

# 放射性物質の鳥類への影響

## —鳥類への蓄積と望まれる継続的なモニタリング—

山本 裕

### 要 旨

福島第一原子力発電所で起きた重大事故により、大量の放射性物質が東日本の陸域や海域に流出した。過去にも放射性物質の環境への人為的な拡散（広島・長崎への原爆投下や大気圏核実験、再生処理工場の汚染水等）によって、水鳥などの生態系の高次種に生物濃縮による放射性物質の蓄積が起きている。チェルノブイリ原発事故では多くの野生生物に影響が生じ、ツバメでは部分白化や尾羽の異常、繁殖成功率の減少等が見られた。チェルノブイリと福島では放出された放射性物質の量や拡散・沈着した環境が異なるが、福島でも野生生物への蓄積や放射性物質に起因すると考えられる影響が報告されつつある。

低線量被曝の野生生物への影響に関する知見はまだ限られており、科学的な評価には時間がかかるものと思われるが、広範囲の森林の土壌表層に沈着している放射性セシウムや海洋へ流出した汚染水の影響が懸念されるため、しっかりとしたモニタリングの実施と調査・研究の継続が望まれる。

### 1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所(以下、「福島第一原発」)の重大事故により、大量の放射性物質が大気中に放出され、東日本の広範囲の陸域に拡散・沈着した。また、原発施設からは高濃度の汚染水が海域に流出した。事故から2年10か月以上が経過した今も(2014年1月現在)、原発施設からの汚染水の漏出が続き、汚染水の貯蔵タンクやがれき処理の問題についても未解決のままである。その中で、ヤマトシジミやニホンザルなどでは放射性物質によると考えられる影響が報告されている。

本稿では、生態系の高次種<sup>注1</sup>である鳥類を対象に、過去の人為的な環境への拡散やチェルノブイリ原発事故で明らかになった放射性物質の影響、そして、今回の事故によって起きた鳥類への蓄積

と推移、顕在化してきた現象について紹介する。

### 2 放射性物質の野生生物への影響

個体、個体群、生物群集、そして、生態系への放射性物質の影響は、オダム(1975)に取り上げられている。環境中に放出された放射性物質は食物連鎖<sup>注1</sup>を通じて生物に濃縮される。また、半減期の長い放射性物質は、放射線を放出して安定な他の核種に変わる速度以上に環境中に加わると、水や土壌などに汚染物質として集積していく。こうした放射性物質の環境中での動態(移動の様子)や鳥類など野生生物への蓄積の調査・研究については、1960年代に行われた米ソによる大気圏核実験やイギリス、フランスの再処理工場からの汚染水、チェルノブイリ原発事故等により広範囲の汚染が進んだため、ヨーロッパでは定期的な調査が研究機関によって実施され、モニタリングのしく

注1 高次種、食物連鎖：生物界では一般に生物種の間で捕食(食べる)と被食(食べられる)の関係がある。植物(生産者)を餌にする草食動物は第一次消費者で、草食動物を食べる肉食動物は第二次消費者である。さらに第三次、第四次とつづく。このような関係を食物連鎖といい、ヒトはその最上位に位置する。一般に高次の消費者ほど個体数が少ない。鳥類は、一般には、第一次消費者である昆虫類や両生類、それらを食べる第二次消費者であるネズミなどの小動物を餌とするので、第三次あるいは第四次消費者であり、高次種である。

みの整備が進んでいる。

1970年代後半に汚染水流出のピークがあったイギリス北西部のセラフィールド原子力施設群周辺では海藻の汚染に加えて、食物連鎖を通じて生物中に濃縮され、甲殻類、軟体動物、海産魚、生態系の高次種である海鳥や海獣類に放射性物質が蓄積された。Lowe (1991)によると、水鳥15種96検体の分析から、セシウム137がミヤコドリの胸筋から636.8 Bq/kg、オオソリハシシギからは478.1 Bq/kgと高濃度で検出され、この他に、ツクシガモ、ヒドリガモ、ダイシャクシギでも約300 Bq/kgのセシウム137が検出された。ユリカモメは比較的少なく45.5 Bq/kgであった。半減期が長いプルトニウムについても、ツクシガモの肝臓から12.3 Bq/kg (プルトニウム239,240)と2.7 Bq/kg (プルトニウム238)、ヒドリガモの肝臓から8.1 Bq/kg (プルトニウム239,240)と2.4 Bq/kg (プルトニウム238)、オオカモメでは5.3 Bq/kg (プルトニウム239,240)、ユリカモメでは0.54 Bq/kg (プルトニウム239,240)が検出された。セラフィールド原子力施設群周辺では、魚類よりも鳥類に濃縮された形で放射性物質が検出され、こうした鳥類への蓄積は小さな無脊椎動物や汚染された泥を食べたことによると考えられている。

### 3 チェルノブイリ原発事故による鳥類への影響

1986年、旧ソ連で発生したチェルノブイリ原発事故では、発生から27年を経過した今も半径30 km圏内は立入禁止となっている。チェルノブイリ原発事故では原子炉自体の爆発とその後の火災により、ヨーロッパ各地に20万 km<sup>2</sup>もの範囲で、大量の放射性物質が放出された。復旧にあたった作業員の多くが急性放射性症候群で1年以内に死亡し、4年を経過した頃から汚染地域では子供の甲状腺がんが急増した。

チェルノブイリ原発事故では多くの野生生物に放射性物質の影響が現れたことが明らかにされている。鳥類学者のA.P. メラー博士とT.A. ムソー博士が中心になって行なった一連の研究では、まず、私たちの身近にすむツバメに羽毛の一部が白くなる「部分白化」と呼ばれる突然変異の割合が汚染地域では高くなり(写真1)、尾羽が不均一に伸びたり(写真2)、嘴や精子に奇形が生じたことが報告された。同様の奇形はシジュウカラやナイチンゲール、ズアオアトリなど他の小鳥類にも起きた。

チェルノブイリ周辺では、約200 km離れた非

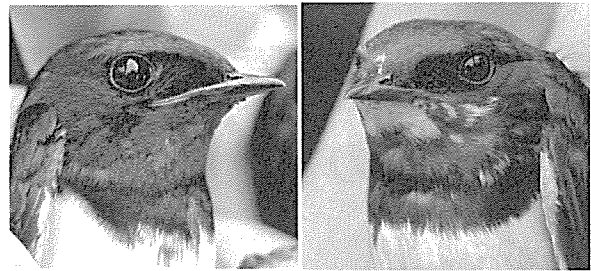


写真1 部分白化の起きた個体(右)。左は正常個体。(写真提供：T. A. Mousseau 氏)

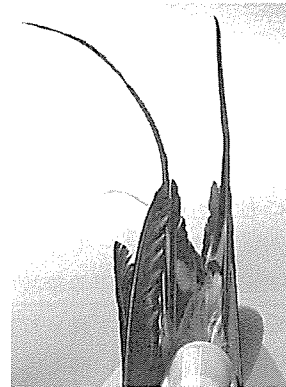


写真2 不均一に伸びたツバメの尾羽。(写真提供：T. A. Mousseau 氏)

汚染地域のカネフに比べて、ツバメの成鳥の生存率が下がり、繁殖していない個体の割合が増えた。また、1巣あたりの産卵数や孵化率、育つ雛の数も減った(Møller *et al.* 2005a)。さらに、チェルノブイリのツバメではカネフに比べて、血しょうや肝臓、卵の中の抗酸化物質の濃度が低く(Møller *et al.* 2005b)、線量の高い地域ほど抗酸化物質が少なく、それに対応するかのよう精子の奇形率が高いことがわかった(Møller *et al.* 2005b)。抗酸化物質は免疫機能を高め、体内に発生した活性酸素を除去したり、DNAや細胞の損傷を修復する働きをもつ物質だが、汚染地域では体内の抗酸化物質が減り、免疫機能が下がるため、病気になって死んだり、精子の異常などが生じると考えられている。

さらに、樹洞営巣性のシジュウカラとマダラヒタキでの巣箱を用いた研究では、鳥は放射線量の高い場所を避けて繁殖する、ということも明らかになり、マダラヒタキでは高線量の場所では2回目の繁殖をしなかった(Møller and Mousseau 2007a)。

環境中の放射線量が増えるほど、鳥の種数や個体数、密度は減少し、特に土壌中の無脊椎動物を食べる鳥の減少が顕著であった(Møller and Mousseau 2007b)。高線量地域では鳥の餌となるクモやバッタ、トンボなどが減り、鳥類の個体数

も減少した (Møller and Mousseau 2010)。250 以上を越える調査地で、1 地点 5 分間、鳥類のカウントを行なった調査からは、カロテノイドを羽の色素に使う色鮮やかな羽毛を持つ鳥が、地味な羽色をした鳥よりも減っていることが明らかになった。また、渡り鳥と留鳥 (一年中その地域で見られる鳥類) では、長距離を移動する渡り鳥の方がより減少していた (Møller and Mousseau 2007c)。その理由として、渡り鳥は渡り直後には体内のカロテノイドを使い切り免疫機能が弱くなり、放射線の影響を受けやすいのに対し、留鳥では免疫機能が維持され、放射線の影響を受けにくいと考えられている。放射性物質は鳥の器官にも影響を及ぼし、高濃度に汚染された地域では生後 1 年以内の鳥で脳が相対的に小さいことも報告されている (Møller *et al.* 2011)。

以上のような鳥類への影響がチェルノブイリ原発事故では報告されているが、チェルノブイリと福島では放出された放射性物質の量が異なり (チェルノブイリでは福島の約 10 倍放出)、沈着した環境も異なるため、福島第一原発事故によりどのような影響が現れるかは不明であり、きちんと

した調査とモニタリングを継続していくこと、そして、野生動物に現れた異変を見逃さないことが大切である。

## 4 福島第一原発事故における放射性物質のモニタリング

### 4.1 環境省によるモニタリング

今回の原発事故では行政機関によるモニタリングが早い段階から行われている。

環境省では、原発周辺地域で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に、野生動植物の試料の採取と分析、評価を行っている (環境省 2013)。この調査では、放射性物質は鳥類の営巣環境にも顕著に検出されており、水田の泥や植物の茎を巣材に使うツバメの巣では、数値にばらつきはあるものの、警戒区域内の巣から、福島県浪江町で 138 万 Bq/kg、大熊町で 100 万 Bq/kg もの放射性セシウムが検出された (環境省 2013)。ただし、高濃度の放射性核種が確認された巣でも、50 cm 離れた地点では線量率はバックグラウンド程度まで下がり、人へ

表 1 野生動物のモニタリング結果

調査期間	種名	調査地点	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	放射能濃度 (Bq/kg-wet)		
				セシウム 134	セシウム 137	合計値
平成 24 年 5 月 7 日～10 日	ニホンアカガエル	双葉町	12.9	4,200	6,800	11,000
	トウキョウダルマガエル	浪江町	3.2	5,900	8,900	14,800
	ツチガエル	双葉町	21.6	21,000	31,000	52,000
	カジカガエル	南相馬市	11.3	65,000	95,000	160,000
	タイリクバラタナゴ <sup>*1</sup>	双葉町	10.5	3,700	5,800	9,500
	ギンブナ <sup>*1</sup>	双葉町	10.5	15,000	25,000	40,000
	ドジョウ <sup>*1</sup>	双葉町	10.5	2,100	3,200	5,300
			21.6	12,000	17,000	29,000
	メダカ	双葉町	0.5	134	183	317
		浪江町	25.4	3,130	4,610	7,740
サワガニ	南相馬市	11.3	13,000	18,000	31,000	
アメリカザリガニ	双葉町	0.5	160	250	410	
		10.5	1,000	1,800	2,800	
平成 24 年 6 月 2 日～5 日	メダカ	浪江町	24	15,700	20,000	35,700
平成 24 年 7 月 9 日～13 日 <sup>*2</sup>	アカネズミ	いわき市	0.8	10	27	37
	アカネズミ <sup>*1</sup>	大熊町	62.4	6,700	10,770	17,470
	アカネズミ <sup>*1</sup>	浪江町	13.2	20,200	32,733	52,933
	ヒメネズミ	いわき市	0.8	11	3	14
	ヒメネズミ <sup>*1</sup>	大熊町	62.4	6,153	9,790	15,943
	ヒメネズミ <sup>*1</sup>	浪江町	13.2	6,093	9,716	15,809
	ミミズ類	いわき市	0.8	2,000	3,100	5,100
大熊町		62.4	150,000	240,000	390,000	
浪江町		13.6	45,000	70,000	115,000	

平成 24 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 (環境省 2013) より抜粋。

※ 1 : 「保守的な被曝線量率」の推定値が、繁殖率低下等の影響の可能性を考慮する必要があった検体

※ 2 : 太字の値は 3 個体の平均値

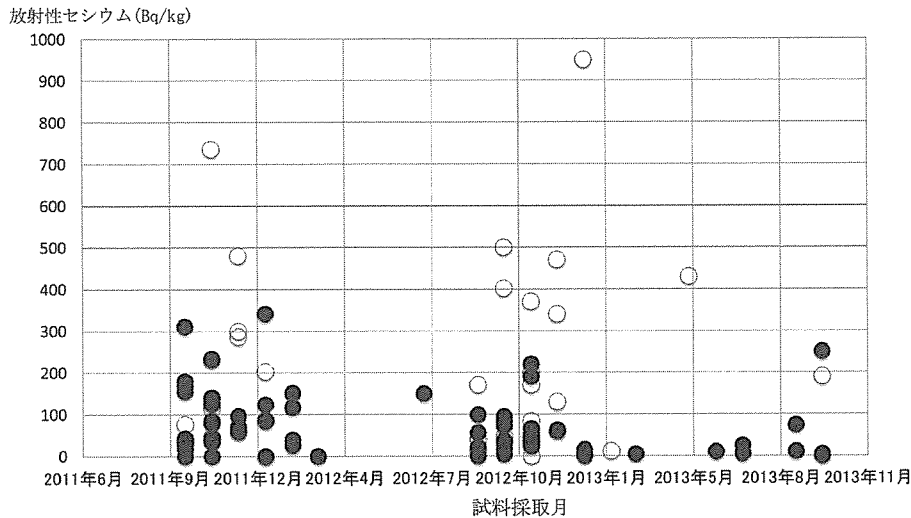


図1 キジ、ヤマドリへの放射性セシウムの蓄積の推移(2011年10月～2013年10月) 福島県庁によるモニタリング結果より作成(ヤマドリ(○)キジ(●))。縦軸は放射性セシウムの値。横軸は試料の採取年月を示す。

の影響は無視できると考えられる。また、鳥類の餌となりうる小型哺乳類、両生類や魚類などへの蓄積も明らかになった(表1)。中でもタイリクバラタナゴ、ギンブナ、ドジョウ、アカネズミ、ヒメネズミでは、試料数は少ないものの、「保守的な被曝線量率」<sup>注2</sup>の推定値が、繁殖率の低下などの影響を起こす可能性が考えられる値となっており、今後の推移に注視が必要である。

#### 4.2 福島県庁によるモニタリング

福島県庁では事故以降、食品となる野生鳥獣を対象に放射性セシウム量を測定し、ホームページ([http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp\\_portal/PortalServlet;jsessionid=E36E2EB122AE2D11A022EB1DFCF898F?DISPLAY\\_ID=DIRECT&NEXT\\_DISPLAY\\_ID=U000004&CONTENTS\\_ID=26118](http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet;jsessionid=E36E2EB122AE2D11A022EB1DFCF898F?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=26118))で公開している。このうち比較的サンプル数の多い、キジ、ヤマドリへの蓄積の推移(2011年10月～2013年10月)を同ホームページのデータに基づき作成した(図1)。その結果、これら2種に蓄積された放射性セシウム(134と137の合計)の値は事故後約2年間で減少傾向にあるものの、キジに比べてヤマドリでは蓄積量が多く、また減少の度合いが少ない傾向が見られた(図1)。両種はいずれも留鳥で、かつ昆虫やミミズ、木の実等を食べる雑食性であるが、キジは主要な生息環境が草原や農耕地であるのに

対し、ヤマドリは森林が主要な生息環境である(高川ほか 2011)。森林に降り注いだ放射性セシウムの動態は不明な点はあるものの、その多くは森林から流出することはなく、土壌中の粘土に吸着したり、落ち葉などの多い土壌表層に留まっていると考えられている(林野庁 2013)。半減期の短いセシウム134(約2年)が環境全体で減ってはいるものの、ヤマドリの方がキジよりも森林性が強いこと、餌などからの放射性物質の取り込みが多く、こうした違いとして表れているのかもしれない。

#### 4.3 水鳥コロニーのモニタリング

私たちは、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、コドラート当たり、計5試料(1試料約200g)の土壌を均一に採取し、ゲルマニウム半導体検出器<sup>注3</sup>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(写真3)で、24,000 Bq/kg、7,500 Bq/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、コロニー内の値が周辺部よりも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3回

注2 保守的な被曝線量率: 人間以外の生物の被曝線量率の正確な評価方法は確立されていないため、安全側、すなわち線量を過大に評価した被曝線量率。

注3 ゲルマニウム半導体検出器: 半導体素材としてゲルマニウムを使用した放射線検出器。エネルギー分解能が非常に優れており、ベータ線、アルファ線、ガンマ線などの高精度の核種・定量分析に使用される。



写真3 福島県内のサギ類のコロニー

の調査ができた6コロニー（サギ類4か所、カワウ・ウミネコ各1か所）のうち5コロニーで土壌中の放射性セシウム値は減少傾向が見られた。

## 5 野鳥への影響

### 5.1 ウグイスの汚染

Ishida (2013)によると、事故当初に高濃度の放射性物質が森林に沈着した福島県浪江町で、2011年8月に行なった標識調査により捕獲されたウグイス4羽のうち1羽の上尾筒<sup>じょうびとう</sup>におできが見つかった(写真4)。これまで350羽を超えるウグイスの標識調査でも見つかったことのない病変で、血液原虫が寄生していた。イメージングプレート<sup>註4</sup>による結果から、この鳥の尾羽からは濃い放射能汚染が見られ(写真5)、ゲルマニウム半導体検出器を用いた分析からは、4羽とも原発事故に由来するセシウム134、セシウム137が検出され、1羽からは銀110m(銀の放射性同位体の一つ)も検出された。汚染された羽毛をエタノール綿でこすったり、超音波洗浄機で洗浄してもほとんど変化は見られなかった。羽毛の線量は約53万Bq/kgあったが、2012年8月の調査では約12万Bq/kgにまで減っていた。ウグイスでは同様のおできは、以前和歌山県でも2例観察されたことがあり、浪江町の事例が放射性物質によるものかどうかは不明であるが、今後も継続的な調査が必要と考えられる。

### 5.2 鳥の種数、個体数と放射線量の関係

Møller *et al.* (2012) は、2011年7月に福島第一原発からおよそ30~60 km 圏内において、チェルノブイリでの調査と同じ方法により鳥類のカウ



写真4 おできのできたウグイス (写真提供：石田 健氏)

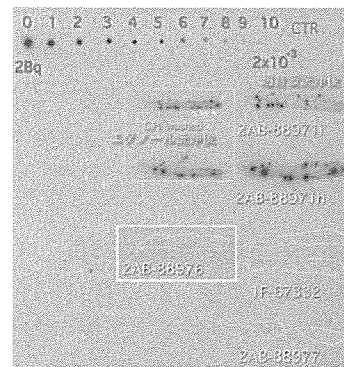


写真5 イメージングプレートに写ったウグイスの尾羽(写真提供：石田 健氏) 黒点の有無と大小が、放射性物質の蓄積の度合いを示す(石田の図の一部を使用)。上4つ(2AB-88971)は2011年8月に阿武隈山地の高線量域で採取した個体。そのうち、右下のhは超音波洗浄前、左側の2つはともにエタノール洗浄後のもの。右上のiは超音波洗浄後のもの。下の1F-67332は阿武隈山地で2011年10月に採取されたものだが、汚染されていない。2AB-88977(秩父山地で2011年9月に採取)と2AB-88976(秩父で2011年8月に採取したコマドリの尾羽)は非汚染地域からのものである。

ント(1地点5分間、300か所)を行なった。その結果、放射線量の高い地域ほど、鳥類の個体数が少ない傾向が見られ、放射線量が個体数に影響を与えている可能性が考えられた。特にチェルノブイリ・福島の間地域に共通する14種の比較では、福島の方が個体数が減少している傾向が強く見られた。一方、全種での比較ではチェルノブイリの方が顕著に減っており、汚染地域から鳥類がいな

注4：イメージングプレート：放射線の定量的な検出に用いる。放射線のエネルギーを吸収させたのちに、レーザー光を照射すると蛍光を発する物質をプラスチック板などに塗布したもの。

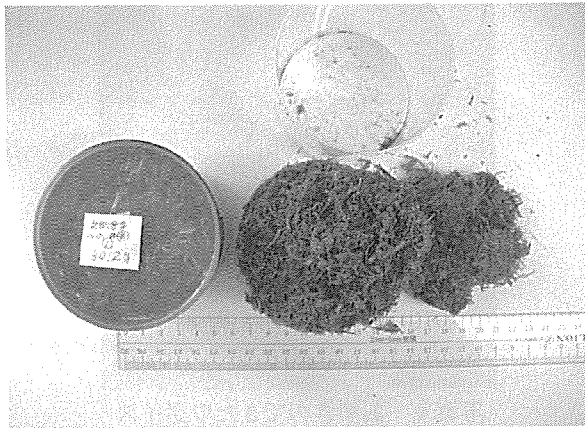


写真6 汚染されていた巣材  
2012年5月福島市内の森林で採取

くなくなったことが示唆された。汚染地域で、鳥類の種数や個体数、分布の変化を把握することは、放射線に対する種による感受性の違いを知るうえで重要であり、今後も継続調査が必要である。

### 5.3 小鳥類への蓄積と巣材の汚染

福島市内の森林では、2012年4月に採取された、シジュウカラやヤマガラが使った巣箱の巣材（主にコケ類）から約130万Bq/kgもの放射性セシウムが確認された（写真6）。

2013年2月、私たちは小鳥類の被曝状況を調べるため、高線量の巣材が見つかった福島市内の森林で、建物の窓ガラスに当たり死んでいたシジュウカラ2羽とシメ1羽を特殊な測定容器に入れ、ゲルマニウム半導体検出器で測定したところ、シジュウカラ、シメとも原発事故由来と考えられる放射性セシウムが検出された。セシウム134と137の合計値は、シジュウカラで約730Bq/kgと約200Bq/kg、シメが約48Bq/kgであった。シジュウカラは2羽とも成鳥で、採取地点の森林で暮らしていた可能性が高い。一方、シメは主に冬



写真7 喉に白斑のあるツバメ（福島県南相馬市）  
（写真提供：群像舎）

鳥として同地を訪れる鳥である。樹冠で暮らし、主に木の実など食べるシメに比べて、地上近くで生活し、昆虫なども食べるシジュウカラの方が蓄積の度合いが高い傾向がみられたが、サンプル数が少ないため、今後より詳しい調査が必要である。同様に、2013年5月に福島県南相馬市の農耕地で拾得されたツバメの死体からも約181Bq/kgの放射性セシウムが検出された（図2）。

生態系に放出された放射性物質を生物が取り込んだ場合、その放射性物質が代謝や排泄によって約半分になるまでの時間を「生物学的半減期」と呼ぶ。セシウム137の生物学的半減期は、人の場合約70～100日で、マガモは約11日、アメリカオオバンは約7.2日とされている（Brisbin 1991）。小型で代謝量が高いスズメ目の小鳥類の生物学的半減期はこれらより短いと考えられるが、シジュウカラやツバメから放射性セシウムが検出されたことは、環境から生体への取り込みが依然継続していることを示すと考えられる。

### 5.4 ツバメに起きた部分白化

2012年の繁殖期に、南相馬市の農耕地でツバメの喉に白斑のある個体が観察された（写真7）。そこで、私たちは2013年の繁殖期から、営巣してい

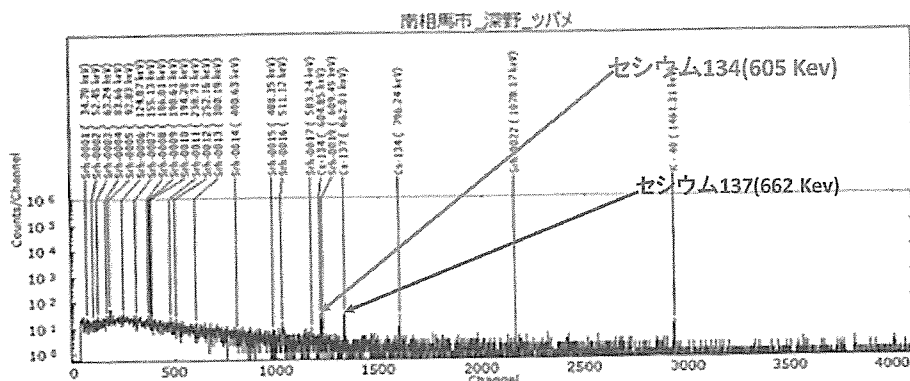


図2 ゲルマニウム半導体検出器による $\gamma$ 線核種分析結果（ツバメ）  
U8容器に入れ、5000秒測定。原発事故由来の放射性セシウムを検出。

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（A：飯館村・南相馬市・川俣町（福島県））、線量が中程度の地域（B：角田市・丸森町（宮城県南東部））、非汚染地域（C：青梅市・あきる野市・奥多摩町（東京都多摩西部））の3地域で行なった（図3）。

その結果、福島県内（A地域）では81羽のうち8羽、隣接する宮城県南東部（B地域）では71羽のうち7羽で白斑のある個体が見つかった。東京多摩西部（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（図4）。部分白化個体は、チェルノブイリの報告でも非汚染地域で2～4%の割合で見つまっているため（Møller and Mousseau 2006）、今回の私たち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判断が必要である。そこで、私たちは撮影した白斑個体の写真を前述のメラ博士とムソー博士に送り、白斑の出方や数について照会したところ、両



図3 調査地点  
（◎：コロニー調査、○：ツバメ調査）。

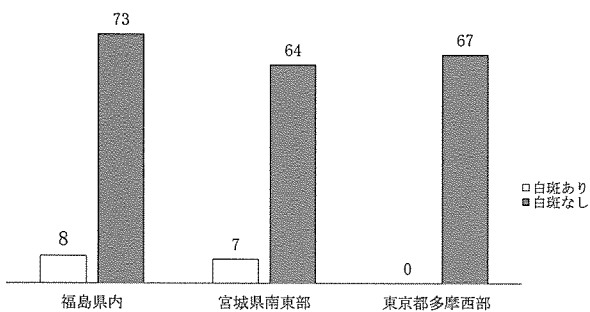


図4 ツバメの喉の白斑の有無  
数字は実数を示す。

氏の見解としては、福島県のツバメで観察されたような小さな白斑はチェルノブイリでもよく観察されるとのことであった。福島県と宮城県で2013年に観察された部分白化個体の割合はいずれも約9.9%で、チェルノブイリで部分白化が観察された割合（10～15%）に近いが、サンプル数が少なく十分なものとは言えないため、今後も経年的に調査を行い、白斑個体の割合の推移や地域的な広がりの有無を調べていく予定である。

## 6 今後の課題

福島第一原発から北西側に広がる森林部（阿武隈高原の一部）には高い線量の汚染地域が広がっている。原発事故によって森林土壌の表層に沈着した放射性セシウムは除染することができず、森林からはほとんど流出しないと考えられているため、今後、森林性鳥類への影響が懸念される。また、海への放射性物質の流出は依然継続しており、すでに流出したものは原発の港湾内に留まっているとされているが、実際の動態には不明な点が多い。沿岸流や台風による攪乱等によって拡散する可能性もあり、仮に、拡散した場合には、放射性物質（セシウム137）は、動物プランクトン、小型魚類、肉食性の大型魚と、食物連鎖上の位置が上がるにつれて生物濃縮され蓄積されやすいことから（笠松 1999）、魚を食べ、生態系の高次種である海鳥やイルカなどへの蓄積も想定されるため、これらの生物のモニタリングが必要である。

低線量被曝による野生生物への影響についてはまだ情報が限られており、その影響や表われ方についてはよくわかっていない。今後も、しっかりとモニタリングや調査・研究を行なっていき、野生生物の異常を検知した際には迅速な対応をすることが重要と思われる。

## 謝辞

現地調査は、「平成23年度・平成24年度独立行政法人環境再生保全機構地球環境基金」の助成及び「野鳥を科学する基金」をもとに、日本野鳥の会宮城県支部、北上支部、宮古支部、ふくしま、郡山、南相馬、いわき、福島県相双支部、福島市小島の森からの情報提供及び協力を得て行なった。また、本稿をまとめるにあたり、東京大学の石田健博士、サウスカロライナ大学のティモシー・ムソー博士、群像舎の岩崎雅典氏からは写真の使用許可をいただいた。記して感謝申し上げます。

## 引用文献

- Brisbin Jr, I. (1991) Avian radioecology. *Current ornithology*, 8, 69-140.
- Ishida, K. (2013) Contamination of Wild Animals: Effects on Wildlife in High Radioactivity Areas of the Agricultural and Forest Landscape. *Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident*, 119-130.
- 環境省 (2013) 平成 24 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. 28 pp.
- 笠松不二男 (1999) 海産生物と放射能—特に海産魚中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度に影響を与える要因について—. *RADIOISOTOPES*, 48, 266-282.
- Lowe, V. P. (1991) Radionuclides and the birds at Ravensglass. *Environmental Pollution*, 70(1), 1-26.
- Møller, A. P., Mousseau, T. A., Milinevsky, G., Peklo, A., Pysanets, E. and Szep, T. (2005a) Condition, reproduction and survival of barn swallows from Chernobyl. *Jour. Animal Ecology*, 74, 1102-1111.
- Møller, A. P., Surai P. and Mousseau, T. A. (2005b) Antioxidants, radiation and mutation as revealed by sperm abnormality in barn swallows from Chernobyl. *Proceedings of the Royal Society B*, 272, 247-253.
- Møller, A. P. and Mousseau, T. A. (2006) Biological consequences of Chernobyl: 20 years after the disaster. *Trends Ecology and Evolution*, 21, 200-207.
- Møller, A. P. and Mousseau, T. A. (2007a) Birds prefer to breed in sites with low radioactivity in Chernobyl. *Proceedings of the Royal Society B*, 274, 1443-1448.
- Møller, A. P. and Mousseau, T. A. (2007b) Species richness and abundance of forest birds in relation to radiation at Chernobyl. *Biology letters*, 3, 483-486.
- Møller, A. P. and Mousseau, T. A. (2007c) Determinants of interspecific variation in population declines of birds after exposure to radiation at Chernobyl. *Jour. Applied Ecology*, 44, 909-919.
- Møller, A. P. and Mousseau, T. A. (2010) Efficiency of bio-indicators for low-level radiation under field conditions. *Ecological indicators*, 1-7.
- Møller, A. P., Bonisoli-Alquati, A, Rudolfson G. and Mousseau, T. A. (2011) Chernobyl Birds Have Smaller Brains. *PLoS ONE*, 6(2), 1-7.
- Møller, A. P., Hagiwara, A., Matsui, S., Kasahara, S., Kawatsu, K., Nishiumi, I., Suzuki, H. Ueda, K. and Mousseau, T. A. (2012) Abundance of birds at Fukushima as judged from Chernobyl. *Environmental Pollution*, 164, 36-39.
- オグム, E. P. (1975) 生態学の基礎 下(三島次郎 訳). 培風館, 392 pp.
- 林野庁 (2013) 森林内の放射性物質の分布状況調査結果について. プレスリリース (平成 25 年 3 月 29 日).
- 高川晋一・植田睦之・天野達也・岡久雄二・上沖正欣・高木憲太郎・高橋雅雄・葉山政治・平野敏明・三上修・森さやか・森本 元・山浦悠一 (2011) 日本に生息する鳥類の生活史・生態・形態的特性に関するデータベース. 「JAVIAN Database」, *Bird Research*, 7, R9-R12.

## 山本 裕 (やまもと ゆたか)

1964 年山口県生まれ。1991 年日本野鳥の会入局。広島や三宅島のサンクチュアリのレンジャーを経て、2009 年より自然保護室チーフ。放射性物質の鳥類への影響調査や野外鳥類学論文集「Strix」の編集等を担当。著書に「三宅島自然ガイド」(共著, 文一総合出版, 2007)。連絡先: 公益財団法人 日本野鳥の会, 141-0031 東京都品川区西五反田 3-9-23 丸和ビル, TEL: 03-5436-2633, E-mail: y-yamamoto@wbsj.org