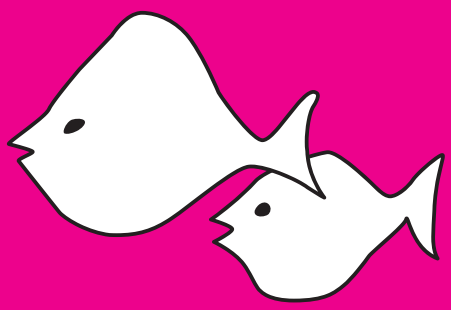
道総研

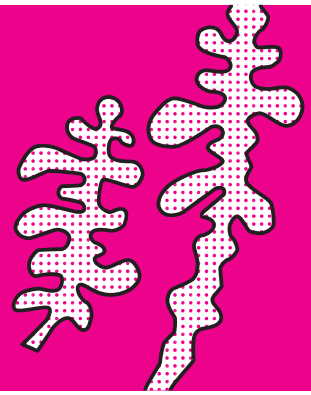
ISSN 0914－6849

HOKUSUISHI DAYORI

北水試だより

▷浜と水試を結ぶ情報誌◁





目　　次／・デジタル一眼レフカメラと画像解析による
簡便迅速な動物プランクトンの分析法…… 1
・遡上系種苗と天然資源を使ったサクラマス資源の増殖…… 9
資源管理・海洋環境シリーズ
・胆振・日高海域におけるシシャモの資源管理について……14
資源増殖・水産工学シリーズ
・エゾバイ資源管理ガイドラインについて……17
・ホソメコンブ遊走子を付けたコンクリート板による
嵩上げ礁のウニ類食圧抑制機能の検証……22
水産加工シリーズ
・ホタテガイ外套膜を加工食品原料として利用するために
～結着の能力を活用した成型チップスの試作～……26
各水試発トピックス
・「余市ムール」始まりました！ムールガイ養殖研究協議会の設立と
これまでの取り組みについて……28
・稚内の小学生が「解剖体験」！……29
・第50回日ロ研究交流が開催されました……30

第97号
2018/9

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 水産研究本部

デジタル一眼レフカメラと画像解析による簡便迅速な動物プランクトンの分析法

嶋田　宏

キーワード：デジタルカメラ、動物プランクトン、画像解析

海の恵みの根源、プランクトン

「プランクトン（plankton）」は、泳ぐ力に乏しく水中を浮遊する生物の総称で、微細な植物や動物が大半ですが、直径１mを超えるクラゲも「プランクトン」に含まれます。北海道周辺では例年３～５月頃に植物プランクトンが増え（春季ブルーム[注]、図１）、これを餌として成長する動物プランクトンは少し遅れて４～６月頃に増えます（図２）。このような植物プランクトンと動物プランクトンの発生規模は年や海域によって異なり、日本海では植物プランクトンが多い年に動物プランクトンも多くなる傾向があります[1)・2)]。また、動物プランクトンが増える４～６月頃はサケの稚魚やホッケの未成魚などが盛んに餌を食べて成長する時期でもあります。北海道周辺に生息する動

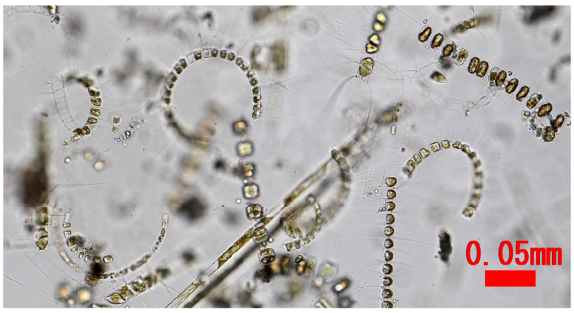


図１　植物プランクトンの「春季ブルーム[注]」（2014年３月５日、余市沿岸）

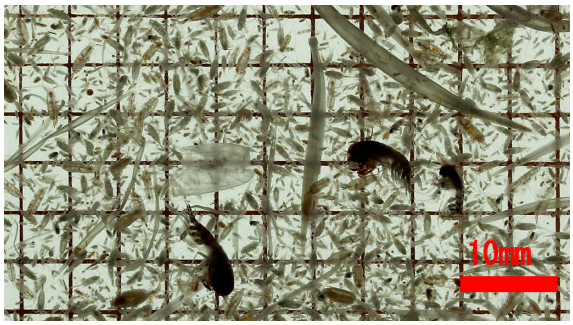


図２　晩春に増えた動物プランクトン（2014年５月10日、積丹沖）

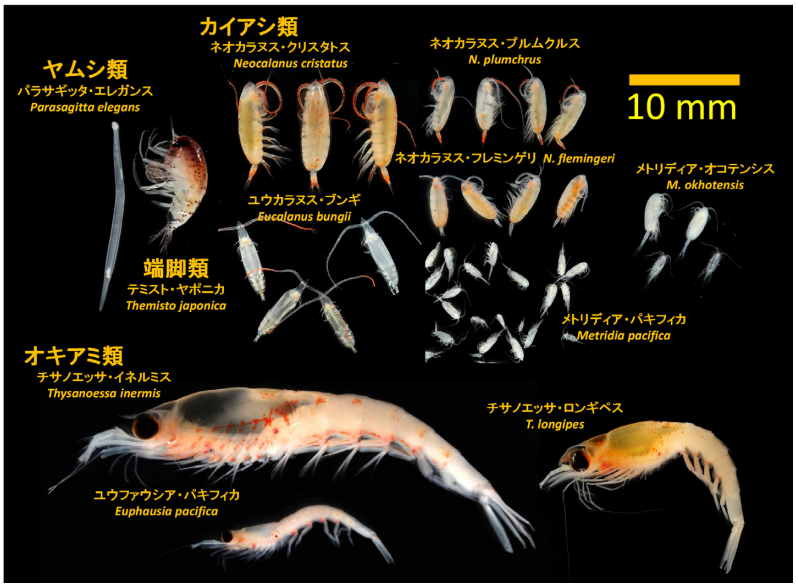


図３　北海道周辺海域に多く生息する動物プランクトン11種

注）冬に深みから表層に供給された栄養塩を利用して、春に珪藻を主体とする植物プランクトンが増える現象

物プランクトンは比較的大型の甲殻類など十数種が主で（図３）、魚にとって大事な餌になります。水産資源を持続的に利用するためには、魚介類だけでなく、餌となるプランクトンについての継続的なモニタリングが重要です。

動物プランクトンの分析作業の省力化

魚の餌となる動物プランクトンの変動は当然、水産資源の変動に影響すると考えられますが、プランクトン分析作業の手間がボトルネックとなり、資源変動を説明するためのプランクトンの情報は乏しい状況にありました。つまり、微細で多様な生物を含むプランクトン試料の分析が「時間がかかる高度に専門的な作業」であることが問題だったわけです。そこで水産試験場は北海道大学と共同で、従来の分析法に代わる、デジタルカメラを用いた簡便迅速な分析法を開発しましたので、以下にご紹介します。

デジタルカメラを利用した撮影システムの構築

従来の分析法は、実体顕微鏡を用いてプランクトンを種別に選別した後に精密天秤で計量するもので、１試料あたりおおよそ半日を要していました。この手間を軽減するため、デジタル一眼レフカメラでシャーレに入れた試料を撮影した後、画像解析によって種別の個体数と重量を求める方法を検討しました。

動物プランクトン試料には多様なサイズの生物が含まれており、全体にピントの合った精細な画像を得る必要があるため、図４のような撮影システムを考案しました[3)]。留意したことは、次の３点です。

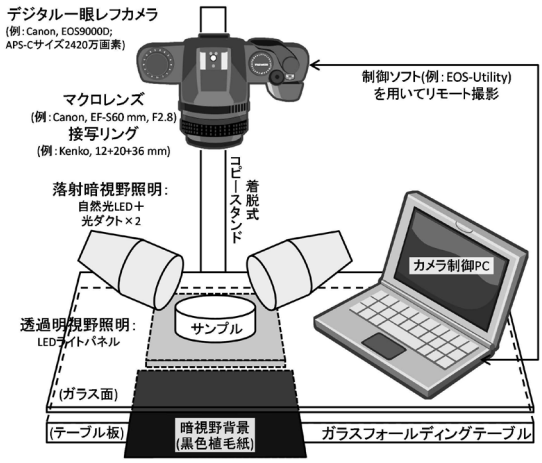


図４　撮影システムの概略図（嶋田・奥（2014）[3)]を改変）

（１）小さな生物を拡大（マクロ）撮影できること
（２）電子シャッターでリモート撮影できること（振動による「ブレ」防止のため）
（３）透過明視野／落射暗視野照明による撮影ができること（外形と色彩の精細な記録のため）

この撮影システムの構築によって、現在普及しているイメージセンサーサイズAPS-C／2,420万画素のカメラならば、一般的なマクロレンズの最高倍率である「等倍」（イメージセンサーと同じ視野面積：22.3×14.9 mm^2）の撮影時に0.01 mm（10 μm）を解像でき（図５）、動物プランクトンの分析に充分な品質の画像データを取得できるようになりました。また、このシステムはパソコンを除き約20万円で購入でき、一般的な器材（研究用実体顕微鏡と専用カメラ等）と比べて約1/5と低価格であることも特長です。



図５　APS-Cサイズ2,420万画素のデジタルカメラで「等倍」撮影した対物ミクロメーター（最小目盛0.01 mm = 10 μm）

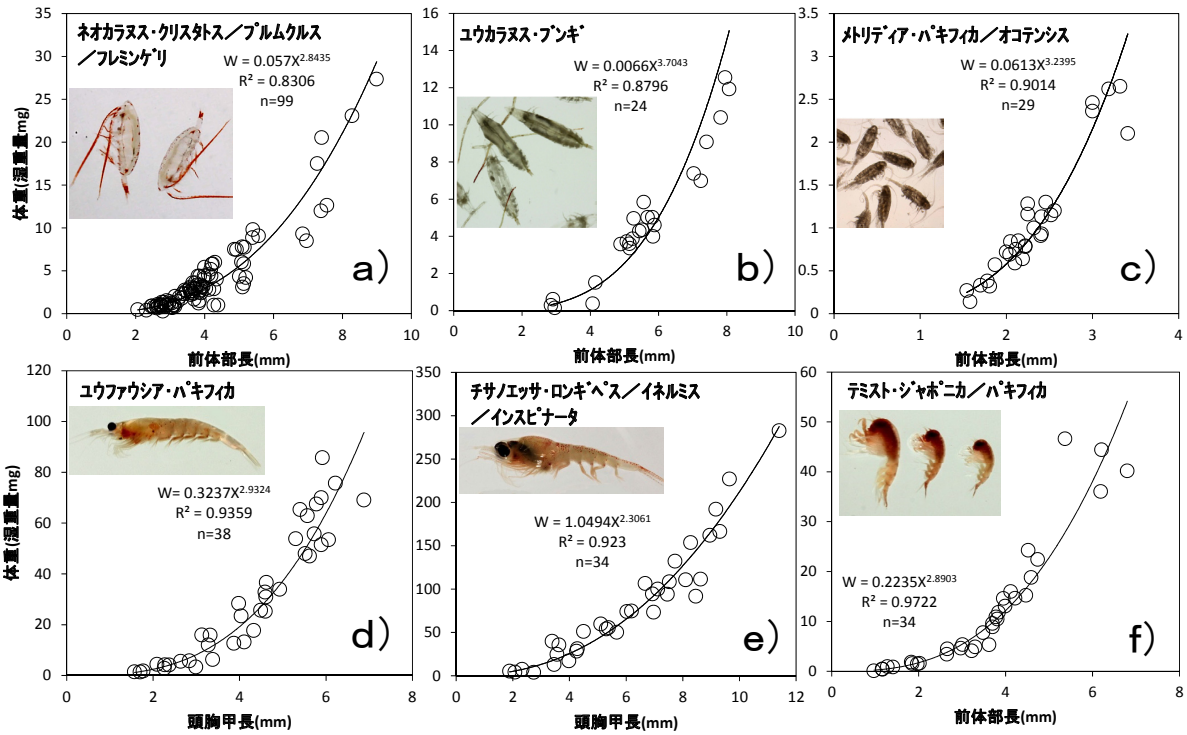


図６　大型動物プランクトン６種の体サイズ（X）と体重（W）の関係
a）～c）カイアシ類、d）・e）オキアミ類、f）端脚類

種別の体サイズと体重の関係式

次に取り組んだのは、生物の画像を重さに換算するために、体サイズと体重の関係式を求めることでした。従来の分析法によって生物を選別した後に、個体ごとに体サイズを計測、精密天秤で重さを測る作業を繰り返して、種別または分類群別に、体サイズと体重の関係を求めました。湿重量を測った後はオーブンに入れ、庫温55 ℃で３日間乾燥させた後に再び重さを測り、乾重量を求めました。

体サイズと体重の関係を北海道大学と共同で整理した結果[4)]、種別、分類群別に固有の関係式が求められ（図６）、画像データを用いて生物の体サイズを測り、重量を求めるための準備が整いました。

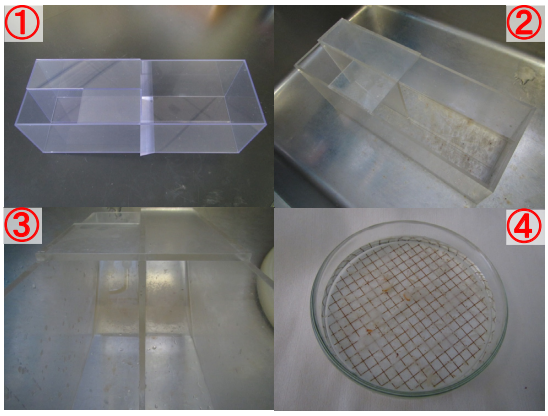


図７　プランクトン分割器（①）を用いた試料の分割希釈（②～④）

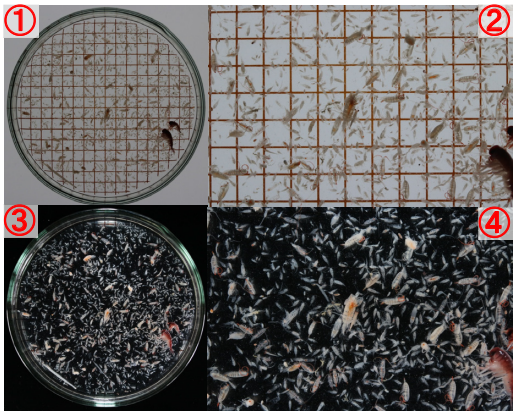


図８　撮影システムで得られた動物プランクトン試料の画像（①・③：全景、②・④：拡大、①・②：明視野、③・④：暗視野）

動物プランクトン試料の撮影

プランクトンネットを用いて採集された動物プランクトン試料は、一般に多量の生物を含んでいるため、そのままでは撮影に向きません。そこで、「プランクトン分割器」（図７）を用いて、撮影時に生物が重なり過ぎない程度に分割希釈を繰り返し（元試料の 1/4～1/16）、分割数を記録した後に、５ mm格子線の付いたφ90 mmシャーレに均一に試料を注ぎます（図７）。これを前述の撮影システムを用いて、まず0.15倍（試料全景、視野面積：150×100 mm^2 ）、次いで0.37倍（部分拡大、視野面積：60×40 mm^2 ）で、透過明視野／落射暗視野照明の双方について撮影します（図８）。このとき、全体にピントの合った精細な画像データを得るため、撮影モード／絞り値／ISO感度は原則として、絞り優先オート／絞り値 F = 5.6／ISO感度 = 400 に設定、露出については明視野では０～-0.3、暗視野では-２～-３に補正して、マニュアルフォーカスで撮影します。これらの撮影モード／絞り値／ISO感度／露出設定の目的は、適度に絞り込むことでピント（被写界深度）の厚みを確保し、感度を上げて（露光時間を短縮して）ブレを防ぎつつ、白っぽい被写体の露出オーバー（白とび）を防ぐことにあります。

以上の手順で各試料４枚の画像データを記録しておけば、その試料の中身はいつでも分析できることになります。撮影は、プランクトンの生時の色彩が失われる前（採集、固定後１週間以内）に行うことが望ましく、色彩の情報は以下の画像解析の際に、よく似た種類の判別に役に立ちます。

画像解析ソフトを用いた体サイズ測定

ここでは、ImageJ（イメージジェイ、https://imagej.nih.gov/ij/ ）という解析ソフトを用いた

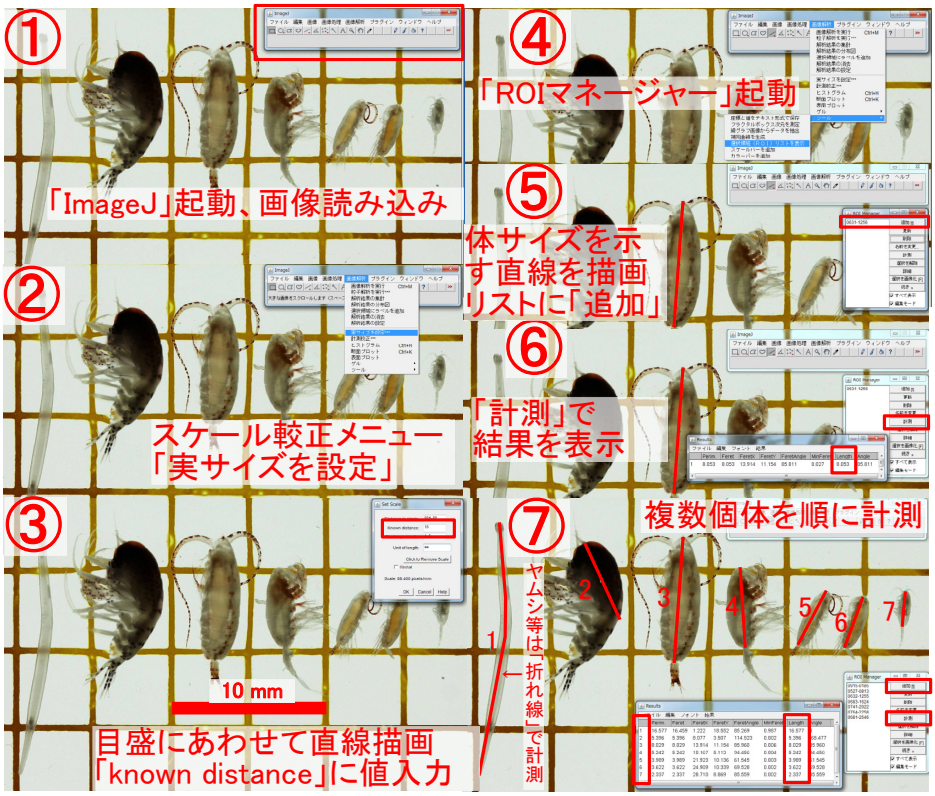


図９　画像解析ソフト「ImageJ」を用いた体サイズ測定
①～③：ソフト起動・画像データ読み込み・スケール較正
④～⑦：「ROIマネージャ」による複数個体の連続測定

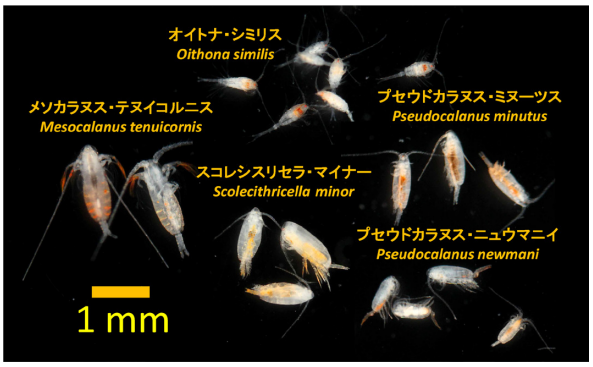
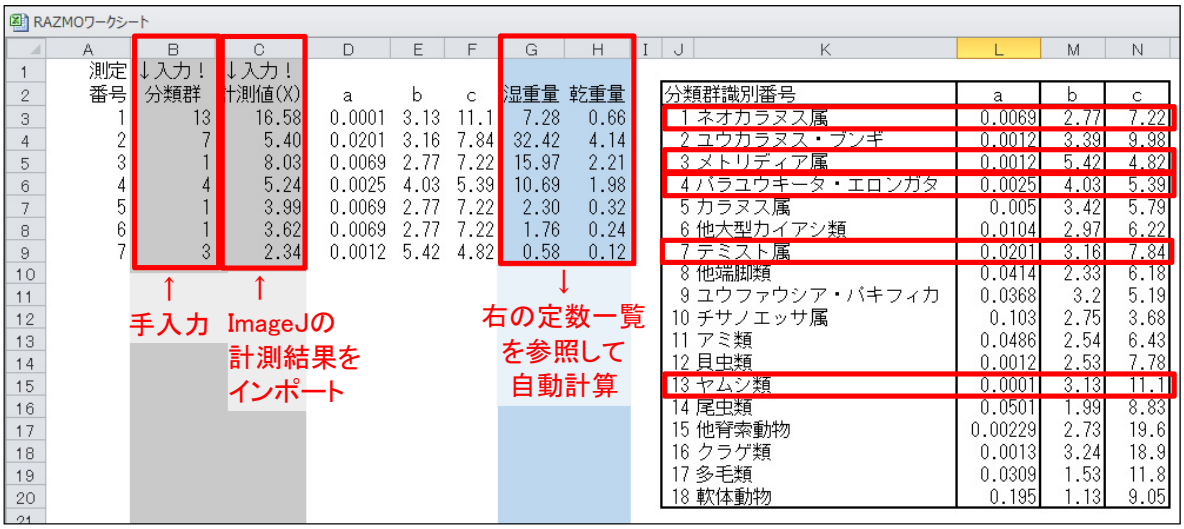


図10　北海道周辺海域に多く生息する小型カイアシ類５種

計測例を示します。この他にもMotic Images plus（モーティックイメージズプラス、http://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoiku/download/mip２_2.html ）等のフリーソフトがありますが、使い方はだいたい同じです。どのソフトにおいても、生物のサイズ測定の際は、スケールを較正（画素あたりの実測値を決定）した後に、生物の体サイズを示す直線または折れ線の長さを測る（図９）、という手順で行います。

表１　動物プランクトン種別・動物群別の体サイズと体重の関係式

分類群		体サイズ(X)計測部位	体サイズ－体重関係式(W = a X ^b) または 湿重量－乾重量関係式(WW = c DW)	
			湿重量(WW mg)	乾重量(DW mg)
カイアシ類	ネオカラヌス属	前体部長(mm)	WW = 0.057X^2.84 WW = 7.22DW	DW = 0.0069X^2.77
	ユウカラヌス・ブンギ	前体部長(mm)	WW = 0.0066X^3.7 WW = 9.98DW	DW = 0.0012X^3.39
	メトリディア属	前体部長(mm)	WW = 0.0613X^3.24 WW = 4.82DW	DW = 0.0012X^5.42
	パラユウキータ・エロンガタ	前体部長(mm)	WW = 0.0519X^3.19 WW = 5.39DW	DW = 0.0025X^4.03
	カラヌス属	前体部長(mm)	WW = 0.0325X^3.45 WW = 5.79DW	DW = 0.005X^3.42
	他大型カイアシ類	前体部長(mm)	WW = 0.0766X^2.93 WW = 6.22DW	DW = 0.0104X^2.97
端脚類	テミスト属	前体部長(mm)	WW = 0.247X^2.81 WW = 7.84DW	DW = 0.0201X^3.16
	他端脚類	前体部長(mm)	WW = 0.29X^2.33 WW = 6.18DW	DW = 0.0414X^2.33
オキアミ類	ユウファウシア・パキフィカ	頭胸甲長(mm)	WW = 0.318X^2.96 WW = 5.19DW	DW = 0.0368X^3.2
	チサノエッサ属	頭胸甲長(mm)	WW = 1.05X^2.31 WW = 3.68DW	DW = 0.103X^2.75
他甲殻類	アミ類	頭胸甲長(mm)	WW = 0.707X^2.13 WW = 6.43DW	DW = 0.0486X^2.54
	貝虫類	殻長(mm)	WW = 7.78DW	DW = 0.0012X^2.53
ヤムシ類		体長(mm)	WW = 11.1DW	DW = 0.0001X^3.13
脊索動物	尾虫類	体幹長(mm)	WW = 8.83DW	DW = 0.0501X^1.99
	他脊索動物	体長(mm)	WW = 19.6DW	DW = 0.00229X^2.73
クラゲ類		傘高(mm)	WW = 18.9DW	DW = 0.0013X^3.24
その他	多毛類	体長(mm)	WW = 11.8DW	DW = 0.0309X^1.53
	軟体動物	体長(mm)	WW = 9.05DW	DW = 0.195X^1.13



測定番号	↓入力！分類群	↓入力！計測値(X)	a	b	c	湿重量	乾重量
1	13	16.58	0.0001	3.13	11.1	7.28	0.66
2	7	5.40	0.0201	3.16	7.84	32.42	4.14
3	1	8.03	0.0069	2.77	7.22	15.97	2.21
4	4	5.24	0.0025	4.03	5.39	10.69	1.98
5	1	3.99	0.0069	2.77	7.22	2.30	0.32
6	1	3.62	0.0069	2.77	7.22	1.76	0.24
7	3	2.34	0.0012	5.42	4.82	0.58	0.12

分類群識別番号	a	b	c
1 ネオカラヌス属	0.0069	2.77	7.22
2 ユウカラヌス・ブンギ	0.0012	3.39	9.98
3 メトリディア属	0.0012	5.42	4.82
4 パラユウキータ・エロンガタ	0.0025	4.03	5.39
5 カラヌス属	0.005	3.42	5.79
6 他大型カイアシ類	0.0104	2.97	6.22
7 デミスト属	0.0201	3.16	7.84
8 他端脚類	0.0414	2.33	6.18
9 ユウファウシア・パキフィカ	0.0368	3.2	5.19
10 チサノエッサ属	0.103	2.75	3.68
11 アミ類	0.0486	2.54	6.43
12 貝虫類	0.0012	2.53	7.78
13 ヤムシ類	0.0001	3.13	11.1
14 尾虫類	0.0501	1.99	8.83
15 他脊索動物	0.00229	2.73	19.6
16 クラゲ類	0.0013	3.24	18.9
17 多毛類	0.0309	1.53	11.8
18 軟体動物	0.195	1.13	9.05

図11　分類群の識別番号と体サイズの計測値を入力して重量に換算するためのワークシート

体サイズ測定は、原則として成体の体サイズが2 mmを超える大型優占種（図３）について種別に行います。種類によっては試料中に多量に含まれる場合がありますが、このときは30～50個体について体サイズを測り、残りは個体数のみの記録にとどめておくと、所要時間を短縮できます。同様に時間短縮のため、成体の体サイズが2 mm未満の小型種（図10）については、原則として個体数のみを記録します。視野全体についての個体数が極めて多い場合は、50個体を目処に計数して、格子線を利用して「全視野 ○ mm^2に対して、□ × △ mm^2 について計数した」ことを記録しておきます。この記録は、前述の分割数とともに、試料あたりの個体数を求めるのに用います。

表計算ソフトを用いた体サイズの重量への換算

体サイズデータは、種別、動物群別の体サイズと体重の関係式の一覧表（表１）に基づいて重量に換算します。汎用の表計算ソフトを用いて、分類群の識別番号と体サイズを順に入力すれば、簡単に重量に換算できるワークシートを作成しました（図11）。換算された種別、分類群別の重量から、前述の計数した面積と分割数の情報を用いて、試

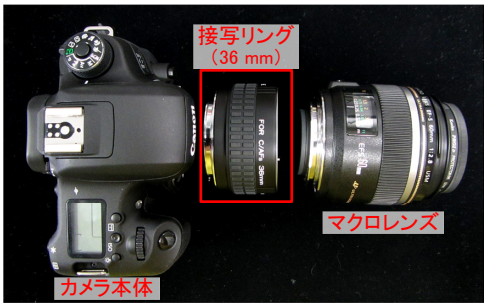


図12　ホタテガイ浮遊幼生（1.9倍）撮影のための36mm接写リングの装着

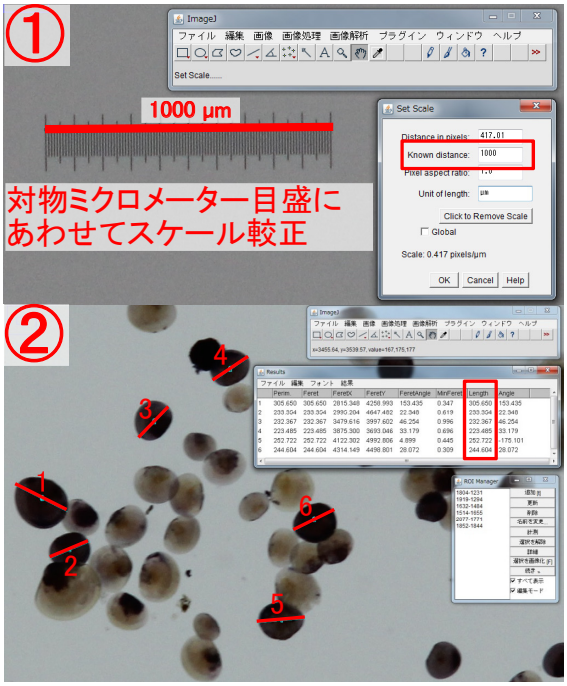


図13　免疫染色法で簡易同定[5]したホタテガイ浮遊幼生の殻長測定
①：ソフト起動・スケール較正
②：「ROIマネージャ」による複数個体の連続測定

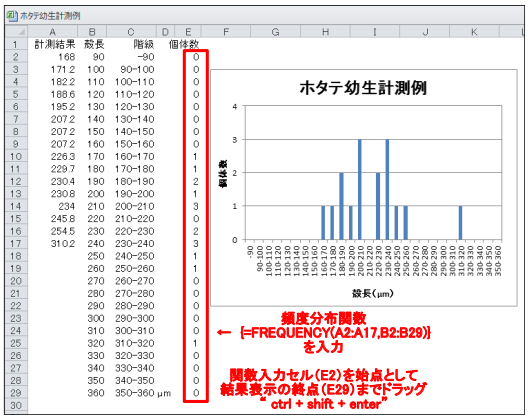


図14　殻長計測結果の頻度分布関数によるデータ整理とグラフ作成

料あたりの重量が求められます。

以上の分析法で撮影から画像解析までに要する時間は１試料あたり約１時間であり、従来法で半日要していた作業時間を大幅に短縮することができました。

ホタテガイ浮遊幼生の計測への応用

この研究で考案した撮影および画像解析法は、体サイズ0.1～100 mmの生物ならば応用可能です。例えばホタテガイ浮遊幼生を計測する場合は、殻長0.1 ～0.25mmの小型な個体をサイズ別に計測するため、0.005 mm（5 μm）まで解像できるように、「等倍」にセットしたマクロレンズとカメラ本体の間に「接写リング」を取り付け（図12)、1.9倍（視野面積：11.7×7.8 mm^2）の透過明視野照明で撮影します。プランクトンの場合と同様に、画像解析ソフトを用いて浮遊幼生の殻長を測り（図13)、表計算ソフトにデータを取り込めば、頻度分布（ヒストグラム）関数を用いて10 μm刻みで殻長組成を求め、棒グラフを作成することができます（図14)。この方法は試料の全景をパソコンのディスプレイに映出して間接的に計測できるため、従来の万能投影機等による直接観察に代わる方法として、普及が期待されます。

まとめ

新たな分析法の開発によって、動物プランクトンの分析は「時間がかかる高度に専門的な作業」から「より一般的な作業」に変わり、魚介類の餌環境を速やかに把握できるようになりました。動物プランクトン試料に含まれる生物の量と組成は

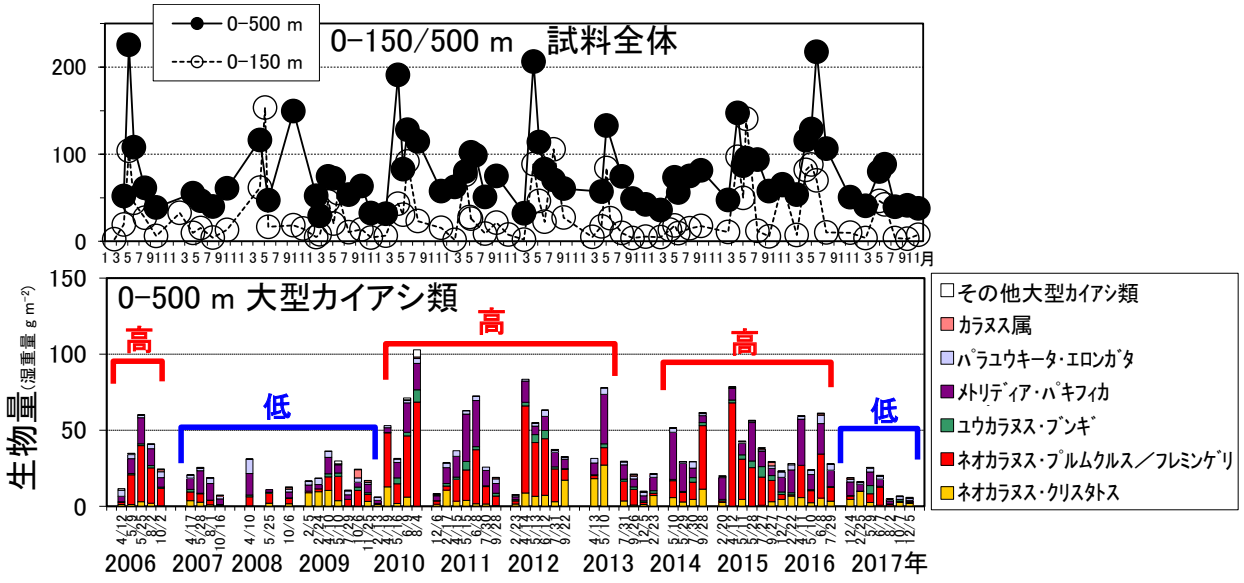


図15　北部日本海（積丹沖）における動物プランクトン生物量の変動（2006-2017年）
上：改良型ノルパックネットによる鉛直曳き採集試料全体
下：大型カイアシ類優占種

年、季節毎に大きく変わるため（図15）、分割希釈および計数等の作業内容（図７～９）を臨機応変にアレンジしながら、長期的視野でモニタリングを継続することが重要です。

今後は過去の未分析試料の処理を順次進めて、餌環境と資源変動の長期的な関係を調べる予定です。将来的には、プランクトンの種や分類群の判別について画像認識（機械学習）等の技術を検討し、自動化を進めていく方針です。

研究の進捗にあたり、動物プランクトン種別、分類群別の体サイズと体重の関係式のリストアップについては、北海道大学水産科学研究院の山口篤博士、松野孝平博士ならびに中村麻見氏にご協力いただきました。撮影システムについては、ミクロワールドサービスの奥　修博士にご助言をいただきました。プランクトン試料の採集には稚内水試北洋丸、釧路水試北辰丸ならびに函館水試金星丸の三隻の試験調査船の皆様にご尽力いただきました。ここに記して御礼申し上げます。

引用文献

１）嶋田　宏，坂口健司，森　泰雄，渡野邉雅道，板谷和彦，浅見大樹（2012）北海道周辺４海域（道東・道南太平洋、北部日本海および南部オホーツク海）における動物プランクトンバイオマスおよび種組成の季節変化と年変動，日本プランクトン学会報，59，63-81.

２）嶋田　宏（2016）2.北海道周辺海域における植物・動物プランクトンの変動，水産海洋研究, 80，155-156.

３）嶋田　宏，奥　修（2014）デジタル一眼レフカメラとマクロレンズを用いた動物プランクトン試料の撮影と生物測定，日本プランクトン学会報，61，87-90.

４）中村麻見，松野孝平，阿部義之，嶋田　宏，山口　篤（2017）亜寒帯太平洋海域におけるメソ動物プランクトン優占種／分類群別の体サイズと体重の関係ならびに化学組成、特にカイアシ類による油脂蓄積の影響について（英文）, Zoological Studies，56，13，1-15.

５）清水洋平，岩井俊治，高畠信一，川崎琢真，山下正兼（2014）ホタテガイ幼生簡易同定に用いる高特異的ポリクローナル抗体の作製，水産技術，７，31-36.

（しまだひろし　中央水試資源管理部

報文番号B2423）

遡上系種苗と天然資源を使った サクラマス資源の増殖

卜部　浩一

キーワード：サクラマス、池産系、遡上系、ダム、遡上障害、天然資源

はじめに

サクラマス（図１）はサケに比べて漁獲量は少ないですが、単価が高く、その漁獲盛期が主要な沿岸漁業の端境期となる4-5月であることから、北海道、中でも後志・檜山・渡島地域において重要な漁業資源と位置付けられています。

道総研さけます・内水面水産試験場では、その前身である北海道立水産孵化場の時代から種苗放流によるサクラマスの資源増殖に取り組んできました。サクラマスはサケに比べて資源量が小さいうえ、河川に遡上する時期が雪解け増水時期であるため、種苗生産に必要な親魚の安定的な確保が容易でありません。このため、孵化場で人工授精した卵を親魚になるまで育成し、その親魚から種苗生産を行う（完全養殖により種苗生産を行う）「池産系種苗」という、独自の種苗生産技術を開発しました。この方法は、サクラマスをその生涯（３年間）を人間の管理下におくことから、計画的かつ安定的な種苗生産が可能となりました。また、放流効果を高めるための数々の研究も行い、池産系種苗を用いたサクラマスの増殖技術が確立されました。

その一方で池産系種苗の課題も明らかになってきました。一つ目は生産コストです。３年間にわたって飼育管理するためには、多額の費用が必要となります。二つ目は、継代飼育されることにより、種苗の生態的特性が天然のサクラマスと比べて異なることが明らかにされてきました。例えば、



図１　高値で取引されるサクラマス

海に下る時期が遅れることや[1)]、外敵から逃げる能力が低下する[2)]こと等が報告されています。本来であれば自然界で淘汰されてしまうようなこれらの特性が、人工的な環境下で飼育を続けることにより維持されたと考えられています。このような変化は、放流効果を低減させるだけでなく、自然繁殖した場合、天然資源にも悪影響を及ぼす可能性が懸念されます。

これらの問題を解決するため、私たちは2013年度から「遡上系サクラマス」を用いた資源増殖手法を開発するための研究に取り組んできました。この方法はサケと同じように、母川に回帰した（遡上系）親魚から放流種苗を生産する方法です。種苗は放流までの一定期間、人工的な環境下で飼育されますが、放流後は自然の中で生活を送ります。自然界で生き残った親魚から種苗を生産するという方法ですので、サクラマスの生態的な特性が維持されやすいと考えられます。また、この研究に

先駆けて行った予備試験では、遡上系種苗の回帰率が池産系種苗の約2-3倍に及ぶことも確認されており[3)]、高い増殖効果も期待されます。さらには、遡上系の場合、種苗を飼育するのは卵から放流までの期間に限定されることから、池産系に比べ飼育期間が短くなり、種苗生産コストも大幅に削減されます。

このように、遡上系種苗生産技術の確立は、サクラマスの資源増殖の取り組みに大きく貢献すると考えられます。また、サクラマスは約8割が天然資源に由来すると考えられている[4)]ことから、天然資源をいかに増やすかという観点も重要になります。そこで、本研究では河川工作物（以下、ダム）の上流域に好適な産卵場所があるにも関わらず、それを利用できない河川が多くあることに着目し、ダムによる遡上障害を解消した際の天然資源の増殖効果についても明らかにすることにしました。

遡上系サクラマス種苗生産技術の導入

日本海さけ・ます増殖事業協会が管轄する千走孵化場（島牧村）、珊内孵化場（神恵内村）、および突符孵化場（乙部町）において、遡上系サクラマスの種苗生産技術開発を進めました。ここでは、千走孵化場での事例を紹介します。2013年秋に千走川に回帰したサクラマス親魚から採卵し、遡上系種苗の生産を開始しました。発眼卵にはALC標識（耳石に蛍光物質を沈着させる方法）を行い、2015年春にスモルト幼魚（銀化ヤマベ：海に降りる直前の魚）まで飼育した後、放流しました。サクラマスの雄は成長が速いとすぐに成熟してスモルト化せず、河川に残留するヤマベになってしまうために、成長をコントロールして、全ての幼魚をスモルトにする技術を開発する必要があります。遡上系種苗は池産系種苗に比べて警戒心が強く、

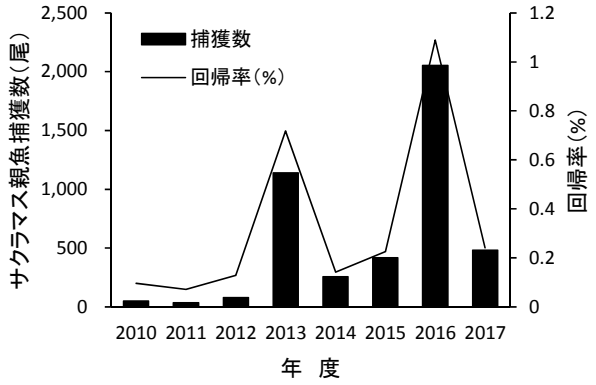


図2　千走孵化場におけるサクラマス親魚捕獲数および回帰率の推移

その飼育には現場担当者のご苦労も多かったようですが、担当者の地道な努力のかいあって、良好なスモルト種苗を生産する方法を僅か1年で確立することが出来ました。

放流の翌年、2016年には2,000尾を超えるサクラマス親魚が千走孵化場に回帰し捕獲されました(図1)。それらの魚のうち192尾の耳石を確認したところ、99.0%の個体にALC標識が確認されました。これにより、大量に回帰したサクラマスは放流した遡上系種苗であることが確認されました。また、河川への回帰率は1.08％と、遡上系種苗が導入される前の平均的な回帰率0.23%を大きく上回っていました。

翌2017年秋の捕獲数は約500尾(回帰率は0.24%)となり、その値は前年の4分の1程度にとどまりました。千走川の近隣に位置しており、遡上系サクラマスを放流している尻別川においても、2017年の捕獲数が前年の約4分の1程度にとどまったことから、池産系種苗に比べて高い回帰が期待される遡上系種苗であっても生残りに厳しい海洋環境に遭遇したと考えられました。

一方、今年、2018年は沿岸での漁獲も非常に好調で、2016年以上の回帰が期待されています。このような回帰率の年変動による親魚数の変化によ

り、種苗生産数が大きく変わってしまうことが遡上系種苗による資源増殖を進める上での課題であることも改めて確認されました。

また、放流を行っている千走川の周辺では、回帰するサクラマスが増えたことにより、海岸からの釣りが盛んになりました。このことは、遡上系種苗を用いた資源増殖が釣り人にとっても大きなメリットを生み出していることを示しています。但し、春季に放流河川周辺にいる魚には、母川への遡上を直前に控えた魚が多く含まれていることから、過剰に釣獲すると親魚の不足を招き、安定的な資源増殖の取り組みに影響を及ぼしかねません。このことは釣りにとっても悪影響をもたらします。今後は、釣り人の協力を得ながら、釣りによる資源利用の実態を把握するとともに、持続的なサクラマス資源の増殖と利用に必要な方策を検討していく必要があります。

以上のように、千走孵化場において遡上系種苗の導入に成功し、資源増殖効果の向上も確認されました。また、池産系種苗を生産していた頃に比べて、種苗生産コストの大幅な低減も実現することができました。今回詳しくご紹介できなかった珊内孵化場と突符孵化場でも遡上系種苗の生産技術を一定程度、確立することができています。しかし、珊内孵化場の場合、川岸の護岸の隙間にサクラマスが逃げ込んでしまうため親魚の捕獲が難しく、効率的な種苗生産を行うためには課題が残されました。また、突符孵化場では2015年に深刻な魚病が発生し、遡上系種苗の生産を中断せざるを得ませんでした。しかしながら、両孵化場では良好な遡上系種苗を生産するための基本的技術が蓄積されていることから、今後、条件さえ整えば遡上系種苗の生産が可能な状況にあります。



図３　僅か１ｍ程度の落差に遡上を阻まれたサクラマス（丸囲み部分）

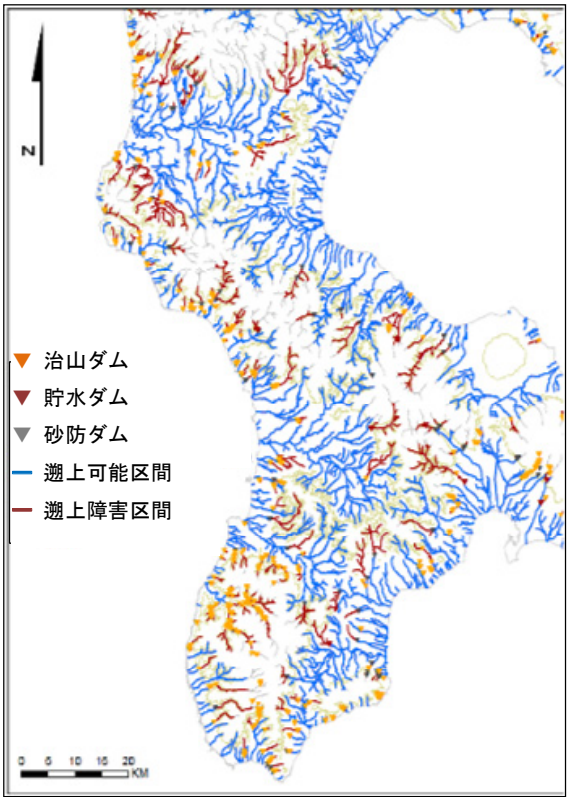


図４　道南地域の河川の状況（青線：現在、遡上が可能な区間、赤線：現在は遡上できずサクラマスが生息できない区間）

ダムの遡上障害解消による効果

ここまで、遡上系サクラマス種苗の導入の経緯とその効果についてご紹介しました。ここからは、天然のサクラマス資源をいかにして増やすか？という話題に移ります。

その前に、まずはサクラマスの生活史についてご紹介します。サクラマスは卵から数えて約１年

半の期間を河川で過ごした後、全てのメスとオスの半数程度（地域によってばらつきがあります）が春に海に下ります。降海から１年後には生まれた川に遡上し、秋に川の上流で産卵した後、その生涯を閉じるという生活史をもっています。このような生活史をもつサクラマスが再生産するには、産卵域の河川上流まで遡上できることが大変重要になります。

しかし、河川に設置されたダムが障害となり、上流域に良好な産卵場があるにもかかわらずサクラマスが遡上できない、そんな状況が数多く見られます（図３）。先にご紹介しましたとおり、サクラマスは全てのメスが海に下りますので、ダムが出来てしまうと、その上流からはサクラマスがいなくなってしまいます。

そこで、私たちはサクラマス漁業の盛んな後志、檜山、渡島地域を対象に、サクラマスの産卵に適した場所（標高300m以下の河川区間）がダムの上流にどれくらいあるのかを調べました。その結果、産卵に適しているにもかかわらずダムにより遡上できない河川区間（遡上障害区間）の合計距離は1,735kmにも及ぶことが明らかになりました（図４）。次に、遡上障害区間にサクラマスが遡上した場合、どれくらいのサクラマス稚魚が生息することが出来るのかを推定したところ、512万尾という数字が得られました。この値は現在行われているサクラマス稚魚放流数の最大値の約３倍に匹敵します。

この調査では全てのダムの位置情報を入手することはできませんでしたし、魚道が設置されているかどうか、魚道が適切に機能しているかどうかに関する情報も極めて限られていました。このため、位置情報を入手できたダムは全て遡上できないという条件で分析を行っています。このような条件付きでの推定結果ですが、ダム上流に遡上できるようになれば、天然サクラマス資源が大幅に増加する可能性があることはご理解いただけると思います。



図５　魚道設置後のダム上流域におけるサクラマスの産卵床の分布状況

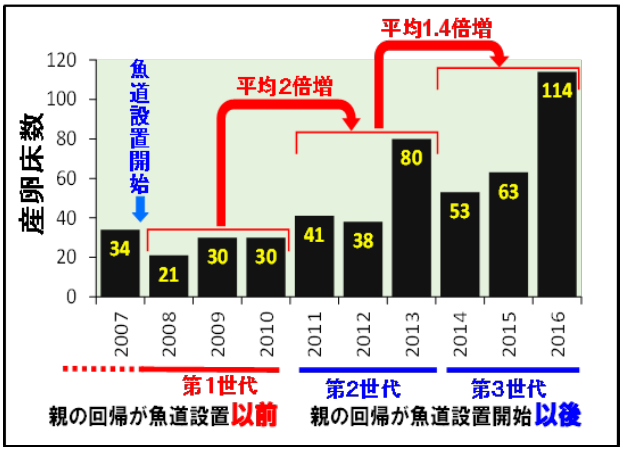


図６　魚道設置後のサクラマスの産卵床数の推移

次に、実際にダムによる遡上障害を解消した場合、サクラマスが増えるのか、また、増えるにはどれくらいの時間がかかるのかについて調べた結果についてご紹介します。調査は後志管内を流れる尻別川水系ペンケ目国内川の支流の白井川で行いました。白井川では、サクラマスの遡上障害となっていたダムに魚道が設置され、2008年以降、上流の産卵場所までサクラマスが遡上できるようになりました。その結果、サクラマスの産卵域は

ダム上流域に大きく拡大しました（図５）。ダム上流で生まれたサクラマスが回帰した2011年以降、資源量の指標となる産卵床数が大幅に増加し、魚道設置から７～９年後には平均で魚道設置以前の2.8倍にまで増加しました（図６）。このように、ダム上流に遡上できるようになれば、天然サクラマス資源が世代を重ねながら大きく回復することが確認されました。

おわりに

ご紹介した研究結果から、サクラマス資源の回復には、遡上系種苗の導入による増殖効果の向上はもちろんのこと、ダムによる遡上障害の解消を通じた天然資源の回復も大変重要であることをご理解いただけたと思います。この記事をご覧になった皆さんにも、地元の川の状況に関心を持っていただき、サクラマスを育む環境づくりを後押ししていただければと思います。

最後になりますが、この研究には地元の漁協、役場、水産技術普及指導所、振興局の皆さんからの多くのご協力をいただきました。お一人ずつお名前を挙げることは出来ませんが、ここに感謝の気持ちを記します。

文献

1）Koyama T, Nagata M, Miyakoshi Y, Hayano H, Irvine JR（2007）Altered smolt timing for masu salmon *Oncorhynchus masou* resulting from domestication, Aquaculture, 273, 246-249.

2）Yamamoto T and Reinhard UG.（2003）Dominance and predator avoidance in domesticated and wild masu salmon *Oncorhynchus masou*, Fisheries Science, 69, 88-94.

3）青山智哉，大森　始，飯嶋亜内，村上　豊，伊澤敏穂，卜部浩一，宮腰靖之（2010）池産系および遡上系サクラマスから生産されたスモルトの河川回帰率の比較, 北海道立水産孵化場研究報告, 64, 1-6.

4）宮腰靖之（2008）種苗放流効果と資源増殖-北海道のサクラマスを事例として-，北田修一・帰山雅秀・浜崎活幸・谷口順彦（編著）, 水産資源の増殖と保全，成山堂書店，pp48-65.

（うらべひろかず　さけます・内水試
さけます資源部　報文番号B2424）

資源管理・海洋環境シリーズ

胆振・日高海域における シシャモの資源管理について

キーワード：シシャモ、資源管理、遡上期予測

はじめに

「ししゃもの干物」。フライパンで手軽に調理でき、おいしくて、カルシウムが多く、ポピュラーな魚料理です。本誌を手に取ってくださっている方はご存知の方も多いと思いますが、一般に流通している「ししゃも」と名の付く魚の多くは実は「カラフトシシャモ」（英名はカペリン）と呼ばれる種類で、今回お話しする「シシャモ」（図１）とは、同じキュウリウオ科ですが別種です。



図１　産卵を控え腹に卵が詰ってきたシシャモのメス

カラフトシシャモは太平洋～大西洋の北部に広く分布し、その漁獲量はピーク時には100～400万トンに達していました。日本へは年間２～３万トンが輸入されています。それに対してシシャモは北海道の太平洋沿岸のみに生息する日本固有種で、鵡川・沙流川を主な産卵遡上河川とする胆振・日高海域と、十勝川・新釧路川等、道東の各河川を産卵遡上河川とする十勝・釧路海域に分布しています。1960年代の両海域合計の年間漁獲量は1,000～4,000トンでしたが、1970年代に入り急減、1988年には377トンにまで落ち込みました（図２）。その後漁獲量は回復し、1990～2000年代は1,000～1,500トン台の水準でしたが、2011年以降は1,000トン以下が続いています。漁獲量の減少に反比例するように魚価が上がり、マスコミなどにより認知度は高まり、関東の市場でも鮮魚で出回り[1)]、シシャモは今や高級魚となっています。

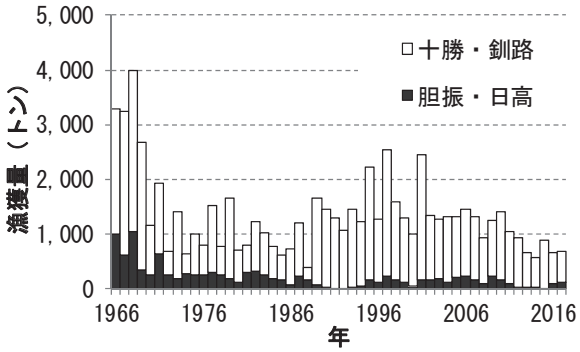


図２　シシャモ漁獲量の経年変化

未来のシシャモを守る：資源管理

ここでは胆振・日高海域におけるシシャモの資源管理についてお話しを進めていきます。当海域の1970～1980年代のシシャモ資源の減少は、獲りすぎや産卵場の環境悪化が原因と言われています[2)]。1990年代以降は獲りすぎの回避とシシャモ資源を持続的に利用するために、公的な規制に加えて、漁業者自らが自主的な資源管理に取り組んでいます。

シシャモは主にししゃもこぎ網漁業という漁法で漁獲されます。公的な規制として、このししゃもこぎ網漁業は知事許可制によって隻数が制限され、漁期も40日と制限されています。

これらの制限が適正かどうかを判断するには、毎年の資源状態を把握し、その資源状態について評価・診断する必要があります。道総研水産試験場では、現状の漁業を続けた場合、資源を持続的に維持できるのかを診断するとともに、資源をより有効に利用するための方策についても検討して、提言を行っています。効果的な資源管理を進めるには、漁獲量を制限する等の漁業者にとって痛みを伴うものもあります。リスク判断と合意形成、ルールの遵守といった難しい課題が、漁業者には求められます。漁業者の方々は目先の利益にとらわれず、知恵を出し合い協力し合って自主的に資源管理に取り組んでいます。

自主的な資源管理の取り組み

次にシシャモの自主的な資源管理の取り組みを紹介します。胆振・日高海域ではししゃも漁業振興協議会が組織され、許可隻数の内３割の漁船の出漁を自主的に削減しています。さらに、日曜日には一斉に休漁し、最近は操業を午前中で終えることにしています。漁獲圧が減ったことで河口沿岸域に来遊してきたシシャモがたまり、効率よく漁獲できますので、生産性が高まる事が期待されます。言わば海の働き方改革といったところでしょうか。

ししゃもこぎ網は、産卵のため河口沿岸域に集まったシシャモを漁獲する漁業です。十分な親魚を川に産卵遡上させるためには、漁を終える時期を制御して十分な量を獲り残す必要があります。

道総研水産試験場では、漁期中に卵巣の発達状態を把握するためにシシャモの体重と卵巣の重さ

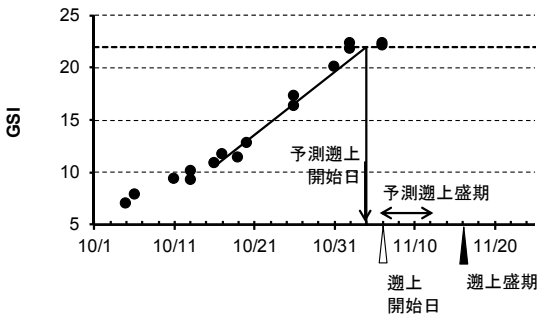


図３　シシャモ雌の生殖腺重量指数（GSI）の変化と遡上期予測（2017年）

を量り、GSI（卵巣重量指数: 卵巣重量÷体重×100）を計算し、GSIの平均値を日を追ってプロットしています（図３）。GSIは10月の初旬に10以下で　すが、日が経つにつれて徐々に増加します。これまでの経験からGSIが22前後（卵巣重量が体重の1/4～1/5）に達すると川に遡上することが明らかになっています。GSIの増加速度からGSIが22に達する日を予測し、この日を予測遡上開始日、その２～８日後を予測遡上盛期としています。2017年の例では、遡上開始日が11月４日、遡上盛期が11月６～12日と予測しました。この予測を元に11月６日に漁を終えることが漁業者によって決められました。

実際に鵡川で観察された遡上開始日は11月６日、遡上盛期は11月14日で、遡上したシシャモの数は、83.7万尾であったと推定されました[3)]。現在、この海域では鵡川に60万尾以上を遡上させることが数値目標として掲げられていますので、遡上開始前に漁を終えたことによって、目標値をクリアすることができました。

魚が本当にいない時には

十分な量の親が河川内で産卵して、その卵が翌春無事にふ化して海に下っても、その年の環境がシシャモに適さなければ、多くの仔稚魚が死んでしまうこともあります。シシャモの数が極端に少な

い時には、遡上開始前に漁業を終えることができたとしても、十分な親を残せない可能性があります。このような時には、遡上開始を待たずに速やかに漁業を切り上げる判断と勇気が必要となります。

その年のシシャモの量の多寡を把握するために、道総研水産試験場では漁期前調査を実施しています。５月にししゃもこぎ網漁船をお借りして、苫小牧沖～新冠沖の18点で網を曳き、一網当たりの採集尾数（CPUE）を計算しています。この結果から、漁期前調査において採集尾数が少ない年は、その年の漁獲量も少ない傾向が見えます（図４）。しかし、調査では採れたのに、漁獲量が多くならなかった年（2012年など）もありました。これを補完するために、漁獲情報を利用することも考えていますので、次に説明します。

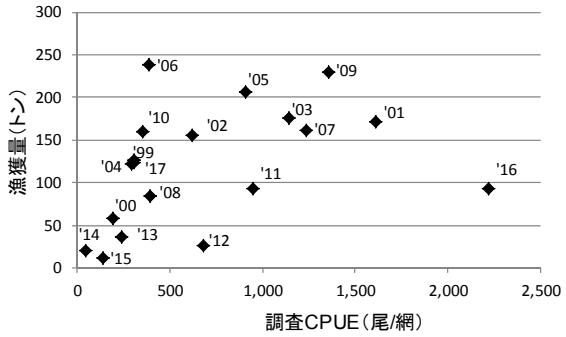


図４　シシャモ漁期前調査のCPUE（尾/網）とその年の漁獲量の関係

ししゃもこぎ網漁の漁期前半の獲れ具合からその年全体の獲れ具合がある程度判断できることが明らかになっています（図５）。具体的には10月20日頃までの１日１隻あたりの漁獲量（CPUE）が少ない年にはその年の資源状態が良くないことが分かります。このような年には、遡上予測を待たずに漁業を終えないと、親魚を川へ遡上させる前に獲り尽くしてしまう危険性が高まります。ちょっと先の未来のために、今もう少し獲りたい気持ちをぐっとこらえることも必要です。

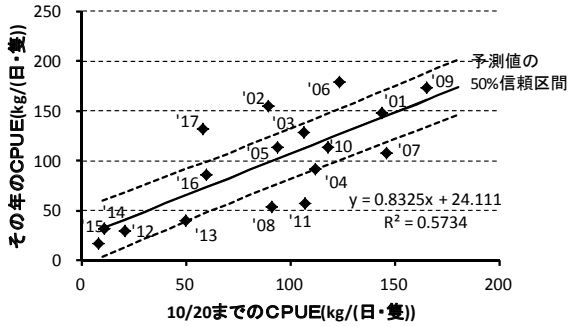


図５　ししゃもこぎ網漁業の10/20までのCPUEとその年全体のCPUEとの関係

おわりに

ここまで見てきたように、シシャモ漁業を振り返ると、獲り過ぎにより資源にダメージを与えたこともありましたし、環境の変化も心配されます。それでも漁業者みなさんの根気強い資源管理の取り組みに応えるように、資源回復の兆しも見られます。シシャモ（柳葉魚）の語源はアイヌ語のスス（柳）ハム（葉）。神様が柳の葉を川に流してシシャモになったと言われています[1)]。これからもずっと、神様からの贈り物、海の恵みにあずかれるように、知恵を出し合い協力して資源管理に取り組んでいきたいものです。

引用文献

１）藤原昌高（2015）ししゃも「からだにおいしい魚の便利帳」，高橋書店，82.

２）森　泰雄（2003）14. シシャモ「漁業生物図鑑新北の魚たち（上田吉幸ら編）」，北海道新聞社，86-89.

３）岡田のぞみ, 工藤　智（2018）II　シシャモ（道南太平洋海域）, 受託研究北海道資源生態調査総合事業資源管理手法開発試験調査報告書（平成25～29年度）, 48-68.

（岡田のぞみ　栽培水試調査研究部

報文番号B2425）

資源増殖・水産工学シリーズ

エゾバイ資源管理ガイドラインについて

キーワード：エゾバイ、CPUE、操業日誌、資源量指数、資源評価、資源管理

はじめに

エゾバイは、水深10～30mの砂泥底に生息する殻長５cm程の巻き貝で、主に長さ500～900mの幹縄に40～50個の篭を付けた「つぶかご」で漁獲される北海道太平洋沿岸の重要な水産資源です。近年、道外（特に九州地方）ではバイ貝に代わる高級食材として需要が高まり、単価が上昇しています。道内の主要産地である十勝総合振興局管内のエゾバイの漁獲量は、1990年半ばの約800トンから急減し、近年は、100～200トン程度で推移しており、資源状態の悪化が危惧されています。このため、資源を安定的、且つ、持続的に利用するための漁業管理方策を早急に確立する必要があります。

釧路水試では、平成22～26年度にかけて、「道東海域におけるエゾバイの繁殖生態の研究」を行い、生殖機構や交尾・産卵期などの繁殖生態を明らかにし、資源管理方策を検討する基盤を構築しました。この成果を基に、平成27～29年度に「エゾバイ資源管理ガイドラインの策定に向けた基礎研究」に取り組みました。この研究では、十勝海域をモデルとして、漁獲統計調査、操業日誌解析による漁業実態調査および標本調査等を実施し、エゾバイの資源状態を正確に評価・診断できる調査解析手法を明らかにしました。さらに、資源状態に応じて漁業者自らが実践できる資源管理の方法をマニュアル化しました。

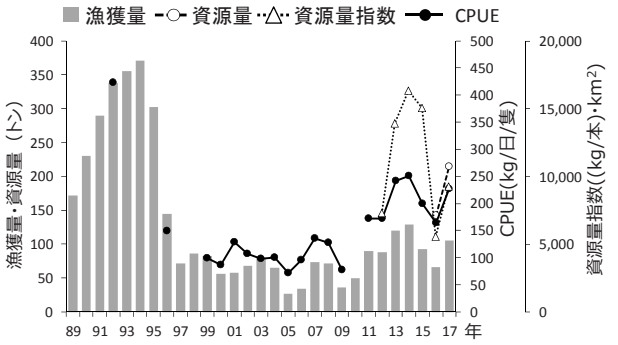


図１　広尾沖エゾバイの漁獲量、CPUE、資源量指数および資源量の推移

エゾバイ資源の現状は？

エゾバイの資源状態を調べるために、次の３つの指標について検討しました。

まずよく使われるCPUE（シー．ピー．ユー．イー）です。単位努力量当たりの漁獲量で表現されます。ここでは、１日・１隻あたりの漁獲量(kg)を用いました。利点は、漁協に残されている毎日の漁獲量や荷揚げした船の数などの記録から、長期的な資源変動を過去に遡って調べられることにあります。

次に資源量の多寡を間接的に示す資源量指数[1)]です。漁業者に操業日誌にどの海区でどれくらい漁獲したかを記入してもらったデータから計算します。ここでは、１本の「つぶかご」（幹綱約500m、40篭）あたりの漁期中の漁獲量（生息密度の指標）に海区面積を掛けた値を海区ごとに計算し、その合計値を資源量指数としました。利点は資源の分布の広がりを表現できることにありま

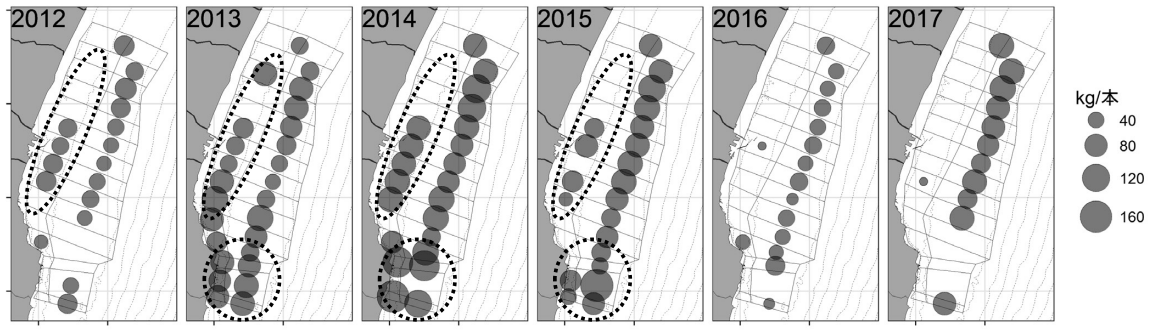


図２　広尾沖エゾバイの海区別「つぶかご」１本（約500m・40篭）あたりの漁期中の漁獲量（kg）の経年変化（2012～2015年に見られた陸側や南側（点線）の漁場が2016～2017年には認められない）

す。

最後は資源量の推定です。ここでは、単年度の操業ごとの漁獲データや水温などの環境データを用いて拡張除去法[2)]という方法で資源量を推定しました。利点は、実際の海の中にどのくらいのエゾバイがいるのかを示す資源量を知ることで、資源量に対する漁獲量の割合から、漁獲のインパクトを明らかにできることにあります。

これら３つの指標を用いて広尾沖のエゾバイの資源状態を調べました。CPUEの推移から、資源状態は1990年代中頃まで極めて良好でしたが、その後急激に悪化して、2000年代は低迷しました。2011年以降には資源状態は回復傾向にあり、2015年までは1990年代前半ほどではないものの比較的高い水準にありました。その後、2016年に一時、低下しましたが、2017年にはやや回復しました（図１）。2016年の資源の減少要因は明かにされていませんが、2015年の漁期後10月に発生した急潮によりエゾバイが沖合に流された影響だと言われています。また、資源量指数の計算に使った海区別の「つぶかご」１本あたりの漁期中の漁獲量からは、CPUEではわからなかった分布域の縮小も明らかになりました（図２）。

一方、推定された資源量の2016～2017年の変動は、CPUEおよび資源量指数とほぼ同じだったこ



図３　エゾバイの篩による選別の様子（上）と卵塊放流の様子（下）（十勝地区水産技術普及指導所提供）

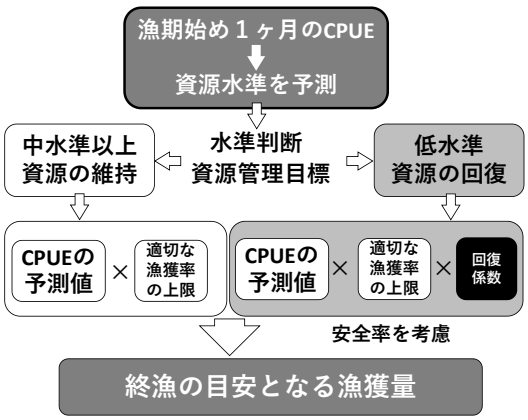


図４　終漁の目安となる漁獲量の算出ルール

とから、推定された資源量は妥当な数値であったと考えられます。しかし、この資源量の推定方法は専門的で複雑であることから、漁業現場のツールとしては、CPUEや資源量指数などの相対的な指標で十分資源状態の評価が可能と考えられました。つまり、長期的な変動をCPUEで把握しつつ、近年の詳細な資源状態を資源量指数で評価することが、資源状態を把握する上で適切であると考えられました。

これまで行ってきたエゾバイの資源管理

広尾漁協エゾバイツブ篭漁業部会では、篭数、隻数、操業期間の制限、篩の目合（殻長制限）と産卵場における保護区の設置という資源管理がすでに実施されています。特に、篩の目合の制限については、「道東海域におけるエゾバイの繁殖生態の研究」によって解明されたエゾバイの成熟サイズを反映して2011年当時使用していた目合25 mmから2012年には26 mm、さらに2014年には27 mmに拡大しています（図３上）[3)]。また、保護区では卵塊放流（図３下）を実施するなど、積極的に資源増殖のための活動も行っています。それらの取り組みを実践して以降、近年の資源水準は中～高水準を維持していることから、これらの資源管理は効果的であったと考えられます。

資源状態に柔軟に対応する資源管理

資源は漁獲だけでなく、気象災害や環境によっても変動するので、資源状態に応じて柔軟に対応できる資源管理の方法についても考える必要があります。操業日数や漁獲量を制限する方法は資源状態に応じて変更しやすいので、ここでは、終漁の目安となる漁獲量（目安漁獲量）を算出するルールを提案しました（図４）。

目安漁獲量を算出するためには、資源量に対してどの程度の割合で漁獲するのが適切かを検討する必要があります。資源状態に応じた「適切な漁獲量」である目安漁獲量は「資源量」と「適切な漁獲率」から、

目安漁獲量＝資源量×適切な漁獲率

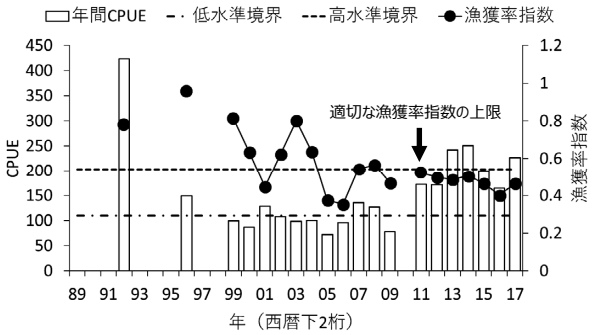


図５　CPUEと漁獲率指数の推移

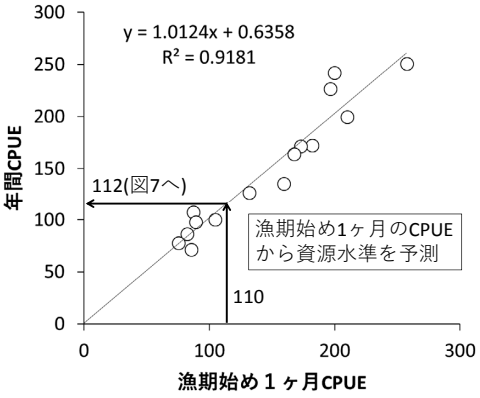


図６　操業開始１ヶ月のCPUEと年間CPUEとの関係

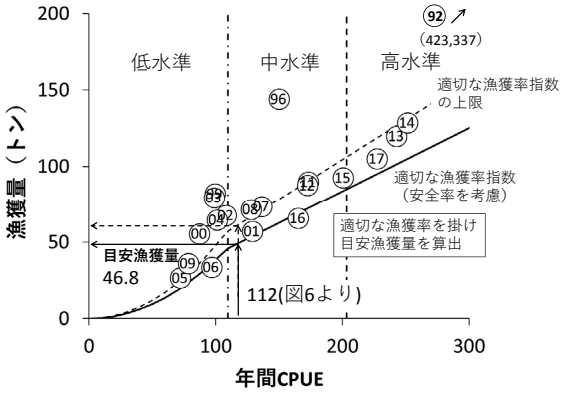


図７　CPUEと漁獲量との関係（○内の数字は西暦下二桁、矢印の順序で目安の漁獲量の上限値が算出される。）

という式で求められます。

「適切な漁獲率」を設定するには、過去に遡って、各年の漁獲率で漁獲を行った結果、資源量がどのように変動したかについて検証する必要があります。そこで、最も長期に検討できるCPUEを資源量の指標とし、資源量に対して漁獲量が適切か否かについて漁獲率指数（漁獲量／CPUE）を用いて検討しました。漁獲率指数は、資源状態が急速に悪化した1990～2000年代前半にかけては、相対的に高かったのに対して、2000年代後半以降は低くなっています（図５）。特に資源水準が良好になった2011年以降には漁獲率指数は0.4～0.5程度となっており、このくらいの漁獲率指数以下で漁獲していれば、良好な水準を維持することができると判断できます。そこで、資源状態が安定していた2011～2017年の中で最も高かった2011年の漁獲率指数（0.522）を「適切な漁獲率指数の上限」として、それに安全率0.8を掛けて「適切な漁獲率指数」（0.418）として用いることにしました。

次に問題となるのは、その年の目安漁獲量を求めるために必要なCPUEは、その年の漁業が終わってみないとわからないということです。そこで、漁期始め１ヶ月のCPUEから年間のCPUEを予測できるかどうか調べてみました。漁期始め１ヶ月のCPUEと年間CPUEとの間には、１本の直線で示すことができるほど明瞭な関係を見いだすことができました（図６）。つまり、漁期始め１ヶ月の操業でその年の資源状態を精度高く予想できるということがわかりました。上述した「適切な漁獲率指数」は、2011～2017年の中～高水準の資源状態を維持することを「資源管理目標」とした値です。資源状態が低水準になってしまった場合は、資源状態を「回復」させることを「資源管理目標」とし、漁獲率を「適切な漁獲率指数」よりもさらに下げる必要があります。そこで、資源状態が低水準と予想されたときには、年間CPUEが低水準境界から低くなればなるほど漁獲率が低くなるように設定した「回復係数[4]（年間CPUE／CPUE低水準境界値）」をさらに掛けることにしました（図７）。

図６と７で示した目安漁獲量の計算例を具体的に説明します。ある年の漁期始め１ヶ月のCPUEが110だった場合、そこから計算される年間CPUEの値は112と予測されます（図６）。この年間CPUEから計算される「目安漁獲量」は112×0.418=46.8トンと計算されます（図７）。このような年には漁獲量が46.8トンに近づいたら、終漁日をつぶ篭部会内で協議して決めます。

以上のように、エゾバイ資源管理ガイドラインとして、これまで行ってきた資源管理の方法（小さい貝を獲らないための篩の目合、かご数制限、保護区の設定）を継続しつつ、資源状態に応じた終漁の目安となる漁獲量（目安漁獲量）を設定することを提案しました。

まとめ

エゾバイは、まだまだ生態が未解明な部分が多い生物です。特に年齢と成長については、本研究では明らかにすることができず、加入動向予測や親子関係について明確な結果を得ることができませんでした。しかし、詳しい生態や資源変動の原因がわからないから資源管理ができないということはではありません。たとえ限られた情報だとしてもその情報を活用しながら、資源管理を始めることができることを本研究で示すことができたと思います。未解明な部分は、今後、資源管理を実践するためのモニタリングを通じて明らかにします。そして、その結果をより適切な資源管理の方法にフィードバックしていくことが必要であると考えられます。

本研究を実施するにあたり、広尾漁業協同組合、大樹漁業協同組合、大津漁業協同組合、広尾町、豊頃町および十勝地区水産技術普及指導所の皆様には多大なご協力をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

1）田中昌一（1957）資源量の相対指数と有効漁獲努力量，東海水研報，17，1-13.

2）Yamakawa T，Matsumiya Y，Nishimura M，Ohnishi S（1994）Expanded Delury's method with variable catchability and its application to catch-effort data from Spiny lobster gill-net fishery, Fisheries Science, 60, 59-63.

3）関下啓史郎（2014）育て！エゾバイツブ～エゾバイ増殖にかけた漁師～，全国青年・女性漁業者交流大会資料.

4）美坂　正，佐々木潤，田中伸幸，三原栄次，三宅博哉（2014）「北海道ケガニABC算定のための基本規則」の策定について，北水試だより，88，5-10.

（山口浩志　釧路水試調査研究部・現中央水試資源管理部　報文番号B2426）

資源増殖・水産工学シリーズ

ホソメコンブ遊走子を付けたコンクリート板による嵩上げ礁のウニ類食圧抑制機能の検証

キーワード：磯焼け、嵩上げ礁、ホソメコンブ、遊走子

はじめに

北海道南西部日本海沿岸で深刻な問題となっている磯焼け対策の一環として、嵩上げ礁という施設が各地に造成されています。嵩上げ礁とは、ホソメコンブ（以降コンブ）の遊走子（植物や菌類でいえば種や胞子にあたるもの）が海底に付いて大きくなる秋から春までの間、施設上面の流速を速めてウニ類の食圧を抑制することで、コンブ群落が形成できるように、施設上面の水深を設計した増殖礁です。寿都町美谷海域でも2004年に施設上面の水深が２mになるように設計された嵩上げ礁が造られました（図１）。

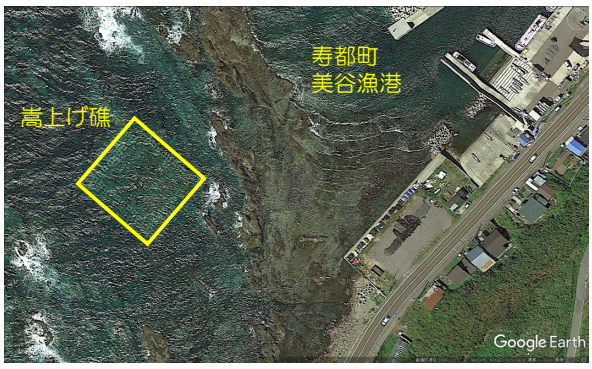


図１　寿都町美谷海域の嵩上げ礁

嵩上げ礁の機能低下

寿都町の嵩上げ礁では、2005年から2009年までは当初の計画通りコンブ群落が形成されましたが、2010年以降コンブの生育が減少するようになりました（図２）。その原因を明らかにするため、施設の構造や、海藻および動物の分布状況、流動環境の変化を調べましたが、コンブが良く生育していた時期と生育が悪くなった時期で大きな差は認められませんでした。

そこで、コンブの加入から生育時期にウニ類の食圧を抑制するという嵩上げ礁の機能が維持されているかを調べるため、人為的にコンブ遊走子を着生させたコンクリート板を施設上面のブロックに設置し、翌年の６月に回収してコンブ生育状況を調べました。ここでは、その試験について概要を紹介します。

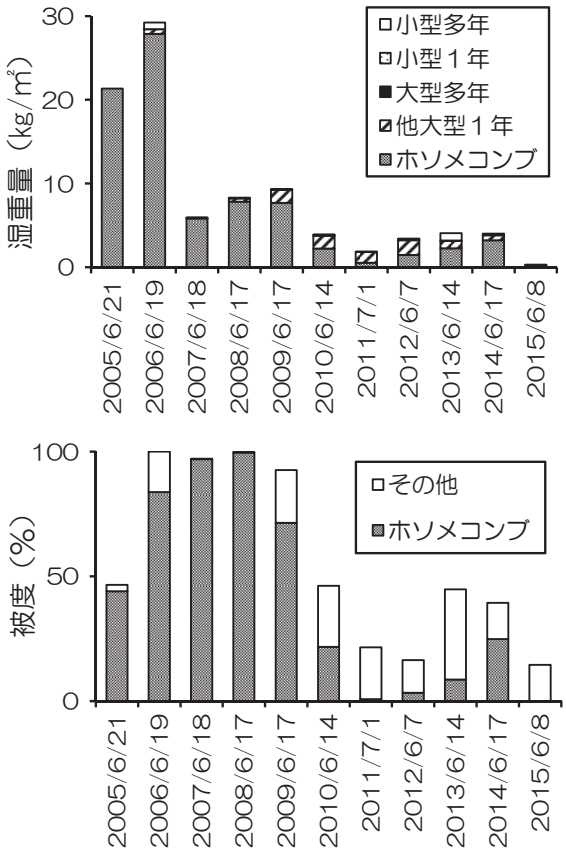


図２　嵩上げ礁上面の海藻生育状況

コンクリート板を使ったコンブ生育試験

本試験で用いたコンクリート板は縦20cm×横20cm×高さ５cmの大きさで、中央に金具で施設のブロック上に固定するための穴が空いています（図３）。2011年から2013年の秋に、中央水産試験場でコンクリート板にコンブ遊走子を着生させ、それを寿都町に運んで潜水で嵩上げ礁の南西側（①）と北西側（②、③）および北東側（2013年のみ④）に、遊走子を付けたコンクリート板を設置しました。また、何も付けていないものも対照区として一緒に固定しました(図３)。設置時期は、時化の影響もあり2011年が12月まで遅れましたが、2012年と2013年は11月に取り付けることができました。

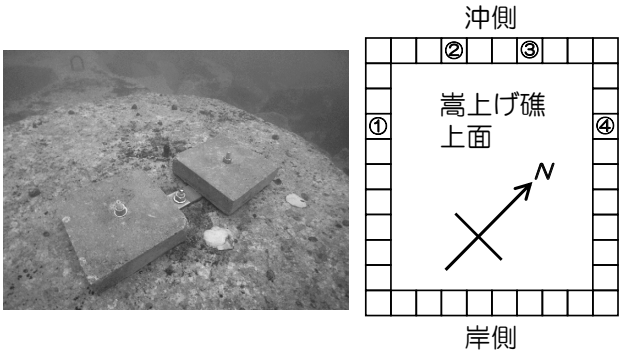


図３　ホソメコンブ遊走子の着生ありとなしを組み合わせた試験用コンクリート板（左）と嵩上げ礁上面ブロックにおける設置位置（右）

３月になるとコンブ遊走子を着生させた試験用コンクリート板にはコンブが優占して生育しましたが、施設のブロックには小型紅藻類などコンブ以外の海藻が多く生育しただけでした（図４）。

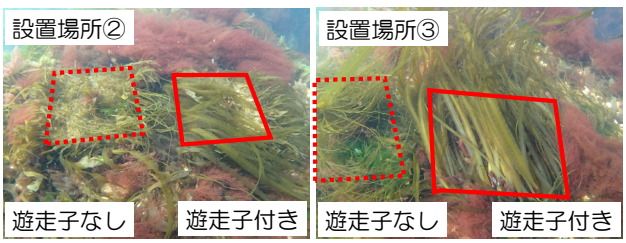


図４　コンクリート板上のコンブの生育状況（2014年３月）

回収したコンクリート板のコンブ生育状況

2012年から2014年の６月に、施設からコンクリート板を外して、生育していたコンブとその他海藻の量を調べました。同時に、施設のブロック上の海藻も採集してその種類と量を比べました（表１、図５）。

コンクリート板の設置が遅れて12月になった2011年の試験では、遊走子を付けたコンクリート板には５～６kg（274～382本）のコンブが生育していましたが、遊走子を付けなかったコンクリート板上のコンブ生育量は0.3kg以下（22～38本）とわずかでした。施設のブロック上では、①で少量のコンブが生えていたものの、②と③では海藻類はほとんど生育していませんでした。

2012年の試験では、遊走子を付けたコンクリート板にはコンブが6.5～９kg（158～324本）生えていましたが、遊走子を付けていないものでは、①で４kg（84本）と多かった他は約0.5kg（35本および61本）とわずかであり、施設のブロック上にはコンブは生えていませんでした。

2013年の試験では、遊走子を付けたコンクリート板には３～8.8kg（144～321本）のコンブが生えていましたが、遊走子を付けていないものでは、前年同様に①で3.3kg（100本）とやや多かった以外は0.05～0.3kg（３～20本）でした。

2012年と2013年に実施した試験では、①に配置したコンクリート板には遊走子を付けなくても多くのコンブが生えました（表１、図５）。この理由として①では周辺のコンブ群落からの遊走子供給量が多かった可能性が挙げられます。

嵩上げ礁の南側には、小規模ですがコンブの群落が毎年形成される場所があります。一方、西側や北側、東側にはそのような群落がありません。①の対照区が他の地点の対照区よりもコンブの本数や量が多かったのは、このコンブ群落に近かっ

たために、そこから遊走子が供給されたことが考えられます。

2011年の試験では、①に設置した遊走子を付けていないコンクリート板のコンブ生育量は少なかったのですが、この理由として2011年だけは設置時期が12月に遅れたため、天然のコンブ遊走子量が少なかったことが推察されます。



図５　取り上げたコンクリート板上のコンブの生育状況（2014年６月）

嵩上げ礁の機能低下について

もし、嵩上げ礁が当初計画されたようなウニ類の食圧抑制機能を失っていたとすれば、遊走子を付けたコンクリート板でも11月から６月の間に周囲のウニ類によって食べられてしまい、コンブは生育できなかったと考えられます。今回遊走子を着生させたコンクリート板にコンブが生育したことは、コンブが加入する秋から、生長する春までの間は、計画どおりウニ類の食圧は制御されていることを示しています。

では、なぜ嵩上げ礁でコンブの生育が低下したのでしょうか？コンブ類の生育には冬季の水温が影響することが知られています。嵩上げ礁造成後の寿都湾の冬季水温を図６に示しました。

嵩上げ礁上のコンブ生育量が最も多かった2006年の冬季水温は比較的低めでした。また、被度が高かった2006～2009年のうち2006～2008年は、同様に冬季水温が低い特徴があります。

冬季水温が高かった2005年のコンブ生育量は2006年に次いで高い値を示しました（図２）。これは、コンブが遊走子を放出する時期に合わせて施設を造成したために他の海藻の加入や、食圧の原因であるウニ類が少なかった可能性があります。また、2009年も冬季水温が高めでしたが、コンブの被度は2010年に比べると高い値を示しました。これは前年のコンブ生育量が多く、秋に遊走子を放出する母藻も多かったためと考えられます。

2012年や2014年にも冬季水温は低くなりましたが、嵩上げ礁上面のコンブ生育量は当初ほど増加しませんでした（図２）。これらのことから、コンブの生育量は、海洋条件だけではなく、前年の母藻量にも影響を受けている可能性が考えられます。

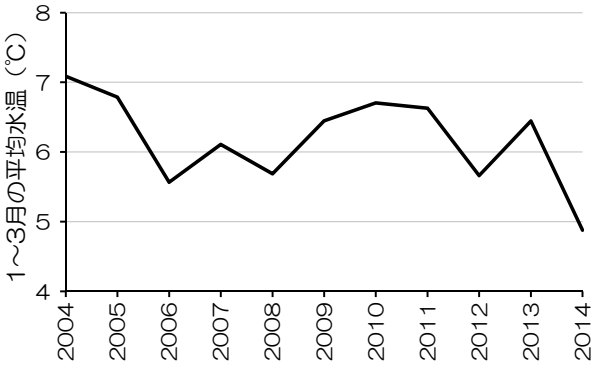


図６　寿都町沿岸で観測された冬季水温の経年変化

今後の課題

これまでの磯焼け対策では、ウニ類の食圧を制御すればコンブ群落が形成されると考えられてきましたが、近年は、それだけではコンブ群落の回復が難しくなったと言えます。コンブ類の再生産に関する研究は養殖も含め過去に多くの成果を出して来ましたが、1990年以降の温暖化傾向下では、ウニ類の食圧以外のコンブ群落回復阻害要因の解明について、遊走子の補填技術など新たな視点から取り組む必要があると考えます。

（干川　裕　中央水試資源増殖部

報文番号B2427）

表１　寿都町美谷海域嵩上げに設置したホソメコンブ遊走子着生コンクリート板、非着生コンク リート板および施設ブロック上の海藻生育状況

設置時期：2011年12月 4日　　回収時期：2012年 6月 7日

	試験コンクリート板上のホソメコンブ湿重量（kg/コンクリート板）		ブロック上の海藻湿重量（kg/800cm^2）※		
設置場所	遊走子着生	遊走子非着生	ホソメコンブ	その他海藻	主な種
①	4.98	0.18	0.09	0.94	ワカメ
②	5.86	0.27	0	0.04	モロイトグサ
③	6.37	0.27	0	0	

	ホソメコンブ個体数/コンクリート板		個体数/800cm^2 ※		
設置場所	遊走子着生	遊走子非着生	ホソメコンブ	その他海藻	主な種
①	338	22	3	未調査	
②	274	38	0	未調査	
③	382	26	0	未調査	

設置時期：2012年11月12日　　回収時期：2013年 6月14日

	試験コンクリート板上のホソメコンブ湿重量（kg/コンクリート板）		ブロック上の海藻湿重量（kg/800cm^2）※		
設置場所	遊走子着生	遊走子非着生	ホソメコンブ	その他海藻	主な種
①	7.57	4.07	0	0.46	ウルシグサ
②	9.06	0.58	0	1.08	ワカメ
③	6.53	0.43	0	2.04	ワカメ

	ホソメコンブ個体数/コンクリート板		個体数/800cm^2 ※		
設置場所	遊走子着生	遊走子非着生	ホソメコンブ	その他海藻	主な種
①	158	84	0	未調査	
②	324	35	0	未調査	
③	302	61	0	未調査	

設置時期：2013年11月11日　　回収時期：2014年 6月14日

	試験コンクリート板上のホソメコンブ湿重量（kg/コンクリート板）		ブロック上の海藻湿重量（kg/800cm^2）※		
設置場所	遊走子着生	遊走子非着生	ホソメコンブ	その他海藻	主な種
①	8.84	3.28	未調査	未調査	
②	5.88	0.30	未調査	未調査	
③	7.03	0.09	未調査	未調査	
④	3.10	0.05	未調査	未調査	

	ホソメコンブ個体数/コンクリート板		個体数/800cm^2 ※		
設置場所	遊走子着生	遊走子非着生	ホソメコンブ	その他海藻	主な種
①	222	100	未調査	未調査	
②	264	20	未調査	未調査	
③	321	3	未調査	未調査	
④	144	6	未調査	未調査	

※：コンクリート板の表面積が800cm^{2}なので、被覆ブロック上で20cm×20cmで採集した結果も800cm^{2}に換算してあります。

水産加工シリーズ

ホタテガイ外套膜を加工食品原料として利用するために
～結着の能力を活用した成型チップスの試作～

キーワード：外套膜、結着、成型チップス

はじめに

ホタテガイは、サケやコンブと並ぶ北海道を代表する水産物です。北海道水産現勢によると、平成26年のホタテガイ生産量は46.9万トンに達し、オホーツク海沿岸では北海道の約８割を占めていました。しかし、平成27年は台風や低気圧被害により生産量が大きく減少しました（図１）。オホーツク海沿岸では輪採区制を採用していることから、平成27年から29年までホタテガイの生産高は減少することが予想されています。

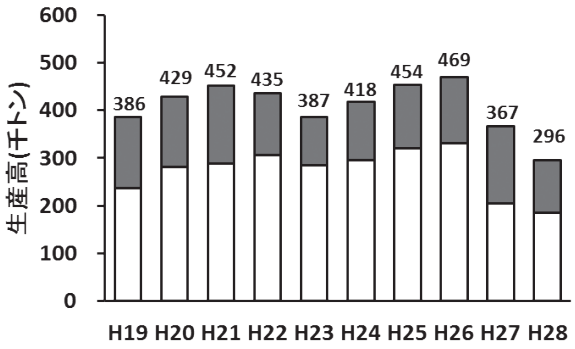


図１　北海道のホタテガイ生産高の変化
□：オホーツク沿岸、■：その他
図中の数字は全道の生産高を示す

通常、漁獲後のホタテガイは、主に冷凍貝柱、生鮮貝柱や乾貝柱などの貝柱加工品の原料として利用されます。これまで安定したホタテガイの生産高が確保できていたときは、排出される外套膜や生殖腺などは加工食品原料として利用されず、その多くは廃棄されていました。しかし、ホタテガイの生産高が大きく減少したため、加工現場ではこれまで低利用部位であった外套膜などの利用が求められています。

外套膜には結着する特長がある

乾貝柱の製造では、漁獲された殻つきのホタテガイを加熱（ボイル）する工程が必要です。この工程によって貝柱および外套膜などの部分は、生鮮の状態とは異なる性質を示します。

外套膜に含まれているタンパク質の大部分は、ボイル工程で失われることなく外套膜中に残ります。そこで、ボイル後の外套膜に対して添加する食塩の濃度を変えて粉砕したところ、食塩濃度の上昇に伴って結着性のもとになる筋肉中のタンパク質の溶解度は高まり（図２）、原料をペースト状の食品素材に加工できることがわかりました。

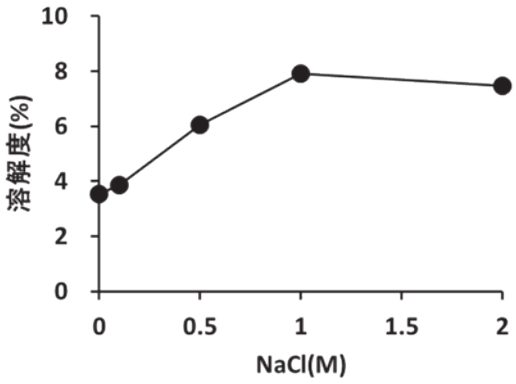


図２　ボイル外套膜の溶解度に及ぼす食塩の効果

成型チップスの試作

全日本菓子協会から発表された菓子の生産量などに関する統計情報（e-お菓子ネット：https://www.　eokashi.net/siryo/siryo08.html, e-お菓子ねっと製販代表会議, 2018年７月６日）によると、スナック菓子の生産量は安定しており、一定の需要が見込める商品と言えます（図３）。特に平成29年は、成型ポテトスナックの生産量が拡大していると報告されています。そこで外套膜を原料として、既存の調味乾燥食品とは異なった成型チップスを試作しました。成型チップスは、まず、外套膜をミンチ処理によって挽肉状にします。そこへ食塩や調味料を添加しフードカッターを用いてカッティング処理し、結着性を有するペースト状の外套膜を調製しました。この外套膜を圧焼（170℃、２分）により、成型チップスを試作しました（写真１）。試作した成型チップスは、原料の外套膜が結着した状態を維持しており、硬さも市販の成型ポテトチップスと同等の硬さに調整が可能であり、食べた時には「パリッ」とした食感が得られました。これは、食塩によって溶け出した外套膜のタンパク質が圧焼によって表面で皮膜状になったためと考えられました（写真２）。

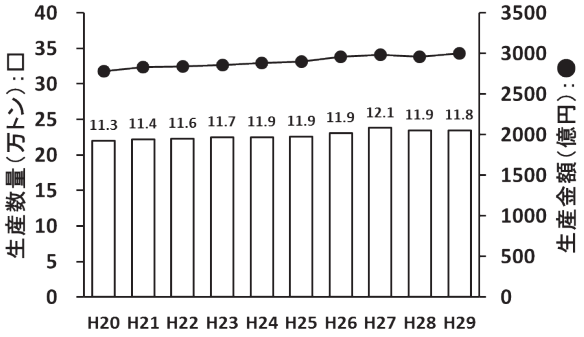


図３　スナック菓子の生産量と生産金額の変化（全日本菓子協会の統計情報より作成）

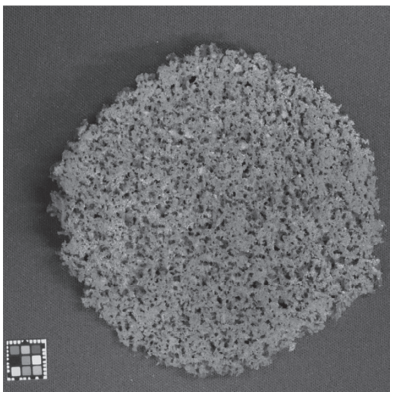


写真１ 成型チップスの外観

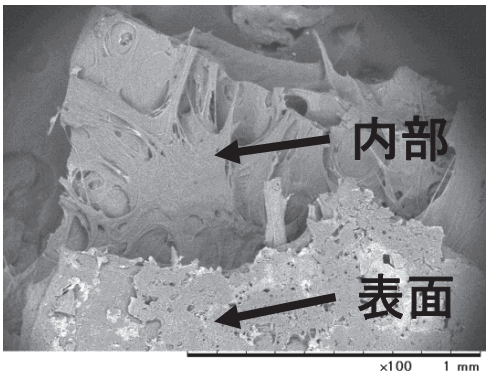


写真２ 成型チップスの微細構造

おわりに

ホタテガイ重量に対して７～８％の割合で含まれている外套膜は、大時化前の生産量（約40万トン）まで回復すると、約３万トンが食資源として利用できることになります。外套膜に含まれる筋肉タンパク質は結着性などユニークな特長を有しており、この特長をうまく利用することで、従来からの調味加工品とは異なる新たな加工食品の開発が期待されます。今年度から、湧別漁業協同組合への技術移転を開始し、成型チップスの商品化に向けて協力しています。

（武田浩郁　網走水試加工利用部

報文番号B2428）

各水試発トピックス

「余市ムール」始まりました！ ムールガイ養殖研究協議会の設立とこれまでの取り組みについて

ムール貝というと、あまりなじみが無いかもしれませんが、パエリアやパスタなど洋食ではよく使われる貝です。ヨーロッパでは白ワイン蒸しをバケツに入れておつまみ感覚で食べる習慣があるほど人気があります。日本で言うところの枝豆ですね。このムール貝、海外では養殖が盛んに行われているのですが、日本ではホタテやカキ、ホヤの養殖施設にくっついたものを取って出荷されている場合がほとんどです。そこで、北海道初！ムール貝養殖（試験）始めました！

平成28年度から始まった道総研の研究「日本海海域における漁港静穏域二枚貝養殖技術の開発と～以下略」において、余市郡漁業協同組合の漁師さんと一緒に余市港内でムール貝養殖試験を開始しました。この２年間でわかったことは、天然採苗できること、１年間で商品サイズ（５cm）まで成長すること、４月～５月中旬がもっとも身入りが良いこと、です。さらに、私どもの事業に協力してくださるシェフに調理テストをしてもらったところ、「味が良い」「身入りが良い（写真１）」「風味が良い」だけでなく、「味がクリアで美味しい」「モンサンミッシェルにひけを取らない」「購入して使いたい」などなど非常に良い評価をいただきました。



写真１　余市ムールの身入り

このような経緯から、余市町からの提案もあり、ムールガイ養殖研究協議会を設立することになりました。ムールガイ養殖研究協議会は余市郡漁協（漁師さんを含む）、余市町、後志地区水産技術普及指導所、中央水産試験場を構成員としており、その他、町内外のシェフにアドバイザーとして協力してもらっています。

ムールガイ養殖研究協議会を設立してからは漁師さんも漁協さんも大忙しです。まず、新たに養殖桁を設置しました。この養殖桁にムール貝を採苗した養殖ロープもつるして、今年度の養殖を開始しました。「ムール貝を売ろう！」って言ってくれたシェフを訪ねて販売について相談したら、来春には販売することが決定しました。しかも東京…。もちろん、余市町内や近郊の市町村、札幌にも販売する計画です。「やっぱり地元から盛り上げていかないとね！」って漁師さん←かっこいい！じゃあ、どういうふうに出荷するかと余市郡漁協冷凍加工部とも相談。どんどん形になっていきます。ブランド名も決めました。「余市ムール」です！語呂がいいでしょ！この余市ムール、余市町内のレストランへ試験出荷したところ、４週間で36kgも使ってくれました。完売です。お客さんからの評判も良かったと教えてくれました。

まだまだやること決定することいっぱいですが、来春の販売が楽しみです。これからも皆で協力して取り組んでいきます。

（清水洋平　中央水試資源増殖部）

各水試発トピックス

稚内の小学生が「解剖体験」！

平成30年８月１日、稚内水産試験場を市内の小学生が訪れ、水産生物のスケッチや解剖、年齢査定等を体験しました。

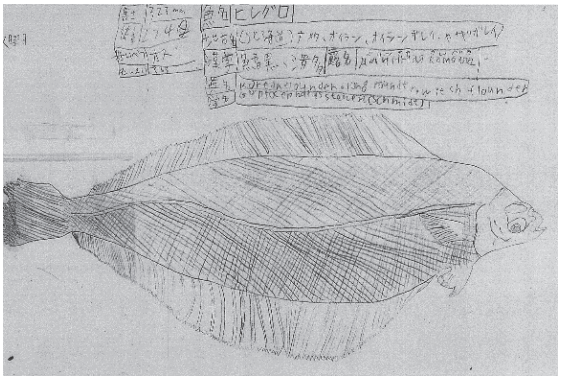
昨年度から、稚内市社会教育センターが主宰する小学生を対象とした体験学習会の一コマを稚内水試が受け持つこととなり、今回は２回目の開催です。参加人数は４名と少ないですが、そこは少数精鋭の個別指導で、皆さん知的好奇心にあふれ、終了時間いっぱいまで存分に学んでいきました。

種名をふせた水産生物（マガレイ、ヒレグロ、ニシン、ホッケ、シマソイ、スルメイカ、ホタテ、ウバガイ）を並べておき、好きな生物を選んでから、特徴をよく見てスケッチしてもらいました。それから、描いた生物の標準和名を図鑑写真から推理してもらいました。これがなかなか難しく、職員がヒントを出しながら正解に誘導しようとするも、写真と現物とでは色合いや鰭の長さなどが異なるため､子供達は簡単には納得しません｡我々にとっては見慣れたスルメイカでも、図鑑写真と照らし合わせると確かにアカイカの方が似ていたりして、なんと説明して良いやら。

スケッチの後は、自分達でハサミを使って解剖しました。器官の中で一番目立つのは肝臓、心臓は思ったより小さい、生殖腺はオレンジ色がメス、白いのはオス、だけどスルメイカの場合は雌雄の判別方法は魚と違う、など新発見ばかりだったと思います。そして、職員が摘出した耳石を顕微鏡で観察し、透明帯の数を数えて年齢査定をしてもらいました。最も明瞭に見えたシマソイの耳石の透明帯は「５本」で全員一致。マガレイやニシンも比較的明瞭に見えましたが､ヒレグロ（ナメタ）の耳石は「真っ白にしか見えない～」と難航しました。最後は、子供達お待ちかねの水槽施設の見学に行ってから終了となりました。

同センターの体験学習会はこの冬にも予定されており、さらに来年度からは中学生を対象とした、もう少し高度な体験学習会が組めないかも検討されています。子供達のこんな経験が記憶の片隅に残っていて、いずれ、道総研水産試験場の研究員になりたいと思う気持ちに繋がっていったら嬉しいですね。

（星野　昇　稚内水試調査研究部）



小学４年生によるヒレグロ（ナメタ）のスケッチ
特徴をよく捉えています！



細かい特徴も逃さずスケッチして図鑑で調べる
これかな～？なんか違うな～･･･

各水試発トピックス

第50回日ロ研究交流が開催されました

平成30年６月28日と29日に、中央水産試験場で道総研水産研究本部とサハリン漁業海洋学研究所（サフニロ）との第50回日ロ研究交流会議が開催されました。本交流会議は平成２年（1990年）から相互訪問により継続して開催されています。サフニロからの訪問団はベリカーノフ・アナトーリ所長顧問、ペロフ・アルチョム研究員の２名でした。当初はジャリコワ・ワレンチナ所長も来道予定でしたが、残念ながら急用により直前にキャンセルになってしまいました。一行は６月27日に空路でユジノサハリンスクから新千歳空港に到着し、その日のうちに余市町に移動しました。

翌28日に中央水産試験場のセミナー室で研究発表会が開かれ、ニシン資源や漁業資源の変動、ブリの鮮度保持技術、キュウリウオ科魚類に関する話題など、計８題について発表し合い、活発に議論しました。さらに、事情により休止している共同研究の新たなテーマとして、「北海道中北部とサハリン南西部日本海におけるコンブ群落の特徴と海洋環境との関係解明」が提案され、平成32年度（2020年度）の共同研究再開を目指して議論されました。また、本研究交流が50回目に達したことを記念し、お互いが用意した記念品を交換しました。

29日には、確認書を交わして交流会議を終了した後、一行は北海道水産林務部と道総研本部を表敬訪問しました。道水産林務部では幡宮水産林務部長ほか、水産林務部の幹部職員の方々に対応いただきました。特に幡宮部長は本研究交流の初期に携わられた経験があるため、コンブに関する共同研究への期待や海獣による漁業被害の情報など、双方の水産業に関わる具体的な話題で会談が盛り上がりました。道総研田中理事長との会談では、北海道とサハリンとの距離が近い優位性を活用し、本研究交流をより一層推進することで考えが一致しました。

一行は、30日に空路で離道しました。次回の研究交流は、来年（平成31年）６～７月にユジノサハリンスクで開催されます。道総研水産研究本部は３名の派遣団を結成してこれに参加する予定です。

（髙嶋孝寛　水産研究本部企画調整部）





上：中央水試ロビーで記念撮影、下：サフニロから贈られた記念品（魚皮を使った貼り絵）

水産研究本部図書出版委員会

委員長　木村　　稔
委　員　三橋　正基　中多　章文　赤池　章一
　　星野　　昇　森　　立成　宮腰　靖之
事務局　志田　　修　富樫　佳弘　上田　吉幸

水産研究本部出版物編集委員会

委員長　志田　　修
委　員　山口　幹人　板谷　和彦　馬場　勝寿　清水　洋平
　　辻　　浩司　武田　忠明　宮腰　靖之　藤原　　真
　　浅見　大樹　畑山　　誠
事務局　富樫　佳弘　上田　吉幸　（作業補助：石川さやみ）

＊　＊　＊　＊　＊

本誌の内容の一部、あるいは全部を無断で複写複製（コピー）することは、法律で認められた場合を除き、著者の権利の侵害となる恐れがありますので、必要な場合には、あらかじめ北海道立総合研究機構水産研究本部企画調整部あてご連絡くださるようお願いします。

落丁・乱丁はお取り替えいたします。

本誌は、下記の水産試験場の広報誌です。本誌に対するご質問、ご意見がありましたら最寄りの水試までお寄せ下さい。

地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部

中　央　水　産　試　験　場
046-8555　余市郡余市町浜中町238
電　話 0135（23）7451
ＦＡＸ 0135（23）3141

函　館　水　産　試　験　場
040-0051　函館市弁天町20－5
函館市国際水産・海洋総合研究センター内
電　話 0138（83）2892
ＦＡＸ 0138（83）2849

釧　路　水　産　試　験　場
085-0027　釧路市仲浜町4－25
電　話 0154（23）6221
ＦＡＸ 0154（24）7084

網　走　水　産　試　験　場
099-3119　網走市鱒浦1－1－1
電　話 0152（43）4591
ＦＡＸ 0152（43）4593

稚　内　水　産　試　験　場
097-0001　稚内市末広4－5－15
電　話 0162（32）7177
ＦＡＸ 0162（32）7171

栽　培　水　産　試　験　場
051-0013　室蘭市舟見町1－156－3
電　話 0143（22）2320
ＦＡＸ 0143（22）7605

さけます・内水面水産試験場
061-1433　恵庭市北柏木町3－373
電　話 0123（32）2135
ＦＡＸ 0123（34）7233

北水試だより　第97号

平成30年9月28日発行
編集・発行　北海道立総合研究機構水産研究本部
ホームページアドレス　http://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/index.html
印刷　株式会社　総北海札幌支社