



クロマグロ
科学の現状

クロマグロ

科学の現状

Andre Boustany 博士*

はじめに

世界中のマグロの種のなかでも、クロマグロほど高い価値を有する種はありません。クロマグロは、大西洋クロマグロ (*Thunnus thynnus*)、太平洋クロマグロ (*T. orientalis*)、ミナミマグロ (*T. maccoyii*) の 3 種に分類されます。3 種のどれも世界中のスシ業界で極めて人気が高く、世界でもっとも高級な魚に常に含まれています (Collette *et al.* 2011)。この経済的価値が世界中で持続不可能な水準でクロマグロを漁獲する誘因をもたらしています。現在、この 3 種のクロマグロは世界でもっとも乱獲されているマグロ種として知られています。この文書は、クロマグロの生活史、海域分布、生活サイクル、漁業の歴史、そして漁獲管理に関する最新の科学的文献をまとめたものです。

クロマグロを特徴づける生物学的特質

すべてのクロマグロ種は生物学的特徴において共通する点が多くあります。大きな体を持ち、成長するまでに時間がかかること、また他のマグロに比べて体温を保つ能力が優れている点などです。しかしながら 3 種のクロマグロの間には大きな違いもあり、同じ種であっても個体群間で違いが存在します。例えば、成魚の年齢の中央値 (ある個体群内において個体の大半が生殖可能な年齢) は、東部の大西洋クロマグロが 5 歳であるのに対し、西部の大西洋クロマグロとミナミマグロは 15 歳とされています。この生活史のパラメーターの違いは、個体群の健全性や乱獲に対する脆弱性に多大な影響をもたらす可能性があるため、これらの数値は特に重要です。

*略歴は裏面をご覧ください。

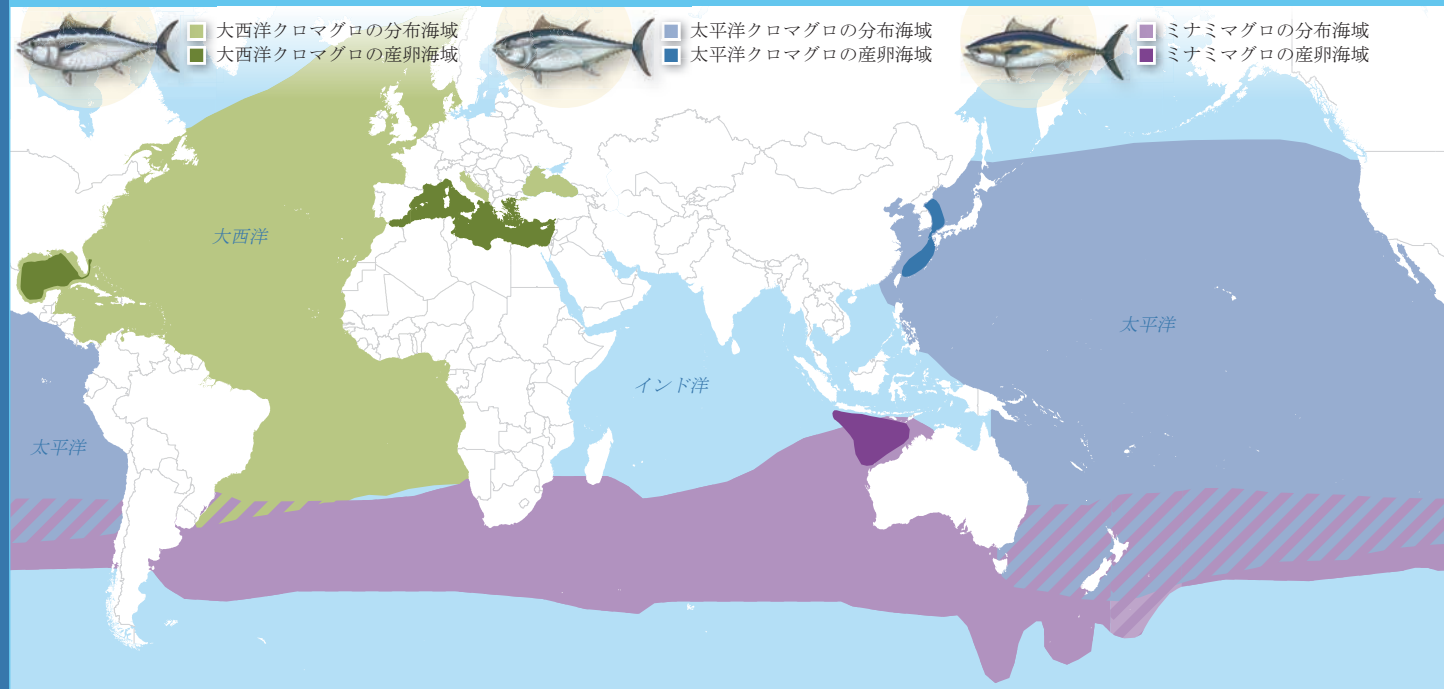
要旨

3 種のクロマグロは赤道から南北両極海の範囲の世界中の海に分布しています。一連の生理学的適応性によってクロマグロは広範囲に回遊することができ、魚類のなかでもっとも広範囲な生息域を有します。クロマグロを対象とした漁業は古くから行われており、主に小規模の地元のマーケットへ魚を供給してきました。近年の水産マーケットのグローバル化の進展が、産業規模化した漁業や世界のスシ・マーケットでのクロマグロ価格の高騰とあいまって、持続可能な水準を越えたクロマグロの乱獲に拍車をかけています。その結果、世界中のマグロの個体数が著しく減少し、ときに初期資源状態の 3 パーセントにまで低下することもありました。クロマグロの生活史の特徴が、乱獲による脅威を深刻化させています。すなわち、遅い成熟速度と長い寿命のために枯渇した個体群を回復させるには長い時間が必要となります。クロマグロの生態に関する知識がより正確なものになれば、持続可能な漁獲圧水準や個体数の回復速度を専門家が理解できるようになります。最終的に、クロマグロの個体数の回復は、科学的に適切な管理措置を制定する管理者の意志、および合意された規則を施行する政府の能力にかかっています。

個体群の健全性は、科学者が評価対象種の生物学的パラメーターに加え漁獲率に関する最新のデータを用いて行う定期的評価により決定されます。一般に成熟が早い種や個体群は、漁獲される前に産卵可能な年齢に達することが多いため、成熟の遅い魚種に比べて漁獲圧への耐性が高くなっています (Jennings *et al.* 1999)。繁殖可能になるまで成熟した成魚の個体数水準を保つ必要がありますが、未成魚つまり幼魚を過度に漁獲することは成魚の数の激減につながります。成熟年齢もまた、個体群が乱獲から回復する能力に影響を与えます。生殖開始年齢が高めの種や個体群は、世代交代に多くの年月がかかります (Hutchings and Reynolds 2004)。また個体数の増加速度は、生殖年齢が低い個体群と比べるとかなり遅くなります (Hutchings and Reynolds 2004)。

さらなる研究を要する重要な生物学的要素として他に挙げられるものは、産卵エリアと産卵期、また個体群構造や季節による移動パターンです。これらの要素を理解することで、健全な個体数水準への回復と健全な個体数水準の維持に必要な不可欠となる推定値の精度が高まります。個体群構造や移動パターン、産卵エリアに関する知識が深まれば、海域ごとの適切な漁獲割当量をより科学的に決めることができます。これらの基本的な生物学的パラメーターに関する知識が欠如していると、当該魚種が著しく危機に瀕しているときに、下位個体群や産卵群に対する乱獲が起こりえます。正確なデータがなくても漁業を管理することは可能ではありますが、不正確なデータに基づく評価の不確実性に対応するためにはより予防的にならなければなりません。

図 1：世界中の海に分布するクロマグロ。



再生産性、つまり成魚一尾あたりの幼魚産出数の年齢による変化は、クロマグロの個体群が乱獲から回復する能力に影響を与えます。すべてのクロマグロ種に共通しますが、年齢が高い個体が個体群全体の生殖生産においてもっとも重要な役割を担っています。多くの海産魚種と同様に、クロマグロが産卵する卵の数は大型の個体でより多く、体長 190 cm の大きさのものでは 500 万ほどの卵を産み、体長 250 cm のものでは 2500 万ほどの卵を産卵します (Farley and Davis 1998, Sawada *et al.* 2005, Chen *et al.* 2006, Baglin 1982)。卵の数は、個体のサイズや年齢とともに増えていくため、年齢が高く、サイズが大きい個体が個体群の総生殖生産に与える影響は、個体群内の高年齢個体の数から想定されるよりも大きなものになります。

クロマグロの分布海域

クロマグロは赤道から南北両亜極海の範囲において、世界中の海に分布しています (Bayliff 1994, Mather *et al.* 1995, Farley and Davis 1998, Block *et al.* 2005) (図 1)。マグロ類のなかで、クロマグロ 3 種 (大西洋クロマグロ、太平洋クロマグロ、ミナミマグロ) は、他の魚類と異なり、周囲の水温より高く体温を維持する能力を持っています (Carey and Lawson 1973, Sharp 1978, Collette *et*

al. 2011)。これは高度に発達した特殊な血管網を持ち、また他のマグロ種と比べ大きく成長するためです。その結果、クロマグロは水温等の環境要因によって地理的に制限されることはありません。そのため、すべてのマグロ種のなかでも、クロマグロはもっとも広い生息海域を持つのです。

追跡タグ、遺伝学の利用、マグロの部位に見られる化学的特徴を測定するなどの幅広い研究方法は、クロマグロの分布や行動パターンに対する理解を深めるために利用されてきました。ミナミマグロはインド洋から南洋、そして南大西洋の範囲に分布しており、大西洋クロマグロは過去においてブラジルから大西洋のノルウェー中央部の範囲に分布していました。また、太平洋クロマグロは北太平洋から、南太平洋、そしてオーストラリアやニュージーランドに分布しています (Collette and Nauen 1983, Bayliff 1994, Mather *et al.* 1995, Farley and Davis 1998) (図 1)。クロマグロの未成魚の分布が暖かい海域に限られ、かなり狭い海域に集まる一方で、大型の成魚はその行動範囲を冷水域にまで広げることができます (Itoh *et al.* 2003b, Kitagawa *et al.* 2004, Block *et al.* 2005)。

大西洋クロマグロの分布海域

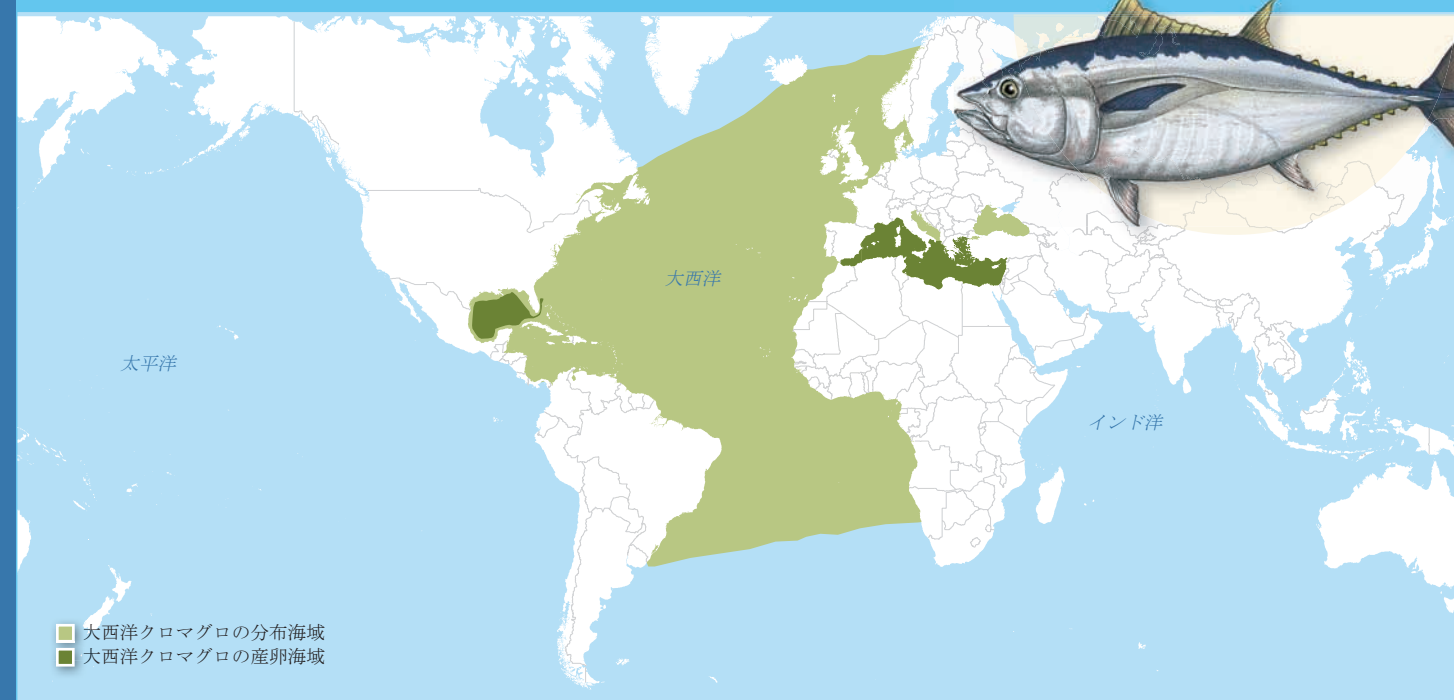
大西洋では、クロマグロは西はブラジルの北東海岸からカナダのニューファンドラン

ド島まで、また東は北アフリカからノルウェー東部の中央海岸までの範囲で見られました (Mather *et al.* 1995) (図 2)。もっとも、過去数十年クロマグロはブラジル海岸沖や北海では見られなくなっているため、この分布海域は狭まりました。大西洋クロマグロ (*T. thynnus*) は、複数の産卵場所 (地中海、メキシコ湾、バハマ諸島) を持つことが知られている唯一のクロマグロ種です (Mather *et al.* 1995)。地中海での産卵は 5 月から 8 月にかけて行われ、メキシコ湾では 4 月から 7 月初旬に行われます (Dicenta and Piccinetti 1980, Cort and Loirzou 1990, Richards 1990)。孵化後まもない幼生と産卵を行う成魚はバハマ諸島やフロリダ海峡で発見されてきましたが、この産卵エリアはメキシコ湾の産卵エリアの延伸である可能性もあります (Richards 1990)。これらの産卵エリアのほかにも産卵場所が存在するとの考えが提起されたことがありましたが、幼生や産卵の最終段階に入った個体は現在のところ他の場所では発見されていません (Lutcavage *et al.* 1999, Goldstein *et al.* 2007, Galuardi *et al.* 2010)。最近の遺伝学研究によって、メキシコ湾と地中海のクロマグロは遺伝的にまったく異なる個体群であることが確認され、そのため個別に管理する必要があることがわかりました (Carlsson *et al.* 2007, Boustany *et al.* 2008)。

移動パターンや個体群分布を考慮すると、この 2 つのクロマグロの個体群を別々に管理することには困難が伴います。地中海とメキシコ湾からの個体が、それぞれの産卵場所で混ざり合うことはありませんが、北大西洋全体の餌場で両個体群は高い水準で混在しているという事実を研究者が明らかにしています (Block *et al.* 2001, Block *et al.* 2005, Rooker *et al.* 2008)。この海域での漁獲活動は両方の個体群から漁獲する可能性があるため、それぞれの個体群に適切な漁獲水準を設定することは一層困難となります。研究によって、北太平洋西部に分布する多くの (恐らく大部分) の未成魚は地中海の個体群から来ていることがわかっています (Block *et al.* 2005, Boustany *et al.* 2008, Rooker *et al.* 2008)。メキシコ湾から大西洋東部へ回遊するクロマグロの個体数は、まだ明確になっていませんが、西部から東部の管理ゾーンへ移動する個体の存在が追跡調査により明らかになっています (Mather *et al.* 1995, Lutcavage *et al.* 1999, Block *et al.* 2005, Walli *et al.* 2009)。

北太平洋西部においては、幼魚は孵化した後にメキシコ湾から出ていき、通常最初の何年かは、アメリカ東海岸の暖かい沿岸水域にとどまっています (Mather *et al.* 1995)。また、春と夏に温水をたどって北へ移動し、冬には南へ戻ってきます (Block

図 2：大西洋全体に分布し地中海およびメキシコ湾で産卵する大西洋クロマグロ。



et al. 2001, Galuardi et al. 2010)。この魚は成長するにつれ、回遊範囲を北側に広げるだけでなく、かなり沖合にまで広げはじめます (Lutcavage et al. 1999, Block et al. 2005, Walli et al. 2009, Galuardi et al. 2010)。もっとも年齢が高く、また大きい個体は、冷水の中でも高い体温を維持できるため、もっとも広い回遊範囲を持ち、極北の海域、正確にはカナダのセント・ローレンス湾、また北大西洋中央にあるフレミッシュ・キャップにも回遊します (Block et al. 2005, Galuardi et al. 2010)。

クロマグロのなかには、孵化後、地中海に何年かとどまっていると考えられるものもいます (Mather et al. 1995)。しかしながら、魚群のなかには地中海を出て、北大西洋東部、主にスペインとポルトガルの沿岸水域へ入り、孵化後5年間ビスケー湾にとどまるものもいます (Rodríguez-Marín et al. 2003)。北大西洋西部に分布するクロマグロ同様、大西洋東部に分布するクロマグロは、成熟するにつれてその範囲を広げ、ノルウェーやアイスランド沖の海域に入り、その後北大西洋中央部へ移動します (Stokesbury et al. 2004, Carlsson et al. 2004, MacKenzie and Myers 2007, Fromentin 2009)。そして、産卵期が近づくと成魚は産卵エリアへ戻りはじめます。

太平洋のクロマグロの分布海域

太平洋のクロマグロ (*T. orientalis*) は3つのクロマグロ種のなかでもっとも広い分布海域を持つ種です (図3)。太平洋クロマグロは東シナ海からアメリカやメキシコの太平洋沿岸まで、北太平洋全体で見られます (Collette and Nauen 1983, Bayliff 1994)。産卵は春には東シナ海と琉球諸島の海域に集中しますが、夏の数ヶ月間は日本海まで産卵エリアを広げます (Bayliff 1994, Inagake 2001)。太平洋西部では産卵の時期、場所、また個体の大きさに違いがあるようですが、太平洋には一個体群のみが存在すると考えられています (Bayliff 1994, Rooker et al. 2001)。

未成魚は水温の上昇に伴って北へ移動し、幼魚の生息エリアである日本海で過ごし、黒潮に乗っていきます (Inagake et al. 2001, Itoh et al. 2003a)。クロマグロの多くは太平洋西部にとどまりますが、少数は海を渡ってアメリカやメキシコの西海岸沿岸へ移動します (Bayliff 1994, Inagake et al. 2001)。太平洋東部への移動は、太平洋西部に見られる大量のイワシと関係があります (Polovina 1996, Chavez et al. 2003)。通常、東へ向かって移動するのは未成魚ですが、太平洋の横断移動は孵化後2ヶ月を少し越えた頃に起きます (Itoh et al. 2003a)。ひとたび

図3：3種のクロマグロのなかでもっとも広大な分布海域を有する太平洋クロマグロ。

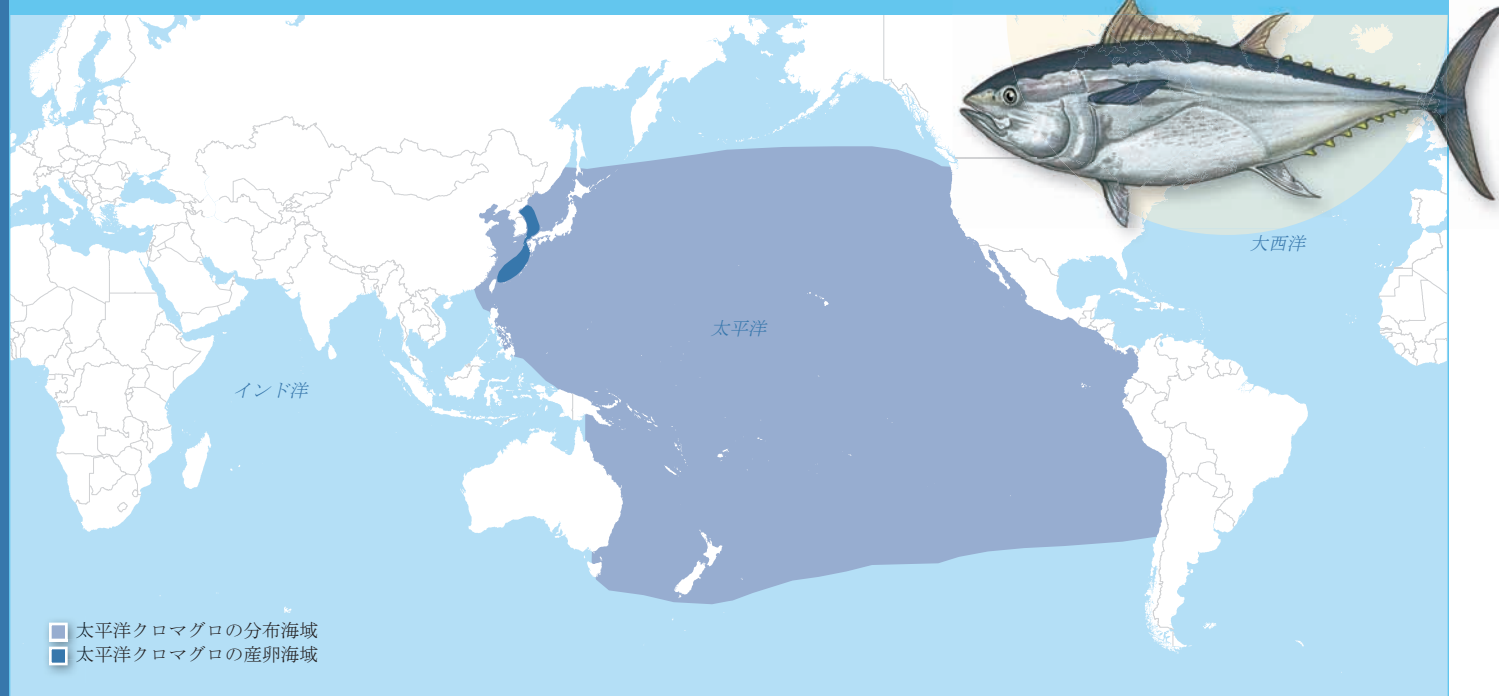
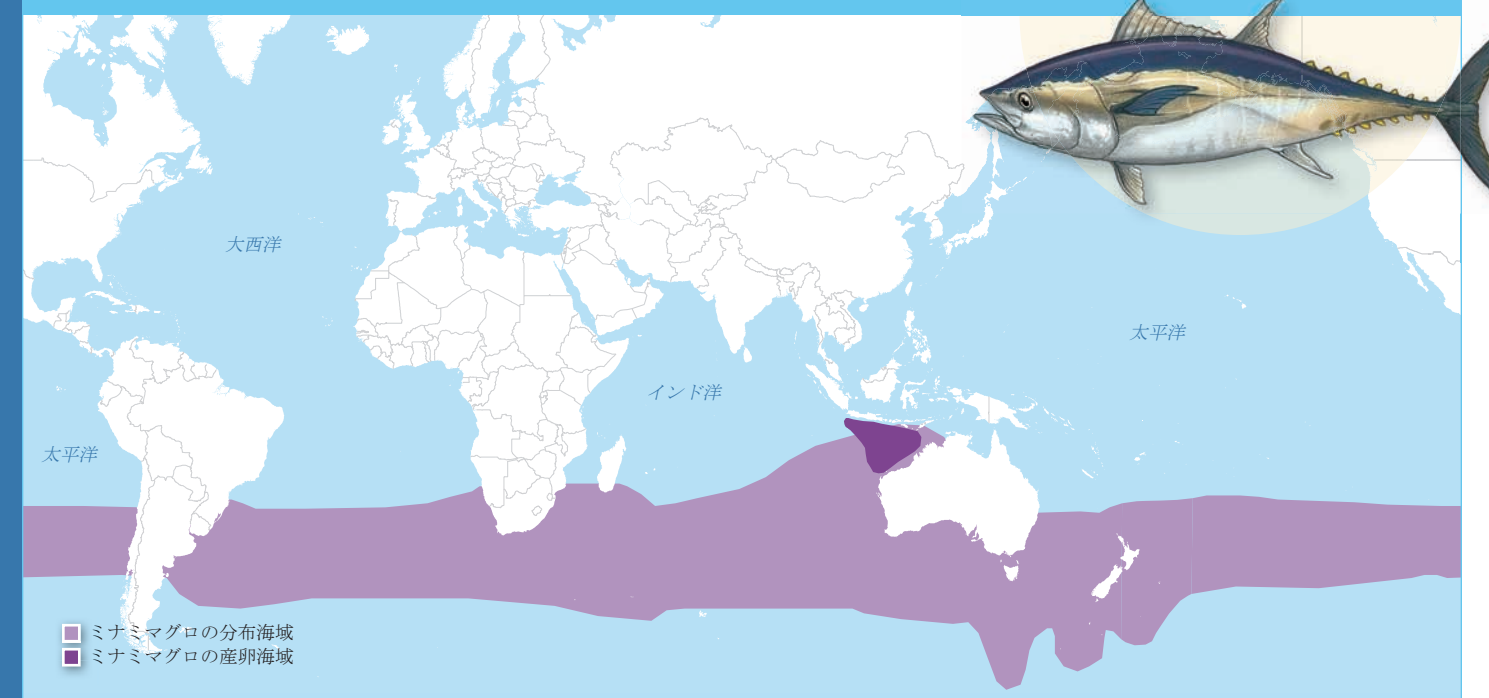


図4：太平洋、インド洋、大西洋の南部海域に分布するミナミマグロ。



北アメリカの西部の沿岸水域に入ると、クロマグロは藻類とイワシの発生ピークにあわせて沿岸を上り下り移動します (Domeier et al. 2005, Kitagawa et al. 2007, Boustany et al. 2010)。これらの個体は成魚となり西部へ戻るまで、数年の間、太平洋東部にとどまります (Bayliff 1994, Boustany et al. 2010)。太平洋西部に移動した成魚の多くはそのまま西部にとどまりますが、ときにわずかながら太平洋東部やオーストラリア、ニュージーランド沖の太平洋南部へ移動します (Smith et al. 1994)。

ミナミマグロの範囲

ミナミマグロ (*T. maccoyii*) は太平洋やインド洋、また大西洋南部の範囲に分布しています (Collette and Nauen 1983, Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna [CCSBT] 2010) (図4)。ミナミマグロはオーストラリア北西部とインドネシア・ジャワ島の間には唯一の産卵エリアを持ち、一個体群で構成されていると考えられています (Proctor et al. 1995, Yukinawa 1987, Farley and Davis 1998)。産卵の大部分は9月から4月にかけて行われます。これ以外の期間においても、少数ではありますが7月を除くすべての時期で産卵が見られます (Grewe et al. 1997, Farley and Davis 1998)。

未成魚は孵化後移動をはじめ、通常最初の年の間は南オーストラリア湾に入りますが、この移動パターンは餌の入手可能性がピークに達する季節に合わせているとみられています (Shingu 1967, Ward et al. 2006)。5歳頃になるとミナミマグロは南オーストラリアの沿岸海域ではあまり過ごさなくなり、太平洋やインド洋、また大西洋全体へとより広範囲に移動します (CCSBT 2010)。産卵は8歳から15歳の間ではじまり、年齢は42歳に達することもあります (Farley and Davis 1998, CCSBT 2010)。

クロマグロのライフサイクル

すべてのクロマグロは海面水温の温かい海域で産卵を行います (Schaefer 2001)。キハダマグロやタイセイヨウマグロ、メバチなどの熱帯マグロ種の成魚は産卵に適した海域やその隣接海域を回遊しているため、産卵は十分な餌がある限り1年中行われます (Nishikawa et al. 1985, Fonteneau and Marcille 1988, Schaefer 1998, Schaefer 2001)。

対照的に、クロマグロの成魚はその寿命の大半を温かい産卵エリアから離れた海域で過ごすため、温水域から冷水域まで広く移動します。産卵期と産卵エリアは幼魚の生存の最大化の観点から選ばれています。クロマグロは、産卵の成功率が継続的に低下するリスク、種の局地的な絶滅が

起こるリスクを減らすために、1 年を通して水温の変化の少ない海域で産卵します。(Royer and Fromentin 2007)。死亡率の高い卵を大量に産卵するクロマグロにとっては、水温の変化が少ないことは特に重要です。卵と幼生の生存率の変化は、たとえそれが小さなものであっても、全体的な個体数に多大な影響をもたらします (Cushing 1968)。

水温に加え、渦潮の動きもまた、クロマグロの産卵の成功を大きく左右することで知られています (Garcia *et al.* 2005, Teo *et al.* 2007b, Inagake, 2001)。産卵は適度な海面温度 (24°~27°C) にて高い頻度で観測されてきました。恐らくそれはその海域が成魚にとって温かすぎず、かつ幼生の生存に必要な条件を満たしているためです (Inagake 2001, Teo *et al.* 2007b)。さらに、幼生を引き込み、滞留させる適度な渦潮の動きも産卵環境として好まれるようです (Garcia *et al.* 2005, Inagake 2001, Teo *et al.* 2007b)。各個体の産卵期間は 2 週間から数ヶ月続き、その間 1 日から 4 日ごとの頻度で産卵が行われます (Farley and Davis 1998, Block *et al.* 2005, Chen *et al.* 2006, Teo *et al.* 2007a)。

大西洋クロマグロのライフサイクル

大西洋では、クロマグロの産卵開始年齢に開きがあります。地中海では 3 歳から 5 歳の間の早い段階で成魚になりますが、メキシコ湾やバハマ諸島では成魚になるまで少なくとも 8 年の年月がかかります (Rodriguez-Roda 1967, Discenta *et al.* 1980, Baglin 1982)。地中海での最低の産卵年齢は、産卵期に産卵エリアで行われた調査により推定されていますが、成魚になるまでの平均年数は大西洋の個体群全体で過小評価されている可能性があります (Rodriguez-Roda 1967)。これは、同年齢の個体の多くが産卵エリアに戻らなかった可能性があるため、したがってこの方法では標本抽出されていません。電子タグデータでは北大西洋から地中海へ入る 8 歳未満の個体が観測されてこなかったことから、地中海の個体群のなかには 5 歳をゆうに超えるまで成熟しないものがある程度存在するという仮説が支持されます (Block *et al.* 2005)。地中海で漁獲されたクロマグロのサイズ構成から、同海域のクロマグロの多くが 8 歳から 9 歳にかけて産卵をはじめたと考えられ

ます (Heinisch *et al.* 2008)。しかしながら、遺伝分析によると地中海には複数の個体群が存在する可能性があり、各個体群はそれぞれ異なる初回産卵年齢を有する可能性があります。

大西洋西部では、クロマグロの成熟は大西洋東部のクロマグロよりも遅いことが一般的に認められています (Mather *et al.* 1995, Nemerson *et al.* 2000)。Baglin (1982) は、8 歳未満の個体のほとんどが成熟に達していないことを示しましたが、個体群全体の完全な生殖スケジュールは推定していません。この研究では、産卵エリア沖で、165 cm よりも小さな個体 (8 歳未満) をサンプル抽出し、そのどれもが成熟に達していないことを明らかにしました。一方で、メキシコ湾でサンプル抽出された 205 cm よりも大きな個体 (平均値 243 cm) では、そのすべてが成熟していることが確認されています (Baglin 1982)。メキシコ湾での Baglin の調査でサンプルとなった個体のサイズ分布は、延縄で漁獲されたクロマグロの分布とメキシコ湾に入ってきた電子分析された個体のサイズ分布とぴったり合っています (Nemerson *et al.* 2000, Block *et al.* 2005, Diaz and Turner 2007, Galuardi *et al.* 2010)。総合すると、大部分が成熟する年齢 (個体群の 50 パーセント以上が産卵をはじめた年齢) に達するのは、12 歳以上であると言えます。さらに、西部に生息する大西洋クロマグロの成長率に関する新たな研究では、成長率は緩やかで、個体の実年齢はこれまで考えられていたよりも高いことがわかりました (Restrepo *et al.*, 2010)。このことを考慮に入れると、メキシコ湾では大部分の個体が 15 歳になって初めて産卵するのに対し、もっとも早い産卵は 8 歳から 10 歳頃に行われると考えられます (Diaz 2011)。成熟到達年齢の高さに加えて、西部に生息する大西洋クロマグロは長い寿命を持っています (32 歳まで生き、最大 320 cm、680 kg に達する)。その結果、西部の個体群は生殖期間が長くなっています (Mather *et al.* 1995, Nielson and Campagna 2008)。

太平洋クロマグロのライフサイクル

太平洋クロマグロは 3 歳から 5 歳の間に成熟すると考えられていますが、これは産卵エリアでの調査のみに依拠して推定さ

れたものです (Bayliff 1994, Chen *et al.* 2006, Tanaka *et al.* 2006)。そのため、この推定はまだ成熟していない可能性のある 5 歳以上の個体の存在を考慮に入れておらず、個体群全体の平均成熟到達年齢の過小評価につながっている可能性があります。太平洋クロマグロは長寿で、26 歳まで生きることができ、450 kg にまで達すると考えられています。産卵エリアで漁獲された魚の大半が 160 cm 以上の体長を持っていることから、5 歳という年齢は、個体群の大半が産卵をはじめた年齢というよりも、成熟に達する最小年齢と考えられます (Collette and Nauen 1983, Sawada *et al.* 2005, Itoh 2006, Shimose *et al.* 2009)。

ミナミマグロのライフサイクル

ミナミマグロは太平洋クロマグロよりもかなり遅く成熟します (CCSBT 2010)。成熟到達年齢は初期の研究では 8 歳程度と推定されましたが、直接年齢をはかる技術を利用した研究では、11 歳から 15 歳で成熟に達すると推定されました (Gunn *et al.* 2008, CCSBT 2010)。成長率、平均成熟年齢などの個体群のパラメーターは、漁獲圧によって変化してきたことが明らかになっています。回収した追跡タグと耳石の解析によれば、個体数の減少により、個体の成長率は 1960 年代から 2000 年の間に増加したことが明らかになりました (Polachek *et al.* 2004, CCSBT 2010)。これは個体間の餌をめぐる競争が少なくなったことに起因しています。さらに、産卵エリアでのミナミマグロの平均年齢は 1990 年代において約 19 歳から 21 歳であったのに対し、21 世紀最初の 10 年に 14 歳から 15 歳へと低下しています (CCSBT 2010)。若く小さな成魚の産卵に比べ、長く生き、大きく成長した成魚は将来世代の増殖により大きな影響を及ぼすため、これは特に重要な事実です (Scott *et al.* 1999)。産卵エリアに回遊するミナミマグロの大半は 15 歳から 25 歳で、最長は 40 歳になります (Farley *et al.* 2007, Gunn *et al.* 2008, CCSBT 2010)。ミナミマグロの最大サイズは太平洋クロマグロや大西洋クロマグロと比べて小さめの傾向がありますが、245 cm に達し、260 kg を超すものもあります (Nakamura 1990)。

クロマグロ漁業：過去と現在

クロマグロ漁業の発展は主に 3 つの時代に分けられます。何千年も昔の初期漁業では、定置網、手釣り、また沿岸刺し網など小規模な零細漁業のアプローチがとられていました。この漁業は、鮮魚、薫製、塩漬けの魚などをローカル・マーケットに供給してきました。一般に沿岸海域での漁業には限界があったため、漁獲量は少ないものでした。次の段階に入ると、クロマグロ漁業は大規模化した、産業化された漁業 (缶詰用の魚を供給する巻き網漁船と竿釣り船、日本の冷凍刺身マーケットに魚を供給する延縄漁業) へと移り変わりました。こうした漁業は今でも存在しますが、近年ではさらに他の操業形態への移行が多く見られます。グローバルなクロマグロ漁業の発展の最終段階は、畜養に生きた魚を供給する巻き網漁船の拡大でした。畜養漁業では、若い個体を漁獲し、殺す前に生け簀で餌を与えて育てます。畜養されたクロマグロは主に日本の刺身マーケットへ供給されますが、最近では他の国へも供給されるようになりました。刺身マーケットのクロマグロ価格は、缶詰マグロよりも遥かに高いため、刺身マーケットの出現とグローバル化は世界のクロマグロ漁業の経済に大きな変化をもたらし、クロマグロの乱獲に拍車をかけました (Issenberg 2007)。

大西洋クロマグロ漁業

東部大西洋と地中海

最初のクロマグロ漁業は地中海で発展しました。早くも紀元前 4000 年には、地引き網、釣り針と釣り糸を利用してクロマグロを漁獲していた事実が明らかになっています (Sara 1980, Fromentin 2009)。漁法は後に定置網へと代わることとなり、紀元前 2000 年までにはフェニキア人やローマ人の漁業コミュニティが定置網漁業で何千トンものクロマグロの漁獲を記録しています (Porch 2005)。この漁法は、1900 年代後半に地中海全域や隣接する大西洋海域で近代的な漁法が出現するまで比較的变化なく続きました (Mather *et al.* 1995)。漁獲量は、恐らく環境変化により変動しましたが、定置網および定置網とともに発展してきた漁業コミュニティも 20 世紀に入ってもまだ十分維持

されてきました。(Ravier and Fromentin 2004, Fromentin and Powers 2005)。

1950年代までには、北海のクロマグロを狙った大規模な巻き網漁業が発展しました。主にノルウェーの漁船によって行われ、その漁獲量は大西洋東部と地中海において最大の漁業規模となりました (Miyake *et al.* 2004) (図 5)。巻き網漁業では、魚群全体を取り巻くように網が配置されるため、特に効果的です。最大で 18,000 トンのクロマグロが、毎年北海で陸揚げされました。しかしながら、この漁獲量は持続可能なものではなく、1963年までには漁獲量は不安定になりその後回復することはありませんでした (Fromentin and Powers, 2005, MacKenzie and Myers 2007, Fromentin 2009)。大西洋東部や地中海では 1960年代全体から 1970年代初頭まで、漁獲総量は比較的低い水準 (15,000 トン未満) を維持していました (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas [ICCAT] 2010) (図 5)。

1980年代から 90年代にかけて、大西洋クロマグロのマーケットは主にヨーロッパの地元での消費から日本への大規模な輸出へと発展していきました。同時に、畜養用の生け簀の利用も増加し、マーケットの動向や価格上昇に効率よく合わせられる畜養の特質により、地中海漁業は一層利益のあるものになりました (Fromentin and Powers 2005, Fromentin 2009)。このことはまた、地中海のクロマグロ漁業において重大な違法 (illegal)・無規制 (unregulated)・無報告 (unreported) 漁業 (IUU 漁業) を誘発することになりました。地中海での巻き網漁船による漁獲量の増大により、東大西洋および地中海での漁獲総量は、1970年の 11,000 トンから、2006年には史上最大となる 60,000 トンにまで押し上げられました (図 5)。漁獲量は 2006年から大幅に減少したと考えられていますが、地中海の主要漁業国からの漁獲データの報告が不十分で、現在も IUU 漁業が続いているため、いかなる漁獲量の推定も不確実なものとなります (ICCAT 2010)。

西部大西洋

西部大西洋のクロマグロ漁業は、東部大西洋のクロマグロ漁業ほどの歴史を持っていません。もっとも初期のクロマグロ漁業

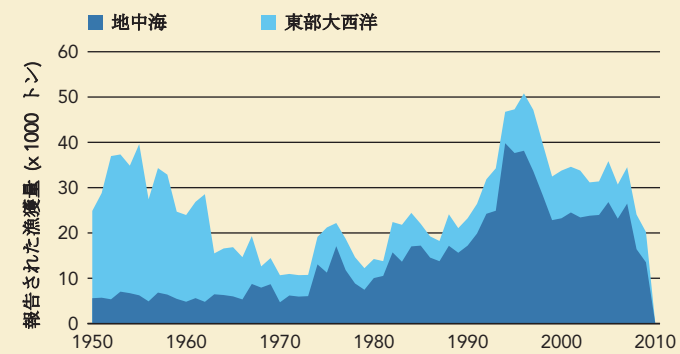
として知られているのは、20世紀初めにニューイングランドやカナダでの小規模な定置網と銚を使った漁業でした (Bigelow and Schroeder 1953)。20世紀中頃には、レジャースポーツとしてのクロマグロ漁がアメリカやカナダの東海岸で発展しました (Farrington 1949)。フロリダ海峡やバハマ諸島におけるレジャーとしてのクロマグロ漁業は、特に注目すべきものでした。この漁では、餌が豊富な夏にノバスコシア沖の餌場において最大の重量に育った巨大クロマグロに加え、メキシコ湾の産卵エリアを離れた大型のクロマグロをターゲットにしました (Farrington 1949)。この漁業は漁獲数で言えば小規模なものでしたが、クロマグロのサイズ、スピード、またパワーについての歴史的伝説に貢献しました。例えば、かつてヘミングウェイは、バハマ諸島のビミニ島で起きた漁師とクロマグロとの壮大な戦いを描き、彼はクロマグロを「全魚類の王」と表現しました。

大西洋西部で最初にはじまったクロマグロの大規模な商業漁業は、ブラジル沿岸沖の日本の延縄漁業と、ニューイングランド沖でのアメリカの巻き網漁業で、両者とも 1950年代後半に発展しました (Mather *et al.* 1995)。ブラジル沿岸での日本の漁獲量は、1964年までに年間 12,000 トン以上に増えましたが、操業開始から 10年もたないうちにクロマグロはこの海域から消えてしまい、戻ることはありませんでした (Fromentin 2009)。ブラジル沿岸での漁業の発展と同じ頃に、小・中サイズのクロマグロ (91 kg 以下) を漁獲するアメリカの巻き網漁業が、ニューイングランドで発展し、5,000 トン以上を漁獲するなど 1962年にはピークに達しました (Miyake *et al.* 2004)。両漁業による高い漁獲量は、西部大西洋での漁獲量を押し上げ、総漁獲量は 1964年までには 20,000 トン近くまで達し、その後この水準に到達することはありませんでした (Fromentin and Powers 2005, Porch 2005)。

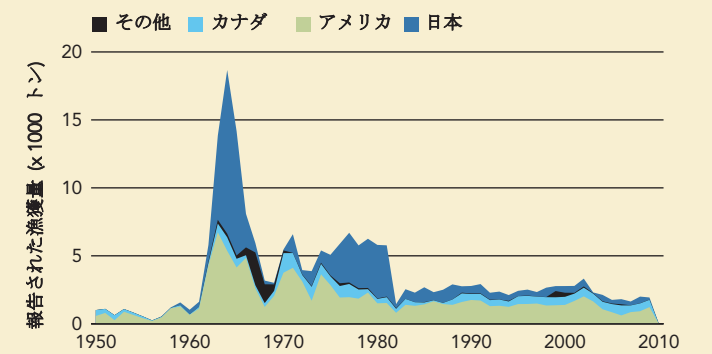
1970年代は漁具や漁業国が変化した変遷の時代でした (図 5)。日本の延縄漁業はメキシコ湾や北大西洋へ移動し、小規模な巻き網漁業はニューイングランドにとどまりました。またアメリカおよびカナダの東海岸沿岸では商業目的の一本釣り漁業が水揚げの主な供給源となりました (Mather *et al.* 2005)。漁業海域や漁具の変化に加えて、

図 5 : 1950年以降の各クロマグロの水揚げ。*

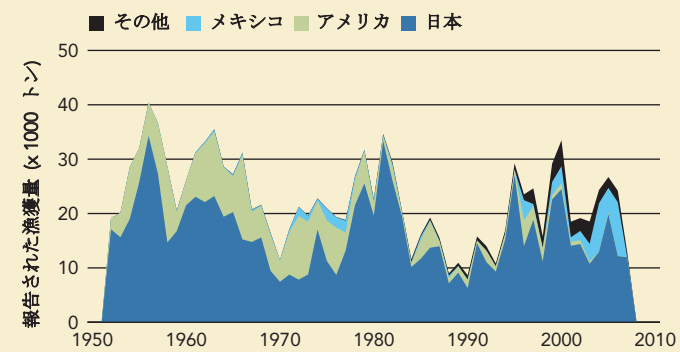
東部大西洋クロマグロ



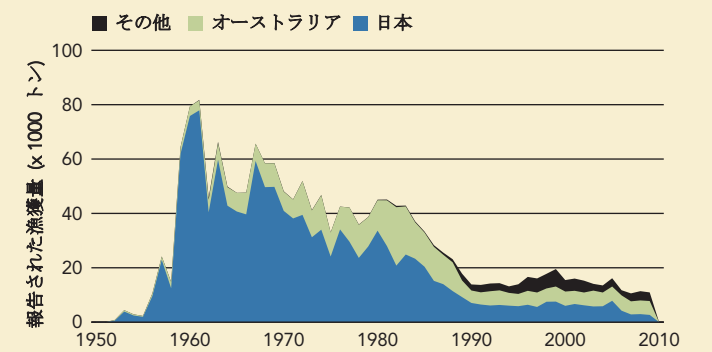
西部大西洋クロマグロ



太平洋クロマグロ



ミナミマグロ



* 注：ミナミマグロの漁獲量と地中海のクロマグロの漁獲量はここ数十年著しく過小報告されていたと考えられている。

クロマグロのマーケットも、缶詰用のマグロ需要から日本の刺身輸出マーケットへと移行していきました。クロマグロの価格高騰のため、高い漁獲圧が続き、1980年代初頭にはメキシコ湾の産卵エリアでのクロマグロ漁獲が禁止され、総漁獲量が 2,500 トン以下に削減されるまで、漁獲量は年間 5,000 トンから 7,000 トンの間で推移しました (Mather *et al.* 1995, Fromentin and Powers 2005, ICCAT 2010) (図 5)。

太平洋クロマグロ漁業

東部太平洋

人間と大西洋クロマグロとの長い歴史については多く書かれてきましたが、太平洋のクロマグロ漁業も、大西洋のクロマグロ漁ほどではないものの同様の長い歴史を持ちます。太平洋の東部では、大型のクロマグロ (160 cm 以上) の骨が、カナダのブリテイッシュ・コロンビア州およびアメリカのワシントン州北部にある先住民族コミュ

ニティの遺跡で発見されました。この化石は少なくとも紀元前 3,000 年にまで遡りますが、部族の長老らが語るところによると、19世紀中頃までクロマグロの漁業が活発であったようです (Crockford 1997)。スポーツとしてのクロマグロ漁もまた、東部太平洋で初めてはじまります。19世紀後半、一本釣りによって漁獲された最初的大型クロマグロ (100 kg 超) は、南カリフォルニアのカタリナ島沖で漁獲されたものです。このクロマグロを追っていた男たちはすぐに世界初のスポーツフィッシング・クラブ「カタリナ島ツナクラブ」(the Catalina Island Tuna Club) を創設し、そのクラブの基本ルールを「ゲーム・フィッシングのためのフェア・プレイ」としました。

東部太平洋でクロマグロが頻繁に見られたことを示す過去のレポートとは対照的に、近年では大型クロマグロとの遭遇は散発的であり、少なくなっています (Foreman and Ishizuka 1990)。商業漁業は、主に巻き網漁業ですが、1914年までに東太平洋で

発展し、1950年代後半に大きく広がりました (Bayliff 1994)。この漁業は、主に小さなクロマグロ (100 cm 未満) をターゲットとしていましたが、獲れるときには大きなクロマグロも漁獲しました (Hanan 1983)。東部太平洋での漁獲は、アメリカの南カリフォルニア沖やメキシコのパハ・カリフォルニア沖を主とし、1965年には18,000トン近くに達するなどピークを迎えましたが、その後1980年代から1990年代初頭にかけて減少していきました (Bayliff 1994) (図 5)。東部太平洋でのクロマグロの漁獲は、太平洋西部から回遊してくるクロマグロに依存しているため、20世紀全体にわたって漁獲量の変動は大きく、数年間で5,000トン以上の変動が見られることもありました (Hanan 1983) (図 5)。1990年代後半、東太平洋でのクロマグロの漁獲量は再び増加しはじめ、2007年には10,000トンに達しました (International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean [ISC] 2008) (図 5)。この増加もまた、クロマグロのマーケットが、缶詰用に漁獲されたものから、日本の刺身マーケットへの供給のためにメキシコの畜養生け簀用に漁獲された生きたクロマグロへシフトすることにより発生しました (Inter-American Tropical Tuna Commission [IATTC] 2010)。東部太平洋で漁獲されるクロマグロの90パーセント以上は60から100 cmの大きさのクロマグロで、約1歳から3歳の年齢を示すものです (IATTC 2010)。

西部太平洋

東部太平洋と同様に、日本の沿岸地域でのクロマグロの漁獲は6,000年前まで遡るようです (Muto *et al.* 2008)。西部太平洋では、沿岸での銚や手釣りなどの漁法が使われました。沿岸海域に操業範囲が限られていたため、その漁獲量はおそらく少なかったと考えられます。さらに進んだ漁法では、19世紀後半の日本、ロシア、韓国、中国の省である台湾で発達した定置網、流し網、手釣りを利用したものがありました。これらの漁業は現代の漁船とはかけ離れたものではありますが、水揚げは年間3,000トンから50,000トンに達したと推定され、1935年をピークに、その後1940年代から50年代にかけて大きく減少します (Muto *et al.* 2008)。

第二次世界大戦が終わると、西部太平洋のクロマグロを狙った日本の巻き網漁船や延縄漁船が大きく拡大し、その漁獲量は20世紀後半と21世紀の最初の10年を通して、年間10,000トンから35,000トンの間で変動しました (Miyake *et al.* 2004) (図 5)。太平洋での最大のクロマグロ漁業は日本の巻き網漁業で、1952年以来、年間2,000トンから25,000トンを漁獲しています (IATTC 2010)。この漁船は主に日本海や東シナ海にいる小さな魚 (1歳から3歳未満) をターゲットとしています (Miyake *et al.* 2004)。

さらに、日本と台湾の延縄漁業では西部太平洋全体、特に産卵エリアにいる大型クロマグロをターゲットとしています (IATTC 2010, Miyake *et al.* 2004)。小規模なトロールと流し網による漁業も西部太平洋のクロマグロをターゲットとしていますが、これらの漁業による漁獲量は、遥かに大きな巻き網や延縄漁業に比べるとわずかです。西部太平洋での最大のクロマグロ漁業は小さなクロマグロをターゲットとしているため、漁獲されたすべての魚の93パーセントまでが3歳未満であると推定されています (Itoh 2001)。

また、南太平洋、特にオーストラリア沖やニュージーランド沖でも少量のクロマグロの漁獲が記録されています (Miyake *et al.* 2004)。これらの漁業での漁獲数は小さいながらも、漁獲されたクロマグロのほとんどが非常に大きな成魚です (Itoh 2006)。

ミナミマグロ漁業

ミナミマグロは大西洋クロマグロや太平洋クロマグロよりもその歴史は浅く、初期の零細漁業についても比類可能な記録はありません。ミナミマグロの最初の漁業は1950年代に発展しました (Hayes 1997, Sharp 2001)。ちょうど日本の延縄漁業が、インドネシアとオーストラリアの間に位置する産卵エリアで、ミナミマグロの成魚を狙いはじめた頃でした。漁獲量は1961年には60,000トン近くに達しました (Miyake *et al.* 2004) (図 5)。その後、漁獲量は次第に減少し、日本の漁船は1970年代から80年代にかけて南オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカへ漁業を拡大させはじめました (Sharp 2001)。1980年代を通して漁獲量の減少は止まらず、1990年代には個体数の減少を止めるために導入されたより厳し

い漁獲割当によって漁獲が制限されるようになりました (Safina 2001) (図 5)。

オーストラリアの竿釣り漁業、トロール漁業、巻き網漁業もまた、1950年代にオーストラリア南部で発達しました。これらの漁業では、日本の延縄漁業が漁獲するよりも小さいクロマグロを対象とし、そのほとんどはオーストラリアの缶詰工場へ送られました。この漁法での漁獲量は徐々に増加し、1982年には20,000トンを越えるまで総漁獲量が増加しました (CCSBT 2010) (図 5)。日本の延縄漁業と同様、オーストラリアの漁獲量も、漁獲割当制度が導入されるに伴い、1990年代に顕著に減少しました。同時に、クロマグロのマーケットは缶詰工場への供給からオーストラリア南部のマグロ畜養への供給に変化していきました (CCSBT 2010)。

クロマグロを漁獲する主要国 (オーストラリア、日本、ニュージーランド) は漁獲割当量に関する協定により漁獲量が制限されていたため、ミナミマグロの総漁獲量は、1990年代全体を通してかなり低い水準 (年間約14,000トン) に維持されました (Hayes 1997, CCSBT 2010) (図 5)。しかし、他の国による漁獲が1990年代に増加しはじめ、1999年には総漁獲数は20,000トンを越える水準にまでに押し上げられましたが、21世紀初めには再び減少します (Miyake *et al.* 2004)。しかし過去20年間の漁獲量は、かなり過小に報告されていた可能性を示す事実が明らかになっています (CCSBT 2010)。日本の延縄漁船から報告された漁獲量と、マーケットでの流通量を比べると、実際の漁獲量は、管理当局へ報告されている数の2倍であるとみられています (Polacheck and Davies 2007)。

クロマグロ個体群の管理と現状

クロマグロの管理は複雑です。大部分の遠洋または公海の魚種と同様、クロマグロは地域漁業管理機関 (RFMO) のもとで管理されています。RFMOが締約国間で対象資源の保全と管理について合意を形成する枠組みを提供し、各締約国がそれらの措置を実施します。RFMOはまた、加盟国の遵守を監視し、漁業データを収集する機関です。4つのRFMOがクロマグロ漁業の管理に責任を負っています。これらの機関は

管轄海域においてクロマグロおよびその他の遠洋漁業種の漁獲を行う国によって構成され、沿岸漁業国と遠洋漁業国が含まれます。RFMOはそれぞれ組織形態が異なりますが、決議は通常コンセンサスによって行われます。その結果として、漁獲管理の大幅な変更を成立させる作業は、段階的で多くの場合難しいプロセスとなります。

各RFMOはその構造の違いに加え、個体数の科学的評価の実施と利用方法にも違いがあります。全米熱帯マグロ類委員会 (IATTC) など、RFMOのなかには多くの研究を引き受け、個体数評価を実施する常勤の科学者をスタッフとして備えている機関もあります。ICCATなど、他の機関は研究情報の提供を加盟国政府、また個体数評価の実施を科学者に依存し、フルタイムのスタッフは事務スタッフと技術スタッフのみです。みなみまぐろ保存委員会 (CCSBT) は科学委員会に中立的な委員長を据え、加盟国から派遣される科学者に加え独立した科学者からなるパネルを組織しています。最終的には、国別割当と総捕獲枠、サイズ制限、他の管理措置に関する決定は、科学者によってではなく、各RFMO委員会の加盟国の代表によって行われます。通常、委員会は明確な助言を科学委員会に求め、その助言に従うかどうかを決定します。

どの研究にも当てはまることですが、個体数の評価プロセスで使われる生物学的パラメーターには通常ある程度の不確実性が存在します。そしてこの不確実性が評価の結果に大きな影響を持っています。例えば、成魚の年齢は、計算方法の違いにより、5歳から10歳の範囲にあると推定されたとします。5歳という推定値を利用すれば、10歳という推定値を利用するよりも、高い個体数成長率を示す個体数評価につながります。大部分のモデルにおいて、産卵可能年齢を5歳からと仮定すれば、より楽観的な結果がもたらされ、より高い漁獲率が許容されます。

不確実性は、計測が難しくかつ個体数評価の結果に影響を及ぼす生物学的パラメーターでより大きくなります。例えば、自然死亡数、すなわち漁獲とは関係なく、ある年に死んだ魚の数を推定することは極端に難しいことですが、その推定値は、個体群の個体数や魚重量の推定値などモデル出力に多大な影響を与えます。したがって、

専門家は多くの場合、単一の漁獲許容量ではなく、不確実性の範囲を管理者に提供します。政府はみな予防原則を支持していますが、(推定値の範囲の下端での) 予防的な割当量の設定に賛成するかしないかは一般的には科学的根拠の強さよりも経済と政治に依存しています。

個体数評価の科学の難しさや、総漁獲許容量や国別割当についてのコンセンサス形成の難しさに加え、割当量の遵守と実施もまた難しい課題です。究極的には、加盟国がそれぞれ自国の漁船に対して合意された規定を実施する責任があります。RFMO加盟国間には、政治的意思や監視・実施能力に大きな開きがあるため、規定の遵守も大きく異なります。さらに、経済的誘因により、仮に国が乱獲を制御する術を持っていても、乱獲に目をつぶってしまうこともあります。

大西洋クロマグロの管理

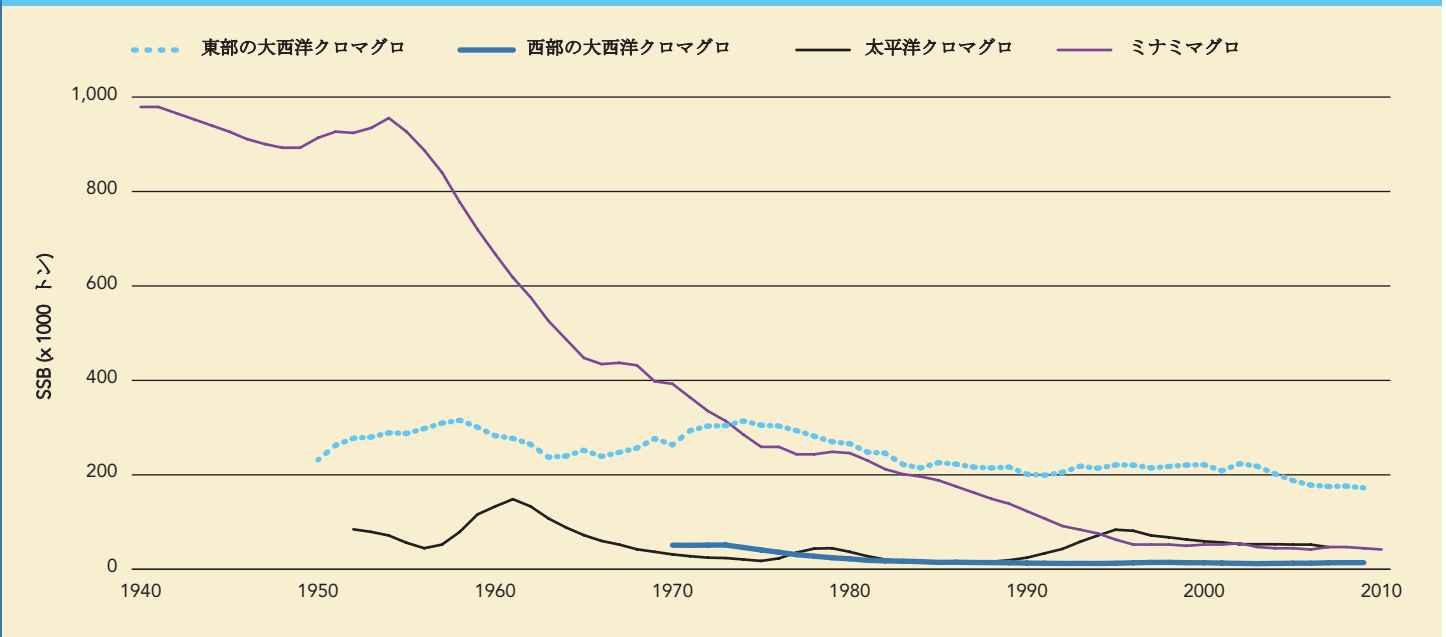
大西洋クロマグロの漁獲量減少が、1969年の ICCAT の成立を促しました (ICCAT 2006)。現在、48 の加盟国政府が参加し、また協力的非加盟国も参加しています (ICCAT 2010)。北大西洋の東部および西部での漁獲の違いや生活史の特質上の違いのため、ICCAT は東部および西部の大西洋クロマグロが別個体群にそれぞれ属していると仮定しました (National Research Council [NRC] 1994)。ICCAT が使用する個体群間の境界は、中部大西洋の西経約 45 度とされ、また歴史的に大西洋クロマグロの個体群間の混在水準は低い (年間約 2~4 パーセント) との仮定に立って管理されてきました (NRC 1994)。最近の遺伝学的研究は大西洋東部および西部の個体群は生殖において独立しているとしています。しかし、現在では二つの個体群が重なり合う部分は以前考えられていたよりも広いとされ、大西洋西部の海域のなかには最大 50 パーセントが大西洋東部からの個体であるものもあります (Block *et al.* 2005, Rooker *et al.* 2008, Boustany *et al.* 2008)。東部の個体群は、西部の個体群に比べて一桁大きいとされ、上記の事実は、西部の大西洋クロマグロの管理に多大な影響を及ぼします。つまり東部から西部に移動するクロマグロ数の変化がわずかであっても、西部のクロマグロの個体数に大きな違いをもたらします (ICCAT 2010)。

混在と評価プロセスに関するもう一つの懸念は、二つもしくはそれ以上の異なる個体群が地中海で産卵していることが遺伝子データから明らかになっているにもかかわらず、大西洋東部および地中海のクロマグロが現在一つの個体群として評価されていることです (Carlsson *et al.* 2004, Boustany *et al.* 2008, Riccioni *et al.* 2010)。地中海の複数の個体群を一つの個体群として評価することは、大きな個体群からの漁獲量が多い場合、小さな個体群の減少を不明瞭にしてしまう可能性が高くなります。

著しい不確実性は大西洋東部の評価に用いられたデータにも存在します (Advanced Tuna Ranching Technologies [ATRT] 2010, ICCAT 2008)。総漁獲量及び漁獲許可サイズ以下の漁獲に関する過少申告により、科学者が正確に個体数を評価し、将来の予測を行うことを難しくしています。しかしながら、大西洋東部のクロマグロ管理における最大の問題は、管理措置の実施です。科学的な助言よりも高い漁獲割当量を設定する管理者に加え、漁獲割当の遵守も欠落しているため、漁獲量が科学的に推奨された水準を最大 400 パーセント超過する年もありました (Hurry *et al.* 2008)。大西洋西部では、成魚数と未成魚数の関係についての前提の変化により、ICCAT はより生産的な漁獲をもたらす水準に個体数を戻そうとするよりも、現在の個体群規模に安定させる管理戦略に従うこととなりました (Safina and Klinder 2008)。

大西洋東部の個体群は、最大の漁獲をもたらす成魚バイオマス (個体群内のすべての成体魚の重量) の約 35 パーセントにあると評価され、また、実際の漁獲率はさらなる個体数の減少を抑えるのに必要とされる漁獲率の二倍になっていました (ICCAT 2010) (図 6)。漁業管理者がしばしば「産卵親魚バイオマス (SSB)」と呼ぶ成魚のバイオマスは、長期におけるクロマグロ個体群の相対的な健全性を測る共通の方式となっています。大西洋西部では、SSB が 1970 年から 81 パーセント減少したと推定され、SSB が増加する徴候もなく、30 年以上この低い水準が続いています (ICCAT 2010) (図 6)。しかしながら、大西洋西部で最大の漁獲は 1970 年以前に行われたために、漁獲がはじまる前の初期資源状態から見た減少は、ICCAT が算出した 81 パーセントという

図 6 : 産卵親魚バイオマス (SSB)・成魚バイオマスの長期的推移。



数字よりも一層大きなものになりそうです (Mather *et al.* 1995, Porch 2005)。

大西洋クロマグロの管理に大きな問題があり、また東部における個体数の減少が加速し、西部の個体群が 30 年以上にわたり回復を見せないこともあり、商業目的での国際取引を禁止する力を持つ「絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約 (CITES)」の付属書に大西洋クロマグロを掲載する提案が提出されました。付属書に掲載されていたならば、国際的に取引されるクロマグロの大部分や、世界の刺身マーケットへ供給されるほぼすべての高価格マグロについては、乱獲を促すマーケットの力を著しく減じることになったはずでした。付属書への掲載の脅しにより、不法漁獲や無報告に対する規制を強める圧力が増すことになりました。採択された措置もしくは漁獲率のさらに厳しい規制が、将来的にクロマグロの個体群の健全性にどう影響するのか、現時点では不明です。

国際的に管理された大きな遠洋魚種の回復の可能性を考えると、北大西洋のメカジキが枯渇から回復したように、近年は成功例も存在しています。乱獲や幼魚の多量の漁獲、産卵エリアでの漁獲により、北大西洋のメカジキの個体群規模は 1980 年から 2000 年の間、著しく減少しました (ICCAT 2010)。総割当量を減らし、漁獲許容最小サイズを大きくし、幼魚や産卵成魚を

保護するために禁漁区域を定めることで、メカジキの個体群を過去の減少から、現在では完全に回復したと考えられるポイントまで回復させることができました。クロマグロについても、同様の枠組みを導入すれば、個体群はまだ回復させることが可能です。

太平洋クロマグロの管理

最近まで、太平洋クロマグロは太平洋の RFMO の管理の隙間に陥っていました。温帯性マグロの一種である太平洋クロマグロは、同じような海域に分布する他の主要なマグロ種を管轄する IATTC または中西部太平洋まぐろ類委員会 (WCPFC) の二つの主要 RFMO では管理されていません。そのため、正式な管理 (十分な個体数評価や、厳しいモニタリングと漁獲割当量を含む) は、他のクロマグロ種では整備されているものの、太平洋クロマグロには導入されていませんでした。クロマグロの個体数評価は北太平洋まぐろ類国際科学委員会 (ISC) によって実施され、それに伴う管理措置の勧告は、IATTC と WCPFC がそれぞれの管轄漁業について対応を実施します。

太平洋クロマグロの個体群は一番最近の評価では、漁獲がはじまる前の初期バイオマスの 3 パーセントから 26 パーセントの間にあるとされ、太平洋クロマグロが乱獲されていることが示されました

(Ichinokawa *et al.* 2010) (図 6)。しかしながら、漁獲を除いた死亡率はまだよくわかっていないため、この推定値には高い水準の不確実性が伴っており、それは個体数モデルの推定結果に大きな影響を与えます (ISC 2008, IATTC 2010)。他のクロマグロ種と同様、適切な監視をはじめの前にすでに大量に漁獲されていたため、初期資源状態の個体群規模を評価することが非常に難しくなっています (Miyake *et al.* 2004, Muto *et al.* 2008)。しかしながら、良質なデータが得られた期間について推定した成魚のバイオマスと比べても、2007 年の資源量は 1960 年に記録された最大資源量の 50 パーセントを下回ると推定されます (Ichinokawa *et al.* 2010) (図 6)。重要な懸念材料のひとつは、まだ産卵段階に達していない未成魚の高い漁獲量です。太平洋西部で漁獲されたクロマグロの最大 93 パーセントと、太平洋東部で漁獲されたクロマグロの 90 パーセント以上が、非常に小さな幼魚や成熟年齢に達しないクロマグロでした (Itoh 2001, IATTC 2010)。最新の漁獲死亡率は、持続可能な水準を上回っていると考えられています (ISC 2008)。

ミナミマグロの管理

1970 年代にミナミマグロの漁獲量が減少したことにより、主要漁業国のオーストラリア、ニュージーランド、日本は、1982 年に漁獲割当システムを導入しました (Edwards 2001)。資源の減少に歯止めがかからなかったため、また他の漁業国がミナミマグロを漁獲しはじめたため、1994 年に CCSBT が正式に設立されました (Safina 2001)。厳しい漁獲割当量が設定されましたが、加盟国による乱獲と、増え続けた非加盟国による漁獲圧が保全措置の効果を損ない、個体群規模は減少し続けました (CCSBT 2010)。

その後数十年の間に、韓国やインドネシアが CCSBT に参加し、中国の省である台湾も参加しました。さらに他の国々も協力的非加盟国として参加するようになりました。協力的非加盟国は、CCSBT の管理措置に従いますが、委員会での投票する権限を持ちません (CCSBT 2010)。ミナミマグロの管理はとりわけ対立的で、オーストラリア、ニュージーランドが、合意した漁獲割当量を上回った漁獲を行っているとして日本を国連海洋法条約の裁判所に提訴し

たことで対立は頂点に達しました (Romano 2001)。加盟国政府による漁獲量の過小報告が続いたことにより、ここ 10 数年における成魚バイオマスはさらに減少しました。最新の個体数評価によれば、産卵親魚の資源量は過去数十年にわたり極めて低い水準のままであり、漁獲開始前の初期資源状態の 3 パーセントから 7 パーセントの水準にあるとされています (CCSBT 2010) (図 6)。近年の管理活動や、特に過去に乱獲してきた加盟国に対する、さらなる割当量の削減により、この個体群はゆるやかに回復していくと予想されています (CCSBT 2010)。しかしながら、ミナミマグロの生活史の特質、特に長い寿命と遅い生殖成熟のために、この種の回復はゆっくりとしたものとなるみられています。

終わりに

積極的な管理も行われてきていますが、クロマグロは今後も多くの困難に直面します。世界のクロマグロの個体群が歴史的な水準に比べ、著しく減少したままですが、現在の管理措置の決定は過去の数十年と比べて向上しました。鍵となるのはそれらの決定を効果的に実行し、実施することです。歴史的にもっとも激減したマグロ種に該当するミナミマグロや西部の大西洋クロマグロでさえ、個体数の減少は止まったと考えられています。西部の大西洋クロマグロの場合、個体数水準の微増が見られます (ICCAT 2010, CCSBT 2010)。東部の大西洋クロマグロは、無規制の漁獲が行われていた個体群であるが、管理者は現在、割当量の設定で科学的な勧告に従う方向で動きはじめています。2010 年には、東部の大西洋クロマグロの割当量は科学的助言の範囲内に収まるようになりました。さらに、違法で無規制の漁獲の規制を目的とした強制措置が、大西洋東部および地中海で採用されています。ただし、一つの疑問が残ります。それはこうした措置がはたして遵守され、不遵守の場合に強制執行されるのかというものです。

資源評価を完成させるために利用される基本的な生活史データと同様に漁獲データにおいても不確実性が残っています。資源状況において認められるいかなる改善状況も、データの質が改善されれば、一瞬で消え去ってしまうことになるかもしれませ

ん。クロマグロの管理で改善が望まれる点として、未成魚の漁獲のコントロールがあります。特に、太平洋および地中海ではすべての個体群の産卵エリアでクロマグロの漁獲を排除すること、また遵守措置の強化とその実施が重要となります。

もし、管理者がこれらのよい流れを継続し、悪い流れを逆転させることができ、かつクロマグロに十分な予防原則を適用することができれば、北大西洋でのメカジキ

の例が示すように、健全な水準にまで再びクロマグロの個体数が増加する可能性はまだ残っています。メカジキよりも個体群成長率が遅いクロマグロにとって、このプロセスは理想的な環境下であっても、よりゆっくりとしたものになるでしょう。このため、クロマグロ個体群の増加が短期的な利益に駆られて無駄にならないように、引き続き警戒することがを必要なのです。

参考文献

- Advanced Tuna Ranching Technologies. 2010. *Requiem for a bluefin tuna: An international trade analysis* (1998/2009).
- Baglin, R.E., Jr. 1982. Reproductive biology of western Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Fishery Bulletin* 80: 121–134.
- Bayliff, W.H. 1994. A review of the biology and fisheries for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. *FAO Fisheries Technical Paper* 336: 244–295.
- Bigelow, H.B. and W.C. Schroeder. 1953. Fishes of the Gulf of Maine. *Fishery Bulletin* 53: 351–357.
- Block, B.A., H. Dewar, S.B. Blackwell, T.D. Williams, E.D. Prince, C.J. Farwell, A. Boustany, S.L. Teo, A. Seitz, and A. Walli. 2001. Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science* 293: 1310–4.
- Block, B.A., S.L.H. Teo, A. Walli, A. Boustany, M.J.W. Stokesbury, C.J. Farwell, K.C. Weng, H. Dewar, and T.D. Williams. 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature* 28: 1121–1127.
- Boustany, A.M., C.A. Reeb, and B.A. Block. 2008. Mitochondrial DNA and electronic tracking reveal population structure of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Marine Biology* 156(1): 13–24.
- Boustany, A.M., R. Matteson, M.Castleton, C. Farwell, and B.A. Block. 2010. Movements of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in the eastern North Pacific revealed with archival tags. *Progress in Oceanography* 86: 94–104.
- Carey, F.G. and K.D. Lawson. 1973. Temperature regulation in free-swimming bluefin tuna. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 44: 375–92.
- Carlsson, J., J.R. McDowell, P. Diaz-Jaimes, J.E.L. Carlsson, S.B. Boles, J.R. Gold, and J.E. Graves. 2004. Microsatellite and mitochondrial DNA analyses of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) population structure in the Mediterranean Sea. *Molecular Ecology* 13: 3345–3356.
- Carlsson J., J.R. McDowell, J.E.L. Carlsson, and J.E. Graves. 2007. Genetic identity of YOY bluefin tuna from the eastern and western Atlantic spawning areas. *Journal of Heredity* 98: 23–28.
- Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, and M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299(5604): 217–221.
- Chen, K.S., P. Crone, and C.C. Hsu. 2006. Reproductive biology of female Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* from south-western North Pacific Ocean. *Fisheries Science* 72: 985–994.

- Collette, B.B., K.E. Carpenter, B.A. Polidoro, M.J. Juan-Jordá, A. Boustany, D.J. Die, C. Elfes, W. Fox, J. Graves, L.R. Harrison, R. McManus, C.V. Minte-Vera, R. Nelson, V. Restrepo, J. Schratwieser, C.L. Sun, A. Amorim, M. Brick Peres, C. Canales, G. Cardenas, S.K. Chang, W.C. Chiang, N. de Oliveira Leite, Jr., H. Harwell, R. Lessa, F.L. Fredou, H.A. Oxenford, R. Serra, K.T. Shao, R. Sumaila, S.P. Wang, R. Watson and E. Yáñez. 2011. High value and long-lived: A double jeopardy for threatened tunas and billfishes. *Science* 333(6040): 291–292.
- Collette, B.B. and C.E. Nauen. 1983. FAO species catalogue. Vol 2: Scombrids of the world. *FAO Fishery Synopsis* 125(2): 122–136.
- Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (CCSBT). 2010. Report of the Fifteenth Meeting of the Scientific Committee. September 11, 2010, Narita, Japan.
- Cort, J.J. and B. Loirzou. 1990. Reproduction—eastern Atlantic and Mediterranean. In: D. Clay (Ed.) *World Bluefin Meeting*, May 25–31, 1990, La Jolla, Calif.
- Crockford, S.J. 1997. Archeological evidence of large northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in coastal waters of British Columbia and northern Washington. *Fishery Bulletin* 95: 11–24.
- Cushing, D.H. 1968. *Fisheries biology. A study in population dynamics*. The University of Wisconsin Press, Madison, Milwaukee, and London.
- Diaz, G.A. and S.C. Turner. 2007. Size frequency distribution analysis, age composition, and maturity of western bluefin tuna in the Gulf of Mexico from the U.S. (1981–2005) and Japanese (1975–1981) longline fleets. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 6: 1160–1170.
- Diaz, G.A. 2011. A revision of western Atlantic bluefin tuna age of maturity derived from size samples collected by the Japanese longline fleet in the Gulf of Mexico (1975–1980). *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 66(3): 1216–1226.
- Dicenta, A. and C. Piccinetti. 1980. Comparison between the estimated reproductive stocks of bluefin tuna (*T. thynnus*) of the Gulf of Mexico and western Mediterranean. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 9(2): 442–448.
- Domeier, M.L., D. Kiefer, N. Nasby-Lucas, A. Wagschal, and F. O'Brien. 2005. Tracking Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in the northeastern Pacific with an automated algorithm that estimates latitude by matching sea-surface-temperature data from satellites with temperature data from tags on fish. *Fishery Bulletin* 103: 292–306.

- Edwards, M. 2001. Progress and problems: The operation of the convention for the conservation of southern bluefin tuna. In: K. Hinman (Ed.), *Getting ahead of the curve: Conserving the Pacific Ocean's tunas, billfishes, and sharks*. National Coalition for Marine Conservation, Leesburg, Va.
- Farley, J.H. and T.L. Davis. 1998. Reproductive dynamics of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*. *Fishery Bulletin* 96: 223–236.
- Farley, J.H., T.L.O. Davis, J.S. Gunn, N.P. Clear, and A.L. Preece. 2007. Demographic patterns of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, as inferred from direct age data. *Fisheries Research* 83: 151–161.
- Farrington, S.K., Jr. 1949. *Fishing the Atlantic: Offshore and on*. Coward-McCann Inc., New York.
- Fonteneau, A. and J. Marcille. 1988. Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. FAO document technique sur les pêches. *FAO Technical Document* 292.
- Foreman, T.J. and Y. Ishizuka. 1990. Giant bluefin off Southern California, with a new California size record. *California Fish and Game* 76: 181–186.
- Fromentin, J.M. 2009. Lessons from the past: Investigating historical data from bluefin tuna fisheries. *Fish and Fisheries* 10: 197–216.
- Fromentin, J.M. and J.E. Powers. 2005. Atlantic bluefin tuna: Population dynamics, ecology, fisheries, and management. *Fish and Fisheries* 6: 281–306.
- Galuardi, B., F. Royer, W. Golet, J. Logan, J. Nielson, and M. Lutcavage. 2010. Complex migration routes of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) question current population structure paradigm. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67(6): 966–976.
- García, A., F. Alemany, P. Velez-Belchí, J.L. López Jurado, D. Cortés, J.M. de la Serna, C. González Pola, J.M. Rodríguez, J. Jansá, and T. Ramírez. 2005. Characterization of the bluefin tuna spawning habitat off the Balearic Archipelago in relation to key hydrographic features and associated environmental conditions. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 58(2): 535–549.
- Goldstein, J., S. Heppell, A. Cooper, S. Brault, and M. Lutcavage. 2007. Reproductive status and body condition of Atlantic bluefin tuna in the Gulf of Maine, 2000–2002. *Marine Biology* 151: 2063–2075.
- Grewe, P.M., N.G. Elliott, B.H. Innes, and R.D. Ward. 1997. Genetic population structure of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Marine Biology* 127: 555–561.
- Gunn, J.S., N.P. Clear, T.I. Carter, A.J. Rees, C.A. Stanley, J.H. Farley, and J.M. Kalish. 2008. Age and growth in southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii* (Castelnau): Direct estimation from otoliths, scales, and vertebrae. *Fisheries Research* 92(2–3): 207–220.
- Hanan, D.A. 1983. Review and analysis of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, fishery in the eastern North Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 81: 107–119.
- Hayes, E.A. 1997. A review of the southern bluefin tuna fishery: Implications for ecologically sustainable management. *A Traffic Oceania Report* July 1997.
- Heinisch, G., A. Corriero, A. Medina, F.J. Abascal, J.M. de la Serna, R. Vassallo-Agius, A.B. Ríos, A. García, F. de la Gándara, C. Fauvel, C.R. Bridges, C.C. Mylonas, S.F. Karakulak, I. Oray, G. De Metrio, H. Rosenfeld, and H. Gordin. 2008. Spatial-temporal pattern of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L. 1758) gonad maturation across the Mediterranean Sea. *Marine Biology* 154(4): 623–630.
- Hurry, G.D., M. Hayashi, and J.J. Maguire. 2008. *Report of the independent review*. September 2008. PLE-106/2008. ICCAT, Madrid.
- Hutchings, J.A. and J.D. Reynolds. 2004. Marine fish population collapses: Consequences for recovery and extinction risk. *BioScience* 54: 297–309.
- Ichinokawa, M., M. Kai, and Y. Takeuchi. 2010. *Stock assessment of Pacific bluefin tuna with updated fishery data until 2007*. ISC/10–1/PBFWG/01, July 2010.
- 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 experiments and its relation with oceanographic conditions in the western North Pacific. *Bulletin of the Far Seas Fisheries Research Lab* 38: 53–81.
- Inagake, D. 2001. Migratory of the Pacific bluefin tuna using archival tags and its relation with oceanographic conditions. *Aquabiology* 23: 547–552.
- Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC). 2010. *Tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean in 2009. Fishery Status Report No. 8*. La Jolla, Calif.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). 2006. Report of the 2006 Atlantic Bluefin Tuna Stock Assessment Session. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 13: 1–137.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). 2010. Report of the 2010 Atlantic Bluefin Tuna Stock Assessment Session. Madrid, Sept. 6–12, 2010. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 66(2): 505–714.
- International Scientific Committee (ISC) for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean. 2008. *Report of the Pacific bluefin tuna working group workshop*. May 28–June 4, 2008, Shimizu, Japan.
- Issenberg, S. 2007. *The sushi economy: Globalization and the making of a modern delicacy*. Gotham Books, New York.
- Itoh, T. 2001. Estimation of total catch in weight and catch-at-age in number of bluefin tuna *Thunnus orientalis* in the whole Pacific Ocean. *Bulletin of the National Research Institute of Far Seas Fisheries* 38: 83–111.
- Itoh, T., S. Tsuji, and A. Nitta. 2003a. Migration patterns of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. *Fishery Bulletin* 101: 514–534.
- Itoh, T., S. Tsuji, and A. Nitta. 2003b. Swimming depth, ambient water temperature preference, and feeding frequency of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. *Fishery Bulletin* 101: 535–544.
- Itoh, T. 2006. Sizes of adult bluefin tuna *Thunnus orientalis* in different areas of the western Pacific Ocean. *Fisheries Science* 72(1): 53–62.
- Jennings, S., S.P.R. Greenstreet, and J.D. Reynolds. 1999. Structural change in an exploited fish community: A consequence of differential fishing effects on species with contrasting life histories. *Journal of Animal Ecology* 68: 617–627.
- Kitagawa, T., S. Kimura, H. Nakata, and H. Yamada. 2004. Diving behavior of immature, feeding Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in relation to season and area: The East China Sea and the Kuroshio-Oyashio transition region. *Fisheries Oceanography* 13: 161–180.
- Kitagawa, T., A.M. Boustany, C. Farwell, T.D. Williams, M. Castleton, and B.A. Block. 2007. Horizontal and vertical movements of juvenile Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in relation to seasons and oceanographic conditions. *Fisheries Oceanography* 16: 409–421.
- Lutcavage, M.E., R.W. Brill, G.B. Skomal, B.C. Chase, and P.W. Howey. 1999. Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: Do North Atlantic bluefin tuna spawn in the mid-Atlantic? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 173–177.
- MacKenzie, B.R. and R.A. Myers. 2007. The development of the Northern European fishery for North Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, during 1900–1950. *Fisheries Research* 87: 229–239.
- Mather, F.J., J.M. Mason, and A.C. Jones. 1995. Life history and fisheries of Atlantic bluefin tuna. *NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC* 370.
- Miyake, M., N. Miyabe, and H. Nakano. 2004. Historical trends of tuna catches in the world. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Fisheries Technical Paper* 467.
- Muto, F., Y. Takeuchi, K. Yokawa, S. Ochi, and M. Tabuchi. 2008. *Pacific bluefin tuna fisheries in Japan and adjacent areas before the mid-20th century*. ICCAT World Symposium for the study into stock fluctuations of northern bluefin tunas (*Thunnus thynnus* and *Thunnus orientalis*) including the historic periods.
- Nakamura, I. 1990. Scombridae. In O. Gon and P.C. Heemstra (Eds.) *Fishes of the Southern Ocean*. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown, South Africa.
- National Research Council (NRC). 1994. *An assessment of Atlantic bluefin tuna*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Nemerson, D., S. Berkeley, and C. Safina. 2000. Spawning site fidelity in Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*: The use of size-frequency analysis to test for the presence of migrant east Atlantic bluefin tuna on Gulf of Mexico spawning grounds. *Fishery Bulletin* 98(1): 118–126.
- Neilson J.D. and S.E. Campana. 2008. A validated description of age and growth of western Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65: 1523–1527.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi, and S. Kikawa. 1985. *Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956–1981*. Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, Japan.
- Polackcheck, T., J.P. Eveson, and G.M. Laslett. 2004. Increase in growth rates of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) over four decades: 1960–2000. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 307–322.
- Polackcheck, T. and C. Davies. 2007. Implications of the Japanese overcatch of southern bluefin tuna for data collection and assessment of tropical tuna, and the need for independent verification of catch and effort statistics. *CSIRO Marine and Atmospheric Research paper* 023, CSIRO, Hobart, Australia.
- Polovina, J.L. 1996. Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. *Fisheries Oceanography* 5(2): 114–119.
- Porch, C.E. 2005. The sustainability of western Atlantic bluefin tuna: A warm blooded fish in a hot blooded fishery. *Bulletin of Marine Science* 76: 363–384.
- Proctor C.H., R.E. Thresher, J.S. Gunn, D.J. Mills, I.R. Harrowfield, and S.H. Sie. 1995. Stock structure of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*: An investigation based on probe microanalysis of otolith composition. *Marine Biology* 122: 511–526.
- Ravier, C. and J.M. Fromentin. 2004. Are the long-term fluctuations in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) population related to environmental changes? *Fisheries Oceanography* 13(3): 145–160.
- Restrepo, V.R., G.A. Diaz, J.F. Walter, J.D. Neilson, S.E. Campana, D. Secor, and R.L. Wingate. 2010. Updated estimate of the growth curve of western Atlantic bluefin tuna. *Aquatic Living Resources* 23: 335–342.
- Riccioni, G., M. Landi, G. Ferrara, I. Milano, A. Cariani, L. Zane, M. Sella, G. Barbujani, and F. Tinti. 2010. Spatio-temporal population structuring and genetic diversity retention in depleted Atlantic bluefin tuna of the Mediterranean Sea. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107: 2102–2107.
- Richards, W.J. 1990. Results of a review of the U.S. bluefin tuna larval assessment with a brief response. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 32(2): 240–247.
- Rodríguez-Marin, E., H. Arrizabalaga, M. Ortiz, C. Rodríguez-Cabello, G. Moreno, and L.T. Kell. 2003. Standardization of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, catch per unit effort in the baitboat fishery of the Bay of Biscay (Eastern Atlantic). *ICES Journal of Marine Science* 60: 1216–1231.
- Rodríguez-Roda, J. 1967. Investigations of tuna (*Thunnus thynnus*) in Spain. *ICCAT Report for Biennial Period*. 2: 110–113.
- Romano, C. 2001. The southern bluefin tuna dispute: Hints of a world to come...like it or not. *Ocean Development and International Law* 32(4): 313–348.
- 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. *Marine Ecology Progress Series* 218: 275–282.
- Rooker, J.R., D.H. Secor, G. De Metrio, R. Schloesser, B.A. Block, and J.D. Neilson. 2008. Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. *Science* 322(5902): 742–744.
- Royer, F. and J.M. Fromentin. 2007. Environmental noise in spawning areas: The case of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Fisheries Oceanography* 16(2): 202–206.
- Safina, C. 2001. Tuna conservation. In: B.A. Block and E.D. Stevens (Eds.), *Tuna: Physiology, ecology, and evolution*. Academic Press, San Diego.
- Safina, C. and D.H. Klinger. 2008. Collapse of bluefin tuna in the western Atlantic. *Conservation Biology* 22: 243–246.
- Sawada Y., T. Okada, S. Miyashita, O. Murata, and H. Kumai. 2005. Completion of the Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, life cycle under aquaculture conditions. *Aquaculture Research* 36: 413–421.
- Sara, R. 1980. Bluefin tuna trap fishery in the Mediterranean. *ICCAT Collected Volume of Scientific Papers* 11: 129–144.
- Schaefer, K.M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 21: 489–528.
- Schaefer, K.M. 2001. Reproductive biology. In: B.A. Block and E.D. Stevens (Eds.), *Tuna: Physiology, ecology, and evolution*. Academic Press, San Diego.

- Scott, B., G. Marteinsdottir, and P. Wright. 1999. Potential effects of maternal factors on spawning stock-recruitment relationships under varying fishing pressure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 1882–1890.
- Sharp, G.D. 2001. Tuna oceanography, an applied science. In: B.A. Block and E.D. Stevens (Eds.), *Tuna: Physiology, ecology, and evolution*. Academic Press, San Diego.
- Sharp, G.D. and A.E. Dizon. 1978. *The physiological ecology of tunas*. Academic Press, New York.
- Shimose, T., T. Tanabe, K.S. Chen, and C.C. Hsu. 2009. Age determination and growth of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, off Japan and Taiwan. *Fisheries Research* 100(2): 134–139.
- Shingu, C. 1967. Distribution and migration of the southern bluefin tuna. *Report of the Nankai Fishery Research Laboratory* 25: 19–36.
- Smith, P.J., A.M. Conroy, and P.R. Taylor. 1994. Biochemical-genetic identification of northern bluefin tuna *Thunnus thynnus* in the New Zealand fishery. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 28: 113–118.
- Stokesbury, M.J.W., S.L.H. Teo, A. Seitz, R.K. O'Dor, and B.A. Block. 2004. Movement of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) as determined by satellite tagging experiments initiated off New England. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 1976–1987.
- Tanaka, Y., K. Satoh, M. Iwahashi, and H. Yamada. 2006. Growth-dependent recruitment of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* in the northwestern Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 319: 225–235.
- Teo, S.L.H., A. Boustany, H. Dewar, M.J. Stokesbury, K.C. Weng, S. Beemer, A.C. Seitz, C.J. Farwell, E.D. Prince, and B.A. Block. 2007a. Annual migrations, diving behavior, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, on their Gulf of Mexico breeding grounds. *Marine Biology* 151: 1–18.
- Teo S.L.H., A. Boustany, and B.A. Block. 2007b. Oceanographic preferences of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, on their Gulf of Mexico breeding grounds. *Marine Biology* 152(5): 1105–1119.
- Walli, A., S.L.H. Teo, A. Boustany, C.J. Farwell, T. Williams, H. Dewar, E. Prince, and B.A. Block. 2009. Seasonal movements, aggregations, and diving behavior of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) revealed with archival tags. *PLoS ONE* 4(7): e6151.
- Ward, T.M., L.J. McLeay, W.F. Dimmlich, P.J. Rogers, S. McClatchie, R. Matthews, J. Kampf, and P.D. Van Ruth. 2006. Pelagic ecology of a northern boundary current system: Effects of upwelling on the production and distribution of sardine (*Sardinops sagax*), anchovy (*Engraulis australis*), and southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in the Great Australian Bight. *Fisheries Oceanography* 15: 191–207.
- Yukinawa, M. 1987. Report on 1986 research cruise of the R/V Shoyo-maru. Distribution of tunas and billfishes larvae and oceanographic observation in the eastern Indian Ocean January–March 1987. *Report of the Research Division of the Fisheries Agency of Japan* 61: 1–100.

著者について

Andre Boustany 博士は、コーネル大学（学部）にて生態学、進化生物学部を専攻しました。生粋の漁師で海を愛し、海洋生物学の分野で働くことになるだろうと昔から考えていました。卒業後、Andre は故郷のカリフォルニアで数多くの仕事を持ち、酪農場で働き、またサンバーナディーノ山脈に生息するニシアメリカクロウの個体数統計の研究を行い、さらには遠洋流し網漁船で監視員として働くなど、幅広く活動してきました。監視員としての仕事がかげとなり、Andre は外洋の環境と動物に関心を持つようになり、後に研究課題として取り組むことになりました。Andre は、スタンフォード大学大学院にて博士号を取得し、同大学院で電子タグ技術や遺伝学を利用し、太平洋や大西洋のクロマグロ、サメの移動パターン、生息海域の利用、個体群構造について研究を行いました。大学院卒業後、ポスドク研究者としてデューク大学へ移り、遠洋魚種や遠洋漁業について研究を続け、特に混獲の削減、漁業効率改善の手法について研究を重ねてきました。

推奨される引用形式: Boustany, A. 2011. *Bluefin Tuna: The State of the Science*. Ocean Science Division, Pew Environment Group, Washington, DC.

著作権: カバーイラストについては Steve Ravenscraft、マグロのイラストについては Phil Geib、地図については GreenInfo Network。




ピュー海洋科学シリーズ

ピュー環境グループ (The Pew Environment Group) は、ピュー・チャリタブル・トラスト (The Pew Charitable Trusts) の自然保護部門で、アメリカに本部を置く非政府組織 (NGO) です。厳密かつ分析的手法を用いて、公共政策の改善、市民への情報提供、社会生活の活性化などに取り組んでいます。

901 E Street NW, 10th Floor, Washington, DC 20004 ■ 電話: +1-202-552-2000

電子メール: oceanscience@pewtrusts.org ■ ウェブサイト: www.pewenvironment.org

 100% リサイクルペーパーでできています。