

2023年度(第4回)

2023年度 第三者検証委員会

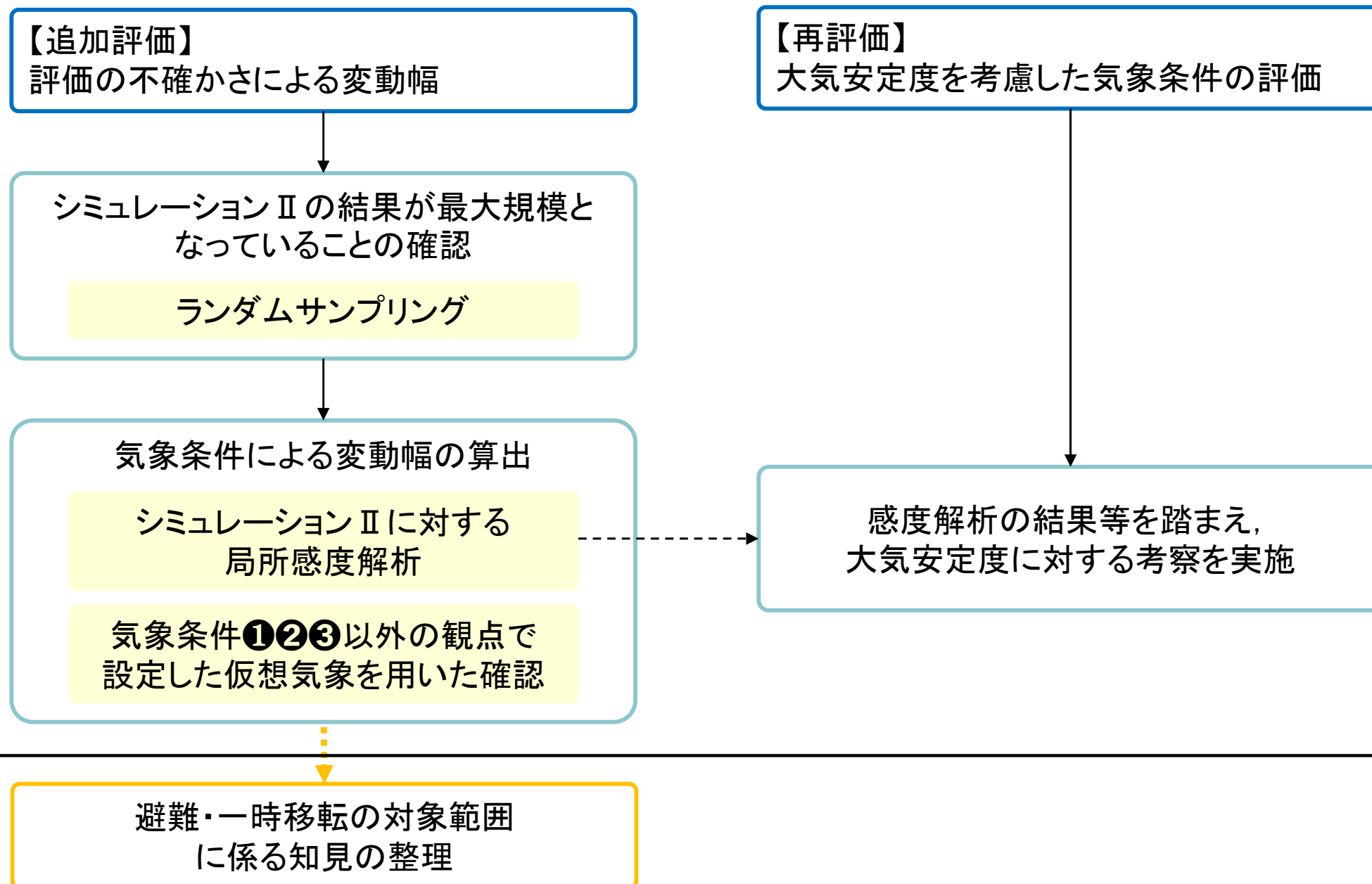
2024年1月25日
日本原子力発電株式会社

1. これまでの検証委員会を踏まえた 整理の方向性

1. これまでの検証委員会を踏まえた整理の方向性

項目	目的	内容
シミュレーションⅡが最大規模となっていることの確認(実気象を用いた評価)		
ランダムサンプリング	シミュレーションⅡの気象条件②が実気象の中で他の気象条件に比べて統計的に保守性が高い領域にあることを示す	1) 一年間の気象条件からランダム(等確率)にサンプリングした気象条件を用いた評価 2) 確率密度関数を用いたフィッティング
気象条件による変動幅の算出(仮想的な気象条件を用いた評価)		
シミュレーションⅡに対する局所感度解析	シミュレーションⅡ(気象条件②・③)に対し, 更に厳しい気象条件を組み合わせた場合に避難・一時移転の範囲がどの程度, 広がりを示すかを定量評価する	1) 気象条件②に対して, 各入力パラメータ(風速, 降雨率, 大気安定度)を仮想的に変化させた局所感度解析 2) 結果の分析・考察
気象条件①②③以外の観点で設定した仮想気象を用いた確認	気象条件②③以外の観点で, 避難・一時移転の対象範囲が広がる可能性のある着眼点について検討を行う。	1) 風向・風速, 降雨率・大気安定度の全ての項目を仮想的に設定した感度解析
感度解析等を通じて得られた知見の整理		
避難・一時移転の対象範囲に係る知見の整理	避難・一時移転の対象範囲に係る知見を整理する	上記1, 2の内容を踏まえた知見の整理

追加要請事項との関係整理



2. シミュレーションⅡの結果が 最大規模となっていることの確認

ランダムサンプリングの結果及び分析
(実気象を用いた評価)

2. ランダムサンプリングの結果及び分析(実気象を用いた評価)



概要

- ・第3回検証委員会では100ケース分のランダムサンプリング結果を提示した。今回は、更に100ケース分を追加実施し、サンプルサイズを200とした。
 - ✓ ランダムサンプリング200ケースにおける最大値：31地点
- ・ランダムサンプリングによって得られた累積分布のフィッティングにより、避難・一時移転の対象が38地点以下となる確率を求めたところ、約99.8%となった。
 - ✓ フィッティングには信頼性工学の分野で広く活用されるワイブル分布を使用

地点数	個数	地点数	個数	地点数	個数	地点数	個数
1	21	11	3	21	0	31	1
2	6	12	3	22	0	32	0
3	9	13	3	23	0	33	0
4	9	14	5	24	2	34	0
5	6	15	4	25	0	35	0
6	2	16	2	26	3	36	0
7	7	17	3	27	0	37	0
8	6	18	3	28	0	38	0
9	2	19	1	29	1	39	0
10	4	20	3	30	0	40	0

今回評価における
最大値

※地点数0は91回

2. ランダムサンプリングの結果及び分析(実気象を用いた評価)



気象データが適切に抽出されていることの確認

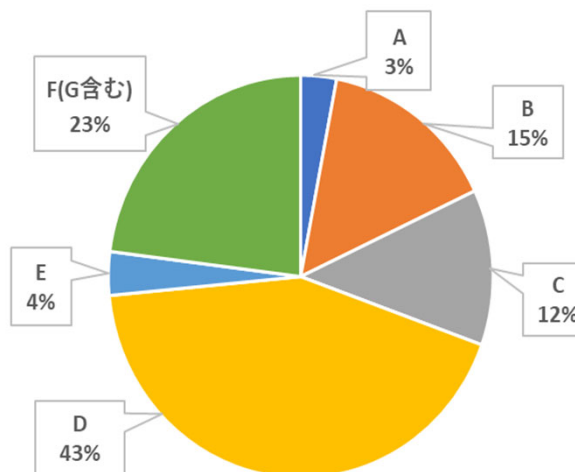
評価に用いた気象データ(200個)の放出開始時点の傾向は、年間の統計と概ね一致している

	サンプル割合[%]	2020年度[時間]
降雨なし	93.5	8154
降雨	6.5	606

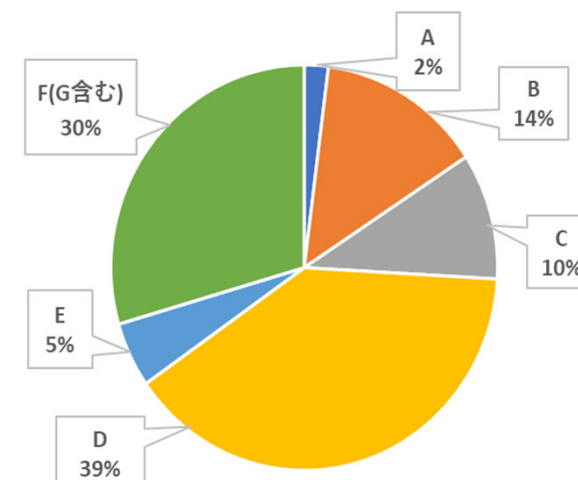
約 6.9%

	サンプル割合[%]
昼間	42
夜間	58

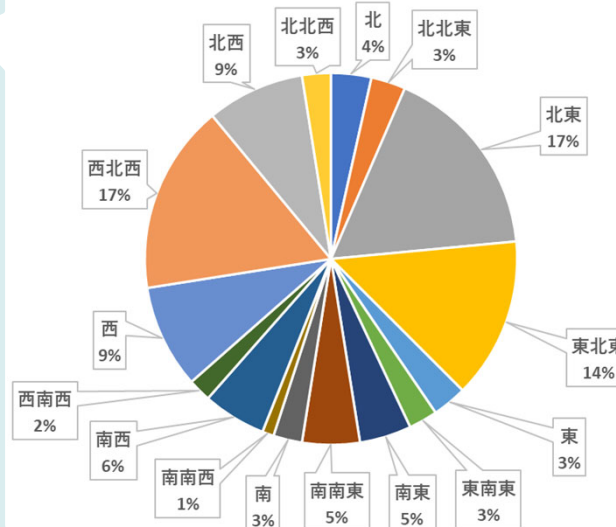
サンプル割合 (放出開始時 大気安定度別)



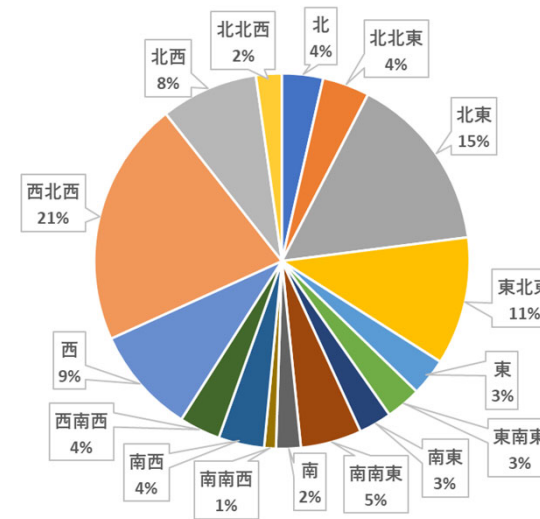
2020年度 大気安定度出現頻度



サンプル割合 (放出開始時 風向別)



2020年度 風向出現頻度



風向方面	サンプル割合[%]	2020年度[%]
日立	9	9
常陸太田	13	11
那珂	20	17
水戸	34	30
大洗	10	10

2. ランダムサンプリングの結果及び分析(実気象を用いた評価)



ワイブル分布の導出プロセス

ワイブル分布

$$F(x) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right\}$$

<ワイブル分布の導出プロセス>

- ① ランダムサンプリング結果を, 地点数(X)の少ない順に並び替えを行う。
- ② 累積確率F(X)を計算する。
- ③ $\ln(x)$ と $\ln(\ln(1/(1-F(X))))$ のグラフを書き, 直線(線形近似)になるかを確認する。
- ④ 線形近似の直線より, 傾きと切片を求め, ワイブル分布の α と β を求める。
- ⑤ α と β からワイブル分布による累積確率を計算する。
⇒地点数が38以下となる確率を算出する。

ランダムサンプリング結果の集約

Case No.(i)	地点数(X)	F(X) [=i/(n+1)]
1	0	0.005
...	...	0.010
92	1	0.458
...	...	...
198	26	0.985
199	29	0.990
200	31	0.995

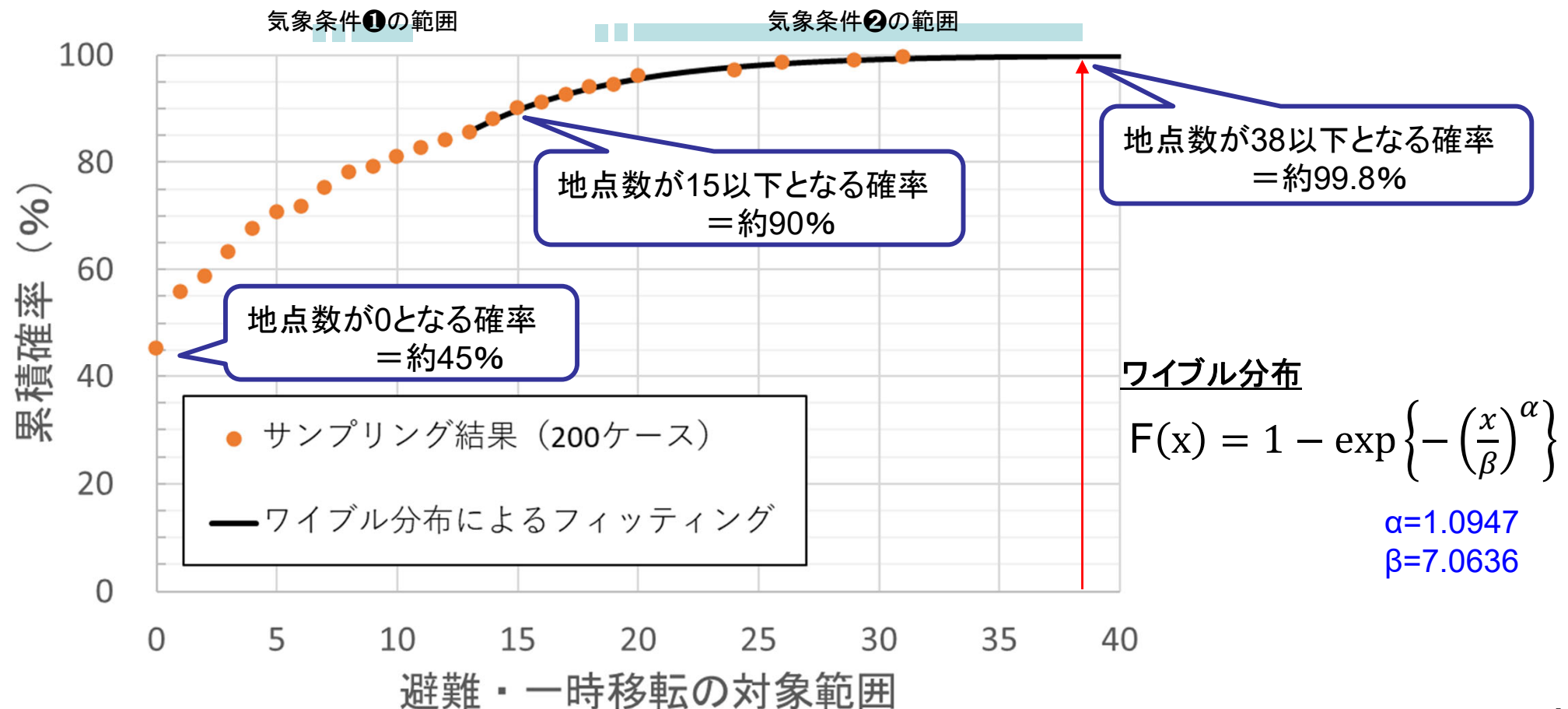
ワイブル分布の α , β を求めるための直線



直線を2つとした方が良い一致を示す
⇒海上等を地点数にカウントしないこと
による影響と推定

ワイブル分布を用いたフィッティング結果

- ・前頁のグラフから求めた α , β を用いたワイブル分布による累積確率と、ランダムサンプリング結果から得られた累積確率を比較したところ、両者は良く一致した。
- ・ワイブル分布を用いて、地点数が38以下となる確率を求めたところ、約99.8%となった。
⇒シミュレーションⅡの気象条件②が実気象の中で最大規模となっていることを確認した。
(2020年度の気象は異常年検定により他年度と同様の傾向であることを確認しており、他年度の気象で評価した場合も概形は大きく変化しないと考えられる)



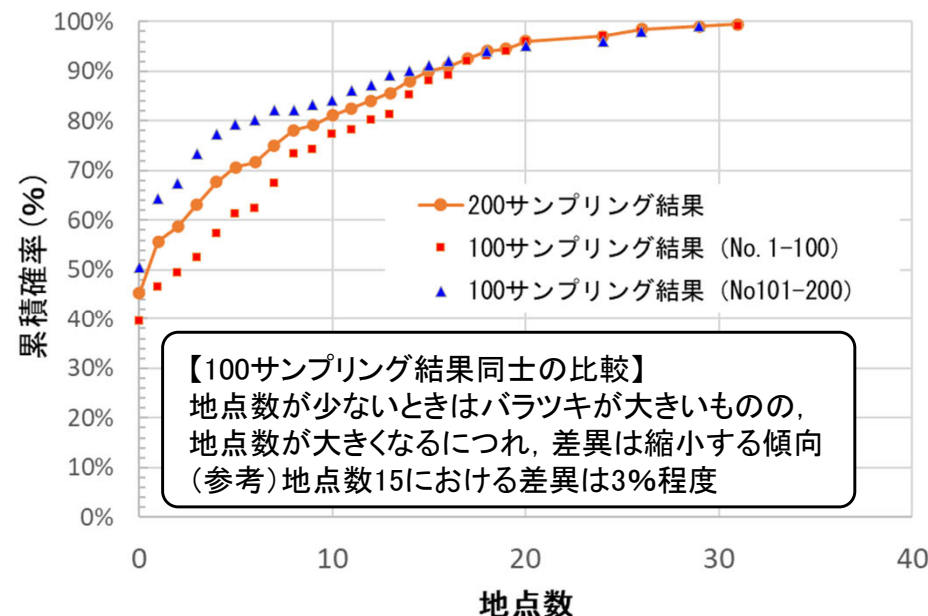
2. ランダムサンプリングの結果及び分析(実気象を用いた評価)



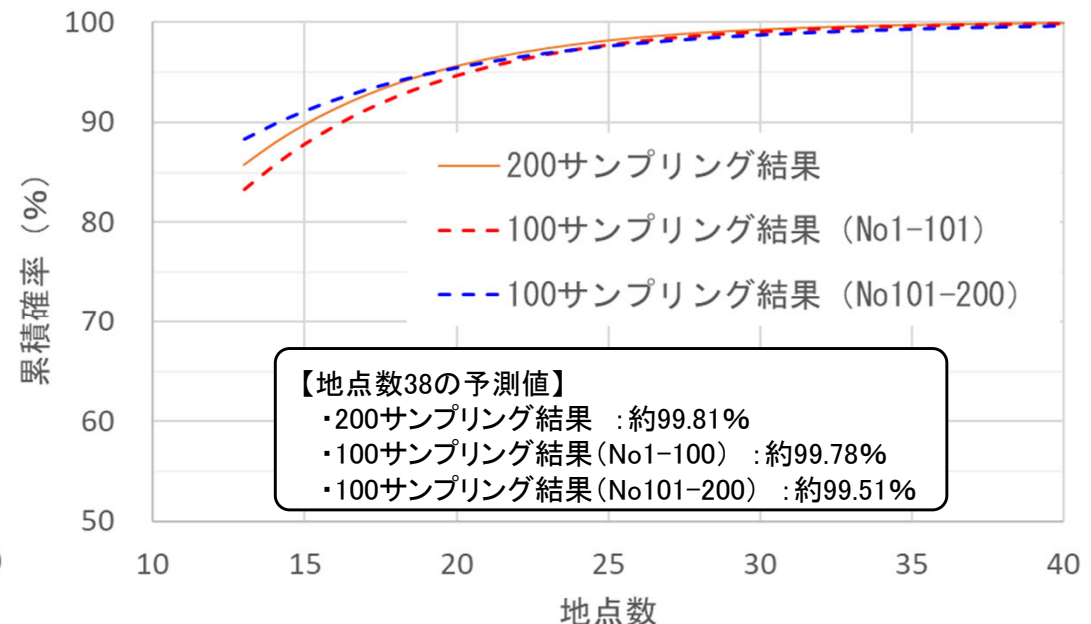
サンプルサイズ200の妥当性

- ・今回、2020年度の実気象データ(200サンプル)に対して、避難・一時移転の対象範囲を評価した上で、シミュレーションⅡにおける最大地点数(38)以下となる確率を統計的な処理により推定した。
- ・サンプルの更なる追加について、以下の理由から不要と考える。
 - シミュレーションⅡの評価に用いた気象が実気象の中で最大規模であることを確認するため、分布の概形を算出することが主な目的であること(下図のとおり、分布の概形は100サンプル追加の前後で大きく変化していない)
 - 評価に用いた気象データ(200個)の放出開始時点の傾向が、年間の統計と概ね一致していることを確認していること

サンプリング結果による累積確率(ケース比較)



ワイブル分布による累積確率(ケース比較)



3. 気象条件による変動幅の算出

概要

- ・ランダムサンプリングの結果により、シミュレーションⅡの気象条件②は実気象の中で最大規模となっていることを確認した。
- ・一方で、降雨、風向、風速、大気安定度等の気象条件には無数の組み合わせが存在することから、「最大であること」を証明することは事実上困難である。
- ・このため、仮想的な気象を用いた感度解析を行うことで、気象条件による変動幅の算出を行った。
 - ＜感度解析1＞
シミュレーションⅡ（気象条件②・③）に対して、各入力パラメータ（風速、降雨率、大気安定度）を仮想的に変化させた局所感度解析
 - ＜感度解析2＞
気象条件①②③以外の観点で、入力パラメータ（風向・風速、降雨率、大気安定度）の全ての項目を仮想的に設定した感度解析
- ・なお、仮想的な気象条件の中には、現実には極めて起こりにくいものが含まれること、現在の拡散シミュレーションにおけるソースタームには大きな保守性が含まれていることに留意が必要である。

3. (1) 感度解析 1

シミュレーションIIに対する局所感度解析

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)



感度解析の評価条件

第3回資料より抜粋

Gr	変数	入力	備考
A. 降雨の影響	A-1	降雨	(参考)気象条件②における降雨の影響の程度を確認する。 降雨率のトレンドデータに一定倍率を掛ける。 (参考:至近5年度における降雨率の最大値は34mm/h)
	A-2	降雨	
	A-3	降雨	
	A-4	降雨	
B. 降雨開始の影響	B-1	降雨	降雨率はトレンドデータのまま、左記の時間分後送りとする。
	B-2	降雨	
	B-3	降雨	
	B-4	降雨	
C. 風速の影響	C-1	風速	風速のトレンドデータに一定倍率を掛ける。 (参考:至近5年度における地上風(1時間値)の最大値は17m/s)
	C-2	風速	
	C-3	風速	
	C-4	風速	
	C-5	風速	
	C-6	風速	
	C-7	風速	
D. 大気安定度の影響	D-1	大気安定度	地上風速、日射・放射収支量に依らず、左記の設定で一定とする。
	D-2	大気安定度	
	D-3	大気安定度	
	D-4	大気安定度	
	D-5	大気安定度	

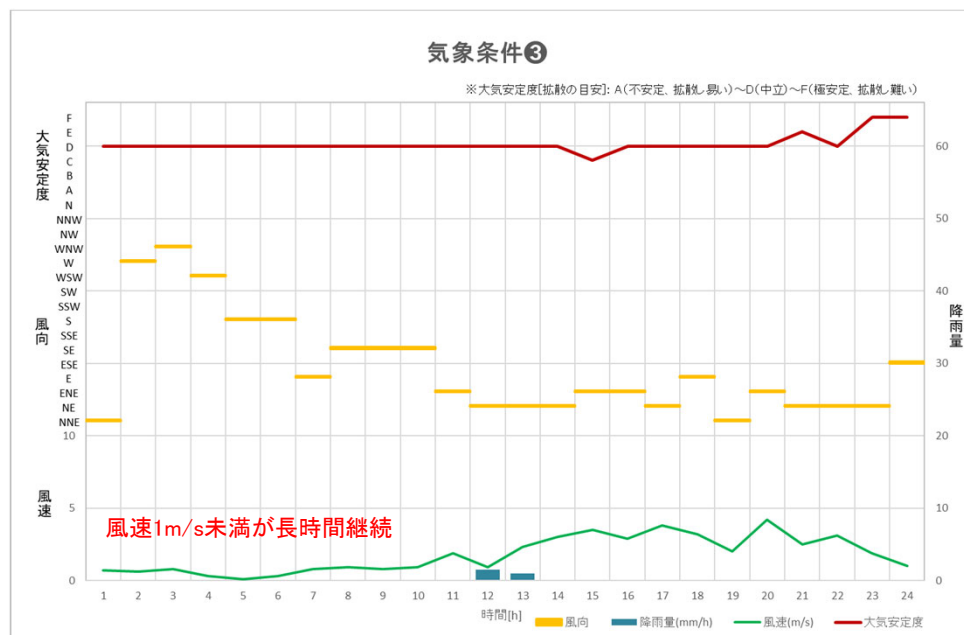
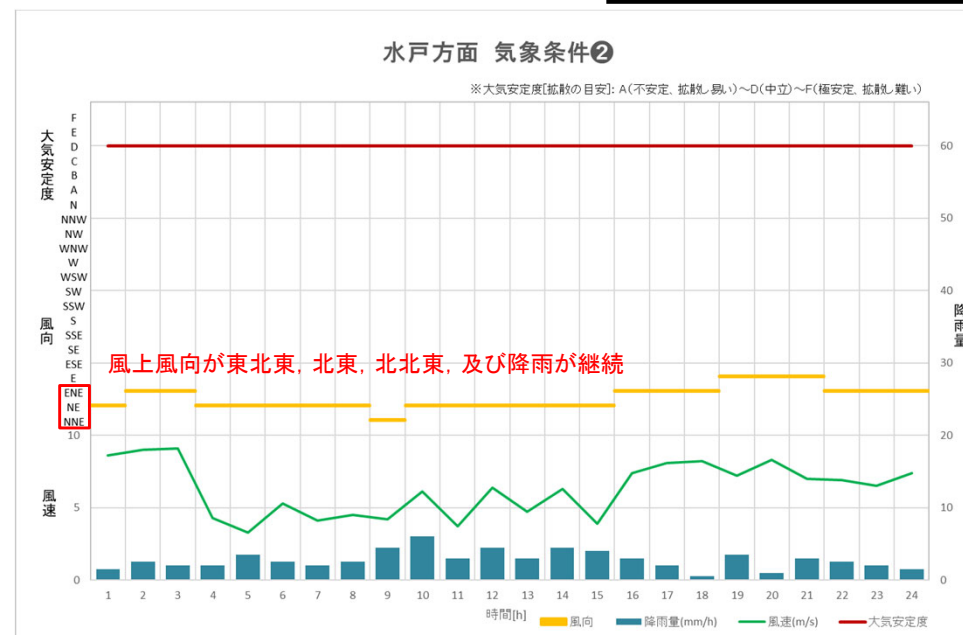
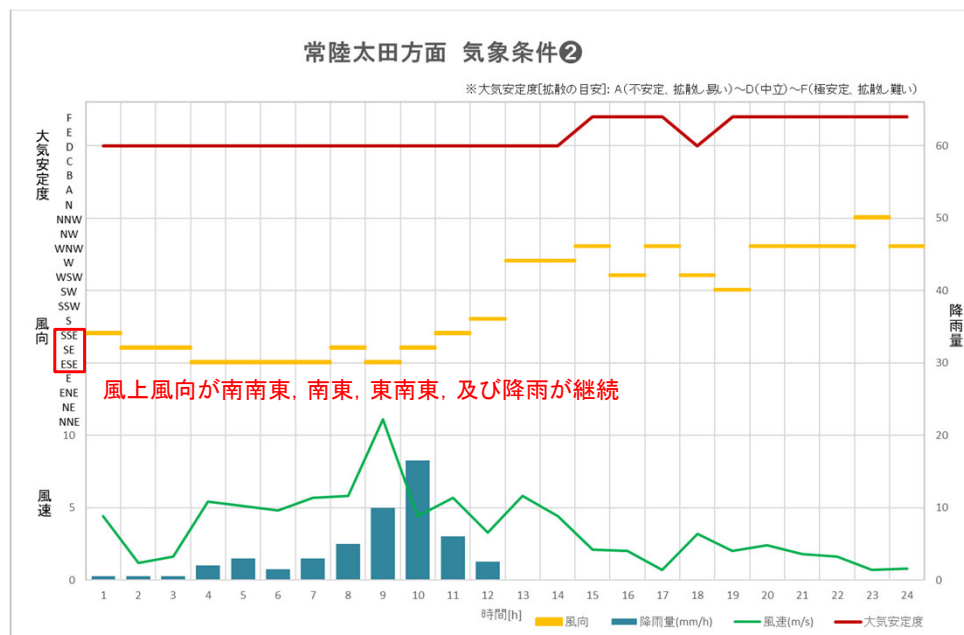
- ・ 気象条件②(避難・一時移転の対象範囲が大きくなる気象条件)について、評価結果に影響を与えるR-Cubicにおける気象条件の入力値に対する感度解析を実施する。
- ・ 降雨については、本来0.5mm毎カウントだが、四捨五入の値を採用した。(例:1.5mm/h×0.5=0.75≒0.8)
- ・ 降雨は、R-Cubicの洗浄係数の設定と至近5年度の降雨率を勘案し4倍を上限とした。
- ・ 風速は、至近5年度の地上風速の最大値及びR-Cubicの入力上限を勘案し3倍を上限とした。

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)



気象条件②(常陸太田方面, 水戸方面)及び気象条件③のデータ

第3回資料より抜粋

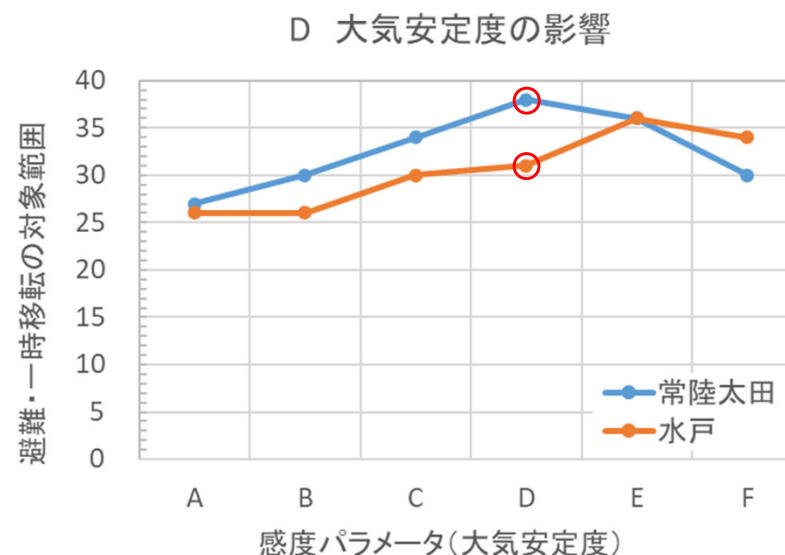
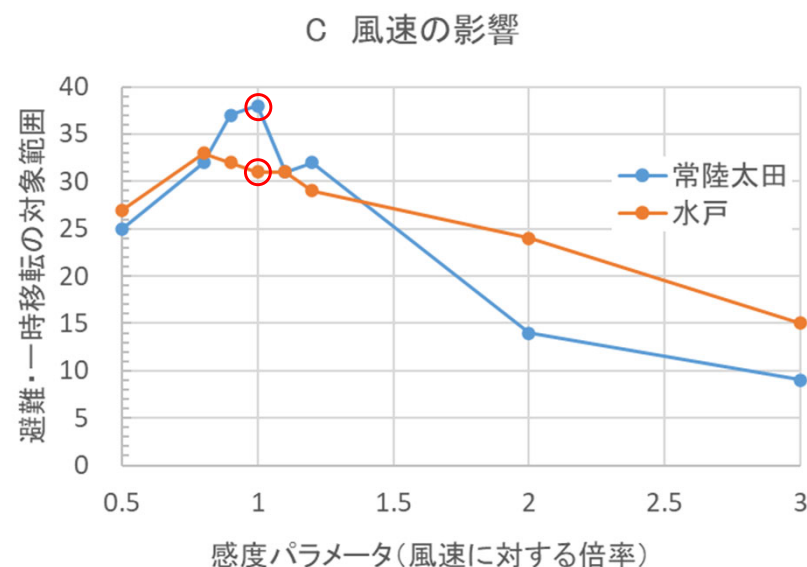
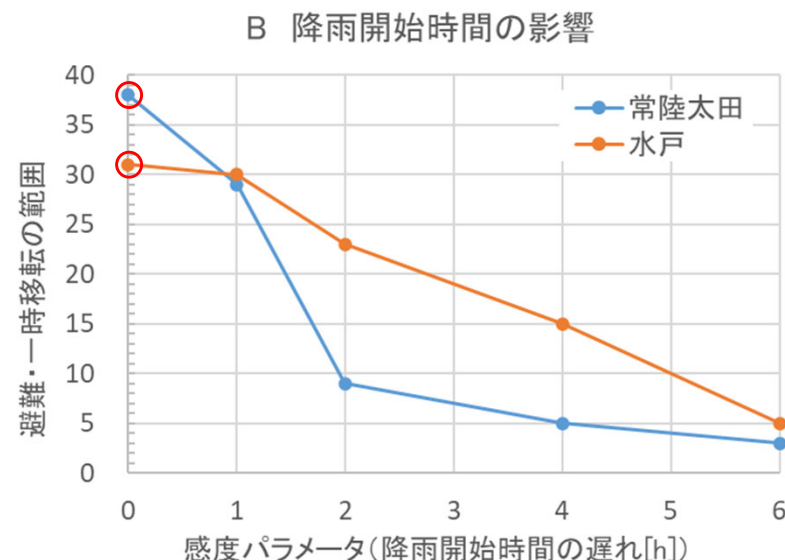
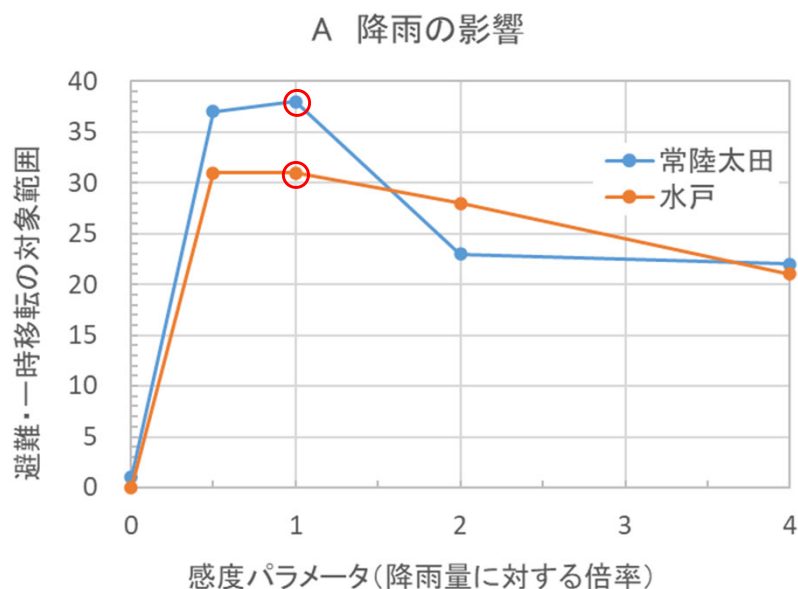


- 感度解析では, 仮想的にパラメータを与えることから, 実気象では生じにくい気象条件により, 避難・一時移転の対象範囲を評価することとなる。
- 通常みられる気象条件と異なる設定の例
 - 気象条件②は降雨が継続する条件だが, 降雨中は, 日射量大きい状態に発生する不安定型の大気安定度は生じにくい。
 - 安定型の大気安定度が長時間継続する風向は, 風下が海側となりやすい。

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件②に対する感度解析結果(トレンド)

第3回資料より抜粋



○:シミュレーションⅡ(茨城県に報告した結果)

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

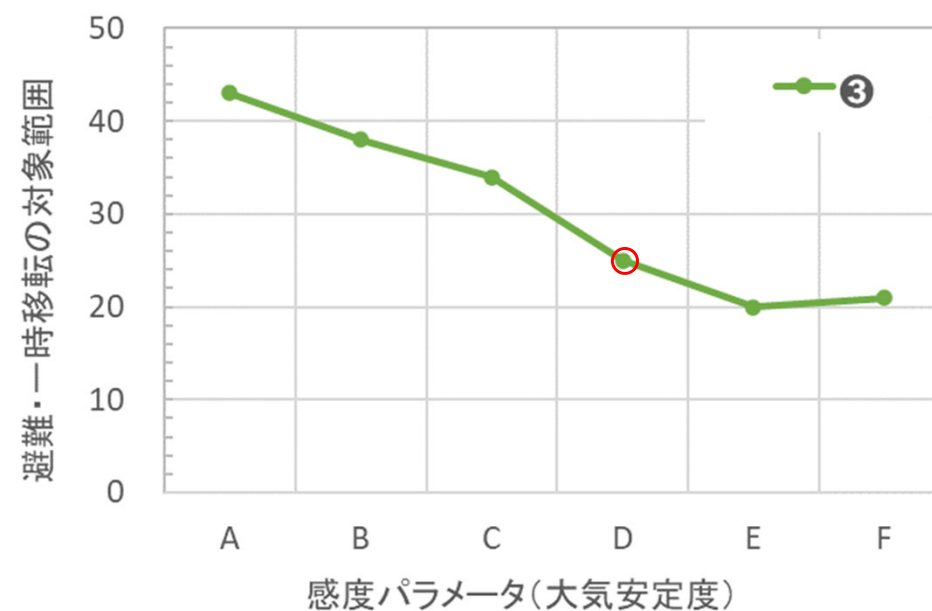
気象条件③に対する感度解析結果(トレンド)

第3回資料より抜粋

C 風速の影響



D 大気安定度の影響



○: シミュレーションⅡ(茨城県に報告した結果)

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)



【参考】感度解析の結果

数字は、UPZ内における避難・一時移転の対象範囲
(R-Cubic上の地点数)

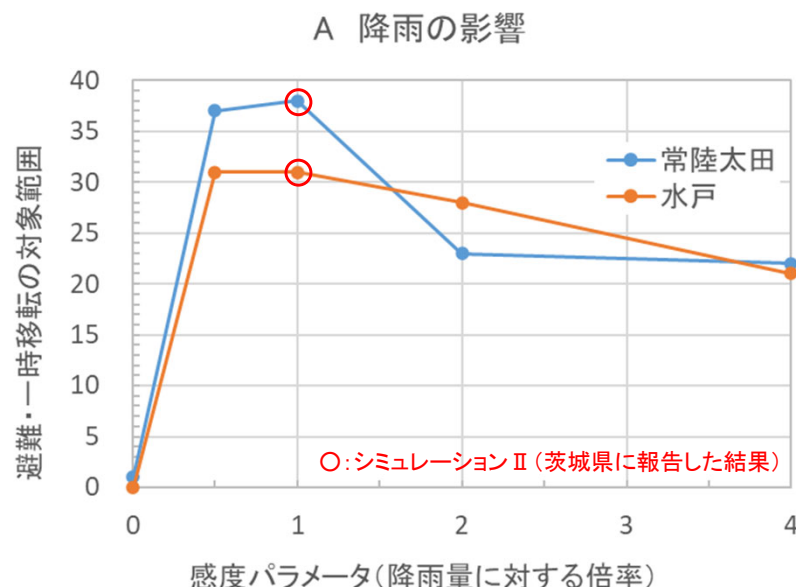
Gr		変数	入力	常陸太田②	水戸②	気象条件③
シミュレーションⅡ				38	31	25
A. 降雨の影響	A-1	降雨	なし	1	0	—
	A-2	降雨	元データ×0.5	37	31	—
	A-3	降雨	元データ×2	23	28	—
	A-4	降雨	元データ×4	22	21	—
B. 降雨開始の影響	B-1	降雨	放出開始1時間後	29	30	—
	B-2	降雨	放出開始2時間後	9	23	—
	B-3	降雨	放出開始4時間後	5	15	—
	B-4	降雨	放出開始6時間後	3	5	—
C. 風速の影響	C-1	風速	元データ×0.5	25	27	19
	C-2	風速	元データ×0.8	32	33	21
	C-3	風速	元データ×0.9	37	32	23
	C-4	風速	元データ×1.1	31	31	27
	C-5	風速	元データ×1.2	32	29	31
	C-6	風速	元データ×2	14	24	35
	C-7	風速	元データ×3	9	15	0
D. 大気安定度の影響	D-1	大気安定度	不安定(A型)	27	26	43
	D-2	大気安定度	不安定(B型)	30	26	38
	D-3	大気安定度	不安定(C型)	34	30	34
	D-4	大気安定度	安定(E型)	36	36	20
	D-5	大気安定度	安定(F型)	30	34	21

赤字: 当該気象のシミュレーションⅡを超える結果

黄色セル: 2022年12月付け報告書の最大を超える結果

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件②に対する感度解析結果(トレンド:降雨の影響)

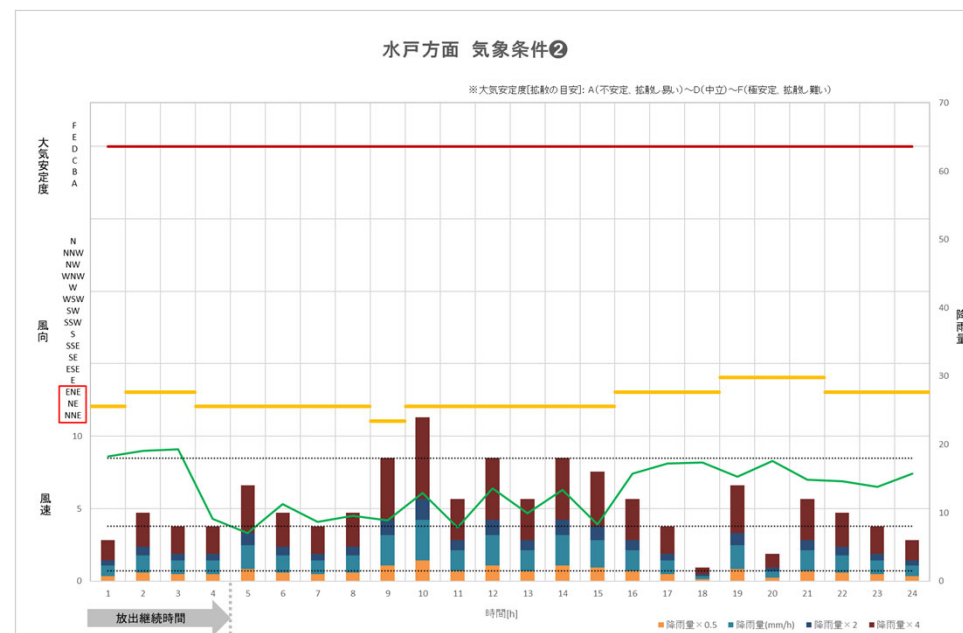
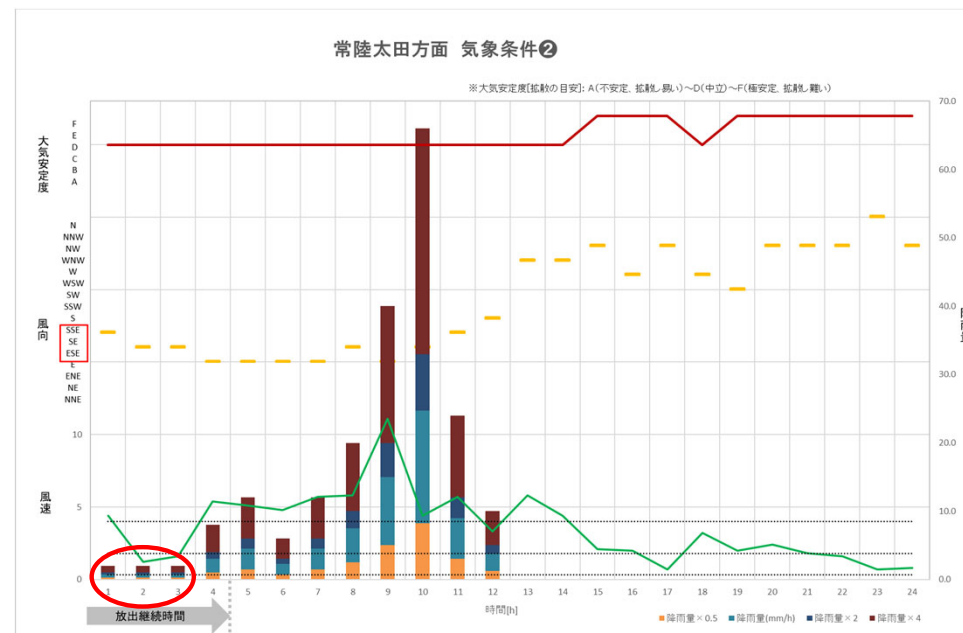


【感度解析結果】

- 気象条件②の降雨量のトレンドデータに一定倍率を掛けた解析結果では、常陸太田方面及び水戸方面ともにシミュレーションⅡの結果が最大となった。

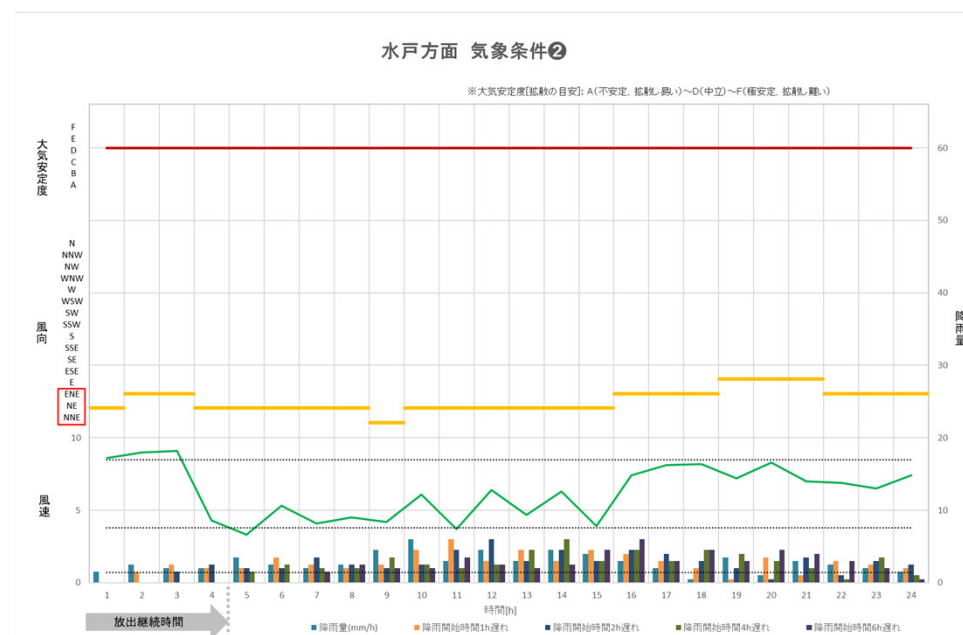
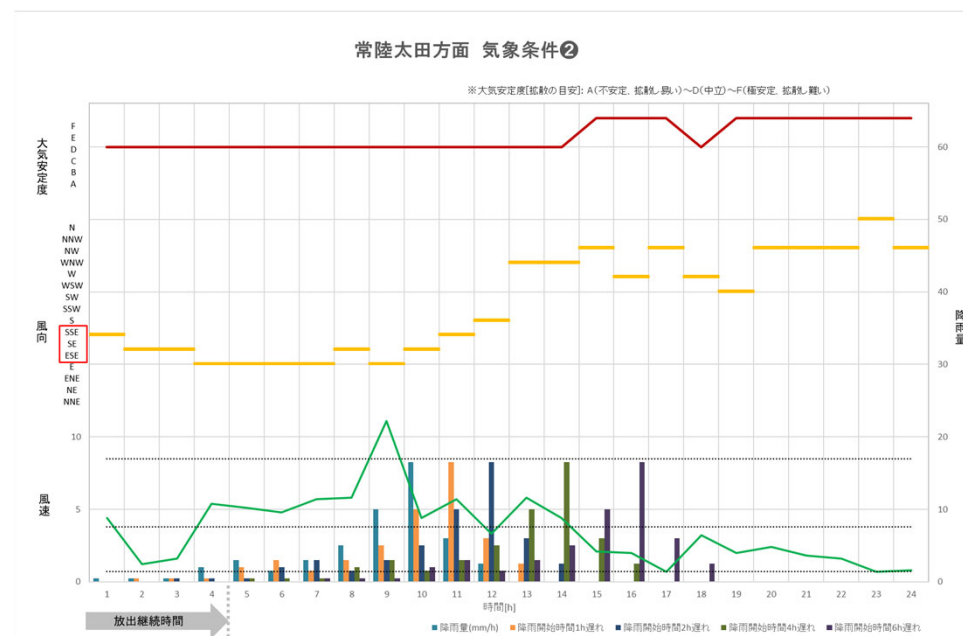
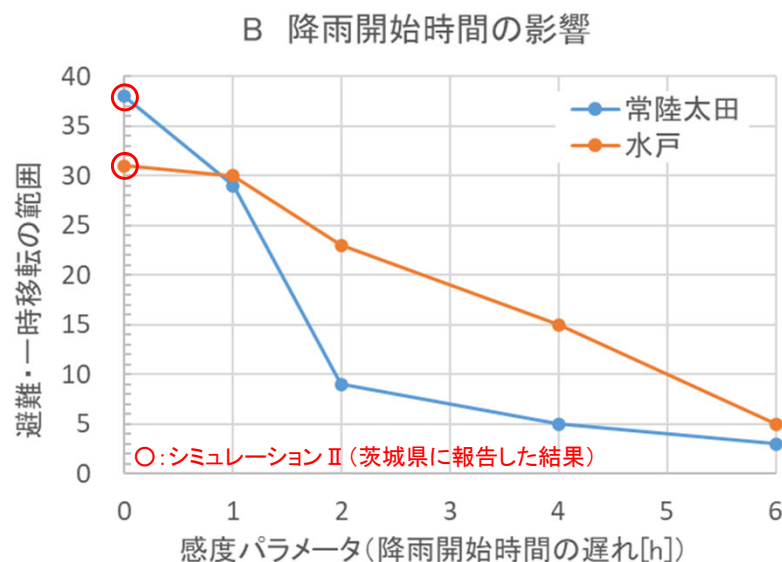
【避難・一時移転の対象範囲に関する考察】

- 降雨がない場合は降雨がある場合と比較して、プルームからの放射性物質の地表面への沈着量が大きく減少し、避難・一時移転の対象範囲が狭くなった。
- 降雨量が多い場合は、放射性物質の地表面への沈着量が多くなるため、避難・一時移転の対象範囲が広がった。
- 一方で、降雨量が多くなるとプルームが遠方に移動する前に発電所近傍の地表面への沈着量が多くなり、避難・一時移転の対象範囲が遠方まで広がらないため、対象範囲が狭くなった。
- 常陸太田方面では、プルーム放出開始時の降雨量が極めて少なく、プルームが地表面に落ちずに移動した後(4~5時間)に降雨量が多くなったため、避難・一時移転の対象範囲が広がった。



3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件②に対する感度解析結果(トレンド:降雨開始時間の影響)



【感度解析結果】

- 気象条件②の降雨量のトレンドデータのまま, 降雨開始時間を後送りした解析結果では, 常陸太田方面及び水戸方面ともにシミュレーションⅡの結果が最大となった。

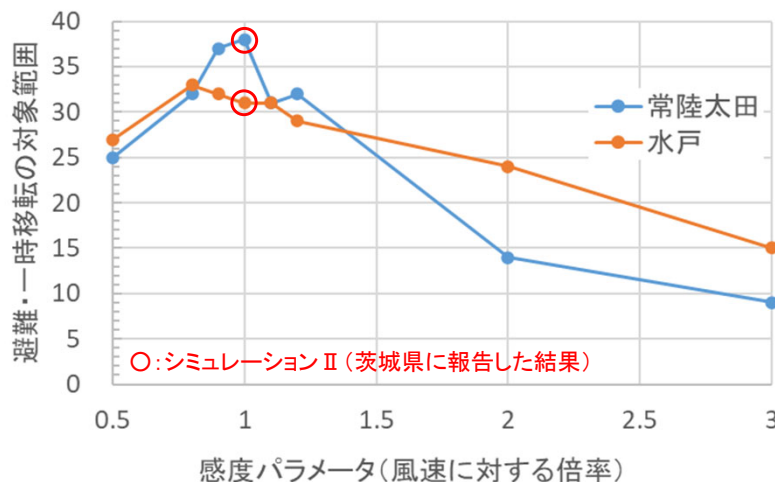
【避難・一時移転の対象範囲に関する考察】

- プルーム放出時に降雨がある場合, プルームからの放射性物質の地表面への沈着量が多くなるため, 避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。
- 降雨開始時間が遅れると, プルーム放出時に降雨がないため, 放射性物質の地表面への沈着量が少なくなり, 避難・一時移転の対象範囲が小さくなった。
- 常陸太田方面では, 降雨開始時の降雨量が極めて少なく, プルームが地表面に落ちずに移動した後に降雨量が多くなったため, 避難・一時移転の対象範囲が広がった。

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件②に対する感度解析結果(トレンド:風速の影響)

C 風速の影響

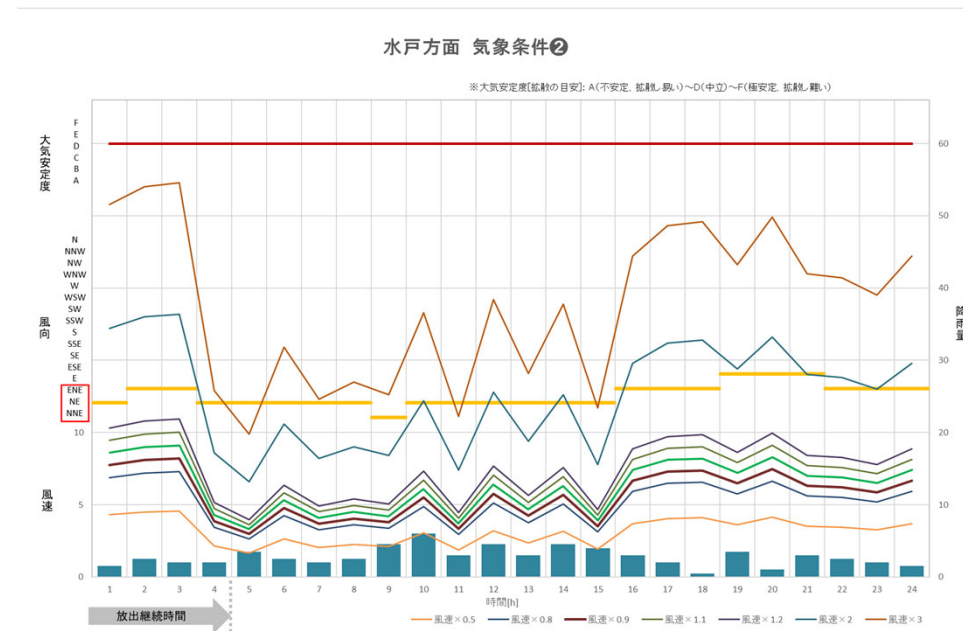
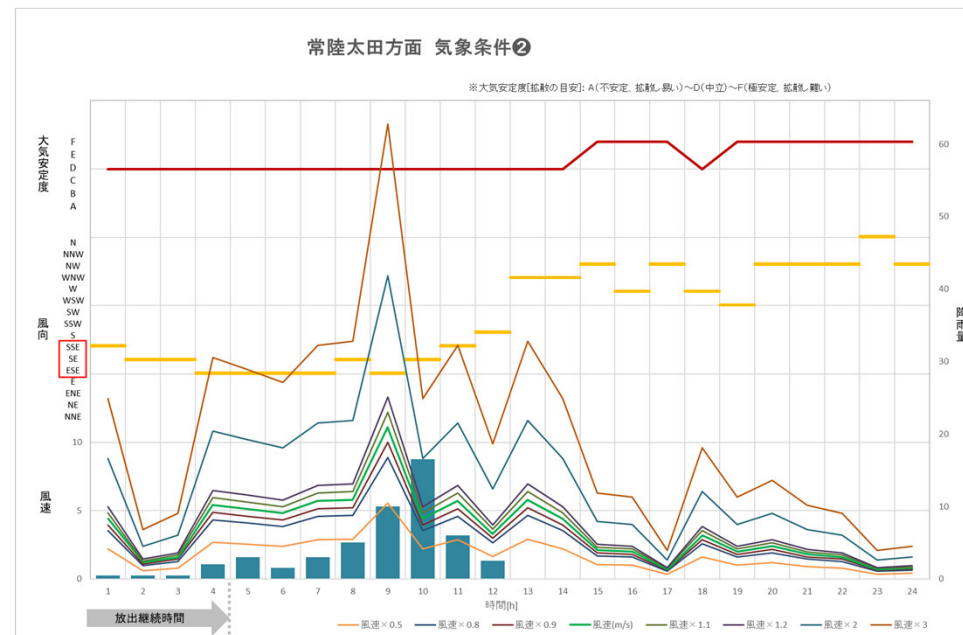


【感度解析結果】

- 気象条件②の風速のトレンドデータに一定倍率を掛けた解析結果では、常陸太田方面はシミュレーションⅡの結果が最大となった。水戸方面は風速が弱い場合($\times 0.8$)にシミュレーションⅡの結果よりも避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。

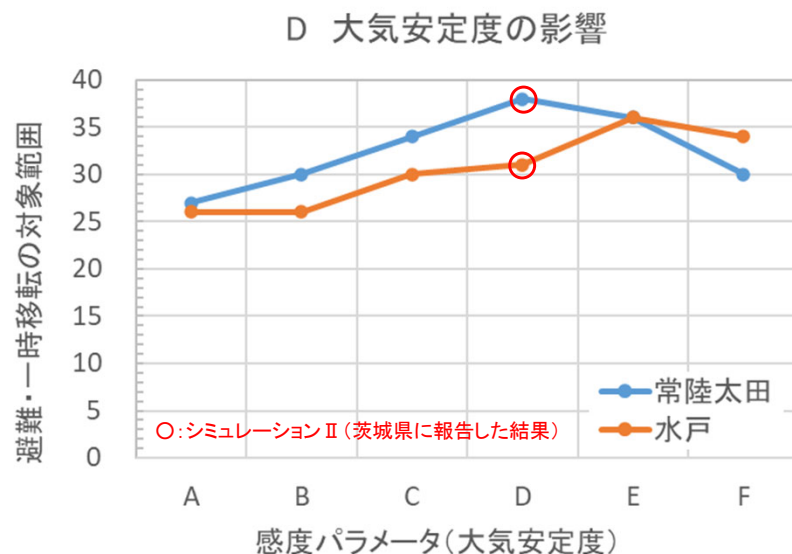
【避難・一時移転の対象範囲に関する考察】

- 風速が弱い場合は、プルームが発電所近傍に滞留するため、避難・一時移転の対象範囲が遠方まで広がらなかった。風速が強くなるにつれてプルームの移動速度が速くなり、プルームが遠方まで広がり、避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。
- 一方で、風速がさらに強くなると、拡散効果によりプルームの放射性物質濃度が減少するため、地表面への沈着量が少なくなり、避難・一時移転の対象範囲は減少に転じた。
- 上記により、風速に対して、極大値を持つ分布であり、常陸太田方面・水戸方面ともに気象条件②は極大値付近の風速となっている。



3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件②に対する感度解析結果(トレンド:大気安定度の影響)

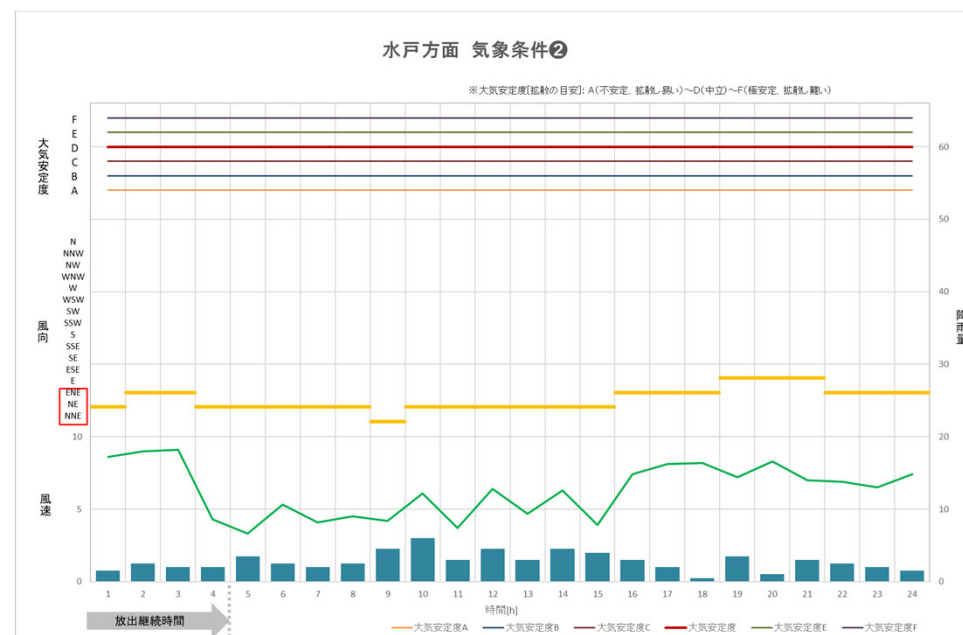
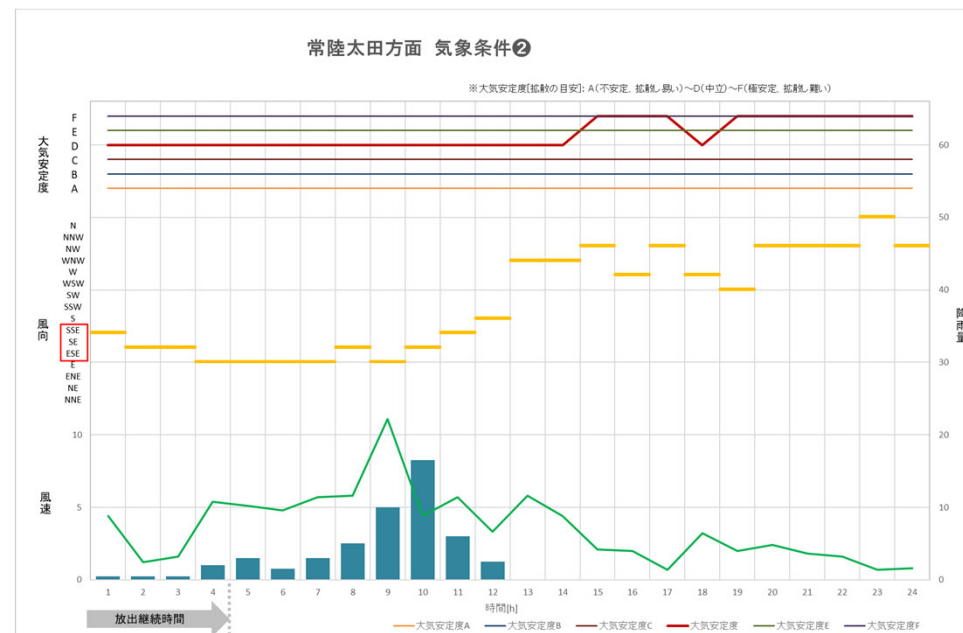


【感度解析結果】

- 気象条件②の大気安定度以外はトレンドデータのまま、大気安定度を一定とした解析結果では、常陸太田方面はシミュレーションⅡの結果が最大となった。水戸方面は大気安定度E, FがシミュレーションⅡの結果よりも大きくなった。

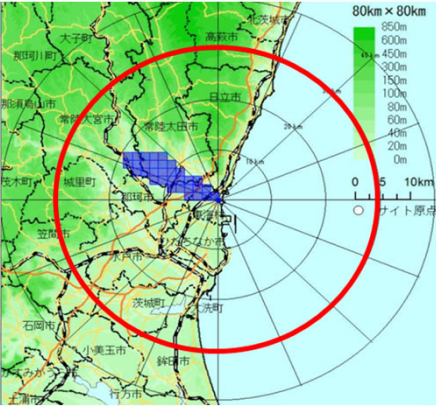
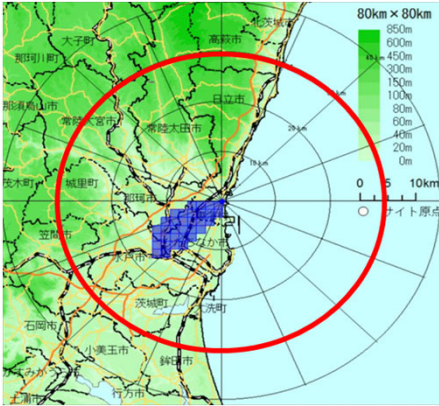
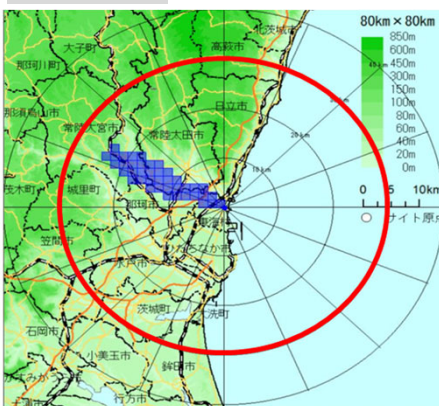
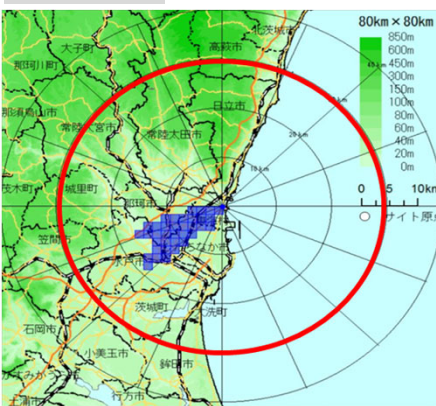
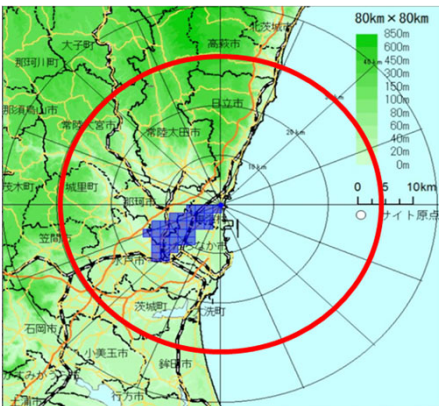
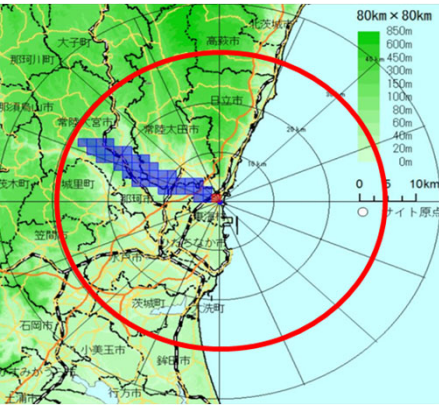
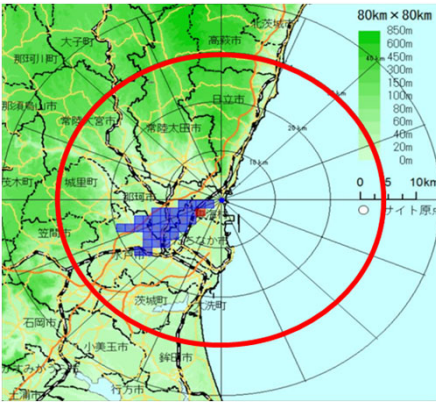
【避難・一時移転の対象範囲に関する考察】

- 大気安定度Aは拡散幅が大きいため、プルームの放射性物質濃度が減少し、避難・一時移転の対象範囲が遠方まで広がらなかった。
- 大気安定度B~Dは拡散幅が徐々に小さくなり、プルームからの放射性物質の地表面への沈着量が多くなるため、避難・一時移転の対象範囲が広がった。
- 大気安定度E, Fは、地形に沿った経路でプルームが移動するため、地形の影響により、常陸太田方面と水戸方面の傾向が違ふと考える。(第3回検証委員会)



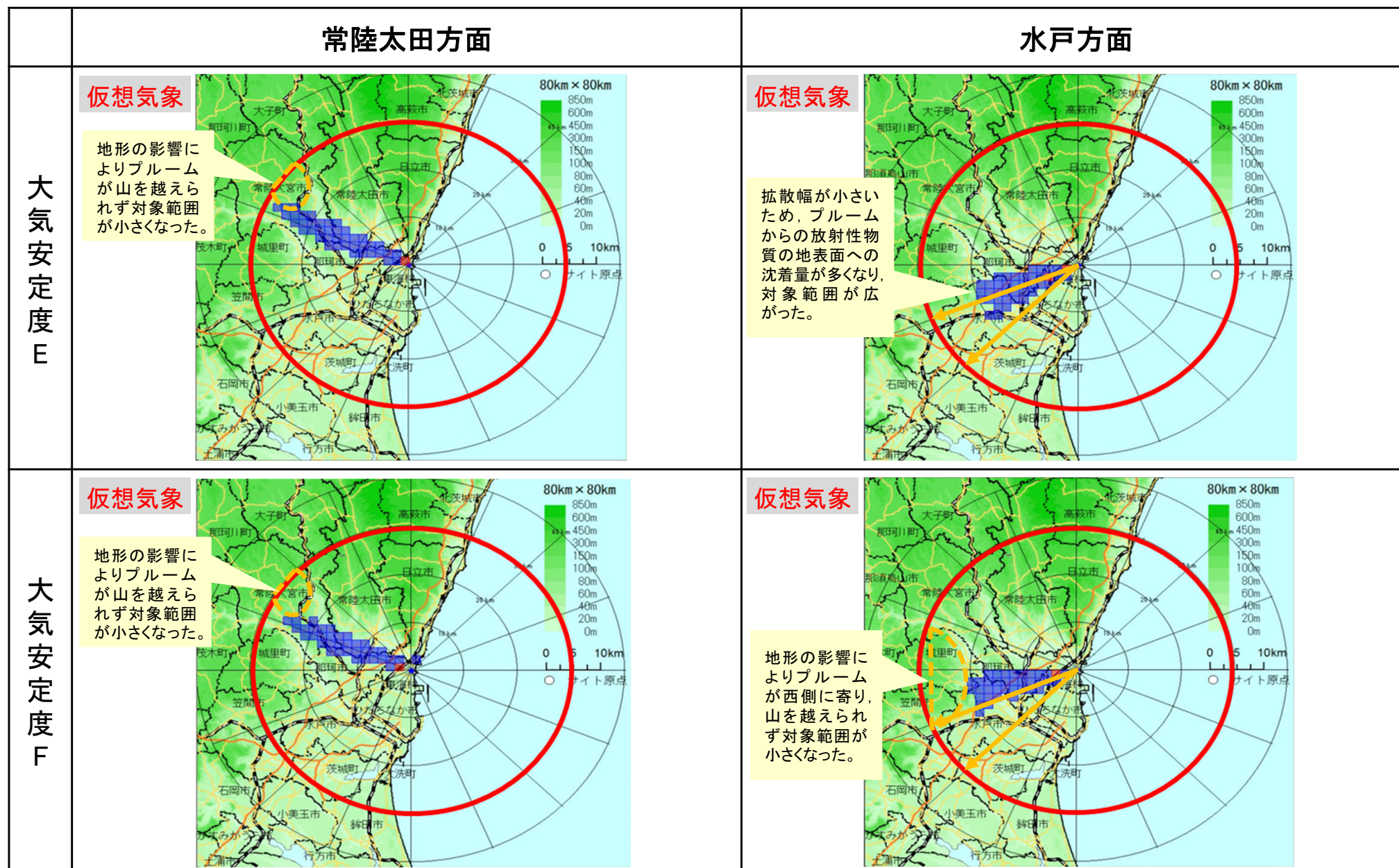
3. (1) 感度解析1 (シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

【参考】気象条件②に対する感度解析結果(トレンド:大気安定度の影響)の常陸太田方面と水戸方面の傾向分析1

	常陸太田方面	水戸方面		常陸太田方面	水戸方面
大気安定度 A	仮想気象 	仮想気象 	大気安定度 C	仮想気象 	仮想気象 
	拡散幅が広いため、プルームの放射性物質濃度が減少し、対象範囲が遠方まで広がらなかった。				
大気安定度 B	仮想気象 	仮想気象 	大気安定度 D	シミュレーションⅡ 	シミュレーションⅡ 
	大気安定度Dは中立であり、A～Cよりも拡散幅が小さいため、プルームからの放射性物質の地表面への沈着量が多くなり、対象範囲が広がった。				

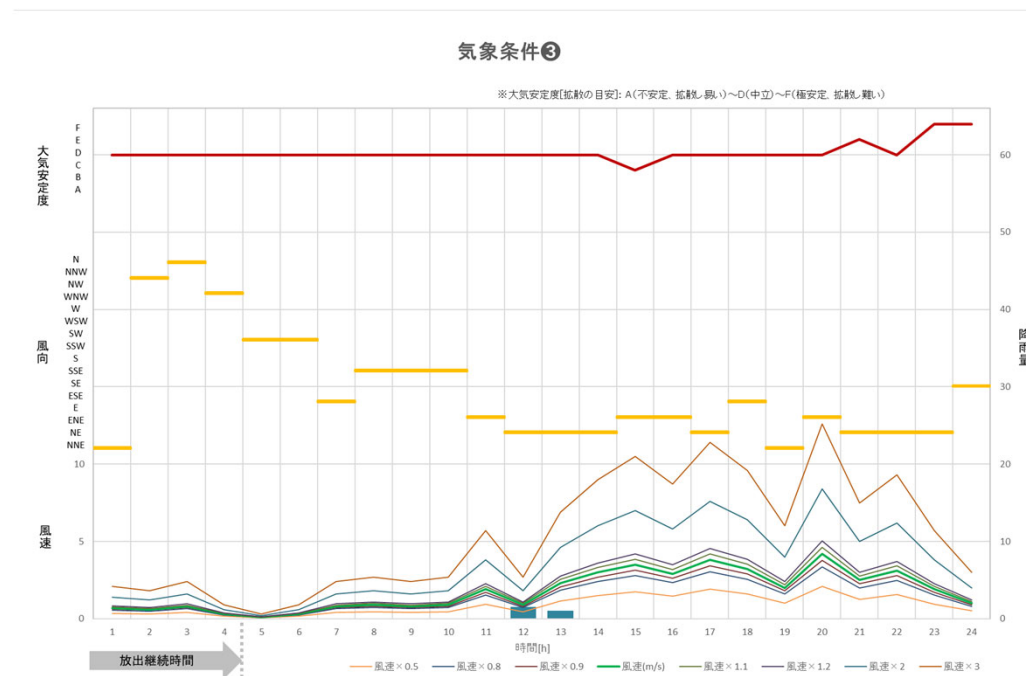
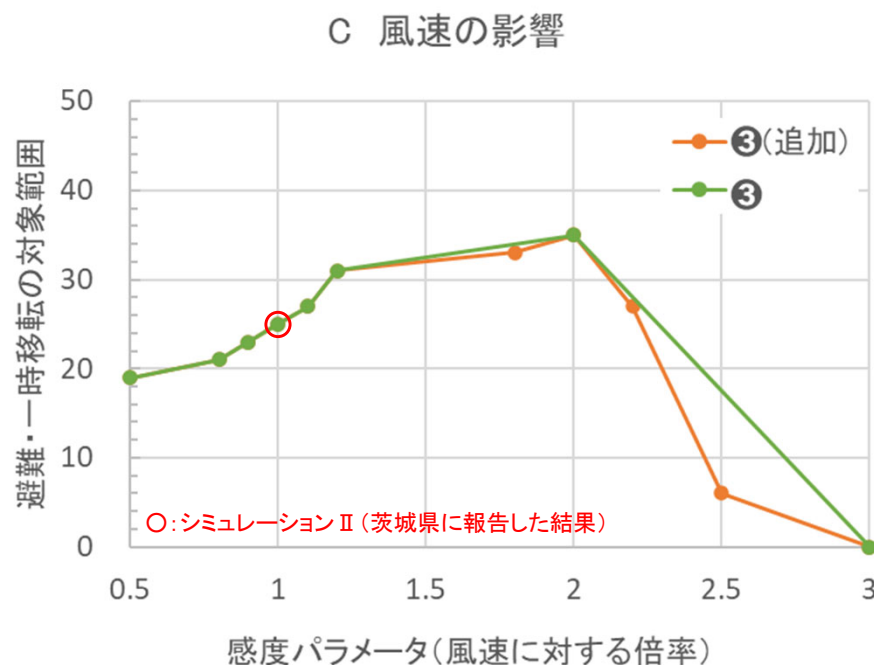
3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

【参考】気象条件②に対する感度解析結果(トレンド:大気安定度の影響)の常陸太田方面と水戸方面の傾向分析2



3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件③に対する感度解析結果(トレンド:風速の影響)



【感度解析結果】

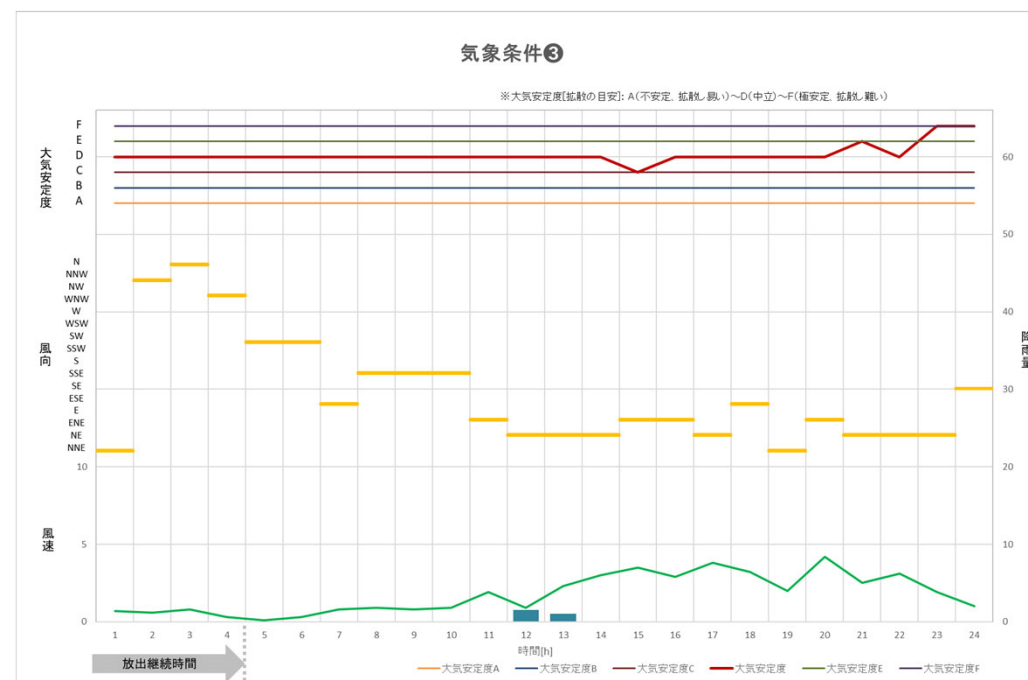
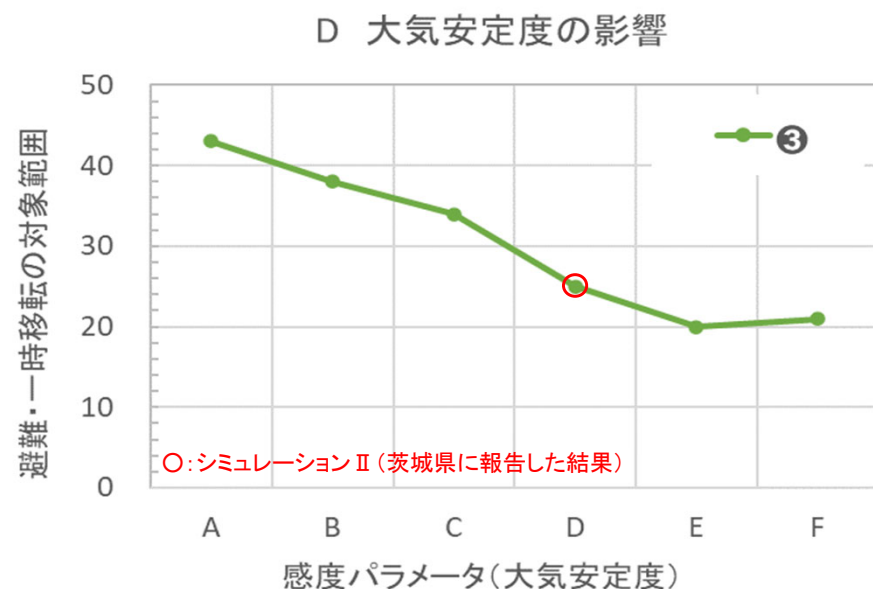
- ・ 気象条件③の風速のトレンドデータに一定倍率を掛けた解析結果では、風速が強い場合(×2)にシミュレーションⅡの結果よりも避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。
- ・ 風向の影響もあり、プルームは一度海側に移流した後、陸側に戻ってくる挙動となった。また、陸側に戻った時点で降雨があり、地表面への沈着量が多くなった。

【避難・一時移転の対象範囲に関する考察】

- ・ 風速が弱い場合は、プルームが発電所近傍に滞留するため、避難・一時移転の対象範囲が遠方まで広がらなかった。
- ・ 風速が強くなると陸側に戻った際のプルームが遠方に広がり、避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。
- ・ さらに風が強くなると拡散効果でプルームの放射性物質濃度が減少し、地表面への沈着量が少なくなるため、避難・一時移転の対象範囲が小さくなった。

3. (1) 感度解析1(シミュレーションⅡに対する局所感度解析)

気象条件③に対する感度解析結果(トレンド:大気安定度の影響)



【感度解析結果】

- ・ 気象条件③の大気安定度のトレンドデータを一定にした解析結果では、大気安定度A, B, CでシミュレーションⅡの結果よりも避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。
- ・ 風向の影響もあり、プルームは一度海側に移流した後、陸側に戻ってくる挙動となった。また、陸側に戻った時点で降雨があり、地表面への沈着量が多くなった。

【避難・一時移転の対象範囲に関する考察】

- ・ 拡散幅が広い大気安定度Aは、風速が弱いために広がったまま滞留し、避難・一時移転の対象範囲が大きくなった。
- ・ 大気安定度E, Fは、拡散幅が狭いため大気安定度A～Dに比べ避難・一時移転の対象範囲も狭くなった。

まとめ及び考察

【実施結果】

- ・ 気象条件②(常陸太田方面)
全てのパラメータに対して、ベースケース(38地点)が極大値となっていることを確認した。
- ・ 気象条件②(水戸方面)
風速が弱い場合でベースケース(31地点)を上回り、最大で36地点となった。
- ・ 気象条件③
大気安定度がA(不安定)な状態において避難・一時移転の対象範囲が最大となり、43地点となった。

【気象条件による避難・一時移転の対象範囲への影響】

- ・ 風速が弱い場合、プルームは同じ場所に滞留する。
- ・ 風速が強くなるにつれて、プルームの移動速度は速くなり、プルームが遠方に広がる。
- ・ さらに風速が強くなると拡散効果によりプルームの放射性物質濃度が減少し、沈着量が少なくなるため対象範囲は小さくなる。
- ・ 晴天時は、放射性物質の地表面への沈着量は少なくなり、対象範囲は小さくなる。
- ・ 降雨時は、放射性物質の地表面への沈着量は多くなり、対象範囲は大きくなる。なお、降雨量が多いと対象範囲における空間線量率は高くなる傾向がある。
- ・ プルーム放出開始時に降雨がない場合は、プルーム中の放射性物質が多いため移動するため、移動中に降雨があった場合は、対象範囲が遠方に広がる。
- ・ 発電所近傍で降雨量が多くなるとプルームの放射性物質濃度が減少するため、発電所近傍と比較して遠方の方が沈着量が少なくなり、対象範囲が遠方まで広がらない。
- ・ 大気安定度の不安定型(A～C)では、風速が弱い場合、拡散幅が広いほど対象範囲が広がったまま同じ地点で滞留するため、対象範囲は大きくなる。
- ・ 大気安定度の安定型(E, F)では、拡散幅が狭いため、対象範囲も狭くなる。また、安定型は地形の影響を受けやすい。

【考察】

- ・ 降雨率、風速、大気安定度といった気象条件の設定により避難・一時移転の対象範囲がシミュレーションⅡの結果より広くなるケースが存在するが、各パラメータに対する感度はベースケースの気象条件にも依存するため、どのパラメータが一番影響するかとの判断は難しい。しかしながら、常陸太田方面の気象条件②では、プルーム放出開始時の降雨量が極めて小さいため、プルームが広がって雨降ることによって対象範囲が大きくなるという結果となり、避難・一時移転の対象となる範囲が最大となると見込まれる気象条件をベースとし、実気象では生じにくいものの対象範囲が広くなり得る気象条件を仮定した感度解析を行ったことで、気象条件の持つ対象範囲の変動の幅を把握することができたと考える。
- ・ 感度解析の気象条件は仮想的な条件設定であり、これらに類似した気象条件の発生頻度はほとんどないと考えられる。(例:第2回検証委員会の実気象における大気安定度を考慮した気象条件の抽出結果)
- ・ 気象条件②③の抽出条件は、気象条件の変動を考慮しても避難・一時移転の対象範囲が最大となると見込まれる評価結果を与え得る条件であると考察する。

3. (2) 感度解析2

(他の観点で仮想的に設定した感度解析)

概要

- ・第3回の検証委員会で提示のあった気象条件(候補)に対する評価を行う。

＜気象条件(候補)の抜粋＞

- ① 放出開始から6時間後までは、風速1m/sの東南東の風(R-Cubicでのメッシュ設定の影響の評価ためには東風も)で降雨はなし。大気安定度はG(F)型。
- ② 7時間目から風速1m/sで北北東の風(メッシュ評価では北風)。大気安定度はG(F)型(可能であればD型も)。7時間目以降は放出開始時点の風と90度風向きが異なるような設定。
- ③ 7時間目から、降雨があり、その強度は、放射性雲の先端付近と終端付近(R-Cubicでは先端パフの中心と終端パフの中心の範囲)で20 μ Sv/h以上(20 μ Sv/hをやや越える程度)になる地表沈着量となる値。従って徐々に降雨の強度が強くなる。

- ・気象は、UPZ内での避難・一時移転の対象範囲を広くする観点から、1)PAZ内の地表沈着量が小さくなり、かつ 2)プルームがPAZを通過後に風向が変化するとともに降雨が開始する設定と認識している。

- ・感度解析については、避難・一時移転の対象範囲に対する知見を得ることを念頭に、次のプロセスで実施した。

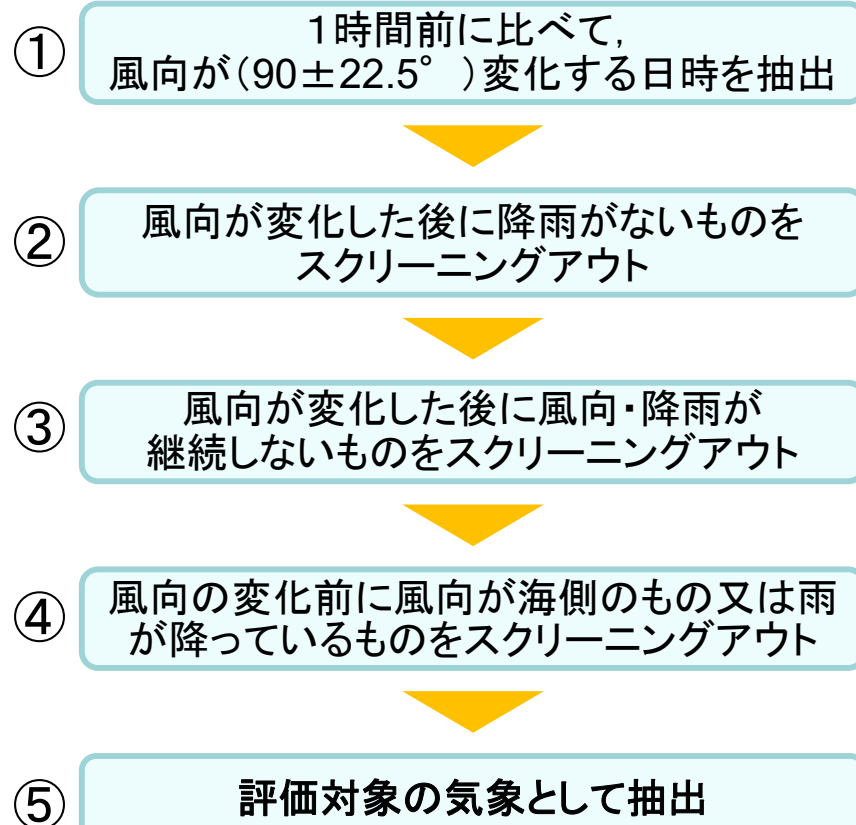
- ①: 2020年度の気象データから類似の気象を抽出(気象データの調査・抽出)
- ②: 抽出された気象データを用いた評価(実気象を用いた評価)
- ③: ②の評価をベースケースとした感度解析(感度解析)

3. (2) 感度解析2(他の観点で仮想的に設定した感度解析)

気象データの調査・抽出(1/2)

・2020年度の気象データについて、以下のプロセスで分析を行い、評価対象の気象の有無を調査した。その結果、評価対象の気象として、1つの気象が抽出された。

気象データの抽出プロセス



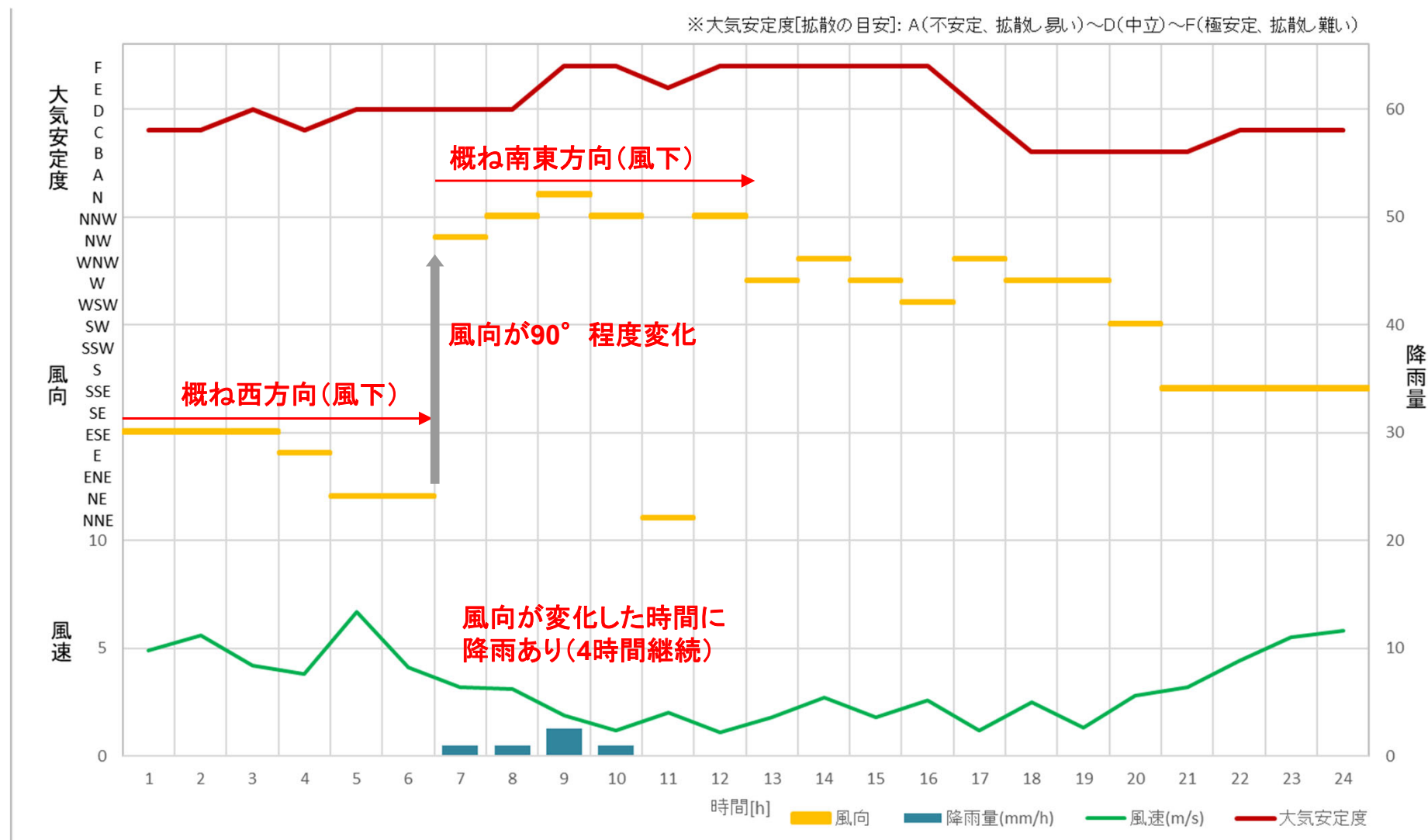
ターゲットとする気象のイメージ

時間	風向	降雨	備考
1	任意(陸側)	なし	PAZ内の地表沈着量が小さくなるような設定
2	↑	↑	
3	↑	↑	
4	↑	↑	
5	↑	↑	
6	↑	↑	
<u>7</u>	<u>約90° 変化</u>	<u>あり</u>	UPZでの避難・一時移転の対象範囲が広くなるような設定
8	↑	↑	
...	...	...	

3. (2) 感度解析2(他の観点で仮想的に設定した感度解析)

気象データの調査・抽出(2/2)

・抽出された気象データを下図に示す。(2020年4月24日14時～)



3. (2) 感度解析2(他の観点で仮想的に設定した感度解析)

実気象を用いた評価

- ・抽出した気象データについて、避難・一時移転の対象範囲の評価を実施した。放出高さは、地上放出及び原子炉建屋放出の2パターンとした。

実気象を用いた追加評価(2020年4月24日14時～)

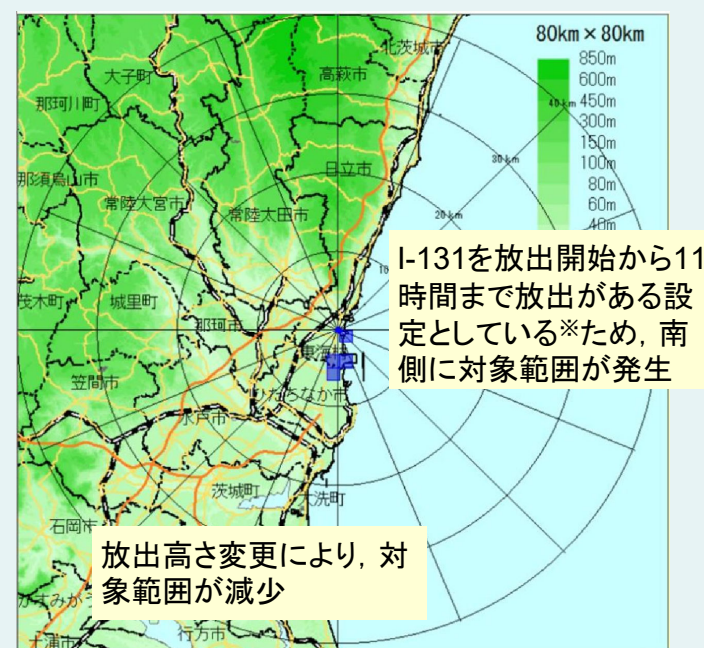
放出高さ(地上放出)

避難・一時移転の対象範囲:12地点



放出高さ(原子炉建屋放出(EL 64.1m))

避難・一時移転の対象範囲:1地点



※2022年度第1回検証委員会資料p75参照

3. (2) 感度解析2(他の観点で仮想的に設定した感度解析)

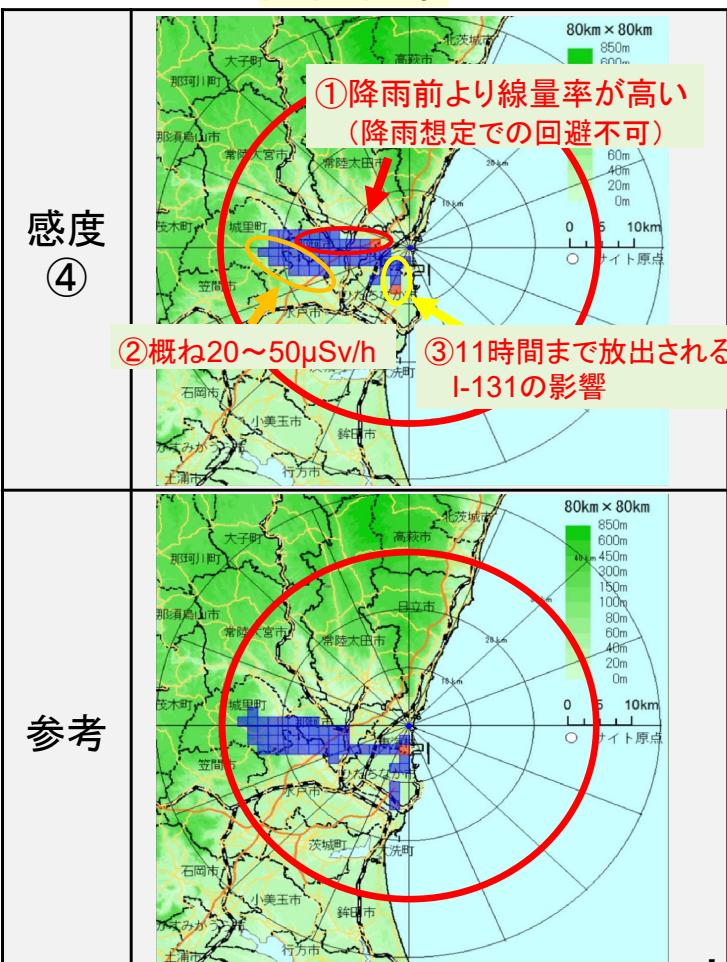
感度解析

- ・気象条件による変動幅の考察に資するための感度解析を実施した(感度①～④)。
- ・感度解析は、前頁のシミュレーション結果をベースケースとし、避難・一時移転の対象範囲が広がるように風向・風速、降雨、大気安定度を変更して実施した。
- ・風下が陸側、降雨、大気安定度Fが継続するような現実的に考えにくい気象の組合せを考慮した場合に、対象範囲は最大で49(シミュレーションⅡの最大値(38地点)の約1.3倍)となった。

感度解析(実施ケース及び結果)

実施ケース	風向・風速	降雨	大気安定度	避難・一時移転の対象範囲
ベースケース	実気象	実気象 (7-10hに降雨有)	実気象	12
感度①	0~6h: 東⇒西 7h以降: 北⇒南 (風速 2m/s)	〃	〃	34
感度②	〃	7-24h 軽度の雨 (1mm/h)	〃	36
感度③	〃	〃	F	46
感度④	〃	7h 軽度の雨 (1mm/h) 8-24h 重度の雨 (9mm/h)	〃	49
【参考解析: 放出高さも仮想的に設定した場合(EL+200m)】				
参考	0~6h: 東⇒西 7h以降: 北⇒南 (風速 1m/s)※	〃	〃	49

評価結果



※R-Cubicでは、気象観測高さの風向風速を高さ補正(高さ方向にべき乗補正)しており、地上よりもブルームが速く流れるため、地上放出と異なる値を設定した。

3. (3) 感度解析結果を踏まえた2022年12月付け報告書の妥当性

2022年12月付け報告書の妥当性

- ・風下が陸側，降雨，大気安定度Fが継続するような現実的に考えにくい気象の組合せを考慮した場合に，対象範囲は**最大で49**（シミュレーションⅡの最大値（38地点）の**約1.3倍**）となった。
- ・このため，気象条件による変動幅がソースタームの保守性に包絡されることを確認するために，以下の条件で避難・一時移転の対象範囲を評価した。
（評価条件）
 - ・気象データ：前ページの感度④の評価に用いた仮想的な気象データ
 - ・ソースターム：MAAP解析から得られた放出トレンドを使用
- ・評価結果を下表に示す。
- ・気象条件による変動幅はソースタームの保守性に包絡される結果となっており，2022年12月付け報告書で示した避難・一時移転の対象範囲は「最大となると見込まれる」評価結果となっていることを確認した。

	実気象 (気象条件②_常陸太田)	感度解析1で 最大範囲となった気象条件 (気象条件③+大気安定度A)	感度解析2で 最大範囲となった気象条件 (感度④)
①シミュレーションⅡのソースターム	38 2022年12月付け報告書	43 感度解析1の最大値	49 感度解析2の最大値
②保守性を一部排除したソースターム (MAAP解析から得られた放出トレンド)	15 2023年度第3回検証委員会 資料P7	23 2023年度第3回検証委員会 資料P23	24 今回評価

まとめ

- ・感度解析1(シミュレーションⅡに対する感度解析), 感度解析2(他の観点で仮想的に設定した感度解析)を実施し, 仮想的な気象条件を用いて変動幅の算出を行った。
- ・実施結果は以下のとおり。
 - ・感度解析1
気象条件②に対する感度解析では, 風速・降雨率・大気安定度を仮想的に変化させた解析を行い, それぞれのパラメータに対して, シミュレーションⅡが概ね極大値付近となっていることを確認した。
感度解析1における最大値は, 気象条件③に対して大気安定度を全てAとした評価であり, その値は43地点であった。
 - ・感度解析2
風向・風速, 降雨率, 大気安定度のパラメータについて, 避難・一時移転の範囲を広くするように組合せた仮想的な気象条件を設定して評価を実施し, 最大で避難・一時移転の対象範囲が49地点となることを確認した。
- ・感度解析1, 感度解析2のそれぞれにおいて, 避難・一時移転の対象範囲が最大値となった気象条件に対して, 保守性を一部排除したソースタームを用いた評価を実施し, 2022年12月付け報告書での報告内容が「最大となると見込まれる」評価結果となっていることを確認した。

4. 検討を通じて得られた知見

4. 検討を通じて得られた知見

これまでの検討を通じて得られた知見

- ・第三者検証委員会で実施した追加の評価等を踏まえ、避難・一時移転の対象範囲に関して得られた知見を以下に示す。

感度解析等から得られた知見

一般論	特記事項	関連資料
避難・一時移転の範囲は風下方向に広がる	プルームの飛散中に風向が変化し、直線状の分布にはならない場合がある。(風向が90°程度変化する気象もある)	2023年度 第4回資料 P32
	風速は、プルームの移動速度や拡散を左右する要因の一つであり、避難・一時移転の対象範囲に影響を与える。風速の増加に伴いプルームが遠方まで広がり、避難・一時移転の対象範囲が増加する傾向にある一方、一定の水準を超えた場合、プルームの拡散が強まり放射性物質の濃度が減少し、避難・一時移転の対象範囲は減少に転じる傾向がある。	2023年度 第4回資料 P21
	大気安定度Fの場合、プルームの軌跡は地形の影響を受けやすく、風下から少しずれた方向に飛散する可能性がある。	2023年度 第4回資料 P22～24
降雨の有無は、プルームからの放射性物質の地表面への沈着量に左右し、避難・一時移転の対象範囲に大きな影響を与える。	降雨がある場合、降水量の増加に伴い避難・一時移転の対象範囲が増加する。一方、一定の水準を超えた場合は対象範囲が減少に転ずる傾向にあるが、近傍での地表沈着量が増加し、OIL1の初期設定値(500 μ Sv/h)を超える地点は発生しやすくなると言える。	2023年度 第4回資料 P19
	放出開始時点では降雨がなく、数時間後に降雨開始となる場合、遠方に避難・一時移転の対象区域が発生する可能性がある。(飛び地が発生する可能性もある)	2023年度 第4回資料 P25
	降雨がない場合も、同一方向に風が継続する場合には、避難・一時移転の範囲が生じる可能性はある(気象条件①の結果)。委員コメントを踏まえて実施した他の気象条件での評価では、大気安定度Fかつ同一方向に風が継続する想定感度解析において、降雨開始前にOIL1の初期設定値を超える範囲が発生した。	2023年度 第4回資料 P33

4. 検討を通じて得られた知見

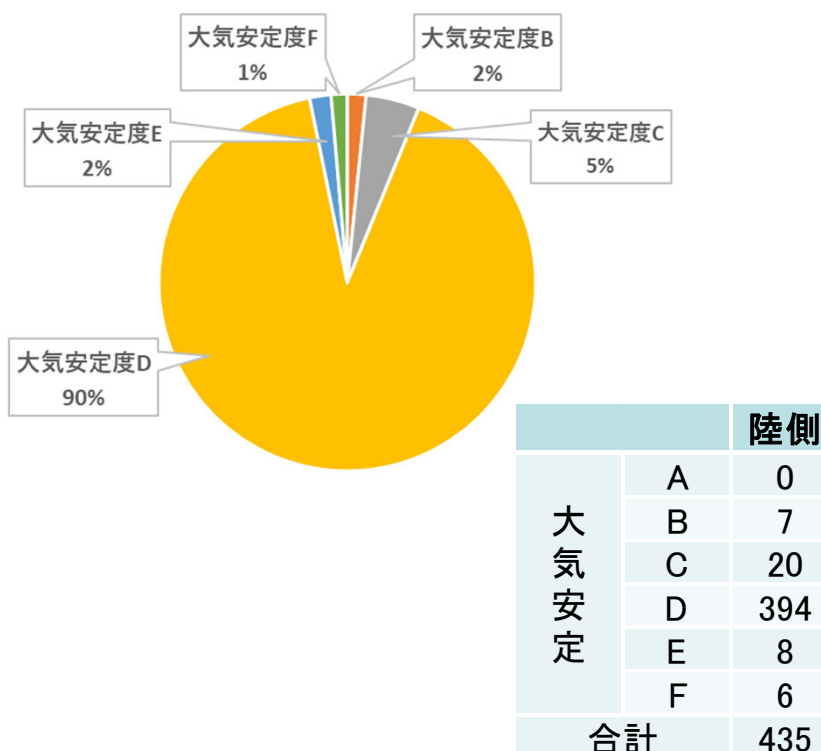
これまでの検討を通じて得られた知見

気象の特徴

- 大気安定度ABCは日射量が多い昼間に出現する気象であり、**降雨とともに出現する頻度は低い**（2023年度第2回検証委員会）
- 昼間は風下が陸側、夜間は風下が海側になる傾向がある。大気安定度EFは夜間に現れるため、風下が海側になる傾向がある。

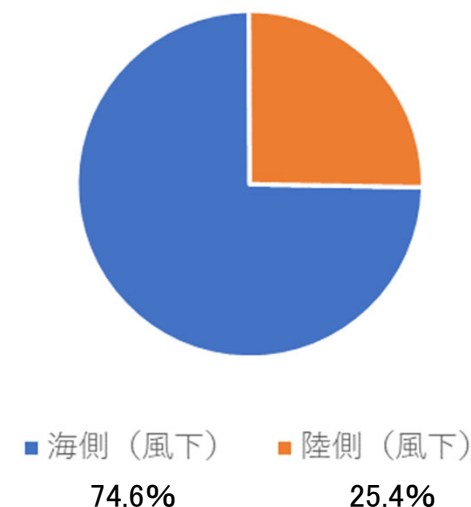
以上より、風下が陸側かつ降雨がある状況においては、大気安定度はDとなる頻度が高い

風下が陸側かつ降雨あり条件での大気安定度※



※ 数字は2020年度の年間データ(8760時間)から抽出された時間数

大気安定度EFの風向
(降雨なしも含む)



4. 検討を通じて得られた知見

【参考】大気安定度について

Ⅲ. 観測値の統計処理方法

1. 毎時の気象資料

以下に定める毎時の気象資料を統計の基礎として使用する。

(2) 大気安定度

大気安定度は、「敷地を代表する地上風」の当該時刻の風速並びに日射量及び放射収支量をもとに第3表によって分類し、これを当該時刻の大気安定度とする。

第3表 大気安定度分類表

風速 (U) m/s	日射量 (T) kw/m^2				放射収支量 (Q) kw/m^2		
	$T \geq 0.60$	$0.60 > T \geq 0.30$	$0.30 > T \geq 0.15$	$0.15 > T$	$Q \geq -0.020$	$-0.020 > Q \geq -0.040$	$-0.040 > Q$
$U < 2$	A	A-B	B	D	D	G	G
$2 \leq U < 3$	A-B	B	C	D	D	E	F
$3 \leq U < 4$	B	B-C	C	D	D	D	E
$4 \leq U < 6$	C	C-D	D	D	D	D	D
$6 \leq U$	C	D	D	D	D	D	D

拡散計算に際して、この表の中間安定度A-B、B-C及びC-Dについては、A-BはBに、B-CはCに、C-DはDに、また、夜の2m/s未満の欄の「G」はFと見なして処理する。

出典：「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」より抜粋

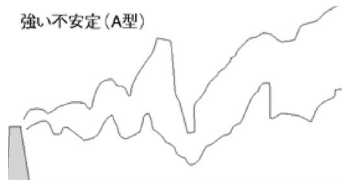
大気安定度は、地上の風速及び日射量(昼間)・放射収支量(夜間)を元に左記第3表に従って分類している。また、日射量・放射収支量を使い分ける昼夜区分は、現地の日の出、日の入りの時刻をもとに下表に示す時間帯に従っている。

表 昼夜時間帯

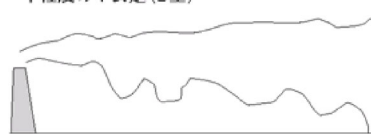
月	日射量(昼)	放射収支量(夜)
1	7～16時	1～6, 17～24時
2	7～17時	1～6, 18～24時
3	6～17時	1～5, 18～24時
4	6～18時	1～5, 19～24時
5	5～18時	1～4, 19～24時
6	5～19時	1～4, 20～24時
7	5～18時	1～4, 19～24時
8	6～18時	1～5, 19～24時
9	6～17時	1～5, 18～24時
10	6～17時	1～5, 18～24時
11	7～16時	1～6, 17～24時
12	7～16時	1～6, 17～24時

本評価では、東海第二発電所で観測された気象データ(風向・風速、日射量、放射収支量、降雨量)より条件抽出し、R-Cubicに入力している。大気安定度は、風速、日射量・放射収支量の結果を用いて、第3表により分類している。拡散しやすいケースから順に「不安定」(A～C)、「中立」(D)、「安定」(E～F)となる。

強い不安定(A型)



中程度の不安定(B型)



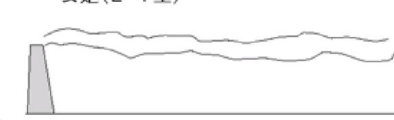
弱い不安定(C型)



中立(D型)



安定(E～F型)



出典：「原子力防災基礎用語集」(文部科学省)

5. 複数の事故シナリオに係る評価

5. 複数の事故シナリオに係る評価

評価の目的

・事故選定の説明性を向上させるために、大破断LOCAを起因とする事故に係る検討を行った。（事故設定の考え方は、第2回検証委員会にてご説明）

一国の審査で最もCs-137の放出割合が多くなる事故条件（シミュレーションⅠで使用）から更にフィルタベントに期待しないケース

【凡例】 ●:使用 ▲:使用(注水開始のタイミングをあえて遅らせる) ×:使用不可				シミュレーションⅠ	今回評価	
常設	設計基準事故 対処設備 (DB設備)	原子炉注水	高圧炉心スプレイ系ポンプ, 残留熱除去系ポンプ×3 低圧炉心スプレイ系ポンプ, 原子炉隔離時冷却系ポンプ	×	×	
		格納容器除熱	残留熱除去系ポンプ×2	×	×	
		外部電源	2ルート3回線	×	×	
		非常用電源	ディーゼル発電機×3			
	重大事故等 対処設備 (SA設備)	原子炉注水	常設高圧代替注水系ポンプ, 常設低圧代替注水系ポンプ×2	●	●	
		格納容器スプレイ等	常設低圧代替注水系ポンプ×2			
		格納容器除熱	代替循環冷却系ポンプ×2	×※1	×	
			フィルタ付ベント装置×1(抽気系統は2箇所)	●	×※2	
		代替電源	常設代替高圧電源装置×6(内予備1)	●	●	
	特定重大事 故等対処 施設 (特重施設)	原子炉注水	専用の注水設備	使用 しない	SA(常設) を使用	
		格納容器スプレイ等	専用の注水設備			
		格納容器除熱	専用の循環冷却設備(空気冷却)			×
			フィルタ付ベント装置(SA設備と兼用)			×
		電源	専用の電源装置			SA(常設) を使用
可搬	重大事故等 対処設備 (SA設備)	原子炉注水	可搬型代替注水中型ポンプ, 可搬型代替注水大型ポンプ	使用 しない	SA(常設) を使用	
		格納容器スプレイ等	可搬型代替注水中型ポンプ, 可搬型代替注水大型ポンプ		SA(常設) を使用	
(備考)		格納容器の健全性		健全	破損	

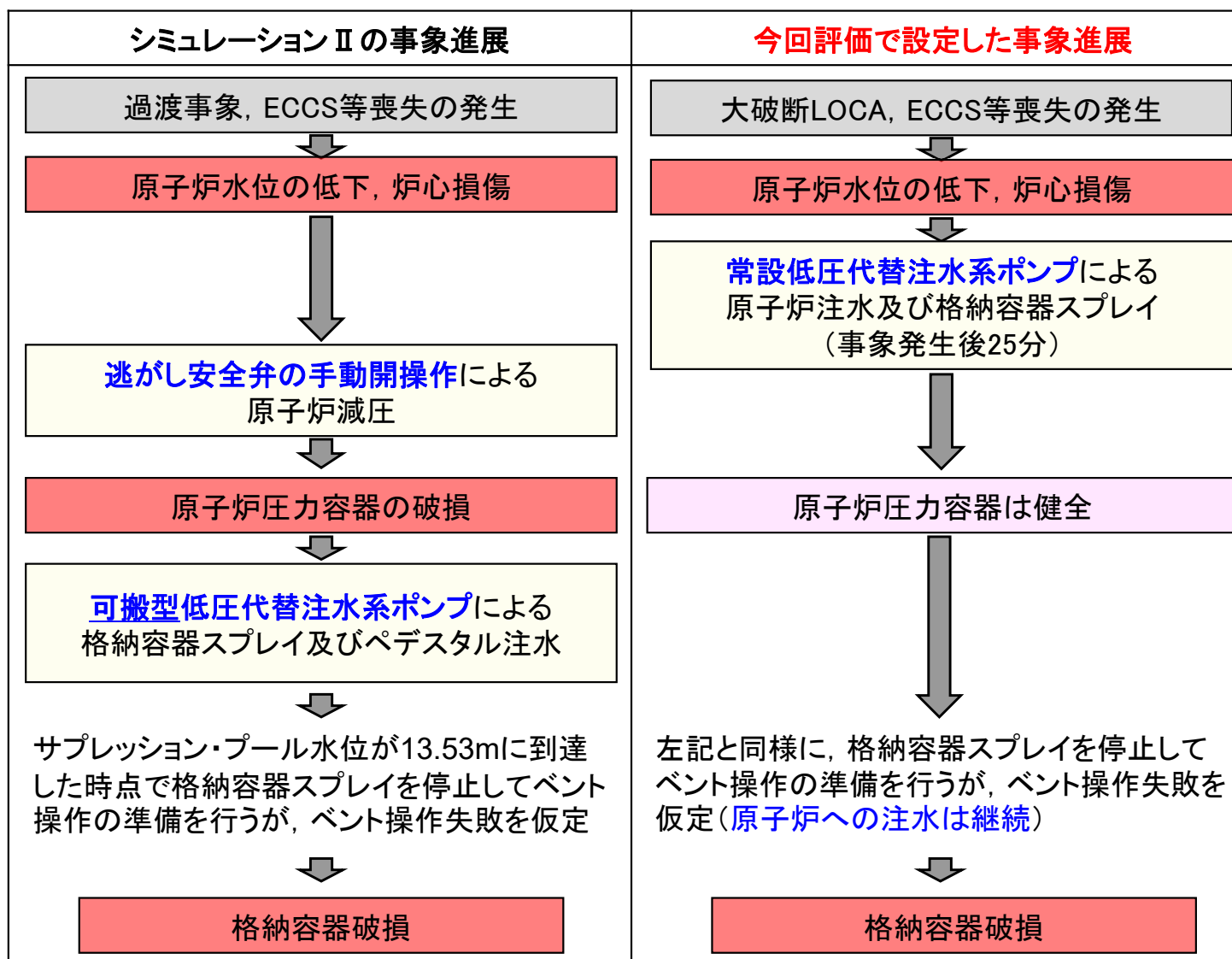
※1: 国の審査では、フィルタ付ベント装置の有効性を確認するために、代替循環冷却系が使用できないとあえて設定

※2: 今回評価において、UPZIにおける避難・一時移転の対象範囲を生じさせるために、使用できないとあえて仮定

5. 複数の事故シナリオに係る評価

事故進展の概要

・今回設定した事象進展の概要を下図に示す。



※格納容器の破損口径等はシミュレーションⅡと同様とした

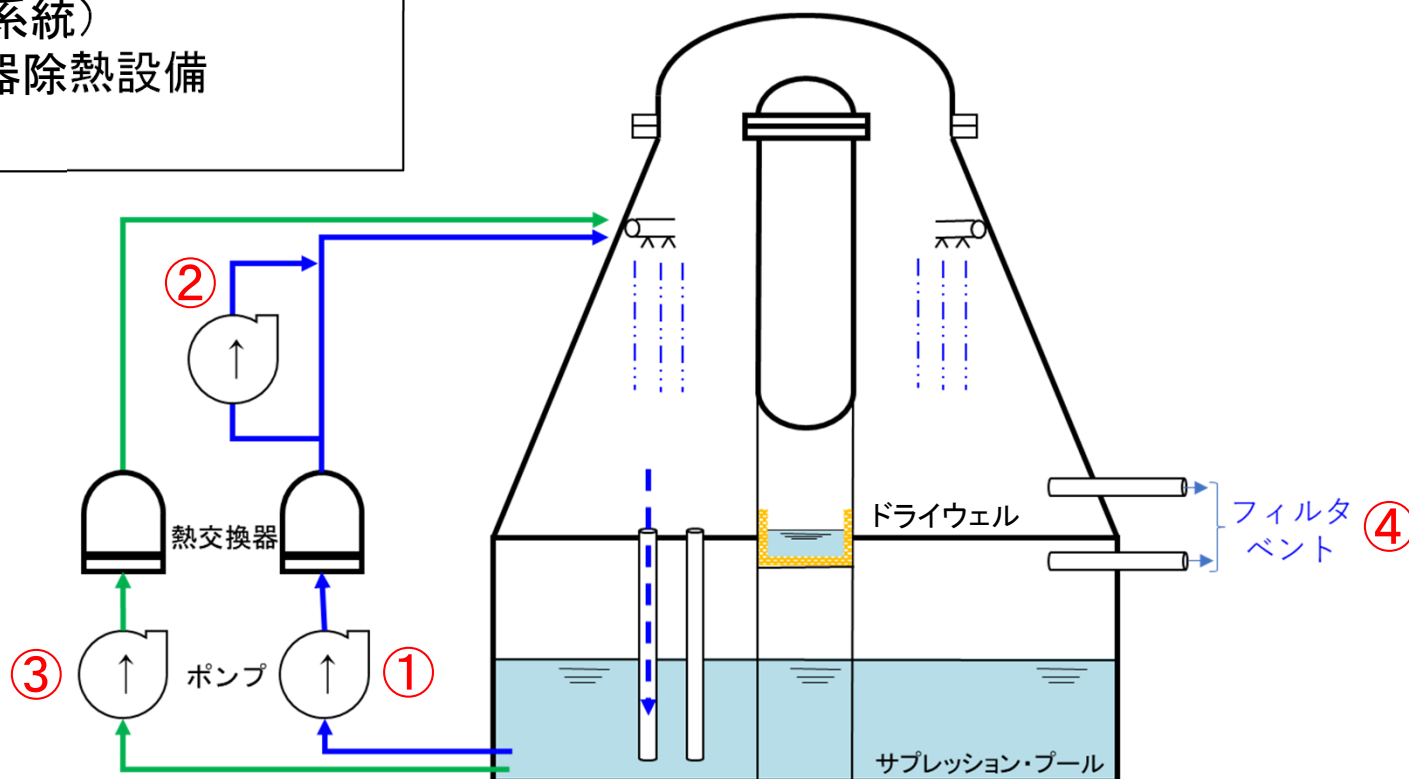
5. 複数の事故シナリオに係る評価

事故進展上の設定(格納容器除熱について)

- ・今回評価で設定した事故シナリオでは, 30km付近まで避難・一時移転の対象範囲を生じさせるため, 多重的・多層的な格納容器の除熱機能があえて全て機能しない条件としている。

【機能に期待しない設備】

- ①従来からの格納容器除熱設備(2系統)
- ②代替循環冷却系(2系統)
- ③特重施設の格納容器除熱設備
- ④フィルタベント



5. 複数の事故シナリオに係る評価

放出量評価の条件及び結果

- ・放出量評価について、格納容器貫通部での除去効果／よう素の化学形態の条件はシミュレーションⅡと同様(2022年度第1回検証委員会資料P.72)
- ・MAAPでは、**原子炉圧力容器が健全なケース**において、中低揮発性核種の放出量を過度に保守的に評価する傾向がある。このため、**国の審査ではMAAP解析結果に対し、NUREG-1465を活用した補正を実施しており、今回評価でも国の審査と同様の取扱い**としている。(次頁参照)

放出量（7日間積算）【Bq】

	Cs-137	I-131	I-135	Te-132
シミュレーションⅡ (SBOケース)	4.3×10^{14}	2.6×10^{15} (無機よう素＋ 粒子状よう素)	3.9×10^{14} (無機よう素＋ 粒子状よう素)	3.7×10^{13}
今回評価 (大LOCAケース)	2.7×10^{14}	2.1×10^{15} (無機よう素＋ 粒子状よう素)	4.6×10^{14} (無機よう素＋ 粒子状よう素)	3.2×10^{14}

MAAPの解析結果を参照し、シミュレーションⅡと同様に、放出継続時間を4時間と設定した。
(評価上の放出継続時間が4時間よりも短くなる核種については、4時間よりも短い値を使用)

5. 複数の事故シナリオに係る評価

中低揮発性核種のNUREG-1465補正について

- ・MAAP解析結果によると、高揮発性核種(Csやよう素)の放出割合と比べ、中・低揮発性核種(下表の赤字部分)の放出割合の方が大きい結果となっている※。
 ※MAAPでは、炉心再冠水後における燃料デブリ表面からの放射性物質の放出評価において、溶融燃料の平均温度を参照していること等が要因と考えられる
- ・一方、TMIや福島第一原子力発電所での観測事実から、中・低揮発性の物質の放出量は高揮発性の物質に比べて少量であることがわかっている※。
 ※例えば、福島第一原子力発電所事故後に実施された発電所敷地内の土壤中放射性核種のサンプリング結果で、多くの中・低揮発性核種は不検出(ND)という結果
- ・TMIや福島第一原子力発電所事故の実態に見合った評価とするため、国の審査では、原子炉圧力容器が健全なケースにおける放出量評価ではNUREG-1465を用いた補正を実施している。

	放出割合 (MAAP解析より算出)	放出割合 (NUREG補正後)
Cs※	6.18E-04	6.18E-04
TeO ₂ 類	6.94E-04	1.24E-04 =0.05 / 0.25 × 6.18E-04
Sb類	6.18E-03	1.24E-04
SrO類	1.63E-01	4.95E-05
BaO類	8.37E-02	4.95E-05
MoO ₂ 類	1.16E-02	6.18E-06
CeO ₂ 類	6.28E-02	1.24E-06
La ₂ O ₃ 類	6.28E-02	4.95E-07

※MAAPで解析したCsOHとCsIの放出割合から求めたCsの放出割合

国の審査資料(59条補足説明資料)より抜粋

第7-6表 NUREG-1465での原子炉格納容器内への放出割合

核種グループ	原子炉格納容器への放出割合※8
Cs	0.25
TeO ₂ , Sb	0.05
SrO, BaO	0.02
MoO ₂	0.0025
CeO ₂	0.0005
La ₂ O ₃	0.0002

※8 NUREG-1465のTable3.12「Gap Release」及び「Early In-Vessel」の値の和

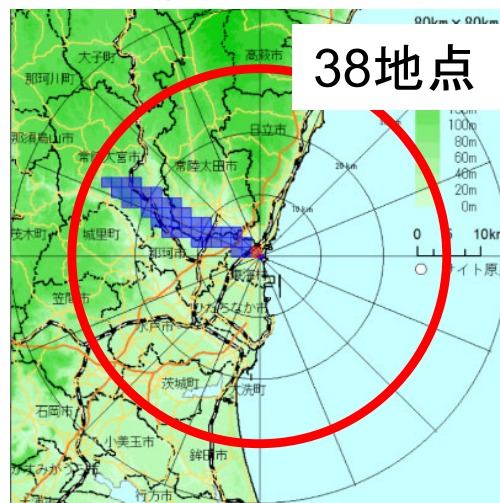
5. 複数の事故シナリオに係る評価

評価結果

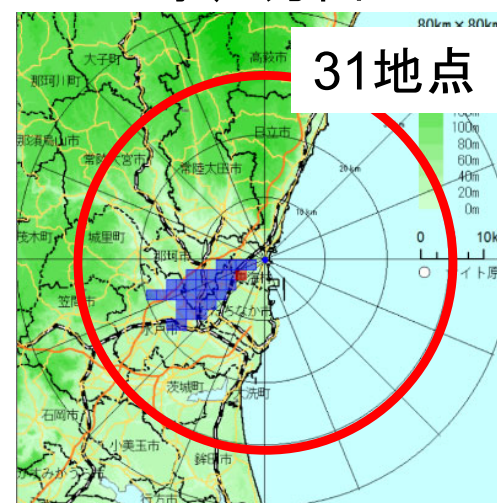
- ・今回評価における避難・一時移転の対象範囲はシミュレーションⅡと概ね同等となった

シミュレーションⅡ
(SBOケース)

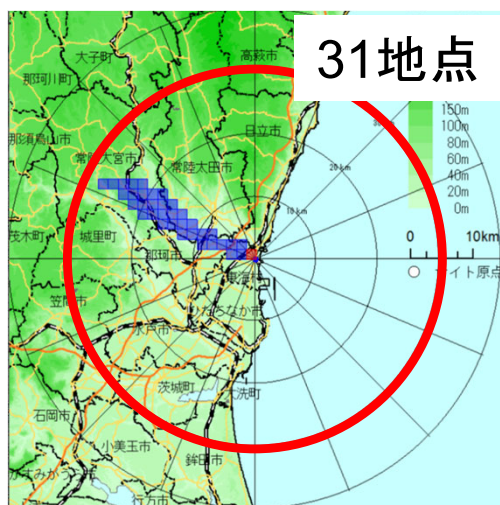
常陸太田方面



水戸方面



今回評価
(大LOCAケース)



まとめ

- ・事故設定の説明性を向上させるため、大破断LOCA＋非常用炉心冷却系(ECCS)喪失を起因とする事故シナリオに対する評価を実施した。
 - 避難・一時移転の対象となる区域が30km付近まで生じることを前提とするため、フィルタ付きベントには期待せず、格納容器が破損する条件とした
- ・避難・一時移転の対象範囲はシミュレーションⅡの結果と概ね一致した。