

海形海山KC峰週辺の水温及び流れの観測

満澤巨彦*¹ 門馬大和*¹ 堀田 宏*¹
 深海調査グループ*¹

曳航式ソーナー及びカメラを用いた曳航調査,あるいは「しんかい2000」による潜航調査により我が国周辺海域においても,火山活動等に伴う熱水現象が確認されている。

海形海山のKC峰においては,通産省工業技術院地質調査所及び海洋科学技術センターによって数多くの調査が実施されており,熱水活動に伴う諸現象が観測されている。1986年11月には,カルデラ南壁において熱水質帯が観察され,1987年6月には曳航式カメラにより,中央火口丘において海水の白濁と小型白色のカニの存在が確認され,翌年5月の潜航調査で同地点において,温水湧出が確認された。

熱水活動域周辺の水温及び流れは,熱水性噴出物等の分布あるいは熱水活動に依存する生物の活動と密接に関係しており,周辺環境を把握するための重要な手がかりとなる。

ここでは,今まで実施された各調査において観測された水温及び流速のデータより得られた,KC峰周辺の水温変動及び流れの特性について報告する。

Measurements of Water Temperature and Current around the Submarine Caldera in the KC Kaikata Seamount

Kyohiko MITSUZAWA*², Hiroyasu MOMMA*², Hiroshi HOTTA*² and
 Deep Sea Research Group*²

Recently, hydrothermal phenomena associated with volcanic activities were found by deep tow surveys and deep submersible surveys in the adjacent seas of Japan.

In the Kaikata Seamount, a volcanic front of Izu-Ogasawara Island-arc system, hydrothermal activities were observed by the Geological Survey of Japan and JAMSTEC. In November 1986, a hydrothermal alteration zone was observed inner wall of the caldera. In June 1987, a whitish turbidity and many white living crabs were found on the central cone of caldera

*¹ 海洋科学技術センター 深海研究部

*² Japan Marine Science and Technology Center

using JAMSTEC/Deep Two Camera. This time on May 1988, we confirmed hydrothermal mounds and populations of brachyuran crab (*Bythograea*-type), sole (*Cynoglossidae*) and deep-sea mussel (*Bathymodiolus*-type) at the central cone of caldera using "SHINKAI 2000".

Diffusion of hydrothermal ejecta and biological activity are associated with characteristics of water temperature and bottom current. This paper reports on measurements of water temperature and current obtained by several survey cruises.

Inside the caldera except the central cone, hydrothermal phenomena were most active in November 1986 through the several measurements of water temperature. According to the Aanderaa current meter, the intermittent current was measured in the caldera bottom; maximum velocity was about 5 cm/sec. Consequently, there was no steady current such as tidal current or convection current generated by the hydrothermal activities.

In the area of the central cone, the bottom currents and directions were very variable ranging from few cm/sec to about 20 cm/sec. According to the FFT analysis, there was time change of about half a day depending on tide.

1. はじめに

小笠原諸島父島の西方約120kmに位置する海形海山の海底カルデラ (KC峰) では、カルデラ南壁、水深800m付近において熱水変質帯の存在が確認され、また、カルデラ底に一定水温の水塊が存在していることが観測されている。(中尾・湯浅編, 1986, 1987)

海洋科学技術センターでは、1986年6月より「深海曳航式ソーナー及びカメラ」(Momma et al., 1988) を用いた曳航調査、「しんかい2000」による潜航調査を行い、火山微細地形及び熱的活動に伴う環境変化に関する調査を実施している。その結果、1989年5月「しんかい2000」により中央火口丘において温水湧出を確認した。ここでは、各調査で採取されたXBT, CTD等による水温データを基にカルデラ内の水温分布の変化及び中央火口丘の温水湧出について、さらにカルデラ内、中央火口丘の海底付近の流れについて述べる。

2. 水温測定

2.1 カルデラ内水温断面及びその変化

水温測定は、XBT及び「しんかい2000」、「深海曳航式カメラ」(大塚ほか, 1988) に装備されているSTDを用いて行った。特に、1986年6月18日及び1987年6月2日には、カルデラ内の水温構造を調べるために、XBTを南南西-北北東方向にカルデラ壁をはさんで投入した。投入位置は、表1及び図1に示してある。図2には、それぞれの水温鉛直分布を示してある。一般的に、水温の鉛直分布はカルデラ外の分布(図2A-3, B-5)にみられるように、海表面より深度100m程度まで水温はステップ状に急勾配で下がり、その深ではステップ構造を保ちながら水温勾配は緩やかになるものの徐々に下がり続ける。これに対し、カルデラ内の鉛直分布では、表層より深度600m付近まではステップ構造はみられるが、カルデラ壁の最浅深度である約500mより勾配は急に緩やかとなり、それ以深のカルデラ内では、水温はほぼ一定となっている。

表1 XBT観測点

Table.1 Locations of XBT observations

STATION	DATE	LAT.	LONG.	DEPTH(m)
A-1	1986.6.18	26° 41.66'N	141° 05.00'E	940
A-2	1986.6.18	26° 41.95'N	141° 05.14'E	940
A-3	1986.6.18	26° 43.25'N	141° 06.18'E	1040
B-1	1987.6.2	26° 41.50'N	141° 05.10'E	940
B-2	1987.6.2	26° 41.75'N	141° 05.09'E	940
B-3	1987.6.2	26° 41.93'N	141° 05.20'E	950
B-4	1987.6.2	26° 42.21'N	141° 05.28'E	920
B-5	1987.6.2	26° 43.68'N	141° 05.99'E	1100

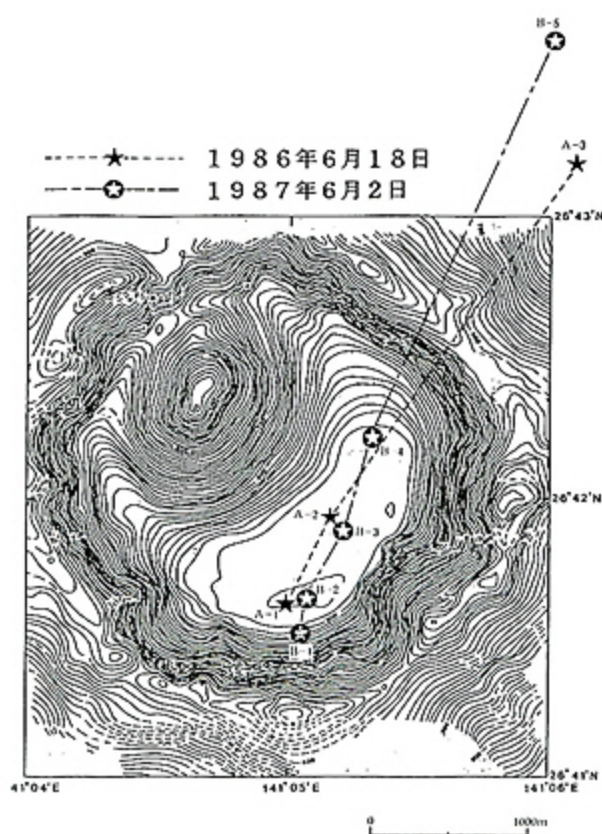


図1 XBT観測地点

本地形図は、1988年8～9月「かいよう」により実施した「伊豆・小笠原深海曳航調査(DK 88-3-IZU)」において、シービームを用い調査、作成されたものである。詳細は、海洋科学技術センター試験研究報告に掲載する予定である。

Fig. 1 Topography of the Kaikata caldera and Locations of XBT observations.

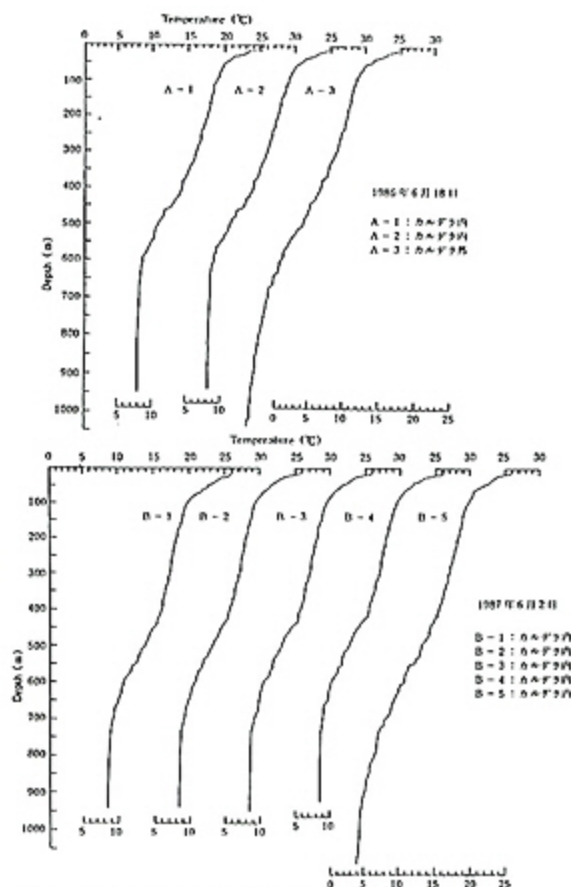


図2 XBTによる水温鉛直分布

Fig. 2 Vertical profile of water temperature measured by XBT.

水温鉛直分布より得られたカルデラ周辺の南南西-北北東方向の水温断面を、図3に示してある。

1987年のカルデラ底水温は、1986年に比べ上がっている。また、カルデラ底付近の水温がそれぞれ8.3及び8.6°Cであるのに対し、カルデラ外では約4.7°Cであり、カルデラ内では同外の同水深に比べ、常に高い一定水温の水塊が存在している。この水塊は海底上100～200mの範囲で安定して存在しているが、地質調査所の報告にもあるように、水温が一定となる深度は観測時期により異っている。地質調査所による観測結果を含め今までの観測結果を表2にまとめている。

特に水温の高い1986年11月には、カルデラ内において熱水変質帯の存在が確かめられている。しかしながら、1987年6月以降は、カルデラ内の水温は低く、1986年6月あるいはそれ以前とほぼ同温となっていることから、カルデラ底での熱水活

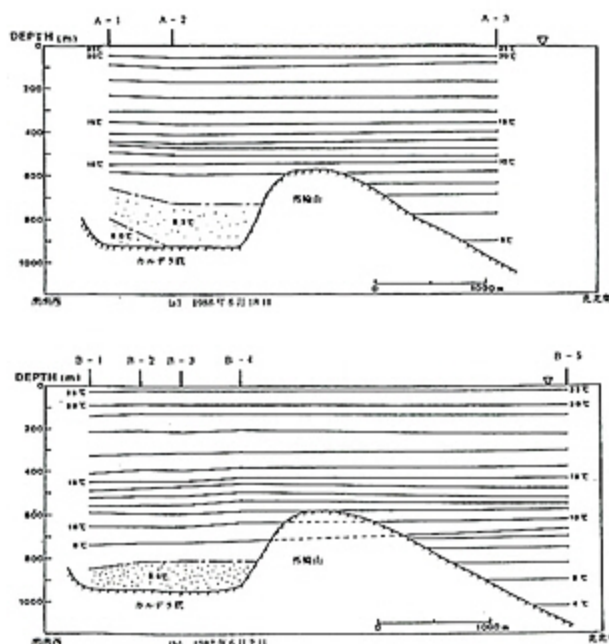


図3 カルデラ南南西-北北東方向の等水温断面
Fig. 3 Water temperature cross sections from SSW to NNE direction

動は、1986年11月ごろをピークに鎮静化した可能性が強い。

2.2 中央火口丘における温水湧出

中央火口丘は、1986年6月の曳航調査により存在が確認され、翌年6月「深海曳航式カメラ」により、中央火口内において海水の白濁及び熱水系に関連があると思われる白色のカニが視認された。その2ヶ月後に実施された曳航調査では、熱水活動に関連すると思われる生物やその徴候は見られず、中央火口丘南東斜面において二枚貝の死貝が確認されたのみで、熱水活動については鎮静化したと思われた。しかしながら、1988年5月には、中央火口丘における熱水活動に関連する諸現象の追跡調査を目的とした、「しんかい2000」による潜航調査が3回実施され、その結果、温水湧出やそこに群がる小型白色のカニ、ウシノシタ類、あるいはイガイ類群落等を確認した。その後、1986年6月におこなわれた曳航調査において、深海カメラにより得られた写真を詳細に調べた結果、中央火口丘には小型白色のカニやウシノシタ類が既

表2 カルデラ底の水温変化

Table. 2 Results of temperature observations inside the caldera.

測定年月日	水温が一定となる深度及び水温	カルデラ外920m水温	測定器
• 1985. 5	540m 8.2-7.9°C		6TD
• 1985. 8	700m 7.1-6.9°C	4.2°C	2TD
• 1986. 5	750m 8.4-8.3°C	4.6°C	6TD
	790m "		2TD
	770m "		2TD
	750m "		2TD
• 1986. 6. 18	650-750m 8.3°C	4.8°C	XBT
• 1986. 11. 4	700m 9.3-9.1°C		STD
1986. 11. 5	700m 9.3-9.1°C		STD
1987. 6. 2	770m 8.6°C	4.7°C	XBT
1987. 6. 17	850m 8.6°C		XBT
1987. 8. 26	750m 8.7-8.6°C		XBT
1988. 5. 16	710m 8.5-8.4°C	6.1°C	XBT
1988. 5. 20	720m 8.5-8.4°C		STD
1988. 9. 30	830m 8.2°C	4.7°C	XBT

※は湯浅ほか1987より引用

6 TDは6,000m用、2 TDは2,000 m用の各深度センサーを装備した水温計による測定結果である。

STDは「しんかい2000」装備による測定結果である。

に見られていた。このことより、生物の生息域は中央火口のごく限られた場所で、1987年8月の調査では、この生息域をカメラが通過しなかったものと思われる。

(1) 第340潜航調査概要

1988年5月18日に行なわれた第340潜航(船長:井田正比古, 潜航士:鈴木晋一, 観察者:満澤巨彦)は、前日の第339潜航(船長:田代省三, 潜航士:廣瀬重之, 観察者:仲二郎)で確認された温水湧出マウンド及びイガイ類群落集域周辺の水温・砂泥内の温度・流れを調べることを目的とした。図4に「しんかい2000」の航走ルートと時刻、水深を示してある。ルートとしては、中央火口丘西側斜面(カルデラ底側)において海底を視認した後、西北西方向に向かい中央火口丘に近づいた。途中斜面上にリップルマークを視認した。また、その近くで、小さな崖くずれの跡のような地形を観察した。温水湧出域においては、2回ほど着底し、流れ、湧出水温の測定を行った。その後、火口を横切り北側斜面を確認し、イガイ類群

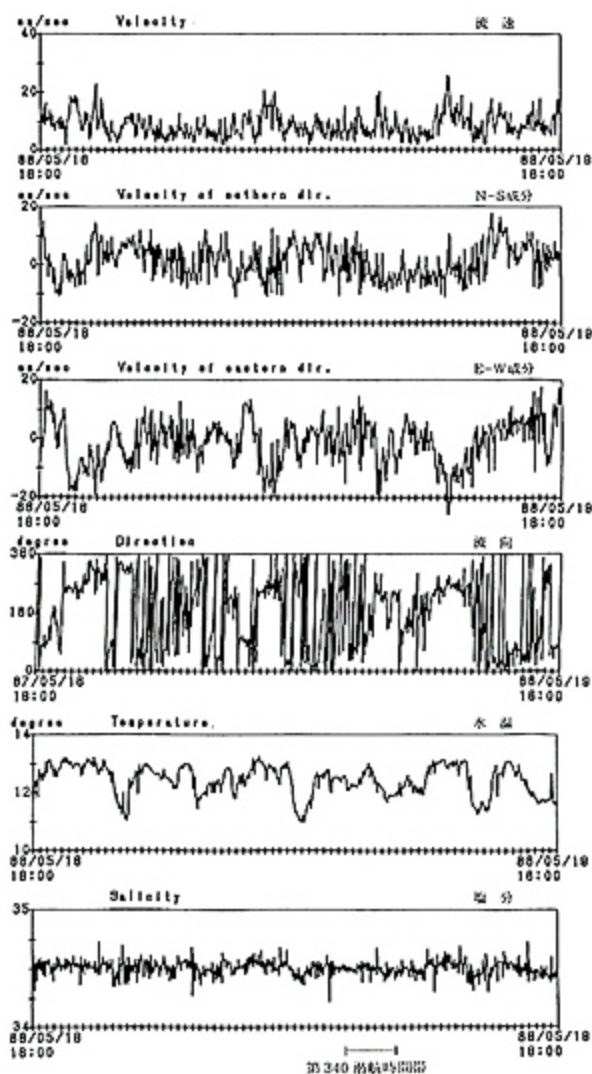


図6 中央火口丘海底上5mにおける流速・流向・水温・塩分測定結果(1988年5月16日~5月19日)
 Fig. 6 Records of bottom current measured central cone of the caldera ($26^{\circ}42.33'N$, $141^{\circ}04.61'E$) at the depth of 430 m. The current meter was moored 5 m above the bottom for 3 days.

上の平坦部に位置しており、本地点(図4, 5中C)において群落内及びそこから約3m離れた群落外の砂中の温度測定を行った。その結果, 群落内の砂中約30cm下の温度は, 周囲海水 $12.5^{\circ}C$ に対し $18.5^{\circ}C$ を記録した。これに対し, 群落外では周囲海水温と同じ $12.5^{\circ}C$ であった。群落内の水温変化が地中の熱源から供給されている可能性が

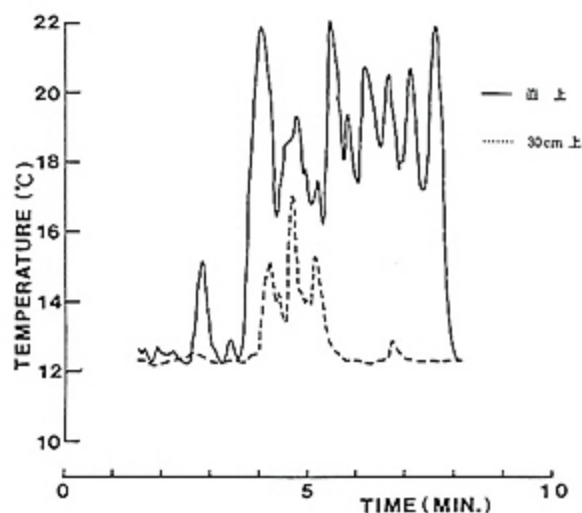


図7 温水湧出口における水温変動
 Fig. 7 Variability of water temperature at the mouth of hydrothermal vent.

考えられ, この海底からの供給は局所的で, かつその境界は明瞭であるといえる。

3. 海底付近の流れの観測

3.1 カルデラ底における流れの観測

潜航調査及び曳航調査により, カルデラ底ではリップルマークや洗掘構造が観察されており, 海底あるいはカルデラ壁等より供給される熱エネルギーによって, 一時的な水塊の不安定が生じたりあるいは対流が存在し, 海底付近に強い流れが起きている可能性が考えられる。しかしながら, 現時点では前述したようにカルデラ底において活発な熱的活動は見られず, カルデラ壁の崩壊に伴う一時的かつ局所的な流れの存在も否定できない。

観測は, 1987年6月2日から3日間行った。カルデラ底中央部海底上20m, 深度880mにアーネンダー流速計を係留した。測定結果を図7に示す。本流速計に装備されている水温・塩分のデータも合わせて示してある。それによると, カルデラ底には数cm/secの間欠的な流れが存在しているのみで, 流向の変化もゆるやかである。また, 水温・塩分には目立った変化は見られず一定している。これは, カルデラ内の定常的な対流の存在を否定

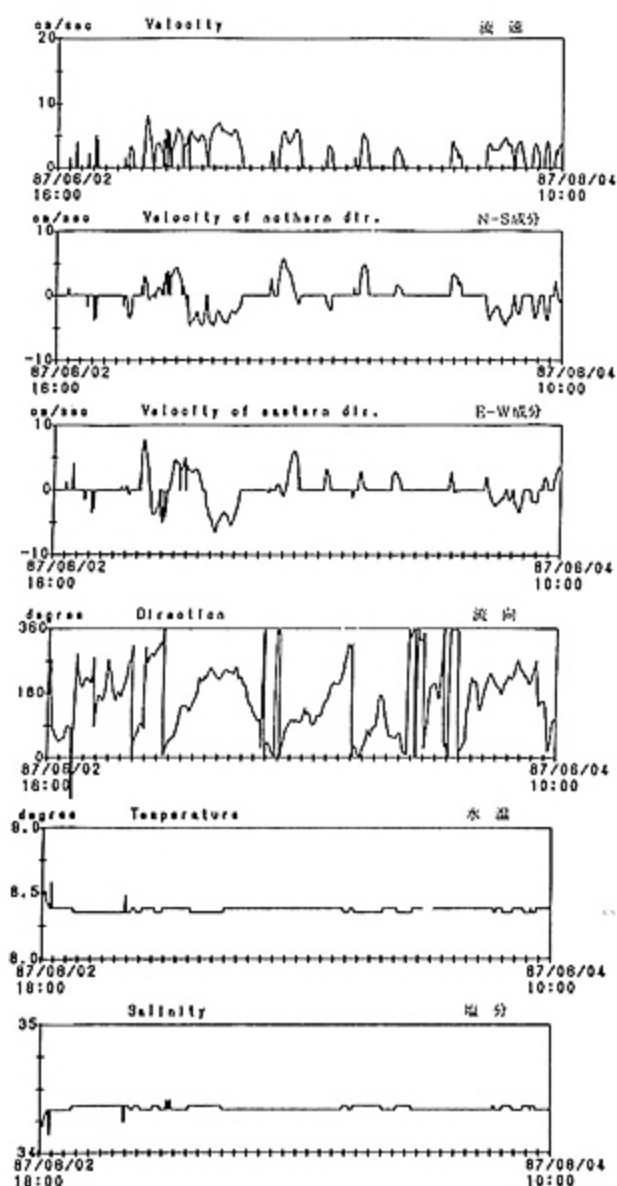


図8 カルデラ底海底上20mにおける流速・流向・水温・塩分測定結果(1987年6月2～6月4日)

Fig. 8 Records of bottom current measured inside the caldera (26° 41.81'N, 141° 05.17 E) at the depth of 880 m. The current meter was moored 20 m above the bottom for 3 days.

し、間欠的に生じている流れも低流速であるため、大規模な乱流にまで発達することはないと思われる。

3.2 中央火口丘における流れの観測

中央火口丘における測定は、1989年5月16日より3日間行った。アーンデラー流速計は、中央火口丘火口内の海底上5 m、深度約430mに係留した。測定結果を図6に示す。これによると流速は数cm/secから最大約20cm/secの範囲で激しく変動している。流向も一定しておらず、常に変化している。水温に関しても、11℃から13℃の範囲で変動しており、水塊の動きの激しいことがうかがえる。この水温変化が熱水活動に関連したものであるかどうかは判別できないが、少なからず影響を与えているものと思われる。

流速・水温・塩分の変動特性を調べるために、FFT法によるスペクトル解析を行った結果を図9に示す。各データとも図中Aで示したように $2.5 \times 10^{-6} \text{ Hz}$ (約13.9時間)の変動が卓越している。この約半日周期の変動は潮汐起源と思われる。これに加えて、B・C・Dのように数時間から1時間程度の比較的短時間の変動も存在している。この流速変動は、熱水湧出による局所的な水塊の不安定や、あるいは、地形によって生じる剥離渦や後流内乱による擾乱に起因していると思われる。

3.3 平均流速及び乱れ強度

カルデラ底及び中央火口丘における平均流速と流速変動の激しさを、定量的に示すための指標となる乱れ強度を計算した。その結果を表3にまとめた。中央火口丘では、深度が430mと浅く、カルデラ底のように壁により隔絶されていないため、平均流速が8.76cm/secと大きく、主流の変動を含めてかなり乱れが大きいといえる。さらに、カ

表3 平均流速及び乱れ強度

Table 3 Average of current and turbulent intensity.

測定場所及び時期		平均流速	乱れ強度
カルデラ底中央部 1987.6.	絶対値	1.72 cm/sec	2.18
	東西成分	0.04 cm/sec	2.01
	南北成分	-0.25 cm/sec	1.89
中央火口丘火口内 1989.5.	絶対値	8.76 cm/sec	4.03
	東西成分	-1.39 cm/sec	7.53
	南北成分	1.28 cm/sec	5.72

注：東西及び南北成分は東、北向きが正である。

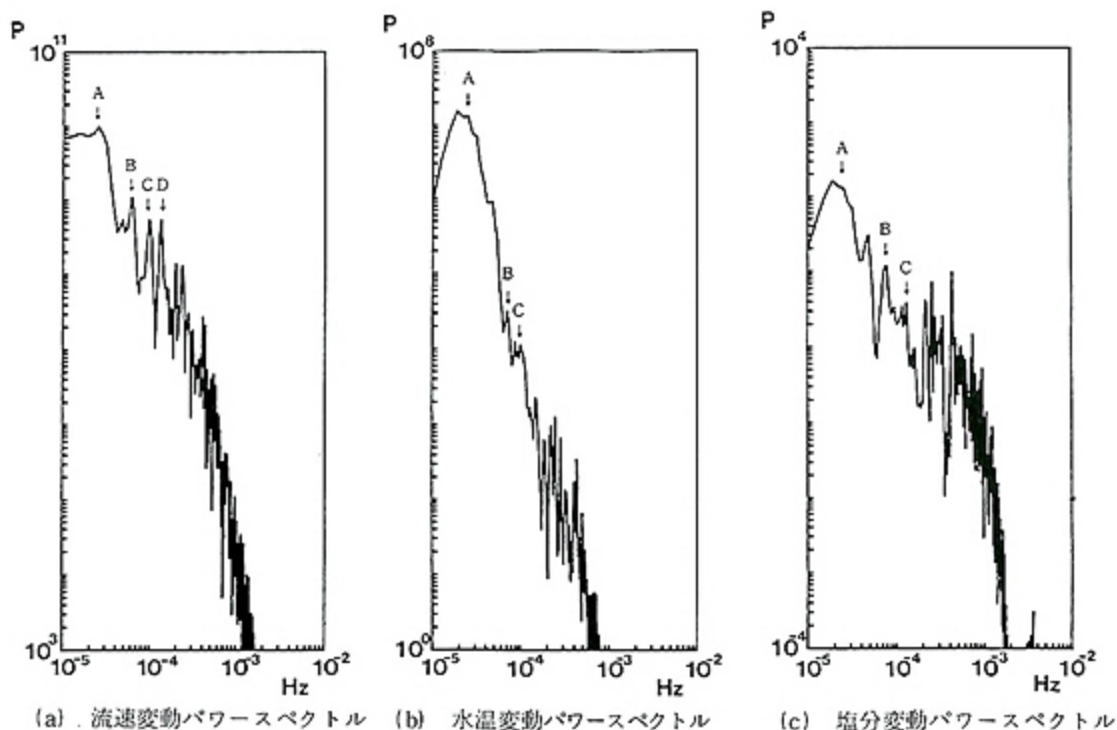


図9 中央火口丘における流速・水温・塩分の各変動のパワースペクトル

Fig. 9 Results of FFT analysis measured central cone of the caldera.

(a) Power spectrum of current.

(b) Power spectrum of water temperature.

(c) Power spectrum of salinity.

ルデラ底、中央火口丘ともに東西方向の乱れ強度が大きく、東西方向の変動の振幅が大きいことがうかがえる。

4. まとめ

以下に各調査により得られた成果についてまとめる。

① KC峰周辺の一連の水温測定により、カルデラ底においては現時点での熱水活動の可能性は少なく、また1986年11月にカルデラ内南壁で観測された熱水活動も、この時期をピークに鎮静化した可能性がある。

② KC峰内の中央火口丘における熱水湧出により、水温異常を判別できるのは、湧出口周辺の極めて狭い範囲に限られており、熱水湧出を観測するためには、少なくとも海底上1m以下の水温のモニタリングを行う必要がある。また、イガイ類群集域においては、群集内の砂中温は周辺より約5℃高くその境界が明瞭であった。

③ カルデラ内では、熱的活動に伴う定常的な対流、あるいは日周期の流れは観測されず、数cm/secの間欠的な流れの存在が確認された。

④ 中央火口丘周辺の流速は、数cm/secから最大約20cm/secの範囲で流向も含めてかなり激しく変動しており、潮汐に関連した約半日周期の流速変動に、地形等により生じる1時間程度までの変動が重なっており、水塊の移動がかなり激しいことが確かめられた。

今後、カルデラ底において観察されたリップルマークや洗掘の形成、あるいは中央火口丘における熱水湧出に伴う水温変動の特性及び流れとの相関等、より詳細な観測を進めるためには、短時間で視覚的情報を得ることを主体とした潜水調査船を用いる以外にも、水温・流速を数ヶ所で長期的かつ連続的に観測する必要がある。

5. 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、各調査において協力していただいた「しんかい2000」運航チーム及び「なつしま」乗組員の方々に大変お世話になった。また、地質調査所の湯浅真人氏、浦辺徹郎氏には、海底付近の状況等色々とお教えいただいた。以上の方々に謝意を表わす。

深海調査グループ

大塚清，橋本惇，田中武男，松澤誠二**，
松本剛，仲二郎。

(** 退職)

参 考 文 献

- Momma, H., Ohtsuka, K. & Hotta, H., 1988, JAMSTEC/Deep Tow System, Proceeding of Oceans'88
- 中尾征三・湯浅真人(編), 1986, 海底熱水活動に伴う重金属資源の評価手法に関する研究, 昭和61年度研究報告書, 工業技術院地質調査所
- 中尾征三・湯浅真人(編), 1987, 海底熱水活動に伴う重金属資源の評価手法に関する研究, 昭和62年度研究報告書, 工業技術院地質調査所
- 大塚 清, 土屋利雄, 橋本 惇, 1988, 深海曳航式カラービデオシステムの開発, 及びその運用, 海洋科学技術センター試験研究報告第19号, 249~262.
- 深海調査グループ, 1988, 海形海山深海曳航調査(DN87-3-MCS)調査速報, 海洋科学技術センター試験研究報告第20号, 223~230.
- 湯浅真人, 浦辺徹郎, 村上文敏, 1987, 伊豆・小笠原弧 海形カルデラの熱水変質帯—「しんかい2000」による潜水調査—, 地質ニュース, 391, 1~8.
- 湯浅真人, 浦辺徹郎, 村上文敏, 1988, 海形海山熱水変質帯の潜水調査—第253回 潜水結果—, 第4回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 129~139.

(原稿受理 1989年5月19日)