

わが国における海産魚類養殖の
現状とクロマグロの完全養殖

熊井英水

近畿大学水産研究所

①水産養殖研究の流れと現状

1982年以前の概要

戦前（1932～1994年）における魚類養殖業は内水面でのコイ、ウナギ、ニジマスの生産が主体となっており、この時代はこれら養殖業の興隆期に当たる。昭和年代初期には内水面におけるアユの人工受精卵のふ化および稚仔飼育の試験、琵琶湖産アユを種苗としたアユ養殖の事業化が始まっている。海面ではハマチ養殖試験が香川県引田町の安土池で開始された（1928年～）。またトラフグの蓄養試験（1937年）が開始されるなど、海面魚類養殖の萌芽時代となっている。魚類以外の養殖では淡水真珠（イケチョウガイ）やスッポンの養殖が少量ではあるが局地的にみられる。海面ではカキ、アコヤガイ、アマノリ（浅草海苔）の3種が主な養殖種である。これら海面養殖においてはアマノリ養殖での網篋の導入（1926年）、カキ筏垂下式養殖法と採苗事業の展開（1925年に事業化）、真珠養殖における天然採苗（1923年以降）など重要な技術開発が行われた。またホタテガイ種苗の事業化（1936年）クルマエビの採卵、ふ化、幼生の人工育成の成功（1936～1938）、ワカメの採苗と養殖試験（1942～1943年）など新種の養殖業発展のための萌芽的基礎研究が行われている。

戦後（1947～1982年）における魚類養殖業の飛躍的生産増加の一要因に内水面における配合飼料の開発によるニジマス、アユの池中養殖とコイの網生簀（小割）養殖方式の発展があり、海面でもハマチ（ブリ）の養殖が1951年頃から瀬戸内海を中心に築堤式、網仕切式など戦前と同様な生産方式で養殖が再開された。その後、1954年に生簀網方式が開発され、これが急速に西日本各地に普及してハマチ養殖の主流を占めるようになった。やがてこの方式はマダイを始めとする海産重要魚に拡大され、1962年には漁業法改正によって、第一種区画漁業に分類され、特定区画漁業権即ち組合管理漁業権によって行使されるようになった。ハマチ養殖生産量は1978年まではめざましい増加を続けたが1979年には年産15万トンの大台に乗ったのを契機に以後15万トン前後の生産が続いている。このような生産量の増大が種苗である天然採捕のモジャコ資源への影響や養殖場の環境悪化（自家汚染）を招き、魚病と薬害などの問題が提起されるようになった。これらの問題解決には多くの研究業績が集積されている。マダイの養殖は1955年頃まではハマチ養殖の副次的産物として天然種苗を用いていたが、1969年頃から単独養殖として西日本各地に広がった。1964年には養成親魚からの人工ふ化飼育に成功し、これがのちに人工種苗生産技術開発への基礎となった。選抜マダイの創始集団は1964年の天然種苗であり1968年に1世代目を生産している。ヒラメ養殖は1965年に人工種苗生産技術の開発によって始められ、陸上施設で養殖が可能な魚種として発展した。その他、海産魚の養殖ではカンパチ、シマアジ、クロダイ、トラフグ、ギンザケ、イシダイなど、淡水魚ではヤマメ、アマゴ、イワナ、ドジョウ、ティラピアなどが挙げられる。

魚類以外の海面養殖ではワカメ養殖（1963年以降）ホタテガイ養殖（1968年以降）、クルマエビ養殖（1965年以降）によって生産量が大きく進展している。また技術面ではアマノリの採苗育成法の開発があり、アマノリ養殖業の発展に大きく貢献した。また1947年にアコヤガイの天然採苗法が開発され、それが母貝養殖へと発展し、1965年前後における真珠生産の最盛期につながっている。

魚類養殖における配合飼料について、米国でのマス類の栄養基礎研究がマス用配合飼料の開発へと進展し、1960年代にわが国へ導入された。そして1965年以降、急速に全国養殖業者に普及した。さらにこれが契機となって現在の海面養殖用配合飼料の開発へと発展してい

った。

1983～2002 の概要

海面魚類養殖はこの20年間に飛躍的進展がみられ、この中で従来からのハマチとマダイの養殖生産量が大部分を占めている。また20年前に新養殖魚種として注目されたトラフグ、ヒラメ、シマアジなどは人工種苗生産の確立に伴って海面養殖の中核魚種となっている。魚類以外の海面養殖ではこの20年間に生産量が大きく増大したものは見られず、ホタテ、カキなどはこの数年減少傾向にある。海藻類の養殖ではコンブ、ノリ類は大きな変化がみられず、ワカメ養殖が減少傾向にある。また内水面養殖ではニジマス、アユ、コイ、ウナギなど全般に減少しており、ティラピアでは最盛期の1/10に減少している。ここではこの20年間に研究された主要かつ特徴ある養殖対象種、養殖における新開発技術について概観する。

I 海面魚類養殖

ハマチ養殖 本種の養殖生産量は海面養殖業の主流をなし、1976年には10万トンを超え、1979年には15万トン（カンパチ養殖生産量も含む）に達し、その後はバブル経済に支えられたこともあって、14～15万トンを維持してきたが、最近ではイワシ類漁獲量の激減による餌飼料費の高騰、人件費など諸経費の高騰、魚病の蔓延による生産力低下、市場価格の低迷などによって養殖経営も厳しい時代に突入している。養殖用種苗は、現在まで依然として天然モジャコが使用されている。モジャコ採捕尾数の上限は資源保護上、毎年水産庁が決定し、全国かん水養魚協会が調整を行っている。ちなみに2002年の採捕尾数の上限は3300万尾である。本種の人工種苗生産は1968年に成功したが、生産効率が低く、コスト面でも天然種苗に及ばず、今後大量生産の技術開発が必要である。カンパチ種苗は、現在主としてベトナム沿岸で採捕し、海南島を中心に中間育成して日本に搬入している。その数量は年間2000万尾前後と云われているが、これと同時に各種の病原を持ち込む恐れがある。そのためここ数年、ワクチンを接種して搬入することや、日本国内で種苗生産を行う研究が進められている（1990～）。

養殖用餌飼料として、元来低廉多獲のイワシなど生餌主体の給餌形態がとられたが、配合飼料の研究が精力的に行われ、数多くの業績が集積された。1979年からモイストペレットによる自家汚染防止技術開発研究が推進され、更に1990年には新型造粒機二軸エクストルーダを用いたソフトドライペレットが開発された。この飼料は生餌の給餌形態での短所を改善し、ブリの飼育成績も生餌やモイストペレットに遜色なく、品質の安定性、保存性、作業性からも優位であるばかりでなく、嗜好性、摂餌性、栄養価、生残率などの観点からも評価された。また、養殖場の汚染負荷や魚病の発生の軽減にも極めて有効であり、広く使用されるようになった。ところが最近わが国のマイワシ漁獲量の激減により、配合飼料原料が減少し、不足分を輸入に依存しているが、これも減少している。このような観点から魚粉に替わる良質たんぱく質源が模索された結果、植物タンパク質の大豆油粕（SBM）、コーングテンミール（CGM）などが有望視されている。このうちSBMはアミノ酸組成、消化性、生産量、価格などの面から優れており、沿岸魚粉の30%程度の代替が可能とされている（1992～）。これらは他の魚種にも応用されている。

表3 海面養殖業主要対象種別生産量

対 象 種	1983	1988	1993	1998	2000 (3)
ブ リ 類	155,879	165,928	141,646	146,849	136,834
マ ダ イ	25,000	45,220	72,696	82,516	82,183
ギ ン ザ ケ	2,760	16,496	21,148	8,721	13,107
ヒ ラ メ	647	3,097	6,775	7,605	7,075
フ グ 類	663	1,156	4,427	5,389	4,733
シ マ ア ジ	345	881	2,183	2,568	3,058
マ ア ジ	4,305	6,455	6,454	3,412	3,052
ク ル マ エ ビ	1,945	3,020	1,712	1,993	2,086
カ キ (1)	253,247	270,858	235,531	199,460	221,252
ホ タ テ ガ イ	85,111	181,929	241,426	226,134	210,703
ホ ヤ 類	7,889	9,641	8,225	10,382	7,630
真 珠	64	70	73	29	30
ノ リ (2)	360,694	442,806	362,955	396,615	391,681
ワ カ メ	112,835	110,539	89,581	70,669	66,676
コ ン プ	44,345	59,696	59,966	50,123	53,846

(1) 殻付 (2) 生重量 (3) 歴年 (漁業・養殖業生産統計年報より抜粋)

マダイの養殖 本種の養殖は1970年頃から西日本各地に拡大され、1970年の生産量は460トンであったが、1981年には17,953トンとなり漁獲生産量を凌駕するようになった。その後も増大を続け、1979年には8万トンを超えた。この背景には人工種苗生産技術の発展による健苗の安定供給と高度経済成長に伴うグルメ志向、配合飼料の質的向上、ハマチ養殖業の低迷などがある。しかし、1993年頃からバブル経済の崩壊と生産過剰により1994年には市場価格が急落し、その上、イリドウイルス感染症の蔓延など魚病の追討ちを受け、マダイ養殖も決して安泰に推移しているとは言えない。本種の種苗生産研究で、人工ふ化から稚魚まで初めて育成できたのは1962年である。これが契機となり、種苗の大量生産の研究が精力的に行われたが、これらの採卵用親魚は総て天然親魚であった。1964年、養殖した親魚から採卵・人工ふ化飼育に成功し、続いて水槽内自然採卵の確認により受精卵の大量確保が容易となり、種苗生産技術は一段と進展した。1983年頃から良質卵を得るための親魚飼料の研究が多数報告されている。また選抜育種による成長を指標とした品種改良の研究が注目される。1964年の開始から25年以上にわたり選抜を繰り返した結果、成長は世代を重ねる毎に明らかに早くなり、商品サイズの1kgに達するまでの平均日数、即ち養殖期間が約320日も短縮された。また1998年には染色体操作によるクローン魚の作出に成功したが、海産魚ではヒラメに次いで2例目である。クローンは優良形質の固定と遺伝的に均質であることからサイズの変異が少ないなど新技術として期待される。更に1992年頃より親魚の産卵制御技術の研究が進められ、飼育水温と日長時間の調節により産卵時期のコントロールが可能となり、種苗の周年生産が可能になった。養殖マダイの体色改善の研究はこれまで数多く報告されて

いる。1991年に合成アスタキサンチンの使用が認可されたのを機に体色改善用配合飼料が製造された。1986年から行われた養殖マダイの肉質改善研究では運動飼育することによって、体脂肪の選択的低下、筋原繊維の切断防止、死後の肉質軟弱化の進行遅延などの効果があり、官能検査も優れていることが報告されている。また筋肉部の黒い筋の除去に関する報告もある。

ギンザケの養殖 本種の養殖は1975年に宮城県で開始された。種苗生産に用いる種卵は海外から搬入され、内水面養魚場でふ化・育成して、海水温が18℃に降下するのを指標に海面養殖場で養殖される。本種はまた海水馴致が容易で成長、歩留まり共良好で、市場価格も高値であったため、生産量は増大した。1983年の生産量は276トンであったが、1991年には25,730トンと最高を記録した。その後は輸入サケ・マスの急増や秋サケの豊漁、および魚価の低迷により経営体数、生産量ともに減少傾向にある。

ヒラメの養殖 本種の養殖は人工種苗生産の確立後に始まった。1965年に人工ふ化仔魚を初めて1年以上飼育することに成功し、1969年には完全養殖が達成された。1977年には民間業者が養殖に着手し、1980年頃から西日本を中心に拡大された。養殖生産量は1983年には648トンで、その後次第に増大し、1990年には6,039トンとなり漁獲生産量を超えたが、その後は6~7000トン台で推移している。本種の養殖は海面生簀でも可能であるが漁業権の及ばない陸上施設で容易に出来るのが特徴である。ヒラメ養殖研究では施設、餌飼料と成長に関するものが多数報告されている(1985~)。本種の人工種苗生産技術は1980年、水産庁の「ヒラメ放流開発事業」によって大きく進展した。しかし人工種苗ヒラメに、白化と呼ばれる有眼側体色異常個体がかんりの頻度でみられ、養殖種苗として商品価値低下の原因になった。水産庁は1983年度から「健苗育成技術開発委託事業」をスタートさせ、この中で特に種苗生産時期における餌料や栄養と白化の発現機構との関連が報告された。また無眼側の着色防除についての報告もある。本種はまた成長段階で雌雄に大きな成長差が生じ、2~3の養成事例から1歳魚の成長で雌は雄の1.4~1.6倍、2歳魚では1.7~2.1倍となる(1983)。そのため1985年頃から染色体操作による全雌種苗生産の研究が進められた。現在この方法は種苗生産現場で適用されている。

シマアジの養殖 本種の養殖は1955年、天然稚魚を採捕して試みられたのが最初である。1973年に養成親魚から人工ふ化・飼育に成功して以来、人工種苗生産が行われるようになり、養殖生産量も次第に増大し、2000年には3,058トンを記録した。本種の種苗生産について、成熟、産卵および良質卵を得るための研究や、初期飼育、育成及び肉質改善に関する飼料の研究が行われた(1983~)。

トラフグの養殖 本種の養殖は1943年頃山口県において蓄養の形で始まった。1960年、人工ふ化に成功し、1977年には養殖トラフグ18トンが初めて市場に出荷された。その後次第に増加し、1983年には663トン、1997年には5,961トンに達した。人工種苗生産は1994年までは天然親魚に依存していたが、1996年頃から養成親魚からの種苗生産が可能となり、種苗の安定供給が可能となった。これに伴いトラフグの養成に関わる消化機構、栄養要求、飼料の消化吸收、トラフグ用配合飼料の開発、肉質改善、魚体損傷防除のための歯の切除などの研究成果が多数報告されている(1986~)。

クロマグロの養殖 本種の養殖試験は1969年から始まり、生簀網で十分養成できることが証明された(1983)。現在、和歌山県以西、愛媛、長崎、鹿児島、沖縄の各県で行われて

いる。種苗は天然の幼魚（ヨコワ）を曳縄釣によって採捕している。本種の種苗生産の研究は、1979年に5才魚の養成親魚が生簀内で初めて産卵したことからはじまり、数多くの知見が集積された（1980～）。2002年6月23日、1995年と1996年に人工ふ化・飼育した6・7才魚（平均体重90kg、全長165cm）が産卵し、クロマグロの完全養殖が達成された。なお現在、これから人工ふ化・飼育中の稚魚、1万尾以上が生存している。この研究によって、天然種苗に依存しない計画的なクロマグロ養殖の実現に期待が寄せられ、資源保護の観点からも注目される。

その他の海面養殖魚類 これまで述べた魚類の他に、この20年間に約30に及ぶ魚種について卵の成熟・発生・ふ化、仔稚魚の発育・形態変化、餌飼料・養殖法などの研究報告がある。この中で今後の養殖魚種として有望なものにオニオコゼ、ハタ・クエ類、カレイ類などがあげられよう。なお最近海外から導入された主なものにタイリクスズキ、中国イサキがある。両種共に1985年に韓国あるいは中国から輸入されたもので、タイリクスズキは、1997年には620万尾が養殖されたが2001年には500万尾と減少傾向にある。本種は現在日本でも種苗生産が行われ、環境変化への適応力が高いことが知られている。中国イサキは2001年には294万尾が輸入された。本種の日本での人工ふ化・飼育は1997年に成功し、1年6ヶ月育成後、体重で日本イサキの4.2倍の成長を示し、生残率、餌料効率共に優れ、養殖上の価格が高いことが示された。

魚類を除く他の海面養殖 クルマエビ、カキ類、ホタテガイ、ホヤ類、海藻ではノリ類、ワカメ類、コンブ類があげられる。これらの養殖の技術開発と実用化はすでに1950～60年代に行われ、この20年間には際立った技術の進展はみられていない。その中でも注目されるのは長期間の研究集積によって日本産イセエビやイセエビ科のいくつかの種類及びタラバガニ類について、その生活史が明らかにされ、完全飼育が達成されたことである。今後これらの大量種苗生産、養殖技術の研究が期待される。クルマエビ養殖は1984年にはその生産量は2000トンを超えた。しかし1993年に急性ウイルス性血症（PAV）の発症により大打撃を受けたが、1997年頃からようやく回復した。クルマエビの種苗生産に用いる親エビはこれまで天然産を使用したのが、養殖親エビから種苗生産が可能になったことは大きな成果である。カキ類は1990年頃から漸減しているが、ホタテガイは逆に微増の傾向がある。これに対しホヤ類は横這い状態にある。また海藻類の生産量ではノリ類とコンブは1993年から横這い状態にあるが、ワカメ類は1993年頃から減少傾向にある。なお1992年頃から魚介類の餌料用およびポリカルチャーによる水質浄化のための不稔性アオサの増殖研究がある。

II 内水面魚類養殖

ウナギの養殖 ウナギの養殖生産量は1983年に34,489トンであったが最近、中国、台湾からの輸入の影響から漸減の傾向にある。ちなみに2000年の輸入量は活鰻で14,356トン、調製品で71,313トンである。近年本種の人工種苗生産に関する基礎的研究の進展は目ざましいものがある。成熟誘起技術で雌ではDHPを用いた卵成熟・排卵誘起方法、雄ではhCGの低濃度反復投与による精液採取法がそれぞれ開発された。更に人工ふ化仔魚の飼育技術ではサメ卵粉末をベースに仔魚に効果的に栄養を吸収させるための低分子のオリゴペプチドの添加とビタミン、ミネラルを強化してオキアミ抽出液に懸濁させた餌料により、レプトケファルスまでの飼育に成功しており、日本ウナギの完全養殖までに残された課題はシラスウナギへの変態誘起のみ

表4 内水面養殖業主要対象種別生産量 (単位: t)

対 象 種	1983	1988	1993	1998	2000 ⁽¹⁾
ウ ナ ギ	34,489	39,558	33,860	21,971	24,118
ニ ジ マ ス	17,817	15,314	14,364	12,524	11,147
ア ュ	10,318	13,633	12,523	9,540	8,603
コ イ	22,397	18,130	13,473	12,030	10,501
フ ナ	1,592	1,532	1,080	893	904
ティラピア	3,233	4,760	3,807	885	434
ス ッ ポ ン	301	694	706	653	454

(1) 歴年

(漁業・養殖業生産統計年報より抜粋)

となっている(1983~)。

コイの養殖 本種の養殖生産量は1972年以降2万トン台を維持し、1977年には29,295トンと最高を記録したが、1985年からは1万トン台に減少している。

アユの養殖 琵琶湖産コアユを種苗として始まったアユ養殖が、本格的に展開されたのは徳島県那賀川下流域であるといわれる。1983年の養殖生産量は10,318トンであったが、1991年の13,855トンをピークに減少している。湖産は1987年に冷水病の発生が確認され、1991年頃から蔓延するようになり、海産種苗は河川環境の変化などで稚アユの採捕が不安定になった。そのため1993年頃より人工種苗が使用されるようになったが、養殖中に冷水病やボケ病などが発症して確実な治療対策もないことから経営も不安定となっている。なお最近、陸封アユ親魚を用いた種苗生産が行われ、この種苗は6~7℃の水温でも摂餌・成長するので注目されている。

ティラピアの養殖 本種は、最近における導入魚種として養殖生産量が最も多い。1983年には3,233トンであったが、1990年の5,825トンをピークにその後は減少を続け、2000年には434トンまで落ち込んだ。本種の肉質はマダイに似ることからチカダイ、イズミダイなどと呼ばれ、量販されたが、マダイの養殖生産量が増大して生産過剰になるに伴って需要も少なくなり養殖数も縮小された。

III 新しい養殖技術

自発給餌 新しい魚類養殖の試みとして1996年ごろから自発給餌の研究が展開されている。この原理は魚自身が摂餌要求にしたがってスイッチを押し、その信号で自動的に餌が供給され、摂餌するというものでブリ、マダイ、ニジマス、カサゴなどで試行されている。これにより高効率の給餌と残餌の減少が養殖環境への負荷の軽減に役立ち、今後の実用化が期待される。

交雑魚の作出 養殖魚類の生産効率を高め、より優れた養殖特性を備えた種苗の作出のため交雑育種による品種改良が行われた。海産魚ではこれまでタイ科魚類、イシダイ科魚類、ブリ属魚類、およびトラフグ属魚類カレイ科魚類、ハタ科魚類の交雑が試みられている。このうち、これまでに商品として市場へ水揚げされた交雑魚はマダイ♀とチダイ♂の交雑魚「マチダイ(仮称)」とイシダイ♀とイシガキダイ♂の交雑魚「イシガキイシダイ」およびブリ♀とヒラマサ♂の交雑魚「ブリヒラ」がある(1996~)。

閉鎖循環濾過式養殖 残餌や排泄物を含む養殖排水などの環境汚染負荷源を削減し、しか

も養殖魚を正常に育成するため陸上で循環濾過式養殖システムが研究された。ヒラメ、ウナギ、ニジマス、オニオコゼなどを対象としたこの研究では養殖に伴う水質変化、対象魚の成長など多角的に検討した結果、養殖が可能であることが立証された。今後はこれを応用した産業的規模への拡大、上記対象以外の魚種への応用など研究の更なる発展が期待される(1990～)。

海洋深層水を利用した養殖 1989年、高知県室戸に海洋深層水の陸上汲上型施設が開設した。その後富山、静岡、沖縄、北海道、に建設され現在10本が稼働している。海洋深層水は低温性、清浄性および富栄養性の特性を備えており、これを利用した魚介類や藻類(ヒラメ、サクラマス、ウニ類、アワビ類、ワカメ)及び種苗生産用親魚介類の試験養殖が始まっている。

現在、わが国の海産魚の養殖はブリ類を始め交雑魚まで25種以上を超える。年間の養殖総生産量はこの10年間25～27万トンをキープしている。このうちブリとマダイの2種が大部分を占め大量少魚時代をリードしてきた。しかし、今やこの2種は需要拡大の余地は殆どなく、少しの過剰生産が市場価格を左右し、生産原価を大きく割り込む現象が見られる。そのため、これからは需給のバランスを考えた養殖生産が必要となる。これに対してシマアジ、トラフグ、ヒラメ、ハタ・クエ類のような、より高級で珍味な魚種は消費用途や地域が限定されているため、地域特産あるいはブランド化するなど少量多魚種生産への養殖形態へと変換をはかり経営の安定化を旨とする必要がある。一方、これまで成し得なかったクロマグロのような大型希少魚種の養殖研究が進展しているのでこの方面での養殖の産業化が期待される。またこのところ海外から低コスト生産されたウナギ、トラフグなどが輸入されるようになり、国際化の波が打ち寄せる時代となった。そのため高品質、安全性、価格などでの国際競争に耐え得る産品を生産することが重要になる。なお現行の養殖場環境は、一般的に過密養殖や給餌養殖の宿命的課題をかかえ、漁場老化、魚病の蔓延などから生産力の低下につながる深刻な問題に直面している。このため1999年に持続的養殖生産確保法が制定された。この法律では養殖漁場の改善と魚病の被害対策の2つを骨子としており、これの実現によって養殖業の持続的発展が期待されよう。これからのわが国の水産業は沿岸漁業が主流となることが想定されるが漁業生産で安定的に漁獲量を確保することは強く望めない事から、それに代わって人工種苗使用による養殖が持続的安定生産を担っていく事になる。

②クロマグロ完全養殖の達成

完全養殖に向けて-その草創期

近畿大学水産研究所がこの研究に着手したのは32年前の1970年であったが、海産魚類の増養殖に携わる著者らにとって、クロマグロの種苗生産は究極の夢であった。それは、本種が有用魚種の中で最も大型で、美味で市場価値もマグロ類中で最高位にランクされ、しかも太平洋の東西間を大回遊し、産卵回帰性が強い等の特性を有していることで魅力に溢れていたからである。しかし、産卵場所は遠く、熟卵入手のあては全くない。漁業者からは幼魚であるヨコワを活かすことなど無理だと云われ、夢に終わっていたのである。

クロマグロの増養殖に関する研究の端緒は、水産庁が企画して1970年に開始した「有用魚

類大規模養殖実験事業」である。これは、マグロ需給関係を含む内外の漁業情勢から、北洋のサケおよびカニとともに取り上げられたもので、クロマグロについては、遠洋水産研究所を中心としたプロジェクト研究「マグロ類養殖技術開発企業化試験」がスタートし、著者らは、[※]原田輝雄前所長のもとに、東海大学、静岡県水産試験場、三重県水産試験場および長崎県水産試験場とともにこれに参画することになった。なお、長崎では既に1969年からヨコワ活け込みの予備的な実験を行っていた。同プロジェクト研究には、その後1971年から高知県水産試験場が、1974年から鹿児島県水産試験場がそれぞれ加わった。研究方針は、熟卵の入手が不可能に近かったことから、養成親魚からの自然産卵を目指すものであった。すなわち、①日本列島沿岸に來遊するヨコワを活け込んで飼育し、養殖および採卵用親魚養成技術を開発する。②養成親魚からの採卵が可能になるまで、旋網または定置網で漁獲されるマグロ類およびその近縁種からの採卵を試み、人工孵化および飼育技術を開発するという2面立てで取り組まれた。

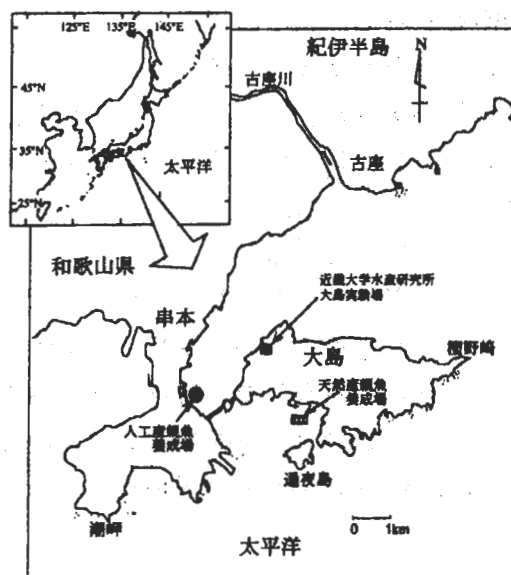


Fig. 1. クロマグロ親魚の養成場所

近畿大学では当初から完全養殖を目指した両面の研究に着手し、和歌山県串本町大島にそのための基地（現大島実験場）を開設した（Fig. 1）。①については、大島の定置網に入網するサバ型魚類からの採卵・人工孵化を試みる一方、遠洋水産研究所と共同で、尾鷲市を中心に当時熊野灘で操業していたマグロ旋網船団15ヶ統のうち7船団に乗り込み、キハダの熟卵入手を試みた。その結果、キハダ、マルソウダ、ヒラソウダおよびハガツオの人工孵化を行って稚魚までの飼育経験が蓄積された。一方②については、大島では定置網から、白浜では曳縄釣りによる活け込みを、それぞれ一辺が6mおよび7.2mの方形網生簀を用いて試みた。著者らも白浜沖での曳縄釣り漁に出たが、ハンドリングの拙さ故か活け込み後の生残率が低いえ、プリに比べて赤潮に著しく弱いことを確認した。以後、1971年からの実験は大島のみで行うことになる。1973年まで行った定置網からの活け込みは、曳縄釣りに比べてその後

の生残率は高かったものの、採捕数が1シーズンに数10～数100尾と少なかった。しかも、ハンドリングや当初用いた化繊網の固定および網交換の不便等により、生残率は0～30%という状況で、ヨコワを親魚にまで養成するのは誠に至難に思われた。しかも、例え親魚にまで養成できても、擦れ易く巨大で扱いが困難な本種故、採卵方法はどうするのかも不安であった。

数年の経験から、ヨコワの採捕方法の違いについて、当初の生残率は定置網による方が高かったが、漁獲量は曳縄釣りの方が圧倒的に多いことから、釣り方およびハンドリング方法を改善する方向で曳縄釣りにシフトすることが望ましいと判断された。「かえし」を潰した疑似針の使用や活魚槽への収容方法などを工夫し、本格的な親魚養成の体制に入ったのは1974年度のヨコワ活け込みからである。

なお、翌1975年には、泰東製鋼株式会社がカナダ東岸の定置網に入網する産卵後の肉質の悪い大型マグロを活け込み、冬まで蓄養した後、日本へ輸送する事業を開始した。この事業はその後、メキシコの西海岸、並びにスペイン、モロッコ、クロアチアなどの地中海諸国、さらには、1990年からオーストラリアで始まったミナミマグロの蓄養事業へと拡大し、現在、その総生産量は2万トン前後で、漁業生産を追い越さんほどの産業に成長している。また、水産庁のプロジェクト研究は、その後1980年から1988年まで行われたマリンランディング計画に引き継がれたが、ヨコワからのマグロ養殖企業化の可能性がこの間に実証され、1985年からこれに取り組む民間企業が出始め、現在10数社に増加している。

野生種苗からの親魚養成・自然産卵の達成

1970年からの4年間、生簀の沈没事故等の失敗を重ねながら、漸く1974年から本格的な養成体制に入った。1974年のヨコワ活け込みは大島漁業協同組合所属の曳縄釣り漁船17隻の協力のもとに行い、7月から9月までの間にヨコワ1,460尾(尾叉長22～26cm)を得て飼育を開始した。

網生簀には直径8m、深さ6mの円形金網を用い、最初の2ヶ月間は生きたイワシのみを与えるという、現在では想像できないほどの気を遣った。この間の生残率は57.8%で、現在の70～80%に比べると低い。当時の餌料には、現在と同様にイカナゴ、マサバ、マイワシおよびサンマ等の冷凍品を用いた。また、網生簀は構造およびその交換方法等の改善を図りながら、成長に伴って直径16および30mへと順次広いものに移し替えた。

このようにして養成したところ、満5歳を迎えた1979年の産卵期に追尾行動が観察され、初めての自然産卵が確認された。産卵は6月20日から7月16日まで認められ、この間に浮上卵約160万粒を採取して孵化および飼育を試みた。しかし、稚魚期に入ってから減耗は激しく、最後の1尾が全長5.9cm、体重2.3gに達した孵化後47日で斃死した。

この1974年産親魚群は、翌年の1980年および1982年にも産卵したが、以後再び産卵することはなかった。また、ヨコワの活け込みは1970年以来毎年欠かさず行い、各年級群の親魚

を次々に養成していたが、それらからの産卵も認めることなく 11 年間の空白期を迎えるに至った。従ってこの間、1982 年に行った飼育によって孵化後 57 日目まで生存させることができたが（最大個体は孵化後 49 日目の全長 9.8 cm, 体重 11.2 g）、この記録を残したまま飼育技術の開発も休止状態に陥った。

これを打開するために、水槽での環境調節による採卵を考え、親魚養成場所に近い土地まで購入したが、著者らが設計した直径 30 m, 深さ 8 m の円形水槽の工事費は、親魚を生簀から誘導・搬入するための魚道などを加えると数億円にのぼる多額の工費が見積もられ、着工に踏み切るまでに至らなかった。すなわち、完全養殖達成の基礎となる養殖用種苗の実用化は、結果として 1987 年産親魚が産卵するまで待つことになる。

なお、初めての自然産卵を達成した 1979 年産親魚群は、本種の寿命をみたいという興味から、最後の 1 尾が 23 歳（全長 253 cm, 体重 214 kg）で死亡するまで同生簀での飼育を継続した。この最後の個体は記念として剥製にされ、白浜実験場で保存している。

親魚養成用人工種苗実用化へ

1987 年には、8 月から 9 月にかけて採捕されたヨコワ 3,221 尾を一辺 12 m, 深さ 6 m の網

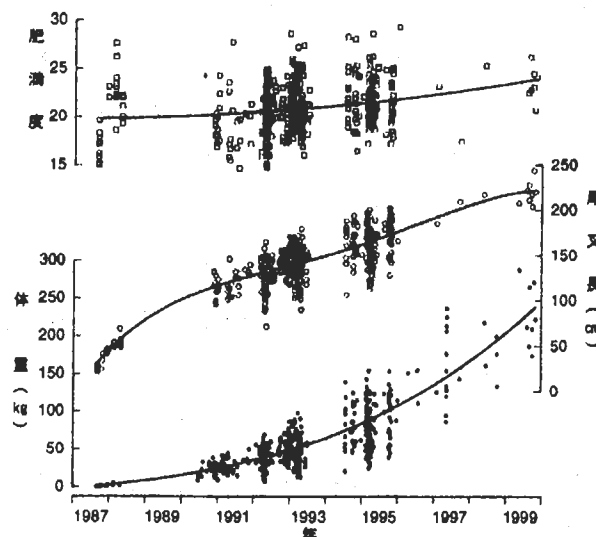


Fig. 2. 1987 年産クロマグロの成長

生簀に活け込み、従来通りの餌料を用いて養成を開始した。当年 10 月には、一辺 31 m, 深さ 11 m, 目合い 4 節の方形浮子式化繊網生簀に移し替えた。この親魚群は Fig. 2 に示すように成長し、成熟年齢と想定した 5 および 6 歳での産卵はみられなかったが、1994 年の産卵期には尾叉長 107-188 cm, 体重 21-140 kg に成長し、7 月 3 日から自然産卵が始まった。同年の産卵開始に当たり、稚魚にまで育てながら実用種苗にまで飼育できなかった以前の結果を踏まえ、クロマグロの生理生態学的特異性が窺われるところから、実用種苗を生産するためには改めて基礎固めが重要と考えられ、研究所を挙げてのプロジェクトを組んで臨むことになった。

Table 1. 年次別の種苗生産結果

年 度	1994	1995	1996	1998
収容卵数 (万粒)	264	223	95	318
飼育日数 (日齢)	36~50	34~39	~38	41~54
生残尾数 (沖出尾数)	1,872	8,071	3,814	5,476
生残率 (%)	0.07	0.36	0.40	0.17
沖出しサイズ (全長, cm)	8.2	5.8±0.3	5.4±0.4	7.0±0.9

1987年産親魚は1994年から1998年までの間、1997年を除いて産卵が認められ、採取した卵を供試して種苗生産を試みながら基礎知見の集積を図った。その結果、産卵や孵化、発育に伴う外部および内部形態の変化、化学成分、酵素活性および酸素消費量の変動、ワムシの摂餌状況等に関する基礎知見の集積と相俟って、年毎に飼育技術の向上が認められた。

1994年には全長5~6 cmの稚魚1,872尾を生産し、初めての沖出しを行い、翌1995年には、総数で8,071尾を沖出しできた。しかし、Table 1に示すように、1994年に初めて沖出した稚魚は、1ヶ月間に97.7%が減耗し生存数は僅か43尾となった。しかも、残った個体も傷ついたものが多く、その後も次々に斃死し孵化後246日目に最後の1尾(全長42.8 cm, 体重1,327 g)が死亡して飼育を終了した。

この中間育成における異常な減耗状況は、既往の他魚種では例がなく途方に暮れたが、観察と調査の結果、その死因が衝突死であることを確認した。クロマグロの種苗生産には、初期減耗や、屈曲期~稚魚期にかけての激しい共喰いなど種々の課題があるが、例えそれらを解決しても稚魚期以降に総て斃死するようなら、養殖用実用種苗の生産は不可能であり、先ずはこの原因究明と対策が最優先課題と位置づけた。この要因としては、人工飼育に由来する栄養的疾患も疑われたが、本種の衝突死は成魚でも時にみられる現象であり、種苗として採捕している野生の幼魚は全長約20 cm以上で、これより小さな幼魚の飼育経験がないことなどから、発育過程の一時期にみられる本種の特性である可能性が考えられた。そこで、衝突死多発現象の実体の把握とともに、発育に伴う遊泳速度、並びに遊泳に関する諸器官の発達過程を調べたところ、旋回や停止などの遊泳制御能力が推進力の発達に伴わない発育段階が存在することが示唆され、その他の外部形態や筋肉の発達過程などとも対比すると、その特異な発育段階として「稚魚中期~若魚期(全長約5から20 cm)」が浮かび上がるに至った。

そこで、これらの研究を進める一方で、沖出し生簀のサイズを大きくした。1994年に用いた生簀は1辺6 mの方形化繊網であったが、1995および1996年の沖出し生簀を直径12 mの八角形にしたところ、沖出し1ヶ月後の生残率は、24.9および16.4%へと顕著に高くなり当年の秋に直径30 mの円形生簀に移し替えて飼育した結果、2年後に17および35尾を生存させることができた。少ないながら1995年の生産で初めて養殖用種苗の実用化が達成されたことになる。

しかし、生残率は著しく低いため、5,476尾の稚魚を生産できた1998年の沖出しでは、そ

れまで考えられなかった直径 30 m の円形網生簀を採用することにした。その結果、沖出し 1 ヶ月後の生残率が 49.6% と大幅に高まり、満 2 歳で約 400 尾 (体重 5-15 kg) を生存させることができた。同型の生簀で養殖事業として採算を図るには、中間年での間引き出荷を含めて 1 台当たり 1,000 尾以上の種苗が必要であるが、最終年での取り上げ尾数は 500 尾程度であるので、同年の生産でほぼ企業化レベルの生産を達成できたといえよう。

人工種苗養成親魚からの採卵-完全養殖の達成

1995 および 1996 年に生産した 2 群は、先述したように生存数がそれぞれ 17 および 35 尾と少なかったので 1998 年 7 月に合併した。なお、これらの人工産親魚の養成場所は、Fig. 1 に示すように養殖場の最奥部である。それぞれの親魚とも満 5 歳となった 2000 年および 2001 年では産卵せず、2001 年の産卵期における生存尾数も 1995 年産が 6 尾、1996 年産が 16 尾とそれぞれ更に減少していたので、完全養殖達成への期待は、量産できた 1998 年産に移りつつあった。しかし、1995 および 1996 年産親魚群は、それぞれ満 7 歳および 6 歳を迎えた 2002 年の産卵期に、それぞれ推定体重 110-150 および 70-120 kg (生存数は 6 尾および 14 尾) に成長しており、6 月 23 日から産卵を始めた。

この日の採卵数は 0.5 万粒で、6 月 27 日に認められた 2 回目の産卵で 47 万粒を採卵したことから本格的な産卵を期待したが、台風接近が相次いだためか途切れがちとなり、8 月 5 日までの 44 日間で延べ 13 回の産卵にとどまり (1 日の最多採卵数は 7 月 3 日の 65 万粒)、合計約 200 万粒を採卵して当年のシーズンを終了した。これら産卵状況から、産卵個体の数は 1-2 尾と推定されたが、採取した卵は直径 1 mm 内外、発生率 92.6-100% で良質と判断された。このうち 134 万粒を供し、種苗生産を行った結果、過去最高の 17,307 尾の稚魚 (孵化後 37-44 日目、全長 4.5-8.4 cm) を沖出しすることができるとともに、長年の夢であったクロマグロの完全養殖達成をみた。

今後の課題

完全養殖達成によって、人工種苗養成親魚からの採卵が可能であることを実証できたので、今後の目標は種苗量産技術の確立ということになる。まずは確実に安定して良質卵を採取できることが条件となるが、大島周辺海域では時として激しい水温変動があり、産卵は不安定で確実性に欠ける。この解決方法の一つとして、近畿大学では日本栽培漁業協会も行っている奄美大島での親魚養成を 1998 年から開始している。しかし、今後本州での種苗生産も視野に入れるなら、水槽での環境調節による採卵を再度計画する必要がある。1999 年に東京都葛西臨海水族園の展示水槽内でクロマグロの自然産卵が認められた例をみると、かつて計画した規模より小型の水槽でも良さそうなのでその可能性には現実味がある。

仔稚魚の飼育については、孵化後 10 日目頃 (屈曲期) までの初期減耗、屈曲期から稚魚期にかけての激しい共喰い、稚魚中期-若魚期での衝突死多発等の他、生きた生物餌料のみによる餌料系列やその供給問題など多くの課題がある。従って、未だ多くの知見集積が必要ではあるが、さしあたっては、配合飼料の開発および稚魚中期-若魚期での衝突死多発防除対

策が進めば、種苗量産問題は飛躍的に改善されるものと考え。

おわりに

研究開始から実に 32 年の歳月を要したが、本種の完全養殖を夢見ながら志半ばで急逝された^故原田輝雄前所長に目的達成を報告したい。この成果は、ヨコワの活け込みから毎日の給餌、並びに生簀網の点検や網交換等の飼育管理に当たった大島実験場教職員の地道な努力と、これをサポートした多くの研究所教職員の総力によって成し得たものであると大きな感慨を覚える。また、ヨコワの活け込み或いは網生簀設置についてお世話になった大島、須江、樫野、串本、津荷および三輪崎の各漁業協同組合の方々、並びに多くのご助言・ご支援を賜った水産庁を始めとする多くの関係諸氏に厚く御礼申し上げるとともに、本研究を許可・支援して戴いた大学当局に深謝する。