

# 魚の移動が海域別の魚の放射性セシウム濃度を 攪乱する影響について

山田 学・水野拓治・早乙女忠弘・伊藤貴之・佐久間徹

Influence of Migrations on Radioactive Cesium Concentrations in Fish in the Waters  
off Fukushima Prefecture

Manabu YAMADA , Takuji MIZUNO , Tadahiro SOHTOME , Takayuki ITO and Toru SAKUMA

## ま え が き

これまでの緊急時環境放射線モニタリング（以下モニタリング）結果から、魚介類の放射性セシウム濃度（以下 Cs 濃度）は、東京電力福島第一原子力発電所（以下 1F）南側沿岸で高いことが分かっている。経時的に、この海域（図 1 の⑥）においても濃度の低下は顕著であり、2015 年には Cs 濃度の平均値が約 5.9Bq/kg、基準値超過の割合が 0.2%まで低下している<sup>1)</sup>。福島県海域を南北沖合方向に海域分けして、その海域内の魚介類の Cs 濃度の平均値を観察すると、海域によって Cs 濃度の濃淡がある<sup>1)</sup>ことから、魚がこの海域間を移動すれば、海域毎に観察される Cs 濃度の平均値に影響を与えることが考えられる。この影響を明らかにすることを目的とした。

## 材料および方法

2011 年 5 月～2014 年 12 月に、漁船および調査船により、底びき網、さし網、釣り等の漁法で採集されたアイナメについて、Ge 半導体検出器を用いて Cs 濃度を測定した。測定は原則として 1 個体ずつ、測定部位は筋肉を用い、モニタリングを目的として福島県農業総合センターで行われた値を用いた<sup>2)</sup>ほか、同一漁具（同じ日、場所）で漁獲された全個体を個体別に水産試験場が測定を行った値を用いた。Cs 濃度は<sup>137</sup>Cs (Bq/kg-wet) の値を用い、検出下限値以下 (ND) の場合は下限値を値とした。

1F の南部にあたる広野町からいわき市北部の海域 (37° 10' N～37° 25' N) において、陸域から沖合方向に 3km 毎に海域分けし、海域内でのアイナメの Cs 濃度の経時変化を整理した。

モデルを作成し、指数的に Cs 濃度勾配があるセルを並べ、全てのセルの初期尾数是一緒、それぞれ半減期 100 日として、100 日後の濃度を移動の有無で比較した。移動がある場合、100 日で濃いセルから薄いセルへは 4%、薄いセルから濃いセルへは 1%移動するとした。

## 結 果

陸域から距岸 0～3km および 9～12km の海域内でのアイナメの Cs 濃度の推移を図 2 に示した。距岸 0～3km および 9～12km の海域内での Cs 濃度は、事故日からの経過日数 400 日ではそれ

それぞれ平均約 500、約 100Bq/kg で、経過日数 800 日では約 90、約 40Bq/kg、経過日数 1,200 日では約 9、約 20Bq/kg であった。観察された Cs 濃度の推移から得た指数近似曲線の y 切片（経過日数 0 日にあたる値）の値は、距岸 0～3km の海域での値 2,965.7 が、9～12km の海域での値 272.5 より 1 桁高くなっており、事故直後に高濃度汚染水が沿岸に沿って拡大したとされる、これまでの報告<sup>2)</sup>と一致した。

距岸 9～12km の海域で観察された Cs 濃度は、0～3km の海域よりもばらつきが大きく、指数近似曲線の決定係数 ( $R^2$ ) は、距岸 9～12km での値 0.37 が、0～3km での値 0.86 より小さかった。また、Cs 濃度の推移を指数近似に当てはめて推定した生態学的半減期は、距岸 9～12km の海域が 295 日と、0～3km の海域の 157 日より長くなっていた。

この現象を理解するため、モデルを作成した。指数的に Cs 濃度勾配があるセルを並べ、100 日後の濃度を移動の有無で比較した (図 3)。その結果、移動がない場合は、10,000、1,000、100、10Bq/kg のセルは、100 日後にそれぞれ 5,000、500、50、5Bq/kg となった (平均値)。移動がある場合は、100 日後にそれぞれ 4,954、676、68、7Bq/kg となり、半減期はそれぞれ 99、115、135、153 日となった (図 4 も参照)。このことから、セル間移動を与えた場合、濃度の薄いセルの群レベルの濃度低下速度は、個体レベルの濃度低下速度より遅くなっていくと解釈される。沖合方向に急激な Cs 濃度勾配がある場合、沖合で観察される値は、沿岸側の濃度の高い個体が侵入することにより、群としての濃度低下速度が遅くなり、個体レベルの濃度低下速度を示さないことになる (震災前のように、時空間的に Cs 濃度が均一な場合は、観察された値が個体レベルの濃度低下速度を示す)。

アイナメは、水深 50m 以深では全長 20cm 以下の個体がほとんど採集されない (モニタリング、調査船調査結果) ことから、成長に伴い深場へ移動すると推測される。このことから、Cs 濃度の高い個体が沖合の海域へ移入することで、その海域の Cs 濃度低下を遅らせているものと考えられた。沿岸より沖合の方が 2012 年以降海水の汚染レベルが低いにもかかわらず、魚介類の Cs 濃度低下は沖合の方が逆に遅れている原因となっていると思われる。上記のモデルと同じ事が、実データでも確認されたことになる。



図1 海域区分

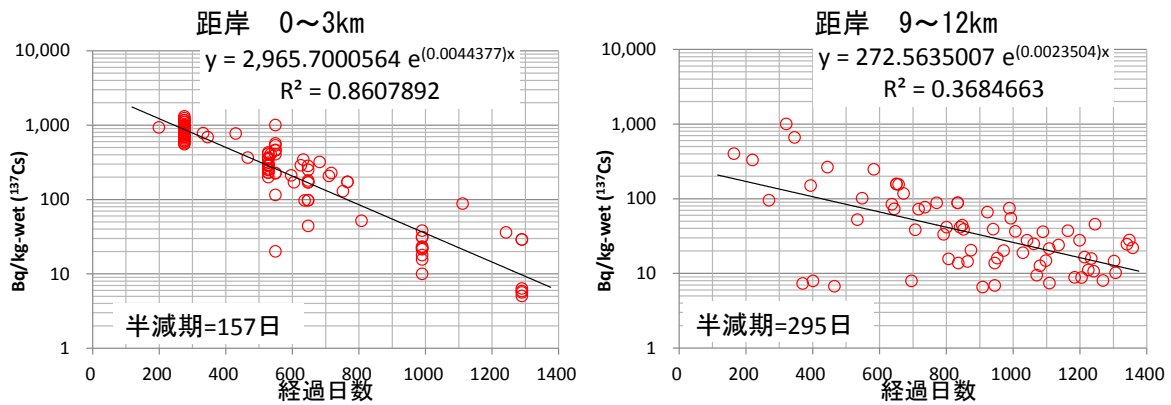


図2 距岸距離別アイナメのCs濃度の推移（経過日数は事故日からの日数）  
※37° 10' N~37° 25' N

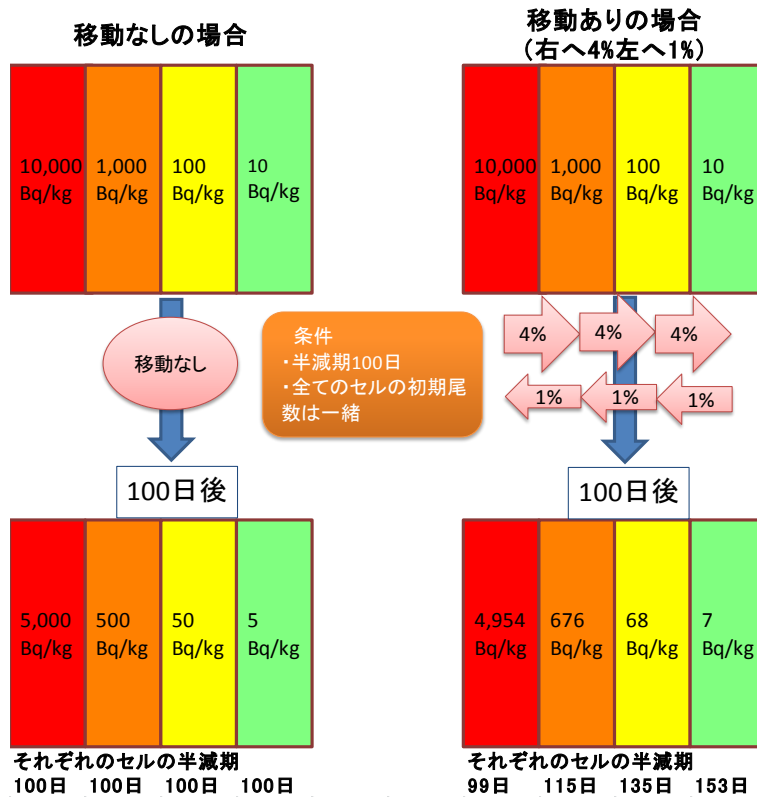


図3 モデルによる移動の有無でのCs濃度低下の比較

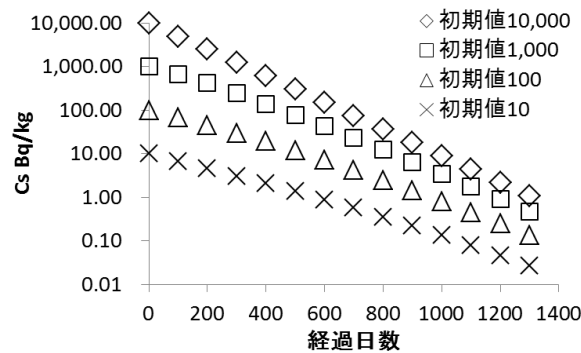


図4 図3右側のモデルにおける経過日数とCs濃度の関係

## 考 察

図2の37° 10' N~37° 25' Nの範囲の南側、海域中心間の距離が20km程度離れた37° 00' N~37° 10' Nの海域における距岸距離別アイナメのCs濃度の推移を図5に示した。

図5のCs濃度の指数近似曲線のy切片は、距岸0~3kmでは1,587.8で、距岸9~12kmでは163.3と、図2に示した結果と比較して同じ距岸距離では同じオーダーであった。より距離の離れた南北方向よりも距岸方向で差が大きいことは、事故直後の高濃度汚染水が、ごく沿岸に沿ってそれほど希釈されずに南下したことを示している。このことから、ごく沿岸の高濃度汚染海域の中に生息していれば、アイナメに限らず魚類全般がCsを多く蓄積したと推測され、その沖合の相対的低濃度汚染海域で蓄積した魚類との間で、距岸方向の大きな濃度差が生じたことが推測された。また、このことから、南北よりも距岸方向の移動が、ばらつきや半減期に影響を与えるといえる。

カレイ類およびヒラメは、底魚類の中でもアイナメに次いで移動範囲が小さい魚種と考えられるため、これらとアイナメのCs濃度の推移を比較した(図6)。この際、データ数を増やすため距岸距離6km以内とした。また、37° 10' N~37° 25' Nでデータの少ない魚種(マコガレイ、イシガレイ)があったため、これより南部(37° 00' N~37° 10' N)の海域のデータ図もあわせて示した(図6左側)。その結果、全魚種でアイナメよりもCs濃度のばらつきが大きく、指数近似曲線の決定係数( $R^2$ )は、アイナメより小さかった。このことは、底魚類の中でも移動範囲が小さいと考えられる異体類であっても、アイナメより移動が大きいため、ごく沿岸に限定したデータでも事故直後からばらつきを生じさせたと推測された。つまり、異体類では、事故直後の時点で生息していた海域が距岸距離方向に異なっていた個体間で濃度差を生じたが、移動が大きいため、すみやかに混合され、観察されるCs濃度にばらつきを生じさせたと考えられる。狭い海域に限定すれば、アイナメは種としての濃度低下速度を算出できるが、異体類は、狭い海域に限定しても、移動混合の影響があらわれてしまい、種としての濃度低下速度を得ることは困難といえる。異体類よりも移動が大きいとされている魚種では、さらに大きく移動による混合の影響が生じると推測される。これらのことから、移動の非常に小さいアイナメによって、ごく沿岸とその沖の海域の距岸距離方向の濃度差を抽出したことは妥当といえるであろう。

これらの結果から、(1) フィールドで観察される魚類のCs濃度推移は移動の影響があらわれた結果であり、今後の予測のためには移動を考慮する必要があること、(2) フィールドで得られたサンプルのCs濃度の経時変化から濃度低下速度を求めるには、魚種や海域を限定する必要があること、が明らかとなった。また、沖合の海域のCs濃度低下速度が既往の知見の半減期<sup>3)</sup>よりも遅いのは、沖合の海域でいまだに汚染される原因が存在しているからではなく、魚の移動のためであり、種としての濃度低下速度は沖合で観測されているより速いと推測される。魚類の移動や行動範囲の詳細な生態解明のための知見ともなることも期待される。

今後は、事故後に発生した魚類はCs濃度が低い<sup>4)</sup>ため、年齢を考慮した上で、移動の影響を定量化する必要がある。

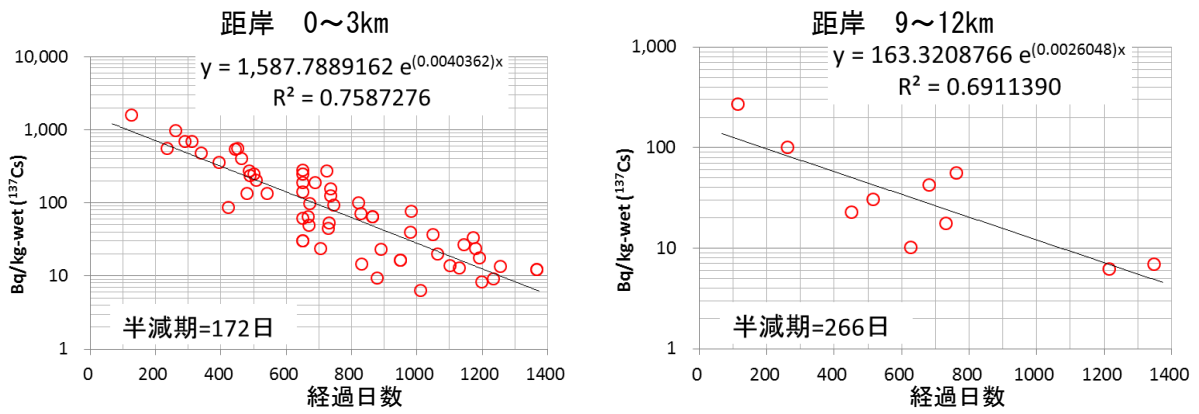


図5 距岸距離別アイナメのCs濃度の推移（経過日数は事故日からの日数）※37° 00' N~37° 10' N

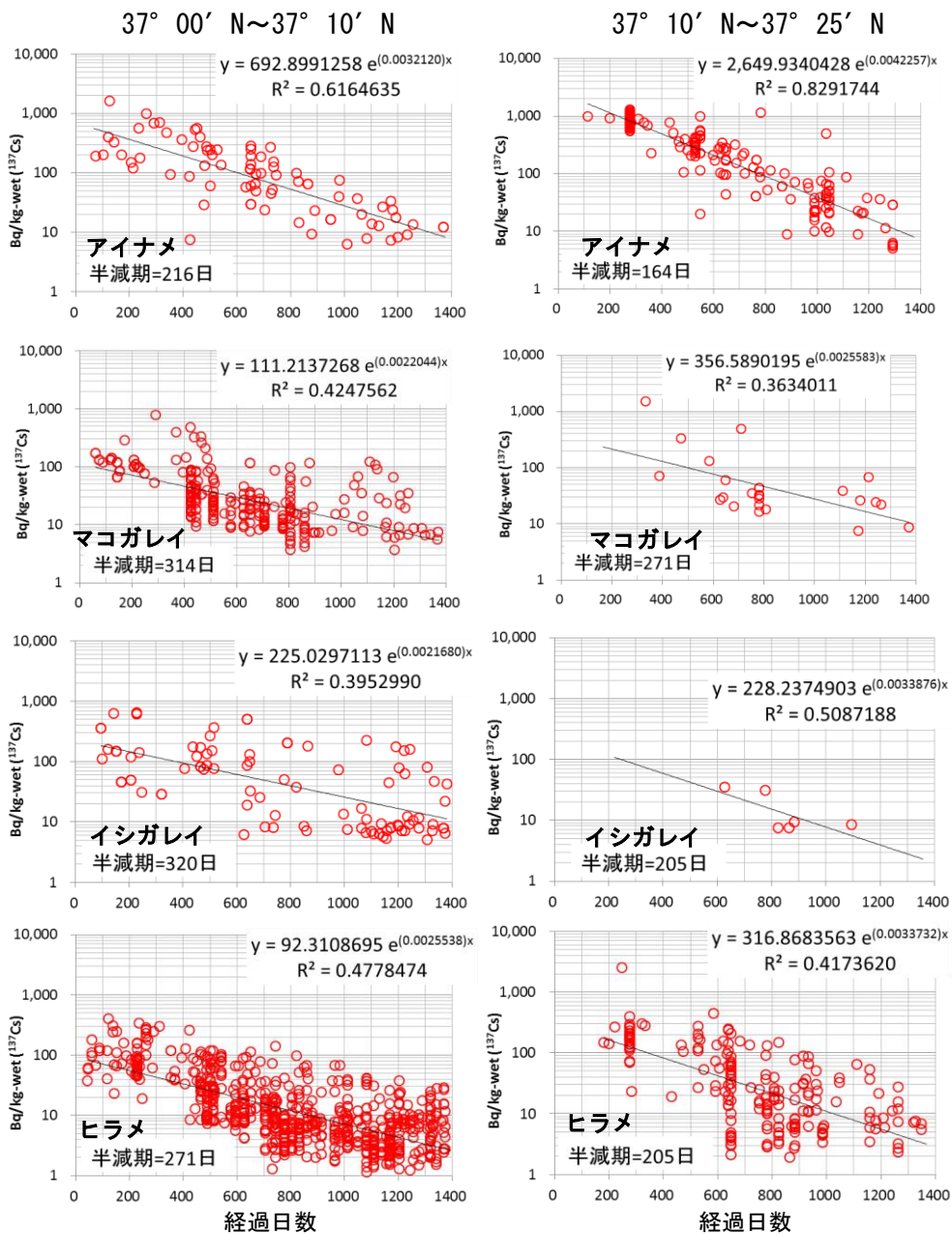


図6 魚種別南北別Cs濃度の推移（経過日数は事故日からの日数）※距岸距離6km以内

## 要 約

移動範囲が小さいと考えられるアイナメについて、緊急時環境放射線モニタリングおよび試験研究による Cs 濃度 ( $^{137}\text{Cs}$ ) を、陸域から沖合方向に区分けして海域別に経時変化をみた。モニタリングでは、海域別の Cs 濃度平均値に濃淡があることから、魚がこの海域間を移動した場合の濃度への影響を明らかにした。

1. 事故日からの経過日数とアイナメの Cs 濃度の指数近似曲線の y 切片(事故後 0 日にあたる値)の値は、陸域から距岸 0~3km の海域での値 2,965.7 が、9~12km の海域での値 272.5 より 1 桁高くなっており、事故直後に高濃度汚染水が沿岸に沿って拡大したとされる、これまでの報告と一致した。
2. 距岸 9~12km の海域では、ごく沿岸に比べて Cs 濃度のばらつきが大きく、また、Cs 濃度の推移を指数近似に当てはめて推定した生態学的半減期は長くなっていた。
3. アイナメは成長に伴い深場へ移動すると推測されることから、Cs 濃度の高い個体が沖合の海域へ移入することで、その海域の濃度低下を遅らせているものと考えられた。
4. 事故直後の高濃度汚染水が、ごく沿岸に沿って、それほど希釈されずに南下したと推測されたことから、アイナメに限らず生息していた魚類全般で距岸方向の大きな濃度差が生じたことが推測された。
5. 狭い海域に限定すれば、アイナメは種としての濃度低下速度を算出できるが、アイナメよりも移動の大きい異体類やそれ以上に移動の大きい魚は、狭い海域に限定しても、移動混合の影響があらわれてしまい、種としての濃度低下速度を得ることは困難と推測された。
6. 以上のことから、フィールドで観察される魚類の Cs 濃度推移は移動の影響があらわれた結果であり、今後の予測のためには移動を考慮する必要があること、フィールドで得られたサンプルの Cs 濃度の経時変化から濃度低下速度を求めるには、魚種や海域を限定する必要があること、が明らかとなり、沖合の海域の Cs 濃度低下速度が既往の知見の半減期よりも遅いのは、沖合の海域でいまだに汚染される原因が存在しているからではなく、魚の移動のためであり、種としての濃度低下速度は沖合で観測されているより速いと推測された。

## 文 献

- 1) 渡邊正人ほか：海域別・魚種別の放射性セシウム濃度の傾向、平成 27 年度福島県放射線関連支援技術情報、(2016).
- 2) 根本芳春・早乙女忠弘・佐藤美智男・藤田恒雄・神山享一・島村信也：福島県海域における海産魚介類への放射性物質の影響、福島水試研報、16、63-89(2013).
- 3) 笠松不二男：海産生物と放射能、Radioisotopes、48、266-282(1999).
- 4) 佐久間徹ほか：原発事故後に発生した魚類の放射性セシウムの蓄積状況、平成 25 年度福島県放射線関連支援技術情報、(2014).