下水処理場におけるセシウムおよびストロンチウムの移行・濃縮挙動

岩手大学工学部　　○加賀谷　功人・千葉　光悦
岩手大学工学部　正会員　石川　奈緒・伊藤　歩・海田　輝之

1.はじめに

2011 年の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が環境中に放出され、その一部は下水を通じて下水処理場へ流入し、下水汚泥および焼却灰へ濃縮され問題となっている。そこで本研究では、放出された放射性物質の中でも問題となっている Cs および Sr に着目し、下水処理場へ流入した Cs および Sr が処理過程において、どのように移行するのかを検討した。

2.実験方法

2.1 モニタリング調査

調査は岩手県内のA下水処理場（一部合流）で行った。採取した試料は流入水、放流水、脱水汚泥および焼却灰である。流入水、放流水は 2011 年 7 月から 12 月まで、脱水汚泥と焼却灰は 6 月から 12 月まで毎月 1 回試料を採取した。

各試料中の Cs および Sr の濃度または含有量を測定した。流入水、放流水、脱水汚泥および焼却灰をビーカーに適量とり、硝酸と塩酸により分解濃縮し、0.45μm のろ紙で吸引ろ過した。ろ液の Cs の濃度を ICP 質量分析装置（Agilent,HP4500）にて、Sr の濃度を ICP 発光分析装置(SIMADZU,ICPE-9000)にて測定した。

また、各試料の放射性 Cs（^{134}Cs,^{137}Cs）濃度を Ge 半導体検出器（Seiko,EG&G Ortec）で測定した。

2.2 吸着実験

Sr について、活性汚泥への吸着特性を把握するため吸着実験を行った。1l 振とうフラスコに返送汚泥 300ml、超純水 690ml を入れ、初期 Sr 濃度が 5、10、50、100mg/l になるように Sr 溶液を 10ml 添加した。25℃の恒温室内で振とう機にて振とうした。振とう後 3、6、48 時間目に試料を採取した。試料は遠心分離（3000rpm,10 分）を行い、0.45μm のろ紙で吸引ろ過した。ろ液の Sr 濃度を ICP 発光分析装置にて測定した。また、試料の pH と酸化還元電位を pH メーターで測定した。pH は 4～7、酸化還元電位は約 300～600mV で実験中はほぼ安定していた。実験開始時の MLSS 濃度は 1600～2000mg/l であった。

3．実験結果

3.1 モニタリング調査

震災前に採取した焼却灰では放射性 Cs は不検出（^{134}Cs < 6.6Bq/kg, ^{137}Cs < 5.7Bq/kg）であり、震災後の焼却灰では検出されていることから、検出されている放射性 Cs は震災に伴う上記事故により放出されたと考えられる。流入水は検出できないほど低濃度（$^{134+137}$Cs<0.6Bq/l）であるものの、焼却灰では 6 月は高い放射性 Cs 含有量を示したことから、流入水から焼却灰への濃縮が起こっていると考えられる。

図 1 に焼却灰中の放射性 Cs 含有量の経時変化を示す。6 月から 10 月の試料について焼却灰中の放射性 Cs 含有量は時間とともに減少している。また、安定 Cs は全期間を通して 0.5mg/kg～1.3mg/kg の範囲内で大きな変化は見られなかった。

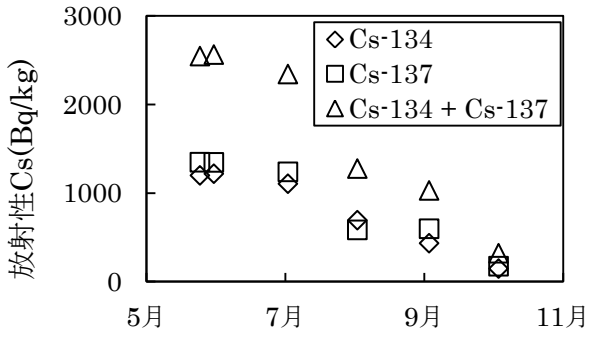

図 1　焼却灰中の放射性 Cs 含有量の経時変化

放射性物質、下水処理、Cs、Sr
岩手大学：岩手県盛岡市上田 4-3-5　TEL&FAX 019-621-6982

表 1 に各月でまとめた流入水から放流水への Sr の残存率、流入水から汚泥、加えて汚泥から焼却灰への Sr の移行率を示す。採取試料の Sr 濃度は流入水では 40～70μg/l、放流水では 20～40μg/l、含有量は汚泥で約 100mg/kg、焼却灰で 400~600mg/kg であり、月毎での大きな変化は見られなかった。月毎の Sr 総流入量（A）は、試料の Sr 濃度(μg/l)に月の総流入水量を乗じて得らた。月毎の Sr 総放流量（B）も同様に求めた。流入水から放流水への残存率（C）、流入水から汚泥への移行率（E）、汚泥から焼却灰への移行率（G）は次のように求められる。

$C = B \div A \times 100$ （%）

$E = D \div A \times 100$ （%）

$G = F \div D \times 100$ （%）

流入水から放流水への残存率が 58%以上となり、流入した Sr の 5 割以上が放流されることが示された。また、流入水の 10%～20%程度が汚泥へ移行し、汚泥中の Sr はほぼ全量が焼却灰に濃縮されることがわかった。

表 1 下水処理システムにおける Sr の移行率

	A 流入水 (kg/月)	B 放流水 (kg/月)	C 流入水から放流水への残存率 (%)	D 汚泥 (kg/月)	E 流入から汚泥への移行率 (%)	F 焼却灰 (kg/月)	G 汚泥から焼却灰への移行率 (%)
7月	173.8	123.9	71	22.9	13	33.6	147
8月	258.4	150.7	58	22.7	9	30.9	136
9月	238.4	140.8	59	26.1	11	27.1	104
10月	197.5	150.7	76	20.4	10	21.7	106
11月	135.1	105.2	78	18.2	13	18.3	101
12月	121.5	116.8	96	23.6	19	24.0	102

3.2 吸着実験

Sr の吸着等温線を図 2 に示す。得られた吸着等温線を Freundlich 式に当てはめた。

$Q = K_F C^n$

Q: 吸着量(mg/kg)　C: 溶液中濃度(mg/l)

K_F: Freundlich 係数(L/kg)　n: Freundlich 指数

例として採取時間 3 時間目の近似曲線の式を示す。3 時間目と 6 時間目は Freundlich 式によく当てはまっている（相関係数 $R^2 > 0.99$）が、48 時間目は当てはまらなかった。このことから、48 時間目では吸着特性が変化していると考えられる。

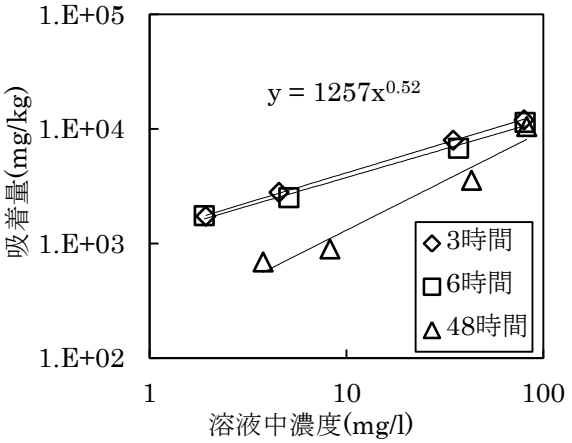

図２　採取時間3,6,48時間目における Sr の吸着等温線

４．まとめおよび考察

焼却灰中の放射性 Cs は震災後から検出されており、下水処理により汚泥や焼却灰に濃縮することが示された。また、焼却灰中の放射性 Cs は時間の経過により減少していることも明らかになった。一方、Sr は処理場に流入してきた一割程度は汚泥に移行し、移行した Sr のほぼ全量が焼却灰に濃縮していることが示された。Sr の吸着等温線は 3、6 時間目は Freundlich 式に当てはまるが、48 時間目は当てはまらなかった。このことから、48 時間目では吸着特性が変化していると考えられる。