

# 太平洋クロマグロの回遊生態に関する研究

伊藤智幸

# 目次

第1章. 緒言.....	1
第2章 太平洋全体における漁獲量、年齢別漁獲尾数の推定.....	6
2-1. 緒言.....	6
2-2. 材料と方法.....	6
2-2-1. 使用した資料.....	6
2-2-2. 日本のクロマグロ漁獲量、年齢別漁獲尾数の推定.....	9
2-2-3. 日本以外の漁獲量.....	13
2-3. 結果.....	13
2-3-1. 推定漁獲重量の検証と年齢別漁獲尾数推定パラメータ.....	13
2-3-2. クロマグロの漁獲特性.....	15
2-3-3. 日本の各漁法によるクロマグロ漁獲の概要.....	16
2-4. 考察.....	17
第3章 耳石日輪と体長別漁獲尾数から推定した各産卵時期・海域の資源への貢献.....	19
3-1. 緒言.....	19
3-2. 耳石輪紋の形成周期と第1輪形成時期.....	20
3-2-1. 材料と方法.....	20
3-2-2. 結果.....	21
3-2-3. 考察.....	22
3-3. 産卵場と産卵期の再解析.....	23
3-3-1. 材料と方法.....	23
3-3-2. 結果.....	23
3-3-3. 考察.....	24
3-4. 耳石日輪による産卵日と成長の解析.....	24
3-4-1. 材料と方法.....	24
3-4-2. 結果.....	25
3-4-3. 考察.....	26
3-5. 0歳魚の発生時期グループ別漁獲尾数.....	27
3-5-1. 材料と方法.....	27
3-5-2. 結果.....	27
3-5-3. 考察.....	28
第4章 アーカイバルタグから見た若齢魚の回遊と行動の研究.....	33
4-1. 緒言.....	33
4-2. アーカイバルタグの性能試験.....	34
4-2-1. 材料と方法.....	34
4-2-2. 結果.....	35
4-2-3. 考察.....	38

4-3. アーカイバルタグデータから見た若齢魚の行動.....	39
4-3-1. 材料.....	39
4-3-2. 解析と結果.....	39
4-3-3. 考察.....	42
4-4. アーカイバルタグデータから見た若齢魚の回遊.....	45
4-4-1. 材料.....	45
4-4-2. 解析と結果.....	45
4-4-3. 考察.....	47
<b>第5章 漁獲データから見た若齢魚の回遊.....</b>	<b>51</b>
5-1. 緒言.....	51
5-2. 材料と方法.....	51
5-3. 結果.....	52
5-3-1. 漁獲海域の季節変化.....	52
5-3-2. 個体の移動事例.....	56
5-3-3. 若齢魚の回遊パターン.....	59
5-4. 考察.....	62
<b>第6章 漁獲データから見た成魚の回遊.....</b>	<b>65</b>
6-1. 緒言.....	65
6-2. 材料と方法.....	66
6-3. 結果.....	67
6-3-1. 漁獲海域の季節変化.....	67
6-3-2. 海域ごとの魚体組成と体長別漁獲尾数.....	69
6-3-3. 成魚の回遊パターン.....	69
6-4. 考察.....	70
<b>第7章 総合考察.....</b>	<b>74</b>
7-1. クロマグロの回遊パターン.....	74
7-2. クロマグロの回遊戦略.....	77
7-3. 今後のクロマグロ研究と資源管理についての提言.....	80
論文の内容の要旨.....	82
謝辞.....	85
参考文献.....	86

# 第1章. 緒言

## クロマグロの資源管理

マグロ類は、その巨大な体躯、高速の遊泳、漁獲時の力強さなどの点で、人々を魅了してやまない魚である。かつて多くの研究者がマグロ類の研究に携わり、広大な回遊、広い生息温度範囲、環境水温よりも体温を高く保つことなどを明らかにし、マグロ類への興味をさらに高めている（Kishinouye 1923、Sharp and Dizon 1978、Block and Stevens 2001）。現在 8 種に分類されるマグロ属魚類の中で太平洋のクロマグロは、巨大な体躯を持ち、体重約 555kg（推定体長 3m）の記録（体長を伴った測定記録としては尾叉長 271cm、体重 458kg）がある（Foreman and Ishizuka 1990、Bayliff 1994）。また、太平洋を西端から東端まで移動する広大な回遊を行い（山中 1982）、5℃から 30℃以上の広い生息温度に適応する（久保 1961）など、大西洋のクロマグロと並んでマグロ類の魅力を最大限に持っている種と言える。

太平洋のクロマグロは、キハダやメバチよりも沿岸域に來遊し、また他のマグロ類がいない日本海にも分布することから、古来より日本人になじみが深い（山中 1982）。縄文時代の貝塚から出土した脊椎骨や万葉集に詠われたマグロ漁師が狙っていた魚もクロマグロと考えられる（山中 1982、森川 1989）。江戸時代末には三重県の寒村に多数のクロマグロが來遊して村民は飢餓を脱し、マグロの供養塔が建てられたりもしている（佐藤・矢野 1989）。江戸時代には食品としての価値は大してなかったが、明治時代になって冷蔵技術の発展と握り寿司の普及に伴って寿司だねや刺身として好まれるようになり、第 2 次大戦後に脂の乗った食材が好まれるようになるいわゆるトロを多く持つマグロとして珍重されるようになった（大森 1993）。まぐろと言えば現在ではキハダやメバチも含んだ一般的な名称となっているが、かつてはクロマグロのみを指す名称であり、現在でも漁師はミナミマグロと合わせてクロマグロを単に「まぐろ」と称し、一般的にもこれらが「本まぐろ」と称されているなど、クロマグロはマグロ類の代表として位置付けられている。

マグロ類は代表的な高度回遊性魚類で、分布が一国の経済水域内に限定されずに公海や複数国の経済水域間にわたり、国際漁業機関の下で資源評価ならびに管理が行われている。東部太平洋では IATTC（Inter-American Tropical Tuna Commission 全米熱帯まぐろ委員会）、大西洋では ICCAT（International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas 大西洋まぐろ類保存委員会）、インド洋では IOTC（Indian Ocean Tuna Commission インド洋まぐろ類委員会）、南太平洋では SPC（Secretariat of the Pacific Community 太平洋共同体事務局）が、各海域のマグロ類ならびにカジキ類、カツオ類資源について、ミナミマグロでは CCSBT（Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna みなみまぐろ保存委員会）がこの役割を果たしている。北太平洋はこのような動きから取り残されていた海域で、太平洋のクロマグロに対しては遠洋水産研究所と IATTC との非公式な資源評価はなされていたものの（Anon. 1998a）、国際機関や条約に基づく管理が行われてこなかった。しかし、クロマグロを含めた北太平洋のマグロ類に対しても 1995 年に ISC（Interim Scientific Committee for tuna and tuna-like species in the North Pacific Ocean 北太平洋におけるマグロ類及びマグロ類類似種に関する暫定科学委員会）が設立された。さらに、日本近海を含む西太平洋には WCPFC（Western and Central Pacific Fisheries Convention 中西部太平洋まぐろ条約）が設立さ



れようとしている。たとえクロマグロを漁獲するのが経済専管水域内であったとしても、もはや日本が勝手に漁獲できる時代ではなく、適切な資源評価を行い、他の漁業国と協調しながら本種資源を最適に利用していく必要に迫られている。

クロマグロの延縄による釣獲率は、第2次世界大戦前から1960年代までは高かったが、その後は大きく減少し、クロマグロは希少な高級魚として扱われるまでになっている。1980年代には、減少した資源を回復させようと、マリンランシング計画の対象魚種の一つとして、10年間にわたり種苗生産技術開発や種苗放流を念頭に置いた野生魚の生態研究が行われた（米盛 1989）。結果としてこのプロジェクトは、クロマグロの飼育技術、産卵生態、若齢魚の回遊生態などで目覚ましい研究成果を挙げたものの、目的とした種苗の安定生産には達しなかった。クロマグロ資源は、2002年のISCにおいて、1970年代、1980年代には減少したが1990年代に入って増大し、現在の資源レベルはこの40年間では平均的なものと評価されるまでに回復している（Anon. 2002a）。しかし、資源の回復は漁業管理によるものではなく自然要因によると考えられ、今後も自然要因によって資源レベルが再度低下する可能性がある。また、近年の予防原則や予防的措置（魚住 1999）の観点からは、正確な資源評価とそれを支える確かなデータならびに生物学的な基礎的知見が不足している場合には厳格な資源管理が求められ、資源の減少が懸念された時には漁業への著しい規制につながる恐れがある。クロマグロは若齢魚から成魚まで様々な漁法で漁獲され、零細業者を含めた多くの漁業者のみならず、流通・消費段階でも多くの者が関わり、また、独特の食文化も形成されている。1992年の第8回ワシントン条約会議において、大西洋クロマグロを付属書リストに含めて商業取引を制限する提案がスウェーデンからなされたが、この時の日本国内の反応から、漁獲規制が行われた場合の社会経済的なインパクトが極めて大きいことが分かる。資源が減少した場合に適切な漁業規制を行うのは当然であるが、一部には漁業を規制する方便として資源状態を曲解する者もあり、それらに対しては科学的な事実・知見に基づいて対処する必要がある。よって、正確な資源評価を行うためにそれに資するデータを整備し、基礎的生物学的知見を蓄積することは、クロマグロの生態に対する純粋な興味のみならず、社会経済的にも必要であり急務である。

## マグロ属魚類の分類

マグロ属魚類の分類は混乱していたが、1962年のFAO（国際連合食糧農業機関）世界マグロ会議を経て1属7種（クロマグロ *T. thynnus*、ミナミマグロ *T. maccoyii*、ビンナガ *T. alalunga*、メバチ *T. obesus*、キハダ *T. albacares*、コシナガ *T. tonggol*、タイセイヨウマグロ *T. atlanticus*）に統一された（岩井ら 1965）。かつて、太平洋のクロマグロは、西部太平洋に分布する *Thunnus orientalis* と東部太平洋に分布する *T. saliens* に分けられていたが、標識放流により両者に交流があることが確認されたことから、これらは同種とされた（岩井ら 1965）。標準和名のクロマグロは、岩井ら(1965)が提唱したものである。岩井ら(1965)は、太平洋のクロマグロと大西洋のクロマグロには体腔背壁の膨出や鰹把数に違いが見られたものの同種であるとみなし、Gibbs and Collette(1967)はそれらの違いを元に両者が亜種のレベルで異なるとした。Collette(1999)はさらにDNA解析の知見を加味して、大西洋と太平洋のクロマグロは種のレベルで異なり、太平洋のクロマグロは *T. orientalis*、大西洋のクロマグロは *T. thynnus* とすることを提唱し、受け入れられつつある。本論文では両者は別種とみなし、必要で

ない限りは太平洋のものは単にクロマグロ、大西洋のものは大西洋のクロマグロと称す。なお、マグロ属の種判別はミトコンドリア DNA や核 DNA による方法が確立され、筋肉小片から確実に行えるようになってきている (Chow and Inoue 1993、Chow and Kishino 1995)。

クロマグロは尾叉長 120cm や体重約 30kg の個体でも成熟するが (依田 1976、石原 1994)、主産卵海域での漁獲魚のサイズから、産卵親魚は 60kg 以上の魚が主体と考えられている (山中 1982)。飼育魚においては、5 歳 (体長 170-190cm、体重 70-100kg) や満 7 歳 (107-188cmFL、21-140kg、平均 75kg) で産卵したこと、ならびに 7 歳の小型個体 (113.8cmFL、体重 21.3kg) が熟卵を持っていたことが報告されている (原田 1980、宮下 2001)。本研究では、成熟開始の 4 歳 (およそ 120cmFL、体重 40kg) 以上を成魚とし、4 歳未満を若齢魚とする。

### クロマグロの分布・回遊

クロマグロは、太平洋の大部分を占める北緯 50 度から南緯 50 度の海域で東西に幅広く分布する (岩井ら 1965、Nakamura and Warashina 1965、新宮ら 1974、山中 1982、Bayliff 1994、魚崎ら 1997)。漁獲量が多いのは、北西太平洋の台湾から日本にかけての海域、東シナ海、日本海の日本側ならびに北東太平洋のアメリカ・メキシコ西岸沖である。断片的な記録であるが、カラフト (諫早 1936、久保 1961)、択捉島 (藤井 1932、川名 1934、1935、辻 1993)、オホーツク海 (川名 1935、Bayliff 1994) でも漁獲されている。北太平洋の中央部海域では延縄や流網で混獲され (新宮ら 1974、斎藤ら 1981)、北東太平洋の北方海域ではアラスカ沖 (57N まで) における漁獲やカナダ西岸の貝塚 (48-52N) からの出土例が報告されている (Radovich 1961、Crockford 1997)。西部太平洋熱帯域や南半球 (オーストラリア東岸沖、ニュージーランド周辺、パプアニューギニア沖、チリ沖) においても、密度が低いながらも分布することが知られている (Nakamura and Warashina 1965、新宮ら 1974、Collette and Smith 1981)。タスマニア島近海やニュージーランド周辺海域における分布も、DNA 分析によって確認されている (Ward et al. 1995、Smith et al. 2001)。インド洋では、オーストラリア西沖での漁獲が報告されているものの (Nakamura and Warashina 1965)、ほとんど分布していないと考えられている (山中 1982)。

産卵場であるフィリピンから南西諸島にかけての海域で生まれた魚は、日本近海に運ばれる (矢部ら 1966、山中 1982、米盛 1989)。若齢魚の日本近海の回遊は、漁獲データの分析 (Kishinouye 1923、相川 1949、山中 1958、岡地 1963、小井土・水野 1989、小川・石田 1989b、濱崎・永井 1995) と、標識放流再捕データから明らかにされている (諫早 1935、河野・石塚 1987、米盛 1989、Bayliff et al. 1991)。それらによれば、太平洋沿岸に来遊した 0 歳魚は、夏から秋に太平洋沿岸を北東方向に移動し、冬になると少なくとも一部の魚は南下して三重、和歌山沖に達して越冬する。これらの 0 歳魚はその後若齢期に日本海には行かない。日本海の 0 歳魚は、日本海を秋から冬に南下して東シナ海から九州南岸沖で越冬する。東シナ海の 1 歳魚は、翌春に太平洋側へ回遊する魚、再び日本海を北上する魚、東シナ海にとどまる魚に分かれる。太平洋側に回遊した 1 歳魚は 6-7 月に三陸沖に分布する。日本海を北上した 1 歳魚には、津軽海峡を経て三陸沖に達する魚や、オホーツク海北海道沿岸にまで達する魚もいるが、他は秋から冬にかけて再び日本海を南下し、九州南岸沖または本州南東方で越冬する。満 2 歳以上の魚は日本海にはほとんど分布せず、太平洋沿岸から沖合へ去る。

太平洋の東西間を移動する渡洋回遊をすることは、日本近海で少ない 2 歳前後の魚が東部太平洋で多く見られること、東部太平洋では稀な大型魚が日本近海で見られることから、古くから想定されており（中村 1965）、標識放流によって東部太平洋から西部太平洋への移動が、続いて西部太平洋から東部太平洋への移動が実証された（Orange and Fink 1963、Clemens and Flittner 1969）。渡洋回遊の開始時期は、漁獲情報からは 0 歳の 7-8 月か 1 歳の 5-6 月（山中 1982）、標識放流からは 0 または 1 歳の 11 月以降（Bayliff et al. 1991）と考えられている。渡洋回遊に要する期間は、標識放流の最短放流期間から、西から東へ 7 ヶ月、東から西へ約 2 年とされている（Bayliff et al. 1991）。渡洋回遊の経路は、北太平洋中央部での漁獲情報から亜寒帯境界線沿い（斎藤ら 1981、山中 1982）、クロマグロの生息水温範囲から亜寒帯境界線から亜熱帯境界線間の海域（Bayliff 1994）と想定されている。東部太平洋では、10 歳以上の大型魚も少数、分布するが（Calkins 1982、Foreman and Ishizuka 1990）、主に 100cmFL 以下の 1-3 歳魚が分布し、5 月から 10 月に 23-34N 間の海域を北上し、11 月から 4 月に外洋へ移動すると考えられている（Calkins 1982、Bayliff 1994）。

成魚の太平洋全体での回遊は、新宮ら(1974)が、1966-1967 年の延縄漁獲データから推定している。それによれば、成魚は 4-5 月に日本東部および西部赤道海域から産卵場（沖縄、台湾、フィリピン東沖）に集まり、6 月に逸散が始まる。7-10 月にさらに逸散して、南北両半球に分布が分離し、9-10 月の分布は日本東部の北緯 40 度線に沿った海域およびタスマン海周辺海域に限られる。11-12 月にはやや低緯度へ移動し、1-3 月には北緯 30 度周辺に分布し、また、赤道海域でも分布するようになる。

ルソン島近海の魚は種子島近海の魚より大きく、両者の生殖腺の発達に相違があり、両者は異なるグループの魚と解釈されている（中村 1951、川崎 1960）。日本海において、大型魚（75-110kg）は富山湾以南の南部で、小型魚（38-56kg）は北部で漁獲され、秋には日本海を南下または津軽海峡を通過するとされており（川名 1935、諫早 1935、相川 1949、岡地 1963）、また、6 月に対馬で、7-8 月に山陰沖で漁獲される魚は産卵魚であって、8 月を中心に日本海で産卵すると考えられている（米盛 1989）。

## 本研究の目的と構成

クロマグロは、単価が高く年間漁獲量が多くて 3 万トンに過ぎないことから、その利用の主目的をたんぱく質の供給よりも経済価値に求めるのが妥当である。漁獲による総経済価値（成長と共に増加する単価×加齢と共に減少する個体数－漁獲コスト）を最大化するには、魚の分布の時空間変化、すなわち回遊を正確かつ詳細に把握することが必要である。いつ、どこで、何歳魚がどれだけ分布しているかが分かれば、加入した資源を最大限に活用し、低コストで漁獲でき、経済利益を最大化できる。回遊が不明であれば、目先の利益にとらわれ、価値の低い小型魚のうちから乱獲する事態を招く危険性があり、正確な回遊図を作成することが、資源管理において重要である。

クロマグロの回遊については、上記のように、多くの研究者によって幅広く深い知見が得られているものの、クロマグロは分布範囲が広大で、長寿命であることから、生活史全段階における回遊の全てを詳細に明らかにするには至っていない。より適切な資源管理に資する回遊像を構築するには、海域や時期、生活史段階を詳細に区分した、定量的データの分析が必要である。また、これまで明らかにするのが困難であった、分布は徐々に変化していくのか、それとも急激に変化するのかという分布

変化の動態も明らかにしなければならない。これらの検討には、個体の移動動態を把握すること、ならびに多数個体の分布情報である漁業データを解析し、それらを統合することが必要である。本研究では、クロマグロの回遊パターンを生活史段階別に詳細に明らかにし、さらに移動動態を加味した動的な回遊像を構築することを試みた。また、漁獲特性、産卵生態、鉛直遊泳行動や摂餌についても検討する。

まず、第 2 章では、従来の漁獲統計を再整備して本論文の解析の基礎となるデータを作成すると共に、クロマグロの漁獲特性を明らかにする。第 3 章では産卵生態を取り上げる。産卵場は生まれた魚にとって回遊の出発点であり、また、親魚の産卵回遊の目的地である。耳石輪紋の形成周期と第 1 輪形成時期を明らかにした上で、産卵日を推定すると共に、成長、成長速度と水温との関係を検討し、さらに第 2 章で求めた体長別漁獲尾数データの解析結果と統合して、産卵海域・時期の全体像、ならびに各産卵海域・産卵期から生まれた魚の資源への貢献割合を推定する。

第 4 章では、若齢魚の回遊ならびに行動を、アーカイバルタグを用いて調べ、個体レベルの連続した回遊動態の情報を得て、異なる個体の群れの分布を不連続に見ているに過ぎない漁業データの解析上の問題点を解決する。アーカイバルタグは、装着した動物の行動、環境水温、生理的状态を、直接に同時に測定してメモリーに記憶しておく電子機器であり、本研究で用いたものは照度変化から毎日の位置を推定する機能を持っている。第 5 章では、若齢魚の回遊について、様々な漁法の漁獲データから、漁獲尾数や重量の分布の変化を見ていく。漁獲情報を年齢・月別に細分して、対象をより明確なものとして捉えるように努める。また、標識放流再捕データの再解析結果、第 4 章で求めた個体レベルの回遊の知見とも統合させる。第 6 章では成魚の回遊を、日本と台湾の漁獲データから検討するとともに、魚の大きさによる回遊の違いを検討する。第 7 章では、クロマグロの回遊、生活史戦略、資源管理について総合考察する。

なお、本論文では「回遊」という用語を、移動のみならず、滞在も含めた個体の分布状態を示すものとして用いている。また、「回遊」は 1 日を単位とした水平移動を、「行動」は数分を単位とした鉛直移動を意味するものとして区別して用いた。魚の長さは、原則として尾叉長であり、数値の後に cmFL と示す。

## 第2章 太平洋全体における漁獲量、年齢別漁獲尾数の推定

### 2-1. 緒言

漁獲量統計は、資源評価において、基礎的かつ重要なデータである。回遊を研究する上でも、解析の基礎データであり、またある年、ある海域における漁獲を全体に対して位置づけるためには漁獲の全体像、漁獲特性の理解が必要である。

クロマグロの漁獲方法は、日本では曳縄、定置網、竿釣、まき網、延縄、流網と多岐にわたり、米国、メキシコでは、まき網による漁獲がほとんどで、一部で遊漁による漁獲がある(山中 1982、Calkins 1982、Bayliff 1994)。台湾は延縄で漁獲し、韓国は遠洋延縄で漁獲するとともに、近年は東シナ海においてまき網によっても漁獲している(Hsu et al. 2000)。日本の漁獲のうち、遠洋・近海延縄、大中型まき網、竿釣、流網については、漁業者から漁獲成績報告書が提出され、その漁獲情報は遠洋水産研究所がデータベース化・管理している。しかし、曳縄等の小規模な漁業では漁獲成績報告書の提出がなく、その漁獲実態は不明である。

日本のクロマグロの漁獲重量は、日本全体の漁獲量が長期間にわたって継続して収集されていることから、農林水産省統計情報部が発行している漁業・養殖業生産統計年報(以下、農林統計と称す)の値が、もっぱら用いられてきた(岡地 1963、山中 1982)。しかし、本統計においてクロマグロが含まれる‘まぐろ’の項目にはミナミマグロや大西洋のクロマグロも含まれていること、また、クロマグロを含めた複数種のマグロ属魚類の小型魚が一括して‘めじ’の項目に含まれていることなどの問題が、従来から指摘されている(岡地 1963、山中 1982)。山中(1982)は‘めじ’の漁獲量の4~5割がクロマグロと推定し、Ishizuka and Itoh(1995)は‘まぐろ’の漁法別魚種組成が‘めじ’のそれと同じと仮定して、‘めじ’の漁獲量の種分離を試みた。

近年、日本全国の主要水揚げ県における水揚調査(後述の日本周辺クロマグロ調査)が実施され、クロマグロの全漁法における詳細な漁獲情報が、体長データと共に得られるようになった。本章では、この近年の漁獲情報も参考としながら農林統計のクロマグロ漁獲量を推定し、他の統計とも統合して、1951-1997年の47年間にわたる、漁獲重量、体長別漁獲尾数、年齢別漁獲尾数を含む漁獲統計を作成する。これは、第3章における産卵時期・海域別の0歳魚の漁獲尾数、第5章、第6章における年齢別、体長別の分布、回遊を解析する基礎資料となる。また作成した漁獲統計を集計し、クロマグロの漁獲特性を明らかにする。

### 2-2. 材料と方法

#### 2-2-1. 使用した資料

##### 漁業・養殖業生産統計年報

農林統計は、1912年から毎年発行され、日本全体の魚種・漁法別漁獲重量や魚種・県別漁獲重量が記載されている。日本全体のもの(全国版)のほかに、都道府県ごとにまとめたもの(県版)も発行されている。クロマグロは独立した魚種区分項目ではなく、また、1991年以降の東シナ海におけるまき網の漁獲量がマグロ属魚類の項目に含まれていないことから、そのままクロマグロ漁獲量として用い

ることとはできない。農林統計におけるマグロ属魚類の魚種区分および漁法区分は、以下のように変更されてきた。

- 1912-1940 年：マグロ属魚類全てが‘まぐろ’1項目で示され、魚種別漁獲量は不明。漁法は沿岸漁業と内地沖合漁業のみに区分されていた。
- 1941-1950 年：第2次世界大戦の影響で統計は編纂されていない。
- 1951-1956 年：マグロ属魚類は、‘まぐろ’、‘きはだ’、‘めばち’、‘びんなが’に区分された。‘まぐろ’には太平洋のクロマグロ以外に、1952 年頃から漁獲量が急増したミナミマグロが含まれている。漁法区分は、各漁法の盛衰に応じて統合分離はあったが、概ね表 2-1 に示す通りであった。
- 1957-1994 年：マグロ属魚類は、‘まぐろ’、‘きはだ’、‘めばち’、‘びんなが’、‘めじ’に区分された。‘まぐろ’には、太平洋クロマグロ、ミナミマグロのほかに、1962 年頃から漁獲量が急増した大西洋のクロマグロが含まれ、‘めじ’には、キハダ、メバチ、クロマグロ等の複数種の小型魚が含まれる。クロマグロは原則として、大型魚は‘まぐろ’に、小型魚は‘めじ’に含まれるが、小型魚であっても‘まぐろ’に含まれた場合もあったと考えられる。漁法区分は概ね表 2-1 に示す通りであった。
- 1995 年以降：マグロ属魚類は、‘くろまぐろ’、‘みなみまぐろ’、‘きはだ’、‘めばち’、‘びんなが’、‘その他のまぐろ’に区分された。‘くろまぐろ’には太平洋のクロマグロと大西洋のクロマグロが含まれる。魚種が明らかな場合には‘その他のまぐろ’に含めないとされているが、実際の統計値を見ると相当量のクロマグロ小型魚が‘その他のまぐろ’に含まれていると推測される。漁法は 1994 年以前とほぼ同様であったが、曳縄が独立した項目となった。

## 日本周辺クロマグロ調査委託事業および日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査

日本周辺クロマグロ調査委託事業は、1992 年から 1996 年に、水産庁が 21 道県（北海道、青森県、岩手県、宮城県、山形県、千葉県、神奈川県、静岡県、新潟県、富山県、三重県、和歌山県、鳥取県、島根県、山口県、愛媛県、高知県、長崎県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県）の水産試験場（一部センター等）にクロマグロ水揚げ調査を委託した事業である。水産試験場の担当者は、各道県の主要水揚げ港の市場水揚げ伝票から、月・漁法・魚種・水揚げ状態・銘柄別の水揚げ重量および尾数データを収集した。水揚げ状態は、内臓込みの状態（原魚重量；主に小型魚）、内臓とエラを除いた状態（製品重量；主に大型魚）、内臓とエラ、尾部を除いた状態（尾部抜き製品重量；主に大型魚）の 3 つに区分した。1997 年以降は、日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査の一環として同様の調査が実施されている。以下、これらの調査で得られたデータを日本周辺クロマグロ調査データと称す。1992 年の調査は 7 月から開始された。山形県は 1994 年から調査に参加した。漁法区分は農林統計による区分とほぼ同様である。

また、各道県の担当者がクロマグロ 1 尾ごとの体長と体重を測定し、年・月・市場・漁法・水揚げ状態の情報と合わせて記録した。一部には、体長のみまたは体重のみのデータもある。代表的な全ての漁

法、時期、水揚げ場所、魚のサイズがカバーされている。

### 漁業情報サービスセンター資料

(社) 漁業情報サービスセンター (Japan Fisheries Information Service Center、JAFIC) は、全国の主要港におけるクロマグロ水揚げ量を、同センターが発行する水産物市場月報に 1980 年から掲載している。1997 年 12 月時点の調査市場 (産地市場) は 30 ヶ所であった。そのうち 19 市場 (宮古、気仙沼、女川、石巻、塩釜、小名浜、銚子、三崎、沼津、焼津、紀伊勝浦、八幡浜、新潟、境港、浜田、福岡、唐津、松浦、長崎) で、クロマグロの水揚げが記録されたことがあった。クロマグロの漁獲量の多い塩釜は 1984 年から調査対象となった。クロマグロは大型の‘まぐろ’と小型の‘めじ’の 2 項目に分かれており、これらには、他のマグロ属魚類や大西洋クロマグロは含んでおらず、1991 年以降の東シナ海におけるまき網による漁獲は含んでいる。主たる漁法は市場から推測できる。以下では JAFIC データと称す。

### 東シナ海におけるまき網漁獲量データ

1991 年以降、東シナ海から日本海西部において、まき網漁業者がクロマグロ小型魚を多獲するようになった (濱崎・永井 1995)。その漁獲量は、漁獲成績報告書では‘その他の魚類’の項目に記載され、農林統計のマグロ属魚類の項目には含まれない。また、日本周辺クロマグロ調査でも調査対象としなかった。そこで、水産庁西海区水産研究所 (現、水産総合研究センター西海区水産研究所) が所有する、九州北部から日本海西部の市場における水揚げ資料を元に、データを作成した (以下、このデータを西日本まき網データと称す)。1995 年 8 月までの水揚げデータについては、水揚げ日・市場・水揚げ船名・銘柄 (魚種)・1 箱の尾数・1 箱の重量・箱数を入力した。1995 年 9 月以降のデータについてもほぼ同様であったが、銘柄はキハダ、ビンナガ、コシナガ等のマグロ属魚類も一括し、1 箱の重量は全て 16kg と仮定した。

### 漁獲成績報告書データ

まき網 (1970-1997 年)、竿釣 (1972-1997 年)、延縄 (1952-1997 年)、流網 (1977-1992 年) の漁獲成績報告書に基づく漁獲データ (以下、漁獲成績報告書データと称す) を用いた。漁獲成績報告書は、農林水産大臣の許可を受けて操業する漁業者が操業の結果を報告するもので、まき網、竿釣では操業日ごとの漁獲重量が、延縄、流網では操業日ごとの漁獲尾数が示されている。

### 生物統計データ

遠洋水産研究所の魚体測定データベース (以下、生物統計と称す) には、1948 年以降の年・月 (または四半期)・漁法ごとの体長または体重頻度データが含まれている。これらは、遠洋水産研究所の研究者が市場で水揚げ物を測定したデータ、市場の検量伝票を用いたデータ、船員が船上で測定したデータから構成される。調査期間は長いが、対象とする漁法、時期、水揚げ場所、魚のサイズは限られている。

## 2-2-2. 日本のクロマグロ漁獲量、年齢別漁獲尾数の推定

### 漁獲重量の推定

以上の資料と補完的な資料を組み合わせ、1951年から1997年までの日本によるクロマグロの漁獲量を推定した。漁法は曳縄、定置網、竿釣、まき網、延縄、流網、その他にまとめた（表 2-1）。1992年以前については、明確な最適値が判断できなかった場合もあったため、推定値のほかには上限推定値と下限推定値を求めた。推定値が、漁獲成績報告書データまたは生物統計データの漁獲量を下回った場合には、それらのうちの最大値を用いた。漁獲量は全て原魚重量に統一した。

農林統計の‘まぐろ’に含まれるクロマグロの漁獲量を漁法ごとに次のように推定した。まき網や定置網等（遠洋延縄、近海延縄、遠洋カツオ竿釣、近海カツオ竿釣、沿岸カツオ竿釣以外の漁法）による‘まぐろ’の漁獲量には、クロマグロのみが含まれると仮定した。遠洋カツオ竿釣、近海カツオ竿釣、沿岸カツオ竿釣による‘まぐろ’漁獲量については、推定値および上限推定値では‘まぐろ’の全漁獲量がクロマグロのもの、下限推定値ではクロマグロが全く含まれないと仮定した。

遠洋延縄、近海延縄による漁獲量は、資料の存在する年代によって異なる推定をした。1951年は漁獲成績報告書データがないが、ミナミマグロの本格的な漁獲が1952年からであることから、農林統計の‘まぐろ’漁獲量を全てクロマグロとした。1952-1974年および1976年については、漁獲成績報告書データによる延縄の漁獲尾数に、生物統計による延縄漁獲魚の年平均体重を掛けて、漁獲重量を求めた。上限推定値は、漁獲成績報告書からの漁獲量を1.6倍した。これは後述の1975年および1977-1994年の漁業・養殖業水域別生産統計における漁獲量が、漁獲成績報告書漁獲量の平均1.54倍であったためである。下限推定値は漁獲成績報告書の値とした。1975年、1977-1994年については、漁獲海域および漁法が明示されている漁業・養殖業水域別生産統計（農林水産省統計情報部発行）の遠洋延縄、近海延縄による‘まぐろ’の漁獲量のうち、北太平洋（太平洋北西部、太平洋中西部、太平洋北東部）のものをを用いた。漁業・養殖業水域別生産統計と漁獲成績報告書からの推定重量のうち、大きな方を上限推定値に、小さな方を下限推定値に用いた。

農林統計で‘めじ’は、「市場その他で通称めじ、しび、よこわなどと呼ばれている小型のまぐろ類を言う」と定義されている。すなわち、‘めじ’には少なくともクロマグロ、キハダ、メバチの小型魚が含まれ、また、ビンナガ、コシナガが含まれている可能性もある。なお、大西洋のクロマグロ、ミナミマグロについては、日本の漁獲は延縄による大型魚に限られており、‘めじ’には含まれていないと推定される。

‘めじ’は、漁獲地域および漁法が特定されれば、魚種をある程度推測できる。例えば、クロマグロ以外のマグロ属魚類の漁獲が稀な日本海の漁獲であればクロマグロである可能性が高く、また、定置網による漁獲であればキハダやメバチよりも沿岸性の強いクロマグロである可能性が高い。農林統計全国版では‘めじ’の漁法別・都道府県別漁獲量は掲載されていないことから、農林統計県版における魚種・都道府県・漁法別の漁獲量資料を可能な限り収集して、クロマグロ漁獲量を推定した。調査対象は、農林統計全国版で‘めじ’が項目として設定された1957年から最後に用いられた1994年までにおける、農林統計（全国版）で過去に‘めじ’の漁獲がある全都道府県（33都道府県：内陸8県、愛知県、大阪府、岡山県、広島県、香川県、佐賀県を除く）とした。農林統計県版の中には、資料を



収集できなかった場合や、収集したが‘めじ’の漁獲量が漁法別に掲載されていない場合、さらには‘めじ’が項目として独立しておらず‘まぐろ類’として一括されている場合があった。農林統計県版の収集率（[収集した農林統計県版の‘めじ’の合計値]／[農林統計全国版の‘めじ’の値]）は、平均 99%、最低でも 86%であった（表 2-2）。なお、各県の‘めじ’漁獲量が農林統計県版と全国版とで一致しない場合があった。宮崎県の 1984 年から 1987 年には、不一致が 3000 トン以上に及び、また、1964 年については、農林統計全国版は 100 トン単位で記載されていたために、農林統計県版の合計値と異なった。漁法が記載されていない場合、一部漁獲量についてはその県における付近の年の漁法別漁獲重量や近年の情報から漁法を推測した。ただし、近年の漁獲情報から漁法を推測するのは、1980 年以降にとどめた。その結果、1980 年以降は平均 99%、最低でも 95%の漁法判明率（[県別・漁法別の‘めじ’漁獲量の合計]／[農林統計県版の‘めじ’漁獲量の合計]）で漁法別漁獲量を得た（漁法を推測したのはそのうち 3%）。1979 年以前は、多くの年で漁法判明率が平均 65%と低くなった（漁法を推測したのはそのうち 3%）。ただし、クロマグロを含まないと考えられる沖縄県の‘めじ’の漁獲量を除くと、1974 年以降の漁法判明率はほぼ 100%となる。一部の県の統計では魚種別漁獲量を明示している場合があった。特に、毎年、‘めじ’の漁獲量が全国で最大（1973 年以降の全国の漁獲量に対して 30-72%、平均 49%）である宮崎県の統計は、1973 年以降の統計値を魚種別に示していたことから、クロマグロに相当するよこわの漁獲量値をそのまま用いた。

‘めじ’に占めるクロマグロの割合を、以下の原則に従って、県・漁法別に設定した（付表 1）。まず、農林統計は漁業者の住所で集計される属人統計であるため、県名と漁獲地域、水揚げ地域とが必ずしも一致しない点を漁法ごとに考慮しながら、漁獲予想海域を日本海・太平洋岸北日本（福島県以北）・太平洋岸南日本に区別した。そして、日本海での漁獲は全てクロマグロと仮定した。太平洋岸北日本では‘めじ’に占めるクロマグロの割合は大きく、南日本ではキハダやメバチが多くを占めてクロマグロの割合は小さいと仮定した。各漁法における‘めじ’に占めるクロマグロの割合は、延縄漁業では、‘めじ’に含まれるような小型クロマグロの漁獲がほとんどないことから、遠洋延縄ではゼロ、近海延縄ではわずか、沿岸延縄では近海延縄より大きいものの比較的小さいと仮定した。竿釣では、‘めじ’の大部分はキハダやメバチが占めると考え、クロマグロの割合は遠洋、近海、沿岸と漁場が近くなるに従って大きくなっていくと仮定した。定置網による‘めじ’の漁獲量は、日本海と太平洋岸北日本で多く、これらは全てクロマグロと仮定した。太平洋岸南日本では、そもそも定置網による‘めじ’の漁獲量は少なく、クロマグロの割合は近年の情報から推定した。まき網でのクロマグロの割合は近年の情報から推定した。その他の釣は曳縄とみなし、日本海と太平洋岸北日本における漁獲は全てクロマグロと仮定し、太平洋岸南日本におけるクロマグロの割合は近年の情報から推定した。

最終的に日本のクロマグロ漁獲量を、1951 年から 1990 年までは農林統計の‘まぐろ’からの推定値と‘めじ’からの推定値とを足し合わせたもの、1991 年と 1992 年は農林統計からの推定値に西日本まき網データの漁獲量を加えたものとした。1993 年から 1997 年については、日本周辺クロマグロ調査データの漁獲量に西日本まき網データの漁獲量を加え、さらに以下の漁獲量を加えた。(1) 福島県小名浜と長崎県長崎の流網の漁獲量。これらは JAFIC データから該当する市場・月の漁獲量を用いた。(2) 日本周辺クロマグロ調査データの沖縄県における延縄漁獲量を 0.5 倍した値。これは沖縄県

で水揚げした延縄漁獲物の一部が、市場の通常システムを通過せずに本州へ空輸されることから、調査データに含まれていないためである。(3) 遠洋延縄の漁獲量。漁業・養殖業水域別生産統計の値を用いた。

### 年齢別漁獲尾数の推定

年齢別漁獲尾数の推定方法は、漁獲重量のデータソースによって異なった。年齢は、6月1日を産卵日と仮定した満年齢とし、6-12月と翌年1-5月までの漁獲を1年間の漁獲としてまとめた。各月の体長は15日時点のものとした。ただし、クロマグロの成長は季節変化することから(行縄・薮田 1967、Bayliff 1993、第3章)、5-12月に1年間分成長し、1-4月は同一体長を維持すると仮定した。0歳から9歳までについては年齢分解し、10歳以上は10+歳として一括した。農林統計から推定した漁獲量(1951年から1992年)については、魚の大きさを反映した情報である‘まぐろ’と‘めじ’を区別して、適切な体長組成を当てはめて体長別漁獲尾数を求め、体長-年齢関係を元にある体長の漁獲尾数を全て一つの年齢に当てはめるスライシング法で年齢別漁獲尾数に変換した。‘まぐろ’の漁獲量には、まず、生物統計から求めた年・月・漁法別の体長組成を対応させた(付表5)。対応する年・漁法の体長組成がない、または測定個体数が不十分な場合には、付近の5年間の平均や日本周辺クロマグロ調査データと対応させた。‘めじ’の漁獲量には、日本周辺クロマグロ調査の小型魚(原魚で体重が測定された個体)の体長組成を対応させたが、生物統計のデータが多くありかつ魚の大きさが限定される竿釣と延縄については‘まぐろ’に用いたのと同じ体長組成を用いた。

なお、漁獲量は暦年の1年間の合計であることから、1-5月の漁獲物と6-12月の漁獲物では年齢が異なる。1-5月の漁獲は多くの地域で少ないが、長崎県では例外的に1月の漁獲が多いことから、長崎県の漁獲量を次のように処理した。長崎県水産試験場より提供を受けた1973年から1992年までの長崎県の主要港における月別漁獲量データから、1-5月と6-12月の漁獲重量比を求め、漁獲量を分割した。1972年以前の漁獲量は、最も古い10年間(1973-1982年)の平均割合で分割した。年齢別漁獲尾数は、日本周辺クロマグロ調査データによる1993年以降の月別年齢組成を用いて求めた。その他の漁法や、‘めじ’における漁法不明の漁獲については、年齢組成が推定できた分の‘めじ’と‘まぐろ’の年齢組成を当てはめた。

日本周辺クロマグロ調査データ(1993-1997年)の漁獲量については、以下の方法で体長別漁獲尾数を求めた。年・月・市場・漁法・水揚げ状態別の漁獲尾数に対して、まず、年・月・市場・漁法・水揚げ状態別の体長組成を当てはめた。該当する体長組成がないか、データ数が不十分な場合(原則として20個体以上。ただし、体長群が複数ある場合にはより多くの個体数を必要とした)には、体重のみ測定されたデータも体長-体重関係から変換して体長組成に加え、年・月・県・海(太平洋・日本海・東シナ海の別)・漁法・水揚げ状態別、年・月・海・漁法・水揚げ状態別、年・海・漁法・水揚げ状態別、年・漁法・水揚げ状態別、漁法・水揚げ状態別と細かな区分からより大まかな区分の体長組成へと順次対応させていった。推定した体長別漁獲尾数はスライシング法によって年齢別漁獲尾数に変換した。

西日本まき網データ(1991-1997年)については、1995年9月以降のデータにおいて1箱当たりの重量を一律16kgと仮定したために1尾の正確な体重が不明であることから、1991-1997年の全年で、

体重 0-20kg の魚については月・体重別漁獲尾数頻度分布から年齢・体重関係を考慮しつつ年齢を推定し（表 2-4）、体重 20kg 以上の魚については尾叉長に変換した後に体長・年齢関係からスライシング法によって年齢を推定した。

推定に必要な体長・体重関係、製品重量から原魚重量への換算係数、成長式は以下のように求めた。体長・体重関係式は、日本周辺クロマグロ調査データのうち、尾叉長、体重の両方が測定された約 80,000 個体のデータから、以下のべき関数式で近似した。

$$W = a \times L^b$$

W：体重（kg）、L：尾叉長（cm）、a、b：係数

関係式は原魚重量、製品重量、尾部抜き製品重量の 3 通りについて求めた。市場では通常、約 80-100cmFL までの小型魚は原魚重量で、それ以上の大型魚は製品重量で測定される。

製品重量から原魚重量へ換算する係数（原魚重量／製品重量）は、1992 年 7 月に焼津に水揚げされたまき網漁獲魚 42 個体（オス 21 個体、メス 21 個体。158-216cmFL）の、製品重量（1kg 単位で測定）と、取り除かれた鰓や内臓の重量（0.1kg 単位で測定）とから求めた。

成長式は、小型魚については硬組織、体長組成、標識放流による多くの研究があり（相川・加藤 1938、横田ら 1961、Bell 1963a、行縄・薮田 1967、Schultzu and Collins 1977、Bayliff et al. 1991、Anon. 1992、Bayliff 1993、Foreman 1996）、それらの結果もほぼ一致していることから、行縄・薮田(1967)の成長式を 3 歳（102cmFL）まで用いた。しかし、大型魚の成長の研究は少なく、計測標本数も少ない。そこで、生物統計データおよび日本周辺クロマグロ調査の魚体測定データを用いて、年・漁法別（日本周辺クロマグロ調査データのまき網については、漁獲海域をさらに太平洋と日本海とに分けた）の体長組成のモード（体長組成図において形成される複数の山型分布の各最頻値（山中 1958））から、大型魚の成長を推定した。しかし、ある年の体長組成において、複数の山型分布が明瞭に見られた場合は少なく、またある年級の尾数が突出することで周囲の年級の山型分布が隠される場合があったことから、各年級のモードの判別は困難であった。一方で、この尾数の多い山型分布は年々大型へ移行していた。そこで、明瞭に見られた山型分布を複数年追跡し、モードの移行幅から成長率を推定した。異なる漁法で観察されたモードが同年級・同年齢のものとして判断された場合には、平均値を用いた。

年齢別漁獲尾数は、本研究で求めた成長式以外に、以下の 2 成長式（行縄・薮田 1967、Bayliff 1994）によっても推定し、結果を比較した。

行縄・薮田(1967)の成長式

$$L_t = 320.5(1 - e^{-0.1035(t+0.7034)}) \quad L_t = t \text{ 時の尾叉長 (cm)、} t \text{ は年}$$

Bayliff(1994)の成長式

$$L_t^{0.001} = 581^{0.001} + (187^{0.001} - 581^{0.001})e^{0.01184(t-61)}$$

0.125-0.917 歳  $L_t = t \text{ 時の尾叉長 (mm)、} t \text{ は日}$

$L_t = 564 + 0.709t$  0.917-4.500 歳  $L_t = t \text{ 時の尾叉長 (mm)、} t \text{ は日}$

$L_t = 1482 + 105.9t$  5.500-13.500 歳  $L_t = t \text{ 時の尾叉長 (mm)、} t \text{ は年}$

各年齢 (i) ・月 (j) の下限体長 ( $LM_{ij}$ ) は、i 歳・j 月時の平均体長 ( $L_{ij}$ ) から以下の式によって求めた。上限体長は 1 歳後の下限体長とした。

$$LM_{i,j} = L_{i,j} - \frac{(L_{i,j} + L_{i-1,j})}{2}$$

ただし、 $L_{0,j}=0$

### 2-2-3. 日本以外の漁獲量

1951 年以降の米国、メキシコの漁獲量は、IATTC による集計値 (Bayliff 1994、Anon. 1999a) を用いた。1965 年以降の韓国、台湾、ニュージーランド、プエルトリコの漁獲量は FAO Fishery Statistics(1999)の値を用いた。1994-1996 年の韓国の漁獲量は PICES 資料 (Moon et al. 1997) から補完した。

年齢別漁獲尾数は、米国、メキシコによる漁獲については、IATTC (Bayliff 1994、Anon. 1999a) により推定されたものを用いた。ただし、1972 年、1992-1997 年については年齢別漁獲尾数が推定されていない。そこで、1972 年の平均体重は前後の年の平均から 8kg とし、1992-1997 年の平均体重は一律 10kg として尾数を推定した。年齢組成は、1972 年は前後の年の平均組成を用い、1992-1997 年は体長頻度分布図 (Anon. 1999a の図 1) において、各年齢内のモード体長における個体数の比を年齢組成として用いた。台湾、ニュージーランドの漁獲重量には、その年の日本の延縄漁獲物の平均重量および年齢組成を、韓国の漁獲重量には西日本まき網データの平均重量および年齢組成を対応させた。

## 2-3. 結果

### 2-3-1. 推定漁獲重量の検証と年齢別漁獲尾数推定パラメータ

農林統計から推定したクロマグロ漁獲量を図 2-1 に示す。‘まぐろ’中に含まれるクロマグロは、10-100%、平均 35%、上限推定値で 10-100%、平均 36%、下限推定値で 10-80%、平均 30%と推定された。‘めじ’中に含まれるクロマグロは 12-56%、平均 32%、上限推定値で 17-81%、平均 47%、下限推定値で 9-33%、平均 19%と推定された。

農林統計からの推定値、JAFIC データ、日本周辺クロマグロ調査データ、西日本まき網データによるクロマグロ漁獲量を相互に比較し、農林統計からの推定の信頼度、JAFIC データ、日本周辺クロマグロ調査データ、西日本まき網データのクロマグロ漁獲量の相互の一致、20 道県で調査した日本周辺クロマグロ調査データの日本全体に対する代表性を検討した。

まず、農林統計から推定した漁獲量を JAFIC データの漁獲量と比較した。JAFIC データは代表市場のみの集計であり、農林統計よりも調査範囲が狭い。両者の‘まぐろ’と‘めじ’の区分は異なると考えられたので、‘めじ’と‘まぐろ’を足し上げて比較した。JAFIC データのみに含まれる日本海から東シナ海におけるまき網による漁獲量は除いた。その結果、農林統計から推定した漁獲量は JAFIC データの漁獲量に対して、約 2 倍の関係を保って同様に变化した (図 2-2)。

次に、農林統計と日本周辺クロマグロ調査の漁獲量を、両者のデータが得られた 1993 年と 1994 年

で比較した。農林統計の‘めじ’から推定した漁獲量において、日本周辺クロマグロ調査で対象とした 20 道県の漁獲量は、農林統計が属人統計であることから、非調査対象県の漁業者が調査対象県で水揚げした場合、またはその逆の場合に相違が生じるので、あくまでも目安であるが、全国の漁獲量に対して 1993 年に 95%、1994 年に 87%を占めた。これらの割合を‘まぐろ’から推定した漁獲量にも当てはめて求めた 20 道県における農林統計からのクロマグロ推定漁獲量は、日本周辺クロマグロ調査の漁獲量よりも 1.30 倍（1993 年）および 1.06 倍（1994 年）大きかった。これらは、農林統計のクロマグロ漁獲量の上限、下限推定値に対しては 0.87-1.44 倍の範囲にあった。漁法別漁獲重量割合は、日本周辺クロマグロ調査と農林統計からの推定値の間でよく一致した（図 2-3）。

次いで、JAFIC データと日本周辺クロマグロ調査データを比較した。両者で共通した 12 市場の月別漁獲量を比較したところ、両データの漁獲量の関係は、以下で近似され、ほぼ一致した。

$$\text{JAFIC データの漁獲量} = 0.980 \times \text{日本周辺クロマグロ調査データの漁獲量} \\ (r^2 = 0.988, N = 265)$$

西日本まき網データと JAFIC データの月別漁獲量を、両者に共通する松浦で比較したところ、以下で近似され、ほぼ一致した。

$$\text{JAFIC データの漁獲量} = 1.022 \times \text{西日本まき網データの漁獲量} \quad (r^2 = 0.982, N = 61)$$

福岡、唐津については、西日本まき網データの漁獲量が 2-3 倍大きかったが、これは、JAFIC はこれら地域の一部の市場のみから漁獲量を集計しているためである。

以上から、JAFIC データ、日本周辺クロマグロ調査データ、西日本まき網データによるクロマグロ漁獲量は相互に一致していることが確認された。

西日本まき網データにおいて、1995 年 9 月以降はマグロ属魚類を一括して扱ったことの影響を検討した。1991 年 1 月から 8 月の松浦、および 1991 年 9 月から 1995 年 8 月までの対象全市場のデータで、クロマグロ以外のマグロ属魚類の水揚げ量を集計した。市場の銘柄でシビ、キハダ、ビン長と呼ばれるものが約 82,000 尾、約 160 トン記録されていた（表 2-3）。これらが占める割合は、年や月によって変動はあるものの、5 年間の合計では尾数で 3%、重量で 1%とわずかであることから漁獲量推定値への影響は軽微であり、考慮する必要はないと判断した。なお、1994 年 4 月の水揚げ現場で‘ビン長’と呼ばれ、市場資料で‘シビ’と記載された魚については、水揚げ現場でコシナガであることを確認した（Itoh et al. 1996）。クロマグロ以外のマグロ属魚類は、散発的に周年水揚げされたが、水揚げ時期は年によって異なり、魚の体重は 1kg 未満から約 10kg まで幅広かった。

クロマグロの体長-体重関係は、産卵後に顕著にやせ、季節変化することが知られている（山中 1982）。平均肥満度（ $10^6 \times \text{体重} / \text{体長}^3$ ）は、原魚で扱われるような小型魚では季節変化しなかったが、内臓を取り除かれるような大型魚では季節変化することが確認された（図 2-4）。そこで原魚重量については、1993 年以降は年毎に、1992 年以前は一括して関係式を求め（付表 3-1）、製品および尾部抜き製品については、1993 年以降には年・月別の関係式（付表 3-2）を、1992 年以前には年を一括して月別の関係式（付表 3-1）を、それぞれ求めて用いた。原則として測定尾数が 50 尾未満の場合には、その年全体の関係式を用いた。

製品重量から原魚重量への換算係数の平均値は 1.12（標準偏差 0.016）であった。係数に雌雄別の

有意差 (ANOVA,  $p > 0.05$ ) や、尾叉長や肥満度との有意な相関 (それぞれ  $r = -0.22$ ,  $r = -0.28$ ,  $p > 0.05$ ) はなかった。尾柄隆起の直前で切断された尾部の重量は、ミナミマグロ延縄漁獲物で原魚重量の 1.24% に相当した (伊藤 未発表データ。1991 年 10 月。101-181cmFL。N=112) ので、尾部抜き製品重量を原魚重量に換算するにはこの値から計算した  $1/(1/1.12 - 0.0124) = 1.14$  を用いた。

体長モードの移行から求めた成長幅は、尾叉長の増加に伴って直線的に減少し、以下の式で近似された (図 2-5、付表 4)。

$$L_d = -0.178 \times FL + 42.6 \quad (r^2 = 0.730, N = 52)$$

$L_d$  = 1 年間の尾叉長の成長幅 (cm)、FL = 尾叉長 (cm)、ただし 102cm 以上

よって、成長式は次の通り。

$$L_t = 320.5(1 - e^{-0.1035(t+0.7034)}) \quad L_t = t \text{ 時の尾叉長 (cm)、} t \text{ は年、ただし } t \leq 3$$

$$L_t = 0.822 \times L_{t-1} + 42.6 \quad t > 3$$

この成長式による各年齢の尾叉長は、行縄・薮田(1967)の式と Bayliff(1994)の式の間位置する (図 2-6)。各成長式による年齢・月毎の下限体長を付表 5 に示す。

## 2-3-2. クロマグロの漁獲特性

太平洋全体の漁獲量は約 8,100 トン (1991 年) から約 37,000 トン (1956 年) の間と推定された (表 2-5、図 2-7)。漁獲量は周期的に変動し、1954-1968 年、1972-1982 年、1995-1997 年は 20,000 トンを超え、1969-1971 年、1983-1994 年は 20,000 トンを下回った。1992 年までは減少傾向にあったが、1993 年以降は増加に転じた。漁獲尾数は約 60 万尾 (1993 年) から 550 万尾 (1995 年) の範囲であり、1978、1979 年、1995 年に 500 万尾以上であった (図 2-8)。

漁獲の大半は若齢魚で、平均で 0 歳魚 59%、1 歳魚 23%、2 歳魚 12% を占め、0-2 歳魚が 74-99%、平均 93% を占めた。満年齢時の平均体重 (原魚重量) を掛けて年齢別漁獲重量割合を推定したところ、平均で 0 歳魚 19%、1 歳魚 23%、2 歳魚 22% を占めた。すなわち 0-2 歳魚が 28-90%、平均 65% を占め、尾数の場合よりも割合は減少したものの、依然として若齢魚の占める割合が大きかった (図 2-9)。1950 年代初めに漁獲総重量の 30% 以上を占めていた 6 歳以上の魚は、1960 年代に次第に減少し、1970 年代初め以降は 2-36%、平均 11% に留まった。

国別漁獲は、重量では日本が 39-96%、平均 73% と大部分を占めた (図 2-7)。次いで米国およびメキシコの合計が 3-61%、平均 25% を占めた。FAO Fishery Statistics によれば、1970-1997 年の米国とメキシコの合計漁獲量のうち、米国が 42-100%、平均 82% を占めた。台湾の漁獲はわずかで、0-14%、平均 3% を占めるに過ぎない。尾数では日本が 48-98%、平均 81% と大部分を占め、重量よりやや高い割合を占めた (図 2-10)。次いで米国およびメキシコが 2-52%、平均 19% を占めた。

年ごとに見ると、1951 年以降一貫して日本の漁獲量が卓越していた。1970 年代半ばまでは米国・メキシコによる漁獲が重量、尾数とも約 40% を占めていたが、その後日本の漁獲が重量で約 80%、尾数で約 90% に増加した。1996 年になって、米国・メキシコの漁獲が再び見られるようになった。1987 年以降は台湾の漁獲重量がやや目立ってきたが、漁獲尾数はわずかである。

年齢ごとの国別漁獲量を図 2-11 に示す。0 歳魚の漁獲は、近年の韓国のまき網によるわずかの漁

獲量を除いて、全て日本によるものである。1 歳魚の漁獲は、日本および米国・メキシコによるものがほとんどで、1970 年代までは米国・メキシコが半分を占めたが、1980 年代以降は日本が大半を占めている。2 歳魚の漁獲は、主に米国・メキシコによるもので、1980 年代から 1990 年代半ばまでは日本の割合が 50%を越えてさらに増加したが、1995 年からは米国・メキシコの割合が再び大きくなった。3 歳魚の漁獲は主に日本で、次いで米国・メキシコにより、1990 年代初めから米国・メキシコの割合が大きくなっている。4 歳魚以上の漁獲は、日本が大きな割合を占め、1980 年代半ばから台湾によるものも含まれる。

年級別の漁獲尾数を図 2-12 に示す。1946・1956・1973・1978・1994・1996 年級は周囲の年級に比較して漁獲尾数が目立って多い。ただし、年によっては、漁獲の多い年級が前後の年級に移動していた。例えば、1973 年級の前後で最も漁獲尾数の多かった年級は、発生から 0 年後は 1974 年級、1 年後は 1972 年級、2-6 年後は 1973 年級、7-10 年後は 1972 年級であった。また、1978 年級の前後では、発生から 0 年後は 1978 年級、1-2 年後は 1977 年級、3-4 年後は 1978 年級、5-6 年後は 1977 年級であった。3 種類のいずれの成長式を用いても、漁獲の多かった年級は同様であり、また、前後の年級への移動も見られた。異なる成長式を用いた場合の年級別漁獲尾数は、発生から 5 年後から差が見られ始め、8 年以降は大きく異なった。

### 2-3-3. 日本の各漁法によるクロマグロ漁獲の概要

1951-1997 年における日本の漁獲重量の漁法別平均割合は、まき網 46% (19-80%) (括弧内は範囲)、曳縄 14% (3-27%)、定置網 14% (2-32%)、延縄 12% (2-32%)、竿釣 8% (0-32%)、流網 2% (0-10%) であった (図 2-13)。まき網による割合がほとんど全ての年で最大であったが、約 40%を占めた 1960 年代から、1970 年代の約 20%までゆるやかに低下し、その後再び増加して 1980 年代初めに約 70%まで増加した。その後、1985 年にかけて一時約 30%まで低下したが、次第に増加し、1993 年以降は 60-80%を占めている。曳縄による割合はわずかながら増加している。延縄の割合は、1960 年代に平均 22%を占めていたが、その後低下し、1976 年以降は 10%以下である。竿釣の割合は、年代を通じてほぼ同様だが、1991 年以降は 2%以下に低下している。定置網の割合は、1970 年代、1980 年代半ばにやや大きかったが、その後低下し、流網による漁獲は 1973 年から 1992 年に見られた。

漁獲尾数の平均割合は、曳縄 37% (14-70%)、竿釣 22% (1-78%)、まき網 14% (1-71%)、定置網 13% (1-32%)、流網 3% (0-14%)、延縄 1% (0-3%) であった (図 2-14)。曳縄による割合がほとんど全ての年で最大であるが、1950 年代には竿釣による割合が大きく、時にはまき網による割合が最大の年 (1959、1993、1995、1997 年) もあった。まき網の割合が 1991 年以降増加している。

漁法別漁獲尾数割合を年齢別に図 2-15 に示す。0 歳魚は、曳縄による割合が最大で、次いで竿釣の割合が大きい。1 歳魚は、0 歳魚に比較して曳縄、竿釣の割合が低下し、まき網、定置網の割合が増加した。2-3 歳魚では、まき網による割合が最大で、次いで定置網が占めた。4-5 歳魚でも、まき網と定置網とでほとんどを占めたが、1980 年以降はほとんどをまき網が占め、また、延縄による漁獲が見られるようになった。6-9 歳魚では、多くの年でまき網の割合が最大で、定置網、延縄が続いたが、各漁法の占める割合は年によって大きく変動した。10 歳以上の魚では、まき網または延縄の割合が最大

で、1970 年代後半だけ定置網の割合が大きかった。

以上から、1950 年代から 1990 年代に到るまで、日本ではまき網の漁獲が最大で、特に 1990 年代に入ってから割合が増加していることが分かる。年齢別には、0-1 歳魚の漁獲は、1980 年代までは曳縄が最大であったが、1990 年代に入ってからまき網による漁獲が増加し、まき網が曳縄を上回っている。2 歳以上の魚でも、まき網の漁獲が最大である。

各漁法の平均年齢組成を図 2-16 に示す。曳縄、竿釣、定置網、流網は 0 歳魚の漁獲尾数が最も大きい。曳縄、竿釣では 0 歳魚が大半を占めた。年ごとの変動（標準偏差）は曳縄、竿釣、流網では小さく、定置網では大きい。太平洋におけるまき網（正確には 1981 年以降の日本海における漁獲も含んでいるが全体に占める割合は小さい）では 0 歳魚から 10 歳魚までを幅広く漁獲している。日本海から東シナ海にかけての海域におけるまき網では、1 歳魚が主体であるが、年によっては 0 歳魚が主体となる。延縄では高齢魚ほど割合が大きくなった。延縄において 0 歳魚の割合がやや多く見られるのは、日本周辺クロマグロ調査において、沿岸部の小規模な延縄漁業の漁獲も含めたためである。

## 2-4. 考察

本研究では、これまで大まかに推定されていた太平洋クロマグロ小型魚の漁獲量を、農林統計の県版を用いて漁法および地域を詳細に検討し、小型魚から大型魚までを含む 47 年間のクロマグロの漁獲量を推定した。推定したクロマグロ漁獲量とその経年変化が各種統計値間で矛盾しないことを確認した。ただし、今回行った魚種推定の正確さは、地域、漁法によって異なったと思われる。日本海や太平洋北日本の漁獲量はクロマグロが主体であり、設定したクロマグロの占める割合が若干違っていたとしても結果は大きく変化しない。一方、太平洋南日本の‘めじ’では、クロマグロ以外の魚種が占める割合がむしろ大きく、クロマグロの占める割合の設定によってそれらの県の漁獲量推定値が大きく変化する可能性があった。しかし、‘めじ’の漁獲量が最大であった宮崎県の県版統計においてクロマグロ漁獲量が分離されていたことで、日本全体の‘めじ’中のクロマグロ漁獲量を限定的に推定することができた。

ただし、現時点ではいくつかの問題点が残されている。(1) 各県・漁法別の‘めじ’中のクロマグロの割合は 10%単位の大まかな区分で設定している。(2) ‘まぐろ’中のクロマグロ漁獲量は、上限から下限推定値まで狭い範囲で推定されたが、‘めじ’からの推定値には約 2 倍の幅がある。‘めじ’の推定漁獲量で上限と下限推定値との差が大きかったのは、宮城県のまき網、静岡県の竿釣、三重県の延縄とまき網、高知県の延縄と曳縄、鹿児島県の竿釣であった。(3) 1979 年以前の‘めじ’漁獲量は漁法不明が多い。漁法が判明したのは平均 65%であった。(4) 通常、竿釣漁獲物中のクロマグロの割合はごくわずかであるが、クロマグロの資源量が多いときにはクロマグロの割合が大きかった可能性がある。しかし、通常の割合が極めて小さいことから、その割合を若干増加させただけで、竿釣のクロマグロ漁獲量は大きく増加してしまう。この影響を軽減させるため、本推定では‘めじ’中の竿釣によるクロマグロの割合は低めに設定した。(5) 1950 年代の竿釣による漁獲量が過大推定である可能性がある。本推定では‘まぐろ’として記載された竿釣の漁獲量は全てクロマグロによるものとみなし、結果として特に 1950 年代に竿釣の漁獲量が大きくなった。しかし、1960 年代の竿釣によるクロマグ



ロの漁獲量が 1000 トン弱であるのと比較して、1950 年代の漁獲量はその 2-5 倍にもなる。竿釣と同様に小型魚を漁獲する曳縄では、1950 年代と 1960 年代の漁獲は同レベルであり、定置網では 1950 年代は 1960 年代の約 2 倍に過ぎず、竿釣の漁獲量だけが突出していた。これらの問題の解決は過去の漁業の情報が少ないために困難であるが、今後、既存の論文や報告書、記事等の断片的な記述を収集、分析することによって改善される余地がある。

クロマグロの体長-体重関係式は、これまでいくつか報告がある (Bell 1964、新宮ら 1974、Bayliff 1991、Hsu et al. 2000)。今回、関係式を求めるのに用いたデータは従来よりも測定個体数が多く、また、広い体長範囲、月をカバーしている。本研究で求めた体長-体重関係を、過去の体長-体重関係と比較 (ただし、外挿して推定された範囲を除いた) したところ、ほぼ同様の体長-体重関係が見られ (図 2-17)、過去と近年で体長-体重関係に変化がないと考えられる。

本研究では、1 年間の成長幅を、ある年の明瞭な体長モードと次の年の明瞭な体長モードとが同一年級によるものとみなして求めた。本研究と同じデータを体重組成から解析した山中(1982)は、1952 年から 1967 年にかけての大型魚の体重モードの移行は、行縄・藪田(1967)の成長式を基準とした場合にその移行幅が小さすぎることから、同一年級ではないとの判断を下している。一方で中村(1965)は、一連の体重モードの移行は同一年級のものであると解釈している。このように 1 年後に見られる体長 (体重) モードが前の年のモードと同一年級であるかの判断は研究者によって解釈が異なり、本研究においても主観的に判断した点は否めない。一方、行縄・藪田(1967)、Bayliff(1994)の成長式においては、高齢魚の標本数が少なく、また、年輪の証明がなされていない問題がある。異なる 3 成長式で推定した年級別漁獲尾数は、発生から 5 年後の漁獲まではほぼ同じで、6 年後から大きく異なった。よって、少なくとも 5 歳までは成長式に大きな影響を受けずに信頼できる推定がなされたと考えられる。6 歳以上の年齢別漁獲尾数、年級別漁獲尾数については、硬組織の輪紋等による成長式の検証が今後、望まれる。

漁獲が多かったのは、1946・1956・1973・1978・1994・1996 年級であった。一方、山中(1982)は 1950・1955・1967・1973・1977 または 1978 年に卓越年級が発生したとしている。本研究の 1956 年級は山中(1982)の 1955 年級と同じものであろう。1950 年級は日本海でのみ卓越して漁獲された年級であり (山中 1982)、太平洋全体でみれば卓越年級群ではないと考えられる。1967 年級は発生から 5-7 年後に漁獲尾数が多かったものの、他の卓越年級ほど漁獲尾数は多くない。

漁獲の多かった年級は、数年間の漁獲において一致していた。このことは本推定の年齢分解が概ね妥当であったことを示している。しかし、年齢によっては、漁獲の多い年級が前後の年級にずれた場合や、見られなかった場合もあった。3 種類の成長式のいずれにおいても漁獲尾数の多かった年級が同様であったことから、成長式の違いが年級の分解に与えた影響は小さく、対応させた体長 (体重) 組成が不適当であったためと思われる。例えば、測定個体数が少ない時に他の年の測定データを用いた場合や、1992 年以前の 1 年間の漁獲量 (西日本まき網の漁獲量、長崎県の曳縄漁獲量以外) に対して、月によって測定個体数が大きく異なる体長組成を一括して用いた可能性などである。今後、より適切な体長組成を当てはめることで、卓越年級はより明確になると期待される。

## 第3章 耳石日輪と体長別漁獲尾数から推定した各産卵時期・海域の資源への貢献

### 3-1. 緒言

産卵場は、回遊の出発点であり、また親魚の産卵回遊の目的地でもあることから、産卵の時期・海域、ならびに産卵時期・海域ごとの資源への貢献を定量的に明らかにすることが、回遊研究において重要である。クロマグロの産卵場は太平洋北西部の限定された海域であることが、これまでの仔稚魚採集調査から明らかとされている（上柳 1969）。この海域内での産卵が、4-6 月にフィリピンから南西諸島海域（Kishinouye 1923、川名 1935、中村 1951、矢部ら 1966、上柳 1969、米盛 1989）、6-7 月に本州南沖海域（米盛 1989、石原 1994）、7-8 月に日本海（川名 1935、沖山 1974、依田 1976、1981、濱崎 1981、川口 1982、西川 1986、木谷ら 1987、米盛 1989、石原 1994、北河ら 1995）で行われることが分かっている。

これまでの産卵期は、全て、仔稚魚の出現や生殖腺の発達した親魚の漁獲から推定されてきた。これらの手法は、調査または漁獲した時点の産卵を直接的に証明するものの、他の時期、海域における産卵の有無については情報をもたらさない。仔稚魚が採集されるまでには産卵からある程度の期間が経過しているものの、稚魚ネットで採集される仔稚魚は、全長 10mm 未満に限定され（矢部ら 1966）、短期間の採集以前の情報をもたらすに過ぎない。

第 2 章で明らかにしたように、クロマグロは 0 歳魚から盛んに漁獲されている。漁獲魚から産卵期を推定することは、不特定の時期を調べることであり、産卵時期分布を調べるのに適している。また、各産卵時期・海域の資源への貢献を推定しようとする時、生活史初期段階での大きな減耗があることから仔稚魚や親魚の個体数から信頼できる推定はできないが、初期減耗を経た後の漁業資源として加入した段階での漁獲尾数からは、より直接に推定ができる。

漁獲魚の産卵時期は、耳石日輪数と漁獲日から逆算でき、さらに、得られた成長式を体長組成と対応させることで漁獲物全体の産卵時期別漁獲尾数を推定することができる。耳石日輪による成長や産卵時期の推定は多くの硬骨魚類で用いられている手法であり（例えば Pannella 1971、Campana and Neilson 1985）、マグロ属魚類に対しても仔稚魚や 0 歳魚によく用いられている（Wild and Foreman 1980、Brother et al. 1983、Radtke 1984、Laurs et al. 1985、Yamanaka 1990、Itoh and Tsuji 1996、Stéquert et al. 1996、Itoh et al. 1999）。クロマグロについては、Foreman(1996)が、標識放流魚にテトラサイクリンを注入する耳石マーキング法によって、19-68cmFL の 0-1 歳魚の耳石輪紋が日輪であることを証明している。ただし、19cm 未満の魚での耳石日輪の形成ならびに日齢の絶対値を求めるのに必要な第 1 輪紋形成時期は明らかにされていない。

そこで本研究では、まず、受精日の明らかな人工ふ化飼育仔稚魚を用いて、仔稚魚期における耳石輪紋の形成周期と第 1 輪形成時期を明らかにした。次いで、過去の仔稚魚採集調査、および親魚の生殖腺観察の知見を整理して、産卵期とそれに対応する産卵海域を調べた。全ての仔稚魚採集結果はこれまでに発表されたものであるが、論文発表後のデータの追加があったり、論文における時空間の区切りが粗いものであったり統一されていない問題点もあったので、オリジナルデータ

から再解析した。次いで、0 歳魚漁獲物の一部個体から採取した耳石の日輪から産卵日を推定し、産卵時期分布、成長を検討した。最後に、日本における 0 歳魚全漁獲物について、体長組成から産卵時期別の漁獲尾数を推定した。

## 3-2. 耳石輪紋の形成周期と第 1 輪形成時期

### 3-2-1. 材料と方法

奄美養魚株式会社、日本配合飼料株式会社、日本栽培漁業協会八重山事業所の 3 ヶ所で実験的に飼育された仔稚魚を用いた。奄美養魚と日本配合飼料では、受精卵を野外の網生簀から採取し、屋内タンクに移して飼育した。日本栽培漁業協会では、日本配合飼料から受精 2 日後に卵を輸送し、仔魚を屋内タンクで飼育した。いずれの実験所でも照度や水温は調節しなかった。

魚の日齢は受精後の経過日数とした。原則として毎日、5 から 50 個体の生きた仔魚を約 10 日後まで採取した（表 3-1）。その後、仔稚魚の採取は断続的となったが、可能な限り長期間、採取を続けた。一部に死亡魚を採取した場合もあった。48 日齢までは 100%エタノールに保存し、その後は冷凍保存した。最高齢は 71 日齢、238mmFL であった。以下で特に言及しない限り、データは全ての実験所のものをまとめたものである。

20 日齢以下の魚については、各日齢で 1 から 25 個体の耳石を調べた。エタノール中の仔稚魚は、蒸留水に 2-3 分間浸して体を軟らかくし、半数の魚については全長を 0.1mm 単位（それ以下は四捨五入）で測定した。魚をカバーガラス上に置き、針を用いて実体顕微鏡下で耳石を取り出し、耳石の平らな面を下にして乾燥させ、ネイルエナメルで封入した。カバーガラスを通して、耳石の平らな面を観察した。2 対の耳石（扁平石 *sagitta*、礫石 *lapillus*）のうち、扁平石と思われたより大きな耳石を、透過光顕微鏡を用いて 800-2000 倍で撮影した。拡散 D 帯を除いた D 帯の本数を数え、輪紋数とした。輪紋は光学顕微鏡の透過光観察において明るく見える L 帯と暗く見える D 帯とから構成される (Secor et al. 1995)。拡散 D 帯は、耳石中央部に見られる不明瞭な D 帯である。写真上でデジタルノギスを用いて、耳石、拡散 D 帯、第 1D 帯の直径を 0.1mm（倍率によるが 0.04-0.4  $\mu\text{m}$  に相当）単位で測定した。耳石が円形でない場合には、長径と短径の長さを測定し、その平均を耳石径とした。

20 日齢以上の魚は、尾叉長を 1mm 単位（1mm 未満は四捨五入）で測定した後、扁平石 1 個を取り出し、以下の方法でその表面を観察した。まず、耳石をネイルエナメルでスライドガラスに固定し、核周辺部に 3N-HCl に浸した小紙片を当ててエッチングした。2-3 秒後に耳石を蒸留水中に漬けて洗い、エッチングの進行を顕微鏡で観察した。この手順を核周辺の全ての輪紋が表面に現れるまで繰り返した。次に、0.2 M-EDTA に 30 秒間浸して、耳石全体に軽いエッチングを施した。耳石を蒸留水で洗い、乾燥させ、金を蒸着させた後に、走査型電子顕微鏡 (SEM: 日立製作所 S-2300) で 15-20 KV の電圧下で 100-800 倍にて写真を撮影した。写真上で耳石輪紋数を核から後下方隅 (postrostrum) に向かって 3 回数えた。

全ての輪紋が観察されているかを検証するために、27-28 日齢の 4 個体 (28mmFL) については、片方の耳石は上述の方法で表面を観察し、もう片方の耳石は薄片を作成して断面を観察した。薄片は耳石をエポキシ樹脂に包埋し、ISOMET ダイヤモンドカッターで切断し、表面を 0.3-12  $\mu\text{m}$  のラ

ッピンフィルムで研磨して作成した。3 個体は縦断面 (frontal plane) で、1 個体は横断面 (transverse plane) で切断した。薄切片は、0.2 M-EDTA に 30 秒間浸してエッチングを施し、SEM で写真撮影し、写真上で輪紋数を数えた。

### 3-2-2. 結果

核部には通常、1-2 本の輪紋が見られた (図 3-1A)。これらは、それらの外側の D 帯に比較して、光学顕微鏡ではより広い不透明帯として、SEM ではより深い溝として観察され (図 3-1C)、拡散 D 帯と判断される。外側の拡散 D 帯外縁の直径は  $14.4 \pm 2.6 \mu\text{m}$  (平均  $\pm$  SD、N=242)、第 1 輪紋 (最初の D 帯まで) の直径は  $20.0 \pm 2.7 \mu\text{m}$  (N=117) であった。輪紋幅は約 5 本までは  $1.2 \mu\text{m}$  と一定で、その後徐々に増加した。いくつかの耳石では D 帯と類似した輪紋構造が認められたが、不明瞭であったことと輪紋間隔が不規則であった点で明らかに通常の D 帯と異なっており、輪紋数には含めなかった。

耳石と輪紋の形状は日齢と共に変化した。耳石表面 (魚の体側に向いた面) の輪紋は約 5 本目までは円形であり、その後は前後方向に、特に後方に長くなった (図 3-1C)。耳石薄切片の観察から、拡散 D 帯と第 1 輪紋は円形で、その後は前後と背腹方向に伸張したことが分かる。魚の内側-外側方向、特に外側方向にはほとんど伸張しなかった (図 3-1D)。これらの構造のために耳石は、初めは球形で、およそ第 5 輪紋までは魚の外側に平面を持った半球形となり、より高齢となっても耳石外側の沈着が薄いために耳石輪紋はほとんど表面に出ていることとなる。

同一個体の耳石輪紋数は、表面と薄切片の観察で一致した (t-test、 $p > 0.05$ )。日齢と輪紋数の関係は次式で示される (図 3-2)。

$$I = 1.03 D - 5.4 \quad (r^2=0.99, N=138)$$

ここで I は輪紋数、D は受精後の経過日数である。傾きの 95%信頼限界は 1.01 から 1.04 で、輪紋の形成周期は 1 日よりもわずかに長いと推定された (t-test、 $p < 0.05$ )。

耳石第 1 輪の形成時期は、上式の計算 ( $D=(I+5.4)/1.03$ ) では受精から 6.2 日後と推定される。しかし、輪紋は 4.6 日齢の 16 個体で認められなかったものの、5.6 日齢では 15 個体中の 7 個体に 1 本、6.6 日齢では 13 個体中の 4 個体に 2 本、6 個体に 1 本が認められた。よって、第 1 輪紋は受精から 5.6 日後頃には既に形成されていたと推測される。

さらに、日齢当たりの耳石直径と第 1 輪の直径との比較からも第 1 輪紋の形成時期を推定した。ただし、第 1 輪紋の直径が奄美養魚の 1993 年サンプルでは  $20.5 \pm 2.5 \mu\text{m}$ 、1995 年サンプルでは  $17.8 \pm 2.4 \mu\text{m}$  と有意に異なっていたことから (t-test、 $p < 0.01$ )、サンプルごとに独立で推定した。1.5-4.5 日齢の耳石直径 (Y) と日齢 (X) の関係は、 $Y=2.817X+8.925$  (1993 年サンプル、 $r^2=0.83$ 、N=63) と  $Y=2.667X+8.372$  (1995 年サンプル、 $r^2=0.77$ 、N=45) で表され、これらの式から第 1 輪紋の平均径と等しくなるのは受精から 4.1 日後 (1993 年サンプル) と 3.7 日後 (1995 年サンプル) と推定された。

いくつかの耳石では、耳石の一部または全体で D 帯が不明瞭であった。サンプル数の多い 15 日齢以下の魚のうち、輪紋が存在すると考えられる 6 日齢以上の魚で、耳石輪紋数が数えることができる

ほどに明瞭であったのは平均 58.8%であった（表 3-1）。奄美養魚の 1993 年と 1995 年のサンプルで明瞭な輪紋を有していた耳石は、魚の体長、耳石の大きさ共に、不明瞭な輪紋を持つ魚およびその耳石よりも大きかった（図 3-3、図 3-4）。さらに、明瞭な輪紋を有していた耳石の割合は 1993 年サンプルが 80.3%、1995 年サンプルが 39.7%であり、1993 年サンプルは耳石の成長も魚体の成長も速かった。よって、成長の速い魚はより明瞭な輪紋の耳石を持つといえる。

### 3-2-3. 考察

第 1 輪形成時期は、絶対年齢を求める上で不可欠な情報であるが、マグロ属魚類ではこれまでに特定されていない。本研究では 3 つの方法から、これが受精から 3.5-6.2 日後であると推定した。このうち、回帰式から推定した 6.2 日後は、この時点の耳石の平均直径が第 1 輪紋の平均直径よりも既に大きいことから過大推定である。耳石の直接観察から得られた 5.6 日後という値は、耳石直径と第 1D 帯直径との比較という間接的な方法よりも信頼できる。ただし、D 帯は、形成されたばかりでそれに続く L 帯がほとんど形成されていない状態では、それを認めることが困難である。光学顕微鏡の観察では、耳石の輪郭の回析像によって D 帯の識別が困難である。最初の D 帯が存在することの判断は慎重に行ったため、第 1 輪紋の D 帯形成は見逃されていた可能性が高い。しかし、1 日が経過して十分な L 帯が形成されれば見逃される可能性は小さいことから、第 1 輪紋は受精から 4.7 から 5.6 日後の間に形成されたものと考えられる。

本研究でふ化日は正確に記録していなかったが、仔稚魚を採集した実験所において、同じ水温で飼育されていた別の卵群は受精から 1.0-1.6 日後にふ化した。よって、第 1 輪紋の形成は、ふ化から 3-4 日後に相当する。Brother et al.(1983)は、別のサバ科魚類の知見から、大西洋クロマグロの耳石第 1 輪形成は摂餌の開始時期に一致すると推定している。太平洋クロマグロ飼育魚の観察では、仔魚はふ化から約 3 日後に摂餌を開始する（Kaji et al. 1996、宮下 2001）。これは本研究による第 1 輪紋の形成時期と一致しており、Brother et al.(1983)の考えを支持している。

輪紋の形成周期は 1.0 日よりもわずかに長い 1.03 日と推定された。第 1 輪紋の形成時期を 4.7-5.6 日の中間点である 5.2 日と仮定すると、回帰直線の傾きは 0.99、95%信頼限界は 0.97-1.00 で、1.0 日よりもわずかに小さくなった。しかし、いずれの場合も 1.0 日に極めて近く、受精後 5 から 71 日後まで耳石輪紋は 1 日 1 本形成されると言える。

仔稚魚の耳石輪紋形成周期はミナミマグロ（Jenkins and Davis 1990）で日輪であることが証明され、大西洋クロマグロで日輪であることが示唆されているが（Brother et al. 1983）、クロマグロについてはこれまで証明されていない。クロマグロの 19cmFL から 68cmFL の若齢魚については、オキシテトラサイクリンによる耳石マーキング法によって、輪紋が日輪であることが既に証明されている（Foreman 1996）。本研究の結果はこれより若齢期の輪紋形成周期を明らかにし、受精から少なくとも 68cmFL まで、耳石輪紋が日輪とみなせることを示した。

耳石日輪が存在するはずの受精 6-15 日後の魚において、耳石輪紋を数えることができたのは 187 個体中の 110 個体（59%）だけであった。一方、Brother et al.(1983)は、野生の大西洋クロマグロ仔魚の耳石輪紋数（3-10 本）を全個体で数えている。両研究では供試魚の日齢範囲が同様でありながら、

明瞭な耳石輪紋を有していた個体の割合が大きく異なった。本研究では輪紋の不明瞭な耳石は成長の遅い魚に多く見られた。飼育環境下の仔魚では不明瞭な耳石輪紋が形成されることが一般的に知られており、これは 1 日周期の環境要因の変化の程度が自然状態よりも小さいためと考えられている (Campana and Neilson 1985、Jones 1986)。1 日中、一定照度や一定温度の場合には、耳石輪紋形成が止まることも報告されている (Campana and Neilson 1985)。また、別の報告では、無給餌が不明瞭な耳石輪紋を形成するとしている (Bestgen and Bundy 1998)。しかし、本研究で用いた魚は、屋内の飼育であったことから自然状態よりは変化の程度が小さかった可能性はあるものの、照度と温度が日周変化する環境で飼育され、4 つのうちの 3 サンプルシリーズでは給餌が行われていた。また、輪紋の明瞭な耳石をもつ個体も見られている。よって平均成長は、自然状態の魚の方が今回の飼育魚よりも速かったことが示唆される。このことは同時に、成長の速い魚のみが自然界で生き残っている可能性を示唆している。大西洋クロマグロでは、大型の仔稚魚だけが生き残って 30-40cmFL の若齢魚になることが示されている (Brother et al. 1983)。

### 3-3. 産卵場と産卵期の再解析

#### 3-3-1. 材料と方法

仔稚魚採集データは 1961-1989 年の結果が含まれている遠洋水産研究所のデータベースに、矢部ら(1966)、木谷ら(1987)、長田ら(1988)、長田・木谷(1989)のデータを加えたものを用いた。北西太平洋の緯度 5° × 経度 10° 区画における仔稚魚ネットの総曳網回数とクロマグロ仔稚魚が採集された曳網回数を旬別に集計した。親魚の生殖腺の知見は、論文に発表されているものを用いた。

#### 3-3-2. 結果

仔稚魚ネット採集は太平洋全域で行われたものの、クロマグロ仔稚魚が出現したのは北西太平洋の 17-39N・121-149E (本論文では、例えば北緯 31 度は 31N、東経 125 度は 125E と、簡略に表記した。また、5° 区画については、例えば北緯 15 度 00.0 分から北緯 19 度 59.9 分までは 15-19N のように表記した) の海域のみであった (西川ら 1985) (図 3-5)。図 3-6 に北西太平洋における曳網回数とクロマグロ仔稚魚が出現した曳網回数とを示す。仔稚魚が出現した曳網回数の最も多い南西諸島海域 (20-29N・120-129E) では、仔稚魚が出現したのは 5 月上旬から 6 月下旬であり、出現率 (仔稚魚が採集された曳網回数 / 総曳網回数) は 16-40% で 6 月上旬に最も高かった。より南方の海域 (15-19N・120-129E) では、仔稚魚が採集された回数は少なく、時期は 5 月中旬から 6 月上旬であり、出現率は 4-32% で 5 月中旬に最も高かった。太平洋の 130E より東方海域 (15-34N) では、仔稚魚は 5 月中旬から 7 月上旬に採集されたが、133E 以東の海域で採取されたほとんどは 6 月下旬以降であった。出現率は 3-19% で 6 月下旬に最高であった。日本海 (35-39N・130-139E) では、仔稚魚は 8 月上旬と中旬に採集され、出現率はそれぞれ 18% と 14% であった。

曳網回数が多かった期間は仔稚魚が出現した時期のみであった。15-19N・120-129E や

15-19N・130-139E の海域では 10 日間において、25 回の曳網でクロマグロが 1 回だけ採集された場合があった。産卵が行われていないことを証明するには相当回数の曳網が必要であり、これまで採集記録がないからといって、産卵のないことの証明にはならないことに留意する必要がある。

### 3-3-3. 考察

採集された仔稚魚の主要な体長は 5-6mm (矢部ら 1966、米盛 1989) であった。これらは、大西洋クロマグロの野生仔魚の知見 (Brother et al. 1983) ならびに本論文の 3-2 節や Kaji et al. (1996) によるクロマグロ飼育仔魚の知見から、受精約 10 日後と推定される。したがって、南西諸島海域 (20-29N・120-129E) では 5 月下旬にピークを持つ 4 月下旬から 6 月中旬が産卵期と考えられる。それより東方の太平洋 (130E 以東) ではピークが遅くて 6 月中旬、南方の海域 (15-19N・120-129E) ではピークはより早く 5 月上旬となる。日本海では 7 月下旬と 8 月上旬となり、仔稚魚の出現域は山陰沖から能登半島沖で、秋田沖でも出現記録がある (米盛 1989)。

生殖腺の観察から推定された産卵期は、南西諸島海域では 4 月下旬から 6 月下旬である (川名 1935、矢部ら 1966)。中村 (1951、1965) は、3 月中旬ならびに 4-5 月にフィリピンのルソン島と南シナ海で、発達した卵巣を持つ親魚の漁獲を報告している。本州南方海域における産卵については、紀伊半島沖 (31N・137E) で 6 月上・中旬、野島崎沖 (34N・145E) で 7 月中旬に行われることが、まき網漁獲物の生殖腺重量と生殖腺の組織学的観察から報告されている (石原 1992、1994)。日本海の産卵期は、6 月下旬から 7 月下旬であると多くの報告にあるが (川名 1935、依田 1976、1981、濱崎 1981、川口 1982、石原 1994)、8 月下旬までに及ぶことが最近、示されている (田中、未発表データ)。親魚は、山陰沖から能登半島沖で多く漁獲され、対馬、北海道西沖でも見られる。また、1994 年 6-9 月に津軽海峡において、産卵と思われる行動が観察されている (Anon. 1995)。

これらの情報を総合すると、産卵時期・海域は 4 つにまとめられる。第 1 は南西諸島以南の海域で、3 月中旬まで遡る早い時期である。第 2 は南西諸島近海で、4 月下旬から 6 月下旬まで。第 3 は日本海で、6 月下旬から 8 月下旬。第 4 は 133E 以東の本州南方沖の太平洋で、6 月中旬から 7 月下旬。ただし、第 1、第 4 の産卵時期・海域は、第 2 のものと連続した時期・海域であることから、独立したものとみなすべきかは不明である。産卵時期・海域については、漁獲物から逆算した視点から、後に再検討する。

## 3-4. 耳石日輪による産卵日と成長の解析

### 3-4-1. 材料と方法

日本各地の市場で収集した魚 (N=477、17-93cmFL) から取り出した耳石を解析した。各魚については、水揚げ日、水揚げ地、尾叉長 (1cm 未満は四捨五入) の情報が得られており、漁獲日、漁獲位置はその付近とみなすことができる。また、1997 年 6 月 11-14 日に沖縄北方の黒潮流域 (27N・126E から 29N・129E) で、口径 30m の中層トロールネットを船速 5 ノットで曳網して

採集した稚魚 (N=46) の耳石も用いた。この稚魚がクロマグロであることは筋肉のミトコンドリア DNA で確認した (Anon. 1999b)。体長は 20-47mmFL、平均 36mmFL であった (N=176)。

2 個の耳石 (扁平石) を魚 1 個体から取り出して乾燥保存した。3-2 節の 20 日齢以上の魚の耳石と同様に、エッチングして、SEM で写真撮影した。輪紋数を写真上で 3 回数え、平均輪紋数を解析に用いた。同一個体の計数には 3 日以上時間を空け、漁獲日や尾叉長、前回の計数値等の情報は参照しなかった。3-2 節から、第 1 輪紋は受精後 5 日目に形成されることならびに輪紋が日輪であることが明らかとなったので、魚の発生日は漁獲日から輪紋数分の日数と 4 日を引いて求めた。計数精度は 3 回の計数の変動係数 (coefficient variance: CV) で表した。計数に及ぼすエッチングの適切さを評価するために、28 個体のサブサンプル (19-54cmFL) については左右両方の耳石輪紋を数えた。左右の耳石輪紋数は他のマグロ属魚類の結果から同一であると考えられる (Wild and Foreman 1980、Laurs et al. 1985)。

推定した発生日の分布からいくつかの発生時期グループを想定し、各グループの von Bertalanffy 成長式のパラメータを、10 日齢ごとの平均尾叉長から求めた。推定には MS-EXCEL (Microsoft Corporation) のソルバーによる最小二乗法を用いた (相澤・滝口 1999)。

発生時期グループ間の成長の違いと水温との関係を検討するために、発生から 5 ヶ月間の水温積算値を求めた。水温データは、気象庁海洋月報に掲載されている日本各地の沿岸測地点における 10 日ごとのものを用いた。

### 3-4-2. 結果

耳石輪紋数の 3 回の計数の CV は 0.0-16.0%、平均 3.4% であった。CV 値は輪紋数に関係なくほぼ一定であった ( $r^2=0.041$ )。同一個体における左右の耳石の輪紋数は、1 個体の全計数の平均値に対して、平均 6.7% 異なり、28 個体中の 8 個体 (29%) で有意に異なった (F-test,  $p < 0.05$ )。

逆算した発生日は 3 月中旬から 12 月上旬までの広範囲に及んだ (図 3-7)。太平洋で漁獲された魚の多くは、発生日が 5 月中旬から 6 月下旬であった。日本海・東シナ海で漁獲された魚の多くは、発生日がこれと同じ期間に加えて 7 月中旬から 8 月下旬であった。発生時期を便宜的に以下の 4 グループに分けた。G1: 5 月 14 日以前、G2: 5 月 15 日から 6 月 30 日、G3: 7 月 1 日から 8 月 31 日、G4: 9 月 1 日以降。漁獲海域は、太平洋沿岸域 (P) と、日本海・東シナ海沿岸域 (J) の 2 つに類別した。よって、8 グループ (G1-J、G1-P、G2-J ... G4-J、G4-P) が定義される。

日齢に対する尾叉長のプロットを図 3-8 に示す。成長は、180 日齢まで急速で、その後の冬季に相当する期間は遅くなり、420 日齢以降に再び速くなった。G3-J と G4-J の 150-220 日齢では、成長の遅いものが数個体見られた。

表 3-2 に、発生時期グループごとならびに耳石解析数の多かった G2-J、G3-J、G2-P について求めた von Bertalanffy 成長式のパラメータを示す。パラメータは von Bertalanffy 成長式の当てはまりの良い 420 日齢までに対して求めた。成長の大きく外れた G3-J の 190-220 日齢の 3 個体は推定から除外した。



耳石解析個体数が多かった3つの発生グループ（G2-J、G2-P、G3-J）の成長を120日齢までの5日ごとの平均尾叉長で、図3-9に示す。G2-JとG2-Pの成長は同様に、100日齢まではG3-Jの成長よりも遅かった。なお、解析個体数が少ないために十分な解析は行えなかったが、各グループで年級間の成長は異ならなかった。

各産卵時期・海域で生まれた魚が経験する水温を、表3-3に示す沿岸測地点で代表させて仮定した。魚の成長と水温は、耳石解析数が比較的多くかつG3-JとG3-Pが見られた1994年で比較した。80日齢まではG3-JとG3-Pの積算水温が最高で、その後はG2-JとG2-Pの積算水温が最高となった（図3-10）。50日齢時において、G3-JとG2-Jでは、積算水温が $136^{\circ}\text{C日}=2.7^{\circ}\text{C}/\text{日}$ 異なっていた。G1-JとG1-Pは初め低水温であったが、120日齢ではG3-JとG3-Pよりも高くなり、150日齢ではG2-JやG2-Pと同様に高くなった。G4-JとG4-Pの水温は、全期間を通じて他のグループを大きく下回った。このようなグループ間の経験水温の違いは、図3-9に示した成長の違いと対応している。

### 3-4-3. 考察

本研究による満1歳時の推定体長（56-63cmFL）は、鱗の年輪、標識放流データ、耳石日輪、体長組成解析からの推定値と同様であった（横田ら 1961、行縄・藪田 1967、Bayliff et al. 1991、Foreman 1996）。冬季の成長停滞もまた、これらの研究結果と一致していた。本研究の耳石日輪解析から、産卵期は3月中旬から12月上旬に及ぶと推定された。すなわち、3-3節で整理した仔稚魚採集や生殖腺の観察から分かっている3月から8月までの産卵期が確認されたと共に、さらに9月以降の産卵が示唆された。これまで産卵期は4月下旬からとされているが（矢部ら 1966、米盛 1989）、中村(1951)による3月下旬の卵巢の発達した成魚の漁獲情報と合わせて、クロマグロは3月から産卵していることが分かった。

一般的に養殖魚では、エサが豊富で適温範囲であれば、水温が高いほど成長が速いことが知られている（川本ら 1965、野村 1982）。野生のクロマグロが十分に摂餌している状態にあるかは知見がないものの、本研究において魚の成長と沿岸水温とに強い関係が見られたことから、経験する環境水温が高いほどクロマグロの成長は速く、発生時期グループ間の成長の違いを引き起こしていると考えられる。

各発生時期グループの魚が経験する水温を代表する測地点は、クロマグロの回遊から想定される最も可能性の高いものを選定したが、任意に定めた点は否めない。しかし、隣り合った発生時期グループ間の150日齢での積算水温差（絶対値）が平均 $514^{\circ}\text{C}$ であったのに対して、各発生時期グループにおける太平洋と日本海との積算水温差は平均 $53^{\circ}\text{C}$ 、仮に測地点を太平洋の全期間を御前崎、日本海の全期間を輪島の水温とした場合でも選定した測地点の場合との積算水温差は平均 $235^{\circ}\text{C}$ であった。よって、水温は地域間の違いよりも時期による違いの方が大きく、水温測定地点の選定は結果にそれほど影響を与えていないと思われる。

### 3-5. 0歳魚の発生時期グループ別漁獲尾数

#### 3-5-1. 材料と方法

日本近海で漁獲された 0 歳魚を、以下の方法で発生時期グループに分けた。使用したデータは第 2 章で推定した 1993-1997 年の年、月、県別の体長別漁獲尾数である。ただし、他の月の体長データを用いて推定したものは「体長別漁獲尾数未推定」とし、海域ごとの発生時期グループ別漁獲尾数を推定した後に、各グループの尾数割合に応じて割り振った。年、月、海域（太平洋、日本海・東シナ海）別の体長組成に対して、残差が最小になるようにいくつかの正規分布を当てはめた。推定には MS-EXCEL のソルバーによる最小二乗法を用いた（相澤・滝口 1999）。正規分布のモードの体長と、von Bertalanffy 成長式から求めた各発生時期グループのその月の体長（仮定した発生日は表 3-3 と同じ）とを比較し、各正規分布の属する発生時期グループを推定して、その正規分布と X 軸で囲まれた面積分の尾数がその発生時期グループに属するとした。

また、水温と産卵時期・海域との関係を検討した。まず、3-4 節で経験水温の積算値が高いほど成長が速いことが示されたので、沿岸での経験水温積算値が最大となるような産卵時期を推定した。沿岸水温は、気象庁海洋月報に掲載されている 1993 年と 1994 年の月別平均値を用いた。測地点は、クロマグロが滞在する沿岸域内の太平洋側は土佐清水、日本海側は浜田とした。積算期間は 6 ヶ月としたが、産卵場から沿岸への移動時期、移動に要する期間が不明であるので、来遊に 0 ヶ月、1 ヶ月、2 ヶ月がかかる 3 パターン、すなわち沿岸での滞在期間が 6 ヶ月、5 ヶ月、4 ヶ月の各パターンを想定した。

次いで、クロマグロの産卵に必要とされる表面水温 24℃の条件（矢部ら 1966、宮下 2001）を満たす海域を調べた。水温図は 1998 年の漁業情報サービスセンター発行の北太平洋広域海況速報、太平洋漁海況速報、日本海漁海況速報から、毎月中旬のものを用いた。125E、135E、145E 線上の 24℃等温線の緯度を 1 度単位で求めた。

#### 3-5-2. 結果

ある年・月・海域の体長組成には、複数のピークが見られた場合が多かった。複数の正規分布を当てはめた例を図 3-11 に示す。得られた年、月別の正規分布の体長モードを図 3-12（太平洋）と図 3-13（日本海・東シナ海）に示す。成長式に対応した体長モードが数ヶ月間にわたって連続して存在することが、太平洋漁獲物では G1、G2、G3、G4 について、日本海・東シナ海漁獲物では G2、G3、G4 について見て取れる。いくつかのモードは判断が困難であったので、一まず G1 と G2 の区別がつかないものは G12 とし、G1、G2、G3 の区別がつかないものを G13、G3 と G4 の区別がつかないものを G34 とした。

発生時期別の月別漁獲尾数を太平洋（図 3-14）と日本海・東シナ海（図 3-15）について示す。太平洋では G12 に属する魚の漁獲は 7 月から始まり、9-10 月に漁獲尾数は最大となり、その後は急減した。G3 と G4 の漁獲開始は遅く、それぞれ 11 月と 2 月であった。

日本海・東シナ海では、太平洋と同様に、G12 はその年の早い時期から漁獲され始め、G3、G4 は後になって、それぞれ 9 月と 11 月に漁獲され始めた。11-12 月に G12 の漁獲尾数は急減して、

代わりに G3、G4 が、それらが出現した年には、漁獲の主要な部分となった。

G12、G13、G34 を以下のように発生時期グループに分けた。耳石日輪解析個体において G1 は G1 と G2 の合計個体数の 4.8%であったこと、1997 年 7-8 月の高知県における日別体長組成において G1 と考えられる平均よりも大型の個体が 6.0%存在したこと（表 3-4）から、G12 のうち G1 が 5%を、G2 が 95%を占めるとした。G13 はその年級、漁獲海域別に、既に G1、G2、G3 と推定された漁獲尾数の割合で割り振った。1994 年級と 1996 年級で太平洋の漁獲魚に出現した G34 は、G4 としては大きすぎることから G3 とした。

これらによって、太平洋沿岸の漁獲物において G1 は 5%（1993-1996 年級の平均。1997 年級は 12 月までのデータしか含んでいないので除外した）、G2 は 89%、G3 は 6%、G4 は 0.1%を占めると推定された（表 3-5）。日本海・東シナ海の漁獲物において G1 は 4%、G2 は 70%、G3 は 23%、G4 は 3%を占めると推定された（表 3-6）。G3 に対しては太平洋と日本海の 2 ヶ所の産卵場が想定されることから G3-J と G3-P を分けて扱うと、日本全体の漁獲物において G1 は 4%、G2 は 75%、G3-J は 18%、G3-P は 1 %、G4 は 2%を占めると推定された（表 3-7）。

0 歳魚が発生から 6 ヶ月間に沿岸域で経験する水温の積算値を図 3-16 に示す。積算値は 5-6 月に産卵された場合が最も大きかった。これは実際の産卵盛期と一致している。なお、沿岸水温は 2-3 月に最低となり、0 歳の 10 月までに必要な水温 22℃以上（第 5 章）となるのは土佐清水では 6-10 月、浜田では 7-10 月であった。

産卵に必要な表面水温条件を満たす海域を図 3-17 に示す。5-6 月は 27-30N 以南で、7-8 月には日本海もこの条件を満たした。これらは実際の産卵海域と一致している。

### 3-5-3. 考察

発生時期グループの時期区分は耳石解析結果から便宜的に設定したものであるが、漁獲物の体長モードと各時期の成長式とが対応していることから、この区分がほぼ妥当であると思われる。ただし、G4 としては大きすぎる魚が見られたように、この時期区分に必ずしも対応しない魚が存在することも事実である。これは、想定した発生時期グループ内の早期または遅い時期に生まれた魚であろう。各発生時期内のピークや発生時期の境界は、今後、年による変動も含めてさらに詳細に検討する必要がある。また、1993 年には G3 や G4 が見られなかったように、発生時期グループの数も年によって変動すると考えられる。

日本海の 0 歳魚は、南西諸島近海で生まれて回遊してきたものであり、一部には日本海で生まれた魚も含まれていると考えられている（河野・石塚 1987、米盛 1989）。また、太平洋沿岸の 0 歳魚は南西諸島海域で生まれた魚であり、一部にはより東方の本州南方海域で生まれた魚も含まれていると考えられている。よって、漁獲物の体長組成に見られた発生時期グループは、3-3 節で示した既知の産卵期と産卵海域との関係から、G2-P と G2-J は南西諸島海域に、G3-J は日本海に、G3-P は本州南から南東沖にその起源を求めることができる。

G1 の存在は、高知県の 7 月の漁獲物において他より明らかに大型の個体が認められたことで裏付けられる。対応する産卵海域は、産卵に必要な表面水温の条件から、例えば 4 月であれば

27°N以南と想定されること、仔稚魚の出現域は時期と共に北東へ移動しており（矢部ら 1966）、早期の産卵海域には南西の海域が想定されること、3月中旬にルソン島と南シナ海で発達した卵巣を持つ親魚が漁獲されていること（中村 1951）などから、フィリピンのルソン島から台湾にかけての太平洋および南シナ海が考えられる。

9月以降の産卵期（G4）の存在は、仔稚魚採集や生殖腺の観察からは知られていなかった。しかし、耳石日輪からこの時期に生まれたと推定されたのは17個体と多く、そのうち11個体では輪紋数が185本未満で、計数誤差を考慮しても発生時期が大きく変わらないこと、冬季の漁獲物に平均よりも小型の個体が認められたことが、その存在を裏付けている。また、飼育魚で、1年のうちの長期間にわたって産卵することが報告されており（升間ら 2003）、クロマグロは9月以降を含む長期間にわたって産卵する能力を持っていることが示されている。

G4の産卵海域については、いくつかの情報から可能性の高い海域が想定される。G4と推定された魚が採集されたのは、耳石解析個体については、日本海（山口県）と東シナ海（長崎県と鹿児島県）は0歳の1-4月で、太平洋（神奈川県）の1歳の8月よりも早く、体長組成から解析した漁獲魚についても、日本海（11-12月に富山県、11-12月に島根県、12月に山口県）と東シナ海（12-5月に長崎県、3-4月に鹿児島県）での漁獲は太平洋沿岸（2-4月に宮崎県、高知県、三重県、静岡県）での漁獲よりも早かった。このことはG4の魚が、日本海から太平洋沿岸へ移動したことを示唆している。日本海の南半分は、少なくとも9月下旬まで、産卵に必要な水温条件を満たしている。1993-1997年の9-10月に成魚が漁獲されたのは、太平洋では三陸沖、日本海では北海道、新潟県、山口県沖であり、東シナ海での漁獲はわずかであった。仮に三陸沖で産卵が行われても、仔稚魚が津軽海峡の流れに逆らって太平洋から日本海に移動することは想定しがたい。標識放流から、太平洋沿岸にいる15cmFL以上の若齢魚は、若齢期には日本海へ移動しないことが分かっている（米盛 1989、Bayliff et al. 1991）。以上から、最も可能性の高いG4の産卵海域は日本海である。

0歳魚漁獲物において、平均75%と最大割合を占めたのは南西諸島海域で5-6月に生まれた魚であり、この産卵時期・海域がこれまでも考えられていたように最も重要である。しかし、日本海で生まれた魚も0-31%、平均18%と大きな割合を占めた。日本海での産卵は稀な現象と思われたが（沖山 1974）、決して稀ではなく（米盛 1989、石原 1994）、さらに実質的に漁業資源に貢献していることが示された。それら以外の時期、海域で生まれた魚の漁業資源としての貢献はわずかである。

本研究では0歳魚のみを対象としたが、より高齢魚における発生時期・海域の推定は可能だろうか。耳石日輪の計数誤差の平均CV(3.4%)は、他の研究者によるクロマグロのもの（Foreman 1996）および著者による他のマグロ属魚種の日齢査定結果（ミナミマグロ：Itoh and Tsuji 1996、コシナガ：Itoh et al. 1999）と同レベルであった。しかし、同一と考えられる、1個体の左右の耳石で数えた輪紋数に大きな違い（平均6.7%）があったことは、3回の計数間の誤差よりも耳石のエッチングの適切さがこの方法の信頼性を規定していることを示している。半年間に含まれる4つの産卵時期を区別しようとする場合に、満1歳で24日（365日の6.7%）に達する誤差は大

きすぎるものである。また、時間の経過と共に個体間の成長の変異も大きくなることで、体長組成のモードから発生時期を区別することは次第に困難になってくる。よって、1歳魚以上の魚に対して、同様の方法から発生時期別グループを推定することは困難であろう。Rooker et al.(2001)は、成育場によって耳石の含有元素比が異なることから、高齢魚においても成育場を識別できる可能性を示しているが、現時点ではコストが高くまた成育場が分からない個体の耳石に対してどれほどの検出力があるのか定かではない。

0歳魚は太平洋全体の漁獲尾数の59%を占め、そのほとんどは日本漁業による(第2章)。また、生まれた魚の全ては日本沿岸に来遊し(Bayliff 1994)、生後3ヶ月の時点の0歳魚資源量は、その後の資源量をほぼ反映していると考えられている(辻 2002)。よって、本研究で調べた日本における0歳魚の漁獲尾数における各発生グループの割合は、全年齢の漁業資源を代表していると思われる。なお、早期に生まれた魚ほど漁獲される機会が長期間となるといった漁獲対象期間の違いや、地域的な漁獲努力量の差によって、各発生時期グループに対する漁獲圧力は異なることから、各グループの占める割合の値は漁獲物と資源とでは若干異なる可能性がある。それでも、南西諸島で5-6月に生まれた魚が多くを占め、日本海で7-8月に生まれた魚が続き、それ以外の海域・時期に生まれた魚が極めてわずかであるという漁獲尾数における相対量の関係は、資源についても当てはまると考えられる。

平均より大型または小型の0歳魚の存在が、いくつかの研究で報告されており、その原因を産卵期の違いによるとする説(横田ら 1961、行縄・薮田 1967)と成長速度の違いによるとする説(矢部ら 1966)とがある。耳石解析個体では、同一時期に生まれた個体の成長の違いは小さく、成長速度の違いから説明することは困難である。本研究で推定された、より長期間に及ぶ産卵期から、これら全てが次のように説明できる。7月の27cmFLや8月上旬の28cmFLといった大型の魚(矢部ら 1966、行縄・薮田 1967)は本研究のG1に相当し、より早期に生まれた魚と考えられる。6月上旬にバシー水域において延縄で漁獲されたカジキ類の胃内に出現した数個体の約10cmFLの魚(矢部ら 1966)は、約45日齢と推定され、4月中旬に生まれたと考えられる。1959年4-6月に40-50mmFLの稚魚が、トカラ海域で漁獲されたカツオから発見されている(横田ら 1961)。これがクロマグロとすれば、早期に生まれた魚と考えられる。

2-3月に25-30cmFLにしか達していない小型の魚が、1961年にトカラ列島海域で漁獲されている(横田ら 1961)。これはG4に相当し、多くの魚よりも遅い時期に生まれたと考えられる。岡地(1963)は、1958-1960年に日本海(石川県とその周辺海域)で、10-11月に体重0.5-1.0kg(約30-40cmFL)と0.1-0.2kg(<25cmFL)の魚が漁獲されたことを報告している。前者はG3-Jに相当すると考えられる。後者については日本近海で夏季に生まれたコシナガである可能性もあるが(Itoh et al. 1996、1999)、クロマグロであるとしたらG4と考えられる。

クロマグロは、なぜ限定された海域・時期に産卵するのだろうか。クロマグロの顕著な加入量変動ならびに卓越年級群の発生の原因は、仔稚魚期の生残に及ぼす環境要因と推察されているが(山中 1982、辻 2002)、主産卵時期・海域が限定されていることで局地的な環境変動の影響を大きく受けることが、

加入量をさらに変動しやすいものとしていると考えられる。本研究ならびに飼育魚（升間ら 2003）から、主産卵期以外の時期にも産卵していることが明らかとなった。すなわち親魚は、主産卵期以外の時期にも産卵できる能力を有しているにもかかわらず、一時期に集中して産卵している。また、海域も限定されている。マグロ属魚類の繁殖戦略は種によって大きく異なり（Schaefer 2001）、キハダ、メバチは周年、低緯度域の広範な海域で産卵する。タイセイヨウマグロとコシナガは海域が限られているが、時期は限られていない。ビンナガの時期・海域は比較的広く、また、ミナミマグロでは海域は限定されているが時期は長い（Farley and Davis 1998）。太平洋と大西洋のクロマグロだけが、限定された時期・海域に産卵する。

クロマグロは、0歳時を沿岸で過ごし、6ヶ月で52cmFLに達する急成長を遂げる（G2の場合）。これは沿岸域の豊富なエサを利用したためと考えられる。これに対して、若齢期を沖合で過ごす熱帯域のキハダは、6ヶ月の時点で34cmFLにしか達しない（Stéqueret et al. 1996）。急成長することは、外敵による死亡を減らすことができること、遊泳速度を増加させて早くに大規模な回遊を実現できること、エネルギー源の蓄えが増大して飢えに強くなることなどの様々な点で有利である。ただし、冬季になり環境水温が低下すると、成長は著しく鈍り、満1歳時の体長はクロマグロ59cmで、キハダ55cmとかなり接近する。クロマグロの産卵戦略が、生んだ魚を0歳期に日本沿岸の栄養の豊富な海域で急成長させることを目的としているとしたら、その手段として日本沿岸に近い海域で、冬になるまでに十分に成長できる時期に産卵する必要がある。

環境水温が季節変化する温帯沿岸域において、6ヶ月間で最大の積算水温を得るには、5-6月に産卵することが最適であった。これは現実の産卵期と一致している。大きな積算水温を得るには早期の産卵が有利となるが、太平洋沿岸で5月以前、日本海沿岸で6月以前に、沿岸水温は22℃以下となる。20℃以下では、11月ごろの0歳魚（>40cmFL）でさえ摂餌が鈍り（Anon. 1973、津田・中尾 1982、宮下 2001）、沿岸に来遊したばかりの15cmFL未満の小型魚には不適な温度と考えられる。実際に、0歳魚が7月から10月までに分布しているのは、水温22-29℃である（5章）。よって、早すぎる時期の産卵は不適当である。これらの点から、主産卵期が5-6月に限定されていると考えられる。

一方、クロマグロの産卵には、仔稚魚が表面水温24℃以下の海域では出現しないことから、24℃以上の水温が必要と考えられている（矢部ら 1966）。この点は、断片的な記録やその後の仔稚魚採集調査結果からも支持される（川名 1935、米盛 1989）。飼育魚においては、水温21.6℃で産卵および正常なふ化が観察されているが、産卵盛期の水温は24~28℃であり、最適水温は25-26℃であること、水温30℃以上ではふ化仔魚の奇形率や死亡率が増加することが報告されている（宮下 2001）。この水温条件を満たす海域は、5-6月には27-30N以南に限られ、時期の進行に伴って7-8月には日本海沿岸も該当する。これらは実際の主産卵海域ならびに日本海の産卵時期と一致しており、産卵時期が限定されることで産卵海域が決定されることが考えられる。水温によって南北方向の海域が制限されるが、なぜ南西諸島海域と日本海に限定されるのかは、明らかでない。おそらくは生まれた魚の沿岸への来遊機構から決定されるのだろう。南西諸島海域は、黒潮を利用して日本沿岸に来遊するのに有利な海域である。より東方の本州南沖の黒潮南側海域では、緩やかな西向きの海流となり（井上・関口 2002）、沿岸への来遊には長期間が必要となる。日本海では、すぐに沿岸に達することができる。しかし、東

シナ海での産卵も適当と思われるが、実際には産卵はない。産卵海域が選択されている理由は、更なる検討が必要である。

## 第 4 章 アーカイバルタグから見た若齢魚の回遊と行動の研究

### 4-1. 緒言

本研究で求めようとしている回遊図が個体群としてのものであろうとも、移動経路や移動の緩急といった動態を個体レベルで把握することも、回遊を明らかにする上で不可欠である。また、鉛直分布、環境水温、摂餌といった行動生態の知見も、回遊の意義を明らかにするのに重要である。

しかし、個体レベルの詳細な移動経路や移動動態を知ることはこれまで困難であった。標識放流では、放流と再捕の 2 点の情報しか得られない。超音波発信機を付けた魚を追跡するピンガー追跡は、マダモ属魚類では大西洋のクロマダモ (Carey and Lawson 1973、Carey and Olson 1982、Lutcavage et al. 2000、Brill et al. 2002)、ミナミマダモ (Davis and Stanley 2002)、キハダ (Carey and Olson 1982、Holland et al. 1990b、Cayré 1991、米盛 1982、Block et al. 1997)、メバチ (Holland et al. 1990b)、ビンナガ (Laurs et al. 1977) に用いられ、クロマダモでも用いられているが (久田ら 1984、Marcinek et al. 2001)、追跡期間が数日以内であることが多く、また、船で常時追跡していることが行動に影響を及ぼしている可能性もあり、自然な状態における長期間の遊泳行動データを得ることはできない。

これらの問題を解決するものとして、装着した動物の行動、環境水温、生理的状态を、直接に同時に測定してメモリーに記憶しておく電子機器であるアーカイバルタグが開発された。あるタイプのアーカイバルタグは単にデータを保存するだけであるが、測定した環境データから地球上での位置を推定する機能を持つタイプのアーカイバルタグが、1980 年代から魚類の個体の行動調査機器として切望されてきた (Hunter et al. 1986、Anon. 1994)。Metcalf and Arnold (1997)は、アーカイバルタグで測定した魚の深度変化と時刻との関係から、潮流によってある地点の水深が変化することを利用して、底魚であるカレイ類の移動経路を推定した。しかし、この方法は遊泳深度を自由に変える浮魚類には適していない。浮魚類に適した方法として、1 日の照度変化から緯経度を推定するアーカイバルタグが、1990 年代初期に開発され、広く用いられている (Gunn 1994、Kitagawa et al. 2000、2001、2002、2003、Arnold and Dewar 2001、Block et al. 2001、Inagake et al. 2001、Schaefer and Fuller 2002)。本論文ではこのタイプについてのみ言及する。

アーカイバルタグの位置推定精度は、いくつかの実験結果から、緯経度 1 度程度とされている (Gunn et al. 1994、Welch and Eveson 1999、Musyl et al. 2001)。しかし、アーカイバルタグで得られるデータそのものの精度に関する検討はまだ不十分と考えられる。特に、位置推定精度等の試験は、これまで固定されたブイや飼育魚への装着に限られており、検討数も少ない点で注意を要する。また、魚への装着の影響もさらに検討が必要であろう。

本研究では、まずアーカイバルタグが収集した位置、温度、深度データを検討し、また魚へのアーカイバルタグの装着の影響を検討することで、クロマダモ若齢魚の回遊、行動をアーカイバルタグを用いて調べることの妥当性、問題点を明らかにする。次いで、遊泳深度、環境水温、腹腔内温度の 128 秒ごとの時系列データから、クロマダモ若齢魚の鉛直分布、好適水温、摂餌を検討する。そして、緯経度、水温の 1 日ごとの時系列データから、クロマダモ若齢魚の水平分布、移動の動態を明らかにする。



## 4-2. アーカイバルタグの性能試験

### 4-2-1. 材料と方法

#### 本研究で用いたアーカイバルタグの概要

本研究で用いたアーカイバルタグは、米国の Northwest Marine Technology 社製である。ステンレスカバーに覆われた直径 16mm、長さ 100mm、重量 52g の本体に、直径 2.2mm、長さ 150mm の柔軟なケーブルが付いている。本体は動物の体内に挿入し、ケーブルが外部に出るようにして用いる。ケーブル末端には温度センサー（外部温度センサー）と光を感知する部分があり、光はケーブル末端から光ケーブルを通して本体へ導かれ、光ダイオードによって照度が測定される。本体内には照度センサーのほかに、圧力センサーと温度センサー（内部温度センサー）が備えられている。温度センサーは反応速度が外部で 3 秒、内部で 20 秒、分解能が 0.2℃であり、圧力センサーは分解能が深度 126m までは 1m、深度 510m までは 3m である。時計の時刻のドリフトは 1 年で 30 秒以内である。128 秒ごとに測定したデータは 256K バイトのメモリーに蓄えられ、光ファイバーコネクタを通じてパーソナルコンピュータにダウンロードされる。バッテリーが尽きるまで 7 年以上にわたって機能する。

メモリーには 2 タイプのデータファイルが作られる。一つのタイプは 1 日 1 レコードのデータで、日付、日出と日没の推定時刻、深度 0m と他の 2 水深（60m と 120m を選択した）の水温、位置推定のための補足的な情報を含む。前回のメモリークリア以後の全ての日のデータを記録する。このファイルを以後、サマリーファイルと称す。日出と日没時刻（世界標準時基準）は、照度変化の最大の時点から推定する。照度は、深度と水の透明度から海面における値に補正する。経度は、ある 1 日の日出と日没の中間時刻と 12:00 との差に 15° / 時の割合を掛けて求める。緯度は昼間の長さから求める（Hill 1994）。

他のタイプのファイルは、128 秒ごとに測定した外部温度、内部温度、圧力、照度の時系列データである。128 秒の整数倍の間隔での記録も可能だが、128 秒を選択した。メモリーには約 54,000 レコード（約 80 日間）を蓄えることができる。このファイル（以後、詳細ファイルと称す）はユーザーによって任意の 2 期間に分割でき、前半では蓄えたデータが変化しないが、後半では最も古いレコードを最新のデータで上書きする。すなわち前半は放流後のデータを含み、後半は再捕前のデータを含む。本研究では前後半の記録期間を、1995、1996 年の放流では 40 日：40 日に、1997 年の放流では 20 日：60 日に割り当てた。

#### 陸上におけるアーカイバルタグの試験

アーカイバルタグの位置推定精度を調べるため、合計 117 本のタグを屋外（34°59'N・138°59'E）の人工的な照明の影響がない場所に放置した。1996 年 7-9 月に 5 本を 55 日間、1997 年 5-8 月に 14 本を 86 日間、1997 年 10 月に 100 本を 5 日間試験した。2 本のタグは 2 つの試験で使用した。

また、外部温度と内部温度センサーを、装着前のタグ全てならびに再捕後のタグ 9 本に対して、5℃から 30℃までの 5℃区切りの水に順次漬けて試験した。圧力センサーを、放流前のタグ全てと再捕後のタグ 27 本に対して、分解能 0.1 気圧の圧力計の付いた圧力チャンバーに入れて 20 気圧まで次第に

加圧し、次いで次第に減圧して試験した。各条件で少なくとも 2 レコードを記録するよう、タグを同一水温、圧力に 5 分間以上さらした。

### 飼育魚によるアーカイバルタグの試験

アーカイバルタグの装着方法や魚に装着した状態での位置推定精度を調べるため、1994 年 11 月に鹿児島県笠沙（31°25'N・130°11'E）において、生簀（40×25m、深さ 12m）で飼育されていたクロマグロ 3 個体（93-97cmFL）にタグを装着し、同じ生簀で飼育を継続した。魚は 2 年以上飼育されており、その環境に慣れていた。

2 個体には、以下の方法でタグを腹腔内に装着した。手釣りで船上に上げた魚を、黒色ポリエチレン袋を敷いた発泡スチロール製の箱に入れ、魚をおとなしくさせるためにそのポリエチレン袋の端で目を覆った。メスで魚の腹部を肛門の約 4cm 前から前方へ切り、抗生物質（人工ペニシリン、田辺製薬製）を腹腔内に注入し、タグ本体を腹腔内に挿入した。切り口の中央を溶解性の糸（Coated Vicryl、type J583G、Ethicon Inc.）で一ヶ所縫った後に、魚を元の生簀に放流した。タグを含めた全ての道具は、予め 100%エタノールで消毒した。腹部を切り始めてから放流までの処理は 90 秒以内に完了した。目を覆うと魚が充分におとなしくなったことと、装着が短時間で完了したことから、麻酔は使用しなかった。

残る 1 個体には、発泡スチロール製の箱に入れた後に、タグを外部装着した。ワイヤーの片方の端にタグをつなぎ、他方の端に金属製の鉤先をつなぎ、この鉤先を第 2 背鰭付近の筋肉に刺した。

その後の飼育において、タグの装着によって死亡した個体はなかった。外部装着したタグは、魚から脱落して生簀の網底に引っかかっていたのが装着 4 日後に回収された。腹腔内装着した 1 個体からは、市場への出荷のために取り上げられた装着 453 日後に回収された。残る 1 個体は生簀の破損時に逃げ、タグを回収できなかった。

### 野生魚へのアーカイバルタグの装着と再捕

1995-1997 年の 11-12 月に、東シナ海北東部の対馬近海で、クロマグロ漁業に従事している商業曳縄船をチャーターし、合計 166 個体（43-77cmFL の 0-1 歳魚）に前述の方法でアーカイバルタグを腹腔内装着し、放流した。市場等における発見の確率を高めるため、1997 年からは 1 個体に 2 本の通常標識を第 2 背鰭基部に装着した。

30 本のタグ（18.1%）が回収された。放流期間は 13 個体が 50 日未満、13 個体が 96-211 日、3 個体が 359-375 日で、これらは全て日本近海で再捕された。1 個体は、放流から 610 日後に、東部太平洋のメキシコ西岸沖で漁獲された。1 個（放流期間 30 日）を除いて全てのタグからデータをダウンロードすることができた。

## 4-2-2. 結果

### 位置推定精度

飼育魚から 453 日後に回収したアーカイバルタグの推定位置を、既知の位置と比較した。図 4-1

に、位置推定誤差を日付に対してプロットした。このタグは生簀の中で長期間、魚に装着されていた唯一のものであるが、後の解析で他のタグよりも照度センサーの感度が鈍かったことが明らかとなった。よってこのデータからは誤差の季節変動を知ることができるが、誤差の絶対値は他の多くのタグよりも大きな値になっていると思われる。

経度推定誤差は季節変動しなかったが、緯度推定誤差は春分・秋分付近で極端に大きくなった。これは、春分・秋分の頃には昼間の長さが緯度によってほとんど変化しないためである。位置は春分（または秋分）をはさんだ 18 日間は推定されず、その前（後）の 1 ヶ月間と後（前）の 10 日間は誤差が大きかった。これらのパターンはアーカイバルタグを陸上で放置した試験でも認められた。また、推定緯度は夏には南に、冬には北に偏った。これは推定された昼間の長さが短い場合に起きる現象であり、照度センサーの感度が鈍かったためと思われる。

緯度と経度の両方の推定値で、時折、大きな誤差が見られた。野生魚に用いた場合でも、前後数日間の推定位置との比較から、これらはエラーであると容易に判断できる。野生魚の移動経路の推定に用いることを想定した現実的な位置推定精度を求めるために、実際の位置との誤差が  $10^\circ$  以上であった緯度または経度のデータは、春分・秋分前後の緯度が推定されない期間と同様に、解析から除いた。これらは陸上試験における経度推定データの 2.8%、緯度推定データの 8.9%、飼育魚による試験の経度推定データの 4.8%、緯度推定データの 47.5%を占めた。

陸上試験における全誤差データの平均±標準偏差は、経度 $-0.54^\circ \pm 0.75^\circ$ 、緯度 $-0.12^\circ \pm 3.06^\circ$ であった。製品ごとのばらつきを見るため、図 4-2 に各タグ (N=117) の緯経度誤差の平均値ならびに標準偏差を示す。96% (=112/117) のタグは平均経度誤差が $\pm 1.5^\circ$  以内であった。この基準を満たした 112 本のタグの内、製造後半年以内の 95 本では経度推定誤差は $-0.50^\circ \pm 0.19^\circ$ で、製造後 1 年以上が経過した 17 本では $-0.51^\circ \pm 0.75^\circ$ であり、平均値は同じであった (ANOVA  $F=0.01$ ,  $p>0.05$ ) が、製造後の経過時間が長い方が誤差の標準偏差が大きくなった ( $F=412$ ,  $p<0.01$ )。その 17 本の内では、放流せずに陸上で保存していた 4 本と、魚に装着して再捕された 13 本との間で、経度推定誤差は異ならなかった (平均値に対して  $F=1.01$ 。標準偏差に対して  $F=2.81$ 。どちらも  $p>0.05$ )。

飼育魚に装着した 2 本のタグの内、1 本からは 5 日間の位置データしか得られず、平均誤差は経度 $-2.38^\circ \pm 0.39^\circ$ 、緯度 $-1.82^\circ \pm 1.58^\circ$ であった。もう 1 本からは 432 日間のデータが得られ、平均誤差は経度 $-0.53^\circ \pm 2.46^\circ$ 、緯度 $1.26^\circ \pm 5.33^\circ$ であった。このタグのデータは図 4-1 に示してある。経度誤差の標準偏差が陸上試験より大きいのは、前述のように飼育魚の試験に用いたタグの照度センサーの感度が鈍かったためと考えられる。

より適切な水中における位置推定精度を求めるため、18 個体が再捕された位置と、その前日または 2 日前（漁獲日は照度データが乱されている）のアーカイバルタグによる推定位置とを比較した。平均誤差は経度 $-0.1^\circ \pm 0.8^\circ$ （範囲は  $-2.0^\circ - +1.7^\circ$ ）、緯度 $-1.6^\circ \pm 1.8^\circ$  ( $-5.7^\circ - +0.6^\circ$ ) であった (図 4-3)。

アーカイバルタグが照度から自動的に推定した緯度の信頼度が低いことが分かったので、緯度は、サマリーファイルの深度 0m 水温を表面水温図と比較して推定することを試みた。用いた表面水温図は漁業情報サービスセンターが発行しているもので、西部太平洋 (160E 以西) は 1 週間の、東部太平洋 (160E 以东) は 10 日間の平均を描いてある。アーカイバルタグの照度から自動的に推定された経

度線上で、アーカイバルタグの 0m 深水温と一致する緯度を表面水温図において  $0.1^{\circ}\text{C}$  単位で探した。複数の位置が該当した場合には、前後数日間の位置から最も可能性が高い位置を選択した。それでも緯度が決定できない場合には前後の日の中間点を内挿した。

位置の再推定結果の一例を図 4-4 に示す。表面水温図を参照することで、29 本のタグデータにおいて、1.4%は自動的に推定された位置と一致し、79.7%のデータでは緯度が平均で  $+0.3 \pm 2.8^{\circ}$  変更された。残る 18.9%のデータについては合理的な位置が決定できず内挿した。その理由には、経度が明らかなエラーであった場合、推定された経度線上に該当する水温が存在しなかった場合、該当する水温の緯度が広範囲であった場合などがあった。

### 温度、圧力センサーの信頼度

100 本のアーカイバルタグを製造後半年以内に試験した平均誤差は、内部温度センサー、外部温度センサー共に  $0.1 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  であった。魚に装着して放流し、再捕された 9 本のタグを製造 1 年後に試験した時の平均誤差は、両センサー共に  $0.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  であった。すなわち、放流の有無や経過時間によって温度センサー精度に変化は生じていなかった。

放流前の全てのタグでは圧力センサーに異常はなかった。しかし、再捕後の試験において、27 本中の 20 本が実際の圧力よりも小さな値を記録した。一例を図 4-5 に示す。これらの異常の見られたタグをその後半年間にわたって陸上に放置しても、センサー感度に変化はなかった。センサー感度の変化がいつ生じたのかを正確に知ることはできないが、詳細ファイルの後半（再捕前）では遊泳深度が 0m であったレコード数が極めて多くなったことから、感度変化は魚の放流期間の中間で詳細ファイルが保持されていない期間に生じたと仮定した。感度が大きく鈍った 8 本のアーカイバルタグについては、詳細ファイルの後半の深度値を、深度 30m 付近でつながる 2 つの直線回帰式で補正した後に、解析に用いた（図 4-5）。

### 魚への影響

アーカイバルタグを装着したことと、それを保持することの魚への影響を、再捕魚の観察、体長当たりの体重、成長、摂餌回数から検討した。

30 個体の再捕魚のうち、2 個体は魚体を入手して観察することができた。1 個体は放流 27 日後に再捕されたもので、腹部表皮に装着時にメスで切った傷があったが、筋肉は癒合していた。他の個体は放流 200 日後に再捕された魚で、表皮に傷は残っていなかった。どちらの魚でもケーブル付近の皮膚は糜爛していた。筋肉中でケーブルは固定されていた。タグの本体は、胃と幽門垂の間に位置していて、薄い膜に包まれていた。本体周辺の内臓器官やケーブル周辺の筋肉に、細菌感染や壊死は見られなかった。

体長と体重が測定された再捕魚の全て（N=8、放流期間は 17-203 日間）で、体長当たりの体重値はタグ非装着の野生魚の範囲内であった（図 4-6）。平均成長率は  $1.4 \pm 0.5 \text{ cm/月}$  であった（N=6、短期の放流でマイナスの成長を示した 3 個体は除いた）。このうち、放流から 5 ヶ月以上が経過した、すなわち成長速度の速い夏を過ごした 4 個体でも平均成長速度は  $1.3 \pm 0.6 \text{ cm/月}$  であって、全期間のものと同様であった。

腹腔内温度の特徴的な変化として検出される摂餌（4-3 節参照）の 1 日の平均回数は、放流日の 0 回から放流 30 日後まで直線的に増加し、その後は一定レベルとなった。すなわち、魚は放流から 1 ヶ月間、通常の摂餌をしなかったと考えられる（図 4-7）。

### 4-2-3. 考察

#### アーカイバルタグデータの信頼性

アーカイバルタグの照度測定値に基づく位置推定性能は、タグを亜表層のブイや飼育魚に装着する試験を通じて、ユーザーによって検証され、推定精度は緯度、経度共に約  $1^{\circ}$  とされている（Gunn et al. 1994、Welch and Eveson 1999、Musyl et al. 2001）。本研究ではさらに、多くのタグを用いて、照度以外のセンサーについても、また時間経過に伴う変化も、これまで試験がほとんどされていない Northwest Marine Technology 社の製品について実施した。

アーカイバルタグの経度推定は、本研究の陸上における位置推定精度試験では平均誤差±標準偏差  $-0.54^{\circ} \pm 0.75^{\circ}$  の精度を持ち、野生魚に装着した場合の推定値は実際の再捕位置と  $-0.1^{\circ} \pm 0.8^{\circ}$  しか異ならなかった。陸上試験では、製造経過年数に伴って誤差の標準偏差がやや大きくなったものの、平均誤差は変化せず、96%の製品は十分な経度の信頼性を有していた。よって、経度に関する限り、アーカイバルタグは約  $1^{\circ}$  の信頼性を有していると言える。

アーカイバルタグによって照度から自動的に推定された緯度の誤差は、経度誤差に比較して大きかった。また緯度誤差は季節によって変動すると共に、緯度そのものによっても変化する（Hill 1994、Hill and Braun 2001）。Smith and Goodman(1986)は、アーカイバルタグの得た水温データを、水温図と 3 水深で比較して緯度を推定することを推奨している。しかし、マグロが回遊する時空間全域にわたる水温図を得る事は、表面水温以外は極めて困難である。そのため本研究では表面水温図のみを用いて推定した緯度と、アーカイバルタグが照度から推定した経度を用いて位置を決定した。約 80% の日で位置を決定できたことから、この方法は妥当と考える。緯度の推定誤差を独立に評価することはできないが、経度の推定誤差と表面水温図における等温線の間隔から、緯度の推定誤差はおおよそ  $1^{\circ}$  程度と考えられる。よってアーカイバルタグによる位置推定は、クロマグロの回遊を検討するのに適当な精度を有している。

圧力センサーでは感度の変化が認められた。製品のチェック、特に回収後の検査が重要である。

#### アーカイバルタグの魚への影響

本研究で用いた魚は、アーカイバルタグをミナミマグロ（88-110cmFL）や大西洋クロマグロ（曲線尾叉長 170-254cm）に装着した他の研究に比較して小型であった（Gunn et al. 1994、Block et al. 2001）。本研究では放流時に最小 43cmFL の個体も再捕された。少なくとも用いたタイプのアーカイバルタグは、これまでピンガー追跡や飼育実験などによく用いてきた、体長 45cmFL 程度の比較的小型のマグロ類やカツオ類にも十分に使用可能であり、その適用できる範囲は広いと考えられる。

装着によって死亡した飼育魚はなかった。アーカイバルタグ装着魚の再捕率は 18.1%と、1980 年代に長崎県から放流した同サイズの通常標識装着魚の再捕率と同レベルであった（Bayliff et al. 1991）。

ただし、この比較は次の理由から単純ではない。まずアーカイバルタグ本体の奇妙な形態は発見者の興味を引き、報告率を高めたかもしれない。次いで 1990 年代の東シナ海におけるクロマグロ若齢魚を対象とした漁獲圧力は 1980 年代に比較して高く、再捕率を高めたと考えられる。他方で、アーカイバルタグを装着していることの唯一の目印となるタグのケーブルは目立たず、これが発見率を低下させた可能性がある。実際にアーカイバルタグの再捕報告は魚をさばいた小売店等からが多く、魚市場で見逃されたことを示している。これらの不確定な要素はあるものの、同レベルでかつ高い回収率からは、アーカイバルタグの装着ならびにそれを保持していることのダメージとストレスが魚の生存に与えている影響は、通常標識と同程度でしかないと思われる。

再捕されたアーカイバルタグ装着魚の観察から、放流 1 ヶ月後には手術の傷は治り、半年後には傷痕も消えることが分かった。また内臓器官への影響も見られなかった。このことはミナミマグロへのアーカイバルタグの装着結果と一致している (Gunn et al. 1994)。

アーカイバルタグ装着魚は、放流後 2 日目から、昼夜の深度変化や朝夕の潜水行動といった個体内ならびに個体間で共通した行動パターン (4-3 節) を示した。また、摂餌回数は放流 1 ヶ月後に一定レベルに達した。さらに、アーカイバルタグ装着魚は非装着魚と同様の肥満度を維持していた。アーカイバルタグ装着魚の平均成長速度 (1.4cmFL/月) は、Bell(1963a) (1.3 cmFL/月) を除いた多くの研究における非装着魚の 1 歳から 2 歳までの成長率 (1.7-3.3cmFL/月; 相川・加藤 1938、横田ら 1961、行縄・薮田 1967、Schultzu and Collins 1977、Bayliff et al. 1991、Bayliff 1993、Foreman 1996) より小さかった。クロマグロの成長速度は冬季に小さく、夏季に大きい (行縄・薮田 1967、Bayliff 1993、第 3 章) が、タグ装着魚の成長速度が夏季を過ごした魚でも同様であったことから、小さな成長速度の原因は季節によるものではないと考えられる。これらの事実から、アーカイバルタグが魚の行動や生理に与える影響は小さいが、タグが装着されていることで成長速度が低下した可能性がある。

## 4-3. アーカイバルタグデータから見た若齢魚の行動

### 4-3-1. 材料

本節では、詳細ファイル中の 128 秒ごとの時系列データ (遊泳深度、環境水温、腹腔内温度) を解析し、若齢魚の鉛直行動や摂餌を調べる。29 個体から、約 4,900-53,000、合計約 100 万レコードのデータを得た。

### 4-3-2. 解析と結果

遊泳深度、環境水温、腹腔内温度データの記録例を、冬と夏のそれぞれ 3 日間について、図 4-8 に示す。魚の遊泳深度は頻繁に変化し、時折急激に潜水、上昇した。水温変化は冬には小さく、夏には潜水に対応して大きくかつ頻繁であった。腹腔内温度は水温よりも高く、緩やかに変化した。

#### 遊泳深度の日周変化と季節変化

遊泳深度、水温、腹腔内温度、腹腔内温度と水温の差 (以後、温度差と称す) の昼夜の違いを Mann-Whitney U test ( $p=0.05$ ) で検定した。昼夜を明確に分離するため、日出頃の 2 時間 (アーカ

イバルタグが光を感知した前後の 1 時間ずつ) および日没頃の 2 時間 (アーカイバルタグが最後の光を感知した前後の 1 時間ずつ) のデータは解析から除いた。遊泳深度は 70% の日で昼間の方が有意に深かった。これに伴って環境水温も 66% の日で昼間の方が低かった。腹腔内温度は 71% の日で昼間の方が高く、温度差も 85% の日で昼間の方が高かった。

魚は、約 40% の時間を表層の 0-9m 層で過ごしており、深度が大きくなるに従って滞在時間は減少した。この表層への集中は昼夜共に見られたが、特に夜間に顕著であった (図 4-9)。

表層への集中は全ての月で見られたが、鉛直分布は表層混合層が厚い冬季 (1 月、3 月) には深層までに分散し、夏季 (5 月、7 月) に表層混合層が薄くなると浅層に集中した。秋季 (9 月、11 月) に表層混合層が再び厚くなると、鉛直分布は次第に拡散していった (図 4-9)。

### 朝夕の鉛直移動

魚は通常、朝夕の薄明時に顕著に鉛直移動した。朝の薄明時の場合、日出約 80 分前から約 40 分間にわたって徐々に最大深度  $82 \pm 28$  m (平均  $\pm$  標準偏差) まで潜行した後、突然に海面付近まで急浮上した (図 4-8 の上図、図 4-10)。夕方の薄明時の場合には、海面付近から最大深度  $89 \pm 34$  m まで急潜行した後、約 40 分間にわたって徐々に海面まで上昇した。最大深度が記録された時点は、アーカイバルタグが朝 (または夕方) にその日の最初 (最後) の光を感知する 4 分前 (後) が、この鉛直移動が記録された場合の 29% (37%) と最も多かった。急上昇 (急潜行) の終了 (開始) 時点は、アーカイバルタグが最初 (最後) の光を感知した時が 68% (49%) と最も多かった。アーカイバルタグの青緑色フィルター (470 nm を中心とした 60 nm の範囲) が光を検出できる閾値は、よく晴れた正午時の海面における  $3 \times 10^{-6}$  倍である。光の感知点は魚体の下方にあることから、魚の目で感知されている照度はこの値よりも若干高い値であろう。10 月上旬に簡単な試験を行ったところ、1 日のうちでアーカイバルタグが最初と最後の光を感知する時点は、それぞれ日出約 40 分前と日没約 40 分後であった。

この行動は、朝夕両方のデータが得られた 1452 日中の 1081 日 (74%) で見られ、そのうち朝夕両方で見られたのが 679 日 (47%)、朝のみが 77 日 (5%)、夕方のみが 325 日 (22%) であった (表 4-1)。この行動の出現頻度は、海域や季節によって異なった。魚の位置はアーカイバルタグで推定されている (4-4 節参照)。東シナ海では、11-1 月に 87-88% の日で見られたが、2-6 月と 10 月には 15-49% に低下した。日本海では、データが得られた 4-5 月、9-11 月のうち、4-39% の日で見られなかった。太平洋では 5-7 月に、同時期の東シナ海でこの行動が見られなかったのとは対照的に、75-90% と多くの日で見られた。

### 水温

アーカイバルタグが記録した環境水温範囲は、0m 深で 8.3-28.4°C、全深度で 1.4-28.4°C であった。クロマグロ若齢魚が好む水温範囲 (適水温) を検討した。この場合、到達可能な地理的範囲内に適水温が存在しないがために、適水温範囲外の水温に耐えている事態が想定されることから、単なる水温頻度分布は不適當である。そこで、アーカイバルタグが記録した水温頻度を、その魚がその年・月において到達可能な海域の水温範囲と比較した。到達可能な海域は、時期を問わずに、日本海、太平洋、

東シナ海のそれぞれで、アーカイバルタグが位置を記録した範囲とした。日本海では 35-45N の日本沿岸海域、太平洋では 160E 以西では 30-45N の海域、160E 以东では 25-45N の海域とした。東シナ海では、推定位置が多く分布していた 29N・126E、29N・128E、35N・130E、33N・126E の 4 点で囲まれた海域とした。水温範囲は漁業情報サービスセンター発行の表面水温図から求めた。

解析には、より多くの日でデータを得たサマリーファイルの 0m 深水温を用いた。なお、この温度はその日、0m 深で記録した最後の値であって、その日の代表値（例えば平均）である保証はない。そこで、詳細ファイルが得られた期間において、サマリーファイルの 0m 深水温と詳細ファイルによる全深度での平均水温とを比較したところ、差は平均 $-0.1 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ （範囲は $-4.0 - +4.3^{\circ}\text{C}$ ）とわずかであることを確認した。全ての個体のデータを合わせて、 $1^{\circ}\text{C}$ ごとの年、月、海域別の日数を集計した。

アーカイバルタグが記録した水温は季節変化したが、 $14-20^{\circ}\text{C}$ の範囲で多かった（図 4-11）。東シナ海と太平洋の多くの月ならびに日本海の 11 月のように、この水温範囲の海域に魚が到達可能であった場合、魚はこの水温範囲内に分布していた。より高温の海域（東シナ海の 1996 年 6 月、1997 年 6 月、1998 年 6-10 月）やより低温の海域（日本海の 1996 年 5 月、1997 年 4 月）しか存在しなかった場合には、魚は  $14-20^{\circ}\text{C}$  に近い水温に分布している傾向があった。到達可能な範囲に  $14-20^{\circ}\text{C}$  の海域がありながら、より高温の海域に分布していた場合（日本海の 1998 年 7-9 月）もあったが、少数例だった。

## 腹腔内温度と摂餌

アーカイバルタグが記録した腹腔内温度範囲は  $13.0-30.9^{\circ}\text{C}$  であった。通常、環境水温より高く、温度差は各個体の平均が  $1.3-4.6^{\circ}\text{C}$ 、その平均が  $3.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$  であった。月別平均温度は、腹腔内温度、環境水温共に、冬に低く夏に高い季節変動を示したが、両者の温度差は 1 年間を通じてほぼ一定であった（図 4-12）。

飼育魚の実験においては、20-30cmFL の解凍した冷凍サバを 9 時と 15 時の 1 日 2 回給餌したところ、腹腔内温度が摂餌に対応して変化していた（図 4-13）。この変化を、摂餌開始からの平均経過時間ならびに平均温度差で記述すると以下の通りである。腹腔内温度が安定した状態で摂餌があった場合（5 事例）、変化前の温度差は  $3.7^{\circ}\text{C}$  であったが、摂餌から 22 分後に  $2.3^{\circ}\text{C}$  に低下し、その後は摂餌から 7.7 時間後の温度差  $7.6^{\circ}\text{C}$  まで上昇した。そして、温度が徐々に低下し、摂餌から 21.0 時間後に温度差  $3.1^{\circ}\text{C}$  となった。腹腔内温度が、以前の摂餌によって依然として高い状態（温度差  $6.8^{\circ}\text{C}$ ）から次の摂餌があった場合（7 事例）、最高温度差  $8.5^{\circ}\text{C}$  まで上昇したが、摂餌前からの上昇は  $1.7^{\circ}\text{C}$  で、安定した状態からの上昇分（ $3.9^{\circ}\text{C}$ ）よりは小さかった。最高温度に達するまでの時間や安定した腹腔内温度に達するまでに要した時間は、前の場合と変わらなかった。腹腔内温度は、給餌がなかった時には、1 日中、一定であった（例えば図 4-13 の 1 月 16 日）。

野生魚に装着したアーカイバルタグの詳細ファイルに見られた、以下の 3 タイプの腹腔内温度変化を摂餌によるものとした（図 4-14）。タイプ A：腹腔内温度がまず  $1-2^{\circ}\text{C}$ 、鋭く低下し、その後変化開始前より上昇した場合。タイプ B：腹腔内温度が温度低下を伴わずに上昇した場合。タイプ C：腹腔内温度が  $1-2^{\circ}\text{C}$ 、鋭く低下し、その後に短時間で元の温度まで上昇した場合。腹腔内温度変化が水温



変化によって引き起こされたのではない場合のみを、摂餌によるものとした。例えば、魚が深層の冷水まで潜行したことに対応した腹腔内温度の緩やかな低下は、摂餌としなかった。水温が頻繁に変動したような場合は、判断が困難なことから摂餌としなかった。

摂餌は、記録された 1494 日のうち 942 日 (63%) で見られた。4-2 節で示したように放流後の約 30 日間は正常な摂餌が行われなかったと考えられたので、その後のデータが少ない期間も合わせて、放流から 60 日間は以後の解析から除いた。この処理によって 807 日間のうち 726 日 (90%) で摂餌が見られた。1 日あたりの摂餌回数は 0-10 回、平均  $1.8 \pm 1.4$  回であった。

1 日を、アーカイバルタグが最初の光を感知した時点と中間とした合計 1 時間を朝、最後の光を感知した時点と中間とした合計 1 時間を夕方、その他を昼間と夜間に分け、各時間帯の摂餌回数を調べた。その結果、摂餌回数は昼間に最も多く (放流から 60 日後の全摂餌回数の 69%)、朝が次に多く (27%)、夕方 (1%) や夜間 (3%) はほとんどなかった (図 4-15)。タイプ別の摂餌回数はタイプ B が全体の 51.4% と最も多く、タイプ C が 45.2% で次いだ。タイプ A は 3.5% とほとんど見られなかった。

月別の日平均摂餌回数は、1 月の 0.9 回から 6 月の 2.2 回までに及び、平均 1.5 回であった。摂餌は 1 年中見られ、5-6 月にやや回数が多かった (図 4-16)。

### 4-3-3. 考察

#### 遊泳深度の日周変化と季節変化

クロマグロ若齢魚は、その漁獲の多くが表層漁業によることや、表層にいる魚群が観察されることから、主に表層に分布していると考えられている (矢部ら 1953)。しかし、表層のみに分布しているのかは明らかでなく、また、鉛直遊泳行動や、海洋構造との関係もほとんど調べられていない。最近、Marcinek et al.(2001)は、東部太平洋で数日間にわたってピンガー追跡し、クロマグロが多くの時間を表層付近で過ごしていることを観察した。本研究では、若齢魚が昼夜や季節と関係なく主に表層混合層内に分布し、特に海面付近に最も多くいることを、アーカイバルタグの長期間のデータで示した。

鉛直分布は、表層混合層の厚さの季節変化に伴って変化したことから、季節水温躍層によって規定されていると考えられた。水温躍層が鉛直分布を規定することは、キハダやメバチでも報告されている (Carey and Olson 1982, Holland et al. 1990b, Cayré and Marsac 1993, Block et al. 1997)。クロマグロは時折、水温躍層を越えて深層の冷水まで潜行したが、短時間で表層混合層へ戻っていた。この潜行は、摂餌のためと推察されている (Kitagawa et al. 2000)。

昼間に深く、夜間に浅い遊泳深度の日周変化は、ピンガー追跡からマグロ属魚類のキハダ (Carey and Olson 1982, Holland et al. 1990b, Cayré 1991, 米盛 1982) やメバチ (Holland et al. 1990b) のみならず、他の大型浮魚類であるカツオ (Yuen 1970, Dizon et al. 1978)、メカジキ (Carey and Robison 1981)、クロカジキ (Holland et al. 1990a)、アオザメやヨシキリザメ (Carey and Scharold 1990) でも観察されている。ただし、Block et al.(1997)によるキハダ、Cayré(1991)によるカツオ、Brill et al.(1993)によるメカジキの事例では見られていない。これは、ピンガー追跡期間が数日以内に限定されたことで、通常の行動パターン (昼夜浅深移動) を示す前に調査が終了した可能性がある。アーカイバルタグではクロマグロ若齢魚の長期間のデータを得て、そのうち 70% の日において昼間の遊泳深

度が深いことを示した。これは昼間の遊泳深度が深いことが大型浮魚に共通した性質であるとする Carey and Olson(1982) の仮説を支持するものである。

### 朝夕の顕著な鉛直移動

クロマグロ若齢魚は日出前に、40 分間にわたってゆっくり潜行した後、海面付近まで急浮上する顕著な鉛直移動を示すとともに、日没後にもその逆のパターンの鉛直移動を示した。同様の行動は、東部太平洋においてやや大型のクロマグロ若齢魚、大西洋クロマグロ、キハダ、ミナミマグロでも観察されている (Block et al. 1997、Lutcavage et al. 2000、Marcinek et al. 2001、Davis and Stanley 2002、Brill et al. 2002)。この行動が見られた日の割合は、同一個体においても時期や海域によって異なった。

この行動の理由を 2 つの可能性について検討した。一つ目の可能性は、ある低照度範囲からの逃避である。この行動の開始と終了時点は明らかに日出、日没時刻と関係していた。ここでクロマグロがある低照度範囲を嫌うと仮定すると、この鉛直行動は、まず日出 80 分前に海面付近がこの照度範囲内になった時にはより暗い場所を求めて潜行を開始し、次いで日出 40 分前に深くへ潜った深度においてもこの照度範囲内になるとより明るい場所である海面付近へ急浮上し、さらにその後、明るい深度範囲が拡大するにしたがって深くへ潜っていくというように、照度変化に対応した行動と解釈できる。ある低照度値範囲を避ける理由は不明であるが、クロマグロにとっては見づらいが捕食者にとっては見やすく、クロマグロにとって被食のリスクが高い範囲なのかもしれない。クロマグロ稚魚（全長 5-10cm）においては、網膜の暗順応から明順応への切り替わりが環境照度の変化よりも遅く、照度変化に対する視覚的な混乱が飼育魚の水槽壁への衝突の主要原因であることが、人工的に照度を変えた実験から明らかにされており、照度変化への対応の重要性が指摘されている (Masuma et al. 2001)。

他の可能性は摂餌に対応した行動との解釈である (Davis and Stanley 2002)。DSL (Deep Scattering Layer ; 音響散乱層) を形成するような小動物が、照度変化に対応して昼夜浅深移動をすることはよく知られている。クロマグロがこれらを摂餌しているとしたら、朝夕に鉛直移動をするだろう。しかし、顕著な鉛直移動が朝夕両方で見られたのに対して、クロマグロは朝には摂餌するが、夕方にはほとんど摂餌しない。また、日出・日没に対応した特定時刻の急浮上・急潜行は、餌生物の鉛直移動からは説明できない。さらに Farwell(2001)は、生簀のクロマグロでも同様の行動が観察され、摂餌ではなく照度変化によるものと解釈される (Farwell 2001、Masuma et al. 2001)。よって、摂餌がこの行動の主要因とは考えられない。

一般的に、曳縄等の漁業者は朝夕の薄明時を漁獲の好機と考えている。しかし、クロマグロ若齢魚は、夕方にはほとんど摂餌しない。ただし、朝夕には急上昇の後や急潜行の前に表層付近にいる場合が多かった。このことから、朝夕の好漁は魚の摂餌行動の高まりではなく、表層への魚の集中に起因すると考えられる。また、周囲が暗いことも疑似餌を見分けることを困難にすることで、好漁の要因ともなろう。

### 好適水温

マグロ属魚類の生理および分布、行動にとって最も重要な物理環境要因は、水温と考えられている (Sund et al. 1981、小井土・水野 1989、小川・石田 1989a、1989b)。クロマグロの漁獲時の水温につ

いては多くの報告がある (Kishinouye 1923、藤井 1932、川名 1934、高山・安藤 1934、宇田 1935、黄田 1936、諫早 1936、川名 1937、中村 1938、家久 1939、島村 1941、Uda 1957、黒田 1959、渡辺 1960、Bell 1963b、Flittner 1966、川口 1982、Bayliff 1994)。報告された水温範囲は 5℃から 30.5℃と広範囲に及び、おおよそ 15-20℃が多い。ただし、環境水温と表面水温との区別、実測値か否か、魚のサイズ等について不明な情報が含まれている点、留意する必要がある。

本研究では、若齢魚においては表面水温が分布水温を代表していることを示し、また、1 個体の長期間の経験水温を用いたことで、漁業の制約を受けずに魚の自然な状態の生態を調べることができた。さらに、到達可能な範囲の水温との比較から、クロマグロが 14-20℃の水温範囲を好んで選択していると推察した。

クロマグロにおける水温の重要性は、水温の絶対値 (Uda 1957) または水温の変化率 (Kitagawa et al. 2000) が指摘されている。本研究からは、好適水温範囲がある一方で、鉛直分布が水温躍層に強く影響されていたことから、水温の絶対値と変化率の両方が重要と考えられる。ただし、両者が行動に及ぼす影響は、水平移動と鉛直移動において異なると考えられる。鉛直移動では、数十秒間におけるわずか数十メートルの移動によって水温が大きく変化する。このことは、水温の変化率が大きいことと共に、仮に移動先の水温が不適当であったとしても戻ることが容易であることを意味している。また、アーカイバルタグ装着魚は、表層の水温が好適水温よりも高く、その下方に好適水温である 14-20℃の層があったとしても、深層に滞在してはいなかった。すなわち鉛直分布において、水温の絶対値に対する選択性は、深度の選択性よりも弱いと思われる。魚は、水温の変化率によって生理的影響を強く受けつつも、短時間で好適水温に戻れる保証があることから、積極的に広く鉛直移動できると推察される。

逆に水平移動では、短時間の移動でほとんど水温が変化しないが、一旦変化した場合に元の水温に戻ることは容易でない。強い潮目のある海域では変化率が影響する場合もあるが、むしろ水温の絶対値が重要と考えられる。水平移動において水温の変化率が重要としたら、それは好適水温を得る移動方向を知るための指標としてであろう。

好適水温があった一方で、その範囲外の水温にも生息していた。同時期に放流された魚であっても、日本海や太平洋へ移動した魚がいた一方で、東シナ海に残り、夏季の高水温を経験していた魚や、初夏に日本海へ移動して低水温を経験していた魚もいた。このことは、好適水温がある一方で、クロマグロ若齢魚はその範囲外の水温にも生息できる能力を有していることを示している。

## 摂餌

マグロ類が奇網を始めとした血管系を利用して体温を環境温度より高く保つことは、良く知られている (Kishinouye 1923、Sharp and Dizon 1978、Block and Stevens 2001)。マグロ類の筋肉温度調節能力は高く、メバチでは熱伝導係数を 2-3 桁にわたって変化させることが可能である (Holland et al. 1992)。また、大西洋のクロマグロも筋肉温度調節が可能で、水温が 10℃から 30℃に変化する環境においても、筋肉温度は 25℃から 30℃と 5℃しか上昇しない (Carey and Teal 1969)。太平洋クロマグロ 1 歳魚の筋肉温度の変動は小さく、環境水温や遊泳速度の変化と筋肉温度の変化とは無関係である

ことが分かっている (Marcinek et al. 2001)。

腹腔内温度も奇網によって環境水温より高く保たれているが、筋肉温度とは独立に維持され、摂餌およびその後の消化に伴って変化することが大西洋のクロマグロ（体重 300kg 以上）やミナミマグロ飼育魚（91-118cmFL）で示されている (Carey et al. 1984、Gunn et al. 2001)。これらの研究における摂餌による腹腔内温度変化 1 サイクルに要した期間は 1.5-2 日間で、クロマグロ若齢魚の 21 時間はそれらよりも短かった。これは試験魚がより小型であったためであろう。同様の腹腔内温度変化は野生魚でも見られたが、顕著な変化（タイプ A）とそれほど顕著ではない変化（タイプ B と C）があった。全ての変化は、魚が冷水に潜行したときの緩やかな腹腔内温度変化とは容易に区別できるものであった。よって、この 3 タイプの腹腔内温度変化は摂餌によるものと考えられる。タイプ A は、飼育魚の摂餌時のような大型の餌を食べたときの反応と思われるが、このタイプの回数が少なかったことは野生では大量の餌を摂餌できる機会が少ないことを反映し、回数の多かったタイプ B や C は少量の摂餌によるものであって、こちらの機会がむしろ通常であることを示しているのであろう。

ただし、摂餌としたのは、腹腔内温度変化が水温変化では説明できない場合のみであった。また頻繁な鉛直移動に伴って水温が頻繁に変化した時には判断が困難であり、摂餌とみなさなかった。さらに、腹腔内温度変化を生じないような少量の摂餌もあったかもしれない。よって、本研究で示した摂餌回数は過少推定である可能性がある。

過少推定の可能性を考慮しても、1 日の摂餌回数が平均 1.8 回とわずかであったことは、それほど変わりはないだろう。野生のクロマグロは、飼育魚よりもわずかな量の餌を少数回摂餌するだけで、高い代謝率を維持し、急成長を遂げていることになり、体内で効率的にエネルギーを使用していることが示唆される。また、1 日の摂餌回数は、初夏にやや多くなったが、1 年間を通じてほぼ一定であった。クロマグロ若齢魚の成長は、夏に速く、冬に停滞する (行縄・藪田 1967、Bayliff 1993、第 3 章)。クロマグロ若齢魚の肥満度は季節によって変化しない (第 2 章) ことから、冬季に摂取したエネルギーは成長にも太ることに用いているわけでもない。また、成熟年齢にはいまだ達しておらず、生殖腺の発達に用いているわけでもない。クロマグロの摂取するエネルギー量、体内での使用の仕組み、用途については、季節によって変化する可能性も含めてさらに検討する必要がある。

## 4-4. アーカイバルタグデータから見た若齢魚の回遊

### 4-4-1. 材料

本節では、1 日 1 レコードのサマリーファイルのデータを解析し、クロマグロ若齢魚の水平移動を調べる。緯経度は 4-2 節で示した方法で補正したものをを用いる。水温は主にサマリーファイルにおける 0m 深水温を用いる。29 個体から、8-611 日、合計 4,432 日分のデータを得た。

### 4-4-2. 解析と結果

#### 回遊のパターン

アーカイバルタグから推定した移動経路を、東シナ海から移動した全ての魚（7 個体）ならびに東シナ海に滞在し続けた 10 個体のうちの 1 個体について図 4-17 と図 4-18 に示す。全ての魚は 11-12

月に対馬沖で放流され、少なくとも 90 日間は東シナ海に滞在した。その後、4 個体は 4-7 月に日本海に移動した（図 4-17-A、B、C、D）。そのうち 2 個体は、放流から 1 年後の 11 月に南へ移動し（図 4-17-C、D）、その 2 個体中の 1 個体は、放流された対馬沖まで戻ってきた（図 4-17C）。1 個体は、多くの期間を東シナ海で滞在していたが、一時期（8-9 月）、朝鮮半島東岸沖へ移動し、放流から 1 年後の 11 月に東シナ海で再捕された（図 4-17-E）。10 個体は東シナ海で 5 ヶ月間以上滞在し、放流 5-7 ヶ月後の 5-6 月に再捕された（図 4-17-F）。

2 個体は、太平洋へ移動した（図 4-17-G と図 4-18）。そのうち 1 個体は、放流期間が最も長く、西部太平洋から東部太平洋まで渡洋回遊した（図 4-18）。この魚は、1996 年 11 月 29 日に対馬沖で体長 55cmFL で放流され、しばらくは東シナ海に滞在した。1997 年 5 月 1 日に太平洋へ移動し、九州南岸沖（31N・131E）から銚子東沖（36N・142E）へ東に直線的に移動し、34-39N・143-150E 海域にしばらく滞在した。1997 年 7 月 30 日から 8 月 18 日にかけて北東へ移動し、40-44N・152-163E 海域に滞在した。渡洋回遊は、1997 年 11 月 11 日に 41N・163E から始まり、直線的に移動して 1998 年 1 月 15 日に米国北部カリフォルニア沖（36N・127W）に到着した。東部太平洋においてこの魚は、初めは 33-40N・122-128W 海域に滞在していたが、2 月 25 日から 3 月 3 日にかけて南方へ移動し、25-29N・116-119W 海域に滞在した。5 月 9 日に北への移動を開始して、5 月 25 日に 40N・127E に達したが、滞在することなく再び南へ移動し、6 月 12 日に北への移動を開始した付近の 25-29N・116-120W に達した。放流から 610 日後の 1998 年 8 月 1 日に、メキシコのカリフォルニア半島沖（31°48'N・117°18'W）において体長 87.6cmFL で遊漁船によって再捕された。もう 1 個体は、3 月に太平洋へ移動し、前述の個体と同様に九州南岸沖から銚子東沖へ直線的に移動し、しばらく滞在した後に再捕された（図 4-17-G）。

渡洋回遊した魚の回遊は、明瞭に区分される 5 つの移動期と 6 つの滞在期とから構成されている。東シナ海から移動した全ての魚の回遊が、長期間の滞在と短期間の一定方向へ向けた継続した移動とから構成されていた。ここで“移動期”と“滞在期”を定義する。移動期は、魚が 3 日間以上、継続して一定方向に合計 700km 以上移動した時とし、その他を滞在期とする。滞在中にも、短距離、短期間の移動が少数存在した。例えば、北海道東沖（40-44N・152-163E）での滞在中に、魚は 2 ヶ月間に徐々に東へ移動していた（図 4-18）。他の例として、東シナ海で魚が 12 月末から南方へ急速に移動し、5 月上旬に急速に北へ戻った場合があった（図 4-19）。この移動は 3 日以内に完了し、総移動距離（380 と 310 km）は通常の移動期のものより小さかった。

全部で 12 の移動期が 6 個体で見られた（表 4-2）。11 例で移動方向は一定であったが、1998 年 5-6 月の東部太平洋における移動だけは、移動方向が途中で反転した。移動期の移動速度を計算した。この時、位置推定のばらつきを考慮して、3 日間の移動平均した緯経度を用いた。66 日間で 7,636km を移動した渡洋回遊を除くと、1 回の移動期における総移動距離は 730-3406km（平均 1430km）、移動期間は 4-35 日間（平均 17 日間）であった。渡洋回遊を含めた全ての移動の速度は 59-182km/日、平均 104km/日であった。渡洋回遊における移動速度は平均的なものであった。2 つの移動に挟まれて開始と終了が明確な 6 つの滞在期は 40-125 日間、平均 81 日間であった。すなわち、83%が滞在中で 17%が移動期となる。ただし、放流や再捕によって開始や終了が明確でない場合も含めると、滞在

期の平均は 110 日間となり、滞在期が 87%、移動期が 13%と推定される。

### 移動期の行動、生理状態

4-3 節で述べた様々な行動を移動期と滞在期とで比較した。移動期は全ての日のデータを用い、滞在期は移動期開始 4 日前から 13 日前までの 10 日間のデータを用いた。3 日間の滞在期データを除外したのは、移動期と滞在期を確実に分けるためである。1 つの移動（#241）では移動期前の滞在期のデータが得られなかったので、移動終了 4 日後から 13 日後までの 10 日間のデータを用いた。

検討した 12 種類の行動、生理状態のうち、多くは各個体で共通した違いが見られなかったが、3 点については共通した差があった（表 4-3）。1 点目は、腹腔内温度と環境水温の温度差（温度差）で、5 個体中 4 個体において移動期に滞在期よりも約 1℃高かった。残り 1 個体（#241）は移動後の滞在期と比較したものである。この温度差の違いは昼夜両方で見られた（図 4-20）。2 点目は、5 個体全てにおいて、移動期の方が 150m 以深へ潜水していた頻度が高かったことである。1 個体は 150m 以深で長時間滞在していたが、4 個体ではほとんど全ての 150m 以深の記録が 10 分未満の短時間のスパイク状の潜水および浮上であった。3 点目は、1 日の平均摂餌回数が、移動期（ $1.6 \pm 0.6$  回）の方が滞在期（ $1.1 \pm 0.4$  回）よりも若干多かったことである。

### 移動と水温との関係

サマリーファイルの表面水温から、移動と水温との関係を 3 点検討した。1 点目は、移動開始の数日前の水温の急変（春と夏は上昇、冬は下降）の存在である。12 例中の 10 例で急変が見られた（表 4-4、図 4-21）。その 10 例中、春と夏には水温が 19-26℃（平均 22℃）に上昇し、冬には 15-17℃（平均 16℃）に低下していた。

2 点目は、移動の開始および終了時の水温とクロマグロ若齢魚の適水温範囲（14-20℃）との比較である。魚が環境水温に単純に従って行動するのだとしたら、移動開始時の水温は適水温の範囲外で、移動終了時の水温は適水温の範囲内であると予想される。しかし、このような例は 12 例中の 2 例しかなかった（表 4-4）。

3 点目は、移動終了時の水温が移動開始から初めて経験した水温かどうかである。適水温を得ることが目的であり、移動終了時にその目的を達するのであれば、終了時の水温はその魚が移動開始から初めて経験した水温であると期待される。12 例中の 6 例で魚は、終了時の水温値に遭遇しながらも移動を継続した（表 4-4）。また、移動中の水温変化は単純な上昇または下降ではなく、複雑であった（図 4-21）。

## 4-4-3. 考察

### 水平移動

アーカイバルタグは、クロマグロ若齢魚の個体レベルの回遊パターンを明らかにした。その回遊は明瞭に区分される移動期と滞在期から構成されており、このことは東シナ海から移動した全ての個体で認められた。

滞在期は全期間の 83-87 %を占め、クロマグロ若齢魚の通常の状態である。アーカイバルタグ装着魚が滞在していた海域は、東シナ海、銚子東沖、北海道東方沖、東部太平洋の南カリフォルニアからカリフォルニア半島沖、東部太平洋の北カリフォルニア沖、日本海の秋田から北海道沖であった。初めの 4 海域はクロマグロ若齢魚の主漁場に相当している。

後の 2 海域は若齢魚の漁場ではない。東部太平洋で若齢魚は、通常、5-10 月にカリフォルニアからカリフォルニア半島沖の 23-34N 海域でまき網によって漁獲される (Calkins 1982)。40N 以北の海域における漁獲記録は少ないが、漁獲がある場合には夏から秋にかけてである (Radovich 1961、Bayliff 1994)。40N 付近の海域での冬季の分布は予想されていなかったが、アーカイバルタグのデータは魚が冬から春に 33-40N の北カリフォルニア沖にいることを示した。日本海北部において若齢魚は、沿岸で定置網によって漁獲される。アーカイバルタグのデータは、魚がこの沖合海域に夏に滞在し、漁獲されずに南へ移動したことを示した。これらの事例は、漁業が行われていない時期と海域についても魚の分布と回遊を調べることができるアーカイバルタグの能力と長所を明確に示している。

アーカイバルタグのデータは、若齢魚が 7,000km 以上の距離を途中で留まることなく、2 ヶ月間以上にわたって移動し続けることができることを示した。他の移動を含めた一日あたりの移動距離は 59-182km、平均 104km であった。一定速度を仮定すると、1.3-4.1 ノット、平均 2.3 ノットとなる。これらは、より大型のクロマグロ若齢魚やミナミマグロ、キハダ、メバチ、ビンナガといった他のマグロ属魚類について、ピンガー追跡から得た水平移動速度 (1-4 ノット) とほぼ同じ値である (Laurs et al. 1977、Carey and Olson 1982、Holland et al. 1990b、Block et al. 1997、Lutcavage et al. 2000、Marcinek et al. 2001、Davis and Stanley 2002、Brill et al. 2002)。酸素の需給関係から、体重 1.5-2kg のキハダとカツオの巡航速度は毎秒尾叉長の 2-4 倍と推定されており (Brill 1996、Korsmeyer et al. 1996)、これは 60cmFL の魚では 2.3-4.7 ノットに相当する。同じ条件をクロマグロ若齢魚に当てはめると、移動時の速度範囲は、酸素負荷を蓄積することのない巡航速度の範囲内にある。ただし、推定した移動速度はいくつかのエラー要因を含んでいる。まず、魚は 1 日中一定速度を維持していないかもしれない。しかし、ビンナガのピンガー追跡では昼間の遊泳速度が夜間の 1.3-2.1 倍速かったが (Laurs et al. 1977)、大西洋クロマグロの大型魚やミナミマグロでは昼夜の遊泳速度は同じであった (Lutcavage et al. 2000、Davis and Stanley 2002)。次に、考慮すべき海流の影響 (Brill 1996) は計算では無視している。さらに、2 日間の位置を結ぶ直線を移動経路と仮定していることである。ただし、一定方向へ移動していることから直線と近似しても大きな影響はないと思われる。仮にこれらのエラーの影響が大きくて、真の遊泳速度が推定値の 2 倍であったとしても、遊泳速度は巡航速度の範囲内にある。よって、クロマグロ若齢魚は巡航速度で無理なく長距離を移動していると考えられる。

移動期と滞在期とは、水平移動は顕著に異なったが、鉛直移動の多くの点で共通しており、移動期に特化した遊泳行動 (例えば、鉛直移動をせずに水平移動成分を増加させるような行動の変化) は見られなかった。見られた違いは、腹腔内温度と環境水温の差が移動期に滞在期よりも 1.0°C 高いというものであった。腹腔内温度は、摂餌によって上昇するが (Carey et al. 1984、Gunn et al. 2001、4-3 節)、移動期の摂餌回数が滞在期よりもわずかに多いだけであり、1.0°C もの温度差を説明できない。また、昼間のみでなく摂餌しない夜間にも大きな温度差が維持されていた。これは、若齢魚の摂餌が

主に朝と昼間であることで、腹腔内温度は昼に高く、夜間に低下すること（4-3 節）と矛盾している。腹腔内温度が高かったのは、移動時の筋肉温度が高く維持されていることに起因すると思われる。そうであれば、筋肉への酸素運搬能力が上昇し、魚はより疲れにくい、移動に適した状態になっていると期待される（Stevens and Carey 1981、Brill 1996）。滞在時期と明瞭に区別される移動時期を持ち、長期間を一気に泳ぐことは、エネルギーを最適に利用するクロマグロ若齢魚の長距離移動戦略の一つと考えられる。

また、移動期には摂餌回数が若干多く、150m 以深への潜水回数が多かった。これらのことから魚が滞在期よりも活発に摂餌および索餌していることが示唆され、移動期に移動のみに専念しているわけではないことを示している。若齢魚にとって移動は、通常の行動パターン（例えば鉛直移動）を維持したまま、巡航速度で容易に行っているものであり、顕著な水平移動から想定させられるほど大きな行動変化ではないと考えられる。

前述のように、環境水温はクロマグロ若齢魚の最も重要な環境要因の一つである。移動開始前には、適水温である 14-20℃の上限または下限に達する水温の急変があったことから、これが魚の移動決定の引き金となっていると考えられる。摂餌回数が、移動開始の前後数日間に変化しなかったことや極めて少なかったわけではないことから、エサの不足が移動の引き金となったとは思われない。

もしも若齢魚の移動が水温のみに規定され、適水温に達することが移動の目的だとしたら、移動は適水温の範囲外から始まり範囲内で終わるはずである。しかし、アーカイバルタグデータの結果ではそうではなかった。また、半数の移動では、終了時と同じ水温に移動途中で遭遇してもその後も移動を継続した。これらの点から、適水温が若齢魚の移動を規定する唯一の要因ではなく、また移動の唯一の目的ではないと考えられる。

1980 年代の通常標識放流から、東シナ海の魚は、個体によって日本海か太平洋へ移動していくことが分かった（Bayliff et al. 1991）。本研究からはさらに、同時期、同海域で放流した魚でも、東シナ海から移動する時期、海域が様々であることと同時に、東シナ海に滞在し続ける魚が存在することが示された。東シナ海に分布する 0-1 歳魚において、回遊パターンは固定されていないと考えられる。若齢魚は、ある範囲の水温を好む一方で、その範囲外の水温にも耐えて滞在することが分かった（4-3 節）。このような水温に対する 2 面性が、回遊パターンの多様性に貢献していると考えられる。

## 渡洋回遊

クロマグロの渡洋回遊は通常標識から、西部太平洋から東部太平洋への移動、並びにその逆の移動が証明された（Orange and Fink 1963、Clemens and Flittner 1969）。渡洋回遊に要する期間は最短 215 日と推定されているが、これは渡洋回遊した標識装着個体の放流から再捕までの最短期間に過ぎず、渡洋回遊以外の時期を含んでいる（Bayliff et al. 1991）。本研究では、1 個体ではあるが、渡洋回遊中の毎日の位置を全期間で得ることができた。渡洋回遊に要した期間は、従来想定されていたよりも短期間の 2 ヶ月間であった。

渡洋回遊の開始時期を、山中(1982)は漁業情報から 5-8 月と推定し、Bayliff et al.(1991)は標識放流データから秋から冬と推定した。本研究で観察した個体では 11 月、他のアーカイバルタグで得たデー



タでは10月中旬(Inagake et al. 2001)、他の個体では3月(第5章)であり、再捕数が増加するに従って開始時期範囲が広がっていて、いまだ開始時期範囲は明確でない。

北太平洋中央部におけるクロマグロ若齢魚の漁獲データは少ないが、4-11月に35-45N・150E-140Wの海域で、1歳魚を主体とした1-3歳魚が、流網でまとまって漁獲された記録がある(斎藤ら 1981)。また、標識魚が6月に38N・172Eと39N・162Wで2個体、再捕されている(Bayliff et al. 1991)。季節は異なるものの、アーカイバルタグ装着魚はこの付近を通過しており、限定されたデータではあるが、渡洋回遊ルートがこの海域であることを示唆している。漁業データとの対応は第5章でさらに検討する。今後のアーカイバルタグ再捕データが得られれば、渡洋回遊の全容を明らかにできると期待される。

渡洋回遊は、距離と期間においては他の移動と大きく異なっていたが、移動速度は平均的なものであった。渡洋回遊でさえも、クロマグロにとってそれほど大きなイベントではなく、他の多くの移動より単に距離と期間が長いだけのものと思われる。本研究では渡洋回遊中の詳細ファイルが得られず、渡洋回遊中と他の移動との行動等の異同は明らかにできなかったが、今後の再捕データの解析に期待したい。

## 第5章 漁獲データから見た若齢魚の回遊

### 5-1. 緒言

第4章で、アーカイバルタグデータにより、クロマグロ若齢魚の個体レベルの回遊動態が明瞭に区分される移動と滞在とから構成されるものであることが明らかとなった。しかし、アーカイバルタグによってデータの得られた海域、年齢は限定的で、個体数も少ない。一方、漁業データからは、広い海域における広い年齢範囲、多数個体の分布情報が得られる。

これまでに、相川(1949)は相模湾、岡地(1963)は日本海、濱崎・永井(1995)は東シナ海におけるクロマグロ0-2歳魚の回遊を、漁獲データからそれぞれ明らかにしている。河野・石塚(1987)、米盛(1989)、Bayliff et al.(1991)は、標識放流データからクロマグロ若齢魚の回遊を明らかにした。これまで若齢魚の漁獲の実態は不明であったが、近年には日本周辺クロマグロ調査によって全漁法の漁獲実態が明らかとなってきている(第2章)。

漁業データには、操業の行われた時間、水平・鉛直空間に限定した情報しか得られず、漁業データが種の分布時空間をカバーし、またその時空間における魚の分布が漁獲に反映されているかを、漁業データ自体からは検証できないという解析上の問題点がある。標識放流も再捕を漁業に頼ることから、漁業依存性から脱却できない。また、漁獲海域の月ごとの移動が魚群の移動であるとの保障はない。漁業とは独立した情報であるアーカイバルタグによる連続した位置データは、これらの問題に解決を与えるものである。

そこで本章では、使用可能な全ての漁獲データを用いて、年齢・月別のクロマグロの分布変化を、日本全体を含む北太平洋を対象に検討する。年齢・月別漁獲は、日本周辺クロマグロ調査データで得られるが、漁獲位置が特定できること、より長期間のデータが含まれていること、日本周辺クロマグロ調査データに含まれていないデータもあることから、さらに竿釣、流網、三陸沖のまき網の漁獲成績報告書データ、東シナ海のまき網の漁獲データも用いた。また、従来の標識放流データの再解析、アーカイバルタグデータと漁獲データとの統合も加えて、総合し、クロマグロ若齢魚の回遊を詳細に明らかにする。

### 5-2. 材料と方法

県別漁獲量データを用いて、1993-1997年のクロマグロ0-2歳魚の年級、年齢、月、県別の水揚げ尾数を地図上にプロットした。このデータは、日本周辺クロマグロ調査事業で得たもので、日本の全ての漁法による水揚げ量の大部分を含み、また同時に実施した魚体測定調査のデータを用いて、体長別漁獲尾数ならびに年齢別漁獲尾数を第2章で推定したものである(表5-1)。太平洋ならびに東シナ海でのまき網による漁獲尾数は、各県の漁獲とは分けて示した。魚の年齢は産卵期のほぼ中間である6月1日を基準とした満年齢とし、例えば0歳8月のように、年齢と暦上の月とを組み合わせ、月単位で示した。これは、産卵期に幅があることである月の魚の月単位の年齢にも幅があること、回遊が魚の月単位の年齢よりも季節によって変化する面が強いことによる。0歳6月から始まり、0歳12月の次が0歳1月で、0歳が0歳5月まで続く。その後は、1歳6月、1歳7月と続く。

さらに、漁獲海域を詳細に検討することと、より長期間のデータを利用するため、漁法別の漁獲デ

ータも解析した。東シナ海におけるまき網の漁獲データは、1991-1997 年のものを用いた（第 2 章）。全漁獲量のうちの 86%で漁獲位置が得られ、月、緯経度 0.5 度区画別の年齢別漁獲尾数を地図上にプロットした。竿釣の漁獲データは、漁獲成績報告書による 1972-1997 年のものを用いた。データは、船、日別の緯経度、まぐろ・かつお・かじき類の種別の漁獲重量（0.1 トン単位）、1 尾の平均重量を含んでいる。ただし、漁獲成績報告書の提出義務があるのは遠洋・近海竿釣漁業者であるため、沿岸竿釣船による漁獲は含んでいない。用いたデータに含まれる漁獲量は、竿釣による日本のクロマグロ漁獲重量に対して、1990 年までは約 20%、その後は約 60%と推定される。1 尾の平均重量と漁獲月から年齢（0 歳魚、1 歳魚、2 歳以上魚、年齢不明に区分）を推定し、月・緯経度 1 度区画・年齢別の漁獲重量を地図上にプロットした。

流網の漁獲データは、漁獲成績報告書による 1977-1992 年のものを用いた。データは、船、日別の緯経度、使用反数、1 反の長さ、まぐろ・かつお・かじき類の種別の漁獲尾数を含む。用いたデータに含まれる漁獲量は、流網の全漁獲量の約 20%と推定される。また、海洋水産資源開発センター（開発センター）が 1978-1983 年に、北太平洋の広範囲で、シマガツオを主対象として実施した調査データも用いた（Anon. 1980、1983a、1983b、1983c、1985、1986）。これらのデータを合わせて、月、緯経度 1 度区画別の漁獲尾数を地図上にプロットした。漁獲魚の年齢を、開発センターの調査データから、操業ごとの平均体重により推定した。平均体重から年齢を推定したことの妥当性を検討するため、同調査データにおいて体長組成が得られた 1979、1980 年について、平均体重と個体ごとの体長のそれぞれから求めた年齢組成を比較した。太平洋のまき網の漁獲データは、漁獲成績報告書による 1971-1997 年のものを用いた。これは船、日別の緯経度（分単位）、まぐろ・かつお類の種別の漁獲重量（1 トン単位）を含んでいる。クロマグロは体重 10kg を目安として大小に区分されており、本章では小型魚の漁獲量を用いた。年、月、緯経度 1 度区画別の合計漁獲重量を地図上にプロットした。

標識放流・再捕データは、マリンランディング計画ならびに IATTC によるデータを用いた。これらの標識放流事業においては、1980-1989 年に日本の 7 ヶ所（北海道、富山県、島根県、長崎県、静岡県、高知県、鹿児島県）から約 13,000 尾を放流し、その内 1,589 尾が再捕された（表 5-2）。長期間が経過してからの再捕では移動方向や移動動態が不明確となるので、再捕までが 1 年以内のものに限定し、緯経度 1 度区画別の再捕数を地図上にプロットした。アーカイバルタグによる日別の緯経度データは、長崎県対馬から放流し、1995-1997 年に再捕された 29 個体のもの（第 4 章）、ならびに、遠洋水産研究所まぐろ研究室が所有する、その後に再捕された太平洋へ回遊した 5 個体のものを用いた。

## 5-3. 結果

### 5-3-1. 漁獲海域の季節変化

#### 県別漁獲

太平洋沿岸と日本海沿岸ならびに東シナ海のそれぞれにおける漁獲海域と漁獲尾数の月別変化を、1994 年級について示す（図 5-1）。1994 年級を選択したのは、この年級の加入量が前後の年級よりも多いことから（第 2 章）、前後の年級が 1994 年級に区分される危険性が相対的に小さく、ある年級の分布・回遊の変化を追跡するのに適当だからである。太平洋沿岸南部（高知県から千葉県）の漁獲は、

主に曳縄および沿岸域での竿釣による。0歳7月に高知県で最初の漁獲があり、0歳8月に漁獲範囲は太平洋南岸全域に広まり、漁獲尾数は0歳10月に最大となった。その後も漁獲は続したが、尾数は次第に減少していき、1歳9月以降はほとんどなくなった。

太平洋沿岸北部（北海道、青森県、岩手県、宮城県）での漁獲は、主に定置網によるもので、0歳11月に岩手県で漁獲があった以外は0歳4月まで漁獲は少なかった。0歳5月から1歳12月までは、1歳7月、1歳11月をピークとして、多くの漁獲があった。本州東方沖のまき網の漁獲は、0歳5月と1歳7月に見られたのみであった。

日本海および東シナ海における主な漁法は、日本海の富山県以北で定置網、島根県と山口県で曳縄と定置網、長崎県と鹿児島県で曳縄、東シナ海でまき網であった。最初の漁獲は、太平洋沿岸よりもわずかに遅く0歳8月に長崎県、鹿児島県でみられた。0歳9月に長崎県の漁獲が急増して0歳2月まで日本で最も漁獲が多かった。富山県と新潟県では0歳9月から、北海道では0歳10月から漁獲があった。0歳11月以降、北方の北海道、青森県、山形県では漁獲がほとんどなくなったが、新潟県、富山県では0歳2月まで漁獲があった。島根県、山口県での漁獲は、0歳10月から0歳1月までに多く、0歳2月にはほとんどなくなった。東シナ海における漁獲は0歳10月から継続して見られたが、0歳魚では長崎県より少なかった。

翌春になると、長崎県での漁獲が0歳5月から再び増加し、1歳6月にピークを迎え、その後尾数は減少しながらも1歳12月まで継続した。東シナ海でのまき網による漁獲は、1歳7月から1歳2月まで日本の他地域よりもはるかに多かった。新潟県、富山県での漁獲は0歳4月に始まったが、1歳10月までは少なく、1歳11-12月にやや増加し、その後も尾数はわずかであるが1歳5月まで継続した。北海道や青森県の漁獲は1歳6月から始まり、北海道での漁獲は1歳8-11月に日本海で最も多かったが、1歳12月になくなった。島根県、山口県の漁獲は、1歳7月から継続したが、1歳12月に一時急増した後はほとんどなくなった。

以上の1994年級における漁獲地域の季節変化に対して、1993-1997年級（ただし1996年級は1歳12月まで、1997年級は0歳12月まで）では次のようであった。太平洋沿岸における最初の漁獲は高知県で7月から始まったが、1993年級だけは8月から始まり、また、1996年級では高知県と同時に静岡県からも始まった。太平洋沿岸南部における0歳1-2月までの継続した漁獲は全ての年級で見られた。太平洋沿岸北部での0歳魚の漁獲尾数は、太平洋沿岸南部に比較して、1997年10月以外の全ての年級・月でわずかであった。1歳になると太平洋沿岸南部における漁獲がほとんどなくなることは、全ての年級で共通した。太平洋沿岸北部においては、全ての年級で1歳6-7月と1歳10-12月の2回をピークとして、1歳5-6月から1歳11-12月の間にまとまった漁獲があった。本州東方沖合におけるまき網の0歳魚漁獲は、他の年級でもほとんどなく、1歳魚についても1995年級が1歳6月にややまとまって漁獲された以外は少なかった。

日本海・東シナ海での漁獲開始が鹿児島県の0歳8月であることは、多くの年級で共通していた。長崎県での漁獲開始は、1994年級は8月であったが、1993年級、1995年級、1996年級は9月から、1997年級は11月からであった。1997年級については他の年級と異なり、0歳8月に新潟県でも漁獲が始まった。富山県、新潟県での漁獲は、8月から10月に始まった。

北海道での0歳魚の漁獲は1994年級、1996年級のみに、0歳10月から0歳11月までに見られた。0歳7月から0歳10月の魚が経験する沿岸水温を図5-2に示す。水温は気象庁海洋月報に掲載されている沿岸水温の月平均で、0歳魚が毎年漁獲される日本海南部（測地点は輪島、西郷、浜田、厳原）と太平洋南部（館山、御前崎、潮岬、土佐清水）の水温範囲を求めた。0歳魚が年によっては漁獲される日本海北部（江差）と、ほとんど漁獲のない太平洋北部（宮古と小名浜の平均値）の水温も年別に示した。太平洋、日本海共に、毎年、漁獲のあった南部海域の月別水温は、22-29℃が多かった。北海道で漁獲があった1994年、1996年は水温が高く、毎年漁獲があった南部海域の水温範囲内であり、水温の低かった1993年と1995年は漁獲がなかった。太平洋北部の水温は全ての年で22℃以下、多くの年の多くの月で20℃以下であり、0歳魚が毎年分布する太平洋南部の水温範囲に達していなかった。すなわち、0歳魚の分布には水温22℃以上が必要で、これを満たした年には北海道の日本海側で0歳魚の漁獲があり、太平洋沿岸北部はこの条件をほとんど満たさないためにほとんど0歳魚の漁獲がないと考えられる。

新潟県、富山県での0歳魚の漁獲は、0歳1月ないし0歳2月まで継続し、1995年級では尾数は少ないながらも春まで継続した。島根県、山口県の漁獲は、全年級で0歳11月から0歳12月に多く、また0歳2月にはなくなった。長崎県における1歳6月の漁獲は全年級で共通して見られ、1994年級、1996年級で顕著であった。多くの年級で、漁獲は0歳5月から1歳7月までで終了したが、1996年級では0歳9月から1歳12月までの長期間に及び、0歳12月、1歳6月、1歳12月にピークがあった。東シナ海におけるまき網漁獲の時期および魚の年齢は、年級によって異なった。1996年級は小型魚（体重2kg未満）のうちから0歳9月と0歳10月にも漁獲されたが、多くの年級では魚が体重約3kg以上になってから漁獲が始まったことで共通していた。東シナ海における漁獲海域の分布とその変化は後述する。

越冬した0歳魚の漁獲が新潟県、富山県で再開したのは、全年級で0歳4月から0歳5月であった。ただし、前述の通り、1995年級は新潟県、富山県で0歳10月から継続して漁獲されていた。その後は1歳1月まで漁獲が継続し、1歳2月から1歳4月までも尾数はわずかでも漁獲が継続し、1歳5月から再び増加した。北海道における漁獲が1歳6月から1歳11月まで継続し、1歳12月になくなることは全年級に共通していた。島根県、山口県では全年級で1歳9-12月に漁獲があり、その内の1歳11-12月に多かった。

### 東シナ海におけるまき網の漁獲

東シナ海におけるまき網漁獲魚の年齢は、2月から5月には0歳魚が多く、6月から1月までは1歳魚が多かった。漁獲尾数は10-12月が全漁獲尾数の41%、6-7月が28%であった。漁獲尾数分布を図5-3に示す。いずれの月でも、東シナ海の北部海域（32-35N・126-130E）で多く、1月から3月には32-33N海域で、4月から6月にかけて次第に北の33-34N海域で、7月から11月には34N以北で、12月には再び南下して33-34Nでそれぞれ多かった。

さらに南方の海域（31N以南）では、およそ26N・124Eと30N・127Eとを結ぶ南西・北東の海域で、尾数はわずかであるが、周年、漁獲があった。10月、11月には、韓国西岸沖でややまとまった1歳魚

を主体とした漁獲があった。

### 竿釣の漁獲

竿釣による漁獲重量分布を図 5-4 に示す。漁獲海域は、43N 以南、122-170E が主であった。1-2 月には静岡県から千葉県にかけての沿岸海域（33-35N・138-140E）で 0 歳魚、1 歳魚が漁獲された。3 月になるとこの海域に加えて、トカラ列島を主とした南西諸島海域でも 0 歳魚が、4 月にはさらに四国南方沖（20-30N・130-136E）で 0 歳魚が漁獲された。この四国南方沖では 5 月以降も 10 月まで漁獲が継続した。6 月には、漁獲海域が静岡県から千葉県にかけての沿岸を離れて、およそ 35N・145E から 28N・132E へ北東-南西方向に分布し、1 歳魚と 2 歳魚が漁獲され、7 月には、さらに北東へ漁獲海域が延び、北東端は 40N・154E に達した。8 月から 10 月に三陸沖での漁獲は散発的にしか見られなかった。10-12 月には、37-41N・157-171E で 2 歳魚（一部 1 歳魚）の漁獲があった。

### 流網の漁獲

流網の操業範囲は、1980 年まではほとんど全てが 175E 以西であったが、その後は東方へ拡大した。また 1982 年以降、5-6 月の 30-37N・145E-180、7-9 月の 38N 以北・145-170E における操業が厳しく規制されるようになったため、これらの海域における操業データが少なくなっている。

流網による漁獲尾数分布を図 5-5 に示す。漁獲尾数の多い海域は、1-4 月には千葉県近海域（33-38N・140E-147E）で、5-6 月には三陸東方沖の東西に広い海域（38-40N・142E-180）であった。7-11 月には三陸近海（38-40N・142-144E）とさらに東方の海域（37-43N・150-175E）とに漁獲海域が分かれ、この東方の海域は、さらに 38N 付近と 41N 以北とに 2 分される。12 月は 1 月と同様であった。

これらより南方の 28-33N・150E-160W の海域では、1-2 月にはわずかな漁獲が散見されるに過ぎなかったが、3 月になると漁獲海域は広くなり、4-5 月には広範囲にわたってそれまでより多くの漁獲尾数が見られるようになった。6 月にも 30N 以南における少数の漁獲があった。7-9 月には、操業のあった 29-35N・150-170E 海域で漁獲があった。また、西経の 38-42N・160W-170W の海域では、操業のあった 1-3 月、6-10 月にわずかな漁獲があった。

開発センターの調査データにおいて、1 操業の平均体重から推定した年齢組成と個体ごとの体長値から推定したものは、ほぼ一致していた（図 5-6）。1 操業の漁獲尾数が 1 尾であった場合が多かったために、全漁獲尾数の 55% で 1 個体の体重値が得られた。詳細に見ると、平均体重からの推定では、最も尾数の多い年齢の割合が高められることで、その両隣の年齢の割合が低められていた。これは、大多数を占める特定年齢の魚に若干混ざる高齢魚や若齢魚が、平均体重からの推定では無視されてしまうことに起因する。しかし、その違いは各年齢間の尾数割合の違いに比較してわずかであり、平均体重から漁獲魚の年齢組成を推定することは妥当であると考えられた。

平均体重から推定した 1978-1983 年の漁獲魚の年齢組成を表 5-3 に示す。年齢基準を統一するため、ある年にはその年の 6-12 月と翌年の 1-5 月の漁獲を含めた。全年の平均（漁獲尾数が少なかった 1983 年は計算に含めなかった）で 1 歳魚が 65%、2 歳魚が 22% を占め、0 歳魚や 3 歳以上の魚は少なかった。卓越する年齢は 1 歳魚の年が多かったが、1980 年には 2 歳魚が多く、1983 年には 2 歳魚のみが漁獲された。2 歳魚が卓越した年の前年にはそれぞれ 1 歳魚の割合が大きく、この年級の資源量

が大きかったために卓越する年齢が変わったと考えられる。開発センター調査がカバーした時空間（周年、22-48N・143E-124W）は広範に及ぶことから、漁獲成績報告書データを含めた全データにおいて、漁獲魚の大部分は1歳魚と2歳魚が占めたと推測される。ただし、1993-1997年3月に日本近海で漁獲されて福島県や千葉県に水揚げされた流網漁獲魚は0歳であったことから、少なくとも日本近海（おそらく145E以西）で3月ごろに漁獲される魚は0歳と考えられる。

## 太平洋におけるまき網の漁獲

太平洋におけるまき網による小型魚の漁獲は、主に31-44N・136-165Eの範囲で4月から11月の間に見られた。1990年を例に漁場の移動パターンを示すと、漁獲は6月に始まり、常磐沖（37N・145E）から7月の三陸東沖（39-40N・147-152E）へ北東に移動した（図5-7）。8月には北海道東方沖（42-44N・155-159E）へ大きく北東へ移動し、9月にもほぼ同位置であった。

他の年については、1970年代の操業海域は150E以西にとどまり、145E以西の三陸近海でも漁獲があった。1980年代に操業海域が150E以東にまで拡大し、さらに1987年に8月に40N以北まで操業するようになると、その後は三陸近海における漁獲が稀となった。5月から8-10月の間に漁場が北東方向へ移動することは、1987年以降の多くの年で共通していた。ただし、1993年、1995年、1996年には8月以降に42N以北で漁獲がなかった。42N以北への北上年と非北上年の漁場中心を月別にそれぞれ示すと図5-8のようになる。

1973年5月から8月には常磐沖（36N・141E）で、1975年5月から7月には三陸から常磐沖（36-38N・142-144E）で、漁獲が一ヶ所で継続した。1977-1979年、1982年、1989年、1992年には銚子近海から三重県近海にかけての海域で4月に小型魚が漁獲された。5月の漁獲海域は、1971-1977年には常磐から三陸沖（35-39N・141-145E）であった年が多かったが、1978年以降のほとんどの年では35N以南の海域に限られた。

## 5-3-2. 個体の移動事例

### 標識放流の事例

高知県、静岡県、長崎県、富山県、島根県、鹿児島県、北海道から標識放流した魚の再捕位置を図5-9に示す。高知県からの放流魚（0歳）の再捕は、放流した7月から翌年1月まで放流海域周辺からが多く、移動した個体は9月から翌年4月までに、放流海域から142Eまでの海域に分散した。1個体は、7月に放流されて12月に本州東方沖の36N・150Eで再捕された。36N以北からの再捕は少なく、2個体が千葉県以北に北上して、10月に常磐沖で再捕されただけであった。放流海域から西へ移動した魚は少なく、1月に宮崎県沖で、2月に五島沖でそれぞれ1個体が再捕されたのみであった。

静岡県からの放流魚（0歳）の再捕は、放流海域周辺からが多く、移動した個体の内、10月までは1個体を除いて全てが放流海域より東で再捕された。東への移動は千葉県までで、36N以北で再捕はなかった。12月から1月の再捕は、依然として静岡沖からあった一方で、半数以上は西方の三重県、和歌山県沖からであったが、高知県からはなかった。東シナ海や日本海で再捕はなかった。

長崎県からの放流魚（0歳）が放流海域付近で再捕されたのは、12-4月に限られ、かつ放流尾数が

多いのに対して少なかった。太平洋での再捕は4月以降が主であったが、中には、12月初めに放流されて1月中旬に既に高知県沖に達した魚も3個体あった。日本海からの再捕は太平洋よりも遅く5月以降であった。6月には、太平洋では三陸沖の40Nを中心とした海域から、日本海では北は北海道から南は島根県まで広範囲で再捕があった。8月以降は日本海北部と三陸沖で再捕があったが、少数であった。

富山県から7月に放流された魚(1歳)の再捕の多くは、放流海域近くで短期間のもので、それ以外は北東へ移動し、8月に青森県日本海側で、10月に北海道余市でそれぞれ1個体があった。秋(主に11月)に放流された魚(0歳)は、12月中旬まで放流海域付近で再捕があり、1月には長崎県、鹿児島県でそれぞれ1個体ずつ再捕されたと共に、依然として放流海域付近でも再捕された。

島根県からの放流魚(0歳)の再捕は、放流海域付近からは少なかった。1個体は11月に放流された後に北上して12月に富山県で、1個体は1月に太平洋側の千葉県沖で、1個体は3月に鹿児島西沖でそれぞれ再捕された。5月には3個体が太平洋で、6・7月には太平洋・日本海の両方で再捕があった。8・10月には日本海北部で再捕があった。

鹿児島県からの放流魚(0歳)の再捕は、放流海域付近からはほとんどなく、多くは太平洋、一部は日本海からであった。太平洋での再捕は、1・4月に130-135E(和歌山沖まで)で、5月には136E以東で、6月には140E以東でも見られた。日本海での再捕は、5月に2個体(隠岐と富山)で、6月以降に多く、山陰地方での再捕は6・8月、10月であった。7月には北海道北部の44Nで再捕があり、9月にはオホーツク海でも2個体の再捕があった。太平洋岸南部では1歳魚の9・12月の再捕はなかった。

北海道からの放流魚は、放流海域周辺での短期の再捕が少なかった。6月に放流された魚(1歳)の再捕は、7月には放流海域より南の青森県日本海側で3個体、青森県太平洋側で1個体あったと共に、8月に放流海域よりも北の北海道北西岸で1個体あった。これらの魚は、全て同一日に同一海域で放流したほぼ同サイズの魚であった。10月に放流した魚(1歳)は、放流海域付近で2個体(放流期間0、1日)が再捕された以外は、1個体が半月後に青森県日本海側で、2個体が1・1.5ヶ月後に富山県で、1個体が長崎で再捕された。

以上から、放流海域付近における再捕が多い富山県、静岡県、高知県では魚が長期間滞在し、放流海域付近での再捕が少ない島根県、長崎県、鹿児島県、北海道では魚は滞在せずに、速やかに移動したと考えられる。

北太平洋中央部における再捕は6個体とわずかであり、このうち放流期間が1年未満であった5個体は、全て0歳5月-1歳6月に再捕された。再捕位置は4個体が35-39N・161-172E、1個体が39N・162Wであった。

### アーカイバルタグの事例

アーカイバルタグデータでは0歳12月から4歳頃までの分布位置情報が得られた。各個体の移動は、1個体以外は4章ならびにInagake et al.(2001)で既述されている。残りの1個体は、1998年11月下旬に対馬から放流され、1999年5月中旬から12月中旬までを日本海で過ごした。津軽海峡を通過して日本海から太平洋へ移動し、155-165E海域へ急速に移動して、そこで1999年12月下旬から2000年



3月下旬まで過ごした。その後、渡洋回遊を開始し、2ヶ月後の2000年5月下旬に東部太平洋の30N・120W付近に達し、2000年9月下旬に35N・122W付近で再捕された。

図5-10に、日本海における県別漁獲尾数分布と、アーカイバルタグによる日本海へ移動した8個体の位置プロット分布を示す。既述したように日本海における漁獲は、0歳3月にはなかったが、0歳4月・1歳6月には島根県や新潟県で少数あり、1歳7月以降に長崎県で少なくなったのに対応して北海道で増加し、北海道で11月に減少、12月になくなったのに対応して長崎県で増加した。アーカイバルタグの位置プロット分布の変化はこれらの漁獲分布の変化とよく一致していた。一部には両者間の不一致が見られ、例えば、アーカイバルタグ装着魚は1歳8-11月に青森・山形県西沖、新潟県周辺海域に分布したが、漁獲尾数は少なかった。これは、これらの地域における漁法が定置網であり、沖合に分布する魚を漁獲できなかったためと思われる。また、1歳8-9月には朝鮮半島東岸沖でアーカイバルタグ装着魚の分布が推定されたが、漁獲情報がない。逆に漁獲があるがアーカイバルタグ装着魚の分布が確認されなかった場合が、1歳12月の各地、1歳7-10月の島根県沖で見られた。ただし、これらの場合の漁獲尾数は少ない。

東シナ海では、分布の多くが対馬、五島列島、済州島で囲まれた海域であることは漁獲尾数、アーカイバルタグによる34個体の位置プロットの両方で共通し、この海域が東シナ海における主分布域であることが確認された(図5-11)。32N以南でも漁獲があり、これが主分布海域からの短期的な南北移動によるものであることは第4章から明らかとなっているが、アーカイバルタグの位置プロット数からすると、この南方海域における分布は漁獲尾数から想定されるよりも多いようである。韓国西岸沖の漁獲については、アーカイバルタグによる情報は得られなかった。三陸沖のまき網漁獲位置は、6月から9月まで、同一年のアーカイバルタグによる1個体の位置プロットとよく一致した(図5-12)。

流網の漁獲位置分布と、渡洋回遊した2個体を含む5個体のアーカイバルタグの位置プロット分布の比較では、次の海域で、漁獲分布とアーカイバルタグ装着魚の位置プロット分布が一致し、西部太平洋において右回りに移動した(図5-13)。1月のおおよそ30-40N・150E-180、2月の30-40N・160E-180、3月の30-35N・150-170E、4月の30-35N・145-170E、5月の35-40N・140-150E、6月の35-40N・140-150E、7月の37-42N・145-155E、8-9月の39-43N・140-160E、10月の40-43N・145-175E、11月の37-43N・155E-180、12月の30-40N・150-175E。渡洋回遊した個体が通過した40N・180-155W周辺海域でも、尾数は少ないが12月から翌年3月に漁獲があった。ただし、次の海域では漁獲海域にアーカイバルタグ装着魚の分布がなかった。1-4月および11-12月の本州東方近海(33-40N・140-150E)、5-7月の三陸東方沖(38-43N・150E-180、7月は155E以東)、5-6月のやや南の海域(28-30N・150-175E)、8-10月の本州東方沖(30-40N・150-175E)。

以上から、少なくとも検討した漁法、海域、年齢において、その多くで漁獲とアーカイバルタグ装着魚の分布・移動とが一致し、漁獲海域の移動が魚群の移動であると判断できる。また、アーカイバルタグ装着魚の分布が多数見られた海域のほぼ全てで漁獲があり、漁獲データは魚の主要な分布を代表していると考えられた。

### 5-3-3. 若齢魚の回遊パターン

#### 太平洋沿岸における 0 歳魚の夏から越冬までの回遊

以上の漁獲情報、標識放流データ、アーカイバルタグによる位置データを総合し、クロマグロ若齢魚の回遊パターンを推定した。太平洋沿岸における 0 歳魚の夏から冬の回遊については、県別漁獲データおよび高知県、静岡県からの標識放流データが判断材料である。産卵場から来遊した魚の分布が最初に明らかとなるのは、0 歳 7 月に高知県で体長約 15cmFL に達した魚が漁獲されることからである。0 歳 7 月から 0 歳 9 月にかけて魚は西から東へ移動し、分布域は高知県から千葉県まで（太平洋沿岸南部）に広がる。なお、高知県では 15cmFL 程度の小型魚を季節の風物詩として珍重し積極的に漁獲することから、魚の来遊が他の地域よりもモニターされやすい。1996 年級が 0 歳 7 月に高知県と静岡県に同時に出現していたことから、0 歳 7 月に既に太平洋沿岸南部全域に分布を広げている可能性もある。

太平洋沿岸南部では、0 歳 10 月をピークとして尾数が減少しつつも翌年春まで漁獲が継続したこと、ならびに高知県沖で 7-8 月、静岡県沖で 7-10 月に標識放流した魚が 0 歳 1 月までこの海域内で多数再捕されたことから、この海域から移動する魚がいる一方で、一部の魚は滞在して越冬すると考えられる。秋に静岡県から放流した魚は、西方へわずかに移動して 12 月から 1 月に三重県や和歌山県で再捕されたものの、高知県では再捕がなかった。高知県では、高知県から放流した魚がこの時期に再捕されており、静岡県からの放流魚が分布していれば再捕されると期待されることから、再捕がなかったことは静岡県から高知県までは魚が移動しなかったことを示唆している。よって、秋から冬の沿岸域における西への移動は小さいと考えられる。

少なくとも 0 歳 10 月以降、あるいはそれ以前に太平洋沿岸南部から移動する魚については、これを主対象とする漁業がなく、すなわち標識再捕も少ないことから、移動の詳細は不明である。0 歳 1-3 月の千葉県や静岡県の沖合における竿釣、流網、曳縄の漁獲、ならびに 0 歳 8 月に高知県から放流して 0 歳 12 月に 150E で再捕された魚の事例から、本州東方の沖合、さらには北太平洋中央部へ移動するルートが存在が分かる。また、岩手県、宮城県で 0 歳 9-12 月に漁獲があること、高知県からの標識放流魚の一部が常磐沖で再捕されたことから、0 歳の夏から秋には北方への移動ルートも存在する。しかし、太平洋沿岸南部よりも漁獲尾数は極めて少なく、このルートを移動する 0 歳魚は少ないと思われる。また、この漁獲には、1 歳魚と同様に、日本海から津軽海峡を通過して津軽暖流内を南下してきたものが含まれている可能性もある。太平洋沿岸南部から、東シナ海や日本海へ移動した事例は 1 例しかなく、0 歳 8 月以降の太平洋沿岸の若齢魚は日本海へ移動しない。

#### 日本海・東シナ海における 0 歳魚の夏から秋の回遊

日本海・東シナ海における回遊については、0 歳 11 月ごろまでは県別漁獲データのみが、0 歳 12 月以降はそれに加えて富山県・島根県からの標識放流データが判断材料となる。日本海・東シナ海における最も早い漁獲は、8 月に鹿児島県で、長崎県には 9 月であり、年によっては新潟県で 0 歳 8 月に漁獲があった。鹿児島県への来遊は、太平洋岸の高知県と同様に養殖種苗を目的として小型魚を積極的に漁獲することからモニターされやすいともいえ、0 歳 8-9 月に新潟県までに分布を広げると考えられ

る。0 歳 10-11 月には、日本海沿岸全域で漁獲されるようになる。ただし、北海道での漁獲は 5 年中の 2 年の高水温の年でしか見られず、毎年必ず来遊するのは新潟県までと考えられる。

0 歳 12 月になると日本海の魚は南下移動し、日本海北部で漁獲があった年においても山形県以北の漁獲はほとんどなくなり、新潟県、富山県、島根県、山口県では 0 歳 11-12 月の漁獲が増加した。島根県、山口県での漁獲がその後途絶えたことから、南下してきた魚はこれらの海域で滞在せずにさらに南下移動したと考えられる。ただし、新潟県、富山県では、その後も漁獲が継続したこと、富山県で 1 月に再捕された標識魚があったことから、一部の魚はここでそのまま越冬すると考えられる。

長崎県で 0 歳 9 月以降も漁獲が持続したこと、ならびに 0 歳 9-10 月に東シナ海でまき網による漁獲があったことは、日本海を北上せずに東シナ海北部に滞在し続けた 0 歳魚がいたことを示している。日本海・東シナ海において、0 歳 9 月から 0 歳 2 月までに漁獲尾数の大部分を占めたのは長崎県であった。日本海から魚が南下してきた 0 歳 11 月以降に漁獲が多くなったのは当然としても、0 歳 9-10 月にも長崎県の漁獲が最大であったことから、日本海へ北上した魚が一部に過ぎない可能性が示唆され、長崎県近海から東シナ海北部は日本海・東シナ海に分布する 0 歳魚の重要な成育場と考えられる。

なお、日本海には、5-6 月に南西諸島海域で生まれた魚と 7-8 月に日本海で生まれた魚が分布するが、両者の漁獲海域に差はなく、回遊に違いはないと考えられた。

#### 東シナ海における 0 歳魚の越冬時期の回遊

0 歳 11 月以降の東シナ海における回遊は、まき網の漁獲データならびにアーカイバルタグから情報を得た。0 歳魚が秋から冬に日本海を南下して東シナ海に移動する際には必ず対馬海峡を通過することとなり、多くの魚が長崎県近海に来遊するにも関わらず、長崎県で 11-12 月に標識放流した魚が曳縄が盛んに行われる放流海域付近でほとんど再捕されないこと、ならびにアーカイバルタグ装着魚の事例から、来遊したこれらの魚は長崎県近海からは速やかに南西へ移動していく。なお、長崎県からの標識放流魚は、対馬、五島列島、済州島で囲まれた海域内でも再捕が少なかったが、これは現在では盛んに漁獲しているまき網が、標識放流を実施した 1980 年代当時にはクロマグロ若齢魚を対象としていなかったためである。

東シナ海で魚の滞在海域は、0 歳 12 月から 0 歳 3 月にかけて、全体的に 34N 以北から 32N まで南下し、一部の魚は東シナ海陸棚縁辺部に沿って、32N よりもさらに南から南西方向へ移動していた。第 4 章からはさらに、一部の魚だけが南方へ行くこと、短期間で 32N 以北の海域と往復していること、一冬の間に複数回の南北移動をする場合があることが分かった。

#### 日本海・東シナ海における 1 歳魚の回遊

日本海・東シナ海における越冬後の 0-1 歳魚（0 歳 4 月から 1 歳 12 月）の回遊については、県別漁獲データ、まき網の漁獲データ、アーカイバルタグデータ、長崎県、鹿児島県、北海道からの標識放流データが判断材料となる。0 歳 3 月の時点で、日本海での漁獲はほとんどなかったが、0 歳 4 月になると日本海を北上した魚がいることが、漁獲とアーカイバルタグ装着魚の移動の両方から分かる。しかし、1 歳 6 月まで、日本海内の漁獲尾数やアーカイバルタグ装着魚の分布頻度は長崎県近海よりも少ないことから、この時期に日本海へ移動した魚は一部に過ぎないと考えられる。

1 歳 7 月には、長崎県における漁獲尾数、アーカイバルタグ装着魚の位置プロット数が大きく減少し、より多くの魚が日本海内へ移動したことが示唆される。しかし、1 歳 7-10 月に増加した日本海沿岸各県における漁獲尾数は、長崎県での減少分に対してはわずかであった。アーカイバルタグ装着魚の全個体が対馬から新潟県沖まで速やかに移動し、その内 6-7 月に日本海に入った個体は沖合を北東へ移動していたこと、ならびに山口県から青森県までのこの時期の漁獲尾数もこれに対応して少なかったことから、多くの魚が速やかに北海道近海まで移動したと考えられる。なお、北海道では 0 歳魚が漁獲されなかった年が多かったが、1 歳魚は毎年漁獲されていた。1 歳魚は、0 歳魚よりも北の海域まで回遊範囲を広げていると考えられる。日本海のロシア側でクロマグロの漁獲はないが、これは 40N 付近で形成される極前線の北側が低水温であることでクロマグロが分布していないためと思われる。この前線の存在によって、日本海の沖合を北上した魚も新潟県付近で日本沿岸に來遊し、その後は日本沿岸からやや沖合までを北上すると思われる。

日本海に移動した魚がいる一方で、0 歳魚と同様に、対馬近海や東シナ海に滞在し続けた魚がいた。また、山陰沿岸で 6 月から 10 月まで継続した標識魚の再捕があったことから、一部の魚は山陰沖で滞在した可能性がある。

アーカイバルタグデータや標識放流から、日本海の 1 歳魚はその後、一部は 1 歳 7-12 月に津軽海峡、1 歳 9 月頃に宗谷海峡を通過して太平洋へ移動し、他は 1 歳 10-12 月に日本海を南下した。日本海の南下は、アーカイバルタグから急速なものであることが示された。さらに、新潟県、富山県では、少なくとも 1 歳 1 月まで、年によっては 1 歳 5 月まで漁獲が継続したことから、0 歳魚と同様に越冬する 1 歳魚がいると考えられる。

日本海を南下した 1 歳魚は、滞在していた魚と共に東シナ海で越冬する。さらに、韓国西岸沖を南下してきた魚もこれに加わる。東シナ海での分布域および南方への移動は 0 歳魚と同様である。2 歳以上の魚は日本海・東シナ海では極めて少なくなった。これは魚が太平洋へ移動し、そして戻らないためと思われる。

## 太平洋沿岸における 1 歳魚の回遊

日本の太平洋沿岸における 0 歳 3 月以降の回遊は、県別漁獲データ、竿釣、流網、太平洋のまき網の漁獲データ、アーカイバルタグデータ、長崎県からの標識放流データが判断材料である。0 歳 3 月から 1 歳 6 月に、太平洋南部沿岸での漁獲が少なかったこと、ならびにアーカイバルタグ装着個体がこの海域を急速に移動したことから、魚は千葉県東沖まで急速に移動したと考えられる。東シナ海から太平洋への移動は、標識魚の再捕が早い個体で 0 歳 1 月に見られたが、多くは 0 歳 3 月から 1 歳 6 月であったこと、アーカイバルタグの事例も 3 月中旬と 5 月上旬であったこと、0 歳 3-5 月に南西諸島の北部や四国沿岸で竿釣の漁獲があったことから、0 歳 3 月から 1 歳 6 月が主と考えられる。

東シナ海から太平洋へ移動した個体の一部は、0 歳 4 月に四国南方沖 (25-29N・130-136E) に來遊したと考えられる。竿釣の漁獲が 1 歳 10 月まで継続したのは、この海域が、北方を高水温の黒潮が流れていることで南北を高水温の海域に挟まれ、また東西方向でも 140E 以西において最低表面水温の海域である (JAFIC 発行の太平洋漁海況速報および北太平洋広域海況速報) ことから、夏季には表面水

温 29℃にもなるものの、周囲を高水温で囲まれたことから魚がこの海域内に閉じ込められていたためと思われる。

アーカイバルタグの事例とまき網の漁場移動から、千葉県南東沖に 0 歳 5 月ごろに達した魚はその後、1 歳 9 月にかけて北東方向に直線的に移動する。1 歳魚の一部は、太平洋沿岸北部（三陸沿岸）の定置網に 1 歳 6-7 月と 1 歳 10-12 月に来遊する。

#### 北太平洋中央部における 0-1 歳魚の回遊

150E 以東の太平洋中央部における回遊は、流網、まき網、竿釣、アーカイバルタグデータが判断材料である。アーカイバルタグと流網の漁獲から、1-2 歳魚は北太平洋中西部において大規模な右回りの回遊をする。また、5-6 月の日本東方沖合や、主漁獲域よりも南方の操業海域でも漁獲はあった。これらの海域にはアーカイバルタグ装着魚が分布しておらず、これらの魚の移動方向、または移動しているのかそれとも滞在しているのか不明である。

アーカイバルタグ装着魚が渡洋回遊した経路上の 40N・160W 付近で、1-3 月に流網の漁獲があり、魚の分布が明らかとなった。時期は異なるものの、アーカイバルタグで示した一部個体の渡洋回遊ルートが、多くの個体としてのルートである可能性を高めている。

#### 5-4. 考察

クロマグロを漁獲する漁法は、それぞれに操業時期、海域、漁獲魚のサイズが限定的で、単一漁法の漁獲データで生活史を通じた分布時空間を全てカバーすることはできない。本研究では、クロマグロ若齢魚の漁獲のほとんど全てを占める日本漁業の、全漁法の漁獲データを用いて、15cmFL の小型魚から、北太平洋中西部海域における広い時空間をカバーした。この範囲は、クロマグロ若齢魚の分布範囲を、東部太平洋を除いて、ほとんど全てカバーしている。各漁業の操業は、海域、時期がそれぞれ異なって、いわば時空間的にモザイク状に分布していたことから欠損部分を相互に補うことができた。また、クロマグロを主対象としない流網や竿釣、定置網からは、クロマグロの分布密度が低い海域の情報も得られた。

さらに、漁獲海域の移動は魚群の移動を直接に保障するものではなく、異なる魚の分布を異なる時点にスナップショット的に見ているに過ぎないこと、若齢魚を漁獲する漁法が全て表層漁業であって鉛直分布を広くカバーできないことといった問題がある。本研究では、アーカイバルタグを用いて漁業とは独立したクロマグロの水平、鉛直分布の知見を得て、主要な分布海域の多くで漁業が行われていること、若齢魚は表層混合層内を主に遊泳し表層漁業によって分布が漁獲に反映されることが確認される（第 4 章）と共に、アーカイバルタグによる連続した位置データによって、漁獲海域の移動が魚群の移動とみなせることが確認できた。

アーカイバルタグ装着魚が滞在していた海域が主要な漁場となっていたのと同様に、アーカイバルタグ装着魚が急速に移動した海域では漁獲が少なかった。よって、アーカイバルタグで一部個体について観察された回遊動態は、漁獲による多くの個体についても当てはまるものであり、すなわち回遊が明瞭に区分される移動と滞在から構成されることは若齢魚に共通した回遊動態であると考えられる。

0 歳 7 月から 10 月ないし 1 月までの太平洋沿岸南部海域には、若齢魚が多く分布していた。これは南西諸島海域で生まれた魚が来遊する海域であると共に、沖合域よりも生産力の高い沿岸域が、若齢魚の成育を支えるのにより適しているためと思われる。また、長崎県近海から東シナ海北部でも、0 歳 11 月以降、または 0 歳 9 月以降、0-1 歳魚が多く分布していた。東シナ海では、アジ類、サバ類、イワシ類がまき網によって多獲され、その主漁場はクロマグロの漁獲海域と一致しており（JAFIC 発行の東シナ海漁海況速報）、クロマグロのエサとなるこれらの資源が豊富に存在している。さらにこのことは、大量に分布するこれらを支える高い生産性があることを意味しており、非漁業対象種でクロマグロのエサとなる生物種（例えばキュウリエソ *Maurolicus muelleri*）も豊富に存在している可能性がある点でも、クロマグロの成育に適した海域と考えられる。若齢魚では、これらの海域が最も重要な成育場と考えられる。

ただし、1 歳魚が、0 歳魚の重要な成育場である太平洋沿岸南部海域を通過すること、ならびに 0 歳魚が年によっては漁獲される北海道近海や三陸沿岸で毎年漁獲されるようになることは、クロマグロが利用海域を成長段階によって変えていることを示している。

東シナ海南部での分布は濱崎・永井(1995)が報告しており、第 4 章からはさらに、一部の魚だけが東シナ海南部へ行くこと、短期間で 32N 以北の海域と往復していること、一冬の間に複数回の南北移動をする場合があることが分かった。この陸棚縁部はアジ類、サバ類のまき網漁場で、さらにマアジ、スルメイカの産卵場とも考えられており（佐々・小西 2002、森ら 2002）、クロマグロはこれらを摂餌するために来遊したと思われる。

長崎県近海にいた魚のうち、日本海へ移動したのは 1 歳 7 月にそれ以前よりも多くなった。アーカイバルタグのデータから、クロマグロ 1 歳魚は水温 14-20℃を好むと推定され（第 4 章）、長崎県対馬の沿岸水温は 7 月初めに 20℃を超えたことから（気象庁沿岸水温データ）、適水温以上への水温の上昇が東シナ海から日本海への移動の引き金となったと考えられる。水温の急変が移動の引き金となることは、アーカイバルタグ装着魚の水温の時系列データからも示唆されており（第 4 章）、この点が漁業データからも示唆された。

韓国西岸沖への 0-1 歳魚の回遊およびそこからの南下はこれまで知られていなかった。韓国西岸沖はマアジ、マサバの漁場であり、その混獲として 10-11 月にクロマグロが漁獲されていた。これは、夏に黄海暖流によって朝鮮半島西岸沖を北上した魚が南下してきたものと考えられる。クロマグロは低塩分水を嫌うといわれているが（Kishinouye 1923）、体重 0.1-3kg の魚では塩分濃度 32-35‰の範囲内で飼育に支障はなく（津田・中尾 1982）、ある程度の塩分濃度があれば行動や分布に影響はないと考えられている。黄海は全体的に塩分濃度が低いものの、黄海暖流海域は塩分濃度が高く、また水温も高く（高橋・柳 1994、JAFIC 発行の東シナ海漁海況速報）、少なくとも夏季から秋季にクロマグロが分布できる条件を備えている。

三陸沿岸に来遊する 1 歳 6-7 月の魚は、黒潮より派生した暖水塊や暖水舌、暖水ストリーマーによって沖側から沿岸に接近すること、1 歳 10-12 月の魚は津軽暖流を南下してくることが分かっている（小井土・水野 1989、小川・石田 1989b、為石ら 2002）。南下する魚は、太平洋を北上した魚が 7-9 月を北海道太平洋沿岸で過ごしたものか、日本海から津軽海峡を通過してきた魚である（またはその

両方)と考えられている(岡地 1963、米盛 1989)。北海道西岸沖で放流した魚が短期間の後に青森県の太平洋側で再捕されたこと(小林ら 1985)、津軽海峡内におけるクロマグロ漁獲量が日本海側の魚の南下時期に増加したこと(小井土・水野 1989)、アーカイバルタグ装着魚で 12 月に津軽海峡を通過した魚があったこと、北海道日本海側の漁獲の減少に対応して三陸沿岸の漁獲が増加したことなど、日本海から太平洋への津軽海峡の魚群通過を示す証拠は多い。一方、北海道太平洋沿岸における 7-9 月の漁獲はほとんどないことから、日本海からの魚が主体であることが示唆される。

クロマグロ若齢魚の日本近海における回遊パターンは、標識放流データから推定されている(河野・石塚 1987、米盛 1989)。本研究では、同じ標識放流データを用いると共に、各種漁業のデータも使い、年齢別、月別の詳細な時間区分、県別または緯経度 1 度別の詳細な空間区分に基づいて、回遊パターンをさらに詳細に明らかにした。回遊パターンに対して本研究では、まず、漁獲尾数による定量データに基づくことで、分布量の多少を考慮した。また、漁獲尾数による多数個体の情報に基づいたことで、少数個体の標識再捕事例で推定した回遊パターンが、限定された一部個体によるものか、それとも多数個体によるものかを区別することができた。次いで、滞在と急速な移動を考慮し、回遊動態を盛り込んだ。さらに、回遊パターンの概略はこれまでと同様であるが、海域によっては新たな推定をした。例えば、本研究の回遊パターンでは、東シナ海をクロマグロ若齢魚の重要な成育場とみなし、個体によっては東シナ海に滞在し続けることを示した。また、四国南方沖での滞在や朝鮮半島西岸沖の回遊、新潟県、富山県近海での滞在および越冬などは新たに得られた知見である。

なお、各漁業データにおいて、魚の基本的な分布パターンは、海況によって多少は変化しても年毎や 10 年程度の長期間毎に変わらなかった。通常標識放流は、1990 年代にも高知県から行われ、1980 年代と同様な再捕パターンが得られている(Anon. 1998b)。また、1990 年代のアーカイバルタグの再捕位置は、東シナ海におけるまき網による再捕が 1990 年代に加わった以外は、1980 年代の通常標識の再捕パターンと同様であった。

## 第 6 章 漁獲データから見た成魚の回遊

### 6-1. 緒言

本章ではクロマグロ成魚の回遊を検討する。クロマグロ成魚の回遊については、これまで日本の延縄による 2 年間の漁獲データから、北太平洋温帯域の 30-40N の東西に広い海域と産卵場とを往復し、一部の大型個体は南半球に分布することが明らかにされている（新宮ら 1974）。また、三陸沖における回遊もまき網の漁獲データから 1970 年代に解析されている（本間・鈴木 1978）。しかしその後、成魚の回遊はほとんど研究されていない。

クロマグロ若齢魚の回遊については、1980 年代の大規模標識放流（米盛 1989）、ならびに第 4 章で示したアーカイバルタグの装着、放流を通じて、個体レベルの移動の理解が大きく進展した。大西洋クロマグロ成魚の回遊についても、アーカイバルタグやポップアップタグの装着、放流で、大西洋西部から大西洋中央部や地中海への移動経路や移動動態が明らかとされている（Block et al. 2001）。しかし、太平洋クロマグロの成魚は、1 個体が市場において 100 万円以上で取引されるほど高価であることならびに釣獲率が低いことから、これまで成魚を対象とした標識放流調査は実施されていない。最近になってクロマグロ成魚についても、ポップアップタグの装着やピンガー追跡が実施されてきているが、データは解析中であり、また個体数や海域も限られたものである（Anon. 2002b）。よって、クロマグロ成魚の回遊については、依然として漁業データのみが検討材料である。

漁業データとしては、日本の遠洋・近海延縄（20 トン以上の船：以下では遠洋延縄と称す）が太平洋のおおよそ 50N から 50S までの広範な海域をカバーする操業を実施しており、分布・回遊を調べる上で重要な情報源である。新宮ら(1974)が解析に用いた 1966-1967 年以降も、データは蓄積されている。また、従来漁獲データが得られなかった沿岸延縄船（20 トン未満の船）についても、1993 年から漁獲成績報告書の提出が義務付けられたことで、データが収集されるようになった。三陸沖のまき網については、1980 年代後半から漁場が北東へ拡大し、より広範囲の漁獲データが得られるようになっている。こうした新たに蓄積された漁獲データを用いて、これまでの回遊の知見を検証できる状況にある。

クロマグロは約 120cmFL で成熟し始め（石原 1994）、一概に成魚といっても 200cmFL 以上まで範囲は広く、成魚の回遊を明らかにするには体サイズによる分布の異同を把握しておく必要がある。山中(1982)は、日本近海の異なる海域で漁獲されるクロマグロ成魚の体サイズは類似しているとしたが、産卵期の前後で大きく変化する体重値をデータに用いたため、明確な結論を得られなかった。中村(1951)、川崎(1960)は、台湾近海に分布するクロマグロ成魚は九州南沖に分布するものよりも大型であることを指摘している。台湾の漁獲魚の体長組成は近年得られているが（Hsu et al. 2000）、これに対応する日本の漁獲魚の体長組成との比較は行われていない。

そこで本研究は、遠洋延縄、沿岸延縄、三陸沖のまき網による漁獲データを用いてクロマグロ成魚の回遊を検討する。また、海域ごとの体長組成、体長別漁獲尾数の比較から、成魚の体サイズによる分布、回遊の異同を明らかにする。本論文では、体長組成を概観し、120cmFL 以上で 160cmFL 未満を小型成魚（約 4-5 歳）、160cmFL 以上で 210cmFL 未満を中型成魚（約 6-10 歳）、210cmFL 以上を大型成魚と区分する。



## 6-2. 材料と方法

沿岸延縄、遠洋延縄、まき網の漁獲成績報告書データを用いて、漁法ごとに月別の漁獲尾数（沿岸延縄、遠洋延縄）または漁獲重量（まき網）を地図上にプロットした（表 6-1）。なお、遠洋延縄については、クロマグロとミナミマグロは 1966 年まで漁獲成績報告書において区別されておらず、1967 年はまだ魚種区分に混乱が見られたので、1967 年までの 30S 以南の海域における漁獲は含めなかった。また、まき網では体重 10kg 以上の大型魚の漁獲量データを用いた。

三陸沖のまき網について、漁獲位置と海況との関係を検討した。各月の漁獲位置は、漁獲成績報告書データにおいて最も漁獲が多かった緯経度 1 度区画の位置で代表させた。海況は、漁業情報サービスセンター発行の表面水温図（5 日毎または 1 週間毎）を用いて、三陸沖の 150E 付近で 7-9 月に北東へ延びる暖水に注目し、等温線の北端位置を緯経度 0.5° 単位で読み取った。

日本近海で漁獲された次の魚の大きさを、1993-1997 年の日本周辺クロマグロ調査での魚体測定データ（第 2 章）を用いて比較した：3-6 月に本州南沖から南西諸島にかけての海域において延縄で漁獲され（1）和歌山県、（2）宮崎県、（3）沖縄県に水揚げされた魚、（4）7-9 月に三陸沖においてまき網で漁獲され宮城県、千葉県に水揚げされた魚、（5）7-12 月に銚子東沖から三陸沖の海域において延縄で漁獲され宮城県に水揚げされた魚、（6）7-8 月に日本海においてまき網で漁獲され鳥取県に水揚げされた魚。各海域・漁法における魚体測定データは、操業期間が 2-3 ヶ月以内であり、月間の体長組成の違いが小さく、また測定数が少ない月もあったので、全ての月のものを一括した。ただし、三陸沖の延縄漁獲魚については、漁獲時期が長期に及んでいたことから、第 2 章で推定した成長式を用いて、8 月から 12 月にかけて 1 年分成長すると仮定して、8 月 1 日時点の体長に変換した。

次いで、日本近海の魚、台湾東方沖において台湾の延縄が漁獲した魚、西部太平洋熱帯海域（20N-20S）において日本の延縄が漁獲した魚、20S 以南の海域において日本の延縄が漁獲した魚の間で体長組成を比較した。この内、台湾近海の魚体サイズは Hsu et al.(2000)による 1993-1997 年のデータを引用した。西部太平洋熱帯海域の魚体サイズは遠洋水産研究所のデータベースから抽出した。20S 以南の海域の魚体サイズは同データベースならびにミナミマグロの延縄漁獲データベース（1995-2000 年）から抽出した。体重データは、日本近海の月別の体長体重関係式（第 2 章）で尾叉長に変換した。

海域ごとの魚体サイズの違いをさらに定量的に検討するため、データが共通して得られた 1993-1997 年について、海域別の体長別漁獲尾数を比較した。日本近海については、第 2 章で推定した水揚げ物調査による日本の全漁法によるものを、台湾近海については Hsu et al.(2000)の延縄によるものを用いた。

さらに、日本の遠洋延縄漁獲データを用いて、体長別の海域別漁獲尾数割合を求め、体長階級ごとの分布海域を検討した。体長階級ごとの海域別漁獲尾数は、遠洋水産研究所の魚体サイズデータを用いて、年・緯度 10 度×経度 20 度の漁獲尾数に対して、1 年間・緯度 10 度×経度 20 度の体長組成を当てはめて求めた。該当する体長組成がないか、データ数が不十分な場合（測定個体数 100 個体未満、または漁獲尾数に対する測定個体数が 50%未満）には、10 年間・緯度 10 度×経度 20 度区画の体長組成を当てはめ、さらに残った漁獲に対しては、少数の測定データによる体長組成、または全年で一括

した周囲の区画のデータも合わせた体長組成を適宜当てはめた。体長階級は 120-159cmFL、160-189cmFL、190-219cmFL、220cmFL 以上の 4 段階に、期間は 1970-1979 年、1980-1989 年、1990-1997 年の 3 段階に区切り、期間ごとに緯度 10 度×経度 20 度区画別の漁獲尾数割合を求めて、3 期間の平均割合を求めた。

## 6-3. 結果

### 6-3-1. 漁獲海域の季節変化

#### 沿岸延縄の漁獲

沿岸延縄の漁獲尾数は、1-2 月は少なく、3 月から増加して 5 月に最大となった（図 6-1）。5 月の主な操業海域は 25-32N・126-140E で、そのほとんど全ての海域でクロマグロが漁獲された。漁獲尾数は南西部でやや多かったものの、海域内で顕著な差はなかった。この点をさらに、年別の緯経度 5 度区画の CPUE（Catch Per Unit Effort：100 万釣鈎当たりの漁獲尾数）から検討する（表 6-2）。産卵場である 25-29N・125-129E および一部が産卵場海域にかかる 25-29N・130-134E における CPUE が、他の海域よりも必ずしも高いわけではなく、魚の分布密度が高いのは産卵場に限定されていないことが分かる。6 月には操業回数が減少し、操業海域も狭くなった。

7-10 月の操業海域は三陸沖（35-39N・150-160E）となり、クロマグロは少数が漁獲された。その後の操業海域は 11 月から 2 月にかけて次第に南西に移動し、いずれの海域でも漁獲尾数は少数であった。

なお、沿岸延縄船の主対象魚は、漁獲重量と経済価値を考慮すると、1-4 月はビンナガ、5 月はクロマグロ、6 月はクロマグロとキハダ、7 月以降はメバチで次第にビンナガ主体となっていくと考えられる。

#### 遠洋延縄の漁獲

遠洋延縄操業は太平洋の大部分を占める 50N から 50S の間で行われた。クロマグロの漁獲があったのは、北半球温帯域、熱帯域の西部（140E 付近）と東部（130W 付近）、オーストラリア東沖、ニュージーランド近海、チリ西岸沖であり、他の海域ではほとんど漁獲がなかった（図 6-2）。

北半球温帯域（20N 以北）で漁獲があったのは、1-2 月は 130E から 120W の海域で、170E 付近での尾数がやや多かった。3 月の漁獲海域は東部太平洋で縮小し、日本周辺の尾数が 2 月よりも多くなった。4 月になると操業海域は 170E 以西になり、4-6 月は日本周辺での漁獲尾数が多かった。7 月になると 30N 以南の海域における操業がほとんどなくなり、漁獲海域は日本東方の 30-40N・140-160E となった。8 月に漁獲海域は 7 月までよりも東の 170E まで拡大し、9 月には経度 180° に達し、また操業回数は少ないながらも 150W まで漁獲があった。10 月には日本近海よりも日本東方沖（160E や 175E）での漁獲尾数が多くなった。11 月、12 月には 170E-170W での尾数が多く、日本近海での尾数が少なかった。カリフォルニア沖での漁獲もわずかにあった。ただし、1 月は 1973 年、1976 年の合計 25 操業による 147 尾のまとまった漁獲だが、それ以外の月は 1-2 回の操業における少数の漁獲に過ぎない。

西部太平洋熱帯域（20N-20S・130E-180）での漁獲海域は、4 月から 6 月には日本周辺の漁獲海域に

連なる形で 20N・130E から緯度 0°・150E にかけてであった。7 月には日本南西海域の漁獲がなくなって漁獲海域が分離し、10N-10S のそれまでよりもやや南の海域が漁獲海域となった。8 月に漁獲は減少し、9 月から翌年 3 月までは漁獲がなかった。東部太平洋熱帯域の 0-20S、120W-140W 海域では、1990 年代の 9 月から 2 月まで漁獲があったが、尾数は少なかった。

南半球温帯域（20S 以南）では、オーストラリア東岸沖においては 5-6 月から漁獲があり、7 月の漁獲海域は熱帯域の漁獲海域と連続し、その後、10 月まで漁獲があった。ニュージーランド近海においては周年にわたって漁獲があり、CPUE は 6-9 月に高かった（図 6-3）。南米チリ西岸沖（20-35S・80-100W）においては 7 月から 10 月に少数の漁獲があった。

## まき網による漁獲

1986 年以前のまき網漁場は一部の年（1973 年、1977 年、1982 年、1983 年）を除いて 150E 以西での操業が多かったが、1987 年からは 8 月以降に 40N 以北・150E 以東の海域まで操業するようになった。漁獲は 28-44N・136-165E の範囲で 4 月から 11 月までにあった。1994 年を例に漁場の移動パターンを示すと、漁獲は 5 月から始まり、漁場は本州南から南東沖（32-33N・136-145E）であった（図 6-4）。6 月になると漁獲は、本州南沖（32-33N・138E）で続く一方で、三陸東沖（36-39N・143-153E）で多くなった。7 月の漁獲海域はより東の海域（38-40N・149-151E）へ、8 月にはさらに東から北東の海域（37-44N・152-155E）へ移り、9 月には 8 月と同じかやや東の海域となった。

5 月から 9 月の間に漁場が北東方向へ移動することは、1987-1997 年の 11 年間で、1993 年、1995 年、1996 年を除いた 8 年間で共通して見られた。漁獲が最も多かった位置の移動の様子を図 6-5 に示す。8 年間の平均位置は、6 月の 37.5N・147.2E から 9 月の 42.4N・156.2E まで北東方向へ伸びる直線状にあった。特に、7 月から 8 月にかけて漁場が大きく北西に 465km 移動した。これは 15.0km/日の速度に相当する。

まき網の漁獲成績報告書に含まれる水温データを集計すると、大型魚の漁獲時の表面水温範囲は 9 - 29℃で、19℃にモードがあり、漁獲重量組成が 5%以上であったのは 17-22℃の範囲であった（表 6-3）。表面水温 17℃をクロマグロ成魚の主要な分布の最低水温と仮定して、150E 付近で北東へ伸びる暖水の表面水温 17℃の北東端を追跡したところ、6 月から 9 月に 40N・150E から 45N・160E への直線上を北東方向へ移動していた（図 6-6）。これは魚群の移動経路とほぼ一致している。さらに、魚群が北上しなかった 3 年間については、暖水も 8 月に 43N 以北へ達していないか、8 月に 43N へ達したもののその後に北上していなかったことから、漁獲位置の移動が暖水の北上と密接に関連していることが示唆される。

上記以外の漁獲海域移動の事例を以下に記す。1972 年から 1974 年には、三陸から北海道近海（38-42N・141-143E）で 8 月から 11 月までにまとまった漁獲があった。この漁獲は 8 月、9 月に青森県東沖から北海道内浦湾（40-42N・141-142E）で始まり、10 月には 38-40N に南下、11 月にも同海域であった。その後、この海域での漁獲は、1980 年、1983 年の 7 月、8 月にわずかにあった以外はなくなった。漁場が北東へ移動せず、一ヶ所に留まりつづけた場合もみられた。1975 年には常磐沖（36-38N・142-144E）で 5 月から 8 月まで、1982 年には常磐沖（36N・142-143E）で 7 月から 10 月まで、1984

年には常磐沖（35-36N・141E）で5月から7月まで、1993年には三陸東方沖（37-39N・151-154E）で6月から8月まで、それぞれ漁獲が継続した。

日本海で成魚が漁獲されたのは7・8月に山陰沖から能登半島沖であり、時期が遅くなるに従って漁場は北東に移動し、9月以降に漁獲されたことはなかった。日本海のまき網による160cmFL以上の漁獲尾数は、1993-1997年に、太平洋を含めたまき網の全漁獲尾数に対して0.3-28%、平均9%であった。

### 6-3-2. 海域ごとの魚体組成と体長別漁獲尾数

延縄で漁獲され和歌山県と宮崎県に水揚げされた魚では、体長モードと体長頻度分布の形は相互に良く似ていた（図6-7）。しかし、沖縄県に水揚げされた魚では、それらの体長組成に比較して、1994年はよく一致していたが、1995-1997年はより大型であった。三陸沖のまき網と日本海のまき網、三陸沖の延縄による漁獲物間で、中型成魚の体長モードと体長頻度分布の形は相互にほぼ一致した（図6-8）。これらは延縄で漁獲され和歌山県、宮崎県に水揚げされた魚のものと比較すると、やや不明瞭な年もあるものの、ほぼ一致していた。よって、日本近海で漁獲される中型成魚は、海域、漁法に関わらず同じ体長組成を有しているといえる。日本海のまき網では小型成魚も漁獲されていた。このうち、1994年と1995年に漁獲された小型成魚は、体長から1990年級と推定され、その後も1997年まで漁獲があった。この年級以外の小型成魚の漁獲は1993年に見られただけであった。

日本近海の漁獲魚の多くが中型成魚であったのに対して、台湾近海の漁獲魚の多くは大型成魚であった。20N-20Sの西部太平洋熱帯海域における体長頻度を図6-9に示す。測定は1960年代のものが主体であるが、205cmFLにモードを持つ190cmFL以上の中型・大型成魚が主であった。なお小型成魚も見られたが、これは特定の年（1981年）の測定に集中していた。20S以南の海域における体長頻度を図6-10に示す。1960年代には200cmFLにモードがあったが、その後はやや小型の魚の割合が大きくなっている。小型成魚は、特定の年に限らず1972年以降に毎年記録されていた。

日本近海と台湾近海の体長別漁獲尾数を図6-11に示す。200cmFL以下の中型成魚は日本近海が高い割合を占めたが、210cmFLで逆転し、220cmFL以上の大型成魚はほとんどが台湾近海で漁獲されていた。なお、20N以南での漁獲尾数はごくわずかであった。

日本の遠洋延縄による海域別漁獲尾数割合を体長別に表6-4に示す。北西太平洋温帯域以外は測定尾数がわずかであり、特に20N以南の西経海域で少なく、これらの海域における推定は信頼性が低い。全ての体長階級で、北西太平洋温帯域の30-39N、140-179Eにおける割合が高かった。120-159cmFLの魚では、産卵場のある南西諸島周辺海域（20-29N、120-139E）での割合が小さかった。オーストラリア東岸沖からニュージーランドにかけての海域（30S以南、140E-180）における割合は、120-159cmの魚は8.1%で、160-189cmFLの魚で12.9%、190-219cmFLの魚で20.3%、220cmFL以上の魚で21.5%と、体長の増加に伴って増加した。

### 6-3-3. 成魚の回遊パターン

各漁法の漁獲海域情報を総合すると、中型成魚の回遊パターンは、まず、1-2月には30N以北で東西に広く分布し、170E-170Wにはややまとまって分布し、3月から4月に、産卵場である南西諸島海域を目指して西へ移動する。4月から5月に、産卵のために25-35N・125-140Eの黒潮反流域に急速に

集中し、6月に急速に逸散する。産卵後の魚の多くは三陸沖へ北上していく。4・5月から8・9月にかけて、本州南沖から三陸東沖にかけての海域を、暖水の北上に伴って北東方向に直線的に移動する。日本海に7月、8月に出現した成魚は、それ以前の時期にほとんど漁獲がないことから、この直前の時期に対馬海峡を通過して来遊したものと思われる。太平洋側よりも漁獲量が極めて少ないことは、日本海に回遊する成魚が相対的に少ないことを示唆している。三陸東沖に北上した魚は、35・45Nの海域を8月から10月にかけて東西に分散していき、10月には、東西に幅広く分散し170E・170Wにやや多く分布するという翌年2月までの分布パターンに達する。10月から1月にかけてやや南下する。

小型成魚、大型成魚の回遊パターンも基本的には同様である。ただし、小型成魚は、日本海に毎年出現するわけではなく、その年齢もまちまちであり、またその漁獲尾数も少なかった。よって、日本海への小型成魚の来遊は、一部個体による非定常的な回遊であるように思われる。日本海に来遊しない小型成魚は、おそらくは若齢魚と同様に日本東方の北西太平洋温帯域を回遊していると思われるが、その詳細を知るための情報を漁業データからは得られなかった。

大型成魚の漁獲のほとんどは台湾近海においてであり、その漁獲が産卵時期に集中することから、漁獲魚は産卵のために来遊した魚と考えられる。ここに来遊する大型成魚は、北東方向から中型成魚が産卵準備のために滞在する海域（南西諸島から和歌山県沖にかけての海域）を通過してきた魚と、南方から北上してきた魚とから構成される。産卵後には、産卵場から北上せず南へ向かう大型成魚を主体とした一部の魚が存在し、その割合は大型魚ほど大きくなる。ニュージーランド近海やオーストラリア東沖では、産卵後に相当する6・9月にCPUEが高かったことから、熱帯海域を南下した魚がさらに南下してこれらの海域へ来遊したことが示唆される。ニュージーランド近海では周年にわたって漁獲が見られた。これらの海域では産卵と関係なく滞在している魚が少数いる可能性がある。

南半球の冬にチリ沖に分布するクロマグロについては、どこからくるのか、そしてどこへ行くのかは不明である。1990年代に見られる10・1月のその北方海域での漁獲と関係があるかもしれないが、南半球の夏に低緯度へ移動する動きは想定しがたい。

## 6-4. 考察

推定した回遊パターンの概略は、新宮ら(1974)が遠洋延縄による2年間(1966・1967年)の漁獲データから推定し、その後、現在まで広く受け入れられている回遊モデル(Bayliff 1994)と凡そ一致している。本研究では、多くの漁法による長期間のデータを用いて、これまでの回遊モデルが妥当であることを裏付けると共に、分布の月別変化をさらに詳細に描き出した。

第5章の若齢魚の回遊と同様に、複数漁法の多数年のデータを用いたことで、モザイク状に分布するそれぞれの漁法の欠損する時空間分布を補完し合い、広い時空間範囲の情報を得ることができた。ただし、表層混合層内にほとんど分布する若齢魚と異なり、成魚は延縄で漁獲されることからして深層にも分布することは明らかであり、まき網は深層、延縄は表層の成魚の分布が漁獲に反映されない可能性がある。まき網と延縄が同一の時期、海域で操業した三陸沖においては、延縄による小型成魚(成長を考慮せずに測定時の体長で判断)の漁獲尾数割合(1993・1997年の平均)は9.6%で、まき網の22.8%より少なく、延縄では表層に主に分布する小型成魚の分布が十分に反映されていない可能性

が示唆される。ただし、日本の南西海域での延縄でこの割合がわずかに 0.9%であったことは、同海域において小型成魚が漁獲されないのは漁法による漁獲深度の選択性の問題ではなく、小型成魚が同海域にほとんど分布していないことを示唆している。

また、延縄が漁獲する中層においても、漁獲深度が異なることによって魚体サイズが異なる可能性がミナミマグロで報告されている (Davis and Farley 2001)。しかし、この研究で漁獲深度として用いた指標は間接的なものであって、必ずしも漁獲深度を反映していない可能性も指摘されており (Itoh et al. 2002)、現在のところ、漁獲深度によってマグロ類成魚の魚体サイズが顕著に異なるとの確証はない。日本と台湾の延縄漁獲物における体サイズの違いはかなり大きなものであり、既存の知見からは操業方法による差とは思えない。実際、日本延縄船が漁獲して沖縄に水揚げした魚に大型成魚が含まれていることは、日本延縄船の操業でも大型成魚が漁獲されることを示しており、体サイズ差が海域によるものであることを示唆している。

日本近海の異なる海域で漁獲されるクロマグロの体サイズについて山中(1982)は、沖縄から台湾東方海域の延縄漁獲魚と、三陸沖のまき網漁獲魚の体重組成を比較し、ある程度の関連があることを報告している。しかし、産卵期の前後で大きく変化する体重で比較したため、両者の一致は明確ではなかった。本研究では体長組成を用い、日本近海で漁獲された中型成魚の体サイズは、本州南沖から九州南沖で延縄によって漁獲され和歌山県に水揚げされた魚、同じく宮崎県に水揚げされた魚、三陸沖でまき網や延縄で漁獲された魚、日本海でまき網で漁獲された魚の間で一致していることを示した。このことは、日本近海の漁獲海域の移動を魚の移動とみなすことについて、少なくとも体サイズにおいて矛盾していないことを示している。このことはまた、日本近海の様々な海域で様々な漁法で漁獲している成魚が、同じ年齢範囲の資源を共通して利用していることを意味している。さらにこのことは、クロマグロの系群構造についても傍証となる情報である。クロマグロにおける複数系群の有無は明らかとされていないが (山中 1982)、日本各地の水揚げ物における体長組成が 5 年間、毎年一致していたことはクロマグロが単一系群であることを示唆している。資源に実質的に貢献する系群が複数存在するならば、系群間の中型成魚における年齢組成の一致が 5 年間に渡って継続すること、または日本近海で中型成魚が漁獲されない別系群が存在すること、といった可能性の低い仮定を置かなくてはならない。

一方、台湾近海では大型成魚が漁獲され、日本近海よりも漁獲尾数は多かった。1930-1940 年代の漁獲資料を分析した中村(1951)も、沖縄近海で漁獲される魚とフィリピンのルソン島周辺で漁獲される魚との体サイズの違いを報告している。よって、台湾近海の魚は、回遊も資源利用の面でも、日本近海の魚とは分けて考慮すべきものである。台湾近海では主として産卵時期に漁獲があり、大型成魚は産卵のために来遊したと考えられる。なお、日本近海の延縄漁獲物の大きさが、宮崎県と和歌山県に水揚げされた魚では全年で一致したのに対して、沖縄県に水揚げされた魚はそれらの魚と一致していた年としなかった (より大型) 年とがあった。沖縄県は、中型成魚と大型成魚の来遊海域の境界に位置し、年によって中型成魚が主体の年と大型成魚が混ざる年があるものと考えられる。

ニュージーランド近海を除いた太平洋全域において、産卵期である 4-6 月に、全ての漁獲が産卵場とその周辺海域に集中していた。延縄の努力量は周年を通じてクロマグロ産卵場以外でも投入されて

おり、クロマグロが分布していれば漁獲される状況にある（魚崎ら 1997）。このことは、示した回遊が毎年行われるものであること、ならびにクロマグロ成魚が毎年産卵することを示唆している。ニュージーランド近海では産卵に関与しない魚が少数ではあるが周年滞在している。0・2 歳魚程度の小型魚の漁獲が一切ないこと、仔稚魚が採集されていないことから、この海域の魚がニュージーランド近海で産卵する可能性は小さいと思われる（新宮 1974）。

第 3 章で求めた産卵時期・海域に対して、台湾からルソン島近海における早期の産卵は台湾近海に來遊する大型成魚が担っており、南西諸島近海における産卵は日本近海で漁獲される中型成魚が担っていると考えられる。中村(1951)も、ルソン島近海の魚の方が沖縄近海の魚よりも先に成熟することを報告している。日本海における産卵については、中型成魚と共に年によっては小型成魚も担っていると考えられ、実際に石原(1994)は小型成魚と中型成魚が産卵していることを確認している。成魚は、年齢が増加するに従って産卵期が早くなり、また産卵海域が変わっていくと考えられる。

日本の遠洋延縄による体長ごとの漁獲海域分布は、長期的な広範囲のデータを用いた長所があるが、漁獲に対応する体長データが不足したケースが多かったこと、大型成魚が多く漁獲されている台湾近海を含んでいないこと、努力量を考慮していないこと、などの問題があり、詳細な部分の信頼性は低く、大まかな知見を導き出すのに留めるのが適当である。それでも、いずれの体長でも北西太平洋温帯域に主に分布すること、小型成魚の産卵場海域での分布割合が小さいこと、南半球では大型魚ほど多くの割合が分布することは信頼性の高い結果と考えられる。

海域ごとの回遊をさらに検討する。4 月から 5 月に魚は 25・35N・125・140E の黒潮反流域に急速に集中した。これらの魚は産卵のために來遊したと考えられるものの、産卵場は南西諸島近海（130E 以西）であり、130E 以東での産卵があるとしたら 6・8 月である（米盛 1989、第 3 章）。CPUE は産卵場海域においてやや高かったものの、130E 以東の海域においても比較的高く、魚が産卵場のみに限定して來遊するわけではなかった。130E 以東の海域にいる魚については、産卵の準備段階としてこの海域に滞在している可能性と、これまで知られていないがこの海域で 4・6 月に産卵している可能性とが考えられる。どちらの可能性もあり得るが、黒潮の外側にあるこの海域において、4・5 月の表面水温は黒潮付近でない限りは産卵に必要な 24℃よりも低いこと、ならびに産卵場に比較して仔稚魚が採集された回数が少ないこと（第 3 章）から、これらの魚は産卵の準備段階にあると推察される。

三陸沖の北東への直線的な移動ルートは、若齢魚のルートとも一致していた（第 5 章）。暖水の北上と関連していたことから、海洋構造がクロマグロ成魚および若齢魚の回遊に大きな影響を与えていることが分かる。この海域では黒潮と親潮によって強い海洋前線が形成され、生産性の高い、より北方の海域への暖海性種の侵入を妨げていることは良く知られている（宇田 1960）。カツオでは、体サイズが大型化することによって低水温への耐性を獲得し、黒潮前線以北の移行域における高い生産力の利用が可能となる（二平 1996）。黒潮前線付近のクロマグロは、北方水域へ移動する機会をうかがっており、適した温度の水が北上するのを利用して移動し、豊富な栄養を摂取して産卵で失ったエネルギーを取り戻していると思われる。

なお、これ以外の魚群の分布もまき網の情報で得られた。まず、北海道内浦湾から三陸沖沿岸近くを初秋から晩秋にかけて南下する魚群があった。これは津軽暖流中を南下する魚群と考えられる（小

井土・水野 1989)。また、漁獲海域が北上せずに一ヶ所にとどまったような場合もあった。これらのうちのある年（1993 年）は、北東方向への暖水が発達しなかった場合である。他の年については、その海域で等温線の変化が見られたこともあったが、小さな変化であって、海況との関連は不明瞭だった。これらは、何らかの理由で北東または東への移動の時機を逸した魚と思われる。

日本海への 7 月、8 月の来遊は、日本海で産卵が行われる事実からして、産卵回遊と位置付けられる（沖山 1974、米盛 1989、第 3 章）。これらの魚は日本海で産卵した後さらに北上し、津軽海峡を抜けて太平洋へ、また一部の魚は宗谷海峡を抜けてオホーツク海へ移動すると考えられている（川名 1935、諫早 1935、1936、岡地 1963、石原 1994）。前述の津軽暖流を南下する魚には、この魚が含まれていると思われる。

一部の魚が、産卵場から北上せずに南へ向かうことは、中村(1951)、新宮ら(1974)が示唆しているが、最近、南西諸島で 210cmFL 以上の成魚 2 個体の移動がピンガー追跡ならびにポップアップアーカイバルタグで調べられ、石垣島付近（24N・125E）で放流された魚は 2 個体共に南から南東（15N・131E、21N・124E）へ移動していたとの直接的な証拠が得られている（Anon. 2002b）。

オーストラリア東岸沖やニュージーランド近海域は、クロマグロと形態的に極めて類似したミナミマグロの漁場である。DNA 解析の結果から、科学調査員が外部形態からクロマグロと判断した個体の内のほとんどがクロマグロであることが確認されているが、同時にこの中にミナミマグロが若干混ざっていることも報告されている（Ward et al. 1995、Smith et al. 2001）。漁業者は多数のミナミマグロの中から、体長に対して頭長や眼径が小さいこと、腹腔背壁の膨出が小さいことなどからクロマグロと判断している。これらの指標の有効性は DNA から確認されており（Smith et al. 2001）、クロマグロとミナミマグロの両者を見慣れた漁業者であれば種判別の精度は高いと期待される。また、Smith et al.(2001)が示したニュージーランド近海で漁獲され DNA 解析で種を確認したクロマグロの体長組成は、本研究の 20S 以南の体長組成とほぼ一致していた。今後も、確実な種査定に基づいた魚体データによる検証が必要ではあるものの、ミナミマグロとの誤認は本研究で得られた結果にほとんど影響を与えないと思われる。

若齢魚と同様に、成魚の回遊においても、漁獲が継続する海域と、短期間で終了して移動する海域とが認められた。滞在海域としては、4-6 月の 25-32N・128-137E の台湾から和歌山沖海域、7 月から 4 月までの 30-40N の北太平洋温帯域における東西に幅広い海域、ニュージーランド近海がある。移動海域としては、6-7 月の産卵場から三陸沖までの移動、4-5 月の低緯度海域から産卵場への移動、7-8 月の産卵場から低緯度海域への移動などがある。漁獲海域は緩やかにしか移動していないが、おそらく個々の魚は急速に移動していると考えられる。前述の成魚のピンガー追跡では 1 個体は 1360km を 10.7 日間（128km/日）、1 個体は 1000km を 7.0 日間（143km/日）と、移動期の若齢魚以上の速度で移動しており、月別の漁場移動よりも急速に移動していた。若齢魚で見られた明瞭に区分される移動と滞在から回遊が構成されるとの考えは、成魚においても当てはまると考えられる。



## 第7章 総合考察

### 7-1. クロマグロの回遊パターン

クロマグロの生活史段階ごとの回遊の模式図を図7-1に示す。回遊の個々の推定根拠やその確かさについては第3、5、6章で検討したので、ここでは結果のみをまとめて示す。産卵は北西太平洋の限定した海域で行われる。3-5月に、フィリピンから台湾にかけての太平洋ならびに南シナ海で210cmFL以上の大型成魚が産卵するが、ここで生まれた魚は0歳魚漁獲物の4%を占めるに過ぎない。5-6月には、南西諸島周辺海域において160-209cmFLの中型成魚ならびに一部の大型成魚が産卵し、ここで生まれた魚は0歳魚漁獲物の78%と大部分を占める。6-7月には、日本の太平洋側沖130E-145Eにおいておそらく中型成魚が産卵するが、ここで生まれた魚は0歳魚漁獲物の1%を占めるに過ぎない。7-8月には、日本海において中型成魚と120-159cmFLの小型成魚が産卵し、年による変動も大きい、生まれた魚は平均で0歳魚漁獲物の18%を占める。9月以降も12月まで、おそらく日本海で産卵するが、ここで生まれた魚は0歳魚漁獲物の2%を占めるに過ぎない。

太平洋の産卵場で生まれた魚は、九州・四国・本州南部の太平洋沿岸に来遊し、一部は東シナ海を通過して日本海へ移動する。太平洋沿岸には0歳の7月までに来遊し、0歳の9月までの間に高知県から千葉県までの太平洋沿岸南部に分布を広げる。ここでの分布量は0歳の10月をピークとして、この海域から去る魚がいることで減少しつつも、一部の魚が越冬するために翌年春まで分布が継続する。この海域に留まる魚は、この海域内であまり移動しない。この海域からの移動には岩手県、宮城県への北上移動もあるが、その個体数は少なく、東方への移動個体が多い。0歳の8月以降の太平洋沿岸の若齢魚は、日本海へは移動しない。

日本海では、太平洋側で生まれた魚が0歳の8-9月に長崎県から新潟県まで来遊する。0歳の10-11月には、日本海で生まれた魚も加わり、日本海沿岸全域に分布するようになる。ただし、毎年必ず来遊するのは新潟県までで、北海道沿岸まで分布が広がるのは高水温の年に限られる。0歳の12月になると日本海を南へ移動し、対馬海峡を通過して東シナ海に到達する。少数の魚は新潟県、富山県沿岸に滞在して越冬する。

東シナ海では0歳の9月から多数の魚が滞在し、0歳の11-12月には日本海を南下してきた魚がこれに加わって越冬する。主に対馬、五島列島、済州島で囲まれた海域に滞在し、0歳の12月から0歳の3月にかけて全体的に34N以北から32Nまで南下する。一部の魚は陸棚縁辺部に沿って32Nよりもさらに南の海域との間を、一冬の間に1回ないし複数回往復する。

東シナ海からは、0歳の3月から1歳の6月に太平洋へ移動していく魚がいる他、一部の魚は0歳の4月に日本海に入り、急速に北上して新潟県沖に至る。1歳の7月には東シナ海における水温が好適水温の上限である20℃を超えるため、より多くの魚が日本海に入り、高速度で北上して秋田県沖から北海道近海に至る。また、一部の魚は黄海暖流を利用して朝鮮半島西岸沖を北上していく。それでもかなりの数の魚が東シナ海に滞在し続ける。日本海の魚にはその後、津軽海峡を通過して太平洋へ移動するもの、宗谷海峡を経てオホーツク海を通過して太平洋側へ移動する少数のもの、日本海を急速に南下移動するもの、0歳魚と同様に新潟県、富山県沿岸に滞在して越冬する少数のものがある。津軽海峡を通過した魚には、そのまま東進するものと、1歳の10-11月に津軽暖流内を南下して三陸沿岸

に至るものとがある。東シナ海での1歳魚の越冬期の回遊は0歳魚と同様である。2歳以上の魚はほとんど全て太平洋側へ移動し、日本海・東シナ海に分布するものは少ない。

東シナ海から太平洋へ移動した魚は、太平洋沿岸の南西部に留まることなく千葉県南東沖まで急速に移動する。その後、0歳の5月から1歳の9月にかけて、千葉県南東沖から三陸沖へ北東方向に直線的に移動し、43N・155E付近の海域に至る。この北上移動において、特に1歳の7月から8月にかけての大きな北上移動は黒潮系暖水の北上に伴うもので、これにより魚は前線域の北側にあるさらに生産性の高い海域が利用可能となる。暖水が北上しない年には魚は滞在するか、東へ移動する。三陸沖の魚の一部は、1歳の6・7月に暖水ストリーマーを利用して沖側から三陸沿岸に来遊する。

三陸沖を東進した魚の一部は、1歳の11月または他の時期に、東部太平洋へ向かう渡洋回遊を開始する。約7,000kmを持続的遊泳速度で移動し、2ヶ月間で、35N・130W付近の海域に至る。渡洋回遊をしなかった魚は、北太平洋中西部(30-43N・145E-180)を大きく右回りに移動し、春から夏にかけて三陸沖を再び北上する。これ以外に、5・6月の三陸東方沖(38N-40N・142E-180)や、右回りの回遊海域よりも南方の海域(28N-33N・150E-160W)にも魚は分布しているが、その回遊は不明である。東部太平洋では1・3歳魚が分布し、まき網の漁期である5月から10月にかけて23-34N間の海域を北上し、11月から4月には外洋へ移動する(Calkins 1982)。

成魚になると、1・2月には30N以北で東西に広く、170E-170Wにはややまとまって分布する。3月から4月に産卵場を目指して西へ移動する。4月から5月には、中型成魚が25-35N・125-140Eの黒潮反流域に急速に集中して産卵の準備をし、やや西の130E以東の海域で産卵した後に6月に急速に逸散する。また、大型成魚を主体とした一部の魚は、西部太平洋低緯度海域から産卵のために北上してくる。大型成魚はより南方の産卵場で産卵するが、これは北東から産卵準備のために中型成魚が滞在する海域を通過してきた魚と、南方から北上してきた魚とから構成される。産卵後の魚の多くは本州南沖へ移動していき、4・5月から8・9月にかけて、本州南沖から三陸東沖にかけて北東方向にほぼ直線的に移動する。この移動も若齢魚と同様に黒潮系暖水の北上が強く関連しており、暖水が北上しない年には魚は滞在するか、東へ移動する。三陸沖では黒潮前線域の豊富な餌を摂取し、産卵で失ったエネルギーを取り戻す。一部の中型成魚(年によっては小型成魚も混ざる)は産卵のために7・8月に太平洋から東シナ海を通過して日本海に来遊し、北上しながら山陰から能登半島沖、年によっては対馬沖や北海道沖で産卵する。日本海を北上した後は津軽海峡、または宗谷海峡、オホーツク海を経て太平洋へ移動していく。三陸東沖に北上した魚はその後、35-45Nの海域を8月から10月にかけて東西に分散していき、10月には、東西に幅広く分散し170E-170Wにやや多く分布するという翌年2月までの分布パターンに達する。10月から1月にかけてやや南下し、若齢魚と同様に右回りの回遊をする。これ以外の分布をする魚(例えば冬に日本近海に分布する魚、170W以東に分布する魚)についての回遊は不明である。

一部の魚(大型成魚の割合が大きい)は、産卵期の後に産卵海域から南へ向かい、ニュージーランド近海やオーストラリア東沖に達する。ニュージーランド近海では周年にわたって、産卵と関係なく滞在している魚が少数いる。また、南半球の冬にチリ沖に分布する少数の魚については、回遊は不明である。成魚は毎年、産卵のためにこの回遊を繰り返す。

クロマグロの生活史は、回遊の点から4期に区分できる。第1は産卵場から日本沿岸に来遊するまでの卵・仔稚魚期である。第2は日本沿岸に来遊して滞在している0歳の7月から0歳の10月まで(0歳沿岸滞在期)、第3は0歳の11月から4歳で成熟するまでの若齢期、そして第4は4歳で成熟してからの成魚期である。

第1期について本研究では、各産卵場・時期の資源への貢献度を推定した。しかし、生まれた魚が沿岸にいかに来遊しているのかは不明である。少なくとも南西諸島で生まれた魚は本州・四国・九州沿岸まで稚魚としては大きな回遊を行っていることになる。日本海では産卵が沿岸に近いことから、回遊距離は小さいように思われる。

第2期の0歳沿岸滞在期は日本沿岸での滞在期であり、大きな移動をほとんどしない。この時期における分布海域の水温は22-29℃であり、高水温の年にはその分布を北方まで広げる点からして、この水温の下限が分布を規定していると考えられる。飼育魚の研究から、クロマグロ稚魚は高い推進力を持ちながらも遊泳制御能力が未発達であり、制御が可能となるのは約25cmFLからとされている(宮下 2001)。0歳の7月に15cmFLで来遊して0歳の10月に約40cmFLに成長するこの時期は、高く、かつ制御を伴う遊泳能力を獲得しつつある時期と考えられる。

第3期の若齢期になると、東部太平洋までも回遊し、東西方向の分布を最も広げる時期である。若齢期の環境水温は、アーカイバルタグから9-28℃、そのうち好適水温範囲が14-20℃であることが明らかにされた。0歳沿岸期と若齢期以降とは回遊能力のみならず、好適水温も異なると考えられる。

若齢期において、2歳までの魚は東シナ海に代表される大陸棚上にも滞在し、日本海にも出現するが、2歳から4歳までの魚は大陸棚上や日本海にはほとんど出現しないことから、深層の利用度の違いから2歳で若齢期を2分することが適切に思われる。若齢魚は主に表層混合層を遊泳しているが、成魚は、まき網で漁獲されることから表層に分布すると共に、延縄で漁獲されることから中層にも分布する。また、アーカイバルタグからも成魚(140cmFL)では潜水深度が大きくなることが明らかになっている(Kitagawa et al. 2003)。深層の利用は、中深層性魚類や頭足類のエサとしての利用を可能とするほかに、敵からの逃避の面で有利であろう。クロマグロを始めとしたマグロ類は釣り針にかかるのと深層へ逃げようとする。ゴンドウクジラに追われたと思われるピンガー追跡中のミナミマグロも深層へ急潜行した(伊藤 2002)。

しかし、クロマグロは既に1歳魚において200m以深を、最大380mまで短時間の潜水で利用していることがアーカイバルタグで分かった。また、一度太平洋側に出た若齢魚は、若齢期においては2度と大陸棚上の東シナ海へ移動していない。よって、大きな鉛直範囲を利用することは1歳時に既に持っている性質であって、2歳時点で若齢期を区分する特質とは言えない。外洋を好むこの性質はおそらく0歳沿岸期と若齢期とを区分するもう一つの特質であり、その特質が分布や回遊において表現されることが2歳で完了するのだろう。この点から若齢期は一つに区分することが適切と考えられる。

第4期の成魚期では、産卵海域である北西太平洋低緯度海域を含め、北半球温帯域、さらには一部の魚が南半球温帯域まで回遊するようになる。ただし、4歳で一部個体が成熟を開始するにしても、多くの個体が成熟するのはより高齢である。産卵場に毎年分布するのが160cmFL(約6歳)以上の魚であることから、おそらくこの体長以上が真の意味での成魚期で、4-6歳はその移行期間と思われる。な

お、成魚期の環境水温は、まき網の漁獲時の表面水温から 9-29℃を範囲とし、漁獲量が多かったのは 17-22℃で、若齢魚の好適水温範囲とほぼ同じであった。よって、好適水温の違いが若齢期と成魚期を区分してはいない。

成魚は東部太平洋アメリカ沿岸にはほとんど出現しない。これは成熟したために、毎年産卵場を訪れる必要が生じ、東西方向の大規模な回遊をしなくなったためと考えられる。一部ではあるにしても、南半球を含めた南方へ移動する成魚の割合が大型魚ほど増加するのは、産卵のために北半球低緯度海域を訪れる機会が大型の成魚の方が増えることで、さらに南方へ移動する可能性が増えるためと解釈される。

本研究によっても、いくつかの生活史段階や海域における回遊が、漁獲データが少ないために不明であった。まず、漁獲対象となる以前の、産卵場から日本沿岸へ来遊するまでの回遊である。中層トロールによって体長 2-5cm の大型稚魚を採集する手法が確立されていることから、今後の調査を通じてこの問題が解明できる可能性がある (Anon. 1999b)。また、北太平洋中央部における 2 歳から 6 歳までの分布と回遊、東部太平洋における 1-3 歳魚の冬季の分布は曖昧なままであり、成魚についても推定した回遊を漁業以外のデータから検証する必要がある。これらは今後、さらに蓄積される漁獲データを解析すると共に、アーカイバルタグがこれまで放流した魚からさらに回収されること、ならびに様々な時期、海域から放流・再捕されることで、解明されると期待される。

## 7-2. クロマグロの回遊戦略

回遊が明瞭に区分される滞在と移動とから構成されていることは、一部のアーカイバルタグ装着個体で明確に示された。このことは、若齢魚の漁場移動がアーカイバルタグによる位置の分布の変化とよく一致していたことから、若齢魚の多くの個体にも当てはまると考えられ、一部個体の追跡事例や漁場が 1 ヶ月単位で大きく移動することからして、成魚にも当てはまると考えられ、クロマグロの生活史を通じた回遊の特徴と推察される。

滞在期は、若齢魚において全日数の 85%と大半を占める状態である。滞在海域は、緯経度 3-5° 程度 (約 300-500km) の規模で、時期が進むに従ってシフトしていく場合もあり、魚の遊泳方向は一定でない。一方、移動期は全日数の 15%程度に過ぎず、700-3,400km を 4-35 日間で一定方向に移動 (平均速度 104km/日) し、極端に長い渡洋回遊では 2 ヶ月間で 7,600km を移動する。

滞在海域の多くは実際に若齢魚の主漁場であり、また、エサとなる小型浮魚類の好漁場でもあった。このことは滞在海域が好適環境であることを示唆している。一方、移動海域は主要で長期的な漁場とはなっておらず、また、九州から千葉県までの移動海域以外は、人工衛星画像のクロロフィル濃度を見る限り一次生産性の低い海域である。また、移動は晩秋の日本海における南下移動のように、好適範囲外の水温になるのを避けるように行われている。すなわち滞在海域は好適環境で、移動海域はそれほど好適でない環境であり、明瞭に区分される移動と回遊から構成されるクロマグロの回遊の特徴は、不適な環境を急速に短期間に通過し、好適環境での滞在期間を増大させる索餌回遊戦略にあると考えられる。

この戦略の実現には、高い移動能力が必要である。マグロ類は鰓蓋の開閉ではなく体の前進によって鰓に新鮮な水を送り込むことから、遊泳は呼吸のための必須な行動である。マグロ類若齢魚の持続的遊泳速度は 1.4 ノットであり、これは 1 日に 44-178km の移動に相当し、回遊戦略の実現に十分な速度である。持続的遊泳速度であることから継続した遊泳が可能で、クロマグロでは最長 2 ヶ月間にわたる継続した移動が確認された。また、移動期には筋肉温度を高めて、筋肉への酸素運搬能力が高い状態を維持し、長距離を一気に移動することで移動に必要なエネルギーを集中的・効率的に使用していると考えられた。移動期にも滞在期の行動パターン（昼夜鉛直移動、朝夕の潜行など）を維持しており、移動期にも索餌・摂餌していた。これらからクロマグロが十分な移動能力を持ち、容易に移動を実現していることが分かる。

滞在期から移動期へ切り替わるメカニズムは次のように考えられる。魚は滞在海域における移動の必要性がやや増大した場合、まず、東シナ海における若齢魚の滞在海域が冬季にやや南下した例のように、滞在海域内の漸進的な移動で対処する。さらに移動の必要性が増加し、その合計が移動を制限する要因の程度の合計を上回った場合、突然に移動が開始される。移動開始を最終的に引き起こすトリガーは、環境水温などの急変である。移動の必要性の要素には、環境水温に代表される物理環境の悪化、餌環境の悪化、外敵の危険性の増大、産卵の必要性の増大などがある。また、これらの要素に対しては、その時点での状態のみならず、変化の方向性も重要である。同じ環境水温だったとしても、今後も好適水温範囲内であるのと、それとも好適水温外に向かうのとは、大きく異なる意味を持つ。移動を制限する要因には、未知の海域へ行くリスク、移動コスト、移動する場合の海洋・地形構造の阻害などがある。

移動の必要性の要素のうち、環境水温は最も重要な物理条件である。クロマグロ若齢魚は 14-20℃を好適水温としている。また、主に季節水温躍層より上層に分布していたことから分かる通り、水温変化を嫌っていた。環境水温は、空間的には高温の低緯度海域から低温の高緯度海域まで変化に富み、クロマグロの生息する温帯域では時間的に 1 年周期で変化し、移動の必要性の最重要要素である。

餌環境も重要な条件であり、餌を得ることこそが成長のための回遊の、最大目的とも言える。餌環境も時空間的に変化に富み、環境水温と並んで移動の必要性の最重要要素と考えられる。クロマグロの自然界の外敵はカジキ類、サメ類、ゴンドウクジラ類、シャチなどである（山中 1982、Bayliff 1994、澤田石 2003）。外敵には自然界の捕食者の他に、人間による漁業活動も含まれる。ただし、外敵が滞在海域全体に分布してクロマグロの分布に影響を及ぼすような場合は稀と思われ、外敵は滞在海域内における小規模の移動に影響を及ぼす要素、または移動開始のトリガーとしての要素と考えられる。産卵の必要性は、産卵期前になれば産卵場へ移動する必要が生じることを指し、当然、成魚のみに当てはまる要素である。

移動を制限する要素のうち、未知の海域へ行くリスクは最大のものであろう。未知の海域では餌や好適水温があるとは限らず、外敵がいなくても限らない。そもそも移動したからといって好適海域がある保証はない。未知である以上、このリスクは時空間的に変化しない。移動コストは、移動を十分な能力で容易に実現していることからして、それほど重大とは思われない。移動する場合の海洋・地形構造の阻害とは、例えば強い海洋前線が形成されていて進めない場合や、若齢魚における四国沖のよ

うに周囲を不適な環境水温で囲まれて外へ移動できない場合、津軽海峡や対馬海峡のような狭い海峡を見つけれない場合を指す。

移動から滞在に切り替わるメカニズムもほぼ同様に、魚は滞在の必要性の合計が滞在を阻害する要因の合計を上回れば、移動期を終了すると考えられる。滞在の必要性としては、水温が好適範囲内にあること、好適餌環境の発見、疲労、海洋・地形構造による進路阻害などが挙げられる。また、滞在の阻害要因としては、短期間に不適な環境になるリスク、外敵の存在等が考えられる。

環境水温が好適範囲内であることは、水温の季節変化に対応して移動期となった場合に重要である。ただし、この時、単純に 14-20℃という好適水温範囲で終了するとは限らず、春にはそれよりやや低水温で移動を終了した事例が日本海へ北上したアーカイバルタグ装着魚で見られた。これはしばらく後に水温が適水温まで上昇するのを見越して低水温域まで進入したと思われるが、餌環境等の要因の影響も含めて、今後の検討を要する。

好適餌環境の発見は、おそらく環境水温と並んで移動終了の最重要要素であろう。疲労による移動終了は長距離移動を容易に行うであろうクロマグロにとっては、それほど重要ではないと思われる。海洋・地形構造による進路阻害については、渡洋回遊が米国沿岸で終了したのはこのためと考えられる。短期間に不適な環境になるリスクとは、移動を終了して滞在期を開始したにもかかわらず、すぐに餌不足や不適な水温、外敵の多い状態などに陥り、再び移動期を開始しなければならない危険性を言う。断続的な移動は非効率的であり、おそらく、「一旦移動を開始すると数日間は継続して移動する」といったルール・習性が存在すると思われる。

これらのメカニズムでは、複数の要素の合計で考慮されることから、各要素間のトレードオフがある。例えば、若齢魚が夏季にも東シナ海に滞在して 25℃以上の高い環境水温を経験していたのは、東シナ海の豊富な餌を利用するために留まったか、または移動する場合の海洋・地形構造の阻害要因によって、この場合には日本海への入り口である対馬海峡を通過できなかったことによって、環境水温の好適性を犠牲にした場合と考えられる。また例えば、クロマグロにとってのエサの好適環境は外敵にとってのエサの好適環境でもある場合には、エサ環境と外敵の危険性がトレードオフの関係にある。

このような総合判断で移動を決定する考え (Healey 2000) に対して、単一の環境要因に機械的に反応しているとする考えもあり得る。しかし、東シナ海に分布する魚の移動先や移動・滞在が様々であることや、同一地点から同時に放流した魚の移動先が様々であったこと、最も重要な物理環境要因と思われる水温に対して移動が機械的な反応をしていなかったことから、魚は総合的な判断をしていると考えられる。また、最終的に移動を引き起こすトリガーへの反応が機械的なものであったとしても、トリガーが引かれれば移動を開始する状態に到るには、様々な要因が移動の条件を満足している必要がある。魚が意思をもって判断しているのか、それとも遺伝的に決められたルールに従っているだけなのかは定かではないが、移動の決断は総合的なものとして捉えるべきと考える。

第 3 章で考察したように、クロマグロの産卵戦略の一つは、生まれた魚が半年間で急成長することで、死亡率の高い小型魚の時期を短期間に通過し、回遊能力を早くに獲得するように、産卵の時期・海域を選択するものである。また、第 4 章で考察したように、クロマグロの回遊戦略の一つは、不適な環境を短期間で通過し、好適環境に長期間滞在することで、広大な太平洋の好適環境を効率よく利用

し、成長を最大にしようとするものである。産卵戦略における急成長は回遊能力を早期に獲得するためと考えれば、これらは相互に関連した一連の戦略である。

クロマグロが、生まれた魚が最大の積算水温が得られるように限られた時期に産卵することは、水温が大きく季節変化する温帯域に適応した行動と解釈できる。一方、明瞭な滞在期と移動期を持つ回遊戦略は、クロマグロに限った戦略ではなく、おそらくは高度回遊性魚類に共通したものと思われる。海洋における好適環境は不連続に分布し、熱帯域においてもマグロ類と近縁で高度回遊性魚類であるカツオは、変動し不連続に分布する物理環境、餌生物環境に対応して移動、回遊している (Lehodey et al. 1997)。ただし、環境の変動が ENSO などの長期的なものである熱帯海域と異なり、温帯域ではそれらの長期的変動に加えて季節変動が加わり、変化はより短期的に引き起こされるものである。よって、温帯海域に生息するクロマグロは熱帯域に生息するキハダなどよりも迅速な回遊を要求される。すなわち、クロマグロの産卵・回遊戦略は季節的に大きく変動する温帯域での適応の結果と解釈される。

### 7-3. 今後のクロマグロ研究と資源管理についての提言

作成した回遊図は、従来の知見を整理・検証した上で、全生活史段階を対象とし、細かな年齢、時空間区分で、急変する分布動態、定量性を新たに盛り込んだものである。この回遊図を土台として、今後の漁獲データやアーカイバルタグデータから細部をさらに明らかにし、年毎の変動や、漁法間の漁獲能力格差を補正した定量性を考慮することで、資源管理により貢献できる回遊図が作成できると考えられる。また、回遊パターンを再現するモデルの構築を通じた分布・回遊メカニズムの解明、経済要因も盛り込んだ具体的な資源管理方法の開発も必要である。

第 2 章で明らかにしたように漁獲の大半が若齢魚であったことは、クロマグロ資源の有効利用の観点から適切といえるのだろうか。漁獲しなくても自然死亡によって資源が大きく減少していくのであれば、若齢期の大量漁獲の影響は小さく、そうでなければ影響は大きい。クロマグロの自然死亡率は明らかでないが、他のマグロ類でもそう考えられているように、漁獲サイズ（およそ 40cmFL 以上）に達したクロマグロの自然死亡率は低いと思われる。若齢魚の大量漁獲は、漁獲重量を最大にするという目的からは、望ましくない。

しかしこの問題は単純ではない。まず、各漁法が漁獲できる魚の年齢は限定的であり、若齢魚のみを漁獲する漁業者にとって、将来の大型魚の漁獲のために若齢魚を漁獲しないことは、直接の利益とならない。若齢魚を漁獲する漁業者は地域的な零細な漁業者である場合が多く、短期的な損失で長期的な利益を得ようとする方策はなじまない。若齢魚の単価（体重 1kg 当たりの価格）は、まき網で漁獲された成魚の 1/2 から時には等しくなる場合もあり、若齢魚の漁獲は経済的にも妥当性がある。消費面においても、若齢魚はくせの少ない味として好まれる面もあり、成魚とは異なる食材である。さらには、高知県のように約 15cmFL の若齢魚を食す伝統的食文化を有している地域もある。成魚の漁獲であっても、産卵後の脂が少なく肉色の悪い時期に漁獲している場合があり、決して有効利用しているとは言い難い面がある。漁業を通じた管理においては、最大漁獲重量の達成のみならず、こうした社会経済的要因を考慮した、それぞれの漁法、地域に対応したきめ細かい管理方策が必要と考える。それでも、若齢魚から成魚まで漁獲する太平洋におけるまき網漁業、0-2 歳を漁獲する東シナ海におけ

るまき網漁業においては、漁獲年齢を引き上げることが、自らの利益とも、そして他の漁業者の利益ともなり、さらには加入資源からの最大利益を上げる面でも効果的と考えられる。

また、クロマグロの加入量は年変動が大きい。このため漁業は経済的安定性を欠き、その影響は若齢魚に依存する、その多くが経済的に零細な漁業者に対して強くなる。その年の加入量を早期にモニターし、さらには加入機構を解明することで加入量を予測できるようにすることが重要である。

複数の漁法、地域が関係する資源の漁業管理は決して容易でない(桜本 1998)。他のマグロ類では、管理方針や漁獲規制を決定してもなお、多国間の利害が絡むために実行が不十分となる場合がある。これに対してクロマグロの場合は、若齢魚が日本沿岸で成育すること、その漁獲量の大部分を日本が占めていることから、日本がその漁業を管理することでクロマグロの資源管理の主要な部分を達成できる大きな長所を有している。行政機関には、漁業の現場の個々の状況を理解しつつも大局を見失わない強力なリーダーシップが国内向けに求められ、また国際的にも東部太平洋で漁獲する米国、メキシコ、近年漁獲の増加している台湾、韓国との協調した管理においてイニシアティブをとることが求められる。我々研究者は、漁業者が納得できる資源管理措置を策定させることができるほどに、回遊や再生産をはじめとした生態特性を詳細かつ正確に明らかにする必要がある。



## 論文の内容の要旨

論文題目 太平洋クロマグロの回遊生態に関する研究  
氏 名 伊 藤 智 幸

太平洋クロマグロ *Thunnus orientalis* は、主に北太平洋温帯域に分布するマグロ属魚類の一種であり、食文化上、高級刺身食材として極めて重要である。高度回遊性魚類であるマグロ類の多くは、国際漁業機関の下で資源評価ならびに管理が行われており、太平洋クロマグロでも ISC（北太平洋におけるマグロ類及びマグロ類類似種に関する暫定科学委員会）において資源評価がなされている。しかし、その基礎となる生物学的情報の蓄積や漁獲統計の整備は不十分であり、精度の高い資源評価を行うには、まず漁獲データベースの統合と整理が必要である。また、生活段階や季節により変化する分布、回遊形態の違いを含む生物学的特性を理解することが重要である。

本種の回遊については、これまで漁業データと標識放流結果の解析から、いくつかの回遊パターンが簡略に示されているに過ぎず、信頼性のある定量的データに基づく回遊経路やその変動性については未だ明らかにされていない。そこで本研究では、本種の回遊経路を生活史段階別に詳細に明らかにし、さらに季節変動の影響を含めた動的な回遊像を構築することを試みた。また、漁獲特性、産卵生態、鉛直遊泳行動や摂餌について検討した。

従来の回遊の研究に用いた漁獲データは、漁法や期間、年齢が限られたものであったが、本研究では、若齢魚から成魚にわたる全漁法による漁獲データを用い、生活史段階毎の分布を詳細に分析した。また、異なる個体の群の分布をスナップショット的に見ているに過ぎない漁業データの解析上の問題を解決するために、アーカイバルタグによる行動調査を実施し、個体レベルでの連続した回遊動態情報を統合した。アーカイバルタグは、近年開発された魚類行動追跡用電子機器であり、遊泳水深、水温、腹腔内温度、および位置を推定するための照度データを連続的に記録する。産卵の時期・海域については、これまで、漁獲した親魚の生殖腺や仔魚の出現から推定されていたことから、サンプリングに偏りがあり、全体像や定量性が明らかでなかった。そこで、新たに耳石による日齢査定と、0歳魚漁獲物の体長組成の解析から、産卵時空間の全体像と資源への定量的貢献度を推定した。

得られた成果の概要は以下の通りである。

### 1. 国別・年齢別・漁法別の漁獲特性

農林水産省の公式統計、各種漁法の漁獲成績報告書、市場情報、水揚調査データ、魚体測定データを用い、1951年から1997年にわたる47年間の本種漁獲データベースを作成した。本種の漁獲量は、特に若齢魚で不明であったが、近年の水揚調査で得られた詳細な情報を元に、漁獲海域と漁法を詳細に検討することで、本種の漁獲量を他のマグロ属魚類の漁獲量と区分した。その結果、太平洋全体の漁獲量のうち、日本が重量で73%、尾数で81%を占め、米国・メキシコが重量で25%、尾数で19%を占め、年齢別では1950年代から1990年代に至るまで、0-2歳の若齢魚が平均93%と漁獲の大部分を占めていることが分かった。また、日本における漁法別漁獲尾数はまき網46%、曳縄14%、延縄12%、竿釣8%、流網2%であり、漁獲重量割合でも全年でまき網が最大であった。その割合は、東シナ海に

おける若齢魚の漁獲量の増加により、1990年代以降、増加している。したがって、本種の資源管理には、日本における0-2歳魚を対象とするまき網の漁獲管理が重要であることが分かった。

## 2. 産卵時期・海域と加入の特性

耳石日輪形成に関して、人工ふ化飼育魚を用いて、耳石の第1輪紋が受精から約5日後に形成されることと、尾叉長20cmまでの輪紋形成周期が1日であることを明らかにした。野生魚の耳石日輪から、産卵期が3月中旬から12月上旬に及び、従来の想定よりも長いこと、産卵期は0歳魚の体長組成から4つに区分され、産卵海域と産卵親魚の体長、資源への貢献がそれぞれ異なることが分かった。5月中旬以前は、フィリピンのルソン島から台湾にかけての太平洋および南シナ海で、大型成魚（尾叉長210cm以上）が産卵するが、ここで生まれたものは加入魚の4%と少ない。5月中旬から6月は、南西諸島近海で中型成魚（尾叉長160-210cm）と一部の大型成魚が産卵し、75%を占める。また、7-8月は、日本海および東経133度以東の本州南方沖の太平洋で、中型成魚と小型成魚（尾叉長120-160cm）が産卵し、加入魚の19%（そのうち日本海が18%）を占める。9月以降は、日本海で産卵があり加入魚の2%を占める。

0歳魚は、環境水温が高いほど成長が速く、最大成長を遂げるために高水温を長期間にわたって得るには5-6月に産卵するのが最適であることを、沿岸水温データを使って示した。これは実際の産卵盛期と一致している。また、この時期に産卵するためには、産卵海域は北緯30度以南に限定され、これも実際の産卵海域と一致している。従って、生まれた0歳魚が半年間で尾叉長45cmに達する急成長を遂げることを目的として、上述のように限定された時期・海域で産卵することが、本種の産卵戦略の一つであると考えられる。

## 3. 若齢魚の鉛直行動と摂餌

若齢魚の鉛直行動と摂餌、および回遊動態を調べるために、1995-1997年の11-12月に、対馬近海において、アーカイバルタグを腹腔内に装着した0-1歳魚166個体を放流した。そのうち再捕された29個体から、128秒ごとに収集された遊泳深度、環境水温、腹腔内温度の時系列データが得られた。若齢魚は、主に水面付近を遊泳するが、昼間は夜間よりも深くを遊泳することが分かった。日出の約80分前から深度約80mまでゆっくり潜行した後、日出の40分前に水面まで急浮上する。また、日没40分後に深度約80mまで急潜行した後、日没約80分後までゆっくり浮上する潜水行動が見られ、これは特定の低照度を嫌っての鉛直移動であることが推定された。腹腔内温度は、摂餌時に一旦低下した後上昇することから、若齢魚は朝（27%）と昼間（69%）に摂餌するが、夕方（1%）と夜間（3%）にはほとんど摂餌しないことが分かった。また、鉛直分布が、季節水温躍層以浅に限定されたことと、水温躍層深度の季節変化に対応して変化したこと、および水平分布が水温14-20℃の範囲を選択していたことから、本種の分布は環境水温の制限を強く受けていることが分かった。

## 4. 若齢魚と成魚の回遊特性

アーカイバルタグの位置データを解析した結果、回遊には移動期と滞在期があり、滞在期が85%の期間を占め、移動期には平均104km/日の速さで一定方向に700km以上も移動することが分かった。

また渡洋回遊においては、7000km 余の距離を 2 ヶ月間で一気に移動することと、その経路が分かった。長距離移動は 1.3-4.1 ノットの持続的遊泳で容易に行われ、移動期における鉛直移動などの多くの行動は滞在期と同様である。また、移動期には筋肉温度が高く、筋肉への酸素運搬能力が高い状態にあり、長距離を一気に移動することで移動に必要なエネルギーが集中的・効率的に使用されていることが分かった。なお、移動開始の数日前、春から夏には水温が上昇し、秋から冬には下降することが、12 例中の 10 例において見られたことから、水温の急変が移動の引き金になっていることが示唆された。

本種の生活史段階は、(1)産卵場から日本沿岸に来遊するまでの卵・仔稚魚期、(2)日本沿岸に来遊して滞在している 0 歳 7 月から 0 歳 10 月までの沿岸滞在期、(3) 0 歳 11 月から 4 歳で成熟するまでの若齢期、(4) 4 歳で成熟してからの成魚期、の 4 期に区分できる。0 歳の沿岸滞在期は、高い遊泳能力を獲得しつつある時期であるが、若齢期になると、明瞭に区分される移動期と滞在期からなる回遊パターンを取り、その回遊範囲は広く東部太平洋までに及ぶ。しかし、成魚期になると、毎年、産卵回遊をするようになるので、東部太平洋沿岸に及ぶ回遊はしなくなる。また、成魚は大型になるほどより南方で産卵するようになり、低緯度海域に回遊する機会が増えることで、南半球を含む南方域まで移動する個体の割合が大きくなることが分かった。これらを統合して、回遊動態と分布量を盛り込んだ生活史段階別の回遊模式図を提案した。

以上のことから、本種は、死亡率の高い小型魚の時期を短期間に通過し、回遊能力を有する若齢期に早く達するような再生産戦略を持ち、そのため親魚は、0 歳魚の成長に最適な産卵時期と海域を選定する産卵回遊をしていると考えられる。また、不適な環境を短期間で通過して、好適環境に長期間滞在する成長戦略を持ち、そのため若齢魚や成魚は、移動期と滞在期を明瞭に区分して索餌回遊していると考えられる。従って、本種は、環境が大きく季節変動する温帯海域において、こうした生活史戦略を最適に実現するために、広域回遊しているものと推論される。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、終始にわたりご指導、ご鞭撻いただいた東京大学海洋研究所海洋生物資源部門環境動態分野の杉本隆成教授、木村伸吾助教授に深く感謝の意を表します。遠洋水産研究所浮魚資源部温帯性まぐろ研究室の辻祥子氏には研究の発端から多大なご指導、ご鞭撻を頂きました。謹んで御礼申し上げます。

漁獲量統計については、各地の水産試験場の日本周辺クロマグロ調査担当者、日本エヌ・ユー・エス株式会社、ならびに関係者の皆様にデータ収集にご尽力いただいた。西海区水産研究所東シナ海漁業資源部資源評価研究室には東シナ海のまき網データを提供いただいた。

耳石日輪証明の標本収集ならびにデータの提供では、マルハ株式会社の小田井誠氏、椎名康彦氏、吉武政広氏、有限会社奄美養魚の尾形茂氏、日本配合飼料の遠藤文則氏、社団法人日本栽培漁業協会の手塚信弘氏ならびに実験場で標本収集を行っていただいた方々にご協力いただいた。

アーカイバルタグを用いた研究では、飼育魚における試験で社団法人マリノフォーラム 21 ならびに鹿児島県水産試験場に、野生魚の放流で曳縄漁業者、上県漁業協同組合、対馬改良普及所、長崎県水産試験場、株式会社水土舎、東大海洋研究所の北川貴士氏に、再捕報告で IATTC を初めとした多くの方々にご協力いただいた。CSIRO の J. Gunn 氏には装着方法を指導いただいた。アーカイバルタグの製造、提供、技術的支持で Northwest Marine Technology Inc.、同社の P. Ekstrom 氏、株式会社田中三次郎商店に、全体を通じて日本エヌ・ユー・エス株式会社の方々、特に同社の新田朗氏、久米漸氏にご協力いただいた。

社団法人日本栽培漁業協会の升間主計氏、東大海洋研の伊藤幸彦氏、水産総合研究センターの馬場徳寿氏、遠洋水産研究所の石塚吉生氏、鈴木治郎氏、魚住雄二氏、山田陽巳氏には有益なご助言、ご指導をいただいた。遠洋水産研究所浮魚資源部ならびに近海かつお・まぐろ資源部の各位には様々な支援をいただいた。

以上の方々に心より御礼申し上げます。

最後に温帯性まぐろ研究室の皆様には終始にわたりご協力いただいた。深く感謝の意を表します。

## 参考文献

相川廣秋

1949. 水産資源学総論. 産業図書株式会社、東京. 545p.

相川廣秋、加藤益男

1938. 魚類の年齢査定(予報 I). 日水誌. 7: 79-88.

相澤康、滝口直之

1999. MS-Excel を用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討. 水産海洋研究. 63: 205-214.

Anonymous

1973. マグロ類養殖技術開発試験報告. 遠洋水産研究所 S シリーズ 8. 165pp.

1980. 昭和 53 年度えちおびあ (しまがっお) 新資源開発調査報告書. 海洋水産資源開発センター. 268pp.

1983a. 昭和 54 年度しまがっお (えちおびあ) 新資源開発調査報告書. 海洋水産資源開発センター. 133pp.

1983b. 昭和 55 年度しまがっお (えちおびあ) 新資源開発調査報告書. 海洋水産資源開発センター. 187pp.

1983c. 昭和 56 年度しまがっお (えちおびあ) 新資源開発調査報告書. 海洋水産資源開発センター. 128pp.

1985. 昭和 57 年度しまがっお新資源開発調査報告書. 海洋水産資源開発センター. 114pp.

1986. 昭和 58 年度しまがっお新資源開発調査報告書. 海洋水産資源開発センター. 110pp.

1992. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1991. IATTC. 271pp.

1994. Archival tags 1994: present and future. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC 357. 42pp.

1995. 平成 6 年度日本周辺クロマグロ調査委託事業報告書. 水産庁. 442pp.

1998a. 平成 9 年度遠洋漁業関係試験研究推進会議マグロ資源部会報告書. 遠洋水産研究所. 381pp.

1998b. 平成 9 年度日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査委託事業報告書 (まぐろ類等漁獲実態調査結果)、別冊. 水産庁. 304pp.

1999a. Assessment of bluefin tuna in the eastern Pacific Ocean. Background paper 8 for 63rd meeting of the IATTC. 16pp.

1999b. 平成 9 年度俊鷹丸第 1 次調査航海報告書—クロマグロ仔稚魚採集調査. 遠洋水産研究所. 89pp.

2002a. 平成 13 年度国際資源調査等推進対策事業 まぐろ・かつおグループ・混獲生物グループ 資源調査研究成果報告会 公庁船関係調査推進検討会 報告書. 遠洋水産研究所. 375pp.

2002b. 平成 13 年度国際資源調査等推進対策事業—照洋丸第一次航海 クロマグロ産卵親魚生態調査報告書. 56pp.

Arnold, G. and H. Dewar

2001. Electronic tags in marine fisheries research: a 30-year perspective. *In* Electronic tagging and tracking in marine fisheries. (Sibert and Nielsen, eds.) 7-64.

Bayliff, W. H.

1991. Status of northern bluefin tuna in the Pacific Ocean. Spec. Rep. IATTC. 7: 29-88.

1993. Growth and age composition of northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, caught in the eastern Pacific Ocean, as estimated from length-frequency data, with comments on trans-pacific migrations. Bull. IATTC. 20: 503-540.

1994. A review of the biology and fisheries for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. FAO Fish. Tech. Pap. 336/2: 244-295.

Bayliff, W. H., Y. Ishizuka and R. B. Deriso

1991. Growth, movement, and attrition of northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean, as determined by tagging. Bull. IATTC. 20: 1-94.

Bell, R. R.

1963a. Preliminary age determination of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. Calif. Fish. Game. 49: 307.

1963b. Synopsis of biological data on California bluefin tuna *Thunnus saliens* Jordan and Everman 1962. FAO, Fish. Rep. 6(2): 380-421.

- 1964.** Weight-length relationship for bluefin tuna in the California fishery, 1963. Calif. Fish. Game. **50**: 216-218.
- Bestgen K.R. and Bundy J.M.  
**1998.** Environmental factors affect daily increment deposition and otolith growth in young Colorado suawfish. Trans. Amer. Fish. Soc. **127**: 105-117.
- Block, B. A. and E. D. Stevens (eds)  
**2001.** Tuna - physiology, ecology and evolution. Academic Press, New York. 466pp.
- Block, B. A., J. E. Keen, B. Castillo, H. Dewar, E. V. Freund, D. J. Marcinek, R. W. Brill, C. Farwell  
**1997.** Environmental preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at the northern extent of its range. Mar. Biol. **130**: 119-132.
- Block, B. A., H. Dewar, S. B. Blackwell, T. D. Williams, E. D. Prince, C. J. Farwell, A. Boustany, S. L. H. Teo, A. Seitz, A. Walli and D. Fudge  
**2001.** Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. Science. **293**: 1310-1314.
- Brill, R. W.  
**1996.** Selective advantage conferred by the high performance physiology of tunas, billfishes, and dolphin fish. Comp. Biochem. Physiol. **113A**: 3-15.
- Brill, R. W., D. B. Holts, R. K. C. Chang, S. Sullivan, H. Dewar and F. G. Carey  
**1993.** Vertical and horizontal movements of striped marlin (*Tetrapturus audax*) near the Hawaiian Islands, determined by ultrasonic telemetry, with simultaneous measurement of oceanic currents. Mar. Biol. **117**: 567-574.
- Brill, R. W., M. Lutcavage, G. Metzger, P. Bushnell, M. Arendt, J. Lucy, C. Watson and D. Foley  
**2002.** Horizontal and vertical movements of juvenile bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in relation to oceanographic conditions of the western North Atlantic, determined with ultrasonic telemetry. Fish. Bull. **100**: 155-167.
- Brothers, E.B., E.D. Prince and D.W. Lee  
**1983.** Age and growth of young-of-the-year bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, from otolith microstructure. NOAA tech. Rep. NMFS. **8**: 49-59.
- Calkins, T. P.  
**1982.** Observations on the purse-seine fishery for bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the eastern Pacific Ocean. Bull. IATTC. **18**: 123-225.
- Campana, S.E. and J. D. Neilson  
**1985.** Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **42**: 1014-1032.
- Carey, F. G. and K. D. Lawson  
**1973.** Temperature regulation in free-swimming bluefin tuna. Comp. Biochem. Physiol. **44A**: 375-392.
- Carey, F. G. and R. J. Olson  
**1982.** Sonic tracking experiments with tunas. ICCAT Collective Volume of Scientific Papers XVII. **2**: 458-466.
- Carey, F. G. and B. H. Robison  
**1981.** Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. Fish. Bull. **79**: 277-292.
- Carey, F. G. and J. V. Scharold  
**1990.** Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course. Mar. Biol. **106**: 329-342.
- Carey, F. G. and J. M. Teal  
**1969.** Regulation of body temperature by the bluefin tuna. Comp. Biochem. Physiol. **28**: 205-213.
- Carey, F. G., J. W. Kanwisher and E. D. Stevens  
**1984.** Bluefin tuna warm their viscera during digestion. J. exp. Biol. **109**: 1-20.
- Cayré, P.  
**1991.** Behavior of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in the Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging. Aquat. Living. Resour. **4**: 1-12.
- Cayré, P. and F. Marsac  
**1993.** Modeling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters. Aquat. Living Resour. **6**: 1-14.
- Chow, S. and S. Inoue

1993. Intra- and interspecific restriction fragment length polymorphism in mitochondrial genes of *Thunnus* tuna species. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. **30**: 207-225.
- Chow, S. and H. Kishino  
1995. Phylogenetic relationship between tuna species of the genus *Thunnus* (Scombridae: Teleostei): inconsistent implication from morphology, nuclear and mitochondrial genomes. J. of Molecular Evolution. **41**: 741-748.
- Clemens, H. B. and G. A. Flittner  
1969. Bluefin tuna migrate across the Pacific Ocean. Calif. Fish Game. **55**: 132-135.
- Collette, B. B.  
1999. Mackerels, molecules, and morphology. Soc. Fr. Ichtyol. **25**: 149-164.
- Collette, B. B. and B. R. Smith  
1981. Bluefin tuna, *Thunnus thynnus orientalis*, from the Gulf of Papua. Jap. J. Ichthyology. **28**: 166-168.
- Crockford, S. J.  
1997. Archeological evidence of large northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in coastal waters of British Columbia and northern Washington. Fish. Bull. **95**: 11-24.
- Davis, T. L. O. and J. Farley  
2001. Size distribution of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) by depth on their spawning ground. Fish. Bull. **99**: 381-386.
- Davis, T. L. O. and C. A. Stanley  
2002. Vertical and horizontal movements of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in the Great Australian Bight observed with ultrasonic telemetry. Fish. Bull. **100**: 448-465.
- Dizon, A. E., R. W. Brill and H. S. H. Yuen  
1978. Correlations between environment, physiology, and activity and the effects on thermoregulation in skipjack tuna. In The Physiological Ecology of Tunas. (G. D. Sharp and A. E. Dizon, eds.) 233-259.
- FAO  
1999. FAO yearbook. Fishery statistics. Capture production 1997. **84**: 703pp.
- Farley, J. H. and T. L. O. Davis  
1998. Reproductive dynamics of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*. Fish. Bull. **96**: 223-236.
- Farwell, C. J.  
2001. Tunas in captivity. In Tuna - physiology, ecology, and evolution. (Block and Stevens, eds.) 391-412.
- Flittner, G. A.  
1966. Bluefin tuna in the north Pacific Ocean. Pac. Sci. Congr. **11**: 18pp. (未公表資料。山中(1982)から引用)
- Foreman T. J.  
1996. Estimates of age and growth, and an assessment of ageing techniques, for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. Bull. IATTC. **21**: 75-123.
- Foreman T. J. and Y. Ishizuka  
1990. Giant bluefin tuna off southern California, with a new California size record. Calif. Fish. Game. **76**: 181-187.
- 藤井知之  
1932. 北海道近海ニ於ケル鮪漁業. 北海道帝国大学付属水産専門部、水産研究情報 **2**: 32-47.
- Gibbs, R. H. and R. B. Collette  
1967. Comparative anatomy and systematics of the tunas, genus *Thunnus*. Fish. Bull. **66**: 65-130.
- Gunn, J. and B. Block  
2001. Advances in acoustic, archival, and satellite tagging of tunas. In Tuna - physiology, ecology, and evolution. (Block and Stevens, eds.) 167-224.
- Gunn, J., T. Polacheck, T. Davis, M. Sherlock and A. Betlehem  
1994. The development and use of archival tags for studying the migration, behavior and physiology of southern bluefin tuna with an assessment of the potential for transfer of the technology to groundfish research. Proc. ICES mini-symposium on migration, St. Johns, Newfoundland. ICES C.M. Mini:2.1, 23pp.
- Gunn, J., J. Hartog and K. Rough  
2001. The relationship between food intake and visceral warming in southern bluefin

- tuna (*Thunnus maccoyii*) – Can we predict from archival tag data how much a tuna has eaten? *In* Electronic tagging and tracking in marine fisheries. (Sibert and Nielsen, eds.) 109-130.
- 濱崎清一  
**1981.** クロマグロ 40 年振りの大漁. 西海区水研ニュース. **38**: 2-3.
- 濱崎清一、永井達樹  
**1995.** 日本海南西部から東シナ海中部におけるクロマグロ未成魚の分布と回遊. 水産海洋研究. **59**: 398-408.
- 花本栄二  
**1987.** 太平洋におけるメバチの分布と海洋環境. 水産海洋環境論. 恒星社厚生閣、東京. 325pp.
- 原田輝雄  
**1980.** マグロ類の養成研究の進展と展望. 昭和 54 年度マグロ漁業研究協議会議事録. 50-58.
- Healey, M. C.  
**2000.** Pacific salmon migrations in a dynamic ocean. *In* Fisheries Oceanography. (Harrison and Parsons ,eds.) 29-54.
- Hill, R. D.  
**1994.** Theory of geolocation by light levels. *In* B. J. LeBoeuf and R. M. Laws (eds.), Elephant seals, population ecology, behavior and physiology. p. 227-236. University of California Press, Berkeley, California.
- Hill, R. D. and M. J. Braun  
**2001.** Geolocation by light level – the next step: latitude. *In* Electronic tagging and tracking in marine fisheries. (Sibert and Nielsen, eds.) 315-330.
- 久田幸一、河野秀雄、永井達樹  
**1984.** 回遊過程における魚群動態. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **4**: 1-7.
- Holland, K. N., R. W. Brill and R. K. C. Chang  
**1990a.** Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. Fish. Bull. **88**: 397-402.  
**1990b.** Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. Fish. Bull. **88**: 493-507.
- Holland, K. N., R. W. Brill, R. K. C. Chang, J. R. Sibert and D. A. Fournier  
**1992.** Physiological and behavioral thermoregulation in bigeye tuna (*Thunnus obesus*). Nature. **358**: 410-412.
- 本間操、鈴木治郎  
**1978.** 西部太平洋における日本のマグロまき網漁業. 遠洋水研 S-series **10**: 66pp.
- Hsu, C-C., H-C. Liu, C-L. Wu, S-T. Huang and H-K Liao  
**2000.** New information on age composition and length-weight relationship of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the southwestern North Pacific. Fish. Sci. **66**: 485-493.
- Hunter, J. R., A. W. Argue, W. H. Bayliff, A. E. Dizon, A. Fonteneau, D. Goodman and G. R. Sekel  
**1986.** The dynamics of tuna movements: an evaluation of past and future research. FAO, Fish. Tech. Pap. **277**: 78pp.
- 家久了  
**1939.** 薩南海区に於けるホンマグロの漁況. 日水誌. **8**: 143-144.
- Inagake, D., H. Yamada, K. Segawa, M. Okazaki, A. Nitta and T. Itoh  
**2001.** Migration of young bluefin tuna, *Thunnus orientalis* Temminck et Schlegel, through archival tagging experiment and its relation with oceanographic condition in the western north Pacific. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. **38**: 53-81.
- 井上誠章、関口秀夫  
**2002.** イセエビ・セミエビ類の幼生加入過程と黒潮副循環系. 海洋. 号外 **31**: 126-134.
- 諫早隆夫  
**1935.** 本道日本海沿岸の鮪 (*Thunnus orientalis* T.&S.) に就て. 北海道水産試験場事業旬報. **277**: 2-5.  
**1936.** 樺太沿岸の鮪 (*Thunnus orientalis* T.&S.) に就て. 北海道水産試験場事業旬報. **313**: 11-13.
- 石原幸雄  
**1992.** 日本近海におけるクロマグロ *Thunnus thynnus* (Linnaeus) の多回産卵性、1 回産卵量についての研究. 東海大学卒業論文. 21pp.



- 1994.** 日本近海におけるクロマグロの産卵に関する研究. 東海大学修士論文. 45pp.
- Ishizuka, Y. and T. Itoh  
**1995.** Estimation of catch and age composition for bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught by Japanese fisheries in the north Pacific Ocean during 1965 to 1992. Workshop on northern Pacific bluefin tuna, Shimizu. February 1995. 18pp.
- 伊藤智幸  
**2002.** 照洋丸によるミナミマグロ親魚の行動調査航海. 遠洋水研ニュース. **111**: 2-7.
- Itoh, T and S. Tsuji  
**1996.** Age and growth of juvenile southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on otolith microstructure. Fish. Sci. **62**: 892-896.
- Itoh, T, S. Tsuji and S. Chow  
**1996.** Catch information of longtail tuna, *Thunnus tonggol*, in Japan. IPTP Collective. **9**: 312-315.
- Itoh, T, Y. Yuki and S. Tsuji  
**1999.** Spawning possibility and growth of longtail tuna, *Thunnus tonggol*, in the water around Japan. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. **36**: 47-53.
- Itoh, T., H. Kurota, N. Takahashi and S. Tsuji  
**2002.** Report of 2001/2002 spawning ground surveys. CCSBT-SC/0209/20, 15pp.
- 岩井保、中村泉、松原喜代松  
**1965.** マグロ類の分類学的研究. 京大みさき臨海研究所特別報告. **2**: 1-51.
- Jenkins, G.P. and T. L. O. Davis  
**1990.** Age, growth rate, and growth trajectory determined from otolith microstructure of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser. **63**: 93-104.
- Jones, C.  
**1986.** Determining age of larval fish with the otolith increment technique. Fish. Bull. **84**: 91-103.
- Kaji, T., M. Tanaka, Y. Takahashi, M. Oka and N. Ishibashi  
**1996.** Preliminary observation on development of Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus* (Scombridae) larvae reared in the laboratory, with special reference to the digestive system. Mar. Freshwater Res. **47**: 261-269.
- 川口哲夫  
**1982.** 鳥取県境港におけるまき網により漁獲された大型クロマグロについて. 水産海洋研究会報. **41**: 92-98.
- 川本信之、稲葉伝三郎、保科利一、四竈安正、加藤精一、江草周三、池田静徳、岩井保、出口吉昭  
**1965.** 養魚学. 恒星社厚生閣、東京. 642pp.
- 川名武  
**1934.** 鮪漁と海況との関係に就て. 北海道水試水産調査報告. **31**: 1-23.  
**1935.** 鮪は日本海に於て産卵す. 水産研究誌. **5**: 284-286.  
**1937.** 北海道釧路沖鮪漁況と鉛直水温差との関係. 日水誌. **6**: 73-74.
- 川崎健  
**1960.** カツオ・マグロ類の生態の比較について (第2報). 東北水研報. **16**: 1-10.
- Kishinouye, K.  
**1923.** Contributions to the comparative study of the so-called scombroid fishes. Jour. Coll. Imp. Univ. Tokyo. **8**: 293-475, Plates 13-34.
- 北河康之、西川康夫、久保田正、沖山宗雄  
**1995.** 1984 年夏季の日本海におけるサバ科魚類を中心とした魚類プランクトンの分布. 水産海洋研究. **59**: 107-114.
- Kitagawa, T., H. Nakata, S. Kimura, T. Itoh, S. Tsuji and A. Nitta  
**2000.** Effect of ambient temperature on the vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. Mar. Ecol. Prog. Ser. **206**: 251-260.
- Kitagawa, T., H. Nakata, S. Kimura and S. Tsuji  
**2001.** Thermoconservation mechanisms inferred from peritoneal cavity temperature in free-swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. Mar. Ecol. Prog. Ser. **220**: 253-263.
- Kitagawa, T., H. Nakata, S. Kimura, T. Sugimoto and H. Yamada  
**2002.** Differences in vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) among areas: the East China Sea, the Sea of Japan and the western

- North Pacific. Mar. Freshwater Res. **53**: 245-252.
- Kitagawa, T., S. Kimura, H. Nakata and H. Yamada  
**2003**. Diving patterns and performance of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) as recorded by archival tags. Otsuchi Marine Science **28**: 52-58.
- 木谷浩三、長田宏、片桐久子  
**1987**. 産卵場形成機構及び卵仔魚移送機構の解明. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **7**: 35-42.
- 黄田武夫  
**1936**. 釧路・浦河沖合に於ける夏季の鮪漁場と表面水温に就て. 日水誌. **5**: 87-90.
- 小林喬、福田敏光、国広靖志  
**1985**. 最北上群の回遊経路. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **5**: 7-12.
- 小井土隆、水野恵介  
**1989**. 三陸沿岸の定置網漁業によるクロマグロ漁況と海況との関係. 水産海洋研究. **53**: 138-152.
- 河野秀雄、石塚吉生  
**1987**. 日本海・太平洋両群の關係の解明. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **7**: 59-65.
- Korsmeyer, K. E., H. Dewar, N. C. Lai and J. B. Graham  
**1996**. The aerobic capacity of tunas: adaptation for multiple metabolic demands. Comp. Biochem. Physiol. **113A**: 17-24.
- 久保伊津男  
**1961**. 水産資源各論. 恒星社厚生閣、東京. 396pp.
- 黒田隆哉  
**1959**. マグロ旋網と海況. 日本水産学会東北支部会報. **9**: 1-7. (久保 1961 から引用)
- Laurs, R. M., H. S. H. Yuen and J. H. Johnson  
**1977**. Small-scale movements of albacore, *Thunnus alalunga*, in relation to ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. Fish. Bull. **75**: 347-355.
- Laurs, R. M., R. Nishimoto and J. A. Wetherall  
**1985**. Frequency of increment formation on sagittae of north Pacific albacore (*Thunnus alalunga*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. **42**: 1552-1555.
- Lehodey, P., M. Bertignac, J. Hampton, A. Lewis and J. Picaut  
**1997**. El Nino southern oscillation and tuna in the western Pacific. Nature **389**: 715-718.
- Lutcavage, M. E., R. W. Brill, G. B. Skomel, B. C. Chase, J. L. Goldstein and J. Tutein  
**2000**. Tracking adult North Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic using ultrasonic telemetry. Mar. Biol. **137**: 347-358.
- Marcinek, D. J., S. B. Blackwell, H. Dewar, E. V. Freund, C. Farwell, D. Dau, A. C. Seitz and B. A. Block  
**2001**. Depth and muscle temperature of Pacific bluefin tuna examined with acoustic and pop-up satellite archival tags. Mar. Biol. **138**: 869-885.
- Masuma, S., G. Kawamura, N. Tezuka, M. Koiso and K. Namba  
**2001**. Retinomotor response of juvenile bluefin tuna *Thunnus thynnus*. Fish. Sci. **67**: 228-231.
- 升間主計、手塚信弘、尾花博幸、鈴木伸明、野原健司、張成年  
**2003**. ミトコンドリア DNA 分析から推定した養成クロマグロの産卵生態. Bull. Fish. Res. Agen. **6**: 9-14.
- Metcalfe, J. D. and G. P. Arnold  
**1997**. Tracking fish with electronic tags. Nature. **387**: 665-666.
- 宮下盛  
**2001**. クロマグロの種苗生産に関する研究. 近畿大学水産研究所博士学位論文. 183pp.
- Moon, D. Y., C. I. Baik and J. H. Park  
**1997**. Incidental catch of juvenile northern bluefin tuna in waters off Korea. Manuscript for PICES 6th Annual Meeting, FIS. 3pp.
- 森賢、木下貴裕、佐々千由紀、小西芳信  
**2002**. 黒潮周辺海域におけるスルメイカ冬季発生群の産卵海域と輸送経路. 海洋. 号外 **31**: 106-110.
- 森川昌和

1989. 縄文人は刺身を食べたか? 魚の日本史. 新人物往来社、東京. 40-48.
- Musyl, M. K., R. W. Brill, D. S. Curran, J. Gunn, J. R. Hartog, R. D. Hill, D. W. Welch, J. P. Eveson, C. H. Boggs and R. E. Brainard  
2001. Ability of archival tags to provide estimates of geographical position based on light intensity. *In* Electronic tagging and tracking in marine fisheries. (Sibert and Nielsen, eds.) 343-367.
- 長田宏、木谷浩三.  
1989. 産卵場形成機構及び卵仔魚移送機構の解明. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **9**: 31-34.
- 長田宏、木谷浩三、片桐久子  
1988. 産卵場形成機構及び卵仔魚移送機構の解明. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **8**: 29-34.
- Nakamura, I. and Y. Warashina  
1965. Occurrence of bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus) in the eastern Indian Ocean and the eastern south Pacific Ocean. Rep. Nankai Reg. Fish. Res. Lab. **22**: 9-14.
- 中村広司  
1938. マグロ *Thunnus orientalis* (Schlegel)の習性に就て. 動物学雑誌. **50**: 279-281.  
1951. 既往の資料から見たマグロ延縄漁場. 南海水研報. **1**: 1-144.  
1965. 世界のマグロ資源(I). 日本水産資源保護協会、東京. 64pp.
- 二平章  
1996. 太潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および生理に関する研究. 東北水研報. **58**: 137-233.
- 西川康夫  
1986. クロマグロ稚仔の分布と豊度の変動. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **6**: 33-37.
- 西川康夫、本間操、上柳昭治、木川昭二  
1985. 遠洋性サバ型魚類稚仔の平均分布、1956-1981年. 遠洋水研. S-series. **12**: 99pp.
- 野村稔 (編)  
1982. 淡水養殖技術. 恒星社厚生閣、東京. 359pp.
- 小川嘉彦、石田知子  
1989a. 三陸沿岸クロマグロの漁況の特徴. 東北水研報. **51**: 11-21.  
1989b. 三陸沿岸クロマグロ漁況に関する海況条件. 東北水研報. **51**: 23-39.
- 岡地伊佐雄  
1963. 漁獲統計から見た日本海産魚族の分布構造Ⅱ. ー日本海におけるマグロの回遊. 日水研報告. **11**: 9-21.
- 沖山宗雄  
1974. 日本海におけるクロマグロ後期仔魚の出現. 日水研報. **25**: 89-97.
- 大森徹  
1993. まぐろ随談. 成山堂書店、東京. 216pp.
- Orange, C. J. and B. D. Fink  
1963. Migration of a tagged bluefin tuna across the Pacific Ocean. Calif. Fish Game. **49**: 307-309.
- Pannella, G.  
1971. Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns. Science. **173**: 1124-1127.
- Radovich, J.  
1961. Relationships of some marine organisms of the northwest Pacific to water temperatures particularly during 1957 through 1959. Fish Bull. Calif. Dep. Fish Game. **112**: 62.
- Radtke, R. L.  
1984. Scanning electron microscope evidence for yearly growth zones in giant bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, otoliths from daily increment. Fish. Bull. **82**: 434-440.
- Rooker, J.R., D. H. Secor, V. S. Zdanowicz and T. Itoh  
2001. Discrimination of northern bluefin tuna from nursery areas in the Pacific Ocean using otolith chemistry. Mar. Ecol. Prog. Ser. **218**: 275-282.
- 斎藤昭二、島崎健二、佐藤敏郎  
1981. 北太平洋極前線周辺におけるクロマグロの分布. 昭和 55 年度まぐろ漁業研究協議会議

- 事録. 247-252.
- 桜本和美  
**1998.** 漁業管理の ABC-TAC 制がよくわかる本一. 成山堂書店、東京. 200pp.
- 佐々千由紀、小西芳信  
**2002.** 東シナ海におけるマアジ仔稚の分布と輸送. 海洋. 号外 **31**: 92-98.
- 佐藤魚水、矢野憲一  
**1989.** 魚名魚字ー日本魚の履歴書. 新人物往来社、東京. 127-142.
- 澤田石城  
**2003.** 照洋丸とシャチ. 遠洋水研ニュース. **112**: 14-15.
- Schaefer, K  
**2001.** Reproductive biology of tunas. *In* Tuna - physiology, ecology, and evolution. (Block and Stevens, eds.) 225-270.
- Schaefer, K. M. and D. W. Fuller  
**2002.** Movements, behavior, and habitat selection of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern equatorial Pacific, ascertained through archival tags. Fish. Bull. **100**: 765-788.
- Schultze, D. L. and R. A. Collins  
**1977.** Age composition of California landings of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, 1963 through 1969. Calif. Dep. Fish Game, Mar. Tech. Rep. 38: 44pp. (Bayliff et al. (1991)から引用)
- Secor, D.H., J. M. Dean and S. E. Campana  
**1995.** Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press, Colombia. 735pp.
- 島村鼎  
**1941.** めじ鮪の漁況と気象および海況との関係. 産業気象調査報告. **9**. (久保 1961 から引用)
- Sharp, G. D. and A. E. Dizon (eds)  
**1978.** The physiological ecology of tunas. Academic Press, New York. 485pp.
- 新宮千臣、藁科侑生、松崎憲雄  
**1974.** 西部太平洋ではえなわによって漁獲されるクロマグロの分布. 遠洋水研報. **10**: 109-140.
- Smith, P. and D. Goodman  
**1986.** Determining fish movements from an "Archival" tag: precision of geographical positions made from a time series of swimming temperature and depth. NOAA-TM-NMFS-SWFC **60**: 13pp.
- Smith, P. J., Griggs, L. and Chow, S.  
**2001.** DNA identification of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in the New Zealand fishery. New Zealand J. Mar. Freshwater Res. **35**: 843-850.
- Stéquert, B., J. Panfili and J. M. Dean  
**1996.** Age and growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from the western Indian Ocean, based on otolith microstructure. Fish. Bull. **94**: 124-1134.
- Stevens, E. D. and F. G. Carey  
**1981.** One why of the warmth of warm-bodied fish. Am. J. Physiol. **240**: R151-R155.
- Sund, P. N., M. Blackburn and F. Williams  
**1981.** Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. Oceanogr. Mar. Biol. **19**: 443-512.
- 高橋暁、柳哲雄  
**1994.** 東シナ海・黄海の流況の診断モデル. 海洋. **26**. 92-100.
- 高山伊太郎、安藤精治  
**1934.** 昭和 5 年マグロ漁況の一考察. 水産試験場報告. **5**: 1-21. (久保 1961 から引用)
- 為石日出生、中園博雄、高橋浩二、伊藤幸彦、杉本隆成  
**2002.** 黒潮親潮移行領域における暖水ストリーマの動態と定置網への魚道機能. 海洋. 号外 **31**. 184-192.
- 津田平蔵、中尾幹郎  
**1982.** クロマグロ幼魚の生理生態ー陸上施設における飼育条件. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究・プロGRESSレポート. **2**: 45-59.
- 辻祥子  
**2002.** クロマグロの初期生残戦略. 2002 年度日本水産学会シンポジウム: サバ型魚類の資源・増殖生物学、要旨集. 272p.

辻敏

1993. マグロ漁業. 北方四島における水産業の実態. 北海道水産試験場調査復命書集成—明治末期～昭和10年代. 102-105.

Uda, M.

1957. A consideration of the long years trend of the fisheries fluctuation in relation to sea conditions. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **23**: 368-372.

宇田道隆

1935. 鮪延縄漁場適温の近時的推知に就いて. 日水誌. **4**: 61-65.

1960. 海洋漁場学. 水産学全集. **16**. 恒星社厚生閣、東京. 247pp.

上柳昭二

1969. インド・太平洋におけるマグロ類仔稚魚の分布—ビンナガ産卵域の推定を中心とした検討—. 遠洋水研報. **2**: 177-256.

魚住雄二

1999. 予防的アプローチの水産資源管理への適用. 遠洋水研ニュース. **105**: 2-11.

魚崎浩司、伊藤智幸、藁科侑生、塩浜利夫、宮部尚純、岡本浩明、中野秀樹、魚住雄二、松永浩昌

1997. はえなわで漁獲されるまぐろ・かじき類の平年漁況図、1967-1992年. 遠洋水産研究所. 222pp.

Ward, R. D., N. G. Elliott and P. M. Grewe

1995. Allozyme and mitochondrial DNA separation of Pacific northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus orientalis* (Temminck and Schlegel), from southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii* (Castelnau). Mar. Freshwater Res. **46**: 921-930.

渡辺勉

1960. 昭和27年から34年までに於ける三陸沖の旋網漁獲によるクロマグロの漁況その他について. (未印刷. 東京水産大学資源学教室. 久保 1961 から引用)

Welch, D.W. and J. P. Eveson

1999. An assessment of light-based geolocation estimates from archival tags. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **56**: 1317-1327.

Wild, A. and T. J. Foreman

1980. The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. Bull. IATTC. **17**: 509-560.

矢部博、上柳昭二、渡辺久也

1966. クロマグロの初期生態およびミナミマグロの仔魚について. 南海水研報告. **23**: 95-129.

矢部博、安楽昇、森徳見

1953. 夏季油津近海に來遊する Scombroid fish の未成魚に就て. 南水研業績集. **1**: 1-10.

山中和一

1958. クロマグロの研究 I .漁獲物の体重分布に見られる Mode. 南海水研報告. **9**: 125-135.

1982. 太平洋におけるクロマグロの生態と資源. 日本水産資源保護協会、東京. 140pp.

Yamanaka, K. L.

1990. Age, growth and spawning of yellowfin tuna in the southern Philippines. IPTP/90/WP/21. 76pp.

横田滝雄、通山正弘、金井富久子、野村星二

1961. 魚類の食性の研究. 南海水研報告. **14**: 1-234.

米盛保

1982. 超音波標識報によるマグロ類の遊泳行動—特に遊泳水深の研究. 遠洋水研ニュース. **44**: 1-5.

1989. 広域回遊性浮魚の資源増大を目指して—クロマグロの資源増大. 9-59. 農林水産技術会議事務局 (編) 海洋牧場—マリーナランディング計画. 恒星社厚生閣、東京.

依田孝

1976. 本道日本海のクロマグロについて. 北水試月報. **33**: 2-11.

1981. 道西日本海のクロマグロ卵巣の成熟状態について. 北水試月報 **38**: 211-221.

Yuen, H. S. H.

1970. Behavior of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, as determined by tracking with ultrasonic devices. J. Fish. Res. Bd. Canada. **27**: 2071-2079.

行縄茂理、藪田洋一

1967. クロマグロ *Thunnus thynnus* (Linnaeus)の年齢と成長について. 南海水研報. **25**: 1-18.

**表 2-1 農林統計における漁法区分**

1994 年の農林統計による。クロマグロの漁獲が見られた漁法に限定した。

漁業種類	本研究でのカテゴリー
大中型まき網1そうかつおまぐろ(太平洋中央海区)	まき網
大中型まき網1そうかつおまぐろ(その他)	まき網
大中型まき網1そうまきその他	まき網
大中型まき網2そうまき	まき網
あぐり網	まき網
その他のまき網	まき網
遠洋まぐろはえ縄	延縄
近海まぐろはえ縄	延縄
沿岸まぐろはえ縄	延縄
その他のはえ縄	延縄
遠洋かつお一本釣	竿釣
近海かつお一本釣	竿釣
沿岸かつお一本釣	竿釣
いか流し網	流網
かじき等流し網	流網
その他の刺し網	流網
その他の釣	曳縄
大型定置網さけ・ます	定置網
大型定置網その他	定置網
小型定置網	定置網
小型底びき網、その他の底びき網	その他
いか釣	その他
その他の漁業	その他

表 2-2 県版農林統計で収集されたためじ漁獲量の情報

単位はトン

データ ソース	A 農林統計 (全国版)	B 農林統計 (全国版)	C 農林統計 (全国版)	D 農林統計 (県版)	E 農林統計 (県版)	F 農林統計 (県版)	G 農林統計 (県版)	H 農林統計 (県版)	
年	総漁獲量	全県の合 計漁獲量	差 (A-B)	統計を収 集した県 の合計漁 獲量	差 (A-D)	収集率 (D/A)	漁法が明 らかな漁 獲量	漁法が明 らかな漁 獲量の割 合 (G/D)	備考
1957	8,093	8,040	53	7,642	450	94%	5,537	72%	
1958	11,491	11,475	16	11,384	107	99%	6,106	54%	
1959	11,839	11,824	15	11,796	43	100%	9,523	81%	
1960	8,190	8,178	12	8,096	94	99%	6,439	80%	
1961	11,160	11,145	15	9,825	1,335	88%	5,889	60%	
1962	13,917	13,902	15	12,619	1,298	91%	11,748	93%	
1963	13,936	13,919	17	13,390	546	96%	10,164	76%	
1964	13,800	12,500	1,300	13,035	765	94%	7,787	60%	1)
1965	12,970	12,962	8	12,809	161	99%	7,838	61%	
1966	12,755	12,754	1	12,271	485	96%	7,451	61%	
1967	15,030	15,025	5	14,773	257	98%	10,440	71%	
1968	14,424	14,425	-1	14,148	276	98%	10,005	71%	
1969	11,888	11,890	-2	11,805	84	99%	6,876	58%	
1970	12,073	12,070	3	12,071	3	100%	6,699	56%	
1971	11,219	11,220	-1	11,215	4	100%	8,011	71%	
1972	13,657	13,660	-3	13,525	132	99%	10,614	78%	
1973	17,375	17,376	-1	17,022	353	98%	6,071	36%	
1974	23,727	23,727	0	23,214	513	98%	14,819	64%	99% <sup>2)</sup>
1975	15,655	15,655	0	15,155	500	97%	7,908	52%	98% <sup>2)</sup>
1976	18,398	18,398	0	15,822	2,576	86%	9,383	59%	100% <sup>2)</sup>
1977	19,425	19,423	2	17,038	2,387	88%	7,321	43%	99% <sup>2)</sup>
1978	24,712	24,713	-1	23,243	1,469	94%	22,318	96%	99% <sup>2)</sup>
1979	21,729	21,732	-3	20,282	1,447	93%	10,599	52%	99% <sup>2)</sup>
1980	17,156	17,175	-19	15,760	1,396	92%	15,026	95%	99% <sup>2)</sup>
1981	17,190	17,199	-9	16,117	1,073	94%	15,749	98%	99% <sup>2)</sup>
1982	11,903	11,913	-10	10,737	1,166	90%	10,536	98%	98% <sup>2)</sup>
1983	17,112	17,135	-23	15,481	1,631	90%	15,470	100%	99% <sup>2)</sup>
1984	19,382	19,386	-4	24,158	-4,776	125%	24,124	100%	3)
1985	19,591	19,602	-11	25,267	-5,676	129%	25,198	100%	3)
1986	16,276	16,280	-4	19,230	-2,954	118%	18,723	97%	3)
1987	11,150	11,160	-10	15,403	-4,253	138%	15,071	98%	3)
1988	15,316	15,321	-5	15,324	-8	100%	15,274	100%	
1989	17,301	17,306	-5	17,279	22	100%	17,245	100%	
1990	15,755	15,756	-1	15,749	6	100%	15,759	100%	
1991	18,751	18,753	-2	18,732	19	100%	18,746	100%	
1992	14,248	14,248	0	14,248	0	100%	14,263	100%	
1993	11,261	11,261	0	11,261	0	100%	11,190	99%	
1994	17,869	17,869	0	17,869	0	100%	17,920	100%	

1) 元のデータは 100 トン単位で示されている。

2) クロマグロの漁獲を含んでいないと考えられる沖縄県の漁獲量を加えた場合の F (収集率)。

3) F (収集率) が 100%を越えているのは宮崎県の漁獲量統計による。

表 2-3 東シナ海でまき網が漁獲したクロマグロと他のまぐろ類の水揚げ記録

年 月	クロマグロ		他のまぐろ類				他のまぐろ類の体重別尾数							Remark
	尾数	重量(kg)	尾数	重量(kg)	尾数割合(%)	重量割合(%)	0-1kg	-2kg	-3kg	-4kg	-6kg	-8kg	-10kg	
1991 1	18,867	94,336	76	144	0%	0%		76						松浦のデータのみ
1991 2	1,026	5,132	40	80	4%	2%		40						松浦のデータのみ
1991 3	18	93	1,397	2,248	99%	96%		1,392		5				松浦のデータのみ
1991 4	6,014	30,074												松浦のデータのみ
1991 6	2,952	14,766												松浦のデータのみ
1991 7	63,540	184,140												松浦のデータのみ
1991 8	400	320	8	32	2%	9%				8				松浦のデータのみ
1991 9	13,790	48,777												
1991 10	254,802	1,468,590	28	112	0%	0%				28				
1991 11	282,195	1,307,633												
1991 12	187,756	994,182												
1992 1	30,581	206,158												
1992 2	5,930	32,808												
1992 3	12,851	91,420												
1992 4	160	640												
1992 6	238,722	1,425,892												
1992 7	12,834	147,767												
1992 8	80	320												
1992 9	3,335	18,722	1,220	8,738	27%	32%							1,220	
1992 10	1,580	5,430												
1992 11	80	160												
1992 12	1,640	4,580												
1993 1	120	240												
1993 2	10,355	118,696												
1993 3	30,018	284,816												
1993 4	57,848	544,464												
1993 5	11,920	38,694												
1993 6	34,150	204,865	2,415	8,313	7%	4%		240	1,200	675	300			
1993 7	20,730	76,280	1,081	4,928	5%	6%				644	435	2		
1993 9			2,702	19,392	100%	100%				0	834	1,868		
1993 12	1,070	3,125												
1994 3	4,200	24,520												
1994 4	40,717	132,499	1,170	1,920	3%	1%		1,170						コシナガと確認された
1994 5	86,765	324,997	35,445	62,854	29%	16%	2,100	31,090	2,255					
1994 6	20,438	376,408	30,315	41,340	60%	10%	15,900	9,580	3,590	1,215	30			
1994 7	3,238	141,686	1,480	3,846	31%	3%		1,120	360					
1994 9	2,800	3,554	1,400	1,100	33%	24%		1,400						
1994 10	4,100	7,770												
1994 11	35,280	81,618												
1994 12	23,953	66,310	605	4,878	2%	7%					45		560	
1995 1	36,478	77,810												
1995 2	160,755	310,774												
1995 3	26,035	50,740												
1995 4	66,280	131,281	100	160	0%	0%		100						
1995 5	65,010	135,676												
1995 6	11,200	25,054												
1995 7	630,493	1,763,360	3,000	2,400	0%	0%	3,000							
1995 8	24,700	74,675												
合計	2,547,804	11,081,846	82,482	162,484	3.1%	1.4%	21,000	46,208	7,405	2,575	1,644	1,870	1,780	



表 2-4 東シナ海と日本海でまき網が漁獲したクロマグロの体重別漁獲尾数  
年級ごとに色分けした。

[illegible][illegible]

表 2-5 太平洋クロマグロの年・国別推定漁獲重量

イタリックで示した漁獲量は合計や小計に含めていない。補足は漁獲成績報告書データや遠洋水産研究所の魚体測定データベースによるもの。1993 年以降の補足には、小名浜と長崎に水揚げされた流網の漁獲量、沖縄に水揚げされた延縄の漁獲量の一部、遠洋延縄の漁獲量を含む。

国	日本					韓国	台湾	USA	メキシコ	USA & メキシコ	ニュージーランド	プエルトリコ	Total
データソース	農林統計からの推定	日本周辺クロマグロ調査	西日本まき網	補足	小計	FAO	FAO	FAO	FAO	IATTC	FAO	FAO	
銘柄	まぐろ	めじ											
Y E A R	1951	13,664			13,664					1,833			15,497
	1952	15,181			15,181					2,077			17,258
	1953	15,006			15,006					4,467			19,473
	1954	18,600			18,600					9,545			28,145
	1955	22,642			22,642					6,240			28,882
	1956	31,285			31,285					6,006			37,291
	1957	22,236	3,597		25,833					9,268			35,101
	1958	9,240	4,197		13,438					13,941			27,379
	1959	11,400	4,018		15,417					6,925			22,342
	1960	17,063	3,734		20,797					5,423			26,220
	1961	16,762	5,344		22,106					8,135			30,241
	1962	16,241	4,772		21,013					11,145			32,158
	1963	16,144	7,812		23,956					12,272			36,228
	1964	12,990	6,041		19,031					9,217			28,248
	1965	13,974	5,383		19,358			7,600		6,888			26,246
	1966	12,775	3,703		16,478			16,300		15,897		500	32,875
	1967	9,729	6,022		15,751			6,500		5,888		200	21,839
	1968	10,161	5,811		15,972			6,100		5,976			21,948
	1969	6,151	2,962		9,113			7,300		6,926			16,039
	1970	4,737	3,748		8,485			4,100	2,000	3,966			12,451
	1971	5,625	3,205		8,829		2	8,000	2,000	8,360			17,191
	1972	5,382	2,913	189	8,484		7	11,500	2,000	13,347			21,838
	1973	4,731	4,296		9,027		16	9,100	2,000	10,744			19,787
	1974	10,541	7,107		17,648		1	5,451	224	5,617			23,266
	1975	7,068	4,885		11,953	9		7,424	2,242	9,583			21,545
	1976	5,435	3,881		9,316	13	1	8,525	2,281	10,645			19,975
	1977	8,559	3,839	901	13,299		3	5,888	3,006	5,473			18,775
	1978	13,684	5,602	444	19,730	21	14	4,671	880	5,397			25,162
	1979	17,342	7,189		24,531		22	5,555		6,117			30,670
	1980	14,231	4,725	75	19,031		26	2,276	548	2,939			21,996
	1981	25,145	4,128	752	30,024		1	876	1,207	1,089			31,114
	1982	22,400	1,800		24,200		1	2,419	573	3,150			27,351
	1983	14,472	2,377		16,849	7	11	767	214	853			17,720
	1984	6,212	3,288		9,500	5	6	683	646	881			10,392
	1985	7,362	3,408		10,770		6	3,205	1,001	4,055			14,831
	1986	8,974	3,996		12,970		6	4,559	91	5,085			18,061
	1987	10,295	2,653	216	13,164	43	540	797	55	1,005			14,752
	1988	4,999	1,295		6,294		590	777	450	1,425			8,309
	1989	7,120	1,233		8,353		1,338	949	60	1,300			10,991
	1990	3,800	1,538		5,338	18	1,114	1,334	50	1,634			8,104
	1991	4,412	2,829		11,274	94	860	364	10	542			12,770
	1992	4,950	2,249		9,138	81	1,065	1,067	23	2,045			12,329
	1993	4,914	2,090	5,350	1,271	122	6,743	43	1,104	556	20		8,816
	1994	7,832	4,471	11,887	1,159	201	13,248	164	559	931	1		15,051
	1995		8,104	15,674	11,088	97	26,858	805	314	643	83	2	28,898
	1996		5,191	10,005	2,732	280	13,017	109	956	4,769	2,904	5	22,391
	1997		5,746	10,210	5,962	204	16,377		1,813	2,272	200	12	20,801

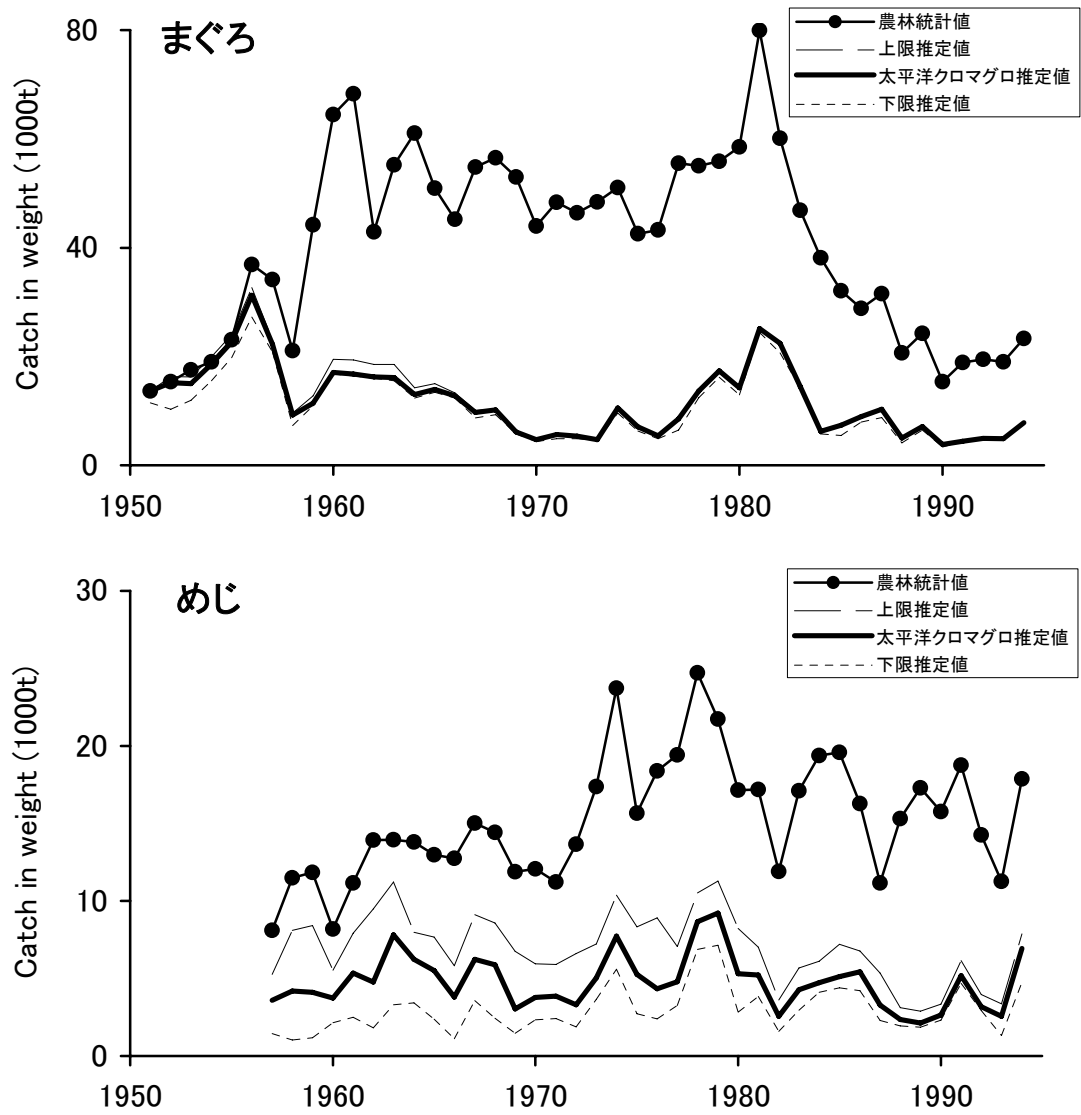
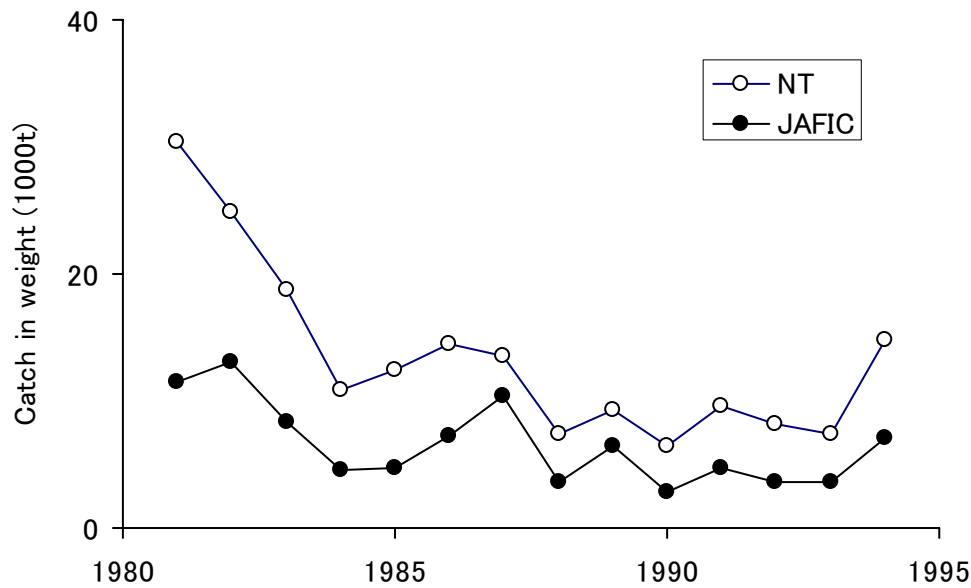
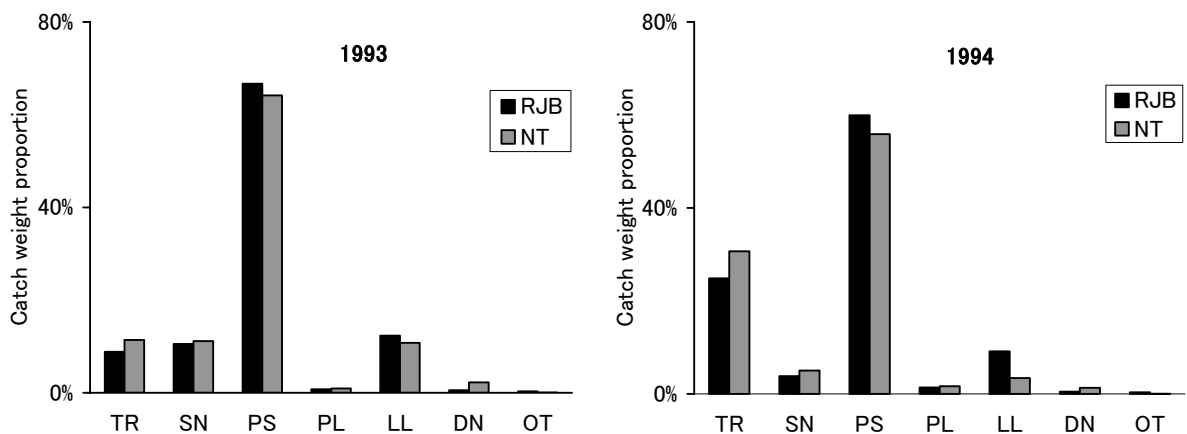


図2-1 農林統計におけるまぐろ(上図)とめじ(下図)とそれらに含まれる太平洋クロマグロの漁獲重量



**図 2-2 農林統計 (NT) と JAFIC データによるクロマグロ漁獲量の比較**  
 比較のために、JAFIC に含まれている日本海と東シナ海でのまき網による漁獲量は除いた。



**図 2-3 日本周辺クロマグロ調査集計値 (RJB) と農林統計からの推定値 (NT) によるクロマグロの漁法別漁獲重量の比較**

左図は 1993 年、右図は 1994 年。NT は日本周辺クロマグロ調査と共通する 20 道県での農林統計の推定漁獲量。TR は曳縄、SN は定置網、PS はまき網、PL は竿釣、LL は延縄、DN は流網、OT はその他の漁法。

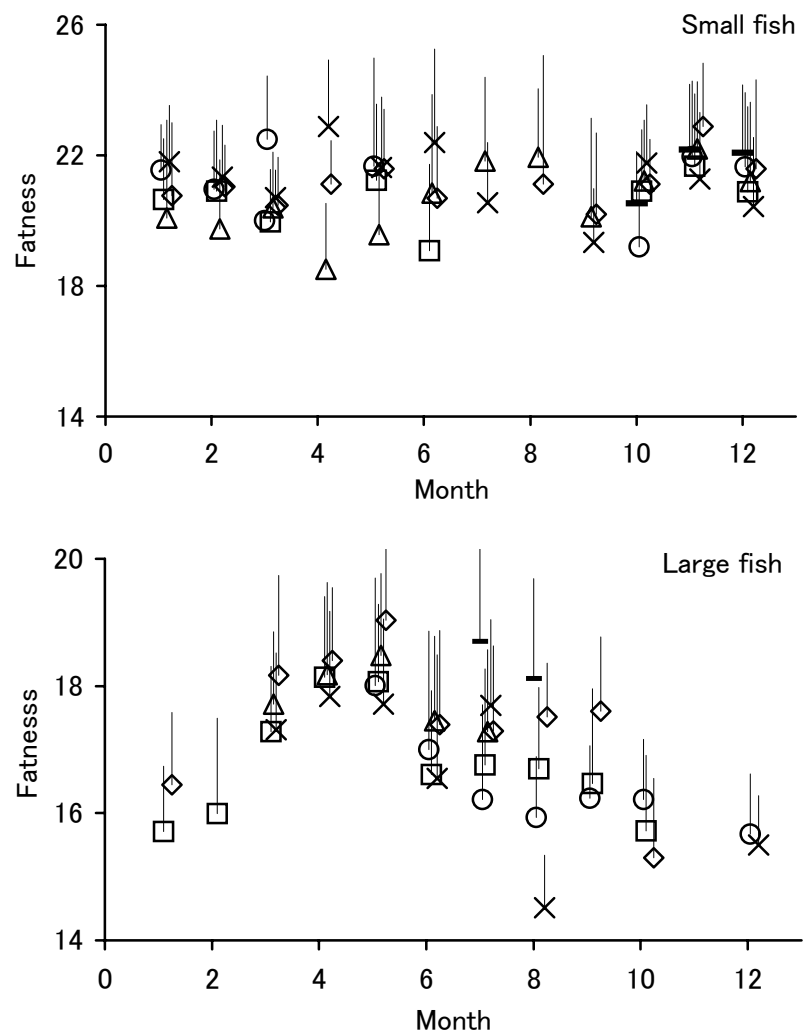


図 2-4 クロマグロの平均肥満度の年間変化

肥満度 =  $10^6 \times (\text{体重 kg}) / (\text{尾叉長 cm})^3$ 。上図は小型魚の全重量（尾叉長 45-60 cm）、下図は大型魚のエラと内臓を除いた製品重量（尾叉長 170-180 cm）。バーは標準偏差で上方のみを示した。個体数が 10 以下の場合を除いた。-:1992 年、○:1993 年、□:1994 年、△:1995 年、×:1996 年、◇:1997 年。

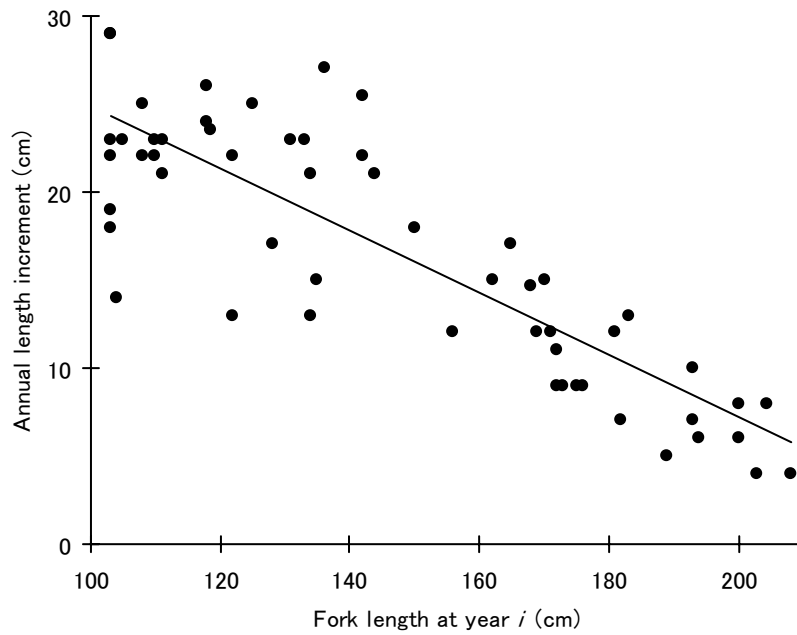


図 2-5 体長モードの進行から求めたクロマグロの尾叉長の年間増加量

年間増加量は、ある年 (year  $i$ ) のある体長が次の年までに増加した量とした。回帰式は  $L_d = -0.178 \times FL + 42.6$  ( $N=52$ ,  $r^2=0.730$ )  $L_d$  は尾叉長の年間増加量、 $FL$  は尾叉長。

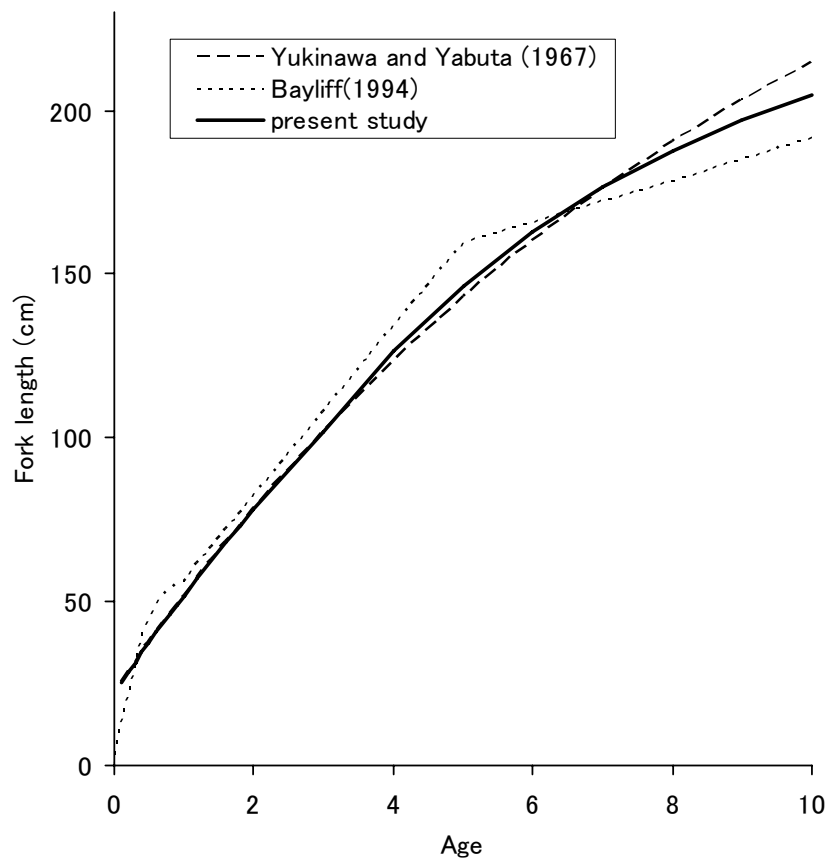


図 2-6 3 研究によるクロマグロの成長曲線

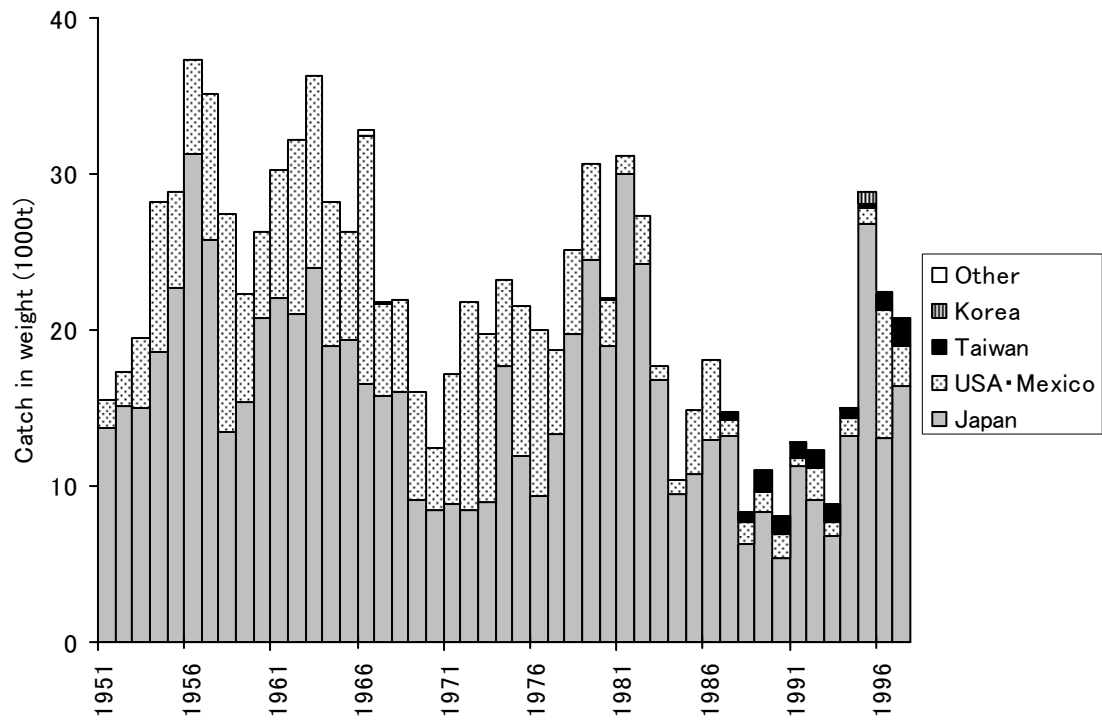


図 2-7 クロマグロの国別漁獲重量

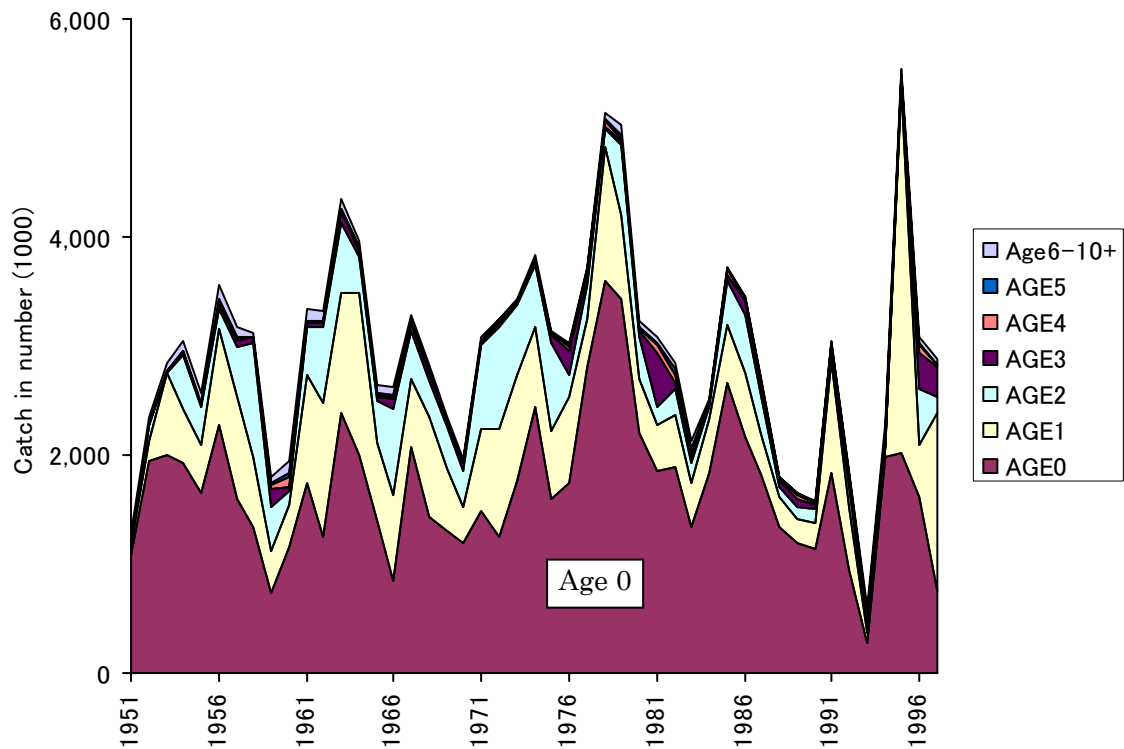


図 2-8 クロマグロの年齢別漁獲尾数

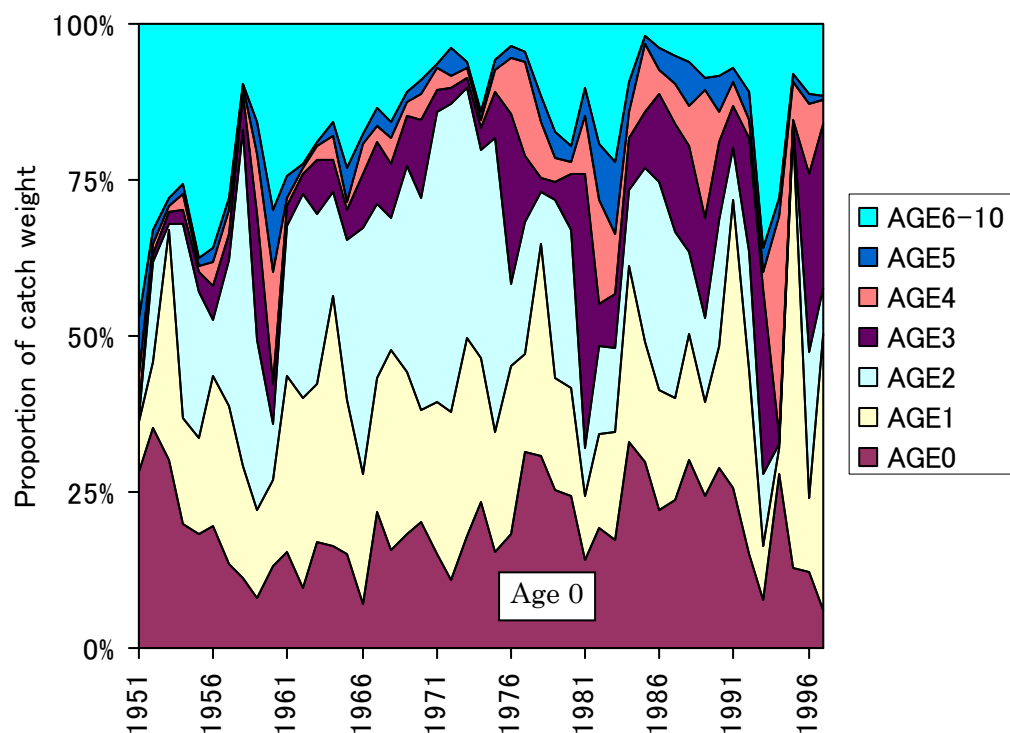


図 2-9 クロマグロの年齢別漁獲重量組成  
年齢別漁獲尾数に各年齢の平均重量を掛けた。

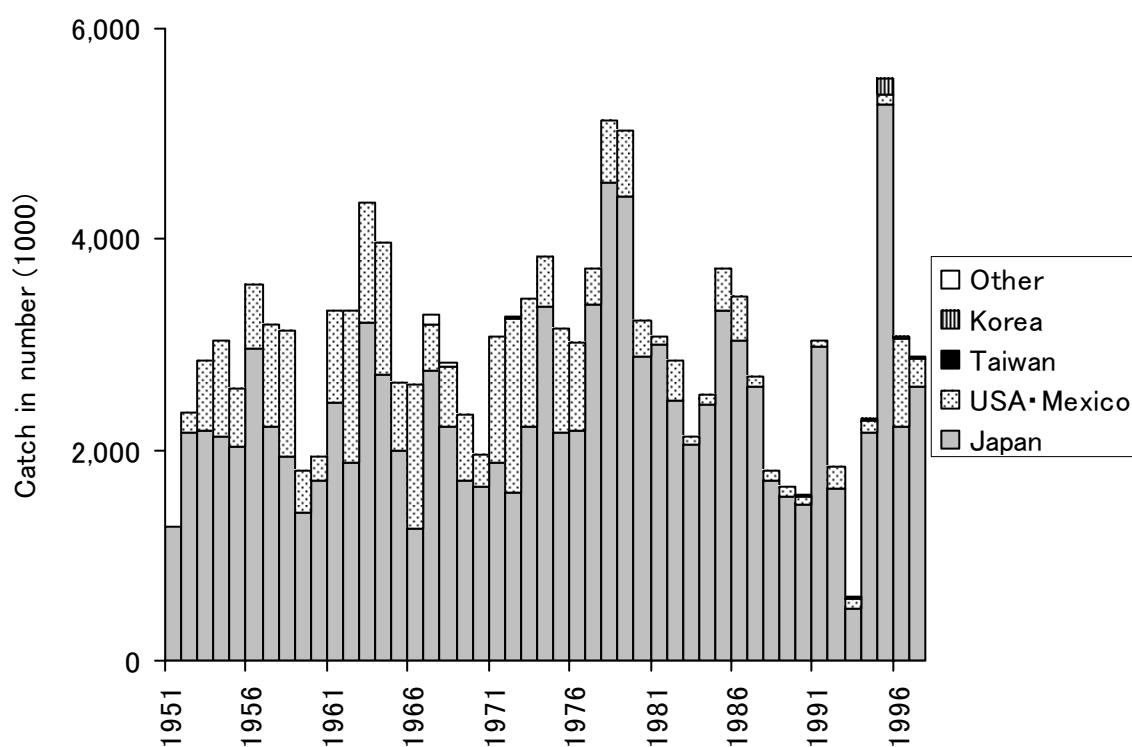


図 2-10 クロマグロの国別漁獲尾数



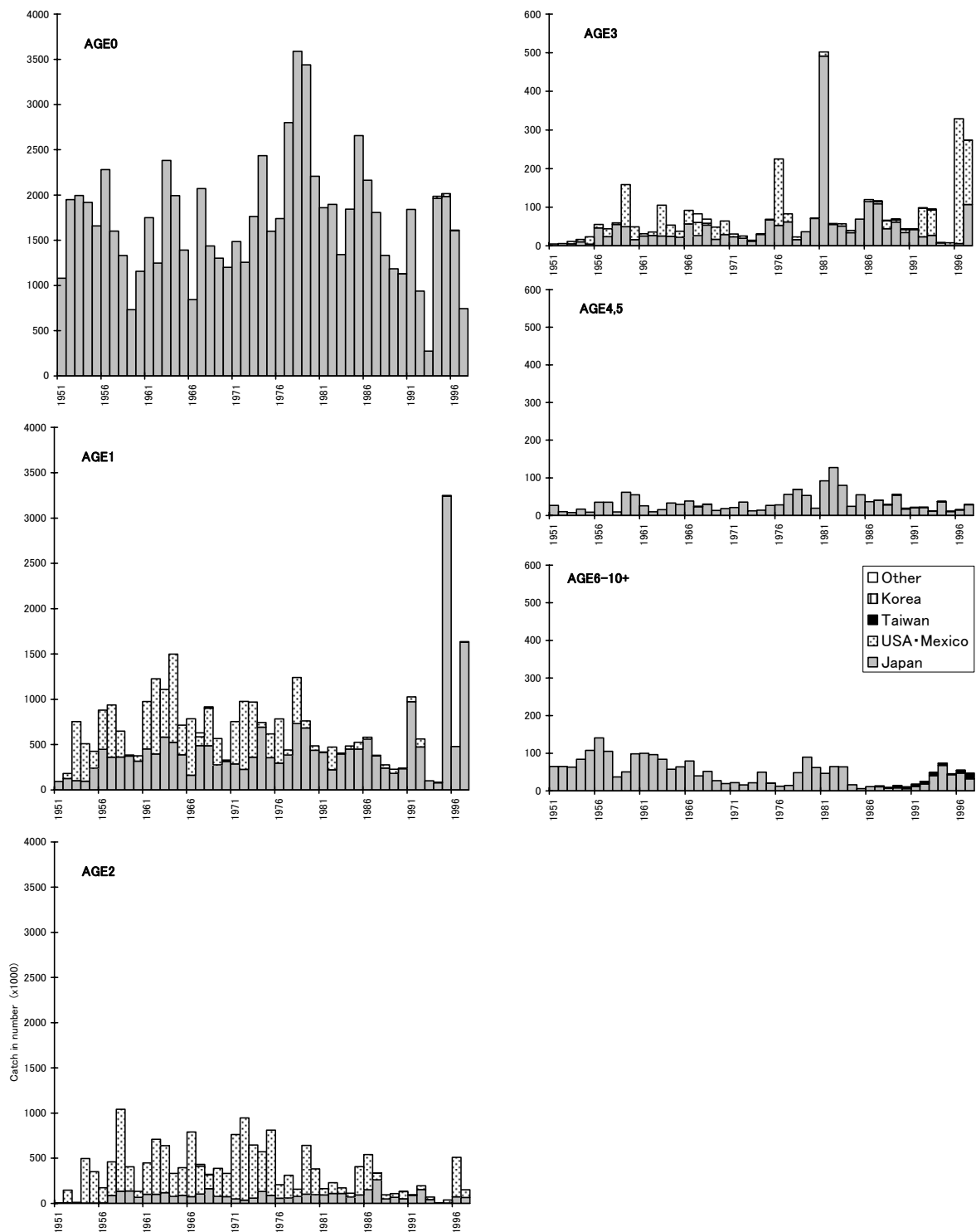


図 2-11 クロマグロの年齢・国別漁獲尾数

縦軸は尾数 (×1000)。0-2 歳魚と、3 歳以上魚で縦軸最大値が異なっていることに注意。

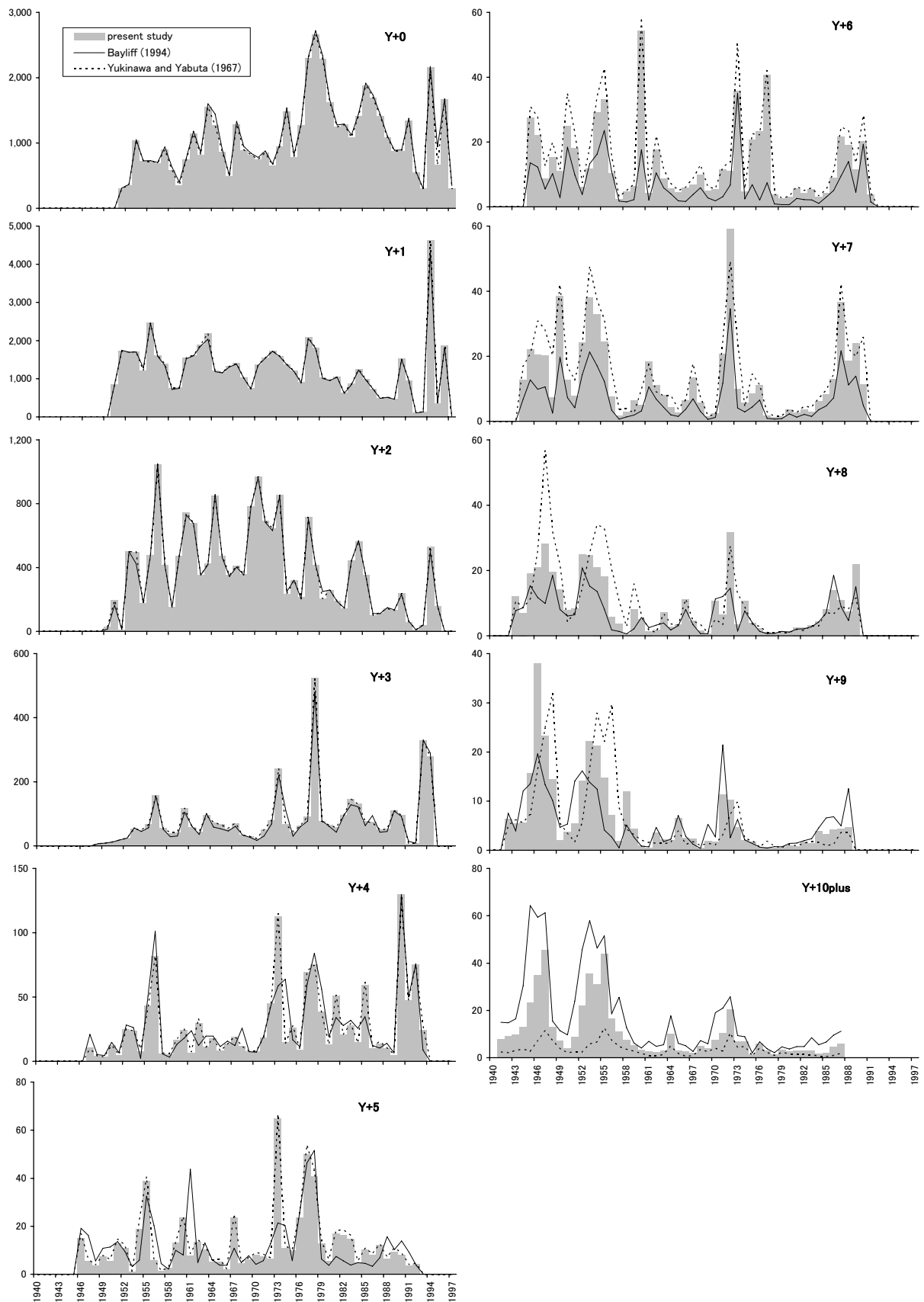


図 2-12 3 成長式で推定したクロマグロの年級別漁獲尾数

縦軸は漁獲尾数（×1000 尾）。横軸は年級。漁獲年( $Y+\alpha$ )は魚が生まれてから漁獲までの経過年数。1 月から 12 月までを 1 単位としたため、本論文での年齢の基準（6 月から翌年 5 月まで）と異なっている。例えば、“Y+1”には 1-5 月の 0 歳魚と 6-12 月の 1 歳魚を含み、“Y+0”は 6-12 月の 0 歳魚のみを含む。

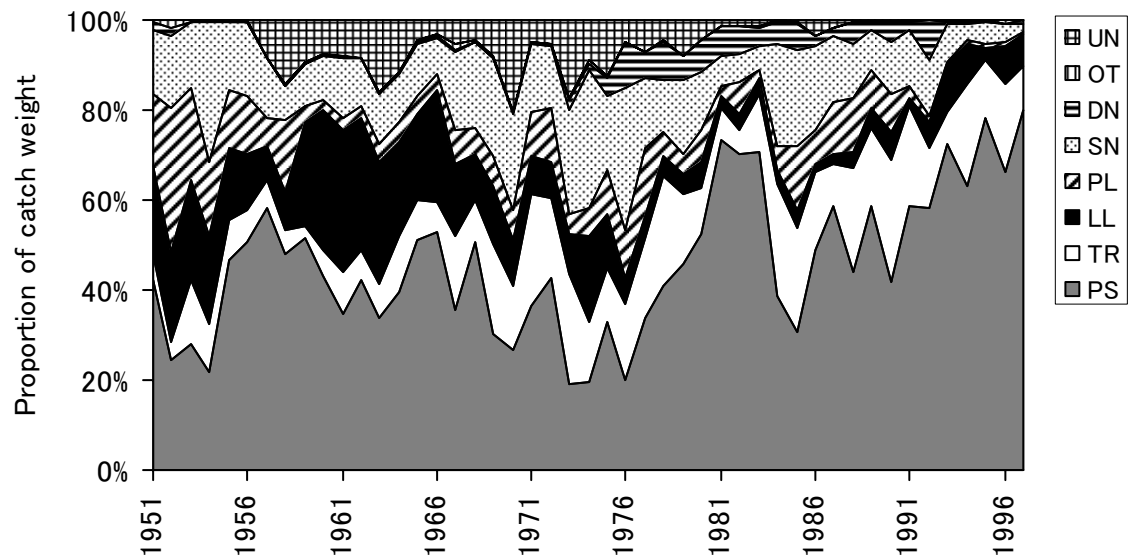


図 2-13 日本漁業によるクロマグロの漁法別漁獲重量組成

PS はまき網、TR は曳縄、LL は延縄、PL は竿釣、SN は定置網、DN は流網、OT はその他の漁法、UN は不明。

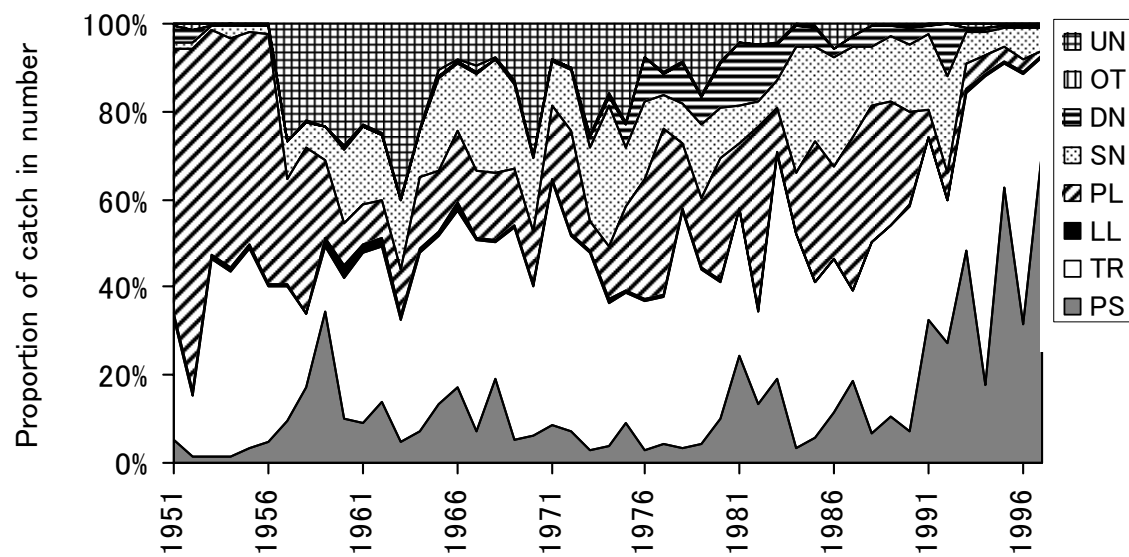


図 2-14 日本漁業によるクロマグロの漁法別漁獲尾数組成

PS はまき網、TR は曳縄、LL は延縄、PL は竿釣、SN は定置網、DN は流網、OT はその他の漁法、UN は不明。

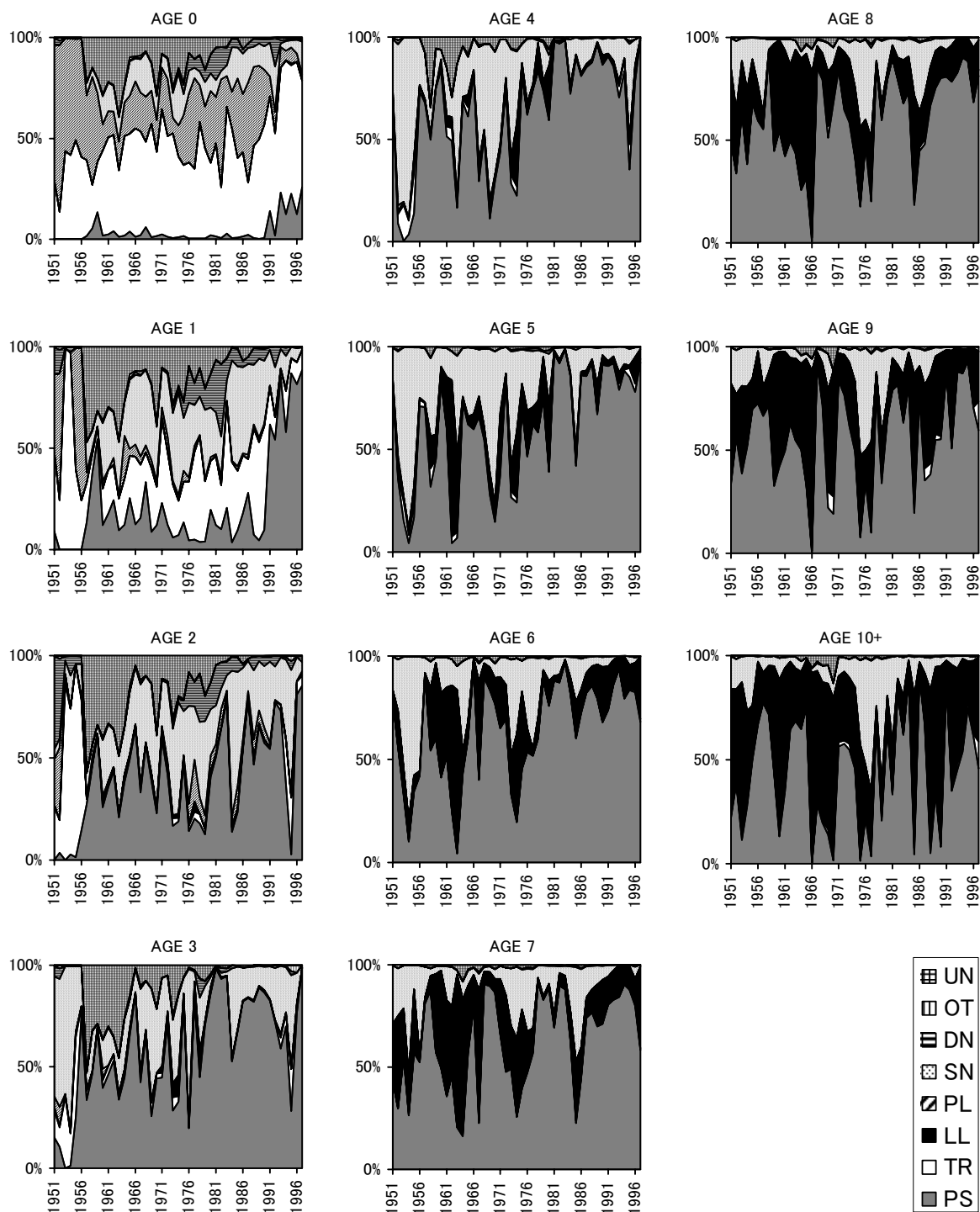


図 2-15 日本漁業によるクロマグロの漁法・年齢別漁獲尾数組成

縦軸は漁獲尾数組成。PS はまき網、TR は曳縄、LL は延縄、PL は竿釣、SN は定置網、DN は流網、OT はその他の漁法、UN は不明。

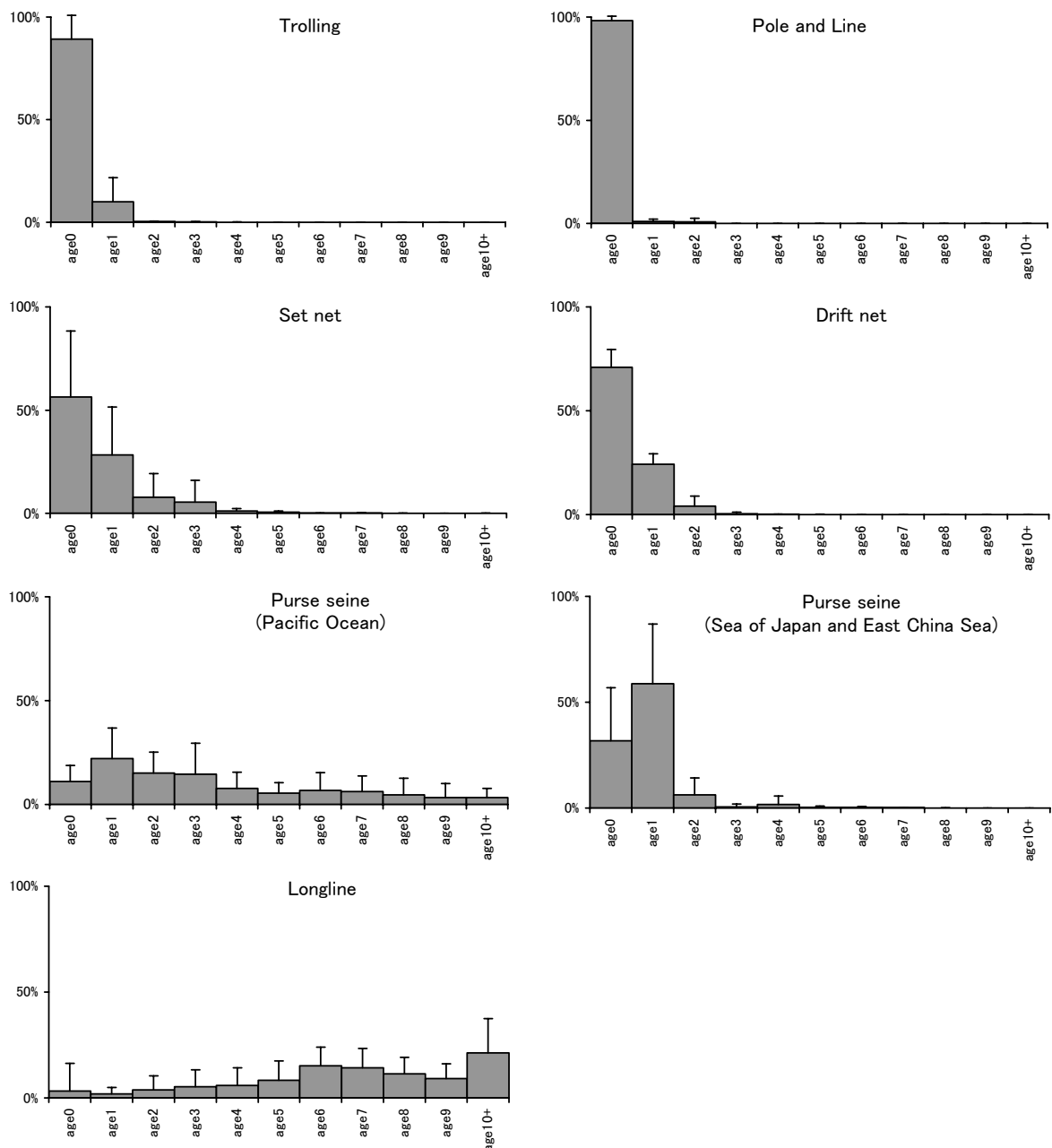
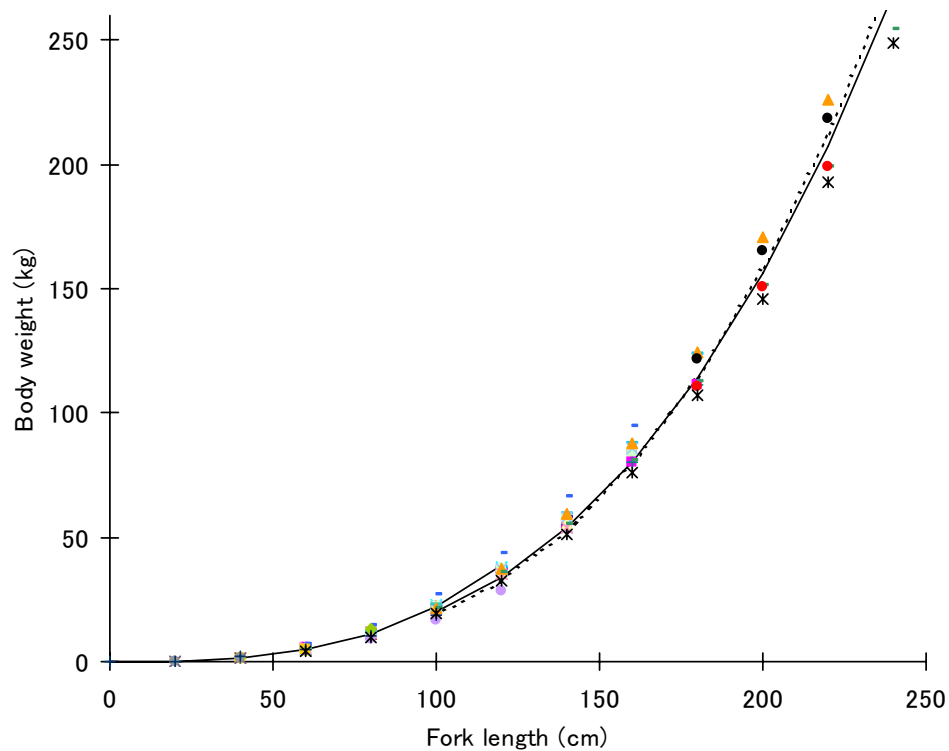


図 2-16 日本漁業によるクロマグロの漁法別平均年齢組成

曳縄、竿釣、定置網、流網は 1993-1997 年、太平洋でのまき網（少量の日本海での大型魚の漁獲を含む）と延縄は 1951-1997、日本海と東シナ海でのまき網は 1991-1997 年の年齢組成を平均した。バーは標準偏差。



**図 2-17 クロマグロの体長体重関係**

原魚重量に統一した。実線は本研究で推定したもので、尾叉長 120cm 未満の実線は原魚重量から、尾叉長 100cm 以上の実線は鰓と内臓を除いた重量から、尾叉長 100cm 以上の点線は鰓・内臓と尾部を除いた重量からそれぞれ求めたもの。過去(1962-1998 年)の研究(Bell(1964)、新宮ら(1974)、Bayliff(1991)、Hsu et al. (2000)) で求められた体長あたりの体重を、外挿された範囲を除いて尾叉長 20cm ごとに様々なマークで示した。

表 3-1 耳石輪紋形成周期と第 1 輪形成時期の推定に用いた人工孵化仔稚魚サンプルの概要

	奄美幼魚		日本配合飼料	日裁協	合計
受精日時	1993/6/28 20:00	1995/8/26 <sup>1)</sup> 20:00	1993/7/12 夕方	1993/7/12 夕方	
採集した日齢範囲	2-19 日	2-71 日	6-9 日	5-9 日	2-71日
水温	25.8-28.0℃	25.0-28.0℃	-	22.8-24.9℃	
給餌	給餌	給餌	非給餌	給餌	
飼育タンク	屋内	屋内(0-31日) 屋外網生簀 (≥32日)	屋内	屋内	
観察した耳石数	181	135	9	18	343
(そのうち6-15日齢)	(102)	(63)	(7)	(15)	(187)
輪紋を数えることが できた耳石数	90	45	3	0	138
(そのうち6-15日齢)	(82)	(25)	(3)	(0)	(110)
輪紋を数えることが できた割合 <sup>2)</sup>	80.3%	39.7%	42.9%	0.0%	58.8%

1) 32 日齢以上の魚の受精日時は 1995 年 7 月 10 日 17:25 または 8 月 2 日 18:30

2) 6-15 日齢の仔魚における耳石輪紋を数えることができた割合。

表 3-2 耳石日輪から推定した 1 歳までの von Bertalanffy 成長式のパラメータ

発生時期グループの定義は本文参照。420 日齢以下のデータを推定に用いた。

発生時期 グループ	$L_{\infty}$ (cm)	$K$ ( $\times 10^{-3}$ )	$t_0$ (日)	残差	10日階級 の数	個体数
All	61.7	8.216	-2.3	205	30	468
G1	57.9	10.927	26.7	54	10	13
G2	59.1	11.777	20.4	161	21	270
G3 <sup>1)</sup>	58.2	10.763	2.2	133	16	165
G4	4209.1	0.028	-180.8	219	12	17
G2-J	57.0	14.197	25.3	156	20	142
G3-J <sup>1)</sup>	58.6	9.882	-5.3	134	16	158
G2-P	65.3	8.698	10.1	77	15	128

1) 成長の遅い 3 個体のデータは除いた。

発生時期 グループ	仮定した発生日	沿岸水温測定地点	
		第1月	第2-5月
G1-J	4月21日	石垣島	浜田
G1-P		石垣島	土佐清水
G2-J	6月1日	那覇	浜田
G2-P		那覇	土佐清水
G3-J	8月1日	浜田	浜田
G3-P		潮ノ岬	御前崎
G4-J	10月1日	浜田	浜田
G4-P		潮ノ岬	御前崎

[illegible]



**表 3-5 発生時期グループ別のクロマグロ 0 歳魚漁獲尾数（太平洋）**

ある年級にはその年の 6-12 月と翌年の 1-5 月の漁獲を含む。1997 年級は 1997 年の 6-12 月の漁獲のみを含む。平均と標準偏差は 1993-1996 年から求めたもの。

年級	G1-P	G2-P	G3-P	G4-P	未推定	合計
1993	5,388 5%	102,378 95%	0 0%	0 0%	12,421	120,187
1994	22,401 4%	425,611 78%	92,440 17%	2,154 0%	47,447	590,393
1995	10,077 5%	191,457 91%	8,135 4%	274 0%	8,157	218,101
1996	22,933 5%	435,734 93%	10,364 2%	64 0%	13,369	482,464
1997	6,198 4%	117,767 77%	28,875 19%	0 0%	3,275	156,116
平均	5%	89%	6%	0.1%		
標準偏差	0.4%	7%	8%	0.2%		

**表 3-6 発生時期グループ別のクロマグロ 0 歳魚漁獲尾数（日本海・東シナ海）**

ある年級にはその年の 6-12 月と翌年の 1-5 月の漁獲を含む。1997 年級は 1997 年の 6-12 月の漁獲のみを含む。平均と標準偏差は 1993-1996 年から求めたもの。

年級	G1-J	G2-J	G3-J	G4-J	未推定	合計
1993	2,778 5%	52,788 95%	58 0%	0 0%	166,072	221,695
1994	52,223 3%	992,232 56%	682,400 39%	35,465 2%	811,194	2,573,514
1995	9,780 3%	185,828 65%	88,726 31%	248 0%	172,055	456,637
1996	41,516 3%	788,809 63%	287,828 23%	130,971 10%	238,116	1,487,240
1997	4,092 4%	77,749 74%	14,040 13%	9,344 9%	37,553	142,777
平均	4%	70%	23%	3%		
標準偏差	1%	17%	17%	5%		

**表 3-7 発生時期グループ別のクロマグロ 0 歳魚漁獲尾数（太平洋と日本海・東シナ海の合計）**

ある年級にはその年の 6-12 月と翌年の 1-5 月の漁獲を含む。1997 年級は 1997 年の 6-12 月の漁獲のみを含む。平均と標準偏差は 1993-1996 年から求めたもの。

年級	G1	G2	G3-J	G3-P	G4	合計
1993	17,083 5%	324,571 95%	229 0%	0 0%	0 0%	341,883
1994	100,620 3%	1,911,784 60%	996,508 31%	100,523 3%	54,132 2%	3,163,907
1995	26,162 4%	497,073 74%	142,369 21%	8,451 1%	682 0%	674,737
1996	73,017 4%	1,387,329 70%	342,695 17%	10,659 1%	156,003 8%	1,969,703
1997	11,884 4%	225,787 76%	19,050 6%	29,494 10%	12,678 4%	298,893
平均	4%	75%	18%	1%	2%	
標準偏差	1%	15%	13%	1%	4%	

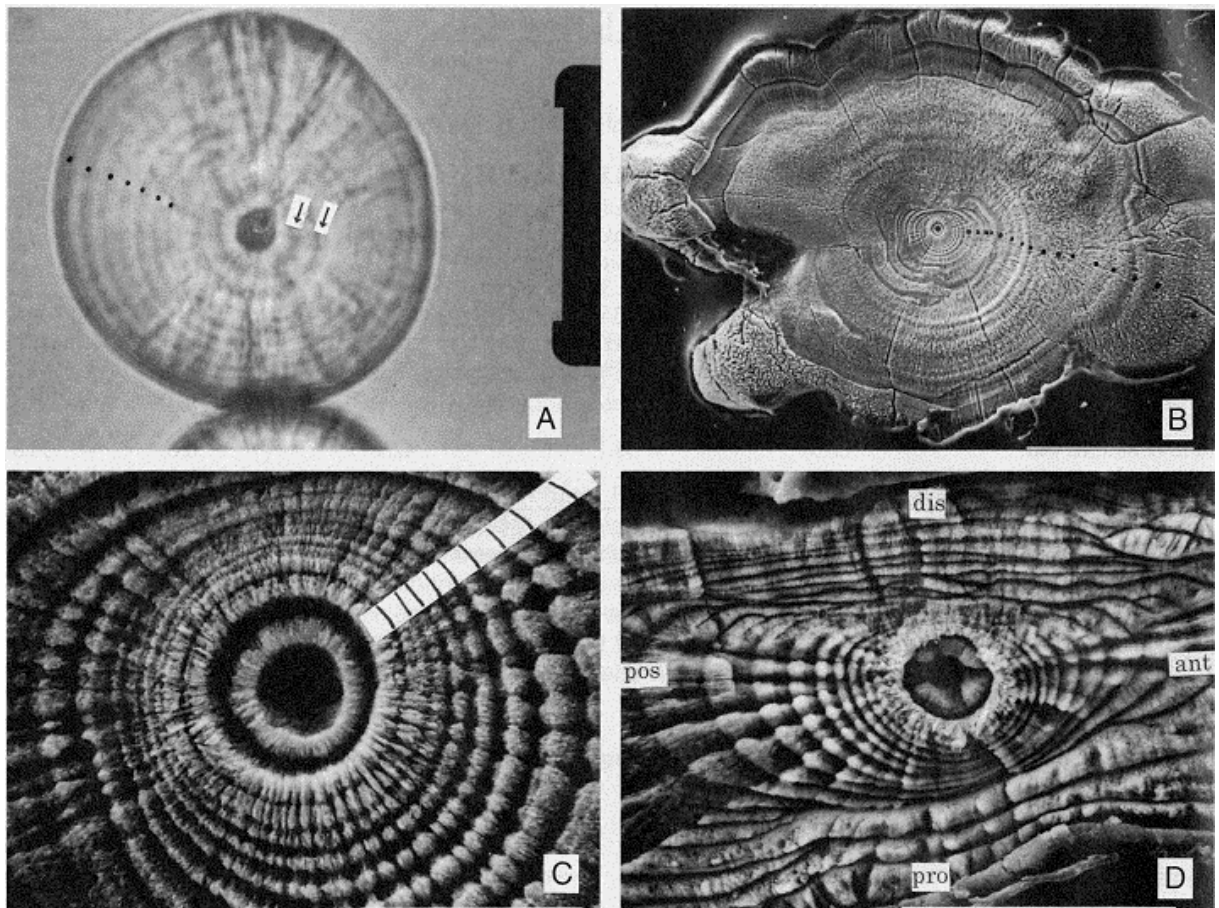


図3-1 クロマグロの耳石写真

- (A) 光学顕微鏡で観察した受精 11.6 日後の仔魚の耳石。2 本の拡散 D 帯 (矢印) と 7 本の D 帯 (点) が観察される。スケール (黒い領域のくぼみ) は  $25.6\ \mu\text{m}$ 。
- (B) SEM で観察した受精 28 日後の稚魚耳石の全形。24 本の D 帯 (9 本目以降を点で示した) が数えられた。スケールバーは  $200\ \mu\text{m}$ 。
- (C) (B) の写真の核部。最初の 9 本の D 帯を線で示した。スケールバーは  $20\ \mu\text{m}$ 。
- (D) SEM で観察した受精 28 日後の稚魚耳石の薄切片 (frontal plane で切断) の核部。dis: 魚の外側 (distal)、pro: 魚の内側 (proximal)、ant: 魚の前方 (anterior)、pos: 魚の後方 (posterior)。スケールバーは  $50\ \mu\text{m}$ 。

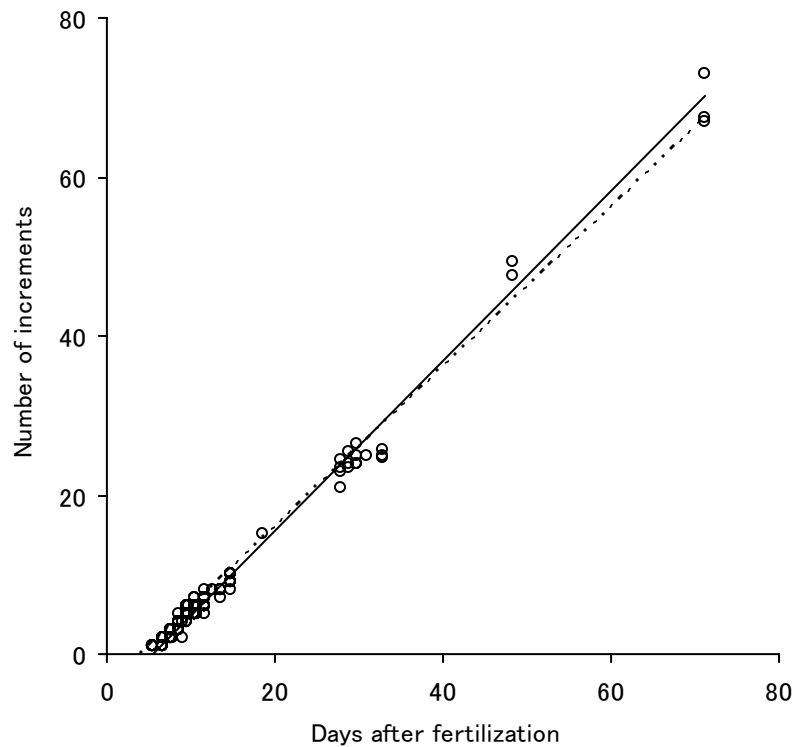


図 3-2 耳石輪紋数 (I) と受精後日数 (D) との関係

直線は  $I = 1.03 D - 5.4$ 。点線は第 1 輪紋の形成を受精 5.2 日後とした場合 ( $I = 0.99 D - 4.2$ )。

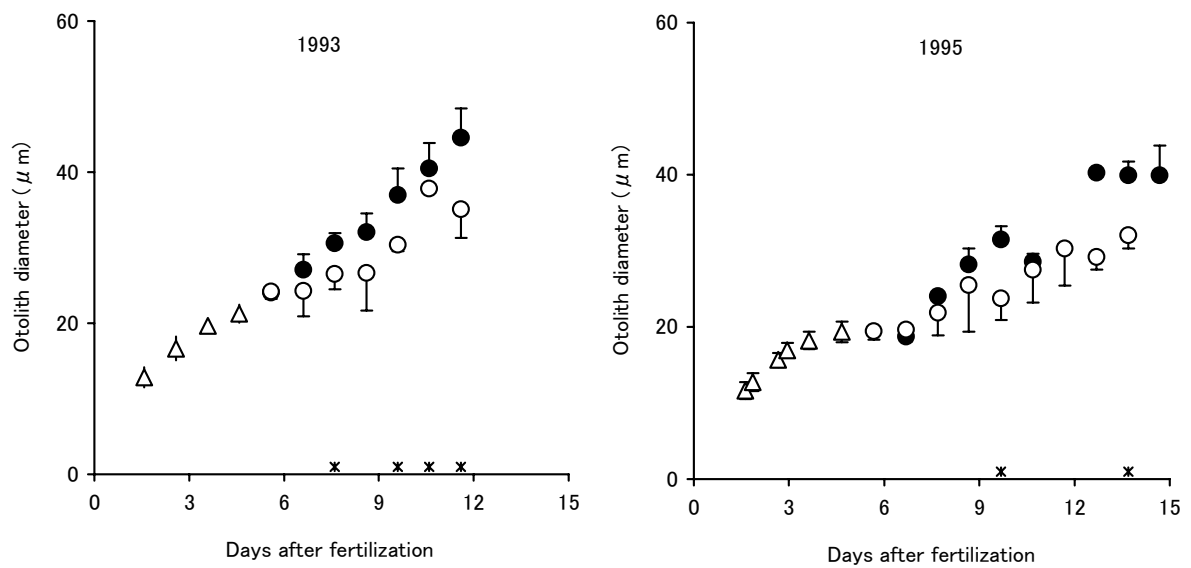


図 3-3 受精後日数ごとの平均耳石直径 (±SD)

若齢仔魚 (△、受精 5 日後以内)、明瞭な耳石輪紋を持つ仔魚 (●)、不明瞭な耳石輪紋を持つ仔魚 (○)。左は奄美養魚で 1993 年に採集されたもので、標本数は 63、89、28 個体。右は奄美養魚で 1995 年に採集されたもので、標本数は 45、25、45 個体。\*印は t-test において 1% レベルで有意差があった場合。

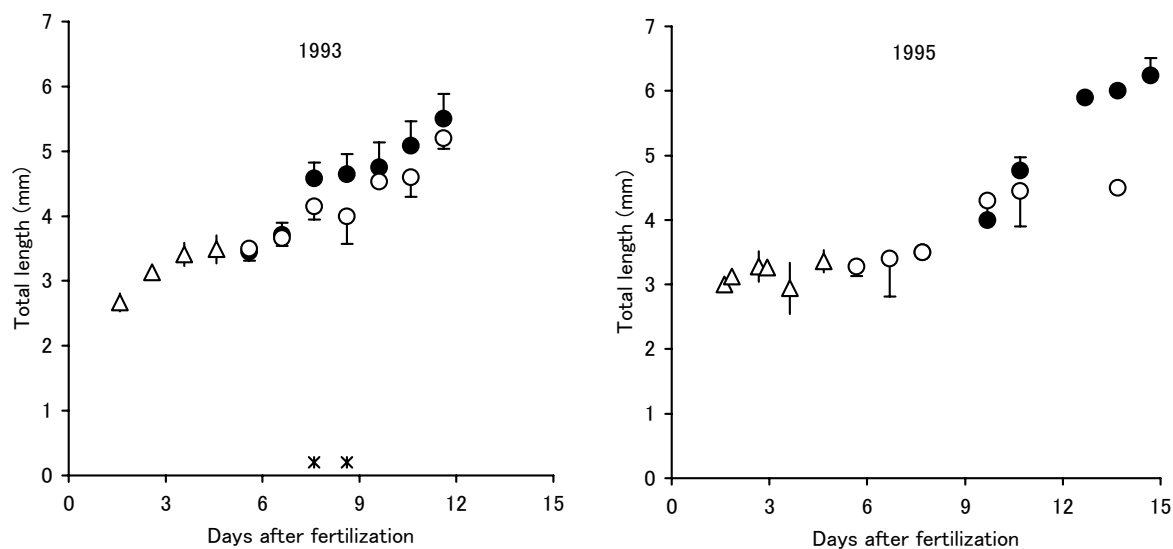


図 3-4 受精後日数ごとの仔魚の平均全長(±SD)

若齢仔魚(△、受精 5 日後以内)、明瞭な耳石輪紋を持つ仔魚(●)、不明瞭な耳石輪紋を持つ仔魚(○)。左は奄美養魚で 1993 年に採集されたもので、標本数は 40、47、23 個体。右は奄美養魚で 1995 年に採集されたもので、標本数は 30、12、17 個体。\*印は t-test において 5% レベルで有意に差があった場合。

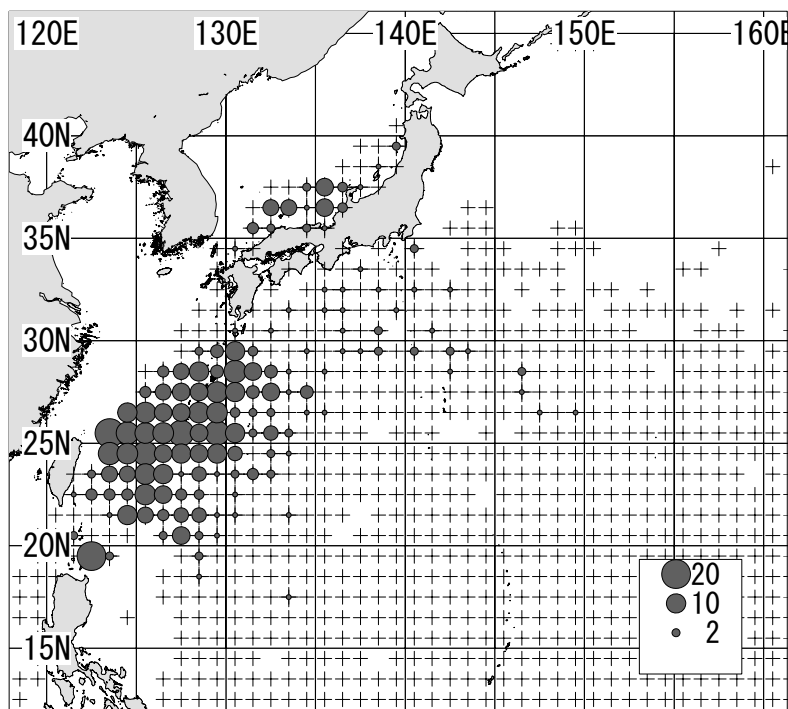


図 3-5 1° 区画別の仔稚魚ネットの曳網回数

円はクロマグロが採集された場合、+は曳網は行なわれたがクロマグロが採集されなかった場合。

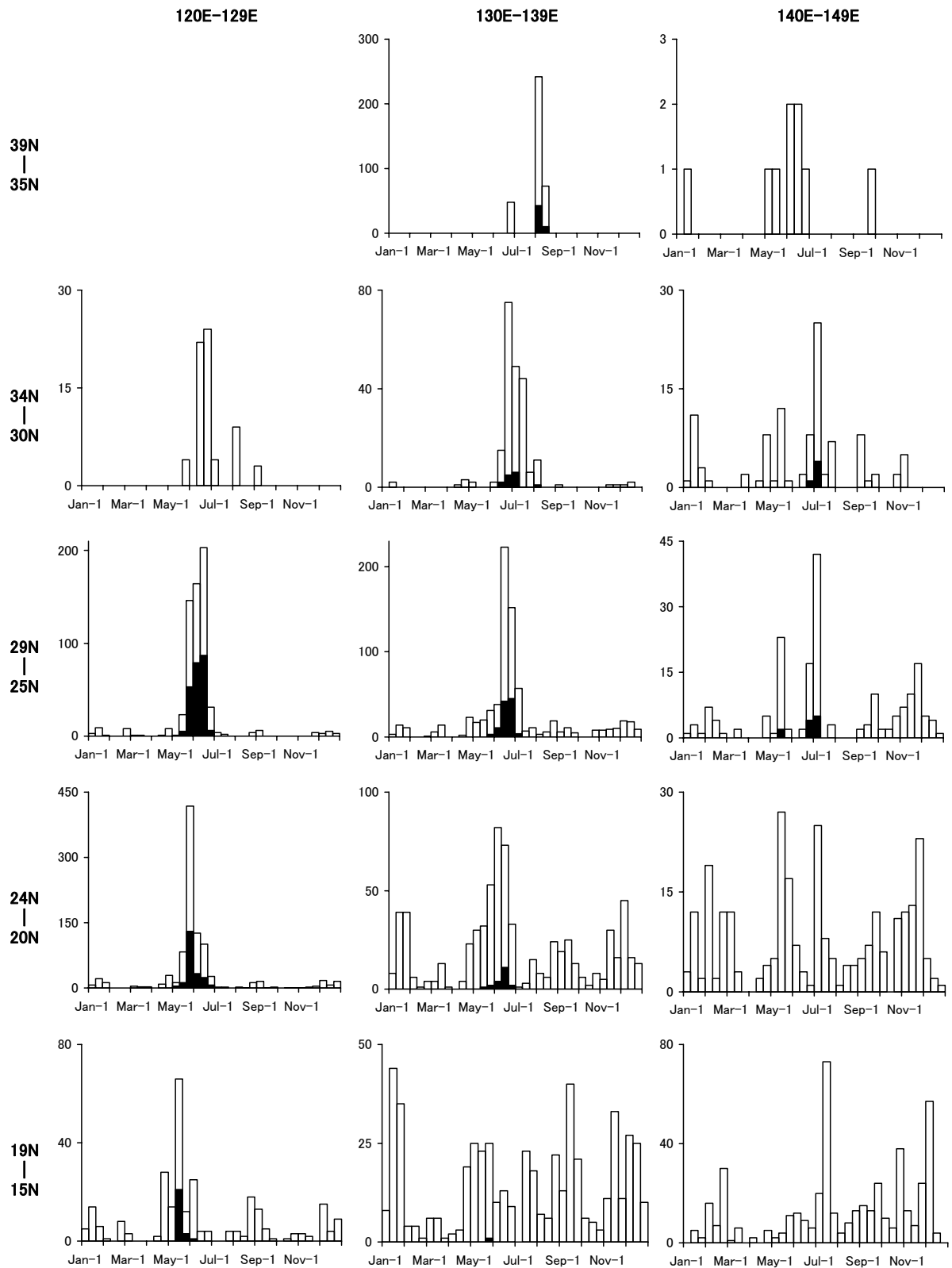


図 3-6 北西太平洋の緯度 5°、経度 10° ごとの海域における仔稚魚ネット曳網回数  
 白棒は全曳網回数、黒棒はクロマグロ仔魚が採集された曳網回数。

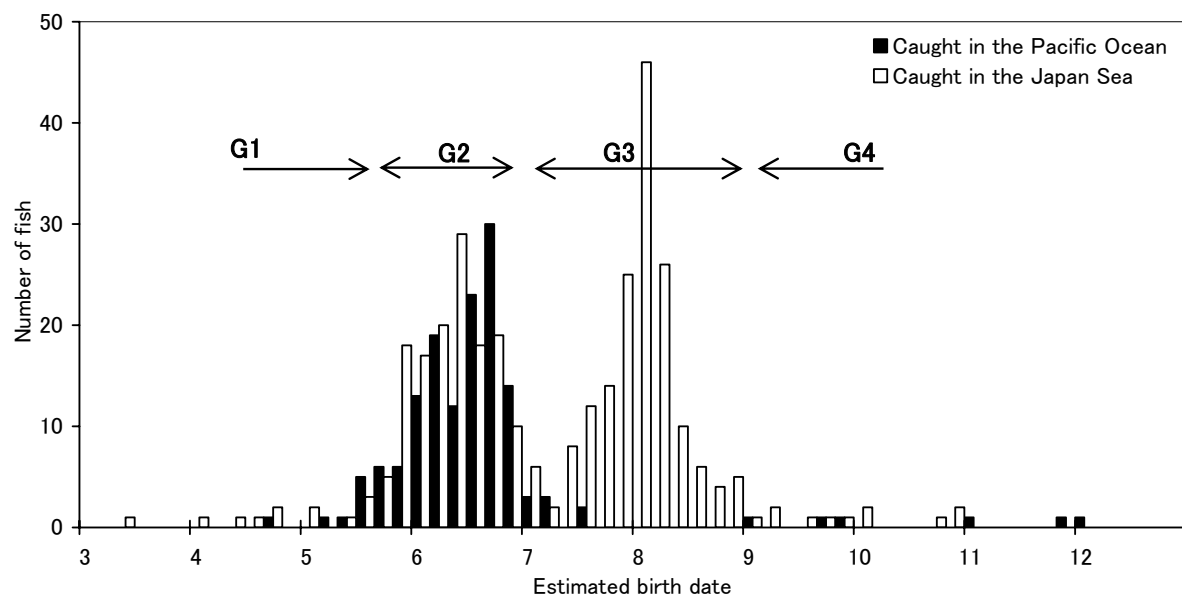


図 3-7 耳石日輪から逆算した産卵日の頻度分布

黒棒は太平洋で漁獲された魚、白棒は日本海で漁獲された魚。横軸の数字は月を示し、その月の初日に位置している。G1-G4 は発生グループ（本文参照）。5 日ごとにまとめている。

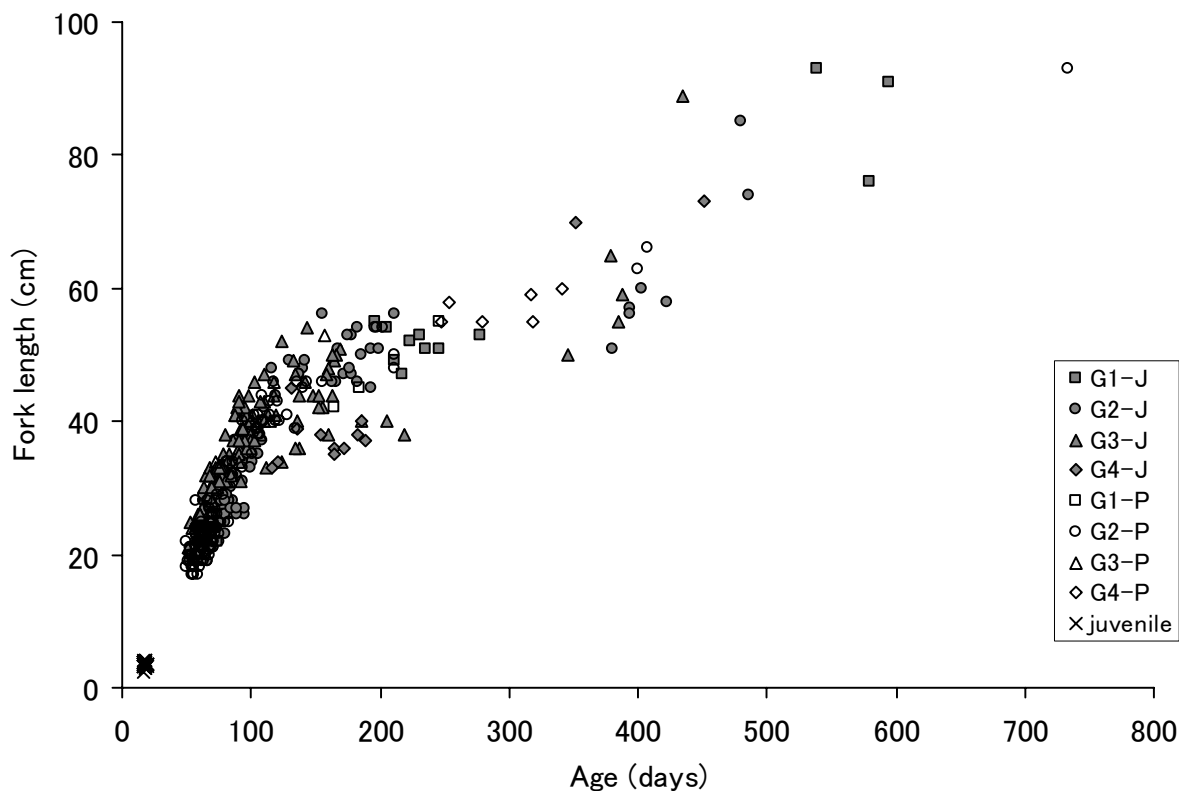


図 3-8 耳石日輪解析個体の日齢と尾叉長

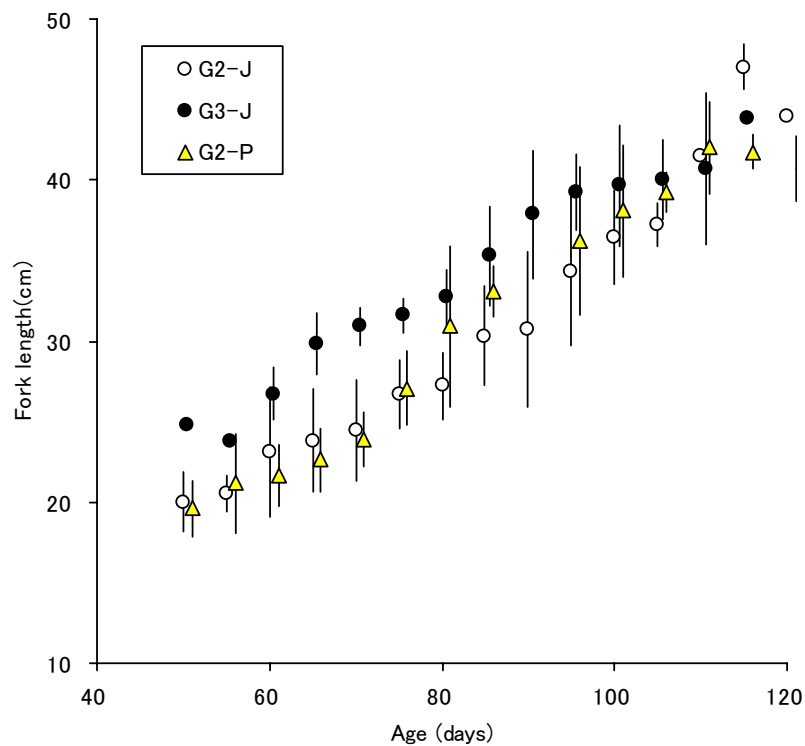


図 3-9 G2-J、G3-J、G2-P に属する耳石日輪解析個体の日齢と平均尾叉長  
5 日ごとの平均値と標準偏差（バー）。

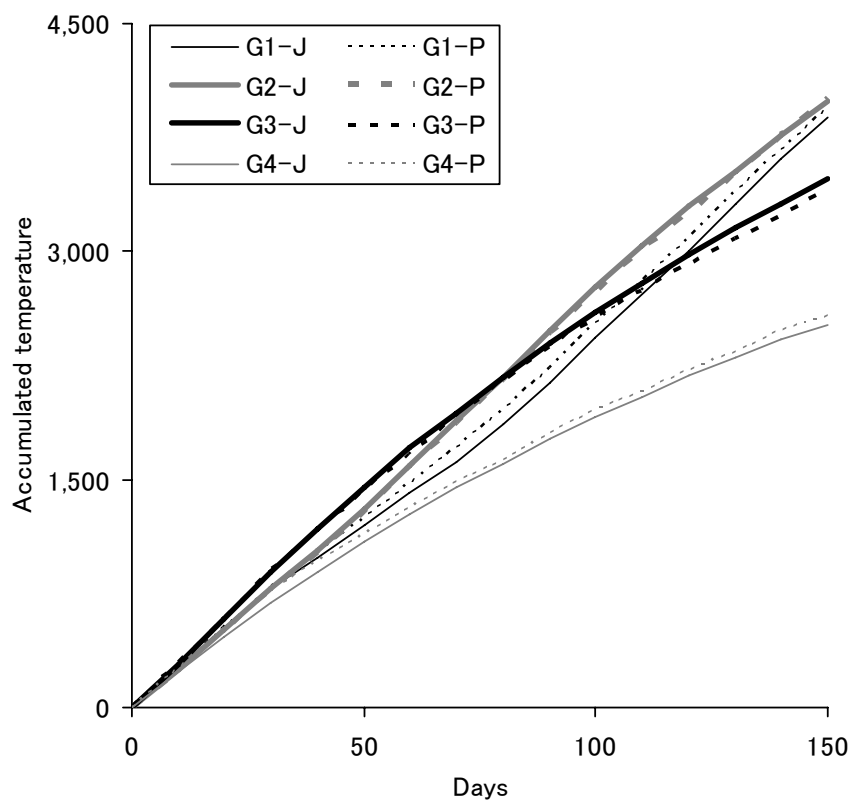
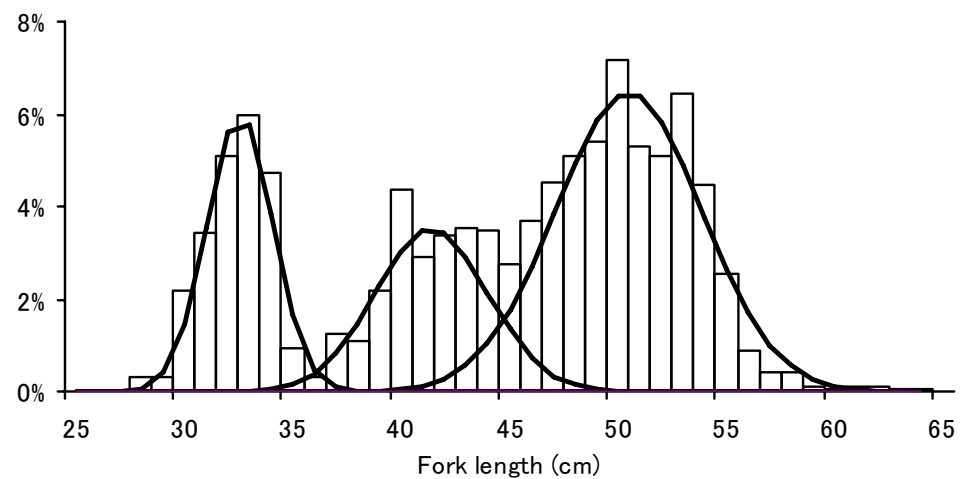


図 3-10 8 発生時期グループごとの積算沿岸水温



**図 3-11 漁獲物の体長組成に複数の正規分布を当てはめた例**

1997 年 1 月に日本海・東シナ海で漁獲された魚。



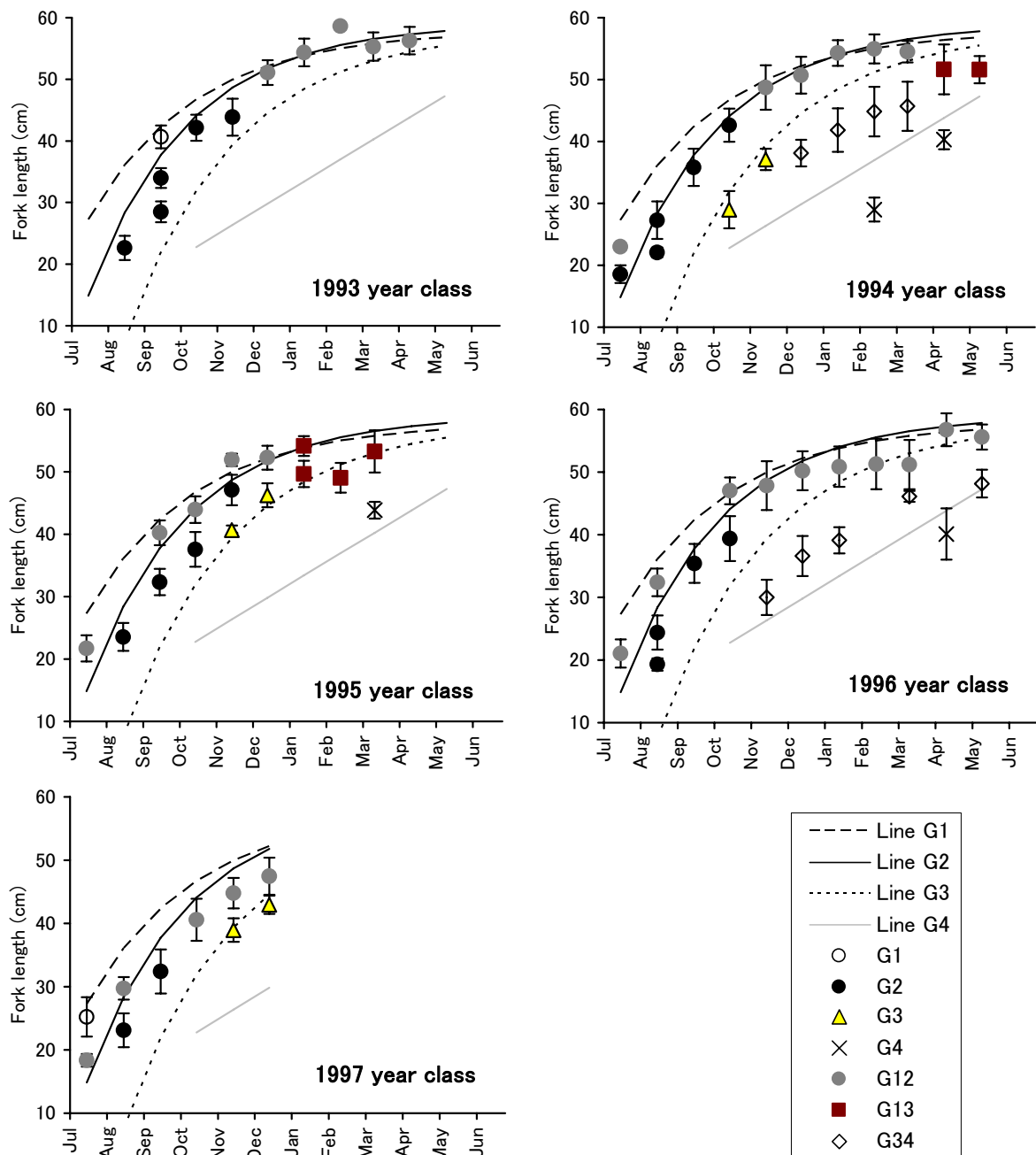


図 3-12 太平洋で漁獲されたクロマグロの月別体長モード  
 曲線は発生時期グループごとの von Bertalanffy 成長式。

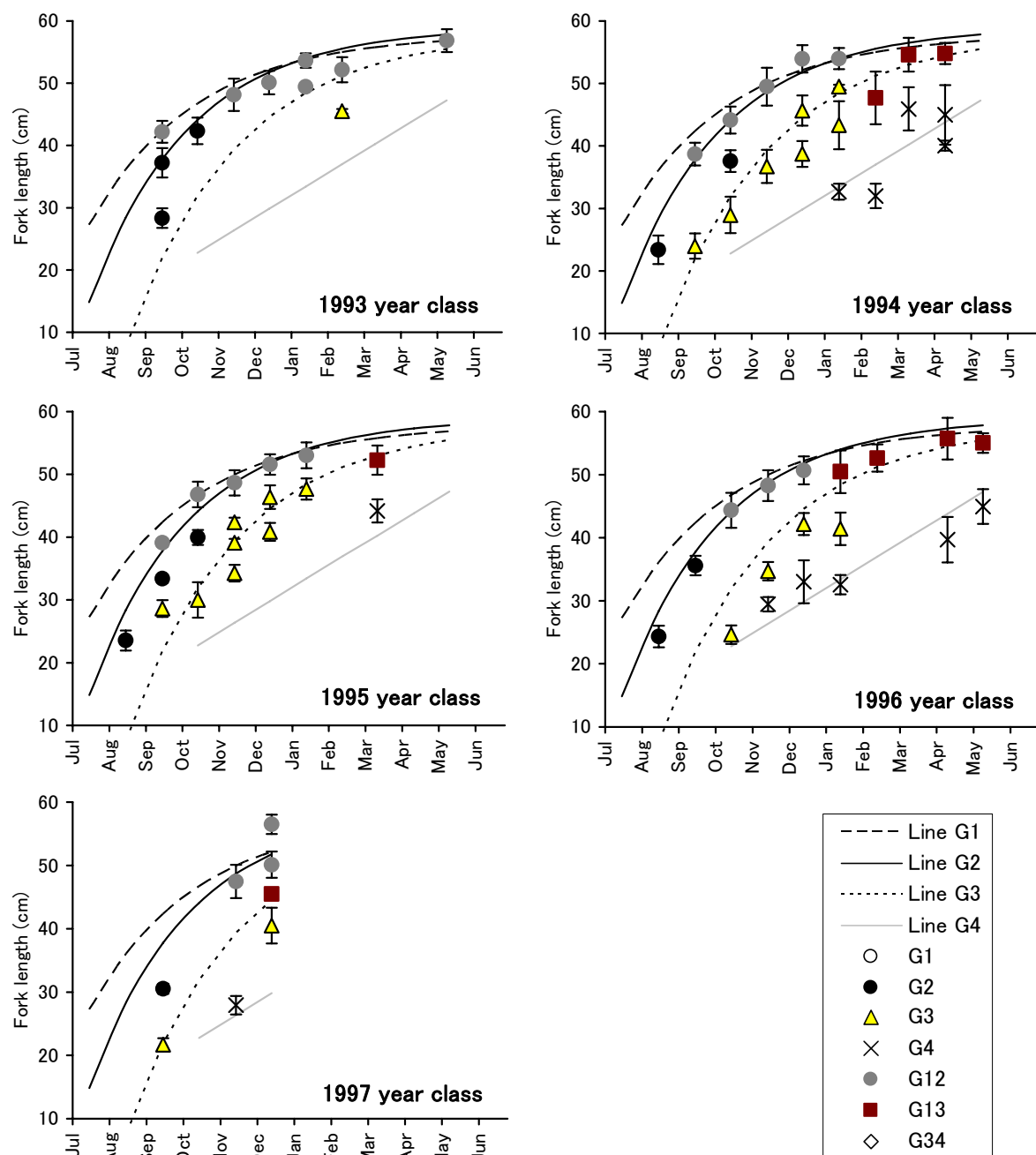


図 3-13 日本海・東シナ海で漁獲されたクロマグロの月別体長モード  
 曲線は発生時期グループごとの von Bertalanffy 成長式。

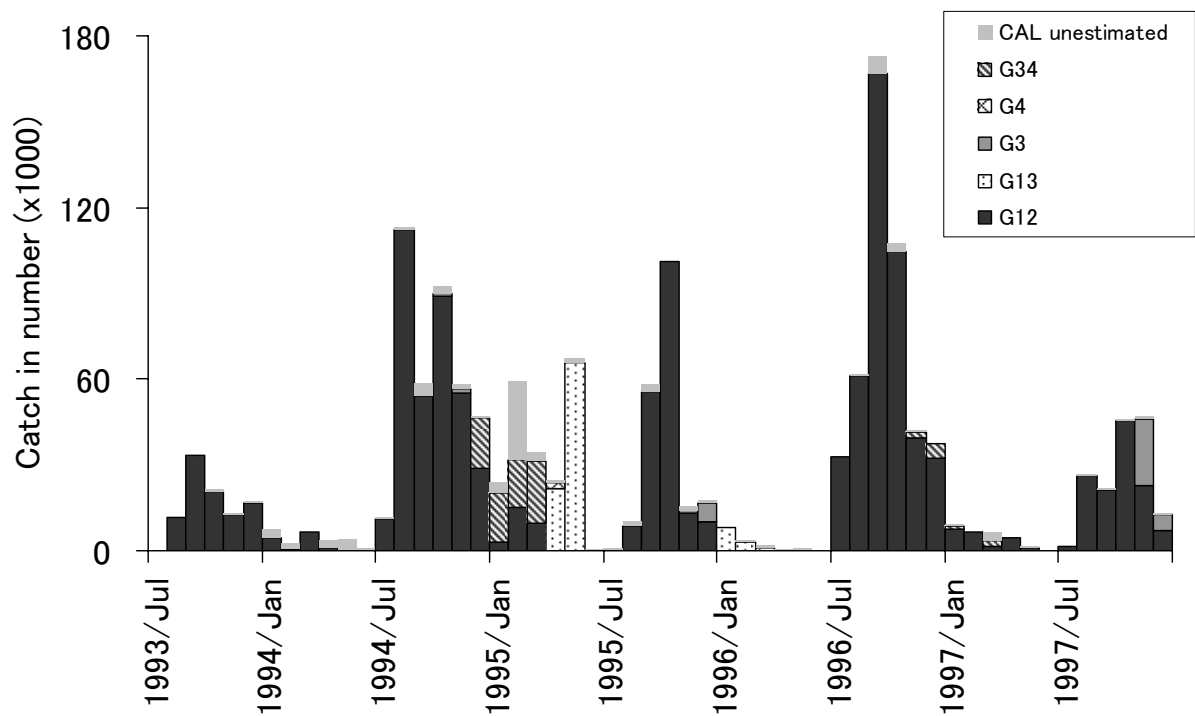


図 3-14 太平洋で漁獲されたクロマグロの月・発生時期グループ別尾数

CAL unestimated は体長別漁獲尾数が未推定。

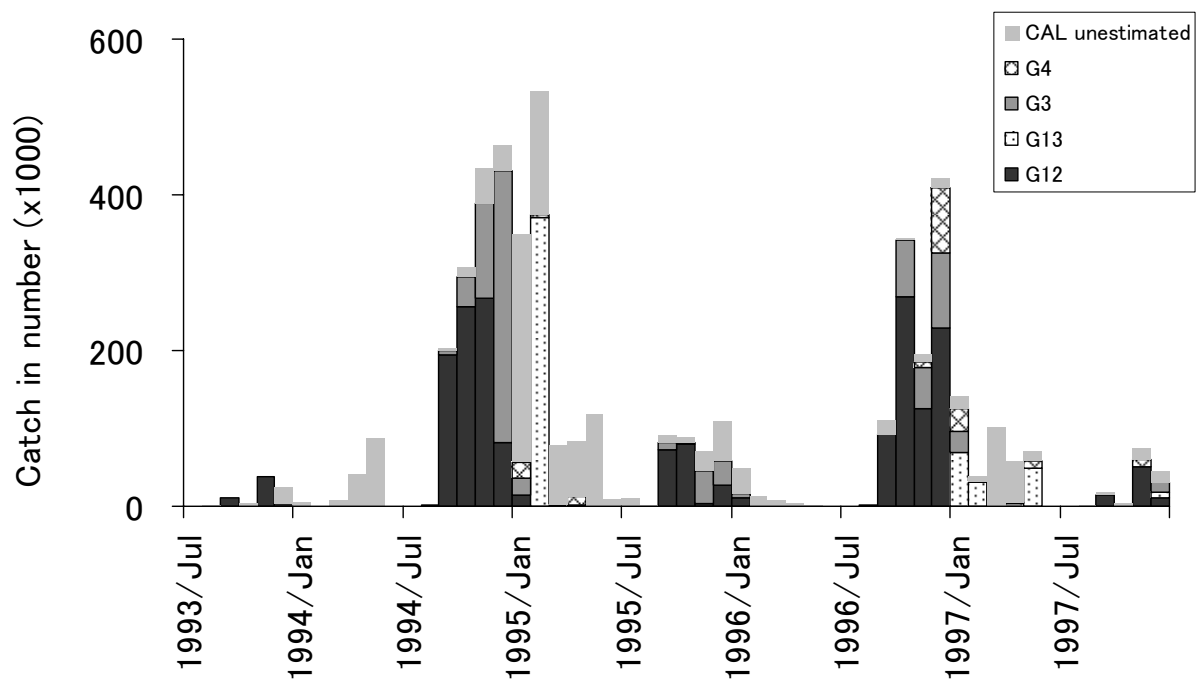


図 3-15 日本海・東シナ海で漁獲されたクロマグロの月・発生時期グループ別尾数

CAL unestimated は体長別漁獲尾数が未推定。

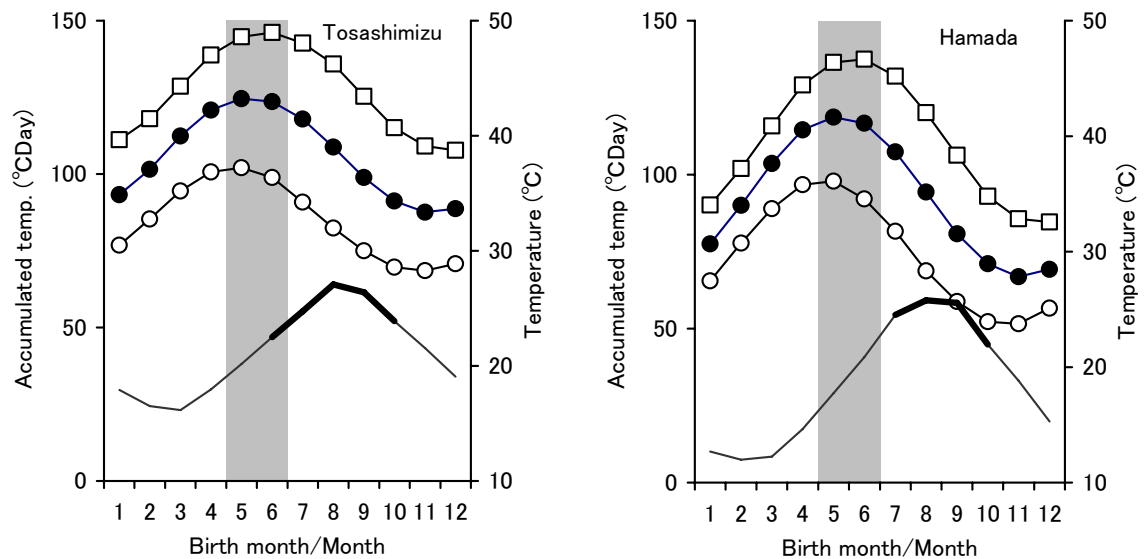


図 3-16 沿岸域における水温の季節変化

水温は 1993 年と 1994 年の平均。シンボル付きの実線は、発生後 6 ヶ月間における沿岸での積算経験水温（左縦軸）で、沿岸までの来遊に 0 ヶ月（□）、1 ヶ月（●）、2 ヶ月（○）を要した場合を想定した。シンボルのない実線は月別平均水温の周年変化（右縦軸。横軸は観測月）で、太いラインは 22°C 以上。左図は、太平洋沿岸の場合で水温は土佐清水のもの、右図は、日本海沿岸の場合で水温は浜田のもの。シャドー部は産卵盛期である 5-6 月。

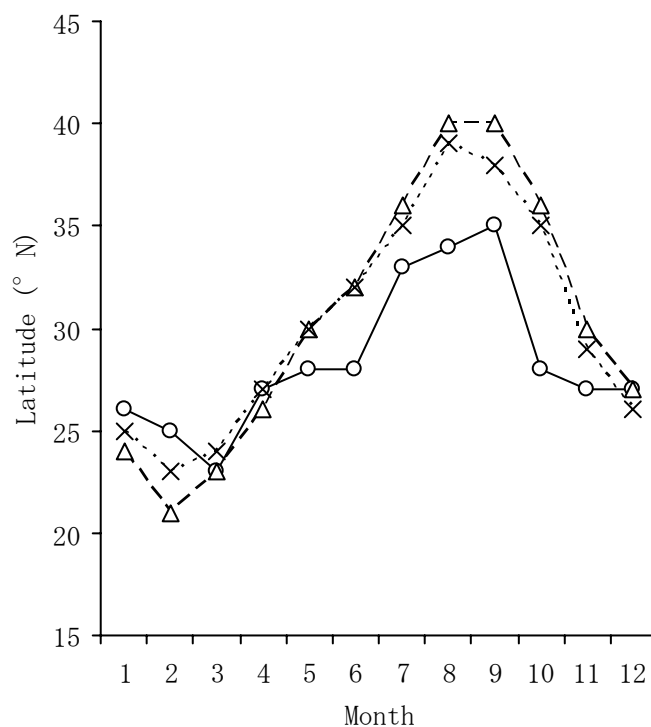


図 3-17 表面水温 24°C の北限緯度の周年変化

○は 125E、△は 135E、×は 145E。1998 年の値。

表 4-1 朝の急浮上と夕方の急潜行が見られた日数

海域	月	個体数	朝			夕方			平均 割合
			総日数	行動が見られた日数	割合	総日数	行動が見られた日数	割合	
東シナ海	1	7	87	73	84%	86	77	90%	87%
	2	1	23	6	26%	22	16	73%	49%
	3	2	36	11	31%	37	12	32%	31%
	4	7	66	24	36%	67	41	61%	49%
	5	10	220	51	23%	221	128	58%	41%
	6	8	182	17	9%	176	37	21%	15%
	10	1	24	4	17%	24	6	25%	21%
	11	23	132	109	83%	153	142	93%	88%
	12	29	487	388	80%	489	457	93%	87%
日本海	4	1	13		0%	12	1	8%	4%
	5	1	9	1	11%	9	1	11%	11%
	9	1	12		0%	12	4	33%	17%
	10	2	61	10	16%	61	22	36%	26%
	11	2	43	15	35%	42	18	43%	39%
太平洋	5	1	16	11	69%	16	13	81%	75%
	6	2	26	19	73%	26	25	96%	85%
	7	1	31	25	81%	31	31	100%	90%
合計			1468	764	52%	1484	1031	69%	61%

表 4-2 アーカイバルタグで記録されたクロマグロ若齢魚の移動期の情報

魚のIDと 移動番号	海域	移動開始				移動終了				移動期の 期間(日)	総移動 距離 (km)	1日の移 動距離 (km)
		日付		位置		日付		位置				
241 M1	西部太平洋	1May	1997	31N	132E	15May	1997	36N	143E	15	1,341	89.4
241 M2	西部太平洋	30Jul	1997	40N	147E	18Aug	1997	42N	152E	20	1,161	58.1
241 M3 <sup>1</sup>	中央太平洋	11Nov	1997	41N	163E	15Jan	1998	36N	127W	66	7,636	115.7
241 M4	東部太平洋	25Feb	1998	32N	126W	3Mar	1998	29N	121W	7	1,043	148.9
241 M5 <sup>2</sup>	東部太平洋	9May	1998	29N	119W	12Jun	1998	27N	120W	35	3,406	97.3
209 M1	西部太平洋	7Mar	1996	30N	131E	6Apr	1996	35N	142E	31	1,860	60.0
164 M1 <sup>2</sup>	日本海	4May	1996	36N	134E	12May	1996	38N	138E	9	770	85.6
319 M1 <sup>2</sup>	日本海	18Apr	1997	35N	132E	30Apr	1997	38N	138E	13	1,346	103.5
688 M1	日本海	23Jun	1998	37N	132E	30Jun	1998	39N	138E	8	877	109.7
688 M2 <sup>2</sup>	日本海	3Nov	1998	44N	140E	14Nov	1998	34N	128E	12	1,611	134.2
760 M1	日本海	13Jul	1998	35N	129E	8Aug	1998	40N	137E	27	1,590	58.9
760 M2 <sup>2</sup>	日本海	11Nov	1998	44N	141E	14Nov	1998	38N	136E	4	727	181.7
平均										16.5 <sup>3</sup>	1430 <sup>3</sup>	103.6

1 渡洋回遊

2 詳細データが得られ、表 4-3 の解析に用いた。

3 極端に長期間、長距離のデータである渡洋回遊は含めていない。

表 4-3 クロマグロ若齢魚の移動期と滞在期との各種平均値の比較

事項	移動期/ 滞在期	魚のID — 移動番号					差の平均
		164-M1	241-M5	319-M1	688-M2	760-M2	
日数	移動期	9	2	13	12	4	
	滞在期	10	10	10	10	10	
遊泳深度 (m)	移動期	8.7	22.7	12.0	22.8	7.5	
	滞在期	14.0	15.0	45.3	10.2	17.4	
	差	-5.3	7.7	-33.3	12.5	-9.9	-5.6
環境水温 (°C)	移動期	12.9	17.4	12.8	19.8	16.3	
	滞在期	17.2	17.9	15.6	18.7	15.3	
	差	-4.3	-0.5	-2.8	1.1	0.9	-1.1
腹腔内温度 (°C)	移動期	17.8	21.1	17.5	25.9	22.7	
	滞在期	20.7	21.8	19.1	23.2	20.8	
	差	-2.9	-0.7	-1.6	2.7	1.9	-0.1
腹腔内温度－環 境水温(°C)	移動期	4.9	3.7	4.7	6.1	6.4	
	滞在期	3.6	3.9	3.6	4.5	5.5	
	差	1.4	-0.2	1.2	1.6	1.0	1.0
150m以深の1日当 たりの記録回数	移動期	5.4	36.0	1.6	3.7	4.3	
	滞在期	1.3	13.7	0.0	0.3	0.2	
	差	4.1	22.3	1.6	3.4	4.1	7.1
1日当たりの摂餌 回数	移動期	2.6	1.0	1.6	1.7	1.3	
	滞在期	1.7	0.6	1.2	0.9	1.3	
	差	0.9	0.4	0.4	0.8	-0.1	0.5
朝の急浮上が見 られた日数の割 合	移動期	11%	100%	8%	67%	0%	
	滞在期	70%	70%	50%	40%	0%	
	差	-59%	30%	-42%	27%	0%	-9%
夕方の急潜行が 見られた日数の 割合	移動期	11%	50%	8%	27%	50%	
	滞在期	80%	100%	50%	10%	40%	
	差	-69%	-50%	-42%	17%	10%	-27%
昼の遊泳深度が 夜間よりも深か った日の割合	移動期	89%	100%	50%	75%	25%	
	滞在期	80%	70%	90%	80%	100%	
	差	9%	30%	-40%	-5%	-75%	-16%
昼の環境水温が 夜間よりも低か った日の割合	移動期	56%	100%	58%	67%	50%	
	滞在期	70%	100%	30%	60%	70%	
	差	-14%	0%	28%	7%	-20%	0%
昼の腹腔内温度 が夜間よりも高 かった日の割合	移動期	89%	0%	92%	75%	100%	
	滞在期	80%	20%	100%	90%	100%	
	差	9%	-20%	-8%	-15%	0%	-7%
1日の累積深度変 化(m)	移動期	5,097	6,031	6,224	7,884	4,576	
	滞在期	5,639	4,533	6,123	5,266	6,386	
	差	-542	1,498	101	2,618	-1,810	373

表 4-4 移動と関連した水温変化

Test 1: 丸は移動開始前に表面水温に変化（春－夏は上昇、秋－冬は下降）があった場合。T-change はその変化における最高（春－夏）と最低（秋－冬）温度。  
Test 2: 移動開始と終了時の水温とクロマグロ若齢魚の適水温である 14-20℃との比較。14-20℃内の温度は下線を引いた。丸は範囲外で開始し、範囲内で終了した場合。  
Test 3: 丸は移動終了時の水温が、移動開始から最初に経験した水温であった場合。

季節	魚のID	移動番号	Test 1		Test 2		Test 3	
				T-change	開始時 水温	終了時 水温		
春	209	M1	○	20	<u>20.7</u>	<u>17.0</u>	-	-
	164	M1	○	19	<u>14.7</u>	12.4	-	○
	319	M1	-	16	<u>15.6</u>	13.0	-	-
	241	M1	○	23	21.7	<u>19.1</u>	○	○
夏	241	M2	○	23	21.9	<u>17.4</u>	○	○
	241	M5	○	20	<u>18.2</u>	<u>19.3</u>	-	-
	688	M1	○	21	<u>19.5</u>	<u>20.7</u>	-	-
	760	M1	○	26	24.0	23.6	-	-
秋－冬	241	M3	○	15	<u>14.7</u>	<u>14.3</u>	-	-
	241	M4	-	13	<u>16.0</u>	<u>17.4</u>	-	○
	688	M2	○	17	<u>19.9</u>	22.3	-	○
	760	M2	○	15	<u>14.5</u>	<u>20.1</u>	-	○

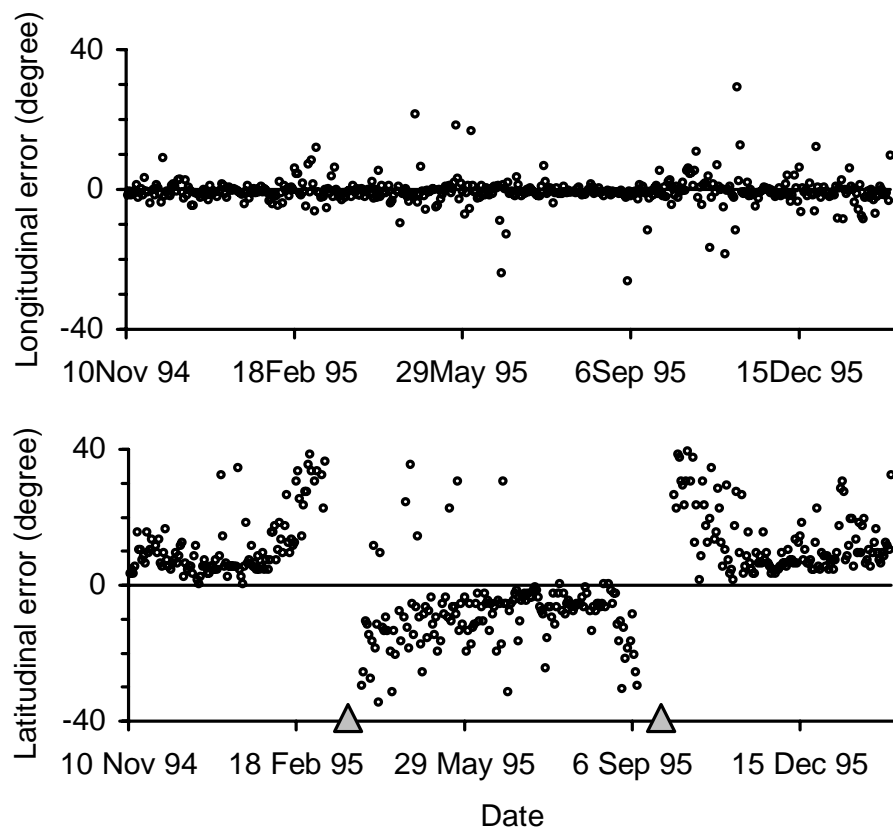


図 4-1 アーカイバルタグの位置推定誤差の季節変化

上図は経度誤差、下図は緯度誤差。三角は春分と秋分。データは飼育魚に 453 日間装着したアーカイバルタグのもので、飼育生簀の緯経度を基準としている。



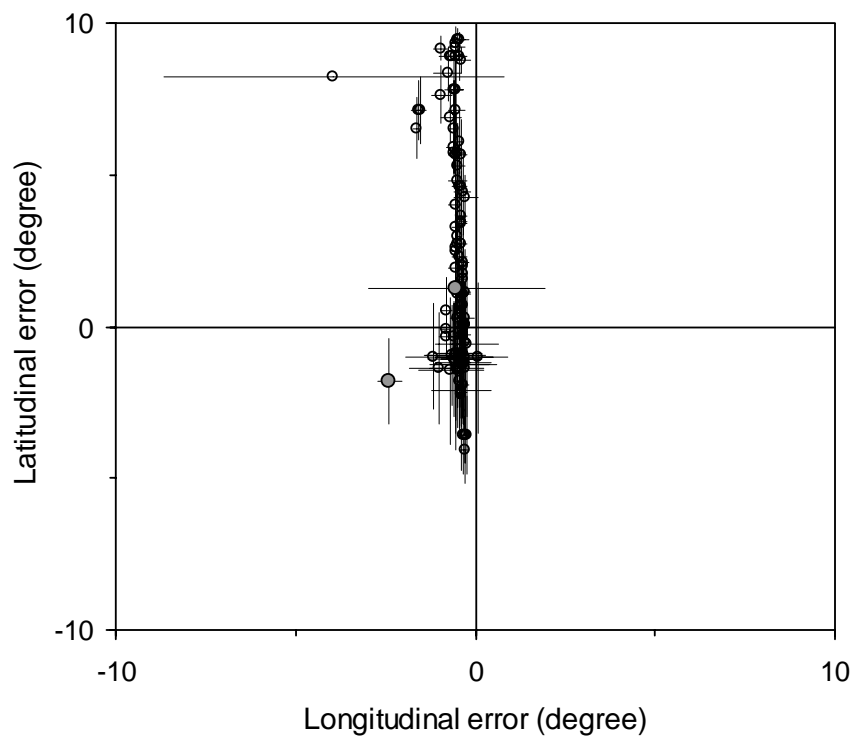


図 4-2 定点試験におけるアーカイバルタグごとの位置推定平均誤差

小円は陸上での試験、大円は飼育魚に装着した水中での試験を指す。バーは標準偏差。

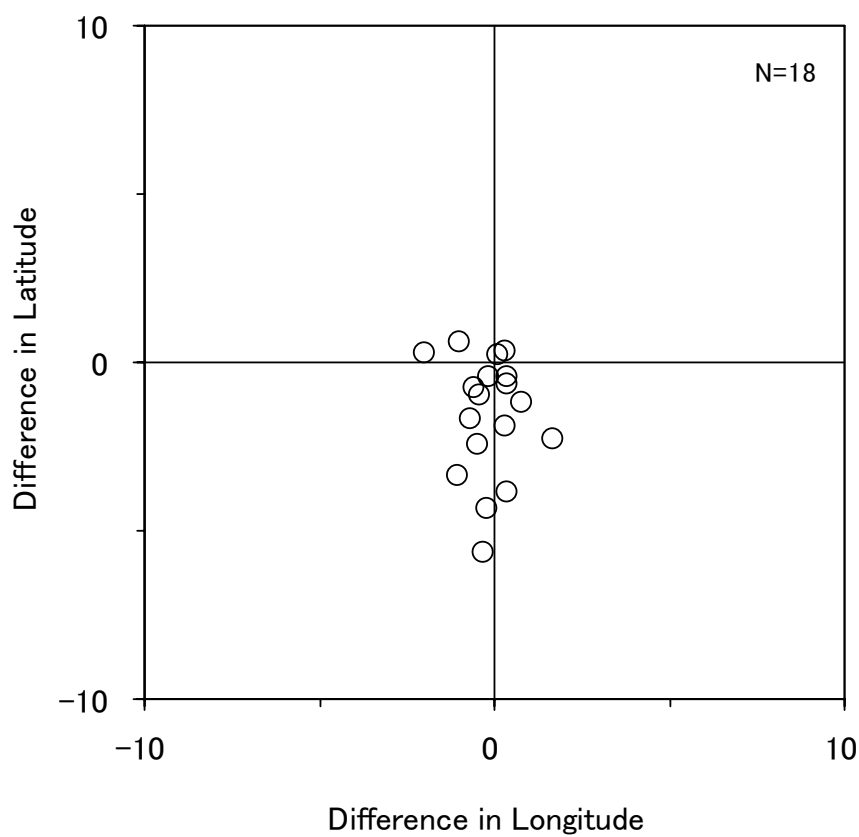
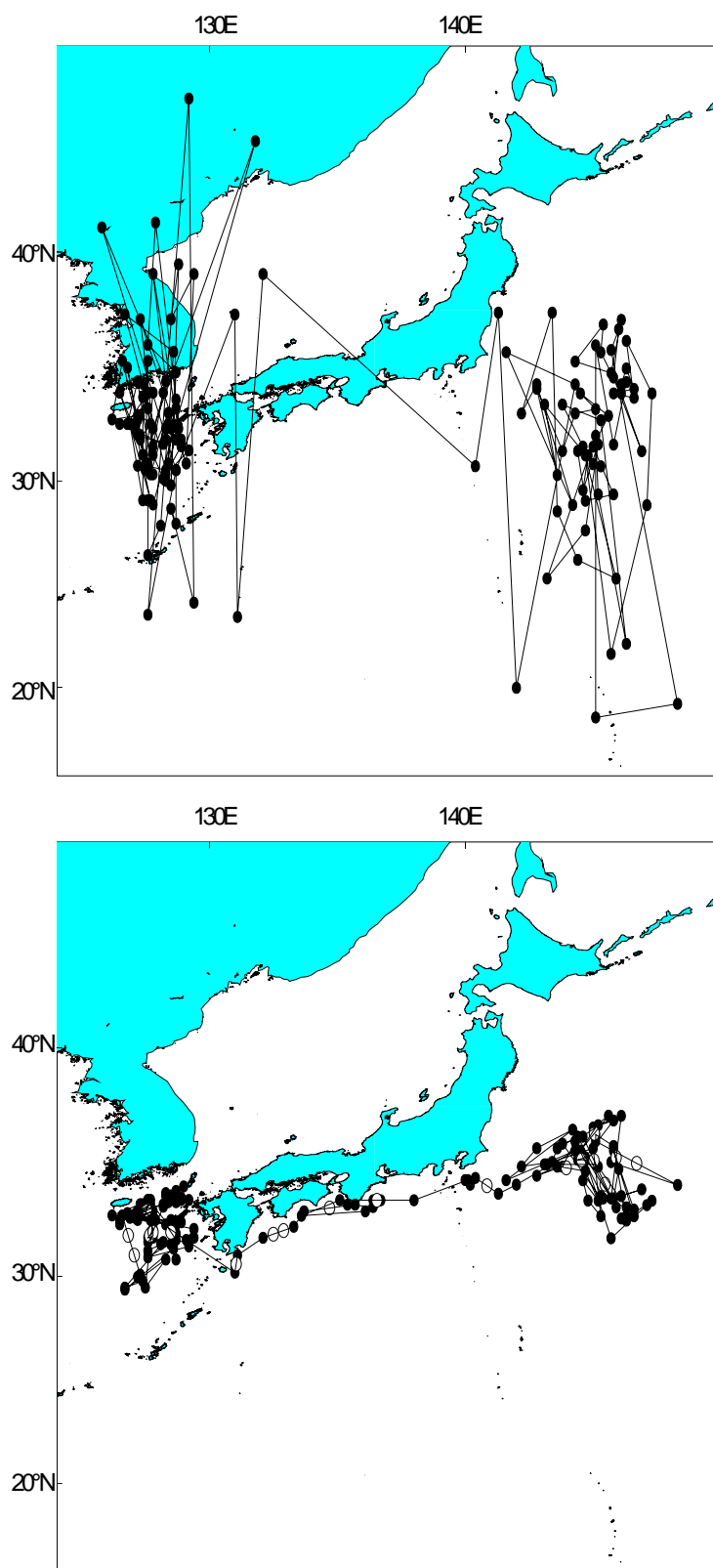


図 4-3 アーカイバルタグの照度から推定された位置と実際の再捕位置との差

緯経度の差はそれぞれ、推定位置－再捕位置。



**図 4-4 水温による緯度推定値の補正例**

上図は、アーカイバルタグによって照度のみから推定された緯経度を用いた場合で、図の範囲外の推定位置や緯度が推定されなかった場合は位置をプロットしていない。下図は、アーカイバルタグに記録された 0m 深水温データを表面水温図と対応させて緯度を推定した場合で、全ての日の位置をプロットした。内挿した日の位置は白丸で示した。

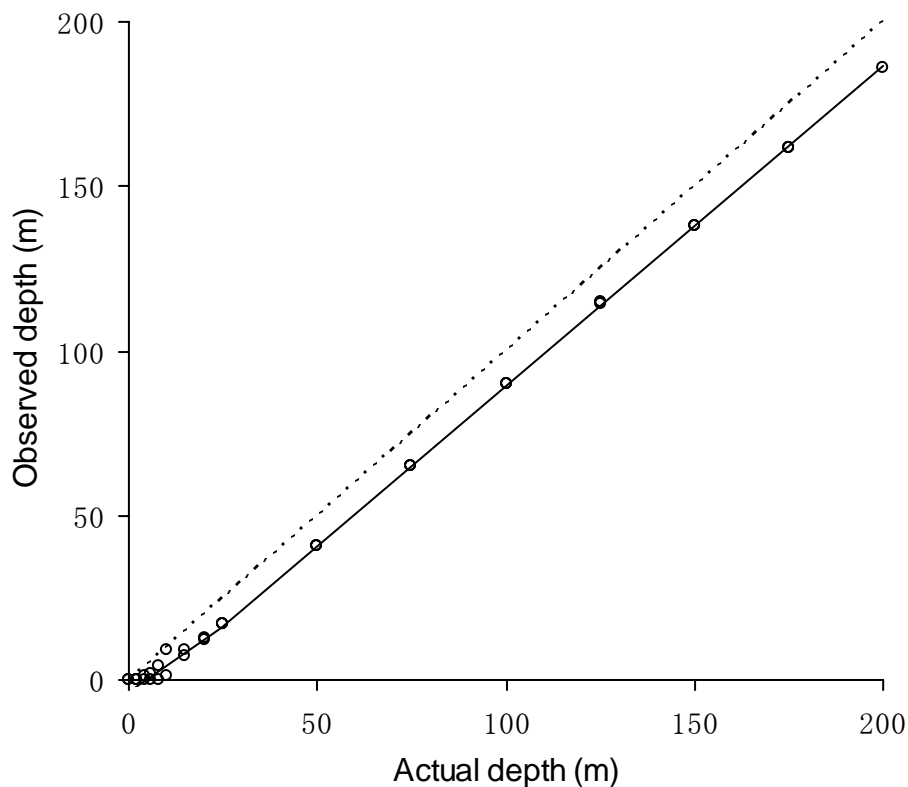


図 4-5 再捕後の試験で見られた圧力センサーの感度低下の例

横軸は圧力計で測定された値で深度(m)に変換してある。白丸は観測された圧力値。実線は補正式による直線で、このタグでは真値の25m深付近で交差している。点線は45°線。

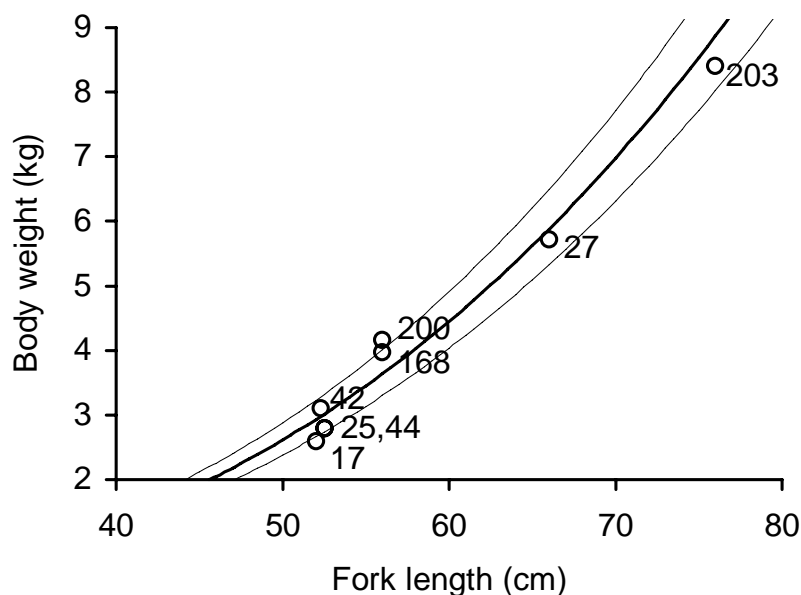


図 4-6 クロマグロ若齢魚の野生魚とアーカイバルタグ装着魚との体長あたり体重の比較

数字は放流期間（日）。野生魚の平均（太線）と95%信頼限界（細線）は1995-1996年に日本近海で漁獲された尾叉長40-80cmの11,777個体から求めたもの。平均は $W=2.884 \times 10^{-5} \times L^{2.918}$ 、95%上限は $W=3.028 \times 10^{-5} \times L^{2.930}$ 、95%下限は $W=2.745 \times 10^{-5} \times L^{2.906}$ 。Lは尾叉長（cm）、Wは体重(kg)。

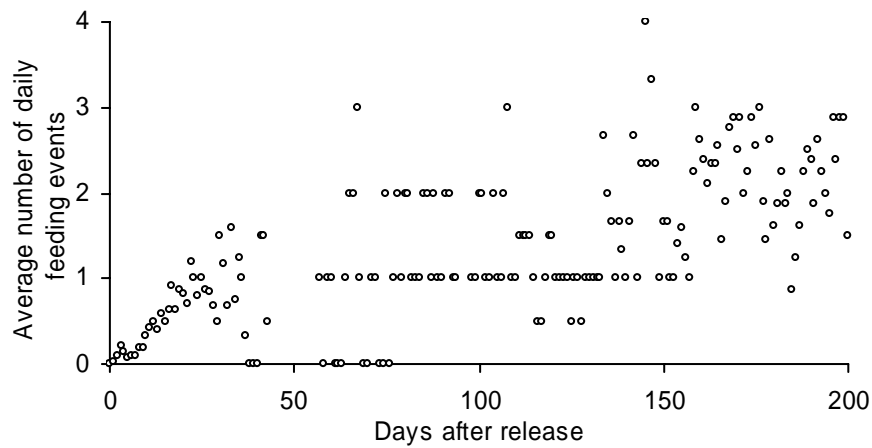


図 4-7 放流後日数に対するクロマグロ若齢魚の日平均摂餌回数

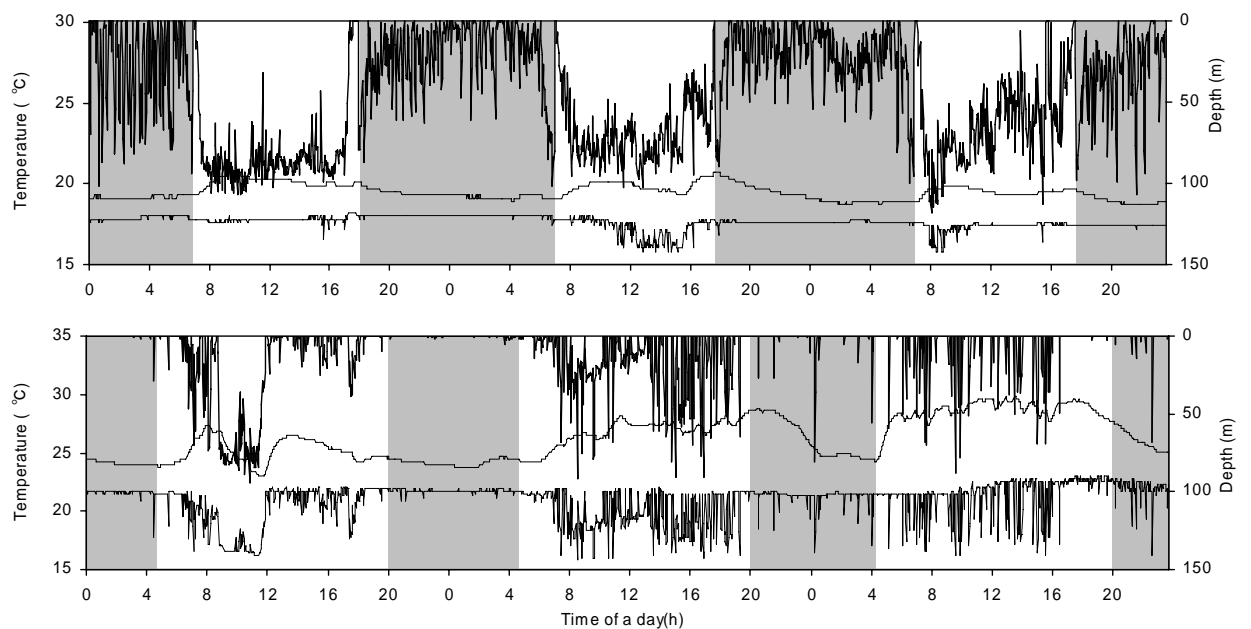


図 4-8 アーカイバルタグによるクロマグロ若齢魚の遊泳深度、腹腔内温度、環境水温の記録例  
太い直線は遊泳深度。細い直線のうちで高い温度は腹腔内温度、低い温度は環境水温。上図は冬季（1995 年 12 月 23-25 日）の東シナ海における記録、下図は夏季（1997 年 6 月 15-17 日）の東シナ海における記録。シャドーは夜間。

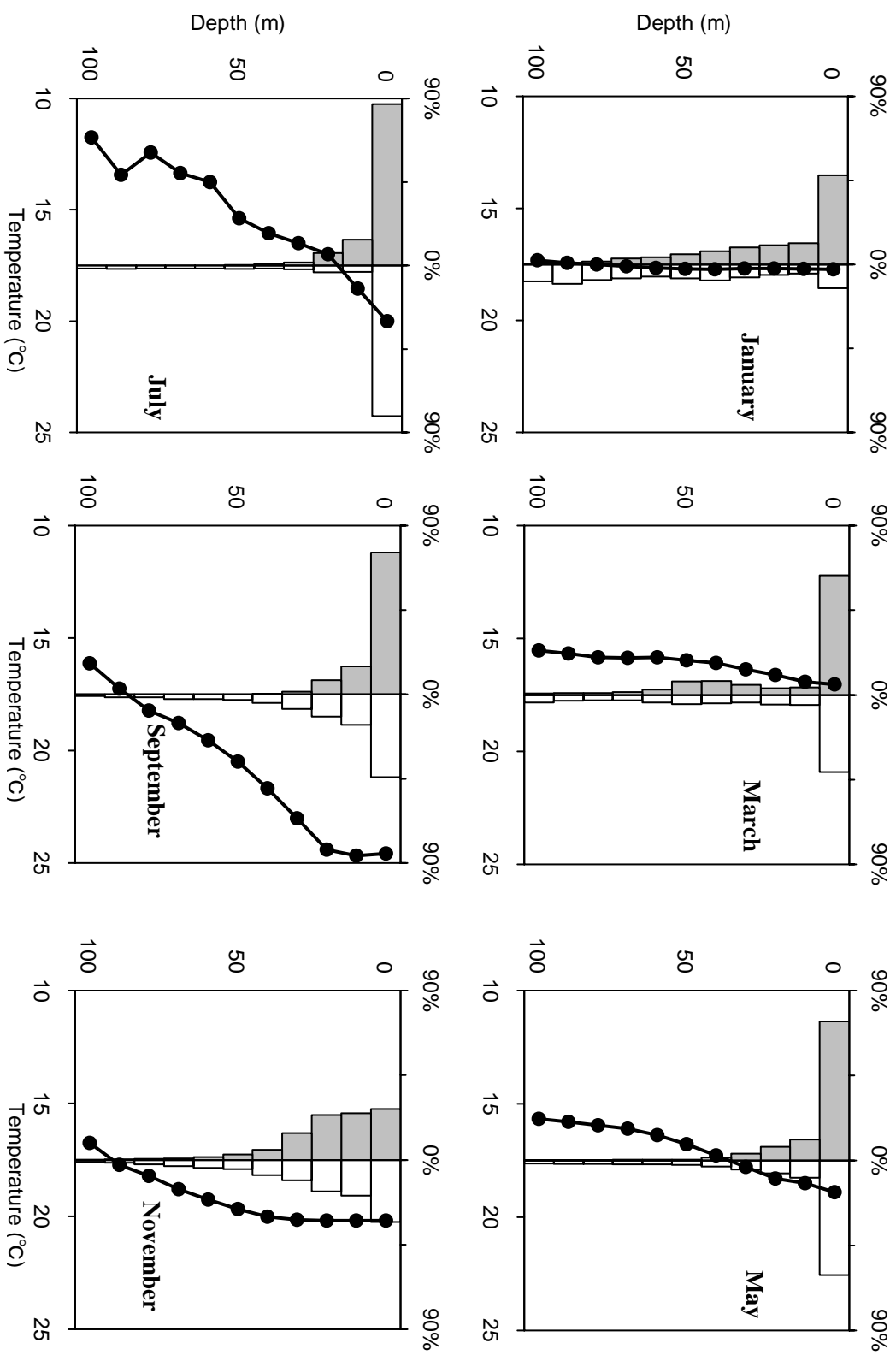
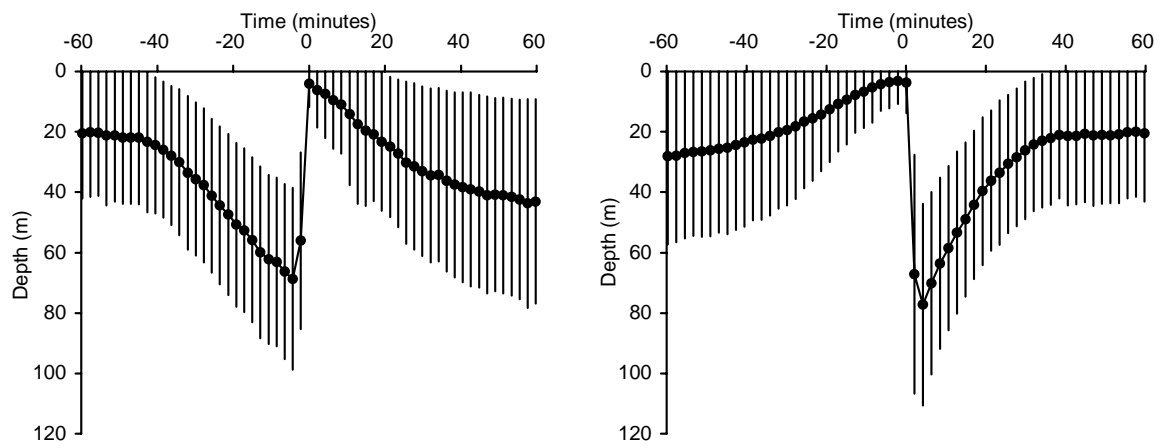


図 4-9 アーカイバルタグで観察されたクロマズロ若齢魚の月・昼夜別の鉛直頻度分布と深度による水温変化  
空白の棒は昼間、灰色の棒は夜間。黒丸の付いた線は水温。



**図 4-10 アーカイバルタグで観察されたクロマグロ若齢魚の朝夕の平均遊泳深度の変化**

左図は朝、右図は夕方。時間は朝の急上昇終了時ならびに夕方の急潜行開始直前を 0 とした。観察された全ての顕著な鉛直移動を平均した。バーは標準偏差。

Area	Year-month	Number of fish	Temperature (°C)																													
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
East China Sea	'95-12	7													3	68	49															
	'96-1	4													9	20	29	24	13	7												
	'96-2	3														25	19	14	9	8	2	3										
	'96-3	3														18	23	17	1	3		1										
	'96-4	2														15	14	11	11	5	1											
	'96-5	2														1	3	2	9	4	6	6	3									
	'96-6	1																		2	10	16	1									
	'96-11	12																2	1	7	14											
	'96-12	12															1	17	94	197	17											
	'97-1	8														2	5	17	48	86	67	1										
	'97-2	7														3	17	91	44	32	9											
	'97-3	7															2	82	59	35	35	4										
	'97-4	7																63	73	22	37			1	1							
	'97-5	5																		11	95	32										
	'97-6	4																			24	24	22	23	5							
	'97-11	10																		1	14	70	15									
	'97-12	10																	1	12	122	122	18									
	'98-1	8															1	21	40	50	70	23	10	4								
	'98-2	7															10	77	57	31	11	4										
	'98-3	6															2	39	75	44	23	3										
	'98-4	6																1	11	37	65	64	2									
	'98-5	6																		3	28	82	54	15	4							
	'98-6	6																				14	53	35	14	13						
	'98-7	2																						1	3	7	15	15	2			
	'98-8	1																							3	3	8	9	3	3	2	
	'98-9	1																								4	12	11	3			
	'98-10	1																				2	3	8	13	5						
	'98-11	1																					2	3	8	13	5					
Sea of Japan	'96-5	1														2																
	'97-4	1														2	1															
	'98-6	1																			2	5	1									
	'98-7	2																					4	12	18	8	4	4				
	'98-8	2																					1		1	26	15	16	3			
	'98-9	2																						1		1	13	15	1			
	'98-10	2																						13	2	1						
	'98-11	2																							1	2						
Pacific Ocean	'96-3	1																														
	'96-4	1																														
	'96-5	1																														
	'96-6	1																														
	'97-5	1																														
	'97-6	1																														
	'97-7	1																														
	'97-8	1																														
	'97-9	1																														
	'97-10	1																														
	'97-11	1																														
	'97-12	1																														
	'98-1	1																														
	'98-2	1																														
	'98-3	1																														
	'98-4	1																														
	'98-5	1																														
	'98-6	1																														
'98-7	1																															

図 4-11 アーカイバルタグで観察されたクロマグロ若齢魚の表面水温頻度分布

数字はその温度にいた全ての魚ののべ日数。シャドーはその魚にとって到達可能と考えられた海域（本文参照）の水温範囲。

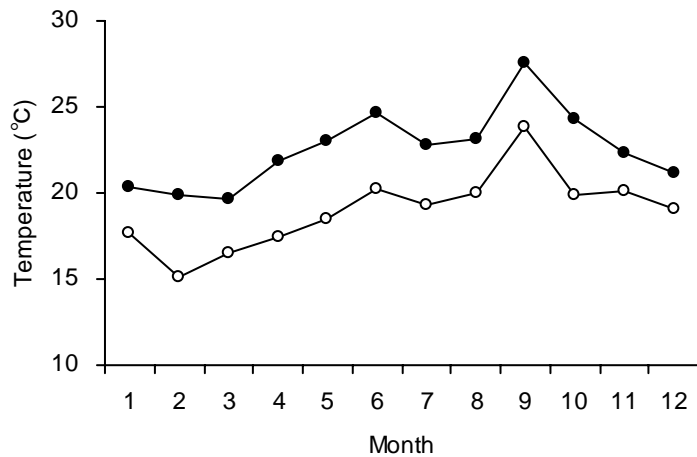


図 4-12 アーカイバルタグで観察されたクロマグロ若齢魚の腹腔内温度と環境水温の月別変化  
黒丸は腹腔内温度、白丸は環境水温。個体別平均値を平均した。

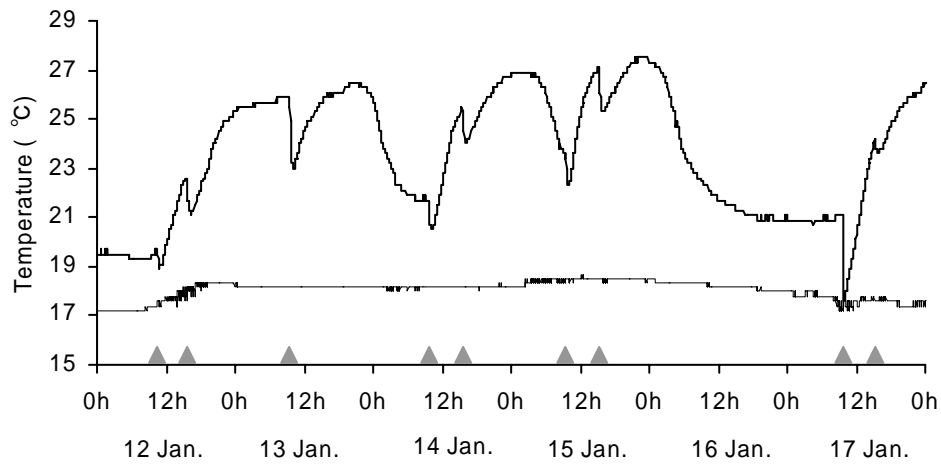


図 4-13 クロマグロ飼育魚の摂餌に伴う腹腔内温度の変化  
太い線は腹腔内温度、細い線は環境水温。三角は給餌時刻。

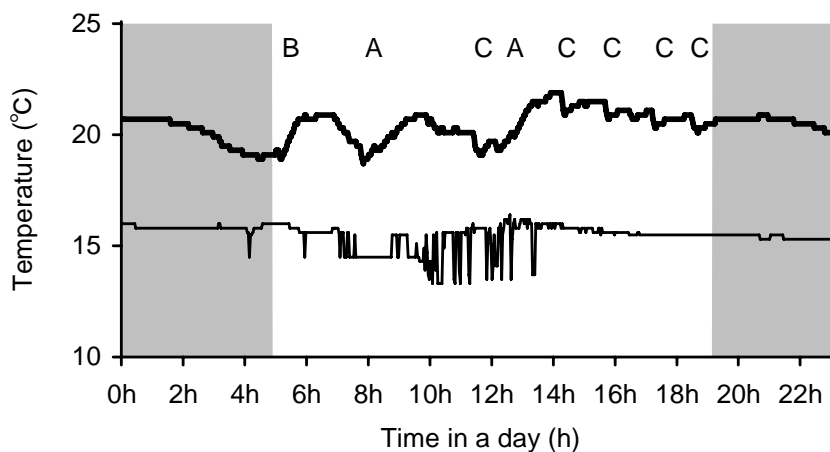


図 4-14 アーカイバルタグで記録された野生のクロマグロ若齢魚の摂餌によると思われる腹腔内温度の変化例

太い線は腹腔内温度、細い線は環境水温。A、B、C は腹腔内温度変化のタイプ（本文参照）。シャドーは夜間。データは 1996 年 5 月 2 日に日本海にいた魚のもの。



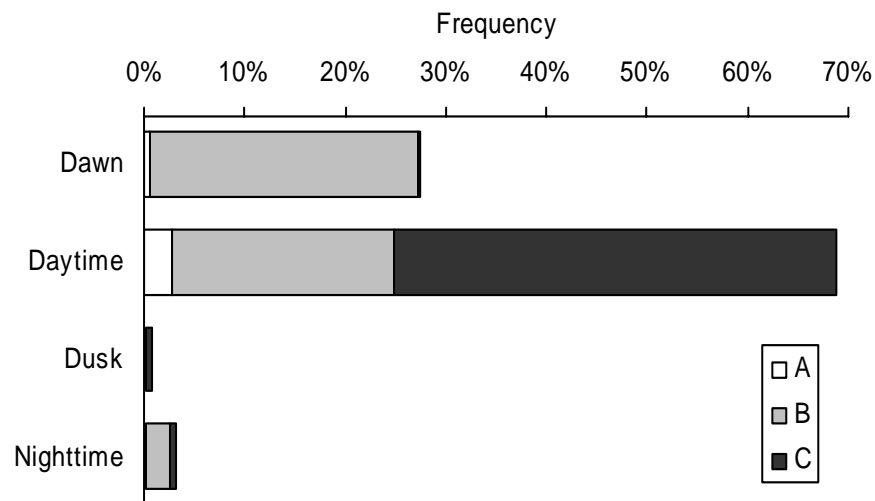


図 4-15 クロマグロ若齢魚の 1 日の摂餌回数

放流 60 日以降のデータを用いた。A、B、C は腹腔内温度変化のタイプ（本文参照）。

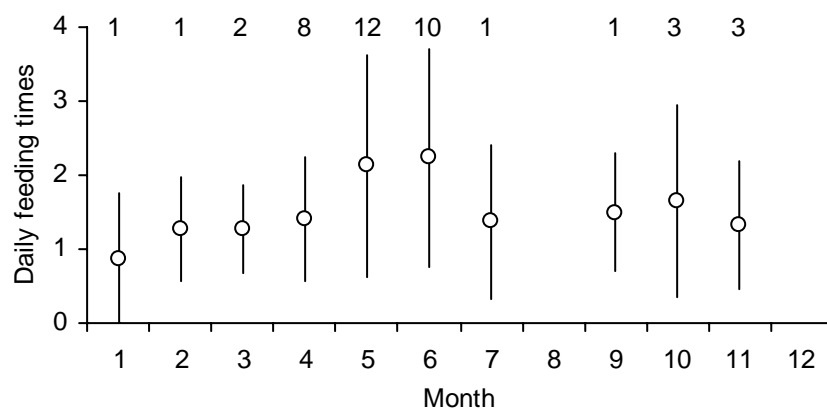


図 4-16 クロマグロ若齢魚の月別日平均摂餌回数

放流 60 日以降のデータを用いた。数字は個体数。バーは標準偏差。

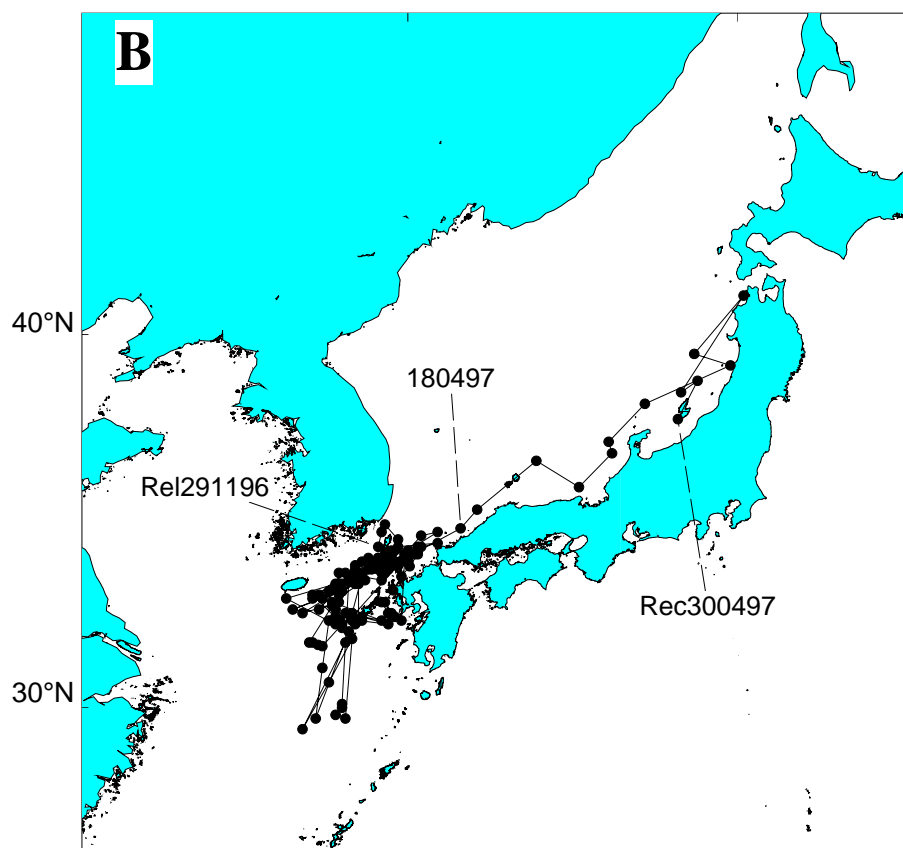
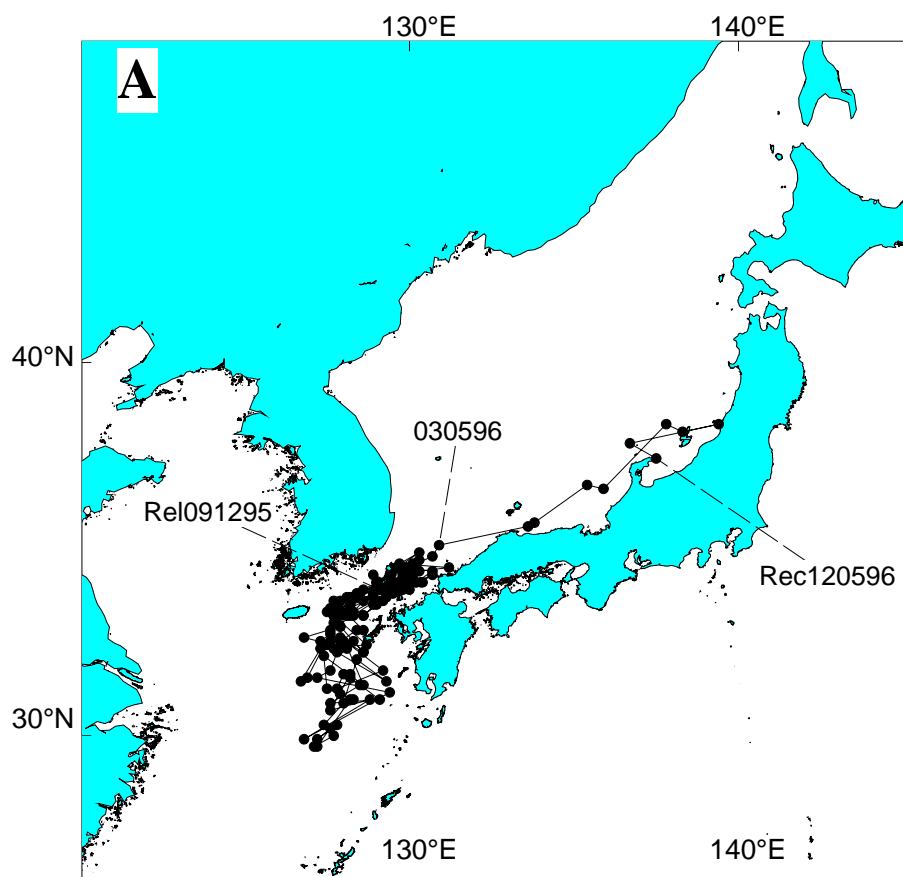


図 4-17 アーカイバルタグで推定されたクロマグロ若齢魚の移動軌跡

Rel は放流地点、Rec は再捕地点を示す。数字は年月日（日付・月・年の順）。1 図は 1 個体の魚のもの。

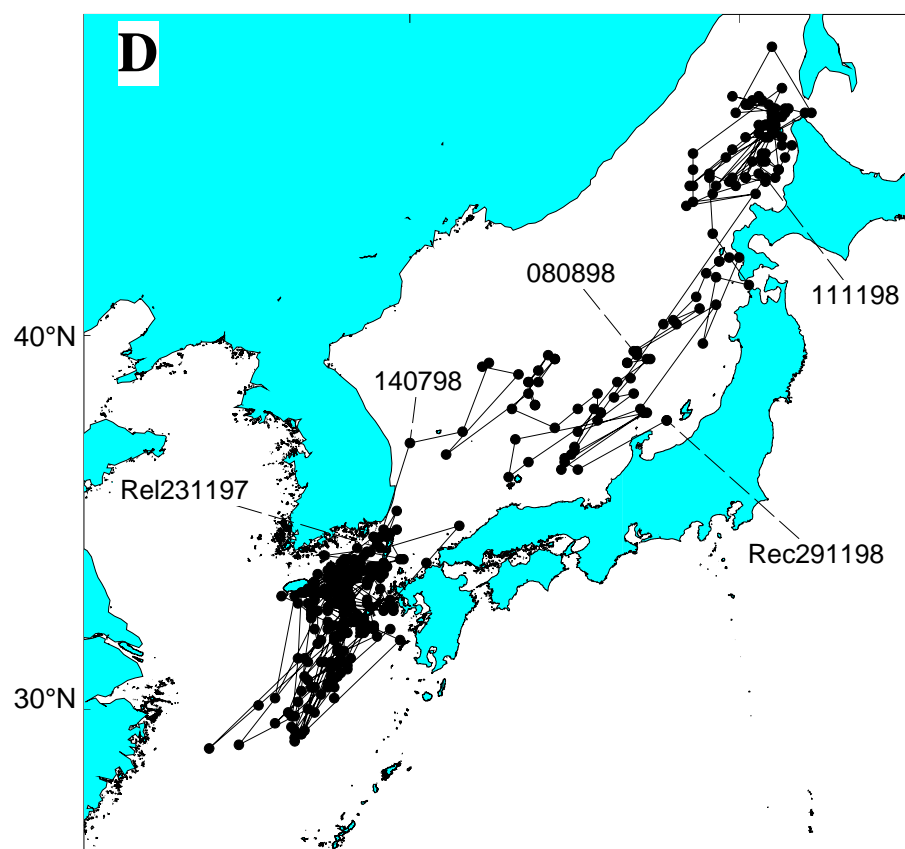
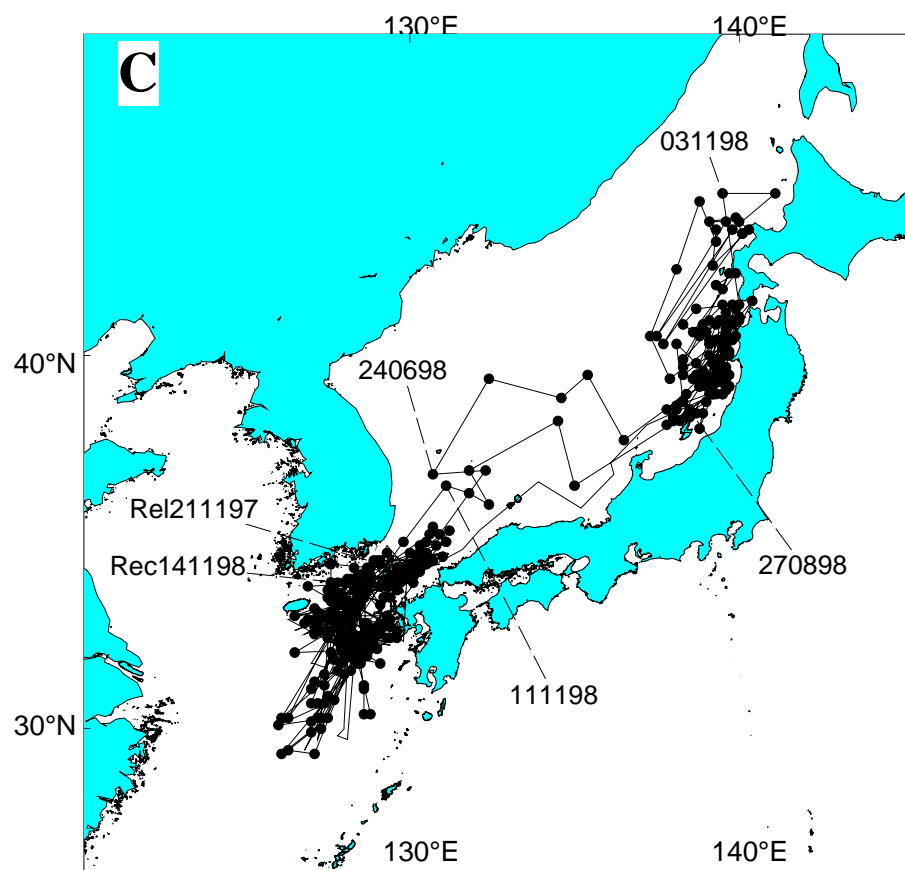


図 4-17 (つづき)

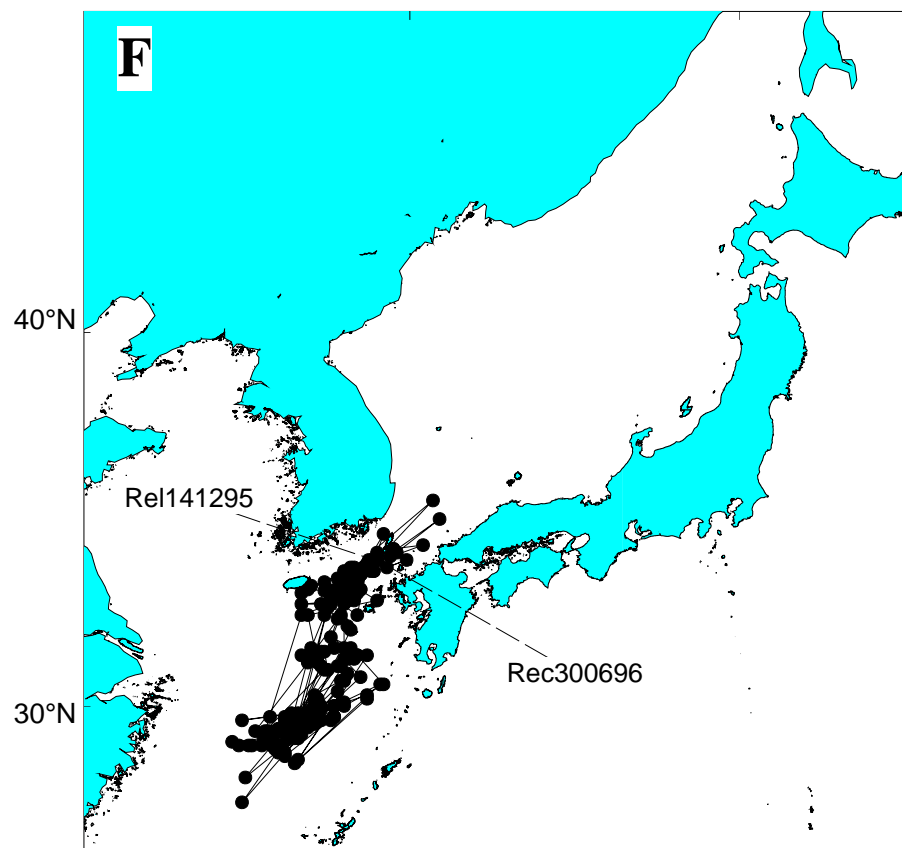
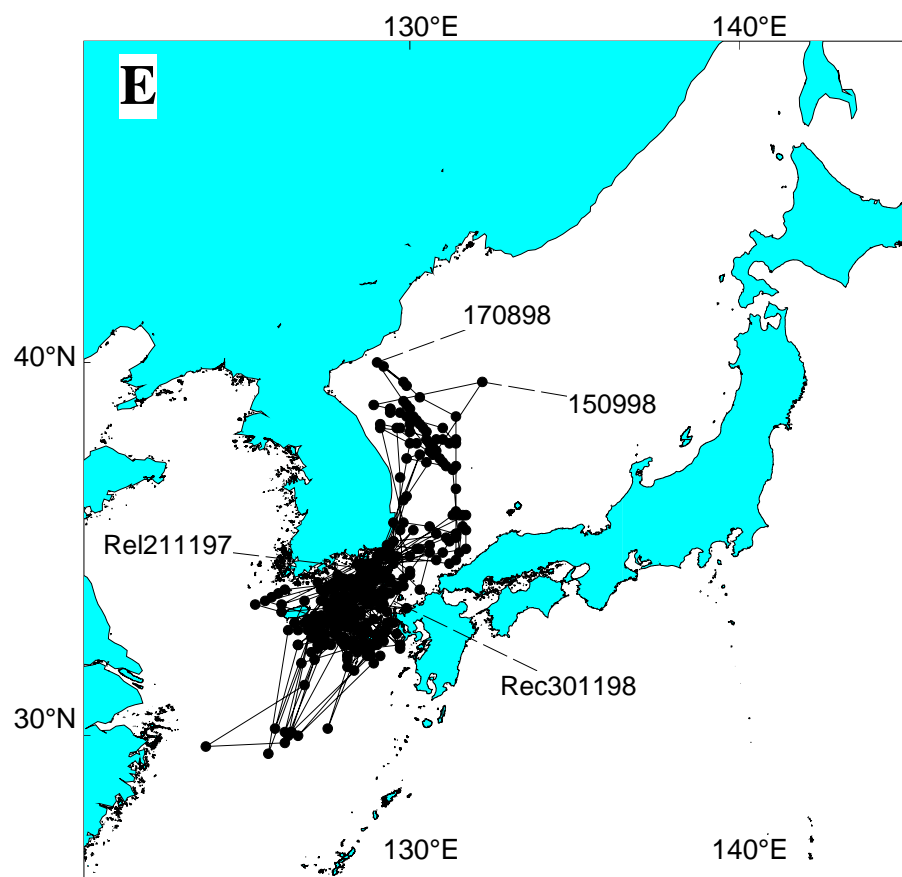


図 4-17 (つづき)

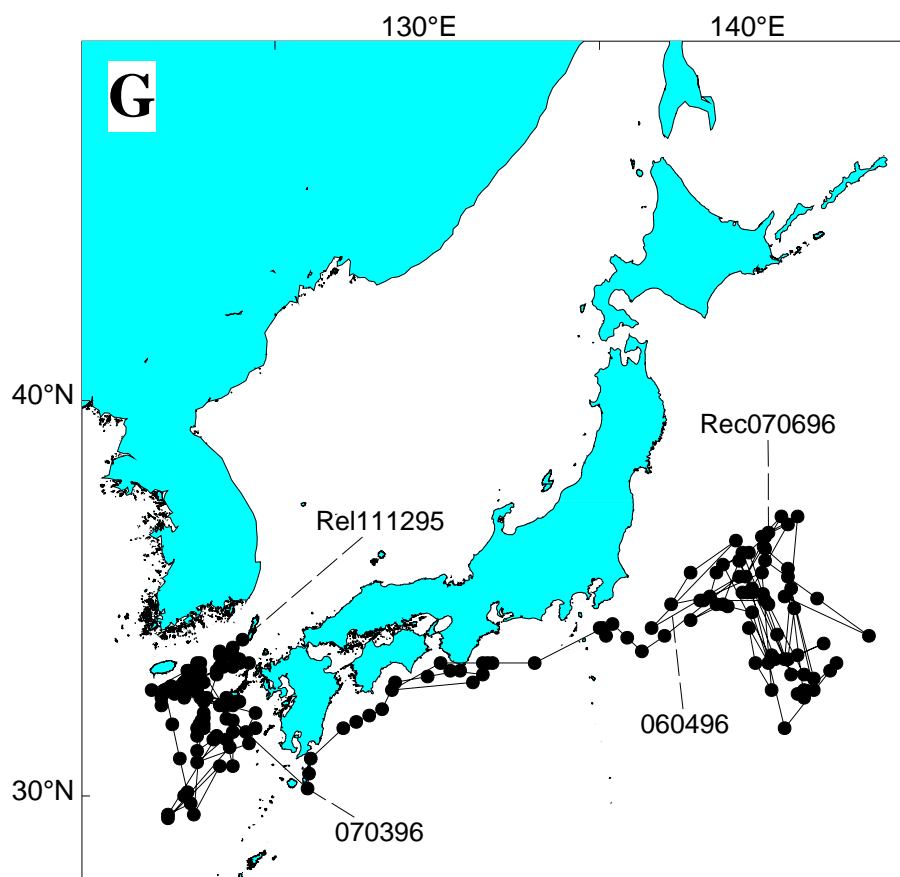


図 4-17 (つづき)

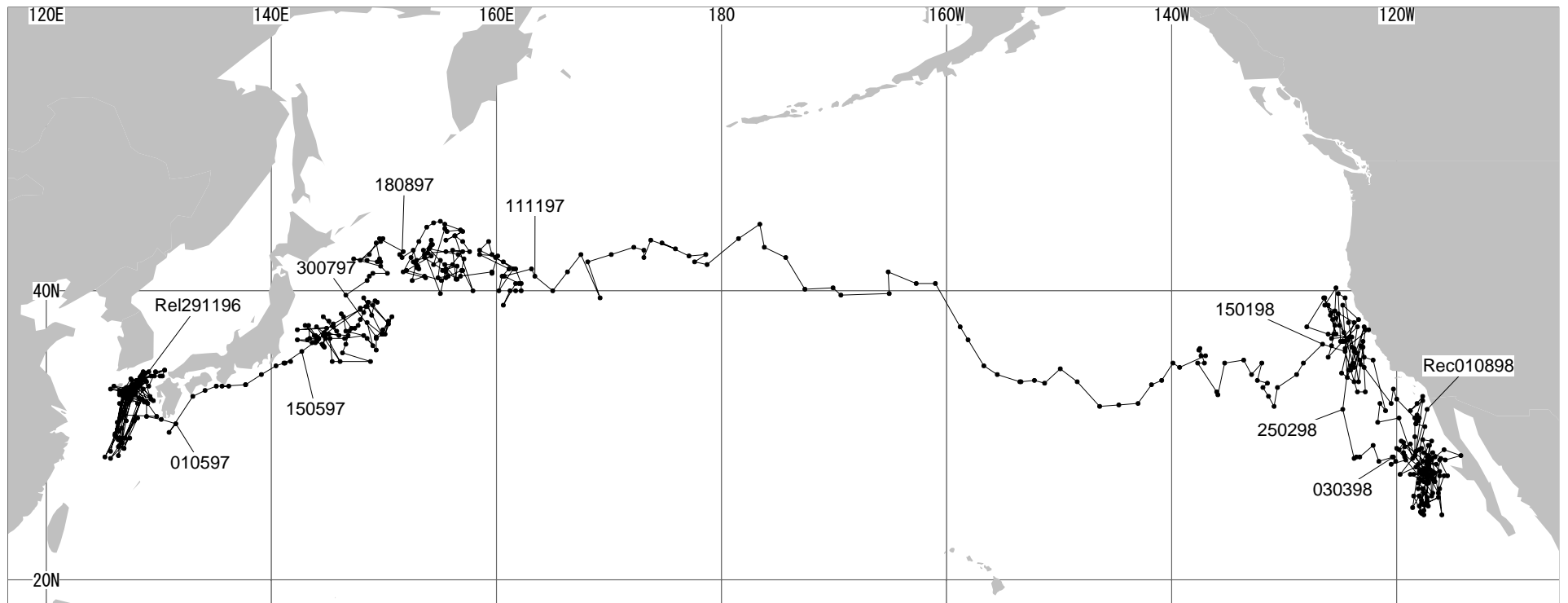


図 4-18 アーカイバルタグで推定された渡洋回遊したクロマグロ若齢魚の移動軌跡

Rel は放流地点、Rec は再捕地点を示す。数字は年月日（日付・月・年の順）。

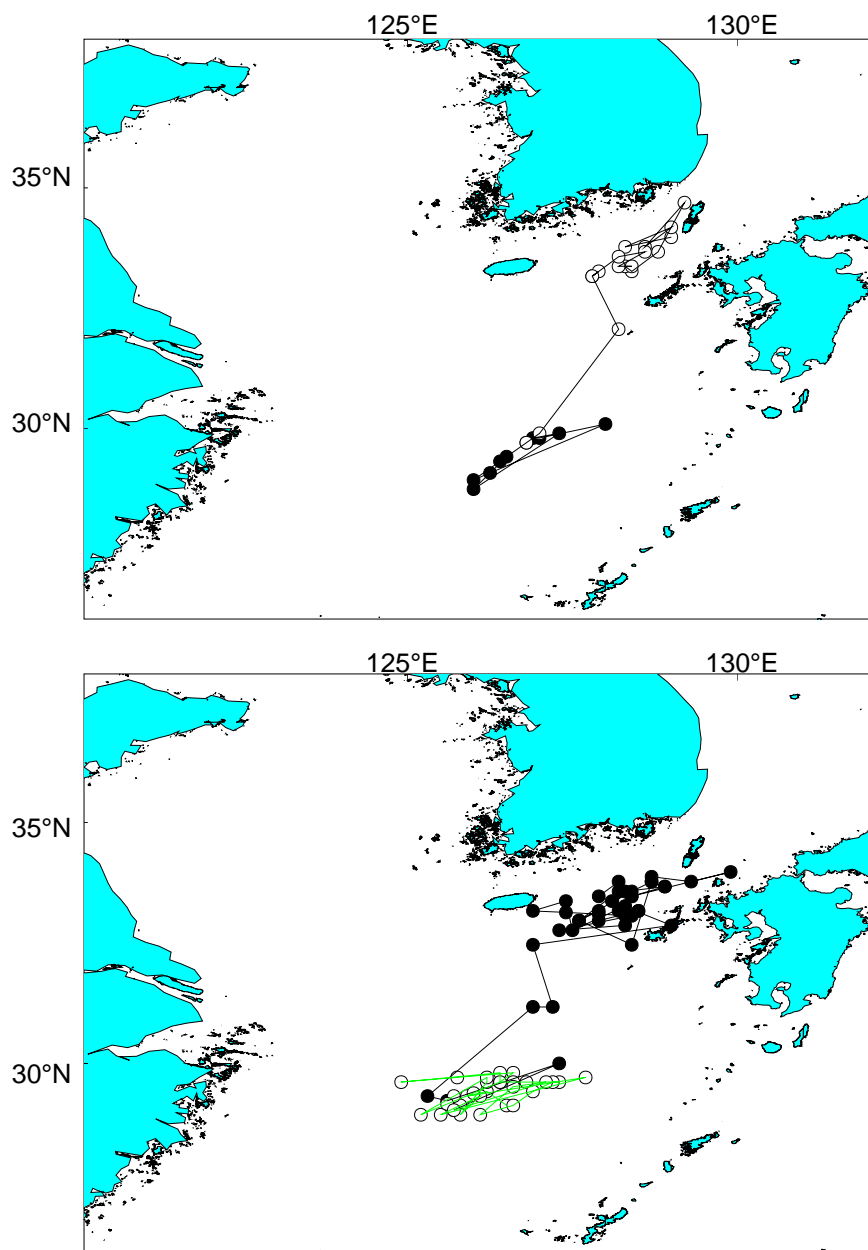


図 4-19 東シナ海におけるアーカイバルタグ装着魚の短期間・短距離の移動例

上図は 1995 年 12 月（白丸）から 1996 年 1 月（黒丸）の南方への移動を、下図は同一個体の 1996 年 4 月（白丸）から 5 月（黒丸）の北方への移動を示している。

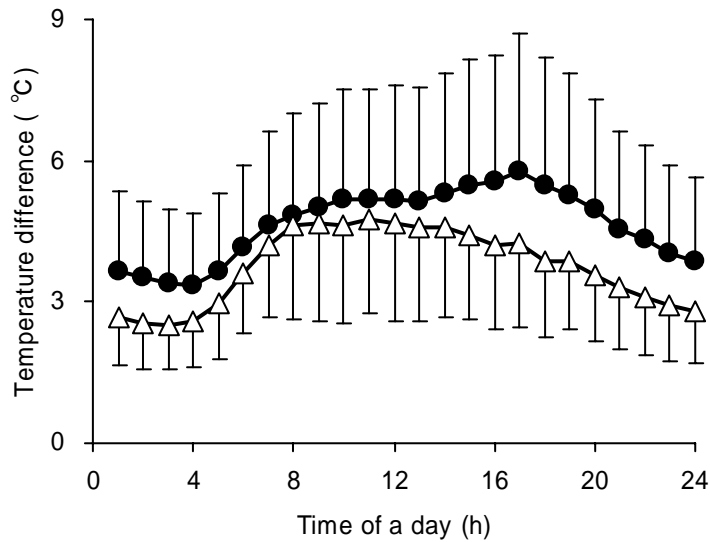


図 4-20 移動期と滞在期における腹腔内温度と環境水温との 1 時間ごとの平均温度差  
丸は移動期。三角は滞在期。値は全個体をプールして求めた。バーは標準偏差。

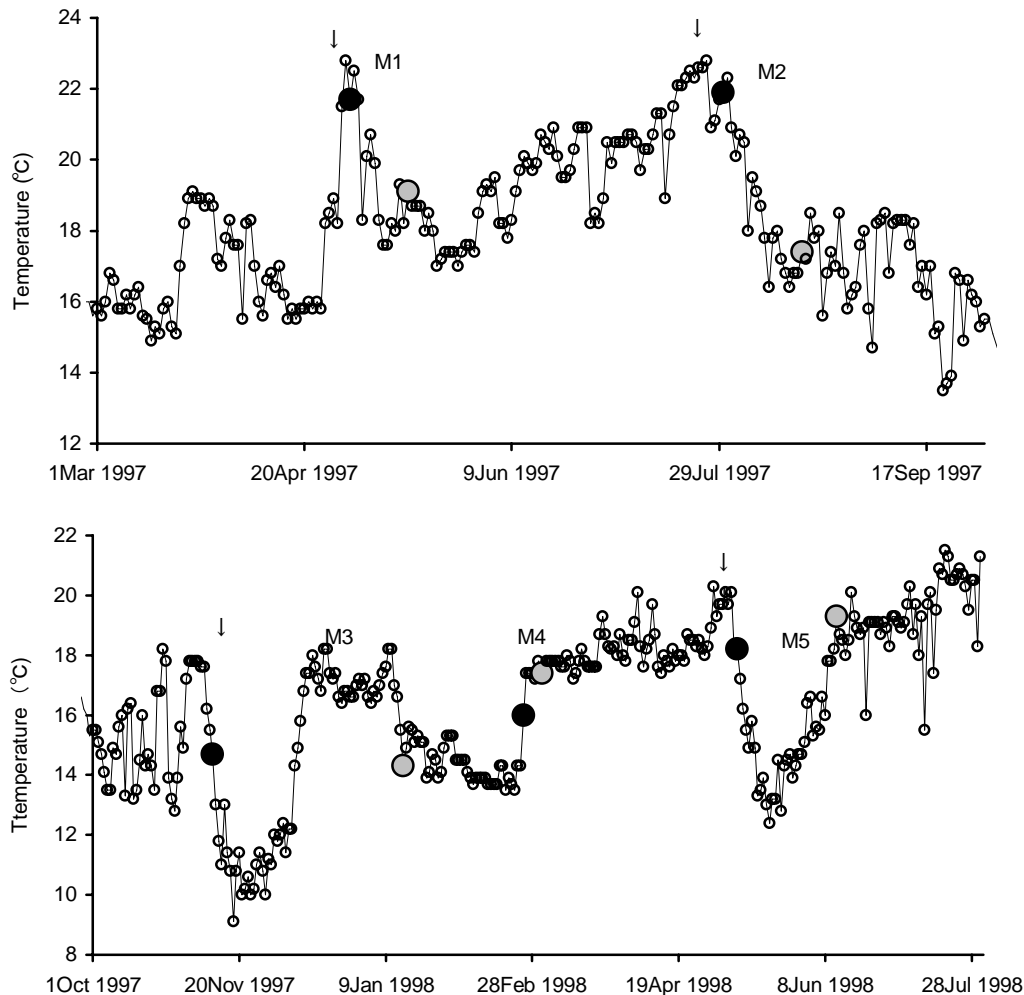


図 4-21 クロマグロ若齢魚の移動と環境水温の関係

データは渡洋回遊個体のもの。M1 から M5 は移動期を指す。渡洋回遊は M3。点一つはサマリーファイルで記録されたある日の 0m 深水温。大きな黒丸と灰色の丸は各移動の開始と終了日。矢印は移動開始に先立って見られた水温変化。



表 5-1 用いた漁獲データの概要

データソース	県別漁獲データ	竿釣	流網	太平洋まき網	東シナ海まき網
期間	1993-1997	1972-1997	1977-1992	1971-1997	1991-1997
漁法	全漁法	竿釣	流網	まき網	まき網
集計時間単位	月	月	月	月	月
集計空間単位	道県	緯経度 1° × 1°	緯経度 1° × 1°	緯経度 1° × 1°	緯経度 0.5° × 0.5°
漁獲量単位	尾数	重量 (トン)	尾数	重量 (トン)	尾数
魚のサイズ区分	体長	平均体重	(不明)	10kg 以下	体重
総漁獲尾数 (×10 <sup>3</sup> )	12, 738	1, 139 <sup>1</sup>	229	13, 509 <sup>1</sup>	4, 551

1：体重 5kg と仮定した。

表 5-2 クロマグロの標識放流・再捕情報

放流海域	緯経度	時期 <sup>1</sup>	漁法	尾叉長 範囲	年齢	放流数	再捕数
高知県	33N 133E	8月 (7-9)	曳縄	16-30	0	4, 888	506
静岡県	34N 138-139E	7月 (7-10)	曳縄	25-35	0	2, 502	304
富山県	36N 137E	11月 (10-12)	定置網	30-55	0	1, 068	38
		7月	定置網	48-52	1	35	17
島根県 (隠岐)	36N 133E	11月	曳縄	24-52	0	523	52
長崎県	32-33N 128-129E	12月 (11-2)	曳縄	40-58	0	2, 154	368
鹿児島県 (甌島)	31N 129E	2月 (12-5)	曳縄	33-60	0	1, 691	289
北海道 (日本海側)	42-43N 140E	6月 (6-8)	定置網	54-56	1	96	6
		10月 (9-11)	定置網	67-73	1	152	9
合計				16-73	0-1	13, 109	1, 589

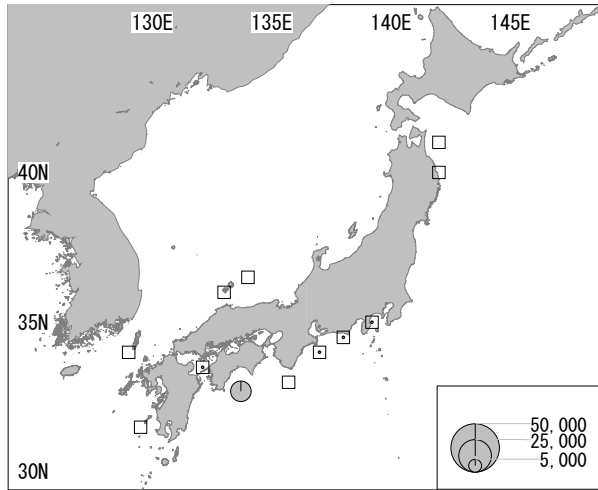
1：最も放流尾数の多い月。( )は月範囲。

表 5-3 各操業の平均体重から求めた流網漁獲魚の年齢組成

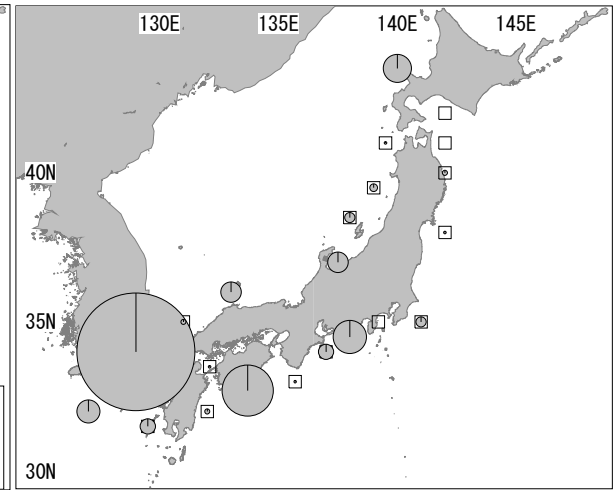
海洋水産資源開発センター調査資料による。年は、その年の 6-12 月と翌年の 1-5 月とを含め、年級に対応させた。

年	尾数						組成					
	Age0	Age1	Age2	Age3	Age4	>Age4	Age0	Age1	Age2	Age3	Age4	>Age4
1978	1	1475	437	3	4	1	0%	77%	23%	0%	0%	0%
1979	15	642	40	3	1	5	2%	91%	6%	0%	0%	1%
1980		32	79	66		1	0%	18%	44%	37%	0%	1%
1981		43	24	3	1	6	0%	56%	31%	4%	1%	8%
1982	5	350	42	3	2		1%	87%	10%	1%	0%	0%
1983			25						100%			
合計	21	2542	647	78	8	13						
平均 <sup>1</sup>							1%	65%	22%	8%	0%	2%
標準偏差 <sup>1</sup>							1%	30%	15%	16%	0%	3%

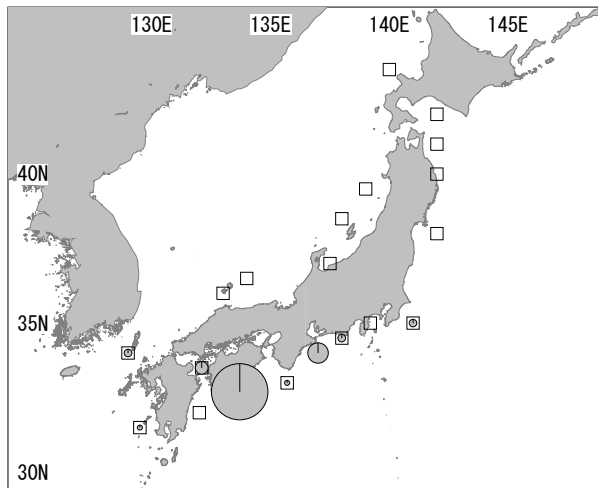
1:1983 年は除いて計算した。



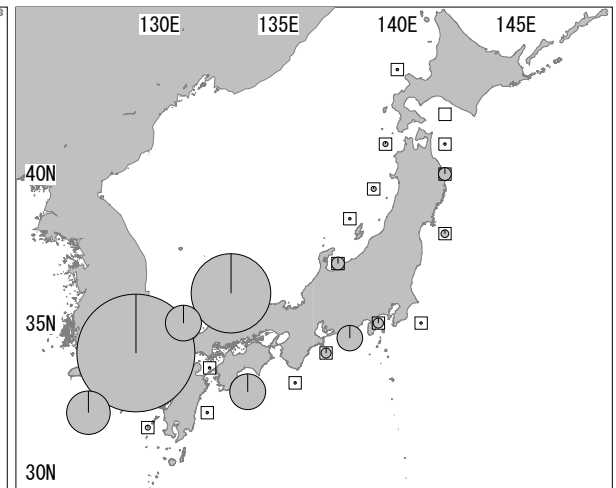
0 歳 7 月



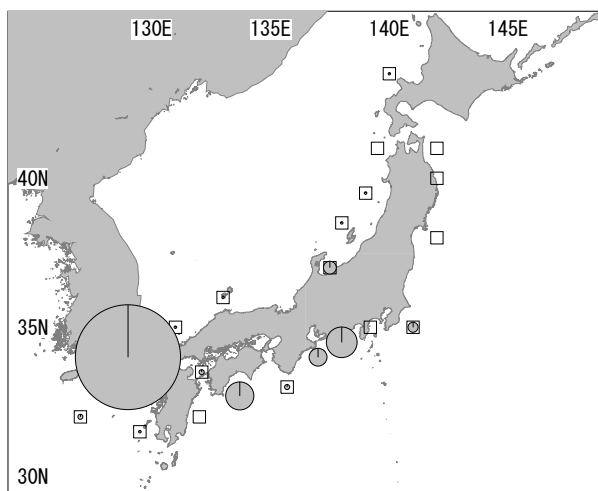
0 歳 10 月



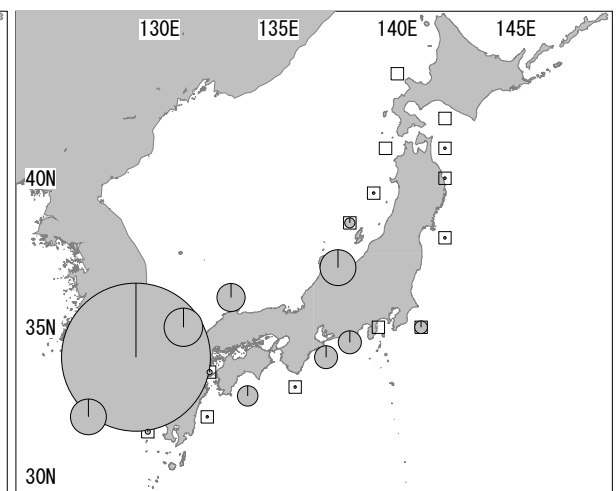
0 歳 8 月



0 歳 11 月



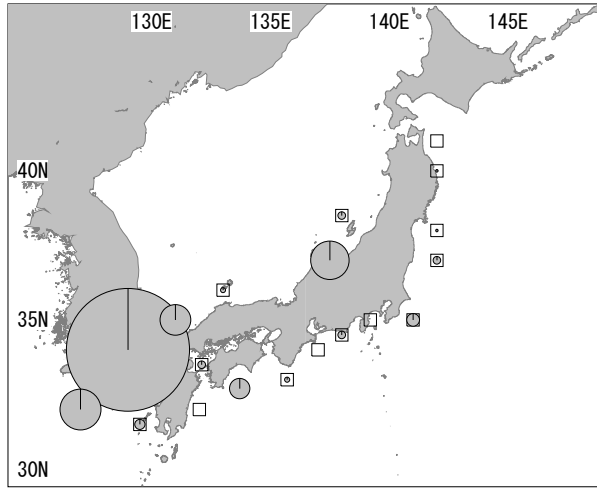
0 歳 9 月



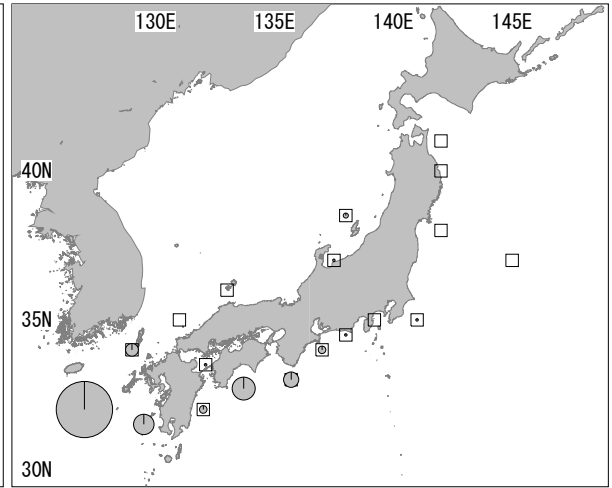
0 歳 12 月

図 5-1 クロマグロ 1994 年級の県別漁獲尾数分布

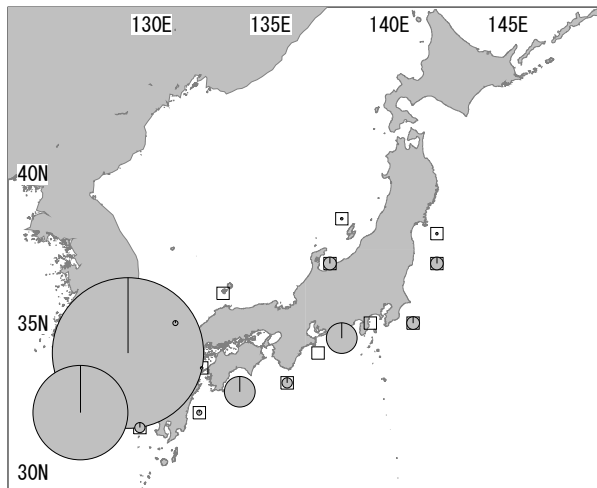
21 道県に加え、東シナ海のまき網、三陸沖のまき網による漁獲も示した。□は漁獲尾数>0。



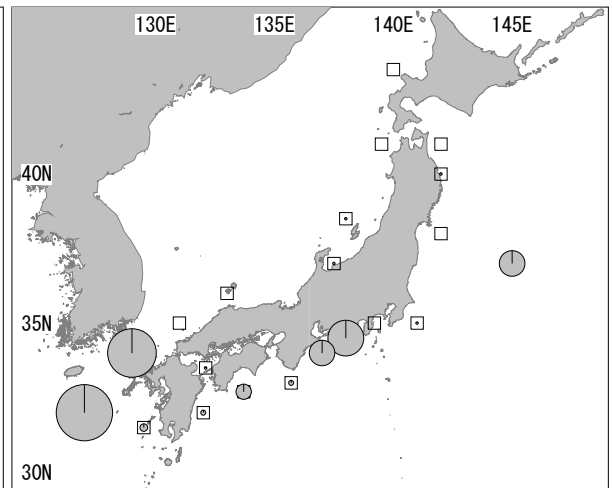
0 歳 1 月



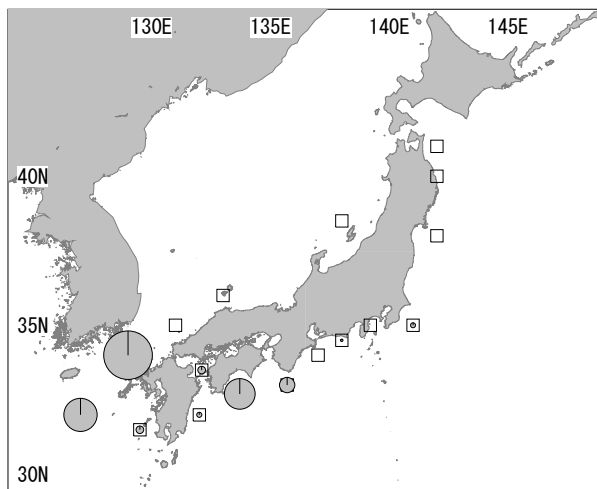
0 歳 4 月



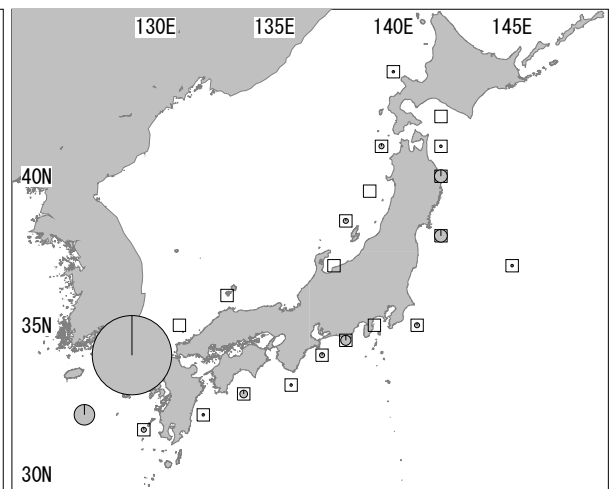
0 歳 2 月



0 歳 5 月

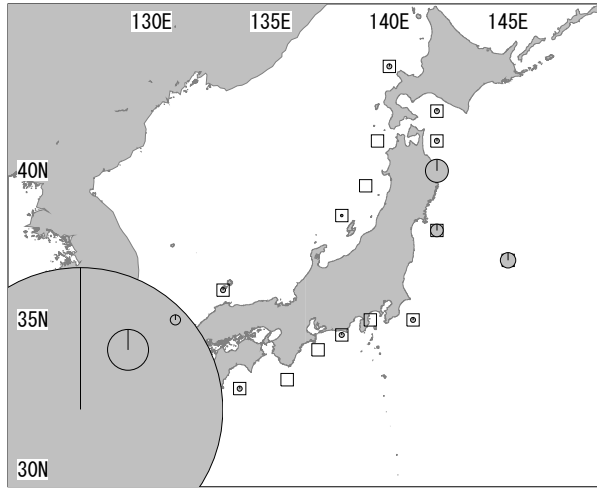


0 歳 3 月

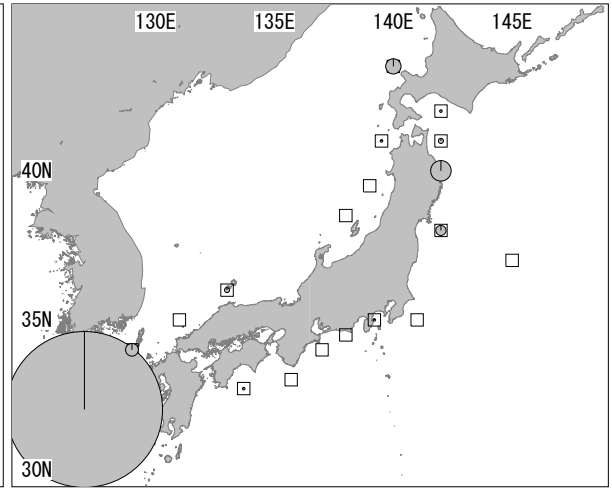


1 歳 6 月

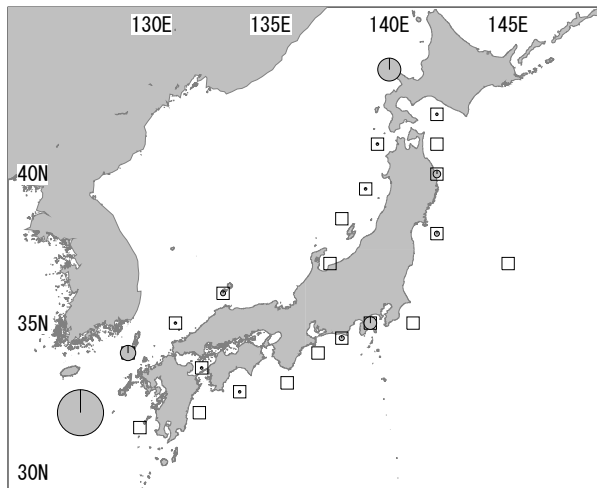
図 5-1 (つづき)



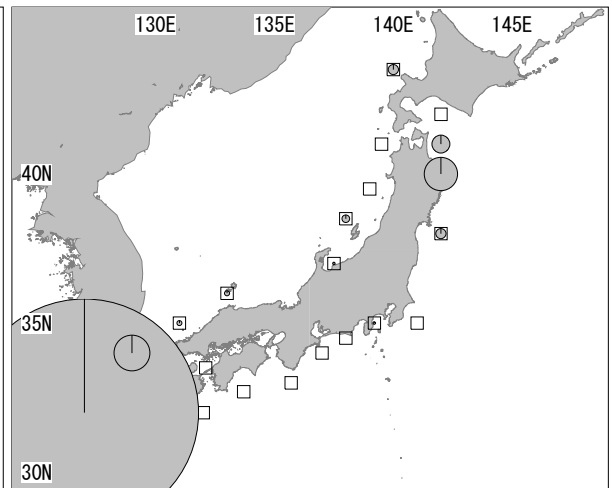
1 歳 7 月



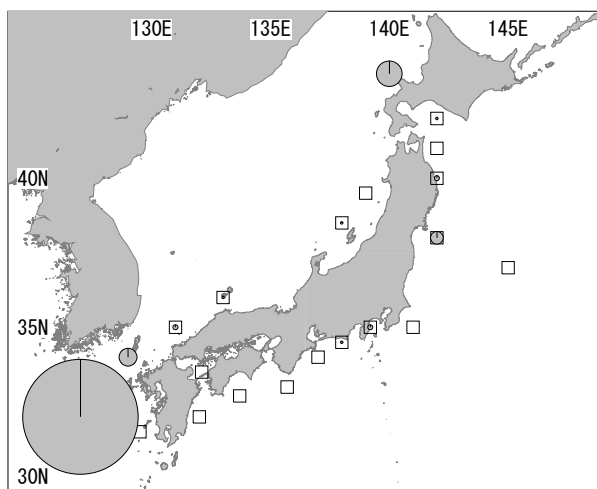
1 歳 10 月



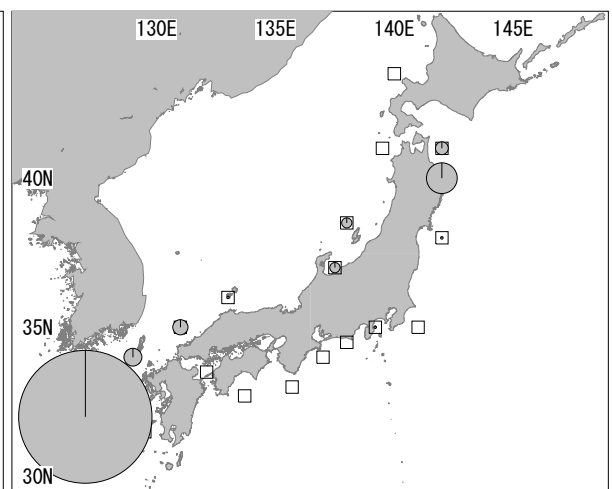
1 歳 8 月



1 歳 11 月

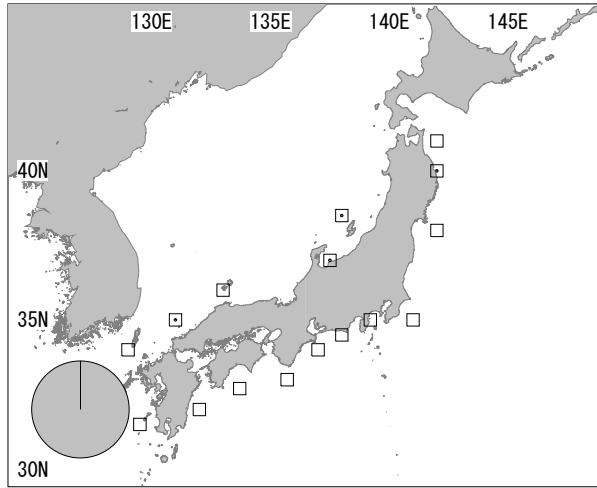


1 歳 9 月

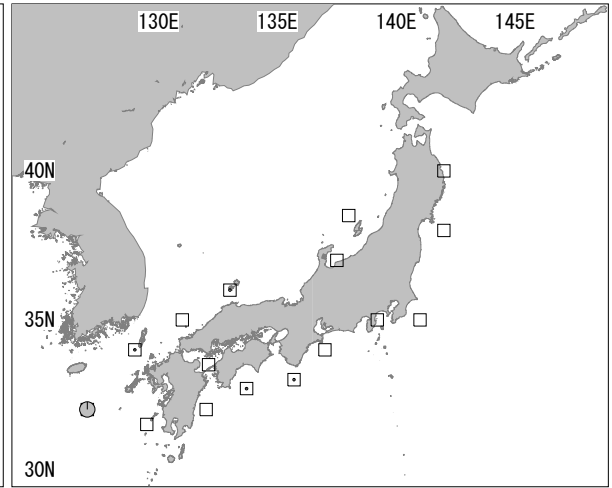


1 歳 12 月

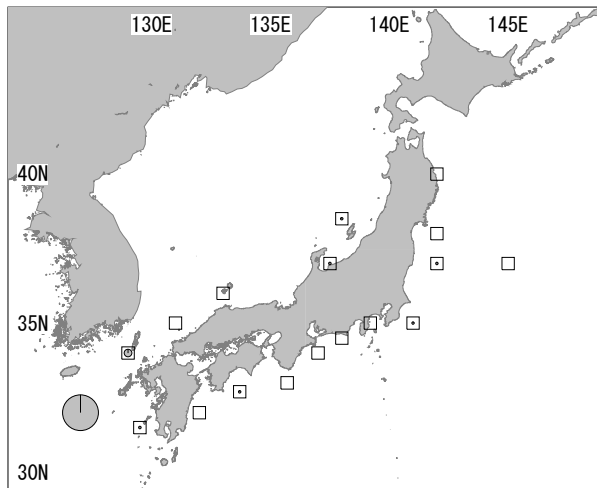
図 5-1 (つづき)



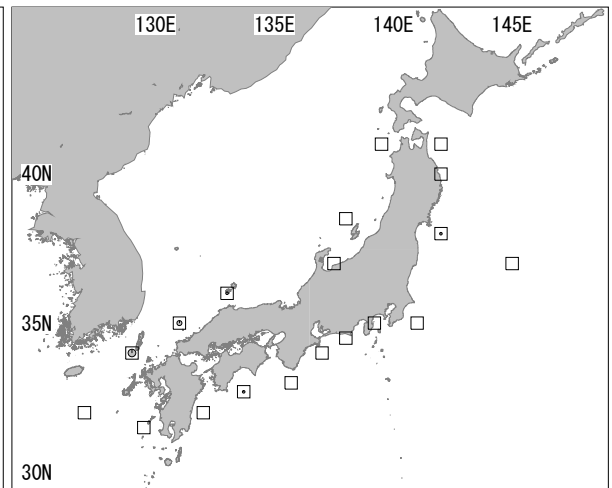
1 歳 1 月



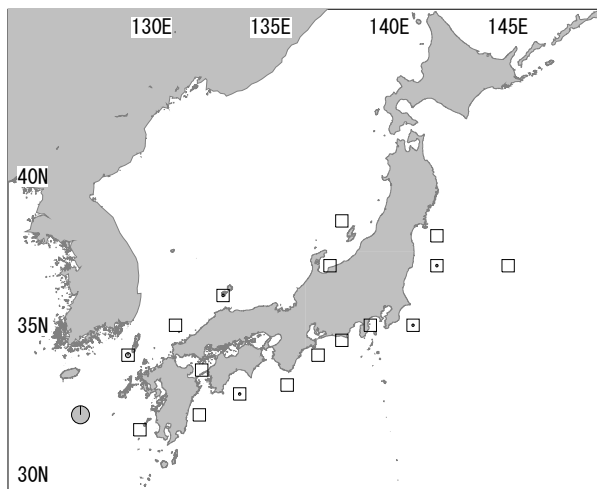
1 歳 4 月



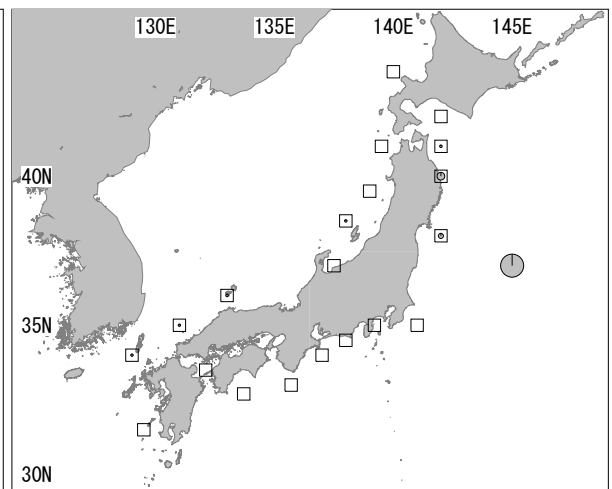
1 歳 2 月



1 歳 5 月

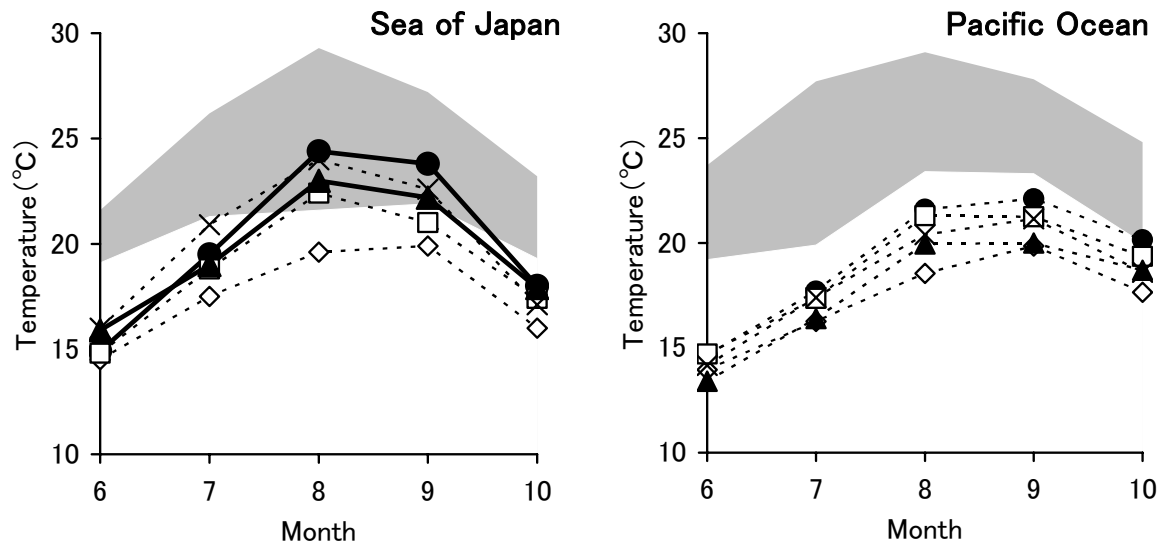


1 歳 3 月



2 歳 6 月

図 5-1 (つづき)



**図 5-2 日本沿岸でクロマグロ 0 歳魚が経験する沿岸水温**

シャドーは、クロマグロ 0 歳魚が毎年分布する海域の 1993-1997 年の月別平均水温範囲で、日本海沿岸（左図）は輪島、西郷、浜田、巖原の、太平洋沿岸（右図）は館山、御前崎、潮岬、土佐清水のものから求めた。シンボルは、0 歳魚が年によっては分布する海域の月別平均水温。実線は漁獲のあった年、点線はなかった年を示す。◇1993 年、●1994 年、□1995 年、▲1996 年、×1997 年。