

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

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(沖グループ):

2013年度は、研究計画の3年目として、芳村グループ、末木グループと緊密に連携をとりながら、主に大堀川を対象とした実態調査と流域水質シミュレータの開発に関する研究活動を進めた。

2013年度は、柏市を流れる大堀川に自動採水器を設置し、雨天時15イベント(計100サンプル)、晴天時15以上のサンプルを採取し、雨天時と晴天時の放射性Cs濃度の長期変動、イベント内の濃度の変動、分配係数の変動に寄与する因子の解明、流域内のストック量とフラックス量に関する調査を行った。その結果、①2012年から2年間で懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度(重量あたり)はおおよそ1/4まで低下したこと、②晴天時よりも雨天時の懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度(重量あたり)が有意に高いこと、③懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度(重量あたり)の変動は小さいのに対し、溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度(容量あたり)は変動し、試料によって分配係数が数倍程度異なること、④ $^{137}\text{Cs}$ の分配係数はSS濃度と負の相関があり、その理由として、粒径分布の違いが推察されること、⑤流域からの放射性Csの流出量は、地表面や河川や手賀沼堆積物のストック量と比べて限定的であること、を明らかにした。これらの結果から、流域水質シミュレータにおけるキャリブレーションデータとなるだけでなく、分配係数の補正の上でも有用な知見を提供することができた。市街地を対象とした放射性セシウムの動態解明に関する研究はチェルノブイリ事故、2011年事故においても非常に限られており、本成果によって極めて貴重な知見を提供できた。

検証の為のデータを入手可能な草木ダムを対象に流域水質シミュレータのチューニング及び再現実験も引き続き実施し、土砂収支、堆砂形状及び粒度分布等を数値計算によって解析し、論文発表を行った。その結果、ダムや構造物付近の河床形状が観測値と良く一致すること、また、ダムの土砂収支に着目した解析では、ダムへの堆積土砂量についても観測値と良く一致することを確認した。また、 $^{137}\text{Cs}$ 等は堆積物とともに浮遊砂にも吸着されやすいということが知られており、微細粒子に着目した土砂動態モデルによる知見が生かせると考えられる。その為、河道での堆積・沈降過程を取り込むことにより実現象を表現できるように改良を行ったうえで、混合砂礫モデルに基づく放射性セシウム動態モデルを構築した。今後は、芳村グループ、末木グループと緊密に連携を取りながら、流域水質シミュレータへの入力値として用いる手法の検討、放射性物質(ヨウ素)に着目した観測及びモデル開発を行う。

このほかにも、飲食物由来の放射性物質の被曝量とリスク評価、汚泥中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度放射線量の日変動に及ぼす機構の解明や原発事故後の故郷への帰還意志と放射線へのリスク認知に関する研究も実施した。飲食物由来の放射性物質の被曝量とリスク評価では、福島、東京、大阪の市民を対象に実施し、放射性ヨウ素と放射性セシウムに関する被曝量およびそのばらつき、発がんリスクを算出した。汚泥中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度放射線量の日変動は、福島県の県北浄化センターおよび県中浄化センターで測定されている脱水汚泥の $^{137}\text{Cs}$ 濃度ならびに脱水汚泥発生量に関する日単位のデータに基づいた。一日分の脱水汚泥に含まれる $^{137}\text{Cs}$ の放射能(Bq)を算出し、遞減特性に基づく成分分離手法の適用によって、3~4成分が存在することがわかった。得られた各成分の流動形態を理論的に考察した結果、通常的水文モデルとは異なる流動形態をとることが分かった。原発事故後の故郷への帰還意志と放射線へのリスク認知に関する研究では、放射線への恐ろ

しき因子(直感的な恐怖感を持ったり、その恐怖をコントロールできないと思う人ほど高い値を示す統計的な因子)に関するリスク認知が高いほど、故郷への帰還意志を持たないことが分かり、放射性物質のリスク認知が人々の行動に重要な要素であることが分かった。

メソスケールトレーサーモデルの開発(芳村グループ)：

本研究で発表したモデル開発と感度実験に関する論文(佐谷茜・芳村圭・沖大幹、IsoRSMを用いた放射性物質移流シミュレーション及び不確実性の分析、土木学会論文集 B1(水工学)、69、1765-1770, 2013.)で、主著者の佐谷茜氏が2014年3月に土木学会水工学論文奨励賞を受賞した。また、NDSL(Non-iteration dimensional-split semi-Lagrangian)という水平輸送スキームをIsoRSM(Isotope-incorporated regional spectral model)に実装することにより、ポイントソースの放射性物質の輸送精度が格段に高めることに成功した。また、沈着過程や格子解像度の感度実験とシミュレーション結果の検証をさらに進めた。さらに、海洋研究開発機構で開発されたVDVGEというソフトウェアを駆使して3次元的な表現による汚染物質の流れを可視化した。これらの結果は、2013年10月に筑波で行われた力学的ダウンスケーリングの国際ワークショップおよび2014年3月に開催されたCREST水循環モデリング合同国際シンポジウム「持続可能な水利用の実現に資する水循環モデリング」などで発表した。最後に、将来的に気象場や放射性物質の時空間分布データを用いた4次元データ同化を行うための下地として、水同位体比を対象にしたアンサンブルカルマンフィルタデータ同化システムを構築し、OSSE(観測システムシミュレーション実験)を行った。その結果、水蒸気同位体比をデータ同化することにより、同位体分布そのものだけでなく風速や気温といった大気場の時空間分布をも修正することができることが示された。この研究論文(芳村圭・三好建正・金光正郎、アンサンブルカルマンフィルタを用いた水同位体比データ同化に向けた理想化実験、土木学会論文集 B1(水工学)、69、1795-1800, 2013.)については、土木学会水工学論文賞を受賞した。

環境分析(末木グループ)：

2011年4-5月までに集めた土壌試料で既に壊変してしまった $^{131}\text{I}$ の測定結果が得られている福島県内の試料に対して長半減期同位体 $^{129}\text{I}$ の測定を加速器質量分析法で行ってきた。半減期が短く十分なデータが得られていない $^{131}\text{I}$ と長寿命でいつでも観測が可能な $^{129}\text{I}$ の福島原発事故由来の放出比を求めて、今後は $^{129}\text{I}$ の分析からすでに無くなっている $^{131}\text{I}$ の量の推定を可能にし、内部被ばく算定の基礎資料とする。原発から60km程度離れた地域までの試料から原子数比を求め、事故当時は入れなかった20km圏内の土壌試料からヨウ素129を求めその降下量から事故当時の $^{131}\text{I}$ の降下量を実際に推定した。2013年9月の日本地球化学会年会にて発表した。

また、沖グループ、芳村グループと連携しながら、放射性物質の発生源解析や流出モデルを検討するための対象サイトとして、蓬萊ダム流域および大堀川を選定した。新たに福島県請戸川における流域調査を開始した。河川水、泥中および周辺土壌の $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ および $^{129}\text{I}$ の分析を行い起源解析のための基礎データを出した。大堀川については昭和橋の定点観測と上流から下流

へ流域観測も行なった。定点観測及び流域観測で得られた河川水中の溶存態の中に含まれる<sup>137</sup>Cs濃度がそのとき得られる浮遊砂中の<sup>137</sup>Cs濃度と非常によい関係があること、また溶存態中の<sup>129</sup>I濃度と<sup>137</sup>Cs濃度とが無関係ではない結果を得た。請戸川では大堀川の約10倍の濃度が観測されることからより詳細な<sup>129</sup>Iの環境中での挙動の情報が得られた。2013年9月の日本地球化学会年会、2013年9月APSORC13、2014年3月AMSシンポジウムで発表した。

### § 3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### 論文詳細情報(国内)

- 1 Wei, Z., A. Okazaki, H. Maeda, Y. Satoh, M. Kiguchi, K. Noda, M. Koike, W. Kim, Z. Liu, and K. Yoshimura (2014) Investigating vegetation-atmosphere water exchange by using high frequency spectroscopy vapor isotope observations, 土木学会論文集 B1 (水工学) (in press)
- 2 鳩野美佐子・芳村圭・山崎大・沖大幹 (2014) 陸面・河川氾濫モデルによる洪水影響人口の全球実時間算定システムの構築, 土木学会論文集 B1(水工学) (in press)
- 3 小林秀平・横尾善之(2014) 土壌雨量指数と流域スケールの雨水貯留量の推定値との関係, 土木学会論文集 B1(水工学) (in press)

##### 論文詳細情報(国際)

- 1 Liu, Z., K. Yoshimura, N. H. Buening and X. He (2014) Solar cycle modulation of the Pacific–North American teleconnection influence on North American winter climate, *Environ. Res. Lett.* 9 (DOI:10.1088/1748-9326/9/2/024004)
- 2 Hatono, M., K. Noda, H.-J. Kim, S. Baimoung, K. Yoshimura, K. Oki, and T. Oki (2014) Analysis of the relation between surface water coverage and water volume using satellite data, *Hydrological Research Letters* (DOI: 10.3178/hrl.8.15)
- 3 Liu, Z., K. Yoshimura, G.J. Bowen, J.M. Welker (2014) Pacific–North American Teleconnection Controls on Precipitation Isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ) across the Contiguous United States and Adjacent Regions: A GCM-Based Analysis, *Journal of Climate* (DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00334.1)
- 4 Liu, Z., K. Yoshimura, C. D. Kennedy, X. Wang, S. Pang (2013) Water vapor  $\delta\text{D}$  over eastern Asia derived from SCIAMACHY satellite measurements, *Science China Earth Sciences* (DOI: 10.1007/s11430-013-4687-1).
- 5 Liu, G., K. Kojima, K. Yoshimura, T. Okai, A. Suzuki, T. Oki, F. Siringan, M. Yoneda, H. Kawahata (2013) A model-based test of accuracy of seawater oxygen isotope ratio record derived from a coral dual proxy method at southeastern Luzon Island, the Philippines, *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 2012JG002266. (DOI: 10.1002/jgrg.20074)
- 6 Yoshimura, K. and M. Kanamitsu (2013) Incremental correction for the dynamical downscaling of ensemble mean atmospheric fields, *Monthly Weather Review*, 141, 3087–3101 (doi:10.1175/MWR-D-12-00271.1).
- 7 Mouri, G., Shinoda, S., Oki, T., 2013. Assessment of the historical environmental changes from a survey of local residents in an urban–rural catchment, *Ecological*

- Complexity, 15, 83-96, DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.04.001.
- 8 Mouri, G., Shinoda, S., Golosov, V., Chalov, S., Shiiba, M., Hori, T., Oki, T., 2013. Estimating the collapse of aggregated fine soil structure in a mountainous forested catchment, *Journal of Environmental Management*, DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.08.014. (in press)
  - 9 Mouri, G., Takizawa, S., Fukushi, K., Oki, T., 2013. Estimation of the effects of chemically-enhanced treatment of urban sewage system based on life-cycle management. *Sustainable Cities and Society*, 9C, 23-31, DOI: 10.1016/j.scs.2013.02.003.
  - 10 Mouri, G., Golosov, V., Shiiba, M., T., Hori (2014) Assessment of the caesium-137 flux adsorbed to suspended sediment in a reservoir in the contaminated Fukushima region in Japan, *Environmental Pollution*, 187, 31-41, DOI: 10.1016/j.envpol.2013.12.018.
  - 11 Mouri, G., Ros, F. C., Chalov, S., 2014. Characteristics of suspended sediment and river discharge during the beginning of snowmelt in volcanically-active mountainous environments, *Geomorphology*, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.02.001. (in press)
  - 12 Yokoo, Y., Wattanakarn, C., Wattanakarn, S., Semcharoen, V., Promasakha na Sakolnakhon, K. and Soralump, S. (2014) Storage under the 2011 Chao Phraya river flood: An interpretation of watershed-scale storage changes at two neighboring mountainous watersheds in northern Thailand, *Hydrological Research Letters*, 8, 1-8, (DOI: 10.3178/hrl.8.1)
  - 13 Kobayashi, S. and Yokoo, Y. (2013) Estimating watershed-scale storage changes from hourly discharge data in mountainous humid watersheds: toward a new way of dominant process modeling, *Hydrological Research Letters*, 7, 97-103. (DOI: 10.3178/hrl.7.97)
  - 14 Koibuchi, Y. (2013) Tracing fine-grained sediment transport around Tokyo Bay using cesium-134 and cesium-137 originating from Fukushima Daiichi Power Plant, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 169, 191-201. (DOI: 10.2495/CP130171)

### (3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 0 件)