

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K00655

研究課題名(和文)放射能汚染による渓流性水生昆虫への生理的影響及びそれに伴う群集変化の解明

研究課題名(英文)Effect of radiocesium on physiology of stream aquatic insects

研究代表者

吉村 真由美(Mayumi, Yoshimura)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・チーム長

研究者番号：40353916

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)：

湖への流入河川(空間線量率が高い)や近隣河川(空間線量率が高い)に存在する落葉・藻類・砂・水生昆虫より、湖からの流出河川(空間線量率が低い)に存在する落葉・藻類・砂・水生昆虫のほうが放射性セシウム濃度が高くなった。また、湖からの流出河川(空間線量率が低い)では、砂や水生昆虫の一部の放射性セシウム濃度が上昇した。

空間線量率が低いほど、放射性セシウムの生態学的半減期は長く、藻類から水生昆虫への移行係数も高くなった。また、生態学的半減期は分類群によって異なっており、砂の中にもぐるタイプの水生昆虫では長くなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間線量率の低い場所では、様々な環境変動の影響が相対的に大きくなるため、放射性セシウムの量が単純に減少しないのであろう。また、流域内の汚染された砂・落葉等が継続的に渓流にもたらされる結果、渓流内の放射性セシウム濃度が下がらず、生態系から排泄されにくくなっていると考えられる。これらの成果は淡水生物の放射能汚染対策に利用できる。しかし、渓流生態系における放射性セシウム汚染の動態の一端を明らかにしただけで、放射性セシウムが渓流内のどこにどれだけ留まっているのかなど未解明の部分が多い。

研究成果の概要(英文)：

Concentrations of radiocesium of litter, algae, sand, and aquatic insects that exist in the outflow river from the lake (low air dose rate) were higher than those in the inflow river into lake (high air dose rate) and the neighboring rivers (high air dose rate). In the rivers flowing down from the lake (low air dose rate), the concentration of radiocesium was increased in sand and some aquatic insects.

The lower the air dose rate, the longer the ecological half-life of radiocesium and the higher the transfer coefficient from algae to aquatic insects. In addition, the ecological half-life differed depending on the taxon, and the ecological half-life was long for the species of aquatic insects that prefer sandy habitats (borrower).

研究分野：渓流生態学

キーワード：生態学的半減期 水生昆虫・魚 放射性セシウム 渓流・河川 汚染 空間線量率 塩類細胞 福島

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災に伴う大津波によって、福島第一原子力発電所に存在する炉心燃料の冷却機能が失われ、大爆発と共に大量の放射性物質が大気中に放出された。放出量は¹³¹Iで 1.5×10^{17} ベクレル、¹³⁷Csで 1.5×10^{16} ベクレルと推計されている (Ohara et al. 2011)。

事故により放出された放射性物質は湖や河川・溪流とその周辺地域を汚染し、そこに生息している生物にも影響を与えている (Yoshimura & Akama 2014, Yoshimura & Yokoduka 2014)。放出された主要な放射性物質である¹³⁷Csの半減期が30年であるため、放射性物質の拡散による影響は長期間に及ぶと考えられる。溪流生態系では、植物に取り込まれた¹³⁷Csや土壤に吸着した¹³⁷Csが、落葉や土砂となって溪流にもたらされ、食物網を介して高次の栄養段階の生物群に拡散している。

チェルノブイリ事故では今回の福島の事故よりも5~10倍多い放射性物質が放出されたと考えられている。放射性物質は数週間で北半球全体に広がり、多くの森林・河川・湖沼・海洋が汚染された。森林の樹冠に多く沈着した¹³⁷Csは落葉により林床の堆積有機物(リター)へ移行し分解によりさらに土壤へと移行し、一部は植物体に吸収移行した (Linkov et al. 1997)。また、川の洪水によって、事故から数年間は、河原に堆積した¹³⁷Csや⁹⁰Srが川に流れ続けた。一般的に、湖や池の水の出入りは少なく、水生植物は水の底に留まって分解されていくため、湖や池では放射性物質がたまりやすい。事故後5~9年で、湖水の¹³⁷Csや⁹⁰Srの濃度が年々減少したのに対し、堆積物の¹³⁷Csや⁹⁰Srの濃度は年々上昇していった。ペラルーシにあるスビャツコエ湖では、湖水で最大8.7Bq/Lであったが、水生植物は最大で3,700Bq/kg、魚は最大で39,000Bq/kgにも達した。大量の放射性物質の存在によって、魚の生殖器官は異常をきたし、精巣組織の異常成長や精子の減少が起こったが、これらは放射能汚染の進んだ池で頻度が高くなった。甲虫の翅色パターンの変異やショウジョウバエの致死的な変異も汚染の進んだ地域で頻度が高くなった (Yablokov 2009)。チェルノブイリ事故による放射性物質の放出は2,000km離れた欧州にも及び、スイスやスウェーデンの高汚染地区においては、事故後、多くの奇形の異翅類が採集され、ノルウェー山麓の湖では、ブラウントラウトの¹³⁷Cs濃度が事故から1.5年で8,400Bq/kgに達した (Yablokov 2009; Brittainand Gjerseth 2010)。

福島第一原子力発電所の事故により環境に拡散した¹³⁷Csによる人間の被ばく防止は、社会の重大な関心事である。2016年7月時点において、福島県の溪流に生息するヤマメ・イワナや栃木県中禅寺湖に生息するブラウントラウトから、未だに100Bq/kgを超える¹³⁷Csが各地で検出されていた (水産庁 2016)。100Bq/kgを超える魚が検出される湖や溪流では、遊漁が厳しく制限されており、一日も早い魚類等の放射性Cs濃度の低下が望まれている。森林の汚染も深刻であり、今後の汚染状況の推移には高い関心が集まっている。チェルノブイリ周辺は平地地であったため、森林に沈着した¹³⁷Csの大半は同一系内に留まり山火事を除くと流出の危険性は小さいと予想され (IAEA-BIOMASS-1 2002)。降雨による溪流・河川への流出も極めて少ないと結論づけられた。しかし、山地が少なく降水量も少ない欧州に比べ、30度を超す急傾斜地が広く分布し、山地が国土の大部分を占め降水量も多い我が国では、山地からの侵食された土壤や有機物の輸送量は圧倒的に多く、¹³⁷Csの水系への輸送は無視できない。また、近年増加している局所的豪雨により、斜面崩壊・河川増水・溪流への斜面土砂の流入などが至る所で起きており、汚染地域における局所的豪雨の発生によるが頻繁に起こることによる¹³⁷Csのさらなる拡散が懸念される。このような複雑な物質循環系をもつわが国の溪流生態系における¹³⁷Csの分布特性を明らかにし、渓流域に生息する生物の¹³⁷Cs汚染による影響を把握することは、溪流生態系の保全および下流域への¹³⁷Csの影響を理解するうえで重要な事項であり、また、中長期的な汚染の推移予測と対策に有用な情報を与えることができると考える。

2. 研究の目的

渓流域における放射性物質による汚染が、溪流に生息する水生生物にどのように広がっているのかを解明するため、渓流域に生息する水生昆虫の¹³⁷Cs汚染に関する生理的な機能を調べるとともに溪流の放射性物質による汚染度が水生生物群集や環境要因とどのような関係にあるのかを明らかにする。

3. 研究の方法

上流に湖がある河川に生息する水生生物の放射性Cs濃度は、湖の上流にある流入河川に生息している水生生物の放射性Cs濃度より高い可能性があると考えられた。豪雨等の攪乱により、湖にたまっていた放射性Csが大量に流出すると影響がさらに大きくなると考えられた。湖の上流及び下流河川や近隣の河川に存在する土砂・落葉・藻類・水生昆虫などの放射性Cs濃度を調べ、湖の存在によって放射性Csの動態がどのように変化するのか、景観や空間線量率がどのように関わっているのか明らかにした。魚の餌生物の一つである水生昆虫を中心に分類群による

汚染度の違いや汚染度の推移を、今もブラウントラウトの汚染度が高い状態である中禅寺湖の周辺河川において調べた。

放射性 Cs は、同じ 1 価の陽イオンである K イオンとよく似た挙動をとる。ティラピアにおいて、K イオンの排出に寄与している塩類細胞が、放射性 Cs 排出の役割も果たしていることが分かっている。水生昆虫にも塩類細胞を持つ分類群が存在し、水環境の状態によって細胞の個数を変化させている。例えば、酸性度の高い河川に生息することになった昆虫は、塩類細胞の数を増やして、体内の代謝を保っている。そのような水生昆虫は塩類細胞を通じて放射性 Cs の排出も行っている可能性があると考えられた。放射性 Cs による汚染度の高い地域に生息している水生昆虫においては、酸性河川と同じような数の変化がみられる可能性もあると考えられた。水生昆虫が持つ塩類細胞の機能を検証するとともに、水生昆虫の汚染度を測定し、塩類細胞の数との関係を明らかにした。

原発事故により、放射性物質が環境中に放出され、溪流の落ち葉、藻類、砂、底生動物、魚などが放射性 Cs によって汚染された。放射性 Cs は長期にわたって川の生態系に大きな影響を与えるため、川の中における拡散と崩壊のメカニズムを明らかにしておく必要がある。溪流の落ち葉、藻類、砂、底生動物における放射性 Cs 濃度の生態学的半減期と空間線量率との関係を調べた。また、藻類の放射性 Cs 濃度と流速との関係を調べた。

4. 研究成果

大量の放射性物質は東西南部や関東地方を中心に広範囲に広がり、森林・土壌・草地・湖沼・河川など様々な場所を汚染した。私たちの食料にもなる溪流魚の放射性物質による汚染は、溪流魚の主な餌である水生昆虫等による放射性物質のとりこみ、または水環境中に存在する遊離態あるいは物質に吸着している放射性物質のとりこみによってもたらされていると考えられるようになった。

魚の餌生物の一つである水生昆虫を中心に落葉や藻類の汚染度を調べ、分類群による汚染度の違いや汚染度の推移を、中禅寺湖の周辺河川において調べた。流域に湖などの止水域がある河川と止水域がない河川とは汚染様式が異なっていた。中禅寺湖から流れ出る流出河川では、底の砂の放射性 Cs 濃度が上昇傾向を示していた。この河川に生息する水生昆虫の放射性 Cs 濃度も上昇傾向にあり、水生昆虫の上昇傾向は底砂の放射性 Cs 濃度が上昇していることと関係があると考えられた。また、空間線量率の低い流出河川に存在する落葉・藻類・砂・水生昆虫の放射性 Cs 濃度は、空間線量率の高い中禅寺湖に流入する河川や、同じく空間線量率の高い近隣の河川に存在する落葉・藻類・砂・水生昆虫の放射性 Cs 濃度より高い傾向にあった。湖に溜まった放射性 Cs が、少しずつ河川に流れ出ていると考えられた。中禅寺湖の流出河川に生息する水生昆虫の放射性 Cs 濃度は徐々に高くなっていったが、汚染度はグループによって大きく異なっており、代謝様式の違いが水生昆虫の汚染度の違いに影響していると考えられた。

溪流に生息する水生昆虫などの生き物の汚染度は、溪流によって異なっていたが、水生昆虫のグループによっても放射性 Cs 濃度が大きく異なっていたため、代謝様式の違いが水生昆虫の汚染度の違いに影響しているのではないかと考えられた。水生昆虫は浸透圧調節のためのイオン交換を行う塩類細胞をもつものが多いため、このイオン代謝を行う塩類細胞が Cs 排出に関わっているのではないかと考えた。カワゲラ科の多くは捕食者であるが、捕食者の割には放射性 Cs 濃度がそれほど高くないことが分かった。その理由が塩類細胞の機能や数にあるのではないかと考えた。まず、機能を調べるため、放射性 Cs と同じ動きを見せる K の排出を塩類細胞が行っているかどうかをクラカケカワゲラで調べたが、兆候はみられなかった。実験方法の改良が必要と考えられた。次に、放射性 Cs で汚染された地域（川内村）と汚染されていない地域において採集したカミムラカワゲラにおける塩類細胞数を比較したが、細胞数に違いがみられなかった。川内村の汚染の程度では、Cs 排出に際して、細胞数ではなく細胞の機能で対応している可能性があると考えられる。川内村よりも汚染度の高い地域に生息している水生昆虫ならば細胞数に違いが出たかもしれない。塩類細胞の機能面に関するさらなる研究が必要と思われる。

原発事故により、放射性物質が環境中に放出され、溪流の落葉、藻類、砂、底生動物、魚などが放射性 Cs によって汚染された。放射性 Cs は長期にわたって川の生態系に大きな影響を与えるため、川の中における拡散と崩壊のメカニズムを明らかにしておく必要がある。溪流の落葉、藻類、砂、底生動物における放射性 Cs 濃度の生態学的半減期と空間線量率との関係を調べたところ、生態学的半減期は、空間線量率によって異なり、おおむね 1 年から 5 年であることが分かった。空間線量率が低い地域ほど、放射性 Cs 濃度の生態学的半減期は長くなった。藻類から底生動物への移行係数も、空間線量率が低い地域で高くなった。また、生態学的半減期は、分類群によっても異なり、砂の中にもぐるタイプの水生昆虫では長くなることを明らかにした。一方、藻類の放射性 Cs 濃度と流速との関係を調べたところ、空間線量率の高い地域では、流速が大きいほど放射性 Cs 濃度は低くなったが、空間線量率の低い地域では、逆に流速が大きいほど放射性 Cs 濃度が高くなる傾向が認められた。放射性 Cs 濃度は、汚染度が高い地域では指数関数的に減少するが、汚染度が低くなると、流速などの様々な環境要因の影響が顕在化して、単純な減少傾向を示さなくなるのだと考えられる。また、流域内の汚染された砂・落葉等が継続的に溪流にもたらされる結果、溪流内の放射性 Cs 濃度が下がらず、生態系から排泄されにくい状態であるとされる。これらの結果は、放射性 Cs による汚染が長く続くことを意味している。汚染

度が低い地域の溪流生態系の放射性 Cs 濃度を理解するには、流速が一つの鍵になることを示唆している。

一連の研究によって、溪流生態系における放射性 Cs 汚染の動態の一端を明らかにした。これらの研究は世界の淡水生物の放射能汚染対策における基礎研究の一つとなると考えている。今後は、生き物の機能面におけるさらなる研究が必要と考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshimura M and Akama A	4. 巻 10
2. 論文標題 Difference of ecological half-life and transfer coefficient in aquatic invertebrates between high and low radiocesium contaminated streams	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21819
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-78844-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 YOSHIMURA Mayumi, AKAMA Akio	4. 巻 75
2. 論文標題 Elevated radioactive contamination from the Fukushima nuclear power plant accident in aquatic biota from a river with a lake in its upper reaches	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	6. 最初と最後の頁 609-620
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1139/cjfas-2016-0333	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mayumi Yoshimura, Akio Akama	4. 巻 12
2. 論文標題 Relationships Between Stomach Contents and Radiocesium Contamination of Fish by Fukushima Radioactive Accident in 2011, in Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Impacts of Fukushima Nuclear Accident on Freshwater Environments, S. Nagao (ed.)	6. 最初と最後の頁 185-196
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 吉村真由美、赤間亮夫
2. 発表標題 福島第一原発事故により汚染された水生生物における放射性セシウム濃度の推移
3. 学会等名 日本陸水学会大会講演要旨集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉村真由美、赤間亮夫
2. 発表標題 福島県の溪流における水生生物の放射性セシウムによる汚染状態の推移
3. 学会等名 日本生態学会大会講演要旨集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mayumi Yoshimura
2. 発表標題 Change of radioactive Cs concentration in freshwater biota impacted by the Fukushima nuclear power plant accident
3. 学会等名 Abstract book of ASLO (The Association for the Sciences of Limnology and Oceanography) Aquatic Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉村真由美
2. 発表標題 福島第一原発事故による水生生物への放射能汚染について
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉村真由美、赤間亮夫
2. 発表標題 放射性セシウムの水生生物への影響
3. 学会等名 日本動物学会第88回富山大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉村真由美、赤間亮夫
2. 発表標題 福島第一原発(FDNPP)事故による放射性セシウム放出の水生生物への影響
3. 学会等名 日本陸水学会第82回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------