

第三者検証委員会における議事に基づく R-Cubic及び空間線量率等の評価結果に係る補足説明

2023年3月29日

日本原子力発電株式会社

- 検証委員会における議事を踏まえ、以下の点について整理した。

① R-CubicとMACCS2の比較

- これまでに提示した比較において生じている差異の要因について、評価手法の差異などから補足する。

② 不連続な防護措置範囲に関する考察

- 第4回で提示した、規格化した気象条件及び地形影響を受けにくくした場合の評価結果において、防護措置範囲の一部が不連続であった点についての考察を記載する。

③ 報告書及び第3回に提示した評価結果のまとめ

- 各気象条件における防護措置範囲の評価結果から、厳しい気象条件において生じ得る防護措置範囲のばらつきについてまとめる。

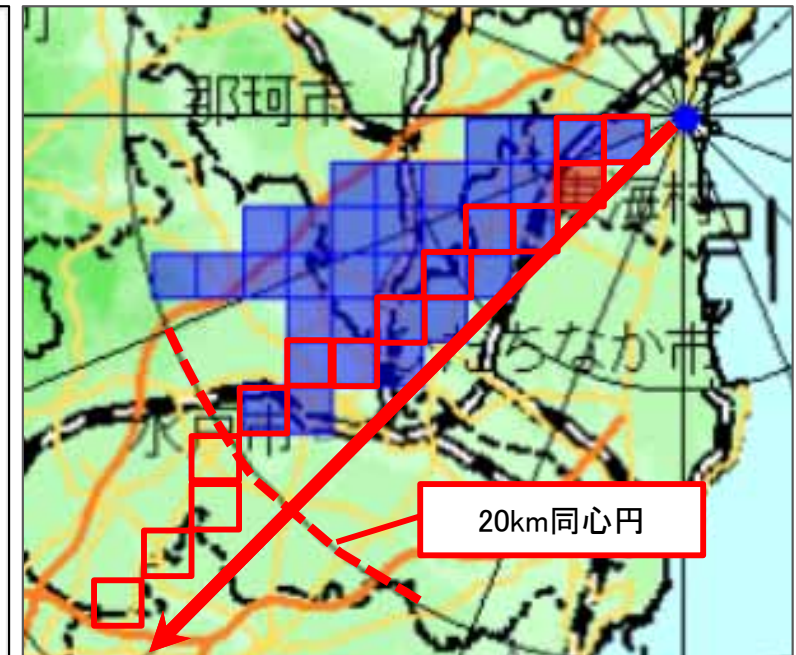
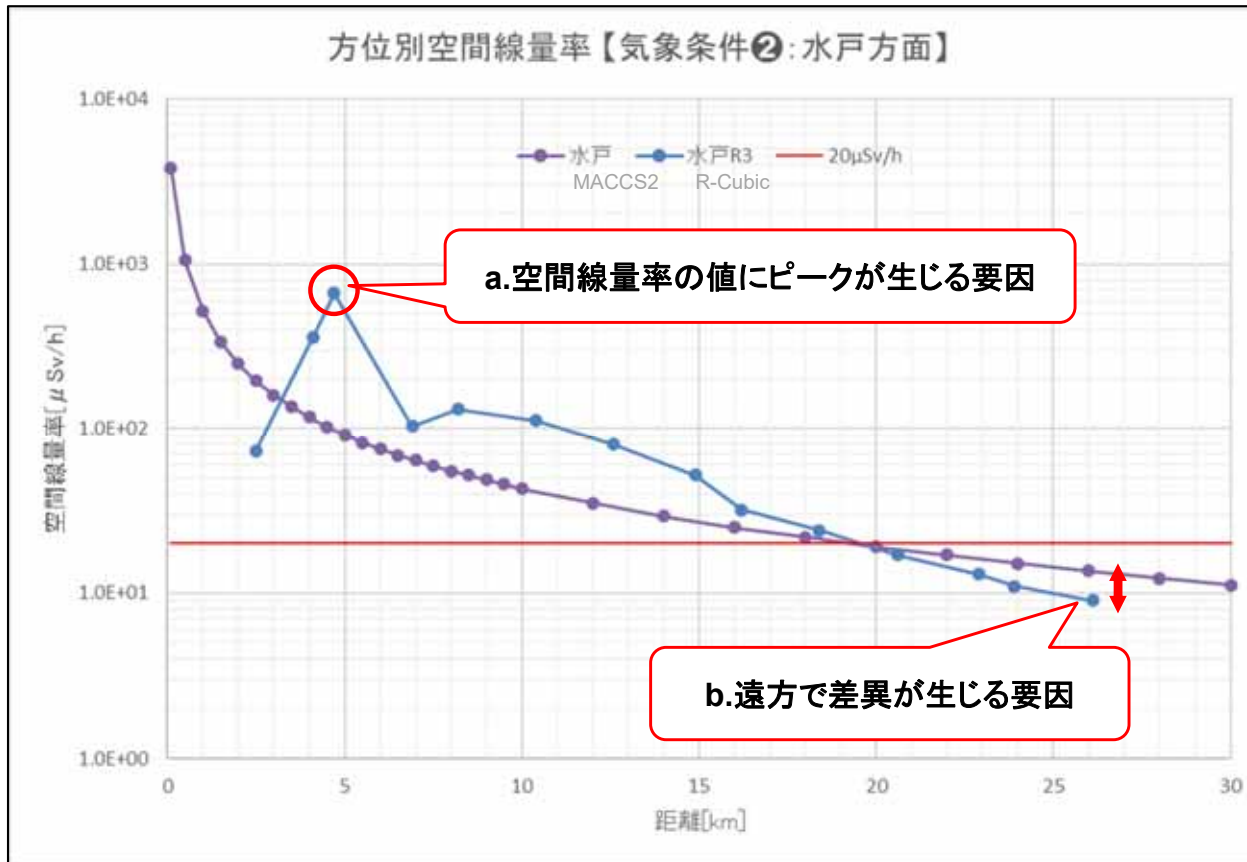
④ 拡散シミュレーションの結果を参照するうえで、留意すべき事項

- ①～③や第三者検証委員会における説明を踏まえ、今回実施した拡散シミュレーションの結果を参照するうえで留意すべき点についてまとめる。

① R-CubicとMACCS2の比較

第3回, 第4回において提示したR-CubicとMACCS2の距離毎空間線量率の評価結果の比較における, 以下の差異の要因について補足する。

- a. R-Cubicにおいて空間線量率のピークが生じる要因
- b. 遠方でR-CubicとMACCS2の結果に差異が生じる要因

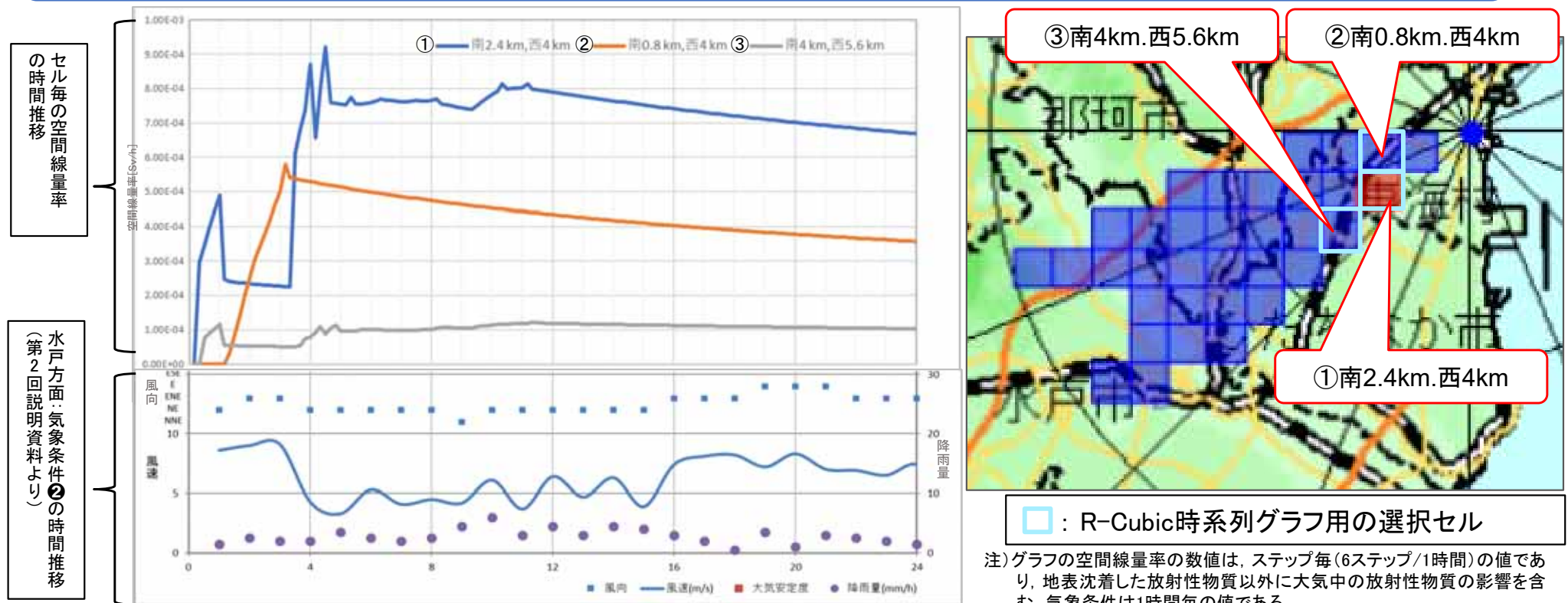


R-Cubic: 気象条件② 水戸方面の評価結果から概ね南西方面に向かい抽出した値
MACCS2: 気象条件② 水戸方面の開始日時を起点とし, 当該日時風向で固定された気象条件
それぞれの24時間後の距離毎の空間線量率

a. R-Cubicにおいて空間線量率のピークが生じる要因

【本項目の概要】

- 第4回にて提示したセル毎の空間線量率と気象条件の時間変化中における変動要因について補足する。(第4回では、気象条件② 水戸方面のR-Cubicの距離毎空間線量率において、空間線量率にピークを生じる要因について当該セル及び近接セルの空間線量率と気象条件の時間変化を比較し考察した。)

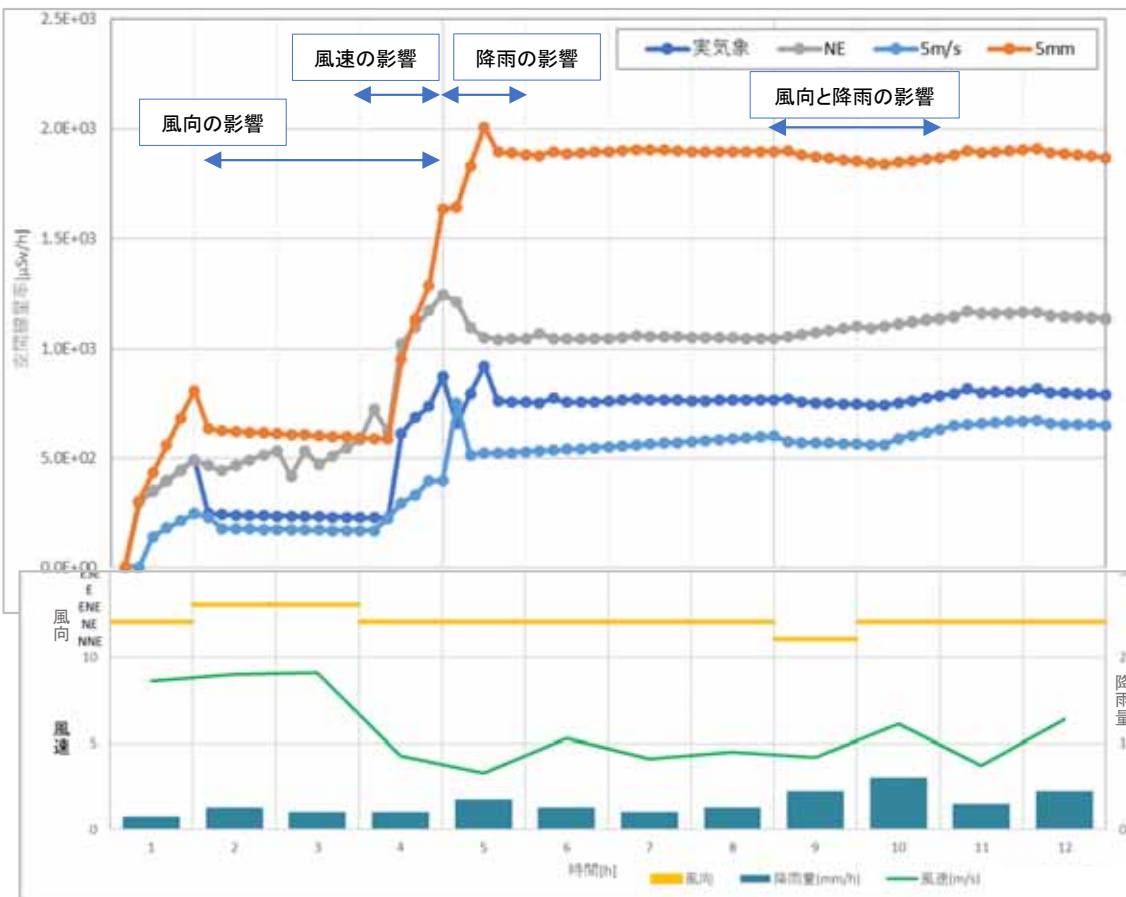


【ある地点で地表沈着密度(空間線量率)が高くなる要因(第4回説明内容)】

- 風速が低下すると、ある地点におけるパフの滞留時間が増加する。
- パフの滞留時間が増加すると、地表沈着濃度が増加するため、空間線量率は上昇する。
- 最高点となったセルは、周辺より低くなっており、風速がより低下しやすく、パフが滞留しやすい。
- 降雨による沈着量の増加により、地表沈着濃度は増加する。

第4回にて説明した空間線量率が上昇する要因を確認する観点から、①南2.4km 西4kmのセルについて、気象条件を変更した結果と比較した。

放出から12時間後までの空間線量率(水戸方面 気象条件②の実気象及び気象条件を変更した結果)と気象条件(水戸方面 気象条件②)の時間変化を下図に示す。変更した気象条件は、
 ・風向:北東一定
 ・風速:5m/s一定
 ・降雨:5mm/h一定
 をそれぞれ設定し、一定とする条件以外は実気象と同一とした。
 空間線量率は10分ステップ毎のプロットであり、大気中および地表面に沈着した放射性物質からの影響を合わせた値である。気象条件の時系列変化は、1時間毎の値であり、空間線量率の変動と比較する観点から第2回に提示したグラフのプロットの表示を変更して示す。



【風向の変動の影響】

- 風向一定とした場合、それ以外のグラフで2~3時間後に生じている低下は生じず、風速、降雨の変化も小さいことから、実気象における当該時間帯の変動は、風向の変化によるパフの通過位置の変化が要因と考えられる。

【風速の変動の影響】

- 風速一定の場合、3時間後までの変動傾向は実気象と同様だが、4~5時間後の上昇に遅れが見られる。実気象を含む他のグラフでは、風速が低下したことにより沈着量が増加したため上昇が早く見られたと考えられる。
- 風速の低下による影響は、第4回の説明の様に、地形の影響を受けることから、他の時間帯に比べ影響が大きく見られたと考えられる。

【降雨の変動の影響】

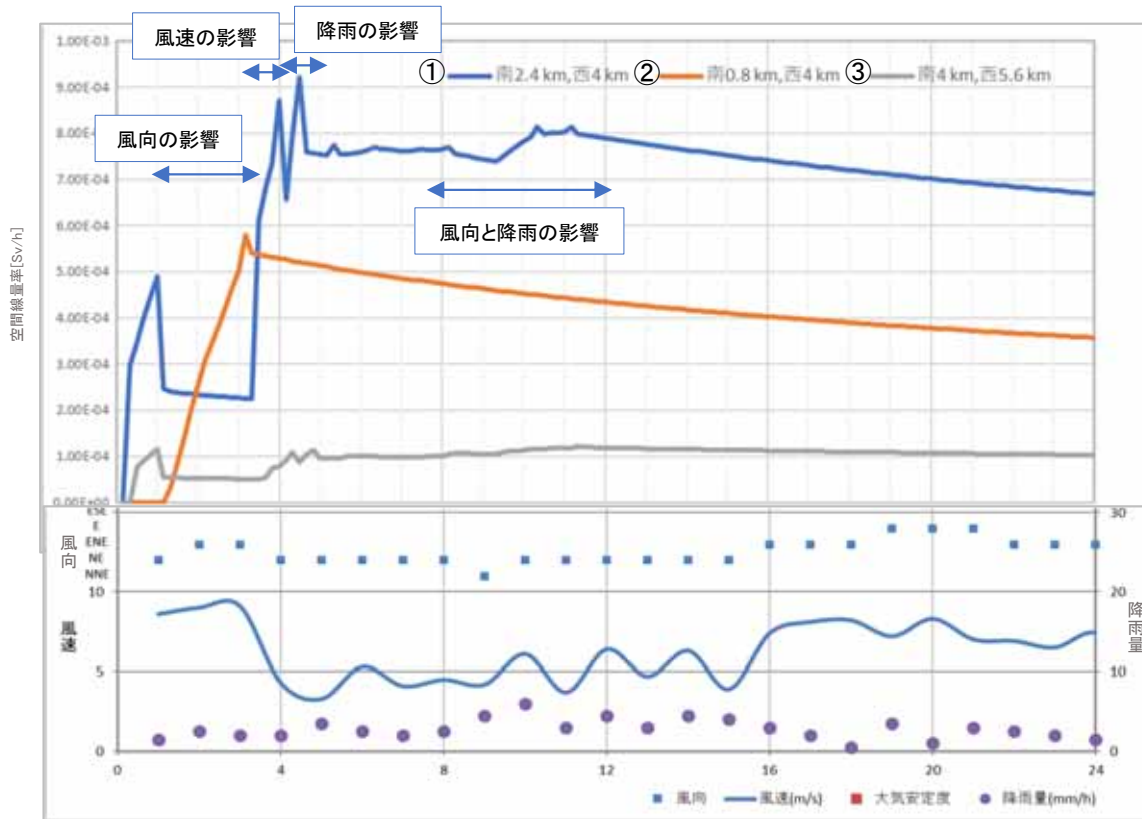
- 降雨を実気象より多い水準で一定とした場合も、およそその変動傾向は実気象と同様であった。
- 9時間後では、風向一定の場合のみ上昇傾向であり、降雨一定の場合を含むその他では低下傾向となった。風向が一定場合、風向の変化によるパフ通過量の低下が無く、降雨の影響により上昇したと考えられる。

【その他】

- 10時間後では全てのグラフで上昇傾向となった。風向一定の場合は降雨が増えた影響、その他の場合は風向の変化によりパフの通過量が増えたためと考えられる。
- 1及び4~5時間後に生じた比較的鋭いピーク状の変動は、本グラフは大気中の放射性物質と地表沈着した放射性物質の影響を合算していることから、パフの通過による一時的な上昇と推定される。

① R-CubicとMACCS2の比較

以上の確認結果から、第4回でグラフ化した3つのセルの変動状況を以下にまとめる。



- ① (南2.4km, 西4km)
 - 放出から1時間後の空間線量率の上昇は、パフの到達によるものであり、その後すぐに低下するのは風向の変動に伴い空気中の放射性物質からの影響が低下したため。
 - 放出から3時間後の空間線量率の上昇は、風速の低下、次いで降雨量の増加に伴うもの。
 - 同様に、9時間後の空間線量率の変動は、風向の変化と降雨の影響と考えられる。
 - ①のセルは、周辺より低地となっており、風速が低下する影響をより強く受ける。パフが低地に入った場合、滞留時間が増加する評価となり、①のセルへの地表沈着量が増加する。
- ② (南0.8km, 西4km)
 - 放出から2～3時間後にかけて空間線量率が上昇するが、当該時間は風向が東北東であり当該セルをパフが通過、地表沈着する影響と考えられる。
 - その後、風向は北東から北北東で推移し、パフの通過量が低下し沈着量の上昇が抑えられたため、緩やかな低下が継続したと考えられる。

- ③ (南4km, 西5.6km)
 - ③のセルは放出点から見て同一方位線上に並んでおり、空間線量率の変動は、①のセルと同様の傾向を示している。
 - ①のセルがやや低地であるのに対し、③のセルは周辺セルと同程度の標高となっており、①のセルほど風速の低下や滞留による沈着の影響が表れなかったと考えられる。
 - また、①のセルでの沈着量が大きくなるほど、パフ中の放射性物質量は低下することから、風下側である③のセルへの影響は小さくなる。

【空間線量率のピークが生じる要因】

- R-Cubicのユーザが確認できる情報に限りがあることから種々の要因による変動幅について定量的に評価することは困難であるが、ある地点において空間線量率が高くなる(距離毎に見た場合にピークを生じる)要因は、風向・風速・降雨の変化、地形といった条件が複合したものであると考えられる。
- MACCS2の距離毎の空間線量率の推移と比較すると、R-Cubicでは上記の様な複合的な要因により距離毎の空間線量率の変動が大きく、ある地点においては空間線量率の高さが顕著となる場合もあるが、地形と気象条件の時系列変化を評価するパフモデルの持つ特性と考える。

b. 20km以遠でR-CubicとMACCS2の結果に差異が生じる要因

【本項目の概要】

- R-CubicとMACCS2の距離別空間線量率の比較において、20km以遠で空間線量率の値が逆転する要因について、それぞれのコードの評価手法の違いから考察する。

	拡散モデル	空間線量率の求め方
R-Cubic	パフモデル	気象条件の時間変化と地形情報を考慮し、領域セル毎に計算評価を行う。
MACCS2	ガウスプルームモデル	風向が一定との仮定のもと、方位・距離における確率値を算出する。

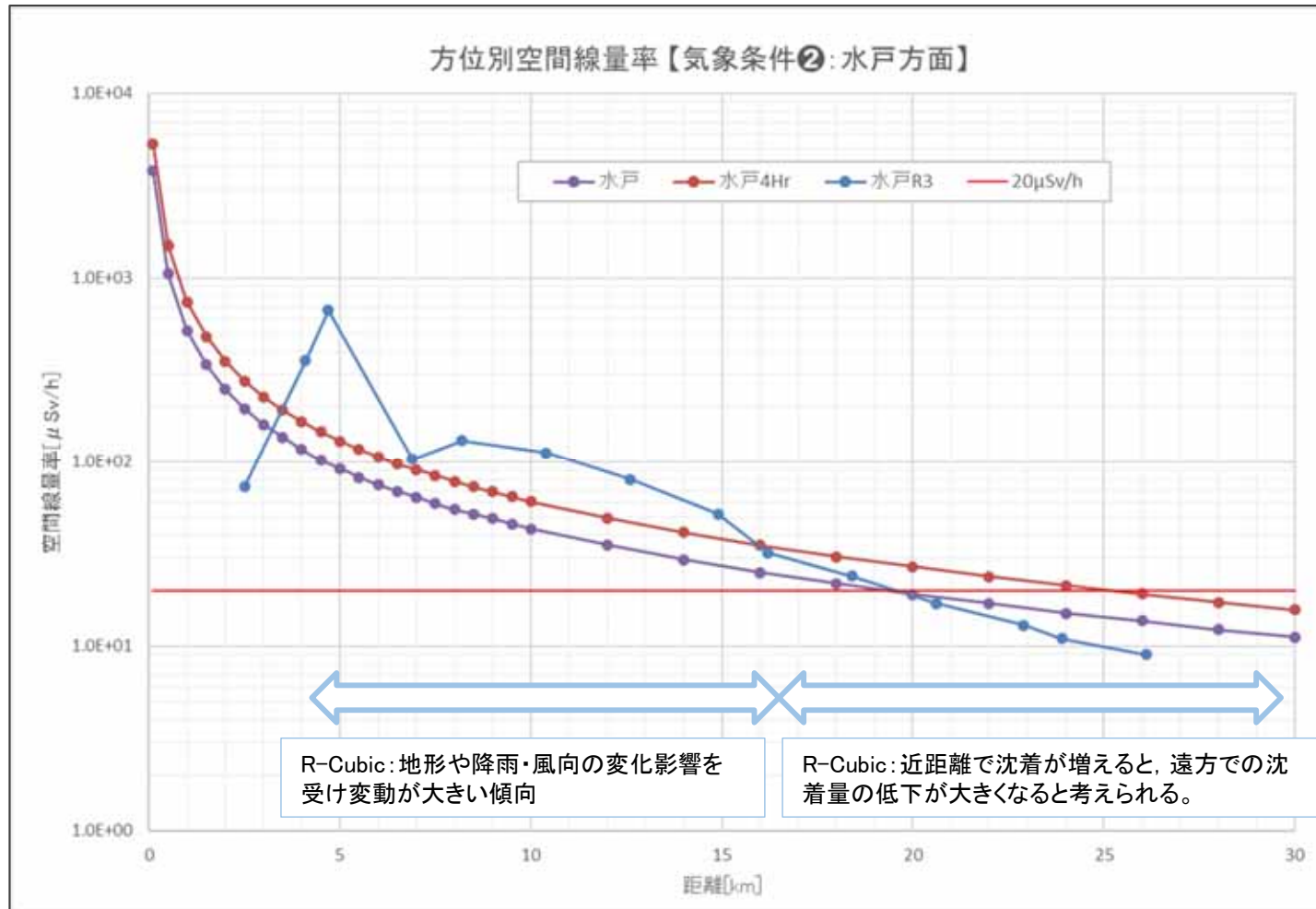
MACCS2は、本来の用途としては一定期間の積算線量を求めるコードであり、データ入力方法の工夫により1時間差の空間線量の差分を疑似的に線量率として算出している。(第2回委員会で説明)

R-CubicとMACCS2の空間線量率の評価結果において、差異を生じる主な要因

- R-Cubicにおける比較的近距離の空間線量率の評価結果は、地形や風向の変動を考慮するため、ある地点におけるパフの滞留時間の増加等による変動が大きくなる可能性がある。(本資料①aの説明)
- R-Cubic, MACCS2とも、地表沈着した放射性物質は大気中の放射性物質の量から差引かれる。R-Cubicの評価では風向の変動による移流や地形の影響により拡散や沈着がより進行しやすくなると考えられる。一方でMACCS2の評価では風向が一定との仮定から、風向以外が同一の気象条件としても、拡散や沈着がある程度抑制されるとみなせ、遠方ではMACCS2の評価結果が保守的となる可能性がある。
- なお、降雨による湿着の評価は、MACCS2は、コード内の定義式に従って連続的な値をとる一方、R-Cubicは、降雨率を閾値とし、ある範囲の降雨率に対し一定の洗浄係数を使用する(第2回説明)という差異があり、同一の降雨率においても沈着量に差異が生じる場合がある。

① R-CubicとMACCS2の比較

【参考】MACCS2:24時間後より影響が大きくなる放出から4時間後における距離毎空間線量率のグラフを並記

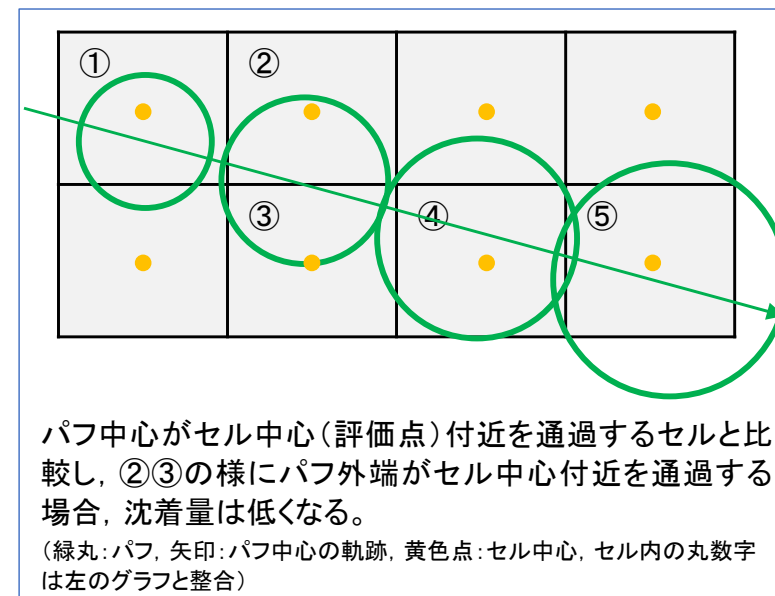
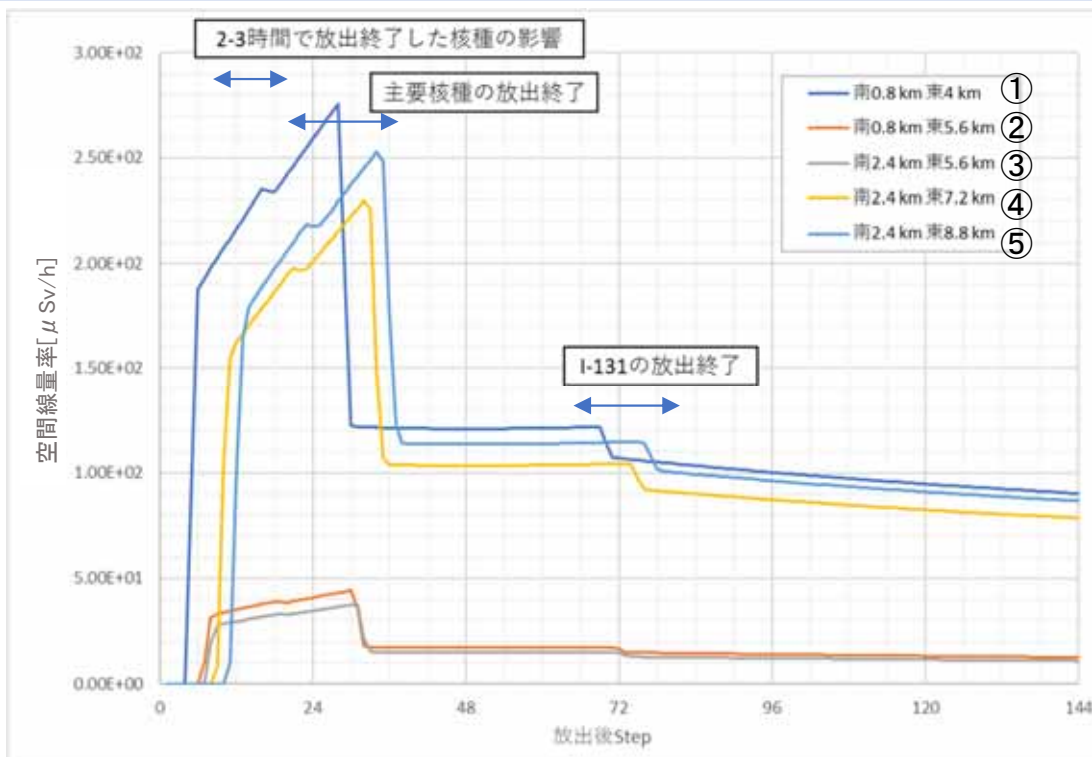


- MACCS2の4時間後の結果は、24時間後の結果と比較して空間線量率はやや高くなるものの、距離毎の減衰の傾向は24時間後の結果と同様である。
- a.で示したように、地点(セル)によっては、風向の変化や地形等の要因でパフの通過量や滞留時間が長くなり、地表沈着量が増える。
- およそ5~20kmではR-Cubicの空間線量率が比較的大きく、15~20km以降では、MACCS2の方が緩やかな低下となる傾向が確認できる。
- 放出点に比較的近い位置では、放出量を同等とした場合、地形を考慮せず一定風向となるMACCS2に比べ、R-Cubicの方が保守的となる可能性があるが、遠方では、拡散が抑制されるとみなせるMACCS2の方が保守的となる可能性がある。

② 不連続な防護措置範囲に関する考察

【本項目の概要】

- 第4回で提示した、規格化した気象条件及び地形影響を受けにくくした場合の評価結果について、防護措置範囲の一部が不連続であった点についての考察を記載する。



セル上のパフ通過イメージ図

- R-Cubicから抽出した空間線量率の時間変化を示す。(左上図。空間線量率の値には、大気中の放射性物質の影響を含む。)空間線量率の変化は、風上から風下へパフの通過する順に変動しており、また、放射性物質の放出量の変化に伴う変動傾向を示している。
- この評価では風場が一定となっており、パフ中心が、セルの間を通過する状況が継続し、セル中心をパフの外側が通過する形になり、地表沈着する放射性物質量がセル間で分配されたため、防護措置範囲の線量率に到達しなかったと考えられる。(右上図)
- 同様に、パフの通過位置と評価点の関係から、④⑤のセルの様に距離に対し空間線量率の値の逆転が生じたり、差が小さくなったと考えられる。(第4回に提示した距離毎空間線量率が横ばいとなる状態)
- これらの評価上の不確かさといえる点は、R-Cubicによる評価結果を参照するうえで留意すべき事項であると考えられる。

③ 報告書及び第3回に提示した評価結果のまとめ

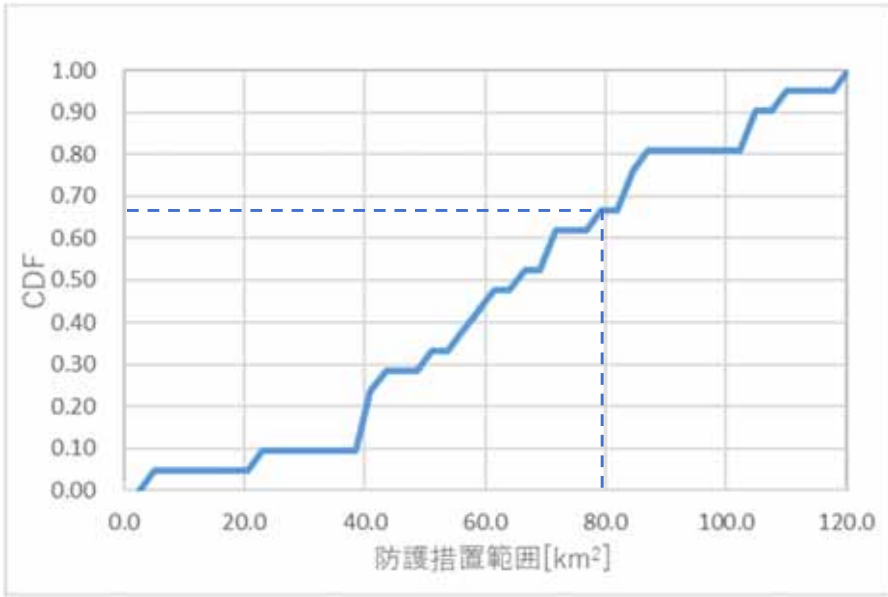
R-Cubicにより示した防護措置範囲(避難・一時移転の範囲)の結果について、生じ得る誤差を示す。

面積[km ²]	風下：北方面	風下：北西方面	風下：西方面	風下：南西方面	風下：南方面	気象条件毎	
気象条件	(日立方面)	(常陸太田方面)	(那珂方面)	(水戸方面)	(大洗方面)	平均	標準偏差
①	71.7	41.0	5.1	23.0	41.0	36.4	22.1
① + 大気安定度EF	84.5	43.5	41.0	79.4	84.5	66.6	20.0
②	71.7	110.1	66.6	87.0	51.2	77.3	20.0
② + 大気安定度EF	56.3	105.0	58.9	105.0	61.4	77.3	22.6
③	-	-	-	-	-	120.3	-
平均	71.0	74.9	42.9	73.6	59.5	67.0	全ケースにおける平均及び標準偏差
標準偏差	10.0	32.7	23.7	30.6	16.1	28.9	

気象条件①：同一風向の継続時間が長い気象
 気象条件②：同一風向が長時間継続かつ降雨が長時間継続
 気象条件③：小さな風速の継続時間が長い気象

・表中の数値は、報告書及び第3回に提示した防護措置範囲図のOIL1,2地点数に、評価セルの面積1.6km×1.6kmを乗じた値
 ・地点数(面積)の計上には、海上等、人の居住する区域から外れた地点も含む。

- 茨城県へ提出した報告書、及び第3回に提示した拡散シミュレーションにおいて、防護措置範囲の面積は、67.0±28.9 km²の範囲で生じ得ると評価される。
- 防護措置範囲の面積に対し、累積確率分布を示した図を右に示す。(例えば、右図において、厳しい気象条件における防護措置範囲の面積が80km²以下となる確率は約67%である、と評価される。)
- ただし、これらの評価は、厳しい気象条件(陸側方面の風向について及び風速の小さい条件について抽出)における評価である。



R-Cubicの防護措置範囲のシミュレーション結果を参照するうえで、留意すべき点をまとめる

【コードによる差異】

- 第2～4回及び本資料①②に示したように、近似的な条件を異なる拡散コードにそれぞれ入力した場合、空間線量率が距離に応じて減衰するなどの一般的な推移傾向については確認できるが、拡散コードによって評価手法が異なることから、同一の結果が得られるものではない。
 - 茨城県の要請に基づく評価においては、実気象から厳しい気象条件を抽出し、その時系列変化を模擬した放射性物質の拡散評価を行い、地図上に避難・一時移転の範囲(防護措置範囲)を提示するとの観点からR-Cubicを採用した。(第2回委員会にて説明)

【コードや評価結果の持つ不確かさ】

- 本資料②のとおり、R-Cubicの評価においては、評価セルのサイズによる不確かさを含む点は、評価結果を参照するうえで留意すべき事項と考える。(第2回において、飛地状に生じた防護措置範囲については、その周辺においても空間線量率の変動が確認されている旨を説明。)
- 加えて、本資料③に示したように、同一の放出条件かつ厳しい気象条件下においても、防護措置範囲となり得る範囲には不確かさが含まれることを念頭に置いて参照する必要があると考える。

【評価結果の特性】

- 本評価結果は、茨城県の要請に基づき、ある条件のもとにおいて評価を行った結果であり、その目的から、いわゆる被害想定(ハザードマップ)とは異なる性質のものである。