

南琉球海域におけるハマダイの資源評価 (マチ類の資源評価・資源回復調査)

上原匡人^{*1}・太田 格^{*2}・甲斐哲也^{*3}・海老沢明彦^{*4}

Stock assessment of *Etelis coruscans* in the southern Ryukyus

Masato UEHARA^{*1}, Itaru OHTA^{*2}, Tetsuya KAI^{*3}, and Akihiko EBISAWA^{*4}

ハマダイは、沖縄県の漁船漁業、特に底魚一本釣り漁業における重要な漁獲対象資源である。ここでは、琉球列島海域のうち、南琉球海域のハマダイ個体群について、仮想個体群解析を用いた資源量推定を行い、漁獲動向を踏まえて資源状況を診断した。ハマダイの漁獲量は、1970年代後半に約390トンに達したが、以降減少に転じ、2004年には盛期の約2割まで落ち込んだ。また、近年の漁獲量、標本船の資源量指数、推定した資源量の変動傾向は、いずれも減少傾向を示した。これらから、南琉球海域におけるハマダイの資源水準は低位、資源動向は減少であると判断された。資源量・漁獲量の将来予測から、南琉球海域で現行の漁獲圧を維持し、尾又長30 cm未満の小型魚を保護する管理策を継続しても、資源の大幅な回復は見込めず、資源量は減少することが明らかとなった。一方、小型魚の保護をせず、現行よりも漁獲圧を40%削減した場合、管理策に伴う漁獲量の減少は約2トンと小さく、資源量も横ばいあるいは微増傾向を示した。以上から、南琉球海域のハマダイの資源回復のためには、現在よりも大幅に漁獲圧を削減することが望ましいと考えられた。

ハマダイ *Etelis coruscans* は、インド・西太平洋に広く生息するフエダイ科 Lutjanidae の魚で、我が国周辺海域では主に南日本に分布する(島田, 2013)。本種は、沖縄県の底魚一本釣り漁業における重要な漁獲対象資源であるが、その漁獲量は1980年を境に減少の一途を辿っており、2004年には、盛期の約2割まで減少した。この現状を受け、琉球列島海域では、ハマダイをはじめ、アオダイ、ヒメダイおよびオオヒメの4種(以下、特に記載がない限りは、マチ類はこれら4種を指す)を対象に、2005年より資源の維持・回復を図るための調査・研究および資源管理の取組を実施している。

資源管理に取り組む上で、対象資源の現状を評価することは重要であり、ハマダイの評価は琉球列島海域全体の個体群について毎年実施されている。この評価によれば、同個体群は資源水準が低位、資源動向が増加であると評価されている(田邊・青沼, 2015)。一方、沖縄海域では、「宝山・大九」および「八重山・与那国」で漁獲されたハマダイの個体群について生物情報が明らかにされ(海老沢・前田, 2006; 海老沢, 2007; 海老沢ら, 2010)、資源量の推定や資源管理方法の検討も行われている(海老沢ら, 2009a, 2009b, 2009c)。近年、本種の遺伝的集団構造を調べた研究から、沖縄海域で漁獲の約7割を占める「宝山・大九」と「八重山・与那国」の漁場間では違いが認められず、「尖閣」とは違いが認められることが明らかになりつつある(今井ら, 2015; 外間, 2016)。さらに、近年は外国漁船の影

響を受け、特定の漁場で漁獲が集中する事態も生じている(上原ら, 2014)。このような中、ハマダイの評価は、琉球列島海域全体ではなく、遺伝的集団を考慮した資源動向の把握と診断が喫緊の課題となっている。

本研究では、これまでに得られたハマダイの生物情報と漁業情報に基づいて、仮想個体群解析(VPA: Virtual Population Analysis)を用いて南琉球海域における資源量を推定し、資源の現状を評価した。また、体長制限および漁獲努力量削減による資源回復の効果を検証し、適切な管理策について考察した。

材料及び方法

(1) 解析に用いた漁獲量および体長組成データ

沖縄県水産海洋技術センターでは、2001年から本県のマチ類総漁獲量の9割以上を占める沖縄県泊魚市場有限責任事業組合鮮魚卸売市場(以下、泊魚市)で漁場別の漁獲体長を測定しており、2003年からは漁場別漁獲量も集積している(福田, 2005, 2006, 2007; 松尾・海老沢, 2007; 平手ら, 2008, 2009, 2010; 南ら, 2011; 上原ら, 2012, 2013, 2014, 印刷中)。本研究では、漁場別の全漁獲尾数が整備されている2003年以降のデータを用いた。漁場区分は、本種の集団遺伝構造を考慮し(今井ら, 2015; 外間, 2016)、県内の主要3漁場のうち(上原ら, 2012, 2013, 2015, 2017)「宝山・大九」および「八重山・与那国」を南琉球海域とした。

^{*1} E-mail: ueharmst@pref.okinawa.lg.jp, 現所属: 水産海洋技術センター普及班本部駐在

^{*2} 沖縄県農林水産部水産課

^{*3} 水産海洋技術センター本所

^{*4} 水産海洋技術センター石垣支所

ハマダイの漁獲量の長期的な変動傾向は、沖縄海域における正確な漁獲量の把握が 2003 年以降と短いため、不十分である。そこで、喜屋武 (1988) により整理されたデータ (1977～1985 年) と沖縄県水産海洋技術センターで集計している漁獲統計データ (1989～2015 年) を用いて、ハマダイの漁獲量の経年変化を調べた。なお、漁獲統計の集計単位は暦年 (1～12 月) とした。

(2) 年齢別の漁獲尾数および資源尾数の推定

南琉球海域のハマダイの産卵期は、4～11 月と推定されている (海老沢, 2007; 上原ら, 未発表)。本研究では、年齢の起算日を 4 月 1 日とし、データの集計単位を 4 月 1 日から翌年の 3 月 31 日までとした。

年齢別漁獲尾数は、上述した体長組成データと成長式 ($L_{\infty}=81.9$, $K=0.155$, $t_0=0.218$; 上原ら, 未発表) を基に、繰り返し計算法 (真子・松宮, 1977) を用いて年齢組成に変換して求めた。このとき、繰り返し計算回数は、福田・海老沢 (2003) に従い 3 回とし、60 歳まで変換した。この年齢別漁獲尾数を用いて、仮想個体群解析 (Virtual Population Analysis: VPA) により年齢別資源尾数を推定した。ここで、沖縄県に水揚げされるハマダイは 1 歳魚以降であることから、資源尾数の推定は 1 歳以降について行った。解析は、以下に示す Pope の近似式 (Pope, 1972) を用い、2003～2014 年までの 1～58 歳の年齢別資源尾数は式 (1) により求めた。また、最高齢-1 歳と最高齢の資源尾数は、式 (2) および (3) により求めた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (1)$$

$$N_{a-1,y} = \frac{C_{a-1,y} (N_{a,y+1} \exp(M))}{C_{a,y} + C_{a-1,y}} + C_{a-1,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (2)$$

$$N_{a,y} = \frac{C_{a,y} (N_{a+1,y+1} \exp(M))}{C_{a,y} + C_{a-1,y}} + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

さらに、最近年 (2015 年) の 1～3 歳までの資源尾数は式 (4) によって、また 4～60 歳までの資源尾数は式 (5) により求めた。

$$N_{a,2014} = \frac{1}{5} \sum_{y=2007}^{2011} N_{a,y} \quad (4) \quad ※ 1 \sim 3 \text{ 歳は過去 5 年間平均}$$

$$N_a = \frac{C_a \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F)} \quad (5)$$

ここで N , C , F , a , y は、資源尾数、漁獲尾数、漁獲係数、年齢、年を、 M は自然死亡係数をそれぞれ示す。

2003～2014 年の年齢別漁獲係数 $F_{a,y}$ は以下の式 (6) で求めた。最近年 (2015 年) の F は、過去 3 年間 (2011～2013 年) における同一年齢における F の平均値とした。最近年 (2014 年) における最高齢の F は、 F_{a-1} とほぼ等しくなると仮定し、Microsoft Excel のソルバーを用いて探索的に求めた。

$$F_{a,y} = -\ln \left(1 - \frac{C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y}} \right) \quad (6)$$

VPA で用いる自然死亡係数 M は、寿命に基づく経験式を用いることが多い。南琉球個体群では、最高齢が 60 歳であると推定されていることから (海老沢ら, 2010), それぞれ寿命 λ を 60 歳とし、田内・田中の式 (田中, 1960) により推定した。また、 M の仮定による資源量推定値の変動をみるため、①すべての年齢の M を 0.042 とする方法、②海老沢ら (2009) に従い、3 歳から 1 歳まで年齢が若くなるにつれて M を 2 倍ずつ増大 (1 歳: 0.33, 2 歳: 0.16, 3 歳: 0.083, 4 歳以降: 0.042) させる方法についてそれぞれ推定した。

なお本研究では、特に断りのない場合を除き、体長は尾又長を示す。また、本研究では、VPA を用いて資源量を推定したが、CPUE によるチューニングは行わなかった。その理由として、泊魚市標本船は資源量等に応じて漁獲のターゲットを変化させることが示唆され (海老沢ら, 2008), 特に近年、外国漁船の影響によりターゲットをアオダイからハマダイへ変化させたことを確認しているため (上原ら, 未発表), CPUE が資源の傾向を正しく反映していない可能性が示唆されるからである。

(3) 資源評価

VPA は、近年かつ若齢部分の推定値の信頼性は低いという性質を有している。また、ハマダイの漁場別漁獲量・資源量は、過去 12 年間 (2003～2015 年) の短い期間しか得られていない。そのため、本種の資源量水準と動向の把握は、我が国周辺水域の漁業資源評価で用いられている方法を採用し (水産庁増殖推進部・水産総合研究センター, 2015), 沖縄海域の評価を行った。資源水準は、漁獲量が整備された 1977 年以降の漁獲量の最大値と最小値を 3 等分し、それぞれ「上位」、「中位」、「低位」の 3 段階に区分した。また、資源量の変動傾向については、上述のように CPUE が資源の傾向を正しく反映していない可能性があるため、主として資源量指数 (1 航海あたりの漁獲量; CPUE) の経年変動に加え、VPA により推定した資源量の経年変化の傾向を基に「増加」、「横ばい」、「減少」の 3 段階に区分した。CPUE の算出は、海老沢ら (2008) の方法に従い那覇地区および那覇沿岸漁協に所属する標本船 (以下、泊魚市標本船), 八重山漁協所属の標本船 (以下、八重山標本船) を対象とした。

(4) 資源量の将来予測

2016 年以降の資源尾数は、加入齢 (1 歳) と最高齢 (60 歳) を除く全年齢が (7) 式を、最高齢が (8) 式で求めた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (7)$$

$$N_{a+1,y+1} = (N_{a-1,y} + N_{a,y}) \exp(-F_{a-1,y} - M) \quad (8)$$

資源動向を把握し、予測する上で、再生産関係は極めて重要な情報である。しかし、南琉球海域において、本種は

親魚量が極めて低位な状態が続いているが, 加入量が大きい時期が認められている (上原ら, 2014). このため, 加入量予測で, 再生産成功率を用いると, 傾向を正しく反映していない可能性がある. そこで, 加入量予測は, 過去 (2003~2012 年) の 1 歳魚資源尾数をランダムにリサンプリングし, M の 2 つの前提について以下の 5 つシナリオをそれぞれ仮定して, 各 1000 回のシミュレートを実施した. シミュレートの結果のうち, 中央値, 10 パーセンタイル値および 90 パーセンタイル値を資源量および漁獲量の将来予測値として用いた.

- シナリオ 1: 現行の F を維持し, 小型魚 (30 cm 未満) の保護を継続した場合
- シナリオ 2: 現行の F を 20% 削減した場合
- シナリオ 3: 現行の F を 20% 削減し, 小型魚 (30 cm 未満) の保護を行った場合
- シナリオ 4: 現行の F を 30% 削減した場合
- シナリオ 5: 現行の F を 40% 削減した場合

結果及び考察

(1) 沖縄海域におけるハマダイの漁獲と資源の現状

1977~2015 年 (1986~1988 年を除く) に, 沖縄県泊魚市に水揚げされたハマダイの漁獲量を図 1 に示す. 本種の漁獲量は, 1979 年の最高値 379.4 トンから減少傾向を示し, 2004 年には最低値 68.5 トン (盛期の約 2 割) まで落ち込んで以降, 直近 5 年間は 86.5~132.2 トンで推移した. また, 正確な海域別漁獲量が得られている 2004 年以降の 12 年間の推移をみても, 2010 年まで増加傾向を示したが, 2011 年以降は 61.5~73.4 トンで推移した.

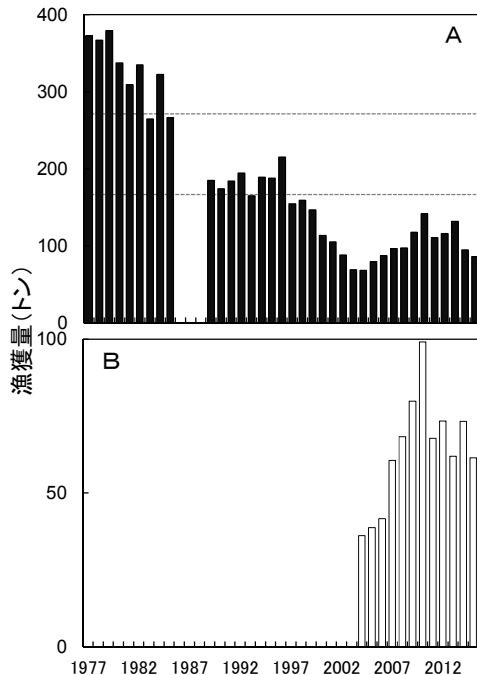


図 1 泊魚市で水揚げされたハマダイの漁獲量 (A) と南琉球海域での漁獲量 (B) の推移

泊魚市標本船の CPUE (kg/航海数) は, 1995 年の 188.4

から 2001 年の 96.5 まで減少した後, 増加傾向を示し, 2011 年には最高値 273.1 に達した. 以降, 142.7~219.6 の間を, 増減を繰り返して推移した (図 2). 一方, 八重山標本船の CPUE (kg/航海数) は, 1995 年の 188.4 から 2001 年の 96.5 まで減少した後, 増は, 1992 年の 46.6 から 2003 年の 16.0 まで減少した後, 2010 年 (31.3) まで増加傾向を示した. 以降, 24.1~32.5 の間を, 増減を繰り返して推移した (図 2).

2003~2015 年の年齢別漁獲尾数を表 2-1, 2-2 に示す. 漁獲の中心は 2~6 歳であり, 全漁獲尾数の 90.1~97.8% を占めた. また, 50% 成熟年齢以下 (表 1) の漁獲割合は 0.2~2.8% であった. 年齢別漁獲尾数を基に計算した 1 歳以上の資源尾数と資源量を表 3-1, 3-2 および図 3 に示す. 異なる M の前提 (①および②) で計算された各年齢の資源尾数は前提間で異なり, ②の前提よりも①の前提で推定された値が小さかったが (表 3-1, 3-2), 経年変化の傾向は類似した. 推定された資源量は, 2003 年以降増加傾向を示し, 2009~2010 年にかけて最高値を示した後, 以降, 漸減傾向となった. 親魚量は 2.0~10.0 トン (資源量に対する親魚量の割合: 前提① 1.4~8.9%, 前提② 1.4~9.2%) であった.

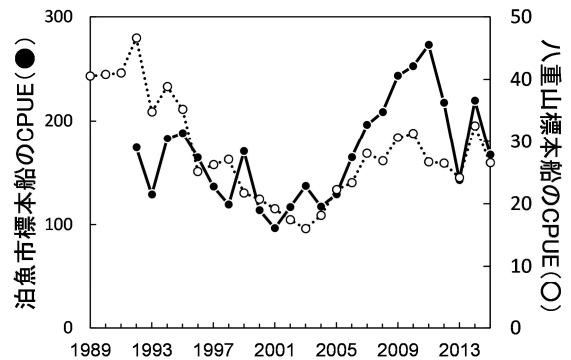


図 2 泊魚市標本船と八重山標本船の 1 航海あたりの漁獲量 (CPUE: kg/航海数) の推移

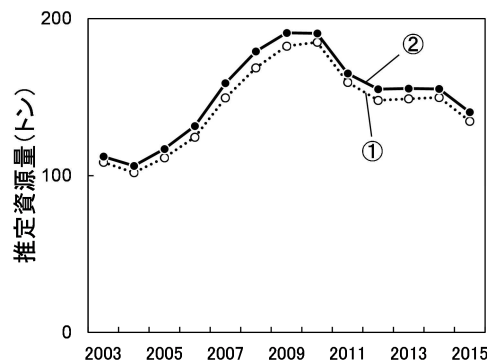


図 3 異なる M の前提 (①各年齢 0.042, ②1 歳: 0.33, 2 歳: 0.16, 3 歳: 0.083, 4 歳以降: 0.042; ●) により仮想個体群解析 (VPA) で推定された南琉球海域のハマダイの資源量の推移.

以上, 漁獲量の変動傾向から, 2015 年時点での南琉球海域におけるハマダイの資源水準は低位であると判断された. また, 近年の漁獲量, 標本船の CPUE, 参考値として推定した資源量から, 資源の動向は減少傾向にあると判断

された。ここで、泊魚市に水揚げする標本船のうち 5 トン以上の許可漁船では、時期や年によって南シナ海や小笠原近海でも操業していたことが知られている（海老沢ら、2008）。近年はこれら海域での操業実績がないことから、漁獲量の長期傾向から資源水準を判断する場合、正確に反映していない可能性があることを留意する必要がある。しかし、親魚量が 1 割未満であることを考慮すると、南琉球海域のハマダイ資源は極めて深刻な可能性も考えられる。このため、今後も正確な漁業情報の集積に努め、ハマダイの資源動向をモニタリングしていく必要がある。

（2）将来予測と管理策の検討

過去 10 年間（2003～2012 年）の 1 歳魚の資源尾数から加入尾数をランダムにリサンプリング後、現状（シナリオ 1）で 1000 回のシミュレートを実施して将来予測を行った結果（図 4）、南琉球海域における資源量（2015 年； M の前提①：134.7 トン、 M の前提②：140.4 トン）は漸減傾向を示した。続いて、現状の F より漁獲圧を 20%削減し、小型魚（30 cm 未満）を保護した場合（シナリオ 3）と保護しなかった場合（シナリオ 2）では、 M の前提に関わらず、資源量の推定値および傾向は類似した（表 4）。同様に、シナリオ 4 および 5 についてみると、 M の前提①では、現行の漁獲圧を大幅に削減することで、資源量は増加傾向を示し、漁獲圧の削減値が大きいほど、推定資源量も大きくなった。一方、 M の前提②では、漁獲圧を大幅に削減しても、資源量の増大は認められず、横ばいあるいは減少傾向を示した。

現在、沖縄海域では、沖縄海区漁業調整委員会指示を発動し、周年あるいは期間限定の 5 つの保護区を設定し管理を行っている。また、漁業者の努力目標として、ハマダイ 30 cm 未満の個体が釣獲された場合、再放流と漁場移動を行うこととしている。これらの取り組みは、取り組みを開始した 2010 年以降、漁業者に広く浸透しつつあるが、本研究で行った M の前提および複数のシナリオに基づく将来予測の結果からは、現行の F の維持と小型魚の保護の管理策では、資源の増大・回復は望めず、むしろ減少していくことが示された。

今後、体長制限に重きを置いた管理策を展開するのであれば、制限サイズを大幅に引き上げる必要がある。しかし、本種の漁獲は 2～6 歳（24～50 cm）が中心であることから、現実的に漁業者の合意が得られない可能性が極めて高いと考えられる。また、一度漁獲した個体の再放流は、生息水深が深いため、減圧に伴う眼の突出、鰾の反転や破裂により死亡することが多く、困難であることが予測される。一方、沖縄県では、5 トン以上の動力漁船を使用する底魚一本釣りは許可漁業となっているが、5 トン未満については許可漁業の対象となっていない。本研究では、少なくとも現行よりも漁獲圧を 40%削減することで、資源の維持あるいは増大が示された（図 4）。管理策に伴う漁獲量の減少は、2016 年に最大で約 2 トンの差が認められたが、2017 年以降は、現行の管理策よりも増大した（図 5）。これは、漁獲圧を現状よりも大幅に削減しても漁獲量の減少に影響

が少ないことを示している。このため、今後は 5 トン未満にも公的規制を拡大し、現状以上の許可を与えないように上限を設定するなど、資源回復のために隻数を抑制し、漁獲圧の大幅な削減を図っていくことが急務である。さらには、本種の親魚が極めて少ない状況にあることから、現在、利用されていないハマダイ漁場を長期にわたり保護区とすることで、親魚量を増大させていくことも併せて取り組む必要がある。

文 献

- 海老沢明彦，2007：琉球列島海域に分布するハマダイの産卵期と成熟体長（生物情報収集調査およびアオダイ等資源回復推進調査）。平成 17 年度沖縄県水産試験場事業報告書，91–92。
- 海老沢明彦，平手康市，山田真之，2008：沖縄県水産海洋研究センター漁獲統計データベースを基に推定したアオダイ、ヒメダイおよびハマダイの種別 1 航海あたりの漁獲量の年変化。平成 19 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書，69：39–42。
- 海老沢明彦，平手康市，山田真之，2009a：沖縄県海域で漁獲されたハマダイの年齢別漁獲尾数の推移（アオダイ等資源回復推進調査，生物情報収集調査）。平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書，70：15–19。
- 海老沢明彦，平手康市，山田真之，2009b：VPA による琉球列島海域さんハマダイの資源量推定（アオダイ等資源回復推進調査，生物情報収集調査）。平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書，70：20–22。
- 海老沢明彦，平手康市，山田真之，2009c：琉球列島産ハマダイの資源管理方法の検討（アオダイ等資源回復推進調査，生物情報収集調査）。平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書，70：23–27。
- 海老沢明彦，平手康市，山田真之，松尾和彦，福田将数，2010：ハマダイの生物情報。平成 21 年度普及に移す技術の概要，103–104。
- 海老沢明彦，前田 健，2006。日周輪解析によるハマダイ及びヒメダイの成長式推定の試み（生物情報収集調査およびアオダイ等資源回復推進調査）。平成 16 年度沖縄県水産試験場事業報告書，78–82。
- 福田将数，海老沢明彦，2003：マチ類の漁業管理推進調査。平成 13 年度沖縄県水産試験場事業報告書，59–63。
- 福田将数，2005：県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の体長別漁獲尾数（沿岸資源動向調査及びマチ類の漁業管理推進調査）。平成 15 年度沖縄県水産試験場事業報告書，79–96。
- 福田将数，2006：沖縄周辺海域におけるマチ類の漁獲状況把握調査。平成 16 年度沖縄県水産試験場事業報告書，66–77。
- 福田将数，2007：県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の尾又長別漁獲尾数。平成 17 年度沖縄県水産試験場事業報告書，72–90。

- 外間一樹, 2016: ミトコンドリア DNA マーカーによる北西太平洋域のアオダイとハマダイの遺伝的集団構造解析. 平成 27 年度琉球大学理学部海洋自然科学科卒業論文.
- 平手康市, 海老沢明彦, 山田真之, 2008: 県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の尾叉長別漁獲尾数 (生物情報収集事業). 平成 19 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 69: 164-187.
- 平手康市, 海老沢明彦, 山田真之, 2009: 2008 年度に県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の月別・尾叉長毎漁獲尾数 (生物情報収集事業). 平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 70: 117-136.
- 平手康市, 南 洋一, 海老沢明彦, 2010: 2009 年度に県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の月別・尾叉長別漁獲尾数 (生物情報収集事業). 平成 21 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 71: 123-141.
- 今井秀行, 外間一樹, 甲斐哲也, 太田 格, 上原匡人, 2015. 琉球列島におけるハマダイと アオダイの遺伝的集団構造解析 (予報). 平成 27 年度日本水産学会秋季大会講演要旨.
- 喜屋武俊彦, 1988: 鮮魚取扱い市場の水揚量調査 (資料編). 昭和 60 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 79-169.
- 真子 渺, 松宮義晴 1977. 銘柄組成による年齢組成推定法. 西海区水産研究所研究報告, 50: 1-8.
- 松尾和彦, 海老沢明彦, 2007: 県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の体長別漁獲尾数 (沿岸資源動向調査及びマチ類の漁業管理推進調査). 平成 18 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 73-90.
- 南 洋一, 平手康市, 海老沢明彦, 2011: 2010 年度に県内主要漁場で漁獲されたマチ類 4 種の月別・尾叉長毎漁獲尾数 (生物情報収集事業). 平成 22 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 72: 129-147.
- Pope JG. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Research Bulletin, 9: 65-74.
- 島田和彦, 2013: フエダイ科. 日本産魚類検索 全種の同定 第 3 版, 東海大学出版会, 東京. 913-930.
- 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター, 2015: 平成 27 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・TAC 種以外) 第 2 分冊. 水産庁増殖推進部, 東京. 646 pp.
- 田邊智唯, 青沼佳方, 2015: 平成 27 年度マチ類 (奄美・沖縄・先島諸島) の資源評価. 平成 27 年度我が国周辺水域の漁業資源評価第 2 分冊, 1200-1237.
- 田中昌一, 1960: 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水産研究所研究報告, 28: 1-200.
- 上原匡人, 久保弘文, 平手康市, 太田 格, 海老沢明彦, 2012: 2011 年度に沖縄海域で漁獲されたマチ類 4 種の漁場別漁獲量および体長組成 (生物情報収集調査). 平成 23 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 73: 39-58.
- 上原匡人, 仲盛 淳, 南 洋一, 秋田雄一, 太田 格, 海老沢明彦, 2013: 2012 年度に沖縄海域で漁獲されたマチ類 4 種の漁場別漁獲量および体長組成 (資源管理体制推進事業・生物情報収集調査). 平成 24 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 74: 97-112.
- 上原匡人, 仲盛 淳, 島田和彦, 秋田雄一, 太田 格, 海老沢明彦. 2015: 2013 年度に沖縄海域で漁獲されたマチ類 4 種の漁場別漁獲量および体長組成 (資源管理体制推進事業・生物情報収集調査). 平成 25 年度沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 75: 89-109.
- 上原匡人, 島田和彦, 秋田雄一, 太田 格, 海老沢明彦. 2017: 2014 年度に沖縄海域で漁獲されたマチ類 4 種の漁場別漁獲量および体長組成 (資源管理体制推進事業・生物情報収集調査). 平成 26 年度沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 76: 72-88.

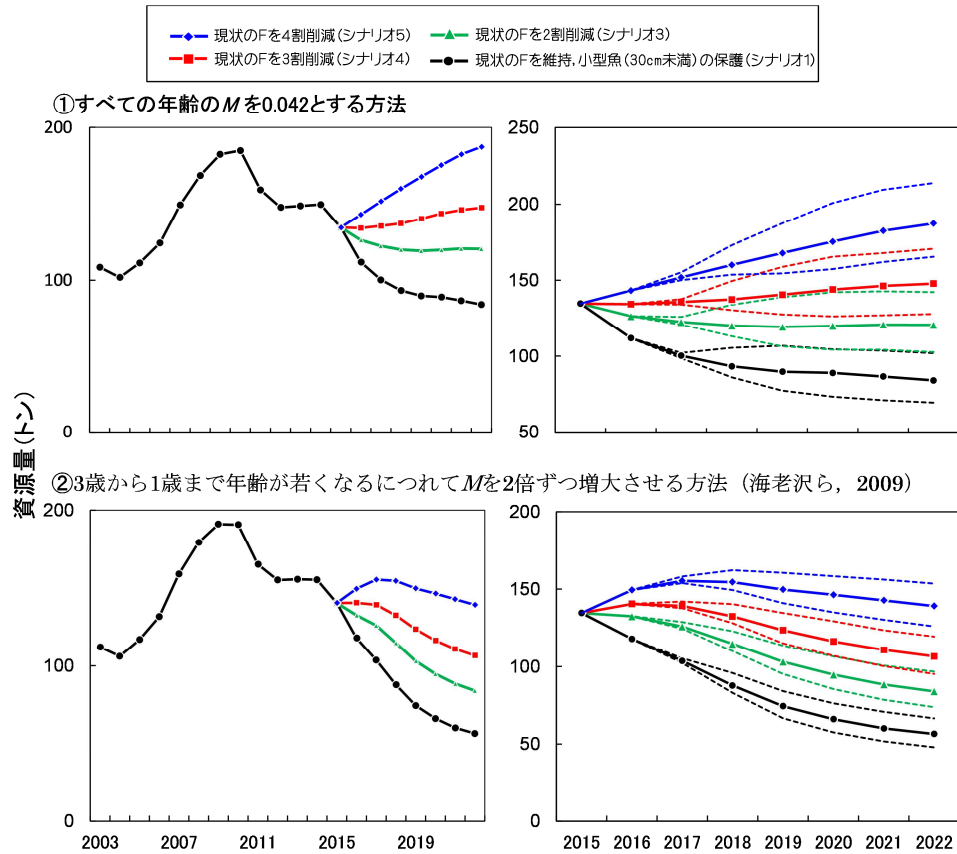


図4 南琉球海域における異なるシナリオ下でのハマダイの資源量の将来予測。
上の図は左右ともに M の前提①，下の図は左右ともに M の前提②を示す。左の図は上下ともに 2003～2022 年の推移。
右の図は上下ともに 2015～2022 年の推移（実線は中央値，点線は 10 および 90 パーセンタイル値）。

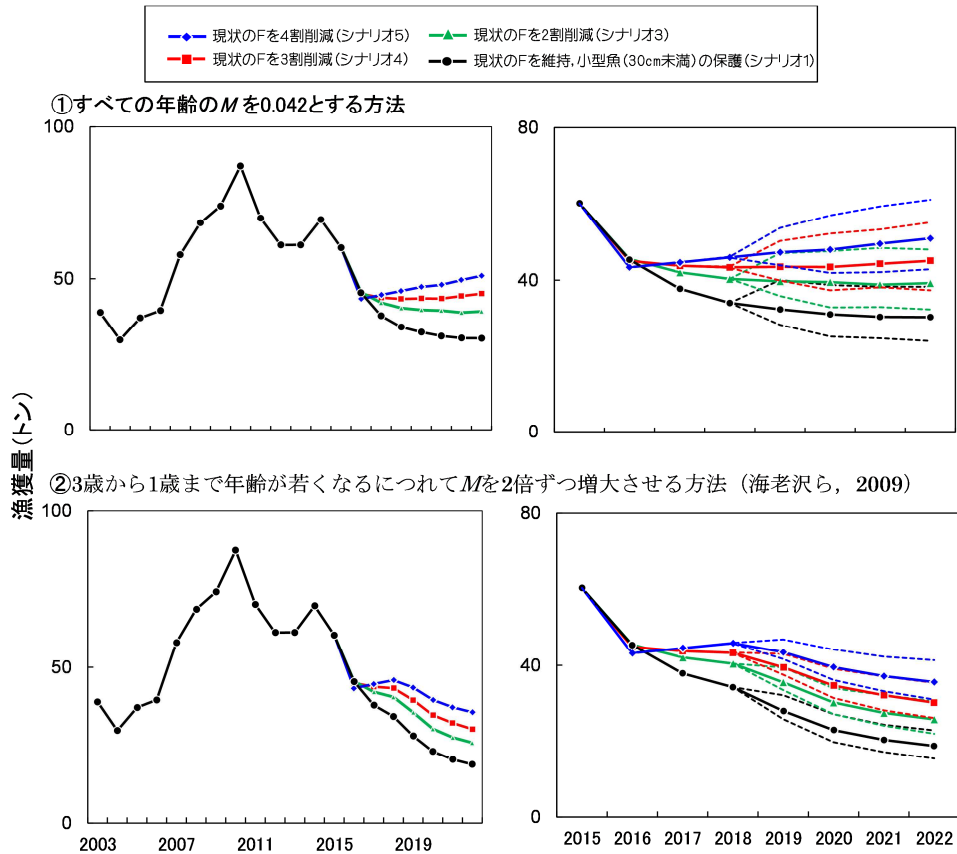


図5 南琉球海域における異なるシナリオ下でのハマダイの漁獲量の将来予測。
上の図は左右ともに M の前提①，下の図は左右ともに M の前提②を示す。左の図は上下ともに 2003～2022 年の推移。
右の図は上下ともに 2015～2022 年の推移（実線は中央値，点線は 10 および 90 パーセンタイル値）。

表 1 南琉球海域におけるハマダイの生物学的特性

Age	FL (cm)	BW (kg)	Maturity
0	3.5	0.0	0.00
1	14.7	0.1	0.00
2	24.4	0.3	0.00
3	32.6	0.6	0.00
4	39.7	1.1	0.00
5	45.7	1.6	0.00
6	50.9	2.2	0.00
7	55.4	2.8	0.02
8	59.2	3.4	0.05
9	62.4	3.9	0.12
10	65.2	4.5	0.24
11	67.6	5.0	0.39
12	69.6	5.4	0.54
13	71.4	5.8	0.67
14	72.9	6.2	0.76
15	74.2	6.5	0.82
16	75.3	6.8	0.87
17	76.2	7.1	0.90
18	77.0	7.3	0.92
19	77.7	7.5	0.93
20	78.3	7.6	0.94
21	78.8	7.8	0.95
22	79.3	7.9	0.96
23	79.6	8.0	0.96
24	80.0	8.1	0.96
25	80.2	8.2	0.97
26	80.5	8.3	0.97
27	80.7	8.3	0.97
28	80.8	8.4	0.97
29	81.0	8.4	0.97
30	81.1	8.4	0.97
31	81.2	8.5	0.97
32	81.3	8.5	0.98
33	81.4	8.5	0.98
34	81.5	8.6	0.98
35	81.5	8.6	0.98
36	81.6	8.6	0.98
37	81.6	8.6	0.98
38	81.6	8.6	0.98
39	81.7	8.6	0.98
40	81.7	8.6	0.98
41	81.7	8.6	0.98
42	81.7	8.6	0.98
43	81.8	8.6	0.98
44	81.8	8.7	0.98
45	81.8	8.7	0.98
46	81.8	8.7	0.98
47	81.8	8.7	0.98
48	81.8	8.7	0.98
49	81.8	8.7	0.98
50	81.8	8.7	0.98
51	81.8	8.7	0.98
52	81.8	8.7	0.98
53	81.8	8.7	0.98
54	81.8	8.7	0.98
55	81.8	8.7	0.98
56	81.8	8.7	0.98
57	81.8	8.7	0.98
58	81.8	8.7	0.98
59	81.8	8.7	0.98
60	81.8	8.7	0.98

ハマダイの資源評価

表 2 南琉球海域におけるハマダイの年齢別漁獲尾数

Age	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	1	0	0	4	4	3	0	9	0	0	0	0	0
2	5,284	2,831	740	5,504	3,941	10,266	4,858	520	1,546	1,006	3,303	485	502
3	15,203	17,149	16,398	20,370	35,435	43,577	55,852	46,456	20,061	18,628	29,690	35,436	17,882
4	5,968	4,742	8,474	11,337	15,770	17,817	19,732	35,227	27,821	16,840	12,361	26,078	24,299
5	2,844	1,590	1,741	3,175	4,089	5,641	4,538	5,028	10,641	9,187	5,924	4,120	8,041
6	1,404	1,084	833	798	1,347	1,822	1,834	1,769	2,105	3,951	3,743	1,865	1,584
7	865	643	681	355	519	739	805	1,017	608	1,132	1,865	1,378	619
8	634	350	528	248	313	353	372	580	324	369	698	806	432
9	477	221	392	195	263	204	197	341	224	190	280	382	309
10	349	160	306	156	234	141	122	214	164	135	151	173	210
11	251	122	245	123	192	108	84	142	119	106	103	84	139
12	179	92	193	95	145	86	62	98	84	82	76	45	89
13	127	69	147	71	104	67	47	68	57	61	56	27	55
14	91	51	108	52	73	52	35	48	38	44	40	18	33
15	65	37	78	38	52	39	27	34	25	32	28	12	20
16	48	28	56	28	37	30	20	24	17	23	20	9	12
17	36	21	41	21	27	22	16	17	11	17	14	7	8
18	27	17	30	16	20	17	12	12	8	13	10	5	5
19	21	14	23	13	16	13	10	9	6	10	8	4	4
20	17	11	17	10	13	10	8	7	4	8	6	3	3
21	14	10	14	9	10	8	7	6	3	6	5	2	2
22	12	8	11	7	9	7	6	5	3	5	4	2	2
23	10	8	9	6	7	6	5	4	2	5	3	2	1
24	9	7	8	6	6	5	4	3	2	4	3	1	1
25	8	6	7	5	6	4	4	3	2	4	3	1	1
26	7	6	6	5	5	4	3	3	2	3	2	1	1
27	6	6	6	4	5	4	3	3	1	3	2	1	1
28	6	5	5	4	4	3	3	2	1	3	2	1	1
29	5	5	5	4	4	3	3	2	1	3	2	1	1
30	5	5	5	4	4	3	3	2	1	2	2	1	1
31	5	5	4	4	4	3	2	2	1	2	2	1	1
32	5	5	4	3	4	3	2	2	1	2	2	1	1
33	4	5	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
34	4	5	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
35	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
36	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
37	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
38	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
39	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
40	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
41	4	4	4	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
42	4	4	3	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
43	4	4	3	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
44	4	4	3	3	3	2	2	2	1	2	1	1	1
45	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
46	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
47	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
48	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
49	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
50	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
51	4	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
52	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
53	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
54	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
55	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
56	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
57	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
58	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
59	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
60	3	4	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	1
Total	34,084	29,425	31,215	42,753	62,743	81,117	88,730	91,700	63,907	51,927	58,451	70,967	54,275

表 3-1 VPA によって推定された南琉球海域におけるハマダイの年齢別資源尾数 (各年齢: $M = 0.042$)

Age	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	44,407	53,579	76,168	88,192	136,530	108,175	53,555	45,227	80,436	87,025	44,212	59,736	70,896
2	40,931	42,593	51,392	73,059	84,589	130,954	103,758	51,369	43,373	77,153	83,473	42,408	57,299
3	25,536	34,086	38,082	48,571	64,687	77,277	115,555	94,766	48,763	40,089	73,019	76,832	40,202
4	10,451	9,604	15,899	20,468	26,639	27,343	31,445	56,138	45,400	27,125	20,209	40,961	38,991
5	6,075	4,179	4,568	6,951	8,529	10,107	8,777	10,837	19,346	16,300	9,526	7,278	13,750
6	3,687	3,042	2,452	2,676	3,557	4,177	4,170	3,975	5,470	8,135	6,637	3,335	2,946
7	2,453	2,161	1,856	1,536	1,786	2,093	2,221	2,203	2,080	3,186	3,933	2,700	1,373
8	1,800	1,506	1,444	1,114	1,125	1,205	1,284	1,342	1,118	1,399	1,947	1,946	1,239
9	1,359	1,105	1,102	868	826	773	810	867	719	754	981	1,184	1,077
10	1,017	836	844	673	641	535	542	584	498	470	538	666	762
11	752	633	645	510	493	386	375	401	351	317	319	368	470
12	553	475	488	379	368	284	264	277	245	220	201	205	271
13	406	354	366	279	271	211	189	193	170	153	131	118	153
14	301	265	273	207	199	158	136	135	118	107	87	70	86
15	228	200	204	155	148	119	100	96	83	76	59	44	50
16	176	154	155	119	112	91	76	70	60	55	42	29	30
17	140	122	121	94	87	71	58	53	44	41	30	20	19
18	114	99	96	76	69	57	46	41	34	31	23	15	13
19	96	83	79	63	57	46	38	33	27	25	17	11	10
20	82	71	66	53	48	39	32	27	22	20	14	9	7
21	72	62	57	46	41	33	27	23	19	17	12	7	6
22	65	56	50	41	36	29	24	20	16	14	10	6	5
23	59	51	45	37	32	26	21	17	14	13	9	5	4
24	54	47	41	34	29	24	19	16	13	11	8	5	4
25	51	44	38	32	27	22	18	14	12	10	7	4	3
26	48	41	36	30	25	20	17	13	11	10	6	4	3
27	46	39	34	28	24	19	16	13	10	9	6	4	3
28	44	38	32	27	23	18	15	12	10	8	6	4	3
29	42	37	31	26	22	17	14	11	9	8	5	3	2
30	41	35	30	25	21	17	14	11	9	8	5	3	2
31	40	35	29	24	20	16	13	11	9	7	5	3	2
32	39	34	28	24	20	16	13	10	8	7	5	3	2
33	39	33	28	23	19	15	13	10	8	7	5	3	2
34	38	33	27	23	19	15	12	10	8	7	5	3	2
35	38	32	27	22	19	15	12	10	8	7	5	3	2
36	37	32	27	22	18	15	12	10	8	7	4	3	2
37	37	32	26	22	18	15	12	9	8	6	4	3	2
38	36	31	26	22	18	14	12	9	8	6	4	3	2
39	36	31	26	21	18	14	12	9	7	6	4	3	2
40	36	31	26	21	18	14	12	9	7	6	4	3	2
41	36	31	26	21	18	14	11	9	7	6	4	3	2
42	35	31	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
43	35	30	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
44	35	30	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
45	34	30	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
46	34	30	25	20	17	14	11	9	7	6	4	3	2
47	34	29	24	20	17	13	11	9	7	6	4	3	2
48	33	29	24	20	17	13	11	9	7	6	4	3	2
49	32	28	23	20	16	13	11	9	7	6	4	2	2
50	30	27	23	19	16	13	11	9	7	6	4	2	2
51	28	26	22	19	16	13	10	8	7	6	4	2	2
52	27	24	21	18	15	12	10	8	7	6	4	2	2
53	25	22	19	16	14	12	10	8	6	6	4	2	2
54	23	21	17	15	13	11	9	8	6	5	4	2	2
55	21	18	16	13	11	10	9	7	6	5	4	2	2
56	18	16	14	12	10	8	7	6	5	5	3	2	2
57	15	14	12	10	8	7	6	5	5	4	3	2	1
58	11	11	9	8	7	5	5	4	4	4	3	1	1
59	7	7	6	5	5	4	3	3	2	3	2	1	1
60	7	7	6	5	5	4	3	3	2	3	2	1	1
Total	141,982	156,382	197,351	246,918	331,501	364,697	323,921	269,031	248,679	262,962	245,590	238,055	229,735

ハマダイの資源評価

表 3-2 VPA によって推定された南琉球海域におけるハマダイの年齢別資源尾数
(1 歳 : $M = 0.33$, 2 歳 : $M = 0.16$, 3 歳 : $M = 0.083$, 4 歳以降 : $M = 0.042$)

Age	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	69,161	83,872	118,255	137,235	212,181	168,581	83,881	70,589	125,962	135,792	69,193	93,474	110,781
2	47,279	49,555	60,096	84,734	98,330	152,030	120,791	60,103	50,572	90,256	97,299	49,579	66,977
3	26,289	35,159	39,343	50,190	66,662	79,608	119,246	97,778	50,398	41,385	75,474	79,323	41,521
4	10,451	9,604	15,899	20,468	26,639	27,343	31,445	56,138	45,400	27,125	20,209	40,961	38,991
5	6,075	4,179	4,568	6,951	8,529	10,107	8,777	10,837	19,346	16,300	9,526	7,278	13,750
6	3,687	3,042	2,452	2,676	3,557	4,177	4,170	3,975	5,470	8,135	6,637	3,335	2,946
7	2,453	2,161	1,856	1,536	1,786	2,093	2,221	2,203	2,080	3,186	3,933	2,700	1,373
8	1,800	1,506	1,444	1,114	1,125	1,205	1,284	1,342	1,118	1,399	1,947	1,946	1,239
9	1,359	1,105	1,102	868	826	773	810	867	719	754	981	1,184	1,077
10	1,017	836	844	673	641	535	542	584	498	470	538	666	762
11	752	633	645	510	493	386	375	401	351	317	319	368	470
12	553	475	488	379	368	284	264	277	245	220	201	205	271
13	406	354	366	279	271	211	189	193	170	153	131	118	153
14	301	265	273	207	199	158	136	135	118	107	87	70	86
15	228	200	204	155	148	119	100	96	83	76	59	44	50
16	176	154	155	119	112	91	76	70	60	55	42	29	30
17	140	122	121	94	87	71	58	53	44	41	30	20	19
18	114	99	96	76	69	57	46	41	34	31	23	15	13
19	96	83	79	63	57	46	38	33	27	25	17	11	10
20	82	71	66	53	48	39	32	27	22	20	14	9	7
21	72	62	57	46	41	33	27	23	19	17	12	7	6
22	65	56	50	41	36	29	24	20	16	14	10	6	5
23	59	51	45	37	32	26	21	17	14	13	9	5	4
24	54	47	41	34	29	24	19	16	13	11	8	5	4
25	51	44	38	32	27	22	18	14	12	10	7	4	3
26	48	41	36	30	25	20	17	13	11	10	6	4	3
27	46	39	34	28	24	19	16	13	10	9	6	4	3
28	44	38	32	27	23	18	15	12	10	8	6	4	3
29	42	37	31	26	22	17	14	11	9	8	5	3	2
30	41	35	30	25	21	17	14	11	9	8	5	3	2
31	40	35	29	24	20	16	13	11	9	7	5	3	2
32	39	34	28	24	20	16	13	10	8	7	5	3	2
33	39	33	28	23	19	15	13	10	8	7	5	3	2
34	38	33	27	23	19	15	12	10	8	7	5	3	2
35	38	32	27	22	19	15	12	10	8	7	5	3	2
36	37	32	27	22	18	15	12	10	8	7	4	3	2
37	37	32	26	22	18	15	12	9	8	6	4	3	2
38	36	31	26	22	18	14	12	9	8	6	4	3	2
39	36	31	26	21	18	14	12	9	7	6	4	3	2
40	36	31	26	21	18	14	12	9	7	6	4	3	2
41	36	31	26	21	18	14	11	9	7	6	4	3	2
42	35	31	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
43	35	30	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
44	35	30	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
45	34	30	25	21	17	14	11	9	7	6	4	3	2
46	34	30	25	20	17	14	11	9	7	6	4	3	2
47	34	29	24	20	17	13	11	9	7	6	4	3	2
48	33	29	24	20	17	13	11	9	7	6	4	3	2
49	32	28	23	20	16	13	11	9	7	6	4	2	2
50	30	27	23	19	16	13	11	9	7	6	4	2	2
51	28	26	22	19	16	13	10	8	7	6	4	2	2
52	27	24	21	18	15	12	10	8	7	6	4	2	2
53	25	22	19	16	14	12	10	8	6	6	4	2	2
54	23	21	17	15	13	11	9	8	6	5	4	2	2
55	21	18	16	13	11	10	9	7	6	5	4	2	2
56	18	16	14	12	10	8	7	6	5	5	3	2	2
57	15	14	12	10	8	7	6	5	5	4	3	2	1
58	11	11	9	8	7	5	5	4	4	4	3	1	1
59	7	7	6	5	5	4	3	3	2	3	2	1	1
60	7	7	6	5	5	4	3	3	2	3	2	1	1
Total	173,837	194,710	249,403	309,255	422,868	448,510	374,971	306,139	303,039	326,128	286,852	281,455	280,617

表 4 30 cm 未満の小型魚保護の有無 (シナリオ 2 および 3) によるハマダイの資源量と漁獲量の将来予測値 (10 パーセンタイル値, 中央値, 90 パーセンタイル値) の比較.

	Year	Scenario #2			Scenario #3		
		10 percentile	Median	90 percentile	10 percentile	Median	90 percentile
Biomass (tons)	non-adjusted M (each year: 0.042)	2015	134.7	134.7	134.7	134.7	134.7
		2016	126.0	126.1	126.4	126.4	126.4
		2017	120.0	121.8	123.7	122.5	125.9
		2018	112.2	119.3	131.3	120.1	133.9
		2019	105.9	119.1	136.5	119.3	138.8
		2020	103.5	119.0	140.0	119.9	142.1
		2021	102.4	119.7	140.2	120.8	142.7
		2022	101.1	119.1	139.9	120.6	142.2
	adjusted M	2015	134.7	134.7	134.7	134.7	134.7
		2016	132.2	132.3	132.3	132.6	132.6
		2017	123.9	125.4	128.1	126.0	128.8
		2018	110.0	114.4	122.2	114.8	122.9
		2019	94.6	102.8	113.6	103.2	113.7
		2020	85.2	94.5	105.8	94.8	106.7
		2021	78.4	88.2	99.8	88.4	100.8
		2022	73.7	83.4	95.3	84.0	96.8
Catch (tons)	non-adjusted M (each year: 0.042)	2015	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3
		2016	45.9	45.9	45.9	45.6	45.6
		2017	42.2	42.2	42.2	42.1	42.1
		2018	40.3	40.2	40.5	40.3	40.3
		2019	39.6	35.8	46.7	39.7	47.1
		2020	38.4	32.7	47.3	32.8	47.7
		2021	39.0	32.2	47.6	32.9	48.5
		2022	39.2	32.3	47.3	32.3	48.1
	adjusted M	2015	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3
		2016	45.8	45.8	45.8	45.5	45.5
		2017	42.2	42.2	42.2	42.1	42.1
		2018	40.3	40.2	40.4	40.4	40.4
		2019	35.3	33.3	39.1	33.5	39.4
		2020	30.6	27.0	34.8	27.1	34.0
		2021	27.5	23.9	32.0	24.1	32.2
		2022	25.8	22.2	30.6	22.0	30.5