

# ダストモニタによる 大気中放射性物質濃度の 監視について(中間報告)

宮城県環境放射線監視センター



# 目次

- 1 ダストモニタを整備した背景
- 2 宮城県で整備したダストモニタの概要
- 3  $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度※の算出方法と評価方法の検討
- 4 今後の予定

※本発表中では、以下のように表記します。  
全 $\alpha$ 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) →  $\alpha$ 濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
全 $\beta$ 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) →  $\beta$ 濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)



# 1 ダストモニタを整備した背景

※一部、令和元年度監視検討会の内容を含む

# 1 ダストモニタを整備した背景

## (1) 国の指針

### 平常時モニタリングについて (原子力災害対策指針補足参考資料)

平成30年4月 原子力規制庁監視情報課策定

原子力施設周辺で実施される平常時の環境放射線モニタリングの計画、測定、結果評価等に関する指針

平常時モニタリングについて  
(原子力災害対策指針補足参考資料)

平成30年4月4日  
(令和3年12月21日 改訂)  
原子力規制庁監視情報課



# 1 ダストモニタを整備した背景

## (1) 国の指針

### 平常時モニタリングの目的

- (1) 周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価
- (2) 環境における放射性物質の蓄積状況の把握
- (3) 原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価
- (4) 緊急事態が発生した場合への平常時からの備え



# 1 ダストモニタを整備した背景

## (1) 国の指針

実施範囲	実施項目		測定頻度	測定対象
発電用原子炉施設から5 km 圏内	空間放射線量率の測定		連続測定	$\gamma$ 線 放出核種
	大気中放射性物質の濃度の測定	大気浮遊じん		$\alpha$ 線、 $\beta$ 線 放出核種
	排水中の放射性物質の濃度の測定	排水		$\gamma$ 線 放出核種

大気中放射性物質の濃度の連続測定を**ダストモニタ**により行う旨が指針に明記された。

宮城県では $\alpha$ 線、 $\beta$ 線放出核種の連続監視は、初の試みである。

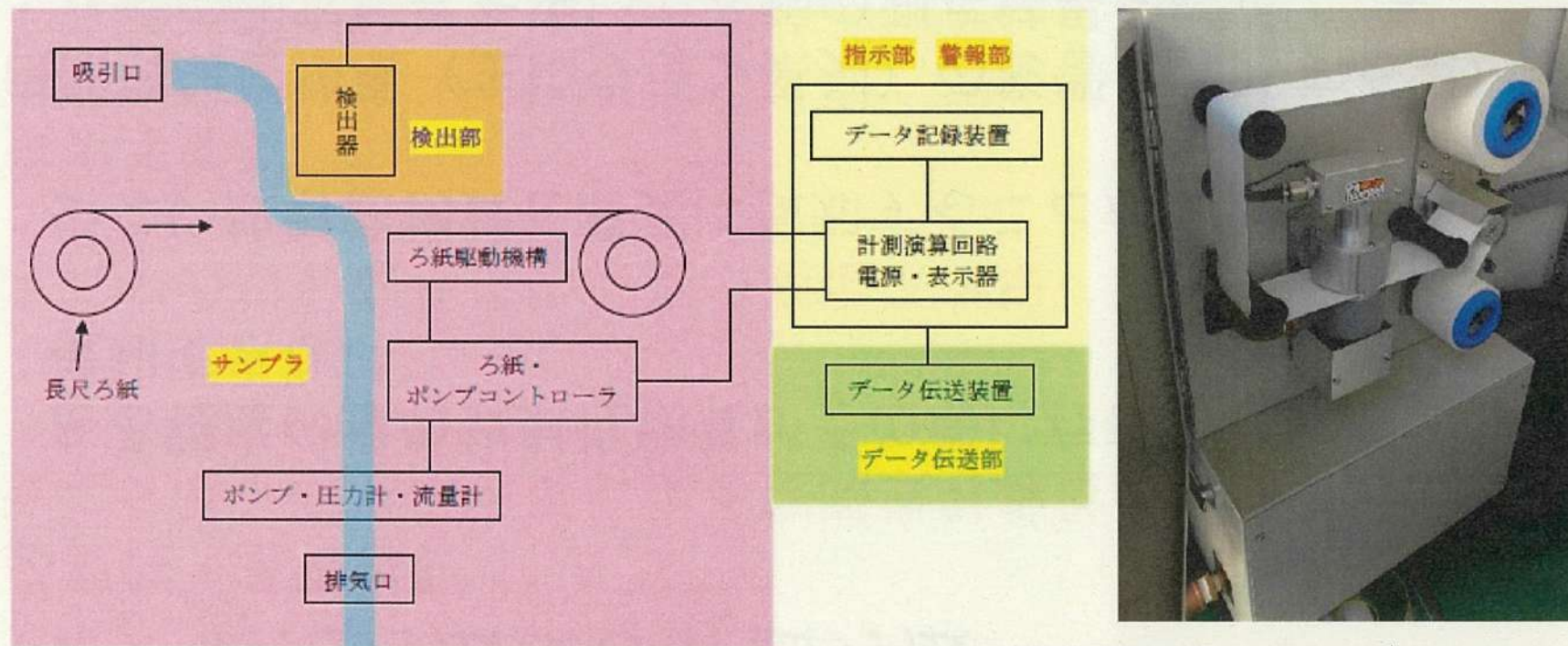


# 1 ダストモニタを整備した背景

## (2) 測定方法及び評価方法

### ダストモニタ

大気浮遊じんを連続採取し、 $\alpha$ 線と $\beta$ 線を連続測定する装置



出典：放射能測定法シリーズNo.36  
「大気中放射性物質測定法」<sub>7</sub>



# 1 ダストモニタを整備した背景

## (2) 測定方法及び評価方法

### 【必要性・重要性】

モニタリングポスト等による空間放射線量率の測定 ( $\gamma$ 線)

ある程度の量の放射性物質がその場に存在しないと  
検知できない

大気中の放射性物質の濃度の測定 ( $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線)

少ない放射性物質を着実に検知することができる。

### 【測定手法】

自然放射性核種（主にウラン系列）の影響を除外する測定手法

・  $\alpha$ 線の測定結果を用いて $\beta$ 線の測定結果を補正 等

### 【測定器の性能】

1時間連続採取及び連続測定により、5 Bq/m<sup>3</sup>程度の施設起因の人工放射性物質（ $\beta$ 線放出核種）が測定できること

### 【結果の評価等】

確認開始設定値を設定し、設定値を超過した場合は、その原因を調査し、評価する。



# 1 ダストモニタを整備した背景

## (2) 測定方法及び評価方法

### 【必要性・重要性】

モニタリングポスト等による空間放射線量率の測定（ $\gamma$ 線）

ある程度の量の放射性物質がその場に存在しないと検知できない。

大気中の放射性物質の濃度の測定（ $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線）

少ない放射性物質を着実に検知することができる。

放射性核種	換算計数※ (mSv/h) / (kBq/m <sup>3</sup> )	空間放射線量率の 上昇分 5 Bq/m <sup>3</sup> の場合
Cs-134	$3.4 \times 10^{-4}$	1.7 nSv/h
Cs-137 / Ba-137m	$1.3 \times 10^{-4}$	0.65 nSv/h

※ 換算係数には、IAEA-TECDOC-1162に掲載されている値を用いた。

表 大気中放射性物質濃度から空間放射線量率への換算係数及び空間放射線量率の試算値



## 2 宮城県で整備したダストモニタの概要



写真 飯子浜局に設置したダストモニタ

※一部、令和元年度監視検討会の内容を含む



## 2 宮城県で整備したダストモニタの概要

### (1) 整備年度及び設置場所

整備年度：令和2年度（令和3年3月）

設置場所：モニタリングステーション 飯子浜局、鮫浦局



- 凡例
- 新たにダストモニタを設置した局
  - ダストヨウ素モニタ設置局（既設）
  - その他の局

図 ダストモニタ設置場所

#### 【選定理由】

- ・ 発電所から5 km圏内である。
- ・ 小屋取局及び寄磯局はダストヨウ素モニタ（連続測定には非対応）を設置済である。
- ・ 飯子浜局及び鮫浦局には、大気中放射性物質を測定する装置がなかった。
- ・ 発電所からの方角が、小屋取局及び寄磯局とは異なる。



## 2 宮城県で整備したダストモニタの概要

### (2) 主な仕様

項目	仕様	(参考) 既設Geダストヨウ素モニタ仕様 (小屋取局、寄磯局)
製造者 型式	株式会社日立製作所 MDR-3000	日立アロカメディカル株式会社 MDR-R41-22843
測定対象	浮遊じん	浮遊じん、ガス状ヨウ素
検出器	ZnS + プラスチック シンチレーション検出器	Ge半導体検出器
測定線種	$\alpha$ 線及び $\beta$ 線	$\gamma$ 線
主な 測定項目	$\alpha$ 線及び $\beta$ 線の計数 (積算値) 積算流量	$\gamma$ 線スペクトル 積算流量
測定方式	集塵同時測定	集塵後 1 ステップ後に測定
BG対策	鉛遮蔽体 (約30 mm)	鉛遮蔽体 (約30 mm)
捕集材	長尺ろ紙 (HE-40T)	カートリッジ (HE-40T + CP-20 + CHC-50)
吸引流量	100 L/min 程度	30 L/min 程度



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討

※本発表中では、以下のように表記します。

全 $\alpha$ 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) →  $\alpha$ 濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

全 $\beta$ 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) →  $\beta$ 濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)



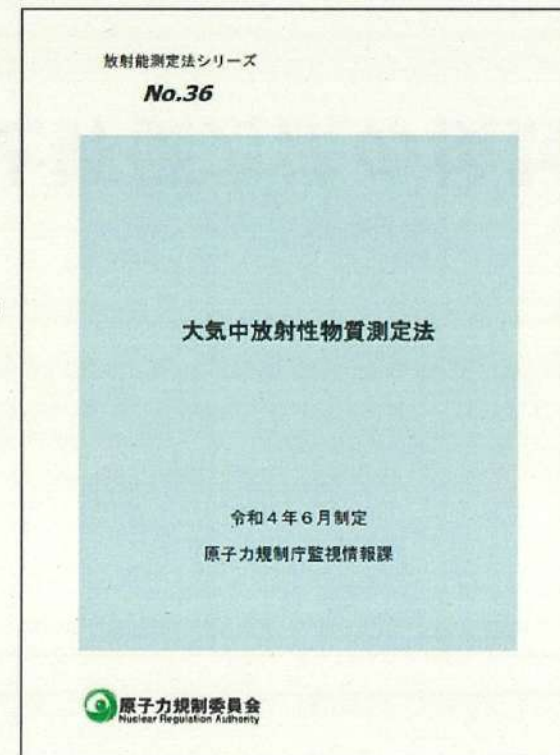
### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (1) 放射能測定法シリーズ「大気中放射性物質測定法」

## 放射能測定法シリーズ

## 「大気中放射性物質測定法」

令和4年6月 原子力規制庁監視情報課制定

ダストモニタによる「原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価」の考え方が具体的に示された。





評価方法	評価対象	概要
$\beta / \alpha$ 比を用いた方法	全 $\beta$ 放射能濃度	$\alpha$ 濃度と $\beta$ 濃度との間に、強い相関関係があることを利用する方法
$\alpha$ $\beta$ 同時計数を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度 全 $\beta$ 放射能濃度	自然放射性物質による $\alpha$ $\beta$ 同時計数率と、 $\alpha$ 線計数率、 $\beta$ 線計数率には強い正の相関があることを利用する方法
スペクトル解析を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度 全 $\beta$ 放射能濃度	スペクトルの解析により、天然核種の影響を補正する方法
基準化計数を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度 全 $\beta$ 放射能濃度	全 $\alpha$ 及び全 $\beta$ 計数率をそれぞれの過去の平均値で除して基準化する方法
アンフォールディングを用いた方法	$\gamma$ 線放出核種濃度	NaI検出器で得られたスペクトルを分析する方法 (本県の指標線量率に近い考え方)

表 放射能測定法シリーズ「大気中放射性物質測定法」に例示されている評価方法



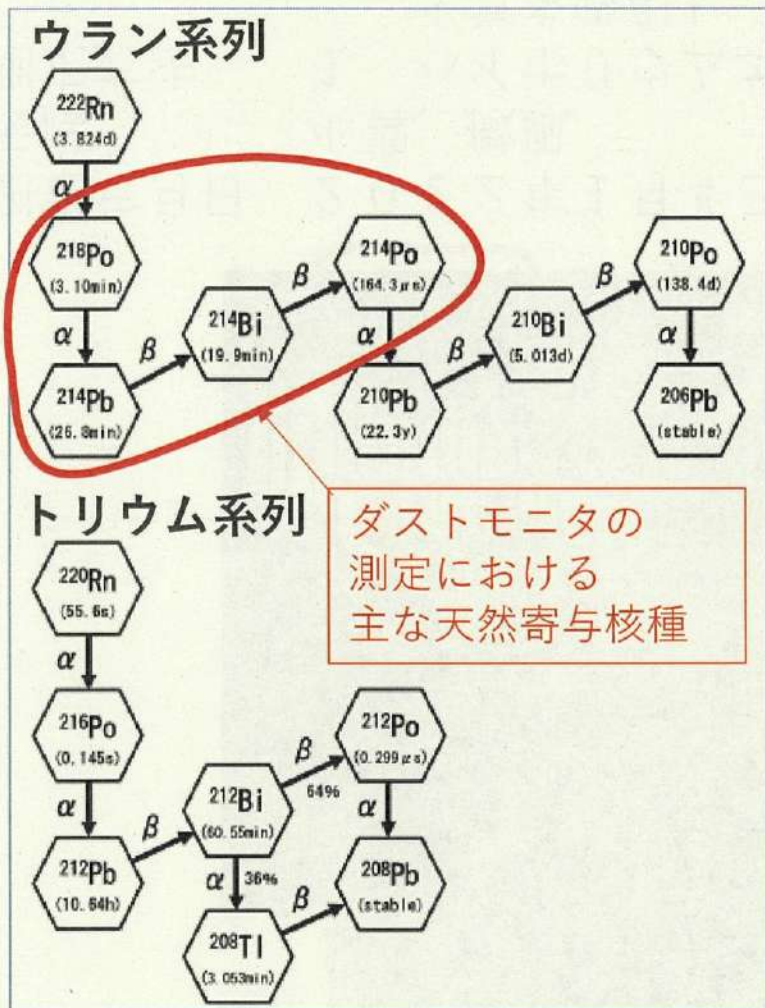
評価方法	評価対象	宮城県での採用の可否
$\beta / \alpha$ 比を用いた方法	全 $\beta$ 放射能濃度	可
$\alpha$ $\beta$ 同時計数を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度 全 $\beta$ 放射能濃度	不可 $\alpha$ $\beta$ 同時計数ができないため
スペクトル解析を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度 全 $\beta$ 放射能濃度	不可 スペクトル測定ができないため
基準化計数を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度 全 $\beta$ 放射能濃度	可 ※今回は検討せず
アンフォールディングを用いた方法	$\gamma$ 線放出核種濃度	不可 スペクトル測定ができないため

表 放射能測定法シリーズ「大気中放射性物質測定法」に例示されている評価方法

「 $\beta / \alpha$ 比を用いた方法」を検討する前に、予備調査を行った。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法及び評価方法の検討 (2) 予備調査



平常時のダストモニタによる測定では、 $\alpha$ 濃度と $\beta$ 濃度との間に強い相関関係がある。

平常時に測定される放射能が主にラドン子孫核種に由来するため。



宮城県の測定地点におけるラドン子孫核種の影響を予備調査した。

図：ラドン・トリウムの主な壊変図



# 調査方法



測定年月日 2022年1月4日

天候 小雪、微風

- 測定方法
- 1 ハイボリウムエアサンプラにより、流量率 500 L/min で大気を吸引し、ろ紙にダストを採取した (空気採取量 9.9 m<sup>3</sup>)
  - 2 ろ紙を圧縮し、U8 容器に充填して簡易遮へいで囲った可搬型Ge 検出器で直ちに計数を測定した。



# 調査方法



可搬型Ge検出器

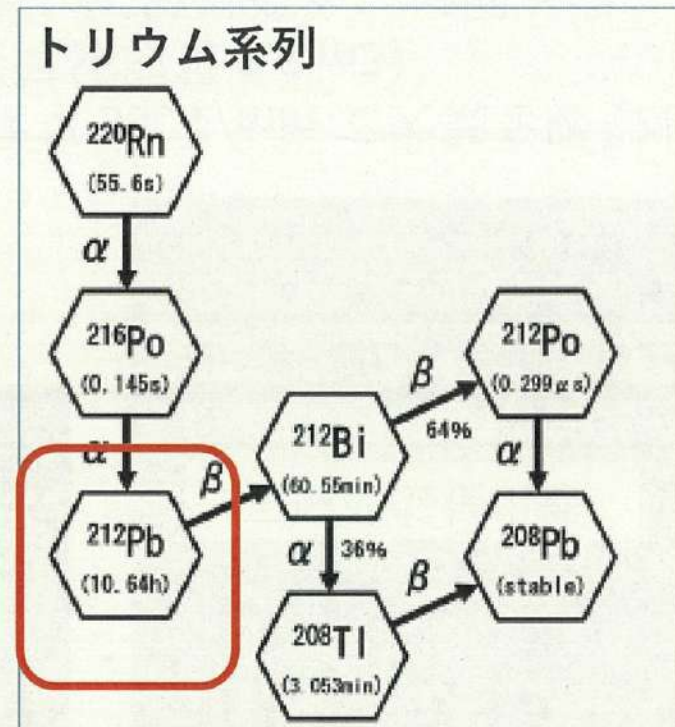
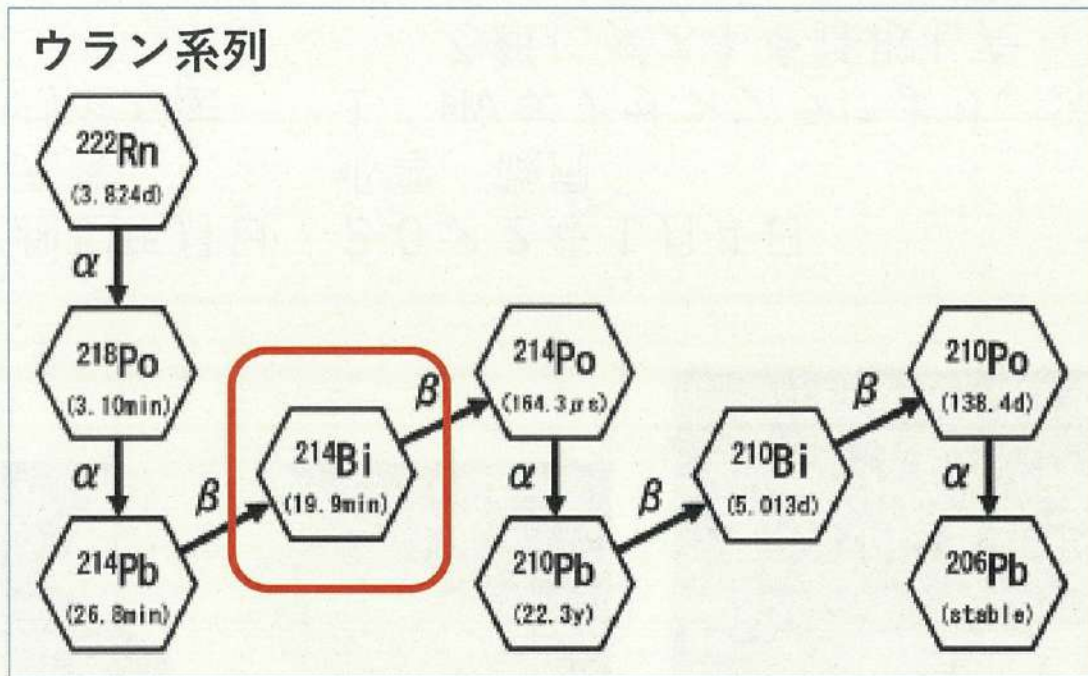
測定年月日 2022年1月4日

天候 小雪、微風

- 測定方法
- 1 HVエアサンプラにより、流量率 500 L/min で大気を吸引し、ろ紙にダストを採取した（空気採取量 9.9 m<sup>3</sup>）
  - 2 ろ紙を圧縮し、U8 容器に充填して簡易遮へいで囲った可搬型Ge 検出器で直ちに計数を測定した。



# 調査結果



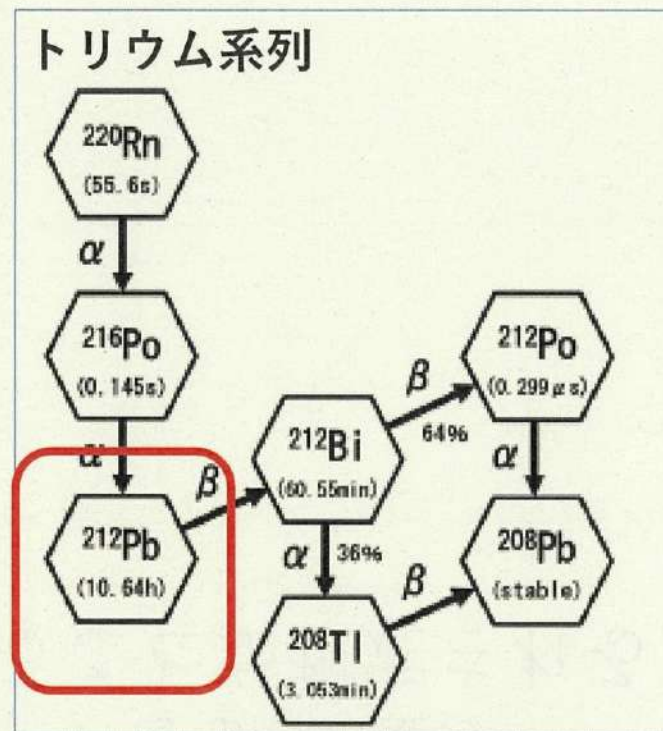
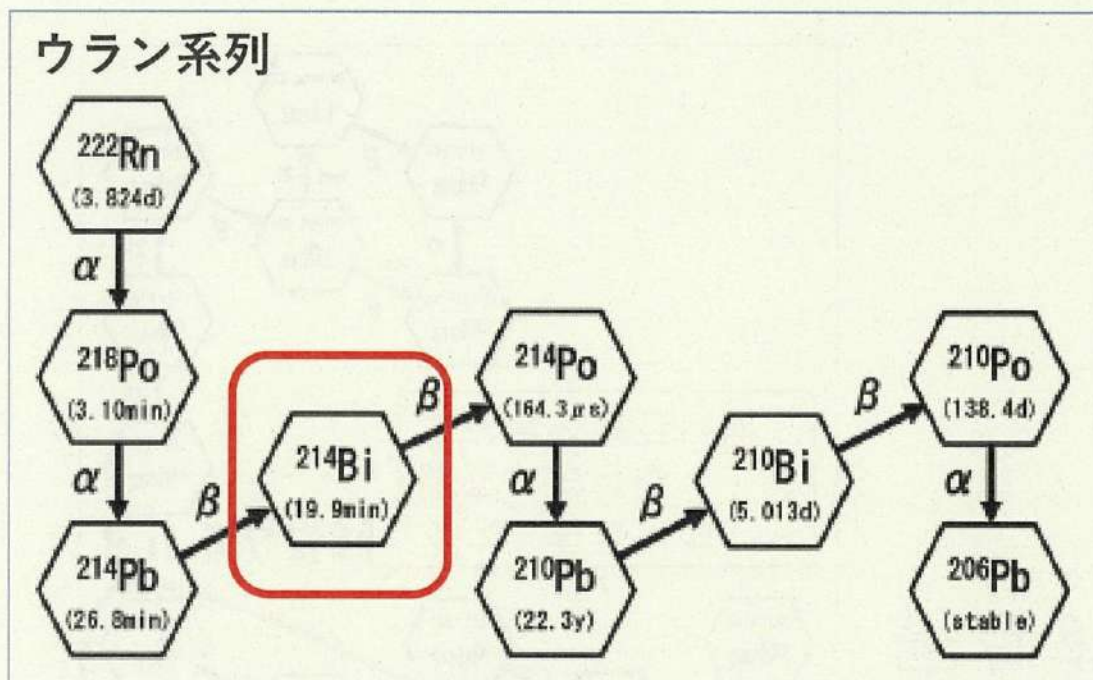
採取または測定時間 *	カウント数**		カウント数**	
	$^{214}\text{Bi}$ , 609 keV	$\sigma_{609}$	$^{212}\text{Pb}$ , 239 keV	$\sigma_{239}$
ダスト採取 14:00-14:20	—	—	—	—
BG測定 13:55-14:15	211.3	± 23.8	151.8	± 38.3
ダスト測定 14:25-14:45	<b>443.3</b>	± <b>29.3</b>	132.7	± 37.8

\*採取または測定時間: 20 min

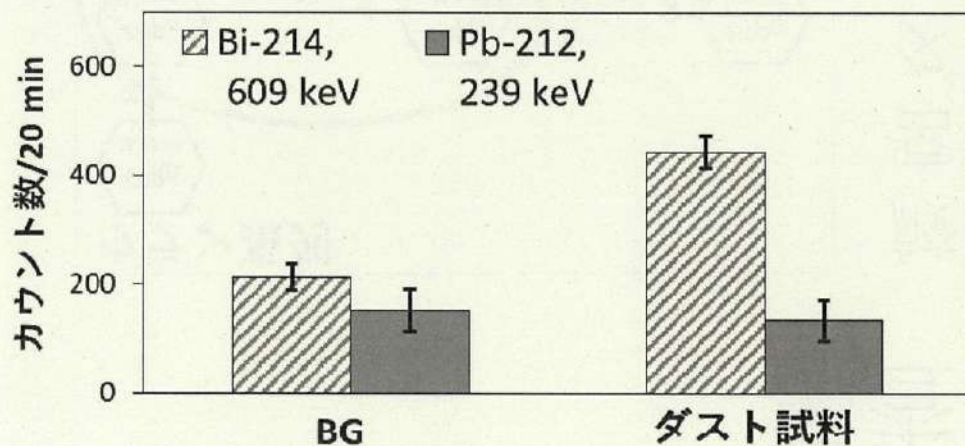
\*\*  $\sigma$  は計数誤差の標準偏差



# 調査結果



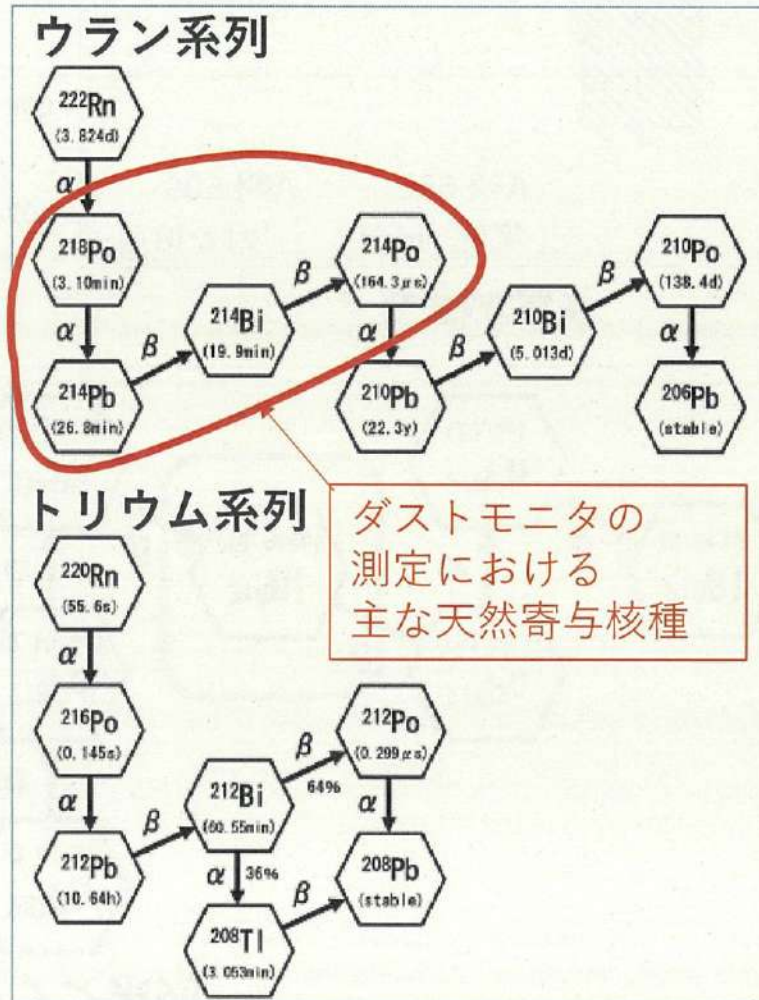
鮫浦MS屋外



大気中のBi-214濃度は、バックグラウンドに比べて多かった。Pb-212濃度はバックグラウンドと同程度だった。



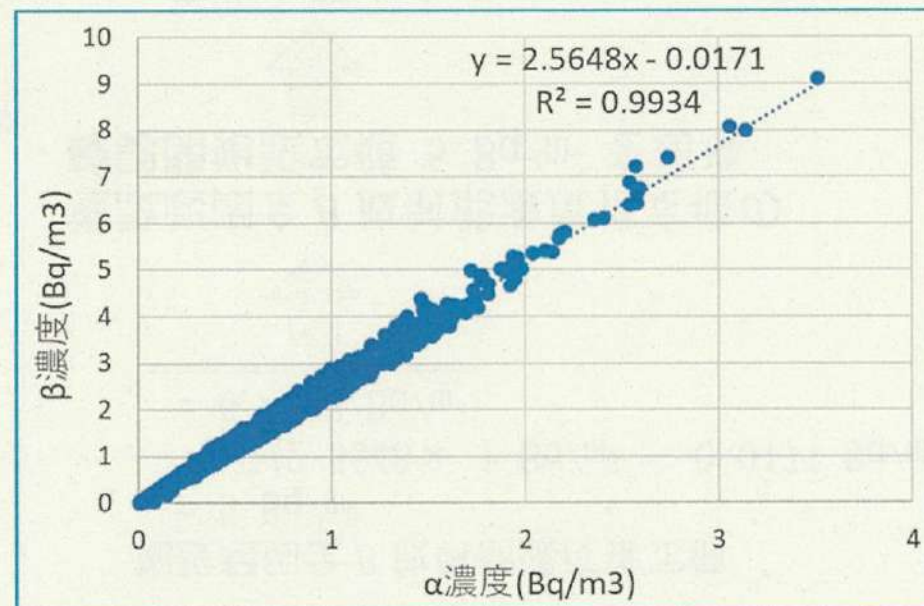
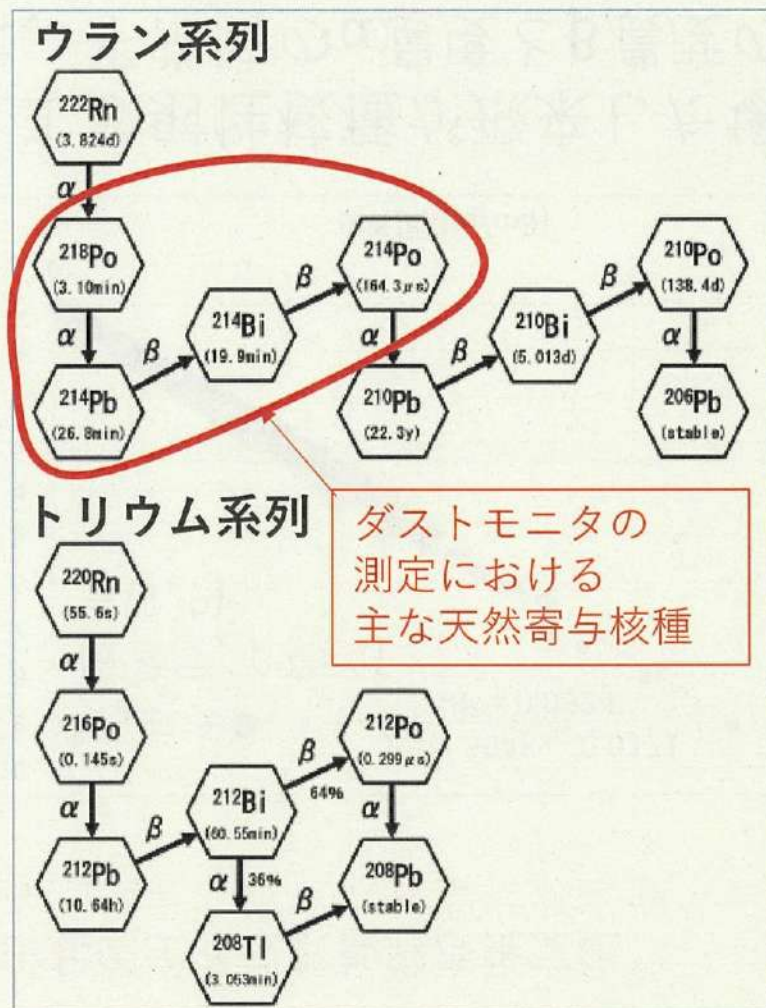
# 調査結果



鮫浦局での測定結果から、宮城県においても平常時のダストモニタの測定には主にラドン子孫核種が寄与することが想定される。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (3) $\beta / \alpha$ 比を用いた方法



平常時のダストモニタによる測定では、 $\alpha$ 濃度と $\beta$ 濃度との間に強い相関関係がある。

図：ラドン・トロン の主な壊変図

※赤線及び赤文字部分は、当所で加筆した。

出典：放射能測定法シリーズNo.36「大気中放射性物質測定法」

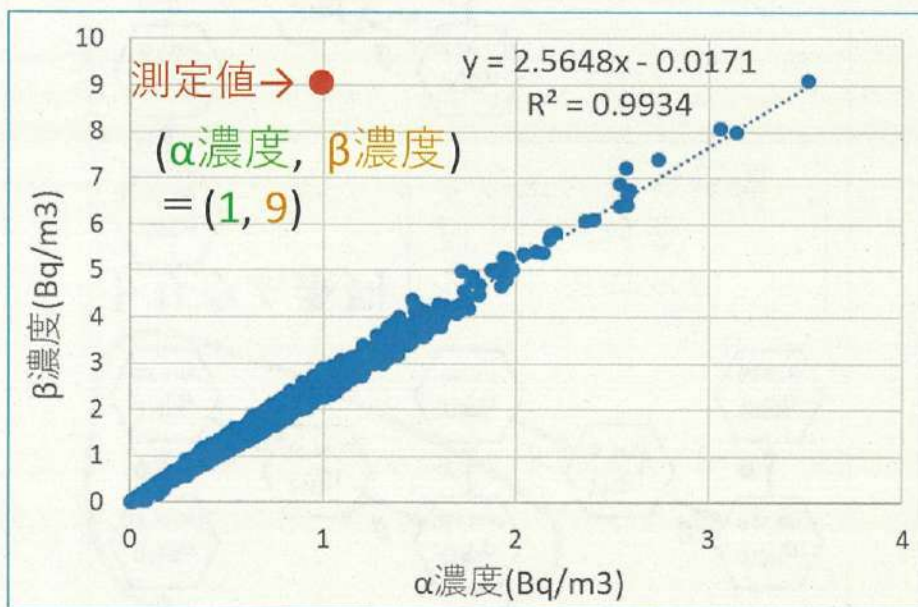


### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討

#### (3) $\beta / \alpha$ 比を用いた方法

施設起因全  $\beta$  放射能濃度推定値

=  $\beta$  濃度実測値 - ( $\alpha$  濃度測定値  $\times$   $\alpha$  濃度  $\beta$  濃度 相関図から求めた  $\beta / \alpha$  比 + 切片)



人工放射性核種が飛来した場合は、平常時の $\alpha$ 濃度と $\beta$ 濃度の相関から外れた値が測定される。

例 施設起因全  $\beta$  放射能濃度推定値の  
確認開始設定値  
5 Bq/m<sup>3</sup>

施設起因全  $\beta$  放射能濃度推定値

$$\begin{aligned}
 &= 9 \text{ Bq/m}^3 \\
 &\quad - (2.5648 \times 1 \text{ Bq/m}^3 - 0.0171 \text{ Bq/m}^3) \\
 &= \underline{\underline{6.4523 \text{ Bq/m}^3}}
 \end{aligned}$$



施設起因全  $\beta$  放射能濃度推定値の  
確認開始設定値 5 Bq/m<sup>3</sup> を超過



原因を調査する。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (3) $\beta / \alpha$ 比を用いた方法

宮城県では、以下の方法について検討した。

**方法 A** : 放射能測定法シリーズ No36「大気中放射性物質測定法」に記載されている濃度算出方法

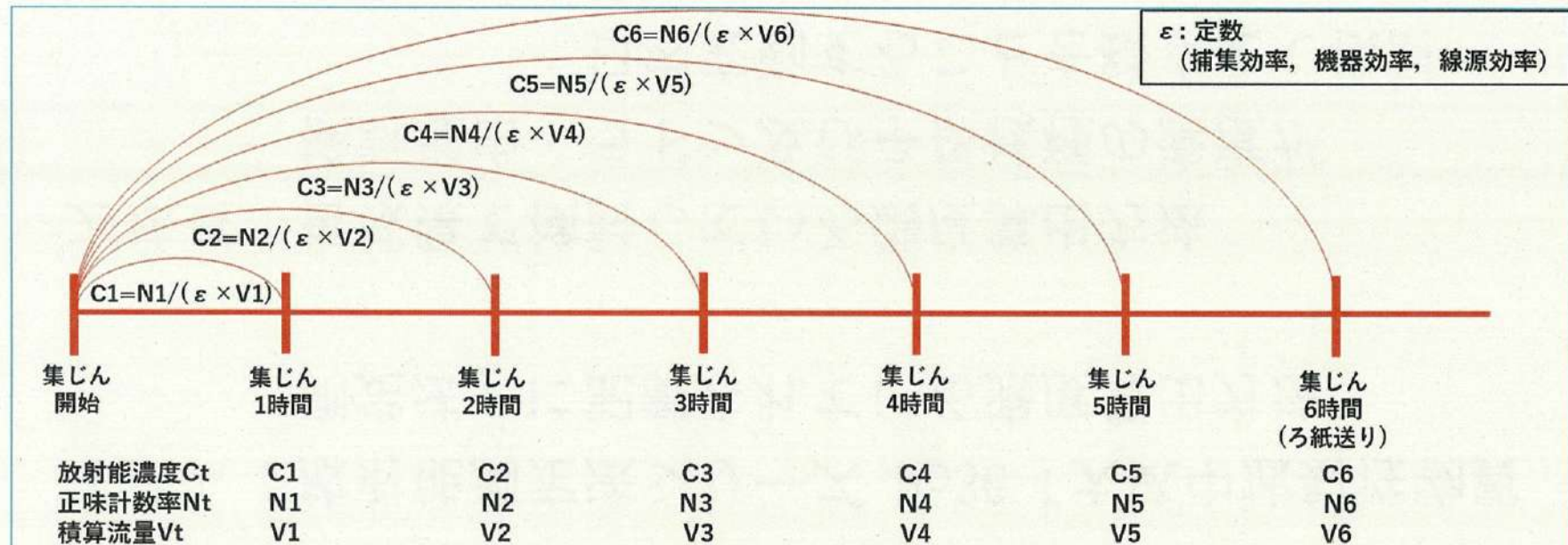
**方法 B** : 宮城県で検討している濃度算出方法  
検討理由 : ラドン及び子孫核種の濃度が  
日内変動することを踏まえて検討



## 方法A 平常時用 放射能測定法シリーズに記載されている濃度算出方法

$$C_t(\text{放射能濃度}) = \frac{\text{正味計数率}(s^{-1})}{\text{捕集効率} \times \text{機器効率} \times \text{線源効率} \times \text{積算流量}(m^3)} = \frac{N_t(\text{正味計数率})(s^{-1}) \quad \text{※下図の式で求める。}}{0.990 \times \frac{\varepsilon(\text{機器効率})(\%)}{100} \times 0.5 \times \frac{V_t(\text{積算流量})(L)}{1000}}$$

捕集効率=0.990、線源効率=0.5 (α,β共通)とする。



宮城県で導入したダストモニタには、計数率の瞬時値を測定する機能がないため、以下の式で正味計数率Ntを求める。

### 正味計数率Nt

= 「集じん開始からの積算計数」 ÷ 「経過時間t-43秒(ろ紙送り時間)」 - バックグラウンド計数率

### バックグラウンド計数率

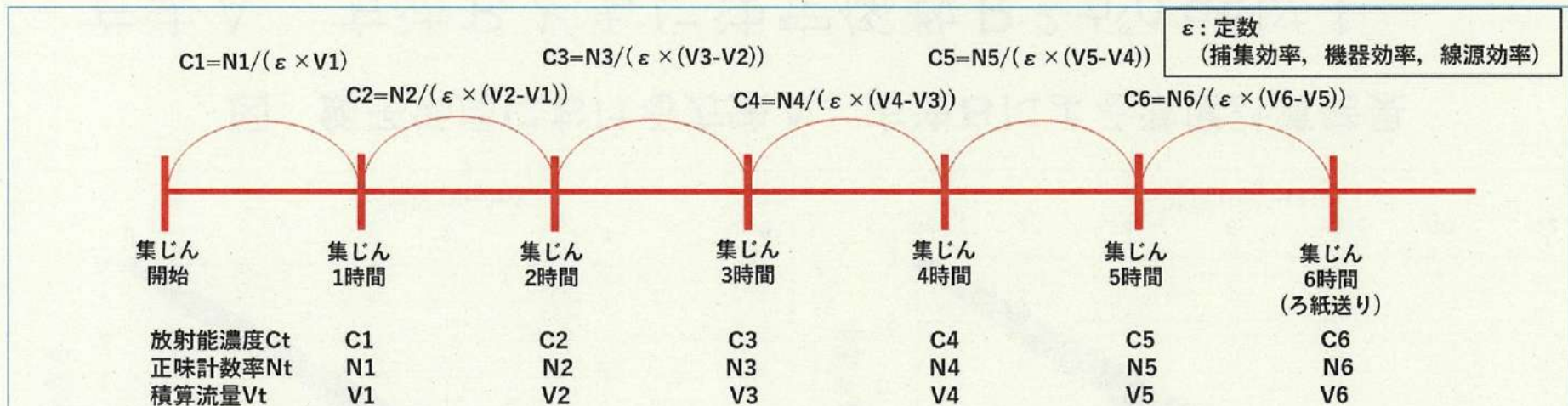
飯子浜局 α計数率 0.0 s<sup>-1</sup> β計数率 0.6 s<sup>-1</sup> 鮫浦局 α計数率 0.0 s<sup>-1</sup> β計数率 0.7 s<sup>-1</sup>



## 方法B 平常時用 宮城県で検討している濃度算出方法

$$CtB(\text{放射能濃度}) = \frac{\text{正味計数率}(s^{-1})}{\text{捕集効率} \times \text{機器効率} \times \text{線源効率} \times \text{積算流量}(m^3)} = \frac{Nt(\text{正味計数率})(s^{-1}) \quad \text{※下図の式で求める。}}{0.990 \times \varepsilon(\text{機器効率})(\%) \times 0.5 \times \frac{Vt(\text{積算流量})(L) - Vt_{-1}(\text{積算流量})(L)}{1000}}$$

捕集効率=0.990、線源効率=0.5 (α,β 共通) とする。



以下の式で正味計数率Ntを求める。

集じん開始から1時間後の正味計数率N1

正味計数率N1

= 「集じん開始から1時間の積算計数」 ÷ 「3600秒(1時間) - 43秒(ろ紙送り時間)」 - バックグラウンド計数率

集じん開始から2～6時間後の正味計数率Nt (ただし、t = 2,3,4,5,6)

正味計数率Nt (ただし、t = 2,3,4,5,6)

= (「集じん開始から測定時刻までの積算計数」 - 「集じん開始から1時間前までの積算計数」) ÷ 3600秒(1時間)

バックグラウンド計数率

飯子浜局 α計数率 0.0 s<sup>-1</sup> β計数率 0.6 s<sup>-1</sup>      鮫浦局 α計数率 0.0 s<sup>-1</sup> β計数率 0.7 s<sup>-1</sup>



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (4) 測定結果

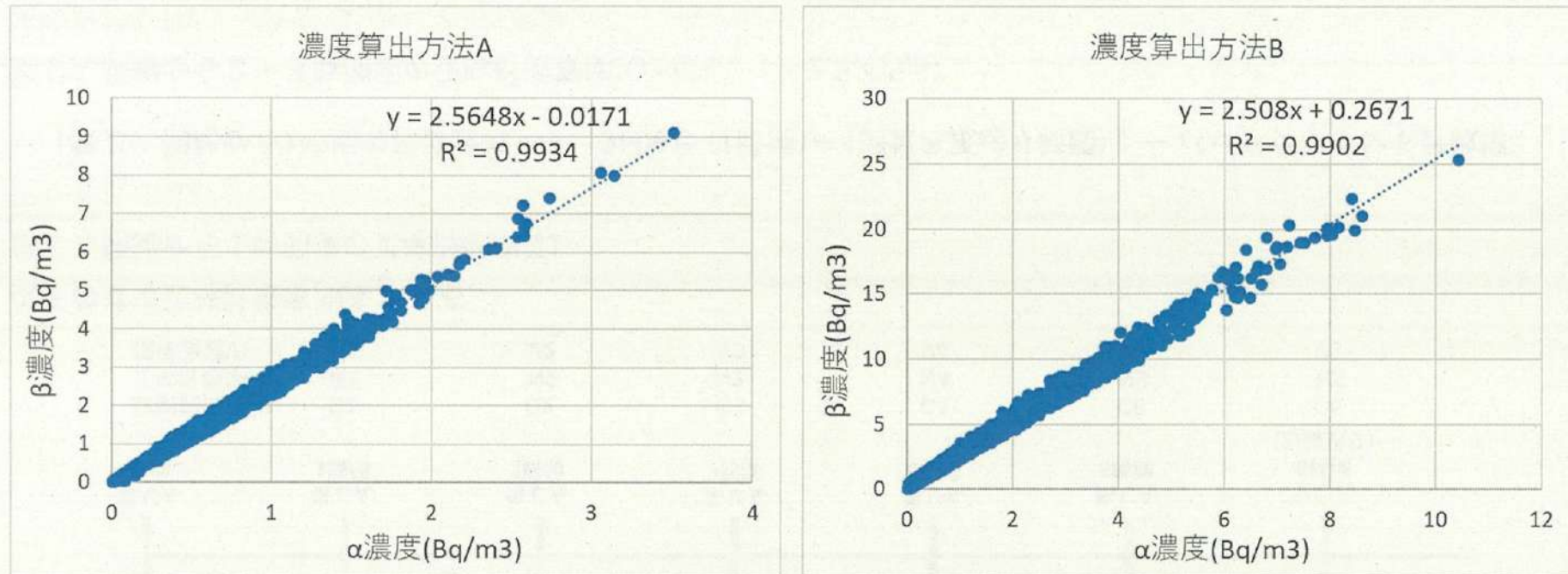


図 飯子浜局における方法A、方法Bによる濃度計算結果

方法A、方法Bともに決定係数  $R^2$  が0.99以上

$\alpha$ 濃度と $\beta$ 濃度との間に、強い相関関係があることが確認された。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (4) 測定結果

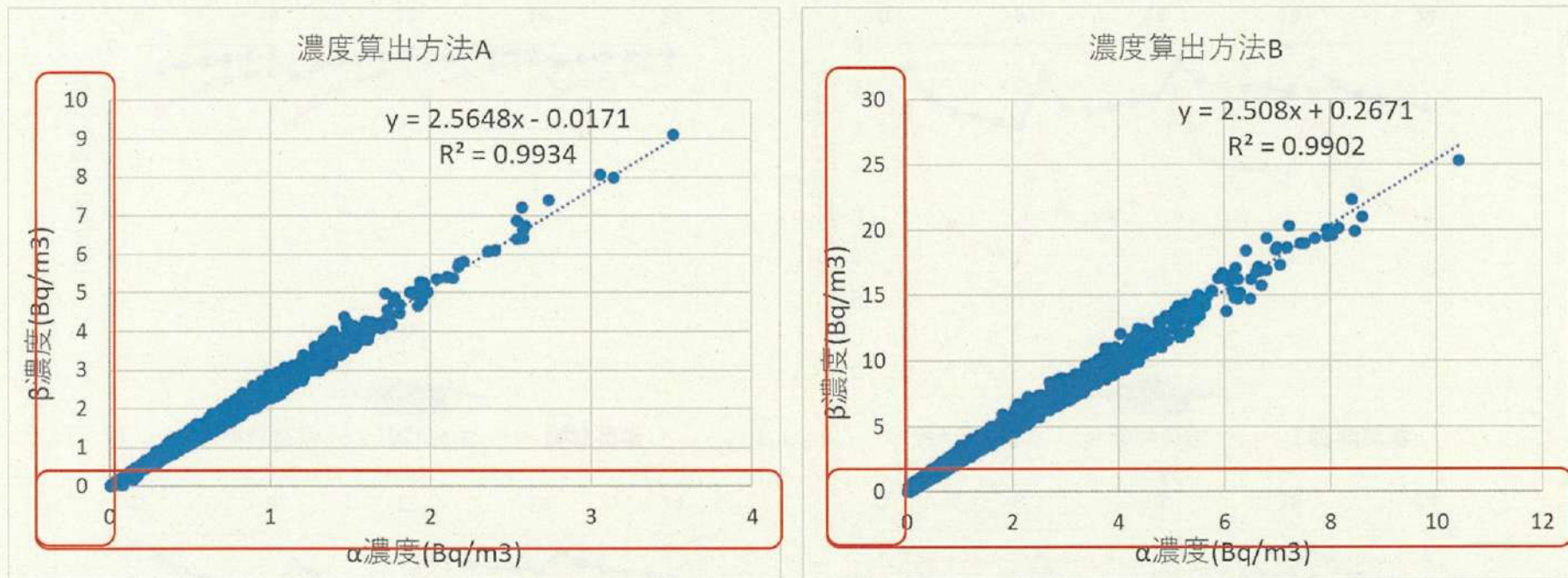
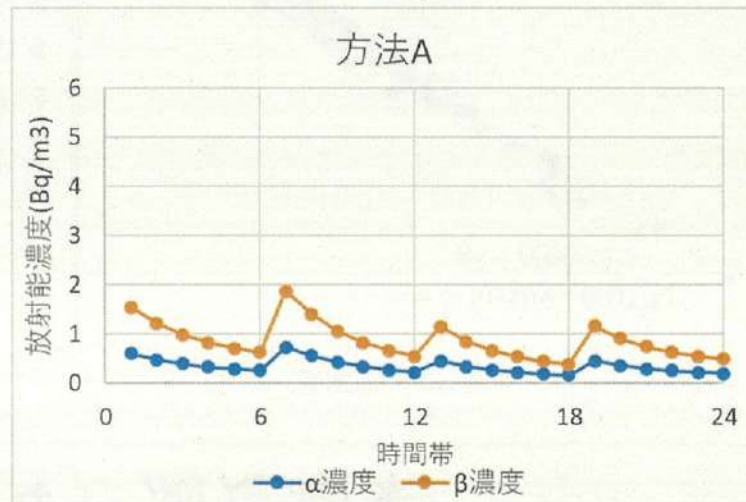
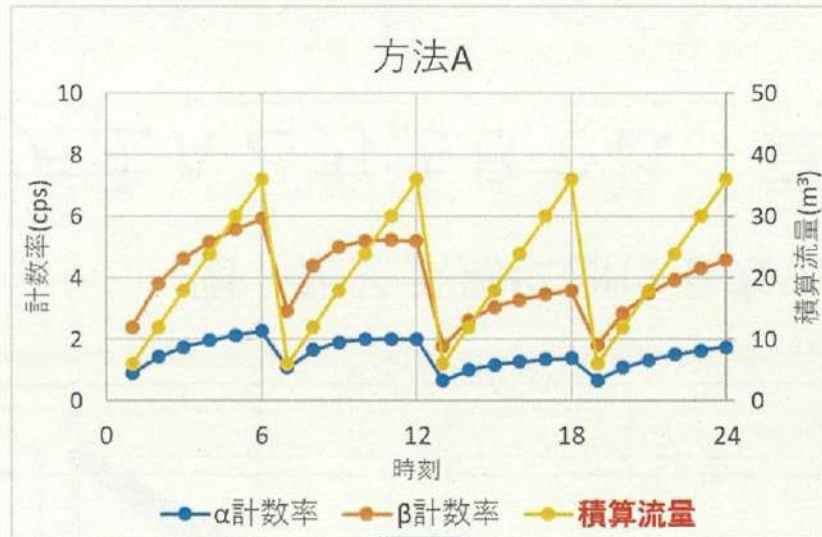


図 飯子浜局における方法A、方法Bによる濃度計算結果  
方法Aと方法Bでは、算出される濃度が異なる。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討

#### (4) 測定結果



※ろ紙送り時刻：0時、6時、12時、18時



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (4) 測定結果

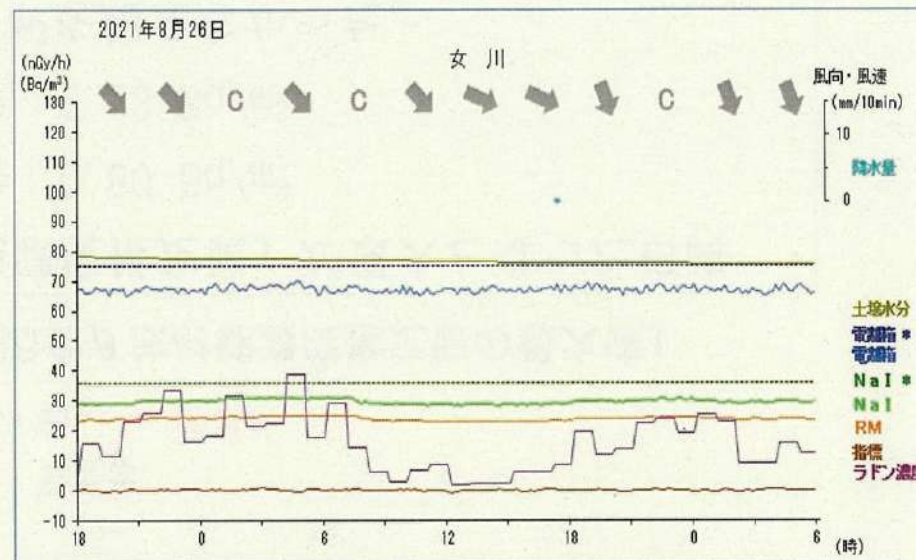


図 飯子浜局における放射能（平均値）及び女川局における測定例

方法A・方法Bによる放射能（平均値）の日内変動を確認した。  
方法Bでは女川局におけるラドン濃度の日内変動と同様に、  
夜間及び朝方に高く、日中に低くなるという結果となった。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (4) 測定結果



図 飯子浜局における「施設起因全 $\beta$ 放射能濃度推定値の最大値」

飯子浜局で「施設起因全 $\beta$ 放射能濃度推定値」が最大となった日時

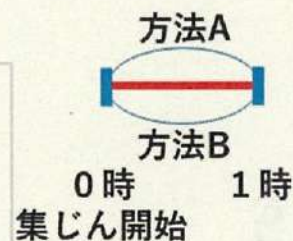
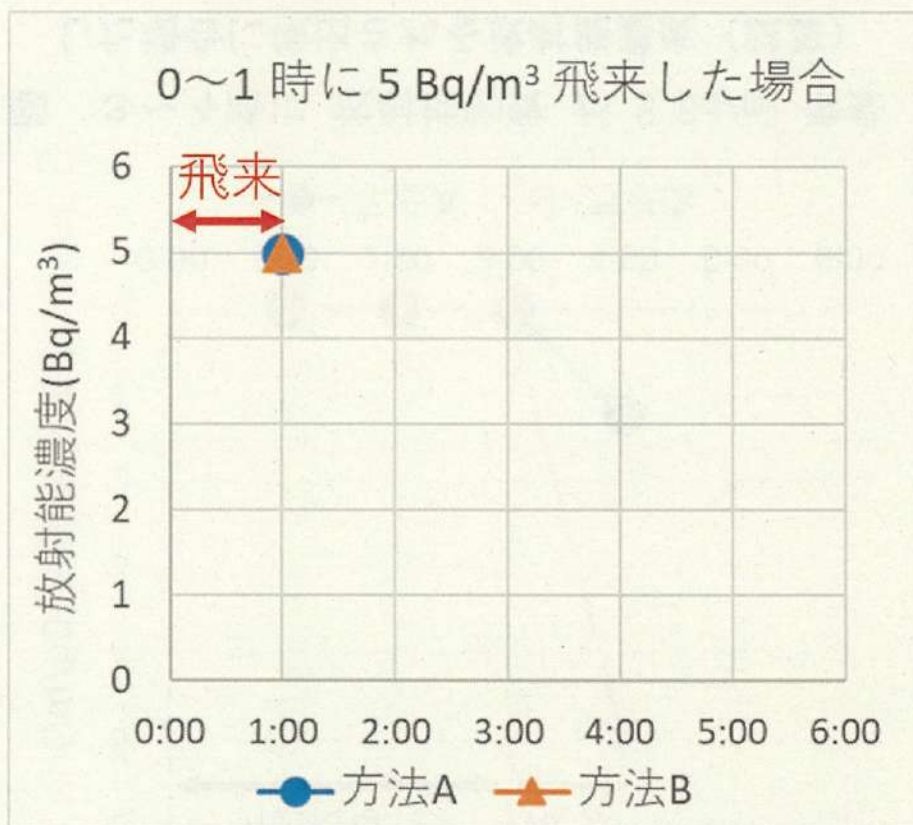
方法A 8月26日 午前7時 0.60 Bq/m<sup>3</sup>

方法B 7月19日 午前5時 2.23 Bq/m<sup>3</sup>

いずれも、確認開始設定値 5 Bq/m<sup>3</sup>を超えなかった。



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (5) 試算



方法A

0～1時の平均濃度  
5 Bq/m<sup>3</sup>

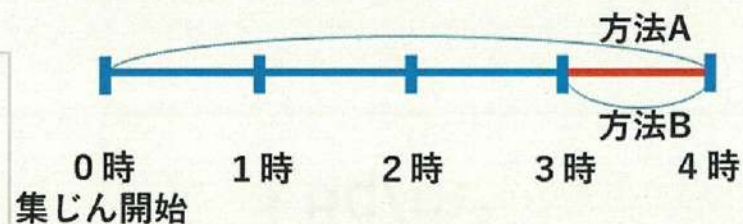
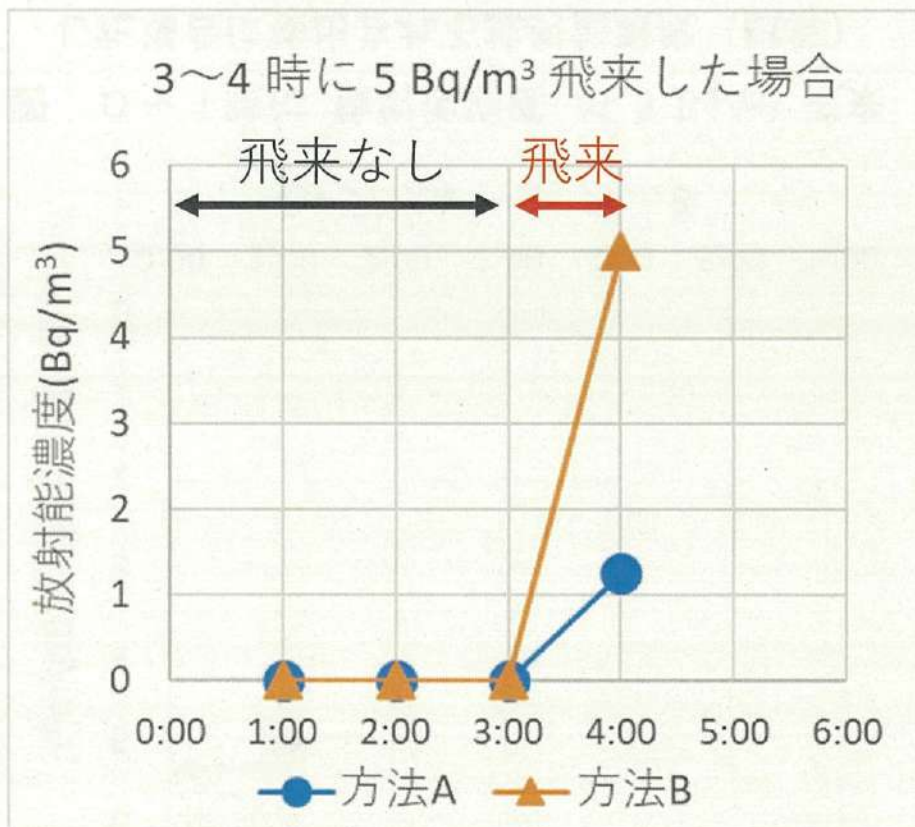
方法B

0～1時の平均濃度  
5 Bq/m<sup>3</sup>

図 0～1時に放射性物質が 5 Bq/m<sup>3</sup> 飛来した場合に検出される放射能濃度 (試算)



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (5) 試算



方法A

0～4 時の平均濃度  
1.25 Bq/m<sup>3</sup>

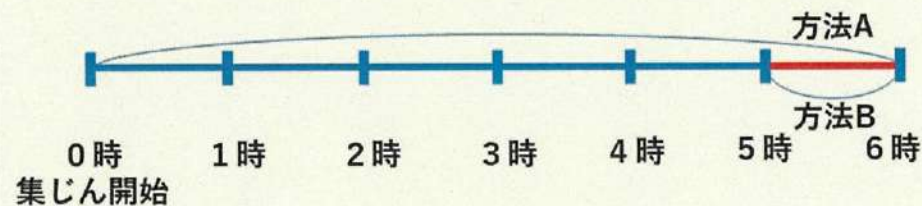
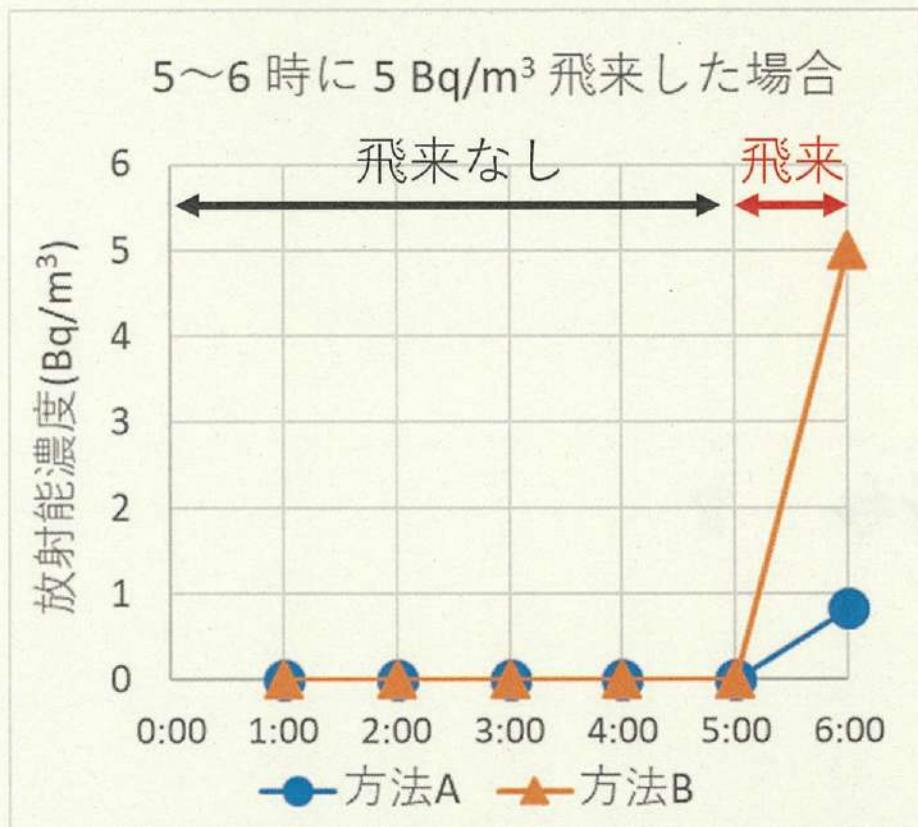
方法B

3～4 時の平均濃度  
5 Bq/m<sup>3</sup>

図 3～4時に放射性物質が5 Bq/m<sup>3</sup> 飛来した場合に検出される放射能濃度 (試算)



### 3 $\alpha$ 濃度及び $\beta$ 濃度の算出方法と評価方法の検討 (5) 試算



方法A

0～6時の平均濃度  
0.83 Bq/m<sup>3</sup>

方法B

5～6時の平均濃度  
5 Bq/m<sup>3</sup>

図 5～6時に放射性物質が5 Bq/m<sup>3</sup> 飛来した場合に検出される放射能濃度 (試算)

今後、各方法の特徴を踏まえつつ、適切な評価方法について、さらに検討を続ける。



## 4 今後の予定



## 4 今後の予定

今後、以下の事項を行う。

### 令和5年度、令和6年度

- 宮城県に適した濃度算出方法と評価方法の検討
- 四半期毎の報告内容の検討
- リアルタイム監視を実現するための環境放射線監視システムの改修

### 令和7年度

- リアルタイム監視の開始



