

THE NATIONAL
INSTITUTE FOR
ENVIRONMENTAL STUDIES
FUKUSHIMA BRANCH

災害環境研究の

今

第1号
震災後の自然環境

LATEST UPDATE ON
ENVIRONMENTAL
EMERGENCY
RESEARCH



No. 01

2018.6

目次

災害環境研究の今

第1号 震災後の自然環境

本巻のテーマ「震災後の自然環境」について

P4

01

震災がもたらした海岸生態系の変化とその回復・保全

金谷 弦 地域環境研究センター 海洋環境研究室 主任研究員

P6

02

ダムによる放射性セシウムの貯留効果

辻 英樹 福島支部 環境影響評価研究室 研究員

P10

03

陸域の生態系モニタリング～その工夫と成果

吉岡 明良 福島支部 環境影響評価研究室 研究員

P14

04

放射線によりDNAにできた傷跡を目で
見ることができる植物の開発

玉置 雅紀 福島支部 環境影響評価研究室 主席研究員

P18

災 害 環 境

本巻のテーマ「震災後の自然環境」について

1. はじめに

東日本大震災およびそれに伴って発生した福島第一原子力発電所事故は、私たちの生活に様々な影響を及ぼしてきました。その中から、本巻では「自然環境」、とりわけ、「動植物とその生息地と生態系」に及ぼした影響について取りあげます。

生態系が崩れると、私たちが享受できる様々な生態系サービス（農林水産物等の供給やレクリエーション利用など）が変化する可能性があります。また、動植物やその生息地が放射性物質により汚染されてしまうと、動植物の摂食や山林などへの立ち入りは、新たな被ばくをもたらします。あるいは、現在は山林を主とした自然環境にとどまっている放射性物質が、新たな自然災害などにより生活圏に移動してくる可能性も考えられます。こうしたことは、被災地における農林水産業の再生や、人々が安心して暮らすという復興の実現に大きな影響を与えます。このように、震災による自然環境の変化は、私たちの生活と決して無関係ではありません。

2. 震災がどのように自然環境に影響を及ぼすか

東日本大震災による自然環境への影響は、地震や津波によるものと、原発事故がもたらした放射性物質によるものとの、大きく2つに分けられると考えられます。私たちは震災が自然環境へ及ぼす影響について、図のように整理しました。

地震や津波によるものとしては、沿岸環境への直接的な被害に加え、その後の復旧・復興工事（例えば、防潮堤の建設など）による沿岸部の環境変化（干潟の消失など）があります（図中A）。

他方で、原発事故による放射性物質の影響としては、山林や湖沼・河川・海洋への放射性物質の沈着と流入と、それにとまなう動植物への移行や遺伝的影響が考えられます。また、土壌等に付着して移動しにくくなった放射性物質が、洪水等の突発的な事象によって生活圏へ流出することも想定されます（図中B）。さらには、人間や社会が放射性物質に対処することを背景として、結果的に生態系に影響が及ぶこともあります。例えば、生活圏が放射性物質によって重度に汚染されたことで計画的避難が行われた地域では、人が住まなくなったこと（無住化）によって、野生動物の数や行動が変化することが想定されます。また、早期に放射線量を削減するために行われた除染作業が、野生動物の生息・行動域に影響することも考えられます（図中C）。イノシシを例に挙げると、福島県ではその増加が震

研究の今

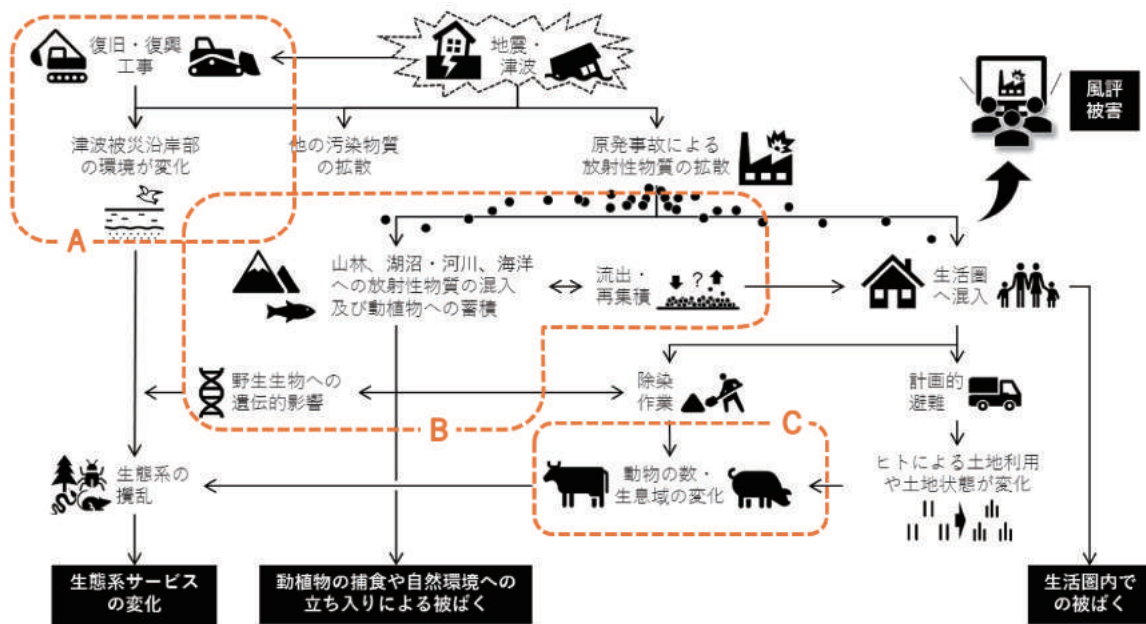


図 震災が自然環境へ及ぼす影響

災前から大きな課題となっていました。上記の無住化も含めた様々な要因により、増加を抑えることが困難な状況になっています。

3. 課題を踏まえた研究の推進

これらの課題の解決策を考えるためには、現象の実態やメカニズムを理解することが重要です。本巻では、関連する4つの研究成果を取り上げ、ご紹介します。まず報告1では、震災が海岸生態系にもたらした変化の実態と、その後の回復・保全について解説します（図中Aに関連）。報告2では、原発事故により拡散された放射性物質が、大雨の際にダム湖を含む河川流域でどのように動いているのかという点について解説します（図中Bに関連）。報告3では、計画的避難が行われ、無住化した地域における生態系モニタリング調査結果について、その実施方法やモニタリングデータの公開などをふまえて解説します（図中Cに関連）。報告4では、汚染土壌からの放射線によってDNAにできる傷の修復について検出可能な遺伝子組換え植物および培養細胞を作製することで、放射線によるDNAの変異リスクを評価する手法について解説します（図中Bに関連）。

4. おわりに

原子力発電所事故によって自然環境へ放出された放射性物質が被災者の生活・健康に悪影響を及ぼさないよう、現在も様々な施策が実施されています。福島県では、海の魚など出荷制限の解除が一部に進んでいますが、いまだに摂食制限・出荷制限が指示されている品目や地域が多くあります。また、「ふくしま生物多様性推進計画」や「鳥獣保護管理事業計画」にもとづき、野生生物の保護や管理が進められています。森林の放射性物質対策も大きな課題として残された状況にあります。こうした環境回復に向けた取組みの今後のあり方を検討する際に、本巻でご紹介する研究成果を少しでもお役立ていただければ幸いです。

なお、本巻では取り上げていませんが、図に示した課題のうち、計画的避難が土地利用や土地状態へ及ぼす影響や、生活圏での被ばく量評価等についても研究を進めています。また、除染廃棄物の処理処分についても様々な課題があり、それに対応する研究にも取り組んでいます。今後の発刊にご期待ください。

震災がもたらした海岸生態系の変化 とその回復・保全

この研究のポイント

01

東北地方には多くの干潟があり、貝やカニ、ゴカイなど底生動物のすみかとして、水産重要種の生育場として、水質浄化の場としても非常に重要な生態系となっています

02

震災直後の時期には、多くの干潟で地形、底質、植生が著しく変わり、底生動物の多様性も一時的に失われました

03

しかし、震災後の6年間で生物相は順調に回復し、福島県内の干潟でも多くの希少種の生息が確認されています

04

被災地では、復旧工事に伴う干潟の消失や環境変化が新たな脅威となっています。一方、干潟や塩性湿地の再生による生物多様性の保全・回復も試みられています

東北地方太平洋側の干潟や塩性湿地は、地盤の液状化、最大で1.2mの地盤沈下、さらに浸水深20mにも達する津波によって甚大な物理的攪乱を受けました。本稿では、私たちが震災後に実施した干潟の環境と生物相に関する研究の成果、さらに震災後6年間における回復状況と、保全に関連するいくつかのトピックをご紹介します。

1 干潟のはたらき

福島県から宮城県にいたる海岸線には、多くの干潟があります(図1)。干潟が発達する汽水域や沿岸域は、熱帯雨林に匹敵するほど高い生物生産性を有しています。光合成によって生み出された有機物は、食物連鎖をつうじて多くの底生動物、鳥類や魚類に利用され、高い二次生産性(面積あたりの動物の成長量)を支える基盤となっています。

干潟には、ゴカイや二枚貝、カニといった底生動物が生息し、干潟表面の小さな藻類や植物プランクトンを食べて成長します。泥の中では、微生物の働きによって有機物が活発に分解(無機化)され、微生物による硝化や脱窒作用により無機化された窒素も除去されます。この作用は、一般に干潟の水質浄化能として認識されています。また、底生動物が巣穴を掘ったり土をかき混ぜたりすることで、微生物のはたらきも、より高まることが知られています。

干潟があることで、底生動物、魚や鳥などの多様な生物に生息場を提供することができます。すなわち、干潟は地域の生物多様性の維持にも寄与しています。また、干潟に暮らす生き物の中には、水産資源として人間に利用されるものもたくさんいます。たとえば、仙台湾の重要な漁獲対象種であるカレイ類は、仔稚魚～幼魚時代を干潟や浅場ですごします。その他、ガザミ、スズキ、マハゼといった魚種も生活史の一部を干潟に依存しています。また、仙台湾の干潟やその近傍海域では、アサリ、ヒトエグサ、ノリ、マガキ等の漁業もおこなわれて

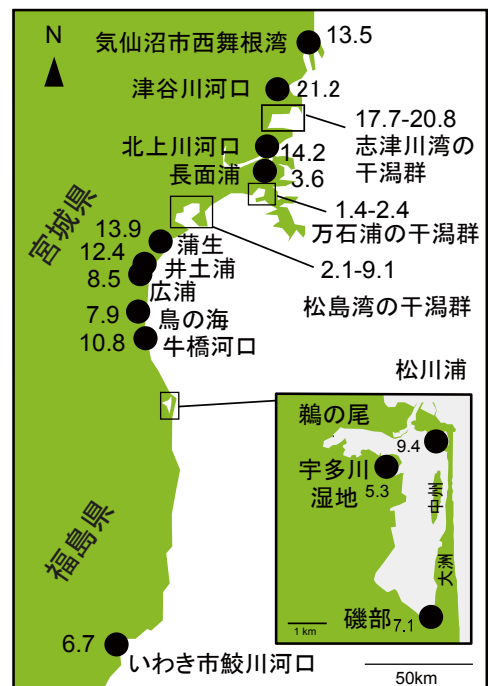


図1 福島県・宮城県の主要な干潟。数字は2011年津波の最大浸水深(m)

います。私たちは、そこに干潟があることで直接・間接にさまざまな恩恵をうけていますが、このような“干潟めぐみ”をまとめて、私たちは「干潟の生態系サービス」とよんでいます。

2 震災がもたらした干潟の環境と生物多様性の変化

干潟の環境や生物相は、震災によってどのように変化したのでしょうか。2011年の夏に、私たちは宮城県仙台市の蒲生潟において、津波の影響調査をおこないました。震災前の蒲生潟は富栄養化が進んでおり、底生動物の生息に適さない軟泥が厚く堆積していました。しかし、潟内で底質の粒子サイズを調べたところ、軟泥が津波で運び去られて砂質化が進み、生息環境が改善したことがわかりました。また、津波によって二枚貝をはじめとする47種の底生動物が一時的になくなりましたが、一部のゴカイやヨコエビの仲間が数ヶ月のうちに著しく増加・回復するなど、津波による底生動物への影響は種によって大きく異なっていました。

“生物多様性”には、「種の多様性」のほかに「生態系の多様性(さまざまな生息場所があること)」と「遺伝的多様性(種内にさまざま遺伝的組成の個体がいること)」がふくまれています。海岸域には、干潟やヨシ原(塩性湿地)、砂浜や海浜植物群落、アマモ場、磯、淡水池や湿地といった多様な生息場所がふくまれ、海岸生態系全体としての生物多様性に寄与しています(図2)。震災は、このような「生態系の多様性」にも大きな影響をおよぼしました。たとえば、蒲生潟では津波によってヨシ原の84%、海浜植生の99%、海岸林の52%が流失しました。石巻市の万石浦や南三陸町の細浦では地盤沈下で干潟が出なくなり、仙台市の井土浦では、ヨシ原と海岸林がなくなって新たな干潟が形成されました。このような、震災による生息場所の喪失、改変や創出は、そこにくらす生物の多様性にも大きく影響したことが明らかになっています(日本生態学会東北地区会2016)。



図2 海岸域の多様な生息場所。松川浦のアサリ漁場(上左)、松川浦・鶴の尾のヨシ原とアマモ場(上中、下左)、宮城県亘理町・鳥の海の砂浜(上右)、気仙沼湾の磯(下中)、宮城県山元町・水神沼(下右)

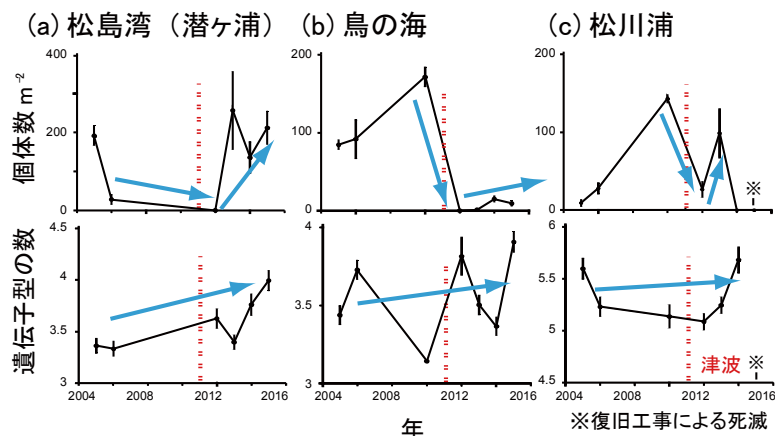


図3 震災前後における巻き貝(ホソウミナ)の密度(上)と遺伝的多様性(下)の変化

私たちは次に、津波による「遺伝的多様性」への影響について、巻き貝のホソウミナナを用いた研究をおこないました。その結果、津波により個体数が激減したにもかかわらず、遺伝的多様性は減少していないことが明らかになりました（図3）。このことから、津波がもたらした影響は甚大でしたが、それでも干潟生物の遺伝的多様性を変化させるほどのインパクトは無かった、と推定されました。ホソウミナナの個体数は、津波から6年たった今でも震災前より少ない状態が続いていますが、2013年からは津波後に生まれた稚貝も現れ、回復のきざしがみられています。一方で、松川浦では、震災を生きのびたホソウミナナが、その後の復旧工事により死滅するという出来事も起こりました（図3c）。

3 生物相の回復

底生動物の多くは浮遊幼生期をもつため、海流によって長距離を移動することができます。そのため、干潟の生物多様性が回復するためには、生息場所を適切に維持することに加え、浮遊幼生の供給元となりうる親（ソース個体群）の保全が重要です。そこで私たちは、福島県・宮城県多くの干潟において、津波を生きのびた底生動物個体群の分布状況を希少種に注目して調べました。その結果、2011年から2015年にかけての調査により、ウミナナ類やハマガニをはじめとする希少種が福島県の鮫川河口、松川浦、宮城県の松島湾奥や万石浦に生息していることがわかりました（図4）。震災前から毎年実施されている、環境省・モニタリングサイト1000干潟調査においても、松川浦の底生動物は、量・質ともに順調に回復していることが示されています（環境省2017）。また、塩性湿地の植生も少しずつ回復してきています。植生の回復は、塩性湿地という“生息場”の回復につながり、生息場が回復することで新たな生物種の生息が可能となります。このように、被災地の海岸生態系は、時間とともに生息場と生物相の回復が進み、安定した状態へと遷移していくと考えられます。

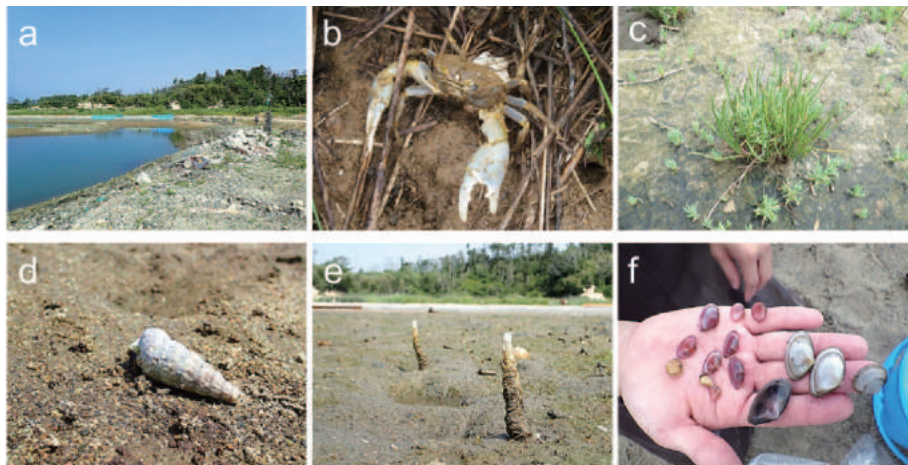


図4 震災後に確認された希少な動植物。震災後の松川浦・鵜の尾干潟 (a)、いわき市・鮫川のハマガニ (b)、鵜の尾のシバナ群生地 (c)、松川浦・宇多川湿地のフトヘナタリ (d)、鵜の尾で多産するツバサゴカイ (e)、鮫川河口の希少な二枚貝 (f)。(f)はサクラガイ、モモノハナ、オオモモノハナを含む

4 復旧工事の影響と干潟の保全・再生

東北地方では、多くの場所で防潮堤や護岸の復旧にともなう生息場所の分断や消失がおこっています。より高く強い防潮堤を作るためには、堤体の高さとともにその幅を広くとる必要がありますが、その結果、防潮堤近傍の干潟や砂浜、海岸林が堤体の下となり、生物の生息場所が失われてしまいます（図5a）。堤防を作ることで生息場所間での生物の移動が妨げられることも、大きな問題となります。一方、堤防の位置を変えたり海水の導入経路を確保したりすることで、干潟や塩性湿地を保全・再生しようという試みも始まっています。松川浦・大洲の保全地域では、海水を引き込むためのトンネルを掘ることで保全区域内の汽水環境を維持し、塩生植物が生育する湿地が再生されました（図5bc）。このような試みは、松川浦のいくつかの場所で進められています（曲渕ら2017）。また、松川浦に注

ぐ宇多川の河口部では津波浸水域の農地が干潟となり（宇多川湿地）、フトヘナタリやハマガニといった希少な底生動物の生息場所となっています（環境省 2017）。

私たちは現在、巨大災害による影響だけではなく、震災に関連して二次的に生じた人為的攪乱の影響についても研究を進めています。東北地方沿岸では、復旧工事が海岸生態系への新たな脅威となりつつあります。科学的評価が可能なデータを積み重ね、そこで何が起こったかを記録して伝えることが、私たちの責務であると考えています。



図5 防潮堤工事による干潟の消失（鮫川河口；a）。松川浦・大洲の保護区における干潟再生（b；黒沢高秀氏撮影、c；鈴木孝男氏撮影）

今後の課題

- ▶▶ 干潟の生物相は、6年間の間にかなり回復しました。しかし、もともと個体数が少ない希少種の中には、津波後に干潟から姿を消して戻ってこない種も確認されています。
- ▶▶ 巨大津波後の生態系回復にどれくらいの時間がかかるのかについて、人類は過去の知見を持っていません。東日本大震災後に得られた長期的なデータの蓄積は、私たちがこれまで知らなかった多くのことを教えてくれることでしょう。
- ▶▶ 復旧工事による攪乱は今まさに進行中であり、その影響評価と保全策の検討は重要な課題です。

詳しくは

- 金谷弦（2016）干潟のめぐみとその経済価値評価．水環境学会誌 39:135-140
- Kanaya G, Suzuki T, Kikuchi E (2015) Impacts of the 2011 tsunami on sediment characteristics and macrozoobenthic assemblages in a shallow eutrophic lagoon, Sendai Bay, Japan. PLoS One 10: e0135125
- Kanaya G, Suzuki T, Kinoshita K et al. (2017) Disaster-induced changes in coastal wetlands and soft-bottom habitats in eastern Japan- an overview on 2011 Great East Japan Earthquake. Biol Int SI36: 62-80
- 金谷弦、鈴木孝男、牧秀明、中村泰男、宮島祐一、菊地永祐（2012）2011年巨大津波が宮城県蒲生潟の地形、植生および底生動物相に及ぼした影響．日本ベントス学会誌 67: 20-32.
- Kanaya G, Taru M, Miura O et al. (2016) Impacts of the 2011 tsunami on tidal flat ecosystems: future perspectives for conservation of macrozoobenthic biodiversity. IAIA16 Conference Proceedings. p 1-5
- Miura O, Kanaya G, Nakai S et al. (2017) Ecological and genetic impact of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami on intertidal mud snails. Sci Rep 7:44375

文献

- 環境省（2017）平成28年度モニタリングサイト1000 磯・干潟・アマモ場・藻場調査報告書．環境省自然環境局
- 曲淵詩織・渡邊裕紀・黒沢高秀（2017）福島県北部の海岸に設置された保護区の植物相と植性．福島大学地域創造 29:103-142
- 日本生態学会東北地区会（編）（2016）生態学が語る東日本大震災—自然界に何が起きたのか—．文一総合出版．東京．200 p

執筆担当者

金谷 弦 地域環境研究センター・海洋環境研究室 主任研究員

ダムによる放射性セシウムの貯留効果

この研究のポイント

01

平成 27 年 9 月の関東・東北豪雨では、福島県の宇多川流域の中にある放射性セシウム量のうち約 0.3% が河口へ流出しました

02

ダム湖では 1 年間に流入した粒子態（土砂など）放射性セシウムの 90% 以上を貯留しますが、一方で溶存態（水に溶けた状態）放射性セシウムの供給源となっていることがわかりました

03

今後も大雨時を中心として放射性セシウムの移動量を測定していく必要があります。また、ダム湖での溶存態放射性セシウムの生成メカニズムを明らかにし、底質の浚渫等の対策について考えていく必要があります

福島県浜通りの北部地域を流れる河川では、福島第一原子力発電所事故に由来する放射性セシウムが上流域の山林に高濃度に降り積もったことから、山林から下流の市街地域へ放射性セシウムが移動することによる下流域の汚染が懸念されています。特に、大きな雨が降った際には放射性セシウムを含む大量の土砂が河川へ流れ出て、下流の河川敷・干潟・海などに堆積することから、大雨による放射性セシウムの移動量を把握することは、住民の安全・安心を確保する上でとても重要です。本稿では、浜通り北部地域で原発事故後最大の降雨量をもたらした「平成 27 年 9 月 関東・東北豪雨」での放射性セシウムの流出状況と、ダム湖が持つ放射性セシウムの貯留効果について説明します。

1 平成 27 年 9 月に発生した関東・東北豪雨

平成 27 年（2015 年）9 月 6 日から 11 日にかけて、関東・東北地方を中心とした地域を豪雨が襲いました。原発事故の影響を受けた地域の中で、特に降雨量が多かったのが福島県と宮城県にまたがる宇多川流域で、流域近くのアメダス観測所（筆甫）では、48 時間降雨量（426.5 mm）および 72 時間降雨量（483.5 mm）が観測史上 1 位を記録しました。このとき、山林部では大規模な土壌侵食を伴う土砂災害が発生し、河川に放射性セシウムを含む大量の土砂が流れ出たため、流域から河口部の松川浦や海洋に多くの放射性セシウムが移動したと思われます。

2 福島県宇多川でのセシウム 137 移動量

私たちは 2014 年から、宇多川流域の 3 地点（図 1）で水中の放射性セシウム（以下、セシウム 137）の濃度と、水中の懸濁物質（土粒子・葉など）の濃度を連続的に観測しています。観測機器を設置している森林小流域の末端部では、2015 年 9 月の豪雨イベントで木の枝や土砂・石が大量に流れ込み（図 2）、懸濁物質の濃度が大幅に上昇しました。この森林から流れ出た土砂は下流の松ヶ房ダムへと移動していきましたが、ダムの放流ゲートは 9 月 10 日午前までは閉じられていたため、ダム下流への流出は抑えられていました。しかし、9 月 11 日にはダム湖が満杯になり、しばらくの間、流入とほぼ同じ量の水が放流されたため（図 3）、ある程度のセシウム 137 がダム下流に流出しました。

そこで、図 1 の 3 地点で観測された懸濁物質の濃度・流量・放射性セシウム濃度のデータをもとに、この豪雨イベントで、土砂として移動したセシウム 137 量の計算を行いました（表 1）。いずれの観測地点でも、豪雨イベント

10日間でのセシウム137の流出量は2014年1年間での流出量を超えるものであり、土砂の移動が甚大であったことが伺えます。ここで、セシウム137の沈着量が異なる3地点でのセシウム137が流出した度合いを比較するために、各地点で観測された、土砂のセシウム137の流出量を、集水域内(観測地点の上流に当たる範囲)でのセシウム137の総沈着量で割った値である「セシウム137流出率」を計算しました。その結果、2015年9月6日～16日での3地点のセシウム137流出率は0.02～0.30%であったことから、まだ大部分のセシウム137が流域内に残っている状況です。

また、ダム放流地点での流出率は森林や下流部に比べて1桁小さい、という結果が得られました。これはダム湖内を濁水が流下する過程で土砂が湖底に沈殿したためであり、ダムによってセシウム137の放流を抑制する効果が顕著に見られました。一方、森林流域に比べて下流部での流出率が高かったのは、主に流域の中流～下流部にある農地や都市域から土砂が流出した影響が強く示唆されます。その理由として、農地や宅地を対象として2012年から行われた除染事業や相馬福島道路の建設工事によって、地表面が裸地化することで土砂の流亡が起りやすい状況にあり、実際に宇多川の近くを流れる新田川(南相馬市)では、特に地形勾配の急な中流域において、農地などの大規模な侵食と、川の中洲への大量の土砂の堆積があったことが報告されています。ただし、この豪雨イベント以降で、下流域での大きな空間線量率の変化は観測されていないため、下流域の汚染の影響は限定的であったと思われる。

一方、河口部の松川浦には多くの土砂が流れ込みました。松川浦の宇多川河口部で底質中のセシウム137濃度の深さ分布を調査したところ、2013年にはセシウム137のほとんどは底質の深さ15cmまでに存在していましたが、2015年12月にはセシウム137が底質の深さ30cmより深い部分まで及んでいたことから、今回の豪雨イベントによって宇多川から運ばれてきた多くの土砂が堆積したことが示唆されます。松川浦や太平洋へのセシウム137の流出・堆積は今後も続くと考えられることから、引き続き大雨時を中心としてセシウム137の移動・堆積状況を観測する必要があります。

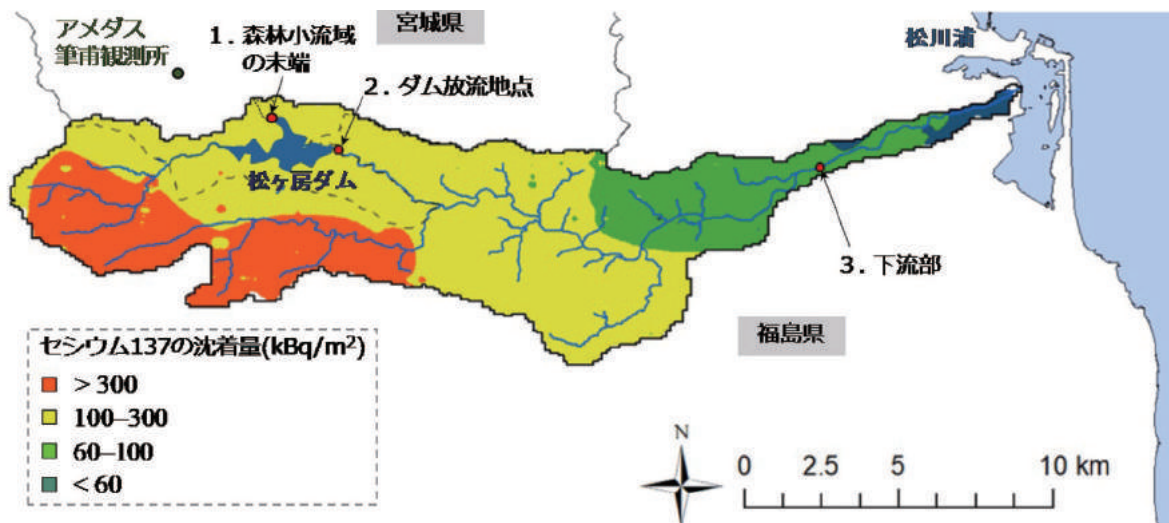


図1 宇多川流域全体のセシウム137沈着量の分布と河川水の観測地点(1～3)



図2 森林小流域末端部(図1の地点-1)の採水地点. 左:2014年12月、右:2015年9月豪雨の直後

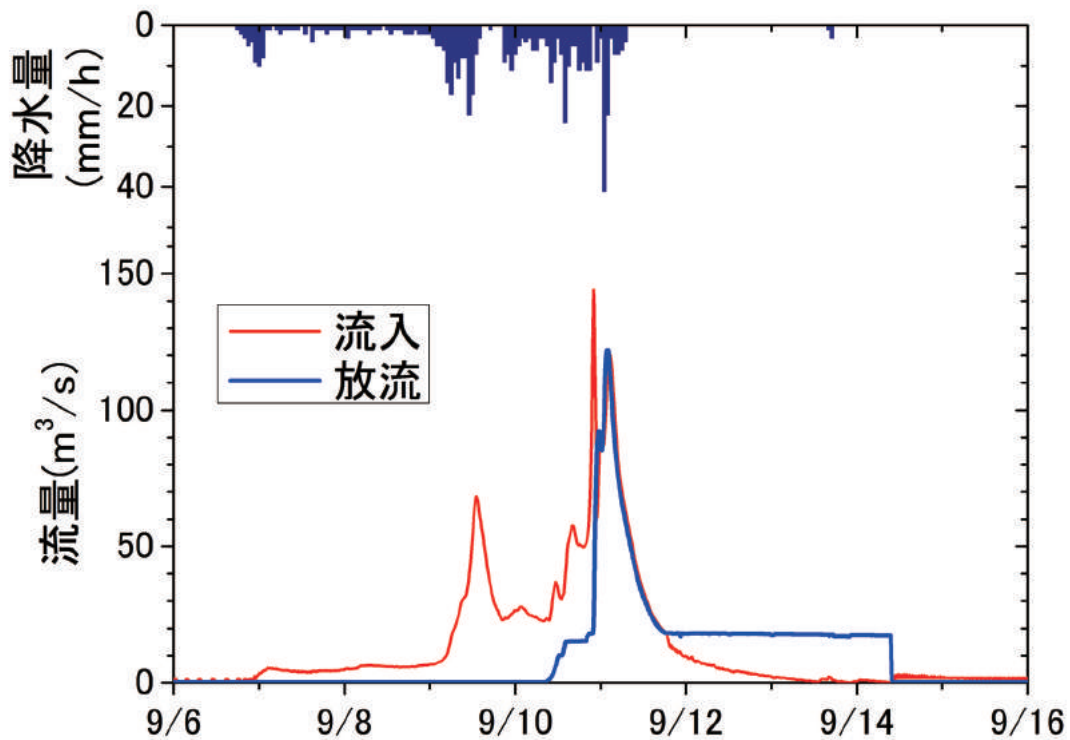


図3 2015年9月6日～9月16日における松ヶ房ダムの流入水量と放流水量の変化

表1 宇多川の観測地点1～3(図1)の集水域から流出した粒子態のセシウム137量と流出率

期間	セシウム137の流出量 (×10 ⁸ Bq)			セシウム137の流出率(%)		
	森林小流域	ダム放流地点	下流部	森林小流域	ダム放流地点	下流部
2015年 9/6～9/16	0.77	3.5	620	0.12	0.02	0.30
2014年 1/1～12/31	0.44	1.1	120	0.08	0.01	0.06

※豪雨イベント中に流出した溶存態のセシウム137量はごく少ないため、記載していない。

3 ダム湖へのセシウム137の流入量・放流量 貯留効果

次に、松ヶ房ダムでのセシウム137の年間流入量と放流量について、粒子態（土粒子などの状態）および溶存態（水に溶けた状態）に分けて計算を行いました（図4）。2014年と2016年には、流入した粒子態のセシウム137のうち95%以上がダム湖内に貯留され、土砂の流入量が平年の約2倍であった2015年でも90%が貯留されました。一方、溶存態のセシウム137は、放流量や濃度自体は年々低下傾向にあるものの、2014～2016年では流入量に比べて流出量が30～60%多い、という結果が得られました。考えられる理由の一つとして、原発事故後からダム湖の湖底に蓄積され続けてきた底質から湖水へ、セシウム137が溶け出している可能性があります。溶存態のセシウム137は、微生物による捕食などの食物網を通じて魚などの生物に取り込まれやすいと言われているため、放流水中の溶存態のセシウム137濃度の推移は、今後の農作物や水産物への放射性セシウムの移行を考える上で重要なデータとなります。

このように、ダム湖は粒子態セシウム137の流出を抑制するという役割を持つ一方で、溶存態セシウム137の供給源となっている側面もあります。したがってダム下流地域での今後の農水産物へのセシウム137の移行を予測するために、ダム湖内で溶存態放射性セシウムが生成されるメカニズムを解明し、今後必要に応じてダム湖底質の浚渫等の可能性について考えていく必要があります。

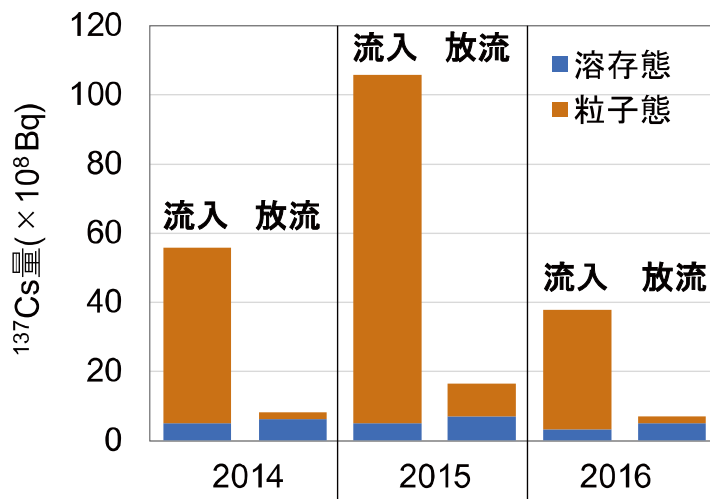


図4 松ヶ房ダムにおける1年間のセシウム137(溶存態・粒子態)の流入量と放流量

謝辞 松ヶ房ダムの流入・流出水量のデータは松ヶ房ダム管理所からご提供いただきました。

今後の課題

- ▶▶ 今後も大雨時を中心とした、河川水の継続的な測定によって放射性セシウムの移動・集積量を把握することが必要です。
- ▶▶ ダム湖内部での溶存態放射性セシウムの生成メカニズムを明らかにするとともに、必要に応じて底質の浚渫等の対策の必要性について、コスト面やリスク評価面からの検討を行っていきます。

詳しくは

- 林 誠二, 辻 英樹, 伊藤祥子, 錦織達啓, 保高徹生, 平成 27 年関東・東北豪雨時における河川流域スケールでの放射性 Cs の流出実態, 土木学会論文集 G (環境) 72(7), III_37-III_43.
- 災害環境研究サマリー 2014, 19-20.
<http://www.nies.go.jp/fukushima/pdf/summary2014-2.pdf>

文献

- 仙台管区气象台 宮城県災害時気象資料 平成 27 年 9 月 6 日から 11 日にかけての大雨,
http://www.jma-net.go.jp/sendai/yohou/saigaijisokuhou/miyagi_20150911.pdf
- 文部科学省による第 3 次航空機モニタリングの測定結果について
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4858/24/1305819_0708.pdf
- Valentin Golosov, Dmitry Botavin, Alexei Konoplev, Yoshifumi Wakiyama (2017) Transformation of different reaches of the Niida River (Japan) after extreme flood. Revista de Geomorfologie, 19, 75-87.

執筆担当者

辻 英樹 福島支部 環境影響評価研究室 研究員

陸域の生態系モニタリング ～その工夫と成果

この研究のポイント

01

原発事故による避難指示区域内で「害獣・害虫は増えていないか、益虫は減っていないか」や「身近な自然は失われていないか」に答えるために、哺乳類・鳥類・カエル類・昆虫類を対象として、陸域の生態系モニタリング調査を2014年より実施してきました

02

モニタリングデータは順次公開・視覚化されており、市民参加型イベントによるデータ整備も進められています

03

また、2014年のハチ・ハエ類のモニタリングデータを統計的な手法で解析し、益虫となりうる送粉昆虫や害虫となりうるアブ・ハエ類の個体数は避難指示区域の内外で大きな差がないことを確認しました

1 モニタリングの目的と調査手法の工夫

福島第一原子力発電所事故によって、広大な範囲で多くの住民が避難を余儀なくされました。避難指示区域の中では、放射線の影響のみならず、農耕等の人間活動が制限されてしまうことによる生態系の変化も予想されます。人がいなくなることで、イノシシ等の農業害獣が増加して営農再開の妨げになるのでは、野菜・果物の花粉を運んでいた（利用していた）昆虫類がいなくなってしまうのでは、といった懸念が生じます。また、田畑がススキや外来植物に覆われるという目に見える変化とともに、かつて住民が慣れ親しんでいた身近な里地里山の生き物がなくなってしまうのではないかと、という問題もあります。国立環境研究所では、「害獣・害虫は増えていないか、益虫は減っていないか」や「身近な自然は失われていないか」といった疑問に答えるため、2014年より哺乳類、鳥類、カエル類、昆虫類を対象として陸域の生態系モニタリングを実施しています。モニタリングでは、調査員の立ち入りが制限される避難指示区域内でなるべく長期にわたって多地点で調査を行うため、コストが低く、自動的にデータをサンプリング可能な手法が取られています (Yoshioka et al. 2016)。モニタリング対象も、人間生活との関わりや生態系上の役割、



図1 生態系モニタリングに用いられる調査機材。(a) 国有林等に設置されたほ乳類調査のための赤外線自動撮影カメラ、(b) 小学校等に設置された鳥類・カエル類調査のためのICレコーダー、(c) マレーズトラップ（左）と衝突板トラップ（右）。衝突板トラップを支える三脚に、ICレコーダーも設置されています

自動的なサンプリング手法による調査のしやすさという観点で選ばれています。哺乳類を調査するためには赤外線自動撮影カメラが、鳥類・カエル類を調査するためにはタイマー機能付きICレコーダーが使われています(図1a, b)。ハチ類やハエ類等の量飛翔性昆虫類を調査するためには、マレーズトラップや衝突板トラップといった、飛んできた昆虫を遮って採集する罠が用いられています(図1c)。これらの省力的な調査機材を活用することで、これまでの4年間、避難指示区域内外の50地点前後の調査地点において、調査を実施することができました。

2 データの共有・公開

モニタリングにおいては、得られたデータをなるべく透明性の高い形で一般の方に共有・公開することを心がけています。原発事故以降、科学者への信頼が揺らいでいるのではないかと懸念に応えるためです。哺乳類に関しては、自動撮影カメラによる各種哺乳類の撮影頻度とカメラの稼働期間のデータをデータペーパーという形式で公開し、研究者が自由に解析を行うことができる状態にしています(Fukasawa et al. 2016)。また、それらのデータに基づく分布図は、国立環境研究所生物・生態系環境研究センターのWEBコンテンツBioWM(図2a)からも閲覧可能です。これらによって、避難指示区域内の調査地点では各年どの程度イノシシが撮影されているか、といった情報を得ることができます。

鳥類に関しても、録音から聴き起こされた鳴き声に基づくデータをデータペーパーで公開する(Fukasawa et al. 2017)とともに、KIKI-TORI MAP(図2b)というWEBコンテンツで閲覧可能にしています。さらに、録音の聴き起こしを福島県内の野鳥愛好家らと共に行う「バードデータチャレンジ」という市民参加型のイベントを開催し、データ整備の透明性を高めるとともに、福島の自然環境に興味を持つ市民の交流や学習を促す仕組みが構築されています(深澤ほか 2017)。

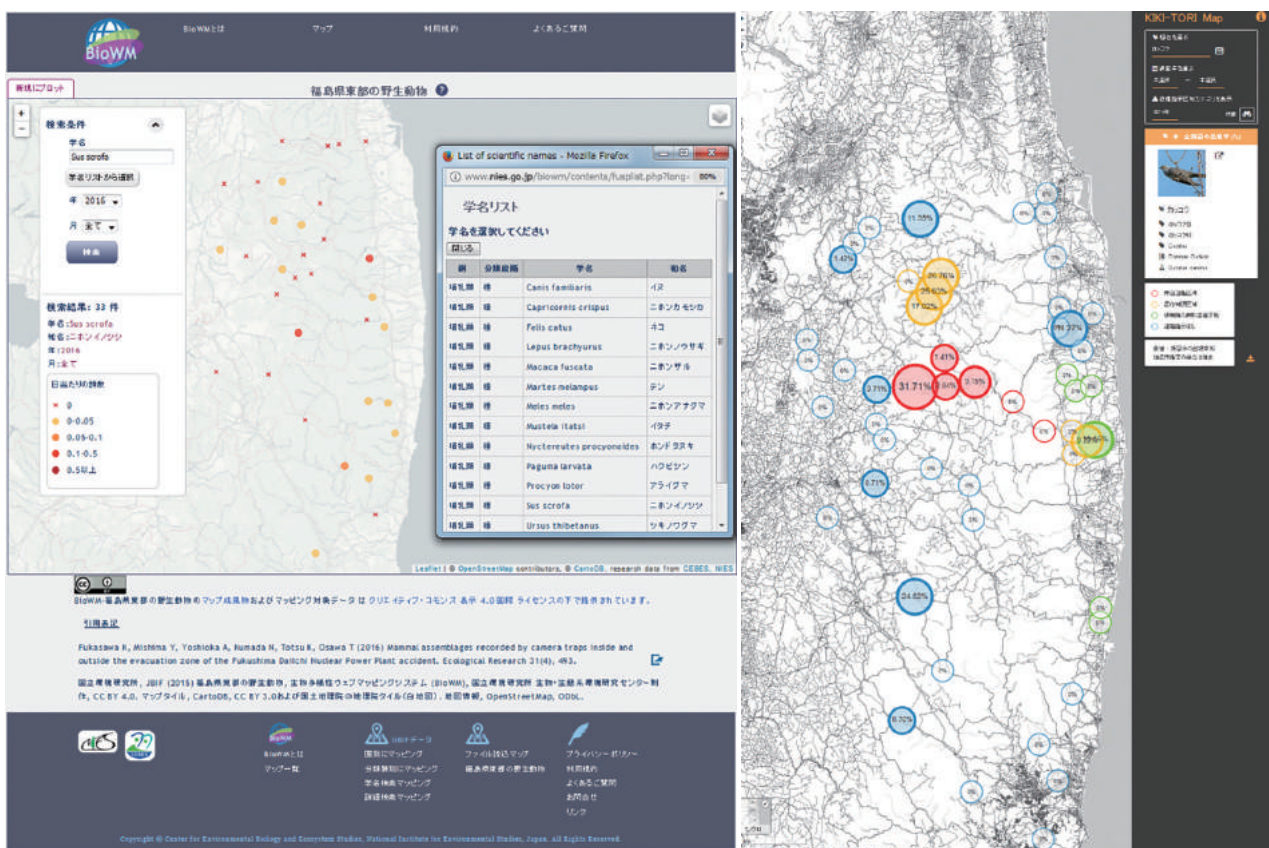


図2 国立環境研究所のWEBページ上から閲覧できる、モニタリングによる生物分布データ。(a)BioWMの福島県東部の野生動物 (<http://www.nies.go.jp/biowm/contents/fukushima.php?lang=jp>)、(b)鳥類データを閲覧可能にしたKIKI-TORI MAP (<http://www.nies.go.jp/kikitori/contents/map/>)

3

避難指示区域内外の違い：飛翔性昆虫類の場合

モニタリングにおいては、得られたデータを公開するだけでなく統計解析に基づく避難指示区内外での生き物の個体数の比較も行っています。統計解析によって、避難指示区域である種が多かった、あるいは少なかったというデータが得られたが、それが偶然だったのかどうかを推測することが可能となります。国立環境研究所では、震災後の状態について十分な知見がなかった飛翔性昆虫類について、2014年のデータを用いて、避難指示区域の内と外で主要な46の分類群及び種の個体数を比較する解析を行いました（Yoshioka et al. 2015）。

その結果、避難指示区域内で顕著に少ないことが示されたのはキムネクマバチのみだった一方で、他の分類群は区域内では観測数に特に差が見られない、ということが示されました（図3）。調査地点の放射線量は昆虫にとって致命的とは考えにくい（Garnier-Laplace et al. 2011; Garnier-Laplace et al. 2013）ことから、無居住化による園芸植物などの利用資源の減少がキムネクマバチに影響したのかもしれませんが、また、一部の種・分類群において避難指示区域内で個体数が多い傾向が示されたことに関しては、田畑や校庭に繁茂した雑草類が餌資源や生息場所を提供した可能性が考えられます。

これらの結果から、益虫・害虫という観点でみると、少なくとも2014年時点では避難指示区域内に大きな変化は起きてないことが示唆されます。すなわち、ハチ類のような送粉昆虫の多様性が顕著に喪失しているとは考えにくい一方で、震災直後の津波被災地で起きたようなハエ・アブ類の大量発生（林ほか 2012）も確認されませんでした。

ただし、この解析は一回の調査にのみ基づいているため、避難指示以降にそれらの種が増減したと解釈するには注意が必要です。また、今後避難指示が長引くことで耕作地の樹林化等の環境の変化が進み、昆虫群集に新たな変化が見られる可能性もあります。

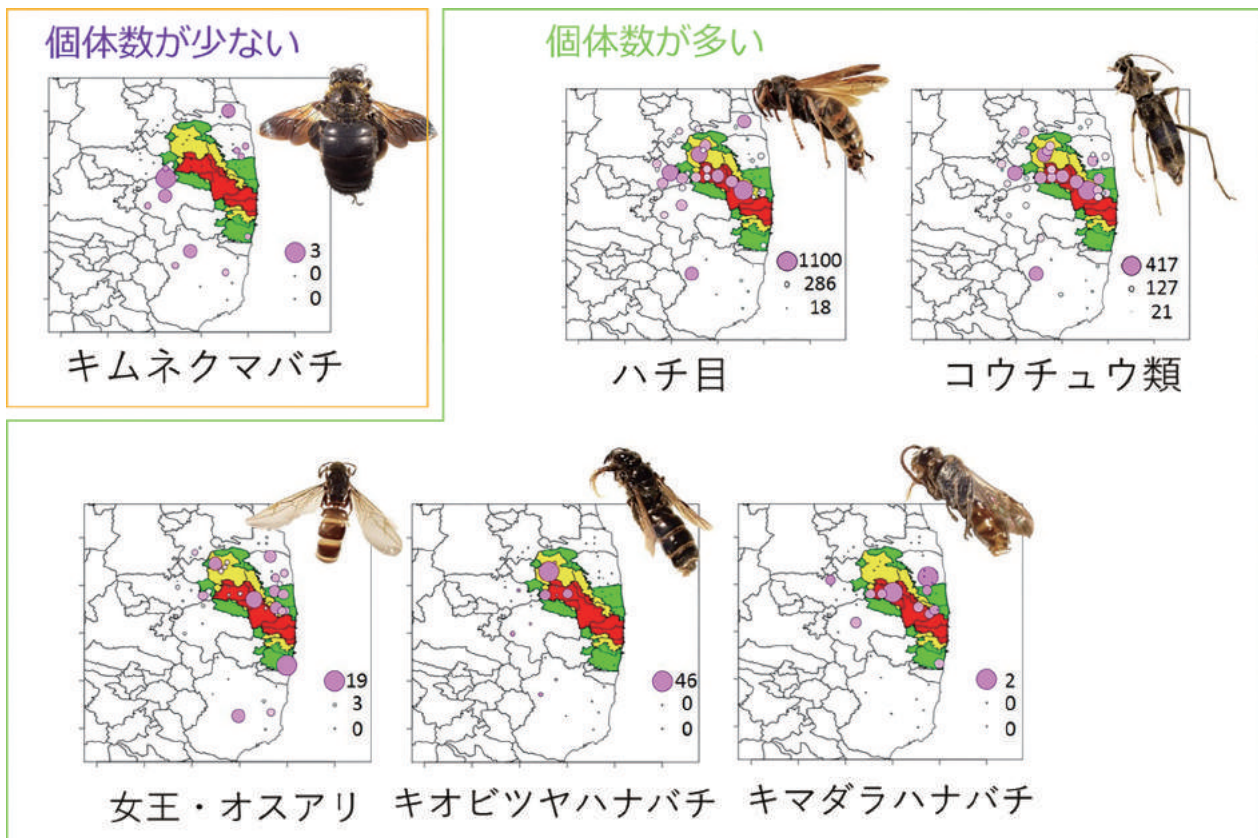


図3 Yoshioka et al. (2015) の統計解析によって、2014年のデータから、避難指示区域内で顕著に多い、または少ないという結果が示された種・分類群の分布パターン。ピンク色の円の大きさと色の濃さはマレーズトラップで採集された個体数に対応します。右下には個体数の最大値、中央値、最小値とそれに対応する円のサイズ、色が示されています。背景地図の赤色、黄色、緑色の区域はそれぞれ当時の帰還困難区域、居住制限区域、避難指示解除準備区域を示します

今後の課題

- ▶▶ 避難指示区域の解除が進みつつある現在、避難指示の影響を検証するためにも解除された地点での継続的な調査が重要となっています。また、現状のモニタリング手法では十分に調査できていなかった水田の昆虫等に関しても省力的な調査法を開発・実施して、稲作再開の影響を把握していきたいと考えています。
- ▶▶ カエル類や植生（土地利用）のデータについても公開を進めるとともに、他の研究分野とも協力しながら、人口減少に伴う里地里山のアンダーユースやそれによる社会経済的影響といった視点から評価を行えるようにすることを目指します。
- ▶▶ 昆虫だけでなく、他の生き物についても、引き続きデータの解析・モデリングを進め、より信頼性の高い情報を発信できるように努めます。

詳しくは

- Fukasawa K., Mishima Y., Yoshioka A., Kumada N., Totsu K., Osawa T. (2016) Mammal assemblages recorded by camera traps inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Ecological Research* 31, 493.
- 深澤圭太, 三島啓雄, 熊田那央, 竹中明夫, 吉岡明良, 勝又聖乃, 羽賀淳, 久保雄広, 玉置雅紀 (2017) バードデータチャレンジ：録音音声の種判別における野鳥愛好家・研究者協働の試みとその課題. *Bird Research*, 13, A15-A28.
- Fukasawa K., Mishima Y., Yoshioka A., Kumada N., Totsu K. (2017) Acoustic monitoring data of avian species inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi power plant accident. *Ecological Research* 32, 769.
- Yoshioka A., Mishima Y., Fukasawa K. (2015) Pollinators and other flying insects inside and outside the Fukushima evacuation zone. *PLOS ONE*, e0140957.
- Yoshioka A., Mishima Y., Kumada N., Fukasawa K. (2016) Tackling biodiversity monitoring of the Fukushima evacuation zone. *IAIA 16 Conference Proceedings*, <http://conferences.iaia.org/2016/Final-Papers/Yoshioka,%20Akira%20-%20Tackling%20Biodiversity%20Monitoring%20of%20Fukushima%20Evacuation%20Zone.pdf>

文献

- AGarnier-Laplace J, Beaugelin-Seiller K, Hinton TG. (2011) Fukushima wildlife dose reconstruction signals ecological consequences. *Environmental Science & Technology* 45, 5077-5078.
- Garnier-Laplace J, Geras'kin S, Della-Vedova C, Beaugelin-Seiller K, Hinton TG., Real A. et al. (2013) Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates. *Journal of Environmental Radioactivity* 121, 12-21.
- 林利彦, 渡辺はるな, 渡辺護, 小林睦生 (2012) 2011年東日本大震災津波被災地におけるハエ類の大量出現とその種構成の変遷. *衛生動物* 63, 85-89.

執筆担当者

吉岡 明良 福島支部・環境影響評価研究室 研究員

放射線によりDNAにできた傷跡を目で見ることが出来る植物の開発

この研究のポイント

01

土壌からの放射線により生じるDNAの傷の修復を視覚的・定量的に検出することができる遺伝子組換え植物及びそれに由来する培養細胞を作製しました

02

植物のDNAの傷跡の数は土壌放射線量に依存して増加していました。また、DNAの傷は主に外部被ばくにより生じている事が明らかになりました

03

土壌由来の放射線によるDNA変異の蓄積リスクは、少なくとも空間線量率が $5.6 \mu\text{Sv/hr}$ 未満では平時と比べて増加しないことが明らかになりました

福島第一原子力発電所事故により汚染された土壌からの放射線によってDNAにできる傷の修復を検出することができる遺伝子組換え植物及び培養細胞を作製しました。これを用いて、現在の福島県の土壌からの放射線によるDNAの傷が、植物の持つ修復能力を超え、DNAへの変異が蓄積しているか否かについて調べました。また、得られた結果から帰還困難区域におけるDNA変異の蓄積リスクマップを作成しました。

1 DNAにできる傷の修復跡を検出できる植物の作製

生物のDNAは環境からのストレスにより常に傷を受けています。一方で、生物はDNAにできた傷を自分自身の力で速やかに修復することができます。しかし、このバランスが崩れ、例えば急激な環境ストレスの増加によりDNAの傷つく速度が修復速度を上回ると、DNA中の傷が蓄積し、その結果、低確率ですがDNAの変異が起こります。この変異が特定の遺伝子におきる事により、私たちの目にとまるような突然変異体が発現する事があります(図1)。福島第一原発事故により環境中に拡散し、土壌に沈着した放射性物質に由来する放射線も生物のDNAを傷つける作用を持っています。また、福島県内の比較的放射線量の高い地域では、いくつかの生物において形態異常が見つっています(Hiyama et al. 2012; Akimoto 2014; Watanabe et al. 2015)。これらのことから、福島県内の高線量地域において生物のDNAに変異が蓄積していることが懸念されますが、一方で、形態異常を示した生物において異常の原因となるDNAの変異は見つかっていません。これは、野生集団において形態異常を示した生物の遺伝情報を解読することによりDNAの変異が見つかったとしても、これが放射線なのか他の要因により生じたものなのかを正確に判断することが困難だからです。では、どうすれば福島県内の高線量地域に生息する野生生物におけるDNA変異の蓄積を評価できるのでしょうか？

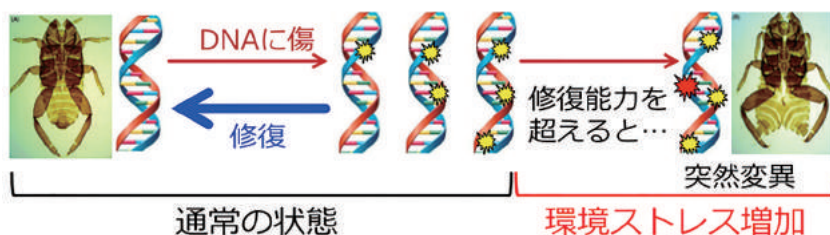


図1 DNA損傷とその修復及び突然変異形質の発現

私たちは、福島県の土壌からの放射線によって DNA にできる傷の生成量と、生物の持つ修復能力との関係から、DNA 変異の蓄積の有無を評価することを考えました。すなわち、放射線による DNA への傷の生成が修復能力の範囲内に収まっていれば、被ばく線量と修復の結果生じる DNA の傷跡の数との間に正の相関が見られるが、修復能力を超えた場合には被ばく線量が増加しても DNA の傷跡の数は増えない、つまり、DNA に傷が蓄積していき、突然変異の確率が高まると考えられます。そこで、DNA の傷の生成と修復能力とのバランスを調べるために、シロイヌナズナというモデル植物への遺伝子導入により DNA 修復を検出することができる遺伝子組換え植物を作製しました。この植物には、放射線によって DNA にできる傷のうち二本鎖損傷 (DB; double strand break) を修復するために DNA の塩基配列がよく似た部位で起こる相同組換え修復を検出できるように工夫した遺伝子 (GU-US) を導入しています (図 2A 左)。GU-US は大腸菌から単離された β -グルクロニダーゼ (GUS) タンパク質を由来としています。GUS タンパク質に基質を与えると細胞が青緑色に染色されますが、GU-US は GUS 遺伝子を半分に切断し、かつ中央部分の一部が重複した領域ができるように設計してあるため、GUS タンパク質は機能を失い細胞は染色されません。この植物の細胞に放射線があたるとゲノム DNA 中に一定の確率で二本鎖損傷が生じます。二本鎖損傷が生じた細胞では相同組換え修復が働き、二本鎖損傷が修復されますが、同時に植物に導入された GU-US も本来の GUS 遺伝子に修復され機能が回復し、細胞が青緑色に染色されます (図 2A 右)。この青緑色の細胞の数が植物 1 個体あたりどのくらい出現したのかを数える事により、DNA の傷がどれくらい生成し、修復されたのかを定量的に知る事ができます (図 2B)。

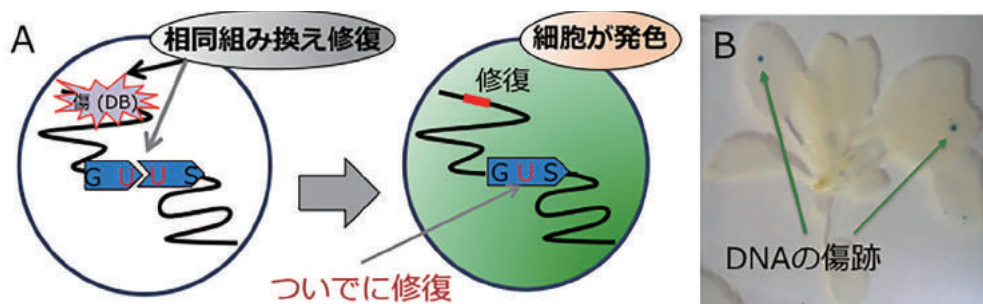


図 2 A. 相同組換え修復による G U - U S 遺伝子の機能回復の模式図
B. 作製した遺伝子組換え植物により検出された DNA の傷跡の一例

2 汚染土壌での室内栽培による DNA の傷跡の検出

福島県内の異なる空間線量率を示す 3 地点より採取した汚染土壌及び清浄な土壌を用いて、作製した遺伝子組換え植物を栽培する事により、この植物が DNA の傷の修復を定量的に評価することができるかを検証しました。汚染土壌での植物の栽培は 1 処理区当り 75 ~ 100 個体用いて 30 日間行い、その間に植物が浴びた積算放射線量は低い順にそれぞれ、57.6 (清浄土壌)、261、1,340 及び 2,840 μ Gy になりました。栽培終了後 GUS 染色処理により DNA の傷跡を観察したところ、1 個体当りの傷跡の数は積算被ばく線量の低い順に 2.5 ± 0.17 個、 12.99 ± 0.58 個、 17.62 ± 1.35 個及び 22.74 ± 1.28 個となり、積算被ばく線量に応じて傷跡の数が増加していました (図 3)。このことから、作製した GU-US を導入した組換え植物により DNA にできた傷とその傷跡を定量的に評価できることが明らかになりました。

汚染土壌で栽培した植物では、根から吸収した放射性物質による内部被ばくと汚染土壌からの外部被ばくを受けています。これらの影響を分けて考えるため、汚染土壌を放射線源とし、清浄な土壌において植物を 30 日間育てて外部被ばくのみ影響を観察しました。同様に汚染土壌を用いた栽培も行うことにより、外部被ばくと内部被ばくの両方を受けた場合の影響も観察しました。その結果、汚染土壌で育てた植物 (内部被ばく + 外部被ばく) では 29.6 ± 3.3 個の

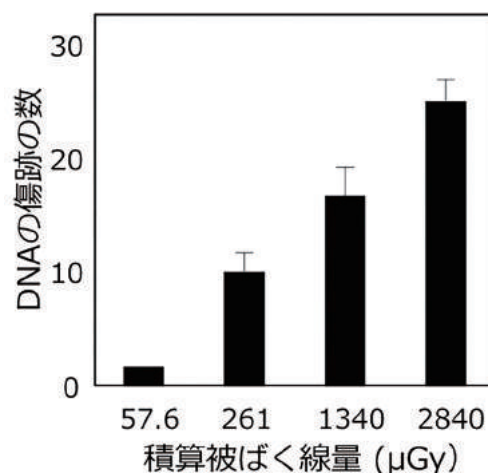


図 3 3 積算被ばく線量と DNA の傷跡の数との関係

傷跡が観察され、汚染土壌を線源として育てた植物（外部被ばくのみ）では 32.6 ± 8.5 個の傷跡が観察されました。前者の植物ではセシウム 134 が 361 Bq/kg 、セシウム 137 が 686 Bq/kg 蓄積していたため、内部被ばくが起きていることが示唆されました。しかしながら統計解析の結果、内部被ばくの有無による DNA の傷跡の数に有意な違いは見られなかったことから、放射線により植物にできる DNA の傷の生成には主に外部被ばくが関与している事が明らかになりました。

3 培養細胞を用いた汚染現場土壌における DNA 変異蓄積評価

汚染土壌による室内栽培実験では限られた栽培面積に土壌を敷き詰めて植物を栽培するため、野外に比べて空間線量率が低くなります。そのため、積算被ばく線量が高い領域についての DNA 変異蓄積の評価を室内実験により検証することは困難でした。一方で、本研究で作製した遺伝子組換え植物を野外にて栽培する方法も考えられますが、この方法では、(1) 栽培場所が帰還困難区域であるため、植物の日常的なメンテナンスが困難、(2) 太陽光に含まれる紫外線によっても DNA 損傷がおきるため放射線による DNA 損傷を過大評価する、(3) 遺伝子組換え植物の野外での栽培による生態系への影響、等の懸念があります。そこで、これらの懸念事項を解決するために GU-US 遺伝子を導入した植物から培養細胞を作製しました（図 4A）。培養細胞は栄養源の入ったシャーレにて培養するため、1ヶ月程度はメンテナンス不要であり、シャーレを地中に埋設する事により太陽光に含まれる紫外線の影響も避けられます。作製した培養細胞による DNA の傷跡の評価が植物と同様に可能かどうかについて、シャーレに植え継いだ培養細胞を空間線量率の異なる汚染土壌の直上で 30 日間培養することにより確認しました。その結果、DNA の傷跡の数と積算線量率との間に有意な正の相関が見られました ($R^2=0.80$)。このことから GU-US が導入された植物に由来する培養細胞においても DNA の傷跡を定量的に評価できることが示されました。

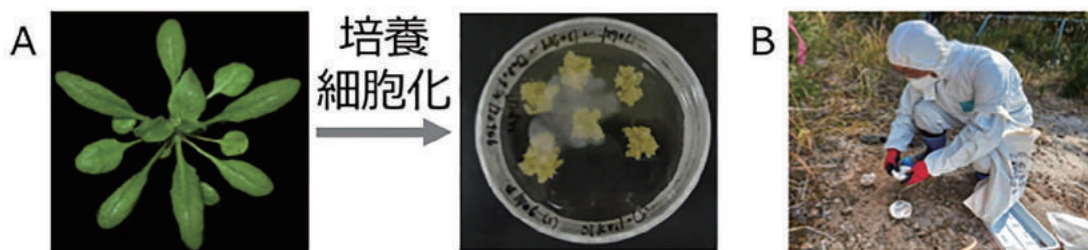


図 4 GU-US を導入した植物の培養細胞化と現場土壌への埋設

そこで、この培養細胞を用いて、福島県浪江町内の空間線量率の異なる 3 地点にて野外実験を行いました。具体的には、空間線量率の低い順から、加倉集会所 ($N37^{\circ} 29' 54'' E140^{\circ} 57' 48''$, 空間線量率 $0.7 \mu\text{Sv/hr}$)、津島小学校 ($N37^{\circ} 33' 38'' E140^{\circ} 45' 19''$, 空間線量率 $3.3 \mu\text{Sv/hr}$) 及び手七郎集会所 ($N37^{\circ} 35' 46'' E140^{\circ} 45' 13''$, 空間線量率 $6.6 \mu\text{Sv/hr}$) に培養細胞を植え継いだシャーレを土壌表面から 5 cm の位置に埋設しました。シャーレ

1枚あたり 10 個の培養細胞塊を植え継ぎ、各地点の土壌に 3 枚のシャーレを積算線量計とともに埋設しました（図 4B）。土壌への埋設は 2016 年 9 月 29 日～10 月 25 日にかけて行い、その期間の積算埋設時間は 620 時間となりました。埋設終了後の積算被ばく線量は、加倉集会所で 0.34 mGy 、津島小学校で 1.72 mGy 、手七郎集会所で 3.47 mGy となりました。シャーレから培養細胞を回収し、GUS 染

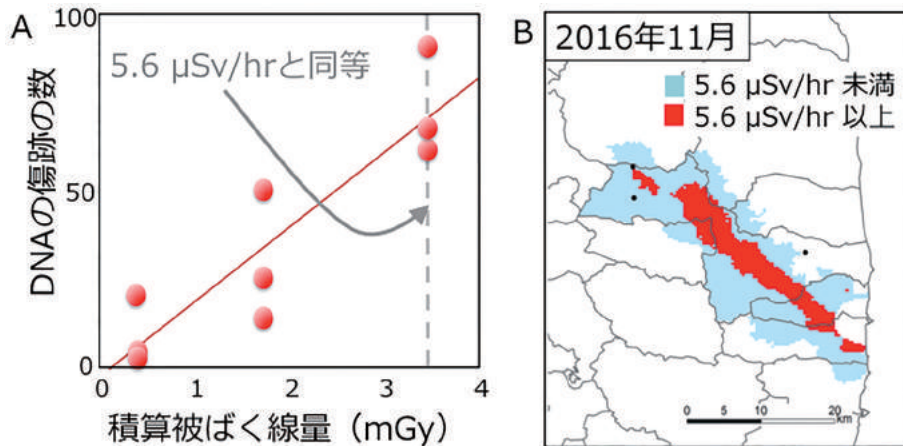


図 5 A. 培養細胞による積算被ばく線量と DNA の傷跡の数との相関

B. 帰還困難区域における DNA 変異蓄積リスクマップ

色を行い、DNAの傷跡の数をシャーレごとに計測しました。計測後、培養細胞の湿重量を測定し、湿重量当りのDNAの傷跡の数を算出しました。その結果、DNAの傷跡の数は加倉集会所で湿重(FW)あたり 9.1 ± 9.2 個/gFW、津島小学校で 31.9 ± 16.2 個/gFW、手七郎集会所で 78.0 ± 13.7 個/gFWとなりました。積算被ばく線量とDNAの傷跡の数との相関を調べたところ、これら間には有意な正の相関が観察されました($R^2=0.81$) (図5A)。このことから、培養細胞を用いる事により、現場土壌におけるDNAの傷跡を定量的に評価できることが示されました。

それでは、現在の福島県内で比較的空間線量の高い地域ではDNA変異の蓄積が起き易くなっているのでしょうか？前述したように、放射線によるDNAへの傷の生成が修復能力の範囲内に収まっていれば、被ばく線量とDNAの傷跡の数との間に正の相関が見られます。一方、修復能力を超えた場合には被ばく線量が増加してもDNAの傷跡の数は増えずにDNAに傷が蓄積していき、突然変異の確率が高まると考えられます。本研究の結果から、積算被ばく線量とDNAの傷跡の数との間に有意な正の相関が見られたことから、少なくとも本研究で調べた空間線量率の範囲内ではDNA変異の蓄積リスクの増加は見られないことが示唆されます。すなわち、本研究にて示された培養細胞への最大被ばく線量率は $5.6 \mu\text{Sv/hr}$ でしたので、この値未満の線量率ではDNA変異の蓄積リスクは増加しないと考えられます(図5A)。そこで、平成28年9月14日～11月18日にかけて原子力規制委員会により行われた第11次航空機モニタリングの結果を用いて、帰還困難区域を対象として空間線量率が $5.6 \mu\text{Sv/hr}$ を超える地域がどのように分布しているのかについて検証を行いました。その結果、帰還困難区域をカバーする250mメッシュ6,288個のうち、5,194個で $5.6 \mu\text{Sv/hr}$ を下回っていました(図5B)。このことから、少なくとも2016年11月時点では帰還困難区域の82.6%においてDNA変異の蓄積リスクは増加しないことを示しています。

今後の課題

- ▶▶ 福島の現地において土壌由来の放射線によってDNA変異が蓄積する空間線量率の閾値を正確に示すために、現場土壌における培養細胞の埋設実験をさらに進めていきます。
- ▶▶ 同じ個体を用いて長期間かつ経時的なDNA修復の評価を行うため、植物を生かしたままDNAの傷跡を検出する事ができる遺伝子組換え植物及び培養細胞の開発を行います。

詳しくは

- 国立環境研究所、環境中の放射性物質の動態解明及び放射性物質に汚染された廃棄物等の効率的な処理処分等研究委託業務報告書、平成25年度、「4. 環境放射線の生物・生態系影響に関する調査」

文献

- Akimoto, S. (2014) Morphological abnormalities in gall-forming aphids in a radiation-contaminated area near Fukushima Daiichi: selective impact of fallout?. *Ecol. Evol.*, 4: 355-369.
- Hiyama, A., Nohara, C., Kinjo, S., Taira, W., Gima, S., Tanahara A. and Otaki, J. M. (2012) The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly. *Sci. Rep.*, 2: 570.
- Watanabe, Y., Ichikawa, S., Kubota, M., Hoshino, J., Kubota, Y., Maruyama, K., Fuma, S., Kawaguchi, I., Yoschenko, V. I. and Yoshida, S. (2015) Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci. Rep.*, 5: 13232.
- 原子力規制委員会 (2017) 福島県及びその近隣県における航空機モニタリングの測定結果について (http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/13000/12701/24/170213_11th_air.pdf)

執筆担当者

玉置雅紀 福島支部・環境影響評価研究室 主席研究員

「災害環境研究の今」とは何か

「災害環境研究の今」は、国立環境研究所が福島支部を中心に進めている災害環境研究の最新の成果を、災害等で生じた様々な課題の解決に向けて社会の最前線で取り組んでいる方々へお届けするための冊子です。現場の課題を私たちがどのような問題構造でとらえているのかを概説し、関連する代表的な研究成果とともに分かりやすくお伝えします。本冊子を通して、災害と環境にかかわる現場の課題解決と、安全で安心な暮らしの実現に少しでも貢献できれば幸甚です。

災害環境研究の今

第1号 震災後の自然環境

(平成30年6月発行)

編集者 国立環境研究所福島支部
刊行物ワーキンググループ
(大原利眞、日下部直美、小山陽介、多島良、
辻岳史、中村省吾、福岡道子、丸尾武史)

発行 国立研究開発法人国立環境研究所 福島支部
〒963-7700 福島県田村郡三春町深作 10-2
福島県環境創造センター研究棟

問合せ先 国立環境研究所福島支部 管理課
fukushima-po@nies.go.jp

【無断転載を禁じます】



災害環境研究
の今