

宮城県で産業的に重要な淡水魚における東日本大震災以降の放射性セシウムの蓄積状況

白石 一成*

Current situation of the radioactive-cesium accumulation in freshwater fishes
since the 2011 Great East Japan Earthquake in Miyagi Prefecture

Kazunari SHIRAIISHI*

キーワード：淡水魚，放射性セシウム，イワナ，アユ，北上川水系

2011年3月11日の東日本大震災によって、株式会社東京電力福島第一原子力発電所（以下、東電原発）で炉心溶融（メルトダウン）の重大事故が発生した結果、環境中に大量の放射性セシウムが放出された。放射性セシウムはその後の降水によって陸域に降下し、土壌や河川水の汚染を惹き起こした¹⁾。これらの地域には産業的に重要なイワナ *Salvelinus leucomaenis*、ヤマメ *Oncorhynchus masou masou*、ウグイ *Tribolodon hakonensis* といった淡水魚に加えて、河川生活期のアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* や ウナギ *Anguilla japonica* が棲息している²⁾。降下した放射性セシウムは様々な経路を経て魚体中に取込まれ、高濃度に蓄積される^{3,4)} こととなった。

東電原発事故後に、宮城県は、農林水産物等中の放射性物質濃度を継続的に測定してきた⁵⁾。こうした中、2012年4月1日には、食品衛生法に基づく放射性セシウム濃度の基準値が、一般食品で100Bq/kgと設定された。このうち宮城県の淡水魚各種で、基準値を超過する事例が発生したことから、内閣府原子力災害対策本部により出荷制限指示の措置が講じられた。

これまでに、淡水魚中の放射性セシウムの蓄積と排出の状況は、国立研究開発法人水産研究・教育機構や福島県内水面水産試験場によって報告されている^{5,7)}、また遊佐・上田により、本県産淡水魚の2012年12月初旬までの状況が報告されている⁸⁾。

本報告は、事故から6年9ヵ月を経過した2017年12月末に至る県内水産物中の放射性物質モニタリング結果から、淡水魚中の放射性セシウム濃度のデータを整理し、東電原発事故後の経

過日数に対する、淡水魚中の放射性セシウムの蓄積状況について取り纏めたものである。

材料と方法

本報告では、宮城県内水産物中の放射性セシウムモニタリング結果⁶⁾を基に、東電原発事故後の経過日数と、各種淡水魚の放射性セシウム濃度 (Bq/kg) について、河川水系 (図1) 別に取り纏めた。事故後の経過日数は、採集調査日を基準とし、また、放射性セシウム濃度の測定データが検値 (2.0~6.3 Bq/kg) 未満の場合、便宜上0 Bq/kgとして表示した。放射性セシウム測定用のサンプルは、魚体3個体以上から筋肉等の可食部を300g採取して1検体とした。測定は公益財団法人海洋生物環境研究所に委託して実施した。

放射性セシウム濃度の基準値を超過したイワナ、ヤマメ、アユ、ウグイ、ウナギの5魚種を取上げて、継続的な採集調査の結果を示した。なお、宮城県はイワナ (種名 *Salvelinus leucomaenis*) のうち、エゾイワナ *Salvelinus leucomaenis leucomaenis* とニッコウイワナ *Salvelinus leucomaenis pluvius* 2亜種の分布域になる²⁾ が、ここでは一括してイワナとして扱った。また、養殖魚のイワナとヤマメの結果も掲載した。

放射性セシウム濃度調査は、イワナでは阿武隈川水系で2012年3月9日 (事故から364日後)、名取川水系で2012年4月14日 (同400日後)、北上川水系で2012年4月13日 (同399日後) から開

*水産技術総合センター内水面水産試験場

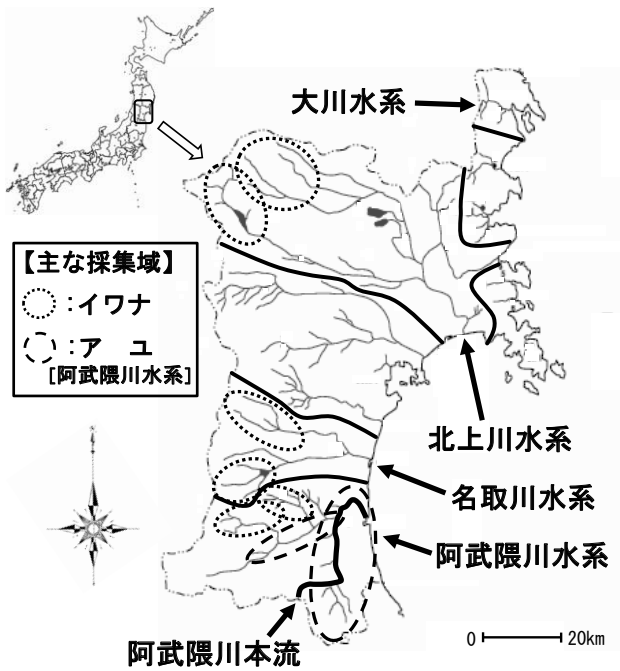


図1 調査した4河川水系と採集域

始された。ヤマメは、阿武隈川水系で2011年6月7日（157日後）、名取川水系で2012年5月24日（440日後）、北上川水系で2012年9月27日（566日後）、大川水系で2012年3月30日（385日後）から開始された。

アユは、阿武隈川水系の2水域とも2011年6月13日（164日後）、名取川水系で2011年6月20日（171日後）、北上川水系で2012年5月10日（426日後）、大川水系で2011年7月4日（185日後）から開始された。ウグイは、阿武隈川水系で2012年4月14日（400日後）、北上川水系で2012年5月21日（437日後）、大川水系で2012年5月10日（426日後）から開始された。

阿武隈川水系のウナギは、2012年7月22日（499日後）から開始された。県内で養殖されたイワナは2011年9月12日（254日後）、養殖されたヤマメは2011年11月21日（324日後）から調査が開始された。

県が行うモニタリングの結果、基準値を超過する事例が発生した際には、県からその当該産品を産出した市町村に出荷自粛が要請される。その後は内閣府原子力災害対策本部により、産地の広がりや踏まえ、出荷制限の要否及び制限すべき区域が判断されて、出荷制限が指示される⁹⁾。

結果

イワナにおける放射性セシウム濃度の推移を、河川水系別に図2に示した。

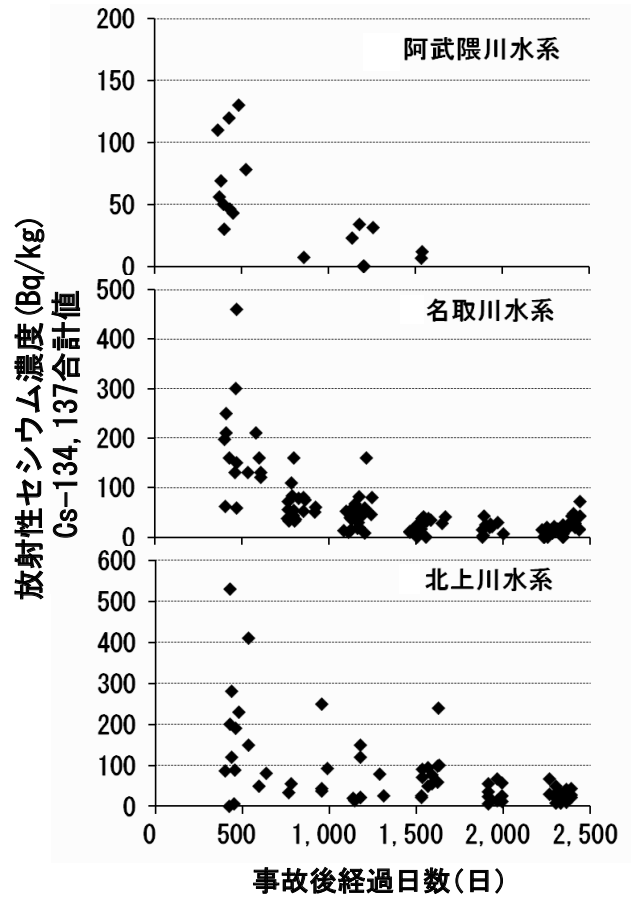


図2 各河川水系におけるイワナの体内に残留した放射性セシウム濃度の推移

阿武隈川水系のイワナは、事故から364日経過後に100Bq/kgの基準値を超過する濃度が認められ、原子力災害対策本部によって出荷制限が指示された。以降も100Bq/kgの基準値を超過する濃度が429日後と485日後に認められた。527日後以降は100Bq/kgを下回り、857日以降は50 Bq/kgを下回った。その後は採集個体数が少なく、2018年1月1日（2,488日後）現在、出荷制限は継続中である。

名取川水系のイワナは、408日経過後に200Bq/kgを上回る濃度が認められ、出荷制限が指示された。以降200Bq/kgを上回る濃度は、411日後と466日後に認められ、このうち466日後の濃度は300 Bq/kgであった。471日後には、400Bq/kgを上回る高い濃度が認められた。それ以降で200Bq/kgを上回る濃度は、583日後に認められた。1,241日後以降は100Bq/kgの基準値を下回った。1,465日後以降、出荷制限解除の目安値⁹⁾とされる50 Bq/kgを下回っていたが、2,441日後には、再度50 Bq/kgを上回った。2018年1月1日（2,488日後）現在、出荷制限は継続中である。

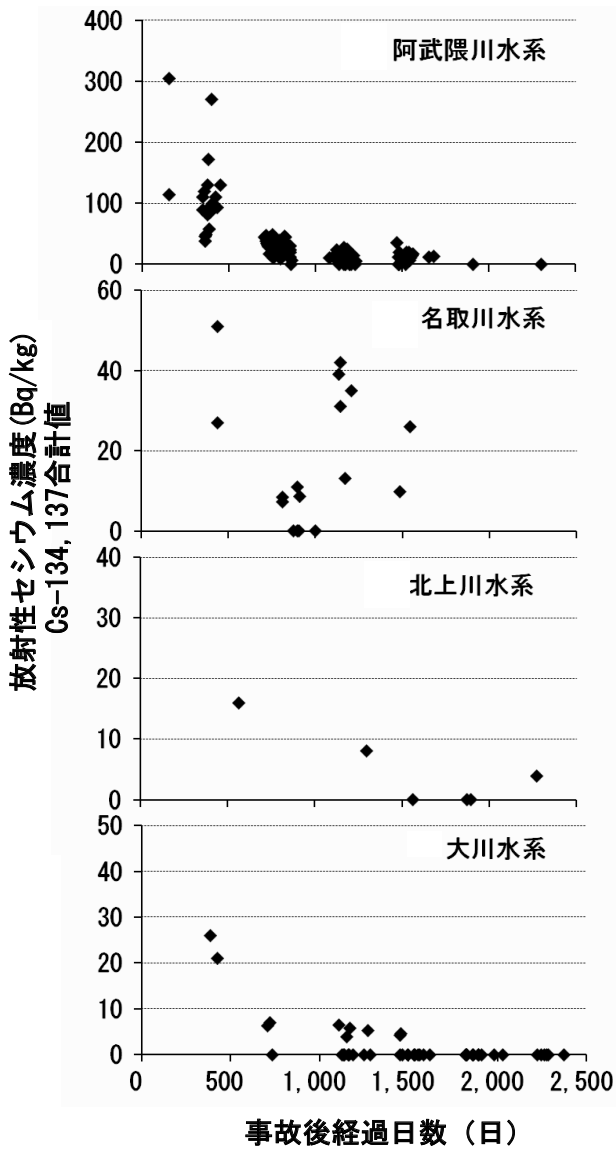


図3 各河川水系におけるヤマメの体内に残留した放射性セシウム濃度の推移

北上川水系のイワナは、430日経過後に500 Bq/kgを上回る高い濃度が認められ、出荷制限が指示された。以降200Bq/kgを上回る濃度は、437日後と479日後に認められた。534日後には、400Bq/kgを上回る高い濃度が認められた。更に、それ以降で200Bq/kgを上回る濃度は、957日後と1,628日後に認められた。1,911日後以降は100 Bq/kgの基準値を下回り、2,301日後以降は50 Bq/kgを下回った。その後は採集個体数が少なく、2018年1月1日(2,488日後)現在、出荷制限は継続中である。

図3には、ヤマメにおける放射性セシウム濃度の推移を、河川水系別に示した。

阿武隈川水系のヤマメは、157日経過後に300Bq/kgを上回る高い濃度が認められ、出荷制限が指示された。以降200Bq/kgを上回る濃度が401日後に認められた。それ以降100Bq/kgを超

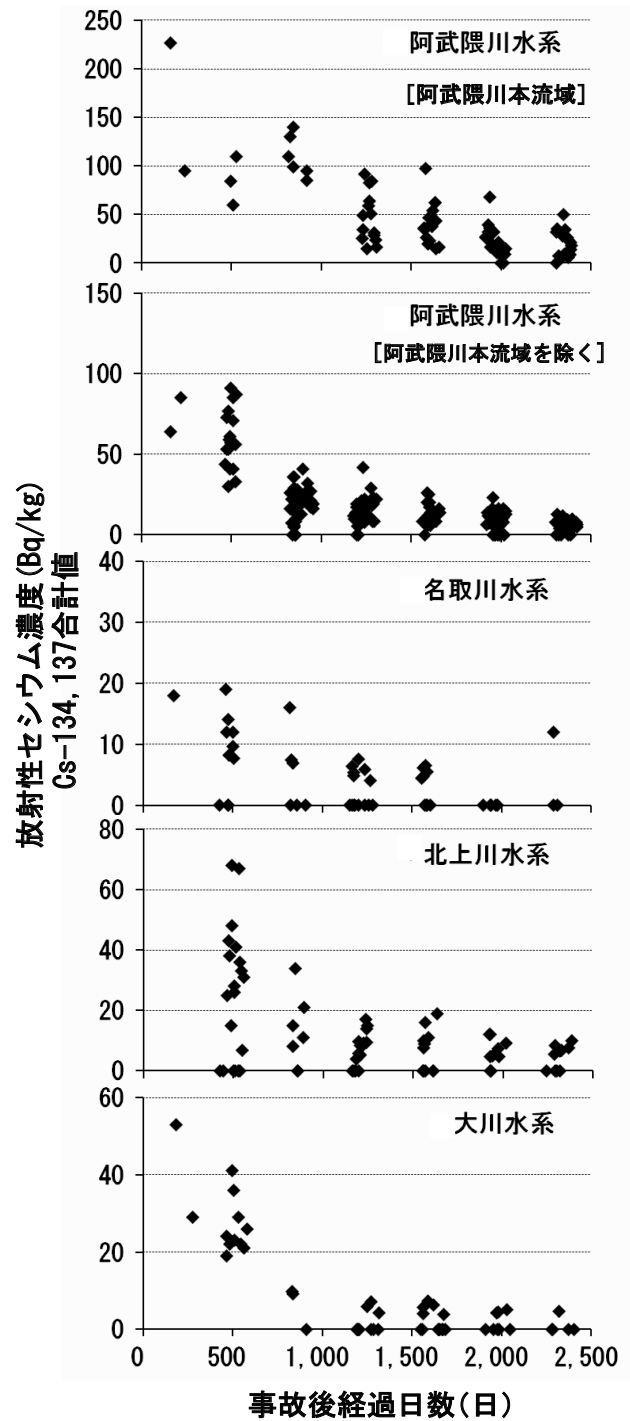


図4 各河川水系におけるアユの体内に残留した放射性セシウム濃度の推移

過する濃度は、426日後と450日後に認められた。710日後以降は50 Bq/kgを下回った。2015年9月30日(1,664日後)に出荷制限が、採集個体数の少なかった白石川を除く水域で、解除された。

名取川水系のヤマメは、441日経過後に50Bq/kgを上回ったが、それ以降は50Bq/kgを下回り、1,145日後以降は40 Bq/kg

を下回った。北上川水系のヤマメは、調査開始当初から20Bq/kgを下回り、1,299日後以降は10 Bq/kgを下回った。大川水系のヤマメは、調査開始当初から30Bq/kgを下回り、709日後以降は10 Bq/kgを下回った。

図4には、アユにおける放射性セシウム濃度の推移を、河川水系別に示した。阿武隈川水系は、阿武隈川本流域とこれを除く水域に分けて示した。

阿武隈川本流域のアユは、164日経過後に200Bq/kgを上回る濃度が認められ、阿武隈川本流域及び支流の水域に、出荷制限が指示された。以降100Bq/kgの基準値を超過する濃度は、526日後と820日後、827日後と845日後に認められた。918日後以降は100 Bq/kgの基準値を下回ったが、918日後に95Bq/kg、1,580日後に97 Bq/kgと基準値に迫る値も認められた。それ以降は1,935日後に68Bq/kg、2,348日後に50 Bq/kgの濃度が認められたのち、50 Bq/kgを下回った。しかし、その後は採集個体数が少なく、2018年1月1日(2,488日後)現在、阿武隈川本流域の出荷制限は継続中である。

阿武隈川本流域を除く阿武隈川水系のアユに、100Bq/kgの基準値を超過する濃度は認められず、844日後以降は、50 Bq/kgを下回った。2017年4月27日(2,239日後)には、阿武隈川支流で、出荷制限が解除された。

名取川水系のアユは、調査開始当初から20Bq/kgを下回り、以降も20Bq/kgを下回った。北上川水系のアユは、493日後と534日後に60Bq/kgを上回ったが、それ以降は40Bq/kgを下回った。大川水系のアユは、185日後に50 Bq/kgを上回ったが、以降は50Bq/kgを下回り、830日後以降は20 Bq/kgを下回った。

図5には、ウグイにおける放射性セシウム濃度の推移を、河川水系別に示した。

阿武隈川水系のウグイは、400日経過後に400Bq/kgを上回る高い濃度が認められ、出荷制限が指示された。以降100Bq/kgの基準値を超過する濃度は、407日後に認められた。1,501日後以降は、20 Bq/kgを下回ったが、その後は採集個体数が少なく、2018年1月1日(2,488日後)現在、出荷制限は継続中である。

北上川水系のウグイは、437日経過後に200Bq/kgを上回る濃度が認められ、出荷制限が指示された。以降100Bq/kgの基準値を超過する濃度は、450日後と751日後に認められた。1,133日後以降は、30 Bq/kgを下回った。その後は採集個体数が少なく、2018年1月1日(2,488日後)現在、出荷制限は継続中である。

大川水系のウグイは、426日経過後に100Bq/kgの基準値を超過する濃度が認められ、出荷制限が指示された。1,087日後以降は20Bq/kgを下回った。2014年8月25日(1,263日後)に出荷制限が水系内全ての水域で解除された。

図6には、阿武隈川水系のウナギにおける放射性セシウム濃度の推移を示した。499日後には100Bq/kgの基準値を超過し、

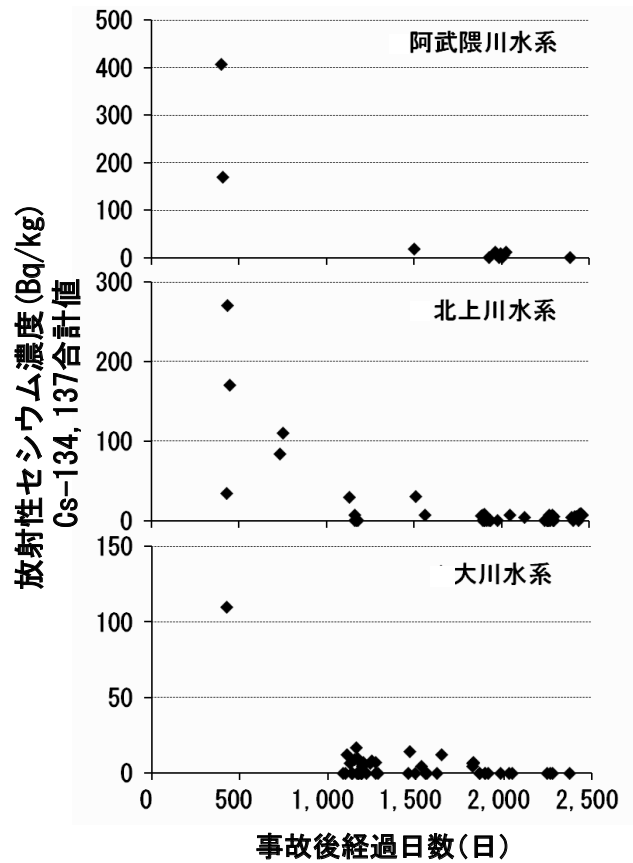


図5 各河川水系におけるウグイの体内に残留した放射性セシウム濃度の推移

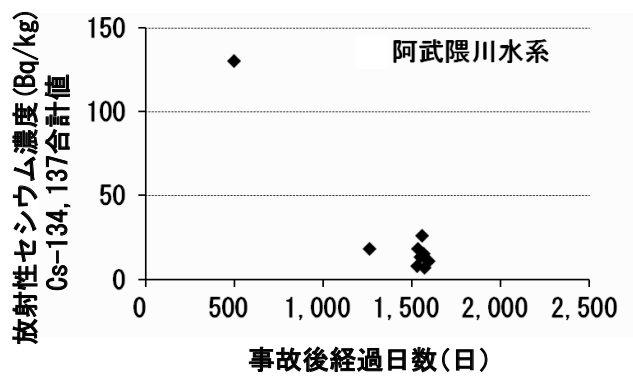


図6 各河川水系におけるウナギの体内に残留した放射性セシウム濃度の推移

県から出荷自粛が要請された。1,261日後以降は、30Bq/kgを下回った。2015年7月9日(1,581日後)に出荷自粛措置は解除された。

阿武隈川水系と北上川水系では、200Bq/kgを上回る濃度の放射性セシウムが、複数の魚種に認められている。図7には、両水系で調査対象とした魚種の放射性セシウム濃度を、事故から600日経過後までの値として示した。

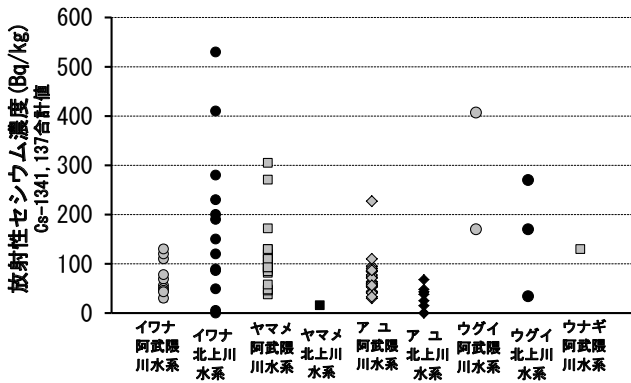


図7 淡水魚各種の放射性セシウム濃度
事故から600日経過後までの値

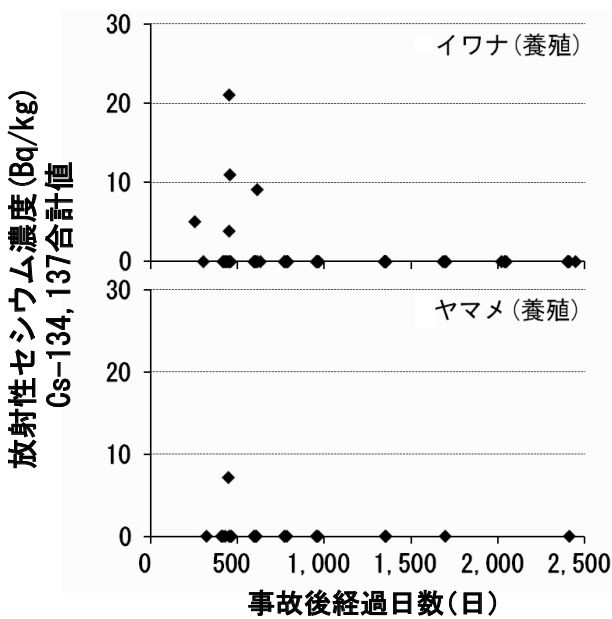


図8 養殖魚の体内に残留した放射性セシウム濃度の推移

阿武隈川水系では、100Bq/kgの基準値を超過する濃度の放射性セシウムが、イワナ、ヤマメ、アユ、ウグイ、ウナギの5魚種に認められた。ヤマメには、200Bq/kgを上回る濃度と、300Bq/kgを上回る濃度が認められた。アユには200Bq/kgを上回る濃度が認められ、ウグイには400Bq/kgを上回る濃度が認められた。

北上川水系では、基準値を上回る濃度の放射性セシウムが、イワナとウグイに認められた。イワナには、200Bq/kgを上回る濃度に加え、400Bq/kgを上回る濃度と500Bq/kgを上回る高い濃度が認められた。ウグイには200Bq/kgを上回る濃度が認められた。北上川水系のヤマメとアユは、100Bq/kgの基準値を下回った。一方、同水系のウナギについては継続的調査が実施されなかった。

阿武隈川水系においては、アユ、ウグイといった河川の中下流域に棲息する魚種²⁾に加え、河川中流域まで分布するヤマメ²⁾¹⁰⁾の数値がより高く、北上川水系においては、河川最上流域に棲息するイワナ²⁾¹¹⁾の数値がより高い傾向が認められた。

図8には、県内で養殖されたイワナとヤマメにおける、放射性セシウム濃度の推移を示した。イワナは453日経過後に20Bq/kgを上回ったが、以降は20Bq/kgを下回り、460日後の測定以降は10Bq/kgを下回った。ヤマメは、調査開始当初から10Bq/kgを下回り、それ以降も10Bq/kgを下回った。

考 察

各水系で基準値を上回った魚種のうち、阿武隈川水系のイワナとヤマメは、約2年(約730日)後に基準値を下回った。それ以降、北上川水系のイワナを除いた各魚種とも、約3年半(約1,300日)後に基準値を下回った。北上川水系のイワナは、約5年3ヶ月(約1,900日)後に、基準値を下回った。一方、県産海水魚のうち殆どの魚種は、事故から約2年半(約900日)後に基準値を下回った¹²⁾。淡水魚は、カリウム等の塩類を体内で保持する能力が高く、その排出が海水魚に比べて遅いことが知られている¹³⁾。セシウムはカリウムと同じアルカリ金属であり、生体内で似た挙動を示す¹³⁾ことから、同位体である放射性セシウムの濃度低下にも長期間を要したとみられる。

イワナは山地渓流域に棲息する渓流域生態系の上位捕食者²⁾¹⁴⁾、最上流の支流を棲息場や産卵場として利用することが知られている¹¹⁾¹⁵⁾。今回、阿武隈川水系、名取川水系、北上川水系のイワナから、基準値を超過する濃度の放射性セシウムが認められた。北上川水系では500Bq/kgを上回り、名取川水系では400Bq/kgを上回る高い濃度を示した。栄養段階上位の大型魚種は、放射性セシウムを濃縮し易いことで知られ⁴⁾⁵⁾、中央水産研究所内水面研究センターの調査結果³⁾¹⁶⁾でも、福島県産のオオクチバスやイワナから高濃度の放射性セシウムが認められている。

イワナは、昆虫のほか、甲殻類や両生類といった動物餌料を捕食することで知られている²⁾¹⁷⁾。イワナでは春季から夏季に、河川に落下した陸生動物の捕食量が増加し¹⁷⁾¹⁸⁾、陸生動物が餌料中の約8割を占める¹⁴⁾との報告がある。山地森林域において陸生動物は、水生動物より放射性セシウム濃度が高く¹⁹⁾、また森林域と渓流域を行き来する陸生動物の濃度は、水生動物の3~5倍と顕著に高い¹⁴⁾ことも報告されている。このためイワナは、放射性セシウムを陸生動物から最も多く摂取するとみられている¹⁴⁾。本県産イワナも、放射性セシウムを陸生動物から摂取し蓄積することで、基準値を超過する濃度が長期に亘って認められ、以降の濃度低下も緩やかであったと考えられる。

ヤマメは阿武隈川水系で、300Bq/kgを上回る濃度の放射性セシウムが認められ、2年後に基準値を下回った。ヤマメは、水生昆虫を主餌料¹⁰⁾とし、イワナの棲息しない中流域にも分布が認められ、アユやウグイと共に採集されている^{10,20)}。水生昆虫の放射性セシウム濃度については、環境中の落葉及び土壌とはほぼ同じ傾向を示すことが分かっている²¹⁾。このうち毛翅(トビケラ)類では、常時の採餌活動のため、消化管内には同化される有機物と共に汚染されたシルトが混在し²²⁾、毛翅類・蜻蛉(カゲロウ)類並びにその捕食者の襍翅(カワゲラ)類といった水生昆虫では、放射性セシウムの生物濃縮が起らない²³⁾ことが報告されている。このため、水生昆虫の放射性セシウム濃度は、環境中の濃度を反映しているとみられる。ヤマメは、その食性に拠って環境中の放射性セシウムを速やかに蓄積し、以降の早期濃度低下に至ったものと考えられる。

ウグイは、阿武隈川水系、北上川水系、大川水系で基準値を超過する濃度が認められた。阿武隈川水系では400Bq/kgを上回る高い濃度を示し、北上川水系では200Bq/kgを上回った。ウグイは、水生昆虫等を餌料とし、成長後により大型の餌料を多く捕食することで知られ²⁴⁾、ニジマスやコイに比べて放射性セシウムを取込み易い⁷⁾ことも報告されている。本県産ウグイも、水生昆虫等の放射性セシウムを摂取することで蓄積したとみられる。

阿武隈川水系のアユでは、200Bq/kgを上回る濃度の放射性セシウムが認められた。更に同水系のアユでは、のちの濃度低下にも時間を要した。アユの生活史は1年で完結し²⁾、河川遡上期には、付着藻類をシルトと共に摂餌することで知られている²⁵⁾。アユは河川遡上過程で、環境中のシルトや藻類に含まれる放射性セシウムを取り込んで蓄積することも報告されている³⁵⁾。また、東電原発事故以降の福島県内の調査結果⁵⁾では、アユの内臓及び筋肉中の放射性セシウム濃度と、河川底質付着物中のシルトや付着藻類の濃度が、同様の減少傾向を示している。このことから、本県阿武隈川水系でも、河川底質の付着物中に含まれる放射性セシウムが、アユ体内の残留濃度に影響したとみられる。

阿武隈川水系のウナギでは、基準値を超過する濃度の放射性セシウムが認められた。ウナギは、アユと同様、海洋生活期と河川生活期を有し、ともに河川の中下流域に棲息することで知られている²⁵⁾。阿武隈川水系のウナギとアユは、両種とも、事故後最初の測定で基準値を超過した。アユは、その後の濃度低下に時間を要したが、これは遡上中に、河川底質付着物中のシルトや付着藻類から、環境中の放射性セシウムを取り込んだ影響と考えられる。これに対してウナギは、各水系の他魚種(イワナ、阿武隈川水系本流域のアユを除く)と同様、約1,300日後に50 Bq/kgを下回った。河川生活期のウナギは、年魚のアユと違って、遡上後の5~12年を淡水域で過ごし²⁾、魚類や貝類、

環形動物(貧毛類、ヒル類)、節足動物(甲殻類、昆虫類)を餌料として摂食する^{2,25)}ため、藻類食性のアユより早期に濃度が低下したとみられる。

イワナは、県北域に位置する北上川水系と県西域に位置する名取川水系で、県南域の阿武隈川水系より、高い濃度の放射性セシウムが認められた。放射性セシウムは事故当時の風向に拠って拡散し、その後の降水によって地表面へと降下したことが分かっている^{26,27)}。県北域と県西域のイワナ分布域(図1)周辺では、放射性セシウムの汚染気塊が輸送されたのち、降水に拠って沈着した²⁶⁾ことも報告されている。県北域(栗原市、大崎市)と県西域(仙台市・川崎町)では、山間部を中心に県南域同様、放射性セシウムの地表面への沈着量が多く、表層土壌中の濃度が高くなったことが知られている^{1,26)}。両地域では、原木栽培のシイタケ・ムキタケ、野生キノコといった多様な林産物の生産と利用が盛んである。これらの林産物からも、規制値を超過する濃度の放射性セシウムが検出されて、出荷制限が指示されている^{6,28)}。東電原発から離れた地域で数値が高かったことについては、標高の高い山間部を中心に放射性セシウムが沈着し、山地溪流域の食物網を通じて、イワナが摂取したためと考えられる。なお、福島県の湖産淡水魚の結果⁴⁾では、魚体内の放射性セシウム濃度と、湖畔の表層土壌中濃度との間に、正の相関関係が確認されている。

イワナやヤマメといった養殖魚は、宮城県の調査で基準値を超過することが無かった。福島県の調査結果³⁾でも、養殖魚は基準値を超えていない。食物網を通して放射性セシウムを取込む天然魚³⁴⁾に対し、養殖魚には、放射性セシウムを殆ど含まないと考えられる配合餌料を与えることから、異なる結果になったとみられる。

要 約

宮城県における淡水魚の放射性セシウム蓄積状況を調査した。各水系で、基準値の100Bq/kgを上回った魚種の殆どが、東京電力福島第一原子力発電所の事故から、約3年半後に基準値を下回った。県北域に位置する北上川水系と県西域に位置する名取川水系のイワナに、高い濃度の放射性セシウムが認められた。放射性セシウムの地表面への沈着量は、県北域と県西域でも多かったことから、食物網を通して、放射性セシウムを取り込み蓄積したと考えられた。更にイワナでは、放射性セシウム濃度の高い山地森林域の陸生動物をも摂食し、放射性セシウムを蓄積した結果、基準値を超過する濃度が長期に亘って認められ、以降の濃度低下も緩やかであったと考えられる。アユでは、阿武隈川水系で高い濃度が継続して認められた。アユは年魚であることから、河川遡上過程で、環境中のシルトや付着藻類等に含まれる放射性セシウムを、取り込み蓄積したとみられる。

謝 辞

本研究で用いた淡水魚各種の放射性セシウム濃度のデータについては、宮城県農林水産部水産振興課並びに宮城県水産

技術総合センター内水面水産試験場の担当職員の方々が、取纏めた資料を利用しました。また宮城県内水面漁業協同組合連合会並びに各内水面漁業協同組合の担当職員の方々には、魚類採集に尽力して頂きました。ここに記して、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 角田 出 (2014) 東日本大震災被害地域における放射性物質の挙動と除染—陸域における放射性セシウム汚染とその除染について—。日本海水学会誌, **68**(2), 73–80.
- 2) 宮城県内水面水産試験場 (2004) 宮城の淡水魚. 96pp.
- 3) 山本祥一郎 (2013) 淡水魚類の放射性物質の取り込み状況. 水研センター第10回成果発表会講演要旨集, 9–10.
- 4) Matsuda K., K. Takagi, A. Tomiya, M. Enomoto, J. Tsuboi, H. Kaeriyama, D. Ambe, K. Fujimoto, T. Ono, K. Uchida, T. Morita and S. Yamamoto (2015) Comparison of radioactive cesium contamination of lake water, bottom sediment, plankton, and freshwater fish among lakes of Fukushima Prefecture, Japan after the Fukushima fallout. *Fish. Sci.*, **81**(4), 737–747.
- 5) 国立研究開発法人水産研究・教育機構 (2017) 平成28年度放射性物質影響解明調査事業報告書. 111pp.
- 6) 宮城県 (2017) 宮城県内の農林水産物の放射能測定結果について (<http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/syokushin/nuclear-index.html>)
- 7) 寺本 航・新関 晃司・佐々木恵一・稲富直彦・野村浩貴・和田敏裕・難波謙二・泉 茂彦 (2017) 飼育環境下のウグイにおける放射性セシウム濃度の推移. 日本水産学会誌, **83**(5), 811.
- 8) 遊佐和洋・上田賢一 (2013) 福島第一原子力発電所事故に伴う宮城県内水面魚介類の放射性セシウム蓄積. 宮城水産研報, **13**, 39–43.
- 9) 原子力災害対策本部 (2016) 検査計画, 出荷制限等の品目・区域の設定・解除の考え方, 1–24.
- 10) 木曾克裕・熊谷五典 (1989) 三陸地方南部大川水系における河川生活期サクラマスと食物の季節変化. 東北水研研報, **51**, 117–133.
- 11) 久保田仁志・中村智幸・丸山 隆・渡邊精一 (2001) 小支流におけるイワナ、ヤマメ当歳魚の生息数、移動分散および成長. 日本水産学会誌, **67**(4), 703–709.
- 12) 白石一成・藤原 健・山岡茂人 (2014) 宮城県海域の水産物における放射性セシウムの検出状況について. 宮城水産研報, **14**, 57–68.
- 13) 金子豊二 (2015) 魚類の浸透圧調節とセシウムの排出. 日本海水学会誌, **69**(4), 238–243.
- 14) 五味高志・境 優・岩本愛夢・岡田健吾・布川雅典・根岸淳二郎 (2014) 森林・溪流生態系食物網における放射性セシウムの生物蓄積. 平成25年度野生動植物への放射線影響に関する意見交換会 (環境省) 要旨集, 5–7.
- 15) 中村智幸 (1999) 鬼怒川上流におけるイワナ、ヤマメの産卵礁の立地条件の比較. 日本水産学会誌, **65**(3), 427–433.
- 16) Takagi K., S. Yamamoto, K. Matsuda, A. Tomiya, M. Enomoto, Y. Shigenobu, K. Fujimoto, T. Ono, T. Morita, K. Uchida and T. Watanabe (2015) Radiocesium contaminations and body size of largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802), and smallmouth bass, *M. dolomieu* Lacépède, 1802, in Lake Hayama in Japan. *J. Appl. Ichthyol.*, **31**, 909–911.
- 17) Honma Y., N. Hokari and E. Tamura (1972) Studies on Japanese charrs of the genus *Salvelinus*—VI. The food of *S. leucomaenis*. *Japan. J. Ichthyol.*, **19**(4), 255–262.
- 18) Tanaka T (1972) The ecology of salmonid fishes in Japanese mountain streams I. Food condition and feeding habit of Japanese charr, *Salvelinus leucomaenis*. (Pallas). *Japan. J. Ecol.*, **35**(4), 481–504.
- 19) 大手信人・村上正志・伊勢田耕平・遠藤いず貴・鈴木隆央・田野井慶太郎・石井伸昌 (2014) 森林に降った放射性セシウムは今どうなっているのか、これからどこへいくのか？. 第10回放射能の農畜産物等への影響についての研究報告会 (東京大学) 資料, 1–44.
- 20) 宮城県水産技術総合センター (2017) 漁場環境保全推進事業. 平成27年度宮城県水産試験研究成果要旨集, 1–113.

- 21) 水産庁 (2013) 河川・湖沼における汚染魚の発生メカニズム. 高濃度に放射性セシウムで汚染された魚類の汚染源・汚染経路の解明のための緊急調査研究 (水産庁) 資料, 1-9.
- 22) 藤野 毅・H. Wityi・野本健志・山田明弘 (2013) ヒゲナガカワトビケラ属(*Stenopsyche*)の放射能汚染状況と生物学的半減期評価の試み. 土木学会論文集B1 (水工学), **70**(4), 1291-1296.
- 23) 吉村真由美 (2015) 溪流性水生昆虫等における放射性セシウムによる汚染. 季刊 森林総研, **30**, 22-23.
- 24) 広 正義・中西 良 (1967) 飛騨川の魚類の生活 I: 上流部におけるウグイ, オイカワの食性を中心として. 名古屋女子大学紀要, **13**, 55-62.
- 25) Tzeng W., J. Hsiao, H. Shen, Y. Chern, Y. Wang and J. Wu (1995) Feeding habit of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, *J. Fish. Soc. Taiwan*, **22**(4), 279-302.
- 26) 鶴田治雄・中島映至 (2012) 福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質の大気中での動態. 地球化学, **46**, 99-111.
- 27) 中山浩成・永井晴康 (2013) WSPEEDI による福島原発事故時の放射性物質拡散予測について. 日本風工学会誌, **38**(4), 396-403.
- 28) 齋藤雅典・山田明義・松田陽介・大和政秀 (2012) 菌類による放射性セシウムの吸収・蓄積. 化学と生物, **50**(10), 748-751.