

## ゴミ焼却による放射能空間線量率の上昇： その2；宮古市内の校庭と園庭

笹井康則<sup>a</sup>、岩見億丈<sup>a</sup>、永田文夫<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 岩手県宮古市、<sup>b</sup> 岩手県盛岡市

### **Abnormal increase of the radioactivity around incinerators: part2; grounds at elementary schools and kindergartens in Miyako city.**

Yasunori SASAI<sup>a</sup>, Okujou IWAMI, Ph.D.<sup>a</sup> and Fumio NAGATA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Miyako Japan, <sup>b</sup> Morioka Japan

**Abstract** Ambient dose equivalent rates at the grounds of six elementary schools and two kindergartens in Miyako city were analyzed to evaluate the environmental effect of incinerating the grass rich in radioactive cesium. Speculating causal relationship, we excluded the data of one school where the temporary homes were built after the tsunami disaster. After burning the contaminated grass, the dose rates were raised with statistical significance ( $p < 0.05$ ) at three points which are located east to the incinerators within 2.2km distance and on the leeward of the incinerators. On the contrary, the dose rates did not change at the four points which are far away from the incinerators and not on the leeward of the incinerators. The correction of the dose rates by physical decay also showed that the concentration of the radioactive cesium in soil was raised at three points on the leeward of the incinerators and was not raised at the other four points. These findings are compatible with the previous report that the radiation level is increasing around the incinerators in Miyako city from which about 20% of the waste cesium is discharged into the atmosphere through bag filters.

This article is published with open access at “Reprocessing of nuclear fuel, Iwate environment & Radioactive waste”. 再処理/岩手の環境/放射性廃棄物 <http://sanriku.my.coocan.jp>

20 April 2014

### 要旨

宮古市が測定してきた、6つの小学校の校庭と2つの保育所の園庭における空間線量率の時間的変化を検討し、放射能汚染牧草等の焼却が周囲の環境に与える影響を検討した。津波災害による仮設住宅が建設された1つの小学校は考察対象から除いた。汚染牧草焼却開始前と開始後を比較すると、焼却施設の風下、東2.2km以内に位置する1つの校庭および

2つの園庭で空間線量率が有意に上昇していた ( $P < 0.05$ )。一方、焼却炉の風下に位置しない5km以上離れた4つの地点では、統計的に有意な線量率上昇を認めなかった。放射性崩壊による放射能の減衰を考慮し、地中の放射性セシウムの濃度を算出すると、空間線量率の変化と同様に、焼却炉の風下近傍に位置する3つの測定点で、焼却後、統計的に有意な放射性セシウム濃度上昇を認め、他の4つの測定点では有意な濃度上昇を認めなかった。以上の結果は、バグフィルターを通り抜けて焼却炉から大気中に排出される約2割の焼却物中放射性セシウムが、焼却炉周囲の空間線量率を上昇させているというこれまでの報告を再確認するものである。

## はじめに

宮古市清掃センター焼却炉のバグフィルターは、十分な放射性セシウム除去能力がなく、焼却された放射性セシウムの2割弱が大気中に放出されていると笹井、岩見らは報告した[1,2]。さらに、宮古市焼却炉の風下に位置する宮古市役所および宮古火葬場で、空間線量率が異常に上昇しており、この上昇は焼却炉のバグフィルターを通り抜けた放射性セシウムによるものであると永田らは報告した[3]。今回、我々は、宮古市が公表してきた小学校、保育所における空間線量率のデータを分析し、2013年7月9日より開始された放射性セシウム汚染牧草等の本格焼却が、焼却炉周囲の小学校等の校庭の空間線量率に及ぼす影響を検討した。

## 方法

宮古市は、サーベイメーターである日立アロカメディカル TCS-172Bにより、市内の小中学校および保育所等における空間線量率を測定してきた。2011年8月には市内の全小中学校の校庭で、2012年9月には市内の全保育所、幼稚園、児童館の園庭で、空間線量率が測定された[4,5]。さらに、5箇所の小学校では、2011年9月以後も月1ないし2回の測定が継続されている[6,7]。2013年4月からは清掃センター焼却炉に近い、1つの小学校と2つの保育所の空間線量率が月1回測定されており[7]、2013年4月以後、6つの小学校と2つの保育所における空間線量率のデータがある。これらの8つの測定点のデータを用いて、放射性セシウム汚染牧草等の焼却に伴う空間線量率の変化を検討する。測定地点8箇所と宮古市清掃センター焼却炉との位置関係を Figure 1 に示す。

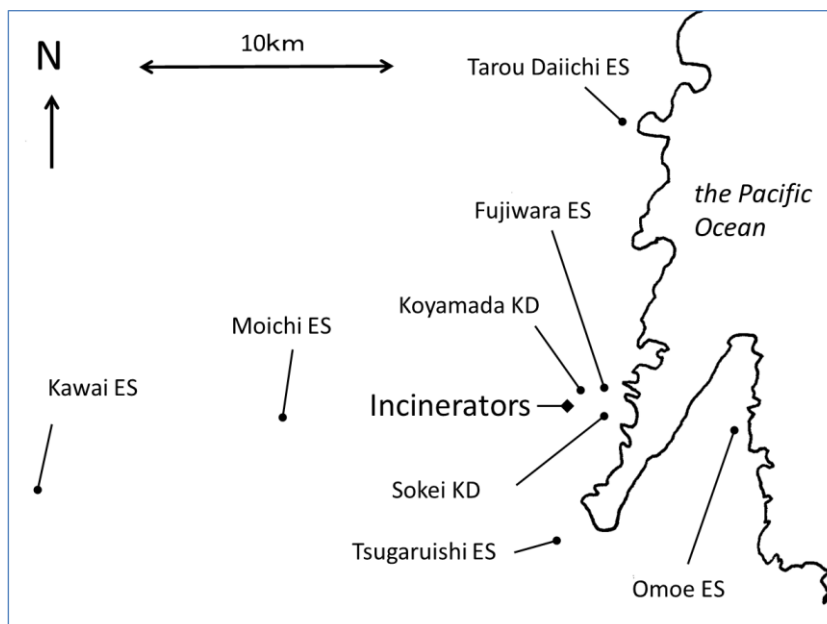
空間線量率は地上1mで測定することが一般的だが、小学校等においては地上50cmでの測定も推奨されている[8]。小学校および保育所において宮古市が測定した高さは、地上5cm、50cm、1mの3点であるが、地上5cmでの測定値は、測定地点に局在する放射性物質の影響を大きく受けるため、平均的空間線量率の指標としては好ましくない。また、飛来した放射性物資のほとんどが地表から地下に分布しており、測定点が高くなれば空気による放射線の減衰により、空間線量率の数値は一般的に低下する。8箇所の小学校等の地上50cmでの空間線量率と地上1mでの空間線量率のデータを比較すると、地上1mでの

測定値が地上 50cm より大きい場合が 8%、等しい場合が 53%、小さい場合が 39%であり、平均で地上 1m の測定値は 50cm の測定値より 5%小さい値を示している。以上の理由により、評価する空間線量率の精度を高めるために、地上 50cm と地上 1m で測定された空間線量率のデータを用いて空間線量率を算出し、その際地上 50cm での測定値も地上 1m での測定値として統計的処理を行うことにする。空間線量率は、降雨、降雪により一時的に上昇するため、これらの気象現象があった月日のデータを除いて解析する。積雪による空間線量率の低下は、その都度示す。

測定地点はすべて、校庭ないし園庭であり、常時、児童に踏まれている土の運動場である。空間線量率から校庭等に存在する土壤中放射性セシウムの濃度を求めるために、アメリカの Environmental Protection Agency が報告した 1cm 地下均等分布モデルをもとにして、岩見らが算出した係数を用いる[9,10]。また、セシウム 134 と 137 の放出比、および、放射性崩壊による放射能の減衰の計算も岩見らに準ずる。また、計算に用いた自然放射線量の数値は、永田らの報告に準ずる[3]。地質学的に、田老第一小学校を除いた 7 つの測定地点の自然放射線の 1cm 線量当量率は、0.044 から 0.066 $\mu$ Sy/h の範囲にあり、田老第一小学校だけが 0.066 $\mu$ Sy/h 以上の地域に属している。

統計処理はマイクロソフト Excel2010 の分析ツールを用いて行った。

**Figure1. The map showing the location of the incinerators and the points where ambient dose rates were measured in Miyako city.**



Abbreviations; ES: elementary school, KD: kindergarten, N: north.

## 結果

### 【各測定点の空間線量率の時間経過】

セシウム 134、セシウム 137、自然放射線の 3 つの因子で空間線量率を決定するモデルを使い、放射性崩壊による減衰から求めた予測値と、空間線量率の実測値を Figure 2 に示す。グラフの実測値の数値は地上 50cm での空間線量率と地上 1m での空間線量率の平均値である。予測値を算出するために用いた基準の空間線量率データは、放射能汚染牧草の本格焼却が始まる直前の 2013 年 4 月から 6 月のもので、降雨が記録された日は除いている。例示した予測曲線を求める際に用いた自然放射線量の数値は Figure 2 注に示す。田老第一小学校では、地質学的自然放射線の空間線量率の範囲を下回る測定値が多くみられ、自然放射線の 1cm 線量当量率は  $0.061\mu\text{Sv/hr}$  とした。

宮古清掃センター焼却炉から、西に 22km 離れた川井小学校で報告された空間線量率は 2011 年 8 月から 9 月にかけて著しい低下を認めた。その後は積雪による線量率低下を除くと、放射性崩壊による減衰予測値におおよそ従って経過している。ここは 8 つの測定点中、最も積雪量が多い場所であり、積雪による線量率低下が長期間見られる。

焼却炉から西に 12km 離れた茂市小学校の空間線量率も、2011 年 8 月から 9、10 月にかけて著しい低下を認めた。その後は積雪による線量率低下を除くと、川井小学校とほぼ同様の経過を示しているが、2013 年 4 月から 5 月にかけて若干線量率上昇が見られる。

焼却炉から南に 5.4km 離れた津軽石小学校の空間線量率は、上記 2 校に比べると 2011 年 8 月から 9 月までの間の線量率低下が著しくない。その後の経過は、放射性崩壊による減衰予測値におおよそ従って経過している。

焼却炉から北に 12km 離れた田老第一小学校の空間線量率は、2011 年 8 月から 9 月にかけて著しい低下が見られる。その後は放射性崩壊による減衰予測値に従っているが、2013 年 4 月から 5 月にかけて上昇し、以後は再び放射性崩壊による減衰予測値にほぼ従っている。ここでは 2012 年と 2013 年の冬に積雪による線量率低下が観察された。

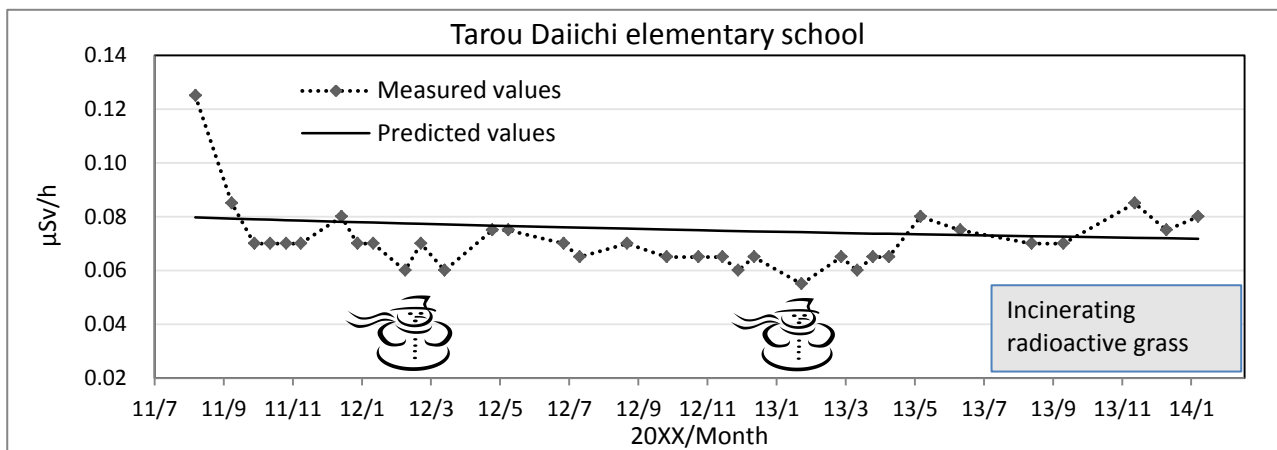
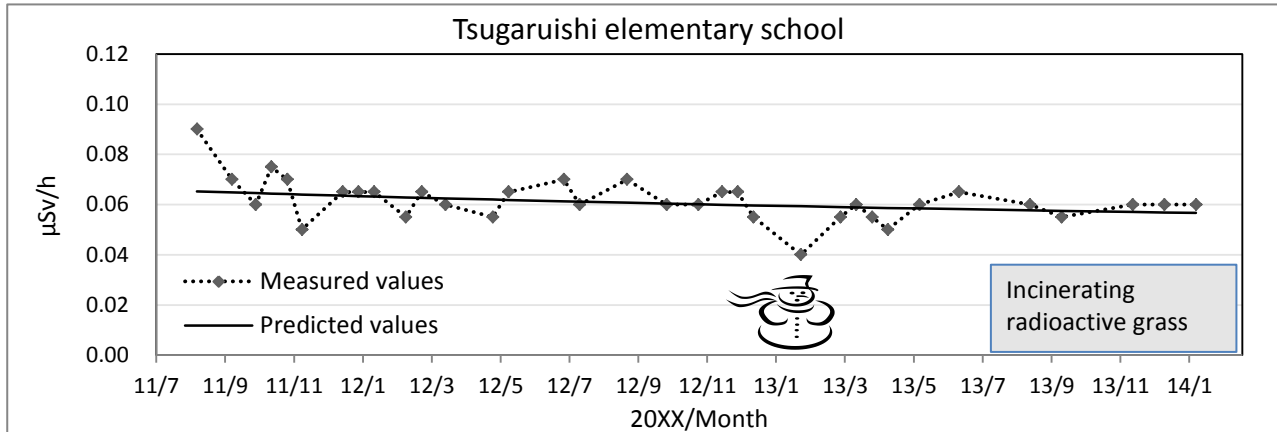
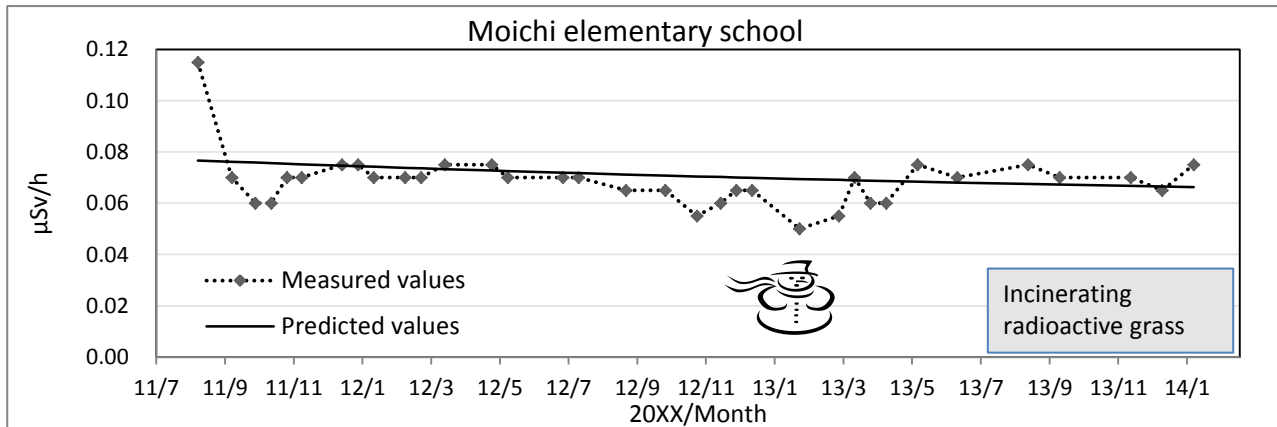
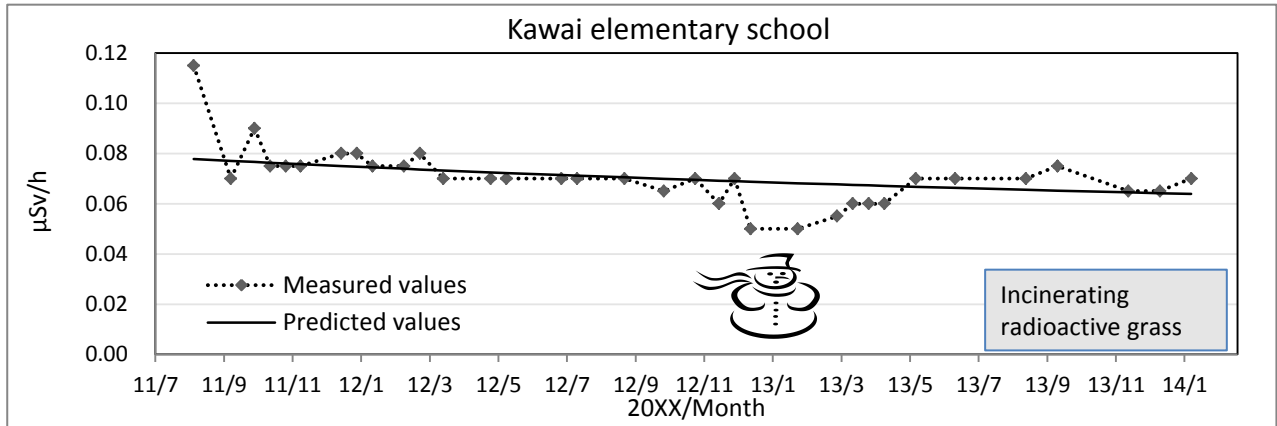
焼却炉から東に 9km 離れた重茂小学校の空間線量率は、2011 年 8 月から 2012 年 5 月までの間、変動が著しい。その後は緩やかであるが、上昇傾向を示している。重茂小学校での測定値には積雪による明らかな空間線量率の低下を認めていない。なお、重茂小学校では、校庭の約 9 割の面積に 2011 年 5 月震災仮設住宅が建設されている。

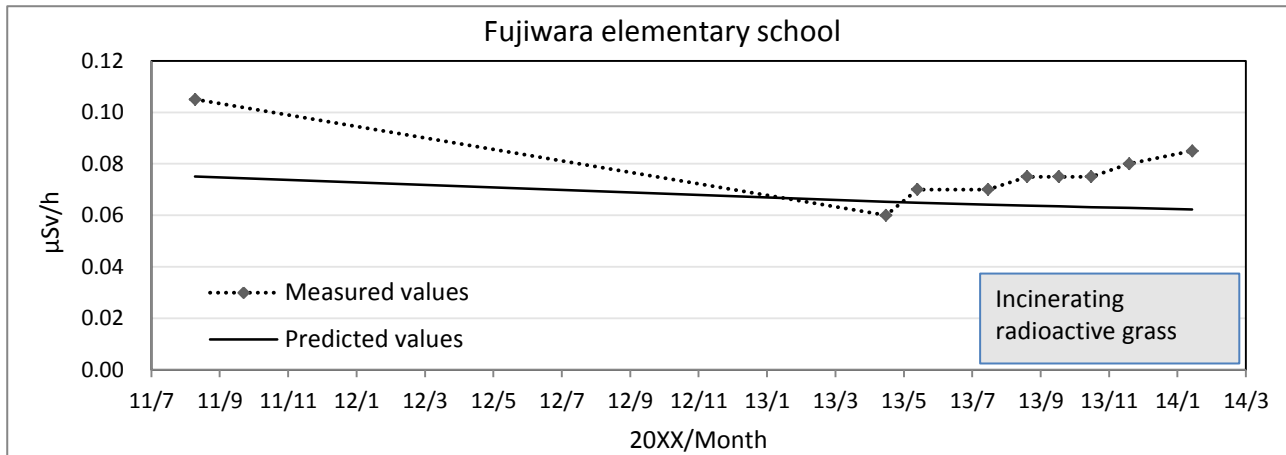
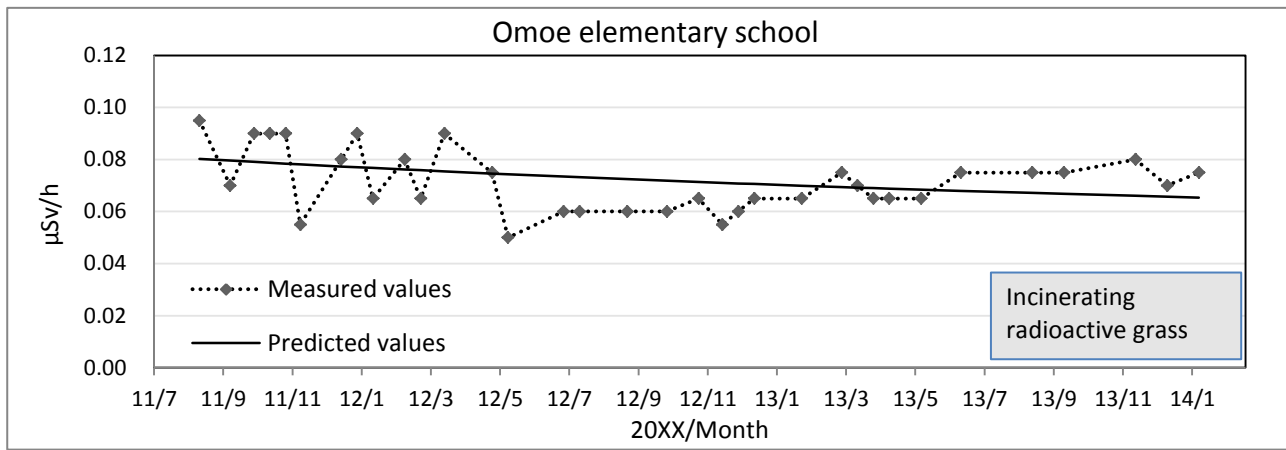
焼却炉の東北東 2200m に位置する藤原小学校の空間線量率は、2011 年 8 月以後、2013 年 4 月まで測定されていないため、この間の経過が不明である。放射能汚染牧草等の本格焼却が開始された 2013 年 7 月 9 日以後、線量率の上昇が明瞭である。

焼却炉から北東 700m に位置する小山田保育所は、2012 年 9 月から 2013 年 4 月まで放射性崩壊による減衰予測に従って空間線量率が経過している。2013 年 7 月 9 日以後、線量率は上昇傾向にある。

焼却炉から東 2000m に位置する磯鶏保育所の空間線量率は 2012 年 9 月の時点で  $0.09\mu\text{Sv/h}$  であり、同時期の他の場所に比べ、約  $0.02\mu\text{Sv/h}$  ほど高値であった。2013 年 4 月まで放射性崩壊による減衰予測に従って空間線量率が経過している。この場所での線量率も、放射能汚染牧草等の本格焼却開始後はさらに上昇している。

**Figure 2. Ambient dose equivalent rates at six elementary schools and two kindergartens.**





Predicted dose rates are calculated with the ambient dose equivalent rates from April to June in 2013 and with postulated natural radiation levels as follows;

Kawai, 0.045μSv/hr,

Moichi, 0.052μSv/hr,

Tsugaruishi, 0.045μSv/hr,

Tarou Daiichi, 0.061μSv/hr,

Omoe, 0.045μSv/hr,

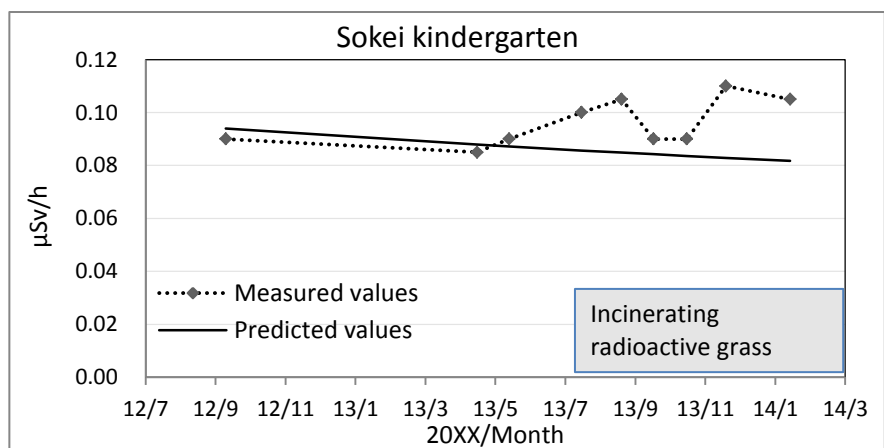
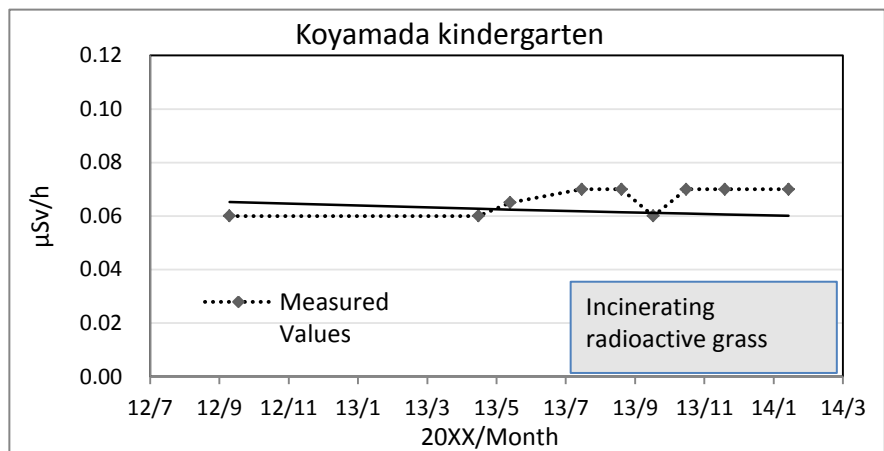
Fujiwara, 0.045μSv/hr,

Koyamada, 0.045μSv/hr,

Sokei, 0.045μSv/hr.

Snowman shows the lowering of dose rates by a covering of snow.

The dose rate in Omoe elementary school was perhaps fluctuating due to temporary homes of the tsunami disaster.



### 【放射能汚染牧草等焼却開始前後の比較】

放射能汚染牧草等の焼却が空間線量率に及ぼす影響を統計的に検討するために、焼却直前の2013年4月から6月までの空間線量率と、2013年7月9日以後から2014年1月までの空間線量率との差を t 検定で調べた。原則として、等分散による t 検定を行ったが、2標本のあいだに等分散性を仮定しにくいデータについては Satterthwaite の近似式による t 検定を合わせて行った。放射性崩壊による減衰を考慮しないで、測定された空間線量率の数値をそのまま統計処理すると Table 1 の結果が得られる。焼却炉の東側、約 2km の範囲にある藤原小学校、小山田保育所、磯鷄保育所の 3 箇所のみが有意水準 5% で有意な上昇を示しており、他の測定地点では有意な上昇は認められない。

**Table1. Ambient dose equivalent rates (nSv/h) before and after the incineration of the radioactive grass.**

	Before Incineration			After incineration			Difference (After minus Before)	
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	95% confidence interval	p-value
Kawai ES	6	67	5.2	10	69	5.7	-3.8 ~ 8.4	0.425
Moichi ES	6	68	7.5	10	71	7.4	-5.6 ~ 10.9	0.499
Tugaruishi ES	6	58	7.5	10	59	3.2	-5.1 ~ 6.4	0.806
						Satterthwaite	-7.2 ~ 8.6	0.843
Tarou Diichi ES	6	73	8.2	10	76	8.4	-6.6 ~ 11.9	0.546
Omoe ES	6	68	7.5	10	75	7.1	-1.3 ~ 14.7	0.096
Fujiwara ES	4	65	5.8	12	77	6.5	3.8 ~ 19.5	0.007
Koyamada KD	4	63	5.0	12	68	3.9	0.7 ~ 11.0	0.029
Sokei KD	4	88	5.0	12	100	8.5	2.7 ~ 22.3	0.016
						Satterthwaite	4.6 ~ 20.4	0.006

Abbreviations; ES: elementary school, KD: kindergarten, N: number, SD: estimated standard deviation. Equal variance t-tests are used to compare two means and Satterthwaite method is also applied when equal variance is questionable.

次に、空間線量率がセシウム 134、セシウム 137、および、自然放射線により決定される状況下で、土中セシウム 137 濃度の汚染牧草焼却前後を比較する。放射性セシウムが地下 1cm に均等分布するモデルを用いて、測定された空間線量率からセシウム濃度を算出する。放射性崩壊による減衰補正をして 2011 年 3 月 17 日時点に遡ったセシウム 137 土中濃度を求め、Table 2 に示す。空間線量率の検討結果と同様に、藤原小学校、小山田保育所、磯鷄保育所の 3 箇所では、汚染牧草焼却開始後、土中放射性セシウム 137 濃度が有意水準 5% で有意に上昇している。焼却前後を比較した t 検定の P 値が Table 1 より小さくなり、統計学的に上昇の程度がさらに明確になっている。また、焼却炉の東 9km に位置する重茂小学校でも、焼却開始後、土中放射性セシウム濃度の統計的に有意な上昇が認められる。その他の測定地点では、統計的に有意な上昇が認められない。



**Table2. Concentrations of cesium 137 in soil (Bq/kg) before and after the incineration of the radioactive grass.**

	Before Incineration			After incineration			Difference (After minus Before)		
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	95% confidence interval		p-value
Kawai ES	6	275	69	10	334	76	-22	~ 141	0.137
Moichi ES	6	207	96	10	265	103	-54	~ 169	0.286
Tugaruishi ES	6	170	98	10	196	45	-50	~ 102	0.473
							Satterthwaite	-78 ~ 130	0.559
Tarou Diichi ES	6	157	104	10	211	120	-72	~ 182	0.372
Omoe ES	6	296	99	10	419	99	13	~ 233	0.030
Fujiwara ES	4	252	75	12	439	103	66	~ 308	0.005
Koyamada KD	4	220	64	12	322	56	30	~ 174	0.009
Sokei KD	4	534	66	12	760	129	79	~ 372	0.005
							Satterthwaite	116 ~ 334	0.001

Abbreviations are the same as in Table1. The model of 1cm-equally distributed radionuclides is applied for calculations. The concentrations of Cs137 in soil are corrected to 17 March 2011 by physical decay. Postulated natural radiation levels are the same as in Figure 2. Equal variance t-tests are used to compare two means and Satterthwaite method is also applied when equal variance is questionable.

## 考察

宮古清掃センターでの最多風向は西から東に向かう方向である[3]。放射能汚染牧草等の本格焼却に伴い、空間線量率、および、空間線量率から求めた放射性セシウムの土中濃度は、風下に位置する校庭や園庭のみで統計的に有意な上昇を示しており、風下に位置しない距離的に離れた校庭では有意な上昇を認めなかった。この結果は永田らの報告を再確認するものであり、焼却炉のバグフィルターを通り抜けた放射性セシウムは、排ガスとともに風下の小学校や保育所に運ばれ、空間線量率を上昇させていることが明らかである[3]。

川井、茂市、津軽石、田老第一、藤原の各小学校の空間線量率の変化で目立つことは、2011年8月の高い線量率が、他の測定日の空間線量率と整合性がないことである。これらの小学校で除染作業を行ったという報告はなく、セシウムの放射性崩壊による減衰によって説明することは不可能であり、2011年9月以後、高い空間線量率を示した地点を避けて測定するようになったという人為的な要因によるもの以外には説明がつかない現象である。2012年に比べ2013年の空間線量率が茂市、田老第一等の小学校で上昇傾向にあることは、この人為的要因によって説明が可能になる。つまり、2011年9月以後の校庭での測定地点の周囲には、高濃度の放射性セシウムを含む土が存在し、児童の運動等により水平方向の移動が生じ、濃度の均質化とともに、測定地点での空間線量率が上昇傾向を示したと考えられる。2011年8月と9月の空間線量率値が大きく変わらない津軽石小学校では、予測値に従い順当に線量率が減少しており、この解釈を支持している。さらに、川井、茂市、田老第一の小学校では、2013年度に入り、空間線量率が段階的に上昇している傾向がある。これは行政の測定担当者が年度末で変わったことにより、測定点が低線量率点から移動したためであると思われる。



焼却炉から東に9km離れた重茂小学校の空間線量率や放射性セシウム濃度上昇の解釈には、困難な点が存在する。この場所は他の7地点と異なり、2011年5月震災仮設住宅が建設され、約9割の校庭が住宅地になっている。2011年8月から2012年5月までの間、他の地点で観測されない空間線量率の著しい変動が重茂小学校で認められるのは、仮設住宅に関連した種々の事象が原因であると推定される。測定点が高濃度汚染点と低濃度汚染点の間で動揺しているのが2012年5月まで見られるが、その後、この動揺は認められなくなり、線量率は緩徐に上昇している。この緩徐な上昇は、放射性セシウム濃度の水平方向の均質化によるものと推定される。重茂小学校での測定値には積雪による明らかな空間線量率の低下を認めていないことも、居住者が除雪を行った人為的影響であろう。この地点は、焼却炉の風下に位置し、排ガス中の放射性セシウムが飛来する可能性があるけれども、以上の理由により、重茂小学校のデータは、焼却炉との地理的關係と、空間線量率の上昇との関連を考察する対象から除くのが適切である。今後、重茂地区のその他の校庭等で空間線量率を計測し検討する必要がある。

焼却炉から東2000mに位置する磯鷄保育所の空間線量率は2012年9月の時点で0.09 $\mu$ Sv/hであり、同時期の他の場所に比べ、約0.02 $\mu$ Sv/hほど高値である。焼却炉からの排ガスが最も向かいやすい方向に磯鷄保育所は位置しており、一般ゴミや震災ゴミに含まれた放射性セシウムが排ガスとともに、2012年9月以前からこの保育所に飛来し、空間線量率を上昇させていたことを示唆している。この傾向は、永田らが既に報告した宮古市役所での空間線量率の上昇にも示されていた[3]。焼却炉から北東700mに位置する小山田保育所の空間線量率の変動は、線量率の絶対値や変動の幅が小さい点を除くと磯鷄保育所と同様である。これら2つの保育所では、2012年9月から2013年4月にかけて空間線量率が放射性崩壊による予測に従って経過しており、土中放射性セシウムの水平方向濃度均質化は2012年9月には終了していると考えられる。保育所の園庭は小学校に比べると小さく濃度の均質化の速度は大きいと考えられる。

焼却炉の東北東2200mに位置する藤原小学校の空間線量率は、2011年8月以後、2013年4月まで測定されていないため、経過が不明である。他の小学校では、土中放射性セシウムの水平方向移動により、2013年4月から6月の空間線量率と、2013年7月以後の空間線量率の差が統計的に有意な上昇をきたすことはなかった。この空間線量率の経過から類推すると、藤原小学校での統計的に有意な土中セシウムの上昇は、測定点の移動に関連したものではなく、2つの保育所と同様に、焼却炉から飛来した放射性セシウムによるものであると考えられる。

人為的測定地点の変更や土中放射性セシウム濃度の水平方向均等化とは異なる機序により、測定地点の空間線量率やセシウム濃度の変化があったという仮定下においても、2013年4月以後の測定時期を揃えた重茂小学校を除く7つの地理的条件以外が同等である測定点において、汚染牧草焼却後、統計的に有意な上昇を示したのは焼却炉の風下の近傍に位置する保育所、小学校のみであったことは、焼却炉から放出された放射性セシウムが環境中の放射能を上昇させていることのエビデンスの一つであり、これまでの永田等の報告を再確認するものである。

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original authors and the source are credited.

## 文献資料

1. 笹井康則、岩見億丈、永田文夫. 宮古市「放射性物質に汚染された農林業系副産物の焼却処理」に伴う放射性セシウムの大気への漏出. 再処理／岩手の環境／放射性廃棄物. 2013年12月12日. <http://sanriku.my.coocan.jp> 内  
<http://sanriku.my.coocan.jp/Miyakoshoukyaku.pdf>
2. 岩見億丈、笹井康則、永田文夫. ゴミ焼却時における放射性セシウムの排ガスへの漏れ: 精密測定法およびベイズ統計による回収率の評価. 再処理／岩手の環境／放射性廃棄物. 2014年1月5日. <http://sanriku.my.coocan.jp> 内  
<http://sanriku.my.coocan.jp/140105Miyakoshoukyaku.pdf>
3. 永田文夫、笹井康則、岩見億丈. ゴミ焼却による放射能空間線量率の上昇 その1: 宮古市役所と宮古清掃センター. 再処理／岩手の環境／放射性廃棄物. 2014年2月5日. <http://sanriku.my.coocan.jp> 内 <http://sanriku.my.coocan.jp/140205Mcitydose.pdf>
4. 宮古市. 市内小中学校施設における放射線量測定の結果について. (平成23年8月5日から平成23年8月12日)  
[http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/2243/1/110805\\_110812.pdf](http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/2243/1/110805_110812.pdf)
5. 宮古市. 市内の保育施設における放射線量測定結果について. (平成24年9月4日から平成24年9月11日) [http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/1523/1/hosyasen\\_kekka\\_20120911.pdf](http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/1523/1/hosyasen_kekka_20120911.pdf)
6. 宮古市. 宮古市内における空間放射線量の測定結果. H24年度以前各地測定結果一覧表. [http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/910/1/kakuchi\\_sokuteikekka.pdf](http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/910/1/kakuchi_sokuteikekka.pdf)
7. 宮古市. 宮古市内における空間放射線量の測定結果. 市内測定結果一覧表 (H25～). <http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/910/1/sokuteikekka.pdf>
8. 文部科学省 日本原子力研究開発機構. 学校等における放射線測定の手引き. 平成23年8月26日.
9. Eckerman KF & Ryman JC. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal guidance report No. 12. EPA-402-R-93-081 EPA 1993.
10. 岩見億丈、笹井康則、永田文夫. 放射性核種濃度から空間線量率への変換: EPAモデル、および、放射性崩壊に伴う予測式による空間線量率の考察. 再処理／岩手の環境／放射性廃棄物. 2014年3月20日. <http://sanriku.my.coocan.jp> 内  
<http://sanriku.my.coocan.jp/model4.pdf>