

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06140

研究課題名(和文) 落葉ブナ科優占林の林冠から林床への放射性セシウム移行過程と落葉堆肥利用再開予測

研究課題名(英文) Transfer of radiocesium from canopy to forest floor in deciduous oak dominated forests and the prediction of resume of leaf litter origin compost production

研究代表者

大久保 達弘 (Ohkubo, Tatsuhiro)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：10176844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：栃木県北部の放射性セシウム(Cs)の初期沈着量の異なるブナ・イヌブナ林とコナラ林において、大径木を含む樹幹、樹上枝葉への放射性Csの移行過程を明らかにし、それを林床の落葉の放射性Csと比較し、樹体、樹上枝葉から落葉への移行過程を把握した。さらに落葉の腐葉土利用可能性予測を行うために、リター、林床の堆積有機物層(A0)、表層土壌(A)の放射性Csの年次観測を実施した。以上の結果、ブナ類ナラ類樹種大径木の根元部分での放射性Csの侵入遅延、濃縮効果による樹上枝葉の濃度上昇、それによる落葉への放射性Cs濃度の上昇が認められ、その結果として腐葉土利用の可否が決定されることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島原発事故による放射性セシウム(Cs)の降下沈着影響下の奥山ブナ類林と里山ナラ類林の両ブナ科落葉広葉樹優占林では、事故後4-5年の初期段階から準平衡段階または安定段階とよばれる、分布変化が小さい状態に移行していると考えられる。一部大径木では完全に樹体に侵入していないものの放射性Csは森林生態系でほぼ循環過程に入っており、落葉における放射性Csの暫定基準値超えは継続するものと考えられる。森林における落葉堆肥の利用可能の可否は、放射性Csの初期沈着量による予測されるが、放射性Csは循環過程にあるため初期段階の予測より遅延する可能性があり、今後とも放射性Csモニタリングの継続が必要である。

研究成果の概要(英文)：In Japanese beech forests and Konara oak forests in northern Tochigi Prefecture with different initial deposition of radioactive cesium (Cs), we clarified the transfer process of radioactive Cs to tree trunks, including large diameter trees, and overstory branches and leaves, and compared it with radioactive Cs in litter on the forest floor to understand the transfer process from tree trunks and overstory leaves to fallen leaves. In addition, annual observations of radioactive Cs in litter, sedimentary organic matter layer on the forest floor (A0), and surface soil (A) were conducted to predict the availability of leaf compost use. As a result, it was found that delayed penetration of radioactive Cs at the lower zone of large diameter trees of the species, increased concentration of radioactive Cs in overstory branches and leaves due to concentration effect, and consequently increased concentration of radioactive Cs in fallen leaves, which in turn determines the availability for use.

研究分野：森林生態学・育林学

キーワード：放射性Cs移行過程 ブナ林 コナラ林 腐葉土生産 暫定許容値 落葉利用再開予測

1. 研究開始当初の背景

福島原発事故による放射性セシウム(Cs)の降下沈着影響下の奥山ブナ類林と里山ナラ類林の両ブナ科落葉広葉樹優占林では、事故後 4-5 年の初期段階から準平衡段階または安定段階とよばれる、分布変化が小さい状態に移行していると考えられる。その状況下での森林内の主要構成樹種(ブナ類、ナラ類)の枝葉および樹体に注目して放射性 Cs の植物体内への吸収、植物体から着生葉、着生葉から落葉、最終的に林床の堆積有機物層への放射性 Cs の移行過程を評価する。奥山里山の落葉ブナ科広葉樹優占林からの生態系サービスとして現在でも放射性 Cs の暫定許容値「落葉由来腐葉土(400Bq/kg)」が設定され、放射能汚染による利用停止が継続している林床の落葉による“腐葉土”生産とその利用再開の予測に焦点をあてる。また、落葉腐葉土同様に、野生獣肉(シカ)においても暫定規制値が設定されており(100Bq/kg)、ササ(ミヤコザサ)についても樹体内の動態とシカの主たる食害部である葉への移行について明らかにする必要がある。この報告では、特にコナラとササ(ミヤコザサ)における森林における放射性セシウム動態について述べる。

2. 研究の目的

里山の代表的広葉樹林優占種コナラについて、原発事故(2011)からの樹上枝(当年枝、旧年枝)および葉の放射性 Cs 濃度の経年変化を測定し、その変動を明らかにした。またササ(ミヤコザサ)群落については、研究期間中に年一回計三回の地上部、地下茎の掘取り調査を実施し、地下茎から地上茎への移行過程を明らかにした。これらの現地採取調査を通じて、ブナ、イヌブナ、コナラ、ササについて樹体内から枝、生葉、枯死脱落した落葉への一連の放射性 Cs の移行過程を解明することを試みた。また、落ち葉から林床堆積有機物層さらに鉱質土層への移行過程についても明らかにした。

3. 研究の方法

里山広葉樹林のコナラ林において、樹体の異なる部分(樹冠上部および下部)からロープ登攀法により採取した落葉前の生葉、枝(当年枝、旧年枝)を用いて樹体末端の枝から葉への放射性 Cs 移行過程を明らかにした。ササ群落については、特に奥山広葉樹ブナ林の優占種のミヤコザサを対象に地上部と地下部を細部(当年葉、旧年葉(1年、2年以上)、当年根、旧年根)に分解し、放射性 Cs 濃度を測定した。それらの結果を地上のリタートラップで継続採取しているブナ、イヌブナの落葉、地表のササ落葉の放射性 Cs と比較し、ブナ類、ナラ類、ササの生葉から落葉への移行過程を把握する。

コナラの調査地は栃木県那須塩原市田野のアカマツ・コナラ林(以下、関谷)、塩谷郡塩谷町の宇都宮大学農学部附属船生演習林のコナラ林(以下、船生)、那須烏山市大木須のコナラ林(以下、大木須)の3か所である。初期沈着量は関谷で147,399Bq/m²、船生で37,033Bq/m²、大木須で4489Bq/m²である。関谷では2012年から、船生と大木須では2011年から継続して空間線量率、表面線量率、リタートラップを用いた落葉採取、表層土壌の採取が行われてきた。関谷、船生、大木須ではそれぞれ3、15、3個のリタートラップが設置されている。林床堆積有機物層と表層土壌の採取では、表面線量率を測定した場所に斜距離25×25cm²のプロットを作成し採取を行った。プロット内のA₀層を剥ぎ取り、その後表層土壌(以下、A層)を採土円筒を使用し、地表から0~5cm、5~10cmの2つの深さに分けて採取した。落葉採取では、関谷は毎年2回、船生と大木須は落葉時期前(1~9月)と、落葉時期(10~12月)の年2回、リタートラップの内容物を回収した。回収した枝葉を選別し、落葉のみを測定試料とした。放射性セシウムの濃度を測定するため、採取したA₀層、A層、落葉は熱風乾燥器を使用し、80℃下で72時間以上乾燥させた。その後粉砕機で粉砕し、調整したサンプルの放射性セシウム濃度を、オートウェルガンマカウンターを使用して測定した。

ササ調査地は、栃木県塩谷町高原山(標高860~940m)の塩那森林管理署釈迦ヶ岳国有林47林班内林床に設置されている4haの長期観察固定試験地の区画外縁(以下、高原山)とした。

2011年以降毎年7月初旬にミヤコザサ当年葉の開葉後の林床に1 m×1 mの方形区を5か所設定し、ミヤコザサ群落の地上部、地下部を採取した。地上部・地下部を採取した方形区付近に0.25 m×0.25 mの方形区を設定し、採土円筒を用いて堆積有機物層(A₀)層別土壤(0~5, 5~10 cm)を採取した。さらにサーベイメータを用いて空間線量(μSv/h)表面線量(cpm)を測定した。地上部、地下部を部位別・年齢別に切り分けた後、地上部、地下部、A₀層、層別土壤(A層)を乾燥・粉碎を行い、ガンマカウンターで放射性セシウム(¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)濃度を測定した。測定結果から放射性セシウム蓄積量、土壤から植物中への移行係数Tag、ササからシカおよび土壤からシカへの移行係数を算出した。

4. 研究成果

(1) コナラの落葉、A₀層、A層の放射性セシウム濃度の経年変化

関谷と船生における落葉、A₀層、A層(0~5 cm, 5~10 cm)の放射性セシウム濃度の経年変化を図-1に示した。原発事故当時、コナラは落葉していたため、事故直後の放射性セシウム濃度はA₀層が最も高く、時間経過で減少した。関谷では2017年のA層(5~10 cm)と、2019年の落葉(回収後)の2回のみ基準値(400Bq/kg)を下回ったが、堆肥生産に利用するA₀層が基準値を下回ることにはなかった。船生では2014年に落葉(回収後)が、2018年にA層(5~10 cm)が基準値を下回った。またA₀層は2018年に基準値を下回ったが、2019年に再び基準値を上回り、2020年に基準値を下回った

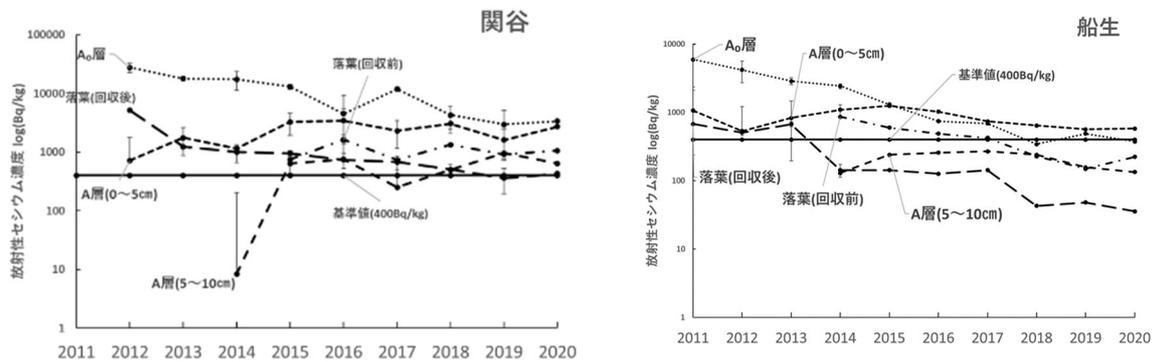


図-1. 関谷、船生における落葉、A₀層、A層の放射性セシウム濃度の経年変化

(2) コナラの落葉の放射性Cs濃度分布と樹上葉との回帰

腐葉土の暫定許容値(400 Bq/kg)と比較すると、関谷が許容値超え、船生と大木須が許容値内であった(図-2)。しかし堆肥化における放射性Cs濃度の濃縮率が3~4倍である可能性(3~6)を考慮すると、船生の落葉濃度が暫定許容値を超える場合があると考えられる。また落葉の

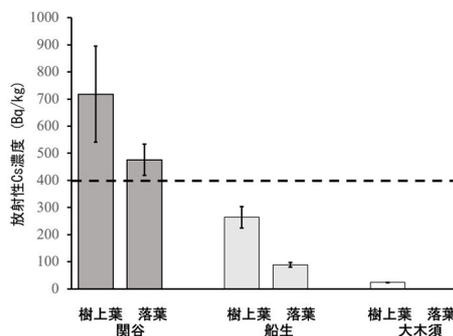


図-2 コナラ樹上葉および落葉の放射性Cs分布

濃度が樹上葉に比べて低かったことから、落下直前の樹上葉から枝への放射性Csの再吸収の可能性が示唆された。落葉と樹上葉との線形回帰分析ではp値が0.05未満、R²は0.7807と有意で当てはまりも良い結果となり、樹上葉の濃度から落葉の濃度推定が可能であると考えられる。

(3) 落葉堆肥生産の利用可能性

大木須におけるA₀層の放射性セシウム濃度は、2014年以降基準値(400Bq/kg)を下回っており、落葉堆肥生産に利用可能であると考えられる。またA₀層が基準値を下回っていない関谷と船生(図-1)は、今までの測定値から近似曲線をひき、図-3に推定結果を示した。関谷では2027年に、船生では2021年にA₀層が落葉堆肥生産に利用できる基準値まで低下すると考えられる。

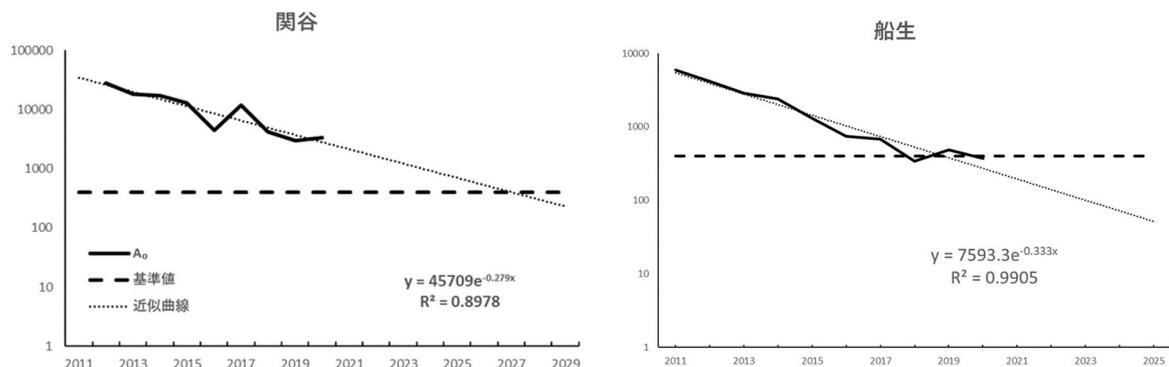


図-3. 関谷、船生のA₀層の放射性セシウム濃度推定

(4) ササ(ミヤコザサ)の放射性セシウム濃度の経年変化

地上部では当年生部位が最も高い値で推移していた(図-4)。これは、2つの原因が考えられる。1つは、一年生以上の部位が枯死脱落し、当年生部位は枯死脱落せずに地上部に残るためである。ミヤコザサは他のササ植物に比べて葉や稈の寿命が短く、毎年地上部を更新する。よって当年生部位の放射性セシウム濃度が高いことが考えられる。2つ目は、葉部位に放射性セシウムが蓄積しやすいためである。モウソウチクでは表面の付着が大きい葉は蒸留水洗浄後も放射性物質が落ちないことや、林冠層を通過した降下物は、ササ葉層に捕捉されることから、葉部位に放射性セシウムが集中して蓄積しやすいことを示唆している。以上から、今後も当年生葉部位が他部位に比べて高い値で推移していくと考えられる。

(5) ササ(ミヤコザサ)の地上部と地下部の放射性セシウム蓄積量の経年変化

放射性セシウム蓄積量が根部位で最も大きい値で推移していた(図-5)。この結果から、経根吸収によって土壌から根部位に放射性セシウムが蓄積している可能性が考えられる。タケは養分の経根吸収が盛んに行われていることから、本研究におけるミヤコザサでも経根吸収が行われていると考えられる。また、地上部より根部位の値が大きかったこと(図-4)から根に吸収されたまま地上部に移行されずに根が頻りに吸収していることを示唆している。今後も経根吸収による放射能汚染を考慮していく必要がある。さらに、地下部が地上部よりも大きい値で推移していた(図-5)。ミヤコザサは毎年地上部を更新し、ミヤコザサの物質生産は地下部分が占める割合が大きい。以上の点から、ミヤコザサは地下部に放射性セシウムを蓄積しやすいことが考えられ、今後も地下部が高い値を維持しながら推移していくものと考察される。

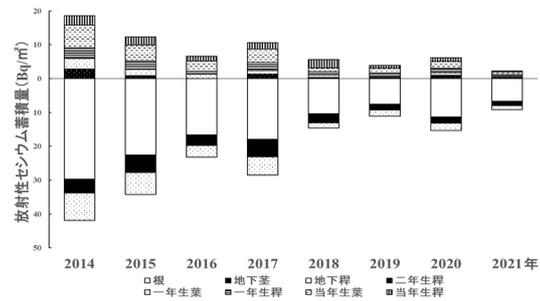
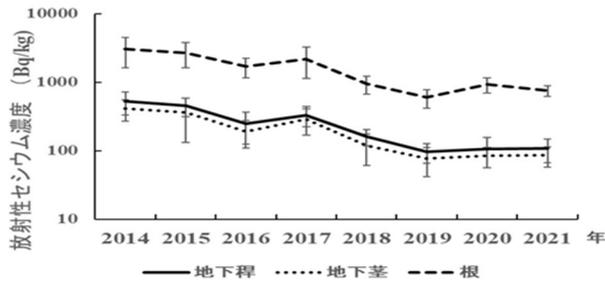


図-4. ササ地上部の放射性セシウム濃度の経年変化 図-5. ササ地上部と地下部の放射性セシウム蓄積量の経年変化

(6) 野生獣肉利用上の安全性評価

表-1 において、どの項目も高原山が奥日光に比べて高い値を示した。シカの放射性セシウム濃度では、高原山は奥日光よりも約 30 km北東に位置し、福島第一原子力発電所により近い。初期沈着量は高原山が奥日光よりも高い値であることから、シカが高い放射性セシウム沈着のササを食していると考察できる。さらに、高原山、奥日光どちらの地点でも暫定許容値である 100 Bq/kg に近い値、あるいはそれ以上の値が検出された。野生獣肉利用上、ヒトへの内部被ばくの可能性が懸念される。今後も継続的なシカの放射性セシウム濃度の測定が必要であると考えられる。

表-1. 高原山と奥日光のシカの放射性セシウム濃度とササからシカへの移行係数および土壌からシカへの移行係数

年	シカの放射性セシウム濃度 (Bq/kg)		ササ→シカ 移行係数		土壌→シカ 移行係数	
	高原山	奥日光	高原山	奥日光	高原山	奥日光
2014	250.00	132.60	4.14	1.31	0.05	0.02
2015	246.67	95.20	5.30	1.08	0.07	0.01
2016	173.33	79.20	5.82	0.74	0.10	0.01
2017	114.75		2.94		0.05	
2018	125.25		9.17		0.07	
2019	103.25		6.92		0.06	
2020	46.50		2.17		0.03	

参考・引用文献

- 濱上百々 (2022) 初期沈着量の異なる栃木県内 3 地域におけるコナラ樹上枝葉からの樹幹・落葉の放射性セシウム濃度推定 宇都宮大学農学部森林科学科卒業論文抄録集 32
- 松本航 (2022) 栃木県における初期沈着量の異なるコナラ林の落葉と表層土壌の事故後 10 年間の放射性セシウム動態 宇都宮大学農学部森林科学科卒業論文抄録集 32
- 西田彩夏 (2022) 栃木県高原山のミヤコザサ群落の放射能セシウム動態。宇都宮大学農学部森林科学科卒業論文抄録集 32

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 大久保達弘	4. 巻 91
2. 論文標題 落葉広葉樹林からの二つの産物のゆくえ しいたけ原木と落葉の汚染実態と利用再開の見通し	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 森林科学	6. 最初と最後の頁 13-15
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 大久保達弘	4. 巻 63(4)
2. 論文標題 日本森林学会と森林の原子力災害	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本原子力学会誌	6. 最初と最後の頁 27-28
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 飯塚和也・大島潤一・逢沢峰昭・大久保達弘・石栗 太・横田信三	4. 巻 56
2. 論文標題 森林・樹木における放射性セシウムの挙動（ ）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 宇大演報	6. 最初と最後の頁 946-959
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Wang Wei、Hanai Yuichi、Takenaka Chisato、Tomioka Rie、Iizuka Kazuya	4. 巻 323
2. 論文標題 Translocation of cesium in the branches of Japanese cedar (<i>Cryptomeria japonica</i>) and Konara oak (<i>Quercus serrata</i>)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 959 ~ 964
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-019-06996-7	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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中島芳・大久保達弘・逢沢峰昭・飯塚和也・深澤瑛一
2. 発表標題 福島原発事故の影響を受けたブナ類大径木の放射性セシウム分布
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会（農工大）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市川貴大・逢沢峰昭・大久保達弘・小林達明
2. 発表標題 除染の有無が分解に伴う落葉中の放射性Cs濃度・量に及ぼす影響
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会（農工大）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保 達弘, 深澤 瑛一, 鈴木 紘子, 逢沢 峰昭, 飯塚 和也
2. 発表標題 栃木県内コナラ林の採取用落葉と表層土壌の放射性セシウムの経年変化
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会（新潟）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市川 貴大, 逢沢 峰昭, 大久保 達弘,
2. 発表標題 栃木県内コナラ林での落葉分解にともなう放射性セシウム濃度および量の変化
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会（新潟）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚 和也, 瀬戸 研祐, 大島 潤一, 宮本 尚子, 逢沢 峰昭, 大久保 達弘
2. 発表標題 異なる林齢のスギ樹幹木部におけるCs-137濃度の分布パターンの共通性
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会 (新潟)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深澤 瑛一, 大久保 達弘, 逢沢 峰昭, 角田 賢亮, 飯塚 和也
2. 発表標題 栃木県北部ブナ林における樹上葉および落葉の放射性セシウムの季節変化
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会 (新潟)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tatsuhiro Ohkubo, Mineaki Aizawa and Kazuya Iizuka
2. 発表標題 Movement of radiocesium as litterfall in deciduous broad leaved forests with special reference to litter origin compost production
3. 学会等名 Proceedings of IUFRO World Congress, Curitiba, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中島芳・大久保達弘・飯塚和也・逢沢峰昭・深澤瑛一
2. 発表標題 福島原発事故の影響を受けた落葉広葉樹大径木における放射性セシウム分布
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会 (山形)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市川貴大・逢沢峰昭・大久保達弘・小林達明
2. 発表標題 落葉堆肥とリターフォール，樹上当年枝における放射性セシウム濃度の関係
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会（山形）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nakajima Kaoru, Fukasawa Eiichi, Aizawa Mineaki, Iizuka Kazuya, Ohkubo Tatsuhiro
2. 発表標題 Radiocesium migration of large-diameter beech trees affected by the Fukushima nuclear accident
3. 学会等名 International Symposium Fukushima 10 years: Forest, River, Ocean, and Food -Remaining issues for restoration- (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Chisato Takenaka, Naoki Hijii, Nobuhiro Kaneko, Tatsuhiro Ohkubo	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 234
3. 書名 Radiocesium Dynamics in a Japanese Forest Ecosystem-Initial Stage of Contamination After the Incident at Fukushima daiichi Nuclear Power Plant	

1. 著者名 Kenji Naba, Alexei Konoplev, Toshihiro Wada Edit.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 510
3. 書名 Behavior of Radionuclides in Environment III Fukushima	

〔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
研究分担者	飯塚 和也 (Iizuka Kazuya) (20344898)	宇都宮大学・農学部・教授 (12201)	
研究分担者	逢沢 峰昭 (Aizawa Mineaki) (70436294)	宇都宮大学・農学部・准教授 (12201)	

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