

2024年度 第三者検証委員会 (第2回)

2024年12月24日
日本原子力発電株式会社

1. コード間比較の実施概要
2. R-CubicとOSCAARの比較結果
 - (1) 決定論的評価での比較結果
 - (2) 確率論的評価での比較結果
3. 比較結果の考察
4. まとめ

1. コード間比較の実施概要

2. R-CubicとOSCAARの比較結果

- (1) 決定論的評価での比較結果
- (2) 確率論的評価での比較結果

3. 比較結果の考察

4. まとめ

【2024年度検証委員会における実施概要】

- 当社が防護措置範囲の評価に用いたR-Cubicについて、拡散評価機能は米国NRCが開発したRASCALコードを参考に開発されており、主要な評価モデルや換算係数に関しては2022年度の検証委員会において妥当性を確認いただいた。
- 一方、コード検証として、実現象の再現計算または他コードとの比較の必要性に関するご意見を踏まえ、他機関でも用いられている拡散コードとの比較を行うことで、R-Cubicの信頼性に対する説明性向上を図ることとなった。
- コード間比較は原子力防災に関わる各種評価コードに詳しいJAEA殿にご協力いただくこととなり、W-SPEEDI・OSCAAR・RAMS／HYPACTを比較対象候補に検討した。前回の検証委員会での議論も踏まえ、以下の理由によりOSCAARとの比較を行うこととした。
 - 国際ベンチマーク計算への参加などの検証実績を有しており、また国による原子力防災の検討に活用されていること
 - レベル3PRA学会標準にパラメータの不確かさ解析が掲載されるなど、OSCAARコードに関する文献が多く存在すること
 - 空間線量率等の空間的な広がりとの比較に必要な決定論的評価（特定日時の気象データを用いた評価）に加え、年間の気象データを用いた確率論的評価が可能であり、過去に実施されたベンチマーク計算結果等を参考に、R-CubicとOSCAARの差異の程度が一般的な変動幅の範囲との比較で検討できること（決定論的評価による防護措置範囲の比較ではコード間の比較の傾向を得ることはできるものの、メッシュ等が異なるため、変動幅の定量的な比較は困難である）

＜特記事項＞

- 茨城県に提出した拡散シミュレーションでは、R-Cubicの使用を前提に、事故条件及びソースタームの設定上の保守性を考慮した上で、防護措置範囲が最大となると見込まれる結果を提示している。

事故条件上の保守性

(可搬型設備のみでの対応としていること、フィルタベントに期待できない想定に加え、可搬型設備の時間遅れや注水先の限定)

2022年度検証委員会(第1回)の資料より抜粋

②可搬型設備による注水先の想定

可搬型設備による注水開始を原子炉压力容器後と設定して放出量評価を実施したところ、放出量が抑制されることが判明したため、新たに可搬型設備による注水先を格納容器に限定する(原子炉注水なし)ことで、放出量を多くすることとした。

压力容器破損なしケース

条件
・初期注水の継続時間：0時間
・注水の中断時間：約3時間後(170分)

結果
・炉心損傷時間：約0.6時間
・压力容器破損：なし
Cs-137放出量 < 1TBq

避難・一時移転の範囲は30kmに達しない

＜共通的な条件＞

- 検討段階における感度解析であり、最終的な評価結果とは異なる
- 可搬型設備による代替格納容器スプレイは、サブプレッション・プール水位が停止基準(通常水位+6.5m)に達した時点で停止する
- 解析期間は7日間

压力容器破損ありケース(原子炉注水あり)

・初期注水の継続時間：0時間
・注水の中断時間：压力容器破損後

・炉心損傷時間：約0.6時間
・压力容器破損：約4.5時間
Cs-137放出量 < 1TBq

避難・一時移転の範囲は30kmに達しない

压力容器破損ありケース(原子炉注水なし)

・初期注水の継続時間：0時間
・注水の中断時間：压力容器破損後

・炉心損傷時間：約0.6時間
・压力容器破損：約4.5時間
Cs-137放出量 > 100TBq

厳しい気象条件との組合せを考慮した場合に
避難・一時移転の範囲が30km周辺に到達

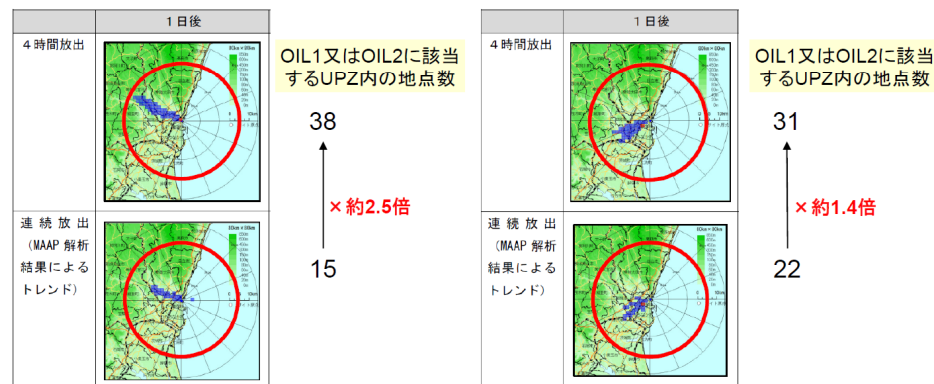
ソースターム設定上の保守性

(7日間積算の放出量を4時間で放出すると設定)

2023年度検証委員会(第3回)の資料より抜粋

シミュレーションⅡにおけるソースターム設定の保守性

- 7日間積算の放出量を4時間で放出すると設定としたことにより、避難・一時移転の対象範囲(R-Cubic上の地点数)は有意に増加している
常陸太田方面：約2.5倍
水戸方面：約1.4倍
- その他の保守性として、放射性物質の原子炉建屋等での放射性物質の沈着、放水砲による叩き落とし効果を考慮していないこと等が挙げられる



【本資料は、茨城県からの要請に応えるために一定の条件を置いて実施した拡散シミュレーションに関する情報を含んでいます。委員会関係者限り 無断複製・転載禁止 日本原子力発電株式会社】

【7】

1. コード間比較の実施概要

- 前回の検証委員会における委員コメントを踏まえ、以下の内容にてコード間の比較を行った。

①比較に用いるOSCAARのバージョンは、2020年3月30日に公開された版とした※
(公開版OSCAARの評価モデル等を別紙に示す)

②公開版OSCAAR, R-Cubicの双方で出力可能な項目を調査し、以下を比較項目とした。

決定論的評価: 地表沈着量

空間線量率(地表面からの直接線による外部被ばく線量より推定する)

確率論的評価: 空間線量率(地表面からの直接線による外部被ばく線量より推定する)

※<https://www.jaea.go.jp/02/press2020/p20042301/>

公開版OSCAARにおいて出力可能な項目(例)

		決定論的評価	確率論的評価
大気中積算濃度 及び地表沈着量	大気中積算濃度	格子点値の表	核種別方位平均値の 統計表, グラフ
	地表沈着量	格子点値の表	核種別方位平均値の 統計表, グラフ
早期被ばく線量	有限雲からの直接線による外部被ばく線量(早期)	格子点値の表	臓器別方位平均値の 統計表
	地表面からの直接線による外部被ばく線量(早期)		
	呼吸摂取による内部被ばく線量(早期)		
	早期被ばく線量		

空間線量率の出力がないため、地表面からの直接線による外部被ばく線量を評価期間で除すことによって概算した

1. コード間比較の実施概要

決定論的評価における「格子点値の表」のイメージ

§1 大気中積算濃度及び地表沈着量

大気中積算濃度の全格子点値の表 核種名: CS-137

距離(m)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE
500.0	1.85D+11	1.10D+11	4.66D+10	3.50D+10	1.60D+10	8.88D+10	1.18D+10	4.06D+10	7.74D+10	5.90D+10	5.60D+10	4.67D+10	5.33D+10	5.15D+10
1500.0	1.53D+10	1.51D+10	1.55D+10	7.16D+11	1.51D+11	5.84D+11	9.98D+10	5.44D+10	5.14D+10	4.31D+10	2.88D+10	4.00D+10	2.61D+10	8.85D+09
2500.0	1.43D+10	1.36D+10	1.01D+10	1.83D+11	1.01D+11	5.53D+11	4.85D+10	4.35D+10	3.80D+10	1.94D+10	2.16D+09	2.33D+09	2.70D+09	3.09D+09
3500.0	1.30D+10	1.22D+10	8.03D+09	8.02D+09	8.53D+09	3.05D+11	6.33D+10	4.21D+10	2.60D+10	1.58D+09	1.39D+09	1.66D+09	2.23D+09	2.87D+09
4500.0	9.40D+09	1.13D+10	7.70D+09	7.18D+09	7.76D+09	1.62D+11	5.63D+10	4.32D+10	1.69D+10	8.47D+08	7.69D+08	1.06D+09	1.74D+09	2.61D+09
5500.0	5.37D+09	1.09D+10	6.93D+09	4.40D+09	5.06D+09	8.84D+10	3.82D+10	5.42D+10	7.38D+09	4.02D+08	3.61D+08	6.06D+08	1.30D+09	2.34D+09
7000.0	2.76D+09	1.17D+10	2.47D+09	5.47D+08	9.80D+08	5.15D+09	1.22D+10	4.95D+10	1.37D+09	9.15D+07	8.35D+07	2.15D+08	7.76D+08	1.98D+09
9000.0	7.17D+09	7.50D+09	2.79D+07	1.95D+06	1.40D+07	6.77D+08	9.45D+09	2.22D+10	2.08D+08	5.97D+06	6.25D+06	3.80D+07	3.59D+08	1.62D+09
12500.0	4.53D+09	3.65D+06	9.45D+00	3.91D-01	1.42D+02	1.16D+06	1.07D+09	1.39D+10	1.09D+08	2.92D+03	1.11D+04	8.76D+05	7.85D+07	1.18D+09
17500.0	2.52D+06	9.42D-06	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	3.28D+05	1.94D+09	1.77D+08	0.00D+00	0.00D+00	3.17D-01	9.33D+06	7.66D+08
22500.0	3.72D-01	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	2.16D+05	4.35D-02	0.00D+00	0.00D+00	1.33D-04	2.92D+06	7.27D+08
27500.0	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	0.00D+00	1.55D-05	1.12D+06	7.01D+08

16方位

距離

→空間的な広がりを中心に、コード間の差異の程度を考察する

確率論的評価における「方位平均値の統計表」のイメージ

A.2 地表沈着量

地表沈着量 方位平均値の統計表

地表沈着量 (Bq/m²) 核種: Cs-137

距離(km)	期待値	5%値	50%値	90%値	95%値	99%値	99.9%値	最小値	最大値	最大値のシー ケンス番号	影響 0 の確 率	期待値以 上の確率
5.00E-01	4.53E+06	#N/A	8.08E+04	1.05E+07	1.57E+07	1.36E+08	#N/A	#N/A	2.09E+08	120	1.240E-01	1.953E-01
1.50E+00	2.51E+06	1.56E+05	1.59E+06	4.10E+06	7.92E+06	2.76E+07	#N/A	9.42E+02	3.57E+07	419	#N/A	2.429E-01
2.50E+00	1.48E+06	2.25E+05	9.25E+05	2.33E+06	5.26E+06	1.46E+07	#N/A	4.54E+03	2.06E+07	180	#N/A	1.905E-01
3.50E+00	9.88E+05	2.15E+05	5.85E+05	1.71E+06	3.46E+06	9.71E+06	#N/A	1.09E+04	1.20E+07	377	#N/A	1.934E-01
4.50E+00	7.58E+05	1.64E+05	4.15E+05	1.46E+06	2.74E+06	7.86E+06	#N/A	6.35E+04	8.31E+06	377	#N/A	1.846E-01
5.50E+00	5.67E+05	1.30E+05	3.22E+05	1.07E+06	2.09E+06	5.71E+06	#N/A	6.89E+04	6.92E+06	336	#N/A	2.096E-01
7.00E+00	4.55E+05	9.46E+04	2.35E+05	8.48E+05	2.03E+06	4.77E+06	#N/A	4.81E+04	6.11E+06	336	#N/A	1.970E-01
9.00E+00	3.18E+05	6.41E+04	1.65E+05	6.26E+05	1.28E+06	3.42E+06	#N/A	3.27E+04	5.66E+06	336	#N/A	2.094E-01
1.25E+01	2.18E+05	3.81E+04	1.04E+05	4.72E+05	8.20E+05	2.28E+06	#N/A	1.71E+04	3.07E+06	336	#N/A	2.575E-01
1.75E+01	1.35E+05	2.19E+04	6.47E+04	3.29E+05	5.21E+05	1.03E+06	#N/A	6.14E+03	1.89E+06	386	#N/A	2.548E-01
2.25E+01	9.99E+04	1.46E+04	4.81E+04	2.30E+05	3.77E+05	9.17E+05	#N/A	5.62E+03	1.52E+06	144	#N/A	2.597E-01
2.75E+01	7.73E+04	9.55E+03	3.43E+04	1.89E+05	2.76E+05	8.53E+05	#N/A	3.60E+03	1.15E+06	252	#N/A	2.666E-01

距離

→95%値の比較を行い、コード間の差異の程度を考察する

1. コード間比較の実施概要

OSCAARおよびR-Cubicの概要を比較した表を示す。

	R-Cubic	OSCAAR	別冊 ページ
概要	株式会社原子力安全システム研究所(INSS)および日本エヌ・ユー・エス株式会社(JANUS)の2社による共同開発したシステム。 事業者が所有し、防災訓練の事前評価等において放射性物質の拡散状況や防護措置範囲等を比較的簡便な操作により評価し、地図上に図示可能なツール。	JAEAの開発しているL3PRA研究用コード。 近年、内閣府(地域防災計画・避難計画の充実化の支援に資する技術的知見の整備事業)や原子力規制庁(緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について、原子力災害事前対策等に関する検討チーム等)で活用されている。	P3
バージョン	2021.12版	2020.3公開版	P3
主な用途	事業者の防災訓練の事前検討等	確率論的評価による防護措置の効果の検討等	P3
拡散評価の対象範囲	当該ツールを所有者のプラントを中心とした評価のみ	全国の原子力発電所とJAEAを放出点とした評価が可能	P15
拡散モデル	パフモデル 拡散パラメータ: 気象指針	パフモデル 拡散パラメータ: Tadmor-Gurの近似式に基づくべき乗則	P6~9
気象条件の適用方法	<u>発電所の観測データ(1時間値)を評価領域に適用 評価期間(約1週間)分の時系列データを入力</u>	<u>気象庁数値予報データ(GPVデータ)の1時間値 10km以内は放出点付近の観測データを入力可能 年間のデータを一括入力</u>	P10~14
地形情報	「国土地理院発行 数値地図50mメッシュ(標高)」から評価モデル用データに変換	なし。ただし、GPVデータを用いることで地形を考慮した拡散を評価といえる。	P10
大気安定度	日射・放射収支量と地上風速に基づく分類(気象指針)	実効日射インデックスと風速に基づく分類(Tuener(1964))	P12
放出源情報	本評価においては54核種を対象とした。 放出開始時間, 放出継続時間, 放出高さを設定可能	最大54核種 放出開始時間, 放出継続時間, 放出高さを設定可能	P15
粒径分類	ユーザによる設定はなし。 評価上は、放射性物質に応じて設定されたガス状、粒子状の分類に応じて評価。	ガス状、粒子状に分類。 粒子状は、2種(通常は、有機よう素、その他核種+無機よう素)に分類可能。	P15~16
乾性沈着	粒子状物質に対し0.003[m/s]	粒子状物質に対し0.001[m/s]	P16
湿性沈着	<u>降雨率に応じた三段階の設定(RASCALを参考とした)</u>	<u>降雨率に応じた連続分布($\Lambda = a \times R^b$ 式)</u>	P16~17

1. コード間比較の実施概要



	R-Cubic	OSCAAR	別冊 ページ
評価点	<u>正方メッシュ</u> 評価範囲を50×50に分割。メッシュサイズは、80km×80kmの 評価範囲において1.6km×1.6km	<u>同心円メッシュ</u> 評価距離(25点)を設定。	P18
計算ステップ	10分毎(ただし、気象データは1時間統計値のため、評価にお いては6Step毎に同じデータを入力)	1時間毎	P14
グランドシャイ ン線量の評価 に用いる係数	安全審査指針, ICRP pub.38, ICRP pub.72 Federal Guidance Report No.12 Cs-137の地表沈着に対して, FGR No.12深さ0mの値を参照	Federal Guidance Report No.12 Cs-137の地表沈着に対して, FGR No.12深さ0mの値を参照	P19
防護対策の 解析	防護措置を考慮しない	被ばく低減解析のための各種措置を入力可能 (屋内退避時間, 遮蔽係数, 避難開始時間等)	P18
評価計算	<u>決定論的評価: 1つの気象条件による評価(事象発生から 約1週間における時系列変化)</u> <u>確率論的評価: 対応していない。</u>	<u>決定論的評価: 1つの気象条件による評価</u> <u>確率論的評価: 年間気象のサンプリング等の統計処理</u>	P14
評価項目	<u>決定論的評価: 経路別被ばく線量(全合計, 内部, 外部 外部のうちグランドシャインは核種別), 小児甲状腺等価線量, 地表沈着濃度(核種別), 空気カーマ率。</u>	<u>決定論的評価: 大気中積算濃度, 地表沈着量 (距離・方位別(2核種))</u> <u>経路別被ばく線量 (実効線量と臓器別で計3種)</u> <u>確率論的評価: 大気中積算濃度, 地表沈着量(確率値) 健康影響リスク(確率値)</u>	P19～21
結果の出力 方法	<u>評価メッシュ毎, 指定した評価ステップにおける評価値。</u> <u>地図上への拡散状況等を表した図の表示。</u> <u>空間線量率を基にした防護措置範囲の図示。</u>	<u>決定論的評価: 格子点(距離・方位別)の表, 距離別グラフ。</u> <u>地図上への拡散状況等の表示機能は無し。</u> <u>確率論的評価: 核種別方位平均値の統計表, グラフ</u> <u>臓器別方位平均値の統計表</u> <u>健康影響リスク方位平均値の統計表, グラフ</u>	P19～21

OSCAARについては、最右列に記載した別冊「OSCAARコードの概要」の当該ページに詳細を記載した。

R-Cubicの概要については、2022年度検証委員会資料を参照

1. コード間比較の実施概要
2. R-CubicとOSCAARの比較結果
 - (1) 決定論的評価での比較結果
 - (2) 確率論的評価での比較結果
3. 比較結果の考察
4. まとめ

- ### ＜評価条件＞

【本資料は、茨城県からの要請に応えるために一定の条件を置いて実施した拡散シミュレーションに関する情報を含んでいます。 委員会関係者限り 無断複製・転載禁止 日本原子力発電株式会社】

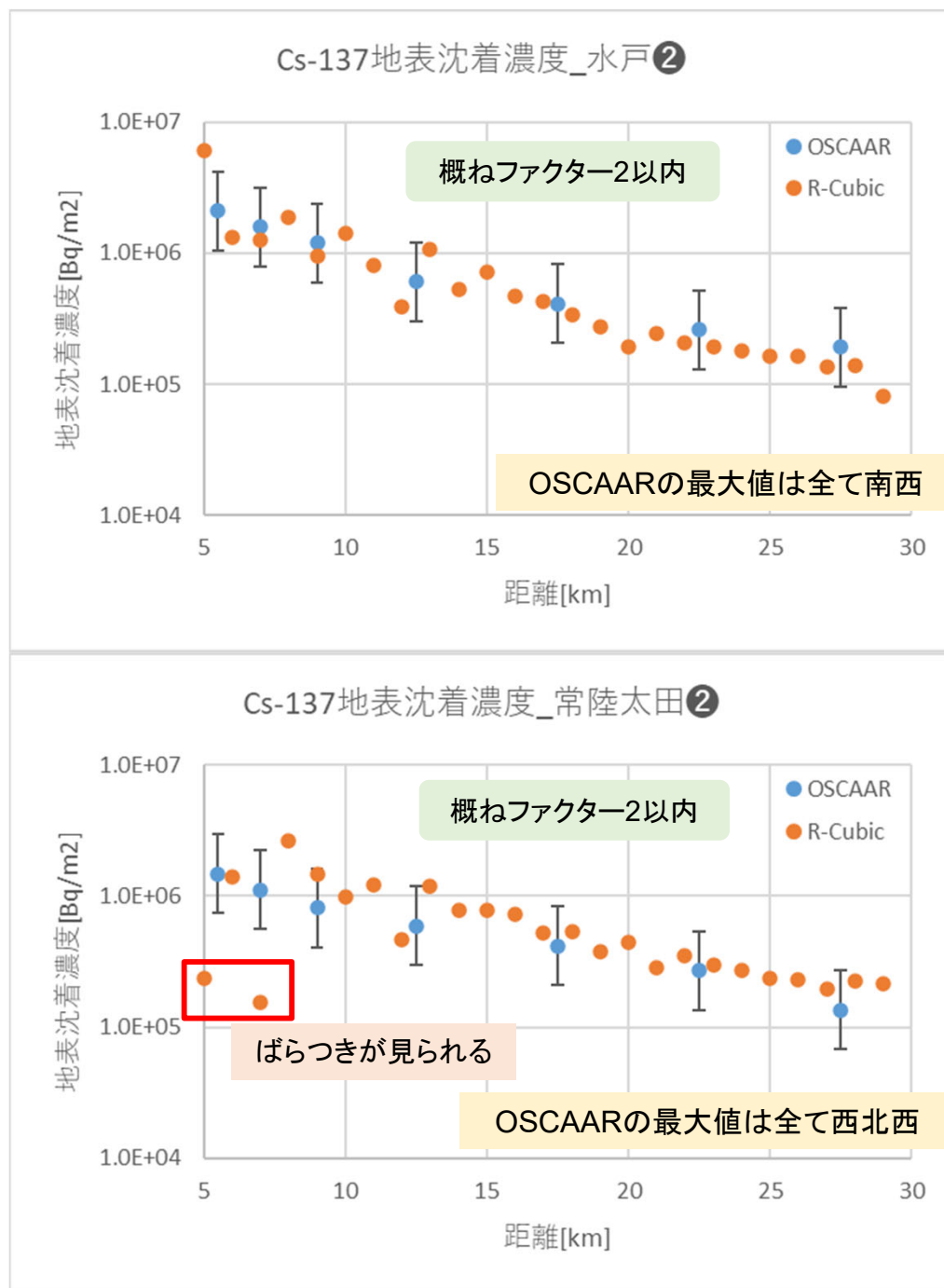
<評価結果の整理>

- 地表沈着量：24時間後のCs-137の単位面積当たりの地表沈着量
 - ・ OSCAAR:24時間後のCs-137累積沈着量から, 距離別・方位別の最大値を抽出。
 - ・ R-Cubic :24時間後のCs-137地表沈着濃度から距離別の最大値を抽出。
- 空間線量率：グランドシャインによる空間線量率の7日間平均値
 - ・ OSCAAR:7日後のグランドシャイン被ばく線量から, 距離別・方位別の最大値を抽出し, 168時間で除した値。
 - ・ R-Cubic :7日後のグランドシャイン実効線量から距離別の最大値を抽出し, 168時間で除した値。



- 上記2つの評価結果について,
 - ・ 「距離 対 評価値」のグラフによる比較
 - ・ 平面的な広がり方の比較を行う。
- 比較結果について, コード間で一致した点, 生じた差異とその要因について考察する。

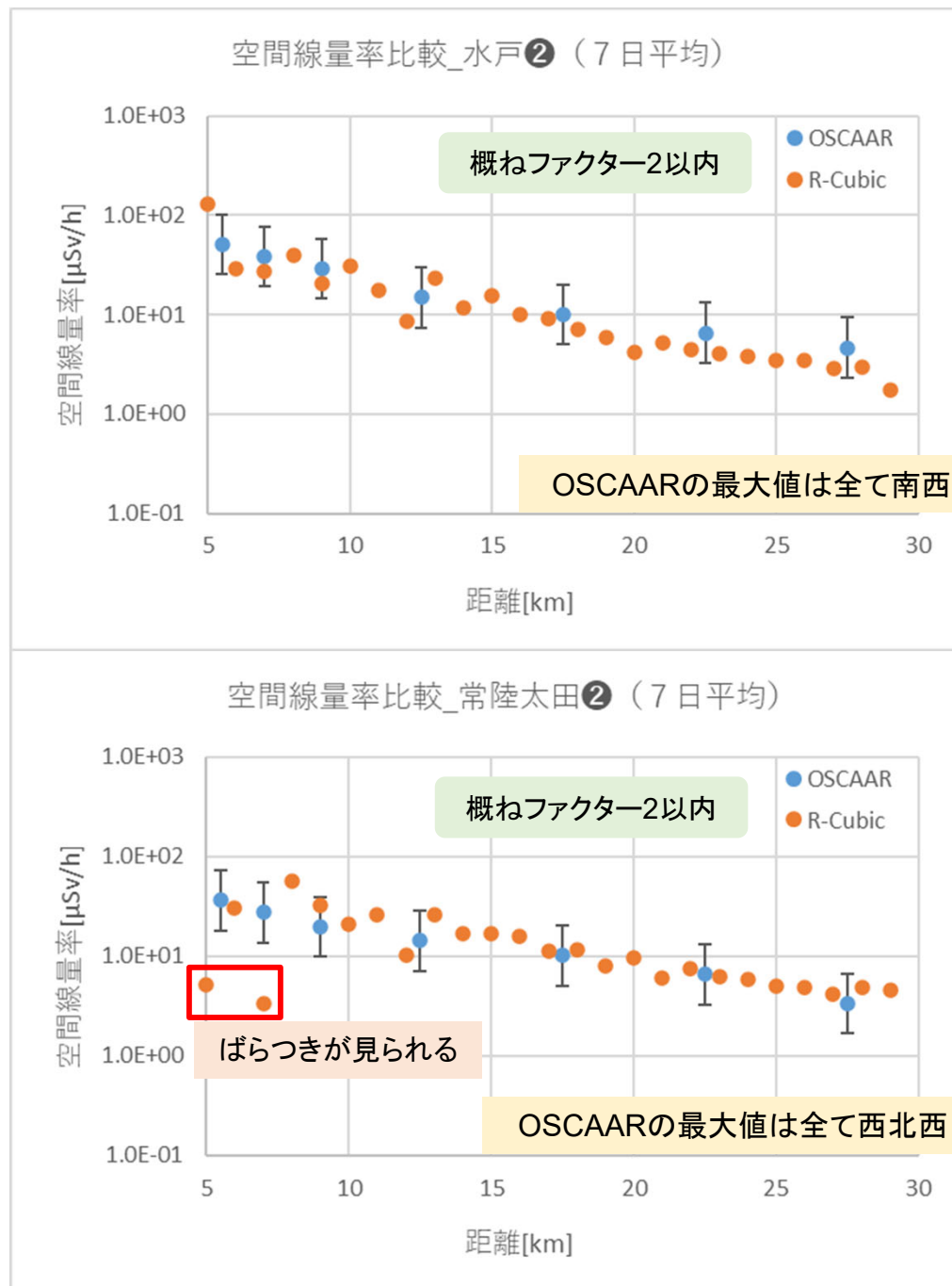
2. (1) 決定論的評価での比較結果



＜地表沈着量の距離別最大値＞

- OSCAAR: 24時間のCs-137沈着量から、距離別・方位別の最大値を抽出。
 - R-Cubic : 24時間後のCs-137地表沈着濃度から距離別の最大値を抽出。
- ▽
- OSCAARの評価結果に対しファクター2 (計算値×2, 計算値×1/2)の幅をグラフ中に示した。
 - 地表沈着濃度の計算は、常陸太田②のR-Cubicでは、15km以内の値にばらつきがみられるが、それ以外の値は概ねファクター2の幅に含まれており、過去のコード間ベンチマークの結果からもコード間の一般的な変動幅の範囲内であると言える。
 - R-Cubicの値のばらつきは、正方メッシュの中心点を評価点としていることから、メッシュ間をパフが通過したことにより生じたと考えられる。(後述)

2. (1) 決定論的評価での比較結果

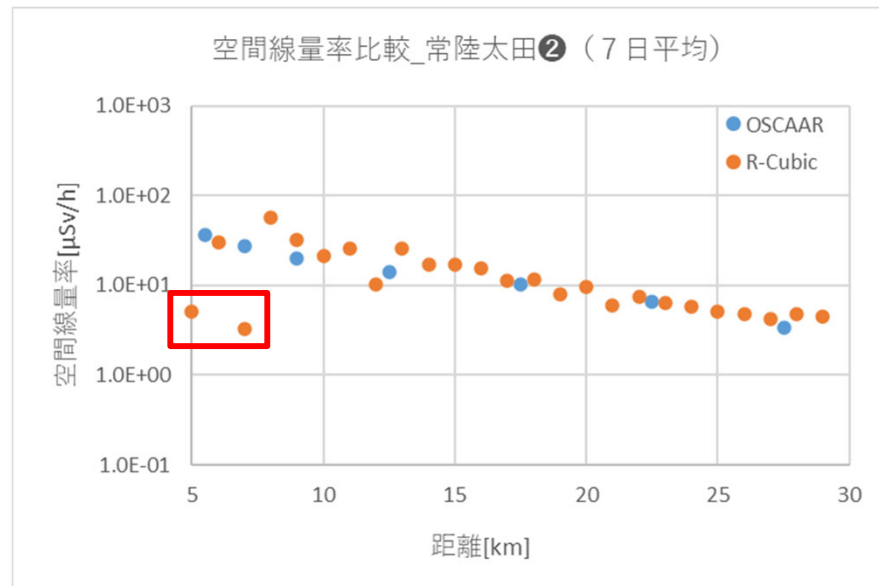


＜空間線量率の距離別最大値＞

- OSCAAR: 7日後のグランドシャイン被ばく線量から、距離別・方位別の最大値を抽出し168時間で除した値。
 - R-Cubic : 7日後のグランドシャイン実効線量から、距離別最大値を抽出し168時間で除した値。
- ▽
- OSCAARの評価結果に対しファクター2 (計算値×2, 計算値×1/2)の幅をグラフ中に示した。
 - 常陸太田②のR-Cubicは、約15km以内の値にばらつきがみられるが、それ以外の値は概ねファクター2の幅に含まれている。
 - R-Cubicの空間線量率の計算(Cs-137以外の核種を含む影響, 換算係数等)は、過去のコード間ベンチマークの結果からもコード間の一般的な変動幅の範囲内であると言える。

2. (1) 決定論的評価での比較結果

常陸太田方面②



<空間線量率の距離別最大値のばらつき>

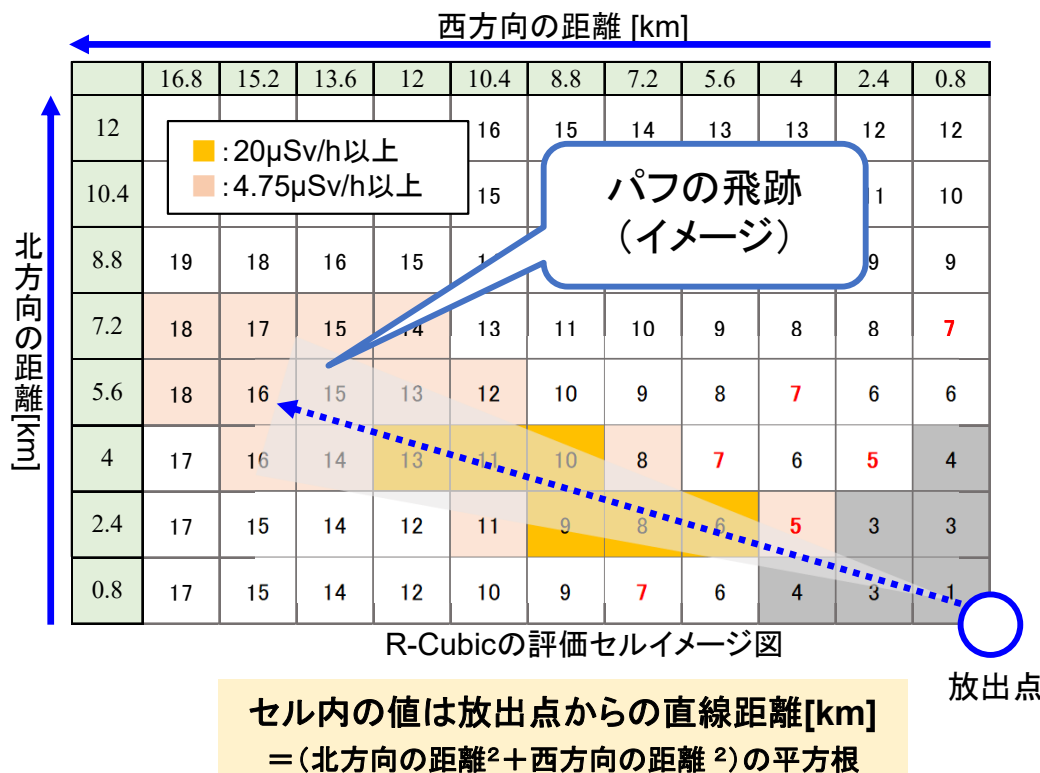
- R-Cubicの結果では、放出点に近い範囲(約15 km以内)でばらつきが見られる。
- 5km, 7kmの値が、6km, 8kmの値と比較し、またOSCAARと比較して低くなっている。



- R-Cubicの評価は、左下図のような2次元の配列に、セル中心の評価値が出力される。
- OSCAARとの比較に当たり、放出点から評価セル中心までの距離を1km単位で整理し、各距離の地表沈着濃度・空間線量率の最大値を抽出した。

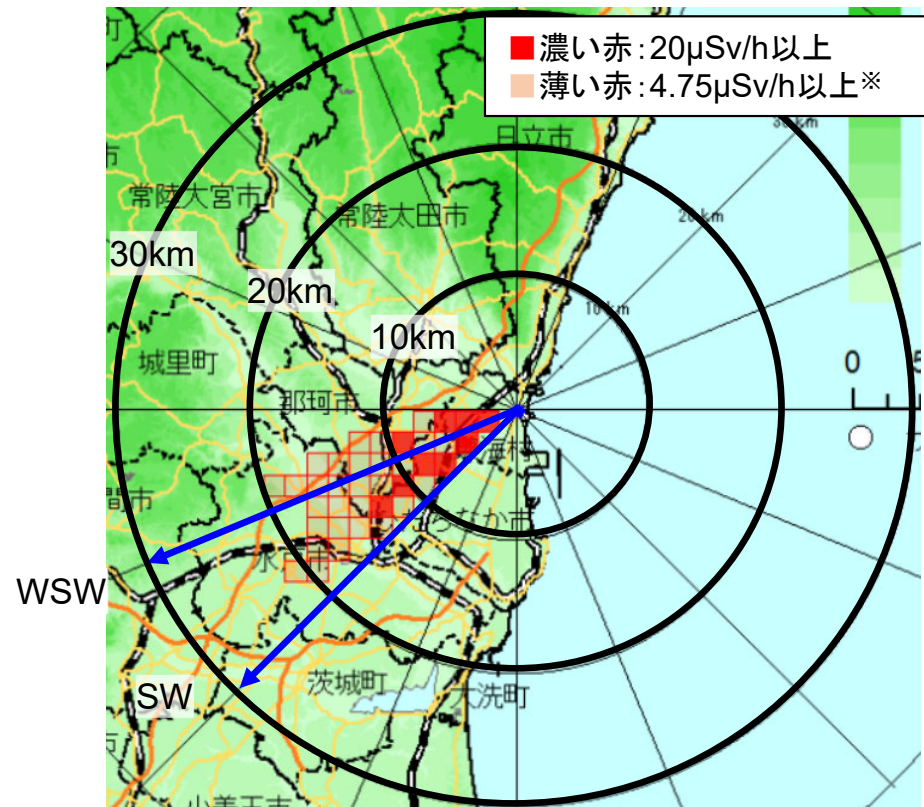
- 放出点に近いほど、同一距離の評価メッシュは少なくなり、今回設定した気象条件②のように、風向が一定である場合、ある距離のセル中心付近をパフ中心付近が通過しない場合がある。

- 常陸太田方面②の気象においては、5km, 7kmのセルの間をパフが通過したことにより、6km, 8kmのセルに対し低い値となった。



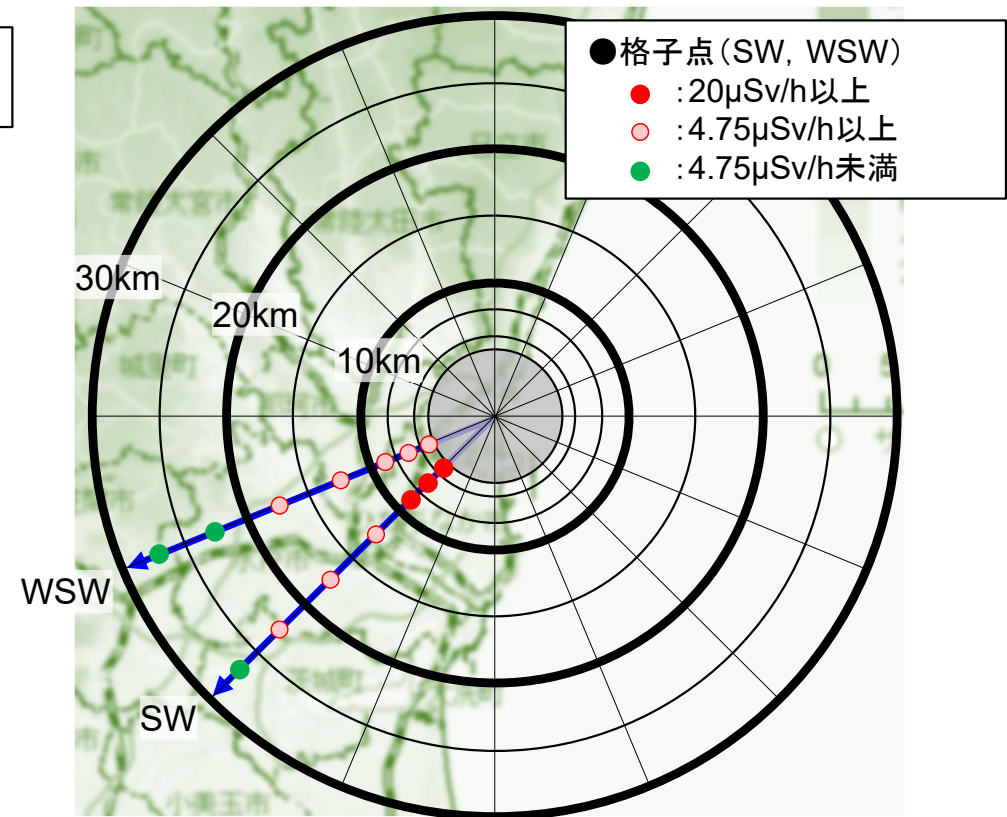
■ 空間線量率(グランドシャイン7日間平均値)の拡がりの比較

R-Cubicの評価結果



OSCAARの評価結果

※JAEA殿より受領した結果を基に当社で作成



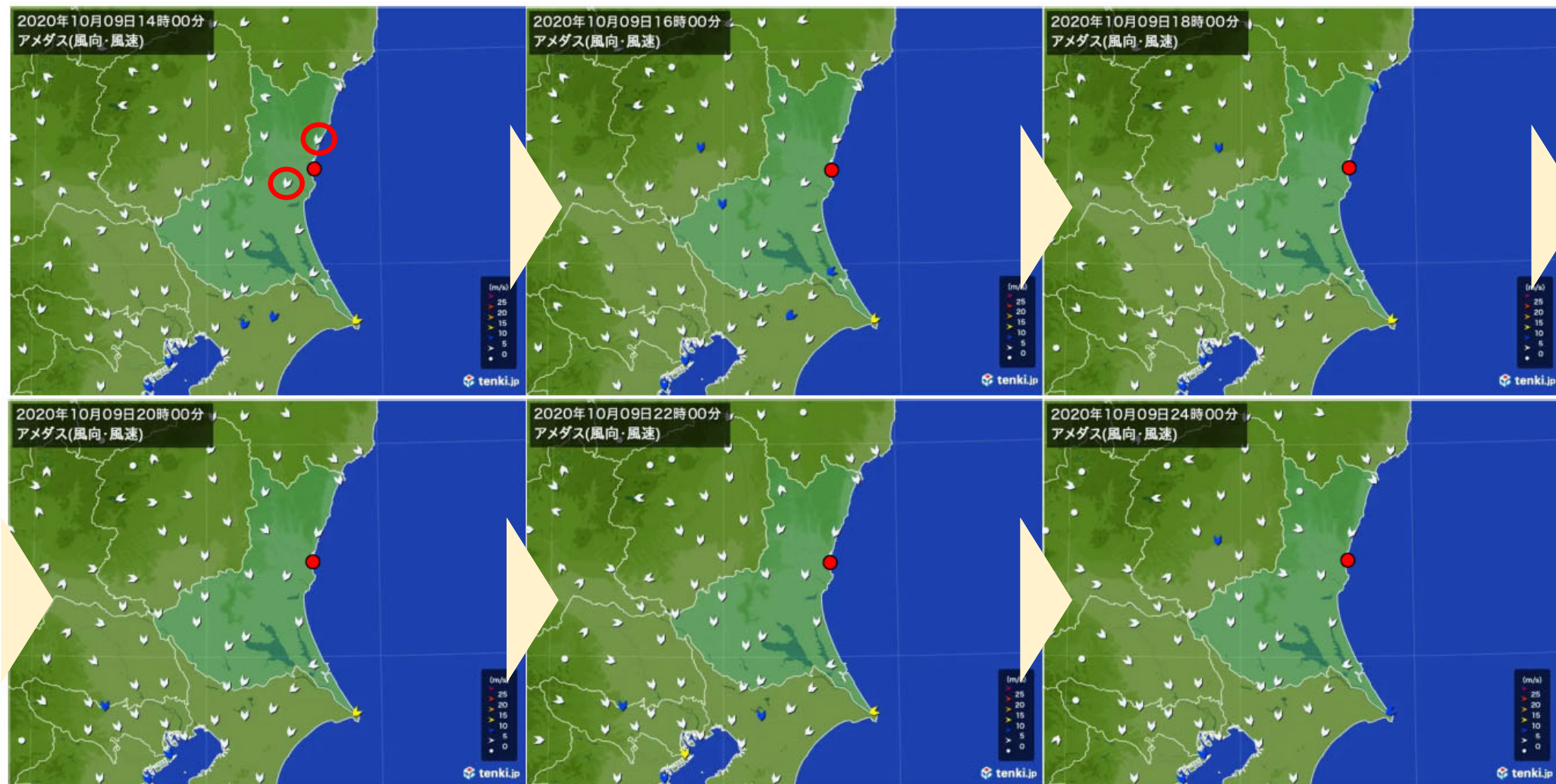
※(参考)茨城県に提出した報告書のOIL範囲と概ね同じ範囲となる値を設定

- R-CubicとOSCAARの結果は良く一致した

- 4.75μSv/hとなる範囲は南西・西南西の方向であり、南西方向では概ね20~25km、西南西方向では概ね20km付近までとなる
- 20μSv/hとなる範囲は、概ね10km付近までとなる

【参考】広域の風向・風速データ

放出点から30km圏内のアメダスの風向風速の変化を確認したところ、概ね北東から南西方向へ吹く風となっており、気象条件の取り扱いの差異による影響は小さいと予想。



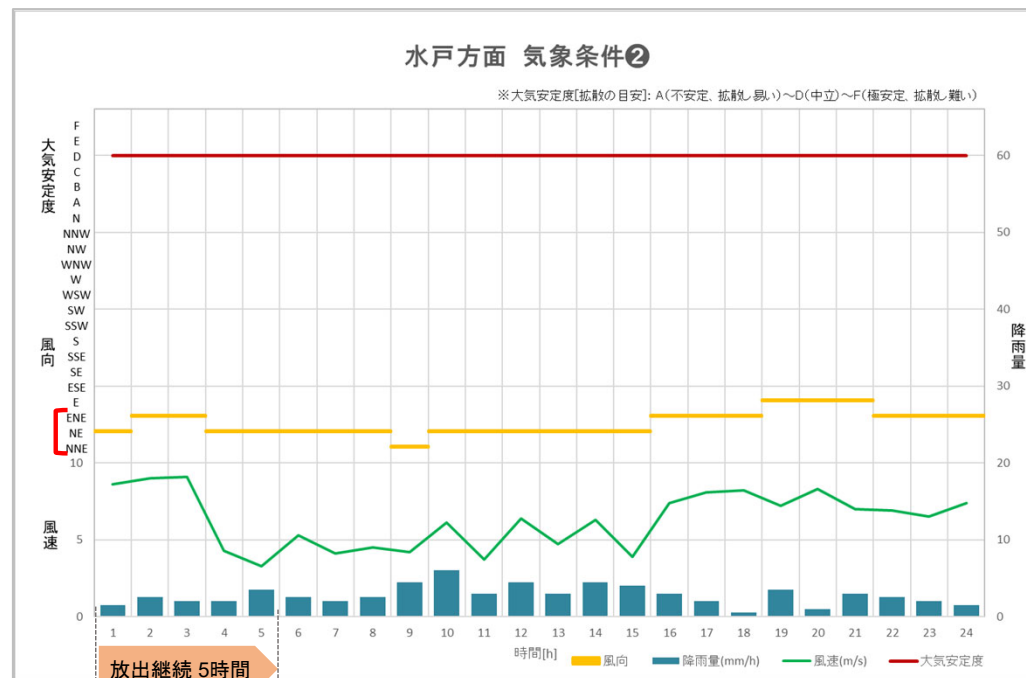
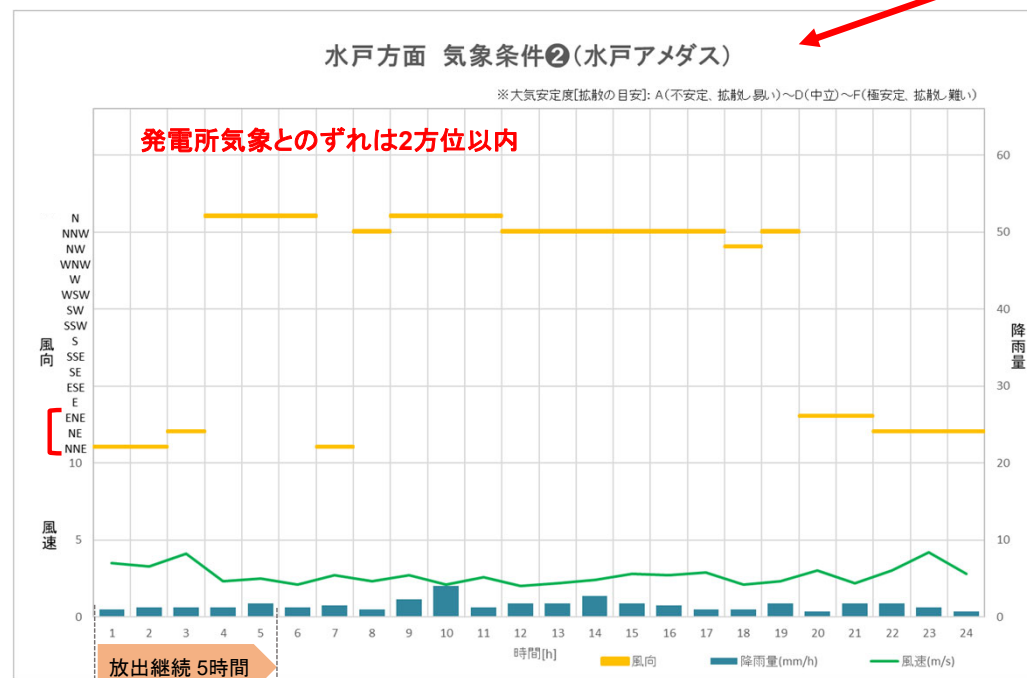
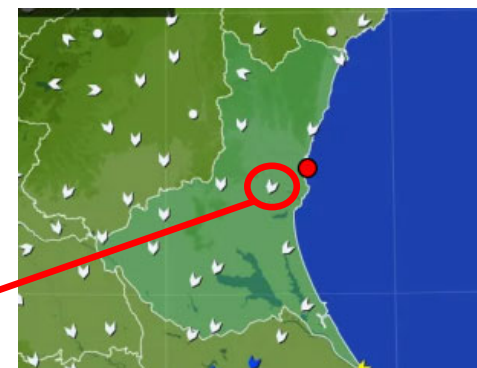
【参考】広域の風向・風速データ

30km圏内で概ね北東から南西方向へ吹く風となっており、気象条件の取り扱いの差異による影響は小さいと予想

→ 風下方面のアメダスの放出から24時間の時系列変化を確認した。

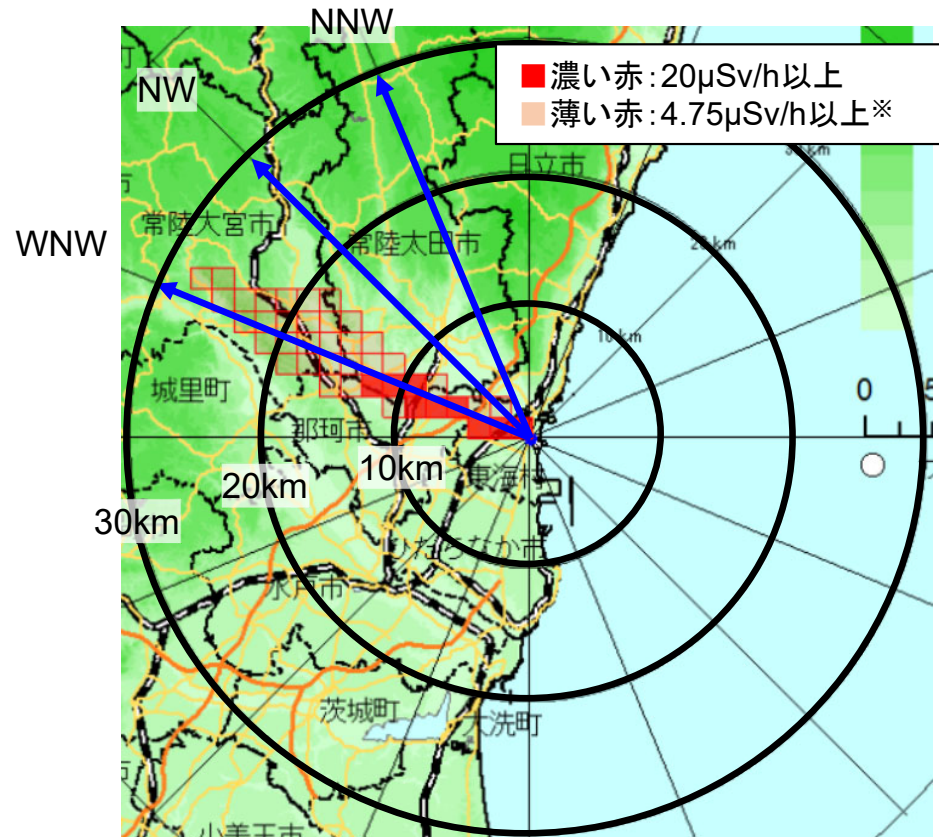
- 水戸方面②：2020年10月9日 14時
- 風下方位：北北東, 北東, 東北東
- アメダスの位置：南西約16km
- 風向のずれ
 - ・ 放出中：2方位以内
 - ・ 放出後10時間まで：3方位以内

広域気象場の取扱いによる影響の差が大きなく、
拡散評価の結果が比較的一致したと考えられる。



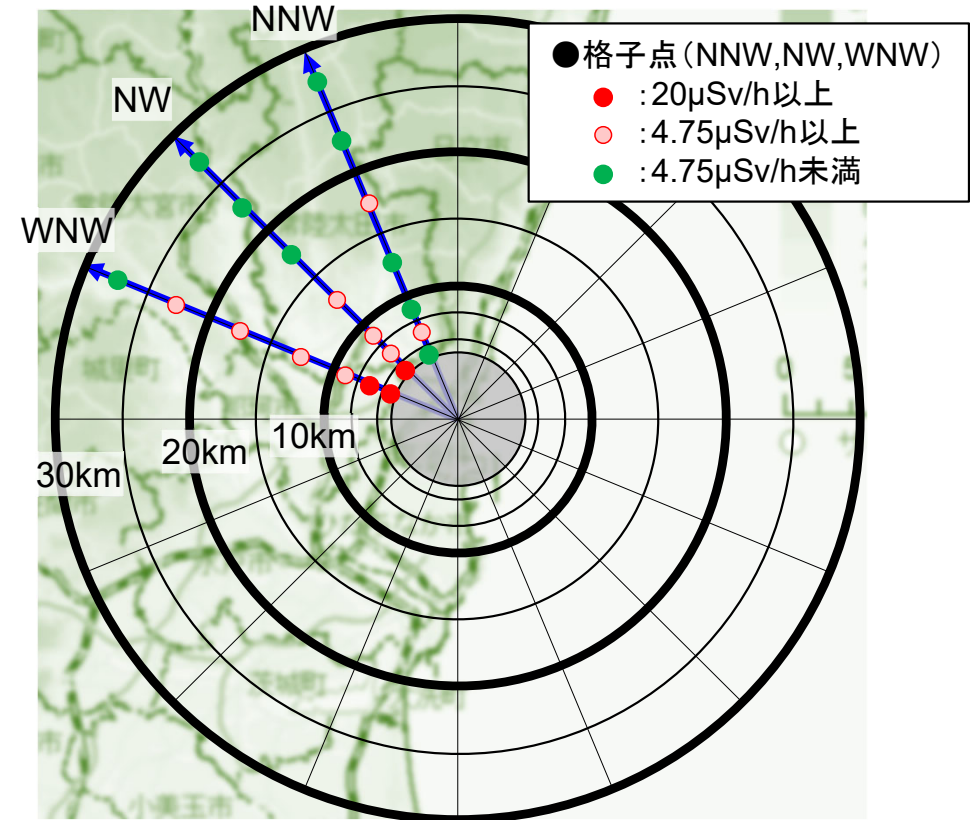
■ 空間線量率(グランドシャイン7日間平均値)の拡がりの比較

R-Cubicの評価結果



OSCAARの評価結果

※JAEA殿より受領した結果を基に当社で作成



※(参考)茨城県に提出した報告書のOIL範囲と概ね同じ範囲となる値を設定

- OSCAARでは北西(NW)方向にも4.75μSv/h以上の地点があり, R-Cubicよりも広角となっている。一方, 西北西(WNW)方向に着目すると, R-Cubicの方が遠方となっている。
- コード間の差異要因について, OSCAARでは10km以遠では広域の気象データを入力していること, 本ケースでは放出開始時点において発電所の北側で北～北東に向かう風向となっていたことが考えられる。
→R-Cubicで感度解析を行い, 本ケースの差異が気象条件の取扱いの違いによるものかを確認した。

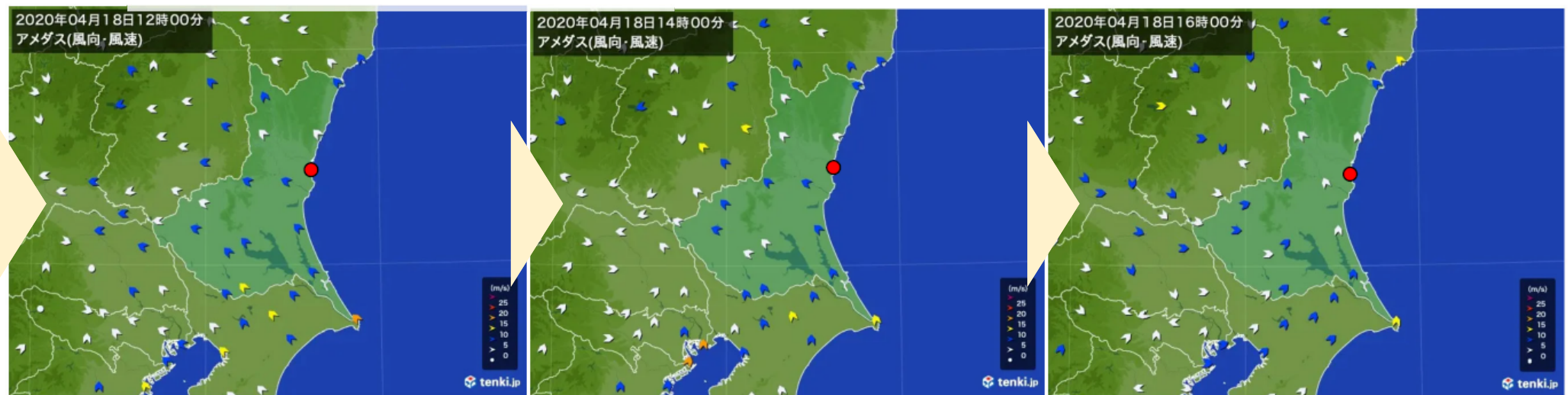
【参考】広域の風向・風速データ

放出点から30km圏内のアメダスの風向風速の変化を確認したところ、概ね南東から北西方向へ吹く風となっているが、放出開始時点において日立方面で北東に向かう風の時間帯がある。

→ 放出中における広域気象場の違いが、拡散状況の差につながったと予想。



北向きの風(放出開始から2時間)



2. (1) 決定論的評価での比較結果

常陸太田方面②

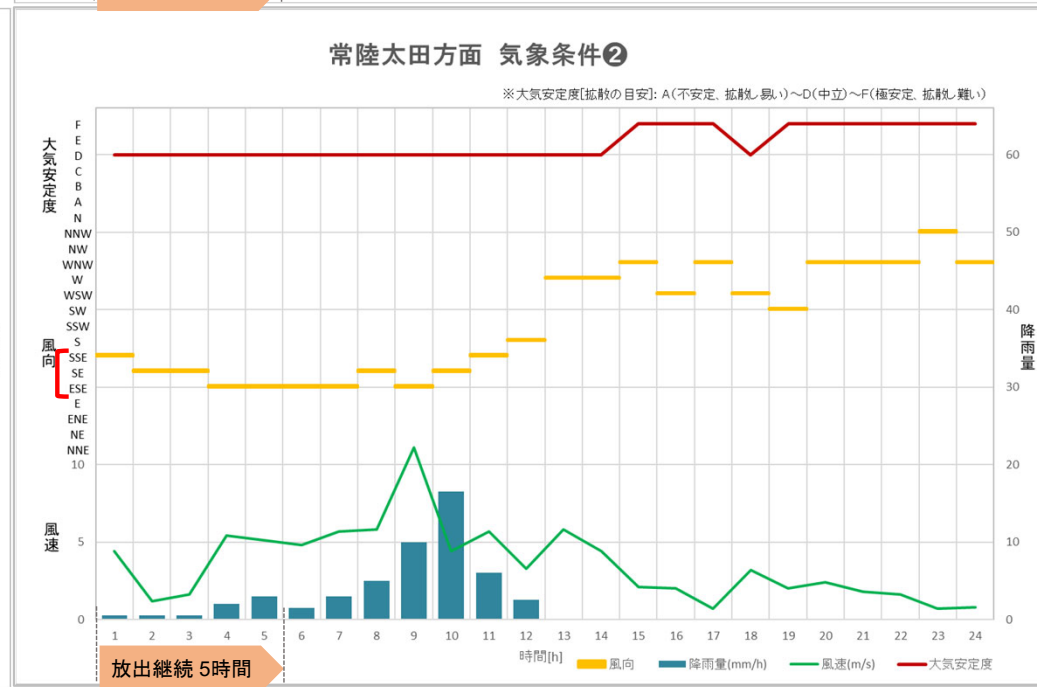
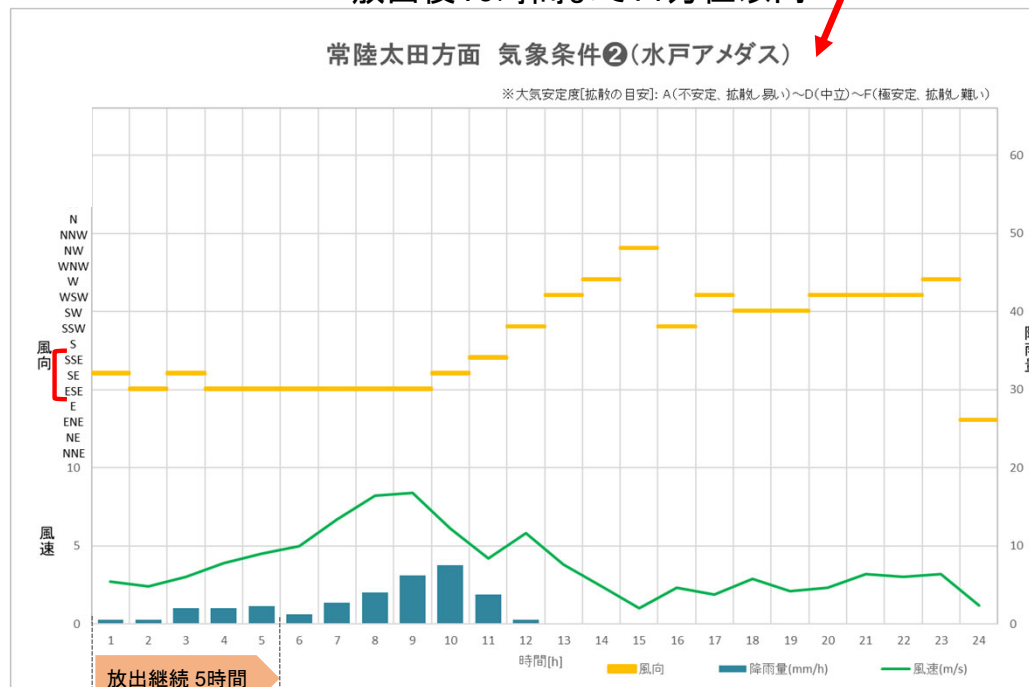
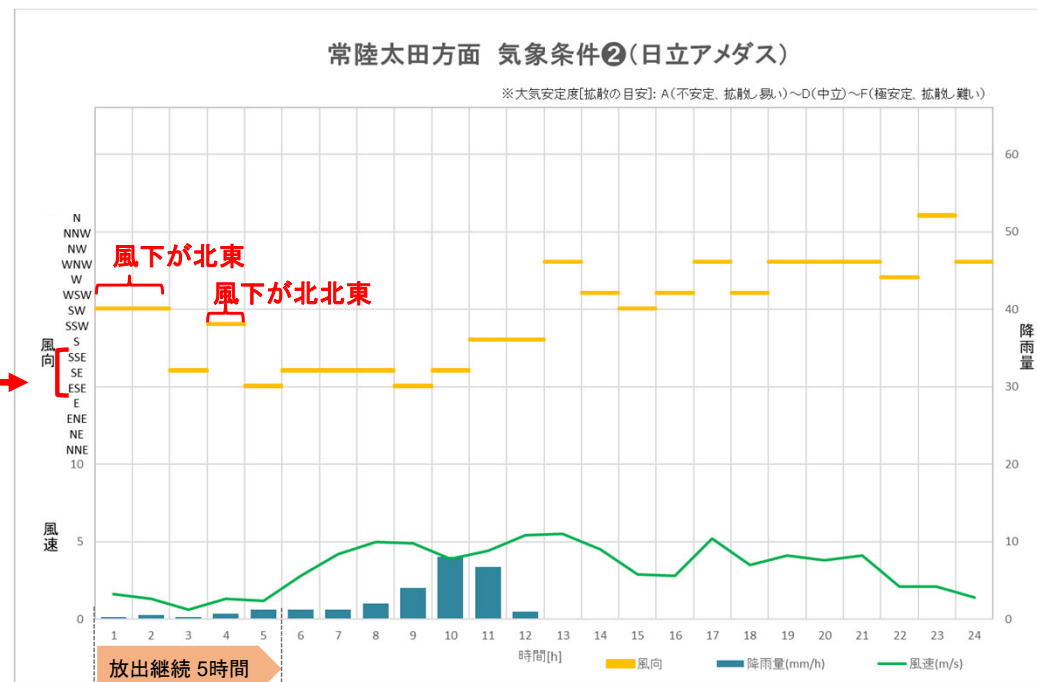
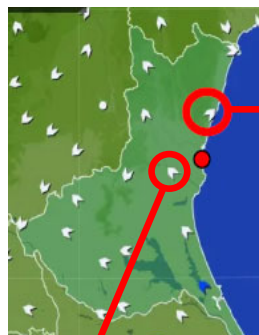


【参考】広域の風向・風速データ

放出中における広域気象場の違いが、拡散状況の差につながったと予想。

→ 近傍のアメダスの放出から24時間の時系列変化を確認した。

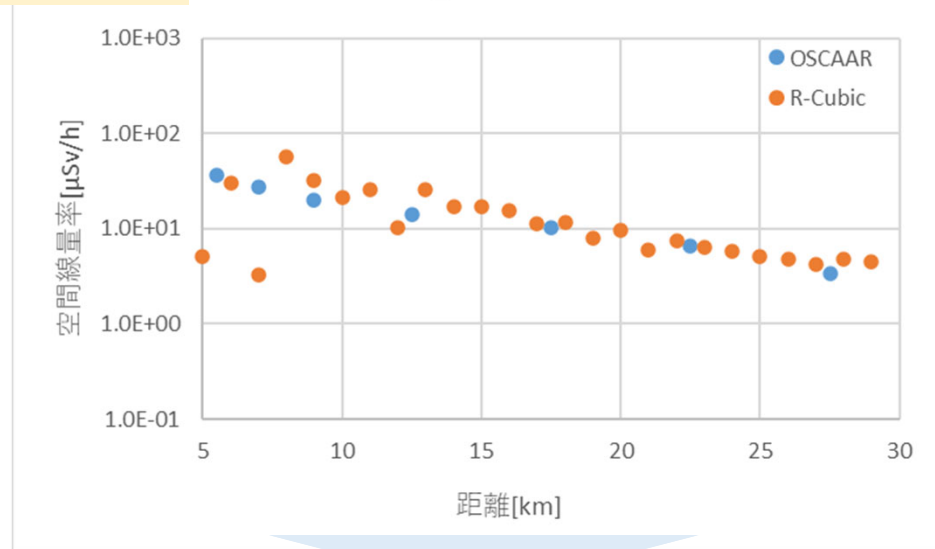
- 常陸太田方面②：2020年4月18日 6時
- 対象風向：南南東，南東，東南東
- アメダスの位置
 - ・ 日立：東北東 約13km
 - ・ 水戸：南西 約16km
- 風向のずれ
 - ・ 日立：放出中：最大4方位
放出後：3方位以内
 - ・ 水戸：放出中：最大1方位
放出後10時間まで：1方位以内



【感度解析】R-Cubic評価について、初期2時間の風向を仮想的に北北西(風下)として感度解析を実施した

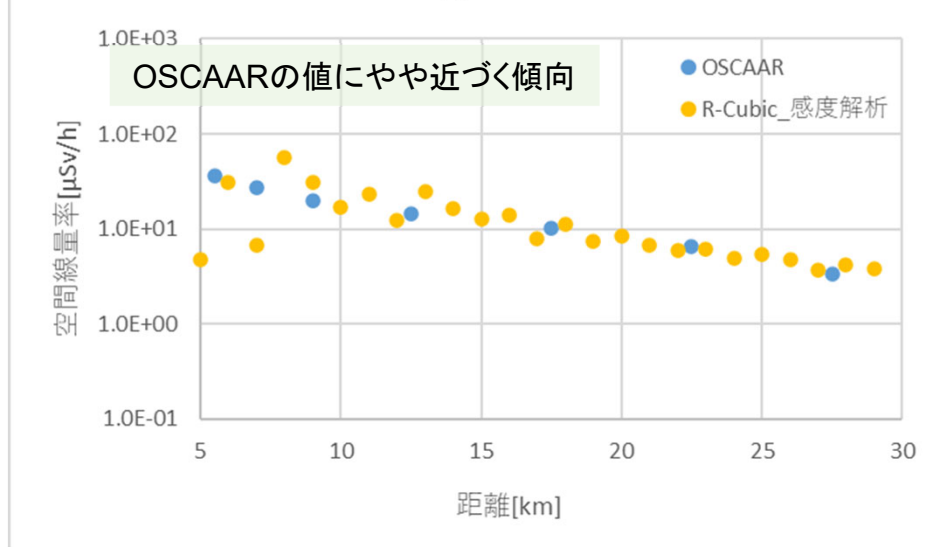
気象条件②

空間線量率比較_常陸太田②(7日平均)



感度解析結果

空間線量率比較_常陸太田②(7日平均)



<空間線量率の距離別最大値(感度解析)>

- 感度解析の結果は、気象条件②のグラフに比べ、OSCAARの値にやや近づく傾向となった。



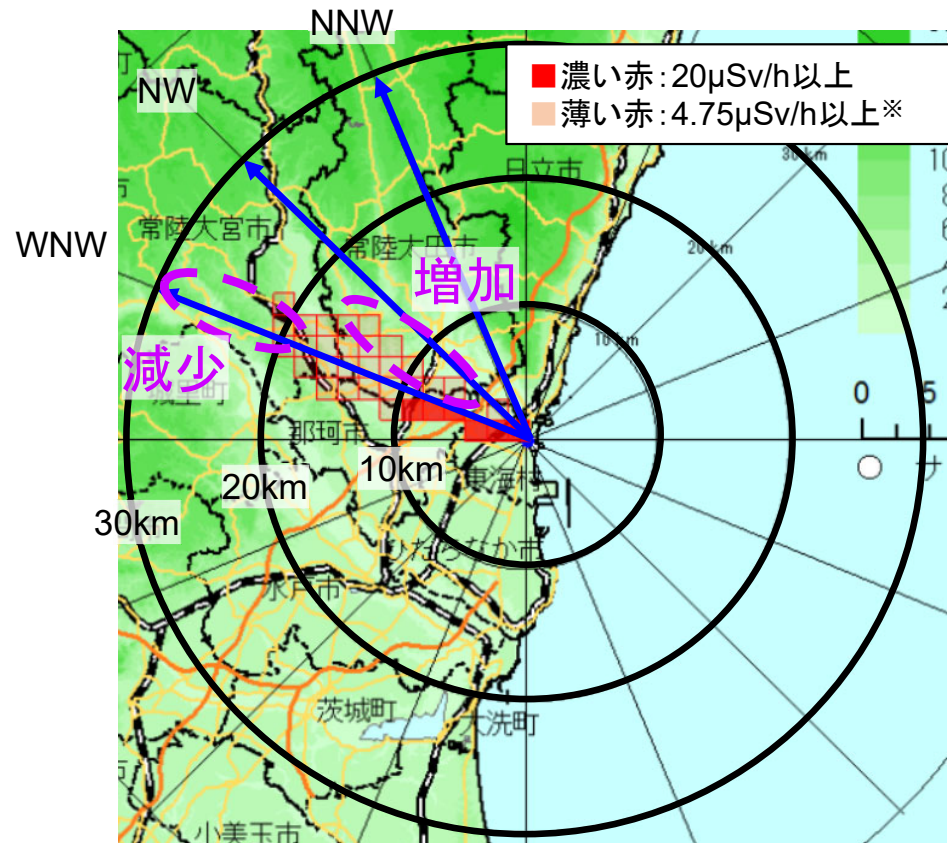
- 放出直後におけるパフの移動経路が増え、沈着量が増加したためと考えられる。
- 平面的な広がり傾向は、広域の気象場が比較的一致していたと考えられる水戸方面では、よく一致していた。



- これらのことから、2つのコードの評価結果に表れる差は、気象データの取扱いの影響が支配的と考えられる。

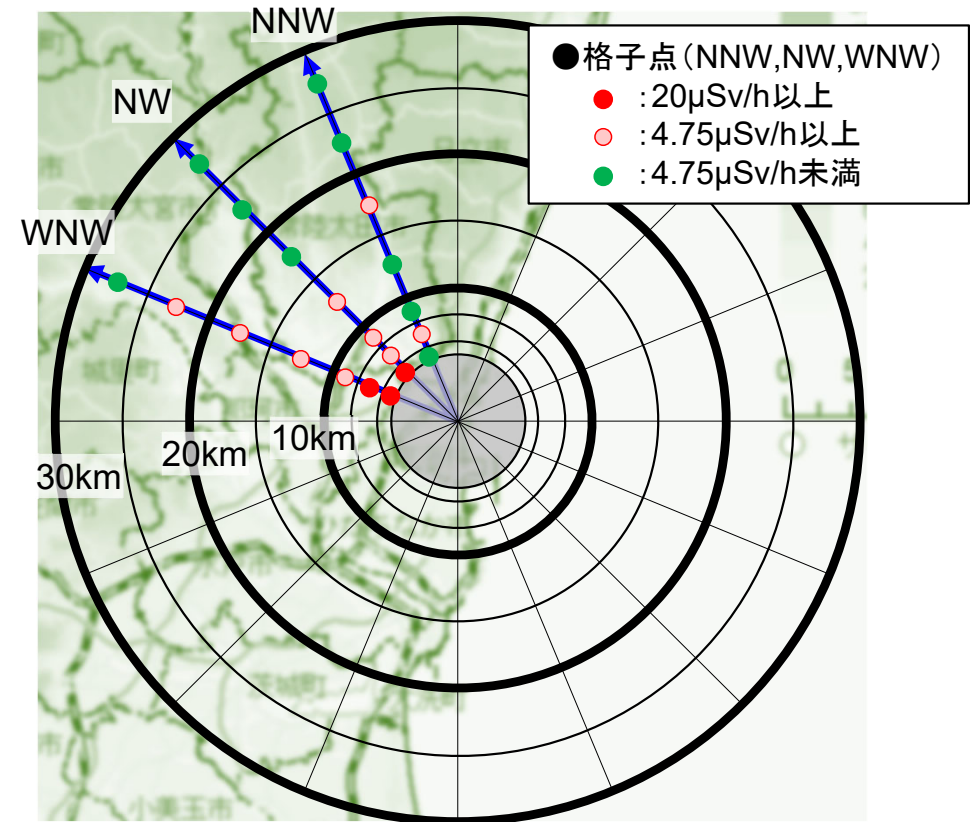
【感度解析】R-Cubic評価について、初期2時間の風向を仮想的に北北西(風下)として感度解析を実施した

R-Cubicの評価結果



OSCAARの評価結果

※JAEA殿より受領した結果を基に当社で作成



※茨城県に提出した報告書のOIL範囲と概ね同じ範囲となる値を設定

- 感度解析の結果、西北西(WNW)の距離が短くなる一方、北西(NW)方面への広がりが増加し、OSCAARの解析結果に近づく方向となった
- R-CubicとOSCAARの差異については、気象データの取扱いの違いが支配的な要因と考える。
- 気象条件による変動幅は、2023年度の検証委員会で仮想的な気象データを用いた検討を実施済み。

1. OSCAARの評価モデル
2. R-CubicとOSCAARの比較結果
 - (1) 決定論的評価での比較結果
 - (2) 確率論的評価での比較結果
3. 比較結果の考察
4. まとめ

2. (3) 確率論的評価での比較結果

- R-CubicおよびOSCAARによる確率論的評価は、以下に示す条件及び結果の整理方法により、空間線量率の95%値の比較を実施した。なお、95%値はOSCAARで採用されている指標である。

<評価条件>

- 気象条件を除き、決定論的評価と同様の条件で実施。

	R-Cubic	OSCAAR	備考
ソースターム	Cs-137 100TBq相当※1 全て粒子状よう素として取り扱い※2	←	※1JAEA殿が過去に実施したコード間比較の計算条件 ※2 R-Cubicでは有機よう素の沈着を考慮していない
放出継続時間	5時間	←	JAEA殿が過去に実施したコード間比較の計算条件
放出高さ	放出高さ0m(EL+8m)	←	茨城県に提出した評価に用いた放出高さを使用
気象条件	【確率論的評価】 2020年中から60ケースを ランダムサンプリング	【確率論的評価】 2020年中から500ケースを ランダムサンプリング	

<評価結果の整理>

- 空間線量率：ランドシャインによる空間線量率の7日間平均値
 - OSCAAR：7日後のランドシャイン被ばく線量から、距離別・方位別の最大値を抽出し、168時間で除した値。
 - R-Cubic：24時間後の空気カーマ率（空間線量率）から距離別最大値を抽出。

なお、R-Cubicの空気カーマ率の出力機能は、クラウドシャイン・ランドシャインの区別が無いことから、希ガスブルームの影響が残留している場合、ブルーム通過後のステップで評価した。
 - OSCAAR, R-Cubicともに対数正規分布を仮定し、95%値を算出。

2. (3) 確率論的評価での比較結果

【参考】R-Cubicの評価に使用した気象データの代表性について整理した

- 複数の決定論的評価は、東海第二発電所の2020年の年間の気象データからランダムに、統計的な傾向が推定できる程度の数として60ケースをサンプリングし、抽出された日時を放出開始日時とした7日間分の観測データによりR-Cubicにて評価を実施している。

気象条件の抽出結果

抽出した気象データ(60ケース)の傾向と、2020年度の年間の統計を比較し、大きな乖離がないことを確認した。

昼夜別	サンプル割合[%]	大気安定度	サンプル割合[%]	2020年度 [%]
昼間	40	安定型	30	35
夜間	60	不安定型	32	28

降雨	サンプル割合	2020年度 [時間]
なし	57	8137
あり	3*	623

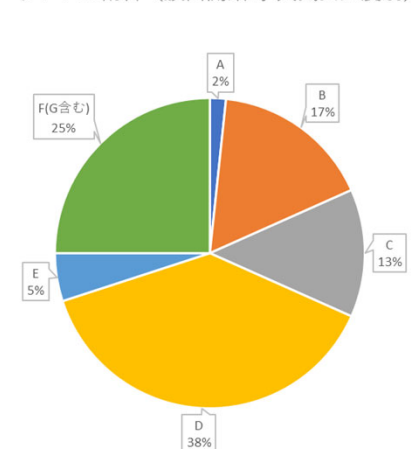
5%

約 7.1%

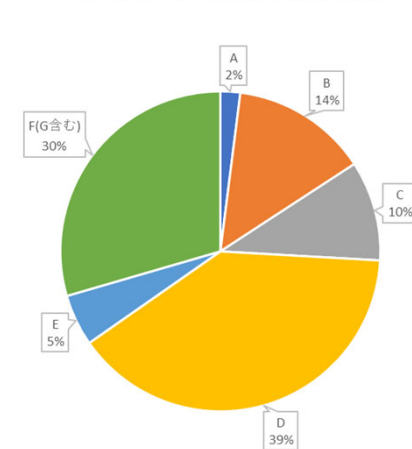
*放出時点において降雨があったケース。なお、放出後24時間以内に降雨があったのは17ケース(計83時間)

風向方面 陸側3方位毎	サンプル割合[%]	2020年度 [%]
日立	10	8
常陸太田	8	11
那珂	13	17
水戸	27	30
大洗	12	10

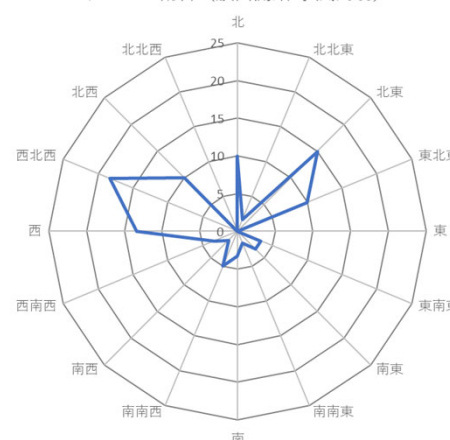
サンプル割合 (放出開始時 大気安定度別)



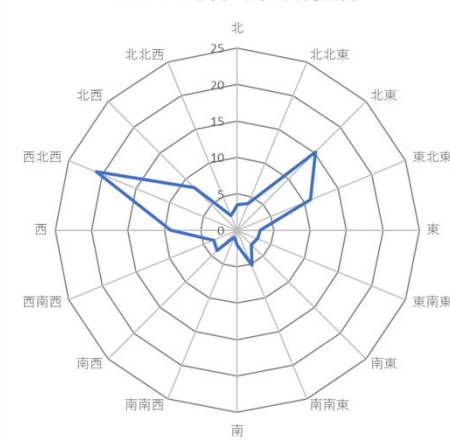
2020年度 大気安定度出現頻度



サンプル割合 (放出開始時 風向別)

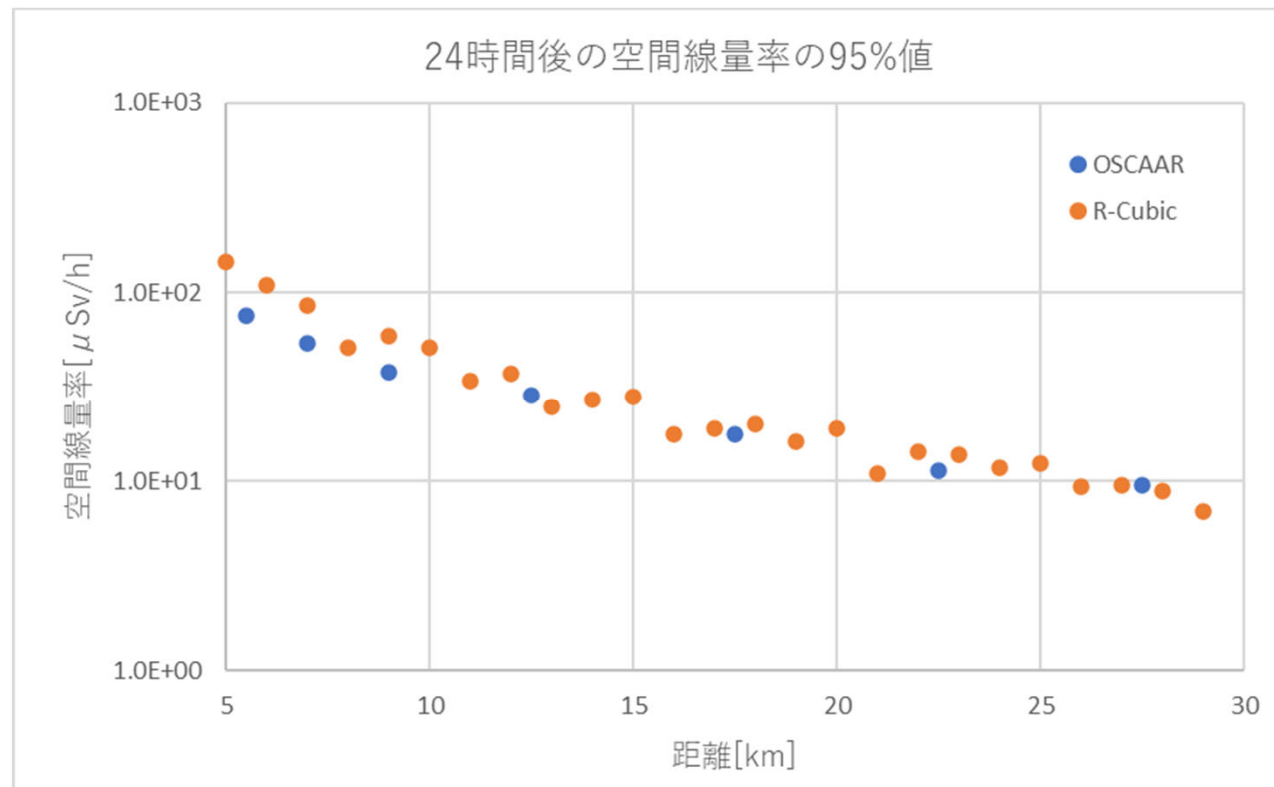


2020年度 風向出現頻度



抽出した60ケースは、年間の統計と比較し大きな乖離は無い。

2. (3) 確率論的評価での比較結果



<空間線量率の距離別95%値>

- OSCAAR: 7日後のグランドシャイン被ばく線量から、距離別・方位別の最大値を抽出し、168時間で除した値。
- R-Cubic : 24時間後の空気カーマ率(空間線量率)から距離別最大値を抽出。



- 10km以内では、OSCAARよりR-Cubicの値が高い傾向が確認できるものの、2つのコードでおおむね同程度の空間線量率で推移している。
- 得られた結果について、算出の過程に応じた分析により妥当性を評価する。

2. (3) 確率論的評価での比較結果

- 空間線量率の95%値の算出の過程と、分析項目は以下の通り。

OSCAAR

距離ごとの50%値と95%値から対数正規分布を仮定し、
平均値、標準偏差を算出

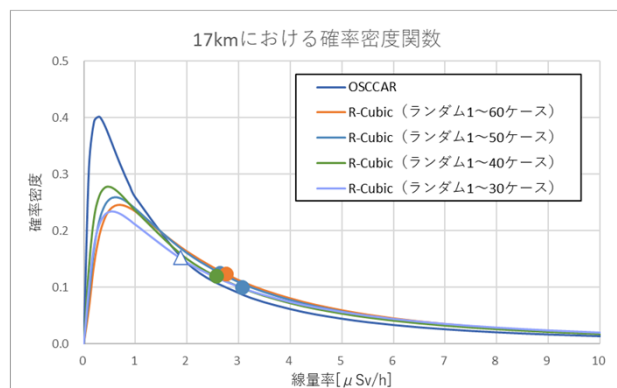
R-Cubic

距離ごとの空間線量率の最大値から、対数正規分布を仮定し、
平均値、標準偏差を算出

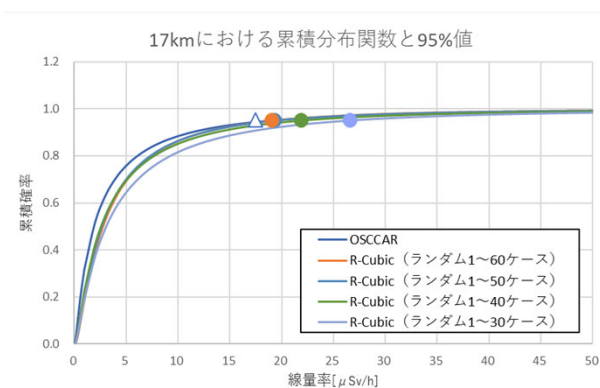
累積確率分布グラフを作成

累積確率分布グラフを作成し、95%値を算出

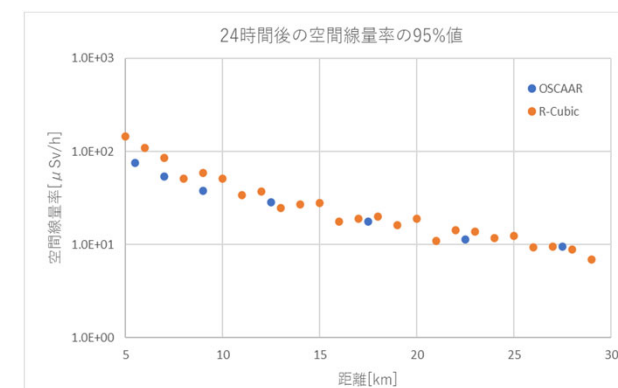
累積確率分布グラフから得られた距離ごとの95%値をグラフから比較



- ① 確率密度関数から平均値、
標準偏差の相違を確認



- ② 累積分布関数からサンプル数
による95%値の相違を確認

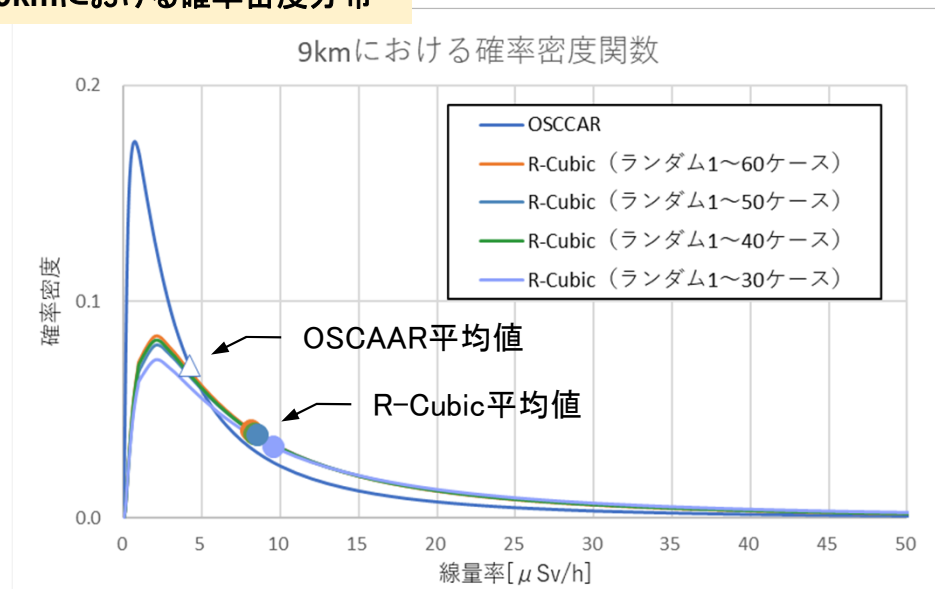


- ③ 95%値の比較において、
コード間の差異を考慮した
信頼性を確認

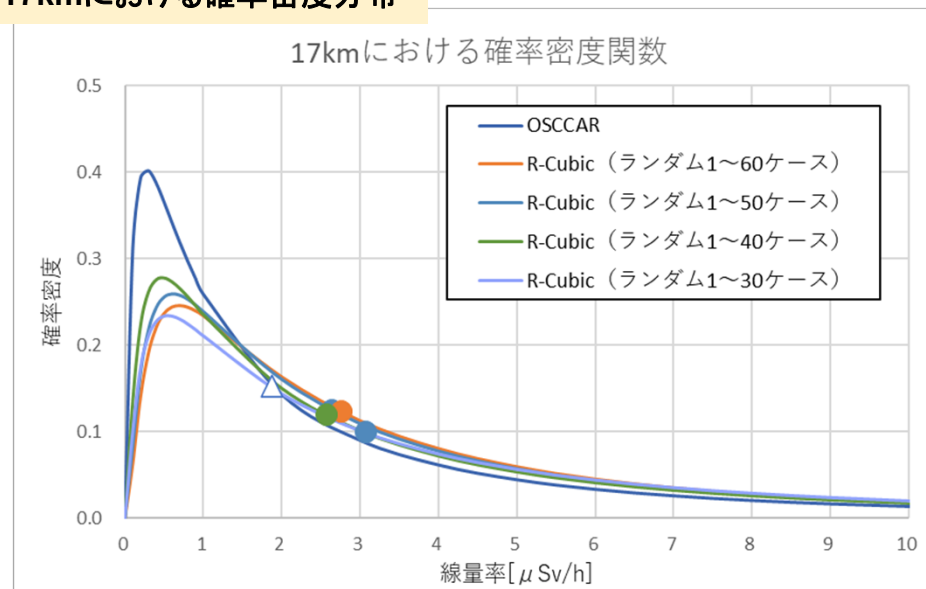
2. (3) 確率論的評価での比較結果

【比較①】OSCAAR, R-Cubic評価の平均値, 標準偏差ついて, 確率密度関数から比較を実施した

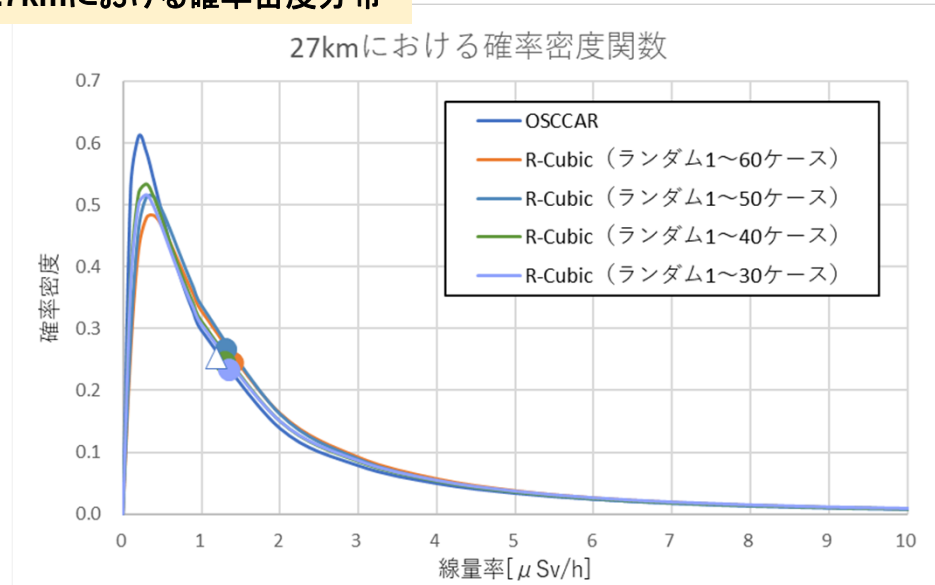
9kmにおける確率密度分布



17kmにおける確率密度分布



27kmにおける確率密度分布



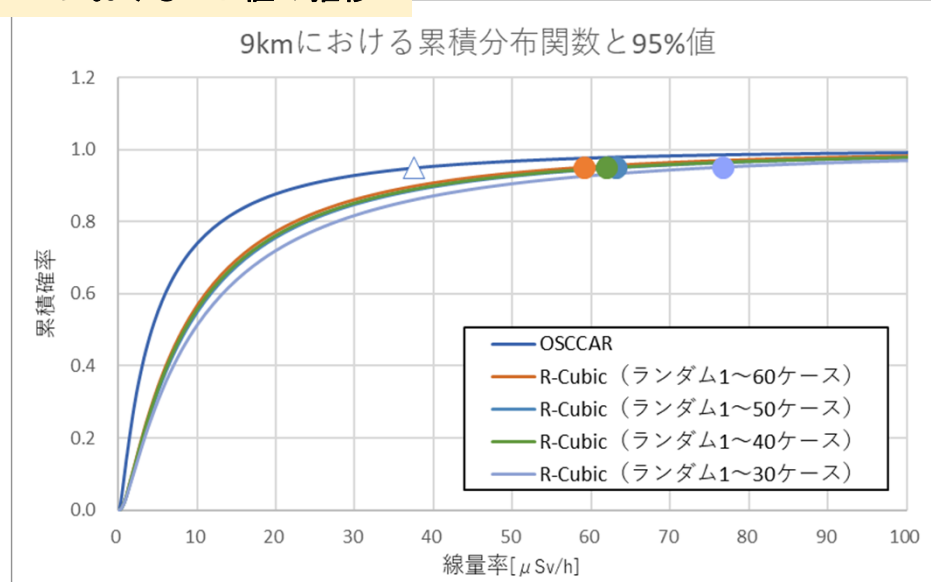
<平均値, 標準偏差>

- OSCAAR, R-Cubicの計算結果における平均値, 標準偏差から対数正規分布の確率密度関数をグラフ化した。
- 平均値, 標準偏差はグラフ形状を決定づけるが, 各距離において, 60ケース時点にてR-Cubicのグラフ形状は概ね収束。
- 平均値が大きくなるほど, グラフのピーク高さが低くなるため, 距離に近いほどOSCAARに比べR-Cubicの方が線量率が高い傾向であるが, 平均値は概ね収束しており, サンプル数の違いによる影響ではないと考えられる。
- 標準偏差が大きくなるほど, グラフのピーク位置が左にシフトするが, ピーク位置に大きな差はなく, コード間で同等の標準偏差であると言える。

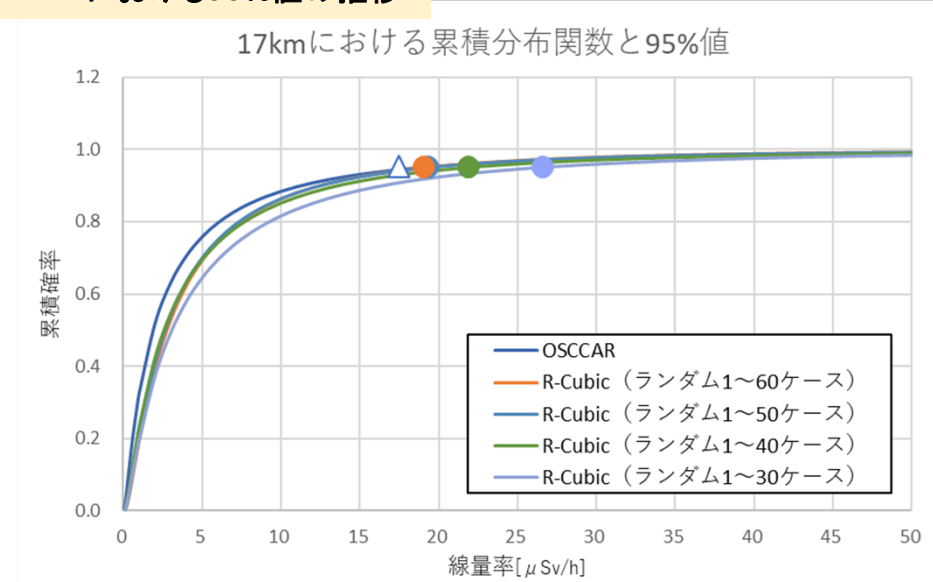
2. (3) 確率論的評価での比較結果

【比較②】OSCAAR, R-Cubic評価の95%値について、累積分布関数から比較を実施した

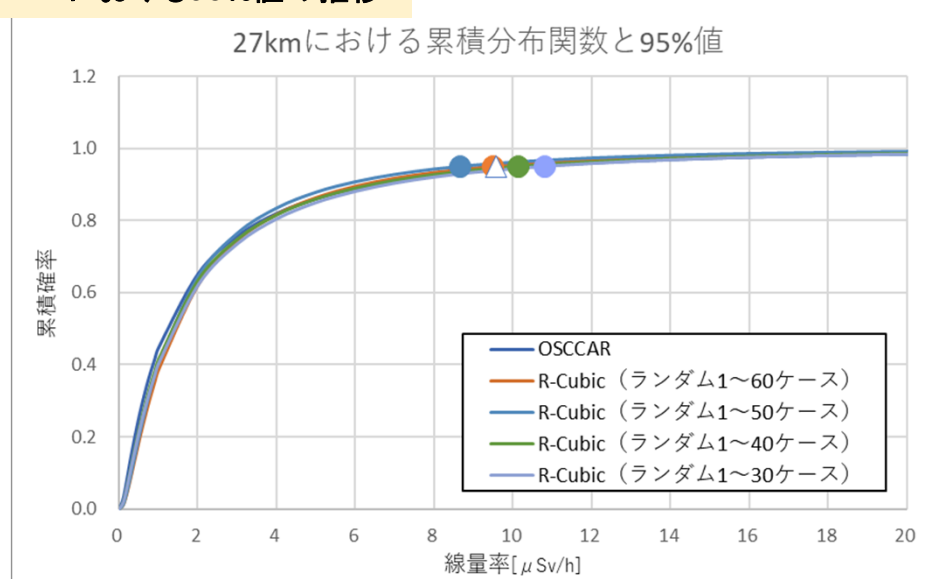
9kmにおける95%値の推移



17kmにおける95%値の推移



27kmにおける95%値の推移



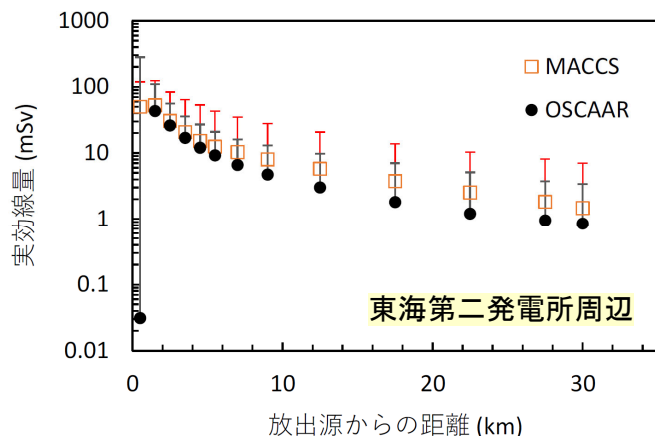
<95%値>

- OSCAAR, R-Cubicの計算結果から、対数正規分布の累積分布関数及び95%値をグラフ化した。
- 各距離において、60ケース時点にて95%値は概ね収束。
- 17及び27kmにおける感度解析の結果から、OSCAARの値付近にて概ね収束しており、コード間で同等の結果が得られた。
- 9kmではOSCAARより高い値で概ね収束しており、10km以内でR-Cubicの値が高い傾向となったのは、サンプル数の影響ではないと考えられる。

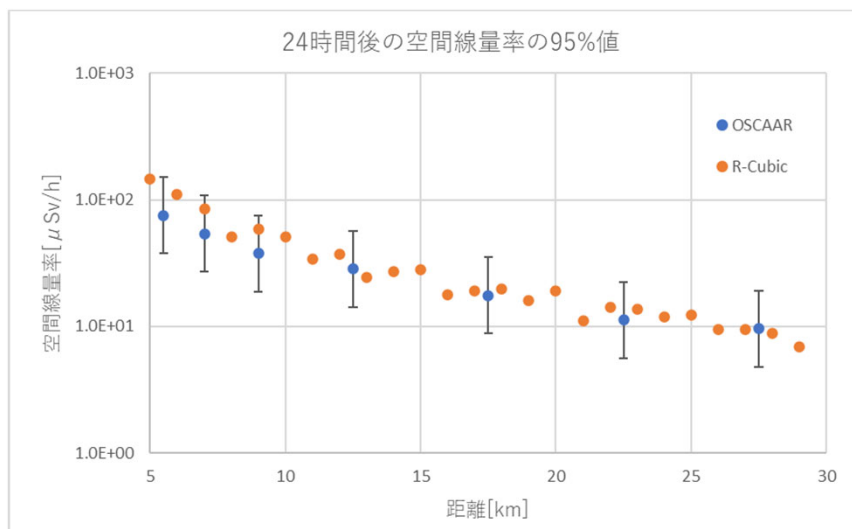
2. (3) 確率論的評価での比較結果

【比較③】OSCAAR, R-Cubic評価の95%値の差異について、ベンチマークから比較を実施した

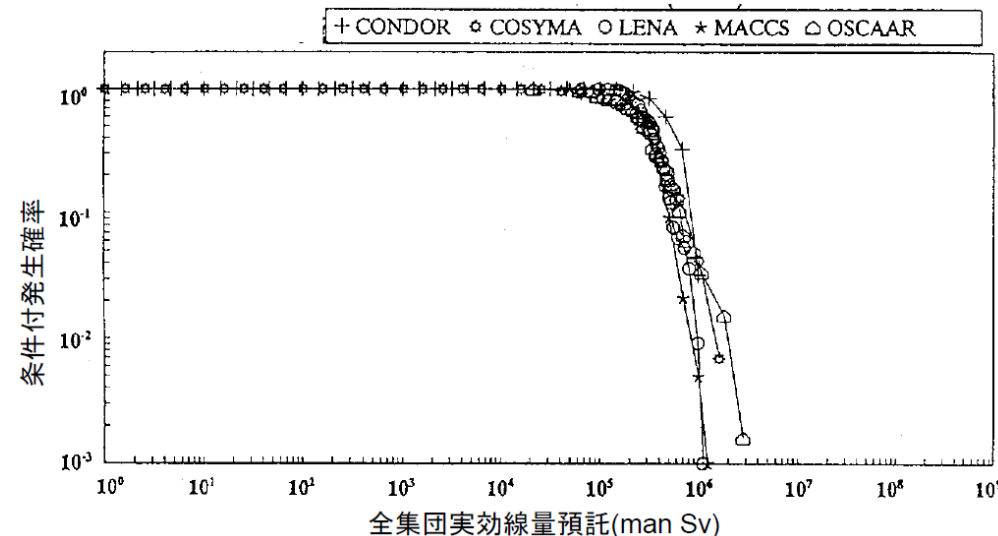
令和2年度原子力規制庁委託成果報告書 原子力施設等
防災対策等委託費(被ばく解析手法の整備)に関する研究



MACCSの方がOSCAARの場合より50%値、
95%値は高く、50%値を比較すると1.2倍から
2.3倍程度の差が確認されたことが示されている。



NEA/CEC国際比較計算(1991-1994)



コード間の評価結果の相違の程度は、一般的には
数ファクター以内であったことが示されている。

<コード間の95%値の差異>

- OSCAARの95%値に対してファクター2(計算値×2, 計算値×1/2)の幅をグラフ中に示した。
- 10kmまではR-Cubicの方が高い傾向がみられたが、R-Cubicの95%値はファクター2の幅に含まれており、過去のベンチマークの結果からもコード間の一般的な変動幅の範囲内であると言える。

1. OSCAARの評価モデル
2. R-CubicとOSCAARの比較結果
 - (1) 実施方針
 - (2) 決定論的評価での比較結果
 - (3) 確率論的評価での比較結果
3. 比較結果の考察
4. まとめ

3. 比較結果の考察

<評価結果の比較による考察>

		結果・考察	結論
決定論的評価	Cs-137地表沈着濃度 (距離別グラフ)	【水戸方面】 • R-CubicはOSCAARの結果と概ね一致。 【常陸太田方面】 • R-CubicはOSCAARの結果と概ね一致。 • 遠方までR-Cubicの地表沈着濃度が僅かに高くなる傾向。その要因として、OSCAARは発電所外での風の影響によって空間線量率の分布が広角となった影響が考えられる。	• R-Cubicの拡散評価手法、地表沈着濃度の計算は、<u>OSCAARと同等の信頼性を有する。</u>
	空間線量率 (距離別グラフ)	【水戸方面】&【常陸太田方面】 • 両コードの比較結果は地表沈着濃度と同じ傾向にある。	• R-Cubicの空間線量率の計算(Cs-137以外の核種を含む影響、換算係数等)は、<u>OSCAARと同等の信頼性を有する。</u>
	空間線量率 (MAP)	【水戸方面】 • 空間線量率の分布はよく一致する結果となった。 • 10km以遠の風向が発電所と概ね同じであり、R-CubicとOSCAARで概ね同等の気象データを用いた評価となっているものと考えられる。 【常陸太田方面】 • OSCAARの方がより広角に、R-Cubicの方がより遠方に空間線量率の高い範囲が出現する結果となった。 • 10km以遠の風向は発電所と概ね同じであるが、放出開始から2時間の間、発電所外で北方向の風向となっている影響と考えられる。(感度解析で確認)	• 常陸太田方面では僅かな気象条件の差が結果に影響を与えていることから、防護措置範囲の不確かさは主に気象条件によるものと考えられる。 • 気象条件が比較的一致していた水戸方面では概ね良く一致しており、<u>OSCAARと同等の信頼性を有する。</u>
確率論的評価	空間線量率 (距離別グラフ)	【95%値】 • 両者は良く一致している。 • 10kmまではR-Cubicの方が高い傾向がみられるが、それ以遠では概ね同程度の空間線量率となっている。ただし、過去のベンチマークの結果を踏まえると、コード間の一般的な変動幅の範囲内であると言える。	• R-Cubicの空間線量率の計算は、<u>OSCAARと同等の信頼性を有する。</u>

<計算モデルの比較による考察>

前ページの比較結果に与えた影響を、両コードのモデル上の類似点・相違点の観点から考察する。

- ：類似点, ■：相違点,
- ：結果に与えた影響

- 拡散モデルは、両コードともパフモデルの拡散式を用いている。
- 拡散式における水平・鉛直方向の拡散パラメータは参照元が異なるものの、概ね同程度の値を用いている。
- OSCAARは、サイト気象データ及びGPVデータを用いた広域気象を使用するが、R-Cubicは、サイト気象データを評価領域全体に適用する。
 - 広域の気象条件が、放出点(サイト気象)の気象条件に近い場合、比較的よく一致した結果となった。
 - 気象条件の感度解析結果より、気象データの取扱いの差が、広がり方の差として表れる。
- 評価メッシュは、R-Cubicでは正方メッシュ、OSCAARでは同心円メッシュで評価している。
 - R-Cubicは、気象条件によっては、放出点近傍(約15km以内)において結果のばらつきが大きくなる。
- 湿性沈着速度は、20mm/hまでの降雨率の範囲では、R-Cubicの方がやや大きい値を用いている。
 - 湿性沈着速度の違いが、統計的に見ると放出点近傍(約10km以内)では、95%値がOSCAARより高くなる傾向の一因であると推察される。ただし、過去のベンチマークの結果を踏まえると、コード間の一般的な変動幅の範囲内であると言える。

1. OSCAARの評価モデル
2. R-CubicとOSCAARの比較結果
 - (1) 実施方針
 - (2) 決定論的評価での比較結果
 - (3) 確率論的評価での比較結果
3. 比較結果の考察
4. まとめ

- R-Cubicによる評価における信頼性について、今回実施したOSCAARとの比較評価を踏まえ、以下のとおりまとめる。

項 目	評価手法等の妥当性
拡散評価手法 (拡散モデル)	R-Cubicは、OSCAARと同じくパフモデルによる大気拡散評価を行う。R-Cubicの使用している拡散評価式は、OSCAARと同様のものである。水平・鉛直方向の拡散のパラメータの参照元は異なるものの、概ね同程度の値を用いていることを確認した。なお、拡散モデルの妥当性は地表沈着濃度の評価で概ね一致している。
地表沈着濃度の計算	コード間に沈着速度の設定には違いがあるが、文献に基づく設定による。平面的な広がりとの差異は、気象条件の感度解析から、広域気象場の取扱いの差に起因すると考えられるが、R-Cubicの評価結果は、OSCAARの概ねファクター2以内に収まり傾向は一致している。
空間線量率の計算	地表沈着濃度から空間線量率への換算には、両コードで同じ文献値を参照している。決定論的評価の比較では、空間線量率の両コードの比較結果は地表沈着濃度と同じ傾向にある。確率論的評価の比較では、両コードの比較結果は良く一致している。
防護措置範囲の評価	今回比較を行ったOSCAARには直接的に防護措置範囲を評価する機能はないが、R-Cubicの評価結果はOSCAARの傾向と概ね一致しており、気象条件による変動はあるものの、評価結果を基にした防護措置範囲の評価は、妥当なものと考えられる。
コード間の変動幅	両コードの結果を比較し、決定論的評価、確率論的評価ともにOSCAARの評価結果の概ねファクター2以内に収まる結果を示している。気象条件の感度解析結果から、評価結果に表れる差は、気象条件の取扱いの差に起因するもの大きい。

R-Cubicは国際ベンチマーク計算等により検証されたコードであるOSCAARと同等の信頼性を有するものとする。