

他の事故条件を用いた追加評価

2023年3月10日

【本資料の目的】

今回評価では、仮想的な条件であることを対外的に説明していくことを念頭に、説明性に配慮した上で「常設設備が一斉に機能を喪失する」との事故条件を設定している。

一方、1つの事故条件の結果であることについて指摘を受けたため、報告書の説明性を向上させるために以下の検討を行った。

【概要】

- 今回評価のプロセスにおいて、事故条件による影響があるのは核種の「放出割合」である。
- 放出割合が異なったとしても、①30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる前提で、②同じ気象条件を用いて評価する場合、拡散シミュレーションの結果は概ね一致するものと考えられる。まずは、この根拠についてご説明する。
- 次に、上記を確認するため、報告書と異なる放出割合※を設定した拡散シミュレーションを実施した。その結果、避難・一時移転の対象となる区域の範囲は茨城県に報告した拡散シミュレーション結果とほぼ一致することを確認した。

※茨城県の要請における30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる場合

- 「放出割合が異なったとしても、①30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる前提で、②同じ気象条件を用いて評価する場合、拡散シミュレーションの結果は概ね一致するものと考えられる」の根拠について
- 各地点の地表沈着濃度【Bq/m²】は第2回資料のP11の式で与えられる。この際、以下の量は核種に依存しない。
 - －乾着量※：乾着速度は、全ての粒子状物質について、0.003 m/s
 - －湿着量：洗浄係数は、全ての粒子状物質について、降雨率のみに依存(Engelman 1968)
- このため、同じ気象条件を用いた場合、核種ごとの地表沈着濃度の分布図は、いずれの核種も概ね同様となる。(下図参照)

※沈着表面との相互作用で沈着する放射性物質の量

地表沈着濃度の分布図【常陸太田方面：気象条件②，放出継続時間4時間】
単位は無次元・・・24.8km×12kmの地点を1として規格化

← 放出源からの距離(西)

↑ 放出源からの距離(北)

	24.8km	23.2km	21.6km	20km
12km	1.00	1.08	1.05	0.93
10.4km	0.72	0.98	1.24	1.32
8.8km	0.28	0.54	0.96	1.44
7.2km	0.04	0.13	0.37	0.85
5.6km	0.00	0.01	0.04	0.18

Cs-137

	24.8km	23.2km	21.6km	20km
12km	1.00	1.08	1.05	0.93
10.4km	0.72	0.98	1.24	1.32
8.8km	0.28	0.54	0.97	1.44
7.2km	0.04	0.14	0.38	0.85
5.6km	0.00	0.01	0.04	0.18

I-131

	24.8km	23.2km	21.6km	20km
12km	1.00	1.08	1.04	0.92
10.4km	0.73	0.98	1.24	1.32
8.8km	0.28	0.54	0.97	1.45
7.2km	0.04	0.14	0.38	0.86
5.6km	0.00	0.01	0.04	0.18

Te-132

- 「放出割合が異なったとしても、①30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる前提で、②同じ気象条件を用いて評価する場合、拡散シミュレーションの結果は概ね一致するものと考えられる」の根拠について

- 空間放射線量率は、核種ごとの(地表沈着濃度×換算係数)の総和となる。このため、空間放射線量率についても前ページの分布図に従い変化することになる(下表参照)。

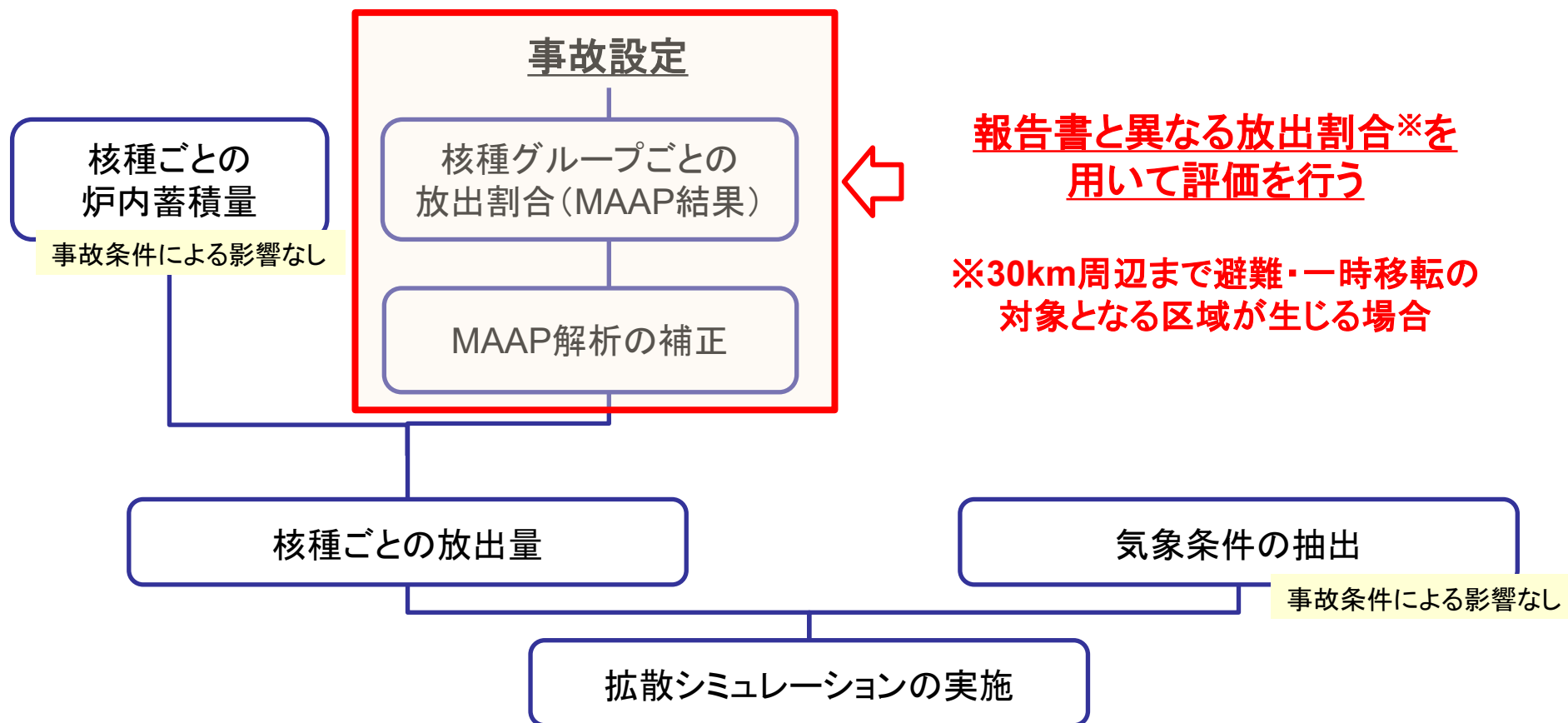
	①地表沈着濃度 【Bq/m ² 】	②換算係数 【(μSv/h)/(Bq/m ²)】	③空間放射線量率 【μSv/h】
Cs-137	AA	aa	AA × aa
I-131	BB	bb	BB × bb
Te-132	CC	cc	CC × cc
...	...	...	...
合計	—	—	AA × aa + BB × bb + CC × cc + ...

地表沈着濃度(AA, BB, CC)が同じ比率で変化する場合、空間放射線量率もその比率に従って変化する。

- 30km周辺において避難・一時移転の対象となる区域が生じることを前提とすると、その核種の内訳によらず、前ページの分布図に従って、各地点の空間放射線量率が概ね定まる。

・報告書と異なる放出割合を設定した拡散シミュレーションについて

実施概要



報告書と異なる放出割合を設定するに当たり, NUREG-1465※の格納容器内ソースタームを参照した

※L.Soffer, S.B.Burson, C.M.Ferrell, R.Y.Lee, J.N.Ridgely, 'Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants'

・報告書と異なる放出割合を設定した拡散シミュレーションについて

NUREG-1465について

- ・ 1995年2月に米国NRCが発行した文書
- ・ 核分裂生成物の放出／移行挙動に関するシビアアクシデント研究を取り込み※，軽水炉の規制適用のために修正された格納容器内の事故時ソースタームを提供

※具体的には以下の事項を実施

- ・ 米国の5つの原子炉施設のPRA結果を取り纏めたNUREG-1150(1990年)の分析
- ・ シビアアクシデント時のソースターム評価コードSTCP及びMELCORを適用した追加解析

Table 3.1 BWR Source Term Contributing Sequences

Plant	Sequence	Description	
Peach Bottom	TC1	ATWS with reactor depressurized	
	TC2	ATWS with reactor pressurized	
	TC3	TC2 with wetwell venting	
	TB1	SBO with battery depletion	
	TB2	TB1 with containment failure at vessel failure	
	S2E1	LOCA (2"), no ECCS and no ADS	
	S2E2	S2E1 with basaltic concrete	
	V	RHR pipe failure outside containment	
TBUX	SBO with loss of all DC power		
LaSalle	TB	SBO with late containment failure	
Grand Gulf	TC	ATWS early containment failure fails ECCS	
	TB1	SBO with battery depletion	
	TB2	TB1 with H ₂ burn fails containment	
	TBS	SBO, no ECCS but reactor depressurized	
	TBR	TBS with AC recovery after vessel failure	
SBO	Station Blackout	LOCA	Loss of Coolant Accident
RCP	Reactor Coolant Pump	RHR	Residual Heat Removal
ADS	Automatic Depressurization System	ATWS	Anticipated Transient Without Scram

表3.10 BWR格納容器内の放射性核種の平均値
(低圧, 高ジルコニウム酸化)

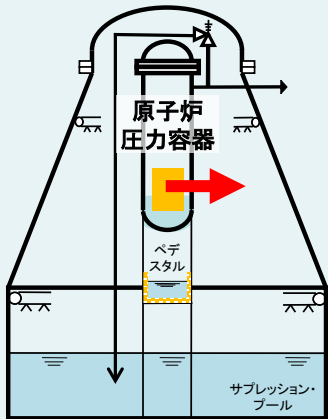
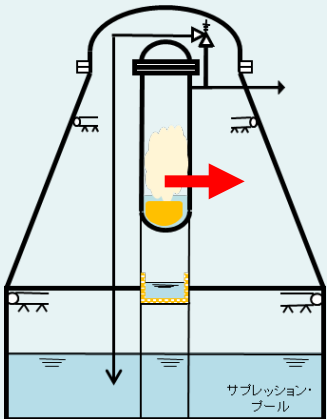
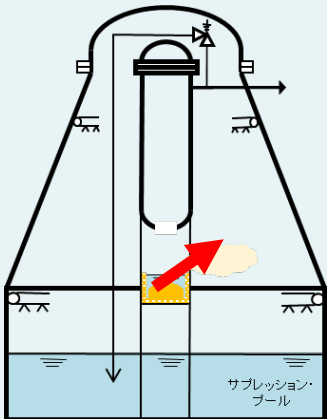
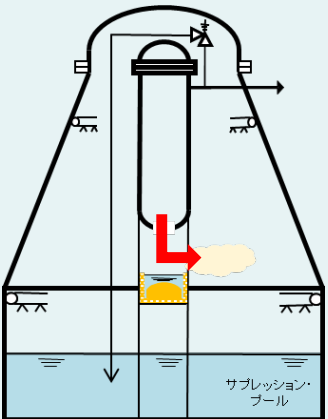
Nuclide	Early In-Vessel	Ex-Vessel	Late In-vessel
N. G.	1.0	0	0
I	0.27	0.37	0.07
Cs	0.2	0.45	0.03
Te	0.11	0.38	0.01
Sr	0.03	0.24	0
Ba	0.03	0.21	0
Ru	0.007	0.004	0
La	0.002	0.01	0
Ce	0.009	0.01	0

NUREG-1150の分析結果

これにMELCORによる追加計算及び専門家のコメントに基づき、
NUREG-1465の格納容器内ソースタームを決定

・報告書と異なる放出割合を設定した拡散シミュレーションについて

NUREG-1465では以下の各フェーズにおいて、格納容器に移行するFP割合を提供

	Gap Release (被覆管破損放出)	Early In-Vessel (早期圧力容器内放出)	Ex-Vessel (圧力容器外放出)	Late In-Vessel (晩期圧力容器内放出)
概要	燃料被覆管の破損が生じ、燃料ペレットと燃料被覆管との間のギャップに存在するFPが放出される。	炉心損傷開始から、溶融炉心が原子炉圧力容器底部へ落下して原子炉圧力容器底部が破損するまでの期間に燃料からFPが放出される。	原子炉圧力容器底部の破損後、格納容器下部区画に落下した溶融炉心がコンクリートと反応し、FPが放出される。この放出は溶融炉心が十分冷却されたときに終了する。	早期原子炉圧力容器内放出期間に原子炉圧力容器内に沈着していた揮発性核種(ハロゲン、アルカリ金属、テルルグループ)が再蒸発し、原子炉格納容器へ放出される。
期間	燃料被覆管破損から 0.5 時間	炉心損傷から 1.5 時間	圧力容器破損 から3.0 時間	圧力容器破損 から10 時間
	被覆管のギャップ部のFPの一部が格納容器に移行 	炉心溶融の過程でFPが格納容器に移行 	圧力容器破損後に圧力容器外でFP放出 	圧力容器破損後に一部のFPが格納容器に移行 

・報告書と異なる放出割合を設定した拡散シミュレーションについて

NUREG-1465:BWR原子炉施設

追加

放射性物質の種類		被覆管破損放出	早期圧力容器内放出	圧力容器外放出	晩期圧力容器内放出	合計
放出継続時間		0.5h	1.5h	3.0h	10h	
希ガス	NG	0.05※	0.95	0	0	1
ハロゲン	I	0.05※	0.25	0.30	0.01	0.61
アルカリ金属	Cs	0.05※	0.20	0.35	0.01	0.61
テルル	Te	0	0.05	0.25	0.005	0.305
バリウム ストロンチウム	Ba・Sr	0	0.02	0.10	0	0.12
貴金属	Ru	0	0.0025	0.0025	0	0.005
セリウム	Ce	0	0.0005	0.005	0	0.0055
ランタン	La	0	0.0002	0.005	0	0.0052

※炉心が損傷しない事故の場合は0.03とする

LOCAの場合、Non-LOCAと比較して、圧力容器破損前に格納容器雰囲気中に移行するFPが多い傾向にある

・報告書と異なる放出割合を設定した拡散シミュレーションについて

核種 グループ	【前頁の合計値】 NUREG-1465における 格納容器内ソースターム	【感度解析に使用】 NUREG-1465から設定した 環境への放出割合	【(参考)提出した報告書の評 価に使用】 MAAP解析結果(7日間積算)
I	0.61	6.3E-04	6.6E-04
Cs	0.61	6.3E-04	1.0E-03
Te	0.305	3.2E-04	1.1E-05
Ba・Sr	0.12	1.3E-04	9.6E-10
Ru	0.005	5.2E-06	4.2E-09
Ce	0.0055	5.7E-06	5.2E-11
La	0.0052	5.4E-06	1.5E-11

一律で約 1.04×10^{-3} を乗じる
(避難・一時移転の対象となる区域が30km付近まで生じる場合)

【参考】感度解析に用いた主要核種の放出量(Bq)について

	Cs-137	I-131	Te-132
感度解析に使用 (NUREG-1465から設定した環境への放出割合)	2.8×10^{14} (約275TBq)	1.9×10^{15}	1.2×10^{15}
提出した報告書の評価に使用 (第1回資料 P73より)	4.3×10^{14} (約430TBq)	2.6×10^{15}	3.7×10^{13}

【感度解析の条件】放出開始時間:24時間, 放出継続時間:4時間(シミュレーションⅡと同じ)

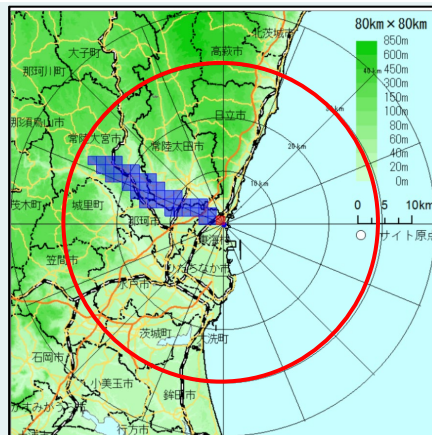
感度解析においてもCs-137放出量は100TBqを超え, フィルタ付ベント装置が機能しないような仮想的な設定となっている

・報告書と異なる放出割合を設定した拡散シミュレーションについて

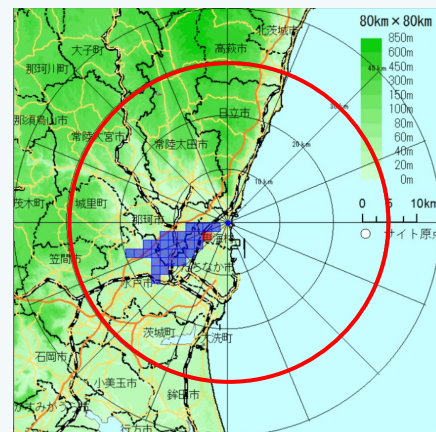
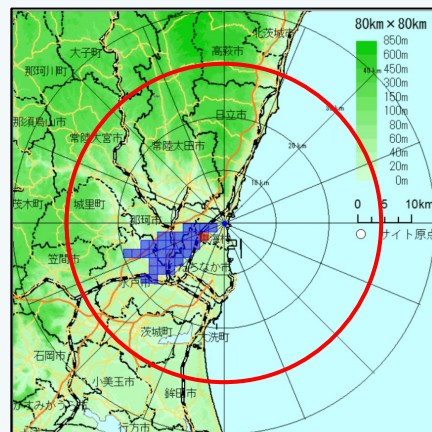
報告書における評価結果

感度解析 (NUREG-1465に基づく検討)

常陸太田方面
(気象条件②)



水戸方面
(気象条件②)



感度解析の結果は、報告書の評価結果と概ね一致した。

まとめ

- 1つの事故条件を対象に評価を実施していることについての指摘があったことから、説明性を向上させるべく、他の事故条件※で同様の拡散シミュレーションを実施した場合の考察を行った。

※茨城県の要請における30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる場合

- NUREG-1465の格納容器内ソースタームを用いた感度解析を行い、拡散シミュレーション結果が概ね変わらないことを確認した。
- 以上より、報告書に記載した拡散シミュレーション結果(避難・一時移転の対象となる区域)は、茨城県の要請に対して網羅性・代表性があると考ええる。
- なお、30km付近まで避難・一時移転の対象となるような区域が生じるのは、厳しい気象条件下において数百TBq程度のCs-137放出量となる場合である。このような想定を置くためには、信頼性の高いフィルタ付ベント装置が使用できない仮想的な条件を設定する必要がある。

第三者検証委員会
(第4回)
気象条件等に係るご質問・回答

2023年3月10日
日本原子力発電株式会社

第3回後に頂いたご質問事項



No.	ご質問	資料
1	風向と降雨のみ考慮して抽出しているように見えるが、そのほか風速や湿度、気温等の影響について考慮する必要はないのか。考慮しているのであれば、それらの影響の強弱をどのように評価しているのか。	
	気温・湿度は、拡散シミュレーションにおいてパラメータとして用いられない。気温に近いパラメータとして大気安定度(日射量・放射収支量と地上風速による)を用いた評価を行う。(大気安定度の影響については、第3回にて説明) また、拡散シミュレーション(パフモデル)における風速は、パフの移流速度に影響するが、今回の評価は、実気象データから陸側方位における拡散を評価するため、方位に主眼を置いた抽出を行っている。	資料3-2 P.25
2	抽出する風向を5方面に絞っているが、特に方面を絞らない場合でも結果は変わらないのか。(各方面の間の方向(例えば南南西など)に風向が連続し、抽出する条件に匹敵するものはなかったのか。(16 方位のうち陸域9方面の風向について抽出すべきではないのか。))	
	方面を絞らない場合として、気象条件③を評価している。気象条件①②の5方面は、各方面の中心とした方位に16方位の隣接方位を含む3方位の風向継続時間を抽出しており、各方面の間の風向についても包含している。今回の要請の趣旨が、避難・一時移転を行う際に必要な資機材数等を確認であるとの認識から、資機材等の要数が多くなると考えられる水戸方面(南西及び隣接方位)を中心に、3方位ずつの方面を設定している。南南西への継続は、南方面もしくは南西方面として抽出しており、その2方面の評価に包含され则认为。	報告書 資料2-2 P.5
3	発電所周辺にとどまる気象条件として、小さな風速の長時間連続を抽出しているが、降雨の長時間継続と比べて放射性物質が留まる量は多いのか。	
	今回実施したシミュレーションでは、防護措置範囲について評価しており、放射性物質濃度については評価していないものの、気象条件③は発電所近傍へ滞留しやすい条件であるため、気象条件②における防護措置範囲の外端等と比較すると、気象条件③の方が一地点あたりの沈着量が多くなることはあり得ると考える。	報告書
4	異常年検定を行うということは拡散解析において一般的なのか、また、その信頼性はどうか。	
	火力発電所や工場施設の立地時における有毒ガス等の拡散評価を行う環境アセスメント、原子力施設の安全審査における被ばく評価に使用する拡散評価等において使用する気象データの代表性を確認するのに用いられている手法であり、統計的な手法に基づいた評価である。	資料2-2 P.5

気温、湿度については拡散シミュレーションのパラメータとして用いられない。
大気安定度(日射量・放射収支量)が、R-Cubic以外の拡散シミュレーションにおいてもパラメータとして用いられる

- 2020年度の気象データから、大気安定度E, Fの継続期間を対象として抽出した場

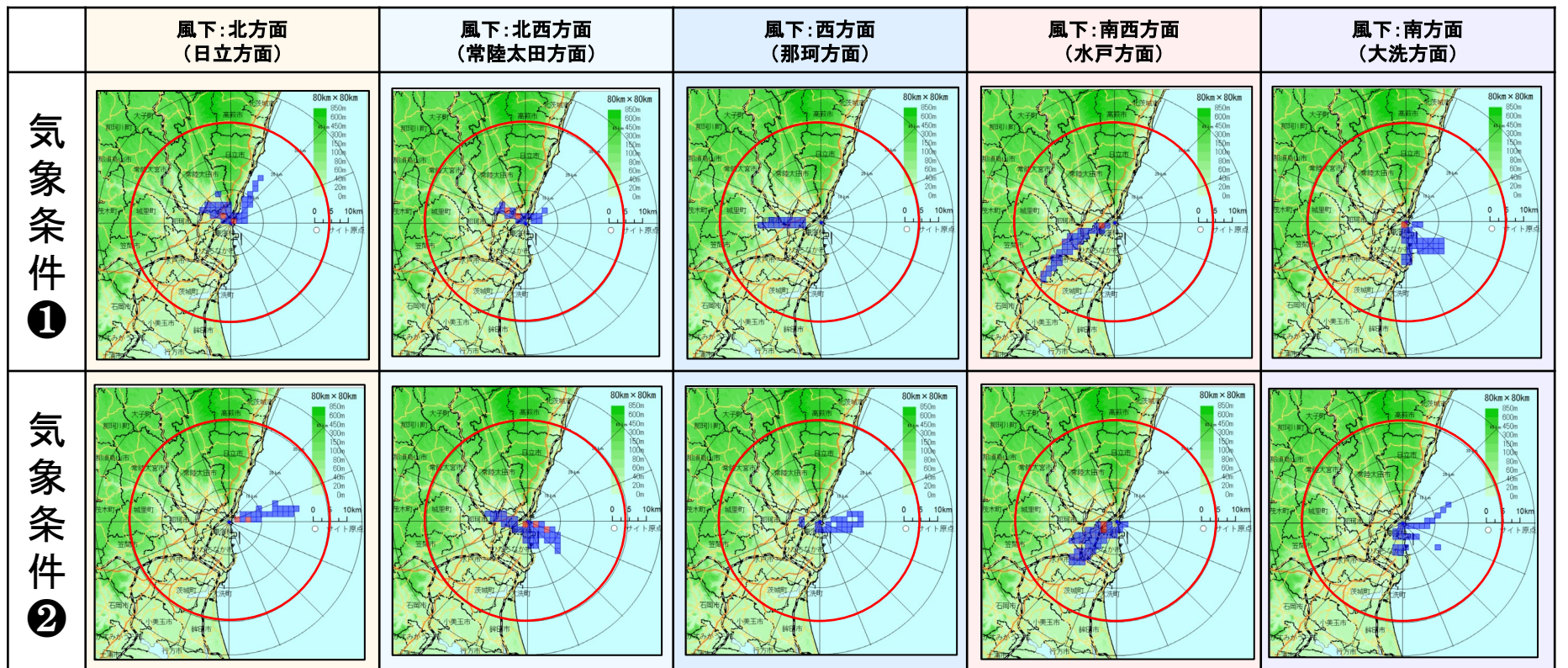
資料No.3 P.25

No.1

	大気安定度 E,F	E,F+気象条件①※	E,F+気象条件②※	E,F+降雨
継続時間[hr]	最大14	5～8	1～2	4
出現回数	39	1～5	1～3	1

※ 5方面における継続時間と出現回数の幅を示す

- E,Fが10時間以上継続する頻度は高い(年間100回以上)が、主に夜間において出現する。
- 夜間は、陸風(風下海側)の出現頻度が高い。
- 大気安定度E, Fが、陸側風下となる気象条件①②や降雨と重複する頻度は低め。



気象条件①～③について, 対象期間, 対象方位を選定

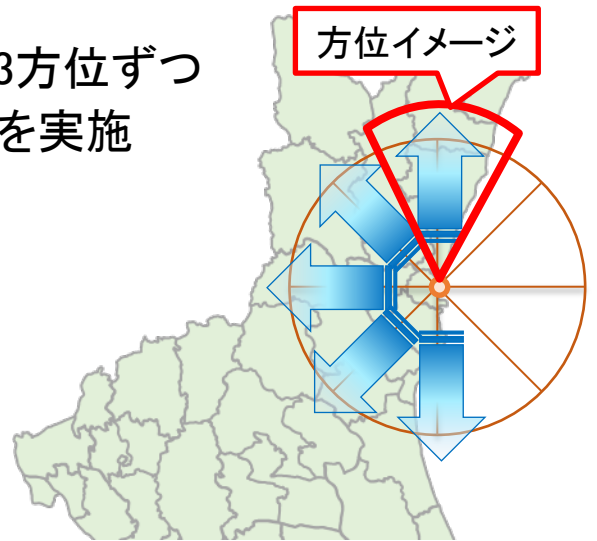
No.4

- 抽出の対象とする期間(使用する気象データ)の選定
 - 東海第二発電所で観測された2020年度の年間気象データ
 - ✓ 安全審査等で採用している手法に基づき, 至近10年に対する異常年検定(過去10年の気象データと比較し, 特異な気象状況でないかの確認)を行い, 代表性を確認したデータ
 - ✓ 茨城県殿からの要請を受けた時点で, 異常年検定の終了している最新の気象データ
 - 風向・風速は, 地上高(GL.10m)の観測結果から抽出
 - ✓ 事故設定が, 地上放出であるため。
 - 風向・風速以外のデータについては, 抽出された日時における観測値

No.2

- 対象方位(気象条件①②)の選定
 - 東海第二発電所の陸側について16方位の3方位ずつ5方面に区切り, 各方面について条件抽出を実施

風下方面	風下方位
日立	北北西, 北, 北北東
常陸太田	北北西, 北西, 西北西
那珂	西北西, 西, 西南西
水戸	西南西, 南西, 南南西
大洗	南南西, 南, 南南東

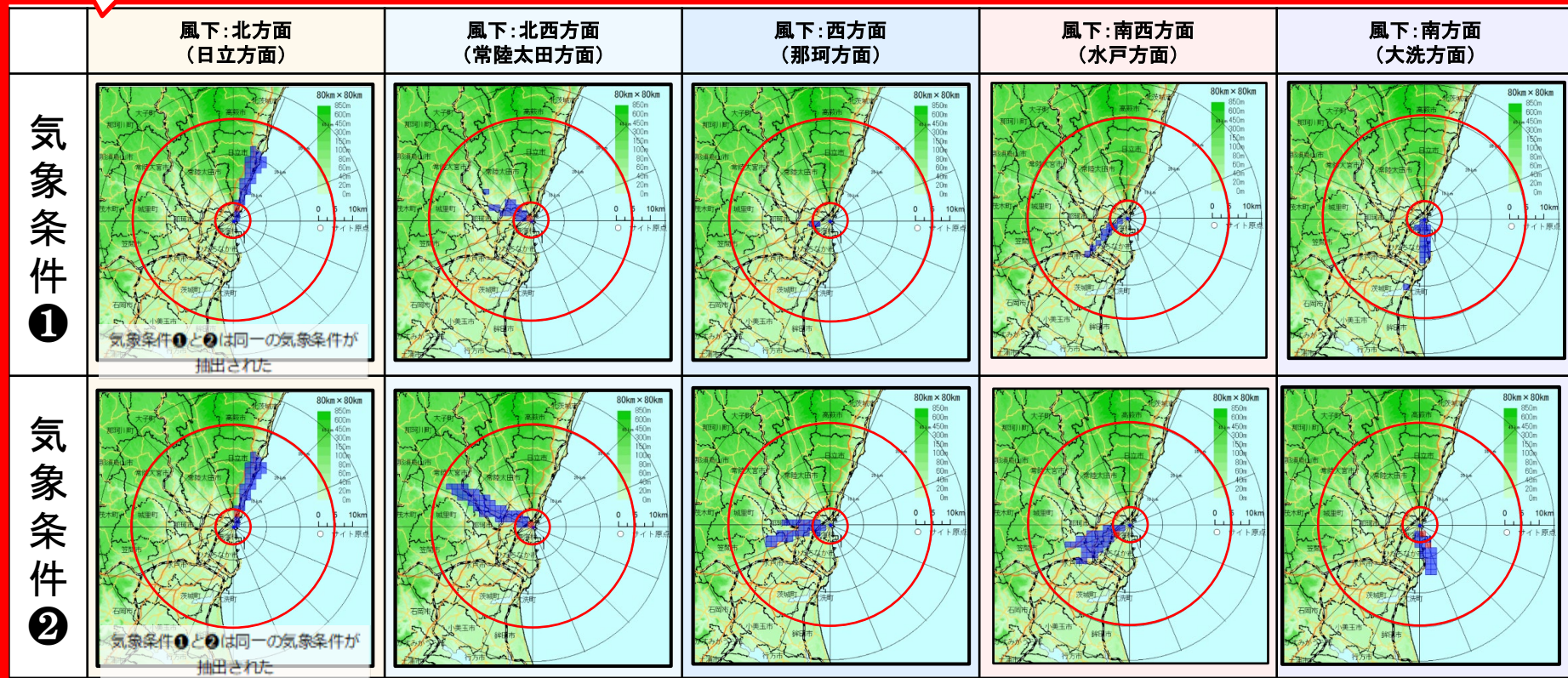


1. 評価結果一覧(シミュレーションⅡ)

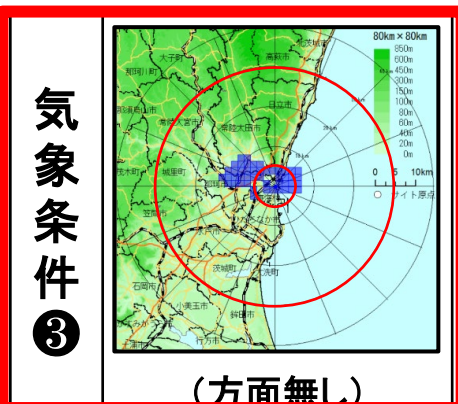
No.2,3

要請に基づき、30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる場合

報告書より抜粋



内側の赤円:発電所から概ね5km(PAZ), 外側の赤円:発電所から概ね30km(UPZ)



- ・ 500 μ Sv/hを超える地点が、最長で約6km付近まで生じた。
- ・ 20 μ Sv/hの空間放射線量率を超える区域が、最長で約30km付近まで生じた。

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

地表沈着した放射性物質からの空間線量率
(放出開始から24時間後)

500 μ Sv/h	500 μ Sv/h
20 μ Sv/h	20 μ Sv/h

質問No.4の補足

- 過去5年分の気象データについて、大気安定度を考慮した気象条件の抽出における気象条件の継続時間と出現回数を確認した。
- 2020年度の結果は、過去分の継続時間と出現回数のばらつきの中であり、代表性のある気象データであるとする。

気象条件①(風向継続)＋大気安定度EF

年度 (継続時間, 回数)	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
	(日立方面)	(常陸太田方面)	(那珂方面)	(水戸方面)	(大洗方面)
2020	5, 1	6, 1	8, 1	7, 1	5, 5
過去分	5～12, 1～3	4～10, 1～6	5～8, 1～3	8～11, 1	9～11, 1

気象条件②(風向・降雨継続)＋大気安定度EF

年度 (継続時間, 回数)	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
	(日立方面)	(常陸太田方面)	(那珂方面)	(水戸方面)	(大洗方面)
2020	1, 2	1, 1	1, 3	3, 1	2, 1
過去分	1～2, 1～2	1～2, 1～3	1～2, 1～8	1～4, 1～4	1～4, 1～4

第三者検証委員会
(第4回)
R-Cubicに係る補足説明

2023年3月10日
日本原子力発電株式会社

【第3回までの説明の概要】

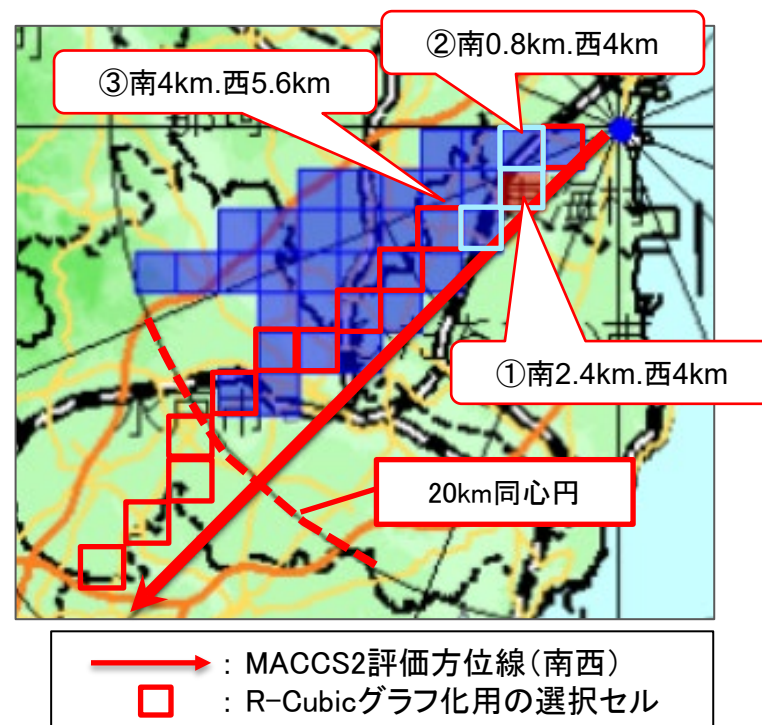
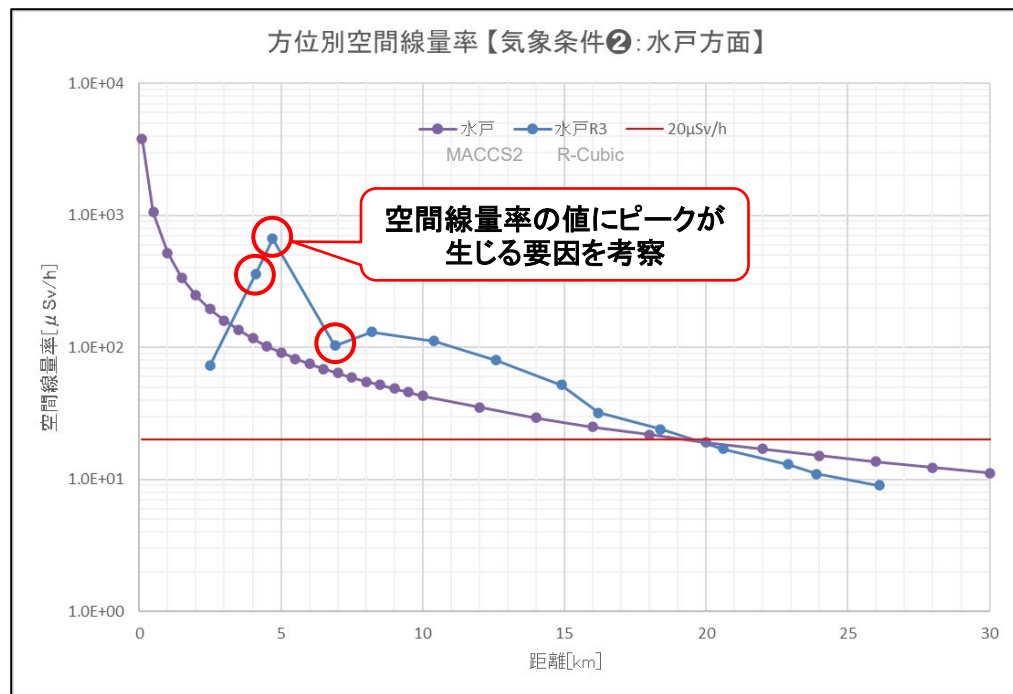
- R-CubicとMACCS2の評価条件を近似させて実施した比較(2ケース)を提示した。

【今回の説明概要】	
第3回までの実施概要	今回実施した事項
① MACCS2にR-Cubicの気象条件を入力した場合	R-Cubicで線量率が放出点から離れた地点が最大となった要因の考察
② R-CubicにMACCS2で97%値を与える気象条件を入力した場合	地形の影響を除いた評価の検討

① R-Cubicで線量率が放出点から離れた地点が最大となった要因の考察 **げんてん**

R-Cubicにおける空間線量率の評価結果にピークが生じた要因について

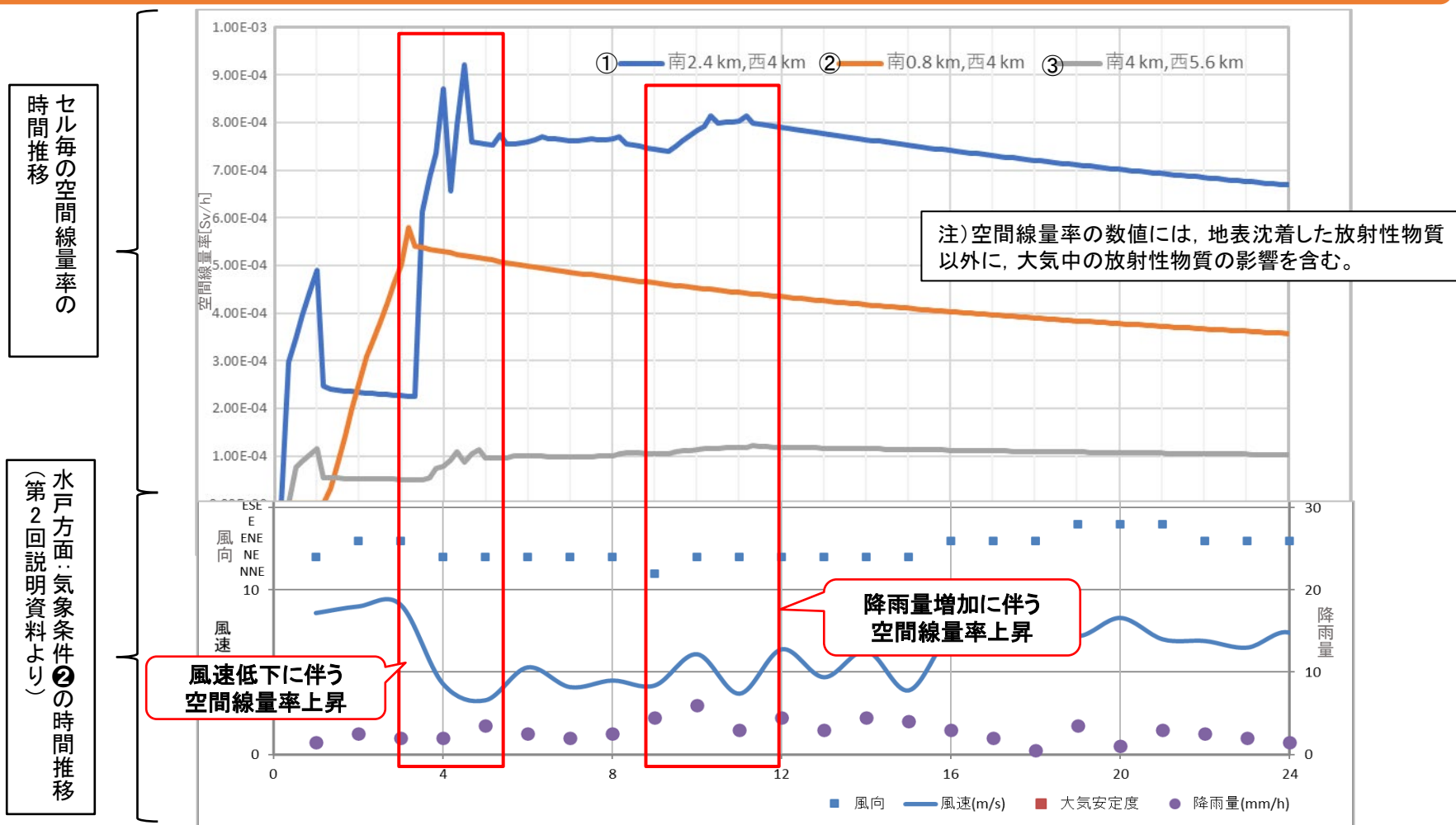
- R-Cubicのセル毎の空間線量率の時系列変化を抽出し、最高値のセルと近接セルの空間線量率と気象条件の変動状況を比較する。
- 地形情報と総合し、要因を考察する。



- グラフは、水戸方面の気象条件②を入力したMACCS2の距離別の空間線量率と、水戸方面の気象条件②のR-Cubicの結果から比較的空間線量率の大きいセルを風下方位に直線的に選択したもの。(第3回にて提示した結果に今回の説明に際し一部追記)
- 以下の座標のセルの空間線量率の時系列を確認した。
①(南2.4km, 西4km), ②(南0.8km, 西4km), ③(南4km, 西5.6km)

① R-Cubicで線量率が放出点から離れた地点が最大となった要因の考察 **げんてん**

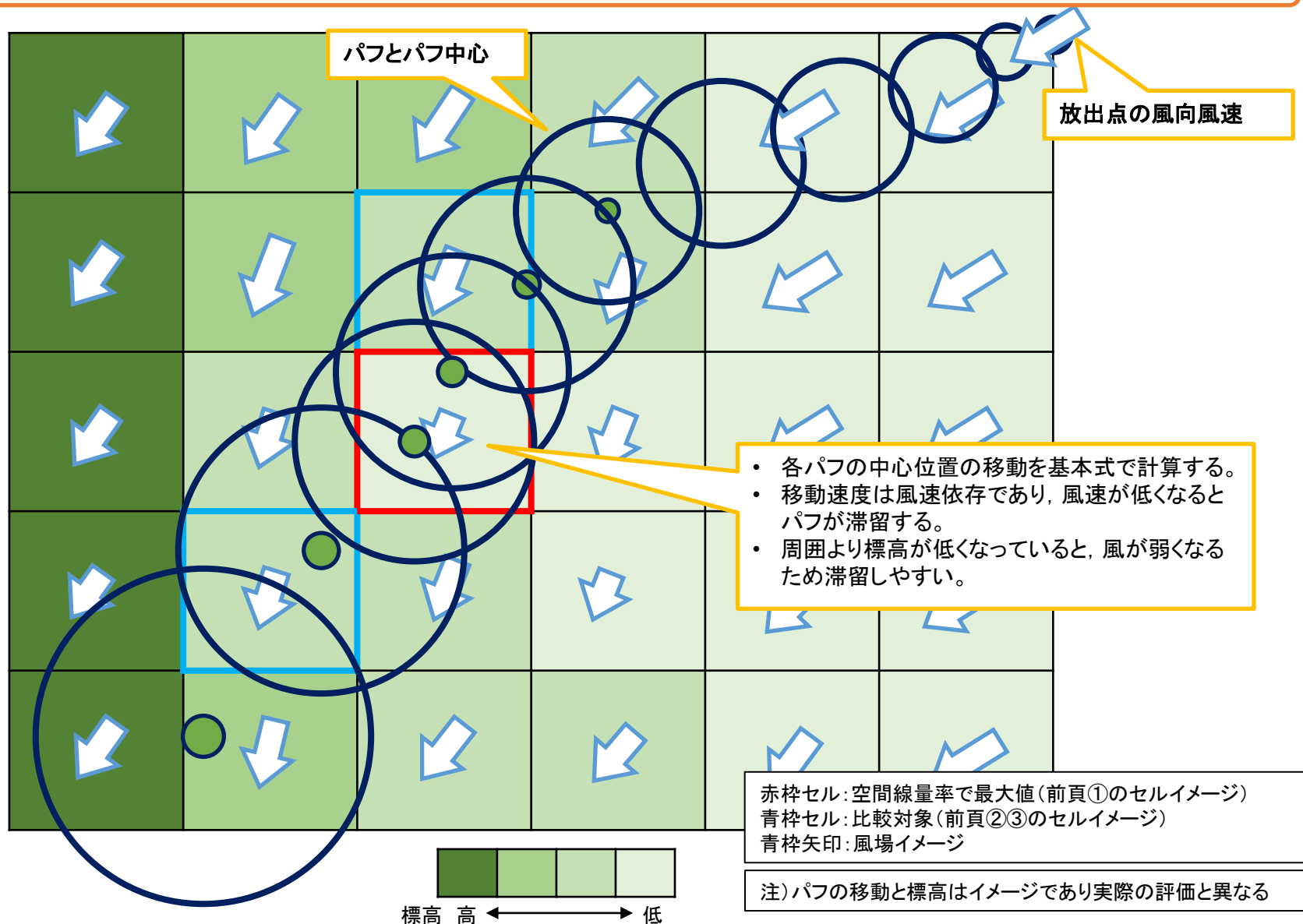
セル内の空間線量率の変動と気象条件の変動状況(放出～24時間)



- ・ 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。

① R-Cubicで線量率が放出点から離れた地点が最大となった要因の考察 **げんてん**

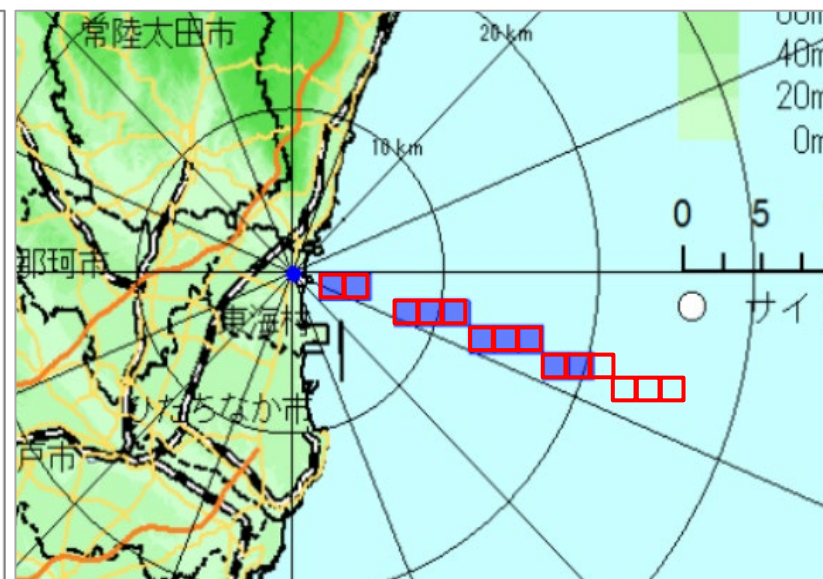
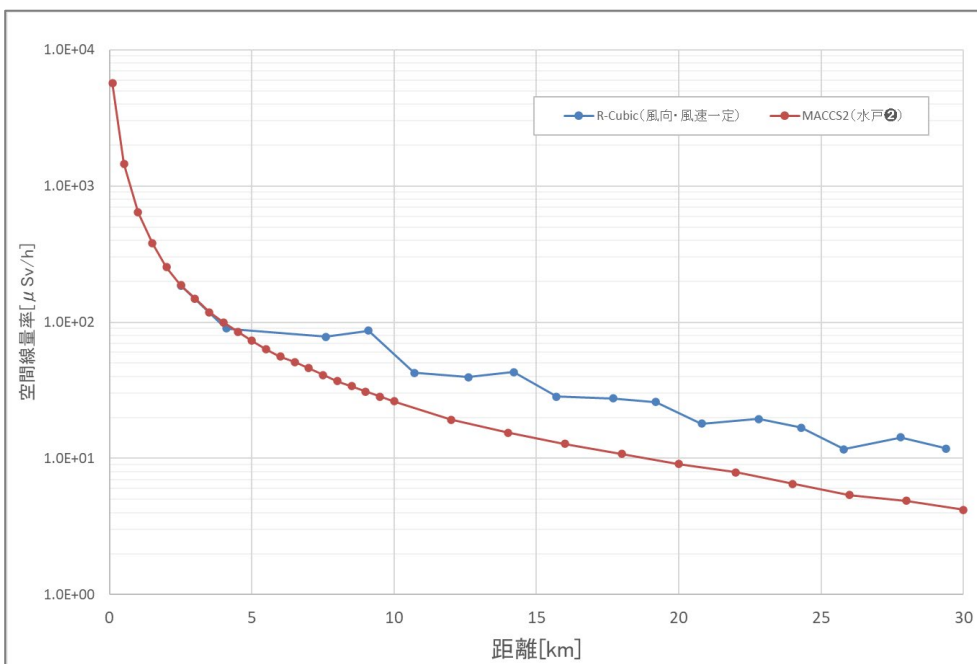
パフの移流と地形による風場のイメージ



② 地形の影響を除いた評価の検討

【第3回で提示した内容】

- 第2回にて参考提示したMACCS2(グランドシャイン97%値の空間線量率)を評価した際の気象条件を用いて、R-Cubicで評価した。
- 20 μ Sv/hの最大到達距離は、MACCS2より遠方となっていたが、風向が南西であり地形の影響を含むため、比較が難しいとの見解。



□ : R-Cubicグラフ化用の選択セル

- R-Cubicの気象条件は、風速:3m/s, 風向:西北西, 大気安定度:D, 降雨なしで固定した仮想条件。
- MACCS2のグラフは、第2回に提示した南西のグランドシャイン97%値のもの(参考)
- 沿岸部の地形の影響を受け風場に歪みが生じるため、固定した風向とはややずれるものの、概ね直線的に防護措置範囲が生じており、一定風向への拡散が確認できる。
- 放出から24時間後に防護措置範囲に該当したセルと右上図赤枠セルの空間線量率をグラフ化し概ね距離に応じた減衰傾向が確認でき、地形の影響は比較的抑えられたと考えられる。