

福島県海域におけるマダラの放射性セシウム濃度の推移

佐久間徹

Change of the Radioactive Cesium Concentration of Pacific Cod *Gadus macrocephalus*
off Fukushima Prefecture

Toru SAKUMA

ま え が き

東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故により海産魚介類は放射性物質に汚染され、福島県の沿岸漁業は魚種や操業海域を限定した試験操業以外、自粛を余儀なくされており、2016年3月末時点で28種の海産魚介類が原子力災害対策特別措置法に基づく食品の出荷制限が指示されている。マダラについては2015年1月14日に指示が一部海域で解除、同年2月24日に全海域で解除され、2015年2月から底びき網漁業で、2015年11月からは、はえなわ漁業の試験操業での漁獲が再開された。

本研究ではマダラを対象として、県で実施している放射性物質の緊急時モニタリング検査に加え、多数のサンプルを個体別に測定し、年級別に¹³⁷Cs濃度の推移を把握した。また、マダラは成長が早いことから、放射性セシウム濃度の経時変化に体重増加による成長希釈の効果が大きく表れると考えられるため、その影響について検討した。

材料および方法

1 マダラの生態的特徴

年齢と体長の関係から Microsoft Excel のソルバーを用いて最小二乗法によりパラメータを検索し、von Bertalanffy の成長式を雌雄別に推定した。

成長式の推定には、¹³⁷Cs濃度を測定したサンプルの測定結果を用いた。

季節的深浅移動の状況を把握するため、採捕日と採捕水深について整理した。

耳石による年齢査定は(国)水産総合研究センター東北区水産研究所が実施し、確実に年級分離できる若齢魚は体サイズで判断した。年齢起算日は1月1日とした。

2 年級別¹³⁷Cs濃度の推移

緊急時モニタリング検査の結果に加え、モニタリングのために採捕されたマダラ、及び調査船こたか丸、拓水、いわき丸で採捕されたマダラについて個体別に測定した結果から、採取期間2011年5月から2015年11月、検体数1,579個体のデータを整理した。

放射性セシウム濃度の測定は筋肉を検査部位としてゲルマニウム半導体検出器により行い、年級別に¹³⁷Cs濃度の推移を整理した。

¹³⁷Cs濃度の整理は雌雄に成長差がないことから雌雄別にせず、また、季節的な深浅移動を行

うことで、接岸した個体が高水温期に沖に出て混合されることから、採捕海域は限定しなかった。

3 成長希釈の影響

体重増加による成長希釈の影響について検討するため、2010年級について解析した。全プロットでは不検出（以下ND）個体を考慮できず低下速度が遅く示されることから、 ^{137}Cs 濃度経時変化プロットの約半年毎の期間中の最大値を結んだ近似曲線を実測値とした。

年齢ごとの体重については、推定した von Bertalanffy の成長式（年齢・体長）に、体長と体重の関係式を当てはめ、年齢ごとの体重を求めて用いた。

成長希釈の計算は、取り込み、排出を考慮せず、満2歳時の実測値を基準として、その後の成長により、体重増加と同じ割合で筋肉量が増加したことで希釈されたと仮定した ^{137}Cs 濃度及び、 ^{137}Cs の物理学的半減期を計算に含めた。

2歳から6歳までの成長希釈を計算し、実測値と比較した。

結 果

1 マダラの生態的特徴

年齢と体長の関係には雌雄差がなく（図1）、雌雄込みの体長と年齢の von Bertalanffy の成長式は以下のとおり推定された。

$$\text{体長 (mm)} = 1,026(1 - e^{-0.211(\text{年齢} - 0.173)})$$

年齢と体重の関係は累乗近似曲線で示され、6歳以降も増重していた（図2）。

$$\text{体重 (g)} = 91.31 \times \text{年齢}^{2.350}$$

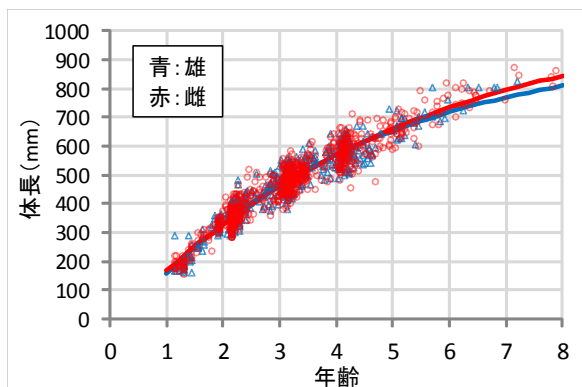


図1 マダラの雌雄別成長

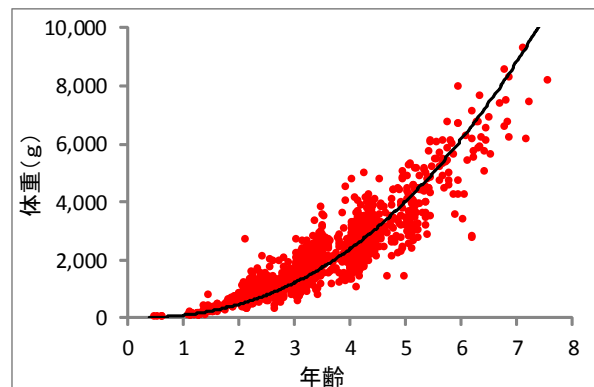


図2 年齢と体重の関係

緊急時モニタリング検査検体の採捕水深を図3に示す。

福島県沖のマダラは周年水深 150m から 200m 付近に生息しているが、12月から翌年6月までの水温が低下する時期には、水深 100m 以浅、最も浅いもので水深 5m まで沿岸に寄る明確な深淺移動がみられた。

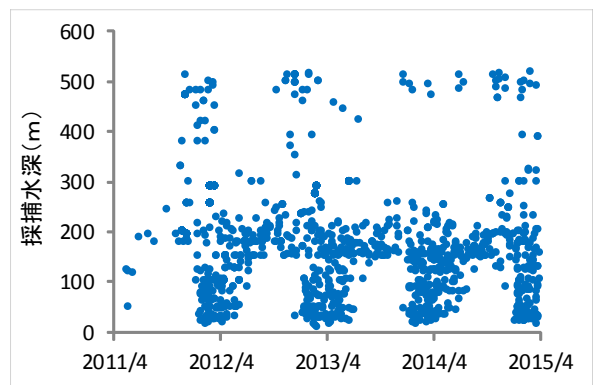


図3 緊急時モニタリング検査検体の採捕水深

2 年級別 ^{137}Cs 濃度の推移

年級別の ^{137}Cs 濃度推移について図4に示す。

2006年級から2010年級は個体差が大きく ^{137}Cs 濃度が 100Bq/kg-wet を超える個体がみられたが、経過日数とともに低下し、2013年7月以降は 100Bq/kg-wet を超える個体はみられなかった。

ND個体を除き、指数近似から求めた生態学的半減期は、2008年級552日、2009年級378日、2010年級389日で、高齢魚ほど生態学的半減期が長かった。

原発事故当時0歳で小型であった2011年級は、最大で 19.8Bq/kg-wet であり、原発事故前生まれの年級とは大きく異なり ^{137}Cs 濃度は低い値であった。

2012年級では ^{137}Cs 濃度は経時的な増加がみられ、今後の動向を調査する必要があるが、多くの個体で検出限界値未満であり、検出限界を下げて測定した検体の最大で 2.30Bq/kg-wet であった。

2013年級は ^{137}Cs 濃度を検出したものは1検体で、 0.555Bq/kg-wet であった。

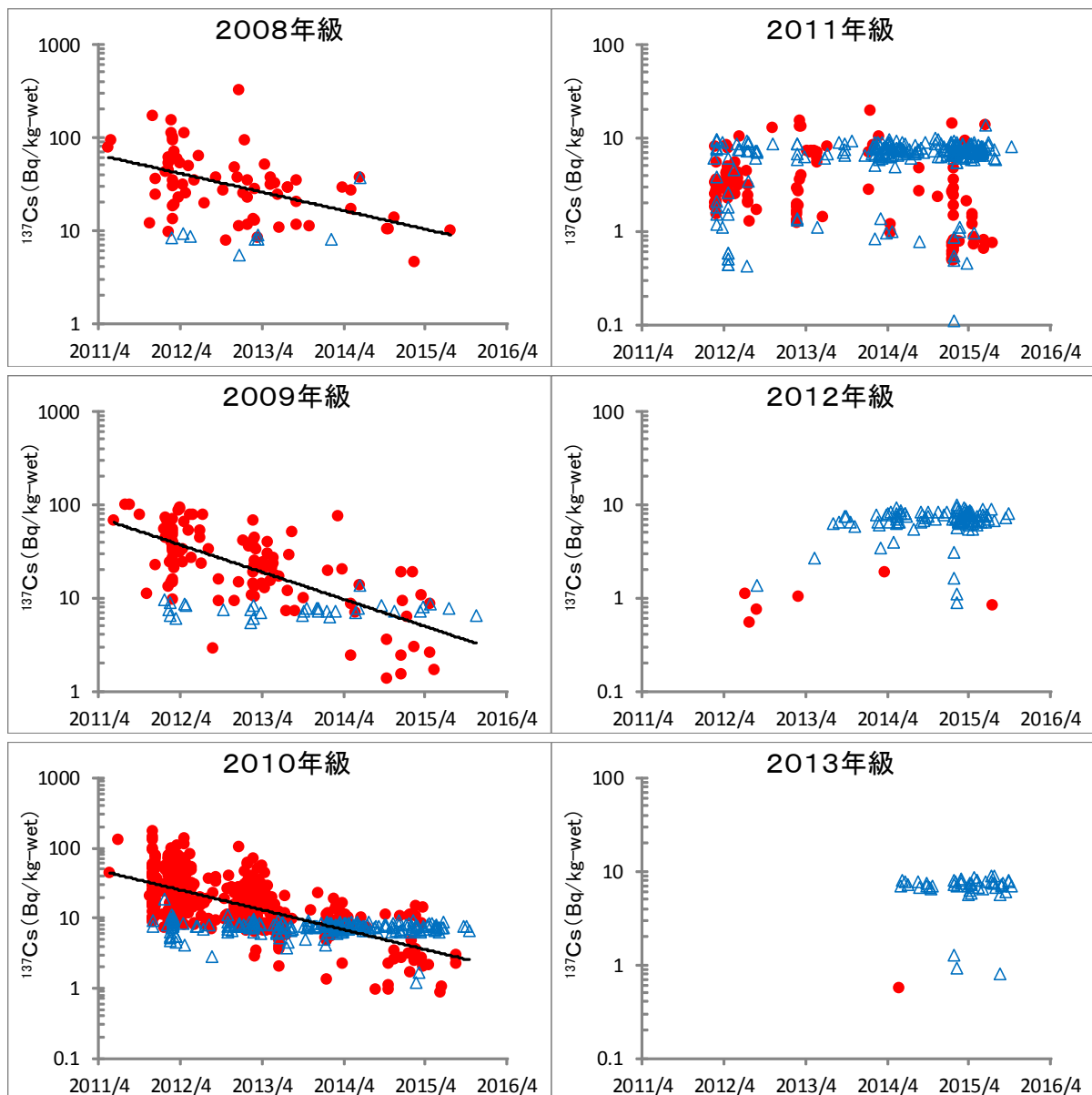


図4 年級別マダラ ^{137}Cs 濃度推移

図の注釈

● : ^{137}Cs 濃度検出値

△ : ND個体の検出限界値

3 成長希釈の影響

2010 年級について、 ^{137}Cs 濃度経時変化プロットの約半年毎の期間中の最大値を結んだ指数近似曲線は以下のとおり示された (図5)。

$$^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/kg-wet)} = 1,431 e^{-1.009 \times \text{年齢}}$$

年齢ごとの体重は、推定した von Bertalanffy の成長式に、体長と体重の関係式を当てはめ、年齢ごとの体重を求めて用いた (図6)。

$$\text{体長 (mm)} = 1,026(1 - e^{-0.211(\text{年齢}-0.173)}), \text{ 体重 (g)} = 0.00001349 \times \text{体長 (mm)}^{3.002}$$

満 2 歳時の ^{137}Cs 濃度は 190.4Bq/kg-wet、体重は 485g で、これを基準とした。

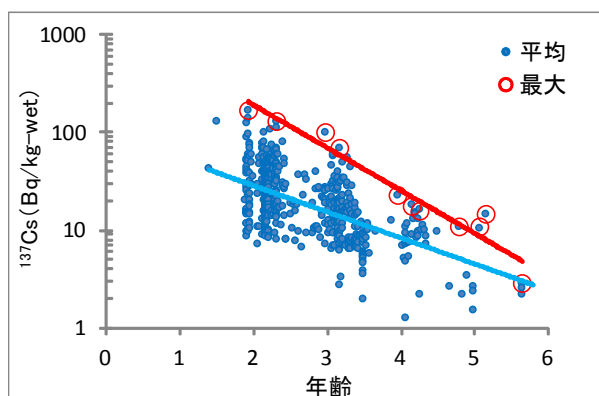


図5 マダラ2010年級の年齢と ^{137}Cs 濃度

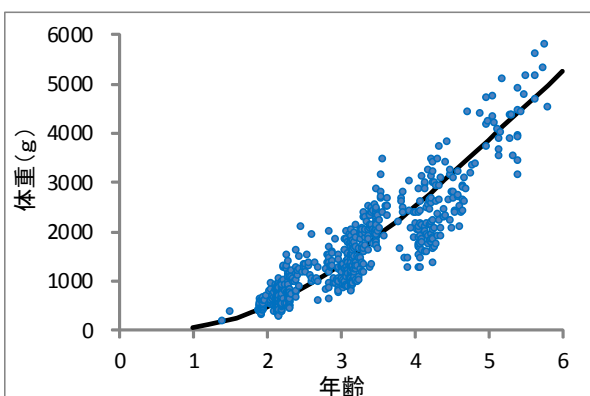


図6 マダラ2010年級の年齢体重関係

実測値は指数的に減少していたが、体重増加及び物理学的半減期により推定した成長希釈による ^{137}Cs 濃度低下は、累乗近似曲線で示された (表1, 図7)。

$$\text{成長希釈による } ^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/kg-wet)} = 194.8 \times \text{年齢}^{-1.647}$$

2 歳から 6 歳までに低下した ^{137}Cs 濃度は、実測値 187.0、成長希釈 176.9Bq/kg-wet であり、成長希釈による低下濃度は実測値の 94.6 % となった。

2010 年級の 1 個体の持つ ^{137}Cs 量は、成長希釈では線形式に最も近似された (表1, 図8)。

$$\text{成長希釈による 1 個体の持つ } ^{137}\text{Cs 量 (Bq/個体)} = -5.313 \times \text{年齢} + 97.50$$

実測値は 2 歳半まで上昇し、その後低下傾向に転じた。多項式近似曲線で示された。

$$\text{実測値の 1 個体の持つ } ^{137}\text{Cs 量 (Bq/個体)} = 0.027(\text{年齢})^3 - 0.9713(\text{年齢})^2 + 5.119(\text{年齢}) + 90.74$$

表1 成長希釈による ^{137}Cs 濃度低下の推定

| 年齢 | 体長 (mm) | 体重 (g) | ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) | | 1 個体の ^{137}Cs 量 (Bq/個体) | |
|----|---------|--------|----------------------------------|-------|-----------------------------------|------|
| | | | 実測値 | 成長希釈 | 実測値 | 成長希釈 |
| 2 | 329 | 485 | 190.4 | 190.4 | 92.4 | 92.4 |
| 3 | 462 | 1,345 | 69.5 | 64.3 | 93.4 | 86.5 |
| 4 | 569 | 2,522 | 25.3 | 32.4 | 63.9 | 81.6 |
| 5 | 656 | 3,867 | 9.2 | 19.7 | 35.7 | 76.3 |
| 6 | 727 | 5,253 | 3.4 | 13.5 | 17.7 | 71.0 |

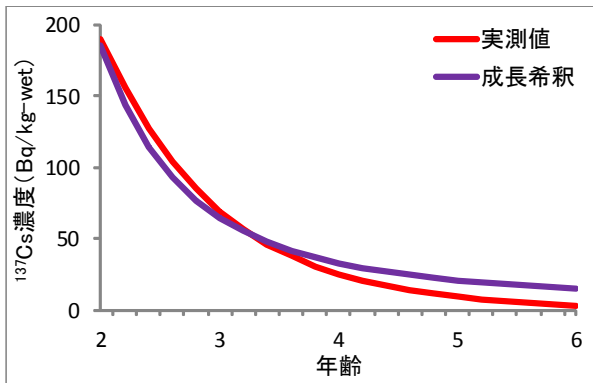


図7 成長希釈による¹³⁷Cs濃度低下

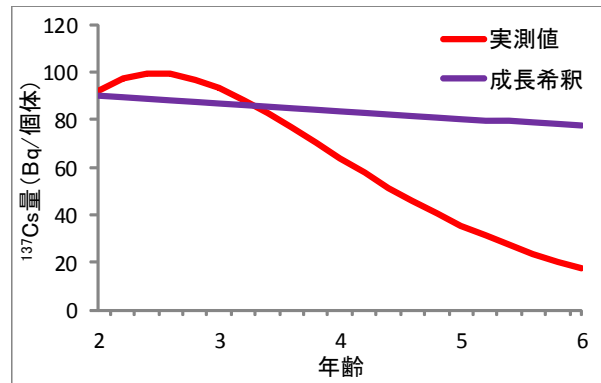


図8 1個体が持つ¹³⁷Cs量

考 察

マダラは季節的な深浅移動を行い、海水温が低下する12月から翌年6月までの時期に一部の個体が沿岸近くまで接岸する。2011年以降に産まれた年級は¹³⁷Cs濃度が20Bq/kg-wet未満であったが、原発事故前に産まれた年級は原発事故直後の高濃度汚染海水が強く影響し、¹³⁷Cs濃度が100Bq/kg-wetを超える個体がみられた。

2010年級の2歳から6歳までの間に成長希釈によって低下した¹³⁷Cs濃度は、実測値の94.6%と計算された。¹³⁷Csを濃度で評価した場合、濃度低下は代謝による排出が主であると一般的に考えられてきたが、実際には体重増加による成長希釈が大きく影響している事が示された。

2010年級の1個体が持つ¹³⁷Cs量の実測値は2歳半まで上昇しており、満2歳時から指数的に低下した¹³⁷Cs濃度とは異なる傾向を示した。濃度には成長希釈の影響が含まれていることから、排出速度に関して検討する場合には、1個体が持つ¹³⁷Cs量で評価する必要がある。

要 約

マダラは季節的な深浅移動を行い、原発事故前産まれ年級の、接岸していた一部の個体が原発事故直後の高濃度汚染海水の影響を強く受けたものと考えられた。

2011年以降に産まれた年級は、¹³⁷Cs濃度が20Bq/kg-wet未満であった。

マダラは成長が早いことから、体重増加による¹³⁷Cs濃度の低下について、2010年級の2歳から6歳までで試算した結果、濃度低下に成長希釈が大きく影響している事が推測された。