

福島県産イカナゴにおける放射性セシウム濃度の経年変化

早乙女忠弘・岩崎高資・根本芳春・池川正人・青野辰雄[†]・水野拓治

Annual Changes of Radioactive Cesium Concentration in Sandeel *Ammodytes japonicus*
in the Coastal Waters off Fukushima Prefecture

Tadahiro SOHTOME, Takashi IWASAKI, Yoshiharu NEMOTO, Masato IKEGAWA,
Tatsuo AONO and Takuji MIZUNO

ま え が き

福島県沿岸に分布するイカナゴ *Ammodytes personatus* は、宮城県仙台湾から茨城県沿岸に分布する仙台湾系群に属し、仙台湾周辺海域で産卵され孵化した仔稚魚の一部が、1~2月に福島県海域へ移送あるいは移動した群である¹⁾。その後、福島県沿岸で約0.5mm/日の速度で成長²⁾しながら昇温期の6~7月には全長10cm前後となり、夏眠のため仙台湾南部の粗砂帯を中心とした夏眠場で潜砂生活を過ごす。11~12月に夏眠を終え、成魚として12月~翌年1月に産卵する。寿命は5歳以上³⁾、主餌料はカイアシ類を主体とする動物プランクトンである⁴⁾。イカナゴは、多くの魚食性魚介類や海洋性ほ乳類に捕食される。例えば、福島県を含む常磐沿岸のヒラメにとって、イカナゴはカタクチイワシに次ぐ主要餌料であり、特に県北部海域のヒラメにはカタクチイワシが海域から消失する3~4月に集中して摂餌される⁵⁾。このように、イカナゴは夏眠期を除く秋~春季における主要な餌料生物となっている。福島県におけるイカナゴを対象とした漁業はすべて機船船びき網漁業で営まれ、2月下旬から4月中旬に操業される孵化後数ヶ月の当歳魚を対象としたコウナゴ漁、4月中旬から5月に操業される1歳以上の成魚を対象としたメロウド漁がある。特に食用加工されるコウナゴ漁は沿岸漁業の基幹であり、年変動が大きいものの、2000年~2009年の漁獲量は590トン~7,125トン、漁獲金額は2.6億円~10.9億円を占める⁶⁾。

しかしながら、福島県沿岸のイカナゴは、2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所(以下、1F)事故により、放射性セシウム汚染の影響を他の多くの魚介類とともに受けた。福島県が実施した緊急時モニタリングの結果、2011年4月18日にいわき市沿岸で採捕されたイカナゴ当歳魚から、同種の最高値である14,400Bq/kg-wet (¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計値)が検出された⁷⁾。その後、放射性セシウム濃度は急速に低下し、2012年1月以降は食品の基準値(¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計値で100Bq/kg-wet)を超える検体は確認されていない。

海産魚介類における放射性セシウムの主要な汚染経路は、海水と餌料である⁸⁾。今回の1F事故における魚介類の放射性セシウム汚染の主要因は、2011年4月上旬に1Fから海洋への直接流出が発見された高濃度汚染水⁹⁾の影響と考えられる。しかしながら、一部の魚介類、特に底生性魚類の放射性セシウム濃度の低下速度は、海水中の放射性セシウム濃度の低下速度に比べかなり遅く、生態系モデルによる推定値に比べても緩やかであることが報告されている^{6,10)}。この要因については、高濃度汚染水の影響を強く受けた海域の個体と影響の弱かった海域の個体が、産卵や摂餌等により移動・混在することや、海域区分が適切に細分化されていないことが挙げられる

[†] 国立研究開発法人 放射線医学総合研究所

が¹⁰⁾、放射性セシウムの取り込み源の残存による可能性も否定できない。Tateda *et al.* は底生性魚類の汚染源の一つとして海底堆積物の可能性を挙げている¹¹⁾。また、1F 港内の海水は、陸上からの放射性セシウムの継続的な流出¹²⁾等の可能性により、放射性セシウム濃度が事故直後より著しく低下した港湾外の海水に比べて高めで推移している。実際に 1F 港湾内では極めて高い濃度の魚類が確認されるなど、事故から 2 年以上経過した現在も魚介類の汚染源となっており、港湾外への影響が懸念される。このように、当該事故による海洋生物への汚染メカニズムは極めて複雑であると考えられ、様々なデータの継続的な蓄積が必要である。

福島県水産試験場は、1F 事故による魚介類の放射性セシウム汚染を受け、魚介類や海水、海底土の緊急時モニタリングに加え、餌料生物から魚介類への影響を把握するために様々な餌料生物における放射性セシウム濃度を調査してきた。その結果、1F から半径 20km 圏内を除く海域では、おおむね低下傾向であることを明らかにした¹³⁾。それら餌料生物の中で、イカナゴは魚介類の主要な餌料生物であることに加え、福島県沿岸域の放射性セシウム汚染の状況変化を把握するのに有用な生物であると考えられる。特に、イカナゴ当歳魚は、過去の知見から分布海域、孵化時期、日齢および餌料等の推定ができるため、福島県沿岸の放射性セシウム汚染状況の変化を間接的に推測できる可能性がある。そこで本研究では、原発事故後のイカナゴにおける放射性セシウム濃度を用いて海域間の特徴や経年変化を解析し、餌料生物としての汚染状況の整理および福島県沿岸における放射性セシウム汚染経年変化の評価を目的とした。

材料および方法

試料収集および ¹³⁷Cs 濃度測定 イカナゴは、2011 年 4 月 7 日～2013 年 6 月 17 日に、福島県沿岸各地区の小型漁船による船びき網および漁業調査船「拓水 (30 トン)」の着底トロールにより、計 150 試料が得られた (図 1)。放射性セシウム濃度測定は以下の処理及び方法で行った。イカナゴ試料は、福島県水産試験場実験室で夾雑物や混獲物を除去のうえ、自然海水またはミネラルウォーターで付着物を洗浄し、内臓や消化管内容物も含む魚体全体を試料として、当歳魚は未細断、1 歳魚以上は包丁で細断した。試料のうち、緊急時モニタリングに供するものは、福島県農業総合研究センターで U-8 容器に充填ののちゲルマニウム半導体検出器により 2,000 秒で測定され、公表された値 (Bq/kg-wet) を用いた。それ以外の試料は、福島県水産試験場のゲルマニウム半導体検出器で U-8 容器、1L マリネリ容器または 2L マリネリ容器に充填ののち 2,000～135,000 秒で測定し、 γ 線スペクトロメトリ分析で ¹³⁴Cs、¹³⁷Cs の濃度 (Bq/kg-wet) を得た。¹³⁴Cs、¹³⁷Cs のうち、物理的半減期が約 30.2 年であり、今回の事故後の時間経過による減衰の影響が少ない ¹³⁷Cs を解析に用いた。¹³⁷Cs 濃度 (Bq/kg-wet) は採捕日時に減衰補正し、検出限界値未満であった

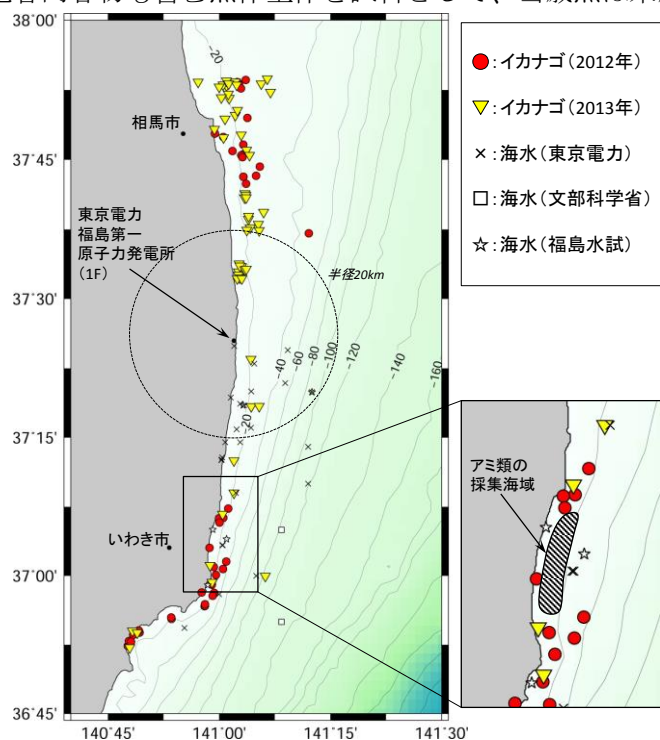


図 1 イカナゴ試料、海水およびアミ類の採捕位置

試料は解析から除いた。その結果、解析には、緊急時モニタリング公表値から得た 56 検体分、福島県水産試験場で測定値を得た 28 検体分の計 84 検体の ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet)

表 1 解析に供したイカナゴ試料の採捕海域および試料数

年\海域	いわき海域		双葉海域		相馬海域		計
	(うち当歳魚)		(うち当歳魚)		(うち当歳魚)		
2011	15	(11)			8		23
2012	24	(21)			16	(6)	40
2013	10	(9)	5	(5)	6	(6)	21
計	49	(41)	5	(5)	30	(12)	84

を用いた (表 1)。また、イカナゴの各試料は別途 50 尾を抽出し、全長 (mm) または体重 (g)、あるいは両方について測定し試料ごとの平均全長・体重を求めた。その際、全長と体重のいずれかが欠測の場合は、全長-体重関係式¹⁴⁾から推定した。当歳魚については採捕日から年級を特定し、1 歳魚以上については、複数年級が混合しているため、含まれる最も若い年級で表記した。

イカナゴの ^{137}Cs 濃度の経年変化 解析は、 ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の経年変化を把握するために、海域別、年級別、当歳魚と 1 歳魚以上別に事故後経過日数 (2011 年 3 月 12 日起算) と ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の関係をプロットした。海域別は、採捕海域を 1F 以北と以南で区分した。

1F 以南海域で採捕されたイカナゴ当歳魚の成長と ^{137}Cs 濃度の関係 イカナゴ当歳魚は、孵化直後は放射性セシウムに非汚染であると仮定し、成長に伴う放射性セシウム汚染の影響を検討するため、試料数が多く、かつ 1F 付近の南下履歴があると考えられる 1F 以南海域の当歳魚データを用いて、次の解析を行った。2012 年級および 2013 年級の 1F 以南海域の当歳魚データについて、1 月 1 日を起算日とした採集日と試料の平均全長 (mm) の関係から、年変動の有無や試料の成長差を確認した。起算日を 1 月 1 日としたのは、福島県産イカナゴの孵化開始はおおむね 1 月以降と推定されることによった⁴⁾。次に、経過日と ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の関係、平均全長と ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の関係を確認した。また、仔稚魚期は成長が著しいため、 ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) には体重増加による希釈効果 (成長希釈) が含まれるため、成長とともに見かけ上 ^{137}Cs 濃度が低下するように見えると考えられる。そこで筆者らは、餌料からの ^{137}Cs 取り込み・排出率が体サイズによらず一定であると仮定し、成長希釈の効果を取り除き年級間で比較することにより、取込量の年変動の定量化を試みた。想定孵化日である 1 月 1 日の体重と採捕時の体重との比を ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) に乗じた指数 (成長希釈 ^{137}Cs 指数) を求め、 ^{137}Cs 取り込みの年級差を推定した。採捕時の平均体重が欠測の試料については、年級ごとに 1 月 1 日起算経過日と平均体重の指数回帰式を求め、回帰式から得た推定体重を用いた。

イカナゴ当歳魚と海水および餌料生物との ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) 比較 イカナゴ生息環境の指標として、海水およびイカナゴの餌料生物における ^{137}Cs 濃度とイカナゴ当歳魚の ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の経年変化を比較した。比較にあたり、次に示す 1F 以南海域の各データを 1 海域として整理した。海水の ^{137}Cs 濃度は、東京電力株式会社¹⁵⁾、文部科学省¹⁵⁾、福島県¹⁶⁾の公表値を用いた (図 1)。餌料生物の ^{137}Cs 濃度は、測定値が得られているいわき北部海域のアミ類およびプランクトンネット入網試料のデータを用いた (図 1)。データ比較は、1F 以南海域におけるイカナゴ 2012 年級および 2013 年級の当歳魚について、孵化期～成長期である 1～6 月の期間を 1 月の第 1 週目から第 30 週目まで区分し、週ごとに海水、イカナゴ当歳魚および餌料生物であるアミ類とプランクトンネット入網試料の ^{137}Cs 濃度を平均しプロットした。また、イカナゴ当歳魚と海水の ^{137}Cs 濃度比 (Concentration Ratio ; CR) を求め、傾向を確認した。CR を求める際、同一日で海水とイカナゴのデータが取得できない場合があるため、前述の 1 週間平均値データを用いて求めるとともに、1 週間内の実測値を用いて CR の最大値および最小値も求めた。

結 果

イカナゴの ^{137}Cs 濃度の経年変化

事故後経過日数とイカナゴの ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の関係は次のとおりであった。当歳魚、1歳魚以上の経年変化では、いずれも濃度低下が認められたが、1歳魚以上では当歳魚にくらべやや高めで推移した (図 2)。最大濃度以降のデータについて、便宜的に指数近似を適用して得られた有意な回帰式 ($p < 0.05$) から求めた、濃度半減に要した日数は、当歳魚で 87 日、1歳魚以上で 173 日であった。年級別の経年変化では、2010 年級 (2009 年級以前も含む) (図 3a) はすべて 1歳魚以上であり、前述の 1歳魚以上と同一の推移であった。2011 年級 (図 3b) は、当歳魚であった 26 経過日に事故後初めてとなる試料で 240~290Bq/kg-wet であったが、32~37 経過日に 6,300~7,200Bq/kg の濃度ピークがみられ、その後は急速に低下し 45~51 経過日に 1,300~1,600Bq/kg-wet となった。夏眠から明けて 1歳魚直前~1歳魚となった 289~472 経過日には、8.0~71Bq/kg とさらに低下した。2012 年級 (図 3c) は、当歳魚であった 362~509 経過日に 0.9~11Bq/kg-wet の範囲で推移し、夏眠明けの 1歳魚となった 740 経過日は 1 試料のみではあるが 2.0Bq/kg-wet であった。2013 年級 (図 3d) は、当歳魚であった 734~828 経過日に 0.3~4.6Bq/kg-wet の範囲で推移した。

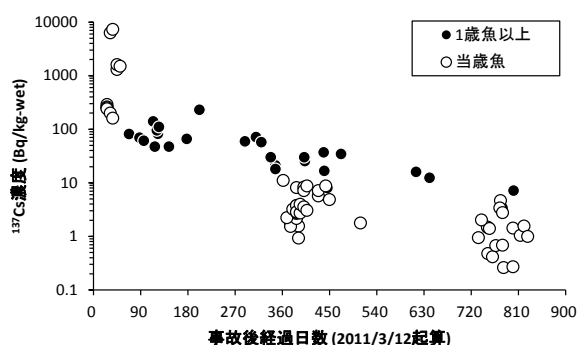


図 2 福島県沿岸で採捕されたイカナゴの当歳魚および 1歳魚以上の ^{137}Cs 濃度の経年変化

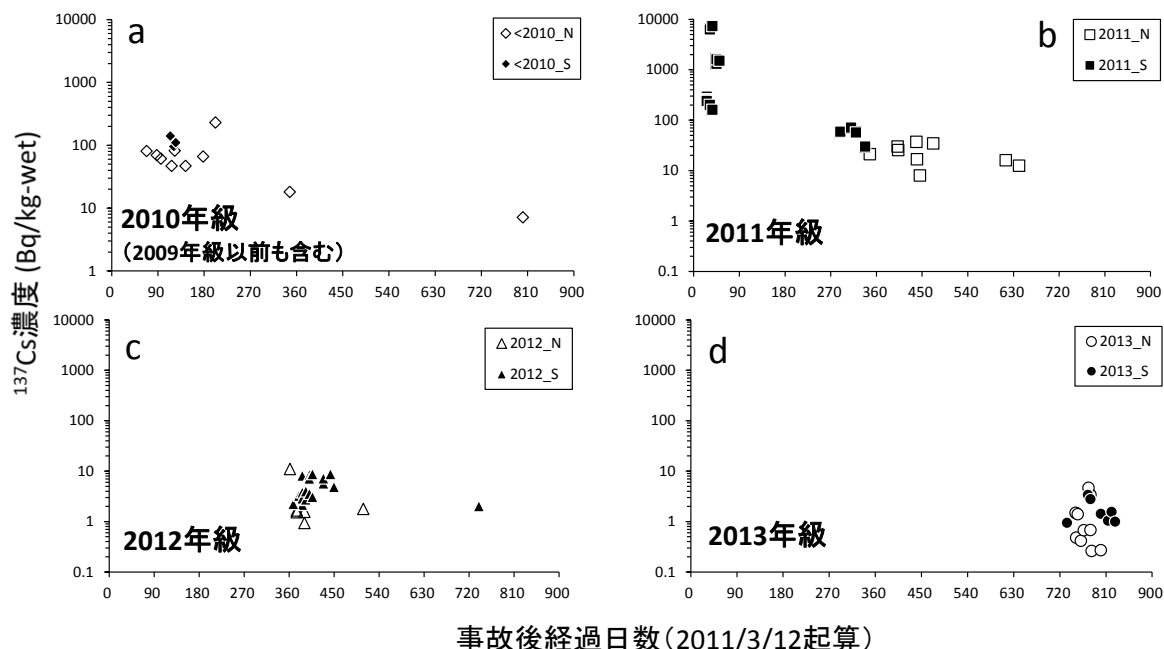


図 3 福島県沿岸で採捕されたイカナゴの年級別の ^{137}Cs 濃度の経年変化
 シンボルの白抜きは 1F 以北海域、黒塗りは 1F 以南海域で採捕された試料を示す。

イカナゴの ^{137}Cs 濃度の海域差

^{137}Cs 濃度の海域差の解析には、同一時期に 1F 以北・以南の両海域でデータが取得できている必要があるが、この条件を満たすのは 2012 年級および 2013 年級の当歳魚であった。そこで、2012 年級は 362～509 経過日の期間、2013 年級は 734～828 経過日の期間に該当するデータを用いて、1F 以北・以南海域について 2 群間の差の検定 (Mann-Whitney's U-test) を行った。2012 年級は、以北より以南のほうが有意に高かったが ($p < 0.014$)、2013 年級は有意な差は認められなかった ($p = 0.073$) (図 4)。また、各海域における年級間で同様の検定を行った結果、いずれの海域も 2012 年級から 2013 年級にかけて有意に低下した (以北 : $p = 0.044$ 、以南 : $p = 0.002$) (図 4)。

1F 以南海域で採捕されたイカナゴ当歳魚の成長と ^{137}Cs 濃度の関係

1 月 1 日起算の経過日と平均全長の関係 (図 5a) は、2012 年級、2013 年級ともに $0.37\sim 0.46\text{mm/日}$ の有意 (t-test, $p < 0.01$) な直線増加を示した。経過日と平均体重の関係 (図 5b) は有意 (t-test, $p < 0.01$) な指数回帰式で近似され、両年級ともにおおむね一致した。試料の平均全長と ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) の関係 (図 5c) は、2012 年級、2013 年級いずれも有意な関係は得られなかった。 ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) (図 5d) は、2012 年級では、73～84 日目に $2.1\sim 3.2\text{Bq/kg-wet}$ であったが、91～114 日目は $2.1\sim 4.0\text{Bq/kg}$ と $7.1\sim 8.4\text{Bq/kg-wet}$ の 2 群がみられた。133～154 日目には $4.8\sim 8.7\text{Bq/kg-wet}$ であった。2013 年級では、35～120 日目に $0.94\sim 3.7\text{Bq/kg-wet}$ がみられ、139～167 日目は $1.0\sim 1.6\text{Bq/kg-wet}$ であった。各年級の ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) と採集日との関係について直線近似により傾向を確認した結果、2012 年級は有意な正の傾き (t-test, $p = 0.011$)、2013 年級は有意ではないが負の傾きであった (同, $p = 0.19$)。成長希釈を考慮した ^{137}Cs 指数 (図 5e) は、各年級について指数近似を当てはめた結果、2012 年 (t-test, $n = 21, p < 0.01$)、2013 年 (t-test, $n = 10, p < 0.01$) とともに有意な回帰式が得られた。回帰式から得られた、 ^{137}Cs 指数が 2 倍となるのに要する日数は、それぞれ 17 日、29 日であった。

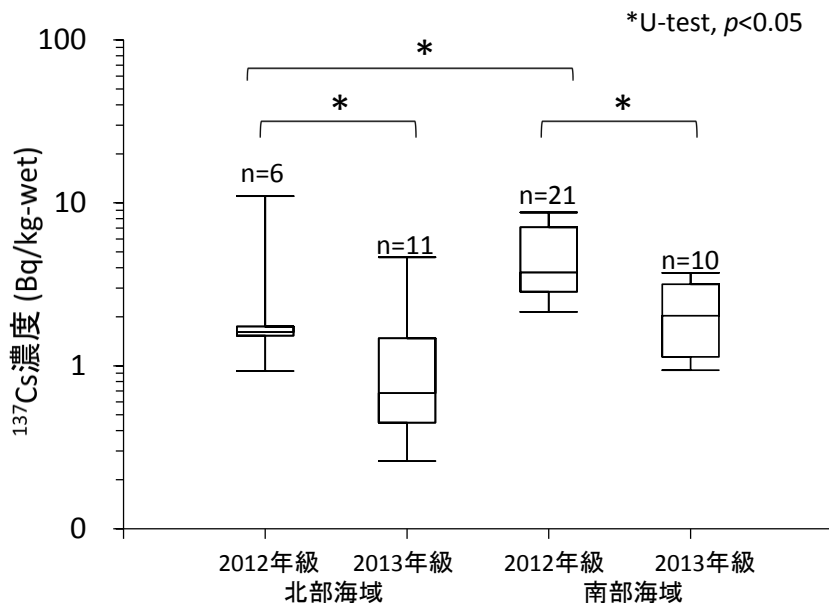


図 4 2012 年級および 2013 年級の 1F 以北海域と以南海域におけるイカナゴ当歳魚 ^{137}Cs 濃度のボックスプロット。*は有意な差がみられた 2 群を示す。ボックスプロットは、最大値・75%タイル値・中央値・25%タイル値・最小値。

イカナゴ当歳魚、海水および餌料生物との ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet) 比較

1F以南海域におけるイカナゴ当歳魚、海水および餌料生物との ^{137}Cs 濃度は、2012年、2013年ともに餌料生物（プランクトンネット入網試料、アミ類）、イカナゴ当歳魚、海水、の順に高かった。2012年の ^{137}Cs 濃度は、海水が 1.5~0.14Bq/L 前後への緩やかな低下がみられたが、イカナゴが 2.2~8.3Bq/kg-wet の緩やかな上昇傾向、プランクトンネット入網試料が 65~4.1Bq/kg-wet の比較的大きな変動幅の中で横ばい傾向であった。2013年の同濃度は、海水が 0.28~0.02Bq/L の範囲で横ばい傾向、イカナゴは 3.3~1.0Bq/kg-wet の緩やかな低下傾向、アミ類は 25~3.0Bq/kg-wet の範囲、プランクトンネット入網試料は 83~20Bq/kg-wet の範囲で横ばい~緩やかな低下傾向であった。イカナゴ当歳魚と海水の ^{137}Cs 濃度比である CR は、2012年級は期間平均値が 25.5、最大値 79、最小値 4.5、2013年は期間平均値が 19.1、最大値 345、最小値 0.49 であり（図 6c, d）、2012、2013年級ともに最大値は大きく変動するものの、期間平均値は概ね横ばい傾向を示した。

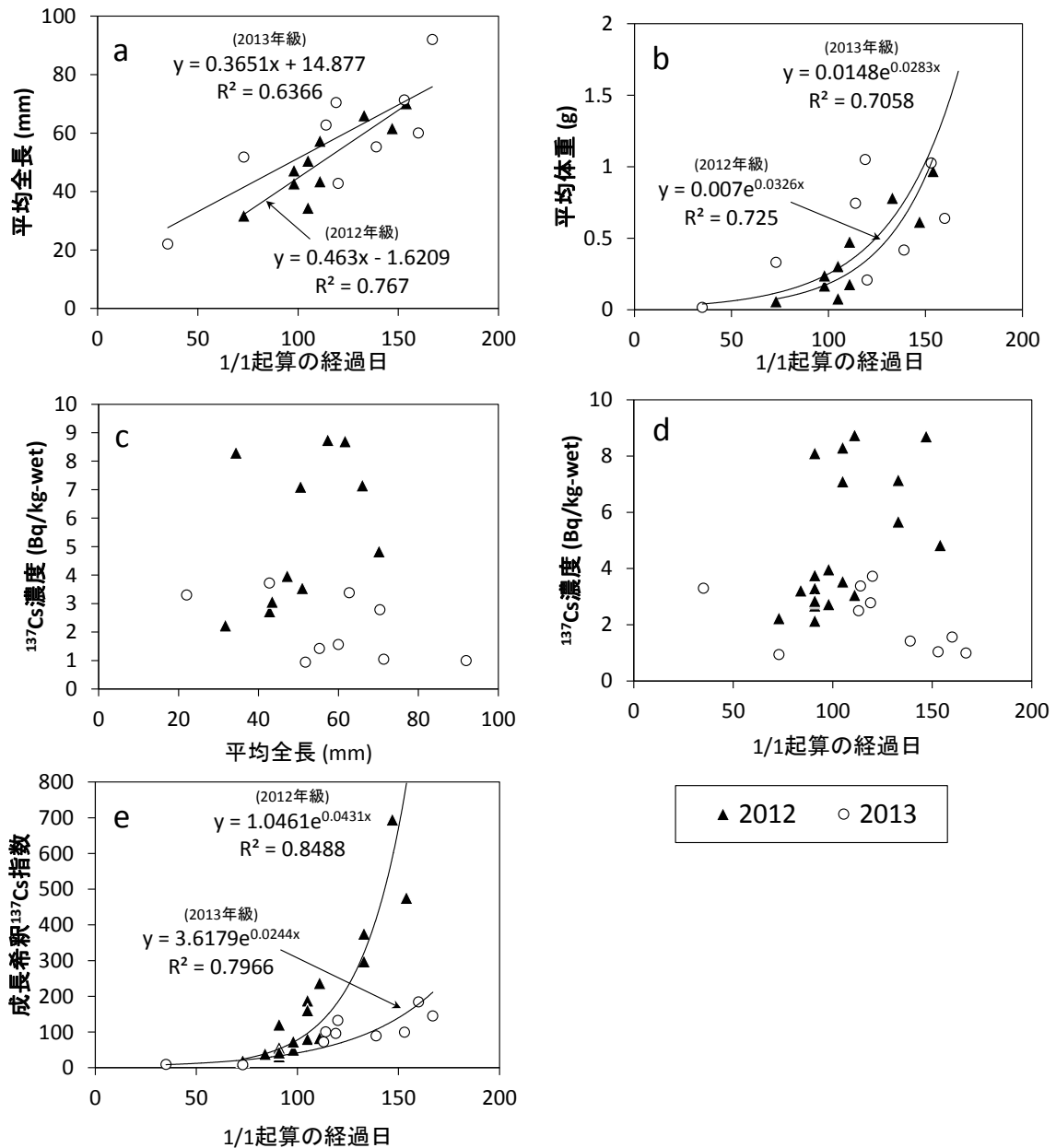


図5 1/1 起算の経過日と、1F以南海域で採捕されたイカナゴ当歳魚（2012年級および2013年級）の ^{137}Cs 濃度、成長希釈を考慮した ^{137}Cs 指数および平均全長の推移の関係。
a: 平均全長、b: ^{137}Cs 濃度、c: 成長希釈を考慮した ^{137}Cs 指数、d: 平均全長と ^{137}Cs 濃度.

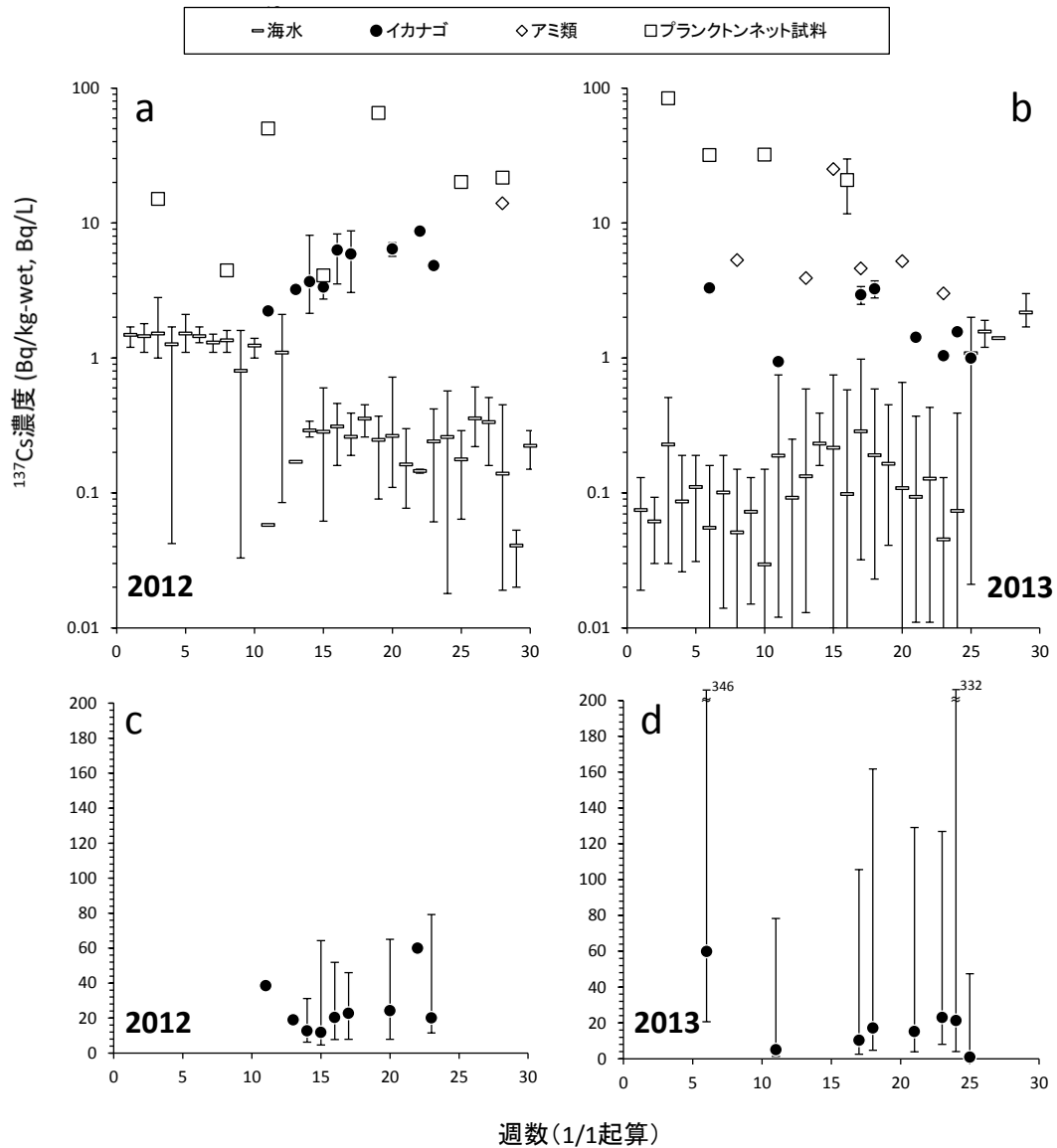


図6 1F以南海域における海水、イカナゴ当歳魚および餌料生物の ^{137}Cs 濃度の時系列プロット (a, b) およびイカナゴ当歳魚と海水の ^{137}Cs 濃度比. 横軸は1/1起算の週数、縦軸は ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-wet, Bq/L)、各試料プロットは週平均値、エラーバーは最大値および最小値を示す.

考 察

イカナゴの ^{137}Cs 濃度から推測した環境中 ^{137}Cs の経年変化

福島県産イカナゴの ^{137}Cs 濃度は、他の魚介類と同様に、全体の傾向では経年的に低下していた。当歳魚の ^{137}Cs 濃度について年級別にみると、2011年級は事故直後に急上昇のち急低下しており、これはほぼ海水の ^{137}Cs 濃度と同調していたことから、2011年級の汚染要因は、これまでに報告されたとおり^{6,10)}、1Fから海洋に直接流出した高濃度汚染水からの直接移行と考えられる。一方、2012年級および2013年級の当歳魚は、いずれの年級も成長速度や時期に大きな違いがない状況で、2012年級は上昇、2013年級は低下の傾向をそれぞれ示した。また、成長による希釈効果を取り除くことで、生息環境中からの ^{137}Cs 量を定量化するために試算した ^{137}Cs 指数は、2013

年は2012年の約半分に低下していた。これらの結果は、2012年春期から2013年春期の間にイカナゴ当歳魚が生息環境中から取り込みうる¹³⁷Csの量は減少したこと、2013年春期の時点ではイカナゴ当歳魚の体内への取り込み量は体内からの¹³⁷Cs排出量に比べて小さかったこと、を示唆している。また、1F以南海域と以北海域におけるイカナゴ当歳魚の¹³⁷Cs濃度について、2012年では海域差があったが2013年ではみられなかったことは、イカナゴ当歳魚の生息環境中における¹³⁷Csの経年的な減少に加え、福島県沿岸にみられた¹³⁷Cs汚染の海域差も経年的に解消されつつあることを示している。

ここで考慮しなければならないのは、イカナゴ当歳魚が1F近傍を通過して1F以南海域へと来遊するため、1F近傍の局所的な海域で汚染される可能性である。1F専用港内の海水の放射性セシウム濃度は高濃度で推移しており、2013年1～5月も低い定点で15～2.5Bq/L(平均5.7Bq/L、n=107、物揚場付近)、高い定点で130～5.1Bq/L(平均26.9Bq/L、n=151、2号機シルトフェンス内)であった¹⁵⁾。一方、本研究の解析でも用いた専用港のすぐ外側では、2013年1～5月は低い定点で0.98～0.17Bq/L(平均0.56Bq/L、n=21、南放水口付近)、高い定点で6.3～0.47Bq/L(平均1.5Bq/L、n=25、5・6号機放水口北側)であり¹⁵⁾、港内に比べてはるかに低い濃度であった。このことから、専用港内への進入は、現段階では汚染リスクの一つとして考慮する必要がある。港内進入の有無については、イカナゴ当歳魚がごく浅海の閉鎖的の海域に進入する知見が無く、これ以上の検討はできなかったが、胃内容物分析で得られた出現種⁴⁾の分布域や生態を整理することで、明らかにできる可能性がある。併せて、イカナゴ当歳魚の来遊に伴う各海域での滞留期間が放射性セシウム濃度に大きな影響を与えることも注意する必要がある。

以上の解釈から、イカナゴ当歳魚を指標種とした、福島県沿岸の環境中における取り込み可能な¹³⁷Csの汚染状況は、1F港内進入のリスクや来遊生態に起因する¹³⁷Cs濃度変動は残るものの、事故後約1年の2012年春期から事故後約2年の2013年春期にかけて、改善したと結論できる。

イカナゴ当歳魚、海水および餌料生物との¹³⁷Cs濃度比較

2012年から2013年のイカナゴ当歳魚の生息環境中において、取り込み可能な放射性セシウムの量が減少していることが確認されたが、その取り込み経路は冒頭に述べたとおり海水や餌料生物が主体であると考えられる。本研究では間接的ではあるものの、影響を推定するために、イカナゴ当歳魚と海水および餌料生物の¹³⁷Cs濃度比較を行った。特に着目したのは、イカナゴと海水の¹³⁷Cs濃度比である。海産生物と海水の放射性セシウム濃度比は、1F事故以前のように環境中の放射性セシウムに大きな変動がなく各々の放射性セシウム濃度が平衡状態と仮定できるとき、濃縮係数と呼ばれ、その値は海産魚類で50～100とされている¹⁷⁾。一方、1F事故後のように放射性セシウム濃度の変動が継続している状況では、同様に求めた濃度比であっても別の解釈をする必要がある。当該事故後の特徴は、事故直後に1Fから流出した高濃度汚染水の影響で海水が極めて高濃度に汚染されたのち、比較的速やかに低下したことである。帰山らは、1F事故後の2011～2012年に仙台湾や福島県沖合海域において採集した海水と動物プランクトンについて濃度比を求めたところ、濃度比は一度上昇した後、一部試料では低下し、濃縮係数に近づきつつあったと報告している¹⁸⁾。このことから筆者らは、当該事故における海産生物と海水の放射性セシウム濃度比の動向を次のように仮定した。事故直後の濃度比は、海水、海産生物とも濃度が上昇するためそれほど上昇しないが、海水濃度が急速に低下した後の濃度比は、海産生物からの放射性セシウム排出に一定時間を要するために上昇し、その後の濃度比は低下しながら事故以前の比に近づくと考えた。また、世代交代を経た後も濃度比が濃縮係数より高い状態が長期間にわたり確認される場合は、海水以外の取り込み可能な放射性セシウムの影響が強いと判断できると考えた。

本研究で求めたCRは、平均値でみると2012年、2013年とも大きな変動はなく、おおむね50

を下回った。この結果からは、海水濃度が低下すればイカナゴ当歳魚の濃度も低下する関係が成立していると判断できる。一方で、最大値でみると2013年は2012年より高めであった。この点については、2013年はイカナゴ当歳魚が海水以外の取り込み経路の影響が一部で存在すると考えられる。海水以外の取り込み経路、本解析では餌料生物を想定したが、アミ類およびプランクトンネット入網試料の ^{137}Cs 濃度の比較では、2012年、2013年ともイカナゴ当歳魚の濃度より高めに推移したことから、取り込み経路の一つとして今後注視する必要がある。しかし本解析では、比較的広い海域から採集した試料を一海域として扱ったが、この海域内における濃度の偏りは未確認であることから、誤った濃度比を算出した可能性も否定できない。また、イカナゴ当歳魚の餌料生物として想定した試料についても、次の点に留意する必要がある。イカナゴ当歳魚は浮遊生活期である一方、アミ類は底生性であることから、 ^{137}Cs の取り込み環境に違いがあることが想定される。また、プランクトンネット入網試料については、ネット入網試料をそのまま測定試料としたため、粘土鉱物や夾雑物の影響も考えられる。以上について、今後十分な整理を行ったうえで再検討をする必要がある。

海産生物の放射性セシウム移行解明に向けた課題

本研究では、餌料生物としてのイカナゴおよびその生息環境中における放射性セシウム汚染の経時的減少を間接的に確認するにとどまった。放射性セシウム移行メカニズムの解明には、震災前にも多数行われていた飼育下での放射性セシウム投与・排出実験について震災後も実施するとともに、飼育実験等で得られた代謝パラメータを考慮した取り込み・排出モデル^{19,20)}を適用し、フィールドで観察された各種試料濃度の解釈を進めるのが妥当と思われる。

要 約

1. 主要な餌料生物であるイカナゴ当歳魚における ^{137}Cs 濃度の経年変化は、2012年級から2013年級にかけて有意な低下を示した。第一原発以北海域と以南海域では、2012年では以南海域が有意に高かったが2013年では差がみられず、海域差は解消されつつあると思われた。
2. イカナゴ当歳魚における ^{137}Cs 濃度の経日変化は、2012年級は横ばい～上昇であったのに対し、2013年級は横ばい～低下しており、2013年においてはイカナゴ当歳魚の ^{137}Cs 取り込み量は排出量を下回ったことが示唆された。
3. 成長による希釈効果を考慮するため、想定孵化日体重と採捕時体重の比を ^{137}Cs 濃度に乗じた指数は、2倍となるのに要する日数が2013年は2012年の約半分であり、生息環境中の ^{137}Cs の減少が考えられた。
4. 2012年級と2013年級におけるイカナゴ当歳魚と海水の ^{137}Cs 濃度（週平均値）の比は、平均値ではいずれも横ばいで推移したものの、最大値は2013年級のほうが高く、海水以外の取り込み経路が一部存在する可能性が考えられた。
5. イカナゴ当歳魚の生息環境中における取り込み可能な ^{137}Cs は、第一原発港内の影響が懸念されるものの、2012年から2013年にかけて改善したと考えられた。

文 献

- 1) 橋本博明：日本産イカナゴの資源生態学的研究、J. Fac. Appl. Biol. Sci., Hiroshima Univ., 30, 135-192 (1991).
- 2) 早乙女忠弘・鷹崎和義・上野山大輔・吉田哲也：耳石解析による福島県沿岸産イカナゴ仔稚魚の成長、福島水試研報、16,55-62 (2013).

- 3) 児玉純一：宮城県沿岸に生息するイカナゴの系群構造と資源生態、宮城水試研報告、10, 1-14 (1980).
- 4) 松本育夫・田中利幸：福島県海域のイカナゴの食性について、福島水試研報、10, 57-61 (2001).
- 5) Tomiyama T., Kurita Y. : Seasonal and spatial variations in prey utilization and condition of a piscivorous flatfish *Paralichthys olivaceus*, *Aquatic Biology* 11(3), 279-288 (2011).
- 6) 福島県農林水産部水産課：平成 21 年版福島県海面漁業漁獲高統計、90 頁 (2009).
- 7) 根本芳春、島村信也、五十嵐敏：福島県における水産生物等への放射性物質の影響（話題）、日本水産学会誌、78 (3) ,514-519. (2012) .
- 8) 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－（総説）、*RADIOISOTOPES*, 48, 266-282 (1999) .
- 9) Bailly du Bois, P., Laguionie, P., Korsakissok, I., Didier, D., Fiévet, B. : Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident, *Journal of Environmental Radioactivity* 114, 2-9 (2012) .
- 10) Wada T., Nemoto Y., Shimamura S., Fujita T., Mizuno T., Sohtome T., Kamiyama K., Morita T., Igarashi S. : Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima, *Journal of Environmental Radioactivity* 124, 246-254 (2013) .
- 11) Tateda Y., Tsumune D., Tsubono T. : Simulation of radioactive cesium transfer in the southern Fukushima coastal biota using a dynamic food chain transfer model, *Journal of Environmental Radioactivity* 124, 1-12 (2013) .
- 12) Kanda J. : Continuing ^{137}Cs release to the sea from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through 2012, *Biogeosciences Discuss.*, 10, 3577-3595 (2013) .
- 13) 早乙女忠弘、伊藤貴之・山田 学・根本芳春・水野拓治・五十嵐敏・西宗教史・青野辰雄・伊藤友加里・神田穰太・石丸 隆：福島県海域の餌料生物から検出された東電福島第一原子力発電所事故に起因する放射性 Cs 濃度の推移、平成 25 年度日本水産学会春季大会講演要旨集 (2013)
- 14) 富永 裕：茨城県沿岸海域におけるイカナゴについて第 1 報（生物学的特性）、茨城水試研報、26,99-110 (1988).
- 15) 海水のモニタリング結果、放射線モニタリング情報、原子力規制委員会ウェブサイト <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/428/list-1.html> (2014.1.30 閲覧)
- 16) 福島県：公共用水域、港湾・海面漁場モニタリング結果、 http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENT_S_ID=27438 (2014.1.30 閲覧)
- 17) IAEA : Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment, technical reports series, 422 (2004) .
- 18) 帰山秀樹、重信裕弥、安倍大介、藤本賢、小埜恒夫、笥茂穂、伊藤新一、田所和明、岡崎雄二、成松庸二：動物プランクトンと底生小型甲殻類の放射性セシウム移行経路と濃縮比、独立行政法人水産総合研究センター平成 24 年度放射性物質影響解明調査事業報告書、平成 25 年 3 月.
- 19) 財団法人原子力環境整備センター：海洋生物への放射性物質の移行、環境パラメータシリーズ 6 (1996) .
- 20) 栗田豊、中根幸則、玉手剛、成松庸二：栄養段階と放射性物質濃度の関係、独立行政法人水産総合研究センター平成 24 年度放射性物質影響解明調査事業報告書、平成 24 年 3 月.