

学位論文題名

マダラの成長、成熟および繁殖生態に関する研究

学位論文内容の要旨

マダラ (*Gadus macrocephalus*) は、北太平洋の亜寒帯海域ではスケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) に次ぐ主要な漁獲対象種である。しかしながら、日本におけるマダラの生物学的特性に関する研究の多くは1950年代になされたものであり、本種の生物学的あるいは資源学的な解析の基礎となる年齢査定法の確立、詳細な成長様式、年齢を考慮した成熟過程および産卵行動などは明確にされていない。

そこで、本研究は、以下に示す本種の生物学的特性を調べた。

- 1) 樹脂包埋による耳石薄片法の年齢査定法としての精度を確認し、信頼性の高い年齢査定法を確立すること。
- 2) 耳石薄片法を用いて、北太平洋の様々な海域で採集されたマダラ個体群の成長様式の海域間差異を調べること。
- 3) 生殖腺の組織学的観察に基づき、マダラの組織学的成熟度を設定すること。
- 4) 組織学的成熟度により、マダラの詳細な生殖周期を明らかにすること。
- 5) 組織学的成熟度と生殖腺重量指数との対応から、北西太平洋の様々な海域で採集されたマダラ繁殖群の成熟体長と成熟年齢を調べること。
- 6) 産卵行動の水槽内観察からマダラの繁殖行動を明らかにし、タラ科魚類における本種の繁殖特性の位置付けを行なうこと。
- 7) 人工受精法による卵発生実験および砂泥の受精卵への影響を調べることにより、産卵基質を推定し、産卵場の特性を明らかにすること。

また、得られたマダラの生物学的特性に関する知見から、マダラの資源動態に関する要因を推定し、資源管理型漁業におけるマダラの資源増殖対象種としての重要性を検討した。

1. マダラの年齢および成長様式

年齢形質としての耳石の採用と、年齢査定法としての樹脂包埋による耳石薄片法の有効性を検討した。耳石薄片標本を実体顕微鏡下で観察したところ、明瞭な輪紋（透明帯）が認められた。また、この透明帯が耳石縁辺部に形成され

る時期を周年にわたって追跡した結果、輪紋は年に1輪づつできると判断できた。

マダラの樹脂包埋による耳石薄片法を用い、北海道太平洋側海域のマダラ繁殖群について平均体長の月別変化を調べた。その結果、マダラの成長は10月から4月の間に停滞し、5月から9月の間に急激であることが明らかとなった。この成長停滞の時期は耳石縁辺に透明帯が出現する時期と一致しており、冬期に耳石輪紋が形成されると考えられた。

日本太平洋側海域（北海道太平洋側海域、金華山沖）、日本海側海域（武藏堆海域、余市沖、松前小島帶海域、秋田沖）、日本オホーツク海側海域（網走沖）および北方海域（西カムチャッカ周辺海域の2地点、北部ベーリング海）の各標本間の成長様式を比較したところ、北海道太平洋側海域、金華山沖、武藏堆海域、余市沖、松前小島堆海域、秋田沖および網走沖の標本中には満6歳までの個体が多いこと、これら海域間の3歳以上の成長様式は類似していることが示された。しかしながら、日本海側海域（武藏堆海域、余市沖、秋田沖）および日本オホーツク海側海域（網走沖）の満2歳魚は日本太平洋側海域（北海道太平洋側海域、金華山沖）に比べ小型であった。また、西カムチャッカ周辺海域の2地点および北部ベーリング海におけるマダラの成長は先の日本周辺海域の成長に比べて寿命が長く、明らかに成長の遅い傾向が認められた。

2.マダラの生殖周期および成熟過程

これまで、マダラの成熟に関する研究は生殖腺重量指数や生殖腺の肉眼観察に基づいて行なわれており、卵形成過程および精子形成過程の生理的側面を反映する生殖関連指標値は設定されていない。そこで、マダラ雌雄の組織学的成熟度を設定し、雌の成熟度は無卵黄期から放卵終了期までの9期に、雄の成熟度は増殖期から放精終了期までの6期に区分した。

組織学的成熟度を用い、北海道太平洋側海域のマダラの詳細な生殖周期を調べた結果、当海域におけるマダラの産卵期は12月下旬から1月の間と短期間に集中すること、成魚における成熟の進行は極めて同調的であることが明らかとなった。

組織学的成熟度と生殖腺重量指数との関係を用い、日本太平洋側海域（北海道太平洋側海域、八戸沖、岩手沖、金華山沖）、日本海側海域（武藏堆海域、余市沖、秋田沖）および西カムチャッカ周辺海域の標本について50%成熟体長を調べた。その結果、西カムチャッカ周辺海域では雌は体長630mm、雄は600mm、北海道太平洋側海域では雌は体長570~580mm、雄は体長520mm~550mm、八戸沖では雌は体長470~520mm、雄は体長460mm、岩手沖では雌は体長530mm、雄は体長480mm、金華山沖では雌は体長450~480mm、雄は体長410mm~430mmであり、北方から南方にかけて成熟体長が小さくなる傾向

が認められた。日本海側海域の標本では、同緯度の太平洋側海域の標本に比べて成熟の早い傾向が認められた。

以上の本研究の結果に過去の知見をあわせて解析すると、成長様式および成熟過程の海域間差異は極めて明瞭となった。すなわち、マダラは高緯度海域では低成長率・晚熟型・高寿命、低緯度海域では高成長率・早熟型・低寿命であり、特に日本太平洋側海域においては北方から南方にかけて成長様式と成熟過程が緩やかに変化していると考えられた。

3.飼育実験によるマダラの繁殖特性の解明

1) マダラの産卵行動

マダラの水槽内飼育観察により、産卵前の雌雄の行動、産卵行動、雌の産卵回数および産出卵の性状等を調べ、他のタラ科魚類の繁殖生態に関する既往の知見と比較検討した。さらに、その特徴と産出卵の性状から産卵基質の推定を行なった。

マダラは弱粘着性の沈性卵を1回の産卵で放出すること、成熟雌の産卵は連続的に起こることが示唆された。さらに、雄同士には明確な順位形成が認められず、雌の放卵によって産卵が開始されることが明らかとなった。

2) マダラの卵発生実験および産卵基質の推定

マダラの人工受精卵を用い、マダラ卵の最適水温条件と塩分条件、卵発生速度を調べるとともに、受精卵への砂泥の影響を調べることにより、いかなる要因が産卵場の物理的環境に必要かを明らかにし、卵が弱粘着性である意義を推察した。

人工受精法を用いた卵の飼育実験の結果、北海道太平洋側海域においてマダラ卵の最適水温条件範囲は2°C～8°Cの間と極めて限定されていること、最適塩分濃度範囲は約34%（純海水）から約17%で、純海水で最も生残率および孵化率の良いことが示された。以上のようにマダラ卵の孵化率は水温によって多分に規定されることから、産卵場は極めて限定された海域であろうと考えられる。

また、マダラ卵が弱粘着性の沈性卵であることから、産卵海域の海底は砂泥底であり、産卵場は物理的要因に大きく既定されると推測された。そこで、人工受精法を用い生残率に及ぼす砂泥の影響を調べた。その結果、砂泥の有無が生残率に大きく影響し、砂泥存在下において受精卵は高い孵化率を得ることが明らかとなった。

4.以上の結果から、マダラは生息海域によって成長様式および成熟過程に変化が認められ、高緯度海域では低成長率・晚熟型・高寿命、低緯度海域では高成長率・早熟型・低寿命であり、特に日本太平洋側海域においては北方から南方にかけて成長様式および成熟過程が緩やかに変化していることが明らかとなった。このような成長様式および成熟過程の海域間差異がもたらされる要因は、

マダラの産卵場が水温条件と底質によって既定され、産卵場がパッチ状に形成されることにより繁殖群間の独立性が高められていることによると考えられる。

マダラは産卵場を中心とした繁殖群を形成しやすく、繁殖群は産卵海域の産卵場としての適性にその繁栄、資源量の増加・減少を大きく左右されるため、今後、マダラ資源の安定化を計るためにには産卵場の保全および保護が重要であろうと考えられる。

学位論文審査の要旨

主査 教授 島崎健二

副査 教授 高橋裕哉

副査 教授 小城春雄

学位論文題名

マダラの成長、成熟および繁殖生態に関する研究

マダラ (*Gadus macrocephalus*) は、北太平洋の亜寒帯海域では主要な漁獲対象種であるが、本種の生物学的な解析の基礎となる年齢査定法、詳細な成長様式、年齢を考慮した成熟過程、産卵行動などは明確にされていない。そこで、本研究は、これらのマダラの生物学的特性を明らかにすることを目的とした。

1. マダラの年齢および成長様式

耳石薄片標本を実体顕微鏡下で観察したところ、明瞭な輪紋（透明帯）が認められた。また、この透明帯が耳石縁辺部に形成される時期を周年にわたって追跡した結果、輪紋は冬期に 1 輪づつできると判断できた。

耳石薄片法を用い、マダラの季節的成長の変化を調べた。その結果、マダラの成長は 10 月から 4 月の間に停滞し、5 月から 9 月の間に急激であることが明らかとなった。この成長停滞の時期は耳石縁辺に透明帯が出現する時期と一致しており、冬期の成長停滞期に耳石輪紋（透明帯）が形成されると考えられた。

日本太平洋側海域（北海道太平洋側海域、金華山沖）、日本海側海域（武藏堆海域、余市沖、松前小島帶海域、秋田沖）、日本オホーツク海側海域（網走沖）および北方海域（西カムチャッカ周辺海域の 2 地点、北部ベーリング海）の各標本間の成長様式を比較したところ、日本周辺 7 海域の標本中には満 6 歳までの個体が多いこと、日本海側と日本オホーツク海側の満 2 歳魚が日本太平洋側に比べ小型であったことを除き、これら海域間の 3 歳以上の成長様式は類似していることが示された。また、西カムチャッカ周辺の 2 地点および北部ベーリング海におけるマダラの成長は日本周辺 7 海域の成長に比べて寿命が長く、有意に成長の遅い傾向が認められた。

2. マダラの生殖周期および成熟過程

マダラの詳細な成熟過程を調べるため、マダラの組織学的成熟度を設定し、雌の成熟度は無卵黄期から放卵終了期までの 9 期に、雄の成熟度は増殖期から放精終了期までの 6 期に区分した。

組織学的成熟度を用い、北海道太平洋側海域のマダラの生殖周期を調べた結果、当海域におけるマダラの産卵期は12月下旬から1月の間と短期間に集中すること、成魚における成熟の進行は極めて同調的であることが明らかとなった。

さらに、日本太平洋側海域（北海道太平洋側海域、八戸沖、岩手沖、金華山沖）、日本海側海域（武藏堆海域、余市沖、秋田沖）および西カムチャッカ周辺海域の標本について50%成熟体長を調べた。その結果、北方から南方にむけて成熟体長が小さく、成熟年齢が若くなる傾向が認められた。

3.飼育実験によるマダラの繁殖特性の解明

マダラの水槽内飼育観察により、その繁殖特性（産卵行動）を調べた。その結果、マダラは弱粘着性の沈性卵を1回の産卵で、しかも短時間に放出すること、成熟雌の産卵は連続的に起こることが示唆された。さらに、雄同士には明確な順位形成が認められず、雌の放卵によって産卵が開始されることが明らかとなった。以上のマダラの産卵行動は、本研究において初めて明確にされた。

人工受精法を用いた卵の飼育実験の結果、北海道太平洋側繁殖群の卵の最適水温条件範囲は2°C～8°Cの間と極めて限定されていること、最適塩分濃度範囲は約34‰から約17‰で、純海水で最も生残率および孵化率の良いことが示された。このようにマダラ卵の孵化率は水温によって多分に影響されることから、産卵場は極めて限定された海域であろうと考えられる。

また、マダラ卵が弱粘着性沈性卵であること、マダラの産卵場は砂泥底であろうと考えられることから、砂泥が産卵基質として有効であるかを検討した。人工受精法を用い生残率に及ぼす砂泥の影響を調べた結果、砂泥の有無が生残率に大きく影響し、砂泥存在下において受精卵は高い孵化率を得ることが明らかとなった。

以上のことから、マダラの産卵場が水温条件と底質によって既定され、産卵場が局所的に形成されることにより繁殖群間の独立性が高められていると推測される。このようなマダラの繁殖特性により、マダラの成長様式および成熟過程の海域間差異がもたらされると考えられる。

以上の結果は、マダラの生物学的特性を明確にしたのみならず、年齢を考慮した成熟過程分析の有効性を示し、マダラの生物学的特性が海域間により異なることを種の特徴としてとらえた点、飼育実験が種の繁殖特性の解明に有効であることを明らかにした点において、貴重な成果であり、今後の生物学的研究に指針を与えるものとして評価される。したがって、本論文は博士（水産学）の学位論文として相当の業績であると認定した。