UNSCEAR2020報告書における I-131およびCs-137の 過小評価について

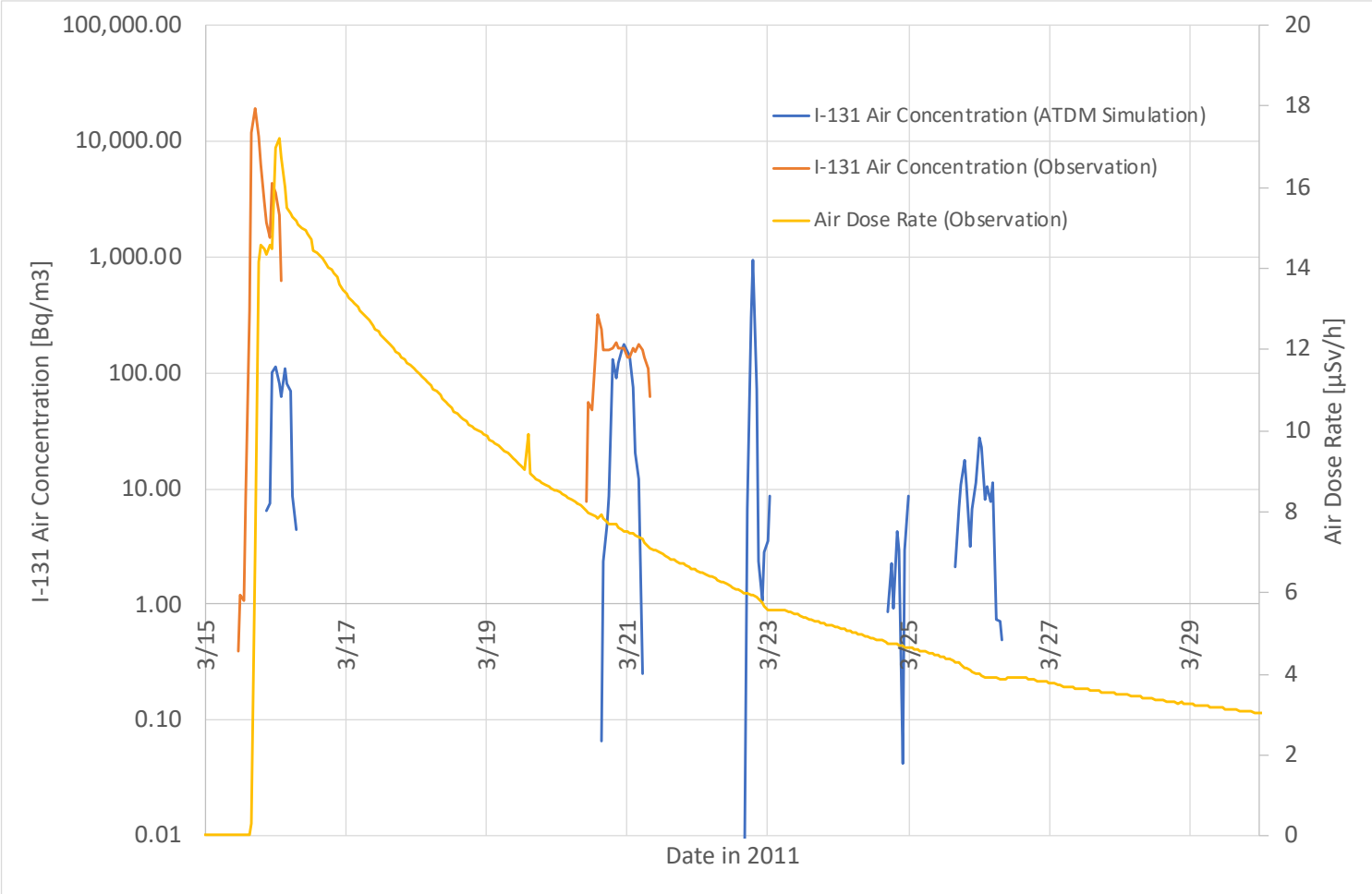
高エネルギー加速器研究機構　名誉教授
黒川　眞一

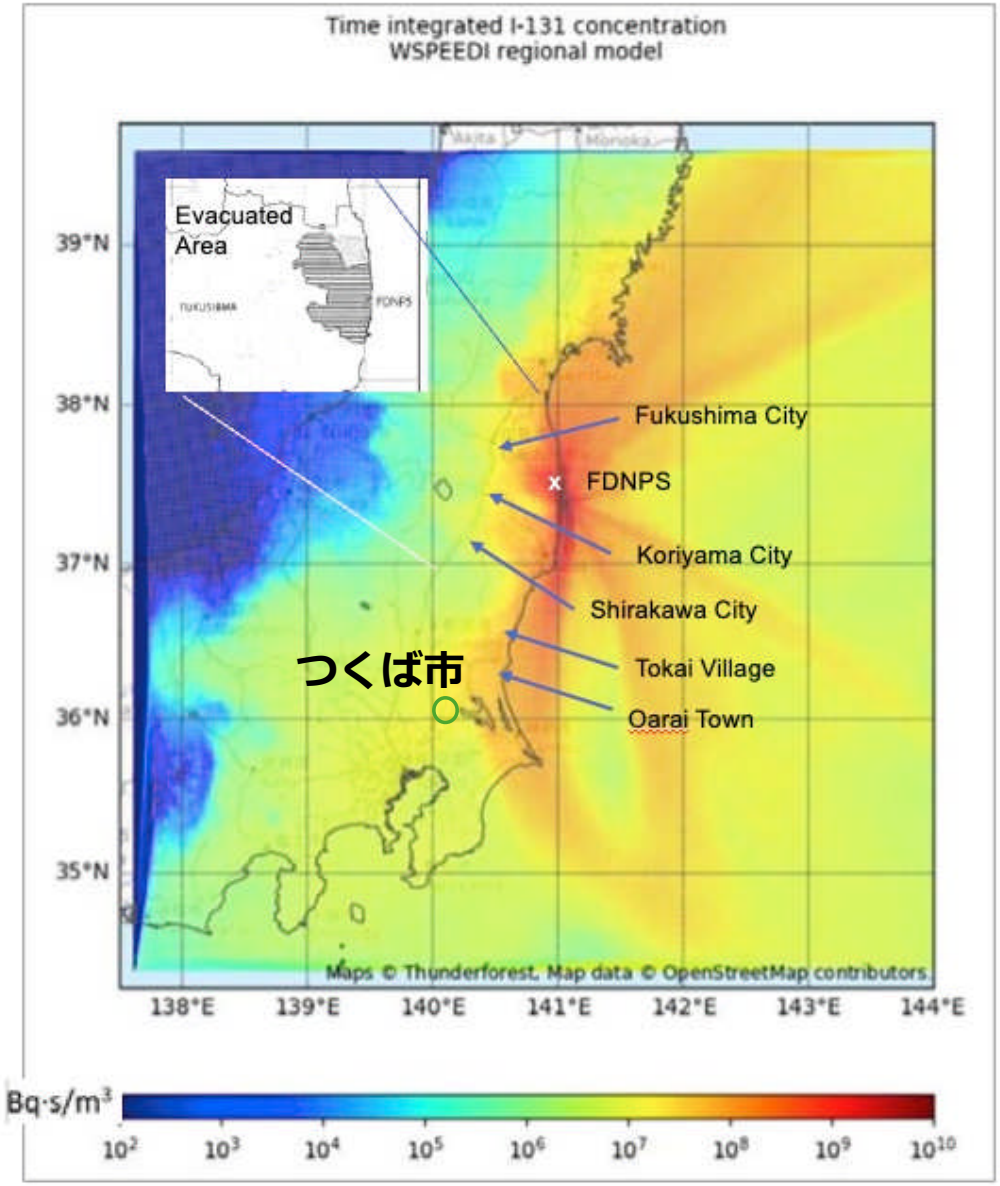
2024年11月４日
いわきにて

発　端

- 2011年３月15-16日に最大のプルームが福島県の中通りを襲っている。
- 平山論文によれば、このプルームがもたらしたI-131の大気中時間積分濃度が福島市紅葉山において65700 Bq h/m^3である。
- 平山論文の結果を使うと、一歳児がこのプルームを呼吸により吸収すると、甲状腺等価線量は~60 mSvに達する。
- しかしUNSCEARが依拠するTerada論文2020が示す大気中時間積分濃度は、I-131で643 Bq h/m^3であり、Cs-137では7.5 Bq h/m^3である。
- Terada論文が示すI-131の大気中濃度は、平山論文の結果の~1/100しかない（65700対643)。
- この発表において、このような過小評価がなぜおこる機序を説明する。

I-131について平山論文とTerada論文が示す大気中濃度の比較





UNSCEAR2020/2021報告書のAttachment A-９が示す、2011年３月中のI-131の時間積分大気中濃度

茨城県の東海村や大洗町の大気中濃度の方が福島県の中通りより大きい。

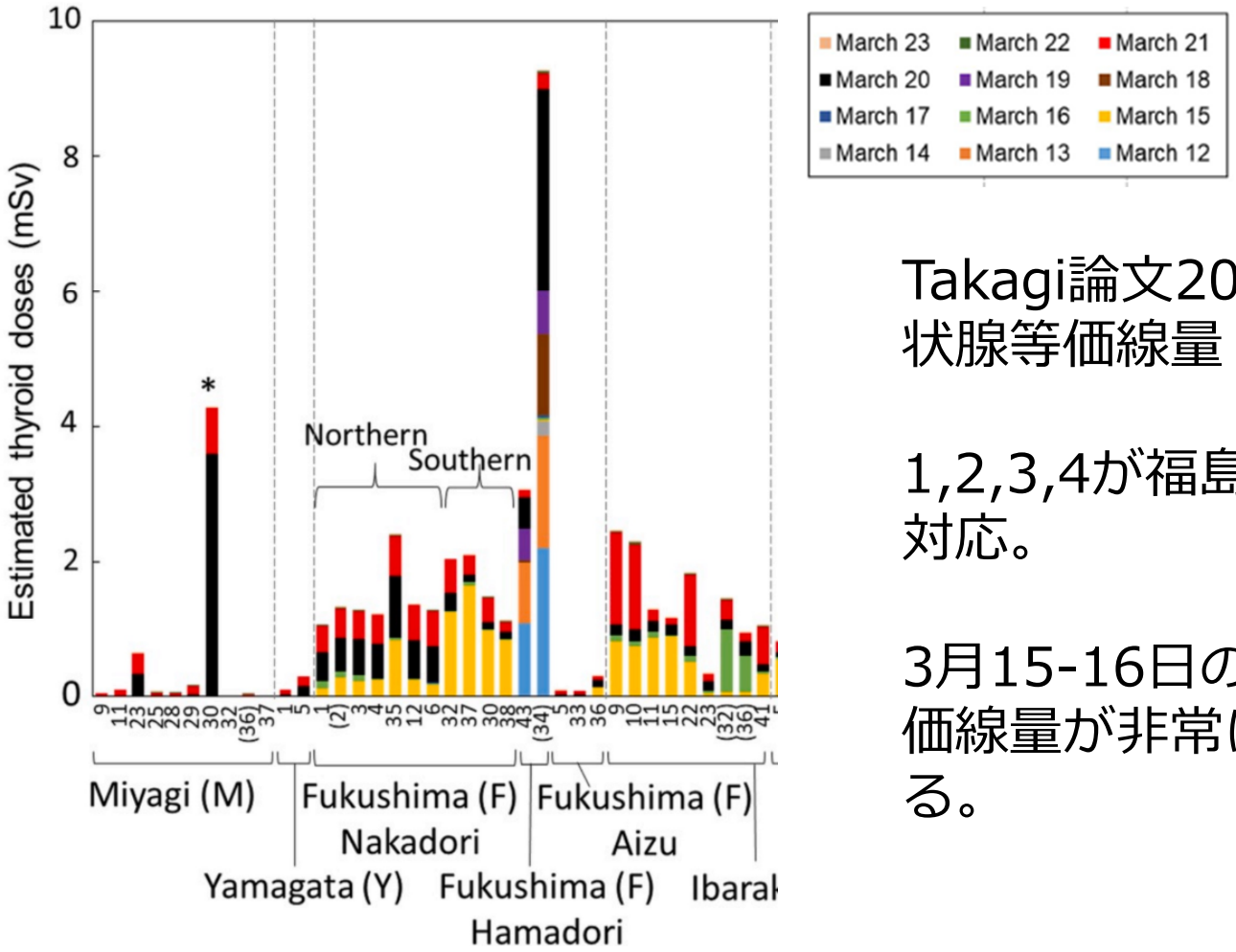
福島市の大気中濃度はつくば市の大気中濃度とほぼ同じである。

・Terada論文は、SPM局の濾紙を用いたCs-137の大気中濃度測定値を測定データとして用いている。

・福島市中心部の３月15-16日のプルーム（第１プルーム）によるSPM局の濾紙を用いたCs-137の時間積分大気中濃度は70~100 Bq h/m^3である。

・第１プルームにおけるCs-137の大気中濃度はI-131の大気中濃度のほぼ1/10である。福島市紅葉山においては平山論文のI-131の濃度から, Cs-137の濃度は ~6000 Bq h/m^3 と推定される。つまり、つまりSPM局の測定値は~1/100の過小評価である。

・何故、このような過小評価が起こるのか。それを明らかにするためには、SPM局の濾紙を用いた、Cs-137の大気中濃度の測定方法を精査する必要がある。



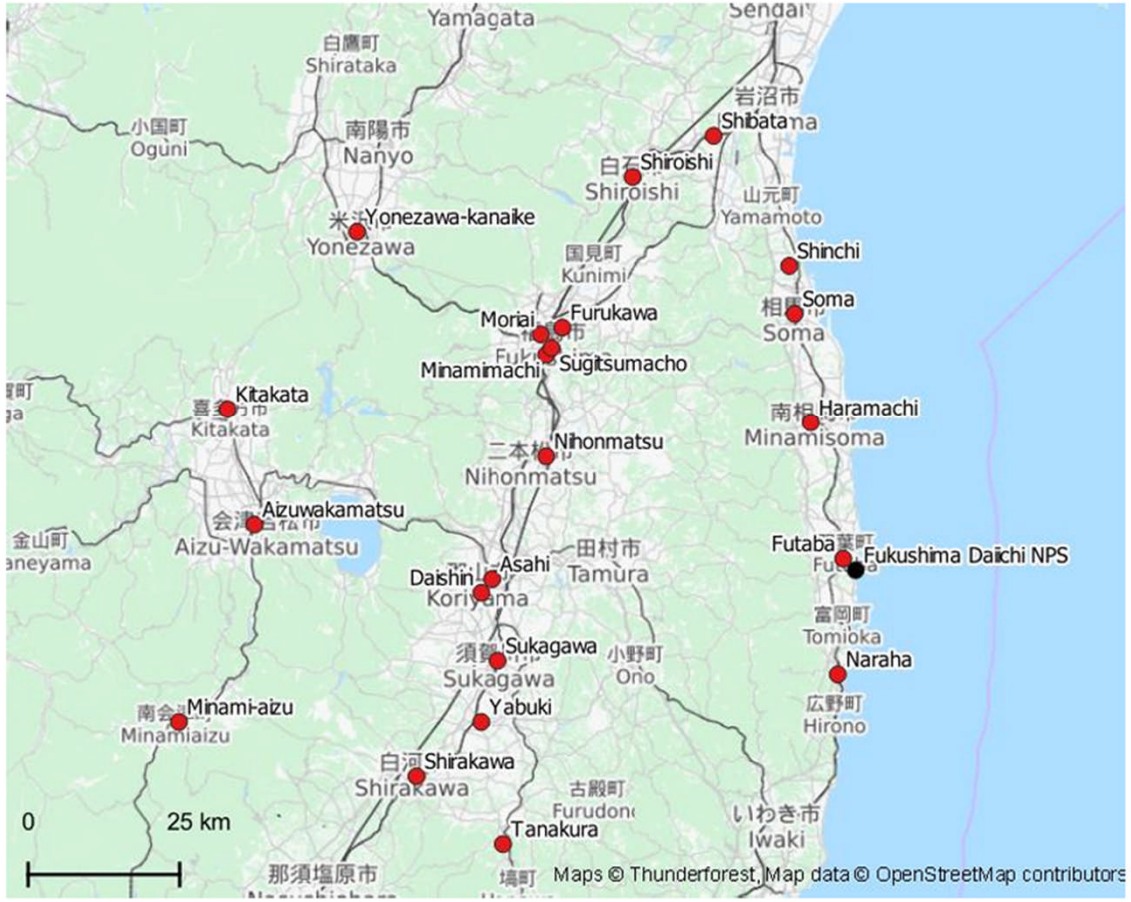
Takagi論文2020が示す1歳児の甲状腺等価線量

1,2,3,4が福島市にあるSPM局に対応。

3月15-16日のプルームによる等価線量が非常に小さいことが分かる。

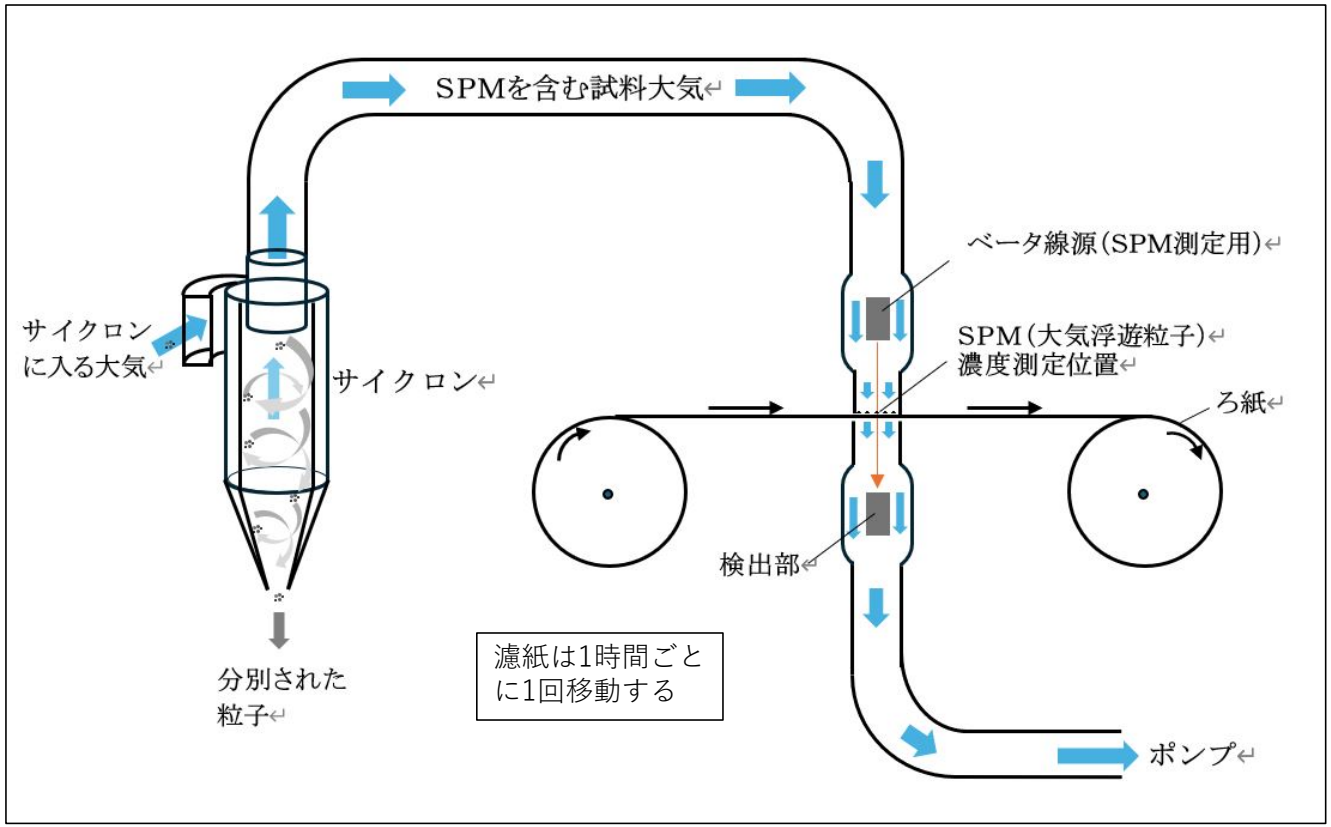
福島県のSPM局

Figure A-9.XI. Locations within or close to the border of Fukushima Prefecture where ^{137}Cs air concentrations have been measured



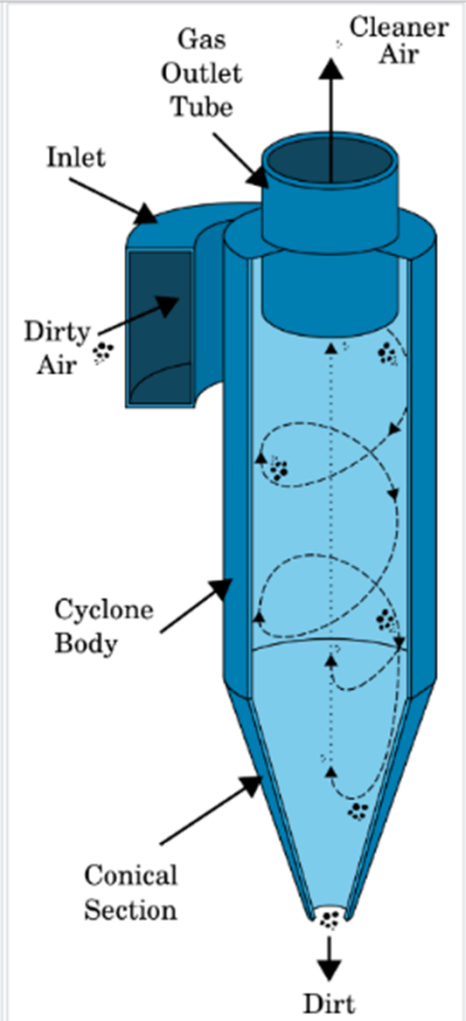
SPMとはなにか、SPMの測定はどのように行われるか

SPM（大気中浮遊粒子状物質）とは大気中に浮遊する
粒径10 um以下の粒子のことである。



SPMは
濾紙に付着する
単位はμg/m³

ポンプによって1時間当たりほぼ1 m³の大気が吸入される -> 濾紙の１スポットには1 m³に含まれるSPMが付着する->スポット中のCs-137のBq数を測定することで、大気1m³中のCs-137のBq数を測定できる



A Cyclone Separator

粒子径が10 μmの粒子を排除（分別）するためにサイクロンが用いられる。

吸い込まれた大気はサイクロン内で渦巻状の回転をし、この回転により、サイクロン内の粒子に遠心力が働く。粒径が大きな粒子は遠心力によって外側に移動し、サイクロンの内壁にあたり落下し排除される。粒径が小さい粒子はサイクロンの中側に残り、上昇する空気によって上に向かう。

SPM局の濾紙を用いた
セシウム137の大気中濃度の測定

- 首都大学(現都立大)、東大、環境研のグループは2012年以降、保管されていたSPM局の濾紙に付着したSPM中のセシウム137の量をGeカウンターで測定し、Oura論文(2015)として発表している。

- UNSCEARの重要な根拠である寺田論文も、このグループの結果に強く依拠している。

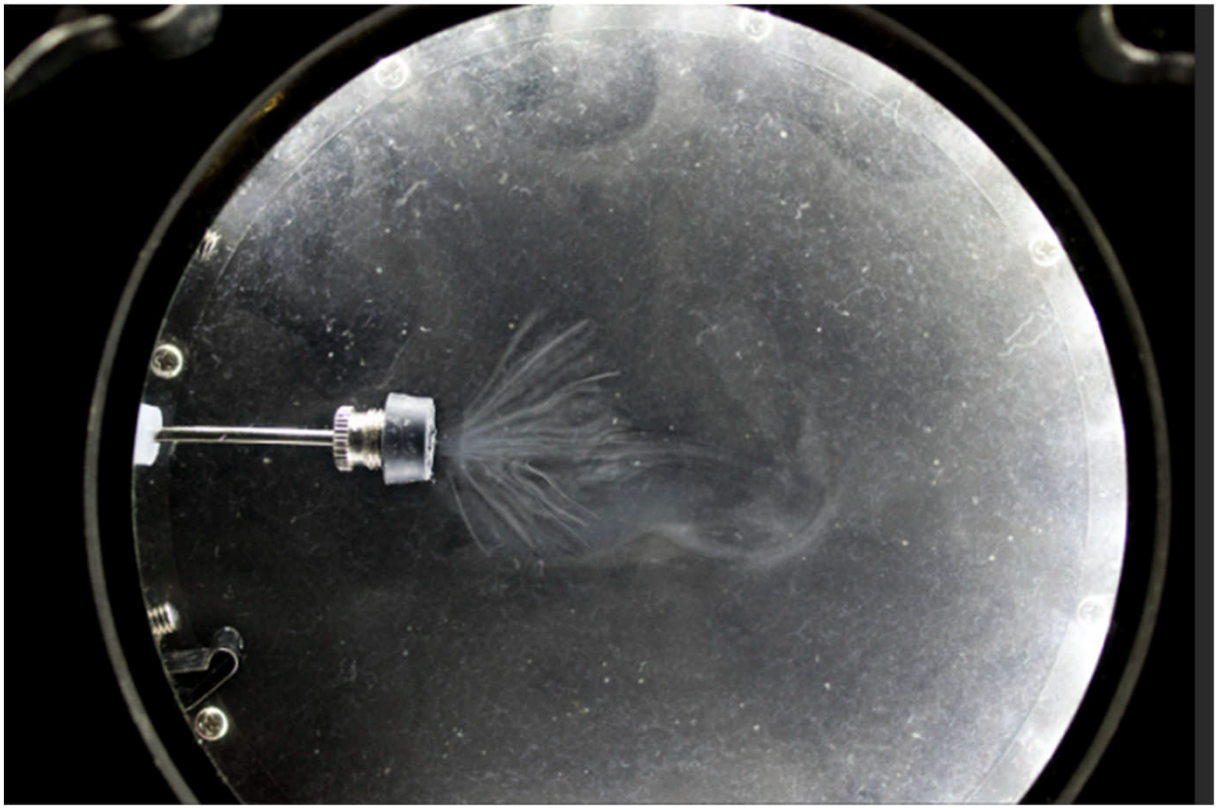
例：福島市におけるセシウム137の第１プルームの時間積分大気中濃度
＊寺田論文：7.5 Bq h/m^3
＊Oura論文：79 ~100 Bq h/m^3
＊平山論文：~6000 Bq h/m^3

霧箱とはなにか

霧箱とは・・・
容器中の気体の中の水蒸気が過飽和になったときに、放射線を入射すると、放射線が気体を電離してできるイオンを凝結核として霧が発生することを利用した、放射線の飛跡を観測する装置のことである。

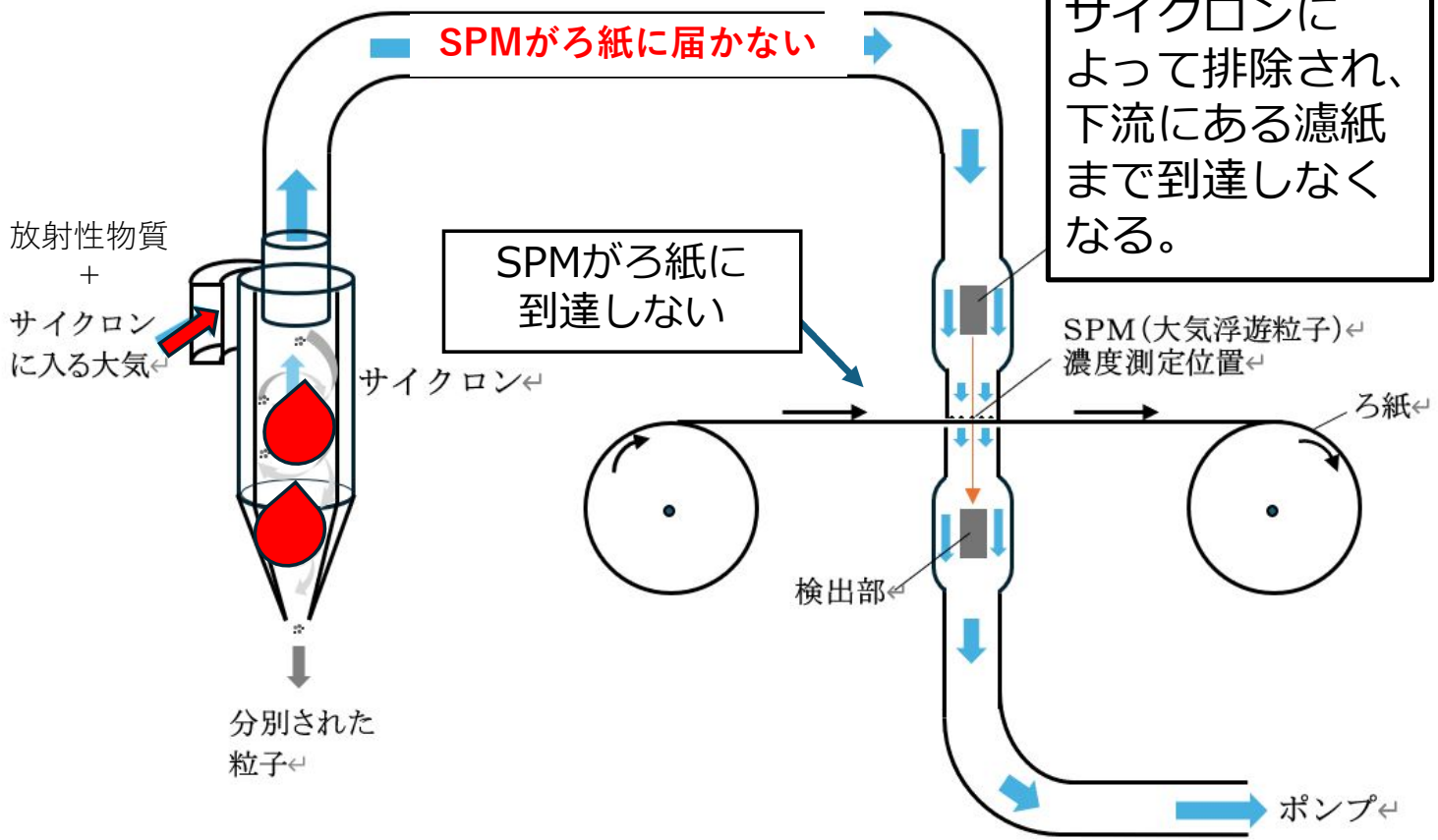
霧箱において重要なことは、水蒸気は過飽和であり、かつ、放射性物質（β線核種）が存在すること。片方だけでは霧が発生しない。

霧箱の写真　なお、糸状の霧はα線の飛跡である



＜霧箱効果＞SPMがサイクロンで分別され落下

霧箱効果とは、大気の湿度が90%近くまたは以上、気温数度という気象条件において、SPM局のサイクロンに大気が入るときに断熱膨張をし、サイクロンが霧箱となり、発生した霧を構成する微小水滴にSPMが捉われ、サイクロンから排除される効果のことである。



霧箱効果が起きると、SPMはサイクロンによって排除され、下流にある濾紙まで到達しなくなる。

SPM局における霧箱効果仮説とその帰結

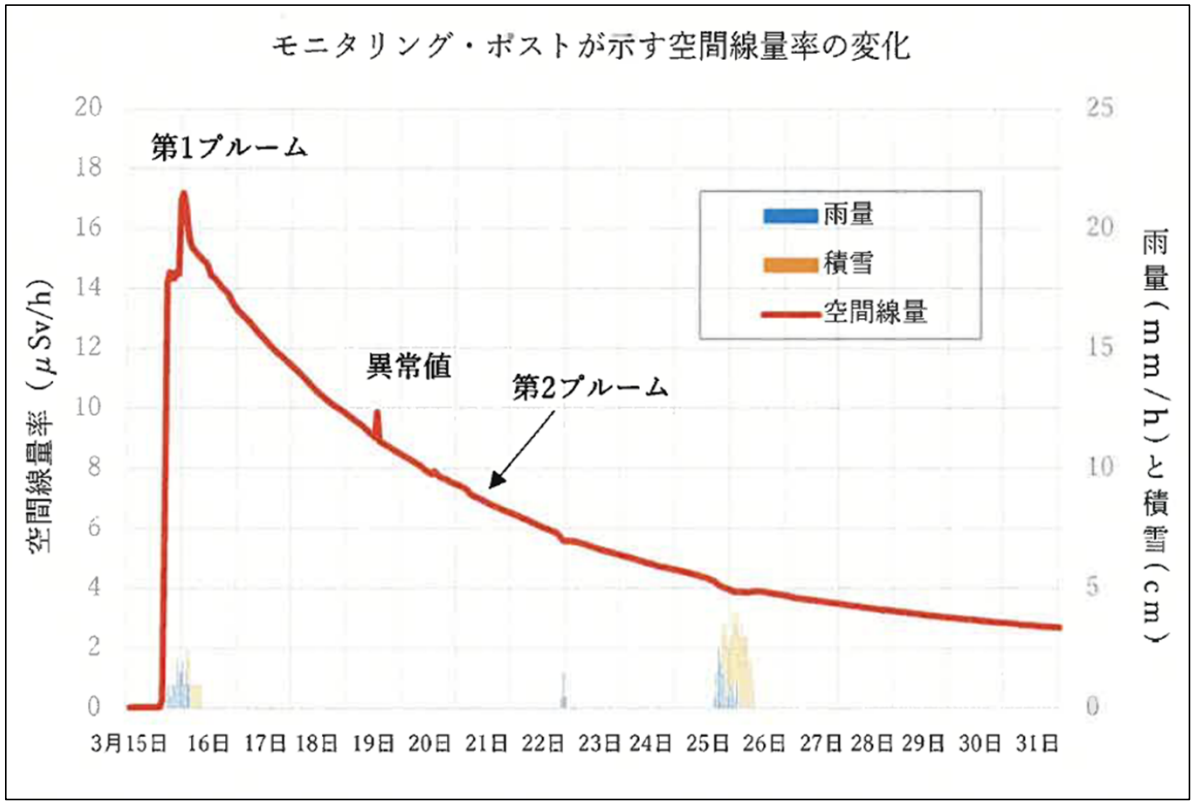
- 霧箱効果仮説＝気温が数度、湿度が＞＝～90%のとき、大気中に浮遊するSPMにβ線核種が含まれているか付着しているときは、SPM局のサイクロン内でSPMが分別排除され、SPM局の濾紙に到着しないという仮説。
- 霧箱効果仮説が正しければ、気温が数度、湿度>=～90%の気象条件では、SPM局の濾紙を用いたCs-137の測定は大幅な過小評価となる。
- それゆえ、SPM局の濾紙を用いたCs-137の測定データに強く依存するTerada論文が示すI-131およびCs-137の大気中濃度は大幅な過小評価であり、Terada論文に依拠するUNSCEAR2020/2021の甲状腺等価線量も大幅な過小評価となる。

霧箱効果は本当にあるか？
福島市の中心部における3月15-16日、3月20-21日、3月25-26日のデータの比較を行う

比較するデータ

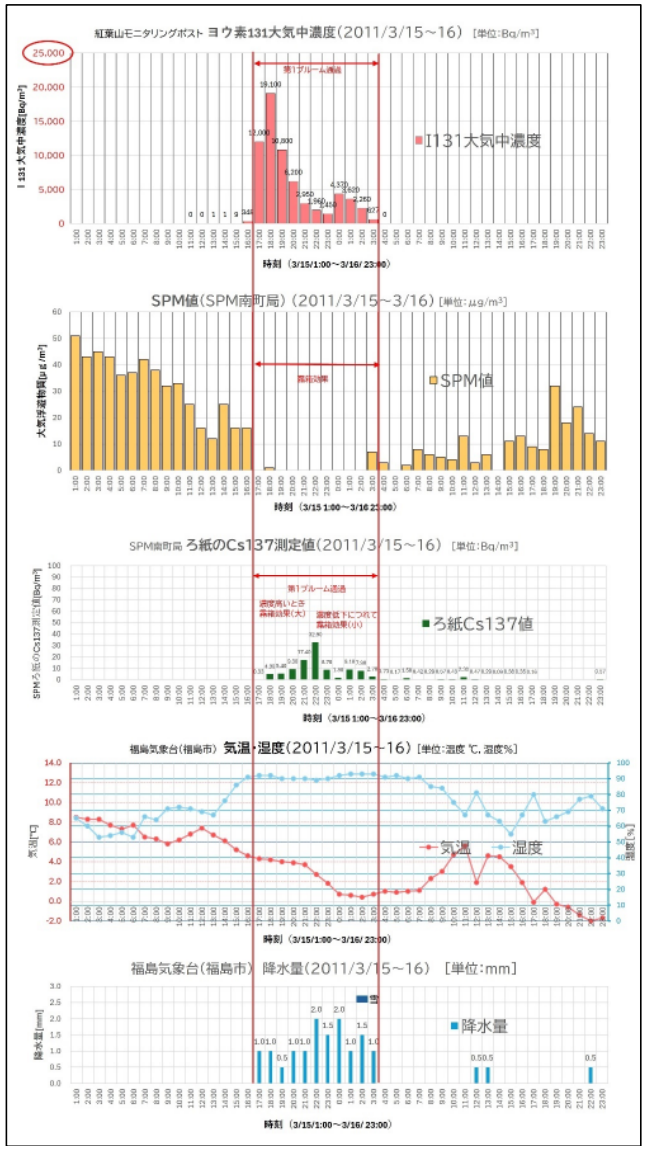
(1) 平山論文が示すI-131の大気中濃度の変化
(2) SPM局が示すSPMの大気中濃度の時間変化
(3) SPM局の濾紙を用いたCs-137の大気中濃度の時間変化
(4) 湿度、気温
(5) 雨量

日付	放射性プルームの存在	過飽和を起こす気象条件	SPM濃度
3月15－16日	有	○	ゼロ
3月20－21日	有	×	正常
3月25－26日	無	○	正常

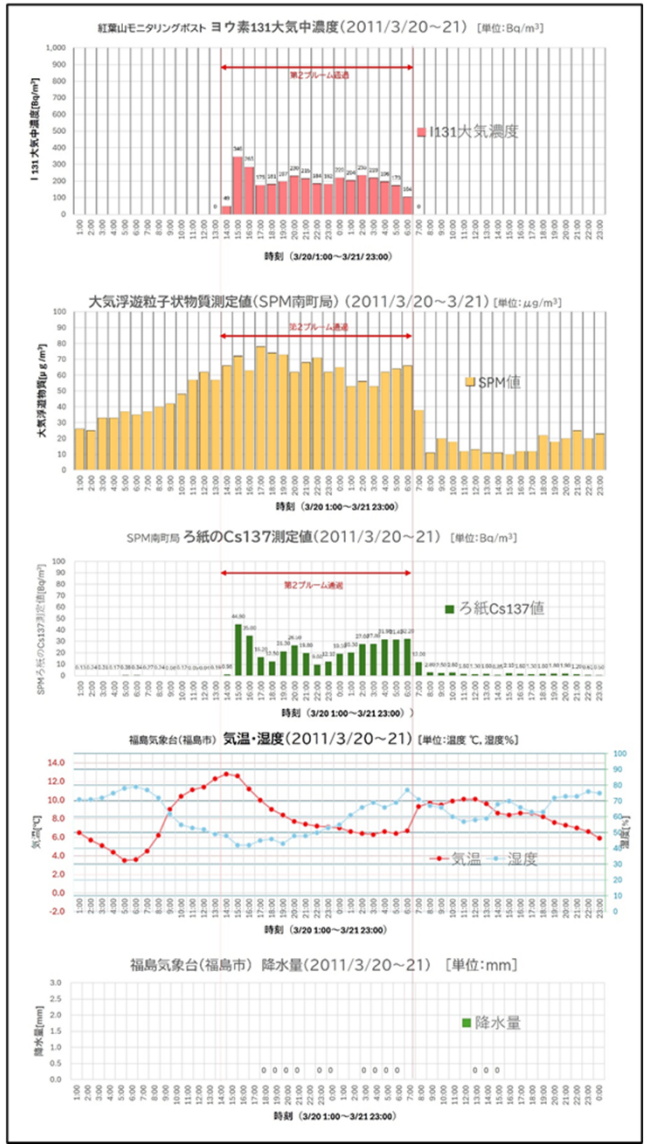


左図は、紅葉山のモニタリング・ポストで測定された空間線量率の変化である。これから福島市を襲ったプルームは3月15-16日と20-21日の2回であること分かる。

3月15－16日



3月20－21日



3月25－21日

ヨウ素131大気中濃度測定値（なし）

ろ紙のCs137測定値（なし）

霧箱効果仮説が正しいことの証明(1)
SPM濃度がゼロになる

霧箱効果がサイクロン内で起これば、SPMは濾紙まで到達できない。
ゆえに、SPMが濾紙まで到達できないかどうかを、福島市中心部近くにある南町局について調べると、

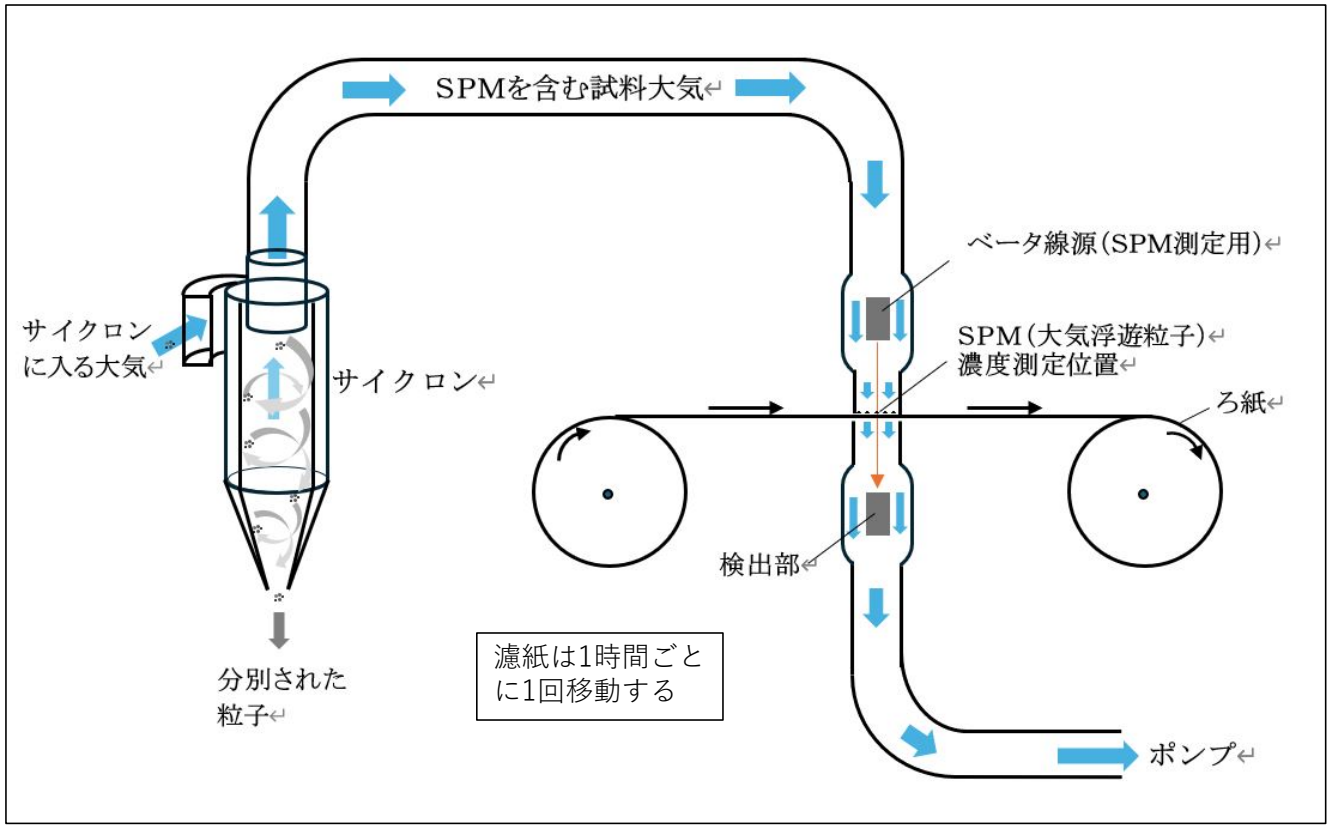
(1) 霧箱効果が起こりえる気象条件であり、大気中に放射性物質がある 3月15日から16日にかけては、プルーム中はSPM濃度はほぼゼロである。

(2) 霧箱効果が起こらない気象条件であるが、大気中に放射性物質がある3月20日から21日はSPM濃度は普通である。

(3) 霧箱効果が起こりえる気象条件であるが、大気中に放射性物質がない3月25から26日はSPM濃度は普通である。

SPMとはなにか、SPMの測定はどのように行われるか

SPM（大気中浮遊粒子状物質）とは大気中に浮遊する
粒径10 um以下の粒子のことである。



SPMは
濾紙に付着する
単位はμg/m³

ポンプによって1時間当たりほぼ1 m³の大気が吸入される -> 濾紙の１スポットには1 m³に含まれるSPMが付着する->スポット中のCs-137のBq数を測定することで、大気1m3中のCs-137のBq数を測定できる

霧箱効果仮説が正しいことのの証明(2)
~背理法による証明～

3月15－16日に霧箱効果がないと仮定する。そのときは、サイクロン中で排除されるSPMがないので、次の２つのケースが考えられることになる。

(1) 大気中に浮遊するSPMはSPM局の濾紙を用いて測定されたセシウム137に相応する量しかない。

(2) ほとんどすべてのSPMは雨粒の中に捉えらており、ごくわずかだけが大気中に浮遊している。

このどちらの場合にも矛盾が生ずることを示して、 3月15－16日に霧箱効果がないという仮定が正しくないことを示す。

霧箱効果の証明(2) ~背理法による証明～　続

ここでは、次の公式と値を用いる。

公式：沈着速度＝地表沈着密度÷大気中濃度
3月15-16日のCs-137の地表沈着密度　20万Bq/m^2
平山論文に対応するCs-137の大気中濃度 6000 Bq h/m^3
SPM局の濾紙を用いた測定した大気中濃度 100 Bq h/m^3

これから

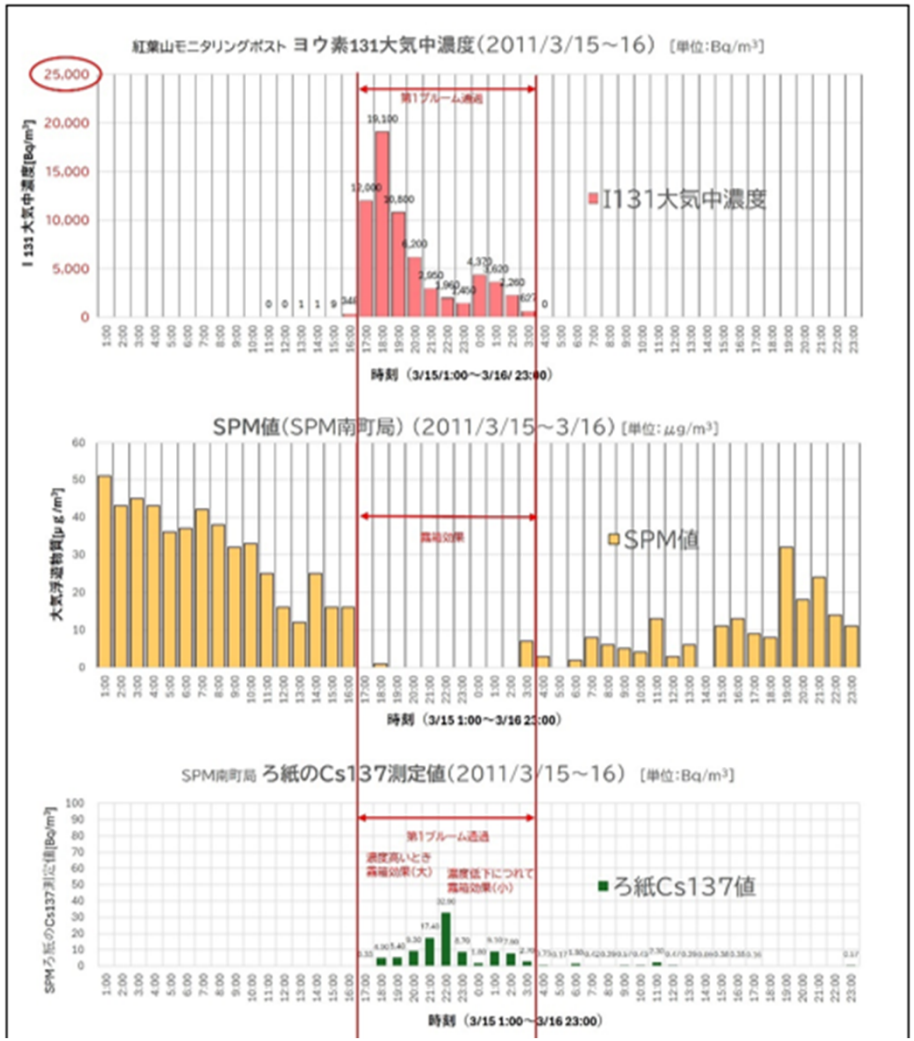
(1)のケースの沈着速度は　20万 Bq h/100 Bq h ~ 2000 m/h = 60 cm/s
(2)のケースの沈着速度は　20万 Bq h/6000 Bq h ~ 33 m/h = 9 mm/s

この沈着速度は(1)においては正常な値である高々10 mm/sよりもはるかに大きく、(2)においては雨粒の落下速度である1 m/sよりもはるかに小さい。すなわち、どちらのケースにおいても、矛盾をきたす。

追加β線効果

- SPMの濃度を見かけ上減少させる効果には、霧箱効果に加えてもう一つの効果がある。それを追加β線効果とよぶ。
- 濾紙上にβ線源があるときは、濾紙上のSPMの濃度は過小評価される。なぜならば、計測器に到達するβ線の本数が増加し、この増加は濾紙上のSPMによるβ線の遮蔽効果を打ち消すからである。
- 追加β線効果によるSPM濃度の過小評価は、濾紙上のCs-137の量に対応するCs-137の大気中濃度を X Bq/m^3 としたとき、0.1 × X μg/m^3 程度であることが計算で求められる。
- これから、次のslideに示す、3月15－16日のSPMの濃度がゼロであることは追加β線効果では説明できないことが分かる。

図表 13：2011 年 3 月 15－16 日の 5 つのグラフ



左のグラフから、濾紙上のCs-137の量は高々 30 Bq/m3

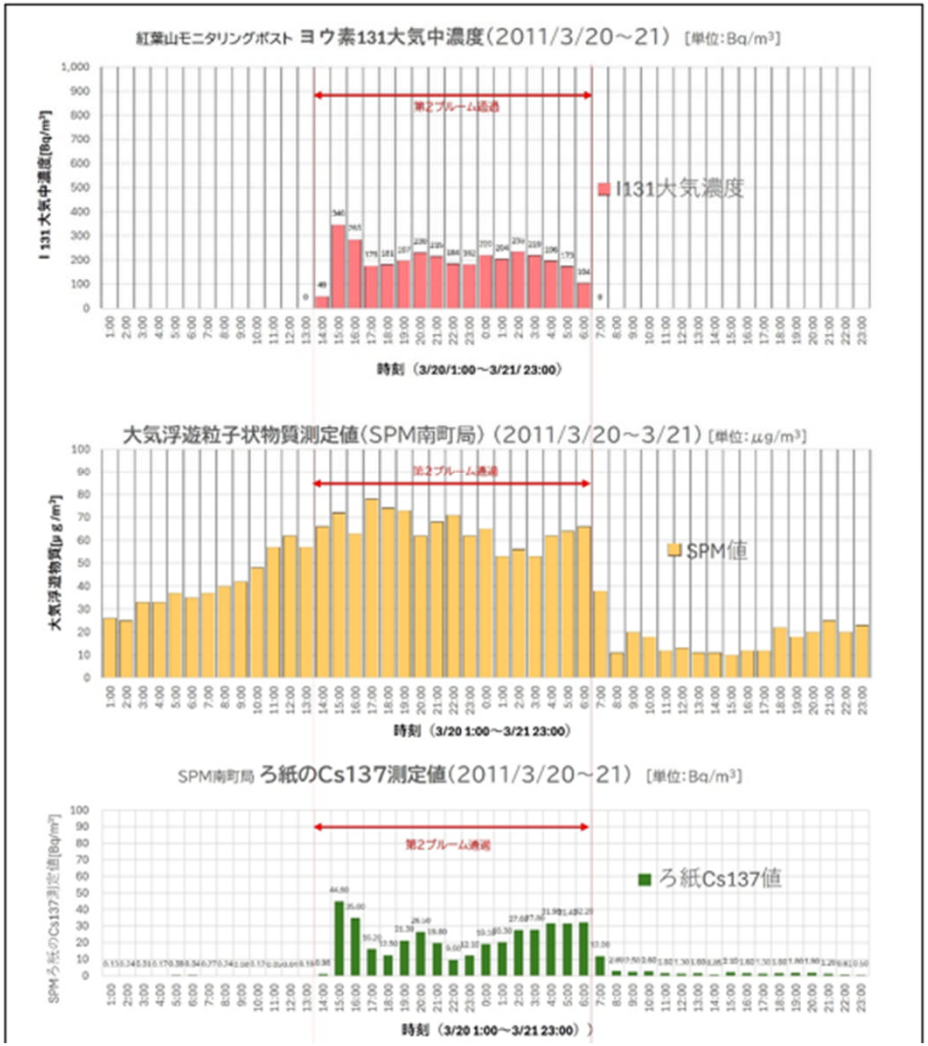
この放射線量があると、SPMの濃度は~3 μg/m3 過小評価される。

しかし。プルーム到着前のSPMの大気中濃度は ~20 μg/m3であり、追加β線効果だけで、SPM濃度をゼロにすることはできない。

まとめ

- SPM局の濾紙を用いたCs-137の大気中濃度の測定は、
  3月15日から16日の第１プルームの際に濃度を大幅に過小評価している。
- このような過小評価が起こる理由は、SPM局の中のサイクロン内における霧箱効果仮説によって説明できる。
- 霧箱効果仮説が正しいことをいくつかの根拠により証明した。
- SPM局の濾紙を用いたセシウムの大気中濃度の測定を正しいとするUNSCEARの非避難地域の線量評価は信頼できない。

図表 14：2011 年 3 月 20－21 日の 5 つのグラフ



補足：

3月20-21日の紅葉山モニタリング・ポストで計測されたI-131の大気中濃度の時間変化（上段）と同じ日のSPM局の濾紙を用いたCs-137の大気中濃度の時間変化を比べてみる。

ヒストグラムの形はよく似ている。また、I-131の大気中濃度はCs-137の大気中濃度は～10倍である。

全く違った方法で求めた大気中濃度が整合していることになる。

このことは、平山論文の結果が正しいことを意味している。

ご清聴
ありがとうございました。

参考文献

平山他、日本原子力学会誌、Vol. 14, No.1, P.1-11 (2015)

Terada et al., Journal of Environmental Radioactivity 213 (2020) 106104

Takagi et al., Journal of Environmental Radioactivity 218 (2020) 106233

Oura et l., Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, Vol. 15, No.2, pp. 1-12 (2015)