

魚群探知機による底質環境の把握

松島 伸代¹・笠井 昭範²
 (1研究部・2古野電気株式会社)

福岡湾では底質環境を把握するため、定期的に採泥による底質調査を行っている。しかし、従来の底質調査方法では採泥と分析に多大な労力と時間がかかるとともに、限られた調査地点のみの情報しか得られないという問題がある。そこで本研究では、魚群探知機を用いた高精度で簡易な底質環境の判別技術を開発するため、福岡湾において魚群探知機による調査と採泥による調査を行い、魚群探知機の海底エコーから得られた海底後方散乱強度と採泥によって得られた底質データを比較検討した。この結果、海底後方散乱強度と泥分率および $Md\phi$ には強い負の相関があり、魚群探知機から得られた海底後方散乱強度から底質を判別できることが明らかとなった。

キーワード：魚群探知機，底質，福岡湾，海底後方散乱強度

かつて、半閉鎖的な海域である福岡湾では富栄養化が進行し、夏期を中心に赤潮が形成されていた¹⁾。これに伴い有機物の負荷による底質への影響を調べるため、定期的に採泥による底質調査を行っている²⁻⁴⁾。しかし、従来の採泥による調査方法では、試料採取や分析に多大な労力と時間がかかるとともに、限られた調査地点のみの情報しか得られないという問題がある。そこで本研究では、従来の方法より簡易で精度の高い底質調査を行うため、魚群探知機（以下魚探とする）を用いた底質判別技術の開発を目的とした。研究は魚探の研究、開発に精通している古野電気株式会社と共同で行った。

方 法

調査は2020年6月から2021年8月にかけて県漁業調査取締船げんかいで行った。調査地点は福岡湾内とし、魚探は FURUNO 社製の漁労用シングルビーム魚探 FCV-1900 の周波数 88 kHz を用いた。

1. 魚探海底エコーの最適取得条件

魚探海底エコーを取得するにあたり、最適な調査方法を検討するため2020年6月15日、8月17日、10月20日に調査を行った。調査地点は Stn.1~5 とし、船速 0, 5, 10, 15 kt, 魚探の送信出力 4, 10 を組み合わせた条件で調査地点上を往復航行し、魚探海底エコーを取得した（表1, 図1）。なお、2020年10月20日の調査は送信出力4のみで行った。

表1 2020年6月15日、8月17日、10月20日の調査概要

| 調査地点 | 緯度 | 経度 | 2020/6/15 | | 2020/8/17 | | 2020/10/20 | |
|--------|------------|-------------|-----------|----|-----------|----|------------|----|
| | | | 魚探 | 採泥 | 魚探 | 採泥 | 魚探 | 採泥 |
| Stn. 1 | 33°38.408' | 130°22.788' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 2 | 33°39.191' | 130°15.652' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 3 | 33°38.270' | 130°14.830' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 4 | 33°35.899' | 130°17.591' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 5 | 33°36.336' | 130°20.928' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 6 | 33°38.880' | 130°17.700' | - | - | - | - | ○ | ○ |
| Stn. 7 | 33°37.070' | 130°16.800' | - | - | - | - | ○ | ○ |

表 2 2020年12月21日, 2021年6月10日, 8月26日の調査概要

| 調査地点 | 緯度 | 経度 | 2020/12/21 | | 2021/6/10 | | 2021/8/26 | |
|---------|------------|-------------|------------|----|-----------|----|-----------|----|
| | | | 魚探 | 採泥 | 魚探 | 採泥 | 魚探 | 採泥 |
| Stn. 10 | 33°40.306' | 130°16.694' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 11 | 33°37.997' | 130°20.808' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 12 | 33°37.600' | 130°19.503' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 13 | 33°37.500' | 130°23.500' | ○ | ○ | - | - | - | - |
| Stn. 14 | 33°37.430' | 130°23.660' | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 15 | 33°37.034' | 130°16.297' | - | - | - | - | - | - |
| Stn. 16 | 33°37.307' | 130°17.372' | - | - | - | - | ○ | ○ |
| Stn. 17 | 33°36.139' | 130°19.209' | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Stn. 18 | 33°42.000' | 130°15.900' | - | - | - | - | ○ | ○ |

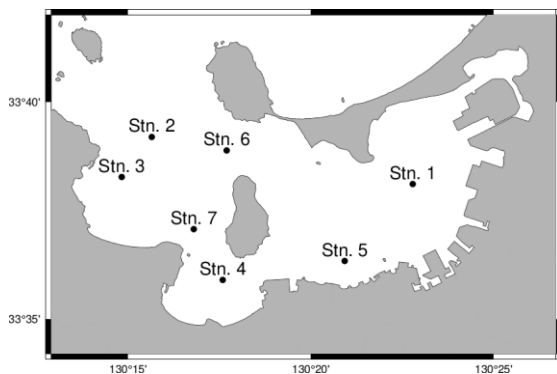


図 1 調査地点

得られた魚探海底エコーからエコーレベルと海底後方散乱強度 (Bottom Surface Backscattering Strength) を算出した。海底後方散乱強度 (以下 SS とする) は海水中を音波が伝搬していく過程で減衰する音響エネルギーや水深差によるビームの反射範囲等を補正した値で以下の式から得られる。

$$SS = EL + 30 \log(r) + 2\alpha r - KTR + SsOffset - 120$$

$$SsOffset = 10 \log(r/A)$$

$$A = \pi \times r^2 \times \tan(\pi \times fai/180)^2 \dots r < R$$

$$A = \pi \times c \times t (r + c \times t/4) \dots r \geq R$$

$$R = ((c \times t/2) \times \cos(\pi \times fai/180)) / (1 - \cos(\pi \times fai/180))$$

EL : 収録データの digit 値×機種固有係数[dBV]

KTR : 送受信係数[dBV]

r : 水深[m]

α : 吸収係数[dB/m]

c : 音速[m/s]

t : パルス幅[s]

fai : 送受波器指向角[°]

2つの送信出力を用いた2020年6月15日と8月17日の調査時の魚探海底エコーについて、魚探機器が受信できるエコーレベルの最大値を超えた異常値の割合を送信出力ごとに求めた。次に、2020年6月15日、8月17日、10月20日の送信出力4の魚探海底エコーを用い、調査地点ごとに船速別のSSを算出した。

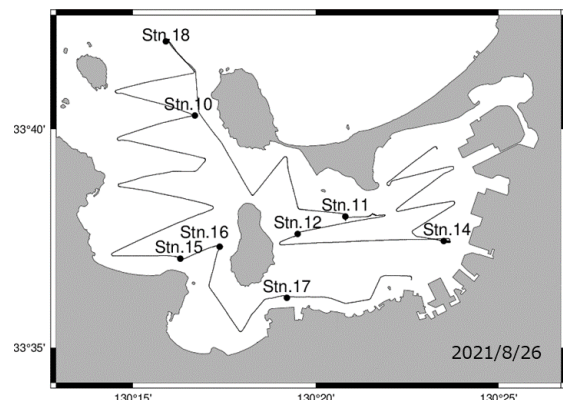
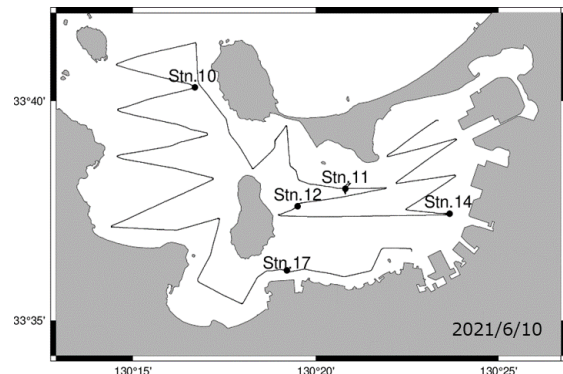
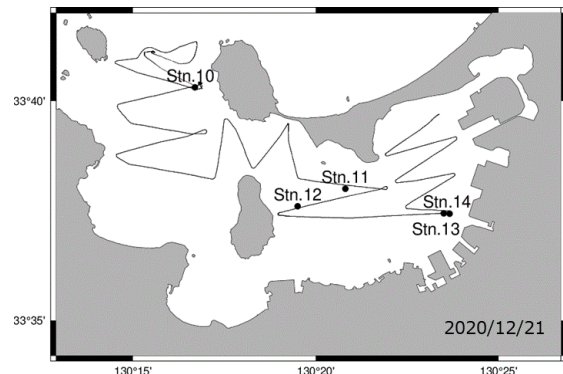


図 2 魚探調査の航跡と採泥地点

2. 魚探調査および採泥調査

魚探海底エコーと底質の粒度組成を比較するため下記の調査を行った。方法1に示した魚探調査時に、同調査地点において、スミス・マッキンタイヤ採泥器

を用いて、底泥の0~5cm層を採取混合して持ち帰り、フルイ法・比重法により泥分率と M_{dφ} を求めた。なお、泥分率は粒径 75μm 以下の泥の割合とした。また、2020年10月20日の魚探調査時には、Stn.1~5に加えてStn.6, 7でも魚探・採泥調査を行った(表1, 図1)。

次に、2020年12月21日、2021年6月10日、8月26日に船速12~13kt, 送信出力4で福岡湾内を航行し、魚探海底エコーを収集するとともに、魚探海底エコーに特徴的な反応が見られた地点において、魚探・採泥調査を行った(表2, 図2)。

魚探調査の結果から各調査地点の SS を算出し、採泥調査の結果から得られた泥分率、M_{dφ} との相関を調べた。

結 果

1. 魚探海底エコーの最適取得条件

2020年6月15日、8月17日の送信出力4の魚探海底エコーでは、エコーレベルが最大値を超えている異常値の割合はそれぞれ全体の0.2%、1%であったが、送信出力10のデータではそれぞれ34%、47%であった(表3)。

また、異常値が少なかった送信出力4の船速別の SS を比較すると、2020年6月15日の Stn.1 では0ktの SS は他の船速よりも高くなり、Stn.3, 5では低くなった。一方、2020年8月17日ではすべての船速で近い値となった。また、2020年10月20日の Stn.3, 5の0ktの SS は他の船速よりも低くなった(図3)。

表3 送信出力別の異常値の割合 (%)

| 送信出力 | 2020年 | |
|------|-------|-------|
| | 6月15日 | 8月17日 |
| 4 | 0.2 | 1 |
| 10 | 34 | 47 |

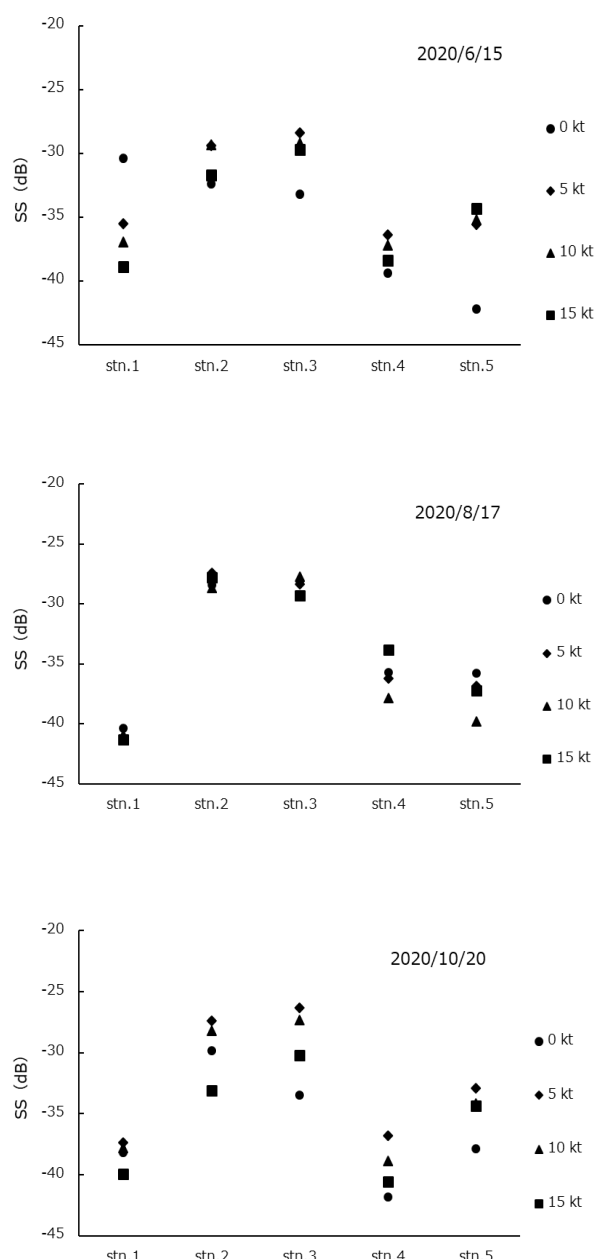


図3 各調査地点における船速別の SS

表4 各調査地点の泥分率、M_{dφ} および SS

| 調査地点 | 泥分率 (%) | | | | M _{dφ} | | | | SS (dB) | | | | |
|---------|---------|------|-------|-------|-----------------|------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 2020 | | 2021 | | 2020 | | 2021 | | 2020 | | 2021 | | |
| | 6/9 | 8/17 | 10/20 | 12/21 | 6/9 | 8/17 | 10/20 | 12/21 | 6/9 | 8/17 | 10/20 | 12/21 | |
| Stn. 1 | 93.5 | 96 | 95.7 | - | - | 4.8 | 4.2 | - | - | -37.1 | -41.1 | -38.4 | - |
| Stn. 2 | 42.5 | 46.1 | 31.9 | - | 3.3 | 3.4 | 3.0 | - | -30.2 | -28.2 | -29.5 | - | |
| Stn. 3 | 4 | 29.3 | 5.2 | - | 2.3 | 2.6 | 2.4 | - | -29.1 | -28.1 | -27.9 | - | |
| Stn. 4 | 73.6 | 72.1 | 77.1 | - | - | 4.1 | 4.1 | - | -37.3 | -36.6 | -38.7 | - | |
| Stn. 5 | 87.7 | 88.9 | 91.6 | - | - | 4.5 | 4.3 | - | -35.4 | -37.5 | -33.8 | - | |
| Stn. 6 | - | - | 63.9 | - | - | - | 4.1 | - | - | - | -29.3 | - | |
| Stn. 7 | - | - | 70.5 | - | - | - | 4.4 | - | - | - | -31.3 | - | |
| Stn. 10 | - | - | - | 1.9 | 0.2 | 1.7 | - | 0.8 | 0.4 | 0.6 | - | -28.5 | -27.4 |
| Stn. 11 | - | - | - | 28.6 | 79 | 81.8 | - | 2.3 | 6.1 | 6.3 | - | -29.4 | -37.7 |
| Stn. 12 | - | - | - | 96.1 | 98.3 | 97.9 | - | 4.3 | 6.8 | 6.8 | - | -39.9 | -37.9 |
| Stn. 13 | - | - | - | 78.4 | - | - | - | 4.0 | - | - | - | -36.4 | - |
| Stn. 14 | - | - | - | 32.2 | 36.1 | 26 | - | 1.4 | 2.1 | 0.8 | - | -32.1 | -30.7 |
| Stn. 15 | - | - | - | - | - | 65.8 | - | - | - | 5.1 | - | - | -33.6 |
| Stn. 16 | - | - | - | - | - | 41.7 | - | - | - | 2.9 | - | - | -33.2 |
| Stn. 17 | - | - | - | - | 90.1 | 89.5 | - | - | 6.3 | 6.4 | - | - | -38.4 |
| Stn. 18 | - | - | - | - | - | 0.2 | - | - | 0.3 | - | - | - | -26.9 |

2. 魚探調査および採泥調査

各調査地点の泥分率, $Md\phi$, SS について, 湾口付近の Stn.10, 18 では泥分率 0.2~1.9%, $Md\phi$ 0.3~0.8 と低く, SS は-28.5~-26.9dB と高かった(表 4)。一方, 湾奥の Stn.1, 5, 17 では泥分率 87.7~96%, $Md\phi$ 4.2~6.4 と高く, SS は-41.1~33.8dB と低かった。また, Stn.11 では, 2020 年 12 月 21 日と 2021 年 8 月 26 日の泥分率はそれぞれ 28.6%, 81.8%, SS はそれぞれ -29.4dB, -41.1dB であり, 時期による変化がみられた。さらに, 2020 年 12 月 21 日の St.13 は泥分率 78.4%, $Md\phi$ 4.0 であったのに対し, 近くの Stn.14 では泥分率 32.2%, $Md\phi$ 1.4 と差があった。このとき Stn.14 の SS は Stn.13 と比較して 4.3dB 高く, 局所的な変化に対応していた。

各調査地点における SS と泥分率および $Md\phi$ の相関を調べたところ, 強い負の相関が見られ, 相関係数はそれぞれ -0.8903, -0.8018, 近似式が $Y=-0.12X-26.767$, $Y=-1.9541X-26.61$ であった(図 4, 5)。

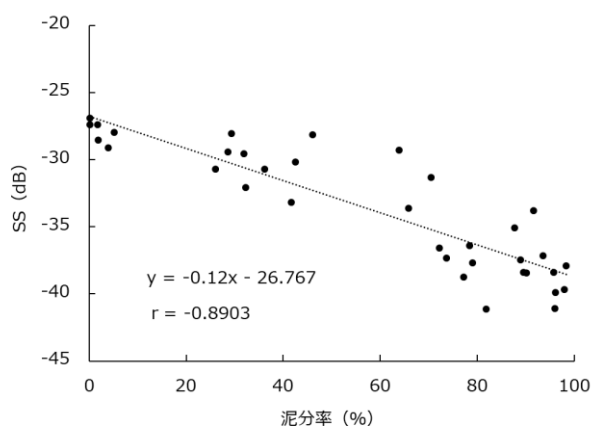


図 4 SS と泥分率の相関

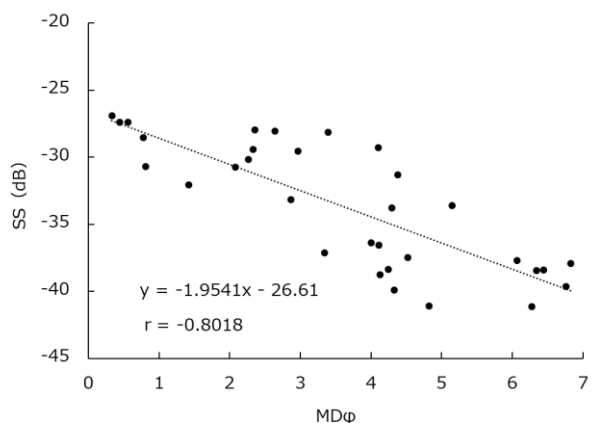


図 5 SS と $Md\phi$ の相関

考 察

福岡湾での魚探海底エコーの取得条件について, 送信出力 10 では送信出力 4 より異常値の割合が高かった。これは本研究の調査海域の水深が浅く, 送信出力 10 の強い音波では, 機器の受信できる最大値を超えたためと考えられる。海底のエコーレベルが最大値を超えた場合, SS を過小評価するため正常なデータが得られないことから本研究では送信出力 4 のデータを用いた。また, 船速 0 kt 時の SS は他の船速と大きく異なる傾向となった。これは自船によって引き起こされた気泡により, 魚探の送受波器が感度不良となったためと示唆される。このことから魚探調査は 5~15kt の船速が望ましいと考えられた。さらに, 短時間でより広い範囲を調査するため, 魚探音波発射の間隔が 10m 毎に 1 回となる船速 12~13kt を魚探調査時の船速と定めた。東京湾における音響装置を用いた底質調査でも同様に, 気泡による影響と解析データの間隔を 10m 毎に 1 回とすることを考慮してデータ取得時の船速を定めている⁵⁾。以上のことから, 浅海域での魚探海底エコーの取得条件は送信出力 4, 船速 12~13kt が最適と考えられる。

底質調査はこれまで各地で行われてきたが²⁻⁴⁾, それらは限られた調査地点で採泥・分析する方法であり, 広域の底質を把握する場合その精度は低いものとなる。本研究は SS と泥分率および $Md\phi$ の間に負の相関があることを明らかにし, 魚探海底エコーから底質を判別することが可能であることを示した。さらに本研究の手法では 10m 間隔で魚探海底エコーが得られるため, これまでの限定的な調査地点から判別された底質と比較すると広域的かつ高精度に底質を判別可能と考えられる。

音響機器を用いたこのような海底調査は各地で行われており, インドネシアのセリブ諸島では, 音響測深機から得られたデータと採泥結果から SS は砂の含有率に比例し, シルトと粘土の含有率に反比例することが示されている⁶⁾。また, 有明海やスマトラ島・ジャワ島で行われた計量魚探を用いた調査でも, SS は砂の含有率と比例することが報告されている^{7, 8)}。しかし, これらの研究は音響装置や計量魚探を用いており, 本研究で使用している一般的な調査船や漁船などで使用される漁労用魚探で行った報告はない。

魚探海底エコーから底質を判別することが可能となったことから, 2020 年 12 月 21 日, 2021 年 6 月 10 日, 8 月 26 日の調査で得られた福岡湾内の魚探海底エコーを底質の指標(泥分率, $Md\phi$)に変換し, 福岡湾

の底質マップを作成した（図 6, 7）。

2020年12月21日は湾奥で泥分率50~90%, Mdp3~6となり, 特に海岸線付近で硬い底質が局所的にみられた。2021年6月10日は2020年12月21日と比較して湾口付近の底質が泥分率10~80%, Mdp0~5と変化が顕著となった。2021年8月26日は2021年6月10日と比較して湾口, 湾奥ともに泥化傾向が見られた。このように底質の時期による変化や, 局所的な変化を捉える高精度な底質マップの作成が可能となった。次に, 本研究の底質マップと過去の底質調査の比較を行った。1974年9月には湾内のほぼ全域で泥分率40~60%の底質が広がっていたが²⁾, 2007年9月には湾奥の泥分率が65~90%と泥化し, 反対に湾口付近の

泥分率は1~20%と砂化した。さらに, 能古島南部では泥分率は61%であった⁴⁾。

本研究から得られた底質マップのうち, 過去の調査と最も近い時期の2021年8月26日の泥分率マップでは, 湾奥は泥分率80~100%, 湾口付近では泥分率30~80%であり2007年9月と比較すると湾奥, 湾口ともに泥化が進んでいることが示唆された。

特に能古島北西部から湾口にかけて泥化の傾向は顕著で2007年9月ではみられなかった泥分率80%以上の底質が一部広がっていた。さらに, 能古島南部では2007年9月の泥分率61%と比較して, 泥分率80~90%と高くなっていった。このことから, 泥分率80%以上の底質が福岡湾東部から西部にかけて広がっていることが示唆された。

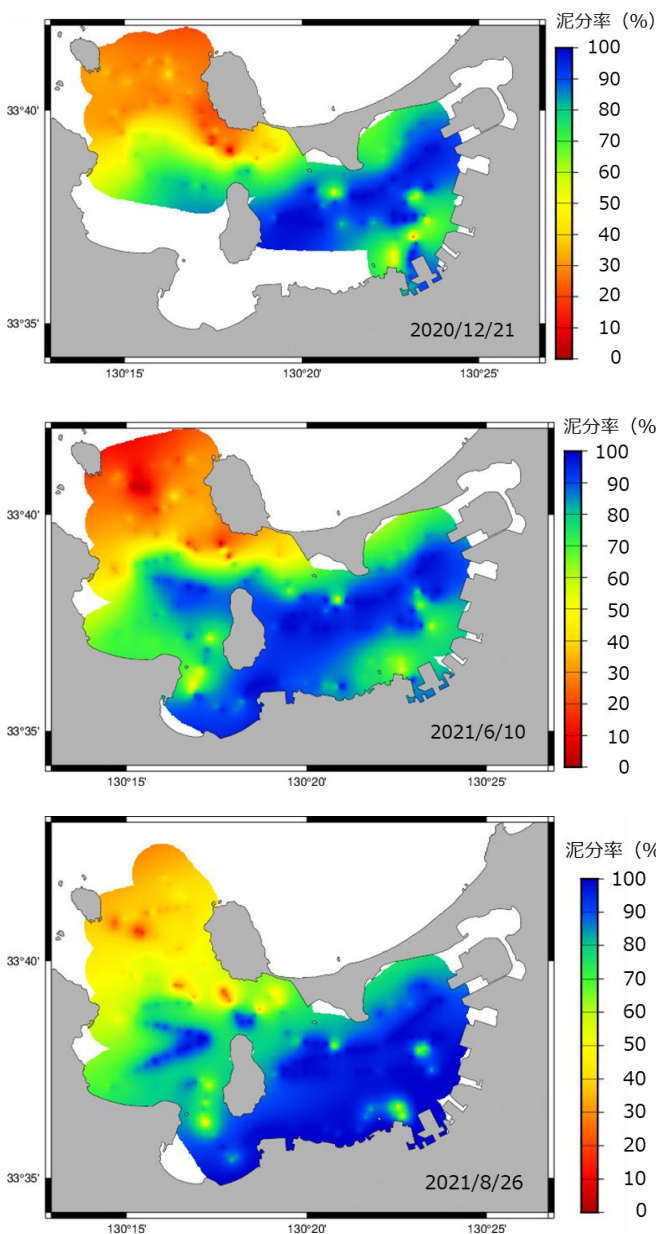


図 6 泥分率マップ

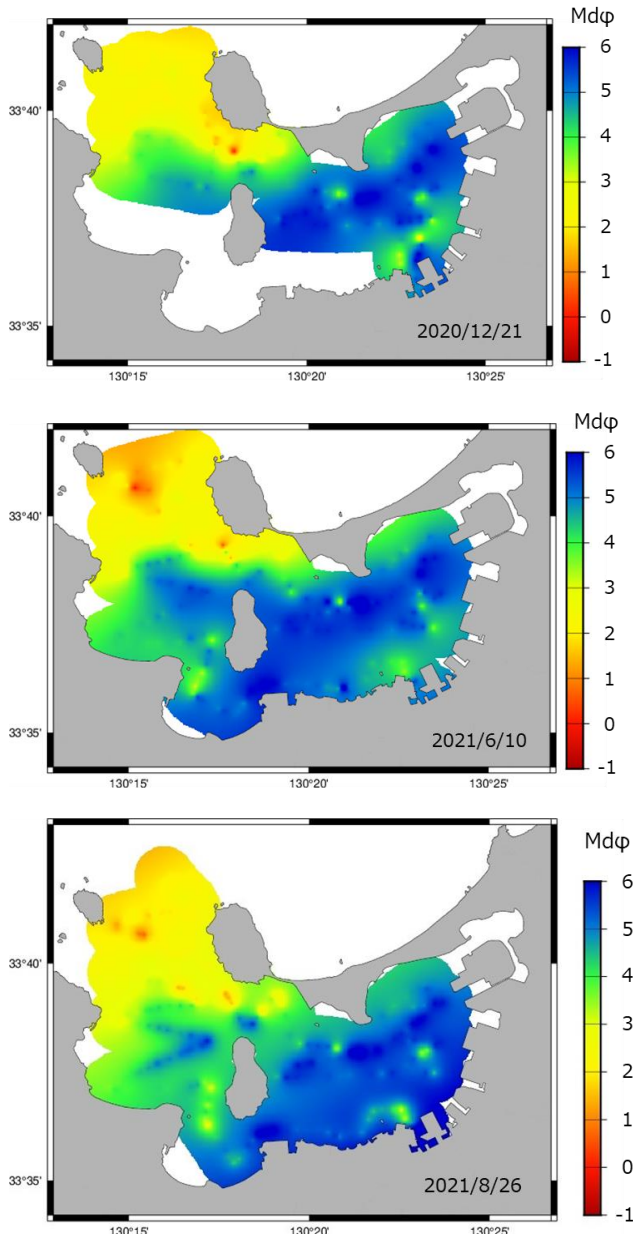


図 7 Mdp マップ

本研究において漁労用魚群探知機を用いた底質調査方法が示され、従来の底質調査よりも高精度で簡易な調査が可能となった。今後、他の海域や他の船で底質調査を行う場合、本研究と同様の手順で調査を行い SS と粒度組成の近似式を出すことにより調査が可能になると考えられる。また、他の船で調査を行う場合、同じ調査地点をそれぞれの船で測定し、その調査地点の SS を比較することで船間の較正が可能とされており⁹⁾、本研究の調査地点を別の船で航行し、SS を比較することで採泥調査を行わずに底質調査が可能であることが示唆される。今後は本研究の技術を用いて定期的に福岡湾の底質マップの作成を行い、漁場環境の把握や迅速性が求められる豪雨災害の影響調査等に活用したい。

文 献

- 1) 篠原満寿美, 杉野浩二郎, 佐藤利幸, 池内仁, 吉田幹英, 本田清一郎, 神菌真人. 福岡湾における植物プランクトン群集の季節変動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1999 ; **9** : 33-38.
- 2) 河辺克己, 北森良之助, 本城凡夫, 川上大和, 田中義興. 博多湾の底生動物と底質. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告 1976 : 208-230.
- 3) 田中義興, 川上大和, 河辺克己, 本田輝雄, 兵頭秀樹. 博多湾とその周辺海域における底生動物について. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告 1979 : 152-170.
- 4) 恵崎撰. 底質環境から見た福岡湾の現状. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; **19** : 171-175.
- 5) 岡田智也, 古川恵太. 音響底質識別装置を用いた東京湾沿岸域の底質分布図の作成. 海洋開発論文集 2005 ; **21** : 749-754.
- 6) Manik HM. Acoustic Characterization of Fish and Seabed Using Underwater Acoustic Technology in Seribu Island Indonesia. *Journal of Marine Science: Research & Development* 2015 ; **5** : 1-9.
- 7) 青山千春, 滝川清, 秋元和實, 園田吉弘. 魚群探知機を利用した海底・海中環境特性把握のための音響的観測手法確立に関する研究. 海洋開発論文集 2007 ; **23** : 549-554.
- 8) Fauziyah, Priatna A, Prakoso WF, Hidayat T, Surbakti H, Nurjuliasti E. Measurement and analysis of acoustic backscattering strength for characteristics of seafloor sediment in Indian Ocean WPP 572-573 . *Earth and Environmental Science* 2018 ; **162** : 1-10.
- 9) 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦. 海底反射を利用した計量魚群探知機の総合的検証. 日本水産学会誌 1999 ; **65** : 78-85.