

福島県海域におけるコモンカスベの放射性セシウム濃度の推移

佐久間徹

Change of the Radioactive Cesium Concentration of Ocellate Spot Skate *Okamejei kenoei*
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（以下、1F）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いる。

放射性セシウム濃度は生物種により大きく異なり、同種内でも個体差が生じていることが明らかになってきている。

本研究では、真骨魚類とは異なる塩類代謝機構を持つ軟骨魚類のコモンカスベを対象として、各種調査から得られた測定結果について、採捕海域、体サイズと放射性セシウム濃度との関係を把握することで、操業再開時における適切なスクリーニング検査の実施に寄与する。

材料および方法

緊急時モニタリング検査及び調査船拓水で採捕されたコモンカスベの個体別測定結果を解析した。

検体の採集期間は 2011 年 6 月から 2015 年 12 月までとし、1,325 検体を解析に用いた。

検体情報のうち、採捕日、採捕場所（緯度、経度、水深）、体盤長、胃内容物、¹³⁷Cs 濃度を解析に用いた。¹³⁷Cs 濃度は、ゲルマニウム半導体検出器により測定した。

1 生態的特徴

震災前の底びき網漁業標本船操業日誌より、エイ類の月別、水深別 CPUE（1 時間曳網あたり漁獲量）を求めた。また、海水が高濃度に汚染されていた時期の分布状況を推定するため、4 月の水深別 CPUE を求めた。CPUE 算出にあたっては、2006 年から 2010 年の 5 年間のデータを用い、5 年平均とした。

震災後の生息水深として、緊急時モニタリング検査の検体採捕水深をプロットし、同検体の胃内容物より、食性を把握した。

2 県全体の放射性セシウム濃度の傾向

緊急時モニタリング検査結果を用いて、県全体の ¹³⁷Cs 濃度の経時的変化を把握した。

緯度経度 5 分メッシュごとの ¹³⁷Cs 濃度平均値について、濃度分布の経年変化を把握した。

採捕水深、体盤長と ¹³⁷Cs 濃度の関係について、経時変化を把握した。

硬骨魚種の主要種については耳石による年齢査定を行うことで年齢別に分離した解析が可能で

あるが、コモンカスベの錐体輪紋による年齢査定は低いことから¹⁾、検体から年齢形質を得る試料の採取は行わなかった。

3 体盤長と¹³⁷Cs濃度の関係

高濃度に汚染され、サンプル数が多くある 1F 南側に採捕水域を限定し、同日に採捕した複数個体の体盤長と¹³⁷Cs濃度の関係について、経時的变化を追跡した。

(1) いわき市平藤間沖

北緯 37 度 4.70 分～37 度 7.40 分、水深 10～50m で 2011 年 10 月から 2014 年 3 月にかけて採集された標本について、体盤長、採捕水深と¹³⁷Cs濃度の関係を整理した。

(2) 双葉郡広野沖

北緯 37 度 18.98 分～37 度 21.80 分、水深 17～50m で 2011 年 10 月から 2014 年 5 月にかけて採集された標本について、体盤長と¹³⁷Cs濃度の関係を整理した。

結 果

1 生態的特徴

底びき網漁業による水深別 CPUE から、2,3 月に水深 30m～50m に多く漁獲され、その他の時期は CPUE は低いが多く漁獲される水深は 30m～50m であった (図1)。

4 月の水深別 CPUE では水深 40m 台が最も高く、水深が深くなるほど CPUE は低下した (図2)。

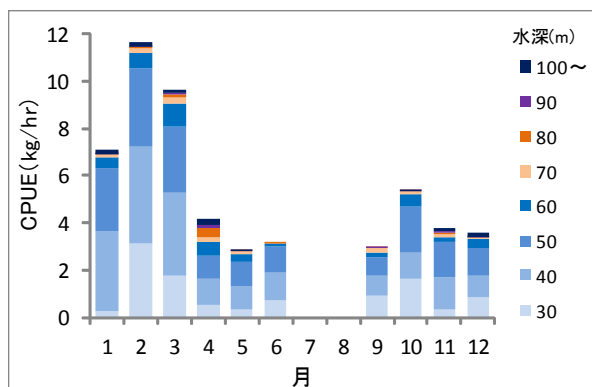


図1 エイ類の月別、水深別 CPUE

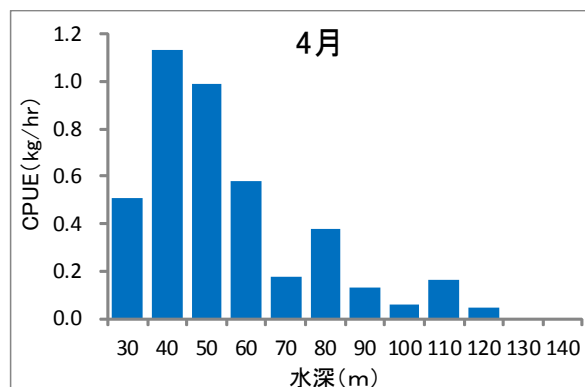


図2 4月の水深別 CPUE

緊急時モニタリング検査の検体採捕水深では、ほとんどが水深 100m 以浅で 50m 以浅が中心となっていた (図3)。

また、これらの結果から、季節的な分布水深の変化はみられなかった。

胃内容物は甲殻類が 61 %、魚類が 32 %を占めた (図4)。甲殻類ではイボイチョウガニ、エビ

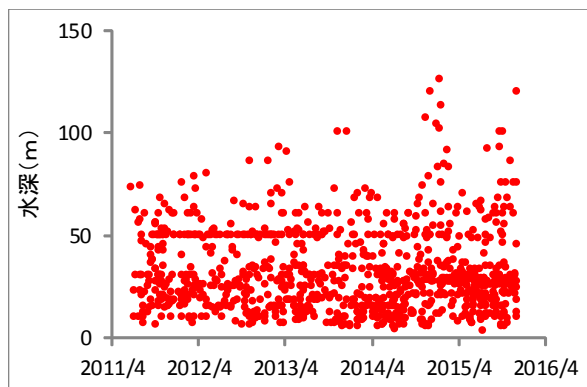


図3 緊急時モニタリング検査の検体採捕水深

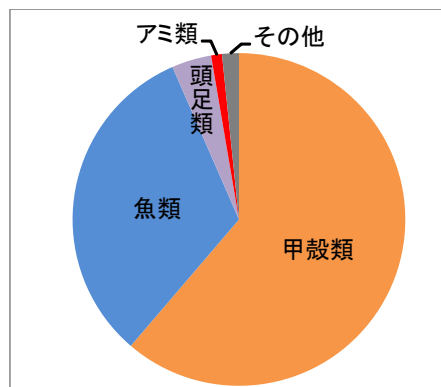


図4 胃内容物重量組成

ジャコ、キシエビ、魚類はカタクチイワシ、イカナゴが多く出現した。

2 県全体の放射性セシウム濃度の傾向

緊急時モニタリング検査による ^{137}Cs 濃度の県全体の傾向は、2011年に27～840Bq/kg-wetの幅広い値を示し、年々低下する傾向を示した。 ^{137}Cs 濃度の検出限界値は5.5～11.0、平均7.6Bq/kg-wetで、不検出（以下ND）個体を考慮しない生態学的半減期は405日であった。2014年以降、ND個体が多くなっており、実際の生態学的半減期はこれよりもやや短いと考えられる（図5）。

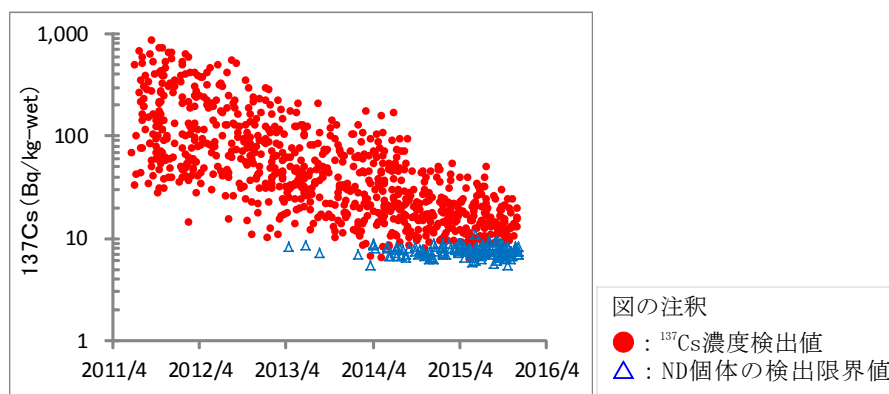


図5 ^{137}Cs 濃度の経時変化

5分メッシュの ^{137}Cs 濃度分布から、1F近くと南側で高い傾向がみられ、2013年まで100Bq/kg-wetを超えるメッシュがみられた。その後、1F近くと南側で高い傾向は変わらずに全体的に濃度が低下していった（図6）。

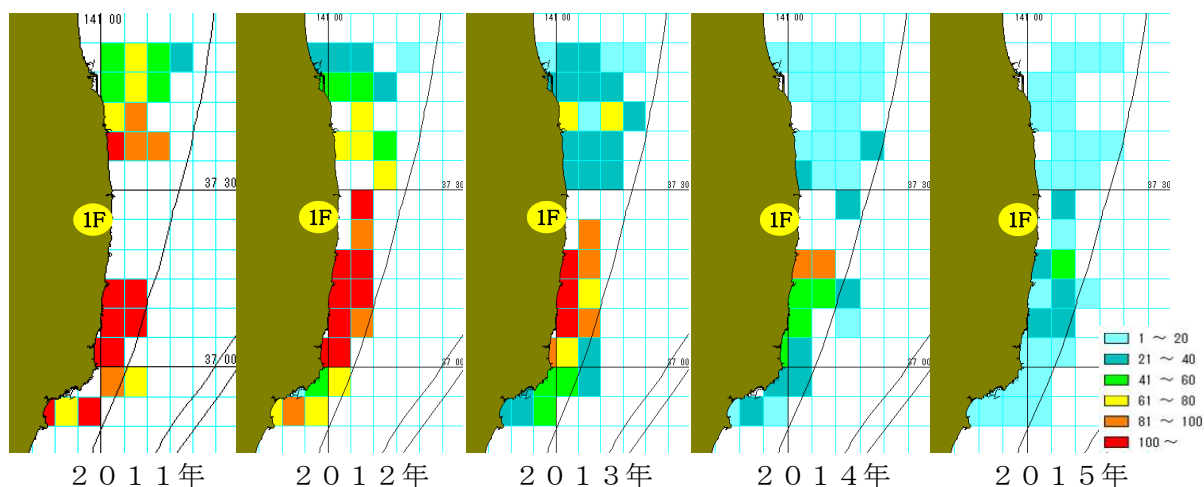


図6 5分メッシュの ^{137}Cs 濃度分布経年変化（単位：Bq/kg-wet）
（等深線は100m、200m、300m）

採捕水深と ^{137}Cs 濃度の関係は、2011年は水深が浅いほど ^{137}Cs 濃度が高い傾向がみられたが、経時的にその傾向はみられなくなった（図7）。

体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、一定の傾向はみられず、経時的に全般的に低下していった（図8）。

これらの結果から、南北移動は確認されず、深浅移動については季節的な移動はみられないものの、生息水深帯の中での混合は起こっているものと考えられる。

福島県海域全体のデータでは体盤長と ^{137}Cs 濃度に関連性がみられなかったが、放射性セシウムの汚染に海域差がみられ、移動性が小さい魚種であることから、海域を限定した解析が必要である。

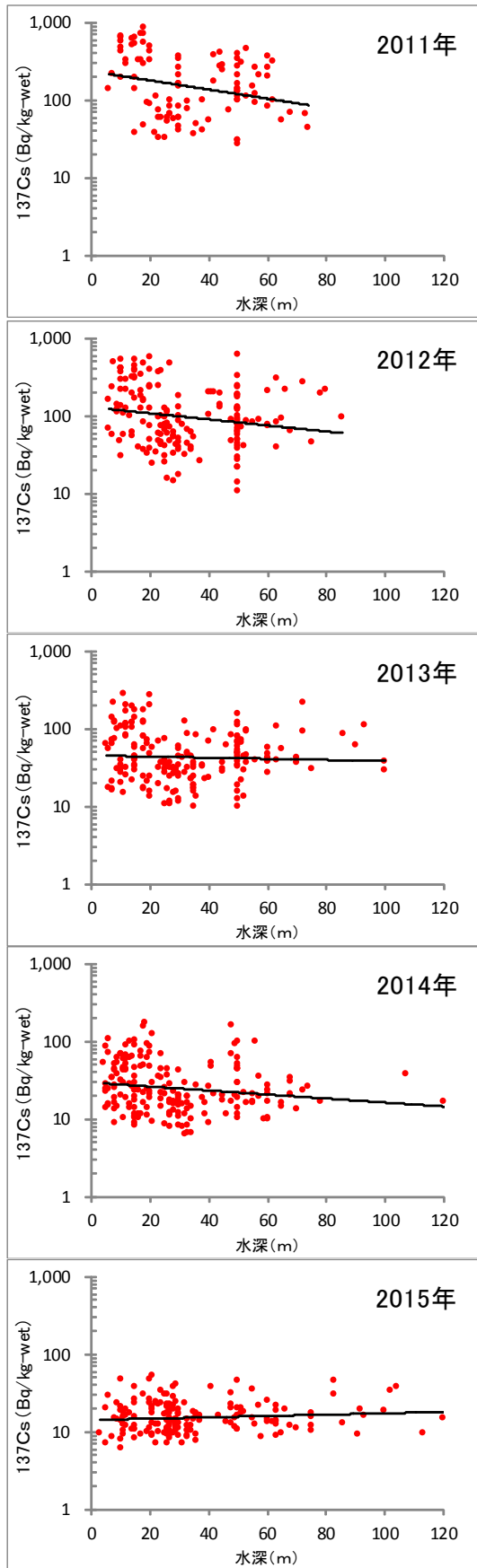


図7 年別の採捕水深と ^{137}Cs 濃度の関係

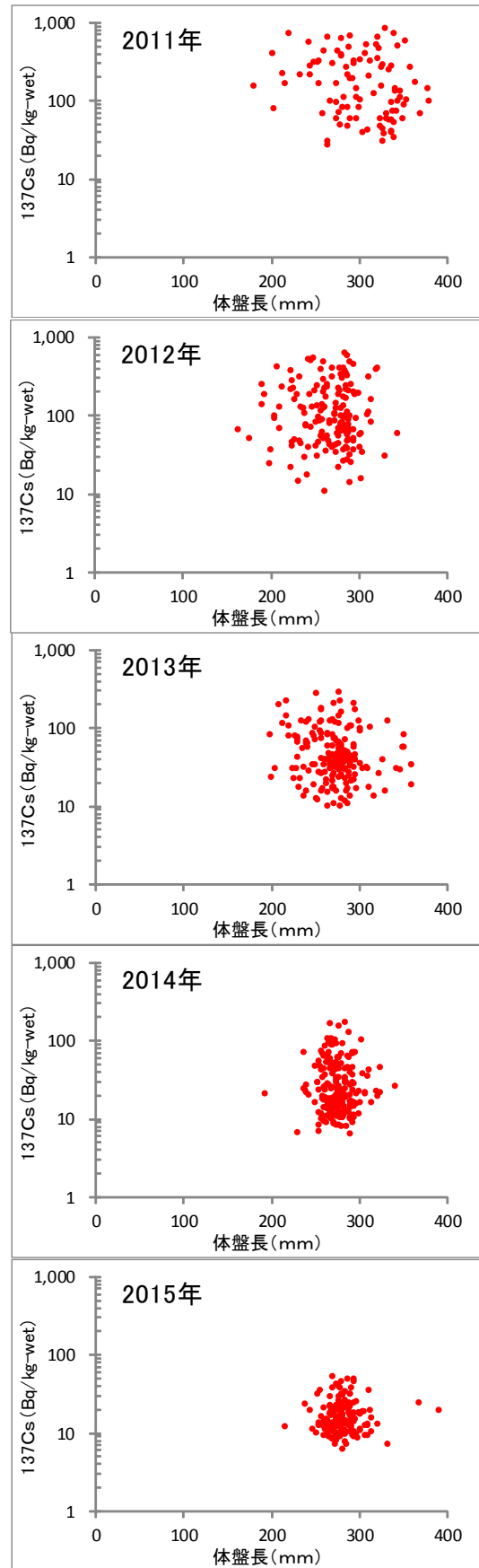


図8 年別の体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係

3 体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係

(1) いわき市平藤間沖

採捕水深 10m における体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、2012 年 3 月までは体盤長に関係なく ^{137}Cs 濃度は一定であったが、2012 年 11 月以降、体盤長が大きいほど ^{137}Cs 濃度が高い傾向が次第に強く現れた (図9)。2014 年 3 月の ^{137}Cs 濃度と体盤長の関係は次の式で示された。

$$^{137}\text{Cs} \text{ 濃度 (Bq/kg-wet)} = 0.03716 e^{0.02737 \times \text{体盤長 (mm)}}$$

採捕水深 10m における体盤長区分別 (200mm 未満、200mm 以上 250mm 未満、250mm 以上) の ^{137}Cs 濃度経時変化を指数近似曲線に示すと、2011 年は体盤長区分に関係なく ^{137}Cs 濃度が高かったが、その後は差が見られ、小型ほど速やかな減少傾向がみられた (図10)。 ^{137}Cs 濃度の生態学的半減期は、体盤長 250mm 以上が 331 日、体盤長 200mm 以上 250mm 未満が 201 日、体盤長 200mm 未満が 136 日であった。

2012 年 8 月における採捕水深別の体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、体盤長に関係なく ^{137}Cs 濃度は一定で、水深 10m は ^{137}Cs 濃度が有意に高かった (対数変換後 t 検定、 $p < 0.05$) (図11)。

2013 年 12 月における採捕水深別の体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、水深が深いほど大型個体が漁獲され、水深 20m では体盤長 223mm 以下の小型、水深 30m では体盤長 181mm 以上、水深 50m では体盤長 269mm 以上の大型であり、3 水深間に有意差が認められた (t 検定、 $p < 0.001$)。 ^{137}Cs 濃度は水深ではなく体盤長との関係が強く示され、小型個体ほど ^{137}Cs 濃度が低い傾向が認められた (図12)。

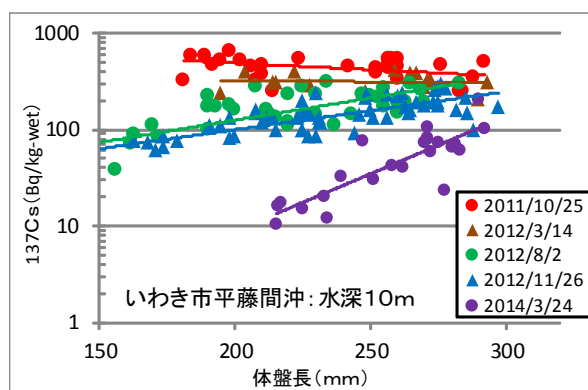


図9 体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係 (いわき市平藤間沖、水深 10m)

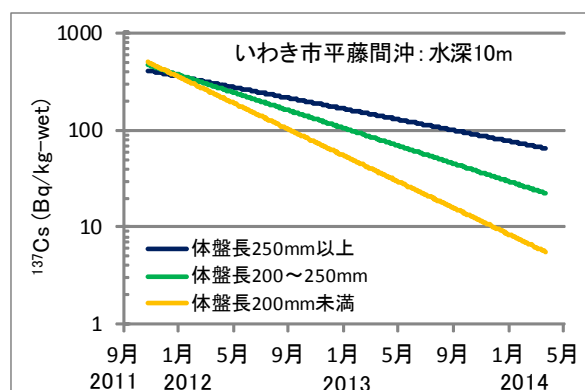


図10 体盤長区分別 ^{137}Cs 濃度経時変化 (いわき市平藤間沖、水深 10m)

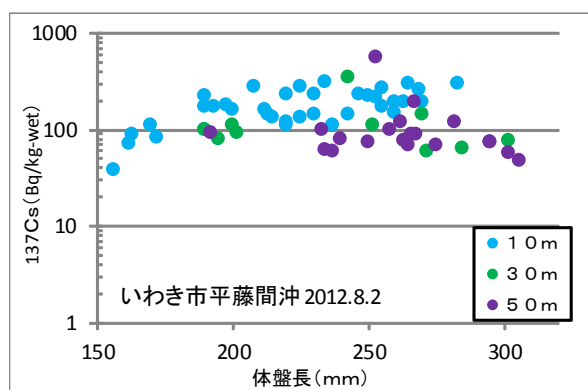


図11 採捕水深別体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係 (いわき市平藤間沖、2012 年 8 月)

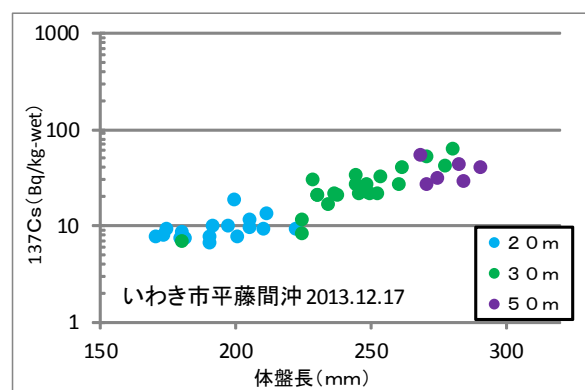


図12 採捕水深別体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係 (いわき市平藤間沖、2013 年 12 月)

(2) 双葉郡広野沖

体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、2011年12月までは体盤長に関係なく一定で、2012年10月以降個体差が大きくなり、体盤長が小さいほど ^{137}Cs 濃度が低い傾向となり、いわき市平藤間沖と同様の傾向が現れた(図13)。

体盤長区分別(200mm以上250mm未満、250mm以上)の ^{137}Cs 濃度経時変化は、小型ほど速やかな減少傾向がみられた。 ^{137}Cs 濃度の生態学的半減期は、体盤長250mm以上が234日、体盤長200mm以上250mm未満が175日であった(図14)。

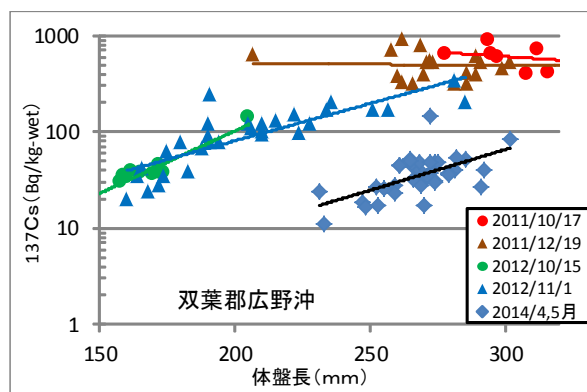


図13 体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係
(双葉郡広野沖、水深17～50m)

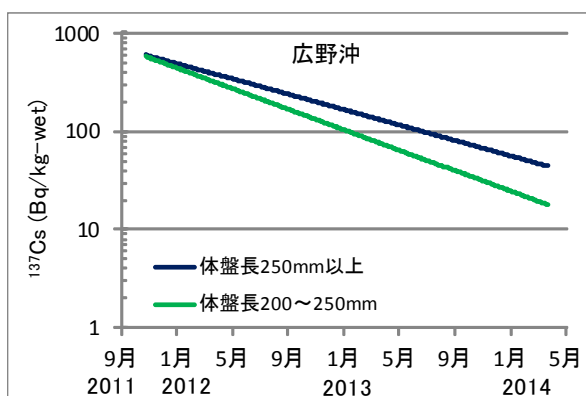


図14 体盤長区分別 ^{137}Cs 濃度経時変化
(双葉郡広野沖、水深17～50m)

考 察

(1) 成長と ^{137}Cs 濃度の関係

小型個体の ^{137}Cs 濃度は、2011年には大型個体と同等かやや高かったが、その後は小型個体が速やかに低下した。これは、小型個体は生息水深が浅く、事故直後の早い時期に多くの放射性セシウムを蓄積したが、その後成長に伴いやや沖合へ移動して新規加入個体へ置き換わったこと及び、成長希釈による濃度低下が小型個体ほど早かったことが考えられる。

時間経過に伴い小型個体の放射性セシウム濃度低下速度が早い傾向は、硬骨魚類であるマダラ、ヒラメでもみられており、軟骨魚類においても成長希釈の影響が示された。大型個体の生物学的半減期が非常に長いことから、大型個体ほど体重増加が少ないことが影響していると推測される。

2015年1～12月の緊急時モニタリング検査による魚種別ND検体の割合では、80%以下が15種あり、そのうち軟骨魚類が4種含まれていた(図15)。

ND検体の割合は、硬骨魚ではムラソイ、シロメバルが特に低い。これら魚種は浅海に生息し定着性が強く、かつ、高齢で体重増加が停滞しているものと考えられ、コモンカスベもこれらに次ぐ低さとなっていることも、体重増加が停滞している影響を示しているものと推測される。

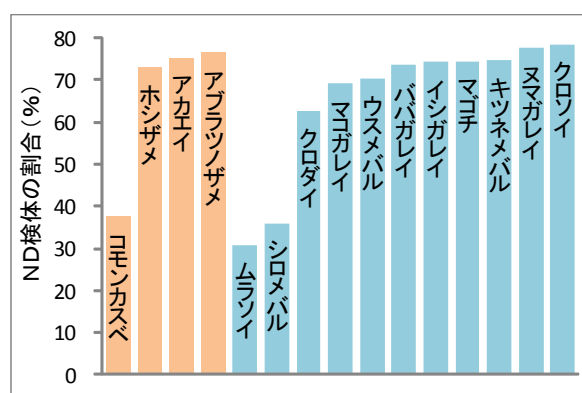


図15 緊急時モニタリング検査による魚種別ND検体の割合(2015年1～12月)

(2) 濃縮係数

^{137}Cs 濃度の濃縮係数は、ヒラメ 68 ± 12 、マダラ 77 ± 24 で、軟骨魚類ではアカエイが 95 ± 14 であり²⁾、大きく異なる係数ではない。

2002 年度に鹿児島海域で得られた硬骨魚類の ^{137}Cs 濃度の範囲は $0.066 \sim 0.26 \text{ Bq/kg}$ 生鮮物、アカエイは $0.15 \sim 0.31 \text{ Bq/kg}$ 生鮮物 (平均 0.21 Bq/kg 生鮮物) の範囲で、硬骨魚類の高いものとほぼ同程度である³⁾ との結果が得られている。

コモンカスベについても、環境中からの放射性物質の取り込みは硬骨魚類と同程度であると考えられる。

(3) 摂餌からの放射性物質の取り込み

胃内容物は甲殻類が多くを占めていた。イボイチョウガニ、エビジャコ、サルエビの放射性セシウム濃度の傾向⁴⁾から、コモンカスベは、震災から 1 年間は $30 \sim 89\text{Bq/kg}$ 、500 日までは 10Bq/kg 程度の放射性セシウム濃度の餌料を摂餌していたものと考えられ、カタクチイワシ等回遊性小型魚の捕食者よりも、摂餌からの取り込みは多かったものと推測される。

(4) 浸透圧調節機能

軟骨魚類は真骨魚類と異なる浸透圧調節機能をもち、ほとんど海水を飲まない。体液に高濃度の尿素を含み、塩分排出能力は鰓では低く、直腸の塩類腺で高いことが真骨魚類と異なる⁵⁾。

飲水量が少ないことから、海水からの放射性セシウムの取り込みについては、硬骨魚類と異なり少ないと考えられ、また、代謝による排出量も異なる可能性があり、これらの解明については今後の課題である。

要 約

コモンカスベの季節的分布、食性及び、放射性セシウム濃度の傾向を把握した。

生息水深は 100m 以浅で、主に 30m ~ 50m に生息し、季節的な深淺移動はみられなかった。

胃内容物は甲殻類が 61 %、魚類が 32 %を占めた。

^{137}Cs 濃度の県全体での ND を考慮しない生態学的半減期は 405 日であった。

5分メッシュの ^{137}Cs 濃度分布から、1F 近くと南側で高い傾向がみられ、その後、1F 近くと南側で高い傾向は変わらずに全体的に濃度が低下した。

採捕水深と ^{137}Cs 濃度の関係は、2011 年は水深が浅いほど ^{137}Cs 濃度が高い傾向がみられたが、その後、経時的にその傾向はみられなくなった。

体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、一定の傾向はみられず、経時的に全般的に低下した。

放射性セシウム濃度に海域差がみられ、移動性が小さいことから、海域を限定して解析した。

いわき市平藤間沖、採捕水深 10m における体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、2012 年 3 月までは体盤長に関係なく ^{137}Cs 濃度は一定であったが、2012 年 8 月以降、体盤長が大きいほど ^{137}Cs 濃度が高い傾向が次第に強く現れた。また、2013 年 12 月における採捕水深別の体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係は、水深が深いほど大型個体が漁獲され、 ^{137}Cs 濃度は水深ではなく体盤長との関係が強く示され、小型個体ほど ^{137}Cs 濃度が低い傾向が認められた。

双葉郡広野沖でも、体盤長と ^{137}Cs 濃度の関係はいわき市平藤間沖と同様の傾向であった。

小型個体は生息水深が浅く、事故後の早い時期に多くの放射性セシウムを蓄積したが、濃度低下が早かったのは、その後の体重増加による成長希釈の影響が大型個体より大きく働いたためであると考えられる。

2015 年 1 ~ 12 月の放射性物質モニタリング検査による ND 検体の割合はムラソイ、シロメバルの次に低い。軟骨魚類は飲水量が少ないことから、海水からの放射性セシウムの取り込みにつ

いては、真骨魚類と異なり少ないと考えられ、また、代謝による排出量も異なる可能性があり、これらの解明については今後の課題である。

文 献

- 1) 谷内透：エイ類の年齢、成長、繁殖および食性に関する研究,科学研究費助成事業研究実績報告書(1991)
- 2) 笠松不二男：海産生物と放射能-特に海産魚中の ^{137}Cs 濃度に影響を与える要因について-,*RADIOISOTOPES*, 48, 266-282 (1999)
- 3) 磯山直彦：アカエイの成長に伴う ^{137}Cs 濃度の蓄積特性と変動幅,海生研ニュースNo. 83(2004)
- 4) T.Sohome et al : Radiological impact of TEPCO's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident on invertebrates in the coastal benthic food web, *Journal of Environmental Radioactivity* 138 (2014)
- 5) 金子豊二：第 11 章 浸透圧調節・回遊,魚類生理学の基礎,恒星社恒星閣(2002)