

放射性物質の環境影響評価のためにホットスポットと平均線量率で測定評価する方法

内田英夫, 成岡秀訓, 吉田大輔 (エヌエス環境株)

キーワード: 放射能, ホットスポット, 線量率, 影響評価,

1. はじめに

従来、放射能は環境問題の範囲から除外されていたが、福島第一原子力発電所事故をきっかけに環境基本法から放射性物質適用除外規定が削除され、放射能も環境問題として取り扱われることになった。このため、環境アセスメントにおいても環境放射能の予測・評価を行うことになり(平成27年6月施行)、環境省から「環境影響評価技術ガイド(放射性物質)」¹⁾が公表されている。しかし、このガイドでは定型的な放射線量測定や定性的な予測が中心で、空間的に評価地域を代表する放射線量値や放射能濃度を測定して対策や必要な措置を検討することにまでは触れられていない。現状では、アセスメントで環境放射能評価を行った例も少なく、定量的な環境放射能の把握方法や評価方法が求められるといえども、その技術報告例はほとんどない。

一方、放射能除染のための放射線量の把握においては、対策のために除染目安を超えた放射線量(0.23 μ Sv/h) かどうかという点と周囲が除染目安を超えない放射線量の地域であれば局地的に高濃度の放射線量になる、いわゆるホットスポットかどうかという点が調査の主目的となっている場合が多く、環境全体を空間的代表性の観点から把握しているとはいえない。すなわち、ホットスポットは必要ではあるが把握されていない状態といえる。

そこで、2つの高さの測定値からホットスポットを判定する方法²⁾で地域の平均放射線量とホットスポットを区別し、空間的に放射線量を代表する値を把握するとともに、ホットスポットの出現確率とその濃度を把握して影響を評価する方法を提案する。地域の放射線量の代表値はサンプリングの誤差5%で代表値が求まるサンプリング地点数を基本としているが、調査地域を地区割りして効率的に調査地点数を削減する方法についても検討した。さらに、近年では一般のサーベイメータを利用する自動車走行サーベイより高精度で測定できるようにした高感度自動車走行サーベイ調査³⁻⁴⁾が行なわれるようになってきたので、この方法による放射線量把握の精度や、より詳細な調査に対する活用法などを検討した。

2. 調査方法と原理

2.1 ホットスポットの判定原理

地表面上の放射性セシウムからの放射線量率は、放射性物質の広がりを R として、次の計算式で計算できるが、計算場所における核種の存在割合などによって放射線放出比や放出 γ 線エネルギーが変わるため簡単には計算できない。しかし、同じ場所における異なる高さの放射線量を考えると、当然核種等は同じなので、高さの異なる2地点の放射線量比を考えると、この比は核種などの要素の影響を受けずに、それぞれの測定高さで放射性物質の存在するスポットの大きさと決まることになる。

$$\epsilon_{abs} = \int_0^R \frac{E\zeta\eta P}{4\pi(r^2+h^2)} e^{-\mu\sqrt{r^2+h^2}} 2\pi r dr$$

ϵ_{abs} : 線量率(Sv/h)

E : 放出 γ 線エネルギー(MeV)

ζ : 線減衰定数(空気の減衰定数)

η : 放射線放出比

P : 放射能(MBq/m²)

h : 高さ(m)

R : ホットスポットの半径(m)

このため、2ヶ所で放射線量を測定すれば、その場所がホットスポットであるかどうかだけでなく、ホットスポット上である場合には、周囲に比べて十分に高濃度と仮定すれば、その比率からホットスポットの大きさが推定できることになる。

この判定方法では、スポットが小さいほど比率が大きく変わりホットスポットとして検出しやすいが、ホットスポット半径が大きくなると比率の変化は少なくなり、さらにバラツキなどの影響も受けることから、ホットスポットと判定するのが難しくなる。当然ではあるが、測定高さが変わると比率が変わるので、大きいホットスポットの場合は、地上高を高くした方が検出しやすくなる。しかし、測定の簡便さと、通常は1m高さを標準として測定していることを考え合わせると、5cmと1mで固定した測定高さとするのが妥当と考えられる。そこで、5cmと1mの組み合わせとで放射線量のバックグラウンドを30nSv/hとし、一様濃度平面における放射線量比を求めると約1.7となりこれから外れる比率の測定値はホットスポットによるものと判定できる。

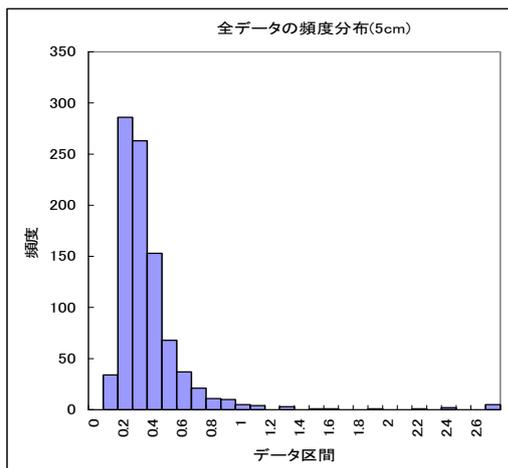
2. 2 放射線量の測定方法と地域差の判定方法

ホットスポットが出現する北関東において、15の地域で無作為抽出調査と考えられる10mメッシュの交点における測定とメッシュとは別にホットスポットが出やすいと思われる地点において地上高5cmと1mで放射線量測定を行った。また市内の多数地区で同様メッシュ調査をした測定値があったので、1場所につき20以上の測定地点で測定値が得られた28ヶ所のデータを使いホットスポットを除いて広域的に放射線量を代表していると考えられるデータの検討を行った。

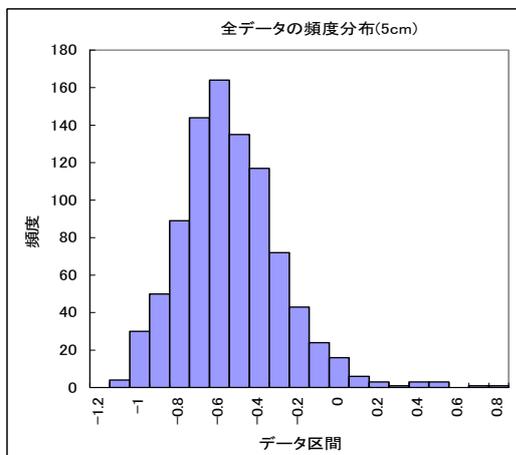
3. 調査結果と考察

3. 1 放射線量率の分布

実測例として地上高5cmで測定したデータのヒストグラムを図1に示す。図1a)は、データ区間を測定値の数値で割り振ったもので、b)は測定値の対数



a) データ区間 測定値



b) データ区間 測定値の対数

図1 測定結果のヒストグラム

を採って割り振ったものである。測定値で区間をとったものは右に緩やかな裾を引く形となっているが、対数値で示したb)はおおむね正規分布の形となっている。放射能ということで考えると測定値の分布はポアソン分布と考えられるが、異なる場所の測定値であるため対数を取ると分布に近づくものと考えられる。なおb)の分布は危険率5%でポアソン分布と判定される。データ数が大きければ、ポアソン分布は正規分布で代用できるので、統計的に扱うために測定値は対数正規分布として議論を進める。

3. 2 ホットスポットの判定

地域の平均的な放射線量を把握する目的のメッシュ調査結果を用いてホットスポットの判定について精度を検討した。メッシュ調査の中にもホットスポットの影響を受けた測定値があると考えられるので、測定値のバラツキと比率のバラツキに分けて検討し、地域の代表値求めた。最初に比率のバラツキであるが、低濃度の場合は数字が小さいと比率の数値がばらつくことが考えられるので、1m高さで0.1μSv/hを超える数値の5cmと1mの測定値の比率を調べ、この数値が放射線量比1.7を中心とした95%信頼幅に収まらない比率のものをホットスポットやクールスポットの影響を受けたものと判断した。

この方法により、ホットスポットの測定値と判定された値を高さ別の比率からホットスポットの大きさ推定を行った。判定した例を図2に示す。図は、5cmと1mの比率からホットスポットと判定された測定値を比率の大きさによりホットスポットの大きさ推定を行った例である。推定は比率だけで行われて大きさに寄らないが図の右上に近づくほど大きなレベルとなる。この例では、約1mと2m前後の大きさの高濃度のホットスポットが測定されていて、

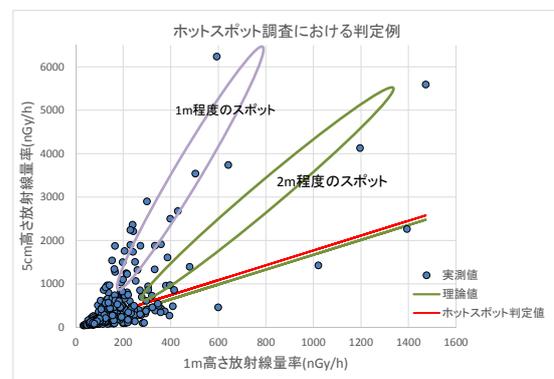


図2 ホットスポットの判定例

低濃度のスポットは、数十 cm 程度の大きさからの幅広い範囲にあることがうかがえる。

3. 3 放射線量把握のためのサンプリング地点数

簡単のために除染の基準である $0.23 \mu\text{Sv/h}$ を超えるかどうかの比率判定を統計的に行うとすると、最大誤差 $E\%$ に納めるために母集団の大きさ N からサンプリングしなければならない必要標本数 n は次の式で表される

$$n = \frac{N}{\left(\frac{E}{Z}\right)^2 \left\{ \frac{N-1}{p(1-p)} \right\} + 1}$$

n : 必要サンプル数

N : 母集団の大きさ

E : 最大誤差 (5%とした)

Z : 信頼係数における分布の値
(正規分布で95%信頼幅なら1.96)

P : 母集団比率 (安全側で0.5とした)

前節で、測定値の対数は正規分布になることを示したので、対数値で扱い、標本誤差 5%とするための必要サンプリング数を計算すると母集団の大きさが大きくなると必要数は一定値に近づくようになる。一方、前に示した原理により高さ別に測った放射線量比により数 m の大きさのホットスポットは判定できるので、地域の放射線量の把握は 5~10m メッシュで考えれば十分正確に把握できると考えられる。また、放射線量比によりホットスポットにおける測定値か周辺を代表する測定値かが判定できるので、サンプリングの地点としては無作為におおむねホットスポットの出現数を考慮して必要数を選び、周辺を代表する地点を集計すればその地域の平均放射線量が把握できると考えられる。

3. 4 地域の放射線量、ホットスポットの違い

ホットスポットの判定法により測定場所を代表する測定値を集計すると地域の平均値が把握できることになる。しかし、これらの測定法により正確に地域の代表値を把握したとしても、本来放射線量は地域によってばらつきがあり、地域代表性が狭いことも考えられる。そこで、地域における代表性を確認するため、広がりのある地域の 28 場所の測定値を比較して代表性を検討した。1 場所 20 地点ほどの測定地点をとり、ここで述べた高さ別測定値比率によりホットスポットデータを取り除いて広域的なデータを把握する方法で場所ごとの代表値を求め、28 場所の違いを検討して地域の代表性を検討した。危険率

5%で同じと認められるものをグループ化した結果では、全体が 5 グループとなり、場所によっては危険率 5%で明らかに異なる放射線量と判定される。しかしグループは、ほとんど共通していて、多くの場所はバラツキの範囲内で危険率 5%では差がないと判定された。このことは、ホットスポットを除けば、ある程度の広さ (この例では 10m メッシュで 20 以上の測定点) を取れば、大きなバラツキがなく地域代表性があることを示している。

これらの調査では、代表値を得るためにはホットスポットのデータを除く必要がある。このため、測定値にどの程度のホットスポットが入るかの見通しが必要になる。そこで、実測データからホットスポットの出現率を検討した。結果を表 1 に示す。表 1 のメッシュ調査は、10mのメッシュ状の測定結果で、無作為に測定点を選択した場合に相当する。一方汚染調査は、ホットスポットを探す調査で、ホットスポットがしやすい地点を選択的に選んで調査した結果である。表 1 で明らかなように、無作為に選択した場合はホットスポットの出現率は低いが、選択的に選んだ場合にはホットスポットの出現率は高く、

表 1 地域の代表放射線量に及ぼすホットスポットの影響 (出現率、測定値変化割合)

項目	メッシュ調査	汚染調査1	汚染調査2	汚染調査3
	出現数(比率)	出現数(比率)	出現数(比率)	出現数(比率)
測定数	522	438	530	905
算術平均 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.111	0.159	0.16	0.198
ホットスポット数	15 (2.9)	123 (28.1)	105 (19.8)	129 (14.3)
推定地域平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.107	0.137	0.148	0.192
ホットスポットを除いた減少率	3.7	16.1	8.1	3.1
$0.23 \mu\text{Sv/h}$ 超過数	14 (2.7)	59 (13.5)	49 (9.2)	237 (26.2)
超過地点のホットスポット数	3 (21.4)	29 (49.2)	33 (67.3)	49 (20.7)

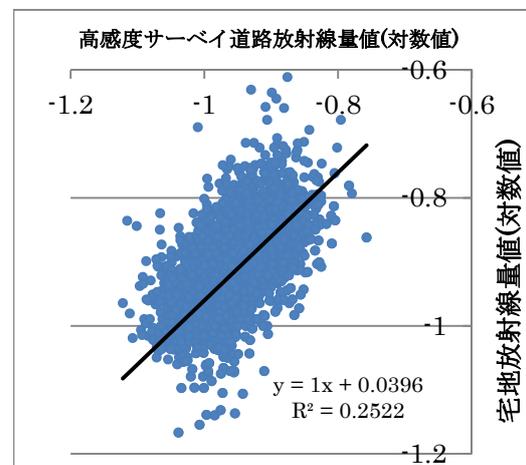


図 6 道路と宅地の放射線量値の関係

15～30%程度に及んでいる。また、ホットスポットの影響は、周囲の放射線量が少ないほど影響が大きく、周囲が高い放射線レベルだとホットスポットを除いた場合と除かない場合の平均値の差は少なくなり、影響が小さくなる傾向にある。

3. 5 高感度走行サーベイ調査の利用

放射能測定器を車載し、GPSの位置情報と連動させて面的に地域の放射線量を把握する試みがある。従来は、精度の点から地域を代償する放射線量把握にはならなかったが、近年では検出器を大型化して感度を上げて精度を良くする方法や、放射性セシウムのエネルギーに相当するγ線だけを集計して放射能汚染に対する精度を上げる高感度走行サーベイが行われている。そこで、このような高感度走行サーベイ調査を利用して地域の放射線量を把握する方法について検討した。高感度走行サーベイ調査と実際の放射線量把握の比較は、街区ごとに宅地除染のための汚染調査の平均値とその調査街区にほぼ接する道路における高感度走行サーベイ調査の結果を比較することによって行った。

道路と宅地の放射線量比較を図3に示す。図は、高感度走行サーベイによる道路の放射線量値の対数を横軸に、その道路の街区における住宅地の放射線量値の対数を縦軸にとり約3000街区についての値をプロットしている。図中に示した回帰線は、道路と宅地の放射線量値に有意な相関($r=0.502$ 有意水準1%)があり、また宅地の放射線量が道路より9.5%ほど(対数値0.0396)高いことを示している。

宅地の放射線量が高い理由は、放射性セシウムは粘土などの微粒土壌に吸着されて固定する傾向があり、アスファルト道路では固定されにくいことと土壌粒子の移動がないためホットスポットが生じにくいことが考えられる。そこで、道路の走行サーベイで街区の住宅地の放射線量推定を行うとすると、土壌である街区より若干低い値を示すことになるので、適切な変換係数を使って街区の放射線量推定に使用できるようにする必要がある。この換算係数の検討は今後の課題である。

高感度走行サーベイ調査によっても概略の地域の放射線量把握が可能と考えられるので、効率的に測定値を得るためには、次のような手順が好ましいと考えられる。最初に、①高感度走行サーベイにより概要を把握する。影響評価にはこの調査で十分なことも多いと思われるが、より詳細な調査のためには

さらに次の手順を行う。②高感度走行サーベイの結果を参考にして代表すると思われる地域を6～10地域ほど選択する。③それぞれの地域で無作為に20～30地点の高さ別放射線量測定を行う。④高さ別の測定値から測定値がホットスポットかどうかを判定する。ホットスポットでないデータを集計し、その地域の放射線量を代表する値とする。合わせて、ホットスポットの出現率、ピーク値などを集計し、影響評価のデータとする。

4. おわりに

環境放射能には、福島原発事故に由来したホットスポットの存在があり、単純に測定し測定結果を平均しただけでは、実態を把握できないと考えられる。

そこで、考案した2つの高さの測定値からホットスポットの判定する方法を用いて、地域の平均的な放射線量を把握するとともにホットスポットについては出現確率とその濃度等を把握して影響の大きさを評価する方法を提案した。

高感度走行サーベイ調査を活用して地域の放射線量の把握は、必要とされる精度においては十分活用できると思われるので、これによる概要把握、代表する区域による選択調査、個別数値のホットスポット判定による地域の代表値とホットスポットの出現率とピーク値等の把握というように必要とする精度により調査を段階的に進める方法についても検討した。

引用文献

- 1)環境省総合環境政策局環境影響評価課(2015)“環境影響評価技術ガイド(放射性物質)”
- 2)内田英夫, 成岡秀訓, 吉田大輔, 泉 健司(2013)“ホットスポットの検出と範囲推定方法の検討”, 環境放射能除染研究発表会要旨集, pp.30
- 3)後藤淳ら(2015)“指向性があるガンマ線自動車走行サーベイシステムの開発と測定例”, 環境放射能除染研究発表会要旨集,
- 4)NEWS 技術(2014)“走りながら 8m 間隔で放射線量を測定”, 日経コンストラクション 11月24日号, pp.51
- 5)古松正博, 安尻仁志, 徳田庸, 松林健一(2015)“茨城県取手市における放射能除染事業(住宅地・道路)について”, 環境放射能除染研究発表会要旨集,
- 6)内田英夫, 泉健司(2012)“地域における放射線量のバラツキを基にしたホットスポットの判定について”, 東京都環境計量協議会 環境測定技術事例発表会要旨集, pp.11-14
- 7)内田英夫, 成岡秀訓, 吉田大輔, 泉 健司(2013)“アセスメントのための環境放射線量把握・評価方法の提案”, 環境アセスメント学会研究発表会要旨集, pp.84-88