

「陸域における放射性物質の挙動を探る」報告

日時 平成 25 年 7 月 19 日 (金) 13:30-17:00  
 場所 (公財) 日本下水道新技術機構会議室  
 参加者 51 名

1 亀田理事長挨拶

当法人は今年 10 周年を迎えた。パンフレットも新しくして、新たなスタートを切ったところであり、今後とも皆様のご支援、ご協力をお願いしたい。

本日の研究集会は放射能に関するものである。福島原発事故以来、下水道施設も大きな影響を受けており、この影響が今後どうなるかも大きな関心事である。国環研の林先生、今泉先生、群馬県水産試験場の鈴木先生、環境省の岩崎さんをお迎えして、最新の成果をご報告いただき、意見交換することによって、有意義な研究集会になることを期待している。

2 講演「流域スケールでの放射性物質の動態」 (独) 国立環境研究所 林誠二氏

国立環境研究所における流域スケールでの放射性物質の動態モデリング研究について紹介する。その内容は、1. 研究の目的と調査地の概要、2. 森林域における放射性物質の動態、3. 流域スケールでの放射性物質の移動と集積、4. 生物への移行状況について、である。

本研究の目的は、流域圏スケールでの放射性物質の動態をモニタリングし、場から場への移動・集積のストックとフローを定量評価することと、非生物から生物、生物間の移行を明らかにすることである。研究対象流域は軽汚染地域として茨城県霞ヶ浦流域、重汚染地域として福島県宇多川流域である。筑波山での調査では、<sup>137</sup>Cs はリター層を含む表層 0~6 cm に吸着し、高濃度を呈する。図-1 は事故後 47 日後と 445 日後の <sup>137</sup>Cs 土壌蓄積量を示しているが、土壌への蓄積量は樹冠部の物理的除染 (林内雨、リターフォール) の影響で増加している。降雨時における <sup>137</sup>Cs の流出は、懸濁成分に関連した形態での流出が主で、図-2 のように流域の汚染程度に関わらず流出率は小さいことがわかった (年間 0.3

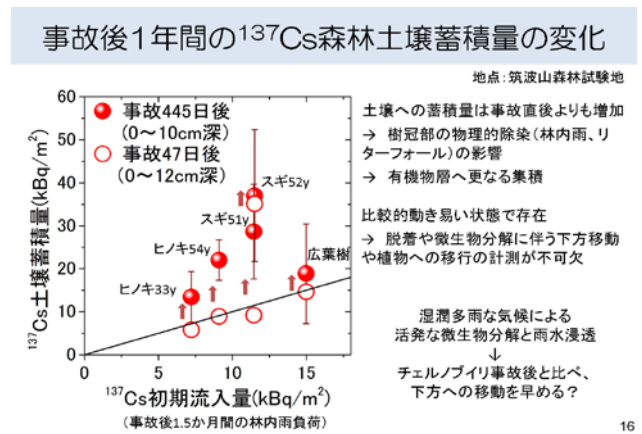


図-1

	筑波山 (1年間)	宇多川上流 (7か月間)	
SS由来 <sup>137</sup> Cs 濃度 (kBq/kg)	0.86	17~22	> 懸濁成分に関連した形態での流出が主体 > 流域の汚染程度に関わらず流出率は小さい(年間0.3%未満) > 流出濃度や量は懸濁成分の質に依存 → 粒状態有機物の寄与を確認
SS由来の <sup>137</sup> Cs 流出量 (kBq/m²)	0.04	0.41~0.67	
SS由来の <sup>137</sup> Cs 流出率 (%)	0.3	0.02~0.03	

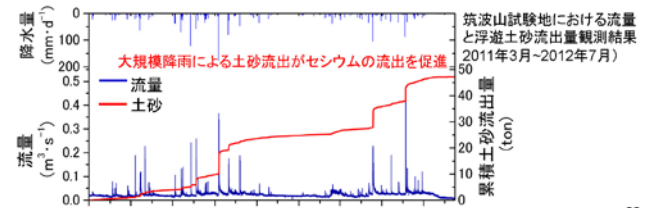


図-2

%未満)。質の観点で  $^{137}\text{Cs}$  の流出状況を調べると、POM（粒状態有機物）と微細無機粒子に吸着された  $^{137}\text{Cs}$  が大きな役割を果たしていることがわかった。

流域スケールでの放射性物質の移動と蓄積においては、霞ヶ浦流域の調査では流入河川の河口部で局所的に  $^{137}\text{Cs}$  の高いところがあるものの、流域全体で見ると  $^{137}\text{Cs}$  流出は少なかった。宇多川流域でも  $^{137}\text{Cs}$  流出状況を調査したが、流域全体での7か月間(2012年8月～2013年2月)流出率は0.012%であった。

生物への移行状況としては、地衣類、キノコ、コケに  $^{137}\text{Cs}$  の濃縮がみられた。昆虫や魚類については、食性によって異なり、今後モニタリングしていくことが重要である。

### 3 講演「放射性物質の環境モデリングー陸域モデルー」(独) 国立環境研究所 今泉圭隆氏

本日の発表は、1. 背景と目的、2. 多媒体動態モデルの設定、3. モデル予測結果、4. 空間線量調査の空間解析、5. まとめと今後の目標、である。

福島第一原発の事故で大量の放射性物質が大気と海水中に放出された。大気中の放射性物質は主に湿性・乾性の沈着によって地表に落下したと考えられる。地表面の放射性物質は、河川等への流出、底質等への沈降や分配から海域への流出などの環境動態プロセス全体のモデル化による予測によって、将来の放射線被爆量の予測や除染などの対策効果の推定などに有効となる。本研究では、これまでの有機汚染物質を中心に開発を進めてきた多媒体動態モデル(G-CIEMS)を、Csを対象とするよう拡張したモデル(図-3)を開発した。G-CIEMSでは大気は1kmメッシュ、流域は平均9km<sup>2</sup>の小流域に分解して計算している。今回の計算対象地域は福島県の太平洋沿岸、阿武隈川流域と関東北部、利根川水系までの15水系である。予測は事故から2年程度、10年後とし、さらに延長していく予定である。

図-4は開発したモデルによる土壌中の $^{137}\text{Cs}$ 残留量を予測した結果である。対象地域に残留している $^{137}\text{Cs}$ の99.99%は土壌中に在って、2年後も99%以上が土壌に存在する。土壌中の $^{137}\text{Cs}$ は流出現象によって、放射性崩壊よりやや速い速度で低下していくと予測された。

空間線量調査は、ヘリコプター等による計測、道路を走行しながらの計測、放射線量等分布マップ作成に係る地点観測が行われている。走行サーベイの結果では、空間線量と線量減少速度の関連性は

#### 多媒体モデル開発としての本研究課題の設定

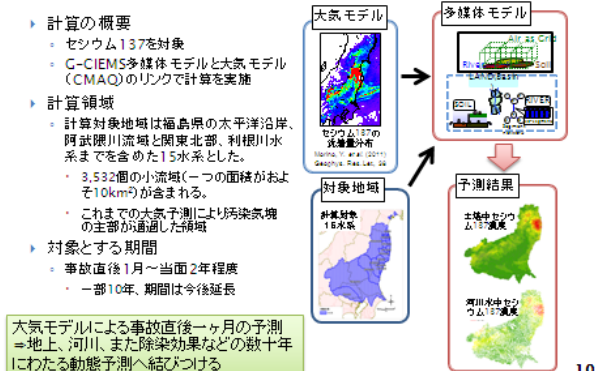


図-3

#### 土壌中のセシウム137残留量の推移

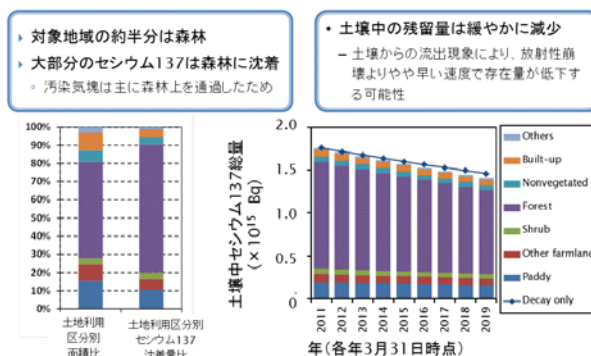


図-4

低く、物理崩壊以外の要因の減少速度は物理崩壊の3倍程度と観察された。一方、地点観測による空間線量と減少速度の関係では、空間線量が増加している地域や、より早く減少している地域など地域による違いのような傾向がみられ、物理崩壊以外の要因での減少速度は物理崩壊の1~2倍であった。

今後はさらにモデルの改良と検証を進めていきたい。

#### 4 講演「湖沼環境への影響—群馬県・赤城大沼」群馬県水産試験場 鈴木究真氏

本日の発表は、1. 群馬県の放射性物質の汚染状況及び放射性物質汚染への対応等、2. 魚類の浸透圧調整について、3. 赤城大沼における<sup>137</sup>Csモニタリング調査結果、4. 今後の課題等、である。

群馬県では福島第一原発の事故直後から水産物の放射性物質濃度の測定を開始したが、ほとんどが未検出で、すべての検体で暫定規制値(500Bq/kg)以下であった。しかし、釣り解禁前の8月下旬から各湖沼で食の安全性確保のため<sup>137</sup>Csの測定を実施したところ、赤城大沼のワカサギから640Bq/kgが検出され大騒ぎとなった。このため、群馬大学、金沢大学及び国立環境研究所と共同で基礎的なモニタリング調査を開始した。

魚類における<sup>137</sup>Csの検出について淡水魚と海水魚を比較すると、図-5のように淡水魚の方が<sup>137</sup>Csの影響が大きいことがわかった。これは動物が生命を維持するため体液の電解質を一定に保つ必要があり、海水魚では餌により体内に蓄積したCsを塩類と一緒に排出するが、淡水魚では体内にCsを留めようとする浸透圧調整機能が関与している可能性があることがわかった。

図-6は赤城大沼に生息するワカサギのこれまでの<sup>137</sup>Cs濃度の動態を示している。2012年の調査では、ワカサギ中の<sup>137</sup>Cs濃度が2011年に比べて大幅に下がってきているが、2013年春までの調査では100~200Bq/kg程度に留まっており、この夏の調査で魚の暫定指標値である100Bq/kgより下がるかどうか注目されている。赤城大沼のワカサギの<sup>137</sup>Cs濃縮係数は928~1984であった。

今後は赤城大沼湖内における<sup>137</sup>Csの動態解析を継続するとともに、窒素・炭素安定同位体を用いた生物濃縮メカニズムの解明や湖底堆積物からの<sup>137</sup>Cs再溶出に与える影響の解明を進めていきたい。

#### 5 講演「放射性物質を含む下水汚泥に係る対応について」環境省 岩崎宏和氏

原発事故で大気中に放出された放射性物質は地表に降下し、それが雨に流されて雨樋や側溝などに集まり、さらに下水汚泥にも含まれることになった。このため、従前のように処分できなくなった汚泥は、

魚類における放射性セシウムの検出について  
— 淡水魚と海水魚の比較 —

平成23年4月~平成25年1月の検査結果。  
海水魚については福島県沖の検査結果を除く。

魚種	検査検体数	100 Bq/kgを超えた検体	100 Bq/kgを超えた割合(%)
淡水魚	205	47	22.9
海水魚	8674	155	1.8

淡水魚のほうが放射性セシウムの影響が大きい。



淡水魚の浸透圧調節機能が関与している可能性がある。

図-5

赤城大沼に生息するワカサギの放射性セシウム濃度の動態

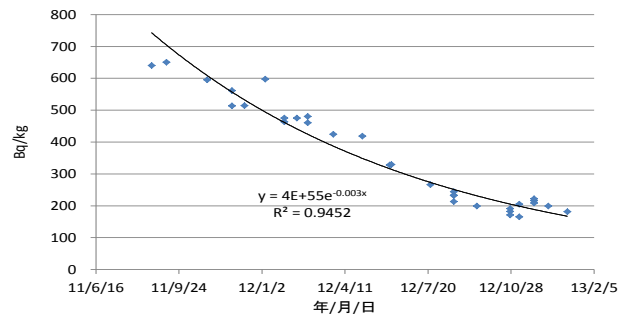


図-6

下水道管理者によって新たな処分先の確保に努めているが、処分先が確保できない場合には、やむを得ず場内に保管せざるを得ない状況になっている。図-7は平成25年5月24日時点での下水汚泥の保管状況を示している。保管する下水汚泥は約120t/日発生している。

環境省では、特に保管に苦慮している福島市堀河町終末処理場において、約4,400tの保管汚泥を1年で造粒乾燥して約1/5にする汚泥減容化事業を開始した。福島県県中浄化センターでは、保管している脱水汚泥約10,990tを焼却することで、逼迫している保管スペースの状況を改善するとともに、場外に搬出しやすい形とする事業を始めている。図-8は福島県内の指定廃棄物等処理の全体像を示している。

8,000Bq/kg以下の下水汚泥であっても処理・利用が進まない例としては、通常通り埋立処分可能とされたものの関係者の反対でできなかったケース、国が示した再利用基準以下でも引き取りを拒否されるケース、行政指導により処理が進まないケースなどがある。環境省、県、事業者が連携し、議会や地元に対して安全性の説明を実施し正常化したケースもある。

指定廃棄物の最終処分場候補地の選定に係る今後の方針のポイントとしては、市町村長会議の開催を通じた共通理解の醸成、専門家による評価の実施、候補地の安全性に関する詳細調査の実施が挙げられる。県や市町村との意見交換等を重視して、手順を踏んで着実に前進できるよう取り組んでいきたい。

## 6 総合討論

### (1) 話題提供「下水道における放射性物質の挙動等に関する調査（国総研の取り組み）」

国土交通省国技術政策総合研究所 山下洋正氏

本日のトピックスとして、1. 下水処理への放射性物質の影響調査、2. 下水道における放射性物質の挙動調査、3. 下水汚泥等からの放射性物質の溶出特性調査、について紹介する。

いくつかの処理場で処理水質、原生動物の調査を行ったが、放射性物質の影響は確認されなかった。

下水道における放射性物質の挙動をまとめると次のようになる。

- ・合流式下水道では、降雨時に高濃度の放射性Csが流入していた。
- ・処理場に流入した放射性Csは主に活性汚泥に吸着された状態でエアタンに蓄積していた。
- ・放射性Csの流入が少ない場合でも、汚泥濃縮・脱水等の処理過程で濃縮され、一部は返流水により系内を循環していた。

### 下水汚泥等の処分・利用の状況(国土交通省調べ)

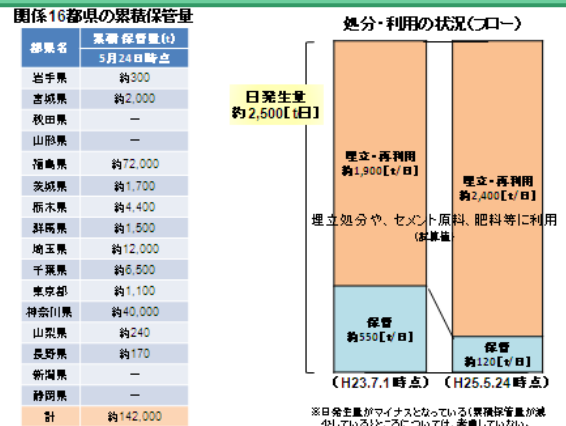


図-7

### 福島県内の指定廃棄物等処理の全体像



図-8



- ・流入放射性 Cs 量の減少と汚泥引抜により、系内の放射性物質は減少傾向にあり、地表から流出する放射能濃度が低下すれば、下水汚泥の放射能濃度も長期的には低下すると推測される。

下水汚泥からの放射性物質溶出特性をまとめると以下ようになる。

- ・放射性 Cs 溶出試験の結果、焼却灰からの溶出はないか、あっても極めて低いものであった。熔融スラグや脱水汚泥からの溶出は確認されなかった。
- ・焼却灰及び脱水汚泥の長期浸出試験で、浸出液の放射性 Cs は検出下限値未満であった。
- ・Cs は、焼却灰ではアルミノケイ酸塩  $CsAlSiO_6$  等の不溶性形態となり、脱水汚泥では土壤粒子（鉱物）に強固に吸着されて溶出しにくい状態となっていることが考えられる。
- ・放射性 Cs を含む下水汚泥を埋立処分した場合でも、溶出等の環境影響の可能性は低いと考えられる。

## (2) 総合討論

はじめに今日のご講演に対するご質問をお受けしたい。

(質問 1) 放射性物質はどこに存在するかが問題で、地下に存在するのであれば影響は少ないのではないかと思うがいかがか。

(林) 私の講演で説明したが、放射性 Cs は土壤深くに入っていくような挙動は示しておらず、林地の表層線量は時間がたってもそれほど下がらない。地面をはぎ取ったり、土壤を除く等によって生活圏への影響が大幅に改善される場合はやるべきだと思うが、林地等の広い範囲でできるかといえば現状ではどうかと思う。

(質問 2) 山下さんのご発表で、下水処理場では放射性 Cs が汚泥に吸着・蓄積することでかなり除去されると理解しているが、流入下水中よりも処理水中の放射性 Cs の方が高くなっている例があったが、何か理由はあるのか。また、放流水には溶解性 Cs がかなり残留していた。林さんにもお伺いしたいが、下水処理水中に溶解性 Cs が残る要因として何か考えられるか。今泉さんにもモデリングの中で溶解性 Cs について何かコメントを頂ければと思う。

(山下) 合流式下水道では雨天時に放射性物質が土砂とともに流れ込んできて活性汚泥に蓄積されて濃度が高くなり、その後晴天時に少しずつ流出して減少していくため、晴天時に調査を行うと、流入よりも流出が多いように見えるのではないかと考えている。全体的に見れば、下水道では放射性物質が汚泥とともに除去されていることになると思う。溶解性物質については、ろ過によって分けており、すべてイオンなど真に溶解性になっているかは不明であり、微細な固形性物質も含まれている可能性がある。

(林) 雨天時に渓流水中の溶解性放射性物質を測ってみたが、全くなかった。他の研究者の調査でも検出されていない。霞ヶ浦の調査では溶解態の放射性物質が検出されており、湿地帯でも検出されている。有機系土壤では吸着された放射性物質がイオン交換作用によって剥がれる可能性がある。下水道もそうかもしれないが、アンモニア、Na、K 等の濃度が高い場合には Cs が出てくる可能性がある。

(今泉) はじめに吸着に関して、吸着には可逆的なものと不可逆的なものがあるが、放射性 Cs については両方あると考えている。モデルにおいては分配係数で計算しており、場所によってその分配係数（あるいは見かけの分配係数）が異なる可能性も考える必要がある。もう 1 つは、濃度とマス（量）の違いに関して、例えば SS 中の放射性 Cs が  $12,000\text{Bq/kg}$  あり、分配係数が  $1,200\text{L/kg}$  だとすると、溶存態 Cs は  $10\text{Bq/L}$  である。分配係数が一定の場合、SS 濃度が低くなっても SS 中の Cs の濃度や溶存態 Cs の濃度は一定なので、全体の量としては溶存態の Cs の割合が増加する。つまり、濃度の違いと量の違

いをきちんと区別して考える必要がある。

(質問 3) 東京では放射性物質のレベルが低いとはいえ、事故前に比べれば高いままであるが、なぜ下がらないのか。

(今泉) 私は東京での放射性物質レベルの推移のデータを解析していないのではっきりしたことは答えられないが、地上の放射性物質の再飛散が影響を及ぼす可能性は考えられる。

(質問 4) 大沼のワカサギ中の放射性物質が高いのは餌の影響であるとのことであったが、放射性物質が水に溶出して植物性プランクトンに取り込まれ、それがワカサギに入ると考えてよいのか。

(鈴木) 底泥や死んで湖底に沈んだ植物性プランクトンが、湖底が嫌気性になる夏や冬に分解して放射性物質がリン・窒素とともに溶出し、春や秋の水循環でそれらが表層へ移行して植物性プランクトンに取り込まれ、ワカサギの放射性物質濃度が高くなると考えている。現在、モデル化を検討している。他の湖はいずれもダム湖で、放射性物質が入ってきてもそれが流れ出すようになっており、ワカサギの放射性物質濃度はそれほど高くなっていない。大沼の物質循環とは異なっていると考えている。

(討論 1) 放射性物質の処理においては、便益とリスクのバランスを考えないと費用や期間が膨大になるとともに、いつまでも中間貯蔵施設や最終処分場の問題は解決しないと思われるが、大変ご苦労されている中で今後の見通しはどうか。

(岩崎) 日本人はリスク過敏のところがあり、例えば公園で事故が発生すると遊び用具を撤去する等の行動も見られる。放射性物質の人への健康影響ということでも  $1\text{mSv/年}$  というレベルをどう考えるかということであると思う。全員の賛成を得るのは非常に難しいと思うが、一刻も早い解決を目指して粘り強く対応していく。

(討論 2) 原発事故から 2 年半余りになっても下水汚泥中の放射性物質濃度は横ばい状態にあるが、それらはどこから入ってきていると思うか。

(山下) 事故直後には、合流式下水道と分流式下水道の下水汚泥には大きな差があった。流れ出やすい形態の放射性物質はかなり減っておりきているが、これからも雨の影響等で放射性物質の下水道への流入は続くものと考えられる。

(林) 流出しやすい形態の放射性物質はほぼ流出しており、都市域では側溝等にたまった停滞系のものが雨の影響で少しずつ流出して影響が続くのではないか。

(今泉) 今回紹介したモデルは都市域だけを想定したのではなく、もっと広い範囲を対象にしているため都市域間の違いなど細かい議論までできていない。もし、より狭いスケールでのモデル構築を考えるのであれば、場所による違いをより詳細に考慮する必要がある。例えば、流出した放射性物質がコンクリートやアスファルトに吸着されて、だらだらと溶出していくこともあるのではないか。

(山下) 事故前の状態に戻るのが理想であるが、現実的に安全なレベルへコントロールしていくことは可能と考えている。

(討論 3) モデル化で森林域のモデルと都市域のモデルでは異なるのではないか。

(今泉) より細かく見ていくのであれば、森林域と都市域で別のモデルを構築する必要があるかもしれない。それぞれの地域における土地表面の形態も大きく異なるので、地域を限定した場合には、係数の見直しだけで対応可能なのか、それともより細かい動態モデルに組み込む必要があるのかという検討が必要と考えている。

(討論 4) NPO の研究集会なので発言は自由にさせてもらうが、ラムサール地方では日本よりはるかに高い放射能のところで数万人が生活している。日本でも秋田県の玉川温泉地域は放射能が高い地方である。放射能については、合理的な知見に基づく常識的な判断が大事であると思う。