

有明海干潟海域環境改善へ向けた人工巣穴による 底質改善技術の現地実証試験

The Sediment Purification Technology by Using "Artificial Nest Hole" in Ariake Sea

増田龍哉¹・滝川清²・森本剣太郎³・丸山繁⁴・木田建次⁵・大久保貴仁⁶

Tatsuya MASUDA, Kiyoshi TAKIKAWA, Kentaro MORIMOTO, Shigeru MARUYAMA
Kenji KIDA and Takahito OOKUBO

Recently, various environmental degradations are reported in Ariake Sea, and it becomes a problem. This research is one of the improvement methods that aim at establishing the sediment purification technology by using "Artificial nest hole", which uses the water level difference and transport the upper layer of water in the deposit, thus making and promoting the resolution of organic matter. The results proved that an increase of the sulfide was suppressed, and the kind of benthos changed such as many mollusks appeared etc.

1. はじめに

九州西部に位置する有明海は、総面積約 1,700 km²の日本を代表する大型閉鎖性内湾で、約 5m にも達する大きな干満差の下、我国の干潟総面積の約 40% (190 km²) に及ぶ広大な干潟が発達した海域である。

近年、この有明海において、底質の悪化や赤潮の多発、貧酸素水塊などに代表される環境悪化が慢性化し、悪循環に陥っているものと懸念されている。その原因には、地球温暖化や沿岸域の開発、流入負荷の変化等の様々な事象が考えられるが、その因果関係は明らかとなっていない。このような状況の下、2000 年のノリ不作を契機として、有明海及び八代海を豊饒な海として再生させることを目的とした「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」が 2002 年 11 月に施行されるなど、早急な干潟海域環境の回復・改善が社会的に強く求められている。

筆者らは、有明海の干潟海域環境の回復・改善・維持方策の実施が早急かつ大きな課題と捉えており、海岸線の人工化や干潟の減少、底質の悪化が著しい干潟浅海域を対象に、その改善技術を開発することを目的として、有明海の熊本県沿岸域で「耕耘による干潟改善策」、「人工潟湖干潟の創生」、「植栽による干潟改善策」、「なぎさ線の回復」、「人工巣穴による底質改善」などの現地実証試験を実施してきている。

本研究では、その中のひとつである「人工巣穴による底質改善」の研究経過と成果について報告する。

2. 人工巣穴の原理と構造

(1) 人工巣穴の原理

ゴカイやカニ等の底生生物の多くは、底泥中に巣穴を形成し、底泥表面と同様の固液接触界面を底泥内部まで拡大させ、パイオターベーションによってそれを維持している。この固液接触界面は、酸化層と還元層の境界面で、有機物の分解や硝化・脱窒に代表される物質循環が活発に行われていると考えられている (図-1)。しかし、底質が悪化して生物が生息できない場所では、巣穴が無いために自浄作用が衰え、慢性的に嫌気状態になるといった悪循環に陥っている。こういった底質悪化の問題に対し、流入負荷や内部負荷を削減させる対策に加えて、積極的に底質改善を行なって生物の生息場を改善する必要がある。「人工巣穴による底質改善」は、底生生物の巣穴を人工的に再現し、干潮時に干出す干潟域では水位差、干潟にならない場所では潮流を利用して、底泥中に上層水を輸送し、好気的環境を創出することにより底質改善を行なうものである。

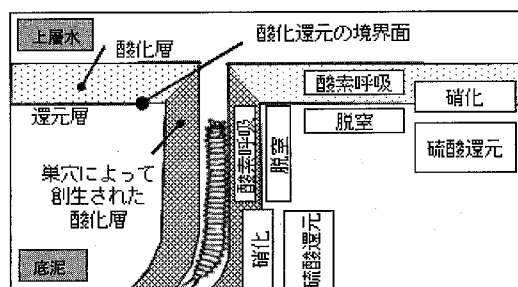


図-1 巣穴の形成が物質循環に及ぼす影響

- | | |
|------------|-----------------------|
| 1 正会員 | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター |
| 2 フェロー 工博 | 熊本大学教授沿岸域環境科学教育研究センター |
| 3 正会員 博(工) | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター |
| 4 正会員 | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター |
| 5 工博 | 熊本大学教授工学部物質生命化学科 |
| 6 修(工) | 国土交通省 九州地方整備局 |

(2) 人工巢穴の構造

本研究は現地実証試験であるため、形状及び大きさは現地への設置の容易さ、設置後の安定性を考慮し、直径50 mm の塩ビ管を 50 cm×50 cm の正方形に組み、底泥埋め込み部 (L=50 cm) を 4 本連結させる形状とした。材質の違いによる底質改善効果を把握するために、底泥埋め込み部の材質には既製品のドレーン管を 2 種類採用した。これらの形状、ドレーン管から、「ドレーンタイプ」、「MAX ドレーンタイプ」、MAX ドレーン管を U 字型に連結して横方向に海水を送り込む「U 字タイプ」の 3 タイプを製作した (写真-1)。また、干潮時に干出する干潟域では上部に長さ 50 cm の嵩上げパイプを取り付け、干出しない海域では潮流などの流れを利用するために L 字型のエルボーを取り付けた (図-2)。

3. 室内実験

人工巢穴によってどれくらいの期間・範囲で好気的環境が創出されるのかを把握するために室内実験を行なった。室内実験装置を図-3 に示す。内径 30 cm のアクリル製容

器に試験地の底泥を入れ、そこに MAX ドレーン管を用いた人工巢穴を埋め込んだ。人工巢穴内に曝気した人工海水 (ORP が 350 mV 以上) を約 20 l/day で連続して供給し、使用した海水はそのまま排水した。そして、ポータブル ORP 計 (TOADKK RM-P20・白金電極法) を用いて定期的に ORP の測定を行った。なお、ORP 計の測定値は水素電極値に換算している。実験は 3 ヶ月間行い、実験初期は ORP の測定を人工巢穴の中心から 6 cm、深さ 10 cm の地点と表面の海水の 2 点で 11 日目まで連続して行い、数値が安定してからは間隔を空けて 20, 21, 24, 25 日目に測定し、30 日目から週一回で測定地点を 11 箇所を増やした。

人工巢穴中心からの距離が 6 cm, 9 cm, 15 cm 離れた地点の深さ 10 cm における ORP の変化を図-4 に示す。人工巢穴の中心から 6 cm 離れた地点では、1 日目から ORP が上昇し、その状態が 61 日目まで継続し、以降実験終了の 89 日目まで徐々に上昇し続けた。また、深さ 10 cm では巢穴に近い場所ほど ORP が高く、89 日目の ORP の断面分布は図-5 のようになり、人工巢穴によって好気的な底質環境が形成されることが示唆された。

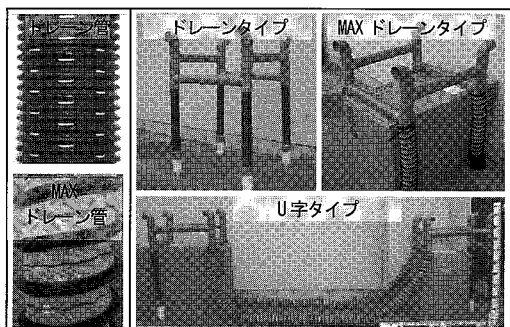


写真-1 人工巢穴とドレーン管

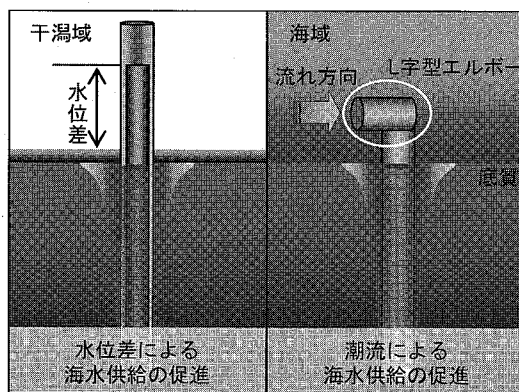


図-2 人工巢穴の構造

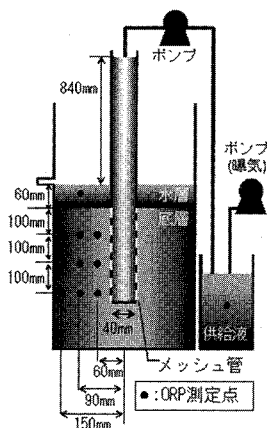


図-3 室内実験装置

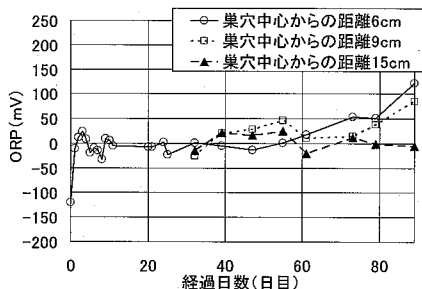


図-4 底質 ORP の時系列変化 (深さ10cm)

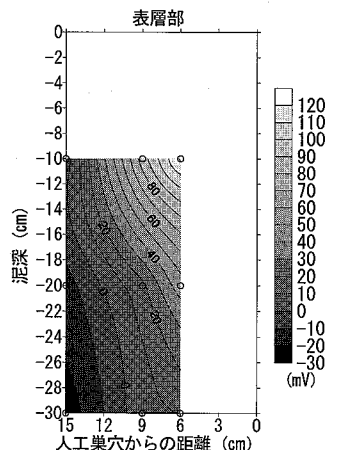


図-5 運転3ヵ月目の底質のORP分布

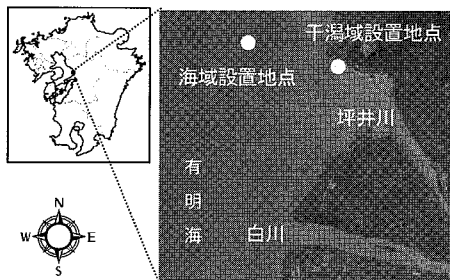


図-6 人工巣穴の設置地点位置図

表-1 調査項目及び調査日

調査項目	底質	粒度組成, 含水率, 強熱減量, CODsed, 硫化物, 全窒素, 全リン, pH, ORP, 泥温
		生物
調査日	06/02/13	設置前調査
	02/14	干潟域人工巣穴設置
	02/15	干潟域設置1日後調査
	02/16	海域人工巣穴設置(2/14~15)
	02/27	海域設置1日後調査
	05/25	設置2週間後調査
	08/25	設置3ヵ月後調査
	11/20	設置6ヵ月後調査
	07/02/02	設置9ヵ月後調査
		設置1年後調査

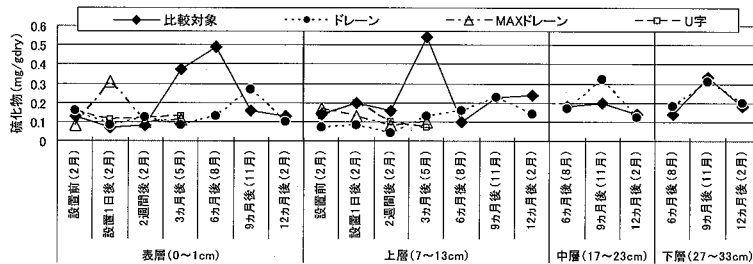


図-7 海域における硫化物の変化

4. 現地実証試験

(1) 調査概要

人工巣穴設置地点の位置図を図-6、調査項目及び調査日を表-1に示す。干潟域は生物が少なく底質が悪化していると考えられる坪井川河口の北側に位置する百貫港近傍の干潟、海域はその沖合に人工巣穴を設置した。設置規模はドレーンタイプ及びMAXドレーンタイプが、3.5m×3.5mの正方形区域内にそれぞれ16基、U字タイプが3.5m×6.5mの長方形区域内に8基で、50cm間隔に配置した。人工巣穴の埋め込み深さは50cmで、U字タイプはMAXドレーン管を底泥中約20cmの深さで水平になるように埋設した。

底質追跡調査は人工巣穴設置地点及び比較対象地点において、2週間後まで表層(0~1cm)と上層(7~13cm)の2層、3ヵ月後から1年後まではそれに中層(17~23cm)、下層(27~33cm)を加えて4層の分析試料を柱状採泥し、底質の物理性状、有機物量、栄養塩、酸化還元状態の変化を調査した。底生生物も底質と同様の地点で採泥を行い、採泥試料を1.0mm目の篩でふるい、残った底生生物を採集・分析し、種類数・個体数・湿重量を調査した。微生物は、底質分析試料から直接微生物のDNAを抽出した後、硫酸還元菌の亜硫酸還元酵素(Dissimilatory sulfite reductase)をコードする遺伝子である、*dsrB* 遺伝子領域を標的としてPCR増幅を行い、DGGE法による泳動パターンにより硫酸還元菌の増減を調査した。

(2) 人工巣穴置後の状況

人工巣穴の設置地点では潮流によって洗掘が起こったものの、6ヵ月後以降は浸食の進行は治まった。また、調査期間中に台風0610号(8月18日)、0613号(9月17日)の接近により、海域、干潟域のMAXドレーンタイプとU字タイプが破損した。

人工巣穴内の目詰り状況は、海域では直接確認できていないが、海水の出入りや巣穴内部にアナゴが生息していることが確認されていることから、泥の堆積はほとんど起こっていないと考えられる。干潟域では内部に泥が堆積し、1年後には最上部付近まで泥が堆積した。

6ヵ月後から、海域では海藻やアカニシガイ、干潟域ではフジツボやカキ等の付着生物が確認され、付着生物の隙間にカニやゴカイなどの生息やその卵なども付着しており、海域においては設置地点内で稚仔魚の群れが確認されるなど、人工巣穴が魚介類の産卵・生息場になるといった波及的な効果も確認された。

(3) 底質調査結果と考察

a) 海域

人工巣穴の設置前及び比較対象地点の底質は、概ね含泥率が60%、含水率が45%、強熱減量が6.0%、CODsedが12mg/gdry、硫化物が0.15mg/gdry、全窒素が1.0mg/gdry、全リンが0.7mg/gdryであった。8月と11月に表層の含泥率が約20%、強熱減量が約5.0%、CODsedが約10mg/gdry、硫化物が約0.25mg/gdry、全窒素が約1.0mg/gdry、全リンが約0.5mg/gdry増加した。

人工巢穴の設置地点では、硫化物以外に比較対象地点との有意な違いや規則的な変化は見られなかった。海域における硫化物の変化を図-7に示す。硫化物が3ヵ月後に比較対象地点の表層(0~1cm)、上層(7~13cm)で増加しているのに対して、全タイプの人工巢穴の設置地点で増加が抑えられた。また、6ヵ月後以降もドレーンタイプ設置地点で表層の硫化物増加が抑えられている。これは、人工巢穴によって海水が浸透するとともに、人工巢穴設置地点付近で潮流が乱れることによって底泥が飛散し、好気的な環境が維持されているためと考えられる。

b) 干 潟 域

人工巢穴の設置前及び比較対象地点の底質は、概ね含泥率が60%、含水率が40%、強熱減量が6.0%、CODsedが13mg/gdry、硫化物が0.20mg/gdry、全窒素が1.0mg/gdry、全リンが0.6mg/gdryであった。8月と11月に表層の含泥率が約25%、含水率が約35%、強熱減量が約5.0%、CODsedが約10mg/gdry、全窒素が約1.0mg/gdry、全リンが約0.5mg/gdry増加した。硫化物は11月に表層で約0.15mg/gdry増加した。

人工巢穴の設置地点では、硫化物以外に比較対象地点との有意な違いや規則的な変化は見られなかった。ドレーンタイプ設置地点において表層で3ヵ月後、上層で6ヵ月後まで減少傾向が見られたものの、その後は増減を繰り返し、比較対象地点との有意な違いや規則的な変化は見られなかった。

(4) 生物調査結果と考察

a) 海 域

海域における比較対象地点とドレーンタイプ設置地点の底生生物個体数、種数、湿重量を図-8に示す。人工巢穴の設置前及び比較対象地点の生物相は、ダルマガイ等の環形動物が優占しており、8月と11月にそれらの個体数は減少し、2月に増加する傾向を示した。

ドレーンタイプの設置地点では、3ヵ月後には種数が増加し、6ヵ月後以降は、軟体動物のマルテンスマツムシ(干潟RDB; 絶滅寸前)やアラムシロが確認され始め、9ヵ月後には個体数の増加が見られたものの、1年後には減少した。また、湿重量では、3ヵ月後から比較対象地点よりも大型のベントスが確認されるようになってのは、軟体動物によるものである。9ヵ月後の個体数増加は、サルボウガイによるもので、人工巢穴にサルボウガイの稚貝が着床し、成長したためと考えられる。サルボウガイやマルテンスマツムシは設置前や比較対象地点では確認されておらず、前者は稚貝期に付着するための基質が必要で、後者は泥質干潟近縁部の岩礫が混じるような場所に生息するというような生態学的特長から、

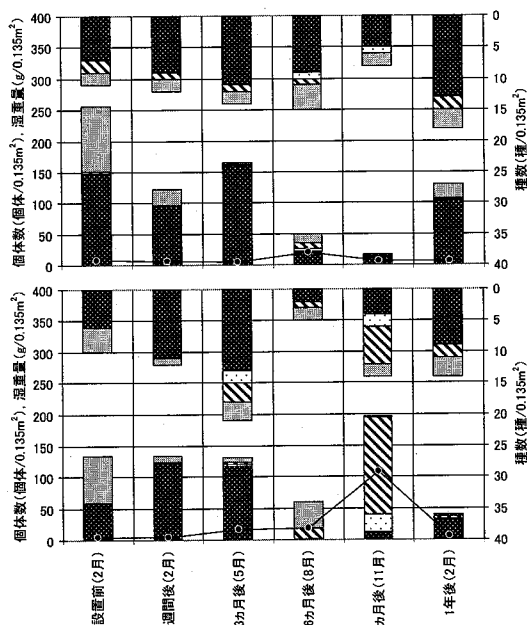


図-8 海域における底生生物の個体数、種数、湿重量 (上: 比較対象, 下: ドレーンタイプ)

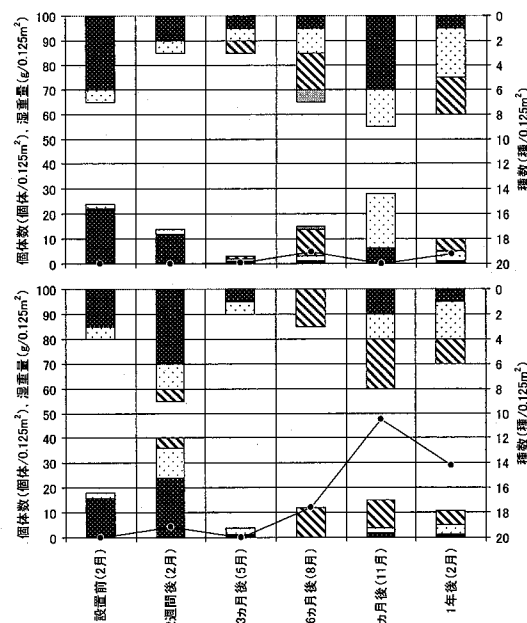


図-9 干潟域における底生生物の個体数、種数、湿重量 (上: 比較対象, 下: ドレーンタイプ)

人工巢穴によって生息場ができるとともに、底質が悪化する時期に稚貝が死滅することがなかったため、人工巢穴の設置地点でのみ確認されたと考えられる。

b) 干 潟 域

干潟域における比較対象地点とドレーンタイプ設置地

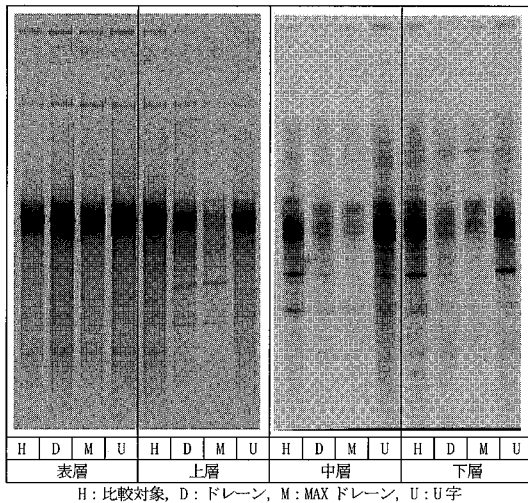


図-10 設置8ヵ月後の底質における DGGE

点の底生生物個体数、種数、湿重量を図-9に示す。人工巣穴の設置前及び比較対象地点の生物相は、クシキゴカイ等の環形動物が優占しており、5月まで個体数は減少した。8月はアラムシロヤシズクガイといった軟体動物、11月はドロクダムシの一種といった節足動物が優占し、個体数も増加したが2月には減少した。

ドレーンタイプの設置地点では、2週間後に個体数・種数ともに増加したものの、3ヵ月後には比較対象地点と同様に減少した。6ヵ月後以降はアラムシロヤアサリといった軟体動物が優占し、種数も増加した。また、湿重量は、6ヵ月後から比較対象地点よりも大型のベントスが確認されるようになっているのは、軟体動物によるものである。アサリは設置前や比較対象地点では確認されておらず、稚貝期に付着するための基質が必要であることから、干潟域における変化も海域と同様の理由と考えられる。

(5) 微生物相調査結果と考察

人工巣穴設置直後の干潟域においては表層よりも上層の方がバンドの本数が多かった。これは、表層が上層よりも好気的な環境であるため、嫌気性の硫酸還元菌が少ないためであると考えられる。しかし、海域においては表層と上層でのバンドパターンに顕著な差は見られなかった。これは、海域は常に海水に浸かっているため、海域の表層が干潟域の表層よりも嫌気的な環境であることが要因であると考えられる。3ヵ月後までは、表層と上層で得られたバンドパターンにはほとんど相違はなく、それぞれのサンプルから得られたバンドパターンと比較対象地点から得られたバンドパターンに顕著な違いは見られなかった。しかし、6ヵ月後に干潟域の中層および下層では2週間後までは見られなかった顕著な変化

が見られたため、これを検証するために、干潟域において8ヵ月後のサンプリングを行った。8ヵ月後の表層においては6ヵ月後までと同様に比較対象地点とそれ以外のサンプルから得られたバンドパターンの間に変化は見られなかった。しかし、上層、中層、下層においてはドレーンタイプ及びMAXドレーンタイプにおいてバンドパターンが薄くなっていた(図-10)。これらの結果は、人工巣穴を設置した場所の底質が好気的になったことで、嫌気性の硫酸還元菌が減少したことを示唆している。

5. おわりに

有明海の干潟海域環境の回復・改善技術を開発することを目的として、底生生物の巣穴を人工的に再現し、底泥中に上層水を輸送することによって底質改善を行なう「人工巣穴」の室内実験及び現地実証試験を行なった。目詰りや破損といった人工巣穴の構造や持続性、微生物の定量的評価など多くの課題を残しているものの、室内実験では、好気的な底質環境が形成されることが示唆され、現地実証試験では人工巣穴によって好気的な環境が維持し、硫酸還元細菌の減少が示唆され、人工巣穴が魚介類の産卵・生息場になるといった波及的な効果も確認された。以上のように、「人工巣穴による底質改善」による干潟海域環境の回復・維持方策としての有効性が認められ、干潟海域環境の保全、改善効果が大きいと期待できる。

謝辞：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等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」の補助によるものであり記して謝意を表します。

参考文献

- 栗原康編著(1988): 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp. 43-84.
- 佐藤正典編(2000): 有明海の生きものたち 干潟・河口域の生物多様性, 海游舎, pp. 72-205.
- 滝川 清・田中健路・外村隆臣・増田龍哉・森岡三郎・酒井勝(2003): 有明海干潟環境改善へ向けた対策工とその効果, 海工論文集, 第50巻, pp. 1226-1230.
- 滝川 清・増田龍哉・田中健路・弥富裕二(2004): 創生された人工干潟における環境変動のメカニズムに関する研究, 海工論文集, 第51巻, pp. 1201-1205.
- 滝川 清・増田龍哉・森本剣太郎・田中健路・大久保貴仁・西原孝美・吉田秀樹(2005): 有明海干潟海域環境改善へ向けた泥質干潟耕耘の効果に関する研究, 海工論文集, 第52巻, pp. 1201-1205.
- 滝川 清・増田龍哉・森本剣太郎・松本安弘・大久保貴仁(2006): 有明海における干潟海域環境の回復・維持へ向けた対策工法の実証試験, 海工論文集, 第53巻, pp. 1241-1246.
- 原田浩幸・滝川 清(2002): 有明海干潟底泥の水質浄化機能と物理的攪乱による能力強化に関する研究, 海工論文集, 第49巻, pp. 1121-1125.