

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560806

研究課題名（和文） 海底熱水活動の三次元可視化および湧出量計測手法の開発

研究課題名（英文） Development of imaging and measurement method for seafloor hydrothermal flow

研究代表者

望月 将志（MOCHIZUKI MASASHI）

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：60334364

研究成果の概要（和文）：海底熱水噴出を定量的に計測、モニタリングをすることを目的し、音響ビデオカメラを基とする計測手法の開発を行ってきた。実験水槽中に温水を液送ポンプで送り込み、放出させて擬似海底熱水噴出とし、これを提案する計測手法を用いてイメージングする実験を行った。擾乱を生じさせることなく自然のままの状態、内部の微細構造まで含めた海底熱水噴出のイメージングを行うことに成功した。

研究成果の概要（英文）：We have been developing a method for observing and delineating seafloor hydrothermal flows with an acoustic video camera. Tank experiments were conducted to evaluate the utility of the proposed system for seafloor hydrothermal activity observation. We found that the system was able to delineate the image of an artificial seafloor hydrothermal flow; that is, a heated water flow that was pumped into the experimental tank through a narrow silicon tube. This result indicated that the proposed system will be of practical use.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、地球・資源システム工学

キーワード：資源探査・海底熱水活動・海底資源・海洋探査

## 1. 研究開始当初の背景

海底の熱水活動、特に中央海嶺系における熱水活動は、海底から海洋への熱・物質の供給源として大きな役割を担っている。しかし、それを定量的に計測することは容易ではなく、確立した手法が無い。

音響手法による計測として、米国 Rutgers 大学 P. Rona 教授らの先行研究がある。マルチビーム測深器を利用した計測手法で、熱水噴出が立ち上りプルームを形成する様子を、

複数枚の断層写真を撮るように映像を取得し、音響画像より熱水噴出をイメージングするというものである。海底に設置した計測システムにより、特定の熱水噴出のモニタリング実験を続けて成果をあげているが、1箇所固定されてしまい機動的な計測はできない。

## 2. 研究の目的

高周波超音波を使い高い分解能をもつ音響

ビデオカメラ DIDSON (米国 Sound Metrics 社) を用いて、海底熱水噴出をモニタリングし、定量的な噴出量計測を行う事の出来る計測システムを開発する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 計測システム

当初、2 基の音響ビデオカメラを使って対象の 3 次元イメージの構築を目指していたが、実際に観測の現場で使うことまで思いを巡らせると、海底への設置が容易ではなく、計測システムの機動性を損なうものでなくなる。このことから音響ビデオカメラ 1 基とパンチルト装置による構成とし、パンチルト装置によって音響ビームを掃引させて、水中物体の 3 次元イメージングを行うシステムの開発を目指すこととした (図 1)。

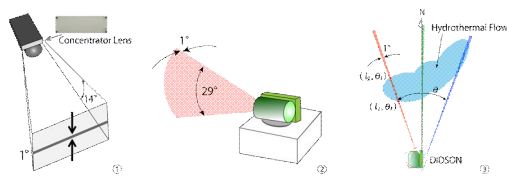


図 1 提案する計測手法

- ① コンセントレーターレンズを用い、音響ビデオカメラの視野を  $H29^\circ \times V1^\circ$  に絞り込む。
- ② 視野軸を中心として音響ビデオカメラを  $90^\circ$  回転させて、パンチルト装置へ搭載 (図 2)。
- ③ パンチルト装置のパン機能を使いターゲットの熱水噴出をスキャンする。



図 2 計測システム

超音波ビームを  $1^\circ$  幅に絞り、ターゲットに対するフットプリントを小さくすることで距離計測精度を高め、スキャンすることでターゲットの全体像をとらえることを意としている。

#### (2) 水槽実験

実験水槽中に温水を液送ポンプで送り込み、細管チューブの先から放出させる。放出された温水塊を疑似的な海底熱水噴出に見立てて、前述の計測システムを用いて計測を行い (図 3, 4)、取得した音響映像を基にイメージの作成、計量を試みた。

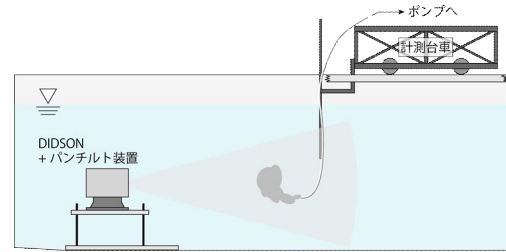


図 3 水槽実験概念図

この水槽実験では、水槽中に計測システムを固定し、音響ビデオカメラは HF モード (1.8MHz) でフレームレート 10f/s、探査レンジを 1.25~2.5m、パンの速さを  $1^\circ/s$  として温水塊のスキャンを行った。

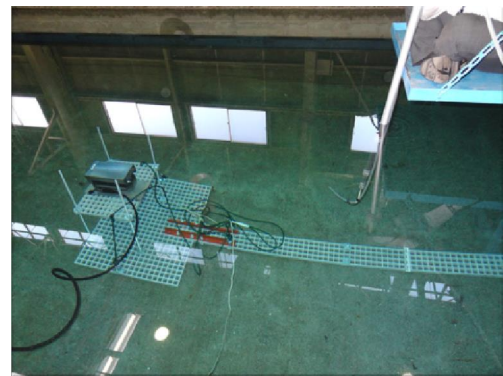


図 4 水槽実験

### 4. 研究成果

#### (1) 温水塊の 3D イメージ

流動水槽中に放出された温水に対応するエコーがデータとして含まれている映像フレームを集め、その中から輝度値により温水エコーに対応する画素のみを抽出し、音響ビデオカメラの方角データを基にプロットを行った。

画素がもつ輝度値 (256 階調) を基にして温水エコーに対応する画素の選別を行っている (図 5)。図中の右側に上下に伸びるように分布しているエコーが、温水を導くシリコンチューブに対応したもの。放出口となるチューブ先端部に輝度の高い画素が集中している。水槽中に放出された温水塊がラップ状に広がっている様子が示されている。

温水塊と周囲の水との温度差による音響インピーダンスの差に比して、温水塊と温水

塊に含まれる微細な気泡との間に生じる音響インピーダンス差の方が遙かに支配的で、この実験では温水塊中に含まれる微細な気泡の分布を検知して、温水塊の広がりイメージしている。ブラックスモーカーのような海底熱水噴出には微粒子やガスが含まれており、これらによってエコーが形成され、海底熱水噴出流のイメージング、計測に適する計測システムとなり得るものと期待できる。

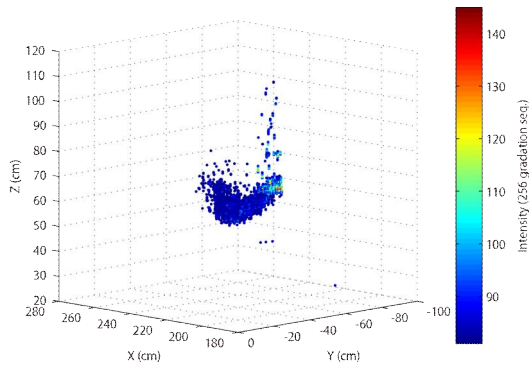


図5 噴出温水塊の3Dイメージ

高周波超音波(1.8MHz)を利用することにより、温水塊内部の微細構造もイメージ化することができている(図6)。目視では確認することが出来なかったが、音響画像によるイメージングで、放出口から40cm程先まで温水塊が到達していることもわかる。対象から一歩引いてのリモートセンシングなので、対象である熱水噴出(温水塊)に擾乱を与えずに、そのままのイメージをとらえることが出来ている。海底熱水噴出観察に有効な計測システムとなり得ることを示している。

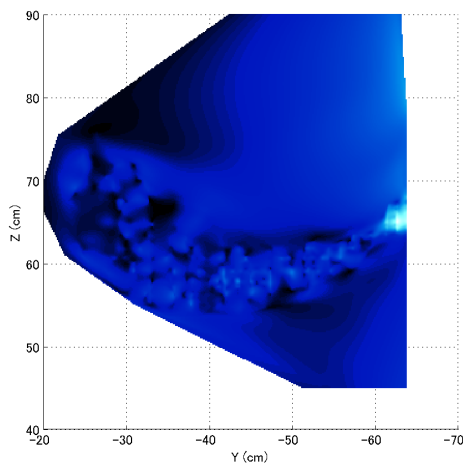


図6 噴出温水塊の内部イメージ

## (2) 噴出量計測

液送ポンプの出力を一定に保持し、930ml/minで温水を水槽に送り込み、取得した音響映像より流量を推定できるかを試みた。

シリコンチューブ先端から放出が開始されたタイミングより14s間のスキャンで温水塊の全体像をとらえることが出来た。14s間に水槽中に放出された温水の量は $217\text{cm}^3$ である。

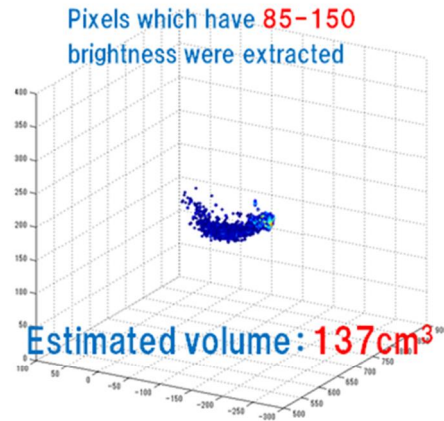


図7 音響画像から推定される流量(ボリューム)

温水塊の形状が短時間では変化しないものと仮定し、輝度値によって抽出した画素より3Dイメージを作成してそのボリュームを求めたところ、輝度値85~150の画素を温水塊に対応するエコーとした場合が $137\text{cm}^3$ 、輝度値80~150の画素とした場合が $335\text{cm}^3$ となった(図7)。この2つの設定の中間に温水塊のボリュームを適切に表現できる輝度の設定値があることがわかる。更に真値に近づく計量を実現するためには、音響ビデオカメラ各素子の受信感度の調整、映り込み背景の除去技術の確立などを行った上で、十分な温度制御下での実験を行い、画素と実像をつなぐ基礎データを収集する必要がある、引き続き取り組んでいきたいと考えている。

## (3) まとめ

海底熱水噴出を観察し、定量的に噴出量を計測するために、音響ビデオカメラを基とする計測システム・手法の開発を行った。水槽実験を通じ、

- ① 目視では確認することが出来ない温水塊の広がりをとらえることができる
- ② 温水塊の表面形状だけでなく内部構造の変化も確認できる
- ③ 擾乱を発生させることなく温水塊をモニタリングすることができる

上記3点を確認し、提案する計測システム・

手法が海底熱水噴出観察において有効なものとなり得ることを示した。

実用化にあたっては、検知能力の把握のために、十分な温度制御が可能な実験環境下での基礎データ収集が必要となる。この基礎データが獲得できるようになれば、海底熱水の噴出量計測も精度が向上し、実用化の運びとなるものと考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 望月将志、田村肇、木下正高、浅田昭、玉木賢策、海底熱水活動の音響的観測手法の開発、海洋音響学会誌、査読有、ISSN:0916-5835、(印刷中)
- ② 望月将志、浅田昭、水中音響ビデオカメラ、映像情報メディア学会誌、査読無、ISSN:1342-6907、Vol.67、No.3、2013、202-205
- ③ Masashi Mochizuki, Akira Asada, Kensaku Tamaki, Jun Han, Zengo Yoshida, Utilization of acoustic video camera for investigating mid oceanic ridge, Proc. of UT11 & SSC11 (International Symposium on Underwater Technology 2011 & Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies), 査読有, IEEE Catalogue Number: CFP11UTS-CDR, ISBN: 978-1-4577-0163-4, 2011 (CD-ROM)

[学会発表] (計9件)

- ① 望月将志、田村肇、浅田昭、木下正高、玉木賢策、音響映像を用いた海底熱水噴出計測手法の開発、日本地球惑星科学連合2013年大会、SCG67-P04、2013.05.22、幕張メッセ、千葉
- ② Masashi Mochizuki, Hajimu Tamura, Akira Asada, Masataka Kinoshita, Kensaku Tamaki, Development of acoustic observation method for seafloor hydrothermal flows, AGU 2012 fall Meeting, OS41C-1740, 2012.12.06, San Francisco, USA
- ③ 望月将志、田村肇、浅田昭、木下正高、玉木賢策、音響ビデオカメラを用いた海底熱水観察手法の開発、海洋音響学会2012年度研究発表会、12-26、2012.05.29、東工大、東京
- ④ 望月将志、田村肇、浅田昭、木下正高、玉木賢策、音響による海底熱水観察手法の開発、日本地球惑星科学連合2012年大会、SCG66-P06、2012.05.22、幕張メッセ、千葉
- ⑤ Masashi Mochizuki, Akira Asada, Masataka Kinoshita, Hajimu Tamura, Kensaku Tamaki,

Development of observation method for hydrothermal flows with acoustic video camera, AGU 2011 fall Meeting, OS13A-1502, 2011.12.05, San Francisco, USA.

- ⑥ Masashi Mochizuki, Akira Asada, Kensaku Tamaki, Jun Han, Zengo Yoshida, Utilization of acoustic video camera for investigating mid oceanic ridge, UT11\_SSC11-1056, OCEANS011 Kona, 2011.09.21, Kona, Hawaii, USA.
- ⑦ 望月将志、浅田昭、玉木賢策、韓軍、吉田善吾、海底熱水活動の音響観測手法の開発、海洋音響学会2011年度研究発表会、11-20、2011.05.31、東工大、東京
- ⑧ 望月将志、浅田昭、玉木賢策、韓軍、吉田善吾、音響ビデオカメラを利用した中央海嶺系の観測、日本地球惑星科学連合2011年大会、SCG059-19、2011.05.26、幕張メッセ、千葉
- ⑨ Masashi Mochizuki, Akira Asada, Kensaku Tamaki, Scientific Team of YK09-13 Leg-1, Observation of hydrothermal flows with acoustic video camera, AGU 2010 Fall Meeting, OS21A-1471, 2010.12.14, San Francisco, USA.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

望月 将志 (MOCHIZUKI MSASHI)  
東京大学・生産技術研究所・助教  
研究者番号：60334364

##### (2) 研究分担者

韓 軍 (HAN JUN)  
東京大学・生産技術研究所・特任准教授  
研究者番号：00422428  
(H22~H23)

##### (3) 連携研究者

吉田 善吾 (YOSHIDA ZENGO)  
東京大学・生産技術研究所・技術職員  
研究者番号：10422429  
(H22)