

# シラス漁船を利用した広域・高頻度海底地形図の作成とその応用に関する研究

Study on Frequent Monitoring of Wide Area Bathymetry Using Fish Finder Data of Whitebait Fishing Boats

岡辺拓巳<sup>1</sup>・青木伸一<sup>2</sup>・河村雅彦<sup>3</sup>

Takumi OKABE, Shin-ichi AOKI and Masahiko KAWAMURA

The bathymetry data with high precision are derived from multi-beam echo sounder, but this survey is unsustainable for of bathymetry monitoring because of high cost. In this study, we suggest the method to get changes of the bathymetry in a wide area using fish finder data of whitebait fishing boats. This method is low-cost, but possible to operate frequent monitoring. The depth differences of several ten centimeters are shown between fish finder and multi-beam sonar. However, it is confirmed that increasing the data density in space makes the differences smaller and the trend of sea bottom both the bathymetry is pretty similar.

## 1. はじめに

広域な漂砂系を総合的に土砂管理するためには、土砂動態を定量的に把握することが重要であり、そのためには土砂の移動が活発な浅海域の海底地形を、広域・高頻度でモニタリングすることが不可欠である（たとえば、青木, 2008）。マルチビーム測深機などを用いた深浅測量技術（山下ら, 1992）は、高精度である反面、コストの面から継続的な広範囲のモニタリングに利用することは難しい。広域の海底地形情報を長期間にわたって継続的に取得するには、安価かつ必要精度を満たした測量方法が適しており、これまでの測量技術にとらわれない手法が求められる。

本研究は遠州灘海岸を対象として、その沿岸で盛んなシラス漁の漁船（図-1）に搭載されている魚群探知機の水深データを用いることで、安価かつ頻度の高い海底地形図を取得し、広域での土砂管理に利用することを目標としている。連日出漁しているシラス漁船の位置・水深データを解析することで、およそ1週間毎の頻度で海底地形図を作成することを目標とし、漁の形態や操業範囲の調査、測深の誤差評価を行い、その可能性を検討した。また、高頻度の海底地形図から土砂動態を把握する視点から、土砂移動の解析に要求される頻度や精度についても検討した。

## 2. 操業データの解析

### (1) データ取得の概要

遠州灘沿岸で操業するシラス漁船に、和田ら（2005）が開発したデータロガーを搭載して水深および位置情報



図-1 遠州灘沿岸のシラス漁

を記録した。NMEA0183フォーマットに準拠した魚群探知機の測深値とGPSの位置情報が接続したロガーに保存される。蓄積されたデータは定期的に回収した。2007年9月以降、11隻のシラス漁船の操業データを継続的に取得している。

### (2) 遠州灘でのシラス漁の特徴

図-2は10隻のシラス漁船が5日間操業を行った際の航跡をプロットしたものである。浜名湖内に位置する浜名漁港を出航した漁船は、西側へは静岡・愛知県境まで、東側へは掛川市付近までの東西およそ50kmを操業範囲としていることがわかる。個々の漁船の操業海域は異なるが、複数の船の位置データを合成することで、広範囲のデータ取得が期待できる。

図-3は11隻のシラス漁船の出漁した隻数（棒グラフ）を、天竜川河口沖合（水深18m）で観測した有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ 、および浜松特別地域気象観測所で観測された日平均風速の経時変化とともに示したものである。出漁時はほとんどの船が同時に稼働しており、漁船の違いによる操業日数の差異は大きくないことがわかる。また、 $H_{1/3}$ が1.5mを越える波浪時に休漁する場合が多く見られることに加え、風況にも出漁が左右されてい

|   |       |                       |
|---|-------|-----------------------|
| 1 | 修(工)  | 豊橋技術科学大学産学官連携研究員建設工学系 |
| 2 | 正 会 員 | 工博 豊橋技術科学大学教授建設工学系    |
| 3 |       | 浜松市土木部                |

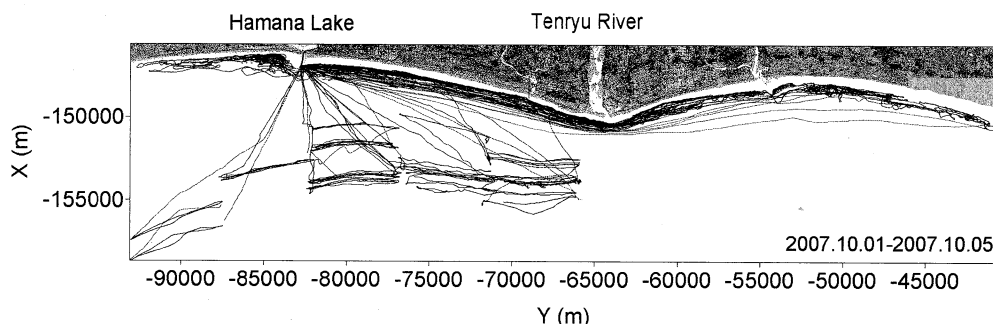


図-2 遠州灘におけるシラス漁船の航跡 (10隻による5日間の操業)

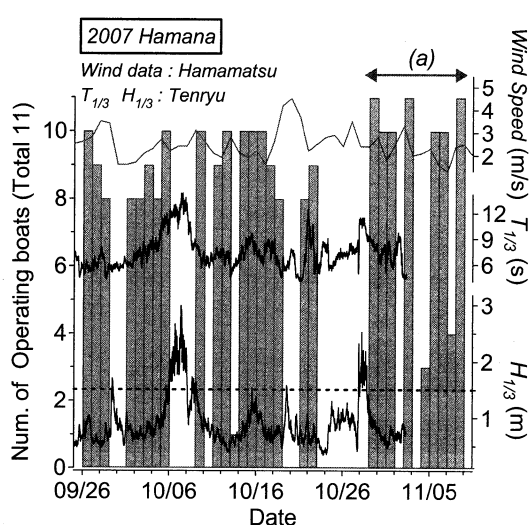


図-3 シラス漁の操業と海象および風況

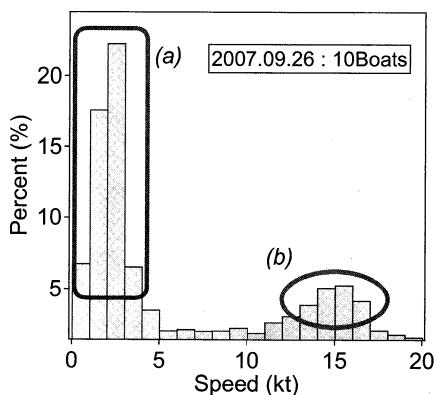


図-4 シラス漁の操業時の船速の頻度分布

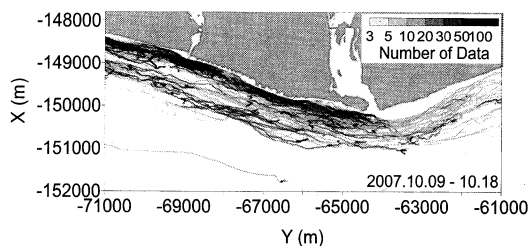


図-5 シラス漁の測深データ数の空間分布

る。現在、遠州灘では2つの漁協に150隻程度のシラス漁船が所属しており、冬季3ヶ月程度の休漁期を除いて活発に操業することから、太平洋沿岸で高波浪が多い期間を含む春季から冬季にかけて、広範囲かつ高頻度の測深データが取得できる可能性がある。

図-4は10隻のシラス漁船が1日の操業中に占める船速の割合を示したものである。二艘曳きの形態をとる対象海域のシラス漁船は、投入した網を海岸に平行してゆっくりと曳くため、操業時間の半分以上を1~4kt (図中(a), 1kt=0.51m/s) が占めている。また図中(b)は漁場への移動や帰港する際の速度であると考えられる。

図-5は天竜川河口付近における10隻の9日間の操業データを用い、20m 間隔の格子点について、半径14m の円内に存在する測深データの数(密度)を濃淡で示したものである。汀線から約1km 沖側までの範囲にデータが集中しており、海岸に近づくにつれてデータが密になっている。この時の同領域における測深値の頻度分布が図-6である。水深5~6m を中心に、10m 以浅を主に操業

していることがわかる。船体動揺などのノイズを含む魚群探知機の測深値から海底地形を算出する場合、時間軸における不良データの除去も課題であるが(畑中ら, 2006), 測深データの空間的な密度と、得られる地形データの信頼度は密接に関係していることから、シラス漁船の測深データから得られる海底地形図は、地形変化が大きな水深数メートルの浅海域において信頼性が高くなると言える。一方で、9月から11月にかけて取得したシラス漁の操業データでは、5m 以浅の水深での操業はほとんど見られなかったことから、浅海域のすべてをシラス漁船から得られる水深情報だけでカバーすることが難しいことも明らかになった。

### 3. シラス漁船の測深データを用いた海底地形図

図-7(a)は図-2で示す (a) の期間のデータから算出した天竜川河口付近（沿岸方向6km）の海底地形図である。魚群探知機の測深データは、気象庁舞阪験潮所の潮汐デー

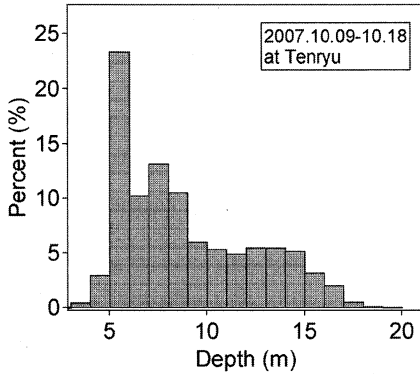
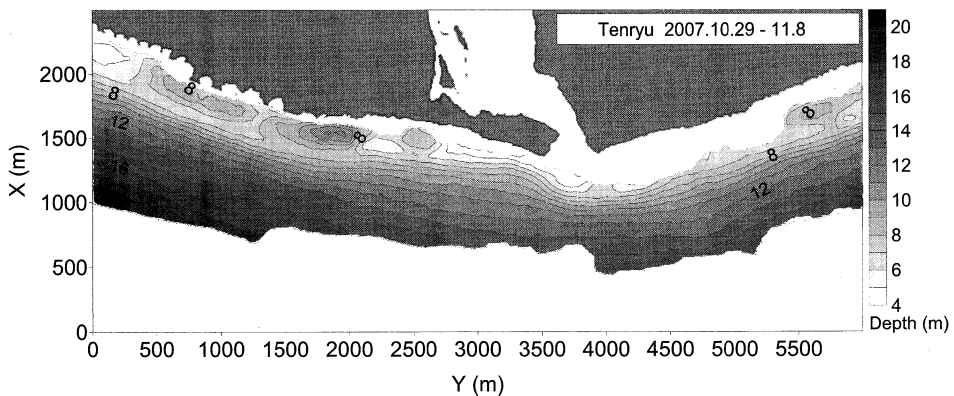


図-6 シラス漁の作業時間中に占める水深の割合

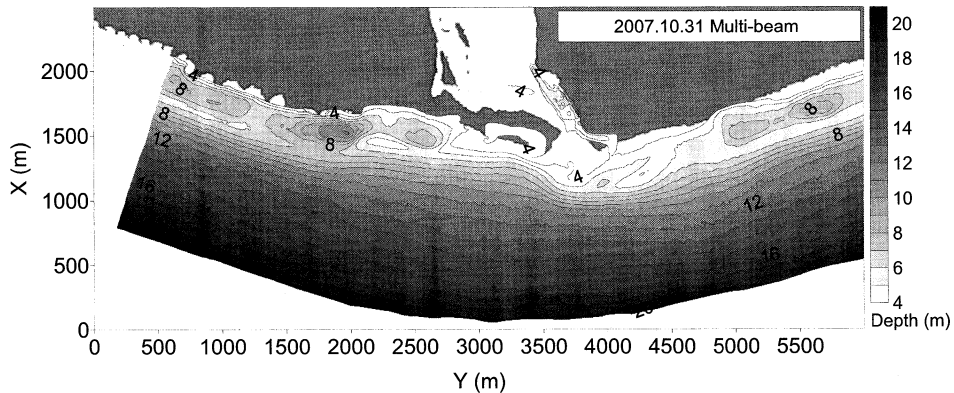
タを用いて T.P.を基準とする水深へ換算し、さらに漁船の喫水を補正した。図-7(b)は、図-7(a)と同時期にマルチビーム音響測深で高精度測量された海底地形図（国土交通省浜松河川国道事務所のデータより作成）である。2つの図を比較すると、急激な水深の変化や河口テラスの形状がよく一致している。

図-8は図-7に示した2つの異なる計測手法から導かれた海底地形図について、対応する位置での水深を比較したものである。互いに比例関係を示しており、シラス漁船のデータでも水深変化の傾向は高精度測量と同様に捉えていることがわかる。ただし、シラス漁船を用いた海底地形図の方が、全体的にやや深い値を示している。

図-9は、高精度測量による水深に対する測深誤差の平均値と、その標準偏差を示したものである。ここで、測深誤差とは高精度測量による海底地形図（図-7(b)）を真値と仮定した場合の、シラス漁船データを用いた海底地形図（図-7(a)）との水深差としている。これより、シラス漁船による海底地形図は水深が平均的に数十センチメートル深く算出されている。これは喫水が厳密に計



(a) シラス漁船の測深・位置データから求めた海底地形図



(b) マルチビーム方式深浅測量による海底地形図

図-7 天竜川河口付近の海底地形図

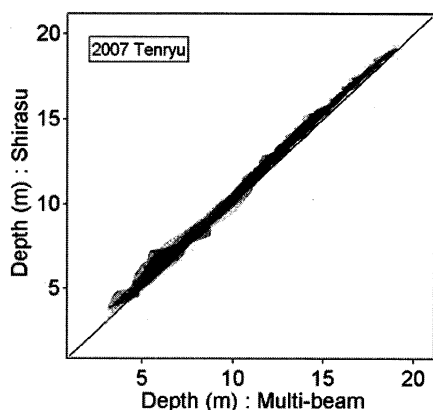


図-8 シラス漁船を利用した海底地形図とマルチビーム深淺測量の水深の比較

測されていない、あるいは船体動揺により水深を大きく計測していることなどの要因が考えられ、今後詳細な検討が必要である。また、水深7m、15mに見られるように、測深誤差が増加するに従って標準偏差も大きくなる傾向を示す。水深6m～7mの浅い海域の誤差増加は、操業データを合成した11日間で生じた地形変化を反映した可能性がある。

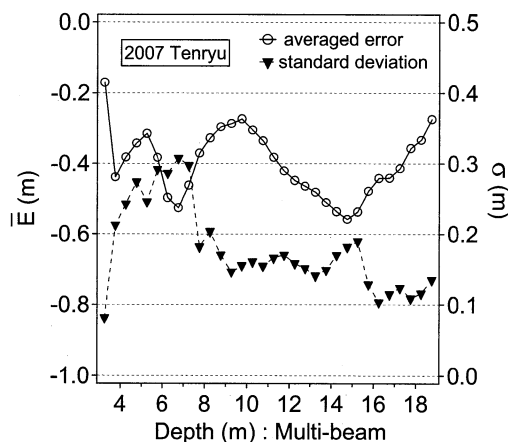


図-9 測深誤差の平均値と標準偏差の水深分布

図-10は20m毎の格子点を中心とした半径14mの円に存在する測深データ数から算出した測深データの密度と、測深誤差との関係を示したものである。これよりデータ密度が高くなるにつれて測深誤差も減少することがわかる。魚群探知機の測深データには、船体動揺やノイズなどの測深誤差が含まれており、空間的な測深値の平均でデータをとりまとめた場合、データ数が多いほど1つの誤差の重みが小さくなるためと考えられる。

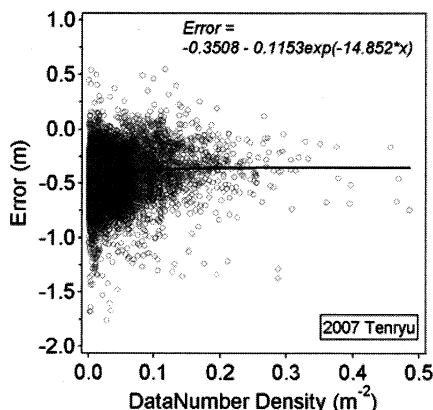


図-10 測深誤差と測深データ密度の関係

#### 4. 土砂管理のための地形モニタリングの問題点

本研究は、浅海域の広い範囲を対象に土砂移動の実態を把握し、沿岸域の土砂を適切かつ順応的に管理することを最終目的としている。したがって、上に述べたような、シラス漁船から高頻度に得られる海底地形データをもとに、土砂の動きをなるべく正確に捉える手法の開発が求められる。以下は、ある誤差を有する高頻度な地形データから漂砂量を見積もる際の、地形計測の精度上の問題点について若干の考察を加えたものである。

単純化するために、1次元問題を考える。漂砂量 $q$ と水深 $h$ の関係は次式の漂砂の連続式で与えられる。

$$\frac{\partial q}{\partial x} = (1 - \lambda) \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 $\lambda$ は空隙率である。いま、求める漂砂量として、ある期間 $\Delta t$ での平均的な漂砂量 $\bar{q}$ を考える。すなわち、

$$\bar{q} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} q dt \quad (2)$$

(1)式の両辺を期間 $\Delta t$ で平均すると次式となる。

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial x} = (1 - \lambda) \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (3)$$

ここに、 $\Delta h$ は期間の始め( $t=t$ )と終わり( $t=t+\Delta t$ )における水深の変化量である。これを $x$ で積分すると、期間平均の漂砂量が得られる。

$$\bar{q} = (1 - \lambda) \int_a^x \frac{\Delta h}{\Delta t} dx + \bar{q}_a \quad (4)$$

ただし、 $\bar{q}_a$ は $x=a$ での平均漂砂量である。

これより、 $\Delta t$ 間隔で得られた地形データから求めら

れる漂砂量は、その期間で平均された漂砂量に対応していることがわかる。また、 $\bar{q}$ の精度は、水深差 $\Delta h$ の計測精度に依存し、空間積分による誤差を含むことがわかる。したがって、漂砂量の推定精度を上げるためには、必要とする時間スケールに応じた時間間隔で地形データとなるべく高精度かつ高い空間解像度で計測することが必要となる。本研究で提示した漁船による地形モニタリングでは、漁場との関係で測量精度の空間的なばらつきが大きという問題があり、これが局所的な漂砂量に影響を及ぼすことが考えられる。

一方、式(4)から明らかなように、漂砂量を定量化するためには、ある参照地点( $x=a$ )における漂砂量を見積もることが必要である。これには、現地観測による方法、波や流れのモニタリングデータを用いて何らかの数値モデルにより推定する方法、あるいは両者を組み合わせる方法などが考えられるが、これらの精度の向上も併せて検討する必要がある。現地の漂砂量を短い時間スケールで推定することは容易ではないが、河口部などの漂砂量が比較的予測しやすい場所を参照地点として選定することが重要であろう。また、高頻度の地形データを利用し、現地観測の方法や数値モデルの精度を向上させていくことが必要である。

## 5. 結論

本研究では、遠州灘沿岸で操業するシラス漁船の測深(魚群探知機)および位置(GPS)情報を解析して、漁の特徴や漁船の移動特性を調べた。また天竜川河口近傍で、それらのデータより海底地形図を作成し、高精度測量による水深と比較することで測深誤差についても検討した。以下に得られた知見を示す。

1) 遠州灘沿岸のシラス漁は、風況や海象、休漁期間を除いて高頻度で出漁している。また、漁船の移動範囲は沿岸方向に50km以上と広範囲にわたることから、広い海域での頻度の高い測深データが取得できる。

2) 水深10m以浅の沿岸域を1~4ktのゆっくりした速さで操業するため、海岸に近い浅海での測深データの空間密度が高くなる。このため、土砂移動による海底地形変化の大きな水深において、信頼度の高い海底地形図の取得が期待できる。

3) マルチビーム深浅測量との海底地形図の比較では、水深変化の傾向は同様に捕らえているものの、水深が平均的に数十センチメートル深く算出されている。この要因については今後検討が必要である。

4) 測深誤差は測深データの空間密度が高いほど小さくなる。

また、高頻度での海底地形図から土砂管理に必要な漂砂量を算出する際の問題点を整理した。

5) ある時間間隔で得られた地形データから求められる漂砂量は、その期間で平均された漂砂量と、ある参照地点での平均漂砂量に關係する。前者は適切な時間スケールでの、高精度かつ空間解像度の高い地形データを必要とする。後者は、ある地点での現地観測による直接計測や数値モデルによる推定などから求めるが、それらの精度向上も必要である。

土砂管理のためのモニタリングとしては、測深データの精度向上と、5m以浅でのデータ取得が課題として示された。精度については、主に船体動揺による測深誤差の除去が重要と考えられる。測深データを動揺の周期で移動平均するなど時空間的な処理の検討が必要である。また、浅い海域での操業範囲はシラスの魚場形成と密接に関連しており、夏季は5m以浅での操業も行われている。データ取得範囲の季節変動を把握するためにも、1年を通じた継続的なデータ収集と解析が不可欠である。加えて、漂砂量の算出に関する研究も重ねることで、広域での土砂管理に資するデータとなるよう取り組みたい。

最後に、本研究は文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」(代表者、青木伸一：豊橋技術科学大学)の研究の一環として行ったものである。また、天竜川河口海域のマルチビーム深浅測量データは、国土交通省浜松河川国道事務所からご提供いただいた。加えて、浜名漁業協同組合には、データロガーの設置やシラス漁船のデータ取得にご協力いただいている。ここに記して関係諸氏に謝意を表す。

## 参考文献

- 青木伸一(2008)：海岸管理におけるローカルとトータルのジレンマ—海岸侵食対策から流砂系総合土砂管理への転換に向けて—, 日本建築学会総合論文誌, v.6, pp. 75-78.
- 畑中勝守・和田雅昭(2006)：漁船を活用した海底地形情報取得システムのデータ解析に関する考察, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1386-1390.
- 山下隆男・土屋義人・岩井卓・遠藤保彦(1992)：スキニング式海底プロファイラーによる外浜海浜地形の3次元計測, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.401-405.
- 和田雅昭・畑中勝守・木村暢夫・天下井清(2005)：水産業における情報技術の活用について-I. 一三次元海底地形の取得と活用—, 日本航海学会論文集, 112, pp. 189-198.