

スルメイカの繁殖生態と 気候変化に応答する資源変動

北海道大学大学院水産科学研究院

特任教授 桜井 泰 憲

第 559 号

(第 48 巻 第 7 号)

編 集
発 行

一般財団法人 東京水産振興会

「水産振興」発刊の趣旨

日本漁業は、沿岸、沖合、そして遠洋の漁業といわれるが、われわれは、それぞれが調和のとれた振興があることを期待しておるので、その為には、それぞれの個別的な分析、乃至振興施策の必要性を、痛感するものである。坊間には、あまりにもそれぞれを代表する、いわゆる利益代表的な見解が横行しすぎる嫌いがあるのである。われわれは、わが国民経済のなかにおける日本漁業を、近代産業として、より発展振興させることが要請されていると信ずるものである。

ここに、われわれは、日本水産業の個別的な分析の徹底につとめるとともにその総合的視点からの研究、さらに、世界経済とともに発展振興する方策の樹立に一層精進を加えることを考えたものである。

この様な努力目標にむかってわれわれの調査研究事業を発足させた次第で冊子の生れた処に、またこれへの奉仕の、ささやかな表われである。

昭和四十二年七月

財団法人 東京水産振興会
(題字は井野碩哉元会長)

目次

スルメイカの繁殖生態と気候変化に应答する資源変動
第五九号

序章	1
一 スルメイカに魅せられて	1
二 気候のレジュミシフトとスルメイカ	4
三 地球温暖化とスルメイカ	8
第二章 イカ類の種類と生活史、および資源研究の国際的動向	11
一 種類と分布	11
二 頭足類の生活史の概要	12
三 頭足類の漁獲量と生態的な位置づけ	15
四 イカ類の資源変動研究の国際的動向	18
第三章 飼育研究から繁殖の謎を探る	21
一 スルメイカの採集から飼育	21
二 スルメイカの交接・産卵行動と卵塊	22
三 スルメイカの産卵には、大陸棚が必要か?	25
四 人工授精などによる卵発生とふ化幼生	28
五 幼生の最適生存のための水温を探る	30
六 スルメイカの産卵には、大陸棚が必要か?	31
七 三〇年かかって完成した一枚の再生産仮説図	33
八 スルメイカは一二℃以下、二三℃以上で生存できないか?	34
九 成長、成熟、交接行動と産卵に適した水温を探る	38
十 なぜ、成長期に低水温、成熟・産卵に高水温を選択する?	39
第四章 気候変化に应答するスルメイカ資源変動の解明	42
一 寒波はスルメイカを減らす? なぜ暖かいと増えるか?	42
二 七〇―八〇年代の寒冷期のスルメイカの減少	43
三 一九八〇年代末からの温暖期のスルメイカの増加	44
四 二一世紀の温暖化シナリオとスルメイカ	44
五 スルメイカは、短・中長期の海洋環境変化の指標種か?	46
六 なぜ、二〇〇〇年代以降、羅臼でイカが豊漁?	47
七 終わりに	48

時事余聞 編集後記

桜井泰憲



略歴

一九五〇年岐阜県高山市生まれ。一九七三年北海道大学水産学部卒、同大学院を経て一九八三年より青森県海産水族館勤務、一九八七年より北海道大学水産学部勤務。現職。専門分野は、海洋生態学、水産海洋学(タラ類、イカ、タコ類)の繁殖生態と資源変動機構、気候変化と亜寒帯海洋生態系変動に関する国際共同研究、北極海の魚類生態、海産生物の飼育技術開発など。また、国際的には、C.I.A.C.F.A.O.国際頭足類諮問機構、G.L.O.B.E.C./E.S.S.A.S.亜寒帯海洋生態系国際共同プログラム、P.I.C.E.S.などの各種委員、役職を歴任。国内では、知床世界自然遺産地域科学委員会委員、同海域ワークショップ座長、中央環境審議会臨時委員、野生生物部会長、自然環境部会委員、水産海洋学部会長、日本水産学会副会長を歴任。受賞歴は「タラ類・イカ類の飼育研究」で「水産海洋学」宇田賞、「スルメイカの資源変動に関する研究」で「水産学会」進歩賞、「知床世界自然遺産海域の生態系の保全と持続的漁業の共存への貢献」で「環境保全功労賞」。主な著書は、「環境保全功労賞」水棲無脊椎動物の最新学、「イカの春秋」水棲スルメイカの「世界」日本海洋学の「新世紀6」海「力」レジュミシート「気候変動と生物資源管理」。「研究する水族館」水産展示だけではない「知的な世界」。「地球温暖化問題への農学の挑戦」。「サケ学入門」。「新鮮イカ学」。「海洋保全生態学」。「オホーツクの生態とその保全」など。

スルメイカの繁殖生態と 気候変化に応答する資源変動

北海道大学大学院水産科学研究院

特任教授 桜井 泰憲

序章

一．スルメイカに魅せられて

私が住む函館市は津軽海峡に面し、夏から秋の夜の海峡にはスルメイカ（図1）を釣る漁船の漁火が揺らめいている。二〇年ほど前までは、この漁火も初夏に始まって

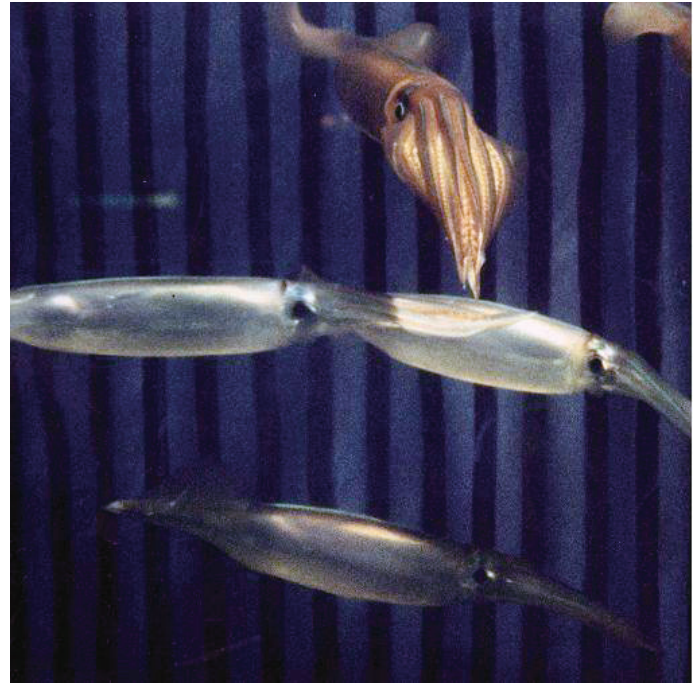


図1 飼育中のスルメイカ

師走の声を聞くころには消えていた。ところが、二〇〇〇年代に入ってから、師走どころか年明けまで漁火が夜の空を照らし、朝どりの新鮮なイカ刺しが雪の降る寒い日の食卓にのぼる。やはり地球温暖化のせいだろうか。

このスルメイカの一生の謎に興味を持ち、その生態と資源変動のメカニズムの研究に取り組んで三〇年近く

このスルメイカの一生の謎に興味を持ち、その生態と資源変動のメカニズムの研究に取り組んで三〇年近くになってしまった。昭和六〇年（一九八五年）に初めて、当時勤務していた青森県管浅虫水族館（現・あさむし水族館）において、スルメイカの二か月以上の長期間飼育に成功して以来、毎年さまざまなスルメイカの飼育研究を続けてきた。例えば、異なる水温下での摂餌と成長・成熟、雌に対する雄の交接行動の詳細、透明で直径八〇cmほどで、中には数十万個の一ミリほどの卵が収容されているアドバルーンのような形をした卵塊を産む産卵行動、世界で初めて人工授精に成功した卵の発生やふ化した幼生が生きることができる水温や塩分の範囲など、飼育実験から多くの新しい発見が得られた。

そして、飼育実験から得られた知見を使った再生産仮説の提案、これに基づく気候変化に応答する再生産過程の成否を通した過去の資源変動の検証、地球温暖化を見据えたスルメイカ資源の将来予測の研究へと進めてきた。しかし、未だに生まれたばかりのスルメイカ幼生の最初の餌が見つかっていない。どれだけふ化幼生を多く育てようとしても、ふ化して僅か四―五日以内に死んでしまう。

スルメイカは、日本の南の海で生まれ、日本列島に沿って日本海と太平洋を北上し、

スルメイカの一生の謎に興味を持ち、その生態と資源変動のメカニズムの研究に取り組んで三〇年近く

北の豊かな海で成長し、再び産卵のために南下して産卵し、その一年という短い一生を終える。必ず、初夏からは津軽海峡に漁火が灯り、そして雪降る季節には、この津軽海峡から消えてゆく「季節の旅人」である。

二・気候のレジームシフトとスルメイカ

現在のスルメイカ資源を支えているのは秋・冬生まれ群

スルメイカの産卵群は、便宜的に春・夏・秋・冬に分けられるように、年間を通してどこかで産卵している。ただし、本種の主要な産卵場は、能登半島以南から対馬海峡までの日本海南海域や東シナ海の広大な大陸棚と斜面域である。現在のスルメイカ資源を支えているのは秋・冬生まれ群である(図2)。秋生まれ群の産卵場は、能登半島以南から対馬海峡周辺までの大陸棚および斜面域で、その産卵盛期は一〇―一二月、その回遊経路は主に日本海を中心として、一部は津軽海峡を抜けてえりも以南から岩手県沿岸で索餌・成長し、秋以降に対馬海峡周辺の産卵場へと回遊し、産卵して死亡する。一方、冬生まれ群の産卵場は、主に東シナ海の大大陸棚および斜面域が産卵場である。現在の産卵盛期は一―三月、その回遊経路は一部日本海を北上するが、主に黒潮内側域に沿って北上する。その後、房総半島より沖を流れる黒潮統流の北側の移行領域へと分布を広げ、秋以降には北海道太平洋―オホーツク海沿岸に接岸し、一―月以降に宗谷海峡と津軽海峡を経て日本海を南下する。

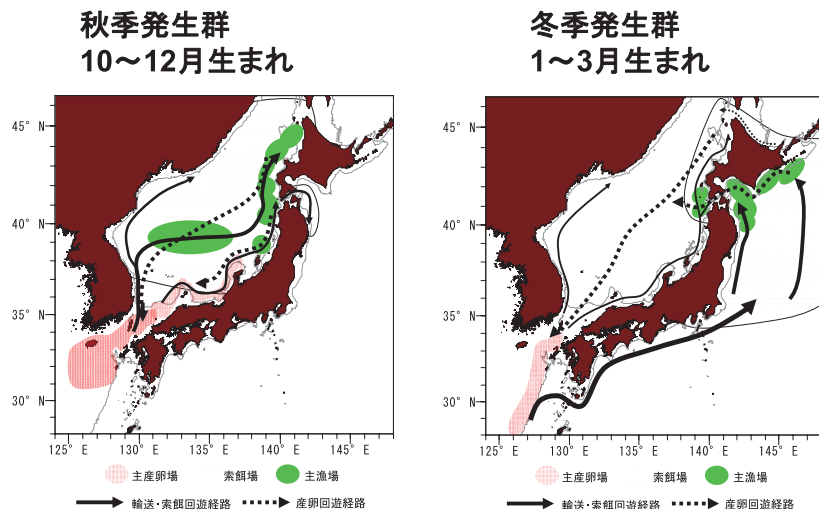


図2 スルメイカの生活史・回遊・主な漁場：周年産卵をするが、主産卵期は秋季から冬季 (Sakurai 他, 2013)

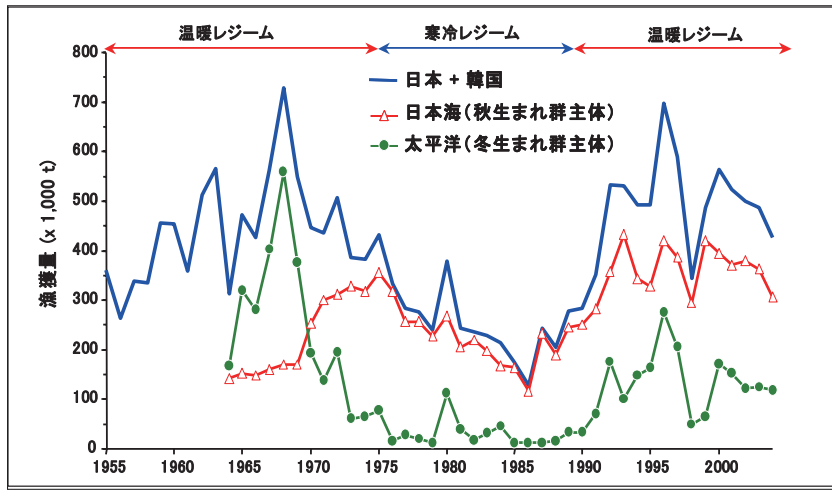


図3 過去50年間(1955-2004年)におけるスルメイカの日韓合計、日本海(秋生まれ群が主体)、および太平洋(冬生まれ群が主体)における漁獲量の推移(76/77, 88/89レジームシフトを図上に標記)(水産庁・森賢博士提供)

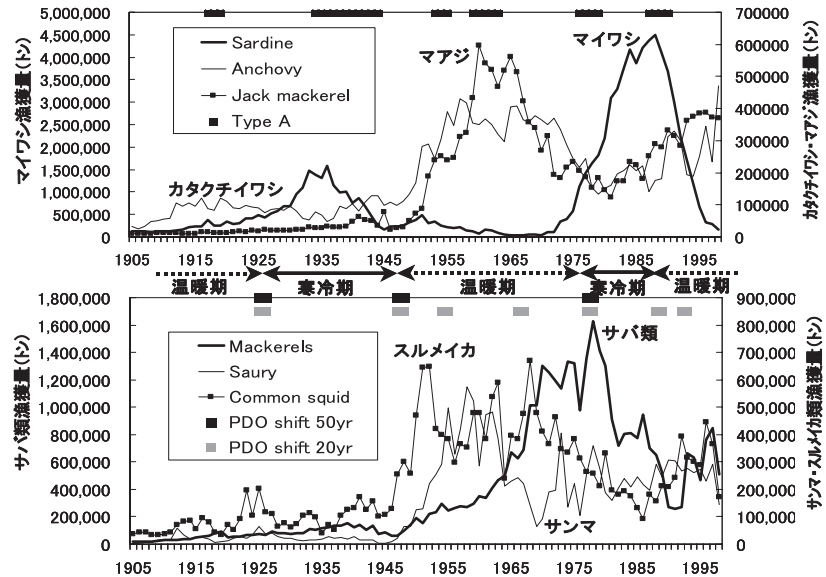


図4 20世紀を通した浮魚・イカ類漁獲量の経年変化。選択した環境情報は、黒潮(Typ A, 大蛇行パターン)、50年周期と20年周期のPDO変動(Minobe, 2000)。サバ類には、マサバ、ゴマサバを含む(Yatsu他, 2005) 図中の寒冷・温暖期は、Minobe(1997)をもとに記入

最も注目されたのが、中長期の気象変化と連動する海水温の寒冷・温暖のレジームシフト

しかし、この「季節の旅人・スルメイカ」も、寒い年が続いた一九七〇年代半ばからスルメイカの漁獲量が激減し、昭和から平成に元号が変わった一九八九年以降は暖かい年が続いて、それに反応するかのように再びスルメイカの漁獲量が増加に転じている(図3)。日本周辺のイワシ類やアジ、サバ類などの浮魚類の魚種交替は、僅かな水温変化を伴う寒冷→温暖レジームシフトに連動した現象であることが明らかになってきた。地球規模の気候変化に連動する海洋生物の資源変動に関する研究は、一九九〇年代から急激に増えている。

その中で、最も注目されたのが、中長期の気象変化と連動する海水温の寒冷・温暖のレジームシフト(海水温の低温、高温期が数十年間隔でジャンプするように変化すること)であった。一九七〇年以降の日本周辺海域で最も多く漁獲されるスルメイカを含む浮魚類の魚種交替は、海面の平均水温で僅か一〜二℃ほど下がった一九七〇年代半ばから一九八〇年代末までの寒冷レジーム期にマイワシが爆発的に増え、一九九〇年代から今も続いている一〜二℃上がった温暖レジーム期にマイワシが激減し、それに替わってカタクチイワシ、マアジ、スルメイカが増えている(図4)。この海水温の温暖・寒冷レジームが数十年の周期性を持って再現するのであれば、次の寒冷レジーム期には再びマイワシが増えて、スルメイカが減ってしまう時期が訪れるはずである。

三．地球温暖化とスルメイカ

IPCCの温暖化シナリオでは、二一世紀中には海の水温は確実に上昇し、海水面積の減少と海面上昇に加えて、炭酸ガスの溶け込みによる酸性化が懸念されている

しかし、二〇一三年に第五次報告が公表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の温暖化シナリオでは、二一世紀中には海の水温は確実に上昇し、海水面積の減少と海面上昇に加えて、炭酸ガスの溶け込みによる酸性化が懸念されている（図5）。私たちは否応なく温暖化を視野に入れた海洋生態系の変化を予測する研究に踏み込まざるをえない状況に置かれている。温暖レジーム期には資源が増えるはずのスルメイカも、これ以上、海水温が上昇しつづけるとしたら、その運命はどうなるのだろうか。

二一世紀の温暖化は、数十万年の長い時間スケールではなく、僅か一〇〇年で二六℃も海面水温が上昇すると予測されている。海洋中の多様な生物にとっては、その急激な環境変化に適応して生き残る術を変える時間的猶予が全く与えられていない。自分に適した水温などの環境条件を能動的に選択できる成長した魚やイカとは違って、生まれた卵や稚仔はほとんど環境変化には受身である。そのため僅かな環境変化は、その生き残りに致命的な打撃を与えることになる。東大の青木一郎名誉教授、中央水産研究所の高須賀明典博士たちは、日本周辺で過去数十年間にわたって採集された膨大な浮魚類の卵と仔稚魚サンプルの出現する水温を調べ、マイワシの仔稚魚は約

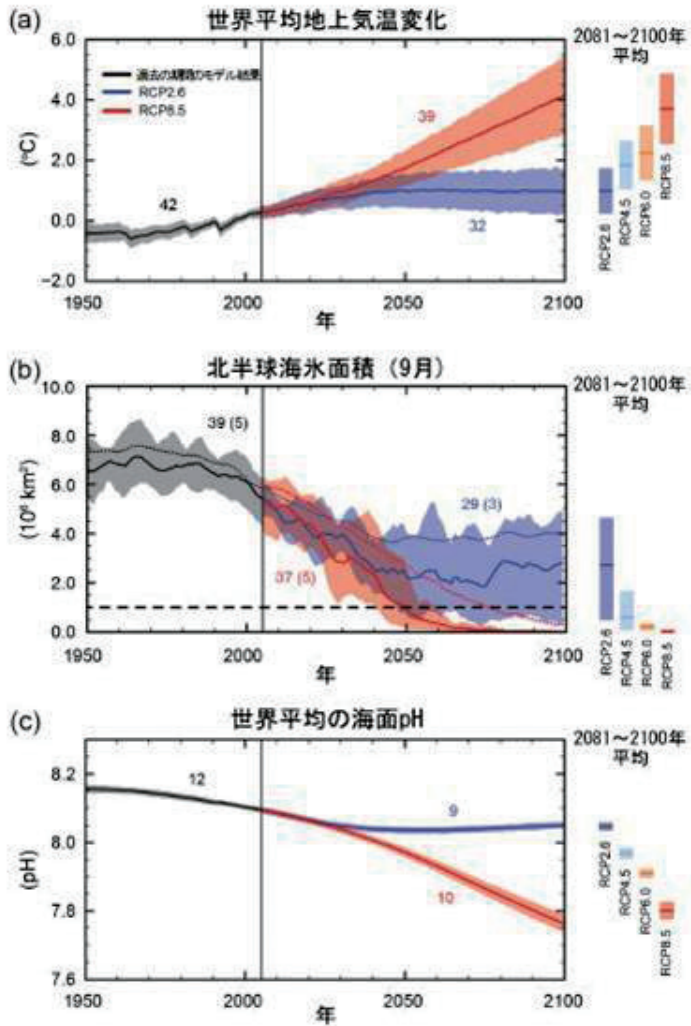


図5 IPCC（気候変化に関する政府間パネル）による21世紀中の地球温暖化シナリオ，第5次報告，2013年）

スルメイカの産卵、卵発生とふ化幼生に適した水温が、一八一—二四°C

一六°C、カタクチイワシは約二二°Cで最も良く成長することを発見している。

また、私たちが、これまでのスルメイカの生活史と生態研究から、スルメイカの産卵、卵発生とふ化幼生に適した水温が、一八一—二四°C（最適は、一九五°C—二二°C）であることを発見している（詳細は、第三章に記述）。これによって、一九七〇年代後半から一九八〇年代末までの北太平洋の水温が低かった寒冷レジーム期にマイワシが爆発的に増加し、一九九〇年以降の温暖レジーム期になると、マイワシは激減してカタクチイワシやスルメイカが増加した現象が説明できる。さらに、アジアやサバ類でも同様の研究が進み、加えて飼育実験による卵、稚仔の生存可能な水温などの環境条件が判れば、日本周辺や世界中の浮魚類の魚種交替や、温暖化に伴う海洋生態系を構成する生物種の資源変動メカニズムの解明に迫ることができるかもしれない。

本報告では、最初にイカ・タコ類を含む頭足類の生活史・生態、およびイカ類資源研究の国際的動向を紹介する。そして、本題である飼育研究から解明してきたスルメイカの繁殖生態、その結果をもとにして、寒冷・温暖レジームシフトや地球温暖化などの短中長期の気候変化に応答する再生産過程の成否を通じた資源変動の検証と将来予測を紹介する。

第二章 イカ類の種類と生活史、および資源研究の国際的動向

一．種類と分布

イカ類のうち、産業上重要なものほとんどが、コウイカ類およびツツイカ類のヤリイカ類とスルメイカ類に属す

イカ・タコ類は軟体動物門、頭足綱（頭足類）に属し、約六五〇種が知られている。

このうち、イカ類は三三科四五〇種ほどである。イカ類のうち、産業上重要なものほとんどが、コウイカ類（コウイカ科）およびツツイカ類のヤリイカ類（閉眼亜目、ジンドウイカ科）とスルメイカ類（開眼亜目、アカイカ科）に属しており、このほかホタルイカ、タコイカ、ドスイカ、ソデイカなども利用されている。コウイカ類、ヤリイカ類は沿岸性で温帯から熱帯域に生息する。コウイカ類は世界に一〇〇種ほど知られ、特にインド洋〜西太平洋に約六〇種生息するが、南北アメリカ大陸周辺には一種も分布していない。日本周辺には、コブシメ、コウイカ、カミナリイカ、シリヤケイカなど二二種が分布する。ヤリイカ類は世界で約五〇種知られており、日本ではヤリイカ、ケンサキイカ、ジンドウイカ、アオリイカなど一〇種が生息する。

スルメイカ類は世界で約二二種が生息し、イカ・タコ類の中で漁獲量が最も多い。このうち、商業種は日本のスルメイカ (*Todarodes pacificus*)、アカイカ (*Ommastrephes*

頭足類は、みな一生に一度だけ繁殖するという単回繁殖が特徴

bartramii)、アルゼンチンイレックス (マツイカ) (*Illex argentinus*)、そして近年漁獲量が急激に増加しているアメリカオオアカイカ (*Dosidicus gigas*)、台湾方面で多いトビイカ (*Sthenoteuthis oualimensis*) などであり、カナダイレックス (マツイカ) (*Illecebrosus*) やニュージーランドスルメイカ (*Nototodarus sloanii*) は、漁獲量も低水準が続いている。スルメイカ類は、外洋性のアカイカ、トビイカを除いて、大陸棚に沿った分布と回遊をしており、半外洋性種と呼ばれている。

二・頭足類の生活史の概要

頭足類は、みな一生に一度だけ繁殖するという単回繁殖が特徴である。単回繁殖とは、一回の繁殖期で一生を終えることを指しており、一シーズンに一回産卵の種、連続して産卵を続ける種がいる。ただし、イカ類の多くは産卵後に、タコ類のメスの多くは産卵した卵を守り幼生のふ化後に死亡する。頭足類は雌雄による有性生殖であり、性成熟した雄は、交接行動によって精莢 (せいぎょう・精包とも呼ばれ、精子の詰まった細長いカプセル) は交接腕 (精莢を握るために特殊に変化した腕) を使って雌に渡され、雌は受け取った精子を産卵まで貯蔵する。ただし、精子の貯蔵部位は種によって多様であり、スルメイカは口球周辺の膜の部分の受精囊中に、精子塊を保存する。

卵は卵黄を多量に含み、卵の大きさはスルメイカの直径一ミリからコウイカ類の一センチまで多様であり、産卵数も数十個の卵を産むボウズイカから数百万個以上の卵を産むアメリカオオアカイカまで知られている

頭足類の卵は卵黄を多量に含み、卵の大きさはスルメイカの直径一ミリからコウイ

カ類の一センチまで多様であり、産卵数も数十個の卵を産むボウズイカから数百万個以上の卵を産むアメリカオオアカイカまで知られている。頭足類の卵はてん卵腺から分泌される粘性の高いゼリー膜や卵囊に包まれていることが多く、マダコ類は海藤花と呼ばれる房状の卵囊を岩棚などに産み、コウイカ類は一つずつ卵膜に包まれた卵を岩や海藻に産み付ける。ヤリイカ類は、数十から数百の卵の入った細長い房状の卵囊を数十本、岩や砂地に産み付ける (図6)。スルメイカ類のスルメイカとカナダイレックスでは、大きな風船のように水中を漂う数十万個の卵が入った卵塊を産むことが飼育実験から明らかとなっている。スルメイカの卵塊は透明で、表面は包卵腺ゼリーが膜状に覆っており、海水よりわずかに重くゆっくりと沈降する特性を持つ (精莢を渡す交接行動と産卵行動の詳細は後述)。直径八〇cmの卵塊では、中に約二〇万個の卵が一定間隔で存在し、二〇℃では五日間で全長一ミリほどの幼生がふ化して、卵塊から出て遊泳を始める。

イカ類の生活史の特徴は、*“Live fast and die young (若くして事故死したジェームス・デーインの新聞記事のタイトル)”* で表現されるように、その多くの寿命は一年以内であり、成長が速いことである。多くのイカ類の寿命は、体重が数十キロに成長するアメリカオオアカイカを含めて一年であり、温帯・亜熱帯性のイカ類ではそれ以上に短い種もいる。イカ類は、頭部にある一对の平衡胞内に炭酸カルシウムの結晶からできている平衡石が存在する。この平衡石を研磨して顕微鏡で見ると輪紋が観察さ

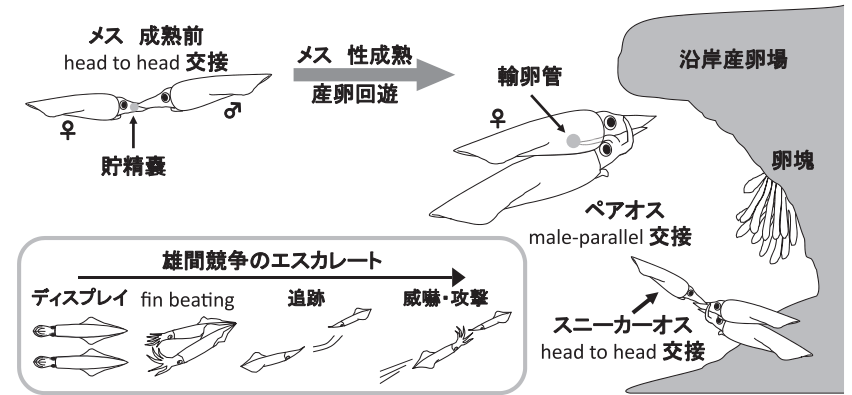


図6 ヤリイカの繁殖生態 (岩田容子博士提供)

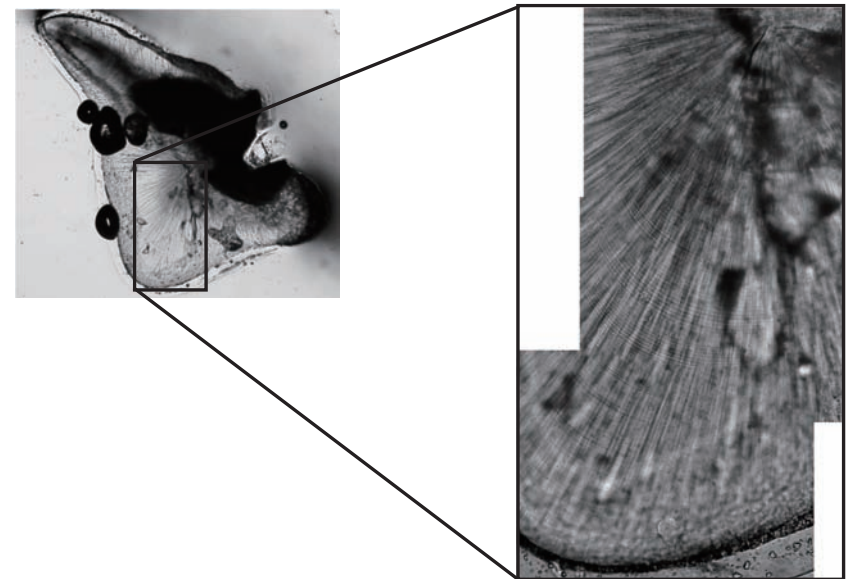


図7 ヤリイカの平衡石(左)と研磨した平衡石に観察される日周輪紋(右) (有川祐介氏提供)

頭足類の成長は、他の分類群(哺乳類、爬虫類、魚類)よりも非常に速く、一ヶ月で数ミリでふ化して、数ヶ月で数十cmまで急速に成長する大型頭足類がいる

れ、スルメイカではこの輪紋が一日に一本形成されることが飼育実験で確認されている(図7)。この平衡石の日周輪を用いて、スルメイカ類やヤリイカ類では日齢とふ化日の推定が行われている。一方、タコ類には平衡石がないために年齢査定が難しい。そのため、標識個体の放流と再捕などによって年齢と成長推定が行われている。マダコの寿命は一二年、体重が三〇キロにまで成長するミズダコは最大で五年程度と推定されている。

頭足類の成長は、他の分類群(哺乳類、爬虫類、魚類)よりも非常に速く、一ヶ月でふ化して、数ヶ月で数十cmまで急速に成長する大型頭足類がいる。ただし、頭足類の成長は、同じ種内でも経験する水温や餌などの環境条件や性別によって大きく変化する可塑性が特徴である。例えば、アメリカオオアカイカでは、外套長二〇センチから一メートル以上で成熟するなど種内での変異が大きい(図8)。

三. 頭足類の漁獲量と生態的な位置づけ

世界の漁獲量は、極限の平衡状態か減少傾向にある。この中で、漁獲量が増加しつつけているのは、イカ類を含む頭足類である。最近になって、イカ類資源の変動は、漁獲だけではなく海洋環境変化によることに注目が高まっている。寿命一年の短命なイカ類資源は、毎年の世代交代において、環境変化の影響を大きく受けている可能性



図8 アメリカオオアカイカの成熟メス（大型、小型）（独）水産総合研究センター提供

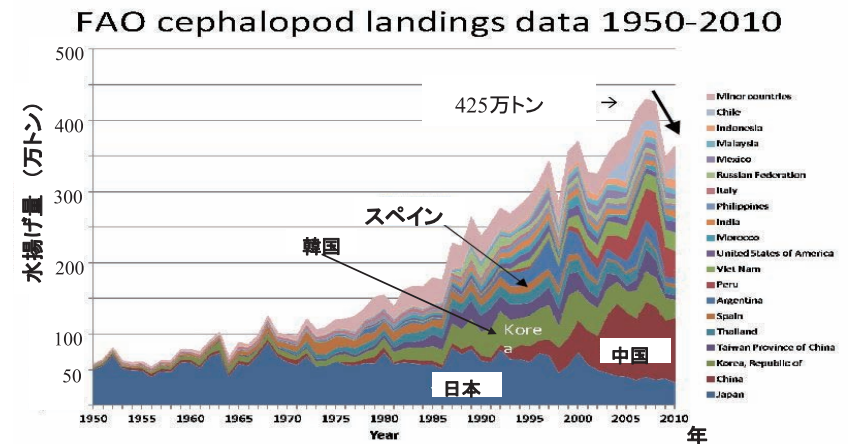


図9 1950-2010年における世界、日本、韓国、中国のイカ・タコ類（頭足類）の漁獲量の推移（FAO統計年表より、2012）

一九五〇―二〇〇五年における世界の頭足類の漁獲量は増え続けており、二〇〇八年には約四二五万トン

がある。

世界の養殖を除く海面漁獲量は、一九九〇年以降は七、五〇〇万トン前後と横ばいもしくは減少傾向にあるが、世界の頭足類の漁獲量は増加を続けている。一九五〇―二〇〇五年における世界の頭足類の漁獲量は増え続けており、二〇〇八年には約四二五万トンに達している（図9）。

中でも、アメリカオオアカイカの漁獲量は、一九九〇年代に一〇―二〇万トンであったが、二〇〇四年には漁獲量が八〇万トンと急激に増加している。しかし、カナダイレックスやアカイカなどのスルメイカ類では、極端な漁獲量の経年変化が起きている。この原因として、過剰漁獲に加えて再生産―加入の成否に対する海洋環境変化の影響が大きいたことが明らかになりつつある。ただし、世界の頭足類の資源量は、最低二、〇〇〇万トンから最高三億トン、平均で一〜二億トンと推定されている。その利用方法を工夫することによって、頭足類は世界の蛋白資源として人類の生存を助ける可能性を秘めている。

頭足類は肉食性である。底生性のタコ類は、甲殻類、貝類、魚類、イカ類は魚類、甲殻類、および共食いを含むイカ類を餌としている。例えば、スルメイカは成長に伴ってカイアシ類・端脚類などの小型動物プランクトンから中小型のネクトン類（中深層性魚類、浮魚類など）、アカイカはハダカイワシ類などの中深層性魚類、ヤリイカは主に端脚類・オキアミ類などの動物プランクトンを摂餌している。イカ類の幼生は一

（数ミリと小さく、様々な捕食者の格好の餌となっている。しかし、その後の成長は著しく速く、生まれてから数ヶ月もすると自分の外套長（胴の長さ）と同じ大きさの魚類・イカ類を捕食するまで成長する。そのため、一年ほどの短い寿命でありながら、海洋生態系の食物連鎖の中で、動物プランクトンと同じ被食者から、大型魚類などと同じ捕食者へと変身する。加えて、海洋生態系の食物連鎖において、大型魚類、海獣類、鯨類、海鳥類の重要な餌生物であり、生態的にも重要な地位を占める鍵種（key species）と言いうことができる。

四・イカ類の資源変動研究の国際的動向

イカ類資源の変動を考える場合、「短命で、著しく成長するイカ類特有の生活史戦略」を念頭におく必要がある。

イカ類資源の変動を考える場合、「短命で、著しく成長するイカ類特有の生活史戦略」を念頭におく必要がある。つまり、イカ類の世代交代は一年単位のため、親（ある年の資源）と子（翌年の資源）の関係がはっきりしている。この親子関係は、親が多ければ子も多いという正の相関をもっているが、再生産―加入過程における生き残りの失敗や親イカに対する過剰漁獲があれば、次の年の資源はすぐに激減する。また、その逆も起きる。さらに、餌をめぐる競争するサバ・イワシ類など寿命の長い魚類資源の変動や海洋環境の中長期変化に対して、寿命の長い魚類よりも世代交代が早いイカ類は即応的に応答できるという特徴がある。イカ類の資源変動の主な要因は、産卵

から資源加入期までの物理・生物学的な海洋環境変化、資源加入期以降の漁業の影響、および他魚種との競争関係の有無などが考えられる。そこで、イカ類資源の資源変動が気候変化や漁業とどのように関連しているかについて、国際的な流れと近年の研究を紹介する。

イカ類の資源変動と気候変化との関係についての研究の歴史は、今まさに始まったという過言ではない。この背景には、数百年もの漁業の歴史を持つ海産魚類の資源研究とは異なり、世界でのイカ類漁業の発展は、日本など一部の国を除けば一九五〇年代からである。しかも、世界のイカ類漁場の開発は、スルメイカの不漁期に展開された日本のイカ漁業の海外進出に始まっている。そのため、イカ類の漁獲量の統計が整備されている種類は、沿岸性イカ類を含めて数十種のみであり、いまだに分布域や資源量の推定すら行われていないイカ類もある。

イカ類資源変動に気候変化が影響することが国際的な科学会議で取り上げられたのは、一九九七年南アフリカ・ケープタウンでのC I A C（国際頭足類諮問機構）主催の国際頭足類シンポジウムでのワークショップ「頭足類資源の減少は過剰漁獲によるか？頭足類資源研究の将来は？」での討議から始まった。このワークショップでは、特に、アカイカ科イカ類（以下スルメイカ類と略す）であるスルメイカとカナダイレックスの資源の急激な減少がなぜ起きたのかについて、論議された。スルメイカは、一九八六年を境として、それまでの漁獲量の急激な減少から一転して、現在まで増加

の傾向にあったが、二〇〇〇年以降は微減傾向が続いている(図2)。しかし、資源水準が高い年代においても、パルスのな増減が生じている。一方、カナダイレックスは、一九七〇年代に漁獲のピークがあり、一九八〇年代以降は極めて低い状態が続いている。

これら二種の資源の崩壊は、過剰漁獲によるものとの前提で討議が始まった。もし、過剰漁獲で資源が崩壊したとすれば、カナダイレックスに対するアメリカによる厳しいTAC(漁獲可能量)制度による資源管理下で資源は復活するはずである。一方、スルメイカは一九八〇年代末以降も漁獲制限はなく、現在でも日本のTAC量は約三〇万トンと、実際の漁獲量をはるかに上回るものであり、むしろ資源が崩壊してもおかしくない状況にあった。しかし、事実はまったく逆であり、資源管理の厳しいイレックスは増加せず、その逆のスルメイカは増加している。一九九七年の南アフリカでのワークショップにおいて、スルメイカの資源変動のシナリオとして、日本周辺海域における海洋環境の温暖・寒冷のレジームシフトが、再生産海域の拡大・縮小をもたらした、これが資源の増減に関することを提唱した(第四章で詳細を紹介)。ワークショップの最終報告には、今後イカ類の資源変動を考える上で、漁獲に加えて海洋環境変化に应答した資源変動のメカニズムの研究を進めるべきであるとの提言が採択された。

その後、一九九八年ポルトガル・リスボンでのICES(北大西洋海洋科学機構)

一九九七年の南アフリカでのワークショップにおいて、スルメイカの資源変動のシナリオとして、日本周辺海域における海洋環境の温暖・寒冷のレジームシフトが、再生産海域の拡大・縮小をもたらした、これが資源の増減に関することを提唱した

会議におけるワークショップ「イカ類資源変動への漁業と環境変化のインパクト」、二〇〇〇年イギリス・アバディーンでのCIACシンポジウムでのワークショップ「イカ類資源変動解明に向けたGIS(地理情報システム)の応用」、二〇〇〇年一月の函館でのPICES(北大西洋海洋科学機構)年次総会におけるトピックセッション「北大西洋海洋生態系の鍵種としての短命なイカ類・魚類の資源変動とその役割」など、二〇〇〇年代以降は、ようやくイカ類資源の変動に対する環境要因の関心が集まるようになってきた。しかしながら、私たちのように、スルメイカを数か月間飼育してその繁殖生態を研究した事例は、世界的にも皆無である。

第三章 飼育研究から繁殖の謎を探る

一．スルメイカの採集から飼育

私たちは、スルメイカの飼育を三〇年間続けており、毎年二カ月間近く給餌飼育して、様々な実験をしている。その繁殖生態の詳細を調べるためには、未熟なイカを飼育して、その成長・成熟、そして交接・産卵行動までを、飼育下で観察することが重要である。ただし、長期間飼育するためのイカには、「釣りもの」は適さない。私たちは、定置網に入網したイカを傷つけることなく、実験用の水槽に収容している。このよう

二〇〇〇年代以降は、ようやくイカ類資源の変動に対する環境要因の影響の解明に関心が集まるようになってきた



図10 定置網漁船上でのビニールタモによるスルメイカの採集

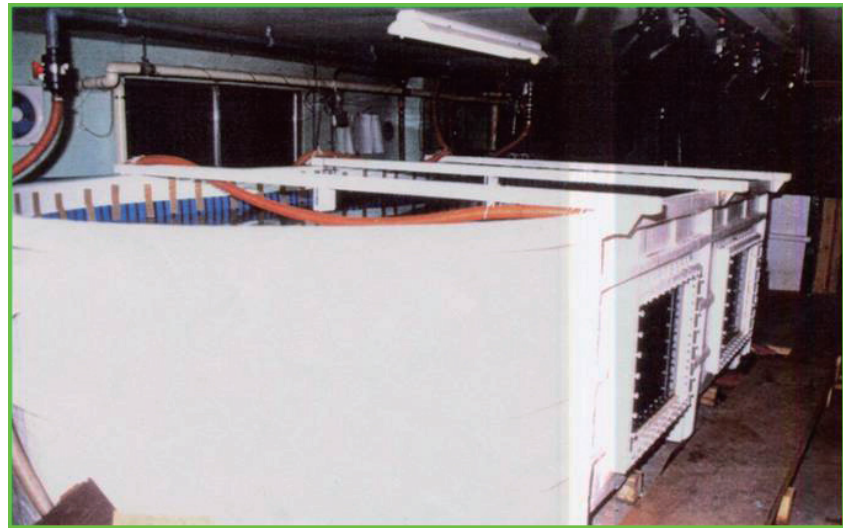


図11 スルメイカの飼育水槽 (15トンレスウェイ型)

飼育用スルメイカは、函館市内の旧南茅部町のクロマグロ、イワシ、イカ、サケを対象とする大謀網（浮式大型定置網）で採集

な飼育方法は、定置網に入網する活イカの扱いや高鮮度イカの流通にも活用できる。

飼育用スルメイカは、函館市内の旧南茅部町のクロマグロ、イワシ、イカ、サケを対象とする大謀網（浮式大型定置網）で採集している。毎年七月後半から二月初旬にかけて、大謀網にはスルメイカが入網する。一回の網起こしで一〇〇トン以上のスルメイカが漁獲されることもある。魚獲りの箱網を絞り込んで行くと、イカが群れになって海面近くに浮上する。これをタモ網（底に海水が溜まる仕様）で何回か掬い、船上の水槽に入れる（図10）。水槽内で墨を吐いている場合は、速やかに新鮮海水を注入して除去し、上面にはイカが飛び出ないよう網をかぶせ、港まで酸素エアレーションのみで輸送する。飼育用として、スルメイカのサイズにより多少収容数が異なるが、五〇―一〇〇尾を採集している。船上には〇・五―一トンの丸型水槽を置き、現場海水を満たし、酸素のエアレーションをしておく。たくさんイカを水槽に入れると、互いに腕で絡み合って全滅してしまう。活魚輸送の時も一トン水槽当たり五〇―一〇〇尾であれば、酸素エアレーションだけで四時間程度の輸送ができる。

港に着いてイカを活魚トラックに運ぶ際も、ビニール袋を使い、イカを一切空中に曝さないよう配慮している。活魚トラックでの輸送時は、酸素エアレーションのみで、簡易な濾過機と加温冷却機による水質保持があれば、より長距離の輸送が可能である。この輸送時に、もつとも注意すべきことは、前記した収容尾数と水槽内の照明である。イカは絶対的な暗黒条件にすると遊泳できない。そのため、真つ暗な水槽の中で互い

に絡み合つて死んでしまうため、夜釣り用の小型水中ライト一個を水槽内に沈め、少量の光を与えている。

スルメイカの飼育水槽は、一五トン容量の楕円型と一〇トンの円形水槽で、加温冷却、サンゴ砂による開放式ろ過循環をしている。

スルメイカの飼育水槽は、一五トン容量の楕円型と一〇トンの円形水槽で、加温冷却、サンゴ砂による開放式ろ過循環をしている(図11)。壁面には縦じま模様などを入れているが、これはイカの眼の良さを利用して壁に気づいてぶつかりを少なくするためである。また、空気のエアレーションはろ過槽のみで行い、飼育水槽にはしていない。一般に、ろ過循環式では、ろ過槽のアンモニアから硝酸への還元バクテリアによる酸素消費量は、飼育生物をほぼ同じと言われ、ろ過槽への曝気が重要である。照明は、活魚輸送時同様に、夜間も少量の照明をしている。

収容したスルメイカには、餌として冷凍サンマの切り身を与えている。一般に、イカ類は餌の魚類の肉質部のみ摂餌し、頭部や脊椎骨は食べないためである。飼育当初は、餌付棒の先端に切り身を刺してイカの腕に触れさせると容易に捕食する。その後は、切り身を水槽に投げ入れれば、飽食するまで餌に突進して自力で餌を獲るようになる。飼育水温と成長・成熟との関係は後述するが、一二℃以下では一―二週間以内で摂餌しないで死亡する。そのため、繁殖生態に関する実験時には一四―一五℃で数週間飼育し、雄による雌への交接行動が頻繁に見られ、雌の卵巣の成熟、輸卵管への成熟卵の排卵が目視で確認できた段階で、水温を一七℃に上げている。さらに、雌の排卵が進行し、産卵が近くなった段階で、雄は水槽から上げ、雌についても一部は人工授精実験、そして数個体は産卵行動観察に供している。

二. スルメイカの交接・産卵行動と卵塊

これまでに毎年スルメイカの飼育実験を行なつて、その成熟から交接・産卵、産卵された卵塊の特徴、人工授精法を用いた卵発生のための最適水温の探索など、再生産過程の特徴について調べてきた(この総説は、桜井他、一九九九を参照)。ここでは、水槽内で観察した交接・産卵行動、卵塊の特徴についての概要を紹介する。

雄は雌よりも早く成熟し、雌の卵巣が発達する前から精莢を雌の口球部に打ち込む交接行動を行なう

スルメイカでは、雄は雌よりも早く成熟し、雌の卵巣が発達する前から精莢を雌の口球部に打ち込む交接行動を行なう(図12a)。精莢中の精子塊は、最初は口器の肉質部分(外唇)表面に付着しているが、その後口器と腕のつけ根の膜質部(口囲膜)にある多数の受精のう(囊)と呼ばれる袋部分に保存される。スルメイカは透明なゼリー状の巨大卵塊を産卵し、この時に受精囊中の精子も卵塊内に送られて受精する(図12b)。水槽内での行動観察では、完全な雌は、中層に滞泳しながら一〇本の腕の中に漏斗から出されたゼリーと卵で卵塊を約七分かけて産卵した。産卵後のイカは、産卵直後から長くて数日以内に死亡する。水槽で産卵された卵塊の大きさは直径約八〇cmで、包卵腺ゼリーが表面を覆い、その中には輸卵管腺ゼリーと約二〇万粒の直径一mmほどの受精卵が一定間隔で存在しており、海水中では中層に漂うか僅かに沈む

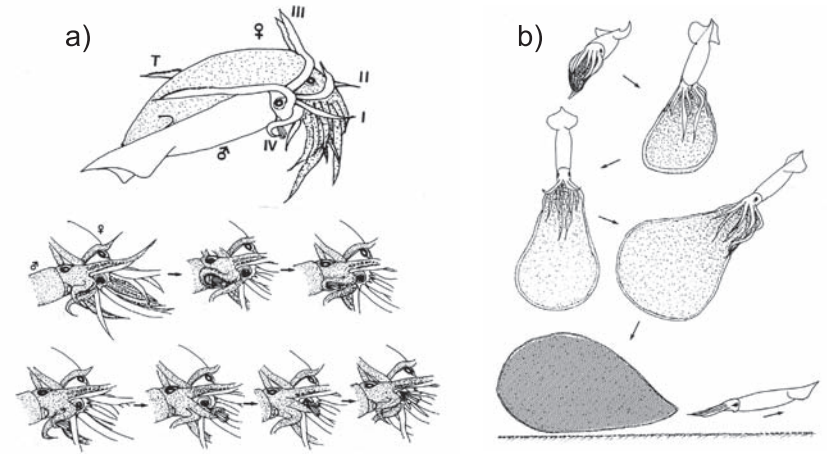


図12 a) スルメイカの交接行動と、b) 産卵行動

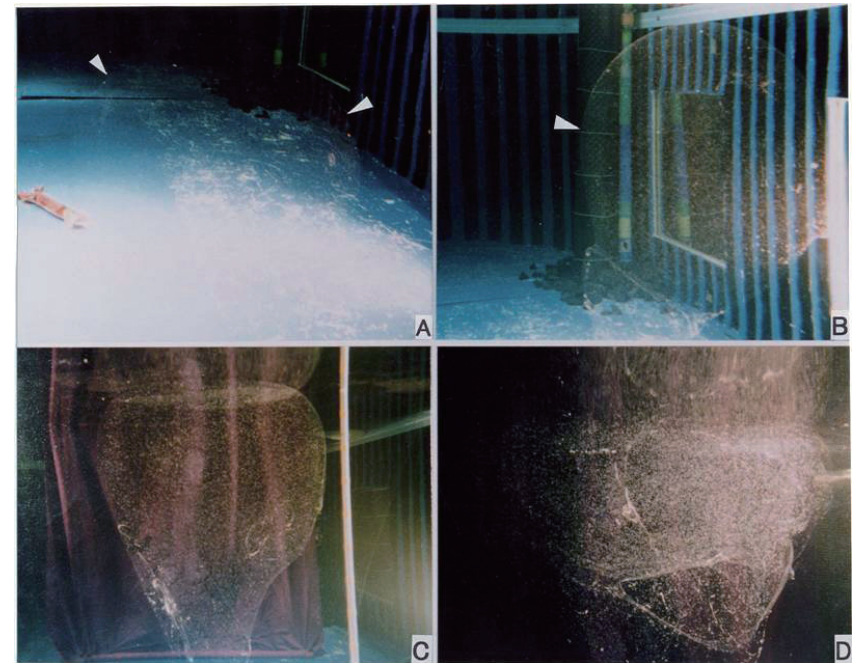


図13 スルメイカの卵塊。A: 産卵直後、B: 産卵から4時間後、C: 産卵から2日目、D: 産卵から5日目

卵塊の形の特徴は、卵塊表面を包卵腺由来のゼリー膜が、内部の輸卵管腺由来ゼリーで一定間隔に保たれた卵を包み込み、ふ化までその性状を保っている

程度の浮遊特性を持っている(図13)。

この卵塊の形の特徴は、卵塊表面を包卵腺由来のゼリー膜が、内部の輸卵管腺由来のゼリーで一定間隔に保たれた卵を包み込み、ふ化までその性状を保っている。しかも、卵塊は大きなシャボン玉のように、わずかな水の動きに対してその形が変わり、水槽内の卵塊をネットに回収しようとすれば、水の動きと一緒に移動するため回収が難しい。また、障害物に接触すると表面の膜が破れ、内部の卵とゼリーが小さな塊となって水中に散在してしまう。スルメイカ類の卵が、海中からプランクトンネットなどで採集できないのはこの特徴による。カナダの O'Dor 博士と私たちの飼育研究から、表層と底層水塊に密度躍層がある場合、産出されたスルメイカ類の卵塊は沈降したとしても、この密度躍層上層に留まる可能性(密度躍層滞留仮説)が高いと考えている。

スルメイカの天然卵塊に関して、一九九七年五月に、福井県三国海岸の水深一mの場所で、NHKのカメラマンが海底より一m浮いた状態のスルメイカ卵塊らしき映像を偶然撮影している。この映像から、直径五〇cm程度のスルメイカ卵塊の可能性が高いと判断している。この海岸地形は沖合に突き出ており、しかも急に深くなっていることや、発見される前日までは北西風が強かったことなどから、沖合から海岸近くに漂着したものと考えられる。また、大型のアメリカオアカイカの卵塊は、メキシコの湾内で偶然に潜った研究者が発見しており、その大きさは「ワゴン車」に匹敵する巨大卵塊であったことが報告されている。

三．人工授精などによる卵発生とふ化幼生

スルメイカの再生産機構の大切な課題として、卵発生に対する水温などの物理的環境条件の影響、あるいはふ化幼生の初期餌料を含む初期生態の解明がある

スルメイカの再生産機構の大切な課題として、卵発生に対する水温などの物理的環境条件の影響、あるいはふ化幼生の初期餌料を含む初期生態の解明がある。特に、スルメイカ類のこうした知見は少なく、O'Dor 博士とブラジルの Erica Vidal 博士らの研究グループによるカナダイレックスの卵発生と育成試験、ふ化幼生の行動特性、および初期餌料の推定（ただし、未だに不明）に関する報告に限定されている。しかしながら、これらの研究の多くは水槽で自然産卵させた卵の発生の追跡、あるいはスルメイカでは過去に約10〜13℃の水温条件のみの人工ふ化実験しかなかく、どのような水温条件が卵発生とその後のふ化幼生の生残に適しているかは、私たちが実行するまで、全く研究が行われていなかった。

スルメイカの主要な産卵場は、秋には日本海南部、冬には東シナ海に移動する。また、夏には北日本周辺海域でも産卵する可能性が指摘されている。すなわち、スルメイカの産卵場は、季節的な産卵適水温域の移行にともなって移動する可能性が高い。その仮説の検証のためには、本種の卵とふ化幼生が最も生残できる水温条件を探ることが重要である。

スルメイカ、アカイカおよびトビイカなどのスルメイカ類において、世界で初めて人工授精法を確立し、卵発生とふ化幼生の発育過程を明らかにすることができた

世界で初めて人工授精法を確立し、卵発生とふ化幼生の発育過程を明らかにすることができた（図14）。この人工授精方法は、輸卵管腺を凍結乾燥して作成したゼリーを用いて、卵の正常発生に欠くことのできない囲卵腔形成を人為的に誘発させるということと、卵発生を阻害するバクテリアと原生動物の増殖を防ぐという点で画期的な方法であった。現在では、世界のスルメイカ類の卵発生試験に広く用いられるに至っている（Villanueva 他、2012）。

スルメイカでは、飼育下で成熟した雌イカから成熟卵をシャーレに取り出し、精莖または雌の受精囊から精子を抽出して受精させ、輸卵管腺ゼリーとろ過海水を入れ、その後の卵発生を追跡した。この際、卵発生とふ化幼生の発育段階を形態学的に設定して、人工授精卵を様々な水温条件下で発生させ、特に卵発生とふ化幼生が最も生残可能な水温範囲の詳細な検索を行った。そして、これらの卵塊の海中での存在状態と発生の適水温を探ることにより、実際の海洋でのスルメイカの再生産機

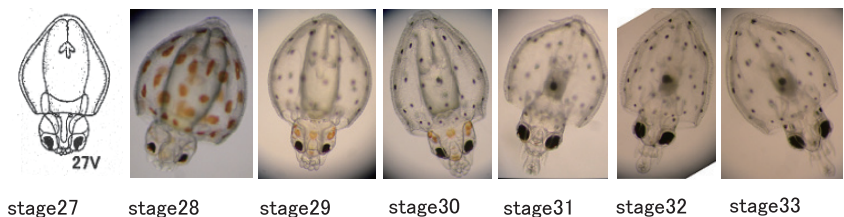


図 14 人工授精によって生まれたスルメイカのふ化幼生、卵塊からは stage30-31 でふ化し、stage32-33 で活発な上昇遊泳行動を始める

スルメイカの胚発生過程、および卵発生とふ化後の幼生の生残適水温を調べた結果、一五―二三℃の範囲が最適と判定

構解明の糸口を見つけ、今後の産卵場調査に向けた基礎的知見を得ることができた。

この方法によってスルメイカの胚発生過程、および卵発生とふ化後の幼生の生残適水温を調べた結果、一五―二三℃の範囲が最適と判定された。また、水中でのスルメイカ卵塊は、「大きなしやぼん玉」のような物体であり、障害物にぶつかったりした場合には簡単に壊れてしまう。発生途中で崩壊すると発生卵はバクテリア・原生動物・動物プランクトンによる食害ですべて死亡するため、ふ化までは卵塊が壊れないで維持されることが大切と考えられた。さらに、一五―二三℃の卵発生に適した水温範囲における卵塊の形状が維持される日数は、一五℃では九日、二〇℃では五日、二三℃で四日程度であることが明らかにできた。

四・幼生の最適生存のための水温を探る

それでは、卵塊内から一五―二三℃で正常にふ化幼生が生まれるとしても、はたしてふ化幼生は、その水温範囲で深ければ数百メートルの中層から海面まで活発に泳いで行くことが可能か。前述したように、表層暖水塊と下層の低温水塊の間には水温躍層が存在する。表層水塊内で産卵された卵塊は、ゆっくり沈降しながら水温躍層より上層でふ化することが、幼生の生残にとって重要である。これまでの産卵海域でのふ化幼生の分布調査では、ほとんどのふ化幼生は海面近く、深くても水深二〇m以浅

で採集されている。つまり、数百メートルの中層でふ化した幼生は、間違いなく海面に向かって上昇遊泳しているはずである。

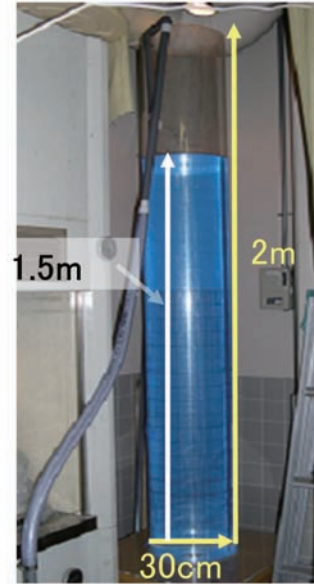
私の研究室に在籍した宮長幸さんに、次のようなテーマをお願いした。ふ化した幼生が最も活発に泳いで上昇する発育段階と水温範囲を調べて欲しいと。彼女は、黙々とただひたすら、高さ約二メートルの円柱水槽に一五℃から二三℃の水温の海水を入れ、水槽の底からふ化幼生がどの発育段階で、その水温で、どれくらいのスピードで泳ぐかを測定した(図15)。結論だけを要約すれば、一八℃から二三℃で上昇遊泳を行い、特に一九・五から二三℃の水温範囲で最も多くの幼生が円柱水槽の表面まで上昇し、そこに帯泳していた(山本他、二〇二二)。スルメイカの遊泳行動は、胴体内に海水を注入させて、その海水を胴体の腹側に突出する漏斗(ろうと)から噴出させるジェット走法である。ふ化直後の幼生も心臓のように胴体を拍動させて、漏斗から噴出す水流によって上に向かって泳ぐ。この実験によって、海中の中層に卵塊が存在し、そこからふ化した幼生は、一九・五℃から二三℃の表層暖水内であれば、海面近くに達することができるという、貴重な知見を得ることができた。

五・スルメイカの産卵には、大陸棚が必要か？

前述したように、スルメイカの卵塊が中層に滞留して、その後のふ化幼生が生残で

ふ化した幼生は一八℃から二三℃で上昇遊泳を行い、特に一九・五から二三℃の水温範囲で最も多くの幼生が円柱水槽の表面まで上昇し、そこに帯泳していた

スルメイカの飼育中に観察された行動の中から、その産卵海域を推定するものとして、産卵直前の雌は、必ず水槽の底に座るという行動がある



どのようにして、イカの赤ちゃんが海の表面へ移動する？

左の円柱水槽の底に、ふ化幼生を入れて、15-23℃の水温で、一番上まで泳ぐことのできる水温は？ そのスピードは？



図 15 円柱水槽を用いた水温ごと、発育段階ごとのふ化幼生の上昇遊泳行動の観察実験 (山本他, 2012)

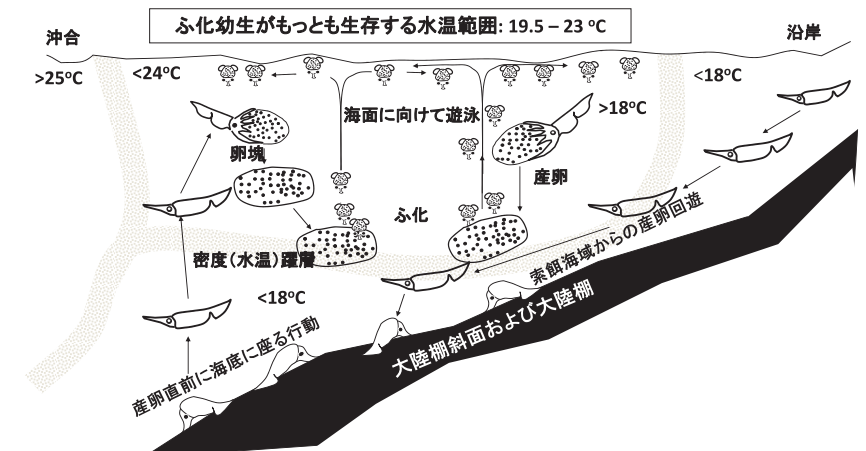


図 16 スルメイカの再生産仮説。これまでの仮説に、ふ化幼生が最も活発に遊泳できる水温範囲 (19.5-23℃, 山本他, 2012 を適用) (Sakurai 他, 2013)

きる水温環境は、実験的に確認することができた。この水温条件は、本種の再生産可能海域の特定に極めて重要な情報と言える。もう一つ、スルメイカの飼育中に観察された行動の中から、その産卵海域を推定するものとして、産卵直前の雌は、必ず水槽の底に座るといふ行動があげられる(図16)。これまでの数多くの産卵前後の行動観察において、産卵前日から水槽の底に座る行動を始め、産卵の数時間前までは水槽の底に静止して、外套を盛んに膨らませたり縮めたりさせ、ネオンサインのように瞬間的な体色変化を観察している。おそらく、外套内に存在する生殖関連器官での卵塊ゼリーの形成と口器周辺の口圍膜の受精嚢内に存在する精子の活性化を、この底に座った状態で行っていると推定される。

もし、この産卵前の底に座る行動が、実際の産卵場でも起きるとすれば、スルメイカの産卵場はイカが座ることのできる大陸棚およびその斜面などの海底がある場所に限られる。本種の主な産卵場とされる日本海南西部や東シナ海・黄海では、産卵前後のスルメイカは陸棚から斜面域で底曳きトロールなどにより漁獲されており、その水深はおよそ100-500mとされている。

以上のように、スルメイカの飼育実験によって、その産卵場の物理環境条件は、水深100-500mの大陸棚から大陸棚斜面上の水温18-23℃(特に、19.5-23℃)の表層暖水が覆い、季節的水温(密度)躍層が発達している海域と推定された。すなわち、水平的には18℃以下の冷水域や24℃以上の亜熱帯水域、さらに

表層水温は適水温範囲であっても、水深数kmの日本海、海盆や太平洋沖合域は、産卵場となりえないことになる。

六・三〇年かかって完成した一枚の再生産仮説図

海の食物連鎖の食べられる側から食べる側に変身するイカ類は、海洋生態系の構造と機能をつなぐ鍵種

序章で触れたように、一年の寿命の中で小さなイカは魚たちの格好の食べ物であるが、成長したイカは自分の胴体ほどの長さの魚を餌にできる。このように、海の食物連鎖の食べられる側から食べる側に変身するイカ類は、海洋生態系の構造と機能をつなぐ鍵種（キーストン種）である。加えて、ある年に親イカがたくさんいたとしても、海の環境が悪くて産卵して生まれたイカの子どもたちが極端に減ってしまう、あるいは親が少なくても条件がよければたくさんの子どもが生き残れるなど、気候変化に伴う海の環境変化に、すばやく反応する環境変化の指標種とも言うことができる。

産卵仮説の完成によって、水温と海底地形だけでスルメイカの産卵可能な場所が描けるようになった

私たちは、三〇年かかって、ようやく図16の再生産仮説「スルメイカのふ化幼生が最も生残できる産卵海域は、水深が100m～500mの大陸棚から大陸棚斜面上の表層暖水内であり、その水温範囲は18～24℃、特に19.5～23℃の範囲である」に辿りつくことができた。この産卵仮説の完成によって、水温と海底地形だけでスルメイカの産卵可能な場所が描けるようになった。例えば、ある年ある日の人工衛星による海面水温画像や、気象庁などが公表している月や旬別の平均水温分布図があれば、

これに日本周辺の海底地形の100～500メートルの海域の中から、水温19.5～23℃の場所に色塗りをすれば、スルメイカの産卵可能海域が描くことができる(図17)。ただし、正確には表面水温が適していても、中層に水温躍層がないと卵塊は海底まで沈んで壊れてしまう可能性はある。しかし、スルメイカの主な漁獲対象の秋冬生まれ群の産卵場となりそうな対馬海峡周辺の日本海南西部や東シナ海の大陸棚から大陸棚斜面では、ほぼ100%水温躍層が存在している。この産卵可能海域の水温範囲が、本当に実際のふ化幼生の出現海域と一致するかについて、疑問を持たれるかもしれない。日本海区水産研究所の後藤常夫博士、北海道区水産研究所(現水産庁勤務)の森賢博士、そして北海道大学の山本潤博士、ジョン・パウアー博士の研究でも、ふ化直後のスルメイカ幼生の出現海域の水温範囲とほぼ一致することが実証されている。

七・スルメイカは12℃以下、23℃以上で生存できない？

さらに、この産卵仮説を強化させるためには、スルメイカの成熟したメスが果たして19.5～23℃の水温を選択するのかを証明する必要がある。そして、日本を一周する大回遊の中で、どのような水温条件の中で成長し、成熟するのか、また雌雄で成熟に対する水温は違っているのかを検証する必要がある。スルメイカはその生活史

スルメイカはその生活史を通して、成長期は比較的低温な索餌海域、成熟が始まるとより高温な産卵海域へと移動

日本周辺の海面水温情報だけでも、産卵可能海域と索餌期の生息可能海域が推定できる

を通して、成長期は比較的低温な索餌海域、成熟が始まるとより高温な産卵海域へと移動する。日本海区水産研究所の木所英昭博士は、一五℃以下の海域では未熟個体、それ以上になると成熟が進み、一八℃以上の海域で産卵直前の雌がいることを明らかにしている。また私の研究室の修士学生であった三森明人君とソン・ヘジン博士は、スルメイカが一体どの水温条件で生存でき、成長と成熟のトレードオフに水温が影響するのかという飼育実験の成果を修士論文、博士論文として完成させた。

その中で、一二℃以下の一定の飼育水温条件では数週間以内に餌も食べないで、弱って死んでしまうことが判った。加えて、これまでの飼育実験では二三℃以上でスルメイカを飼育すると、こちらは一日も持たないで死んでしまう。この生存に適さない水温範囲を日本周辺の水温分布図に書き込むと、スルメイカの索餌期における生息域が推定できる。ただし、漁獲可能な大きさのスルメイカは、日中は一〇〇mよりも深くて薄暗い水深にいて、夜間は五〇mよりも浅い表層へと日周移動をしている。そのため一日に経験する水温としては、時には五℃以下の冷たい場所において、夜間は一二℃以上の表層にいたるため、一日の平均的な経験水温はもっと低いかもしれない。しかし、木所英昭博士も、日本周辺で操業するイカ釣り漁船は、海面水温一二℃以下の場所ではほとんど操業していないことを明らかにしている。

以上のことから、日本周辺の海面水温情報だけでも、産卵可能海域と索餌期の生息可能海域が推定できることになる。

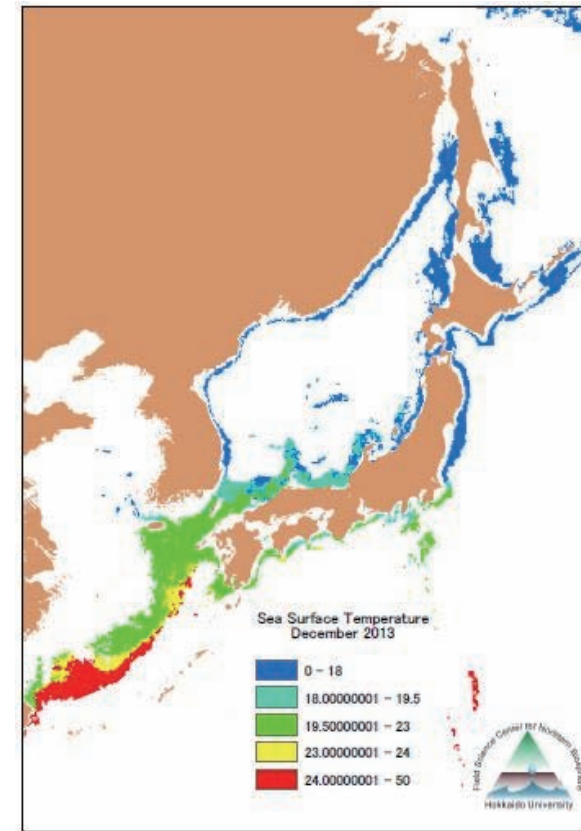


図 17 2013 年 12 月の再生産 (産卵) 海域の抽出事例 (海底 100-500m の大陸棚-陸棚斜面上の海面水温: 緑の部分が 19.5-23℃、水色が 18-19.5℃未満、青色が 18℃未満、黄色が 23-24℃、赤が 24℃以上)

八．成長、成熟、交接行動と産卵に適した水温を探る

それでは、生存できる水温範囲に成長期のスルメイカが分布していたとしても、なぜ成長期には低い水温の索餌海域まで回遊し、成熟が始まると次第に高い水温の産卵海域へと回遊するのだろうか。前述した三森君とソン博士は、外套（胴）長一八cmほどの未熟なスルメイカを一三、一五、一七、一九℃の一定水温で約一―二ヶ月間飼育した。この飼育実験は、私たちが所有する一五トンと二〇トンの飼育水槽で行ったが、毎年七月中旬から下旬に採集できる同じサイズで雌雄とも未熟であるという条件を揃えなければならなかった。そのため、一年に二種類の水温設定の飼育実験となり、同じ水温での追試飼育を含めて結果を得るまでに四年間もかかっている。この飼育実験では、飼育開始の日に個体ごとに外套長、体重を計測して、個体が識別するために鰭の部分に色の違う細いリボン状の標識をつけ、さらにペン（軟甲）の成長部分である胴体付け根の組織にコンゴレッドという赤い染色を施した（図18）。

ある水温一定の飼育実験では五〇個体以上のイカに餌を与え、どの個体が一日にどれだけ食べたかを記録するという大変な作業をしなければならぬ。

イカ類の頭部にある平衡石に、日周輪と呼ばれる一日一本の輪紋ができることを序章で紹介した。イカの場合は、これに加えてペンに毎日成長した長さが判る線ができている。ある水温一定の飼育実験では五〇個体以上のイカに餌を与え、どの個体が一日にどれだけ食べたかを記録するという大変な作業をしなければならない。餌として

は冷凍サンマを解凍して三枚におろし、身の部分を短冊状に切って一つずつ重さを量り、その餌をどのイカが食べたかを記録することになる。さらに、飼育中のイカが透明な体の中の精巣と卵巣の発達具合、成熟した雄が雌に精子の入ったカプセル（精夾）を渡す交接行動、これも体につけたリボン標識からどの個体であったかを記録する。雌では、成熟すると卵巣から輸卵管に成熟卵を排卵して、その部分が次第に膨らんでくる。そして、約一―二ヶ月近くもかかった実験終了後には、全個体を取り上げて、どれだけ成長、成熟したかを精密測定する。次に、胴体内部のペンを壊れないように取り出して、実験はじめに染色したペンに刻まれた毎日の成長輪紋の幅を顕微鏡で調べる。おそらく、魚類を含めて毎日の摂餌と成長・成熟の関係を、このような実験から検証した研究はないはずである。

九．なぜ、成長期に低水温、成熟・産卵に高水温を選択する？

では、その実験結果から得ることができた成果の概要を紹介する。図19には、雄と雌に分けて、水温と成熟の関係を模式的に表した。前述したようにスルメイカは一三℃以上でなければ摂餌と成長しないが、この低水温条件では雄の精巣は次第に成長しながら発達するが、雌では卵巣は未熟のままであり、体の成長だけが進む。次に一五―一七℃では、雄は精巣でできた精子を精夾に収める付属腺も発達して交接行動

実験結果から得ることができた成果の概要を紹介

雌雄間では摂餌に伴う成長と成熟への体内でのエネルギーの配分に明らかな違いがあるものの、なぜ成長期にはより水温の低い海を好み、産卵期にはより水温の高い海を好むのかが説明できる

を活発に行う。しかし、一九℃で未熟な状態から飼育すると付属腺が発達しない。一方、雌は一五℃以上では卵巣が発達して、輸卵管腺への成熟卵の蓄積、卵塊の表面の膜を作る包卵腺もどどん発達してゆく。そして、前述した約一九℃以上の高温で産卵を行う。

これらの実験結果から、資源量の多い秋・冬生まれ群を例とすると、南の海で生まれたスルメイカの子どもたちは暖流に乗って北上し、索餌・成長期には海面水温では一三―一五℃の水温範囲の日本の沖合域や北部日本海、さらに太平洋側では道東から一部オホーツク海などの水温が低くて餌となる大型動物プランクトンや小型魚類の多い亜寒帯海域で、どどん成長することになる。そして秋以降には次第に北の海から水温が下がり、寒流も南下するようになるころには、大型のイカとなって南下を始める。そして、雄が索餌海域の中でも少し水温が高い海域で成熟して、まだ成熟途中の雌に交接行動をする。そのため、摂餌行動に加えて雌を探して交接行動にエネルギーを費やすことになり、成長から成熟への切り替えは、雌より早い時期に生じることになる。一方雌は、次第により高い水温の海へと移動しながらも産卵に必要なエネルギーを摂餌によって蓄える必要がある。そして、さらに水温の高い産卵海域へと回避し、その過程で一気には成熟状態となって産卵して死亡すると考えられる。このように、雌雄間では摂餌に伴う成長と成熟への体内でのエネルギーの配分に明らかな違いがあるものの、なぜ成長期にはより水温の低い海を好み、産卵期にはより水温の高い海を好むのかが説明できる

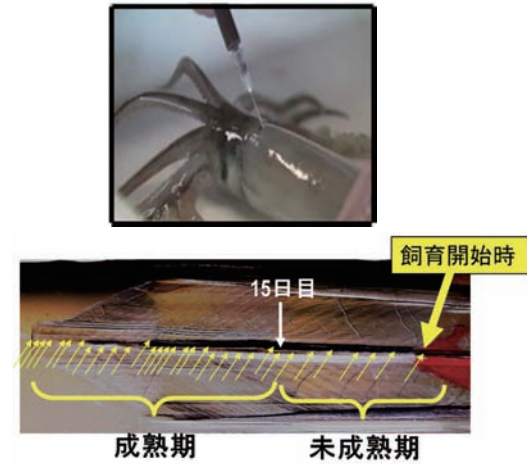


図 18 飼育実験の開始日にスルメイカのペン（軟甲）を作る外套基部の部分に、コンゴレッド染色液を注入（上図）。ペンには、毎日成長した長さが測定できる線（濃い色のライン）が形成される。飼育途中での成熟状態の目視観察から、成熟開始日（この図では 15 日目）が判る（下図）。（三森明人氏、ソーンヘン博士提供）

成熟への水温効果 成熟への水温の影響は雌雄で異なる

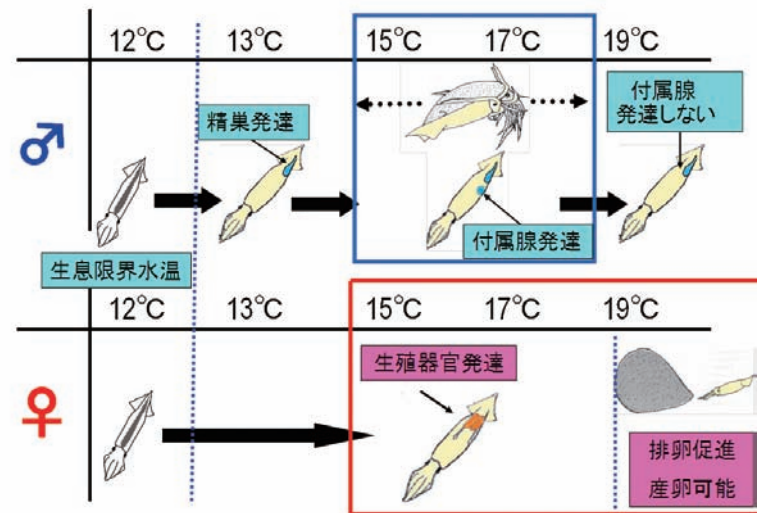


図 19 未成熟のスルメイカを異なる一定水温（12,13,15,17℃）で飼育したときのオス、メスの成熟過程に対する水温の影響、17℃のオスのコラムに交接行動を示す。（三森明人氏、ソーンヘン博士提供）

むのか説明できる。

第四章 気候変化に応答するスルメイカ資源変動の 説明

一・寒波はスルメイカを減らす？ なぜ暖かいと増える？

もし産卵場の縮小や季節的な産卵場の連続性が寸断されている年が続く場合には、そのスルメイカ資源が減少に向うという警鐘を鳴らすことができる

一枚の再生産仮説から導かれたスルメイカの「産卵（再生産）可能海域」が、季節的にどのように移動し、その範囲が広がっているのか、あるいは縮小して産卵場が寸断されているかなど、日本周辺の海面水温の分布図さえあればマッピングができるようになった（図17参照）。そして、この図から、もし産卵場の縮小や季節的な産卵場の連続性が寸断されている年が続く場合には、そのスルメイカ資源が減少に向うという警鐘を鳴らすことができる。同時に、気象のモニタリングによる冬季季節風の強さなどから寒冷→温暖レジームシフトが予知されるならば、より精度よくスルメイカ資源が増えるのか、減るのかという資源動向予測も可能となる。加えて、海面水温一二℃から二三℃の海域が季節を通してどこに形成されるかによって、生息域の季節変化を知ることができる。これに、標識放流や南下回遊時のスルメイカの漁場位置などから、その索餌・産卵回遊経路の変化をモニタリングすることによって、効率的な

漁業と資源管理の道が開かれるかもしれない。

これまでに、寒冷レジーム期におけるスルメイカの不漁、温暖期に豊漁となることが産卵場の拡大・縮小で説明できること、IPCCの地球温暖化シナリオに準じて、二〇五〇年に日本周辺の海面水温が二℃上昇、二二〇〇年に四℃上昇した場合のスルメイカの資源状態や回遊経路や産卵期・産卵場がどのように変わるかについては、いくつかの論文として紹介している（巻末の文献を参照）。その後、ポルトガルから私の研究室に留学していたアナ・ルイザ・ロサ博士が、一枚の産卵仮説をもとに、一九七〇年代以降のスルメイカの産卵場面積の変化と気象・海洋環境変化との関係を詳しく調べ、博士論文を完成させた。ここでは彼女の研究も加えて、一九七〇年代後半以降の寒冷レジーム期、一九九〇年代以降今も続いている温暖レジーム期に何が起きたのか、そして、もっと海が暖かくなったらスルメイカはどうなるのかについて触れたい。

二・七〇―八〇年代の寒冷期のスルメイカの減少

一九七〇年後半から一九八〇年代末までは、アリュウシヤン低気圧が発達して北西の冬季季節風が強かった年が連続しており、寒冷レジーム期と呼ばれている。この年代には、秋以降に日本海のロシアから韓国沿岸にはりマン寒流が強く、また冷水域が

冬生まれ群の激減が生じ(図3参照)、結果として秋生まれ群を対象とする日本海の漁期も夏―秋と短くなっていた可能性もある

対馬海峡まで広がっていた。日本研の木所博士は、この年代のスルメイカの標識放流の結果から、産卵のために南下する群れが山陰沿岸に移動することを明らかにしている。そのため、秋生まれ群の産卵場は、この山陰沿岸に集中している(図20a)。一方、冬生まれ群の東シナ海陸棚斜面上の産卵場は、中国沿岸からの冷水の一部が黒潮流軸まで冬季に達する年が多くなり、台湾から九州までの大陸棚斜面に沿って連続している産卵場が寸断されている(図20a)。このような年が寒冷レジーム期に続いたことによって、冬生まれ群の激減が生じ(図3参照)、結果として秋生まれ群を対象とする日本海の漁期も夏―秋と短くなっていた可能性がある。さらに注目すべき現象として、韓国の崔浙珍博士は、この年代には韓国西岸の黄海と渤海のスルメイカの漁獲量が一時的に増加していることを報告している。おそらく、東シナ海の冬の産卵場が台湾以北の狭い陸棚―陸棚斜面に形成され、その後の索餌回遊経路が黄海への暖流に乗っていたためではないかと考えられる。

三・一九八〇年代末からの温暖期のスルメイカの増加

一九八八年から一九八九年は、昭和から平成に元号が変わり、私たちの世界では一九八八/八九レジームシフトと呼び、寒冷から温暖レジーム期に移行した年に相当する。一九八九年以降は冬季季節風の勢力が弱い年が続いている。日本研の木所英昭

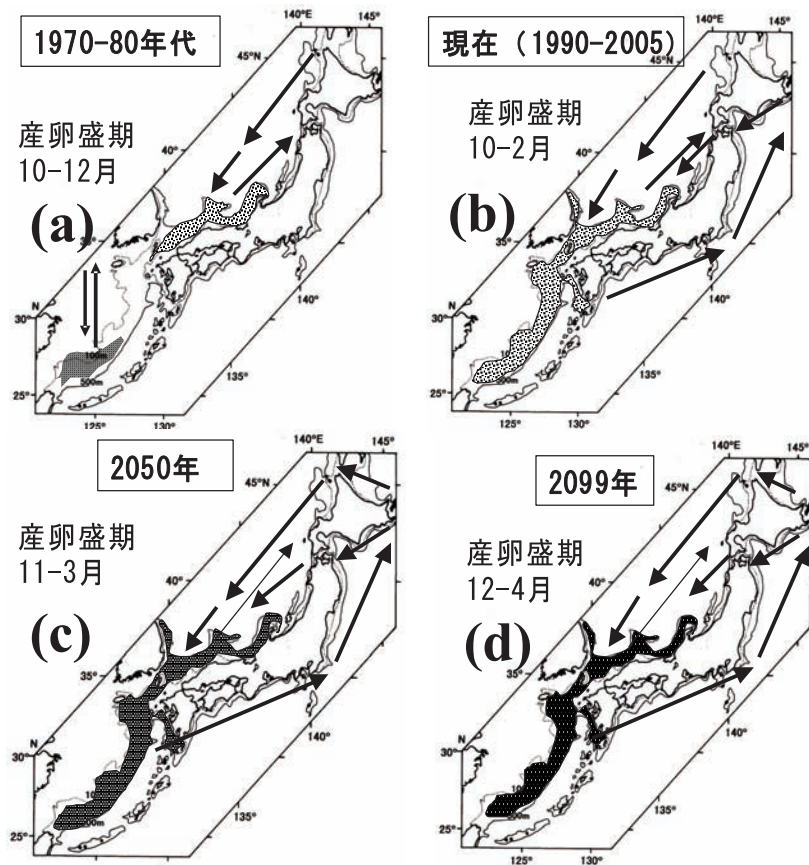


図20 1970-80年代(寒冷レジーム期), 1990-2005年(温暖レジーム期), 2050年(海水温2°C上昇), 2099年(海水温4°C上昇)におけるスルメイカの再生産海域予想図。予測は、Kawamiya他(2005)の海洋環境予測に基づいた。

秋―冬を通した再生産環境の好転により、冬生まれ群の増加が特に顕著となり、その産卵盛期は一〇月から二・三月へと秋―冬に連続

博士による標識漂流の結果によれば、七〇年代以前の温暖レジーム期に産卵のために南下するスルメイカが、日本海沖合を経て韓国東岸に向かう回遊は九〇年代以降も同じと推定している。また、日水研の後藤常夫博士、水産庁の森賢博士は、秋の日本海―対馬海峡および冬の東シナ海のスルメイカ幼生の分布が広がっていることを明らかにしている。温暖レジーム期の産卵場は、秋には日本海西南部―対馬海峡、冬には対馬海峡―東シナ海陸棚斜面域へと季節的に重複しながら形成される(図20b)。冬季のふ化幼生の生き残りの増加は、ふ化幼生の黒潮内側に沿った太平洋北上ルートをもたらすことになる。秋―冬を通した再生産環境の好転により、冬生まれ群の増加が特に顕著となり、その産卵盛期は一〇月から二・三月へと秋―冬に連続している。

四・二一世紀の温暖化シナリオとスルメイカ

ここでは、IPCC(二〇一三)の第五次報告の温暖化シナリオに準拠して、二〇五〇年にSSTが二℃上昇、二一〇〇年に四℃上昇すると設定した場合の、スルメイカの生活史・回遊の変化について紹介する。その詳細な解析方法は省略するが、索餌回遊時の低温限界水温(SST、一二℃)域は、五〇年で緯度にして二度ずつ北上して行く。しかし、主な再生産海域は一〇〇年間を通して、日本海から対馬海峡―東シナ海に形成され、温暖レジーム期と変わらないように見える(図20c、d)。しかし、

産卵盛期は、現状は一〇月―二月(秋―冬群主体)であるが、二〇五〇年は一月―三月(図20c)、二一〇〇年には二月―四月(冬―春群主体)へと変化して行く(図20d)と推定される。

これから、秋でも暑い年が続くようであれば、産卵のピークはさらに冬へとずれ込み、さらに春まで産卵が続くことになり、結果としてスルメイカが漁獲される季節や海域も変わって行くことになる

これから、秋でも暑い年が続くようであれば、産卵のピークはさらに冬へとずれ込み、さらに春まで産卵が続くことになり、結果としてスルメイカが漁獲される季節や海域も変わって行くことになる。しかし、スルメイカの産卵場として最も広大な大陸棚―斜面域があるのは、日本海西南部から対馬海峡、そして東シナ海である。また、もつとも重要なスルメイカ生活史の特徴として、四季を通した産卵群が存在することにある。つまり、最も広大な産卵場(日本海西南部―東シナ海)が、いつ産卵に適した水温になるのが、その季節発生群の盛衰を決定すると考えられる。このように、温暖化に伴って産卵のピークが、秋―冬から冬―春にシフトすれば、その結果として索餌回遊経路も変化することが考えられる。

五・スルメイカは、短・中長期の海洋環境変化の指標種か？

これまで、私たちはスルメイカの過去四〇年間の産卵場の総面積(二〇月―三月)の経年変化と季節的变化を調べ、一九八〇年代末までの寒冷レジーム期(マイワシ増大期)には産卵場面積が縮小すると漁獲量も減り、一九九〇年代以降は、産卵場面積

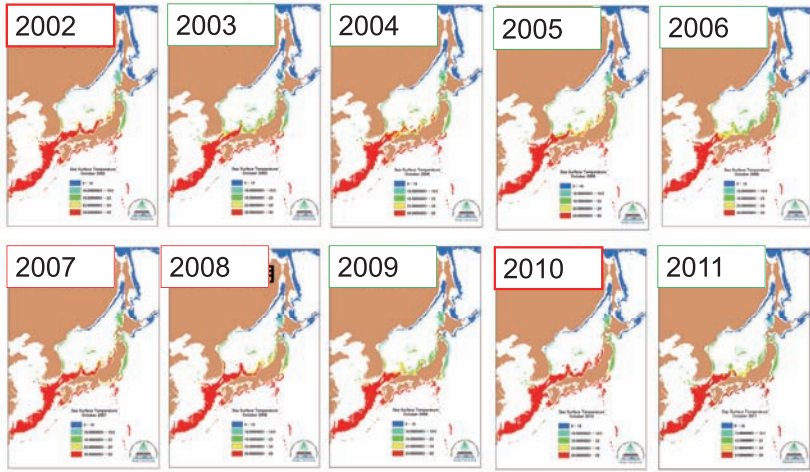


図 21 2002年～2011年10月の再生産（産卵）可能海域。最近10年間は、10月に対馬海峡周辺にできる産卵場を、高水温（赤色の部分）が覆う年（特に、2002年、2007年2008年、2010年）が増えている。

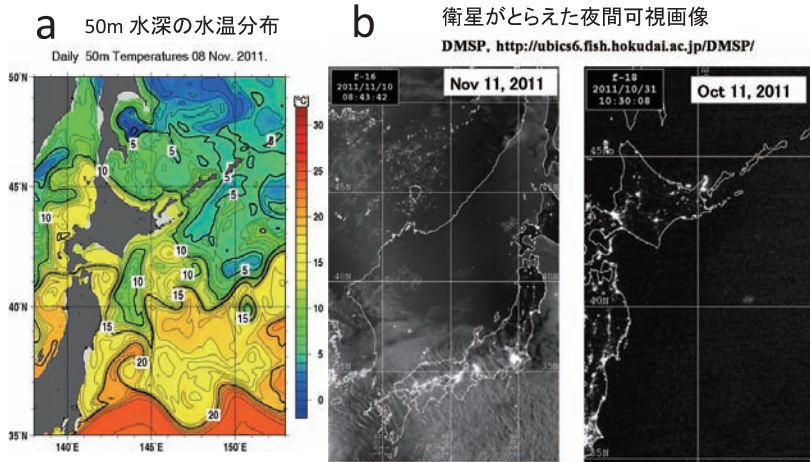


図 22 2011年11月8日の50m水深の水温分布(a)と、夜間可視画像がとらえたイカ釣り漁船の灯り(b)、羅臼沿岸と積丹沖にイカ釣り漁船が集中)

懸念されることは、一九九八年以降は産卵場面積も減少傾向にあり、総漁獲量も徐々に減少している

が拡大すると漁獲量が増えたことを見出している。また、寒冷期には一―三月の東シナ海の産卵場が縮小・寸断されており、これと同時期の冬生まれ群の極端な漁獲減と一致している。

現在もこの解析を続けているが、懸念されることは、一九九八年以降は産卵場面積も減少傾向にあり、総漁獲量も徐々に減少している。この現象は、過去の寒冷期に冬生まれ群が減って秋生まれ群に収斂した年代と異なり、秋の高水温によるものであり、もしかしたら右肩上がりの温暖化に沿った「非可逆的变化(あととどりでできない変化)」かもしれない。二〇〇〇年代以降の一〇月は、秋の産卵場(山陰沿岸・対馬海峡周辺)が高水温水に覆われ、産卵場は北海道日本海と三陸沿岸にあり、明らかに秋の高水温の影響を受けている(図21)。このパターンは、過去四〇年間の解析では全くなかった現象であり、二〇〇〇年以降ほぼ毎年見られ、一月以降になってようやく山陰沿岸から対馬海峡周辺に産卵場が形成されている。この影響は、翌年の初漁期の漁場位置や漁獲量、イカのサイズに変化をもたらし、例えば六月解禁の津軽海峡西口では、来遊の遅れと不漁、釣獲イカの小型化が起きている。

六．なぜ、二〇〇〇年代以降、羅臼でイカが豊漁？

秋の高水温の影響は、産卵期の変化に加えてスルメイカの北上回遊を促している。

秋の高水温の影響は、産卵期の変化に加えてスルメイカの北上回遊を促している

二〇〇〇年以降の一〇—十一月の水深五〇mの水温分布（気象庁・海洋の健康診断表HP）では、北方四島と知床半島に囲まれた根室海峡、北海道オホーツク沿岸が一二℃以上の宗谷暖流で覆われている年が増えている。ここで、五〇m水深の水温はスルメイカの分布解析に使用した理由は、夜間はこの水深帯にすることが多く、日中は数百mの海底近くの低温域を日周鉛直移動するからである。加えて、私たちの飼育実験から、スルメイカの生存できる下限水温は一二℃で、これ以下では数週間死亡することが判っている。二〇一一年一〇月末から一月中旬の知床半島周辺の水深五〇mの水温は約一二℃以上である（図22 a）。さらに、夜の地球上の都市の明りを捉える夜間可視画像には、この暖水内の根室海峡羅臼沿岸に漁火が見られ、毎年秋になると全国のイカ釣り船が一〇〇隻ほど、この海峡に集結していた（図22 b）。まさに、根室海峡と北海道オホーツク海沿岸に北からの冷たい海水が近づき、一二℃以上の沿岸水にスルメイカが押し込められていると推定される。それでも、オホーツク沿岸にいたスルメイカは、やがて宗谷海峡を抜けて、今度は日本海を産卵のために一気に南下することになる。しかし、根室海峡内に閉じ込められたイカの群れは、冬の訪れとともに冷たい北風と流水が押し寄せて海水温も急激に下がり、いずれ衰弱して海底に沈み、底性生物が恩恵を受けることになる。日本列島を一周する季節の旅人・スルメイカは、短・中長期の海洋環境変化の指標種であり、これからもその回遊や資源変動に注目して行きたい。

七．終わりに

ここでは、スルメイカという一年の寿命を持ちながらも、日本列島に沿って大回遊する「季節の旅人」であること、その回遊、摂餌、成長、成熟、産卵という短い一生のイベント、加えてその資源や漁獲量の変化に、彼らが一生を通して経験する海の環境水温が大きな影響を与えていることを紹介した。再び、寒い冬が続くようになれば、スルメイカは減り、マイワシが復活するかもしれない。しかし、さらに温暖化が進めば、スルメイカの生まれる季節や回遊、そして漁場も変わってゆく。例えば、二一〇〇年に海水温が四℃上昇したとする。そうすると、秋のスルメイカの生息域は日本海から消えて、はるかオホーツク海全域に拡大すると推定される。それでも、産卵場が日本海南西部から東シナ海の大陸棚—斜面のままであるとすれば、今よりも「季節の旅人」としての大回遊をすることになる。彼らは、この大回遊の中で餌を求めて成長し、そして捕食者や漁業によって個体数を減らしながらも、同じ大きさのイカ同士が群れとなって、交接と産卵のために、より暖かい海へと戻ってくるはずである。一個の卵から生まれたイカが、この大回遊の中でどのように成長し、そして産卵して一生を終えるのか。あるイカは冷たい海で、あるイカは暖かい海だけで生活し、さらに日本海だけを回遊するイカ、太平洋を北上し、オホーツク海まで回遊するイカもいるはずであ

る。地球温暖化を含めた気候変化に伴う海の環境変化に、すばやく反応する環境変化の指標種であるスルメイカ、一つの命がどのように一生を終えるのか、まだまだ、研究する課題が多く残されている。

参考文献 (本書で紹介した研究のレビュー、および重要な文献のみを記載した)

- 桜井泰憲・John R. Bower・渡辺久美：スルメイカの卵塊形成と形状維持、および水温が胚発生とふ化幼生の生残に及ぼす影響、189-210、(奥谷喬司・太田秀・上島励編)、「水棲無脊椎動物の最新学」、東海大学出版会、339pp. (1999)
- 桜井泰憲：スルメイカの再生産と資源変動、110-132pp、「スルメイカの世界」、有元貴文・稲田博史編、成山堂書店、東京、327pp. (2003)
- 桜井泰憲：季節の旅人「スルメイカ」と日本海―資源変動のメカニズムを探る、196-207pp、蒲生俊敬・竹内章編、「日本海学の新世紀6、海の力」、角川書店、東京、289pp. (2006)
- 桜井泰憲：レジームシフトを含む気候変化に応答するイカ類の資源変動、113-129pp、「レジームシフト―気候変動と生物資源管理―」、川崎健・花輪公男・谷口旭・二平章編、成山堂書店、東京、216pp. (2007)
- 桜井泰憲：水族館の飼育技術から地球温暖化研究へ、35-52pp、「研究する水族館、水槽展示だけではない知的な世界」、猿渡敏郎・西源二郎編、東海大学出版会、東京、238pp. (2009)
- 桜井泰憲：地球温暖化が水産資源に与える影響、49-73pp、「シリーズ21世紀の農学」地球温暖化問題への農学の挑戦」、日本農学会編、養賢堂、東京、211pp. (2009)
- 桜井泰憲：寒波はスルメイカを減らす？暖かいとなぜ増える？56-76「新鮮イカ学」、奥谷喬司編、東海大学出版会、東京、366pp. (2010)
- 桜井泰憲：知床世界自然遺産海域の生態系保全と持続的漁業、14-25pp、「海洋保全生態学」、白山義久・桜井泰憲・古谷研・中原裕幸・松田裕之・加々美康彦編、講談社、東京、287pp (2012)
- R. Villanueva, D. J. Straaf, J. Argüelles, A. Bozzano, S. Camarillo-Coop, C. M. Nigmatullin, G. Petroni, D. Quintana, M. Sakai, Y. Sakurai, C. A. Salinas-Zavala, R. De Silva-Davila, R. Tafur, C. Yamashiro, Erica A.G. Vidal: A laboratory guide to in vitro fertilization of oceanic squids. *Aquaculture*. 342-343: 125-133 (2012)
- 山本潤・宮長幸・福井信一・桜井泰憲：スルメイカふ化幼生の遊泳行動に対する水温の影響、水産海洋研究、76(1): 18-23 (2012)
- Y. Sakurai, H. Kidokoro, N. Yamashita, J. Yamamoto, K. Uchikawa, H. Takahara: *Todarodes pacificus*, Japanese Common Squid. *Advances in Squid Biology, Ecology and Fisheries*. Part II, ed by R. Rosa, G. Pierce, R. O'Dor, Publ. by

Nova Science Publishers, Inc., New York, 249-271pp. (2013)

函館イカマイスター認定制度 公式テキストブック、函館水産物マイスター養成協議
会発行、141pp. (2013)

桜井泰憲：知床世界自然遺産海域の保全：統合的管理の事例、263-273pp、「水産海
洋学入門―海洋生物資源の持続的利用」、水産海洋学会 編、講談社、東京、
319pp. (2014)

時事余聞

◇：竹島、尖閣の両諸島が日本の領土であることが、改めて学校の教科書に書き込まれた。今更と思うが、当たり前だが、当たり前前に処理されたに過ぎない。

このことが韓国と中国を刺激したようだ。日本と両国の関係は一段と険悪となった。竹島は島根県隠岐島沖の日本海に位置している。西島、東島など数十の岩礁がある。全部の面積はちょうど日比谷公園ほどの広さ。樹木などほとんどない。日本は一九〇五（明治三八）年に閣議決定で正式に日本領と定めている。

◇：韓国は竹島を独島と呼んでいるが、一九五二年に設定された「李ライン」の中に一方的に取り込んだ。韓国はその翌年、竹島に独島守備隊を送り、実効支配を強めた。日本の海上保安庁巡視船が近づくと無法にも発砲した。日本側は一九五四年と六二年に国際司法裁判所に訴えを起こそうとしたが韓国側が拒否、李ラインは撤廃されたが、竹島の実効支配は次第に強化された。砲台やレーダー施設、ヘリポートなども造り要

塞化を進めた。日本の出方次第では、いつ、武力衝突が起こってもおかしくない緊迫した場面が続く。

◇：韓国側は日本に植民地化された当時のことを学校の教科書にはつきりと記述、「日本の国家利益を増やすために朝鮮を開発し、日帝の侵略政策で民族産業の発展を抑えられた」と訴えている。実際には朝鮮総督府は義務教育から大学教育まで本国以上に力を入れた。一九三六年には公立学校二五〇〇校、一九四四年には五二一三校と急激に増えた。大学教育では一九二四年に京城帝国大学が創設。台北帝大、大阪帝大、名古屋帝大の創設はその四年後から一五年後だった。

◇：植民者と被植民者の対立は止むを得ないものがある。教育の普及や産業の振興、その基盤となる道路、水道、交通の基盤作りに奔走した伊藤博文は一九〇九年、ハルビンで朝鮮民族主義活動家の安重根によって暗殺された。過去の歴史は歴史として日本と韓国は隣国同士、善隣友好の関係を今後も築きあげたい。（K）

編集後記

日本の食卓に縁の深いマグロが絶滅の危機にあると報じられ、身近な食べ物ではなくなるかもしれない一方、スルメイカは貴重な大衆魚である。青魚が苦手な人はいてもイカは多くの人が好むといえよう。スルメイカは日本列島に沿って大回遊する「季節の旅人」であり、その資源や漁獲量の変化に、海水温など海の環境が大きな影響を与えているという。その研究に取り組んで三十年の経験を持つ筆者の評論は単なる解説以上の豊富で貴重な得難い内容で、努力の賜物であります。執筆に心から感謝申し上げます。

「水産振興」 第五五九号

平成二十六年七月一日発行

（非売品）

編集兼
発行人 井上恒夫

発行所

〒104-0055 東京都中央区豊海町五番一号
豊海センタービル七階

一般財団法人 東京水産振興会

電話 ☎ 三五三三八二一一
FAX ☎ 三五三三八二一六

印刷所 (株)連合印刷センター

（本稿記事の無断転載を禁じます）

ご意見・ご感想をホームページよりお寄せ下さい。

URL <http://www.suisan-shinkou.or.jp/>

平成二十六年七月一日発行（毎月一回一日発行）五五九号（第四十八卷七号）