

空間放射線量率に係る S C A 弁別法について

1 はじめに

青森県では、空間放射線量率の測定を NaI (Tl) シンチレーション検出器を用いて実施している。通常
の環境における空間放射線量率は、Rn-222 の壊変生成物が降雨雪とともに地上へ落下すること、また、
冬季には積雪により大地からの放射線が遮へいされること等により変動する。

環境放射線モニタリングの目的の 1 つは、原子力施設に起因する放射線の周辺住民等の線量の推
定・評価であり、そのためには、原子力施設から放出された放射線・放射性核種による寄与を、自然
放射線から弁別することが必要となる。NaI (Tl) シンチレーション検出器は、入射した γ 線のエネルギー
情報が得られるため、測定器に装備したシングルチャンネルアナライザ (S C A) の計数値を用いて
施設からの寄与を弁別することが可能であり、この方法を γ 線の外部被ばくによる実効線量の算出に
活用することとした。

2 SCA (Bi) と SCA (Tl) について

図 1 に空間放射線量率測定における γ 線スペクトルを示す。ここで、SCA (Bi) を、Bi-214 から放出さ
れる γ 線 (1.76MeV, 2.20MeV) を含むエネルギー領域 (1.65 ~ 2.5MeV) の計数率 (cps) と定義する。また、SCA (Tl) を、Tl-208 から放出される γ 線 (2.62MeV) を含む領域 (2.51 ~ 3.0MeV) の計数率 (cps) と
定義する。

図 1 には晴天時及び降雨時における環境 γ 線スペクトルをそれぞれ示している。降雨時においては、
SCA (Bi) が晴天時より高くなっているが、SCA (Tl) は晴天時とほとんど変わらない。

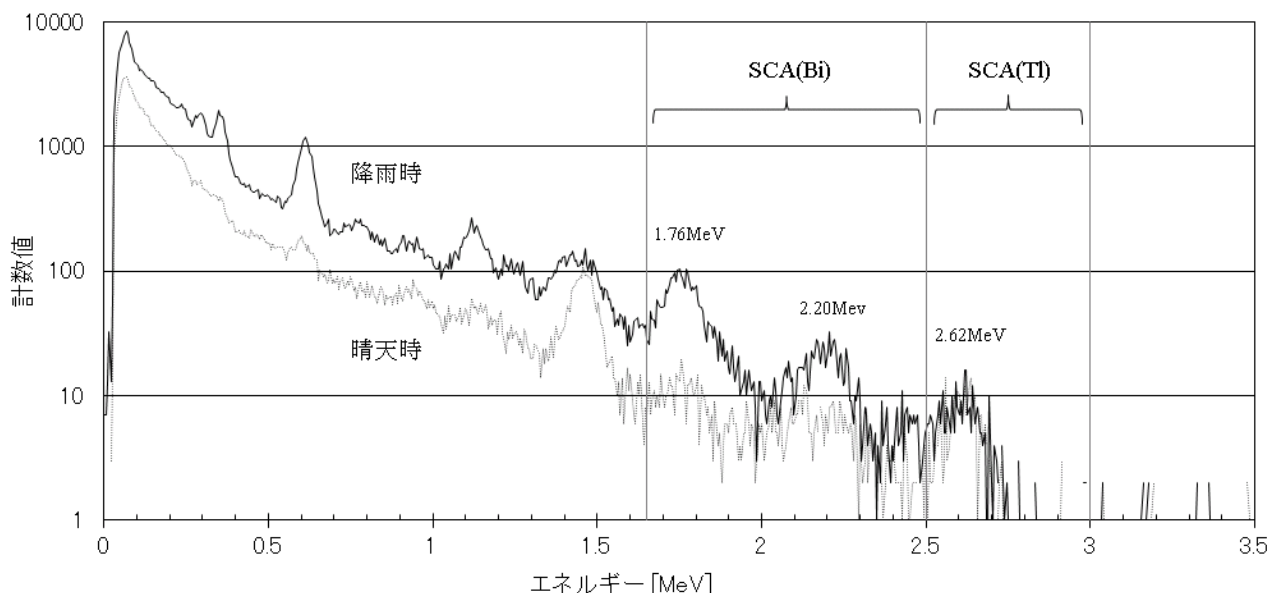


図 1 晴天時と降雨時の環境 γ 線スペクトル及び SCA (Bi) と SCA (Tl) のエネルギー範囲

3 SCA (Bi) と SCA (Tl) の変動状況

平成 17 年度 1 年間の尾駱局における空間放射線量率、積雪深、SCA (Bi) 及び SCA (Tl) の推移を図 2 に
示す。この結果には原子力施設からの影響は含まれておらず、自然変動のみである。

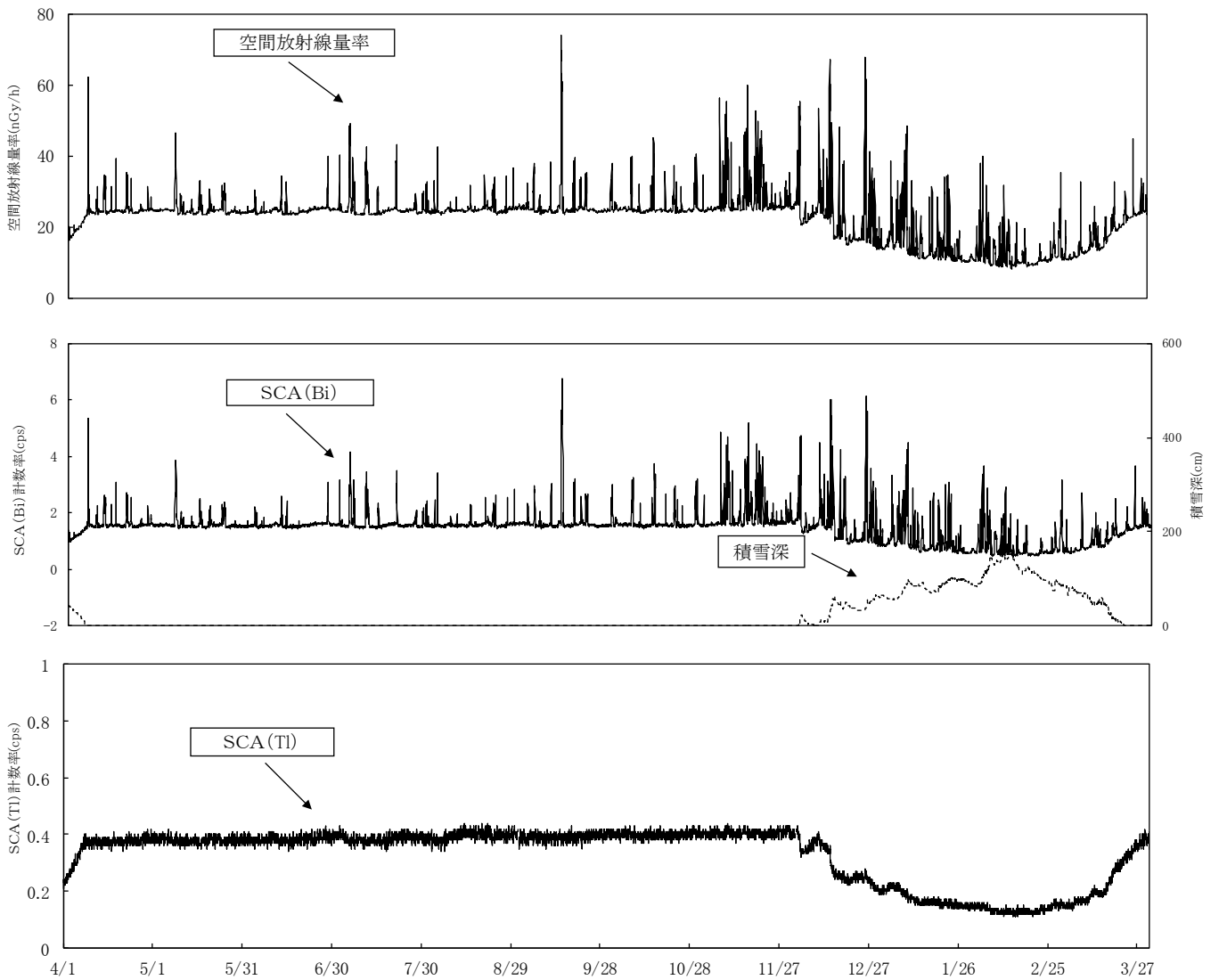


図2 空間放射線量率、積雪深、SCA (Bi)及び SCA (Tl)の推移 (H17 尾駸局[1 時間値])

空間放射線量率と SCA (Bi)は、年間を通じて、降雨雪の影響により短時間で大きな変動を示すとともに、積雪期には大地からの放射線が遮へいされるため、積雪が多いほどベースラインが低下している。Rn-222 の壊変系列を図3に示す。空間放射線量率の上昇については、大地などから散逸した Rn-222 の半減期が比較的長いことから大気中に広く拡散しており、その壊変生成物（主として Bi-214）が降雨雪とともに、地上へ落下することによるものと考えられる。

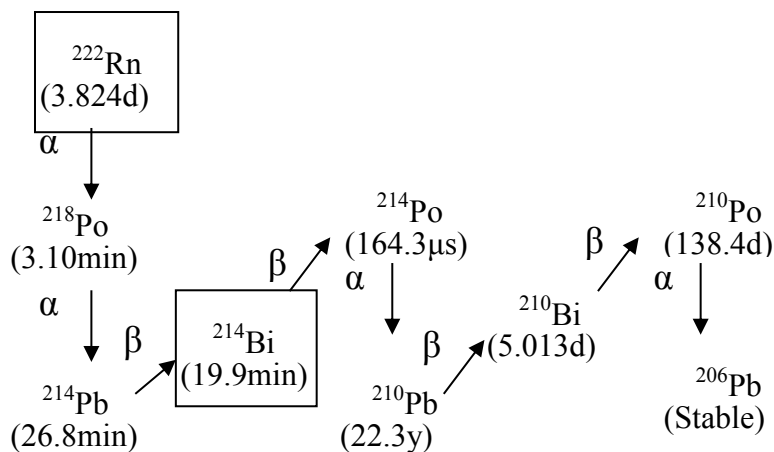


図3 Rn-222 の壊変系列

SCA(Tl)は、降雨や降雪による変動はほとんどなく、積雪が多いほど低下する変動を示している。Rn-220の壊変系列を図4に示す。Tl-208の親核種であるRn-220は、半減期が55.6sと短く大気中に広く分布できないことから、降雨雪とともに地上に落下するTl-208が少ないためと考えられる。一方、Tl-208は、Bi-214と同様、土壤中に多く存在することから、積雪による遮へい効果が見られている。

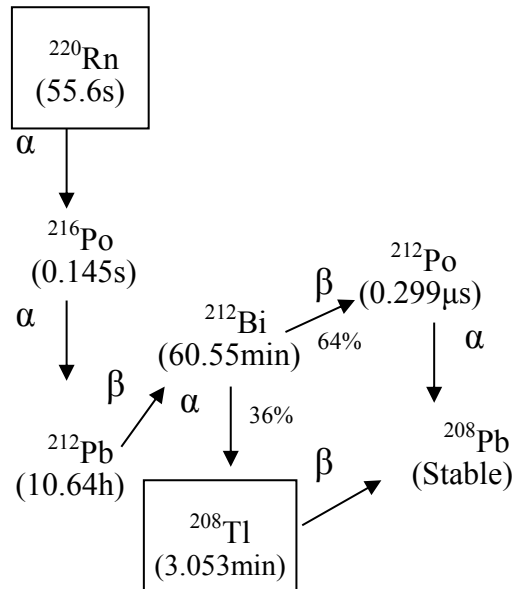


図4 Rn-220の壊変系列

4 重回帰分析

図2において、空間放射線量率とSCA(Bi)は、同様の変動を示していることから、両者の関係を散布図として図5に示した。両者の間には、全体的に正の相関が認められるが、積雪のない時期(4月～11月)と積雪期(12月～3月)で異なる分布を示していた。

また、図2では、SCA(Tl)が、積雪による空間放射線量率のベースラインの低下と同様の変化を示していることから、積雪期(12～3月)における、降雨雪による上昇がない空間放射線量率とSCA(Tl)の関係を散布図として図6に示した。両者には正の相関が認められた。

以上のことから、空間放射線量率を目的変数、SCA(Bi)及びSCA(Tl)を説明変数とする重回帰分析により、自然放射線による線量率を推定することができ、重回帰式から求めた値を「推定自然線量率」とした。推定自然線量率が空間放射線量率の自然変動に一致していれば、空間放射線量率測定値から推定自然線量率を差し引いた値は0になるはずである。

$$\text{推定自然線量率} = (a \times \text{SCA}(\text{Bi})) + (b \times \text{SCA}(\text{Tl})) + c \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\left[\begin{array}{l} a, b, c : \text{重回帰分析により求めた定数} \\ \text{SCA}(\text{Bi}) : \text{Bi-214 領域の計数率 (cps)} \\ \text{SCA}(\text{Tl}) : \text{Tl-208 領域の計数率 (cps)} \end{array} \right]$$

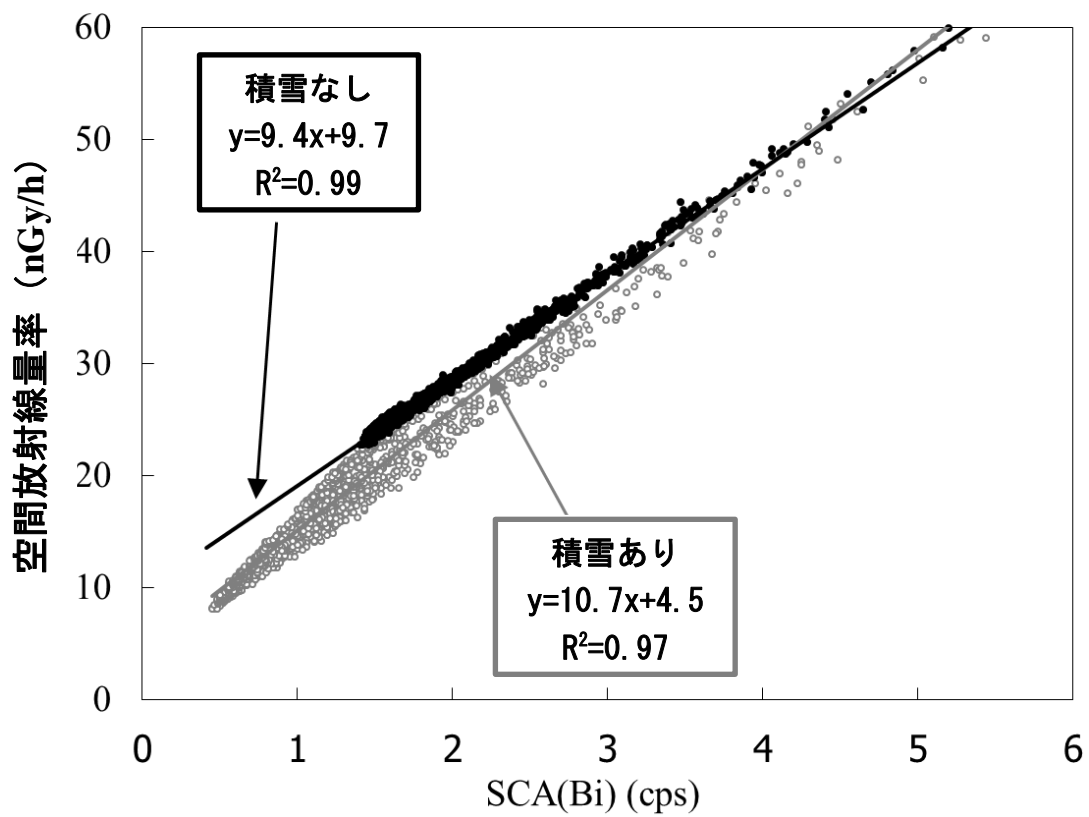


図5 空間放射線量率と SCA(Bi) の関係
 (H17 尾駸局：積雪のない時期（4～11月）と積雪のある時期（12～3月））

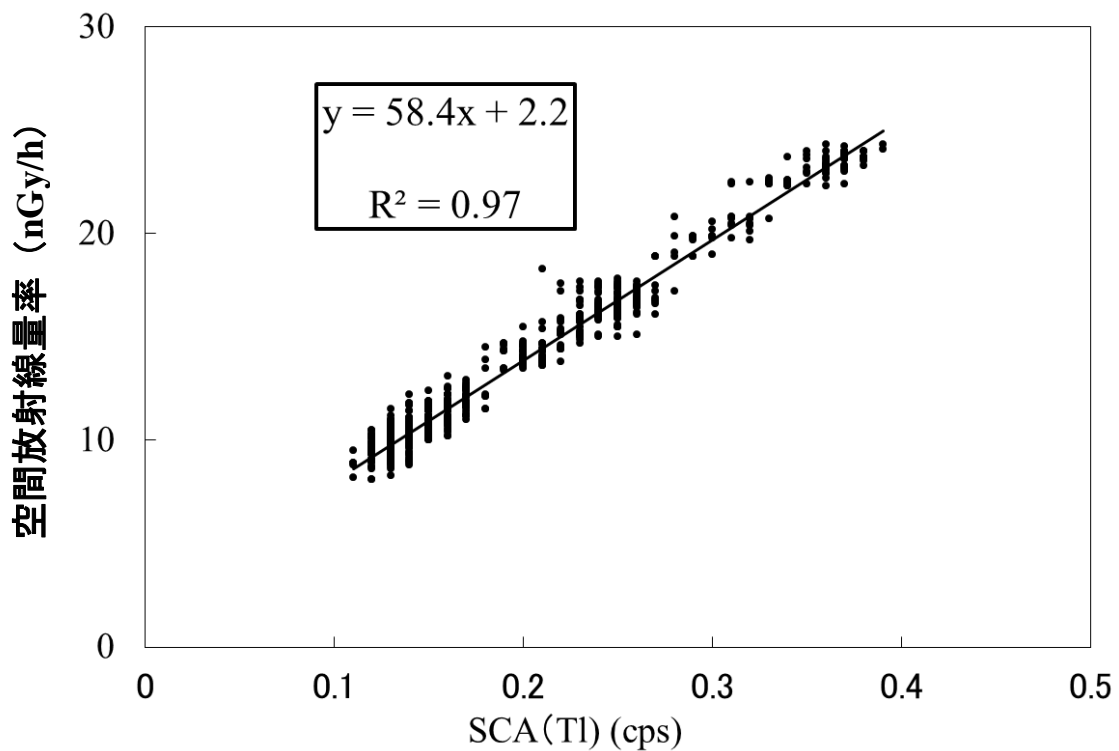


図6 降雪による上昇がない空間放射線量率と SCA(Tl) の関係
 (H17.12～H18.3 尾駸局)

平成 17 年度 1 年間の尾駸局の測定値に②式を適用し、空間放射線量率測定値から、推定自然線量率を差し引いた値を 1 年分プロットしたのが図 7 である。年間をとおして、降雨雪の影響による上昇分及び積雪の影響による低下が除かれており、ほぼ 0 に近い値となっている。表 1 は、空間放射線量率と推定自然線量率の差の変動分布をまとめたものであり、平均値は 0.00nGy/h、標準偏差は 0.36、最小値～最大値は-1.5nGy/h～2.7nGy/h、全データの 99%以上が±1nGy/h の範囲内であり、推定自然線量率は空間放射線量率測定値とよく一致した。以上より、本法は、空間放射線量率の自然変動の推定方法として有効と考えられる。また、空間放射線量率測定値から推定自然線量率を差し引くことにより、原子力施設等の人工放射線源からの寄与を弁別することができると考えられ、この値を「推定人工線量率」とする。

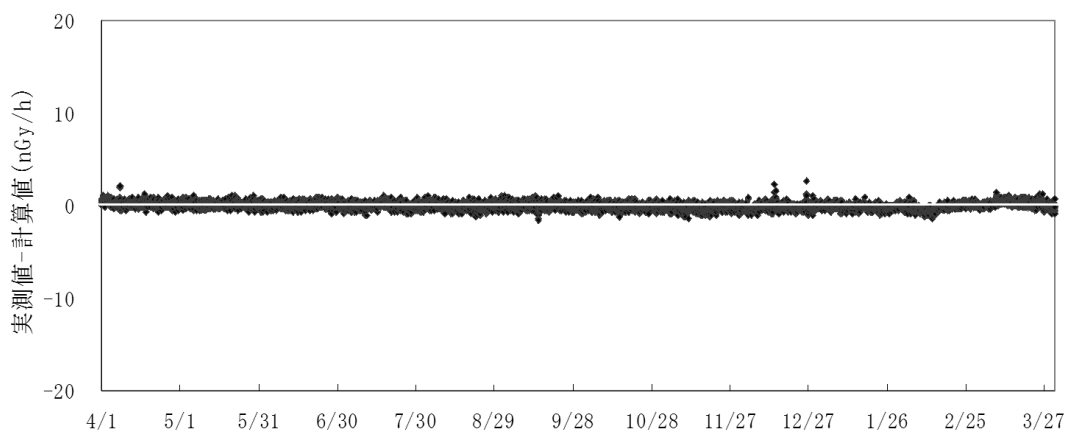


図 7 空間放射線量率測定値と推定自然線量率の差 (H17 年度 尾駸局)

表 1 空間放射線量率測定値と推定自然線量率の差の変動分布 (nGy/h)

平均値	標準偏差	最小値	最大値	差 (絶対値)		
				0～1	1～2	2～3
0.00	0.36	-1.5	2.7	8,636個 (99.1%)	73個 (0.8%)	4個 (0.1%)

5 重回帰分析に用いる測定値について

「4 重回帰分析」の項で重回帰式作成に用いたデータ (H17 尾駸局) には原子力施設からの影響は含まれておらず全て自然変動のみであった。SCA 弁別法は自然放射線による空間放射線量率の値を推定する方法であることから、重回帰式の定数を求めるには、原子力施設から放出される人工放射性核種の影響を除く必要がある。今後、六ヶ所再処理工場における使用済燃料のせん断・溶解に伴い放出される Kr-85 により、空間放射線量率に定常的に施設影響がみられることが予想され、その影響がみられた測定値を除外する方法を確立することが必要となる。

測定値の除外方法として、最も確実なのは使用済燃料のせん断・溶解が行われている期間の測定値を除外することである (「期間除外法」という)。Kr-85 は希ガスであり、施設からの放出後は環境中の物質と相互作用を行うことなく移流・拡散してしまう。そのため、使用済燃料のせん断・溶解が行われていない期間の空間放射線量率測定値は施設から放出された Kr-85 の影響が含まれていないものとみなせる。

一方、施設の操業状況によっては、期間除外法を用いるために十分な数の測定値が得られない可能性もあり、このような場合の代替法についても検討しておく必要がある。せん断・溶解に伴い放出される Kr-85 は、放出された時の気象条件 (主に風向・風速) の影響を受けて移流・拡散していくため、空間放射線量率の各測定地点においては、せん断・溶解期間であっても常にこの影響を受けるとは限らない。このことから、ある期間についてせん断・溶解期間を含むすべての測定値を用いて重回帰分析を行い、施設影響が認められたと考えられる測定値を統計的に除外する方法 (「統計的除外法」という) についても検討している。その流れを図 8 に示す。

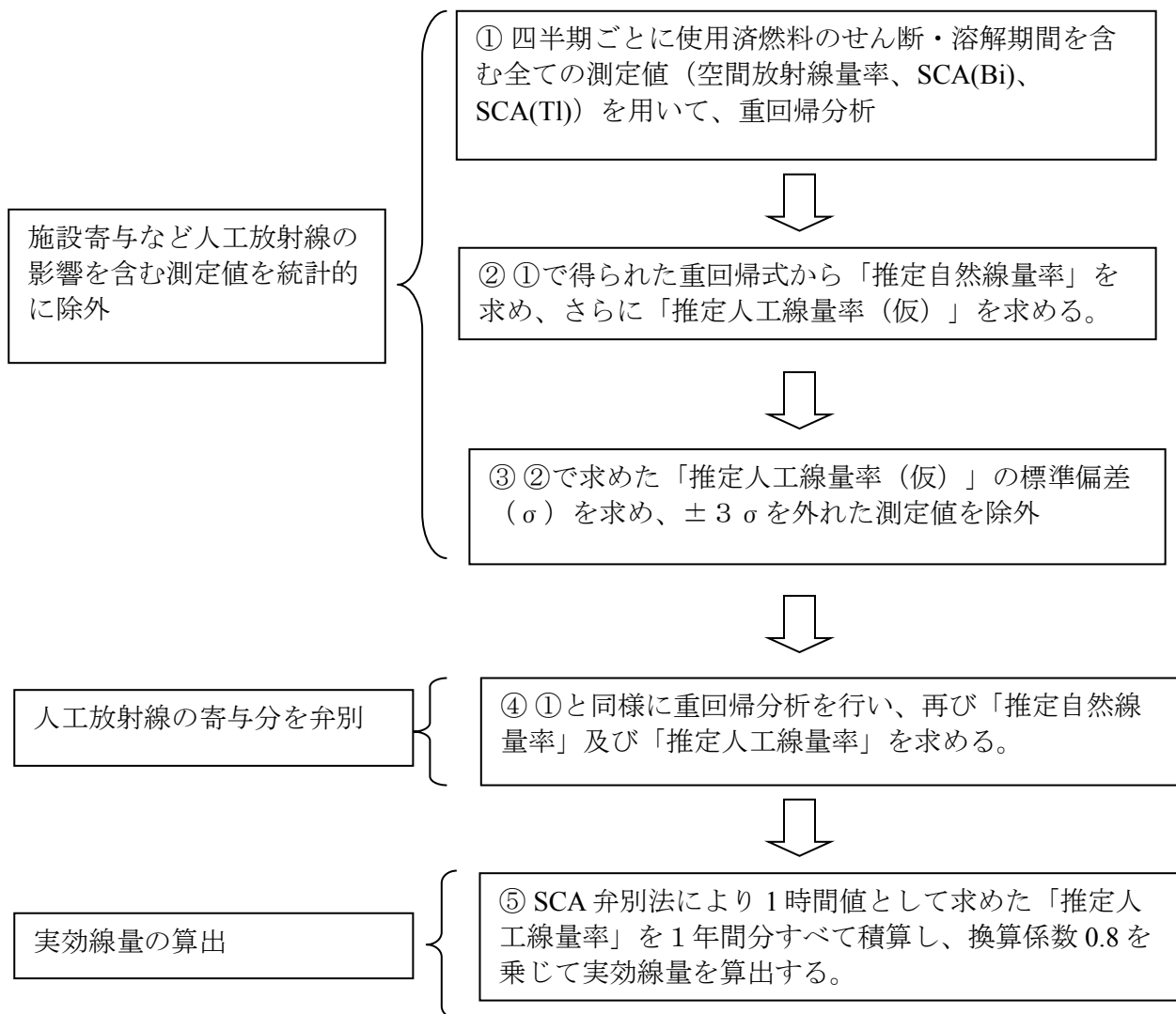


図8 統計的除外法の流れ

図9に平成19年度の尾駈局における、各四半期ごとに期間除外法を用いて計算した推定人工線量率と、同じく各四半期ごとに統計的除外法を用いて計算した推定人工線量率を示す。平成19年度には六ヶ所再処理工場でアクティブ試験に伴う使用済燃料のせん断・溶解が行われており、Kr-85による再処理工場からの影響が確認されている。

期間除外法と統計的除外法を重ね合わせて比較すると、両者はほぼ同様の分布となっており、統計的除外法が有効であることがわかる。ただし、施設寄与の割合がより多くなった場合の統計的除外法の有効性については、再処理工場操業後の測定結果により改めて検討する。

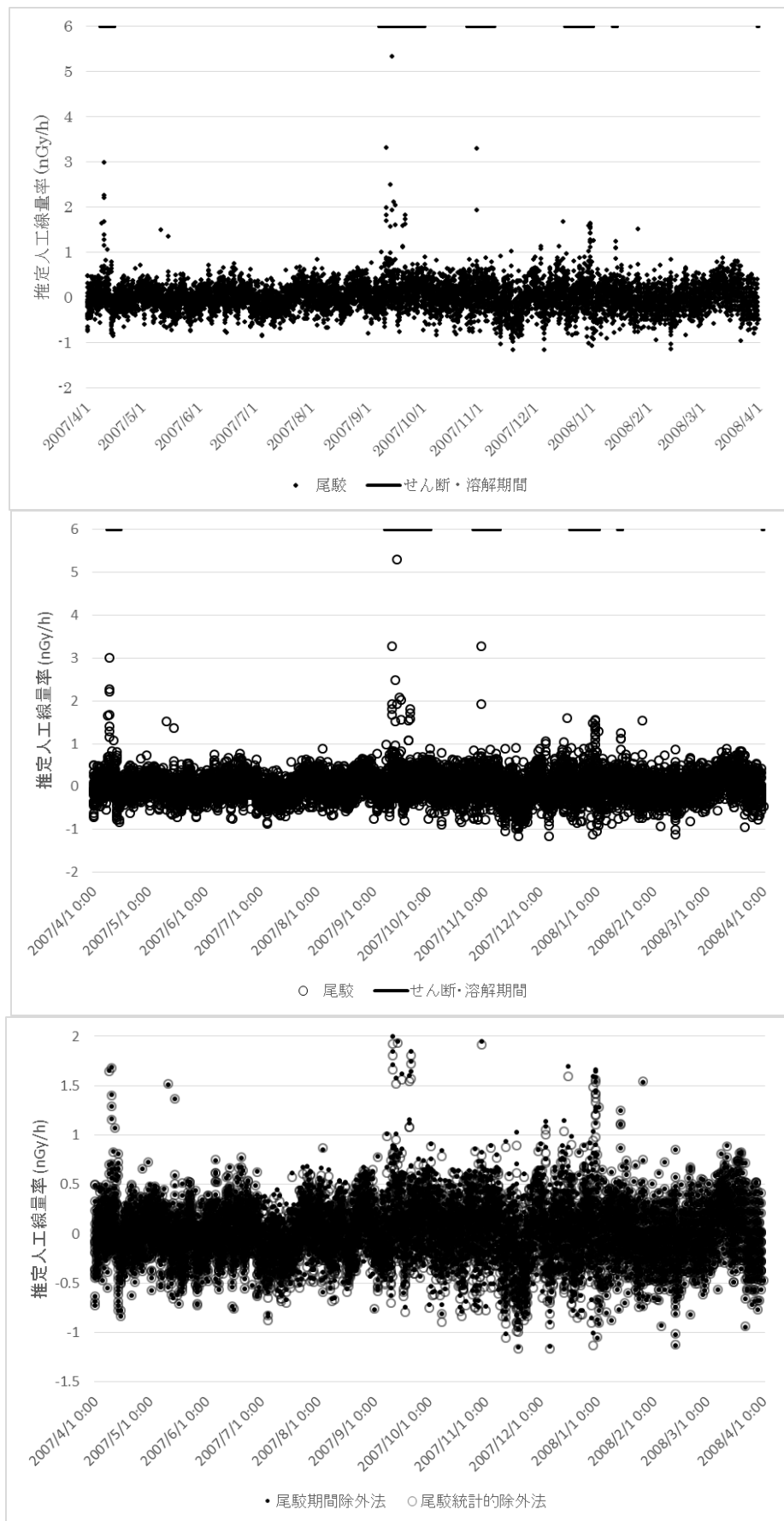


図9 六ヶ所再処理工場アクティブ試験期間における推定人工線量率計算結果 (H19年度 尾駁局)
 (上段：期間除外法、中段：統計的除外法、下段：上段と中段の重ね合わせ (縦軸スケール拡大))