

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：30111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25740026

研究課題名(和文)放射線汚染地域に生息する野生動物における体内被ばくと染色体異常による影響評価

研究課題名(英文) Evaluation of the radiation dose exposure and chromosomal aberration on animals in radiation-contaminated areas.

研究代表者

中田 章史(Nakata, Akifumi)

北海道薬科大学・薬学部・講師

研究者番号：70415420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：福島県の放射線汚染地域に生息しているアカネズミの放射線影響評価を行なうことを目的として、個体群調査、染色体異常の頻度、個体被ばく線量を調査した。福島県の警戒区域内において福島第一原子力発電所事故発生時期に出生した個体が少ないという結果を得たが、新生個体も確認されているため、放射線汚染地域のアカネズミ個体数は回復していると考えられる。また、放射線被ばくによる生存個体の成長遅滞は認められなかった。染色体解析では、放射線に特異的な染色体異常は認められず、放射線汚染地域および対照地域との間で有意な差は検出されなかった。アカネズミの個体被ばく線量は、環境中よりも吸収線量が下回っていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to evaluate the effect of radioactive materials on the Japanese large field mouse, *Apodemus speciosus*, by analyzing age distribution, growth, exposure dose, and chromosome aberrations of mice. The ratio of mice born before and after the F1-NPP accident was significantly low in the Fukushima population. However, our results showed that the population of mice in Fukushima has recovered. The growth of mice is not significantly different in examined areas. There were no radiation-specific chromosomal abnormalities in the mice examined. The external dose of mice in the evacuation area was lower than the air and soil dose rates. Although radiation doses in contaminated areas have been decreasing, exposure doses in mice had not decreased.

研究分野：放射線生物学

キーワード：野生動物 放射線 染色体

1. 研究開始当初の背景

環境中に放出された放射性物質は、ヒトよりも先に周辺の生物に何らかの影響を及ぼす可能性がある。チェルノブイリ事故における野生動物の遺伝的影響に関する報告は限られており (Cristaldi et al., Int. J. Radiat. Biol.1991, Goncharova and Ryabokon, Radiat. Protect. Dosimetry 1995, Baker et al., Nature 1996, Wickliffe et al., Environ. Toxicol. Chem. 2002)、長期的な被ばくの影響が動物個体および個体群に対してどのような影響を与えるのかは不明である。このような状況は東京電力福島第一原子力発電所事故の生態系への影響を正確に評価するにあたり多くの問題を提起している。そこで申請者は、放射線の生態影響のリファレンス動物であるノネズミ (ICRP, 2007) を対象として放射線汚染地域に生息している優占種であるアカネズミの染色体による影響評価を行ってきた。2011年秋の個体群調査において、福島県の警戒区域内においてアカネズミの春誕生個体数が減少の可能性が示唆された。また、チェルノブイリ事故における高線量地域に生息しているノネズミの放射線の影響を調査した研究では染色体異常の頻度が高く、慢性的な被ばくを受けていることが示唆されており (Goncharova and Ryabokon, Radiat. Protect. Dosimetry 1995)、福島県警戒区域内においても野生動物も同様に染色体異常が観察されている。

2. 研究の目的

放射性物質汚染地域に生息している野生生物への放射線影響を調査することは生態系に対する影響評価や環境保全にとって極めて重要であり、ヒトへの影響の未然防止、リスク管理や生活環境の改善へと繋がる。申請者はこれまで福島県の警戒区域内に生息している小哺乳類における個体群調査、放射性物質の体内への蓄積、染色体異常の頻度を解析してきた。本研究では継続的に行なっている警戒区域内における野生生物における放射性物質の体内への取り込みとそれによる放射線影響評価を行なうことを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 個体群解析

アカネズミの臼歯摩耗度およびレンズ重量から個体の齢段階、齢、出生時期を推定した。さらに、アカネズミの体重と齢段階および齢を用いて、成長度合いを解析した。

(2) 染色体解析

アカネズミの脾臓リンパ球を分裂促進剤による刺激化で46時間培養した。培養液にコルセミド液を添加し、回収したリンパ球から染色体標本を作成した。光学顕微鏡下で染色体標本を観察し、染色体異常を解析した。

(3) 個体被ばく線量の測定

アカネズミの外部被ばく線量を把握するために、放射性物質汚染地域に生息するアカネズミの体内に蛍光ガラス線量計 (PLD) を留置して放逐し、一定期間後に再捕獲して PLD を回収した。回収した PLD はガラス線量計リーダーを用いて、吸収線量を測定した。さらに、アカネズミの表皮とカーカスに分離した後、γ線スペクトロメトリーを行い、内部被ばくと表面汚染の関係について解析した。

4. 研究成果

(1) 個体群解析

福島県における放射性物質の個体群に対する影響を調査するために、福島県内4地点、および対照として青森県2地点のアカネズミの個体群年齢構成並びに個体成長の調査を行った。2012年までに捕獲・作製したアカネズミの下顎の臼歯の標本から齢査定を行い、2011年秋期の状況と比較を行った。2011年秋期では福島県の警戒区域内においてアカネズミの春誕生個体数が減少の可能性が示唆されたが、2012年春期では齢段階VI (2010年12月~2011年4月出生)の個体 (図1)、2012年秋期では齢段階VIII (2010年12月~2011年3月出生)の個体が青森県に比べ福島県では有意に少なかった。

そのため、福島第一原子力発電所事故発生時期に出生した個体が少なかったことが示唆された。本研究における放射性物質汚染と個体数変動の関係は定かではないが、今後も引き続き個体群調査を行っていく必要がある。また、2011年から2013年の調査において、それぞれ新生個体の捕獲も確認されているため、福島県の放射線汚染地域においてアカネズミ個体群の減少は一時的なものであると考えられる。さらに、齢と体重の関係から個体成長の度合いを比較したところ、福島県警戒地域と青森県で有意な差は検出されなかった (図2)。

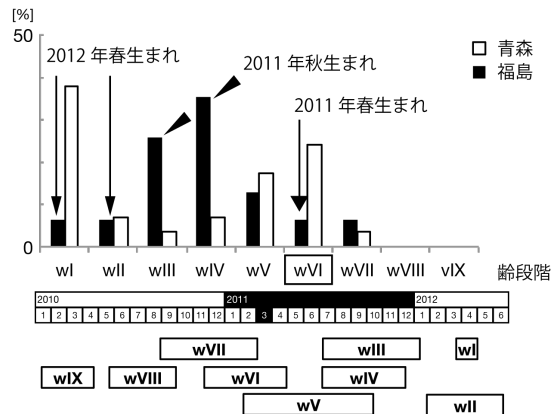


図1 2012年春期におけるアカネズミ集団の年齢構成

(2) 染色体解析

2013年から2016年に捕獲・作製したアカネズミの脾臓リンパ球の染色体標本を用いて、

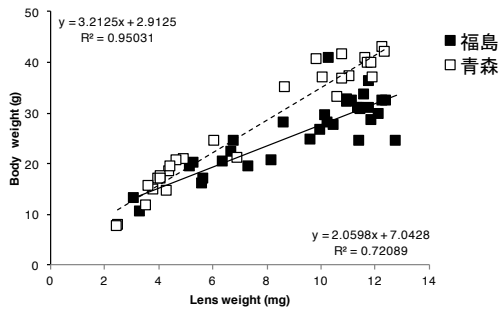


図 2 2012 年春期における個体成長度の比較

放射線の遺伝的影響を解析した。本研究では、2011 年から 2013 年における福島県内 4 地点、および対照として青森県 2 地点のアカネズミの染色体異常解析の結果を示す。放射線特異的な染色体異常は検出されなかったが、福島県および対象地域である青森県の両者において染色体の部分切断等が観察された。福島県においては 2011 年秋から 2013 年度までの染色体異常頻度の推移は年々減少傾向であったが、青森県では秋期において染色体異常頻度の増加が観察された (図 3)。染色体の部分切断は化学物質や重金属など放射線以外の要因によっても生じることが知られているため、これらの異常の要因は不明である。しかしながら、青森県では季節変動の傾向があるため、化学物質による影響の可能性が考えられる。

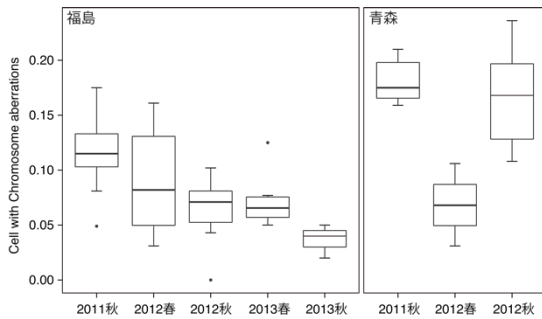


図 3 アカネズミの染色体異常頻度の推移

### (3) 個体被ばく線量の測定

図 4 に 2015 年におけるアカネズミの個体被ばく線量を示す。空間線量率が高線量 (帰宅困難区域 1)、中線量 (帰宅困難区域 2)、低線量 (避難指示解除準備地域) である地域において、アカネズミの被ばく線量は、それぞれ  $249.4 \pm 74.4 \mu\text{Gy/day}$ 、 $123.7 \pm 14.7 \mu\text{Gy/day}$ 、 $14.03 \pm 14.4 \mu\text{Gy/day}$  であり、空間線量率および土壌表面線量率に対して線量率依存的に増加が認められた。ただし、被ばく線量は、いずれの地点においても空間線量率や土壌表面における吸収線量を下回っていた。そこで、この低下の原因を明らかにするために、PLD を土壌の鉛直方向に埋設し、その吸収線量を測定した。その結果、吸収線量は深さ 10cm 地点で、地表の約半分となっており、そこから急激に減少していた。被ばく線量の値を鉛直方

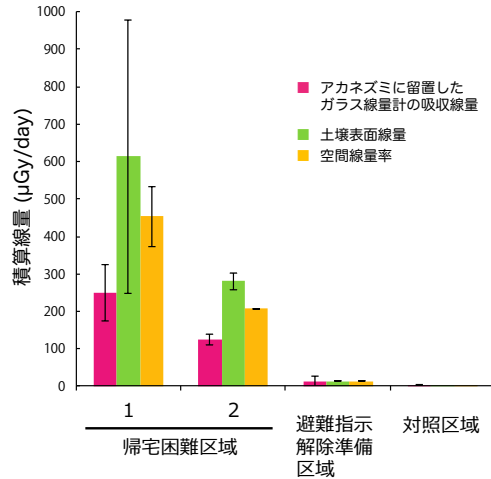


図 4 2015 年のアカネズミの個体被ばく線量

向の減弱に当てはめて考えると、アカネズミの生活圏は地下約 10cm 程度と予測される。このことがアカネズミの被ばく線量が捕獲地の線量を下回る要因であると考えられる。また、アカネズミの個体被ばく線量の値は、環境中の放射線量 (外部被ばく) 由来とアカネズミの体内に存在する放射性物質 (内部被ばく) 由来で構成されていることが考えられる。この被ばく形態の比率を算出するため、対照地域で帰宅困難区域の個体に PLD を留置し測定したところ、個体被ばく線量の約 5% が内部被ばくに由来することが判明した。さらに、アカネズミの毛皮と残骸で  $\gamma$  線スペクトロメトリーを行った結果、毛皮と残骸ではほぼ同程度の放射性セシウム濃度を蓄積していることが判明した。

また、ICRP の Publication 108 においては、野ネズミにおいて放射線影響を考慮すべき線量であるかを判断するための目安 (誘導考慮参考レベル、DCRL) を 0.1-1.0 mGy/day と示している。本研究において、測定したアカネズミの被ばく線量は、DCRL の下限値を上回る値であり、事故からおおよそ 4 年を経ても依然として影響を考慮するレベルにある。そのため、継続的なモニタリングを行っていく必要があると考えられる。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件、全て査読有)

- ① Takino S, Yamashiro H, Sugano Y, Fujishima Y, Nakata A, Kasai K, Hayashi G, Urushihara Y, Suzuki M, Shinoda H, Miura T, Fukumoto M. Analysis of the Effect of Chronic and Low-Dose Radiation Exposure on Spermatogenic Cells of Male Large Japanese Field Mice (*Apodemus speciosus*) after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. Radiation Research, 187: 161-168 (2017) doi: 10.1667/RR14234.1. Epub

- 2017 Jan 16.
- ② Akiyama M, Takino S, Sugano Y, Yamada T, Nakata A, Miura T, Fukumoto M, Yamashiro H. Effect of seasonal changes on testicular morphology and the expression of circadian clock genes in Japanese wood mice (*Apodemus speciosus*). *Journal of Biological Regulators & Homeostatic Agents*. 29(3), 589-600 (2015)
- ③ Miura T, Nakata A, Kasai K, Nakano M, Abe Y, Tsushima E, Ossetrova NI, Yoshida MA, Blakely WF: A novel parameter, cell-cycle progression index, for radiation dose absorbed estimation in the premature chromosome condensation assay. *Radiation Protection Dosimetry*. 159, 52-60, (2014) doi: 10.1093/rpd/ncu126. Epub 2014 Apr 17.
- ④ Nakano M, Nishimura M, Hamasaki K, Mishima S, Yoshida M, Nakata A, Shimada Y, Noda A, Nakamura N, Kodama Y: Fetal irradiation of rats induces persistent translocations in mammary epithelial cells similar to the level following adult irradiation, but not in hemato-lymphoid cells. *Radiation Research* 181, 172-178, (2014) doi: 10.1667/RR13446.1. Epub 2014 Feb 10.
- ⑤ Miura T, Nakata A, Kasai K, Abe Y, Jin Y, Yoshida MA: Healthcare of 18 Workers who Supported the Regulation of Radiological Contaminations at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Radiation Emergency Medicine* 2, 63-67, (2013).
- ⑥ Hosoda M, Tokonami S, Tazoe H, Sorimachi A, Monzen S, Osanai M, Akata N, Kakiuchi H, Omori Y, Ishikawa T, Sahoo SK, Kovács T, Yamada M, Nakata A, Yoshida M, Yoshino H, Mariya Y, Kashiwakura I: Activity concentrations of environmental samples collected in Fukushima Prefecture immediately after the Fukushima nuclear accident. *Scientific Reports* 3, 2283 (2013). doi: 10.1038/srep02283
- ⑦ Iwata KI, Yamada Y, Nakata A, Oghiso Y, Tani S, Doi K, Morioka T, Blyth BJ, Nishimura M, Kakinuma S, Shimada Y: Co-operative effects of thoracic X-ray irradiation and N-nitrosobis (2-hydroxypropyl) amine administration on lung tumorigenesis in neonatal, juvenile and adult Wistar rats. *Toxicology and Applied Pharmacology* 267, 266-275, (2013). doi: 10.1016/j.taap.2012.12.024. Epub 2013 Jan 18.
- ⑧ Hosokawa Y, Hosoda M, Nakata A, Kon M, Urushizaka M, Yoshida MA: Thyroid screening survey on children after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Radiation Emergency Medicine* 2, 82-86, (2013).
- [学会発表] (計 18 件)
- ① 氏家里紗、藤嶋洋平、阿部 悠、中田章史、葛西宏介、三浦富智、津山尚宏、有吉健太郎、吉田光明、坂井晃：未成（早期）熟凝縮染色体（PCC）法と FISH 法を併用した二動原体染色体線量推定法の検討。日本放射線影響学会第 59 大会。広島市。2016 年 10 月 26-28 日
- ② 藤嶋洋平、中田章史、三浦富智、田副博文、豊田正、葛西宏介、有吉健太郎、山田正俊、吉田光明：福島県浪江町におけるネコの内部被ばく解析。日本放射線影響学会第 59 大会。広島市。2016 年 10 月 26-28 日
- ③ 中田章史、藤嶋洋平、葛西宏介、有吉健太郎、斎藤幹男、鈴木亨純、三浦富智、吉田光明、福本学：放射性物質汚染地域に生息するノネズミの被ばく線量推定法の開発。日本放射線影響学会第 59 大会。広島市。2016 年 10 月 26-28 日
- ④ 有吉健太郎、中田章史、藤嶋洋平、三浦富智、葛西宏介、尚奕、柿沼志津子、島田義也、立花章、吉田光明：放射線誘発悪性腫瘍の発生に関する染色体異常の解析。日本放射線影響学会第 59 大会。広島市。2016 年 10 月 26-28 日
- ⑤ 大平拓也、伊藤洵、藤嶋洋平、菅原淳史、山城秀昭、中田章史、鈴木正敏、有吉健太郎、葛西宏介、篠田壽、三浦富智、福本学：電子線マイクロアナライザによる被災アカネズミ精巢の元素分析。日本放射線影響学会第 59 大会。広島市。2016 年 10 月 26-28 日
- ⑥ Fujishima Y, Nakata A, Miura T, Tazoe H, Toyoda T, Kasai K, Ariyoshi K, Yamada M, Konno N, Yoshida MA: Radiation dosimetry for the internal exposure of the cats in Namie-town. *ICRR 2015, Kyoto*. 2015.5.25-29.
- ⑦ Miura T, Abe Y, Nakata A, Kasai K, Yoshida MA: Assessment of Simulated Partial Body Acute Irradiation by Cell-cycle Progression Index in the Premature Chromosome Condensation Assay. *ICRR 2015, Kyoto*. 2015.05. 25-29.
- ⑧ Nakata A, Fujishima Y, Ujiie R, Kasai K, Tazoe H, Ariyoshi K, Saito M, Suzuki K, Yamada M, Miura T,

- Yoshida MA, Fukumoto M: Effects of radioactive pollution of the Japanese large field mouse (*Apodemus speciosus*) in Fukushima. ICRR 2015, Kyoto. 2015.05. 25-29.
- ⑨ Fujishima Y, Nakata A, Miura T, Tazoe H, Toyoda T, Kasai K, Ariyoshi K, Yamada M, Konno N, Yoshida MA: Radiation dosimetry for the internal exposure of the cats in Namie-Town. 1st. Educational Symposium on Radiation and Health by young scientists, Hirosaki, 2014. 09.21-22
- ⑩ 三浦富智、中田章史、藤嶋洋平、氏家里紗、葛西宏介、田副博文、有吉健太郎、齋藤幹男、鈴樹亨純、山田正俊、吉田光明、福本学、放射性物質汚染地域に生息するアカネズミの生物影響解析、日本放射線影響学会第 57 回大会、鹿児島 2014 年 10 月 1~3 日
- ⑪ 瀧野祥生、トウビン、菅野有晃、岩島玲奈、秋山将、中田章史、葛西宏介、三浦富智、福本学、山城秀昭、被災アカネズミの雄性生殖細胞における増殖能の評価、日本放射線影響学会第 57 回大会、鹿児島 2014 年 10 月 1~3 日
- ⑫ 吉田光明、中田章史、藤嶋洋平、高橋千佳、外館茜、有吉健太郎、柿沼志津子、島田義也、炭素線で誘発させたマウス胸腺リンパ腫の仔マウスにおける染色体異常の特徴、日本放射線影響学会第 57 回大会、鹿児島 2014 年 10 月 1~3 日
- ⑬ 三浦富智、阿部悠、中田章史、葛西宏介、吉田光明、ヒト末梢血 *ex vivo* 部分照射モデルにおける Cell-cycle Progression Index の有用性評価、日本放射線影響学会第 57 回大会、鹿児島 2014 年 10 月 1~3 日
- ⑭ 山口朋子、山田正俊、田副博文、葛西宏介、中田章史、細川洋一郎：土壤中の放射能比分析による福島第一原子力発電所事故由来のプルトニウムの飛散状況の把握。平成 25 年度青森県放射線技師学術大会。弘前市。2013 年 11 月 30 日
- ⑮ 瀧野祥生、Tong Bin、岩島玲奈、柳沼日佳里、中田章史、葛西宏介、三浦富智、福本学、山城秀昭：被災アカネズミにおける精巢の形態学的観察。北信越畜産学会第 62 回大会。石川県。2013 年 11 月 14 日~15 日
- ⑯ 吉田光明、藤嶋洋平、氏家里紗、葛西宏介、三浦富智、対馬栄輝、鈴樹亨純、中田章史：放射性物質汚染地域におけるアカネズミの個体群調査。日本放射線影響学会第 56 回大会。青森市。2013 年 10 月 18~20 日
- ⑰ 篠田壽、木野康志、中田章史、葛西宏介、高橋温、清水良央、鈴木敏彦、千葉美麗、関根勉、福本学、三浦富智：福島第一原発被災地域に棲息する野生アカネズミ

の歯の線量解析。日本放射線影響学会第 56 回大会。青森市。2013 年 10 月 18~20 日

- ⑱ 中田章史、吉田光明、三浦富智、西村美八、高間木静香、葛西宏介、紺野則夫、吉田良子、関根俊二：福島県浪江町の被災住民における染色体転座解析のためのシステム構築。日本放射線影響学会第 56 回大会。青森市。2013 年 10 月 18~20 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中田 章史 (NAKATA, Akifumi)

北海道薬科大学・薬学部・講師

研究者番号：70415420