福島県北東部森林域に生息するジョロウグモの放射性セシウム濃度モニタリング

綾部 慈子^{*1}・金指 努¹・肘井直樹¹・竹中千里¹

東京電力福島第一原子力発電所事故で汚染された福島県伊達郡川俣町の森林2カ所において、大型で年一化、造網性のジョロウグモを対象に、放射性セシウム濃度を測定し、土壌の放射性セシウム存在量との関係、および事故後のジョロウグモ中の放射性セシウム濃度の推移を調べた。その結果、両調査地ともに、2013年における土壌からジョロウグモへの土地面積当りで算出した移行係数 (T_{ag}) はおよそ0.005であり、ジョロウグモの汚染は、生息地土壌の汚染レベルに依存していた。また、 ^{137}Cs 濃度は、2012年(事故後1.5年経過)に対し、2013年(2.5年経過)に採集した個体では、両調査地ともに約50~60%程度にまで低下しており、物理的減衰にもとづく予測よりも低い値となっていた。しかしながら、2013年にもきわめて ^{137}Cs 濃度が高いジョロウグモ ($>9,000 \text{ Bq/kg dry}$) が採集されたことから、継続的なモニタリングの必要性が示唆された。

キーワード：節足動物、放射性セシウム濃度、モニタリング、移行係数

Yoshiko Ayabe,^{*1} Tsutomu Kanasashi,¹ Naoki Hiji,¹ Chisato Takenaka¹ (2015) Monitoring Radiocesium Contamination of the Web Spider *Nephila clavata* (Nephilidae: Arachnida) in Fukushima Forests. J. Jpn. For. Soc. 97: 70–74 We investigated the relationships between radiocesium activity in the soil and litter and radiocesium concentration in the web spiders collected at two forest sites in Kawamata-cho, Fukushima Prefecture. Changes in radiocesium contamination levels of the web spider over two years (2012–2013) were also monitored. At both sites, the aggregated transfer coefficient (T_{ag}) of radiocesium from the soil into spiders in 2013 was approximately 0.005. At both sites, the radiocesium contamination level of spiders depended on the contamination level of the soil. Compared to the web spiders collected in 2012 (1.5 y after the accident), the concentration of ^{137}Cs in spiders collected in 2013 (2.5 y after the accident) decreased by 40–50%, which was lower than that expected based on the physical attenuation of ^{137}Cs . Although the mean level of ^{137}Cs contamination in spiders decreased, highly ^{137}Cs contaminated spiders were still collected in 2013, and this implies a need for a long-term monitoring of radiocesium contamination of the spider.

Key words: Aggregated Transfer Coefficients (T_{ag}), monitoring, nephilid spider, radiocesium concentration

I. は じ め に

2011年3月11日に発生した東日本大震災直後の東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、福島原発事故)によって放出された放射性物質により、福島県北東部を中心に東日本の広範な地域が汚染された(IEAE 2011)。放出された放射性物質のうち、半減期が約30.2年の ^{137}Cs は将来の長い期間にわたって環境中に留まり続け、人間の健康上の観点からの影響にとどまらず、生態系にもさまざまな形で影響を与え続けることが予想される。福島原発事故直後、汚染された地域に生息するゴール形成性アブラムシやシジミチョウにおいて、高い奇形率や生存率の低下が報告され(アブラムシ, Akimoto 2014; シジミチョウ, Hiyama *et al.* 2012)、鳥やチョウ、セミでは生息地の空間線量率の増加にともなった個体数の低下が報告されている(Møller *et al.* 2013)。一方、クモは個体数が増加したが、これは捕食者である鳥類の減少に起因していると考えられている(Møller *et al.* 2013)。1986年のチェルノブイリ原発事故で汚染された地域では、20年経過してなお、さまざまな動物への悪影響が報告されている(Møller and Mousseau 2006, 2009)。たとえば、ツバメにおける奇形や精子の運動性低下の報告(Bonisoli-Auquati *et al.* 2011; Mousseau and Møller 2011)

のほか、昆虫やクモ、鳥類において、生息地の高い線量にともなった個体数の減少が報告されている(Møller and Mousseau 2009; Mousseau and Møller 2011)。動物の個体数の減少は、捕食による個体数制御や送粉など、さまざまな生物間相互作用に負の影響をもたらし、やがては生態系そのものの機能低下につながるものが懸念される(*e.g.*, Møller *et al.* 2012)。このように、原発事故が汚染地域に生息する節足動物へもたらす生物学的な影響(被ばくによる影響)については、一部の動物群では明らかになってきている。一方、福島汚染地域において、節足動物が放射性物質によってどの程度汚染されているのか、汚染実態についての情報は少ない(*e.g.*, Ayabe *et al.* 2014; Yoshimura and Akama 2014)。汚染地域土壌における放射性物質の節足動物への移行を調査することは、生態系内における放射性物質循環を明らかにする上で重要である。また、その汚染が時間経過とともにどのように変化するかについての長期的なモニタリングは、放射性物質の環境動態を予測していく上できわめて重要な課題である。

森林は多様な生態系サービスを提供する場である一方、除染が困難であり、放射性物質による汚染問題が深刻な生態系の一つである。福島原発事故から1年半経過後に調査した福島県北東部の森林に生息するジョロウグモ(*Nephila*

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: ayabe@agr.nagoya-u.ac.jp

¹ 名古屋大学大学院生命農学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市中千種区不老町 (Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan)
(2014年9月29日受付, 2014年12月18日受理)

clavata L. Koch) では、福島原発事故由来の放射性物質による汚染が報告されており、一方、福島原発事故の影響が少なかった福島県郡山市のジョロウグモではほとんどの個体において放射性セシウムは検出されず、また、福島原発事故の影響を全く受けていない愛知県で採集されたジョロウグモにおいても検出されなかった (Ayabe *et al.* 2014)。クモ類は、捕食性節足動物の個体数、現存量の両方において 50% 以上を構成すると見積もられており (Menhinick 1967)、森林においても、針葉樹、広葉樹ともに、常に節足動物全体の現存量の 15~30% を占めている (Hijii 1989)。また、節足動物群集の捕食者としての個体数調節機能をもつだけでなく (Wise 1993)、昆虫食性鳥類などの高次栄養段階生物の餌にもなっており (Mizutani and Hijii 2002)、森林生態系において重要な生態的位置を占めている。すなわちクモは、その生態的位置から、節足動物の放射性物質濃度のモニタリングにおいて、重要な指標生物群の一つとなり得る。その中でも、とくにジョロウグモは、日本各地で普通にみられる大型のクモであり、モニタリングに適した生活史や生態特性をもっている。ジョロウグモは年一化であり、毎年同じ時期に採集すれば、同じ条件のもとで放射性セシウム汚染の経年モニタリングを行うことができる。ジョロウグモの造網は 8 月前後から始まり、9~10 月頃には成熟し、交配、産卵ののち、その世代を終える (Miyashita 1992)。次世代は卵のう内で越冬し、春先に孵化した幼体は、造網期を迎えるまでの期間、地上で生活を送る。造網期に巣網の探索を行うことでジョロウグモ個体が容易に採集できるという利点がある上、とくに 9~10 月の成熟期にはメスの体サイズが大きく、個体毎に放射性物質濃度の測定を行えることも、放射能汚染の空間分布を知る上で有利な特性といえる。他の森林性クモは、徘徊性から造網性のものまで様々存在し、その多くはジョロウグモと比べて体サイズが小さく、葉の間などの狭い場所に小さな網を張るものが多い。ジョロウグモは開けた場所に大きな円網を張り、生食・腐食連鎖の様々な森林性節足動物が餌として捕らえられたため、森林性節足動物の代表種としてモニタリングに適している。

本報では、ジョロウグモの放射能汚染が福島原発事故後の時間経過とともにどのように変化しているのか明らかにし、節足動物における放射能汚染実態の一知見を得ること、およびジョロウグモの放射能汚染の指標生物としての利用可能性を探ることを目的とした。福島県北東部の溪流沿いの広葉樹林と、集落付近の除染地域近辺の広葉樹林それぞれでジョロウグモを採集し、放射性セシウム濃度について検討した。また、両調査地の土壌中の放射性セシウム量とジョロウグモの放射性セシウム汚染との関係を明らかにし、さらに、事故から 1.5 年、2.5 年経過後のジョロウグモの放射性セシウム濃度の変化について考察する。

II. 材料と方法

1. 調査地と試料採取

調査は、福島県伊達郡川俣町山木屋地区内の 2 カ所で行った。一方は、福島第一原子力発電所から北西方向に約 33 km 離れた溪流沿いの広葉樹林内にあり (以下、PS)、他方は、そこから 4 km 西方に位置する小学校の裏山の広葉樹林である (以下、ES)。ES には溪流はない。PS の南東側には放棄されたままの牧場があり、林内も除染は行われていない。ES は付近に商店や住宅などの集落があり、2013 年から本格的な除染が行われているため、両調査地ともに開けた場所に面しているものの、周辺環境の汚染状況には大きな違いがみられる。

両調査地において、2012 年 10 月 21、22 日 (事故後 1.5 年経過)、および 2013 年 10 月 29 日 (事故後 2.5 年経過) に、ジョロウグモ雌成体の採集を行った。個体ごとに 50 cc バイアル瓶に入れ、名古屋大学の研究室に持ち帰った。2012 年に採集した個体は 85℃ で 48 時間通風乾燥し、2013 年採集個体は -30℃ で 48 時間以上凍結乾燥した。個体毎にマイクロバランスで乾燥重量を測定したのち、ビーズクラッシャーを用いて粉碎し、粉末試料とした。土壌とリター試料は、2013 年 6 月 20 日に採取した。直径 5 cm 円の範囲でリターを採取後、深さ 5 cm までの土壌を採取した (各調査地で、リター、土壌それぞれ $n=5$)。乾燥後、それぞれの重量を計測した。リターのみ、電動ミルを用いて粉碎した。

2. 放射性セシウム濃度の測定

ジョロウグモに含まれる ^{137}Cs 濃度 [Bq/kg dry] は井戸型高純度ゲルマニウム検出器 (GWL-300-15-S, Ortec) を用いて、土壌・リターの ^{137}Cs 量は同軸型高純度ゲルマニウム検出器 (GC 3520, Canberra) を用いて、測定誤差が 5% 未満となるまで、ガンマ線スペクトロメトリー法により測定した ($1.6 \times 10^4 \sim 35 \times 10^4$ 秒)。土壌・リターの ^{137}Cs 量は 1 m^2 当りの存在量 [Bq/m^2] へ換算した。井戸型検出器の ^{137}Cs の検出効率、CS 010 (日本原子力協会、東京) を用いて校正した。同軸型検出器の校正には、JSAC 0471-JSAC 0473 (日本分析化学会、東京) を用いた。また、放射能は採集日を基準として放射能減衰補正を行った。Cooper (1970) の 3σ に従い、放射能が検出下限値を下回ったサンプルは N.D. (Not Detected) とした。

ジョロウグモの ^{137}Cs 濃度 [Bq/kg dry] は、両年ともにクモ個体毎に計測した。ただし、2012 年度のみ、乾燥重量が小さい小型個体のジョロウグモサンプルは、2、3 個体をまとめて 1 サンプルとして計測した。

3. データ解析

ジョロウグモ中の放射性セシウム汚染が、生息地の汚染程度によって影響を受けるのかを明らかにするため、各調査地の放射性セシウム量との関係を検討した。ジョロウグモの放射性セシウム濃度、および土壌・リターの放射性セシウム量は、調査地ごとに箱ひげ図によってデータのばら

つきを視覚化し、平均値を算出した。

土壌中の放射性セシウム量のうち、放射性セシウムがジョロウグモへどの程度移行したのかを明らかにするため、 T_{ag} 値（土地面積当りで算出した移行係数, Aggregated Transfer Coefficients）を以下の式により求めた。

$$T_{ag} (\text{m}^2/\text{kg dry}) = \frac{\text{ジョロウグモ中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg dry)}}{\text{土壌中の放射性セシウム存在量 (Bq/m}^2\text{)}}$$

森林生態系は多土壌層から成り、土壌層の違いによって、容量（密度）や根系の分布、化学特性が異なり、放射性物質の生物移行性も変化する（Thiry *et al.* 2000）。 T_{ag} は、このような土壌層の変化に関係なく、単位面積当りの放射性物質の存在量を利用することで、植物だけでなく動物への移行についても評価できる実用的な指標として広く利用されている指標である（Calmon *et al.* 2009）。ジョロウグモは調査地内を移動するため、Wood *et al.* (2009) に従い、土壌中の ^{137}Cs 存在量は調査地平均値を、ジョロウグモ中の ^{137}Cs 濃度は個体毎のデータを用いて T_{ag} を計算した。ジョロウグモ個体ごとに計算された T_{ag} 値を用い、サイト毎に幾何平均と最小—最大値の範囲を示した。なお、土壌中の ^{137}Cs 存在量は、ジョロウグモ採取日を基準に補正した値を用いた。

次に、2年間の測定結果をもとに、福島原発事故発生後のジョロウグモ中の放射性セシウム濃度変化を明らかにした。物理学的半減期は ^{137}Cs が約 30.2 年であり、予測される ^{137}Cs の減衰率（前年比は 0.98）と比較した。

III. 結果と考察

各調査地における 1 m^2 当りの放射性セシウムは、リターよりも土壌に多く含まれていた（図-1(上)、表-1）。これは、福島原発事故発生後の時間経過とともに、リター中の放射性物質が土壌へ移行したためと考えられる（*e.g.*, Nakanishi *et al.* 2014）。また、調査地の比較では、土壌、リターともに、PS が ES よりも ^{137}Cs の存在量が多かった（図-1(上)、表-1）。

2012 年度（事故後 1.5 年経過）のジョロウグモ個体中の ^{137}Cs 濃度は、調査地 PS で ES よりも高く、調査地の放射性セシウム量と同様の傾向を示していた（図-1(下)）。2013 年度（事故後 2.5 年経過）のジョロウグモ個体中の放射性セシウム濃度についても、同様に PS で高い傾向がみられた。ただし、調査地 ES において、極端に高い ^{137}Cs 濃度（ $>9,000\text{ Bq/kg dry}$ 、図-1 下、J-STAGE 電子付録付表-1）のジョロウグモ 1 個体が発見された。この個体由来のはずれ値によって ES の平均値が上昇し、ES におけるジョロウグモ汚染が過大評価されるため（表-1）、この高濃度汚染 1 個体を除外して算出された平均値を用いて移行係数（ T_{ag} ）の計算を行った。 T_{ag} の幾何平均値均値はおおよそ 0.005 前後であり、調査地によって大きな違いはみられなかった（表-2）。すなわち、それぞれの調査地に存在

図-1. 福島県川俣町 2 調査地における土壌およびリターの放射性セシウム存在量（上）とジョロウグモの放射性セシウム濃度（下）の箱ひげ図

Boxplots of radiocesium activity in the soil and litter (upper) and concentrations in the web spiders (lower) at the two forest sites in Kawamata-cho, Fukushima.

Thick vertical lines and boxes represent the median and middle 50% of scores of each group, respectively. The whiskers extend to the most extreme data point that is no more than 1.5 times the interquartile range from the box. A circle indicates an outlier. Plots of the web spiders collected in 2012 were derived from the data shown in Ayabe *et al.* (2014).

表-1. 福島県川俣町 2 調査地における土壌およびリターの放射性セシウム存在量とジョロウグモの放射性セシウム濃度 Radiocesium (^{137}Cs) activity in the soil and litter and concentrations in the web spiders at the two forest sites in Kawamata-cho, Fukushima.

	Sites	
	PS	ES
<i>Environments</i> (in June 2013): mean $\pm$ SD (kBq/m ² dry) ($n=5$)		
Soil	$3.3 \times 10^2 \pm 1.2 \times 10^2$	$1.6 \times 10^2 \pm 1.1 \times 10^2$
Litter	$2.2 \times 10^2 \pm 1.6 \times 10^2$	$9.6 \times 10 \pm 6.6 \times 10$
<i>Web spider</i> : mean $\pm$ SD (Bq/kg dry)		
2012 ^a	$4.0 \times 10^3 \pm 1.8 \times 10^3$ (8)	$1.5 \times 10^3 \pm 4.5 \times 10^2$ (11)
2013	$2.5 \times 10^3 \pm 1.2 \times 10^3$ (7)	$2.2 \times 10^3 \pm 3.2 \times 10^3$ (6)
		$7.4 \times 10^2 \pm 3.4 \times 10^{2b}$ (5)
2013/2012 ratio	0.63	1.47 (0.49 ^b)

Values in brackets represent the number of the samples from which radioactivity was detected. ^aThe data of 2012 was derived from Ayabe *et al.* (2014).

^bThe values were calculated after excluding a spider sample of high radioactivity concentration (see text for detail).

表-2. 福島県川俣町 2 調査地における 2013 年の土壤-ジョロウグモ間放射性セシウム移行係数 (T_{ag} (m^2/kg dry)) (幾何平均 (最小-最大値))

Aggregated transfer coefficients of radiocesium from soil into the web spider at the two forest sites in Kawamata-cho, Fukushima in 2013 (geometric mean (min-max)).

T_{ag} (m^2/kg dry)	Sites	
	PS	ES*
^{137}Cs	0.0066 (0.0027-0.0142, $n=7$)	0.0040 (0.0014-0.0080, $n=6$)

* A highly contaminated sample was excluded (see text for detail).

する放射性セシウムが、同程度の割合でジョロウグモへ移行していることが示唆された。このように、 T_{ag} 値が 2 調査地ではほぼ等しいため、各調査地の汚染レベルが、ジョロウグモの汚染レベルに反映されたと考えられる。土壤タイプが異なると、植物への T_{ag} 値に 2 桁もの違いが生じる場合があるが (Calmon *et al.* 2009), 本調査地 2 カ所はともに褐色森林土であったため、上位栄養段階のジョロウグモにおいても、類似した T_{ag} 値になったものと考えられる。このことから、少なくともある褐色森林土の地域において、土壤-ジョロウグモ間の T_{ag} 値を見積もることができれば、他の褐色森林土地域においても、同時期に測定したジョロウグモの放射性セシウム濃度から土壤の放射性セシウム量についての推定、もしくはその逆の推定も可能と言えるだろう。 T_{ag} 値は、土壤からジョロウグモへと移行するセシウム量、つまり、土壤から植物、植食性昆虫、ジョロウグモへというように、食物連鎖でつながる生態系のセシウムの循環量を反映していると言える。生態系を循環するセシウム量が事故後の経過時間とともに変化すれば、 T_{ag} 値も同様に変化すると考える必要がある。ただし、本研究で採取されたサンプル数は各サイトで 10 個体に満たず、このような高濃度のサンプルが含まれることは確率的に起こりうる可能性は十分考えられる。サンプル数を増やして T_{ag} 値を評価する必要があるだろう。

生態系を循環するセシウム量の変化は、ジョロウグモの放射性セシウム濃度の年次比較から検討できると考えられる。調査地 PS では、 ^{137}Cs の 2013/2012 年度比は約 0.63 であり (表-1), 放射性核種の物理学的半減期から推測される値 (0.98) よりも低かった。ES では、高濃度汚染個体の存在により、 ^{137}Cs の前年比は増加に転じているが、高濃度汚染個体を除いた値は約 0.5 となっており、PS 同様、予測値よりも低かった (表-1)。すなわち、両調査地の森林に生息するジョロウグモでは、2012~2013 年の 1 年間で 40~50% 近い放射性セシウム濃度の減少がみられ、汚染レベルが予想以上に低下している実態が明らかとなった。このことは、つまり、生態系を循環する放射性セシウム量が減少していることを示している。この原因の一つに、土壤中の放射性セシウムの化学形態の変化が考えられる。セシウムは土壤中の粘土鉱物に吸着して安定化するため (石川ら 2007), 土壤における放射性セシウムの安定化が進むと、植物への取り込みが低下すると考えられている

(*e.g.*, Carver *et al.* 2007; Fujimura *et al.* 2013)。ジョロウグモの網では、植物の葉を食べたり吸汁する植食性昆虫をはじめ、林床や溪流内のリター層から羽化した腐食性、菌食性の昆虫類が餌として捕捉される。事故後時間の経過とともに、粘土鉱物に吸着した安定な形態の放射性セシウムが増え、土壤から植物、植食性昆虫への移行やリターから腐食性昆虫への移行が減少したために、それらの捕食者であるジョロウグモに、物理的減衰以上の減衰が生じたことが考えられる。すなわち、土壤中の生物に利用可能な状態にある放射性セシウム量が減少したことで、食物連鎖を通じて生態系を循環する放射性セシウム量も減少し、その結果、ジョロウグモの放射性セシウム濃度が減少した可能性が考えられる。また、他の可能性として、降雨などの気象イベントによって、放射性物質が土壤粒子とともに森林系外へ流出することで、リター、土壤中の存在量自体が下がったことも考えられる。しかしながら、本調査地において、系外への流出がどのくらいの範囲でどの程度起こるのかについての定量的な評価は今後の課題である。また今後、本研究で示されたような減少速度でジョロウグモ中の放射性セシウム濃度が低下し続けるのか、あるいは濃度が一定の安定値に達するのかについても、さらなる継続調査が必要である。

本研究の 2 カ所の調査地のうち、相対的に汚染レベルが低い ES において、2013 年にきわめて高濃度に汚染されたジョロウグモが採集された事実は、原発事故後の環境評価を考えるにあたり重要な問題を提示している。一般的によく知られる化学汚染物質のカドミウムなどの重金属類とは異なり、セシウムは生物濃縮を引き起こすような体内への蓄積はないとされている。実際に Ayabe *et al.* (2014) は、ジョロウグモ個体の放射性セシウム濃度は、餌摂取量とは関係がないことを明らかにした。福島原発事故から 3 年が経過し、 ^{137}Cs 汚染が検出される生物種 (個体) とそうでないものと両方が観察されるようになってきている (Ayabe *et al.* in preparation)。たとえば、川俣町溪流域に生息する水棲昆虫において、食性に依存して生物種群間で ^{137}Cs 検出の有無は異なる (金指ら, unpublished data)。つまり、生物の ^{137}Cs 汚染は、何を餌として摂食しているかによって影響を受け、その結果、同じ溪流域の生物間において、 ^{137}Cs 汚染の不均質化が生じていることを意味する。このように、ある生息地内において生物間で放射性セシウム汚染の程度が違うとするならば、本調査において発見された高濃度のジョロウグモ個体は、その餌メニューが他の個体とは異なっていた可能性が考えられる。調査地 ES は高台にあり、多くの網は前面が開けた林縁に張られていたことから、別の環境から移動能力が高い、高濃度に汚染された節足動物の移入が偶然起こり、ジョロウグモの餌メニューに加わっていた可能性が高い。もしくは、腐食性のハエなどを多く摂食した可能性も考えられる。腐食性の無脊椎動物は、植食性・捕食性のものと比較して放射性セシウム濃度が高い (*e.g.*, Rudge *et al.* 1993; Copplestone *et al.*

1999; Wood *et al.* 2009)。また、高濃度汚染ジョロウグモの存在には、餌の摂食するタイミングも関係しているだろう。徘徊性コモリグモの一種の例では、 ^{137}Cs の生物学的半減期は20日程度、その他の植食性、捕食性昆虫では6日程度であることが知られており (e.g., Reichele 1967)、もしジョロウグモの生物学的半減期がこれに近いと仮定すると、高濃度のジョロウグモ個体が、採集直前に偶然、高濃度の節足動物を食べた可能性も高い。ある生物が、高濃度に汚染された植物や餌動物を摂食した直後に飛翔移動したとすれば、たとえ相対的に線量が低い地域であっても、時間的、空間的に放射性セシウムのホットスポットが生じる可能性はあるだろう。

本研究によるモニタリング調査の結果、ジョロウグモの放射性セシウム汚染はまだ収束していないことは明らかである。ジョロウグモの餌となりうる下位の栄養段階の多くの節足動物においても、 ^{137}Cs は検出されている (Ayabe *et al.*, in preparation)。節足動物は、哺乳類や鳥類に比べれば体サイズが小さく、汚染個体に含まれる放射性物質の絶対量は、これらの動物のそれと比較するとごくわずかな量でしかないが、食物連鎖を通じて節足動物が果たしている役割を考えると、森林生態系全体における ^{137}Cs の循環および拡散において、節足動物による寄与は無視できないと考えられ、ジョロウグモ以外の節足動物も含めた調査を行う必要がある。 ^{137}Cs は長期にわたって環境に留まり続けることが予想され、今後も、そうした生態系の中での指標生物種の一つとして、ジョロウグモの放射性物質モニタリングを継続していくことは、重要な課題であると考えている。現時点では、体内へ取り込んだ放射性物質濃度がジョロウグモにもたらす生物学的影響は不明であるが、土壌やリター中に含まれる ^{137}Cs 量と比較して、ジョロウグモ中の ^{137}Cs 量がかなり低いことから、内部被ばくによる影響は、外部被ばくと比較して少ないと考えられる。この点も、今後の課題の一つとしたい。

本調査にあたって多大なるご協力をいただいた、菅野富雄氏 (川俣町) に深く感謝する。また、さまざまな便宜をはかっていただいた、福島県林業研究センター 小澤 創氏にも感謝の意を表したい。また、本研究の一部は、JSPS 科学研究費補助金 (24110007) の助成を受けて行われた。

引用文献

- Akimoto S (2014) Morphological abnormalities in gall-forming aphids in a radiation-contaminated area near Fukushima Daiichi: selective impact of fallout? *Ecol Evol* 4: 355–169
- Ayabe Y, Kanasashi T, Hijii N, Takenaka C (2014) Radiocesium contamination of the web spider *Nephila clavata* (Nephilidae: Arachnida) 1.5 years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 127: 105–110
- Bonissoli-Alquati A, Möller AP, Rudolfsen G, Saino N, Caprioli, M, Ostermiller S, Mousseau TA (2011) The effects of radiation on sperm swimming behavior depend on plasma oxidative status in the barn swallow (*Hirundo rustica*). *Comp Biochem Physiol* 159: 105–112
- Calmon P, Thiry Y, Gregor Z, Rantavaara A, Fesenko S (2009) Transfer parameter values in temperate forest ecosystems: a review. *J Environ Radioact* 100: 757–766
- Carver AM, Hinton TG, Fjeld RA, Kaplan DI (2007) Reduced plant uptake of ^{137}Cs grown in illite-amended sediments. *Water Air Soil Pollut* 185: 255–263
- Cooper JA (1970) Factors determining the ultimate detection sensitivity of Ge (Li) gamma-ray spectrometers. *Nucl Instrum Meth* 82: 273–277
- Copplestone D, Hohnson MS, Jones SR, Toal ME, Jackson D (1999) Radionuclide behaviour and transport in a coniferous woodland ecosystem: vegetation, invertebrates and wood mice, *Apodemus sylvaticus*. *Sci Total Environ* 239: 95–109
- Fujimura S, Yoshioka K, Saito T, Sato M, Sato M, Sakuma Y, Muramatsu Y (2013) Effects of applying potassium, zeolite and vermiculite on the radiocesium uptake by rice plants grown in paddy field soils collected from Fukushima prefecture. *Plant Prod Sci* 16: 166–170
- Hijii N (1989) Arthropod communities in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation: abundance, biomass and some properties. *Ecol Res* 4: 243–260
- Hiyama A, Nohara C, Kinjo S, Taira W, Gima S, Tanahara A, Otaki JM (2012) The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly. *Sci Rep* 2: 570 DOI: 10.1038/srep00570
- IAEA (2011) Fukushima Nuclear Accident Update. <http://www.iaea.org/newscenter/news/tsunamiupdate01.html>.
- 石川奈緒・内田滋夫・田上恵子 (2007) 放射性セシウムの水田土壌への収着挙動における粘土鉱物の影響. *Radioisotopes* 56: 519–528
- Menhinick EF (1967) Structure, stability, and energy flow in plants and arthropods in a *Serica lespedeza* stand. *Ecol Monogr* 37: 255–272
- Miyashita T (1992) Variability in food consumption rate of natural populations in the spider, *Nephila clavata*. *Res Popul Ecol* 34: 15–28
- Mizutani M, Hijii N (2002) The effects of arthropod abundance and size on the nestling diet of two *Parus* species. *Ornithol Sci* 1: 71–80
- Møller AP, Mousseau TA (2006) Biological consequences of Chernobyl: 20 years on. *Trends Ecol Evol* 21: 200–207
- Møller AP, Mousseau TA (2009) Reduced abundance of insects and spiders linked to radiation at Chernobyl 20 years after the accident. *Biol Lett Roy Soc* 5: 356–259
- Møller AP, Barnier F, Mousseau TA (2012) Ecosystems effects 25 years after Chernobyl: pollinators, fruit set and recruitment. *Oecologia* 170: 1155–1165
- Møller AP, Nishiumi I, Suzuki H, Ueda K, Mousseau TA (2013) Differences in effects of radiation on abundance of animals in Fukushima and Chernobyl. *Ecol Indic* 24: 75–81
- Mousseau TA, Møller AP (2011) Landscape portrait: A look at the impacts of radioactive contaminations on Chernobyl's wildlife. *Bull Atom Sci* 67: 38–46
- Nakanishi T, Matsunaga T, Kaorashi J, Atarashi-Andoh M (2014) ^{137}Cs vertical migration in a deciduous forest soil following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 128: 9–14
- Reichele DE (1967) Relation of body size to food intake, oxygen consumption, and trace element metabolism in forest floor arthropods. *Ecology* 49: 538–542
- Rudge S, Johnson M, Leah RT, Jones SR (1993) Biological transport of radiocesium in a semi-natural grassland ecosystem. I. Soils, vegetation and invertebrates. *J Environ Radioact* 19: 173–198
- Thiry Y, Krutys N, Delvaux B (2000) Respective horizon contributions to cesium-137 soil-to-plant transfer: A pot experiment approach. *J Environ Qual* 29: 1194–1199
- Wise DH (1993) Spiders in ecological webs. Cambridge University Press
- Wood M, Leah R, Jones SR, Copplestone D (2009) Radionuclide transfer to invertebrates and small mammals in a coastal sand dune ecosystem. *Sci Total Environ* 407: 4062–4074
- Yoshimura M, Akama A (2014) Radioactive contamination of aquatic insects in a stream impacted by the Fukushima nuclear power plant accident. *Hydrobiologia* 722: 19–30