

## 2組のハイドロフォンアレイを用いた マッコウクジラの追跡観測実験

Acoustic Tracking of Sperm Whales using Two Sets of Hydrophone Array

浦 環\*・Rajendar Bahl\*・坂田 雅雄\*\*・能勢 義昭\*・福地 鐵雄\*\*\*・  
小島 淳一\*\*\*\*・浦 純也\*\*\*\*\*・杉松 治美\*・中谷 武志\*\*\*\*\*

Tamaki URA, Rajendar BAHL, Masao SAKATA, Yoshiaki NOSE, Tetsuo FUKUCHI,  
Junichi KOJIMA, Junya URA, Harumi SUGIMATSU and Takeshi NAKATANI

### 1. はじめに

大型の海棲ほ乳類である鯨類は、保護の観点からその生態が注目されている。中でも、マッコウクジラは2,000 m以上の水深に潜ることが知られているが、海中での活動を知るための観測手法の不足からも、その生態について詳しいことはあまり分かっていない。

本研究の目的は、マッコウクジラの観測に寄与すべく、AUV (Autonomous Underwater Vehicle) を用いた観測手法を確立することである。マッコウクジラは、潜水時にクリック音と呼ばれる、主に15 kHzまでの周波数帯域を持つ鳴音を発することが知られている。2002年8月には、東京都小笠原村の父島沖にてマッコウクジラの基礎観測実験

を行い<sup>1)</sup>、このクリック音の録音を行い、信号処理によるクリック音の検出と個体識別を行う手法<sup>2)</sup>を考案した。この成果を踏まえ、本研究では2組のハイドロフォンアレイを使い、マッコウクジラからのクリック音を頼りにAUVがクジラの位置を計測し、追跡を行う観測システムを設計した。2003年8月父島沖にて2隻の船を使い、リアルタイムにマッコウクジラの位置を計測するシステムの機能試験を行った。

### 2. マッコウクジラ観測システム

#### 2.1 観測システム概要

図1は観測システムの概略図である。本観測システムの基本構成は、①1つのハイドロフォンアレイによるSBL

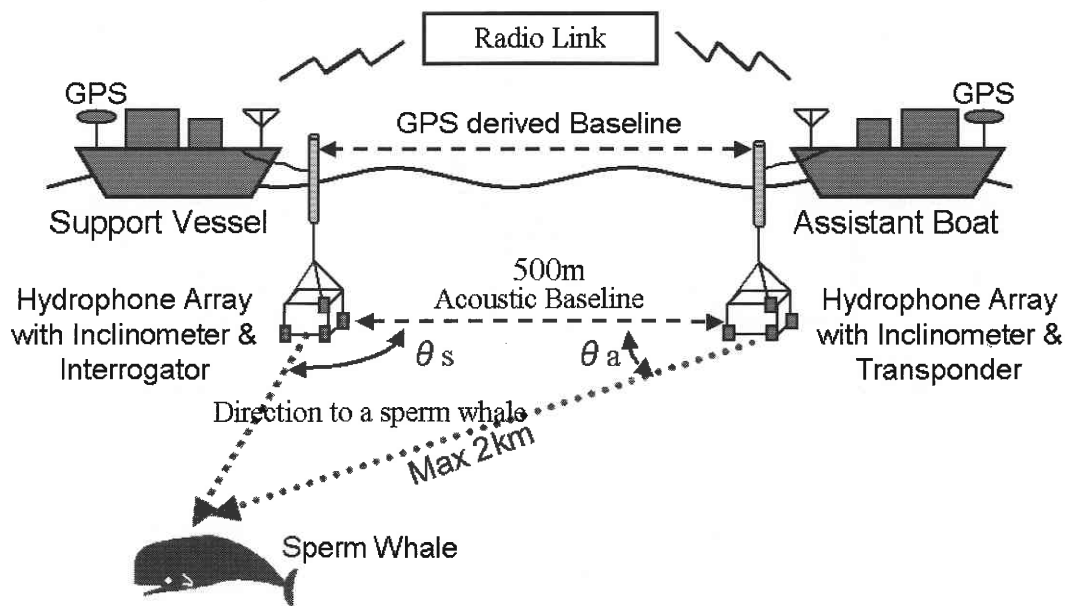


図1 マッコウクジラの観測システム

\*東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター

\*\*東京大学大学院 工学系研究科

\*\*\* (有) システム技研

\*\*\*\* KDDI 研究所

\*\*\*\*\* 早稲田大学理工学部

\*\*\*\*\* 東京大学工学部

研究速報  
システム, ②2つのハイドロフォンアレイで構成される LBL システム, から成る。

①は, 海中に沈めたハイドロフォンアレイを用い, クジラのいる方向を推定するためのものである。アレイは4つのハイドロフォンで形成され, これらのハイドロフォンを用いた SBL (Short Baseline) 方式によってクジラのクリック音の聞こえた方向を推定する。②は, 2つのアレイを使って推定されたクジラのいる方向から, アレイ間の距離を LBL (Long Baseline) とした三角測量によってクジラ的位置を計測するためのものである。アレイ間の距離と相対方位は, それぞれのアレイに取り付けられたインターロゲータおよびトランスポンダを使い, 音響的に計測することができる。アレイの傾きの影響は, アレイの位置を既知として, インターロゲータとトランスポンダの音響的計測から求めることができるが, アレイに傾斜計も取り付け, 情報量を増している。

観測に用いる2隻の船は, AUV に対応する小型船 (AB: Assistant Boat と呼ぶ) と観測支援船 (SB: Support Vessel と呼ぶ) である。船の位置は AB を基地局, SV を移動局とした RTK-GPS で測量され, 地球座標上でのクジラ的位置を求める。三角測量によるクジラ的位置計測のためには, クジラのいる方向や船の基線情報, GPS による測位情報を2隻の船で共有する必要があり, 両船間には無線通信が設けられている。この他に無線通信で共有する情報には, クジラの IPI, SPEC といった個体識別情報<sup>2)</sup> と, クリック

音が検知された時間が含まれる。

図2は, それぞれの船に搭載した観測装置の構成と, データの流れを表した概略図である。観測装置から得られた音響信号や各種測量情報などは, 解析用のコンピュータ (Main PC) に集約され, 無線通信を介してこれらのデータを共有し, 三角測量によるクジラ的位置計算が行われる。また, オフライン解析用のデータ収集のために, 全てのデータは記録用コンピュータ (Logging PC) に記録される。

これまで述べた一連の位置計測のための処理は, 将来的に AUV を用いる点からも, リアルタイムに行う必要がある。そのため, 2船間のベースライン計算には, 人工音響信号の解析, 距離と相対方位の計算を高速に行う DSP を用いた。クジラのいる方向を求める計算には, クリック音の検知とハイドロフォン間でのクリック音の到来時間差を高速に計算するための FPGA (Field Programmable Gate Array) を用意した。ただし, 今回の観測実験では FPGA の代わりに録音用のサウンドカードを使ってクジラの鳴音を録音し, その直後に Main PC 上でクリック音の検知, 方向計算, クジラ的位置計測を行った。

### 2.2 ハイドロフォンアレイ (SBL アレイ)

アレイは, 図3に示すように30 cm 四方の立方体の, 隣接する格子点上に4つのハイドロフォンを配置したものである。

図4に示すように, クジラのクリック音がアレイに到達した時, それぞれのハイドロフォンによってクリック音が

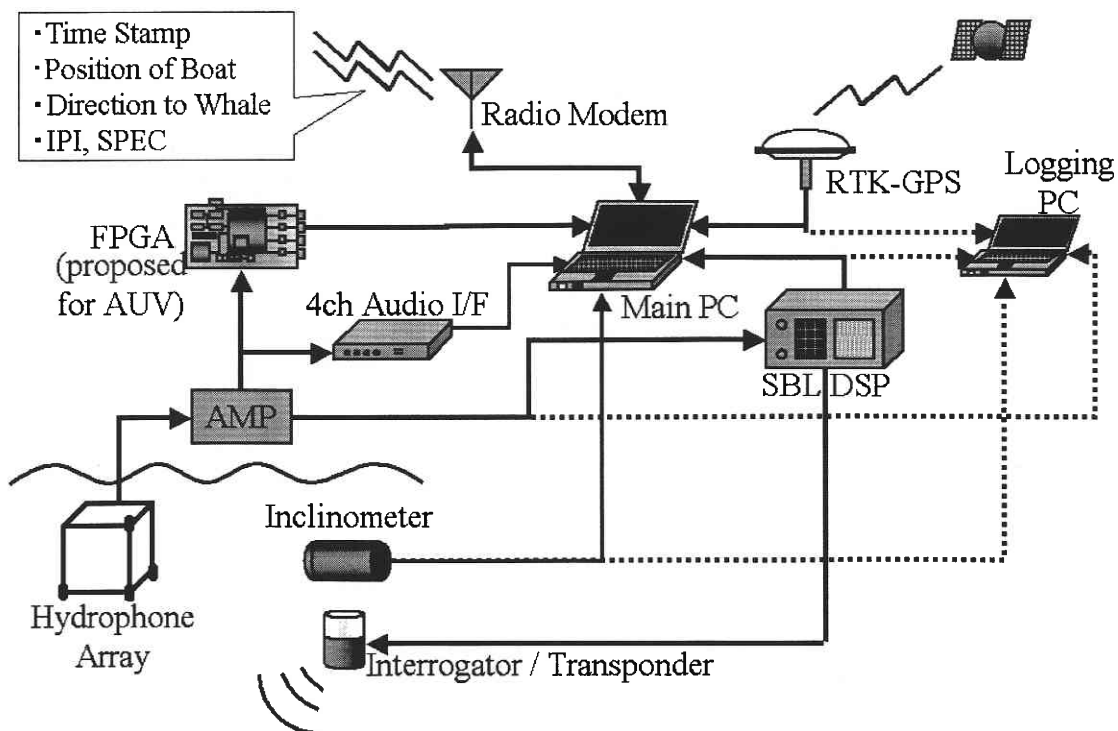


図2 船上の観測装置の構成

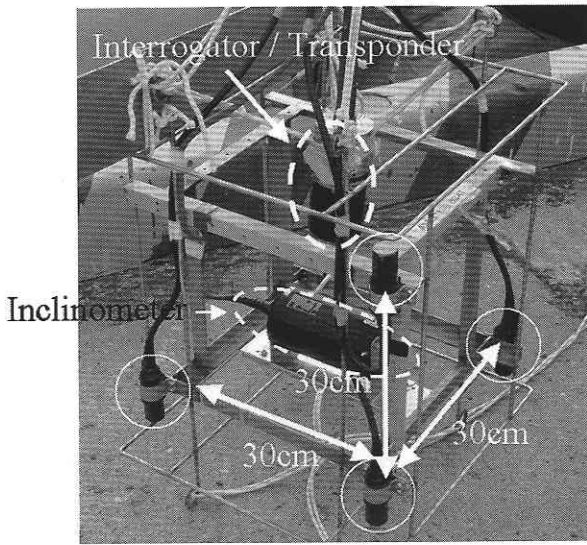


図3 ハイドロフォンアレイ

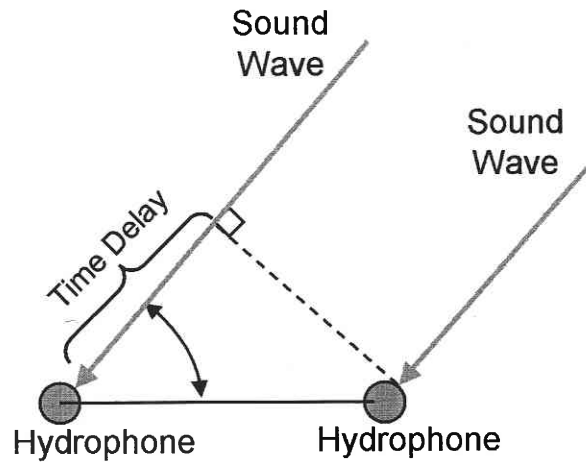


図4 2つのハイドロフォンアレイへの音の到来方向と到達時間の差

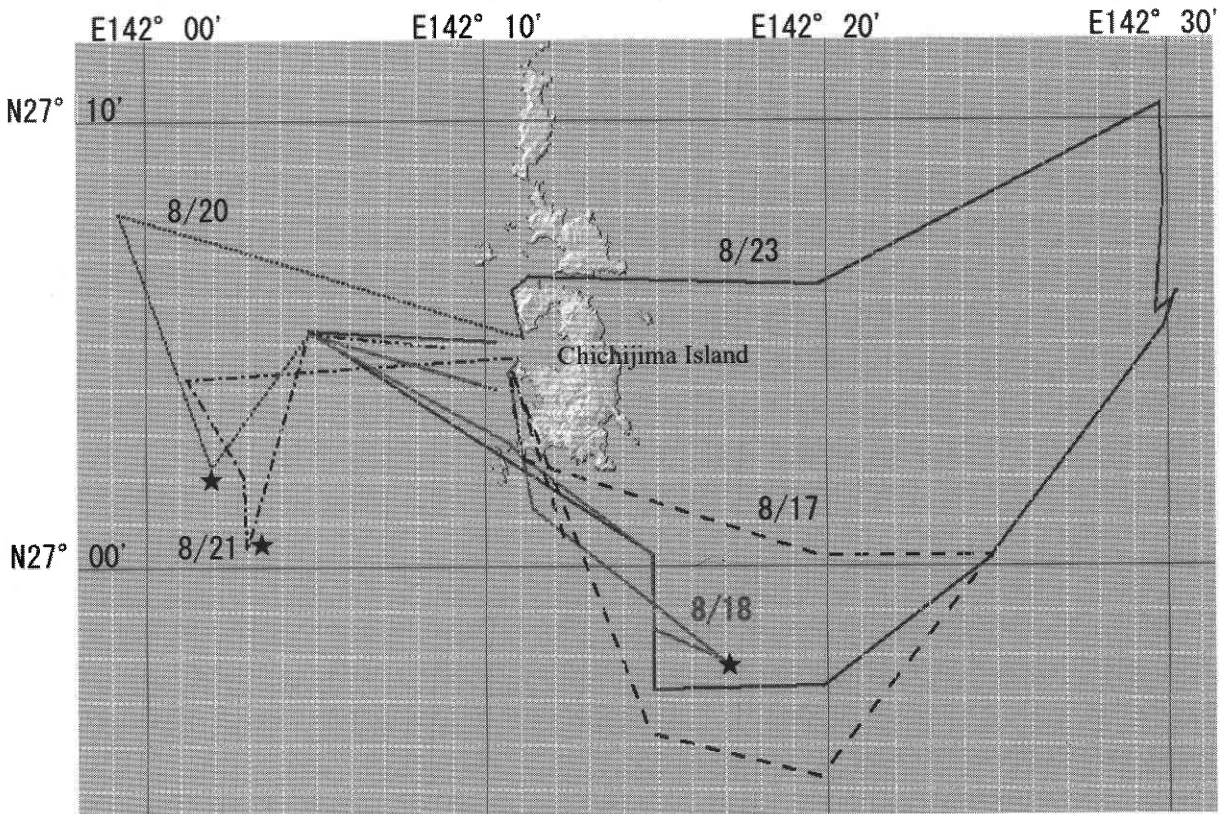


図5 Support Vessel の観測航路とマッコウクジラの遭遇ポイント

検知される時間には差が生じる。それは音の到来方向により異なるため、この時間差からクリック音の到来方向を推定することができる。ハイドロフォンの間隔 30 cm は、クリック音の波長の約 2 倍となっており、この時、角度の推定精度として 0.01 rad が得られる。

この推定によって分かる方向はアレイに対する相対的な

ものであり、地球座標系上のものに補正する必要がある。この補正を簡単に行うために、アレイには傾斜計を取り付けている。ただし、傾斜計による測定値の精度の問題から、アレイがどれだけ傾いているかの計算は、傾斜計による計測値をもとに、GPS による位置測量から得られる 2 つのアレイ間のベースラインと、音響的に得られるベースライン

## 研究速報

を比較することで行った。

また、インターロゲータ及びトランスポンダが機能する距離が、最大500 mということが確認されており、これを船(アレイ)のベースラインの基本距離とした。三角測量によるクジラの位置計測の精度を保つため、図1中の観測可能なクジラまでの距離を、ベースライン長の4倍、つまり2 kmとした。船から2 kmの距離においては、SBLアレイの測角精度0.01 radから、三角測量で得られるクジラの位置精度は20 mとなる。

### 3. 観測実験と観測結果

2隻の船を使った観測は、小笠原父島周辺において、8月17日～23日の内の5日間、主に父島の西または南東沖で行った。図5は、SVの航路と、マッコウクジラに遭遇したポイントを示している。18日に5頭、20日に6頭、23日には3頭のマッコウクジラに遭遇することができた。

観測においては、リアルタイムでのマッコウクジラの位置追跡はできなかったものの、海上にクジラがいることを確認した後、クジラが潜り始めた時から録音を開始し、その鳴音データが得られた直後に船上でマッコウクジラの軌跡を計測することができた。その結果は、船上からの視覚的観測の結果、および指向性ハイドロフォンを使ってクジラの個体数と動きを推定した結果とほぼ一致し、本システムがサブリアルタイムでマッコウクジラの追跡を行う上でも機能することが確かめられた。さらに、マッコウクジラのクリック音を含んだ合計5時間以上音声データを録音することができ、オフラインでの解析には十分なデータを得

られた。現在は、オフライン解析用に収集したデータを解析している最中である。この解析結果を元に、システムの改良を行い、来年の夏にはAUVを使った観測を行う予定である。

### 4. 謝 辞

本研究におけるシステムの設計、及び観測実験は多くの方々の協力によって成されたものである。

小笠原ホエールウォッチング協会会長の森恭一氏には、小笠原でのマッコウクジラ観測実験に同行して頂き、指向性マイクを用いたマッコウクジラの観測、さらに観測行動計画において多大にアドバイス、ご指示を頂いた。また、(株)システムインテック顧問、清水良次氏にはアレイの設計ならびに試験に関してご協力を賜った。FPGAの設計・開発においては、早稲田大学理工学部コンピュータ・ネットワーク学科の柳澤政生教授をはじめとする研究室の方々に多く協力をしていた。ここに感謝する次第である。

(2004年2月9日受理)

### 参 考 文 献

- 1) Bahl, R., Ura, T., and Fukuchi, T. (2002). "Towards Identification of Sperm Whales from Their Vocalizations," *Seisan-Kenkyu Bimonthly Journal of IIS, University of Tokyo*, Vol. 54, No. 6, 51-55.
- 2) Bahl, R., Ura, T., (2002). "Automatic Real-time Segregation and Classification of Multiple Vocalizing Sperm Whales," *Seisan-Kenkyu Bimonthly Journal of IIS, University of Tokyo*, Vol. 55, No. 3, 61-64.