

北海道水産試験場における計量魚群探知機を用いたスケトウダラ音響資源調査の発展について（総説） —スケトウダラ研究グループ会議発足50周年に向けて—

志田 修*

北海道立総合研究機構水産研究本部

Acoustic surveys of walleye pollock by Hokkaido Research Organization using the quantitative echo sounder (Review)

OSAMU SHIDA*

Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

Walleye pollock is one of the most important resources of commercial fisheries in Hokkaido. Annual landings of this species are controlled by the Total Allowable Catch system in Japan. Because the annual landings have decreased since the late 1980's, more intensive studies for stock assessment, forecast of fishing conditions and developing a proposal for sustainable resource management are required for the stake-holders. In this review, I describe the history and results of acoustic surveys using a quantitative echo sounder for walleye pollock conducted by Hokkaido Research Organization to respond to such needs.

キーワード：音響資源調査，計量魚群探知機，スケトウダラ，スケトウダラ研究グループ会議，北海道周辺海域

スケトウダラ *Gadus chalcogrammus* は、北太平洋に広く分布する中底層性の回遊魚であり (Bakkala *et al.*, 1986), 2016年の全世界における漁獲量は348万トンと世界第一位を占めている (FAO, 2018)。本種は、北海道においても最も重要な水産資源の一つであり、本道周辺に分布する4つの資源評価群 (日本海北部系群, 太平洋系群, オホーツク海南部, 根室海峡; 濱津ほか, 2018) を対象に資源の評価と管理に関する多くの研究が行われてきた。北海道におけるスケトウダラ漁獲量は1985年度 (4月～翌年3月) に51万トンを記録したが、1980年代後半から1990年代前半にかけて太平洋を除く3つの海域で漁獲量が減少し、2000年度には25万トンと半減した (図1)。2013年度以降は太平洋海域の漁獲量も減少し、さらに2015年度以降はTAC (Total Allowable Catch: 漁獲可能量) がABC (Allowable Biological Catch: 生物学的許容漁獲量) を上回らないことが原則化されたことに伴い、TACがABCの水準まで引き下げられたこと等から12万トンま

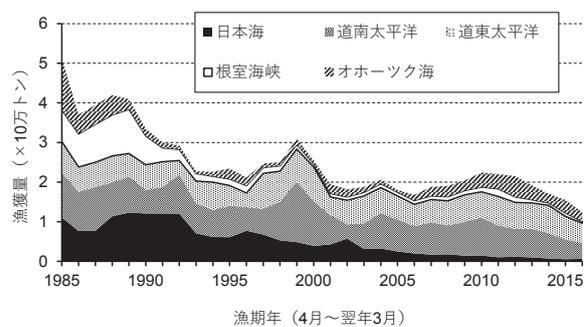


図1 北海道におけるスケトウダラ漁獲量の推移 (漁期年集計: 4月～翌年3月)

で大きく減少した。このような背景から、研究機関に対して調査研究のさらなる充実と精度の高い資源評価に基づいた適切な資源管理対策の提案が一層求められている。

北海道スケトウダラ研究グループ会議は北海道立水産試験場 (2010年4月から地方独立行政法人北海道立総合

研究機構水産試験場。以降、両者を道水試と略す)全体で共通した研究テーマに取り組むことを目的として1968年に発足し、以来、スケトウダラやタラ科魚類の資源評価や管理、これらの基礎的知見となる資源生態学的研究、関連する調査・分析技術の開発などの課題について活発な議論を行ってきた。1992年にはグループ25周年記念シンポジウムが開催され、翌1993年に「北海道周辺海域におけるスケトウダラ並びにタラ科魚類の資源・生態研究の現状と展望－北海道スケトウダラ研究グループ25周年記念論文集－」(北海道立水産試験場, 1993)が刊行された。グループ会議発足25周年以降、スケトウダラ研究グループ会議が最も力を注いできた研究課題が計量魚群探知機(以降、計量魚探機と略す)を用いた音響資源調査技術のスケトウダラ資源研究への導入・展開であった。今年、2018年にグループ会議発足50周年を迎えるにあたり、本号と次号にわたって関連研究の論文を掲載することとした。本稿では、道水試が進めてきたスケトウダラを対象とした音響資源調査と、その成果の概要をレビューする。巻末には25周年以後に道水試の職員を著者として発表されたスケトウダラに関する研究論文のリストを掲載した。

音響資源調査 我が国は1996年に国連海洋法条約に批准し、これに伴って「海洋生物資源の保存及び管理に関する法律(TAC法)」が施行された。1997年にはスケトウダラを含む6魚種、1998年からは7魚種に対してTACによる資源管理が開始された。資源の持続的利用を図るためには的確な資源評価に基づいて算定されるABCによる資源管理が有効な手法の一つであり、TACはABCをもとに社会・経済的要因を加味して設定される。

スケトウダラの日本海北部系群と太平洋系群では、商業漁獲データを用いたVirtual Population Analysis(VPA)による資源量推定値がABC算定に用いられている。しかし、漁獲制限下で漁業情報から推定される資源量には、ある種の偏りが含まれる可能性が指摘されており、漁業と独立して資源量を推定することの意義が再認識されるようになった(原, 2000)。魚群量または魚群の密度を推定する方法には様々あるが、その中でも計量魚探機を用いた音響資源調査は機器の発達に伴って特に注目される調査手法である。計量魚探機は短時間に広範囲な調査が可能であること、海底付近～船底直下までの鉛直方向にも広い範囲を観察可能であることから、調査対象の魚種組成が単調で、対象海域の中層に均一に分布している場合に有効であるとされている(宮野鼻, 2000)。北海道周辺海域に分布するスケトウダラは、これらの条件を満たしており、計量魚探機を用いた音響資源調査は本種にうってつけの調査手法である。魚群探知機は超音波を

水中にパルス波(例えば1 ms:千分の1秒、パルス長は約1.5m)として発射し、魚群から戻る音の強さを電気信号に変換する計測装置である。音の強さは水中で波面拡散や吸収損失により減衰するので、計量魚探機では音の強さを定量化するために発射してから戻るまでの時間に応じて受信した音の強さを補正している。この補正を加えた後の受波音響エネルギーは魚群密度に比例することから、魚群から戻ってきた音の強さを積算することで魚群の音響散乱強度が得られる。魚群量と音響散乱強度との比例定数を求めることにより、音響散乱強度から魚群量を計算することができる(三宅, 2012)。魚群を構成する魚種の判別には、トロール網などのサイズ選択性の鈍い漁具によって漁獲試験を行う方法が一般的である。また、魚群の形状や分布深度、分布水温、さらには周波数特性の違いなども利用されている(例えば、志田, 2002; 志田2011; 板谷ら, 2014)。次節以降では、道水試がこれまで実施してきた音響資源調査の概要について海域ごとに記述する。

日本海における音響資源調査

1. 成魚を対象とした調査(図2) 日本海における道水試で最初の音響資源調査は、1986年の10月下旬に石狩湾および積丹半島北側の海域において中央水産試験場(以降、中央水試と略す)所属試験調査船金星丸(2代目68トン)の魚群探知機により魚群観察を行い、釣獲調査によって魚種を確認するというものであった。この調査は、1988年から調査船を中央水試所属のおやしお丸(178トン)に変更して1989年まで実施された。計量魚探機を使用した調査は、その翌年の1990年から開始された。使用した計量魚探機は当時最新鋭であった古野電機のFQ-70(50kHz)であったが、この調査も魚群の観察が中心の調査であり、計量魚探機の特徴を活かした魚群の分布量を推定する調査ではなかった。1993年からはFQ-70の代わりにカラー魚群探知機を使用した調査となり、1996年からは後述する道西日本海における音響資源調査の一部として1998年まで継続された。道水試で計量魚探機を使用した本格的な音響資源調査が開始されたのは、1995年に新造された稚内水産試験場(以降、稚内水試と略す)所属2代目北洋丸(237トン)に搭載されたEK500と専用の解析アプリケーションであるBI500(いずれもSimrad社)の導入からであった。国内でのEK500の導入は、水産研究・教育機構西海区水産研究所の陽光丸に次いで2例目であった。

計量魚探機を使用した音響資源調査は機器の使用方法、音響理論、調査設計(航走ラインの配置、調査時間など)、音響データの解析とトロール調査結果との組み合わせ方

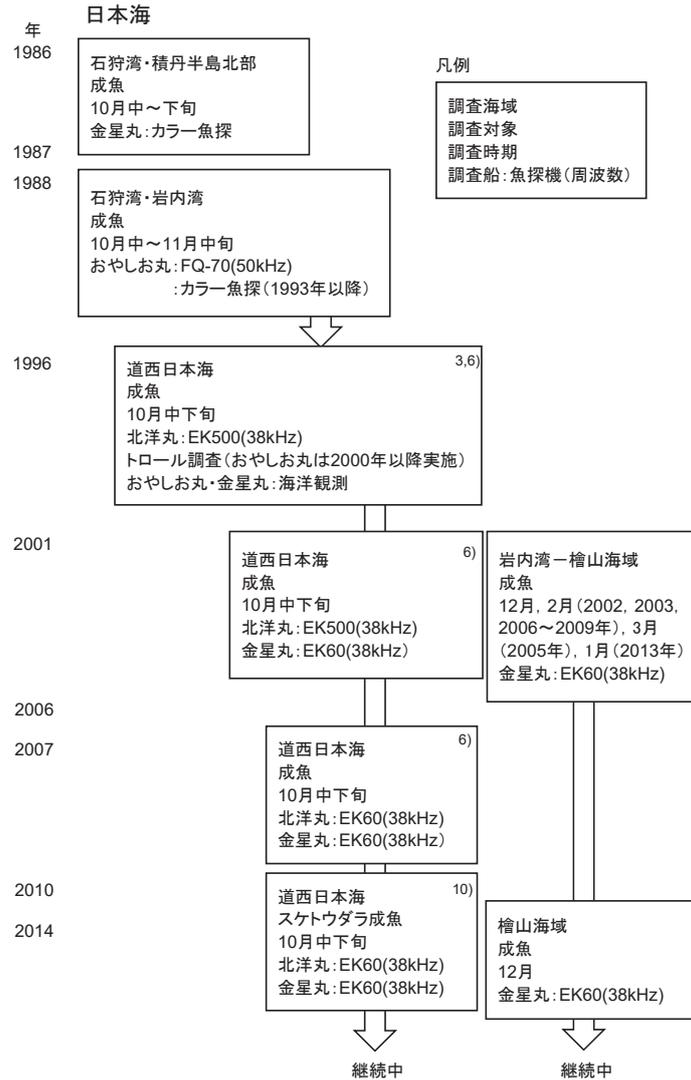


図2 道水試における音響資源調査年表(日本海における成魚調査)
図中の右方に記載している数字は末尾の引用文献の番号を表す

法、およびそれらのデータを用いた現存量推定方法など、道水試にとってまだハードルの高いものであった。そこで、1996年から3年間、稚内水試、中央水試および函館水産試験場(以降、函館水試と略す)と北海道大学の飯田浩二教授らのグループとの共同研究「計量魚群探知機を用いた道西日本海におけるスケトウダラ産卵群の来遊資源量予測基礎調査」が行われ、1999年からさらに3年間「TAC制度下における直接法による資源量推定技術高度化試験」が実施された。この共同研究の中で水産音響学を専門とする大学の研究者から音響理論の基礎を学ぶとともに、各種の技術的指導を受けることができ、道水試で実施する音響資源調査の基本デザインや解析手順が確立された。共同研究の成果として、まず、安部ら(1999)によるスケトウダラの日周鉛直移動の観察結果が報告された。すなわち、昼間は海底付近に分布するスケトウダ

ラ魚群が夜間になると海底から離れて中層域に浮上し、濃密な魚群として計量魚探機とらえられるようになること、そのため、トランセクトにおける魚群分布層の平均面積後方散乱係数 S_A (m^2/nmi^2)を昼夜で比較すると、夜間が昼間の1.4(積丹沖)ないし3倍(武蔵堆海域)高くなることを明らかにした。この S_A の昼夜差は、昼間はスケトウダラ魚群が魚探機の探知範囲外となる海底付近(海底デッドゾーン)に分布するためであると考えられたことから(安部ら, 1999)、この結果に基づいて、日本海のスケトウダラ親魚を対象とした音響データの収集は、魚群が海底付近のデッドゾーンから浮上する夜間に行うことが1999年以降、標準的な調査手法として採用されることとなった。さらに、日本海の産卵期前における親魚の分布量(以降、親魚現存量と記述する)推定には平行トランセクトが適しており、1998年の調査において

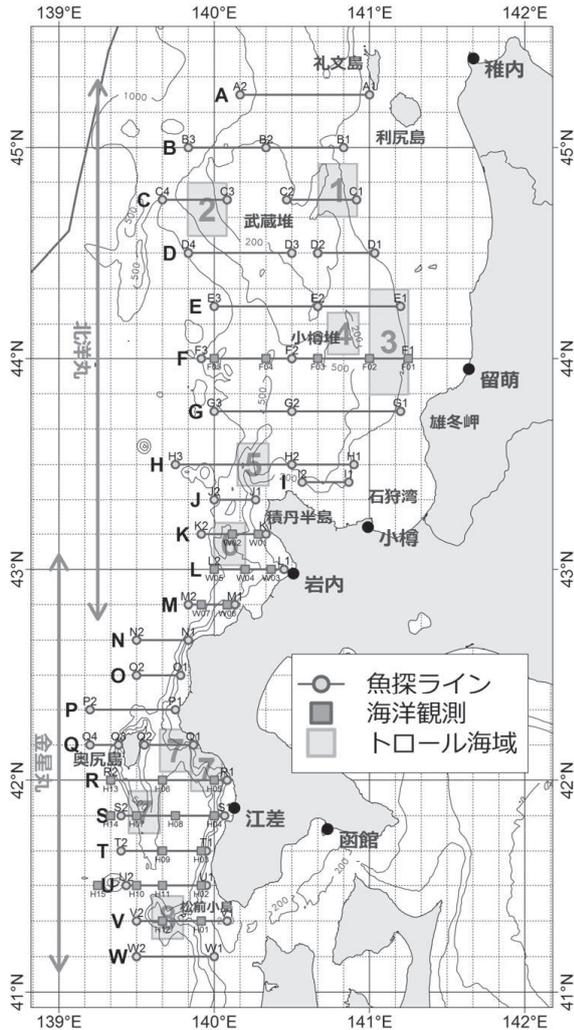


図3 日本海におけるスケトウダラ成魚を対象とした音響資源調査（10月）海域図

10マイル間隔の設定で計算した場合の誤差は28%程度であることが示された（三宅ら，2001）。また，海底深度1,000m以深の沖合海域における分布量は，調査海域全体の7%に過ぎないことから（三宅ら，2001），調査の効率化を図るために，1998年以降は沖合域の調査範囲が縮小され，日本海スケトウダラ資源調査の骨格が完成された。音響資源調査の最も重要な目的である親魚現存量推定に関しては，調査で収集された音響データとトロール調査で得られたスケトウダラ成魚の尾又長組成および体重を利用して推定する手法が確立され（三宅，2012），1998年以降（海況が悪く十分なデータ収集ができなかった2002年と2012年を除く）の親魚現存量推定値が得られている。

この音響資源調査は，共同研究終了後も毎年10月に日本海の産卵親魚量をモニタリングするための調査として継続され，2001年以降は函館水試所属試験調査船金星丸

（3代目151トン）と北洋丸の2隻で音響データの収集，トロール調査は2000年におやしお丸，2001年に金星丸を加えた3隻で実施する体制（おやしお丸は2009年に用途廃止となり，以降は2隻体制）で実施されている（図3）。

調査データが蓄積されてきた2000年代後半には，音響資源調査によって推定された親魚現存量とVPAによる資源量計算値の差が平均1.3倍程度であり，年変化の傾向に強い正の相関がみられることが示されたことから（後年，この結果は三宅（2012）にとりまとめられた），VPAにおいて計算の仕組み上，不確実性が高くなる近年の推定値を親魚現存量推定値により補正することが検討された。その結果，親魚現存量はスケトウダラ日本海北部系群のVPAチューニング指数として2005年度から資源評価に用いられることになり（例えば美坂ら：<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/>（2018），以降，URL省略），2008年度からはTAC設定の根拠となるABCの算定にも活用されるようになった（本田ら，2009）。資源評価への利用以外にも，日本海における各種漁業の営漁支援を目的として，調査結果が公表されている（稚内水試ほか：<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/wakkanai/section/zoushoku/att/sukesosokuhou201810.pdf>（2018）（2018年11月4日，函館水試：http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/hakodate/section/zoushoku/att/201810japanesea_sukeso.pdf（2018）（2018年11月4日）。また，調査を通じて分布などの生態学的知見も多く得られ，産卵回遊期のスケトウダラ分布に好適な水温は0.5～0.8℃で，分布の中心はほぼ0.7℃あること，その分布深度は水温の変化に応じて年変動することが明らかにされた（三宅，2012）。さらに，これらの研究結果から，海洋環境の変化により1990年代に入って海底深度の浅い北部の産卵場が衰退し，500mより深い檜山などの南部海域の産卵場が残ったとの仮説が提唱された（三宅・田中，2006；三宅，2012）。

日本海におけるスケトウダラの産卵場であり，はえなわ漁業の主要な漁場である檜山海域（夏目，1988）では，2001年から毎年12月（2002，2003，2006～2009年は2月，2005年は3月，2013年は1月にも実施）に金星丸のEK60を用いた音響資源調査が函館水試により実施され（図2），その結果（魚群の水平および鉛直分布状況，サイズ組成および漁場内の水温鉛直分布）は漁海況情報として公表されている（函館水試：http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/hakodate/section/zoushoku/att/201712japanesea_sukeso.pdf（2017）（2018年11月4日））。

2. 仔稚魚・未成魚を対象とした調査 日本海海域における稚魚調査は，初期生活史の解明と年級豊度の早期把握を目的として，2004年から中央水試および稚内水試に

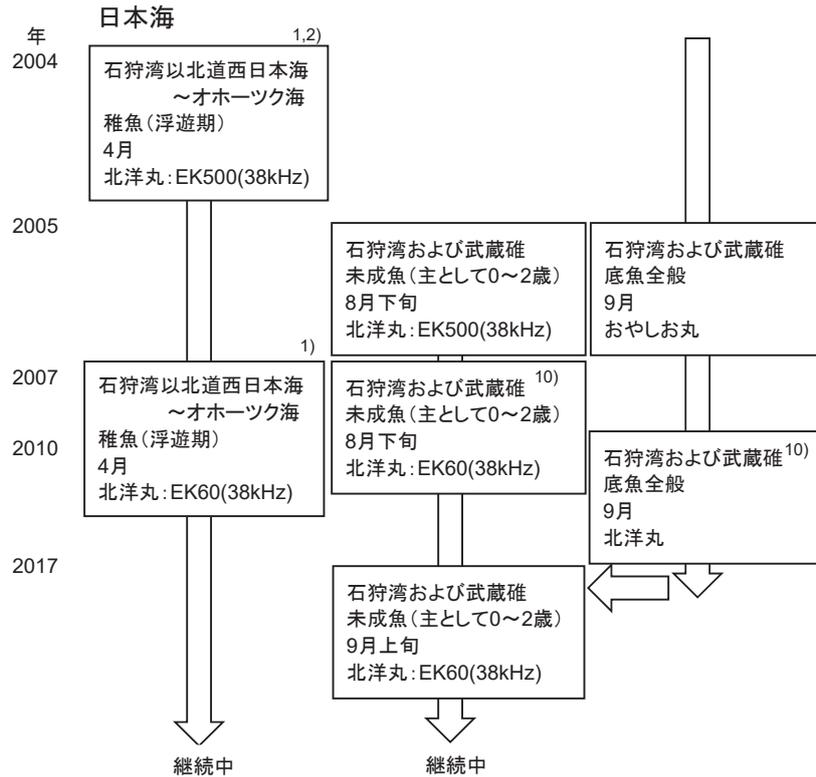


図4 道水試における音響資源調査年表（日本海における仔稚魚および未成魚調査）
 図中の右方に記載している数字は末尾の引用文献の番号を表す

より、石狩湾以北の日本海およびオホーツク海域において毎年4月に実施されている（図4，5）。調査には北洋丸のEK500（2007年からSimradEK60（Simrad社，現Kongsberg Maritime社））と2m×2mのFramed Midwater Trawl（以降，FMTと略す）が使用されている。また，音響データを解析する際にスケトウダラ仔稚魚以外の反応，特に仔稚魚の現存量推定に影響を与えると推測される動物プランクトンのオキアミを解析から除外するため，スケトウダラ仔稚魚とオキアミの低周波（38kHz）と高周波（120kHz）に対する音響散乱の強さの差を利用する手法（SV difference method, Miyashita *et al.*, 2004）が用いられている。この調査により，仔稚魚とオキアミの日周鉛直移動パターンが明らかとなり，仔稚魚の現存量推定には昼間の調査が適していることが示された（板谷ら，2014）。また，FMTによる採集結果から，仔稚魚の分布域が石狩湾以北の日本海とオホーツク海の沿岸域であることが明らかとなり，主要な産卵場である岩内湾，檜山海域で生み出された卵や仔稚魚の大部分は対馬暖流によってこれらの分布域まで輸送されたと考えられた（板谷ら，2009）。この調査から推定された仔稚魚の現存量とVPAで推定された同一年級の2歳資源尾数（加入量）は非常に良く対応しており，先に述べた親魚現存量推定値とともに資源評価におけるVPAのチューニングに用いられている（美

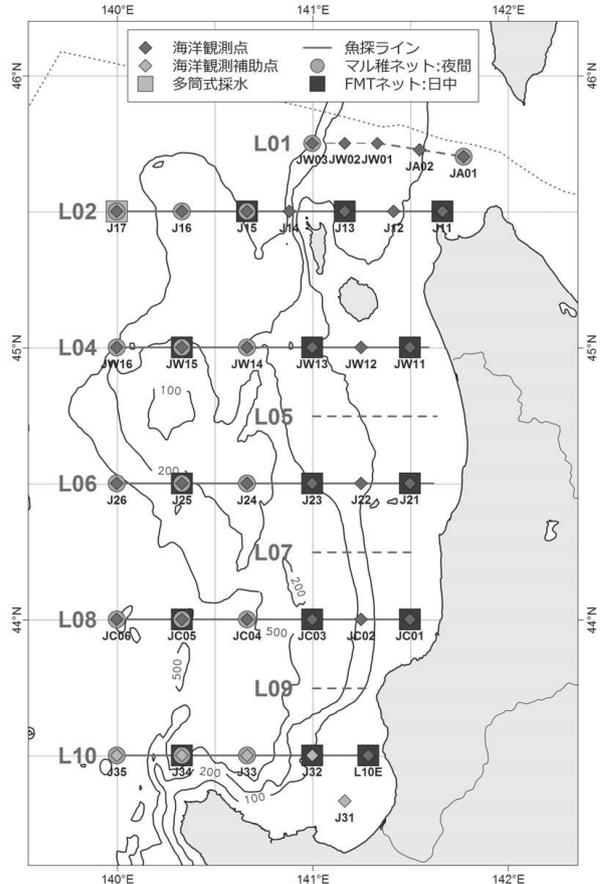


図5 日本海におけるスケトウダラ仔稚魚を対象とした音響資源調査（4月）海域図

坂ら；山下ら，2018）。

仔稚魚期の後、底層生活に移行したスケトウダラ未成魚（0～2歳）の現存量推定を目的とした音響資源調査が、中央水試および稚内水試により2005年から8月下旬を調査時期として開始された（図4）。2017年からは、調査の効率化を図るために、9月に実施していたハタハタ、ニシンなどの底魚も主対象としたトロール調査と統合し、調査期間を拡大して継続されている。

仔稚魚および1歳魚の現存量推定値とVPAで推定された加入量とは、年変動のパターンが相似的であることから、この値も資源評価におけるVPAのチューニングに用

いられている（美坂ら；山下ら，2018）。

太平洋における音響資源調査

1. 成魚を対象とした調査 太平洋系群の主産卵場である日高湾および噴火湾（Wakabayashi *et al.*, 1990）が位置する北海道南部太平洋海域（以降、道南海域と略す）では、産卵のため来遊するスケトウダラを対象とした刺し網漁業が10月から開始される。また、沖合底曳網漁業や定置網漁業も来遊したスケトウダラを漁獲する。この海域における1985～2016年度のスケトウダラ漁獲量の平均は8万トン、最も漁獲が多かった1999年度には15万ト

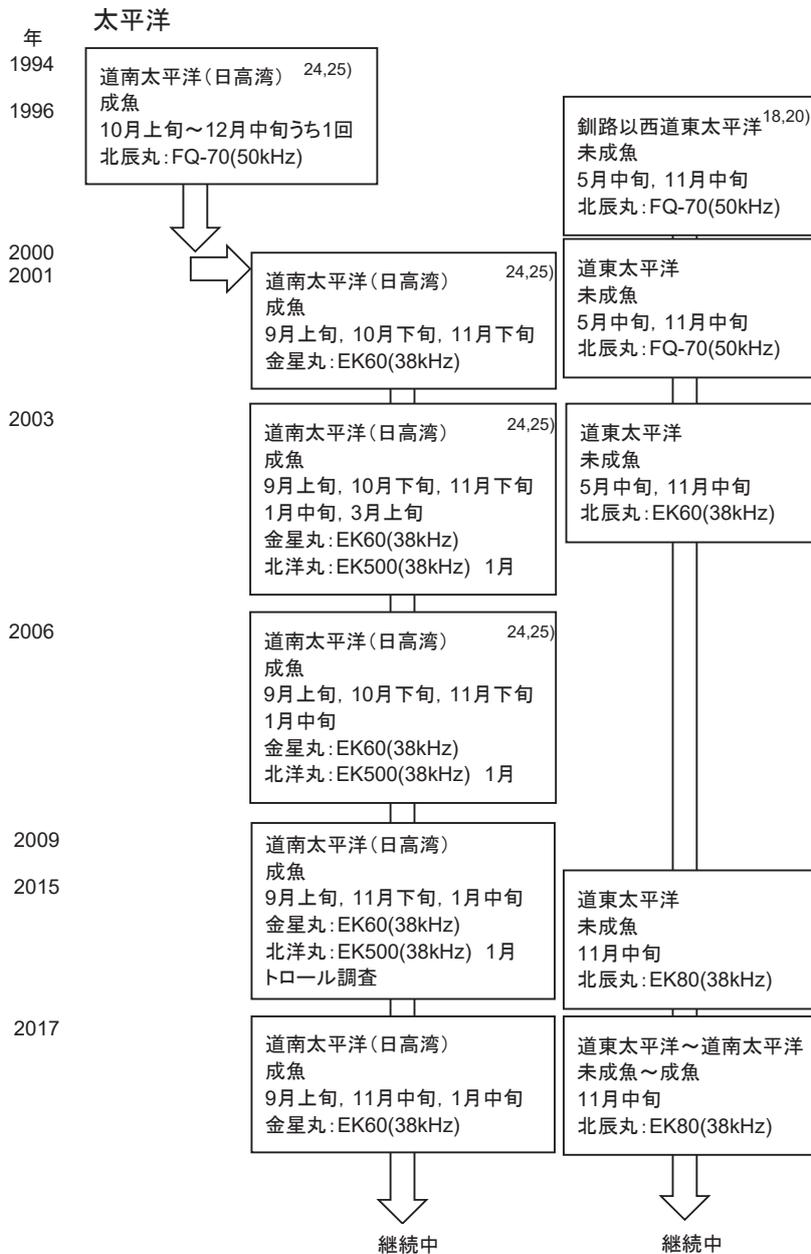


図6 道水試における音響資源調査年表（太平洋における成魚調査）
 図中の右方に記載している数字は末尾の引用文献の番号を表す

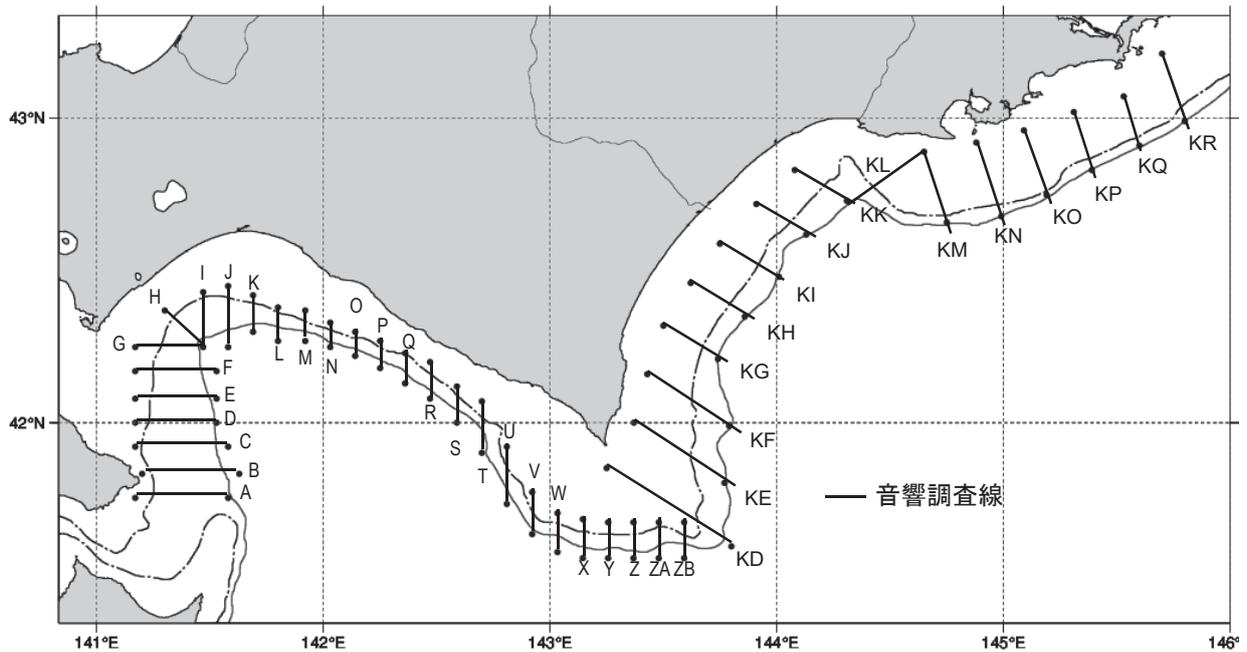


図7 太平洋におけるスケトウダラ成魚を対象とした音響資源調査（11月）海域図

ンを超える漁獲を記録した（図1）。音響資源調査は、これらの漁業の営漁支援を目的とする漁況予測に加えて、日本海と同様に太平洋系群の資源評価における産卵親魚の現存量推定を目的として函館水試室蘭支場によって開始され、開始当初の1994年から2000年までは釧路水産試験場（以降、釧路水試と略す）所属試験調査船北辰丸（2代目216t）およびおやしお丸に搭載されたFQ-70が使用された（図6）。1998年からは現在と同様、漁期前の9月下旬または漁期初めの10月上旬と、漁期中の12月中旬の年2回、スケトウダラ刺し網漁場となる日高湾において、等深線に垂直に、等間隔、平行の航走ラインを設定してデータの収集が行われた。さらに、2001年からは新造された金星丸（3代目）のEK60を用いて調査が継続され、2000年まで刺し網による漁獲調査に基づいて実施していた漁期前の漁況予測を音響資源調査による方法に変更して、今日まで継続している（函館水試：<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/hakodate/section/zoushoku/att/2018News1.pdf>（2018）（2018年11月4日））。なお、調査は2006年から栽培水産試験場（以降、栽培水試と略す）、2014年から函館水試、2015年から函館水試および栽培水試により実施されている。スケトウダラ成魚が北海道東部太平洋海域（以降、道東海域と略す）などの索餌場から低温底層水に沿って日高湾に來遊して、大陸棚上の主として親潮水または親潮表層水中で産卵することを計量魚探機による魚群分布の直接観察により確認できた（志田，2011）。また、日高湾への來遊時期が10年スケールの周期で変動しており、索餌期の環境（餌の量や

水温など）や成魚のサイズ（年齢構成）がこの変動に影響を与えていることが示唆された（Shida *et al.*, 2014）。このため、漁期前の日高湾におけるスケトウダラ成魚の分布量は、そのシーズンを通じた漁獲量との相関が弱く、9月の漁期前調査に推定された分布量または魚群反応の強さは、その後の10～11月の漁獲量、漁期中の11月の調査結果は、その後の12～1月の漁獲量と正の相関があることが示された（志田，2011）。また、9月と11月の魚群反応の強さは、道南海域へのスケトウダラ來遊量の指標として資源評価に用いられている（武藤・城：<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/>（2018）（2018年11月4日））。一方、産卵のため日高湾に來遊した成魚は、産卵終了後、湾内にとどまらず、湾外へ移動すると考えられるため（志田，2011）、調査海域を日高湾に限定した音響資源調査では太平洋系群全体の親魚量を把握することは難しいと考えられた。そこで、成魚の分布域を広くカバーするため、2015年より金星丸と北辰丸（3代目255トン）の2隻の調査船により、日高湾から道東海域までを調査エリアとする漁期中（11月下旬）調査を開始し、データを蓄積している。（図7）。

2. 稚魚・未成魚を対象とした調査 太平洋海域における調査は、初期生活史と並んでスケトウダラの加入量変動機構の解明に重要と考えられている底層生活移行後の生活史（Brodeur *et al.*, 1996）の解明と年級豊度の早期把握を目的として釧路水試により開始された（図8）。この調査は、稚魚および未成魚の重要な分布域と考えられている道東海域（Honda *et al.*, 2004；志田・西村，

2002；濱津ら，2018）を調査海域とし，北辰丸（2代目）に搭載したFQ-70（50kHz）を使用して実施された。1990年代後半に行われた調査結果から，スケトウダラ未成魚の日周鉛直移動の季節変化（Shida, 2001），分布深度の年齢/サイズ依存および分布と海洋環境の関係（志田，2002）が明らかにされ，その後，これらの知見に基づいて0～2歳魚の年級豊度把握を目的とした音響資源調査が5月と11月の年2回実施された。5月の調査結果は2歳の資源尾数（加入量）の指標値として用いられていたが，音響資源調査によって推定された1歳および2歳の現存量とVPAにより推定された加入量の関係が明瞭ではなく，目標としていた年級豊度の早期把握が困難と判断されたことから，2014年に調査を終了した。11月調査について

は，トロール調査で得られる0歳魚のCPUEが加入量指標値の一つとして資源評価に用いられている（濱津ら，2018）。

1998年2月には韓国漁船による道東海域の大陸棚上での漁獲の影響を調べるために，北辰丸と北洋丸の2隻によるスケトウダラの分布状況に関する調査が釧路水試と稚内水試により実施された（図8）。その調査結果に基づいて，冬季のスケトウダラ未成魚が水深150～400m，水温2～4℃の大陸棚外縁部および大陸斜面上において，等深線に沿って帯状に連続した魚群を形成していることが報告された（志田ら，2008）。スケトウダラ未成魚の秋季における主分布域であった大陸棚上は，冬季には寒冷（水温2℃未満）な沿岸親潮水に広く覆われており，この

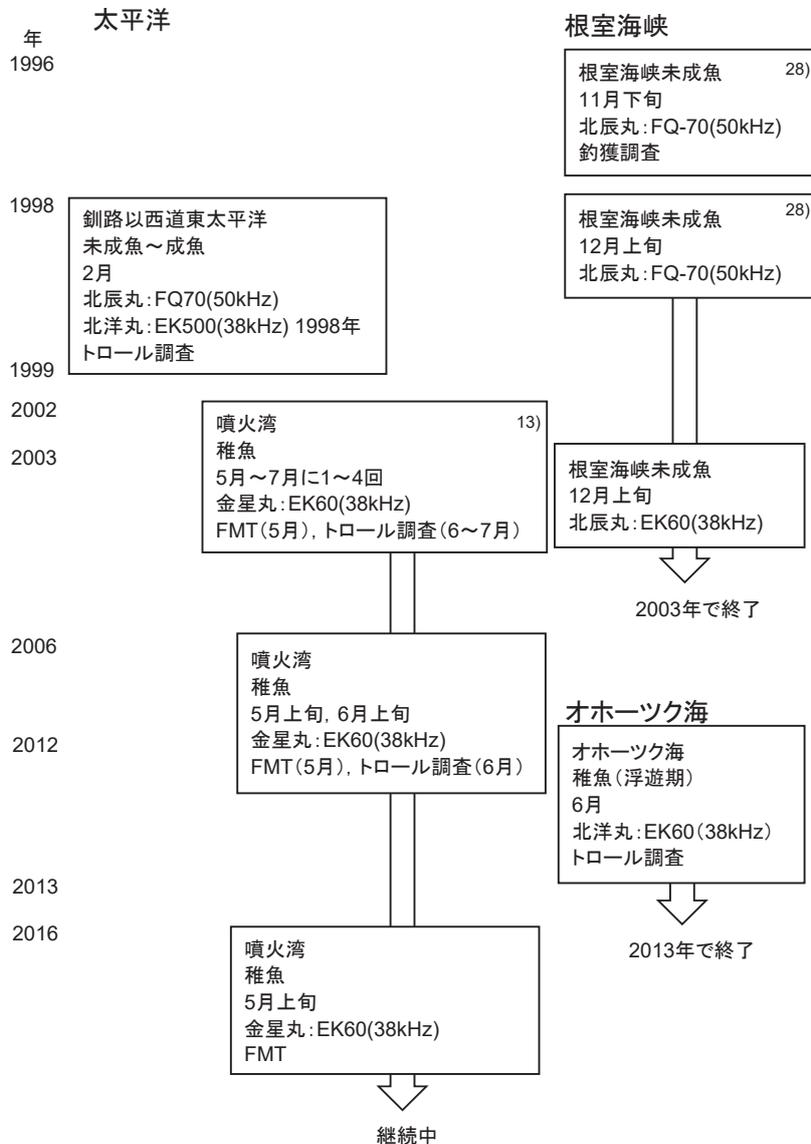


図8 道水試における音響資源調査年表（太平洋における稚魚・未成魚調査，根室海峡およびオホーツク海の調査）
 図中の右方に記載している数字は末尾の引用文献の番号を表す

今後検討すべき課題として、時化等で生ずる泡切れ等による現存量推定値への影響（例えば三宅，2012）評価、計量魚探機の精度を維持するための船間校正（例えば三宅，2012）の定期的な実施などがあげられる。

海域別に見ると、日本海海域では、10月の成魚を対象とした調査における航走ラインの配置方法の検討があげられる。現在の航走ライン間隔は分布量の少ない北部では広く、産卵場のある南部の海域で狭くなっている。しかし、近年、魚群の分布に変化が生じ、北部海域の分布割合が増加しており（美坂ら，2018）、航走ライン間隔の見直しが必要と考えられる。一方で、この時期のスケトウダラは索餌場から産卵場への移動途上にあると推測されるため、航走ラインを密にすることに伴う調査時間の増加が魚群の移動に起因する推定誤差を大きくする可能性がある。従って、航走ライン配置の見直しに際しては、この点も考慮する必要がある。太平洋海域では、産卵親魚の現存量推定を目的とした広域調査が開始された。今後、調査を継続してデータを蓄積していく必要がある。また、道南海域の調査では、水深400m以深に分布する魚群についてトロール調査による魚種確認を十分に行うことができなかったが、2015年に竣工した北辰丸（3代目）のトロール装備ではこの深度の調査も可能であることから、今後の調査の進展が望まれる。また、この海域は設置漁具が多いため400mより浅い海域でも魚種確認のためのトロール調査を実施することが難しく、この点が問題点として上げられてきた。この解決策としては調査船のオッタートロールよりも狭い範囲で操業できるかけまわし船などの漁船を活用したデータ収集なども検討していくことが必要であろう。近年、魚群の魚種判別やサイズを推定する手法として広帯域の計量魚探機の利用が目ざされている（例えばBasset *et al.*, 2018）。北辰丸（3代目）に搭載されているEK80は広帯域に対応した仕様となっていることから、その活用方法も他の研究機関と連携をとりながら進めていく必要がある。

謝 辞

道水試における音響資源調査の発展には、共同研究機関であった北海道大学水産科学研究院の飯田浩二名誉教授、向井徹教授、水産研究・教育機構水産工学研究所の安部幸樹博士のご指導、研究室の大学院生、学生諸氏の助言と協力が不可欠であった。ここに厚く感謝の意を表す。北海道大学環境科学研究院の宮下和士教授には多くの貴重なご指導と助言をいただいた。厚く御礼申し上げます。また、北海道音資研を通じて多くの研究者の方々に貴重な情報提供とアドバイスをいただいた。音響資源

調査の実施に際しては試験調査船北洋丸、金星丸、北辰丸およびおやしお丸の船長ならびに乗組員諸氏の多大な協力と貴重な助言をいただいた。本稿の執筆にあたっては、元釧路水産試験場長高柳志朗氏から貴重な資料を提供いただいた。また、本稿をまとめるにあたり、スケトウダラ研究グループの所属メンバーと編集者および査読者には有意義なアドバイスをいただいた。以上の方々に深く感謝の意を表す。なお、本稿に記載した研究の一部は水産庁委託「我が国周辺水域資源評価等推進事業」の予算を使用して実施されたものである。

引用文献

- 安部幸樹，飯田浩二，向井 徹．スケトウダラの音響資源調査における面積後方散乱係数の昼夜変動．日本水産学会誌 1999；65：252-259.
- Bakkala R, Maeda,T, Macfarlane,G. Distribution and stock structure of pollock (*Theragra chalcogramma*) in the North Pacific Ocean. *International North Pacific Fisheries Commission Bulletin* 1986；45：3-20.
- Bassett C, Robertis AD, Wilson CD. Broadband echosounder of frequency response of fishes and euphausiids in the Gulf of Alaska. *ICES Journal of Marine Science* 2018；75：1131-1142.
- Brodeur RD, Wilson MT. A review of the distribution, ecology and population dynamics of age-0 walleye pollock in the Gulf of Alaska. *Fisheries Oceanography* 1996；5(Suppl. 1)：148-166
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2018. Rome, FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2018, p210.
- 濱津友紀，千村昌之，山下夕帆，田中寛繁，石野光弘，山下紀生．平成29年度（2017）年度スケトウダラ太平洋系群の資源評価．平成29年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊．水産庁増殖推進部．国立研究開発法人水産研究・教育機構，東京．2018；408-453.
- 原 一郎．直接推定法の今日的意義．「TAC管理下における直接推定法－その意義と課題（浅野謙治編）」恒星社厚生閣，東京 2000：9-18.
- 北海道立水産試験場．北海道周辺海域におけるスケトウダラ並びにタラ科魚類の資源・生態研究の現状と展望－北海道スケトウダラ研究グループ25周年記念論文集－，北海道立水産試験場研究報告 1993；42：p301.
- Honda S, Oshima T, Nishimura A, Hattori T. Movement of

- juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, from a spawning ground to a nursery ground along the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fisheries Oceanography* 2004 ; 13 (Suppl. 1) : 84-98.
- 本田 聡, 千村昌之. 平成20年度 (2008) 年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価. 平成20年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部. 独立行政法人水産総合研究センター, 東京. 2009 ; 293-354.
- 板谷和彦, 三宅博哉, 和田昭彦, 宮下和士. 北海道日本海・オホーツク海沿岸域におけるスケトウダラ仔稚魚の分布. 水産海洋研究 2009 ; 73 : 80-89.
- 板谷和彦, 三宅博哉, 貞安一廣, 宮下和士. 計量魚群探知機により観察された北海道日本海におけるスケトウダラ仔稚魚の日周鉛直移動と昼夜間の音響的特徴. 水産海洋研究 2014 ; 78 : 97-103.
- Kawauchi Y, Shida O, Okumura H, Tojo N, Yasuma H, Miyashita K. Vertical distribution of walleye pollock juveniles before and after the period of transition for feeding in FB, Hokkaido, Japan. *Journal of Marine Science and Technology* 2011 ; 16 : 279-286.
- Kawauchi Y, Chimura M, Muto T, Watanobe M, Shirakawa H, Miyashita K. Effect of environmental factors and prey species on daytime and nighttime vertical distribution of juvenile walleye pollock in and around Funka Bay. *Fisheries Science* 2014 ; 80 : 139-149.
- 三宅博哉. 音響学的手法を用いたスケトウダラ北部日本海系群の資源動態評価と産卵場形成に関する研究 (学位論文). 北海道水産試験場研究報告 2012 ; 81 : 1-56.
- 三宅博哉, 石田良太郎, 武藤卓志, 安部幸樹, 向井 徹, 飯田浩二. 音響資源調査で得られた北海道西岸日本海のスケットウダラ産卵群の分布特性と現存量. 北海道水産試験場研究報告 2001 ; 59 : 11-24.
- 三宅博哉, 田中伊織. 北海道日本海のスケットウダラ資源の変動. 月刊 海洋 2006 ; 59 : 11-24.
- 宮野鼻洋一. 音響手法. 「TAC管理下における直接推定法—その意義と課題 (浅野謙治編)」恒星社厚生閣, 東京 2000 : 19-27.
- Miyashita K, Tetsumura K, Honde S, Oshima T, Kawabe R, Sasaki K. Diel changes in vertical distribution patterns of zooplankton and walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan, estimated by the back scattering strength (SV) difference method. *Fisheries Oceanography* 2004 ; 13 (suppl. 1) : 99-110.
- 夏目雅史. 北海道桧山海域スケトウダラ延縄漁業の漁獲深度と水温. 北海道水産試験場研究報告 1998 ; 53 : 1-8.
- Shida O. Seasonal difference in the diel vertical migration patterns of young walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and their impact on acoustic biomass estimation. *Proceeding of ACOUSTIC GEAR 2000* 2001 : 172-179.
- 志田 修. 根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況—I 産卵前の水平および垂直分布. 北海道水産試験場研究報告 2001 ; 59 : 1-10.
- 志田 修. 北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラの年齢別分布水深. 北海道水産試験場研究報告 2002 ; 63 : 9-19.
- 志田 修, 西村明. 秋季の道東太平洋海域に分布するスケトウダラ0歳魚の孵化日組成と産卵群の関連. 水産海洋研究 2002 ; 66 : 232-238.
- 志田 修, 三宅博哉, 金田友紀, 石田良太郎, 宮下和士. 計量魚群探知機による冬季の北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラ*Theragra chalcogramma*未成魚の分布. 日本水産学会誌 2008 ; 74 : 152-160.
- 志田 修. スケットウダラ太平洋系群の資源変動におよぼす成魚期の海洋環境の影響に関する研究 (学位論文). 北海道水産試験場研究報告 2011 ; 79 : 1-75.
- 志田 修. 根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況—II 1990年代後半の産卵期における分布と海況. 北海道水産試験場研究報告 2014 ; 86 : 125-135.
- Shida O, Mihara Y, Muto T, Miyashita K. Interannual changes in the timing of walleye pollock spawning migration and their impacts on the gillnet fishery in the southwestern Pacific coast of Hokkaido, Donan area, Japan. *Fisheries Science* 2014 ; 80 : 173-179.
- 高柳志朗. 北海道の音響資源研究のさらなる発展を期して—音資研と共に歩む北水試の計量魚探調査・研究—. 第21回北海道音響資源調査研究情報交換会口頭発表. 2017.
- Traynor JJ. Midwater abundance of walleye pollock in the eastern Bering sea, 1979 and 1982. *International North Pacific Fisheries Commission Bulletin* 1986 ; 45 : 121-135.
- Wakabayashi K, Watanabe K, Watanabe Y. Assessments of walleye pollock abundance of the southwest Pacific coast of Hokkaido, based on catch statistics and survey data. *International North Pacific Fisheries Commission Bulletin* 1990 ; 50 : 101-120.
- 山下夕帆, 千村昌之, 石野光弘, 田中寛繁, 山下紀生,

濱津友紀. 平成29年度(2017)年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価. 平成29年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部, 国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2018; 303-363.

資料: 1994年以降に発行されたスケトウダラ関係論文(水産試験場職員が著者となっているもの)。太字が道水試職員を表す。

海域: 日本海

- 1) 板谷和彦, 三宅博哉, 和田昭彦, 宮下和士. 北海道日本海・オホーツク海沿岸域におけるスケトウダラ仔稚魚の分布. 水産海洋研究 2009; 73: 80-89.
- 2) 板谷和彦, 三宅博哉, 貞安一廣, 宮下和士. 計量魚群探知機により観察された北海道日本海におけるスケトウダラ仔稚魚の日周鉛直移動と昼夜間の音響的特徴. 水産海洋研究 2014; 78: 97-103.
- 3) 三宅博哉, 石田良太郎, 武藤卓志, 安部幸樹, 向井徹, 飯田浩二. 音響資源調査で得られた北海道西岸日本海のスケトウダラ産卵群の分布特性と現存量. 北海道水産試験場研究報告 2001; 59: 11-24.
- 4) 三宅博哉, 田中伊織. 北海道日本海のスケトウダラ資源の変動. 月刊 海洋 2006; 59: 11-24.
- 5) 三宅博哉, 板谷和彦, 浅見大樹, 嶋田 宏, 渡野邊雅道, 武藤卓志, 中谷敏邦. 卵分布からみた北海道西部日本海におけるスケトウダラ産卵場形成の現状. 水産海洋研究 2008; 72: 265-272.
- 6) 三宅博哉. 音響学的手法を用いたスケトウダラ北部日本海系群の資源動態評価と産卵場形成に関する研究(学位論文). 北海道水産試験場研究報告 2012; 81: 1-56.
- 7) **Mizuno M**, Kobayashi T, Matsuishi T, **Maeda K**, Saito K. Stock structure of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, around Hokkaido and Sakhalin in the term of mitochondrial DNA RFLP. 北海道水産試験場研究報告 2000; 57: 1-8.
- 8) 夏目雅史, 佐々木正義. 北海道北部海域のスケトウダラ仔稚魚の分布. 北海道水産試験場研究報告 1995; 47: 33-40.
- 9) 夏目雅史. 北海道松山海域スケトウダラ延縄漁業の漁獲深度と水温. 北海道水産試験場研究報告 1998; 53: 1-8.
- 10) 野村 温, 久保徹郎, 志田 修, 板谷和彦, 伊藤 靖, 桜井泰憲. 2011年8月と10月の北海道西部日本海において観察されたスケトウダラ幼魚の食性. 北海道水産試験場研究報告 2014; 85: 13-19.

- 11) **Yamaguchi H**, Matsuishi T. Evaluation of the stock management procedures for the walleye pollock in the northern waters of the Sea of Japan using a simulation. *Fisheries Science* 1997; 74: 955-969.

海域: 太平洋

- 12) Funamoto T, Yamamura, **Shida O**, **Itaya K**, Mori K, Hiyama Y, Sakurai Y. Comparison of factors affecting recruitment variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Pacific Ocean and the Sea of Japan off northern Japan. *Fisheries Science* 2014; 80: 117-126.
- 13) Kawauchi Y, **Shida O**, **Okumura H**, Tojo N, Yasuma H, Miyashita K. Vertical distribution of walleye pollock juveniles before and after the period of transition for feeding in FB, Hokkaido, Japan. *Journal of Marine Science and Technology* 2011; 16: 279-286.
- 14) Kawauchi Y, Chimura M, **Muto T**, **Watanobe M**, Shirakawa H, Miyashita K. Effect of environmental factors and prey species on daytime and nighttime vertical distribution of juvenile walleye pollock in and around Funka Bay. *Fisheries Science* 2014; 80: 139-149.
- 15) **Miyake H**, **Yoshida H**, **Ueda Y**. Distribution and abundance of age-0 juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, along the Pacific coast of southeastern Hokkaido, Japan. *NOAA Technical Report NMFS* 1996; 126: 3-10.
- 16) Nishimura A, Hamatsu T, Yabuki K, **Shida O**. Recruitment fluctuations and biological response of walleye pollock in the Pacific coast of Hokkaido. *Fisheries Science* 2002; 68(Suppl. 1): 206-209.
- 17) 志田 修, 山村織生, 三宅博哉. 道東太平洋沿岸におけるスケトウダラ0歳魚の分布と成長に伴う移動について. 北海道水産試験場研究報告 1999; 54: 1-7.
- 18) **Shida O**. Seasonal difference in the diel vertical migration patterns of young walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, and their impact on acoustic biomass estimation. *Proceeding of ACOUSTIC GEAR* 2000 2001: 172-179.
- 19) 志田 修, 西村 明. 秋季の道東太平洋海域に分布するスケトウダラ0歳魚の孵化日組成と産卵群の関連. 水産海洋研究 2002; 66: 232-238.
- 20) 志田 修. 北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラの年齢別分布水深. 北海道水産試験場研究報告 2002; 63: 9-19.

- 21) 志田 修. 資源評価担当者から見た漁業資源の管理 - II. スケトウダラ資源評価の現状と今後の課題. 日本水産学会誌 2005 ; 71 : 1022-1026.
- 22) Shida O, Hamatsu T, Nishimura A, Suzaki A, Yamamoto J, Miyashita K, Sakurai Y. Interannual fluctuations in recruitment of walleye Pollock in the Oyashio region related to environmental changes. *Deep Sea Research II* 2007 ; 54 : 2822-2831.
- 23) 志田 修, 三宅博哉, 金田友紀, 石田良太郎, 宮下和士. 計量魚群探知機による冬季の北海道東部太平洋海域におけるスケトウダラ *Theragra chalcogramma* 未成魚の分布. 日本水産学会誌 2008 ; 74 : 152-160.
- 24) 志田 修. スケトウダラ太平洋系群の資源変動におよぼす成魚期の海洋環境の影響に関する研究 (学位論文). 北海道水産試験場研究報告 2011 ; 79 : 1-75.
- 25) Shida O, Mihara Y, Muto T, Miyashita K. Interannual changes in the timing of walleye pollock spawning migration and their impacts on the gillnet fishery in the southwestern Pacific coast of Hokkaido, Donan area, Japan. *Fisheries Science* 2014 ; 80 : 173-179.
- 26) Yamamura O, Yabuki K, Shida O, Watanabe K, Honda S. Spring cannibalism on 1 year walleye pollock in the Doto area, northern Japan: is it density dependent? *Journal of Fish Biology* 2001 ; 59 : 645-656.
- 27) Yamamura O, Honda S, Shida O, Hamatsu T. Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan: Ontogenetic and seasonal variations. *Marine Ecology Progress Series* 2002 ; 238 : 187-198.
- 海域：根室海峡
- 28) 志田 修. 根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況 - I 産卵前の水平および垂直分布. 北海道水産試験場研究報告 2001 ; 59 : 1-10.
- 29) 石田良太郎, 鳥澤 雅, 志田 修. 水産資源の持続的利用 - 知床半島周辺海域の漁業と水産資源 (陸棚) -. 月刊海洋 2006 ; 38 : 626-631.
- 30) 志田 修. 根室海峡におけるスケトウダラ魚群の分布と海況 - II 1990年代後半の産卵期における分布と海況. 北海道水産試験場研究報告 2014 ; 86 : 125-135.