

福島第一原子力発電所事故による 赤城大沼の水圏生態系における 放射性セシウム汚染に関する研究

Study of Radiocesium Pollution in the Aquatic Ecosystem of Lake Onuma Following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident

角田欣一^{a)}、森 勝伸^{b)}、相澤省一^{c)}、鈴木究真^{d)}、渡辺 峻^{e)}、
新井 肇^{f)}、久下敏宏^{g)}、野原精一^{h)}、長尾誠也ⁱ⁾、岡田往子^{j)}、
薬袋佳孝^{k)}

1. 緒言

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災を原因とする福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が環境中に放出された。とくに人工放射性核種である放射性セシウム (Cs-134, Cs-137) は、大気輸送沈着シミュレーションおよび航空機モニタリング調査結果から、東日本の陸地に高濃度で沈着していることが明らかとなり、群馬県においてもほぼ全域で放射性 Cs の沈着が確認された。そのため、群馬県では食の安全性確保の観点から原発事故直後より農畜水産物の放射性 Cs 濃度の測定を開始した。当初、水産物については、ほとんどが検出限界値以下で暫定規制値 (500 Bq/kg) を超える検体は確認されなかったが、2011 年の 8～9 月に、赤城大沼 (赤城山山頂部のカルデラ湖) において、ワカサギ (*Hypomesus*

a) 群馬大学大学院理工学府

b) 群馬大学大学院理工学府 (現在、高知大学大学院理工学専攻)

c) 群馬大学大学院理工学府

d) 群馬県水産試験場

e) 群馬県水産試験場

f) 群馬県水産試験場

g) 群馬県水産試験場 (現在、久下水産技術士事務所)

h) (独) 国立環境研究所

i) 金沢大学環日本海域環境研究センター

j) 東京都市大学工学部原子力研究所

k) 武蔵大学人文学部

nipponensis)、ウグイ、イワナなどの魚類に暫定基準値以上の放射性 Cs の汚染が観測された。この赤城大沼の魚類の汚染は、同程度の放射性 Cs の降下があったと考えられる他県の湖沼や県内の利根川水系の湖沼などと比較しても特異的に高く、さらに汚染の遷延が観測された。この汚染の遷延は、当時は赤城大沼のみに見られた現象であった。また、赤城大沼のワカサギ漁は群馬県の貴重な観光資源であり、行政としてもその汚染対策は必要とされた。そのため、筆者らは赤城大沼の放射性 Cs 汚染問題を科学的に解明する必要があると考え、複数の組織からなる研究チームを組織し、長年にわたり研究を行ってきた。筆者らは、幸いにも付録の表に記すように多くの外部研究資金の支援を受け、また付録に示す研究成果を公表してきた。本稿では、この研究活動を、表 1 に示すように 4 つのフェーズに分け、フェーズごとに振り返る。

表 1 赤城大沼研究の経緯

フェーズ	期間	出来事	主な課題
0 期	2011 年 3 月～ 2012 年 3 月	東日本大震災による福島第一原子力発電所事故（2011 年 3 月）による赤城大沼における深刻な放射性 Cs 汚染の発生と外部研究資金申請の準備	汚染状況の把握と研究体制・研究方法の確立
I 期	2012 年 4 月～ 2015 年 8 月	外部研究資金による組織的研究の開始とワカサギの出荷自粛要請の解除（2015 年 9 月）	赤城大沼の水圏生態系における放射性 Cs の動態解明と除染シナリオの作成
II 期	2015 年 9 月～ 2021 年 3 月	外部研究資金による組織的研究の継続と終了	赤城大沼の水圏生態系における放射性 Cs の動態解明、特に放射性 Cs 濃度の下げ止まり現象の原因究明
III 期	2021 年 4 月～ 現在	組織的研究体制の縮小と研究およびモニタリング調査の継続	放射性 Cs 濃度の下げ止まり現象の原因究明および汚染の成り行き（fate）研究

2. 赤城大沼の概況について

赤城大沼は、群馬県前橋市富士見町に位置する赤城山山頂部のカルデラ内火口

原に形成された半円型の火口原湖である（図1）。湖水面標高は1,345 m、湖水面積 0.87 km^2 、集水域面積 4.185 km^2 である。通常は冬季の12月中旬に完全結氷し、春季の4月中に解氷する。また、2回の成層期（冬、夏）と2回の全循環期（春、秋）を有する。集水域は非常に急傾斜で、降水および雪解け水は速やかに湖に流入すると考えられる。主な流入河川は覚満淵を水源とする覚満川であり、湖岸にはいくつかの湧水が確認される。湖水の流出は、利根川水系の沼尾川と昭和31年に完成した農業用水路の赤城大沼用水のみである。赤城大沼に生息する魚類は放流によるものが主で、ワカサギ、ウグイ、オイカワ、コイ、イwana、ヨシノボリ、ヌマチチブなどが確認されている。秋季から冬季にかけてワカサギ釣りが盛んで、とくに冬季の氷上穴釣りが有名である。また、湖畔には武蔵学園の赤城青山寮も位置するなど、一帯の美しい自然により、年間を通した保養・観光地となっている。なお、福島第一原子力発電所とは直線距離で約190 km 離れている。

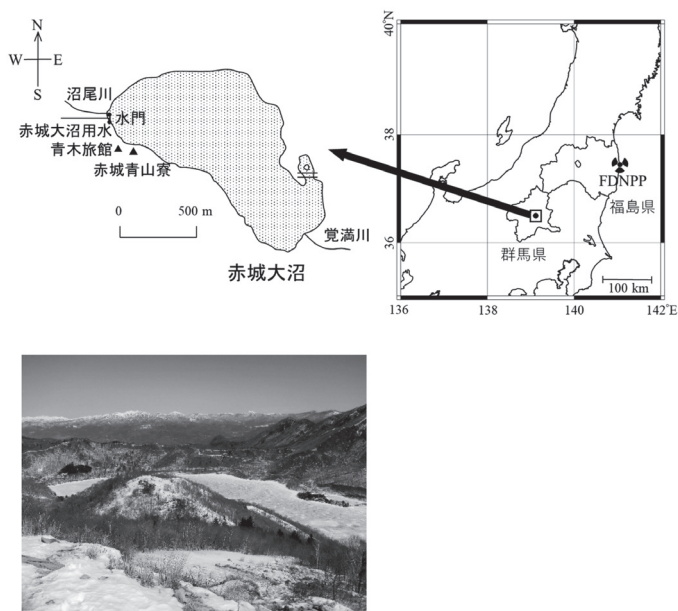


図1 赤城大沼の位置と写真

3. フェーズ0期（準備期間）（2011年3月～2012年3月）

緒言でも述べたとおり、群馬県においてもほぼ全域で福島第一原子力発電所事故による放射性Csの沈着が確認された。放射化学の専門家である武蔵大学の薬袋は、9月に学会で会った旧知の群馬大学の相澤に、「放射性物質の拡散挙動を明らかにするには群馬県域の調査が不可欠」とコメントした。それを受けて相澤は、群馬大学工学部（当時）のアイソトープ実験施設で休止状態にあった γ 線スペクトロメーターを再稼働すべく、施設に保管してあった陸奥鉄（大戦中に沈没した戦艦陸奥の高純度で低バックグラウンドの鉄材）と伝わっていた鉄ブロックを用いて遮蔽体をつくるなど装置の整備を行うとともに、学習院大学の村松康行教授から放射性Cs（Cs-134及びCs-137）の土壤標準試料を借用し、土壤試料中の両核種の定量を可能とした。そして群馬県域の土壤の汚染状況の調査を開始した。そのような折、赤城大沼の重大な放射能汚染が顕在化したが、それを新聞報道などで知った相澤は、その科学的解明の必要性を認識し、同僚の角田、森と相談した。3名は、12年度の環境省環境研究総合推進費への応募を企図したが、水圏生態系に関しては素人であったため、共同研究者を求め群馬県に働きかけた。その結果、鈴木らの群馬県水産試験場（群水試）のグループが既に魚類の汚染モニタリングに着手していることを知り、共同で応募することとなった。さらに薬袋にも参加を求め3機関共同で応募した。この申請は幸いにも採択されたが、その審査過程で審査員から湖沼学の専門家の参加が望ましい旨の助言があった。この助言に従い適任者を探したところ、（独）国立環境研究所の野原の参加が得られた。

一方、この期間は研究方法の確立という観点からも重要であった。特に、鈴木らの群水試の研究グループが、金沢大学の長尾の指導のもと、リンモリブデン酸アンモニウム（AMP）による沈殿分離法を用いて湖水などの水試料中の放射性Cs濃度の測定法を確立したことは、その後の研究の基礎となった。水試料中の放射性Cs濃度は、魚類試料や土壤試料に比べ極めて低いため低バックグラウンドの γ 線測定が必要であり、測定可能な機関も限られる。それを可能にしたのは金沢大学の長尾、さらには東京都市大学の岡田であった。長尾と岡田は、環境総

福島第一原子力発電所事故による赤城大沼の水圏生態系における放射性セシウム汚染に関する研究 角田 欣一

合推進費による研究プロジェクトに研究分担者としては参加しなかったものの、一貫して研究チームの重要なメンバーとなった。このようにして研究チームが完成した。

さらに、この時期の特筆すべき事項として、NHK（現場責任者：安田達一郎プロデューサー）の協力のもとに、2011年12月9日から12日にかけて、相澤、森ら（群馬大学）と鈴木、久下ら（群馬大）が行った調査研究があげられる。本調査では、ダイバーによる赤城大沼・小沼の湖底堆積物の採取、湖水、周辺土壌、生物試料の採取などが行われ、赤城大沼生態系の汚染状況の初めての総合的な調査となった。その結果の一部は付録の研究成果3および6にまとめられている。

4. フェーズⅠ期（2012年4月～2015年8月）

2012年4月に環境研究総合推進費による研究プロジェクトが正式にスタートし研究も本格化した。その内容は主に以下のようなものである。推進費の研究期間終了後も、付録の表に示すように科研費などの支援を受けながら、基本的に同様の体制で研究を行った。

- (1) 群馬県内の放射性Csによる土壌汚染と湖沼および渡良瀬川水系汚染の実態解明（群馬大学）
- (2) 湖沼および河川生態系における放射性Csの動態解析（群馬県水産試験場）
- (3) 赤城大沼湖沼生態系の物質循環に関する研究（国立環境研究所）
- (4) 放射性Cs汚染の将来予測（武蔵大学）

共同研究は、当初は様々に行われていたが、その後、ワカサギ漁解禁直前の8月末と結氷期の3月末に、全員一泊二日で意見交換と総合調査を行うことが恒例となった。また、この機会を利用して地元説明会を開催した。その他の必要な調査は、各研究グループが必要に応じて個別に連絡を取り合い協力して行った。こうした活動は、赤城青山寮に隣接し、赤城大沼漁業協同組合の青木泰孝組合長が経営する青木旅館を拠点として行われた。図2に、研究グループメンバーの集合写真を含む研究活動の写真のいくつかを示す。



図2 研究活動の写真（左上）研究チームの集合写真（青木旅館にて）（右上）地元説明会（説明者 薬袋）（左下）氷上での湖底堆積物の採取（右下）船上からの採水

こうした調査・研究において、特に社会的要請の高いワカサギ中の放射性Cs濃度の測定は、群水試により高い密度でなされた。その結果を図3a)に示す（付録の研究成果14に以降のデータを追加）。図からわかるように、ワカサギ中の放射性Cs濃度は、測定を開始した2011年8月から2012年9月頃（経過日数、約570日）までは急速に減少した。しかし、事故の当年度の1シーズン（2011年度）は採捕自粛要請によりワカサギ釣りは事実上できなかった。一方、それ以降は漸減傾向となった。そのため、次年度以降も食品基準値である100 Bq/kgを超え、出荷自粛要請（ワカサギの持ち帰り自粛）がなされた。この自粛要請は釣り客の減少を引き起こし、地元関係者は大きな経済的被害をうけた。ようやくその基準値を安定的に下回ったとして自粛要請が解除されたのは事故後4年の2015年9月であった（図3a）参照）。

このフェーズにおいて、上記以外でなされた重要な研究として、野原、鈴木らを中心に、旭硝子財団の近藤次郎グラントの支援により行われた除染シナリオの作成に関する実証研究がある。結論として、ゼオライトの係留法が最も現実的な方法として提案された(引用文献1)。この除染法を実行するには至らなかったが、重要な研究成果と考えられる。なお、この実証実験の一部は、赤城青山寮の施設を利用して行われた。施設の利用を許可してくださった武蔵学園に感謝する。

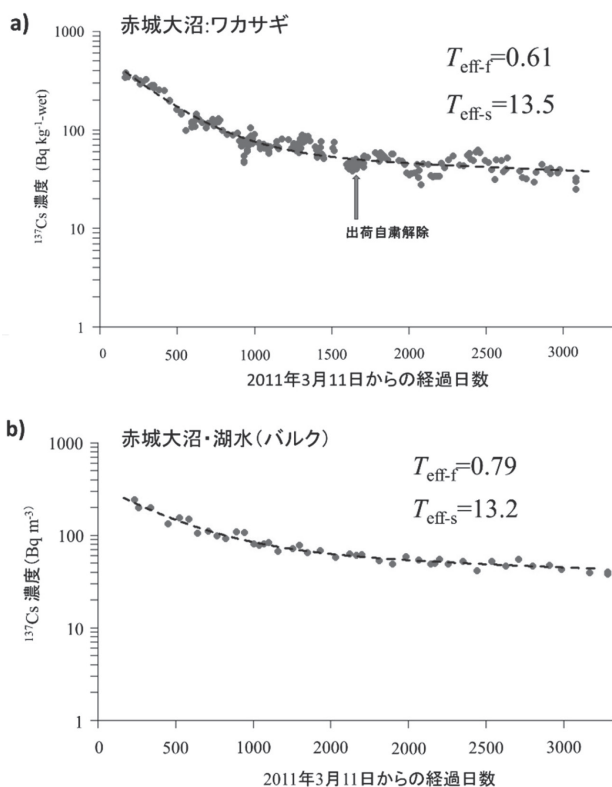


図3 赤城大沼におけるCs-137濃度の推移 a) ワカサギ b) 湖水(全Cs-137)
 $T_{\text{eff-f}}$: 減衰の早い時期(初期)に観測されたCs-137の実効生態学的半減期(単位:年(y))
 $T_{\text{eff-s}}$: 減衰の遅い時期(後期)に観測されたCs-137の実効生態学的半減期(単位:年(y))

5. フェーズⅡ期（2015 年 9 月～2021 年 3 月）

このフェーズでは、研究内容や研究体制に関して前期と大きな違いはないが、社会的問題が一応の解決をみたことにより、研究目的がより学術的に変化した。ここで、これまでに得られた研究成果を概観する。

まず、汚染が遷延した根本原因が赤城大沼の閉鎖性の高さであることが様々なデータから明らかとなった。赤城大沼からの流出河川は沼尾川と赤城用水のみであり、湖水の平均滞留時間は 2.3 年である。一方、汚染がすぐに解消した近隣のダム湖である草木湖と梅田湖の湖水の平均滞留時間は、それぞれ 45 日と 90 日である。また、その後に、他の閉鎖性の高い湖である中禅寺湖（栃木県）や沼沢湖（福島県）などで、魚類の高濃度の放射性 Cs 汚染とその遷延が次々と観測され、赤城大沼における魚類汚染は閉鎖性の高い湖沼の普遍的問題であることが明らかとなった。

図 3a) に示したように、ワカサギ中の放射性 Cs 濃度の減衰は、減衰の早い成分と遅い成分の 2 成分モデルであらわされることが判明した。一方、ワカサギ中の放射性 Cs 濃度と非常に高い相関を示す湖水の放射性 Cs 濃度に関しても、同様の 2 成分モデルであらわされ、下げ止まりの傾向が観測された（図 3b)）（付録の研究成果 14 に以降のデータを追加）。この原因を究明するために、赤城大沼の放射性 Cs（Cs-137）のマスバランスを検討した（表 2）（付録の研究成果 13）。表中（1）はその期間中に沼尾川と赤城用水を通して赤城大沼から流出した放射性 Cs 量、（2）は地下水を通して赤城大沼から流出した放射性 Cs 量、（3）は赤城大沼へ流入した放射性 Cs 量、（4）は赤城大沼の湖水中の放射性 Cs の増減量、であり、これらは種々の実測値から比較的高い信頼性をもって推測可能な値である。これらの値から計算される値（ $(4)-(3)-(2)-(1)$ ）は湖底堆積物と湖水間の放射性 Cs の移行量と考えられる。すなわち、2012 年までは、湖水から湖底堆積物への移行が顕著であるが、2013 年には湖水から湖底堆積物への移行と湖底堆積物から湖水への移行がほぼ拮抗し、2014 年以降は逆に年間約 0.2 GBq の放射性 Cs が湖底堆積物から湖水に移行していることが推定される。この湖底堆積物から湖水への放射性 Cs の移行は、チェリノブイリ事故で汚染した湖沼で報告され

ており、また、今回の福島第一原子力発電所事故で汚染された他の湖沼でも報告されつつある（引用文献2）。その機構を解明することは汚染の将来予測を行う上で重要な課題であるが、不明なことも多く本研究でも大きな研究課題となった。結論から言えば、残念ながら現在でも十分に解明されたとは言えず、現在も研究が継続中であるが、これまでに得られた成果を簡単に紹介する。

表2 赤城大沼における Cs-137 の物質収支（単位：GBq）

期間	赤城用水 から流出 した Cs-137 (1)	地下水に より流出 した Cs-137 (2)	流入した Cs-137 (3)	湖水から湖底へ または湖底から 湖水へ移行した Cs-137 [(4)-(3)-(2)-(1)]	湖水中の Cs-137 の 増減 (4)
2011/11/4- 2012/12/11	-0.599	-0.035	0.032	-0.429	-1.031
2012/12/12- 2013-12/9	-0.245	-0.020	0.027	0.049	-0.189
2013/12/10- 2014/11/21	-0.315	-0.013	0.032	0.179	-0.116
2014/11/22- 2015/11/5	-0.225	-0.012	0.027	0.190	-0.019
2015/11/6- 2016/11/7	-0.305	-0.011	0.036	0.215	-0.064

まず、この課題に重要な情報を提供するのには、森らを中心にして行われた放射性 Cs のスペシエーション分析である。森らは Tessier の逐次抽出法に準拠し、土壌試料など様々な固体試料中の放射性 Cs を溶出しやすい形態（可溶態、F1, F2）から溶出しにくい形態（難溶態、F3, F4, F5）までの5段階のフラクションに分類した（引用文献3）。その結果の一部を図4に示す（付録の研究成果6）。一般に土壌粒子などに吸着した放射性 Cs は、粘土鉱物と強固に結合し溶離することはないとされている。森らの結果からも、周辺土壌や湖底堆積物に含まれる放射性 Cs のほとんどは難溶性であるが、数%の可溶態が含まれていることも示されている。土壌の場合は、たとえ放射性 Cs が溶離しても地下水で浸透する過程ですぐに再び土壌に捕捉される可能性は高いと考えられるが、湖底堆積物の場

合、そのまま湖수에再溶解する可能性も考えられる。一方、動物プランクトン、魚類に含まれる放射性 Cs の多くは可溶態であり、また植物プランクトンにも多くの可溶態が存在する。植物性プランクトンの値には採取時の土壌(湖底堆積物)粒子混入の影響が疑われるため、実際の可溶態の割合は、さらに高いと推定される。これらの結果は、プランクトンに取り込まれた放射性 Cs は湖水中に再溶解して湖内を循環する可能性が高いことを示している。

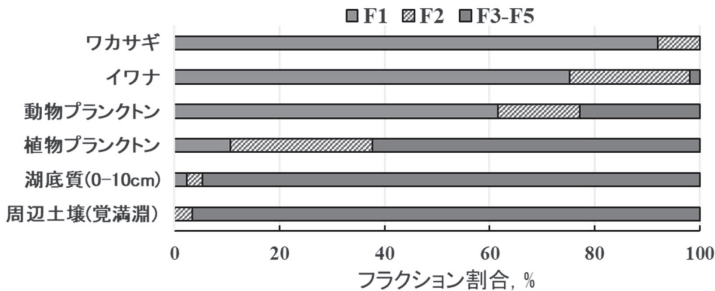


図4 逐次抽出法による魚類(ワカサギ、イワナ)、動物プランクトン、植物プランクトン、湖底質(鉛直0-10 cm)、周辺土壌(覚満淵湖)のスペシエーション。本図で示す試料は2014年度に採取された。

角田らにより行われた放射性 Cs の湖底堆積物と湖水間の分配係数(濃度比)の測定においても、森らと同様の結果が得られている(引用文献4)。すなわち、分配係数そのものの値は、約 10^5 と放射性 Cs 濃度は湖底堆積物の方が湖水に比べて非常に高いが、一方、実験の過程でやはり数%の放射性 Cs が溶離することが確認された。これは、湖水と湖底堆積物の質量比を $10^4:1$ で実験を行っているためである。さらに NH_4^+ 濃度の増加(添加)によりその量が増えることがわかった。夏冬の成層期に、湖底においては有機物の分解により酸素が消費されて無酸素状態となる。そのために嫌気性細菌の活動が活発となり、 NH_4^+ 濃度が増加することが知られている。こうした条件下で、湖底において放射性 Cs の再溶解が進行する可能性が示唆されている(引用文献2)。また、野原は冬期の成層期において、湖底堆積物の間隙水中の放射性 Cs のインベントリーが最大で 25 Bq/

福島第一原子力発電所事故による赤城大沼の水圏生態系における放射性セシウム汚染に関する研究 角田 欣一
m² にもおよび、分配係数から予想される濃度よりも桁違いに高くなると報告している（引用文献 1）。

さらに、岡田らは走査型電子顕微鏡（SEM）、X 線回折（XRD）を用いて湖底堆積物のキャラクタリゼーションを行っている。赤城大沼の底質からは、粘土鉱物が検出されず、植物プランクトンの珪藻の殻の割合が高いことが確認されている（引用文献 4）。

こうした研究結果は、湖底堆積物からの放射性 Cs の再溶解を考えるうえでの基礎的知見と考えられるが、定量的な解析をベースとした詳しい機構の解明は今後の大きな研究課題であり、現在、フェーズⅢ期でそのための研究が進行中である。

一方、筑波大学の末富らの研究グループによる、本研究チームのデータに基づいてなされた湖水中放射性 Cs 濃度のモデル解析の結果も重要な成果と考えられる。彼らは二成分モデルのかわりに「Fraction Diffusion Model」を適用することにより、より正確な将来予測を可能としている（付録の研究成果 19、21）。また、このモデルには事故直後の様相をより正確に推定できる意義もあると考えられる。今後のモニタリング結果との整合性に興味を持たれるところである。

6. フェーズⅢ期（2021 年 4 月以降～現在）

このフェーズにおいては研究グループの縮小を余儀なくされた。その要因は 2 つある。一つは、コロナ禍の影響である。2020 年 3 月以降、コロナ禍のため共同での調査・研究が不可能となった。もう一つは、それと軌を一にするように、一部組織では、担当者の退職、転任により研究継続が不可能になったことである。すなわち、群馬大学（相澤、角田、森）と国立環境研究所（野原）は撤退することになった。一方、群馬大学（鈴木ら）、金沢大学（長尾）、東京都市大学（岡田）は健在であり、現在も群馬大学を中心として研究、モニタリングが進行中である。特に、群馬大学と長尾を中心として湖底堆積物からの放射性 Cs の再溶解機構、中でも、成層期の湖底における NH₄⁺ 濃度の増加の影響についての詳しい研究が進行中である。

7. 結語

福島第一原子力発電所事故から、すでに 13 年経過したが、放射性 Cs 汚染はまだ終わってはいない。赤城大沼に関しても、例えば、イワナなどの魚種に関しては、いまだに出荷自粛要請が解除になっていない。さらに、これまでも紹介したように、湖水の汚染の下げ止まり現象が各地で問題となっている。研究者にとって、現在でも不明なこうした現象の機構を解明し、さらに汚染の成り行き (fate) を最後まで見守ることは重要な研究課題と考えられる。筆者らは、今後ともこうした目的のために、研究組織を変更しつつも赤城大沼での研究を継続する予定である。

謝辞

本研究は付録の表にあげた数多くの研究助成を受けて行われた。赤城大沼漁業協同組合（青木泰孝組合長）および前橋市の協力は研究を遂行する上で大変重要であった。青木旅館、武蔵学園赤城青山寮には大変お世話になった。放射能測定に関して群馬県農業技術センターにもご協力いただいた。群馬大学、東京都市大学、金沢大学の多くの学生諸君の協力がなければこの研究は実行できなかった。群水試の他の多くの職員の協力も研究実施に不可欠であった。さらに、福島水試、栃木水試の方々とは、度々貴重な意見交換を行った。ここに深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 旭硝子財団研究助成成果報告「環境放射能汚染湖沼の除染シナリオの作成に関する実証研究」(2017) (https://system.af-info.jp/research_report/pdf/2017/r-2017-00079.pdf)
- 2) H. Funaki, H. Tsuji, T. Nakanishi, K. Yoshimura, K. Sakuma, S. Hayashi, Remobilisation of radiocaesium from bottom sediments to water column in reservoir in Fukushima, Japan, Sci. Total Environ. 812 (2022) 152534.
- 3) A. Tessier, P.G.C. Campbell, M. Bisson, Sequential extraction procedure for

福島第一原子力発電所事故による赤城大沼の水圏生態系における放射性セシウム汚染に関する研究 角田 欣一

the speciation of particulate trace metals, Anal. Chem., 51 (1979) 844-851.

- 4) 科学研究費補助金成果報告書「赤城大沼における放射性セシウムのスペシエーション分析による動態解明（課題番号 18K04995）」(2021) (<https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-18K04995/18K04995seika.pdf>)

付録

赤城大沼研究における主な外部研究資金

研究種目	実施期間	研究題目	研究担当者	研究協力者
環境省環境研究総合推進費	2012/4/1 ～ 2013/3/31	群馬県に降下した放射性セシウムの動態解析と将来予測	◎角田・相澤・森・板橋・鈴木・田中・泉・松岡・久下・野原・薬袋	小野関・長尾・岡田
旭硝子財団「環境研究—近藤次郎グラント」	2014/4/1 ～ 2017/3/31	環境放射能汚染湖沼の除染シナリオの作成に関する実証研究	◎角田・森・鈴木・野原・薬袋	
科学研究費補助金基盤研究（B）	2014/4/1 ～ 2017/3/31	赤城大沼の水圏生態系における放射性セシウムの動態解明	◎久下・角田・森・野原・岡田・鈴木・小野関	長尾・新井・渡辺・田中・横塚
科学研究費補助金基盤研究（C）	2017/4/1 ～ 2020/3/31	閉鎖性山岳湖沼の放射性セシウム濃度の下げ止まり現象の原因究明	◎新井・久下・角田・森・鈴木・神澤	
科学研究費補助金基盤研究（C）	2018/4/1 ～ 2021/3/31	赤城大沼における放射性セシウムのスペシエーション分析による動態解明	◎岡田・薬袋・長尾・角田・木川田・渡辺・松浦・森	

◎：研究代表者

赤城大沼研究に関する成果

原著論文

1. 角田欣一、相澤省一、森 勝伸、齋藤陽一、小崎大輔、小池優子、阿部隼司、伏見紅季、鈴木究真、久下敏宏、泉 庄太郎、田中英樹、小野関由美、野原精一、薬袋佳孝、長尾誠也、福島第一原子力発電所事故による赤城大沼を中心とする群馬県の放射性セシウム汚染について、第 14 回「環境放射能」研究会、

- Proceedings of the 14th Workshop on Environmental Radioactivity, (2013) pp. 205-213.
2. 角田欣一、相澤省一、森 勝伸、齋藤陽一、小崎大輔、小池優子、阿部隼司、鈴木究真、久下敏宏、泉 庄太郎、田中英樹、小野関由美、野原精一、薬袋佳孝、岡田往子、長尾誠也、福島第一原子力発電所事故による赤城大沼を中心とする群馬県の放射性セシウム汚染について II、第15回「環境放射能」研究会、Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity, (2014) pp.178-185.
 3. Seiya Nagao, Masaki Kanamori, Shinya Ochiai, Kyuma Suzuki, and Masayoshi Yamamoto, Dispersion of Cs-134 and Cs-137 in river waters from Fukushima and Gunma prefectures at nine months after the Fukushima Daiichi NPP accident, Progress in Nuclear Science and Technology, 4 (2014) 9-13.
 4. 鈴木究真、小野関-湯浅由美、渡辺 峻、新井 肇、田中英樹、久下敏宏、角田欣一、相澤省一、森 勝伸、阿部隼司、伊藤結衣子、野原精一、薬袋佳孝、岡田往子、村上公一、今川 峻、長尾誠也、赤城大沼の湖沼生態系における放射性セシウム (^{137}Cs) の動態、第16回「環境放射能」研究会、Proceedings of the 16th Workshop on Environmental Radioactivity, (2015) pp. 222-229.
 5. 鈴木 究真、小野関（湯浅）由美、田中 英樹、松岡 栄一、久下 敏宏、角田欣一、相澤 省一、森 勝伸、野原 精一、薬袋 佳孝、岡田 往子、長尾 誠也、ワカサギにおける放射性セシウムの生物学的半減期の推定、日本水産学会、82 (2016) 774-776.
 6. Masanobu Mori, Kin-ichi Tsunoda, Shoichi Aizawa, Yoichi Saito, Yuko Koike, Takahiro Gonda, Shunji Abe, Kyuma Suzuki, Yumi Yuasa, Toshihiro Kuge, Hideki Tanaka, Hajime Arai, Shun Watanabe, Seiichi Nohara, Yoshitaka Minai, Yukiko Okada, Seiya Nagao, Fractionation of radiocesium in soil, sediments, and aquatic organisms in Lake Onuma of Mt. Akagi, Gunma Prefecture using sequential extraction, Science of the Total

- Environment, 575 (2017) 1247-1254.
7. 相澤省一、森 勝伸、小池優子、角田欣一、福島第一原子力発電所事故により赤城大沼一帯に降下した放射性セシウム、分析化学、66 (2017) 270-280.
 8. 相澤省一、角田欣一、福島第一原子力発電所事故により放出された放射性セシウムの群馬県域での分布、分析化学、66 (2017) 281-297.
 9. 鈴木 究真、渡辺 峻、小野関 (湯浅) 由美、新井 肇、田中英樹、久下 敏宏、角田 欣一、森 勝伸、野原 精一、岡田 往子、薬袋 佳孝、ワカサギ中の放射性セシウム濃度の体重依存性と経年変化、分析化学、66 (2017) 195-200.
 10. 野原精一、鈴木究真、渡辺 峻、湯浅由美、久下敏宏、ダム湖・自然湖沼における放射性セシウムの蓄積量評価、第18回「環境放射能」研究会、Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, (2017) pp.127-132.
 11. 新井 肇、渡辺 峻、湯浅由美、鈴木究真、田中英樹、久下敏宏、森 勝伸、角田欣一、野原精一、岡田往子、薬袋佳孝、長尾誠也、赤城大沼の水圏生態系における放射性セシウム動態、第18回「環境放射能」研究会、Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, (2017) pp.239-245.
 12. 渡辺 峻、鈴木究真、湯浅由美、新井 肇、田中英樹、久下敏宏、角田欣一、森 勝伸、野原精一、薬袋佳孝、岡田往子、長尾誠也、赤城大沼におけるイワナ *Salvelinus leucomaenis* の ¹³⁷Cs 濃度の推移、第19回「環境放射能」研究会、Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity, (2018) pp.122-127.
 13. 鈴木究真、渡辺 峻、湯浅由美、新井 肇、田中英樹、久下敏宏、角田欣一、森 勝伸、野原精一、薬袋佳孝、岡田往子、長尾誠也、赤城大沼を中心として水圏生態系における放射性セシウムの動態、第19回「環境放射能」研究会、Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity, (2018) pp.1-8.
 14. Kyuma Suzuki, Shun Watanabe, Yumi Yuasa, Yasunori Yamashita, Hajime Arai, Hideki Tanaka, Toshihiro Kuge, Masanobu Mori, Kin-ichi Tsunoda, Seiichi Nohara, Yuichi Iwasaki, Yoshitaka Minai, Yukiko Okada, Seiya

- Nagao, Radiocesium dynamics in the aquatic ecosystem of Lake Onuma on Mt. Akagi following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Science of the Total Environment*, 622-623 (2018) 1153-1164.
15. 渡辺 峻、鈴木究真、湯浅由美、新井 肇、田中英樹、久下敏宏、角田欣一、森 勝伸、野原精一、薬袋佳孝、岡田往子、長尾誠也、赤城大沼におけるワカサギの放射性Cs濃度下げ止まり要因の究明に向けて、第20回「環境放射能」研究会、*Proceedings of the 20th Workshop on Environmental Radioactivity*, (2019) pp.122-127.
 16. Yuichi Onda, Seiji Hayashi, Seiya Nagao, Ishii Yumiko, Hideki Tsuji, Keisuke Taniguchi, Kazuya Nishina, Kyuma Suzuki, Shun Watanabe, Gerhard Pröhl, Patric Boyer, Garcia-Sanchez Laurent, *Catchments and Rivers, Environmental Transfer of Radionuclides in Japan Following the Accident at the Fukushima Daichi Nuclear Power Plant. IAEA-TECDOC-1927*, (2020) pp. 179-227.
 17. Shun Watanabe, Kyuma Suzuki, Kin-Ichi Tsunoda, Masanobu Mori, Seiichi Nohara, Yukiko Okada, Seiya Nagao, *The Dynamics of Radiocesium in the Lake Onuma Ecosystem, Mt. Akagi*, In “Impacts of Fukushima Nuclear Accident on Freshwater Environments” ed. by Seiya Nagao, (2021) pp.199-226.
 18. Kyuma Suzuki, Shun Watanabe, Kin-ichi Tsunoda, Seiichi Nohara, Yukiko Okada, *Body Size Effect of Radiocesium Concentrations in Wakasagi (*Hypomesus nipponensis*)*, In “Impacts of Fukushima Nuclear Accident on Freshwater Environments” ed. by Seiya Nagao, (2021) pp. 151-168
 19. Eiichi Suetomi, Yuko Hatano, Masakiyo Fujita, Yukiko Okada, Kyuma Suzuki, Shun Watanabe, *Long-term prediction of ¹³⁷Cs in Lake Onuma on Mt. Akagi after the Fukushima accident using fractional diffusion model*, *Scientific Reports*, 11 (2021) 20336.
 20. Kyuma Suzuki, Shun Watanabe, Hideki Tanaka, Masanobu Mori, Kin-ichi

福島第一原子力発電所事故による赤城大沼の水圏生態系における放射性セシウム汚染に関する研究 角田 欣一

Tsunoda, Radiocesium concentrations in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) between 2011 and 2012 after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Analytical Sciences, 38 (2022) 207-214.

21. Kentaro Akasaki, Taisei Semba, Eiichi Suetomi, Yukiko Okada, Kyuma Suzuki, Shun Watanabe, Yuko Hatano, Modeling of Temporal and Vertical Changes in ^{137}Cs Concentration in Lake Onuma, Radiation Protection Dosimetry, 198 (2022) 1170-1174.

解説・総説

22. 鈴木究真、角田欣一、福島第一原子力発電所事故による水環境の放射能汚染湖沼環境への影響と課題－群馬県・赤城大沼－、水環境学会誌、36（2013）87-90.
23. 鈴木究真、福島第一原発事故による汚染が湖の魚類に与えた影響、環境 Eco 選書「放射線と生き物」北陸館（2023）pp.155-175.

