

防災科学技術 NO. 47

科学技術庁 国立防災科学技術センター



も く じ

昭和57年7月23日の長崎県下の大雨による災害	大八木規夫・	1
強震観測事業の現状について	大谷 圭一・	9
センター新刊		15
自己浮上式海底地震計測システムの深海性能確認試験（その2） 藤縄 幸雄・江口 孝雄・鶴川 元雄・		16
平塚波浪観測塔における各層水温観測について	都司 嘉宣・渡部 勲・	23

表紙写真説明

1982年7月23日19時から22時までの、長崎市周辺における3時間降水量は300ミリを越える大雨となり、このため各所で土砂災害が多発した。写真は長崎市鳴滝地区に発生した土砂崩壊で、6戸全壊、死者25名の被害を出した。
（1～8ページ参照）

なお、表紙写真、6ページ写真3、7ページ写真4、5、8ページ写真7は（株）ナガサキ・フォトサービスの提供によるものです。

昭和57年 7 月23日の長崎県下の大雨による災害

大八木 規 夫

昭和57年7月から8月にかけて梅雨前線や台風が次々と襲来し、日本各地に大雨による被害を続発させた。とくに、7月23日から25日にかけての九州地方北部の災害は死者・行方不明333名（警察庁調べ）に達する大災害となった。そのうち長崎県はとくに被害が甚大で死者296名、行方不明3名を数えた。

気象

今年（昭和57年）の梅雨は6月の月降水量が少く、北九州では給水制限がされた所もある。しかし、7月10日から21日にかけて熊本県や長崎県で500～1000mmの降水があって水不足は一挙に解消したが、山地の土層は十分に湿潤状態となった。21～22日に種子島付近まで南下した梅雨前線は23日には再び北上して、九州西北部を中心に活動した。この日（23日）12時頃、済州島東方海上で前線上に発生した低気圧は15時には平戸北西海上に接近し、このため、13時30分頃から対馬海峡に発生した雨雲は大きく成長し、対馬で14時から1時間に64mmの強雨を降らせつつ、平戸を経て、ゆっくり南東に移り、長浦岳では18時～19時の1時間に153mm、長崎市に接する長与町では187mmという日本の観測史上第1位の大雨をもたらした。それは24日には島原半島から熊本県北部、25日には山口県に達して衰弱した。

長崎市周辺での17時から24時までの総降水量は500mmを越え、長崎市中心地では19時～20時の1時間に112mm（長崎海洋气象台）、20時～21時102mm、21時～22時100mmというように、19時～22時までの3時間降水量が300mmを越えるというものすごい雨となった（図1.2.3.）。ところで、同市北部や北側に隣接する長与町や時津町か

ら、東長崎地区にいたる北西—南東の地帯では長崎市中心部よりもさらに強い雨が降っていた事が後の調査で明らかにされてきた（長崎海洋气象台、長崎大学荒生公雄氏、長崎県の調べによる）。1時間最大降水量150mm以上、3時間最大降水量350mm以上、あるいは7月23日9時～24時までの総降水量500mm以上の範囲は崩壊の分布の高密度地帯とかなりよく一致している事は注目される（図2.3.4）。

災害

今回の長崎市とその周辺における災害には特筆されるべき問題が幾つか見いだされる。それらを災害状況を見ながら示したい。

＜災害の立上り＞ 長崎市付近では17時頃から雨が降り出し、19時頃から1時間100mmを越す大雨となった。これより前、16時50分には長崎地方に大雨洪水警報が出されている。この警報は長崎

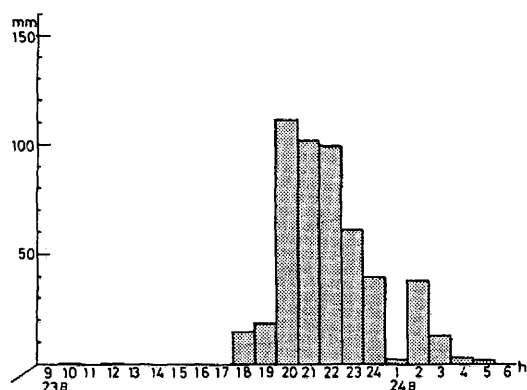


図1 長崎における毎時間降水量変化図
(長崎海洋气象台原図)

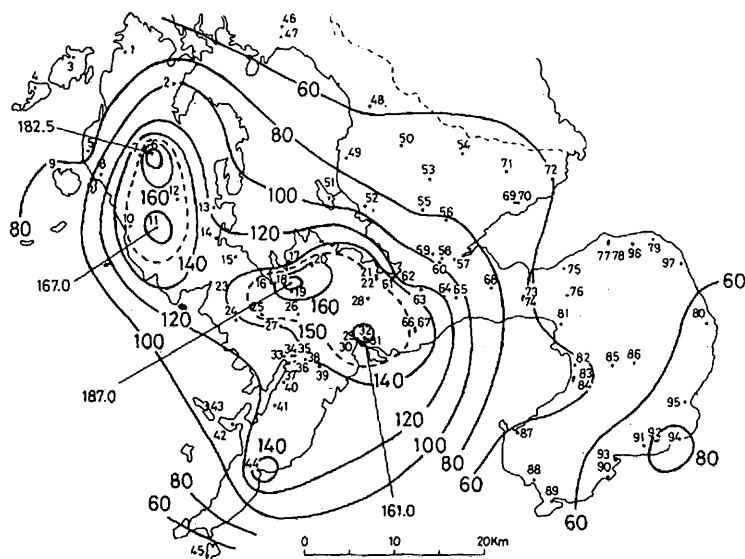


図2 昭和57年7月23日の長崎県下における最大1時間降水量 (mm)
(荒生公雄1982原図)

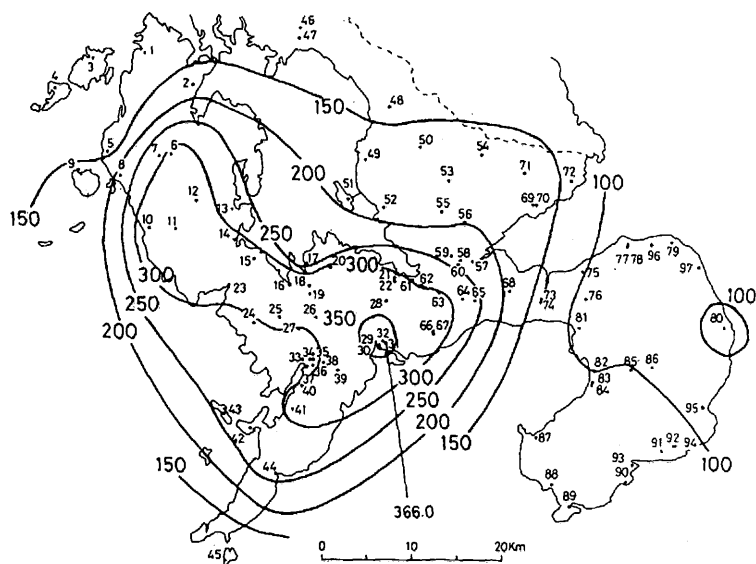


図3 昭和57年7月23日の長崎県下における最大3時間降水量 (mm)
(荒生公雄1982原図)

市民にはそれほど深刻には受けとめられていない。それは7月10日以降5度目の大雨洪水警報だったため市民が警報なれしてしまったからかもしれない。警報を受けて長崎市では災害警戒本部を設置したが、すでにかかなりの職員は退庁していた。

19時には水害被災の第一報が入った。長崎駅付近は、この頃すでに濁水が入りはじめ、20時頃に

は膝までつかり、自動車は窓まで水没、列車は全てストップした。中島川に近い浜町アーケード街でも19時すぎには一瞬のうちに水かさが増した。19時20分には第4警戒配備が発令され全職員が召集されたが、連絡が取れにくかったことと、折返し出勤しようとした職員も、交通機関は完全に途絶し、徒歩で行こうにも道路は濁流の川と化し、

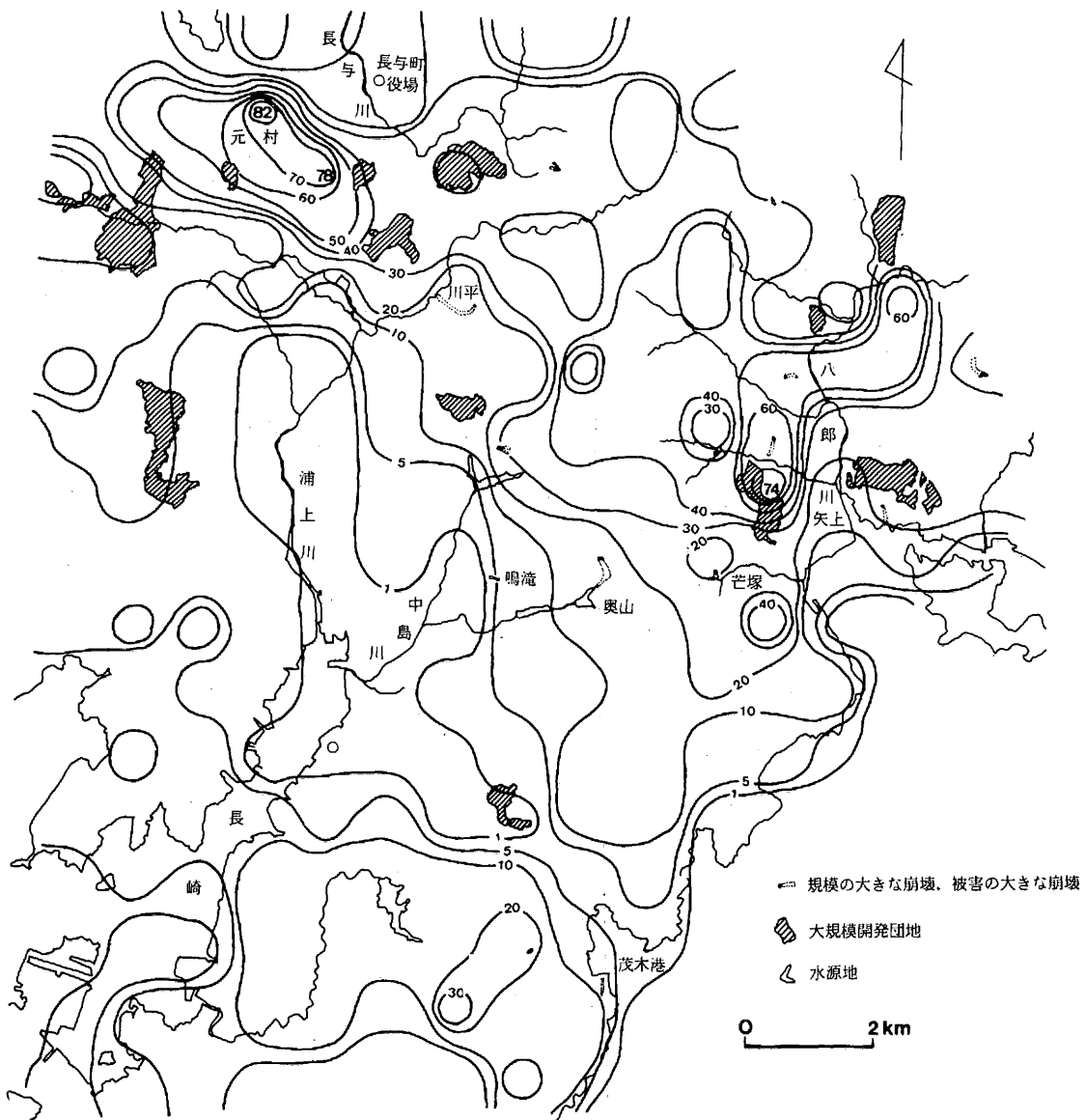


図4 昭和57年7月23日の大雨による長崎市周辺の崩壊密度(崩壊源個数/km²)
(大八木1982原図)

また、谷間の斜面では土砂崩壊が発生し始め行路が妨げられて、所定の場所へ近づけない状態になっていた。19時30分頃から被災の連絡、救助の要請が相次いだ。20時頃から重大な被害をもたらした斜面崩壊や土石流が続発し始めた。

市民の心理を察するに、いつもの雷雨だろう、1時間もすれば上がるさ、とたかをくくっていたふしがある。しかし、その雷雨は1時間100mmを越す異常な降雨強度で3時間も続いてしまった

のである。その上、洪水を始め土砂災害の発生もこの3時間の時間帯に、急激にかつ所々で同時的に発生した。この事は、市民の側でも行政の側でも避難、誘導、救助などの対応を困難にした原因でもある。現行の警報のシステムでは、今回の警報の出し方はほぼ完璧と言えるようであるが、その警報—大雨洪水警報—のもつ深さ、すなわちそれから読みとられるべき災害の立上がり方、規模、範囲、継続時間などの情報が一般市民のみならず

現場の防災担当者にも簡単には理解されがたかったものと思われる。この点は近い将来大いに改善されることが望まれる。

＜土砂災害＞ 今回の大雨で発生した崩壊、地すべり等は、およそ4700カ所に達している(県資料)。図4は長崎市の大部分と時津町、長与町の範囲を示し、崩壊は約3770個を数える。7 km²あたりの崩壊数の最大値は長与町と時津町の境界付近にあり、2位は東長崎地区矢上町付近にみられる。崩壊の発生密度と降水量分布との関係は前述のとおりである。

これら土砂災害は巨視的にみて、そのタイプと発生分布の状態には地域性があり、それは基岩の岩質と、地形発達史上の位置との関係が深そうである。もしそうであれば崩壊の地域性を把握することから、今後の防災の指針が得られるわけであり、この立場からの詳細な研究が望まれる。ここでは、これまでの予察的な観察結果をまとめておく。

まず、今回発生した崩壊の主なタイプは表1に示したものである。このうち基岩すべりは著しく少ない。最も崩壊密度の高い(82~78個/km²)時津



写真1 西高田地区、ミニ造成地崩壊による災害

町元村—長与町高田の地域では、風化帯・変質帯すべりと細粒デブリ層すべり、あるいはこれらの複合型が多い。滑落速度は他のものよりやや遅かったか、高度差が小さかったなどの要因から局所的な大量被害には至っていない。しかし、1個の崩壊が1~2戸ずつ家屋を破壊するケースが多い。この地域の地質は第三紀中新世の変朽安山岩(プロピライト)で著しい変質を受け、表層付近は風化が著しい。このため、斜面の切土・盛土が容易であって、ミニ開発の対象になりやすい。今回の被災個所の多くはこのような場所であった(写真1)。

次に崩壊密度の高い(74~61個/km²)地区である東長崎田中町付近は小規模な表層すべり、細粒デブリ層すべりが多い。地質は古第三紀の堆積岩からなっている。この地区は時津町—長与町地区とともに起伏の小さい、しかし急斜面に富む地形を呈している。

長崎市街地東縁から東長崎へかけての地域は崩壊密度が数個/km²から、20~30個/km²と東へ向って漸増している。この地域の地質は新第三紀の輝石安山岩と安山岩質の凝灰岩からなっている。全般的に著しい変質は認められないが、緩斜面の残る所では、赤色土、赤褐色土また赤色(を呈する)風化帯が残存しており、また、基岩凹状部には厚いデブリ層を堆積している場所が少くない。崩壊はやや規模の大きい(100m³~数千m³)細粒デブリ層すべり、粗粒デブリ層すべり、風化帯・基岩すべりなどで特徴づけられる。この地域の西部、すなわち長崎市街地に近い部分では、散発的に発

表1 今回発生した主な斜面運動

I. 崩壊源(発生源)における種類

1. 表層すべり
 - a 表土層+薄い細粒の岩屑層すべり
2. 非固結層すべり
 - b (表土層)+厚い細粒の岩屑層すべり
 - c (表土層)+厚い粗粒の岩屑層すべり
 - d (表土層+岩屑層)+著しい変質帯/風化帯のすべり

II. 流動・堆積域における種類

- e 押し出し(a~dの物質の移動)
- f 溪床・溪岸の侵食と土石流(マス移動と堆積)
- g 溪床・溪岸の侵食と土砂流(掃流的移動と堆積)

生したやや大型の崩壊によって、局所的に大量犠牲者を出す大被害をもたらしている（写真2）。東部では多数の崩壊により広い範囲に大きな被害を発生し、また、土石流が発生して大被害を生じた所も少くない。

前述の第二の崩壊高密度地帯のうち東町、古瀬、侍石、陣の内、さらに飯盛町補伽（ほとぎ）を含む地区では崩壊密度は低くなるが多くの溪流で土石流を発生し、大きな被害を生じている。この地区は古第三紀の堆積岩の上に角閃石安山岩が乗っており、かなり河底勾配の急な急峻な山地となっている。

野母半島の基部にあたる長崎市南部には崩壊密度十数個/km²の地区が広がっている（もっともさらに南は災害後の空中写真を入手していないため図示していない）。この地区は結晶片岩地帯で崩壊は茂本付近の地すべり地帯の一部が滑動した以外はほとんど表層すべりである。被害は海岸線に近い道路にみられるが、山地では崩壊の発生は多いが被害は大きくない。

＜奥山地区の山くずれと被害＞ 洪水で多数の石橋が流失した中島川（後述）の左支上流には、上下二つの水道用貯水池があって、その上流に今回大きな山くずれによって死者24名を出した奥山地区がある（写真2）。今回の災害のある意味で典型と見られるので一例として述べてみよう。

この山くずれによって全壊した住家は12軒で40名居住していた、そのうち13名は、災害の時に帰宅していなかった。そして、在宅中で奇跡的に助かった方が3名いた。被災域に隣接していて、幸運にも破壊を免れた家の主婦は当時の状況を次のように語ってくれた。「7時頃大雨の中を車で送ってもらい帰宅しました。テレビを見ながら食事をしていたのは8時過ぎ頃でしょうか、足の裏から伝わって来るようなドーンという大きな音があり、続いて、ズツズという音がしばらくした。でも、その時は、山くずれが直ぐ近くで起きたことは知らなかった。やがて、川が溢れたのか、道路に水が出て来たので、子供達と二階に上がりました。9時から9時半の間と思うけど、また、ドー

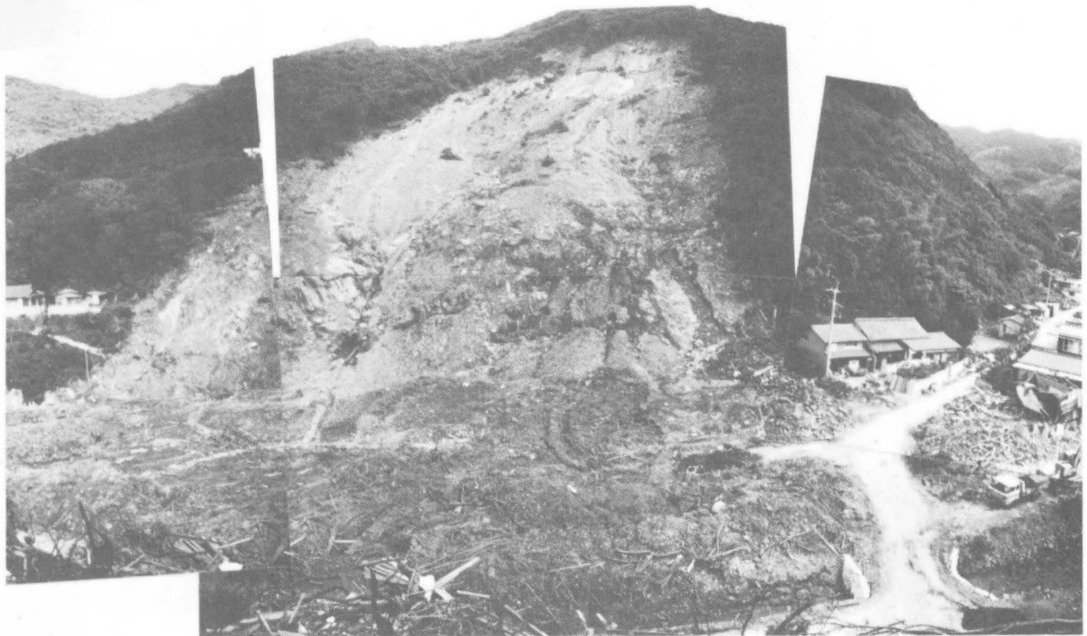


写真2 奥山地区崩壊による災害

ンという音とツツツという音が聞こえました。ややあって、子供が窓を開けて、『母ちゃん、うちの横も前も、家がないよ』と叫んだのです。これで、初めて山くずれが起きた事を知りました。自分の家の裏山も危ないかも知れないと思ったので、私達は庭に出て布団にくるまって夜明けを待ちました。午前4時頃、地区長さんの勧めでブロックの建物（70m程上流にある2階建）に避難しました」。

単なる体験談のように聞こえる彼女の話に、この山くずれの特徴や防災上重要な内容が満たされている。が、ここでは二つだけ取上げてみたい。まず、この山くずれは2回にわたって崩れたこと、後の救出作業によって、8時15分を指して停止していた時計が発見されていることから、第1回は、おそらく午後8時15分頃であり、他の情報で9時10分頃という時刻があるが、これが第2回目の崩れらしい。空中写真をみても、現地でも（写真2）明らかに崩壊源は2カ所に分かれている。この接合した2個の山くずれが1度にではなく、ほぼ1時間の間隔をおいて発生した事が明らかになった。これより、大雨の最中の山くずれは、ある場所で1回起こればそこはもう終わってしまったのではなく、まだ、その周囲に拡大して発生する事があることを注意しなければならない。

次に、水が上って来たので二階に避難している

こと。この家より下流側で、第1回の山くずれの前にすでに家屋に水が入り、高台の近所の家へ避難しかけていた家族があった。そのうち1名は、避難先の高台の家で不帰の人となった。いずれの人達も、この豪雨の最中に心配したことは、水、洪水であって、山くずれや土石流などの土砂災害は念頭になかったらしい。これは、これまで長い間災害が無かったことからくる、自然斜面に対する漠然とした安心感、あるいは信頼感に根ざすのであろうか。実際には、この大きな山くずれの他にも、小さなくずれが多数発生しているし、上流には土石流や土砂流も発生しているのである。

もう一つは、早朝避難した場所は果して安全な場所であったかどうか疑問である。この地区の谷底で、一見したところ安全な避難所を見出すのは難しい。より安全な場所は尾根筋、しかも谷底からある程度の比高（数十m）が必要と思われる。

＜大規模開発とミニ開発＞ 長崎市周辺は平地が狭小なことから生じた、山地での大量の切・盛土を行った宅地大規模開発はさぞや大被害を生じているであろうと予想して、空中写真を見、また現地を見た。結果は、その反対であったと言わざるをえない。切取斜面あるいは盛土斜面そのものの崩壊は非常に少く、切取斜面上方に残した自然斜面に発生した山くずれの崩土が斜面直下の住宅を



写真3 1982年7月23日長崎災害、芒塚地区、地すべり土石流による災害
（23戸全壊、9名死亡）



写真4 1982年7月23日長崎災害，川平地区崩壊・土石流による災害
(15戸全壊，32名死亡)



写真5 矢上歩道橋付近泥洪水，八郎川右岸域。この地点で水位は
1.9 mまで上った。(1982年7月23日長崎災害)



写真6 川平地区、土石流による災害



写真7 上部は流失したがアーチ部は残った眼鏡橋（石橋は長崎市内に19橋あり、内10橋が流失した。）

直撃したり、深い谷の出口を切った形の住宅団地最上部に土石流が流入した例がみられた。

一方、斜面を小規模に処理し、自然発生的に谷底や谷壁斜面に延びて来た住宅地、いわゆるミニ開発の地区に大きな被害が発生していた事は注目される。32名の死者を出した川平地区、それぞれ24名の犠牲を出した鳴滝地区と奥山地区、合せて30名の死者を出した芒塚・宿町地区などはまさにこの例である（写真2, 3, 4, 6）。

以上概観したように、住宅地の斜面土砂災害に対する安全性は、今回の長崎の災害に関する限り、ミニ開発よりは大規模開発の方が高かったと思われる。大規模開発に義務付けられている遊水池や切盛土の設計基準が守られ正しく施工されたと見るべきであろうか。なお、今後の問題として、今回以上の大雨に対しても十分安全であるかどうか、とくに、1978年宮城県沖地震によって被災した緑ヶ丘団地の例のような谷底盛土地区での大きな地すべりなどの危険性を排除する方法も考えねばならない。開発には十分な地質調査と土質調査がなされ、これに基づき入力を明確にしての設計と正しい施工がされねばならない。それに加えて、現在は自然環境との調和が要求されている。防災面と環境面とも調和させるためには、例えば、斜面上方に自然斜面を残した場合には切土斜面の直下には土留めと公園緑地等のオープンスペースを置くなどの工夫が必要である。

＜洪水＞ 長崎市中心部市街地での洪水は分オーダーのごく短時間のうちに発生したものであった。市街地の家の一階に居たある人の話では、窓の上の方に人の足が見えたのでどうしてかなと思った次の瞬間、窓や戸の透き間から水がどっと入って来たということである。中島川には眼鏡橋で代表されるように、多数のアーチ状石橋が架かっていた、そのうち10橋が流失した。有名な眼鏡橋も右岸側上部が破壊した（写真7）。この他、新聞やテレビの全国版ではあまり報道されなかったが、東長崎地区の矢上町を中心とする八郎川下流域は市街地面上2m近い水位に達する泥水に覆われ、上水道、電力などの復旧は著しく遅れた。また、個人レベルでの災害復旧では、床上、床下の泥土の排除にも多大の労力を要した。この様に今回の洪水は単なる水害ではなく、山くずれや土石流からもたらされた大量の土砂が氾濫域に供給されて被害は多面的なものとなったのである（写真5）。

参 考 文 献

福岡管区气象台（1982）：災害時気象調査報告——昭和57年7月23日から25日にかけての梅雨前線による九州及び山口県地方の大雨

荒生公雄（1982）：気象，昭和57年7月長崎豪雨による災害の調査報告書

Norio Oyagi・第3研究部地表変動防災研究室

強震観測事業の現状について

大 谷 圭 一

§ 1 地震の巣の上に住む

日本は世界有数の地震国であり、有史以来幾多の地震に見舞われ、貴重な人命や財産を失ってきている。地球上で放出される地震エネルギーの約 $\frac{1}{10}$ が、日本列島及びその近海で放出されており、文字通り日本列島は「地震の巣」の上にあるのである。

「地震・雷・火事・おやじ」と昔から怖いものの代表格として恐れられ（この中には今日全くもって怖いものの資格を喪失したものもあるが）、日本人なら誰しも地震の怖さについて語ることが出来るほどである。このように地震の巣の上に住み、何回も地震の恐ろしさに痛めつけられてきた日本人は、近代科学の発展とともに、地震の解明、地震に立ち向かうことも研究者の大きな目標となり、今日の地震学、地震工学の世界水準のリーダーとなっている。

世界の歴史の中で、大地の震動を正確に記録することに目が向けられたのは、18世紀後半のヨーロッパであった。日本でも明治維新になって文明開化の波が訪れると、地震の観測へも目が向けられて行き、明治7年（1874）には地震観測が東京赤坂葵町において実施されている。

明治13年（1880）横浜に強震が起り、煙突は倒れ、墓石は回転したり転倒したりした。この地震がきっかけとなって日本地震学会が生まれ、今日使われている地震計の元祖ともいべきものが発明されることとなった。

§ 2 地震を計る

20世紀に入ると各国でより正確に地震を観測する為に種々の地震計が開発され、地盤の動きを数

万～数十万倍に拡大して記録したり、周期500秒くらいのゆるい波動の記録をとったりすることも出来るようになってきた。

しかしながら、地震学の発展とともに発達してきた地震計は倍率の高いものばかりで、大地震の時には振り切れて役に立たないことになり、大きい地震だけを記録する地震計が必要とされるようになってきた。この大きい地震だけを記録する地震計が「強震計」と呼ばれ、この報告のテーマである。

1930年頃石本己四雄博士は、実用的な加速度地震計の製作に成功され、今日の地震工学の先べんをつけられた。当時の地震研究所長末広恭二先生は、アメリカの土木学会に招かれて講演をした際、はじめて地震工学（engineering seismology）という語を使って、工学的立場から地震を研究するには大地震のときの加速度を正確に記録することが、何よりも大切であると説かれた。

この講演を聴いたアメリカの沿岸測地局（USCGS）はさっそくこの意見を入れて、強震加速度計を製作してカリフォルニア州の数十カ所に据えつけ、1933年ロングビーチに強震があり、その記録を取ることに成功した。

その頃の日本は貧乏国の悲しさで強震計設置計画の実現はとうてい望めない状態であった。日本人によって先べんをつけた強震観測がアメリカによって先に成果を得たということは非常に残念なことである。

しかし、戦後になって、1948年の福井地震が契機となって、どうしても強震観測をやらなければいけないということで、工学、地震学関係の有志で委員会を作り、文部省の試験研究費で強震加速度計の第一号が作られた。この委員会の名称「強震測定委員会」(Strong Motion Accelerometer

Committee (SMAC)) が今日なお使用されているSMAC型強震計に冠されている。

§ 3 SMAC型強震計

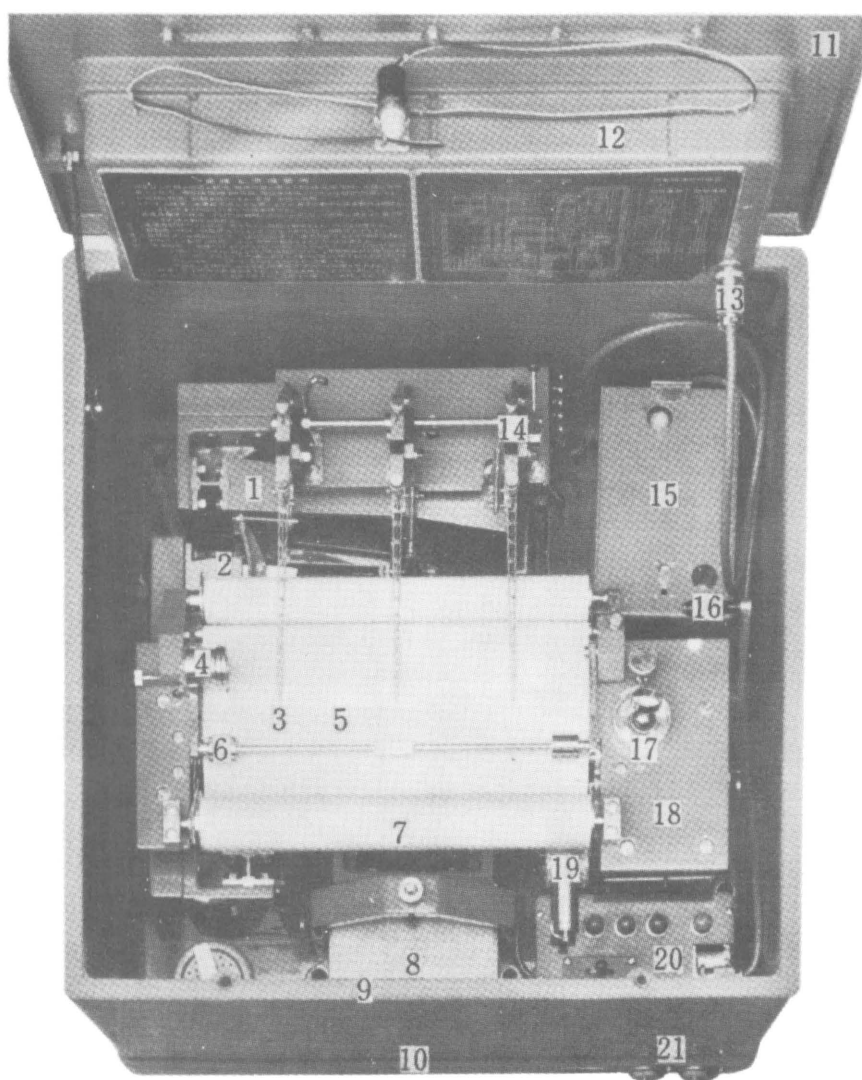
1950年代後半から日本でも強震計が設置されるようになり、この四半世紀の間に強震観測は大きな進展を示している。

SMAC型強震計もその後種々の改良を加えら

れることになるが、代表機種であるSMAC-B型強震計を写真1に示す。

このSMAC-B型強震計は純粋に機械式強震計であって、ボールが転落することにより記録紙(スクラッチ・ペーパー)が起動し、振子の先についた針が記録紙上をひっかいていくという方式であった。この強震計は今日なお最も多く設置されており、貴重な記録を採取している。

強震計が開発され、各地に設置されるようにな



- ①前後動振子
- ②左右動振子
- ③記録ペン
- ④刻時ペン
- ⑤記録紙
- ⑥プレスローラー
- ⑦まき取りスプール
- ⑧上下動振子
- ⑨中ケース
- ⑩ベッド
- ⑪ふた
- ⑫乾電池収容ボックス
- ⑬電源コンセント
- ⑭記録ペン保持台
- ⑮電氣的スタータ
- ⑯ゼノマイハンドル
- ⑰機械的スタータ
- ⑱起動器
- ⑲刻時電接時計
- ⑳点検灯
- ㉑連動コンセント

写真1 SMAC-B型強震計

ってきた1950年後半から1960年前半にかけて、東京大学地震研究所が中心となって情報をとりまとめていたが、1967年強震観測事業推進連絡会議が科学技術庁国立防災科学技術センター内に設けられ、全体的調整を図ることとなった。

強震観測事業推進連絡会議には地震学、地震工学の世界的権威といわれる諸先生方にお集まりいただくとともに、国の研究機関の代表者等が参集して、わが国の強震観測事業の円滑な推進を図ることとした。(表1 委員名簿参照)

推進会議では1969年に全国強震計設置計画を策定したり、毎年強震記録の刊行物を発行する等の活動をしてきている。現在、推進会議の強震台帳に登録されている強震計は1,430台にのぼり、世界にも類をみない高密度で配置されている。全国に分布設置されている強震計の現状を図1に示す。

§ 4 強震計の進歩

SMA C—B型強震計は機械式の強震計である。強震計が開発された当初はどんな大きな地震の際にも、記録の振り切れない即ち完全な記録のとれる地震計が、使用可能となったことで、その喜び

は大きなものであったが、世の中の進歩は、強震計にも新しいものを望むようになってきた。

強震観測もその当初には、最大加速度とその周期を読みとることで一応の満足が得られていたのが、記録の周波数特性をコンピューターを使って調べたり、複数の強震記録の間の比較をしたりしたいという要望が研究者の間から出されるとともに、電子計測技術の発展がとり入れられるようになって、SMA C—M型強震計が開発された。このSMA C—M型強震計は他の機種(表2 SMA C強震計比較表参照)と違って、記録をアナログテープのデータ・レコーダーに集録することにしたものである。記録されたテープは回収された後、直ちにコンピューターによりデジタル化されて、各種の解析を行うことが容易になった。図1の強震計の設置状況には表2の各種の機種が入り混じっていることをことわっておきたい。

SMA C型強震計の他にも、電磁式の強震計や地中に設置して観測する地中強震計、加速度を記録するのではなく、地盤の地震時速度を記録する速度型強震計が開発され広く利用されている。

わが国における強震観測は四半世紀の年輪を重ね、その間、新潟地震(1964)、十勝沖地震(1968)、

表1 強震観測事業推進連絡会議委員名簿

		会長 岡 本 舜 三	
		昭和57年10月1日現在	
東 京 大 学	名 誉 教 授 那須 信治	科学技術庁研究調整局生活科学技術課長	大橋 哲郎
同	上 武藤 清	農 林 水 産 省 農 業 土 木 試 験 場 長	中島 保治
同	上 萩原 尊禮	運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所 長	佐藤 昭二
同	上 高橋龍太郎	気 象 庁 観 測 部 地 震 課 長	山川 宜男
埼 玉 大 学	名 誉 教 授 和達 清夫	建 設 省 大 臣 官 房 技 術 参 事 官	萩原 浩
同	上 岡本 舜三	建 設 省 土 木 研 究 所 長	大久保忠良
日 本 大 学 生 産 工 学 部 顧 問	金井 清	建 設 省 建 築 研 究 所 長	上村 克郎
芝 浦 工 業 大 学 教 授	梅村 魁	建 設 省 建 築 研 究 所 国 際 地 震 工 学 部 長	渡部 丹
東京理科大学理工学部教授	福岡 正巳	日 本 国 有 鉄 道 副 技 師 長	田中 道人
埼玉大学工学部教授	久保慶三郎	日 本 電 信 電 話 公 社 建 築 局 長	関谷 辰延
東京大学地震研究所教授	大沢 胖	電力中央研究所土木技術研究所調査役	高橋 忠
東京大学生産技術研究所教授	田村重四郎	鹿 島 建 設 技 術 研 究 所 常 任 顧 問	久田 俊彦
同	上 柴田 碧	(財)日本建築センター常務理事	坂生 昂三
東 京 工 業 大 学 教 授	小林 啓美	清 水 建 設 副 社 長	大崎 順彦
北 海 道 大 学 工 学 部 教 授	太田 裕	国立防災科学技術センター第2研究部長	高橋 博

表2 SMAC強震計比較表

機 種 項 目	SMAC-A	SMAC-B(B2)	SMAC-C(C2)	SMAC-D	SMAC-E(E2)	DC(DC3C)	SMAC-Q	SMAC-M
測定成分	水平2成分 上下1成分	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
振子型式	水平振子	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	サーボ, ピックアップ
振子重量 (kg)	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3	8.5	2.2	——
固有振動数(sec)	0.1	0.1(0.14)	0.1(0.14)	0.05	0.05	0.1	0.05	450 (Hz)
感度(Gals/㎜)	25	25(12.5)	25(12.5)	100	200(100)	12.5(25)	200	1 (volt /g)
減 衰	臨 界 減 衰	同 左	同 左	同 左	同 左(60%)	臨 界 減 衰	同 左(60%)	同 左
減 衰 機 構	空 気 式	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	電 気 式
記録範囲(Gals)	10—1,000	10—1,000 (10—500)	10—1,000 (10—500)	5—500	10—1,000 (5—500)	10—500 (10—100)	5—1,000	5—1,000
送り速度(㎜/s)	10	10	10	5	2.5(5)	10	5	47.5
記 録 方 式	スタイラス ペーパー	同 左	同 左	スクラッチレ コードフィルム	同 左	ス ス 書 き ペーパー	スクラッチレ コードフィルム	カセットテープ
記録駆動方式	スプリング モーター	同 左	マイクロー モーター	同 左	同 左	同 左	同 左	F M (データレコーダ)
記録時間(min)	3	3	3	1.5	1.5	3(1, 2, 3)	1.5	3
動作回数	3	5	5	100	200(100)	1(15, 10, 5)	100	10

表3 新型強震計仕様

項 目	仕 様	備 考
総 合 特 性	記録範囲±(0.1～2,000) Gal, 周波数特性0.05～25 or 50 Hz ダイナミックレンジ86 dB以上	
セ ン サ ー	加速度型(3成分), 最大2 g, 分解能 10^{-5} 以上(例えば, 力平衡型では, $f_0 > 100$ Hz, $h = 0.6 \sim 0.7$)	外部設置も可能とする
ア ン プ 部	バイナリー・ゲイン・アンプ(2n, n=0, 1, 2, 3) エリアス・フィルター30 Hz, 18 dB/oct	16ビットA-D変換器を使用する場合は不要
A-D変換	ビット数 12bit サンプリング周波数 100 Hz	必要な場合は200 Hzとする
書 込 み 情 報	記録No, 感度切換符号, テープNo, 観測点番号, 機械番号等	
絶対時刻の刻時	精度 $1/100$ 秒(常時)	自動校正による
信 号 遅 延	5秒	デジタル遅延
起 動 と 停 止	ある設定値以上の加速度レベルで起動し, あるレベル以下の加速度で停止する	可変とする
連 動	サンプリング時刻の同期と同一時刻信号の記録	
記 録 部	地震動3成分, 時刻信号1成分, 記録可能時間30分以上	
較 正	センサーを含めた総合感度検定が可能なこと	
電 源	AC, 100 v, $50/60$ Hz, 停電後適当な待機時間の後テープ1巻を完全に記録できる内部電源を備えること	
匡 体	機密(防水)構造とする(耐震, 耐久, 耐湿性をもつこと)	
保 守 点 検	技術点検年1回程度	
耐 用 年 数	10年以上	
価 格	300万円程度以下	

伊豆半島沖地震(1974), 伊豆大島近海地震(1978), 宮城県沖地震(1978)等の際に数多くの記録が採取され, 強震動の性質の解明や耐震設計の向上に大きく貢献してきている。

近年, 各種構造物は長大化, 大型化あるいは複雑化してきている。超高層ビル, 超大吊橋あるいは原子力発電所等のより精度が高い耐震設計の要求される構造物の出現に伴ない, 従来の強震計よりもっと性能のすぐれた強震計の開発が必要となってきた。

§ 5 新型強震計の開発

設計の際に考慮すべき地震動の周波数範囲について, 要求がきびしくなってきたとともに, 強震動の性質を正確に把握し, 震源から途中の伝播経路, 構造物周辺の地盤の影響をも評価可能である強震観測網の整備が, 地震学, 地震工学両面から要求されている。その為に使用される強震計

の性能は, 従来のSMAC型強震計では十分でなく, より分解能が高く, より広いダイナミック・レンジ, 周波数帯域, 完全な時刻情報の記録等の性能を有する強震計の開発が望まれている。

推進会議では, これらの要求にこたえるべき強震計はいかなる形のものが望ましいか, 現在の最新の技術を導入すれば, どのようなシステムとなるかについて, 約2年半にわたって検討を重ねており, 近日中に最終結論をまとめる予定である。

検討されているシステムの主要仕様を表3に示す。このシステムの特徴は, ①記録加速度範囲が0.1～2000 Gal, 測定周波数範囲0.05～25 Hzと従来の強震計に比べて格段に性能向上していること。②デジタル・データ・レコーダーに記録することにより, 回収後ただちにコンピューター処理が可能なこと。③ $1/100$ 秒の精度の時刻情報が書き込まれていること。④地中, 地表, 構造物とどこにでも設置可能であり, 多数強震計の連動も可能な性質を有している等である。このシステム

が一日も早く開発され、日本いや世界中で利用されて、強震動の性質がより解明され、地震災害から財産・生命を守るという目的に向かって、強震観測事業がより一層の貢献をすることが期待される。

<追記>

岡本舜三先生「藤原賞」を受賞される

岡本舜三先生は現在東京大学・埼玉大学の名誉教授、科学技術庁参与を勤められている他、強震観測事業推進連絡会議の会長を15年間勤められ、強震観測事業の柱として御活躍である。先生は耐震工学、特に土木工学分野の研究では世界中に名のとどろいていることはよく知られているが、国立防災科学技術センターでは、「三次元振動台の開発」、「大地震早期検知・警報伝達システムの

開発」にと多大な御協力を頂いている。

今回受賞された「藤原賞」は藤原科学財団が我が国の科学技術に対する顕著な功績に対して授与するもので、日本における小型ノーベル賞といわれており、今回は23年目に当たっており、先生の受賞は工学分野では5人目である。

先生が今回この賞を授賞されたことは、地震工学にたずさわる者にとって大きな喜びであるとともに、工学の分野では日の浅い地震工学分野にとって大きな意義のあるものと感じる次第である。

先生は今なお第一線で活躍されておられますが、今後なお一層健康に留意されて、今後とも我々を御指導頂けることを祈念して、先生の受賞を喜ぶたいと思います。

Keiichi Ohtani ・ 第2 研究部耐震実験室

セ ン タ ー 新 刊

- 茨城県沖の地震（1982年7月23日）概報，国立防災科学技術センター研究速報，第46号，14頁，昭和57年9月

1982年7月23日23時23分に発生した茨城県鹿島灘沖の地震（マグニチュード7.0の地震について，本震及びその前後の地震活動の様子について報告。

- 新庄の平地における積雪断面観測－1975年～1980年5冬期間－，防災科学技術研究資料，第70号，103頁，昭和57年6月

1975年12月から1980年4月までの間の新庄支所構内における記録。

- 新庄盆地の地下水観測資料（Ⅱ）－浅層地下水位・水温変化（1976－1980）－，防災科学技術研究資料，第71号，90頁，昭和57年6月

新庄盆地内の3個所の浅層地下水の水位・水温の5年間（1976年1月－1980年12月）の記録。

- 豪雪地帯市町村における雪害及び雪対策の実態調査資料（Ⅰ）－1978～1979年冬期及び1979年～1980年冬期－，防災科学技術研究資料，第72号，247頁，昭和57年6月

全国の豪雪地帯の市町村を対象に，市町村道除雪率等約11項目について調査を行った結果の報告。

- 災害予防指針 第2巻－災害の影響を最小にするための建設対策－，防災科学技術研究資料，第73号，

36頁，昭和57年8月

標記は，UNDRO（国連災害救助調整官事務所）が1976年に刊行したものをほん訳したもので，熱帯性暴風雨，洪水等7項目について，それぞれの予防，防御法について記述

- 火山活動観測資料（硫黄島，霧島山）No.1，防災科学技術研究資料，第74号，151頁，昭和57年10月

硫黄島については日別地震回数ほか5項目の観測開始以来昭和57年6月までのデータを，霧島山については地盤傾斜観測のデータを昭和56年3月から昭和57年6月までのデータを収録。

- 長岡における積雪観測資料（6），防災科学技術研究資料，第75号，10頁，昭和57年10月

1981年11月から1982年3月までの間の雪害実験研究構内における降雪深等の記録を収録。

- 要旨集，第4号，本文294頁索引12頁，昭和57年10月

当センター職員が，昭和56年度に所内外に発表した論文等の要旨を編集してある。

- 1981年8月台風第15号による長野県須坂土石流災害調査報告。主要災害調査，第19号，54頁，昭和57年3月

長野県須坂市仁礼において，10名の死者を出した土石流の発生機構を中心とした調査報告。

自己浮上式海底地震計測システムの深海性能確認試験 (その2)

藤 縄 幸 雄・江 口 孝 雄・鶴 川 元 雄

1. はじめ

当センターでは、昭和53年度から、第4次地震予知計画(測地学審議会、昭和53年)に基づいて、自己浮上式海底地震計をより定常的な観測に近づけるための開発と海底地震観測の実施を行っている。昭和56年度では前年度より深く、4,000mの程度の水深の海底において、システムの性能を調べることと、南海トラフの、昨年実施したよりも南の海域における、地震活動を調べることを目的として行った。

近年、南海トラフの駿河湾への延長である駿河トラフで大きな地震の発生が危惧され、南海・駿河トラフ近辺のテクトニクス・サイスミシティが、東海大地震の予知の観点から、研究者の強い興味を引いている。

南海トラフ周辺におけるテクトニクス・地震活動に関する実証的な研究は、予想される東海大地震の可能性を吟味する上でも、基本的に重要と思われる。

今年度の観測期間中に、偶然にもごく近くの海底で群発地震が発生し、その消長のほぼ全体像をつかむことができた。この地域は、近年地震活動の静穏なところであるが、この時以来かなり活発な地震活動があることを気象庁からも報告されている。

2. 設置作業

昨年の夏、台風15号が関東地方に被害をもたらして通過した直後の8月24日に、作業班は清水港に集合した。港は、嵐の余波が残りうねっており、相変らず汚染がひどい。台風一過の穏やかな航海が期待されて心も軽かった。

翌25日には、海底地震計(OBS)の積み込みである。観測船に付属しているウインチ用アームが短いので、作業現場で見掛けるような巨大なクレーンが軽々とOBSをつり上げた。設置すべき順に、甲板上に4台のOBSを船の動揺に耐えるようにラッシングする。それが終わると、内部タイマーの時刻較正である。標準時刻信号を受信して、内部タイマーを正しくスタートさせるのである。さらに、設置直前に可能ならば、その時再度較正を行うこととする。この外、地震計等の各部の異常がないことを確かめ、午後1時に勇躍出港した。岸壁には、東海大学の船舶管理課の方々を含めて10名内外の見送りである。

海域に着き次第海域調査を実施することにし、それまでは、待機機である。昨年に続いての2度目の航海であり、台風一過ということもあって、前途に不安を抱くことなく、次第に動揺を増すベットの途中でウトウトする。気象ファックスによる天気図を見ると、前線が南岸にかかっているものの天候は回復傾向と見られた。夕食後も船のゆれは、小さくはならなかった。これも黒潮流域近くでの複雑な風波の生成によるものと考えた。

海域に到着したものの、風速が13mもあり風紋どころか水泡が立ち、測深儀による海底形状の測定さえできず、やもうえず現場で待機ということになる。現場に来る途中、潮流の最も速いところで、6ノットもあったと聞き、半信半疑ながらもさすが雄大な海流と感心する。このような潮流の強い海域では、風波は干渉し合って船の動揺が複雑である。8月26日の朝になっても、風波はやまず、昨冬の悪夢の再来かと不安になる。夜になってやっと天候は回復に向う。南方には熱帯性低気圧が発生しているばかりでなく、日程もつまってきたので、作業の速やかな進行を計る。沿岸から

最も遠方のC (OBS2), D (OBS3) 点の海域調査を行っていて (図1 参照) あわててしまった。船の位置決めのための決め手であるデッカがうまく受信できないのである。夜間であること、デッカでは応々にして受信状態の悪い海域があるためと聞く。遠方のC (OBS2), D点 (OBS3) の設置は昼間に行うことに決め、陸に近いA (OBS4), B (OBS1) 点の設置を先に行うことにした。

27日の朝7時から作業を始めた。流速は3ノットもある。水面下深くでの流速の鉛直分布は知ることができぬが、これ位速い場合には反流はあまり強くないであろうと考え、水深1,000mまでは流向が同じとして、OBSの沈下途中の漂流量を推算し、その分だけOBSを潮上から投下した。着底後の位置決めのための距離計測中、予想点が案外正しかったことがわかりほっとする。今回は、流れが早かったためか、超音波の到達距離範囲が大変に小さい。距離計測のスパンを長くすると、すぐ応答不能となってしまった。精度の点から言うと設置点直上から水深程度離して距離計測を行う方がよいのであるが、それができなかった。1台目の投下は午前8時、位置決めの終了は、午前11時である。流れが速いために、次の点に移動するのに時間がかかったことが、主要な理由である。2,3台目は、去年の呼吸がよみがえったためもあり、順調に投下されたが、最後の4台目になって計器による時刻較正がうまくいかず、NNSSによる時刻をたよりに切り抜けた。作業の終了は午前2時半であった。終了後ささやかな打上げである。夜遅いので我々のみで乾杯である。回収作業の成功を祈ってビールを乾した。帰港途中、雷雨を通り抜けた。清水港に近づくと、山々は段々に霞んで、南面を見る想いであった。

3. 回収作業

設置作業終了後、一つの設置点につき3点からの距離計測値、船位測定値を用いて、OBSの絶対位置を算出した。その結果を見ると、3点では予定した地点から500m以内の点に設置されたが、OBS2は、海流が3.0ノットであったにもかかわらず、1.5kmも潮上に設置された。これは底層に強い反流があったためと思われる。いずれにしてもOBSの位置そのものは100m内外の精度

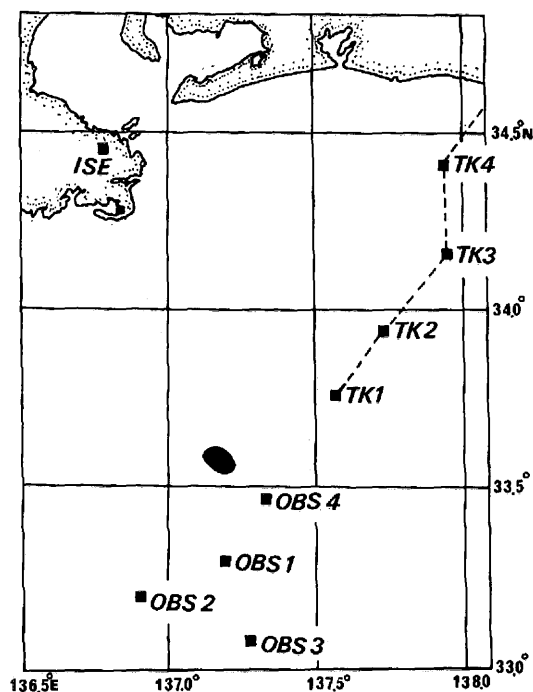


図1 自己浮上式海底地震計の設置点 (OBS1~OBS4)。本文中のA, B, C, D点は各々, OBS4, OBS1, OBS2, OBS3を設置した点である。気象庁の海底ケーブルによる地震観測点をTK1~TK4で、東京大学地震研究所の伊勢観測点をISEで示した。これ等の観測点のデータを使用して紀伊半島東部沖の群発地震の解析を行った (震央の分布をハッチで示した)。

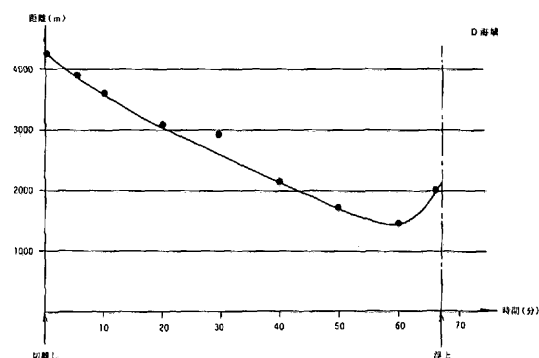


図2 OBSの切離し後浮上までの、OBSと回収船との間の距離。水深が約4,000mなので約60分かかって浮上し、その間距離が徐々になくなっていく。浮上前に距離が大きくなっているのは、潮流のために流されたからである。

で求まったものと思われる。

設置時の強い潮流から考えて、切り離し指示後船が強く潮流に流され、超音波の到達範囲外に出てしまう恐れがあったので、浮上途中に一度船の位置の修正をしなければ考えたのであるが、回収作業前の表面海流測定結果によると、最強で2.1ノット、平均で2ノット以下と、設置時に比べて随分弱まっていたので、従来通りの作業方式をとることにした。超音波の伝達を出来るだけ効率良く行うために、OBSの設置推測点の真上で切り離し指令を出し、浮上するまでは、船の主エンジンを停止して、OBSと船との距離をモニターした(図2参照)。又デッカによる船位計測は設置時より良好であり、救われた思いであった。

9月29日に器具の積み込みを行い、出港と同時に船長をまじえて作業計画を練る。海の作業では、いつも天候が最大の考慮条件である。今回も後半は悪化する見通しであるので、短い時間に作業終了という基本方針で行うが、現実性と安全性はより大切な基調とすることで了解が得られた。深夜の作業は、電波受信状態の良好な4号機から行うことにし、幸か不幸か今まで一度もその存在意義をしていないフラッシュライトのテストを兼ねて、夜明け前に浮上せしめることとし、切り離し時刻を朝3時とした。超音波を使つての切り離しは、順調に進み、昨年のような興奮を伴なわぬまでも、上々のすべり出しに安心する。午前3時52分にラジオビーコン電波の受信と同時に、灯台の灯のように明るいライトの点滅が真暗な海とも空ともつかぬ辺りに光り、フラッシュライトの威力におどろく。これだと回収作業は、少なくとも発見という点から言えば、むしろ夜の方がはるかに良いのではないかというのが皆の実感であった。ところがである。その光が急に見えなくなってしまったのである。ブリッジではビーコンの受信音が明確にとらえられているのに、OBSの姿は見つからない。頼りはビーコンのみとなる。全部の探照灯をつけて海面を探索するが、いかんせん到達距離が小さい。方向探知器が又、反射波に邪魔されて、正指示と誤指示を示し、当てにできない。昨年の経験を生かして、受信電波のレベルを見ていて、レベルが小さくなれば、船がOBSから離れていること、大きくなれば近づいているという判断方式で、何回か往復している内に“発見”という一等航海士の声。船のす

ぐ横にあったのである。80分近くの探査であった。発見システムの多重化で救われたというのが事情である。

8時42分に2号機の切り離し指示を行い、10時2分に回収をした。この頃から風が強くなり、うねりも2.5mを記録する。3番目・4番目のOBSの回収時には、雨さえ降ってきて、視界も悪くなり条件はますます悪くなってきたが、最後は波高4mの中で軽微な損傷をアンテナに与えたものの無事作業を完了することができた。

海の観測を行うたびに改善点をつきつけられる。OBSの位置決め方法・発見システムの改善・時刻較正器の改善等が最大の課題として認識された。

“大波やへさきで分かれて虹一つ”

4. データの再生

データの再生は、まずビジコーダーによる遅延りモニター記録から、イベントの発生時刻を分単位で読み取る。OBS4の上下動成分(最高倍率90dB)を狭い帯域フィルターを通して再生速度640倍で再生した。船舶のノイズ、アンテナに起因するノイズなどを除いた再生記録を調べてイベントとして判定したものの数は、全部で1010個である。これ等は、大別して、1)群発地震、2)この期間に東海大学の早川氏らによって実施された海中爆破、3)南海トラフ付近での微小海底地震、4)八丈島付近又は陸地で発生した、ルーチン観測網で検知される程大きい地震、5)大平洋プレートのもぐり込みに伴って発生した深発地震、に分けられる。

ついで、原磁気テープからあらかじめ指定された時間のデータを抜き出すため、時刻コード読み取り方式(time trigger)によってRTP(real time processor)で連続的にMTに取り込んだ。高倍率・低倍率の記録を二回に分けて取り、フィルターリングやいくつかの種類の初動強調手法処理を併用して、解析に便利な早送り可視記録を作製した。群発地震が近くで発生したために、今までになく見事な記録となった。

5. 地震記象

図3に群発地震の地震記象の例を示す。OBSの

1981 Sep. 22, 5:11 (OBS4)

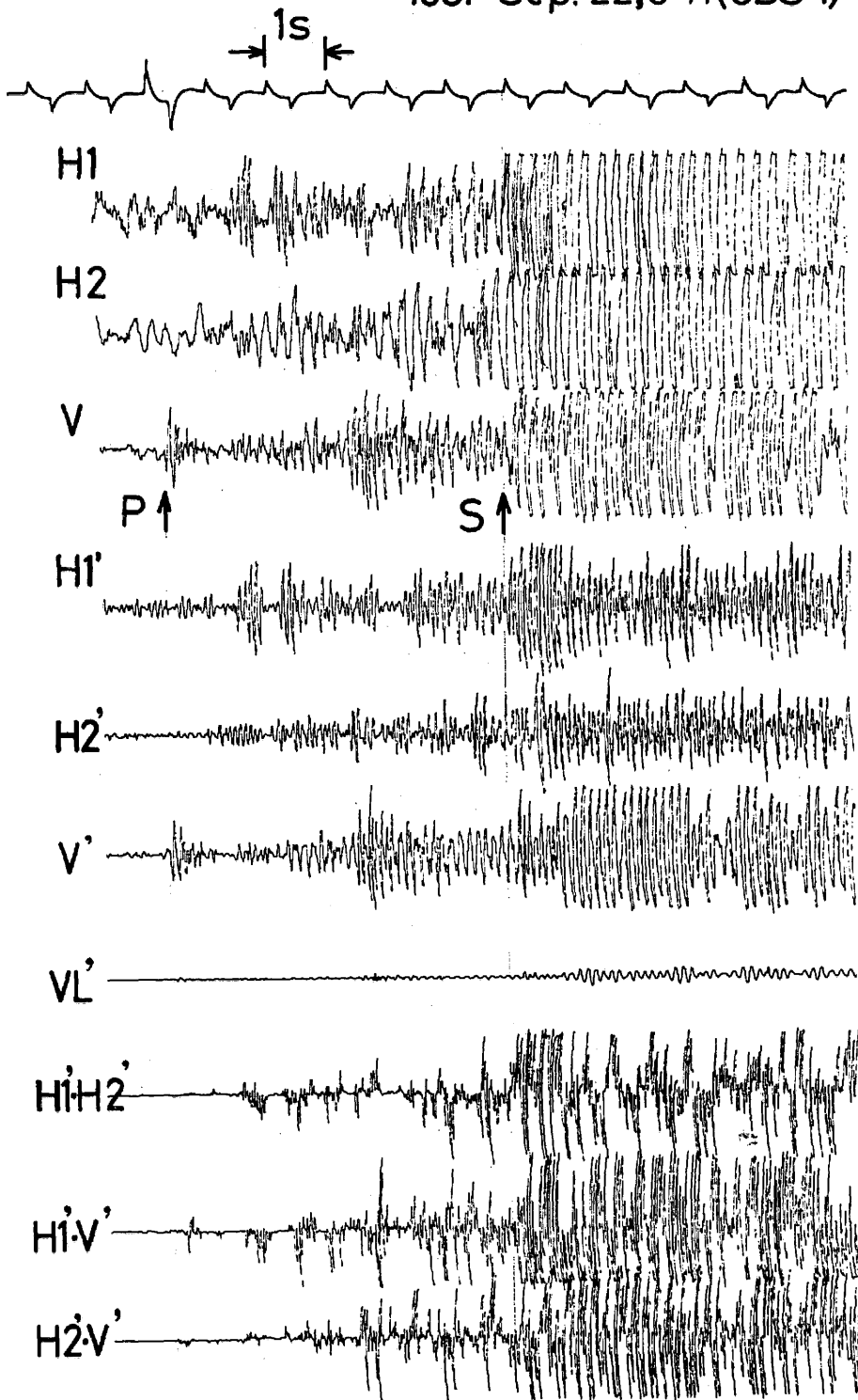


図3 群発地震の一つの地震記録例。H₁, H₂は水平動成分(増幅度90 dB), Vは上下動成分(90 dB)を示す。ダッシュは原データに対してフィルター処理を施したものであることを示す。ピリオドは積を示す。P, Sは, P波, S波の相。

高倍率 (90 dB) 増幅器を通ったものである。上から順に、時刻(T)、水平動成分(H_1)、水平動成分(H_2)、上下動成分(V)、つづいて、これ等及び中周期上下動成分(VL)の帯域フィルター処理を施した記録 (5.0 ~ 25Hz) (H_1' , H_2' , V' , VL') があり、更にその下の三つは、 H_1' , H_2' , V' の間での二つの積である。観測点の配置図および震央分布から判断して、OBS4 では、 H_1 成分がほぼ横方向成分 (transversal component) になっており、 H_2 成分が径方向成分 (radial component) になっている。よって H_2' V' の符号から P 相と S V 相の判別ができる。直達 P 波と S 波の中間の走時を持つ顕著な相が幾つか識別された。波形の特徴としては、P 波上下動の初動近くではややゆるやかに引きとなり、急激に押しに転じるものが多かった。

波形から、海底地震計と海底のカプリングの特性についても有益な知見を得ることができた。まず P 波初動近くでは、上下動の振幅が圧倒的に大きいのに、いずれの水平動成分もほとんど動いておらず、上下動→水平動のクロスカプリングは、ほとんど無視できることがわかった。また、P 波初動から約 1 秒後に一つの顕著な相があるが、この相では H_1 成分が大きく、上下動成分は非常に小さい。すなわち、少なくともこの周波数では、水平動→上下動のクロスカプリング係数も小さいことがわかる。しかしながら、このようになったのはたまたまこの場所でののかも知れず、海底面と地震計とのカプリングの問題は、今後更に検討がなされなければならぬ点であり、耐震工学の人達の協力を得て進めて行きたいと思う。

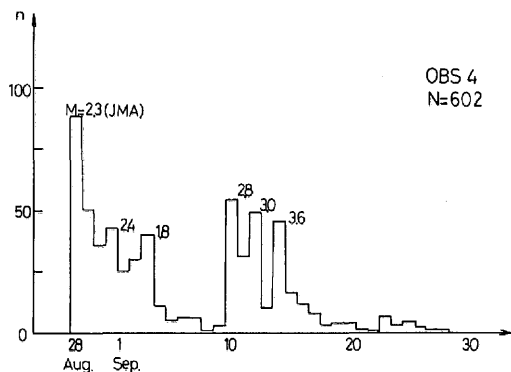


図4 群発地震の日別頻度分布

6. 日別頻度分布

群発地震の日別頻度分布を図4に示す。観測期間中にOBS4では1010個のイベントが検出されたが、その内、群発地震に属すると判定されたイベントは、602個である。振幅の下限は $M \geq 1.4$ 程度

(ST4で片振幅が約50 μ kine)である。観測開始日(8月28日)の前日に発生し始め(気象庁)、8月末から9月初めの前半期と9月中旬の後半期に活動期が大別される。丁度我々の観測期間中には終息している。全体の活動の傾向は、OBSTK1における頻度分布(気象庁)とほぼ同じである。

地震活動型としては6~7個の前震一本震一余震系列の連続発生を見た群発地震と思われる。図中に、系列中で最も大きい地震のマグニチュード(気象庁)を示しておいた。前半期の活動と後半期の活動は空間的にも分離していることが推定された。

7. 震源決定

震源決定に用いたデータはP・S波初動到達時刻であり、図1に示したように、自己浮上式OBSが4点、ケーブル式の観測点が4点、紀伊半島の陸上点が1点(伊勢)、合せて9点である。

図5に震源分布を示す。震央図、東西鉛直断面への投影図、南北鉛直断面への投影図を示している。プロットした地震は、観測点伊勢で検知された“大きい”もので、5点から8点のP波初動を使って求めたものである。図中に $M=3.6$ の最大の地震が■印で示されている。地震活動の範囲は、最小で 2×2 km、最も大きくて 7×8 kmとなる。最大地震の近くでは、精度がよく、 ± 1.5 km以内であり、密集域からはずれると悪くなっている。決定精度を考慮しても、二つの群で、P波データの使用観測網に系統的な差がなかったことから判断しても、北西側の一群と南西側の一群は、分離しており、活動が大きく二つの領域に分けられる。又、深さに関しても前半の活動期には、25km以深の“深い”場所で主に活動があり、9月10日以降の後半の活動は、22km近くの“浅い”場所で起きている。最大の地震が9月14日に破壊域の東の端におきている。深さの絶対値は、構造に著しく依存する。モホ面の深さを浅くした他のモデルでは、

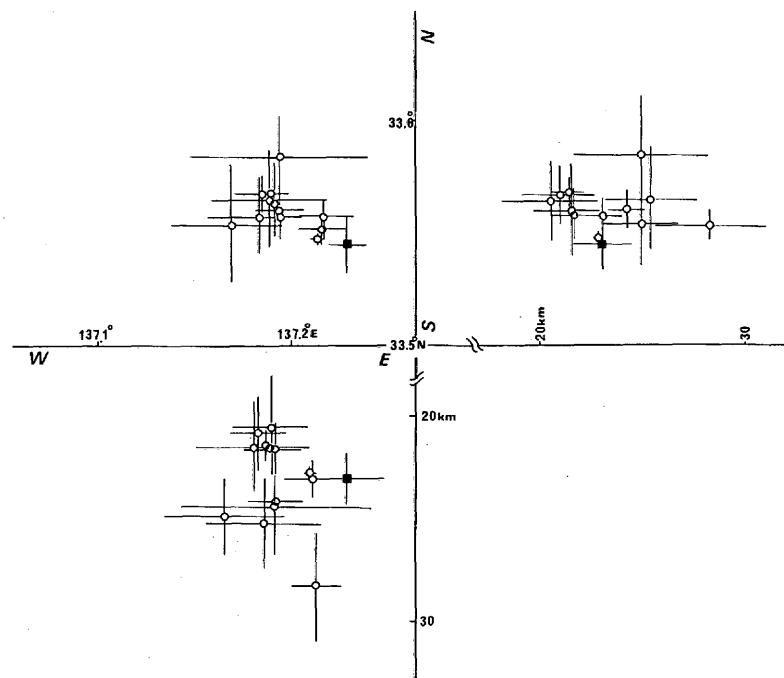


図5 群発地震の震源分布。左上が震央分布。左下が東西断面への投影図。右上が南北断面への投影図。深さは速度構造にかなり強く依存し、他のモデルでは10km程度浅く求まった。

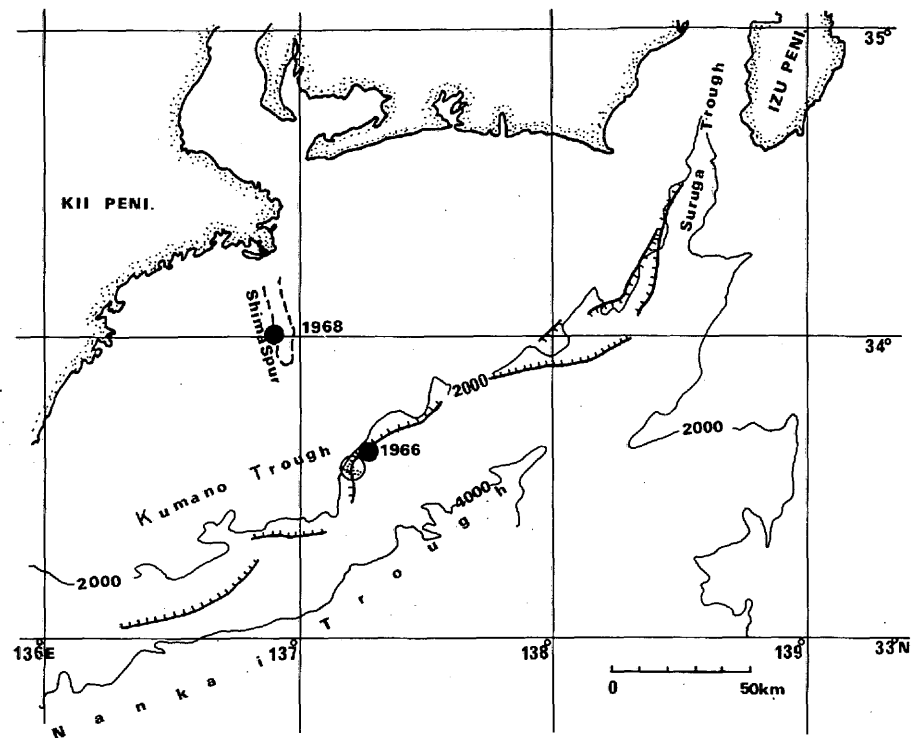


図6 群発地震の発生した場所（円丸で示し、円内の点が震央）は、南海トラフ近辺の海底活断層の近くで発生したと思われる。等深線の数字は、メートル単位である。又、この付近は志摩半島沖地震（1966, 1968）が発生したりして周囲に比べて地震活動が活発である。

約10km 浅くなる。

8. 発生域の特徴

群発地震は、海底活断層の1部分で発生した(図6、なお活断層は地質調査所編海洋地質図を参照した)。この活断層は、南海トラフの陸側に位置し、水深約2,500 mの等深線に沿って、存在するものの一つである。また、北東—南西の走向を南—北に変えている丁度屈曲領域に起きた。このような場所は、複雑な応力が働いているために、破砕度が高く、群発地震をもたらしたものであろうと推測される。

群発地震の発生した場所は、羽鳥徳太郎氏(東大地震研)によると、安政地震の震源域の南端、1944年南海地震の余震域から推定される破壊域の東端、1498年の明広地震の破壊域の南端となっている。

近年の地震活動との関連を見ると、南海トラフの陸側、100kmの幅は、地震活動の低い地域であるが、本群発地震発生域は、志摩半島沖地震(1968; $M=5.6$)の発生を見る等、周囲に比べては、活発なところである。

1961年から1976年の期間の気象庁による、より詳細なサイスミップマップを見ると、1961~1963年に今回の群発発生域のごく近くで、 $M \leq 3$ の地震が起きており、深さも殆んど同じ(震源精度が十分あるとすれば)であった。1964~1966年では、1966年志摩半島沖地震が近くで発生している。1967~1976年期間には、同地域には、 $M \geq 3$ 以上の地震は見い出されていない。ただし、東海沖観測網が出来る以前のデータに基づいているので、存在したのかも知れない。また、今度の群発地震以後、この近辺の地震活動は活発(気象庁)であり今後注意深く見守りたい。

9. 今後の問題点

高性能な自己浮上式海底地震計の開発が昭和53年度から着手され、定常的な観測・使用に耐える域に達しつつある。しかし、まだ改良の余地を残しており、実海域での観測解析の経験を踏まえて、より効率的なシステムを作り上げていかねばならない。当面考えられる本システムについての改良点、及び、海底地震観測上の問題としては、次の

事柄がある。

(1) 雑音レベルの低下

アンテナ等の外装機構部品及び耐圧容器内部部品の固有振動数を計測周波数帯外にして、雑音レベルの低下を計ること。

(2) 発見システムの効率化

距離計測によって、OBSの位置決めを行っているが、方位角、迎角をも計測して、設置・回収方法の確実化・効率化を目指すこと。

(3) 海底とのカプリングの向上

海底の振動をできるだけ忠実に地震計に伝えるために、アンカーの構造・部品の配置に改良を加えること。

(4) 計器の校正、チェックの効率化

地震計の設置前・回収直後に各部の校正、チェックを行うが、その作業の迅速化・正確化を計ること。

(5) 船舶運航

海底地震計の設置・回収に適した調査船が適宜使用できる状態にしなければならない。

(6) 観測研究の実施

海溝部周辺で観測を実施し、多数の事例から、海底地震発生の特徴を把握し、海溝型の地震予知研究を推進させる必要がある。

(7) 海底観測の総合的システム

海底地震観測の手法は、ケーブル式、ブイ式、自己浮上式と3つの主なものがあり、自己浮上式のシステムはほぼ目途が立ったと言って良いが、自己浮上式のものは、定期的なサーベイ観測や実験的・実証的な用途に使うべきである。これら3つの方式による観測を有機的に行って、我々の目標とする海溝付近に発生する巨大地震の予知手法の確立を行う必要がある。

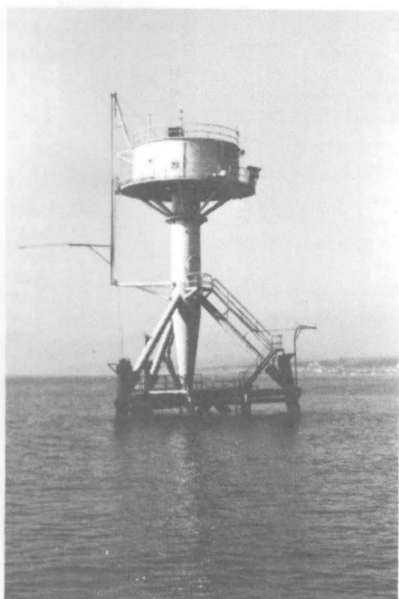
Yukio Fujinawa ・第2研究部地殻変動研究室

Takao Eguchi ・第2研究部地殻変動研究室

Motoo Ukawa ・第2研究部地殻変動研究室

平塚波浪観測塔における各層水温観測について

都 司 嘉 宣・渡 部 勲



1. 平塚波浪観測塔における各層水温観測の変遷

平塚海岸の沖合約1 km、深さ約20mのところに建っている国立防災科学技術センター平塚支所所属の波浪観測塔で、海表面付近から海底までの、いく層かの深さに水温計を置き、おのおの深さでの水温の変化を測定しようという試みは、昭和49年の秋ごろから始められた。当初測温体センサーとして使っていたものは、合金素子によるサーミスタで、水中でも支障なく測定できるように、ガラスに封じられた素子を、さらに外から金属管で保護したものであった。このようなサーミスタによる各層の海水温度の観測によって、当時海洋科学技術センターと共同研究開発していた「曳航

式海洋開発システム」に搭載するためのSTD（水温、塩分、深度）測定装置の温度センサーを検定・改良するさいの基本データを得ることができた。また、後に述べるように、冬期の海水の冷却のありさまや、河川水の海での拡散現象の記録をとることができた。各層に設置されたセンサーの出力は、電子計算機によって数値化され、このころ唯一の記録媒体であった紙テープによってデータが保存された。紙テープの欠点は「かさばる」ことである。まる二昼夜、6層の観測で紙テープ10巻分を費すというぐあいでは、いく度かのデータ採取をするうち、たちまち紙テープを保存するスペースがなくなってゆくという結果を招いてしまった。またサーミスタ自身も衝撃に弱く、出力値の浮動（ドリフト）もややあり、せいぜい数日にわたる臨時的な観測には使いうるが、長い期間設置してデータをとり続けるには不向きなものであることがわかってきた。

このような欠点を克服するため、昭和50年7月から、白金抵抗体を素子とするサーミスタによる各層水温観測を始めた。設置深度は0 m（すなわち海表面）、1 m、2 m、3 m、4 m、5 m、7.5 m、10 m、12.5 m、15 m、17.5 m、および20 m（すなわち海底）の12層である。設置方法は、まず50～60 kgのおもりに、径16 mm程度のナイロンロープをとりつけ、おもりを海底に沈めて、ナイロンロープの他の端を観測塔の下部観測テラスの梁にロープに、たるみを与えぬようにしっかり固定し、ロープの途中の設定水深の位置にサーミスタをとりつけるようにした。出力は12打点の記録計に書かせることにした。こうして念願の各層水温の連続観測の態勢が整うこととなった（図2）。

白金抵抗体のサーミスタは、合金製のそれより衝撃に強く、出力値の長年ドリフトが少ない、と



図1 ステンレス保護管付き白金抵抗体サーミスタ

いう点ですぐれているのであるが、それでも、上のような方法で設置した各センサーは、台風による高波や流木その他の浮遊物による衝撃など、きびしい自然環境の試練の中で、有効な出力値を出しうる限度、すなわち寿命は、2年から3年ぐらいいに止まった。もちろん途中で非常に強い台風が来たときには、各サーミスタはおろか径16mmのナイロンロープや、おもりもろともすべて流失してしまい、その後サーミスタを新たに製作し、設置して復旧するまでの何カ月かは、完全欠測状態が続くということがあった。昭和54年10月19日の20号台風と、今年（昭和57年）8月2日の10号台風がこのような強い台風であった。

昭和52年から平塚支所の計算機システムが改まり、記録媒体として磁気テープが使えるようになった。また観測塔と計算機間のテレメータシステムの強化と、データ採取プログラムの開発によって、各層水温データは常時自動的に採取され、潮位、波高、気温、気圧などのデータとともに磁気テープに記録されることとなった。現在記録は1分間に1度、上記12層のデータが取られており、ほぼ1年間のデータは、ちょうど磁気テープ1巻に過不足なく書きこむことができるようになっている。白金素子のサーミスタによる各層水温の連続観測が行われて以来今日までに、相模湾内で起きた急潮、河川水の拡散、内部波の海底斜面上での碎波現象など、沿岸災害と直接・間接に関連するさまざまな現象を記録することができた。また相模湾の各層の海水温の年変化、鉛直水温差の変動など

1. プロペラ型風速計
2. 放射計・日射計
3. 乾湿計
4. 超音波風速計
5. 容量型波高計
6. サーミスタチェーン
7. バイプロトン型水位計
8. 電磁流向流速計
9. 長周期波計
10. 電気伝導度計

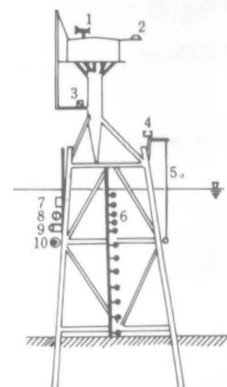


図2 平塚波浪観測塔での観測態勢。サーミスタチェーンによって各層水温観測が行われている。

のデータが得られたことにより、日本のような中緯度地方での海から大気への熱、水蒸気供給量の算定の基本データとして資することができるようになった。これらの研究が進めば、中緯度地方でよく発生する温帯低気圧、あるいは梅雨前線の発達に、相模湾とその周辺の海がどのように熱と水分の供給者としての役割りを果たしているのかを、定量的に論ずることができるようになるであろう。

それでは、このような各層水温観測によってとらえられたおのおのの現象について、順に見ていくことにしよう。

2. 河川水の拡散

波浪観測塔が沖合から来る塩分の濃い（34‰以上）、温度の高い（冬でも13度以下にはならない）黒潮系の海水にとりまかれているときには、水の色は「透明で澄んだ黒色、または濃い緑色」をしている。ところが塔の東北東約2kmの所にある相模川の河口から流出する陸水が、海水と混じり合いながら海の表面に拡がっているときには、陸成の粘土質の粒子を含むため黄色、又は白くにごった色をしている。陸水は塩分を含まないため海水より軽く、したがって海水と混じり合いながら海の表面をおおうように拡がるのである。黒潮系の色の濃い海水と、陸水の混じった白濁色の海水とはしばしばコントラストのはっきりした境界線を（フロント）を形成する。冬期には海水の温度の方が河川水の温度よりかなり高いので、このよう

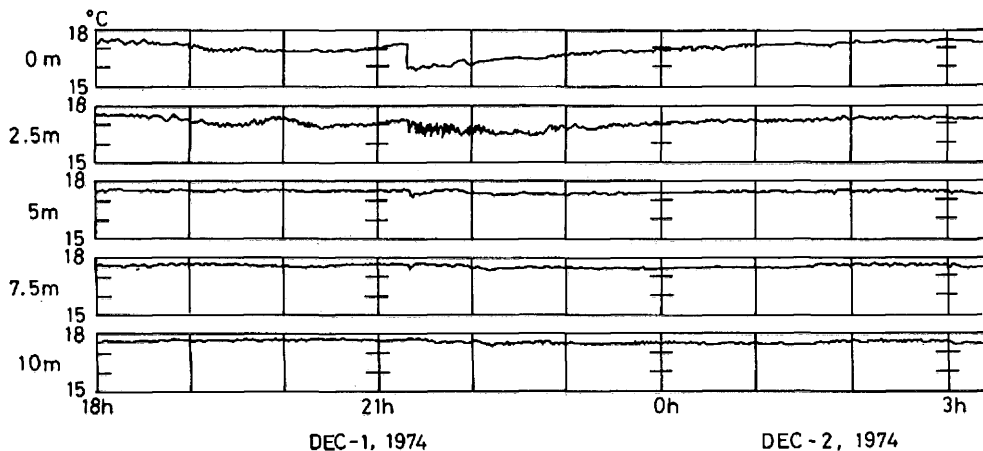


図3 陸水の拡散を示す各層水温変化。合金製サーミスタによる観測結果。

な水塊のフロントが塔を横切るとき、海面近くに設置したサーミスタによる水温の測定値が急変するという現象が見られる。図3はこのような記録の例である。この例では0m（すなわち海表面のごく近く）での水温が21時15分ごろ1.3度ほど急降下し、4時間ほど経過してゆっくりもとの温度水準に戻っていったようすがみられる。2.5m水深の記録は水温の降下量は0.6度ほどで0mよりも少し遅れて始まっている。そしてフロントが通過してから1時間ほどは水温ははげしく変化している。このことはつまり、フロントの後では、陸水混じりの表面水と、下の重い温度の高い海水との内部境界面が2.5m水深の近くにあって上下している結果、そのセンサーのある位置をこの内部境界面が横切るたびに、水温がジャンプしていると解することができるであろう。このような内部境界面で、上下の水がもっとも活発に上下の水が混じり合っているはずである。フロントが通過するさいおきる海水温の降下はわずかながら5m水深と7.5m水深の水温記録にも現われている。しかしこの水温降下はほんの数分続くだけですぐ元の温度に復帰している。すなわち陸水混じりの海水は、フロント部分で7.5m以上もあって最も厚く、フロントの後には、せいぜい層の厚さ2.5mほどの“しっぽ”がくっついていているという状況であることを示している（図4）。このような陸水の拡散、海水との混合のありさまは、発電所の温排水、工場廃水の海への放出のさいにも起きるものと考え

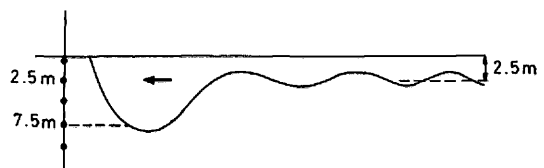


図4 陸水混合水の拡散様式の模式図。黒丸は図3に示したサーミスタの設置した水深。

られる。

3. 冬期の風による海水の冷却現象

前にも述べたように、暖い黒潮系水が入りこんでいる平塚海岸での海水温度は、二月末から三月にかけての最も冷たい時期でも、13度以下になることはまずない。これに対して気温の方は、冬期平均5度前後で、氷点下となることもざらにある。すなわち、平塚海岸では冬期、海水と大気との温度差は10度かそれ以上にも達する。したがって北の季節風の強いときには、海水は風によって強く冷やされ、また蒸発が促がされて、海表面付近に冷たい、塩分の濃い重い水が形成される。図5はそのような状況での各層水温記録の一例である。この日は海水温は表面から海底までほぼ16.0度と一定であった。これに対して気温は日中は6.5度ぐらい、日没後は4度から3度まで降下した。す

なわち大気は海水より10度から13度も低かった。15時30分ごろまではほぼ無風であったものが、このころから平均風速2 m/sec ぐらいの西風が吹きはじめ、17時に北風に変って、18時ごろから平均風速が4 m/sec とやや強くなった。このような大気の状態と歩調を合わせて、17時半ごろからまず水深0 m（海表面付近）の水温が下がりはじめ、時刻が進むにつれて形成された重い水がしだいに深い層へ沈降してゆき、3時間後の20時半ころには12.5m水深にまで達しているようすを読み取ることができるであろう。表面付近の水温は19時以後再び上昇し、21時ごろにはほとんどもとの16度の水準に戻っている。風が強くなったのだから、もっと冷却が進行してよさそうであるがそうはなっていない。このようになった原因は二つ考えられる。一つは強くなった北風のため、海岸近くで、海の底付近にあった暖い海水の湧昇が誘発され、

それが塔付近の海表面に運ばれた、という考え方と、風が強くなったことにより風波が発生し、海水の鉛直対流が盛んになって、この海域のいたるところで深い所にある暖い水との鉛直混合が盛んになったためという考え方である。いずれが合理的であるかこの観測結果だけでは判定のしようがないが、今後の興味深い研究課題となるであろう。海水が大気によって冷やされ、蒸発が促された、というのは裏をかえせば大気側では海水から熱と水分が供給されたことになる。このようなデータは日本のような中緯度地方での温帯性低気圧の発達理論の基本資料となるであろう。

4. 急潮について

海や湖の温度構造は大気とは逆に、冬に鉛直混合が盛んとなって、水面付近から底までほとんど

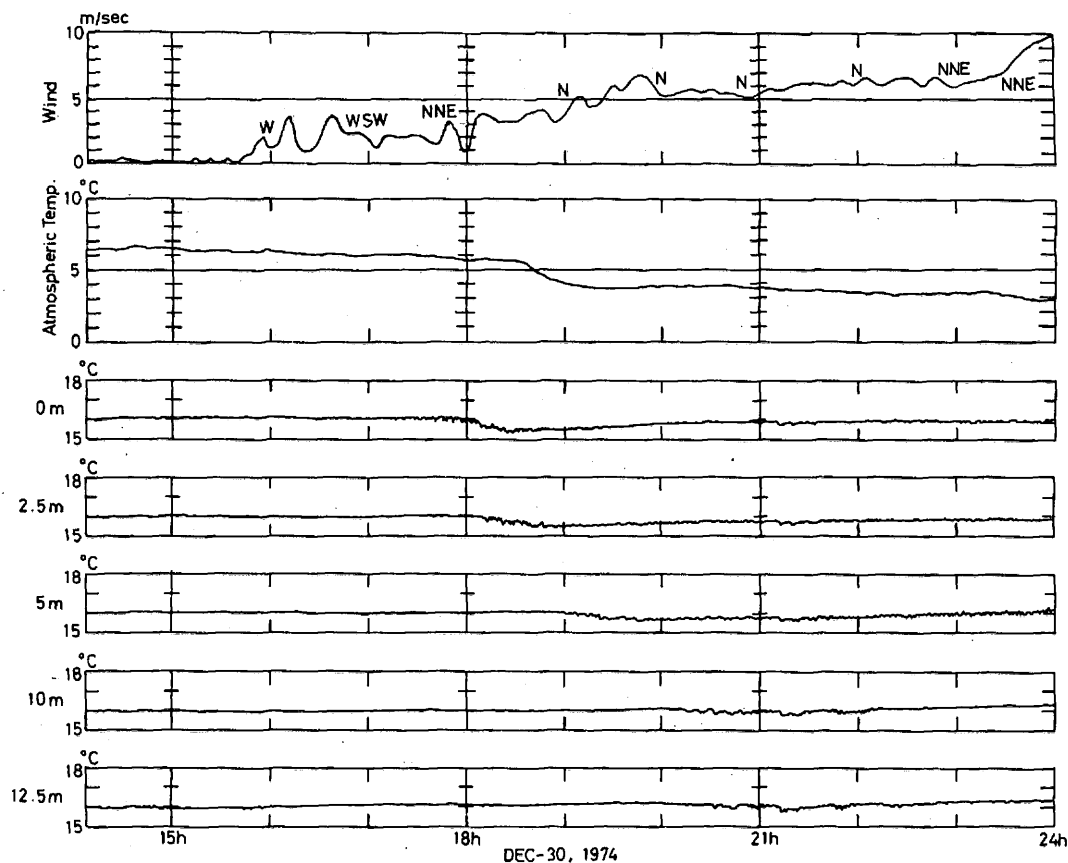


図5 大気による海水の冷却。上から観測塔における風速・風向・陸上（平塚海岸汀線より約300 mの所にある防災科学技術センター平塚支所の露場百葉箱での）気温、および各層水温を示す。

同一の温度になるのに対し、夏は鉛直混合がおきにくく、水面付近が温度が高く底が温度が低いという、著しい温度の層構造をなすのが普通である。このような大気と海の差は、大気の場合には地表付近で熱せられて軽くなった空気が原因で鉛直混合が起きるのに対して、海や沼の場合には、冬の水面で冷やされ、重くなった水が沈降することによって鉛直混合が起きるということに由来している。平塚の波浪観測塔では、夏の海面付近の水温は24度～28度ほどであるのに対して、海底付近は20度ぐらいである。

このように夏の海というのは水温の深さによる差が大きいのが普通であるのに、昭和50年8月4日午後、図6のように真夏にもかかわらず、突然水温が表面から海底まで一定になってしまうということが起こった。(図6、図7は時間は右から左に進む)。この日の12時ごろから14時半ごろまでのわずか2時間ほどの間に、「海水の総入れ替え」が起きてしまったのである。このように海の水がきわめて短い時間内に突然総入れ替えが起き、水温分布の急変や、大きな流速値が観測され、と

きには漁船や漁具・定置網に被害が出る現象は急潮とよばれる。急潮は三陸地方や津軽海峡東部でしばしば起きていと報告されている。これがいつ、どこでどのように起きるかを予測することは今後の課題であるが、人工衛星による宇宙空間からの海水の動向の監視などが有効な対策となるであろう。

5. 内部波の砕波について

鉛直水温差のはげしい夏の各層水温連続観測記録の上に、かなりひんぱんに、海底近くの水温の値が急降下し、その後ゆるやかにもとの温度に復してゆく現象が見られることがある。図7にはこのような現象がいくつも現われている。ことに9時30分、13時50分ごろ、16時10分ごろ、21時45分ごろおきた四回はとくに著しいものである。13時50分の例では、水深20m(海底)の水温が3,4分のうちに25.3度から21度台に急降下している。しかもその下り始めの形は水温のカーブが直角に近い角度で折れていることからわかるように「前ぶ

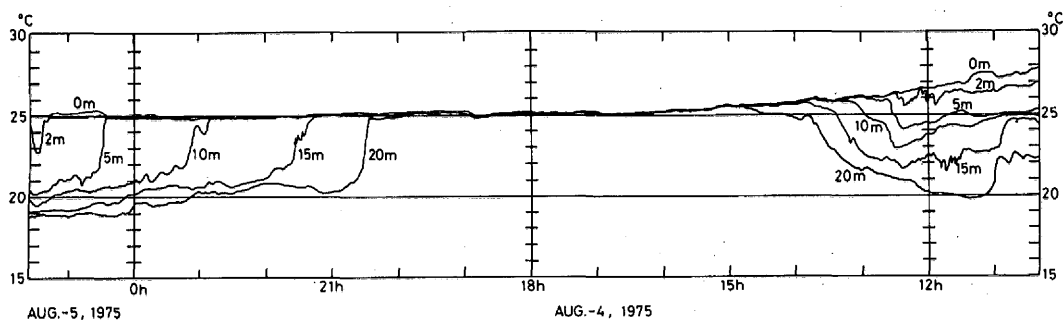


図6 昭和50年8月4日に起きた急潮のときの各層水温の変化

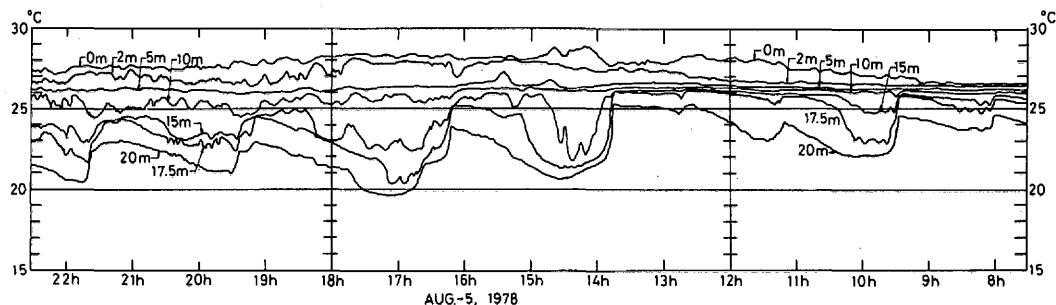


図7 内部砕波がひんぱんに起きているときの各層水温の変化

れもなく突然降下する」という形の水温変化である。図7をよく見ると、上にあげた四回の他に、やや小規模な同様の現象が少なくとも六回起きていることがわかるはずである。これらの現象はすべて内部波が海底斜面上で砕波しているものである。内部波というのは海の上層と下層に水温や塩分濃度の差によって密度の差があるとき、その境界面を伝わる波のことである。ちょうど水と空気の境界面を伝わる普通の意味での波が、なぎさの斜面の上に打ち寄せて砕け、そのあと水が斜面にそって海水が引いて行くのと同じ現象が、密度成層をなす海の中で起きているのである。ただ、普通の波にとつての空気が上層の軽い水に、海水が下層の重い水に置き換わっただけの現象である。このような内部波の砕波現象は、急潮とちがって、きわめて日常ありふれた現象であるといえる。この現象がありふれて起きているため、図7を見てもわかるように夏の水温変化は、ほとんどいつも海表面よりむしろ海底の方がはげしいといえる。「海表面は昼は直射日光をあびたり風にさらされたりしているから、深い層に比べて水温の変化がはげしいだろう」という、一見常識的な判断は誤りなのである。このような内部砕波の現象は防災事業上二つの問題を提起することになるのであろう。一つは、この現象が、より深いところにあった冷たい海水が、かなりのスピードで海底斜面にそって上昇して来るものであるから、この深さに設置された漁礁、海洋構造物の基礎などを支える周囲の砂を、長い間には洗掘、流失させてしまうことはないかということである。第二には、このような密度急変面は、公害の源となる毒物をはじめ多くの物質が集められやすい層である。なぜなら下の重い水よりは比重が小さく、上の軽い水より比重の大きい物質は、みなこの密度急変面に集中して浮遊するからである。そこに内部波が生じ、海岸に近い海底の斜面で砕波するとなると、その場所は、そのような浮遊物の「たまり場」となるであろう。ちょうど嵐に伴う高波によって砂浜に流木や海洋投棄物が砂浜にたくさん打ち上げられるのと同じように。長年比重1よりわずかに重い有害物質を出し続けた工業地帯の海岸の沖合の、ある特定の深さのせまい限られた海域の海底に、そのような物質が高積し続けるということは、ありうることなのである。

6. むすび

地震観測にしろ、気象観測にしろ、あるいはここに述べたような海洋観測にしろ、観測には臨時観測的なものと定常観測的なものとの二種類ある、といえる。臨時観測的なものというのは、たとえば長野県松代地方で群発性の地震活動が盛んになってくれば、その観測のために移動の容易な測器を現地に運び臨時の観測点を設置するという風なもので、ちょうど獲物を見つけたライオンが獲物に飛びかかって行くような観測のタイプである。いま一つは測候所における気象観測のように、とくにどの現象をとらえようという目的で観測点を選ばれることはなく、ただ長い年月、同一の地点での、同一形式のデータをとることを目的とする観測のことである。いまこれを岩にへばりついて、たまたまたよって来るエサに触手をのばすことにより食物を獲得する「いそぎんちゃく」の生態に似ているので、これを「いそぎんちゃく型の観測形式」とよぶことにしよう。

ここに述べた各層水温の連続観測は、とくに昭和50年に白金抵抗センサーによる観測を始めて以後は、典型的な「いそぎんちゃく型」の観測である、といえる。「いそぎんちゃく型」の観測は「ライオン型」の観測よりも、投下する費用や労働量当りの、現象把握のための有効データの得られる量が少ないのが通常である。ときには、「維持費ばかり食って功が少ない。」という非難を受けることすらある。しかしながらここで述べた急潮の現象のように、起きる頻度の少ない、しかもいつ起きるかの予測のたて難いような現象は、「いそぎんちゃく型」の観測によってしか、データは得られないのである。災害を伴う自然現象の多くもまた、予測が不可能に近いものがあり、そのような現象をとらえるものは、ほとんどいつも常駐の測候所や検潮所など、「いそぎんちゃく型」の観測によって得られるものである。平塚波浪観測塔における各層水温観測もこのような視点に立って考えられるべき観測事業であり、今後もさらに観測を継続して行く決意である。

Yoshinobu Tsuji・平塚支所沿岸防災第1研究室
Isao Watabe　・平塚支所沿岸防災第2研究室

防災科学技術

No. 47

昭和57年12月6日 印刷

昭和57年12月10日 発行

編集兼
発行人

国立防災科学技術センター
茨城県新治郡桜村天主台3丁目
TEL (0298) 51-1611(代)

印刷

前田印刷株式会社
