

放射性物質を処理する焼却炉 周囲の空間線量率に関する研究

岩見億丈¹⁾、齊藤正俊¹⁾、
小堀内陽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

はじめに

- 焼却炉のバグフィルターが排ガス中放射性セシウムを99%以上除去するという仮説
- 宮古市焼却炉 : 灰へのセシウム回収率約8割
: 風下で空間線量率上昇
- 放射能排ガス漏出の新たなエビデンスを求め、
宮古市の空間線量率を広範囲に調査
焼却状況と空間線量率の時間的関係を検討

Iwami Neurological Clinic

2

1 空間線量率の地理的分布 研究方法

- 測定器: アロカTCS-172B
- 文科省の放射線測定に関するガイドライン
- 表示されるデジタル数値が動揺する場合には、30秒間の最大最小値の中央値を計測値とし、 $0.005 \mu \text{ Sv/hr}$ の値まで数値化
- 測定日: 2014年4月26日～6月15日非雨天日
- 測定場所: 宮古市焼却炉周囲半径3km～5km
道路の歩道、駐車場、公園。(砂利の上は除く)
- 測定点総数: 711
- 表示: Googleマップを使用

Iwami Neurological Clinic

3

第25回廃棄物資源循環学会研究発表
会

2014年9月16日

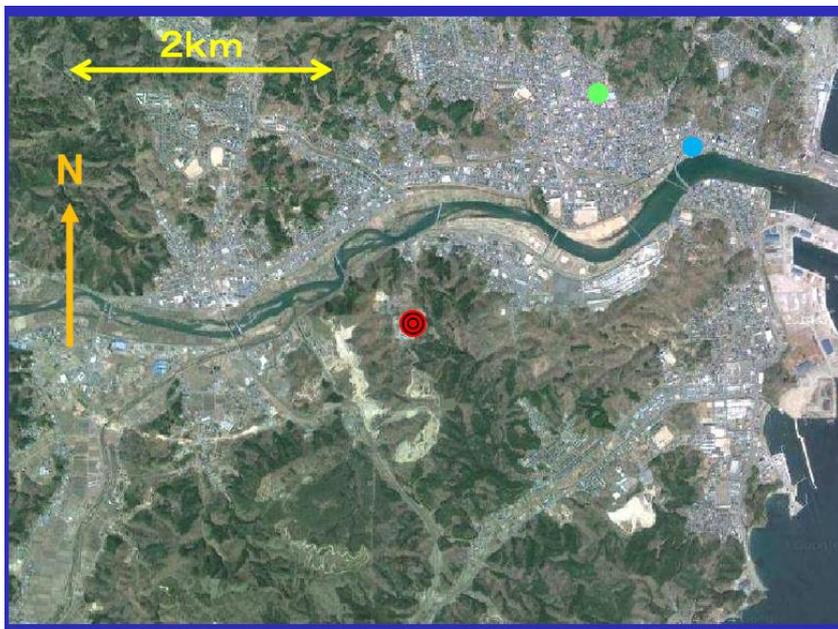
セッションC6: 熱処理における放射
性物質の挙動

C6-4: 放射性物質を処理する焼却炉
周囲の空間線量率に関する研究

キーワード: 焼却炉、放射性セシ
ウム、バグフィルター、空間線量率上
昇、ナノ粒子

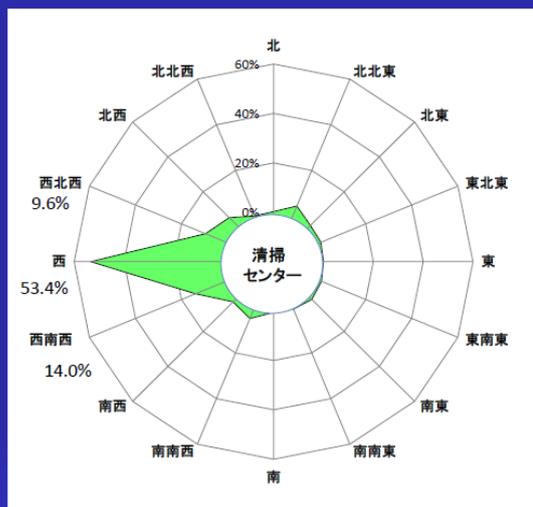
はじめに。焼却炉のバグフィルターが排ガス中放射性セシウムの99%以上を除去できるという仮説がある。しかし、我々は宮古市の資料を分析し、灰へのセシウム回収率は約8割であり、焼却炉風下で空間線量率が上昇していることを報告してきた。今回、放射能漏出の新たなエビデンスを求め、宮古市の空間線量率を広範囲に調査し、また、焼却状況と線量率の時間的関係を検討したので報告する。

空間線量率の地理的分布の研究方法はスライドに示すとおりである。



赤丸で示す宮古市焼却炉は、標高100mの山の中に設置されている。ここより東北東2.5kmに青の宮古市役所、北東2.2kmに緑の宮古小学校がある。

宮古市焼却炉(清掃センター)年間最多風向 清掃センターの測定値(2013/7~2014/6)を集計

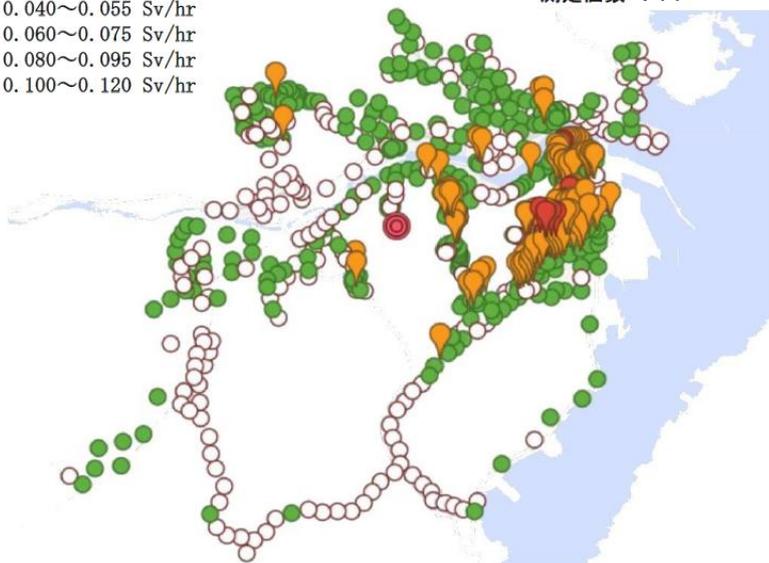


77%

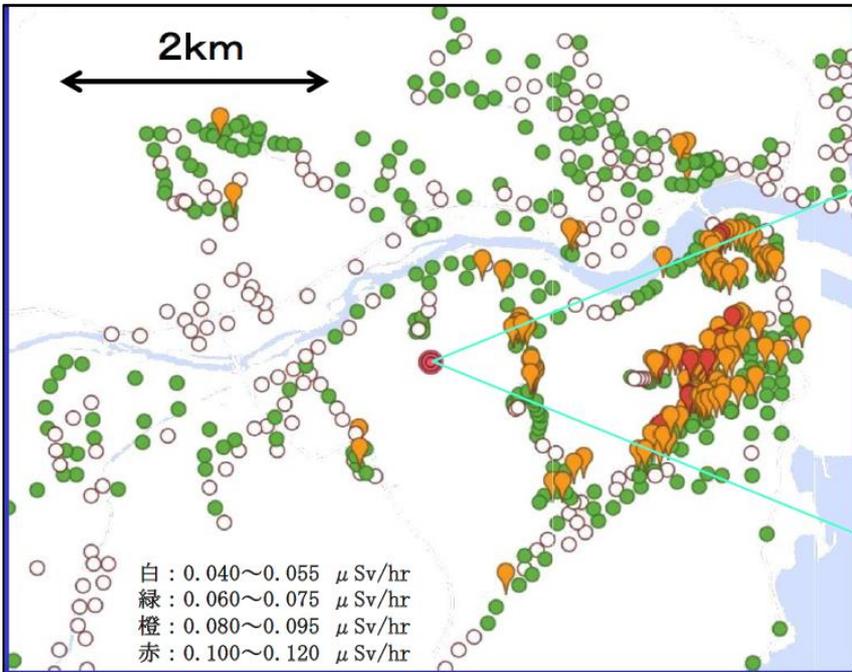
宮古市焼却炉での風向きは基本的に西である。

宮古市空間線量率 2014年4月26日~6月15日 測定個数 711

白 : 0.040~0.055 Sv/hr
 緑 : 0.060~0.075 Sv/hr
 橙 : 0.080~0.095 Sv/hr
 赤 : 0.100~0.120 Sv/hr



測定した空間線量率、全711地点の概観である。



橙および赤で示す $0.08 \mu\text{Sv/hr}$ 以上の地点は、焼却炉の東北東から東南東の方向に集中しており、離距離、 2.1km 前後にある。また、赤で示す $0.10 \mu\text{Sv/hr}$ 以上の地点は、この風下方向のみに存在した。

空間線量率の分布 全711地点

空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	個数
0.040~0.055	230
0.060~0.075	331
0.080~0.095	128
0.100~0.120	22

焼却炉の風下 45 度の範囲方向とそれ以外の方向との2群で、観測割合の統計学的検定を行うと、 $0.08 \mu\text{Sv/hr}$ 以上について10のマイナス40乗、 $0.10 \mu\text{Sv/hr}$ 以上については10のマイナス10乗のP値である。

2群間の統計学的検定

焼却炉からの方向	全個数	$0.080 \mu\text{Sv/h}$ 以上		$0.100 \mu\text{Sv/h}$ 以上	
		個数	割合%	個数	割合%
東北東~東南東	251	129	51.4%	22	8.8%
上記以外	460	21	4.6%	0	0.0%
2群比較のP値		<1E-40		1.20E-10	

Iwami Neurological Clinic

8

2 焼却量と空間線量率との経時的变化 研究方法

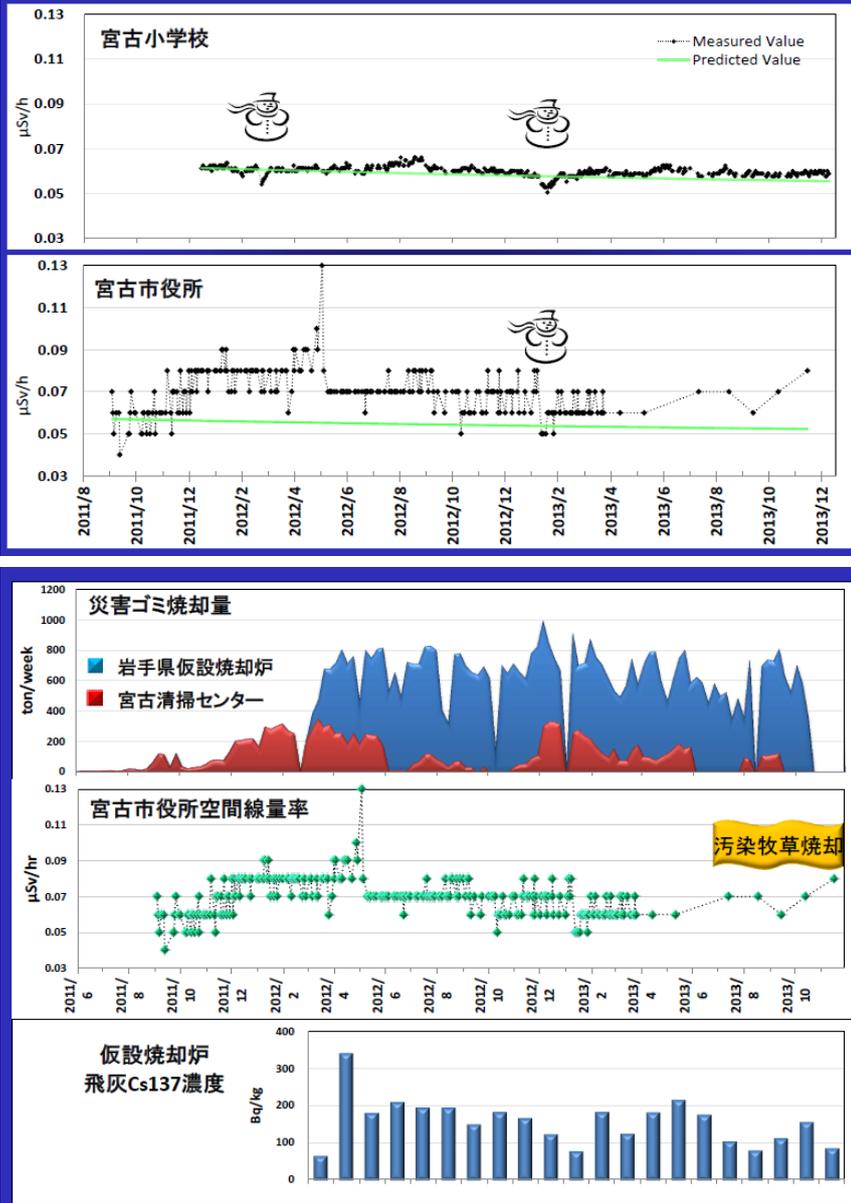
- 宮古市が2011年8月より測定してきた宮古市役所中庭での空間線量率(アロカTCS-172B)
- 岩手県が宮古小学校に設置したモニタリングポスト(アロカMAR-22-2)のGyを1.2倍しSvに変換
- 降雨降雪日を除き経時変化を検討
- 焼却物重量と放射能濃度は行政の測定値

Iwami Neurological Clinic

9

つぎに、焼却量と空間線量率の時間的關係を行政が測定した資料から検討する。

空間線量率の経時変化



宮古小学校の空間線量率は、セシウムの崩壊に伴う減衰で説明できるが、宮古市役所の線量率には異常な上昇がある。

宮古市清掃センターでは、震災による災害ゴミの処理量が2011年11月より急増していたが、時期を同じくして、市役所の線量率が上昇している。2012年3月より、仮設焼却炉が稼働し、4月に放射性セシウムの最大飛灰濃度を記録した直後、市役所で最大線量率0.13 $\mu\text{Sv/hr}$ を記録した。2013年7月、汚染牧草焼却が開始されると、線量率が再上昇している。

考察

- 焼却炉の風下で排煙の最高地上濃度(大気安定度が中立な場合)を示し得る地点に集中して高い空間線量率が見られる。
- 焼却炉で処理される放射エネルギーと市役所の空間線量率との間に同時並行的な変動が3回ある。
- 以上の2点から、焼却炉から放出された放射性物質により宮古市の空間線量率が異常上昇していると考えられる。

考察。焼却炉の風下で排煙の最高地上濃度を示しうる地点に集中して高い空間線量率が見られる。焼却される放射エネルギーと風下にある市役所の空間線量率との間に同時並行的な変動が3回ある。以上の二点から、焼却炉から放出される放射性物質により風下の空間線量率が異常上昇していると考えられる。

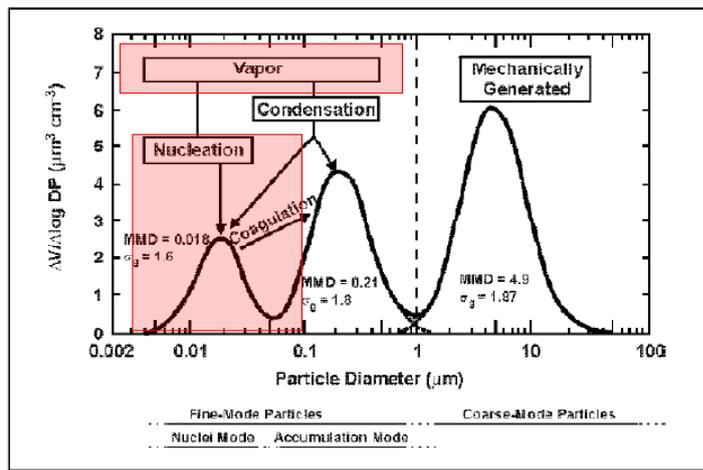


Figure 2. A particulate matter size distribution collected in traffic showing formation mechanism for nuclei and fine and coarse modes.

Wilson WE & Suh HH Journal of Air & Waste Management Association. 1997;47:1238-1249. より転載

大気中のエアロゾルは 3 つのモードで存在すると考えられてきたが、問題は排ガス中放射性物質が、どれだけ気体や核形成モードで存在するかである。

表 6.1 排ガス処理設備による除去率の調査結果(調査時期は 2011 年 10 月~2012 年 3 月)

施設	対象プロセス	入口濃度 (Bq/m³)			出口濃度 (Bq/m³)			除去率 (%)		集塵装置	調査実施者	調査時期		
		Cs134	Cs137	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137						
福島県 あらかわCC	焼却	78	96	<0.008	<0.006	99.99	99.99	<0.008	<0.007	99.99	99.99	BF	環境省	10月
		98	126	0.008	<0.007	99.99	99.99	<0.008	<0.007	99.99	99.99	BF	環境省	12月
須賀川地方 保健環境組合	焼却	33	42	0.2	0.2	99.39	99.52	0.2	0.2	99.53	99.65	EP	環境省	10月
		43	57	0.2	0.2	99.53	99.65	0.2	0.2	99.53	99.65	EP	環境省	12月
A市清掃工場	焼却	58	70	<0.054	<0.053	99.91	99.92	<0.054	<0.053	99.91	99.92	BF	国環研	10月
B市清掃工場	焼却	58	76	<0.1	<0.1	99.83	99.87	<0.1	<0.1	99.83	99.87	BF	国環研	12月
	溶融	677	844	<0.1	<0.1	99.99	99.99	<0.1	<0.1	99.99	99.99	BF	国環研	12月
C市清掃工場	焼却	15	20	<0.012	<0.013	99.92	99.94	<0.012	<0.013	99.92	99.94	BF	国環研	2月
	焼却	64	85	<0.018	<0.017	99.97	99.98	<0.018	<0.017	99.97	99.98			3月
	溶融	39	51	<0.01	<0.011	99.97	99.98	<0.01	<0.011	99.97	99.98			2月
	溶融	98	133	<0.013	<0.013	99.99	99.99	<0.013	<0.013	99.99	99.99			3月
D市清掃工場	溶融	335	404	<0.4	<0.3	99.88	99.93	<0.4	<0.3	99.88	99.93	BF	A社	9月
D市清掃工場	溶融24h 採取	220	330	<0.05	<0.07	99.98	99.98	<0.05	<0.07	99.98	99.98	BF	A社	3月

*BF: バグフィルター、EP: 電気集塵機

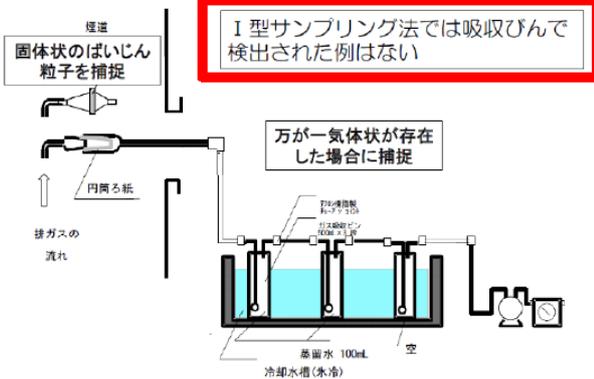
**濃度はろ紙部のみ、環境省調査の出口濃度は煙突出口、国環研調査は BF 出口

国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分(技術資料第四版) 14

バグフィルターが放射性セシウムを 99.9%除去すると、国立環境研究所等により報告されているが、煤塵の捕集は主に 0.3 µm で規格された集塵ろ紙による。

集塵ろ紙を通過する形態の放射性物質は、ドレン部と呼ばれる吸収瓶の蒸留水で捕集することになっている。しかし、このドレン部測定法の定量可能性や測定下限値に関する研究を見つけないことができなかった。これらの根拠がない以上、ドレン部測定法の科学的信頼性は希薄である。「吸収瓶で検出された例はない」、「測定できるレベルではガス態は存在していない」という言明は、測定法の信頼性という前提があつてこそ、始めて、実学的意味を持つが、その前提が存在しないのである。

排ガス試料のサンプリング方法 (I 型)



国環研 大迫政浩 放射能汚染 ジョイント セミナー (2013年2月18日)より転載

測定できるレベルではガス態は存在していない

国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分(技術資料第四版) 15

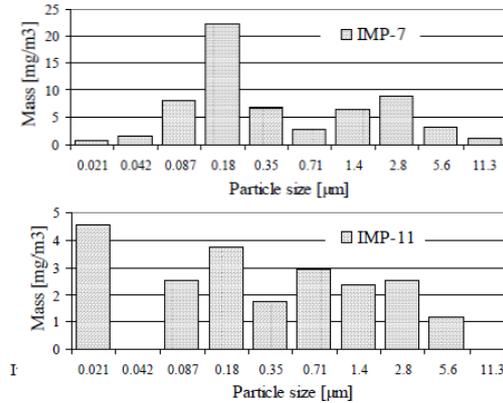
ベラルーシ 焼却炉での バグフィルター 性能実験

Roed J et al
Power production
from radioactively
contaminated
biomass and forest
litter in Belarus-
Phase 1b. (2000)
<http://www.risoe.dk/rispubl/nuk/nukpdf/ris-r-1146.pdf>
より転載

Table 3.12 Summary of filter efficiency measurements

Method	Average efficiency, %	Min/Max, %
Total dust measurements	99.2	97.1 / 99.8
Impactor measurements	98.5	97.5 / 99.8
Laser spectrometry	91.7	83.6 / 99.6

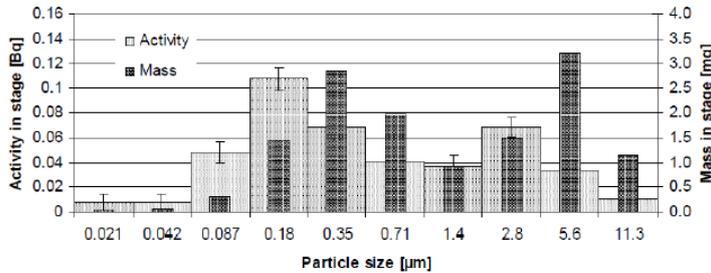
バグフィルター前、ばいじん濃度分布 (Impactor)



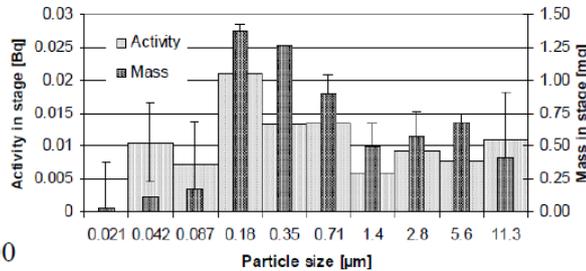
チェルノブイリ原発事故後、ロードらがベラルーシで行った焼却実験によると、バグフィルターの除去能力は、集塵ろ紙による測定で 99.2%、レーザースペクトロメトリーによる測定で 91.7%と報告されている。排ガス中エアロゾルの粒径分布は Whitby モデルの 3つのモードを再現していた。

バグフィルター通過前後の排ガス中Cs137放射能

前



後



Roed J et al 2000

注目すべきことは、煤塵の質量分布と異なり、放射能量の分布が小さい粒子に大きく偏っていることである。これは排ガス中放射性セシウムの挙動を考える上で重要である。

総量規制的考察

Hedvallら (1988 IRPA) : BFが飛灰の約99.6%を除去したが、焼却Cs137総量の15%が気体状態で漏出と推定

岩見ら: 宮古市試験焼却4日分と本格焼却27日分のデータからCsの回収率をベイズ回帰分析で計算

放射性セシウム回収率 **79.8%**

95%信用区間 **73.9~85.9%**

環境省による鮫川村仮設焼却炉データ

	対象物(MBq)	主灰(MBq)	飛灰(MBq)	回収率
2013/7/26	0.6162	0.0039	0.4592	75%
2014/3/19	47.6	2.8	33.7	77%
2014/4/4	31.9	1.2	15.6	53%
2014/4/25	21.2	3.3	13.2	78%
2014/5/9	12.8	1.7	6.8	66%

クリンカ量で補正しても3%以下の増加にとどまると推定

つぎに物質収支による考察をする。1988年、ヘドバルらは、バグフィルターが飛灰の99%以上を除去したにもかかわらず、焼却した放射性セシウムの15%の収支がとれず、気体状態で漏出したと推定した。宮古市焼却炉の資料をまとめると、放射性セシウムの灰への回収率は80%になる。また、環境省が鮫川村で行っている事業のデータでは、灰への回収率は53から78%の間にあり、クリンカ量で補正しても、99%とはほど遠い数値である。

仮説の検討

大迫仮説:BFが99.9%放射性セシウムを除去

岩見仮説:回収される放射性セシウムは80%前後であり、BFの除去能力も同様

**本発表:焼却炉周囲での空間線量率が空間的
時間的に焼却炉との因果関係を示唆して上昇
弁証法的にまとめると**

粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上のセシウムは99%BFが除去
焼却総量の約2割のナノ粒子または気体のセシ
ウムがBFより漏出

困難な気体中物質濃度測定は、測定精度が高い
総量規制的検討との整合性が必要

仮説の検討をします。大迫仮説はバグフィルターが99.9%放射性セシウムを除去するというものであり、岩見仮説は回収される放射性セシウムは80%前後であり、バグフィルターの除去能力も同様というものです。

この相容れない二つの仮説をどうするか悩んでいると、うたた寝をしてしまいました。すると、夢の中に弁証法の哲学者ヘーゲルが出てきて講義をします。

「学術の徒よ、何を悩んでいる。アウフヘーベンをすれば、二つの仮説は矛盾なく、説明できるぞ。焼却炉で2割の放射性セシウムが分解消失するのだ。

変だって？10年焼却炉の中に放置すれば、20%減るぞ。真理を求めよ、学術の徒よ。」

小さな男の子が言います。「ヘーゲル先生ってバカだな。はじめから燃やさないで置いとけばいいのに。」

ここで目が覚めました。

本発表では焼却炉周囲での空間線量率が空間的時間的に焼却炉との因果関係を示唆して上昇していました。弁証法的にまとめると、粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上のセシウムは99%バグフィルターが除去するが、焼却総量の約2割のナノ粒子または気体のセシウムがバグフィルターから漏出していると考えるのが合理的です。そもそも、気体中の物質濃度測定という困難な作業には、測定精度が高い総量規制的検討との整合性が重要です。

まとめ

- 焼却炉風下で空間線量率異常上昇が観察され、排ガス中放射性物質の飛来が原因と考えられる。
- ドレン部放射性セシウム測定法には科学的根拠がなく、ナノ粒子および気体状態で排ガス中に存在する放射性セシウムの測定法確立が本学会の急務である。
- 99.9%除去仮説に対する多くの反証があり、焼却物中放射性セシウムの2割前後がバグフィルターを通り抜けると考えられる。
- セシウム以外の有害物質も、バグフィルターを通り抜け環境に漏出しているながら、現行測定法では不検出とされていると推定され、早急な対策が必要である。

まとめです。

焼却炉風下で空間線量率の異常上昇が観察され、排ガス中放射性物質の飛来が原因と考えられる。ドレン部放射性セシウム測定法には科学的根拠がなく、ナノ粒子および気体状態で排ガス中に存在する放射性セシウムの測定法を確立することが本学会の急務である。99.9%除去仮説に対する多くの反証が存在し、焼却物中放射性セシウムの2割前後がバグフ

フィルターを通り抜けると考えられる。セシウム以外の有害物質も、バグフィルターを通り抜け環境に漏出しているながら、現行測定法では不検出とされていると推定され、早急な対策が必要である。

注（2014年9月20日記載 文責 岩見）

- (1) 講演原稿を投稿した2014年6月30日まで、観測された空間線量率異常上昇の原因として、焼却炉から放出された放射性セシウムが唯一のものであると考察していた。その後、放射性セシウム以外の γ 線を出す放射性物質の関与も考えるべきであることがわかり、当日の発表では、講演原稿の「排ガス中放射性セシウムによる空間線量率上昇」という表現を、「排ガス中放射性物質による空間線量率上昇」と修正して発表した。また、核形成モードの固体粒子だけではなく、気体の放射性物質の存在も考える必要があると再考し、上記スライドのように発表した。
- (2) 本学会発表後の2014年9月18日、2012年5月に記録した最高値 $0.13 \mu\text{Sv/hr}$ の宮古市役所空間線量率は測定点が移動したためである由、宮古市役所より説明があった。工事のため2012年4月に測定地点を移動させたが、その地点に線量率が高い石碑があり、 $0.13 \mu\text{Sv/hr}$ を記録したとのことである。それ以後は石碑を避けた場所に測定点を少し移動させて同一場所で測定してきたとのことである。これが事実とすれば、2012年4月から5月の市役所空間線量率のデータを省いて考察する必要がある。しかし、宮古市清掃センターでの災害ゴミ処理量と同時並行的な市役所線量率上昇が2011年10月から2012年3月まで見られること、および、2013年7月汚染牧草焼却の開始後、線量率が再上昇していることの二点については、測定地点変更や石碑などの岩による現象ではないことが明らかである。特に前者の期間は、空間線量率の測定回数が多く、焼却炉での放射性物質処理量と空間線量率上昇との因果関係を強く示唆していると考えられる。
- (3) 質疑応答中、国立環境研究所の大迫政浩氏に、ドレン部測定法の定量可能性や測定下限値のデータを示して頂くように求めた。大迫氏の返答は、「そこを、今、採っている。」であった。