

SSBL音響測位システムを用いた駆け廻し網曳網の 動態推定に関する予備試験

松平良介^{*1}・渡部俊広^{*2}・稲田博史^{*1}

Preliminary experiment to estimate sweep line behavior of Danish seine with a SSBL acoustic positioning system

Ryousuke MATSUHIRA^{*1}, Toshihiro WATANABE^{*2} and Hiroshi INADA^{*1}

Abstract To compose an estimation method for sweep line behavior of Danish seine, the model sweep line experiment was carried out with a SSBL acoustic positioning system. The four transponders mounted on the model sweep line of 240m in length. The position of each transponder was measured every 10 seconds and the change of sweep line shape was estimated from the transponder positions during drawing process. The accuracy of measured distances was high, while measured directions have considerable variation in this system. It is necessary to improve observation method in direction for the actual Danish seine operation.

Key words: Danish seine, sweep line behavior, SSBL acoustic positioning system

駆け廻し網は、身網と袖網およびその両袖先に取り付けた1対の曳網から構成され、オッターボード等の網口開口装置を使わず、曳網によって網口に魚を駆集する底曳網である(有元ら, 2004)。この駆け廻し網の曳網は数種のコンパウンドロープで構成されることが多い。操業法は、最初に曳網の一端に取り付けたブイを投入し(Fig. 1-1)、ブイに連結した曳網を「くの字型」や「半円型」になるように繰り出し、続いて身網を入れる(Fig. 1-2)。身網投入後、最初に入れたブイへ向けて、もう一方の曳網を身網とブイを結ぶ線に対して左右対称になるように打ち廻しながら(Fig. 1-3)航走する。この過程を本研究では「打ち廻し過程」と呼ぶ。そして、最初に投入したブイを回収後、曳航する過程で曳網は身網と漁船を結ぶFig. 1-4の1点鎖線の方向に寄せられる。この過程を本研究では「寄せ漕ぎ過程」と呼ぶ(Fig. 1-4, 5)。寄せ漕ぎ過程において曳網、袖網、身網で囲まれる生物が身網へ駆集され漁獲される。漁獲対象種は、主にタイ類、カレイ類、エビ・カニ類、キチジ、メヌケなどの海底付近に生息する生物である(野村, 1985)。この漁法は、地域によ

って対象種が異なり、対象種に応じて漁具構造も異なる。このため、漁期、漁場、漁具と使用する漁船の総トン数や馬力などが地域ごとに規制されている(有元ら, 2004)。一般に、適切な資源管理を行うためには、その資源を利用している漁業の漁獲特性を把握する必要がある(Bublitz C.G., 1996)。駆け廻し網の掃過面積を把握することは、漁獲効率推定の基礎資料となる(山田, 田中, 1999)。

トロール網の漁獲効率は、身網に目合の小さい補助ネットを取り付け、身網と補助ネット双方の漁獲から推定が行われたり(Somerton D.A., Otto R.S., 1999)、水中カメラを用いて操業海域における対象生物の密度を求め、この密度とトロール網の掃過面積および漁獲量を比較することによって推定されたりしている(渡部, 北川, 2004)。オッターボードを使うトロール網の掃過面積は、袖先間隔と曳網距離またはオッターボード間隔と曳網距離から算出される(渡部, 北川, 2004)。しかしながら、駆け廻し網では、曳網で囲まれる範囲や身網の網成りは寄せ漕ぎ過程において時々刻々と変化する(野村, 1985)。そのため、水中にお

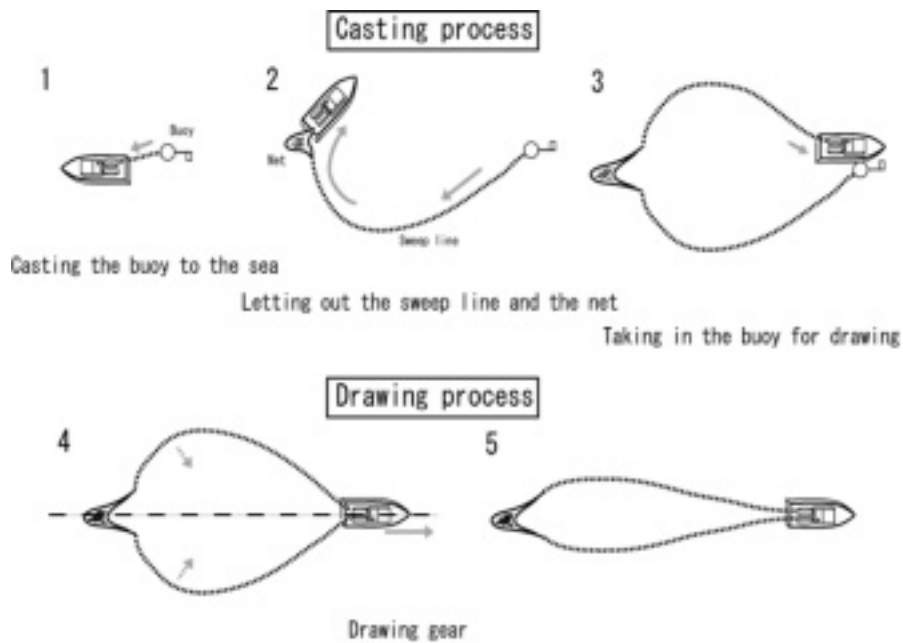


Fig. 1 Schematic operation process of Danish seine

ける漁具全体の形状変化を推定することが困難であり、掃過面積の推定法が確立されていない。

駆け廻し網の曳網の動態について、Suzuki (1963, 1964 a, b) は、室内実験で模型曳網を三角形と四角形状に展開してから曳き、曳網に働く張力モデルを立てて、その形状変化を検討した。同様に、陸上模型実験から、寄せ漕ぎ過程における掃過面積の変化について実測値と映像記録から検討した例がある(全国底曳網漁業連合会, 1997)。また、構造の異なる4種類の小型曳網模型による陸上実験と、実物の曳網に近い直径の曳網模型を用いた陸上実験を行い、寄せ漕ぎ中の曳網の軌跡から掃過面積が推定された(全国底曳網漁業連合会, 1998)。一方、操業試験から掃過面積を推定した研究例としては、小林, 魚田 (1974) が、船上から計測した曳網の水平角度や傾斜角度から掃過面積を推定した。また、肥後 (1966, 1971) や Shinoda *et al* (1969) は、駆け廻し網漁船の操業時における航跡をレーダーによって観測し、掃過面積を試算した。これらの研究で推定された掃過面積は、駆け廻し漁具を打ち廻している漁船の位置を曳網の着底位置とみなしているため、航跡と実際の曳網の着底位置とのずれや曳網が海底に接していない部分も含まれるので、掃過面積が精確に算出されているとは言い難い。

また、新しい試みとして駆け廻し網にピンガーを装着して曳網の動態計測も行われた(全国底曳網漁業連合会, 1997, 1998, 1999)。しかしながら、駆け廻し

網操業中の曳網の水中動態を観測して、掃過面積を推定した例はない。駆け廻し網の掃過面積を推定するためには、曳網投入後の沈降速度や寄せ漕ぎ中の曳網の形状変化を把握する必要がある。本研究では、駆け廻し網の掃過面積を推定するための方法構築に向けて、駆け廻し網の曳網模型にトランスポンダを取り付け、SSBL音響測位システムを用いて模型曳網の水中における動態観測を試みた。

方 法

音響測位システム

現用の水中音響測位方式は、座標系を決定する送受波器の間隔から、LBL (Long Base Line, 長基線) 方式, SBL (Short Base Line, 短基線) 方式, および SSBL (Super Short Base Line, 超短基線) 方式の3つに分類される。竹内 (1999) によれば、LBL方式は比較的高い測位精度を有するが、測位前に複数のビーコン(信号発信機)を設置して、その位置を測位しなければならないため、ビーコンの設置に時間と技術を要する。SBL方式は、海底に1個のビーコンを設置し、ビーコンからの信号が3つ以上の受波器に到達する時間差から測位する。その時間差が大きいほど精度が高くなるため、受波器の間隔を大きくする必要があるが、このSBL方式は、キャリブレーションの必要がなく、ビーコンも1個でよいから、LBL方式に比べて運用が

容易になる。しかし、ビーコンと座標原点の直線距離がベースライン（送受波器間の距離）に対して大きくなると精度が悪くなり、船体動揺による補正も必要である。SSBL方式は、ビーコンからの応答信号の位相差を検出して方位を求める（超音波便覧編集委員会，1999）。この方式は受波器が非常にコンパクトになるためSBL方式より運用が容易になる（竹内，1999）。

駆け廻し網の漁場において、海底へのビーコン設置を伴うLBL方式は現実的ではない。また、駆け廻し網の複数箇所を測位する必要があるためSBL方式も使用し難い。これらの2方式はシステムの規模が大きくなり、本研究の対象としては実用性が低い。したがって、駆け廻し網操業における運用を考慮して、ここではSSBL方式を採用した。SSBL方式の特徴は、取扱いが簡易である反面、測位精度がLBLやSBL方式に比べて劣る（田口，田端，1997）ことである。そこで、装置の操作性と測位精度を把握するために、駆け廻し網の曳網を想定したモデルを用いて、曳航中の曳網の動態推

定を行った。

実験に用いたSSBL位置検知装置（海洋電子株式会社製，Table 1）は，Fig. 2 に示すように，制御ユニット（PC接続），DGPS受信機，方位計，送受波器およびトランスポンダ（最大8個識別可能）で構成されている。当実験では4本のトランスポンダを駆け廻し網模型曳網に装着した。制御ユニットから各トランスポンダへの送信は，10秒間隔で自動的に行われるので，4個のトランスポンダを側位するのに要する時間は30秒となる。制御ユニットとPCディスプレイ上で，測位したトランスポンダの位置をほぼリアルタイムでモニターできる。SSBL位置検知装置から出力されるデータは，制御ユニットに内蔵されたDGPSから時刻，位置（緯度，経度）と移動方位，ならびに制御ユニットを基点とした各トランスポンダまでの距離と方位およびトランスポンダの緯度，経度と圧力センサーによる水深情報である。

Table. 1 Specifications of transducer and transponder used for the experiment

Transducer		Transponder	
Transmitting frequency	19.608-22.727kHz	Receiving frequency	19.608-22.727kHz
Receiving frequency	19.231kHz	Receiving sensitivity	40 μ V
Maximum measuring distance	2,000m	Transmitting frequency	19.231kHz
Maximum measuring depth	2,000m	Response output	50W
The number of distinguishable transponders	8	Weight (in the air)	2.1kg
		Weight (in the water)	1.5kg

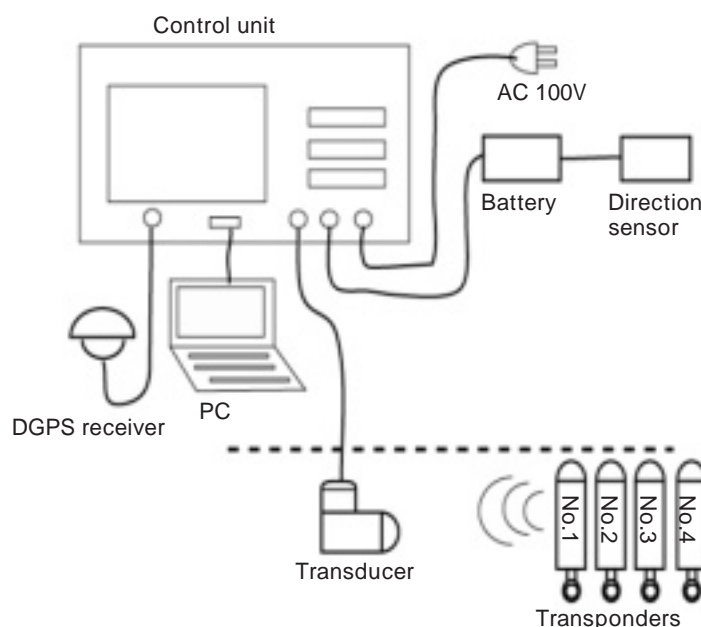


Fig. 2 SSBL positioning system used for the experiment

駆け廻し網模型曳網による実験

実験は、2004年9月22日から23日に千葉県館山湾内の東京海洋大学館山ステーション専用栈橋でおこなった。実験海域の水深は2～5m、底質は砂であった。SSBL位置検知装置、ノートパソコン、送受波器、発電機を栈橋先端に設置した(Fig. 2, 3)。送受波器は栈橋先端の橋脚に固定した。栈橋沖の実験水域には、土嚢を沈めてFig. 3に示すように一辺60mの正方形にマーカーブイA, B, C, Dを設置した。設置後のマーカーブイの位置をGPSで計測した。駆け廻し網模型曳網として直径6mmのテトロン(ポリエステル)ロープを240m使用した。保護用網地を巻き付けたトランスポンダをシャックルとスイベルを用いて模型曳網に装着した。打ち廻し過程と寄せ漕ぎ過程を想定した実験をおこなった。トランスポンダは、実験では片側の曳網を4等分した位置に装着し(Fig. 4-), 実験では曳網中央(C点), 曳網の先端(A点)および実操業で「肩」と称される両側の屈曲点(B点, D点)の4箇所に装着した(Fig. 3, 4-)。

船外機ボートを使ってこの模型曳網がほぼ一辺60mの正方形になるよう、マーカーブイの内側を通して時計回りに投入した。模型曳網の打ち廻し開始位置は、Fig. 3, 4に示したA点とし、B～D点の各ブイの近傍を通過するように繰り出して、最初のA点に戻り、模型曳網の両端を直径6mmのクレモナ(ポリビニルアルコール)ロープに接続した。このロープの他端を栈橋先端において、実験では0.45m/sの速さで、実験では0.42m/sの速さでそれぞれ126m曳き寄せ、この一連の過程におけるトランスポンダの位置を計測し

た。ただし、実験では曳き寄せを途中で3度停止して、その時のトランスポンダの位置を測位した。各停止時間は10～30分間であった。また、曳き寄せ中に模型曳網の水中撮影も行った。実験では制御ユニットから各トランスポンダまでの距離と方位について、それぞれの測位誤差の傾向を調べた。実験では、模型曳網に装着した4本のトランスポンダの測位データを

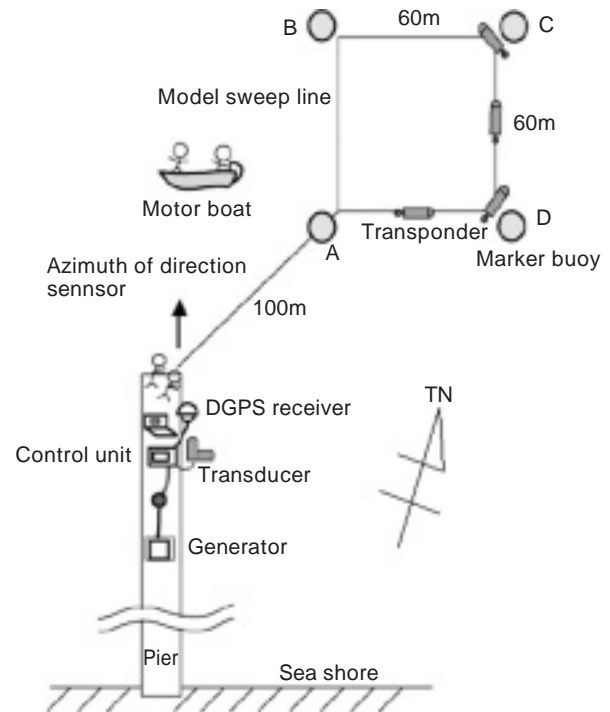


Fig. 3 Arrangement of the experimental devices

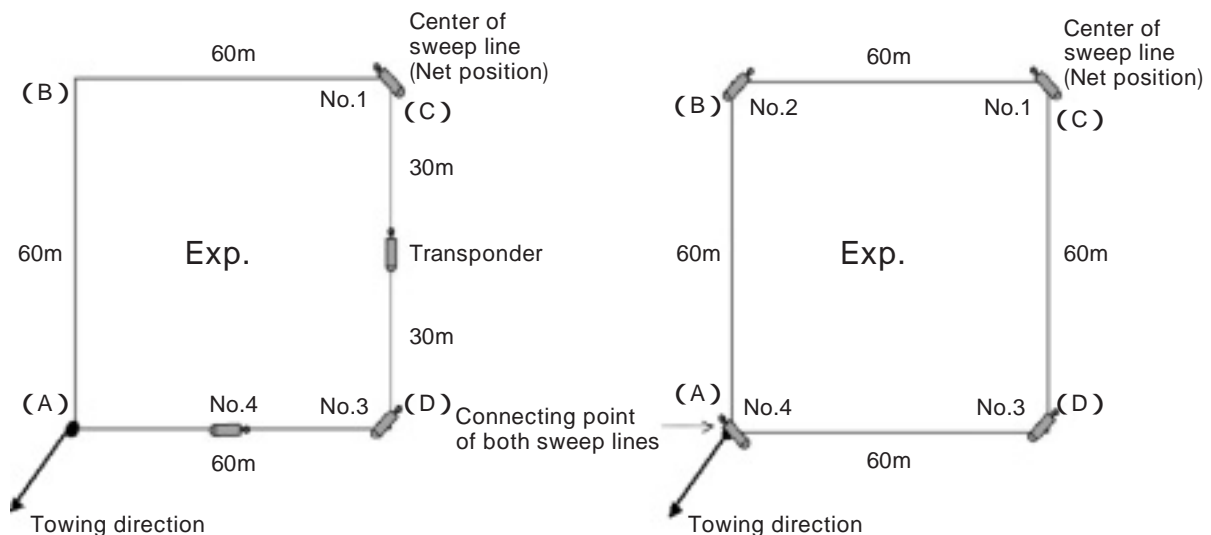


Fig. 4 Mounted position of transponders on the model sweep line

プロットして、その位置の経時変化を調べた。なお、位置をプロットする際、実験地の緯度に基づいて経度の距離を補正した。

結 果

実験における送受波器からトランスポンダまでの距離の経時変化をFig. 5に示した。曳き寄せ開始前、曳き寄せ中、曳き寄せ終了時に曳き寄せを停止して測位した。この停止中に測定した距離の標準偏差は0.2~3.1mで、距離の平均値に対して2.1%以内であった。ただし、実際の距離よりも明らかに大きく測定された値も数例あった。また、実験におけるトランスポンダの方位の経時変化をFig. 6に示した。方位は真方位に変換した。なお、Fig. 3に示した栈橋先端から見たマーカーブイCの真方位は10°であった。測定された方位の頻度をFig. 7に示した。Fig. 6, 7から、各トランスポンダの多くの方位測定値は10~20°であったものの、大きくずれた測定値も見られた。これらの値は0°~180°の範囲にあり、180°~360°(0°)の範囲にはなかった。また、送受波器とトランスポンダの距離が接近し、曳き寄せ終了時に近づくにつれて大きく外れた方位測定値は少なくなる傾向がみられた。

Fig. 8に実験における各トランスポンダの位置の経時変化を示した。投入直後のトランスポンダはマーカーブイ近傍にあることは潜水観察によって確認した。したがって、明らかに異なる測定値や、実験区域から外れた値を除去し、マーカーブイの真方位と打ち廻し後曳き寄せ開始前の着底静止状態における各トランスポンダの方位の平均値を真方位に変換して、その差を求め補正した。その上で、30秒間で計測される4箇所のトランスポンダの位置を表示した。寄せ漕ぎ開始前はマーカーブイ近傍にあった各トランスポンダが、寄せ漕ぎ開始後の時間経過に伴い、囲む面積を減少しながら送受波器に近づく様子が観測された。

Fig. 9に、潜水観察で撮影した曳き寄せ中の曳網に取り付けたトランスポンダを示した。通常の音響測位では、トランスポンダを、海底面から離して設置することが多い。しかし、駆け廻し網の曳網に取り付けた場合、曳航時に底質によっては海底に埋没することが予想される。潜水観察からもトランスポンダが海底の砂泥中へ埋没の様子が確認された。しかし、トランスポンダが埋没するような底質でも、トランスポンダからの応答信号は受信可能であった。また、実際の曳網の水中形状は滑らかな曲線を描いていることが水中観察によって確認された。

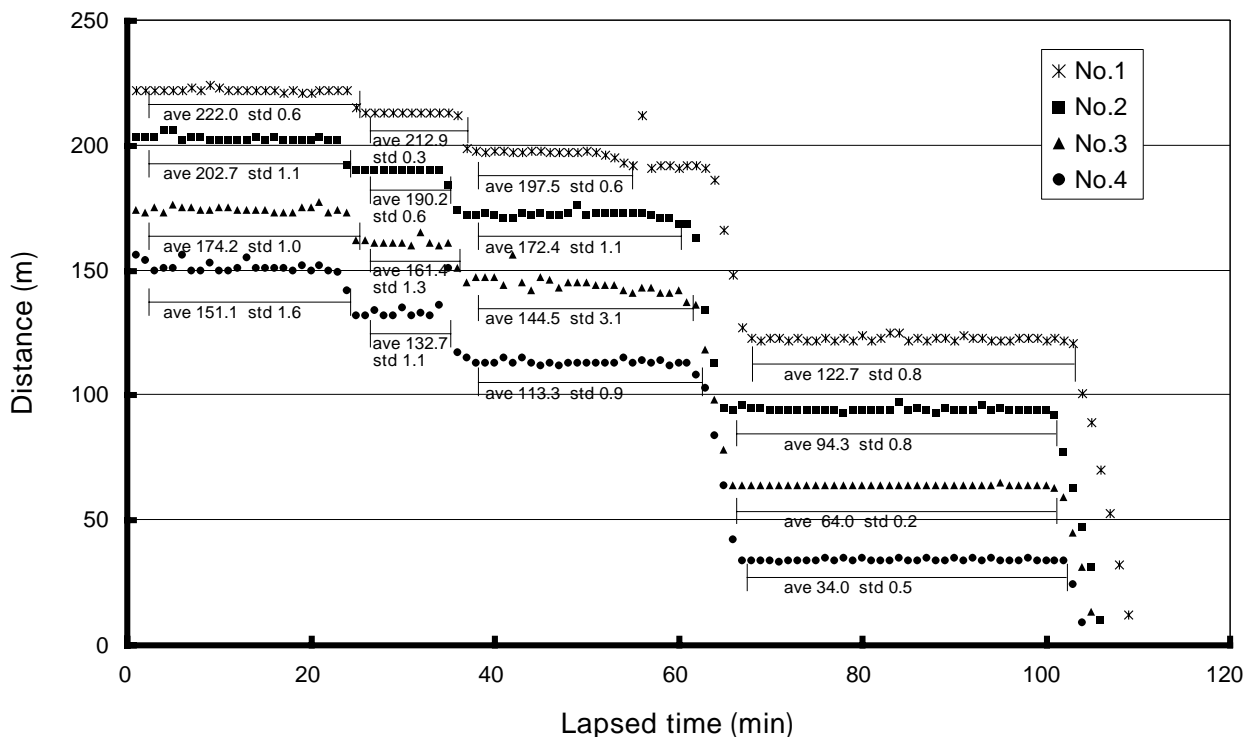


Fig. 5 Variation of distance between transducer and transponders during the drawing process of Exp. (Fig. 4)

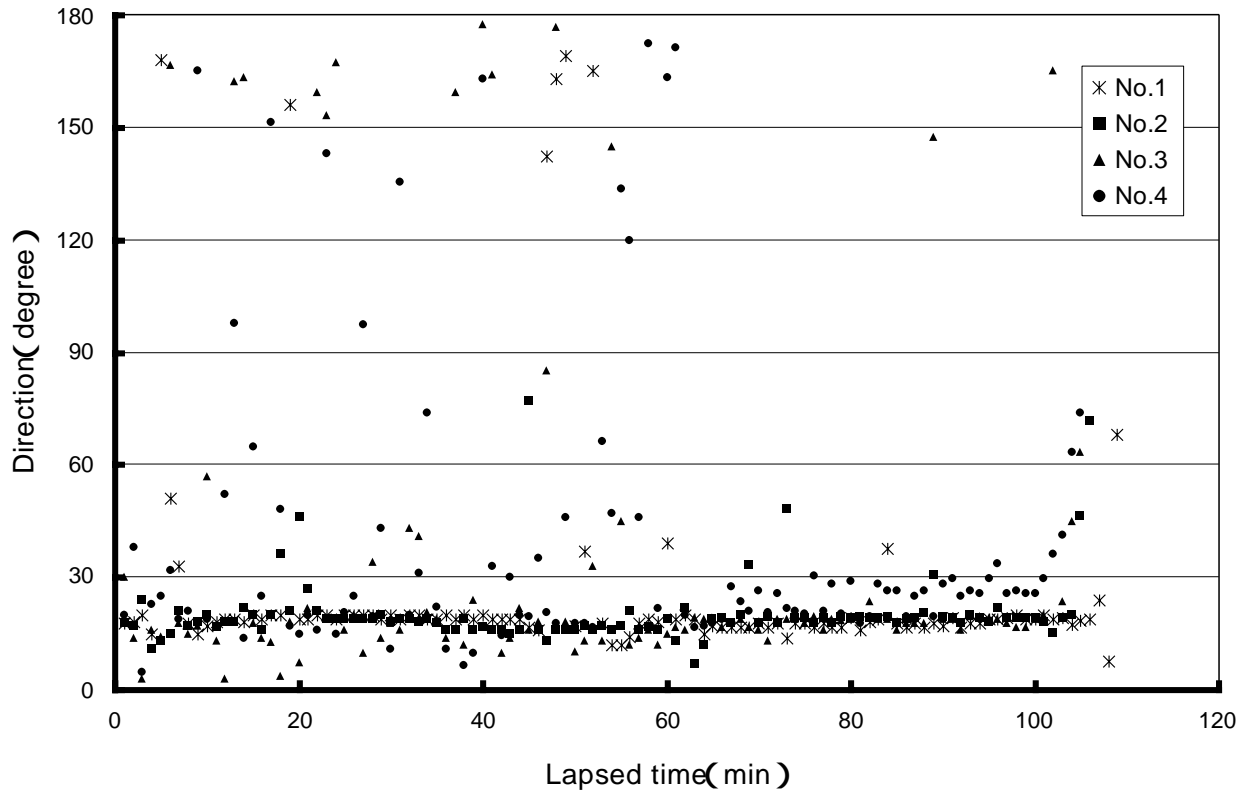


Fig. 6 Directional variations of transponders during the drawing process of Exp. (Fig. 4)

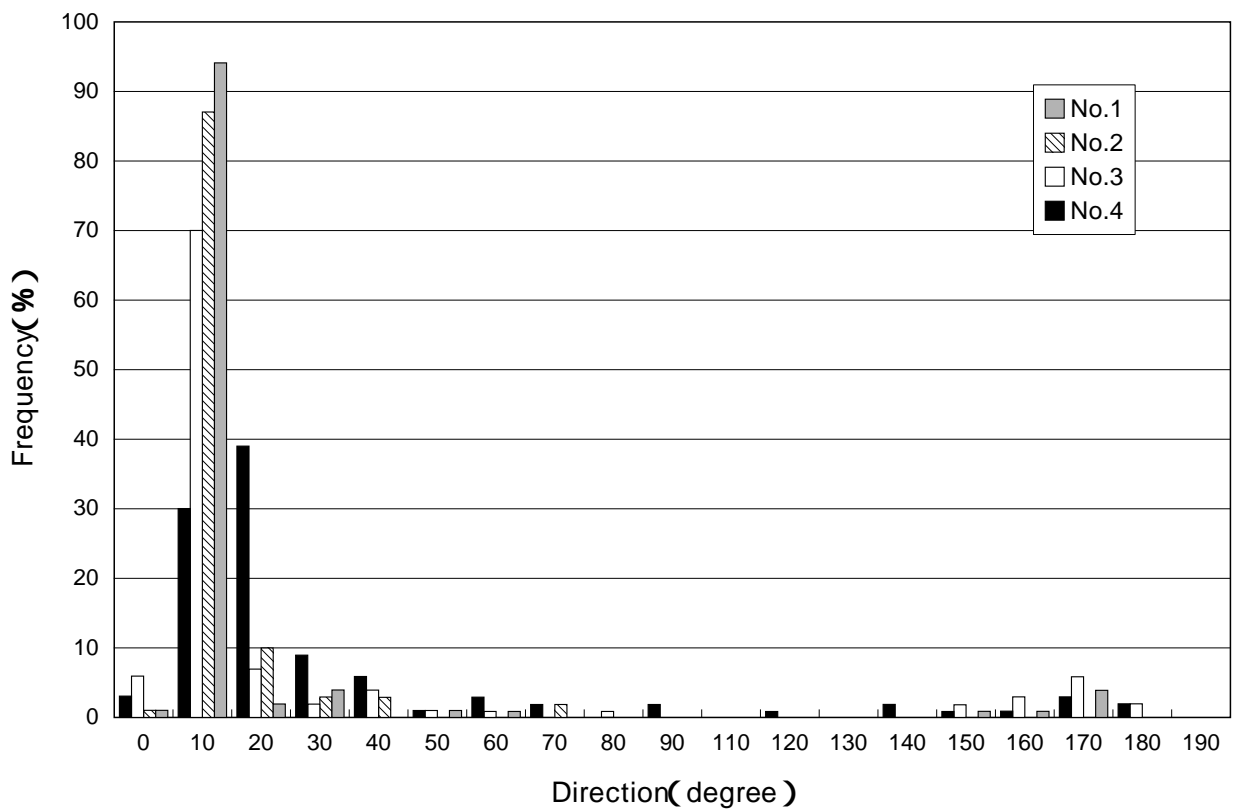


Fig. 7 Frequency of measured direction by each transponder during the drawing process of Exp. (Fig. 4)

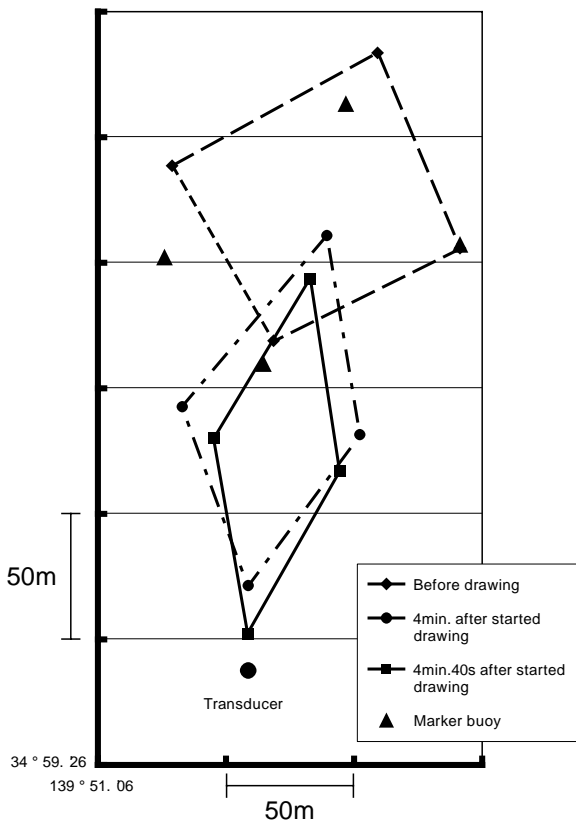


Fig. 8 Changing position of transponders on the model sweep line during drawing process of Exp. (Fig. 4)



Fig. 9 The transponder buried with the seabed sand during drawing process

考 察

実験に使用したSSBL方式の位置検知装置は送受波器の栈橋への設置，トランスポンダの模型曳網への装着も容易にできた。また，模型曳網に装着して曳き寄せてもトランスポンダの損傷はなかったことより，機器類の運用面からは駆け廻し網操業時の曳網の動態計

測に，このシステムを用いることができよう。

片側の模型曳網の4箇所にトランスポンダを取り付けて，曳網の動態を観測した実験では，Fig. 5, 6に示したように，測定距離のばらつきは少なく，高精度であったが，方位の値にはばらつきが大きかった。この方位のばらつきは，方位センサーの設置位置周辺の橋脚からの反射を受信したことによるものと推察された。送受波器の付近に超音波を反射する物体があると，測位に影響する可能性が高くなるので，船体に送受波器を取り付けるときは，船底より深くなるように装着する必要がある。

実験海面や曳網の曳き寄せ方向から外れた測位値を除去し，さらに測位値を補正したトランスポンダの位置をFig. 8に示した。本研究では，予めブイの位置を決めて，その近傍にトランスポンダを投入し，既知の方向に曳き寄せたため，測位値を補正することができた。実験に使用した全長240mの模型曳網では，打ち廻し終了時に曳網で囲まれた方形の対角線長は85m未満，送受波器から最も離れたトランスポンダでもその距離は185mにしかならず（Fig. 2），測定範囲が狭いことや，実験水深が2～5mと浅いことも，このシステムで模型曳網の動態推定が可能になった理由と考える。しかし，今後，実操業での計測を予定している日本海中部沿岸域で操業する8トンの駆け廻し漁船の曳網は片側約1,150mである。また，漁場水深は漁獲対象種によって異なるものの70～600mに及ぶ。したがって，測定範囲が模型実験に比べてかなり広くなる。送受波器の装着方法を改善し，方位誤差を小さくしたとしても，測位点と送受波器間の距離が長くなると測位精度が低下する。例えば，測定前にDGPSで測位した既知の地点にトランスポンダを設置して，当該システムで測位し，方位のずれを補正してから用いるなど，実際の漁場でこのシステムを利用する場合は，測位誤差を補正する手立てを講じる必要がある。

また，測位精度を高めるには，できるだけトランスポンダと送受波器間の距離を近づける必要がある。送受波器を当業船に設置すると，身網近くに装着したトランスポンダとの距離が離れる。また，実際の操業では曳網を打ち廻す時の船速が速いため送受波器を装着し難い。そこで，制御ユニットと送受波器を搭載した測定船を打ち廻した漁具の近傍に配置する必要がある。そして，トランスポンダすべての信号を受波できる方向に送受波器を向け，漁具の移動に応じて測定船を随航させる方法が考えられる。また，駆け廻し網の掃過面積を推定するには，曳網の接地位置の変化を計測する必要がある。今回の試験海面は水深が浅く，水深変化に伴う測深精度については検討していない。実

操業において曳網の接地点の変化を推定するには、高精度の圧力センサーを有する複数のトランスポンダ、または小型水深計を接地が予想される部位に多く配置し、曳網の接地時刻とその位置を計測する方法も工夫したい。

謝 辞

この実験にご協力頂いた、東京海洋大学館山ステーション専門技術員の伊東順一氏、魚群制御学研究室の武内要人君、林香菜子さん、鈴村広平君に厚く御礼申し上げます。本研究は、水産庁の平成16年度「我が国周辺水域漁業資源調査等推進対策委託事業」の一環としておこなった。

参考文献

- 有元貴文ら，2004：水産海洋ハンドブック．生物研究社，東京．pp.257-259．
- Blublitz C.G., 1996: Quantitative evaluation of flatfish behavior during capture by trawl gear, *Fish. Reserch*, 25, 293-304.
- 肥後伸夫，1966：機船底曳網の漁具と漁獲性能に関する研究．*日水誌*，32，130-136．
- 肥後伸夫，1971：底曳網の漁獲性能に関する基礎的研究．*鹿児島大学水産要*，20，1-137．
- 海洋音響研究会，1984：海洋音響 - 基礎と応用 - ．海洋音響研究会，東京，pp.209-215．
- 小林敏夫，魚田繁，1974：一艘曳き以東底曳き網における曳索種別漁具計測試験．*兵庫水試々報*，14，5-14．
- 野村正恒，1985：最新漁業技術一般．成山堂書店，東京．pp.157-158．
- Sinoda M., Sano Y., Kato Y., and Kanda K., 1969: Studies on Fishery of Zuwai Crab in the Japan Sea-V. On the Estimate of Swept Area of Danish Seine. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 35, 648-652.
- Somerton D.A., Otto R.S., 1999: Net efficiency of a survey trawl for snow crab, *Chionoecetes opilio*, and tanner crab *C. bairdi*. *Fish. Bull.*, 97, 617-625
- Suzuki O., 1963 : Behavior of sweep line in Danish Seining- . *Nippon Suisan Gakkaishi*, 29, 1071-1076.
- Suzuki O., 1964 a : Behavior of sweep line in Danish Seining- . *Nippon Suisan Gakkaishi*, 30, 21-28.
- Suzuki O., 1964 b : Behavior of sweep line in Danish Seining- . *Nippon Suisan Gakkaishi*, 30, 29-36.
- 竹内俱佳，1999：海中技術一般 - 改訂版 - （社団法人日本造船学会海中システム部会編）．成山堂書店，東京，pp.310-330．
- 田口一夫，田畑雅洋共著，1997：海洋計測工学概論．成山堂書店，東京，pp.294-302．
- 超音波便覧編集委員会，1999：超音波便覧．丸善，東京．pp.549-557．
- 山田作太郎，田中栄次，1999：水産資源解析学．成山堂，東京．pp.66-75．
- 渡部俊広・北川大二，2004：曳航式深海用ビデオカメラを用いたズワイガニ類に対する調査用トロール網の採集効率の推定．*日水誌*，70，297-303．
- 全国底曳網漁業連合会，1997：沖合底曳網漁業に係る掛廻し漁法の合理化技術開発報告書（平成9年度），東京，102-109，pp.110-117．
- 全国底曳網漁業連合会，1998：沖合底曳網漁業に係る掛廻し漁法の合理化技術開発報告書（平成10年度），東京，pp.39-52．
- 全国底曳網漁業連合会，1999：沖合底曳網漁業に係る掛廻し漁法の合理化技術開発報告書（平成11年度），東京，27-29，pp.30-43．