

議題	資料	説明内容	概要
システム・解析コードの信頼性	No.2-1 システム・解析コードの信頼性	1. R-Cubicの概要と特徴	R-Cubicの情報及び今回のシミュレーションに使用した設定等の概要, 他コードと比較した特徴
		2. R-Cubicの選定理由と信頼性の確認	今回R-Cubicを選定した理由, 及び本評価における信頼性について評価の流れに沿った各観点から説明
		(1)評価の流れ	R-Cubicを用いた評価の流れの模式図
		(2)設定項目	R-Cubicの入力条件等
		(3)拡散モデルについて	パフモデルによる拡散評価の概要
		(4)評価計算	計算に使用する各種計算式, 係数等の説明
		(5)評価結果の出力	R-Cubicの評価結果出力画面の例示
		3. 今回の評価におけるR-Cubicの信頼性	R-Cubicの信頼性についてのまとめ
等) 気象条件 (抽出の考え方) の妥当性	No.2-2 気象条件 (抽出の考え方等) の妥当性	1. 気象データ抽出の考え方	
		(1)気象データ及び条件の検討	シミュレーションに使用する気象データ等の検討の流れ
		(2)抽出する条件(条件と設定理由)	気象条件①～③の概要と設定理由について
		(3)気象条件の抽出方法	使用したデータと抽出手順について
		2. 抽出した気象条件の詳細	
		(1)抽出した気象データ一覧	抽出した各方面の日時, 風向等の継続時間の一覧
		(2)抽出した気象データ(方面毎)	抽出された各方面の気象条件の時系列変化
価結果の妥当性の評価	No.2-3 空間線量率等の評価結果の妥当性	1. 評価結果一覧(シミュレーションⅡ)	茨城県の要請に基づく事故ケースにおける評価結果の全体を掲載
		2. 評価結果と気象条件の相関	方面毎に気象条件とR-Cubicの評価結果の比較, 特徴
		3. その他評価結果(参考)	放射性物質放出後の時系列変化, 他コードによる評価結果との比較

第三者検証委員会  
(第2回)  
システム・解析コードの信頼性

2023年1月27日  
日本原子力発電株式会社

## ● 議題:システム・解析コードの信頼性

## 今回の説明概要

- R-Cubicの概要・特徴
- 評価の流れと拡散モデル, 計算の方法
- 今回の評価におけるR-Cubicの信頼性(適用性)

システム・解析コードの信頼性	頁
1. R-Cubicの概要と特徴	3
2. R-Cubicの選定理由と信頼性の確認	5
3. R-Cubicによる拡散評価	
(1) 拡散評価の流れ	6
(2) 設定項目	7
(3) 拡散モデルについて	8
(4) 評価計算	10
(5) 評価結果の出力	14
3. 今回の評価におけるR-Cubicの信頼性	15

放射性物質の放出量，気象条件等から，放射性物質放出後の各地点における空間線量率等の評価が可能なシステム

## • R-Cubicの概要

名称	R3(R-Cubic) (Radioactive Release, Radiation Dose and Radiological Protection Area Prediction System)
開発者	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 (拡散予測に関しては米国NRCが使用しているシステムを参考に開発)
機能※	放出量及び気象の経時変化に基づき，放射性物質の拡散を模擬する。 拡散状況から，特定地点における時系列の空間線量率等を評価する。
特徴	一般的なWindows PCにおいて動作し，簡便な操作で評価可能
用途例	原子力施設における防災訓練における線量予測評価等

※: 放出量評価機能も有するが今回の評価では使用していない。

## • 今回の拡散シミュレーションにおいて使用した主な設定等

評価モデル	パフモデル(3次元移流拡散モデル)
周辺地形情報	「国土地理院発行 数値地図50mメッシュ(標高)」から評価モデル用の地形データに変換
評価範囲	80km×80km(東海第二発電所を中心とした半径40km範囲を含むR-Cubicの設定において使用可能な地図範囲)
放出地点	原子炉建屋，地上放出
気象データ	東海第二発電所の観測値(2020年度)
評価期間	放射性物質の放出開始から24時間後 (原子力災害対策指針で，OIL2は「1日以内を目途に区域を特定する」とされていることを踏まえて設定)
対象核種	セシウム，ヨウ素等の合計54核種(地表面からの線量率に寄与する核種)
評価項目	防護措置範囲(グランドシャインによる空間線量率がOIL1, 2の基準を上回る範囲)

# 1. R-Cubicの概要と特徴(2/2)

	他コードの例①(MACCS2)	他コードの例②(SPEEDI)	R-Cubic
概要	規制当局が、2012年12月の拡散シミュレーションに用いた評価コード	規制当局が所有する緊急時の線量等予測システム	事業者が所有する緊急時用の迅速拡散評価ツール
拡散モデル	ガウスプルームモデル	粒子モデル(地形考慮可)	パフモデル(地形考慮可)
気象条件の取り扱い	1年間分の気象データ(8760個)を入力	気象データの経時変化(オンラインデータ)	気象データの経時変化(発電所の観測データ等の入力)
評価対象	任意の期間(7日間以内)の積算線量	特定地点における時系列の線量率等の評価	特定地点における時系列の線量率等の評価, OIL1,2範囲の表示機能
結果(イメージ)			
用途例	原子力発電所のリスク評価	緊急時の線量予測評価	防災訓練における線量予測評価

注: 図は評価結果の例であり, 今回の報告とは関係ない

## ● R-Cubicの特徴

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。

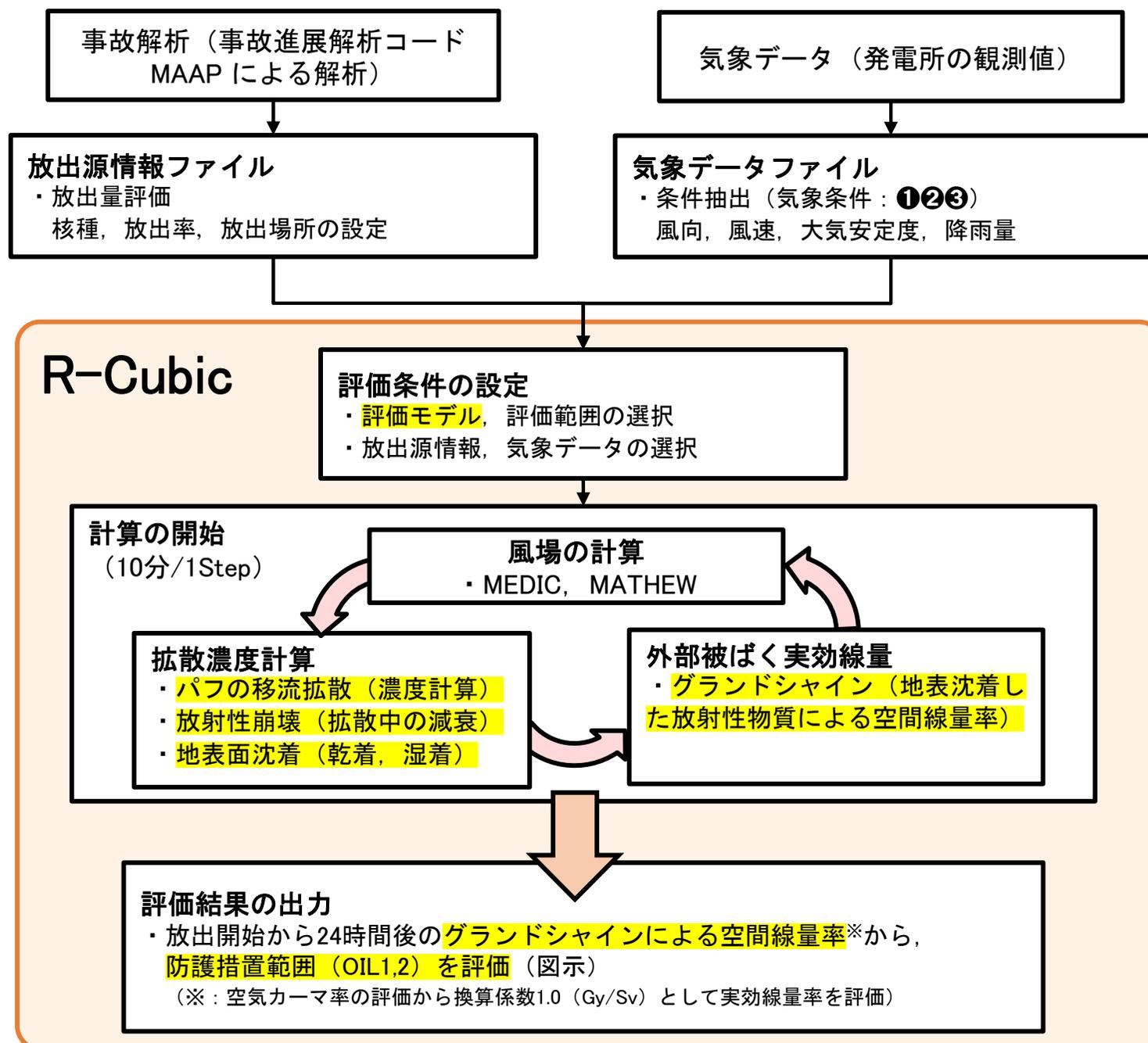
- R-Cubicの選定理由

実気象を用いた拡散評価が可能なコードとして当初検討したMACCS2では、空間線量率の計算結果や地図上での範囲表示が不可能であることから、今回の要請の趣旨(避難・一時移転の範囲の確認)を踏まえ、事業者(当社)が所有し、放射性物質の拡散状況を評価し、地図上に図示可能であるR-Cubicを選定した。

- 以降では、R-Cubicの信頼性について、今回実施した評価の流れに沿って、以下の観点から説明する。

観 点	概 要
拡散評価手法(拡散モデル)	評価モデルと計算方法
地表沈着濃度の計算	乾着・湿着の計算方法
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方法
防護措置範囲の評価	空間線量率による防護措置範囲の評価

## 2. R-Cubicによる拡散評価：(1) 拡散評価の流れ



### ● 評価範囲

- 東海第二発電所を中心に80km×80km範囲(UPZ圏を内包する範囲)
- 評価範囲を50×50の評価領域に分割し, 領域メッシュ(1.6km×1.6km)毎に線量率等を計算
- 風場計算のための鉛直メッシュは, 50m×20
- 地形情報は,「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

### ● 放出源情報

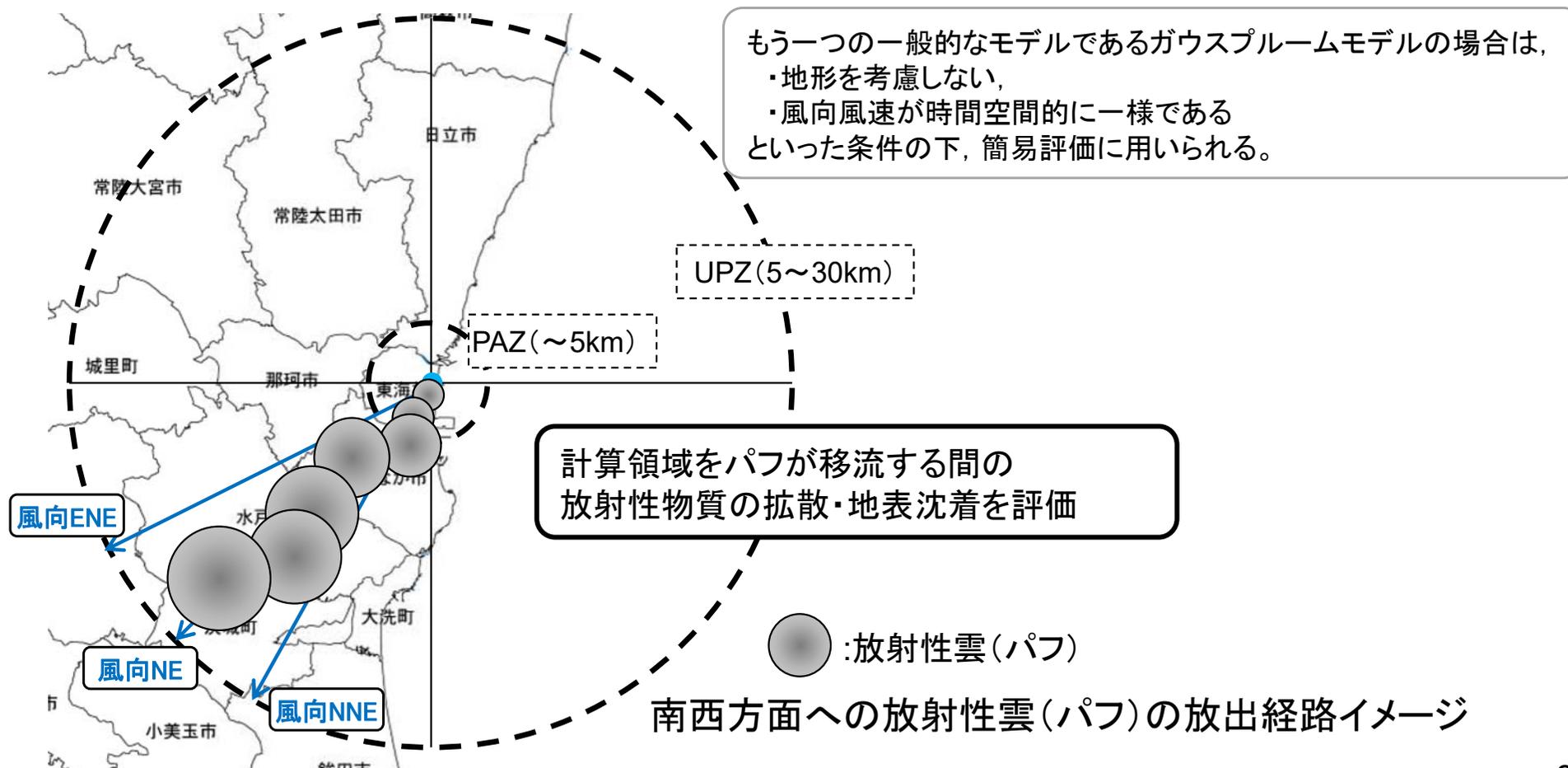
- 対象核種:Cs, I等の54核種(地表面からの線量率に寄与する核種を選定)
- 放出継続時間:1~4時間(I-131は約11時間)
- 放出位置の設定
  - ・ 平面位置:原子炉建屋
  - ・ 放出高さ:地上放出(GL.0m)(格納容器破損に伴う原子炉建屋からの漏えい)

### ● 気象データの設定

- R-Cubicへの入力
  - ・ 東海第二発電所で観測された気象データから条件抽出(別途説明)
  - ・ 風向・風速(地上高, 高所), 大気安定度, 降雨量の経時変化を入力
- R-Cubic内の処理(風場の計算)
  - ・ 風向・風速:入力の風向・風速から全メッシュ点の風速成分へ変換  
MEDIC:各メッシュにおける2次元風速場の計算  
MATHEW:地形を考慮し, 質量保存則を満たすように修正計算
  - ・ 大気安定度:領域内一定
  - ・ 降水量:領域内一定

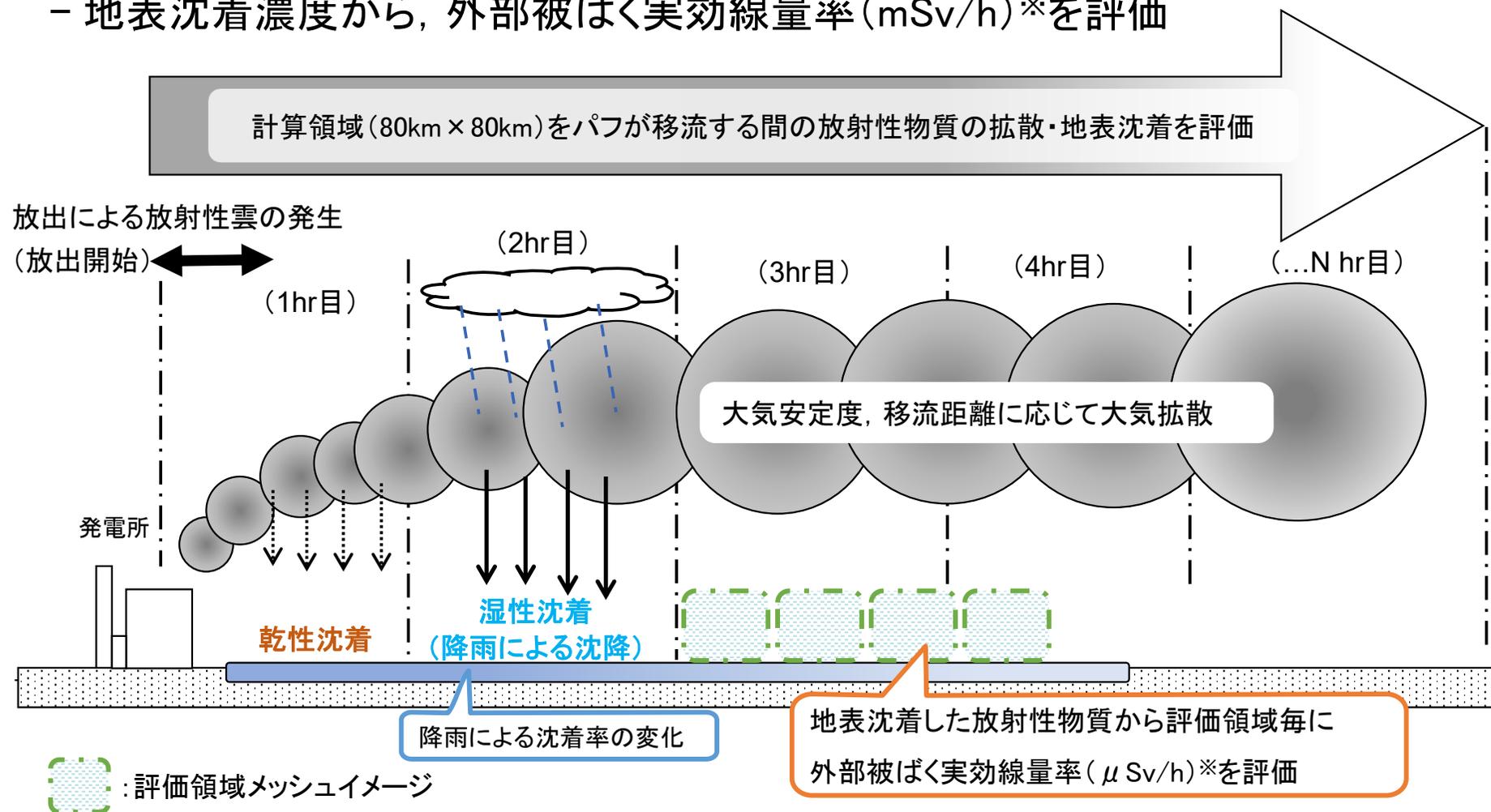
### ● 今回の要請に基づく評価では、一般的な環境アセスメントにも用いられるパフモデル(3次元移流拡散モデル)による拡散評価を行う。

- 連続して放出される気体を時間で分割し、個々の気体の広がり流れを順次計算する。
- 風場(風向・風速, 降雨, 大気安定度)の時間的・空間的変動, 地形を考慮した放射性物質の拡散評価(濃度, 線量率の計算)を行う。



### ● 地表沈着濃度，空間線量率の評価

- 放射性物質の拡散(空气中濃度)の評価に基づき，乾性沈着，湿性沈着による地表沈着濃度を評価
- 地表沈着濃度から，外部被ばく実効線量率(mSv/h)\*を評価



\*実際には評価地点の空間放射線量率(空気カーマ率)を評価しているが，換算係数1.0(Sv/Gy)で実効線量率に換算

### ● パフモデルにおける地表空气中濃度の計算

地形変化, 気象条件の経時変化を考慮して, 10分周期のタイムステップ毎に計算する。

$$\chi_i(x, y, 0) = \frac{Q_i}{(\sqrt{2} \cdot \pi^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z^2)} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{h}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (1)$$

- $\chi_i(x, y, 0)$  : 地表の座標(x,y,0)における核種iの空气中濃度(Bq/m<sup>3</sup>)
- $Q_i$  : 核種iの放出量 (Bq)
- $\sigma_y, \sigma_z$  : 水平(x,y)方向及び鉛直方向の大気安定度依存拡散パラメータ(m)(定数に係る記載は省略)

$$\sigma_y(x) = 0.67775 \cdot \theta_{0.1} \cdot (5 - \log_{10}(x)) \cdot x \quad (2)$$

$$\sigma_z(x) = \sigma_1 \cdot x^{(a_1 + a_2 \log(x) + a_3 (\log(x))^2)} \quad (3)$$

- $(x_0, y_0, h)$  : パフ中心の位置座標(m), hは地表からの高さ

風下距離大で  $\sigma_z \geq H$  (H: 混合層高さ, H=1,000m) の場合, 鉛直濃度分布は  $z=0 \sim H$  の範囲で一定と仮定する

$$\chi_i(x, y, 0) = \frac{2Q_i}{(2\pi)\sigma_y^2 H} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \quad (4)$$

### ● 乾着量

$$\Delta Q_i(x, y) = -v_{i,dd} \cdot \chi_i(x, y, 0) \cdot \Delta t \quad (5)$$

- $\Delta Q_i(x, y)$  : 地表面位置  $(x, y)$  におけるタイムステップ  $\Delta t$  (s) の乾着量 (Bq/m<sup>2</sup>)
- $v_{i,dd}$  : 核種  $i$  の乾着速度 (m/s) ただし, 全ての粒子状物質について = 0.003 m/s
- $\chi_i(x, y, 0)$  : 核種  $i$  の地表空气中濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

### ● 湿着量

$$\Delta Q_i(x, y) = -\lambda_p \cdot \Delta t \cdot \int_0^{\infty} \chi_i(x, y, z) \cdot dz \quad (6)$$

- $\Delta Q_i(x, y)$  : 地表面位置におけるタイムステップ(s)の湿着量 (Bq/m<sup>2</sup>)
- $\lambda_p$  : 核種  $i$  についての洗浄係数 (1/s) (降雨率に依存 (Engelman 1968による))
- $\chi_i(x, y, z)$  : 核種  $i$  の地表空气中濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

パフの場合, 空气中濃度として(4)式を代入して計算する

$$\Delta Q_i(x, y) = -\lambda_p \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_i}{2\pi \cdot \sigma_y^2} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \quad (7)$$

- $(x_0, y_0)$  : パフの中心位置 (km, km)
- $(x, y)$  : 計算地点の位置座標 (km, km)

### ● 地表面沈着量 (乾着量 + 湿着量)

$$\Delta Q_i(x, y) = v_{i,dd} \cdot \chi_i(x, y, 0) \cdot \Delta t + \lambda_p \cdot \int_0^{\infty} \chi_i(x, y, z) dz \cdot \Delta t \quad (8)$$

- $\Delta Q_i(x, y)$  :  $(x, y)$  地点における  $t = t \sim t + \Delta t$  の地表面沈着量を示す。  
 $(x, y)$  地点におけるの積算地表面沈着量は, 次式で計算される。

$$Q_i(x, y) = \sum_{\Delta t} \Delta Q_i(x, y) \quad (9)$$

洗浄係数 (Engelman 1968)

降水のタイプ*	洗浄係数 (1/h)
軽度の降雨 (0.7mm/h)	0.79
中度の降雨 (3.8mm/h)	2.2
激しい降雨 (8.5mm/h)	4.0
*: タイプ別降水量の数値はRASCAL4.2, ZONE3 (年間降水量 > 20inch) を引用	

### ● 地表沈着による大気中の放射性物質量の減少

$$\Delta Q_i(\Delta t) = \sum_x \sum_y \Delta Q_i(x, y) \quad (10)$$

パフの時刻  $t + \Delta t$  における大気中の放射性物質量は、(8)式の全沈着量の分減少する。

$$Q'_i(t + \Delta t) = Q'_i(t) - Q'_i(\Delta t) \quad (11)$$

### ● その他

- 空気カーマ率は、換算係数1.0(Sv/Gy)にて換算
- 経過時間による放射性崩壊を考慮する。
- 移流拡散中のプルームライズは考慮しない。
- 移流拡散中の重力沈降は考慮しない。
- 放出後の放射性崩壊により生成した核種の影響は考慮しない。

## 2. R-Cubicによる拡散評価：(4) 評価計算 (地表面濃度から空間線量率への換算)



### ● 地表面沈着濃度から空間線量率への換算

- 防護措置範囲(OIL1, OIL2)に該当する範囲を判断するに当たり, 地表沈着した放射性物質からの空間放射線量率を評価する。(空間放射線量率(空気カーマ率)を評価しているが, 換算係数1.0(Sv/Gy)で実効線量率に換算)
- 空間放射線量率は, 地面粗度因子×地表沈着量×線量係数×被ばく時間 で計算される。

$$D_{GS}(x, y; \Delta t) = SRF \cdot \sum_i DCF_i \cdot Q_{i,DEP}(x, y; t) \cdot \Delta t \quad (12)$$

- $D_{GS}(x, y; \Delta t)$  : タイムステップ  $\Delta t$  (s) のグランドシャイン線量核種合計 (Sv)
- $SRF$  : 地面粗度因子 (1.0)
- $DCF_i$  : 核種  $i$  のグランドシャイン線量変換係数 ( Sv/s/(Bq·m<sup>-2</sup>) )
- $Q_{i,DEP}(x, y; t)$  : 核種  $i$  の地表沈着濃度

核種別 グランドシャイン実効線量換算係数(今回評価に使用した54核種)

核種	半減期	単位	実効線量 変換係数 [Sv/(Bq·s·m <sup>-2</sup> )]	核種	半減期	単位	実効線量 変換係数 [Sv/(Bq·s·m <sup>-2</sup> )]	核種	半減期	単位	実効線量 変換係数 [Sv/(Bq·s·m <sup>-2</sup> )]	核種	半減期	単位	実効線量 変換係数 [Sv/(Bq·s·m <sup>-2</sup> )]
Co-58	70.8	d	9.50E-16	Tc-99m	6.02	h	1.21E-16	I-131	8.06	d	3.76E-16	Ce-141	32.5	d	7.38E-17
Co-60	5.27	y	2.35E-15	Ru-103	39.28	d	4.63E-16	I-132	2.28	h	2.21E-15	Ce-143	33	h	2.79E-16
Rb-86	18.66	d	9.31E-17	Ru-105	4.44	h	7.69E-16	I-133	20.8	h	5.97E-16	Ce-144	284.3	d	2.03E-17
Sr-89	50.5	d	2.27E-18	Ru-106	368.2	d	0.00E+00	I-134	52.6	min	2.53E-15	Pr-143	13.56	d	7.01E-19
Sr-90	28.5	y	2.84E-19	Rh-105	35.36	h	7.62E-17	I-135	6.61	h	1.47E-15	Nd-147	10.98	d	1.39E-16
Sr-91	9.5	h	6.77E-16	Sb-127	3.85	d	6.76E-16	Cs-134	2.06	y	1.52E-15	Np-239	2.355	d	1.63E-16
Sr-92	2.71	h	1.25E-15	Sb-129	4.32	h	1.38E-15	Cs-136	13.1	d	2.09E-15	Pu-238	87.74	y	8.38E-19
Y-90	64.0	h	5.32E-18	Te-127m	109	d	1.13E-17	Cs-137	30	y	2.85E-19	Pu-239	24065	y	3.67E-19
Y-91	58.51	d	5.74E-18	Te-127	9.35	h	5.18E-18	Ba-139	82.7	m	4.59E-17	Pu-240	6537	y	8.03E-19
Y-92	3.54	h	2.53E-16	Te-129m	33.6	d	3.78E-17	Ba-140	12.8	d	1.80E-16	Pu-241	14.4	y	1.93E-21
Y-93	10.1	h	9.12E-17	Te-129	69.6	m	6.01E-17	La-140	40.27	h	2.16E-15	Am-241	432.2	y	2.75E-17
Zr-95	65.5	d	7.23E-16	Te-131m	30	h	1.37E-15	La-141	3.93	h	4.54E-17	Cm-242	162.8	d	9.56E-19
Zr-97	16.9	h	1.74E-16	Te-132	78.2	h	2.28E-16	La-142	92.5	m	2.46E-15	Cm-244	18.11	y	8.78E-19
Nb-95	35.1	d	7.48E-16												
Mo-99	66.0	h	1.47E-16												

主な出典: 原子力安全審査指針等, ICRP pub.38, ICRP pub.72, Federal Guidance Report No.12 Eckerman & Ryman (1993)

## 2. R-Cubicによる拡散評価：(5) 評価結果の出力

### ● 評価結果出力画面

- 任意の評価ステップにおいて、地表濃度等の項目を選択し状況を地図上に図示(下図参照)
- 今回の拡散シミュレーションにおいては、放射性物質の放出から24時間後の地表沈着による空間線量率から防護措置範囲(OIL1 > 500  $\mu$  Sv/h, OIL2 > 20  $\mu$  Sv/h)に該当する地点を評価し、提示している。(注:メッシュは、R-Cubicの設定条件として評価範囲に対し50×50分割で固定。茨城県の設定する避難・一時移転を実施する単位とは一致しない。)

80km  
(50分割)

80km (50分割)

メッシュサイズ: 1.6km × 1.6km

線量予測計算結果表示

計算条件と計算状況

放出場所: 日本原子力発電 東海第二発電所 1号機

評価期間: 2016/01/05 15:30:00 - 2016/01/12 15:20:00

計算状況: 2016/01/12 15:20:00(1008 Step)までの評価が完了しました。

通報基準判定

5  $\mu$  Sv/h(第10条通報): 2016/01/06 9:20:00("MP-B"): 1.61E+02

5  $\mu$  Sv/h(第15条通報): 2016/01/06 9:20:00("MP-B"): 1.61E+02

2016/01/06 9:30:00("MP-B"): 1.61E+02

結果表示

○ プルームモデル

● ハフモデル

○ 分布図

● 防護措置圏(OIL)

○ 防護措置圏(旧防災指針)

防護措置圏(OIL)

○ OIL.1(住民等を放時間内に避難や屋内退避させるための基準)

● OIL.2(住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準)

○ グランドシャンのみ

○ 全合計(プルーム影響含む)

空間線量率(初期設定値)

500  $\mu$  Sv/h

20  $\mu$  Sv/h

- 計算状況表示
- 入力データ確認
- M/P 通報基準判定
- 結果表示選択 (Step及び項目の選択)
- 詳細な表示項目選択
- 表示画面の凡例等

ハフモデル: カマ率(Gy/h) 2016/01/06 15:30 (145 ステップ)

	西20 km	西18.4 km	西16.8 km	西15.2 km	西13.6 km	西12 km	西10.4 km	西8.8 km	西7.2 km	西5.6 km
北20 km	0.00E+00									
北18.4 km	0.00E+00									
北16.8 km	0.00E+00									
北15.2 km	0.00E+00									
北13.6 km	0.00E+00									
北12 km	0.00E+00									
北10.4 km	0.00E+00									
北8.8 km	0.00E+00									
北7.2 km	0.00E+00									
北5.6 km	0.00E+00									
北4 km	0.00E+00									
北2.4 km	0.00E+00									
北0.8 km	0.00E+00									
南0.8 km	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.02E-11	4.90E-09	6.27E-08	3.24E-07	2.27E-06	1.21E-05
南2.4 km	4.48E-10	7.47E-09	7.19E-08	3.99E-07	1.76E-06	5.12E-06	1.26E-05	1.77E-05	2.89E-05	5.26E-05
南4 km	3.15E-07	1.24E-06	4.42E-06	9.61E-06	2.04E-05	2.03E-05	1.94E-05	2.20E-05	1.16E-04	7.83E-05
南5.6 km	4.40E-06	9.52E-06	1.64E-05	2.11E-05	1.97E-05	1.65E-05	2.35E-05	8.94E-05	4.05E-05	6.30E-06
南7.2 km	1.14E-05	1.69E-05	1.78E-05	1.69E-05	1.58E-05	2.89E-05	6.74E-05	2.96E-05	5.79E-06	4.93E-06
南8.8 km	1.34E-06	1.44E-06	1.39E-06	1.39E-06	1.40E-06	1.44E-06	1.39E-06	1.40E-06	1.39E-06	1.39E-06

選択した評価Stepにおける  
地点毎の空間線量率

注: 図は評価結果の例であり、今回の報告の内容とは関係ない。

### 3. 今回の評価におけるR-Cubicの信頼性

- R-Cubicの拡散評価機能について、今回の要請に基づく評価への信頼性についてまとめる。

項目	評価手法等の妥当性	信頼性
拡散評価手法 (拡散モデル)	風場の時間変化や地形情報を考慮した評価を行うのに適したパフモデルが使用できる。一般的な環境アセスメントでも使用されている計算手法用いており問題ない。	○
地表沈着濃度の計算	文献値に基づき、乾着及び降雨の影響を踏まえた沈着量(湿着)の計算がされており問題ない。	○
空間線量率の計算	文献値に基づき、地表沈着濃度から空間線量率に換算しており問題ない。	○
防護措置範囲の評価	原子力災害対策指針の値に基づき、空間線量率の評価値から該当する範囲を図示しており問題ない。	○

以上より、今回の要請に基づく評価における、R-Cubic(拡散評価機能)の信頼性が確認できたものとする。

END

第三者検証委員会  
(第2回)  
気象条件(抽出の考え方等)の妥当性について

2023年1月27日  
日本原子力発電株式会社

● 議題：気象条件（抽出の考え方等）の妥当性

今回の説明概要

- 抽出する条件（条件と設定理由）
- 抽出する元データ（年度等）（代表性と選定理由）
- 条件抽出の方法

気象条件（抽出の考え方等）の妥当性	頁
1. 気象データ抽出の考え方	3
(1) 気象データ及び条件の検討	3
(2) 抽出する条件（条件と設定理由）	4
(3) 気象条件の抽出方法	5
2. 抽出した気象条件の詳細	7
(1) 抽出した気象データ一覧	7
(2) 抽出した気象データ（方面毎）	8

## 今回の拡散シミュレーションにおける, 気象条件設定の検討

### 前提

#### 解析コードに入力する気象データ

- 選択する解析コード(目的)により異なる  
(年間の全データ, サンプルングデータ, 時系列変化, 実測値or仮想条件…)

#### 今回の要請に基づく拡散シミュレーションにおける条件

- 「避難・一時移転の対象となる区域が30km付近まで生じ, かつその区域が最大となると見込まれる」結果となる拡散シミュレーションの実施



#### 使用する拡散シミュレーション用のコードと気象条件の検討の流れ

- ① 拡散状況を模擬し, 防護措置範囲を確認可能であること ⇒ R-Cubic※を使用することとした。
- ② R-Cubic※に必要な「時系列変化」の気象データ+生じ得る厳しい気象条件において放出された場合の拡散状況の模擬 ⇒ 実測された気象データから, 条件を設定し抽出することとした。
- ③ 「避難・一時移転の対象となる区域が最大となると見込まれる複数の気象条件」  
に合致する期間の抽出条件及び抽出対象とする元データの期間を検討

※: 本評価におけるR-Cubicの信頼性については, 別資料にて説明

避難・一時移転の対象となる区域が最大となると見込まれる気象条件  
＝「放出された放射性物質が、拡散され過ぎず、地表沈着しやすい条件」を検討

①～③の条件を以下の理由により選定

● 気象条件①：同一風向が長時間継続

⇒ 一定方位に対する放射性物質の拡散と継続性に着目

（避難・一時移転の対象となる範囲がより遠方へ広がる条件として設定）

● 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①に、降雨による放射性物質の地表沈着の影響を加味

（一定方位に対し、拡散する大気中の放射性物質が、地表へと移行しやすくなることから、避難・一時移転の対象となる範囲がより広がる可能性が大きくなる条件として設定）

● 気象条件③：小さな風速（1m/s未満）が長時間継続

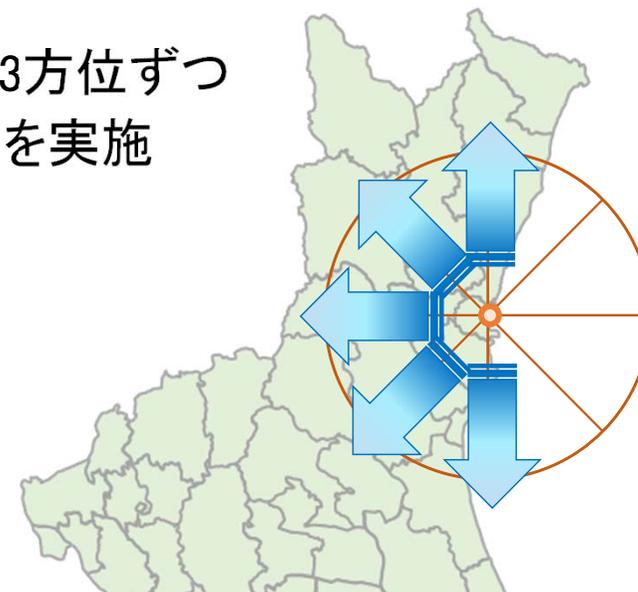
⇒ 風向に依らず、放射性物質が滞留しやすく発電所近傍への影響が大きくなる

（30kmに達する可能性は低くなるが、放出点近傍に対象範囲が広がりやすくなる条件として設定）

## 気象条件①～③について, 対象期間, 対象方位を選定

- 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
- 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



## 気象条件①～③の抽出手順

2020年4月～2021年3月の1時間毎の風向・風速, 降雨等の気象データを用意



- 気象条件①
  - ・ 「風下方面の風向(3方位)の継続」が最長となる期間を抽出
  - ・ 風速の大小, 降雨の有無は未考慮
- 気象条件②
  - ・ 「風下方面の風向の継続」と「降雨の継続期間」の重なりが最長となる期間を抽出
  - ・ 風速の大小は未考慮
- 気象条件③
  - ・ 風速1m/s未満の継続が最長となる期間を抽出
  - ・ 風向, 降雨の有無は未考慮



- R-Cubic入力用データとして整理
  - ・ 10分/1Stepでシミュレーションを行うことから, 1時間値を6Step分とする。
  - ・ 抽出された気象条件の開始日時 = 放射性物質の放出開始のタイミングとする。

## 2. 抽出した気象条件の詳細:(1)抽出した気象データ一覧



- 抽出された日時, 継続時間を下表に示す。
- 風向や降雨の継続時間が24時間以上となる方面もあるが, 今回の拡散シミュレーションにおいては, 放出開始から24時間後結果を示すことから, 24時間以降の気象データについては, 評価結果に影響しない。

対象方面 (風下方位)	北方面(日立)※ (NNE, N, NNW)	北西方面(常陸太田) (NNW, NW, WNW)	西方面(那珂) (WNW, W, WSW)	南西方面(水戸) (WSW, SW, SSW)	南方面(大洗) (SSW, S, SSE)
気象条件①	風向 15時間* 降雨 12時間*	風向 14時間 2020/ 4/18 3時 ~ 2020/4/18 16時	風向 17時間 2020/4/16 8時 ~ 2020/4/16 24時	風向 75時間 2020/8/30 23時 ~ 2020/9/3 1時	風向 23時間 2021/1/17 13時 ~ 2021/1/18 11時
気象条件② ( )内は降雨終了 日時	2021/3/21 8時 ~ 2021/3/21 22時 (同日20時)	風向 11時間 降雨 12時間 2020/4/18 6時 ~ 2020/4/18 16時 (同日17時)	風向 9時間 降雨 13時間 2020/10/10 5時 ~ 2020/10/10 13時 (同日17時)	風向 18時間 降雨 28時間 2020/10/9 14時 ~ 2020/10/10 7時 (同日17時)	風向 9時間* 降雨 6時間* 2020/10/8 8時 ~ 2020/10/8 13時 (同日時)
気象条件③	10時間 2020/ 7/22 1時 ~ 2020/ 7/22 10時				

\*: 降雨終了後も風向継続

※: 日立方面については, 気象条件①と②の継続開始日時の差が1時間であったことから, 評価結果においてOIL1,2の該当範囲が広がった 気象条件①の評価結果を報告書に記載した。(参考: 日立方面の気象条件② 2021/3/21 9時~)

- 以降に、各方面において抽出された、各気象条件の時系列変化(グラフ)等を示す。
  - 放射性物質の放出継続時間は、I-131は約11時間、その他核種は1～4時間であることからグラフには代表として4時間を図示している。
  - グラフの縦軸に記載した“[”は、図示した方面の対象となる風向(風上方位)を示す。
  - 参考として、気象概況を記載した。(気象庁HP「日々の天気図」から取得した気象概況の記載を一部引用)
  - R-Cubicによる評価結果との相関等については「空間線量率(防護措置範囲)の評価結果の妥当性」にて説明する。

## 2. 抽出した気象条件の詳細：(2)抽出した気象データ(北方面)



	気象条件①	気象条件②(参考)
推移	<p>※大気安定度[拡散の目安]: A (不安定、拡散し易い) ~D (中立) ~F (極安定、拡散し難い)</p>	<p>※大気安定度[拡散の目安]: A (不安定、拡散し易い) ~D (中立) ~F (極安定、拡散し難い)</p>
期間	2021年3月21日8時から24時間	2021年3月21日9時から24時間
概況	低気圧と前線の影響で西日本～東北で雨。	低気圧と前線の影響で西日本～東北で雨。

※: 日立方面については、気象条件①と②の継続開始日時の差が1時間であったことから、評価結果においてOIL1,2の該当範囲が広がった 気象条件①の評価結果を報告書に記載した。



## 2. 抽出した気象条件の詳細：(2)抽出した気象データ(北西方面)



	気象条件①	気象条件②
推移	<p>※大気安定度[拡散の目安]：A（不安定、拡散し易い）～D（中立）～F（極安定、拡散し難い）</p>	<p>※大気安定度[拡散の目安]：A（不安定、拡散し易い）～D（中立）～F（極安定、拡散し難い）</p>
期間	2020年4月18日3時から24時間	2020年4月18日6時から24時間
概況	低気圧や前線の影響で中国・四国～東北で広く雨。茨城県花園で54.5mm/hの非常に激しい雨。	低気圧や前線の影響で中国・四国～東北で広く雨。茨城県花園で54.5mm/hの非常に激しい雨。



## 2. 抽出した気象条件の詳細：(2)抽出した気象データ(西方面)



	気象条件①	気象条件②
推移	<p>※大気安定度[拡散の目安]: A (不安定、拡散し易い) ~D (中立) ~F (極安定、拡散し難い)</p>	<p>※大気安定度[拡散の目安]: A (不安定、拡散し易い) ~D (中立) ~F (極安定、拡散し難い)</p>
期間	2020年4月16日8時から24時間	2020年10月10日5時から24時間
概況	高気圧に覆われ広く晴れ。 夕方以降、東日本の太平洋側で大気の状態が不安定。	台風第14号が東海道沖を東進。 西日本の太平洋側～東日本を中心に雨。



## 2. 抽出した気象条件の詳細:(2)抽出した気象データ(南西方面)



	気象条件①	気象条件②
推移	<p>※大気安定度[拡散の目安]: A (不安定、拡散し易い) ~D (中立) ~F (極安定、拡散し難い)</p>	<p>※大気安定度[拡散の目安]: A (不安定、拡散し易い) ~D (中立) ~F (極安定、拡散し難い)</p>
期間	2020年8月30日23時から24時間	2020年10月9日14時から24時間
概況	<p>水戸市では当該時間帯において主に曇り。                      8/30 西～東日本で猛暑。北日本を中心に雨。                      8/31 台風第9号沖縄接近</p>	<p>10/9 台風第14号北上。西日本～東日本で雨。                      10/10 西日本太平洋側～東日本で雨。</p>



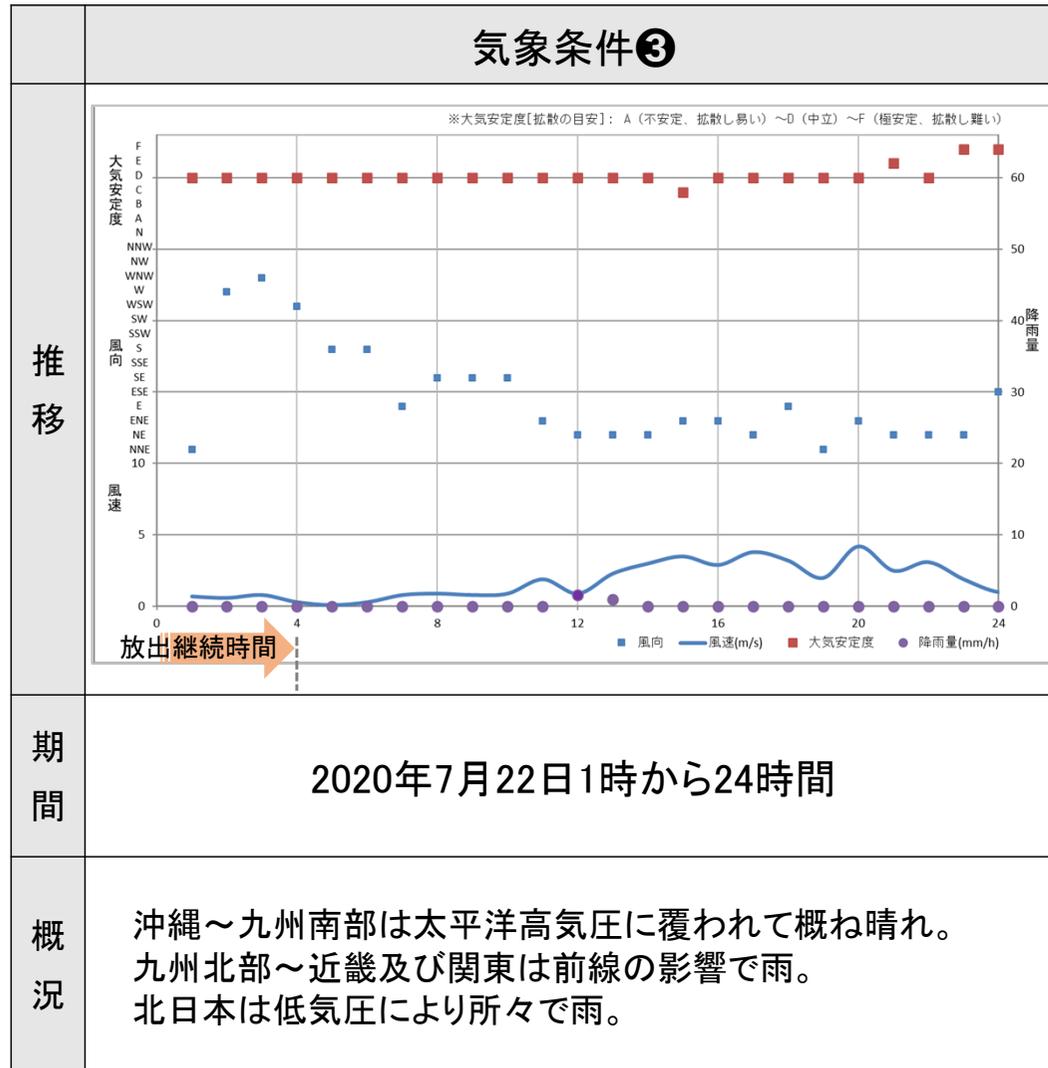
## 2. 抽出した気象条件の詳細：(2)抽出した気象データ(南方面)



	気象条件①	気象条件②
推移	<p>※大気安定度[拡散の目安]：A(不安定、拡散し易い)～D(中立)～F(極安定、拡散し難い)</p> <p>放出継続時間</p>	<p>※大気安定度[拡散の目安]：A(不安定、拡散し易い)～D(中立)～F(極安定、拡散し難い)</p> <p>放出継続時間</p>
期間	2021年1月17日13時から24時間	2020年10月8日8時から24時間
概況	1/18 関東は日本の東の低気圧により午前中曇り。	日本の南の台風第14号や停滞する秋雨前線、湿った空気の影響で 沖縄～東北の広い範囲で雨。



## 2. 抽出した気象条件の詳細：(2)抽出した気象データ(気象条件③)



END

第三者検証委員会  
(第2回)  
空間線量率等の評価結果の妥当性

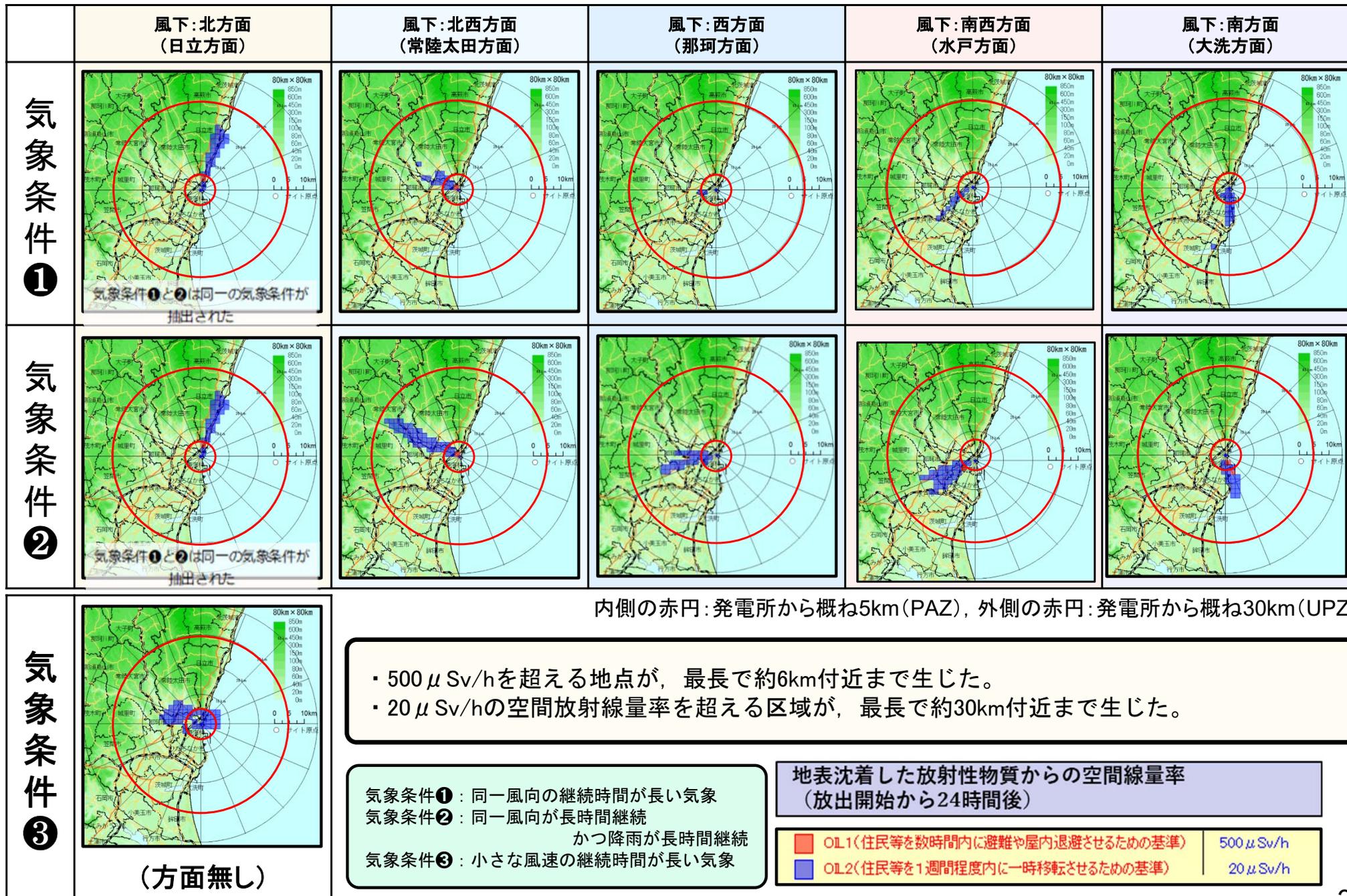
2023年1月27日  
日本原子力発電株式会社

- 議題：空間線量率等の評価結果の妥当性  
今回の説明概要
  - ・ R-Cubicによる防護措置範囲の評価結果と気象条件の相関等

空間線量率(防護措置範囲)の評価結果について	頁
1. 評価結果一覧(シミュレーションⅡ)	3
2. 評価結果と気象条件の相関	4
3. その他評価結果(参考)	12
(1)時系列変化	13
(2)他コードによる評価結果	15

# 1. 評価結果一覧(シミュレーションⅡ)

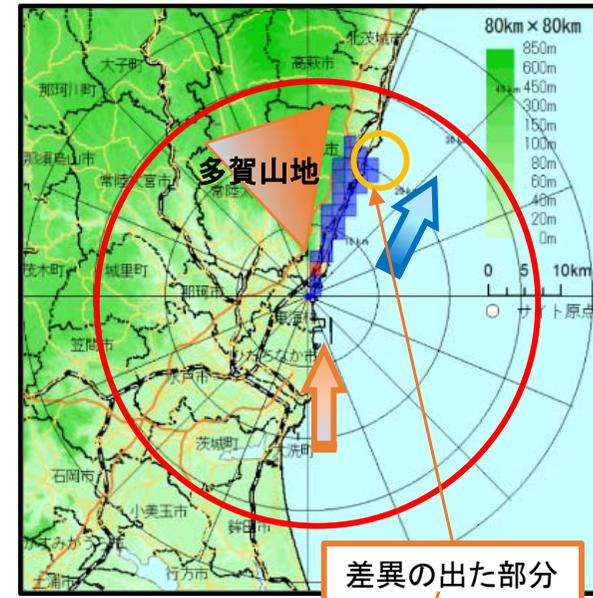
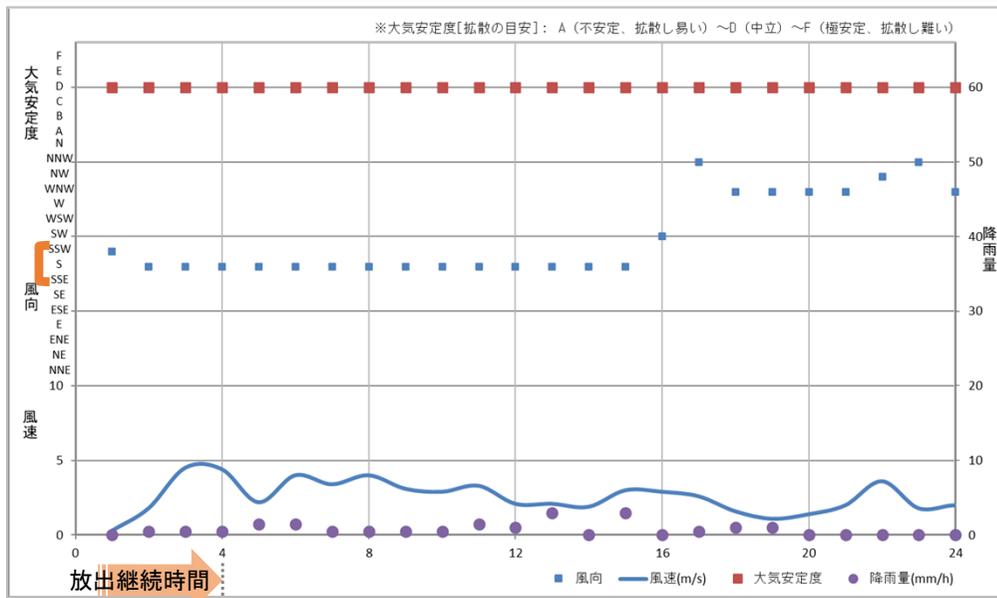
茨城県の要請に基づき、30km周辺まで避難・一時移転の対象となる区域が生じる場合



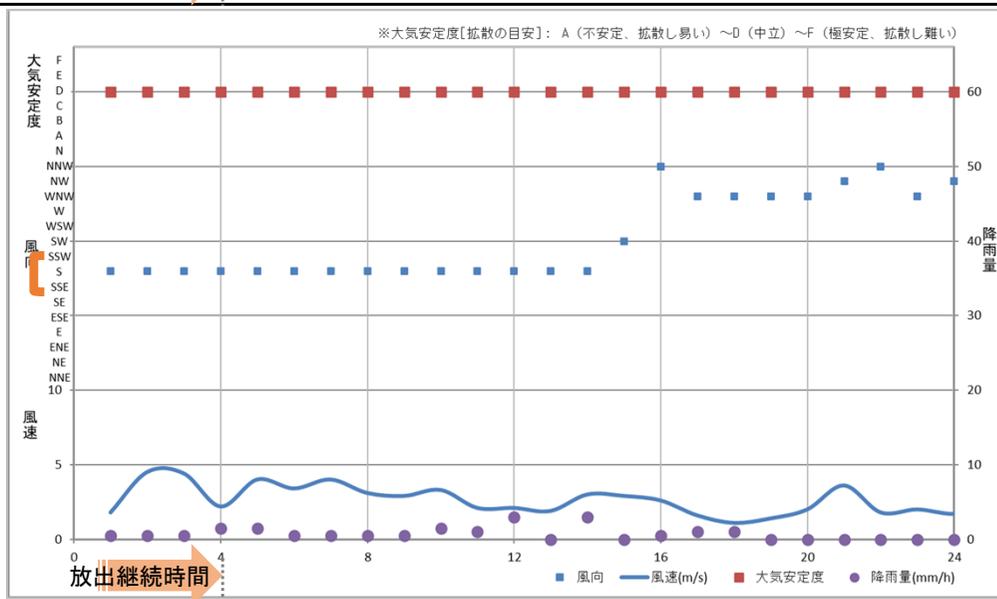
- 以降に気象条件の時系列変化及びR-Cubicにて評価した防護措置範囲図を示し、今回の放射性物質の拡散傾向等について記載する。
- 気象条件の時系列変化
  - 記載した放射性物質の放出継続時間は、I-131は約11時間、その他核種は1～4時間であることからグラフには代表として4時間を示している。
  - グラフの縦軸に記載した“[”は、図示した方面の対象となる風向(風上方位)を示す。
- R-Cubicによる防護措置範囲図
  - 赤円 : 30kmの円
  - 橙色矢印 : 放射性物質の放出中における主な風向
  - 青色矢印 : 防護措置範囲の主な分布方位(放射性物質の主な拡散方位)
  - その他 : 拡散に影響を与える地形(山地等)を目印として追記している。
- 北方面(日立)について
  - 気象条件①と②が同日の1時間差で抽出され、気象条件①の防護措置範囲が広がる結果が得られたことから、報告書上は気象条件①のみ記載しているが、本資料では比較のため参考として示す。

## 2. 気象条件と評価結果の相関：北方面

### 気象条件①



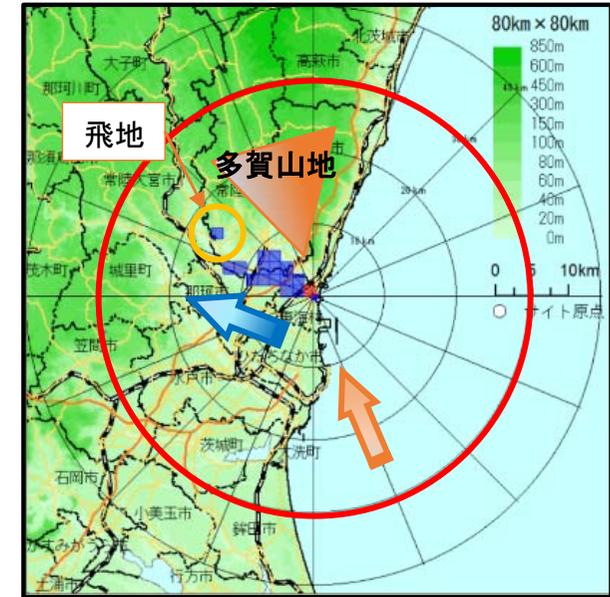
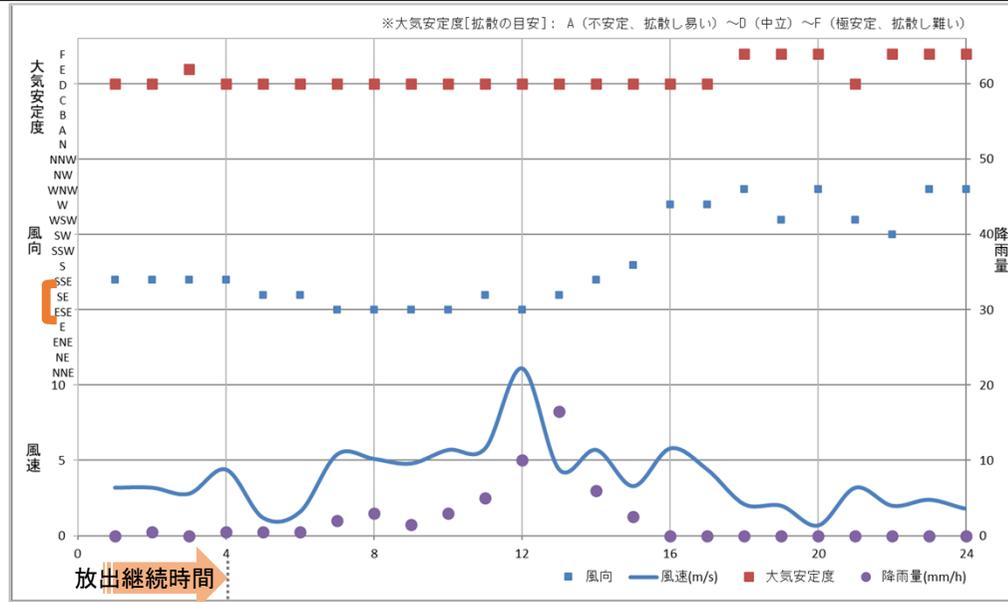
### 気象条件②【参考】



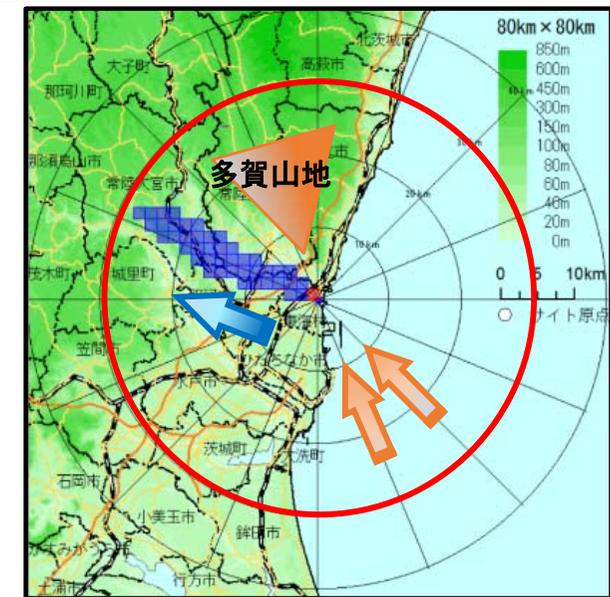
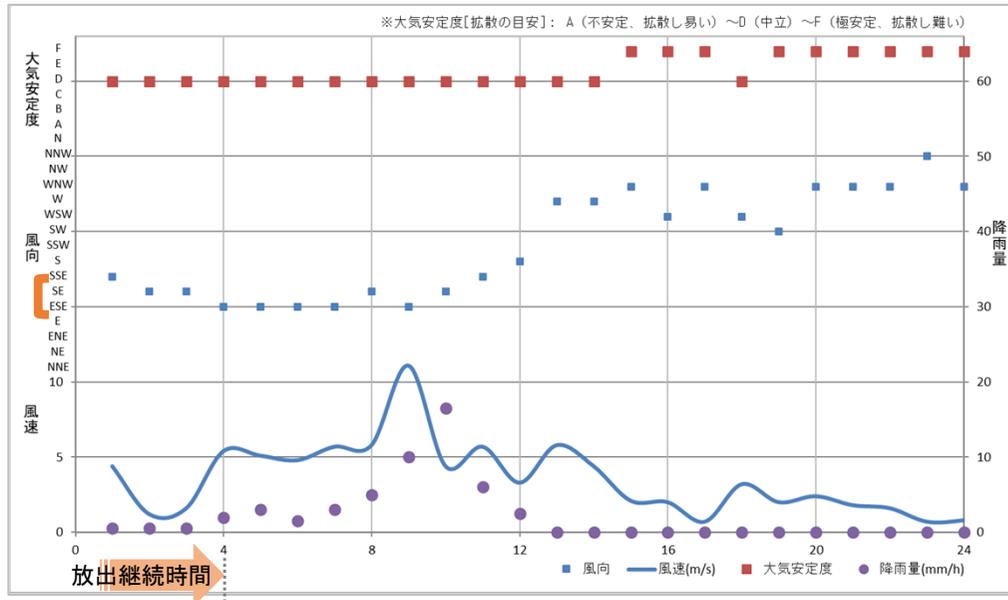
- 気象条件①では、放出から1時間後に降雨となったことにより、②に比べ遠方の防護措置範囲に差が出たと考えられる。
- 放出中の風向は、主に南であった。東北東への防護措置範囲の分布傾向は、地形(多賀山地)による影響が考えられる。
- 抽出された気象期間が1時間差で重なったことから、気象条件①と②を同一とし、防護措置範囲が広範囲であった①を北方面の結果として報告書に掲載している。

## 2. 気象条件と評価結果の相関：北西方面

### 気象条件①



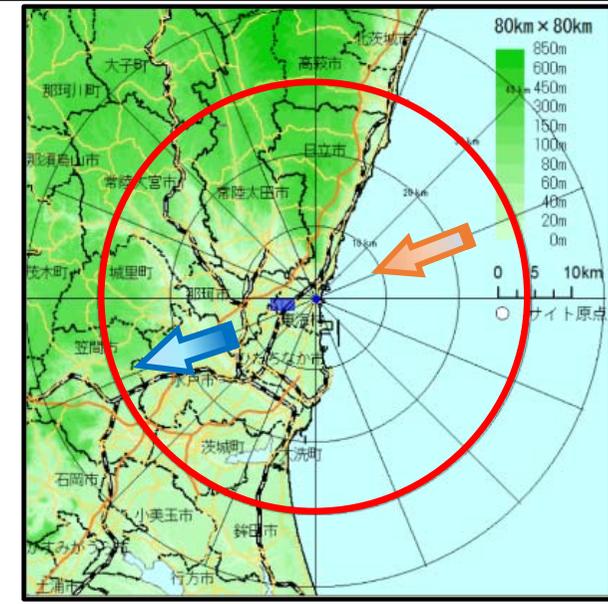
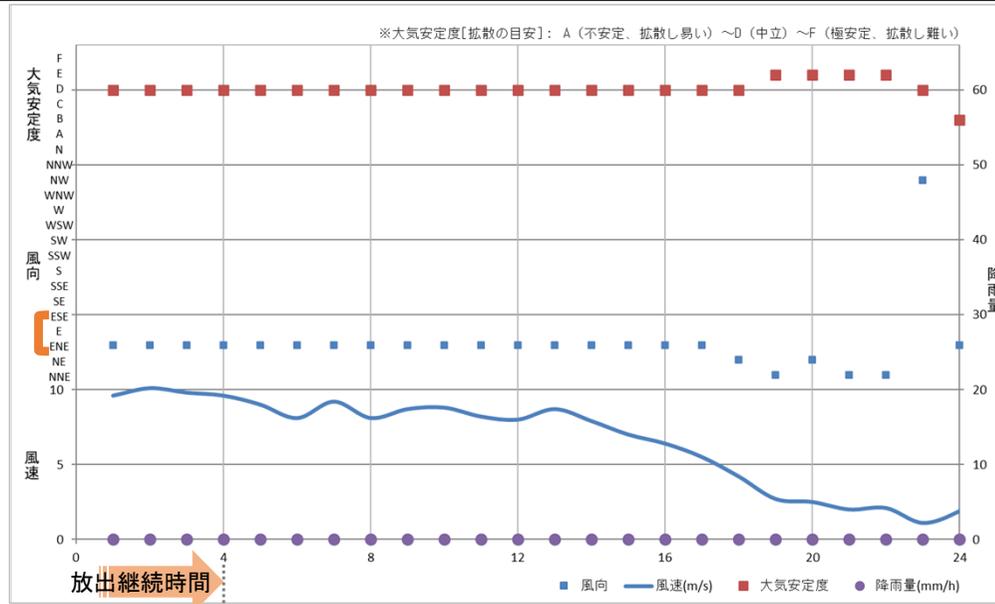
### 気象条件②



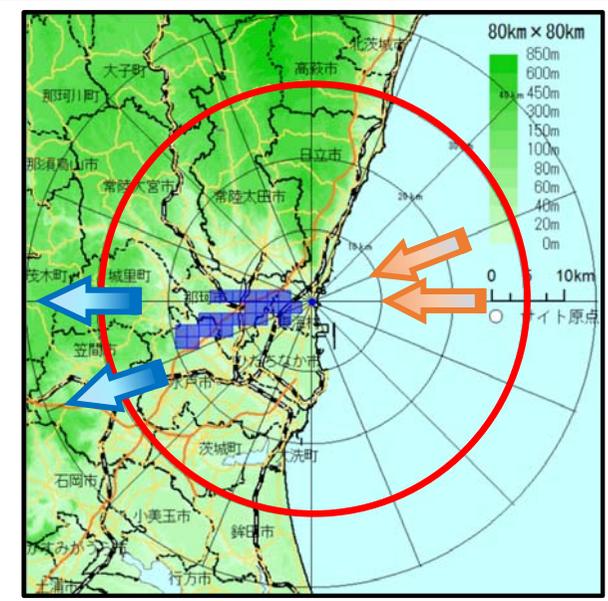
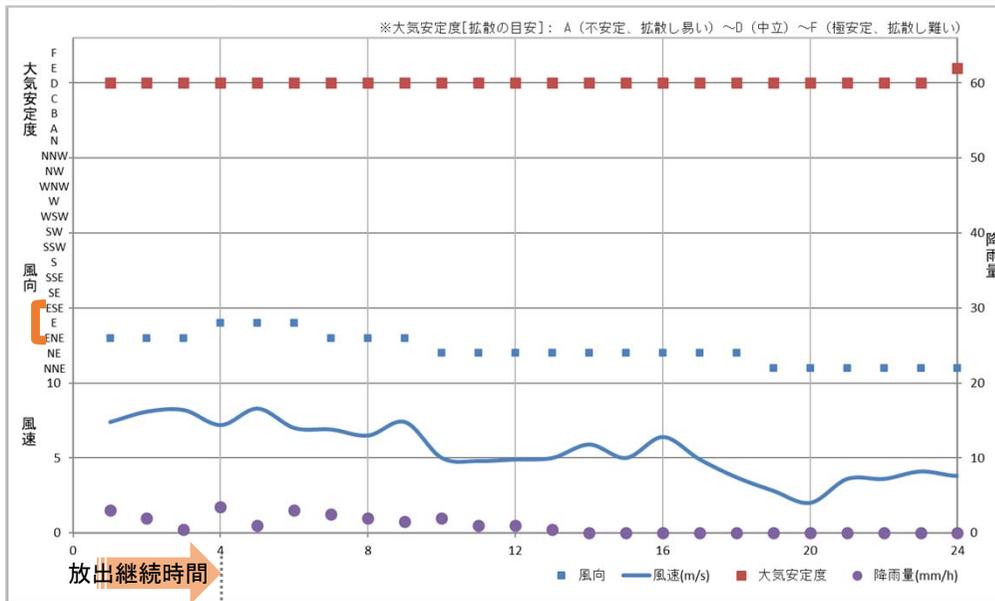
- 主な風向は南南東～南東であった。風下の地形(隆起(多賀山地)と比較的低い地形(久慈川流域))により、西にそれた分布傾向となったと考えられる。気象条件②において、OIL2が30km付近まで到達し、①及び②において、約1.1km (PAZ内)の位置にOIL1が生じた。
- 抽出された気象は同日であり、②は①より3時間後である。放出後に降雨が強まったことで、②の方がより遠方まで防護措置範囲が広がったと考えられる。

## 2. 気象条件と評価結果の相関：西方面

### 気象条件①



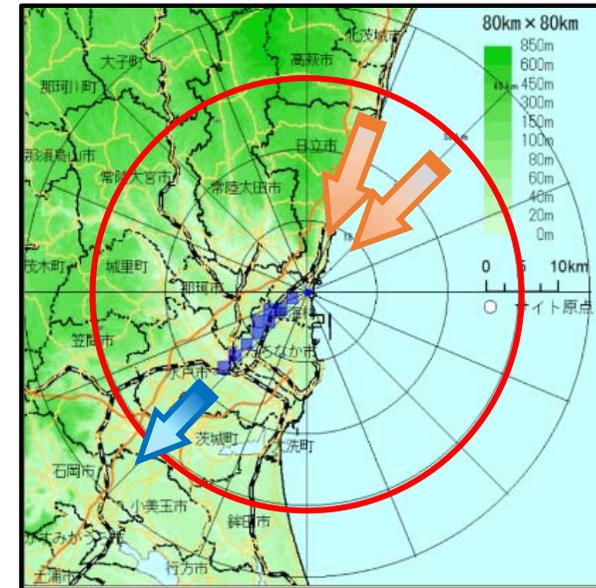
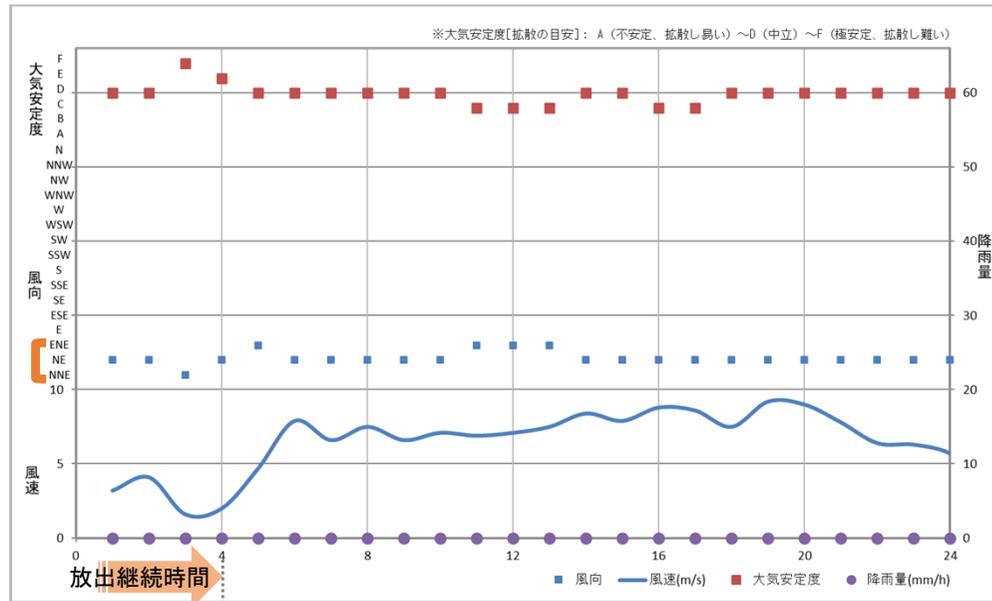
### 気象条件②



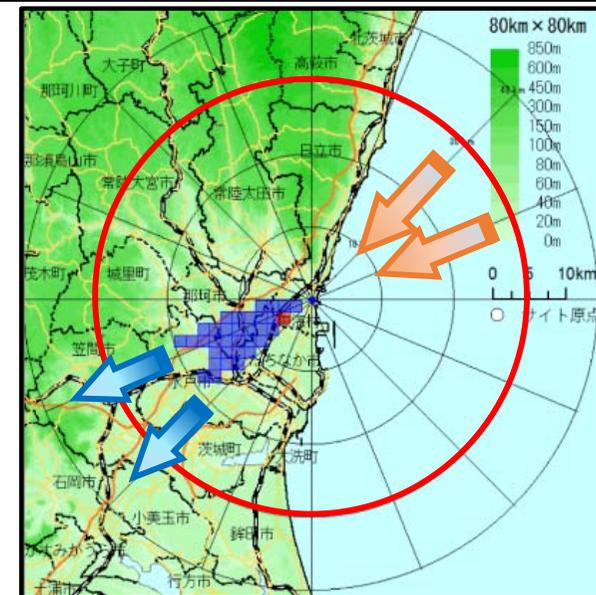
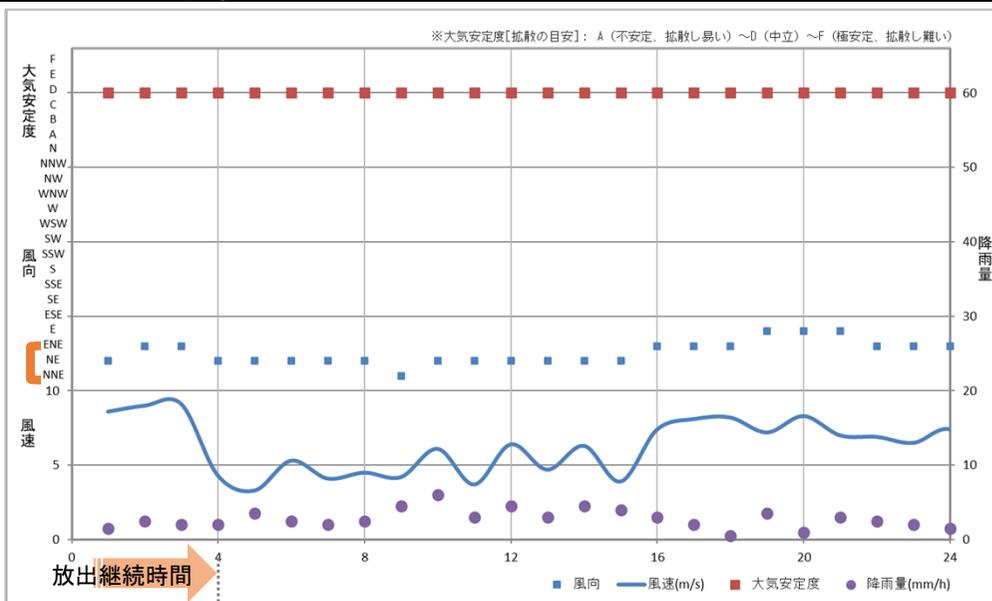
- 主な風向は気象条件①は東北東，②は東北東～東であり，防護措置範囲の分布傾向は妥当と考えられる。
- ①は降雨がなく，風速も比較的速いことから放射性物質が広く拡散したため防護措置範囲が2地点に留まったと考えられる。

## 2. 気象条件と評価結果の相関：南西方面

### 気象条件①



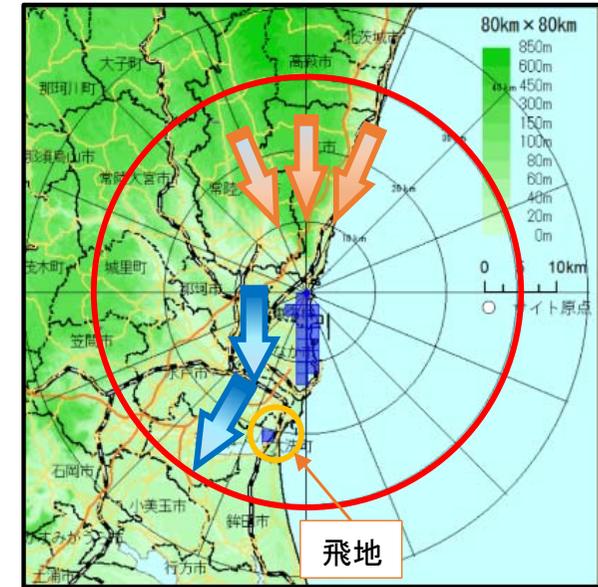
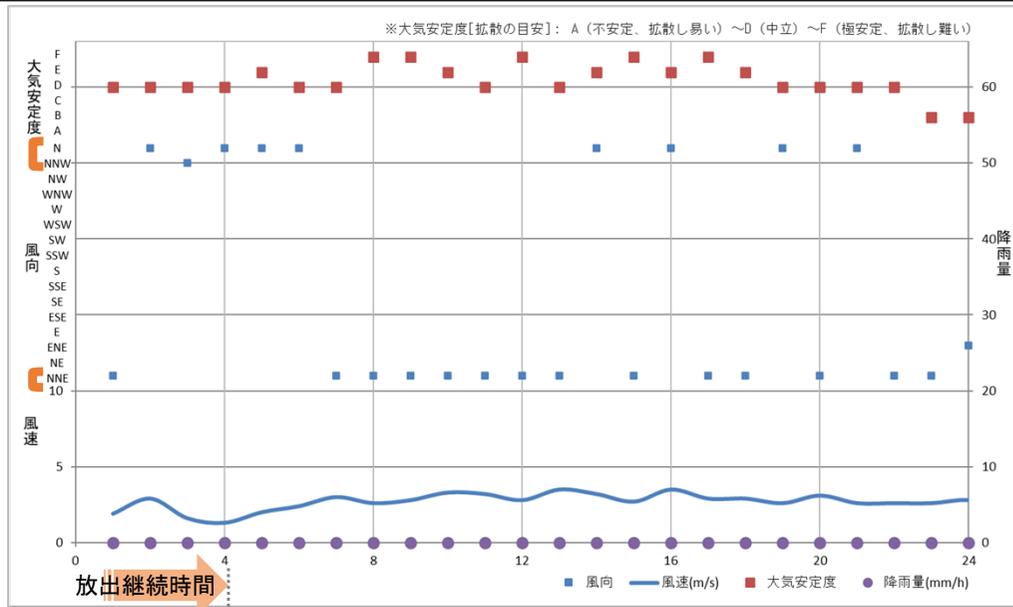
### 気象条件②



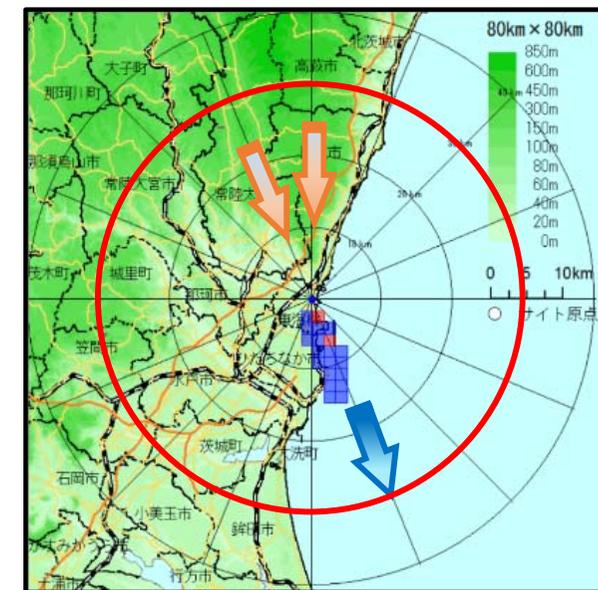
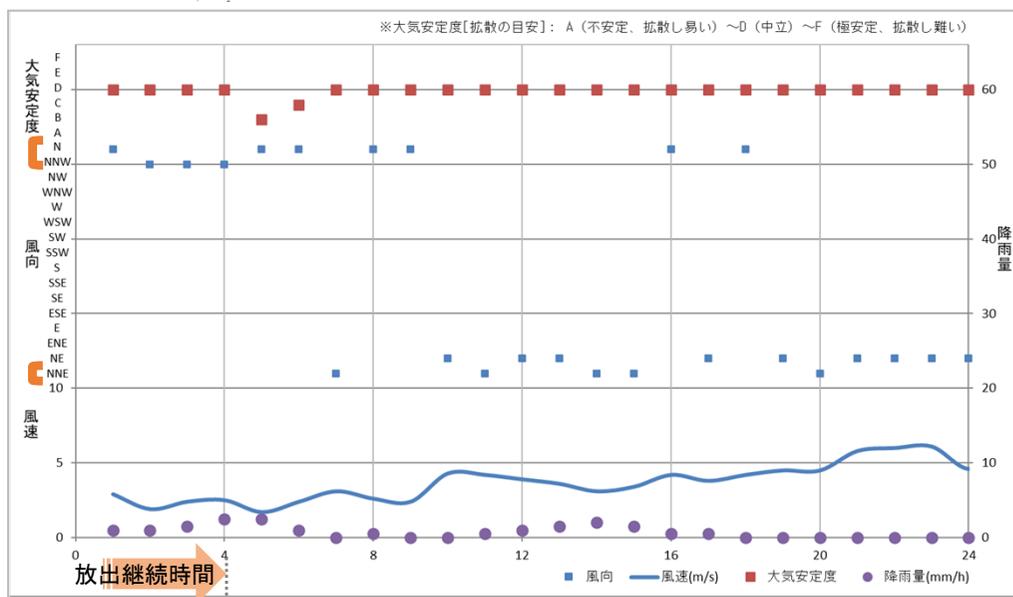
- 放出中の風向は、気象条件①では北東～北北東、②では北東～東北東であり、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考える。
- ②については、降雨による地表沈着により①と比較しOILが広範囲となったと考えられる。

## 2. 気象条件と評価結果の相関：南方面

### 気象条件①



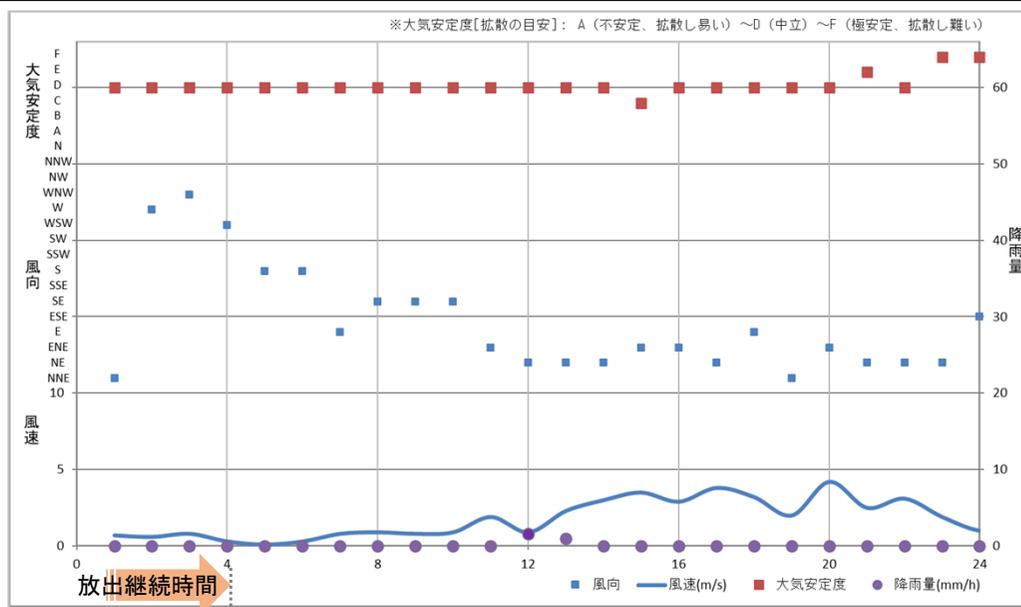
### 気象条件②



- 主な風向は、気象条件①は北北東～北北西、②は北～北北西であり、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考える。
- ①では一部に飛地的にOIL2が生じたが、移流拡散中の風向変化と地形(涸沼の北東が窪地)の影響によるものと考えられる。
- ②において、約2.5kmと約6.1kmの位置にOIL1が生じた。他方面に比べ風速が小さいことから、放出点に近い位置での地表沈着濃度が大きくなったためと考えられる。

## 2. 気象条件と評価結果の相関：気象条件③

### 気象条件③



- 風向は、放出開始から4時間は西寄り、その後南から東寄りの風へと遷移しており、発電所の東西方面を中心に防護措置範囲が分布している。風速が小さく風向が東西で逆転するなど、気象条件①及び②と比較して放射性物質が発電所近傍に留まりやすい条件となっており、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考える。

## 2. 気象条件と評価結果の相関:まとめ

- 各方面の気象条件とR-Cubicの評価結果(防護措置範囲)の相関を確認し,各方面とも気象条件に対し妥当な拡散傾向を示していると考ええる。
- 拡散傾向(防護措置範囲の分布傾向)
  - 各方面とも抽出した気象条件に対し,風下への分布傾向が確認された。
  - 東海村は比較的平坦な地形であるが,30km圏では,北～西～南西に隆起した地形が存在する。主な風下方位に対し,地形の影響を受けたと考えられる分布傾向(山地に沿った傾向)が確認された。飛び地的に生じている防護措置範囲も,地形(周辺よりやや低くなっている)の影響が表れたものと考えられる。
- 降雨影響
  - 気象条件①と②を比較し,降雨による地表沈着への影響の差が確認され,多くの方面で②の方がOIL1,2に該当する範囲が広がった。
  - なお,北方面では,気象条件②より①の方が防護措置範囲が広がった。これは,放出後に降雨が開始されることにより,遠方での地表沈着に影響を与えるためと考えられる。(気象条件①,②が同日の1時間差であったことから,本結果を受け,報告上は気象条件①,②を同一とみなし,気象条件①による結果を北方面の代表として記載している。)

### ● 空間線量率等の評価結果の妥当性

R-Cubicにおいて,実気象から抽出した放射性物質の拡散範囲,地表沈着しやすくなる条件を選択した気象条件を用いて拡散シミュレーションすることにより,防護措置範囲(避難・一時移転の対象となる区域)が広がる条件を評価できたものと考ええる。

#### ① 時系列変化の例

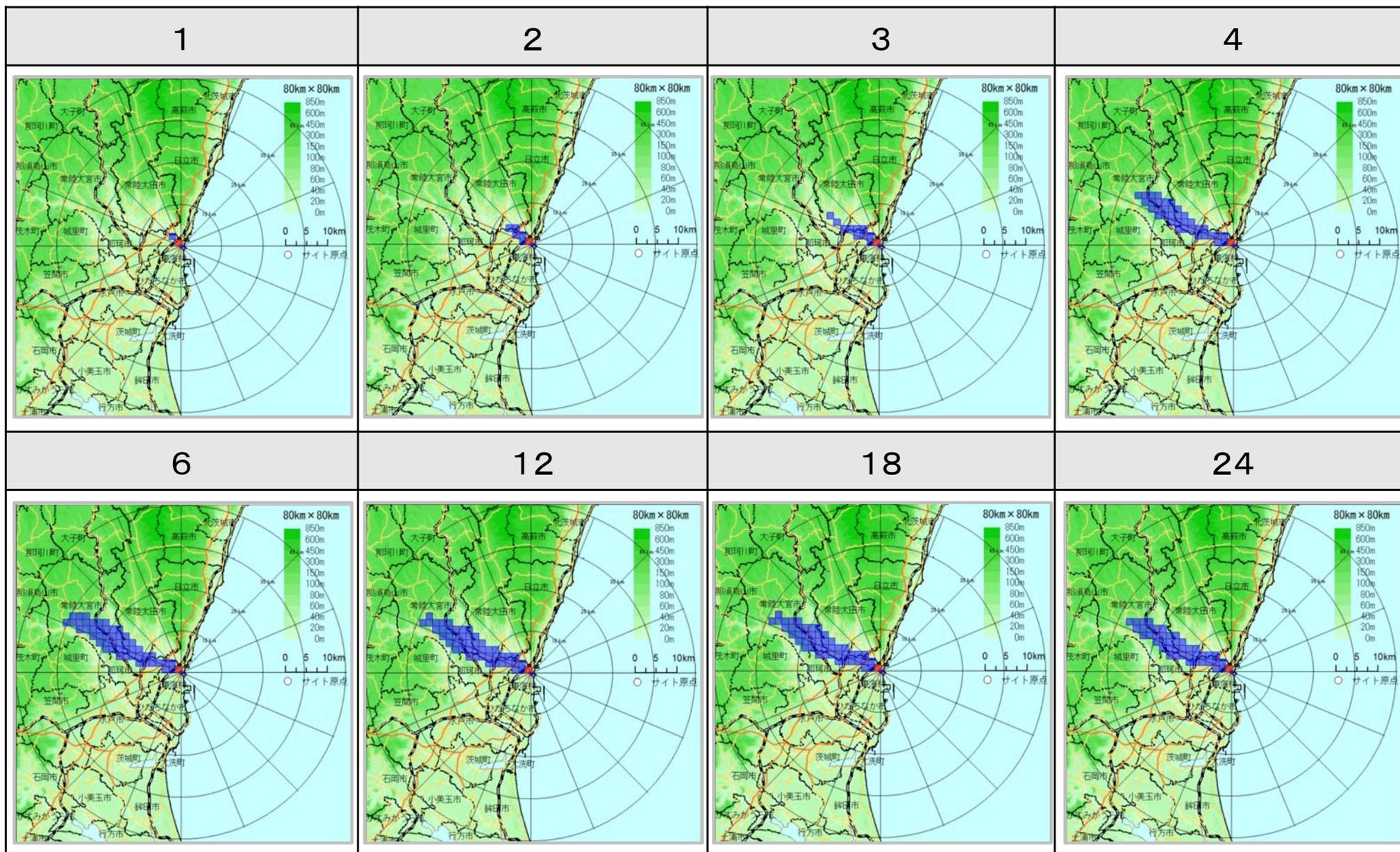
- 防護措置範囲が30km付近まで到達した北西方面: 気象条件②について、放射性物質の放出から24時間後までの時系列変化を示す。

#### ② 他コードによる評価結果の例

- R-Cubic以外の解析コードによる評価例としてMACCS2を用いた評価結果を示す。

### 3. その他評価結果(参考): ①時系列変化(1/2)

北西方面: 気象条件② (風向継続11時間, 降雨継続12時間)



図上部の数字は放出開始からの経過時間

#### ●OIL1, 2の範囲の時系列変化について

- 今回の評価において、防護措置範囲は、放出開始から約6時間後に最大となり、24時間後までに最遠部付近のOIL2の該当範囲がやや縮小するも、おおよそその範囲を留める結果となった。(到達距離に差はあるが、北西方面:気象条件②以外も同様の傾向)
- 推定要因
  - 放射性物質の放出継続時間が1~4時間(I-131以外の核種)であることから、防護措置範囲に該当する地点数が最大となるのが6時間前後となったと考えられる。
  - 放出継続時間の設定から、放射性プルームの影響については、放出開始から24時間後においては、放出終了から10時間以上経過しUPZ圏を通過しており、本評価における空間線量率への直接の寄与はない。(地表沈着した放射性物質による空間線量率への寄与のみとなる。)
  - 空間線量率については、放出が終了し沈着量がそれ以上増加せず、またOIL2の範囲でも遠方ほど空間線量率の上昇幅は小さく、短半減期核種の減衰の影響を受けやすいため、時間経過によりOIL2の設定値(20  $\mu$  Sv/h)を下回る事となったと考えられる。

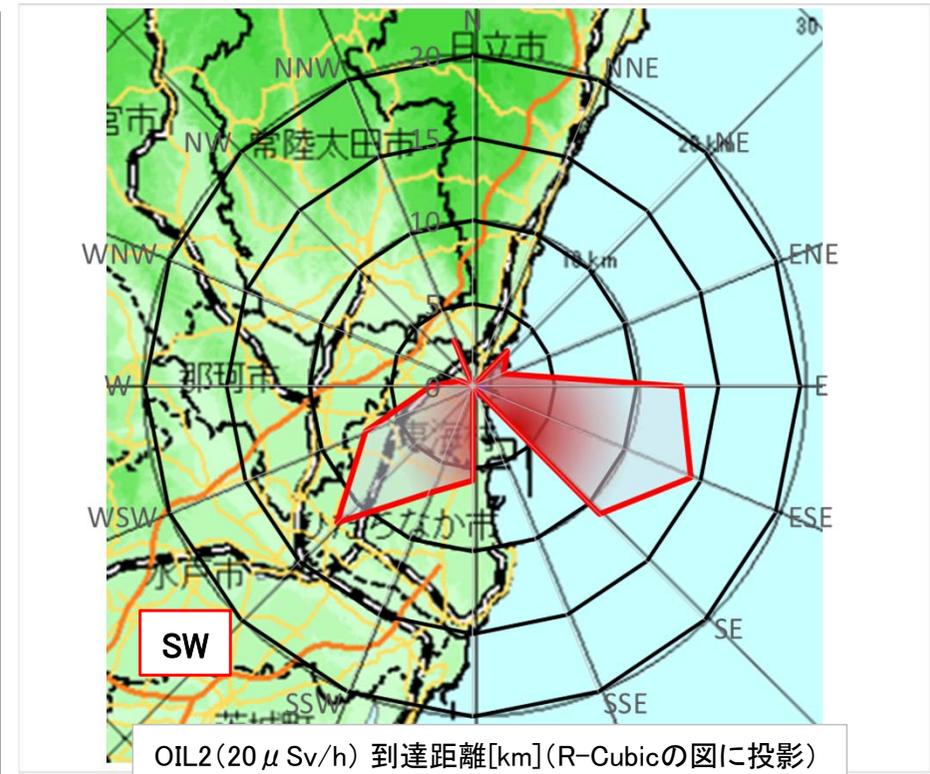
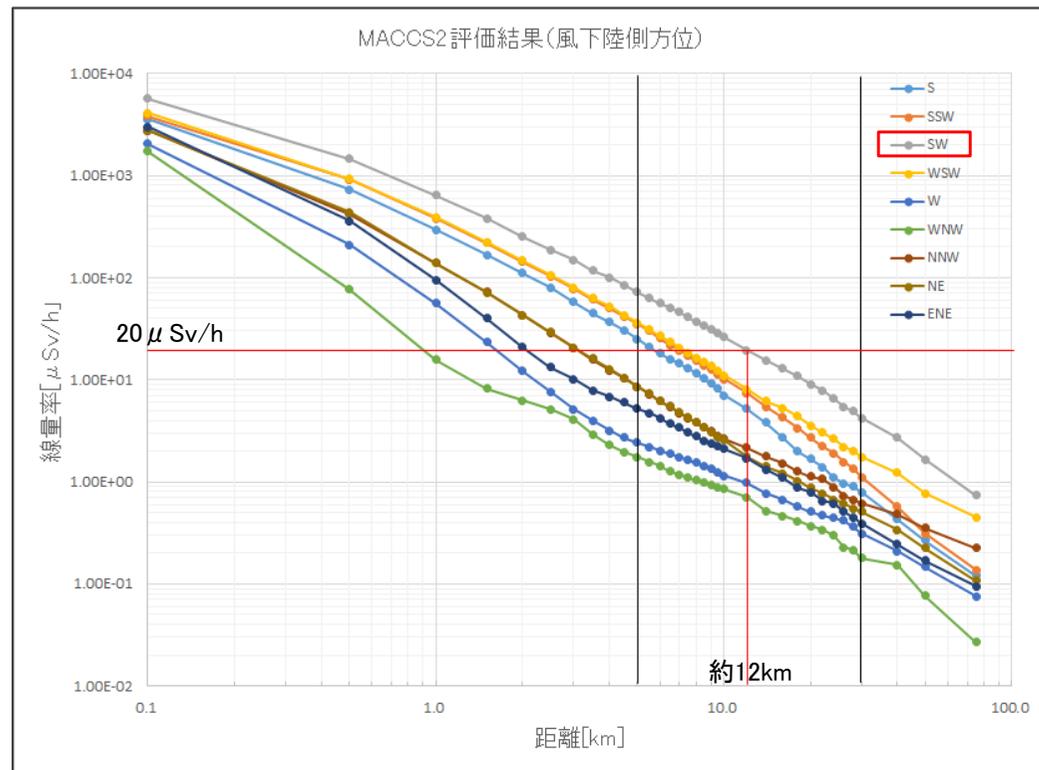
#### ● 今回のシミュレーションにおいて、放出開始から24時間後の評価結果を参照することは、防護措置範囲の判断をする上で概ね妥当と考える。

#### ● 留意事項等

- 今回の評価では、24時間後のOIL範囲の評価を行うに当たり、解析上7日間で放出される放射性物質を数時間で放出する保守的な評価を行っている。
- 防護措置範囲が最大となる時間及び放射性プルームの通過時間については、風速・風向及び大気安定度の変化にも依存する。
- 拡散の状況は、放射性物質の放出量や放出継続時間、気象条件等の種々の要因により異なるため、本評価のみによって一律に避難・一時移転の対象となる範囲が定まるものではない。

### 3. その他評価結果(参考): ②他コードによる評価結果の例

- ソースタームは、今回の拡散シミュレーションと同等、放出継続時間を1時間、気象データは2020年度(1年間)を使用し、グランドシャインの方位別97%値を評価した。



- 通常MACCS2では、ユーザが指定した24時間以上168時間までの、プルーム到達から一定期間における距離別の積算線量を評価するが、今回は入力データの設定を工夫することにより求めた23時間後と24時間後の積算線量の差分から、放出から24時間後における疑似的な空間線量率として算出した。
- 空間線量率が20  $\mu\text{Sv/h}$ を超える距離が最大となる方位(陸側)は南西であり、その距離は約12kmであった。
- 今回実施したR-Cubicによる評価では、一定の気象条件に基づいたデータの抽出を行うことにより、防護措置範囲が最大到達距離が30km程度となるようなより厳しい気象条件を選択できていたものとする。

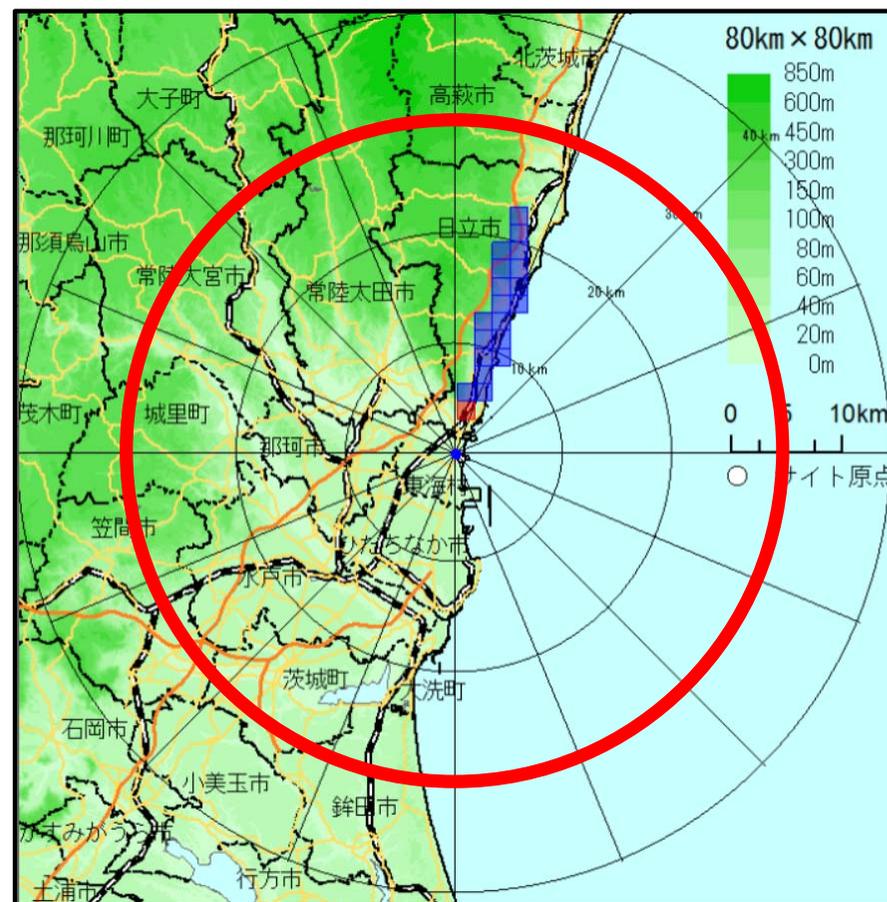
END

- ・ R-Cubicのみの拡大図

## 気象条件①



## 気象条件②(参考)



- 気象条件①では、放出から1時間後に降雨となったことにより、②に比べ遠方の防護措置範囲に差が出たと考えられる。
- 放出中の風向は、主に南であった。東北東への防護措置範囲の分布傾向は、地形(多賀山地)による影響が考えられる。
- 抽出された気象期間が1時間差で重なったことから、気象条件①と②を同一とし、防護措置範囲が広範囲であった気象条件①を北方面の結果として報告書に掲載している。

## 気象条件①



## 気象条件②



- 主な風向は南南東～南東であった。風下の地形(隆起(多賀山地)と比較的低い地形(久慈川流域))により、西にそれた分布傾向となったと考えられる。気象条件②において、OIL2が30km付近まで到達し、①及び②において、約1.1km (PAZ内)の位置にOIL1が生じた。
- 抽出された気象は同日であり、②は①より3時間後である。放出後に降雨が強まったことで、②の方がより遠方まで防護措置範囲が広がったと考えられる。

## 気象条件①



## 気象条件②

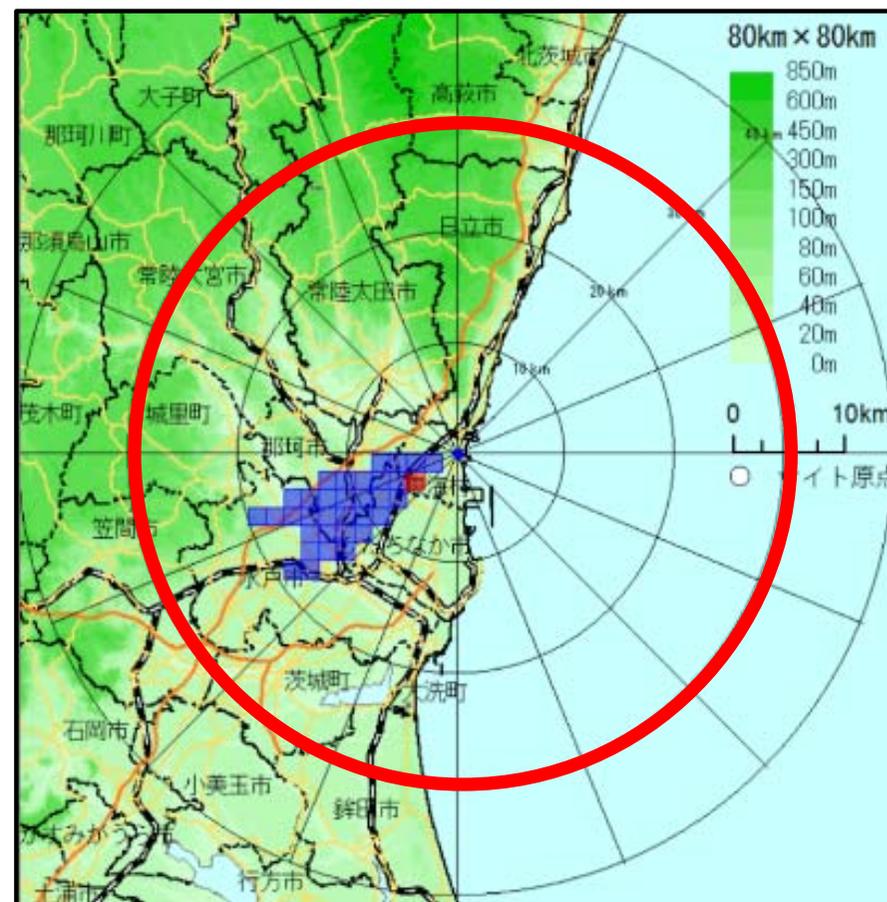


- 主な風向は気象条件①は東北東、②は東北東～東であり、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考えられる。
- ①は降雨がなく、風速も比較的速いことから放射性物質が広く拡散したため防護措置範囲が2地点に留まったと考えられる。

## 気象条件①



## 気象条件②



- 放出中の風向は、気象条件①では北東～北北東、②では北東～東北東であり、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考える。
- ②については、降雨による地表沈着により①と比較しOILが広範囲となった。

## 気象条件①

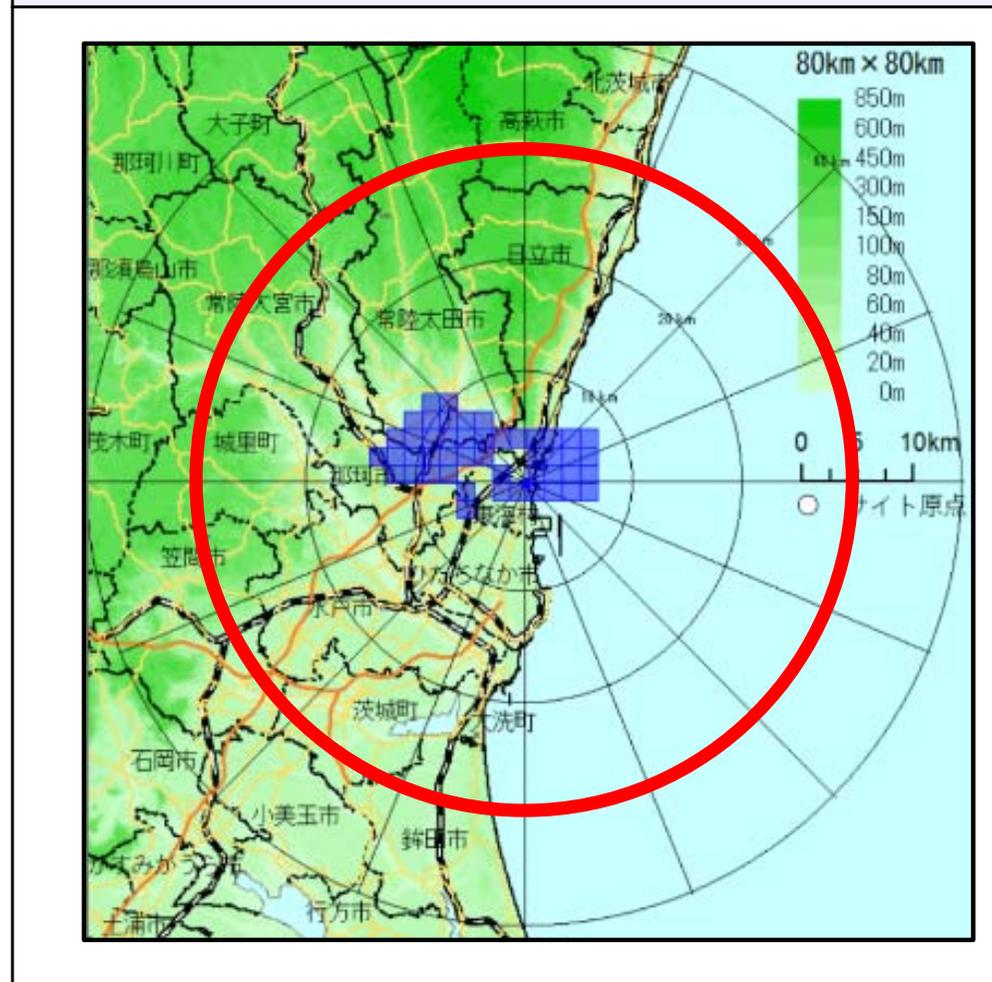


## 気象条件②



- 主な風向は、気象条件①は北北東～北北西、②は北～北北西であり、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考える。
- ①では一部に飛地的にOIL2が生じたが、移流拡散中の風向変化と地形(涸沼の北東が窪地)の影響によるものと考えられる。
- ②において、約2.5kmと約6.1kmの位置にOIL1が生じた。他方面に比べ風速が小さいことから、放出点に近い位置での地表沈着濃度が大きくなったためと考えられる。

## 気象条件③



- 風向は、放出開始から4時間は西寄り、その後南から東寄りの風へと遷移しており、発電所の東西方面を中心に防護措置範囲が分布している。風速が小さく風向が東西で逆転するなど、気象条件①及び②と比較して放射性物質が発電所近傍に留まりやすい条件となっており、防護措置範囲の分布傾向は妥当と考える。