

「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
平成 23 年度採択研究代表者

H26 年度
実績報告書

沖大幹

東京大学生産技術研究所
教授

安全で持続可能な水利用のための放射性物質移流拡散シミュレータの開発

§ 1. 研究実施体制

(1) 沖グループ

- ① 研究代表者: 沖 大幹 (東京大学生産技術研究所、教授)
- ② 研究項目
 - ・統括
 - ・流域水質シミュレータの開発・発生源解析および曝露量評価

(2) 芳村グループ

- ① 主たる共同研究者: 芳村 圭 (東京大学大気海洋研究所、准教授)
- ② 研究項目
 - ・メソスケールトレーサーモデルの開発

(3) 末木グループ

- ① 主たる共同研究者: 末木 啓介 (筑波大学数理物質系、教授)
- ② 研究項目
 - ・環境分析

§ 2. 研究実施の概要

これまで、首都圏において比較的放射性物質濃度が高い手賀沼流域において、沖グループおよび末木グループの連携によりモニタリングの実施とデータの蓄積を進めてきた。特に雨天時のモニタリングを頻度高く行うことで、沖グループが進めている流域水質シミュレータの精度向上を進めてきた。

(1) 沖グループ

沖グループは、大堀川流域に沈着した放射性セシウム量に対する浮遊物質(SS)中の放射性セシウム濃度が、福島県阿武隈川などの流域よりも高いことを明らかにした。これは、流域間の土地利用の違いが関与しており、市街地を流域に擁する大堀川では相対的にSS中放射性セシウム濃度が高いと考えられた。これまでに、本グループでは、市街地を流域に擁する大堀川では、道路塵埃などの地表面堆積物からの寄与が大きいことを報告してきたが、これらの結果と整合性があった。さらに、SSサンプラーによるSSの連続モニタリングおよび底質サンプリングを実施し、SSに付着した放射性セシウムの輸送フラックスを定量化した。その結果、事故があった平成23年の輸送量が大きく、その後は年間2桁程度ずつ減少していることが明らかになった。また、大堀川の下流に位置する手賀沼においても、堆積物コアから放射性セシウムの堆積量を算定し、流域の堆積量や、上記の輸送フラックスとの比較を実施した。その結果、放射性セシウムの流域への降下量に対する輸送の割合が、福島県阿武隈川流域と比べて大堀川流域では10倍近く大きいことがわかり、流域の土地利用が主に市街地であることがこの原因と推察された。

これらの観測データが蓄積されている大堀川を対象に、流域水質シミュレータを適用し、混合砂礫モデルに基づく、粒径～放射性セシウム濃度の関係に関する知見等を採用し、SS濃度、放射性セシウム濃度、河川流量について、降雨時及び無降雨時における濃度変化の解析を行った。その結果、SS濃度、放射性セシウム濃度ともに再現性の精度が向上することが確認された。また、河床変動に関する解析の結果、流域内(上流調整池、道路塵埃)からの水、土砂および放射性セシウムの流出が河道での動態に影響を及ぼしていることが示唆された。

また、都市域における放射性セシウムの移動経路の終末点の一つとも考えられる下水処理場を対象にした調査も行った。福島県内の下水処理場の汚泥に含まれるセシウム137の濃度および汚泥発生量に関するデータを再解析し、セシウム137が下水処理場の集水域から下水処理場に至るまでの動態を逆推定した。その結果、集水域から下水処理場へ流入する放射性セシウムは逡減特性が異なる3つの成分で構成され、Kobayashi & Yokoo (2013)の手法を用いることで、その量は、長期的には明確に減少傾向にあることが示された。さらに、これまでに確立した、飲食物の入荷量のデータをもとに飲食物由来の被曝量と発がんリスクを推計する手法を適用し、福島市、東京、大阪における被曝量および発がんリスクの評価を実施した。これらの推定手法は、陰膳法やマーケットバスケット法による観測結果とよく一致し、推計手法の妥当性が担保できた。事故後1年間の飲食物由来の被曝量は、成人男子の実効線量で見ると、福島市にて $62 \mu\text{Sv}$ 、東京にて $25 \mu\text{Sv}$ 、大阪にて $2.7 \mu\text{Sv}$ であった。本調査報告はUNSCEARやWHOの報告結果よりも1ケタ程度低かった。UNSCEARやWHOの結果は、飲食物の入荷状況について詳細な計算をせず、また、陰膳法

やマーケットバスケット法による観測結果との比較を行っていないものであり、推計結果は過大評価している。本研究により、より精緻な被曝量推計結果を提示することができた。

(2) 末木グループ

末木グループは、上述した大堀川流域に沈着した放射性セシウム量の測定を中心に進めた。これと並行して表層水溶存態中の放射性セシウムおよびヨウ素 129 の測定も行った。SS 中放射性セシウムと溶存態中の放射性セシウム濃度が強い相関を示すことを明らかにし、分配係数を求めることができた。また、大堀川流域では溶存態中の放射性セシウムとヨウ素 129 の間に相関関係があることが分かった。これらの関係が一般的であるかの実証を含めて、福島県内の帰宅困難地域を流れる請戸川で上流から下流に向けての表層水の採取と分析を行ったが、降水量が多い地域の河川では明らかな相関は見られないことから大堀川特有の現象であると理解される。同様に河川水中の溶存イオン濃度を ICP-MS を用いて測定し、放射性セシウムの溶出機構を視野において研究を続けている。

(3) 芳村グループ

芳村グループでは、平成26年度研究計画に沿い、モデル開発と数値実験の検証を行った。新しく開発されたスキームを導入して様々な感度実験を実施し、再現精度の評価を行った (Saya et al., 2015)。また、沖グループと連携し、放射性物質の沈着分布を流域水質シミュレータの入力値として用いる手法の開発に着手した。また、陸面に沈着した放射性物質が流出していく過程をモデリングするための河川流出モデルの開発を進めている。放射性物質輸送の再現精度の大幅な向上を目的として、低解像度の境界値データ (NCEP 再解析値) に代えて高解像度データ (気象庁 GPV-MSM) を数値モデル IsoRSM (Isotope-incorporated regional spectral model) に適用した。平成 23 年 3 月 21 日の関東地方への輸送の再現精度が低解像度境界値データ適用時に比べて大きく向上した。一方で、再現精度が低い数値モデルによる降水量の代わりに観測雨量データ (RADAR-AMeDAS) を用いた手法を開発し、湿性沈着量分布 (セシウム 137) の再現性を調査した。観測雨量を用いることで数値モデルにより再現された湿性沈着分布より再現性が向上することを確認した。平成 26 年度の成果としてモデル開発に関する複数の論文が国際誌に受理された。その他、モデル開発に関連した研究について、国内外で複数の学会発表を行った。

このように、各グループの密接な連携により、観測データとモデリングにもとづいた、大気中の移流拡散と流域中の放射性物質の挙動に関するシミュレータの開発が進んでおり、リスク推計や回避のための早期警戒に資する統合的なシステムが構築されつつある。

【代表的な原著論文】

1) Murakami, M. and Oki, T. (2014) Estimated Dietary Intake of Radionuclides and Health Risks for the Citizens of Fukushima City, Tokyo, and Osaka after the 2011 Nuclear Accident, PLOS ONE, 9(11), e112791, DOI: 10.1371/journal.pone.0112791.

2) Saya, A., K. Yoshimura, T. Oki, Simulation of radioactive tracer transport using IsoRSM and uncertainty analyses, *Journal of JSCE* 3, 60–66. (DOI:10.2208/journalofjsce.3.1_60, 2015)

3) Yukihiro Satou, Keisuke Sueki, Kimikazu Sasa, Jun-ichi Kitagawa, Satoshi Ikarashi, Norikazu Kinoshita, “Vertical distribution and formation analysis of the ^{131}I , ^{137}Cs , $^{129\text{m}}\text{Te}$, and $^{110\text{m}}\text{Ag}$ from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant in the beach soil” *J Radioanal. Nucl. Chem.* (2014) DOI 10.1007/s10967-014-3562-7.