

令和元年6月24日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14514

研究課題名(和文)超小型可搬式採泥器の開発と応用

研究課題名(英文)Development of New Type Compact Mud Sampler and its Evaluation for usefulness

研究代表者

清水 健一 (SHIMIZU, Kenichi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授

研究者番号：20533946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では従来のクラブ型採泥器に代わり、釣り竿と電動リールにより簡易に粒度分析のための採泥を行うことが可能な小型の可搬式採泥器の開発を目指した。

その結果、空中重量1.5kg、採取部の大きさ(L=4cm, B=5cm, D=7cm：容積140cm<sup>3</sup>)のものを試作できた。続いて水深3～76mでの実海域で既存のクラブ型採泥器と小型採泥器で同時にサンプル採取を行い、粒度を比較したところ、両者はほぼ等しく、小型採泥器の実用性が認められた。一方、いくつかの場合において両者は異なるサンプルとみなされたが、それらは海底の底質が150μm以上の時に口が十分閉まっていない状態のときであり、水深とは無関係であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

底質の粒径は船舶の運航面では錨の効き具合(把駐力)に大きな影響を与えたり、海草や底生生物の生息にも大きな影響を与えることから、底質調査は海洋観測において基本的な重要項目である。しかし従来の採泥器はどれも大型・重量物であり取り扱いが煩雑であった。

これに対して本研究で開発した小型の可搬式採泥器は釣り竿と電動リールがあれば水深80m程度のやや深い海域でも1人で粒度分析のための採泥を行うことが可能となり、採泥作業を大幅に簡便化できるようになった。これにより今後底質調査地点を飛躍的に増やすことが可能となり、錨の効き具合との関連調査など今後のさらなる船舶の安全運航に寄与することが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we made a new type compact mud sampler which can be operated by electric reel and a rod. As the result, we can make one prototype compact mud sampler which size is 1.5kg weight in the air, L=4cm, B=5cm, D=7cm and volume is 140cm<sup>3</sup>.

In the next step, we carried out actual sea experiment (Sea depth was ranged from 3m to 76m). As the result, the new type compact mud sampler can be usefulness in many cases. However, there were some cases which were considered to be different even though the sample was obtained at the same time. These cases were seen at all times with a gap in the lid of sampler. It was suggested one possibility for the sample falls out during recovery. These cases were happen in the actual sedimentation particle size is 150 μm or more bigger size, and it seems nothing to do with the sea depth.

研究分野：海洋計測器学

キーワード：採泥器 水深 底質 整合比

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

底質の粒径は船舶の運航面では錨の効き具合（把駐力）に大きな影響を与えたり、海草や底生生物の生息にも大きな影響を与えることから、底質調査は海洋観測において基本的な重要項目である。しかし従来の採泥器はいずれも大型・重量物であり取り扱いが煩雑であった。一方、粒度分析に使うサンプル量は従来のふるい分け法やピペットを用いた沈降式と比べ、格段に少なくなった。そこで粒度分析に特化させ、釣り竿と電動リールのみで採取可能な小型の可搬式採泥器が開発されれば1人で粒度分析のための採泥を行うことが可能と考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では従来のグラブ型採泥器に代わり、釣り竿と電動リールにより簡易に粒度分析のための採泥を行うことが可能な小型の可搬式採泥器の開発を試みた。併せて、小型採泥器と既存の採泥器の両方を用いて同一地点で採取した試料を比較し、小型採泥器の有用性を検討することを目的とした。併せて、得られた試料が既存の採泥器と異なる場合はその原因を考察し、小型採泥器の使用上の注意点を明らかにすることも目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 設計目標

小型採泥器の試作にあたり、設計目標として、①釣り竿と電動リールで取り扱うことができるよう、小型軽量とすること、②海底に突き刺さる適度な落下速度を得るため、適度な水中重量を持ち、かつ抵抗の少ない材質や形状とすること、③着底の際の衝撃で破壊・変形しないこと、④粒度分析が可能な量の試料が得られること、⑤東シナ海の大部分を占める大陸棚の水深200m程度までの海域で採泥可能なこと、⑥目的とする試料を十分な量確保できるように、試行回数に対して一定以上の割合（本研究では最終的に試行回数の半分以上を目的とした）で採泥可能なこと、を定め、小型採泥器の試作と水槽実験や実海域実験を繰り返してその改良を行った。

#### (2) 水槽実験

このうち水槽実験では野外の土砂を採取し、これを目合い63  $\mu\text{m}$ 、125  $\mu\text{m}$ 、250  $\mu\text{m}$ 、500  $\mu\text{m}$ の4つのふるいを用いて、それぞれ泥（粒子径64  $\mu\text{m}$ 以下）、極細粒砂（粒子径64  $\mu\text{m}$ -125  $\mu\text{m}$ ）、細粒砂（粒子径125  $\mu\text{m}$ -250  $\mu\text{m}$ ）、中粒砂（粒子径250  $\mu\text{m}$ -500  $\mu\text{m}$ ）、粗粒砂（粒子径500  $\mu\text{m}$ 以上）の粒子径ごとに分類した5つの水槽（L308 mm×B184 mm×D244 mm）に分け、室内実験用の水槽を準備した。この水槽を水で満たし、試作した小型採泥器を用いて室内での採泥実験を行った。

#### (3) 実海域実験

実海域実験は本学部の附属練習船鶴洋丸（総トン数155 t）と2018年3月まで運航していた附属練習船3代目長崎丸（総トン数842 t）において実施した。同一地点で小型採泥器と既存の採泥器の両方で採泥を同時に実施した。ここで既存のグラブ式採泥器として、エクマンバージ採泥器またはスミス・マッキンタイヤ採泥器（以下、「既存の採泥器」）のいずれか一方を使用した。時刻、観測位置（緯度、経度）、水深とともに、小型採泥器では、採泥の成否、採取された泥の重量、水面から着底までに要した時間、海底から水面までの巻き上げに要した時間を記録した。なお、本研究において、採泥の成否は分析に使う量（湿重量10 g以上）が確保できた場合を「成功」とし、十分な量を確保できなかった場合を「失敗」とした。

また、投下の際は糸が絡まないよう自由落下で行い、巻き上げの際は巻き始めから巻き終わりまで等速で行った。さらに、水深を水面から着底までに要した時間で除して平均落下速度を求め、水深を海底から水面までの巻き上げ時間で除して巻き上げ速度を求めた。さらに、小型採泥器の水中での落下姿勢や巻き上げ時の試料の流出の有無を確認するため、カメラ（GoPro HERO3）に防水のハウジングを施し、小型の防水ライトとともに小型採泥器の直上約50 cmのところを下向きに設置した。このとき、水中カメラのフレームレートは30 fpsとし、小型採泥器の投入から回収までの間撮影した。

#### (4) 粒度の分析と比較

実海域実験によって得られた試料（湿重量約10 g）はあらかじめふるいを用いて3 mm以上の粒子径のものを除いたうえで、粒度分析機（島津製作所社製、SALD-3100（測定可能範囲：粒子径0.05-3000  $\mu\text{m}$ ））により粒子径の最小・最大範囲、中央粒径値（ $Md\phi$ ）、最頻値を求め、粒子径毎の全体に対する含有割合（以下、「粒子径毎の含有割合」とする）を求めた。中央粒径値（ $Md\phi$ ）について計測結果から11の粒度階区分に分類し、試料の粒度組成を明らかにした。このようにして得られた粒度組成の結果から、小型採泥器と既存の採泥器で得られた試料の比較を行った。この際、度数分布図を決定する指標として①中央粒径値、②最頻値、③粒子径の最小・最大範囲、粒子径毎の含有割合に着目し、比較した。

本研究では特に底質の粒度区分を決定する指標として用いられる中央粒径値に着目し、既存の採泥器で得られた試料を小型採泥器で得られた試料の中央粒径値で除してその比（以下、「整合比」とする）を算出した。整合比の値が「1」に近いほど小型採泥器で採取した泥の粒径と既存の採泥器で採取した泥の粒径が一致していることを示す。本研究ではこの整合比の値を用いて水深、底質の粒径、平均落下速度、巻き上げ速度との関係を検討した。

また、本研究では成功率も比較することとし、ここでは偶然による影響を除くため、測点ごとに3回以上試行した場合に、十分な量の試料が得られた回数を試行回数で除した値として求めた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 試作した小型採泥器

まずは加工が容易なアルミ製で小型採泥器（空中重量 1.1 kg）を試作した。今回は「採取部の左右のワイヤーを突起に引っ掛け、フタが開いた状態で投下し、着底すると同時に錘が落下し、突起を押し下げることで、左右のワイヤーが外れ、スプリングによってフタが閉まる」という機構で試作し、あらかじめ水槽実験で中粒砂までの試料が得られることを確認した。

この試作器をもとに水槽実験及び実海域実験を行い、次に示す改良 ①潮流の影響を受けにくくするため、羽状のプラスチック板を取り除く、②フタの側面からの試料の流出を防ぐため、フタの側面の隙間を覆うようにポリエチレン製カバーを装着、③巻き上げ時の乱流による試料の抜け出しを防止するため、ちょうつがい状の上フタを装着を行ったのち、最終的な試作器を製作した（図 1）。最終的な試作器の大きさは、採取部の長さ 4 cm×幅 5 cm×高さ 7 cm、空中重量約 1.5 kg（水中重量約 1.3 kg）、内容量 140 cm<sup>3</sup>となった。

##### (2) 実海域実験

2016 年 11 月から 2018 年 11 月にかけて実海域での実験を行った地点を図 2 に示した。それぞれ長崎周辺の海域、五島周辺海域と舞鶴湾での位置を示す。このうち、小型採泥器と既存の採泥器で同時に採取した計 29 測点（小型採泥器の試行回数のべ 290 回）について、試料の比較を行った。

##### (3) 粒度分析

粒度分析結果の一例として、図 3 に 2017 年 9 月 6 日に舞鶴湾において得られた試料の粒径毎の頻度分布図を示した。図に示すように両採泥器で得られた試料の粒子径毎の含有割合について  $\chi^2$  乗検定（有意水準 5 %）を行った結果、有意な差は認められず、粒子径の最小・最大範囲、中央粒径値の粒度区分、最頻値の粒度区分も一致したため、両採泥器で得られた試料が等しいものであると考えられた。このように粒子径毎の含有割合について  $\chi^2$  乗検定（有意水準 5 %）を行った結果から有意な差が認められなかった 17 測点に加え、中央粒径値の粒度区分、最頻値の粒度区分、粒子径の最小範囲、最大範囲のうち 3 つ以上の指標が一致した 6 測点の計 23 測点（小型採泥器の試行回数のべ 214 回）について、本研究では両採泥器で得られた試料が等しいとみなした。

一方、それらの指標が異なる場合の一例として、図 4 に 2016 年 12 月 1 日に長崎港内検疫錨地において得られた試料の頻度分布を示した。図に示すように粒子径の最小・最大範囲やそれぞれの粒子径毎の含有割合が両サンプルで異なっており、また中央粒径値と最頻値についても異なる粒度区分を示したことからこの場合には同一地点で採泥したにも関わらず小型採泥器と既存の採泥器で異なるサンプルが得られたと考えられる。このように、小型採泥器と既存の採泥器で得られた試料が異なるとみなされた例は、29 測点中 6 測点（小型採泥器の試行回数のべ 76 回）であった。

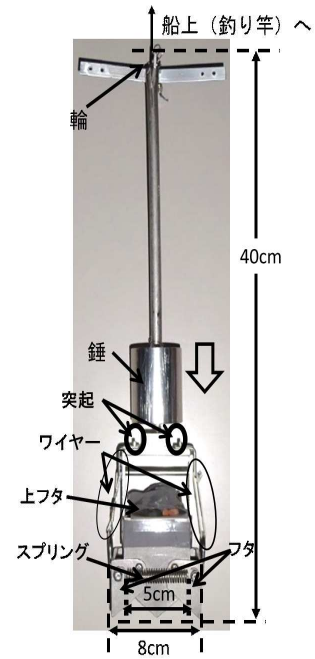


図 1. 試作した小型採泥器

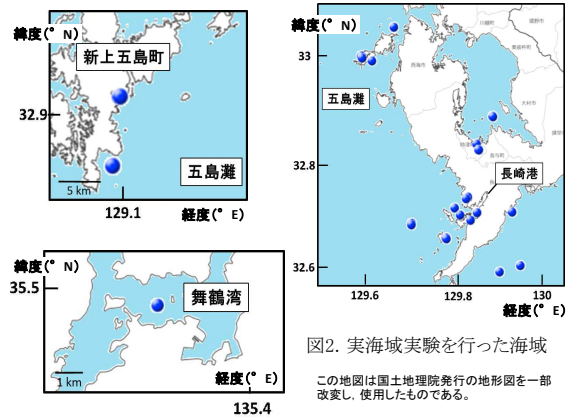


図 2. 実海域実験を行った海域

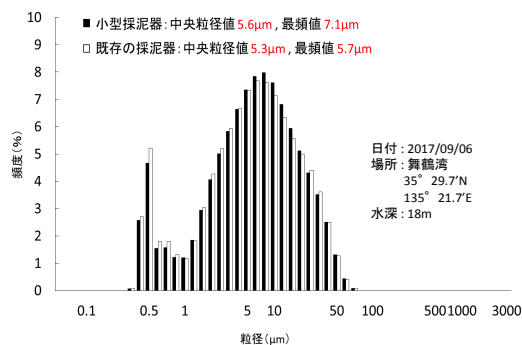


図 3. 両採泥器で得た試料が等しいとみなされた時の小型採泥器と既存の採泥器で得られた試料の粒径比較

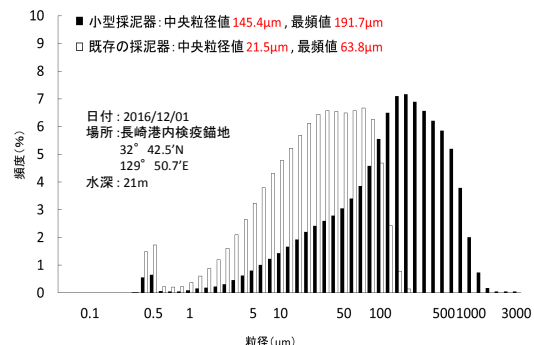


図 4. 両採泥器で得られた試料が異なるとみなされた時の小型採泥器と既存の採泥器で得られた試料の粒径比較

##### (4) 整合比と諸要因との関係

両採泥器で得られた試料が異なる要因を明らかにするため、底質の粒度区分を決定する指標として用いられる中央粒径値に着目し、両者の比（整合比）と、水深、底質、平均落下速度、巻き上げ速度との関係を調べた。

① 整合比と水深との関係

整合比と水深との関係を図5に示した。図より、黒のマーカと白のマーカが水深に関わらず存在しており、本研究で試行した範囲（水深 3~76 m）では整合比と水深には関係がみられなかった。（黒のマーカ：n= 23, r=0.01, 白のマーカ：n=6, r=0.05）

② 整合比と底質との関係

整合比と既存の採泥器で得られた底質の中央粒径値との関係を図6に示した。図より、明確な相関関係は見られなかったが底質の中央粒径値が 150 μm より大きい、すなわち細粒砂以上のとき、白のマーカ数が黒のマーカ数よりも多くなっている。ゆえに、底質の中央粒径値が 150 μm より大きいと、両採泥器で異なる粒度組成となる可能性が高くなることが示唆された。

③ 整合比と平均落下速度との関係

整合比と小型採泥器の平均落下速度との関係を図7に示した。図より、1.2~2.4 m/s の範囲では、平均落下速度の大小に関わらず白のマーカと黒のマーカの整合比が「1」に近い例が混在しており、整合比と落下速度の間の関係はみられなかった。

（黒のマーカ：n= 14, r=0.12, 白のマーカ：n=3, r=0.27）

④ 整合比と巻上げ速度との関係

整合比と小型採泥器の巻上げ速度との関係を図8に示した。図より、整合比と小型採泥器の巻上げ速度の間には正の相関（n=15, r=0.63, p=0.03）がみられ、巻上げ速度が遅い場合ほど小型採泥器で得られた試料の粒径は小さくなり、反対に巻上げ速度が早いほど小型採泥器で得られた試料の粒径が大きくなる傾向がみられた。

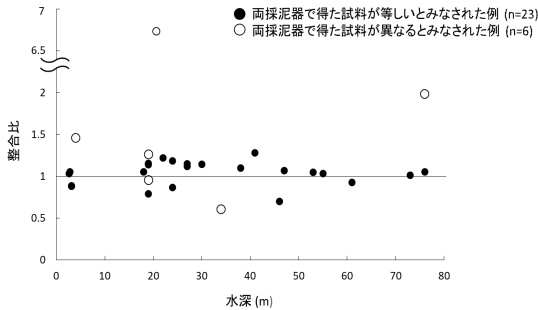


図 5. 整合比と水深との関係

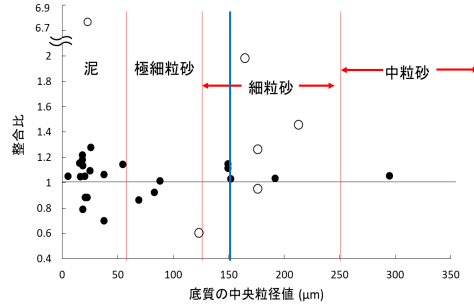


図 6. 整合比と底質の中央粒径値との関係

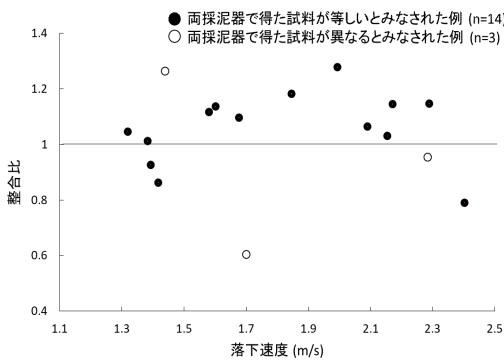


図 7. 整合比と小型採泥器の平均落下速度との関係

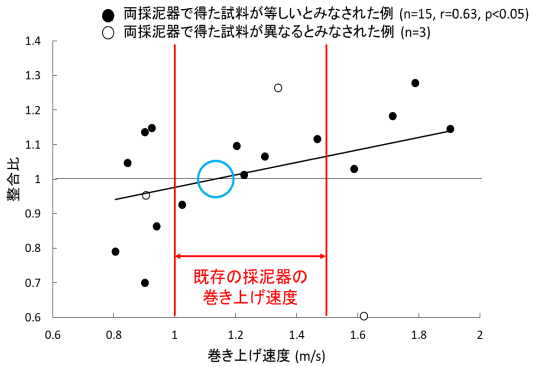


図 8. 整合比と小型採泥器の平均巻き上げ速度との関係

(5) 成功率と底質との関係

整合比と底質との関係より、底質により得られる試料が異なる可能性が示唆されたことから、底質と小型採泥器による採泥の成功率との関係についても調べた。

図9に小型採泥器の採泥の成功率と既存の採泥器で得られた底質の中央粒径値を示した。図より、採泥の成功率と底質の中央粒径値には、有意な相関関係はみられなかったが、底質の中央粒径値が大きくなるほど採泥の成功率が下がる傾向がみられた。特に、底質の中央粒径値が泥および極細粒砂を示す場合では成功率が 20~90 % であるのに対し、細粒砂では最大でも 52 % となっており、底質が細粒砂より大きい場合には成功率が低下した。

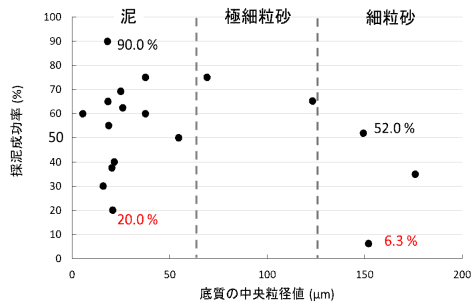


図 9. 小型採泥器の採泥の成功率と底質の中央粒径値との関係

## (6) 総合考察

### ① 小型採泥器の試作

本研究で最終的に試作した小型採泥器について、設計目標として定めた6つの点(①釣竿と電動リールで取り扱うことができるよう、小型軽量とすること、②海底に突き刺さる適度な落下速度を得るため、適度な水中重量を持ち抵抗の少ない材質や形状とすること、③着底の際の衝撃で破壊・変形しないこと、④粒度分析が可能な量の試料が得られること、⑤東シナ海の大部分を占める大陸棚の水深200 m程度までの海域で採泥可能なこと、⑥目的とする試料を十分な量確保できるように、試行回数に対して一定以上の割合(本研究では最終的に試行回数の半分以上を目的とした)で採泥可能なこと)について検討した。

設計目標①③については、実海域実験において、小型採泥器や使用した釣竿・電動リール等の機材に問題が生じることなくのべ290回の試行を実施することが出来たため、達成できたと考えられる。また、設計目標④⑥については、底質によって成功率の変動がみられたが、18測点中12測点で採泥の成功率が50%以上となり、設計上の目標は概ね達成できたと考えられる。

設計目標②については、全体が紡錘形となるように試作を行い、抵抗の少ない形状とする点は達成できたと考えられるが、適切な落下速度については海底への刺さり具合(水槽実験から数cm程度)を考慮すると、海底堆積物中の含水率など底質の硬さも検討すべき課題である。また、設計目標⑤については今回の実験範囲(水深3~76 m)では検証することが出来なかったため、今後、上記の諸問題を解決したうえで実験範囲を広げて検討する必要がある。

### ② 整合比と諸要因の関係

整合比と諸要因の関係では、整合比と水深、平均落下速度との間に関係はみられず、よって水深や平均落下速度は両採泥器で得られる試料の違いに影響を与えないことが示唆された。

さらに、底質の中央粒径値が150  $\mu\text{m}$ (細粒砂)より大きい場合には両採泥器で異なる試料が得られる可能性が高くなることが分かった。これについて、小型採泥器の水槽実験での様子を観察したところ、細粒砂以上の粒径の水槽では、フタ側面に試料が挟まって隙間が生じ、試料が抜け出す様子が確認された(写真1)。

すなわち、粒径が150  $\mu\text{m}$ より大きな底質では、水槽実験と同様にフタの側面に試料が挟まって隙間を生じさせ、回収時に試料が流失して粒度組成に影響を与える可能性が高く、既存の採泥器を用いるほうが良いと考えられる。そこで、この結果を踏まえてフタの形状を一部変更した試作機を作成した。これによってフタの側面からの試料の流出は改善されたため、ポリエチレン製カバーは取り外した。今後、この試作機についても実海域実験を行い、同様に検討する必要があると考えられる。

一方、整合比と巻上げ速度には正の相関( $n=15$ ,

$r=0.63$ ,  $p=0.03$ )がみられた。これについて小型採泥器はフタの開閉をスムーズに行うため、フタと本体の間にごく僅かな間隔を設けている。ゆえに、巻上げ速度が速い場合には、巻上げ途中に発生するサンプラー周辺の乱流がフタ側面の隙間に流れ込み、試料が流失する可能性が高まる。これについて、実海域実験の水中カメラの映像からも、巻上げ時に細かい粒子が抜け出す様子が確認された(写真2)。一方、巻上げ速度が遅い場合には、相対的に既存の採泥器の巻上げ速度が速くなることで既存の採泥器からの細かい粒子の漏出量が増え、結果として整合比が低くなった可能性がある。以上より、小型採泥器はサンプラー内の試料の流失を防ぎ、且つ既存の採泥器の使用条件を考慮した最適な巻上げ速度で用いる必要があると考えられる。これについて、図8中で整合比が「1」となる直線と相関直線の交点を求めたところ、巻上げ速度が1.2~1.3 m/s程度の場合に整合比が「1」すなわち両採泥器の中央粒径値が等しくなることが明らかとなった。さらに、練習船の乗組員への聞き取りを実施したところ、既存の採泥器の巻上げ速度は1.0~1.5 m/s程度であることが分かった。ゆえに、小型採泥器は1.2~1.3 m/s程度の巻上げ速度で使用するものが好ましく、既存の採泥器と同程度の巻上げ速度となるように留意すれば既存の採泥器の代替えとして有用であると考えられる。

### ③ 成功率と底質との関係

図9より、成功率と底質の関係では明確な相関関係は得られなかったが、細粒砂より大きな粒径の底質で成功率が低くなることが明らかとなった。すなわち、細粒砂より大きな粒径の底質では小型採泥器を用いた採泥の成功率は低くなるうえ、採泥出来たとしても既存の採泥器とは異なる試料が得られる可能性が高いため、小型採泥器でのサンプリングには適さない可能性が示唆された。

また、測点によっては底質が泥の場合であっても成功率が20~40%となる例がみられたため、今後は、風や潮流などの気象・海象条件が小型採泥器の落下姿勢に及ぼす影響や底質の硬さ(含

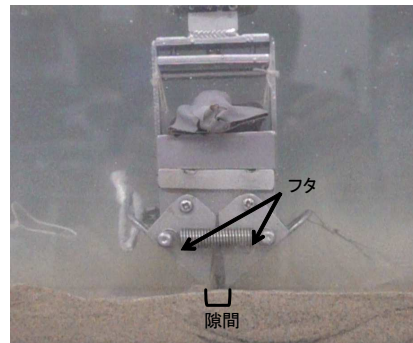


写真1. 水槽実験の様子



写真2. 実海域での巻上げ時の様子

水率)と成功率の関係についても併せて検討することも重要であると考えられる。

#### (7) 要約

本研究では、既存の採泥器に代わって手軽に採泥を行うことを目的に、釣竿と電動リールで取り扱うことが出来る小型可搬式のグラブ式採泥器を試作した。さらに、小型採泥器と既存の採泥器の両方を用いて同時に得られた試料を比較することで、この小型採泥器が既存の採泥器の代替えとして利用できるかを検討した。

その結果、多くの場合で両採泥器で得られた試料が一致し、底質の粒径や巻上げ速度に留意することで試作した小型採泥器が既存のグラブ式採泥器の代替品として使用できることを示した。今後は、粒径の大きな場合にも採泥出来るようさらに改良するとともに、水中での落下姿勢や底質の硬さ(含水率)も考慮して採泥の成功率を上げる必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計1件)

①小型採泥器の開発と利用に関する研究 (Research on development and utilization of small bottom sampler) : 森本遼平・清水健一, 平成28年度日本水産学会若手の会, 長崎, 2017.7 (ポスター発表)

[その他] (計2件)

①Study on development and application of compact mud-sampler : Ryohei Morimoto, Takashi Aoshima, Yasuhiro Morii, Mitsuharu Yagi and Kenichi Shimizu, 平成28年度長崎丸台湾航海特別乗船実習, 2017 (ポスター発表)

②小型可搬式採泥器の試作と有用性についての検討 : 森本遼平・清水健一, 平成30年度水産・環境科学総合研究科水産学専攻修士論文発表会, 2019 (口頭発表)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究分担者

研究分担者氏名 : 森井 康宏

ローマ字氏名 : MORII, Yasuhiro

所属研究機関名 : 長崎大学

部局名 : 水産学部

職名 : 教授

研究者番号 (8桁) : 50200390

研究分担者氏名 : 青島 隆

ローマ字氏名 : AOSHIMA, Takashi

所属研究機関名 : 長崎大学

部局名 : 水産学部

職名 : 准教授

研究者番号 (8桁) : 40244040

研究分担者氏名 : 八木 光晴

ローマ字氏名 : YAGI, Mitsuharu

所属研究機関名 : 長崎大学

部局名 : 水産・環境科学総合研究科 (水産)

職名 : 准教授

研究者番号 (8桁) : 90605734

##### (2) 研究協力者 (該当無し)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。