

第1回水産総合研究センター成果発表会 講演要旨集

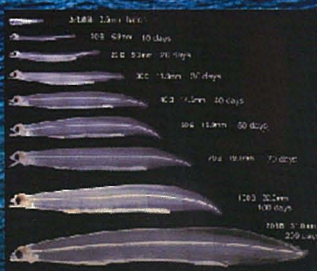
メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2024-07-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010264

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



海と魚の 謎を求めて

－研究者たちの挑戦－



平成15年8月28日(木)
パシフィコ横浜 5階小ホール

研究成果発表会の開催にあたって

本日は、独立行政法人水産総合研究センター研究成果発表会にお出でいただき、ありがとうございます。

水産総合研究センターは、平成13年4月1日に、それまでの国立水産研究所を母体に設立された農林水産省所管の独立行政法人です。横浜市金沢区に本部と中央研究所をおいているほか、北海道から九州・沖縄まで全国に8つの研究所を持ち、海洋や河川・湖沼における漁業や養殖業の維持・発展のための調査・研究を中心に、赤潮の予測や防除などの沿岸域の環境保全、水産食品の加工技術の開発、品質や安全性の確保に及ぶ幅広い調査・研究活動を行っています。

さて、水産総合研究センターでは、最新の研究成果を背景に、漁業・養殖業、魚介類や海そのものに関する話題についてタイムリーに取り上げ、わかりやすくご紹介するとともに、我が国の水産業や水産研究に対する理解と関心を深めていただきたく、今年から研究成果発表会を開催することとしました。

第1回目は、「海と魚の謎を求めて－研究者たちの挑戦」をテーマに、皆様を海と魚の世界にご案内します。今回の話題の中心は、私たち日本人にとって大変馴染みの深いウナギです。しかし、その生態はつい最近まで謎につつまれており、養殖のためのシラスウナギ（ウナギの稚魚）も全て天然の海から取ってきたものに頼ってきました。さて、謎はどこまで解き明かされ、シラスウナギは人工的に誕生させることが出来るのでしょうか？ ウナギ生態研究の第一人者である東京大学海洋研究所の塚本勝巳教授に最新の研究成果をお話いただくほか、この度水産総合研究センターが世界で初めて成功させたシラスウナギの水槽内での誕生についてご紹介します。

また、その利用の是非を巡って国際的にも議論が盛んなクジラの問題、水産分野における遺伝子（ゲノム）の解析と利用のための研究の現状、地球規模での気候・海洋変動と水産資源の関係をとり上げ、水産総合研究センターでの研究成果を背景に、わかりやすくご説明します。

この研究成果発表会を通じて、水産総合研究センターの活動の一端をご理解いただくとともに、我が国の水産業や水産研究全般に対し関心をお持ちいただければ幸いです。

平成15年8月28日

理事長 畑中 寛

プログラム

1. 開場・受付開始		12:30
2. 開会		13:00
3. 挨拶	研究成果発表会の開催にあたって 畑中 寛(水産総合研究センター理事長)	13:02
4. 特別講演	ウナギ:大回遊の謎 塚本 勝巳(東京大学海洋研究所教授)	13:10
5. 研究成果発表		
(1)概要説明	酒井 保次(水産総合研究センター研究推進部長)	13:55
(2)40 年来の夢、30 年間の奮闘ーウナギ人工種苗生産技術の開発ー	田中 秀樹(養殖研究所チーム長)	14:00
(3)シロナガスクジラとミンククジラー南極海の生存競争ー	加藤 秀弘(遠洋水産研究所室長)	14:25
(4)ゲノムが分かると何が出来るかー水産におけるゲノム研究とその応用ー	中山 一郎(中央水産研究所チーム長)	14:50
(5)マイワシはなぜ減った? マサバはなぜ増えない?ー気候と魚類資源変動と 漁業の関係ー	谷津 明彦(中央水産研究所室長)	15:15
	休憩(20分)	15:40
6. 総合討論	座長:嶋津 靖彦(水産総合研究センター理事)	16:00
7. 閉会挨拶	嶋津 靖彦(同)	16:55
8. 閉会		17:00

ウナギ：大回遊の謎

塚本勝巳

東京大学海洋研究所 海洋生命科学部門

あなたもウナギは淡水魚だと思ってはいないか？ウナギが海で生まれることを知っている人はかなり博学の方である。その産卵場が東京からはるか 2000km も南のマリアナ諸島の西方海域であることまで知っている人は、大変な“おさかな通”か、もう一種のマニアと言わざるを得ない。それほどまでにウナギの生態は一般に知られていない。また事実、学問的にもウナギの生態はいまだ十分には解き明かされてはいないのである。我が国で年間 10 万トン以上も食べられている身近なウナギの謎の生態を調べてみよう。

1. ウナギの起源と進化

ウナギはそもそもこの地球上のどこに現れ、どのように世界中へ広がっていったのか？その起源と進化について考えてみる。研究はまず、世界中のウナギを集めることから始まった。6 年間かけて世界中のウナギ計 18 種を全て集めることができた。これらの肝臓から抽出した mtDNA の塩基配列を基に、分子系統樹を作成した。その結果、世界のウナギの中で最もその祖先に近いものは、インドネシア・ボルネオ島にだけ生息する熱帯ウナギの一種、*Anguilla bornensis* であることがわかった。さらに、ウナギの祖先は今から約 1 億年前の白亜紀に現在のインドネシア付近の海産魚から派生して、その後世界中に広がっていったと推定された。

ウナギは幼期に極めて特徴的な形の仔魚になる（図 1）。これは透明な柳の葉状の幼生で、レプトケファルスと呼ばれる。アナゴ、ウツボ、ハモなどウナギの仲間は皆、このレプトケファルスの幼生期を経て成長する。レプトケファルスは海の中でフワフワ漂うのに適した形で、海流によって長い距離輸送される。

ウナギの祖先もまたレプトケファルスの幼生期をもっていたはずである。レプトケファルスは当時赤道に沿って地球を一周していた古環赤道海流に乗って西へ西へと運ばれた。その結果ウナギは分布を西方へ広げていった。当時は巨大なローラシア大陸とゴンドワナ大陸の間にテーティス海と呼ばれる大きな海が広がっていた。現在テーティス海の一部が地中海として残っ

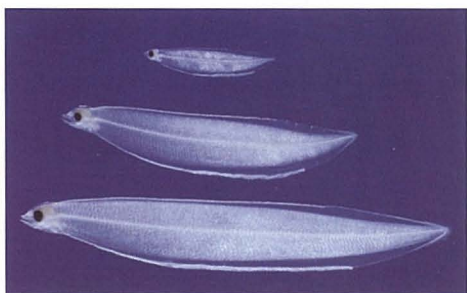


図 1. ニホンウナギのレプトケファルス。

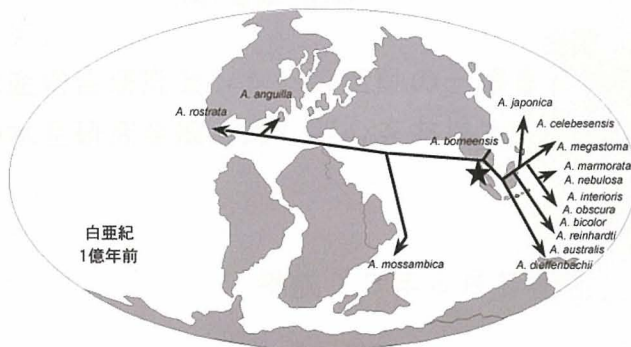


図 2. テーティス海仮説。ミトコンドリア DNA の塩基配列解析から得たウナギ属魚類の分子系統樹に基づいて、その起源と種分化の過程を推定した。大陸配置は約 1 億年前の白亜紀のもの。

ている。ウナギはテーティス海を東から西へ横断して、ジブラルタル海峡から北大西洋に入っ
たと考えられる（図2）。その末裔が現在、大西洋沿岸に棲むアメリカウナギとヨーロッパウ
ナギの2種なのである。ウナギが大西洋に侵入した後、ゴンドワナとローラシアは衝突して現
在のスエズ地峡ができ、インド洋と大西洋の連絡は絶たれた。

温帯の川や湖に棲むニホンウナギやヨーロッパウナギは温帯ウナギと呼ばれる。これらは、
熱帯にある産卵場と温帯の成育場の間を何千キロも大回遊する事が知られている。一方、上述
の *A. bornensis* を始めとする熱帯ウナギは熱帯の川や湖と熱帯海域にある産卵場の間で局所
的小規模回遊をしている。熱帯ウナギから温帯ウナギが派生してきたと考えられるので、温帯
ウナギの数千キロにも及ぶ大回遊は、熱帯ウナギの局地的な小回遊から進化してきたと考える
ことができる。そもそも熱帯起源のウナギは大切な産卵場を熱帯に残したまま、成育場のみ温
帯へ移すことになったために発達してきたものと推察される。ここでもレプトケファルスが海
流によって高緯度域まで運ばれたことが重要な意味を持っている。すなわちウナギの進化の大
舞台では、ちっぽけなレプトケファルスがその主役を務めたのであった。

2. 産卵場調査の歴史

それでは、現世のウナギの回遊や産卵場については、どこまでわかっているのか？ウナギの
産卵場調査は大西洋から始まった。前世紀の初頭、デンマークの海洋生物学者ヨハネス・シュ
ミット博士は、北大西洋においてウナギのレプトケファルスの分布を詳細に調べた。膨大な調
査の末、1922年シュミット博士は北アメリカ大陸東岸に分布するアメリカウナギと、ヨーロ
ッパや地中海沿岸に分布するヨーロッパウナギが共に北大西洋のサルガッソー海で産卵する
ことを突き止めた。一方、太平洋のウナギの産卵場調査は1930年代に始まった。しかし、そ
の後大きな進展はなく、初めて太平洋でニホンウナギのレプトケファルスが採集されたのは
30年以上もたった1967年のことである。そして大西洋におけるシュミット博士の発見に遅れ
ること約70年、1991年になってやっとニホンウナギの産卵場は解明された。この年7月、マ
リアナ諸島の西方海域で、東京大学海洋研究所の研究船白鳳丸は体長10mm前後の小型のレプ
トケファルスを1,000尾近くも採集した。これをもとに北緯15°、東経140°あたりの海域が
ニホンウナギの産卵場であろうと推定した（図3）。ここで生まれたウナギの仔魚はまず北赤
道海流に乗ってゆっくりと西へ運ばれる。やがて急速に北上する黒潮に乗り換え、透明な体の
シラスウナギに変態した後、台湾、中国、韓国、日本など東アジアの河口へ接岸する。おもし
ろいことにレプトケファルスからシラスウナギへ変態する過程で体長は5ミリメートルほど
縮む。

3. 産卵の現場をおさえること

このようなことがわかった時点で、我が国のウナギ研究は大西洋で行われていた欧米の研究
に追いついたといえる。しかし厳密な意味では、現在世界に18種いるウナギの産卵場は、ま
だ一種たりとも明らかになってはいない。それは産卵場推定の基礎となったものが体長数ミリ
メートルの発育初期の仔魚ではあったものの、推定体長約3ミリメートルの孵化したての仔魚



図3. ニホンウナギの推定産卵場（▲印）と回遊経路。沿岸域の黒く塗った部分はニホンウナギの分布域。



図4. ニホンウナギの産卵場と考えられているマリアナ諸島西方海域のアラカネ海山（シービームによる3D画像，JAMSTEC & ORI）。

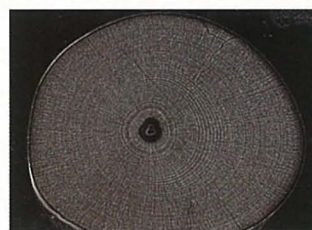


図5. ウナギレプトケファルスの耳石。

が採集されたわけではないからである。勿論ウナギの卵や産卵中の親魚も見つかっていない。体長数ミリメートルの仔魚は、孵化後1週間程度はたっている。したがって産卵されたあとかなりの距離、海流によって海の中を流された可能性もある。それゆえ小型のレプトケファルスの採集地点がそのまま産卵地点であるとは断定しがたい。産卵地点をピンポイントで特定するには、産出されたばかりの卵を採集するか、産卵中の親魚を発見する必要がある。現在、DNA鑑定法によるウナギ卵の特定、人工衛星を用いたアルゴスブイによる産卵場付近の局所海流の解析、潜水艇や深海ビデオカメラによる産卵親魚の探索など、様々な最新の手法と機器を導入してニホンウナギの産卵場の調査研究が進められている。

4. 二つの仮説

これまでの産卵場調査で得られたすべてのレプトケファルスの採集記録と海流データ、および海底地形図を詳細に検討した結果、ニホンウナギの産卵場はマリアナ諸島（グアム島）の北西約200マイルの地点にある3つの海山（南からスルガ海山、アラカネ海山、パスファインダー海山）であろうと推定されている（海山仮説）。これらの海山は水深3000～4000mの海底から頂上が海面下約10mまでそびえ立つ富士山クラスの海の中での山々である。実際シービームと呼ばれる最新の音波探査機器を用いてこれらの海山をマッピングしてみると、美しいコニーデ型の、富士山そっくりの山であることがわかった（図4）。海の中の“マリアナ富士”である。

ウナギはマグロやアジと違って群を作るのが不得手な魚である。日本の川や湖からたとえ大きな群を作って出発したとしても、2000km 以上の長旅のあとマリアナ沖の産卵場に辿り着いた時には親ウナギたちが整然とした群を作っているとは考えがたい。恐らくはそれぞれ単独で産卵場に到着するものと推測される。こうした親ウナギたちにとって、海山はオスとメスが広大な海の中で出合う待合場所として重要な役割を持っている。またこれら3つの海山が含まれる西マリアナ海嶺は、古代の火山が南北に長く連なった高い海底山脈である。したがって、ここに生じた磁気異常や重力異常はウナギを東アジアの河口から目的の産卵地点まで迷うことなく導くための道標としての役目も果たすことだろう。

一方、耳石（じせき）と呼ばれる魚の内耳の中にある微小な硬組織の解析からも貴重なデータが得られている。耳石にはちょうど木の切り株に見られる年輪のような同心円状の輪紋が見られ、これが一日一本ずつできることがわかっている（図5）。この「日周輪」を顕微鏡下で数えることにより個体の「日齢」がわかる。またこれを採集日から逆算することで孵化日（誕生日）が推定できる。この解析を沖合でとれたレプトケファルスに適用してみたところ、ウナギは5月から10月までの約半年に及ぶ長い産卵期の間に、毎日だらだらと無秩序に産卵するのではなく、ひと月の内の新月の日に同期して、一斉に産卵することが明らかになってきたのである（新月仮説）。このことは新月直後に産卵場に到達したウナギは、次の新月の産卵まで約1ヶ月近くも産卵場周辺で待たねばならないことを意味している。長旅のあとのウナギに待機場所や休憩場所として洞窟やクレバスを提供する海山は、次の新月を待ちつつ最終成熟を行う親ウナギにとって重要な意味をもっているものと考えられる。

これらの海山仮説と新月仮説は、産卵場特定のために不可欠な作業仮説であるだけでなく、魚類の産卵生態や進化を考える上でも重要である。広い外洋でオスとメスが効率よく繁殖をするには、産卵のための特定の場所とタイミングを厳密に決めておくことが必要であるからである。

5. 小型潜水艇 JAGO（ヤーゴ）

以上2つの仮説に基づいて1998年の6月24日の新月を中心に大規模な産卵場調査航海を計画した。これはドイツ・マックスプランク研究所の潜水艇 JAGO（ヤーゴ）を、東京大学海洋研究所の研究船白鳳丸に積み込み、海山で産卵中の親ウナギを直接観察しようという試みであった。しかし計27回・91時間に及ぶ潜水調査にもかかわらず、とうとう産卵中のウナギを発見することはできなかった。理由として、ウナギが潜水艇の最大許容深度の400mより深い所に潜んでいた可能性がある。また実際の産卵群が海山周辺の強い流れに流され、海山斜面に沿ってのみ近視眼的な探索しかできなかった我々の眼には触れなかった可能性もあろう。さらにはこの年はエルニーニョの年にあたり、異常な海洋環境にあった。このためにこの年に限り、ウナギは今回調査できなかったどこか近くの別の海山で産卵を行った可能性も否定できない。来年は5月から6月にかけてまた上記の3海山へ調査に出かける。それぞれの新月の日を中心にウナギの卵の採集を試みるつもりである。マリアナ沖の海山で、世界に先駆けウナギの産卵場が特定されることを大いに期待している。

40 年来の夢，30 年間の奮闘 ―ウナギ人工種苗生産技術の開発―

田中秀樹

養殖研究所 繁殖研究グループ

我が国のウナギ養殖業は内水面養殖業の生産金額の約半分を占める重要な産業であるが，ウナギ養殖の種苗は 100%天然のシラスウナギの採捕に頼っており，不安定なシラスウナギの採捕量が種苗供給の不安と極端な価格の変動を招き，養鰻経営を圧迫している。また，最近，野生生物取引監視団体の調査で世界的なウナギ資源の減少が指摘されており，天然のシラスウナギを大量に捕獲して利用する養鰻業は，将来資源保護の見地から種苗供給について見直しを迫られる恐れもある。その唯一の打開策は，ウナギの人工種苗生産技術を開発し，卵から親までの完全養殖を実現することである。

ウナギの人工種苗生産は，1960 年の秋に東京大学で本格的に研究が始められてから 40 年来の夢であり，1973 年に北海道大学で人工ふ化に成功して以来 30 年間の奮闘努力が続けられてきたにもかかわらず，ふ化仔魚の飼育に関しては最近までほとんど進歩が見られなかった。養殖研究所では，1998 年に，サメ卵凍結乾燥粉末がウナギふ化仔魚の初期餌料として有効であることを明らかにし，それ以前には卵の栄養を使い果たすふ化後約 2 週間，全長 7mm 程度までしか育てられなかった人工ふ化仔魚を，約 1 カ月間飼育し，10mm 前後まで成長させることに世界で初めて成功した。しかし，サメ卵のみからなる飼料ではここまでの育成が限界で，天然水域から採集されている透明な柳の葉のような特異な姿のレプトケファルス幼生まで成長させることは出来なかった。そこで，ウナギ人工ふ化仔魚をさらに成長させることを目的として餌の改良を進めるとともに，飼育水温や給餌方法を検討した。その結果，従来飼育方法では成長が停滞したふ化後 20 日目以降も順調な成長が続き，30 日で平均全長は 10mm，50 日で 15mm を越え，100 日目には 20mm 以上となった。また，ふ化後 30 日，全長 10mm を越える頃から体が柳の葉のように平たくなり始め，天然海域から得られているような透明で神秘的なレプトケファルス幼生に成長した（図 1）。この飼育法により，最高 250 日以上生存させることに成功し，大きいものは全長 30mm 以上まで成長した。しかし，依然として天然のレプトケファルスが変態を始めると



図 1. ふ化後 100 日目のレプトケファルス幼生

される全長 50mm 以上には達することではなく、養殖用種苗として利用できるシラスウナギへの変態は見られなかった。そこで、シラスウナギまで育てることを目的としてさらなる飼料の改良を行うとともに、飼育条件の改善も合わせて行った。

まず、給餌時間を短縮して水質及び飼育環境の維持・改善に努めると共に、給餌期間中の照度を従来より高めることによって、仔魚の摂餌活性を高めて短時間で活発に摂餌させることに成功した。同時に、様々な飼料を調製して、多くの飼育実験を重ねた結果、サメ卵ペースト、フィチン酸低減大豆ペプチド、オキアミ分解物、オキアミ抽出液、ビタミンなどからなる餌を考案し、飼育試験を行ったところ、ふ化後 230～260 日で全長 50～60mm に達し、シラスウナギに変態するものが出現した（図 2）。

今回開発された飼育法により、人工ふ化したウナギプレレプトケファルス（*Platypharodon*）を養鰻用種苗として利用可能なシラスウナギにまで育てることが可能となった。人類はウナギを卵から育てる技術を初めて手に入れ、将来完全養殖が可能となる目処がついた。同時に、この技術は天然のウナギ資源の保護に役立つと共に、謎の多いウナギの生態の完全解明にも大いに役立つものと考えられ、世界的な資源保護および生物学的観点からも多大な貢献が期待できる。しかし、採卵用ウナギ親魚の養成、成熟誘起法、得られた配偶子の質、人工ふ化仔魚の質、ふ化後の生残率及び成長速度、仔魚の健全性などに数多くの問題点が残されている。養殖用の種苗としての実用化までには、安定した大量生産のための技術開発と飛躍的なコストの低減が必要とされ、さらなる研究の強化・継続が不可欠である。

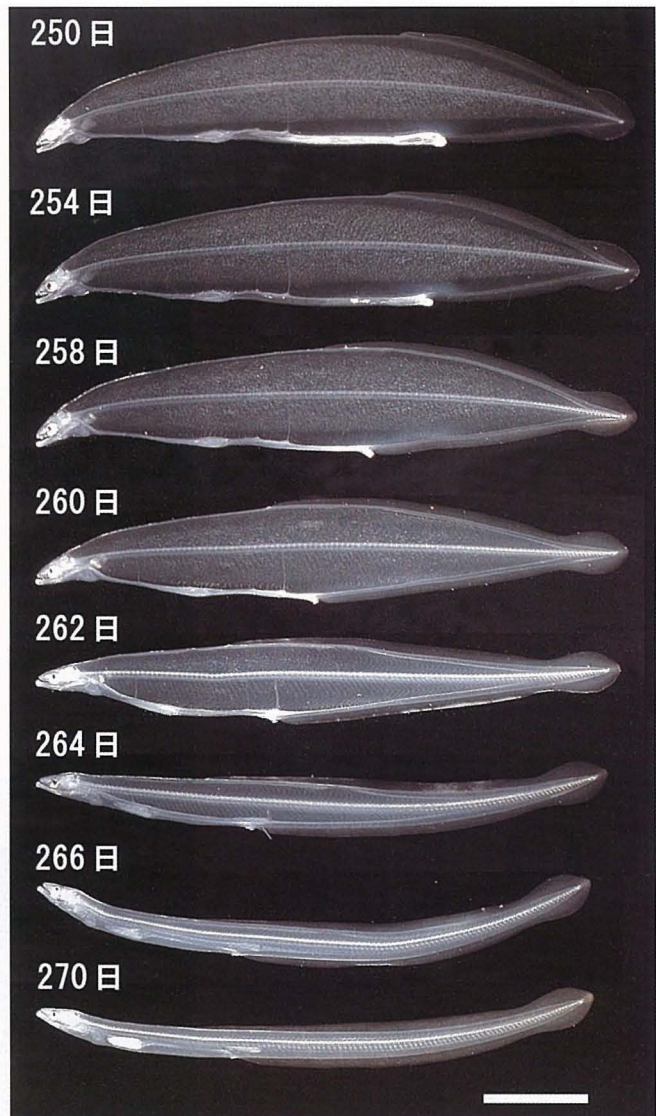


図 2. 飼育下でのウナギの変態過程. ふ化後 250 日から 270 日の同一個体の連続写真. スケール = 10mm.

シロナガスクジラとミンククジラ —南極海の生存競争—

加藤秀弘

遠洋水産研究所 外洋資源部 鯨類生態研究室

クジラが哺乳類であることは、今ではほとんどの方が知っているはずである。しかし、クジラのご先祖さんが四つ足のラクダやカバの先祖であることを御存じの方がいれば、もう通の部類といっても良いだろう。古生物学的にはメソニックス類という（ある人の想像図によれば蹄付き脚の狼サイズの）動物から 5000 万年ほど前に分化したらしい。そして、水になじむと共にあるグループは猛然と大型化を始める。その集大成とも言うべきものがシロナガスクジラで、最大では体長 31m、体重 180 トンにもなる。動物界としては地球史上最大のサイズ、大物を近くで見れば、ただ唖然としてしまうほど立派なものである。

このシロナガスクジラは、人々が粗放的な捕鯨をしていた 19 世紀までは、我が世の春を謳歌していたのに違いないのだが、20 世紀に近代捕鯨が始まると受難の時代が訪れる。つまり、それまではヒトがシロナガスクジラに追いつけなかったが、産業革命や動力の発達で追いつかれてしまったわけである。まあ、現在のような資源管理をすれば問題はなかったのであるが、それこそ斗南の時代。先進国はこぞって我先に南氷洋へ馳せ参じ、英国船団などは 1929/30 年漁期に 3 万頭ものシロナガスクジラを捕ってしまった。そのような訳で、南半球には 20 世紀初頭にはおよそ 20 万頭もいたさしものシロナガスクジラも、現在では僅かに 1000 頭強と言われる程に寂しい状況になっているのである（図 1）。

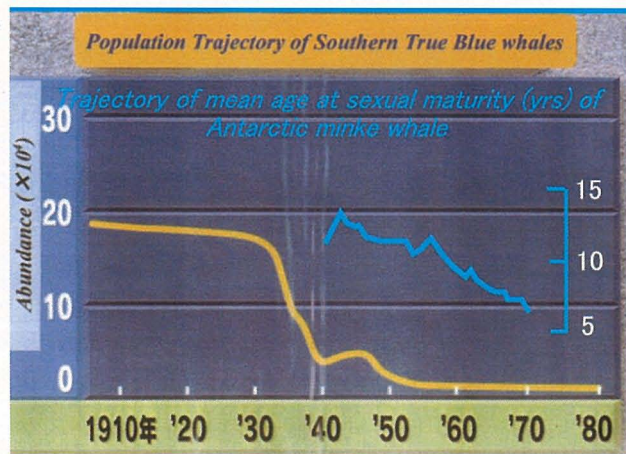


図 1. シロナガスクジラの資源変動（オレンジ色、左軸）とミンククジラの性成熟年齢（青色、右軸）の変化

捕鯨を巡る IWC での攻防は最近とみにマスコミを賑わしている。実は、あまり知られていないが、日本は 1993 年第 45 回 IWC 京都会議で「シロナガスクジラの回復をはかる」決議を提案している。この決議は日頃の恩讐を超えて、全会一致の支持を受けた。こういう決議は誰にとっても大歓迎で、我々のホームグラウンド IWC 科学委員会

は早速検討を開始。演者も早々この渦に飛び込み活動を開始。ゴールは勿論シロナガスクジラの回復であるが、喧々諤々の末、①シロナガスクジラ生息数の正確な把握、②南極海の索餌場における種間競争の実態、③シロナガスクジラの繁殖場の探索を個別の段階的研究テーマとして設定した。

IWC 科学委員会はまず課題①を中期目標として調査を開始することにしたが、これには一つの問題があった。実は、対象とすべき本来のシロナガスクジラの他に、外形のすこぶる類似した亜種のピグミーシロナガスクジラがいるため、そしてしかもピグミーは比較的生息数も多いため、目視調査の際これを区別する必要があったのである。我々は当面の標的をこれに定めて、1995 年よりシロナガスクジラ回復プロジェクトを開始、現在まで南大洋鯨類生態系総合調査計画（SOWER 計画）の一環として調査を行ってきた。この亜種識別には、鳴音、遊泳行動、外部形態の各調査、そして各々サンプルが本当はどちらのタイプであったのかを知るためにバイオプシー標本（遺伝的に亜種を識別）を採集した。調査航海は、オーストラリア、マダガスカル、チリ沖合、そして南氷洋と南半球全域を広範に駆けめぐった（図 2）。しかし、亜種の洋上識別は予想以上に難しく、簡単にはケリがつかなかった。紆余曲折、臥薪嘗胆(?) の末、漸く昨年外部形態の内、鼻孔の形状が識別に有効であることが合意された。図 2 に示すように、真ん中の溝が鼻の穴より先端に出ているタイプはピグミーであることが分かった。発表当初はそれこそ鼻の孔でせせら笑われていたが、「コロンブスの卵」のようなもので、今では結構役に立っている。そのような過程を経て、シロナガスクジラ回復調査は概ね第一段階を終了、次段階へ進みつつある。

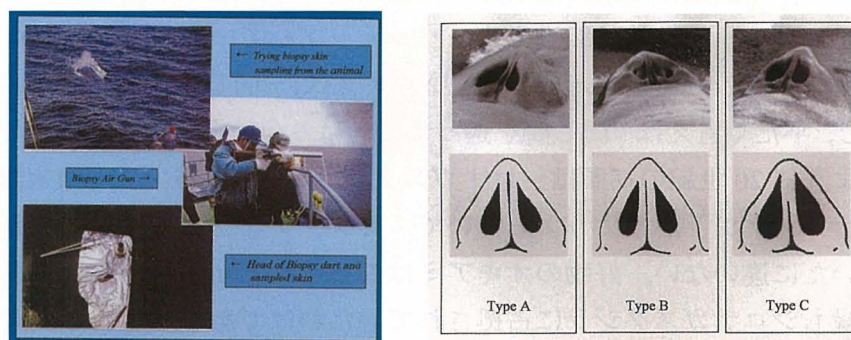


図 2. IWC/SOWER シロナガスクジラ回復調査（左）と亜種識別の決め手となった鼻孔の形状（右）(Kato *et al.*, 2002)。

一方、もう片方の主役ミンククジラ（標準和名；クロミンククジラ）は、シロナガスクジラと同じ属だが、最大でも 10m に満たないほどの小型で 1970 年代までは捕鯨資源としては相手にされていなかった。ところが、シロナガスクジラやナガスクジラなどが相次いで捕獲禁止になって俄然脚光を浴びはじめ、1978/79 漁期以降ではついに南氷洋で捕獲できる唯一の鯨種となってしまった。ミンククジラは、元来資源量が多く（1990 年時点で 76 万頭）、また資源管理方策が強化された後に開発が始まったため、

1987 の商業捕鯨停止時はもとより、捕獲調査が行われている現在に至るまで良好な資源状態を保っている。さて、演者はこのミンククジラとは因縁が深い。この世界に飛び込んだ当初は、ミンククジラ捕鯨全盛期で、年間 3000 頭近くの年齢を、耳垢栓（じこうせん）を磨って調べていた。この耳垢栓には年輪ができて（図 3）、よく調べると大人になった時の年齢（変異相）がわかる。その耳垢栓をたくさん、本当にたくさん調べてゆくと、古い時代に生まれたクジラと最近のクジラでは大人になった年齢（性成熟年齢）が違う。1940 年代頃に生まれたクジラは平均 12 歳であったものが、捕獲が始まる 1970 年生まれでは 7 歳前後にまで若くなっていたのである。この研究を IWC 科学委員会に発表して以後、長い長い論争が始まった。結局議論を初めて 15 年目、漸くこの現象は見かけ上ではなく、真の現象であることが合意された。しかし、なぜそれほどに議論が長引いたのか？

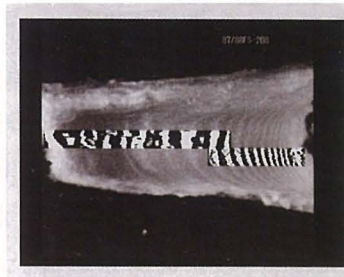


図 3. クロミンククジラ（南氷洋ミンククジラ）の耳垢栓断面。暗帯は冬に、明帯は夏に形成され、年に一組の成長層が蓄積される。写真は一部を画像処理によって成長層の濃淡を強調してある。（Kato *et.al.*, 1988）

ミンククジラとシロナガスクジラは因果な関係にある。サイズこそ違うが同じナガスクジラ属に属し、索餌期には共に南氷洋の氷縁域にまで回遊し、同じ餌（ナンキョクオキアミ）を食べる。生息域は相当にオーバーラップしていて、時にはシロナガスクジラとミンククジラの混群さえ形成する。堅く言えば、“同じ生態的地位を占めている”と言えるし、平たく言えば“同じ餌を巡ってなわばり争い”をしているのである。冒頭で述べたように 20 世紀の初頭はシロナガスクジラの天下であった。南氷洋の氷縁際には、シロナガスクジラがうようよしていて、ミンククジラなどはきつと肩身の狭い思いをしていたに違いない。好物のオキアミはごっそりととられ、時化も少なく居心地のよい氷縁もシロナガスクジラに占拠されていたわけである。しかし、幸か不幸か、ミンククジラに強い(?) 強い味方が現れ、目の上の“たんこぶ”どころか“大きな漬け物石”が取り除かれ、いつの間にか氷縁は広々とするし、オキアミもふんだんに食べられるようになった。ストレスから解放され心おきなく腹一杯食べれるわけであるから、これで大きくならない訳はない。特に、育ち盛りの栄養状況は影響が大きい。これは、東洋某国のヒトの成長でも明らかである。食糧難の時代に育ったヒトと飽食の時代に育ったヒトの間では、（中身は別として？）体長（身長？）に 10%以上もの差がある。だから、栄養状況の差がクジラで利かないわけではない。

体が大きくなるとどうなるか？ いろいろと調べてみると、ヒゲクジラでは体格依存的に大人、つまり性成熟に達する。簡単に言えば、ある体格（体長）になると大人になる。栄養状態が良くなるにつれこの体長になる時間が早くなる。だから、大人にな

る年齢がだんだん若くなる。つまり、“風が吹けば桶屋が・・・”的に言ってしまうと“シロナガスクジラが減れば、ミンククジラがおませになる”のである。年々“おませ”になると、年々子供を早く産み、(自然死亡率が高くならなければ)仲間の数は一年に少なくとも3%は増える。だから、ミンククジラは少なくとも“おませ”が確認される1940年代頃からは、確実に増えてきた。これが議論を長引かせた最大の理由。ミンククジラが増加したと考えたくない人には、実に受け入れ難い推論であったからである。

「シロナガスクジラの回復にはミンククジラを間引け！」の声の科学的言い分はここにあり、今度は「シロナガスクジラを“おませ”にせよ！」とのかけ声なのである。しかし、このためには、“逆も信なり”を証明せねばならない。野生動物の現実は一筋縄ではいかない。ヒトもかなりキビシイけれど、きっとクジラの餌場は毎日毎日が生きるか死ぬかの瀬戸際であろう。南極海では今年の夏も、きっとシロナガスクジラとミンククジラが凌ぎを削ることだろうが、はたして軍配はどちらに上がるだろうか？

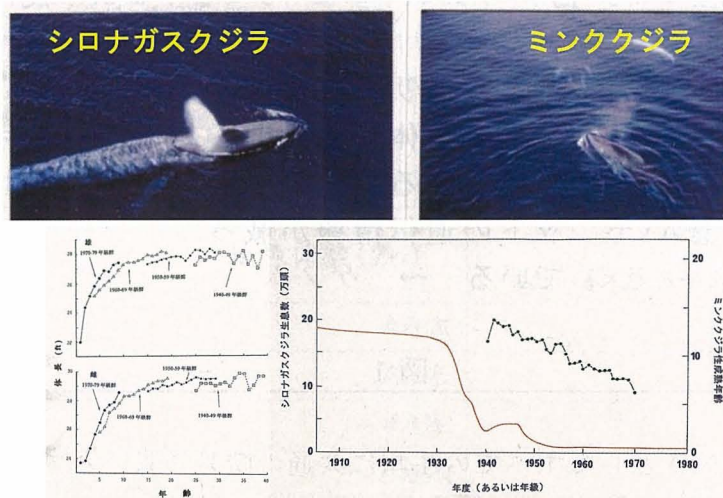


図4. シロナガスクジラとミンククジラの生存競争の足跡

ゲノムが分かると何ができるかー水産におけるゲノム研究とその応用ー

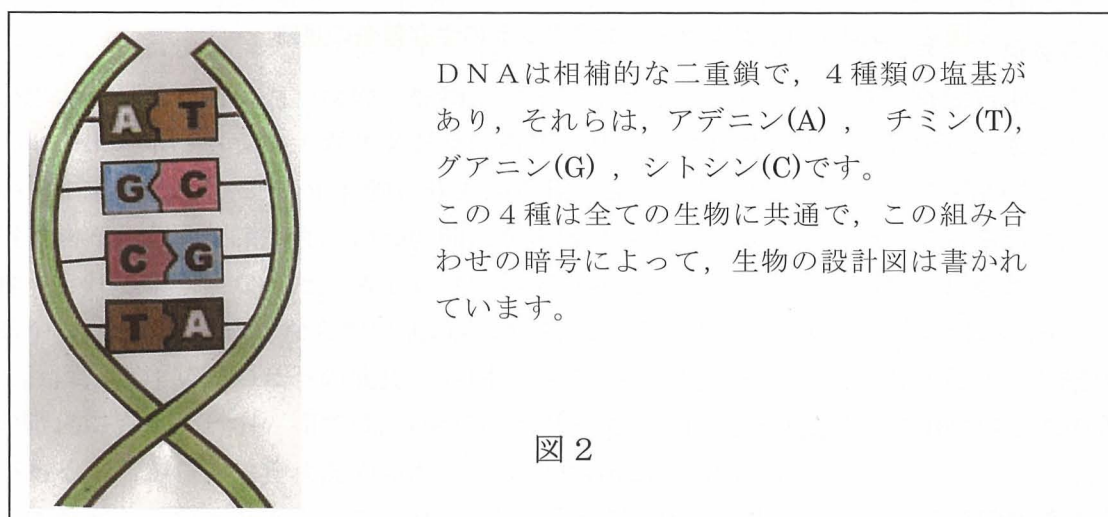
中山一郎

中央水産研究所 企画連絡室 ゲノムチーム

最近新聞等で良く目にする「ゲノム」，すなわち生物の設計図の研究は急速に展開しています。ゲノムとは gene（遺伝子）と chromosome（染色体）を合わせた造語で，生物を造り上げる設計図の基本の1セットのことをさします（図1）。



この設計図はDNAとしてすべての生物に共通の暗号で書かれています（図2）。



すでに、ヒトやイネではゲノム上のDNAすべての配列が読まれました。

水生生物においても、実験動物としてフグ、ゼブラフィッシュ、メダカ等で、全DNA配列が明らかとなってきました。

この設計図を元に、生物はその種に特有な体を作り、生命活動を行います。

ゲノム上のすべてのDNAが遺伝子（タンパク質を規定または制御する配列）という訳では無く、DNAのほとんどは役割の無い（と考えられている）配列です。

ヒトの場合は、全ゲノムDNAの97%は意味の無い（分からない）配列だと考えられています。残りの3%の部分が実際に生物の体を形作るタンパク質を規定している遺伝子領域です。

ゲノム量（DNA塩基の数）は生物の種類毎に決まっています。これらのゲノムの載っている染色体の数も生物種毎に決まっています。大変興味深いことに、系統的に下等なものが染色体、ゲノム量ともに少なく、進化の過程に従ってゲノム量、染色体ともに多くなっているわけでは無く、例えば進化的には下等と考えられているバイモ（ユリ科）という植物はヒトの37.5倍のゲノム量を持っていますし、チョウザメの類は、ヒトの5倍以上の染色体数があります(表1)。

生物種	染色体数(2n)	ゲノム量 Mb (メガベース:百万塩基)
ヒト	46本	3,200
マウス	40本	3,300
フグ	44本	400
メダカ	48本	800
ヒラメ	46(又は48)本	700
チョウザメ	250本	3,000
黄色ショウジョウバエ	8本	180
トノサマバッタ	—	5,000
イネ	24本	430
トウモロコシ	20本	2,500
コムギ	42本	16,000
バイモ	—	120,000
ノリ	6本	280

表1. 各生物の染色体数とゲノム量

私たちの研究材料であるヒラメのゲノム量はメダカより若干小さく、ノリはイネの半分くらいです。

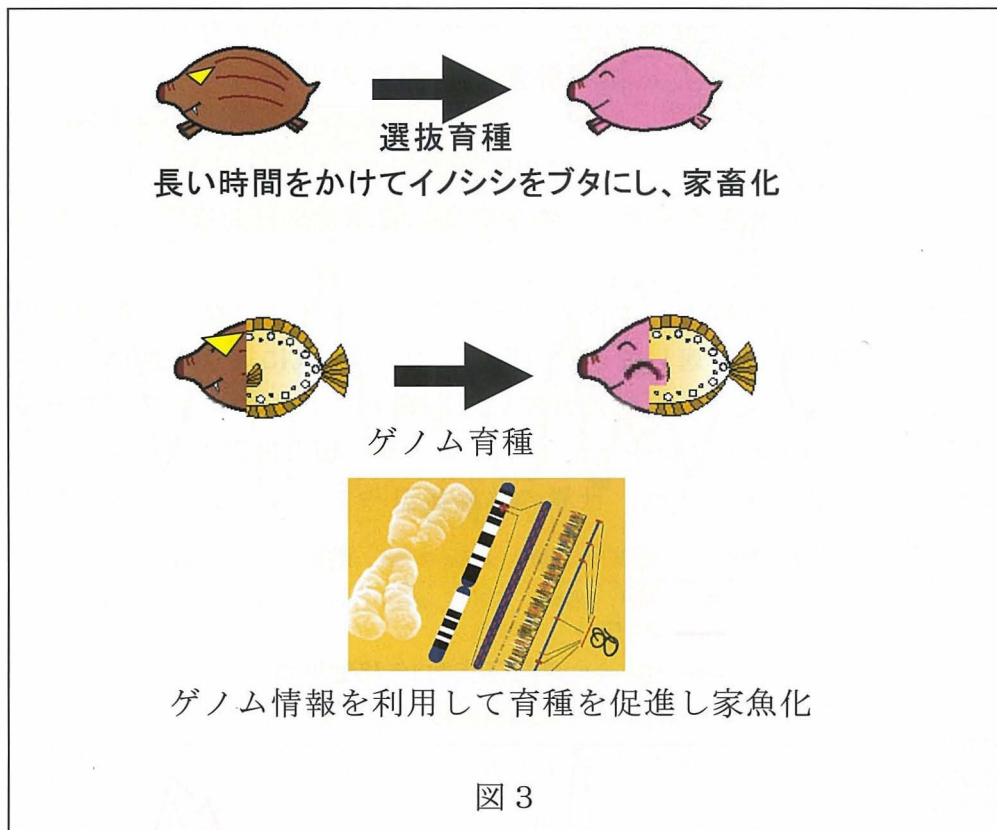
ゲノムを調べていくと、いろいろな遺伝子が何に関わっているのかが明らかになってきます。これらのゲノム情報の利用は例えば医学分野においては、病気の原因遺伝子の特定や、ゲノム情報を利用した創薬、個人ごとに薬を設計するテーラーメイド医療への応用が考えられています。農業分野では、乾燥や、温度の変化に強いイネを作ったり、窒素を固定する根粒菌のゲノム研究から肥料をやらなくてもすむ作物を作ること等多くの成果が期待されています。

水産分野においても、味が良く、成長が速く、病気にならずに、飼いやすい魚などの作出が考えられています。

水産生物ゲノム研究もヒトやイネのように、ゲノムの全DNA配列を読むことができれば理想的であります。皆さんの食卓に並ぶ水産物をちょっと想像してみてください。アジ、サバ、イワシ…とちょっと数えても大変多くの種類を含む魚類から始まって、エビ、カニ等の甲殻類、二枚貝、巻き貝、イカ、タコを含む軟体動物類、ウニなどの棘皮動物、ノリ、ワカメ、コンブ等の藻類、はては、クジラなどのほ乳類も入るといった膨大な数の種類の生物が水産物として食されています。

これらのすべての種類においてゲノムの全DNA塩基配列を決定するというのは、最新のDNA解析技術を使っても現在の予算及び研究人員の規模から考えてみても現実的ではありません。では、水産生物のゲノム研究はどうするのか。私たちはすでに分かっているヒトやフグ、イネなどのゲノム情報を水産生物に使えないだろうか、ということを考えています。遺伝子の並び順が種を超えて保存されている現象を「シンテニー」といいますが、すでにヒトとマウス、ヒトとフグなどで、シンテニーの存在が分かっています。このようなゲノムを比較することにより情報を得ようとする「比較ゲノム」の手法が水産生物には最も手取り早い方法であると、考えています。現在私たちはノリとヒラメについて、研究をおこなっています。これらの研究からゲノム情報が分かってくれば、養殖業においては、より良い品種を作る「育種」への応用、水産資源の持続的な利用に関しては、「系統群の解析」への応用、生産物に関しては「種判別」等の表示への確認等の応用等が期待されます。

特に育種分野では、水産養殖は、農作物や畜産に比べて歴史が浅く、まだまだ、天然の種苗を使っているような段階にあります。家畜に匹敵する「家魚」化をしていく必要があります。しかし、選抜育種で人間に都合の良い動物を選ぶのには、長い年月がかかります。水産養殖は始まったばかりですので、家畜化に要した数千年間も待てません。そこで、ゲノム情報を利用したゲノム育種の研究を行います。(図3)



水産生物のゲノム上のある特定の遺伝子が人間にとって役立つ形質，例えば，飼いやすいとか，病気に強いとか，成長が良いといった特徴を規定する場合，その遺伝子がゲノム情報を利用して同定できればその遺伝子自体を使い，もしくは同定できないときにはその形質と連鎖するマーカーを利用して，有用形質を生み出す遺伝子を選抜し，集団内に固定することができます。

このように，育種対象となる生物種自体が持っている良い形質を引き出してやるといった，従来の選抜育種を促進する技術を目指しています。

本講演では，水生生物の多様な遺伝的性決定機構等の興味深い特徴も含めて，ようやく手をつけ始めたばかりの水産生物ゲノム研究の現在の進行状況と水産業への応用についてお話ししたいと思います。

マイワシはなぜ減った？ マサバはなぜ増えない？
 —気候と魚類資源変動と漁業の関係—

谷津明彦

中央水産研究所 生物生態部 資源管理研究室

わが国のマイワシ、マサバ、カタクチイワシ、スルメイカなどの漁獲量は数十年周期で大きく増減を繰り返してきた（図1，2）。年代により卓越種が交替してきたが、これは「魚種交替」と呼ばれている。また、日本のマイワシの資源変動は、カリフォルニアのマイワシや北太平洋のサケマス類と同調している。さらに、日本のマイワシの豊漁・不漁は、世界の平均気温やアリューシャン低気圧の変化と関連がある（図1，3）。

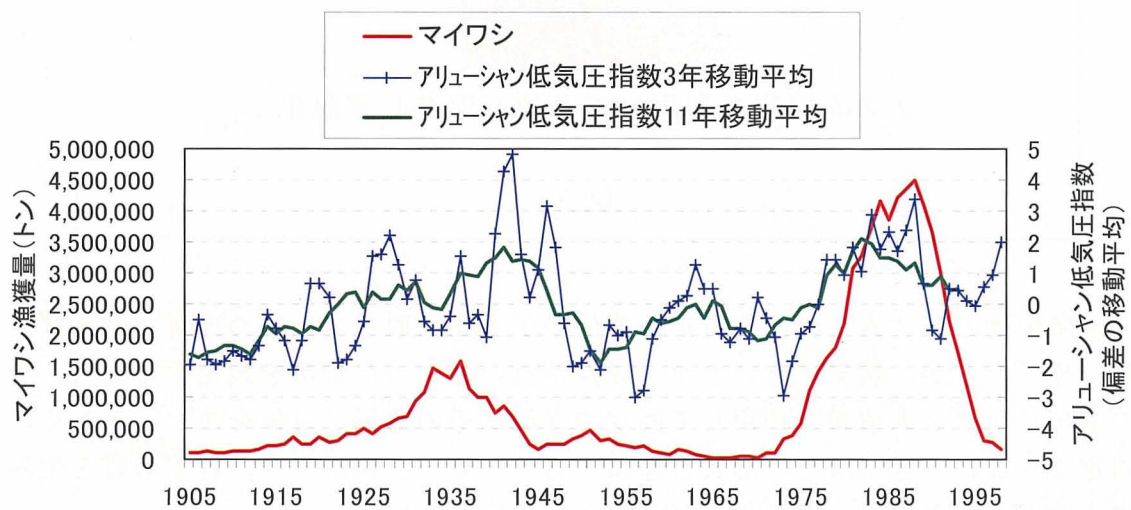


図1．わが国のマイワシ漁獲量とアリューシャン低気圧の変化（1905年～）

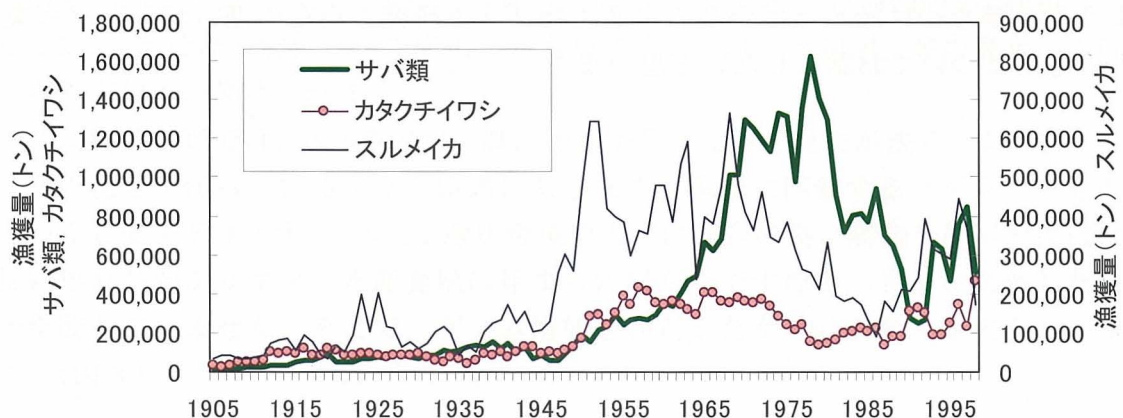


図2．わが国のサバ類、カタクチイワシ、スルメイカ漁獲量の変化（1905年～）

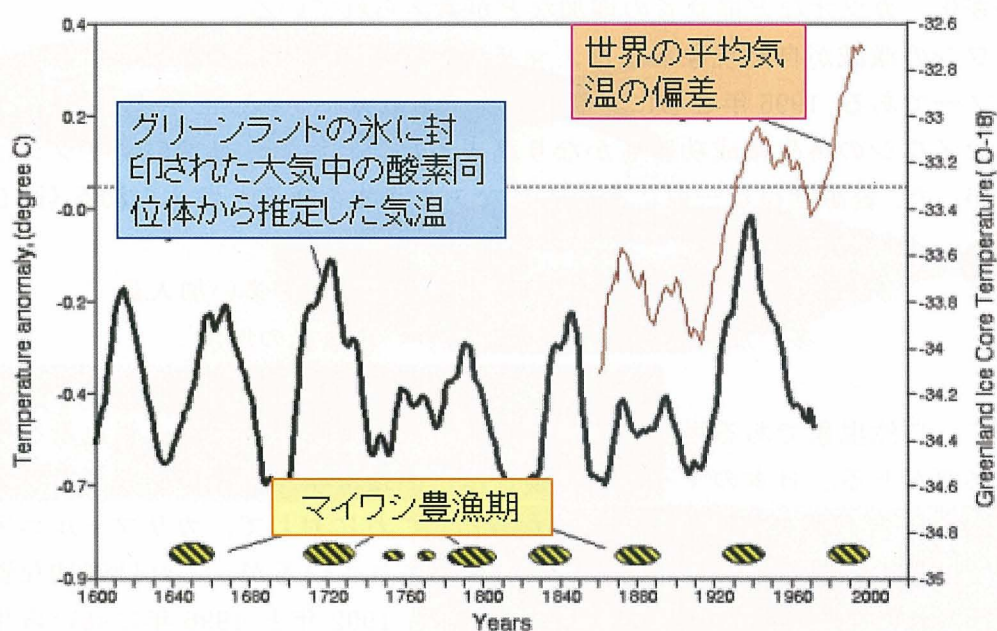


図3. マイワシの豊漁期と世界の平均気温（1600年～）
（Klashtorin（2002）を改変）

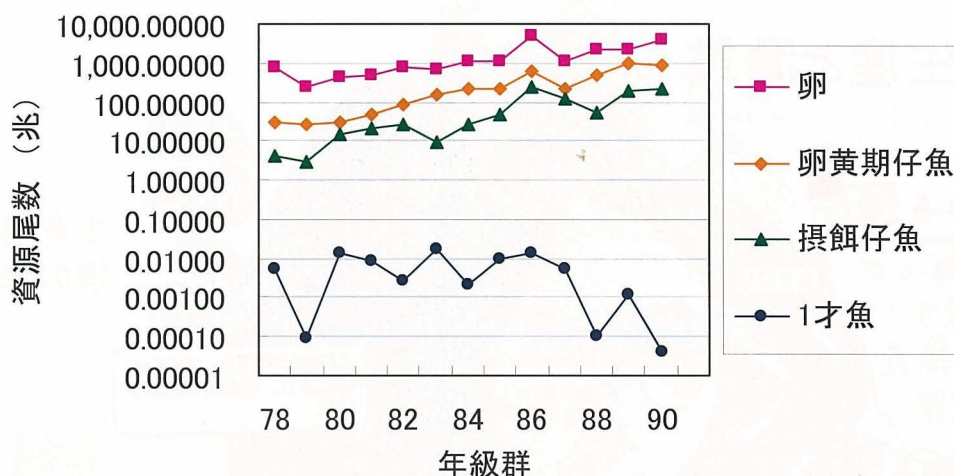


図4. 太平洋に分布するマイワシの卵（親魚量を代表する）、仔魚、1歳魚（加入量）の変化 年級群とは、ある年に生まれた群である。卵は10倍、加入量は100倍、再生産成功率（加入量／親魚量）は1000倍以上の変動をしてきた。

マイワシの激減が始まった1988年は、アリューシャン低気圧が急速に弱まった時期に一致する（図1）。激減の原因は、親魚が多いのに1歳までに稚魚の大部分が死亡したためである（図4）。すなわち、乱獲が原因ではなく、再生産成功率が極めて低かった。アリューシャン低気圧が弱まると、なぜマイワシの仔魚の死亡率が高まるのかは分かっていないが、稚魚の生育場への輸送や餌となるプランク

トンの変化，カツオなど捕食者の増加などが考えられている。

マイワシの激減が自然現象ならば，マイワシの資源管理は無駄なのだろうか？
答えはノーである。1995 年ごろにアリューシャン低気圧が再び活発になり（図 1），日本のマイワシの再生産成功率もかなり高まった。しかし，日本のマイワシは復活しなかった。資源回復は一般に次のようなシナリオを経ると考えられる（図 5）。

$$\begin{aligned} \text{ある程度の親魚量} \times \text{高い再生産成功率} &= \text{多い加入量} \\ \text{多い加入量} \times \text{低い漁獲率} &= \text{親魚量の増加} \end{aligned}$$

従って，自然現象である再生産成功率が高くなる時期に備えて，親魚量を残しておく必要がある。日本のマイワシの場合は，漁獲により親魚が少なくなりすぎたため，1995 年以降に資源は回復しなかった。これに対して，カリフォルニアマイワシでは最近資源量が回復し，日本にも輸出されているが，これは適切な資源管理が行われた結果と思われる。また，マサバも 1992 年と 1996 年に高い再生産成功率が生じたが，未成魚の多獲により親まで生き残った魚がほとんどなく，資源は低迷している。マサバ未成魚の漁獲を控えていたならば，資源は回復し，年間数十万トンの漁獲が持続的に得られていたはずと考えられている。

再生産と漁業

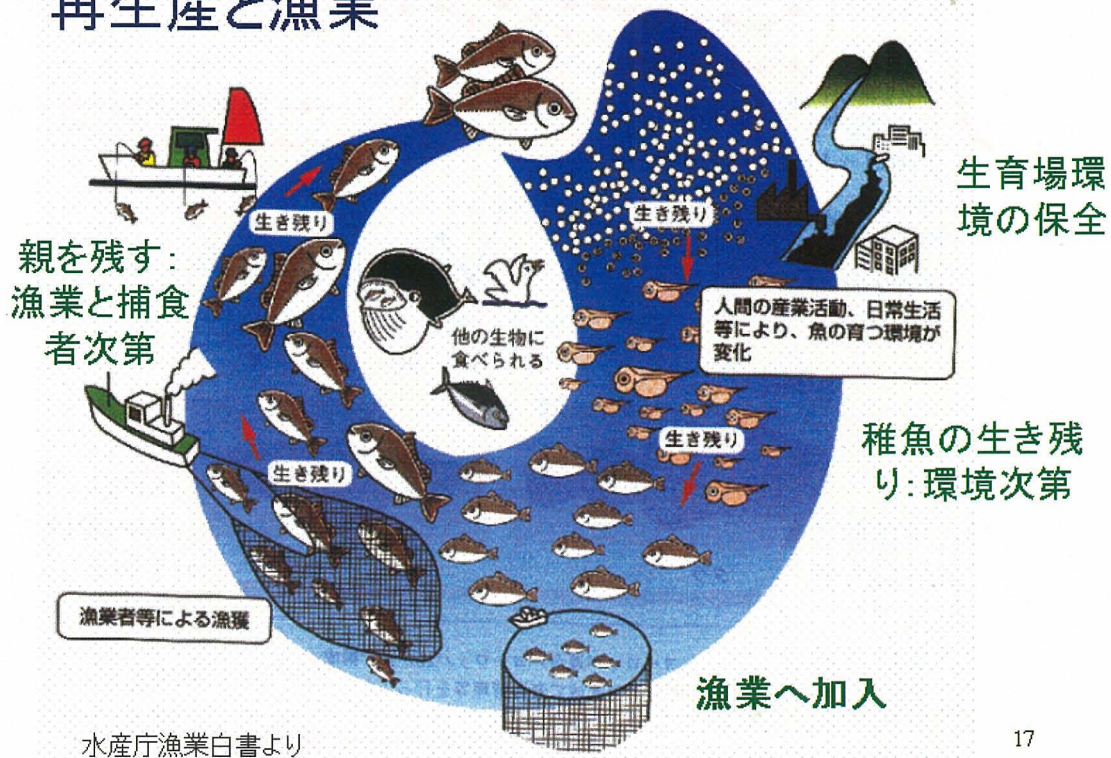
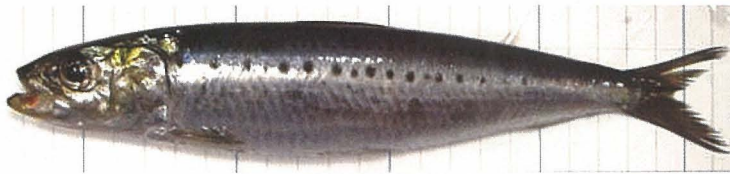


図 5．魚類の生活史の特徴と漁業の関係（平成 13 年度漁業白書を改編）

おまけ：ミニ図鑑



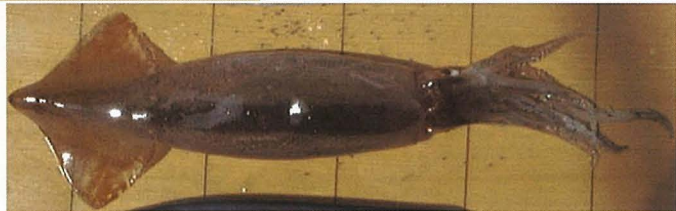
マイワシ



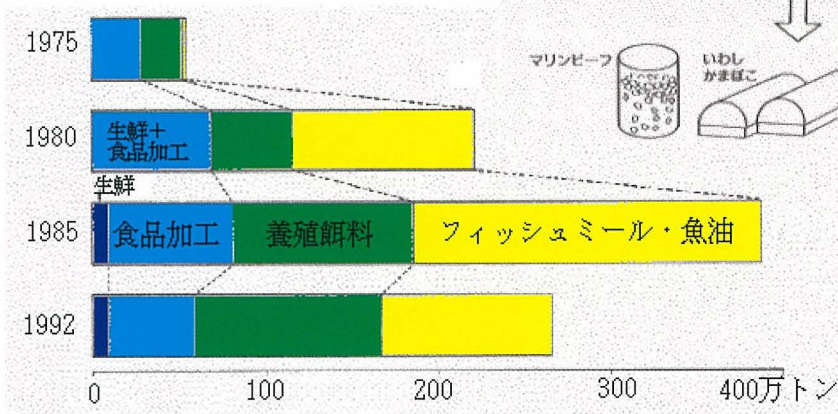
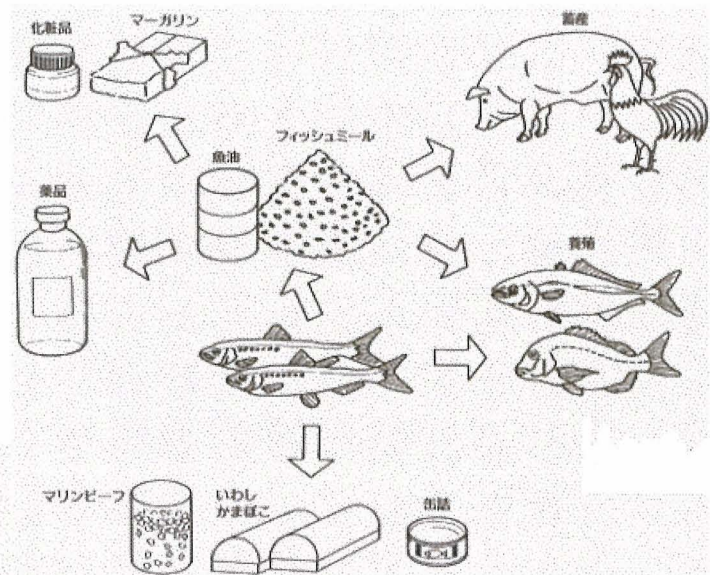
マサバ



カタクチイワシ



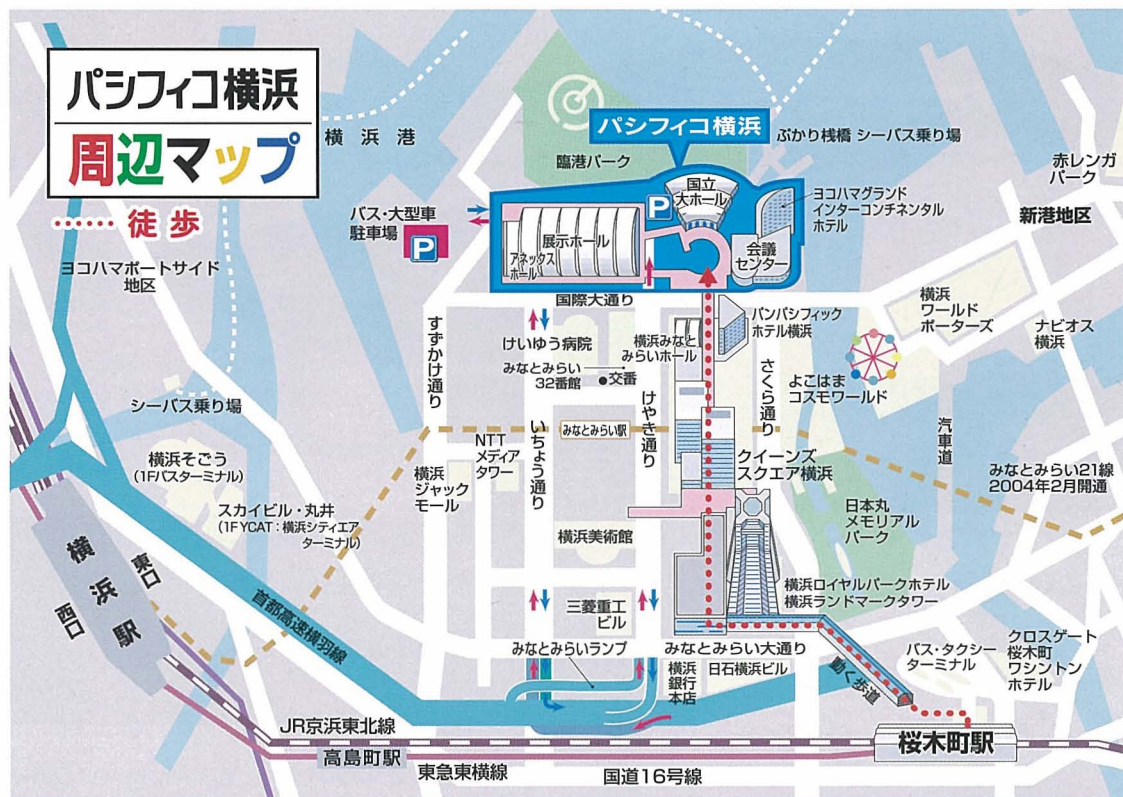
スルメイカ



マイワシの用途（1975～1992年） 中央水産研究所ホームページより

<http://ss.nrifs.affrc.go.jp/suisan/sardine/panel00.html>

■会場へのアクセス



交通のご案内

■鉄道ご利用の場合

【東京方面より】

東京駅	→ (JR東海道線 約25分・JR横須賀線 約29分) → 横浜駅
	→ (JR京浜東北線 約41分) → 桜木町駅
品川駅	→ (京浜急行線 約15分/快速特急) → 横浜駅
渋谷駅	→ (東急東横線 約37分/急行) → 桜木町駅

【関西・中部方面より】

新横浜駅	→ (横浜市営地下鉄 約15分) → 桜木町駅
	→ (JR横濱線 約15分) → 桜木町駅

●2004年2月みなとみらい21線開通

■飛行機ご利用の場合

成田空港	→ (JR成田エクスプレス 約90分) → 横浜駅
	→ (リムジンバス 約90分) → YCAT:横浜ステイアターミナル
羽田空港	→ (東京モノレール 約23分) → (浜松町駅・JR京浜東北線 約38分) → 桜木町駅
	→ (リムジンバス 約30分) → YCAT:横浜ステイアターミナル
	→ (京急空港線 約6分) → (京急蒲田駅・京浜急行 約2分/快速特急) → 横浜駅

■お車ご利用の場合

【東京方面より】 (東京駅より約30分)

横濱線 横浜公園方面→横濱線みなとみらいランプ 約1分→
湾岸線 (国見つばと橋・ベイブリッジ経由) 横浜方面→横濱線みなとみらいランプ 約1分→

【関西・中部方面より】

東名高速横浜IC→ 佐土ヶ谷バイパス→ 狩場IC→ 高津神奈川IC→ 横濱線みなとみらいランプ 約10分
狩場方面 狩場線横浜方面 約8分

■桜木町より

【徒歩】	動く歩道で約12分
【バス】	市営バス1のりば パシフィコ横浜方面行き 約7分
【タクシー】	約5分

■横浜駅より

【電車】	JR京浜東北線・東急東横線 約3分 → 桜木町駅
【バス】	市営・京急バス14のりばパシフィコ横浜方面行き 約10分
【タクシー】	東口ボルト(B2F)内タクシーのりば 約10分
【シーバス(海上バス)】	横浜そごう駐車場(1F)乗り場 約10分

■パシフィコ横浜駐車場

みなとみらい公共駐車場 (パシフィコ横浜地下)	1,200台(普通車のみ)	24時間利用可
料金(1時間): 普通車520円		
バス・大型車駐車場	40台(バス・大型)	24時間利用可
料金(1時間): 大型車1,000円		



パシフィコ横浜

株式会社横浜国際平和会議場
〒220-0012 横浜西区みなとみらい1丁目1番1号
URL: <http://www.pacifico.co.jp>

総合案内 ☎045-221-2155
交通案内(テープ) ☎045-221-2166

■会議主催・問い合わせ先

独立行政法人 水産総合研究センター

〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4

TEL 045-788-7500 FAX 045-788-5005 ホームページ <http://www.fra.affrc.go.jp>