

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：32658

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K22351

研究課題名（和文）福島の森林林床における放射性物質の残存状況モニタリング手法の構築

研究課題名（英文）Establishment of monitoring methods for the residual status of radioactive materials in the forest floor in Fukushima

研究代表者

足達 太郎（Adati, Taro）

東京農業大学・国際食料情報学部・教授

研究者番号：50385506

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：福島の森林林床や草地に残存している放射性セシウム（Cs）の動態をあきらかにするため、土壌-植物-植食性昆虫を介した移行を3年間にわたり調査した。その結果、コバネイナゴにおけるセシウム137（<sup>137</sup>Cs）濃度と食草からの移行係数には顕著な年次変動がみられた。10m四方の区画で採集されたイナゴの<sup>137</sup>Cs濃度と各区画で測定された空間放射線量率、各区画の近辺で採取された食草の<sup>137</sup>Cs濃度のあいだには、それぞれつよい正の相関がみられた。したがって、コバネイナゴの<sup>137</sup>Cs濃度は採集地周辺の汚染レベルを反映しているとみられ、放射性Csの残存状況をモニタリングする指標として有効であるとかがえられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島森林には、いまなお多量の放射性Csが残存しており、これを人為的に除去することは容易ではない。広大な面積の除染には膨大なコストがかかり、拙速な実施は生態系の破壊をまねくおそれがある。だが、土壌に沈着している放射性Csの分布には濃淡があり、これを正確に把握できれば、除染を加速できる可能性がある。コバネイナゴは汚染地域の森林周辺の草地に生息し、容易に採集することができる。本研究により本種が放射性Csの残存状況を反映する指標としての有効性がしめされたことは、福島復興をすすめるうえで学術的・社会的な意義があるといえよう。

研究成果の概要（英文）：To clarify the actual status of the transfer of radioactive cesium (Cs) remaining in forest floor and grassland in Fukushima, radioactive Cs in soil, plants and the short-winged rice grasshopper, *Oxya yezoensis*, for three years. The results showed significant annual variations in the cesium-137 (<sup>137</sup>Cs) concentration in grasshoppers and the plant-insect transfer factor. There was a strong positive correlation between the concentrations of <sup>137</sup>Cs in grasshoppers collected in 10 m square plots and the spatial radiation dose rates measured in each plot, and the concentrations of <sup>137</sup>Cs in food grasses collected near the plots where grasshoppers were collected. These results suggest that the concentration of <sup>137</sup>Cs in grasshoppers reflects the level of contamination over a relatively narrow range and is a useful indicator for monitoring the status of remaining radioactive Cs.

研究分野：応用昆虫学

キーワード：原発事故 福島 放射性セシウム 生物指標 モニタリング

### 1. 研究開始当初の背景

福島森林には、いまなお多量の放射性セシウム(Cs)が残存しており、これを人為的に除去することは容易ではない。広大な面積の除染には膨大なコストがかかり、拙速な実施は生態系の破壊をまねくおそれがある。ただし、土壌に沈着している放射性Csの分布には濃淡があり、これを正確に把握できれば、森林の再生を加速できる可能性がある。たとえば高濃度の放射性Csが局在する場所を部分的に除染する、あるいは放射性Csがほとんど残存していない場所から優先的に生業活動を再開するといった方策も可能となる。これらを実現するためには、放射性Csの分布をより詳細かつ簡便にモニタリングする技術を開発する必要がある。

### 2. 研究の目的

原発事故により放出された放射性Csは土壌表層に集積し、長期的に保持される。その一部は生物が利用できる形態で存在し、植物などに吸収され、食物連鎖を通じて生態系を長期的に移動・循環する。これまでに、いくつかの節足動物について、食物連鎖による放射性Csの移行が調査されてきた[1-4]。その結果、放射性Csの移行には生物遺体や排泄物を起点とする腐食連鎖の寄与が大きいことが示唆されている[5]。一方、生きた植物を起点とする生食連鎖を通じた放射性Csの移行にかんする報告はあまりない[6]。そこで本研究では、餌資源を生食連鎖に依存する植食性昆虫のコバネイナゴ *Oxya yezoensis* (バッタ目バッタ科イナゴ亜科) に着目し、土壌-植物-植食性昆虫における放射性Csの移行を調査した。あわせて、コバネイナゴを放射性Csの残存状況モニタリングの指標としてもちいることの有効性について検証した。

### 3. 研究の方法

調査は東京電力福島第一原子力発電所から北西 11km に位置する森林にかこまれた草地において、2020~2022年の3か年、各年とも8~9月に実施した(図1)。コバネイナゴは見つけとり法により捕虫網などで採集した。土壌は調査地の四隅と中央部の計5地点から100ml ステンレス円筒をもちいてサンプルを採取した。食草については、各年とも土壌採集地点から半径約20cmの範囲内で、調査地に優占するイネ科植物でイナゴの食草とみられるチカラシバ *Pennisetum alopecuroides* を採集した。

2022年には、より詳細な検証のため、草地内に10m×10mのコドラートを設置し、各区画内でコバネイナゴを採集した(図2)。土壌は6区画からそれぞれ3点のサンプルを採取した(図2の赤丸印)。サンプルはオープンで乾燥後、100ml プラスチック容器(U8容器)に充填し、ゲルマニウム半導体検出器をもちいた線スペクトロメトリーによりセシウム137(<sup>137</sup>Cs)を定量した[6]。各サンプルの測定時間は1200~64800秒とした。

土壌-食草間および食草-イナゴ間の<sup>137</sup>Csの移行を移行係数(Transfer Factor: *TF*)として評価し、それぞれ以下の式で算出した。

$$TF_{\text{soil-plant}} = \frac{\text{食草の } ^{137}\text{Cs 濃度 [Bq/kg dw]}}{\text{土壌の } ^{137}\text{Cs 濃度 [Bq/kg dw]}}$$

$$TF_{\text{plant-insect}} = \frac{\text{コバネイナゴの } ^{137}\text{Cs 濃度 [Bq/kg dw]}}{\text{食草の } ^{137}\text{Cs 濃度 [Bq/kg dw]}}$$

なお土壌-植物間の移行係数( $TF_{\text{soil-plant}}$ )は、5地点の土壌とその直上に生育する植物の<sup>137</sup>Cs濃度から各地点の移行係数を算出し、幾何平均値をもとめた。食草-イナゴ間の移行係数( $TF_{\text{plant-insect}}$ )は、植物とイナゴの<sup>137</sup>Cs濃度の算術平均値をもとめ、上式により算出した。各サンプルの<sup>137</sup>Cs濃度の経年変動について、Kruskal-Wallis検定をおこない、5%水準で有意差があった場合はScheffeの方法による多重比較をおこなった。また土壌・食草・イナゴの各<sup>137</sup>Cs濃度と空間線量率とあいだで相関の有無をしらべるため、Spearmanの順位相関係数を算出した(5%水準)。

### 4. 研究成果

#### (1) コバネイナゴの<sup>137</sup>Cs濃度と移行係数の経年変動

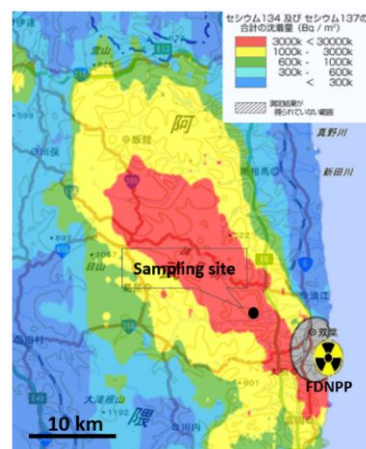


図1 調査地の位置。



図2 2022年の調査区画。

土壌と植物の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、2020～2022 年の 3 か年で大きな経年変動はなかった（図 3）。一方、イナゴの  $^{137}\text{Cs}$  濃度は顕著な経年変動がみとめられ、2021 年には 2022 年よりも有意に高い値をしめした。土壌-植物間の移行係数は、2020～2022 年の 3 か年で 0.0069、0.0061、0.0064 とほぼ一定の値をしめした（表）。この結果から、事故後約 10 年が経過し、土壌-食草間の  $^{137}\text{Cs}$  移行がすでに定常状態にあることが示唆された。したがって、生きた植物を起点とする生食連鎖による  $^{137}\text{Cs}$  の移行については、今後とも大きな変動はないものとかんがえられる。一方、植物-イナゴ間の移行係数は 0.31、0.45、0.37 とかなり変動した。その要因として、イナゴが調査区域内に散在する高濃度の  $^{137}\text{Cs}$  をふくむ土壌で生育した食草を偶然摂食したことにより、移行係数が高まった可能性がある。実際、食草-イナゴ間の移行係数が高かった 2021 年の土壌と食草のサンプルからは、いずれも高濃度の外れ値が検出された（図 3）。

(2) 土壌・食草・コバネイナゴの  $^{137}\text{Cs}$  濃度と空間放射線量の相関

土壌-食草-コバネイナゴにおける  $^{137}\text{Cs}$  の移行と空間放射線量との関係をあきらかにするため、2022 年のデータについて、これらのあいだで Spearman の順位相関係数をもとめた。その結果、食草とイナゴのあいだで  $^{137}\text{Cs}$  濃度につよい正の相関がみられた ( $\rho = 0.83, P = 0.04$ )。一方、土壌とイナゴの  $^{137}\text{Cs}$  濃度のあいだには有意な相関はみられなかったが、土壌にふくまれる  $^{137}\text{Cs}$  濃度を反映しているとみられる空間放射線量率はイナゴの  $^{137}\text{Cs}$  濃度とのあいだでつよい正の相関をしめした ( $\rho = 0.89, P = 0.02$ )。これまで、イナゴ個体における  $^{137}\text{Cs}$  濃度がどれくらいの範囲にわたる  $^{137}\text{Cs}$  の残存量を反映したものなのかは不明であった。本研究により、10m 四方の区画で採集されたイナゴが各区画より 10～30m の範囲内で採取された食草の  $^{137}\text{Cs}$  濃度やおなじ区画内で測定された空間放射線量率を反映することがあきらかとなったことから、イナゴは比較的せまい範囲で、採集地点における土壌や食草の汚染レベルを反映していることが示唆される。したがって、コバネイナゴは放射性 Cs の残存状況をモニタリングする指標として有効であるとかんがえられる。

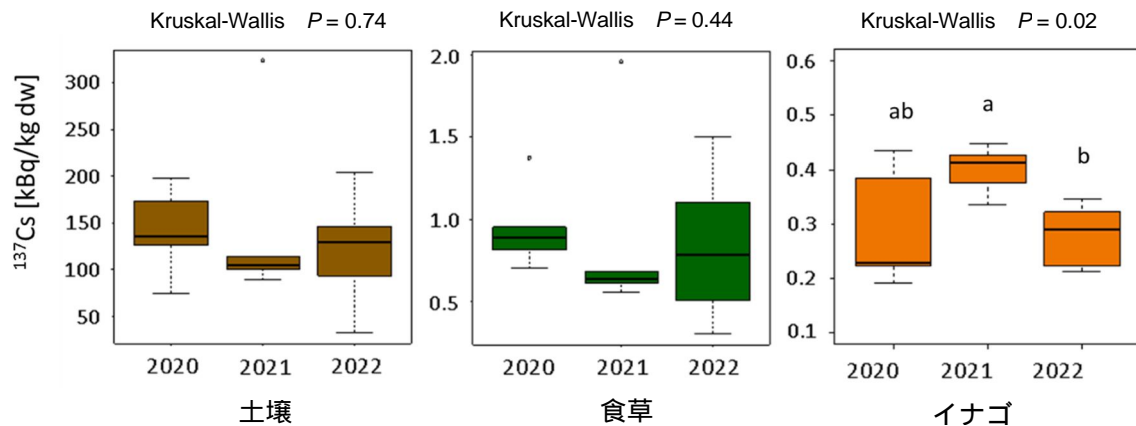


図 3 土壌・食草・コバネイナゴにおける  $^{137}\text{Cs}$  濃度の年次変動（2020～2022 年）。箱ひげ図で上下端の平行線はそれぞれ最大値と最小値を、箱の枠および内部の平行線は上から第 3 四分位点・中央値・第 1 四分位点を、は外れ値をあらわす。おなじアルファベット文字を付した年次間は Scheffe の方法による多重比較 5%水準で有意差がない。

表 土壌-食草-コバネイナゴ間における  $^{137}\text{Cs}$  移行の年次変動（2020～2022 年）

年	土壌 (Bq/kg dw)	$TF_{\text{soil-plant}}$	食草 (Bq/kg dw)	$TF_{\text{plant-insect}}$	イナゴ (Bq/kg dw)
2020	141.6	0.0069	0.95	0.31	0.29
2021	146.3	0.0061	0.89	0.45	0.40
2022	126.6	0.0064	0.82	0.37	0.30

引用文献

- [1] Tanaka S, Hatakeyama K, Takahashi S, Adati T (2016) Radioactive contamination of arthropods from different trophic levels in hilly and mountainous areas after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 164: 104-112
- [2] 田中草太・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 (2017) 節足動物・環形動物を生物指標とした食物連鎖における放射性セシウムの動態. 『Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity』「環境放射能」研究会 つくば 191-195 ページ
- [3] 田中草太・柿沼穂垂・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 (2019) 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. 『Proceedings of the 20th Workshop on Environmental

- Radioactivity』「環境放射能」研究会 つくば 179-182 ページ
- [4] Tanaka S, Kakinuma H, Adati T, Atarashi-Andoh M, Koarashi J (2021) Transfer of  $^{137}\text{Cs}$  to web-building spiders, *Nephila clavata*, and its pathways: a preliminary study using stable carbon and nitrogen isotope analyses. *Journal of Nuclear Science and Technology* 58(4): 507-514
- [5] Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Takahashi S (2020) Radioactive cesium contamination of arthropods and earthworms after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. In: Fukumoto M (ed.), *Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems: Long-Term Study on the Fukushima Nuclear Accident*. Springer, Singapore, pp. 43-52
- [6] 富田響・佐多駿希・足達太郎・田中草太 (2022) 福島第一原発事故 10 年後におけるコバネイナゴの放射性セシウム濃度. 『Proceedings of the 23rd Workshop on Environmental Radioactivity』「環境放射能」研究会 つくば 55-60 ページ

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 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tanaka S, Kakinuma H, Adati T, Atarashi-Andoh M, Koarashi J	4. 巻 58
2. 論文標題 Transfer of <sup>137</sup> 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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 富田響・佐多駿希・足達太郎・田中草太	4. 巻 2
2. 論文標題 福島第一原発事故10年後におけるコバネイナゴの放射性セシウム濃度	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 23rd Workshop on Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 55-60
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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 足達太郎
2. 発表標題 農村空間の環境回復 虫たちとともにひらく故郷の未来
3. 学会等名 2021年度東京農業大学東日本復興支援プロジェクト報告会/福島イノベーション・コースト構想復興知事業報告会（招待講演）
4. 発表年 2022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

1. 発表者名 足達太郎
2. 発表標題 農村空間の環境回復 身近な虫たちとともにあゆむ
3. 学会等名 2020年度東京農業大学東日本復興支援プロジェクト報告会 / 福島イノベーション・コースト構想復興知事業報告会（招待講演）
4. 発表年 2021年

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 日本土壤動物学会第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 野生動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 足達太郎
2. 発表標題 身近な虫たちとともにあゆむ農村空間の環境回復
3. 学会等名 2019年度東京農業大学東日本復興支援プロジェクト報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中草太・柿沼穂垂・足達太郎・安藤麻里子・小嵐淳
2. 発表標題 ジョロウグモへの放射性セシウムの移行 炭素・窒素安定同位体比に基づく移行経路の推定
3. 学会等名 第7回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富田響・足達太郎・田中草太
2. 発表標題 コバネイナゴを指標とした生食連鎖における放射性セシウムの移行
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第6回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中草太・富田響・足達太郎
2. 発表標題 コバネイナゴを指標とした生食連鎖における放射性セシウムの移行評価
3. 学会等名 第24回「環境放射能」研究会
4. 発表年 2023年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 東京農業大学（編）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ぎょうせい	5. 総ページ数 269
3. 書名 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	

1. 著者名 Sota Tanaka, Taro Adati, Tomoyuki Takahashi, Sentaro Takahashi	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 264
3. 書名 Radioactive cesium contamination of arthropods and earthworms after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. In: Manabu Fukumoto (ed.), "Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems: Long-Term Study on the Fukushima Nuclear Accident", pp. 43-52	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

受賞 1. 受賞名 JNST Most Popular Article Award 2022 2. 授与団体名 日本原子力学会 3. 受賞論文 Tanaka S, Kakinuma H, Adati T, Atarashi-Andoh M, Koarashi J (2021) Transfer of 137Cs to web-building spiders, Nephila clavata, and its pathways: a preliminary study using stable carbon and nitrogen isotope analyses. Journal of Nuclear Science and Technology 58(4): 507-514 4. 受賞年月日 2023年3月14日
--

## 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
研究協力者	田中 草太 (Tanaka Sota)  (50847217)	秋田県立大学・生物資源科学部・助教  (21401)	

## 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
---------	---------