

平成 25 年度
野生動植物への放射線影響に関する
意見交換会

要旨集

主 催:環境省(事務局・自然環境研究センター)

日 時:2014(平成 26)年 3 月 12 日(水曜日)

10 時 00 分~17 時 00 分

会 場:LMJ東京研修センター 5 階特大会議室

(東京都文京区本郷 1-11-14 小倉ビル)

平成 25 年度野生動植物への放射線影響に関する意見交換会 プログラム

- 1-1 Sergey P. GASHCHAK (ウクライナ チェルノブイリ・センター)……………10:05～10:40
(Vasyl IOSHCENKO 代理発表)
「チェルノブイリ原発事故と動物への影響」
- 1-2 Vasyl IOSHCENKO (福島大学環境放射能研究所)……………10:50～11:50
「チェルノブイリ原発事故と植物への影響」
- ◆<昼休み>◆ 12:00～13:00
- 2 五味高志(東京農工大学農学研究院)……………13:00～13:10
「森林・溪流生態系食物網における放射性セシウムの生物蓄積」
- 3 荒川久幸(東京海洋大学海洋環境学科)……………13:15～13:25
「沿岸生態系における放射性物質の拡散過程の解明に関する研究
-海産魚類の生態学的半減期-」
- 4 山本 裕(日本野鳥の会)……………13:30～13:40
「ツバメと水鳥への放射性物質の影響調査」
- 5 岩見恭子(山階鳥類研究所)……………13:45～13:55
「ツバメの巣の放射性物質汚染状況」
- 6 大久保達弘(宇都宮大学農学部)……………14:00～14:10
「栃木県の異なる空間線量地域における落葉樹林林床の放射性降下物の蓄積状況
-原発事故後3年目の結果-」
- 7 小金澤正昭(宇都宮大学農学部)……………14:15～14:25
「奥日光におけるミヤコザサからニホンジカへの放射性セシウム 137 の移行係数」
- 8 羽山伸一(日本獣医生命科学大学獣医学部)……………14:30～14:40
「福島市に生息する野生ニホンザルの放射性セシウム蓄積と健康影響」
- 9 玉置雅紀(国立環境研究所)……………14:45～14:55
「低線量放射線により野生生物での DNA 変異の蓄積は起きているのか？」
- ◆<休憩>◆ 15:00～15:15
- 10-1 尼子直輝(環境省自然環境局自然環境計画課)……………15:15～15:25
「野生動植物への放射線影響調査」
- 10-2 渡辺嘉人(放射線医学総合研究所)……………15:30～15:40
「福島の森林樹木における放射能汚染の影響」
- 10-3 久保田善久(放射線医学総合研究所)……………15:45～15:55
「福島で捕獲した野ネズミの染色体異常の調査」
- 10-4 府馬正一(放射線医学総合研究所)……………16:00～16:10
「サンショウウオの放射線影響」
- 10-5 丸山耕一(放射線医学総合研究所)……………16:15～16:25
「メダカへの放射線影響調査」
- 総合討論……………16:30～17:00

チェルノブイリ原発事故と動物への影響

Ecology of the Chernobyl Zone: Nuclear desert or wildlife paradise?

S. P. GASHCHAK

Deputy Director for Science, International Radioecology Laboratory,
Chornobyl Center for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology

In the result of the Chernobyl accident huge amount of radioactive matters released from the destroyed reactor into environment and contaminated vast areas of Europe. Lands surrounding the power plant had extremely high contamination excluding further habitation of people. Near 130,000 people from 70 settlements (including two towns) were resettled, and an exclusion zone was established. Dose rates on the territories near the power plant caused death of number of organisms and numerous disturbances of growth, development and reproduction. This area appeared to be a nuclear desert forever.

However over 15-20 years it turned into thriving wildlife refuge which however remains unsafe for people. There are many reasons for such contradiction;

- First, all living organisms have capabilities of radio-resistance appeared during evolution as the radiation is norm of Universe.
- Second, result of exposure to radiation depends on dose absorbed while doses were not steadily high and did not have even distribution within the exclusion zone. It decreased very fast due to decay of short and medium lived isotopes, deepening of the radionuclides into soil where they were bound by soil minerals and microbiota.

In fact, the most dangerous level of radiation took place only on limited area in the center of Chernobyl zone and along main traces of radioactive clouds. By time dose rates dropped down and size of 'hot' spots reduced. As result, wildlife on 70-80% of the total area had radiologically favorable conditions excluding definite negative effects; mechanisms of radio-resistance overcame most of impacts.

Absence of people and cessation of human activity on 90% of the territory had much more considerable effect than radiation. It opened a way for the free recovery of plant and animal diversity and abundance peculiar for this geographic region. While negative radiation influence continues it is addressed through radio-resistance system and in fact, possible effect such as mortality is important only for individuals which constantly inhabit high radioactive environment while it is not important at population level. That is why wildlife is thriving while risk of negative effects still exists at individual level. Taking into account all these circumstances and undoubted environment value of local natural complex, the most reasonable scenario of the lands use is the establishment of nature reserve.

チェルノブイリ原発事故と植物への影響
Chernobyl Accident and Its Impact on Plants

V. IOSHCENKO
Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

Chernobyl and Fukushima disasters were the two largest radiation accidents in the humankind history. Chernobyl disaster in 1986 resulted in radioactive contamination of the vast territories in Ukraine, Belarus and Russia that remain excluded from economical use until now. In comparison to Chernobyl, the total release of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi NPP was almost 10 times lower (Steinhauser 2014) and the contaminated area is much smaller too. The radionuclide compositions of the two releases also differ: in the Chernobyl fallout, especially in the near zone, the significant activities of the fuel component radionuclides (^{90}Sr , isotopes of TUE etc.) are present while the Fukushima fallout is formed mainly by radiocesium. However, in the near zone of the Fukushima accident the terrestrial contamination densities with radiocesium are close to those in the Chernobyl zone. It raises concerns about the possible effects to wildlife at the areas contaminated after Fukushima.

In the Chernobyl zone both somatic and genetic effects of radiation were detected in plants inhabiting the contaminated areas during the first years after the accident. Specifically, numerous morphological changes, such as changes in size, shape, and color of individual organs and their location in the plants, were observed in Scots pine (*Pinus sylvestris*) (Kal'chenko et al. 1993; Grodzinsky et al. 1995; Geraskin et al. 2003). In general, coniferous are known as the radiosensitive species. As a result of acute irradiation during the accident some pine forests in the Chernobyl zone died, and others were damaged. It is important to note that Scots pine is the forest-forming species in the Chernobyl zone, and significant impacts to its populations could lead to the ecosystems transformation. In 2002, Kozubov and Taskaev presented a comprehensive review of the radiation effects to coniferous species in the Chernobyl zone at the early stage after the accident.

At the late stage of the accident morphological changes in Scots pine are presented by cancelling the apical dominance, while other abnormalities are extremely rare. Since 2005 Ukrainian Institute of agricultural Radiology (UIAR NUBiP of Ukraine) has been carrying out the researches focused on morphological and cytogenetic effects of chronic radiation to the candidate referent species (ICRP, 2003) of terrestrial ecosystems of the Chernobyl zone. For Scots pine the reliable dependencies of the morphological changes (Fig. 1) and cytogenetic damages (Fig. 2) on the dose rate were formulated (Yoschenko, 2011). It is important to note that the significant frequency of morphoses was detected at the dose rate levels that are considered as "safe" for biota. Other findings for this species concern the dynamics of realization of the morphological changes and dynamics of the level of cytogenetic changes.

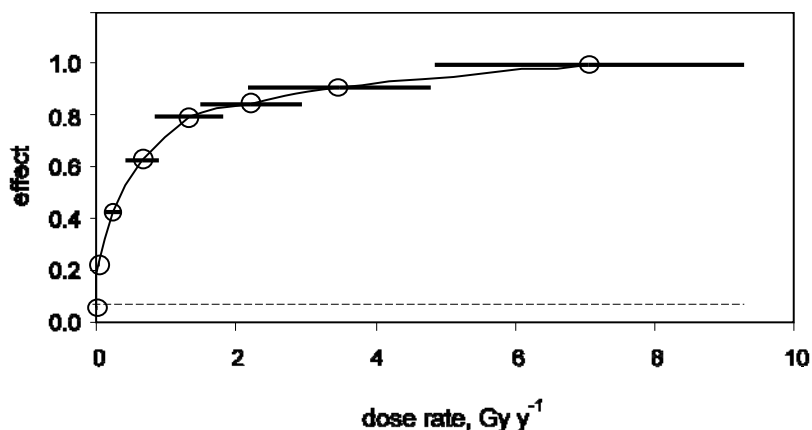


Fig. 1. Probability of morphological changes as a function of dose rate in *Pinus sylvestris* L. Dotted line shows the background frequency of morphoses for this species.

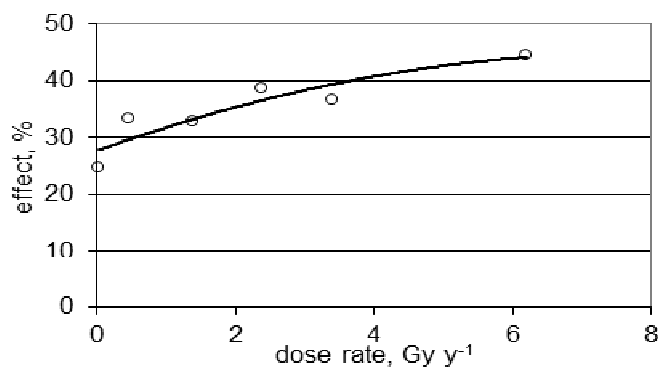


Fig. 2. Probability of cytogenetic change) as a function of dose rate in seed germs of Scots pine trees.

Increase of the cytogenetic damages as a response to chronic radiation was also demonstrated for two other species, Evening primrose (*Oenothera Biennis* L.) and Ash maple (*Acer negundo*); however, we did not observe any distinct effects at the morphological level for these species.

REFERENCES

- Geraskin SA et al. J Environ Radioact 2003, 66: 171-180.
 Grodzinsky DM et al. In: Baryakhtar VG ed. Chernobyl Catastrophe. 1995: 293-310.
 ICRP Publication 91, Vol. 33 No 3; Ann ICRP; 2003.
 Kal'chenko VA et al. Genetika 1993, 29: 1205-1212.
 Kozubov GM, Taskaev AI. Radiobiological studies of coniferous species in the area of the ChNPP accident, 2002.
 Steinhauser G et al. Sci of the Total Environment 2014, 470-471: 800-817.
 Yoschenko VI et al. Health Physics 2011, 101: 393-408.

森林・溪流生態系食物網における放射性セシウムの生物蓄積 Radiocaesium concentrations in the food web of stream-riparian ecosystems

五味 高志¹・境 優¹・岩本 愛夢¹・岡田 健吾¹・布川 雅典²・根岸 淳二郎²
T. GOMI¹, Y. SAKAI¹, A. IWAMOTO¹, K. OKADA¹, M. NUNOKAWA², J. NEGISHI²

¹ 東京農工大学・² 北海道大学

¹ Tokyo University Agriculture and Technology,

² Hokkaido University

はじめに

福島県下のスギ人工林では、放射性セシウム (Cs) の多くは林床や樹冠に存在し、リターの落下や移動とともに林床から溪流へ流入していくことが予想される。とくに、山地流域の溪流生態系の食物網では、森林から供給されるリターが基礎生産として重要である。そのため、リターを起点とした食物網が構成されており、リターを分解する破碎食者と呼ばれる水生生物などが優占している。また、溪流の上位捕食者である魚類も陸から供給される餌資源への依存が顕著である。リターなどの放射性 Cs 汚染により、生態系上位の種への放射性 Cs の移行が予想される。とくに、イワナ (*Salvelinus leucomaenis*) は、日本の山地溪流に幅広く分布し、溪流生態系の上位捕食者であると同時に、日本の内水面漁業の資源としても重要な生物である。本研究では、溪流-溪畔林生態系における底生、陸生生物などの食物網構造について解明し、これらを構成する基礎生産からイワナまでの生物種の放射性 Cs の蓄積の実態を把握し、餌資源や栄養段階と放射性 Cs の蓄積量、イワナの ¹³⁷Cs 摂取と排出の関係を評価することを目的とした。

調査地と方法

本研究は、福島県二本松市に位置する阿武隈川水系大沢川流域 (170ha) を対象とした。流域内はスギ (*Cryptomeria japonica*) とヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) を主体とした林分で、溪岸まで植栽木がみられる。文部科学省の 2011 年 7 月 2 日の第 3 次航空機モニタリング結果では、流域内の ¹³⁷Cs 沈着量は 100-300 kBq/m² であった。年平均降水量は 1248mm、年平均気温は 10.9°C である (AMeDAS 船引)。調査地点の標高は約 545m、流路幅約 0.5~1m、水深は 5~50cm であった。

安定同位体比分析、放射能測定用サンプルとして溪流域では 250 μm メッシュ D フレームネットを用いて水生生物の採取を行った。溪畔域の陸生生物は、ピットフォールトラップ法とベイトトラップ法を用いて採取した。一次生産者として、流路内の落ち葉溜まりからスギと広葉樹リター、CPOM (粗粒状有機物)、FPOM (細粒状有機物)、底質の付着藻類を採取した。また、溪畔域の林床からもスギと広葉樹リター、腐植層を含む土壌などを採取した。採取したイワナは体長と全長の計測、ストマックポンプを用いた胃内容物の採取を行った。サンプルの一部は、安定同位体比質量分析システムを用いて、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を測定した。また、サンプルを 100ml の U8 容器に入れ、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、放射性物質濃度を測定した。イワナについては、固有代謝率および肥満度を算出した (Brown et al., 2004; Barnham et al., 1998)。

結果と考察

(1) 食物網構造と放射性 Cs

水生生物と陸生生物はスギリターを起点とした直線上に位置し、食物網の基盤としてスギリターが重

要であることが示された。森林域の一次生産者の ^{137}Cs 濃度（以下濃度は $\text{mean} \pm \text{SD Bq/kg-dry}$ で表記）は、土壌と林床スギリターで高く（土壌： 24284 ± 11449 、スギリター： 24620 ± 6903 ）、溪流内のスギリターは 6439 ± 1410 であり、林床と比較し低くなっていた。

生息場所ごとの ^{137}Cs 濃度を比較した結果、カマドウマ科（*Rhaphidophoridae*）などの森林域に生息する生物とサワガニ（*Geothelphusa dehaani*）やアカガエル科（*Ranidae*）などの森林と溪流域を行き来する生物がそれぞれ 3258 ± 1955 、 3760 ± 2478 と高く、次いで溪流（淵） 1547 ± 1228 、溪流（瀬） 514 ± 271 の順であった（図1）。森林と溪流域の生物の ^{137}Cs 濃度の違いは、食物網の基盤であるスギリターの汚染度の違いによるものと考えられた。栄養段階の指標となる $\delta^{15}\text{N}$ と汚染度指標の ^{137}Cs 濃度の間には明確な関係は見られなかった。

（2）イワナの ^{137}Cs 濃度とその蓄積要因

採取したイワナの体長は28~226mmであり、同程度の体長の個体でも肥満度には差が見られた。採取されたイワナの胃内容物からは、季節を通してカクツツトビケラ属（*Lepidostoma*）などのトビケラ目を含む水生昆虫やミズムシ科（*Asellidae*）などの水生生物と、カマドウマ科（*Rhaphidophoridae*）やコウチュウ目（*Coleoptera*）といった陸生生物が確認された。胃内容物に陸生生物が占める割合は、夏季で79%、冬季で36%であった。夏季に ^{137}Cs 濃度の高い陸生生物を多く食べていることから、イワナは夏季に最も多く ^{137}Cs を摂取していると推定された。

イワナの ^{137}Cs 濃度は $1211 \sim 6148 \text{Bq/kg-dry}$ であった。 ^{137}Cs 濃度はイワナの体長や肥満度が大きくなるほど、高くなる傾向にあった（図2）。固有代謝率（ W/g ）は $0.9 \sim 4.1$ であり、体長が大きくなるほど低くなり、夏季に高くなる傾向がみられた。すなわち、体長が大きくなるほど、 ^{137}Cs の排出率は減少する一方、水温が高くなるほど、 ^{137}Cs の排出率は増加すると考えられた。

以上のことから、摂食による ^{137}Cs の摂取と、代謝による ^{137}Cs の排出は明確な季節変動を示すことが明らかとなった。しかし、イワナの ^{137}Cs 濃度の季節変動は小さく、体長が大きくなるほど、かつ個体の肥満度が高くなるほどイワナの ^{137}Cs 濃度が高くなる傾向のみが見られた。イワナの ^{137}Cs 濃度の季節変動が小さくなるのは、夏季におけるイワナの ^{137}Cs の摂取と排出が他の季節と比べて最大となる相殺効果に起因すると考えられた。

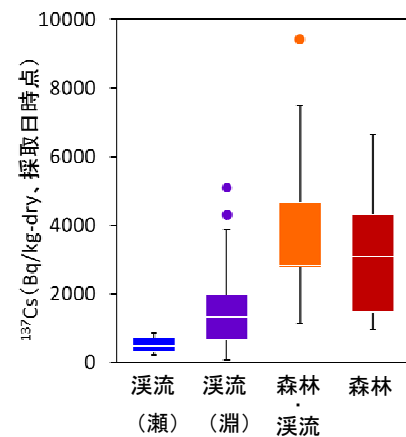


図1 生息場所別の ^{137}Cs 濃度

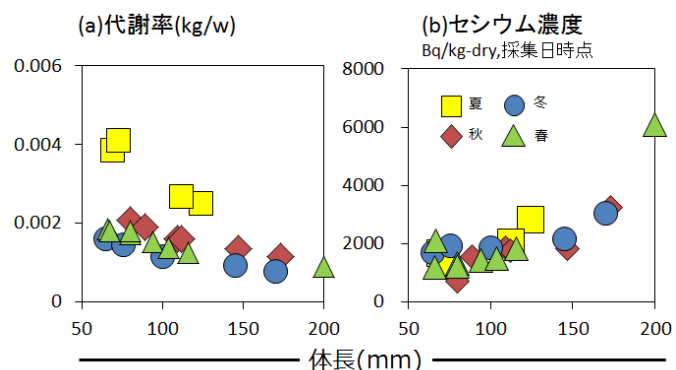


図2 イワナの(a)代謝と(b)セシウム濃度

引用文献

Barnham C, Baxter A(1998)Condition factor, K for salmonid fishes. Fisheries Notes, ISSN
Brown JH, Gilloly JF, Allen AP, Savage VM, West GB (2004) Toward a metabolic theory of

ecology. Ecology 85: 1771-1789.

Summary

We investigated radiocesium (^{137}Cs) concentrations in organisms and organic matter sampled from stream and adjacent riparian zone of headwaters. Radiocesium concentration in organisms in forest was the greatest followed by those in forest and stream, pools, and riffles. Level of radiocesium concentration of consumers depends on the level of contamination of primary producers available in consumers' habitat range. Radiocesium concentrations in char ranged from 1211 to 6148 Bq kg⁻¹-dry. Radiocesium concentration appeared to be greater in the individuals with greater body sizes and body fatness index. Dynamics of radiocesium via litter decompositions and transport is an important process for understanding biological transfer of radiocesium through food webs in forest-stream ecosystem. Our findings also showed that metabolism and resource subsidies between stream and riparian ecosystems are key processes for radiocesium transfer to salmonid fish in headwaters.

沿岸生態系における放射性物質の拡散過程の解明に関する研究
-海産魚類の生態学的半減期-

Diffusion process of radioactive materials in ecosystems of coastal sea areas
-Ecological half-life in marine fish off Fukushima -

荒川久幸・松本 陽

H. ARAKAWA, A. MATSUMOTO

東京海洋大学

Tokyo University of Marine Science and Technology

目的

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故による福島沿岸域の生態系への放射性物質の拡散過程を解明することを目的として、2012年度から福島県いわき市の沿岸2地点（四倉、江名）で採集した各種の海洋生物（魚類、無脊椎動物、海藻）の放射性セシウム濃度（以下、Cs濃度）を測定した。その結果、各種生物のCs濃度は、継時的に減少していること、減少の割合が小さい生物種があること、が分かった。魚類では、シロメバル、コモンカスベ、アイナメ等がそれであった。そこで、魚種について、実効半減期および生態学的半減期を推定し、Cs濃度の経時変化の違いについて検討した。

方法

2012年9、11月、2013年1、5、10月に福島県いわき市沖の2地点（江名と四倉）で刺網および餌料曳網により魚類を採集し、乾燥後、ゲルマニウム半導体検出器により ^{134}Cs および ^{137}Cs 濃度を測定した。測定時間は、7200秒間とした。各魚種について、Fishbaseデータベース(<http://www.fishbase.org>)の生態学的データ（餌生物種、栄養段階、生息域）とCs濃度との関係を検討した。恒常的に採集された魚種については、 ^{137}Cs 濃度の時系列データに対して指数関数モデルを当てはめ、得られたパラメータから実効半減期および生態学的半減期を推定した。

結果・考察

砂浜と岩礁ともにネクトンを摂餌する魚種（ヒラメ、キツネメバル等）では、 ^{137}Cs 濃度と栄養段階との関係は不明瞭であったが、ベントスを摂餌する魚種（シロメバル、アイナメ等）では有意な相関が認められ（スピアマン順位相関 $r = 0.71$, $p < 0.01$ ）、上位捕食者ほど ^{137}Cs 濃度が高い傾向が示された（Fig. 1）。概ねどの魚種についてもセシウム濃度の経時的な減少傾向が見て取れた。推定された生態学的半減期はネクトンを摂餌する魚種（ヒラメ、キツネメバル）よりもベントスを摂餌する魚種（シロメバル、コモンカスベ、アカシタビラメ）の方が長い傾向が示された（Fig. 2）。この結果から、ベントス食魚類が上位に位置する食物網では、 ^{137}Cs が移行し、濃度の低下を妨げている可能性が示唆された。

Fig. 1 岩礁域で採集された魚類の濃度と栄養段階との関係。

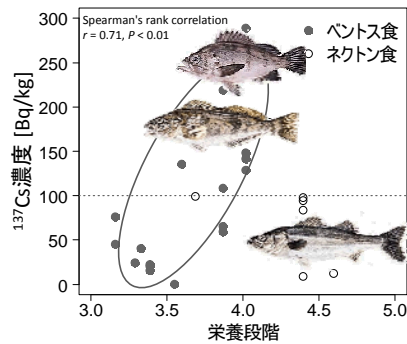
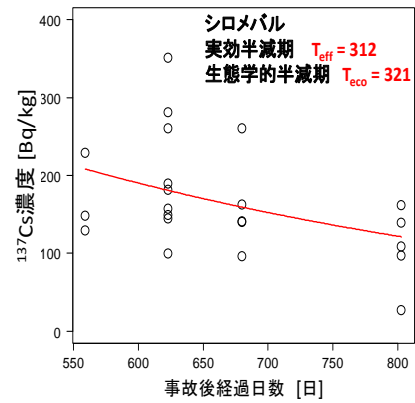


Fig. 2 岩礁域で採集されたシロメバルの実効半減期と生態学的半減期。



Summary

In order to clarify the diffusion process of radioactive material in marine ecosystems off the Fukushima coast, it was examined the variation of radioactive Cesium concentrations and ecological half-life in marine fish.

The ecological half-life of Cs in fish species of benthos feeding habits was longer than that of nekton feeding habits.

ツバメと水鳥への放射性物質の影響調査

Field study of the effects of radiation on barn swallows and water bird colonies

山本 裕

Y. YAMAMOTO

公益財団法人 日本野鳥の会

Wild Bird Society of Japan

ツバメの部分白化

当会では、2011年3月11日に起きた「東日本大震災」に端を発した福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の鳥類への影響調査を2012年1月より実施している。

チェルノブイリ原発事故では、放射性物質により、ツバメに部分白化が10~15%の割合で生じたことが報告されており(Møller and Mousseau 2006)、福島第一原子力発電所事故でも同様の現象が生じるかどうかを調べていく必要がある。

2012年の鳥類繁殖期に、福島県南相馬市において、チェルノブイリ原発事故と同様にツバメの喉の白斑のある個体が1例確認された。

そこで、2013年の繁殖期には営巣しているツバメの成鳥を対象に、喉の白斑の有無を確認しつつ、空間線量を同時に測る調査を、線量の高い地域(飯舘村・南相馬市・川俣町の一部(福島県:A地域))、線量が中程度の地域(角田市・丸森町(宮城県南東部:B地域))、非汚染地域(青梅市・あきる野市・奥多摩町(東京都多摩西部:C地域))の3地域で行なった。その結果、放射性物質の移流・拡散のあったA地域では81羽のうち8羽、B地域では71羽のうち7羽で、喉に白斑のある個体が見つかった(いずれも約9.9%)。非汚染地域(C地域)で観察した67羽では喉に白斑のある個体は見つからなかった。また、A地域、B地域で、空間線量と巣の線量を比較したところ、相関関係が見られた。

ツバメの部分白化個体は、チェルノブイリの報告では非汚染地域でも2~4%の割合で見つかるため、今回の観察例が放射性物質の影響によるものかどうかは、慎重な検討が必要である。現時点ではサンプル数が少なく十分なものとは言えないため、今後、調査エリアを拡大し、経年的に調査を行い、喉に白斑のある個体の地域的な広がりや白斑個体の割合の推移を調べていく予定である。

東北・関東地方での水鳥コロニーのモニタリング

2012年1月以降、水鳥のサギ類やカワウ、ウミネコのコロニーを対象にコロニー内外の土壌調査を計3回実施した。調査は、各調査地にコドラート(調査区:3m×3m)を3か所設置し、コドラートあたり、1試料約200g、計5試料の表層土壌を採取し、ゲルマニウム半導体検出器により測定した。

2012年1・2月の調査では、福島県内の2か所のサギ類コロニーで、24,000Bq/kg、7,500Bq/kgと比較的高い放射性セシウムが土壌から検出された。また、コロニー内の放射性セシウム値はコロニー周辺部よりもコロニー内で高い傾向が見られた。サギ類やカワウなどのコロニーは、近年人による迫害を受けているケースがあるが、人為的に攪乱されることなく、2012年6・7月及び2013年8月と、継続して調査ができた6コロニー(サギ類4か所、カワウ・ウミネコ各1か所)では、5コロニーで土壌中の放射性セシウムの値が減少していた。東日本大震災から約3年が経過し、セシウム134の放射

性崩壊に伴う線量の低下や事故後の初期段階で、雨などにより流され水域に移行したことが原因で減っているものと考えられる。

低線量被爆の野生生物への影響に関する知見はまだ限られており、その影響や野生生物への表われ方については不明な点が多い。今後もツバメや水鳥類を指標にしたモニタリングを継続する予定である。

Summary

We investigated the relationship between radiation arising from the fall-out due to the explosion of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants(FDNPP) and barn swallows, and water bird colonies. About 9.9 % of frequency of partial albinism in swallows was detected in Fukushima and Miyagi prefecture which areas were contaminated by radioactive substances from FDNPP. It was not detected in non-contaminated area. Regarding to water bird colonies, the level of radiocesium in soil was decreasing at five out of six colonies in three years have passed since the disaster.

ツバメの巣の放射性物質汚染状況

Radioactive contamination of the Barn Swallow's nests in Japan

岩見恭子¹・小林さやか¹・柴田康行²・山崎剛史¹・尾崎清明¹
K. IWAMI¹, S. KOBAYASHI¹, Y. SHIBATA², T. YAMASAKI¹, K. OZAKI¹
¹山階鳥類研究所、²国立環境研究所
¹Yamashina Institute for Ornithology,
²National Institute for Environmental Studies

はじめに

2011年3月の福島第一原子力発電所事故で飛散した放射性物質による生態系への影響が懸念されているが、山階鳥類研究所では鳥類への放射性物質の汚染状況を把握するため調査を行っている。その一つとして、人為的な環境に適応し、人里や市街地で繁殖するため、継続的な観察や分析に必要な試料を十分に得ることができる種であるツバメ *Hirundo rustica* を選択した。ツバメの巣は水溜まり等で集められた泥を用いて作られているが、そうした場所には放射性物質が蓄積している可能性が高く、さらに放射線の悪影響を受けやすい胚の発生やヒナの成長が進む場である巣の汚染は、ツバメの個体群に多大な負の影響を及ぼすおそれがある。本調査ではツバメの巣に含まれる放射性物質を定量的に測定し汚染状況を把握するとともに、卵や雛の巣における放射線の暴露量を推定し、ツバメの繁殖状況を調べることで個体群への影響を評価することを目的としている。

方法

日本全国にHPや新聞などのメディアを通じて巣の採集を呼びかけ、2011年に利用された巣を収集した。特に福島県については放射線量等分布マップに示されたように汚染度が高い地域も含まれ、このような地域でツバメの巣を採集するために、野鳥の会支部をはじめとする地元の協力を得て重点的にツバメの巣を収集した。2012年は比較的線量の高かった福島県郡山市内の巣を対象に繁殖を行った巣を採集した。放射線の測定は国立環境研究所においてゲルマニウム半導体検出器（ γ 線検出器）を用いて行った。測定は巣をそのまま形をくずさないよう測定器に入れ、スクリーニング測定を実施し放射性セシウムの濃度を計算した。また福島県郡山市内において、2011年度に巣を採集した場所で、2012年と2013年の巣への帰還および繁殖状況を調査した。調査は日本野鳥の会郡山支部の協力のもと、巣の直接観察により繁殖の有無、繁殖経過などを記録した。

結果

2011年に繁殖したツバメの巣（N=205）について、巣の放射性セシウム（Cs134+Cs137）濃度を測定したところ、北海道や鹿児島など汚染が報告されていない地域の巣からはセシウムは検出されなかったが、福島県内のすべての巣からセシウムが検出された。また郡山市内の巣については2011年に引き続き、同じ場所で2012年に繁殖した巣を回収して測定したところ、2011年の平均値 \pm SDは 13164 ± 22437 Bq/kg（N=19）、2012年は 9642 ± 12292 Bq/kg（N=9）で平均値はやや減少していた。郡山市内の営巣地で2011年に繁殖巣を採集し、2012年も同じ場所（4カ所）で繁殖した巣を比較したところ、やや濃度は低下していた。比較的巣の線量が高かった郡山市について、日本野鳥の会郡山支部の協力を得て、2011年から線量測定を行った巣について繁殖成績を調査した。22カ所の繁殖地を観察した結果、

すべての場所で営巣が確認された。第1回目の産卵が確認されたのは15カ所でそのうち孵化が確認されたのが10カ所、巣立ちが確認されたのが5カ所であった。繁殖失敗のうち原因が分かっているものが6巣で、カラスの捕食によるものが4巣、工事など人為的な影響が2巣であった。セシウム濃度の高い巣で原因不明の繁殖失敗などが観察されることはなく、主にカラスの捕食や人為的な影響によって巣が放棄されていた。2013年は5月から造巣がみられ、調査を行った12カ所のうち11カ所で繁殖が確認された。1回の繁殖では8カ所で巣立ちが確認され、3巣が放棄した。放棄の要因はカラスの捕食1巣、原因不明2巣であった。これらの結果から線量の高い地域である郡山ではツバメの繁殖が著しく低下しているというような現象は見られなかった。

本研究は三井物産環境基金 2011 年度東日本大震災復興助成を受けて行われている。

Summary

We investigated the radioactive contamination of barn swallow's nests that were collected from large areas of Japan, in order to understand the effect on birds of the radioactive materials emitted from Fukushima Daiichi nuclear power plant accident on 11 March 2011. Dose rates of nests were higher in Fukushima than other areas. There was no radioactive contamination to those collected from Hokkaido and Kagoshima that are far from the Fukushima Daiichi nuclear power plant. We surveyed reproductive success of barn swallows nests, which were observed high contamination in Koriyama city area, Fukushima. There is no significant decrease of breeding success of barn swallows in Koriyama city area.

栃木県の異なる空間線量地域における落葉樹林林床の放射性降下物の蓄積状況
-原発事故後3年目の結果-

Accumulation of radioactive cesium fallout on the forest floor of deciduous forests
in different level of airdose in Tochigi, South of Fukushima Prefecture

大久保達弘¹・佐々木亜実¹・逢沢峰昭¹・飯塚和也²

T. OHKUBO¹, A. SASAKI¹, M. AIZAWA¹, K. IIZUKA²

¹宇都宮大学農学部・²宇都宮大学農学部演習林

¹Dept. of Forest Science, Utsunomiya University,

²University forest, Utsunomiya University

2011年3月の福島原発事故により拡散・沈着した人工放射性核種は東日本の広範囲に及び、放射性セシウムの沈着は栃木県が1%（陸地分22%中）で福島県（15%）、宮城県（3%）に次いでいる。汚染地域の落葉広葉樹林では原発事故当時は落葉していたため、放射性核種の蓄積は樹体よりも林床で著しい。沈着後は林床から土壌への浸透や斜面流下、また林床の堆積有機物層の一部はシカなど野生草食獣の冬季の重要な餌資源の一つになっている。栃木県では、林床の落葉の資源利用として園芸用腐葉土の生産・販売が全国ルートとして確立しており落葉樹林での落ち葉採取が専門的に行われてきた。事故後、一端落ち葉を利用した腐葉土など各種堆肥の施用・生産・流通の自粛が促された後、各種堆肥は暫定許容値設定(400 Bq/kg)により自粛廃止に至った、その後腐葉土と剪定枝堆肥は引き続き自粛解除なく今日に至っている。

本研究は山地帯および低山帯（里山地域）の落葉広葉樹林の林床における放射性セシウムの沈着実態を把握するために、栃木県下のブナ、コナラの落葉広葉樹林を中心に空間線量率の異なる3ヶ所【塩谷郡塩谷町（2）、那須烏山市（1）】で、事故約半年後の2011年秋、1年半後の2012年秋、2年半後の2013年秋の3回、各地域の空間線量率、表面汚染密度、リタートラップにより採取された落葉、林床の堆積有機物層（A0層のF層、H層）、鉍質土層（0-5cm）の放射性セシウムの比放射能(Bq/kgDW)の比較を行った。2011年と比較して2013年の落葉、A0層、A層の放射性Cs濃度はいずれも大きく減少した。その中で落葉の放射性Cs濃度の減少は低線量地域ほど大きく、暫定許容値を下回った場所もあった。しかし、A0層はいずれの箇所でも暫定許容値を上回っており、腐葉土生産のための落葉採集ができる段階まで回復していなかった。

次に落葉広葉樹林林床のA0層での放射性Cs濃度の減少の少ない理由を明らかにするため、調査地のうち空間線量率の最も高い場所（栃木県塩谷郡塩谷町）で、原発事故以前から着葉期に毎月リタートラップで採取されたリター（落葉、落枝など）を用いて放射性Cs濃度の時系列変化を測定した。月別のリター量とリター放射性Cs濃度を乗じて、単位面積あたりの月別放射性Cs蓄積量を算出した。2011年から2012年にかけて、全体的に放射性Cs蓄積量は減少した。2011年は月毎に大きな変動が見られたが、2012年は9月に放射性Cs蓄積量は大きく増加した。また、月別降水量との関係を見ると、

特に降水量の多い 2011 年 7 月、同年 9 月、2012 年 9 月にはそれぞれ台風の襲来があり、それにもなって放射性 Cs 蓄積量が増加した。以上のことから展葉時の冬芽、若い葉に含まれる高濃度の放射性 Cs が台風などの大きな降雨イベントによって落下し放射性 Cs 蓄積量が高まることが示唆された。

以上、年間を通じた放射性 Cs の降下・蓄積によって林床の放射性 Cs 濃度が比較的高い状態で維持されるものと考えられ、腐葉土生産のための林床からの落ち葉採取、シカなどの野生草食獣への移行が引き続き懸念される。さらに林床の水平および垂直方向の放射性セシウムの蓄積状況について議論する。

Summary

Radiocesium contamination in the leaf litter fall collected by litter traps in autumn in deciduous forests is decreasing along from high to low level of airdose area after three years of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, but the contamination of O horizon is still remaining, the decreasing rate is low. The high level of contamination by winter buds, flushing leaves and eventual heavy rainfall by typhoon possibly causes the phenomena. The use of leaf litter for compost and for food resources of herbivore is still not permissible in each study area with different airdose level.

奥日光におけるミヤコザサからニホンジカへの放射性セシウム 137 の移行係数
Transfer factor of radio Cs-137 to sika deer meat from main food, leaf of
Sasa bamboo in Oku-Nikko, Japan

小金澤正昭・田村宜格・奥田 圭・福井えみ子
M. KOGANEZAWA, Y. TAMURA, K. OKUDA, E. FUKUI
宇都宮大学農学部
Dept. of Forest Science, Utsunomiya University

はじめに

森林生態系における放射性セシウムの動態と野生動物への影響を明らかにするため、2012年から栃木県の北西部に位置する奥日光と足尾における個体数調整において捕獲したニホンジカ (*Cervus nippon*) (以下、シカ) の筋肉や臓器などと餌植物の放射性セシウム濃度の測定を始めた。今回は、これらのデータを基に、奥日光 (空間線量 10 k~30 kBq/m²) におけるシカの主要な採食物であるミヤコザサ (*Sasa nipponica*) からシカの筋肉への放射性セシウム 137 (以下、Cs137) の「移行係数」を試算したので報告する。

移行係数は、以下の式の通り、食物中と体内における放射性セシウム濃度の比によって表される。

移行係数 (日/kg) = シカの筋肉中の Cs137 濃度 (Bq/kg) / (採食物中の Cs137 濃度 (Bq/kg) × 1 日あたりの採食量 (kg/日))

材料と方法

1. シカの筋肉中と採食物中の Cs137 濃度 (Bq/kg, Dw) の測定

2012年および2013年の2月に採取した筋肉は、生重量を測定後、試料容器に10g取り、放射能濃度を測定した。また、採食物としては冬期の主要かつ重要な食物であるミヤコザサの葉身を採集し、風乾 (80°C, 24時間) 後、同様の方法で放射能濃度を測定した。測定には、NaI(Tl) ウェル型シンチレーション検知器である、オートウェルガンマカウンタ (AccuFLEX γ 7001, 日立アロカメディカル株式会社) を用いた。測定時間は10分間3回、標準計数効率を40%に設定し、試料容器に20mlバイアルを使用し、全放射性セシウム (Cs134 と Cs137) と推定される γ 線の放射能濃度 (Bq/kg, FW) を測定した。また、乾燥重量ベースの全 Cs 濃度は、シカ生肉の含水率を75%と仮定し、換算した。

Cs137 の濃度は、飯塚 (未発表) の同時期に採取した材資料のゲルマニウム検知器による Cs134 と Cs137 の比、2011年10月測定の Cs137/Cs134=1.2、2013年4月測定の Cs137/Cs134=2.0 から算出した。

2. 1日あたりの採食量 (kg/日, Dw) の算出

シカの1日あたりの採食量は、1996年10月23日から11月4日に、栃木県戦場ヶ原演習林内で成獣メス (体重54kg) を用いて総回収法 (Haufler & Servello, 1994) による消化実験のデータを用いた。試験食物はミヤコザサを用い、1日単位でその日に刈り取った葉身部のみを生重量秤量後を与えた。実験は12日間行ない、前半6日間を予備期間、後半6日間を本実験とした。給餌量は、予備期間中の採食量から本実験中は食物が残らないように調整した。本試験では24時間ごとに、前日の食べ残しと全糞を回収し、生重量および風乾重量 (80°C, 24時間風乾) を測定した。

結果と考察

1. シカの筋肉中の Cs137 濃度 (Bq/kg)

シカの筋肉中の全 Cs 濃度は、2012 年は 74.7 ± 19.6 (SD, n=17) Bq/kg (Fw), 2013 年は 47.9 ± 15.4 (SD, n=26) Bq/kg (Fw) であった。また、Cs137 濃度は、2012 年が 40.8 Bq/kg (Fw), 2013 年が 31.9 Bq/kg (Fw) で、乾燥重ベースの Cs137 濃度は、それぞれ 163.2 Bq/kg (Dw), 127.6 Bq/kg (Dw) であった。

2. シカの採食物 (ミヤコザサ葉身) 中の Cs137 濃度 (Bq/kg)

2012 年 4 月に採集したミヤコザサの全 Cs 濃度は、 248.7 ± 154.2 (SD, n=4) Bq/kg (Dw), 2012 年 8 月採集は、 154.9 ± 109.2 (SD, n=10) Bq/kg (Dw) であった。また、Cs137 濃度は、それぞれ 135.7 Bq/kg (Dw), 103.3 Bq/kg (Dw) であった。

3. シカの 1 日あたりの採食量 (kg/日)

ミヤコザサのみを採食させた供試個体 (成獣メス, 体重 54 kg) の 1 日あたりの平均採食量は、 553.3 ± 36.4 (SD, n=6) g/day (DW) であった。ここでは 0.553 kg/日とした。また、代謝体重 1 kg あたりの 1 日の平均採食量は、 27.8 ± 1.8 (SD, n=6) g/day/kg0.75 (DW) で、アルファアルファ・ヘイキューブによる飼育試験の値、50.2 g/日 (浅野ら 1993) や 60~90 g/日 (池田 2000) より低い値であったが、アカシカの 30~40 g/日よりは、やや低い値かほぼ同じ値であった。この違いは、餌の質の違いによるものと考えられた。また、池田 (2000) は、採食量の季節変動を報告しており、2 月を最小とし、7 月を最大とする季節変化を報告している。

4. ミヤコザサからシカの筋肉への移行係数

冬期間 (10 月から 2 月) における成獣メス (体重 54 kg) がミヤコザサのみを採食した場合の移行係数を算出した結果、2012 年、2013 年ともに 2.2 (日/kg) であった。このことから、1 年経過しても移行係数に変化が見られず、食物中の Cs と筋肉中の Cs 濃度は一定の関係にあることを示しており、環境中の Cs が低下するにつれてシカの筋肉中の Cs も一定の割合で低下することが示唆される。

Summary

To obtain basic data in elucidating the dynamics of radioactive cesium in the forest ecosystem and its impacts on wildlife in the future, we investigated radioactive Cs-137 concentration in a muscles obtained from 17 sika deer (*Cervus nippon*) and 26 deer captured from the Oku-Nikko during February in 2012 and 2013, respectively. The investigation revealed that radioactive Cs-137 concentrations in muscles were 163.2 Bq/kg (DW) in 2012 and 127.6 Bq/kg (DW) in 2013, respectively. We also examined radioactive Cs-137 concentrations in main winter food plant, leaf of *Sasa* bamboo (*Sasa nipponica*) was 135.7 Bq/kg (DW) in 2012 and 103.3 Bq/kg (DW) in 2013, respectively. Daily voluntary feed intake was 553.3 ± 36.4 (SD, n=6) g/day (DW). We estimated the transfer factor was 2.2 day/kg in winter of 2012 and 2013.

福島市に生息する野生ニホンザルの放射性セシウム蓄積と健康影響

Concentration of radiocesium and health effects of radiation exposure in the wild Japanese monkey (*Macaca fuscata*) after the Fukushima Daiichi nuclear disaster

羽山伸一

S. HAYAMA

日本獣医生命科学大学・獣医学部・野生動物学教室

School of Veterinary Medicine, Nippon Veterinary and Life Science University

研究の目的

演者らの研究グループでは、福島市におけるサルの捕獲個体を対象として、2008年から解剖調査による繁殖実態等の調査を継続してきた。2011年3月に発生した東日本大震災による福島第1原子力発電所の爆発により、福島県東部地域は土壌1平米あたり数十万から数百万Bqの放射性物質で汚染された。この地域には野生ニホンザル (*Macaca fuscata*) が数千頭生息しており、世界で初めて原発災害によって野生霊長類が被ばくしたことになる。

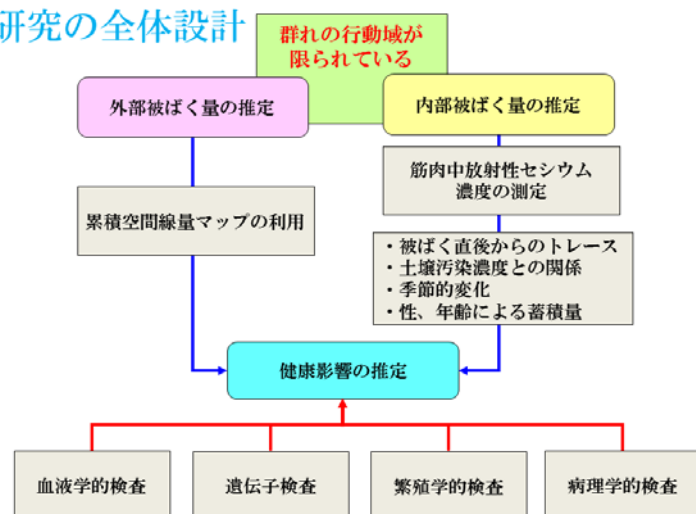
ニホンザル (以下、サル) は、わが国の固有種であり、また世界最北限に生息する野生霊長類である。これまで低線量長期被ばくによる野生動物の健康影響に関する研究は少なく、20~25年の寿命を持つサルを今後長期的にモニタリングすることは極めて重要であると考えられる。また、サルは数十頭の家族で群れを形成し、東北地方の場合では4~25平方キロの限られた行動域内で群れごとに生活しているため、移動性が高い野生動物に比べ、放射性物質による被ばく量が確度をもって推定可能であると考えられる。

そこで、サルの臨床医学的および病理学的検査を実施し、被ばくの実態や健康影響を明らかにする目的で研究を開始した。本研究の全体設計は、図に示した。

共同研究者

本研究は、以下の研究者との共同で実施した。加藤卓也、名切幸枝、石井奈穂美 (日獣大獣医学部・獣医学科野生動物学教室) 高橋公正 (同・獣医学科獣医病理学教室)、土田修一 (同・獣医学科比較細胞生物学教室)、近江俊徳、落合和彦 (同・獣医保健看護学科基礎部門) 中西せつ子 (NPO 法人どうぶつたちの病院)、今野文治 (JA 新ふくしま)、川本芳 (京都大学霊長類研究所)

研究の全体設計



謝辞

本研究は、下記の自治体および個人のご協力によって実現した。ここに感謝の意を表する。

福島市、むつ市、大間町、佐井村、風間浦村、山崎秀春氏はじめ下北半島のニホンザル被害対策市町村等連絡会議の保護管理専門員の皆様、福島市ニホンザル保護管理専門員の皆様、柴田憲明先生。なお、本研究は、京都大学霊長類研究所共同利用研究費、私立学校学術研究振興資金、JSPS 科研費（基盤 C）「25517008」の助成を受けて行った。

材料・方法

体内に取り込まれたすべての核種を測定することができないため、相対的な内部被ばく量の評価は、筋肉 1 kgあたりの総放射性セシウム ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) 濃度を測定しておこなった。放射性セシウムの測定値は、物理的半減期から捕獲日の値に補正した。

なお、被ばく後 15 ヶ月間の筋肉中セシウム濃度については、すでに論文で公表した (Hayama et al, 2013)。健康影響については血液学的検査から順次進めているが、現在論文を投稿中であり、本講演では概要を述べるにとどめたい。

本講演では、2011 年 4 月から 2013 年 12 月までに捕獲された個体のデータを用いた。分析したサルは、福島市内で捕獲された個体および、対照として青森県内で 2012 年度に捕獲された個体である。なお、本研究に用いたサルは、鳥獣保護法に基づく特定鳥獣保護管理計画によって、各県で実施された個体数調整により捕獲され、法の基本指針で定める方法で殺処分された。

筋肉中セシウム濃度と捕獲地点における放射性セシウムの汚染状況を比較するため、文部科学省による放射性セシウムの土壌沈着量データ (2011 年 7 月 2 日換算) を GIS でラスター変換し、推定された土壌沈着量を 10 万未満、10~20 万、20~30 万、30 万以上 (いずれも Bq/m^2) に区分した。

結果と考察

青森県のサルでは、すべての個体で検出限界以下であった。一方、福島市のサルにおける筋肉中セシウム濃度は、2011 年 4 月に 10,000 から 250,000 Bq/kg と高濃度を示したが、3 か月あまりかけて 1,000 Bq/kg 程度にまでいったん減衰し、2011 年 12 月から 2,000 から 3,000 Bq/kg に達する個体が見られるようになり、2012 年 4 月以降では、再び 1,000 Bq/kg 前後を推移した。この冬期間における濃度の上昇は、2012 年度も観測され、冬期間にはセシウム濃度が高い冬芽や木の皮などを採食していることが原因と考えられた。

また、サルの捕獲地点における土壌汚染レベルの上昇にともなって、筋肉中セシウム濃度は有意に増加することが明らかとなった。このことから、福島市のみならず、立ち入り禁止区域内に生息するニホンザルも対象として、長期にわたる継続的な研究が必要と考えられた。

引用文献

Hayama et al. (2013) Concentration of radiocesium in the wild Japanese monkey (*Macaca fuscata*) over the first 15 months after the Fukushima daiichi nuclear disaster. PLoS One. 2013 Jul 3; 8(7): e68530. doi: 10.1371/journal.pone.0068530.

Summary

Cesium concentrations in the muscle of Japanese monkeys captured at locations with 100,000 – 300,000 Bq/m² were 6,000–25,000 Bq/kg in April 2011 and decreased over 3 months to around 1,000 Bq/kg. However, the concentration increased again to 2,000–3,000 Bq/kg in some animals during and after December 2011 before returning to 1,000 Bq/kg in April 2012, after which it remained relatively constant. This pattern of change in muscle radiocesium concentration was similar to that of the change in radiocesium concentration in atmospheric fallout. Moreover, the monkeys feed on winter buds and the cambium layer of tree bark potentially containing higher concentrations of radiocesium than that in the diet during the rest of the year. The muscle radiocesium concentration in the monkeys related significantly with the level of soil contamination at the capture locations.

低線量放射線により野生生物での DNA 変異の蓄積は起きているのか？

Does accumulation of DNA mutations in wild organism by low-dose radiation
has occurred in Fukushima?

玉置雅紀

M. TAMAOKI

(独) 国立環境研究所 生物生態環境研究センター
National Institute for Environmental Studies

背景

東日本大震災に伴う福島第一原発の事故により、環境中に多量の放射性物質が放出された。この放射性物質に由来する放射線はヒトのみならず野生生物にも影響が及ぶ可能性が危惧される。野生生物ではこれまでに昆虫類で形態異常が見られたとの報告がなされている。生物における表現型の変化は、ゲノム DNA に変異が蓄積することにより誘発される。放射線は DNA に損傷を与え DNA 変異を誘発する事が知られているが、一方で生物はこの変異を修復する機構を獲得している。

それでは現在の福島県土壌に由来する放射線量で DNA 変異の蓄積は見られるのであろうか？本研究では、その問いに答える目的で DNA 損傷の修復を検出することができる植物の開発を行った。この植物を様々な放射線量の土壌において生育させる事により、現在の土壌放射線量が野生生物において DNA 変異を蓄積させるレベルにあるのかどうかについて検証を行った。

材料と方法

一般に生物では環境からのストレスにより DNA 損傷が頻繁に発生しているが、生物はこの損傷を修復する機構を備えている。塩基置換あるいは切断された DNA 鎖の修復に関与する相同組み換えはその一つである。本研究では低線量放射線による植物のゲノム DNA への損傷に伴う修復を定量的に評価することを目的とし、細胞における相同組み換えを検出することができる遺伝子組換え植物の開発を行った。

モデル植物であるシロイヌナズナに β グルクロニダーゼ (GUS) 遺伝子を 600bp にわたって相同な領域ができるように半分に切断した形 (以下 GU-US とする) で導入した。この GU-US 遺伝子を導入した組換え植物では GUS 遺伝子が正常に機能しないため、GUS タンパク質の基質を与えても染色はおこらない。しかしながら、ある細胞で DNA 損傷がおこり、それが相同組み換えにより修復されると GU-US 領域も同時に相同組み換えがおこり、GUS 遺伝子が正常な機能を取り戻す。したがって、DNA 損傷に伴って組換え修復が行われた細胞では GUS タンパク質が正常に機能するため染色像を得ることができる。通常この染色像は葉においてスポット状に検出されることから、このスポットの数を数える事により間接的に DNA 損傷の修復がおこった頻度を定量化することができる。

結果と考察

作製した植物が実際に放射線に対して応答することを確認するために、0-75Gy のガンマ線を照射したところ、照射線量に応じてスポット数の増加が見られた。次にこの植物を福島県より採取した放射性物質汚染土壌 (Cs-137 ; 高濃度 46,000Bq/kgDW、中濃度 21,000 Bq/kgDW、低濃度 3,500 Bq/kgDW) において栽培し、被汚染土壌で栽培した植物との比較を行った。植物の栽培は 30 日間行い、その間の植物への外部被曝量はそれぞれ 2.8mGy (高濃度) , 1.3mGy (中濃度) , 0.26mGy (低濃度) であった。これらの植物における GUS スポット数を計測した所、DNA 修復に由来する GUS スポット数は外部被曝量依存的に増加していた。

また、放射性物質による汚染が最も高い土壌を線源として外部被曝実験を行った所、植物の栽培期間中の積算被曝線量 2.48mGy となったが、その際に検出された GUS スポット数は汚染土壌で直接栽培した場合 (高濃度) との差は見られなかった。

以上の結果から、(1) 現在の福島県の土壌放射線に由来する DNA 損傷は、植物の持つ DNA 修復能力により速やかに修復できる程度に収まっている事、(2) また、DNA 損傷の多くは外部被曝に由来する事、が明らかになった。

Summary

To detect homologous DNA recombination resulting from DNA damage by gamma-irradiation, I established transgenic plants in which I introduced a GU-US construct (gene encoding beta-glucuronidase were separated into two parts with 600 bp overlapping). These plants were grown on contaminated soil collected from Fukushima. Thereafter, GUS staining analysis was performed to estimate the frequency of DNA recombination. Among these transgenic plants, one line showed linearity between DNA recombination and dose of irradiation. This suggests that DNA damage incurred through gamma-irradiation can be repaired immediately in transgenic plants.

野生動植物への放射線影響調査

MOE's research on the effects of radiation on wild fauna and flora

尼子直輝

Naoki Amako

環境省自然環境局自然環境計画課

Biodiversity Policy Division, Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment, Japan

東京電力福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）事故により放出された放射性核種は周辺地域に広く沈着したが、こうした事故は世界的にもあまり例がなく、放射線による野生動植物への影響に関する知見も限られている。

このため環境省では、当該事故に伴う放射性核種の拡散による周辺地域の野生動植物への影響を把握し、中長期的なモニタリング計画を検討するための基礎情報の収集を目的として、福島第一原発の旧警戒区域内外における高線量地域及び低線量の対照地域において、指標となる野生動植物の試料の採取及び影響の分析評価を民間団体等の協力機関と共に平成 23 年秋より行っている。

平成 25 年度の結果は以下のとおり。

試料採取期間：平成 25 年 10 月～平成 26 年 3 月

試料採取地：旧警戒区域内（富岡町、大熊町、双葉町、浪江町）

旧警戒区域外（いわき市、広野町）

採取試料：国際放射線防護委員会（ICRP）の定めた「標準動物及び植物※1」の考え方に基づいて選定。

哺乳類・鳥類	両生類	魚類	無脊椎動物	陸生植物（種子）
アカネズミ	アカハライモリ	タナゴ	マイマイカブリ	アカマツ
ヒメネズミ	ニホンアカガエル	ウグイ	クロナガオサムシ	ヒノキ
ハタネズミ	計 1 箇所	フクドジョウ	スズメバチ	スギ
計 5 箇所	2 試料	ヤマメ	計 1 箇所	チカラシバ
57 試料		カワムツ	4 試料	キンエノコロ
		計 3 箇所		計 5 箇所
ツバメの巣		5 試料		34 試料
3 箇所		メダカ		鳥類が採食する液果
13 試料		2 箇所		16 種（アカネ、キカラ
		44 試料		スウリ、センダン
				等）
				計 3 箇所
				23 試料

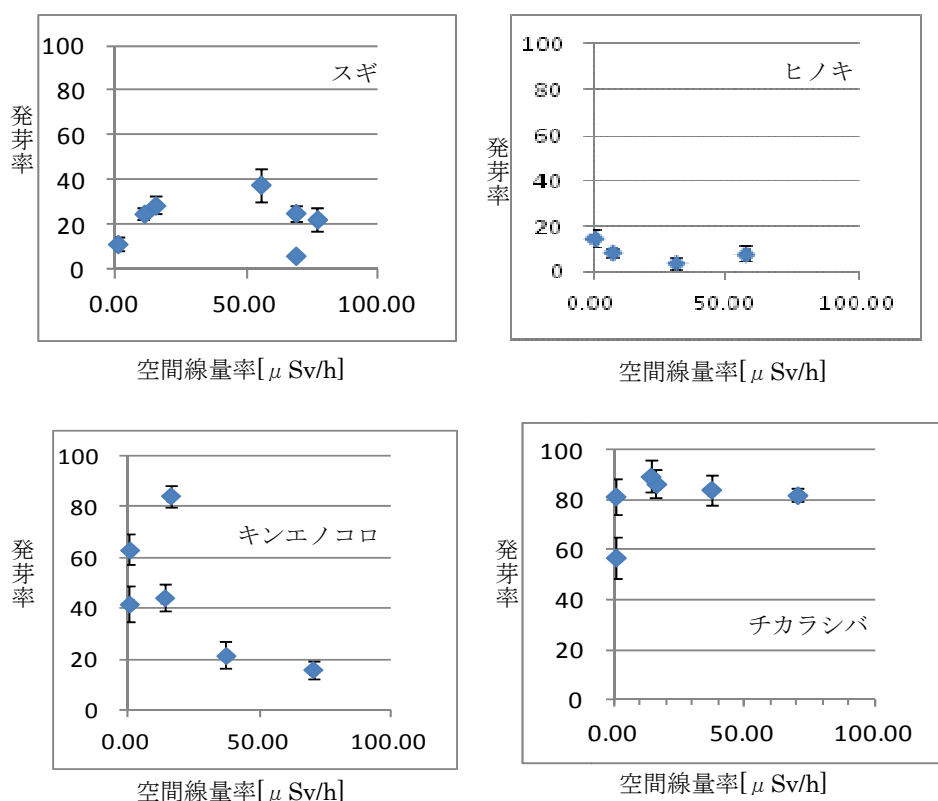
試料の採取時においては、その被ばく線量率の評価のため、空間線量率を測定するとともに、採取地における土壌・水を採取した。

※1 シカ、ラット、カモ、カエル、マス、カレイ類、ハチ、カニ、ミミズ、マツ、イネ科植物、褐藻類
海藻

採取した試料を目視観察した結果、外部形態に異常は見られなかった。

採取試料の放射性核種濃度は、3月12日時点で測定中。測定後順次、被ばく線量率評価を行い、3月末に公表予定。

また平成24年度に採取したスギ、ヒノキ、キンエノコロ、チカラシバの種子について発芽試験を実施した結果、空間線量率 $40 \mu\text{Sv/h}$ (年間約 350mSv) 以上の場所で採取したキンエノコロ種子に発芽率の低下(対照区で採取したものの $1/3$ 程度)が見られた。放射線被ばくが原因かどうかは不明であるが、今後キンエノコロに注目した長期的な監視について検討する。



平成24年度採集種子の空間線量率と発芽率の関係

なお、今年度に、帰還困難区域における人的活動低下による自然環境への影響を記録するため、帰還困難区域内の5地点において定点観察カメラによる長期環境変化の記録を開始した。また、定点観察カメラ設置地点近辺の耕作地に設けた調査区において、セイタカアワダチソウ等の多年生草本が優占し、クロマツ、オノエヤナギ、アカメガシワ等の稚樹が侵入している状況を確認した。

Summary

The Ministry of the Environment has been collecting samples of wild fauna and flora from in and out of the 20 km radius of Fukushima Dai-ichi NPP since the autumn of 2011. The results of the research in FY 2013 included, but not limited to, no unusual appearance of the samples, lower germination rate of one of four plant species collected in areas with more than $40 \mu\text{Sv/h}$ of air dose rate, and invasion of perennial herbs and some woody plants in croplands with less human intervention.

福島森林樹木における放射能汚染の影響

Effects of radionuclide contamination on forest trees
around the Fukushima daiichi nuclear power plant

渡辺 嘉人¹・市河 三英²・久保田善久¹・府馬 正一¹・丸山 耕一¹・久保田正秀²・吉田 聡¹
Y. WATANABE¹, S. ICHIKAWA², Y. KUBOTA¹, S. FUMA¹, K. MARUYAMA¹,
M. KUBOTA², S. YOSHIDA¹

¹独立行政法人放射線医学総合研究所・福島復興支援本部,

²一般財団法人自然環境研究センター

¹Fukushima Project Headquarters, National Institute of Radiological Sciences,

²Japan Wildlife Research Center

福島第一原子力発電所の事故により大気中に放出された放射性核種は放射性プルームとして環境中に拡散した。最も高濃度のプルームは西～北西方向に流れ、そこに広がる里山や阿武隈高地につながる森林が高濃度に汚染された。本研究ではこうした高汚染地域の森林における樹木の影響を調べることを目的として、森林内の放射線量分布および樹木の汚染レベルから樹木の受ける放射線被ばく線量を見積もるとともに、植物体に生じうる放射線生物影響を検出するための指標の検討を行った。調査は環境省のプロジェクトの一部として行った。

事故後3年近くが経過し、プルームからの直接沈着による樹木地上部の放射性セシウムの汚染は現在までに多くは洗い流され林床に移行している。しかし、放射線感受性の高い樹木である針葉樹(スギ)では事故後に成長した針葉・球果においても、土壌あるいは汚染植物部位からの転流による放射性セシウムが蓄積し、そこから放出される放射線を針葉・球果自身が被ばくしている(内部被ばく)。それに加えて、針葉・球果は林床に蓄積した放射性セシウムから放出される放射線も被ばくしている(外部被ばく)。林床に蓄積した放射性セシウムから放出されるガンマ線の空気中での減衰は僅かで、球果の実っている高さ3～5mの地点における空間線量は、高さ1mの地点と比べて10%程度低下するにすぎなかった。

最も汚染度の高い森林において事故初年度にスギ球果の受けた被ばく線量率は、モデルを用いた線量計算によりおよそ80 μGy/hと推定され、そのうち内部被ばくは約20%と見積もられた。事故後3年の間に被ばく線量率はおよそ半分程度にまで減少したが、高汚染地域のスギ球果の被ばく線量率は依然として国際放射線防護委員会(ICRP)によってマツの防護基準値とされている4-40 μGy/hを上回り、植物の生殖への影響・細胞遺伝学的な変化が生じる可能性が示唆された。球果内では、春から秋にかけての種子の形成・成熟期間にわたり長期間被ばくを受けると考えられる。種子胚の分裂組織の細胞には被ばくによる細胞遺伝学的変化が蓄積される可能性があり、詳細な調査・モニタリングの必要性が示唆される。

野生植物の細胞遺伝学的変化は従来、細胞分裂時の分裂像の形態的異常(染色体橋、染色体断片の形成など)を観察して、その頻度から定量されることが多い。しかしこの方法では、分析対象となる細胞分裂期の細胞が分裂組織の全細胞のごく一部に限られるために分析効率が低く、組織内に生じた細胞遺伝学的変化のうち限られた部分しか解析できないという欠点がある。また細胞分裂像の形態変化の観察には高度な熟練と膨大な手間を要する。そこで我々は、環境毒性試験で用いられるタマネギ・ソラマメ等の小核試験法を改良することで、より簡便・効率的かつ高精度な細胞遺伝学的変化の解析手法の開発を試みた。

小核試験法は、細胞分裂時の異常によって生じた異常核(小核)の頻度を、細胞分裂終了後の静止期

の細胞を観察対象に分析する手法であり、観察が比較的容易で多くの細胞について効率よく分析できるメリットがある。その反面、静止期の細胞には細胞分裂前の細胞や非分裂細胞が混在しているため定量性に問題があると考えられた。そこで、動物細胞で確立している *in vitro* 小核試験法を参考に、休眠期から1回の細胞分裂を経た静止期細胞のみをラベルするための細胞分裂阻害剤を探索し、動物細胞の場合に類似した二核形成法による定量的な小核試験法が植物細胞でも可能であることを見出した。

この小核試験法が実際の汚染地域の試料に適応できるかを検証するため、福島県いわき市の低汚染地域で採取したスギ種子に対して人工的な放射線照射実験を行った。X線急性照射あるいはガンマ線慢性照射を行った種子の根端分裂組織において、線量に依存した小核発生頻度の増加が確認された。それらの線量効果曲線は動物細胞で得られるものと類似しており、この試験法が種子胚に蓄積された細胞遺伝学的変化を検出するのに有効であることが確認された。実際に福島の高汚染地域で採取したスギ種子にこの小核試験法を適用したところ、観察される小核発生頻度は極めて低く、現在は慎重にデータの蓄積を進めているところである。

Summary

In order to study cytogenetic effects of radionuclide contamination on wild plants around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, an improved micronucleus assay method was developed. The assay was proved to be applicable to the detection of accumulated genetic damage by radiation in dormant seeds of Japanese native coniferous species, Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*).

福島で捕獲した野ネズミの染色体異常の調査

Investigation of Unstable Chromosomal Aberration in Wild Mice Captured at Region Contaminated by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident

久保田 善久¹・川越 大輝¹・辻 秀雄¹・渡辺 嘉人¹・府馬 正一¹・久保田 正秀²・溝口 雅彦³・山田 文雄⁴・友澤 森彦⁵・吉田 聡¹

Y. KUBOTA¹, T. KAWAGOE¹, H. TSUJI¹, Y. WATANABE¹, S. FUMA¹, M. KUBOTA², M. MIZOGUCHI³, F. YAMADA⁴, M. TOMOZAWA⁵, S. YOSHIDA¹

¹独立行政法人放射線医学総合研究所・福島復興支援本部, ²一般財団法人自然環境研究センター, ³日本エヌ・ユー・エス株式会社, ⁴独立行政法人森林総合研究所, ⁵慶応大学

¹Fukushima Project Headquarters, National Institute of Radiological Sciences, ²Japan Wildlife Research Center, ³JAPAN NUS CO.,Ltd., ⁴Forestry and Forest Products Research Institute, ⁵Keio University

東電福島第1原子力発電所事故による環境生物への放射線影響を明らかにするために、環境省の平成23年度放射線影響緊急調査業務及び平成24、25年度放射線影響調査業務に参加した。放射線の生物影響として、低線量率でも線量に比例して影響が直線的に増加すると考えられている確率的影響、中でも急性照射による線量効果関係が人や実験ネズミで明らかにされている染色体異常を影響指標として採用することを決め、野ネズミ（日本の固有種であるアカネズミ、ヒメネズミ）の捕獲を平成24年1月と7月、及び平成25年12月に旧警戒区域内の大熊町夫沢（高線量率地点）と浪江町室原（中線量率地点）の2地点、区域外のいわき市久之浜町末続（低線量率地点）の合計3地点で実施した。

常法に従い捕獲した野ネズミの脾臓リンパ球をマイトジェン存在下で一定時間培養後、染色体標本を作成した。安定型染色体異常（転座）を検出するFISH(Fluorescence in situ hybridization)用プローブが野ネズミで開発されていない現状では、C-band法を利用して不安定型染色体異常の一つである2動原体染色体を検出し染色体異常頻度を求めることが現実的であるため、C-band法をアカネズミとヒメネズミに適用したところ、昨年の意見交換会で報告したようにヒメネズミではセントロメアを明瞭に同定できるのに対しアカネズミでは同定が困難であったため、ヒメネズミでのみ2動原体染色体を指標として染色体異常頻度を調べた。

染色体異常を調べる共に被ばく線量を推定するために、空間線量と土壌サンプル、野ネズミの体内放射能濃度も測定した。調査地点の空間線量を毎回サーベイメータで測定したが、平成25年12月の調査では各調査地点の任意の100ヶ所にバッジ式個人線量計を地面に設置し、地表に近い場所（地表のネズミの内臓に匹敵する部位）の被ばく線量を測定したところ、空間線量の約1.5倍で安定した値を示したため、野ネズミの外部被ばく線量は調査時の空間線量率を1.5倍し、歯の摩耗度から推定される日齢を掛け合わせた値とした。内部被ばくについては、同じ調査地点でも土壌の放射能はサンプル間で極めて大きく変動し、土壌の放射能濃度から内部被ばく線量を推定する線量計算ツールでは線量に非常に大きな幅が生じること、野ネズミの体内放射能濃度から内部被ばく線量率を推定する方法は、捕獲後最長2週間にわたる飼育期間中に体外に排泄された放射エネルギーを測定しなかった実験上の不備から、今回の解析には含めなかった。

結果として、2 動原体染色体の平均発生頻度は低線量率地点で 0.046%、中線量地点で 0.121%、高線量地点で 0.178%となり、捕獲場所の空間線量率に依存して増加した。また、2 動原体染色体異常頻度は、推定の外部被ばく蓄積線量にも依存して増加した。

今後、FACS を駆使して野ネズミの染色体を単離し、FISH 用プローブを開発することによりアカネズミ、ヒメネズミで安定型染色体異常を検出する予定である。

Summary

In order to study environmental effects of TEPCO Fukushima Daiichi NPP accident, unstable chromosomal aberration (dicentric) was examined in splenic lymphocytes of small Japanese field mice (*apodemus argenteus*) captured at the contaminated area. The dicentric was shown to increase with ambient dose rate and accumulated external dose rate of individual animal.

サンショウウオの放射線影響
Effects of ionizing radiation on salamanders
in contaminated fields and laboratory experiment

府馬 正一¹、宇根 有美²、伊原 禎雄³

S. FUMA¹, Y. UNE², S. IHARA³

¹独立行政法人放射線医学総合研究所 環境動態・影響プロジェクト,

²麻布大学 獣医学部病理学研究室, ³奥羽大学 生物学教室

¹National Institute of Radiological Sciences,

²Azabu University, ³Ohu University

1. はじめに

生物の中で両生類は放射線感受性が比較的高く¹⁾、種によっては半数致死線量 (LD₅₀) がヒトと同程度である。両生類の中でも、一般に有尾類 (イモリ、サンショウウオなど) は無尾類 (カエル) よりも放射線感受性が高い²⁾。例えば、日本に生息するサンショウウオ *Hynobius* 属の、急照射時の LD₅₀ は約 6 Gy と推定されている³⁾。そこで、福島第一原発周辺地域に広く分布するトウホクサンショウウオ *Hynobius lichenatus* の放射線影響を調べることを目的として現地調査と放射線照射実験を行っている。本意見交換会では、昨年を引き続き、放射線照射実験の結果について報告する。

2. 方法

2012年5月に、放射性物質による汚染が軽微な福島県会津地方にて *H. lichenatus* の卵を採取し、線量率 37、170、520、4,300、18,000 μ Gy/h でセシウム 137 ガンマ線を連続照射しながら飼育する実験を開始した。これまでのところ、孵化、幼生、変態の成長過程を経て幼体に至るまで 454 日間のデータ整理が終了している (実験は現在も継続中)。

影響評価のエンドポイントは、外部形態、変態時期、幼体の体重、生存率とした。また、影響が生じるメカニズムを考察するため、病理組織検査を行った。

3. 結果と考察

無照射対照群では、実験開始 15-22 日目 (平均 17 日目) には孵化して幼生が出現した。幼生は 73-97 日目 (平均 83 日目) に変態して幼体となった。幼体の体重は、冬眠期間 (170-323 日目) を除き、0.6 g から 2.2 g へと増加し続けた。幼生期までに 13 % の個体が死亡したが、幼体期には死亡が見られず、454 日目の生存率は 87 % であった。

520 μ Gy/h 以下の線量率では、対照群と比べ、幼体の体重増加がわずかに抑制された。しかし、その抑制の程度に線量率依存性は認められず、放射線が原因とは考えにくかった。外部形態、変態時期、生存率には影響がなかった。また、病理組織検査でも異常は見られなかった。

4,300 μ Gy/h では、変態の遅れ (平均 103 日目に変態) や幼体の体重増加抑制といった発育遅延がみられた。約 330 日目からは死亡個体が目立ち始め、454 日目までには全個体が死亡した。半数が死亡したのは照射開始 363 日目で、この間の蓄積線量は 37 Gy であった。病理組織学的には、生存時でも肝臓表層の造血細胞が減少し、脾臓で成熟リンパ球が消失していた。死亡個体では、肝臓と脾臓の造血細胞が

消失し、様々な臓器で細菌感染が見られた。このため、この線量率では造血障害が生じた結果、免疫抑制が起こり敗血症で死亡したと考えられる。

18,000 μ Gy/h では、幼生の成長が抑制された。体形は全体的にずんぐりし、後肢が未発達であった。全個体が変態することなく幼生の段階で死亡した。半数が死亡したのは照射開始 69 日目で、この間の蓄積線量は 29 Gy であった。死亡直前には肝臓表層の造血細胞が消失し、肝臓の組織構造が異常を示し、皮膚で水腫や糜爛が見られるなど、造血細胞だけでなく実質細胞も傷害を受け多臓器不全で死亡したと考えられる。

以上より、*H. lichenatus* を γ 線 で約 450 日間連続照射した場合、520 μ Gy/h 以下の線量率では成長の遅れや致死といった重篤な影響が見られず、そのような影響が見られるのは 4,300 μ Gy/h 以上であることがわかった。しかし、野外での *H. lichenatus* の寿命は 14 年以上と推定され⁴⁾ 比較的長い。そこで、4,300 μ Gy/h より低い線量率でも、4,300 μ Gy/h や 18,000 μ Gy/h の場合と同様に蓄積線量 33 Gy (37 Gy と 29 Gy の平均値) で半数の個体が死亡し、*H. lichenatus* の寿命を 14 年と仮定すると、*H. lichenatus* の全生涯にわたる半数致死線量率は 270 μ Gy/h ($=33 \times 10^6 \mu$ Gy/14 y/365 d/24 h) 程度と推定できる。福島第一原発周辺の高汚染地域であっても *H. lichenatus* の線量率は、これよりも低いと推定されるので⁵⁾、全生涯で見ても *H. lichenatus* の致死率が現地で極度に高くなる可能性は低いと考えられる。

参考文献

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E, p. 221-313 (Annex E: Effects of ionizing radiation on non-human biota). United Nations, New York (2011)
(http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_E.pdf)
- 2) Conger and Clinton: Nuclear volumes, DNA contents, and radiosensitivity in whole-body-irradiated amphibians. *Radiation Research* 54, 69-101 (1973)
- 3) Fuma et al.: Derivation of hazardous doses for amphibians acutely exposed to ionising radiation. *Journal of Environmental Radioactivity* 103, 15-19 (2012)
- 4) Yamamoto et al.: The age structure of a breeding population of *Hynobius lichenatus* (Amphibia, Caudata). *Current Herpetology* 30, 7-14 (2011)
- 5) Fuma et al.: 投稿準備中

Summary

We are investigating effects of ionizing radiation on the Tohoku salamander, *Hynobius lichenatus* (amphibian) in severely contaminated areas near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. We are also investigating effects of chronic gamma-irradiation on this salamander under experimental conditions. Results of the laboratory irradiation experiment are presented in this meeting. At dose rates of 37, 170 and 520 μ Gy/h, chronic irradiation did not significantly affect growth and survival of *H. lichenatus* from embryonic to juvenile stages. At 4,300 μ Gy/h, metamorphosis and growth of juveniles were delayed, and all the individuals died mostly at the juvenile stage due to hematopoietic damage and subsequent sepsis caused by immune depression. At 18,000 μ Gy/h, all the individuals died at the larval stage due to a multiple organ failure. This dose rate-effect relationship and dose rates estimated in fields, which will be published in the near future, suggest that survivals of *H. lichenatus* will not be affected very much even in the most contaminated habitats in Fukushima.

メダカへの放射線影響調査

Radiation effects on medaka around Fukushima Daiichi nuclear power plant.

丸山耕一

K.Maruyama

独立行政法人放射線医学総合研究所 福島復興支援本部

¹Fukushima Project Headquarters, National Institute of Radiological Sciences

メダカは日本発の実験動物であり、これまでに発生学、遺伝学、生理学、毒性学、宇宙生物学など様々な分野で利用されてきている。メダカには、「ゲノムサイズが小さい(800Mb ヒトの 1/4)」、「多産性である」、「次世代へのサイクル早い(約3カ月)」、「胚が大きく透明である」、「温度に強い(4-40℃)」など、多くの生物学的な利点があり、また、「全ゲノムデータベース」「多種多様な近交系」「トランスジェニック系統やノックアウト系統」など実験動物としての基盤も充実している。放射線影響研究においても精力的に研究が行われ、これまでに、放射線による致死線量、分割照射、系世代影響、年齢依存性、晩発障害、防護剤などの様々な研究データが蓄積している。

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の原発事故により、周辺の空間線量は現在も自然放射線量の数十倍から数百倍であり、環境への長期被ばく影響を調べることは放射線影響研究上、非常に重要である。メダカは北海道を除く日本国内各地に生息する小型魚類であり、福島にも野生集団は生息している。昨年度は自然環境研に同行し、帰宅困難区域内2ヶ所でメダカを採集することが出来た。今年度は11月上旬に昨年度と同じ地点で採集を行った。中田群は、原発から北北西約4キロに位置する水田水路で、空間線量は約 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ であり、ここでは大小10匹のメダカを採集した。猿田群は、原発から西北西約7.5Kmの人工溜池で空間線量 $25\text{--}30 \mu\text{Sv/h}$ である。ここでは大小34匹採集した(写真1)。全体的に、今回の採集では大きな個体を得ることが出来なかった、冬前で餌が枯渇していたものと思われる。昨年度同様、メダカと共に、周辺の水、土壌を採集しゲルマニウム半導体検出器で測定し、放射能濃度を測定した。

今年度は新しくガラス線量計をメダカが実際に生息している池の中3ヶ所(水面、中間層、下層)に設置し、実際にメダカが被ばくしている線量を推定した(写真2)。その結果、水面と下層の線量は高く(7.23, $7.4 \mu\text{Sv/h}$)、中間層はその半分以下であった($2.98 \mu\text{Sv/h}$)。

放射線に対する影響評価手法の一つとして、小核試験法が知られている。メダカでは、セシウムを含む泥と直接接するエラなどの局所的な被ばくを評価出来る可能性がある。現在、メダカでの小核試験をエラ、腎臓、脾臓などの組織で解析を行っている(写真3)。今後さらなる解析が必要であるが、現在までの所、高線量域猿田群が低線量域中田群と比べ、小核の出現頻度が突出して高いというデータは得ていない。今回、進捗状況などについて報告する。



写真1 採取の様子



写真2 池の中の線量計

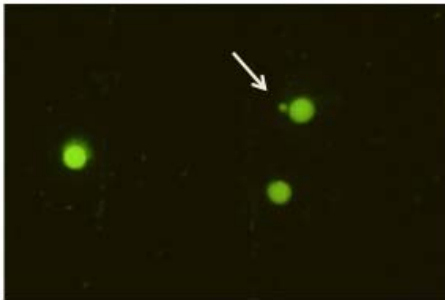


写真3 メダカエラ細胞で検出された小核

Summary

Medaka, as an excellent experimental animal model, is used to identify and predict human health effects in varied research fields including radiobiology. A lot of data for the radiation research on medaka have been accumulated so far. In the present study, using the micronucleus assay, radiation effects from the Fukushima nuclear disaster have been analyzed in various organs of medaka obtained from two places near the Fukushima Daiichi nuclear power plant, where the wild medaka are constantly available.