文献 ID：13-20-001

1．基本情報

区分	市街地	担当者名	小島 啓輔
タイトル（英文）	Human and environmental factors affecting the activity of ^{131}I and ^{137}Cs in urban wastewater: A case study		
タイトル（和文）	都市下水における ^{131}I と ^{137}Cs の放射能に影響を与える人的および環境的要因：事例研究		
キーワード	Radioactivity; 137-Cs; 131-I; Sewage sludge samples; Wastewater treatment plant		
著者	Zannoni, Daniele; Cantaluppi, Chiara; Ceccotto, Federica; Giacetti, Walter; Lovisetto, Barbara		
文献	Journal of Environmental Radioactivity (2019) 198, 135-146		

（1）対象地域

- イタリア北東部の Veneto 地域
- 17 地点の下水処理場を対象とし、2012 年から 2017 年までの汚泥調査結果（624 試料）による考察
- 各下水処理場における下水汚泥の採取時期は原則月ごとであるが、各下水処理場でばらつきがある（6 年間で 2～51 回）
- 下水汚泥の一時貯留槽が満杯になるタイミングで汚泥を採取し、脱水・均一化したものが測定対象試料

（2）重要な図表

（図表は全体で 2 枚まで）

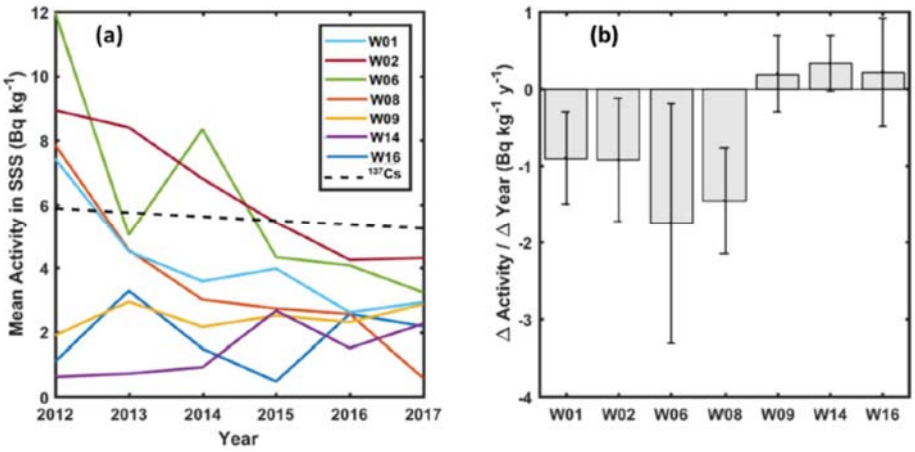

Fig. 9. (a) mean annual activity of ^{137}Cs in SSS in the study period. The dashed line represents the expected trend of ^{137}Cs activity with initial activity of 6 Bq kg^{-1} (t_0 = 2012). (b) Means of approximate derivative of ^{137}Cs activity in SSS between 2012 and 2017 for the treatment plants of figure (a). Error bars are the mean of uncertainties estimated from the year-by-year differences with the error propagation formula.

6 年にわたる調査の結果、下水汚泥中 ^{137}Cs 放射能は全ての下水処理場で検出されており、全体的な検出頻度は約 36%であった。^{137}Cs の検出頻度と放射能には、南北方向の勾配がみられた。また、対象地域を縦断する Brenta 川からの距離が長くなるにつれて放射能濃度が減少する傾向が確認された(Fig. 8)。下水汚泥中の ^{137}Cs 放射能が人口密度と有意な相関がないことから、本対象地域においては人が ^{137}Cs 放

射能の供給源でないことが示唆された。

Fig.9(a)は、各下水処理場（少なくとも年 1 回 ^{137}Cs が検出された下水処理場のみ）の下水汚泥中年間平均 ^{137}Cs 放射能を経年的に表したものであり、破線は 2012 年に 6 Bq/kg としたときの放射性崩壊を示している。2012 年から 2015 年にかけて北部（W01～W08）の下水汚泥中年間平均 ^{137}Cs 放射能は急激な減少を示しているが、^{137}Cs 放射能の放射性崩壊とは一致していない。一方、同時期の南部（W09～W16）では同じ傾向はみられない。また、Fig. 9(b)は 2012 年から 2017 年までの下水汚泥における年間平均 ^{137}Cs 放射能の近似導関数であり、（この時のエラーバーは、誤差を考慮して誤差伝搬式で試算している）。北部の下水処理場で下水汚泥中年間平均 ^{137}Cs 放射能が減少するのに対して、南部の下水処理場では下水汚泥中年間平均 ^{137}Cs 放射能が微増していることを示している。

土壌損失と放射性核種の損失には有意な相関が見出せないとの既往の報告を考慮すると、上記の結果から、対象地域北部の土壌や底質に存在していた ^{137}Cs 放射能が取り除かれ、（時間とともに ^{137}Cs 放射能が微増している）下流（南部）に移動したという大規模置換が生じていると仮定した。ただし、以下の 2 つの問題が残っている。1 つ目は、対象地域に対して測定箇所が限られていることと検出件数が不均一であること。2 つ目は、Fig.9(b)の南部の下水処理場においてエラーバーにゼロが含まれているため、この微増が有意ない可能性があること。将来の研究に期待している。

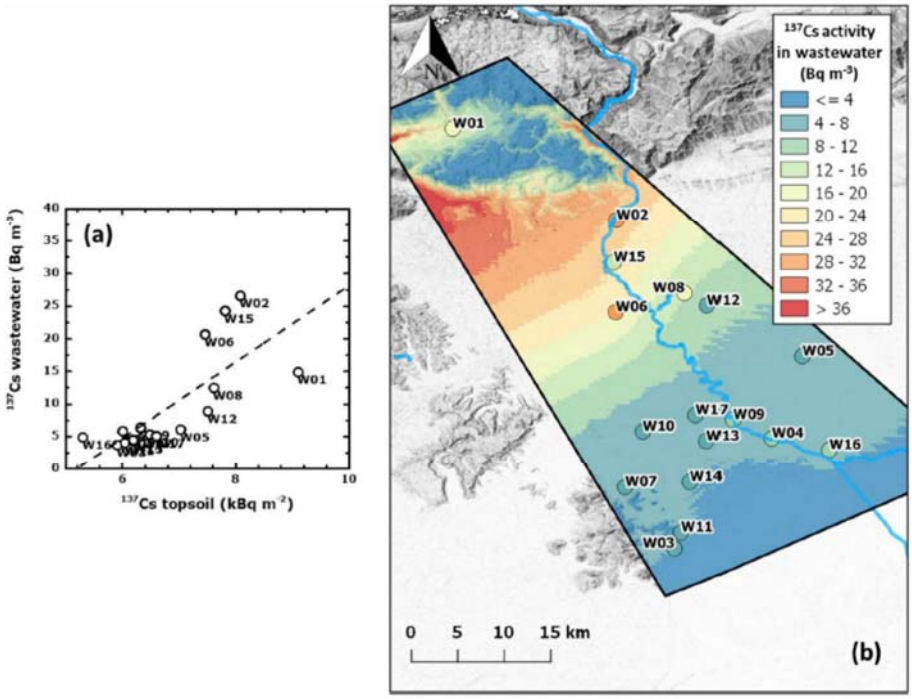

Fig. 12. (a) Comparison between ^{137}Cs activity in topsoil and ^{137}Cs activity in wastewater estimated with the hybrid geostatistical model. Topsoil ^{137}Cs activity interpolated and normalized for December 2017 (Battiston et al., 1988). Dashed line is the best fit with equation $y=(6 \pm 1)x - (30 \pm 9)$ ($R^2 = 0.55$). (b) Predicted activity of ^{137}Cs in wastewater, mapped contiguously in the study area using a hybrid geostatistical model. Mean ^{137}Cs activity in treatment plant influx and contour pattern have the same color index. Brenta river is reported for reference. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

下水流入水中の ^{137}Cs 放射能は、下水汚泥中 ^{137}Cs 放射能の測定値を用いて式（1）により計算される。また、各下水処理場の地理的標高と平均年降水量をパラメータとした式（2）に残渣の空間自己相関を考慮したハイブリッド地球統計学的手法によって、下水汚泥中 ^{137}Cs 放射能から試算した下水流入水中の ^{137}Cs 放射能を予測することは有意であることが示された（Fig.10）。

さらに、Fig.12(a)において、文献データ（チェルノブイリ原発事故による沈着）を用い補間して推定された各下水処理場の地点における土壌表面の ^{137}Cs 放射能とハイブリッド地球統計学的手法によって

推定された下水流入水中 ^{137}Cs 放射能との間には、良好な相関が確認された。Fig.12(b)は、ハイブリッド地球統計学的手法によって予測された 2017 年 12 月 31 日時点の下水流入水中の ^{137}Cs 放射能と既往の研究の土壌表面の ^{137}Cs 放射能を地図表示したものである。土壌表面の ^{137}Cs 放射能[Bq/m^2]は、Fig.12(a)の関係を用いて ^{137}Cs 放射能[Bq/m^3]に変換してあり、下水流入水中の ^{137}Cs 放射能と既往の研究の土壌表面の ^{137}Cs 放射能のコンターパターンはよく一致している。以上から、下水汚泥中の ^{137}Cs 放射能分析は、研究対象地域における ^{137}Cs 放射能の地理的パターンを正しくとらえることができているといえる。

なお、^{131}I の検出頻度は人口密度と高い相関を示している。また、下水処理場の規模を人口等量で表すと、下水処理場の規模が大きいと汚泥日齢が長いため下水汚泥中の ^{131}I 放射能と人口等量には負の相関があることを示している。以上から、下水処理水中 ^{131}I 放射能の分布には、各下水処理場への供給人口が関与していると結論付けている。

2. 提言につながる情報

（1）モニタリングへの活用

下水汚泥という容易に試料採取できるもので、周辺地域の ^{137}Cs 放射能の地理的パターンを評価できることができれば、時空間的なモニタリングが容易になると考えられる。ただし、他の地域にも適用できるのかを検討する必要がある。

（2）流出挙動・経路

河川の上流部から下流部（本論文では、北部から南部）へ ^{137}Cs 放射能が移動しているのではないかという仮定が提案されている。

（3）除染の際の留意点

特になし。

（4）担当者のコメント

下水汚泥中の ^{137}Cs 放射能を評価することで、周辺地域の ^{137}Cs 放射能の地理的パターンを評価できることは素晴らしいが、以下の懸念がある。下水汚泥中の ^{137}Cs 放射能　⇒　下水流入水中の ^{137}Cs 放射能　⇒　ハイブリッド地球統計学的手法による下水流入水中の ^{137}Cs 放射能　⇒　過去のデータを用いた土壌表面の ^{137}Cs 放射能と比較していっているが、それぞれの比較過程では複数の仮定が含まれているので、最終的に下水汚泥中の ^{137}Cs 放射能　⇒　過去のデータを用いた土壌表面の ^{137}Cs 放射能が成り立つかは確認が必要である。しかしながら、本論文ではこの最終確認が行われていないことに留意が必要かと考えられる。

長期にわたる調査結果を用いて解析・考察を行っているが、どのデータをどのように使用したのかについては詳細な説明がないため、本論文を読んだだけで同様な解析を実施するのは困難だと感じた。