

焼却灰を加えて作成した模擬汚染土壌中の焼却灰混入率推計の試み

堀内孝信¹・土屋としみ²・山岸良典³・鹿角孝男⁴

焼却灰等による土壌汚染を想定して汚染物質の混入率を推計する手法について、模擬試料を作成して検討した。推計方法は、模擬試料および土壌の化学成分分析値と既報の焼却灰組成とからNa, K, Ca, Zn及びPbを指標成分とし、CMB法による解析を行った。その結果、焼却灰混入率16.1～4.0%に対して14.8～6.3%の推計値を得ることができた。

キーワード：焼却灰，土壌汚染，混入率，CMB法

1. はじめに

廃棄物による土壌汚染の例として、焼却灰等の重金属を高濃度に含む廃棄物が土壌に混入するケースが報告されている¹⁾。このような土壌汚染があった場合、一般には汚染状況を把握するために廃棄物等が混ざった試料と周辺の汚染のない土壌を採取して重金属濃度を測定する方法で調査が行われてきた。しかし、重金属濃度が得られても、どのような組成の廃棄物がどれくらい混入しているかということ推計することはできなかった。

本報告では、実験的に土壌に焼却灰を混ぜた模擬汚染土壌を作成して焼却灰の混入率の推計を試みたので報告する。

2. 実験方法

2.1 模擬試料の作成

模擬試料用の焼却灰は長野県内の一般廃棄物焼却施設で採取した焼却灰（主灰）を用いた。焼却灰の全量を、粉砕器を用いて粉砕した後、0.15mmのふるいを通し、ふるい上に残ったものはメノウ乳鉢を用いてすりつぶし、全量がふるいとのおりまで操作を繰り返した。ただし、釘などの金属成分で粉砕す

ることが困難な物質は取り除いた。

土壌試料は、長野県内の原野で重金属汚染のほとんどないと思われる地点の表層土壌を採取して用いた。風乾後2mmのふるいを通して小石等を取り除き、焼却灰と同様に粉砕、すりつぶしを行った。

模擬試料の作成は、焼却灰が土壌に混入したケースを想定して次のように行った。粉砕した土壌に焼却灰を重量比で16.1%、8.1%、4.0%となるよう混合し、3段階の濃度の試料を作成した。これらの試料は均一になるように粉砕器で約3分間混合した。

2.2 分析方法

分析項目は焼却灰等に特徴的な成分であり、汚染の指標元素として用いることが可能なCa, Na, K, Zn及びPbについて行った。分析方法は底質調査方法²⁾のZnの分析方法である塩酸・硝酸分解、フレイム原子吸光法によった。Caは測定時に塩化ランタンを0.8%となるよう添加して測定した。

3. 焼却灰混入率の推計

3.1 模擬試料等の分析結果

2.1で調製した模擬試料と、混合前の焼却灰および土壌の成分組成について分析結果を表1に示す。

表1 模擬試料等の成分実測値

試料名	混入率* (%)	(単位: mg/kg)					
		Na	K	Ca	Zn	Pb	
模擬試料	①	16.1	5500	8600	23100	830	150
(土壌+焼却灰)	②	8.1	2900	8300	15800	510	110
	③	4.0	1900	7900	10100	290	63
焼却灰			30500	9900	115000	4200	770
土 壌			200	7500	4300	82	23

*: 模擬試料中の焼却灰の割合

- | | | | |
|---|---------------------|-----------|------------------|
| 1 | 長野県環境部 廃棄物対策課 | 〒380-8570 | 長野市大字南長野字幅下692-2 |
| 2 | 長野県環境保全研究所 食品・生活衛生部 | 〒380-0944 | 長野市安茂里米村1978 |
| 3 | | 〒383-0006 | 中野市厚貝 |
| 4 | 長野県環境保全研究所 循環型社会部 | 〒380-0944 | 長野市安茂里米村1978 |

3.2 焼却灰混入率の推計手法

混入率の推計にはケミカルマスバランス法³⁾～⁴⁾(CMB法)を用いた。発生源データには非汚染土壌と未知の焼却灰データを用い、環境濃度の実測値には模擬試料のデータを用いた。発生源データの数は、例えば大気汚染の場合自動車、土壌、海塩など複数の発生源データが用いられるが、ここでは非汚染土壌の一つの未知の焼却灰が混入したもっとも単純なケースを想定した。CMB法の計算には早狩らのフリーウエア⁴⁾を使用し、未知の焼却灰データとして既報の焼却灰成分組成データを収集して用いた。

3.3 焼却灰成分組成データの収集

土壌汚染の現場で我々が入手できるのは焼却灰等が混入した汚染土壌(模擬試料に相当)と周辺の非汚染の土壌であって、混入された焼却灰そのもの(未知の焼却灰に相当)を入手することは通常はできない。このため未知の焼却灰に相当する解析用データとして、既報のストーカー式一般廃棄物焼却炉のデータで、Ca, Na, K, Zn及びPbの分析データが記載されているもの(例えば廃棄物学会誌等⁵⁾～⁶⁾)を収集したところ19件が収集できた。これらのデータを表2に示す。

表2 焼却灰成分組成データ

No.	(%)				
	Na	K	Ca	Zn	Pb
1	2.44	1.22	12.20	0.56	0.100
2	2.39	0.82	13.10	0.27	0.073
3	1.85	1.10	17.70	0.16	0.051
4	1.10	1.30	11.00	0.51	0.110
5	1.46	1.57	1.26	0.25	0.100
6	2.01	1.15	16.14	0.47	0.050
7	2.01	1.17	15.86	0.32	0.080
8	1.90	0.76	11.40	0.54	0.278
9	1.24	0.39	10.10	0.74	0.319
10	1.11	0.32	12.90	0.37	0.113
11	1.17	0.32	16.20	0.37	0.197
12	4.74	0.43	6.25	1.01	0.310
13	4.40	0.42	6.05	0.45	0.270
14	1.58	1.17	18.50	0.38	0.066
15	1.74	1.40	15.10	0.43	0.100
16	1.55	0.76	9.64	0.15	0.024
17	1.85	1.08	13.00	0.40	0.024
18	1.33	1.53	14.20	0.69	0.319
19	2.60	2.50	14.40	0.64	0.170
ave	2.02	1.02	12.37	0.46	0.145
min	1.10	0.32	1.26	0.15	0.024
max	4.74	2.50	18.50	1.01	0.319

3.4 混入率の計算

混入率の計算は3.2に示したとおり、発生源データとして非汚染土壌(表1)と既報の焼却灰データ(表2, n=19)を、環境濃度として模擬試料のデータ(表1, ①～③)をそれぞれ用い、各模擬試料について既報の焼却灰データを入れ替えながら19とおりの計算を行った。

結果の一部を表3に示す。ここで実測値と予測値との比率(C/M)の値が100%に近いものほど環境濃度をよく再現していると言える。言い換えれば、実験で使用した焼却灰と文献の組成が類似しているということになる。C/Mの値は5項目全体で判断する必要があるため、各C/M比の偏差平方和を算出して指標に用いた。表3に示した計算結果は各模擬試料についてC/M比の偏差平方和の値が小さく、実験結果をもっともよく再現していると判断されたものを示している。

焼却灰混入率の推計結果は灰文献値欄の寄与率(%)で示される。実際の混入率16.1%, 8.1%, 4.0%に対して計算結果はそれぞれ14.8%, 8.9%, 6.3%であり、-1.3%～+2.3%の範囲にあった。また非汚染土壌と焼却灰の寄与(R)の和は1.00～1.04となり妥当な値であった。

なお、確認のため焼却灰データとして発生源の灰文献値に表1に示した焼却灰そのものの値を入れて計算を行ったところ、混入率は15.7%, 9.0%及び5.2%と0.4～1.2%の誤差範囲にあった。また、C/M比は91～112%の範囲にあり、平均値は100%であった。

以上の結果から、今回作成した模擬試料については、焼却灰の既報のデータを用いて未知の焼却灰の混入率を実用的なレベルで推計することができたと考えられる。

4. 実試料についての推計事例

当所で扱った土壌汚染調査について焼却灰混入率の推計を行った2件の事例を表4に紹介する。焼却灰混入率は4.0～4.2%, 寄与(R)の和は1.06～1.08であり、推計が可能であった。

表3 混入率の計算結果

成分	発生源 (mg/kg)				環境濃度 (mg/kg)					
	土壌		灰文献値 No. 1		模擬試料① (M)		予測値 (C)		C/M (%)	
	実測値	標準偏差	文献値	標準偏差	実測値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
Na	200		24400		5500		3903	0.0	71	0.0
K	7500		12200		8600		8495	0.0	99	0.0
Ca	4300		122000		23100		22418	0.0	97	0.0
Zn	82		5600		830		928	0.0	112	0.0
Pb	23		1000		150		173	0.0	115	0.0
寄与 (R)	0.882	0.076	0.153	0.006						
寄与率 (%)	85.2	7.4	14.8	0.6	実混入率 16.1 %					

C/M偏差平方和 1225
Σ R 1.035

成分	発生源 (mg/kg)				環境濃度 (mg/kg)					
	土壌		灰文献値 No. 1		模擬試料② (M)		予測値 (C)		C/M (%)	
	実測値	標準偏差	文献値	標準偏差	実測値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
Na	200		24400		2900		2439	0.0	84	0.0
K	7500		12200		8300		8246	0.0	99	0.0
Ca	4300		122000		15800		15312	0.0	97	0.0
Zn	82		5600		510		595	0.0	117	0.0
Pb	23		1000		110		114	0.0	104	0.0
寄与 (R)	0.947	0.074	0.092	0.004						
寄与率 (%)	91.1	7.2	8.9	0.4	実混入率 8.1 %					

C/M偏差平方和 553
Σ R 1.040

成分	発生源 (mg/kg)				環境濃度 (mg/kg)					
	土壌		灰文献値 No. 2		模擬試料③ (M)		予測値 (C)		C/M (%)	
	実測値	標準偏差	文献値	標準偏差	実測値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
Na	200		23900		1900		1676	0.0	88	0.0
K	7500		8200		7900		7526	0.0	95	0.0
Ca	4300		131000		10100		12169	0.0	120	0.0
Zn	82		2730		290		247	0.0	85	0.0
Pb	23		730		63		67	0.0	106	0.0
寄与 (R)	0.933	0.070	0.062	0.003						
寄与率 (%)	93.7	7.0	6.3	0.3	実混入率 4.0 %					

C/M偏差平方和 838
Σ R 0.996

表4 焼却灰混入率の推計事例

成分	発生源 (mg/kg)				環境濃度 (mg/kg)					
	土壌		灰文献値 No. 3		汚染事例No. 1 (M)		予測値 (C)		C/M (%)	
	実測値	標準偏差	文献値	標準偏差	実測値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
Na	470		18500		1360		1304	0.0	96	0.0
K	2930		11000		3370		3475	0.0	103	0.0
Ca	2300		177000		10400		10237	0.0	98	0.0
Zn	46		1620		97		119	0.0	123	0.0
Pb	20		510		56		43	0.0	77	0.0
寄与 (R)	1.018	0.081	0.045	0.003						
寄与率 (%)	95.8	7.6	4.2	0.3	C/M偏差平方和 1076 Σ R 1.063					

成分	発生源 (mg/kg)				環境濃度 (mg/kg)					
	土壌		灰文献値 No. 6		汚染事例No. 2 (M)		予測値 (C)		C/M (%)	
	実測値	標準偏差	文献値	標準偏差	実測値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
Na	276		20100		1020		1148	0.0	113	0.0
K	1160		11500		1680		1694	0.0	101	0.0
Ca	2990		161400		12600		10018	0.0	80	0.0
Zn	65		4700		296		269	0.0	91	0.0
Pb	9		500		27		31	0.0	114	0.0
寄与 (R)	1.035	0.110	0.043	0.003						
寄与率 (%)	96.0	10.2	4.0	0.3	C/M偏差平方和 854 Σ R 1.078					

文 献

- 1) 東條安匡・松藤敏彦・松尾孝之・肴倉宏史・田
中信寿 (1999) 焼却灰飛散による最終処分場周
辺土壌の重金属濃度, 廃棄物学会論文誌,10:311-
320
- 2) 環境省水質保全局水質管理課, 底質調査方法と
その解説改訂版 (1988)
- 3) 横浜市公害研究所, 浮遊粉じんの発生源推定に
関する調査研究報告 (1989)
- 4) 早狩進・花石竜治 (2001) 環境データ解析用
表計算マクロの紹介と解析例 (II)-CMB 法解析
マクロ -, 大気環境学会誌,36:39-45
- 5) 平岡正勝・酒井伸一 (1994) ごみ焼却飛灰の
性状と処理技術の展望, 廃棄物学会誌,5:3-17
- 6) 森美由紀・占部武生 (1998) 蛍光 X 線分析装
置による焼却灰等の定量分析 (検量線) 法の検
討, 第 9 回廃棄物学会研究発表会講演論文集
:395-397

Estimates for the mixing rate of experimentally-mixed incineration ash in soil

Takanobu HORIUCHI¹, Toshimi TSUCHIYA², Yoshinori YAMAGISHI³ and Takao KATSUNO⁴

- 1 Nagano Prefecture Environment Department Waste Control Division,
692-2 Habashita Minaminagano, Nagano 380-8570, Japan
- 2 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Public Health Division,
1978 Komemura Amori, Nagano 380-0944, Japan
- 3 Akkai, Nakano 383-0006, Japan
- 4 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division,
1978 Komemura Amori, Nagano 380-0944, Japan