

平成 26 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:2015(平成 27)年 2 月 19 日(木曜日)

10 時 00 分 ~ 17 時 30 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 26 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 Igor GUDKOV (ウクライナ国立生命環境科学大学放射線生物学・放射線生態学部)
..... 10:10~10:50
「チェルノブイリにおける陸上野生動植物に関する放射線生物学的研究について」
 - 2 Dmitri GUDKOV (ウクライナ国立科学学士院水生生物学研究所)..... 11:05~11:45
「チェルノブイリにおける水生動植物への長期的放射線被ばくの影響について」
 - 昼食..... 12:00~13:00
 - 3 漆原佑介 (東北大学加齢医学研究所)..... 13:00~13:10
「被災動物の包括的線量評価事業と霊長類動物への影響解析」
 - 4 難波謙二 (福島大学環境放射能研究所)..... 13:15~13:25
「福島大学環境放射能研究所の紹介」
 - 5 VasyI IOSHCENKO (福島大学環境放射能研究所)..... 13:30~13:50
「福島における植物への放射線影響調査」
 - 6 玉置雅紀・大沼学・深澤圭太 (国立環境研究所)..... 14:00~14:25
「国立環境研究所における災害環境研究への取り組み」
 - 7 五味高志 (東京農工大学)..... 14:30~14:40
「森林と川のつながりにおける生物への放射性セシウムの生物蓄積評価」
 - 8 松本陽 (東京海洋大学)..... 14:45~14:55
「シロメバル生体における放射性セシウム濃度の測定と生物学的半減期の推定」
 - 休憩..... 15:00~15:15
 - 9 伊原禎雄 (北海道教育大学・釧路校)..... 15:15~15:25
「福島県のトウホクサンショウウオ胚で観察された所見」
 - 10 仲村昇 (山階鳥類研究所)..... 15:30~15:40
「福島県における陸鳥の繁殖モニタリング調査」
 - 11 柳谷牧子 (環境省自然環境計画課)..... 15:45~15:55
「野生動植物への放射線影響調査」
 - 12 渡辺嘉人 (放射線医学総合研究所)..... 16:00~16:10
「東電福島第1原発周辺地域の森林樹木における放射線の影響」
 - 13 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」
 - 14 府馬正一 (放射線医学総合研究所)..... 16:30~16:40
「福島におけるサンショウウオの線量評価」
 - 15 久保田善久 (放射線医学総合研究所)..... 16:45~16:55
「福島第1原発事故により最も汚染した地域に生息する野ネズミの被ばく線量評価」
 - 総合討論..... 17:00~17:20
- 要旨発表
- 16 山本裕 (日本野鳥の会) 「ツバメと水鳥への放射性物質の影響調査」

RADIOBIOLOGICAL STUDIES OF TERRESTRIAL FLORA AND FAUNA IN THE AREA OF INFLUENCE OF THE CHERNOBYL ACCIDENT OVER THE YEARS

Igor GUDKOV

Radiobiology and Radioecology Department, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ingudkov@ukr.net

The species composition of biocenosis changed significantly in certain areas near the Chernobyl NPP for 29 years after the accident. However, these changes are caused basically by changes in the character of human activity such as reducing of anthropogenic pressure up to its complete absence in the exclusion zone and zone of obligatory resettlement. And although, taking into account multifaceted human activity it is very difficult to distinguish the impact of particular factor on the expression of some biological effects but ionizing radiation should be considered as one of the main factor in the area of accident.

Undoubtedly, the main factor that causes violations of coenotic links in biocenosis is reactions of the most radiosensitive species. The levels of hazardous radiation doses for biocenosis can differ significantly from doses that cause noticeable violation of some reaction in separate species. That is why a comparative study of biocenosis components radiosensitivity plays a significant role in addressing the issues of radiation safety for it. It should be borne in mind that coenotic changes may occur not only at inhibitory doses, but also at stimulating ones. The hormesis phenomenon in one species creates for them certain advantages that can be accompanied by worsening conditions for the development of other ones.

During the years after accident the biocenosis changes are caused mainly by chronic exposure, so the dose rate is more important characteristic that influence on its structure than the total dose. Safe dose rate for biocenosis should be considered the one that at any time of radiation will not cause its changes. There is reason to believe that it should not much exceed the natural background radiation. With increasing of dose rate from $\leq 10^{-6}$ to $>10^{-1}$ Sv/h such radiobiological effects will take place: biochemical changes, chromosome aberrations, visible mutations, changes in population structure, deletion of radiosensitive species, biocenosis depletion, and, at last, as the strongest effect is biocenosis degradation.

All these effects are revealed in many plant species in zone of radiation influence after accident. The particularly obvious somatic mutations are morphological changes in one of the most radiosensitive species not only among plants but among living organisms in general a scotch pine (*Pinus silvestris*) are demonstrated especially: dichotomy, taking down of apical dominance, denudation of trunk, chlorophyll mutations etc.

Some plant species, in particular leguminous, cereals, crucifers, ranunculaceae, rosacea families, have high ability to accumulate ^{90}Sr and (or) ^{137}Cs , which is caused by their, respectively, high consumption of calcium and (or) potassium in metabolism, so in same area with similar level of

radioactive contamination of soils due to internal irradiation can receive significantly higher dose than other species, including those with higher radiosensitivity. There are some data which show a weakening in phytocenosis or even loss of some plant species in the accident area. And it is not always representatives of the most radiosensitive families. There are such as orchard-grass (*Dactylis glomerata*), white clover (*Trifolium repens*), rosebay (*Chamaenerium angustifolium*), sandman white (*Melandrium album*), plantain (*Plantago lanceolata*), morning violet (*Viola matutina*), common dandelion (*Taraxacum officinale*). Exactly due to ability for accumulation of radionuclides this plants growing on the same contamination area may form higher doses of internal irradiation in comparison to other more radiosensitive species.

The absorbed dose for various species even in the same phytocoenosis and at the same conditions of contamination depends on some other factors. For example caesium, which is evenly distributed in the body of vertebrates, in plants concentrates mainly in division cells, creating sometimes very high doses of local irradiation of critical plant tissues – meristem. Therefore, doses of radiation for plants can differ even if they grow in the same conditions.

The high radiosensitive plant species can serve as biological dosimeter of ionizing radiation and radioactive contamination. It was shown a clear dependence between level of soil contamination by radiocesium and number of chromosome aberration in cells of root meristem in cow vetch (*Vicia cracca*) and winter vetch (*Vicia villosa*).

The death of a pine forest (so-called "Red Forest" with area of 600 hectares) near Chernobyl NPP and an appearance on that place wild verdure is a striking example of the largest damage – biocenosis degradation. During the years after accident a mention species of vetch and dandelion are vanished practically in phytocenosis of the exclusion zone.

The studies of the general state of faunal complexes of the exclusion zone allows to estimate the consequential changes in the structure and quantity of terrestrial animals for the post accidental years and conventionally distinguish three periods of the accident impact. The first period – approximately the first 60–80 days after the explosion of the reactor are characterized by an acute influence of ionizing radiation on living organism. As a result of the death of large pine woodland the trophic links in biogeocenosis were affected, which led to significant changes in faunal complexes. First of all this applies to invertebrates – inhabitants of litter and insectivorous birds of forest complex. Species diversity during that time was minimal. The second period – the period of total suppression of some biogeocenosis – was continued till the end of 1991. This time a general depression of faunal complexes, related in their vital functions with the contaminated soil was marked. It was expressed in a steady decrease in species diversity of almost all groups of soil insects, where the dominant groups were replaced with prevalence of the ground beetles over the carrion beetles. The third period (from 1992 to 2000) was characterized by gradual recovery in quantity and population structure of entomological and ornithological complexes and some decrease in the number of mammals. Currently, the structure of terrestrial fauna complexes almost

returned to the characteristic of pre-accident period, and species diversity recovered almost to the initial status.

It should be noted that there is a few information about the death of animal due to exposure in natural cenosis. In autumn 1986 a decrease in the number of murine rodents in 3–5 times was observed. However, significant differences in the number of rodents in agrocenosis from the average were not found in subsequent years. At the same time, the number of soil invertebrates decreased by three orders, and therefore significantly change their age structure so mature animals became dominant. Outside the exclusion zone on the poultry farm for wild waterfowl breeding observed a 100% destruction of mallard (*Anas platyrhynchos*) embryos and substantial reduction in reproduction of other species.

The upward trend in the number of main hunting animal species manifested from 1987 to 1992. The peak of amount, associated with fodder capacity of territory, has not been achieved. In comparison to the pre-accident levels the growth of elk (*Alces alus*) and roe deer (*Capreolus capreolus*) populations assessed as moderate, and the quantity of such polycarpic species as the wild boar (*Sus scrofa*) it was estimated as significant, in 8–10 times.

Evaluation of absorbed doses for animals showed that the greatest dose load for birds creates an external γ -irradiation due to a longer term of stay in crown of trees, and for large mammals it is an internal irradiation from radionuclides incoming with forage. There is a definite relationship between trophic level of animals, their daily activity, mobility, size of fodder plot and internal radiation dose. Thus, the maximum dose is registered for the roe deer, which feeds mainly grass and mushrooms in the vegetative season, fallen leaves and trees bark in winter. The formation of dose in wild boars is strongly affected by their lifestyle and particularities of feeding.

Influence of ionizing radiation on associations of organisms of different taxonomic groups, even in relatively low doses, far from the lethal level for the most radiosensitive components may cause significant changes in its structure. This is because even a slight inhibition of growth and development, reproductive capacity of one or two species may be accompanied by violations in cenotic relation and to provide favorable conditions for other species.

In situation, formed at radioactive contaminated territories, a long-term irradiation can be more dangerous for biocenosis than a single acute one, as the chronic exposure acts on plant or animal for many successive generations and can lead to accumulation of gradual deviations in species development. It is allow to assume the possibility of incomplete realization of remote consequences of irradiation now. Genetic effects, which are the result of genome stability disorders and cause mutation, population stratification, extinction of some species and probably other remote effects including microevolution transmutation can take a special significance. But powerful system of recovery processes resists the negative impacts of radiation and should provide stability of the autochthonous structure of biocenosis.

摘要

- ・チェルノブイリ原発に近い一部の場所の生物群集 (biocenosis) の種構成は、事故後 29 年の間に大きく変化した。
- ・こうした変化は、基本的には、立入禁止区域や強制移住区域における人的活動の完全な消失を含む人的な圧力の減少といった人的活動の変化によって引き起こされたものである。
- ・人的活動の多面性を考慮すると、ある生物学的効果の発現に及ぼす影響について特定の要因を取り上げることが非常に困難であるが、事故が発生した地域において電離放射線は主要な要因の一つと考えられるべきである。
- ・生物群集にとって有害な放射線量のレベルは、個々の種における何らかの反応を顕著に阻害するレベルとは大きく異なることがある。
- ・このため、放射線防護に係る取り組みにおいて生物群集の構成要素に関する比較研究が果たす役割は非常に大きい。念頭に置くべきは、群落の変化は、生育を阻害する程の線量においてのみでなく、刺激を与える程度の線量でも生じるということである。ある種におけるホルミシス現象は、当該種にとって有利に働くが、他の種にとっての条件を悪化させることもある。
- ・事故後の期間を通じ、生物群集の変化は主として慢性的な被ばくによって引き起こされるため、合計線量よりも線量率の方が生物群集の構造に影響を与える特性としては重要である。
- ・ $1 \mu\text{Sv/h}$ 以下から 100 mSv/h 超までの線量率の増加に伴い、放射線生物学的な影響が生じる：生化学的变化、染色体異常、目に見える突然変異、個体群構成の変化、放射線感受性が高い種の減耗 (depletion)、生物群集の減耗、そして最も強力な影響が生物群集の退化 (degradation) である。

植物

- ・こうした影響は、事故後に放射線の影響をうけた区域に生育する植物種の多くで明らかになっている。特に明確な体細胞突然変異は、ヨーロッパアカマツにおける形態的な変異で特に示されており、二又分枝 (dichotomy)、頂芽優勢の消失、樹皮の剥落、葉緑素の突然変異などがある。

動物

- ・事故後の影響は、通常、3つの期間に区分される。
- ・第一期は事故後 60～80 日で、電離放射線による急性影響が特徴である。大規模なマツ林の枯死により、生物群集の栄養経路が影響を受けたため、動物相に大きな変化が生じた。
- ・第二期は、一部の生物群集に対する完全な抑圧期であり、1991 年末まで続いた。この期間は、汚染土壌との生活機能に関連した動物相全般の抑圧が特徴である。
- ・第三期は、1992 年から 2000 年であり、昆虫相および鳥類相の個体数と個体群構造の緩やかな回復、哺乳類の数 (個体数) の若干の減少が特徴である。

EFFECTS OF LONG-TERM RADIATION EXPOSURE ON AQUATIC PLANTS AND ANIMALS WITHIN THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Dmitri GUDKOV

Department of Freshwater Radioecology, Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine. E-mail: digudkov@gmail.com

Along with natural decontamination processes in aquatic ecosystems such as physical decay of radionuclides and their water transport outside the Chernobyl Exclusion Zone, there is a change of physical and chemical forms of radioactive substances in soils of catchment areas, their transformation and transition in the mobile and bioavailable state, washout to the closed aquatic ecosystems and accumulation by hydrobionts. This is essentially deteriorates the radiation situation in closed aquatic ecosystems, which are some kind of “storage system” of radioactive substances in the Exclusion Zone and results in increase of radiation dose to aquatic species and manifests in a variety of radiation effects at different levels of biological systems. Thus the stagnant water bodies located on radiation contaminated territories within the Exclusion Zone are the areas of the main accidental, long-lived, radionuclides accumulation, the areas of the increased long-term radiation dose rate on aquatic biota, and also the areas of high probability of radiation effects realization.

Currently the radioecological situation in the Exclusion Zone is determined primarily by long-lived radionuclides ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu and ^{241}Am . The absorbed dose rate for hydrobionts of the researched water bodies within the Exclusion Zone during 1997-2014 was registered in a range $1.3 \text{ mGy year}^{-1}$ - 3.4 Gy year^{-1} . The highest levels were registered in lakes of the dammed territory of the left-bank floodplain of the Pripyat River, the lowest one - for running water objects.

Different radiation effects of ionizing radiation on hydrobionts in lakes within the Exclusion Zone have been registered in post-accident period. Some of these effects appear shortly, while an increasing importance is expected by the remote consequences - genetic damages induced by a long-term irradiation. These remote consequences are a long-drawn realization of changes in molecules of heredity, where the initial molecular damages have a latent period without any display and can be transferred through the many generations of cells to be a reason of genome instability in future.

During 1998-2013 we evaluated the cytogenetic effects level in embryo tissue of gastropod snail (*Lymnaea stagnalis* L.) as chromosomal aberration rate, considering it as reaction of snails on

radiotoxicological condition of environment. The rate of chromosomal aberration was found in snails from the most contaminated lakes of the Exclusion Zone - 21-23%. About 2.3-3.3% of aberrant cells were registered in snail's embryo from the rivers within the Exclusion Zone and the rate of chromosomal aberration for snails from the reference lakes was about 1.1-2.0%.

The highest average rate of chromosomal aberrations in root meristems of the common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) was registered in lakes of the Exclusion Zone - 5.9-7.3%. In comparison, the data received for reed from reference lake amount to 1.0%. The rate of chromosomal aberration in reed from closed water bodies within the left-banked flood plain of the Pripyat River was in 2-3 times higher than spontaneous mutagenesis level. The single fragments were the frequently occurring aberration in meristem cells of the common reed - on the average 57.0 % of all aberrations. Rate of single bridges were 40.7 %, multiple aberration, including different variation of fragments and/or bridges (pair bridges or fragments, bridge and fragment, bridge and two or three fragments) were 2.3 %.

Haematological research of hydrobionts in the Exclusion Zone shows essential changes of hemolymph structure of molluscs and high amount of red cells with atypical shape of nucleus in the blood of fishes from the water bodies with high levels of radioactive contamination that allows to assume that the qualitative indexes of red cells of peripheral blood of fishes are more sensible to chronic radiation influence in comparison with the elements of white blood. Leukogram analysis of peripheral blood of fish showed the decrease of part of lymphocytes, responsible for the implementation of immunological reactions. At that it is registered increase in the number of granulocytic elements (neutrophils and pseudoeosinophils), responsible for phagocytic function and involved in allergic and autoimmune reactions. Along with changes in leukograms an increased level of morphological damages of erythrocytes (deformation of nucleus and cell membrane, nucleus and cytoplasm vacuolization, pyknosis and lysis of cells, forming of microcytes, schistocytes, double nucleus cells and micronuclei) was determined, which is generally for pray fish in 4-12 times and for predatory fish in 7-15 times higher than in fish from reservoirs with background levels of radioactive contamination.

During 2009-2012 we analyzed morphological parameters and the presence of anomalies of egg capsules and egg mass of the pond snails *Lymnaea stagnalis*: despiralization or weak spiralization strand with egg capsules; multilane organize of egg capsules in egg mass; location loose of egg capsules; twin egg capsules; polyzygosity of egg capsules; egg capsules without zygotes; zygote outside the egg mass; egg capsules larger or smaller sizes, as well as irregular shape.

There is a good correlation between quantity of abovementioned abnormalities and density of ^{137}Cs contamination of bottom sediment of studied water bodies.

Analysis of the viability of the seed progeny of the common reed at germination in the laboratory showed that in gradient of absorbed dose rate from 0.03 to 11.95 cGy/year for parental plants in lakes, there is a reduction in technical germination from 93 to 60%, germination energy - from 91 to 30% and seed viability - from 54 to 38%. At the same time significantly increased the number of abnormalities of seed seedlings: necrosis of roots - from 1.3 to 14.7%; disturbance of gravitropism - from 2.6 to 17.0%; damages of organogenesis - from 4 to 24% and disturbance of chlorophyll synthesis - from 0 to 2%.

For the common reed in lakes of the inner exclusion zone, the high level of affection by parasitic fungi *Claviceps purpurea* and by gall-producing arthropods, in particular by mites *Steneotarsonemus phragmitidis* (sometimes up to 100 % of a vegetative population of lake), was discovered. During 2002-2009 affection by mites quickly propagated in other closed reservoirs of the Exclusion Zone, essentially reducing rates of growth, seed efficiency and bioweight of plants. Now there are no bases finally to approve, that the damage of a reed causes by the impact of ionizing radiation, however we are anxious about the fact, that this mite species for the first time is registered in Ukraine within the Exclusion Zone, in the territory which is the most contaminated by radionuclides. In this connection it is supposed, that one of the possible reasons of a total plants disease can be a loss of them a parasitical stability in conditions of chronic radiation influence.

Thus the established dose-related effects in hydrobionts of water bodies within the Exclusion Zone indicates a damage of biological systems at subcellular, cellular, tissue, organ, organism and population levels as a result of chronic exposure to low doses of ionizing radiation. The rate of chromosomal aberrations in cells of aquatic species in many times exceeds the level of spontaneous mutagenesis level to aquatic biota. Increased levels of chromosome damages may be a manifestation of radiation-induced genetic instability, which is one of the main mechanisms for the protection of living organisms from exposure to stressors with subsequent implementation at higher levels of organization of biological systems.

摘要

- ・放射性核種の物理的崩壊とチェルノブイリ立入禁止区域外への放射性核種の水による移動 (water transport) のような水域生態系での自然な汚染除去プロセスでは、集水域における土壤中の放射性核種の物理的および化学的な形態変化、移動 (移行) しやすい状態や生物学的に利用可能な状態にある放射性核種の崩壊および転移、閉鎖水域の生態系へのウォッシュアウト、および水生生物による蓄積が生じている。
- ・これにより、閉鎖水域の生態系における被ばく状況がかなり悪化している。これが、立入禁止区域における放射性核種のある種の「貯蔵系」となり、水生生物への放射線量の増大につながり、さまざまなレベルでの生物系への放射線影響となって現れている。
- ・1998～2013年には、腹足類のヨーロッパモノアラガイ (*Lymnaea stagnalis* L.) の胚組織における細胞遺伝学的影響のレベルを染色体異常率などで評価した。染色体異常の発生率は、立入禁止区域の中で最も汚染された湖から得られたカタツムリでは21～23%であることが判明した。
- ・ヨシ (アシ) (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) の根部分裂組織における染色体異常の最高平均発生率は、5.9～7.3%であった。
- ・立入禁止区域での血液学的研究から、放射能汚染が高い水域から得られた軟体動物の血液リンパ構造の重大な変化や魚類の血液中における非定型の核を持つ多量の赤血球が確認されている。魚の末梢血の白血球像解析では、免疫反応の発現に寄与する一部のリンパ球の減少が明らかとなった。
- ・2009～2012年には、ヨーロッパモノアラガイ (*Lymnaea stagnalis* L.) の卵嚢と卵塊の形態学的パラメータおよび異常の有無を分析し、卵嚢におけるらせん解体または脆弱ならせん鎖、卵塊中の卵嚢の多列組織、卵嚢の位置の緩み、双卵嚢、卵嚢の多重接合生殖性、接合子の欠如した卵嚢、卵塊の外側にある接合子、より大型または小型の卵嚢、ならびに不規則な形状が見られた。
- ・実験室での発芽時におけるヨシの種子の生存能力についての分析から、湖沼内の親植物に対する0.03 cGy/年から11.95 cGy/年までの吸収線量率勾配では、人工 (技術的) 発芽の減少、発芽エネルギー減少、および種子活力低下が見られることが判明した。
- ・内部立入禁止区域の湖にあるヨシでは、寄生菌類の *Claviceps purpurea* と、特にダニ (*Steneotarsonemus phragmitidis*) などの癭瘤 (こぶ) を生成する節足動物による高度の影響 (時には湖の植生個体群の100%に至るような) が発見された。
- ・2002～2009年には、ダニによる影響が、立入禁止区域におけるその他の閉鎖貯水池において急速に蔓延しており、植物の成長率、発芽効率、生物重量を著しく低減させていた。

被災動物の包括的線量評価事業と霊長類動物への影響解析

The assessment of radiation effects on Japanese macaque within and around the ex-evacuation zone of the Fukushima nuclear power plant accident

漆原佑介・福本学

Y. URUSHIHARA, M. FUKUMOTO

東北大学加齢医学研究所

Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University

背景

被災動物の包括的線量評価事業では、東京電力福島第一原子力発電所（福島原発）事故後に設定された旧警戒区域に入り、残置された家畜の安楽殺処分に同行して臓器、筋肉、血液等のサンプリングを行った。これまでに福島県内のウシ約 300 頭、ブタ約 60 頭の試料を収集し、ウシ血中・臓器中放射性物質と放射能濃度について (Fukuda et al., 2013)、ウシ精子形成、精巣への放射能の影響 (Yamashiro et al., 2013) について各々報告している。

福島県に生息する野生ニホンザルは除染の進んでいない山岳、森林地帯に生息し、内部外部共に被ばく量が多いことが予想される。また、ニホンザルは福島県で被災した野生動物の中でヒトに最も近い生物種であることから、ニホンザルへの被ばく影響解析は微量慢性被ばくによるヒトへの健康影響を解明するためにも非常に大きな意義を持つ。そこで、2013 年以降は福島県ニホンザル保護管理計画に基づいて各市町村が行っている頭数調整のために捕獲された野生ニホンザルのサンプリングを開始し、2015 年 2 月 1 日現在で 186 頭からのサンプリングを行っている。これらの試料を用いて、ニホンザル体内の各臓器における放射能濃度の測定を行い、また落合らが報告している福島市のニホンザルの末梢血液中血球数等解析結果 (Ochiai et al., 2014) との比較を行った。

材料と方法

ニホンザルの体内放射性物質の解析は、これまでに福島県内で捕獲された 166 個体の野生ニホンザルの臓器より行った。スペクトル分析による放射能測定はゲルマニウム (Ge) 半導体検出器を用いたが、ニホンザルから採取可能な臓器量は少ないことから、専用の標準試料を作製し、3 g~20 g の試料量で解析を行った。大腿四頭筋、最長筋、心臓、咬筋、横隔膜、舌、肝臓、肺、脾臓、腎臓、膵臓、膀胱、胸腺、顎下腺、脳、精巣、皮膚、胃、小腸、大腸、眼（水晶体）、血液の 22 部位についてスペクトル分析を行い、蓄積した放射性物質の同定とその濃度の算出を行った。

抹消血中血球数等の解析は、福島県内で捕獲された野生ニホンザル 69 個体、宮城県内で捕獲された野生ニホンザル 30 個体及び奄美大島の実験動物飼育施設のニホンザル 8 個体より末梢血を EDTA 採血し、福島県及び宮城県内で捕獲されたニホンザルについては白血球数、赤血球数、血小板数、ヘモグロビン値、ヘマトクリット値を、奄美大島のニホンザルについては白血球数、赤血球数を計測した。

結果と考察

これまでに大腿筋 166 個体、肝臓 52 個体、他の臓器は 10 個体～20 個体について Ge 半導体検出器を用いたスペクトル分析を行っている。その結果、福島県の野生ニホンザル各臓器中において検出された福島原発事故由来の放射性核種は、 ^{137}Cs 及び ^{134}Cs のみであった。しかし、ニホンザル各臓器の放射能濃度測定は 2014 年 4 月以降に開始されたことから福島原発由来の短半減期放射性核種についてはすでに崩壊が進み検出できなかつたと考えられる。臓器間の放射性セシウム濃度を比較したところ、大腿四頭筋、最長筋の放射性セシウム濃度が最も高く、次いで咬筋、顎下腺、精巣、舌、腎臓、横隔膜、心臓の順で高かつた。

福島県、宮城県、奄美大島のニホンザルから採取した血液中各血球数について比較したが、有意差はみられなかつた。また、福島県のニホンザルについて大腿筋放射能濃度と血球数の相関解析をおこなつた。落合らは幼獣において筋肉中放射能濃度と白血球数との負の相関を報告しているが、我々の解析結果では顕著な相関はみられなかつた。

引用文献

Fukuda T, Kino Y, Abe Y, Yamashiro H, Kuwahara Y, Nihei H, Sano Y, Irisawa A, Shimura T, Fukumoto M, Shinoda H, Obata Y, Saigusa S, Sekine T, Isogai E, Fukumoto M 2013: Distribution of artificial radionuclides in abandoned cattle in the evacuation zone of the Fukushima Daiichi nuclear power plant. PLoS One 8: e54312.

Ochiai K, Hayama S, Nakiri S, Ishii N, Uno T, Kato T, Konno F, Kawamoto Y, Tsuchida S, Omi T 2014: Low blood cell counts in wild Japanese monkeys after Fukushima Daiichi nuclear disaster. Sci Rep 4: 5793.

Yamashiro H, Abe Y, Fukuda T, Kino Y, Kuwahara Y, Fukumoto M, Takahashi S, Suzuki M, Kobayashi J, Umetsu E, Tong B, Yamada T, Yoshida S, Sato E, Shinoda H, Sekine T, Isogai E, Fukumoto M 2013: Effects of radioactive caesium on bull testes after the Fukushima nuclear plant accident. Sci Rep 3: 2850.

Summary

We have set up a study group for the assessment of radiation effects of the FNPP accident. We determined the activity concentration of radionuclides in organs of Japanese macaque in Fukushima prefecture. The deposition of only ^{134}Cs and ^{137}Cs was observed in all the organs examined. The radioactive cesium level in the skeletal muscle was the highest among all the organs studied. We did not, so far, find any correlation between the concentration of radioactive cesium and leukocyte count.

福島大学環境放射能研究所の紹介

Scope and Present State of Institute of Environmental Radioactivity (IER) at
Fukushima University

難波謙二・高橋隆行

福島大学環境放射能研究所

K. NANBA, T. TAKAHASHI

Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

Abstract

IER is established in 2013 after the accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant to promote/facilitate scientific research on environmental radioactivity and to share the experience among international science community. IER has 5 divisions; Radiation Morphology, Radioisotope Geoscience, Radioecological Transfer and Effects, Measurements and Forecasting and Research Coordination. The research staff in IER are rather international and have started their work in hydrology, forest radioecology, marine chemistry, monitoring system development etc. Analytical laboratory building opened in Jul. 2014 that has analytical equipment rooms and sample preparation rooms. Another building that can be used for education of graduate students is under a plan to open in 2016.

福島大学環境放射能研究所は、東京電力福島第一原子力発電所事故に伴って放出された放射性物質の自然環境中の動態を科学的に解明することを通じて、福島復興に資すること、および原発事故の経験や教訓を国内外で共有し、活かすことを目的として、平成25年7月1日に設立された。

福島大学金谷川キャンパスに設置された本研究所は、原発事故の影響を強く受けた地域にも近いことを活かしたフィールド研究を中心に、モデルや機器の開発を行うほか、試料の保存と研究者への提供を行う。これらの研究活動等を実現するユニットとして、本研究所は現在のところ5つの部門を置いている。

「放射能形態部門」は「分析標準」と「存在形態」を扱う2分野からなり、環境由来の多様な試料について正確に測定するための試料調製や分画、測定の手法開発と標準物質の調整を担う部門である。「放射能地球科学部門」は「大気」、「陸域循環」、「海洋循環」、「水文」の4分野からなる。この部門は大気の移動や水の移動に伴う放射性物質の移行を解明する部門であり、気象学、陸水学、海洋学、水文学等のフィールド科学が関係する。「放射生態学部門」は放射性物質の生物作用による移行を主な研究対象とする「森林」、「陸水」、「土壌植物」と、長期低線量被ばくによる直接および間接的な生物影響を研究対象とする「植物影響」、「野生動物影響」の5つの分野からなる生態学や農林水産学を始めとしたフィールド科学が関係する。「放射能計測予測部門」は「線量モデル科学」、「計測システム開発」、「メカトロニクスシステム開発」の3分野からなり、それぞれ、数値モデルによる将来予測、放射線計測技術開発および、試料採集や観測を無人で行うロボットの開発を含んでいる。「連携研究部門」では「アーカイブ」分野が含まれ、データと試料のアーカイブを担う。

現在のところ、これらの全ての部門・分野に人員が配置されているわけではないが、チェルノブ

イリ事故後の研究や政策決定関与の経験を有し、現在もこの分野の研究を世界的にリードする研究者や、福島で研究をしたいという若手研究者が、各国から参画している。多くの分野で、研究等活動が開始され、既に業績を上げはじめている。さらに、2015年には、研究者を増員して先に紹介した研究部門それぞれの体制がいつそう整う予定である。また、内部の人員だけではなく、国内外の訪問研究者による利用も始まっている。現在の本研究所の建物は2014年8月に竣工した床面積約1400m²、二階建ての「分析棟」のみである。ここには、様々な分析装置が設置され、既に稼働している。訪問研究者は、しかし、今までのところどちらかということ、採集した試料の一時的な処理の場として本研究所を利用している。分析棟には、土壌、植物、動物、水、等の試料形態別に区分された試料調製室や、酸処理や乾燥等の処理、また、分子生物学的な試料の調製のできる実験室を備えている。さらに、本研究所は平成28年中頃をめどに、6階建ての「本棟」と「試料保存棟」(合計約4,500 m²)の建築を予定している。

本研究所は国内外の研究機関等との連携を進めている。そもそも、本研究所の特徴として、福島大学学内単独ではなく、関連分野の研究を推進してきた諸研究機関と連携しながらその運営を行うという点がある。研究に関わる重要事項については、筑波大学、東京海洋大学、広島大学、長崎大学、福島県立医科大学、放射線医学総合研究所をメンバーとする研究連携推進会議を開催して審議・決定を行っている。また、日本原子力研究開発機構(JAEA)および国立環境研究所(NIES)などの国内機関とも、緊密な関係を構築しているほか、他の国内大学等とも連携関係を模索中である。さらに、三春町および南相馬市に設置される福島県環境創造センターや、県立医大内に設置されるふくしま国際医療科学センターなどの福島県内の新たな研究機関とも緊密な連携を図り、有機的かつ効率的な研究を進めたいと考えている。国際連携を推進するため、フランス、ベルギー、ハンガリー、英国、米国などの研究機関・大学との連携協定を締結するとともに、IAEAなどの国際機関との連携も進めている。今後も、諸外国、とくにチェルノブイリを擁するウクライナの研究機関および大学とも連携を図り、国際連携によるフィールド研究や、学生および実務候補者の実地教育・訓練など環境放射能分野の研究と人材育成等を進めたいと考えている。

東京電力福島第一原子力発電所事故後の調査や対策では、チェルノブイリ原発事故後の科学研究の経験が活かされてきた。このことは、世界のどこかで次に起きるかもしれない放射性物質による汚染による影響を最小限にするための科学的な知見を福島から生み出すことが可能であり、また、求められてもいることを暗示している。一方で、福島での環境放射能をめぐる課題は、今後も数十年単位の長期にわたることになる。福島復興の力を支え、国際的にも活躍できる人材を継続的に育成することも本研究所の重要な責務であろう。

Research on effect of radiation on plants in Fukushima

Vasyl IOSHCENKO, Kenji NANBA, Tsugiko TAKASE
Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

Studies in the Chernobyl zone showed that the accidental release and the following contamination of the forest ecosystems resulted in formation of the numerous damages of the plant species. In particular, accidental release caused lethal damages to the pine plantations in the near vicinity to the ChNPP. At the less contaminated areas the radiation exposures caused formation of the well-expressed morphological changes in the pine trees, such as changes in size, shape, and color of individual organs and their location in the plants (Kozubov and Taskaev, 2002).

In our earlier study (Yoschenko et al., 2011) we demonstrated that at the late phase of the Chernobyl accident the morphological changes in Scots pine were presented almost exclusively by cancelling of the apical dominance, while other morphological abnormalities were extremely rare. As a result of the large-scale observations in the forest ecosystems of Chernobyl we formulated the dose rate – effect dependencies for morphological and cytogenetic changes in Scots pine. Also, we inferred that in the studied species the apical dominance disappeared mainly in the young trees (mean age of occurring the effect was 4.4 years and did not depend on the dose rate). The new changes almost did not appear in the trees older than 10 years.

It is important to mention that the mentioned morphological changes occurred at the levels of the dose rates that can be found in the forest ecosystems of Fukushima. In 2014 we started the study aimed to identify the effects of radiation to the plant species in Fukushima. At this stage we focus on revealing of the morphological abnormalities in the coniferous species as the species with a high radiosensitivity. Taking into account the above-mentioned age dependence of formation of morphoses, we primarily looked for the compact groups of trees of Japanese red pine (*Pinus densiflora*) that were exposed at the juvenile stage of their development.

To the moment, we found four locations in the Fukushima zone where increased frequencies of the morphological changes in the young pine trees were detected and where the numbers of the trees were big enough to quantify the effect. Similarly to the Scots pine plantations in the Chernobyl forests, in the Fukushima zone we observed cancelling apical dominance in Japanese red pine (Fig. 1). We did not observed an increase of the rate of such abnormalities in the groups of the older trees growing nearby.

Limited amount of observations does not allow to formulate now the dose rate – effect dependency for cancelling apical dominance in red pine. The study will continue for accumulation of the larger array of empirical data. Also, an approach for the reliable dose assessment should be elaborated. We measured the air dose rates at the mentioned 4 locations; at 2 locations we also estimated the doses to the trees from the measured values of incorporated $^{134,137}\text{Cs}$ using ERICA

Tool. Comparison shows that the total doses to the trees are caused mainly by external radiation from the radionuclides in soil. However, the air dose rates measured in 2014 may be lower than in the period of formation of morphological changes. This explains why in the Fukushima zone the apparent rate of morphoses is higher than in the Chernobyl zone (Fig. 2): the dose rates for the Fukushima zone may be underestimated. Therefore, the presented data must be considered as preliminary and the further study should include dating the morphoses and, if they occurred in the past, the dose rate reconstruction. Also, the different rates of morphoses can reflect the probable difference in radiosensitivity between the two studied species.



Fig. 1. Cancelling the apical dominance in young red pine tree in the Fukushima zone

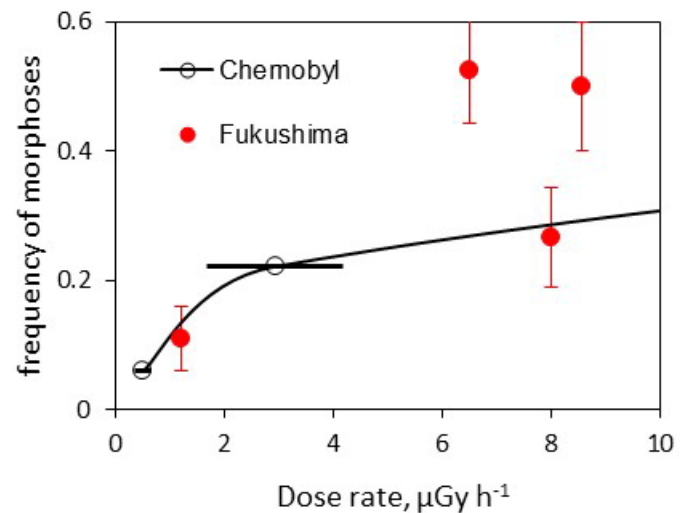


Fig. 2. Dose rate – effect dependence for morphological changes in Scots pine in the Chernobyl zone and preliminary results of observations of morphological changes in Japanese red pine in the Fukushima zone.

Accumulation of the empirical data and improvement of the dose assessment will enable formulation of the reliable dose rate – effect dependency for Japanese red pine and its comparison with the dependency for Scots pine, and will contribute to specification of the safe dose rate values for terrestrial ecosystems.

REFERENCES

- Kozubov GM, Taskaev AI. Radiobiological studies of coniferous species in the area of the ChNPP accident, 2002.
- Yoschenko VI et al. Health Physics 2011, 101: 393-408.

摘要

- ・チェルノブイリ区域での研究から、事故による放射能放出とその後の森林生態系の汚染の結果、植物種に多大な損傷が生じていることが明らかとなった。
- ・特に、事故による放射能放出は、チェルノブイリ原子力発電所（ChNPP）付近のマツの植林地に致命的な損傷を引き起こした。
- ・汚染がより少ない地域では、放射線被ばくにより、例えば個々の器官のサイズ、形状、色、それらの植物内での位置の変化など、マツの木には顕著な形態学的変化が発生していた（Kozubov & Taskaev, 2002）。
- ・チェルノブイリの森林生態系における大規模な観測の結果、ヨーロッパアカマツの形態学および細胞遺伝学的な変化における線量率依存効果について評価した。研究対象の樹種では、主に若木において頂芽優勢が消失している（影響が発生した木の平均樹齢は4.4年であり、線量率には依存していなかった）と推測した。樹齢が10年以上の木には、新たな変化は、ほとんど出現していなかった。
- ・上記の形態学的変化は、福島の森林生態系で見出させるような線量率のレベルで発生した点に言及することが重要である。
- ・2014年には、福島の植物種への放射線影響を確認することを目的とした研究を開始した。
- ・現在までのところ、マツの若木における形態学的な変化の頻度増加が確認されている。
- ・チェルノブイリの森林におけるヨーロッパアカマツの植林地と同様に、福島県内（Fukushima zone）にて、アカマツにおける頂芽優勢消失を観察した。その近くで成長していたより樹齢の高い木の一群では、そうした形態異常発生率の増加は見受けられなかった。
- ・現時点では、限られた量の観察ゆえに、アカマツにおける頂芽優勢消失に対する線量率依存効果を算定することができないため、引き続きデータを蓄積する。
- ・福島県内の4ヶ所で空間線量率を測定し、2ヶ所について、ERICA ツールを使用して^{134,137}Csの測定値から樹木の（被ばく）線量率を推定した。このような比較により、樹木への線量（被ばく線量率）は、主に土壌中の放射性核種からの外部放射線により引き起こされることが示されている。

国立環境研究所における災害環境研究への取り組み Researches of environmental disaster in NIES

玉置雅紀、大沼学、深澤圭太

M. TAMAOKI, M. ONUMA, K. FUKASAWA

独立行政法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター
National Institute for Environmental Studies

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。また、高放射線地域は帰還困難地域などに指定され、原発事故後、人が住まないことが常態化している。このような地域では将来放射線量が低下し、住民の帰還が行われたとしても里地・里山生態系が崩壊している事が懸念され、すぐに生活再開出来るかどうかは分からない。我々の研究所では2012年度より野生生物を中心とした低線量放射線による生物・生態系影響に関する調査研究を開始した。現在当研究所において行っている調査研究は、(1)野生齧歯類を指標とした低線量放射線影響の長期モニタリング、(2)低線量放射線モニタリング植物の開発、(3)植物の生殖器官に対する低線量環境放射線影響の実態調査、及び(4)原発事故被災地域における生態系モニタリングである。また、野生生物（魚類など）への放射性物質の蓄積および海域における生物資源量調査に関する研究も行っている。本報告会ではこれらのうち、(1)野生齧歯類を指標とした放射線生物影響の長期モニタリング及び(2)原発事故被災地域における生態系モニタリングについて発表する。

(1) 「野生齧歯類を指標とした放射線生物影響の長期モニタリング」の進捗状況

ICRPは放射線による環境影響を評価する際に適切な12種類の動植物、「標準動物及び植物」を公表した。哺乳類で標準動物に指定されたのは、シカ科およびネズミ科に分類される野生動物である。また、ICRPは各標準動植物及び植物が放射線を受けた場合に生じる影響について線量率ごとに情報を提供している（誘導考慮参考レベル、Derived Consideration Reference Levels）。シカ科およびネズミ科の動物については、線量率が0.1 mGy/d以上となった場合に放射線による影響が発生する可能性があるとしてされている。Garnier-Laplace et. al. (2011)は、事故後30日間における森林性げっ歯類が受けた線量率を3.9 mGy/dであったと報告している。この線量率をICRPの誘導考慮参考レベルに照らし合わせると、繁殖能力の低下が生じる可能性がある線量率となる。発災移行の福島県森林に棲息する齧歯類における被ばく状況については情報が無い。そこで、2012年～2014年にかけて福島県内で捕獲したアカネズミ (*Apodemus speciosus*) の被ばく量（内部被ばく量と外部被ばく量の合計）を推定するとともに、その結果をICRPの誘導考慮参考レベルと照合し、2011年の状況が継続したのか検討した。また、福島県、富山県、青森県で捕獲したアカネズミを対象に、精巣の組織学的観察、精子奇形率の算定および骨髄における小核形成率の算定等を実施し地域間で結果の比較を行った。その比較結果についても合わせて報告する。

(2) 原発事故被災地域における生態系モニタリング

東日本大震災による原発事故は福島県の一部地域の住民の避難につながった。避難区域内の生物多様性・生態系サービスの変化をモニタリングし、評価・予測することは、将来の住民帰還時の意思決定に寄与すると考えられる。特に、避難区域内では線量の増加のみならず、耕作放棄等の人間活動の変化を介した影響が生じていることが予想される。それに伴う生物種の分布変化を把握するため、2014年度より避難指示区域内外を含む福島県浜通り・中通り地域の9市町村において、哺乳類・飛翔性昆虫類・鳥類・カエル類を対象とした長期モニタリングを開始した。哺乳類は森林内に設置した自動撮影カメラ、昆虫類は小中学校（休廃校含む）に設置した捕獲トラップ、鳥類およびカエル類は録音機を用いて調査する計画となっており、初年度は各分類群につき50か所程度の定点調査を実施している。昆虫類に関しては、2014年5月中旬から7月中旬にかけて、各調査地点においてマレーズトラップを設置し、47地点分のサンプルを取得した。サンプルにはハチ目・ハエ目が多く含まれており、キムネクマバチのように避難区域内ではほとんど採集されないというパターンがある種も見られた。これは、餌資源となる園芸植物が住民避難後減少したためかもしれない。避難区域内外で分布パターンの違いが見られた分類群は環境指標として有効である可能性があるが、現時点ではデータが限られており、結果の解釈には注意が必要である。また、本講演では哺乳類モニタリングの初年度の結果についても紹介する。

summary

In our institute, we have been carried out many researches for environmental disaster after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Those include research for impacts on wild organisms and ecosystems in Fukushima. Here, we introduced following two topics performed in our institute. (1) Wild Japanese field mice (*Apodemus speciosus*) were captured in a high-gamma-dose area in Fukushima and in low-gamma-dose areas (Aomori and Toyama). The histochemical observations of testis and determination of malformation rate in sperm were carried out. (2) Monitoring project of mammals, insects, birds and frogs in Fukushima was started in 2014. In this project, population indices of these taxa have been recorded at about 50 monitoring sites. Results of insects and mammals will be shown in this presentation.

森林と川のつながりにおける生物への放射性セシウムの生物蓄積評価
Evaluating radiocesium transfer in forest-stream ecosystems of a headwater
catchment

五味高志

T. GOMI

東京農工大学

Tokyo University Agriculture and Technology

Abstract

We analyzed concentration of radiocesium in aquatic and terrestrial organisms and organic matter sampled from a Japanese cedar plantation approximately 45 km away from FDNPPs. Stable carbon and nitrogen isotope analysis indicated that the dominant primary producer in both terrestrial and aquatic areas was cedar litter. ^{137}Cs concentrations in cedar litter ranged from 20900 to 33300 Bq kg⁻¹ dry-weight on forest floor, whereas those in the stream ranged from 5690 to 7920 Bq kg⁻¹ dry-weight. Radiocesium concentration in organisms differed among their habitats, and was the greatest followed by forest, riparian zone, pools, and riffles. These results suggest that the level of radiocesium concentration in consumers depends on the level of contamination of primary producers available in consumers' habitat range. Dynamics of radiocesium via litter decompositions and transport is one of the key processes for understanding biological transfer of radiocesium in forest-stream ecosystem.

Radiocesium concentrations of char ranged from 1211 to 6148 Bq kg⁻¹-dry. Radiocesium concentration appeared to be greater in the individuals with greater body sizes. Body fatness index estimated by the body lengths and weights were positively correlated to the concentrations. Based on the analysis of gastrointestinal contents, terrestrial insects were important food sources especially during summer. Because terrestrial food sources were more contaminated than freshwater ones, char likely accumulated radiocesium in summer than in winter. Hence, greater metabolism of char during summer induced higher excretion of radiocesium according to metabolic rate analysis. Our findings showed that metabolism and resource subsidies between stream and riparian ecosystems are key processes for understanding radiocesium transfer to salmonid fish in headwaters. Based on these field information, we are currently working for developing model for ^{137}Cs transfer in forested ecosystems.

1 . 目的

森林域における溪畔林から河川への放射性セシウムの動態を把握するとともに、生物相への汚染の移行を評価するために、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を解明し、これらを構成する生物種の放射性 Cs の蓄積の実態を把握することを目的とする。食物網の一次生産として重要となるスギ人工林の放射性セシウム濃度の評価が重要性を評価した。また、森林生態系における放射性セシウムの濃度が顕著である森林と溪流のスギ落葉（リター）の ^{137}Cs 濃度を比較すると、同質のリターであっても、溪流の ^{137}Cs 濃度が低いことから、溪流内におけるスギ落葉からの溶脱や分解による ^{137}Cs 流出過程を把握するために、リターバッグ実験を行った。さらに、内水面漁

業の重要な資源であるイワナ体内における放射性セシウム濃度の季節変化を把握し、代謝率及びエサ資源の由来、資源量を評価することによって、季節によるイワナの放射性セシウム濃度の変化について検討した。これらの成果をもとに、生態系における食物網、および各生物種への移行係数をもとに、生物相への蓄積モデルの構築を進めている。

2. 方法

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。スギとヒノキを主体とした林分で、溪岸沿いまで植栽木がみられる。積算流下土砂有機物サンプラーを流路内に設置するとともに水位流量を観測した。流路への落葉供給については、リターフォールによる直接流入を設置し、採取するとともに放射性核種を分析した。水生生物は、コドラート付ネットを用いた。安定同位体比分析、放射能測定用サンプルとしてキックネット法による採取を行い、種ごとに分類した。イワナは採餌行動を行う頻度が高い早朝と夕方に採取した。採取した個体については体長と全長の計測、胃内容物の採取を行った。粉碎し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。サンプルは 100ml のプラスチック容器に詰め、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。目幅 13mm の金網に約 100 g の落葉を入れリターバックを作成し、瀬と淵を各 4 か所選び、3 個ずつ合計 24 個を設置した。リターバック回収時期を 75、150、250 日とした。設置後 4 日と 15 日後に回収する短期実験も行った。

3. 結果と考察

(1) 溪畔林-溪流生態系の生物と放射性セシウム蓄積

溪畔域の一次生産者の ^{137}Cs 濃度は、土壌と林床スギリターで高く、広葉樹リター、下層植生は低かった。一次生産者と同様に流域の生物は溪畔域に比べて 2.4 分の 1 と低かった。瀬に生息する種は低く、淵に生息する種、イワナやミズムシ科、アオグロハシリグモ、サワガニなどで高かった。溪畔域の生物では、林床や樹上に生息する種が高く、溪流沿いに網を張るオオシロカネグモは低かった（図 1）。生物の ^{137}Cs 濃度はハビタットの汚染度に大きく影響を受けていることが示唆された。リターバック実験の結果、0 日から 4 日にかけて ^{137}Cs 濃度は 30~40% 減少した。さらに 75 日から 250 日にかけて 40~70% の減少が見られた。葉の分解は 100 日前後で発生することから、0 から 4 日での ^{137}Cs 濃度の減少は、主に溶脱によるものと考えられた。

(2) 溪流魚のセシウム濃度変化とその要因

各季節におけるイワナの調査では大沢川で 27~38 個体採取された。体長は大沢川で 28~226mm であり、一部を分析した。採取されたイワナの胃内容物からはカクツツトビケラ属やナガレトビケラ属などのトビケラ目やカワゲラ目などの水生昆虫やミズムシ科、サワガニなどの水生生物とカマドウマ科やコウチュウ目といった陸生生物が確認された。イワナの ^{137}Cs 濃度は大沢川で 1211~6148Bq $\text{kg}^{-1}\text{-dry}$ であり、イワナの体長が大きくなるほど、高くなる傾向にあった。これは体長が大きい個体ほど、代謝率が低くなり、排出する放射性セシウム量が減ること、摂取するエサ資源量が多くな

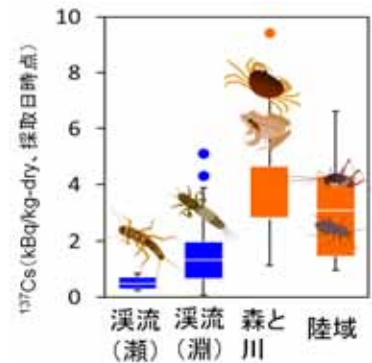


図 1 陸生生物と水生生物の ^{137}Cs

ることによる摂取する放射性セシウム量の増加が要因であると考えられた。季節による¹³⁷Cs濃度の変化はあまり見られなかったが、夏季の代謝率が高いこと、汚染度の高い陸由来のエサ資源を摂取していることから、夏季は冬季に比べてより多くの放射性セシウムを摂取、排出することが考えられた。

まとめ

森林流域における流下有機物および堆積物の放射性セシウム濃度分布を把握するとともに、それらを生息環境とする生物相の汚染状況や生物蓄積の現状を把握することができた(図2)。本研究による、生物相への蓄積およびその要因についての解明が進められた、今後は、これらの成果により得られたデータから、生態系における食物網を考慮したモデルの構築を進めている。とくに、森林から溪流への放射性セシウムの動態を考慮するた

めに、森林系と溪流系のモジュールを個別にくみ上げ、その後これらを統合モデルとして構築し、将来的には生態系の基礎となる落葉の汚染度が時間経過とともに変化、除染による遞減効果(Sakai et al., 2014) などの変化にともなう生物への¹³⁷Cs移行について評価していくこととする。

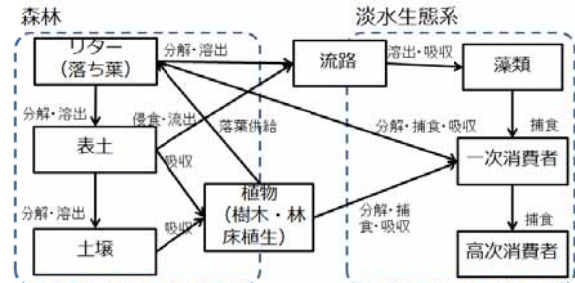


図2 本研究で解明できた生態系での蓄積実態のフローとモデル化への枠組み

引用文献

Sakai M, Gomi T, Nunokawa M, Wakahara T, Onda Y (2014) Soil removal as a decontamination practice and radiocesium accumulation in tadpoles in rice paddies at Fukushima. *Environmental Pollution* 187, 112–115.

シロメバル *Sebastes cheni* 生体における放射性セシウム濃度の測定と生物学的半減期の推定
Radiocesium concentration and biological half-life in living Japanese black rockfish
Sebastes cheni

松本陽・荒川久幸

A. MATSUMOTO, H. ARAKAWA

東京海洋大学

Tokyo University of Marine Science and Technology

We aimed to clarify the temporal change of ^{137}Cs radioactivity in an individual of *Sebastes cheni*. We measured individual whole-body ^{137}Cs radioactivity using high-efficiency NaI(Tl) scintillator and estimated the biological half-life (T_b) of ^{137}Cs . The difference of T_b between sex and size class were not significant. The mean value of T_b was 275d (s.d. 47d). These results revealed that the reduction rate of ^{137}Cs would not have been varied significantly.

【目的】 東日本大震災により発生した東京電力福島第一原子力発電所事故以降、福島県が実施している水産物の放射性物質モニタリングでは、事故から約4年が経過した現在までに、ほぼ全ての魚種で放射性セシウム（以下、 ^{137}Cs ）濃度の低下が確認されている。また、測定される放射性セシウム濃度は、8割を超える検体で検出下限値以下となっている。しかしながら、福島県南部で採集されたシロメバル等のいくつかの魚種では、現在もやや高い濃度で ^{137}Cs が検出される。また、文部科学省が定める放射性セシウム濃度測定では、分析試料の前処理で裁断が必要な致命的測定であるため、個体が有する ^{137}Cs 濃度の経時的な変化の把握は不可能である。個体の ^{137}Cs 濃度経時変化の把握を目的として、高効率のNaI(Tl)シンチレーションカウンタ（以下、NaI）を用いてシロメバル生体のガンマ線スペクトルおよび ^{137}Cs 濃度を測定し、その生物学的半減期（以下、 T_b ）を推定した。さらに、 T_b と性別、全長、飼育水温との関係を検討した。

【方法】 実験は、福島県富岡沖で採集した35個体（全長23.3-32.1cm）のシロメバル生体を福島県水産試験場水槽内で2013年12月-2014年12月まで（約1年間）飼育した。飼育海水はかけ流しとし、放射性物質を含まない市販のナンキョクオキアミを飽食量給餌した。ガンマ線スペクトルの測定前に2-フェノキシエタノールにより麻酔処理を施したシロメバル生体の全長、重量等を計測した。その後直ちにプラスチック容器に収容し、NaI中央に配置してガンマ線スペクトルを測定した。測定後は、直ちに清水に浸漬し、麻酔から蘇生させた。測定時間は600秒間、測定間隔は20-30日/回として、約1年間で14回測定した。 ^{137}Cs の正味の減少を考慮するために、 T_b の推定には ^{137}Cs エネルギー領域のカウント数を用いた。測定された ^{137}Cs カウントデータに対して、最小二乗法により当てはめた指数関数モデルのパラメーターから T_b を推定した。飼育水温は、福島県水産試験場地先から揚水した海水温を飼育水槽にて毎日午前9時に測定した。

【結果・考察】実験開始直後の¹³⁷Cs濃度には性別およびサイズ階級による有意な差が見られ、成長が遅い大型の雄で¹³⁷Cs濃度が最も高かった。この¹³⁷Cs濃度の差は、性別およびサイズ階級による成長の差が寄与したためであると考えられる。本種の¹³⁷Csのカウント数は、実験期間を通じて経時的に減少した。 T_b は個体差が見られたものの、性別およびサイズ階級による有意な差は見られず、平均で275日(±47日)と推定された。これらの結果から、本種における正味の¹³⁷Cs減少速度は性別およびサイズ階級で違いはないと考えられた。

福島県のトウホクサンショウウオ胚で観察された所見
The findings that were observed with the embryos of *Hynobius lichenatus* in
Fukushima

伊原禎雄¹・府馬正一²・松井久実³・宇根有美³

S. IHARA¹, S. FUMA², K. MATSUI³, U. UNE³

¹北海道教育大学釧路校、²放射線医学総合研究所、³麻布大学

¹Hokkaido University of education, ²National Institute of Radiological Science,
³Azabu University

はじめに

両生類は急性の放射線に対する感受性が高いとされ (UNSCEAR, 2011)、その中でも特にサンショウウオはより影響を受け易いとされる (Fuma et al, 2012)。そこで、福島県内に広く分布するトウホクサンショウウオの卵および初期発生胚を対象として、その外形的異常についての調査を 2011 年から 2013 年に実施した。

方法

福島県内の相対的に高濃度の放射能汚染が知られる浪江町赤宇木梶平および手七郎とほとんど影響が無かった福島県内複数箇所 (対照とする) のトウホクサンショウウオの孵化前の初期発生胚について、その外形的異常やその発生率さらには死亡率を調査し、地点間で比較した。

結果と考察

2011 年の原発事故から 1 - 2 ヶ月後の浪江町の胚の一部は死亡していたが (5.3%)、外形的異常は見出せなかった。しかしながら、2012 年には異常率として梶平で 34.7%、手七郎で 23.3%、また死亡率は梶平で 43.8%、手七郎で 23.9% を観察した。これに対して対照はそれぞれ 0.7%、5.2% であり、浪江町の 2 箇所で観察された異常率、死亡率は対照よりもそれぞれ有意に高かった。2013 年に観察された異常率は梶平で 12.7%、手七郎で 13.4%、死亡率は梶平で 9.3%、手七郎で 4.0% であり、対照はそれぞれ 1.3% と 3.3% であった。両地点で観察された異常率および死亡率は 2012 年よりも低く、手七郎の死亡率については対照地点と有意な差は見られなくなった。外形的異常として梶平および手七郎では 2012 年に頭部の未発達、外鰓の形成異常、尾の短小、腹部膨大が共通して多発したことが観察された。一方、対照でも少数ではあるが外形的異常は観察されたが、特定の異常に偏ることはなかった。梶平および手七郎で観察された異常は 2013 年には 2012 年と比較して減少し、特定の異常が多発する傾向は見られなくなっていた。

これらの観察の結果から、2012 年、2013 年には高濃度汚染地域では何らかの特異な事態が生じたことが示唆された。両生類の胚は紫外線、化学物質、寄生虫等の影響を受け易く、それにより形態的な異常が発生するとされる (Blaustein and Johnson, 2003)。しかしながら、浪江町梶平および手七郎の現地状況からは、これらの要因の影響を示す兆候は得られなかった。また、Fuma et al (2014) による放射線照射実験では、当地点で推定される被曝量を福島県内で採取したトウホクサンショウ

ウオの胚に照射したが、外形的異常は発生せず、これまでのところ放射線の影響を示す直接的なデータは得られていない。ただし、単一の要因では発生しなくても、要因の複合的な影響によって異常が生じることもあるとされており (Blaustein and Johnson, 2003)、今後は、放射線とその他の要因との複合的な影響について実験による検証が必要である。

引用

- Blaustein, A. R., and P. T.J. Johnson, 2003. The complexity of deformed amphibians. *Frontiers in ecology and the environment* 1:87-94.
- Fuma, S., Y. Watanabe, I. Kawaguchi, T. Takata, Y. Kubota, T. Ban-nai and S. Yoshida, 2012. Derivation of hazardous doses for amphibians acutely exposed to ionizing radiation. *Journal of environmental radioactivity* 103:15-19.
- Fuma, S., Y. Une, S. Ihara, K. Mastui, T. Kudo, T. Tokiwa, Y. Kubota, H. Soeda, T. Ishikawa, K. Doi, Y. Watanabe and S. Yoshida, 2014. Effect of chronic γ -irradiation on growth and survival of the Tohoku hynobiid salamander, *Hynobius lichenatus*. *Journal of environmental radioactivity* 135: 84-92.
- UNSCEAR, 2011. Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. New York.

summary

The external abnormalities and the mortality of embryos (eggs) of Tohoku salamander, *Hynobius lichenatus* before hatching were investigated in Fukushima Prefecture in 2011, 2012 and 2013. In 2011, singular phenomena for these were not detected. In 2012 and 2013, however, these percentages in Namie-machi that has been contaminated with radioactivity of the relatively high concentration were significantly higher than that of other sites that have been little contamination. This result suggests that some anomalies occurs in Namie-machi 2012 and 2013, and examined the causes.

福島県における陸鳥の繁殖モニタリング調査 Landbird monitoring in Fukushima

仲村昇

N. NAKAMURA

山階鳥類研究所保全研究室

Yamashina Institute for Ornithology

Abstract

Monitoring of landbird productivity and survival rates in Fukushima and uncontaminated areas in Japan started in 2012, using a standardized mist netting protocol. Preliminary results from the first three years showed no significant differences in adult population index, productivity index, and adult survival rates between contaminated sites ($>20 \mu\text{Sv/hr}$ at ground surface) and non-contaminated sites.

背景

欧米では、1980年代後半から、標準化された標識調査による鳥類の繁殖モニタリング調査（米国名称 MAPS : Monitoring Avian Productivity and Survivorship. 英国名称 CES : Constant Effort Site Ringing）が国単位で行われているが、日本では類似の広域調査は行われてこなかった。この調査からは、個体数指標、出生率指標、成鳥生存率指標等のデータが得られ、鳥類個体群動態の広域的な把握だけでなく、その変動要因についての考察を可能とする利点がある。一般的なセンサスによる成鳥カウントでは、変動要因の考察は困難である。この手法を用いることで、東日本大震災によって発生した福島原発事故による放射性物質が、汚染地域の鳥類群集に与える短期的・長期的影響について、国内他地域との比較により評価可能になると期待される。また、何らかの影響が確認された場合は、回復過程の追跡も可能となる。

方法

米国調査マニュアルを元に、日本版繁殖モニタリングマニュアルを作成し、2012年繁殖期（5月下旬から8月中旬）に第1回調査を実施した。調査は繁殖期を10日間の期に区切り、各期に1回ずつ、日出から6時間の捕獲を実施した。使用網数は10~15枚（30mmメッシュ×12m）とし、音声や餌による誘引は行わなかった。捕獲された全ての鳥（足が十分に成長していないキジの雛を除く）に、環境省発行の個別番号が刻印された金属リングを装着した。大部分の個体では、体重、翼長を測定し、抱卵斑の有無等を記録した。

2012年の調査地点は北海道1、福島県3、新潟県2、茨城県1、鳥取県1の計8カ所を実施した。2013年と2014年に調査地が追加され、計13カ所となった。

調査地中、最も線量が高かった地点は飯舘村南部の長泥地区で、2012年の調査開始時点では地表での線量が $20 \mu\text{Sv/時}$ を超えていた。福島県内の残り2地点は南相馬市北部と福島市北部で、いずれも $1 \mu\text{Sv/時}$ 未満であり、比較的低線量であった。

結果

陸鳥繁殖モニタリングのデータ解析には5年以上のデータが望ましいとされている。本発表では、3年間の調査で得られた予備的な結果を報告する。

成鳥個体数指標（網1枚あたり、1時間あたりの成鳥個体捕獲数）、出生率指標（幼鳥/成鳥比）、成鳥の見かけ上の生存率（次年に再捕獲された成鳥数/前年に捕獲された成鳥個体数）のいずれの

指標も、地点間での変動が大きかった。また、同一地点においても、3年間（生存率については2年間）の値の変動が大きかった。

高線量地域である飯舘村長泥での成鳥個体数指標は、他地域と比較して顕著な差は見られなかった。

飯舘村長泥で捕獲された主要な種はウグイス (*Cettia diphone*) とメジロ (*Zosterops japonicus*) であった。これら2種の出生率指標は、2012, 2013, 2014のいずれの年も、北海道及び福島（低線量地域）と同程度であった。

成鳥の見かけ上の生存率も、他地域と同程度であった。2012年に捕獲したウグイス成鳥28羽のうち、2013年には5羽が再捕獲された（17.9%）。2013年に捕獲したウグイス成鳥22羽のうち、2014年には6羽が再捕獲された（26.1%）。2012年に捕獲したメジロ成鳥11羽のうち、2013年には2羽が再捕獲された（18.2%）。2013年に捕獲したメジロ成鳥19羽のうち、2014年には3羽が再捕獲された（15.8%）。

2012年と2013年には、福島県内の2地点で、羽色に異常を持つ個体が3個体確認された。2014年には、3地点いずれでも異常個体は確認されなかった。現時点では情報不足のため、これらの羽色異常個体の出現率が、他地域と比較して高いのか判断することはできない。

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

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 26 年度のこれまでの結果は以下のとおり。

試料採取期間：平成 26 年 4 月～12 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、南相馬市）

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した種を中心に、現地で採取できた試料。

哺乳類・鳥類	両生類・は虫類	魚類	無脊椎動物	陸生植物
アカネズミ ヒメネズミ ハタネズミ ハツカネズミ ヒミズ 計 6 箇所 55 試料	アカハライモリ ニホンアカガエル トウキョウダルマガエル アマガエル ウシガエル 計 4 箇所 14 試料	メダカ 計 2 箇所 50 試料 コイ ギンブナ タナゴ カワムツ モツゴ ドジョウ フクドジョウ ホトケドジョウ アユ ヤマメ カジカ ヌマチチブ ウキゴリ ジュズカケハゼ 計 6 箇所 36 試料	ワラジムシ類 ミイデラゴミムシ オオヒラタシテムシ キンナガゴミムシ 計 3 箇所 4 試料 ミミズ類 計 3 箇所 3 試料 ヌカエビ スジエビ モクズガニ 計 3 箇所 4 試料	アカマツ ヒノキ スギ モミ チカラシバ キンエノコロ 計 27 箇所 92 試料 (見込み)
ノウサギ 計 1 箇所 2 試料	シマヘビ アオダイショウ 計 2 箇所 4 試料			
ツバメ ツバメの巣 計 13 箇所 30 試料				
キジ 計 1 箇所 4 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、環境試料として採取地における土壌・水を可能な範囲で採取した。試料とした生物のサイズ等により、複数個体を 1 試料としたり、1 個体の異なる部位から複数の試料を採取したりしている。

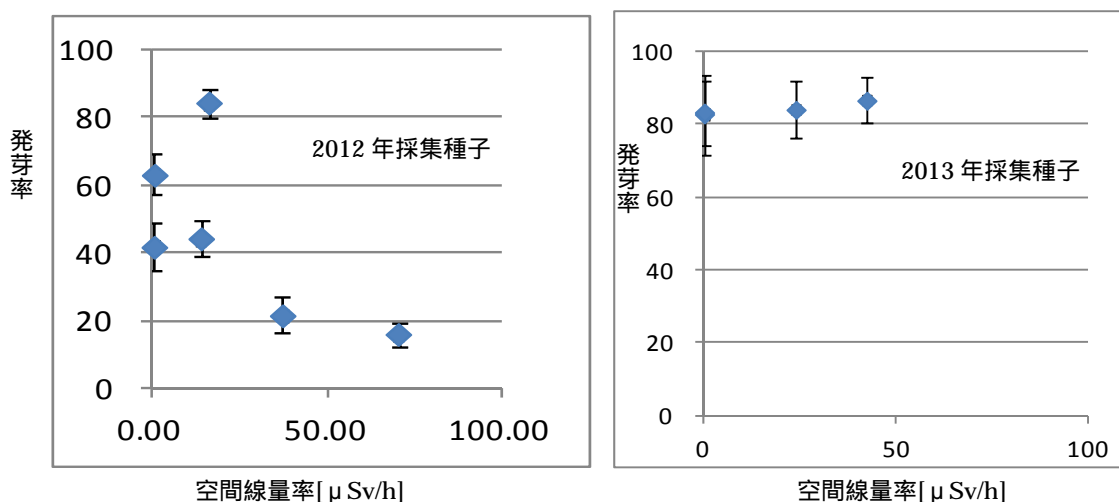
1 シカ、ラット、カモ、カエル、マス、カレイ類、ハチ、カニ、ミミズ、マツ、イネ科植物、褐藻類海藻

採取試料の放射性セシウム濃度は現在測定中であるが、測定が終了した一部試料の測定結果の概要は次の通り（Bq/kg FW。分類群および試料間で採取地点が異なるため、あくまで参考値）。

アカネズミ	ツバメ	ニホンアカガエル	フクドジョウ	ミミズ類
198～208,340	不検出～1,411	28～322	281～835	873～321,577

今後順次、被ばく線量率の評価を行う。

平成 25 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、発芽率と採取地の空間線量率との関連を調べた結果、すべての種で相関が認められなかった。平成 24 年度に空間線量率が異なる地点で採取した種子の間で発芽率に有意差が認められた一年草のキンエノコロも、空間線量率にかかわらず発芽率は 8 割を超えた。



キンエノコロの発芽率

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平成 25 年度から継続している。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は、セイタカアワダチソウ等の多年生草本が優占している状況には変わりがないが、オノエヤナギ、イヌコリヤナギなどのヤナギ類や、アカメガシワ、クロマツ等の木本種が伸長成長し、樹高 2m を超えるものも出てきた。このまま人為的な介入のない状態が続くと、木本植物の成長によって今後は植生の相観が草地から徐々に森林に移行していくと考えられる。

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 2014 included, but not limited to, no significant difference in germination rate of four plant species collected in the 20km radius, and continued dominance of perennial herbs with increased growth and presence of some woody plants in croplands of less human intervention, indicating possible future gradual succession of flora from grassland to forest.

東電福島第1原発周辺地域の森林樹木における放射線の影響
Effects of radiation exposure 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

We focused on seeds of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) near the Fukushima Daiichi nuclear power plant for studying cytogenetic changes using a newly improved micronucleus assay system for plants. The cedar seeds collected in 2011 from the trees in the highest contaminated area showed significantly higher micronucleus frequency in the seed embryonic meristems than those from the trees in a control area. It was suggested that the data of the micronucleus assay of the cedar seed were effective as a biological indicator of the radiation exposure impact in radionuclide contaminated areas by the nuclear accident.

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、植物体に生じる放射線生物影響を検出するための検討を行った。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4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球果内におけるガンマ線の減衰は極めて小さいことが実測され、球果内種子の外部被ばく線量率は空間線量率から推定しうるものと考えられた。

最も汚染度の高い森林において事故初年(2011)の秋にスギ種子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。この被ばく線量率は、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、種子の生殖成長への影響・細胞遺伝学的な変化の生じる可能性が示唆された。球果内の種子は、春から秋にかけての胚形成・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た。

こうした放射線による細胞遺伝学的変化を解析するための手法として、我々は独自に野生植物の小核試験法を開発し、スギ種子胚の分裂組織について分析を進めている。事故初年(2011)の秋に帰還困難区域内の複数個所で採取したスギの種子に対してこの小核試験法を適用したところ、最も汚染度の高い森林において採取した試料では、汚染度の低い対象地域で採取した試料と比較して有意に高い小核発生頻度を示した。また、スギ種子の推定被ばく線量率と小核発生頻度との間には有意な正の相関が認められた。このことは、放射能汚染とスギ種子の細胞遺伝学的変化との関係を示唆している。

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

Fukushima Project Headquarters, National Institute of Radiological Sciences

The aim of our project is to investigate whether the radiation from Fukushima nuclear power plant disaster could induce any effects in environmental field. We searched around Fukushima Daiichi nuclear power plant (F1NPP) for wild types of medaka, and found 2 points where the wild medaka are constantly available. The point Nakata is around 4 km far from F1NPP, and ambient dose rate is 0.5-0.9 $\mu\text{Sv/h}$, and the point Saruta is around 7.5 km far from F1NPP and ambient dose rate is 25-30 $\mu\text{Sv/h}$. We surveyed the radio activity of the wild medaka and surrounding soil (Nakata: medaka 720Bq/kg, soil 1,600Bq/kg Saruta: medaka 4,430Bq/kg, soil 115,000Bq/kg in November 2013). The radiation effects on the medaka were evaluated using the micronucleus assay. No significant difference for the frequency of micronucleated cells was observed among medaka from Nakata, Saruta and our cultivated medaka that were used as the control.

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。メダカは環境指標のモデル生物であり、放射線影響研究データも豊富に存在している。また、北海道を除く日本国内各地に野生集団は生息しており、福島県帰宅困難区域にも野生集団は生息していた。

平成 25 年度より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し、周辺土壌の放射線量、放射能濃度、メダカへの放射線影響等を調査している。中田群は、原発から北北西約 4 キロに位置する水田用水路で、空間線量は 0.5-0.9 $\mu\text{Sv/h}$ である。猿田群は、原発から西北西約 7.5Km の人工溜池で、空間線量 25-30 $\mu\text{Sv/h}$ である。一昨年、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放射能濃度を測定した。

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。現在、メダカでの小核試験をエラの組織を中心に解析を行っている（写真 1）。これまでの所、放医研で繁殖しているメダカ（コントロール）、低線量域中田群、高線量域猿田群でのエラ細胞小核の出現頻度で大きな違いは検出されていない（図 1）。今回、これまでの進捗状況などについて報告する。

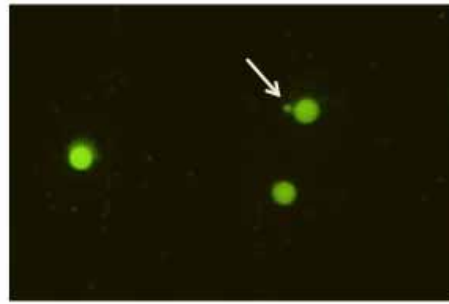


写真1
メダカエラ細胞で検出された小核

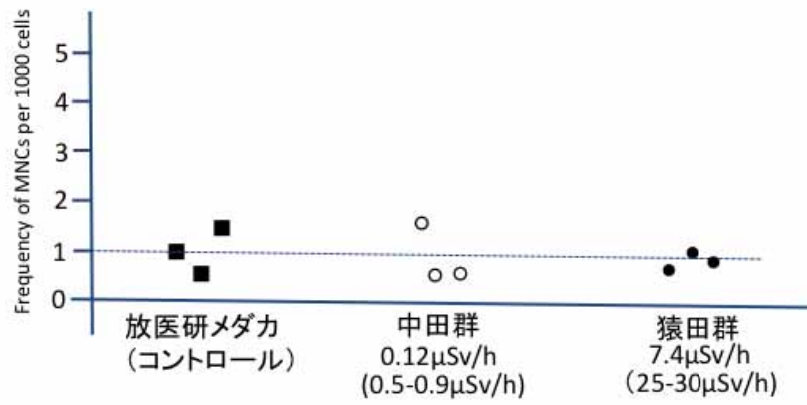


図1 小核の出現頻度(エラ細胞)

福島におけるサンショウウオの線量評価

Dose rate estimation of the Tohoku hynobiid salamander, *Hynobius lichenatus*, in Fukushima

府馬正一¹、伊原禎雄²、川口勇生¹、石川剛弘¹、渡辺嘉人¹、久保田善久¹、高橋博路³、添田晴日¹、
吉田聡¹

S. FUMA¹, S. IHARA², I. KAWAGUCHI¹, T. ISHIKAWA¹, Y. WATANABE¹, Y. KUBOTA¹,
H. TAKAHASHI³, H. SOEDA¹, S. YOSHIDA¹

¹独立行政法人放射線医学総合研究所、²北海道教育大釧路校、³東京ニュークリア・サービス(株)

¹National Institute of Radiological Sciences, ²Hokkaido University of Education Kushiro Campus, ³Tokyo Nuclear Services Co., Ltd.

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、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。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。そこで、福島第一原子力発電所周辺地域を含め福島県全域に比較的広く分布するトウホクサンショウウオ *Hynobius lichenatus* の線量率を推定し、福島原発事故による放射線リスクを評価することにした。

2. 方法

2011年4月から2013年4月にかけて、福島県阿武隈高地北部(主に帰還困難区域)中通り、会津の森林地帯で、トウホクサンショウウオの卵囊、幼生、成体を採取した。また、繁殖池・水路の水と底質、成体の繁殖期以外の生息場所である森林のリターと土壌を採取した。各試料に含まれる放射性核種は、ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより同定し、その放射能濃度を定量した。

胚と幼生の外部被ばく線量率は、胚と幼生が底質上に存在すると仮定して、水と底質の放射能濃度から ERICA Tool^{1),2)}を用いて算出した。成体の外部被ばく線量率は、リター中に成体が生息していると仮定して、リターと土壌から受ける線量率を、それぞれの放射能濃度から ERICA Tool の線量換算係数を用いて算出して合算した。なお、この計算の際、採取したリターと土壌の密度が、ERICA Tool で仮定している密度 1.6 wet g/cm³ よりも低かったため密度補正を行った。また、内部被ばく線量率は、体内放射能濃度から ERICA Tool を用いて算出した。

阿武隈高地北部における幼生と成体の外部被ばく線量率については、底質上とリター中にガラス線量計を1晩置いて、それぞれ直接測定も行った。

3. 結果と考察

大部分の試料で¹³⁴Csと¹³⁷Csが検出され、その合計放射能濃度は、卵囊中の胚では590~140,000 Bq/wet kg、幼生では<290~40,000 Bq/wet kg、成体では310~220,000 Bq/wet kgであった。また、

水では $<1.7 \sim 30$ Bq/L、底質では $510 \sim 220,000$ Bq/dry kg、リターでは $1,900 \sim 2,800,000$ Bq/dry kg、土壌では $130 \sim 320,000$ Bq/dry kgであった。

これら環境媒体の放射能濃度から算出された外部被ばく線量率は、ガラス線量計による直接測定値とファクター2以内で一致し、本研究での線量率計算法の妥当性が示された。

総線量率(外部被ばくと内部被ばくの合計)の最高値は、高汚染地域である阿武隈高地北部の胚、幼生、成体で、それぞれ、 24 、 15 、 50 $\mu\text{Gy/h}$ と推定された。我々が以前に行った線連続照射実験において、 490 $\mu\text{Gy/h}$ 以下では、トウホクサンショウウオの成長や生存に影響が見られなかったことから³⁾、高汚染地域であっても、そのような影響が生じる可能性は低いと考えられる。しかし、両生類やそれが属している生態系を防護するためのガイダンス線量率として、国際機関・研究プログラムや各国機関が $4 \sim 400$ $\mu\text{Gy/h}$ を提唱しているので⁴⁾、より鋭敏なエンドポイントに対する放射線影響の有無について現地調査を進める必要があると考えられる。

一方、中通りや会津における総線量率の推定例は $0.2 \sim 1$ $\mu\text{Gy/h}$ だったので、放射線のリスクは低いと考えられる。

4. 参考文献

- 1) Brown et al., 2008. J. Environ. Radioact. 99, 1371-1383.
- 2) <http://www.ERICA-tool.com/>
- 3) Fuma et al., 2014. J. Environ. Radioact. 135, 84-92.
- 4) Garnier-Laplace et al., 2008. J. Environ. Radioact. 99, 1474-1483.

summary

The highest total dose rates from $^{134,137}\text{Cs}$ to the terrestrial adults, aquatic larvae and embryos of *Hynobius lichenatus* were estimated to be 50 , 15 and 24 $\mu\text{Gy h}^{-1}$, respectively, in the northern part of the Abukuma Mountains. This suggests that ionising radiation will not affect the growth and survival of this salamander, even in the most severely contaminated habitat. However, further studies are required to examine whether the most severe radioactive contamination affects the sensitive endpoints. On the other hand, the total dose rates were estimated to be $0.2 - 1$ $\mu\text{Gy h}^{-1}$ in Nakadori and Aizu districts, suggesting that radioactive contamination is unlikely to have a significant impact on *H. lichenatus* in these districts.

福島第1原発事故により最も汚染した地域に生息する野ネズミの被ばく線量評価

Estimation of absorbed radiation dose rates to wild rodents inhabiting a site severely contaminated by the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident

久保田善久¹、高橋博路²、渡辺嘉人¹、府馬正一¹、川口勇生¹、青木正成³、久保田正秀³、古畑芳明³、
重村勇作⁴、山田文雄⁵、吉田聡¹

Y. KUBOTA¹, H. TAKAHASHI², Y. WATANABE¹, S. FUMA¹, I. KAWAGUCHI¹, M. AOKI³,
M. KUBOTA³, Y. FURUHATA³, Y. SHIGEMURA⁴, F. YAMADA⁵, 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東京ニュークリアサービス株式会社, ³一般財団法人自然環境研究センター, ⁴日本エヌ・ユー・エス株式会社, ⁵独立行政法人森林総合研究所
¹Fukushima Project Headquarters, National Institute of Radiological Sciences, ²Tokyo Nuclear Services Co., Ltd., ³Japan Wildlife Research Center, ⁴JAPAN NUS Co., Ltd., ⁵Forestry and Forest Products Research Institute

Absorbed radiation dose rates to wild rodents inhabiting a site severely contaminated by the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident were estimated. The average total absorbed dose rate was estimated to be approximately $52 \mu\text{Gy h}^{-1}$ (1.2 mGy d^{-1}), even 3 years after the accident. This dose rate exceeds $0.1\text{--}1 \text{ mGy d}^{-1}$ derived consideration reference level for Reference rat proposed by the International Commission on Radiological Protection (ICRP).

昨年の本意見交換会では福島の高線量率地域及び中線量率地域で捕獲したヒメネズミの2動原体染色体異常の発生頻度が低線量率地域のネズミの値より高いことを報告したが、線量との相関関係は各個体の吸収線量率を測定してこなかったため不明であった。今回、高線量率地域として今まで野ネズミを捕獲してきた地点で野ネズミを捕獲し、被ばく線量の評価を行ったので報告する。外部被ばく線量率の推定のためにNaIシンチレーションサーベイメータによる周辺線量当量の測定と共に個人被ばく線量管理に用いられているバッジ式線量計とガラス線量計を使用した。バッジ式線量計100個をネズミ捕獲用シャーマントラップの横の地面に一つ一つ置き、捕獲場所の全域で線量率がどのくらい変動するのか調べたところ、変動は非常に小さいことが明らかになった。非汚染地域で捕獲し、安楽死後ホルマリン固定した野ネズミの腹腔内にガラス線量計を埋め込んで測定した線量率は平均 $47.8 \mu\text{Gy h}^{-1}$ であった。地上1mにおけるNaIシンチレーションサーベイメータによる周辺線量当量は平均で $42 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であったので、環境中に存在する放射線源が今回の測定と同様の空間分布をすると仮定した場合、周辺線量当量に1.14を掛けることにより野ネズミの外部被ばく線量率を推定できると考えられた。一方、捕獲時点において野ネズミの体内に存在する放射性セシウム濃度からERICA Toolを使って内部被ばく線量率を計算したところ、平均 $4.2 \mu\text{Gy h}^{-1}$ であったが非常に個体差が大きく最小と最大値は $0.5\text{--}25.1 \mu\text{Gy h}^{-1}$ であった。外部被ばく線量率と内部被ばく線量率を足し合わせた平均の吸収線量率は $52 \mu\text{Gy h}^{-1}$ (1.2 mGy d^{-1}) となり、事故後3年を経過しても高汚染地域ではICRPの誘導考慮参考レベルを超えて野ネズミが被ばくしていることが示唆され

た。上記の研究で得られた知見である周辺線量当量から外部被ばく線量率を求める係数ならびに野ネズミ体内の放射性セシウムを生物学的半減期から捕獲時における体内濃度を推定する方法を利用し、原発事故後約 1 年目に捕獲された野ネズミの吸収線量率を計算し、推定日齢を掛け合わせるにより各個体の蓄積線量を計算した。その蓄積線量と 2 動原体染色体異常頻度との関係を発表当日示す予定である。

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 birds

山本 裕

Y. YAMAMOTO

公益財団法人 日本野鳥の会

Wild Bird Society of Japan

ツバメの部分白化の状況

チェルノブイリ原発事故では、拡散した放射性物質によって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いる(Miller and Mousseau 2006)。

当会では、東京電力福島第一原子力発電所(以下、「福島第一原発」)事故でも同様の現象が生じるかどうかを、2013年以降調べている。

2013年の鳥類繁殖期に、営巣中のツバメを対象に、喉の白斑の有無と、巣の直下の空間線量(地上から1m)及び巣の放射性セシウム濃度の測定を、線量の高い地域(福島県：飯舘村・南相馬市・川俣町の一部(以下、A地域))、線量が中程度の地域(宮城県南東部：角田市・丸森町(以下、B地域))、非汚染地域(東京都多摩西部：青梅市・あきる野市・奥多摩町(以下、C地域))の3地域で行なった。2014年の繁殖期にはこの3地域に加えて、中程度の汚染地域として、栃木県那須塩原市、神奈川県川崎市、非汚染地域として新潟県上越市を加えて、同様の調査を行なった。

その結果、2013年の調査では放射性物質の移流・拡散のあったA地域(N=81)とB地域(N=71)ではともに9.9%の割合で、喉に白斑のある個体が見つかったが、C地域(N=67)では見つからなかった。一方、2014年の調査では、A地域で7.3%(N=151)、B地域で0.0%(N=37)、C地域では2.1%(N=48)、那須塩原市0.0%(N=21)、川崎市1.7%(N=121)、上越市15.9%(N=44)という結果が得られた。A地域では白斑個体の割合がB地域やC地域に比べて高い傾向が見られたものの、一方で、福島第一原発から西へ約250km離れた上越市で白斑個体が高い頻度で見つかった。

チェルノブイリ原発事故の報告では非汚染地域でも2～4%の割合でツバメの部分白化個体が見つかるが、上越市で高い頻度で白斑個体が生じた理由は不明である。白斑の生じる要因には、遺伝的要因も含め、放射性物質だけではなく他の何らかの要因が関わっている可能性が考えられる。今後、経年的に当該地域において白斑個体の割合の推移を調べていくとともに、血液の採取等による生理学的な調査を計画している。

空間線量と巣の放射性セシウム濃度との関係については、2013年と2014年でほとんど差は見られなかった。

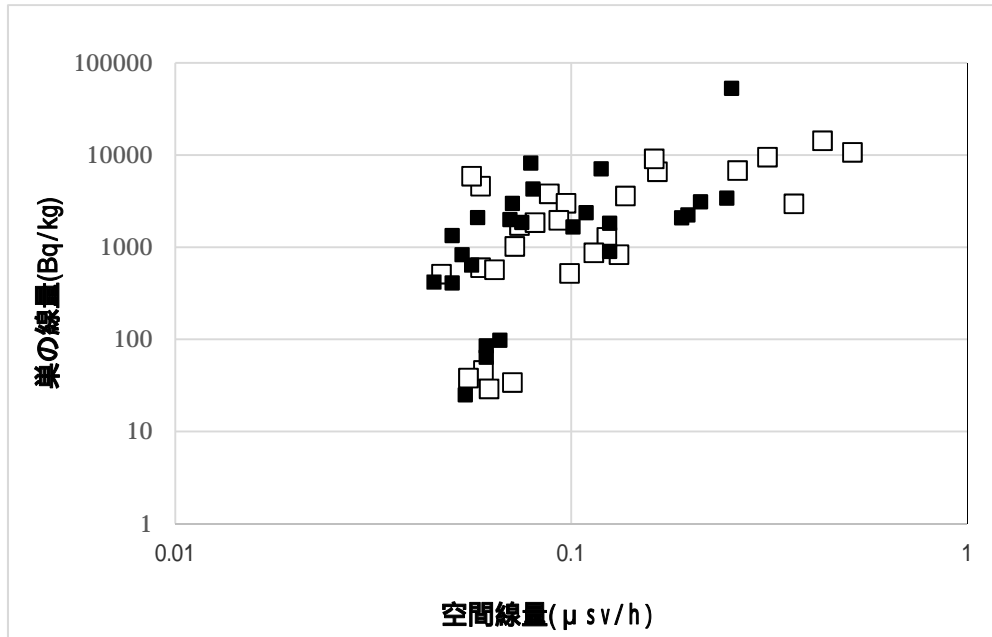


図 1. 空間線量と鳥の放射性セシウム濃度との関係 (2013 年, 2014 年)

水鳥(カワウ、アオサギ)への放射性セシウムの蓄積状況

福島県内で 2014 年に有害鳥獣駆除されたカワウとアオサギを対象に、胸筋、肝臓への放射性セシウムの蓄積状況を調べた。試料は猪苗代町(福島第一原発から西へ約 90km)で 6 月に採取したカワウ(N=7)とアオサギ(N=2)、棚倉町(福島第一原発から北西へ約 75km)で 11 月に採取したカワウ(N=5)で、胸筋と肝臓を摘出し、ゲルマニウム半導体検出器により測定した。

その結果、カワウの胸筋からは、猪苗代町で 22.6Bq/kg(数値はいずれも Cs134 と Cs137 の合計値の平均を示す)、棚倉町で 8.6Bq/kg の放射性セシウムが検出され、肝臓からは、猪苗代町で 23.6Bq/kg、棚倉町で 14.8Bq/kg が検出された。アオサギでは胸筋から 4Bq/kg と 55Bq/kg、肝臓から 21Bq/kg と 37Bq/kg がそれぞれ検出された。

今回測定できた 2 地域の放射性セシウム値はいずれも低い値であったが、今後、同地域でのモニタリングを継続するとともに、他地域との比較を行なう予定である。

本調査は、日本野鳥の会「内藤基金」をもとに、猪苗代町、棚倉町、日本野鳥の会ふくしま、日本野鳥の会会津支部、日本野鳥の会宮城県支部、(株)群像舎、佐藤信敏氏、佐川泉氏、高城務氏の協力を得て実施した。ここに感謝の意を表す。

Summary

We investigated the effects of radiation on barn swallows, and quantify radiocesium concentrations in water birds. In 2013, 9.9 % of frequency of partial albinism in swallows was detected in contaminated Fukushima areas, and in 2014, 7.3 % of frequency of partial albinism was detected. On another front, 15.9% of frequency of partial albinism was detected in Joetsu City which is non-contaminated area. Reason for the high frequency of partial albinism in Joetsu City is uncertain. Regarding to the level of radiocesium in pectoral muscle and liver of Great Cormorant and Gray Heron in Inawashiro town and Tanagura town were low.