

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：21401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K24392

研究課題名（和文）森林生態系における食物連鎖を介した放射性セシウムの長期的移行挙動の解明

研究課題名（英文）Long-term transfer behavior of radiocesium through the food chain in forest ecosystems

研究代表者

田中 草太（Tanaka, Sota）

秋田県立大学・生物資源科学部・助教

研究者番号：50847217

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、森林生態系における放射性Csの食物連鎖を介した移行を明らかにするため、食性の異なる節足動物を指標として、放射性Cs濃度を明らかにするとともに、炭素・窒素安定同位体分析を用いて移行経路を調査した。その結果、捕食性のクモが森林生態系における放射性Cs汚染の生物指標として有用であることが示され、食物連鎖を介した放射性Csの移行において、腐食連鎖を介した移行の寄与が大きくなる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物の必須元素であるカリウムと同族元素である放射性Csの一部は、長期的な時間軸で森林生態系の食物連鎖を介して移行・循環していく。この移行・循環過程を捉えたことは、世界的にみても現在の福島県のフィールドでしか得られないデータであり、本研究は学術的に意義の高いものと考えられる。また、本研究により、捕食性のクモが森林生態系における放射性Csの汚染指標となる可能性が示された。このことは、除染が困難な森林生態系を長期的に循環する放射性Csの動態予測を可能とさせ、森林生態系と密接な関連をもつ中山間地域の農林水産業の復興に貢献することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：To clarify the transfer of radioactive Cs through the food chain in forest ecosystems, we determined the concentration of radioactive Cs in arthropods with different feeding habits and investigated transfer pathways using carbon and nitrogen stable isotope analysis. The results indicate that predatory spiders are useful bioindicators of radioactive Cs contamination in forest ecosystems, and suggest that the contribution of transfer through the detritus food chain may be significant in the transfer of radioactive Cs through the food chain.

研究分野：放射生態学、環境放射能

キーワード：放射性セシウム 節足動物 ジョロウグモ 腐食連鎖 生食連鎖

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東京電力福島第一原子力発電所事故から 8 年が経過し、除染等により被災地の復興が進む一方で、福島県域の 7 割以上を占める森林における除染はほとんど進んでおらず、農林畜産業等の生活基盤が長期的な影響を受けている。森林生態系における放射性 Cs は、その多くが土壌表層に集積されて移動性を失う一方で、一部は生物に利用されやすい形態で存在するため、長期的には生物の被食捕食関係である食物連鎖を介して生態系を移動循環していく。このため、放射性 Cs の長期的な動態予測のためには、食物連鎖を介した移行挙動を解明する必要があるが、物理的・化学的プロセスを通じた移行挙動と比較して調査が進んでおらず知見が乏しい状況にあった。これまでに節足動物の栄養段階における放射性 Cs 濃度の経年変化について調査が行われ、捕食性のジョロウグモにおいては放射性 Cs 濃度が経年減少しにくいことが明らかにされている (Tanaka et al., 2016)。捕食性のクモは、陸域と水域が繋がる森林生態系において、生食連鎖と腐食連鎖の双方から餌資源を得るため、彼らへの放射性 Cs の移行経路を理解することは、環境中の放射性 Cs の長期的挙動を評価するために役立つ (Fig.1)。しかしながら、ジョロウグモへの放射性 Cs の移行経路については、明らかにされていない。

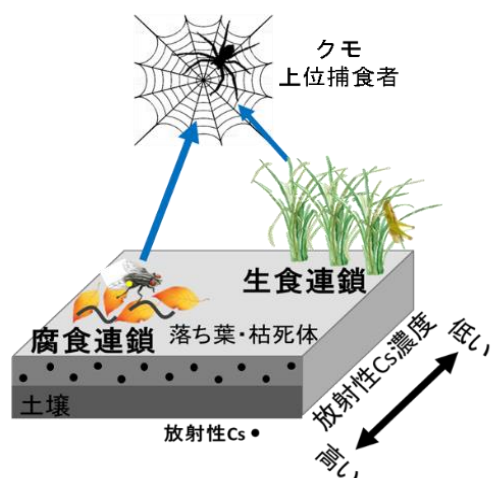


Fig. 1 生食・腐食連鎖を介して上位捕食者へ移行する放射性 Cs の予想

2. 研究の目的

本研究の目的は、節足動物を指標として放射性 Cs の食物連鎖を介した移行を明らかにすることで、森林生態系における放射性セシウムの長期的な動態を解明することである。生態系において総バイオマスが大きく、物質循環において重要な役割を果たしており、かつ年 1 回の世代交代という生態学的特性を持つ節足動物に着目することで、大型動物を含む食物連鎖では困難である同一生態系内での長期的な放射性 Cs の動態解明を可能にする。

3. 研究の方法

(1) ジョロウグモの放射性 Cs 濃度と安定同位体分析

福島第一原発から北西約 11km 地点の中山間地域を調査地とし (Fig. 2)、森林内と河川沿いの異なる生息環境においてジョロウグモを採集した (Fig. 3)。ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによりジョロウグモの Cs-137 濃度を個体レベルで定量した。この値と採集地点の Cs-137 土壌沈着量を用いて、土壌-クモ間の移行を面移行係数 (T_{ag}) として評価した。また、Cs-137 のクモへの移行経路を推定するために、炭素・窒素安定同位体分析を実施してそれぞれの移行経路を推定した。

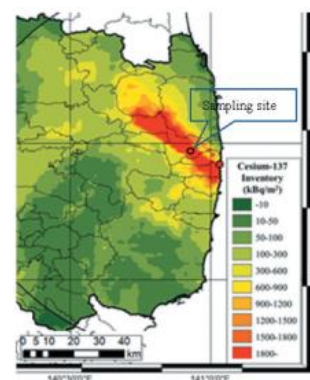


Fig. 2 調査地 (Tanaka et al. 2021)

(2) ジョロウグモの餌資源 (飛翔性昆虫) における放射性 Cs 濃度

ジョロウグモの採集地点に生息する飛翔性昆虫を誘引剤を用いたトラップにより採集した。採集した飛翔性昆虫は分類・同定し、種および科レベルで Cs-137 濃度を定量した。森林内と河川沿いに生息する飛翔性昆虫類の Cs-137 濃度を比較した。

(3) 生食連鎖を介した放射性 Cs の移行評価

生食連鎖を介した放射性 Cs の移行を評価するため、餌資源を生きた植物に依存する植食性のコバネイナゴに着目した調査を実施した。ジョロウグモ採集地点周辺の草地において、コバネイナゴ、土壌、植物 (コバネイナゴの食草) を 2 ヶ年にわたって採集し、Cs-137 濃度を測定し、土壌-食草、食草-イナゴ間の移行係数 (Transfer Factor) を算出した。年度間の比較を行なうことで、事故後約 10 年が経過した時点において、生食連鎖を介した放射性 Cs の移行が定常状態になっているか評価した。



Fig. 3 森林内と河川沿いのジョロウグモ採集地点
緑色が森林内、青色が川沿い (Tanaka et al. 2021)

4. 研究成果

(1) ジョロウグモの放射性 Cs 濃度と安定同位体分析

森林内と河川沿いで採集された 17 個体すべてのジョロウグモから Cs-137 が検出された。したがって、クモを採集した時点である原発事故後 6.5 年後においても Cs-137 は食物連鎖を介して上位捕食者のクモへ移行していることが確認された。生息環境の違いが放射性 Cs の移行と安定同位体比に与える影響を評価するため、森林内と河川沿いで採集された Cs-137 濃度および面移行係数 (T_{ag}) を比較した結果、統計的な有意差は認められなかった (Fig. 4)。一方、炭素・窒素安定同位体比の値は、河川沿いと比較して、森林内で有意に高い値となった (Fig. 5)。これは、森林内と河川沿いに生息するジョロウグモは利用する餌資源が異なることを示唆するものである。安定同位体比が異なった要因は、腐食性の節足動物を捕食した可能性、河川由来の餌資源を捕食した可能性、および C3 と C4 植物の影響が考えられた。また、ジョロウグモの Cs-137 濃度と安定同位体比に相関は認められなかった (Fig. 6)。このことは、捕食性のクモが森林、河川、周辺農地由来の様々な餌資源を利用していることを示すとともに、環境中における放射性 Cs 分布の不均一性を反映することを示唆している。

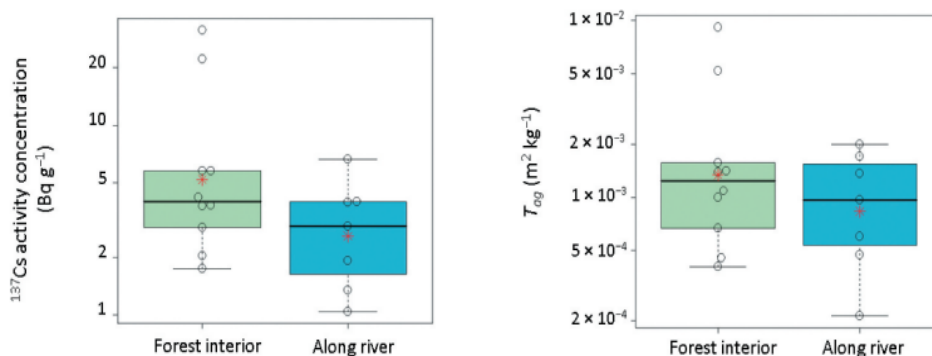


Fig. 4 森林内と河川沿いで採集されたジョロウグモの Cs-137 濃度と移行係数 (T_{ag} 値) 緑色が森林内、青色が河川沿いを示す (Tanaka et al. 2021)。

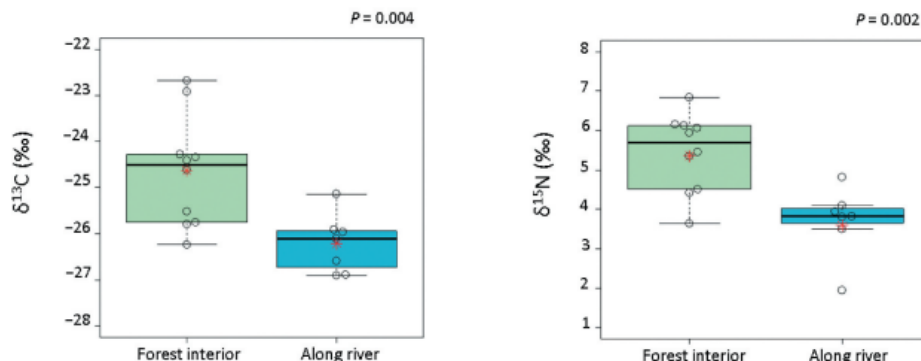


Fig. 5 森林内と河川沿いで採集されたジョロウグモの炭素・窒素安定同位体比 左図が炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$)、右図が窒素安定同位体比 ($\delta^{15}N$) の値、緑色が森林内、青色が河川沿いを示す。(Tanaka et al. 2021)。

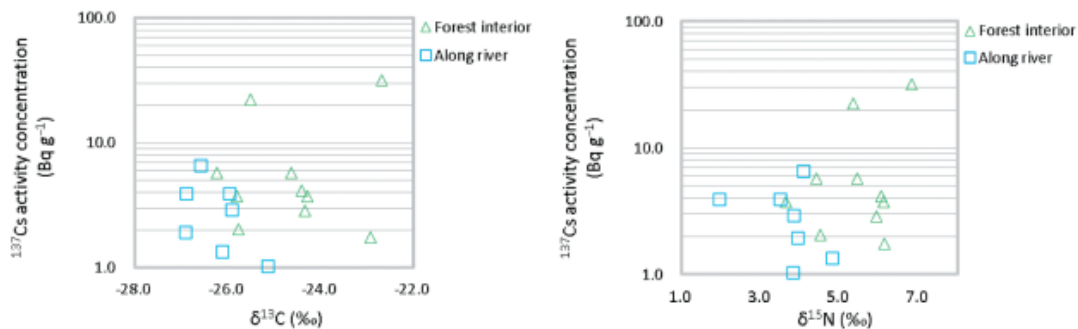


Fig. 6 ジョロウグモの Cs-137 濃度と炭素・窒素安定同位体比との相関 三角形が森林内、四角形が河川沿いで採取されたジョロウグモ (Tanaka et al. 2021)。

(2) ジョロウグモの餌資源（飛翔性昆虫）における放射性 Cs 濃度

ジョロウグモ採集地の森林内と河川沿いに誘引剤を入れたトラップを設置し、飛翔性昆虫を採集して、Cs-137 濃度を測定した。その結果、森林内で採集されたオオスズメバチの Cs-137 濃度が最も高い値を示した (Table 1)。同じ分類群であっても森林内で採集された飛翔性昆虫の方が、河川沿いで採集されたものより Cs-137 濃度が高い傾向にあった。一方、腐食性のクロバエ科からは、森林と河川の両地点から比較的高濃度の Cs-137 が検出された。また、同一地点のトラップで採集された昆虫類であっても、種や科によって検出される濃度が異なった。したがって、それぞれの食性や移動性によって、飛翔性昆虫の Cs-137 濃度は異なる可能性が示唆された。

Table 1 飛翔性昆虫の Cs-137 濃度

誘引剤の種類／トラップ ¹ ／分類群	生物量 (g)	個体数 (頭)	¹³⁷ Cs 濃度 ² (Bq/kg 湿重)	
植物質誘引剤				
M1				
オオスズメバチ	24.5	15	2587	(12)
モンスズメバチ	7.0	9	1934	(23)
キシタバ属	6.5	10	1075	(24)
イエバエ科	1.1	67	1485	(113)
クロバエ科	0.4	13	1666	(274)
M2				
オオスズメバチ	3.2	2	3411	(45)
キシタバ属	1.3	1	758	(101)
イエバエ科	0.0	2	ND	(2423)
M3				
イエバエ科	0.1	4	ND	(1998)
R1				
モンスズメバチ	1.9	3	594	(69)
ニクバエ科	1.0	18	188	(115)
クロバエ科	0.8	47	1869	(163)
イエバエ科	0.5	27	308	(228)
動物質誘引剤				
M1				
ニクバエ科	0.30	4	841	(401)
イエバエ科	0.13	6	1304	(900)
M2				
クロバエ科	11.73	164	597	(15)
クロシデムシ	7.83	4	112	(18)
ヨツボシモンシデムシ	7.23	32	166	(20)
ニクバエ科	0.81	10	296	(150)
イエバエ科	0.43	31	989	(267)
R1				
クロバエ科	71.15	535	512	(9)
クロシデムシ	9.63	4	77	(19)
ニクバエ科	2.76	22	132	(101)
R2				
クロバエ科	10.62	155	717	(16)
ニクバエ科	0.81	12	332	(101)
イエバエ科	0.61	30	205	(204)

M が森林内、R が河川沿いを示す。足達 (2021) より改変。

ND は検出限界未満。かっこ内は各測定値の検出限界値を示す。

(3) 生食連鎖を介した放射性 Cs の移行評価

生食連鎖を介した放射性 Cs の移行を評価するため、調査地に隣接する草地において、植食性のイナゴ、食草（イネ科植物）、土壌の Cs-137 を定量し、移行係数 (Transfer Factor) を算出した。その結果、土壌-食草間の移行係数は、2020 年が 0.0069、2021 年が 0.0061 と 2 年間でほぼ一致していた。この結果は、原発事故から 10 年が経過し、土壌-植物間の放射性 Cs の移行が定常状態に近づいていることを示唆するものである。一方、食草-イナゴ間の移行係数は、2020 年は 0.31 であったのに対し、2021 年では 0.45 と上昇を示した。この要因として、放射性 Cs の不均一分布の可能性が挙げられる。2021 年に採集した土壌の Cs-137 濃度の最大値が他のサンプルと比較して約 3 倍高い値を示しており、サンプリングエリア内に高濃度の土壌が局在していることが示唆された。またこの土壌の直上から採集された食草も濃度が高く、高濃度の土壌から食草への放射性 Cs の移行が確認された。このような高濃度の食草を摂食した放射性 Cs 濃度の高いイナゴがサンプリングされ、結果的に移行係数が上昇した可能性が考えられる。環境中の放射性 Cs 分布の不均一性が生食連鎖を介した放射性 Cs の移行に影響を及ぼすことが示された。

引用文献

Tanaka et al. (2018) *J. Environ. Radioact.* 192:227-232

Tanaka et al. (2021) *J. Nucl. Sci. Technol.* 58.4:507-514

足達 (2021) 東日本大震災からの農業復興支援モデル-東京農業大学 10 年の軌跡-, 第 4 章福島県浜通りの環境史と節足動物を介した放射性物質の移動 pp. 119-139

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tanaka Sota, Kakinuma Hotaru, Adati Taro, Atarashi-Andoh Mariko, Koarashi Jun	4. 巻 58
2. 論文標題 Transfer of ¹³⁷ Cs to web-building spiders, <i>Nephila clavata</i> , and its pathways: a preliminary study using stable carbon and nitrogen isotope analyses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 507 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2021.1894255	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 田中草太、柿沼穂垂、足達太郎、高橋知之、高橋千太郎	4. 巻 2
2. 論文標題 福島原発事故後の飛翔性昆虫における放射性セシウム濃度	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 20th Workshop on Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 179-182
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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田中草太、安藤麻里子、金城和俊、小嵐淳
2. 発表標題 福島原発事故後のミミズにおける放射性セシウムの動態と放射性炭素同位体分析を応用した環境動態調査の可能性
3. 学会等名 日本土壌動物学会第42回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中草太
2. 発表標題 表層性ミミズにおける放射性セシウムの体内分布と生物学的半減期
3. 学会等名 令和元年度野生動物植物への放射線影響調査研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富田響、佐多駿希、足達太郎、田中草太
2. 発表標題 福島第一原発事故後10年後におけるコバネイナゴの放射性セシウム濃度
3. 学会等名 第23回「環境放射能」研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Sota Tanaka, Taro Adati, Tomoyuki Takahashi, Sentaro Takahashi	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 264
3. 書名 Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems Long-Term Study on the Fukushima Nuclear Accident	

〔産業財産権〕

〔その他〕

朝日デジタル[https://www.asahi.com/articles/DA3S15226522.html?iref=pc_photo_gallery_breadcrumb]

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
---------	---------