

災害対策システム運用装置による海底火山活動の監視手法について

大谷康夫, 山根勝雄: 海洋調査課

笹原昇, 西澤あずさ: 海洋研究室

小野智三: 第六管区海上保安本部

Monitoring submarine volcanic activity using T-phases recorded at ocean bottom stations

Yasuo OTANI, Katsuo YAMANE: Hydrographic Surveys Division

Noboru SASAHARA, Azusa NISHIZAWA: Ocean Research Laboratory

Tomozo ONO: Hydrographic and Oceanographic Department, 6th R.J.C.G. Hqs.

1 はじめに

海洋情報部において、地震や火山活動の情報は漁船からの通報や関係機関の公開情報によって知り得ることが多い。海上保安庁は、航空機等によりこの情報を迅速に確認し、災害の未然防止に対応すべく努力している。特に海底火山噴火においては通行船舶に対し安全な航海のために情報を早期に提供する必要があるが、現在のところ当庁が担うべき航海の安全確保に関し、海域における地震発生も火山噴火活動も共に前兆現象を把握する段階には至っていない。

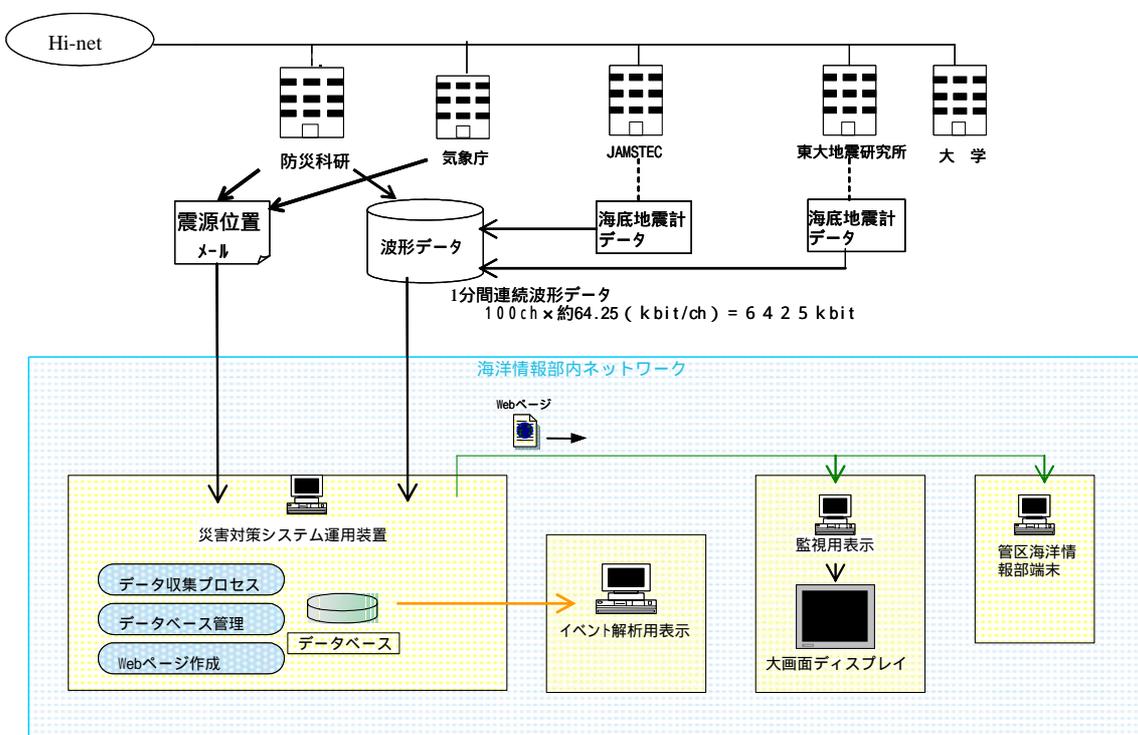
ここでは、得られた情報をより迅速に確認する

他の方法として、日本全国に展開されている地震観測網や海底に設置されている海底地震計の情報を入手し、海域で発生する火山噴火や地震の監視を行う災害対策システム運用装置について紹介する。

また、これまでに実際に同装置によって得られた海底火山噴火や地震の活動に伴う情報例をあげ、その監視方法の可能性を述べることとする。

2 システムの概要

災害対策システム運用装置は、第1図に示すように各防災機関や研究機関から地震に関する情報



第1図 システム構成およびデータフロー図

Fig.1 System configuration and data flow.

を、ネットワークを利用し自動的に入手している。海洋情報部が情報を入手するに当たっては、防災機関としての責務を担うための開発研究を目的として、各提供機関に対してデータの利用許可を受けている。したがって、得られた情報を元に作成された Web ページは海洋情報部内だけで見ることができる。

(1)震源情報

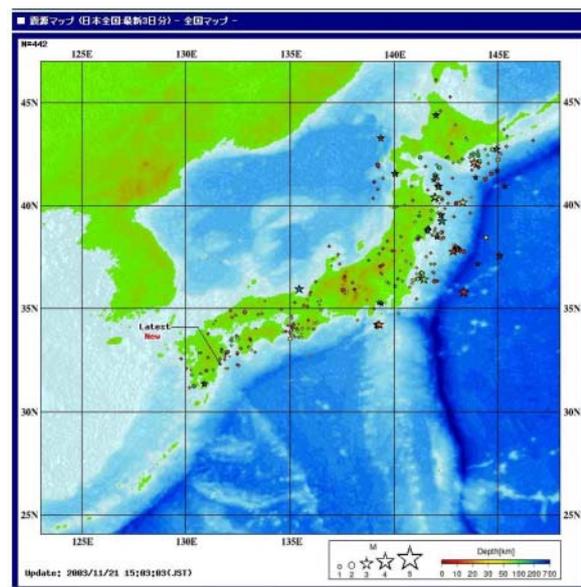
震源データは防災科学技術研究所及び気象庁から提供を受け、毎分ごとに新たに発生する地震の位置を第 2 図に示すように部内 Web ページの地図上に表示する。この Web ページを開いておけば自動的に最近 3 日間の震央位置を見ることができる。震央位置はマグニチュードによって 5 段階の記号で表示され、カーソルを記号上に置くことにより発生時刻が表示される。また、勤務時間外にも速やかに対応できるようにマグニチュード 5.5 以上の地震発生時には、登録された携帯電話等のメールアドレス宛に震源情報を自動的に送信するよう設定している。得られた震源情報は同システムに約 3 ヶ月間保存している。

(2)連続波形情報

日本周辺には各機関が配置している地震観測点が約 1,150 カ所ある。このうち海洋情報部は海域を監視するために必要とする約 50 箇所 100 チャンネル分の波形データ（地震計、海底地震計、ハイドロフォンなど）を 1 分または 10 分間隔で提供を受け、1 分毎ファイルに分割して約 2 ヶ月間システム上で保管している。これらの波形データは第 3 図に示すようにバンドパスフィルターで処理し、部内 Web ページに 20 分毎に簡易表示され、地震観測点ごとに見ることができる。

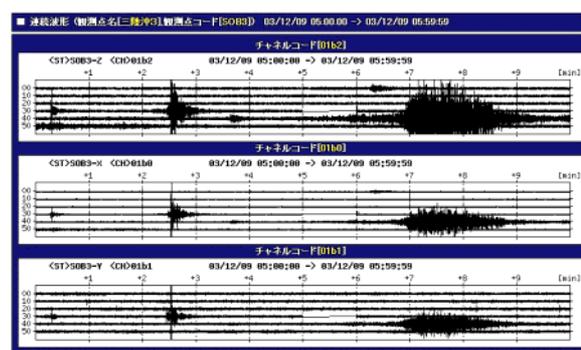
一般に各地点のデータは 3 チャンネル（上下振動、X 方向、Y 方向）からなるが、1 チャンネル（上下振動のみ）のものも存在する。

また、詳細な波形は本システム上において波形表示専用のソフトウェアで見ることがもできる。全ての機関の連続地震波形データは WIN フォーマ



第 2 図 震央位置図表示例

Fig.2 Epicenter map.



第 3 図 地震記録表示例 (2-10Hz BP filter)

上段：上下振動 中段：X 方向 下段：Y 方向

Fig.3 Display of seismogram.

Top: Vertical, Middle: X direction,

Bottom: Y direction.

ット（卜部・東田，1992）で提供されている。波形を表示する場合には専用の UNIX 系解析表示プログラム win を利用することが必要である。このプログラムは東京大学地震研究所の Web 上で公開され、本災害対策システム運用装置上にもインストールされている。

3 イベント連続波形データの処理

杉岡・深尾(1999)によれば、T 相（地震計に検知される水中音）には地震に起因するものと海底

火山活動に起因するものが存在し、SOFAR チャンネル軸を中心とした低速度層を屈折しながら伝搬するとされている。実際にこの T 相が海底に設置された地震計によってどのように捉えられているか調べてみた。

(1)発生位置の判別

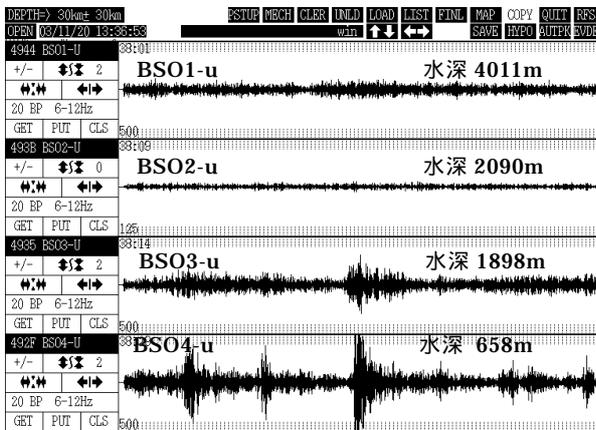
現在ある海底地震計の配置では、地震計の記録から南方諸島海域及び南西諸島海域における発震位置を正確に特定することは難しい。しかし、多発する地震海域や火山噴火活動は発生する位置が定まっていることから、各海底地震計で地震や噴火による水中音から発生する T 相の到達時刻を比較することで対象とする海域または海底火山で発生した波形であるか判定することが可能である。

さらに、P 波、S 波及び T 相の到達時間を揃えてそれぞれリデュース表示することにより、複数起こった地震か反射波か、または水中を伝わってきた波であるかを見極めることも可能である。

(2)T 相の判別

房総半島沖合に設置された海底地震計で、南方海域（福岡ノ場）で発生している T 相と考えられる上下動の最も顕著な波形を取り出し、その特性を調べてみた。

まず、設置された深さの異なる海底地震計の各



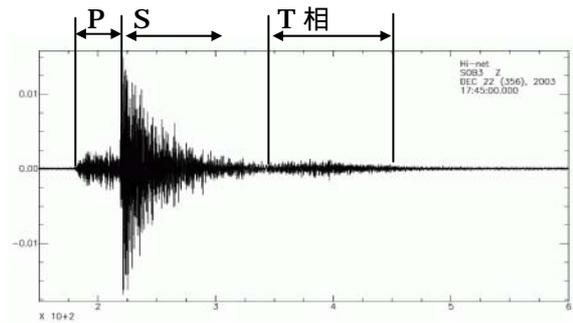
第 4 図 房総沖海底地震計の深度別記録

Fig.4 Comparison of seismograms recorded at different depth by ocean bottom seismograph installed off Boso.

記録から、T 相が存在すると考えられる時刻の波形を切り出し、その振幅を比べてみた。この結果は第 4 図に示すように水深 658m に設置された BSO4-U の海底地震計に波形がはっきりと現れている。そのほか水深 1,898m に設置された BSO3-U にも若干の波形を検知することができるが、水深の深い場所に設置された海底地震計では検知できていない。

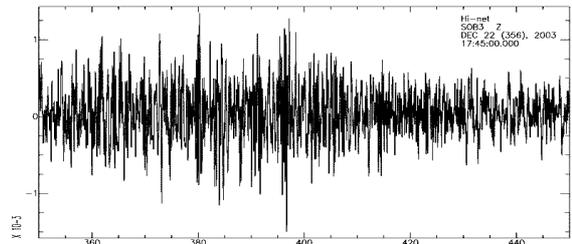
なお、これらの波形は 6Hz より低い周波数域では振幅が非常に小さい。これは、この波形が後述するように海底火山噴火に伴う噴火音であり、SOFAR チャンネル層を伝播したためと考えられる。

次に、北海道釧路沖（水深約 1,600m）の海域で発生したマグニチュード 5.8、震源の深さ約 30km の地震について、各海域の海底地震計記録の特性を調べてみた。サンプリング周波数は地震



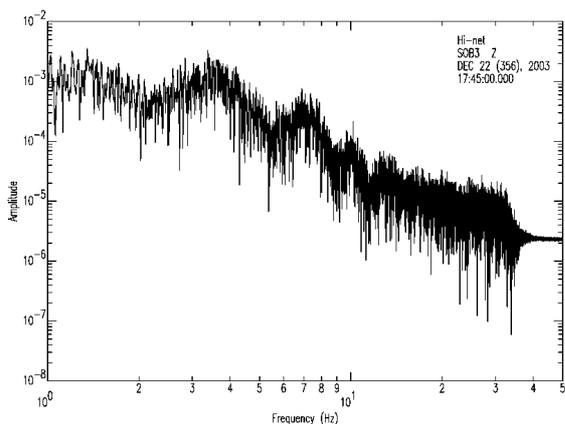
第 5 図 2003 年 12 月 22 日 17 時 47 分釧路沖地震の三陸沖海底地震計における波形（2-15Hz BP filter）

Fig.5 Seismogram recorded by ocean bottom seismograph off Sanriku from the Kushiro-oki Earthquake at 17:47 December 22, 2003.



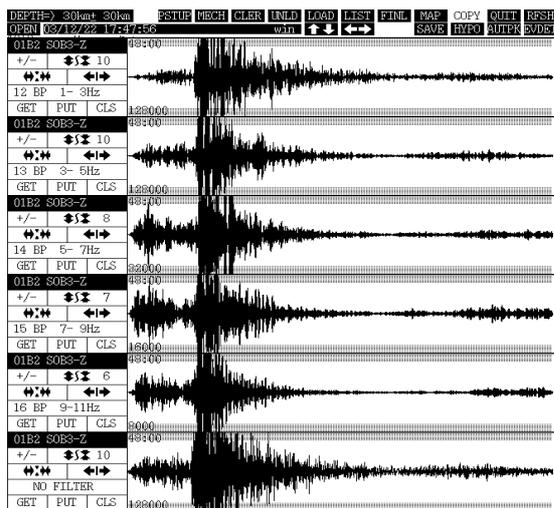
第 6 図 三陸沖海底地震計における釧路沖地震の T 相
Fig.6 T-phase recorded by ocean bottom seismograph off Sanriku from the Kushiro-oki Earthquake.

計によって違うが、多くは 100Hz である。第 5 図に示すように、三陸沖水深 1,057m に設置されている海底地震計で T 相が観測された。この T 相を切り出して拡大したものを第 6 図に、FFT で変換した周波数特性を第 7 図に示している。第 7 図において、3.5Hz 及び 7Hz と 10Hz の付近にピークが認められる。これらのピークは、P 波及び S 波から T 相に変換される場合に見られるもので、



第 7 図 三陸沖海底地震計における釧路沖地震 T 相波の周波数特性

Fig.7 Frequency characteristic of T-phase recorded by ocean bottom seismograph off Sanriku from the Kushiro-oki Earthquake.



第 8 図 三陸沖海底地震計記録の各周波数帯域の波形
Fig.8 Seismograms of each frequency band recorded by ocean bottom seismograph off Sanriku. The frequency band for each trace is shown in the left box.

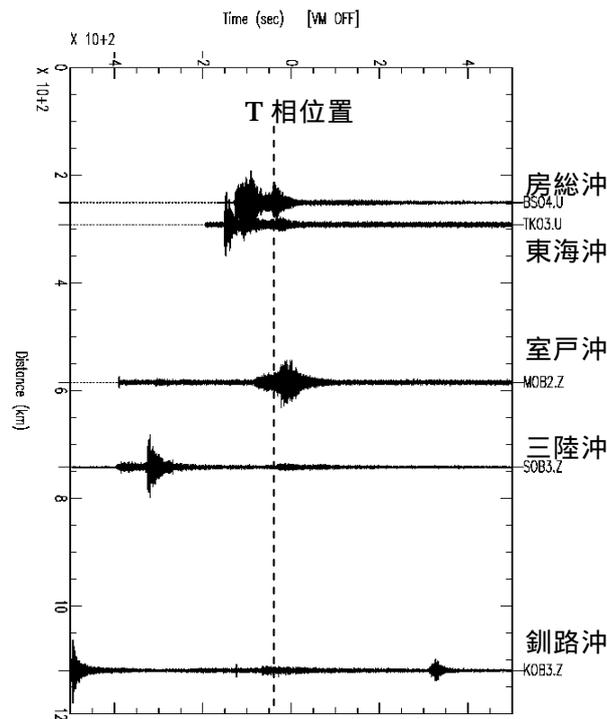
Jacques, Emile (1998) により研究されている。

第 8 図には T 相の各バンドパスフィルター毎の P 波及び S 波との相対比較を図示した。この図から T 相を抽出するためには、7Hz から 9Hz のバンドパスフィルターを使用するのがよいと解る。

なお、T 相の検出には震源と海底地震計の位置関係も重要である。釧路沖で発生したマグニチュード 4 から 5 の地震については、三陸沖の海底地震計では T 相が検知されるが、それよりも西側に位置する海底地震計では何れも T 相は明確に検知されなかった。一方、南方諸島や伊豆諸島の付近海域の地震については、発生場所や規模によって各々違った海底地震計で T 相が検知されている。

(3)火山監視手法の検討

今回は火山噴火による T 相が地震に伴う T 相と同じ水中音であることから火山噴火のかわりに南方諸島方面に位置する比較的大きい八丈島近海地



第 9 図 八丈島近海地震の記録を 1.5km/sec でリデュース表示
Fig.9 Seismograms from Near-Hachijushima Earthquake. (Reduction velocity: 1.5km/sec)

震に伴う T 相を用いて監視手法を調べることにした。

最初に，T 相の記録された海底地震計の上下動のチャンネルを選択し，地震発生時刻から 30 分間の波形を切り出した．次に波形処理ソフトウェアである SAC を使用するため，WIN フォーマットから SAC フォーマットへ変換した．最後に S/N を向上させるための 2 から 15Hz バンドパスフィルターを通して，発震位置からの水中伝播速度でリデュース表示を行った．その結果を第 9 図に示す．室戸沖以外の房総沖，三陸沖，東海沖及び釧路沖で T 相の存在を確認することができたことから火山噴火による T 相もリデュースし確認することができると云える．

ここで，室戸沖では振幅の小さい P 波と T 相の位置に振幅の大きな波形が検知されているが，これまでの解析だけでは T 相であると断定できない．

(4)海底火山活動の実例検証

平成 15 年 11 月初旬から 12 月にかけて変色水が視認され，火山活動が活発化していた福徳岡ノ場について，海底火山活動の監視方法の可能性を検証する．

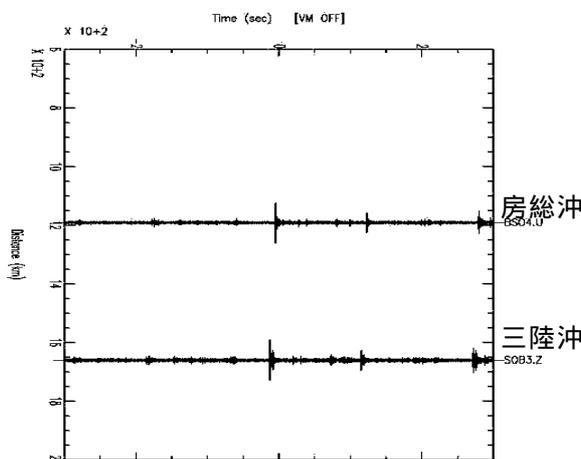
福徳岡ノ場は平成 15 年 11 月 5 日に変色水が認められ，その後も活発な変色水湧出を伴う活動を繰り返している．11 月 20 日の 13 時 27 分には断続的に海底からの噴火に伴う変色水の湧出が視認された（写真 1 参照）．

この時刻の連続波形を切り出し，前述した八丈島近海地震と同様に処理を行った．発震位置からの水中伝播速度でリデュースしたところ，第 10 図に示すように房総沖及び三陸沖の海底地震計に同様な波形が認められた．釧路沖の波形は不運にも公開されていなかったため，房総沖と三陸沖の 2 局のみの比較ではあるが良く整合している．つまり，表示された記録は福徳岡ノ場において発生していると推定される．この波形は地震によって発生した T 相の紡錘型波形とは違い，海中で噴火したため打突した音のように断続的な単発の減衰型波形を呈している．また，振幅のやや大きい波



写真 1 2003 年 11 月 20 日福徳岡ノ場の変色水
（第三管区海上保安本部羽田航空基地撮影）

Photo.1 Discolored water of Fukutoku-oka-no-ba on November 20, 2003.



第 10 図 2003 年 11 月 20 日 13 時 25 分頃の福徳岡ノ場の波形

（7-12Hz BP filter，1.6km/sec リデュース）

Fig.10 Seismograms of Fukutoku-oka-no-ba around 13:25 November 20, 2003.

（7-12Hz BP filter, Reduction velocity: 1.6km/sec）

形は約 2～3 分間隔で起こっていることも判読できる．

以上により，海底地震計の記録からフィルタリング及びリデュースすることによって T 相を確認し，海底火山活動状況を監視することが可能であると云える．

4 おわりに

南方諸島海域における火山活動において、本土近傍に設置された海底地震計で捉えるには遠距離まで到達する大きな震動が必要であるが、地中を伝わる地震波は減衰されるために火山に起こるような微弱な震動は遠方まで達しない。しかしながら噴火に伴い水中を伝わる音は過去において、はるか米国の沿岸まで達したことが確認されており、発震位置からの距離に加え到達経路も T 相の受信に影響を与える。今後はこの性質を利用して、南方海域をはじめとする全ての海底火山について、個々に噴火に伴う水中音を監視する画面を作成するとともに、噴火活動のイベントを自動的に判断するソフトを開発し、火山活動の監視の強化を図っていきたい。

また、今回は海底地震計によってのみ T 相の抽出を検討したが、陸上沿岸域に設置された S/N がよい地震観測点において、規模の大きい地震の場合には T 相が検出されたことがあり、これらについても今後の海底火山監視に利用できるよう開発を進めていきたい。

最後にこの度の災害対策システム運用装置を構築するにあたってご協力をいただいた防災科学技術研究所、海洋科学技術センター及び気象庁ならびに各大学の研究機関の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

Jacques Talandier, Emile A. Okal; On the Mechanism of Conversion of Seismic Waves to and from T Waves in the Vicinity of Island Shores, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol.88 No.2, 621-632, (1998)

斉藤正徳; 漸化式デジタル・フィルターの自動設計, 物理探鉱, vol.31 No.4, 112-135, (1978)

杉岡裕子, 深尾良夫; 水中音波で探る海底火山活動, 超音波テクノ, vol.11, 7-11, (1999)

ト部卓, 末田進也; WIN--微小地震観測網波形験測支援のためのワークステーション・プログ

ラム(強化版), 地震学会講演予稿集, No.2, 331-331, (1992)