

■緊急インタビュー・災害廃棄物等の課題と今後の方向性… 2	
「放射能汚染廃棄物処理、知識不足による過失は避けるべき」	
（独）国立環境研究所 大迫政浩・資源循環・廃棄物研究センター長に聞く	
■放射線汚染された災害廃棄物の広域処理・一時保管…………… 編集部 9	
■検証シリーズ・環境-エネルギーフォーラム2011・イン・北海道…………… 11	
○講演・「室蘭製作所の発電部材の大型・高品質化の歴史と今後の動向」…………… 東 司 12	
○講演・「省エネ・新エネ発電技術の高効率化に向けた耐環境性材料に関する技術課題」…………… 吉業正行 14	
○基調講演・「産業用および廃棄物・バイオマス発電ボイラにおける高温腐食と防食技術」…………… 原田良夫 16	
○講演・「高効率廃棄物発電ボイラの環境解析と過熱器管材の高温腐食損傷解析」…………… 森田祐之 22	
○パネルディスカッション・「廃熱ボイラ設計技術と材料技術の連携による高温高効率化」…………… 24	
コーディネーター：吉業正行	
パネラー：鈴木康夫/南 一彦/井原崇之/原田良夫/安楽敏朗	
○帯広シンポジウム報告・「バイオガスエネルギー利用システム、復興計画にも有効」…………… 編集部 31	
～腐食損傷問題、工農連携による情報・価値の共有化から～	
○総括 「現場から声を発信しよう！」…………… 吉業正行 39	
■北海道のバイオガス施設訪問…………… 42	
鹿追町・環境保全センター/士幌町南区・鈴木牧場	
■特集企画・ごみ焼却施設の経済的運営のポイント（第18回）…………… 46	
視察シリーズ⑭・釧路広域連合	
「低質ごみの熱量改善、ダブルピットでの均質化が効果」	
■連載・Front Line③⑩…………… 村山愉偉 52	
「中国の焼却炉事業で現地化図る、川重と荏原環境プラント」	
■新技術紹介・超臨界CO ₂ ガスタービン発電を開発…………… (財)エネルギー総合工学研究所 54	
■Topics on Waste Management…………… 57	
日造 米・環境事業新会社設立/JFE・住商 静脈産業の海外展開促進FS調査/三菱重 三重中央開発向け廃棄物複合リサイクル施設/タクマ ガス化メタノール合成技術受賞/JFE 仙台市向け震災廃棄物焼却炉受注/JFE 大型都市環境プラント整備・運営事業落札/日造 経済産業省公募案件受託/日造 英国向けごみ焼却発電プラント建設受注/神鋼環境 芳賀地区広域組合から整備・運営事業受注/鎌倉市議会 7月臨時会で自然エネ推進決議/岩手県八幡平地熱発電事業化で協定締結/JFE 横浜エコクリーン稼働と焼却炉3炉体制確立/新日鉄エンジ 鳥羽志勢広域連合向けごみ処理施設受注	
■再生可能エネルギーシンポジウム開催のお知らせ…………… 63	
■フォーカス・下水処理場での生ごみ受入れ …… 北広島市下水処理センター 64	
■Topicson Biomass…………… 70	
早大ら 自然エネ活用しスマートシティ事業/エナジーグリーン グリーン熱認定取得/神鋼環境 再生エネ生産実証事業開始/京大・大ガス 木質ペレットと太陽熱の空調システム導入/味の素 液体調味料残渣を発電所に供給/ヤンマー 伊に研究開発拠点/日本コカコーラ 帯広市BDFプロに参画/住重 バイオマス焚小型CFBボイラ開発/IHIら 藻類バイオ燃料で合同会社設立/伊藤忠 米バイオマス発電所に出資/NEDO 下水汚泥減容化・再資源化を中国で開始	
■特別寄稿・日本機械学会環境工学部門東日本大震災復興ワークショップ「防災拠点の中心施設としての清掃工場」…………… 鈴木康夫 76	
■シリーズ緊急解説②：東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理「放射性物質が含まれた都市ごみ焼却灰について」…………… 鍵谷 司 82	

東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について ～放射性物質が含まれた都市ごみ焼却灰について～

環境計画センター

技術士（衛生工学・建設・環境）・環境カウンセラー（事業者部門）

第一種放射線取扱主任者、甲種危険物取扱者など

専任理事 ^{かぎや}鍵谷 ^{つかさ}司

前回、「環境施設」(No.124,p.87-91,2011.3)において緊急解説①；東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について～放射性物質が付着した廃棄物は放射性廃棄物か？～と題してQ & A形式で廃棄物専門家及び放射線取扱主任者の立場から解説を試みた。とくに、下水汚泥焼却灰から高濃度の放射性セシウムが測定されたので、それを熔融した場合の濃縮の程度について推算し、災害廃棄物の焼却時においても濃縮されることを解説した。さらに、熔融した場合には、スラグの放射能は原料灰の2倍以上に濃縮されることを計算で示し、実態と合致することを紹介した。

その後、災害廃棄物の回収・保管・処理は全力で行われているが、ガレキ類の分別に手間取り、作業がはかどらないと報道されている。保管場所の確保が難しい、破碎・焼却処理施設の能力に限界があるあるいは保管した廃棄物を最終的に処分する場所が明確でないことなど問題は山積みとある。とくに、放射能が付着・混入した廃棄物の仮保管あるいは埋立てに当たっては、傍では被ばくする可能性があることから環境省より対応に付いて事務連絡が行われている。

その中でも6月27日に全国紙で東京都内の江戸川清掃工場の焼却灰から1kgあたり8千ベクレルを超える放射性セシウムが検出されたと報道された。福島県から200km以上も離れた遠隔地に位置する東京都内で家庭から排出されたごみの焼却灰からかなり高い放射性

セシウムが検出されたことは大きな衝撃であった。環境省は、翌日に関係都県に対して「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱いについて」事務連絡を行い、合わせて焼却灰の放射能測定並びに測定結果の提出を要請した。なお、その数日前の6月23日には、福島県内の災害廃棄物の処理の方針を通知しており、その中で、焼却に伴って発生する焼却灰（主灰及び飛灰）に放射性セシウムの濃度ごとに対応が示され、再生利用についても方針が明記されている。

いずれにしても飲料水や食べ物など安全を考慮した暫定基準を満たしたものだけが流通していると思っていたにも関わらず、家庭から廃棄されたものが焼却され、発生した焼却灰から放射性セシウムが比較的高い濃度で検出されたことは大きな謎であり、その原因が不明であり、社会問題になっている。

今回は、都市ごみ中の放射性セシウムがどのように焼却灰に濃縮されるかについて専門的な立場から考察した。まだまだ、実験データや調査データが不足しており、正確性に欠けることは重々承知しているが、今後、原因究明や対策を講じるにあたり、参考になればとの思いで紹介します。

解説する内容は次の5項目にしました。

〈今回解説の5項目〉

Q-①；放射能の強さ（ベクレル；Bq）を放射性物質質量（濃度）に換算すると！

Q-②；災害廃棄物の仮保管場所近傍ではどの程度被ばくするのか！

Q-③；放射能が付着した災害廃棄物の処分はどのように行われるか！

Q-④；焼却灰中に放射能はどこまで離れた場所まで検出されているか？

Q-⑤；都市ごみ焼却灰の放射性セシウムの測定結果とその原因とは！

Q-①；放射能の強さ（ベクレル；Bq）を放射性物質（濃度）に換算すると！

放射能や放射線の単位は身近にない単位なので、非常に理解しがたい。つまり、いくら高いとか低い、あるいはただちに健康への影響がないレベルと言われても自らの判断基準がないので、最悪の影響を想定するので、怖さが先行する。とくに、放射能の強さばかりが報道されるが、一体、どの程度の濃度（放射性セシウム等）で含まれているのであろうか！大気汚染、水質汚染や土壌汚染など身の回りの汚染においては、有害な化学物質が単位重量当たり含まれる量、つまり濃度が人の健康への影響を判断する基準になっている。多くの場合、ppm（100万分の1）オーダーであり、重量で1kg当たり1mg程度が目安である。

以下に、放射能の強さを放射性物質の重量に換算するにあたり、単位の基本的な定義などについて解説しておきます。

〈放射能の単位と被ばくについて〉

放射線による被ばくが問題になっているが、単位としてベクレルやシーベルトが使われている。それぞれの単位の定義を以下に解説します。

○ベクレル（Bq）；

原子核が1秒間に崩壊する数であり、1秒間に1個崩壊した場合が1ベクレルである。放射能の強さを表すのであり、放射線の種類やエネルギーの大きさとは関係がない。例えば、焼却灰が8,000Bq検出されたことは、1

秒間に8,000個の原子核が崩壊していることを示すが、放射線を放出する物質（核種）や放出エネルギー（eV）及びエネルギー吸収や影響の度合いがわからないので、これだけでは被ばく線量を計算することはできない。

○グレイ（Gy）；

放射線が当たる臓器などの組織が1kg当たり吸収する放射線のエネルギー（ジュール）で示され、1kg当たり1ジュール（0.24cal）のエネルギーを吸収すると1Gyと定義されている。つまり、放射線がものにあたった時にどの位のエネルギーを吸収したかを表す単位であり、吸収線量である。

○シーベルト（Sv）；

放射線を吸収しても放射線の種類や臓器などの種類により人間に対する影響が異なる。放射線の種類（ α 、 β 、 γ 線等）による影響を補正するために放射線加重係数、及び影響を受ける組織により感受性が違うので、これを補正するための組織加重係数を乗じて人間への影響を評価する。

・等価線量；吸収線量×放射線加重係数（ α 線が20、 β 線・ γ 線が1）（Sv）

・実効線量；等価線量×組織加重係数（生殖腺0.20、肺・胃0.12、肝臓0.05、皮膚0.01）

それぞれの組織加重係数を乗じて総和したものが全身への影響の評価値となる。（Sv）

法律的には、被ばく線量（シーベルト）は実効線量で評価されるが、等価線量の単位もシーベルトで表わされる。

放射能が強いほどエネルギーが強いので、被ばく線量（実効線量）は高くなるが、簡単に実効線量を算出することはできないことが理解できるでしょう。

〈半減期と放射能について〉

1秒間に崩壊する原子核の数が半分になる時間を半減期という。半減期が短いと放射能は早く消滅するので、安心であるが、果たして本当であろうか！例えば、よう素の半減期は8日であり、80日で1,000分の1に、160

日で100万分の1に減少する。福島原発から放出された放射性よう素は数ヶ月過ぎにはほとんど検出されなくなる。一方、セシウムの半減期は約30年であり、300年後にようやく1,000分の1まで減衰する。長期にわたって放射線を放出することになるので、一度、汚染された物や土地が放射線の影響がなくなり、使えるようになるためには長期間を要する。

このように見方を変え、同じ放射能であれば、半減期が短いことは短時間に大量の放射線を放出して安定化することを意味する。つまり、半減期と放射線の強さは関係が強いことを示唆する。下記の理論式で計算すると、半減期が8日の放射性よう素は、30年のセシウムと比べると約1,500倍も強い放射線を放出しているのである。

〈放射能の計算〉

原子核が毎秒ごとに自然崩壊する確率は、放射性物質の半減期(T)に反比例するので、時間 $t=0$ において N_0 個の放射性核種があったとすれば、時間 t における存在量(N_t)は次式で示される。時間 t が半減期に至るとちょうど存在量は半分になる。

$$N=N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}}$$

単位時間あたりに原子核が崩壊する確率を λ (崩壊定数)とすると、これから t 時間後の崩壊数を算出すると次の関係が導かれる。壊変定数とは、放射性原子核が単位時間に崩壊する確率であり、核種に固有の値である。

$$\text{半減期} \times \text{壊変定数} = 0.693 \quad (\text{半減期 } 1/2 \text{ の自然対数値; } \ln 2)$$

つまり、半減期がわかれば壊変定数を求めることができ、これに1gあたりに含まれる原子の数を乗じるとその放射性物質の1秒間の崩壊数(Bq)を算出することができる。馴染みになった各種放射性核種の1g当たりの

放射能を算出すると次のようになる。

ラジウム(226); 半減期; 1,601年、放射能; 3.7×10^{10} 個/秒(Bq) $\Rightarrow$ 1Ci

よう素(131); 半減期; 8.04日、放射能; 4.6×10^{15} 個/秒(Bq) $\Rightarrow$ 約12,500Ci

セシウム(134); 半減期; 2.06年、放射能; 4.8×10^{13} 個/秒(Bq) $\Rightarrow$ 約1,300Ci

セシウム(137); 半減期; 30.1年、放射能; 3.2×10^{12} 個/秒(Bq) $\Rightarrow$ 約87Ci

ストロンチウム(90); 半減期; 28.7年、放射能; 5.1×10^{12} 個/秒(Bq) $\Rightarrow$ 約138Ci

プルトニウム(239); 半減期; 24,000年、放射能; 2.3×10^9 個/秒(Bq) $\Rightarrow$ 約0.06Ci

(注; プルトニウムの放射能は小さいが、長期にわたって放射され、その毒性の強さ、発がん性が問題)

なお、放射能の研究初期においてラジウム226を発見したキュリー夫人の功績に基づき、ラジウム1gが1秒間に崩壊する原子数(370億個/秒; 370億Bq)を1キュリー(Ci)と定義されている。

〈放射能から放射性物質質量への換算計算〉

ところで、後述するが都市ごみ焼却灰に高濃度の放射能が検出され、社会問題になっている。一体、どの程度の放射性セシウムが含まれていたのであろうか。概算すると次のようになる。

例えば、焼却灰1kg当たり1万Bqのセシウム(Cs137)が検出されたとする。1gのCs137の放射能は上記より 3.2×10^{12} (Bq)であるので、1万BqのCs137の重量はわずか0.0031 μ gにすぎない。つまり、焼却灰1kg中に0.0031 μ g含まれているとCs137が1万Bq検出されることになる。

放射線は、原子核の壊変の過程で不安定な核種から安定な核種に移行する過程で放出されるが、Cs137の場合、1g中には 4×10^{20} 個の原子核が存在するので、これが半減期に対応して崩壊するとしても膨大な放射線が放出

されることになる。大気汚染や水質汚濁において人の健康に影響を及ぼす汚染物質とは桁違いの超極低レベルの原子の崩壊数が影響を及ぼすのである。

Q-②：災害廃棄物の仮保管場所近傍ではどの程度被ばくするのか！

放射性物質の放射エネルギーはベクレル (Bq) で示されるが、これは1秒間に原子核の崩壊する数を表し、放射されるエネルギーとは直接関係がないので、この数値から人体への影響を評価する実効線量 (シーベルト；Sv) を算出することはできない。様々な条件を設定することにより被ばく線量を計算できるが、当然放射能が強いほど被ばく線量は大きくなる。とくに、体外から放射線を浴びた場合 (外部被ばく) には、線源からの距離、遮蔽物の有無や被ばく時間により変動するので、算定に当たっては多くの条件が必要である。なお、放射線を吸引や経口で体内に取り込んだ場合 (内部被ばく) については、常時被ばくすること、遮蔽がないこと、細胞までの距離が短いことなどから核種ごとに算定する換算方法が確立されている。

〈放射能 (Bq) と被ばく量の算出事例と課題〉

インターネットなどで検索調査したが、放射能と被ばくの関係を示す記載は少なく、原子力資料情報室によるデータが引用されている。セシウム137が100万Bqから1m離れた地点における被ばく量は次の通りであるとしている。なお、計算根拠は確認できないが、多分、点線源を想定し、遮蔽のない空気中で1m離れた地点のエネルギー密度を算定したものと考えられる。外部被ばく量を計算するためには、線源の強さ、距離、時間の設定が必要であり、これらが明確になっていなければ、検証・確認することができない。いわば、放射能の強さ (ベクレル) から人体への影響を判断する実効線量の変換は簡単ではないと

いうことである。(検討中)

なお、セシウム (137) 1gの放射能は 3.2×10^{12} (Bq) であり、100万Bqを放出するセシウムの重量はわずか0.31 μ gにすぎない。

⇒ γ 線により0.0019mSv/日

⇒0.08 μ Sv/Hr (自然放射線等を除く)

〈災害廃棄物保管時の空間線量率の測定事例〉

ところで、放射能が付着した災害廃棄物を保管あるいは処理するに当たり、近傍における空間線量率が大きな問題になる。環境省は、平成23年6月28日に環境省事務連絡を行い、その参考資料として「災害廃棄物の放射性セシウムと空間線量率の関係」を示している。なお、廃棄物から1m離れた場所において高さ1mの地点における空間線量率を測定した結果である。

なお、空間線量率とは、対象とする空間の単位時間当たりの放射線量であり、物質が放射線から吸収したエネルギー量で測定する場合、線量率の単位はGy/h (グレイ/時) で表す。空気吸収線量率ともいい、緊急時には「Gy/h」と人体への影響を表す「Sv/h)」は同じ値である。

〈仮置場の災害廃棄物1m地点の空間線量率；〉

①空間線量率が比較的低い場合；バラツキ小
Cs137；800Bq/kg⇒0.2 μ Sv/h

②空間線量率が比較的高い場合；バラツキ大
Cs137；3,000 (～6,000) Bq/kg⇒0.8 μ Sv/h
平均的な目安であるが、その特長として、仮保管場の放射能が高いと空間線量率はばらつくことがあげられている。なお、セシウム137の放射エネルギーが800Bq/kgであることは、焼却灰1kg当りに 2.5×10^{-10} g、つまり、1kgの焼却灰中に0.25ng含まれていることになり、3,000Bq/kgの場合にはkg当りに0.94ngになる。

廃棄物から1m離れた場所において高さ1mの地点における空間線量率を測定した場合、点線源であれば、一箇所から全方向に放射さ

れるエネルギー密度を計算すれば求めることができるが、仮保管場所に堆積された廃棄物中には放射性物質がランダムに付着・混在している α 放射線は表面に付着した放射性物質からのみ放射されるのではなく、内部に存在する放射性物質からも γ 線が放射されている。内部に分布するセシウムから放射される γ 線は、廃棄物により遮蔽され、また、距離減衰する。つまり、線量測定地点では、様々な地点から到達する放射線を総和しなければならないので、1m地点の空間線量率を計算することは至難である。放射線量の強さは距離の2乗に反比例して減衰するが、線源が立体的である場合には、単純に計算できそうにない。

放射能が弱い場合には、表面付近からの放射線が主であり、堆積した廃棄物内部からの γ 線は遮蔽及び距離減衰により影響が軽減されるので、仮保管場の放射能が低いと空間線量率のばらつきは小さくなると考えられる。

このような考察に基づく、数多くの測定データを蓄積して経験則に当てはめて被ばく量を概算する事が現実的である。

ところで、平成23年5月17日に環境省は、平成23年5月9日から12日にかけて、福島県内の災害廃棄物の仮置き場において、災害廃棄物の周辺（災害廃棄物から約1mの地点）の空間線量率の測定を行った結果を公表した。その結果では、すべての仮置き場において、災害廃棄物周辺の空間線量率はバックグラウンド地点と同程度で、一部の限られた測定地点（測定地点1,205地点中2地点）では、バックグラウンドとの差が比較的大きい空間線量率が検出されたが、その値は最大でも $4.04\mu\text{SV/h}$ であった。また、廃棄物から1m地点における空間線量率とバックグラウンド地点における空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）（中央値）との間には高い相関が認められ（重相関係数：0.9程度）、ほとんどバックグラウンドの空間線量率に依存しているとされている。^{※2)}

Q-③；放射能が付着した災害廃棄物の処分はどのように行われるか！

放射能が検出された焼却灰について、関係都県に対して平成23年6月23日「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」に定める処理の方針を参照にして対応するように事務連絡が行われている。^{※1)} その直後に東京都江戸川清掃工場における焼却灰に高濃度の放射性セシウムが検出され、社会問題になった。焼却灰に放射性セシウムが検出されたことは、都市ごみに高濃度で放射性セシウムが含まれていることを意味し、とくに、飲食物中に放射性セシウムが高濃度に含まれているのではないかと心配された。

環境省において早急に焼却灰の処理方法が検討されている。その数日前の福島県内の災害廃棄物の処理の方針を通知しており、その中で、焼却に伴って発生する焼却灰（主灰及び飛灰）の放射性セシウムの濃度ごとに対応が示され、再生利用についても方針が明記されている。また、環境省では、管内市町村等において測定結果を各都県で取りまとめの上、提出を依頼し、すでに公表されている。

その内容は下記のとおりである（抜粋）。
「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱いについて」^{※2)}

東京都の一般廃棄物焼却施設の飛灰から $8,000\text{Bq/kg}$ を超える放射性セシウム（セシウム134及びセシウム137）が検出されたことから、東北地方及び関東地方等の一般廃棄物焼却施設における焼却灰（主灰及び飛灰）の測定を要請するとともに、当面の取扱いについてお知らせする。各都県においては、その内容につき御理解の上、管内市町村等への周知方よろしく願います。

また、「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」（平成23年6月23日）を別添資料として添付するので、併せて御参照いただきたい。

（1）焼却灰の測定

すべての一般廃棄物焼却施設の飛灰に含まれる放射性セシウムの濃度を測定する。参考として、同時に主灰についても測定することが望ましい。なお、飛灰が8,000Bq/kgを超えるおそれがある場合には、主灰の測定を行う。また、測定結果が8,000Bq/kgを超えた場合、又は8,000Bq/kgに近い値となった場合は、一定の間隔（1ヶ月程度）をおいて、測定を継続することが望ましい。

（２）当面の取扱い

今回の東京二十三区清掃一部事務組合による焼却灰の放射能濃度の調査の結果を受け、環境省において早急に焼却灰の処理方法を検討することとしている。検討結果がまとめられるまでの間、焼却灰の取扱いは下記のとおりとする。

ア. 8,000Bq/kgを超える主灰又は飛灰については、一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）に場所を定めて、一時保管する。一時保管の方法は、「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」（平成23年6月23日）に準拠する。

イ. 8,000Bq/kg以下の主灰又は飛灰については、一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）に、埋立処分する。念のための措置として、可能な限り、飛灰と主灰の埋立場所を分け、それぞれの埋立場所が特定できるように措置する。

ウ. また、8,000Bq/kgを超える主灰又は飛灰が確認された場合は、一時保管場所付近での空間線量率及び埋立地の排水のモニタリングを実施する。

エ. 埋め立てた主灰又は飛灰の濃度レベルによって、跡地利用に制限がかかる場合がある。

（参考）「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」に定める一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）での一時保管の基準

1. 埋立場所を他の廃棄物と分け、埋立場所を記録する。

2. 土壌（ベントナイト等）で30cm程度の隔離層を設けたうえで、耐水性材料で梱包等した飛灰を置く。

3. 雨水浸入防止のための遮水シート等で覆う、あるいはテントや屋根等で被覆する。

4. 即日覆土を行う。

（３）作業者の安全確保

一般廃棄物に放射性セシウムが含まれている場合、焼却に伴い、主灰又は飛灰に濃縮されるので、その濃度レベルによっては主灰又は飛灰を取り扱う作業者の安全について注意が必要となる場合がある。その目安として次のふたつがある。

ア. 「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」において、作業者の安全も確保されるレベルとして示した8,000Bq/kg

イ. 電離放射線障害防止規則（電離則）の適用対象となる放射性セシウムの濃度（10,000Bq/kg）8,000Bq/kgを超える場合には、埋立作業に当たってできるだけ頻繁に覆土を行うことが望ましい。また、10,000Bq/kgを超える場合には、電離則に従って作業者の安全を確保することとする。

注）クリアランスレベル；原子炉等規制法に基づくクリアランスレベル（ $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ ）時間当たりに換算すると、 $0.001\mu\text{Sv}/\text{Hr}$ は、私たちが通常生活していて受ける自然放射線量の1/100以下を目安としており、クリアランスレベルに相当するセシウム134、セシウム137の濃度は $0.1\text{Bq}/\text{g}$ に相当する（ $100\text{Bq}/\text{kg}$ ）。

クリアランスレベル以下の極低レベルの放射能を含んだ廃棄物は、「廃棄物処理法」に基づいて通常の廃棄物として取扱いが行われ、このレベル以上の放射能を含む低レベルから高レベル廃棄物は原子炉等規制法に基づいて取扱いが規定されている。なお、クリアランスレベル（ $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ ）の線量規準は、国際的なリスク規準（健康影響を死亡率で表現）では 10^{-6} （100万人に一人が死亡する確率）に相当する。【筆者加筆】

表－１ 焼却灰の処分基準

放射性セシウム基準値		対 応
100,000Bq/kgを超えた場合		適切に放射線を遮へいできる施設で保管
8,000～100,000Bq/kg		管理型最終処分場に場所を決めて一時保管（隔離埋立、飛灰は梱包、テントなどで被覆、即日覆土） ※空間線量率、排水のモニタリング ※1万Bq/kgを超えた場合は電離の規定を順守
8,000Bq/kg以下		管理型最終処分場で埋立（主灰と飛灰を分離、特定場所で埋立）
参考	5,000Bq/kg	稲の作付けが可能となる土壤中濃度の上限值
	500Bq/kg	穀類・野菜・肉・卵・魚の暫定指標値
	200Bq/kg	飲料水・牛乳・乳製品の暫定指標値
	100Bq/kg	※廃棄物の再生利用が可能※クリアランスレベル；10 μ Sv/年以下

※平成23年6月23日の環境省通知「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」に基づく基準

※平成23年7月14日（環境省）、10万Bq/kg以下のがれきの埋立処分を認める緩和検討

Q－④；焼却灰中に放射能はどこまで離れた場所まで検出されているか？

平成23年6月27日に全国紙が一斉に東京都江戸川清掃工場の焼却灰から1kg当たり8千ベクレルを超える放射性セシウムが検出されたと発表された。東京都内は福島第一原発から約220km程度離れた地点であり、にもかかわらず東京都内で家庭から排出されたごみの焼却灰から高い濃度で検出されたことは大きな衝撃であった。環境省は、28日には関係都県に対して「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱いについて」事務連絡を行い、焼却灰の放射能測定並びに測定結果の提出を要請した（現時点ですでに公表されている）。さらに、7月11日には、東京よりも30km程度福島原発に近い千葉県柏市の焼却後の溶融飛灰固化物に60,800～70,800Bq/kgの放射性セシウムが検出されるとともに、関東地域の各地の清掃工場焼却灰の放射能が検出され、公表された。

このうち、福島第一原発からはほぼ西方向に位置する清掃工場に着目し、次の数か所の清掃工場の焼却灰、とくに飛灰の最大値をピッ

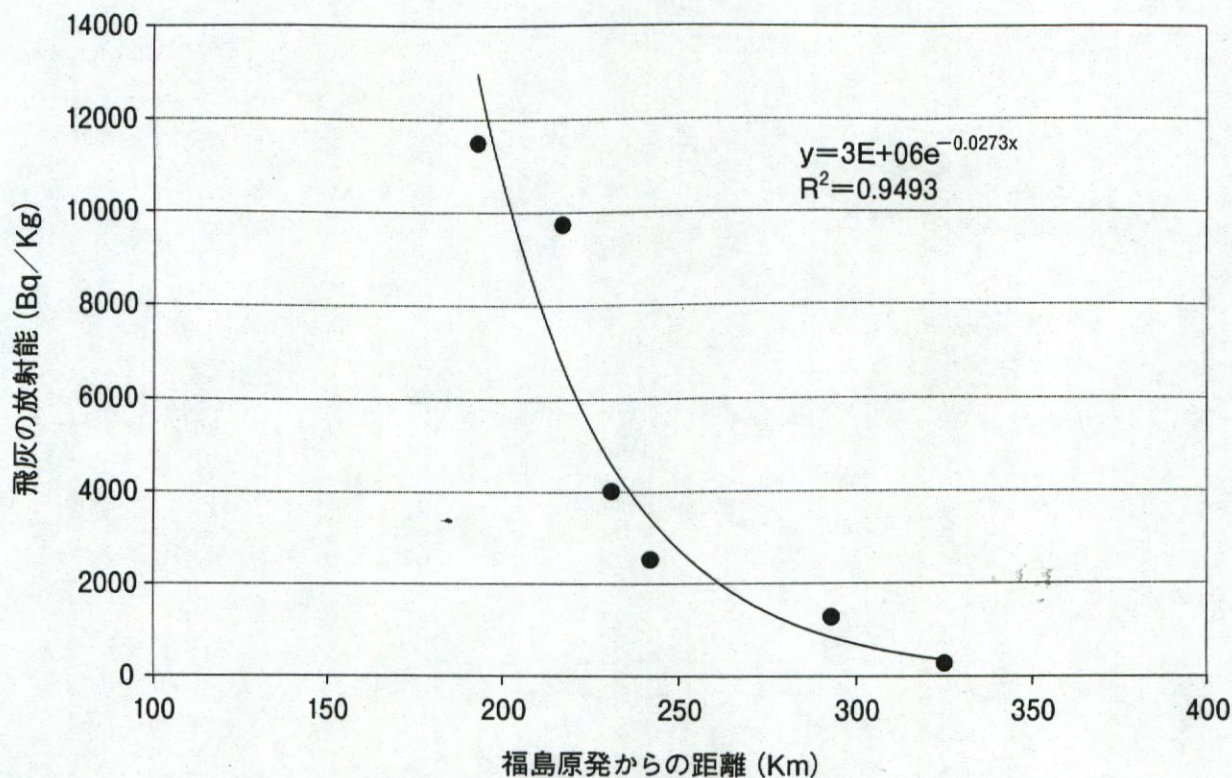
クアップして原発との距離との相関性について解析してみた。

つまり、3月に起った水素爆発に伴って放出された放射能がどのように距離減衰するかについて知見が得られると想定した。その結果、飛灰1kgの放射能（Bq）は次の通りであった。

- ①千葉県柏市；約190km；飛灰；11,500（注：飛灰固化物（9,780）の15%を固化剤として換算、詳細不明）
- ②東京都江戸川；約217km；飛灰；9,740
- ③東京都杉並；約231km；飛灰；4,020
- ④神奈川県川崎市；約242km、飛灰；2,530
- ⑤神奈川県小田原市；約293km、飛灰1,286
- ⑥静岡県富士市；約325km、飛灰；279

このデータを距離と飛灰最大値をプロットすると図－1のようになり、距離と放射能濃度との間に高い相関が認められた（重相関係数＝0.949）。

このグラフからもっと原発に近い焼却施設の焼却灰はかなりの高い放射能が検出されることを示唆している。なお、250km以上離れた地点では、8,000Bq/kgを超えることはなさそうである。また、災害廃棄物の焼却の場合は、放射能の付着・混在の程度及びごみ組



図－１ 福島第一原発からの距離と焼却施設の飛灰の放射能濃度

成などが異なるので、同様ではないと考えられるが、高い濃度で検出されることは容易に推測できる。また、焼却灰の放射エネルギーから地域のホットスポットの有無を示唆するとも考えられる。

Q－⑤；都市ごみ焼却灰の放射性セシウムの測定結果とその原因は！

焼却灰に高濃度で放射性セシウムが検出されたことは、専門家からみると主灰、飛灰あるいは固化物や溶融物の濃度が気になる。つまり、燃焼方式や処理方式により焼却灰の放射能はどのように濃縮され、適切な処理方式を検討する上で重要な知見となる。また、多くの情報が発信されているが、放射性セシウムが混入したはずの焼却前の都市ごみは何であるかについては明らかになっていない。以下に公表された数値に基づいて検討した。

〈焼却灰の放射能濃度について〉

6月16日～24日にかけて東京都内20箇所

清掃工場の主灰（炉底灰）と飛灰（集じん装置で捕集した灰）のCs137濃度が公表されているので、これらを次のように主灰と飛灰に区分してまとめた。

①主灰の放射能濃度測定結果；17箇所の清掃工場

※範囲；99～1,290Bq/kg；平均600Bq/kg（江戸川清掃工場；592）

②飛灰の放射能濃度測定結果；11箇所の清掃工場

※範囲；981～9,740Bq/kg；平均3,500Bq/kg（江戸川清掃工場；9,740）

このように焼却灰に高濃度の放射能が検出されたことは、燃やす前の都市ごみに放射能が含まれていたことを示している。都市ごみは、飲料となる水分、食べ物などが主成分であることから放射能の体内への取り込みが懸念されるので、詳細に検討した。なお、飛灰は集じんされた灰であり、主灰と比べると粒子が小さく飛散しやすい。とくに、セシウム

は、融点や沸点が比較的低いので、850℃程度
の高温で燃焼した場合には、ミスト等として
揮散しやすく、バグフィルターで捕集され
ると考えられる。つまり、飛灰の放射能は主灰
(炉底灰)よりも高くなることは容易に推測で
きる。

今後、焼却灰中の放射性セシウムの挙動あ
るいは除染や処分方法を確立するためにも、
環境中におけるセシウムの化学形態である、
金属セシウム、水酸化セシウム、塩化セシ
ウム、酸化セシウム、超酸化セシウムなどにより
性質が大きく変わるので、重要な知見の一
つである。

〈焼却方式による焼却灰の放射能濃度は違う か?〉

主灰と飛灰の発生量は燃焼方式(ストーカ
方式と流動床)により大きく違う。一般的に
ストーカ方式は小型焼却炉から大型焼却炉ま
で柔軟に対応できるが、流動床方式は大型化
に限度があるとされている。都内の清掃工場
は日200～1,800トンであり、炉数を増やして
対応している。20箇所の焼却炉のうち、スト
ーカ方式が16箇所、流動床方式が2箇所、ガ
ス化溶融方式が2箇所である。

以下に都内20箇所の清掃工場の燃焼方式を
ストーカ方式と流動床方式に区分して示す。

- ①ストーカ方式(16箇所)；主灰；99～702
(平均；約290Bq)、飛灰；1,352～9,740(平
均；約3,840Bq)
- ②流動床方式(2箇所)；飛灰；981～1,000
(平均；約990Bq)；炉底灰はほとんど発生
しない。

流動床方式の放射能濃度は低い傾向にある
が、この方式では焼却灰のほとんどが飛灰に
なるので、ストーカ方式の主灰と飛灰が混合
したものとみなせる。都市ごみ焼却時に発生
する主灰を12%、飛灰を3%に設定し、これ
らを混合した場合の放射能を算出すると

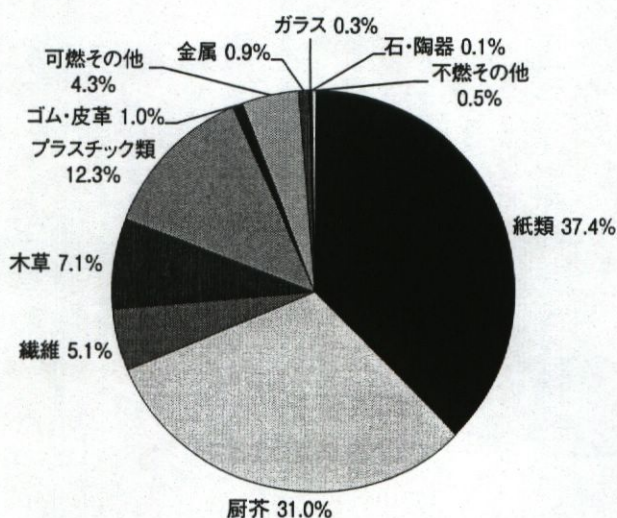
990Bq/kgであり、流動床の放射能(980Bq/
kg)とほぼ同じであると推算できる。つま
り、データのみからストーカ焼却灰の放射能
が高いとか、流動床焼却灰は低いなどと安易
に断定することは誤りであることを強調して
おきたい。

〈都市ごみの放射能濃度とその原因について〉

東京都内で最も濃度の高かった江戸川清掃
工場(ストーカ方式；300t/日×2基)を事
例にして、都市ごみを焼却した場合に主灰が
約12%、飛灰が3%発生すると設定し、都市
ごみ中の放射能を推算すると次のようになる。

主灰のCsが592Bq/kg(12%)、飛灰では
9,740Bq/kg(3%)であったので、都市ごみ
1kg中には約360Bqの放射能が存在したと推
算できる。飲料水の暫定基準が200Bq/ℓ、野
菜・穀類・肉・卵・魚が500Bq/kgであるこ
とを考えるとすべてのごみに360Bq/kgの放
射能が含まれていることになり、異常である。

以下に平成21年度東京23区一部清掃事務組
合「平成21年度搬入先ごみ性状調査結果」を
参考にして考察してみた。



東京二十三区清掃一部事務組合「平成21年度搬入先ごみ性状調査結果」より作成
図-2 東京23区清掃一部事務組合「平成21年
度搬入先ごみ性状調査結果」

ごみ組成には、放射能汚染されていないと
想定できる紙類、繊維やプラスチック類が約

55%を占めており、他のごみに放射能が含まれていたとすると2倍以上の濃度になる。社会的な状況を鑑みると、4月には、学校施設の利用基準が緩和され、文部科学省による暫定基準（20mS/年；校庭の放射線量が3.8 μ S/h）が社会問題になっていた。子供は放射線に対する感受性が高いことからできる限り被ばく量を低くするために、芝生の除去など放射能の除染が大きな関心事になっていた。

放射能が含まれ易いごみとしては屋外で汚染されていたものが除去され、混入した可能性が高い。

例えば、木・草や不燃その他を10%程度に想定すると、これら1kgあたり3,600Bq含まれていると想定すると平均的に360Bq/kgに相当することになる。とくに、放射性セシウムはプラスイオンになり易く、土壌はマイナスイオンになりやすいので、土壌に吸着され易い特性がある。つまり、学校施設の利用基準が問題にあり、除染に関心を集めた時期であることから、土壌の付着した剪定枝、芝や雑草がごみとして排出されたものと推定される。なお、水田の暫定基準は5,000Bq/kgであり、この程度の汚染は大きな数値ではなく、十分に妥当な数値であろう。

おわりに

都市ごみ焼却灰に高濃度の放射性セシウムが検出されたことから、日常生活に放射能が高濃度で存在することが懸念されることから、その原因等について精査し、解析・検討した結果を紹介した。

災害廃棄物の対応はまだまだ進んでいない

状況であり、今後、処理施設による処理が実施されることになるが、常に放射能の濃度、つまり被ばくを抑制するための対応が重要になる。また、伊達市が積極的に推進している放射能の除染活動により居住区で空間放射線が数分の一に低減するなどのデータが注目を浴びており、各地で除染活動が活発になるものと想定される。とくに、セシウムは土壌に付着しやすいので、コンクリートや土砂の表土が除去されとかなり大量の土砂等が排出される可能性がある。また、夏が終わり枯葉の季節になると大量の草木類が家庭ごみとして排出され、焼却灰中の放射能が高くなる可能性もある。これら極低レベルの放射能を含んだ残土類や草木類については早めに適切な指導を行うべきであろう。居住地から離れた場所に隔離して仮保管をするにしても最終的に処分する方策を打ち出すべきである。（次回に私案を提案したい）

災害廃棄物に関する状況や対応については国及び関係機関等において連日新しい情報が発信されている。このため、ここでは、むしろ放射線及び廃棄物の専門家の立場から、視点を変えて解説するように心がけた。私は、放射線物理学の専門家ではないので、仮に誤りあるいは不適切な部分があればぜひとも意見を直接私個人に送信していただき、意見交換をさせていただければと願っています。また、内容についても参考に利用していただくのは結構ですが、引用に当っては誤りがないとも限らないので、精査していただきたい。連絡先；epc@gold.ocn.ne.jp

〈参考資料〉

- ※1)「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」（平成23年6月23日）環境省
- ※2)「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱いについて」（平成23年6月28日）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部
- ※3)「福島県内の仮置き場における災害廃棄物の放射線モニタリング調査結果の公表について」（平成23年5月17日）環境省