

以上の分析結果より、北海道から本州の日本海側及び北海道太平洋側の襟裳岬以西を竜巻検討地域に設定することは竜巻集中地域における地域特性の観点からも妥当であると考えられる。

第 2.2.4.1 表 F スケールごとの総観場のまとめ

	個数	総観場 1 位 (比率%)	総観場 2 位 (比率%)	総観場 3 位 (比率%)	主移動方向 (比率%)	
集中地域 ②	全体	21	季節風 (冬) 70%	温帯低気圧 24%	季節風 (夏) 5%	東 29%
	F2	4	温帯低気圧 87%	季節風 (夏) 13%		北東, 西 50%
	F1	1	温帯低気圧 50%			北東 100%
	F0	1	温帯低気圧 100%			北東 100%
	F 不明	15	季節風 (冬) 98%	局地性 2%	季節風 (夏) 2%	東 38%
	F1 以上	5	温帯低気圧 80%	季節風 (夏) 20%		北東 67%
	F0 以上	6	温帯低気圧 83%	季節風 (夏) 17%		北東 75%
竜巻検討地域	全体	209	季節風 (冬) 64%	温帯低気圧 24%	季節風 (夏) 7%	東 36%
	F2	13	温帯低気圧 68%	季節風 (冬) 18%	季節風 (夏) 8%	北東 56%
	F1	45	温帯低気圧 56%	季節風 (冬) 36%	局地性 5%	東 30%
	F0	29	季節風 (冬) 67%	温帯低気圧 26%	停滞前線 3%	東 40%
	F 不明	122	季節風 (冬) 78%	季節風 (夏) 9%	温帯低気圧 7%	東 43%
	F1 以上	58	温帯低気圧 58%	季節風 (冬) 32%	局地性 6%	東 25%
	F0 以上	87	温帯低気圧 48%	季節風 (冬) 44%	局地性 4%	東 30%
集中地域 ①	全体	17	季節風 (冬) 73%	温帯低気圧 18%	その他 6%	北東, 東 40%
集中地域 ⑱	全体	12	温帯低気圧 67%	季節風 (冬) 14%	季節風 (夏) 14%	北東 46%
太平洋側	全体	337	温帯低気圧 29%	台風 21%	季節風 (冬) 17%	北東 23%

第 2.2.4.2 表 竜巻検討地域における竜巻の観測記録 (F1 より大きい竜巻)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

発生日時	発生場所		F スケール ※	総観場
	都道府県	市町村		
1962 年 09 月 28 日 14 時 20 分	北海道	宗谷支庁 東利尻町	(F2)	寒冷前線
1971 年 10 月 17 日 05 時 00 分	北海道	留萌支庁 羽幌町	(F2)	寒気の移流
1974 年 10 月 03 日 19 時 05 分	北海道	檜山支庁 奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	温暖前線
1974 年 10 月 20 日 15 時 00 分	北海道 檜山支庁	檜山郡上ノ国 町	(F1~F2)	寒冷前線
1975 年 05 月 31 日 18 時 10 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	日本海低気圧 局地性 じょう乱 寒気の移流
1975 年 09 月 08 日 01 時 30 分	北海道 檜山支庁	奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	日本海低気圧 暖気の 移流
1979 年 11 月 02 日 01 時 58 分	北海道 渡島支庁	松前郡松前町	(F2)	日本海低気圧 温暖前 線
1980 年 10 月 31 日 09 時 30 分	北海道 日高支庁	門別町	(F1~F2)	閉塞前線
1989 年 03 月 16 日 19 時 20 分	島根県	簸川郡大社町	(F2)	局地性じょう乱 寒気 の移流
1990 年 04 月 06 日 02 時 55 分	石川県	羽咋郡富来町	F2	オホーツク海低気圧 気圧の谷
1994 年 10 月 05 日 06 時 35 分	北海道 日高支庁	門別町	F1~F2	寒冷前線
1999 年 11 月 25 日 15 時 40 分	秋田県	八森町	(F1~F2)	日本海低気圧 寒冷前 線
2004 年 10 月 22 日 16 時 50 分	北海道 日高支庁	門別町	F2	寒冷前線 暖気の移流

※ F スケールは、ア) 被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ) 文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したもの、があり、F2 以上の事例ではア) とイ) を区別し、イ) の場合には値を括弧で囲んでいる。

2.2.5 突風関連指数に基づく地域特性の検討

総観場での検討に加え、大きな被害をもたらす強い竜巻の発生要因となる環境場の形成のし易さに対する地域特性を検討するため、気象庁や米国気象局における現業においても竜巻探知・予測に活用されており、竜巻の発生し易さを数値的に示すことができる突風関連指数を用いて地域特性の検討を行った。なお、突風関連指数を用いての検討については日本海側と太平洋側の地域性が異なること、さらに立地地域とその他の地域の特性を確認するために実施したものであり、特

定規模の竜巻発生の可能性を評価するものではない。

2.2.5.1 突風関連指数を用いた竜巻予測の技術について

竜巻の主な発生メカニズムは、二つに大別されると考えられている。一つは局地的な前線（寒気団と暖気団との境界線）に伴って生じた渦が上昇流によって引き伸ばされて竜巻となるもので、比較的寿命が短く強い竜巻になりにくいとされている。

もう一つは「スーパーセル」と呼ばれる、回転する継続した上昇気流域（メソサイクロン）を伴った非常に巨大な積乱雲に伴って竜巻が発生するものである。スーパーセル内では、下降流域と上昇流域が分離されるため、巨大な積乱雲が長時間持続する傾向にある。近年、ドップラーレーダによる解析を基にした竜巻の事例調査が進んだことにより、大きな被害をもたらす強い竜巻の多くはスーパーセルに伴って発生することが判明している。現状、竜巻を直接予測することは困難であるが、大規模竜巻の発生と関係が深いスーパーセルの発生環境を予測することにより竜巻発生を間接的に予測できる。以下に、竜巻発生予測について、突風関連指数を適用している例を示す。

気象庁での突風関連指数の適用状況

気象庁では平成 20 年 3 月から、低気圧の発達等に関して半日から 1 日程度前に発表する予告的な気象情報において、11 種類の突風関連指数を算出し、竜巻やダウンバースト等の激しい突風が発生する可能性があるとして予測される場合には、当気象情報において注意喚起することとした。

その後、気象庁では竜巻等の突風の予測プロダクトとして、平成 22 年 5 月より竜巻発生確度ナウキャスト情報の提供を開始した。竜巻発生確度ナウキャストは、「竜巻が今にも発生する（又は発生している）可能性の程度」（発生確度）を 10 分ごとに解析した結果をもとに、降水域の移動ベクトル等を用いて 1 時間先まで発生確度を予測する。発生確度の解析は、以下の二つの技術を組み合わせて実施している。

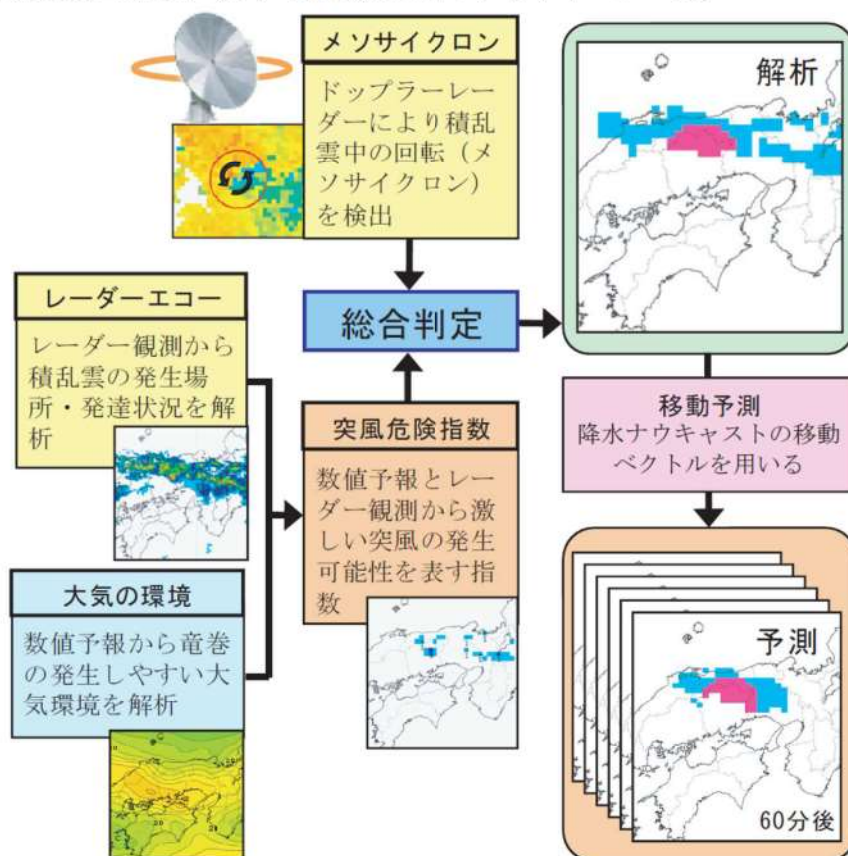
- ・気象ドップラーレーダ観測によるメソサイクロン（親雲）検出技術
- ・メソ数値予測（MSM）を用いた突風危険指数の算出技術

竜巻発生確度ナウキャストにおけるデータ等の流れを第 2.2.5.1.1 図に示す。竜巻発生確度ナウキャストは最新の観測・解析データをもって短いリードタイムの予測を迅速に行うことが主目的のため、レーダプロダクトに重みを置いている。また、小さな竜巻も見逃しなく予測できるような説明変数として突風関連指数を選択している。

以上のように、気象庁では竜巻の監視や様々なリードタイムに対する予測に突風関連指数を活用している。

海外での突風関連指数の適用状況

海外では、米国の気象庁にあたる NOAA の SPC (ストーム予測センター) においても気象庁と同様に、突風関連指数の情報とレーダー観測のデータが現業で活用されており、突風関連指数に関する検討も盛んに行われている。



出典：測候時報 78.3 2011 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について
—突風に関する防災気象情報の改善— 瀧下洋一

第 2.2.5.1.1 図 竜巻発生確度ナウキャストの解析・予測技術

2.2.5.2 検討に用いる突風関連指数について

大きな被害をもたらす竜巻の親雲の多くはスーパーセルであり、スーパーセルの発生環境は予測できる技術があって気象庁等でも活用されていることを述べてきた。ここでは、本検討に用いる突風関連指数について説明する。

第 2.2.5.2.1 図に竜巻の発生メカニズムを示す。スーパーセルが発生しやすい環境場として、大気下層の鉛直シア（異なる高度間での風向・風速差）と、強い上昇気流を起こすきっかけとしての不安定な大気場が必要である。本検討では、大気不安定度を表す指標として「CAPE」、鉛直シアに伴って発生する水平渦度が親雲に取り込まれる度合いを表す指標として「SReH」を採用し、両者の指標が同時に高くなる頻度について、地域的な特徴を確認する分析を行った。また、両者を掛け合わせた指標である EHI による分析も行い、SReH・CAPE の同時超過頻度分析との比較を行った。

SReH, CAPE, EHI については、竜巻の発生実態を解明する研究において国内

外で広く利用され、竜巻発生環境場との関連づけ等の知見が多く蓄積されており、気象庁での竜巻予測に用いる突風関連指数の中でも主な指標として紹介されているため、本検討を行う上でも妥当なものと考えられる。

SReH、CAPE 及びその複合指数である EHI について以下に説明する。



風向・風速差による渦の発生

上昇気流の発生

竜巻の発生

第 2.2.5.2.1 図 竜巻の発生メカニズム*

※：U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE (National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service), A Preparedness Guide Including Tornado Safety Information for Schools

(1) SReH (Storm Relative Helicity : ストームの動きに相対的なヘリシティ)

風向・風速差により発生した渦度が親雲に取り込まれる度合であり、値が大きいほど、積乱雲はスーパーセルに発達しやすい (第2.2.5.2.2図)。

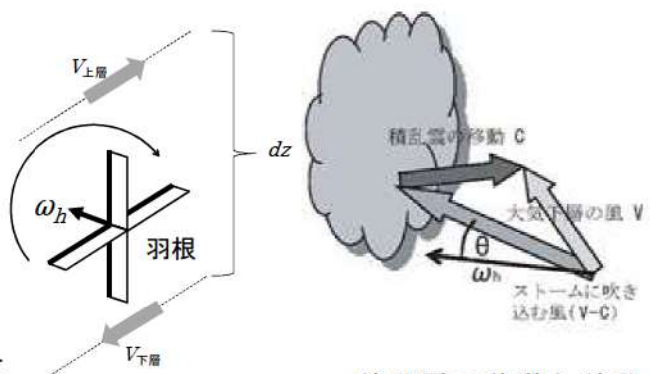
$$SReH = \int_{\text{地上}}^{\text{高度3km}} (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega} dz$$

V : 水平風速ベクトル
 ω : 鉛直シアに伴う水平渦度

C : ストームの移動速度



「水平軸周り」に回転する渦が親雲に吸い上げられて、「鉛直軸周り」の回転となる



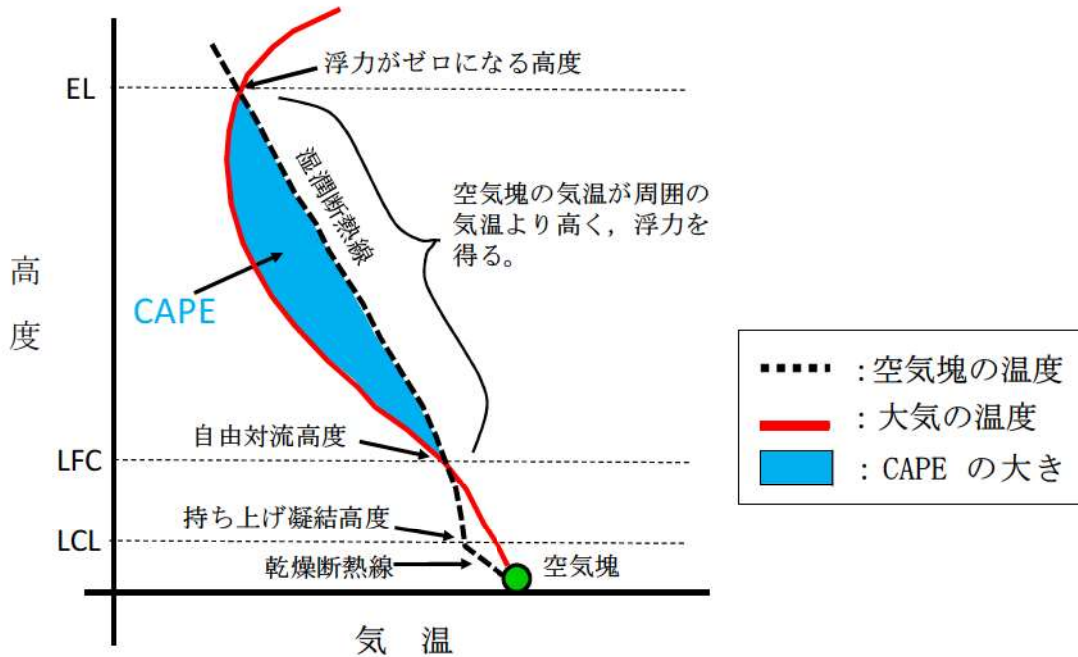
積乱雲の移動と積乱雲に吹き込む風

第 2.2.5.2.2 図 SReH の概念図

(2) CAPE (Convective Available Potential Energy : 対流有効位置エネルギー)
 上昇気流の発生しやすさを表し、値が大きいほど背の高い積乱雲に発達しう
 るため、大気的不安定度の指標となる (第 2.2.5.2.3 図)。

$$CAPE = \int_{LFC}^{EL} g \frac{\theta_e'(z) - \theta_e(z)}{\theta_e(z)} dz$$

g : 重力加速度
 θ_e : ストーム周囲の相当温位
 θ_e' : 持ち上げ空気塊の相当温位
 dz : 鉛直方向の層厚



第 2.2.5.2.3 図 CAPE の算出概念*

※: 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に
 関するガイドライン, 日本保全学会, 原子力規制関連事項検討会, 2015

(3) EHI (Energy Helicity Index)

SReH及びCAPEを用いて算出し、スーパーセルや竜巻の発生しやすさを経験的
 に指標化したものであり、米国ではCAPE単独又はSReH単独に比べると、竜巻発
 生との相関関係が高いとされている。

$$EHI = \frac{SReH \times CAPE}{160,000}$$

(参考) 相当温位

温位とは、下式に示すように気温 T と気圧 p に関する量であり、ある空気塊を
 断熱的に基準圧力 1,000hPa に戻したときの絶対温度である。

2つの空気塊を比較した場合、温位の高い空気塊は軽く上昇しやすく (不安定
 であり)、単位体積中に含みうる水蒸気量が多いため、大きな積乱雲の発生につ

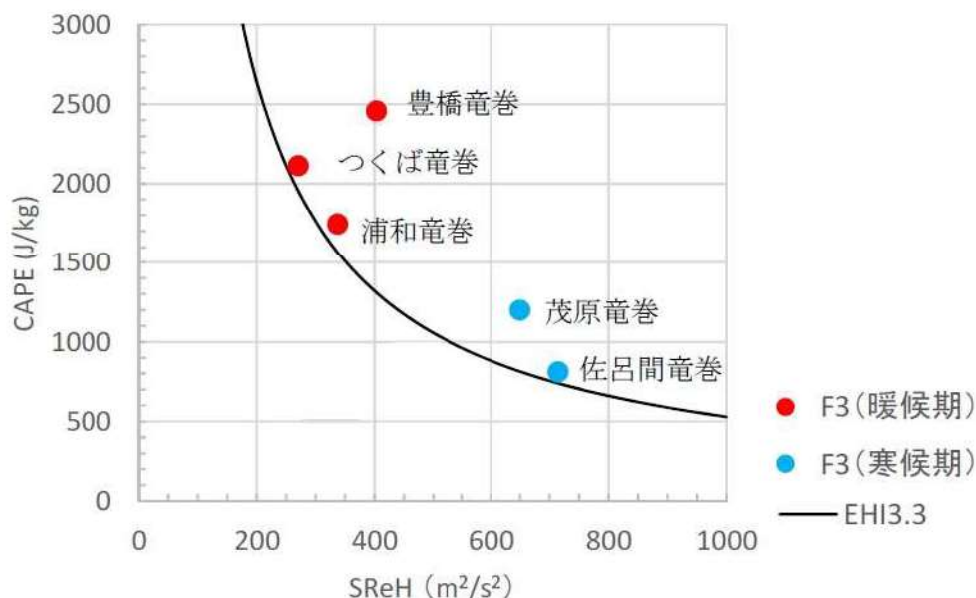
ながる。

相当温位は、空気塊に含まれる水蒸気の持っている潜熱（水蒸気が凝結する際に空気塊の温度が上昇）の影響も考慮された温位である。

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (R: \text{気体定数}, c_p: \text{定圧比熱})$$

2.2.5.3 突風関連指数の地域特性

これまでに発生した F3 竜巻に対する突風関連指数の分析結果を第 2.2.5.3.1 図に示す。WRF モデル (Weather Research and Forecasting model) と呼ばれる数値気象モデルを用いて当時の気象場を解析 (再現) し、それをもとに突風関連指数を算出している。第 2.2.5.3.1 図をみると、季節によって CAPE の値が大きく異なるものの、F3 竜巻事例では共通して SReH と CAPE の両方が大きくなる傾向が見られた。



第 2.2.5.3.1 図 F3 竜巻における SReH と CAPE の関係

大きな竜巻を引き起こすスーパーセルの発生要因の指標である SReH と CAPE について、国内で (太平洋側で) 発生した F3 竜巻では、SReH と CAPE の両方 (あるいは複合指数である EHI) が大きな値をとる傾向が見られる。また、これまでに発生した国内における F2-F3 を含めたすべての F3 竜巻 (6 事例) は、スーパーセルを伴っていたことが報告されている。

したがって、SReH と CAPE それぞれに対して閾値を設け、その閾値を同時に超える頻度 (以下「同時超過頻度」という。) を分析することにより、スーパーセルに伴って発生するような大規模な竜巻の発生環境を観点とした地域性を見出すことができると考えられる。

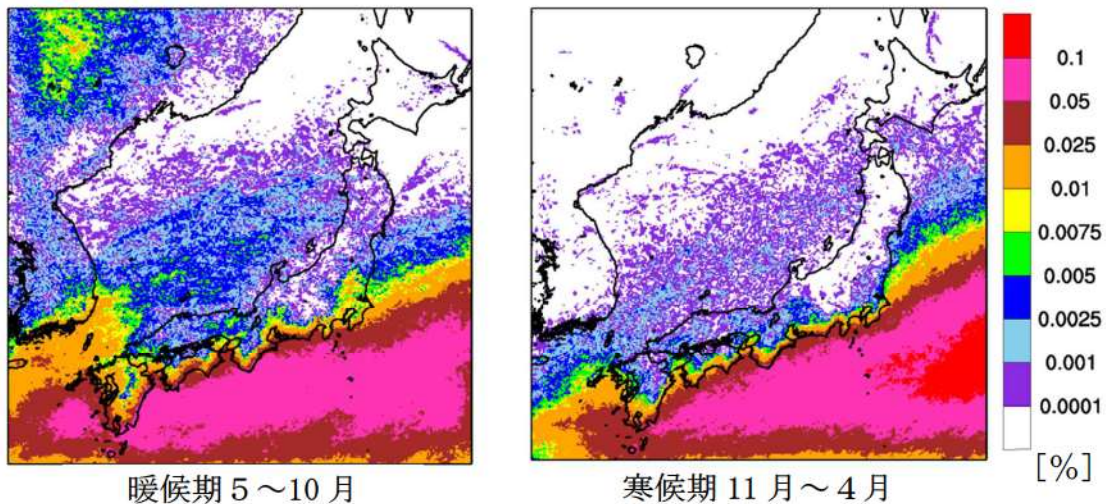
2.2.5.4 突風関連指数の同時超過頻度による地域性の検討

SReH と CAPE の閾値については、第 2.2.4.5.1 図の F3 竜巻のデータをもとに、実際の竜巻発生地点と対応するよう、下記のように設定した。また、CAPE の閾値については、緯度・季節で絶対値が大きく変わるため、5月～10月（暖候期）及び11月～4月（寒候期）に分けて閾値を設定した。

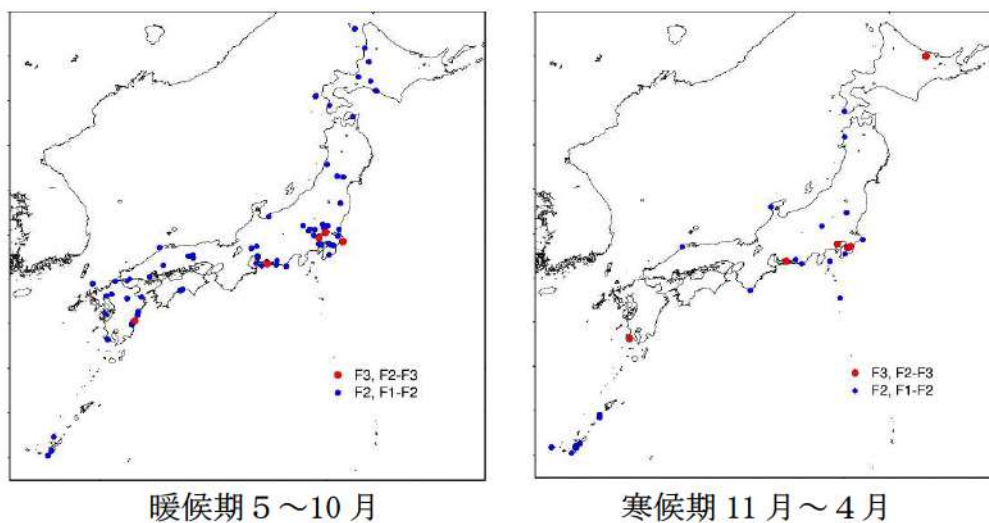
[5月～10月（暖候期）] SReH : 250m²/s², CAPE : 1,600J/kg

[11月～4月（寒候期）] SReH : 250m²/s², CAPE : 600J/kg

第 2.2.5.4.1 図は、1961 年～2010 年までの 50 年間にわたって 1 時間ごとに解析されたデータをもとに、SReH と CAPE の同時超過頻度分布をマップ化したものである。また、気象庁「竜巻等の突風データベース」で確認された F2-F3 竜巻及び F3 竜巻の発生箇所を第 2.2.5.4.2 図に示す。



第 2.2.5.4.1 図 F3 規模以上を対象とした SReH, CAPE 同時超過頻度分布



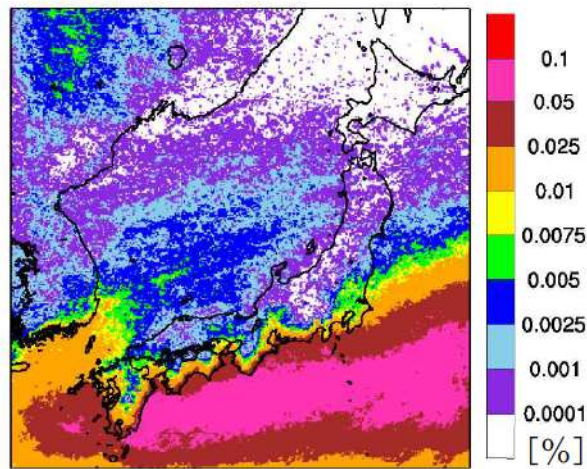
第 2.2.5.4.2 図 F2 規模以上の発生箇所
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

また、EHI についても、SReH と CAPE と同様に閾値を設け超過頻度について分析した。EHI の閾値については、過去のいずれの F3 事例においても EHI が 3.5 程度を越えていることから、それを包含する値として EHI:3.3 を設定した(暖候期と寒候期は分けない)。

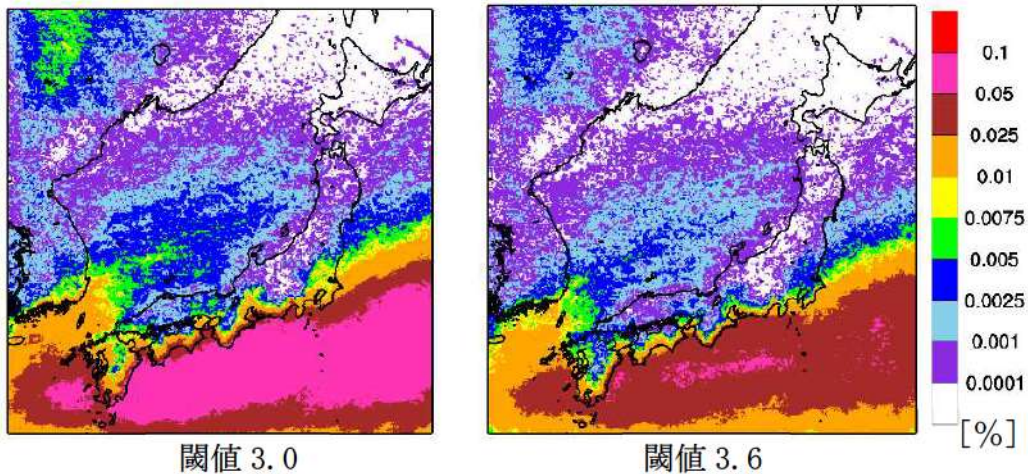
EHI の超過頻度分布をマップ化したものについても第 2.2.5.4.3 図に示す。SReH, CAPE の同時超過頻度分布(第 2.2.5.4.1 図)に対応した結果となっており、EHI を用いて通年レベルの評価を行った場合でも地域特性がはっきり表れている。

以上により、CAPE, SReH, EHI について F3 以上を想定した特定の閾値を設けた場合の分析を実施したが、突風関連指数については不確実性が存在するため、EHI : 3.0 及び 3.6 を設定した場合についても同様の地域性が現れることを確認した(第 2.2.5.4-4 図)。ただし、閾値を大きくした場合、実際に F3 が発生した関東平野内を包含できなくなる。また閾値を小さくした場合、小さな竜巻が発生する環境場をカウントすることから、地域性は薄れていくことがわかる。

なお、CAPE, SReH についても同様の感度解析を実施しており、同様の傾向が得られることを確認した。【添付資料 2.2 付録 E】



第 2.2.5.4.3 図 EHI の超過頻度分布 (閾値 3.3)



第 2.2.5.4.4 図 EHI の超過頻度分布

突風関連指数による、大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分析を行った結果、福島県以北の東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側沿岸よりも 1~2 オーダー以下の頻度となることが分かった。

スーパーセルに伴って発生する大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分布の観点からも、東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側と地域特性の違いがあることを確認した。

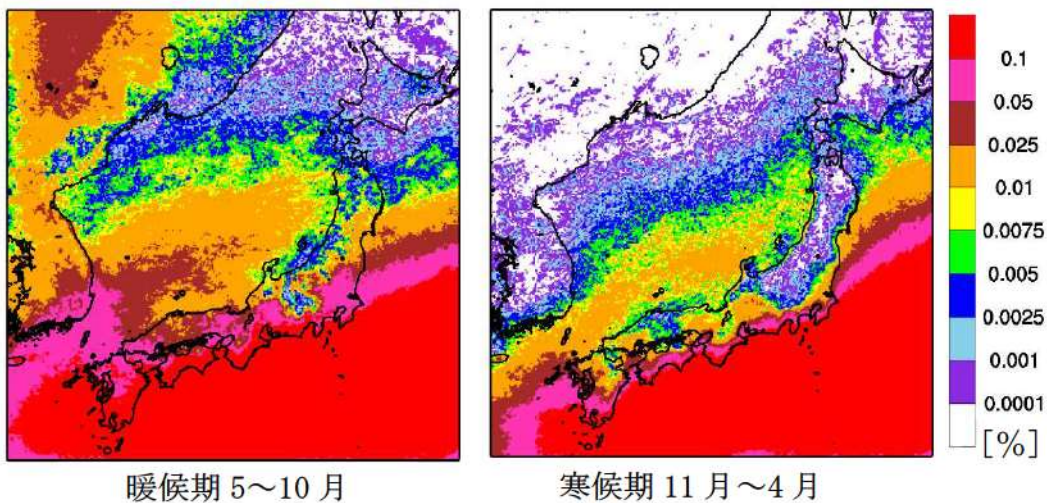
参考として、F2 規模の竜巻について同様の検討を行った。閾値の設定は F2 規模の竜巻発生時の実績をもとに以下の様に設定した。

[5月~10月(暖候期)]SReH : $200\text{m}^2/\text{s}^2$, CAPE : $1,000\text{J}/\text{kg}$

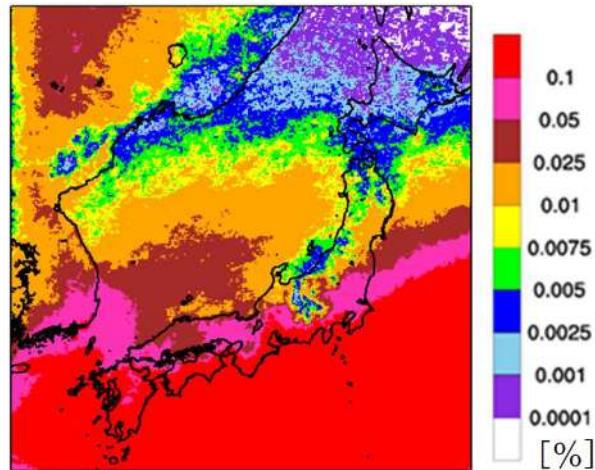
[11月~4月(寒候期)]SReH : $200\text{m}^2/\text{s}^2$, CAPE : $350\text{J}/\text{kg}$

EHI を用いる場合の閾値 EHI : 1.5

SReH, CAPE の同時超過頻度分析の結果を第 2.2.5.4.5 図に、EHI の超過頻度分布を第 2.2.5.4.6 図に示す。F3 規模以上を対象とした閾値の分析結果に比べ、頻度は全体的に上がったが、概ね同様の傾向が確認できた。



第 2.2.5.4.5 図 F2 規模の竜巻形成につながる環境場の閾値の同時超過頻度分布



第 2.2.5.4.6 図 EHI の超過頻度分布 (閾値 : 1.5)

F2 規模相当の閾値での同時超過頻度を解析した結果をみても、東北地方太平洋側及び日本海側は、茨城県以西の太平洋側と比較して頻度が低くなっていることが確認できる。

日本海側で大きな竜巻が発生しにくい原因としては、太平洋側から暖かく湿った空気が、日本列島の中央部に存在する高く複雑な山岳域を湿潤不安定な状態のまま乗り越えてくることができないため、日本海側では大きな竜巻を引き起こす環境場が形成しにくくなっていることが考えられる。

2.2.5.5 佐呂間町で発生した竜巻について

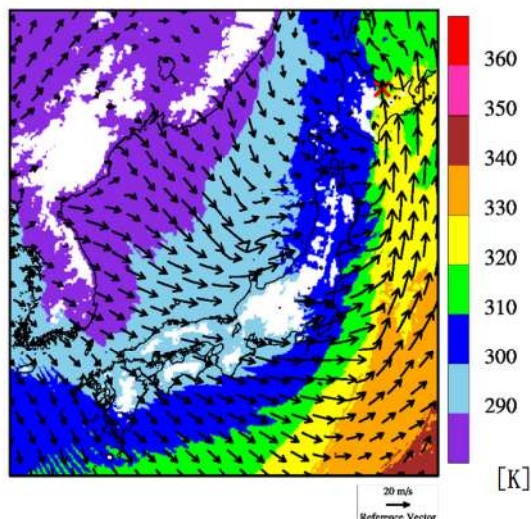
突風関連指数を用いた解析結果から、F3 規模以上の竜巻が発生しやすいとされる地域が分かったが、そのエリアに含まれていない北海道網走支庁佐呂間町では 2006 年 11 月に F3 竜巻が発生している (以下、「佐呂間竜巻」という。)。佐呂間竜巻は、太平洋沿岸で発生した竜巻と比較すると、

- ・国内で唯一内陸部 (丘陵地の麓) において発生した竜巻である。
 - ・F3 竜巻としては継続時間 (1 分) と移動距離 (約 1.4km) が非常に短かった。
- という点で異なっている。

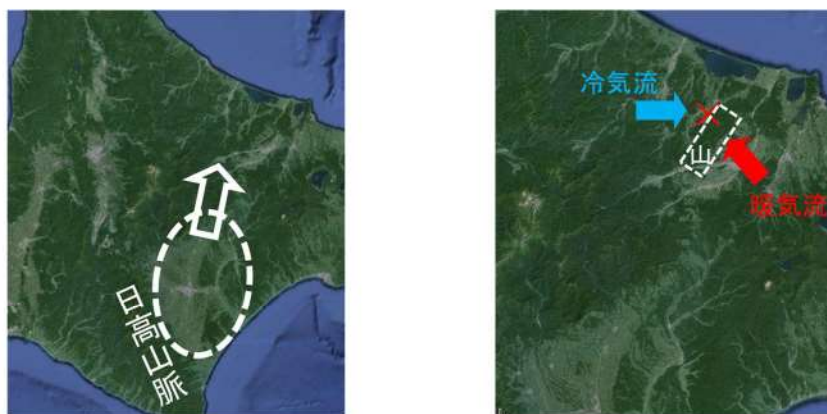
佐呂間竜巻の発生した地域では、太平洋側からの暖湿流が小高い丘を越えて流入するような地形になっており、平野部の冷気流とぶつかることにより大きな上層・下層間の風向差が生じる環境場となっていた (第 2.2.5.5.1 図, 第 2.2.5.5.2 図)。

また、日高山脈の東側では、山を越えた冷気流と太平洋側の暖気流がぶつかる地点となっており、ここで発生した親雲が山脈沿いに北上しながら持続的に発達し、佐呂間地域で F3 規模の竜巻を形成するに至ったと考えられる。

これらの発生メカニズムについて、第 2.2.5.5.3 図に模式的に示す。



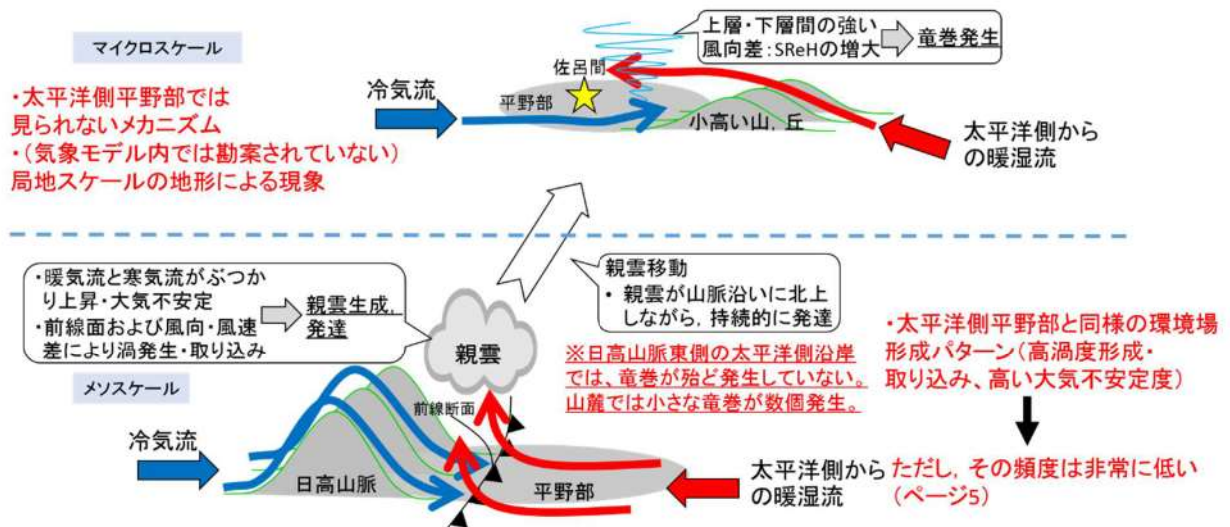
第 2.2.5.5.1 図 佐呂間竜巻発生時の風向・風速及び相当温位の分布（海拔 500m 高度）



親雲の発生位置（点線内）と移動方向 竜巻の発生位置（×）と影響が指摘される山（点

第 2.2.5.5.2 図 親雲の発生箇所と移動方向（左）及び竜巻の発生箇所（右）※

※：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，2015



第 2.2.5.5.3 図 佐呂間竜巻の発生メカニズムに関する模式図*

※軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に関するガイドライン，日本保全学会，原子力規制関連事項検討会，平成 27 年 1 月

このように、佐呂間竜巻の発生メカニズムは、太平洋側沿岸域にて発生している F3 竜巻のメカニズムとは大きく異なっており、竜巻の持続時間・被害域長さも大きく異なっている。

竜巻影響評価における取扱いとしては、基準竜巻設定で対象としている地域性・空間スケールよりも局地的な地形影響を受けており、そういった影響については、設計竜巻 V_D の設定時に考慮するのがガイドの趣旨に沿ったものとなる。

考慮する際のポイントは、以下の 2 点である。

- ・太平洋側からの暖湿流が高標高山岳等に遮断されずに直接流入しうる地域である。
- ・近隣地形（数キロ程度四方の範囲）において、（太平洋側からの）暖気流の流入する風上側に尾根状の丘・山が存在すること。
その観点で泊発電所周辺の地形を確認すると、以下のように整理できる。
- ・後志地方から胆振地方にかけて高標高山岳が存在するため、太平洋側から暖湿流が直接流入しない。（図 2.2.5.5.4）
- ・日本海側で発達する気流は、主に西から東へ移動する傾向が強く、気流の流入する風上側（海側）に尾根状の丘、山が存在しない。

したがって、泊発電所で佐呂間竜巻と同様な地形条件にはなっていないことを確認した。

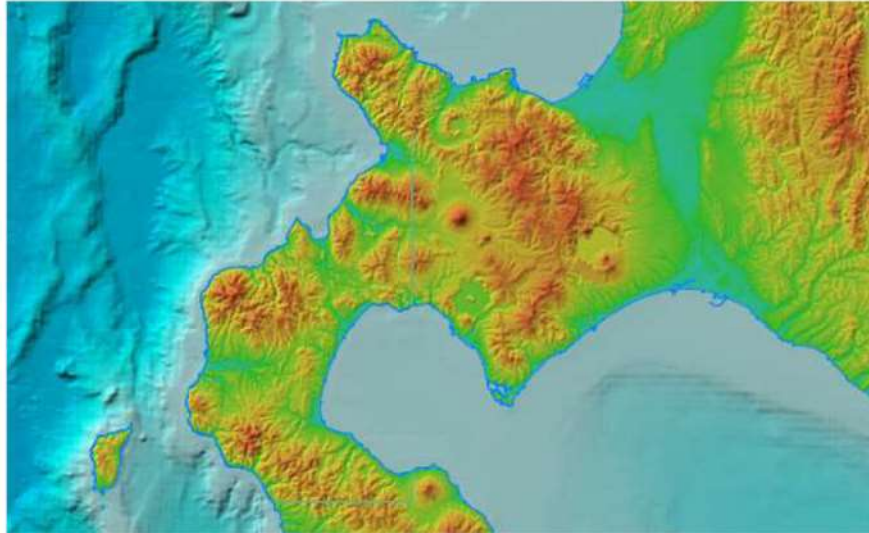


図 2.2.5.5.4 泊発電所周辺地形図
(国土地理院「電子国土 Web」より作成)

さらに、佐呂間竜巻の実績から日高山脈を境にして暖湿・低乾な大気場に大きく分かれていることが確認された。高い標高の山の両側で空気塊の性質は変わりうるため、竜巻発生観点では、日高山脈を境に道内を2つの地域に分けられ、襟裳岬以西の太平洋側は日本海側と同じ性質であると考えられる。

以上の検討結果より、過去発生した大きな竜巻（F2～F3 及び F3）の解析結果においても例外なく、大きな竜巻の発生時は、太平洋側から流れ込んだ暖湿な大気が高い山岳によって遮蔽されることなく太平洋側の発生地点周辺の平野部に流入していたこと、日本海側へは暖湿な大気が流入していなかったことが確認された。

2.2.6 竜巻検討地域の妥当性確認結果

総観場ごとのFスケール別竜巻発生分布より、発生する竜巻の規模には地域差があり、また、突風関連指数の分析結果から、日本海側は茨城県以西の太平洋側と大規模な竜巻形成につながる環境場の傾向が異なることが確認できた。

一方、総観場による分析では、泊発電所の立地する地域を含む裏日本気候区（I）のエリアの竜巻発生に関する総観場は類似していることが確認できた。

以上の分析結果を踏まえれば、泊発電所の竜巻検討地域として、北海道から本州の日本海側及び北海道太平洋側の襟裳岬以西を設定することが妥当と判断した。

2.3 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})のうち、大きな風速を設定する。

2.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})

泊発電所が立地する北海道日本海側は、過去の発生実績及び突風関連指数を用いた分析結果から、大規模な竜巻は発生しにくいものと考えられる。

また、竜巻は観測の歴史が浅いこと及び気象庁における竜巻観測体制の変遷を踏まえると、他の気象観測データに比べ不確かさがあると考えられる。

上記を勘案し、日本で過去に発生した竜巻の最大風速を V_{B1} として設定する。

日本で過去に発生した最大の竜巻は F3 スケールである。F スケールと風速の関係より、F3 スケールの風速は 70~92m/s であるため、過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} は、F3 スケールの上限値である 92m/s とする。

第 2.3.1.1 表に日本で過去に発生した F3 竜巻を示す。

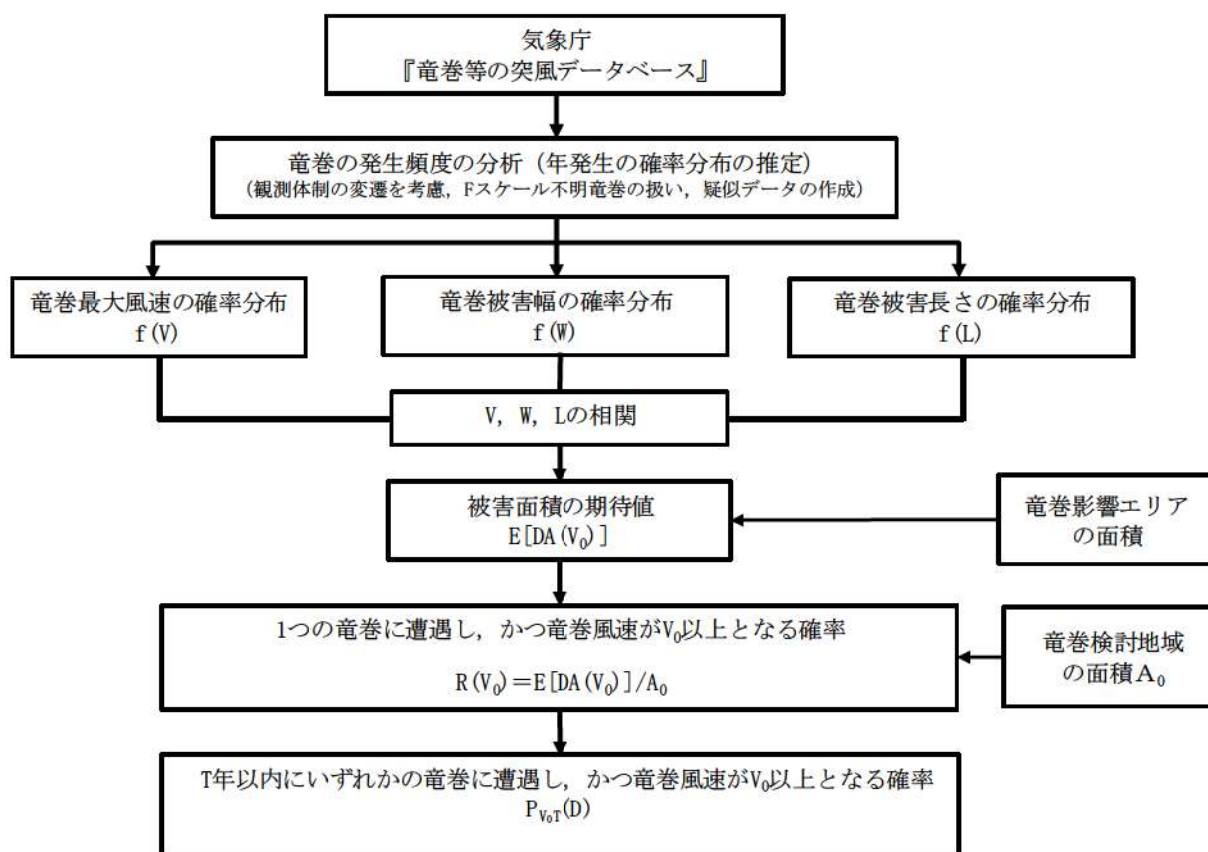
第 2.3.1.1 表 日本で過去に発生した F3 竜巻
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

F スケール	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	発生場所
F3	1971年07月07日07時50分	35度52分45秒	139度40分13秒	埼玉県浦和市
F3	1990年12月11日19時13分	35度25分27秒	140度17分19秒	千葉県茂原市
F3	1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県豊橋市
F3	2006年11月07日13時23分	43度58分39秒	143度42分12秒	北海道網走支庁 佐呂間町
F3	2012年05月06日12時35分	36度6分38秒	139度56分44秒	茨城県常総市

2.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方【添付資料 2.4 1.】

竜巻最大風速のハザード曲線は、気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における竜巻の観測記録を抽出・評価し、既往の算定法（Wen and Chu 及び Garson et al.）に基づき算定した。具体的な算定方法は、JNES 委託研究成果報告書*を参考とし、第 2.3.2.1 図に示すフローに従いハザード曲線を算定した。なお、ハザード曲線は、竜巻検討地域の竜巻特性を適切に考慮できる海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲内で算定した。加えて、竜巻検討地域において過去に発生した竜巻は、竜巻発生確認数にばらつきがあることを踏まえ、ガイドに基づき、ハザード曲線に保守性をもたせるために竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合のハザード曲線も算定した。

※ 東京工芸大学：「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月



第 2.3.2.1 図 竜巻最大風速のハザード曲線の算定フロー

2.3.3 海岸線から陸側及び海側それぞれ5km全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

2.3.4 竜巻の発生頻度の分析【添付資料2.4.2.】

気象庁「竜巻等の突風データベース」を基に1961年1月～2012年6月までの51.5年間の統計量をFスケール別に算出した。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつき（第2.3.4.1図参照）を踏まえ、以下の①～④の基本的な考え方に基づいて整理を行った。

- ①被害が小さくて見過ごされやすいF0及びFスケールが不明な竜巻は、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ②被害が比較的軽微なF1竜巻については、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ③被害が比較的大きく見逃されることが少ないF2、F3竜巻については、観測データが整備された1961年1月以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。
- ④51.5年間の発生数を、①～③の観測期間との比率からFスケールごとに推計する。

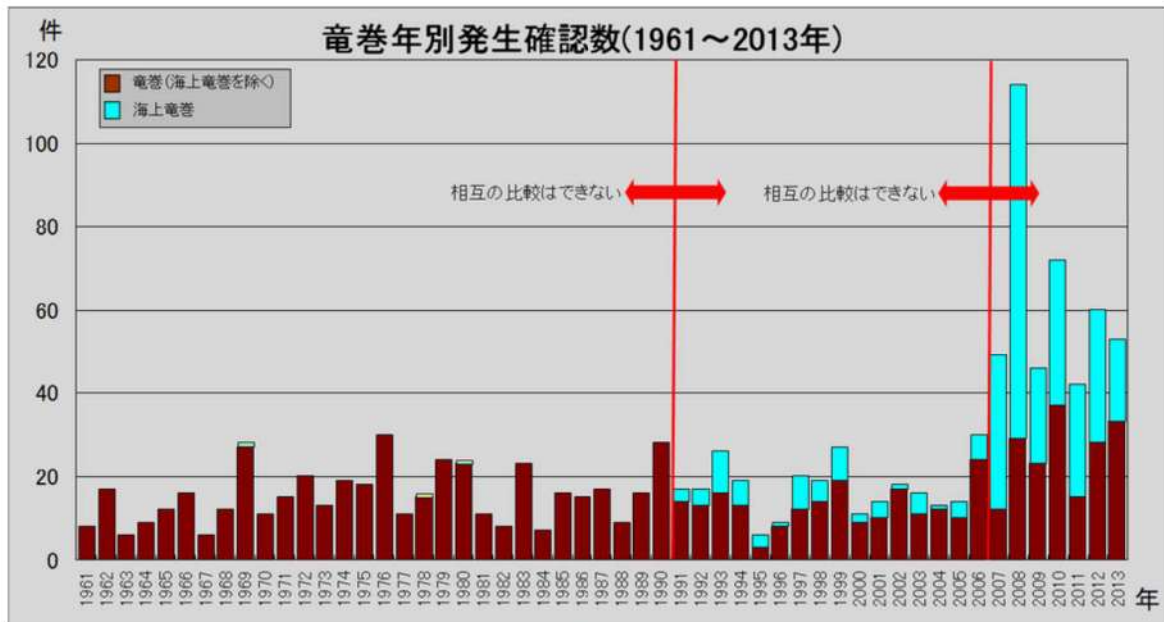
また、Fスケールが不明な竜巻については、以下の考え方に基づいて分類した。

- ⑤陸上で発生したFスケールが不明な竜巻及び海上で発生しその後上陸したFスケール不明竜巻はF0に含める。これにより、すべての陸上竜巻をF0～F3に分類する。
- ⑥沿岸部近傍での海上竜巻の特性は、陸上竜巻の特性と類似しているとの仮定の下、不明な海上竜巻の発生数を陸上竜巻のFスケール別発生比率で按分する。

上記の基本的な考え方に基づいて観測記録を整理・推定した結果を第2.3.4.1表に示す。

また、同表の分析結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の算出に使用する竜巻の発生数を第2.3.4.2表に示す。

なお、竜巻発生の確率モデルは、ガイドに従ってポアソン過程に従うものとし、年発生数の確率分布には、ポリヤ分布を適用した。



第 2.3.4.1 図 竜巻の年別発生確認数（気象庁 HP より）

第 2.3.4.1 表 竜巻発生数の分析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	87	29	45	13	0	12	110	209
	平均値(年)	1.69	0.56	0.87	0.25	-	0.23	2.14	4.06
	標準偏差(年)	2.53	1.99	1.03	0.52	-	0.68	5.89	7.91
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	58	29	26	3	0	11	110	179
	平均値(年)	2.70	1.35	1.21	0.14	-	0.51	5.12	8.33
	標準偏差(年)	3.49	2.95	1.15	0.36	-	0.98	8.37	10.98
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	31	25	6	0	0	5	92	128
	平均値(年)	5.64	4.55	1.09	-	-	0.91	16.73	23.27
	標準偏差(年)	6.22	4.94	1.34	-	-	1.69	10.96	15.13
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	358	235	63	13	0	47	862	1220
	平均値(年)	6.92	4.55	1.21	0.25	-	0.91	16.73	23.64
	標準偏差(年)	5.37	4.94	1.15	0.52	-	1.69	10.96	12.21
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1222	962	215	45	0	0	0	1222
	平均値(年)	23.57	18.59	4.12	0.86	-	-	-	23.57
	標準偏差(年)	9.91	9.63	2.13	0.96	-	-	-	9.91

注 1：切り上げの関係で総計数が一致していない箇所がある。

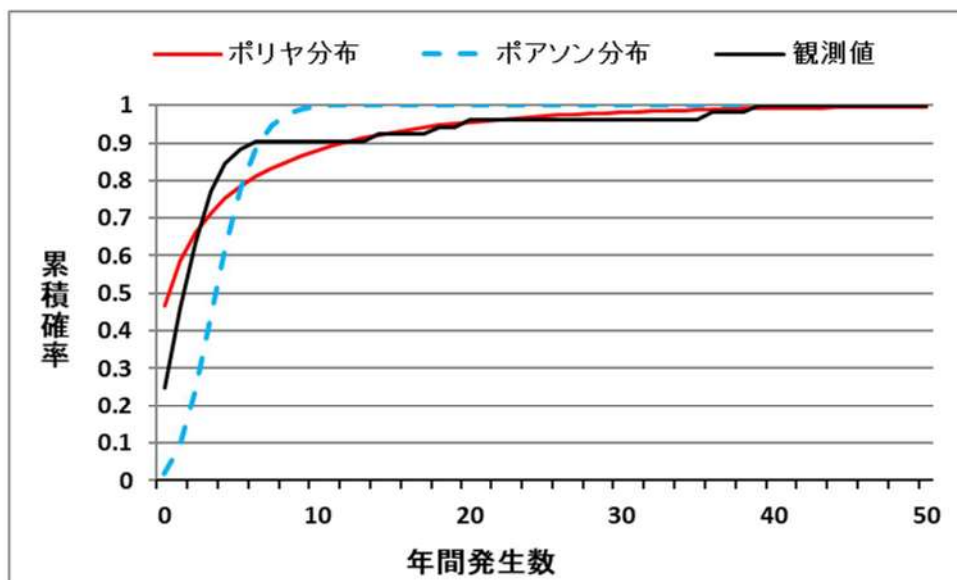
注 2：色塗り部分については、竜巻発生頻度の分析に用いるデータを示している。

第 2.3.4.2 表 分析結果に基づき竜巻最大風速のハザード曲線の算出に使用する竜巻の発生数

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	竜巻スケール					小計
		F0	F1	F2	F3	不明	
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	962	215	45	0	0	1222
	平均値(年)	18.68	4.17	0.87	-	-	23.73
	標準偏差(年)	9.63	2.13	0.96	-	-	9.91

(参考) ポリヤ分布の適用について

- ・ガイドにて、 V_{B2} 算定の参考になるとされている東京工芸大学委託成果によれば、Wen and Chuが、竜巻に遭遇しかつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定法を提案し、竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率分布はポアソン分布若しくはポリヤ分布に従うとしている。
- ・ポアソン分布は、生起確率が正確に分からないがまれな現象の場合に有用な分布である。一方、ポリヤ分布は、発生状況が必ずしも独立でないまれな現象（ある現象が生ずるのはまれであるが、一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば伝染病の発生件数等）。台風や前線により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため、ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。
- ・なお、国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は、上述の東京工芸大学委託成果に示されており、陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。
- ・今回、竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に、発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を検討した。竜巻検討地域における竜巻の年発生数の累積頻度を第2.3.4.2図に示す。その結果、竜巻検討地域においても、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れていることを確認した。
- ・以上より、ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻年発生数の確率密度分布は、ポリヤ分布を採用した。



第2.3.4.2図 竜巻検討地域における竜巻の年発生数の累積頻度

2.3.5 竜巻最大風速，被害幅，被害長さの確率分布及び相関係数【添付資料 2.4 3.】
【添付資料 2.4 4.】

竜巻ハザードを評価するためには，一つの竜巻が発生した際の竜巻最大風速，被害幅及び被害長さの確率分布が必要となることから，これらの確率密度分布を求める。

なお，竜巻風速の確率密度分布は，Fスケール別の竜巻発生数から求める。

竜巻検討地域における51.5年間の竜巻の発生数，被害幅及び被害長さを基に，確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている JNES 委託研究成果報告書を参照し，対数正規分布に従うものとする(第2.3.5.1図～第2.3.5.6図)。

なお，竜巻最大風速については，ハザードを保守的に評価するとの観点から，第2.3.5.1表に記載のFスケールの各区分の風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法により竜巻風速の対数正規分布を算出している。

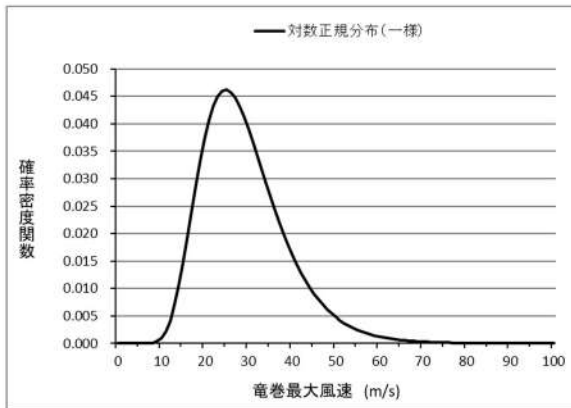
また，疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで，被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに，被害幅又は被害長さ0のデータについては計算に用いておらず，保守的な評価を行っている。

このように，前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め，データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

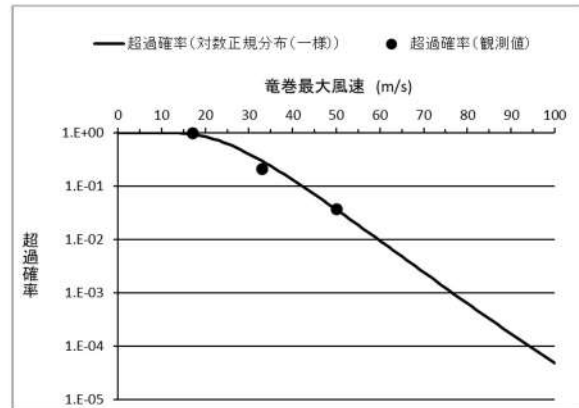
また，竜巻のハザードの計算においては，2変量あるいは3変量の確率分布関数を対象とするため，竜巻最大風速，被害幅及び被害長さについての相関係数を求めた。第2.3.5.2表に1961年以降の観測データのみを用いて，竜巻最大風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求めた結果を示す。

第 2.3.5.1 表 竜巻検討地域における竜巻パラメータ (51.5 年間の推定結果)

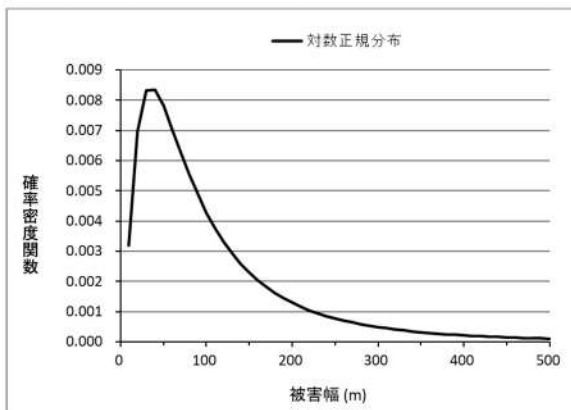
	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
				F0	F1	F2	F3
疑似 51.5年間 (全竜巻)	発生数	期間内総数	1222	962	215	45	0
		年平均(個)	24	19	4	1	-
		標準偏差(個)	10	10	2	1	-
	被害幅	期間内総数	1222	962	215	45	0
		平均値(m)	118	116	112	179	-
		標準偏差(m)	132	122	102	314	-
	被害長	期間内総数	1222	962	215	45	0
		平均値(km)	1.550	1.082	3.391	2.773	-
		標準偏差(km)	2.654	1.421	4.962	2.948	-



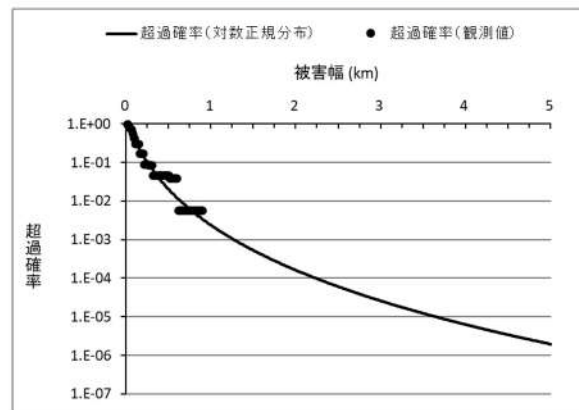
第 2.3.5.1 図 竜巻最大風速の確率密度分布



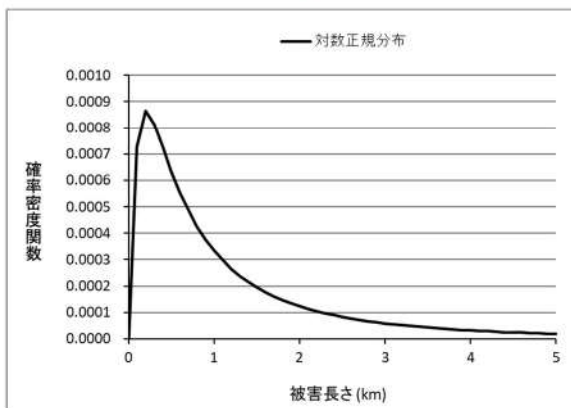
第 2.3.5.2 図 竜巻最大風速の超過確率分布



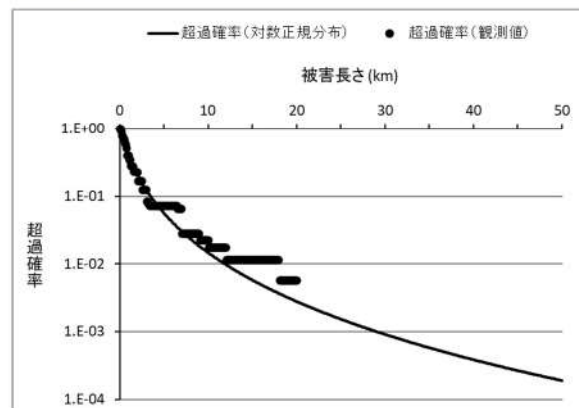
第 2.3.5.3 図 被害幅の確率密度分布



第 2.3.5.4 図 被害幅の超過確率分布



第 2.3.5.5 図 被害長さの確率密度分布



第 2.3.5.6 図 被害長さの超過確率分布

第 2.3.5.2 表 竜巻最大風速, 被害幅, 被害長さの相関係数 (単位無し)

相関係数	竜巻最大風速	被害幅	被害長さ
竜巻最大風速	1.000	-0.060*	0.319
被害幅	-0.060*	1.000	0.458
被害長さ	0.319	0.457	1.000

*竜巻最大風速と被害幅は無相関との知見が得られたため、ハザード算定の際には、相関係数0として計算

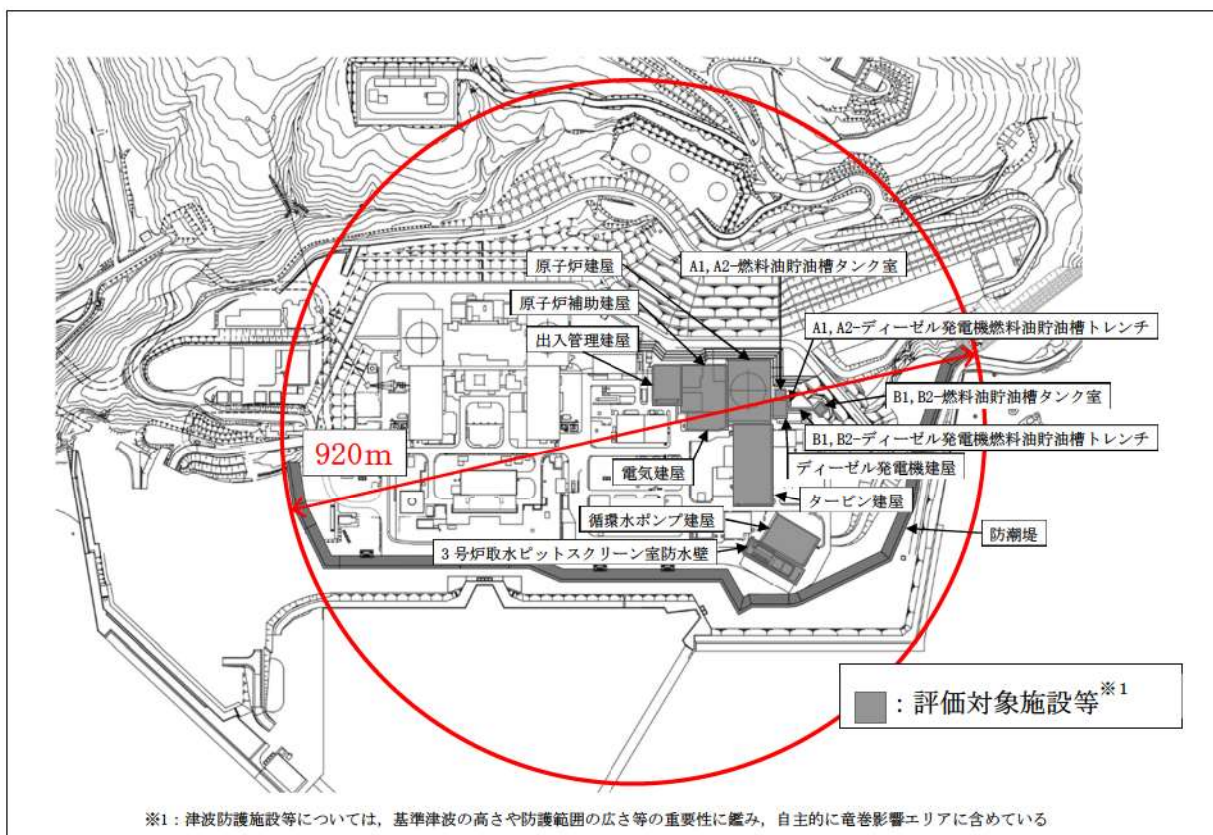
2.3.6 竜巻影響エリアの設定【添付資料 2.4 5.】

竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の算定にあたり、 V_{B2} の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは、泊発電所3号炉の評価対象施設等を十分な余裕をもって包絡するエリアとして設定する。

第2.3.6.1図に泊発電所3号炉の竜巻影響エリアを示す。

竜巻影響エリアは、泊発電所3号炉の評価対象施設を包絡する円形のエリア（直径920m、面積約664,000 m^2 ）として設定した。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻移動方向の依存性はない。



第 2.3.6.1 図 評価対象施設等の位置

2.3.7 竜巻最大風速のハザード曲線の算定【添付資料 2.4 6.】

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求める。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式 (1) で示される。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (1)$$

ここで、

- N : 竜巻の年発生数
- v : 竜巻の年平均発生数
- T : 年数

β は分布パラメータであり式 (2) で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (2)$$

ここで、

- σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

D をリスク評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、 $R(V_0)$ をリスク評価対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率と定義すると、T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式(3)で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (3)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 38,895km²)、1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式(4)で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は、 $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式(4)により $R(V_0)$ を推定して、式(3)により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。竜巻最大風速を V 、被害幅 w 、被害長さ l 、移動方向 α 及び構造物の寸法を A 、 B とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は式(5)で示される。

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl \\
&+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\
&+ AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{5}$$

ここで、 $W(V_0)$ は竜巻風速が V_0 以上となる幅であり、式(6)で示される。

$H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面にリスク評価対象構造物を投影した時の長さであり、式(7)で示される。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \tag{6}$$

ここで、

V_{min} : 被害幅 w 内の最小竜巻風速

V_0 : 被害が発生する最小風速

$$\begin{aligned}
H(\alpha) &= B |\sin \alpha| + A |\cos \alpha| \\
G(\alpha) &= A |\sin \alpha| + A |\cos \alpha|
\end{aligned} \tag{7}$$

本評価ではリスク評価対象構造物を円形構造物（竜巻影響エリア）で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ ともに竜巻影響エリアの直径 920m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。円の直径を D_0 とした場合の計算式は式(8)で示される。

なお、竜巻最大風速のハザード曲線の算定において、風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m/s に設定している。

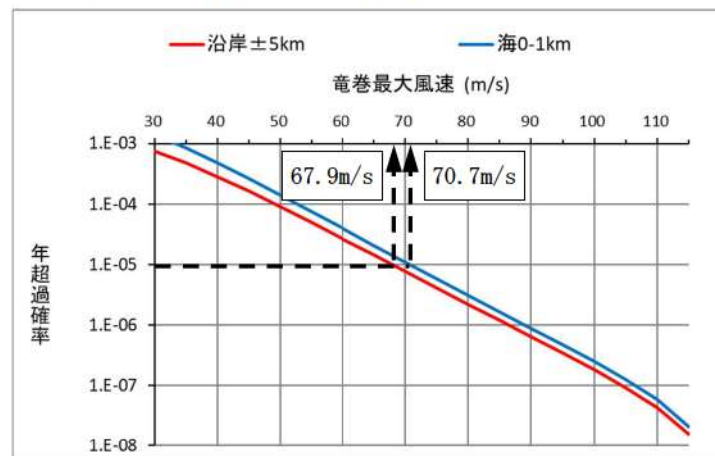
$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w, l) dV dw dl \\
&+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
&+ \left(D_0^2 \pi / 4 \right) \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{8}$$

2.3.8 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

第 2.3.8.1 図に、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲全域（竜巻検討地域）及びガイドに従い竜巻検討地域を 1 km 範囲ごとに細分化した場合の竜巻最大風速のハザード曲線を示す。

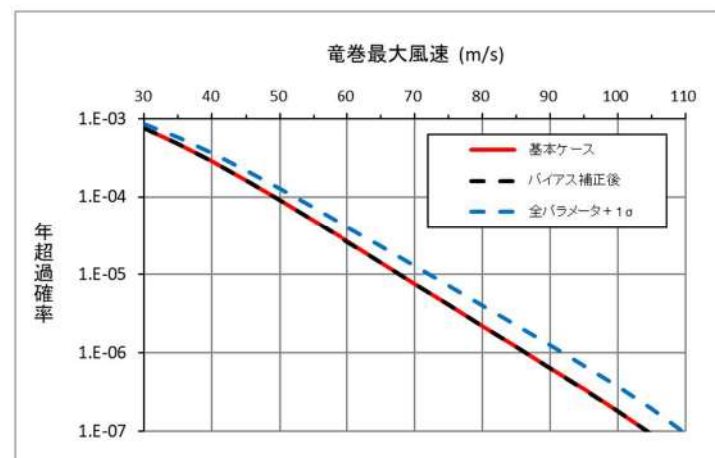
第 2.3.8.1 図より、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲全域を対象とした場合の年超過確率 10^{-5} における風速は 67.9 m/s、竜巻検討地域を 1 km 範囲ごとに細分化した場合の年超過確率 10^{-5} における風速は 70.7 m/s (海側 0 ~ 1 km) となった。

よって、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) は、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲全域及び 1 km 範囲の竜巻最大風速のハザード評価結果のうち大きい方を採用し、 $V_{B2}=70.7\text{m/s}$ とする。



第 2.3.8.1 図 竜巻最大風速のハザード曲線
(陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲及び 1 km 範囲)

また、不確かさ要素のハザード算定結果への影響を検討した結果を第 2.3.8.2 図に示す【添付資料 2.4 参考資料 3】。第 2.3.8.2 図より、データ、確率分布形選択及びデータ量が少ないことによる不確かさを表したハザード曲線により、これらの不確かさが小さいことを確認した。



第 2.3.8.2 図 ハザード不確かさ検討結果
(バイアス補正後及び全パラメータ+1σのハザード)

2.3.9 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=70.7\text{m/s}$ のうち、大きい風速は 92m/s である（第 2.3.9.1 表）。

よって、基準竜巻の最大風速 (V_B) は 92m/s とする。

使用した竜巻の統計データの不確実性については前項までで検討を実施しているが、今後も最新のデータ・知見をもって竜巻検討地域や基準竜巻の最大風速について、必要に応じ見直しを行っていくものとする。

第 2.3.9.1 表 竜巻の最大風速の評価結果

項目	最大風速[m/s]
過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})	92 (F3)
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})	70.7
基準竜巻の最大風速 (V_B)	92

2.3.10 竜巻データの更新に関する対応

(1) 評価時点以降のデータ更新分について

上記の基準竜巻の検討には、検討実施時点で最新であった 1961 年 1 月～2012 年 6 月までの気象庁竜巻データベースを用いているが、その後、気象庁により継続的にデータベースが更新されている。本状況においても、以下の理由より、最新データを参照した場合でも基準竜巻の最大風速は上記の評価結果を上回るものではなく、現時点での見直しは不要と判断している。

- ・ 2012 年 6 月以降、現時点での V_{B1} の風速 92m/s を超える竜巻の報告はない。
- ・ 2012 年 6 月以降、竜巻検討地域で観測された竜巻は F0 若しくは F1 相当のものがほとんどであり、竜巻強度の分布はハザードを下げる方向に変化していると考えられるため、現時点での V_{B2} が更新されることはない。

(2) 将来の気候変動について

将来的な気候変動として予測される地球温暖化により竜巻の規模や発生数が増加する可能性も否定できない。

しかしながら、将来的な気候変動を完全に予測することは難しいため、最新のデータ、知見をもって気候変動の影響に注視し、竜巻検討地域や基準竜巻の最大風速は、必要に応じ見直しを実施していくものとする。

2.4 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定【添付資料 2.5】

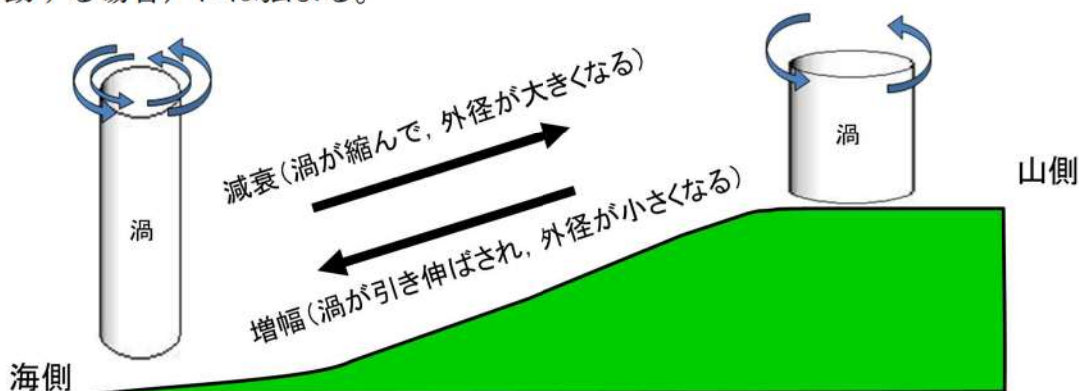
発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、基準竜巻 (V_B) の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

2.4.1 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、(1)地形起伏による影響、(2)地表面粗度による影響、について既往の研究において示されており、その知見を踏まえ、泊発電所周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。

(1) 地形起伏による影響

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、第 2.4.1.1 図に示すとおり、竜巻の渦が上り斜面を移動する時（海側から山側へ移動する場合）、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時（山側から海側へ移動する場合）には強まる。



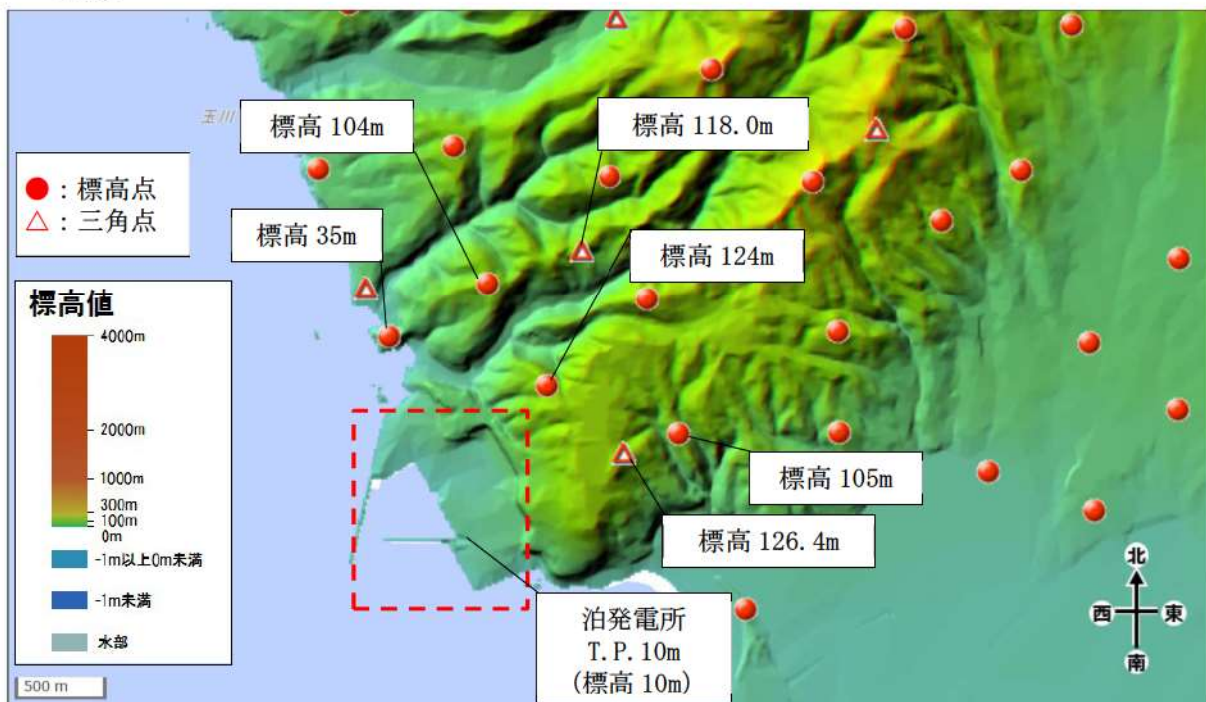
第 2.4.1.1 図 竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

(2) 地表面粗度による影響

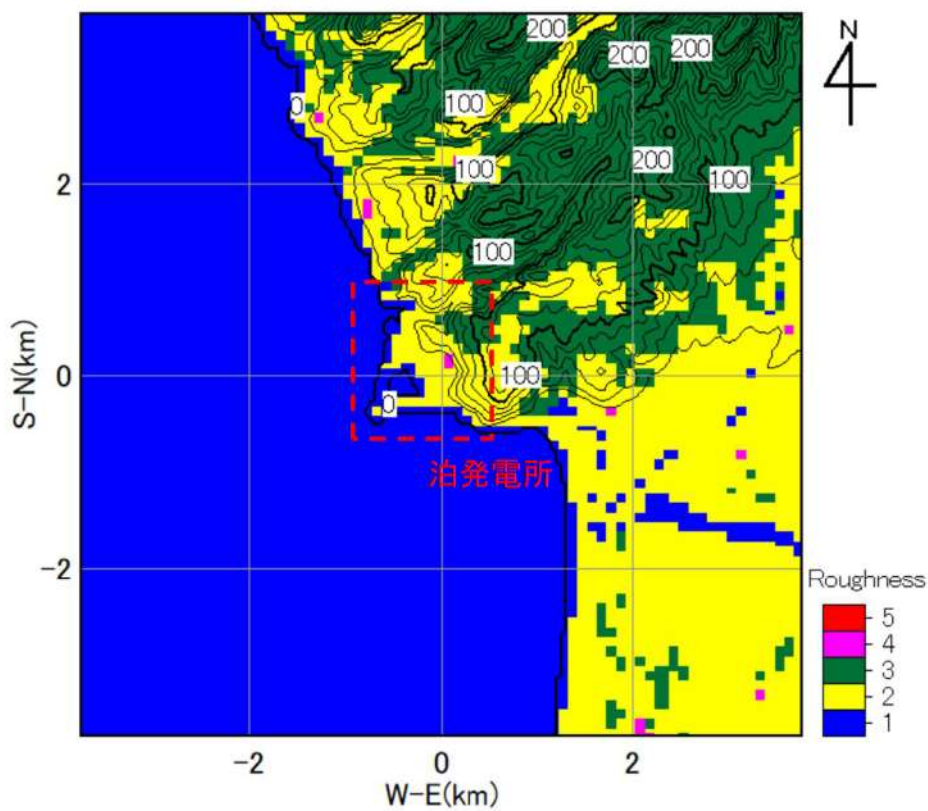
風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく、風速は、地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されていることから、地表面粗度の増加とともに竜巻に起因する強風の風速を低下させるといえる。

2.4.2 泊発電所周辺の地形

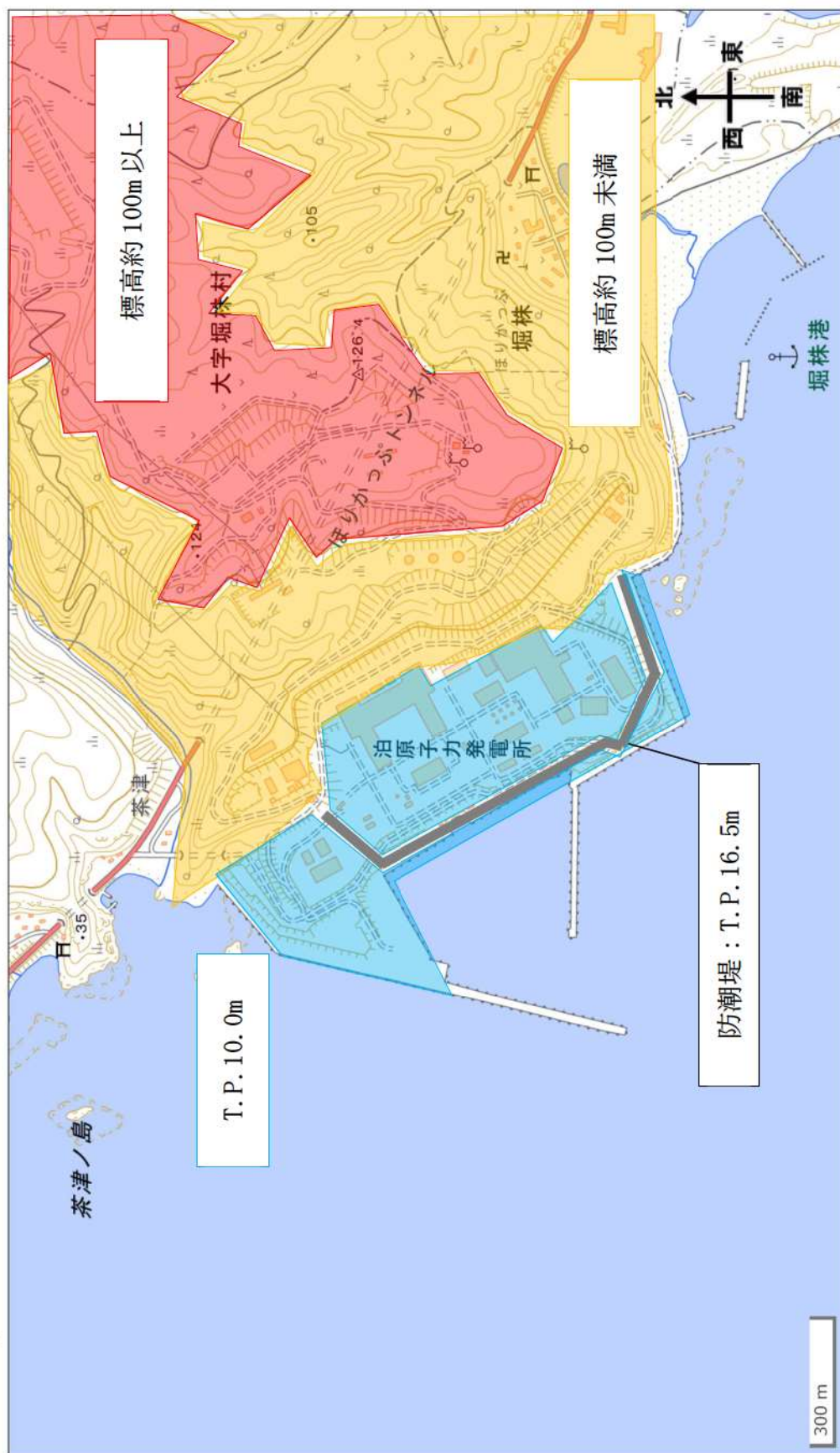
第 2.4.2.1 図に泊発電所周辺の地形図、第 2.4.2.2 図に泊発電所周辺の地表面粗度、第 2.4.2.3 図に泊発電所周辺の標高及び防潮堤高さを示す。発電所が立地する敷地は、敷地前面（北西～南西方向）が日本海に面し、背後は積丹半島中央部の山嶺に続く標高 40m から 130m の丘陵地である。



第 2. 4. 2. 1 図 泊発電所周辺の地形 (国土地理院「電子国土 Web」より作成)



第 2. 4. 2. 2 図 泊発電所周辺の地表面粗度



第 2.4.2.3 図 泊発電所の周辺の標高及び防潮堤高さ

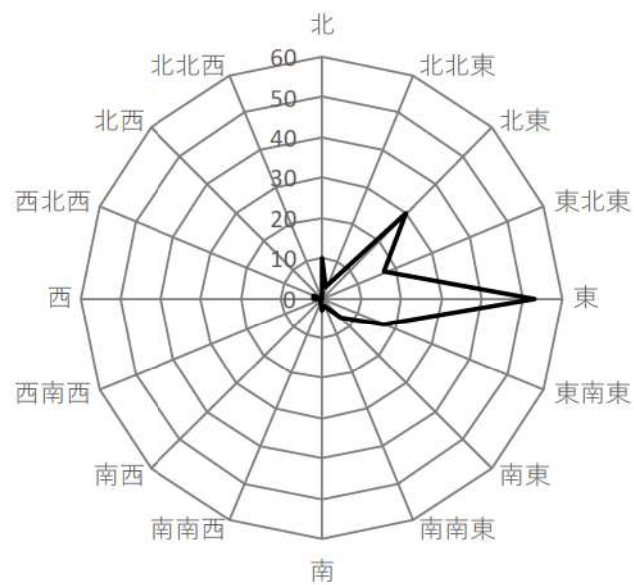
2.4.3 竜巻の移動方向の分析

竜巻検討地域で発生した竜巻のうち、移動方向が判明している竜巻の移動方向を第2.4.3.1図に示す。第2.4.3.1図より、竜巻検討地域で発生した竜巻は、多くが海側から陸側の方向に移動していた。

147個の発生竜巻の内、竜巻の移動方向が海上から陸側へ向かう方向（東側方向）が129個で88%を占めている。以上より、泊発電所付近の竜巻は、海上から陸側へ向かう方向が卓越している。

[個]

北	10
北北東	3
北東	30
東北東	17
東	53
東南東	17
南東	7
南南東	2
南	3
南南西	1
南西	0
西南西	0
西	2
西北西	2
北西	0
北北西	0
計	147



第2.4.3.1図 移動方向別の竜巻発生個数

2.4.4 竜巻風速の増幅に関する検討

竜巻検討地域で発生した竜巻は、海側から陸側に進入する可能性が高く、竜巻が増幅することはないと考えられる。竜巻が海上から発電所に進入してきた場合は、地表面粗度の影響を受けて竜巻は減衰した後、さらに防潮堤 (T.P. 16.5m) で減衰するため、竜巻による施設への影響は限定的となると考えられる。また、山側から発電所の敷地に移動してきた場合についても、発電所周辺は広い丘陵地に森林が存在しており、森林による粗度の影響を大きく受けるため減衰する。

したがって、泊発電所において地形効果による竜巻の増幅の影響は受けないものと考えられる。

2.4.5 設計竜巻の最大風速 (V_D)

検討の結果、泊発電所において地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられるため、基準竜巻の割増しは不要と考えるが、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、基準竜巻の 92m/s を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速 (V_D) は 100m/s とする。

2.5 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は、原則として十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定する必要があるが、泊では評価の保守性等も踏まえて、ガイドに示される方法に基づいて設定する。具体的には、ランキン渦モデルを仮定し、①～⑤に従い設定する。設定した結果を第 2.5.1 表に示す。

①設計竜巻の移動速度 (V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D (m/s) : 設計竜巻の最大風速

②設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_D (m/s) : 設計竜巻の最大風速, V_T (m/s) : 設計竜巻の移動速度

③設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

④設計竜巻の気圧低下量 (ΔP_{max})

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度 (1.22 (kg/m³)), V_{Rm} (m/s) : 設計竜巻の最大接線風速

⑤設計竜巻の最大気圧低下率 $((dp/dt)_{max})$

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$$

V_T (m/s):設計竜巻の移動速度, R_m (m/s):設計竜巻の最大接線風速半径

第 2.5.1 表 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動風速 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

3. 竜巻影響評価

3.1 評価概要

評価の概要は以下のとおり。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定
- (2) 原子力発電所における飛来物に係る調査
- (3) 飛散防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることを確認

3.2 評価対象施設等

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示すとおり。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき、「風圧力」、「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻による風圧力の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力 W_w は「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、下式により算定する。

なお、ガスト影響係数 G は、 $G=1.0$ 、風力係数 C は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数

(施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してせい弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には、ランキン

渦モデルの風速場により求まる鉛直方向の風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

(2) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力の設定

設計竜巻による評価対象施設等の内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量 ΔP_{max} に基づき設定する。

a. 建屋・構造物等

建屋については、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 W_p を以下の式により設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

ΔP_{max} : 最大気圧低下量
A : 施設の受圧面積

外部事象防護対象施設を内包する建屋・構築物について、影響評価を実施し、当該施設が破損した場合には安全機能維持について確認を行う。

b. 設備(系統, 機器)

設備についても、上記と同様に圧力荷重 W_p を設定する。

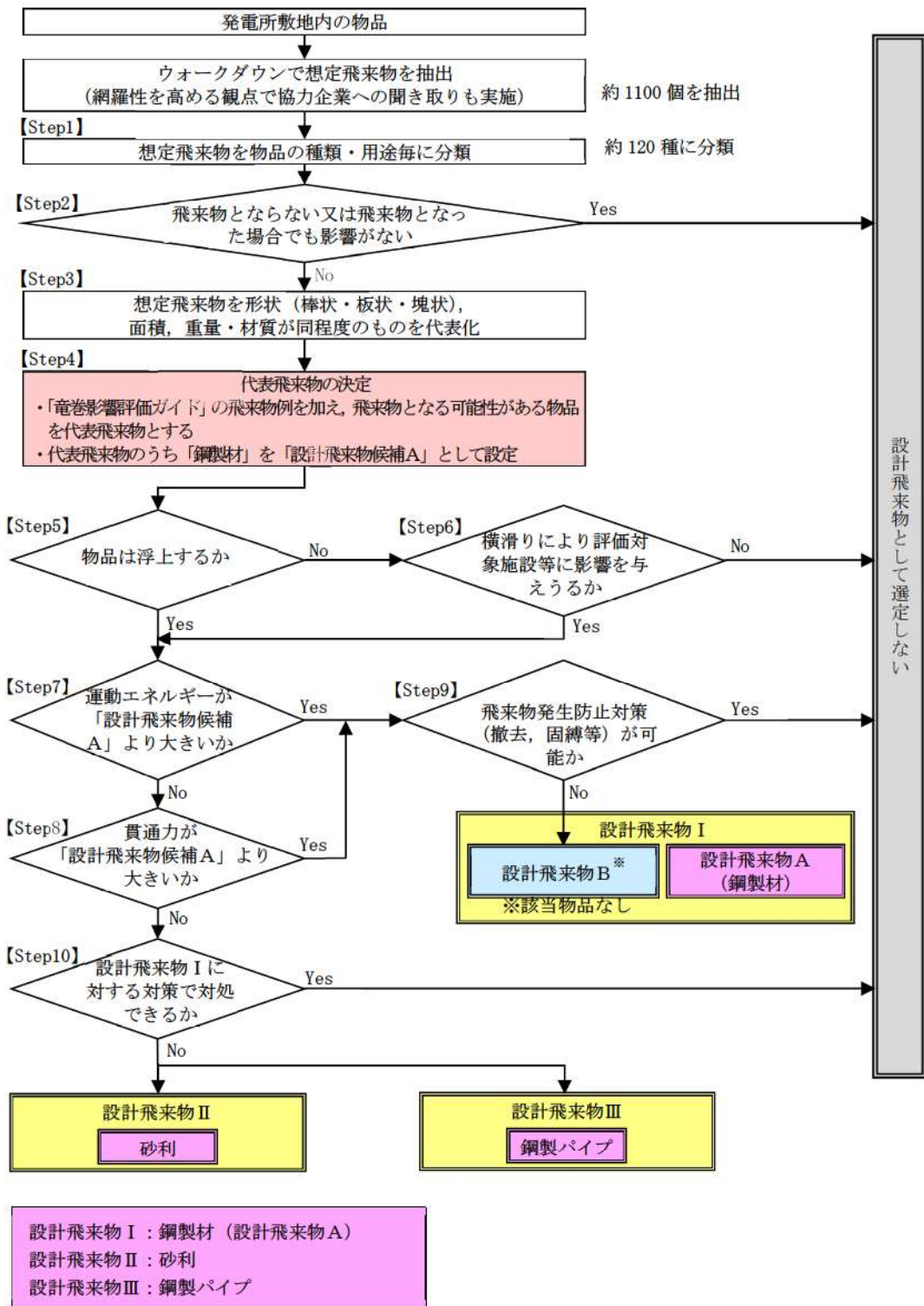
なお、換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等、気圧差による圧力影響を受ける設備について、圧力影響により作用する応力が許容値内であるか確認し、許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

(3) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設等に衝突する際の衝突荷重の設定

a. 泊発電所3号炉における設計飛来物等の選定【添付資料3.3】

泊発電所3号炉の竜巻影響評価における設計飛来物等については、泊発電所3号炉における飛来物源の現地調査結果及び「竜巻影響評価ガイド」の解説表4.1に示されている設計飛来物の設定例を参照して選定する。

第3.3.1.1図に発電所における設計飛来物の選定フローを、第3.3.1.1表に発電所における設計飛来物を示す。



第 3.3.1.1 図 設計飛来物の選定フロー

(a) 評価に用いる設計竜巻の特性

設計竜巻の最大風速は、100m/s とする。(第 2.5.1 表)

(b) 設計飛来物の選定

i) 現地調査

飛来物となり得る物品を確認するため、泊発電所の現地調査を実施した。調査範囲は、泊発電所の敷地内（原子炉建屋から約 550m（最短距離）～約 1100m（最長距離）の範囲）とした。後述の飛散評価の結果によれば、確認された物品の飛散距離は 550m を下回ることから、調査範囲は十分と考えられる。

ii) 設計飛来物となり得る飛来物源の抽出

現地調査で確認された物品の最大飛散距離は最大でも 430m 程度と評価された。したがって、泊発電所 3 号炉の設計飛来物の設定に際しては、発電所敷地内で認められた物品に「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に例示された物品を加えたものを飛来物源として抽出した。

iii) 設計飛来物の設定

上記の飛来物源から、第 3.3.1.1 図のフローに従い、「竜巻影響評価ガイド」に例示されている鋼製材を設計飛来物として設定した。

さらに、鋼製材に対する飛来物防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過し得る設計飛来物として、砂利を設定した。砂利のサイズはネットの網目のサイズを考慮して設定した。

また、外部事象防護対象施設である使用済燃料ピット等に侵入した場合に燃料集合体に直接落下する可能性がある設計飛来物として、鋼製パイプを設定した。以降の設計飛来物とは、上記の鋼製材、鋼製パイプ及び砂利の 3 つを示す。

(c) 設計飛来物以外の飛来物源に対する措置

i) 基本方針

設計飛来物以外の飛来物源については、設計竜巻の最大風速 100m/s における衝突時の運動エネルギー又は貫通力の大きさを、設計飛来物のうちこれらが最大となる鋼製材と比較し、鋼製材を上回る飛来物源（コンテナ等）については、以下のとおり対応する。

・泊発電所敷地内のものは、飛来物発生防止対策（固縛等）を施すか、評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔及び頑健な建物内への移動等の運用により、設計飛来物による影響を上回らないものとする。

b. 設計飛来物の速度の設定【添付資料 3.1】

設計竜巻の最大風速（100m/s）による設計飛来物の最大水平速度（ $_M V_{Hmax}$ ）及び最大鉛直速度（ $_M V_{Vmax}$ ）は、衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、ガイドに示される設計竜巻の最大風速（ V_D ）=100m/s の場合と同じ値とする。ガイドにおける鋼製材の最大水平速度及び最大鉛直速度については、平成 26 年 9 月 17 日に改正（最大水平速度が

57m/s から 51m/s に、最大鉛直速度が 38m/s から 34m/s に改正) されているが改正前の値とし、第 3.3.1.1 表のとおりとする。

ただし、ガイドに記載のない設計飛来物である砂利の速度については、文献*を参考にして、ランキン渦を仮定し風速場の中での速度を算出した。

第 3.3.1.1 表 泊発電所における設計飛来物

項目	飛来物の種類		
	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ[m]	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04 ^{※1}	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量[kg]	0.18	8.4	135
最大水平速度[m/s]	62 ^{※2}	49 ^{※4}	57 ^{※4}
最大鉛直速度[m/s]	42 ^{※3}	33 ^{※4}	38 ^{※4}

※1 砂利のサイズは、竜巻防護ネットの金網が目開き 5cm×5cm を 2 枚重ね、4cm×4cm を 1 枚重ねの構造、又は 4cm×4cm を 3 枚重ねの構造となっていることを考慮して選定

※2 設計竜巻風速 100m/s、当社が実施するランキン渦モデルの風速場を用いた飛散評価手法による結果

※3 竜巻影響評価ガイドに基づき最大水平速度の 2/3 として算出

※4 衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、竜巻影響評価ガイドに示される竜巻の最大風速 (V_D) = 100m/s の場合と同じ値とする。また、鋼製材については、竜巻影響評価ガイド改正前の値とする。

※：竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究（東京工芸大学）

E. Simiu and M. Cordes, NBSIR76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

c. 設計飛来物の衝撃荷重の設定

設計竜巻の最大風速 100m/s による設計飛来物の衝撃荷重は、運動エネルギーが最も大きくなる鋼製材の衝突方向及び衝突面積を考慮し、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向で算出する。

鋼製材の最大速度は第 3.3.1.1 表のとおりであり、静的な構造評価を実施する場合の衝撃荷重は、重量分布を均一な直方体として、Riera の方法⁽¹⁾を踏まえた下式にて算出した。

$$W_w = F_{MAX} = MV^2 / L_{MIN}$$

M：飛来物の質量

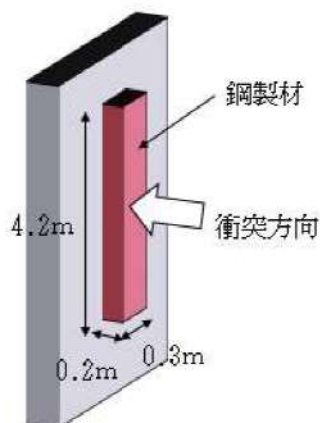
V：飛来物の衝突速度

L_{MIN} ：飛来物の衝突方向長さ

Riera の方法で衝撃荷重を算出する場合、衝撃荷重が最大となるのは第 3.3.1.2 図に示す向きの衝突となる。

なお、有限要素法による飛来物衝突評価を行う場合には、飛来物の衝突速度を初速値

として入力し、衝突解析により衝撃荷重を算出する。衝突解析における鋼製材の衝突方向は、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向とする。



第 3.3.1.2 図 最大衝撃荷重となる鋼製材衝突方向 (Riera の方法⁽¹⁾)

d. 設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設等の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 W_w 、気圧差による荷重 W_p 、及び設計飛来物による衝撃荷重 W_M を組み合わせた複合荷重として、以下の式により算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

ここで、

W_{T1}, W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

ここで、竜巻襲来時のある瞬間において、各荷重の作用方向は必ずしも一様ではないが、 W_{T2} の算出においては W_w 、 W_p 及び W_M の作用方向を揃えることとし、保守性を考慮する。また、評価対象施設等には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重等

評価対象施設等に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重、内圧等の運転時荷

重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり⁽²⁾、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

②雪

竜巻の作用時間は極めて短時間であること、積雪の荷重は冬季の限定された期間に発生し、積雪荷重の大きさや継続時間は除雪を行うことで低減できることから、発生頻度が極めて小さい設計竜巻の風荷重と積雪による荷重が同時に発生し、設備に影響を与えることは考えにくいと見做すため、組合せを考慮しない。また、雪が堆積した状態における竜巻の影響については、除雪により雪を長期間堆積状態にしない方針であることから、組合せを考慮しない。

冬期に竜巻が襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時は、竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされ、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から直径 5mm 以上の氷の粒⁽³⁾であり、仮に直径 10cm 程度の大型のひょうを想定した場合、その重量は約 0.5kg となる。直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m/s⁽⁴⁾、運動エネルギーは約 0.9kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④降水

竜巻と降水が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、当該外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該外部事象防護対象施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して、適切に組み合わせ設計する。

外部事象防護対象施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故等の設計基準事故の起因とはならないことから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象であり、因果関係はない。

時間的変化の観点からは、事故の影響が長期に及ぶことが考えられる設計基準事故である原子炉冷却材喪失の発生頻度は小さく、また、外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼす竜巻の発生頻度も小さい。よって設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいため、設計基準事故時荷重と設計竜巻の荷重を組み合わせる必要はなく、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。

また、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、外部事象防護対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ、外殻となる施設による防護機能が期待できないことから、竜巻による風荷重等の影響を受ける可能性がある屋内施設としては原子炉補機冷却海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても原子炉補機冷却海水ポンプの圧力及び温度は変わらないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重を組み合わせる必要はないため、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。このため、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

3.4 評価対象施設等の設計方針

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設については、設計荷重に対してその構造健全性を維持すること又は取替、補修が可能なこと、設計上の要求を維持することにより、安全機能を損なわない設計とする。また、外部事象防護対象施設等に波及影響を及ぼし得る施設については、竜巻及びその随件事象に対して構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 許容限界

建屋及び構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）

- ・原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・日本産業規格
- ・日本機械学会の基準・指針類
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）等

(2) 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

外部事象防護対象施設等のうち屋外施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

なお、屋内に配置される施設のうち、外殻となる施設等による防護機能が期待できる施設の内部に配置される施設は、その防護機能により設計荷重に対して影響を受けない設計とする。

また、設計飛来物は評価対象施設等の全面に影響を及ぼすものとして評価及び対策を行う。

a. 排気筒（建屋外）

排気筒（建屋外）は、設計飛来物の衝突により貫通し構造健全性が維持されないことを考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。さらに、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

b. 原子炉建屋（外部遮へい建屋）

原子炉建屋（外部遮へい建屋）は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

c. 原子炉建屋（周辺補機棟）、原子炉建屋（燃料取扱棟）、原子炉補助建屋及びディーゼル

発電機建屋

原子炉建屋（周辺補機棟）、原子炉建屋（燃料取扱棟）、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

ただし、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

d. A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及び B1, B2-燃料油貯油槽タンク室

A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及び B1, B2-燃料油貯油槽タンク室は、地下埋設されていることを考慮し、設計飛来物による衝撃荷重に対して、構造健全性が維持され、ディーゼル発電機燃料油貯油槽が安全機能を損なわない設計とする。

e. A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ

A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチは、設計飛来物の衝突による影響を受け、開口部（蓋）が損傷する可能性があるため、当該トレンチ内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護対策を実施する。

f. 循環水ポンプ建屋

循環水ポンプ建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷する可能性があるため、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

g. タービン建屋

タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、

独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

外殻となる施設に内包され防護される外部事象防護対象施設のうち、外気と繋がっている施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

- a. 換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）

換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置）は、原子炉建屋（外部遮へい建屋）、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）及び原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないことから、気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

- b. 排気筒（建屋内）

排気筒（建屋内）は、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないため、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設による防護機能が期待できない施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護ネット等の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

- a. 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入する場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して、ピット水が漏れ出すことはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮蔽機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわな

い設計とする。

b. 使用済燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入し使用済燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

c. 新燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し新燃料貯蔵庫に侵入し新燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物のうち鋼製パイプが新燃料ラックに衝突することがなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突し、燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突することを防止し、燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

d. 燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピット

燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピットは、設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し、燃料移送装置，使用済燃料ピットクレーン，燃料取扱棟クレーン，燃料取替チャンネル，キャスクピット，燃料検査ピットに衝突し移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻襲来が予想される場合には、燃料取扱作業を中止し、移送中の燃料は燃料移送装置にて原子炉建屋（外部遮へい建屋）内に移動する又は取扱い中の燃料は使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ラックに貯蔵することにより、移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

なお、使用済燃料ピットクレーンは、使用済燃料ラック及び使用済燃料ラックに貯蔵している燃料に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う。

e. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、

風圧力による荷重，気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水ポンプに常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

f. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水出口ストレーナに常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

g. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）

配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突を防止し，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）に常時作用する荷重に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわない設計とする。

h. 原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）

原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）は，設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）の開口部建具である扉を貫通し，原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）に衝突し安全機能を損なうことを考慮して，竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）への衝突を防止し，原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

i. 主蒸気系統配管他

主蒸気系統配管他は，設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）又はディーゼル発電機建屋の開口部建具であるブローアウトパネル，扉又はガラリを貫通し，主蒸気系統配管他に衝突し安全機能を損なうことを考慮して，竜巻防護鋼板等で開口部建具の竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の主蒸気系統配管他への衝突を防止し，主蒸気系統配管他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

j. 制御用空気系統配管

制御用空気系統配管は，設計飛来物が原子炉補助建屋の開口部建具である扉を貫通し，制御用空気系統配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して，竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の制御用空気系統配管への衝突を防止し，

制御用空気系統配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

k. 蓄熱室加熱器

蓄熱室加熱器は、設計飛来物がディーゼル発電機建屋の開口部建具である扉又はガラリを貫通し、蓄熱室加熱器に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の蓄熱室加熱器への衝突を防止し、蓄熱室加熱器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

l. ディーゼル発電機燃料油移送配管

ディーゼル発電機燃料油移送配管は、設計飛来物が A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチの蓋を貫通し、ディーゼル発電機燃料油移送配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物のディーゼル発電機燃料油移送配管への衝突を防止し、ディーゼル発電機燃料油移送配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

m. タービン保安装置及び主蒸気止め弁

タービン保安装置及び主蒸気止め弁は、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ機能）として期待している。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。

(5) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても外部事象防護対象施設等に影響を及ぼさないよう、必要に応じて施設の補強、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋

循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、倒壊により外部事象防護対象施設等へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

b. ディーゼル発電機排気消音器

ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機の排気機能が維

持される設計とする。

さらに、ディーゼル発電機排気消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機に機能的影響を及ぼさない設計とする。

c. 主蒸気逃がし弁消音器

主蒸気逃がし弁消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気逃がし弁消音器が損傷して閉塞することはない、主蒸気逃がし弁の排気機能が維持される設計とする。

さらに、主蒸気逃がし弁消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、主蒸気逃がし弁消音器が、外部事象防護対象施設である主蒸気逃がし弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気逃がし弁が安全機能を損なわない設計とする。

d. 主蒸気安全弁排気管

主蒸気安全弁排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気安全弁排気管が損傷して閉塞することはない、主蒸気安全弁の排気機能が維持される設計とする。

さらに、主蒸気安全弁排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、主蒸気安全弁排気管が、外部事象防護対象施設である主蒸気安全弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気安全弁が安全機能を損なわない設計とする。

e. タービン動補助給水ポンプ排気管

タービン動補助給水ポンプ排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、タービン動補助給水ポンプ排気管が損傷して閉塞することはない、タービン動補助給水ポンプの機関の排気機能が維持される設計とする。

さらに、タービン動補助給水ポンプ排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

以上より、タービン動補助給水ポンプ排気管が、外部事象防護対象施設であるタービン動補助給水ポンプに機能的影響を及ぼさず、タービン動補助給水ポンプが安全機能を損なわない設計とする。

f. ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機燃料油貯油槽のベント機能が維持される設計とする。

さらに、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機燃料油貯油槽に機能的影響を及ぼさない設計とする。

g. 換気空調設備（蓄電池室排気装置）

換気空調設備が原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対しては、換気空調設備の構造健全性が維持される設計とする。

以上より、換気空調設備が、外部事象防護対象施設である蓄電池に機能的影響を及ぼさず、蓄電池が安全機能を損なわない設計とする。

h. 竜巻随件事象の影響により外部事象防護対象施設等を機能喪失させる可能性がある施設（溢水により外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある設備、火災発生により外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある設備、外部電源）

竜巻随件事象の影響により外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある施設の設計方針は、「3.5 竜巻随件事象に対する評価」に記載する。

(6) 基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性に鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う施設

a. 防潮堤

風圧力による荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

設計飛来物による衝突については、衝撃荷重に対して、倒壊せず構造健全性を確保することで、安全機能に影響を及ぼさない設計とする。また、貫通により津波防護施設としての機能に影響が及ぶ可能性がある場合には、損傷状況を踏まえ、必要に応じ、プラントを停止して修復する。

b. 3号炉取水ピットスクリーン室防水壁

風圧力による荷重に対して、構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

3号炉取水ピットスクリーン室防水壁の構造は主に構造的に強度を確保した複数の部材（支柱と壁部材）を組み合わせる構造とすることで、設計飛来物による衝突時の損傷は局所的となり、大規模な損傷に至らない設計とする。損傷した場合には損傷状況を踏まえ、必要に応じ、プラントを停止して修復する。

3.5 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は過去の竜巻被害事例及び泊発電所のプラント配置から、想定される事象である、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生した場合の影響評価を行い、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないことを確認した。【添付資料 3.4】

(1) 火災

竜巻随件事象として、設計竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合及び屋外の危険物貯蔵施設等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、発電用原子炉施設の安全機能を損なわせる可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器は配置されておらず、火災防護計画により適切に管理することから、設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく、建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については、発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災がある。火災源と外部事象防護対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

以上より、竜巻随件事象としての火災に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(2) 溢水

竜巻随件事象として、設計竜巻による気圧低下の影響や飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合及び屋外タンク等に飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

外部事象防護対象施設を内包する建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突して外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源が配置されておらず、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはない。また、建屋内は設計竜巻による気圧低下の影響を受けないことから建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

建屋外については、気圧低下の影響による屋外タンク等の破損は考え難いものの、設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンク等の破損に伴う溢水が想定されるが、「1.7 溢水防護に関する基本方針」にて、竜巻時の屋外タンク等の破損を想定し、溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としていることから、竜巻随件事象による屋外タンク等が損傷して発生する溢水により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

以上より、竜巻随件事象としての溢水に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により送電網に関する施設等が損傷して外部電源喪失が発生する場合が想定される。設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、ディーゼル発電機の付属設備について、安全機能を損なわないことを以下のとおり確認している。

- ・吸排気については外気と繋がっているが、竜巻襲来時の短時間での圧力差による影響はない。
- ・排気消音器出口に風圧力による荷重が作用して消音器内に大気が逆流した場合において、排気が阻害され系統内が閉塞気味になり、排気ガス温度が徐々に上昇し、通常運転時を超える温度となり出力制限となることが予想されるが、竜巻は長期間停滞することなく数秒～10 数秒のオーダーで通過するため、この程度であれば排気ガス温度の急激な上昇はなくディーゼル発電機運転に支障を来すことはない。

<参考文献>

- (1) J.D.Riera, “A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant safety against Accidental Aircraft Impact”, Nuclear Engineering and Design 57, (1980)
- (2) 雷雨とメソ気象 大野久雄, 東京堂出版
- (3) 気象庁ホームページ
(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kousui.html)
- (4) 一般気象学 小倉義光, 東京大学出版会

重大事故等対処設備に対する考慮について

設置許可基準規則第43条（重大事故等対処設備）の要求を踏まえ、設計竜巻によって、設計基準事故対処設備等の安全機能と重大事故等対処設備の機能が同時に損なわれることがないことを確認するとともに、重大事故等対処設備の機能が喪失した場合においても、位置的分散又は頑健性のある外殻となる建屋による防護に期待できる代替手段等により必要な機能を維持できることを確認する。

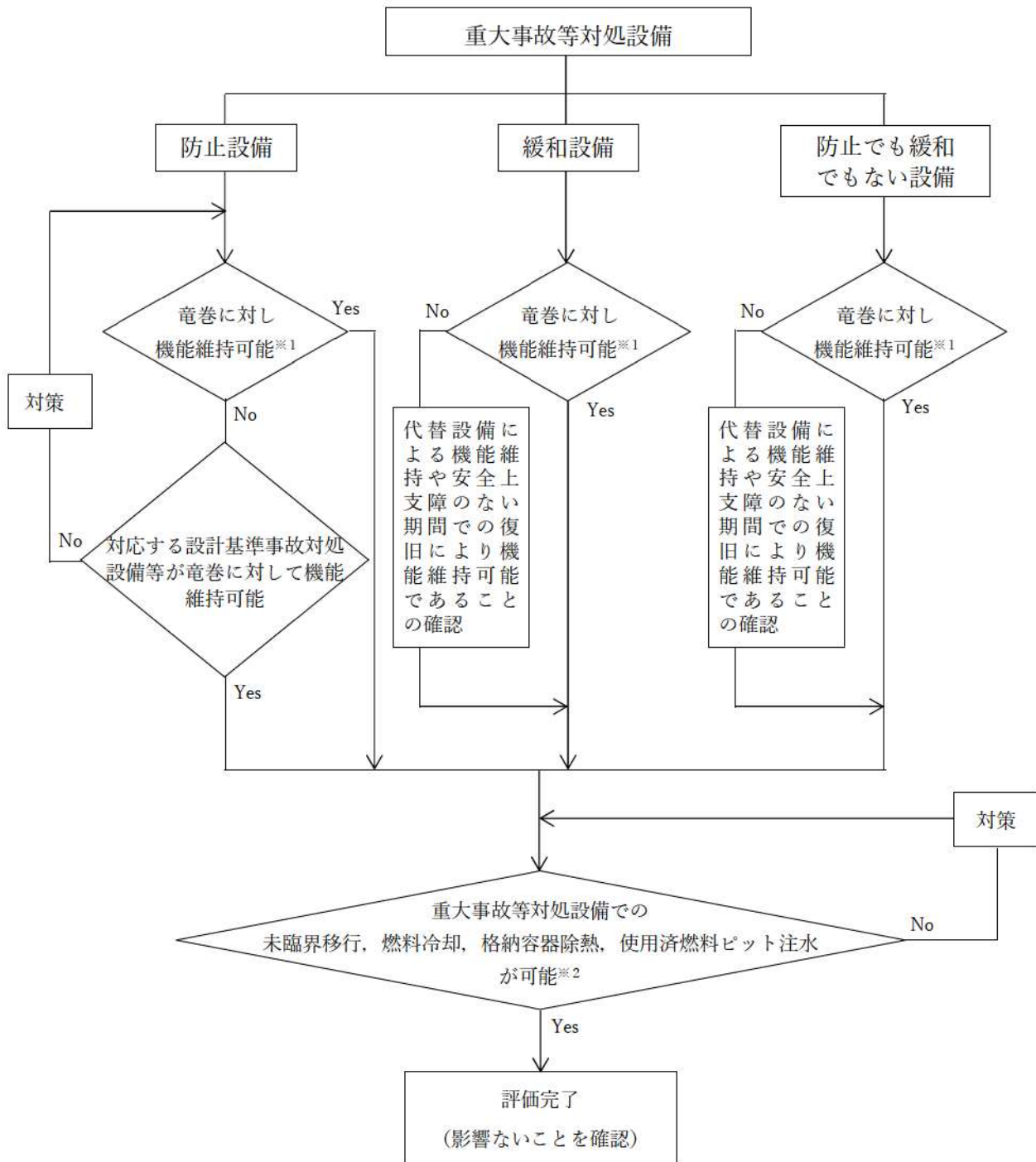
重大事故等対処設備の機能維持は、以下の方針に従い評価を実施する。

- (1) 重大事故防止設備は竜巻によって対応する設計基準事故対処設備等の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれのないこと
- (2) 重大事故等対処設備であって、重大事故防止設備でない設備は、代替設備若しくは安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であること
- (3) 竜巻が発生した場合においても、重大事故等対処設備によりプラント安全性に関する主要な機能（未臨界移行機能、燃料冷却機能、格納容器除熱機能、使用済燃料ピット注水機能）が維持できること（竜巻により重大事故等対処設備と設計基準事故対処設備等の安全機能が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認する）

竜巻による重大事故等対処設備への影響評価フロー並びに方針(1)及び(2)に対する評価結果をそれぞれ第1図、第1表に示す。また、方針(3)に示した、プラント安全性に関する主要な機能は、以下に例示するとおり重大事故等対処設備により維持される。

- ・未臨界移行機能：手動による原子炉緊急停止，原子炉出力抑制（自動），原子炉出力抑制（手動），ほう酸水注入
- ・燃料冷却機能：代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ）
- ・格納容器除熱機能：格納容器内自然対流冷却
- ・使用済燃料ピット注水機能：使用済燃料ピットへの注水

なお、重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第43条（重大事故等対処設備）にて考慮する。



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋、A1、A2-燃料油貯油槽タンク室、B1、B2-燃料油貯油総タンク室、緊急時対策所及び空調上屋）の影響評価を実施し、機能が維持されるかを確認

※2：竜巻により重大事故等対処設備と設計基準事故対処設備等の安全機能が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認

第1図 竜巻による重大事故等対処設備の影響評価フロー
6条(竜巻)-別添1-添付1.1-2

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (1/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	竜巻	
					評価	防護方法
第37条 重大事故等の拡大の防止等	-	-	-	-	-	-
第38条 重大事故等対処施設の地盤	-	-	-	-	-	-
第39条 地震による損傷の防止	-	-	-	-	-	-
第40条 津波による損傷の防止	-	-	-	-	-	-
第41条 火災による損傷の防止	-	-	-	-	-	-
第42条 特定重大事故等対処設備	-	特定重大事故等対象施設	申請範囲外	-	-	-
第43条 重大事故等対処設備	アクセスルートの確保	ホイールローダ, バックホウ	防止でも緩和でもない設備	屋外	○	分散配置
第44条 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	手動による原子炉緊急停止	原子炉トリップスイッチ	防止設備	A/B	○	建屋内
		制御棒クラスタ	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉トリップ遮断器	防止設備	R/B	○	建屋内
	原子炉出力抑制 (自動)	共通要因故障対策盤 (自動制御盤) (ATWS緩和設備)	防止設備	A/B	○	建屋内
		主蒸気隔離弁 電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ビット 主蒸気逃がし弁 主蒸気安全弁 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		加圧器逃がし弁 加圧器安全弁 蒸気発生器 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	防止設備	C/V, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		原子炉出力抑制 (手動)	主蒸気隔離弁 電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ビット 主蒸気逃がし弁 主蒸気安全弁 配管等	防止設備	R/B	○
	加圧器逃がし弁 加圧器安全弁 蒸気発生器 配管等		防止設備	C/V	○	建屋内
	主蒸気管		防止設備	C/V, R/B	○	建屋内
	1次冷却設備		1次冷却設備に記載		-	-

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 -：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (2/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第44条 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	ほう酸水注入（ほう酸タンク→充てんライン）	ほう酸タンク ほう酸ポンプ 緊急ほう酸注入弁 充てんポンプ ほう酸フィルタ 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		再生熱交換器、配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	ほう酸水注入（燃料取替用水ピット→充てんライン）	燃料取替用水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		充てんポンプ、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		再生熱交換器、配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
第45条 原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	1次系のフィードアンドブリード（高圧注入ポンプ）	高圧注入ポンプ 余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 ほう酸注入タンク、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		加圧器逃がし弁 格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン 蓄圧タンク 蓄圧タンク出口弁 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	蒸気発生器2次側からの除熱（タービン動補助給水ポンプの手動起動）	タービン動補助給水ポンプ 主蒸気逃がし弁 補助給水ピット タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気入口弁、配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	（設計基準対象施設）	C/V, R/B	○	建屋内
	蒸気発生器2次側からの除熱（電動補助給水ポンプへの給電）	電動補助給水ポンプ 主蒸気逃がし弁 補助給水ピット、配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	（設計基準対象施設）	C/V, R/B	○	建屋内
	監視及び制御に用いる設備	加圧器水位 蒸気発生器水位（広域） 蒸気発生器水位（狭域） 補助給水流量 補助給水ピット水位	58条に記載		—	—
	蒸気発生器2次側からの除熱	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 主蒸気逃がし弁 補助給水ピット、配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	（設計基準対象施設）	C/V, R/B	○	建屋内
第46条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備	1次系のフィードアンドブリード（高圧注入ポンプ）	加圧器逃がし弁 格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン 蓄圧タンク 蓄圧タンク出口弁、配管等	防止設備	C/V	○	建屋内

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (3/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第46条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備	1次系のフィードアンドブリード（高圧注入ポンプ）	高圧注入ポンプ 余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 ほう酸注入タンク、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	蒸気発生器2次側からの除熱	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	蒸気発生器2次側からの除熱（タービン動補助給水ポンプの手動起動）	タービン動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気入口弁 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	蒸気発生器2次側からの除熱（電動補助給水ポンプへの給電）	電動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	加圧器逃がし弁の機能回復	可搬箇所：加圧器逃がし弁操作可搬型窒素ガスボンベ、ホース等	防止設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：加圧器逃がし弁操作用バッテリー	防止設備	A/B	○	建屋内
		常設箇所：加圧器逃がし弁	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
	加圧器逃がし弁による1次冷却系の減圧（炉心損傷時）	加圧器逃がし弁	緩和設備	C/V	○	建屋内
	1次冷却系の減圧（SG伝熱管破損発生時、IS-LOCA発生時）	主蒸気逃がし弁、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		加圧器逃がし弁、配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
	余熱除去設備の隔離（IS-LOCA発生時）	余熱除去ポンプ入口弁	防止設備	A/B	○	建屋内
	加圧器逃がし弁による1次冷却系の減圧	加圧器逃がし弁、配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
	蓄圧注入	蓄圧タンク 蓄圧タンク出口弁、配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
	蒸気発生器2次側からの除熱	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
蒸気発生器、配管等		(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内	
主蒸気管		(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (4/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	炉心注水（充てんポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時）	充てんポンプ、配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器、配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（B-格納容器スプレイポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時）	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時）	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット、配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水（可搬型大型送水ポンプ車） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時）	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	再循環運転（高圧注入ポンプ） （1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時）	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク、配管等	（設計基準対象施設）	A/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (5/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替再循環運転 (B-格納容器スプレイポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器, 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン	防止設備	C/V	○	建屋内
		B-安全注入ポンプ再循環サンプ側入口 C/V 外側隔離弁	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	炉心注水 (高圧注入ポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時)	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク, 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	炉心注水 (充てんポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時)	充てんポンプ, 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器, 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
	代替炉心注水 (B-格納容器スプレイポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)

一: 他の項目にて整理

※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (6/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替炉心注水 (可搬型大型送水ポンプ車) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、フロントライン系故障時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車，ホース延長・回収車（送水車用），可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口，配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水 (可搬型大型送水ポンプ車：海水) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系故障時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車，ホース延長・回収車（送水車用），可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口，配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—
	代替炉心注水 (B-充てんポンプ (自己冷却)) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系故障時)	B-充てんポンプ，配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット，配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器，配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも，対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備，防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋，A/B：原子炉補助建屋，C/V：原子炉格納容器，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (7/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替再循環運転 (A-高圧注入ポンプ (代替補機冷却)) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、サポート系故障時)	A-高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク、配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、 ホース延長・回収車 (送水車用)、可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		格納容器再循環サンプ 格納容器再循環サンプスクリーン	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	格納容器スプレイ (格納容器スプレイポンプ) (残留溶融炉心の冷却) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、溶融炉心が原子炉容器に残存する場合)	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 配管等	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (残留溶融炉心の冷却) (1次冷却材喪失事象が発生している場合、溶融炉心が原子炉容器に残存する場合)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器2次側からの除熱 (1次冷却材喪失事象が発生していない場合、フロントライン系故障時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○
	蒸気発生器、配管等		(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
	主蒸気管		(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備、防止でも緩和でもない設備)
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (8/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	蒸気発生器2次側からの除熱（代替電源） （1次冷却材喪失事象が発生していない場合、サポート系故障時）	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器，配管等	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	（設計基準対象施設）	C/V, R/B	○	建屋内
	炉心注水（充てんポンプ） （原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	充てんポンプ，配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット，配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器，配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備 1次冷却設備	48条に記載 1次冷却設備に記載	-	-	-
	炉心注水（高圧注入ポンプ） （原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク，配管等	（設計基準対象施設）	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット，配管等	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備 1次冷却設備	48条に記載 1次冷却設備に記載	-	-	-
		代替炉心注水（B-格納容器スプレイポンプ） （原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○
	代替炉心注水（原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	燃料取替用水ピット，配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備 1次冷却設備	48条に記載 1次冷却設備に記載	-	-	-
		代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ） （原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○
	代替炉心注水（可搬型大型送水ポンプ車） （原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車， ホース延長・回収車（送水車用），可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口，配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載	-	-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載	-	-	-
	再循環運転（高圧注入ポンプ） （原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時）	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク 配管等	（設計基準対象施設）	A/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン	（設計基準対象施設）	C/V	○	建屋内
		B-安全注入ポンプ再循環サンブ側入口 C/V 外側隔離弁	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備 1次冷却設備	48条に記載 1次冷却設備に記載	-	-	-

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも，対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備，防止でも緩和でもない設備）
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋，A/B：原子炉補助建屋，C/V：原子炉格納容器，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (9/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替再循環運転 (B-格納容器スプレイポンプ) (原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時)	B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン	防止設備	C/V	○	建屋内
		B-安全注入ポンプ再循環サンブ側入口 C/V 外側隔離弁	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	蒸気発生器2次側からの除熱 (原子炉停止中の場合、フロントライン系故障時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (原子炉停止中の場合、サポート系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (可搬型大型送水ポンプ車) (原子炉停止中の場合、サポート系故障時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散設置
		常設箇所：接続口, 配管等	防止設備	A/B, R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替炉心注水 (B-充てんポンプ (自己冷却)) (原子炉停止中の場合、サポート系故障時)	B-充てんポンプ, 配管等	防止設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器, 配管等	防止設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
	代替再循環運転 (A-高圧注入ポンプ) (代替補機冷却) (原子炉停止中の場合、サポート系故障時)	A-高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散設置
		常設箇所：接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		A-安全注入ポンプ再循環サンブ側入口 C/V 外側隔離弁	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
非常用取水設備		非常用取水設備に記載		-	-	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (10/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	竜巻	
					評価	防護方法
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	蒸気発生器2次側からの除熱(代替電源) (原子炉停止中の場合、サポート系故障時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器、配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	炉心注水(高圧注入ポンプ) (熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク、配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
	炉心注水(余熱除去ポンプ) (熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器、配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
	炉心注水(充電ポンプ) (熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		充電ポンプ、配管等	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器、配管等	緩和設備	C/V	○	建屋内
	代替炉心注水(B-格納容器スプレイポンプ) (熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-
		B-格納容器スプレイポンプ B-格納容器スプレイ冷却器 配管等	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-	
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		-	-

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備、防止でも緩和でもない設備)
一：他の項目にて整理
※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (11/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻		
				評価	防護方法	
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ) (溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	
	代替炉心注水 (B-充てんポンプ(自己冷却)) (溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	B-充てんポンプ, 配管等	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット, 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		再生熱交換器, 配管等	緩和設備	C/V	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	代替炉心注水 (代替格納容器スプレイポンプ)(代替電源) (溶融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延及び防止、全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	余熱除去設備	余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	高圧注入系 高圧時再循環	高圧注入ポンプ ほう酸注入タンク, 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
		1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—
	低圧注入系 低圧時再循環	余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		燃料取替用水ピット 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—
	1次冷却設備	1次冷却設備に記載		—	—	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備、防止でも緩和でもない設備)

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (12/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第48条 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	蒸気発生器2次側からの除熱 (フロントライン系故障時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (フロントライン系故障時)	C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用), 可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替補機冷却 (A-高圧注入ポンプ(代替補機冷却)) (フロントライン系故障時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用), 可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		A-高圧注入ポンプ	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	蒸気発生器2次側からの除熱(代替電源) (サポート系故障時)	電動補助給水ポンプ タービン動補助給水ポンプ 補助給水ピット 主蒸気逃がし弁 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		蒸気発生器, 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		主蒸気管	(設計基準対象施設)	C/V, R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (サポート系故障時)	C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用), 可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替補機冷却 (A-高圧注入ポンプ(海水冷却))(代替電源) (サポート系故障時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車(送水車用), 可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		A-高圧注入ポンプ	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 -: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (13/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第48条 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却水ポンプ 原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却水海水ポンプ 配管等	(設計基準対象施設)	CWP/B	○	防護対策実施
第49条 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水) (炉心の著しい損傷防止, フロントライン系故障時)	C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却水ポンプ C, D-原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク C, D-原子炉補機冷却水冷却器海水 入口ストレーナ 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所: 原子炉補機冷却水サージタンク 加圧用可搬型窒素ガスポンプ, ホース等	防止設備	R/B	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ出口 ストレーナ	防止設備	CWP/B	○	防護対策実施
		可搬型温度計測装置	58条に記載	-	-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載	-	-	-
		代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (炉心の著しい損傷防止, フロントライン系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ビット 補助給水ビット 配管等	防止設備	R/B	○
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (炉心の著しい損傷防止, サポート系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ビット 補助給水ビット 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (炉心の著しい損傷防止, サポート系故障時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬 型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		C, D-格納容器再循環ユニット	防止設備	C/V	○	建屋内
		可搬型温度計測装置	58条に記載	-	-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載	-	-	-

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 ー: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (14/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第49条 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水) (格納容器破損防止、フロンライン系故障時)	C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却水ポンプ C, D-原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク C, D-原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型窒素ガスポンプ、ホース等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ、配管等	緩和設備	CWP/B	○	防護対策実施
		可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (格納容器破損防止、フロンライン系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料代替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源) (格納容器破損防止、サポート系故障時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料代替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	格納容器内自然対流冷却 (海水) (格納容器破損防止、サポート系故障時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車 (送水車用)、可搬型ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	緩和設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内
		可搬型温度計測装置 非常用取水設備	58条に記載 非常用取水設備に記載		- -	- -
	格納容器スプレイ 格納容器スプレイ再循環	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		燃料代替用水ピット、配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		格納容器再循環サンブ 格納容器再循環サンブスクリーン 配管等	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
原子炉補機冷却設備		48条に記載		-	-	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備、防止でも緩和でもない設備)

一：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (15/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻			
				評価	防護方法		
第50条 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	格納容器スプレイ (格納容器スプレイポンプ)	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内	
	(交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	燃料取替用水ピット, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-	
	格納容器内自然対流冷却 (原子炉補機冷却水)	C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内	
		C, D-原子炉補機冷却水ポンプ C, D-原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク C, D-原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ	緩和設備	R/B	○	建屋内	
		(交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	可搬箇所: 原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型窒素ガスポンプ, ホース等	緩和設備	R/B	○	建屋内
			C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ C, D-原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ 配管等	緩和設備	CWP/B	○	防護対策実施
			可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
			非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内	
	格納容器内自然対流冷却 (海水)	C, D-格納容器再循環ユニット	緩和設備	C/V	○	建屋内	
		(全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	可搬箇所: 可搬型大型送水ポンプ車, ホース延長・回収車 (送水車用), 可搬型ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
			常設箇所: 接続口, 配管等	緩和設備	屋外 A/B 廻り及び R/B 内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
			可搬型温度計測装置	58条に記載		-	-
			非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	代替格納容器スプレイ (代替格納容器スプレイポンプ) (代替電源)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内	
	格納容器スプレイ	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 配管等	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内	
		燃料取替用水ピット, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		-	-	

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 -: 他の項目にて整理
 ※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (16/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第51条 原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備	原子炉格納容器下部への注水（格納容器スプレイポンプ） (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 配管等	緩和設備	A/B	○	建屋内
		燃料取替用水ピット、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—	
	原子炉格納容器下部への注水（代替格納容器スプレイポンプ） (交流動力電源及び原子炉補機冷却機能が健全である場合)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉格納容器下部への注水（代替格納容器スプレイポンプ）（代替電源） (全交流動力電源又は原子炉補機冷却機能喪失時)	代替格納容器スプレイポンプ 燃料取替用水ピット 補助給水ピット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
熔融炉心の落下遅延・防止	炉心注水（高圧注入ポンプ） 炉心注水（余熱除去ポンプ） 炉心注水（充てんポンプ） 代替炉心注水（B-格納容器スプレイポンプ） 代替炉心注水（代替格納容器スプレイポンプ） 代替炉心注水（B-充てんポンプ）	47条に記載		—	—	
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備	水素濃度低減（原子炉格納容器内水素処理装置）	原子炉格納容器内水素処理装置 原子炉格納容器内水素処理装置温度監視装置	緩和設備	C/V	○	建屋内
	水素濃度低減（格納容器水素イグナイタ）	格納容器水素イグナイタ 格納容器水素イグナイタ温度監視装置	緩和設備	C/V	○	建屋内
	水素濃度監視	可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット 可搬型ガスサンプル冷却器用冷却ポンプ 可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：格納容器空気サンプルライン隔離弁操作可搬型窒素ガスポンプ、ホース等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース等	緩和設備	可搬型SA設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等	緩和設備	屋外A/B廻り及びR/B内	○	分散配置 (2箇所は建屋内)
		格納容器雰囲気ガス試料採取設備、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		—	—

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
—：他の項目にて整理
※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (17/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第53条 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	アニュラス空気浄化設備による水素排出（交流動力電源及び直流電源が健全である場合）	アニュラス空気浄化ファン アニュラス空気浄化フィルタユニット、配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	緩和設備	屋外	○	補修を実施
	アニュラス空気浄化設備による水素排出（全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合）	B-アニュラス空気浄化ファン B-アニュラス空気浄化フィルタユニット 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所：アニュラス全量排気弁等 作用可搬型窒素ガスポンプ、ホース等	緩和設備	R/B	○	建屋内
	水素濃度監視	排気筒	緩和設備	屋外	○	補修を実施
		可搬箇所：可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット、ホース等	緩和設備	R/B	○	建屋内
第54条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	使用済燃料ピットへの注水	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	使用済燃料ピットへのスプレイ	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、可搬型スプレイノズル、ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-
	燃料取扱棟（貯蔵槽内燃料体等）への放水	可搬型大容量海水送水ポンプ車、可搬型ホース等	55条に記載		-	-
		放水砲	55条に記載		-	-
	使用済燃料ピットの監視	使用済燃料ピット水位(AM用) 使用済燃料ピット温度(AM用)	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 (使用済燃料ピット水位及び使用済燃料ピット温度)
		使用済燃料ピット水位(可搬型)	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 (使用済燃料ピット水位)
使用済燃料ピット可搬型エリアモニタ		防止設備・緩和設備	R/B, A/B	○	代替設備 (使用済燃料ピットエリアモニタ)	
使用済燃料ピット監視カメラ (使用済燃料ピット監視カメラ空冷装置(注)を含む。)		防止設備・緩和設備	R/B A/B	○	防護対策実施	
第55条 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備	大気への拡散抑制（炉心の著しい損傷、原子炉格納容器及びアニュラス部の破損又は使用済燃料ピット内燃料体等の著しい損傷時）	可搬型大容量海水送水ポンプ車、可搬型ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	放水砲	非常用取水設備	非常用取水設備に記載		-	-

注：使用済燃料ピット監視カメラ空冷装置は可搬型重大事故等対処設備

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 -：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (18/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第55条 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備	海洋への拡散抑制 (炉心の著しい損傷、原子炉格納容器及びアニュラス部の破損又は使用済燃料ピット内燃料体等の著しい損傷時)	集水柵シルトフェンス	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	大気への拡散抑制 (使用済燃料ピット内燃料体等の著しい損傷時)	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、可搬型スプレイノズル、ホース延長・回収車（送水車用）、可搬型ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		非常用取水設備	非常用取水設備に記載	—	—	
	航空機燃料火災への泡消火	可搬型大容量海水送水ポンプ車、放水砲、泡混合設備、可搬型ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
非常用取水設備		非常用取水設備に記載	—	—		
第56条 重大事故等の収束に必要な水の供給設備	重大事故等の収束のための水源 ※水源としては、海も使用可能	燃料取替用水ピット 補助給水ピット	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		ほう酸タンク	44条に記載		—	—
	水の供給（代替淡水源又は海を水源）	可搬箇所：可搬型大型送水ポンプ車、ホース延長・回収車（送水用）、可搬型大容量海水送水ポンプ車、可搬型ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続口、配管等 非常用取水設備	防止設備・緩和設備	A/B, R/B	○	建屋内
	水の供給（原子炉格納容器を水源）	格納容器スプレイポンプ	47条及び49条に記載		—	—
		高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ	47条に記載		—	—
第57条 電源設備	常設代替交流電源設備による給電	代替非常用発電機	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備 (非常用交流電源設備)
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽 燃料タンク (SA)	防止設備・緩和設備	屋外 (地下)	○	影響なし
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ、 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型タンクローリー、ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		代替格納容器スプレイポンプ変圧器盤	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	可搬型代替交流電源設備による給電	可搬箇所：可搬型代替電源車	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		常設箇所：接続盤	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 及び A/B 廻り	○	分散配置
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽 燃料タンク (SA)	防止設備・緩和設備	屋外 (地下)	○	影響なし
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ、 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型タンクローリー、ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
代替格納容器スプレイポンプ変圧器盤	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内		

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (19/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第57条 電源設備	所内常設蓄電式直流電池設備による給電	蓄電池（非常用） 後備蓄電池，A充電器，B充電器	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	可搬型代替直流電源設備による給電	可搬箇所：可搬型直流電源用発電機	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		可搬箇所：可搬型直流変換器	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽 燃料タンク（SA）	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		可搬箇所：可搬型タンクローリー，ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
	代替所内電気設備による給電	代替非常用発電機	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備 （非常用交流電源設備）
		可搬型代替電源車	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽 燃料タンク（SA）	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ， 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		可搬箇所：可搬型タンクローリー，ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		代替所内電気設備変圧器 代替所内電気設備分電盤 代替格納容器スプレイポンプ変圧器盤	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	燃料補給設備	ディーゼル発電機燃料油貯油槽 燃料タンク（SA）	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		可搬箇所：可搬型タンクローリー，ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	○	分散配置
		ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ， 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
	非常用交流電源設備	ディーゼル発電機 ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ ディーゼル発電機燃料油サービスタンク 配管等	防止設備・緩和設備	DG/B	○	建屋内
		ディーゼル発電機燃料油貯油槽	防止設備・緩和設備	屋外（地下）	○	影響なし
		原子炉補機冷却設備	48条に記載		—	—

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも，対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備，防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋，A/B：原子炉補助建屋，C/V：原子炉格納容器，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (20/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第58条 計装設備	温度計測 (原子炉容器内の温度)	1次冷却材温度 (広域-高温側) 1次冷却材温度 (広域-低温側)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	圧力計測 (原子炉容器内の圧力)	1次冷却材圧力 (広域)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	水位計測 (原子炉容器内の水位)	加圧器水位 原子炉容器水位	防止設備	C/V	○	建屋内
	注水量計測 (原子炉容器への注水量)	高压注入流量 低压注入流量	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
		代替格納容器スプレィポンプ出口積算流量 B-格納容器スプレィ冷却器出口積算流量 (AM用)	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
	注水量計測 (原子炉格納容器への注水量)	代替格納容器スプレィポンプ出口積算流量 B-格納容器スプレィ冷却器出口積算流量 (AM用)	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
		高压注入流量 低压注入流量	(設計基準対象施設)	A/B	○	建屋内
	温度計測 (原子炉格納容器内の温度)	格納容器内温度	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	圧力計測 (原子炉格納容器内の圧力)	原子炉格納容器圧力 格納容器圧力 (AM用)	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	水位計測 (原子炉格納容器内の水位)	格納容器再循環サンブ水位 (広域) 格納容器再循環サンブ水位 (狭域)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
		格納容器水位 原子炉下部キャビティ水位	緩和設備	C/V	○	建屋内
	水素濃度計測 (原子炉格納容器内の水素濃度)	可搬型格納容器内水素濃度計測ユニット (格納容器内水素濃度)	緩和設備	R/B	○	建屋内
	水素濃度計測 (アニュラス内の水素濃度)	可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット (アニュラス水素濃度 (可搬型))	緩和設備	R/B	○	建屋内
	線量計測 (原子炉格納容器内の放射線量率)	格納容器内高レンジエリアモニタ (低レンジ) 格納容器内高レンジエリアモニタ (高レンジ)	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	出力計測 (未臨界の維持又は監視)	出力領域中性子束 中間領域中性子束 中性子源領域中性子束	防止設備	C/V	○	建屋内
	温度計測 (最終ヒートシンクの確保)	可搬型温度計測装置 (格納容器再循環ユニット入口温度/ 出口温度)	防止設備・緩和設備	A/B 緊急時対策所	○	建屋内
	水位計測 (最終ヒートシンクの確保)	蒸気発生器水位 (狭域) 蒸気発生器水位 (広域)	(設計基準対象施設)	C/V	○	建屋内
		原子炉補機冷却水サージタンク水位	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
注水量計測 (最終ヒートシンクの確保)	補助給水流量	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
圧力計測 (最終ヒートシンクの確保)	原子炉格納容器圧力	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	
	主蒸気ライン圧力	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
	原子炉補機冷却水サージタンク圧力 (可搬型)	防止設備・緩和設備	R/B 緊急時対策所	○	建屋内	

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備、防止でも緩和でもない設備)
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (21/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第58条 計装設備	水位計測（格納容器バイパスの監視）	蒸気発生器水位（狭域）	防止設備	C/V	○	建屋内
	圧力計測（格納容器バイパスの監視）	主蒸気ライン圧力	防止設備	R/B	○	建屋内
		1次冷却材圧力（広域）	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
	水位計測（水源の確保）	燃料取替用水ピット水位	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		補助給水ピット水位	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
		ほう酸タンク水位	防止設備	A/B	○	建屋内
	水位計測（使用済燃料ピットの監視）	使用済燃料ピット水位（AM用）	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 （使用済燃料ピット水位及び使用済燃料ピット温度）
		使用済燃料ピット水位（可搬型）	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 （使用済燃料ピット水位）
	温度計測（使用済燃料ピットの監視）	使用済燃料ピット温度（AM用）	防止設備・緩和設備	R/B	○	代替設備 （使用済燃料ピット水位及び使用済燃料ピット温度）
	線量計測（使用済燃料ピットの監視）	使用済燃料ピット可搬型エリアモニタ	防止設備・緩和設備	R/B, A/B	○	代替設備 （使用済燃料ピットエリアモニタ）
	状態監視（使用済燃料ピットの監視）	使用済燃料ピット監視カメラ （使用済燃料ピット監視カメラ空冷装置（注）を含む。）	防止設備・緩和設備	R/B, A/B	○	防護対策実施
	温度、圧力、水位及び流量に係わるものの計測	可搬型計測器	防止設備・緩和設備	A/B 緊急時対策所	○	建屋内
	パラメータ記録	可搬型温度計測装置（格納容器再循環ユニット入口温度／出口温度）	防止設備・緩和設備	A/B 緊急時対策所	○	建屋内
		データ収集計算機	緩和設備	A/B （屋外設備含む。）	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は代替設備（有線系）により機能維持可能
		データ表示端末	緩和設備	緊急時対策所 （屋外設備含む。）	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は代替設備（有線系）により機能維持可能
その他	6-A, B母線電圧 A, B-直流コントロールセンタ母線電圧	（設計基準対象施設）	A/B	○	建屋内	
	A-高圧注入ポンプ及び油冷却器補機冷却水流量（AM用） A-高圧注入ポンプ電動機補機冷却水流量（AM用）	防止設備	A/B	○	建屋内	
	原子炉補機冷却水冷却器補機冷却海水流量（AM用） A, B-原子炉補機冷却水供給母管流量（AM用）	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	

注：使用済み燃料ピット監視カメラ空冷装置は可搬型重大事故等対処設備

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 ー：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋、A/B：原子炉補助建屋、C/V：原子炉格納容器、DG/B：ディーゼル発電機建屋、CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (22/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第59条 運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	居住性の確保	中央制御室	(重大事故等対処施設)	A/B	○	建屋内
		中央制御室遮へい 中央制御室非常用循環ファン 中央制御室給気ファン 中央制御室循環ファン 中央制御室非常用循環フィルタユニット 中央制御室給気ユニット, ダクト等	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
		可搬型照明(SA) 酸素濃度・二酸化炭素濃度計	防止でも緩和でもない設備	A/B	○	建屋内
	汚染の持ち込み防止	可搬型照明(SA)	防止でも緩和でもない設備	A/B	○	建屋内
	放射性物質の濃度低減 (交流動力電源及び直流電源が健全である場合)	アニュラス空気浄化ファン アニュラス空気浄化フィルタユニット, 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	緩和設備	屋外	○	補修を実施
	放射性物質の濃度低減 (全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合)	B-アニュラス空気浄化ファン B-アニュラス空気浄化フィルタユニット, ダクト等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		可搬箇所: アニュラス全量排気弁等操作用 可搬型窒素ガスポンプ, ホース等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	緩和設備	屋外	○	補修を実施
	第60条 監視測定設備	モニタリングポストの代替測定	可搬型モニタリングポスト	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○
放射能観測車の代替測定		可搬型ダスト・よう素サンプラ NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ GM汚染サーベイメータ	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○	建屋内
放射線量の測定		可搬型モニタリングポスト 電離箱サーベイメータ	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○	建屋内
		小型船舶	防止でも緩和でもない設備	屋外	○	分散配置
放射性物質濃度(空気中・水中・土壌中)及び海上モニタリング		可搬型ダスト・よう素サンプラ NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ GM汚染サーベイメータ α線シンチレーションサーベイメータ β線サーベイメータ	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○	建屋内
		小型船舶	防止でも緩和でもない設備	屋外	○	分散配置
気象観測設備の代替測定		可搬型気象観測設備	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○	建屋内
緊急時対策所付近の気象観測項目の測定		可搬型気象観測設備	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○	建屋内

凡例 ○: 竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる(防止設備)

又は竜巻により損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)

一: 他の項目にて整理

※ R/B: 原子炉建屋, A/B: 原子炉補助建屋, C/V: 原子炉格納容器, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (23/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	竜巻	
					評価	防護方法
第61条 緊急時対策所	居住性の確保	緊急時対策所	(重大事故等対処施設)	屋外	○	影響なし
		緊急時対策所指揮所遮へい 緊急時対策所待機所遮へい	緩和設備	屋外	○	影響なし
		可搬箇所：可搬型新設緊急時対策所空気浄化ファン 可搬型新設緊急時対策所空気浄化フィルタユニット、配管等	緩和設備	空調上屋	○	建屋内
		常設箇所：配管等	緩和設備	緊急時対策所、空調上屋 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は防護対策を実施
		可搬箇所：空気供給装置（空気ポンプ）、配管等	緩和設備	空調上屋	○	建屋内
		常設箇所：配管等	緩和設備	緊急時対策所、空調上屋 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は防護対策を実施
		圧力計 酸素濃度・二酸化炭素濃度計	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策所	○	建屋内
		緊急時対策所可搬型エリアモニタ	緩和設備	緊急時対策所	○	建屋内
		可搬型モニタリングポスト 可搬型気象観測設備	60条に記載		-	-
	必要な情報の把握	データ収集計算機 ERSS 伝送サーバ データ表示端末	62条に記載		-	-
	電源の確保 (緊急時対策所)	可搬箇所：緊急時対策所用発電機	防止設備・緩和設備	屋外	○	分散配置
		常設箇所：接続盤	防止設備・緩和設備	緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は防護対策を実施
	通信設備 (緊急時対策所)	衛星電話設備（固定型） 衛星電話設備（FAX） 衛星電話設備（携帯型） 無線連絡設備（固定型） 無線連絡設備（携帯型） インターフォン テレビ会議システム（指揮所・待機所間） 統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備	62条に記載		-	-

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋，A/B：原子炉補助建屋，C/V：原子炉格納容器，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (24/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
第62条 通信連絡を行うために必要な設備	発電所内の通信連絡	衛星電話設備 (固定型) 衛星電話設備 (携帯型)	防止設備・緩和設備	A/B 緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系・無線系) により機能維持可能
		無線連絡設備 (固定型) 無線連絡設備 (携帯型)	防止設備・緩和設備	A/B 緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系、衛星系) により機能維持可能
		携行型通話装置	防止設備・緩和設備	A/B	○	建屋内
		インターフォン テレビ会議システム (指揮所・待機所間)	防止設備・緩和設備	緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系) により機能維持可能
		データ収集計算機	緩和設備	A/B (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は代替設備 (有線系) により機能維持可能
		データ表示端末	緩和設備	緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は代替設備 (有線系) により機能維持可能
	発電所外の通信連絡	衛星電話設備 (固定型) 衛星電話設備 (FAX) 衛星電話設備 (携帯型)	緩和設備	A/B 緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系・無線系) により機能維持可能
		統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備	防止でも緩和でもない設備	A/B 緊急時対策所 (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系) により機能維持可能
		データ収集計算機 ERSS 伝送サーバ	防止でも緩和でもない設備	A/B (屋外設備含む。)	○	建屋内設備は影響なし、屋外設備は代替設備 (有線系) により機能維持可能

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる
 又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 一：他の項目にて整理
 ※ R/B：原子炉建屋, A/B：原子炉補助建屋, C/V：原子炉格納容器, DG/B：ディーゼル発電機建屋, CWP/B：循環水ポンプ建屋

第1表 竜巻に対する重大事故等対処設備の影響評価 (25/25)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所 [※]	竜巻	
					評価	防護方法
1次冷却設備	1次冷却設備	蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 原子炉容器（炉心支持構造物を含む） 加圧器 1次冷却材管 加圧器サージ管	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
原子炉格納容器	原子炉格納容器	原子炉格納容器	防止設備・緩和設備	C/V	○	建屋内
燃料取扱及び貯蔵設備	使用済燃料貯蔵槽	使用済燃料ピット	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
非常用取水設備	非常用取水設備	貯留堰 取水口 取水路 取水ピットスクリーン室 取水ピットポンプ室	防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし

凡例 ○：竜巻に対し安全機能を維持できる

又は竜巻による損傷を考慮した場合でも、対応する設計基準対象施設が竜巻に対し安全機能を維持できる（防止設備）

又は竜巻により損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）

—：他の項目にて整理

※ R/B：原子炉建屋，A/B：原子炉補助建屋，C/V：原子炉格納容器，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

評価対象施設の抽出について

1. 抽出方針

泊発電所 3 号炉における評価対象施設の抽出フローを第 1 図及び第 2 図、抽出結果を第 1 表に示す。具体的には、以下の手順で抽出した。

Step1：安全施設（安全重要度クラス 1, 2, 3）及び安全施設以外の施設から外部事象防護対象施設^{※1}を抽出する。

※1：外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（発電用原子炉を停止するため、また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器）として、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下、「重要度分類審査指針」という。）における安全重要度クラス 1, 2 に属する施設、安全評価上期待する安全重要度クラス 3 に属する構築物、系統及び機器並びにそれを内包する区画

また、外部事象防護対象施設を内包する建屋は、機械的強度を有すること等により、内包する外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計及び外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。ここで、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。

上記以外の、「その他の施設」については、竜巻及びその随件事象に対して機能維持、又は、竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、必要に応じてプラントを停止し、安全上支障のない期間に修復すること等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とすることから評価完了とする。

Step2：屋外施設

外部事象防護対象施設等として抽出された設備の設置場所を確認し、竜巻襲来時に風圧、気圧差及び飛来物衝突の影響を受ける屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）を評価対象施設とする。

Step3 : 外気と繋がる設備

外気との接続があるため、竜巻襲来時に気圧差荷重の影響を受ける換気空調設備等を評価対象施設とする。

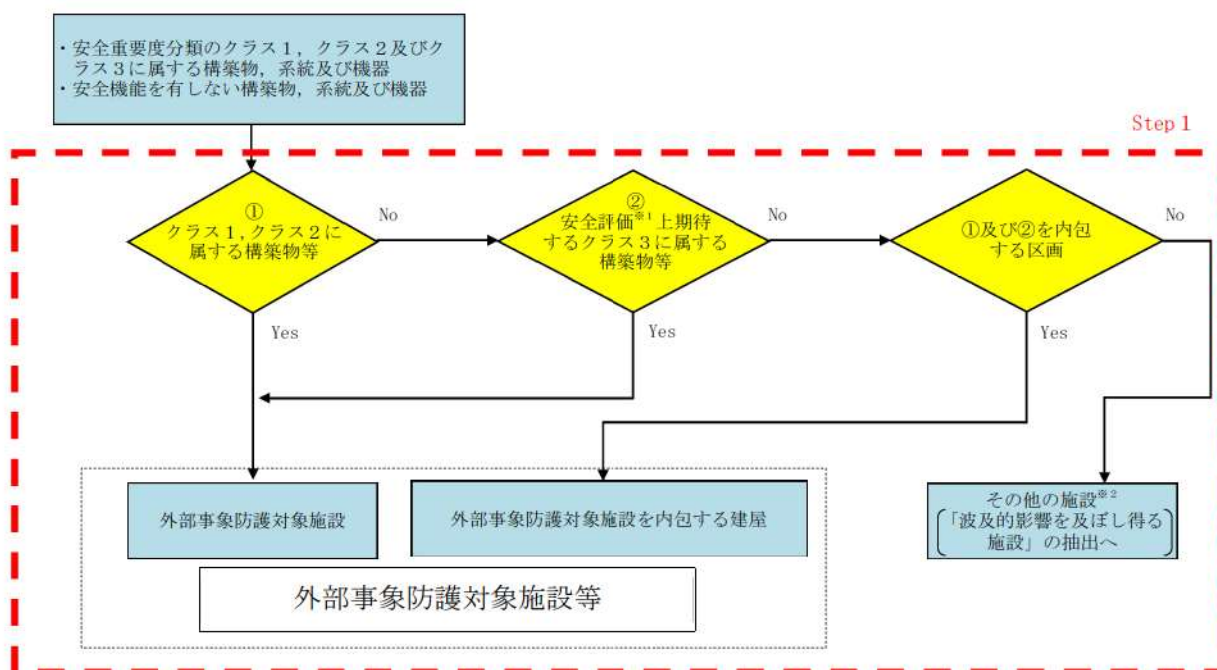
Step4 : 外殻となる施設による防護が期待できない設備

外部事象防護対象施設が設置されている施設等の外殻による防護機能が期待できないものを評価対象施設とする。

なお、外殻による防護に期待できるかは、外殻となる建屋・構築物等の竜巻荷重に対する健全性の確認結果による。

2. 抽出結果

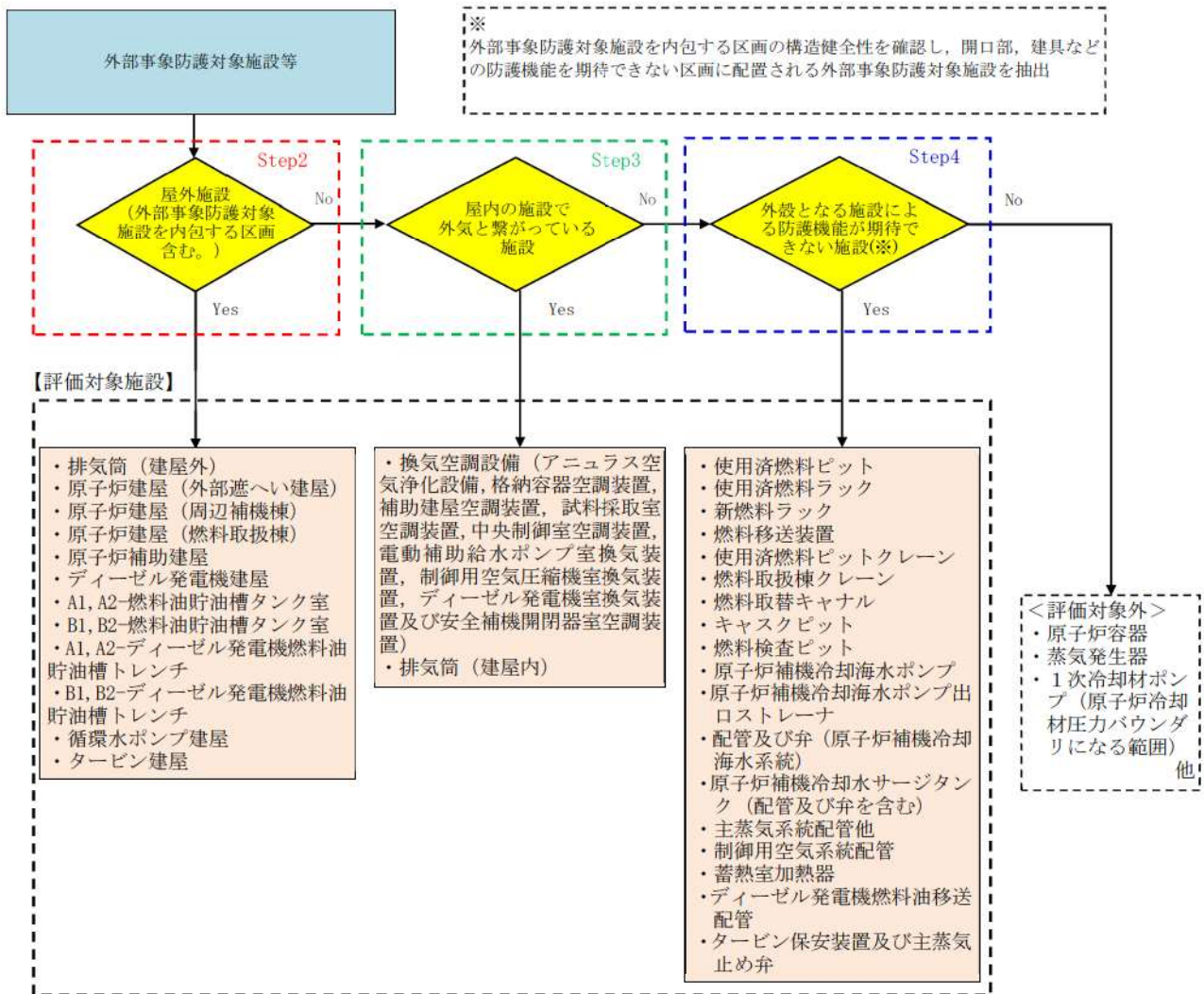
外部事象防護対象施設等及び評価対象施設の抽出フローを第1図及び第2図に、外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設抽出結果を第1表に示す。



※1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

※2 竜巻及びその随件事象に対して機能維持すること、竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること又は安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能であることを確認する。

第1図 外部事象防護対象施設等の抽出フロー



第2図 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (1/16)

分類	定義	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	抽出の観点 ^{※1}	設置場所 ^{※2}				評価 対象 施設	備考
						STEP					
						1	2	3	4		
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によつて、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構造物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力パウンダリ機能 2) 過剰反応度の印加防止機能 3) 炉心形状の維持機能	原子炉冷却材圧力パウンダリを構成する機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く)	構造物, 系統又は機器 原子炉炉容器 蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 加圧器 配管, 弁 制御棒駆動装置圧力パウンダリ隔離弁 制御棒駆動装置圧力ハウジング 炉内計装引出管 制御棒駆動装置圧力ハウジング 炉心槽 上部炉心支持板 上部炉心支持柱 上部炉心板 下部炉心板 下部炉心支持柱 下部炉心支持板 燃料集合体(燃料は除く)	○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—
					○	×	×	×	R/B	—	—

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備

※2: R/B: 原子炉建屋(外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず

※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備(波及的影響(機能的影響)を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (2/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統又は機器	抽出の観点 ^{※1}				設置場所 ^{※2}	評価対象施設	備考
				重要度分類審査指針						
				1	2	3	4			
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物, 系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒クラスタ及び制御棒駆動系(スクラム機能))	制御棒	○	×	×	×	R/B	-
				直接関連系(制御棒)	○	×	×	×	R/B	-
				制御棒クラスタ案内管	○	×	×	×	R/B	-
				制御棒駆動装置	○	×	×	×	R/B	-
				直接関連系(制御棒駆動装置)	○	×	×	×	R/B	-
				制御棒	○	×	×	×	R/B	-
				直接関連系(制御棒)	○	×	×	×	R/B	-
				制御棒駆動装置	○	×	×	×	R/B	-
				制御棒駆動装置圧力ハウジング	○	×	×	×	R/B	-
				化学体積制御設備の内ほう酸注入系	○	×	×	×	R/B	-
				充てんポンプ	○	×	×	×	A/B	-
				ほう酸ポンプ	○	×	×	×	A/B	-
				ほう酸タンク	○	×	×	×	A/B	-
				ほう酸フィルタ	○	×	×	×	A/B	-
				再生熱交換器	○	×	×	×	R/B	-
配管及び弁(ほう酸タンクからほう酸ポンプ, 充てんポンプ, 再生熱交換器を経て1次冷却設備までの範囲)	○	×	×	×	R/B	-				
直接関連系(化学体積制御設備の内ほう酸注入系)	○	×	×	×	R/B	-				
非常用炉心冷却設備の内ほう酸注入系	○	×	×	×	A/B	-				
燃料取替用水ピット	○	×	×	×	R/B	-				
高圧注入ポンプ	○	×	×	×	A/B	-				
ほう酸注入タンク	○	×	×	×	A/B	-				
配管及び弁(燃料取替用水ピットから高圧注入ポンプを経て1次冷却設備低温側までの範囲)	○	×	×	×	R/B	-				
直接関連系(非常用炉心冷却設備の内ほう酸注入系)	○	×	×	×	A/B	-				
加圧器安全弁(安全弁開機能)	○	×	×	×	R/B	-				

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2: R/B: 原子炉建屋(外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋
 ※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず
 ※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備(波及的影響(機能的影響)を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (3/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統 又は機器	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ^{※2}	評価 対象 施設	備考	
				STEP							
				1	2	3	4				
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物, 系統及び機器 4) 原子炉停止後の除熱機能		構造物, 系統 又は機器 残留熱を除去する系統(余熱除去系, 補助給水系, 蒸気発生器2次側隔離弁までの主蒸気系・給水系, 主蒸気安全弁, 主蒸気逃がし弁(手動逃がし機能))	余熱除去設備	○	×	×	×	—	—	
				余熱除去ポンプ	○	×	×	×	A/B	—	—
				余熱除去冷却器	○	×	×	×	A/B	—	—
				配管及び弁 (余熱除去運転モードのルートとなる範囲)	○	×	×	×	R/B	—	—
				直接関連系 (余熱除去設備)	○	×	×	×	A/B	—	—
				ポンプミニマムフローライン配管, 弁	○	×	×	×	A/B	—	—
				補助給水設備	○	×	×	×	A/B	—	—
				電動補助給水ポンプ	○	×	×	×	R/B	—	電動補助給水ポンプ室換気装置 ^{※5}
				タービン動補助給水ポンプ	○	×	×	×	R/B	—	タービン動補助給水ポンプ排気管 ^{※4}
				補助給水ピット	○	×	×	×	R/B	—	—
				配管及び弁 (補助給水ピットから補助給水ポンプを経て主給水配管との合流部までの範囲)	○	×	×	×	R/B	○	—
				直接関連系 (補助給水設備)	○	×	×	×	R/B	—	—
				ポンプミニマムフローライン配管, 弁	○	×	×	×	R/B	—	—
				タービンへの蒸気供給配管, 弁	○	×	×	×	R/B	—	—
				主蒸気設備	○	×	×	×	R/B	—	—
蒸気発生器	○	×	×	×	R/B	—	—				
主蒸気隔離弁	○	×	×	×	R/B	○	主蒸気安全弁排気管 ^{※4}				
主蒸気安全弁	○	×	×	×	R/B	○	主蒸気排逃し消音器 ^{※4}				
主蒸気逃がし弁 (手動逃がし機能)	○	×	×	×	R/B	○	—				
配管及び弁 (蒸気発生器から主蒸気隔離弁の範囲)	○	×	×	×	R/B	○	—				
給水設備	○	×	×	×	R/B	—	—				
蒸気発生器	○	×	×	×	R/B	—	—				
主給水隔離弁	○	×	×	×	R/B	○	—				
配管及び弁 (蒸気発生器から主給水隔離弁の範囲)	○	×	×	×	R/B	○	—				

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋
 ※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず
 ※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)
 ※5: 電動補助給水ポンプ等の冷却の観点から評価対象とする。(STEP3で抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (4/16)

分類	定義	機能	構築物，系統又は機器	評価対象施設	設置場所※2	抽出の観点※1				備考					
						STEP		3	4						
						1	2								
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し，残留熱を除去し，原子炉冷却材圧力バウナダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	5) 炉心冷却機能	構築物，系統又は機器	拍発電源3号炉	構築物，系統又は機器										
						低圧注入系	余熱除去ポンプ	○	×		×	×	A/B	-	-
							余熱除去冷却器	○	×		×	×	A/B	-	-
							燃料取替用水ピット	○	×		×	×	R/B	-	-
							格納容器再循環サブ	○	×		×	×	R/B	-	-
							配管及び弁（燃料取替用水ピット及び格納容器再循環サブから余熱除去ポンプ，余熱除去冷却器を経て1次冷却設備までの範囲）	○	×		×	×	R/B	-	-
							直接関連系（低圧注入系） ポンプミニマムフローライン配管，弁	○	×		×	×	A/B	-	-
							高圧注入系								
							燃料取替用水ピット	○	×		×	×	R/B	-	-
							高圧注入ポンプ	○	×		×	×	A/B	-	-
							配管及び弁（燃料取替用水ピット及び格納容器再循環サブから高圧注入ポンプを経て1次冷却設備までの範囲）	○	×		×	×	R/B	-	-
							格納容器再循環サブ	○	×		×	×	A/B	-	-
							直接関連系（高圧注入系） ポンプミニマムフローライン配管，弁	○	×		×	×	R/B	-	-
蓄圧注入系															
蓄圧タンク	○	×	×	×	R/B	-	-								
配管及び弁（蓄圧タンクから1次冷却設備 の範囲）	○	×	×	×	R/B	-	-								
原子炉格納容器	6) 放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，アニュラス，原子炉格納容器隔離弁，原子炉格納容器スプレイス，アニュラス空気再循環設備，安全補機室空気浄化系，可燃性ガス濃度制御系	構築物，系統又は機器	原子炉格納容器	原子炉格納容器	○	×	×	×	R/B	-				
格納容器本体						○	×	×	×	R/B	-				
貫通部（ベネトレーション）						○	×	×	×	R/B	-				
エアロック						○	×	×	×	R/B	-				
機器搬入口						○	×	×	×	R/B	-				
アニュラス						○	×	×	×	R/B	-				
原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管						○	×	×	×	R/B	-				
低温側配管合流部までの範囲）						○	×	×	×	R/B	-				

※1：1＝外部事象防護対象施設等，2＝屋外設備，3＝外気と繋がる設備，4＝外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2：R/B：原子炉建屋（外部遮へい建屋，周辺補機棟，燃料取扱棟），A/B：原子炉補助建屋，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋
 ※3：抽出の観点1～4の評価の結果該当せず
 ※4：屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備（波及的影響（機能的影響）を及ぼし得る施設として抽出）

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (5/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統 又は機器	重要度分類審査指針		抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ^{※2}	評価 対象 施設	備考
				機能	構造物, 系統 又は機器	STEP						
						1	2	3	4			
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉始動材圧力バウンダリの過圧を防止し, 過熱地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物, 系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能, 放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器, アニユラス, 原子炉格納容器隔離弁, 原子炉格納容器スプレイス, アニユラス空気再循環設備, 安全補機室空気浄化系, 可燃性ガス濃度制御系	拍発電源3号炉		○	×	×	×	R/B	—	—
				構造物, 系統又は機器		○	×	×	×	A/B	—	—
				原子炉格納容器スプレイス設備		○	×	×	×	A/B	—	—
				燃料取替用水ピット		○	×	×	×	A/B	—	—
				格納容器スプレイスポンプ		○	×	×	×	A/B	—	—
				格納容器スプレイス冷却器		○	×	×	×	A/B	—	—
				よう素除去薬品タンク		○	×	×	×	A/B	—	—
				スプレイスダクタ		○	×	×	×	A/B	—	—
				スプレイスダクタ		○	×	×	×	A/B	—	—
				スプレイスダクタ		○	×	×	×	A/B	—	—
				配管及び弁(燃料取替用水ピット及び格納容器再循環タンクから格納容器スプレイスポンプ, 格納容器スプレイス冷却器を経てスプレイスダクタへッダクタまでの範囲。よう素除去薬品タンクからスプレイスダクタを経て格納容器スプレイス配管までの範囲)		○	×	×	×	R/B A/B	—	—
				アニユラス空気浄化設備		○	×	×	×	R/B	○	—
				アニユラス空気浄化ユニット		○	×	×	×	R/B	○	—
				アニユラス空気浄化ファン		○	×	×	×	R/B	○	—
				ダクト及びダンパ		○	×	×	×	R/B A/B	○	—
直接関連系 (アニユラス空気浄化設備)		○	×	×	×	R/B	○	格納容器空調装置, 補助建屋空調装置, 試料採取室空調装置 ^{※5}				
遮へい設備 (外部遮へい壁)		○	×	×	×	屋外	○	原子炉建屋 (外部遮へい建屋) として評価				

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備

※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋

※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず

※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)

※5: 排気筒に接続されていることから評価対象とする。(格納容器空調装置及び試料採取室空調装置はSTEP3で抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (6/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統 又は機器	重要度分類 審査指針				抽出の観点 ^{※1}	設置 場所 ^{※2}	評価 対象 施設	備考
				構造物, 系統又は機器							
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4				
MS-1	2) 安全上必須なその他の構造物, 系統及び機器	1) 工学的な安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 安全保護系	構造物, 系統又は機器 安全保護系	原子炉保護系への作動信号の発生機構 ・原子炉保護系の安全保護回路	○	×	×	R/B	—	安全系の計装盤等	
				工学的な安全施設への作動信号の発生機構 ・非常用炉心冷却設備作動の安全保護回路, 主蒸気ライン隔離の安全保護回路, 原子炉格納容器スプレイ作動の安全保護回路, 原子炉格納容器隔離の安全保護回路 非常用交流電源設備	○	×	×	R/B A/B DG/B	—	—	
MS-1		2) 安全上特に重要な関連機能	非常用内電源系, 制御室及びその遮へい・換気空調系, 原子炉補機冷却水系, 原子炉補機冷却海水系, 直流電源系, 制御用圧縮空気設備 (いずれも, MS-1関連のもの)	ダイーゼル機関	○	×	×	DG/B	○	ダイーゼル発電機排気消音器 ^{※4} ダイーゼル発電機室換気装置 ^{※5} 蓄熱室加熱器 ^{※6}	
				ダイーゼル発電機	○	×	×	DG/B	○	—	
				ダイーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路	○	×	×	R/B A/B DG/B	—	—	
				直接関連系 (非常用交流電源設備)	○	×	×	DG/B 燃料油貯油槽 タンク 燃料油貯油槽 トレンチ	○	ダイーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管 ^{※4}	
				吸気系	○	×	×	DG/B	○	—	
				始動用空気系	○	×	×	DG/B	○	—	
				冷却水系	○	×	×	DG/B	○	—	
				潤滑油系	○	×	×	DG/B	○	—	

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外殻となる施設となる設備が期待できない設備
 ※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ダイーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋
 ※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず
 ※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)
 ※5: ダイーゼル機関, ダイーゼル発電機等の冷却の観点から評価対象とする。(STEP3及びSTEP4で抽出)
 ※6: 寒冷地におけるダイーゼル機関の急速始動の観点から評価対象とする。(STEP4で抽出)
 ※7: ダイーゼル発電機燃料油移送配管に対する設計飛来物の影響については別紙5参照

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (7/16)

分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	抽出の観点 ^{※1}				評価対象施設	備考	
				重要度分類審査指針						
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4			
MS-1	2) 安全上必須なその他の構造物、系統及び機器	2) 安全上特に重要な関連機能	構造物、系統又は機器	泊発電所3号炉	○	×	×	×	A/B	-
				構造物、系統又は機器	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室及び中央制御室遮へい	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室換気空調装置（放射線防護機能及び有機ガス防護機能）	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室非常用循環ファン	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室非常用循環ファンユニット	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室給気ユニット	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室給気ファン	○	×	×	×	A/B	-
				中央制御室循環ファン	○	×	×	×	A/B	-
				ダクト及びびダンパ	○	×	×	×	A/B	-
				原子炉補機冷却水設備	○	×	×	×	R/B	-
				原子炉補機冷却水ポンプ	○	×	×	×	R/B	-
				原子炉補機冷却水冷却器	○	×	×	×	R/B	-
				配管及び弁（MS-1 関連補機への冷却水ラインの範囲）	○	×	×	×	R/B	○
				直接関連系（原子炉補機冷却水設備）	○	×	×	×	R/B	○
原子炉補機冷却海水設備	○	×	×	×	CWP/B	○				
原子炉補機冷却海水ポンプ	○	×	×	×	CWP/B	○				
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ	○	×	×	×	R/B	-				
原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ	○	×	×	×	R/B	-				
原子炉補機冷却水冷却器	○	×	×	×	R/B	-				
配管及び弁（MS-1 関連補機への海水供給ラインの範囲）	○	×	×	×	R/B	○				
直接関連系（原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ（異物除去機能を司る部分））	○	×	×	×	CWP/B	○				
取水路（屋外トレンチ含む）	○	×	×	×	屋外	-				
地下埋設	○	×	×	×	地下埋設	-				

※1：1＝外部事象防護対象施設等，2＝屋外設備，3＝外気と繋がる設備，4＝外設となる施設による防護が期待できない設備

※2：R/B：原子炉建屋（外部遮へい建屋，周辺補機棟，燃料取扱棟），A/B：原子炉補助建屋，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋

※3：抽出の観点1～4の評価の結果該当せず

※4：屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備（波及的影響（機能的影響）を及ぼし得る施設として抽出）

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (8/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統 又は機器	重要度分類審査指針		抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2	評価 対象 施設	備考
				泊発電所3号炉 構造物, 系統又は機器	STEP							
					1	2	3	4				
MS-1	2) 安全上必須なその他の構造物, 系統及び機器	2) 安全上特に重要な関連機能	非常用内電源系, 制御室及びその連へい・換気空調系, 原子炉補機冷却水系, 原子炉補機冷却海水系, 直流通電系, 制御用圧縮空気設備 (いずれも, MS-1 関連のもの)	非常用内電源系, 制御室及びその連へい・換気空調系, 原子炉補機冷却水系, 原子炉補機冷却海水系, 直流通電系, 制御用圧縮空気設備 (いずれも, MS-1 関連のもの)	非常用直流電源設備	○	×	×	×	A/B	-	蓄電池室排気装置 ^{※5} 安全袖機閉閉器室空調装置 ^{※6}
						蓄電池	○	×	×	×	R/B A/B DG/B	
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって, 炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが, 敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構造物, 系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし, 原子炉冷却材圧力バウナダリから除外されている許装等の小口径のもの及びバウナダリに直接接続されていないものは除く)	化学体積制御設備の抽出系・浄化系	制御用圧縮空気設備	制御用圧縮空気設備	○	×	×	×	R/B	-	制御用空気圧縮機室空調装置 ^{※7}
					配管及び弁 (MS-1 関連補機への制御用空気供給ラインの範囲)	○	×	×	×	R/B	○	
					化学体積制御設備	○	×	×	×	R/B	-	
					再生熱交換器	○	×	×	×	R/B	-	
					余剰抽出冷却器	○	×	×	×	R/B	-	
					非再生冷却器	○	×	×	×	R/B	-	
					冷却材混床式脱塩塔	○	×	×	×	A/B	-	
					冷却材陽イオン脱塩塔	○	×	×	×	A/B	-	
					冷却材脱塩塔入口フィルター	○	×	×	×	A/B	-	
					冷却材フィルター	○	×	×	×	A/B	-	
体積制御タンク	○	×	×	×	A/B	-						
充てんポンプ	○	×	×	×	A/B	-						
封水注入フィルター	○	×	×	×	A/B	-						
封水ストレーナ	○	×	×	×	A/B	-						
封水冷却器	○	×	×	×	A/B	-						
配管及び弁	○	×	×	×	R/B A/B	-						

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋
 ※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず
 ※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)
 ※5: 外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)
 ※6: 蓄電池等の冷却の観点から評価対象とする。(STEP3で抽出)
 ※7: 制御用空気圧縮装置等の冷却の観点から評価対象とする。(STEP3及びSTEP4で抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (9/16)

分類	定義	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	評価 対象 施設	備考	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2			
							STEP							
							1	2	3	4				
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への温度の放射放射性物質の放出のおそれのある構造物, 系統及び機器	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	評価 対象 施設	備考	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2			
							STEP							
							1	2	3	4				
							○	○	○	○		放射線体廃棄物処理設備	—	—
							○	○	○	○		ガスサージタンク	R/B	—
							○	○	○	○		放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの大きいもの), 使用済燃料ピット (使用済燃料ラックを含む)	R/B	—
							○	○	○	○		使用済燃料ラック	R/B	—
							○	○	○	○		新燃料貯蔵庫 (臨界を防止する機能)	R/B	—
							○	○	○	○		新燃料ラック	R/B	—
							○	○	○	○		燃料取扱クレーン	R/B	—
							○	○	○	○		燃料移送装置	R/B	—
							○	○	○	○		使用済燃料ピットクレーン	R/B	—
							○	○	○	○		燃料取扱棟クレーン	R/B	—
							○	○	○	○		原子炉キャビティ	R/B	—
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
PS-2	2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により炉心冷却が損なわれる可能性の高い構造物系統, 及び機器	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	評価 対象 施設	備考	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2			
							STEP							
							1	2	3	4				
							○	○	○	○		燃料取扱設備 (燃料取扱設備)	R/B	—
							○	○	○	○		原子炉キャビティ	R/B	—
○	○	○	○	燃料取扱設備	R/B	—								
PS-2	3) 燃料を安全に取り扱う機能	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	評価 対象 施設	備考	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2			
							STEP							
							1	2	3	4				
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
○	○	○	○	燃料取扱設備	R/B	—								
PS-2	4) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	評価 対象 施設	備考	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2			
							STEP							
							1	2	3	4				
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
○	○	○	○	燃料取扱設備	R/B	—								
PS-2	5) 加圧器安全弁 (吹き止まり機能)	重要度分類審査指針	機能	構造物, 系統 又は機器	評価 対象 施設	備考	抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ※2			
							STEP							
							1	2	3	4				
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
							○	○	○	○		燃料取扱設備	R/B	—
○	○	○	○	燃料取扱設備	R/B	—								

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋
 ※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず
 ※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (10/16)

分類	定義	重要度分類審査指針		抽出の観点 ^{※1}	設置場所 ^{※2}	評価対象施設	備考				
		機能	構造物、系統又は機器					STEP			
								1	2	3	4
MS-2	1) PS-2 の構造物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構造物、系統及び機器	1) 燃料プールの補給機能	使用済燃料ピット補給水系	燃料取替用水ピット	R/B	-	-				
		2) 放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁、燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系、排気筒(補助建屋)	燃料取替用水ポンプ 配管及び弁 (燃料取替用水ピットから燃料取替用水ポンプを経て、使用済燃料ピットまでの範囲)	R/B	-	-				
MS-2	2) 異常状態への対応上特に重要な構造物、系統及び機器	1) 事故時のプラント状態の把握機能 2) 事故時監視計器の一部	構造物、系統又は機器	中性子源領域中性子束	R/B	-	-				
				原子炉トリップ遮断器の状態	R/B	-	-				
				ほう素濃度 (サンプリング分析)	R/B	-	-				
				1次冷却材圧力	R/B	-	-				
				1次冷却材高温側温度 (広域) 及び1次冷却材低温側温度 (広域)	R/B	-	-				
				加圧器水位	R/B	-	-				
				格納容器圧力	R/B	-	-				
				格納容器高レンジエリアモニタ (低レンジ)	R/B	-	-				
				格納容器高レンジエリアモニタ (高レンジ)	R/B	-	-				
				低温停止への移行	R/B	-	-				
				・1次冷却材圧力、1次冷却材高温側温度 (広域) 及び1次冷却材低温側温度 (広域)、加圧器水位、ほう酸タンク水位	R/B A/B	-	-				
				蒸気発生器隔離	R/B	-	-				
				・蒸気発生器水位 (広域)、補助給水ライオン流量	R/B	-	-				
				蒸気発生器2次側除熱	R/B	-	-				
・蒸気発生器水位 (広域)、蒸気発生器水位 (狭域)、補助給水ライオン流量、主蒸気ライン圧力、補助給水ピット水位	R/B	-	-								
再循環モードへの切替	R/B	-	-								
・燃料取替用水ピット水位、格納容器再循環サンプル水位 (広域)、格納容器再循環サンプル水位 (狭域)	R/B	-	-								

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋, CWP/B: 循環水ポンプ建屋
 ※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず
 ※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (11/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統又は機器	抽出の観点 ^{※1}				設置場所 ^{※2}	評価対象施設	備考
				STEP						
				1	2	3	4			
MS-2	2) 異常状態への対応上特に重要な構造物, 系統及び機器	2) 異常状態の緩和機能 3) 制御室からの安全停止機能	構造物, 系統又は機器 加压器逃がし弁 (手動開閉機能) 加压器後備ヒータ 加压器逃がし弁元弁 (閉時能) 中央制御室外原子炉停止装置	○	×	×	×	R/B	-	-
				○	×	×	×	R/B	-	-
				○	×	×	×	R/B	-	-
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって, PS-1及びPS-2以外の構造物, 系統及び機器 2) 原子炉冷却材の循環機能 3) 放射性物質の貯蔵機能	1) 原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2以外のもの) 2) 原子炉冷却材の循環機能 3) 放射性物質の貯蔵機能	構造物, 系統又は機器 加压器逃がし弁 (手動開閉), 加压器ヒータ (後備ヒータ), 加压器逃がし弁元弁 制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの) 原子炉冷却材圧力バウナダリから除外される計装等の小口径配管, 弁 1次冷却材ポンプ及びその関連系 放射性廃棄物処理施設 (放射能インペントリの小さいもの)	×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-
			化学体積制御設備 (封水注入系, 1次冷却材ポンプスタンドバイ, 配管, 弁) (液体廃棄物処理系 (加压器逃がしタンク, 格納容器サンプ, 廃液貯蔵ピット, 冷却材貯蔵タンク, 格納容器冷却材ドレンタンク, 補助建屋サンプタンク, 洗浄排水タンク, 洗浄排水蒸発装置, 洗浄排水蒸留水タンク, 洗浄排水濃縮廃液タンク, 洗浄排水濃縮廃液移送容器, 液蒸留水タンク, 酸液ドレンタンク, 濃縮廃液タンク)) (固体廃棄物処理設備 (使用済樹脂貯蔵タンク, 固体廃棄物貯蔵庫, ベイラ, 雑固体焼却設備)) 新燃料貯蔵庫 新燃料ラック	×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-
				×	-	-	-	-	-	-

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備

※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋

※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず

※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (12/16)

分類	定義	機能	構造物、系統 又は機器	重要度分類審査指針				抽出の観点 ^{※1}				設置 場所 ^{※2}	評価 対象 施設	備考					
				泊発電所3号炉				STEP											
				構造物、系統又は機器				1	2	3	4								
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構造物、系統及び機器 4) 電源供給機能（非常用を除く）		構造物、系統又は機器	発電機及びその励磁装置（発電機、励磁装置）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
				タービン発電機固定子巻線冷却水系	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
				タービン発電機ガス系	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				タービン発電機密封油系	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				励磁装置	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				蒸気タービン（主タービン、主要弁、配管）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				主蒸気設備（主蒸気、駆動源）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				タービン制御系	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				タービン潤滑油系	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
				復水設備（復水器、復水ポンプ、循環水ポンプ、配管、弁）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				復水器空気抽出系（機械式空気抽出系、配管、弁）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				取水設備（屋外トレンチを含む）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				給水設備（電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、給水加熱器、配管、/弁）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				駆動用蒸気	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				循環水系（循環水ポンプ、配管、弁）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
取水設備（屋外トレンチを含む）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
常用所内電源設備	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
（発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路（MS-1間連以外））	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
直流電源設備（蓄電池、蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路（MS-1間連以外））	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
計測制御用電源設備（電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路（MS-1間連以外））	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
制御棒駆動装置用電源設備	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
送電線	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
変圧器（主変圧器、所内変圧器、予備変圧器、後備変圧器、電路）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
直接関連系（変圧器）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
油劣化防止装置	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
冷却装置	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
発電機負荷開閉器	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
開閉所（母線、遮断器、断路器、電路）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				

※1：1＝外部事象防護対象施設等、2＝屋外設備、3＝外気と繋がる設備、4＝外蔵となる施設による防護が期待できない設備

※2：R/B：原子炉建屋（外部遮へい建屋、周辺補機棟、燃料取扱棟）、A/B：原子炉補助建屋、DG/B：ディーゼル発電機建屋

※3：抽出の観点1～4の評価の結果該当せず

※4：屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備（波及的影響（機能的影響）を及ぼし得る施設として抽出）

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (13/16)

分類	定義	重要度分類審査指針	機能	構築物、系統又は機器	抽出の観点 ^{※1}					設置場所 ^{※2}	評価対象施設	備考				
					STEP				4							
					1	2	3	4								
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	重要度分類審査指針	5) プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	構築物、系統又は機器	柏発電所3号炉					—	—	—				
					原子炉制御系、原子炉計表、プロセス計表	原子炉制御系の一部	×	—	—				—	—	—	—
						原子炉計表の一部	×	—	—				—	—	—	—
						プロセス計表の一部	×	—	—				—	—	—	—
					補助蒸気設備(蒸気供給系配管、弁を含む補助蒸気ドレンタンク、補助蒸気ドレンポンプ、スチームコンバータ、スチームコンバータ給水ポンプ、スチームコンバータ給水タンク)	補助蒸気設備	×	—	—				—	—	—	—
						直接関連系(補助蒸気設備)	×	—	—				—	—	—	—
						軸受水(スチームコンバータのみ)	×	—	—				—	—	—	—
					補助蒸気系、制御用空気設備(MS-1以外)	補助蒸気系、制御用空気設備(MS-1以外)	×	—	—				—	—	—	—
						原子炉補機冷却水設備(MS-1 関連以外)(配管、弁)	×	—	—				—	—	—	—
						軸受冷却設備(軸受冷却水ポンプ、熱交換器、配管、弁)	×	—	—				—	—	—	—
					直接関連系(軸受冷却設備)	直接関連系(軸受冷却設備)	×	—	—				—	—	—	—
						給水処理設備(配管、弁)	×	—	—				—	—	—	—
						2次系純水タンク	×	—	—				—	—	—	—
					燃料被覆管	燃料被覆管	×	—	—				—	—	—	—
						上/下部端柱	×	—	—				—	—	—	—
化学体積制御設備(体積制御タンク、再生熱交換器(胴側)、非再生冷却器(管側)、冷却材泥床式脱塩塔、冷却材陽イオン脱塩塔、冷却材脱塩塔入口フィルタ、冷却材フィルタ、抽出設備関連配管、弁)	×	—	—	—		—	—	—								

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設となる施設による防護が期待できない設備

※2: R/B: 原子炉建屋(外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋

※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず

※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備(波及的影響(機能的影響)を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (14/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統 又は機器	重要度分類審査指針					抽出の観点 ^{※1}	設置 場所 ^{※2}	評価 対象 施設	備考		
				泊発電所3号炉										
				構造物, 系統又は機器										
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があっても, MS-1, MS-2とあいまっつて, 事象を緩和する構造物, 系統及び機器	1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	構造物, 系統又は機器	加圧器逃がし弁 (自動操作)	加圧器逃がし弁 (自動操作)					-	-	-		
					直接関連系 (加圧器逃がし弁)	加圧器から加圧器逃がし弁までの配管	1	2	3				4	
		2) 出力上昇の抑制機能	構造物, 系統又は機器	タービンランバックスイッチ系, 制御棒引抜阻止インターロック	タービンランバックスイッチ系, 制御棒引抜阻止インターロック					-	-	-	-	
					制御棒引抜阻止インターロック	ほう酸補給タンク	1	2	3					4
		3) 原子炉冷却材の補給機能	構造物, 系統又は機器	化学体積制御設備の充てん系, 1次冷却系補給水設備	ほう酸混合器					-	-	-	-	
					ほう酸補給設備配管, 弁									
					1次系純水タンク, 配管, 弁									
		-	-	-	-	1次系補給水ポンプ					-	-	-	-
						直接関連系 (1次系補給水ポンプ)								
						ポンプミニニウムフロワーライン配管, 弁								
-	-	-	-	タービン保安装置					タービン建屋	○ ^{※5}	-			
				主蒸気止め弁 (閉機能)										

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備

※2: R/B: 原子炉建屋 (外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋

※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず

※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備 (波及的影響) を及ぼし得る施設として抽出

※5: 添付書類中の「運転時の異常な過渡変化」のうち「蒸気発生器への過剰給水」の解析において「タービントリップ機能」(タービン保安装置及び主蒸気止め弁 (閉機能)) を影響緩和のための安全機能として期待しているため, タービン保安装置及び主蒸気止め弁は評価対象とする。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが, 独立事象としての重量の可能性を考慮し, 安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで, 安全機能を損なわない設計とすることから, 構造健全性評価は実施しない。

第1表 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出結果 (15/16)

分類	定義	機能	構造物, 系統 又は機器	重要度分類審査指針				評価 対象 施設	備考	
				抽出手の観点 ^{※1}						
				1	2	3	4			
MS-3	2) 異常状態への対応上、 必要な構造物, 系統及 び機器	1) 緊急時対策上重要な もの及び異常状態の 把握機能	原子力発電所緊急時対 策所, 試料採取系, 通 信連絡設備, 放射線監 視設備, 事故時監視計 器の一部, 消火系, 安 全避難通路, 非常用照 明	泊発電所3号炉						
				構造物, 系統又は機器						
				原子力発電所緊急時対策所 (別紙4参照)	×	×	×	×		
				情報収集設備	×	×	×	×		
				通信連絡設備	×	×	×	×		
				資料及び器材	×	×	×	×		
				蒸気発生器ブローダウン系(サンプリング機能を有する範囲)	×	×	×	×		
				試料採取設備(異常時に必要な機能を有する配管, 弁(原子炉冷却材 放射性物質濃度サンプリング分析, 原子炉格納容器雰囲気放射性物 質濃度サンプリング分析))	×	×	×	×		
				通信連絡設備 (1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備)	×	×	×	×		
				放射線監視設備	×	×	×	×		
				事故時監視計器の一部	×	×	×	×		
				消火設備(水消火設備, 泡消火設備, 二酸化炭素消火設備)	×	×	×	×		
				ポンプ冷却水	×	×	×	×		
				ろ過水タンク	×	×	×	×		
				火災検出装置(受信機含む)	×	×	×	×		
防火扉, 防火ダンパ, 耐火壁, 隔壁(消火設備の機能を維持・ 担保するために必要なもの)	×	×	×	×						
安全避難通路	×	×	×	×						
直接関連系 (安全避難通路)	×	×	×	×						
非常用照明	×	×	×	×						

※1: 1=外部事象防護対象施設等, 2=屋外設備, 3=外気と繋がる設備, 4=外設となる施設による防護が期待できない設備

※2: R/B: 原子炉建屋(外部遮へい建屋, 周辺補機棟, 燃料取扱棟), A/B: 原子炉補助建屋, DG/B: ディーゼル発電機建屋

※3: 抽出の観点1~4の評価の結果該当せず

※4: 屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備(波及的影響(機能的影響)を及ぼし得る施設として抽出)

第1表 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出結果 (16/16)

分類	定義	重要度分類審査指針		抽出の観点 ^{※1}				設置場所 ^{※2}	評価対象施設	備考
		機能	構築物、系統又は機器	1	2	3	4			
			構築物、系統又は機器		構築物、系統又は機器					
	外部事象防護対象施設を内包する建屋				原子炉建屋 (外部遮へい建屋、周辺補機棟、燃料取扱棟)					外設施設
					原子炉補助建屋					外設施設
					ディーゼル発電機建屋					外設施設
					循環水ポンプ建屋					○※5
					A1, A2-燃料油貯油槽タンク室					○
					B1, B2-燃料油貯油槽タンク室					○
					A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ					○
					B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ					○
					タービン建屋					○※6

○：Yes X：No —：該当せず^{※3}

※1：1＝外部事象防護対象施設等，2＝屋外設備，3＝外気と繋がる設備，4＝外設となる施設による防護が期待できない設備
 ※2：R/B：原子炉建屋 (外部遮へい建屋、周辺補機棟、燃料取扱棟)，A/B：原子炉補助建屋，DG/B：ディーゼル発電機建屋，CWP/B：循環水ポンプ建屋
 ※3：抽出の観点1～4の評価の結果該当せず
 ※4：屋外にある外部事象防護対象施設については、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部 (扉類) が損傷する可能性があるため、当該建屋内の外部事象防護対象施設を安全機能を損なわないかを評価する。また、当該建屋は、外部事象防護対象施設を内包する区画 (取水ピットボンプ室及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ等) の上屋となり、当該区画への波及的影響 (機能的影響) を及ぼし得る施設として抽出)
 ※5：タービン建屋については、蒸気発生器への過剰給水の過剰給水の緩和手段 (タービントリップ機能) として期待している。タービン保安装置及び主蒸気止め弁を内包する建屋であるため、評価対象として抽出する。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することははないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とすることから、外設防護機能に関する評価は実施しない。また、当該建屋は、外部事象防護対象施設を内包する原子炉建屋の隣接建屋であるため、原子炉建屋への波及的影響評価を実施する。

○津波防護施設等については、評価対象施設等に抽出されないが、別紙1に示すとおり、泊発電所の津波防護施設等については、基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。

外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備
及び津波監視設備の防護方針について

1. 概要

津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備（以下「津波防護施設等」という。）の外部事象に対する防護方針を以下に示す。

2. 防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，泊発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。

外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フローを図 1 に示す。

- (1) 設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。
- (2) 津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。
- (3) 津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，泊発電所の津波防護施設については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。

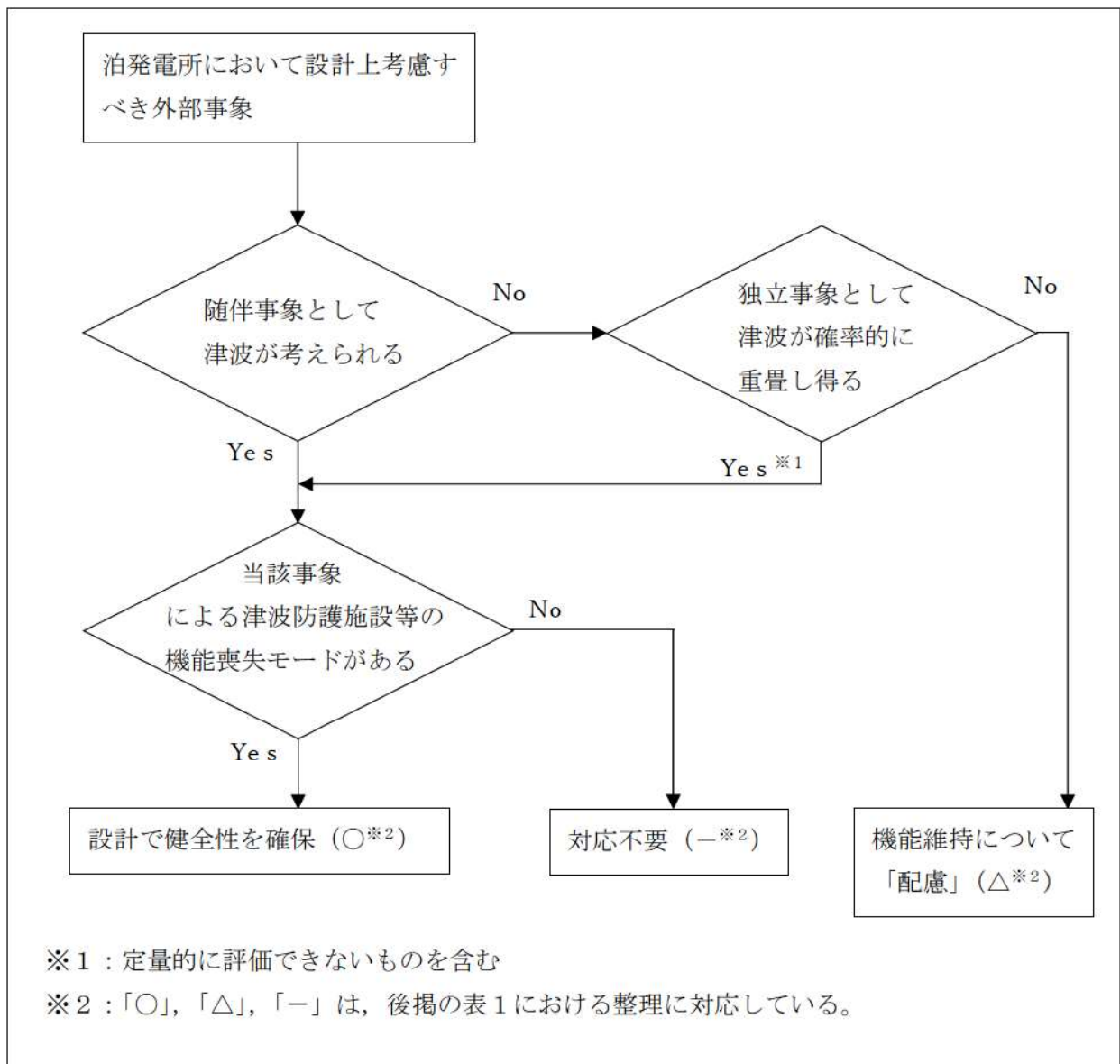


図1 外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フロー

3. 検討結果

上記フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を以下に示す。

(詳細は表1にとおり)

(1) 津波の随伴、重畳が否定できない事象^{※1}に対する防護方針

これらの外部事象に対しては、津波との随伴若しくは重畳の可能性を否定できないため、荷重の重ね合わせのタイミングを考慮した上で設計への反映の要否を検討し、津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては、津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※1：地震，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，生物学的事象，森林火災

(2) 津波の随伴、重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」，「火山の影響」の2つの外部事象に津波は随伴せず，また，基準津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待できるように以下の対応を自主的に実施する。

a. 竜巻

設計竜巻と基準津波が重畳する年超過確率は約●（/年）であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物の衝撃荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

追而【地震津波側審査の反映】
(上記の●については，地震津波側審査結果を受けて反映のため)

b. 火山の影響

設計で想定する降下火砕物の噴火と基準津波が重畳する年超過確率は約●（/年）^{※2}であり，火山の影響と基準津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

※2:約●万年前の●を考慮

追而【地震津波側審査の反映】
(上記の●については，地震津波側審査結果を受けて反映のため)

表 1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表 (1/3)

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮要	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要 (①か②が○)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映の可否	機能維持のための対応方針
地震	○	-	○	あり 地震荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Sクラスとして基準地震動Ssに対し健全性を維持し、津波に対する防護機能を維持する。 また、津波と余震の組み合わせも考慮する。
風 (台風)	-	○	○	あり 風荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重、津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは、風荷重を考慮した設計とする。
竜巻	-	-	-	なし 以下とおり、重畳の頻度は無視し得る。 ・設計竜巻の確率：約 2.5×10^{-7} /年 ・基準津波の年超過率：約 ●/年 ^{※3} →重畳確率：約 ●/年 年超過率が 1×10^{-7} /年未満であり、有意ではない。	△	防潮堤・3号戸取水ピットスクリーン室防水壁の設計においては、自主的に以下の配慮を行い、信頼性を高める。 ・風圧力に対しては、健全性を維持する設計とする。 ・飛来物については、大規模な損傷に至り難い構造とする。 ・津波監視カメラ ^{※1} は、風荷重を考慮した設計とする。

※1：津波監視カメラを含めた監視カメラの外部事象に対する考えは別紙2参照

※3：設置変更許可申請書添付書類六「●・●超過確率の参照」を考慮

追而【地震津波側審査の反映】

(上記●については、地震津波側審査結果を受けて反映のため)

○：津波の随伴、重畳が否定できないため、設計で健全性を確保する事象 (○)

△：津波の随伴、重畳は有意ではないが、機能維持については設計上配慮する事象 (△)

●：対応が不要な事象 (●)

表1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表 (2/3)

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮する要	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要 (①か②が○)	津波防護施設等の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映の要否	機能維持のための対応方針
凍結	—	○	○	あり 凍害により止水目地が損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	止水目地は最低気温を考慮した設計とする。
降水	—	○	○	なし 降雨による海水面の上昇は無視し得る。	—	—
積雪	—	○	○	あり 積雪荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。
落雷	—	○	○	あり 落雷による津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については、既設避雷設備の遮へい範囲内への設置を行う。

: 津波の随伴、重畳が否定できないため、設計で健全性を確保する事象 (○)
 : 津波の随伴、重畳は有意ではないが、機能維持については設計上配慮する事象 (△)
 : 対応が不要な事象 (—)

表1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表 (3/3)

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮要	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要(②が①が○)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
火山の影響	—	—	—	なし 以下のおとおり、重畳の頻度は無視し得る。 ・想定する火山の確率：●/年 ^{**2} ・基準津波の年超過率：●/年 ^{**3} ⇒重畳確率：●/年 年超過率が 1×10^{-1} /年未満であり有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに、降灰後に降下火砕物を適時除去可能な設計とする。
地滑り	—	○	○	なし 地滑りにより津波防護施設が機能喪失に至ることはない。	—	—
生物的事象	—	○	○	なし 生物による影響(閉塞、侵入)による機能喪失モードを有しない。	—	—
森林火災	—	○	○	なし 防火帯により森林との離隔距離が確保されるため、熱影響を受けることはない。	—	—

※2：敷地で確認された降下火砕物の層厚は●cmと評価しており、この降下火砕物噴出年代は約●万年前であることを考慮

※3：設置変更許可申請書添付書類六「●●●超過確率の参照」を考慮

追而【地震津波側審査の反映】

(上記●については、地震津波側審査結果を受けて反映のため)

○：津波の随伴、重畳が否定できないため、設計で健全性を確保する事象 (○)

△：津波の随伴、重畳は有意ではないが、機能維持については設計上配慮する事象 (△)

—：対応が不要な事象 (—)

竜巻影響評価における監視カメラの扱いについて

1. 概要

中央制御室には、発電用原子炉施設の外の状況を把握するために、原子炉建屋屋上他に設置した監視カメラの映像により、津波等の自然現象を昼夜にわたり監視できる設備を設置することとしている。本設備について、竜巻の影響を考慮した防護方針について以下にまとめる。

2. 竜巻影響について

(1) 設計方針

監視カメラは外部事象防護対象施設ではないが、損傷した場合でも外部事象防護対象施設に対して波及的影響を及ぼさないこと、竜巻及びその随件事象に対して機能維持、又は竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、必要に応じプラントを停止し、安全上支障のない期間に修復する等の対応により安全機能を損なわない設計としている。具体的には、竜巻発生時において監視カメラの機能を期待できるように、竜巻の風荷重(100m/s)に対し、監視カメラの構造健全性を維持する設計とする。

また、監視カメラが損傷したとしても代替設備及び措置(運転員による確認)によって、原子炉施設に影響を及ぼす可能性がある自然現象等を把握することが可能な設計としている。(図1及び表1参照)

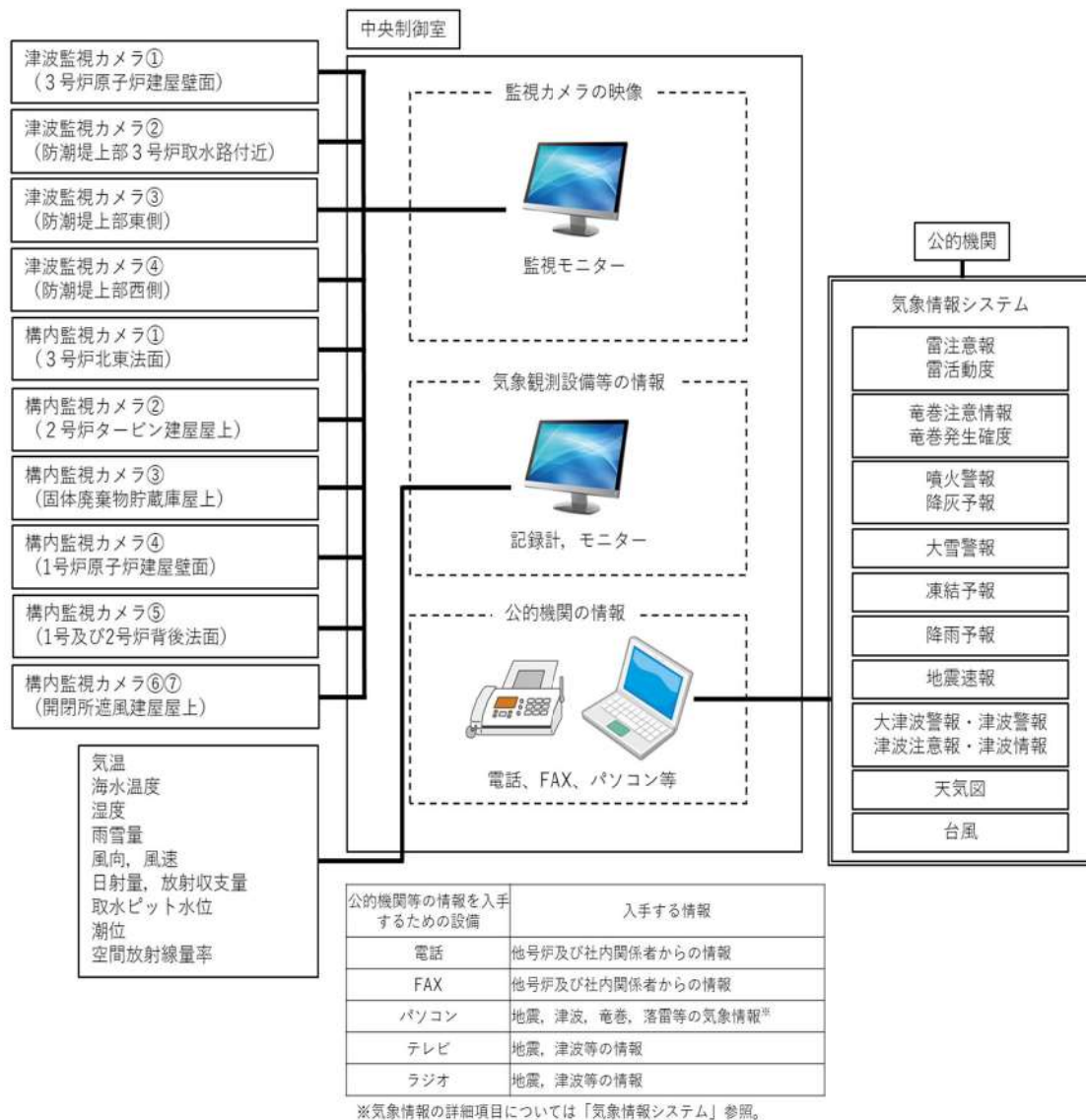


図1 中央制御室における外部状況の把握イメージ

表1 監視カメラにより把握可能な自然現象等

自然現象等	監視カメラにより把握できる 発電用原子炉施設の外の状況	監視カメラ以外の 設備等による把握手段
地震	地震による発電所構内及び発電用原子炉施設の損壊状況	公的機関（地震速報）
津波	津波の襲来状況や発電所構内の浸水状況	取水ピット水位計
		潮位計
		公的機関（津波警報・注意報）
風（台風）	風（台風）・竜巻（飛来物含む）による 発電所構内及び発電用原子炉施設の損壊 状況	気象観測設備（風向，風速）
竜巻		公的機関（台風，竜巻注意情報）
降水	発電所構内の浸水状況	気象観測設備（雨雪量）
		公的機関（降雨予報）
積雪	発電所構内及び発電用原子炉施設の積雪 状況	気象観測設備（雨雪量）
		公的機関（大雪警報）
落雷	発電所構内及び発電用原子炉施設周辺の 落雷状況	公的機関（雷注意報）
火山の影響	発電所構内及び発電用原子炉施設の降下 火砕物堆積状況	公的機関（噴火警報，降灰予報）
生物学的事象	発電所前方の海面における海生生物（ク ラゲ等）の襲来状況	取水ピット水位計 ^{※1}
		潮位計 ^{※2}
森林火災	火災状況， ばい煙の方向確認	気象観測設備（風向，風速）
飛来物 （航空機落下）	飛来物による発電所構内及び発電用原子 炉施設の損壊状況	目視確認 ^{※3}
近隣工場等の火災	火災状況， ばい煙の方向確認	気象観測設備（風向，風速）
船舶の衝突	船舶の衝突による発電用原子炉施設の損 壊状況	目視確認 ^{※3}

※1 取水口が閉塞した場合，取水ピットの水位が低下するため把握可能

※2 取水口が閉塞した場合，潮位と取水ピット水位に水位差が生じるため把握可能

※3 建屋外で状況確認

耐震Sクラス施設について

「竜巻影響評価ガイド」においては、竜巻及びその随伴事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを確認する施設（竜巻影響評価ガイドにおいては竜巻防護施設と定義）は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統、機能）及び建屋、構築物等とされている。一方、今回の竜巻影響評価では、安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する施設を外部事象防護対象施設として選定しているため、外部事象防護対象施設に該当しない耐震Sクラス施設の有無について確認した結果、第1表に示すとおり、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備が抽出されたが、以下の理由により、竜巻影響評価の対象として追加する必要はないと判断した。

〈津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を評価対象施設としない理由〉

- ・津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備は、津波に対して機能を発揮する施設であり、竜巻と津波の重畳の考慮要否を検討することで、竜巻に対する機能維持の要否が判断可能である。
- ・竜巻及びその随伴事象によりこれらの施設が損傷することを想定した場合、基準津波に対する影響を考慮する必要があるが、津波と竜巻は発生原因が異なり独立事象であること、及び基準津波の年超過確率（● /年）と設計竜巻（ $V_D=100\text{m/s}$ ）の発生頻度（約 2.5×10^{-7} /年）を踏まえると、敷地レベルを超える津波と設計竜巻が同時に発生する可能性は小さい。また、基準津波と設計竜巻の発生頻度を踏まえると、竜巻及びその随伴事象により津波防護施設等が損傷した場合でも当該機能が必要となる前に修復等の対応が可能と考えられる。

追而【地震津波側審査の反映】
（上記●については、地震津波側審査結果を受けて反映のため）

第1表 耐震Sクラス設備における評価対象施設の抽出結果 (1/2)

耐震重要度分類	機能別分類	設備別分類	構築物, 系統又は機器	安全重要度クラス 1 or 2 or 3 (※1)
Sクラス	a. 「原子炉冷却材圧力バウンダリ」 (「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成25年6月28日告示)」において記載されている定義と同様)を構成する機器・配管系	主要設備	・原子炉容器	○
			・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	○
		補助設備	・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	○
		直接支持構築物	・原子炉容器・蒸気発生器・1次冷却材ポンプ・加圧器の支持構築物	○
	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構築物		○	
	b. 使用済燃料を貯蔵するための施設	主要設備	・使用済燃料ピット	○
			・使用済燃料ラック	○
	c. 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設, 及び原子炉の停止状態を維持するための施設	主要設備	・制御棒クラスタ及び制御棒駆動装置(トリップ機能に関する部分)	○
			・化学体積制御設備のうち, ほう酸注入ライン	○
		補助設備	・炉心支持構築物及び制御棒クラスタ案内管	○
			・非常用電源及び計装設備	○
	直接支持構築物	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構築物	○	
	d. 原子炉停止後, 炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・主蒸気・主給水設備(主給水逆止弁より蒸気発生器2次側を経て, 主蒸気隔離弁まで)	○
			・補助給水設備	○
			・余熱除去設備	○
		補助設備	・原子炉補機冷却水設備(当該主要設備に係るもの)	○
			・原子炉補機冷却海水設備	○
			・燃料取替用水ピット	○
			・炉心支持構築物(炉心冷却に直接影響するもの)	○
		直接支持構築物	・非常用電源及び計装設備	○
e. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後, 炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・安全注入設備	○	
		・余熱除去設備(再循環用)	○	
		・燃料取替用水ピット	○	
	補助設備	・原子炉補機冷却水設備(当該主要設備に係るもの)	○	
		・原子炉補機冷却海水設備	○	
		・中央制御室の遮へいと空調設備	○	
		・非常用電源及び計装設備	○	
	直接支持構築物	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構築物	○	

※1 クラス3については, 安全評価上その機能に期待するものに限る。

第1表 耐震Sクラス設備における評価対象施設の抽出結果 (2/2)

耐震 重要度 分類	機能別分類	設備別分類	構築物, 系統又は機器	安全重要度 クラス1 or 2 or 3 (※1)	
Sクラス	f. 原子炉冷却材圧力 バウンダリ破損事 故の際に, 圧力障 壁となり放射性物 質の拡散を直接防 ぐための施設	主要設備	・原子炉格納容器	○	
			・原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁	○	
		補助設備	・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	○	
		直接支持構造物	・機器・配管等の支持構造物 ・電気計装設備の支持構造物	○ ○	
	g. 放射性物質の放出を伴 うような事故の際に, その外部放散を抑制す るための施設であり, 上記f. 以外の施設	主要設備		・原子炉格納容器スプレイ設備	○
				・燃料取替用水ピット	○
				・アニュラスシール	○
				・アニュラス空気浄化設備	○
		補助設備		・排気筒	○
				・原子炉補機冷却水設備 (当該主要設備に係るもの)	○
	直接支持構造物		・原子炉補機冷却海水設備 ・非常用電源及び計装設備	○ ○	
	h. 津波防護機能を有する 設備及び浸水防止機能 を有する設備	主要設備		・津波防護施設 (防潮堤, 3号炉取水ピットスクリーン室 防水壁, 1号及び2号炉取水路流路縮小工, 3号炉放水 ピット流路縮小工, 1号及び2号炉放水路逆流防止設 備, 貯留堰)	該当しない
				・浸水防止設備 (水密扉, 貫通部止水蓋, ドレンライン逆 止弁, 浸水防止蓋, 貫通部止水処置)	該当しない
		直接支持構造物		・機器等の支持構造物	該当しない
	i. 敷地における津波監視 機能を有する施設	主要設備		・津波監視カメラ, 取水ピット水位計, 潮位計	該当しない
		補助設備		・非常用電源及び計装設備	○
直接支持構造物			・機器, 電気計装設備等の支持構造物	○	
j. その他	主要設備		・使用済燃料ピット水補給ライン	○	
			・炉内構築物	○	
			・非常用電源及び計装設備	○	
			・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	○	

※1 クラス3については, 安全評価上その機能に期待するものに限る。

緊急時対策所の竜巻防護方針について

1. 竜巻に対する防護方針

緊急時対策所は、設計基準対象施設かつ重大事故等対処施設として位置付けられており、それぞれに対し以下の防護方針に基づき、必要とされる機能を維持する設計としている。

設計基準対象施設としては、安全重要度分類のクラス3施設（MS-3）に対する防護方針に従い、損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とすることとしている。

また、重大事故等対処施設としては、緊急時対策所に配置される種々の重大事故等対処設備に対し、同一機能の設備には多様性を考慮する等の配慮により、共通要因である設計竜巻により設計基準事故対処設備等と同時に機能を喪失しないようにすることで、必要な機能を維持する方針としている。

2. 防護方針への適合性

緊急時対策所においては、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設として、「設置許可基準規則」第34条及び第61条に示される要求に応じた各種の設備が設置される。これら設備の配置等の特徴を踏まえ、竜巻に対する機能維持のための方針を整理した結果を表1に示す。

大部分の設備は緊急時対策所及び空調上屋に内包されるが、緊急時対策所は重大事故等対処施設として要求される遮蔽性、耐震性を考慮した堅牢な構造であり、また、空調上屋は緊急時対策所と同等な設計であることから、内部の設備は設計竜巻に対し防護される^{*}。また、屋外の一部設備が仮に竜巻により損傷した場合でも、同一機能を有する他の設備が多様性及び多重性をもって配備されている。

以上より、上述の設計基準対象施設としての防護方針及び重大事故等対処施設としての防護方針に適合したものとなっている。

^{*}: 緊急時対策所及び空調上屋については、外部事象防護対象施設を内包する建屋（原子炉建屋（周辺補機棟）等）と同じ評価手法により、設計荷重に対して構造健全性が維持されることを確認している。

表1 緊急時対策所の設備と竜巻に対する設計方針（1／2）

必要な機能	設計基準事故対処設備等	重大事故等対処設備	保管・設置箇所	竜巻に対する機能維持
居住性の確保	緊急時対策所	同左	屋外	構造健全性を確保
	—	緊急時対策所指揮所遮へい 緊急時対策所待機所遮へい	屋外	構造健全性を確保
	—	可搬箇所： 可搬型新設緊急時対策所空 気浄化ファン 可搬型新設緊急時対策所空 気浄化フィルタユニット、 配管等	屋内	空調上屋による外殻防護
	—	常設箇所： 配管等	屋内 屋外	【屋内設備】 緊急時対策所および空調 上屋による外殻防護 【屋外設備】 防護対策実施
	—	可搬箇所： 空気供給装置（空気ポン プ）、配管等	屋内	空調上屋による外殻防護
	—	常設箇所： 配管等	屋内 屋外	【屋内設備】 緊急時対策所および空調 上屋による外殻防護 【屋外設備】 防護対策実施
	—	圧力計	屋内	緊急時対策所による外殻 防護
	酸素濃度・二酸化炭素濃 度計	同左	屋内	緊急時対策所による外殻 防護
	—	緊急時対策所可搬型エア モニタ	屋内	緊急時対策所による外殻 防護
	—	可搬型モニタリングポスト 可搬型気象観測設備	屋内	緊急時対策所による外殻 防護
必要な情報の 把握	データ収集計算機 ERSS 伝送サーバ データ表示端末	同左	屋内 一部屋外	【屋内設備】 原子炉補助建屋及び緊急 時対策所による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷し た場合でも多様性を有す る他の回線で代替
電源の確保	非常用低圧母線	—	屋内	緊急時対策所による外殻 防護
	—	可搬箇所： 緊急時対策所用発電機	屋外	分散配置
	—	常設箇所： 接続盤	屋内 屋外	【屋内設備】 緊急時対策所による外殻 防護 【屋外設備】 防護対策実施

表1 緊急時対策所の設備と竜巻に対する設計方針（2／2）

必要な機能	設計基準事故対処設備等	重大事故等対処設備	保管・設置箇所	竜巻に対する機能維持
通信設備	衛星電話設備（固定型） 衛星電話設備（FAX） 衛星電話設備（携帯型） 無線連絡設備（固定型） 無線連絡設備（携帯型） 統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備	同左	屋内 一部屋外	【屋内設備】 原子炉補助建屋及び緊急時対策所による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも多様性を有する他の回線で代替
	—	インターフォン テレビ会議システム（指揮所・待機所間）	屋内 一部屋外	【屋内設備】 原子炉補助建屋及び緊急時対策所による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも多様性を有する他の回線で代替
	運転指令設備 加入電話設備 電力保安通信用電話設備 移動無線設備 社内テレビ会議システム 専用電話設備	—	屋内 一部屋外	【屋内設備】 原子炉補助建屋及び緊急時対策所による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも多様性を有する他の回線で代替

ディーゼル発電機燃料油移送配管に対する設計飛来物の影響について

1. 概要

外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機燃料油移送配管を内包している「A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ」及び「B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ」（以下、「燃料油貯油槽トレンチ」という。）は埋設されているものの、上部開口部には、コンクリート蓋が設置されている。また、点検口（9箇所）については、鋼製蓋が設置されているため（図1参照）、当該トレンチ上部のコンクリート蓋及び鋼製蓋に設計飛来物が衝突した場合の当該配管への影響について確認した。

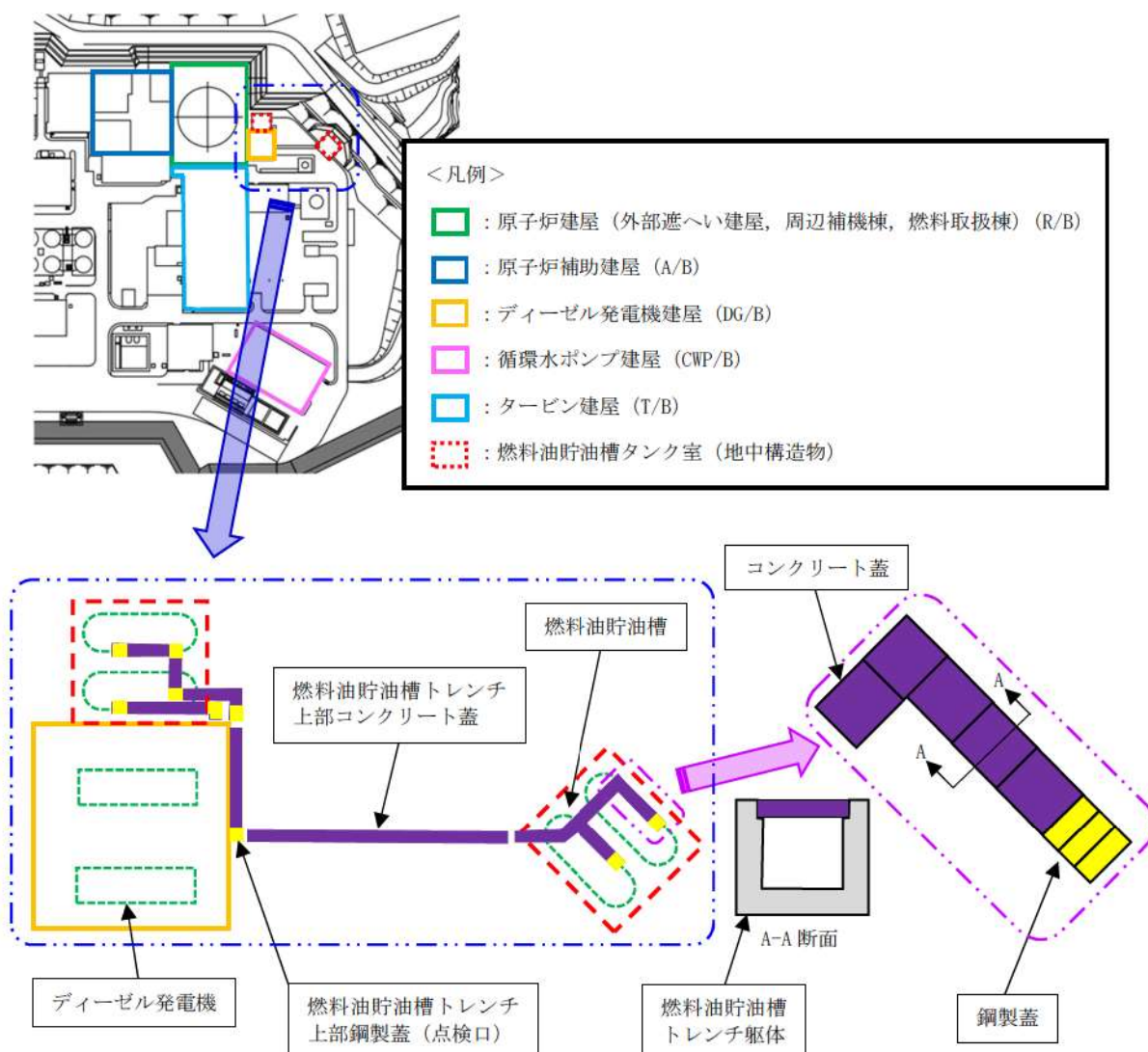


図1 燃料油貯油槽トレンチ上部のコンクリート蓋及び鋼製蓋の概略配置図

2. 確認結果

当該トレンチ上部のコンクリート蓋及び鋼製蓋について、設計飛来物のうち運動エネルギー、貫通力が最大となる鋼製材が衝突した場合の当該配管への影響について確認した。

(1) コンクリート蓋に鋼製材が衝突した場合の影響

コンクリート蓋の厚さは270 mmであり、コンクリートの貫通限界厚さ(210 mm)以上の厚さが確保されているため、当該蓋に鋼製材が衝突しても貫通は発生しないが、裏面剥離限界厚さ(370 mm)は確保されていないため、裏面剥離が発生する可能性がある。

裏面剥離が発生したとしても、当該配管の厚さは6 mmあり、剥離したコンクリートの衝突によって当該配管が損傷(貫通)する可能性は低いと考えるものの、当該配管の機能に影響を与える可能性は否定できないため、当該蓋部に対して竜巻飛来物防護対策設備による竜巻防護対策を実施する。

(2) 鋼製蓋に鋼製材が衝突した場合の影響

鋼製蓋の厚さは6 mmであり、鋼板の貫通限界厚さ(22 mm)は確保されていない。また、当該蓋部には、鋼板製のカバーが設置されているものの、鋼製材が衝突した場合、当該カバーを貫通し当該蓋も貫通する可能性は否定できないため、当該蓋部に対して竜巻飛来物防護対策設備による竜巻防護対策を実施する。

3. 竜巻防護対策(案)

当該蓋部に対して実施する竜巻防護対策(案)を以下に示す。

(1) コンクリート蓋部

裏面剥離が発生しない厚さを確保した蓋に交換する、当該蓋部に当該蓋の厚さを考慮して裏面剥離が発生しないために必要な厚さを確保した鋼板を設置する又はそれらを適切に組み合わせる。(竜巻防護板又は竜巻防護鋼板の設置)

(2) 鋼製蓋部

貫通が発生しない厚さを確保した蓋に交換する、当該蓋部に当該蓋の厚さを考慮して貫通が発生しないために必要な厚さを確保した鋼板を設置する又はそれらを適切に組み合わせる。(竜巻防護鋼板の設置)

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について

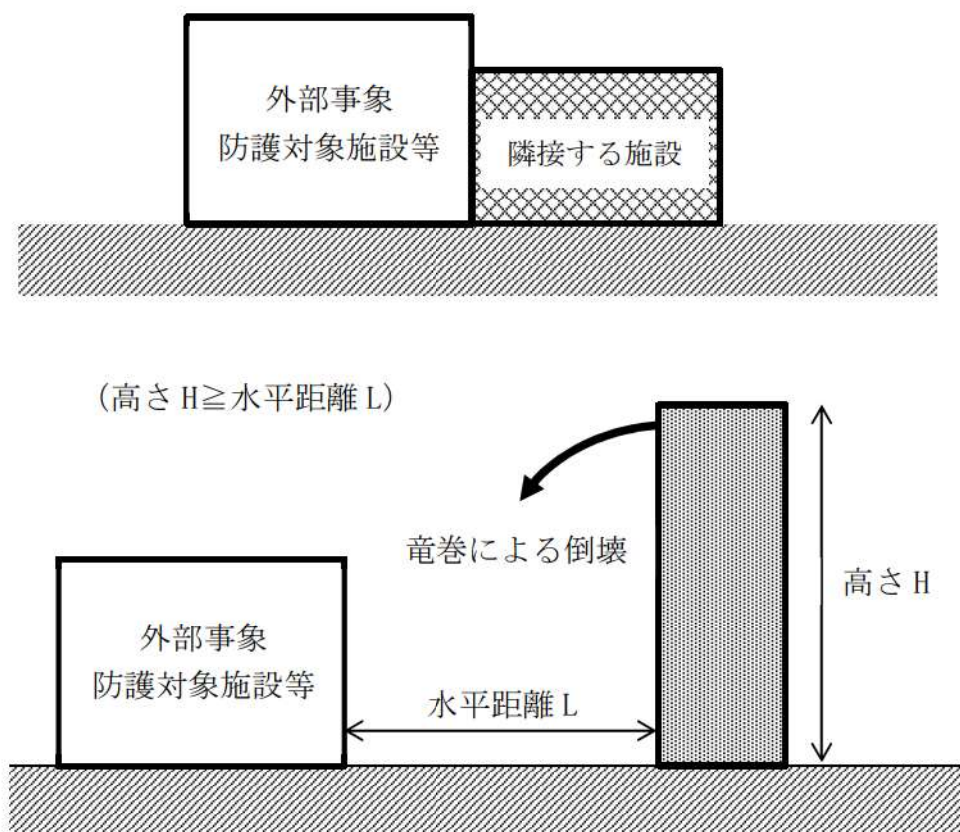
1. 抽出方針

発電所構内の構築物、系統及び機器のうち外部事象防護対象施設等を除く施設（以下「その他の施設」という。）のうち、外部事象防護対象施設等に対する波及的影響として、以下の観点から波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

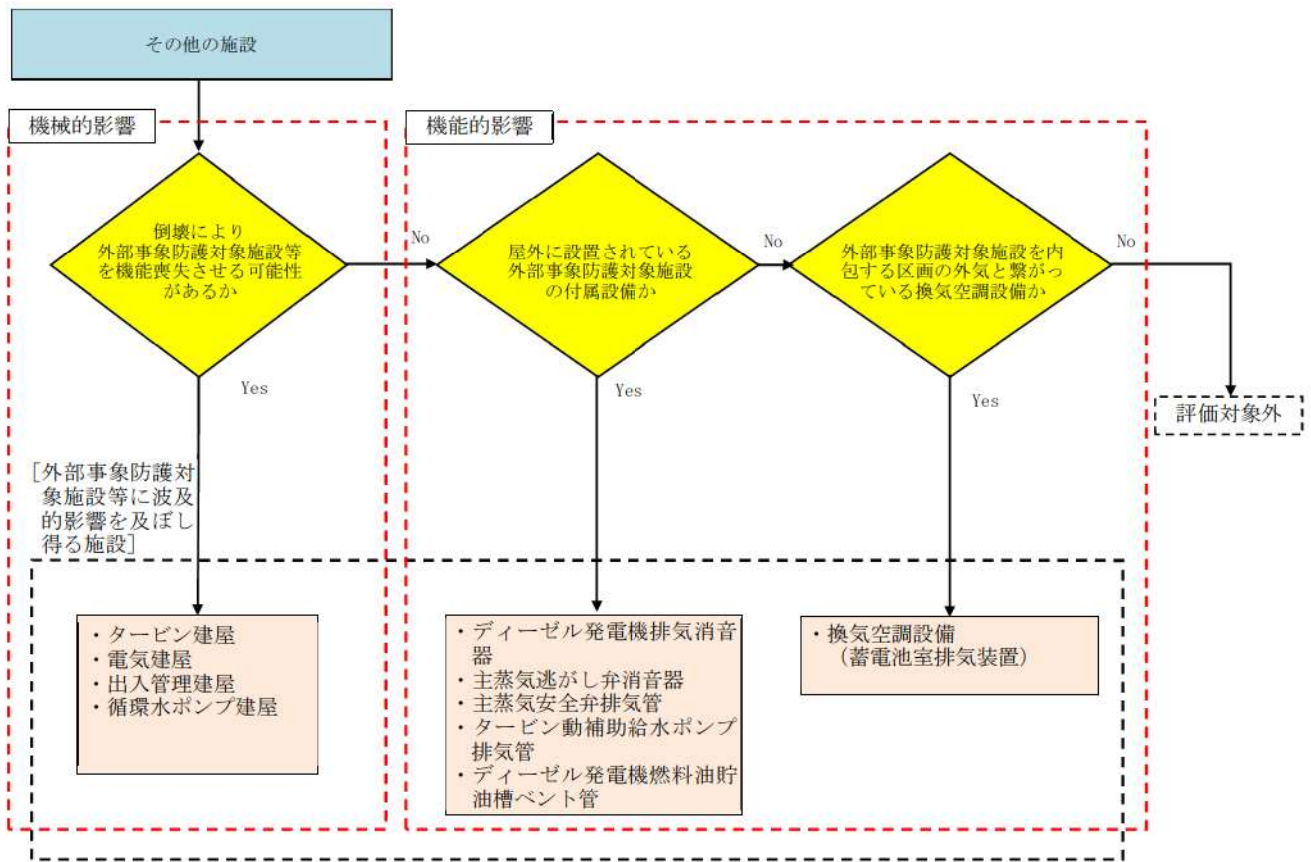
1.1 機械的影響の観点での抽出

外部事象防護対象施設等に対して、機械的影響の観点から、施設が倒壊することにより、外部事象防護対象施設等の機能を喪失させる可能性がある施設及び隣接する施設を抽出する。第 1.1.1 図に示すとおり、隣接施設及び施設の高さが外部事象防護対象施設等との距離以上である施設を抽出した。

抽出フローを第 1.1.2 図に、抽出結果を第 1.1.1 表及び第 1.1.3 図に示す。また、抽出結果の詳細を、別紙 1 「外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に係る調査結果について」に示す。



第 1.1.1 図 隣接する施設及び倒壊により外部事象防護対象施設等に損傷を及ぼし得る施設



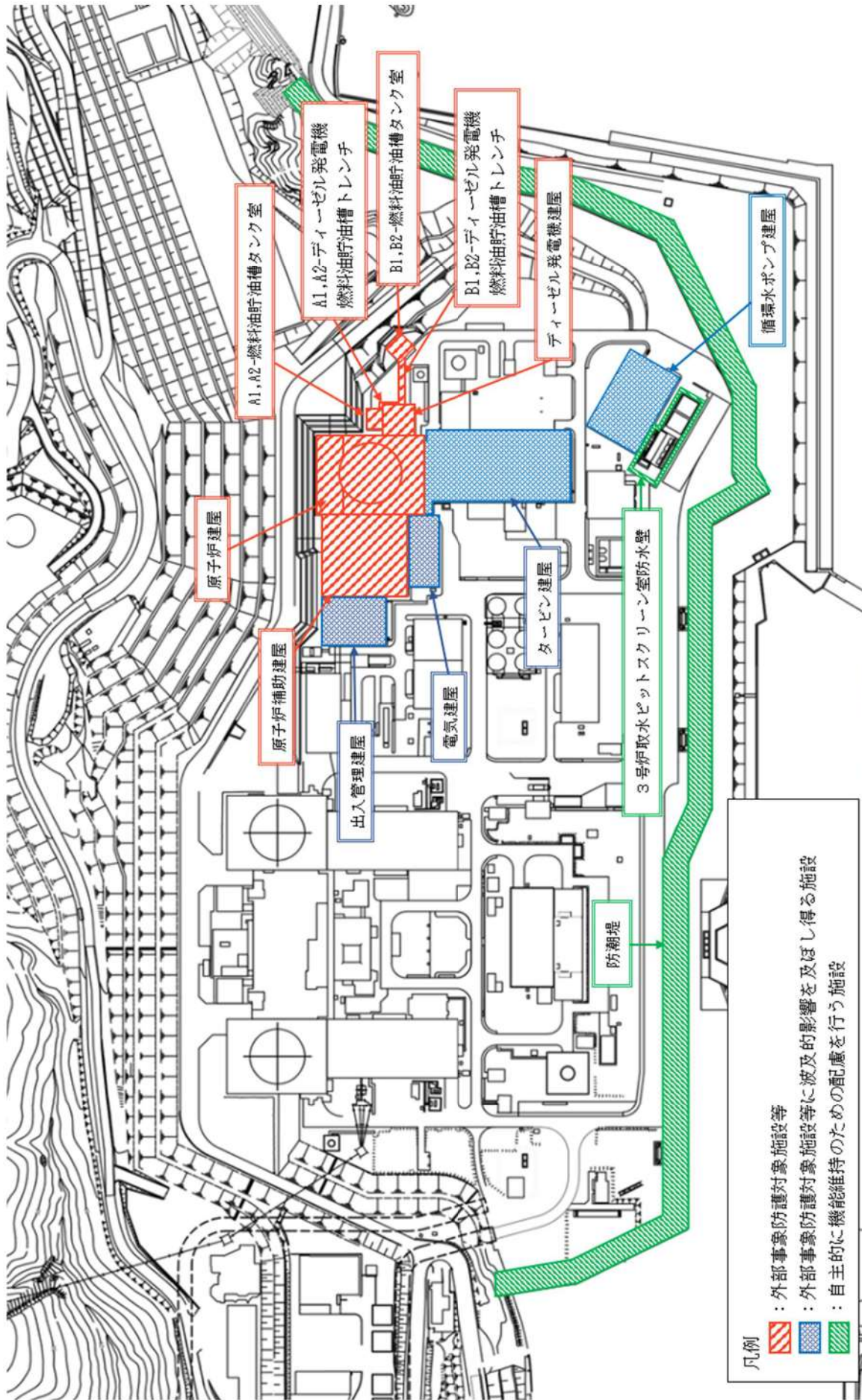
第 1.1.2 図 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー

第 1.1.1 表 機械的影響の観点からの抽出結果

外部事象防護対象施設等へ 損傷を及ぼす可能性のある 建物及び構築物等	外部事象防護対象施設等	地上高 (m)	外部事象防護対象 施設等までの最短 距離 (m)	抽出 結果
タービン建屋	原子炉建屋	40.7	隣接	○
電気建屋	原子炉建屋 原子炉補助建屋	18.7	隣接	○
出入管理建屋	原子炉補助建屋	15.8	隣接	○
循環水ポンプ建屋	原子炉補機冷却海水ポンプ, 原子炉補機冷却海水ポンプ出口 ストレーナ	32.7	建屋内設置※1	○

(注) 機械的影響の観点からの主な抽出結果を記載している。

※1：循環水ポンプ建屋は、原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ、原子炉補機冷却海水ポンプ、配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）を内包している。



- 凡例
- : 外部事象防護対象施設等
 - : 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
 - : 自主的に機能維持のための配慮を行う施設

第 1.1.3 図 機械的影響の観点からの抽出結果

2. 機能的影響の観点での抽出

2.1 外部事象防護対象施設の付属施設のうち屋外にある設備

外部事象防護対象施設に対して、機能的影響の観点（「屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備」）から、機能喪失に陥った場合に外部事象防護対象施設も機能喪失する可能性がある施設を抽出した。抽出結果を第 2.1.1 表に示す。

第 2.1.1 表 機能的影響の観点からの抽出結果

外部事象防護対象施設	屋外にある付属施設
ディーゼル発電機	ディーゼル発電機排気消音器
主蒸気逃がし弁	主蒸気逃がし弁消音器
	主蒸気安全弁排気管
タービン動補助給水ポンプ	タービン動補助給水ポンプ排気管
A1,A2-燃料油貯油槽タンク室 B1,B2-燃料油貯油槽タンク室	ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

2.2 外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備

外部事象防護対象施設に対して、機能的影響の観点（外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備）から、機能喪失に陥った場合に外部事象防護対象施設も機能喪失する可能性がある施設を抽出した。抽出結果を第 2.2.1 表に示す。

第 2.2.1 表 機能的影響の観点からの抽出結果

外部事象防護対象施設	外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備
蓄電池	換気空調設備（蓄電池室排気装置）

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に係る 調査結果について

泊発電所における波及的影響を及ぼし得る施設に係るウォークダウンは、平成 25 年 6 月 24～25 日、平成 27 年 7 月 24 日～11 月 17 日及び令和 4 年 11 月 22 日に実施した。

調査では、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設の外殻に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出し、倒壊による影響を及ぼす可能性について確認を行った。

1. 調査範囲

外部事象防護対象施設等の周りの最も高い構築物である補助ボイラー煙突の高さを基準として、約 45m の範囲とした。

2. 調査方法

調査範囲内にある施設について、外部事象防護対象施設等の周辺の状況を確認し、隣接施設及び比較的近接している施設を抽出するとともに、倒壊による影響の可能性の観点から寸法測定、設置場所の確認、写真撮影等を行った。具体的な内容については以下のとおり。

(1) 寸法測定

外部事象防護対象施設等からの離隔距離の測定、対象物の平面寸法及び高さを、計測器による測定及び図面等により確認した。

(2) 設置場所

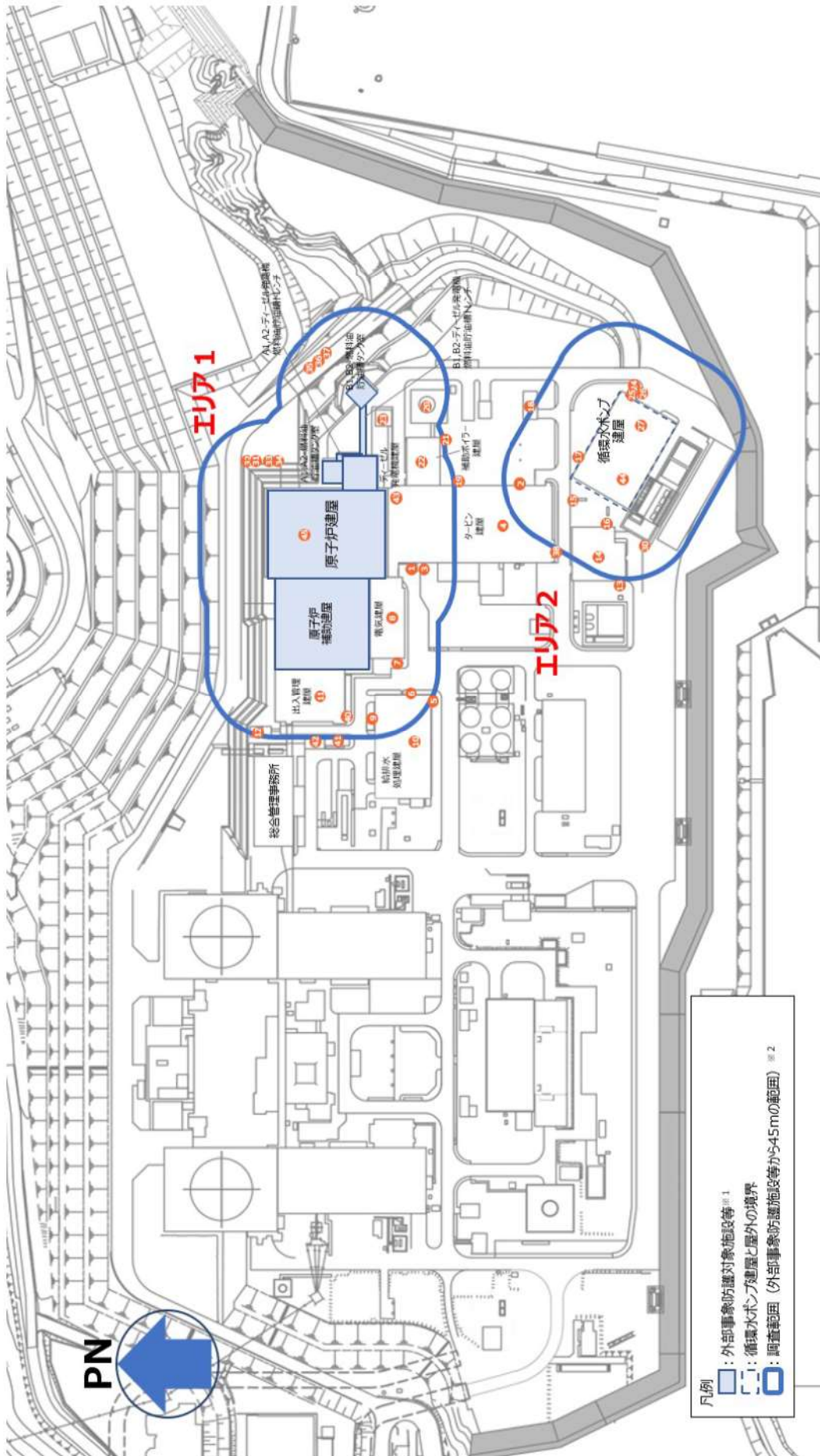
確認した施設について、配置図の作成及び、写真撮影を実施した。

その他、現地で確認できない情報（重量、寸法等）については、設計図書等により確認した。

3. 調査結果

本調査で抽出された、波及的影響を及ぼし得る施設を第 3.1 図～第 3.3 図及び第 3.1 表～第 3.3 表に示す。外部事象防護対象施設等から約 45m の範囲内に設置されている設備及び建物・構築物を合わせて 45 施設を抽出し、第 3.4 図のフローに基づいて評価を行った。

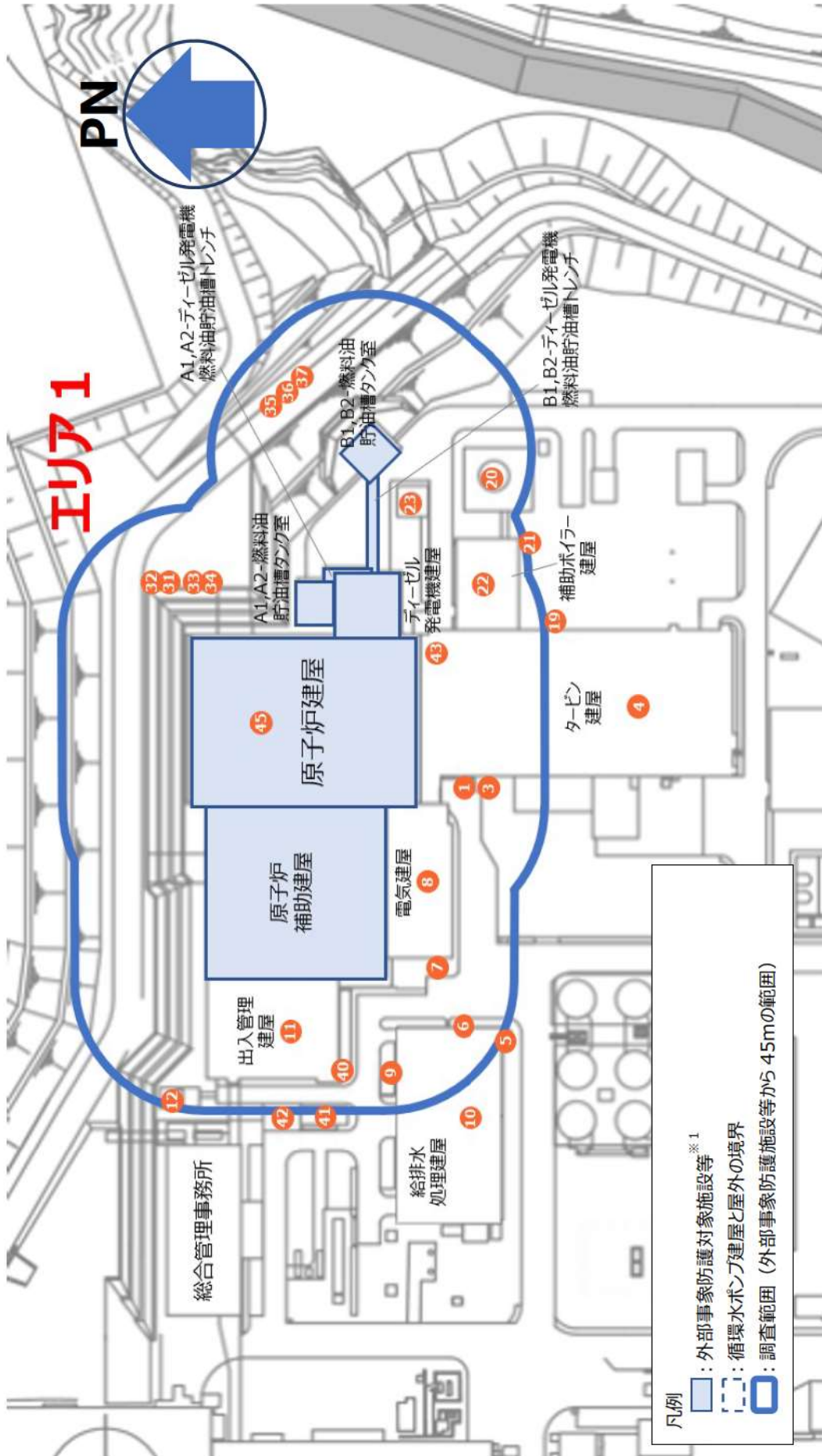
その結果、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価対象として、タービン建屋、電気建屋、出入管理建屋及び補助ボイラー建屋に加え、基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性に鑑み自主的に機能維持のための配慮を行う防潮堤及び 3 号炉取水ピットスクリーン室防水壁の 6 施設を選定した。



※1：タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とするため、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出対象とする。

※2：外部事象防護対象施設等である原子炉補機冷却海水ポンプおよび原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナーへの波及的影響調査範囲については、保守的に循環水ポンプ建屋（点線）から45mの範囲を調査した。

第3.1図 波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設配置図（調査エリア）



※1：タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とするため、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出対象とする。

第3.2図 波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設配置図（エリア1）

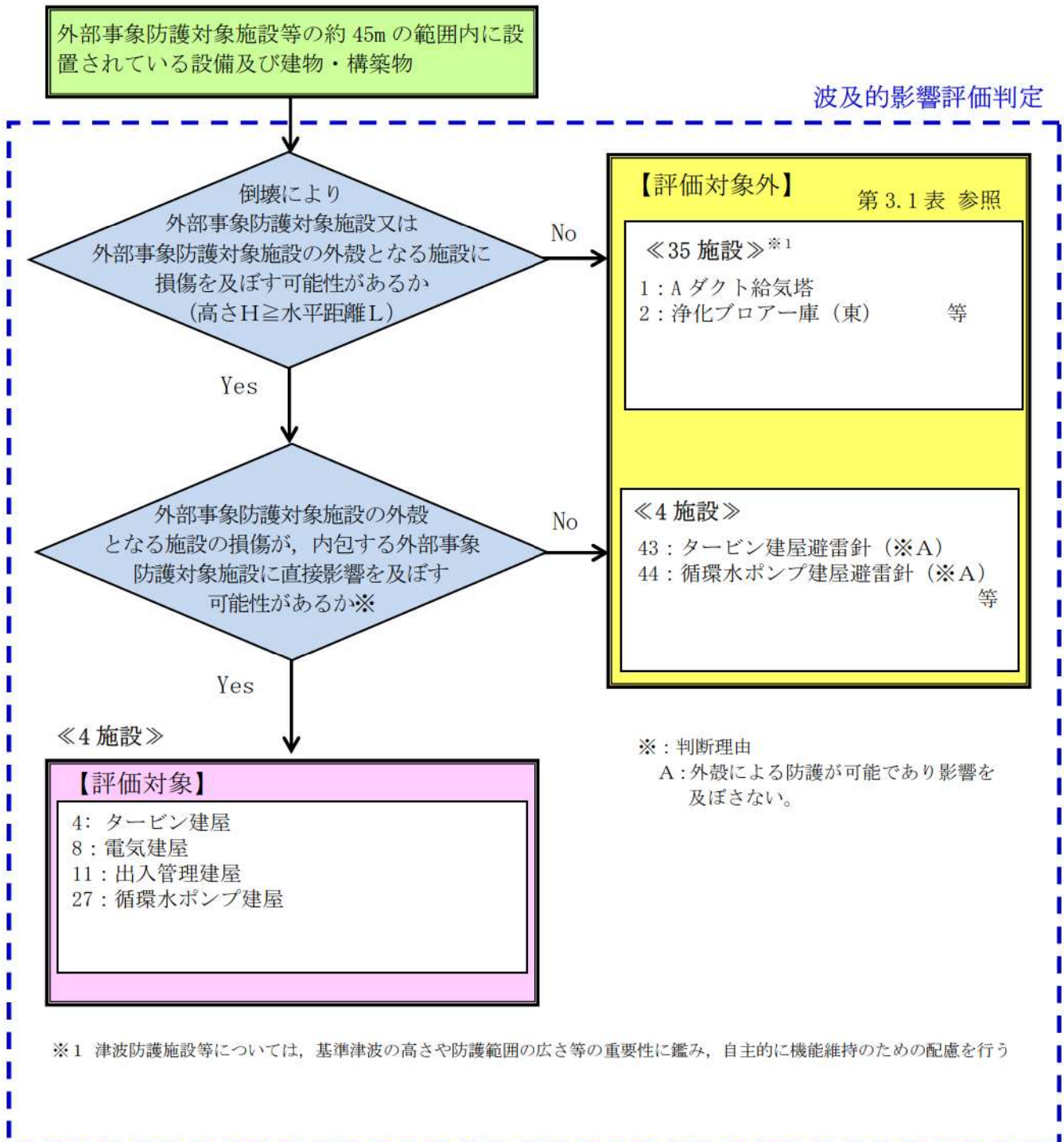


※1：タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とするため、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出対象とする。

※2：外部事象防護対象施設等である原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナーへの波及的影響調査範囲については、保守的に循環水ポンプ建屋（点線）から45mの範囲を調査した。

第3.3図 波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設配置図（エリア2）

波及的影響評価判定



第 3.4 図 倒壊による波及的影響を及ぼし得る可能性のある施設の評価判定フロー

第 3.1 表 倒壊により外部事象防護対象施設又は外部事象防護対象施設の外殻となる施設に
 損傷を及ぼす可能性がある施設 評価対象外一覧表【35 施設※】

No.	施設名	No.	施設名	No.	施設名
1	A ダクト給気塔	16	G ダクト給気塔	32	代替給電用接続盤 3 (3) (4)
2	浄化槽ブローアーク (東)	17	電気防食装置	33	3-代替非常用発電機保守分電盤 (1)
3	電気防食装置	18	3号機発電機ガスボンベ貯蔵庫	34	3号機移動用発電機車用保守分電盤
5	D ダクト排気塔	19	電気防食装置	35	制御盤 (P P A 2 5 6)
6	A ダクト排気塔	20	3号機補助ボイラー燃料タンク	36	制御盤 (P P A 2 5 3)
7	CV ケーブルダクト排気塔	21	補助ボイラー煙突	37	中継盤 (P P J 2 0 1)
9	F ダクト給気塔	22	補助ボイラー建屋	38	H ダクト給気塔 (タービン建屋南)
10	給排水処理建屋	24	制御盤 (P P A 2 1 7)	39	H ダクト排気塔 (タービン建屋南)
12	洞道冷却ファン建屋	25	連絡装置収納盤 (S T 2 2 2)	40	F ダクト排気塔 (出入管理建屋南)
13	E ダクト給気塔	26	小屋	41	旧 3 号出入管理建屋
14	海水淡水化設備建屋	30	3-スクリーン室橋形クレーン電源盤	42	制御盤
15	G ダクト排気塔	31	代替給電用接続盤 3 (1) (2)		

※ 防潮堤及び 3 号炉取水ビットスクリーン室防水壁については、基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。

第 3.2 表 外部事象防護対象施設の外殻の損傷が、内包する外部事象防護対象施設に
 直接影響を及ぼす可能性がある施設 評価対象外一覧表【4 施設】

No.	施設名	No.	施設名	No.	施設名
23	油計量タンク (避雷針含む) (※A)	44	循環水ポンプ建屋避雷針 (※A)	45	原子炉建屋避雷針 (※A)
43	タービン建屋避雷針 (※A)				

※：判断理由

A：外殻による防護が可能であり影響を及ぼさない。

第3.3表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(1/3)

No.	設備名称	安全 重要度 クラス	波及的影響を及ぼす対 象(外部事象防護対象施 設の外殻となる建屋及 び構築物等)	地上高(m) H	外部事象防護対象施 設の外殻となる建 屋及び構築物等ま での最短距離(m) L	L-H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により外部事象防護 対象施設又は外部事象防護 対象施設の外殻となる施 設に損傷を及ぼす可能性 があるか (高さH≧水平距離L)	外部事象防護対象施設の外 殻となる施設の損傷が、 内包する外部事象防護対 象施設に直接影響を及ぼ す可能性があるか	
1	Aダクト給気塔	NON	原子炉建屋	3.5	13.3	9.8	-	-	-
2	浄化槽ブローア一庫(東)	NON	原子炉補機冷却海水ボ ンプ	1.8	68.8	67.0	-	-	-
3	電気防食装置	NON	原子炉建屋	1.7	21.9	20.2	-	-	-
4	タービン建屋	PS-3	原子炉建屋	40.7	隣接	-	○	○	○
5	Dダクト排気塔	NON	原子炉補助建屋	3.4	43.9	40.5	-	-	-
6	Aダクト排気塔	NON	原子炉補助建屋	3.4	28.2	24.8	-	-	-
7	CVケーブールドクト排気塔	NON	原子炉補助建屋	2.5	14.5	12.0	-	-	-
8	電気建屋	PS-3	原子炉建屋 原子炉補助建屋	18.7	隣接	-	○	○	○
9	Fダクト給気塔	NON	原子炉補助建屋	3.5	29.3	25.8	-	-	-
10	給排水処理建屋	PS-3	原子炉建屋	13.6	18.2	4.6	-	-	-
11	出入管理建屋	MS-3	原子炉補助建屋	15.8	隣接	-	○	○	○
12	潤道冷却ファン建屋	PS-3	原子炉補助建屋	16.6	40.4	23.8	-	-	-
13	Eダクト給気塔	NON	原子炉補機冷却海水ボ ンプ	3.5	48.8	45.3	-	-	-
14	海水淡水化設備建屋	PS-3	原子炉補機冷却海水ボ ンプ	15.4	16.8	1.4	-	-	-
15	Gダクト排気塔	NON	原子炉補機冷却海水ボ ンプ	3.7	7.6	3.9	-	-	-
16	Gダクト給気塔	NON	原子炉補機冷却海水ボ ンプ	3.7	9.9	6.2	-	-	-
17	電気防食装置	NON	原子炉補機冷却海水ボ ンプ出口ストレーナ	1.7	29.0	27.3	-	-	-
18	3号機発電機 ガスボンベ貯蔵庫	NON	原子炉補機冷却海水ボ ンプ出口ストレーナ	5.2	70.4	65.2	-	-	-

○：該当
-：該当せず

第3.3表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(2/3)

No.	設備名称	安全 重要度 クラス	波及的影響を及ぼす対象 (外部事象防護対象施設の 外殻となる建屋及び構築 物等)	地上高(m) H	外部事象防護対象施 設の外殻となる建 屋及び構築物等ま での最短距離(m) L	L-H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により外部事象防護 対象施設又は外部事象防護 対象施設の外殻となる施 設に損傷を及ぼす可能性 があるか (高さH \geq 水平距離L)	外部事象防護対象施設の外 殻となる施設の損傷が、 内包する外部事象防護対 象施設に直接影響を及ぼ す可能性があるか	
19	電気防食装置	NON	原子炉建屋	1.7	45.9	44.2	-	-	-
20	3号機補助ボイラー燃料タンク	PS-3	ディーゼル発電機建屋	25.6	42.2	16.6	-	-	-
21	補助ボイラー煙突	PS-3	ディーゼル発電機建屋	42.7	42.9	0.2	-	-	-
22	補助ボイラー建屋	PS-3	ディーゼル発電機建屋	12.7	19.3	6.6	-	-	-
23	油計量タンク(避雷針含む)	NON	B1,B2-ディーゼル発電機 燃料油貯油槽トレンチ	12.5	10.4	-2.1	○(※1)	-	-
24	制御盤(PPA217)	NON	原子炉補機冷却海水ポン プ出口ストレーナ	1.7	45.0	43.3	-	-	-
25	連絡装置収納庫(ST222)	NON	原子炉補機冷却海水ポン プ出口ストレーナ	1.5	38.4	36.9	-	-	-
26	小屋	NON	原子炉補機冷却海水ポン プ出口ストレーナ	3	40.3	37.3	-	-	-
27	循環水ポンプ建屋	PS-3	原子炉補機冷却海水ポン プ、原子炉補機冷却海水 ポンプ出口ストレーナ	32.7	上屋(※2)	-	○	○	○
28	3号炉取水ピットスクリーン室防水壁(新設)	NON	基準津波や防護範囲の広さ等の重要性を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。						
29	防潮堤(新設)	NON	基準津波や防護範囲の広さ等の重要性を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。						
30	3-スクリーン室 橋形クレーン電源盤	NON	原子炉補機冷却海水ポン プ	1.7	22.4	20.6	-	-	-
31	代替給電用接続盤3(1)(2)	NON	原子炉建屋	3.9	17.3	13.4	-	-	-
32	代替給電用接続盤3(3)(4)	NON	原子炉建屋	3.9	20.1	16.2	-	-	-
33	3-代替非常用発電機 保守分電盤(1)	NON	原子炉建屋	1.8	15.3	13.5	-	-	-

※1 油計量タンク(避雷針含む)については、タンク部の高さが約5.77m、当該タンク上部に設置されている避雷針の高さが6.64mであるため、油計量タンク(避雷針含む)の倒壊による当該避雷針のB1,B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチへの波及的影響を評価する。

※2 循環水ポンプ建屋は、原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ並びに配管及び弁(原子炉補機冷却海水系統)の上屋であり、これらを覆うように配置されている。

○：該当
-：該当せず

第3.3表 現地調査結果における波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果(3/3)

No.	設備名称	安全 重要度 クラス	波及的影響を及ぼす対 象(外部事象防護対象施 設の外殻となる建屋及 び構築物等)	地上高(m) H	外部事象防護対象施 設の外殻となる建 屋及び構築物等ま での最短距離(m) L	L-H(m)	波及的影響		評価対象
							倒壊により外部事象防護 対象施設又は外部事象防護 対象施設の外殻となる施 設に損傷を及ぼす可能性 があるか (高さH \geq 水平距離L)	外部事象防護対象施設の外 殻となる施設の損傷が、 内包する外部事象防護対 象施設に直接影響を及ぼ す可能性があるか	
34	3号機移動用発電機車用 保守分電盤	NON	原子炉建屋	1.8	15.3	13.5	-	-	-
35	制御盤 (PPA256)	NON	B1, B2-燃料油 貯油槽タンク室	2.3	25.4	23.1	-	-	-
36	制御盤 (PPA253)	NON	B1, B2-燃料油 貯油槽タンク室	2.0	23.9	21.9	-	-	-
37	中継盤 (PPJ201)	NON	B1, B2-燃料油 貯油槽タンク室	1.9	23.9	22.0	-	-	-
38	Fダクト給気塔 (タービン建屋南)	NON	原子炉建屋	3.4	47.2	43.8	-	-	-
39	Fダクト排気塔 (タービン建屋南)	NON	原子炉建屋	1.9	27.6	25.7	-	-	-
40	Fダクト排気塔 (出入管理建屋南)	NON	原子炉補助建屋	3.4	27.0	23.6	-	-	-
41	旧3号出入管理建屋	NON	原子炉補助建屋	4.4	44.1	39.7	-	-	-
42	制御盤	NON	原子炉補助建屋	1.7	44.1	42.4	-	-	-
43	タービン建屋避雷針	NON	原子炉建屋	9.0	2.0	-7.0	○	-	-
44	循環水ポンプ建屋避雷針	NON	原子炉補助機冷却海水ボ ンプ、原子炉補助機冷却 海水ポンプ出口ストレ ーナ	9.5	屋上	-	○	-	-
45	原子炉建屋避雷針	NON	原子炉建屋	5.9	屋上	-	○	-	-

○：該当
-：該当せず

気候区分について

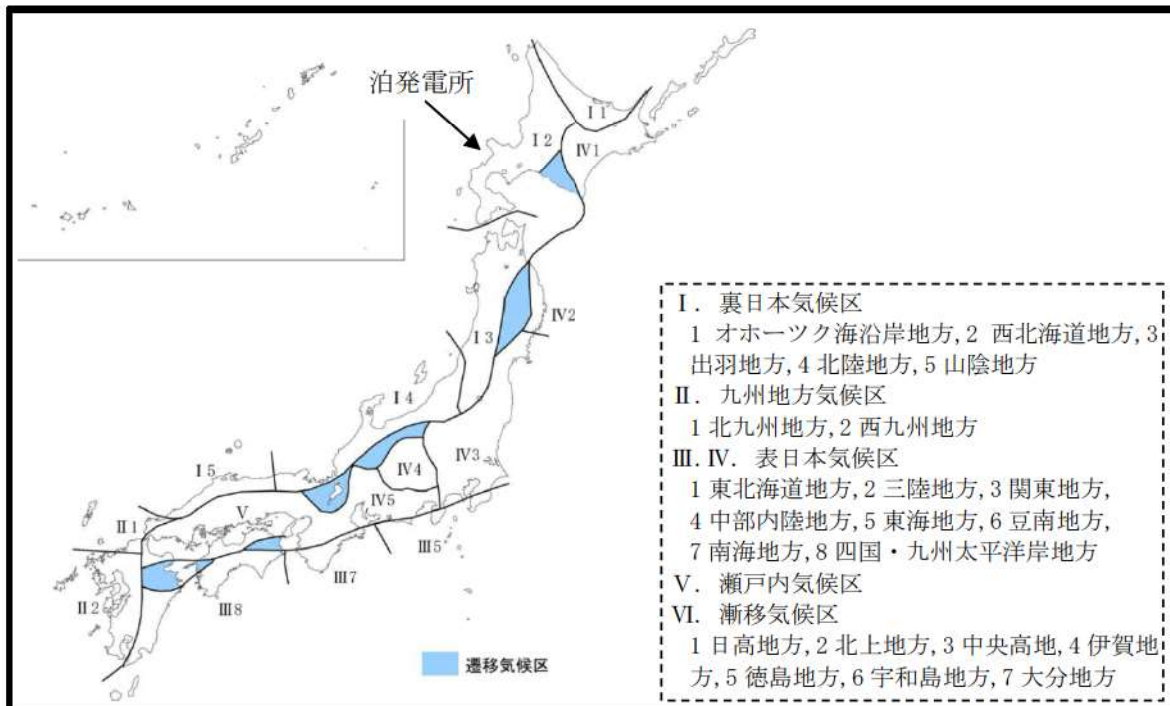
気候区分（関口 1959）は、以下の4種類の気候要素を基に、気候の境界を表したものである。

- ① 気温の日較差（1日の最高気温と最低気温の差）
- ② 雨天日数
- ③ 日照率
- ④ 気候の乾湿

4つの気候要素を基に作成された気候区分を第1図に示す。

第1図より、泊発電所は区分I2に属している。また、日本海側（裏日本）と太平洋側（表日本）は判然と区別されていることが分かる。

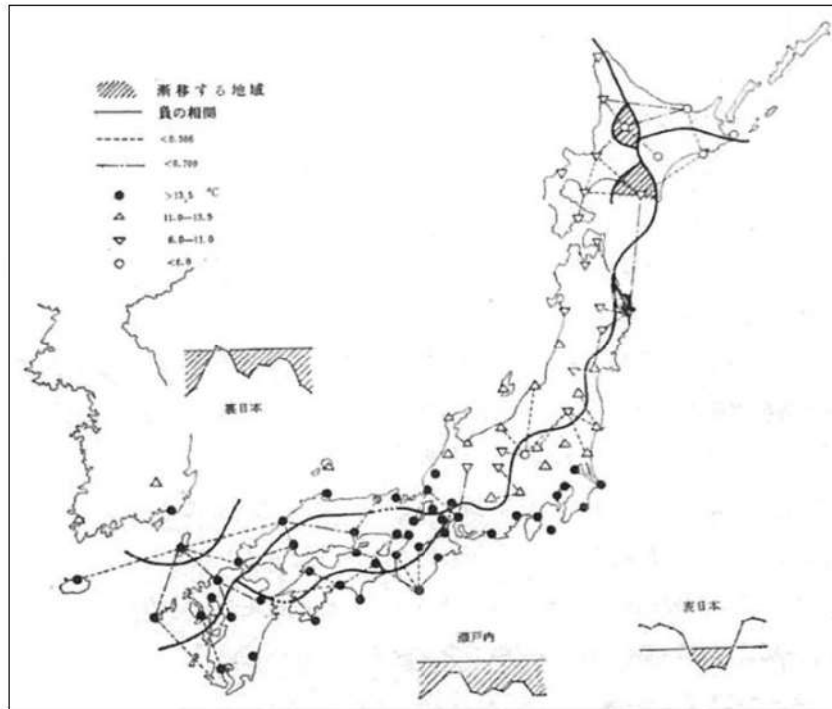
なお、第2図～第5図に示すとおり、①～④の各気候要素の気候区分、いずれにおいても日本海側（裏日本）と太平洋側（表日本）は判然と区別されている。



第1図 日本の気候区分（関口）

（内閣官房「第5回 道州制ビジョン懇談会 区割り基本方針検討専門委員会資料※」より引用）

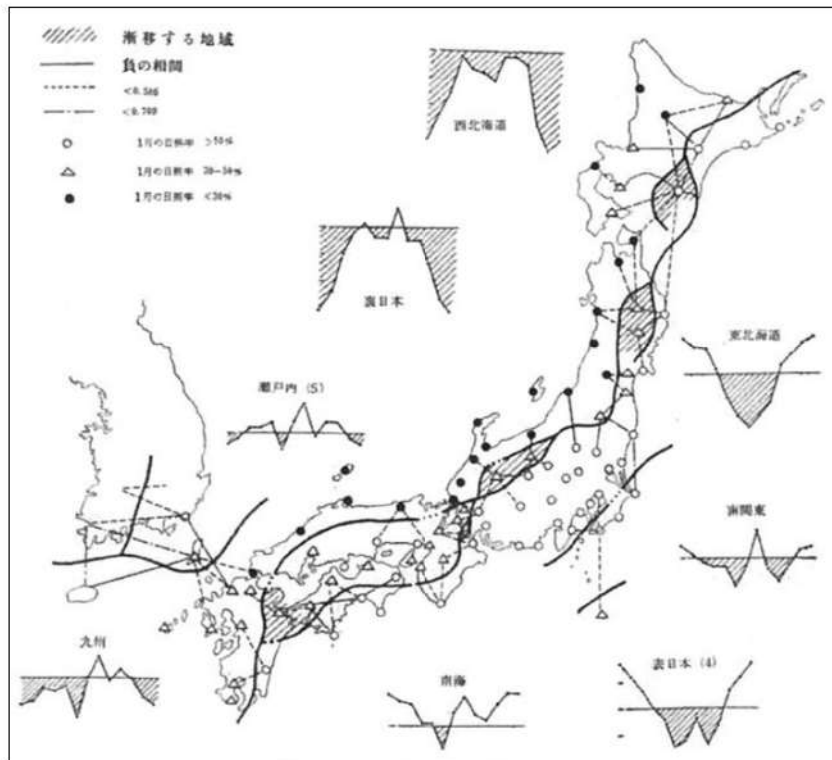
※出典：関口武「日本の気候区分」東京教育大学地理学研究報告（1959）



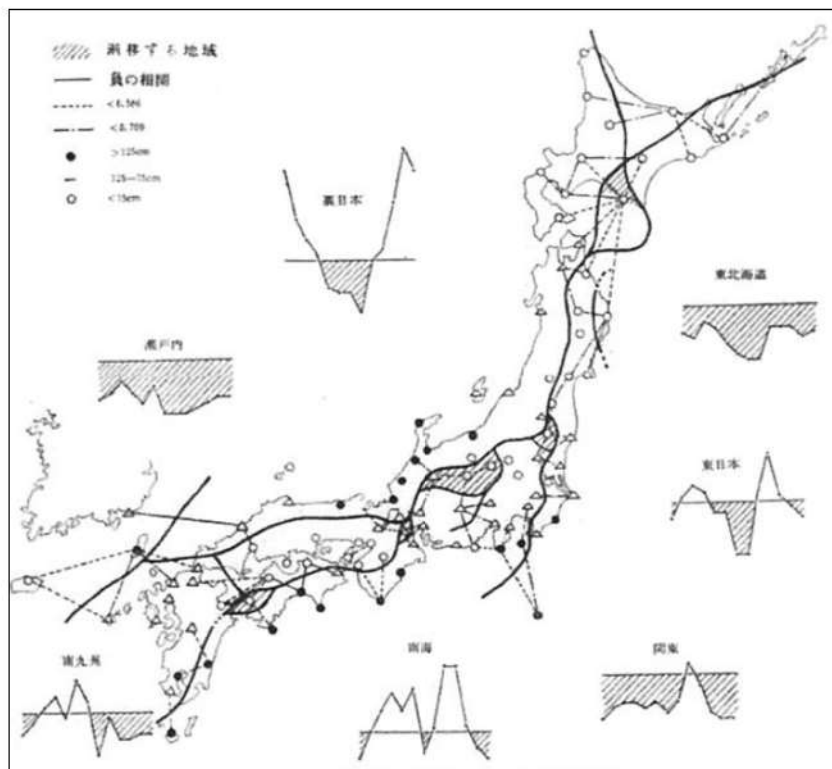
第2図 気温の日較差の年変化型による気候区分



第3図 雨天日数による気候区分



第4図 日照率による気候区分



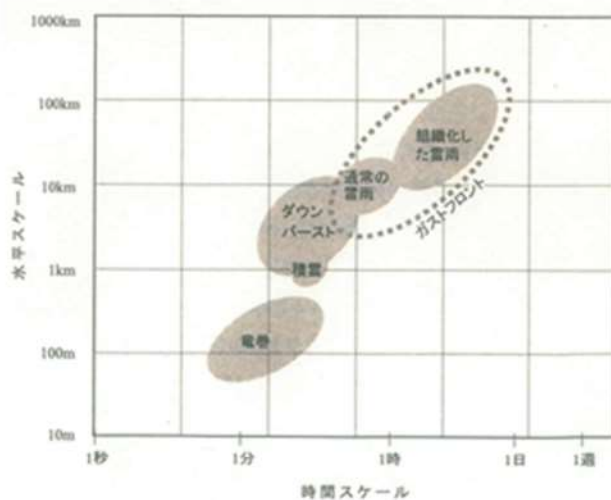
第5図 気候の乾湿による気候区分

数値気象解析にもとづく竜巻検討地域の設定について

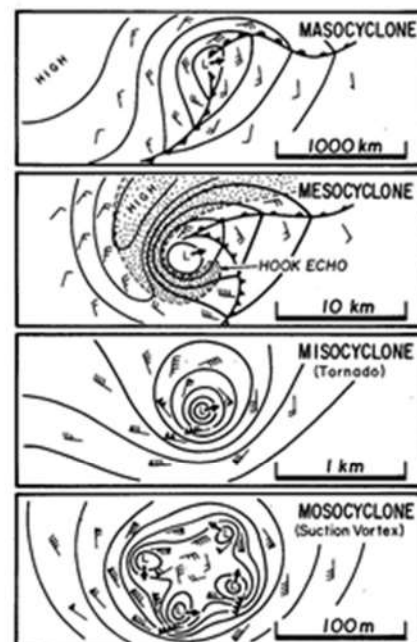
1. はじめに

一般的に、大気現象の水平方向の広がりことは「水平スケール」と呼ばれ、寿命や周期は「時間スケール」と呼ばれる。第1-1図は雷雨とその関連事象の時空間スケールの関係を表したものである。個々の積雲の時空間スケールは1km・10分程度であり、発達・組織化（マルチセル化・スーパーセル化）すると10～100km・数時間～半日程度にまで大きくなる。それに対し、竜巻の時空間スケールは数分・100m程度である。

竜巻の発生メカニズムを考える際、時空間スケールの階層構造が重要である（第1-2図）。ある大気現象は、スケールのより小さな現象を内包しており、竜巻の場合、竜巻の漏斗雲内の気流は数十メートル～数百メートル規模（マイクロスケールと呼ばれる（Orlanski 1975）；第1-2図では“MISOCYCLONE”と記載されている）の現象であるのに対し、竜巻を引き起こすもとの積乱雲である親雲のスケールは数キロメートル～数十キロメートル規模（メソスケールと呼ばれる。第1-2図では“MESOCYCLONE”と記載されている）である。台風、低気圧、前線等のいわゆる総観場は、数百キロメートル～数千キロメートル規模（総観スケールと呼ばれる。第1-2図では“MASOCYCLONE”と記載されている）として扱われる。また、竜巻内部には吸い込み渦（第1-2図では“Suction Vortex”と記載されている）と呼ばれるさらに強い渦が形成されることもある。



第1-1図 雷雨とその関連現象の時空間スケール（大野 2001）



第1-2図 竜巻発生時の渦の多重構造 (Fujita 1981)

このように、竜巻の発生にはさまざまなスケールの現象が介在し、異なるスケールの現象が相互作用しているため、竜巻の発生頻度や強度の地域性は複数の時空間スケールで議論する必要がある。気象学における現状として、観測データの欠如や数値シミュレーション技術の不十分さゆえにマイクロスケールの現象の理解が難しく、未知なメカニズムもあると認識されている。一方、総観場の観点では、さまざまなパターンで竜巻が発生していることがわかっており、「日本海側では台風性竜巻の発生が確認されていない」ことや、地域に応じて総観場の割合が異なる等の分析結果が得られている。しかし、例えば、寒冷前線起因のF3竜巻が実際に発生している（1990年茂原竜巻や2006年佐呂間竜巻等）が、寒冷前線自体は国内どこでも通過しうるため、ある地域においてF3竜巻が発生し難いことを総観場の分析結果だけで示すのは難しい。

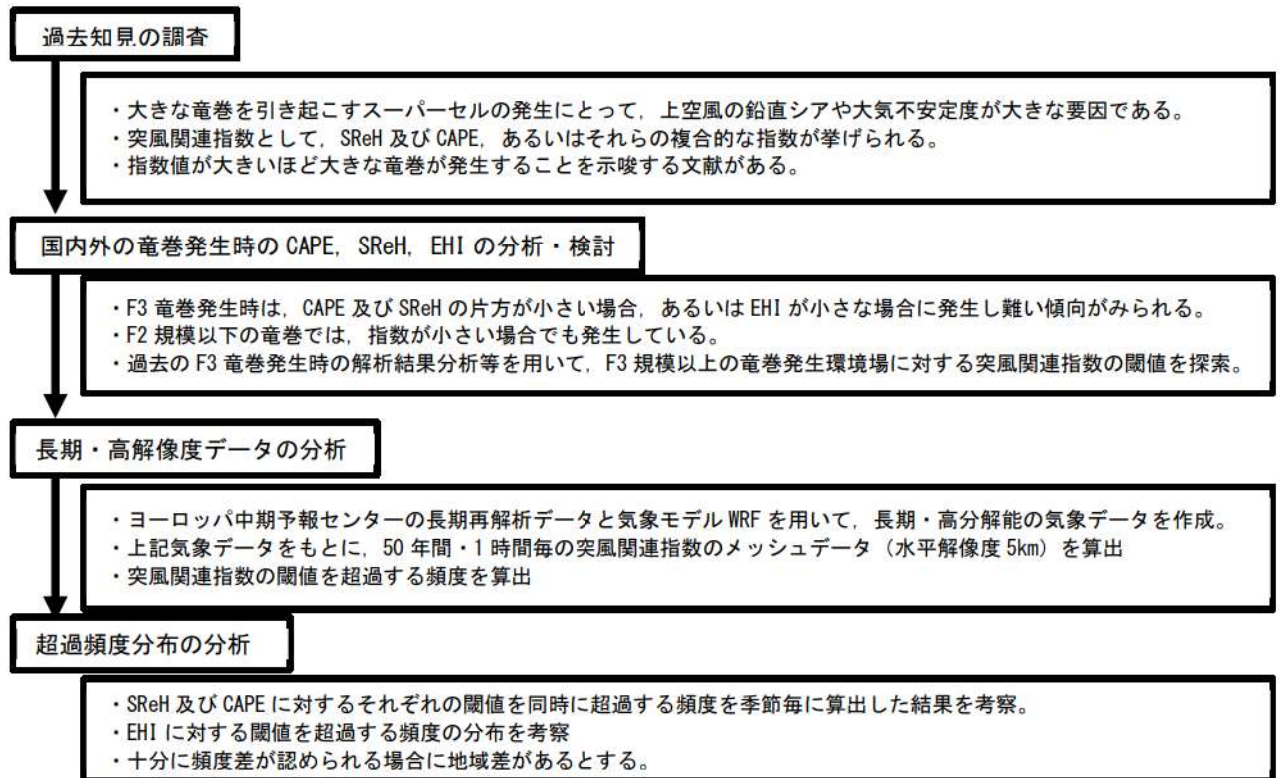
竜巻影響評価ガイドでは、基準竜巻風速 V_{B1} の設定の際に国内最大規模の竜巻ではなく竜巻検討地域内における記録等を参照する場合には、その明確な根拠を提示する必要があると記載されている。そのため、総観スケールの気象場の分析結果のみではなく、メソスケールあるいはマイクロスケールの気象場の特徴から地域性が見られる理由、及び竜巻検討地域内の記録を参照して V_{B1} を設定できる根拠をより気象力学的に明らかにすることが必要である。ただし、上述のように、マイクロスケールでの議論は極めて困難である。

そこで、マイクロスケールで発生する竜巻現象を包含する気象場（以下、「環境場」という。）として、親雲の水平スケールに対応するメソスケールの気象場を対象として、F3規模以上の竜巻の発生に適した環境場が生起する頻度についてその地域性の有無を検討する。以下、第2節では竜巻の発生メカニズムについて簡単に触れ、竜巻発生環境場を議論する上で重要な視点について述べる。第3節では、発生環境場の指標として活用されている突風関連指数について、本検討で用いる突風関連指数の概要を述べる。第4節では、気象モデルを用いて顕著な竜巻の数値シミュレーションを行い、気象場や突風関連指数解析結果を考察する。この結果をもとに、第5節において過去50年間の気象解析データを用いて、突風関連指数の地域性について分析し、F3規模以上の竜巻発生に適した環境場の生成のし易さを観点とした地域性の有無について考察する。第6節では北海道網走支庁佐呂間町にて発生したF3竜巻の特殊性、及び竜巻検討地域設定に対する取り扱いについて述べる。

なお、メソスケールでの地域性を検討するに際し、ヨーロッパ中期予報センターの長期再解析データをもとに、気象モデルを用いたダウンスケーリングと呼ばれる手法により当該スケールに対する空間分解能（水平解像度5km）を有する気象データを作成した。今回、1961年～2010年の1時間毎のデータを使用した。その検討フローを第1-3図に示す。

過去の既往文献や、国内外で発生した大きな竜巻を対象とした発生環境場に関する解析結果をもとに、不確かさも考慮して突風関連指数の閾値を設定し、長期間にわたる気象データにおいて、その閾値を超過する頻度を算出し、得られた頻度分布におい

て定性的に十分に差があるかどうかを観点として地域性の有無を考察した。



第1-3図 メソスケールでの分析フロー

2. 竜巻の発生メカニズム・分類とメソスケール分析の有効性

2.1 竜巻の発生メカニズム

竜巻の発生メカニズムは二つに大別されると考えられている（新野 2007）。一つは、スーパーセルと呼ばれる特徴的な構造を有する巨大積乱雲に伴うもの（第2.3-1図に例示した模式図参照）であり、もう一つは、気温・湿度や風向・風速が急変する局地的な前線（第2.3-2図に例示した模式図参照）に伴うものである。

スーパーセルを伴う竜巻では、大気下層における鉛直シア（風向が上下で逆転する、あるいは風速が上下で大きく異なる場合に生じる）に伴って水平軸を有した渦管が形成され、それが上昇気流によって数キロメートル上空まで持ち上がる。その際、メソサイクロンと呼ばれる直径3・4km～10km程度の鉛直軸回りの強い渦が積乱雲中にでき、その下部に竜巻が発生する（Klemp and Wilhelmson 1978；第2.3-1図参照）。このように、メソサイクロンの形成がこの種の竜巻の最大の特徴である（新野2007）。第2.3-1図に示すように、鉛直シアによりスーパーセル内では降水粒子の落下域（下降流域）と上昇流域が分離されるため、巨大な積乱雲にまで発達し、長時間持続しうる。国内で発生したF2規模以上の竜巻に対し、スーパーセルあるいはミニチュア（ミニ）スーパーセルが存在したことを観測・解析した成果も得られている（Suzuki et al. 2000, Mashiko et al. 2009等）。また、水平風速のマイクロスケールの空間スケールを有す

る竜巻漏斗雲の形成メカニズムについては、水平渦が上昇気流により引き伸ばされることの影響、あるいはメソサイクロンが地表面付近の上昇気流への影響等が指摘されている (Noda and Niino 2010) が、多くは未解明であり、レーダ観測や数値実験による研究が行われている。しかし、メソサイクロンが強いほど竜巻強度が大きくなるという関係性が、最先端のドップラーレーダを用いた詳細観測により分かってきている。(Burgess et al. 2002)

一方、局地前線に伴う竜巻では、気温・湿度、風向・風速が水平方向に鋭く変化する局地的前線面において、水平シア流の不安定や傾圧的作用等により生成した鉛直軸周りの渦が鉛直方向に引き伸ばされることによって発生する (Lee and Wilhelmson 1997)。スーパーセルとは大気成層が大きく異なり (Doswell and Evans 2003)、降水粒子が地上に達する段階になると下降気流が上昇気流を打ち消すため (Byers-Braham の概念)、積乱雲がこれ以上発達せず、衰弱・消滅する。そのため、強い竜巻が生じ難いと考えられている。局地的に水平スケールは数キロメートル以下であり、メソスケールのうち小さなスケール (メソスケール)、あるいはマイクロスケールにあたる。この種の渦は、上記のサイクロンに対してマイソサイクロンと呼ばれている。

2.2 竜巻の分類

上記にて説明した発生メカニズムの観点から、メソサイクロンの形成が大きな竜巻の発生と深く関わっていることがわかる。米国では、メソサイクロンが形成される竜巻は、スーパーセル型と呼ばれるF2～F5規模を想定した顕著な竜巻として分類され、F1規模以下の竜巻は局地前線等に伴う非スーパーセル型と分類されている (Rasmussen and Blanchard 1998, Doswell and Evans 2003)。国内にて発生したF2-F3を含めた全てのF3竜巻(6事例)¹もメソサイクロンを伴うスーパーセル型であったと報告されている (第2.3-1表)。

そこで、飯塚・加治屋 (2011)、Bluestein (2013) 及びその他の検討 (Rasmussen and Blanchard 1998, Doswell and Evans 2003) と同様に、メソサイクロンの有無で竜巻を分類することとし、メソサイクロンを有する場合を「スーパーセル型」、そうでない場合を「非スーパーセル型」と定義する。

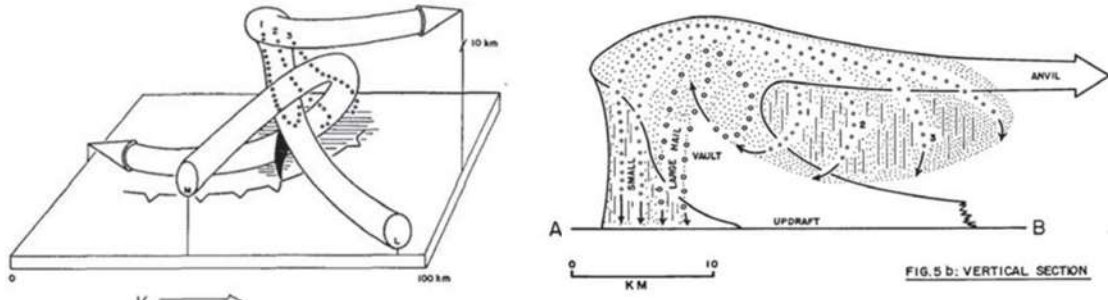
なお、スーパーセル型・非スーパーセル型竜巻の同定に関する国内の検討例として、飯塚・加治屋 (2011) による分析が見られ、2006年～2009年間の3ヶ年においてスーパーセル型竜巻の竜巻強度は、F2及びF3 (3事例)、F1 (6事例)、F0 (8事例)、F不明 (2事例) であったのに対し、非スーパーセル型竜巻では、F2及びF3竜巻 (0事例)、F1 (9事例)、F0 (11事例)、F不明 (5事例) であったと報告している。分析期間は短いものの、国内で発生したF3竜巻のスーパーセル型の竜巻強度の傾向を考慮すれば、大きな竜巻は米国と同様に基本的にスーパーセル型に分類できるといえる。

¹ 気象庁データベースにおける括弧つき F2-F3 竜巻 (F2-F3) と記載された竜巻) は過去に 5 事例 (1960 年代に 4 事例、1990 年に 1 事例) 報告されている。これらの竜巻については解析を実施した文献が見あたらなかったため、第 2.3-1 表には記載していない。

2.3 メソスケールでの分析の有効性

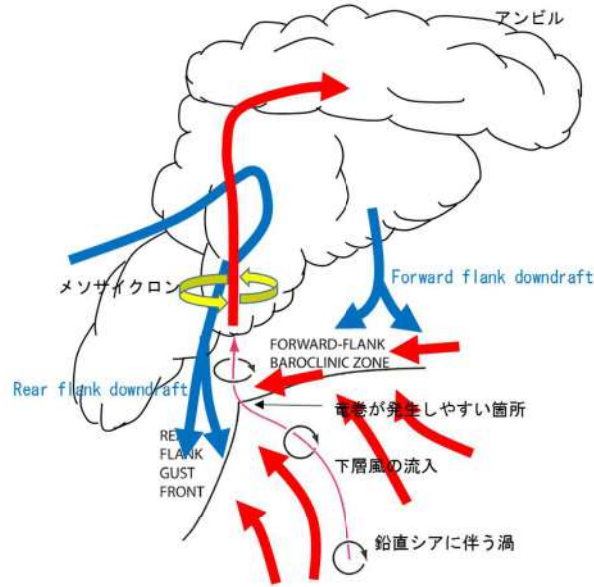
空間スケールの観点では、メソスケール気象場の分析はスーパーセル型竜巻の発生しやすさの傾向・地域性を分析する目的には十分であるが、空間スケールの小さく、竜巻強度も小さい非スーパーセル型竜巻に対しては向かない。また、竜巻強度の観点では、大きな竜巻（国内最大強度のF3を含むF2以上の規模の竜巻）の発生しやすさがメソスケール気象場の分析により検討することができる。したがって、設計基準を考える際には、スーパーセル型竜巻の発生を観点とした地域性を検討することが妥当である。

そこで、3節以降では、突風関連指数と呼ばれる竜巻の発生しやすさを指数化した量を用いて、大きな竜巻の発生しやすさについて分析し、その地域性について検討する。その際、スーパーセル型竜巻はメソサイクロンを有する点が特徴的であり、その発生はメソスケールにおける風の鉛直シアや大気不安定性と深く関わっている（Bluestein 2013, Klemp and Wilhelmson 1978, Rotunno and Klemp 1985, Trapp 2013）ことから、SReH及びCAPE、あるいはEHIと呼ばれる突風関連指数を用いる。



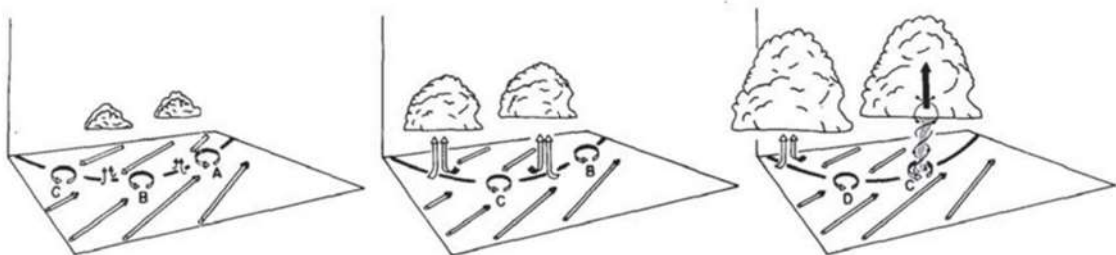
風況場

鉛直断面構造



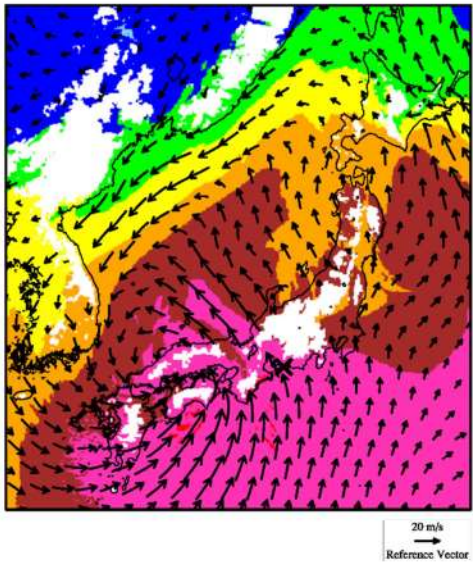
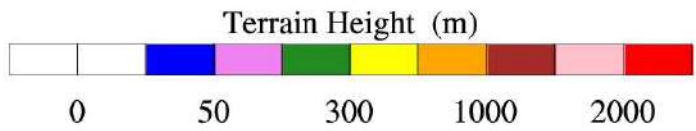
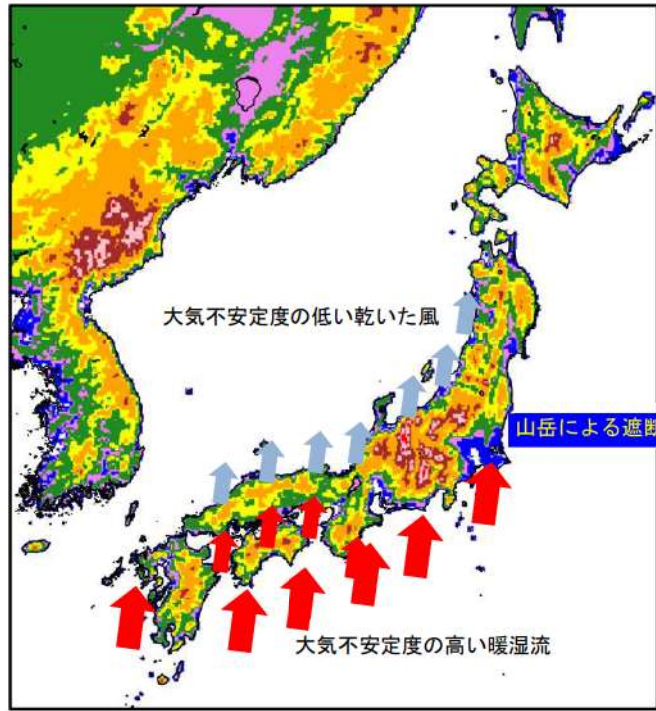
メソサイクロンの形成メカニズム

第 2.3-1 図 スーパーセル型雷雨の構造 (Browning 1964, Bluestein 2013 に加筆)

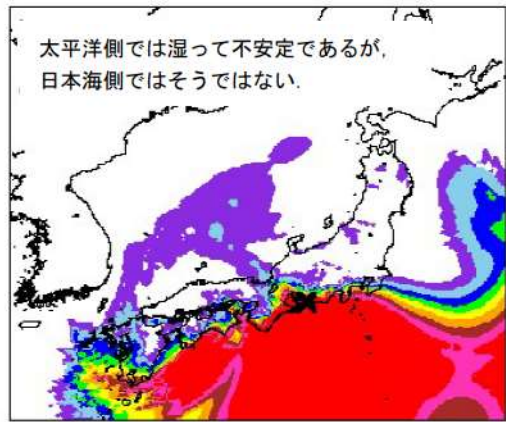


第2.3-2図 局地前線に伴う竜巻の発生機構に関する模式図 (Wakimoto and Wilson 1989)

(上向きの黒い⇒が上昇気流を表す)



500m 高度における温位 (カラー) 及び風向・風速



Convective Available Potential Energy (Max) [J/kg]
200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

大気不安定度 (CAPE) の分布

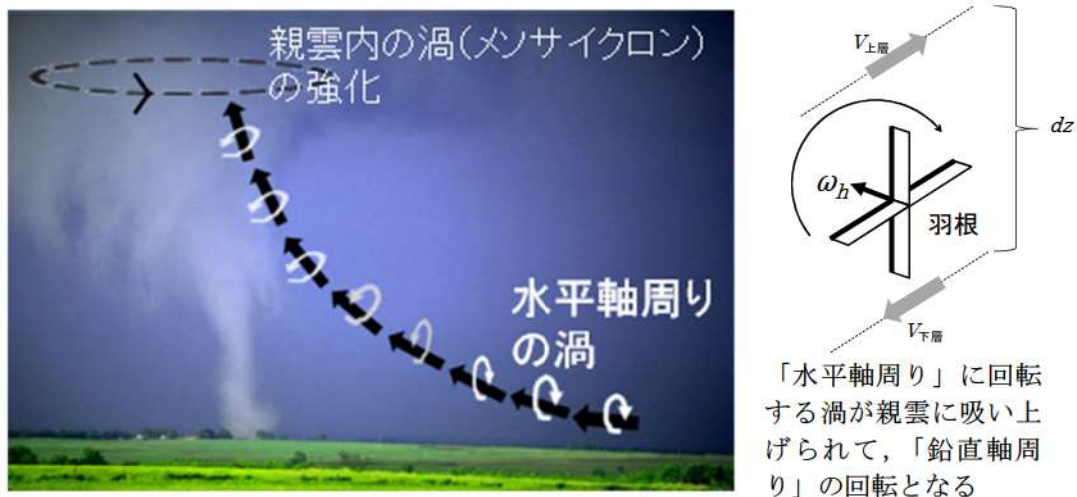
第2.3-3図 (上) 総観スケールでの気流場の模式図 (カラーは標高を表す) 及び
(下) 1999年9月に豊橋にて発生したF3竜巻の事例

第 2.3-1 表 過去に国内にて発生した F3 規模竜巻の概要

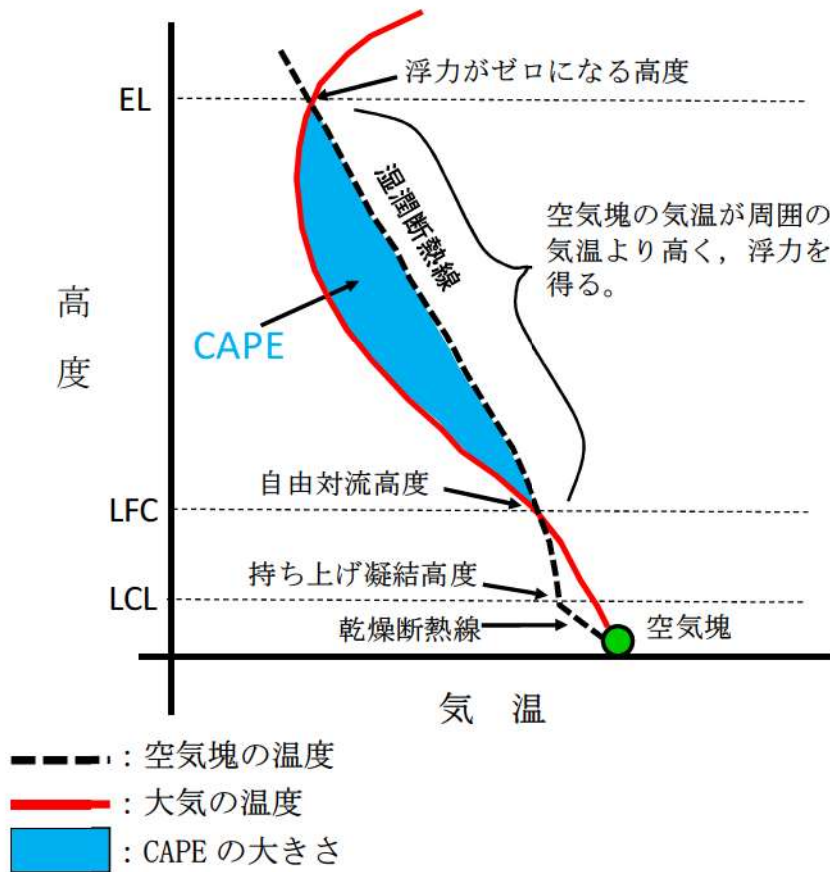
発生日	発生場所 (県・市町村)	F スケール	主な総観場	メソサイクロンの存在を 報告した資料・文献
1971/7/7	埼玉県浦和市	(F3)	台風	Fujita et al. (1972)
1978/2/28	神奈川県川崎市	F2-F3	寒冷前線	村松 (1979)
1990/12/11	千葉県茂原市	F3	暖気の移流	鈴木・新野 (1991), Niino et al. (1993)
1999/9/24	愛知県豊橋市	F3	台風	坪木ら (2000)
2006/11/7	網走支庁佐呂間町	F3	寒冷前線	Kato and Niino (2007)
2012/5/6	茨城県常総市	F3	気圧の谷	Yamauchi et al. (2013)

3. 突風関連指数

突風関連指数はこれまで数多く提案されており、気象庁における現業においても竜巻探知・予測に活用されている（瀧下 2011 等）。ここでは、国内外で最も知見が蓄積された指数として SReH (Storm Relative Helicity: ストームの動きに相対的なヘリシティ; Davies-Jones et al. 1990), CAPE (Convective Available Potential Energy: 対流位置有効エネルギー; Moncrieff and Miller 1976) を用いる。第 3-1 図及び第 3-2 図にそれぞれ、両指数の算出概念を表す。概して、SReH は風の鉛直シア（高度方向の風向・風速差）に伴って発生する大気中の水平渦度が親雲に取り込まれる度合、CAPE は大気中の不安定度合の指標である。値が大きいほどその度合が高くなる。大気下層の空気塊を「持ち上げて」乾燥断熱線及び湿潤断熱線を求め、空気塊が自由対流高度に達した際に積乱雲の発達するポテンシャルとして CAPE を計算する。



第 3-1 図 SReH の算出概念



第 3-2 図 CAPE の算出概念

両指数の算出式は以下のとおりである。

$$\text{SReH} = \int_{\text{地上}}^{\text{高度}3\text{km}} (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega} \, dz \quad (1)$$

$$\text{CAPE} = \int_{\text{LFC}}^{\text{EL}} g \frac{\theta_e'(z) - \theta_e(z)}{\theta_e(z)} \, dz \quad (2)$$

ここで、式(1)の \mathbf{V} は水平風速ベクトル、 $\boldsymbol{\omega}$ は鉛直シアに伴う水平渦度であり、 \mathbf{C} のストームの移動速度は Bunkers et al. (2000) にしたがって、長期再解析データから得られる地上高 6km の平均風速と、シアベクトル（地上高 5.5～6km 層の水平風ベクトルと 0～0.5km 層の水平風ベクトルの差）から算出する関係式にて求めた。式(2)の g は重力加速度、 θ_e はストーム周囲の相当温位、 θ_e' は持ち上げ空気塊の相当温位であり、 dz は鉛直方向の層厚である。LFC は自由対流高度と呼ばれ、前線周辺の風の水平方向の収束、太陽による地表面加熱、地形による強制上昇

等によって、空気塊がこの高度まで何らかの要因で持ち上げられると ($\theta_e < \theta_e'$ となり) 自身の浮力だけで上昇し、平衡高度 EL ($\theta_e = \theta_e'$ となる) に達するまで積乱雲が発達する (第 3-2 図)。なお、温位とは、式(3)に示すように気温 T と気圧 p に関する量であり、ある空気塊を断熱的に基準圧力 1,000hPa に戻したときの絶対温度である。気温は高度によって変わるが、温位は同じ空気塊では常に一定 (断熱過程では温位は保存される) な物理量であるため、空気塊のあたたかさ、浮力特性、及び不安定性を把握するのに用いられる (付録 A 参照)。

$$\theta = T \left(\frac{1,000}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (R: \text{気体定数}, C_p: \text{定圧比熱}) \quad (3)$$

二つの空気塊を比較した場合、温位の高い空気塊は軽く上昇しやすく (不安定であり)、単位体積中に含みうる水蒸気量が多いと、大きな積乱雲の発生につながる。竜巻が発生する積乱雲の中では、水蒸気が降水粒子に変化しているため、その際に発生する潜熱の影響が考慮された相当温位が保存される。乾燥している気象場では相当温位と温位は等しい。

式(1)を見ればわかるように、SReH は、上端高度の違いによって値が変わる。上端を地上から 3km とした場合、その殆どが地上から 1km までの大気によるヘリシテューであるという指摘 (Rasmussen 2003) があるが、1km 高さは夏場では境界層高さ (雲底高度) 程度と低めであるため、本検討では多くの既往検討と同様に 3km とする。また、持ち上げる空気塊の性質によって CAPE の値は変わる。地表から 500m 程度上空までの平均的な性質を持つ空気塊を持ち上げたときの MLCAPE (Mean Layer CAPE) がよく用いられる。本検討では、地表から 500m 上空まで最も不安定な空気塊を持ち上げる。このようにして求められた CAPE は MUCAPE (Most Unstable CAPE) と呼ばれる。大気下層に冷気がありその上空で対流が発生する場合を考慮することができる。このような場合、MLCAPE では安定な大気とみなされることにより CAPE 値が非常に小さくなる傾向にある (付録 B 参照)。

本検討では、SReH と CAPE に加え、EHI と呼ばれる SReH と CAPE の複合指数を用いた分析も行った。Davies (1993) は EHI 算出に MLCAPE を用いたが、本検討では MUCAPE を用いて以下のように EHI を算出した。

$$EHI = \frac{SReH \times CAPE}{160,000} \quad (4)$$

4. 国内で発生した F3 竜巻及び日本海側 F2 竜巻の数値シミュレーション

竜巻発生時の気象場（風向・風速，気温，気圧，水蒸気量等）を数値気象モデルにより解析し，その解析結果をもとに突風関連指数を算出する。気象モデルとして WRF (Weather Research and Forecasting) モデル (Skamarock et al. 2005) バージョン 3.2.1 を用いた。

WRFモデルは，気象力学・物理現象を数値モデル化したものであり，（竜巻の親雲の水平スケールに対応する）メソスケール（水平方向2km～20km程度）の気象要素を解析できるコミュニティモデルとして世界的に利用されている（付録C参照）。主な計算条件は第4-1表に記すとおりである。電力中央研究所による長期高解像度再解析データセット（橋本ら 2013）と同様の条件を採用しており，ネスティングと呼ばれる技法を用いて，水平解像度15kmで解析した結果をもとに水平解像度5kmの解析結果を得る。これにより，粗い水平空間分解能（ECMWF ERA-Interim：約70 km，ECMWF ERA-40：約250km）の初期・境界値データから詳細メッシュの気象場を解析できる。なお，30 分間隔で計算結果を出力し，当時の天気図や気象レーダ画像等を参考にして竜巻発生時刻と解析結果における降雨域の通過時刻との違いや，対応する降雨域の有無を確認することにより，計算結果に大きな問題がないことを確認した。気象庁の竜巻等の突風データベースでは，1988年以降の事例に対しては天気図に加え，レーダ画像も掲載されている。1988年以降の事例については WRFモデルによる解析結果の適切性をレーダ画像と天気図から判断した。1987年以前の事例についてはF3竜巻については天気図から判断した。基本的に，発生時刻から±1時間内に擾乱が竜巻発生地点周辺を通過することを適切性の判断基準とした。

第 4-1 表 WRF モデルセットアップの概要

水平グリッド間隔	15 km(親領域), 5 km(子領域)
鉛直層数	35
積分時間間隔	90秒(親領域), 30秒(子領域)
モデル上端気圧	50 hPa
初期・境界値データ	ECMWF-Interim(1989年～), ERA40(～1988年)
ネスティング	フィードバック有
積雲対流スキーム	Kain-Fritsch(親領域のみ)
雲物理スキーム	Morrison 2-moment(両領域)
接地層スキーム	2-D Smagorinsky(両領域)
境界層スキーム	YSU(両領域)
地表面スキーム	Noah LSM(両領域)
放射スキーム(長波)	RRTM(両領域)
放射スキーム(短波)	Dudhia(両領域)

分析対象事例は，第4-2表に示すとおり，過去に発生したF3竜巻（1987年以前のF2-F3竜巻は除く），1988年以降に日本海側で発生したF1-F2，F2竜巻とした（F3竜巻は5事

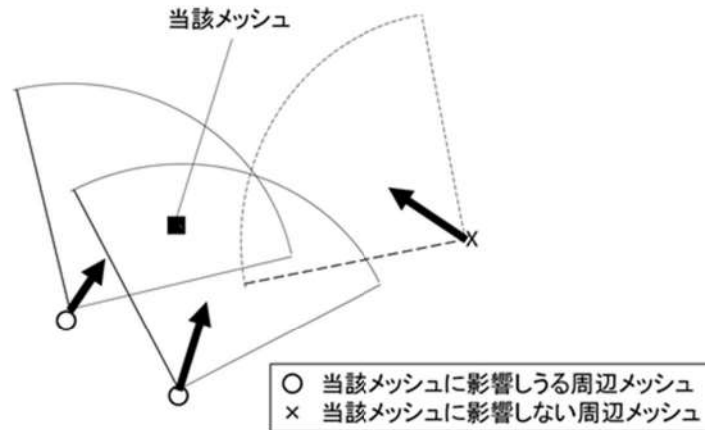
例、F2-F3竜巻は1事例、F2竜巻は3事例、F1-F2竜巻は1事例)。1987年以前に発生した竜巻については、(初期値・境界値データとして使用しているECMWF ERA40の水平空間分解能が約250kmと粗いために、竜巻通過時刻や発生箇所が実際に比べて乖離する場合がある¹ため)この資料では対象としていない。ただし、F3竜巻に対しては1987年以前の竜巻に対しても解析を行い、計算結果の適切性も確認している。なお、対象事例に対して適切性が低いことを理由に除外した事例はない。

第4-2表 分析対象事例の概要

発生日時	季節	発生地点	Fスケール	計算開始日時	SReH	MaxCAPE
2012/05/06 12:35	暖候期	茨城県常総市	F3	2012/05/06 03時	270	2115
2006/11/07 13:23	寒候期	北海道網走支庁佐呂間町	F3	2006/11/07 03時	714	813
1999/09/24 11:07	暖候期	愛知県豊橋市	F3	1999/09/24 03時	403	2459
1990/12/11 19:13	寒候期	千葉県茂原市	F3	1990/12/11 09時	649	1201
1971/07/07 07:50	暖候期	埼玉県浦和市	F3	1971/07/06 15時	337	1746
1990/02/19 15:15	寒候期	鹿児島県枕崎市	F2-F3	1990/02/19 03時	745	373
1991/06/12 13:30	暖候期	富山県魚津市	F2	1991/06/12 03時	227	1358
1990/04/06 02:55	寒候期	石川県羽咋郡	F2	1990/04/05 15時	484	889
1989/03/16 19:20	寒候期	島根県簸川郡	F2	1989/03/16 09時	329	430
1999/11/25 15:40	寒候期	秋田県八森町	F1-F2	1999/11/25 03時	363	1222

第4-2表中のSReHと最大CAPEの値は、発生地点を中心とした東西・南北100km四方内の最大値である。ここで、最大CAPEを求めた理由と方法は以下のとおりである。雲物理過程により擾乱(竜巻を伴う積乱雲)が発生すると、発生前の大気不安定な状況が解消されるため、竜巻発生地点のCAPE値は周囲に比べて低くなる傾向がある。つまり、解析データでは、ある格子点(メッシュ)で竜巻を伴う擾乱が発生している時、その格子点に対するCAPE値は周辺のメッシュ値に比べて小さめになりうる(瀧下2011等)。これは、CAPE値の大きさをもって竜巻の規模を定量的に検討する際に問題となる。そこで、Rasmussen and Blanchard (1998)を参考に、各格子点に対して、地上～500m高度までの平均風向を算出し、その風向に対して当該地点から風下側に扇形の影響範囲を設け、影響範囲内のCAPE値の最大値を求めるように工夫した(第4-1図)。その際、扇形の半径は15km、中心角として平均風向を中心に±45度の範囲をとった。この最大値が最大CAPEにあたる。このように算定することにより、周辺のCAPE値の大きな空気塊が当該メッシュを含むスーパーセルに向かって流入することを考慮できる。

¹ 「5. 竜巻発生環境場の生起頻度分析」ではWRFモデルで解析された1961年から50年間のデータを用いるが、発生時刻や発生箇所に多少の違いがあったとしても事象を漏れなくカウントできれば地域性の検討には問題ない。

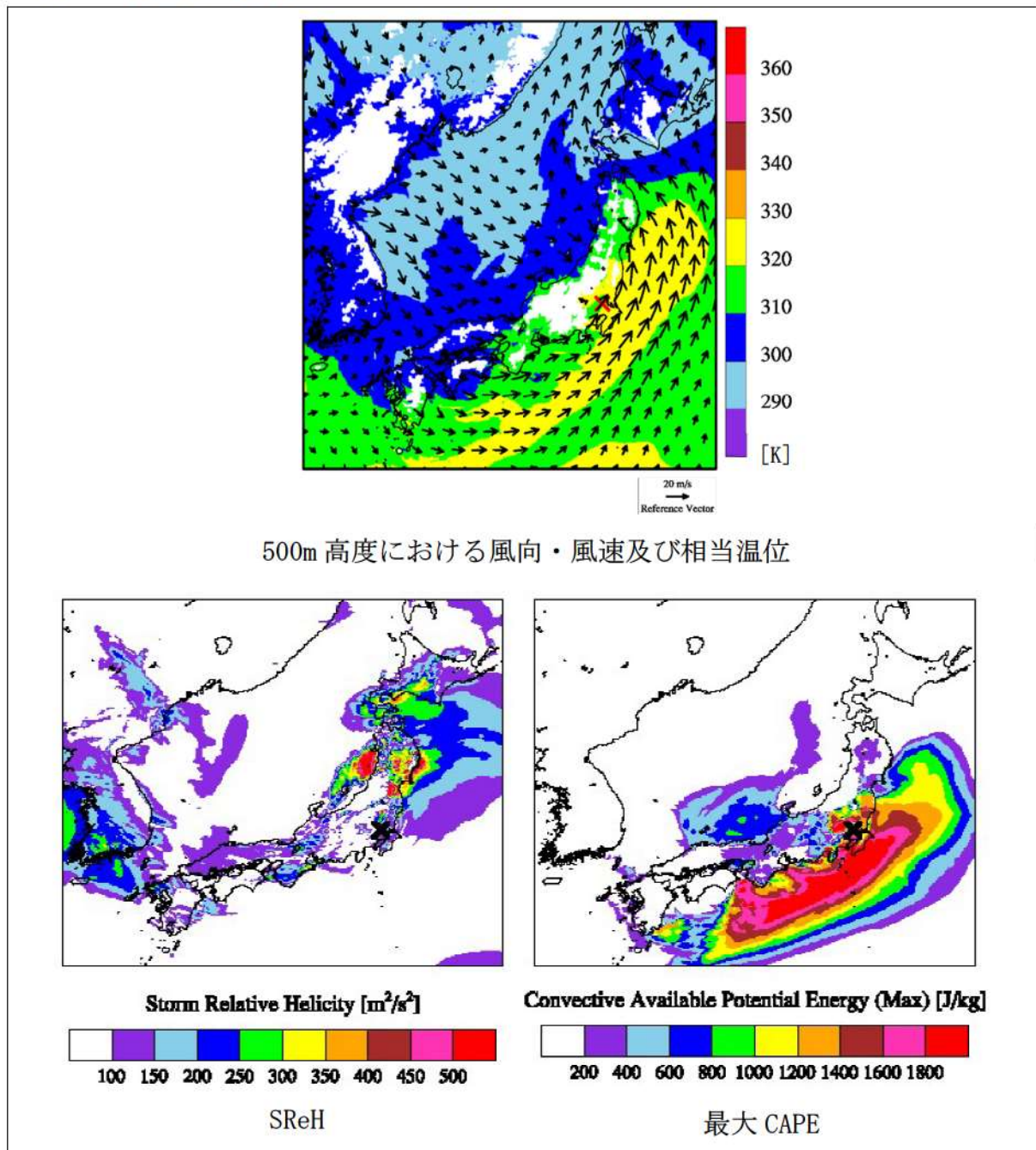


第 4-1 図 最大 CAPE 値の抽出方法の概念図

以下では、解析した気象場として、500m 高度における風向・風速と相当温位の分布図，突風関連指数の解析結果として SReH 及び最大 CAPE の分布図を示す。全て 5 km 水平解像度の計算結果である。

4.1 茨城県常総市(2012/05/06)F3 事例 (気圧の谷・寒気移流)

太平洋側から南西風が吹き込む一方、(中層では)大陸・日本海側から寒気を伴う北よりの風が吹いており(図略)、風のシアと大気不安定度が高まっている。SReHの値は東日本の太平洋側で非常に高いが、関東平野周辺ではCAPEが非常に高く、3個の竜巻がほぼ同時に発生した。

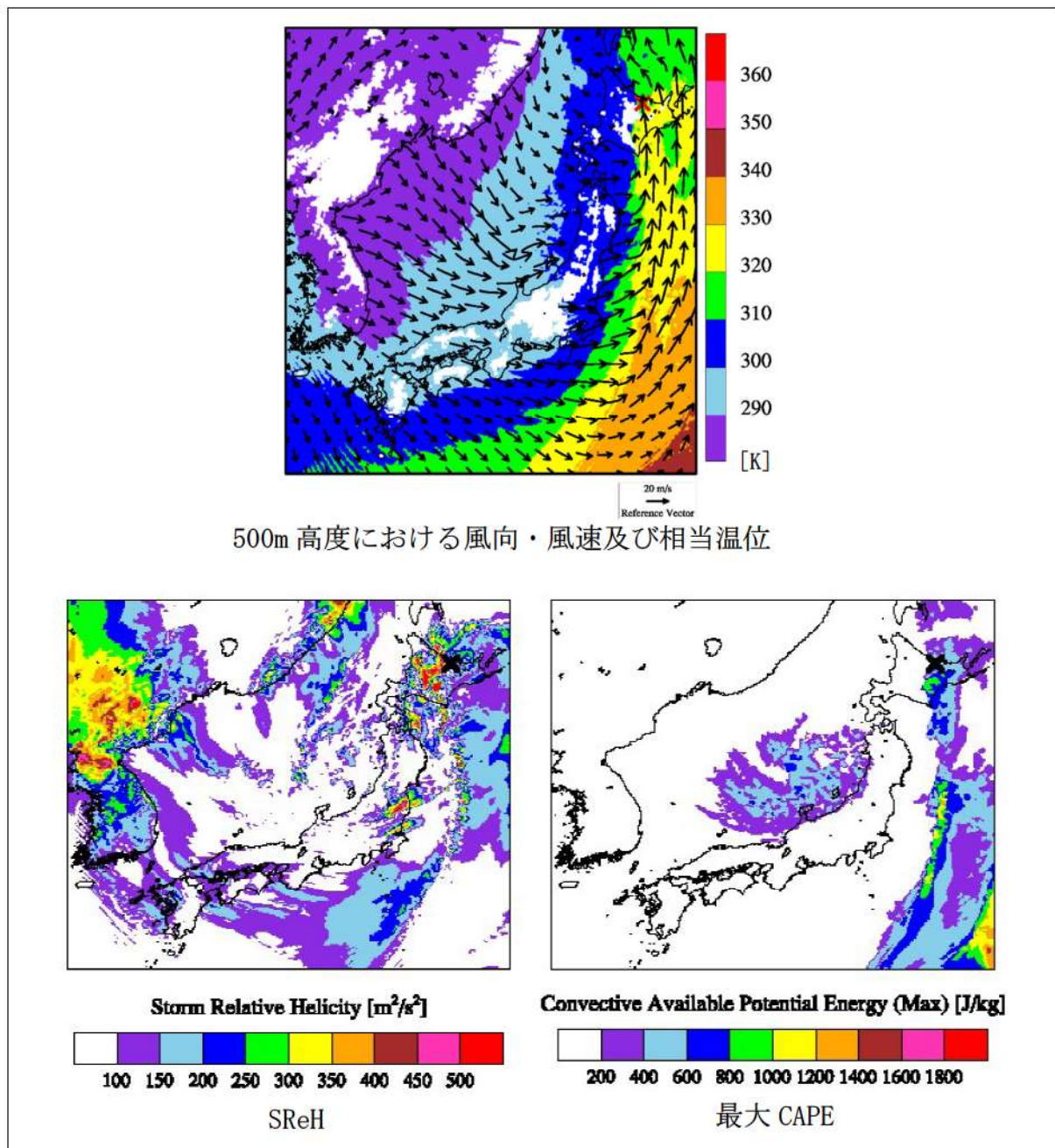


第 4.1-1 図 2012/05/06 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.2 北海道佐呂間町(2006/11/07)F3 事例 (寒冷前線・暖気の移流)

寒冷前線の西側では北西～西よりの冷たい風（寒色系）が、東側では南よりの暖かい風（暖色系）が吹いており、気温差と風の収束により積乱雲が発生・発達しやすい状況にある。特に、道東・オホーツク地方には太平洋から暖かく、不安定な空気塊が流入している。

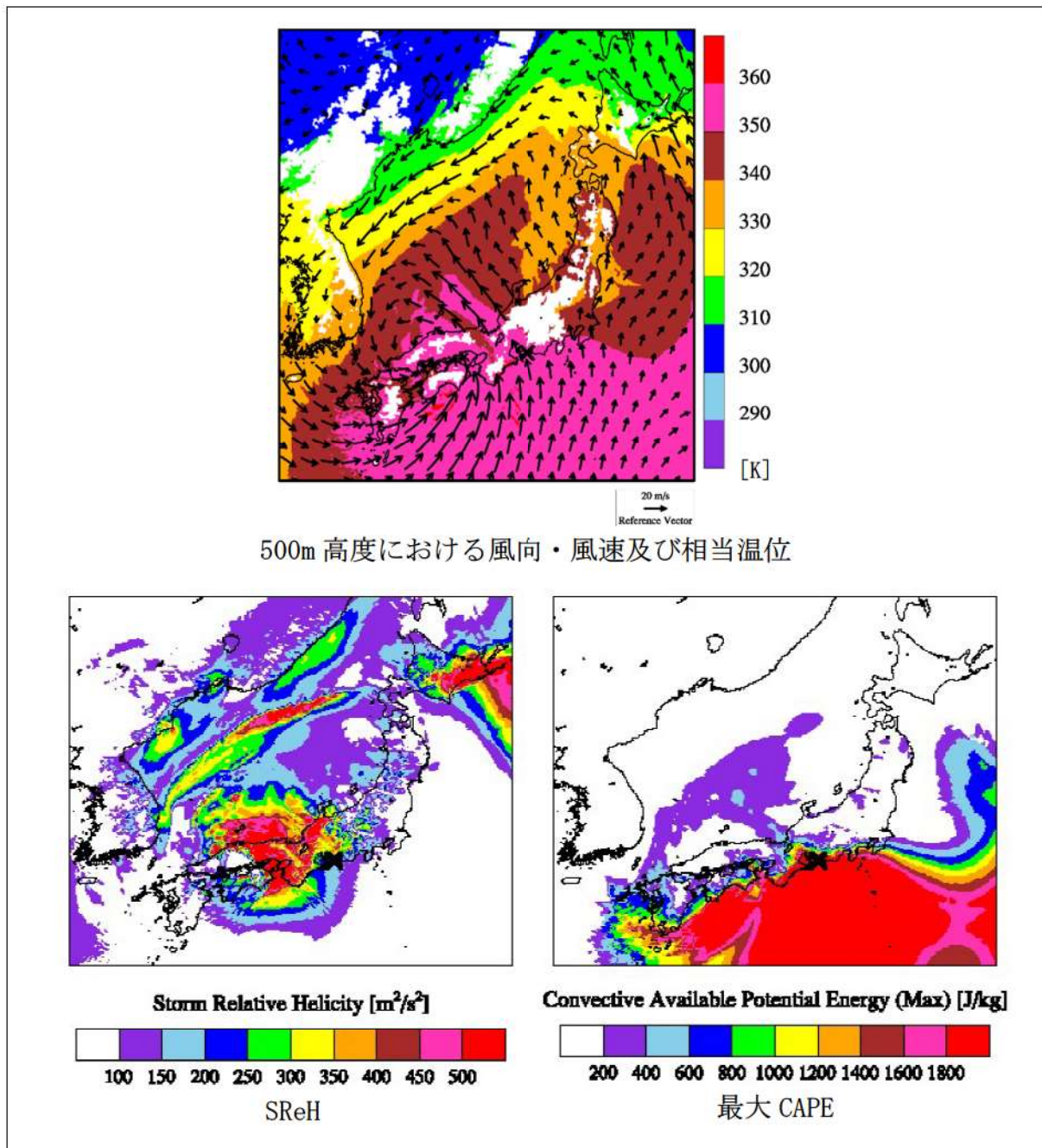
大気不安定度は道東の中でも南側で高くなっており、非常に高い風のシア（高い SReH）と相まって親雲が発達しやすい状況が解析されている。なお、同日に、周辺地域において 2 個の小さな竜巻も発生した。日本海側の中でも能登半島周辺より北側で季節風が吹き込み、大気がやや不安定になっている（CAPE が高めになっている）が、SReH が低く、道東・オホーツク海地方の状況とは異なる。



第 4.2-1 図 2006/11/07 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.3 愛知県豊橋市(1999/09/24)F3 事例 (台風)

台風を中心は隠岐の南西沖にあり、四国東部・紀伊半島の沿岸部及び濃尾平野では、台風中心から遠く離れているが、太平洋側からの非常に不安定な暖湿流が流れ込み (CAPE が非常に大きく)、SReH も高くなっている。濃尾平野では4個の竜巻 (2個のF1, 1個のF2, 1個のF3) が発生した。台風中心が日本海側にあり、日本海側のSReHは太平洋側に比べて決して小さくはないが、不安定度は格段に小さいのが見てとれる。

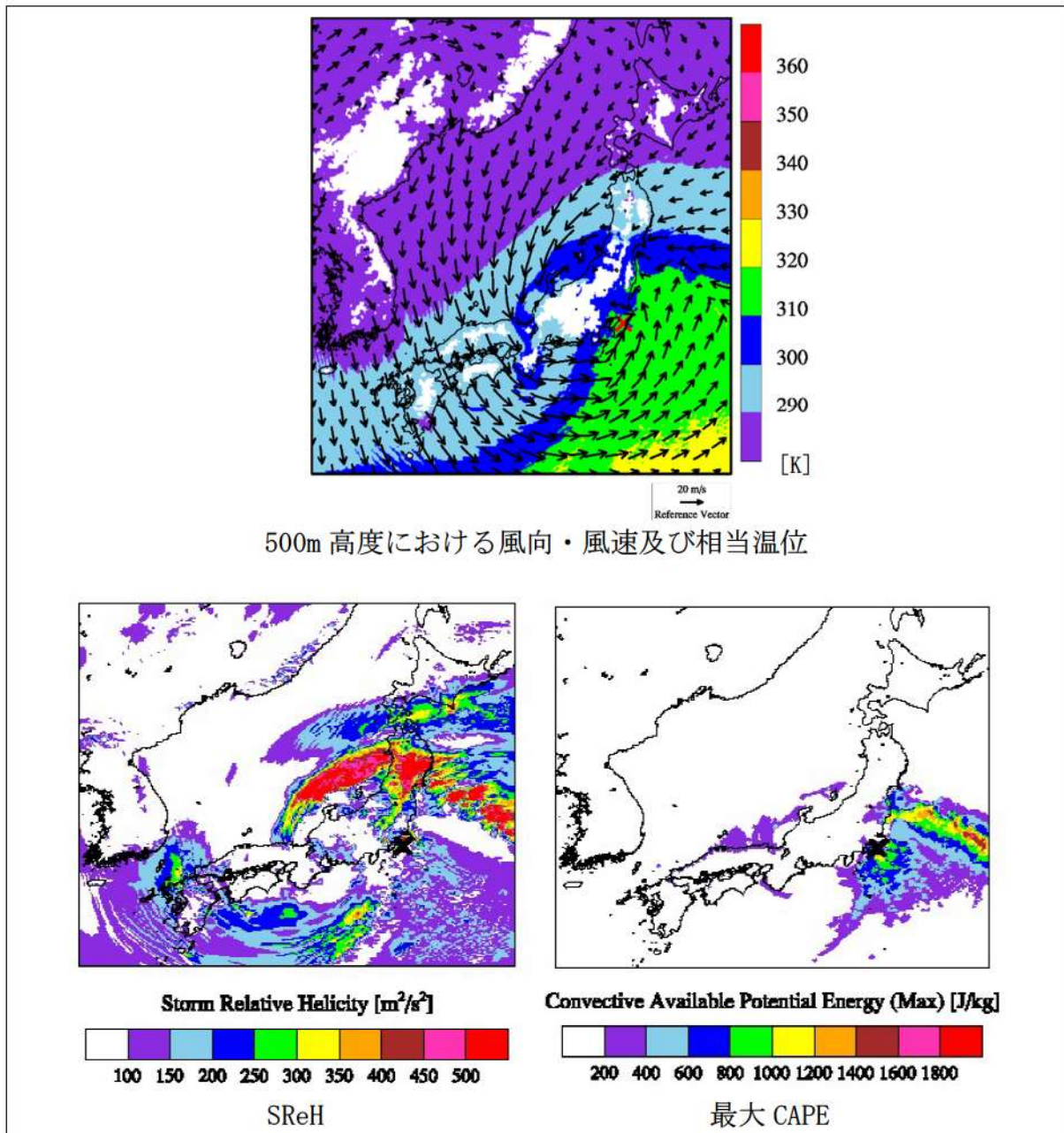


第 4.3-1 図 1999/09/24 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.4 千葉県茂原市(1990/12/11)F3 事例 (暖気の移流・気圧の谷・寒冷前線)

房総半島と日本海に低気圧があり、房総半島の低気圧からは南西方向に寒冷前線が伸びている。そのため、寒冷前線及び房総半島にある低気圧を境に温位差が大きくなっている(寒色系と暖色系(緑色)の境が明瞭である)。房総半島には低気圧中心に向かって暖かく、不安定な空気塊が流入しており、房総半島では局所的に SReH の値も高い。房総半島周辺では大小7個の竜巻が発生した。

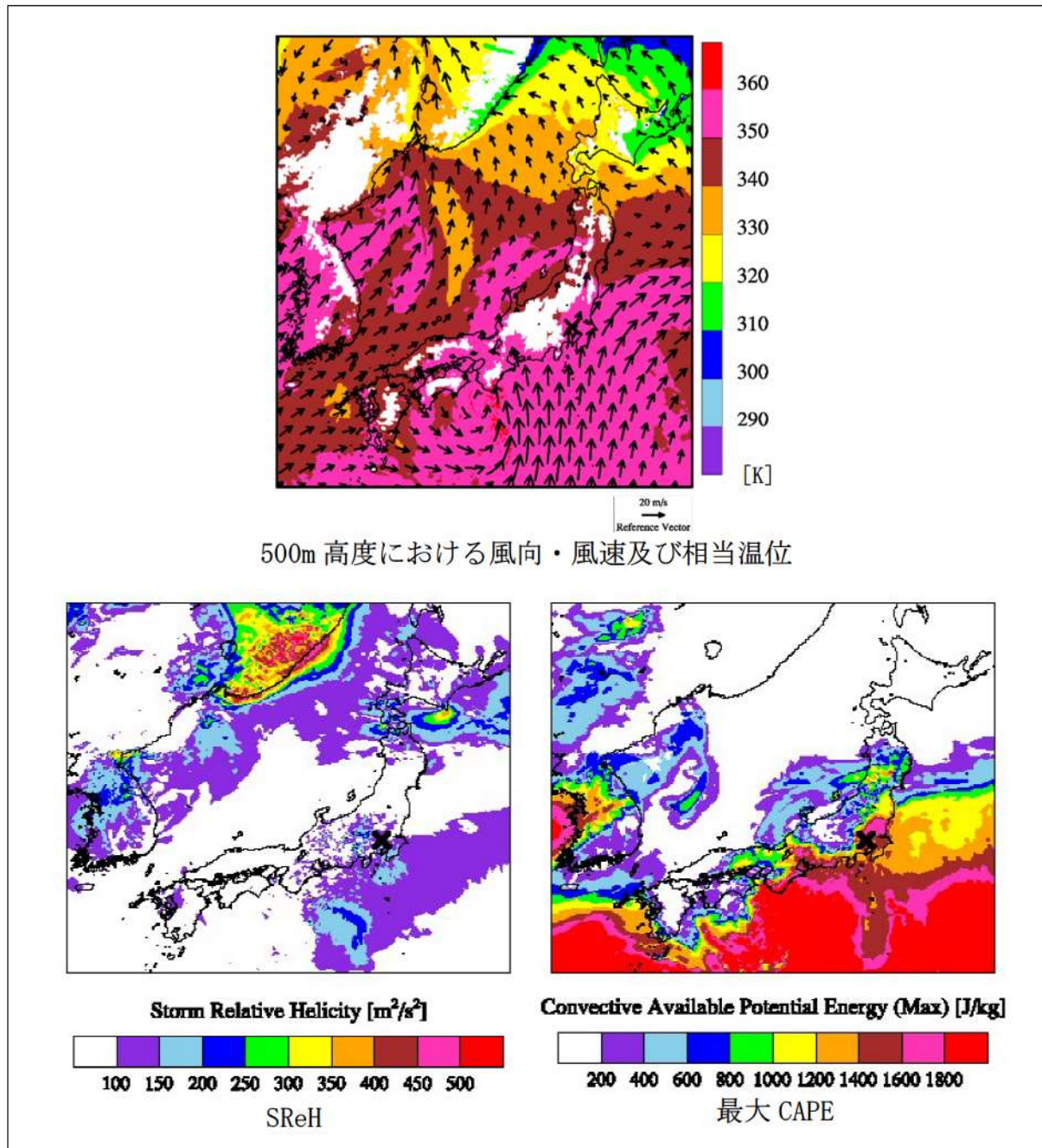
日本海側の低気圧をとりまくように、特に北側で SReH が非常に高くなっているが、温位が低く、CAPE の値も小さくなっている。一方、福島県沖に CAPE の高い領域が見られるが、SReH の値は小さくなく、相当温位も比較的 low、房総半島周辺とは状況が異なる。



第 4.4-1 図 1990/12/11 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.5 埼玉県浦和市(1971/07/07)F3 事例 (台風)

台風の中心は紀伊半島の南西沖にあり、中部から東日本にかけては、太平洋側から非常に CAPE が高く、不安定な空気塊が流入している。SReH は、1999/09/24 F3 事例 (豊橋竜巻) ほど大きくはないが、発生地点周辺では SReH が比較的高くなっており (×でやや見づらい)、SReH と CAPE の両方が共に大きい環境場となっていた。

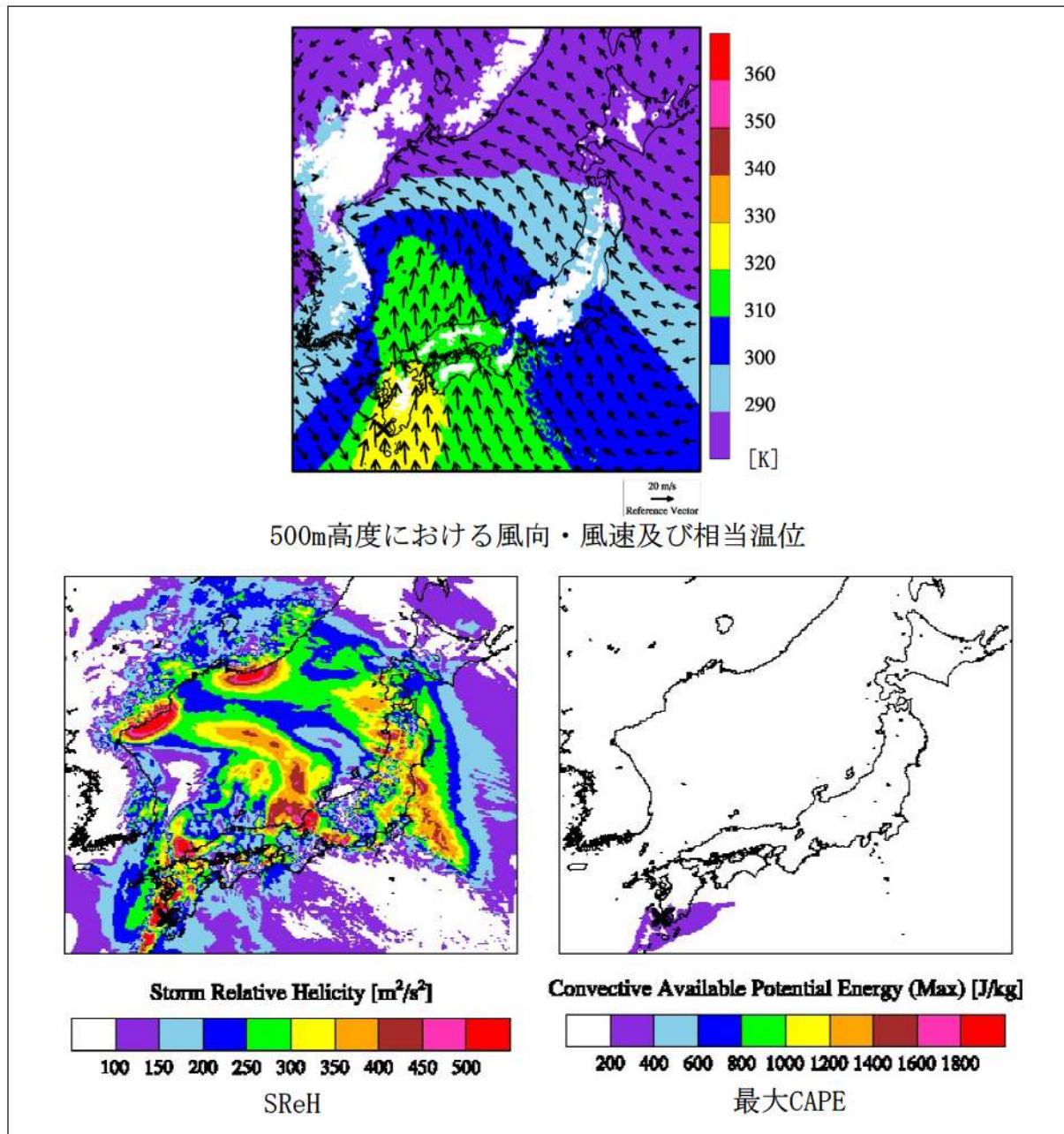


第 4.5-1 図 1971/07/07 の F3 事例における気象場と突風関連指数

4.6 鹿児島県枕崎市(1990/02/19)F2-F3 事例(寒冷前線・暖気の移流・その他(低気圧))

朝鮮半島東部の沖合にある低気圧から寒冷前線と温暖前線が伸び、九州から近畿にかけては比較的暖かい気流が太平洋側から流入している。その中でも発生地点周辺には最も暖かい空気塊が流入しており、鹿児島県南部では局所的に CAPE の値がやや高くなっている。

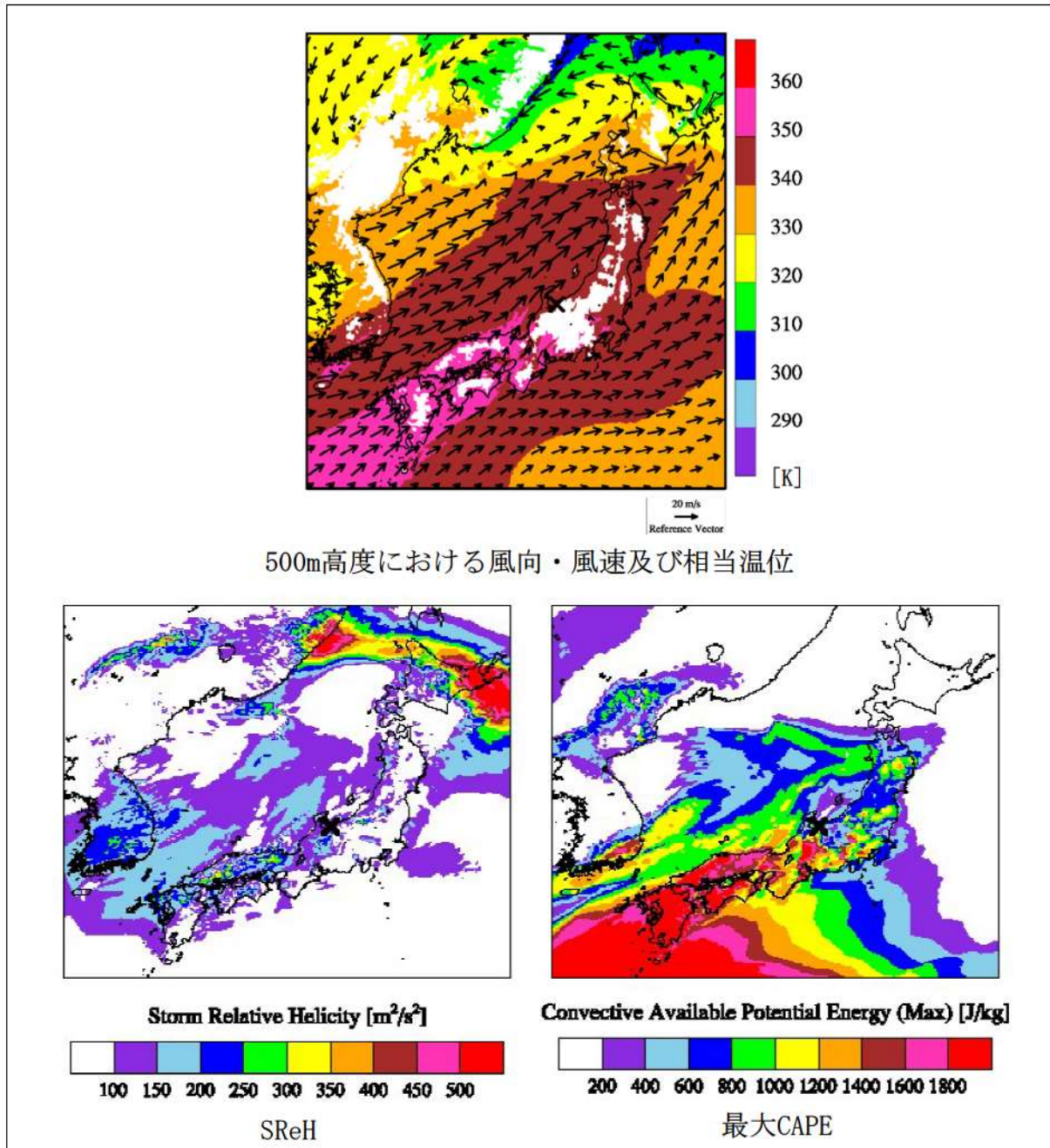
しかし、CAPE 値は F3 竜巻事例に見られるほど高くない。一方、寒冷前線に沿って SReH が非常に高かった。不安定性にやや欠けていたのが、F3 規模には至らなかった理由の一つであると考えられる。



第4.6-1図 1990/02/19のF2-F3事例における気象場と突風関連指数

4.7 富山県魚津市(1991/06/12)日本海側F2事例(寒冷前線・局地性擾乱)

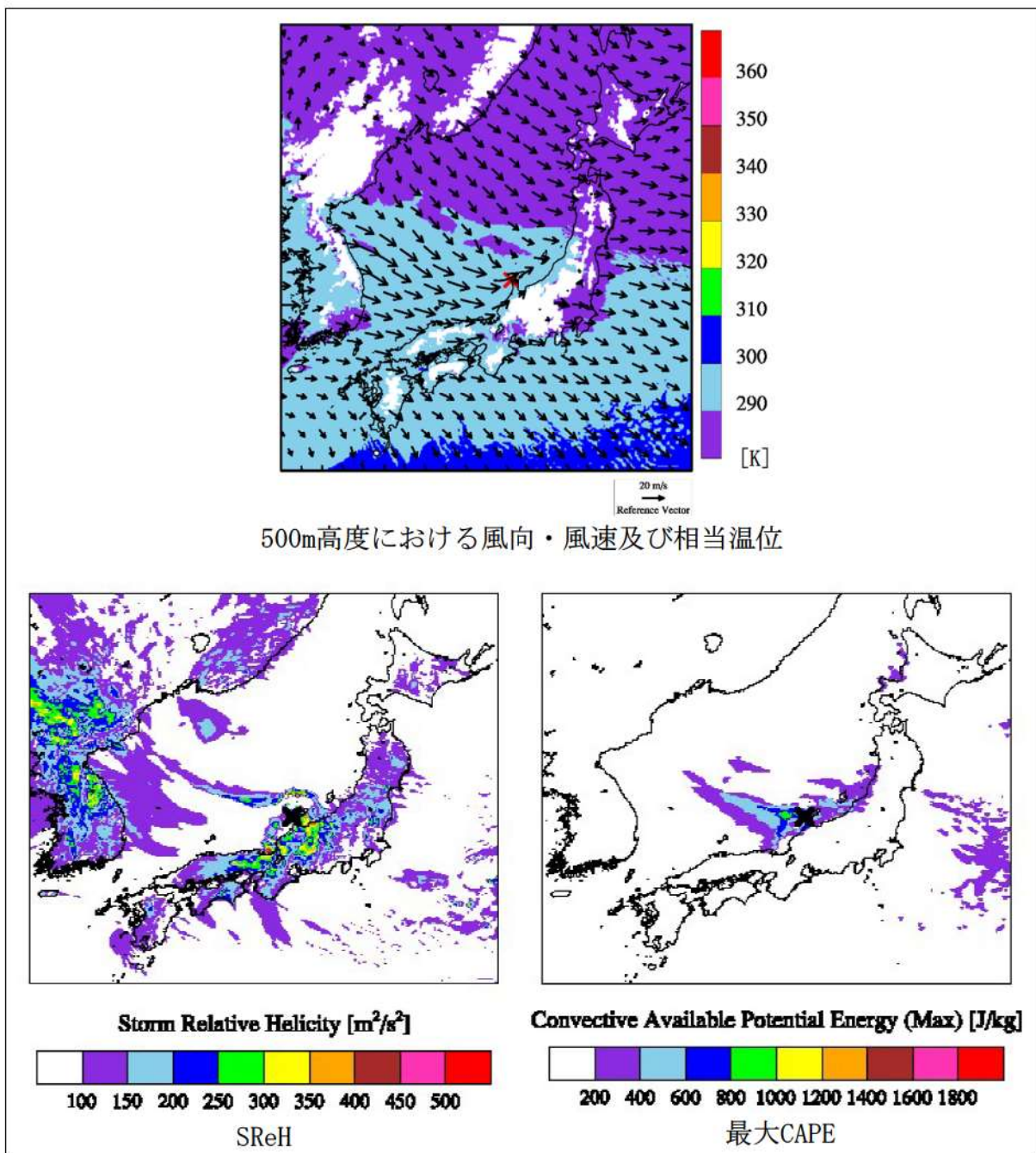
日本海側沿岸に沿って寒冷前線があり、その北側では西南西の風が吹いている。空気塊の暖かさとしては太平洋側と同等のもの(茶色)が、対馬海峡から日本海に入り込んでおり、青森県沖まで到達している。ただし、大気不安定度は暖候期にしては大きくなく、寒冷前線南側の九州から近畿にかけての不安定度(CAPE分布の赤い領域)と比べるとかなり小さい。SReHの値も特段高い傾向は見られず、F3発生時の環境場とは様相が異なる。



第4.7-1図 1991/06/12のF2事例における気象場と突風関連指数

4.8 石川県羽咋郡(1990/04/06) 日本海側 F2 事例 (オホーツク海低気圧・気圧の谷)

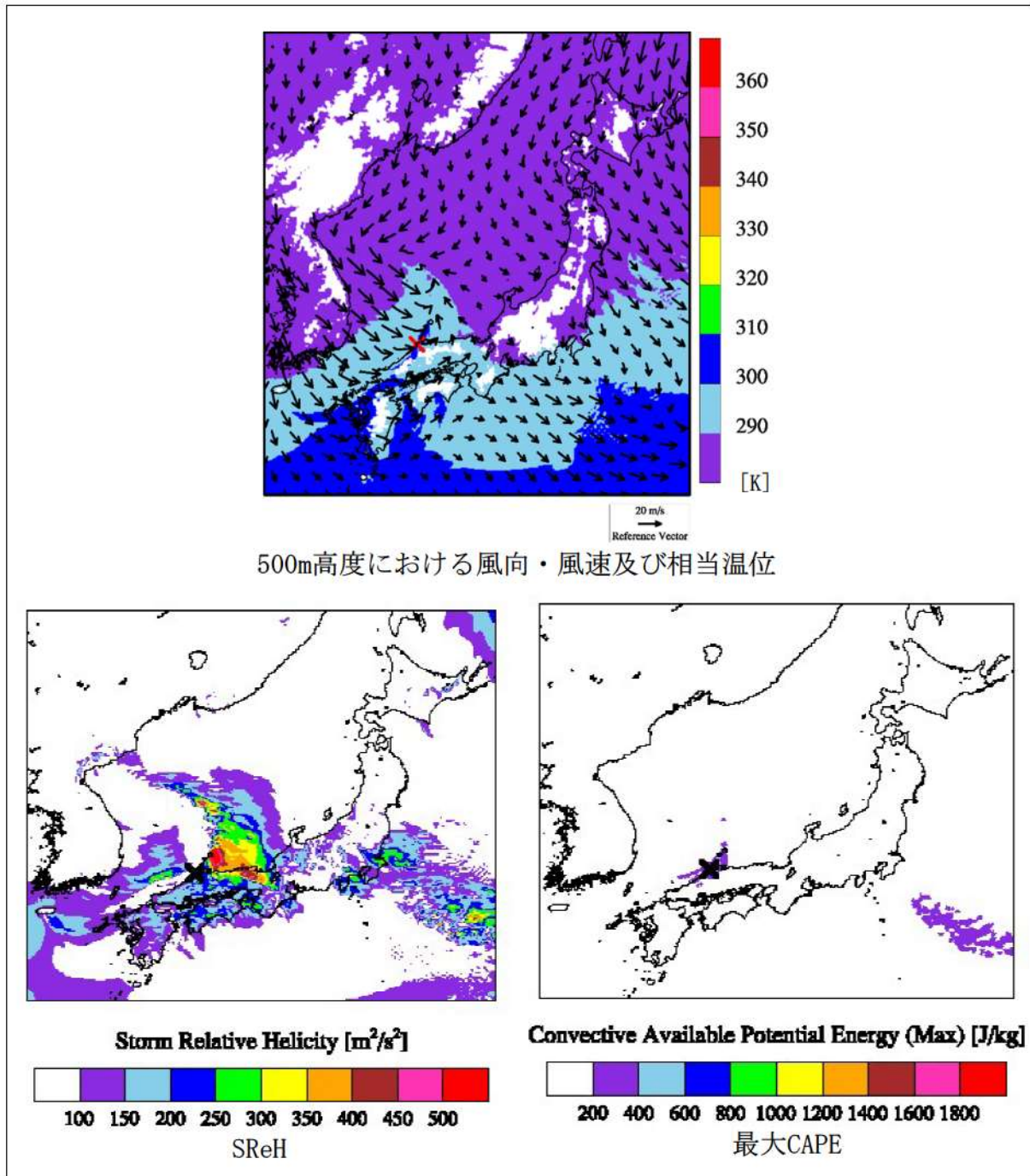
オホーツク海にある低気圧と九州の南西海上にある高気圧との間で、西高東低の気圧配置となっており、朝鮮半島東部から季節風が能登半島から敦賀湾に向かって流れ込んでいる。冬季によく見られる状況といえる。能登半島周辺での不安定度の高さは、海上で寒気が暖められて大気が不安定になったことが原因であり、SReH も高めである。特に能登半島周辺では高い。不安定化のメカニズムは異なるが2006/11/07 F3 竜巻 (佐呂間竜巻) と似た環境場になっている。ただし、SReH が佐呂間竜巻に比べて4割程度低く、これがF3規模に達しなかった理由の一つであると考えられる。



第4.8-1図 1990/04/06のF2事例における気象場と突風関連指数

4.9 島根県簸川郡(1989/03/16)日本海側 F2 事例 (局地性擾乱・寒気の移流)

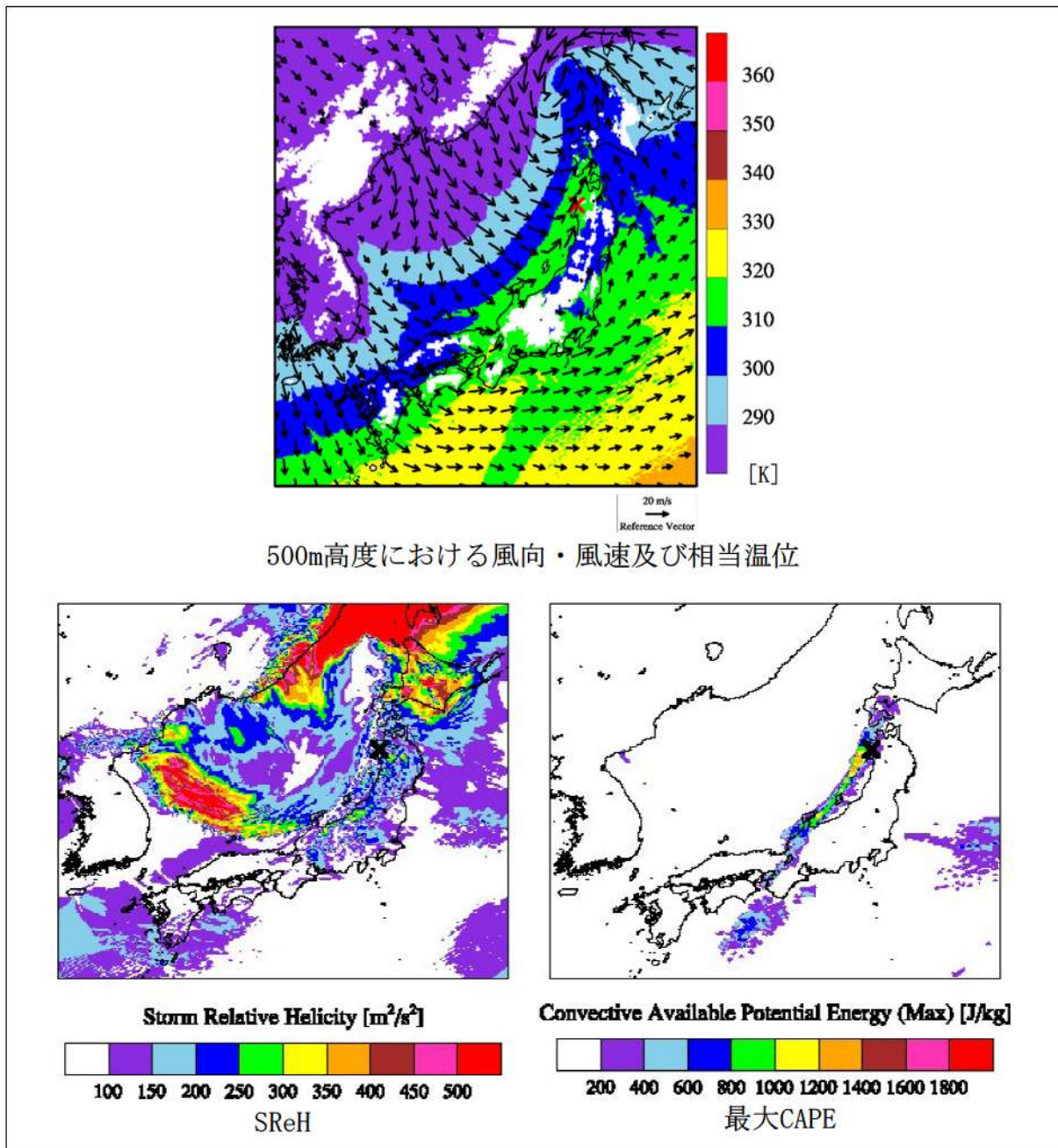
西高東低の弱い冬型の気圧配置にあり、朝鮮半島から寒気が流入している。島根県の沖で渦状の流れが形成されており、SReH がかなり高くなっている。しかし、やや不安定な大気になっているものの、他の日本海側 F2 事例よりもさらに不安定度が低くなっており、環境場の観点では、F3 規模まで発達するには不安定度合が欠如していたと考えられる。



第4.9-1図 1989/03/16のF2事例における気象場と突風関連指数

4.10 秋田県八森町(1999/11/25)日本海側 F1-F2 事例（日本海低気圧・寒冷前線）

北海道の西海上にある低気圧から延びた寒冷前線が日本海沿岸を通過した際に発生した。寒冷前線上では温位のコントラスト（青色と緑色）が明瞭であり，寒冷前線に沿った地域の中でも発生地点周辺は SReH が比較的高く，CAPE の高い範囲の北端部に位置している。CAPE の大きさは，寒候期に発生した F3 竜巻事例を上回ったが，SReH は低かった。



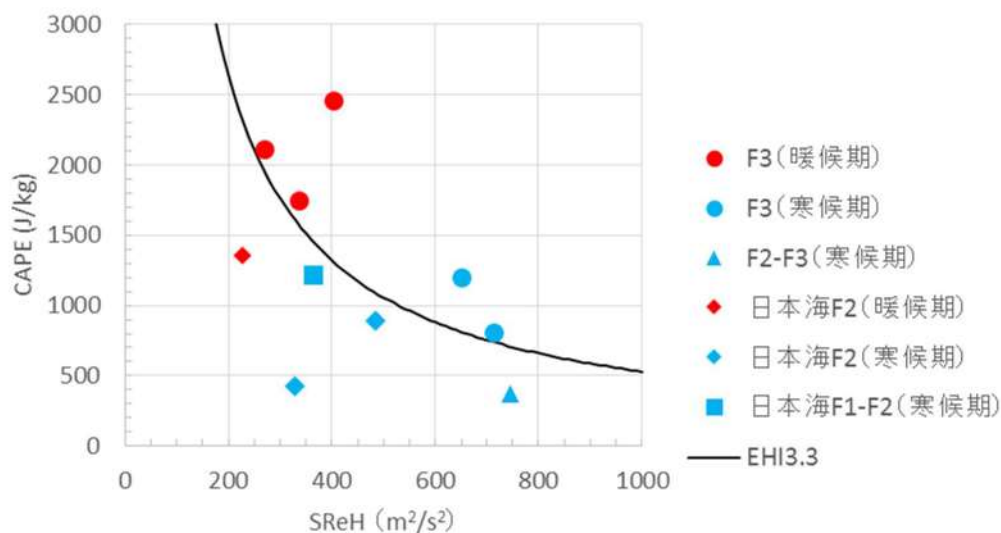
第4.10-1図 1999/11/25のF1-F2事例における気象場と突風関連指数

4.11 SReH・CAPE と竜巻強度との関係性

10 事例を分析した結果から以下の傾向が見られる。

- ① F3 竜巻事例では共通して、SReH と最大 CAPE の両方が大きく、太平洋側からの暖湿流の流入が見られた。寒候期（11 月～4 月）に発生した事例では CAPE が暖候期（5 月～10 月）に比べて小さいが、SReH が非常に大きく、大気不安定度の小ささを補っているようである。
- ② 今回分析した F2-F3 竜巻時の発生環境場は、CAPE（大気不安定度）が F3 竜巻発生時に比べてかなり低かった。F2 規模と F3 規模とで風速レベルで違いが大きく、本検討において F2-F3 竜巻を F3 竜巻と混合して扱うべきではない。
- ③ F2 竜巻でも SReH は F3 竜巻事例と同レベルの大きさになりうる。冬季の西高東低型の気圧配置下での日本海上での気団変質時、寒冷前線通過時、暖候期の場合は対馬海峡から日本海に向かって空気塊が流れ込む時に大気がやや不安定な状況が見られたが、多くの事例で大気不安定度は F3 竜巻発生時よりも小さかった。不安定度が大きかった事例もあるが、その場合 SReH が大きくなかった。つまり、両指数が共に大きくなる状況は見られなかった¹。

第 4.11-1 図は第 4-2 表における SReH と最大 CAPE の値を竜巻のカテゴリ別にプロットしたものである。F3 竜巻においては、暖候期と寒候期で CAPE の大きさが大きく異なっており（「5. 竜巻発生環境場の生起頻度分析」参照）、寒候期では暖候期に比べて値が小さいが、SReH が非常に大きい傾向が見られる。



第 4.11-1 図 SReH と最大 CAPE の関係

事例数が少ないことが課題であるが、日本海側の F2 規模竜巻の発生環境場では小

¹太平洋側の F2, F2-F3 竜巻はこの点で日本海側の F2 竜巻と異なるようである。太平洋側からの暖気流の流入下で起こるため、F3 竜巻と同レベルあるいは大きな指数になるケースが見られる。実際、小さな竜巻が F3 竜巻発生時の前後あるいはほぼ同時に発生することが F3 竜巻 5 事例中 4 事例見られた。

さな指数値の下でも竜巻が発生しているという点において、F3規模竜巻の発生環境場との違いが見られる。SReHとして $250\sim 300\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度以上、(最大)CAPEとして $1,600\text{J}/\text{kg}$ (暖候期)あるいは $600\text{J}/\text{kg}$ (寒候期)程度以上の環境場においてF3竜巻が発生しているとみなすことができる。EHIに対しては、3.3程度を超える場合にF3竜巻が発生している。この場合、季節に分けずに通年単位で分析できる可能性がある。

国内外の関連研究をレビューしたものを付録Bに記した。現時点では各研究とも課題がある状況であるが、特に米国での成果では、F3規模以上とそれ以外といった大きな竜巻とそれ以外を区分けすることにおいては両指数が活用できそうである。そこで、次節では、国内最大規模F3あるいはそれ以上の規模の竜巻が発生するのに適した環境場を対象に、その生起頻度の地域性について検討する。

5. 竜巻発生環境場の生起頻度分析

前節において過去に発生した竜巻に対する環境場を分析したところ、国内で(太平洋側で)発生したF3竜巻では、SReHと(最大MU)CAPEの両方が大きな値をとる傾向が見られた。ここでは、SReHとCAPEそれぞれに対してある閾値を設け、その閾値を同時に超える頻度を分析することにより、国内最大規模F3あるいはそれ以上の規模の竜巻発生を観点とした地域性について議論する。(杉本ら 2014a) また、参考としてEHIに対しても同様に検討することとする。

5.1 用いる気象データ

突風関連指数の地域性を見出すには、詳細なメッシュ間隔でかつ長期間のデータが必要である。そこで、ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の再解析データERA-Interim(1989年以降;水平分解能約70km)及びERA40(1989年まで;水平分解能約250km)をもとに、気象モデルを用いて数値的に気象場を解析したデータセット(橋本ら 2011)を用いる。当データセットは、気象庁と電力中央研究所が共同で作成したJRA-25再解析データ(Onogi et al. 2007)よりも $5\text{km}\cdot 1$ 時間毎と時空間解像度が細かく、豪雨事例の再現性も高まっている(橋本ら 2013)。本検討では、1961年から2010年までの50年間にわたって1時間毎に解析されたデータを用いる。詳細メッシュでかつこれほど長期間のデータセットは他に類をみない。

ECMWFの再解析データは、地球温暖化予測を目的として世界的に広く活用されており、最も精度が高いものと認識されている。しかし、空間分解能が非常に粗いため、物理的ダウンスケーリング手法として、WRFモデルを用いた長期再解析により 5km メッシュの気象場を算出してデータセットを作成し、本データセットで解析されている上空風、気温、気圧等の気象データを用いて、SReHとCAPEの値を1時間毎 $\cdot 5\text{km}$ メッシュで算出した。50年間にわたるデータサンプル数は各メッシュに対して約 4.4×10^5 個存在することとなる。

5.2 季節間の傾向差

F3 竜巻の発生環境場の特徴として、寒候期（11月～4月）に発生した竜巻の CAPE が暖候期（5月～10月）に比べて小さく、SReH が高い傾向にあった。こうした季節に応じた指数の特徴の違いについて考察する。

第 5.3-1 図は、SReH の閾値を $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 、CAPE（最大 CAPE ではない）の閾値を 250 J/kg に設定し、各指数に対する超過頻度（全体の母数に対する割合（%））を各モデル格子点に対して月別に算出したものである。ここでは小さな閾値を設定している¹。SReH に対しては、日本海及び沿岸域では冬季に頻度が大きく、大きな値をとる傾向が示唆されている。また、関東平野、及び日高山脈周辺では年間を通じて他地域に比べて高い頻度を有している。7月 は全体的に低くなっている。一方、CAPE に対しては、寒候期で低い値をとり、暖候期で高い値をとる傾向が見られ、緯度依存性も見られ、 Chuda and Niino(2005)の分析結果と整合している。この緯度依存性は、熱帯域ほど暖かく、高い雲ができやすいことと関係している。CAPE については、季節・緯度依存性が強く、南に行くほど、暖かい季節になるほど絶対値が大きくなっている。加藤(2008a)でも指摘されているように超過頻度を検討する上ではこの特徴を踏まえる必要がある。そのため、以下の検討では、季節に応じた最大 CAPE の閾値を設定して超過頻度を求めている。

ところで、閾値が変わると第 5.3-1 図で見られる頻度分布もそれに応じて変わるが、相対的な頻度大小関係はある程度保持される。国内最大規模 F3 の竜巻は太平洋側沿岸の平野部で発生しているが、CAPE の値は基本的に南ほど高い値をとるため、CAPE の地域性とは整合しない（例えば、沖縄では F3 竜巻は発生していない）。また、SReH においても整合しない（例えば、日本海側で F3 竜巻は発生していない）。少なくとも片方の指数だけでは F3 竜巻発生地点の地域傾向を説明することはできない。したがって、SReH・CAPE の関係性（第 4.11-1 図）から両方の指数を考慮した場合に説明づけられるか否かがポイントとなる。

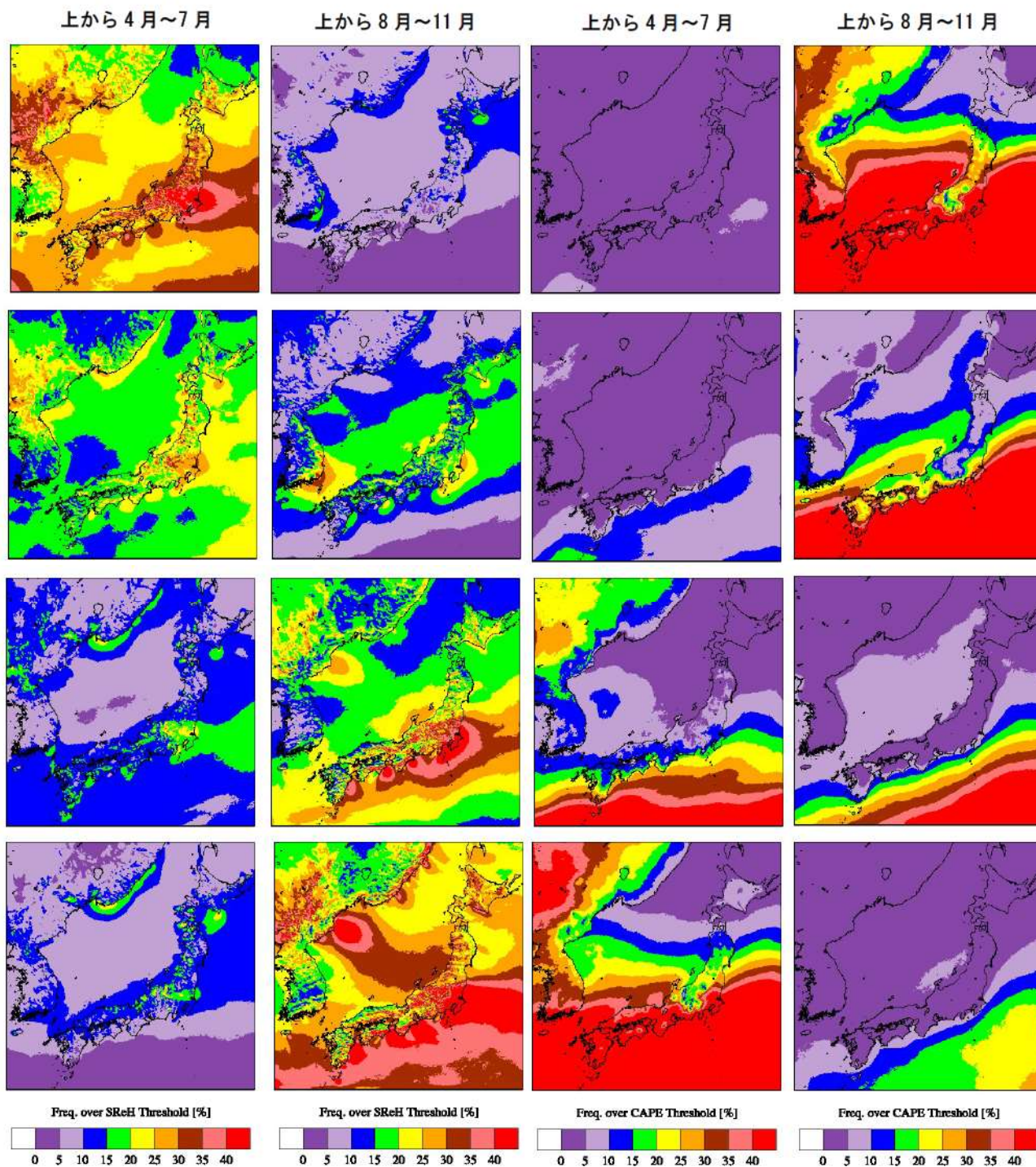
5.3 同時超過頻度分布に見られる傾向

前節における検討結果（第 4.11-1 図）を踏まえ、SReH の閾値を $250 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 、CAPE の閾値を $1,600 \text{ J/kg}$ （暖候期）あるいは 600 J/kg （寒候期）として、同時超過頻度を算出する。また、竜巻発生時には降水現象を伴うものと考えられることから、降水量の閾値 2 mm/hr を条件に追加した。なお、降水量の閾値については頻度値の大小に若干影響を及ぼすが、結果の解釈には全く影響しないことを確認している。

暖候期・寒候期別に同時超過頻度を算出した結果を第 5.3-2 図に示す。また、第 5.3-3 図は、気象庁の「竜巻等の突風データベース」で確認された F2-F3 竜巻及び F3 竜巻の発生箇所を示したものである。暖候期においては、同時超過頻度 0.01%前後の地域が茨城県以西の太平洋側及び九州の沿岸域の平野部に広がっており、超過

¹閾値を小さく設定するという事は、スーパーセルだけではなく、小さな雷雨発生の環境場も捕捉することを意味する。

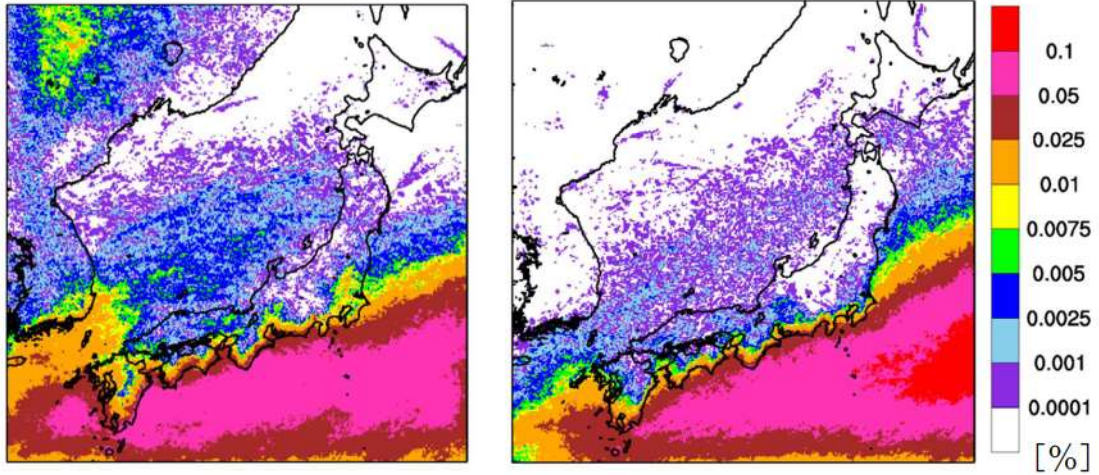
頻度の高い地域は F3 規模の竜巻の発生箇所を含包している。つまり、超過頻度の高い地域で F3 規模以上の竜巻発生に適した環境場が整いやすいことが示唆されている。それに対し、日本海側，東北太平洋側，及び北海道・下北半島といった北日本での超過頻度の値は，1～2 オーダ以上小さな値となっている。



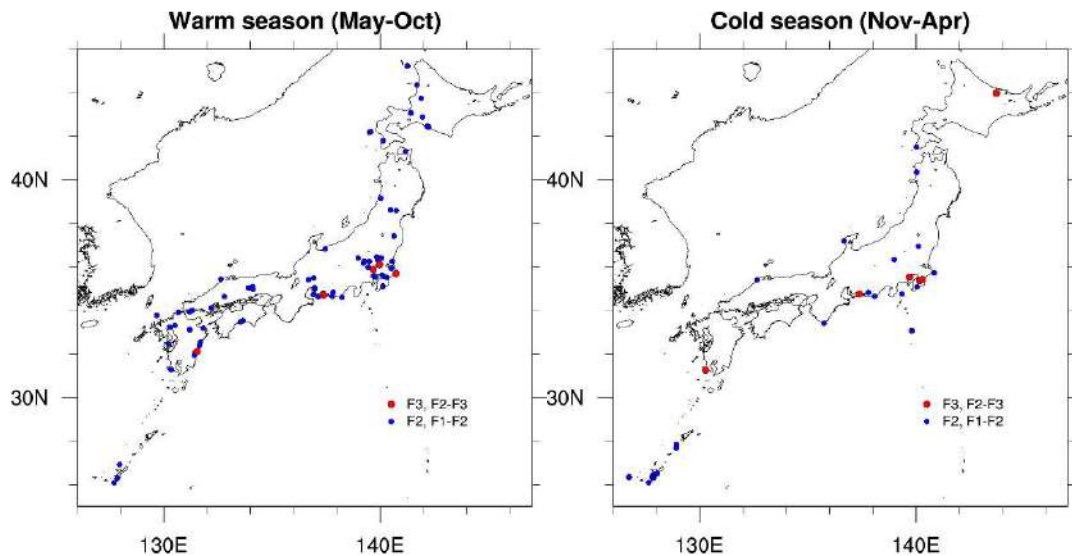
第 5. 3-1 図 月別の SReH (左側 2 列) 及び CAPE (右側 2 列) の超過頻度分布

また、寒候期の超過頻度分布では，頻度が高い地域が南側にシフトしているが，F3 竜巻発生箇所がより沿岸に近い地点に限られていることと対応している。全体的に暖

候期に見られる傾向と同様であり、また F3 規模竜巻の発生数に季節間の差が見られないことも反映されている。このように、過去の F3 竜巻発生時の環境場の解析結果を踏まえて設定した SReH と CAPE の閾値を両方超過する頻度の分布は、実際の F3 竜巻の発生箇所の傾向と整合している。



第 5.3-2 図 同時超過頻度分布 (F3 規模以上を対象; 左: 暖候期, 右: 寒候期)
(実績ベースの閾値 (SReH : 250 m²/s², 最大 CAPE : 1,600 J/kg (暖) 600J/kg (寒)))



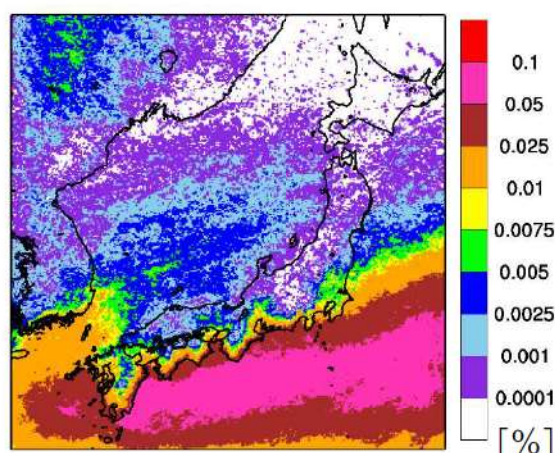
第 5.3-3 図 F3 竜巻 (F2-F3 を含む) 及び F2 竜巻 (F1-F2 を含む) の発生箇所
(左: 暖候期, 右: 寒候期)

同時超過頻度分布は、閾値を「超過する」という意味において、F3 規模あるいはそれ以上の規模の竜巻が発生するのに適した環境場の生起しやすさを表現していると解釈できる。

この分布では、高標高山岳 (九州山地, 四国山地, 中国山地, 中央アルプス等) の

南北で頻度が大きく異なっており、これら山岳によって太平洋側からの暖気流が遮断される効果（第 2.3-3 図参照）が大きな竜巻の発生に影響していることも示唆されている。

EHI を用いた場合、第 5.3-2 図に見られる両季節の傾向の中間的な傾向が見られる。第 5.3-4 図は、EHI の閾値を 3.3（第 4.11-1 図参照）にした際の超過頻度分布である。通年単位で閾値を設定しているため、中間的な傾向を示すのは妥当である。また、SReH と CAPE の両方の指数を用いる方法においても問題がないことを示唆している。つまり、米国とは異なり（付録 B 参照）、国内においては、SReH あるいは CAPE の片方が異常に大きく、EHI がある程度高い値を示すような事例が稀であるからである。



第 5.3-4 図 超過頻度分布（通年；EHI の閾値：3.3）

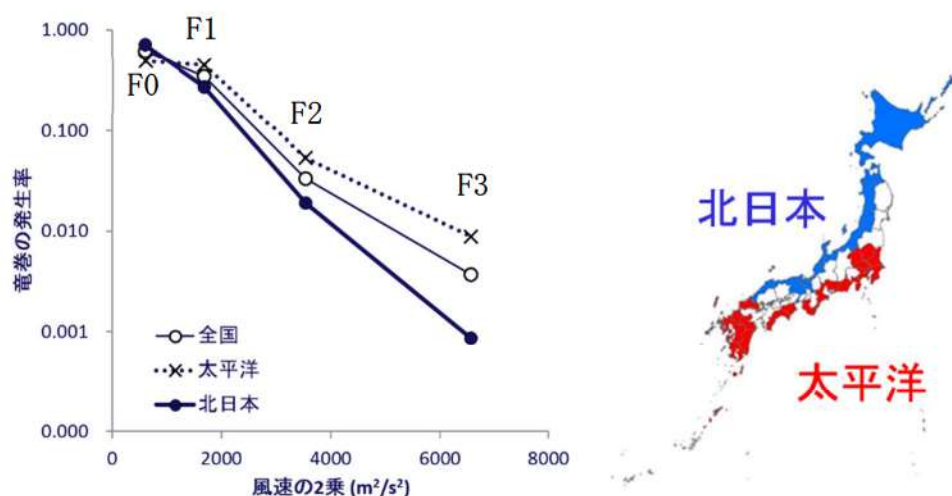
5.4 F3 規模の最大風速を考慮すべき地域

第 5.3-2 図より国内最大規模の F3 竜巻が発生するのに適した環境場が形成される頻度には地域差があることがわかった。この分布形態から実際に F3 規模の竜巻を考慮すべき地域を特定するには確率論的な議論が必要である。つまり、国内の竜巻影響評価ガイドに記載されている超過確率 10^{-5} 、米国の評価ガイド等 (Ramsdell and Rishel 2007, U.S. NRC 2007) で記載されている超過確率 10^{-7} を参考として必要となる風速レベルを考慮する必要がある。

第 5.4-1 図は、ハザード評価と同様に海上 F 不明竜巻を按分して各 F スケール竜巻の 51.5 年間（1961 年～2012 年 6 月）疑似発生数を分析し、F スケール毎に発生率（対象 F スケールの発生数/疑似発生数）を地域別にプロットしたものである。太平洋側と北日本とでは竜巻の全発生数に大差はないことから、この発生率で対象 F スケール竜巻の発生しやすさを概ね把握することができる。Dotzek et al. (2005) と同様、F スケールが大きくなるほど指数的に頻度が低減しているが、F3 規模の発生率は、茨城県以西太平洋側・九州沿岸では、その他の地域に比べ 1 オーダ程度発生率が高くなっており、突風関連指数の分析結果と整合していることがわかる。日本海側沿岸や東北太平洋側・下北半島では、F3 竜巻が発生していないため、もっと

頻度が小さくなることが予想できる。また、F2 規模になると地域差が小さくなり、F0 規模ではむしろ太平洋側の方が若干少なくなることも見てとれる。

九州電力川内原子力発電所を対象とした竜巻影響評価において、(海岸線に対して陸側・海側 5km の竜巻検討地域に対する) ハザード評価結果では、F3 規模竜巻 (風速 92m/s) に対する超過確率は大凡 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ にある。上記のように、日本海側を含む北日本では F3 規模竜巻の発生しやすさ、及び発生数は、太平洋側に比べて少なくとも 1 オーダは低いことを考慮すると、F3 規模竜巻の風速が生起する確率は、超過確率にして $10^{-7} \sim 10^{-8}$ を下回る。この超過確率レベルは米国の評価ガイドに規定されているレベルを下回っている。そのため、北日本・日本海側の地域では、F3 規模竜巻の風速レベルは基準竜巻風速としては想定範囲外の範疇に入ると考えることができる。



第 5.4-1 図 各 F スケールの発生率

5.5 閾値が同時超過頻度の分析結果に及ぼす感度

小さな閾値を設定すると、雷雨 (非竜巻)・小さな竜巻の発生を勘案することとなるため、全体的に頻度値が上昇し、(発生実績と同様に) 地域性が明瞭でなくなる。一方、非常に大きな閾値を設定すると、F4・F5 規模の非常に大きな竜巻に着目することになり、高頻度域は太平洋側のさらに限定された地域になる。杉本ら (2014b) は、国内最大規模の F3 規模が発生する環境場として適切な閾値を、SReH については $150 \sim 550 \text{ m}^2/\text{s}^2$ の範囲 ($100 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 刻み)、最大 CAPE に対しては、 $200 \sim 1,500 \text{ J/kg}$ (100 J/kg 刻み) の範囲の値の組み合わせで検討した。最適とみなされた組み合わせに対する結果は第 5.3-2 図に示した結果に概ね沿ったものとなっている (付録 E)。

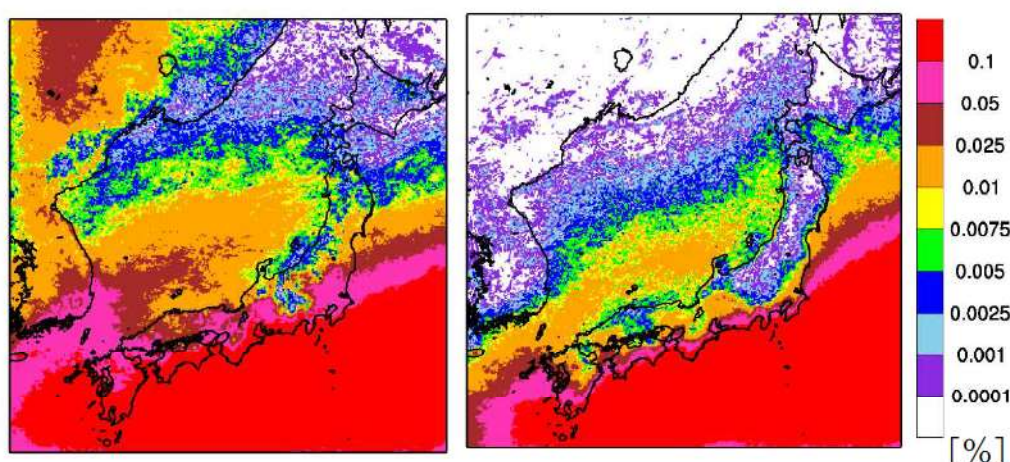
突風関連指数を用いたメソスケール分析はスーパーセル型竜巻に適するため、非スーパーセル型竜巻を含む F2 規模の竜巻を含めた分析に SReH や CAPE といった突風関連指数を用いる適用性は微妙ではあるが、ここでは F2 規模以上の竜巻の発生頻度を念頭においた閾値について考えてみる。第 4.11-1 図の結果から両指数の閾値を

$$\text{SReH} : 200 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

最大 CAPE : 1,000J/kg (暖候期), 350J/kg (寒候期)

とする¹。ただし、暖候期については 参考にできる竜巻が 1 事例しかないため、650J/kg の閾値についても検討する。EHI を用いる場合、島根県で発生した 1989/03/16 F2 事例以外は 1.5~2.0 前後の EHI に入っているが、1989/03/16 F2 事例では 0.8 強にとどまっている。そこで、1.5 と 0.8 を EHI の閾値として超過頻度の算出を試みる。

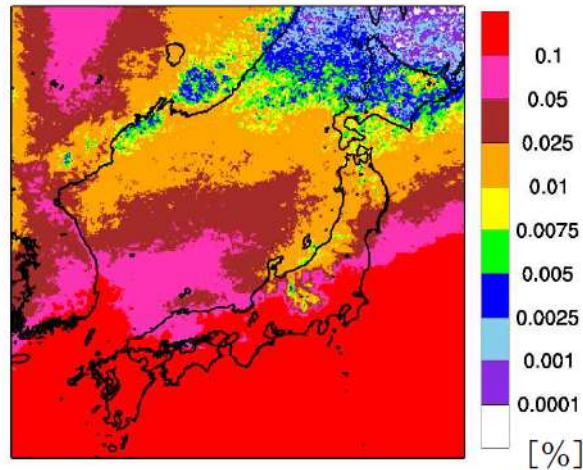
同時超過頻度の算出結果を第 5.5-1 図に示す。F3 規模以上の竜巻を対象とする場合よりも頻度は全体的に上がっている。第 5.3-2 図では奄美・沖縄方面では本州（茨城県以西）太平洋側に比べて頻度がやや低くなる傾向が推測されるが、第 5.5-1 図では奄美・沖縄地方でも値が高い傾向が推測され、実際の発生箇所（第 5.3-3 図）に整合している。



第 5.5-1 図 同時超過頻度分布 (F2 規模以上を対象 ; 左 : 暖候期, 右 : 寒候期)
(SReH の閾値 : $200\text{m}^2/\text{s}^2$, 最大 CAPE の閾値 : 1,000J/kg (暖) 350J/kg (寒))

暖候期においては、福島県から宮城県の太平洋側及び本州日本海側沿岸での頻度が高まり、中部地方以西では内陸も含めて頻度が高く、東日本も内陸深くまで頻度が高くなっている。実際の F2 規模以上の発生箇所の多くを包含できている。しかし、北海道の石狩地方以北で F2 竜巻が計 4 個発生しているが、同時超過頻度はかなり低い。CAPE の閾値を 1,000J/kg から 650 J/kg 程度まで落とすと対応性は高まり（第 5.5-2 図）、能登半島以北の日本海側・北日本における頻度は本州・中日本以南に比べて少し低い程度となって、全体的に地域間の差は薄れる。第 5.4-1 図 (F2 規模以上の場合、全国平均からの差は、太平洋側とそれ以外の地域ともに 1 オーダの差はない) を踏まえると、第 5.5-2 図の方がベターと考えられる。

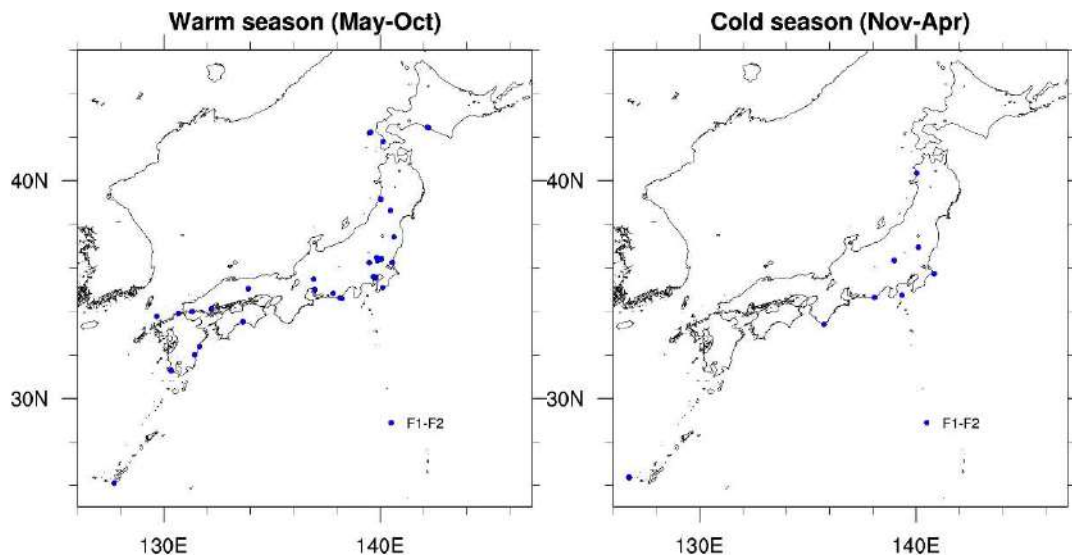
¹太平洋側 F2・F1-F2 竜巻の場合は F3 規模に対する閾値を同時に超過する竜巻がいくつか存在する。その一部は F3 竜巻（茂原竜巻、豊橋竜巻、つくば竜巻）とともに発生したものである。環境場としては F3 竜巻が発生している状況下でも、マイクロスケールの気象メカニズム等で小さな竜巻が発生することがあると解釈できる。つまり、閾値は、環境場（親雲スケールの気象場）を観点とした、対象規模の竜巻が発生するための「必要条件」であるといえる。



第 5.5-2 図 同時超過頻度分布 (暖候期)
 (SReH の閾値 : $200\text{m}^2/\text{s}^2$, 最大 CAPE の閾値 : $650\text{J}/\text{kg}$)

オホーツク地方で頻度が高く、F2 規模程度の竜巻が発生する環境場は東北・道南地方に匹敵した確率で形成されうるといえる。

寒候期においても福島県から宮城県の太平洋側、襟裳岬から道南方面の沿岸部、及び本州・道南の日本海側沿岸で頻度が大きくなっている。道南より北側の日本海側沿岸で頻度が増えていないのは実態と整合している。中央アルプス以北の中央山地で頻度は低めである。この地域で竜巻は 2 箇所発生している (第 5.3-3 図) が、共に F1-F2 規模の小さな竜巻である (第 5.5-3 図)。

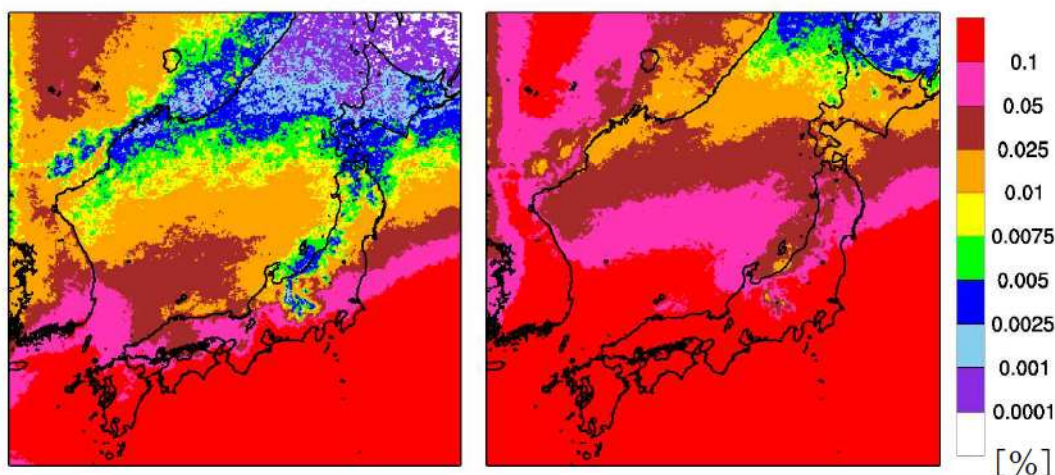


第 5.5-3 図 F1-F2 竜巻の発生箇所

「4. 国内で発生した F3 竜巻及び日本海側 F2 竜巻の数値シミュレーション」における個別竜巻の分析事例において、暖候期に対しては 1988 年以降に発生した F2 あるいは F1-F2 竜巻が 1 事例しかない。第 5.5-1 図に示した東北太平洋側沿岸から道

南・道東にかけての頻度において、暖候期の方が低いというのは海水温の高さの季節性との整合性にも欠けるため、最大CAPEの閾値は1,000J/kgよりも小さくした方がよいと思われる。第5.5-2図で用いた閾値650 J/kgの妥当性の判断は今後発生するであろうF2規模の竜巻の発生を踏まえた分析結果をもとに再度検討する必要があるが、概ね発生状況の地域性は表現できている。

EHIを用いた場合、EHI1.5では、第5.5-1図の暖候期、寒候期の状況を平均的に見た時の頻度分布に大凡あてはまる(第5.5-4図左図)。1989/03/16 F2事例を参考に0.8まで閾値を下げると、地域性は殆ど見られなくなる(第5.5-4図右図)。上述のように、暖候期の分布は第5.5-1図よりも閾値を下げた第5.5-2図の分布の方がよい傾向が見られることから、EHI1.5の結果は頻度を過少に評価している可能性がある。しかし、閾値を0.8まで落とした結果では、茨城県以西太平洋側+九州沿岸と、それ以外の地域との差がかなり小さく、落としすぎのようである。いずれにしても、F2規模以上の竜巻を対象とする場合、F3規模以上を対象とする場合とは異なって季節間での発生数の差があり(第5.3-3図)、EHIを用いた通年評価をすることについては議論の余地が大きい。



第5.5-4図 超過頻度分布(通年; EHIの閾値: (左) 1.5, (右) 0.8)

6. 佐呂間竜巻に対する考察

第5.3-2図の同時超過頻度分布において、北海道では超過頻度が非常に低いですが、網走支庁網走支庁佐呂間町ではF3竜巻が発生している。ここではこの竜巻に対する考察及び影響評価における取り扱いの方向性について述べる。

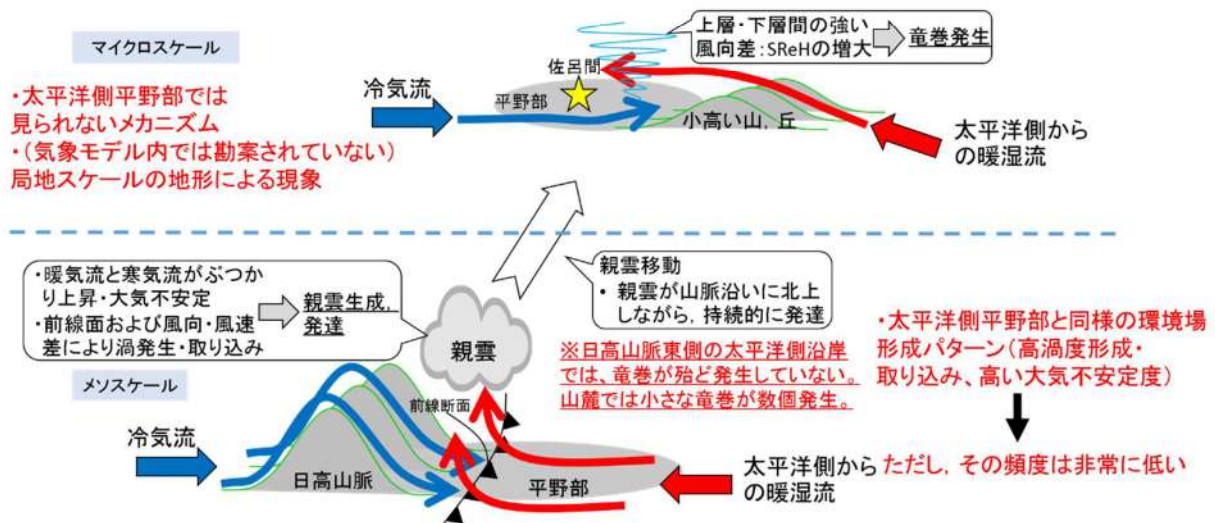
佐呂間竜巻の発生メカニズムについて過去の知見を踏まえ、第6-1図のように模式的に示した。第4.2-1図に示したように、当竜巻発生時においては、太平洋側からの暖気流が道東・オホーツク地方に流入している環境下で、高いSReHを伴う寒冷前線が通過しており、第4.11-1図に示すように、SReH、CAPEともに一定の高さを保持していた。この意味で、太平洋側で過去に発生したF3竜巻の環境場の特徴と同様の特徴を有する。ただし、CAPEについては、第4.2-1図に示したように、SReHとは異なる

り、降水域が発達した日高山脈の東側に広く高い値をとっているわけではなかった。一方、加藤（2008b）が以下のように指摘しているように、この竜巻に対しては周辺地形によるマイクロスケールの影響を無視できない。

「下層での鉛直シアの強化は、ガストフロントの前面下層の気圧低下による水平風加速に加えて、強い鉛直渦度生成領域の風上（南南東）側に南南西～北北東に伸びる最大標高 600m 以上で幅 10km ほどの尾根による山岳波の影響を少なからず受けている。実際の竜巻発生位置の風上側にも同様な尾根が存在していることから、佐呂間竜巻は地形の影響を受けて発生したと考えられる。」

このマイクロスケールの効果は環境場では考慮できない（解像できない）ため、両指数の値は、特に SReH では第 4. 11-1 図でプロットした結果よりも高まっている可能性が高い¹。

前節でも議論したように、オホーツク地方は北海道の中でも F2 規模以上の竜巻であれば本州北日本と同等の頻度で環境場が形成されやすい地域であるが、F3 規模以上の竜巻に対しては環境場が形成され難い、つまり F3 規模に到る程度に大気不安定な空気塊の流入と高渦度を有した総観場の通過が同時に発生する頻度が極めて低い。佐呂間竜巻が地形影響を受けていることを踏まえると、竜巻発生を観点とした気候としては、この地域で F3 規模の竜巻発生に適した環境場は極めて生起しがたく、佐呂



第 6-1 図 佐呂間竜巻の発生メカニズムに関する模式図

間竜巻発生時においても F3 規模竜巻の発生には（特に最大 CAPE においては）微妙な環境場であった²が、近隣の周辺地形の影響を強く受けて F3 規模の竜巻発生に到ったと解釈するのが妥当と考えられる。

上述のように、竜巻発生環境場に関する同時超過頻度分布（第 5. 3-2 図）、及び発

¹MLCAPE の値は非常に小さく（瀧下ら 2011）、MUCAPE の値は大きめであることから、尾根を乗り越えた先の佐呂間町上空における（寒冷前線起因の）冷気流の上側で、大気が局所的に不安定になっている可能性は否定できない。

²佐呂間竜巻は季節の変わり目に発生したが、暖候期の傾向が強かった（第 5. 5-1 図参照）といえる。

生率の分析結果（第 5.4-1 図）をもととした超過確率の議論では、竜巻検討地域の設定及び基準竜巻風速 V_{B1} の設定に佐呂間竜巻を特段考慮する必要はない。それはこの竜巻が基準竜巻設定で対象としている地域性・空間スケールよりも局地的・小さな空間スケールを有する地形影響を受けたものであるからである。むしろ、この影響については、竜巻影響評価ガイドにおける設計竜巻 V_D の設定時に考慮するのがガイドの趣旨に沿っている。

佐呂間竜巻のような竜巻が発生するかどうかについては、当時の気象場（総観場（寒冷前線）、気流場、大気不安定度）と周辺地形の類似性を確認すればよい。確認のポイントとしては、これまでに説明した気象場の分析結果を踏まえれば以下 2 点である。

- ・太平洋側からの暖湿流が高標高山岳等に遮断されずに直接流入しうる地域である。
- ・近隣地形（数キロ程度四方の範囲）において、（太平洋側からの）暖気流の流入方向に尾根状の丘・山が存在すること。

この条件を満たせば、寒冷前線通過時に、暖かい空気塊が尾根を乗り越えて寒冷前線起因の冷氣流の上側に流入できる。このような確認を行う必要があるのは、東北太平洋側や北海道オホーツク地方・道南地方等太平洋に面した地域に立地した発電所である。発電所は沿岸部に立地しているため、佐呂間竜巻で影響を及ぼしたような尾根形状の島が沖近くに存在するかがポイントとなる。日本海側沿岸部に立地した発電所においては、高標高山岳の影響が大きいため（第 2.3-3 図）、不安定性の非常に大きい暖湿流が流れ込むような状況は生じがたい。

7. まとめと今後の課題

以上、数値気象モデル及びモデル解析データをもととした竜巻検討地域の設定方法について、特に検討地域における最大竜巻規模を基準竜巻風速 V_{B1} として採用できるかどうかを観点として、竜巻発生環境場の分析を行った。その結果、以下の結果が得られた。

- ・ F3 規模の竜巻、F2-F3 規模の竜巻（1988 年以降）、日本海側 F2 規模の竜巻（1988 年以降）、及び日本海側 F1-F2 規模の竜巻（1988 年以降）を対象に、WRF モデルと ECMWF 再解析データを用いた気象解析を行い、5 km 解像度での気象場と突風関連指数（SReH・CAPE）の分布を分析した。
- ・ 上記竜巻事例に対して竜巻発生地点周辺における SReH と CAPE の両指数の値を分析し、F3 規模以上の場合と F2 規模以上の場合の両方に対して、地域性を考える際の妥当な閾値について検討した。
- ・ F3 規模以上の竜巻を対象とした閾値を同時に超過する頻度の分布を 50 年間の長期再解析データをもとに算定した。その結果、茨城県以西の太平洋側沿岸及び九州沿岸の平野部で頻度が高く、実際の竜巻発生箇所とも整合していた。一方、その他の地域では、上記太平洋側地域に比べて 1~2 オーダ以下の頻度であった。
- ・ 総観スケールでの気流場では、日本列島の高標高山脈によって太平洋側から流れ

込む不安定性の高い暖湿流が遮断され（第 2.3-3 図）、この気流パターンが F3 規模の大きな竜巻が日本海側で発生せず、茨城県以西の太平洋側沿岸域において発生するという実績と関係していると考えられる。大きな竜巻はさまざまな総観場区分に発生しているが、総観場区分で「局地性」と判定された竜巻は、スケールの小さな非スーパーセル型であり、上記太平洋側沿岸域と対応していない。一方、総観場として「台風性」と判定された大きな竜巻の発生箇所は対応している。そのため、台風性の大きな竜巻の発生箇所を検討地域の設定の参考にすることは一つの方法として考えられる。

- ・ 同時超過頻度分布の特徴は、疑似竜巻発生数を用いた F3 竜巻の発生率の地域差と対応していた。2 つの突風関連指数を用いた分析は地域性検討に有効であると考えられる。また、超過確率の観点では、 10^{-7} の超過確率以上の風速を検討対象とするのであれば、F3 竜巻の風速レベルを考慮すべき地域は上記太平洋側・九州の沿岸域に限られる。
- ・ 佐呂間竜巻に関連して、オホーツク地方は気候的には F2 竜巻が一定以上の生起確率で発生しうる地域であるが、F3 規模以上の竜巻発生環境場は極めて形成されがたい地域である。佐呂間竜巻に対しては周辺地形の影響を少なからず受けたことが報告されており、基準竜巻設定ではなく、設計竜巻設定時にこの竜巻と類似したものが発生する可能性を定性的に考慮するのが評価ガイドに沿っている。
- ・ EHI を用いた評価は、F3 規模以上の場合では概ね良好であるが、F2 規模以上の場合では、季節間の発生数の違いが大きいため、通年レベルでの評価が難しいようである。現時点では、季節を分けて SReH と最大 CAPE を用いて評価する方がベターだと思われる。
- ・ メソスケールで分析した結果は、竜巻の発生メカニズムの観点において、大きな竜巻の発生に対する大気場の必要条件を把握する上で有効である。総観場傾向から設定した検討地域は、メソスケールでの分析結果と概ね整合した。
- ・ メソスケールでの検討によって得られた必要条件的な傾向は、突風関連指数の分析においては、実際には大きな竜巻が発生しなくとも発生しうる環境場であった事例を排除していないため、実態よりも広い範囲で大きな竜巻が発生しうる地域を評価する点において保守的な評価を行っているといえる。

今後の課題として、将来的な気候変動により規模や発生数の増加傾向となることは否定できないため、最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し、必要に応じて見直しを実施していくものとする。

参考文献

- Bluestein, H. B., 2013: Severe Convective Storms and Tornadoes. Springer, 456 pp.
- Brady, R. H., and E. J. Szoke, 1989: A case study of nonmesocyclone tornado development in northeast Colorado: similarities to waterspout formation. *Mon. Wea. Rev.*, 843-856.
- Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. *J. Atmos. Res.*, 21, 634-639.
- Bunkers, M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeitler, R. L. Thompson, and M. L. Weisman, 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Wea. Forecasting*, 15, 61-79.
- Burgess, D. W., M. A. Magsig, J. Wurman, D. C. Doswell, and Y. Richardson, 2002: Radar observations of the 3 May 1999 Oklahoma City tornado. *Wea. Forecasting*, 17, 456-471.
- Chuda, T., and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 391-408.
- Davies, J. M., 1993: Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, MO, Amer. Meteor. Soc., 107-111.
- Davis-Jones, R., D. Burgess, and M. Foster, 1990: Test of helicity as a tornado forecast parameter. 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB., Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
- Doswell III, C. A., and J. S. Evans, 2003: Proximity sounding analysis for derechos and supercells: an assessment of similarities and differences. *Atmos. Res.*, 67-68, 117-133.
- Dotzek, N., M. V. Kurgansky, J. Grieser, B. Feuerstein, and P. Nevir, 2005: Observational evidence for exponential tornado intensity distributions over specific kinetic energy. *Geophys. Res. Letters*, 32, L24813, doi:10.1029/2005GL024583.
- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scale. *J. Atmos. Sci.*, 38, 1511-1534.
- Klemp, J. B., and R. B. Wilhelmson, 1978: Simulations of right- and left-moving storms produced through storm splitting. *J. Atmos. Sci.*, 35, 1097-1110.
- Lee, B. D., and R. B. Wilhelmson, 1997: The numerical simulation of nonsupercell tornadogenesis. Part II: Evolution of a family of tornadoes along a weak outflow boundary. *J. Atmos. Sci.*, 54, 2387-2415.

- Mashiko, W., H. Niino, and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of typhoon Shanshan on 17 September 2006. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 4238-4260.
- Moncrieff, M., and M. J. Miller, 1976: The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 102, 373-394.
- Noda, A. T., and H. Niino, 2010: A numerical investigation of a supercell tornado: Genesis and vorticity budget. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 135-159.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 369-432.
- Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 56, 527-530.
- Ramsdell, J. V. Jr., and J. P. Rishel, 2007: Tornado climatology of the contiguous United States. NUREG/CR-4461, Revision 2.
- Rasmussen, E. N.: 2003: Refined supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 18, 530-535.
- Rasmussen, E. N., and D. Blanchard, 1998: A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 13, 1148-1164.
- Roberts, R. D., and J. W. Wilson, 1995: The genesis of three nonsupercell tornadoes observed with dual-Doppler radar. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3408-3436.
- Rotunno, R., and J. B. Klemp, 1985: On the rotation and propagation of simulated supercell storms. *J. Atmos. Sci.*, 42, 271-292.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers: A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-468+STR, 88 pp., 2005.
- Suzuki, O, H. Niino, H. Ohno, and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1868-1882.
- Trapp, R. J., 2013: *Mesoscale-Convective Processes in the Atmosphere*. Cambridge, 346 pp.
- U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1.
- Wakimoto, R. M., and J. W. Wilson, 1989: Non-supercell tornadoes. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1113-1140.
- 飯塚義浩, 加治屋秋実, 2011: 数値予報資料から求めた竜巻に関連する大気環境

指数の統計的検証. 天気, 58, 19-30.

- ・ 大野久雄, 2001: 雷雨とメソ気象. 東京堂出版, 309 pp.
- ・ 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻評価ガイドの制定について. 原管研発第13061911号, 2013年6月19日制定
(http://www.nsr.go.jp/nra/kettei/data/20130628_jitsuyoutatsumaki.pdf).
- ・ 加藤輝之, 2008a: 竜巻発生環境に関する研究 (I) - 竜巻をもたらす発生環境に関する統計的研究 -, 平成19年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進, 6-12.
- ・ 加藤輝之, 2008b: 竜巻発生環境に関する研究 (III) - スーパーセルを伴う竜巻の発生機構の研究 -, 平成19年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進, 39-44.
- ・ 杉本聡一郎, 野原大輔, 平口博丸, 2014a: 国内既往最大規模の竜巻を対象とした発生頻度の地域性について. 2014年度保全学会年次学術講演会, 395-402.
- ・ 杉本聡一郎, 野原大輔, 平口博丸, 2014b: 突風関連指数を用いた大きな竜巻の発生環境場の地域性に関する検討. 2014年度日本気象学会春季大会講演予稿集, B464.
- ・ 瀧下洋一, 2011: 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について - 突風に関する防災気象情報の改善 -. 測候時報, 78, 57-93.
- ・ 新野 宏, 2007: 竜巻. 天気, 54, 933-936.
- ・ 橋本篤, 平口博丸, 豊田康嗣, 中屋耕, 2011: 温暖化に伴う日本の気候変化予測 (その1) - 気象予測・解析システムNuWFASの長期気候予測への適用性評価 -. 電力中央研究所報告 N10044, 22pp.
- ・ 橋本篤, 平口博丸, 田村英寿, 服部康男, 松梨史郎, 2013: 領域気候モデルを用いた過去53年間の気象・気候再現. 電力中央研究所報告, N13004, 18 pp.

付録 A 温位について

気体の状態方程式によれば、同じ気圧下で密度が小さいほど気体の温度は高くなる。したがって、ある空気塊が周囲よりも高温であれば、その空気塊は浮力を得て上昇する。この時、下層での空気塊の気温が高いからといって、ある高い高度に断熱的に持ち上げた空気塊は、その高度の周囲の気温より高いとは限らない。同じ高度（気圧）で気温の高低を比較してはじめて、空気塊が浮力を受けるかどうかがわかる。温位を用いれば、本文の式(3)のように、1,000hPa という基準気圧（高度）での気温を算出するため、二つの空気塊の相対的な暖かさや浮力の発生有無を容易に判断できる。

1万メートル程度上空における飛行機の客室内の気温を例にとると、客室内は与圧されて800hPa程度の気圧となっており、温位は310K程度とする。それに対し、飛行高度での気圧（100～200hPa）での気温が約-70℃とすると温位は360K程度である。外気をそのまま取り込むと、温位は保存されるため、客室内での温位360Kに対する気温は約60℃となる。このため、外気を取り込んだ際に空気を冷やす必要がある（吉崎・加藤 2007）。上空ほど気温は低いため、パラドックス的に感じるが、このように温位を用いれば空気塊の暖かさについて容易に把握・比較することが可能である。温位が高いほど暖かく、上昇しやすいということから、大気的不安定性を論じるのに温位や相当温位が使われるのはそういう理由である。

参考文献

- ・吉崎正憲，加藤輝之，2007：豪雨・豪雪の気象学．朝倉書店，187 pp.

B-1 これまでの知見整理

Davies (1993)は、最も近い観測点で得られたラジオゾンデデータから SReH をはじめとした鉛直シア関係の指数に関する調査を行い、例えば 0-3km SReH については、平均値として F2・F3 竜巻の場合 $369\text{m}^2/\text{s}^2$ (21 事例)、F4・F5 竜巻の場合 $539\text{m}^2/\text{s}^2$ (10 事例) と報告した。ただし、スーパーセル竜巻のポテンシャルの見積もりには、大気不安定性と風のシアもしくは SReH の組み合わせを調べるべきであると指摘している。Johns et al. (1993)は、F2 規模以上の竜巻に対して 0-2km SReH と CAPE との間に図 B-1 の関係性を報告した。

殆どの F2 規模以上の竜巻が EHI (=CAPE×SReH/160,000) 2 程度を超える場合に発生していることがみてとれる。また、F4・F5 規模の竜巻 (図中の Violent ○) の場合、より大きな EHI で発生している傾向にある。関連した成果は、EHI>2 でスーパーセルが発達する可能性が非常に高く、EHI>4 で非常に大きな竜巻が発生する可能性が高いとする文献にも見られる (Davies 1993)。

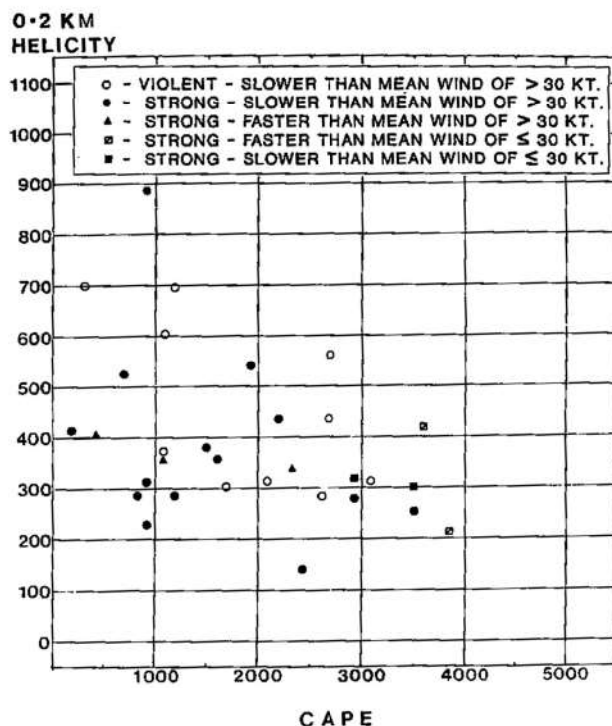


図 B-1 CAPE と 0-2km SReH の関係
(プロットは F2 規模以上。○は F4・F5 規模)

Rasmussen and Blanchard (1998)は、1992 年に米国で実施されたラジオゾンデデータ (0 時 UTC (世界標準時) の約 3000 のデータ) を分析し、竜巻発生地点から 400km 以内の観測地点のデータから竜巻発生時の突風関連指数の

気候学的特性について調べた。F2 規模以上の竜巻とそれ以外の差（中央値の差）は、SReH, CAPE 単独で用いる場合よりも両方を複合させた EHI の方が区別できていることが見てとれる（図 B-2）。ただし、F2 規模以上の竜巻が発生した範囲のうち値の小さな EHI で F1 規模以下の竜巻が発生しているケースもある。

全ての竜巻・非竜巻を対象とすると、EHI のヒストグラムの結果では、竜巻発生指標としての EHI の有効性が低いと考えられるという報告もある（櫻井・川村 2008）。上記で取りあげた各文献を踏まえれば、突風関連指数の適用性は F0・F1 規模以上か非竜巻かという小さな竜巻の発生有無の区別には向かず、F2 規模以上か否かの区別では適用性が高まり、むしろ F3・F4 規模以上か否かといった大きな竜巻の発生有無を議論するのに適しているといえる。なお、Rasmussen and Blanchard (1988) では、F3 規模以上の高強度の竜巻とそれ以外を区別することについては検討していない。

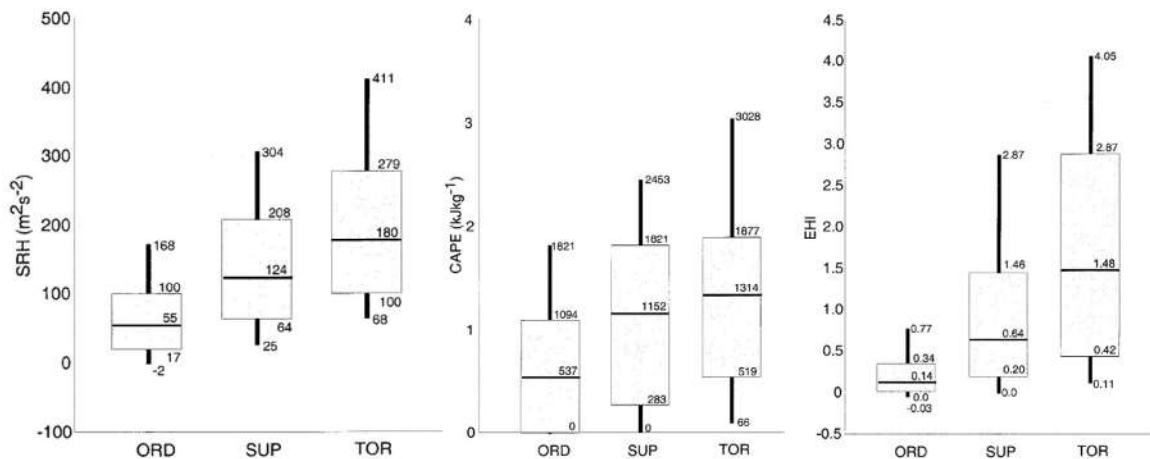


図 B-2 各突風指数(左：SReH, 中：CAPE, 右：EHI)に対する箱ひげ図(箱は値の小さい方から 25%から 75%の範囲を表し、箱中の太線は中央値を示す。TOR は F2 規模以上の竜巻, SUP は F1 規模以下の竜巻, ORD は非スーパーセル雷雨を表す。)

Rasmussen (2003)は、SReH を求める際の地上からの層厚について検討し、これまでガイドライン的に使われてきた 0-3km SReH (Davies-Jones et al. 1990) の殆どは、地上から 1km までの大気 (0-1km SReH) に起因するため、SReH 算出の層厚を 0-1km とすることを提案している。その他、SReH を求める際のストームの移動ベクトル算出方法についてもいくつか方法がある。指数の算出手法に関連して、CAPE についてはより複雑である。特に、数値モデルによる解析値・予測値を算出する場合、対流不安定が解消されることにより CAPE 値が小さく見積もられる場合がある（瀧下 2011）。そのため、Rasmussen and Blanchard (1998) では、その影響を軽減する算出方法を用いている。また、CAPE を算出する際の持ち上げ空気塊の性質によりさまざまな種類の CAPE がある。例えば、地上数キ

ロまでの大気の平均的な性質を持たせることもあれば (MLCAPE と呼ばれる), 最大の不安定度になる高さの空気塊を持ち上げることもできる (MUCAPE)。MLCAPE がよく用いられることが多いが, 一般的に MUCAPE の方が値は高く (Chuda and Niino 2008), 米国の SPC (Storm Prediction Center) のような実運用の場で MUCAPE が SCP ($= \text{MUCAPE}/1,000 \times 0\text{-}3\text{km SReH}/100 \times \text{BulkRichardson Number}/40$) の算出に用いられる場合がある (※今回の検討でも MUCAPE を用いている)。特に, 下層に寒気があり, その上に暖気がある安定した条件下のケース (佐呂間竜巻の佐呂間町付近では地形影響でその傾向が増大していると考えられる) では MLCAPE にもとづく不安定度は非常に小さくなる。このように, SReH や CAPE の算出方法についても議論すべき余地がある。

ゾンデデータを用いる解析は, 竜巻発生地点との距離差が大きいことが課題である。そこで, 数値気象モデルによる解析・予測による格子点データを用いた分析もなされている。米国の水平解像度 40km 予報データ (1 時間毎) を用いた分析では (Thompson et al. 2003), SReH, CAPE, EHI の全体的な傾向として Rasmussen and Blanchard (1988) と同様の結果が得られているが, F2 規模以上の竜巻に対する EHI の中央値が 2 程度と大きくなる等, Davies (1993) に近い結果となっている。SCP では F2 規模以上とそれ以外の差が顕著であり (図 B-3), CAPE や SReH に関連した複合関連指数として EHI 以外の指数の検討の余地がある

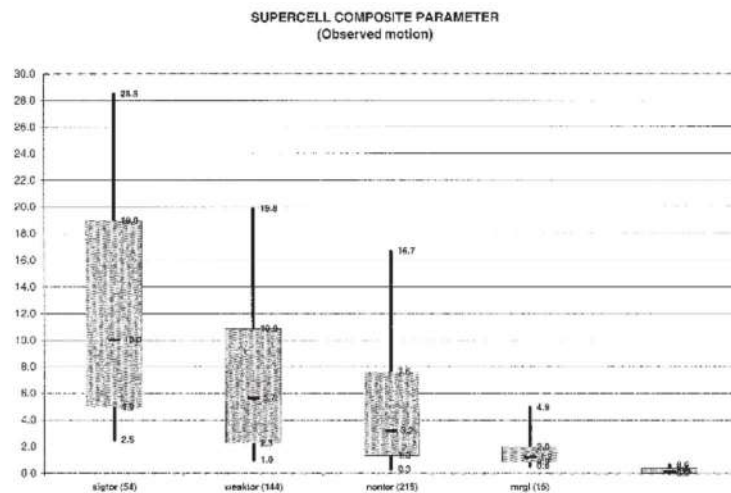


図 B-3 SCP に対する箱ひげ図 (sigtor は F2 規模以上, weaktor は F1 規模以下, nontor は非竜巻, mrgl はややスーパーセル化したストーム, nonsuper は非スーパーセルストームを表し, 括弧内の数字は事例数を表す。箱ひげ図の意味は図 B-2 と同じ。)

飯塚・加治屋 (2011) は, 気象庁のメソ客観解析データ (水平解像度 10km・鉛直総数 16 層・3 時間毎) のデータを用いて, 2006 年 2 月から 3 ヶ年の間に発生

した 141 個の竜巻・非発生事例を分析した。その際、発生地点から 40km 範囲内に存在する格子点に対する突風関連指数の最大値をピックアップしている。他文献と同様に CAPE や SReH 単独では竜巻・非竜巻の区別、あるいはスーパーセル竜巻・非スーパーセルの区別が明瞭でないが、EHI のような複合パラメータではより明瞭になっている (図 B-4)。図 B-4 では F スケール別の傾向も示されているが、F1 規模と F2・F3 規模 (F3 は佐呂間竜巻のみ) との間に差はなく、米国の結果とはやや異なる。現象論の観点では、大きな竜巻はスーパーセル化が明瞭となり、大きな空間スケールの現象が駆動力 (large-scale forcing) となって発生するため、数 km から十数 km 程度の空間代表性を有する格子点データやラジオゾンデデータをもととした突風関連指数で十分に議論ができる一方、小さな竜巻は大きな竜巻を伴わない場合は large-scale forcing の影響が小さい、局地的な擾乱に伴う頻度が多くなるため、突風関連指数との関連性が薄れていると解釈できる。

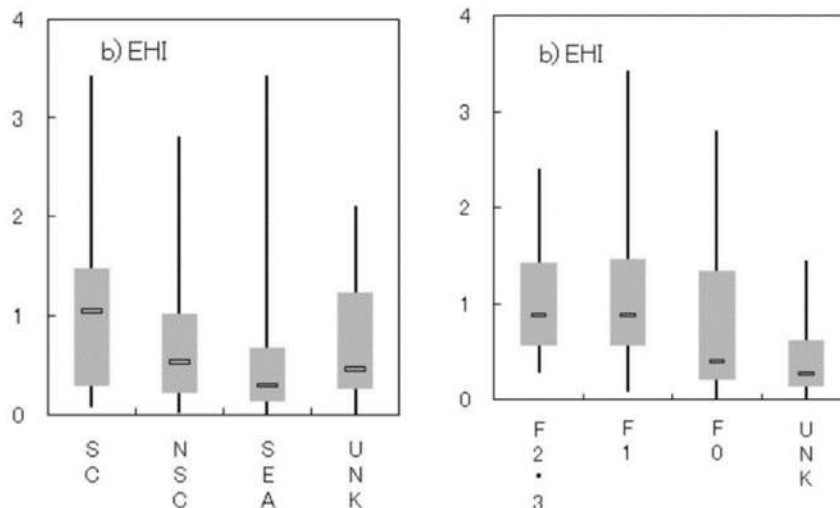


図 B-4 EHI に対する箱ひげ図 (左: 竜巻種別, 右: F スケール別; SC はスーパーセル型竜巻, NSC はノンスーパーセル型竜巻, SEA は海上竜巻, UNK は陸上竜巻でスーパーセル判定ができなかった竜巻を表す。)

瀧下 (2011) は、気象庁の数値予報資料 (MSM) (気象庁メソ客観解析データと空間分解能等は同じ仕様だが解析データではなく、予報データである) を用いて、2004 年から 3 ヶ年に発生した竜巻やダウンバースト発生時の SReH, CAPE, EHI の関係を調べた (図 B-5)。発生地点を中心とした 50km 四方内の最大の値を採用している。この図から、最も大きく、唯一の F3 竜巻である佐呂間竜巻の環境場において (ML) CAPE が非常に小さく (それゆえ、EHI も非常に小さく)、また、F1 竜巻と F2・F3 竜巻で特段の違いが見られないことから、指数で竜巻強度を判断するのは困難であると結論づけている。

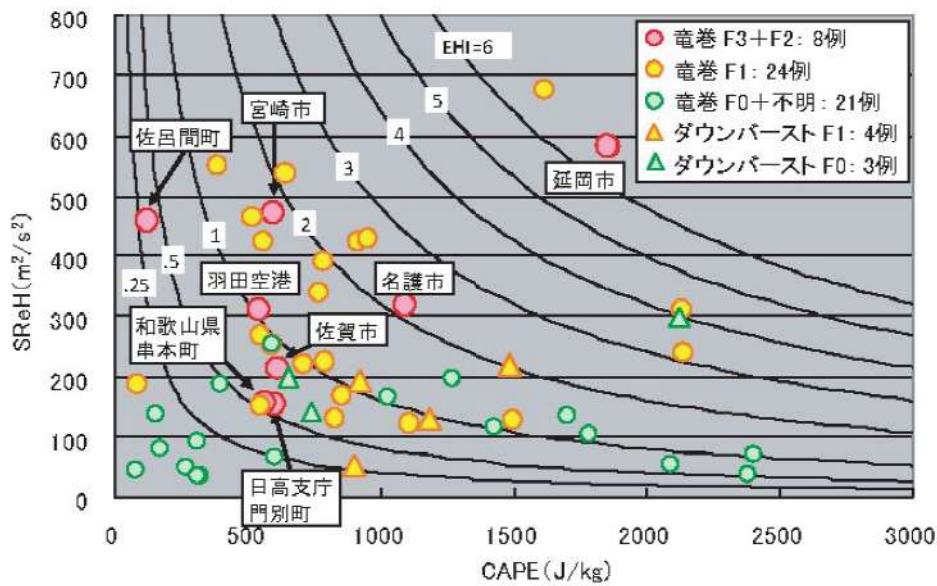


図 B-5 竜巻及びダウンバースト事例における分析例

F1 竜巻と F2・F3 竜巻の区別については、これまで挙げた文献同様、やはり困難なようである。しかし、佐呂間竜巻において CAPE 値が非常に小さい点についてはその解釈に注意しなければならない。同種のデータを用いた飯塚・加治屋 (2011) は、850hPa 以下の総数は 7 層しかなく、ゾンデ観測データよりも鉛直分解能が粗いため、結果の解釈には注意を要することを指摘している。つまり、CAPE 算出において、適切な空気塊を持ち上げていない可能性は否定できない。また、加藤 (2008a) が指摘するように、佐呂間竜巻発生時には、佐呂間町の南東側にある山を暖気流が乗り越え、佐呂間町付近では下層では冷たい西よりの気流と、その直上に東よりの暖気流が流れ込み、鉛直シアが増大していたと考えられる。このような場合、地表面付近がやや安定傾向となるため上述のように、MLCAPE の値は非常に小さくなる。MUCAPE の場合は地表面付近の大気が冷たい場合に、その上空で発生しうる elevated convection を考慮できるが、佐呂間竜巻に対して結果的に CAPE 値が大きくなる (本文参照)。つまり、算出方法に検討の余地が大きいため、佐呂間竜巻といった 1 つの F3 竜巻事例をもって、SReH, CAPE 系の突風関連指数の限界を断じることが難しい。

B-2 今後の研究の方向性

以上のように、検討時点でのデータの品質等々が低かった等、各文献ともに検討の余地があり、今後は各文献の知見を全て踏まえた解析方法・データをもって分析・考察することが重要である。大局的には、スーパーセル化が顕著な (F3 規模程度以上の) 大きな竜巻とそれ以外の竜巻の発生環境場は、EHI 値の差が有意である傾向が見られることから、SReH 値と CAPE 値とから地域レベルでの傾向を

議論できる可能性がある。また、こうした突風関連指数の活用は、F2 規模以上とそれ以外の比較が限度であり、F1 規模以上とそれ以外というように、小さな竜巻の発生予測への指数の活用は向かないと考えられる。

欧米や国内の気象学会では、突風関連指数の有効性について現在も検討がなされている。もととするデータ品質の観点では、これまで離れた箇所の高層ゾンデデータや空間解像度の粗い解析・予測データをもとに分析されてきた点が課題であり、高精度な解析データをもって、これまでの文献・知見が正しいかどうか確認する必要がある。その際、過去文献において指数値の算出に工夫されている点を可能な限り採用するとともに、SReH, CAPE をはじめとした単一指数もしくはそれらの組み合わせ (加藤 2008b) に加え, EHI, SCP, STP 等の複合パラメータの説明性の高さについて広範に適用性を検討することが求められる。

現時点では、時空間解像度の高い長期気象解析データ (水平解像度 5km・10 分毎データ) をもとに、CAPE に対する算出方法を工夫した上で、SReH, CAPE の特性、加藤(2008b)と同様に SReH と CAPE を組み合わせて用いた方法、及び EHI について検討し、SReH と CAPE を用いる方法と EHI を用いる手法とでは、F3 規模以上の竜巻が発生する地域性を観点とした解析結果に大差がないことを確認した (本文参照)。

参考文献

- ・ Chuda, T., and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 83, 391-408.
- ・ Davies, J. M., 1993: Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, MO., Amer. Meteor. Soc., 107-111.
- ・ Davies, J. M., and R. H. Johns, 1993: Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. 1. Wind shear and instability. The Tornado: Its structure dynamics, prediction, and hazards. C. Church, D. Burgess, C. Doswell and R. Davies-Jones, Eds., American Geophysical Union, 573-582.
- ・ Johns, R. H., J. M. Davies, and P. W. Leftwich, 1993: Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. 2. Variations in the combination of wind and instability parameters. The Tornado: Its structure dynamics, prediction, and hazards. C. Church, D. Burgess, C. Doswell and R. Davies-Jones, Eds., American Geophysical Union, 573-582.
- ・ Rasmussen, E. N., and D. O. Blanchard, 1998: A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. Wea.

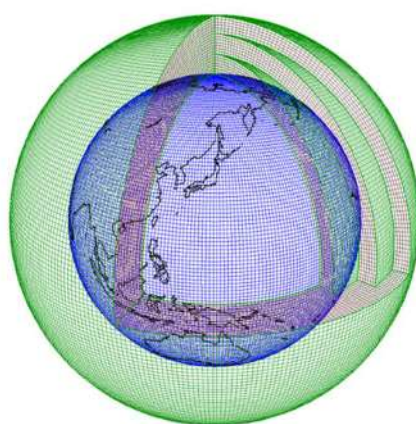
Forecasting, 13, 1148-1164.

- Rasmussen, E. N.: 2003: Refined supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 18, 530-535.
- Thompson, R. L., R. Edwards, J. A. Hart, K. L. Elmore, and P. Markowski, 2003: Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. Wea. Forecasting, 18, 1243-1261.
- 飯塚義浩, 加治屋秋実, 2011: 数値予報資料から求めた竜巻に関連する大気環境指数の統計的検証. 天気, 58, 19-30.
- 加藤輝之, 2008a: 竜巻発生環境場に関する研究(Ⅲ)ースーパーセルを伴う竜巻の発生機構の研究ー, 平成19年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進, 39-44.
- 加藤輝之, 2008b: 竜巻発生環境場に関する研究(Ⅰ)ー竜巻をもたらす発生環境に関する統計的研究ー, 平成19年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進, 6-12.
- 瀧下洋一, 2011: 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報についてー突風に関する防災気象情報の改善ー. 測候時報, 78, 57-93.

付録C 気象モデルの概要

気象モデルとは、物理・力学的法則に基づいて、物理量の時間変化を計算機により数値的に解くために各諸過程を概念化したもので、気象庁による日々の気象予報もこの気象モデルを用いて実施されている。図C-1のように計算対象領域を3次元格子で覆い、各格子点上で気圧、風などの物理量を定義する。観測データや気象庁等の解析・予報結果をもとに計算開始時刻の物理量を決めて、計算領域境界部の値を時々刻々変化させながら（図C-2）、運動方程式、熱力学方程式、連続式、及び水分量の保存式等を数値積分すると、将来時刻における気象要素の値が計算される。各方程式中の運動量や熱・水のソース・シンク項は各物理過程によって生み出される（例えば、水蒸気から水滴が生成されるとその潜熱が熱力学方程式中のソースとなる）が、気象モデルでは図C-3に示すような物理過程がモデル化され、力学系の各保存式のソルバーと連携している。

この種の気象モデルは、放射性汚染気塊の輸送量計算にも使用されており、WSPEEDI-II（Worldwide version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information；世界版緊急時環境線量情報予測システム第2版）では、本検討に用いたWRFモデルの前身に位置づけられるMM5（PSU/NCAR Mesoscale Model version 5；Dudhia 1993）が気象場の入力情報の作成に用いられている（山澤ら 1997）。WRFモデルは、MM5の力学系・物理モデル共に大幅な改良が加えることにより開発されたものであり、現在米国においては気象の現業・研究の両面で活用されている。また、わが国を含めた諸外国においても広く活用されている。



図C-1 計算グリッド構造の例

（気象庁ホームページ<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>より）

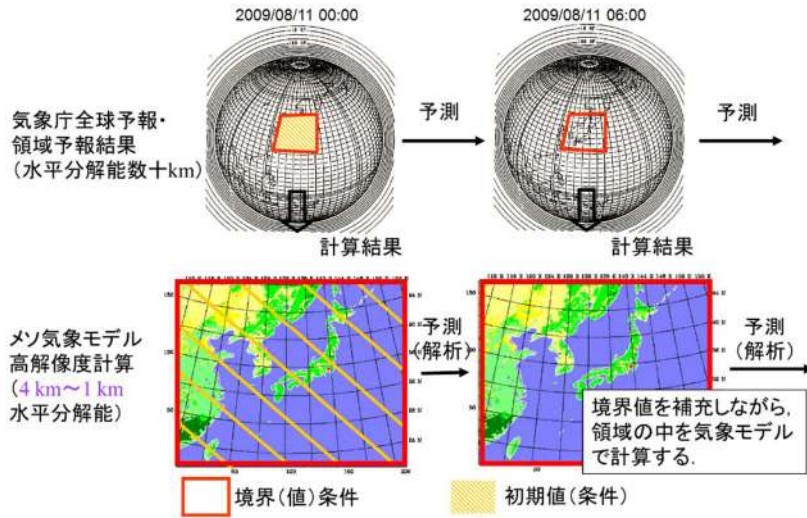


図 C-2 気象モデルを用いた解析・予測計算の流れの概念図
(気象庁全球モデルを例に)

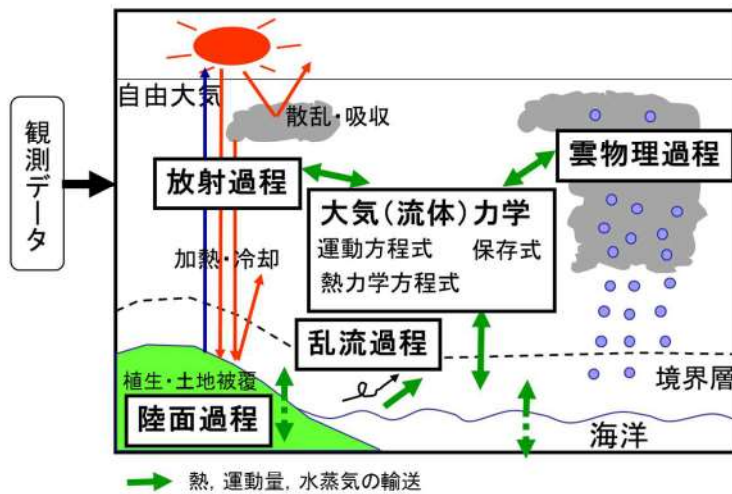


図 C-3 気象モデルを用いた計算の模式図

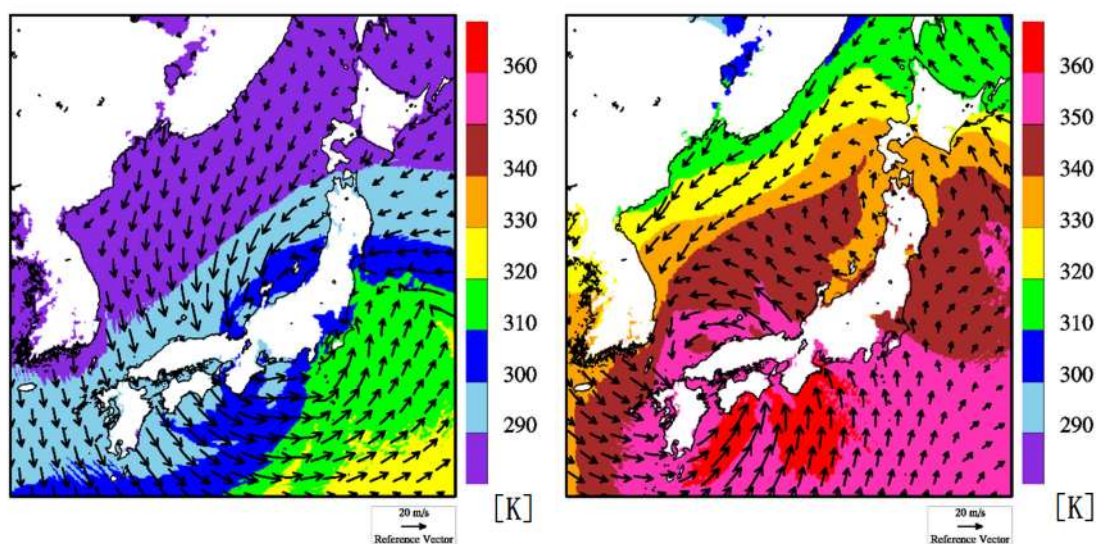
参考文献

- ・ Dudhia, J., 1993: A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR mesoscale model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
- ・ 山澤弘実, 茅野政道, 永井晴康, 古野朗子, 1997: 緊急時環境線量情報予測システム (世界版) WSPEEDI の開発と検証. 日本原子力学会誌, 39, 881-892.

付録D 高標高山岳が及ぼす影響

1990年12月11日に千葉県茂原市で発生した日本最大級F3竜巻時（総観場：暖気の移流、気圧の谷、寒冷前線）の海拔100m高度における気象場（風向・風速及び相当温位の分布）を図D-1左図に示す。太平洋上は（相当温位の高い）暖かく湿潤な大気状態にあり、12月の冬季としては暖かく湿った大気（緑色）が太平洋側から千葉県南東部房総半島沿岸に発生した地点に流れ込んでいることが解析されている。この大気は内陸部に中心をもつ低気圧の大きな渦に沿って日本海側へ運ばれているが、日本海側では、相当温位が低くなり、不安定性が解消されていることがわかる。

このような高い山岳の南側と北側で空気塊の性質が変わることはいずれのF3規模の竜巻でも見られている（例えば、図D-1右図）。太平洋側から流入した大気下層の空気塊が山岳を越えようとした場合、空気塊の上昇に伴い気温が低下し、昇り斜面上空で空気塊が飽和して降水粒子が生成され、湿潤不安定な状態が解消されることもある。この場合、空気塊が山岳を乗り越えたとしても乾燥・安定化の進んだ空気塊になるため、太平洋沿岸部で竜巻を引き起こした大気が、例えば日本列島の中央部に存在する高く複雑な山岳域を湿潤不安定な状態のまま乗り越えて日本海側に流入して大きな竜巻を引き起こすことは考えられない。つまり、台風等の接近・通過時の渦度が高い時間帯に同時に太平洋側から暖かく湿った空気塊が特に開けた平野部（関東平野、濃尾平野、宮崎平野等）に流入するというF3規模竜巻の発生シナリオが日本海側ではあてはまり難いことを示唆している。



図D-1 海拔100m高度における風向・風速及び相当温位
(左：1990/12/11 F3事例，右：1999/09/24 F3事例)