

マダイの資源管理手法と高鮮度処理技術の開発

小谷 健二

目 的

本県沿岸漁業者の漁業経営の底支えとなる、安定した漁獲収入源の創出を図るため、青森県産マダイを対象に、資源管理手法（小型魚・産卵親魚の保護）の開発、また、資源管理の効果をシミュレーションする手法の開発、さらに、一般成分分析、破断強度分析や色調分析による、エビデンスを付加した高鮮度処理技術と、活魚出荷のための長期畜養技術を開発することを目的に実施した。本研究では、その内、資源管理手法、資源管理の効果をシミュレーションする手法、活魚出荷のための長期畜養技術の開発を行った。

材料と方法

1. 漁獲データの収集・整理

青森県海面漁業に関する調査結果書(以下、県統計と称す)を用いて、青森県沿岸の各漁業協同組合における1981年～2018年の「たい」の漁獲量を集計し、年別、海域別の漁獲動向を調査した。

2000年～2018年において青森県沿岸の各漁業協同組合・支所の内、マダイ銘柄が規格重量により細分化されている日本海の10漁業協同組合・支所、陸奥湾の3漁業協同組合、津軽海峡の10漁業協同組合・支所、太平洋の2漁業協同組合について銘柄別漁獲量を調べ、海域別の全重量0.5kg未満のマダイ小型魚(以下、小型魚と称す)の漁獲量を求めた。得られた漁獲量を海域毎に左記の漁業協同組合数で除し、海域別の小型魚の平均漁獲量を求め、海域別の漁獲動向を調べた。

日本海及び陸奥湾におけるマダイ水揚げの主要港である新深浦町漁業協同組合及び横浜町漁業協同組合を対象に、2000年～2018年のマダイ漁獲量を集計し、銘柄別の漁獲動向を調べた。

また、新深浦町漁業協同組合では、マダイの小銘柄～3P銘柄(全重量0.4kg未満)にチダイがしばしば混入されているため、左記銘柄の盛漁期である4月～5月にかけて銘柄毎に2箱(1箱3kg入り)を購入し、各銘柄のチダイの混入率を調べた。

2. 漁獲物の銘柄別魚体測定

マダイは、2018年4月～2019年3月に日本海の4漁業協同組合(深浦、新深浦町、鱒ヶ沢、小泊)、2018年5月～10月に陸奥湾の2漁業協同組合(野辺地町、横浜町)から銘柄毎に毎月1個体～50個体購入した。得られた日本海672個体及び陸奥湾107個体の計779個体に加え、2018年4月に試験船青鵬丸のオッタートロール調査にて日本海の十三沖で採取された17個体について尾叉長、全重量、生殖腺重量の測定を行った。生殖腺熟度指数(以下、GSIと称す)を、次式 $GSI = \frac{\text{生殖腺重量}}{\text{全重量} - \text{生殖腺重量}} \times 10^3$ から求め、目視観察により生殖腺から性別を判別し、雌の卵巣について、小嶋¹⁾の成熟度区分に従い、卵巣の成熟度をA型：卵粒が卵巣表面からまだ認められないもの、B型：卵粒が卵巣表面から認められるもの、C型：卵粒中に成熟卵である透明卵が混在し、卵巣表面からそれが認められるもの、D型：透明卵が卵巣腔に排出されている、もしくは卵巣の萎縮程度が進行し、明確に産卵進行中であると認められるものとして4つに区分し、その内、C型及びD型を成熟と判断した。また、マダイの産卵と生息域の水温の間に関係性がある²⁾ことから、日本海の深浦町沖に設置された水温自動観測ブイ(以下、大戸瀬ブイと称す)の10m及び20mの日平均水温と、陸奥湾内に設置された3基の海況自動観測ブイ(平館ブイ、青森ブイ、東湾ブイ。以下、各ブイをまとめてブイロボと称す。)の15m、30m、45mの日平均水温を各水深で平均した値の推移を調べた。

得られたデータを基に、日本海及び陸奥湾におけるマダイの成熟時期、産卵時期及び年齢起算日の推定、GSIを用いた成熟個体の判断基準の検証、尾叉長と全重量の関係について関係式の推定を行った。

3. 年齢査定技術の開発

青森県産マダイに適した年齢査定の手法を確立するため、同一の個体から採取した鱗と耳石を用いてそれぞれの輪紋数を年齢形質として年齢査定を行い、両者の輪紋数のデータを比較し、年齢査定技術を開発した。材料は、前述の県内の6漁業協同組合から購入したマダイ779個体の内、鱗と耳石の両方を採取した574個体及び、前述のオッタートロール調査にて採取された17個体を用いた。鱗による年齢査定は、体側面前部の側線下方から鱗を複数枚採取し、鱗に付着した皮膚や結合組織をピンセットで除去した後、実顕微鏡下で鱗表面の輪紋数を計数した。耳石による年齢査定は、出刃包丁により頭部切断後に頭蓋骨の後下部を切除して耳石を採取し、耳石を硬組織切断機(ライカ社製 ゼーゲマイクロトーム SP1600)を用いて耳石の核を通るように横軸方向に厚さ250 μmの薄片を作成した後、実顕微鏡下で耳石内の輪紋数を計数することとして行った。なお、鱗の輪紋は年1回3~6月頃形成され、有効な年齢形質であることが明らかとなっている²⁾が、耳石の輪紋の形成時期については明らかにされていない。そこで、2018年4月~2019年3月に日本海の4漁業協同組合で購入した547個体を用い、耳石薄片から耳石径(核から耳石背側の最端部までの距離)及び輪紋径(核から耳石背側の最外輪紋の最端部までの距離)を測定(図1)し、縁辺成長率(以下、MGIと称す)を次式 $MGI = (\text{耳石径} - \text{輪紋径}) / \text{耳石径} \times 100$ で求め、輪紋数が同じ個体でグループ(以下、輪群と称す)を分け、包括的にMGIのデータが得られた3輪群~6輪群について輪群別にMGIの月別変化を調べ、輪紋形成時期の推定を行った。

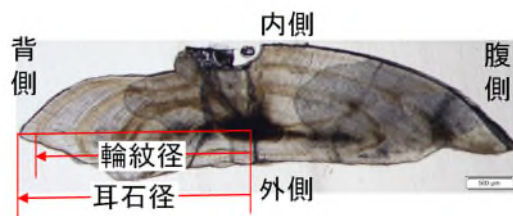


図1. 耳石径と輪紋径の測定部位

前述で推定された年齢起算日および鱗紋形成時期を基に、開発した年齢査定技術を用いて日本海の新深浦町漁業協同組合と陸奥湾の横浜町漁業協同組合について、銘柄別の雌雄・年齢比率を推定した。

また、他魚種で多用されている前述の耳石の採取方法は、マダイの骨が硬く、耳石の採取が困難であった。そこで、頭蓋骨から耳石を採取する新たな手法として、電動鋸(リョービ社製 小型レシプロソー RJK-120)を用いた耳石採取方法の開発を行った。

4. 長期蓄養試験

試験は、2018年10月11日~11月30日の50日間実施した。2018年10月11日に試験船なつどまりにより、陸奥湾の青森市沖にて尾又長239mm~600mmのマダイ8個体を釣獲し、個体識別の為にスパゲッティタグを各個体に取り付けた。8個体の内、腹部が膨張した5個体について、空気抜き用の道具を用い、鰾から空気を抜いた。空気を抜いた個体を空気抜き区、抜かなかった個体を対照区とし、採集したマダイを研究所内の1.5トン屋外水槽へ収容した後、試験を開始した。試験期間中は、濾過海水を5トン/時の掛け流しで給水し、酸欠によるへい死を防止するための給気を行った。また、1日1回釣り餌用の冷凍エビもしくは冷凍マイワシを給餌し、へい死個体の有無を観察した。

結果と考察

1. 漁獲データの収集・整理

県統計に基づいた「たい」の海域別漁獲量の推移を図2、付表1に示した。1981年以降の青森県における「たい」の漁獲量は、1981年の334トンから減少し、1986年~1988年にかけて43トン~60トンと100トン未満まで低迷した。その後、1989年から増加に転じ、2012年に626トンと過去最高を記録した後、2013年以降は360トン~440トンと400トン程度で推移しており、2018年の漁獲量は404トンであった。各海域の漁獲量は、いずれの海域も県全体の漁獲量と概ね同様に推移し、日本海の漁獲量が30トン~409トンと最も多く、県全体の40%~90%を占めていた(図2)。

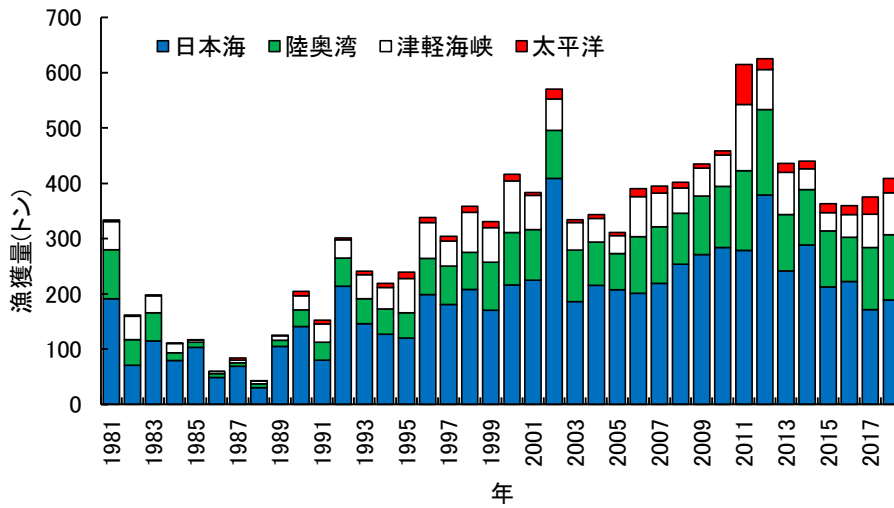


図 2. 「たい」の海域別漁獲量

2000年以降の小型魚の海域別平均漁獲量の推移を図3、付表2に示した。平均漁獲量は、日本海が4.3トン～10.9トン、津軽海峡が0.4トン～4.3トン、陸奥湾が0.7トン～5.4トン、太平洋が0.005トン～1.3トンであり、小型魚は日本海で最も多く漁獲されていた。

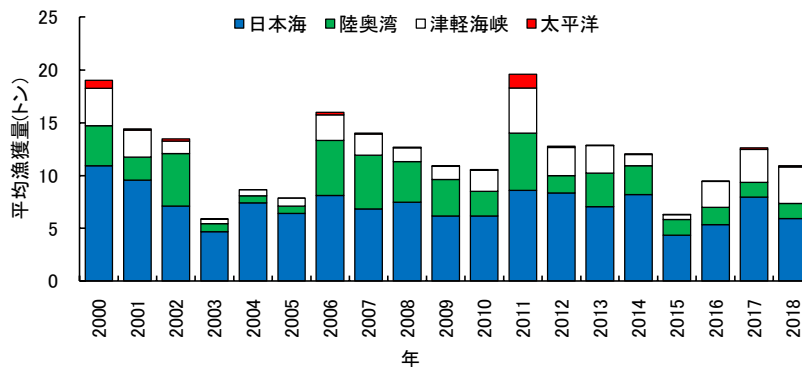


図 3. 小型魚の海域別平均漁獲量

日本海の新深浦町漁業協同組合と陸奥湾の横浜町漁業協同組合における銘柄別漁獲量の割合の推移を図4、5、付表3、4、各銘柄と規格重量を表1、2に示した。銘柄別漁獲量は、新深浦町漁業協同組合では2015年を除き、3P～小銘柄(0.4kg未満)の漁獲量が全体の56%～82%を占めていたのに対し、横浜町漁業協同組合ではいずれも中～特大銘柄(1.5kg以上)の漁獲量が全体の57%～96%を占めていた。

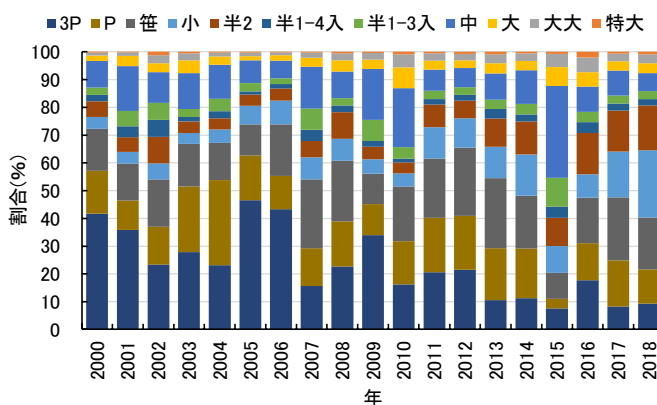


図 4. 新深浦町漁業協同組合の銘柄別漁獲量の割合の推移

表 1. 新深浦町漁業協同組合のマダイの銘柄と規格重量

| 銘柄 | 規格重量 |
|-------|----------------|
| 特大 | 6kg以上 |
| 大大 | 4kg以上6kg未満 |
| 大 | 3kg以上4kg未満 |
| 中 | 1.5kg以上3kg未満 |
| 半1-3入 | 1kg以上1.5kg未満 |
| 半1-4入 | 0.7kg以上1kg未満 |
| 半2 | 0.4kg以上0.7kg未満 |
| 小 | 0.3kg以上0.4kg未満 |
| 笹 | 0.2kg以上0.3kg未満 |
| P | 0.1kg以上0.2kg未満 |
| 3P | 0.1kg未満 |

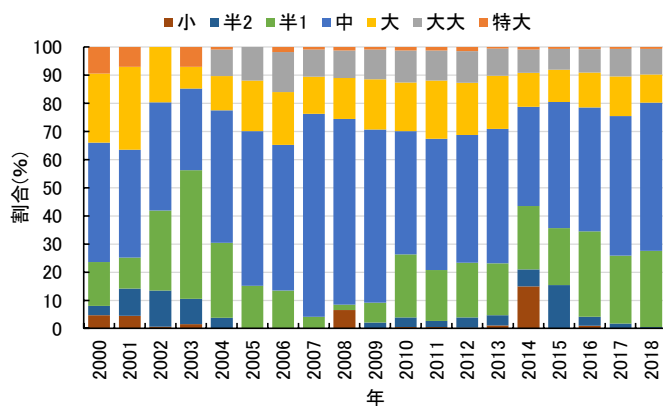


図 5. 横浜町漁業協同組合の銘柄別漁獲量の割合の推移

新深浦町漁業協同組合のマダイ小銘柄～3P 銘柄における銘柄別のチダイ混入率を表 3 に示した。チダイの混入率は、4 月及び 5 月の平均値で小銘柄が 5.3%、笹銘柄が 21.1%、P 銘柄が 7.8%、3P 銘柄が 10.0%であり、いずれの銘柄も概ね 5 月の混入率が 4 月よりも高い値を示した。

表 2. 横浜町漁業協同組合のマダイの銘柄と規格重量

| 銘柄 | 規格重量 |
|----|----------------|
| 特大 | 6kg以上 |
| 大大 | 4kg以上6kg未満 |
| 大 | 3kg以上4kg未満 |
| 中 | 1.5kg以上3kg未満 |
| 半1 | 0.8kg以上1.5kg未満 |
| 半2 | 0.6kg以上0.9kg未満 |
| 小 | 0.6kg未満 |

表 3. 新深浦町漁業協同組合のマダイ小銘柄～3P 銘柄における銘柄別のチダイ混入率
単位:%

| 銘柄 | 4月 | 5月 | 平均 |
|----|-----|------|------|
| 小 | 0.0 | 10.6 | 5.3 |
| 笹 | 2.2 | 40.1 | 21.1 |
| P | 0.0 | 15.6 | 7.8 |
| 3P | - | 10.0 | 10.0 |

2. 漁獲物の銘柄別魚体測定

日本海及び陸奥湾におけるマダイ雌個体の卵巣の成熟度の推移をそれぞれ図 6、7、大戸瀬ブイの 10m 及び 20m の日平均水温の 5 月～8 月の推移を図 8、ブイロボの 15m、30m、45m の日平均水温を各水深で平均した値の 5 月～9 月の推移を図 9、日本海及び陸奥湾における雌雄別の GSI の推移をそれぞれ図 10、11 に示した。卵巣内に透明卵を有する個体は、日本海では雌 337 個体の内、尾叉長 281mm～488mm の 4 個体、陸奥湾では雌 56 個体の内、尾叉長 361mm～690mm の雌 24 個体で確認され、日本海では 5 月～7 月、陸奥湾では 5 月～8 月にかけて採集した個体であった。日本海の卵巣の成熟度は、1 月～4 月では A 型のみで構成され、5 月～7 月にかけて B 型と成熟段階である C 型も出現し、標本を採集できなかった 9 月、12 月を除く 8 月～11 月では再び A 型のみで構成された(図 6)。なお、D 型は確認されなかった。陸奥湾の成熟度は、標本を採集した 5 月、7 月～10 月において、5 月と 7 月では B 型及び C 型が出現し、8 月になると B 型と C 型が消失し、A 型及び D 型が出現し、9 月、10 月ではいずれも A 型のみで構成された(図 7)。C 型もしくは D 型が出現した時期を成熟時期と判断し、青森県産マダイの成熟時期は、日本海では 5 月～7 月、陸奥湾では 5 月～8 月であると推定された。

マダイの産卵は、産卵期間中に成熟個体が毎日産卵を行う^{2) 3)}こと、生息域の水温が 14℃～15℃に上昇すると産卵を開始し、21℃～23℃になると終了する²⁾ことが知られている。前述の C 型もしくは D 型が出現した時期を産卵時期と仮定すると、産卵時期は、成熟時期と同様に日本海では 5 月～7 月、陸奥湾では 5 月～8 月であると推定された。また、大戸瀬ブイの 10m 及び 20m の日平均水温と、ブイロボの 15m、30m、45m の日平均水温を各水深で平均した値について、成熟時期の 5 月から 8 月における推移を調べたところ、大戸瀬ブイは、5 月 17 日に両水深で水温が 14℃に達し、7 月 21 日に 10m、7 月 22 日に 20m の水温が 23℃に到達した(図 8)。ブイロボは、6 月 24 日に 15m、7 月 1 日に 30m、7 月 17 日に 45m の水温が 14℃に達し、9 月 9 日に 15m の水温が 23℃に到達したが、その他の水深では水温が期間中 23℃まで上昇しなかった(図 9)。このことから、水温を基にした産卵時期は、日本海では 5 月中旬～7 月下旬、陸奥湾では 6 月下旬～9 月上旬と推定された。以上のことから、青森県産マダイの産卵時期は、日本海では 5 月中旬～7 月、陸奥湾では 6 月下旬～8 月であり、年齢起算日は日本海が 6 月 1 日、陸奥湾が 7 月 1 日と推定された。

日本海の GSI は、1月～4月では雄の 1 個体が 20 を超えていたものの、雌雄ともに概ね 20 未満で推移し、雌雄いずれも 5 月～7 月にかけて 20 を超える個体が多く出現したが、8 月以降では再び 20 未満で推移した(図 10)。陸奥湾の GSI は、雌雄ともに 5 月、7 月では 20 を超える個体のみが確認され、8 月以降では 8 月に雌の 1 個体が 20 を超えていたものの、概ね 20 未満で推移した(図 11)。また、雌の卵巣の成熟度と GSI の関係を見ると、日本海では A 型の GSI が 20 未満、B 型が 2.6～66.2、C 型が 35.3～81.5、日本海では A 型の GSI が 20 未満、B 型が 27.7～78.6、C 型が 48.9～121.1。D 型が 44.4 と、成熟段階である C 型もしくは D 型の GSI は日本海、陸奥湾いずれも 35 以上であった(図 9、10)。GSI を用いた成熟個体の基準は、島本ら⁴⁾が雌雄ともに GSI が 15 以上、田代⁵⁾が雌では 35 以上、雄では 20 以上の個体をそれぞれ成熟個体としており、本研究の結果は田代が示した基準に最も類似していた。以上のことから、GSI による成熟個体の基準は、田代に従い、日本海、陸奥湾いずれも雌の GSI が 35 以上、雄の GSI が 20 以上の個体を成熟個体とすることが適当であると考えられた。

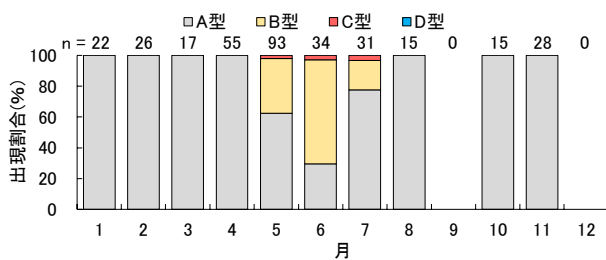


図 6. 日本海におけるマダイ卵巣の成熟度の推移

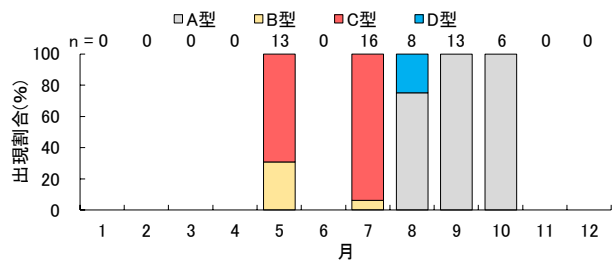


図 7. 陸奥湾におけるマダイ卵巣の成熟度の推移

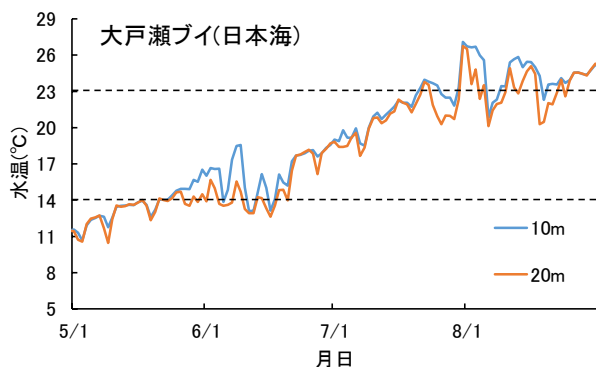


図 8. 大戸瀬ブイにおける 10m 及び 20m の水温の推移

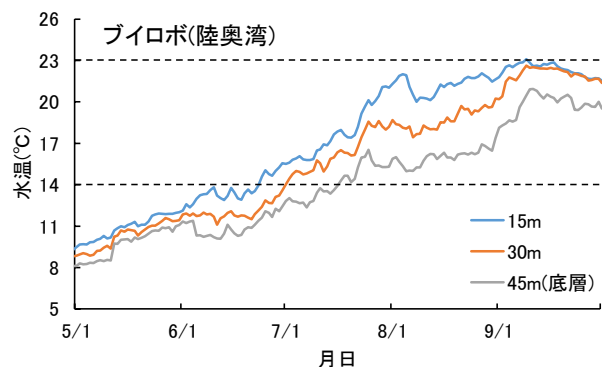


図 9. ブイロボにおける 15m、30m、45m の水温の推移

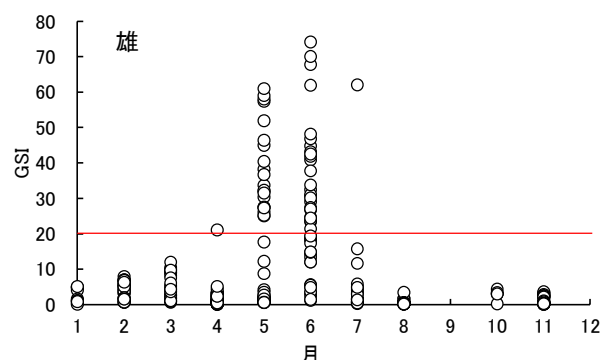
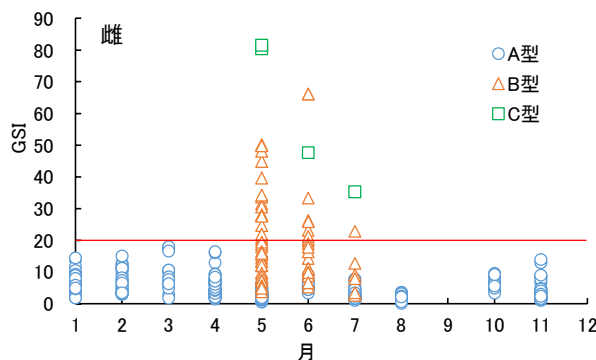


図 10. 日本海におけるマダイ GSI の推移
(雌のグラフの凡例は成熟度を示す)

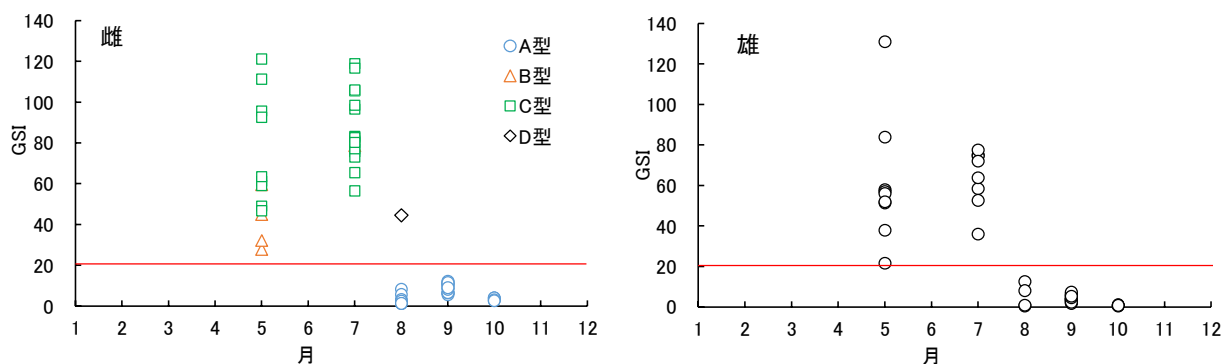


図 11. 陸奥湾におけるマダイ GSI の推移
(雌のグラフの凡例は成熟度を示す)

日本海及び陸奥湾におけるマダイの尾叉長と全重量の関係を図 12、13 に示した。尾叉長(X)と全重量(Y)の関係について雌雄別の関係式を推定したところ、日本海では雌が $Y = 2.3 \times 10^{-5} \times X^{2.968}$ ($R^2 = 0.992$)、雄が $Y = 5.3 \times 10^{-5} \times X^{2.834}$ ($R^2 = 0.988$)、陸奥湾では雌が $Y = 2.8 \times 10^{-5} \times X^{2.940}$ ($R^2 = 0.991$)、雄が $Y = 5.5 \times 10^{-5} \times X^{2.834}$ ($R^2 = 0.990$)の式がそれぞれ得られた。得られた関係式について海域毎に雌雄間で差が見られるか F 検定を行った結果、日本海、陸奥湾ともに有意な差($p < 0.05$)は認められなかった。従って、各海域で雌雄を区別せずに関係式を推定した結果、日本海が $Y = 2.3 \times 10^{-5} \times X^{2.966}$ ($R^2 = 0.991$)、陸奥湾が $Y = 3.4 \times 10^{-5} \times X^{2.913}$ ($R^2 = 0.986$)の式がそれぞれ得られた(図 12、13)。

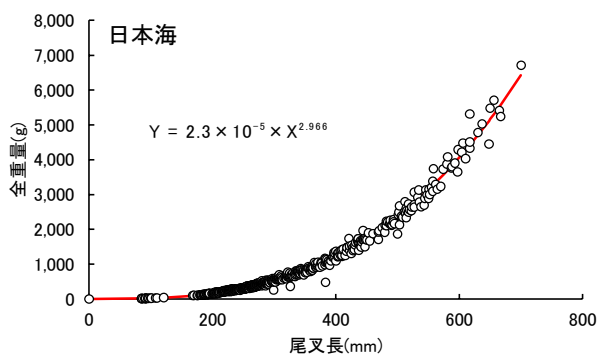


図 12. 日本海における尾叉長と全重量の関係
(赤線は得られた関係式の曲線)

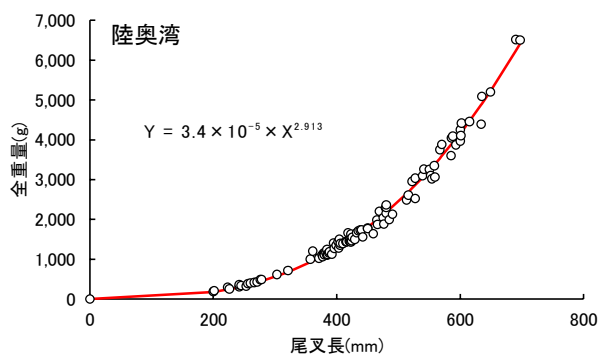


図 13. 陸奥湾における尾叉長と全重量の関係
(赤線は得られた関係式の曲線)

3. 年齢査定技術の開発

3 輪群～6 輪群における MGI の月別の推移を図 14、5 月～8 月における 3 輪群～6 輪群の MGI が 0 の個体の出現割合を図 15 に示した。MGI は、サンプルが入手できなかった月があるものの、いずれの輪群も概ね 5 月から 7 月にかけて減少した後、8 月以降に増加する傾向が見られ、3 輪群～5 輪群では 7 月、6 輪群では 6 月に最低値を示した(図 14)。また、各輪群における MGI が 0 の個体(耳石縁辺に輪紋が形成された個体)の出現割合を調べたところ、MGI が 0 の個体は、MGI が大きく変動した 5 月～8 月では、いずれの輪群も 6 月から 8 月にかけて認められ、7 月に最も多く出現し(図 15)、その他の月では確認されなかった。これらのことから、青森県産マダイの耳石の輪紋は年 1 回 6 月～8 月に形成され、輪紋形成の盛期は 7 月であること、耳石の輪紋数は年齢形質として有効である可能性が示唆された。以降、本研究では暫定的に耳石の輪紋数を年齢形質として扱った。

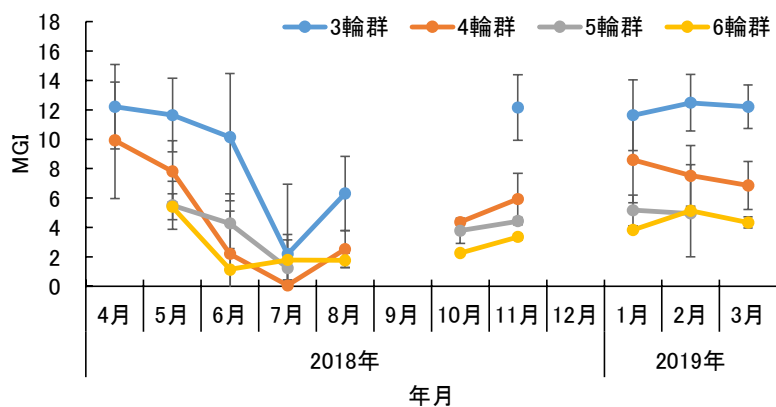


図 14. 3輪群～6輪群における MGI の月別変化 (バーは標準偏差を示す)

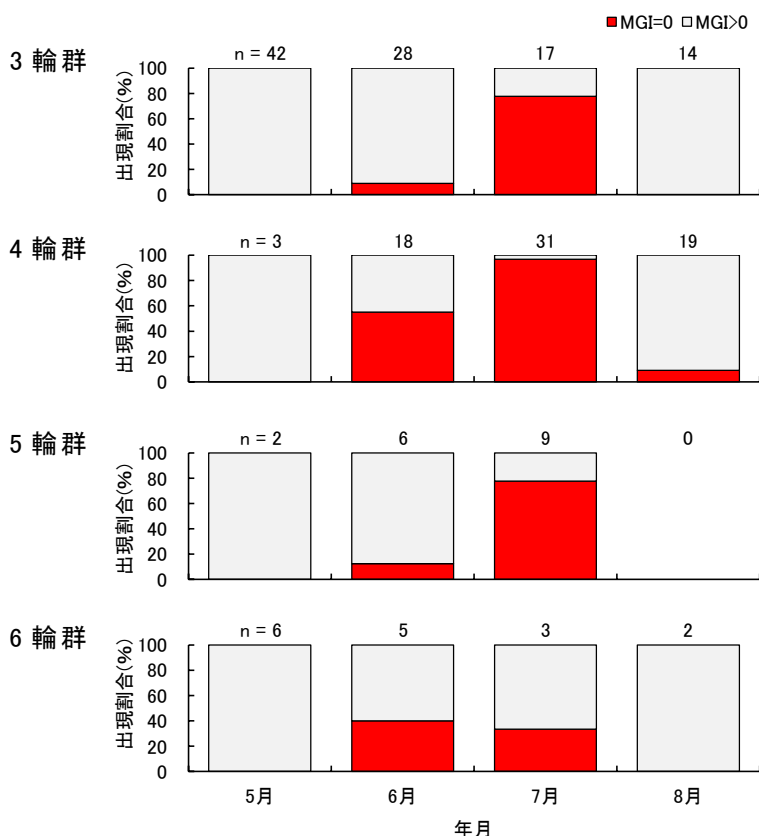


図 15. 5月～8月における3輪群～6輪群の MGI が 0 の個体の出現割合

マダイ体側鱗と耳石の横断面の薄片を図 16、鱗と耳石の輪紋数の関係を表 4 に示した。各個体の鱗の輪紋数は 0 本～18 本、耳石の輪紋数は 0 本～24 本であった。同一個体の鱗と耳石の輪紋数を比較した結果、耳石の輪紋数が 3 本以下の個体は、鱗と耳石の輪紋数が一致した。一方で、耳石の輪紋数が 4 本以上の個体では、鱗と耳石の輪紋数が一致しない個体が認められ、その個体はいずれも耳石の輪紋数に対し、鱗の輪紋数が少なかった(表 2)。マダイの年齢査定は、従来、年齢形質として鱗の輪紋数が用いられているが、高齢魚ほど鱗の輪紋の判別が困難であることが示されている^{2, 4, 6~8)}。このことから、鱗と耳石の輪紋数が一致しなかった要因は、鱗の輪紋を正確に判別できなかったためと考えられた。また、本試験時において、採取した鱗が全て一度脱落した後に再生した再生鱗のため、鱗の輪紋数を計数できなかった個体も認められた。以上のことから、耳石の輪紋数は、鱗の輪紋数よりも安定的かつ精度が高い年齢形質と考えられ、青森県産マダイの年齢査定には、耳石の横断薄片観察法が有効であると判断した。



図 16. 体側鱗(左、輪紋数は 3 本)と耳石横断面の薄片(右、輪紋数は 5 本)(矢印は輪紋を示す。)

表 4. 鱗と耳石の輪紋数の関係(表中のセルの数字は個体数を示す)

| | | 耳石の輪紋数(本) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 計 | |
|----------|----|-----------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | 24 |
| 鱗の輪紋数(本) | 0 | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 17 |
| | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | 2 | | | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 85 |
| | 3 | | | | 186 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 187 |
| | 4 | | | | | 101 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 102 |
| | 5 | | | | | | 26 | 3 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 30 |
| | 6 | | | | | | | 35 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 37 |
| | 7 | | | | | | | | 38 | 3 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 42 |
| | 8 | | | | | | | | | 28 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 31 |
| | 9 | | | | | | | | | | 7 | 6 | | | | 1 | | | | | | | | | | | 14 |
| | 10 | | | | | | | | | | | 9 | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | 12 |
| | 11 | | | | | | | | | | | | 7 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | 1 | | 12 |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | 2 | | 3 | | | | | | | | | | | 5 |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | | 4 | 1 | | 1 | | | | | | | | | 6 |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | | 1 | 4 |
| | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 5 |
| | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 計 | 17 | 1 | 85 | 186 | 102 | 27 | 38 | 40 | 32 | 8 | 17 | 10 | 3 | 7 | 6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 592 | |

日本海の新深浦町漁業協同組合及び陸奥湾の横浜町漁業協同組合における雌雄比及び年齢比率を図 17、18 に示した。なお、前述の産卵時期の推定から年齢起算日を日本海で 6 月 1 日、陸奥湾で 7 月 1 日と推定したが、漁獲量を暦年単位で集計しているため、以降では年齢起算日を 1 月 1 日として年齢査定を行った。耳石による年齢査定を基に、各漁業協同組合における銘柄別の雌雄・年齢比率を推定したところ、新深浦町漁業協同組合は、3P 銘柄(重量 0.1kg 未満)で雌の比率が高く、半 1-3 入銘柄～半 1-4 入銘柄(重量 0.7kg 以上～1.5kg 未満)の個体が 5 歳～10 歳以上と多様な年齢で構成されていた(図 17)。3P 銘柄において雌の比率が高かった要因は、マダイが雌性先熟である^{2, 9)}こと、同年齢に対する体サイズが水温の低い海域ほど小さい^{2, 10)}こと、生物学的最小形の年齢が水温の低い海域ほど高い^{2, 3, 10)}ことから、当銘柄のほとんどの個体が性転換の発現前の段階であった可能性が示唆された。横浜町漁業協同組合は、半 2 銘柄～小銘柄(重量 0.8kg 未満)の個体がほとんど水揚げされず、入手できなかったものの、半 1 銘柄～中銘柄(重量 0.8kg 以上～3.0kg

未満)の個体が5歳～10歳以上と多様な年齢で構成されていた(図18)。また、大銘柄～特大銘柄(重量3.0kg以上)の個体は、いずれの漁業協同組合も10歳以上で構成されていた(図17、18)。

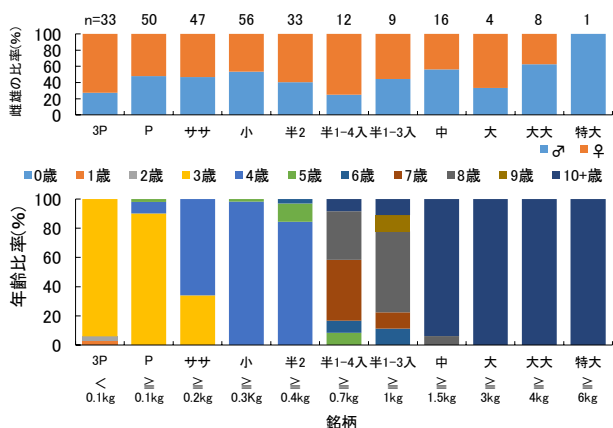


図17. 各銘柄における雌雄比及び年齢比率(新深浦町漁業協同組合)

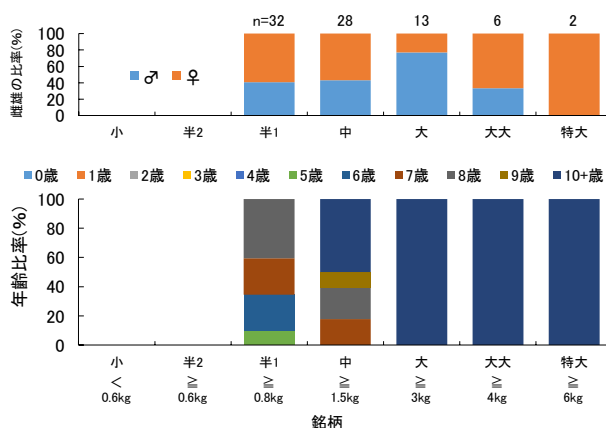


図18. 各銘柄における雌雄比及び年齢比率(横浜町漁業協同組合)

電動鋸を用いたマダイの耳石採集時の様子を図19に示した。電動鋸による耳石の採取方法を開発した結果、電動鋸の動力で骨を切断するため、出刃包丁による従来法に比べて腕への負担がほとんどなく、特に尾叉長400mm以上の大型個体において頭蓋骨を容易に切断し、耳石を効率的かつ連続的に採取することができた(図19)。このことから、電動鋸を用いた耳石の採取方法は、有効な手段であると考えられた。



図19. 電動鋸による耳石採取時の様子

4. 長期蓄養試験

試験期間中のマダイの様子を図20、試験終了時の各試験区の生残率を図21に示した。試験期間中、空気抜き区の1個体は、通常の姿勢にならず、左右のいずれかに体を傾けた状態で遊泳していたのに対し、対照区も含めた残りの個体は、背を水面に対して垂直に向け、通常の姿勢で遊泳していた。試験終了時の生残率は、空気抜き区が80%、対照区が100%と、空気抜き区でへい死が認められた(図21)。この要因は、へい死個体の鰓から空気を適正に抜けなかったことで内臓が鰓で圧迫され、ストレスがかかり衰弱死したためと考えられた。

また、試験終了後に生存個体について、濾過海水もしくは11℃～12℃の調温海水(概ね1月～3月の冬季間)を掛け流しした別の1トン水槽へ移し、給餌を行いながら飼育した結果、いずれの個体も蓄養試験終了から飼育を終了した2019年12月末まで生存した。

これらのことから、青森県産マダイは、活魚用に漁獲した際に、腹部が膨張しておらず、通常の姿勢で遊泳する個体については未処理の状態、腹部が膨張した個体については、通常の姿勢で遊泳できる程度に鰓から空気を抜くことにより、長期間の蓄養が可能であることが示唆された。なお、本試験では腹部が膨張して通常の姿勢で遊泳できない個体について、空気を抜いた個体と抜けなかった個体を用いて蓄養試験を行い、比較を行うことができなかったため、左記条件下で同様の試験を実施し、検証する必要があると考えられた。



図 20. 試験期間中の様子

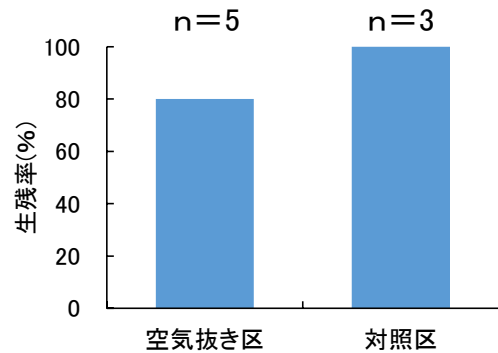


図 21. 試験終了時における各試験区の生残率

文 献

- 1) 小嶋喜久雄 (1981) 老岐及び見島近海におけるマダいの産卵について, 西海区水産研究所研究報告, 56, 71-87.
- 2) 島本信夫 (2004) マダいの生物学 (9)成長と成熟, 海洋と生物, 26, 557-568.
- 3) 北島力 (1978) マダいの採卵と稚魚の量産に関する研究, 長崎県水産試験場論文集, 5, 1-92.
- 4) 島本信夫・堀知寛 (1985) 明石海峡周辺海域におけるマダいの成長と成熟, 兵庫県水産試験場研究報告, 23, 1-12.
- 5) 田代一洋 (1991) 日向灘北部海域におけるマダいの産卵, 水産増殖, 39, 151-159.
- 6) 島本信夫 (1984) 淡路島南東部におけるマダいの資源増殖に関する研究—I, 兵庫県水産試験場研究報告, 22, 11-25.
- 7) 横川浩治 (1992) 播磨灘南部海域産マダいの耳石による年齢と成長の推定, 水産増殖, 40, 15-23.
- 8) 長野昌子・片山知史・中村充志・甲斐史文・齋藤友則 (2014) 耳石を用いた日向灘産マダいの年齢査定, 宮崎県水産試験場研究報告, 15, 1-8.
- 9) 井尻成保 (2017) 14 章 生殖, 魚類学, 矢部衛・桑村哲生・都木靖彰編, 恒星社厚生閣, 155-178, 東京, pp. 377.
- 10) 秋田県栽培漁業センター・新潟県栽培漁業センター・石川県増殖試験場・福井県栽培漁業センター・京都府立海洋センター・京都府栽培漁業センター (1985) 回遊性魚類共同放流実験調査事業総括報告書 日本海中部マダイ班, pp. 54.

付表 1. 青森県におけるたいの海域別漁獲量

| 年 | 単位:kg | | | | |
|------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | 日本海 | 陸奥湾 | 津軽海峡 | 太平洋 | 青森県全域 |
| 1981 | 191,244 | 88,719 | 51,040 | 2,796 | 333,799 |
| 1982 | 71,170 | 45,912 | 42,289 | 2,667 | 162,038 |
| 1983 | 114,675 | 51,410 | 30,239 | 1,943 | 198,267 |
| 1984 | 79,368 | 13,850 | 16,790 | 875 | 110,883 |
| 1985 | 103,117 | 9,425 | 3,714 | 550 | 116,806 |
| 1986 | 48,906 | 7,148 | 3,518 | 335 | 59,907 |
| 1987 | 68,807 | 6,534 | 4,723 | 3,683 | 83,747 |
| 1988 | 30,323 | 6,556 | 5,306 | 1,145 | 43,330 |
| 1989 | 105,036 | 11,165 | 7,916 | 1,348 | 125,465 |
| 1990 | 140,746 | 30,622 | 24,803 | 8,265 | 204,436 |
| 1991 | 79,974 | 32,457 | 33,141 | 7,277 | 152,849 |
| 1992 | 214,094 | 50,532 | 33,411 | 2,896 | 300,933 |
| 1993 | 145,825 | 45,392 | 43,172 | 6,447 | 240,836 |
| 1994 | 127,012 | 45,509 | 38,836 | 7,450 | 218,807 |
| 1995 | 120,005 | 45,888 | 61,940 | 11,188 | 239,021 |
| 1996 | 198,476 | 66,068 | 64,596 | 8,821 | 337,961 |
| 1997 | 180,475 | 69,729 | 45,260 | 8,573 | 304,037 |
| 1998 | 207,766 | 67,285 | 72,946 | 10,418 | 358,415 |
| 1999 | 170,506 | 86,962 | 62,005 | 11,266 | 330,739 |
| 2000 | 216,080 | 95,084 | 93,127 | 12,165 | 416,456 |
| 2001 | 224,725 | 91,718 | 61,958 | 5,336 | 383,737 |
| 2002 | 409,050 | 86,713 | 56,969 | 17,395 | 570,127 |
| 2003 | 185,950 | 93,291 | 49,878 | 5,178 | 334,297 |
| 2004 | 215,933 | 77,594 | 43,073 | 6,829 | 343,429 |
| 2005 | 207,586 | 65,019 | 32,374 | 6,051 | 311,030 |
| 2006 | 200,727 | 103,012 | 72,188 | 14,368 | 390,295 |
| 2007 | 219,038 | 102,341 | 60,759 | 12,978 | 395,116 |
| 2008 | 253,896 | 91,548 | 46,003 | 10,814 | 402,261 |
| 2009 | 270,964 | 106,051 | 50,261 | 7,675 | 434,951 |
| 2010 | 283,640 | 111,163 | 56,447 | 7,180 | 458,430 |
| 2011 | 278,529 | 144,354 | 119,790 | 72,304 | 614,977 |
| 2012 | 378,834 | 154,732 | 72,011 | 19,999 | 625,576 |
| 2013 | 242,051 | 101,123 | 76,567 | 16,189 | 435,930 |
| 2014 | 288,678 | 99,943 | 37,876 | 13,533 | 440,030 |
| 2015 | 212,912 | 101,052 | 32,758 | 16,646 | 363,368 |
| 2016 | 222,456 | 80,080 | 40,702 | 16,687 | 359,925 |
| 2017 | 171,537 | 112,276 | 60,264 | 31,746 | 375,823 |
| 2018 | 188,737 | 118,423 | 75,835 | 25,789 | 408,784 |

付表 2. 青森県における小型魚の海域別平均漁獲量

| 年 | 単位:kg | | | |
|------|--------|-------|-------|-------|
| | 日本海 | 陸奥湾 | 津軽海峡 | 太平洋 |
| 2000 | 10,936 | 3,763 | 3,557 | 750 |
| 2001 | 9,561 | 2,161 | 2,565 | 96 |
| 2002 | 7,108 | 4,956 | 1,182 | 206 |
| 2003 | 4,685 | 758 | 408 | 24 |
| 2004 | 7,412 | 650 | 572 | 5 |
| 2005 | 6,405 | 689 | 758 | 6 |
| 2006 | 8,106 | 5,194 | 2,452 | 235 |
| 2007 | 6,820 | 5,101 | 2,003 | 87 |
| 2008 | 7,446 | 3,854 | 1,332 | 50 |
| 2009 | 6,181 | 3,428 | 1,241 | 72 |
| 2010 | 6,166 | 2,313 | 2,023 | 55 |
| 2011 | 8,589 | 5,422 | 4,274 | 1,298 |
| 2012 | 8,340 | 1,654 | 2,648 | 131 |
| 2013 | 7,037 | 3,203 | 2,582 | 42 |
| 2014 | 8,188 | 2,720 | 1,080 | 45 |
| 2015 | 4,343 | 1,485 | 452 | 42 |
| 2016 | 5,349 | 1,641 | 2,460 | 16 |
| 2017 | 7,964 | 1,370 | 3,147 | 129 |
| 2018 | 5,931 | 1,416 | 3,451 | 140 |

付表 3. 新深浦町漁業協同組合におけるマダイの銘柄別漁獲量

| 年 | 単位:kg | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 特大 | 大 | 中 | 半1-3入 | 半1-4入 | 半2 | 小 | 笹 | P | 3P | 計 | |
| 2000 | 206 | 604 | 1,228 | 5,706 | 1,643 | 1,378 | 3,350 | 2,648 | 9,064 | 9,291 | 25,127 | 60,245 |
| 2001 | 146 | 790 | 2,340 | 10,109 | 3,431 | 2,521 | 3,275 | 2,716 | 8,312 | 6,627 | 22,496 | 62,764 |
| 2002 | 374 | 840 | 930 | 3,207 | 1,746 | 1,797 | 2,758 | 1,673 | 4,946 | 3,928 | 6,781 | 28,980 |
| 2003 | 158 | 659 | 1,244 | 3,444 | 768 | 456 | 1,077 | 1,049 | 4,099 | 6,334 | 7,424 | 26,710 |
| 2004 | 156 | 579 | 1,247 | 5,116 | 1,853 | 1,081 | 1,718 | 2,005 | 5,601 | 12,822 | 9,728 | 41,904 |
| 2005 | 146 | 444 | 553 | 3,008 | 1,140 | 435 | 1,478 | 2,487 | 4,156 | 5,963 | 17,238 | 37,046 |
| 2006 | 112 | 573 | 946 | 3,304 | 1,085 | 824 | 2,276 | 4,436 | 9,614 | 6,188 | 22,477 | 51,835 |
| 2007 | 163 | 879 | 1,474 | 6,872 | 3,537 | 1,816 | 2,727 | 3,670 | 11,399 | 6,238 | 7,187 | 45,962 |
| 2008 | 216 | 1,120 | 1,691 | 4,161 | 1,116 | 1,004 | 4,123 | 3,425 | 9,326 | 6,986 | 9,720 | 42,889 |
| 2009 | 247 | 1,420 | 1,983 | 10,654 | 4,425 | 1,253 | 2,560 | 3,023 | 6,407 | 6,504 | 19,822 | 58,297 |
| 2010 | 488 | 2,447 | 3,997 | 11,170 | 2,231 | 707 | 2,031 | 2,535 | 10,396 | 8,204 | 8,530 | 52,736 |
| 2011 | 305 | 1,468 | 1,787 | 4,265 | 1,599 | 1,145 | 4,507 | 6,288 | 11,794 | 10,855 | 11,447 | 55,460 |
| 2012 | 336 | 993 | 1,219 | 3,022 | 1,160 | 908 | 2,758 | 4,612 | 10,642 | 8,410 | 9,324 | 43,383 |
| 2013 | 375 | 1,294 | 1,507 | 3,855 | 1,375 | 1,381 | 4,133 | 4,592 | 10,249 | 7,589 | 4,290 | 40,640 |
| 2014 | 291 | 1,396 | 1,729 | 6,129 | 1,964 | 1,321 | 6,051 | 7,600 | 9,682 | 9,124 | 5,729 | 51,016 |
| 2015 | 235 | 1,351 | 1,962 | 9,509 | 2,951 | 1,173 | 2,907 | 2,779 | 2,679 | 1,006 | 2,168 | 28,720 |
| 2016 | 387 | 1,007 | 980 | 1,716 | 686 | 747 | 2,797 | 1,615 | 3,070 | 2,535 | 3,337 | 18,875 |
| 2017 | 244 | 1,041 | 1,252 | 3,377 | 1,069 | 931 | 5,560 | 6,165 | 8,468 | 6,248 | 3,087 | 37,442 |
| 2018 | 217 | 765 | 834 | 1,523 | 676 | 565 | 3,795 | 5,708 | 4,396 | 2,924 | 2,192 | 23,595 |

付表 4. 横浜町漁業協同組合におけるマダイの銘柄別漁獲量

| 年 | 単位:kg | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--|
| | 特大 | 大 | 中 | 半1 | 半2 | 小 | 計 | |
| 2000 | 37 | 0 | 97 | 169 | 62 | 13 | 397 | |
| 2001 | 76 | 0 | 318 | 414 | 120 | 104 | 1,081 | |
| 2002 | 0 | 0 | 707 | 1,391 | 1,029 | 462 | 3,614 | |
| 2003 | 258 | 0 | 290 | 1,074 | 1,696 | 331 | 3,707 | |
| 2004 | 107 | 1,239 | 1,586 | 6,143 | 3,468 | 495 | 13,038 | |
| 2005 | 0 | 2,951 | 4,458 | 13,615 | 3,739 | 18 | 24,780 | |
| 2006 | 244 | 1,889 | 2,517 | 6,900 | 1,797 | 5 | 13,352 | |
| 2007 | 410 | 4,384 | 6,040 | 33,031 | 1,830 | 20 | 45,748 | |
| 2008 | 296 | 2,303 | 3,452 | 15,596 | 444 | 16 | 23,657 | |
| 2009 | 226 | 2,911 | 4,916 | 16,916 | 1,957 | 552 | 27,498 | |
| 2010 | 604 | 5,208 | 8,027 | 20,247 | 10,347 | 1,616 | 46,246 | |
| 2011 | 773 | 6,846 | 13,221 | 29,883 | 11,616 | 1,348 | 64,015 | |
| 2012 | 1,076 | 8,829 | 14,435 | 35,322 | 15,192 | 2,820 | 77,888 | |
| 2013 | 187 | 3,068 | 6,031 | 15,226 | 5,906 | 1,141 | 31,907 | |
| 2014 | 371 | 3,202 | 4,740 | 13,771 | 8,773 | 2,348 | 39,061 | |
| 2015 | 362 | 4,252 | 6,629 | 25,730 | 11,694 | 8,754 | 57,513 | |
| 2016 | 237 | 2,627 | 3,909 | 13,858 | 9,566 | 1,002 | 31,500 | |
| 2017 | 315 | 4,487 | 6,455 | 22,757 | 11,119 | 789 | 45,925 | |
| 2018 | 384 | 4,722 | 5,294 | 27,672 | 14,198 | 199 | 52,540 | |