

空間放射線量率の測定に係る人工放射線の弁別について

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。自然環境において空間放射線量率には、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による上昇、また、積雪により大地からの放射線が遮へいされることによる低下等の変動がある。

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による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(SCA)の計数率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(SCA 弁別法)を γ 線の外部被ばくによる実効線量の算出に活用する。

2 SCA(Bi)及び SCA(Tl)の設定

図 1 に NaI(Tl)シンチレーション検出器による環境 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)、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。

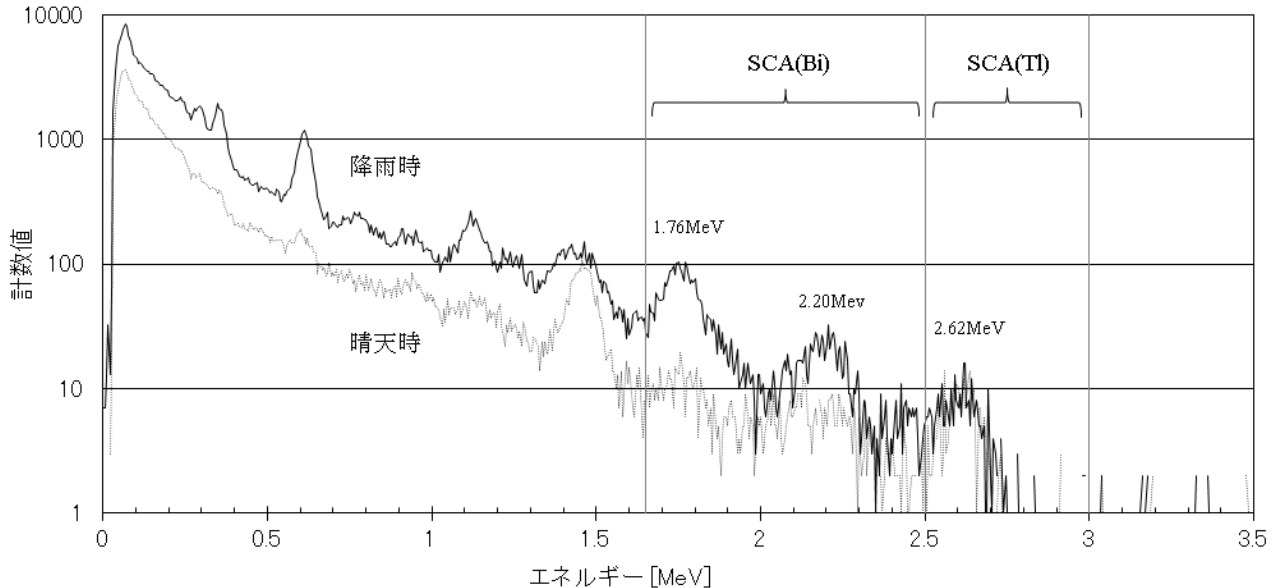


図 1 晴天時と降雨時の環境 γ 線スペクトル及び SCA(Bi)と SCA(Tl)のエネルギー範囲

3 空間放射線量率、SCA(Bi)及び 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。

空間放射線量率と SCA(Bi)は、年間を通じて、降雪の影響により短時間で大きな上昇を示すとともに、積雪期には大地からの放射線が遮へいされるため、積雪深が大きくなるに伴い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。

SCA(Tl)は、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傾向を示している。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、土壌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。

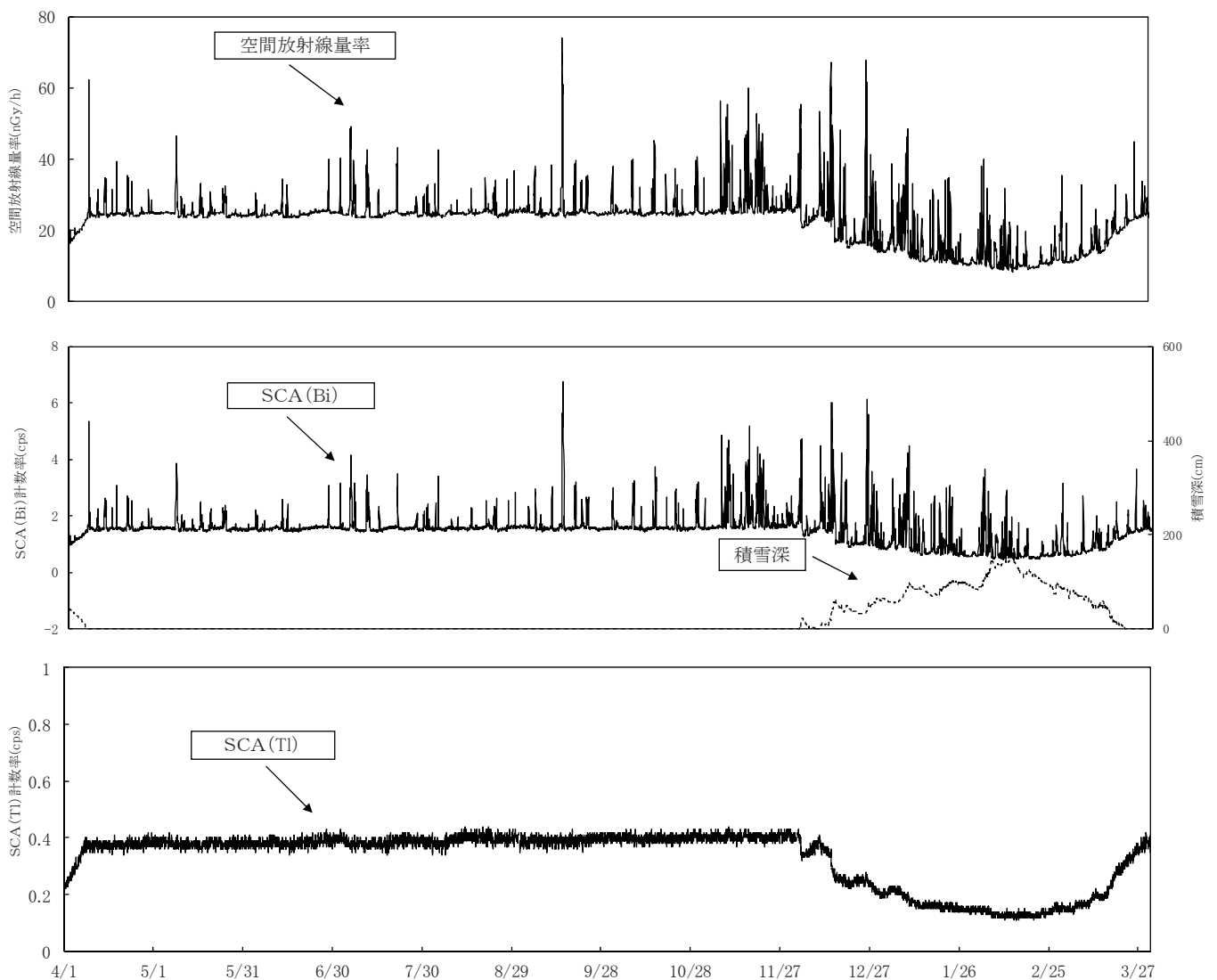


図 2 空間放射線量率、積雪深、SCA(Bi)及び SCA(Tl)の推移 (H17 尾駱局[1 時間値])

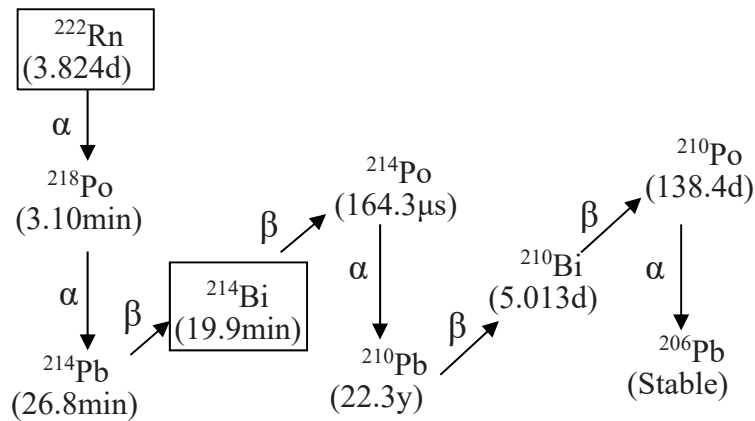


図3 Rn-222の壊変系列

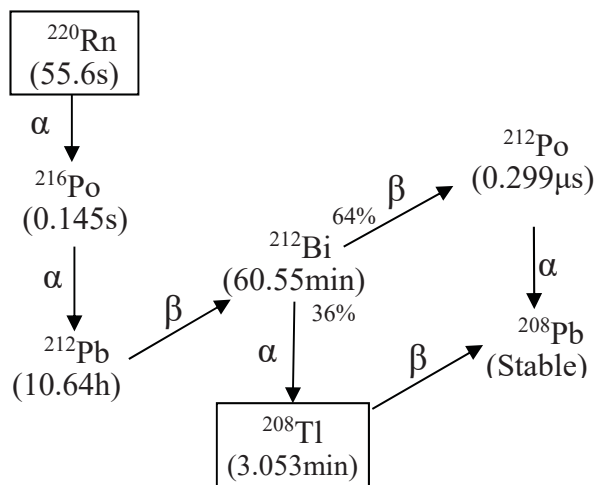


図4 Rn-220の壊変系列

4 人工放射線の弁別方法

図2において、空間放射線量率とSCA(Bi)が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、正の相関が認められており、SCA(Bi)は空間放射線量率の降雨雪による上昇分の指標になると考えられるが、積雪のない時期(4月～11月)と積雪期(12月～3月)で異なる相関を示した。

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ていることから、SCA(Tl)は、空間放射線量率の積雪による遮へい効果の指標として用いることができるものと考えられる。

以上のことから、自然放射線に起因する空間放射線量率を以下の重回帰式(式(1))により推定することとし、この値を「推定自然線量率」とした。人工放射線に起因する空間放射線量率「推定人工線量率」は、式(2)のように、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求めることができる。

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

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

$$\text{推定人工線量率} = \text{空間放射線量率測定値} - \text{推定自然線量率} \quad \dots \text{式(2)}$$

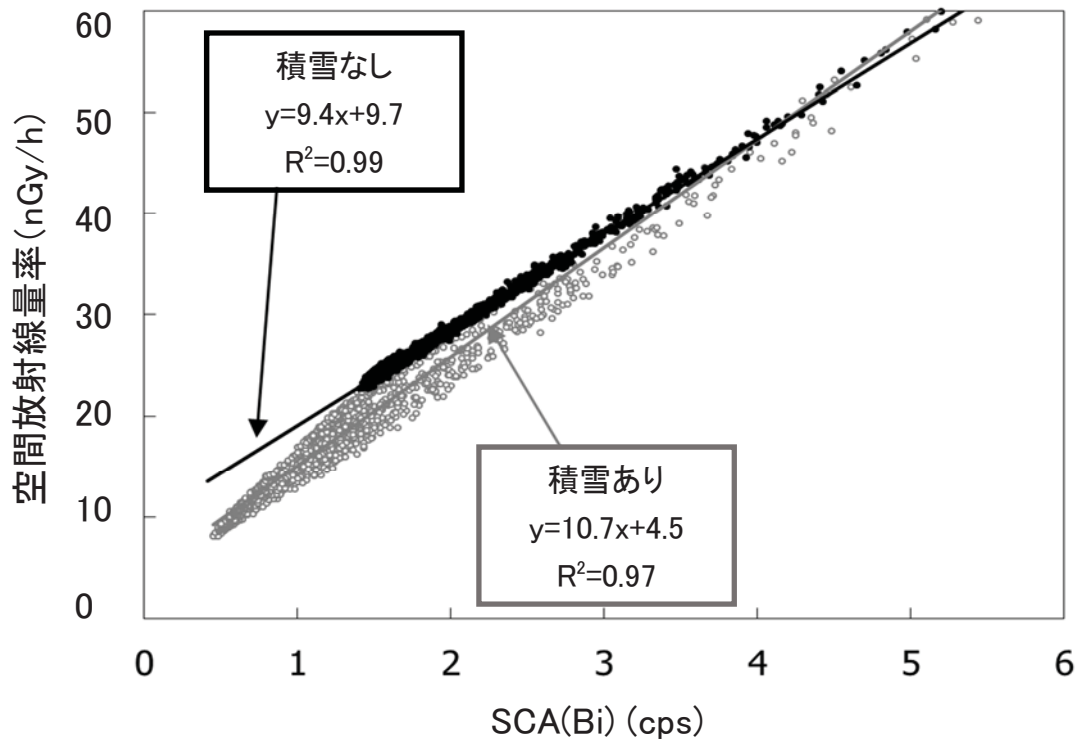


図5 空間放射線量率とSCA(Bi)の関係
 (H17 尾駁局:積雪のない時期(4~11月)と積雪のある時期(12~3月))

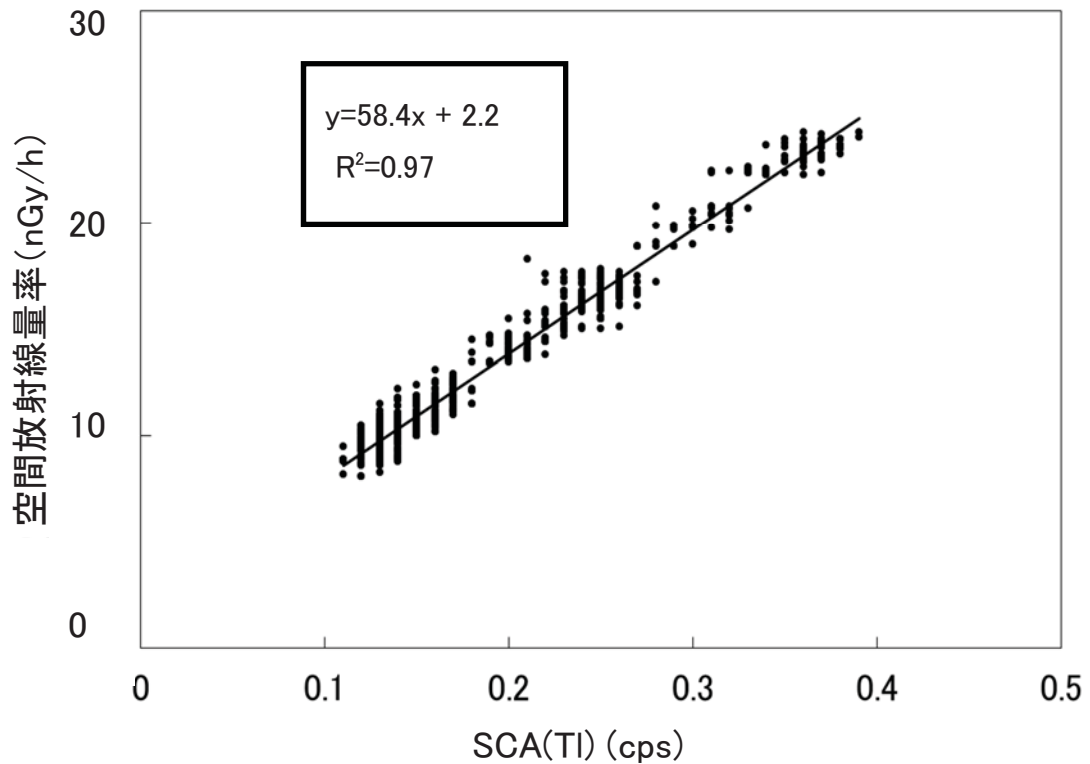


図6 降雨雪による上昇がない時間帯の空間放射線量率とSCA(Tl)の関係
 (H17年12月~H18年3月 尾駁局)

原子力施設等からの人工放射線の影響がない平成 17 年度 1 年間の尾駱局の測定値を用いて、式(1)の a, b 及び c を決定した。この式(1)と個々の SCA(Bi)及び SCA(Tl)測定値から推定自然線量率を算出し、空間放射線量率測定値から差し引いて求めた推定人工線量率を、1 年分プロットしたのが図7である。年間をとおして、降雨雪や積雪の影響が除かれており、ほぼ 0 に近い値となっている。表 1 は、推定人工線量率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 の範囲内であった。人工放射線の影響がない状況では、推定自然線量率は空間放射線量率測定値とよく一致していることから、本法により空間放射線量率測定における人工放射線の寄与を弁別することが可能と考えられる。

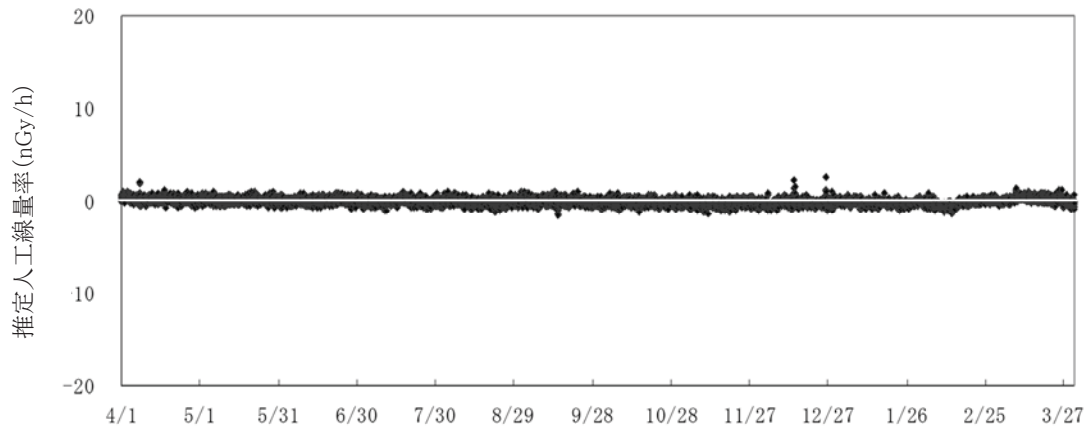


図 7 人工放射線の影響がない測定結果に係る推定人工線量率(H17 年度 尾駱局)

表 1 人工放射線の影響がない測定結果に係る推定人工線量率の変動分布 (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 再処理工場アクティブ試験による影響の推定事例

六ヶ所再処理工場では、平成 18 年 3 月からアクティブ試験が行われており、使用済燃料のせん断・溶解に伴い、断続的に Kr-85 が放出された。Kr-85 は、主としてβ線を、わずかにγ線(514keV,放出割合 0.0043)も放出する希ガスである。

図 8 に尾駱局における平成 19 年 10 月 28 日から 30 日までと平成 20 年 1 月 12 日から 14 日までの空間放射線量率、SCA(Bi)、推定人工線量率、大気中 Kr-85 濃度等の推移を示す。左側の 10 月の期間では、空間放射線量率及び大気中 Kr-85 濃度とともに推定人工線量率が上昇している。SCA(Bi)の変化が小さいことからわかるように降雨の影響がわずかであったことにより、Kr-85 による空間放射線量率の上昇分と推定人工線量率はほぼ等しくなっている。

一方、右側の 1 月の期間では、SCA(Bi)が、空間放射線量率、推定人工線量率及び大気中 Kr-85 濃度と同時に上昇しており、空間放射線量率の増加には、降雨による天然放射性核種と Kr-85 の両方の寄与が含まれている。さらに、この期間に積雪が増加しているが、推定人工線量率は、降雨による天然放射性核種の影響と積雪による遮へいの影響を除外し、Kr-85 からの寄与のみを示していると考えられる。

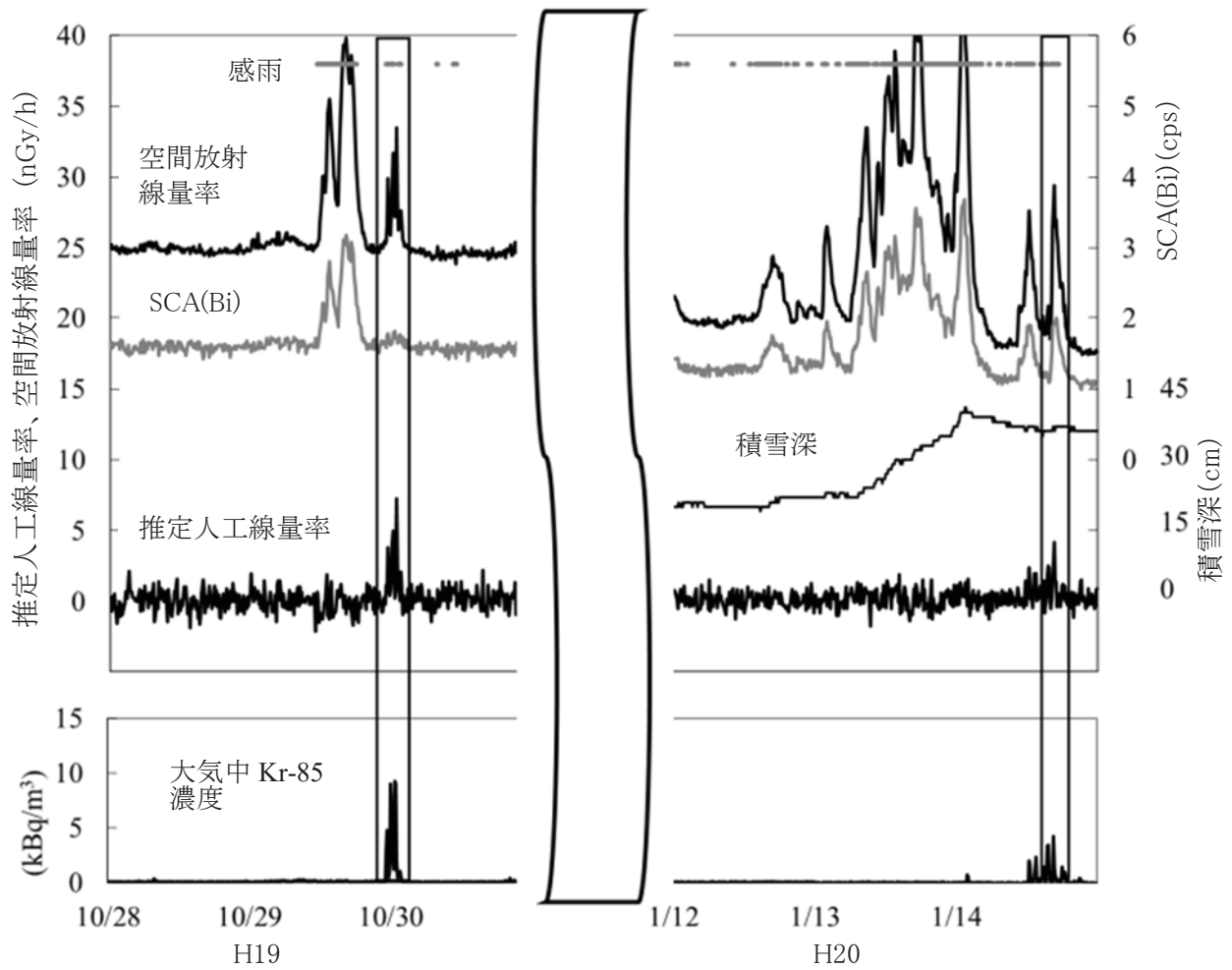


図 8 再処理工場から Kr-85 の放出のあった期間の尾駱局における空間放射線量率、SCA(Bi)計数率、推定人工線量率、感雨、積雪深、大気中 Kr-85 濃度の推移(10 分値)

6 参考文献

K.Kumagai, H.Ookubo and H.Kimura, “Discrimination between natural and other Gamma-ray sources from environmental gamma-ray dose rate Monitoring data” Radiation Protection Dosimetry (2015), pp.1-5