

焼却炉周囲における土壌中放射性セシウム濃度の異常上昇

岩見億丈¹⁾、中屋諒大¹⁾、
笹井康則²⁾

1)岩見神経内科医院

2)みなとや調剤薬局

Iwami Neurological Clinic

1

第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会

2015 年 9 月 2 日

九州大学伊都キャンパス

セッション C6

排ガス処理放射性物質の挙動

C6-5

焼却炉周囲における土壌中放射性セシウム濃度の異常上昇

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest, including any governments, any agencies, and any organizations.

Iwami Neurological Clinic

2

利益相反はスライドに示すとおりである。

はじめに

- バグフィルターが排ガス中放射性セシウム99%除去？
- 宮古市焼却炉
 - 物質収支的: 灰へのセシウム回収率約8割
 - 空間線量率: 風下で上昇(セシウム?)
- 環境中(土壌)の放射性セシウム濃度分布を調査
 - 焼却炉からのセシウム漏出を検討

Iwami Neurological Clinic

3

我々は、焼却炉のバグフィルターが排ガス中放射性セシウムの 99%以上を除去するという仮説に疑問を持ち研究を続けてきた。今回、焼却炉周囲の土壌中放射性セシウム濃度を調査し、焼却炉からのセシウム漏出を検討した。

土壤中放射性セシウム濃度の研究方法

- 測定器: Ge半導体検出器SEG-EMS (GEM25P4-70)
- 分析ソフト: Gamma station Ver1.7.8
- 土壌採取日: 2014年9月～11月
- 採取場所: 宮古市焼却炉周囲半径約9km以内
一般家庭の庭225、山93、公園校庭等8
- 採取方法: 地表下5cmまでの土をU8容器に100ml採取
- 測定下限値: Cs134、Cs137ともに5Bq/kg未満を確保
- 統計学的検討: 測定下限値には下限値の1/2の値
2014年9月1日の放射能濃度に換算
土壌濃度に対数正規分布を仮定
- 地図表示: グーグルマップ

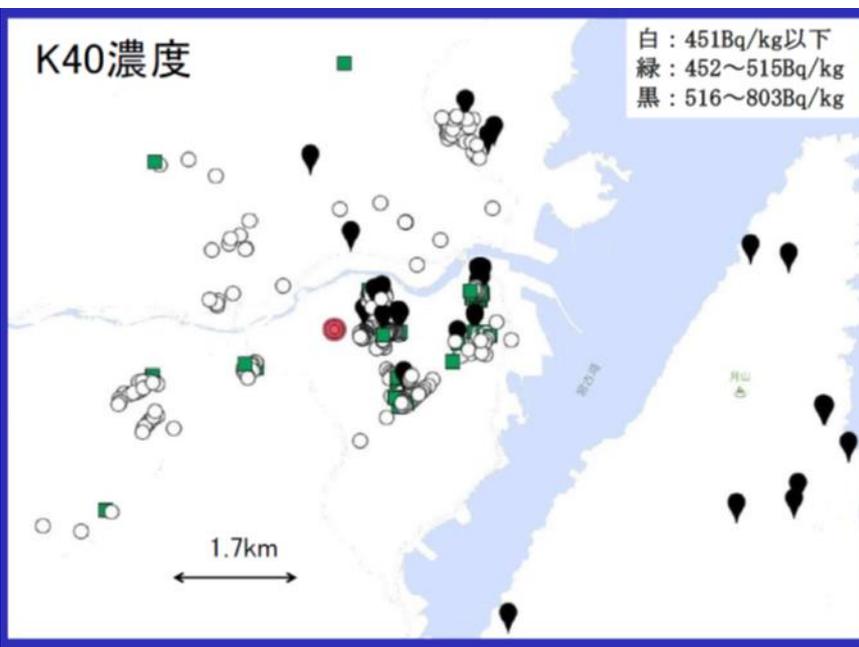
Iwami Neurological Clinic

4

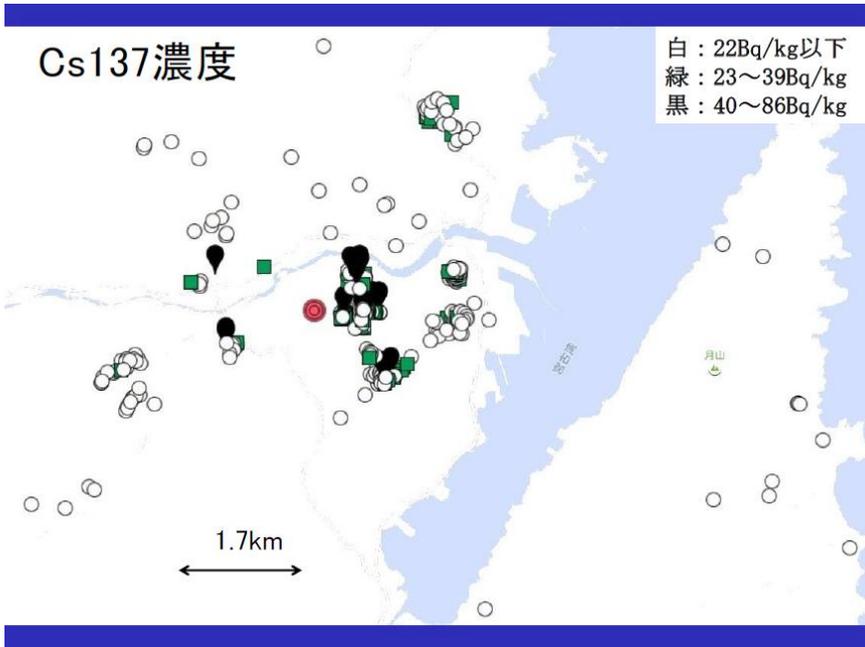
土壌中セシウム濃度の研究方法をスライドに示す。土は、焼却炉からの離距離 9km 以内のもので、一般家庭の庭 225 検体、山 93 検体、公園校庭等 8 検体である。



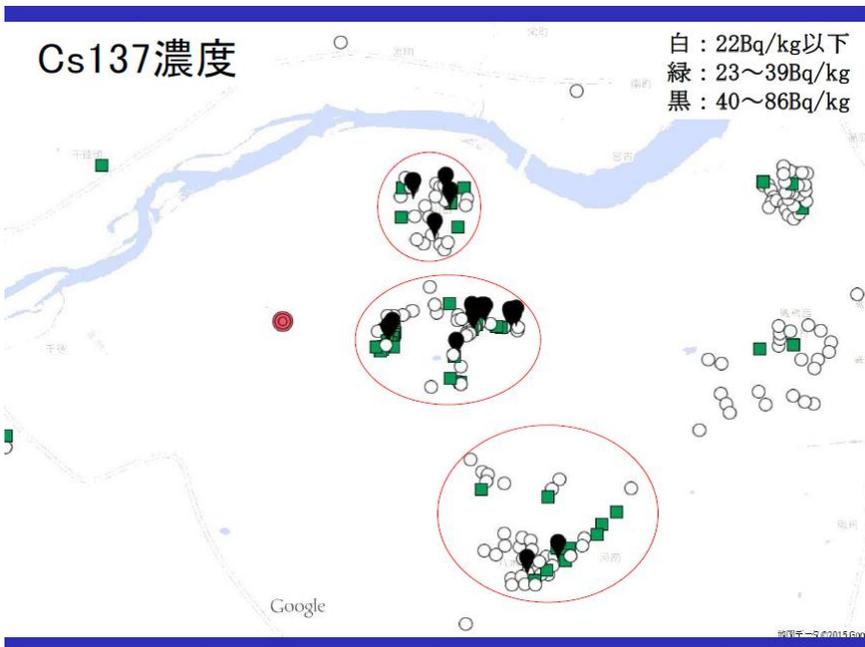
赤丸で示す宮古市焼却炉は、標高 100m の山の中にある。山の土は緑の丸で示す 2 つの地域で採取した。また、家庭の土は、主に住宅地区で採取した。



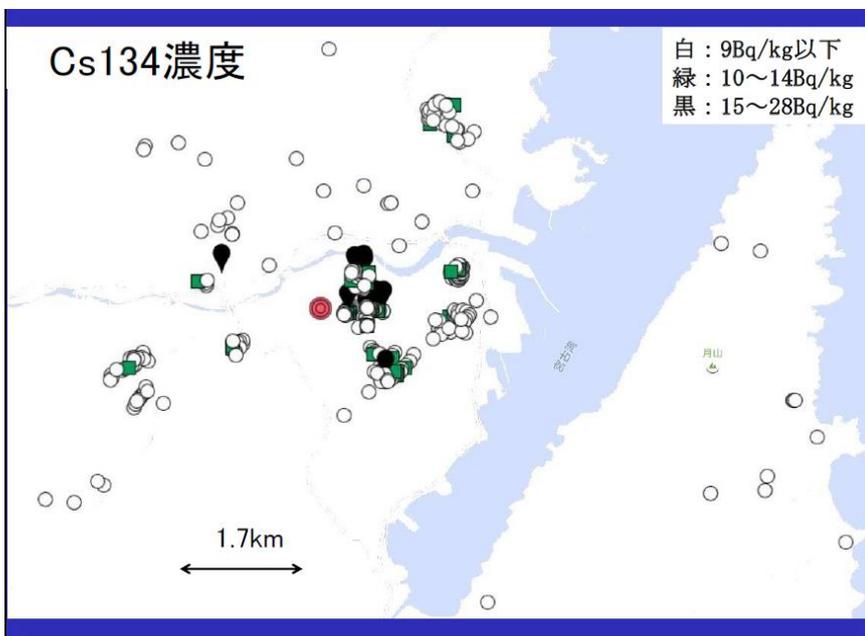
結果をグーグルマップで示す。K40 の土壌濃度は焼却炉東側で高濃度地点が多く認められ、その分布は昨年我々が本学会で示した空間線量率の上昇地域と類似していた。



Cs137 は焼却炉周囲 1.7km 未満の地点に高濃度土壌が集中している。



拡大して示すと図のようになり、Cs137 の幾何平均値は、焼却炉北東の小山田住宅地区で 13Bq/kg、東側のラサ山で 17Bq/kg、南東の八木沢住宅地区では 14Bq/kg であり、1.7km 以上離れた地点の 6Bq/kg より高値である。



Cs134 についても同様で、焼却炉周囲 1.7km 未満に高濃度地点が集中している。



拡大して示すと図のようになり、Cs134 の幾何平均値は、焼却炉北東の小山田住宅地区、東側のラサ山、南東の八木沢住宅地区、すべてにおいて 4.4Bq/kg であり、1.7km 以上離れた地点の 2.5Bq/kg より高値である。山を跨いで高濃度地点が焼却炉近傍に存在するという空間的分布、および、宮古市には他の局所の上昇要因がないことから、焼却炉から漏出した放射性セシウムが異常上昇の原因であると判断できる。

離距離1.7km内外での濃度比較

採取場所と焼却炉の離距離	山1.7km未満	山1.7km以上	庭1.7km未満	庭1.7km以上
標本数	60	33	104	121
Cs134(Bq/kg) GM(GSD)	4.4(2.4)	2.3(1.5)	4.4(2.3)	2.6(1.8)
1.7km内外GM比のt検定 P値	6.2E-05		2.2E-07	
GMの比(95%信頼区間)	2.0(1.4~2.7)		1.7(1.4~2.0)	
GMの差(95%信頼区間)	2.2(1.2~3.2)		1.8(1.1~2.5)	
Cs137(Bq/kg) GM(GSD)	17.0(2.4)	3.9(2.6)	12.9(2.6)	6.9(2.4)
1.7km内外GM比のt検定 P値	5.6E-11		1.1E-06	
GMの比(95%信頼区間)	4.3(2.9~6.4)		1.9(1.5~2.4)	
GMの差(95%信頼区間)	13.1(9.0~17.2)		6.0(3.4~8.6)	
K40(Bq/kg) GM(GSD)	293(1.7)	472(1.1)	375(1.2)	377(1.2)
1.7km内外GM比のt検定 P値	2.6E-06		0.85	
GMの比(95%信頼区間)	0.62(0.52~0.75)		1.0(0.9~1.1)	
GMの差(95%信頼区間)	-179(-255~-101)		-2(-22~18)	

焼却炉からの離距離 1.7km 以上の地点をコントロールにして、離距離 1.7km 未満の地点のセシウム濃度を統計学的に検討した結果を示す。山の土および庭の土という土壌の性質によらず、Cs134 および Cs137 の濃度は、1.7km 未満の地点で有意に高値である。一方、K40 は山の土では 1.7km 未満の地点で有意に低値であり、庭の土では差は認められない。

離距離1.7km内外での濃度比較

採取場所と焼却炉の離距離	全て1.7km未満	全て1.7km以上
標本数	164	162
Cs134(Bq/kg) GM(GSD)	4.4(2.3)	2.5(1.8)
1.7km内外GM比のt検定 P値	1.7E-11	
GMの比(95%信頼区間)	1.7(1.5~2.0)	
GMの差(95%信頼区間)	1.9(1.3~2.4)	
Cs137(Bq/kg) GM(GSD)	14.3(2.6)	6.0(2.6)
1.7km内外GM比のt検定 P値	4.9E-15	
GMの比(95%信頼区間)	2.4(1.9~2.9)	
GMの差(95%信頼区間)	8.2(6.0~10.5)	
K40(Bq/kg) GM(GSD)	344(1.5)	400(1.3)
1.7km内外GM比のt検定 P値	1.4E-05	
GMの比(95%信頼区間)	0.86(0.80~0.92)	
GMの差(95%信頼区間)	-56(-82~-31)	

全データをまとめると、焼却炉からの離距離 1.7km 以上の地点に比べ、離距離 1.7km 未満の地点の濃度は Cs134 が 1.7 倍高値で、P 値は 10^{-10} 以下であり、その差は 1.9Bq/kg ある。また、Cs137 では 2.4 倍高値で、P 値は 10^{-14} 以下であり、その差は 8.2Bq/kg である。

Cs137濃度とCs134濃度の相関(3Bq/kg以上の値)

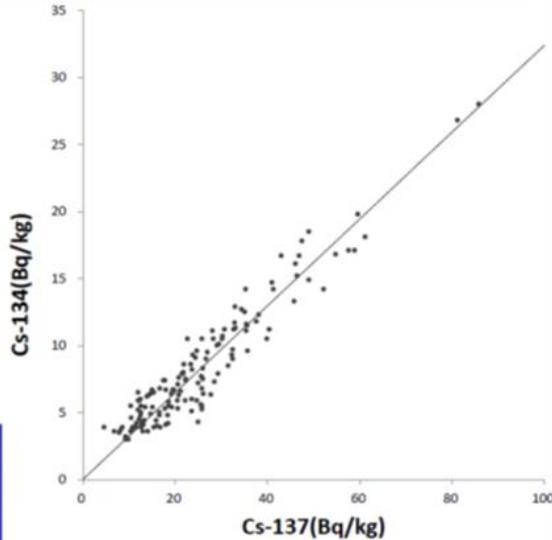
観測数142

原点通過型回帰直線
Y=0.324X

P値<1E-110

2014年9月1日換算

2011年3月換算で
Cs137:Cs134≒1:1



3Bq/kg 以上の測定値が得られた Cs137 と Cs134 の濃度値の相関図を示す。Cs137 と Cs134 の濃度比は 1:0.324 であり、2011年3月時点に補正すると約 1:1 の比になり、検出した放射性セシウムは福島原発由来である。

宮古市焼却炉で灰に回収された放射能を行政資料より概算する。2013年6月までのデータは乏しく、推定値にやや大きな誤差が存在すると考えられるが、総量で、Cs134は灰に4.0億Bq、Cs137は灰に11億Bq回収されている。一方、小山田、ラサ山、八木沢の調査面積と濃度差から、3地区に過剰に存在するCs134とCs137の量は、1.4億Bqと5.9億Bqであり、漏出率にするとCs134は25%、Cs137は35%となる。この数値は物質収支的検討により求めた漏出率約20%と近似し、整合性が認められる。以上、焼却物中の数割の放射性セシウムがBFを素通りしていることは動かしがたい事実と考えられる。

灰に回収した放射能量と土壤放射能量の比較

灰放射能量:3種類の行政資料より概算

- 1:宮古市焼却炉2011年~2013年6月;11回測定
- 2:岩手県焼却炉2012年3月~2014年3月;月1回測定
- 3:宮古市焼却炉2013年7月~2014年8月;毎日測定

土壤中過剰放射能量:仮定

過剰濃度差 Cs134 1.9Bq/kg Cs137 8.2Bq/kg
土壤密度1.6g/cm³ 汚染面積90万m²

Cs134 Cs137

灰放射能量(2014/8月まで)(Bq) 4.04E+08 11.0E+08

土壤中過剰放射能量(Bq) 1.37E+08 5.90E+08

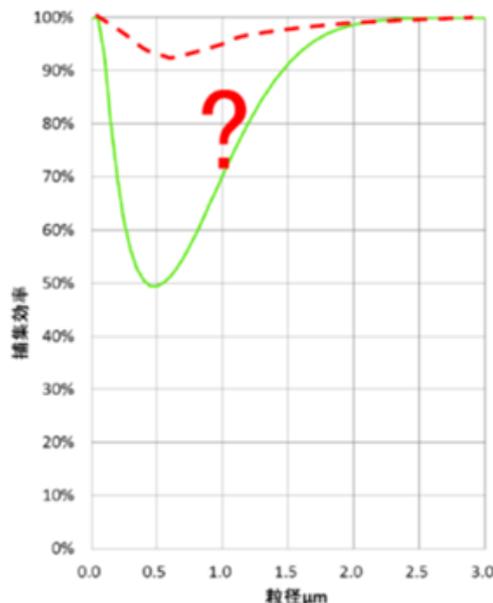
漏出率 25% 35%

物質収支的検討結果約20%とほぼ一致

ろ過理論によるBFのダスト捕集初期性能

温度 200°C
気圧 101.3kPa
粒子密度 1g/cm³
繊維径 6μm
充填率 0.1
厚さ 0.9mm
空塔速度 2.5cm/s

Aerosol Measurement 3rd Ed



漏出の機構について若干の考察をする。

一番目にエアロゾル状態で存在する放射性セシウムについてである。図の緑の曲線は、ろ過理論により、一般的なBFのダスト捕集効率の初期性能を、温度200度で、粒径をX軸に取りシミュレーションしたものである。2ミクロン以下の粒子全般で不十分な捕集率である。ダストが堆積するにつれ捕集効率

が上昇するが、払い落とし時を含めた BF 捕集効率について、十分なデータが集積されたとは言えない現状と思われる。

二番目に気体状で存在する放射性セシウムについてである。800 度の焼却ガスが急速冷却された後、BF を通過するまでの時間は数秒である。この間に排ガスが均一に 200 度に冷却されたり、気相、液相、固体相が完全な平衡状態に達するとは考えにくく、BF 通過時には、気体状で存在する放射性セシウムは、静的平衡状態で存在する量より多いと考えるべきであろう。

まとめ

- 宮古市焼却炉から離距離1.7km未満の土壤は、1.7km以上の地点の土壤に比べ、Cs134濃度が1.7倍、Cs137濃度が2.4倍高値である(P値<1E-10)。
- 空間的分布より、土壤中放射性セシウム濃度の上昇は焼却炉からの排出が原因である。
- 放射能土壤汚染量は物質収支的検討と整合し、排ガスを数割の放射性セシウムがBFを通過すると考えられる。
- 99.9%除去仮説は支持できず、現行の排ガス濃度規制の方法を見直す必要がある。

Iwami Neurological Clinic

16

まとめ：宮古市焼却炉から離距離 1.7km 未満の土壤は、1.7km 以上の地点の土壤に比べ、Cs134 濃度が 1.7 倍、Cs137 濃度が 2.4 倍高値である。空間的分布より、土壤中放射性セシウム濃度の上昇は焼却炉からの排出が原因である。放射能土壤汚染量は物質収支的検討と整合し、数割の放射性セシウムが BF を通過すると考えられる。99.9%除去仮説は支持できず、現行の排ガス規制の方法を見直す必要がある。

補足 (2015 年 9 月 12 日 文責 岩見)

発表会場での質問、および、研究報告を読んだ方からの質問は次の 3 点に集約される。

- (1) 計測した放射性セシウムが福島第一原発事故由来と判断できる根拠は何か。原爆実験やチェルノブイリ原発事故由来のセシウムもあるのではないのか。
- (2) 土壤中放射性セシウム濃度の不均等な空間分布は焼却炉が原因だと、何故判断できるのか。
- (3) 何故、離距離 1.7km で 2 群に分けて検討したのか。

質問に対する説明

(1)

原爆実験由来の Cs134 について：

Cs134 は核分裂生成物ではなく、Cs133 が中性子を吸収して生成されるため、原爆のように一瞬で反応が完結してしまう核反応では、Cs134 は生成されない。

チェルノブイリ由来の Cs134 と Cs137 について：

旧ソ連政府が IAEA に提出した報告書には、Cs134 と Cs137 の放出量が 0.5MCi と 1.0MCi となっており、小出裕章氏による多数の試料測定も、ほぼ、この比率であった。したがって、1986 年 4 月 26 日から、2014 年 9 月 1 日までの間には、Cs134 は半減期 2.06 年、Cs137 は半減期 30.1 年で崩壊し、1 : 2 の比率が $7E-5 : 1$ となっている。つまり、我々の研究時にはチェルノブイリ由来の Cs134 は Cs137 の 1 万分の 1 以下である。宮古市土壤中 Cs137 は 100Bq/kg 以下であり、計測値として記録できた Cs134 は、すべて福島第一原発由来と考えてよいことになる。

原爆実験およびチェルノブイリ由来の Cs137 について：

「わが国の米、小麦および土壌における 90Sr と 137Cs 濃度の長期モニタリングと変動解析。駒村美佐子ら。農環研報 24,1-21(2006)」に報告されている畑の Cs137 濃度のグラフを引用する。

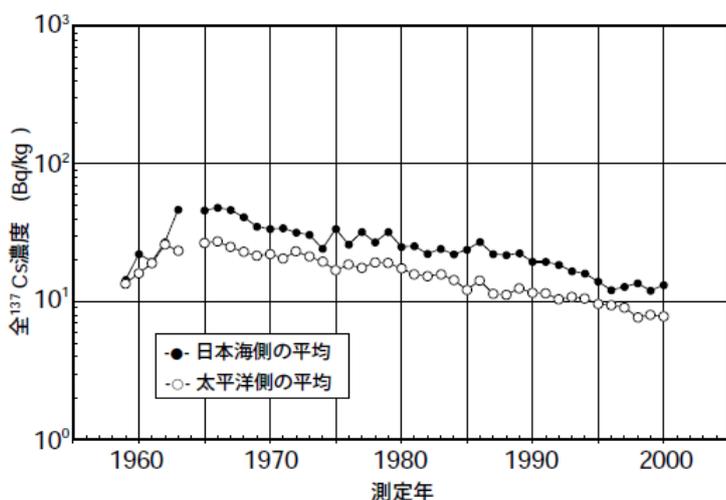


図13 畑土壌における全¹³⁷Cs濃度の日本海側と太平洋側の経年推移

この資料より、福島原発事故直前、日本の太平洋側の土壌中 Cs137 は数 Bq/kg の濃度で存在していたことが推定される。福島原発事故による Cs134 と Cs137 の放出量が原子力災害対策部で試算され、その放出量推定値の比は 1.8 : 1.5 とされていた。しかし、小出裕章氏をはじめとする多数の研究者の実測した観測値はほぼ 1 : 1 になっている。高濃度の資料を測定した場合、福島原発事故以前から存在した Cs137 が計測値に与える割合が小さくなり、福島原発事故由来の Cs134 と Cs137 の比が 1 : 1 であることは現在研究者の共通認識である。宮古市土壤中濃度でも Cs134 と Cs137 の比は原発事故時に換算すると約 1 : 1 であり、観測された Cs137 のほとんどは福島原発事故由来と考えてよいことになる。

(2)

福島原発事故時の拡散により、半径 1.7km の円の内部 (A) と外側 (B) で 2 倍の土壌中放射性セシウム濃度差を来す要因の候補には次の事項を挙げることができるかもしれない。①局所的な雨や雪が A だけで降る。②A が山の谷や盆地である。③A が山の片側で風が淀む地域である。①については、2011 年 3 月 11 日以後の 3 月の間に、宮古市で、そのような限局した気象現象が観察されたことはなく、はるかに広い範囲で降雪があったことから否定的である。地域 A は、主に、小山

田住宅地区、八木沢住宅地区、ラサ山から構成されているが、二つの低地にある住宅地区は標高 100m のラサ山で分断されており、②や③で説明することは不可能である。ラサ山の山頂付近には汚染源となるものではなく、また、それ自身が高濃度であり、ラサ山近傍に排出源があると判断できる。(山が一般的に高くなるのではないかという意見もあるだろうが、5 枚目のスライドで示した緑丸の右の山では高くなかったのである。) 排出源としての候補は焼却炉と最終処分場に絞られる。飛灰にはキレート添加剤を混入し、飛散しないように処理してから搬出する。また、最終処分場は焼却炉から南へ 900m 離れたやや低い山中にあり、この位置に埋めた放射性物質が山を越えて小山田地区まで飛散する可能性はない。一方、焼却炉は標高 100m の山にあり、煙突高は約 60m (宮古市清掃センター) と約 20m (岩手県仮設焼却炉) であり、異常上昇を来している地点の中心に位置し、周囲に放射性物質を拡散する能力を持つ構造物である。以上より、焼却炉由来であると判断するのが最も妥当な結論になる。

(3)

離距離をどこに置いて 2 群に分けるかを厳格にする方法として、100m 毎に 2 群に分けて統計学的に一番差が出る距離を捜すやり方もあるだろう。實際上、これだけの差があると、1.6km でも 1.8km でも結論は変わらない。しかし、マップ上の分布を目で見て判断すると 1.7km 前後が適当であることがわかる。著名な統計学者の P. Armitage も、回帰直線の引き方で困った時に目で見て線引きをする方法を推奨している。また、八木沢地区をひとまとまりにすることが地域毎の検討で必要であったため、1.7km 未満で 2 群に分けることはすべきでない判断した。初めに意図した訳ではないが、1.7km で 2 群に分けたことで、結果的にほぼ同じ大きさの 2 つの集団 (164 : 162 の検体数) を比較することになり、統計学的検討が理想的なものになった。

今回の研究結果は、焼却炉排ガスに混入している放射性セシウムが遠方まで拡散せず、焼却炉の比較的近傍で地上に落下していることを示すものと考えられる。

謝辞 研究発表後、貴重な御意見と御指導を頂戴した元京都大学原子炉実験所助教小出裕章先生に深謝致します。

講演原稿の訂正について

第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会のホームページよりダウンロード可能だった講演原稿に数値の誤りがあり、ここに訂正箇所を記載する。

表 1 K40 ; GM の差 (95%信頼区間) ; 最後の列

誤 : -31(-81~-56)

正 : -56(-82~-31)

なお当ホームページに掲載した原稿はこの箇所を修正した訂正版である。