地震計は、この方法に近い。この新しい方式の海底地震計を試作し、1973年5月駿河湾において浮上試験を行った。

## 2. 自由落下・自己浮上方式海底地震計の特徴

日本における海底地震観測は、アンカー・ブイ (Anchored-Buoy) 方式によって行なわれてきた (Nagumo et al., 1965, 1968a, b, 1970; 島村・浅田, 1970; 島村他, 1970)。しかし外国においては主に自由落下・自己浮上方式 (Free-Fall Pop-Up) 海底地震計が使われてきた (Arnett and Newhouse, 1965; Bradner and Dodds, 1964; Bradner et al., 1965a, b; Whitmarsh, 1970)。

アンカー・ブイ方式海底地震計は、海底地震計本体 (地震計, 増幅器, 記録計, 水晶時計, これらをおさめた耐圧容器) と海面のマーカー・ブイ, ラジオ・ブイ, ライト・ブイとをロープで結んでいる。この海底地震計の係留方式は、ブイ・テクノロジーと呼ばれ、多くの海洋計測に共通の技術である。

自由落下・自己浮上方式海底地震計は、データー・カプセル方式の一種である。記録システムがデーター・カプセル (耐圧容器) の中に入っており、それを海へ投げ入れる。海底での観測が終ると、データー・カプセルを海底につなぎ留めていたバラストが捨てられ、カプセルは海面に浮上する。海面に浮上後、電波や光を出し、それによりカプセルを発見して回収する。

これらの2つの方法は、それぞれ利点、欠点、特徴を持っている。両方の特徴等を Table 1 にまとめた。多くの著者によっても自由落下・自己浮上方式が議論された(南雲, 1970, 1972; 渡辺, 1970; 安井, 1970; 笠原他 1973a)。

Table 1. Comparison of anchored-buoy system and free-fall pop-up system on characteristics.

	アンカード・ブイ方式	自由落下・自己浮上方式
本体の空中重量	100~350 kg	100 kg
水中重量	15~200 kg	残有浮力 50 kg
ロープの 直径 長さ (6000 m の海底)	14~22 mmφ 8000 m	14~22 mmφ 10~20 m
設置作業時間 (準備時間)	2~10 時間 (20~30 時間)	10 分 (5 時間)
使用する船	300~3,000 トン	1~3,000 トン
利 点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多くの実績がある。</li> <li>2. 海底のブイとロープでつながっているため、安心感がある。</li> <li>3. 構成部品が単純であり手に入りやすい。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 小型・軽量。</li> <li>2. ロープ、表面ブイが無いので設置・回収作業が簡単。</li> <li>3. 準備が早い。</li> <li>4. 船の装備が少なくてよい。</li> <li>5. 小型の船でよい。</li> <li>6. 観測期間中天候の影響を受けにくい。</li> <li>7. あまり特殊な操船技術は必要でない。</li> </ol>
欠 点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 設置・回収作業が非常に大変である。</li> <li>2. 多人数を要する。</li> <li>3. 大型の装備(大型ウインチ、クレーン等)が船に必要。</li> <li>4. 台風や流速の早い場所で流失の危険性有り。</li> <li>5. 盗難の危険性有り。</li> <li>6. ロープが切れる危険性有り。</li> <li>7. ロープ代が高い。</li> <li>8. 特殊な操船技術を要する。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 日本での実績が無い。</li> <li>2. 浮上装置(切り離し装置)に故障が起きたとき、回収する方法がない。</li> <li>3. 発見がむずかしい。</li> <li>4. 浮上後流出する危険性がある。</li> <li>5. 発見するまでの時間の推定が困難、運行計画を作りにくい。</li> <li>6. 特殊部品が多い。</li> </ol>

日本においてアンカード・ブイ方式海底地震計が使われてきたのは、(1) データを確実にとる必要があった、(2) 信頼しうるブイ・テクノロジーの協力を得られた、(3) 信頼できる浮上システム、発見システムがなかった、(4) 構成部品がすぐ手に入る、などの実情による。近年エレクトロニクスの発達によって浮上システムも進歩し、また簡単に手に入るようになってきた。また、アンカード・ブイ方式は、使用する船の航海スケジュールに及ぼす影響が大きく、共同利用船の場合、海底地震計を何点も行うことは現実にはむずかしい。観測機器の準備が非常

に大変であるために、大地震があったからといってすぐ海上での余震観測を行うことはむずかしい。設置、回収のための装備を持つ船をすぐ見つけることも大変である。この点自由落下・自己浮上方式海底地震計は準備が割に簡単であり、設置・回収も小型の船でよく、機動的な観測に適しているであろう。

### 3. システムの構成

自由落下・自己浮上方式海底地震計のシステムの一例を Fig. 1 に示した。システムは、(a) 本体（地震計、記録計、増幅器、電池、水晶時計）、(b) 本体を水圧から守る耐圧容器、(c) 本体と耐圧容器を海底から浮上させるための浮力体、(d) 観測期間中本体を海底へつなぎ留めておくためのバラスト、(e) 観測終了後地震計を海面へ浮上させるため、バラストを切り離す装置（切り離し装置）、(f) これらをつなぐロープ、(g) 海面に浮上したとき地震計を発見するための発見システム、(h) 船上で発見するための機械（例えば、方向探知機）、から成っている。(a)～(g) が自由落下・自己浮上方式海底地震計であり、(h) は船の装備である。これらの1つ1つは非常に重要であり、どの1つが故障あるいは機能を十分に発揮できなくても、自由落下・自己浮上方式地震計は失敗してしまう。

Fig. 1 は、1973年5月駿河湾で試験したシステムであり、Fig. 2はその改良型のシステムである。Fig. 1 では、センサー（地震計）と記録計とが別々の耐圧容器に入っており、それらを水中ケーブルで結んでいる。水中ケーブルで結ぶことはトラブルの原因になる可能性がある。地震計を入れた耐圧容器は海中にぶらさがっているが、海底とのマッチングを良くするためには海底に置いた方がよい。この地震計を入れた耐圧容器を重り代りにして、観測後捨てる方法も考えられる。しかし水中ケーブルを途中で確実に切ることはむずかしい。記録計を入れたガラス球耐圧容器から外側へ電

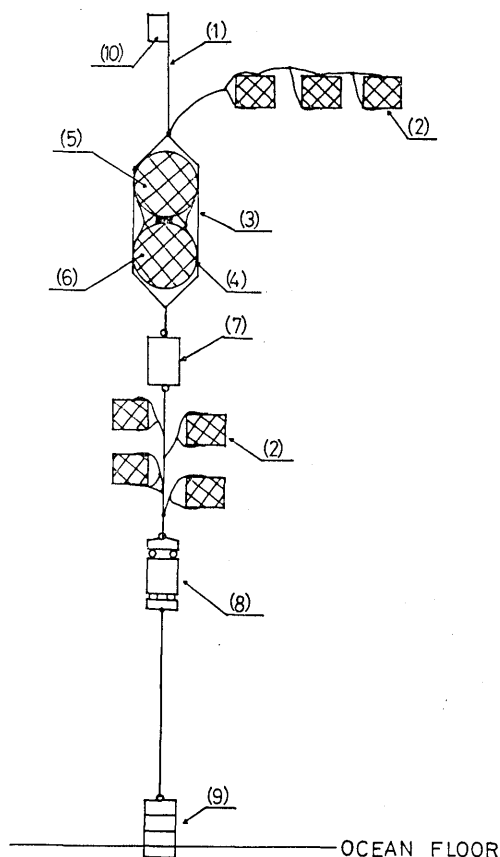


Fig. 1. A model of free-fall pop-up ocean-bottom seismograph (OBS) tested at Suruga Bay, in 1973. (1): antenna, (2): syntactic foam, (3): aluminum frame, (4): nylon net bag, (5): flash beacon and 27 MHz radio beacon enclosed in 17 inch glass sphere, (6): recording system enclosed in glass sphere, (7): sensor enclosed in pressure case, (8): double release-mechanism, (9): ballast and (10): flag.

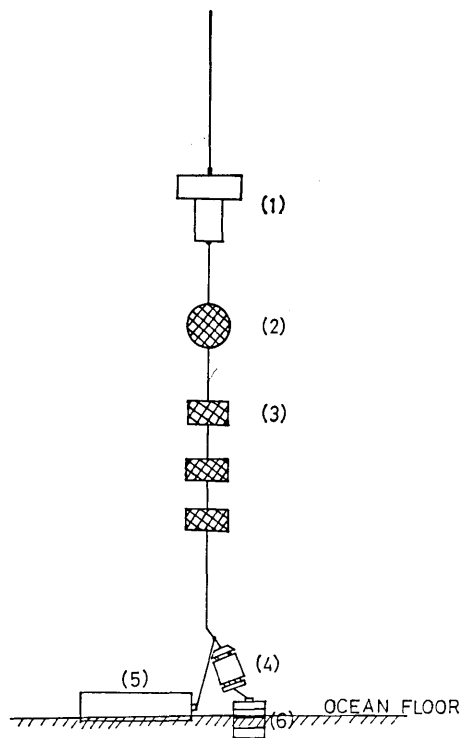


Fig. 2. Revised model of free-fall pop-up OBS. (1): 27 MHz radio beacon, (2): glass sphere for buoyant body, (3): syntactic foam, (4): release-mechanism, (5): sensor and recording system enclosed in aluminum pressure case and (6): ballast.

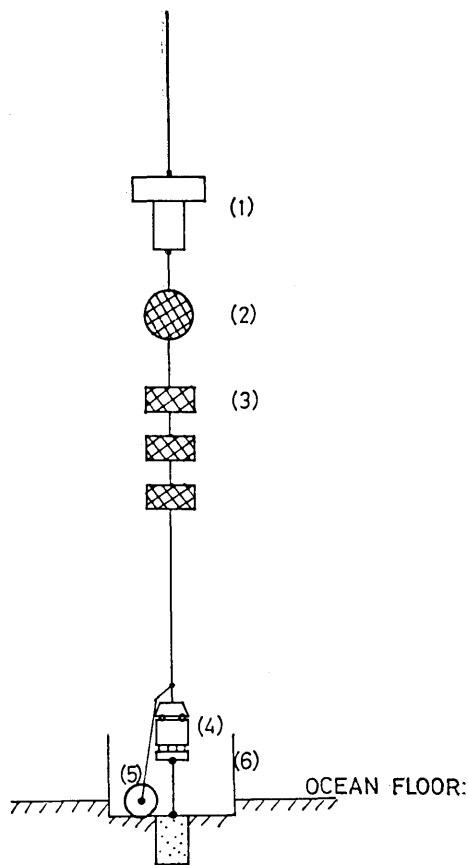


Fig. 3. Another revised model of free-fall pop-up OBS. (1): 27 MHz radio beacon, (2): glass sphere, (3): syntactic foam, (4): release mechanism, (5): sensor and recording system enclosed in aluminum pressure case and (6): box with large weight.

極を出すことは、力学的に弱い部分を耐圧容器に作ることになり、破損する危険性がある。

Fig. 1 ではラジオ・ブイとフラッシュ・ライトとを1つのガラス球の中へ入れた。

Fig. 2 では、地震計、記録計、増幅器、水晶時計、電池、を同じ耐圧容器におさめた。耐圧容器は海底に置く。ガラス球およびシンタティック・フォームを浮力体として使う。地震計と記録計等を入れる耐圧容器はアルミニウムで作り軽くする。耐圧容器が海底に着いて泥の中に深くめり込む危険がある。観測後、切り離し装置が働いて浮上しようと浮力体が引張っても泥から抜けられない可能性がある。これを避けるためには、耐圧容器を箱の中に入れ、浮上するとき箱を捨てることで解決できるであろう (Fig. 3)。ラジオ・ブイとフラッシュ・ライトは別々にした。フラッシュ・ライトはガラス球に、ラジオ・ブイはアルミ耐圧容器に入れ、シンタティック・フォームで浮上させる。

自由落下・自己浮上方式海底地震計の個々の構成部品は、アンカード・ブイ方式の構成部品にくらべて実績が少く、安全性が高いとは言えない。そのため、できるだけ確実性のある部品および方法をとることが望ましい。

#### 4. 本 体

##### (1) 記録システム

自由落下・自己浮上方式海底地震計では、アンカード・ブイ方式海底地震計にも増して、低消費電力、小型である必要がある。消費電力が増せば増す程大型化してしまい、電池が記録システム全体のスペースの三分の二以上を占めてしまう。今まで地震研究所で用いてきたアンカード・ブイ海底地震計の記録システムは、12 V で 120 mA 以上の電流を消費する。40 日間の観測では、120 AH もの電流容量が必要であり、海底での温度低下による容量低下も考慮すれば、直径 240 mm、長さ 2,000 mm もの充電式ニッケル・カド電池が必要である。その重量は耐圧容器までも含めると 500 kg 以上になる。こんな重量のものを浮上させることは大学規模ではほとんど不可能である。従来から使用してきたオープン・リールの記録計は直径 240 mm、長さ 300~450 mm もある。

できるだけ小型・軽量・低消費電力にするために、4 チャンネル、直接記録 (DR) 方式カセット記録計 (Fig. 4) および 3 チャンネル・増幅器を試作した (笠原他, 1974)。低消費電力記録システムは、増幅回路、記録計のサーボ回路・バイアス回路・ヘッド回路、安定化電源回路、から成り立っている。増幅器は、3 チャンネル、60, 80, 100 db, 入力換算ノイズ  $0.5 \sim 2 \mu\text{V pp}$ ,  $0.5 \sim 20 \text{ Hz}$  フラット、の特性を持っている。Fig. 5 は記録計のサーボ回路である。回路には、低消費電力型集積回路 (Low Power IC) および安定化電源基準電圧にプレーナ型ツェナー・ダイオードを用いた。前者は、普通のオペレーショナル・アンプ IC が  $\pm 10 \text{ V}$  で

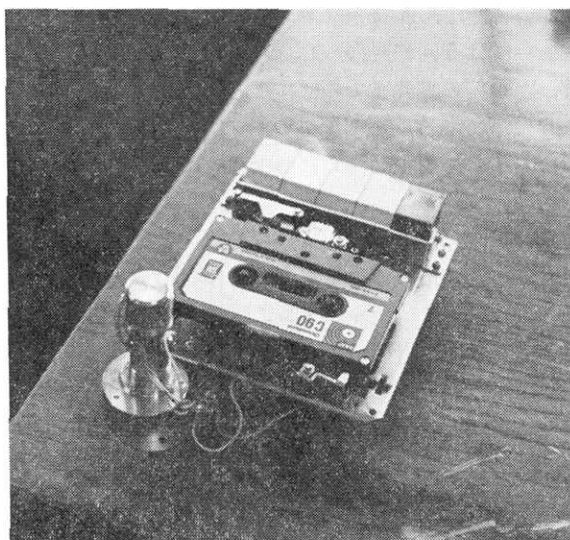


Fig. 4. Low-power 4 channels cassette recorder. When the C-120 cassette tape is used, recording time is about 12 days.

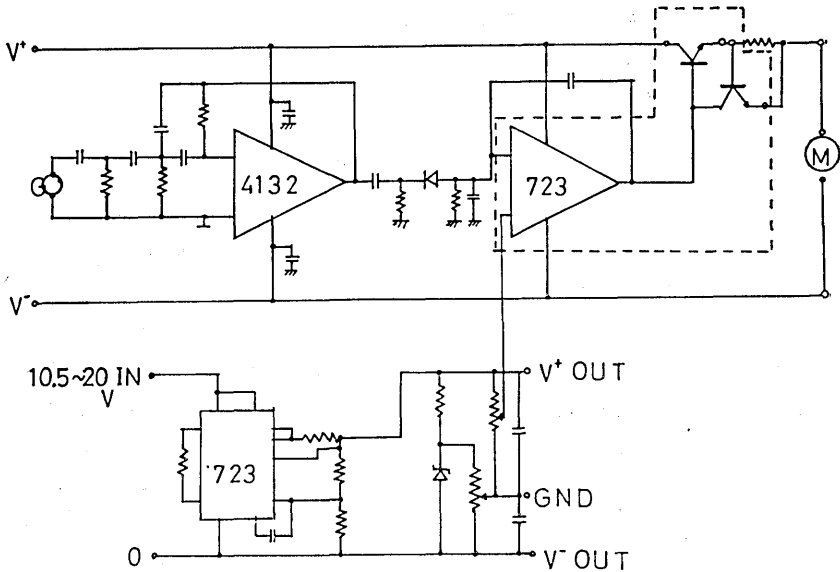


Fig. 5. Circuit diagram for servo-motor.

5 mA も消費するのに対し,  $\pm 10$  V で  $10 \mu\text{A}$  で動作する。後者は, ブレーク電流 (一定電圧になるのに最低必要な電流値) が一般のツェナー・ダイオードの  $10 \text{ mA}$  に対して  $10 \mu\text{A}$  程度と非常に少い。しかしこれらの低消費電力部品を使っても, テープを送るためにはモーターを回さねばならずそれに  $10 \text{ mA}$  必要としてしまう。全体として, 単一電源  $12 \text{ V}$  で  $12 \text{ mA}$  しか消費しなかった。これは今までの消費電流の十分の一である。

カセット型記録計の録音特性は, BASF クロミ・テープの C-120 を用いたとき,  $0.5 \sim 20 \text{ Hz}$  フラットである。モーターには 5 回転/毎分のものを用いた。録音期間は約 12 日間である。録音特性を犠牲にすれば, この倍の期間までのばすことが可能であろう。4 チャンネル録音でき, クロス・トークは  $30 \text{ dB}$  以下である。クロミ・テープは高音域を伸ばすために使用した。クロミ・テープを使うときはバイアスを少し深めにしなければならない。

## (2) 水晶時計

水晶時計は地震の記録の刻時にかかせないものである。これは今まで市販されているものでもある程度の目的は果せる。この市販の小型水晶時計は  $6 \text{ V}$ ,  $10 \text{ mA}$  で動作する。この水晶時計から出る秒マーク・分マーク・時マーク・ $1/2$  日マークの記録では再生するときに非常に時間がかかる。特に DR 方式の記録計で 10 日~40 日も記録すると, その再生は非常に大変な仕事である。例えば, 従来から使用しているオープン・リール式 DR-1000 記録計で 40 日記録すると, 紙記録にするためにはこの原テープから 2 回の写しかえの作業 (原テープを  $3 \text{ インチ/秒}$  で再生し, それを  $30 \text{ インチ/秒}$  で録音する作業を 2 回繰返す) を行なわねばならない。その結果,  $7 \text{ インチ}$ ・オープン・リールのテープが 110 巻できる。この 1 巻を再生するのに 2 時間かかる。この作業を簡単化するためには, 地震の個所だけを写しかえれば良い。この短い写しかえだけで, 何日の何時何分何秒かを知らなければならない。時間が直列コードで録音されて

いればこの目的にあう。しかし海底地震計へ入れるに適したコード出力を持つ水晶時計は市販されていない。

低消費電力、デジタル・コード水晶時計を試作した(笠原他, 1973b)。Fig. 6 は液晶表示を



Fig. 6. Digital crystal clock with liquid crystal display.

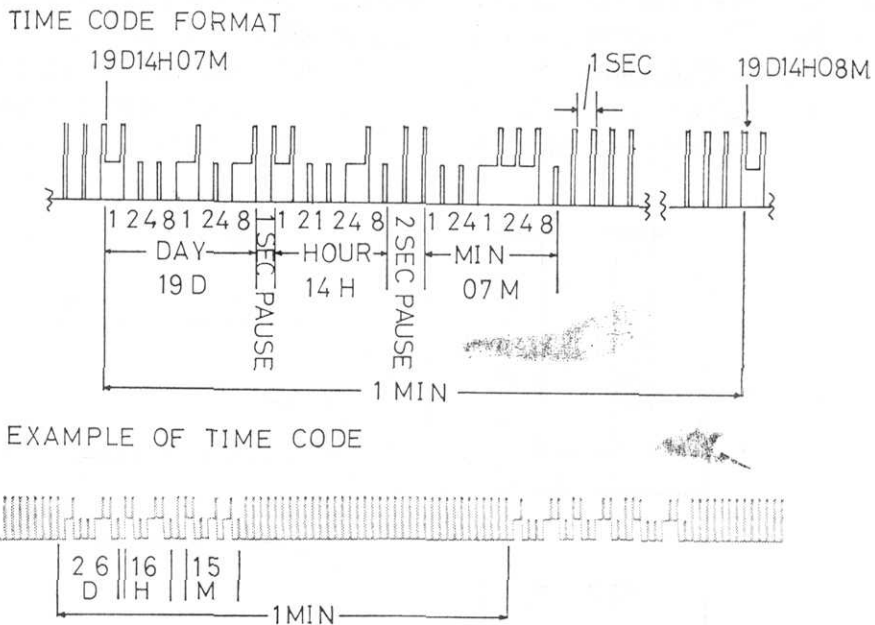


Fig. 7. Time code format for digital clock (upper figure) and an example of time code (lower figure) (after Kasahara et al., 1973b).

使った時計の外見であり、Fig. 7 は出力の例である。回路には最近実用化が行なわれた C-MOS IC (相補形 MOS 集積回路) を用いた。この IC は、今までの主流であった TTL IC (トランジスタ・トランジスタ・論理集積回路) の欠点である大電力消費、使用電圧範囲のせまき、などを解決するものである。一般に TTL は  $0.5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ 、 $100\text{ mA}$  の電圧、電流が必要であるが、C-MOS は  $3 \sim 18\text{ V}$ 、 $10\text{ }\mu\text{A}$  と広い供給電圧範囲、低消費電流で動作する。試作した水晶時計は直列コードの他に秒・分・時・日・マークも取り出せる。時間の表示は発光ダイオードまたは液晶にした。これによって、一見して何日の何時何分何秒かを知ることができる。発光ダイオードによる表示の場合は、表示に電力を消費するので、表示専用のスイッチを付けた。表示しないときは  $6\text{ V}$  で  $2\text{ mA}$  である。安定度は  $10 \sim 40^\circ\text{C}$  の温度範囲で  $0.02 \sim 0.05$  秒/日である。これは市販の小型水晶時計と同程度であり、消費電力はその  $1/5$  である。一方、液晶表示素子を用いると常時表示することが可能になる。 $10\text{ V}$  のとき消費電流は約  $10\text{ mA}$  である。しかし発光ダイオードにくらべてダイナミック点灯方式を行なわねばならず、そのために IC が余分に必要である、駆動電圧が高い、現在市販されている素子は大型である、などの欠点を持っている。しかし常時表示が望ましい陸上の観測などには適しているであろう。

### (3) 電池

(1), (2) で述べたように、記録システムおよび水晶時計の低消費電力化を行った。同時に、使用する電池も従来のニッ・カド充電式電池を変更した。

ニッ・カド電池に代わる一つの方法は、耐圧容器が必要でない電池を作ることであり、他の一つは高性能電池を使うことである。前者の例として油浸け電池 (Snodgrass, 1968; 笠原他, 1973a) が有り、後者の例としてリチウム電池 (福田, 1972) が有る。

油浸け電池 (Fig. 8) を試作し、駿河湾での海底地震観測 (1972 年 2 月 4 日～17 日) に使用した (笠原他, 1973a)。油浸け電池は、普通の鉛電池を特殊混合オイルに浸したものであり、水圧がオイルを通して直接電解液に作用する。その結果、油浸け電池を耐圧容器無しで高圧下においてもどこも破損しない。オイルは非水溶性でかつ電解液と海水との中間の比重を持つものを用いる。この中間比重および非水溶性を持つという条件は非常にきびしい条件である。海

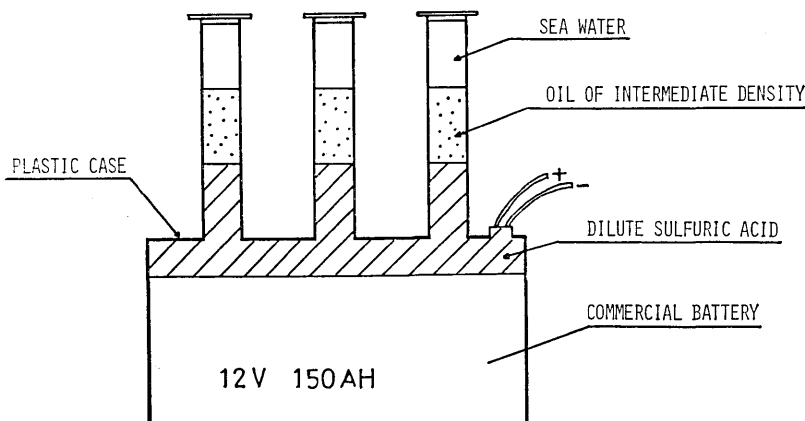


Fig. 8. Oil-filled battery tested at Suruga Bay, in 1972 (after Kasahara et al., 1973a).



底での放電テスト（水深 2000 m）を行い、その後海底地震観測（水深 650 m）に用いた結果、十分実用に耐えることがわかった。しかし、電池（特にオイル）が直接海水と接触するために海洋汚染の危険性があり、陸付近、大量使用には問題を残している。

一方、後者のリチウム電池も実用化された（福田，1972）。リチウム電池は陰極にリチウムを用いている。普通によく使われるマンガン乾電池にくらべて、重量能率にして5～10倍、アルカリ・マンガン乾電池では約3～5倍、ニッ・カド充電式電池では5～10倍の性能を持っている。現在単2型だけが市販されてる。この電池は、公称電圧2.8V、公称容量5AHである。各種の電池の性能を比較した（Table 2）。Fig. 9はリチウム電池の放電特性である。リチウム電池は他の電池にくらべて価格が高いため、スペースに余裕がある場合にはアルカリ乾電池でも良い場合があるであろう。

Table 2. Comparison of various kind of batteries.

種	類	重 量 g	公称電圧 V	公称容量 AH	体積能率 wh/l	重量能率
マンガン乾電池	(単2型)	44	1.5	1.7	40～150	20～80
アルカリ乾電池	(単2型)	70	1.5	3.5	140～230	50～100
充電式アルカリ電池	(単2型)	70	1.5	1.0	20～70	10～30
水銀電池	(単2型)	170	1.3	12	300～400	90～110
ニッケル・カドニウム電池	(単2型)	70	1.2	1.5	50～70	20～35
リチウム電池	(単2型)	47	2.8	5	500～620	320～470

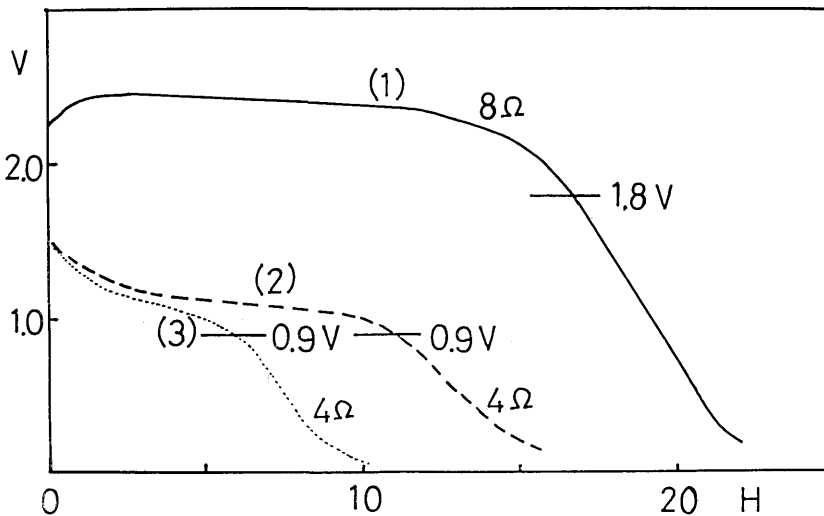


Fig. 9. Discharge curve for (1), lithium dry battery, (2), alkali manganese dry battery and (3) manganese dry battery. Vertical axis is voltage. Horizontal axis is time in hour.

## 5. 耐 圧 容 器

記録システムを海底での水圧から保護するために耐圧容器に入れなければならない。自由落下・自己浮上方式では二種の方法が考えられる。一つは、耐圧容器自体が浮力を持っている方法、他の一つは、浮力を持っていない方法である。外国の例では、ほとんどが前者である (Arnett and Newhouse, 1965; Bradner and Dodds, 1964; Bradner et al., 1965a, b; Snodgrass, 1968; Whitmarsh, 1970)。

浮力を有する耐圧容器は、ガラス球とアルミ球の二種がある。球形では、耐圧がほぼ材質の圧縮強度によって決まる。圧縮強度が大きく軽い材料を用いれば、浮力を持つ耐圧容器にすることができる。これに対し、円筒では降伏応力が支配するために、円筒形で浮力を持たせることは、常用 600 気圧という条件では不可能に近い。

ガラス球は、外径 8, 10, 13, 16, 17 インチが市販されている。その肉厚、空中重量、浮力、耐圧は Table 3 の通りである。浮力体としてだけ用いるものと、半球を 2 個合わせて容器と

Table 3. Glass spheres of various diameter.

直 径	容器の肉厚	空中重量 kg	残有浮力 kg	水 深 m
8"	0.230"	1.6	2.9	
10"	0.350"	3.8	4.5	6700
13"	0.450"	7.9	11.0	6700
16"	0.500"	14.2	22.0	
17"	0.550"	17.6	25.2	6700

して使用できるものとある。Figs. 1, 2 では、容器兼用の 17 インチ・ガラス球を用いた。Fig. 1 では、2 個のガラス球を使用し、1 個には、記録計、増幅器、電池、水晶時計を入れ、他の 1 つにはラジオ・ビーコン、フラッシュ・ビーコンを入れた。ガラス球の有利な点は、透明であるためにフラッシュ・ビーコンを入れられる、アルミ球より安い、ことである。またアルミ円筒耐圧容器＋浮力体の価格より安い。その反面、静水圧に対して強いがガラスは割れやすく取扱いに注意を要する、電極を外へ出すことがむづかしく市販の電極もそこに剝離を生じる場合がある、誘爆性が有る、などの欠点を持っている。

アルミ球は、取扱い、脆性等の点は問題が少い。前述の外国の例ではすべてアルミ球を使用している。価格が少し高い。アルミ球は外径 24 インチ、内径 22 インチのものが市販されている。この浮力は 48 kg 有る。

地震計は海底に直接着いていた方がよい。Fig. 2 はこの方法である。地震計と記録計は同じ耐圧容器に入れる。これを浮力体で引張り浮上させる。水中ケーブルが無いのでトラブルは少い。耐圧容器はアルミ製、内径 150 mm、内長 850 mm、水中重量は約 10 kg である。容器の材質に特殊鋼 (SCM とか SNC) を用いると肉厚は薄くなるが水中重量は 2~3 倍に増加する。FRP 樹脂を使った耐圧容器も島村・浅田 (1971) によって試みられたけれど耐圧性は低い。

## 6. 発見システム

海底地震計が自己浮上したとき、それをすみやかに見つけなければならない。そのために発見システムが必要である。発見システムには、ラジオ・ビーコン、フラッシュ・ビーコン、染料を流す、気球を上げる、などがある。Figs. 1, 2 では、ラジオ・ビーコン、フラッシュ・ビ

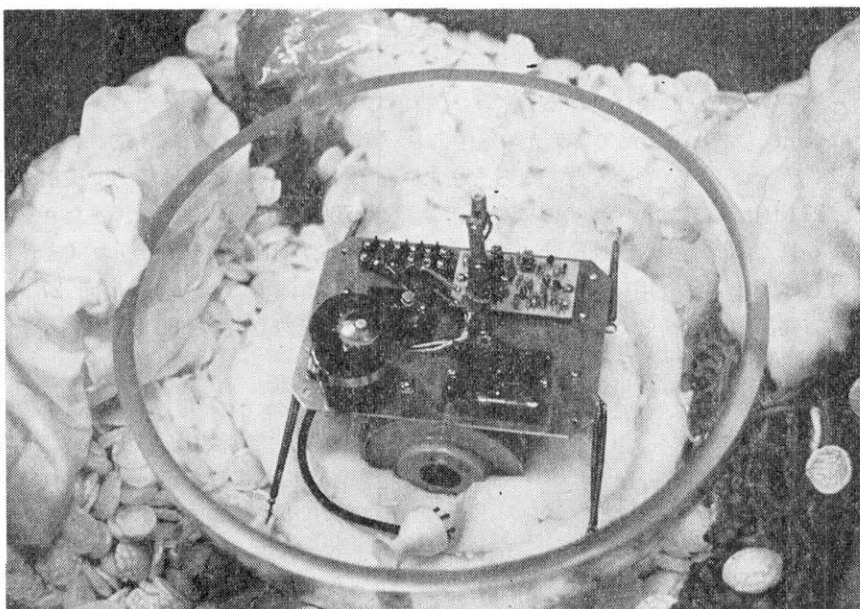


Fig. 10. A 27 MHz radio beacon and flash beacon in 17 inch hemisphere.

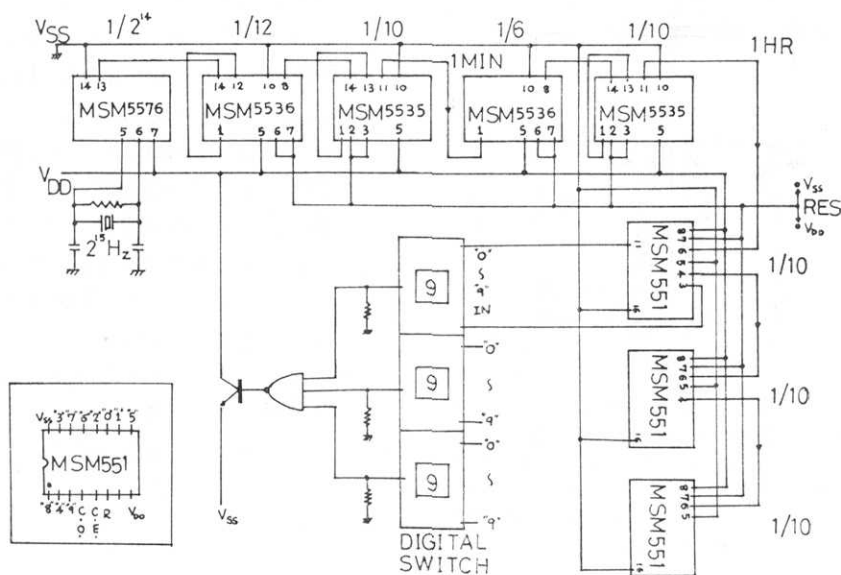


Fig. 11. Circuit diagram of digital timer.

ーコンを用いている。太洋無線の協力を得てこれを試作し使用した (Fig. 10).

ラジオ・ブイは海面に浮上した時、またフラッシュ・ブイは海面に浮上しかつ夜間、に動作しなければならない。これらのために、海水の電気抵抗変化によるスイッチ、フォト・セルによる光スイッチとを用いた、安全を期すために、ストレイン・ゲージを用いた圧力スイッチ、タイムスイッチを併設することが望ましい。水晶発振を使ったタイム・スイッチの回路を Fig. 11 に示した。デジタル・クロックの BCD 出力を使ったタイム・スイッチはすでに報告した (笠原他, 1973b).

アンカード・ブイ方式に用いているラジオ・ブイは 1.6 KHz である。このラジオ・ブイのアンテナは 4 m もあり、またアンテナの途中にローディング・コイルがある。アンテナが長く重い程ラジオ・ブイの直立性は悪くなる。またローディング・コイルは圧力で破損する危険性がある。27 MHz のラジオ・ブイのアンテナは軽く (700 g), 短く (2.5 m), またローディング・コイルも無く、浮上式海底地震計に適しているので、27 MHz のラジオ・ブイを使用した、27 MHz は日本ではあまり用いられていないので電波の混信は少いが、その反面 27 MHz を受信できる方向探知機を備えた船は少い。1.6 KHz の探知能力 (半径約 80 km 以内) よりやや狭い (半径約 50 km 以内).

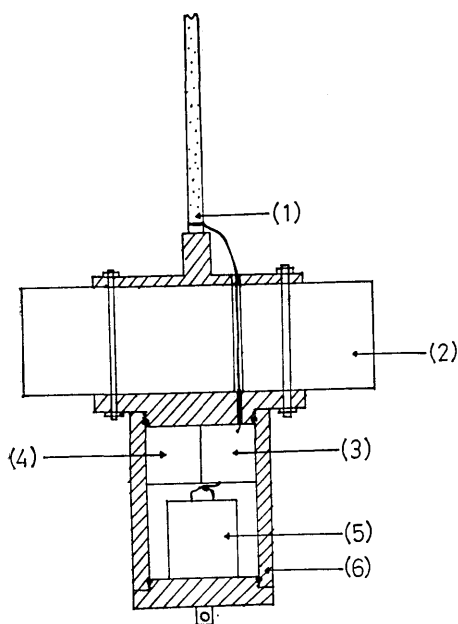


Fig. 12. A 27 MHz radio beacon in aluminum pressure case. (1): antenna, (2): syntactic foam, (3): circuit board of radio beacon, (4): circuit board of timer and pressure switch, (5): dry battery and (6): aluminum pressure case.

フラッシュ・ライトはラジオ・ブイの符号にあわせて点滅し、日中は動作しない。光源には白熱電球を用いた。これはクセノン球より少し到達距離が短い、クセノンのように高圧 (約 200 V) を必要としない、ガラス球の中なのでライトの位置をあまり高くできず、半径約 3~5 km 以内しか有効ではないであろう。

ラジオ・ブイとフラッシュ・ライトは同じ 17 インチガラス球を用いた (Fig. 10).

Fig. 2 および Fig. 12 は、ラジオ・ブイだけをガラス球とは別のアルミ容器に入れ、深海用浮力材を浮力体として使ったものである。アルミ耐圧容器の水中重量は 5 kg, エレクトロニクスおよび電池の重量は 3 kg, 浮力体の浮力は 12 kg とした。ラジオ・ブイとフラッシュ・ライトを同じガラス球に入れる方法にくらべて、この方が安全率は高いであろう。

アンテナの先にオレンジ色等の旗を付けるのも有効であろう。

## 7. 切り離し装置

切り離し装置は、観測終了後重り（バラスト）を切り離し海底に捨て、浮力体のもつ浮力によって記録システムを浮上させるためのものである。切り離しには、(1) 時計式時限装置、(2) E-Cell を用いた簡易タイマー、(3) 音響呼出し装置、(4) マグネシウムの腐食、(5) 食塩の溶解、などによる方法がある。地震観測のような長期間のものには(4)、(5)の方法は適当でない。

(1)、(2)の方法についてはすでに試作した(笠原他, 1971; 1973b)。 (1)、(3)のものについて内外の各社において市販品がある。時計式時限装置は米ジオダイン社、開発工業、音響呼出し装置 (Acoustic Command System) は米 Inter Ocean 社、米 AMF 社の製品がある。音響呼出し法はかなり広く使われている。南千島で行なわれた米 TI 社の海底地震観測において音響呼出しの装置が使われた (Arnett & Newhouse, 1965)。これによって回収されたものは 18 個中 10 個 (55%)、時計式によって回収されたもの 4 個、未回収のもの 4 個であった (南雲, 1970)。Woods Hole 海洋研究所で行なわれた実験では、36 個中 23 個が動作した (Heinmiller, 1968)。最近の音響呼出し装置の安全率は向上されているけれども時計式と併設するのが望ましい。また時計式も 2 個直列で使用することが望ましい。音響式は非常に高価であるので駿河湾の浮上実験では時計式を使用した。音響呼出し装置の有利な点は海況の良い時に回収できることである。温度躍転層がある場合は途中で超音波が散乱されて届かないことがある。また呼出し可能な距離は限られており投入地点をかなり正確にする必要がある。船の設備として衛星航法を持っていることが望ましい。一方、時計式は比較的安価であり何個も併設可能である。音響呼出し装置の価格の 1/10~1/20 である。しかし、どんなに海況が悪くても時間になれば浮上してしまうので揚収がむずかしいことがある。

## 8. 浮力体

浮力体として古くから用いられているものにガソリンがある (佐々木・渡辺, 1966; 渡辺, 1970)。ガソリンは安価であるが引火性、流体であるなどの点で扱いにくい。またガソリンを入れた容器が破損した場合海洋を著く汚染する。比重が大きいため同じ浮力を得るのに他より大容量が必要である。

耐圧容器として用いたガラス球、アルミ球は浮力体としても使用できる。外径 17 インチのガラス球の持つ浮力は 25 kg、外径 24 インチのアルミ球の浮力は 48 kg である。これらを 2~3 個使えば必要な浮力が得られる。浮力の単価はガラス球で約 5 千円/kg、アルミ球で約 1 万円/kg である。耐圧容器としても使用できるので全体としては安い。ガラス球は破損しやすい。

浮力体単体としてはシタティック・フォームがある。これは直径 10~100  $\mu$ 、比重 0.25~0.38 の中空の微小ガラス球をエポキシ系樹脂で固めたものである。浮力体としての比重は 0.60~0.65 である。水深 12,000 m まで耐えられ、安全性は一番高い。鋸切でも容易に切ることができ、適当なブロックに分割して使用できる。1972 年 5 月の駿河湾の実験では補助浮力材としてこれを使用した。30 cm×30 cm×15 cm の角形とし、1 個の浮力は約 4.5 kg、これを網の中へ入れて扱いやすくした。浮力単価が高く、1 万円/kg 以上もする。火山灰中のシラスを用いたシタティック・フォームも有り、価格は 1/3 程度であるが、耐圧は水深 4,000 m である。

### 9. 自由落下・自己浮上式海底地震計の浮上試験

1973年5月17日、東海大学の練習船南十字により駿河湾由比沖の水深230mの海底で自由落下・自己浮上方式の試験を行った。試験にはFig. 1のシステムを用いた。最初の浮上試験であるために安全を期して直径12mmのナイロン・ロープと小型フロート（マーカー・ブイ）を数個つけた。もし浮上しなくてもロープによって引上げることができる。時間の設定は2時間とし、時間設定後10分で投入、投入後その他の地点から離れて待機した。曇りであったが視界は良かった。風速は5~10mであった。浮上予定時刻（午後1時）に地震計設置点付近に行き（船の位置は六分儀によった）浮上を待った。予定時間の3分30秒後、船より500m以内に浮上しているのをアンテナの先に付けた旗によって見つけた。同時にラジオ・ブイの電波が正常に出ていることも確認した。船が地震計へ近づき、本体を船上へ揚収するまでの時間はわずか5分であった。Fig. 13は投入前、Fig. 14は浮上した状態である。

60kgの重りを付けたとき、落下速度は約80m/分、浮上速度は約70m/分であった。落下・浮上速度は重りの重量、全体の重量、浮上、形状などによって左右されるので正確なことはわからないが、Fig. 1のシステムに対してオーダーとして今回程度を考えれば良いであろう。記録計の不調により記録は得られなかったけれども、浅海での浮上試験は成功であった。ガラ



Fig. 13. Two glass spheres and aluminum frame shown in Fig. 1.

ス球の破損の危険性、発見システムの安全性の向上、海底とのマッチング、などの改良をするため、Fig. 2, Fig. 3 のシステムを開発している。

自由落下・自己浮上方式海底地震計のラジオ・ブイを製作していただいた太洋無線株式会社、浮上試験をさせていただいた東海大学小林平八郎氏および南十字の方々に感謝いたします。

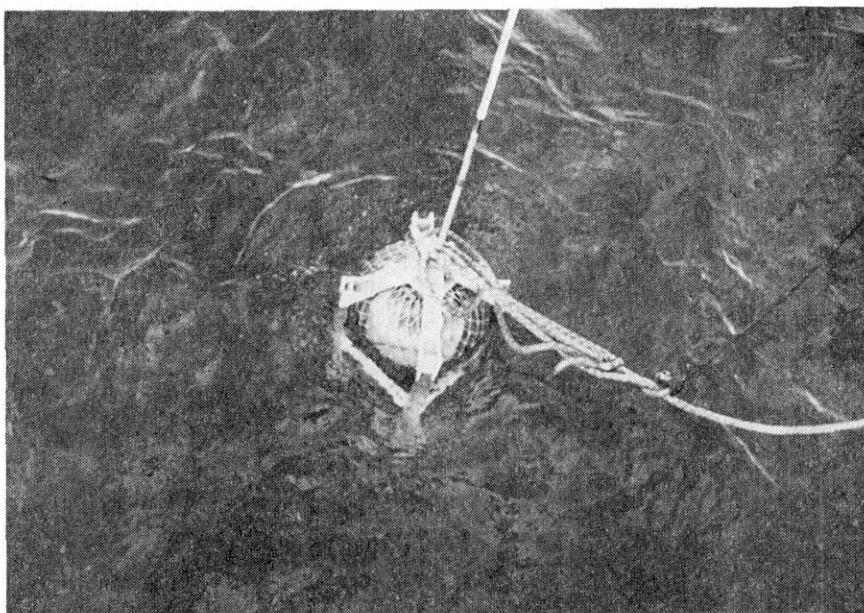


Fig. 14. Free-fall pop-up OBS floating at sea surface.

## 文 献

- ARNETT, R. A. and T. W. NEWHOUSE, 1965. Ocean-bottom seismograph, *Proc. IEEE*, 53, 1899-1905.
- BRADNER, H. and J. G. DODDS, 1964. Comparative seismic noise on the ocean bottom and on land, *J. Geophys. Res.*, 69, 4339-4348.
- BRADNER, H., J. G. DODDS and R. E. FOULKS, 1965a. Coherence measurements with time sampling-ocean-bottom seismometers, *Proc. IEEE*, 53, 1906-1908.
- BRADNER, H., J. G. DODDS and R. E. FOULKS, 1965b. Investigation of microseism sources with ocean-bottom seismometers, *Geophysics*, 30, 511-526.
- HEIMILLER, R. H., 1968. Acoustic release systems, *Woods Hole Oceanographic Institution Reference*, No. 68-48, 1-19.
- 福田雅太郎, 1972. 高エネルギー 1 次電池, 電波科学 1 月号, 1-3.
- 笠原順三, 是沢定之, 南雲昭三郎, 1971. 海底地震観測のための E-cell を作った切離し装置用タイマー, 地震 2, 24, 69-70.
- 笠原順三, 南雲昭三郎, 是沢定之, 小林和男, 1973a. 油浸け電池を使った駿河湾での海底地震観測, 地震 2, 26, 171-177.
- 笠原順三, 大内徹, 柳沢馬住, 南雲昭三郎, 1973b. C-MOS IC を使った低電力デジタル・コーデング/デジタル表示水晶時計およびタイマー, 地震 2, 26, 294-300.
- 笠原順三, 南雲昭三郎, 是沢定之, 大内 徹, 1974. 海底地震計のための低消費電力増幅器とテープ・レコーダー, 地震 2, 投稿中.

- LATHAM, G. V. and G. H. SUTTON, 1966. Seismic measurements on the ocean floor 1, Bermuda Area, *J. Geophys. Res.*, 71, 2545-2573.
- NAGUMO, S., H. KOBAYASHI and S. KORESAWA, 1965. Construction of ocean-bottom seismograph, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 43, 671-683.
- NAGUMO, S., H. KOBAYASHI and S. KORESAWA, 1968a. Sea-bottom seismic observation at Sagami Bay, (1) Seismic activity, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 46, 877-888.
- NAGUMO, S., H. KOBAYASHI and S. KORESAWA, 1968b. Improvements of ocean-bottom seismograph-construction of a long-life magnetic tape recorder, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 46, 861-875.
- 南雲昭三郎, 1970. 浮き上り方式, うみ, 8, 28-29.
- 南雲昭三郎, 1972. 海底地震の研究, 海底物理, 海洋科学基礎講座第9巻, 東海大学出版会, 185-248.
- 尾池和夫, 1972. 微小地震観測の成果, 地震予知シンポジウム, 76-80.
- 佐々木忠義, 渡辺精一, 1966. 深海底層流の測定について (II), うみ, 4, 48-58.
- 島村英紀, 浅田 敏, 1970. 海底地震計とブイ・テクノロジー, うみ, 8, 113-116.
- 島村英紀, 浅田 敏, 高野健三, 1970. 海底での極微小地震観測, うみ, 8, 6-12.
- 島村英紀, 浅田 敏, 1971. 耐圧ケース材としての FRP 樹脂, うみ, 8, 246-249.
- SNODGRASS, F. E., 1968. Deep sea instrument capsule, *Science*, 162, 78-87.
- 津村建四郎, 1972. 微小地震観測と地震予知の問題点, 地震予知シンポジウム, 81-89.
- 渡辺精一, 1970. 浮き上り方式その他, うみ, 8, 29-35.
- 安井 正, 1970. 浮き, 上り方式について, うみ, 8, 35-36.

### 1. Free-Fall Pop-Up Ocean-Bottom Seismograph System.

By Junzo KASAHARA, Sadayuki KORESAWA,  
Toru OUCHI and Shozaburo NAGUMO,

Earthquake Research Institute.

Free-fall pop-up ocean-bottom seismograph systems were developed and tested. The free-fall pop-up ocean-bottom seismograph has many merits compared with the anchored-bouy ocean-bottom seismograph commonly used in Japan. Two of its merits are that the size of this system is small and the weight is light. On the other hand, one of its demerits relates to the difficulty involved in recovering OBS. The free-fall pop-up ocean-bottom seismograph is composed of a sensor and recording system, pressure case, release-mechanism, ballast, buoyant body, and a finding system. For our system, we developed a low-power recording device. Both syntactic foam and glass sphere were adapted in order to obtain a buoyant force. To increase the safety of the system, a double release-mechanism was adopted. A 27 MHz radio beacon, and a flash beacon and flag were used as the finding system. A detailed description of the system is provided in this paper.