

# BRAIN

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

平成23年5月15日(隔月1回15日発行)

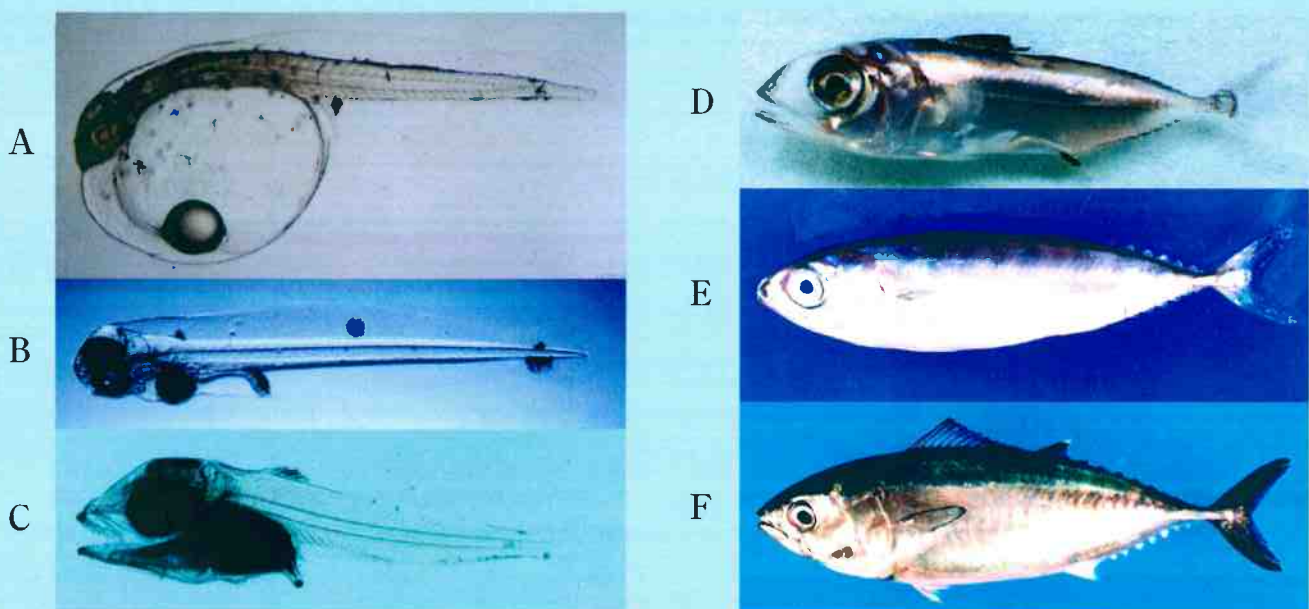
ISSN 1345-5958

TECHNO NEWS

## No.145

15 MAY, 2011

ブレインテクノニュース



A	ふ化直後	(全長 2.8mm)	
B	ふ化後2日目	(全長 3.8mm)	} 初期減耗期
C	同10日目	(全長 7.5mm)	
D	同22日目	(全長 30.5mm)	} 共食いによる減耗期
E	同38日目	(全長 90.2mm)	
F	同74日目	(全長 253.0mm)	} 衝突多発期

### 人工孵化クロマグロの発育段階と減耗期

## クロマグロ完全養殖の技術開発の動向と展望

近畿大学水産研究所

宮下 盛・村田 修・岡田貴彦・澤田好史・熊井英水

目 次

特 集

「マグロ養殖の最先端研究」

(総説)

- クロマグロの増養殖に関する研究の現状と今後の展望 ..... 1  
 升間主計 ((独) 水産総合研究センター日本海区水産研究所宮津庁舎)

(総説)

- クロマグロ完全養殖の技術開発の動向と展望 ..... 6  
 宮下 盛・村田 修・岡田貴彦・澤田好史・熊井英水 (近畿大学水産研究所)

- クロマグロの資源量を知るための資源評価 ..... 13  
 竹内幸夫 ((独) 水産総合研究センター遠洋水産研究所)

魚類の生殖細胞移植による新たな種苗生産技術の開発

- クロマグロを生むサバの作出をめざして— ..... 21  
 吉崎悟朗<sup>1</sup>・矢澤良輔<sup>1</sup>・岩田 岳<sup>1</sup>・樋口健太郎<sup>1</sup>・竹内 裕<sup>2</sup> (1東京海洋大学  
 海洋科学部, 2東京海洋大学 先端科学技術研究センター)

- 地下海水を用いたクロマグロの陸上養殖 ..... 26  
 秋山信彦 (東海大学海洋学部水産学科)

- クロマグロ種苗生産に対する民間企業の取組み～現状と課題～ ..... 31  
 伊藤 暁 ((株)マルハニチロ水産 増養殖事業部)

国内情報

- 高精度高速施肥機の開発 ..... 35  
 紺屋秀之・林 和信・堀尾光弘・重松健太・吉野知佳 ((独) 農業・食品産業技術総合  
 研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター)

**表紙の説明**

筆者らはクロマグロの増養殖に関する研究を長年にわたり行い、天然ヨコワの生簀への飼い付け、生簀内自然産卵、次いで本種の生理生態的特性から困難であった養殖用実用種苗の生産に初めて成功し、この親魚群が 2002 年に自然産卵し稚魚の飼育にも成功して完全養殖を達成した。現在、産業化のための量産技術を開発中である。表紙写真は人工孵化クロマグロの各発育段階と減耗期を示す。

詳細については 6 頁をご覧ください。

◀ 特集 総説 ▶

## クロマグロの増養殖に関する研究の現状と今後の展望

独立行政法人水産総合研究センター 日本海区水産研究所宮津庁舎  
升間 主計

近年のクロマグロ養殖産業の発展に伴って、増養殖研究が国主導のもとで積極的に進められている。現在進められている研究について筆者が研究総括として取り組んだ実用事業開発事業での研究を中心に紹介する。

世界で1年間に漁獲されるクロマグロの約30%を自らが漁獲し、さらに世界中から輸入することで全漁獲量の約80%を日本は消費してきている。過去から変わらぬこのような状況の中で、日本は、水産庁の指導下において1970年から世界に先駆けてマグロ類の増養殖研究への取り組みを開始した。この背景には、マグロ大消費国としての国際的な立場、資源の維持・管理、さらに太平洋クロマグロの産卵場所を抱える国の責任があるためと考えられる。

クロマグロの増養殖は、水産庁事業として実施された「大規模海中養殖実験事業」での「マグロ類養殖技術開発企業化試験」（1970～1972年の3年間）に始まり、その後近畿大学を中心に技術開発が進められた。国内における民間ベースでの養殖事業は、1980年に高知県柏島において個人事業主によって始められた。その後、1985年から同じ場所でニューニッポ（現大洋エーアンドエフ株式会社）が我が国初の養殖事業に本格的に乗り出し、翌1986年には現（株）マルハニチロ水産が鹿児島県奄美大島において、日本配合飼料（株）が高知県宿毛市において事業を開始した。1990年代の後半には養殖技術の発展と伴に新規参入や規模の拡大が進められた（図1）。そのため、養殖に必要とする原魚（ヨコワ：クロマグロの幼魚）の漁獲数が急速に増えていった。また、海外では、1975年に日本の企業がカナダ東岸の定置網に入網した大型クロマグロを畜養し、日本へ輸送する事業を始めた

MASUMA Shukei

〒626-0052 京都府宮津市小田宿野 1721

のが契機となり、地中海諸国やメキシコで大規模に実施されているクロマグロ畜養事業に発展した。急速な畜養（養殖）事業<sup>1</sup>の発展は（図1）、日本と同様に養殖原魚を天然に100%依存していることから、乱獲やIUU（Illegal（違法）、Unreported（無報告）、Unregulated（無規制））漁業により、資源保護への活動が活発となり、規制をより強化することとなった。

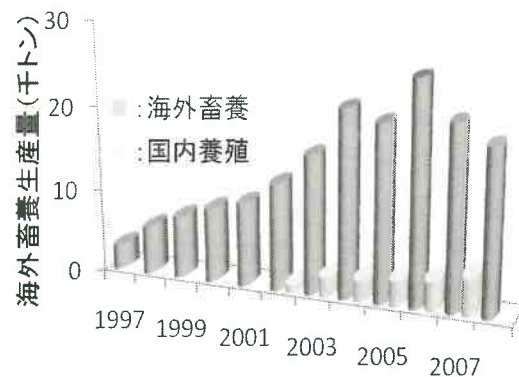


図1 国内・国外での養殖（畜養）クロマグロ生産量の推移

（水産庁 HP より：[http://www.jfa.maff.go.jp/j/tuna/pdf/kmnov\\_all.pdf](http://www.jfa.maff.go.jp/j/tuna/pdf/kmnov_all.pdf)）

1 「畜養」とは比較的大型の原魚を生簀網内で短期間給餌飼育し、主にトロ部分などの肉質を上げることで価格に反映させることを目的としていることから、小型の原魚を約3年間と長く飼育する「養殖」と区別されている。しかし、日本農林規格（JAS）法では、給餌した水産物はすべて「養殖」表記をするよう義務付けられていることから、「畜養」は「養殖」の一つの形態と理解すべきであろう。

養殖原魚を天然魚の採捕に 100%依存する養殖形態では、シラスウナギやブリのモジャコに見られるように天然資源の変化に影響され、先述の通り天然資源保護からの規制強化を受けやすく、安定的・計画的な生産を進める上において原魚の安定的な確保は重要な問題となっている。そこで、ヒラメやマダイのように天然種苗の代替として人工種苗への転換が必須であり、近年種苗生産技術の開発が積極的に進められることとなった。

種苗生産技術の開発は、1979年に近畿大学において、満5歳、体重約50kgにまで成長した養成クロマグロが世界で初めて網生簀内で自然産卵し、ふ化後47日目（全長57mm）までの飼育に成功したことから始まった。その後、1985年には沖縄県石垣島に日本栽培漁業協会八重山事業場（現水産総合研究センター西海区水産研究所八重山栽培技術開発センター）が設立され、「栽培漁業」（人工種苗を天然に放流して資源を増やす）技術開発を目標としたクロマグロ・キハダの増養殖に関する研究が開始された。1994年からは鹿児島県奄美大島の加計呂麻島に奄美栽培漁業センターが設立され、大規模な親魚養成施設による大量採卵技術開発、種苗生産技術開発が進められ、現在に至っている。

最近では2007年から2010年までの4年間で、農林水産省農林水産技術会議の「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（本年からは新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業）」の「マグロ類の人工種苗による新規養殖技術の開発」課題に水産総合研究センターが中核機関となって、大学、県、民間企業と連携し、クロマグロの増養殖に必要な技術開発研究に取り組んだ。

そこで、本稿では本事業で取り組んだ研究の内容を中心に、クロマグロの増養殖研究の現状と今後の展望について示すこととしたい。

## I. 実用技術開発事業（旧高度化事業）の目標

日本国内では年間約40万尾（2007年当時は

20万尾）のクロマグロ幼魚（ヨコワ）が捕獲され、養殖用種苗として用いられている。本事業では、クロマグロ資源及び養殖の持続的発展のため、クロマグロの人工種苗生産技術を開発し（図2）、天然種苗に依存しない養殖を達成し、クロマグロ資源の保護と国民へのクロマグロの安定供給の確保を目標とし、さらに、養殖で問題となっているイリドウイルス病対策や肉質評価法などの研究課題を加え、親魚養成、採卵、種苗生産、養殖関連の4つの中課題を設定し、それぞれに2つの小課題を挙げて取り組んだ（図3）。

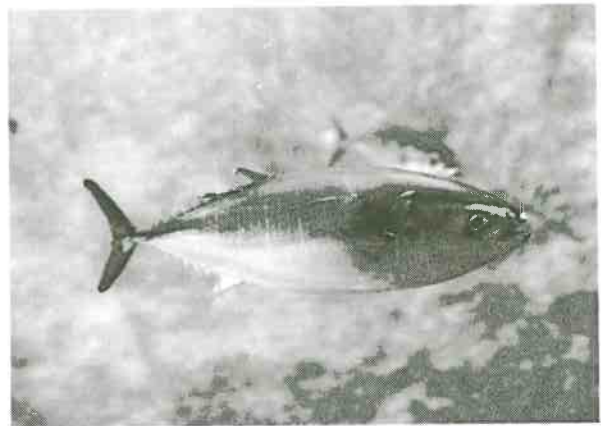


図2 人工種苗生産したヨコワサイズのクロマグロ幼魚

## II. 産卵親魚の小型化技術に関する研究開発

### 1. 借り腹技術の開発

クロマグロは親魚の魚体が大きいため、環境制御が可能な陸上水槽でマダイ等のような親魚管理が極めて困難である（図4）。そこで、ニジマス・ヤマメで可能となった借り腹技術を用いて（Okutsu et al., 2007）、近縁種でありながら親魚サイズが小さいサバ、アジ、ブリ等からマグロ卵を採卵するための基礎技術開発を進めた。

その結果、クロマグロ *vasa* 遺伝子（生殖細胞のマーカー遺伝子）由来の mRNA を検出することが可能となり（Nagasawa et al., 2009）、

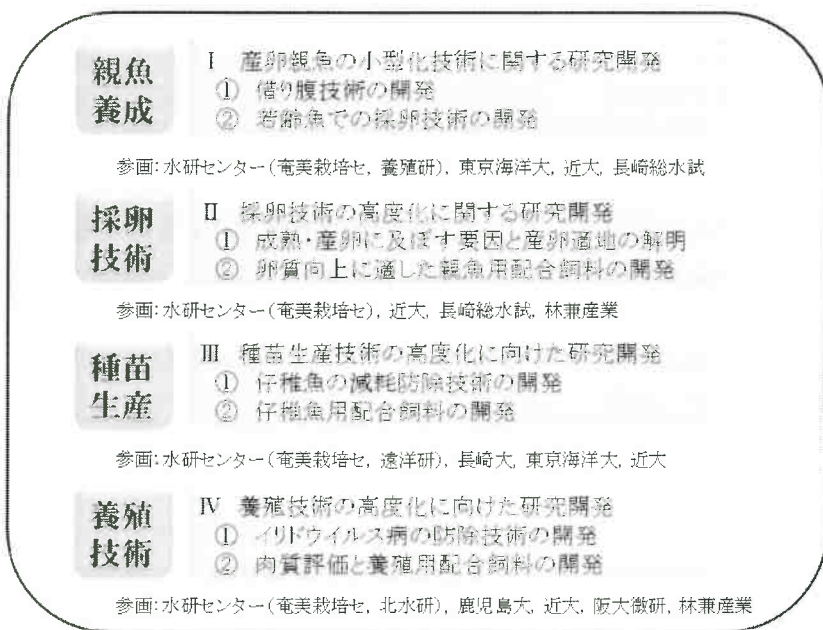


図3 人工種苗によるクロマグロ養殖実用化のために必要な研究課題



図4 養成した大型クロマグロ親魚

サバからクロマグロ卵を採卵する技術に一步近づいた。

## 2. 若齢魚での採卵技術の開発

養成クロマグロは大型(60~70 kg以上, 5歳魚)に成長して産卵する(宮下ら, 2000)ことから, 大規模な施設を必要とし, 受精卵を得るまでに多大な費用と時間を必要としている。このため, 低コスト及び省力化を目的として, 採卵までの養成期間を短縮するため, 3歳魚での成熟条件を明らかにする研究を行った。日本国内の養殖場から多

くのサンプルを集め, その成熟状態を血中雌性ホルモン量(E2)や組織学的な比較と環境観測の結果と併せて解析したところ, 飼育水温が成熟にとって重要な要因の一つであることが推測された。

## III. 採卵技術の高度化に関する研究開発

### 1. 成熟・産卵に及ぼす要因と産卵適地の解明

養成クロマグロ親魚の産卵では関与する個体数が少ないことが知られている(升間ら, 2003)。そこで, 産卵に適した環境, 条件を解明し, 国内における養殖用受精卵を供給する最適産卵場所に必要な環境や養成条件について研究を行った。奄美から高知までの6機関から集めた卵のmtDNA分析(卵のハプロタイプを調べることで雌を推定することが可能です)による群の中で産卵に関与した雌の割合, 産卵魚の年齢, 飼育密度, 環境観測結果等から産卵適地に必要な環境条件と産卵に及ぼす要因として年齢や群の大きさが重要であることが明らかになった。

## 2. 卵質の向上に適した親魚用配合飼料の開発

これまで親魚養成は生餌（サバ、アジ、イワシ、イカ等）を主体として行われてきたことから、卵質の向上に関する取り組みがなされていない。卵質の向上は種苗生産においてふ化率、初期の生残にとって重要な問題であることから、親魚用配合飼料を開発することによって、生餌依存の親魚用餌料から配合飼料に置き換え、必要な栄養素を加えることで卵質向上技術の開発に取り組んだ。その結果、配合飼料を用いてヨコワを育成し、生餌給餌区（イカナゴ・サバ）と比較して成長、生残、健康状況に差がないことを明らかにした。

## IV. 種苗生産技術の高度化に向けた研究開発

### 1. 仔稚魚の減耗防除技術の開発

クロマグロ仔稚魚の発育変化、衝突、共食い等の減耗要因に対して、通気、水流、照度等の制御による減耗防除技術の開発、さらに、沖出し後の稚魚期以降の減耗要因を明らかにすることで、その防除方法の開発に取り組んだ。重要な問題となっていたクロマグロ仔魚の大量減耗が発生する鰓開腔時の死亡原因を“沈降死”（田中ら、2010）と特定し、通気・照度を調整することで大量死を防止した。また、肉食性の強いクロマグロ仔魚の共食い行動は脊索末端屈曲期の仔魚に発現し、摂餌行動と密接に関わりのあることを明らかにし（Sabate et al., 2009）、共食いによる減耗防止策の方向性を示した。

### 2. 仔稚魚用配合飼料の開発

種苗生産ではふ化後ワムシ（動物プランクトン）などの生物餌料からいろいろな餌を発育に合わせて与えている。特に、急速に成長を始める8mm前後からは大量のふ化仔魚を餌として必要としている。ふ化仔魚の供給にはコストが掛かり、また不安定であることからふ化仔魚の代替となる配合飼料を開発する必要があった。カゼインペプチドを含む微粒子配合飼料にイノ

シン酸を添加することで大幅に摂餌活性、成長、生残を改善することができ（Haga et al., 2011）現段階では部分的であるが、ふ化仔魚に代替できる微粒子配合飼料が開発された。

## V. 養殖技術の高度化に向けた研究開発

### 1. イリドウイルス病の防除技術の開発

養殖時に大きな被害をもたらすイリドウイルス病への効果的なワクチンやその投与方法が開発されていない。一方、クロマグロのハンドリングは鱗が小さいために擦れによる感染症を起こしやすく、ストレスにも弱い。そこで、人工種苗のハンドリング技術及びワクチン注射する際の麻酔法を開発し、さらに、マダイ用イリドウイルスワクチンを用いて、イリドウイルスワクチンの有効性の検証とワクチン投与方法の開発を行った。その結果、マダイ用のイリドワクチンウイルスがクロマグロのイリドウイルスにも有効であることと麻酔剤を用いることでハンドリングでの生残を向上させることができた。

### 2. 肉質評価と養殖用配合飼料の開発

生産されたクロマグロ人工種苗を用い、養殖の実用化に向けた研究に取り組んだ。陸上水槽での飼育から海面生簀へ移される全長約40～70mmから天然種苗サイズ（ヨコワ、約300g～1kg）までの飼育に適した配合飼料の開発を行った。また、養殖魚は天然魚に比べて価格が低く、養殖魚と言うだけで差別化を受けている。これは、マグロの肉質を評価する基準がないことと、生餌に依存していることから品質が均一でないことにも原因があると考えられている。配合飼料の開発では生餌に比べて生残率が高く、成長が劣らない配合飼料の開発に成功した（特許出願）。

## VI. まとめ

クロマグロの今後の増養殖に必要な研究として、先ず、本事業において進めた、国内の今後のクロマグロ養殖事業を安定的に拡大するため

の実用技術の開発が挙げられる。特に現在の養殖体系が養殖原魚を天然種苗に100%依存している現状では、乱獲による資源の減少などの問題が起こり、資源保護の観点から養殖用原魚の確保が難しくなる可能性がある。そのため、養殖用原魚の一部を人工種苗に置き換えるための技術開発が必要である。この事業の成果によって、国内の民間の機関も含めた種苗生産機関において、クロマグロの種苗生産が広く実施され、多くのクロマグロ養殖用原魚が人工種苗に置き換えられることで、天然資源に依存しない養殖の発展が期待されるであろう。さらに、長期的な研究として、借り腹技術などの先進的な技術開発研究（吉崎，2010）とすでに計画が進められている大型陸上水槽での親魚養成と成熟、産卵に関する研究が挙げられる。これらの研究は、産卵のコントロールによる周年、安定採卵を実現させることができ、その先には育種研究にも発展し、産業ニーズに対応した人工種苗の供給が現実のものとなるであろう。

また、養殖産業のさらなる振興を図るためには漁場の確保が重要である。（社）マリノフォーラム21では水産庁からの委託（「クロマグロ養殖効率化技術の開発」）を受け、民間数社による沖合養殖システムの開発に取り組んでいる。このようなハードの面での研究も積極的に進められるべきであろう。

沿岸資源の増大を目的として、資源管理を進める一方で、つくり育てる漁業の推進が図られてきた。その一つに種苗放流による資源の維持・増大を行う栽培漁業がある。クロマグロの

加入量が年によって大きく変動することから、水産庁では前述の通り旧日本栽培漁業協会（現水産総合研究センター）に委託し、クロマグロ資源の維持・増大を目的として、マグロ類の栽培漁業を実施するための技術開発を進めてきた。現状での種苗生産技術は放流による資源増大を進めるには困難なレベルにあるが、広い移動・生息範囲をもつクロマグロの栽培漁業は今後も国が中心となって積極的に進めるべきである。それには、国際間の合意のもとで放流を進める環境作りが重要である。放流することで野生の遺伝的な多様性を損なわないような配慮と、これだけ共食いが強い魚なので、放流した魚が野生集団を食べてしまわないような配慮も必要である。

## VII. 参考文献

- 1) Nagasawa, K. *et al.* (2009) *Fish Sci*, 75, 71-79
- 2) 升間主計ら (2003), 水研センター報告, 6, 9-14
- 3) 宮下盛ら (2000), 水産増殖, 48, 475-488
- 4) Okutsu, T. (2007) *Science*, 317, 1517
- 5) 田中庸介ら (2010) 水産技術, 3 (1), 17-20
- 6) Sabate, F. *et al.* (2009), *Aquaculture Sci*, 57, 329-335
- 7) Haga, Y. *et al.* (2011), *Fish Sci*, 77, 245-253
- 8) 吉崎悟朗 (2010), 化学と生物, 48 (10), 680-987

## ◀ 特集 総説 ▶

## クロマグロ完全養殖の技術開発の動向と展望

近畿大学水産研究所

宮下 盛・村田 修・岡田貴彦・澤田好史・熊井英水

クロマグロの増養殖に関する研究は、1970年に水産庁が企画して始まった。天然のヨコワを生簀に飼い付け、養殖、親魚養成、採卵、種苗生産を目指した。4年目でヨコワの飼い付けに、9年目で生簀内自然産卵にそれぞれ成功した。次いで本種の生理生態的特性から困難であった養殖用実用種苗の生産も、1995年に初めて成功し、この親魚群が2002年に自然産卵し稚魚の飼育にも成功して完全養殖を達成した。現在、産業化のための量産技術を開発中である。

## はじめに

クロマグロの増養殖に関する研究は、1970年に水産庁が企画したプロジェクト研究がその発端である。当時、沿岸から12海里であった排他的経済水域を200海里とする主張が世界的に広がりつつあり、わが国の遠洋漁業は大打撃を受けることが予想されていた。そこで水産庁は、沿岸漁業を振興すべく打開策の一つとして、養殖は不可能とされていたクロマグロについても、「マグロ類養殖技術開発企業化試験」を立ち上げた<sup>1,2,3)</sup>。プロジェクトは遠洋水産研究所(清水市:現静岡市清水区)を中核とするもので、これに招聘された東海大学、近畿大学水産研究所(以下近畿大学)をはじめ、静岡、三重および長崎の各県水産試験場が参画した(後に鹿児島県、高知県)。近畿大学が招聘されたのは、ブリやマダイをはじめとする海水養殖魚の人工ふ化・種苗生産技術の開発を行い、かつ、完全養殖を目指す研究を行っていたからであろう。その近畿大学では、以前からクロマグロを究極の養殖対象魚に挙げていたが、漁業者から「生簀での飼育は無理」と云われ、実験着手を躊躇していたので、水産庁からのプロジェクト招致に後押しされる恰好となった。

MIYASHITA Shigeru, MURATA Osamu, OKADA Tokihiko, SAWADA Yoshifumi, KUMAI Hidemi  
〒649-2211 和歌山県西牟婁郡白浜町 3153

世界のマグロ類には、メバチやキハダなど8種類が知られているが、何故クロマグロなのか? マグロ類中で最大型種のうえ、数%しか漁獲されない希少種で、刺身、寿司用食材として最も美味であり市場価格は最高位にある。加えて、他のマグロ類が何れも特定の産卵場を有しないのに対し、クロマグロは唯一日本近海に産卵場を有し回帰する魚種であり、わが国の栽培漁業対象種となる。すなわち、養殖対象魚となるばかりでなく、人工生産種苗を放流し資源増強手法が開発されれば、日本のマグロ漁業に対する国際的圧力も緩和でき一石二鳥となるからであり、特に水産庁としては当面、国際漁業交渉上から後者の目的が重要であった。しかし、人工ふ化用成熟親魚の捕獲など全く考えられなかった当時、まさに夢そのものであり、水産庁でも研究現場の当惑はかなりのものだったようである。ターゲット魚種はクロマグロでありながら、プロジェクトのタイトルを“マグロ類”としたところにその苦悩が読み取れよう。

そこで当初の研究方針は、成熟した天然クロマグロの入手は不可能に近いことから、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夏の日本列島沿岸に来遊するクロマグロ幼魚(ヨコワ)を採捕、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、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、人工ふ化および仔稚魚



飼育技術を開発する-という2面立てで取り組まれた<sup>3)</sup>。

このプロジェクト期間は、公的資金による多くの場合と同様に3ヶ年であったが、何れの参画機関もヨコワを1年以上飼育することができず、予算切れとともに本種の研究からほとんどが撤退した。原田所長指導下での近畿大学のみが研究を続行できたのは、この研究所が設立当初から養殖生産部門を有した独立採算制の下に運営され、生産(収入)さえ上げれば自由に研究ができたからである。プロジェクト参画招聘を躊躇無く受けた第二代所長原田輝雄博士は1991年に志半ばで他界したが、クロマグロの養殖技術は世界に普及し、32年を費やしたが完全養殖も達成した。現在、その産業化のための量産技術開発が進んでいるところであり、ここにその経緯と現況を紹介する。

## 1. 養殖技術の開発と親魚養成

前述の二面立ての研究のうち、②の近縁種の人工ふ化技術の開発では、当時三重県で操業していた旋網船団15ヶ統のうち7ヶ統に乗船して漁獲されるキハダからの採卵を試みた。また、串本町大島の定置網に入網するカツオ類からの採卵を試み、それぞれ人工ふ化・仔魚飼育を行った。その結果、1970年にはキハダ、1972年にはヒラソウダおよびマルソウダ、1973年にはハガツオから、それぞれ採卵することができ、人工ふ化および稚魚までの飼育にも成功した。なお、これらサバ型魚類の仔稚魚飼育を成功させた技術として、シオミズツボワムシ、アルテミア幼生に次ぐ餌料系列に、現在では当然のように使われる魚類ふ化仔魚を用いたことが特記される。これは後のクロマグロの仔魚飼育技術にも当然活用された。なお、この餌料用ふ化仔魚には、時期的に大量入手が可能な魚種が用いられ、紀伊半島海域ではマダイおよびイシダイである。

このように、近縁種による仔稚魚飼育の経験から種苗生産技術に一定の目処がついたものの、本命である①についての技術開発は著しく困難であった。筆者らは夏のヨコワ来遊シーズンになると、白浜沖での朝夕の曳き縄釣りや、前進基地として

串本町の鯨解体場跡の廃屋に開設した大島分室(現大島実験場)に泊まり込み、定置網の網起こしを手伝いながら、入網したヨコワを網生簀に活け込む実験を試みていたが、何れも1ヶ月前後で全滅という惨めな状況が続いた。朽ちかけた廃屋から雨の降る暗闇に飛び出し、雑草の生い茂る小径を大島の港へ急いだその頃の情景が思い出される。

この間、白浜では赤潮発生による被害もあり、実験地の軸足を大島に移しつつ、ヨコワ活け込み技法の開発が続けられた。釣獲魚の口内の傷を最小限に抑えるため、曳き縄釣り用釣り針の“かえし”を潰すことや、一旦ポリバケツに収容すること、その上部にテグスを張って魚体に手を触れず針を外すこと、などを漁業者とともに工夫し改善が施された。また、生簀網の大きさ、構造およびその交換方法についても思考錯誤が続けられた。当初は一辺7mの角形、或いは直径8mの円筒形であった網生簀のサイズも、12mを経て30mへと大きくなった。網の構造と汚れた網の交換方法では、弛んだ網にマグロが突っ込み死亡する事故が多発したことから、金網および化繊網生簀を用いたトンネル網による流し込み法を経て、ファスナーを使用しての化繊網海中組立法へと、次第に現在の構造と方法に改善された。こうした中で1974年、天然から採捕したヨコワの長期飼育に成功し養殖への道が拓かれ、親魚養成へと展開されるに至った。これが学会発表を経てマスコミにも報道されたことから、故原田所長は、当時の太洋漁業(株)のグループ会社で、海外へも定置網資材を供給していた泰東製鋼(株)から、ハリファックス(北アメリカ東岸・カナダ)の定置網に入網する産卵後の痩せたクロマグロを蓄養する事業を支援して欲しいとの相談を受け、研修員の受け入れとカナダへの技術員2名派遣によるサポートを実施した<sup>4)</sup>。これが今では世界中に発展したマグロ蓄養事業の端緒である。

## 2. 種苗生産技術の開発

こうしてクロマグロの養殖が可能になったものの、当初は本種の成熟年齢も分からないばかりか、巨大であるため扱い難く、ブリやマダイのように人工

授精を試みることができず、種苗生産のための熟卵入手方法をイメージすることが出来なかった。ところが幸いにも、1974年に活け込んだ群れが満5歳となった1979年の6月、生簀内での自然産卵を確認した。世界初の養成親魚からの採卵成功であり、人工ふ化および稚魚までの飼育にも成功したが、ふ化後47日目、最大全長57mmで全滅した。1980年および1982年にも採卵できたが、ふ化仔魚の飼育結果は1979年と五十歩百歩で、マダイやブリなど既往魚種の経験から「数cmの稚魚まで育てられれば種苗生産は成功」と思っていた我々にとっては大きな衝撃であった。さらに1982年より11年間産卵がみられず、種苗生産の研究は休止状態に陥った。

1994年に産卵が再開されてからは、クロマグロは他の魚種とは全く違うと再認識し所内にプロジェクトチームを作り、生理生態学的な基礎知見の集積に基づく種苗生産技術の開発を図った。その結果、詳細な飼育観察とともに、筋肉の発達、酸素消費量、消化酵素活性、遊泳速度、生態に関する形

態学的アプローチ等々の知見集積が進み、本種の種苗生産のポイントが次第に見えるようになった<sup>5)</sup>。図1に1996年当時の種苗生産の概要を、図2に各発育段階の写真を示すが、クロマグロの種苗生産には、(1)ふ化後10日目ごろまでの初期減耗(写真B-C)、(2)ふ化後10日から30日目ごろまでの共喰いによる減耗期(写真C-E)、(3)以後、ふ化後3ヶ月間余りにみられる衝突多発期(写真E-F)と、大きな減耗期が続くことが分かった。このように課題は多いが、初期の生残率を如何に高めても、(3)で全滅している状況では人工種苗からの養殖は不可能であり、完全養殖達成は出来ないと考え、まずは衝突多発の原因究明と対策に重点を置く研究を進めた。その中で最も興味深い結果が各鰭の発達状況から明らかになった。同じサバ科魚類でも衝突死が見られないマサバとクロマグロとを比較したところ、前者の各鰭は発育に伴って何れも成魚の水準近くで変動するのに対し、クロマグロでは、推進力の源である尾鰭は成魚の水準で発達するものの、舵やブレーキに当たる胸鰭や臀鰭

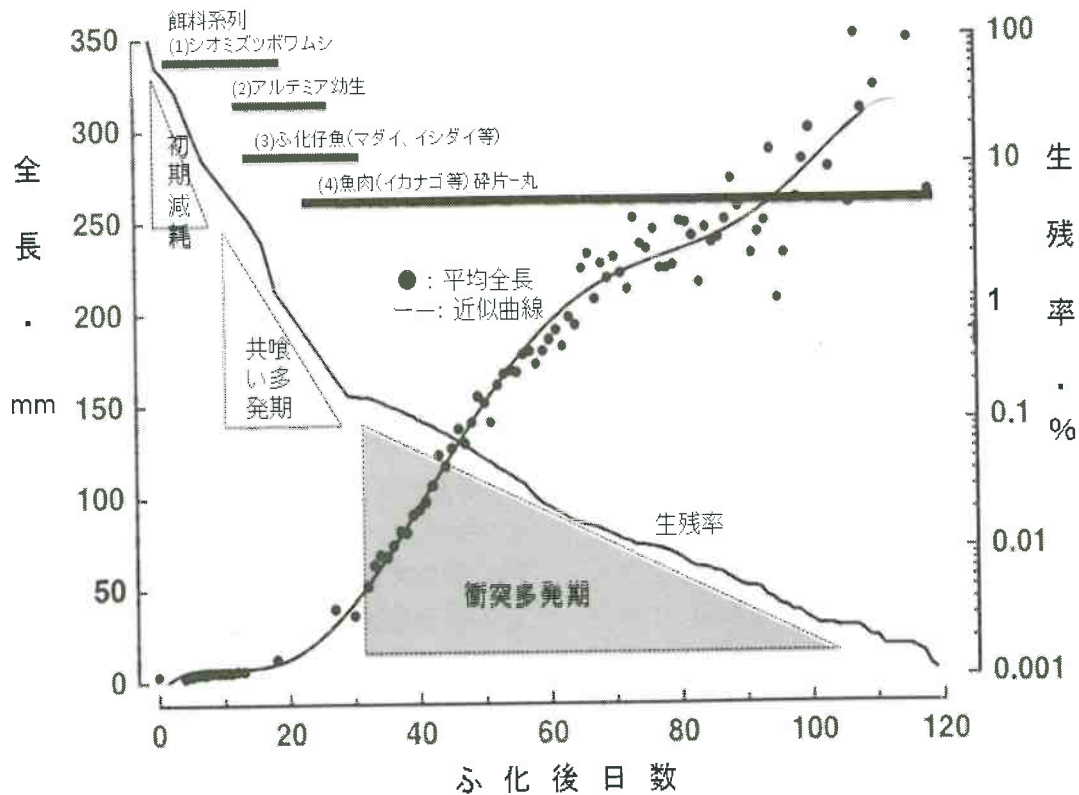


図1 クロマグロの種苗生産過程と三大減耗期 (1996年)

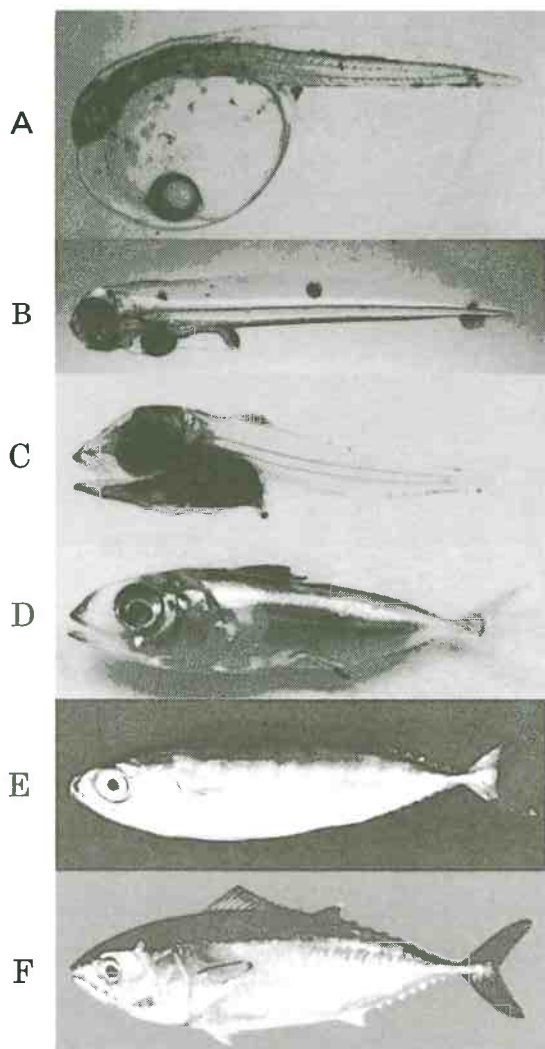


図2 人工孵化クロマグロの发育段階と減耗期

- |   |                       |             |
|---|-----------------------|-------------|
| A | ふ化直後 (全長 2.8 mm)      |             |
| B | ふ化後 2 日目 (全長 3.8 mm)  | } 初期減耗期     |
| C | 同 10 日目 (全長 7.5 mm)   |             |
| D | 同 22 日目 (全長 30.5 mm)  | } 共喰いによる減耗期 |
| E | 同 38 日目 (全長 90.2 mm)  |             |
| F | 同 74 日目 (全長 253.0 mm) | } 衝突多発期     |

の発達が著しく遅く、全長 5~6 cm では成魚の約半分の水準であることが分かった(図3)。遊泳速度は他魚種に比べて数倍速いこともわかり、驚愕反応で誘発される突進遊泳によって障害物に衝突した場合、その衝撃度は相当なものとなることが推察された。ほとんど障害物がない太平洋ゆえ、低い餌密度の中で生き残るためにクロマグロは、ハンティングに総てをかけているようにみえる。すなわち、ダ

ッシュカも遊泳速度も他魚種より優れていながら制御能力の発達が伴わず、それが成魚の水準に達するのは全長 20~30 cm であり、この間は衝突しやすいステージといえる<sup>5)</sup>。因みにこのサイズは、夏季に紀伊半島沿岸へ来遊する天然ヨコワと同程度である。同じ回遊魚であるブリの稚魚でも、一辺数 m の生簀で飼育出来るが、クロマグロが飼育出来ないのはそのためであろうか。1994 年には、初めて陸上水槽から一辺 6 m の海面網生簀へ 1,872 尾を沖出しすることに成功したが、246 日齢で全滅した(全長 42.8cm 体重 1,327g)。

### 3. 完全養殖の達成

以上の経緯から、当面の方策として斃死率を低減するには、衝突確率を下げるために生簀のサイズを大きくする以外にないと判断された。そこで、1995 および 1996 年には、全長 5~6 cm での沖出しに当たり、生簀を直径 12 m の八角形へと大きくし、さらに、1998 年には、それまで考えられなかった親魚用生簀と同じ直径 30 m の円形生簀に沖出しした。その結果、前者では、それまで沖出し後 1 年以上飼育できなかったクロマグロの生存を可能にした。後にこの群は、3 歳および 2 歳となった 1998 年の生残尾数が 17 尾および 35 尾と少なくなっていたが、合併し親魚養成を継続した。一方、直径 30 m 生簀に沖出しした 1998 年産群は、沖出し一ヶ月後の生残率が 49.6% と大幅に改善され、満 2 歳で約 400 尾(体重 5~15kg)を生存させることができた。同型の生簀で最終取り上げ尾数 400 尾であれば養殖事業として採算は取れるので、これにより産業化の水準を達成できたと言えよう。この群より 2, 3 年先行していた 1995, 1996 年産合併群は、満 5 歳となった 2000 年および満 6 歳となった 2001 年にも産卵せず、完全養殖達成への期待は、先述の 1998 年群に移りつつあった。しかし、合併群が満 7 歳および 6 歳を迎えた 2002 年の産卵期に 6 尾および 14 尾と生存尾数は少なくなっていたが、それぞれ推定体重 110~150kg, および 70~120kg に成長しており、6 月 23 日から産卵を始め、研究開始から実に 32 年を要したが、完全養殖が達成された。

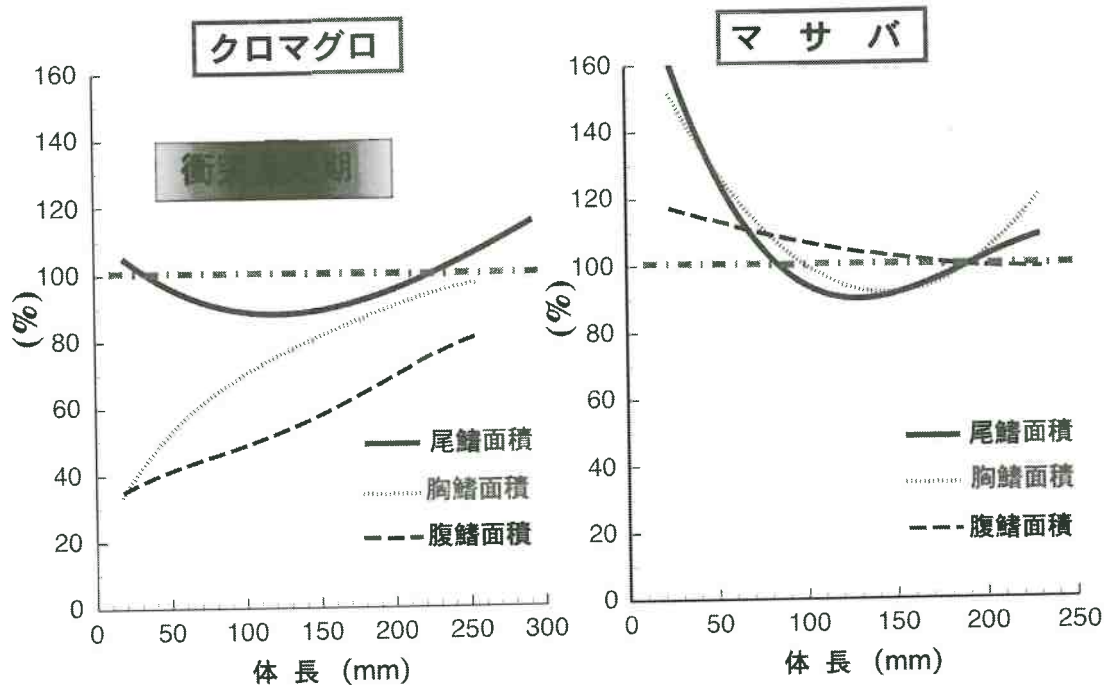


図3 クロマグロとマサバにおける体長に対する鰭面積比の対成魚指数の変化  
 体長の二乗に対する各鰭面積の割合を、成魚の場合の平均値に比した指数で表した。したがって、  
 Y軸の100(%)が成魚の水準となる。

なお、当年生産された沖出し稚魚は過去最多の17,307尾で、2004年から完全養殖クロマグロとして市場に出荷された。

#### 4. 完全養殖産業化への技術開発の現状と展望

以上の成果が認められ、2003年から文科省の21世紀COEプログラムに、2008年から同じくグローバルCOEプログラムにそれぞれ選定されたことから、大学院農学研究科のメンバーを加えて完全養殖産業化へ向けての研究が加速している。先述した本種の種苗生産過程に連続して横たわる三大減耗期についてみると、(1)の初期減耗については、その現象として知られる浮上死や沈降死の原因究明と対策が次第に明らかになりつつあり、10年前まで10%前後だったこのステージでの生残率が現在では30~40%にまで向上している。(2)の共喰いによる減耗は、十分な餌料を給餌すればかなり防止できる。稚魚期に至る従来の餌料系列には、総て活きた生物餌料を必要とし、特に全長10mm以

降、魚肉ミンチあるいは切断肉に切り替わる全長25mmまでの餌料としては魚類の仔魚が不可欠であり、この不足程度によっては共喰いによる大減耗となる。対策としては配合飼料の開発に尽きるが、漸く全長25mm以降で使える飼料が開発され、魚肉への切り替え労務が省力化されつつあるので、更なる開発が期待される。(3)の衝突多発期対策としては、夜間電照によって生残率を向上させる技術開発等が進み<sup>6)</sup>、本種の種苗生産で中核となる大島実験場では、図4および図5に示すように、初期の生残率とともに沖出し後の生残率も年々向上している。2009年には4実験場(大島・浦神・すさみ・奄美)の総計で、全長5~6cmの稚魚19万尾余りを沖出しし、4万尾の養殖用種苗(ヨコワ)を生産できた(図6)。この尾数は、当時の国内養殖で必要と云われた種苗の約10%に当たる。しかし、卵から市販種苗サイズまでの生残率は、陸上水槽における全長5~6cmまでの初期で3~5%(図4)、以後20~30cmまでの海面生簀での中間育成が50%前後(図5)であるから通期では2~3%となり、マダイでの60~80%に比べると未だ著しく低い。

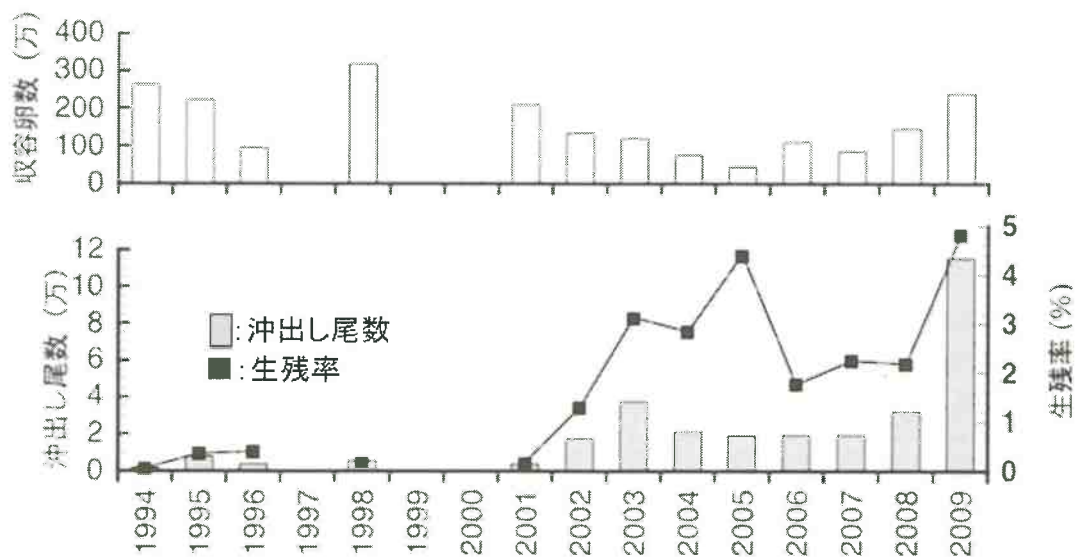


図4 クロマグロ種苗生産における初期生残率の推移 (大島実験場)

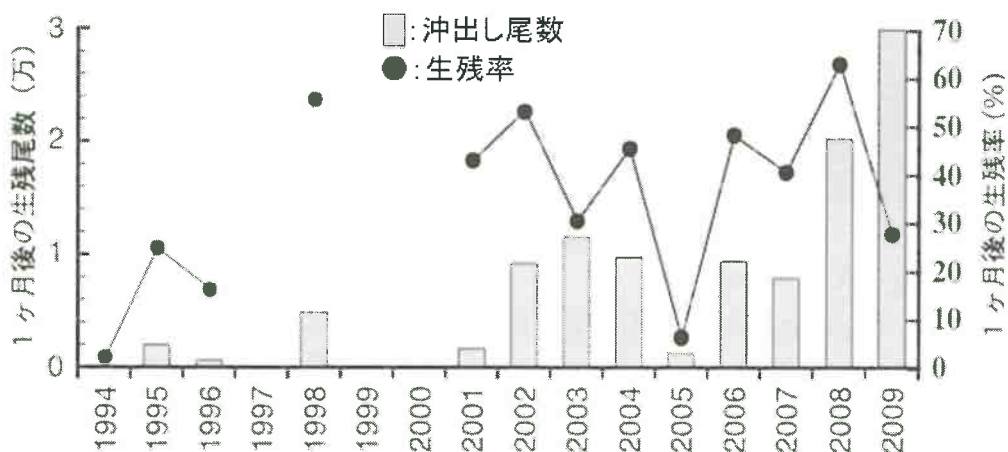


図5 クロマグロ中間育成における生残率の推移 (海面生簀／大島実験場)

完全養殖産業化のためには、既述した生産過程の各ステージにおける生残率の向上を図る必要があるのは当然であるが、他魚種ではみられない最大の問題点は、当初から重要視してきた沖出しサイズ(全長 5.6 cm)からヨコワサイズ(同 20~30 cm)までの中間育成における衝突多発死対策である。夜間電照による衝突防止策は一定の効果を期待できるものの、他魚種並みに安定した生残率を得るまでに至っていない(図5参照)。したがって、一般養魚家による種苗導入サイズは、マダイなどの他魚種の場合、全長 5.6 cm で問題ないが、クロ

マグロではリスクが大きすぎて天然ヨコワと同サイズにならないと導入できないのが現状である。では、種苗生産側でヨコワまで飼育できる最多尾数はどれくらいか？近畿大学では、使用できる生簀の数と容積から、図6に示すように2009年に生産できたヨコワ4万尾が限界に近いと考えている。種苗の中間育成として考えると、4万尾という数字は他魚種なら直径 30m 生簀1台で飼育可能であろうが、クロマグロでは 5.6 台、養魚家に移管する時期が遅れば 10 台以上が必要となる。飼育密度の限界は、ブリ等が 20 kg/m<sup>3</sup> 以上(水産庁の指導値はその

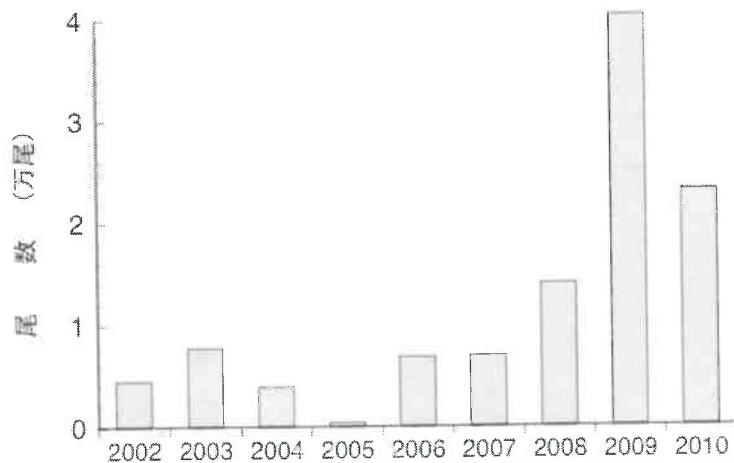


図6 養殖用人工種苗（ヨコワ）の生産尾数  
(近畿大学水産研究所)

1/3 以下)であるのに対して、本種では  $3 \text{ kg/m}^3$  と云われ、幼魚も著しく成長が速いので分養が遅れば大量斃死に繋がる例は少なくない。

このような状況では、本種の実用種苗の量産は極めて困難である。そこで、近畿大学では、中間育成を引き受けて貰える養魚家を募るが、大手資本数社から申し出があるのみである。また、その場合でも中間育成場所が地理的に様々で、異なる環境の生理的な影響など、本種では未だ不明な点が多いので手探り状態である。

世界のクロマグロ生産量の7割以上を日本人が消費していると云われ、2010年の春にドーハで開催されたワシントン条約締結国会議で、附属書Iへの大西洋クロマグロ掲載を巡って大騒動となったのは記憶に新しい。これは水産庁の対応により辛くも否決されたが、大西洋マグロ類保存国際委員会 (ICCAT) は大幅な漁獲制限を打ち出し、地中海の蓄養事業に大きな影を落としている。このような動向から、海外の蓄養クロマグロを輸入している大手資本は順次、国内での養殖生産に乗り出している。その結果、数年前まで4,5千トンを越えていた国内生産量は既に1万トンを越えているとも云われ、さらに増加傾向にある。これらの養殖用原魚には当然、天然採捕のヨコワが充てられるが、好不漁があるので安定した養魚経営を行う上で今後問題になろう。また、急増するヨコワ需要は、太平洋

の資源管理にも問題を投げかけ、国際関係からも好ましくないのは当然であり、水産庁は様々な対応を迫られる。このような状況をみれば、養殖業界自らもヨコワの採捕尾数を、例えば10年前の水準に抑え、残る必要尾数は完全養殖で賄えるように早急に努力すべきである。完全養殖が普及しなければ、本種養殖の持続的発展は困難であろう。

#### 参考文献

- 1) 本間昭郎(1995), さいばい, 76, 9-13.
- 2) 須田 明(1995), さいばい, 76, 14-23.
- 3) 上柳昭治ほか(1973), 遠洋水研業績, 105, 1-165.
- 4) 吉川明夫・本間敬二(1980), ていち, 57, 1-12.
- 5) 宮下 盛(2002), 近畿大学水産研究所報告, 8, 1-171.
- 6) 熊井英水・宮下 盛・小野征一郎(2010), クロマグロ完全養殖, 成山堂書店, 1-219.

## ◀ 特集 ▶

## クロマグロの資源量を知るための資源評価

独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所

竹内 幸夫

水産資源の資源量を調べることを資源評価というが、クロマグロに代表されるまぐろ・かつお類の資源評価は、当該種に関係する複数の国が参加する地域漁業管理機関あるいは国際科学委員会とよばれる組織で実施されている。主要なまぐろ・かつお類の中で、ただ一つクロマグロは、最近まで本格的な資源評価は実施されてこなかったが、2008年にはじめて本格的な資源評価を実施した。資源評価での資源量推定値は、実際の資源管理に利用されている。

## クロマグロについて

クロマグロ(Bluefin tuna)は、太平洋と大西洋に分布している。2000年頃までは太平洋にいるクロマグロと大西洋にいるクロマグロは同種あるいは地理的亜種とされてきたが、近年DNA等での解析結果などから別種であるという意見が多くなり<sup>1)</sup>、ISC(北太平洋まぐろ類国際科学委員会)、IATTC(全米熱帯まぐろ委員会、東部太平洋を管轄する地域漁業管理機関)、FAO(国際連合食料農業機関)においてもPacific Bluefin tuna (*Thunnus Orientalis*)と大西洋に分布するAtlantic Bluefin tuna (*Thunnus Thynnus*)の2種に分類して取り扱われている。これに基づけば、最近、マスコミを賑わすことの多い青森県大間のクロマグロ(写真1)や、山口県の見島での釣りトーナメントで有名俳優が釣り上げた300キロ超のクロマグロはPacific Bluefin tunaとなる。和名については、太平洋のクロマグロをクロマグロ、大西洋のクロマグロをタイセイヨウクロマグロと呼ぶ場合もあるが、必ずしも定着しているとは言い難い。本稿では、太平洋のクロマグロの資源評価について述べることにし以下では、単にクロマグロと呼ぶこととする。



写真1 青森県大間漁港に2007年7月に水揚げされたクロマグロ(体長235cm、体重230kg)

## クロマグロを管轄する地域漁業管理機関および資源評価を実施する国際科学委員会について

水産資源の資源量を調べることは、水産の分野では資源評価と呼ぶがクロマグロの資源評価は、日、米、墨、台湾を主なメンバーとする国際科学委員会であるISC(北太平洋まぐろ類国際科学委員会)で実施されている。クロマグロの漁獲の大半は、北米大陸沿岸の東部太平洋を含む北太平洋で報告されているが、少量ながら南太平洋でも報告されていることから資源管理は、中西部太平洋を管轄する地域漁業機関(Regional Fisheries Management Organization,

TAKEUCHI Yukio

〒424-8633 静岡県静岡市清水区 折戸 5-7-1

RFMO)であるWCPFC(中西部太平洋まぐろ類委員会), 東部太平洋を管轄するIATTC(全米熱帯まぐろ委員会)が担当する(図1)。クロマグロには, これまで資源管理は行われていなかったが, 2009年12月にタヒチで開催されたWCPFC年次会議においてクロマグロとして初めての資源管理を実施するための保存管理措置が採択された。その後2010年12月には, ホノルル(米国)で開催されたWCPFC年次会議において, 保存管理措置が改定された。ISCでの資源評価は, 2008年5月に, 遠洋水産研究所(静

岡県静岡市)において日本, 米国, 台湾, メキシコからの科学者が参加し10日以上にわたって実施され, その後2009年7月に高雄(台湾)において, 2010年7月にはナナイモ(カナダ)で開催したISCのクロマグロ資源評価会議で改訂された。

### クロマグロの分布と漁業

クロマグロは, 北太平洋の北緯20~40度の温帯域に主に分布するが, 熱帯域や南太平洋にも

わずかに分布している(図2)。

クロマグロの漁獲量は1960年頃の約4万トン

を最高に非常に大きく変動してきたが

1990年代以降の漁獲量を見ると, 2万

トン前後で比較的安定している。2004~

2008年の漁獲量は, 西部太平洋で1万4

千~2万2千トン,

東部太平洋で約4千~1万トンと推定

されている。最新の2009年の漁獲量は,

1.9万トンとなり,

2004~2008年の平均値を下回っている。

日本の漁獲は1952年以降数年の例外を

除き, 全体の半分以上を占めている(図

3)。

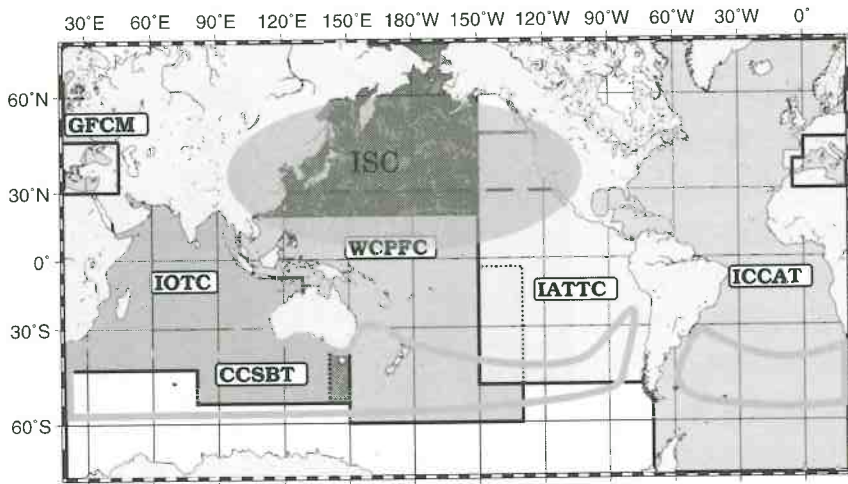


図1 全世界のまぐろに関わる地域漁業管理機関および国際科学委員会

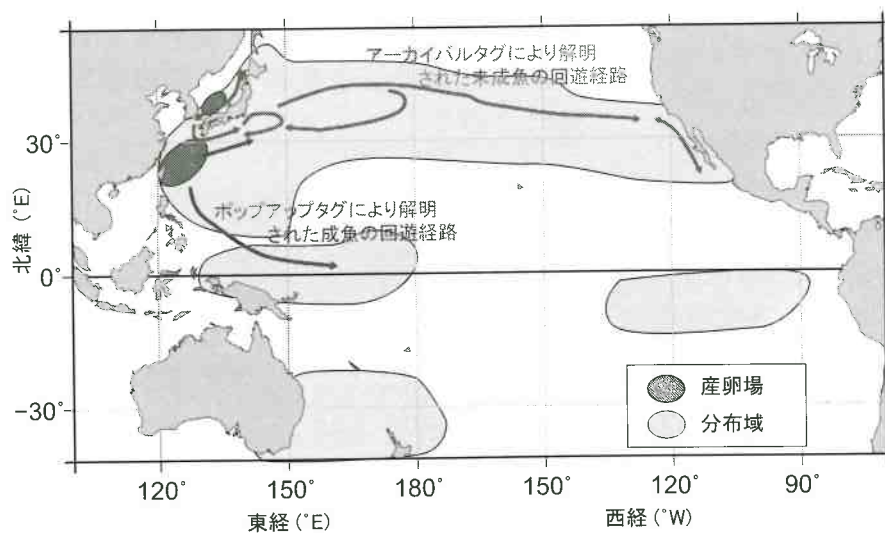


図2 記録式標識(アーカイバルタグ、ポップアップタグ)や、漁獲の分布から明らかになったクロマグロの分布域と産卵場



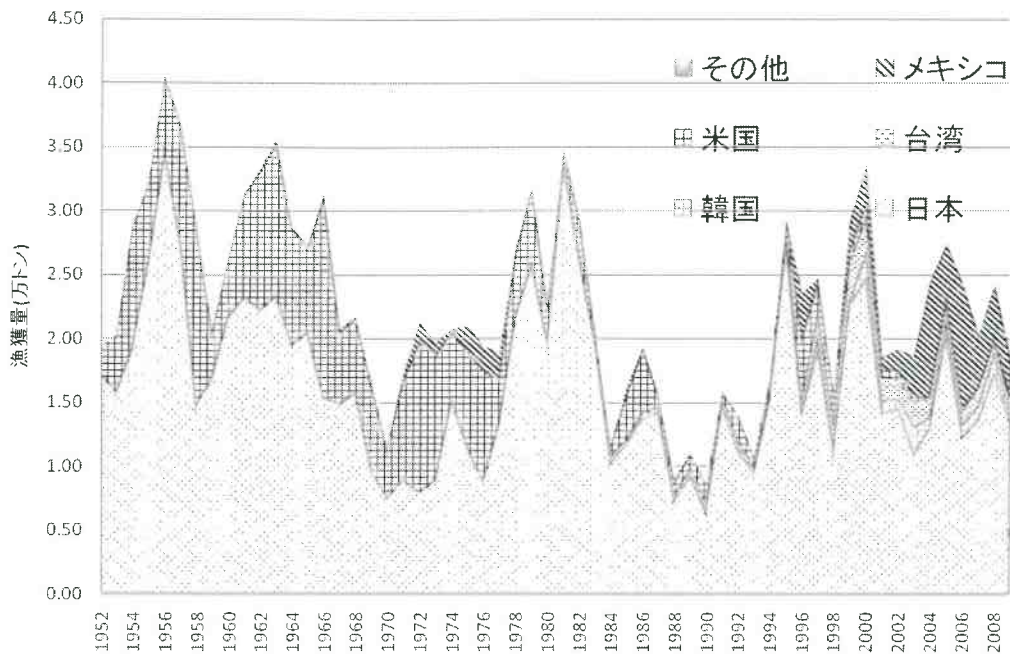


図3 クロマグロの国別漁獲量の推移

## 水産資源の資源評価と統合モデル, Stock Synthesis

水産資源の場合個体数を直接調べる調査が困難な場合が多く資源評価には、漁業から集められた統計データや、水揚地で漁獲物の体長や体重を測定したデータが主に用いられている。資源評価の結果は、多くの場合、学术论文ではなく、いわゆるグレードキュメント（会議に提出される資源評価がまとめられた文書に使われている紙の色が、昔は紙の質が悪く灰色であったことから、そう呼ばれる）と呼ばれる会議提出文書にまとめられている。まぐろ類の資源評価では、漁業の種類も多くデータの種類も多岐多様にわたり、データの量も格段に多いため、最近では統合モデル(Integrated Model)と呼ばれる資源評価のために作成された専用のコンピュータソフトウェアを用いて行われることが多い。クロマグロの場合も2008年5月に行われた資源評価から統合モデルの一種である Stock Synthesis (SS)<sup>2, 3)</sup>を使用している。SSでは、漁獲物の体長組成分布と漁獲量のデータから外部から与えた年齢別体長を表す成長式を使用

し、年齢別の漁獲尾数を推定している。さらに資源量指数や推定された年齢別漁獲尾数を使用して、年齢構成モデルで、毎年の加入豊度(0才魚の尾数)、年齢別尾数、産卵親魚重量等の資源量を推定する。実際には年齢別漁獲尾数の推定、年齢構成モデルによる資源量の推定も含めて最尤法で一気に推定している。

## クロマグロの資源評価

2010年に実施した資源評価のためにSSで用いられた漁獲データは、暦年で1952年7月から2008年6月末までの四半期別・漁業別漁獲量、各漁業による漁獲物の体長頻度分布、日本のはえ縄と曳き縄、台湾のはえ縄、東部太平洋の1980年代初頭までのまき網の資源量指数(Catch Per Unit Effort, 単位努力量当たり漁獲量、資源量の変動傾向を表す指数として使用されている)である。2010年7月の時点で、ほぼ2年遅れのデータが使用されたのは、漁業統計の収集に2年程度のタイムラグがあることと、資源評価のための生のデータを解析して資源評価のインプットデータにする準備作業に時間を要し

たことによる。したがって最新の資源評価が2010年であったので資源評価からわかる最新の資源量は、2008年時点のものとなっている。このため、資源管理上重要な情報である、加入豊度を含めた最近数年の資源量の情報が資源評価から得られないのは、クロマグロの漁獲が生後数ヶ月から数年までの若齢魚中心であることあいまって現在の資源評価から効果的な資源管理を実施する上での弱点となっている。

### クロマグロ資源評価の不確実性の評価

資源量推定値の統計的不確実性は、300回のパラメトリックブートストラップで評価している。この計算には、数時間を要している。SSでは、MCMC（マルコフ連鎖モンテカルロ法）による、より柔軟な推定値の不確実性の評価も出来るが、SSのMCMCの計算が、現在入手可能な最新のPC上で計算しても、10日！以上かかっても収束しないこともありクロマグロの資源評価では使用していない。これは、SSで推

定する漁業別の体長に対する選択曲線のパラメータ等、資源評価の一部のパラメータの非線形性が非常に強いことに起因すると考えられる。資源評価で使用している個々のデータ、及び仮定の影響による資源量推定値の不確実性を評価するためには、50以上のシナリオを変化させた感度解析をおこなった。また、レトロスペクティブ解析と呼ばれる、最新年のデータから1年分ずつモデルの推定に使用するデータを減らしていったときの推定値の変化を調べることによる推定の偏りを調べる解析も行った。その結果、推定された産卵親魚重量や漁獲死亡率の絶対値は、使用した生物学的パラメータ特に高齢の自然死亡率に大きく依存するため不確実性が非常に高いことが明らかになった。一方で、産卵親魚重量等の経年的な相対変化や、資源評価で計算した期間（1952年から2008年）の間での現在の資源量の相対的なレベル、年々の漁獲死亡率の相対的な変化率は、比較的頑健であると結論づけられた。これらからクロマグロの資源評価では、資源量は1952年以降の推定値の中間

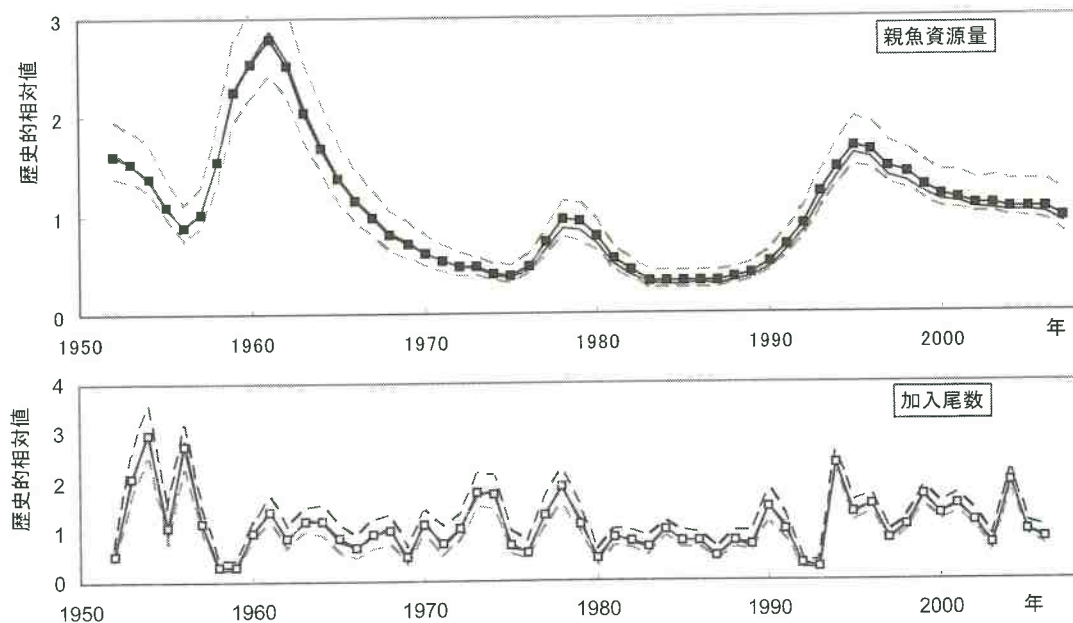


図4 1952年以降のクロマグロの産卵親魚重量(上)と加入豊度(0歳魚尾数)(下)の点推定値(実線)と300回のブートストラップによる推定値の90%信頼区間(破線)とメディアン(黒塗りの四角付きの実線)、それぞれ1952年以降のメディアンからの相対値で表している。産卵親魚重量は、3歳で20%、4歳で50%、5才以上は100%再生産に寄与するとして雌雄込みの重量で計算している。

値からの相対的な値で使われることとなった。

### クロマグロの資源状態

推定された産卵親魚重量の変動傾向には1960年頃、1970年代後半、1990年代後半にピークを迎える周期的に見える変動が見られた。1990年代後半のピーク以降は、最近まで徐々に減少している。最近年（2008年）時点では、産卵親魚重量は、1952年以降のほぼ中間値になっている（図4上）。それに対し、加入豊度は、年

変動が多く（図4下）、産卵親魚重量との間に明確な親子関係は見つかっていない（図5）。漁獲死亡率は、未成魚（0~2才）が継続して高く、1990年以降は増加傾向にある（図6）。一方で、近年、産卵親魚重量が過去60年近くの期間の中間的なレベルよりも上にあるのは、1990年代半ば以降、比較的加入豊度が高かったことによると考えられる。未成魚の漁獲死亡率が高いために、尾数で見た場合に全漁獲の95%以上を2才以下がしめていると推定されている。さらにその割合は1960年代よりも2000年代がより高くなっている（図7）。

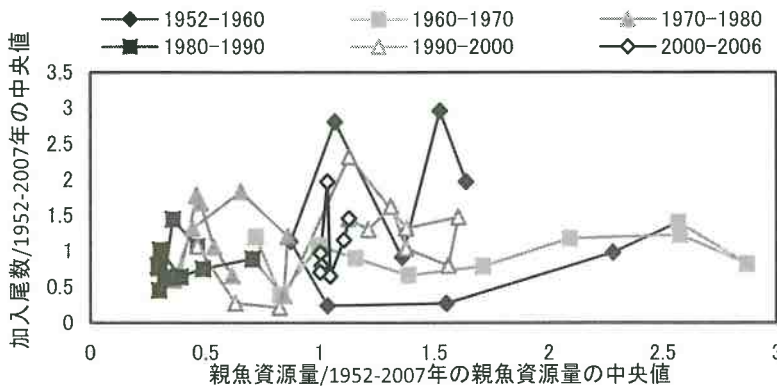


図5 毎年の産卵親魚重量に対する加入豊度（0歳魚尾数）のプロット  
産卵親魚重量に対して加入豊度が何らかの親子関係があるとすれば、ある種の原点を通る曲線（関数）で加入豊度が表されることが期待されるが、明瞭な関係は見られていない。

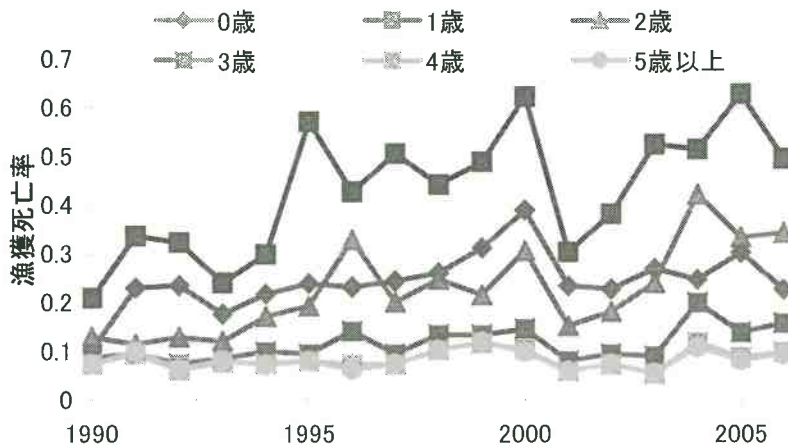


図6 1990年以降のクロマグロの年齢別死亡率

ここでは、年当初の年齢別資源尾数に対するその年の当該年齢の漁獲尾数の比で表している。

### クロマグロ資源の将来の動向と資源管理

将来の資源量の動向については、2004~2006年の平均的な漁獲死亡率の水準が将来も継続した場合、産卵親魚重量は減少を続け、2030年までに1952年以降最低のレベルを5%の確率で下回ると予測した。一方で将来の漁獲死亡率を2002~2004年の平均的な水準に下げれば産卵親魚重量は短期的には減少するものの平均して1952年以降の中間的な水準まで回復する（図8）。これらからISCは将来の漁獲死亡率を2002~2004年の平均的な水準以下に下げのべきであるという保存勧告を作成した<sup>4)</sup>。これを受けて2010年

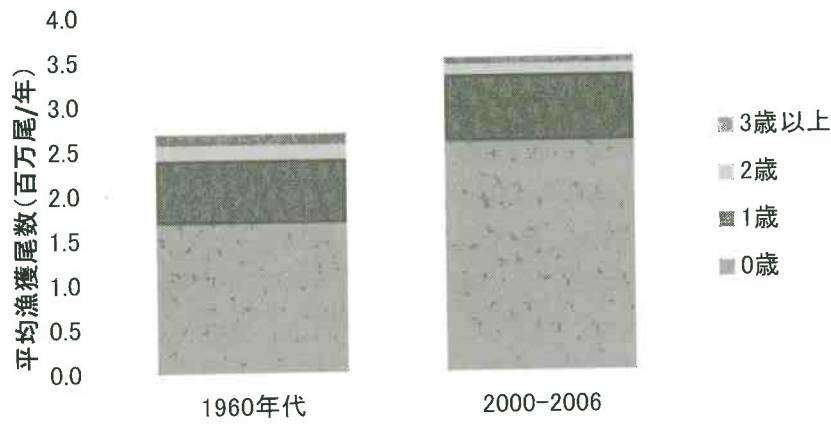


図7 1960年代と2000年以降の平均の年齢別漁獲尾数

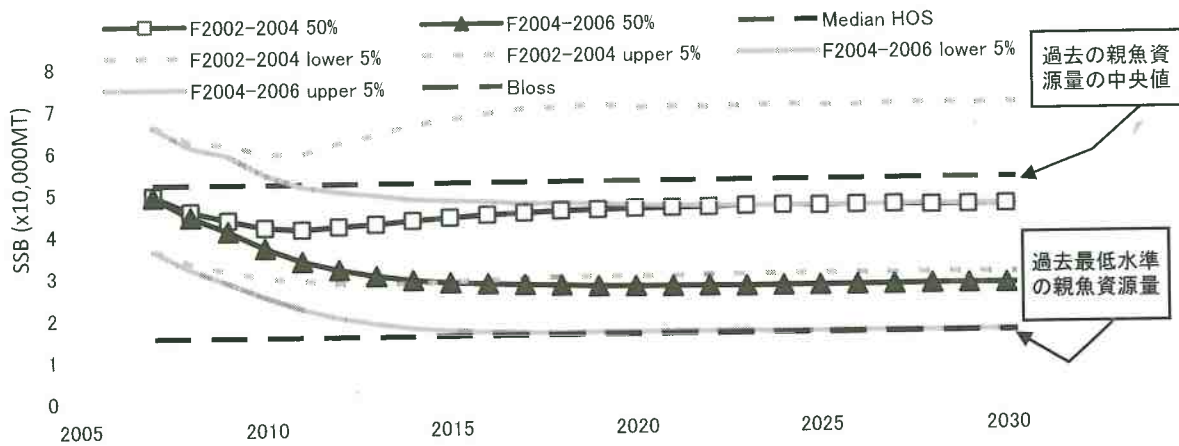


図8 将来の漁獲死亡率を変えた場合の産卵親魚資源の動向

白抜きの実線および三角の実線はそれぞれ将来の漁獲死亡率を2002～2004年の平均的な水準にした場合と2004～2006年の平均的な水準にした場合の中央値、薄い破線と薄い実線はそれぞれ将来の漁獲死亡率を2002～2004年の平均的な水準にした場合と2004～2006年の平均的な水準にした場合の90%信頼区間の上限及び下限を表す。2本の破線は、上が1952年以降の産卵親魚重量の中央値、下が1952年以降の産卵親魚重量の最低値を表す。

12月のWCPFC年次会合では、今後2年間(2011年および2012年)に適用される措置として、1) (零細漁業を除き)漁獲努力量を2002～2004年の水準を下回るように管理すること。2) (韓国を除き)特に0～3才に対する漁獲量が2002～2004年の平均を下回る様に管理すること。3) 韓国については未成魚の漁獲を規制するための必要な措置をとることとする保存管理措

置<sup>5)</sup>が採択された。これらの措置は、次回の2012年5月に実施する次回の資源評価結果に基づき再検討される。

**2011年以降の動き (おわりに代えて)**

クロマグロの資源評価を実施するに当たっては、その漁獲が生後数ヶ月体重数百グラムの

0才魚から、年齢20才以上、体長2メートル超、体重300キロ以上のものまで千差万別であり、日本国内でクロマグロを漁獲する漁業も、延縄、ひき縄、巻き網、定置、一本釣り等、ほとんどすべての漁業種類が含まれ、地理的にも日本周辺の分布が南は九州沖縄から北は北海道にまでおよぶことから、資源評価の基礎となる漁業データの収集においても、水産庁の国際魚類資源対策調査の一環として水産総合研究センター以外にも全国22道県の水産試験場の研究者の方々が日々クロマグロ水揚げ物の測定等の調査に携わっている。また水産総合研究センターでは、2010年5月に水産庁がとりまとめた「太平洋クロマグロの管理強化についての方針」<sup>6)</sup>で日本が他国に先駆けてクロマグロの管理強化を推進するために、ア)国内における資源管理措置の強化、イ)国際交渉の強化、ウ)調査研究の強化を三本柱としたクロマグロ資源への管理方針が発表されたことに伴い、2011年から、新規の調査として加入豊度の早期把握を目的とした0才魚への標識放流調査、0才魚を漁獲対象とする高知県および長崎県内のひき縄漁船計24隻にデータ通信機能を搭載した調査機器を搭載してもらい漁業情報を準リアルタイムで入手する取り組みを実施するとともに、産卵場の実態を把握するための水研センター調査船2隻、水産庁調査船1隻、6県の水産試験場及び水産大学の1隻の調査船による仔稚魚調査船調査等を実施している。これらの調査は、漁業統計データに主に頼ることによる、最近数年の資源量の動向がつかめないという現在の資源評価の欠点を補うことが期待されている。またクロマグロの資源量を正確に知るためには、成長や成熟といった様々な生物学的な知見が必要であるが、必ずしもすべてが分かっているとは言い難い。ここでは一例を挙げるにとどめるがクロマグロの寿命は最近の研究で少なくとも20才以上に及ぶことがわかってきた<sup>7)</sup>が、それでは20才を超える雌のクロマグロは、死亡率がどのくらいで産卵をどの程度の頻度で行いどれだけ資源の再生産に寄与するのかすらも分かっていない。

クロマグロ高齢魚に関する知見はクロマグロの生物研究の中で無視されがちであるが資源量を正確に知り、適切な資源管理を実施していく上で重要な生物学的な情報であり、クロマグロ養殖のための飼育技術の発展に伴い、その方面の研究が今後、急速に進展することが期待される。

## 参考文献

- 1) Collette, B.B. 1999. Mackerels, olecules, and morphology. In Séret, B and J.-Y. Sire (eds.), Proceedings of 5th Indo-Pacific Fish Conference, Nouméa, New Caledonia, 1997. Société Française d'Ichthyologie, Paris, France. 149-164 pp.
- 2) Methot, R (2010) User manual for Stock Synthesis. Seattle, WA.  
<http://nft.nefsc.noaa.gov/downloads/SS-321d-documentation.zip> (2011年6月9日)
- 3) 竹内 (2006) Stock Synthesis II 古くて新しい資源評価モデル, 遠洋リサーチアンドトピックス, no2,7-10pp, 遠洋水産研究所, 静岡県静岡市清水区
- 4) Anon. 2010b. Report of the tenth meeting of the International Scientific Committee for tuna and tuna-like species in the north Pacific Ocean. Plenary Session. 21-26 July 2010. Victoria, B.C. Canada. p. 50.  
[http://isc.ac.affrc.go.jp/pdf/ISC10pdf/ISC10\\_Plenary\\_Final.pdf](http://isc.ac.affrc.go.jp/pdf/ISC10pdf/ISC10_Plenary_Final.pdf) (2011年6月9日)
- 5) WCPFC. (2010). Conservation And Management Measure For Pacific Bluefin Tuna, CMM2010-04, 2pp  
<http://www.wcpfc.int/system/files/documents/conservation-and-management-measures-and-resolutions/conservation-and-management-measures-/CMM%202010-04%20%5BPacific%20Bluefin%20Tuna%5D%2004112011.pdf>
- 6) 水産庁(2010)「太平洋クロマグロの管理強

化についての対応」について（プレスリリース）。

<http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/kokusai/100511.html>（2011年6月9日）

- 7) Shimose, T., Tanabe, T., Chen, K.S., and Hsu, C.C. 2009. Age determination and growth of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, off Japan and Taiwan. *Fish. Res.*, 100: 134-139.

◀ 特 集 ▶

# 魚類の生殖細胞移植による新たな種苗生産技術の開発 — クロマグロを生むサバの作出をめざして —

<sup>1</sup>東京海洋大学 海洋科学部 <sup>2</sup>東京海洋大学 先端科学技術研究センター

吉崎悟朗<sup>1</sup>・矢澤良輔<sup>1</sup>・岩田 岳<sup>1</sup>・樋口健太郎<sup>1</sup>・竹内 裕<sup>2</sup>

卵や精子のもとになる生殖系列の幹細胞を、免疫系が未発達な発生の初期の異種宿主へと移植すると、免疫拒絶を回避することができる。さらに、ドナー細胞を宿主個体の腹腔内へと移植するだけで、移植細胞の一部は宿主の生殖腺に取り込まれ、そこで配偶子形成を再開する。筆者らはこの方法でニジマス細胞を移植したヤマメ両親を交配し、次世代にニジマスのみを生産することに成功している。ここでは、本法の原理とクロマグロを生むマサバ作出を目指した研究の現状と展望を紹介する。

## はじめに

近年、大西洋クロマグロ (*Thunnus thynnus*) の資源量の減少が危惧されており、ワシントン条約締約国会議において、附属書への掲載が議論されたことは記憶に新しい。わが国では太平洋クロマグロ (*Thunnus orientalis*) の種苗生産技術が開発されてはいるものの、未だ天然の幼魚を海から採集して、それを商品サイズにまで育てる養殖形態が主流である。このような状況において、クロマグロ種苗の安定生産技術の構築は、養殖用の種苗供給と天然水界への放流用種苗供給の両観点から極めて重要な課題である。

クロマグロの種苗生産のひとつの問題は、その親魚の大きさと成熟年齢にある。通常クロマグロは体重が 50~100kg 程度、年齢が 3-5 歳になって初めて成熟する。したがって、通常の方法で種苗生産を行う場合、親魚の養成と維持管理に多大な労力、コスト、さらに大掛かりな飼育施設が必要となる。そこで筆者らは、クロマ

YOSHIZAKI Goro<sup>1</sup>, YAZAWA Ryosuke<sup>1</sup>, IWATA Gaku<sup>1</sup>, HIGUCHI Kentaro<sup>1</sup>, TAKEUCHI Yutaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

<sup>2</sup>〒294-0308 千葉県館山市坂田 670

グロと同じサバ科に属し、満 1 歳、体重 300g 程度から成熟するマサバ (*Scomber japonicus*) を、クロマグロの配偶子を生産させる際の代理の親魚として利用できないかと考えた。

## 魚類の精原細胞移植

ここではまず、我々が開発した代理親魚技法の原理を紹介する。筆者らが考えた戦略は、種苗が必要な種 (上の例ではクロマグロ) の配偶子のおおもとの細胞を単離し、これを成熟が早く、小型で飼育が容易な魚種の卵巣や精巣に移植すれば、移植を施された宿主個体は、移植細胞に由来する (すなわちドナー由来の) の卵や精子を生産するというものである。筆者らはこのアイデアを具現化するため、配偶子のおおもとの細胞として精原幹細胞に注目した。精原幹細胞は、本来は精巣内に存在し、精子を個体の生涯にわたり無限に供給する精子の起源細胞である。さらに筆者らは、種間での細胞移植に伴う免疫拒絶を防ぐため、免疫系が未熟で、異物を拒絶する能力が備わっていない孵化直後の仔稚魚を移植用宿主に用いることを考えた。実際には、孵化直後の個体は小型であるため、卵巣

や精巣に精原幹細胞を移植することは技術的に不可能である。そこで、筆者らはドナーから調整した精原幹細胞を含む精巣細胞の懸濁液を、宿主仔稚魚の腹腔内へと移植する方法を提案した<sup>1)</sup>。仔稚魚の腹腔内へと移植された精巣細胞の一部（精原幹細胞と予想される）は、宿主の未分化な生殖腺へと自発的に移動し、そこに取り込まれ、配偶子形成を再開するのである。さらに特筆すべきこととして、精原幹細胞が雌宿主の卵巣に取り込まれると、この細胞は完全に機能的な卵へと分化する<sup>1)</sup>。言い換えると、精原幹細胞は精巣から得られる細胞であるが、卵と精子の両者を作り出す能力を備えているのである。

筆者らは孵化直後の個体が極端に大きなサケ科魚類を用いてこの実験に着手し、ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*) の精巣細胞を同属のヤマメ (*Oncorhynchus masou*) に移植することで、ニジマスの卵や精子を生産するヤマメの作出に成功した<sup>2)</sup>。しかし、ここで作出した代理親ヤマメは、ドナー由来のニジマスの卵や精子を生産したものの、実際には大量の自分自身の卵や精子も生産した。筆者らが最終的に作出したい代理親魚は“サバもマグロも生むサバ”ではなく“マグロしか生まないサバ”である。そこで筆

者らは移植用の宿主が自身の卵や精子を生産しないよう、三倍体化による不妊化処理を施した。魚類の三倍体は、発生や成長は通常個体とほぼ同様であるが、多くの場合不妊となる。その結果、ニジマスの精巣細胞を移植した三倍体ヤマメは、自身の配偶子はまったく作らず、雌ではニジマス卵のみを、雄ではニジマス精子のみを生産することが確認された。さらにこれらのヤマメ両親を交配することで、次世代ではニジマスのみを生産することに成功している (図1)<sup>3)</sup>。

### 代理親魚技術の海産魚への応用

近年、筆者らはこれらサケ科魚類を用いて開発した技術を海産魚へと応用することに成功した。サケ科魚類の孵化直後の個体は全長が15mm程度あるのに対し、海産魚のそれは2-3mmと小さいうえ、ハンドリングストレスに極端に弱い。そこで、小型の卵を生産する海産魚のモデルとしてニベ (*Nibea mitsukurii*) を実験材料に用い、移植実験を行った。実験には緑色蛍光タンパク質 (GFP) 遺伝子を組み込んだ個体をドナーに、野生型のニベを宿主にし、異系統間での移植を行った。なお移植に用いた宿主には三倍体化処理を施した。さまざまな発生段階のニベに移植を行った結果、全長が4mm程度にまで育てた後に移植を行ったほうが、宿主の生残率が高いことが明らかとなった<sup>4)</sup>。これらの個体を成熟させたところ、移植を施していない三倍体ニベは精子濃度が極端に薄い透明な精液を生産したのに対し、精巣細胞を移植した宿主個体は通常の二倍体と同様の白濁した精液を生産した。精巣細胞移植を行っていない三倍体由来の精子は、わずかに卵と受精したものの、得られた受精卵から、正常に発生した個体は得られなかった。このことか

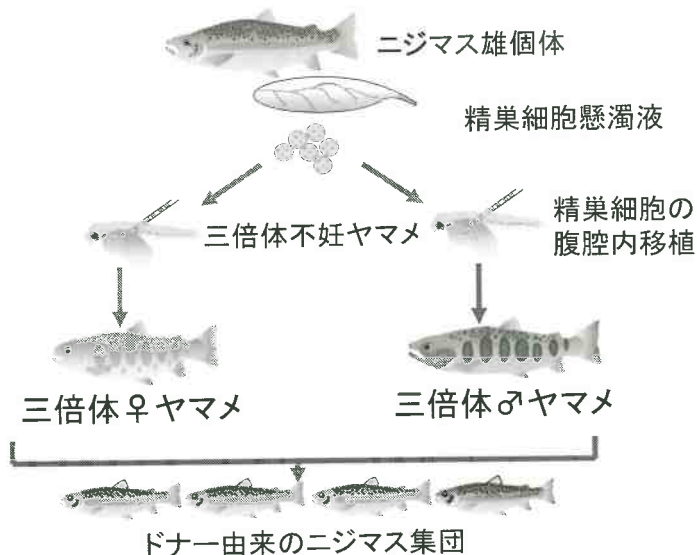


図1 ニジマス精原幹細胞の移植による代理親ヤマメの作出とその交配によるドナー由来個体の作出



ら、三倍体個体から得られた精液中にわずかに含まれていた精子は、倍数性に異常があったものと推測された。一方、二倍体個体由来の精巢細胞を移植した三倍体個体の次世代は、通常個体の次世代とほぼ同様に発生し、孵化後も正常に成長した(図2)。さらに、得られた個体からDNAを抽出しGFP遺伝子に対するプライマーを用いてPCRを行った結果、これらの個体からはGFP遺伝子が検出された。以上の結果から、三倍体ニベ宿主は移植した精原幹細胞に由来する次世代個体のみを生産したことが示唆された。このようにニベを用いた一連の実験から、小型の卵を生産する海産魚においても本移植法を適応可能であることが明らかとなったため、次にマサバ宿主を用いた移植実験を開始した。



図2 代理ニベ親魚から生まれた異系統由来のニベF1個体

### マサバ宿主を用いた精原細胞移植

マサバを含むサバ科魚類は、海産魚の中でも特にハンドリングストレスに弱く、移植操作が難しいことが予測された。そこで、移植適期を明らかにするため、種々の日齢の仔魚へと移植を行い、その後の生残率と移植成功率を解析した<sup>5)</sup>。クロマグロとマサバは遺伝的に近縁であるため、分子生物学的手法を駆使しても、両種の細胞を識別することは容易ではない。そこで、移植細胞の挙動を *in situ* hybridization 法で解析するため、移植用ドナーには、あえてマサバと

は遠縁であるニベを用いた。さらに、マサバの腹腔内に移植したニベ細胞がマサバの生殖腺に取り込まれたか否かを明らかにするため、ニベの精巢細胞はすべてPKH26と呼ばれる赤色の蛍光色素で細胞膜を標識した後に移植を行った(図3)。ニベの精巢細胞懸濁液を日齢が5日



図3 マサバ仔魚腹腔内への精巢細胞移植

から9日までの仔魚へ移植したところ、宿主の生残率は移植を行っていない対照区と同等であった。一方、移植後21日目に宿主を開腹し、移植細胞の挙動を蛍光観察したところ、赤色蛍光を発するニベの精巢細胞の多くが、マサバ宿主の生殖腺に取り込まれている様子が観察された(図4)。また、その取り込み効率は日齢が7日、全長が5.3mm程度のときに最も高く、移

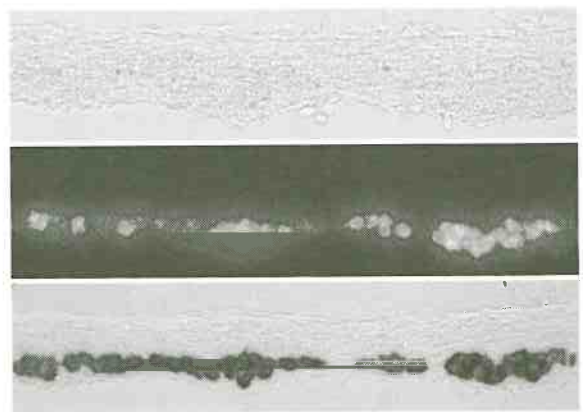


図4 マサバ宿主生殖腺へと取り込まれたニベ生殖細胞

マサバ生殖腺内に存在する蛍光を発するニベ細胞(中段)はニベの *vasamRNA* を保持しており(下段)、間違いなく生殖細胞であることが確認された。上段は単離した宿主生殖腺の明視野像。

植を行った個体の7割程度の個体が生殖腺内にニベ細胞を保持していることが明らかとなった。さらに、これらの細胞が間違いなくニベ由来の生殖細胞であることを証明するために、ニベの生殖細胞のみを特異的に検出可能なニベの *vasa* cRNA をプローブに用いた *in situ* hybridization を行った。なお、ニベ精巣内において *vasa* 遺伝子は、精原幹細胞を含む精原細胞で強く発現することが明らかになっている。その結果、赤色蛍光を発している細胞は、ニベの *vasa* mRNA を保持しており、これらマサバの生殖腺に取り込まれたニベ精巣細胞は、間違いなく生殖細胞であることが明らかとなった(図4)<sup>5)</sup>。

以上の実験で、マサバ宿主に対しても生殖細胞移植が可能であること、さらに全長5mm程度の仔魚が宿主として適していることが明らかとなったため、実際にクロマグロの生殖細胞移植の実験を行った。移植用の細胞調整は、クロマグロの養殖場において出荷される個体(体重20-40kg程度)から単離した精巣を、酵素処理により解離して行った。実験開始当初は、クロマグロの生殖細胞がマサバ宿主の生殖腺へ取り込まれる効率は非常に低かったが、クロマグロの精巣細胞懸濁液から精原幹細胞を高濃度で含むと予想される細胞集団を濃縮してから移植することで、現在では高率で移植細胞を宿主生殖腺へと生着させることが可能になっている。現在まで、これらの宿主マサバは順調に成育しており(図5)、近い将来クロマグロの配偶子を生産することが期待される。さらに、マグロしか生まないサバを作出するために、マサバの不妊化技術の開発も進行中である。

## おわりに

このようにマグロを生むサバの作成に向けた研究の現状を紹介してきたが、これが実現すれば、小規模な種苗生産施設でクロマグロ種苗を生産することが可能になること以外にも、多くのメリットがもたらされるものと期待される。



図5 クロマグロ細胞を移植されたマサバ宿主

まず、天然水界への放流用種苗の遺伝的多様性の創出である。出荷時まで人為管理下で個体を飼育する養殖用の種苗においては多様性は不要であるが、減少した資源を補填するために天然水界へと放流される種苗には遺伝的多様性が不可欠である。当然、マサバのような小型の代理親魚を用いることで親魚個体数を増やすことが可能になり、ひいては遺伝的多様性の増加が期待される。しかし、本法の特徴を駆使すればさらに大きな多様性創出が可能である。たとえば10尾のクロマグロから単離した生殖細胞を1尾のマサバ宿主へと移植すれば、このマサバ宿主はクロマグロ10尾分の多様な配偶子を生産する。したがって雌雄のマサバ宿主にそれぞれ10尾ずつのクロマグロ生殖細胞を移植することができれば、わずか300g程度のマサバ代理親魚が1ペア交配することで、 $10^2$ 、すなわち100ペアのクロマグロ親魚(100kg程度)が作り出す遺伝的多様性に匹敵する種苗を容易に作り出すことが可能である(図6)。

さらに、特筆すべきこととして、移植に用いる精巣細胞は液体窒素内で凍結保存することがすでに可能になっている<sup>6)</sup>。したがって、天然クロマグロを出荷する際に、精巣を凍結保存しておけば、これらの細胞を解凍後に、移植を介していつでも凍結細胞に由来する卵と精子を生産することが可能である。言い換えれば、大量

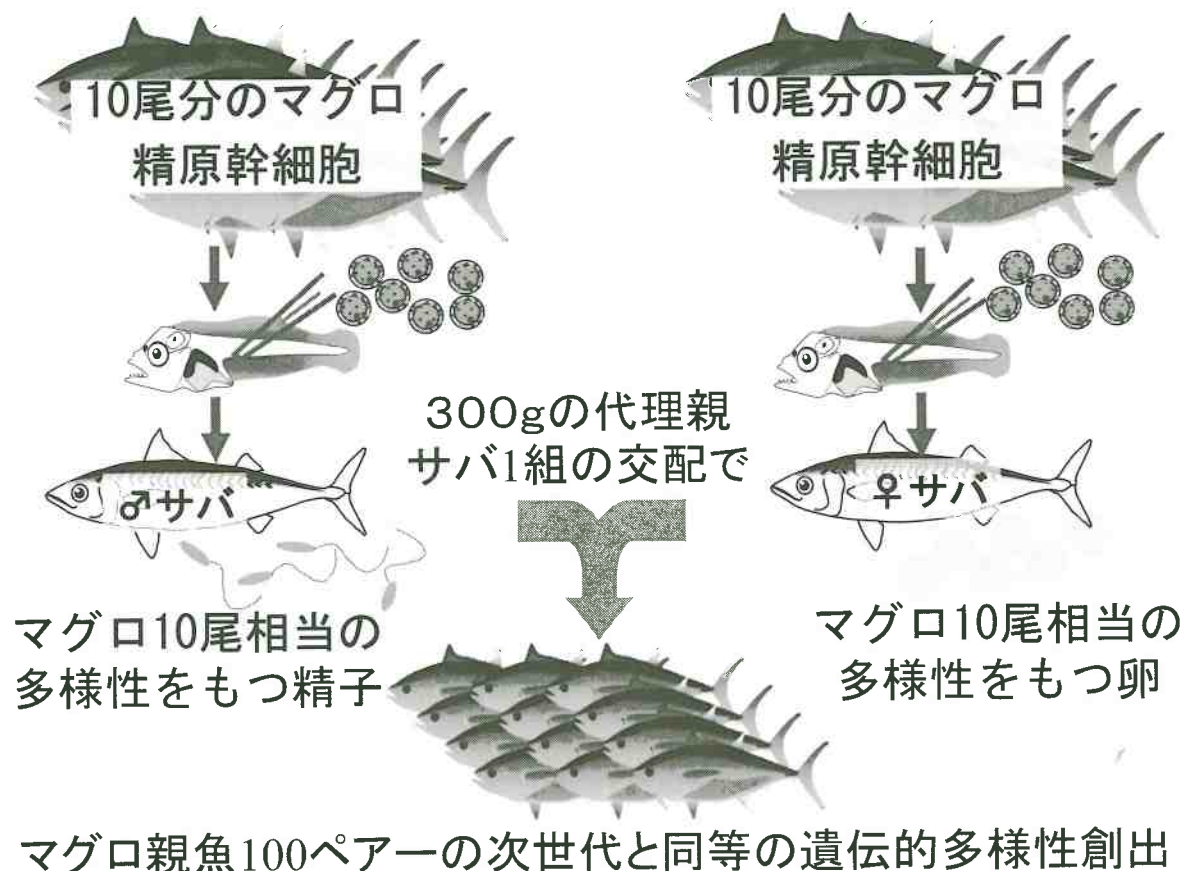


図6 精原幹細胞移植による遺伝的多様性創出の模式図

の遺伝子資源を液体窒素内に半永久的に保存し、これらから個体をつくりだすことが可能なのである。この技術はクロマグロに限らず、絶滅が危惧されている魚種の遺伝子資源の保存に広く応用されることが期待されている。実際に筆者らは、北米で絶滅が危惧されているベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) の地域集団の精巣組織を凍結保存するプロジェクトを進行中である。クロマグロの天然資源の遺伝的多様性が低下する前に、十分量の精巣サンプルを集め、これら遺伝子資源を半永久的に保存することも重要な課題であろう。

#### 参考文献

- 1) Okutsu et al., (2006), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 103, 2725-2729.
- 2) Okutsu et al., (2008), in *Fisheries for Global Welfare and Environment* (Tsukamoto, K., Kawamura, T., Takeuchi, T., Beard Jr, T. D. and Kaiser, M. J. eds.), 209-219, Terapub, Tokyo.
- 3) Okutsu et al., (2007). *Science*, 317, 1517.
- 4) Takeuchi et al., (2009), *Biol. Reprod.*, 81, 1055-1063.
- 5) Yazawa et al., (2010), *Biol. Reprod.*, 82, 896-904
- 6) Yoshizaki et al., (2011), *Comp. Biochem. Physiol. Part D Genomics Proteomics*, 6, 55-61.

## ◀ 特集 ▶

## 地下海水を用いたクロマグロの陸上養殖

東海大学海洋学部水産学科

秋山 信彦

静岡県の三保半島では地下水化した海水を陸上の井戸で取水することが出来る。この地下海水の温度は年間を通して17~21℃の範囲であるために温度調節をしなくてもクロマグロの陸上養殖が可能である。一方、陸上では海面のような大きな飼育スペースを確保することは困難であり、可能な限り小型の水槽でクロマグロを飼育する技術が必要である。そのための基礎的知見が得られているので、その一部を紹介する。

## はじめに

現在、海産魚類の養殖は海面を利用した小割養殖が主流である。小割養殖では生産規模を大きくできる利点がある。一方でヒラメやクルマエビといった底棲生物では網生け簀では底面が不安定であるために成長が悪いことから陸上に水槽を設置して行う陸上養殖が発展してきた。現在、陸上養殖対象種としては、前述の2種の他にアワビやトラフグについても生産量を増やしている。これらの種類についてはどれも遊泳性が低く、著しく大型にならない生物であることが、海面での小割養殖と比較して容積の小さな陸上水槽での飼育が可能であることが陸上養殖方法に適合している。

このような中で遊泳性の高いクロマグロはブリ類やマダイなどと同様に海面での小割養殖が行われている。クロマグロは遊泳性が高いことから遊泳面積を広くする必要のあることから海面での小割養殖の対象種となると考えられる。一方で、海面養殖では環境を制御することは不可能である。クロマグロは荒天時に濁水が流れ込むと斃死することが知られている。また、車のライトや花火などによる光の急激な変化によって驚愕行動を起し、死亡することが知られ

AKIYAMA Nobuhiko

〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1

ている。これらについて、海面では制御することは極めて困難である。一方、陸上養殖では、屋内で行うことによって光の制御は簡単である。濁水が取水口に流れた場合についても、一時的に注水を停止することによって水槽内への流入を防ぐことが可能である。しかしながら、陸上では海面よりも水の交換率が低くなってしまふことや、温度の変化が海面よりも大きくなってしまふなどの問題点がある。水の交換率を上げるためには注水量を増やすことと、注排水や水の動きについて検討する事で改善できる。しかしながら、温度変化を低減するためには冬期にはボイラーによる加温、夏期にはチラーによる冷却で温度調節することは技術的に可能であっても、コスト的には現実的ではない。そのような中、静岡県の三保半島沿岸では海水が砂礫層に浸透した地下水があり、陸上で井戸を掘削することによって取水可能である。通常、海岸で砂を掘ると砂の間隙に浸透している海水がしみ出てくる。浸透海水は砂で海水が濾過されているために取水時に浮遊生物を取り込むことがないために取水管に付着生物がつかない点で地先海水の取水よりも優れている。しかし、この浸透海水は地中での滞留時間が短いため海水温と同等の温度となる。一方、地下海水は地中での滞留時間が長いために1年を通じて温度がほぼ一定である。また、井戸の場所によって温度

が若干異なっているが、三保半島にいくつかある井戸の温度は17～21℃の範囲で、マグロの飼育には適した水温帯である。さらに、地下海水は還元層を通過しているために酸素が無く、好気的な細菌は皆無である。また大腸菌についても全く検出されていない。このような清浄で温度が一定な海水を人工的に作るためにはコストをかけなくてはならないが、地下海水であれば取水による電力のみでコストをかけずに利用できる。また、淡水の地下水の起源は山からの地下水や、川の伏流水、地下に貯留している物であるが、地下海水は大洋が起源となるために井戸の揚水限界量以下であれば無尽蔵な地下資源と言える物である。そこで、今回地下海水を利用した低コスト生産型のマグロ陸上飼育水槽の検証を行った。

### 飼育方法

光の急激な変化が起こるとクロマグロは驚愕

行動をおこす。そこで、外部からの直射光を防ぐために100%遮光のビニールハウス内に実験水槽を設置した。実験水槽は直径5m深さ1.2mのシート水槽を用いた。水槽には循環濾過槽を取り付けた。濾過系としては、飼育水を圧力濾過で物理濾過し、紫外線殺菌を施した後に生物化学的濾過槽を介して飼育水槽に戻した。この濾過系の生物化学的濾過槽に大学構内で揚水している地下海水を20～40 l/minで注水し半循環方式で供試魚を飼育した(図-1)。また、飼育水槽には水流をつけるための水流発生用のポンプを別に取り付け、水槽底で水を一定方向に噴出することによって水流をつけた。さらに、水槽周囲では発泡塩ビ材で強通気することによるエアーカーテンを発生させ、地下海水への酸素供給と、クロマグロの水槽壁への衝突を予防した。水槽への照明は500Wの投光機を4個取り付け、昼間の水面での光量子量は $1\sim 6\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、タイマーで調光機を制御し1時間かけて電圧を下げ夜間には完全に照明が消えない程度ま

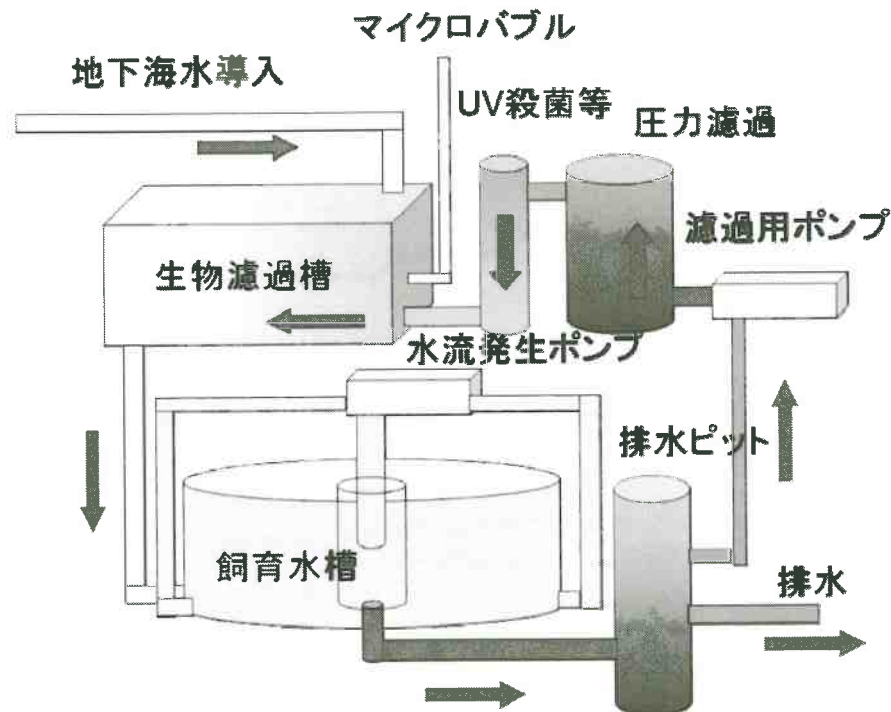


図-1 地下海水を利用した半循環方式のクロマグロ飼育水槽システム

で明るさを落とした。夜間でも投光機はついて  
いるものの水面での光量子量はどの場所を測定  
しても  $0.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であった。

### 供試魚を導入した時の実験水槽の水温と 生残との関係

実験水槽への注水量を約  $20 \text{l}/\text{min}$  とした場  
合、飼育水槽にはおよそ 1 日に 2 回転分の注水  
となる。この場合、飼育水槽では冬期に  $17^\circ\text{C}$  台、  
夏期には  $27^\circ\text{C}$  台となった。2006 年から 2009  
年まではこの条件での飼育試験を行ってきた。  
8 月中旬から 9 月上旬に高知県沖で釣獲された  
マグロ稚魚を水温が  $25^\circ\text{C}$  台の飼育水槽へ導入  
したが、この際にスレなどによって表皮が脱落  
し、導入から 2 週間で生残率が  $6\sim 33\%$  の範囲  
となった。2010 年の 8 月の導入時には注水量  
を従来の約 2 倍である  $40 \text{l}/\text{min}$  としたために  
水温が約  $23^\circ\text{C}$  となり、導入から 2 週間での生残  
率が  $44\sim 82\%$  と飛躍的に向上した。その後の生  
残も良好であった (図-2)。この時スレによって  
表皮が脱落していた個体も早い物で 1 週間、遅  
い物でも 3 週間でほぼ元通りの表皮まで復元し

た。また、本システムでは冬期での最低水温が  
約  $17^\circ\text{C}$  であったが、摂餌活動は活発であった。  
従って、クロマグロを陸上で飼育する場合には  
 $17\sim 23^\circ\text{C}$  の範囲が適正水温帯であると考えら  
れる。

### 実験水槽の窒素化合物の動態と溶存酸素 量

地下海水は無酸素であるために好気性細菌類  
がないことが特徴である。一方で、酸素供給を  
十分に行わないと魚類の飼育が困難であること  
があげられる。今回のシステムでは始め純酸素  
を用いていたが、飼育水の酸素量が過飽和とな  
ったために通常の空気での通気に切り替えた。  
空気による通気の場合でも飼育水槽の溶存酸素  
量は  $5.5\sim 10.0 \text{mg}/\text{l}$  を維持できた。従って無  
酸素の地下海水を使用しても本システムの通気  
方法で、容量約  $20 \text{kl}$  の水槽に最大約  $5 \text{kg}$  のク  
ロマグロを約 20 個体収容しても通常の空気によ  
る通気で酸素供給は十分であることが明らか  
になった。

また、本システムでは半循環方式であること

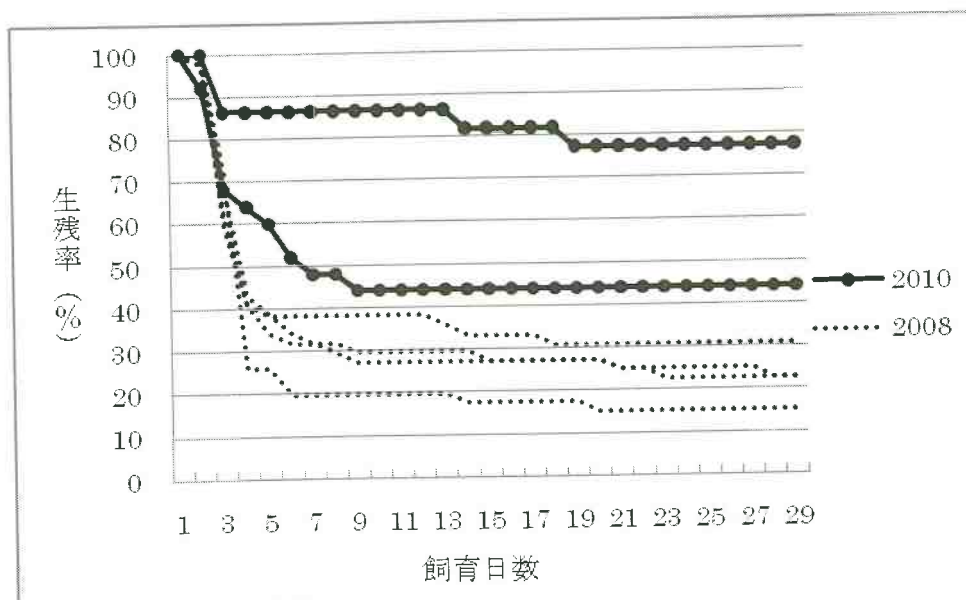


図-2 導入時の水温が異なる場合の初期生残率の違い

から掛け流しでの飼育よりも窒素化合物が蓄積する可能性がある。特にアンモニア態窒素は水棲生物にとって有害物質であることから生物化学的濾過は重要である。アンモニア態窒素は供試魚を導入して約 1 カ月までの間は最大 0.5 ppm まで増加したが、それ以降では 0.2ppm 以下を推移した。これは導入当初生物化学濾過槽での硝化細菌量と排泄量とのバランスが取れていなかったが、硝化細菌の増殖に伴ってアンモニア態窒素の硝化が進んだ物と考えられる。また、硝化の最終産物となる硝酸態窒素については、半循環方式であるために硝酸態窒素は最大

45ppm で、飼育期間中それ以下の値を推移することができ、クロマグロが斃死するなどの影響は見られなかった。

### 冬期に加温した場合の成長

2007 年には冬期の最低温度を上げた場合について地下海水のみで飼育した場合と比較した。2007 年度の冬は比較的気温が高かったため、地下海水のみで加温せずに飼育した場合でも 20.6~24.6℃の範囲であった。最低水温を 21℃となるようにした水槽では 21.3~24.3℃の範

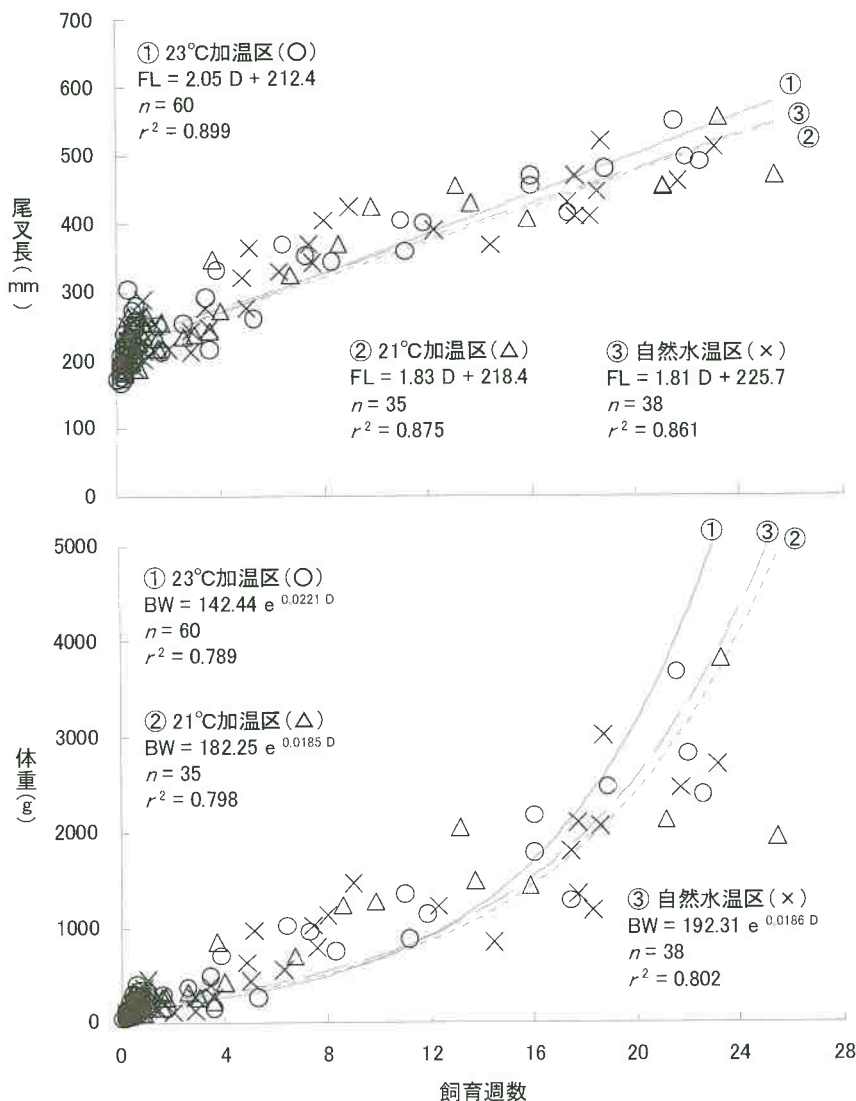


図-3 死亡したクロマグロの加温区と自然水温区での大きさや重さの関係

囲であり、最低水温を 23℃となるようにした水槽では 22.7～24.6℃と、最低水温が約 1℃ずつ変化した。これらの条件で 11 週間飼育した場合の尾叉長 (FL) と飼育日数 (D) との間の関係式としては、地下海水のみが  $FL = 1.81 D + 225.7$  ( $n = 38$ ,  $r^2 = 0.861$ ), 21℃の場合が  $FL = 1.83 D + 218.4$  ( $n = 35$ ,  $r^2 = 0.875$ ), 23℃の場合が  $FL = 2.05 D + 212.4$  ( $n = 60$ ,  $r^2 = 0.899$ ) であり、23℃で飼育した場合に傾きが大きかった。体重 (BW) については、地下海水のみが  $BW = 192.31 e^{0.0186D}$  ( $n = 38$ ,  $r^2 = 0.802$ ), 21℃が  $BW = 182.25 e^{0.0185D}$  ( $n = 35$ ,  $r^2 = 0.798$ ) で差は認められなかったが、23℃では  $BW = 142.44 e^{0.0221D}$  ( $n = 60$ ,  $r^2 = 0.789$ ) と他の 2 つの水槽よりも成長が良かった (図・3)。

今回の実験では冬期であっても 20℃以上を保てたために飼育魚は摂餌が活発で成長が見られた。この範囲であれば水温の高い方が早く成長するが、加温にかかるコストを考慮すると加温せずに地下海水の温度特性を利用して加温せずに飼育することが望ましいと考えられた。

## まとめ

以上のように地下海水を利用した本システムでは水流を付ける事によってクロマグロの遊泳路を誘導し、さらに壁面でのエアーカーテンによって壁面への衝突を軽減出来ることが立証できた。また、今回使用した水槽では保温性が悪いにもかかわらず、地下海水を 1 日に 2 回転分注水することによって冬期低水温期の加温および、夏期高水温期の冷却をしなくてもクロマグロは摂餌し、成長することが立証できた。また、夏期高水温期に稚魚を導入する際には 1 日に 4 回転分注水し水槽上限温度を 23℃とすることで、輸送後の斃死を低減出来ることが明らかになった。今後、地下海水を利用した本システムを大型化することによって、大型のクロマグロの陸上での飼育が従来の飼育施設より低コストでの飼育が可能となることが示唆された。



## ◀ 特集 ▶

クロマグロ種苗生産に対する民間企業の取組み  
～ 現状と課題 ～

株式会社 マルハニチロ水産 増養殖事業部

伊藤 暁

国内のクロマグロ養殖にとって、養殖用種苗を安定して確保することは最も重要である。多くの養殖業者は、種苗の入手を天然で採捕されるヨコワ（マグロ幼魚）に依存している。しかし、天然ヨコワの採捕量には年変動が大きく、マグロ養殖事業の経営に大きな影響を与えている。当社ではこの問題を解決すべく2006年から福山大学らと共同でクロマグロの人工種苗生産技術開発に取り組んでいる。当社は、完全養殖には成功したものの、未だ事業規模での種苗の量産には至っていない。その現状と課題について紹介する。

## はじめに

国内のクロマグロ養殖は、近年、急速に発展し、2009年度の年間生産量は10,000tに達しようとしている。国内クロマグロ養殖の現状と課題について、ならびに当社のクロマグロ養殖への取組みの経過と課題については、「水産学シリーズ168：クロマグロ養殖業」<sup>(1)</sup>に詳述されているので参照願いたい。クロマグロ養殖の三大要素は種苗の確保・養成用餌料の確保・養殖用漁場の確保である。

種苗に関しては現在、多くの業者が天然ヨコワを採捕し、養殖用種苗として利用している。しかし、採捕時期、場所、量、サイズ等に年変動が大きく、計画的な生産を行う上において大きな問題となっている（2009年の日本海群ヨコワは皆無であった）。

この問題解決には、人工種苗の普及が不可欠であり、当社もこの技術開発を目指し、2006年度から第二期（第一期は1987年まで遡る<sup>(1)</sup>）の種苗生産技術開発の取組みを開始した。また、2007年には本課題の早期解決を目指し、福山大学をはじめとする各分野の研究者と共同研究

「クロマグロの健苗育成を目指した種苗生産技術

ITO H Akira

〒135-8608 東京都江東区豊洲3-2-20

術開発研究」を開始し（共同研究と略）、その成果を日本水産学会大会に報告してきた（表1）。

しかし、民間企業としてクロマグロ人工種苗生産技術開発を行うことには、様々な問題が生じている。本稿では技術開発の現状と問題点を紹介したい。

## 1. 生産スケジュール

当社の関連種苗生産施設は、鹿児島県大島郡瀬戸内町で事業を営んでいる(有)奄美養魚篠川支店である。種苗生産事業の主体はマダイ（年間200万尾販売）であり、クロマグロ種苗生産、ならびに自社用養殖種苗の確保を目的にカンパチ種苗生産にも取り組んでいる。陸上水槽の年間利用スケジュールを表2に記した。生産魚種が増えたことによって飼育のスケジュールが過密となり、機材のメンテナンス期間の不足、労働時間の長期化などの問題が生じている。

マダイやカンパチと異なり、クロマグロの成熟を人為的にコントロールすることはできない。そのため、採卵時期は自然任せであり、通常は6月後半から種苗生産を行うことになる（2009年は9月に少量産卵したのみに終わる）。この時期の種苗生産は沖出し時期が盛夏となり、イリドウィルス症を初め疾病との闘いでもある。

表1 マルハニチロ水産によるクロマグロ健苗育成技術開発研究プロジェクト  
クロマグロの健苗育成技術開発研究

1. 研究題目	「クロマグロの健苗育成を目的とした種苗生産技術開発」		
2. 研究期間	2007年4月～2009年3月		
3. 研究体制	研究統括	草野 孝(マルハニチロ水産)	
	共同研究責任者	伏見 浩(福山大学)	
	共同研究者	青木 宙(東京海洋大院) 川合真一郎(神戸女学院大) 佐藤秀一(東京海洋大) 小谷知也(福山大学)	有元貴文(東京海洋大) 萩原篤志(長崎大院) 廣野育生(東京海洋大) 古西健二(奄美養魚)
4. 研究の目的	健苗育成技術を開発し、資源増殖の為の栽培漁業の推進と 持続的な養殖業の発展に寄与することを目的とする。 ① 種苗量産化に必要な基礎資料の解明と技術開発。 ・ 発育過程(形態発達、消化機能・免疫機能、栄養要求)の解明。 ・ 餌料生物培養方法の開発・改善。 ② 健苗性の向上(形態学的、遺伝学的評価)と行動特性の解明・飼育方法改善。 ③ 完全養殖を目的とした人工生産魚の親魚養成と、第二世代種苗の生産。		

表2 種苗生産スケジュール(例)

奄美養魚 篠川支店 孵化事業 陸上水槽利用スケジュール(2012年度計画)																																					
魚種	年間生産量	4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下			
カンパチ	15万尾 (目標)	→			メンテナンス												メンテナンス ←			←									←			←					
マダイ	200万尾																																				
クロマグロ	5千尾 (目標)							←			←			←																							
オーパ・ホール					←																																
ワムシ		L型ワムシ増産																		S型ワムシ増産																	

2. 親魚の養成・確保

現在、奄美養魚では、継続して安定したな採卵を天然ヨコワ群由来親魚から行うことと継代による選抜育種(完全養殖群)を目的として4群の親魚を養成している(表3)。これらの親魚は48m×32mの大型生簀に収容して管理されており、この養成経費は莫大なものとなっている

表3 奄美養魚クロマグロ親魚

由来	年級	尾数
天然ヨコワ	05年度産	150
天然ヨコワ	07年度産	150
人工孵化	06+07年度産	70
人工孵化	08+09年度産	150

る。例えば、2005年産天然ヨコワ群に対する餌料費は年間20百万円に達しており、4群合計の餌料費だけでも40百万円近い額となる。さらには労務費等の固定費用を加えれば年間50百万円近い費用が必要である。親魚は産卵終了後製品として販売できるので全額が必要経費とはならず、実質的な親魚養成と採卵の為の費用は、概算で、年間20百万円程度と推察される。

親魚の生簀は通常の養殖魚と同じ“区画漁業権の免許内”で管理している。したがって、クロマグロ親魚の生簀を設置する為に、カンパチ養殖用の生簀の区画を利用しているので、カンパチの生産を圧縮せざるを得ないと言う問題も生じている。実際、クロマグロ親魚用生簀1張りを設置する為にカンパチ生簀(10×10m)15台分、約6万尾相当(約230t、売上2.5億円)の生産が制限されている。

### 3. 陸上飼育(種苗生産)

共同研究の成果により種苗生産技術は年々向上し、2010年7月上旬には2006年人工孵化群親魚(4歳魚)から得た受精卵を用い、8月下旬～10月上旬の期間に完全養殖稚魚18,600尾(全長5～7cm)の沖出しに成功した。また、天然親魚(2005年採捕群)も順調に産卵し、天然親魚由来の沖出し稚魚は9,600尾(6cm)となった。2010年の稚魚沖出し数は合計28,200尾に達し、前年の約3倍の沖出しに成功した<sup>(1)</sup>。

当社でのクロマグロの種苗生産に必要な陸上経費は年間約40百万円である。前述した採卵に必要な親魚管理費用20百万円を加えると採卵に必要な年間経費は約60百万円となる。3万尾の沖出し稚魚1尾あたり単価は2,000円相当となる。天然ヨコワは現在1尾2,000～2,500円で取引されており、これに活込み後の歩留りと漁獲漁場から養殖場までの輸送コストを考慮すると養殖場についた時点では1尾6,000円以上となる。

したがって、人工種苗の沖出し後の歩留まりが30%(3万尾沖出しで9,000尾生存)で収ま

れば、天然ヨコワと比較しても問題とはならない単価となる。しかし、大きな問題はこの後にも控えている。

### 4. 海面飼育

当社で求められる事業レベルの種苗生産量は、最低でも、出荷時点(沖出しから3年後)に養殖生簀1張り分の飼育尾数である3,000尾以上である(沖出し時点の原価を考慮すると前述した9,000尾は必要となる)。2010年は3万尾の沖出しに成功したものの、継続的な死亡が収束することは無く、2011年4月現在1,000尾を割り込み、未だに事業的には成功したとは言い難い。

養殖用種苗としての人工種苗の原魚価格は、2010年産の種苗では陸上経費60百万円に沖飼育経費10百万円が加算され、出荷時点の生残尾数が500尾とすると、1尾あたり14万円の種苗単価に達する事になる。

### 5. 今後の課題

事業規模で成果を上げるために共同試験では、より健康で頑強な沖出し魚の生産(形態学・栄養学・消化吸収面からの検討)、沖出し直後の大量斃死の軽減(沖出し技術の改善)、生簀網への衝突死軽減(ヨコワの行動様式の解析)、イリドウィルス・住血吸虫などの疾病への対策を2011年度の研究目標として掲げている。

これらの問題を解決し、事業レベルでの種苗を確保できない場合には、民間企業では大きな費用が必要なクロマグロの種苗生産の取り組み継続は困難となる。共同研究では、2012年までにこの目標を達成すべく取り組み中であり、今年の成果が期待される。

また、本年から、水産庁“平成23年度資源・環境に優しいクロマグロ増養殖技術開発事業”のうち、“クロマグロ養殖最適親魚選抜・確保技術開発事業”にも共同研究チームと共に参画し、遺伝子レベルでの、優良親魚・種苗選抜に取り

組む予定であり、事業規模レベルの成功を目指し、努力し続けていく。

## 文 献

- (1) 草野 孝・白須邦夫 (2011), クロマグロ養殖事業の展開. 熊井英水・有元操・小野征一郎編, クロマグロ養殖業 (日本水産学会監修), 水産学シリーズ 168, 恒星社厚生閣, 東京, pp113-127

## ◀ 国内情報 ▶

## 高精度高速施肥機の開発

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
生物系特定産業技術研究支援センター

紺屋秀之・林 和信・堀尾光弘・重松健太・吉野知佳

精度の高い施肥作業を高効率で行うことのできる高精度高速施肥機を開発した。開発機は、ブロードキャストをベースとし、肥料の物性を示す指標値に基づき安定した繰出を行う施肥量制御機能、GPSの速度情報を利用した車速連動機能、GPSの位置情報を利用した経路誘導機能を備えることを特徴とする。開発機を供試した現地は場試験では、肥料種類、施肥量、作業速度等を変更した条件でも高い施肥量精度を示し、経路誘導機能に対する現地生産者の評価も高かった。

## 1. はじめに

我が国の農業で使用される肥料や肥料原料は、供給のほとんどを輸入に頼っており、近年その輸入価格は高騰を続けている。肥料や肥料原料価格の高騰は、当然、生産者の肥料購入価格にも反映され、農業経営を圧迫する要因の一つとなっている。一方、安全・安心な農産物生産や環境負荷低減への関心の高まり等、農業生産を取り巻く環境の変化から肥料投入量の低減を基調とした施肥設計と、設計に基づく正確な施肥技術に対する関心が高まりつつある。また、近年は10ha以上の経営規模の経営体数の伸びが顕著となっており、これらの大規模経営体では、従来よりも高い能率で作業を行うことのできる作業体系の確立が急務となっている。このような情勢を前提に施肥機の改良、開発の方針を検討すると、施肥量の調節性能（施肥量精度）の高さと作業能率の高さを両立する必要があると考えられる。施肥量精度の向上により計画に基づいた作業が可能になり、適切な施肥設計が伴うことにより肥料投入量削減の可能性が見え

KONYA Hideyuki, HAYASHI Kazunobu,

HORIO Mitsuhiro, SHIGEMATSU Kenta,

YOSHINO Chika

〒331-8537 さいたま市北区日進町1丁目-40-2

てくる。同時に、作業が高効率で行えることにより経営規模の大きな生産組織等での利用が促進され、肥料投入量の低減が一層期待できる。以上のような背景に基づき、生研センターでは、株式会社IHIスターおよび株式会社ササキコーポレーションと共同で、高精度高速施肥機の開発に取り組んだ。

## 2. 開発機の概要

開発機は、大きく分類すると、FR値測定装置、制御・誘導部、施肥機本体から構成される（図1,3）。制御・誘導部には、GPS受信機、施肥量制御機能、経路誘導機能等が含まれる。IHIスター開発機では、各機能が個別のユニットとして構成されており、各ユニットはCAN通信により連携動作する。ササキコーポレーション開発機では、一体型コントローラに全ての機能が集約された構成となっている。施肥機本体は、一般的なブロードキャストからの変更点は少ないが、少量散布に対応した施肥量調整シャッターおよびシャッターを駆動する電動アクチュエータが備えられている。以下に、各構成要素について説明する。

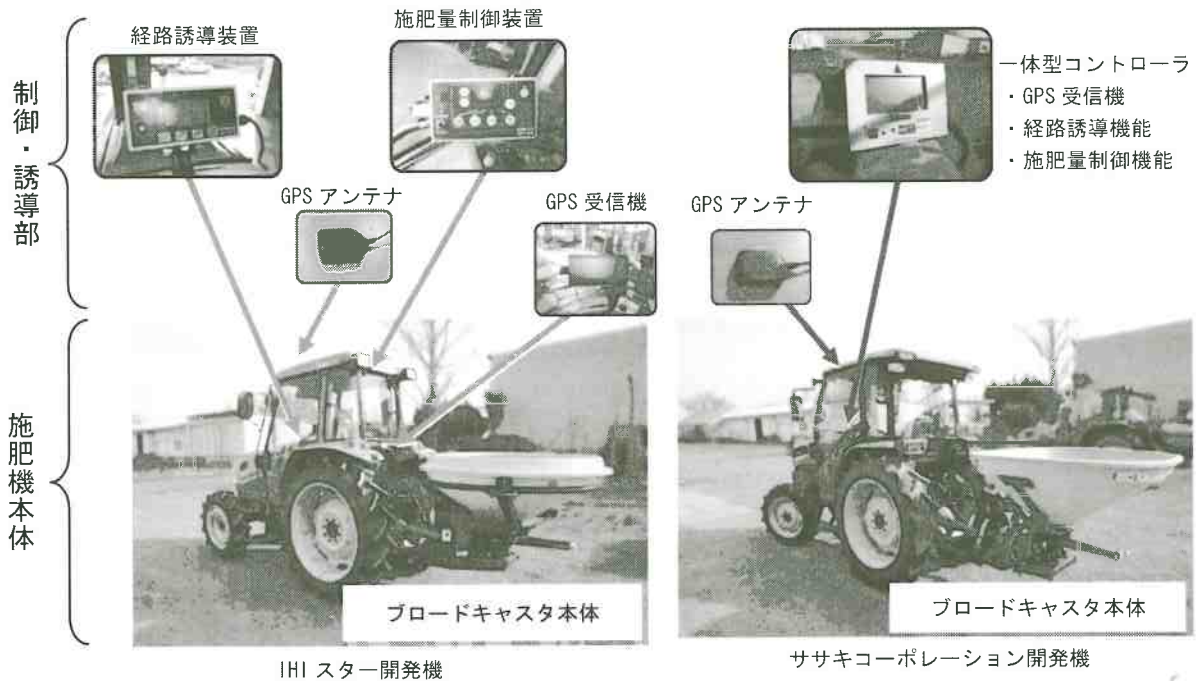
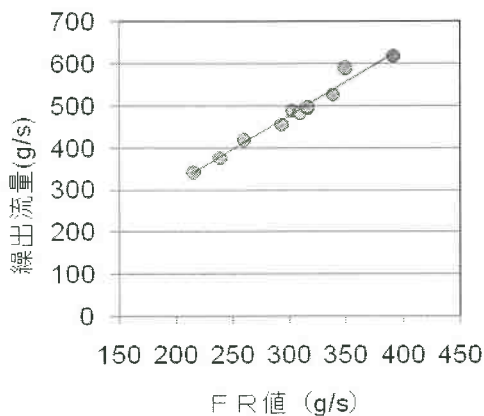


図1 開発機の外観と構成

1) FR 値測定装置

ブロードキャストから肥料を繰出す際、施肥量調整シャッタの開度が一定の条件であっても、肥料が異なると流動性の影響を受けて時間当りの繰出量（繰出流量）には大きな差が生じる。そこで、開発機においては、肥料が漏斗状の容器から流下する際の流量（FR 値）とブロードキャストの繰出流量が高い相関を持つこと（図2）に着目し、施肥量制御

装置の制御パラメータの1つとしてFR 値を利用している。FR 値は、容量16Lの貯留部を備え、底部にφ35mmの開口部が設けられたFR 値測定器（図3）に肥料1袋（20kg）を2回に分けて投入し、開口部から肥料が流下する合計時間を測定することにより求められる。



※シャッタ開度を一定に保ち、11種類の肥料を1分間繰出した結果。

図2 FR 値と繰出流量の関係例

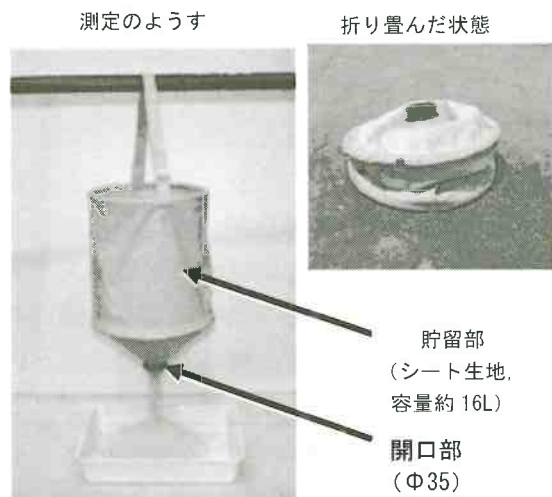


図3 FR 値測定器

## 2) 制御・誘導部

### (1) GPS受信機

ブロードキャストによる施肥作業において、ほ場条件に対して適切な作業速度を選択し効率的な作業を進めるためには車速連動機能が必要となる。開発機の制御・誘導部では、GPS受信機から5 Hzの周期で位置および速度情報を取得しており、車速連動機能や経路誘導機能の遅延時間が小さくなるようにしている。また、GPS受信機から速度情報を得ることにより、トラクタの対地移動速度を測定することができるため、ほ場条件の違いによるスリップ率変化の影響を受けることが無い。さらに、DC12V電源が供給できるトラクタであれば、新旧や機種によらず車速連動機能や経路誘導機能を利用できるメリットもある。

### (2) 施肥量制御装置

開発機の施肥量制御装置では、設定施肥量(kg/10a)、GPS受信機から取得した作業速度(m/s)、作業幅(m)に基づき、シャッタから繰出すべき肥料の繰出流量を算出する。また、後述する経路誘導装置を利用して作業を行う際には、経路誘導装置側で設定した誘導間隔が作業幅として利用される。算出された繰出流量には前述のFR値に基づく流量補正が行われ、最終的なシャッタ開度を決定する機能を備えている。

### (3) 経路誘導装置

一般的なブロードキャストの作業幅は10m程度であるため、作業者の感覚だけで隣接行程の間隔を正確に合わせることは困難である。そこで、シンプルかつ施肥作業において効果的に利用できる装置とすることに留意しつつ経路誘導装置を開発した。経路誘導装置の機能、特徴は以下のとおりである。

- ① 誘導方式：開発機では、ほ場作業の1行程目の始点(基準点1)および終点(基準点2)を記憶することにより得られる2点を結ぶ直線を基準直線とする。1行程目の作業を終えたトラクタは、基準直線と平行で予め設定した設定誘導間隔だけ離れた次の

誘導経路上に、誘導装置の画面指示等で誘導され直進作業に入り、同様の動作をほ場作業が完了するまで繰り返す(図4)。

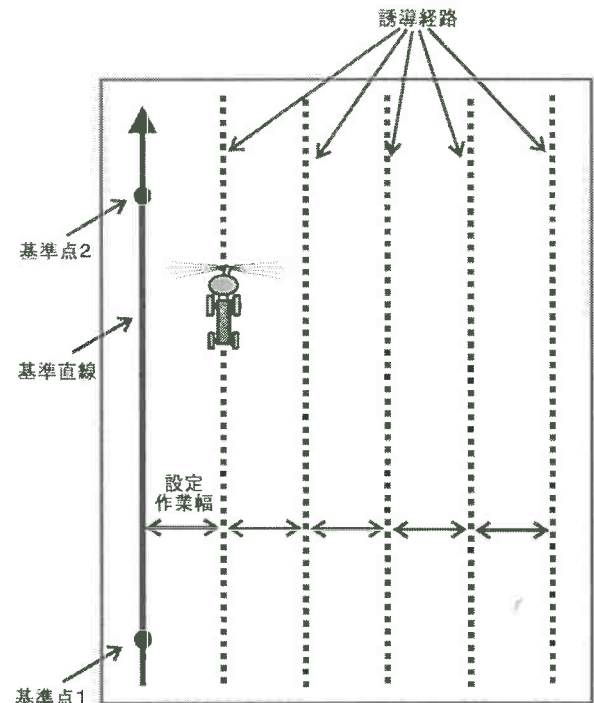


図4 経路誘導の方法

- ② 誘導指示の方法：誘導装置は、誘導経路からの作業機の距離、誘導経路に対する作業機の進行方向をグラフィックにより画面表示することで作業者を誘導経路上に導く。また、装置画面への過度な注視を避け、さらに、立毛中の作業などで装置画面を注視できない条件での利用を想定し、ブザー音で巡回開始のタイミング等を通知する機能も備えている。
- ③ 施肥量制御装置との連携：誘導装置と施肥量制御装置は連携して動作し、施肥量制御装置は誘導装置に設定した誘導間隔を考慮した演算に基づき繰出流量を算出する。
- ④ 装置のサイズ：開発した誘導装置は、シンプルな構成で小型であるため、トラクタのキャビン前方に運転時の視界を大きく妨げることなく設置できる。

### 3) 施肥機本体

施肥機本体のタンク底部には、設定施肥量が少ない場合や作業速度が低い場合に必要となる低繰出流量に対応する少量散布対応シャッターが取り付けられている。ブロードキャスタでは、電動アクチュエータによりシャッター開度を調節するが、シャッターを開閉するリンクやシャッター自体に大きめの遊びが設けてあること、流量調節範囲が広いことなどから、一般に制御分解能が低く、細かな流量調節が困難である。そこで、開発機では、通常シャッターと比較してシャッターの回動角変化に対する開口面積の増加量を低く抑えた少量散布対応シャッターを開発し、設定施肥量が少ない場合や作業速度が低い場合でも、確実な繰出しが行うことができるようにしている。

## 3. 開発機の性能

### 1) ほ場試験における性能および機能の確認

開発機を用いた現地ほ場試験は、新潟県長岡市（水稻基肥，29 筆 8.9ha）、北海道岩見沢市（水稻基肥，18 筆 9.7ha）、同厚真町（小

麦追肥，16 筆 22.4ha）、茨城県龍ヶ崎市（水稻基肥，21 筆 22.1ha）、宮城県大崎市（大豆追肥，13 筆 10.7ha）にて実施し、施肥量精度の調査と経路誘導装置の機能確認を行った（図5）。

現地ほ場試験では、生産者が日頃から使用している肥料8種類を、設定施肥量4～110kg/10aの範囲で散布した。開発機の運転操作は現地生産者に依頼し、ほぼ全てのほ場で経路誘導装置に従った作業行程間隔での作業を行っていただいた。施肥量精度の確認は、ほ場1筆の施肥作業が終了する毎に、作業機全体の質量を吊下げ式のロードセルで測定することにより行った。また、対照区を設けることが可能だった試験地では、現地生産者の所有するブロードキャスタ（車速連動機能なし）による慣行作業を対照区とした。

### (1) 施肥量精度

開発機のほ場毎の目標施肥量に対する実施施肥量は90～114%の範囲、誤差は概ね10%以下となった（図6）。GPSによる車速連動機能、FR値による流量補正が正しく機能す

水稻基肥散布



コムギ追肥散布



水稻基肥散布

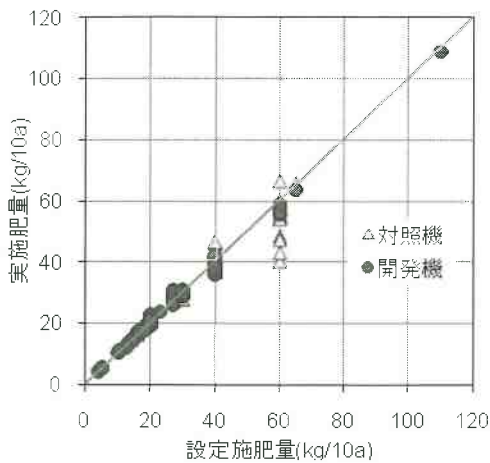


大豆追肥散布



図5 現地ほ場試験における作業のようす





※試験条件

- ・ 供試肥料：8種類，FR値 243～390g/s
- ・ 作業速度(ほ場平均)：1.0～3.1m/s
- ・ ほ場面積：0.2～3.1ha/筆
- ・ 対照機：市販プロキヤス(車速連動なし)による慣行作業
- ・ 開発機は，試作2号機

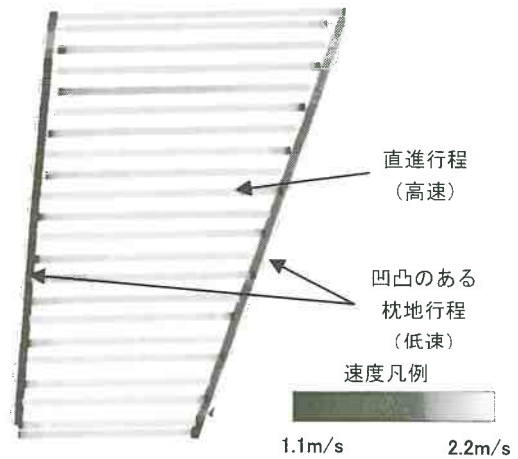
図6 ほ場試験における施肥量精度

ることにより，作業速度，設定施肥量，肥料の物性が大きく異なる条件下でも安定した性能を発揮することができたと考えられる。また，一部の試験地では，開発機の操作に慣れた生産者が，施肥作業中に作物の生育状態を観察しながら施肥量制御装置の設定施肥量を変更するなど，開発機の機能が積極的に利用されることもあった。

(2) 作業能率

現地ほ場試験における肥料の投入，補給時間等を含まないほ場作業量は，開発機では1.5～7.6ha/h(試験条件確保のため，意図的に低速で作業を行ったほ場を含む)，対照機では1.8～5.5ha/hとなった。対照区の作業速度は，施肥量精度を維持するために常に一定に保つ必要があったのに対し，開発機では1～3m/s程度の設定範囲で施肥量精度を維持しつつ円滑な作業を実施することが可能であった。追肥作業では作物条や畦により生じた凹凸により枕地の作業速度を上げることが困難だっ

たが，開発機の操作に慣れた生産者が，車速連動機能を活かし，ほ場条件に合わせてメリハリをつけた適切な作業速度を選択し，効率的に作業を実施することもあった(図7)。



- ・ 作業：コムギ追肥
- ・ ほ場面積：1.89ha，・ 設定施肥量：20kg/10a
- ・ 施肥量精度：98.1%，・ ほ場作業量：3.31ha/h

図7 速度を変更した作業例

(3) 経路誘導装置

現地ほ場試験では，基本的に全てのほ場作業で経路誘導装置を利用したところ，試験期間を通じて開発装置は順調に稼働するとともに，設定した誘導間隔と作業行程数での作業を行うことができた(図8)。また，誘導装置



図8 ほ場試験で経路誘導装置を利用した作業の軌跡

を使用して作業を行った生産者の評価も概ね良好であり、ブームスプレイヤ等、他の作業幅の広い作業機での利用を望む意見もあった。

#### 4. おわりに

以上のように、開発機では、FR 値を利用した肥料流量補正機能、GPS の速度情報を利用した車速連動機能、GPS の位置情報を利用した経路誘導機能等により、作業能率と施肥量精度を両立した施肥作業を容易に行うことが可能となった。緊プロ事業にて開発された本機は、開発目標を達成したと判断され、高性能農業機械実用化促進事業を経て 2011 年 5 月から市販化されている。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省 大臣官房統計室 (2009), 農業経営統計調査 平成 21 年度米生産費, 大豆生産費, 小麦生産費
- 2) 農林水産省 (2010), 平成 22 年版食料・農業・農村白書参考統計表, 72-77
- 3) 林和信ら (2006), 生研センター平成 17 年度研究成果情報「ブロードキャストの施肥量制御装置」,  
<http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Seika/h1708.htm>
- 4) 林和信ら (2011), 生研センター研究報告会資料, 57-66

## 編集後記

145号をお届けします。本号では特集として「マグロ養殖の最先端研究」を取り上げました。

総説として升間主計氏（水産総合研究センター日本海区水産研究所）にクロマグロの増養殖に関する研究の現状と今後の展望，宮下盛氏（近畿大学）らにクロマグロ完全養殖の技術開発の動向と展望についてご執筆いただくとともに，竹内幸夫氏（水産総合研究センター遠洋水産研究所）にクロマグロの資源量を知るための資源評価，吉崎悟朗氏（東京海洋大学）らに魚類の生殖細胞移植による新たな種苗生産技術の開発，秋山信彦氏（東海大学）に地下海水を用いたクロマグロの陸上養殖，伊藤暁氏（株）マルハニチロ水産）にクロマグロ種苗生産に対する民間企業の取り組みについて，それぞれご執筆戴きました。

その他の研究情報としては，紺屋秀之氏（生研センター）らに高精度高速施肥機の開発についてご執筆戴きました。

ご多忙な中玉稿をお寄せ戴きました執筆者各位に深甚の謝意を申し上げます。（佐々木記）

## 本誌著作物の複写利用等について

本誌掲載の論文・記事の複写・転載等を希望される方は，執筆者ならびに生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）の許諾を得て行って下さい。

## 生研センター 業務のご案内

～研究開発を強力に支援いたします～

### 提案公募型の委託研究制度

- 民間企業の実用化段階の研究支援なら 民間実用化研究促進事業
- 技術シーズ開発のための基礎研究や  
応用・発展研究及びベンチャー創業を目指すなら イノベーション創出基礎的研究推進事業

### その他の支援制度

- 「共同研究先のあっせん」，「遺伝資源配布先のあっせん」などもお気軽にご相談下さい。

詳細は，生研センター企画部企画第1課までお問い合わせください。

## ブレインテクノニュース 第145号

平成23年5月15日発行

発行人 前川 泰一郎

編集人 浅野 将人

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

©生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目18番19号 虎ノ門マリンビル10階

TEL 03-3459-6565 FAX 03-3459-6566

e-mail brainki1@ml.affrc.go.jp URL <http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/>