

## 霞ヶ浦ワカサギ体内セシウムの経年変化

脇本 忠明<sup>1\*</sup>、戸田 弘美<sup>2</sup>、西野 英二<sup>3</sup>、戸田 廣<sup>2</sup>、薄井 征記<sup>4</sup><sup>1</sup> 愛媛大学農学部 (〒 790-8566 愛媛県松山市樽味 3-5-7)<sup>2</sup> 株式会社出羽屋 (〒 300-0135 茨城県かすみがうら市加茂 3385)<sup>3</sup> 株式会社 IRIS 放射能検査サービス (〒 386-0603 長野県小県郡長和町古町 38-1)<sup>4</sup> 霞ヶ浦漁業協同組合 (〒 311-3512 茨城県行方市玉造甲 1560)Trends of Cs Accumulation in the Body of Pond Smelt (*Hypomesus nipponensis*)  
Captured in Lake KasumigauraTadaaki WAKIMOTO<sup>1\*</sup>, Hiromi TODA<sup>2</sup>, Eiji NISHINO<sup>3</sup>, Hiroshi TODA<sup>2</sup>, and Seiki USUI<sup>4</sup><sup>1</sup> Faculty of Agriculture, Ehime University (3-5-7 Tarumi, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan)<sup>2</sup> Dewaya, Inc. (3385 Kamo, Kasumigaura, Ibaraki 300-0135, Japan)<sup>3</sup> Radioactivity Inspection Service Co.

(38-1 Furumachi, Nagawamachi, Chiisagata, Nagano 386-0603, Japan)

<sup>4</sup> Kasumi Shore Fishing Industry Cooperative Association

(1560 Tamatsukurikou, Namegata, Ibaraki 311-3512, Japan)

## Summary

The concentrations of radioactive cesium in the body of pond smelt, which were captured at the central part of Lake Kasumigaura from 2012 to 2015, were investigated. According to the results, contamination with radioactive cesium in Lake Kasumigaura, which occurred on March 11, 2011, increased at the highest in 2013 and decreased in 2014 and 2015. However, this decline trend was gradual and the pollution seems to be prolonged. A comparison of <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs concentrations showed that the former decreased rapidly, the latter hardly decreased in the five-year period because of the difference of half-life in radioactivity. Judging from this result, the present state of the pollution is expected to continue in the long-term future and there seems to be no problem on human health effect.

**Key Words:** <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, Pond smelt, Lake Kasumigaura

## 1. はじめに

前の報告<sup>1)</sup>では、福島第一原子力発電所の事故で大気中に放出された放射性Csによる霞ヶ浦のワカサギ汚染が懸念され、その汚染の低減対策について魚体中のCs除去方法に取り組んだ。その結果、ワカサギ体内のCsは清水でボイルすると約70%除去することができ、その除去効果について報告した。その手法を用いて、これまで2012年から2015年まで水産加工品の操業を続けて来た。今回は、ワカサギ解禁直後から入荷してきたすべてのロットごとに原料ワカサギの放射性Csの検査を行ってきた。そのデータが4年間分蓄積したので、霞ヶ浦のCs汚染の進行状況を考察することとした。しかし、ここで

使用したデータは、水産加工業者が加工食品の製造課程での品質管理上測定したもので、調査研究を前提にしたデータではなく、年毎に捕獲量が異なり、魚体の取り扱い上の配慮も十分ではない可能性はある。そのような制約があるが、これほどの点数の調査データは現場の状況を推察するうえで貴重なデータと判断し報告する。

## 2. ワカサギの捕獲地点

今回ワカサギの検査データを提供してくれた業者に所属している漁業者が、漁場としている地域をFig.1に示した。

少し判別しにくいのが、霞ヶ浦の中央付近で、牛渡沖といわれ

\*Corresponding author: 名誉教授, (連絡先住所) 〒 790-0905 愛媛県松山市樽味四丁目 15-19, E-mail: wakimoto-tadaaki@nifty.com



Fig.1 霞ヶ浦の地図

る水域である。トロール漁法であるが、あまり広い範囲をトロールすることはないとのことである。この水域を見ると、湖に流入する河川からは離れた水域になっている。土浦や石岡に近づくると汚染が高くなる可能性があるかもしれない。

霞ヶ浦は、わが国第2の大きさを持つ湖で、かつては海とつながっていたが現在は水門で閉ざされ、アユ、ウナギなど海と交流する魚種は減少し、同時に湖水の汚濁も進行して最近では水産資源の減少が危惧されている。

### 3. 捕獲年月日と捕獲回数

ワカサギ捕獲期間は年によって異なるが、主に捕獲している時期は7月に集中している。捕獲水域は買い取り業者が抱えて

表1 2012年に捕獲されたワカサギ生鮮魚の測定結果 (Bq/kg) (捕獲水域は牛渡沖)

月日	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs	検出限界	測定機種
6/14	21.7	30.7	42.3	3.6	EMF211
6/14	18.0	24.1	42.1	3.7	EMF211
6/27	17.1	26.5	43.5	3.7	EMF211
7/9	12.6	17.1	29.6	4.0	EMF211
7/9	14.1	17.7	31.8	3.9	EMF211
7/21	-	-	26.1	12.2	FD-08Cs100
7/21	-	-	26.2	12.3	FD-08Cs100
7/21	-	-	18.1	12.5	FD-08Cs100
7/21	-	-	24.5	12.2	FD-08Cs100
7/21	-	-	22.5	12.4	FD-08Cs100
7/21	-	-	20.9	12.5	FD-08Cs100
7/21	-	-	15.1	12.6	FD-08Cs100
7/21	-	-	22.5	12.3	FD-08Cs100
7/21	-	-	23.3	12.5	FD-08Cs100
7/21	-	-	26.8	12.4	FD-08Cs100
7/21	-	-	23.1	12.6	FD-08Cs100
平均値	16.7	23.2	27.4		

いる漁業者の操業水域と推測され、今回のデータは牛渡沖で捕獲されたワカサギのものと考えられる。

ワカサギが入荷すると、入荷した生鮮魚を無作為に採取し、直ちに放射能検査を行う。個体の中で「フッコ」と呼ばれる2年ものは除去している。捕獲日数と測定件数は、同日に数件の漁業者から報告されたものである。特に7月は操業が集中するので入荷量が多くなっている(表1～4を参照)。

捕獲されたワカサギは、茨城県水産試験場の調査では、7月の時期で年によって異なるが4.4～5.9 cmで、12月頃まで成長し9～10 cmまでになる。体重は、7月の時点で0.9～2.3 gとやや小さいが12月頃には6.3～10.6 gまで成長する。

### 4. Cs 測定方法

厚生労働省「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」及び文部科学省(IT) シンチレーションスペクトロメーター機

表2 2013年に捕獲されたワカサギ生鮮魚の測定結果 (Bq/kg) (捕獲水域は牛渡沖)

月日	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs	検出限界	測定機種
6/26	11.5	23.7	35.2	3.3	EMF211
6/26	8.4	17.5	25.9	3.1	EMF211
6/26	10.7	24.1	34.8	3.1	EMF211
7/8	12.2	24.7	36.8	3.2	EMF211
7/22	-	-	44.6	17.7	FD-08Cs100
7/22	-	-	46.0	17.5	FD-08Cs100
7/22	-	-	49.3	17.7	FD-08Cs100
7/22	-	-	43.8	17.7	FD-08Cs100
7/22	-	-	42.0	17.6	FD-08Cs100
7/22	-	-	31.3	17.5	FD-08Cs100
7/22	-	-	43.2	17.4	FD-08Cs100
7/22	-	-	37.4	17.1	FD-08Cs100
7/22	-	-	36.4	17.7	FD-08Cs100
7/25	-	-	47.0	17.6	FD-08Cs100
7/25	-	-	38.0	17.6	FD-08Cs100
7/25	-	-	38.8	17.5	FD-08Cs100
7/25	-	-	45.0	17.5	FD-08Cs100
7/25	-	-	42.3	17.5	FD-08Cs100
7/25	-	-	34.6	17.5	FD-08Cs100
7/25	-	-	41.7	17.5	FD-08Cs100
7/25	-	-	39.0	17.5	FD-08Cs100
7/27	-	-	37.0	17.7	FD-08Cs100
7/27	-	-	40.7	17.8	FD-08Cs100
8/8	-	-	29.3	20.3	FD-08Cs100
9/3	-	-	45.5	20.8	FD-08Cs100
11/18	-	-	27.1	4.6	FD-08Cs100
平均値	10.7	22.5	39.0		

器分析法」に従って分析した。

用いた測定機器は、①Na (TI) シンチレーションスペクトロメーター (EMFジャパン株式会社EMF211γスペクトロメータ)、②CsI (TI) シンチレーションスペクトロメータ (株式会社テクノエクス社製FD-08Cs100γ線スペクトロメータ) である。前者は<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csを分別測定できるが、後者は<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの合計量として表示される。測定機関 (IRIS放射能検査サービス) の説明では、測定値に大きな差はないとのことであったので、経年変化を見る時は両方の数値を使用した。

測定機器の検出限界は、①のEMF211で試料900g使用の場合4.6 Bq/kg、②のFD-08Cs100では試料100gの場合17.5 Bq/kgであった。今回の測定データの中で[ND]はこの検出限界値以下を示す。

## 5. 放射性Cs (<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs) の魚体内中濃度の経年変化

### (1) <sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs の合計濃度について

Fig.2の<sup>134</sup>Cs+<sup>137</sup>Cs濃度の経年変化を見ると、2013年にピークが最大になり、以後漸減している。ワカサギの捕獲水域がほぼ決まっているためか、測定値のばらつきは小さかった。表2からわかるように、各ロットいずれも高めである。特にどれかが高いのではなく、一様に高いことから、この年は、霞ヶ浦に流入する河川に山間地から雨期に洗い流されて水中濃度が高くなっていったのではないかと。その後、水中成分に付着して底質に沈降することで水中濃度が下がり、魚体中濃度が低下したものと考えられる。本報告では取り上げなかったが、シラウオ、エ

表3 2014年に捕獲されたワカサギ生鮮魚の測定結果 (Bq/kg) (捕獲水域は牛渡沖)

月日	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs	検出限界	測定機種
7/15	6.9	23.0	29.9	4.7	EMF211
7/22	-	-	17.9	7.0	FD-08Cs100
7/22	-	-	24.0	7.0	FD-08Cs100
7/22	-	-	20.6	7.0	FD-08Cs100
7/22	-	-	24.4	7.0	FD-08Cs100
7/22	-	-	25.8	7.1	FD-08Cs100
7/22	-	-	22.9	7.0	FD-08Cs100
7/22	-	-	23.8	7.0	FD-08Cs100
7/22	-	-	23.0	7.0	FD-08Cs100
7/25	-	-	18.2	7.0	FD-08Cs100
7/26	-	-	17.7	7.0	FD-08Cs100
8/4	-	-	20.7	7.2	FD-08Cs100
8/7	-	-	23.3	7.2	FD-08Cs100
8/8	-	-	18.7	7.2	FD-08Cs100
12/4	-	-	22.0	14.8	FD-08Cs100
平均値			22.2		

ビについてみると底生生物(エビ)のCs値が高い<sup>2)</sup>。このことから水中のCsは迅速に底質に沈降し次第に底質中の粘土質に吸着され、底質中に生息する底生生物に移行蓄積すると考えられる。

初期の推定では、陸地に散布された放射性物質は雨や雪等で河川を通じて次第に霞ヶ浦に集積すると考えていたが、2015年以降のワカサギにNDの個体が増加していることを確認したことから、予想に反して、陸域からの流入は現状では減少していると推測した。霞ヶ浦湖が閉鎖系の湖であり、現状の汚染傾向から判断すると河川経由での放射性Csの流入は少ないと推定できる。2014、2015年の傾向から、今後さらに濃度が低減するには<sup>137</sup>Csの減衰に依存せざるを得ない。底質に蓄積した<sup>137</sup>Csがゆっくり底生生物に取り込まれ、その底生生物を通してワカサギに移行すると予想されるため、ワカサギのCs低減には時間がかかるだろう。

### (2) <sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs の各濃度の経年変化

Fig.3に<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの経年変化を示した。このグラフは表1～4のEMF211測定値を各年度ごとに平均した値で作成したものである。2014年は1点しかなく<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの詳細は不明である。<sup>134</sup>Cs濃度の4年間の減少率は約73%であるのに対して<sup>137</sup>Cs濃度のそれは約23%である。<sup>134</sup>Csは明らかに低下し

表4 2015年に捕獲されたワカサギ生鮮魚の測定結果 (Bq/kg) (捕獲水域は牛渡沖)

月日	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs	検出限界	測定機種
6/26	ND	14.4	14.4	4.6	EMF211
7/9	5.0	19.7	24.7	2.9	EMF211
7/9	5.4	20.7	26.1	2.9	EMF211
7/21	5.2	17.0	22.2	4.6	EMF211
7/21	5.0	16.5	21.5	4.6	EMF211
7/21	3.8	17.9	21.6	4.6	EMF211
7/21	4.3	17.1	21.3	4.6	EMF211
7/21	ND	16.5	16.5	4.6	EMF211
7/21	ND	14.4	14.4	4.6	EMF211
7/21	4.7	15.1	19.8	4.6	EMF211
7/21	5.2	20.1	25.3	4.6	EMF211
7/21	ND	17.8	17.8	4.6	EMF211
7/21	4.7	19.5	24.2	4.6	EMF211
7/21	ND	16.6	16.6	4.6	EMF211
7/21	4.8	17.8	22.7	4.6	EMF211
7/21	ND	19.7	19.7	4.6	EMF211
7/21	5.1	18.5	23.6	4.6	EMF211
7/25	ND	17.3	17.3	4.6	EMF211
11/2	-	-	14.4	11.2	FD-08Cs100
平均値	4.9	17.6	20.0		

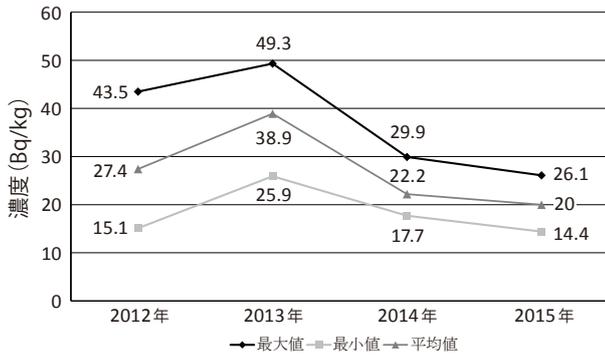


Fig.2  $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$  の魚体内中濃度の経年変化

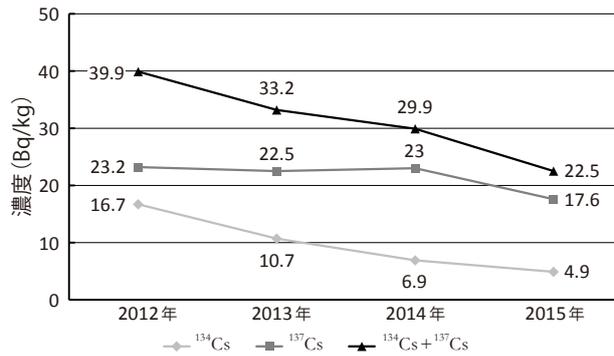


Fig.3  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化

ているが、 $^{137}\text{Cs}$  はほとんど変化がないことがわかる。 $^{134}\text{Cs}$  および  $^{137}\text{Cs}$  の半減期はそれぞれ約 2 年および 30 年なので、4 年間の放射能の減衰率はそれぞれ約 75% および 9% と推測される。実測値と比較すると、 $^{134}\text{Cs}$  では予測値と一致しているが、 $^{137}\text{Cs}$  では予測値よりも大きな減衰が観測されている。Fig.2 と Fig.3 から判断すると、今後放射性 Cs 濃度値は 20 Bq/kg のレベルでしばらく持続していくと予想される。Cs 濃度値が 20 Bq/kg レベルを維持できれば、清水ボイル方法で約 70% の効率で放射性 Cs を除去できるとすると佃煮等加工食品中の Cs 値を 10 Bq/kg 以下に維持することが可能である。

## 6. おわりに

以上、製造業者（株式会社出羽屋）から提供されたワカサギの Cs 測定データをもとに、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  のワカサギ体内中における経年変化を整理した。

現状では閉鎖系の霞ヶ浦湖は、周辺山林から大小 50 本ほどの河川が流入しているといわれている。福島第一原子力発電所事故で大気中に放出された放射性物質、ここではとくに Cs について、湖に生息するワカサギへの影響を懸念して 2012 年よりこれまで 4 年間観察してきた。2011 年時には、筆者等が霞ヶ浦で試験的に捕獲したナマズが  $^{134}\text{Cs}$  で 60.0 Bq/kg、 $^{137}\text{Cs}$  で 82.0 Bq/kg と 50 ~ 100 Bq/kg の汚染が検出されたので、霞ヶ浦での水産業は当分の間操業は不可能であろうと予測していた。しかし、今回 2012 年～2015 年のワカサギの Cs の経年変化を見てみると予想外に汚染の上昇がなく、周辺からの大き

な流入の可能性も認められなかった。ただ、今回の漁獲水域が湖の V 字形の先端に位置し、下流域に近いことも汚染の低い一つの要因かもしれない。もっと上流域の沿岸では、局所的には高濃度汚染域があるかもしれない。そのためには、当湖の水産加工業者は、面倒でも常時原料の水産物（魚介類）の放射能濃度を検査することが必要であると考え。あと 25 年たてば  $^{137}\text{Cs}$  が半減期になるので、そこまでは慎重に対応する必要がある。

霞ヶ浦中心部では今回の調査からかなり低濃度にあることを予測できるので、現状の操業方法を維持できれば当面利用可能であるといえよう。

## 謝 辞

今回膨大な検査データを提供していただいた株式会社出羽屋の関係者皆様に心より感謝申し上げます。

また、このデータ制作に関与してくださった茨城県水産試験場の水産物理利用加工部長の岡本 成司氏、茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所長 太田 牧人氏のご協力に心より感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 脇本忠明, 戸田弘美, 西野英二, 戸田廣, 薄井征記: ワカサギの釜茹でによる放射性セシウムの除去効果. 環境放射能汚染学会誌, **1**, 31-34 (2013).
- 2) 株式会社出羽屋関係者から入手した未発表データ.

2016 年 5 月 12 日受付

2016 年 6 月 30 日受理

和 文 要 約

著者らは、2012年から2015年に霞ヶ浦のワカサギを捕獲し、体内のセシウム濃度を観察した。放射性セシウムによる汚染は、2011年3月11日に発生したが、今回の調査結果から、霞ヶ浦では2013年に高くなり、2014年、2015年には減少していた。しかし、減少傾向は緩やかで、汚染は長期化すると思われる。 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ を比較すると、前者は急速に減少するが、後者は半減期が長いので5年間ではほとんど減少していない。今回の調査水域は、霞ヶ浦の中央部のため現在の規制基準値から考えると問題はないが、現在の汚染の状態は将来長期に続くと考えられる。

