

令和元年6月28日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K08134

研究課題名(和文) 福島県の中山間地における節足動物および環形動物を指標とした放射能汚染モニタリング

研究課題名(英文) Monitoring of radioactive contamination using arthropods and annelids as indicators in hilly and mountainous areas 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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：原発事故後に環境中に放出された放射性物質の動態をあきらかにするため、汚染地域に生息するバッタ・コオロギ・造網性クモ・表層性ミミズなどから検出される放射性セシウムの濃度を経年的に調査した。その結果、植食性のイナゴと雑食性のコオロギでは放射性セシウム濃度が年々減少したのに対し、捕食性のクモと腐食性のミミズでは顕著な減少がみられなかった。これは、食物網を介した放射性物質の移動循環において腐食連鎖が重要であることを示唆するものである。また、ミミズにおける放射性セシウムの体内分布を調べた結果、おもに腸管内に偏在しており、消化管内に滞留する餌資源に高濃度の放射性セシウムがふくまれているとかがえられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原発事故が無脊椎動物におよぼす影響については、1986年のチェルノブイリ事故についても報告が少なく、とくに事故後初期の段階での各生物における放射性物質濃度の経年データは過去に類例がない。また、環境中に放出された放射性セシウムが食物網を介して生物に移行する過程をとらえたことは、生態系における放射性物質の長期的な動態を解明し、野生生物の被ばく線量を評価するうえで有用である。福島県の中山間地では、農林畜産業といった生業や産業が森林生態系と密接に関連している。無脊椎動物は生態系を介して移動・循環する放射性物質の汚染レベルを把握する指標として重要であり、地域の復興計画を策定する際にも活用可能である。

研究成果の概要(英文)：To clarify the dynamics of radioactive materials released into the environment after the nuclear power plant accident, the concentration of radioactive cesium detected from grasshoppers, crickets, web-making spiders, and epigeic earthworms living in the contaminated areas was investigated over years. The results showed that radioactive cesium concentrations decreased year by year in herbivorous grasshoppers and omnivorous crickets, but not in predatory spiders and detritivorous earthworms, indicating the importance of detritus chains in the transport and circulation of radioactive material through food webs. In addition, the distribution of radioactive materials in the body of earthworms with the highest concentration detected was examined, and it was suggested that the radioactive materials were mainly distributed in the intestine and the high radiation dose was caused by highly contaminated food resources that remained in the digestive tract.

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 食物網 節足動物 Fukushima radioactive cesium arthropod

# 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 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の発生から4年が経過した時点で、放射性物質による汚染地域の多くでは、避難指示や居住制限が継続していた(図1)。こうした地域では、住民の帰還と農業の復興にむけて、除染作業がすすめられた。しかし、除染の効果は不安定であることが多く、いったん下がった放射線量が再上昇するケースもみられた。このような事例は中山間地で多く、避難した住民たちの帰還をおくらせ、地域社会に軋轢や不安をもたらす原因ともなった(Brumfiel and Fuyuno 2012)。

中山間地の農村景観は、水田やため池、休耕田、畑、果樹園、住宅、里山などがモザイク状に分布し、そこには陸生・水生の植物や、昆虫類をはじめとする節足動物、ミミズなどの環形動物、貝類、魚類、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類など、多種多様な生きものが生息している。このような中山間地生態系は、閉鎖的なものではなく、個々の生物のいとなみによって他の地域とつながった開放的で動的な環境である(桐谷 2004; 足達 2010; 志磨ほか 2012)。

放射性物質はこうした環境中を、土壌や生物とともに移動もしくは循環していると推測される。したがって、局所的に空間線量を測定するだけでは、放射性物質の移動を包括的に把握することは困難である。

いっぽう、生物のあいだには「食う・食われる」の関係がある(図2)。こうした食物連鎖の関係のなかで、環境中に拡散した物質の一部は栄養段階の上位にあるものへとあつまってゆく。この現象は生物濃縮とよばれ、農業生態系における化学合成農薬の移行過程としてよく知られているものであるが、放射性物質についても同様の現象がおこるかについては、少数の報告をのぞいてほとんど研究がなされていなかった(Anderson et al. 1973 など)。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、福島の森林と農耕地をふくむ中山間地生態系における原発事故に起因する放射性物質の動態をあきらかにすることである。

同地域に生息する節足動物や環形動物における放射性物質の体内へのとりこみや、体内における局在部位などについてしらべる。これらの調査を経年におこなうことによって、食物網を形成する生態系のなかで、放射性物質がどのように移行していくのか、また生物濃縮の有無についてあきらかにする。あわせて、放射線が節足動物におよぼす直接的影響のうち形態的異常の有無をしらべる。

さらに、このようにしてえられた知見にもとづき、食物網における栄養段階のことなる節足動物や環形動物を生物指標として、検出される放射性物質の濃度から、福島の中山間地に残存する放射性物質の将来における動態や消失を予測する方法を確立する。

## 3. 研究の方法

### (1) 節足動物および環形動物における放射性セシウム濃度の経年変化

福島県の中山間地に位置する調査地において、イナゴ・コオロギ・クモ・ミミズなどの節足動物や環形動物を採集し、過去に放射線による変異が報告されている翅や脚、腹部などの外部形態および生殖器そのほかの内部形態について、形態的変異の有無を調査した。また、サンプルにふくまれる放射性物質についてゲルマニウム検出器による定量分析をおこない、検出される放射性物質の濃度変化を経年的に調査した。

### (2) 造網性クモ類の餌資源における放射性セシウムの分布

調査対象とした節足動物のなかで捕食者である造網性クモ類の餌資源における放射性セシウムの分布をあきらかにするため、調査地の森林と川岸でクモ類の営巣場所に植物質および動物質の誘引源を仕かけたトラップを設置した。捕獲された節足動物を分類・同定し、上記の方法

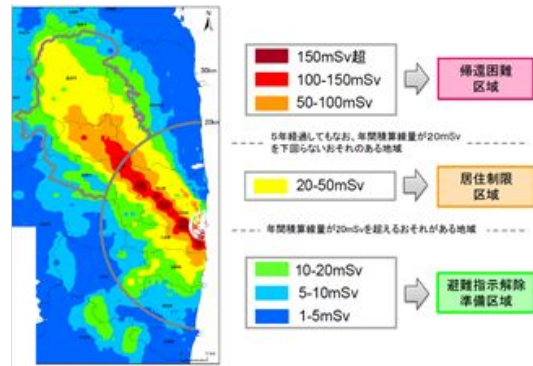


図1 福島県における年間積算線量の分布(2011年3月31日時点)と避難指示区域の区分。内閣府(2013)より

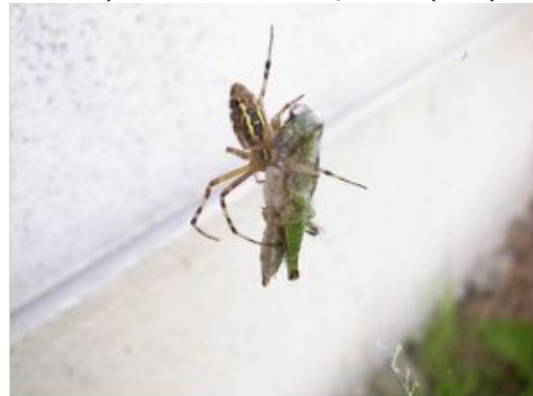


図2 コバネイナゴを捕食するナガコガネグモ(2013年9月、福島県飯館村にて撮影)

で放射性セシウムを定量した。

### (3) 表層性ミミズ類の体内における放射性セシウムの局在部位と生物学的半減期

調査対象のなかで表層性ミミズ類については、消化系や生殖系、筋肉組織といった虫体内における放射性物質の局在部位をオートラジオグラフィーによって分析した。また、汚染地域で採集したミミズを、汚染されていない土壌やリターなどを餌としてあたえて実験室内で飼育し、体内からの放射性セシウムの消失過程をしらべた。

## 4. 研究成果

### (1) 節足動物および環形動物における放射性セシウム濃度の経年変化

植食性のコバネイナゴと雑食性エンマコオロギでは、放射性セシウム濃度が経年的に顕著な減少をしめした。これは採集場所の空間放射線量率の減少を反映しているものと解釈できた。いっぽう、肉食性のジョロウグモでは、2012～2016年のあいだに検出された放射性セシウム濃度は乱高下しており、顕著な減少傾向はみとめられなかった(図3)。

なお調査期間中、採集されたコバネイナゴ・エンマコオロギ・ジョロウグモの外部形態に異常はみとめられなかった。

### (2) 造網性クモ類の餌資源における放射性セシウムの分布

クモ類の営巣場所に設置した誘引トラップに捕獲された節足動物のなかで、放射性セシウム濃度が高かったのは、スズメバチ類とキシタバ属であった(表1および2)。また、森林内に仕かけたトラップで捕獲されたクロバエ類からも高濃度の放射性セシウムが検出された。おなじ昆虫の分類群であっても、森林内のトラップで捕獲されたサンプルのほうが、川岸のトラップで捕獲されたサンプルよりも、放射性Cs濃度が高かった。

捕獲されたサンプルには、植食性・腐植食性・腐肉食性・雑食性といったさまざまな食性をもつものがふくまれるとともに、飛翔性の高いもの(スズメバチ類・キシタバ属など)、中程度のもの(クロバエ類・イエバエ類など)、低いもの(シテムシ類など)が見られた。

### (3) 表層性ミミズ類の体内における放射性セシウムの局在部位と生物学的半減期

調査地で採集した表層性ミミズ類について、消化管をふくむ内部器官と体壁筋とに分離し、オートラジオグラフィーを実施した結果、放射性セシウムはほとんどが消化管内に存在することがわかった(図4)。

さらに、消化管とそのほかの内部器官をわけてゲルマニウム検出器で放射性セシウム濃度を測定した結果、95%以上が腸管内に偏在していた(図5)。

ミミズ体内からの放射性セシウムの消失時間を実験的にもとめた結果、消失曲線は二相性をしめした(図6)。この曲線より、生物学的半減期は短い成分で約0.1日、長い成分で約27日と推定された。

### (4) まとめ

前課題で食性のことなる節足動物における放射性セシウム濃度の経年変化をしらべたところ、おもに生きた植物に依存するイナゴ類やコオロギ類では、農耕地における空間放射線量率の減

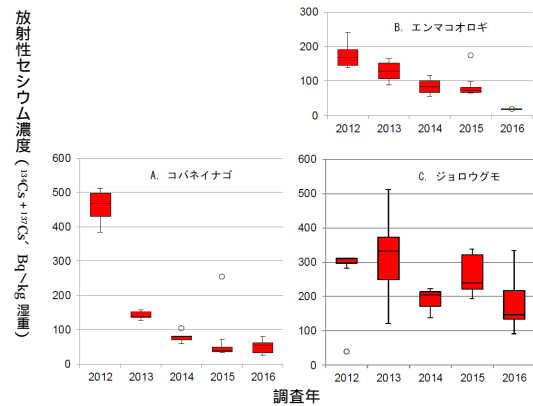


図3 節足動物における放射性セシウム濃度の経年変化

表1 植物質誘引剤により捕獲された昆虫の分類群別放射性セシウム濃度

分類群 <sup>1</sup>	生物量 (g)	個体数 (頭)	<sup>137</sup> Cs 濃度 <sup>2</sup> (Bq/kg 湿重)
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)
R2			
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)

<sup>1</sup> Mは山側、Rは川岸のトラップを示す。

<sup>2</sup> NDは測定結果が検出限界未満。かつこ内は各測定値の検出限界値。

表2 動物質誘引剤により捕獲された昆虫の分類群別放射性セシウム濃度

分類群 <sup>1</sup>	生物量 (g)	個体数 (頭)	<sup>137</sup> Cs 濃度 <sup>2</sup> (Bq/kg 湿重)
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	0.41	10	296 (150)
イエバエ科	0.43	31	989 (267)
R1			
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)
R2			
クロバエ科	71.15	535	512 (9)
クシデムシ	9.63	4	77 (19)
ニクバエ科	2.76	22	132 (101)

<sup>1</sup> Mは山側、Rは川岸のトラップを示す。

<sup>2</sup> NDは測定結果が検出限界未満。かつこ内は各測定値の検出限界値。

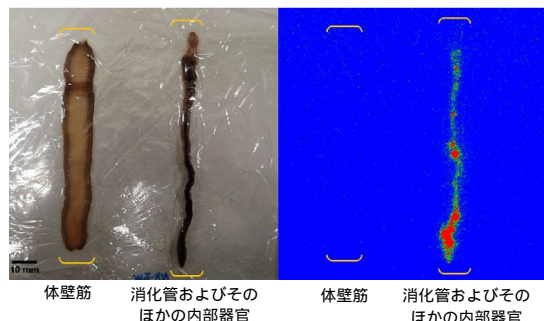


図4 表層性ミミズの体壁筋と消化管をふくむ内部器官に分離したあとのオートラジオグラム。Tanaka et al. (2018)より改変。

少を反映して、放射性セシウムの顕著な減少がみられた。これに対し、造網性クモ類からは空間放射線量率がさがってからも高濃度の放射性セシウムが検出された。

本課題における調査で、クモ類の餌と想定される小型の飛翔性昆虫から高濃度の放射性セシウムが検出された。これらの昆虫はさまざまな食性をもつ種をふくんでいたが、とくに森林内に設置したトラップにより捕獲された昆虫の放射性セシウム濃度が比較的高かった。

これらのことから、福島森林内には現在も高濃度の放射性物質が残存していることがあきらかとなった。また、食物網のなかで、生きた植物を出発点とし、イナゴ類やコオロギ類などが介在する生食連鎖と比較して、植物や動物の遺体などに由来する腐食連鎖の重要性が示唆された。

林床のリターや土壌などを餌とする腐食者である表層性ミミズから検出される放射性セシウム濃度を測定したところ、ジョロウグモの30倍以上高い値が検出された。このことから、放射性物質の移行における腐食連鎖の重要性が裏づけられる。

いっぽう、ミミズの体内では放射性セシウムは消化管の内部に偏在しており、さらに飼育実験の結果から、ミミズにおける放射性セシウムの代謝は早く、体組織への吸収は少ないことがわかった。ジョロウグモから検出される放射性セシウム濃度が個体によって大きくことなることとかがえあわせると、節足動物や環形動物では放射性セシウムの生物濃縮はおこっていないものと推測される。

今後は、節足動物や環形動物を生物指標にもちいて、森林内の残存放射性物質の分布を推定し、将来的な減衰過程を予測するためのモデルを確立したい。そのためには、森林に生息する節足動物や環形動物の栄養段階にかんする量的比較をおこなう必要がある。

## 引用文献

- 足達太郎ほか(2010)東京農大農学集報 54:267-276  
 Anderson GE, et al. (1973) *Oikos* 24: 165-170  
 Brumfiel G, Fuyuno I (2012) *Nature* 483: 138-140  
 桐谷圭治(2004)『「ただの虫」を無視しない農業』築地書館  
 内閣府(2013) [https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131009/131009\\_02a.pdf](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131009/131009_02a.pdf) (2019年6月26日閲覧)  
 志磨秀人ほか(2012)水田におけるクモ類の空間的分布.第56回日本応用動物昆虫学会大会(講演)  
 Tanaka S, et al. (2018) *J. Environ. Radioact.* 192: 227-232

## 5. おもな発表論文など

[雑誌論文](計4件)

- Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Fujiwara, Takahashi S (2018) Evaluation of radiocesium contamination on a forest floor using epigeic earthworms as a bioindicator. *Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity. KEK Proceedings 7*: 215-218 (査読あり)  
<https://iss.ndl.go.jp/books/R100000002-I029406931-00>  
 Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Fujiwara K, Takahashi S (2018). Concentrations and biological half-life of radioactive cesium in epigeic earthworms after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 192: 227-232 (査読あり)  
 DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.06.020  
 Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Fujiwara K, Takahashi S (2017) Behavior of radiocesium in the food chain using arthropods and annelids as bioindicators. *Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity. KEK Proceedings 6*: 191-195 (査読あり)  
<https://iss.ndl.go.jp/books/R100000002-I028698805-00>  
 Tanaka S, Hatakeyama K, Takahashi S, Adati T (2016) Radioactive contamination of arthropods from

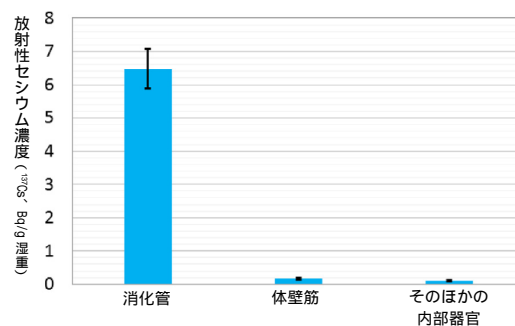


図5 表層性ミミズの部位別放射性セシウム濃度。Tanaka et al. (2018) より改変。

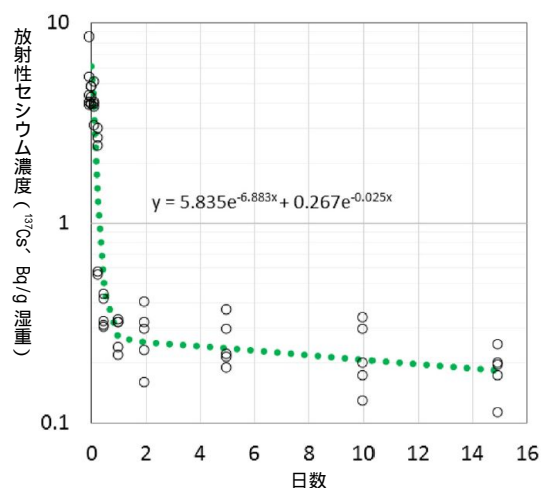


図6 表層性ミミズ体内からの放射性セシウムの消失時間。Tanaka et al. (2018) より改変。

different trophic levels in hilly and mountainous areas after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 164: 104-112 ( 査読あり )  
DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.07.017

[ 学会発表 ] ( 計 15 件 )

- 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 . 第 20 回「環境放射能」研究会 2019 年 3 月 12 ~ 14 日 高エネルギー加速研究機構放射線科学センター ( ポスター発表 )
- 柿沼穂垂・足達太郎 ( 2019 ) 福島の森林で昆虫の調査をしてわかったこと . 2018 年度東京農業大学東日本復興支援プロジェクト報告会 2019 年 2 月 16 日 千客万来館 ( 福島県相馬市 ) ( 口頭発表 )
- 柿沼穂垂・田中草太・足達太郎 ( 2018 ) 福島の中山間地に生息する飛翔性昆虫における放射性セシウム濃度 . 関東昆虫学研究会第 2 回大会 2018 年 12 月 8 日 東京農業大学世田谷キャンパス ( 口頭発表 )
- 田中草太・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 ( 2018 ) 節足動物及び表層性のミミズを指標とした生食連鎖と腐食連鎖を介した放射性セシウムの動態」第 5 回福島第一原発事故による周辺生物への影響に関する研究会 2018 年 8 月 3 ~ 4 日 東京大学 ( 口頭発表 )
- Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Takahashi S (2017) Transfer and metabolism of radioactive cesium in Japanese earthworms after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. The 14th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE), 16-20 July 2017, ETH Zurich, Switzerland (poster presentation)
- 田中草太・木野内忠稔・高橋知之・牧大介・納富昭弘・高橋千太郎 ( 2018 ) 昆虫類に対する <sup>137</sup>Cs の内部被ばく実験系の構築 放射線がカイコの成長に及ぼす影響 . 第 55 回アイソトープ・放射線研究発表会 2018 年 7 月 4 ~ 6 日 東京大学弥生講堂 ( 口頭発表 )
- 田中草太・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 ( 2018 ) 福島県で採集された節足動物への放射性セシウムの移行状況 原発事故後 6 年間の推移 . 日本保健物理学会第 51 回研究発表会 2018 年 6 月 29 ~ 30 日 ライフォート札幌 ( ポスター発表 )
- 田中草太・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 ( 2018 ) 表層性ミミズへの放射性セシウムの移行状況と代謝実験 . 第 19 回「環境放射能」研究会 2018 年 3 月 13 ~ 15 日 高エネルギー加速研究機構放射線科学センター ( ポスター発表 )
- 足達太郎 ( 2018 ) 身近なムシたちから農業復興の可能性をさぐる . 2017 年度東京農業大学東日本復興支援プロジェクト報告会 2018 年 3 月 3 日 千客万来館 ( 福島県相馬市 ) ( 口頭発表 )
- 田中草太・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 ( 2017 ) 東電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フトミミズへの移行と生物学的半減期 . 日本土壌動物学会第 40 回記念大会 2017 年 5 月 20 ~ 21 日 横浜国立大学 ( ポスター発表 )
- 田中草太・木野内忠稔・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 ( 2017 ) 環境中の被ばく形態に対応した放射線影響評価 カイコを利用した放射線の内部被ばく及び外部被ばくに対する影響評価手法の探索 . 第 61 回日本応用動物昆虫学会大会 2017 年 3 月 28 ~ 29 日 東京農工大学小金井キャンパス ( ポスター発表 )
- 足達太郎・田中草太・畠山華歩・高橋千太郎 ( 2017 ) 福島県に生息する節足動物における放射性セシウムの蓄積状況 原発事故後 4 年間の推移 . 第 61 回日本応用動物昆虫学会大会 2017 年 3 月 29 日 東京農工大学小金井キャンパス ( 口頭発表 )
- 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 . 第 18 回「環境放射能」研究会 2017 年 3 月 14 ~ 16 日 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター ( ポスター発表 )
- 田中草太・足達太郎・藤原慶子・高橋知之・高橋千太郎 ( 2017 ) 福島原発事故による日本産フトミミズ属 ( Genus *Pheretima* ) への放射性セシウムの移行と体内動態 . 第 51 回京都大学原子炉実験所学術講演会 2017 年 1 月 26 ~ 27 日 京都大学原子炉実験所 ( ポスター発表 )
- Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Takahashi S (2016) Behaviour of radiocesium from arthropods in different trophic levels after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Chronological changes from 2012 to 2015. The Second International Conference on Radioecological Concentration Processes (50 years later). 6-9 November 2016, Seville, Spain (poster presentation)

[ 図書 ] ( 計 1 件 )

- Tanaka S, Adati T, Takahashi T, Takahashi S (2019) Radioactive cesium contamination of arthropods and earthworms after 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, ISBN: 978-981-13-8218-5, in press

[ その他 ]

- 東京農業大学ホームページ[<http://www.nodai.ac.jp/news/article/2813/>]

ニュースリリース「福島県中山間地に生息する節足動物体内の放射性セシウム量の推移を解明 農業復興にむけて、除染効果を判定する新たな指標となる可能性」東京農業大学  
[[http://www.nodai.ac.jp/application/files/4814/8151/1202/news\\_2813\\_f89dcf69cafb\\_e2d81607ba8cd14a15c5.pdf](http://www.nodai.ac.jp/application/files/4814/8151/1202/news_2813_f89dcf69cafb_e2d81607ba8cd14a15c5.pdf)]

## 6. 研究組織

### (1) 連携研究者

連携研究者氏名：高橋千太郎

ローマ字氏名：TAKAHASHI Sentaro

所属研究機関名：京都大学

部局名：原子炉実験所

職名：教授

研究者番号(8桁)：60163268

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：田中草太

ローマ字氏名：TANAKA Sota

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。