原 著

論文受付
2011 年 10 月 28 日

論文受理
2012 年 2 月 23 日

Code No. 890

イメージングプレートの放射能汚染による 黒点計数法の開発

林 裕晃¹ 西原貞光¹ 小沼洋治²

¹ 徳島大学大学院ヘルスバイオサイエンス研究部

² 労働者健康福祉機構鹿島労災病院放射線科

緒 言

2011 年春の東日本大震災によって福島第一原子力発電所が被災し、放射性同位元素(radioisotopes; RI)が環境中に放出された。診療現場では、X 線検出器(imaging plate; IP)に RI が付着し、未露光の IP にも黒点が生じる現象が見られるようになった。本学会では、IP を利用した環境モニタリングの試みや黒点の除染に関する活動が行われている¹⁻³⁾。これらの研究では、汚染の度合いや除染の効果を定量化するための黒点の計数手法が必要である。

RI は限りなく小さい点線源であり、埃などに付着して IP を汚染させている。したがって、IP の画素サイズよりもはるかに小さい点に局所的に RI が存在する可能

性が高い。この状態で長時間露光が行われると、中心となる画素とその周辺の画素にエネルギー付与が行われ、結果として黒点が出現すると考えられる。

従来の画像処理法において、このような RI の黒点発生機序に基づいた概念で黒点部分を判定・検出した手法は、われわれが調べた限りでは見当たらない。そこで、(1)黒点中心候補を検出するための論理、(2)黒点として判定するための条件、を考案しプログラムを開発した。

1. 方 法

1-1 解析した画像データ

使用したデジタル画像装置(computed radiography;

Development of Counting Method of Black Spots Caused by the Radioactive Contaminations on the Imaging Plate

Hiroaki Hayashi,^{1*} Sadamitsu Nishihara,¹ and Yoji Onuma²

¹Institute of Health Bioscience, The University of Tokushima Graduate School

²Radiology Department of Kashima Rosai Hospital of Japan Labour Health and Welfare Organization

Received October 28, 2011; Revision accepted February 23, 2012

Code No. 890

Summary

Due to accidents of the nuclear power plants in Fukushima prefecture, a lot of radioisotopes were diffused into the environment. They adhered onto the surface of the X-ray detector (imaging plate; IP) and many black spots were seen on the medical images. The process to count them is important to evaluate the degree of contamination and/or removal. In this study, we aimed to develop a counting method for black spots. Based on the analysis of the medical images having black spots, we summarized that areas affected by the certain black spots were limited to the eight pixels surrounding the most intensive pixel. The newly developed counting method was applied to these nine pixels (3×3 pixels) and selection rules were based on the following two information: 1. differences between the digital value of the most intensive pixel and those of the surrounding eight pixels, and 2. total summation of the digital values in the nine pixels. The estimated image based on our method showed a good concordance with the original image. Therefore, we summarized that our counting method is a powerful tool for estimating numbers of black spots.

Key words: imaging plate, black spots counting, radioisotopes, decontamination

*Proceeding author

83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	98	234	112	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	135	287	129	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	98	85	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	125	92	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	199	273	119	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	157	206	110	89	83	83	83	83	83
83	83	83	84	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83

Fig. 1 An example of the black spots in the small region.

a | b

CR)は、鹿島労災病院(茨城県)に設置されている立位型のFCRシステム(FCR5501plus, 富士フイルムメディカル社製)である。このシステムは、2枚のIP(ST-55-H1M, 受像面の大きさ: 広幅 17×17 inch)を内蔵するタイプである。2011年4月21日の夕方から22日の朝方までの約12時間利用していなかった2枚のIPに黒点が発生していた。そこで2枚のうちの1枚を本論文で解析する。この画像は、IP上に直接付着したRIが黒点の主因となっていた^{2,3)}。

解析した画像の大きさは、14×14 inchであり、1760×1760 pixel $\div$ 3×10⁶個のデジタルデータで構成されている。画像を読み取るときの設定は、S値=200, L値=4.0が固定されるモードである。これは、本学会が立ち上げた「CRを用いた環境モニタリング研究班」が示した処理モードと同じである¹⁾。画像処理で得られたDICOM画像はImageJ(NIH, Ver. 1.45)⁴⁾を用いて、デジタル値をテキストデータ形式で出力した。このデータをMathematica(Wolfram Research, Inc.)で読み込み、分布関数などの解析を行った。

Fig. 1に、黒点が現れていた一部(13×19 pixel)を拡大して例示した。Fig. 1(a)はデジタル値のテキストデータ形式、(b)はデジタル値を三次元でプロットしたものである。画像の右上と中心付近にデジタル値が250を超える黒点の信号部分を確認できる。

1-2 黒点の計数法

1-2-1で黒点候補を検出する方法を示す。ここでの検出とは、広がりをもった黒点の中心座標を判定するための方法である。Fig. 1の例では、多くの画素に均一に

表れている83がバックグラウンドで、左下の画素に見える84(=83+1)はバックグラウンドにノイズ成分(=1)が付加されていると解釈する。ノイズとは、各画素を読ませるときの信号の変動、各々の画素位置に対応する検出感度の変動やバックグラウンド成分の差(変動)などのあらゆる変動要因を含んでいるが、本研究ではバックグラウンドに変動を与える成分のみを問題にする。以下の記述では、このような状態(バックグラウンド+ノイズ)をノイズと記述する。提案する計数手法は変動に着目した計数法であるので、黒点候補には真の黒点とノイズが含まれる。

1-2-2では黒点をノイズと分離して計数するために、ノイズよりも高いデジタル値の変化を与える状況と画素を超えて等方的に分布する状況を考慮する。さらに、1-2-3では、重複カウント(黒点候補位置が隣接する場合)を排除して1個の黒点を計数する方法を示す。

1-2-1 黒点候補位置の検出方法

Fig. 2に、黒点を生じている画素とその周辺の画素の概念図を示す。座標XYは、左上を基準にして右方向および下方向に定義した。さらに、着目する1個の画素をregion of interest(ROI)と呼び、その中心の座標を(X, Y)=(i, j)とした(黒く塗りつぶした領域)。さらに、このROIを取り囲む8個の画素をROI+1領域と定義し、同様に、ROI+1領域を囲む16個の画素をROI+2領域と定義する。

ROI+1領域に対してROI(i, j)のみが高いデジタル値を示す理想的な場合には、以下の条件式に対してすべて真(true)が得られる。

Fig. 2 Definition of the coordination system for region of interest (ROI).

条件 1(X 方向) :

$$D(i, j) - D(i-1, j) > d \text{ かつ } D(i+1, j) - D(i, j) < (-d) \quad \dots\dots\dots(1)$$

条件 2(Y 方向) :

$$D(i, j) - D(i, j-1) > d \text{ かつ } D(i, j+1) - D(i, j) < (-d) \quad \dots\dots\dots(2)$$

条件 3(左上→右下) :

$$D(i, j) - D(i-1, j-1) > d \text{ かつ } D(i+1, j+1) - D(i, j) < (-d) \quad \dots\dots\dots(3)$$

条件 4(右上→左下) :

$$D(i, j) - D(i+1, j-1) > d \text{ かつ } D(i-1, j+1) - D(i, j) < (-d) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$D(i, j)$ は ROI の座標 (i, j) のデジタル値であり, d (discrimination level=discr) は 0, 1, ...などの整数値を取るしきい値である. この論理は, 一次元スペクトルのピーク位置を求める際に微分を行う方法⁵⁾を二次元に拡張し, 斜め方向の判定(条件 3 および 4)を加えたものである.

実際の検出判定では, 条件 1~4 のうち任意の 3 個(項目)が true を与えれば黒点候補として検出(=1 カウント)した. この方法を Fig. 1(a)の範囲に適用すると, 右上のデジタル値が 234, 287, 左下の 273, 206 および 84 の画素が黒点候補として検出される.

1-2-2 黒点候補位置の判定方法

上述した判定式(discr=0)だけではノイズを除去できないので, 以下の二つのパラメータを検討した.

1)Discr を上げる

2)9 個の画素("ROI"+"ROI+1")のデジタル値の和を計算する

RI はノイズに比べ大きなデジタル値の差を与えると考えられる. 1)によって discr を大きな値に設定することで, 例えばバックグラウンド+1 という小さな変動を与えるノイズを排除することが可能である. また, 2)で黒点候補の周辺部分を含むデジタル値の和を計算することで, 画素を超えて分布する黒点成分を 1 画素に特異的に表れるノイズと分離する試みである. ここで, 黒点候補の検出座標を (i, j) としたとき, この座標を中心とした 3x3 pixel のデジタル値 D の和(sum value)は以下の式で与えられる.

$$\text{sum value} = \sum_{s=-1}^1 \sum_{p=-1}^1 D(i+s, j+p) \quad \dots\dots\dots(5)$$

上記二つのパラメータ(discr および sum value)を変更して, 黒点の検出結果がどのように変化するか調べた. 本手法を用いて黒点候補位置を正しく再現できるかどうかは, 実際に放射能汚染が確認された IP の 100x100 pixel の領域を拡大し, プログラムで計数した座標と実際の画像を比較した.

1-2-3 黒点の計数方法

上述した論理によって黒点候補を検出したときに, ある黒点候補と異なる黒点候補が隣接(ROI+1 に他の黒点候補が存在)した場合には, これらをまとめて 1 個の黒点と定義した. すなわち, 1-2-2 までの判定ですべての黒点候補を拾い上げ, ROI+1 の範囲に隣接する割合(重複カウントの計数)を求め, 前者から後者を引くことで求めた真の計数値を求めた.

重複カウントの計数は以下の方法で求めた.

a)1-2-2 までの判定で求めた黒点候補位置のすべての座標 (i, j) をリストデータ形式で出力する. ここでいうリストデータとは, $\{(i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_n, j_n)\}$ という n 個の黒点候補座標を含む行列である.

b)上記のリストデータからある黒点座標を選び, その周辺座標(ROI+1)のリストデータ $\{(i-1, j-1), (i, j-1), \dots, (i+1, j+1)\}$ を作成する.

c)a)で生成した黒点候補位置のリストデータに, b)で生成した座標がいくつ含まれるかをカウントし, この操作を a)の黒点候補位置のリストに含まれるすべての座標について行う.

d)c)の操作で計数したカウントの 1/2 の値を重複カウントの計数とする.

この手法を Fig. 1 の範囲に適用すると, 右上の 234 と 287 で 1 カウント, 左下の 273 と 206 で 1 カウントが

Fig. 3 Comparisons between the measured image (a) and deduced maps of the black spots (b)–(d).

a		
b	c	d

得られる。左下の84の画素はノイズであるが、ノイズの分離を行っていない場合はこの画素も1カウントとして計数される。

1-3 重複カウントのシミュレーション

1-2-3で考慮した重複カウントは、異なった2個のRIによる信号、もしくは1個のRIが2個の隣接するピクセルの中間付近に付着してできた信号のいずれかが原因となっている。そこで、モンテカルロシミュレーションによって、異なるRIがROI+1に隣接する確率を計算した。

計算では、1760×1760の行列を用意し、乱数を用いてランダムにRIを配置した。すなわち、Randを0～1までの実数を生成する乱数とした場合、X座標はRand×1759+1(整数部分を採用)で計算し、さらに別の独立な乱数を生成してY座標も計算した。決定した座標に従って、あらかじめ用意しておいた1760×1760の行列に「1」という仮想的な値を入力し、この操作を粒子数が1000回、2500回、5000回、7500回、10000回のループ計算によって繰り返した。このシミュレーションで生成した行列を1-2で示した方法で解析した。

2. 結果

提案した手法をIPの一部(100×100 pixel)に対して適用し、1-2-1で検出した黒点候補位置が、1-2-2で定めたdiscriやsum valueによってどのように変化するかを確認した結果を以下に示す。Fig. 3は本手法で判定した黒点候補位置の座標と実測画像を比較した結果である。Fig. 3(a)が実測画像で、(b)～(d)はdiscriが0, 10, 20に対応する判定方法で求めた画像である。用いた画像のバックグラウンドはデジタル値が83近傍であると考えられるので、ノイズに相当する9個の画素内におけるデジタル値の和は、750近傍(83×9 pixel)であることが想定される。そこで、sum valueを検討するためにFig. 3(b)～(d)では、それぞれsum valueが0～800, 800～900, 900～1000, 1000～1200, 1200以上での場合分けをして表示した。これらの場合分けに対して得られた黒点候補位置のカウント(detected counts)をTable 1にまとめた。Discriが0でsum valueが0～800のデータは36個の計数をしているが、discriを10に上げると6個に減り、さらにdiscriを20に上げると1個となった。また、強い放射能のRIに対応するsum valueが1200を超える黒点の数は、discriの値に関係なく8個の計数をした。Table 1には、これらの計数に対

Table 1 Relationship between parameters (discri and Sum value) and counting results of detected positions of the black spots

Selection by sum value	Counts of black spots					
	Discri=0 [Fig.3(b)]		Discri=10 [Fig.3(c)]		Discri=20 [Fig.3(d)]	
	Detected counts ^{#1}	Net counts ^{#2}	Detected counts ^{#1}	Net counts ^{#2}	Detected counts ^{#1}	Net counts ^{#2}
0-800	36(13)	23	6(1)	5	1(0)	1
800-900	6(3)	3	3(0)	3	1(0)	1
900-1000	5(2)	3	5(2)	3	5(2)	3
1000-1200	0(0)	0	0(0)	0	0(0)	0
1200-	8(4)	4	8(4)	4	8(4)	4

^{#1} The parenthetical numbers indicate overlapping counts.

^{#2} The net counts are obtained by subtracting the overlapping counts from the detected ones.

Table 2 Summary of counted black spots

Selection by sum value	Detected counts	Overlapping counts	Net counts
>800	1466	595	871
>900	726	330	396
>1000	523	239	284
>1200	329	151	178

These data were obtained by applying our method (discri=10) to whole of the IP.

して、1-2-3の判定を行い重複カウント(overlapping counts)の計数を求め、検出されたカウントから重複カウントを引くことで真のカウント(net counts)を計算した結果も併せて示した。

提案した手法をIP全体(1760×1760 pixel：全領域)に対して適用し、discriが10のときに得られた黒点の計数結果をTable 2にまとめた。Sum valueを800以上、900以上、1000以上、1200以上と変化させたときの黒点の計数は871カウント、396カウント、284カウント、178カウントであった。

モンテカルロシミュレーションによって得られた重複カウントのシミュレーション結果をFig. 4に示す。横軸は仮定した粒子数、縦軸は隣接する画素に異なる粒子が配置される確率である。粒子数1000のときは0.16%の画素が隣接していたが、粒子数を増していくと確率が増していき、粒子数10000のときは1.3%程度まで増加することを示している。

Fig. 4 Simulated result of the provability in which the different two RI were adhered onto the neighboring two pixels. These simulations were applied to a 1760×1760 area.

3. 考 察

3-1 Discri と sum value の調整

まず、discriについて考察する。ノイズとバックグラウンドの変動(差)よりも大きなdiscriを設定することでノイズの計数を抑制し、結果としてノイズとRIの信号を分離できると考える。Sum valueが750近傍(83×9)のデータはノイズとバックグラウンドによって構成されて

いると考えられるので、sum valueが800以下のデータの再現度合いが視覚評価の一つの指標になる。Table 1においてsum valueが0～800の行に着目すると、discriを0から10、20まで上げることで黒点候補位置の計数が36カウント、6カウント、1カウントと変化している。これらのカウントに対応する黒点は、例えばFig. 3(b)～(d)の判定画像中の(i)領域で顕著に見られる。す

なわち、Fig. 3(b)の(i)領域には sum value が 0~800 のデータが多く含まれるが、(d)には全く含まれていない。これらのデータは Fig. 3(a)上では観測されていないので、計数しないことが望ましい。一方、discr を上げ過ぎると本来黒点として計数しなければいけないデータを数え落としてしまうことが予想される。Table 1 の sum value が 800~900 の行での黒点候補位置のカウン트는、ノイズぎりぎりの黒点が含まれている。Discr を 0 から 10, 20 まで上げて計数の変化を見ると 6 カウント, 3 カウント, 1 カウントと減少している。これらの計数に対応する点は Fig. 3 の(ii)領域に存在しているが、Fig. 3(b)および(c)では対応する点が見られるものの、Fig. 3(d)では候補位置として認識できていない。Fig. 3(a)の画像には(ii)領域に黒点が観測されていることから、ここで扱った画像[Fig. 3(a)]を再現する discr の最適値は 0 から 20 の間にあることがわかる。

ここで着目すべき点は、discr を上げると重複カウントを減らす効果があることである。Table 1 の sum value が 800~900 の行での重複カウントは、discr を 0 から 10, 20 まで増加させると、3 カウント, 0 カウント, 0 カウントと変化し、discr を上げると重複カウントを減らす効果があることを示している。

次に、sum value について考察する。Sum value を導入することで、ノイズを抑制し、RI の強度によって弁別をした計数ができると考える。Table 1 において sum value が 1200 を超える黒点の候補位置は、discr の値にかかわらず 8 カウントを計数している。ノイズによる変動とバックグラウンドだけで 9 個の画素を構成している場合は、sum value が 750 近傍であるので、sum value が 1200 を超える黒点候補位置にはノイズは含まれない。対応する黒点の位置は、Fig. 3(b)~(d)のいずれの中でも黒丸が 8 個確認でき、これらの黒点候補位置は Fig. 3(a)の観測された画像中の強い RI に対応する黒点とも一致している。このように、sum value の大きな黒点だけを選択すれば、強い放射能の RI に対応する黒点を選び、ノイズとの分離ができる。これらの黒丸は 2 個の黒点候補で 1 個の黒点を形成しているが、このことに関しては後ほど考察する。

上記に示したように、discr と sum value は黒点とノイズを分離する有効なパラメータであることがわかる。どの程度の sum value を与えたときに黒点と見なすかは、画像や用途によって異なる。しかし、今回の画像では少なくとも discr を 10 程度に選ぶことで、黒点候補中のノイズを減少させ、黒点の現れている画像と視覚的に一致する黒点候補位置を推定できることがわかった。

3-2 重複カウントと黒点の計数について

隣接する 2 個の画素に強い放射能の RI が付着している場合を考える。CR システムのデジタル出力は線量($\propto$ 放射能 $\times$ 時間)と対数の関係にあるので⁶⁾、強い放射能の RI ほど隣接する 2 個の画素のデジタル値は同程度のデジタル値を出力し、結果として 1-2-1 で示す条件 1~4 のうちどれかが偽(false)になる。このような黒点を確実に計数するために、条件 1~4 のうち任意の 3 個が true を与えれば黒点候補として認定している。この場合、2 個の画素に大きなデジタル値があるので、2 個の黒点候補が得られる。仮に、条件 1 から 4 のすべてが true を返したときに黒点として判定する論理を組んだ場合は、上記のような 2 個の画素に同じデジタル値を与える黒点は判定されず、強い放射能の黒点ほど数え落とすという状況が考えられる。これが、1-2-1 で示した判定手法の根拠である。これらを Table 3 にまとめた。われわれの判定手法では 1 個もしくは 2 個の隣接する画素が黒点候補として検出される場合を対象にしている。一方、4 個もしくは 3 個の画素に同程度のデジタル値が付与された場合は、1-2-1 で説明した判定では 3 個もしくは 2 個の false が返されるので、黒点として検出されない。これらの事象は今回の画像には 1 例も観測されなかったもので、これらの事象が起こる確率は非常に小さいと推測できる。なぜなら、3 個の画素に等しい黒点候補をもたせるような RI の付着位置は物理的には存在せず、4 個の画素の中心部に RI が付着する可能性は 2 個の画素の境界付近に RI が付着する確率よりも格段に少ないからである。

Table 2 において黒点候補位置のカウントと重複カウントを調べると、sum value が低い場合は 40%ほどが重複しているのに対して、sum value が高い場合は 50%近くのカウントが重複していることがわかる。これらの結果は、強い放射能の RI に起因する黒点は 2 個程度の黒点候補で 1 個の黒点を形成していることを意味している。実際に、Fig. 1 で示した例では、右上の黒点はデジタル値が 234 と 287 の画素が隣接した黒点候補となっており、左下の黒点も 273 と 206 の画素が隣接している。また、Fig. 3 で示した例でも sum value が 1200 を超える黒点は 2 個の黒点候補位置で 1 カウントになっている。これらのデータだけでは、1 個の RI に起因する黒点が 2 個と重複して計数される場合と、2 個の RI が隣接する現象は区別ができない。そこで、モンテカルロシミュレーションを援用した議論を以下に行う。

モンテカルロシミュレーションによって得られた重複カウントの結果(Fig. 4)を見ると 8000 個の粒子が一様にばらまかれているような状況でも隣接する確率はわずか

Table 3 Relationship between ROI positions (detected positions) in the black spots and availabilities of our method

Type of black spots counts ^{#1}	Can be detected by our method	Observed
OK	Many
OK	Approximately half of detected counts
Impossible	None
Impossible	None

^{#1} The shaded portions mean regions which are considered to be detected positions of black spots.

Fig. 5 Histogram of the digital values in the ROI, and around the ROI (ROI+1, ROI+2).

1%程度である。この値は上記の実測とは大きくかけ離れている。すなわち、実測されたデータの重複カウントは独立した2個のRIに起因するのではなく、ほとんどの場合、1個のRIに起因することが考えられる。

3-3 黒点領域の設定について

Fig. 5の黒丸のプロットは、discr_iが0として黒点候補の検出を行い、その黒点(ROI)のデジタル値の頻度分布を計算したものである。データの誤差には、統計誤差(カウントのルート)を付けている。デジタル値が80~90に対応するカウントは6199カウントあり、デジタル値が90~100に対応するカウントは2311カウントであった。一方で、デジタル値が100~110に対応

するカウントは736カウント、デジタル値が110~120に対応するカウントは390カウントであるので、デジタル値100を境に、計数が大きく変化していることがわかる。黒丸に対応するプロットは黒点およびノイズを含む黒点候補として計数されているので、デジタル値が100以下に対応する計数はノイズに起因していると考えられる。言い換えれば、ノイズの最大値は100近傍のデジタル値であると考えることができる。そこで、デジタル値100以下の画素をノイズと考えて以下の議論を行う。

Fig. 5の四角のプロットは、Fig. 2で示したROI+1の領域(Fig. 2では灰色で示した領域)について、ROIを取り囲む8個の画素が示すデジタル値のヒストグラムを

計算したものである。黒丸との相対的な比較が行えるように、縦軸のカウントは8で除してある。この分布関数もデジタル値が100以上の部分が約400まで存在することから、着目したROIに隣接するROI+1の画素も若干黒くなっていることが判断できる。Fig. 5のダイヤ印のプロットは、ROI+2の領域(Fig. 2では白抜きの四角で示した領域)のヒストグラムであり、縦軸のカウントは16で除してある。このヒストグラムはほぼノイズのカウントで占められていると考えられる。

このことを定量的に示すためにデジタル値が100以上となる個数を計数すると、ROI領域では2296カウント、ROI+1領域では663カウント、そしてROI+2領域では84.9カウントであった。Fig. 5のグラフの面積(=黒点候補として計数されたROIの画素数)は10929カウントであるので、デジタル値が100以上となる割合は、ROI領域では21%($=2296/10929 \times 100$)、ROI+1領域では6%、そしてROI+2領域では0.7%であった。すなわち、黒点がROI+2領域に影響を及ぼす割合は無視できるほど小さいので、黒点候補を含む9個の画素(ROIおよびROI+1領域: 3×3 pixel)を黒点の判定領域と定義すれば十分である。これが、1-2-2で示した判定手法の根拠である。

上記の議論ではROI+1までの領域を考慮すれば黒点の領域を設定するのに十分であることを示し、3-2では重複カウントが半数近く含まれる場合があることを示した。このことは、黒点の影響が及ぶ領域はほとんどの場合ROI+1であり、その中に黒点候補となる2個の画素が隣接していることを示している。

3-4 本手法の応用

本手法を用いることで、除染率を評価することや、どの程度のRIがIPのどこに付着しているかを推定することが可能である。除染率を求める場合は、discr_iとsum valueをある程度高めに設定しておいて、除染の前後でのカウントの変化を調べる。今回の画像の場合はsum valueが1200以上、discr_iを10に設定すると、黒点の計数値は178カウント(Table 2)なので、除染の前後で178カウントがどのように変化したかを調べる方法が有力である。

一方、どの程度のRIでIPが汚染されているかを評価するためには、ノイズとの境界付近まで判定基準を下げて黒点位置を計数することが望ましい。大切なことは、ノイズ近傍までを対象として黒点位置を探すことで

ある。仮にsum valueが1200以上のデータだけを対象とした場合は、得られたRIの放射能は過小評価になってしまう。このように、用途によってもdiscr_iやsum valueの設定の仕方は変わってくるが、それらを適切に設定することで黒点計数が可能となる。

本手法のポイントは、RIの個数に対応するような黒点の計数法を考案したことである。従来手法のように、適切なしきい値を用いた2値化処理や膨張・収縮処理、ラベリング処理などの画像処理技術を応用して、そのしきい値以上の画素を計数することでも付着したRIの数に比例した量を評価できる。しかしこの方法では信号成分もノイズ成分も区別することなく黒点候補を数えてしまう。一方、われわれの手法では等方的に広がるRIを想定して黒点の候補位置を決定し、その位置に対してsum valueやdiscr_iなどのパラメータで制御を行っている。この手法の最大のメリットは、偶発的に表れるノイズとの分離性能が良いことである。したがって、除染率の評価に限らず、ノイズぎりぎりのデジタル値をRIに起因する黒点として認定するには、本論文で提案する黒点の発生機序に基づいた計数法が適している。

4. 結 論

RIの黒点発生機序に基づいた概念で、黒点を数えるプログラムを開発し、鹿島労災病院(茨城県)で取得されたデータを解析した。本論文で採用した画像における黒点は、最も高いデジタル値を与える画素とその画素を囲む8個の画素の範囲に限定して広がっていることがわかった。そこでまず、着目した画素とその近傍の合計9個の画素(3×3 pixel)に対して黒点候補の検出論理を考え、黒点中心候補を検出した。次に、着目画素とその周辺画素における各デジタル値の差と9個の画素内におけるデジタル値の和を適切に設定すれば、黒点とノイズを分離できることを示した。以上のことから、この方法を用いることで、黒点を数えることが可能であると考えられる。

謝 辞

この研究は「CRを用いた環境モニタリング調査班」のメーリングリストによる情報提供をきっかけとして行われました。班員の皆さま、朝原正喜氏および平野浩志氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 平野浩志, 柏樹 力, 斎 政博, 他. CRを用いた環境モニタリング調査研究班の紹介. 画像通信 2011; 34(2): 73-76.
- 2) 西原貞光, 林 裕晃. X線検出器(イメージングプレート)の放射能汚染に対する効果的な除染方法の提案. 日放技誌 2011; 67(8): 912-915.
- 3) 小沼洋治, 林美智子, 林 裕晃, 他. X線検出器(輝尽性蛍光体プレート)に付着した放射性同位元素の除染. 日放技誌 2012; 68(3): 277-282.
- 4) Abràmoff MD, Magalhães PJ, Ram SJ. Image processing with ImageJ. Biophoton Int 2004; 11(7): 36-42.
- 5) Gilmore G, Hemingway JD. Practical gamma-ray spectrometry 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, Ltd., 2008.
- 6) 岩崎信之. FCR 画像処理解説書. 東京: 富士フイルムメディアカル株式会社, 2001.

図表の説明

- Fig. 1 小さい領域での黒点の例示
- Fig. 2 ROI の定義
- Fig. 3 測定した黒点画像(a)と推定した黒点のマップ(b)～(d)との比較
- Fig. 4 異なる RI が隣接するセルに配置される確率のシミュレーション結果
シミュレーションは 1760×1760 ピクセルの領域で行った.
- Fig. 5 ROI およびその周辺の領域(ROI+1, ROI+2)の領域のデジタル値の頻度分布
- Table 1 パラメータ(discriminability および sum value)と黒点候補位置の計数結果
これらは Fig. 3 の画像領域に適用した結果である.
- Table 2 黒点の計数結果
これらは, われわれの手法(discriminability=10)を IP 全体に対して適用した結果得られたものである.
- Table 3 黒点中の ROI 位置(検出された位置)とわれわれの手法の有効性の関係

問合先

〒770-8509 徳島市蔵本町3丁目18番地の15
徳島大学大学院ヘルスバイオサイエンス研究部 林 裕晃