

令和元年6月15日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07830

研究課題名(和文) 魚類における放射性セシウム蓄積機構の解明：食物網仮説の検証

研究課題名(英文) Study of accumulation mechanism of radiocesium in fish: testing of the food web hypothesis

研究代表者

高井 則之 (TAKAI, Noriyuki)

日本大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：00350033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：放射性セシウム(Cs)が食物網を介して魚類に摂取される機構を明らかにするため、福島県桜原湖の放射性Cs濃度分析と、湖内で高濃度の放射性Csが検出されている魚類2種の生息地調査及び食物源分析を実施した。一年を通じてウグイは水深25mまでの幅広い水深帯を利用する傾向にあったのに対し、コクチバスは水深10m以浅の浅場に留まる傾向にあった。ウグイは幅広い水深帯で底生動物を摂餌することにより、湖底や流入河川の高濃度の放射性Csを摂取したと考えられる。これに対し、コクチバスは浅場で底生動物や小魚を摂餌することにより放射性Csを摂取したと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島県の湖沼に生息する底生性魚類では、原子力発電所事故により上昇した放射性Cs濃度が低減しにくい傾向にあることが報告されている。本研究では、問題となっている底生性魚類の典型として雑食性のウグイと肉食性のコクチバスに焦点を当て、濃度低下が遅滞する原因を分析した。その結果、両種について底生食物網からCsが供給される経路を示唆することができた。本研究の成果は、福島周辺の水圏環境における今後の放射能汚染対策を講じる上で有益な基盤情報になるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：The radiocesium concentrations of substances from Lake Hibara, Fukushima Prefecture, and the habitat use and the food source for radiocesium-enriched fish species inhabiting the lake were analyzed, in order to clarify the mechanism of radiocesium uptake by fish through the food web. Japanese dace *Tribolodon hakonensis* utilized a wide range of depth zones up to 25 m deep throughout a year, while the year-round habitat of smallmouth bass *Micropterus dolomieu* was the shallow zone of <10 m deep. The dace had likely taken up radiocesium concentrated on the floor of the lake and the streams flowing into the lake, through feeding on benthic animals at various depth zones. By contrast, the bass had likely taken up radiocesium through preying on benthic animals and small fish at the shallow zone.

研究分野：生態学

キーワード：生態系 食物網 放射性セシウム 桜原湖 福島 ウグイ コクチバス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年3月の福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性セシウム(Cs)が放出されて多くの魚類の体内に蓄積し、わが国の水産食品の安全性を脅かしている。事故直後から実施されてきた多くのモニタリング調査の結果、魚類のCs濃度は海域・湖沼とも沖合遊泳性の種で速やかに低下していたのに対し、底生性魚類の濃度低下は遅滞していたことが明らかとなった^{1,2)}。底生性魚類のCs濃度が低下しにくい原因については、海や湖の底に沈積したCsが食物網を介して魚類に摂取されるためであるとする仮説が有力である³⁾。魚類は餌生物を介して多くの放射性物質を摂取すること⁴⁾、および海や湖の堆積物に高濃度のCsが沈積していることを考慮すると⁵⁾、底生性魚類のCs濃度が低下しにくい要因を底生食物網からのCs供給に帰する仮説は合理的であると考えられる。

そこで研究代表者は、陸水域における放射性物質の蓄積に関する日本大学総合研究プロジェクトの一環として、福島県桧原湖の食物網構造を炭素・窒素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$)に基づいて解析し、Csモニタリング調査の結果と比較して食物網仮説の妥当性を検討した。原発の約90km西方に位置する桧原湖でも、沖合遊泳性のワカサギでCs濃度が速やかに低下し、沿岸性のウグイやコクチバスで濃度低下が遅滞する傾向が認められている。研究代表者の分析結果では、ワカサギの安定同位体比分布はウグイ等の同位体比分布と著しく異なっており、帰属する食物網が種間で異なっていることが示唆された。この結果から、ワカサギと沿岸性魚類のCs濃度の差異は、帰属食物網の差異に起因している可能性が高いと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、放射性Csが食物網を介して魚類に摂取される機構を解明するため、桧原湖の沿岸性雑食魚であるウグイと沿岸性肉食魚であるコクチバスについて、生息地利用特性と主要な食物源、および食物源のCs濃度分布を調べ、魚類のCs濃度の上昇要因となる食物源を推定した。過年度のプロジェクト成果では、魚類の生息地利用特性に関する情報が不足しており、沿岸性魚類にCsを供給する食物網経路の明確な推定はできなかった。本研究では、超音波テレメトリーによる行動探査を導入し、生息場所を明確にした上で食物網仮説を検討した。

3. 研究の方法

桧原湖に生息するウグイとコクチバスについて、生息地利用特性と主要な食物源、および食物源のCs濃度分布を調べた。生息地利用特性を明らかにするため、超音波テレメトリー調査と水温環境観測調査を実施した。また、食物源を明らかにするため、安定同位体比分析と胃内容物分析を実施した。一般に、湖の生物生産や魚類の生息場所選択には、水温成層構造の季節変化が決定的な影響を及ぼす。そこで本研究では、生息場所の環境項目の中でも特に水温環境を重視し、水温鉛直プロファイルを把握するための観測調査を実施した。

4. 研究成果

福島県桧原湖に流入する河川の河床堆積物、落ち葉、表面土、および湖内堆積物について放射性Cs濃度を分析した結果、落ち葉や河床堆積物では ^{137}Cs 濃度が減少傾向にあるのに対し、表面土では増加傾向にあることが示唆された。2014年に高濃度であったリターが土に変わり、表面土の濃度が上昇したと考えられる。河川の増水時には懸濁物質の ^{137}Cs 濃度が顕著に高い値を示しており、降雨時に表面土や落ち葉から高濃度の微小粒子が流出している可能性が示唆された。一方、湖内堆積物の ^{137}Cs 濃度は、水深が深くなるほど有意に増加する傾向にあることが示された。湖内堆積物の ^{137}Cs 濃度は、2016年にピークに達した後、若干減少する傾向にあった。

超音波テレメトリー実験の結果、計9尾のウグイと計5尾のコクチバスから有効なデータを得ることができた。ウグイは放流地点から湖内全域に離散しており、結氷期と産卵遡上期を除くと一年を通じて水深5–25mの幅広い水深帯を遊泳する傾向にあった。湖内最深部の異なる水深帯に水温データロガーを設置し水温鉛直プロファイルの周年変化を観測した結果、夏季に発達していた水温成層は秋季に崩壊し、冬の結氷期に逆列成層が形成された後、晩春から水温成層が発達し始めることが示された。ウグイはこうした水温環境の中で幅広い水深帯を遊泳していたため、経験水温の個体差は比較的大きかった。これに対し、コクチバスは一年を通じて水深10m以浅の浅場に留まる傾向にあり、経験水温の個体差は小さかった。ウグイとコクチバスでは、放射性Csを摂取した水深帯と水温環境が大きく異なっていた可能性が考えられる。

食物源の推定のため、ウグイ、コクチバス、動物プランクトン、および底生無脊椎動物の安定同位体比を分析した。ウグイの分析値から同位体比の濃縮率を減ずることにより過去の餌生物の値を推定した結果、その値は動物プランクトンの分析値と乖離する傾向にあり、水生昆虫など底生無脊椎動物の分析値と重なる傾向にあった。ウグイは、こうした底生動物の摂餌を介して湖底や流入河川の高濃度の放射性Csを取り込んだ可能性が示唆された。一方、コクチバスの分析値から過去の餌生物の値を推定した結果、その値はコクチバスの胃内から検出された小魚、スジエビ、および水生昆虫の分析値の中間的な値を示した。コクチバスは、湖岸に近い浅場でこうした餌生物を複合的に摂餌することにより放射性Csを取り込んだ可能性が高い。

引用文献 1) Wada *et al.* (2016) Radiological impact of the nuclear power plant accident on freshwater fish in Fukushima: an overview of monitoring results. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 144–155/ 2) Wada *et al.* (2013) Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 246–254/ 3) Buessler (2012) Fishing for answers off Fukushima. *Science* 338, 480–482/ 4) Hewett and Jefferies (1978) The accumulation of radioactive caesium from food by the plaice (*Pleuronectes platessa*) and the brown trout (*Salmo trutta*) *J. Fish Biol.* 13, 143–153/ 5) Otsuka and Kobayashi (2013) Sedimentation and remobilization of radiocesium in the coastal area of Ibaraki, 70 km south of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *Environ. Monit. Assess.* 185, 5419–5433/

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

①Morishita, D., Wada, T., Noda, T., Tomiya, A., Enomoto, M., Sato, T., Suzuki, S., Kawata, G. Spatial and seasonal variations of radiocesium concentrations in an algae-grazing annual fish, ayu *Plecoglossus altivelis* collected from Fukushima Prefecture in 2014. *Fisheries Science*, Vol. 85 (3), 2019, 561–569, 査読有

DOI: 10.1007/s12562-018-1280-8

②Konoplev, A.V., Wakiyama, Y., Wada, T., Golosov, V.N., Nanba, K., Takase, T. Radiocesium in Ponds in the Near Zone of Fukushima Dai-ichi NPP. *Water Resources*, Vol. 45, 2018, 589–597, 査読有
DOI: 10.1134/S0097807818040139

③鷹崎和義・和田敏裕・森下大悟・佐藤利幸・佐久間徹・鈴木俊二・川田暁・福島県内の阿武隈川水系における外来魚チャネルキャットフィッシュの分布、サイズ組成、および成熟状況・水産増殖, 66巻, 2018, 41–51, 査読有

DOI: 10.11233/aquaculturesci.66.41

④ Wakiyama, Y., Konoplev, A., Wada, T., Takase, T., Byrnes, I., Carradine, M., Nanba, K. Behavior of ^{137}Cs in ponds in the vicinity of the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 178–179, 2017, 367–376
DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.07.017

〔学会発表〕（計19件）

- ① 藤田優志・須田真人・古田悠真・渡邊憲司・兼子伸吾・難波謙二・和田敏裕．福島県におけるニホンウナギの放射性セシウム濃度．平成31年度日本水産学会春季大会，2019年3月29日，東京海洋大学（東京都港区）
- ② 和田敏裕・アレクセイコノブレフ・脇山義史・渡邊憲司・古田悠真・森下大悟・川田暁・難波謙二．福島県における海水魚と淡水魚の放射性セシウム汚染状況の違い．平成31年度日本水産学会春季大会，2019年3月28日，東京海洋大学（東京都港区）
- ③ 高木大介・小里諒弥・手塚公裕・高井則之．桧原湖とその流域における放射性セシウムの平面分布と動態．平成30年度土木学会東北支部技術研究発表会，2019年3月2日，東北大学（宮城県仙台市）
- ④ 和田敏裕・アレクセイコノブレフ・脇山義史・渡邊憲司・難波謙二．福島第一原発近傍の貯水池に生息する淡水魚の放射性セシウム濃度．平成30年度日本水産学会秋季大会，2018年9月17日，広島大学（広島県東広島市）
- ⑤ 古田悠真・和田敏裕・難波謙二・佐藤利幸・川田 暁．福島県北部の布川流域におけるヤマメとイワナの放射性セシウム濃度の差異とその要因の検討．平成30年度日本水産学会秋季大会，2018年9月17日，広島大学（広島県東広島市）
- ⑥ 鷹崎和義・富谷敦・和田敏裕・中久保泰起・寺本 航・佐藤利幸・佐々木恵一・早乙女忠弘・川田 暁・藤田恒雄．福島県の湖沼に生息するウグイの ^{137}Cs 濃度の生まれ年による差異．平成30年度日本水産学会秋季大会，2018年9月17日，広島大学（広島県東広島市）
- ⑦ 鷹崎和義・富谷敦・和田敏裕・中久保泰起・佐藤利幸・佐々木恵一・川田暁・松本育夫．福島県の湖沼に生息するウグイの年齢と ^{137}Cs 濃度の関係．平成30年度日本水産学会春季大会，2018年3月28日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑧ 寺本航・佐々木恵一・稲富直彦・野村浩貴・渡邊幸彦・和田敏裕・難波謙二・佐藤太津真．体サイズの異なったウグイにおける放射性Csの取込および排出．平成30年度日本水産学会春季大会，2018年3月28日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑨ 古田悠真・和田敏裕・難波謙二・森下大悟・川田暁．福島県におけるヤマメ、イワナの放射性セシウム濃度と食性．平成30年度日本水産学会春季大会，2018年3月28日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑩ 中久保泰起・森下大悟・和田敏裕・鷹崎和義・佐藤利幸・川田暁・松本育夫．避難指示区域におけるヤマメの ^{137}Cs 濃度の経年変化．平成30年度日本水産学会春季大会，2018年3月28日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑪ 高井則之・川口陽輔・吉崎亮博・鷹崎和義・川田暁・和田敏裕・手塚公裕．福島県桧原湖におけるウグイとコクチバスの生息地利用．平成30年度日本水産学会春季大会，2018年3月27日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑫ 鈴木雄也・手塚公裕・高井則之．桧原湖流域における放射性セシウムの経年変化と動態．平成29年度土木学会東北支部技術研究発表会，2018年3月3日，日本大学（福島県郡山市）

- ⑬古田悠真・森下大悟・川田暁・難波謙二・和田敏裕．福島県におけるヤマメ，イワナの放射性セシウム濃度～原発事故6年目の現状と課題～．平成29年度日本水産学会東北支部大会．2017年10月29日，福島大学（福島県福島市）
- ⑭鷹崎和義・和田敏裕・富谷敦・中久保泰起・佐藤利幸・川田暁・松本育夫．福島県の湖沼におけるウグイの¹³⁷Cs濃度．平成29年度日本水産学会東北支部大会，2017年10月29日，福島大学（福島県福島市）
- ⑮中久保泰起・森下大悟・和田敏裕・佐藤利幸・川田暁・松本育夫．ヤマメ人工種苗のサイズによる¹³⁷Cs蓄積の違い．平成29年度日本水産学会東北支部大会，2017年10月29日，福島大学（福島県福島市）
- ⑯寺本航・佐々木恵一・稲富直彦・野村浩貴・渡邊幸彦・和田敏裕・難波謙二・佐藤太津真．飼育環境下のウグイにおける放射性セシウムの取込および排出．平成29年度日本水産学会東北支部大会，2017年10月29日，福島大学（福島県福島市）
- ⑰Wada, T. Effects of the nuclear power plant accident on marine and freshwater fishes in Fukushima. 日本水産学会創立85周年記念シンポジウム，2017年9月22日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑱和田敏裕・佐藤利幸・森下大悟・鷹崎和義・泉茂彦・鈴木俊二・川田暁．平成29年度日本水産学会春季大会シンポジウム「福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響：これまでとこれから」，2017年3月26日，東京海洋大学（東京都港区）
- ⑲粕谷直生・手塚公裕・高井則之．桧原湖流域における放射性セシウムの経年変化．平成28年度土木学会東北支部技術研究発表会，2017年3月4日，東北工業大学（宮城県仙台市）

〔図書〕（計4件）

- ①和田敏裕・佐藤利幸・森下大悟・鷹崎和義・泉茂彦・鈴木俊二・川田暁．海洋出版株式会社．内水面魚類におけるモニタリング調査．月刊海洋Vol.50 No.1「福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響（上）」（2018年，pp.6）
- ②鷹崎和義・富谷敦・和田敏裕・森下大悟・佐藤利幸・鈴木俊二・川田暁．海洋出版株式会社．湖沼に生息する魚類における放射能関連調査．月刊海洋Vol.50 No.1「福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響（上）」（2018年，pp.7）
- ③森下大悟・和田敏裕・鷹崎和義・佐藤利幸・川田暁・鈴木俊二．海洋出版株式会社．河川に棲息する魚類における放射能汚染の現状．月刊海洋Vol.50 No.1「福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響（上）」（2018年，pp.9）
- ④寺本航・新関晃司・佐々木恵一・稲富直彦・野村浩貴・渡邊幸彦・和田敏裕・難波謙二・泉茂彦．海洋出版株式会社．淡水魚における放射性セシウムの取込と排出．月刊海洋Vol.50 No.2「福島の淡水域における放射能汚染と魚類に及ぼす影響（下）」（2018年，pp.6）

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：手塚 公裕

ローマ字氏名：TEZUKA, Masahiro

所属研究機関名：日本大学

部局名：工学部

職名：講師

研究者番号（8桁）：60624575

研究分担者氏名：和田 敏裕

ローマ字氏名：WADA, Toshihiro

所属研究機関名：福島大学

部局名：環境放射能研究所

職名：准教授

研究者番号（8桁）：90505562

研究分担者氏名：桑江 朝比呂

ローマ字氏名：KUWAE, Tomohiro

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

部局名：港湾空港技術研究所

職名：グループ長

研究者番号（8桁）：40359229

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：川田 暁

ローマ字氏名：KAWATA, Gyo

研究協力者氏名：鷹崎 和義

ローマ字氏名：TAKASAKI, Kazuyoshi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。