

泊発電所の火山影響評価に関するコメント回答

平成26年1月29日
北海道電力株式会社

No.	指摘事項	指摘時期
1	洞爺カルデラの火砕流シミュレーションにおける底面摩擦係数について検討すること。	平成25年12月18日 審査会合
	洞爺カルデラの火砕流シミュレーションの計算終了に関する判断根拠を示すこと。	平成25年12月18日 審査会合
2	羊蹄山の降下火砕物シミュレーションにおける風向のバラツキについての評価を示すこと。	平成25年12月18日 審査会合

1. これまでの経緯概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P.4
2. 洞爺カルデラの火砕流シミュレーションについて・・・・・・・・ P.8
3. 羊蹄山の降下火砕物シミュレーションについて・・・・・・・・ P.19

1. これまでの経緯概要

1. これまでの経緯概要

コメント・説明概要（洞爺カルデラの火砕流）

コメント概要

- (H25.7.23 論点)
- 洞爺カルデラをモニタリングの対象とすることについて検討すること。

説明概要

- (H25.9.25 審査会合)
- 洞爺カルデラについて、敷地近くに設計対応不可能な火山事象が到達していることから、自主的な検討として、個別評価を行った。
 - その結果、洞爺カルデラについて、既往最大の噴火を考慮しても、設計対応不可能な火山事象が運用期間中に影響を及ぼす可能性は十分小さいことから、モニタリングの対象外と判断した。

- (H25.9.25 審査会合)
- 洞爺カルデラに関して、最新の地殻変動データ等、公的なデータをレビューすること。
 - 洞爺火砕流堆積物についての調査結果を整理して提示すること。

- (H25.11.13 審査会合)
- 洞爺カルデラ周辺の地震活動及び地殻変動について、調査・検討を行った。
 - 共和町幌似付近の露頭における地表地質踏査結果に基づき、洞爺火砕流堆積物の性状を取りまとめた。
 - 洞爺カルデラに想定される運用期間中の噴火規模は、後カルデラ火山活動期の有珠山相当であると考えられ、設計対応不可能な火山事象が運用期間中に影響を及ぼす可能性は十分小さいものと評価する。
 - 敷地近くに設計対応不可能な火山事象が到達していることを考慮し、念のため、地殻変動等について、現在の状況から有意な傾向の変化がないことを確認するため、自主的にモニタリングを行う。

(次頁へ) ←

1. これまでの経緯概要

コメント・説明概要（洞爺カルデラの火砕流）

コメント概要

説明概要

（前頁より）

（H25.11.13 審査会合）

- 洞爺カルデラについては、既往最大規模の噴火を考慮した際の影響を確認するため、現在の地形で火砕流のシミュレーションを実施すること。
- なお、シミュレーションの実施は、審査ガイドに基づいたモニタリングの要否を判断するための位置づけである。

（H25.12.18 審査会合）

- 洞爺カルデラについて、約11万年前の既往最大規模の噴火を想定し、現在の地形における火砕流シミュレーションを実施した。
- 洞爺カルデラから噴出した火砕流は、敷地に到達しない結果となった。
- 既往最大規模の噴火を考慮しても、火砕流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと判断される。

（H25.12.18 審査会合）

- 洞爺カルデラの火砕流シミュレーションにおける底面摩擦係数について検討すること。
- 洞爺カルデラの火砕流シミュレーションの計算終了に関する判断根拠を示すこと。

今回検討

1. これまでの経緯概要

コメント・説明概要 (羊蹄山の降下火砕物)

コメント概要

(H25.11.13 審査会合)
○羊蹄山について、季節的な偏西風の変動の影響も考慮した降灰シミュレーションを実施し、敷地への影響を確認すること。

説明概要

(H25.12.18 審査会合)
○羊蹄山について、季節的な偏西風の変動の影響を考慮し、各月における過去30年間分の平均風向・風速データを用いた降下火砕物シミュレーションを実施した。
○敷地においては、6月の降灰量が最大となり、十分小さい値であることを確認した。
○敷地における火山灰の層厚は、敷地における火山灰質シルトの層厚40cmと評価しており、シミュレーション結果を踏まえても、十分保守的な値と評価する。

(H25.12.18 審査会合)
○羊蹄山の降下火砕物シミュレーションにおける風向のバラツキについての評価を示すこと。

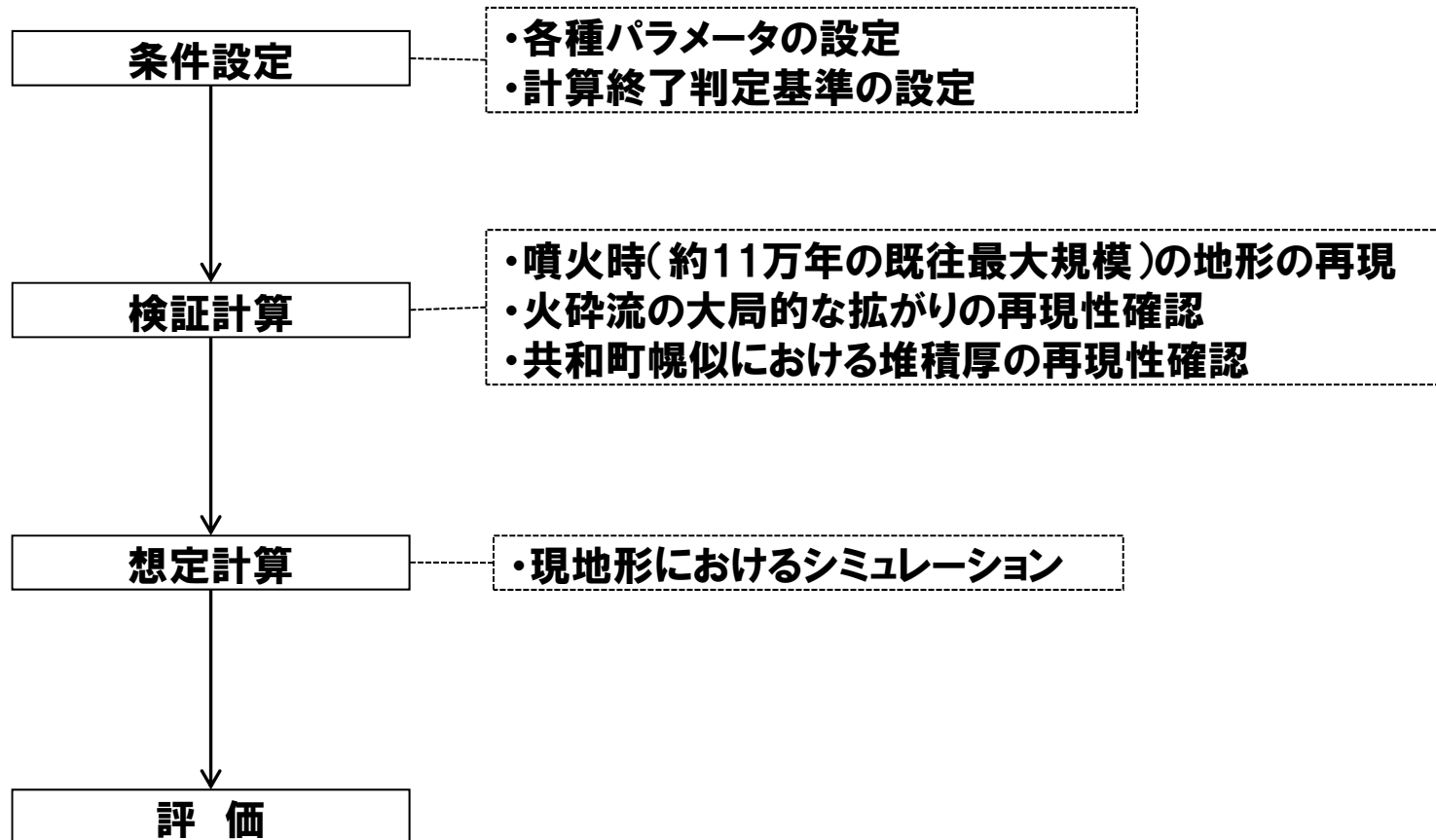
今回検討

2. 洞爺カルデラの火砕流シミュレーションについて

No.	指摘事項
1	<p>洞爺カルデラの火砕流シミュレーションにおける底面摩擦係数について検討すること。</p> <p>洞爺カルデラの火砕流シミュレーションの計算終了に関する判断根拠を示すこと。</p>

シミュレーション検討フロー

○火砕流シミュレーションは、下図のフローに従って実施した。



シミュレーションの概要

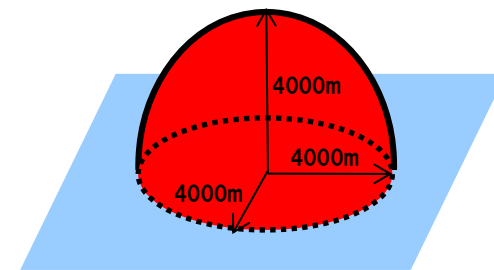
一部修正 (12/18審査会合資料)

- 洞爺カルデラについて、約11万年前の既往最大規模の噴火を想定し、火砕流シミュレーションを実施した。
- 解析ソフトはTITAN2Dを使用した。
- 噴出量については、 100km^3 (VEI6相当)と設定した。

※TITAN2D:アメリカのニューヨーク州立大学バッファロー校で開発された、重力を駆動力とし、流体の挙動を解析する粒子流モデル。想定火口位置から、紡錘状のバイルを崩して、火砕流を発生させる。

解析に使用したパラメータ

パラメータ	単位	値	設定根拠
噴出量	km^3	100	洞爺カルデラ総噴出量 150km^3 (第四紀火山カタログ委員会編, 1999), 洞爺火山灰噴出量 67.23km^3 (須藤ほか, 2007)より, $150 - 67.23 = 82.77 \approx 100\text{km}^3$ (VEI6相当)を設定
長軸半径	m	4,000	バイルの体積 100km^3 及び地形図の洞爺湖直径読み取りより設定
短軸半径	m	4,000	バイルの体積 100km^3 及び地形図の洞爺湖直径読み取りより設定
高さ	m	4,000	カルデラ噴火で火砕流を発生させるバイル高さ4km (Sheridan, 1979) より設定
内部摩擦角	°	30	流体体積比60%の土石流の内部摩擦角 $25 \sim 45^\circ$ (Iverson, 1997)
底面摩擦係数	-	0.08	Sheridan (1979) を参照し, 検証計算より設定

100km³のバイル(イメージ図)

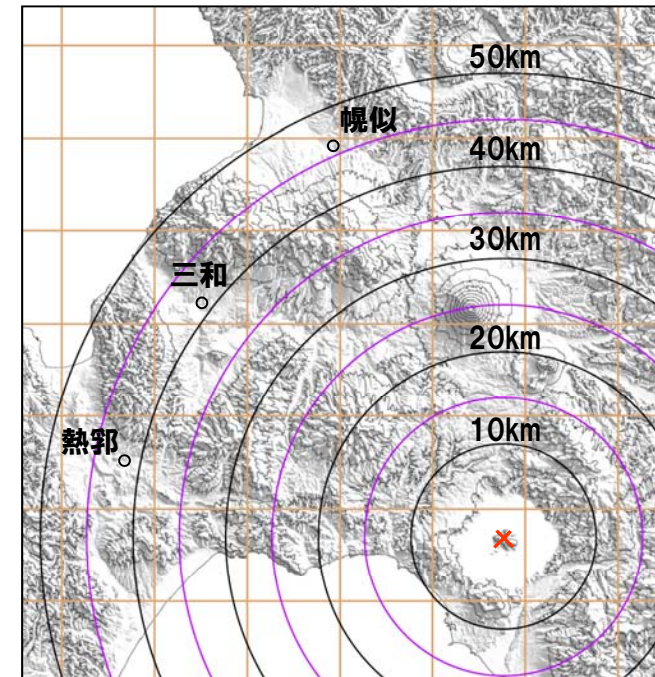
底面摩擦係数の設定

○底面摩擦係数は、以下の事項を考慮し、0.08と設定した。

- ・Sheridan (1979) は火砕流の流走距離と底面摩擦係数の関係をまとめており、大規模火砕流の底面摩擦係数は平均値0.12である。
- ・当社地表地質踏査結果より、洞爺火砕流の北西～西側分布は幌似、三和、熱郭の3地点付近まで確認しており、いずれも洞爺カルデラの40～50km圏内にある。
- ・Sheridan (1979) によると、当該距離における底面摩擦係数は0.09～0.11である。
- ・一方、下鶴ほか編 (2008) によると、洞爺火砕流の到達距離は52kmとされている。
- ・以上より、文献値も考慮した上で、底面摩擦係数0.08とした。

大規模火砕流の底面摩擦係数(Sheridan, 1979より)

火砕流	流走距離 (km)	底面摩擦係数
カトマイ1912年噴火	22	0.20
バイアスカルデラ, バンデリア凝灰岩	33	0.14
	24	0.19
ロングバレーカルデラ, ビショップ凝灰岩	29	0.16
	57	0.08
洞爺カルデラ, 洞爺火砕流	42	0.11
	30	0.15
	37	0.12
始良カルデラ, 入戸火砕流	35	0.11
	60	0.07
阿蘇カルデラ, 阿蘇4火砕流	70	0.06
	50	0.09
平均	76	0.06
平均		0.12

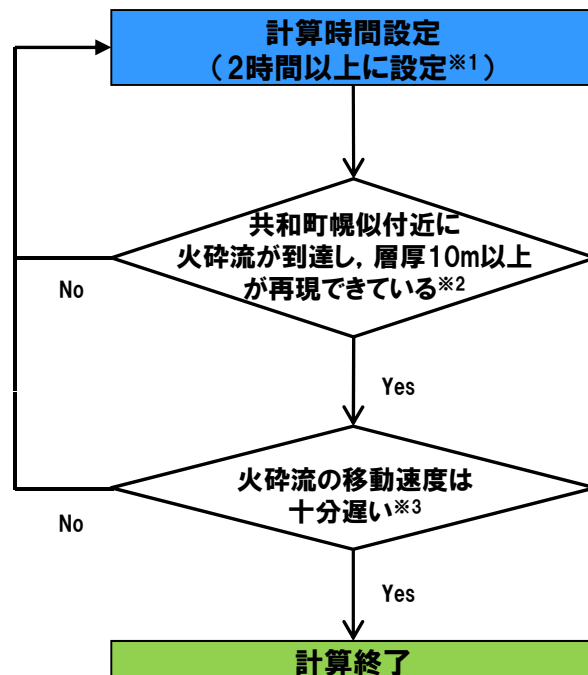


洞爺火砕流確認地点(当社地表地質踏査結果による)

計算終了の判定

- 火砕流シミュレーションにおいては、下記理由から、計算終了を判定する必要がある。
 - ・実際の火砕流は流速と質量に支配され、どちらかが0となった時点で流下を止める(下鶴ほか編, 2008)。
 - ・火砕流の一般的な速度は、秒速数m~100mである。
 - ・火砕流の内部では流動化現象が起こっており、重い岩片が下方に集中し、地表面との間に働くせん断力のため、流下中に堆積層を形成する(固化する)。
 - ・一方、TITAN2Dでは、火砕流内部の流動化による固化の影響は考慮されず、位置エネルギーを持った流体は停止することなく、遅い動きで動き続ける。
- 検証計算についての計算終了の判定は、下図のフローに基づき決定した。

計算終了判定フロー



※1 上野(2003)によると、入戸火砕流の噴出期間は約1.2時間であるとされている。洞爺火砕流噴出量100km³は、入戸火砕流噴出量200km³より十分小さいが、より保守的な評価とするため、計算時間は2時間以上とした。

※2 当社地表地質踏査結果より、共和町幌似付近に洞爺火砕流の分布を確認しており、堆積層厚10m程度である。

※3 一般的な火砕流速度は秒速数m~100mであり、火砕流停止時にはこれより十分小さい流速となっている。

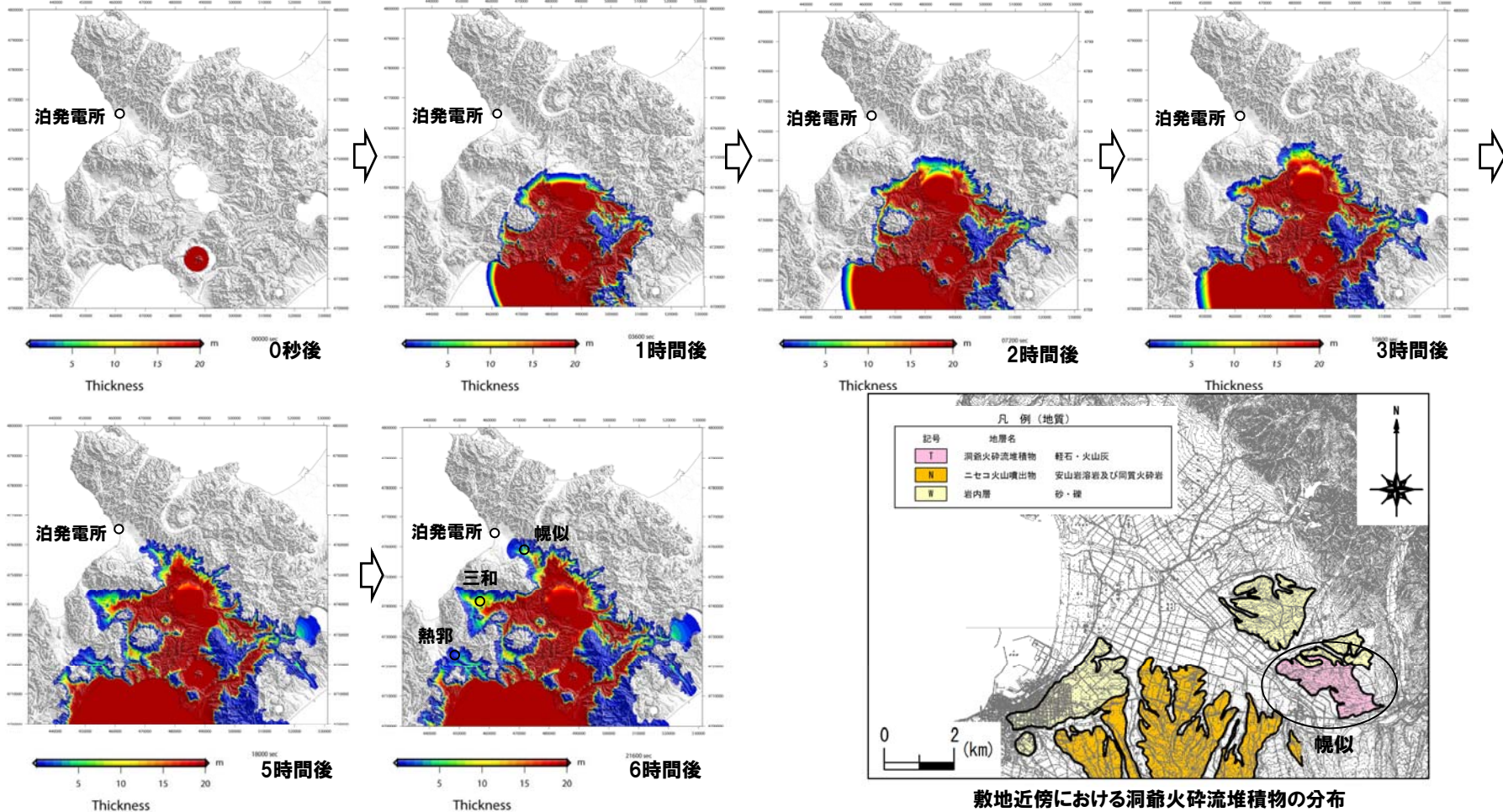
一般的な火砕流速度

文献	気象庁 (HP)	防災科研 (HP)	下鶴ほか編 (2008)
火砕流速度	秒速数m~100m	秒速100m近く	秒速10~40m (実測値)

検証計算(当時の地形を考慮)

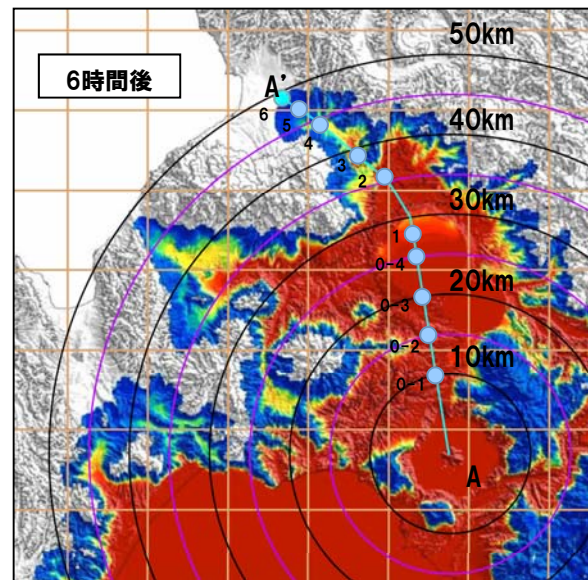
一部修正 (12/18審査会合資料)

- 約11万年前の既往最大規模の噴火時に、羊蹄山、尻別岳がないことを考慮した地形で検証計算を行った。
- 以下の事項を確認し、洞爺火砕流の分布が概ね再現できていると判断されることから、パラメータを設定した。
 - ・共和町幌似における洞爺火砕流堆積物の分布及び層厚が概ね整合する。
 - ・当社地表地質踏査結果より、黒松内町熱郭及び蘭越町三和において洞爺火砕流堆積物を確認していることと整合する。



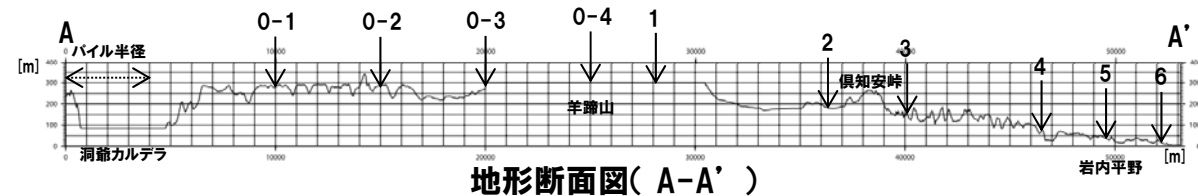
火砕流の速度

○検証計算終了時(6時間後)における火砕流の移動速度は1.0m/s未満となり,一般的な火砕流速度より,十分小さいと判断される。

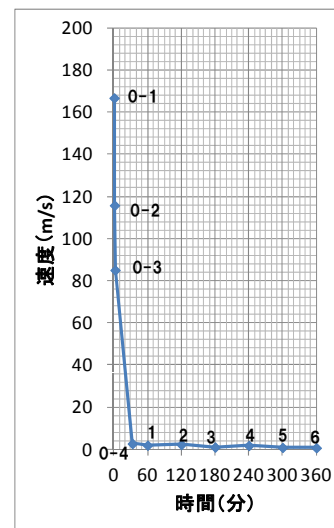


火砕流先端※到達確認ポイント

※敷地方向に向かう火砕流の先端



地形断面図(A-A')

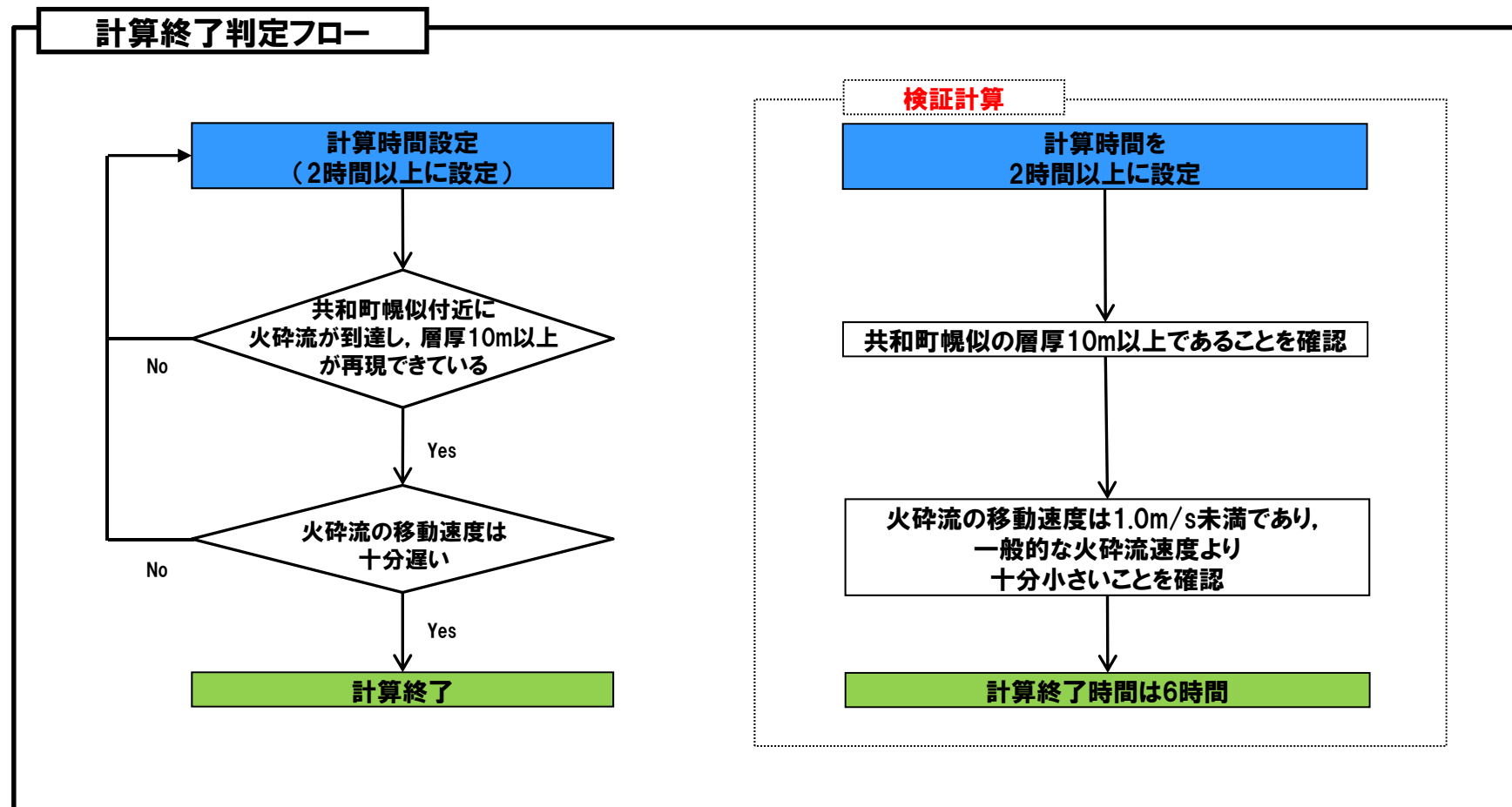


時間と火砕流速度の関係

No.	時間(分)	流走距離(km)	速度(m/s)	標高(m)	勾配
0-1	0.60	10	166.7	-	-
0-2	1.32	15	115.7	-	-
0-3	2.30	20	85.0	-	-
0-4	33	25	2.7	300	-
1	60	28.1	1.9	300	0
2	120	36.3	2.3	183	0.014
3	180	40.1	1.1	161	0.006
4	240	46.5	1.8	69	0.014
5	300	49.6	0.9	34	0.011
6	360	52.2	0.7	17	0.007

計算終了判定結果

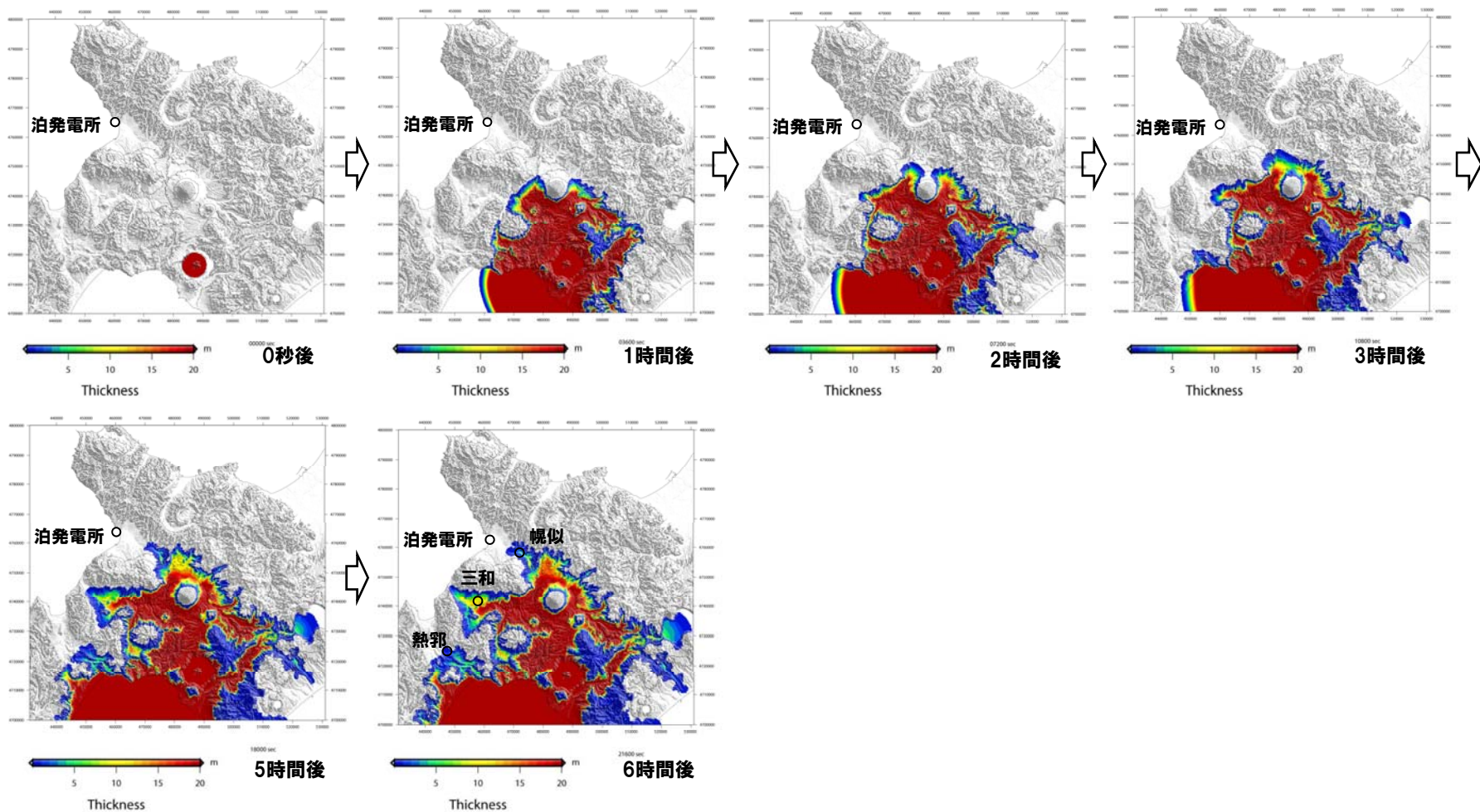
○検証計算による検討結果から、計算時間は6時間とした。



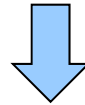
シミュレーション結果(現在の地形)

一部加筆(12/18審査会合資料)

- 検証計算により設定したパラメータを用いて、現在の地形における火砕流シミュレーションを実施した。
- 洞爺カルデラにおける既往最大規模の噴火による火砕流は、敷地に到達しない結果となった。



- 洞爺カルデラについて、約11万年前の既往最大規模の噴火を想定し、火砕流シミュレーションを実施した。
- パラメータの設定にあたっては、検証計算により、洞爺火砕流の分布が概ね再現できていることを確認した。
- 現在の地形における火砕流シミュレーションを実施したところ、洞爺カルデラから噴出した火砕流は、敷地に到達しない結果となった。



**既往最大規模の噴火を考慮しても、
火砕流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価される。**

3. 羊蹄山の降下火砕物シミュレーションについて

No.	指摘事項
2	羊蹄山の降下火砕物シミュレーションにおける風向のバラツキについての評価を示すこと。

シミュレーションの概要

一部修正 (12/18審査会合資料)

- 羊蹄山について、降下火砕物シミュレーションを実施した。
- 解析ソフトはTEPHRA2を使用した。
- シミュレーションに当たっては、以下の事項を考慮した。
 - ・噴出物量については、既往最大規模の羊蹄第一火山灰(Yo.Ps-1)を想定した。
 - ・過去30年間の風向・風速データを用いた。

※TEPHRA2:南フロリダ大学で開発された粒子で構成された噴煙柱を設定し、重力による落下と風の影響を考慮する移流拡散モデル

解析に使用したパラメータ

	パラメータ	単位	値	設定根拠
火山灰	噴出物量	kg	5.3×10^{11}	須藤ほか(2007)によるYo.Ps-1の噴出量 0.53km^3 より設定
	噴煙高	m	20,000	VEI4の噴煙高(10~25km)より、TEPHRA2にてYo.Ps-1の分布を復元できる値を設定
	最大粒径	ϕ	-6	Yo.Ps-1の最大粒径5.8cm(柏原ほか, 1976)より設定
	最小粒径	ϕ	10	TEPHRA2推奨値
	中央粒径	ϕ	-1.5	柏原ほか(1976)の中央粒径より設定
	粒径の標準偏差	ϕ	1.5	TEPHRA2推奨値
噴火口	UTM-E	m	484,605	日本活火山総覧(第4版)(気象庁編, 2013)より設定
	UTM-N	m	4,741,398	
	標高	m	1,898	

※気象条件は、過去30年間の札幌管区気象台の気象ゾンデの風向・風速データを使用した。

※ ϕ (ファイスケール)は、下式で定義される粒子の大きさを表す尺度である。

$$\phi = -\log_2 D \quad (D: \text{粒径 (mm)})$$

使用した風向・風速データ

- 気象庁では、1日2回(9時, 21時)ラジオゾンデを打ち上げており、地上から高度約30km間での大気の状態を観測している。
- このうち、泊発電所に最も近い札幌管区気象台の気象データを使用した。
- シミュレーションにおいては、過去30年間の風向・風速データ※を使用した。

※気象庁「気象観測統計指針」に従う。



ラジオゾンデ打ち上げ位置(気象庁HPより)

3.1 降下火砕物シミュレーション

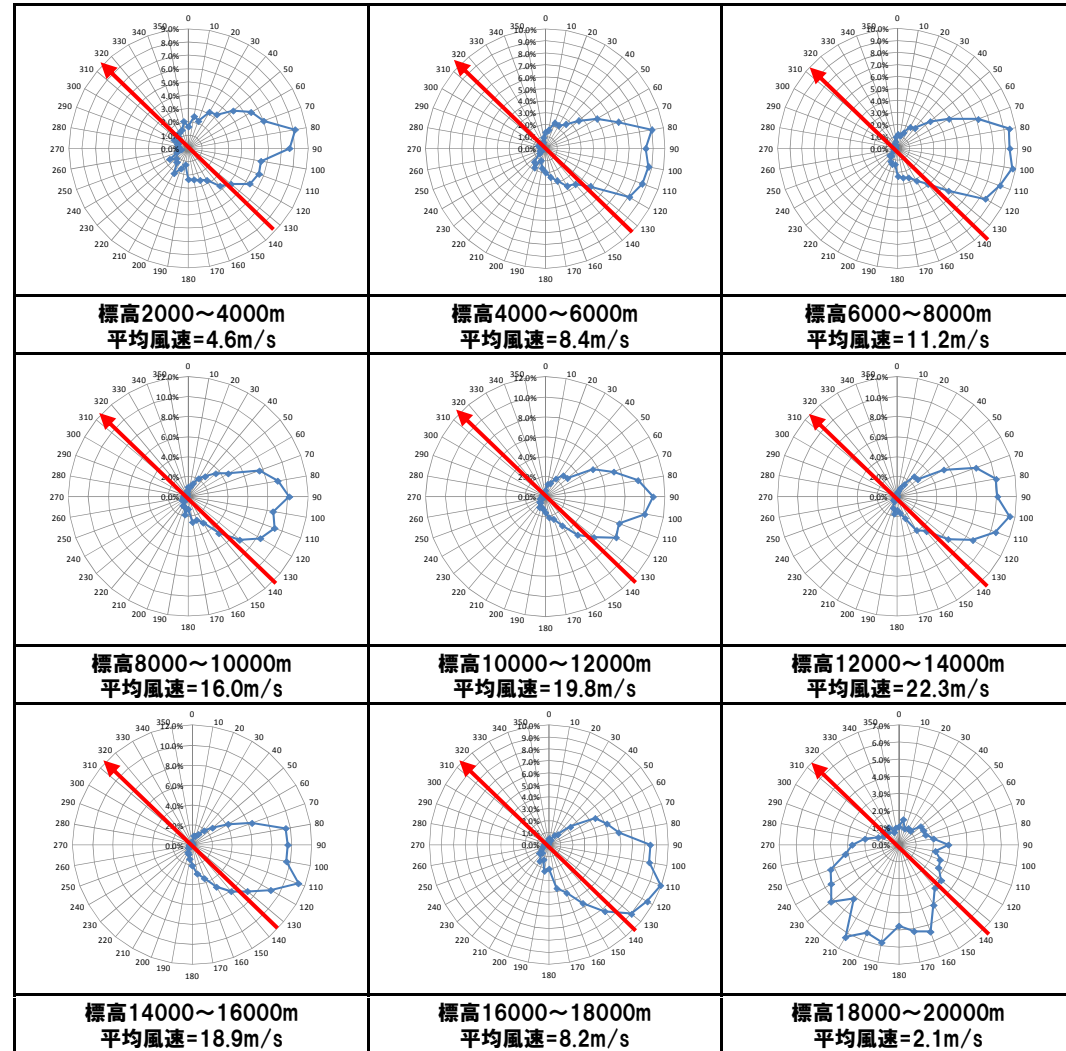
風向のバラツキを考慮した検討

○各月を対象に、風向のバラツキを考慮した検討を実施した。

○風速は、平均風速を使用した。

○例として、7月における風向頻度分布を示す。

各標高における過去30年間の風向頻度分布(7月)



← 羊蹄山から泊発電所への方角

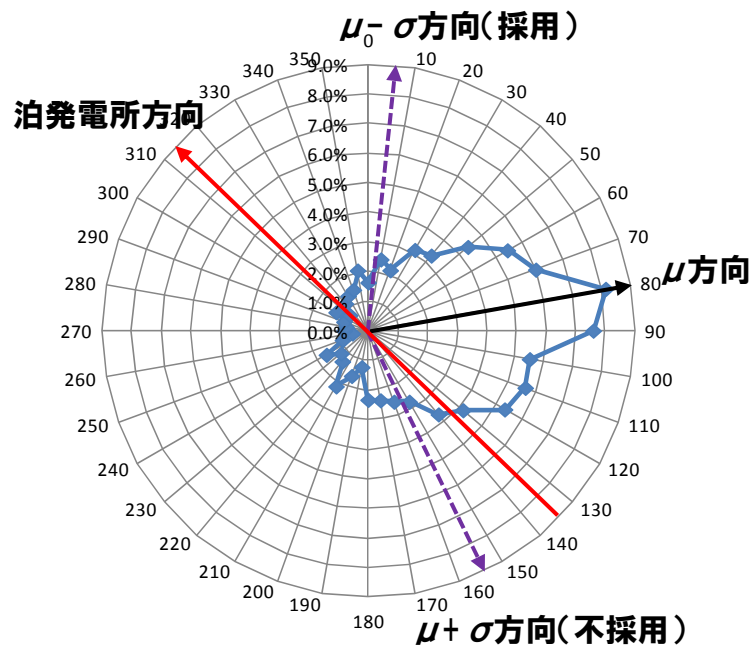
3.1 降下火砕物シミュレーション

風向のバラツキの考え方

○風向のバラツキを考慮するため、風向頻度分布を正規化し、 $(\mu - \sigma) \sim (\mu + \sigma)$ の範囲の風向を算出した*。

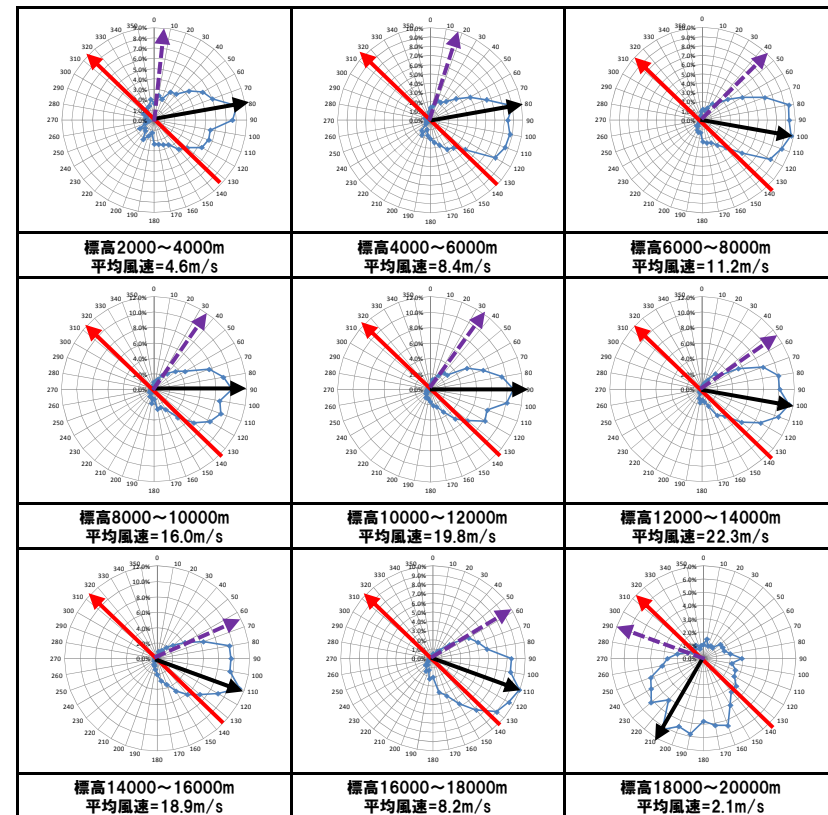
*各標高において、敷地に近づく方向を採用した。

風向のバラツキ検討例(標高2000~4000m)



標高2000~4000mの風向頻度分布(7月)

風向のバラツキ(7月)

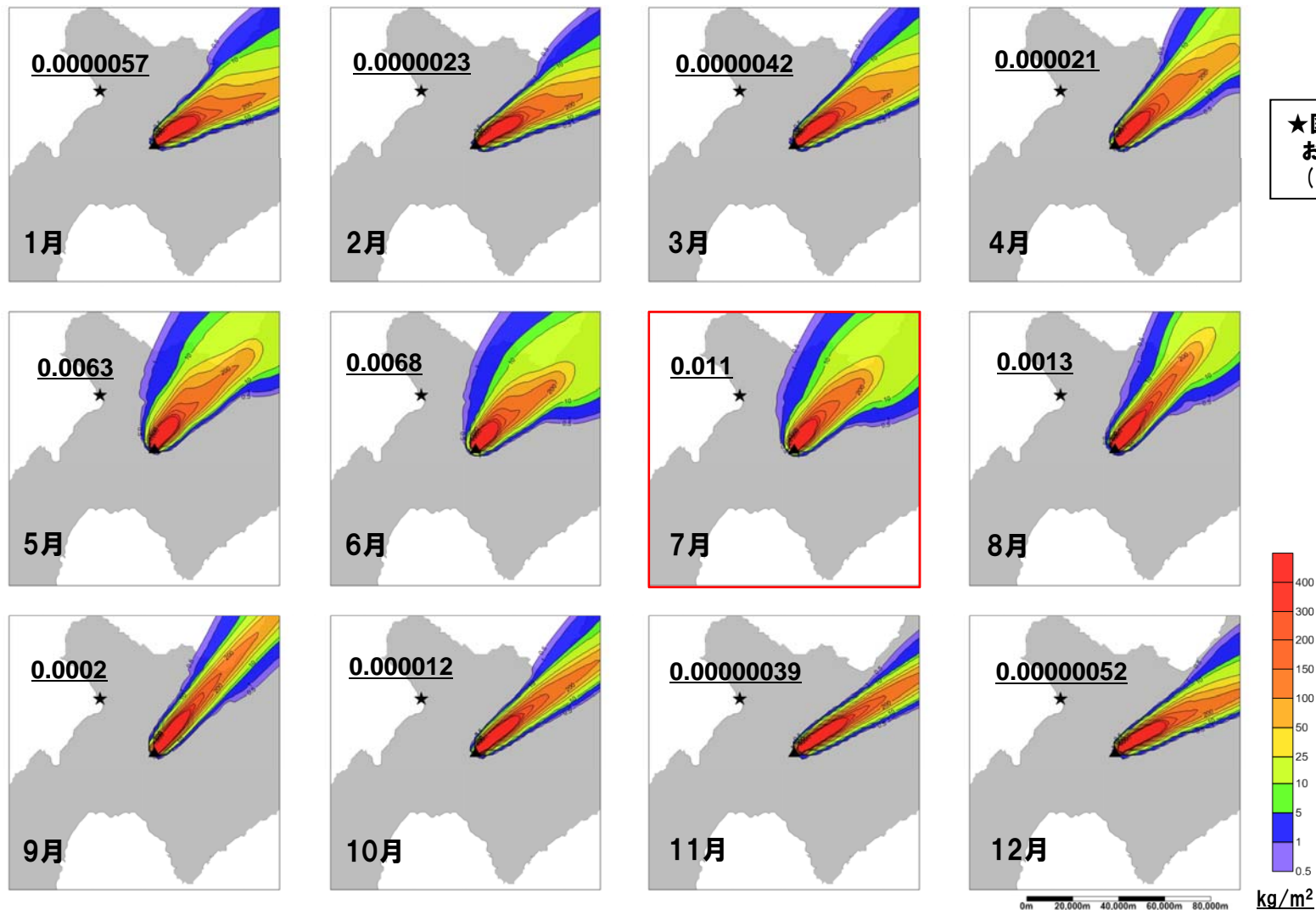


- ← 羊蹄山から泊発電所への方角
- ← μ 方向
- ← バラツキ採用方向

4.1 降下火砕物シミュレーション

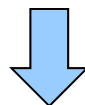
シミュレーション結果(風向のバラツキを考慮)

○風向のバラツキを考慮した降下火砕物シミュレーションを実施した結果、敷地においては7月の降下量が最大となり、層厚0.011mmとなった。



3.2 降下火砕物シミュレーションまとめ

- 羊蹄山について、降下火砕物シミュレーションを実施した。
- 各月を対象に、風向のバラツキを考慮した検討を実施した。
- その結果、敷地においては7月の降下量が最大となり、層厚0.011mmとなった。
- 敷地における火山灰の層厚は、敷地内で確認された火山灰質シルト層の層厚40cmと評価しており、シミュレーション結果を踏まえても、十分保守的な値であると判断される。

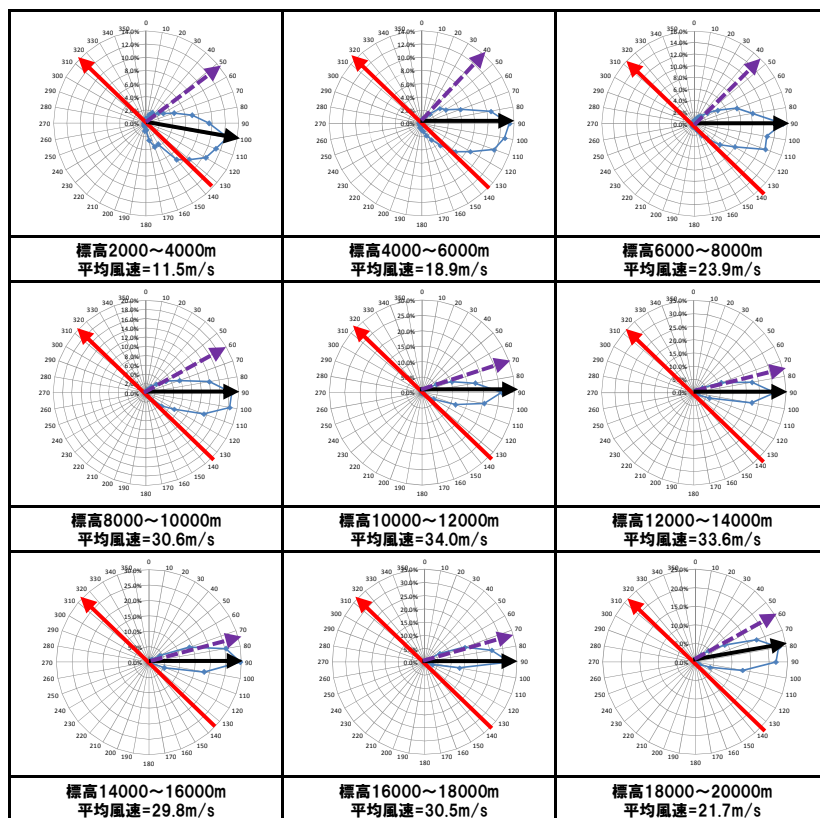


敷地における火山灰の層厚40cmは、十分保守的な値と評価する。

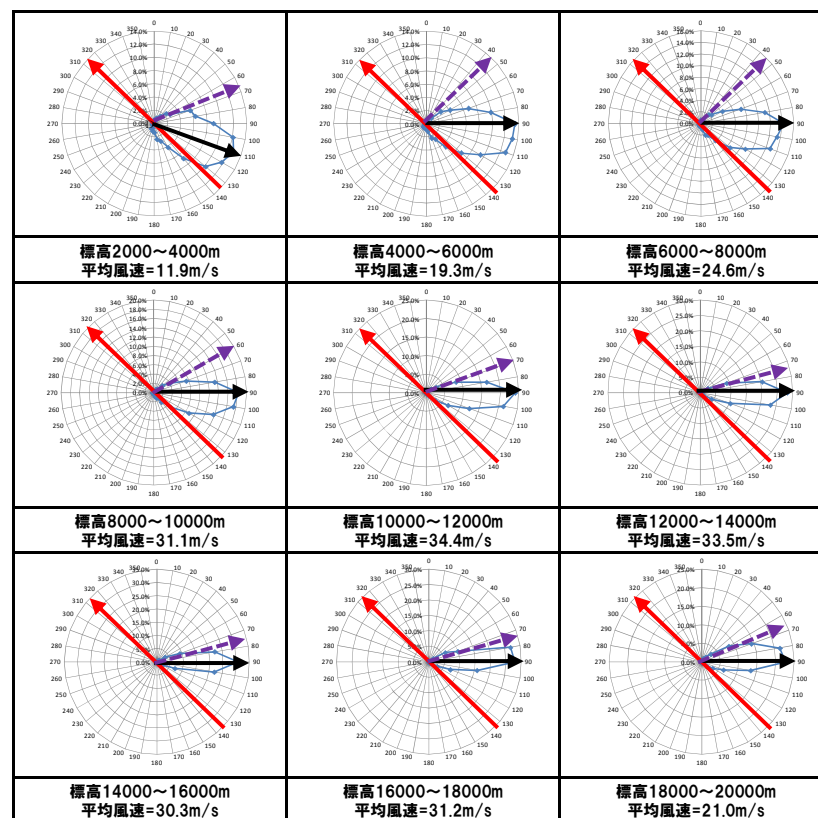
(参考資料)




風向のバラツキ(1~2月)

風向のバラツキ(1月)



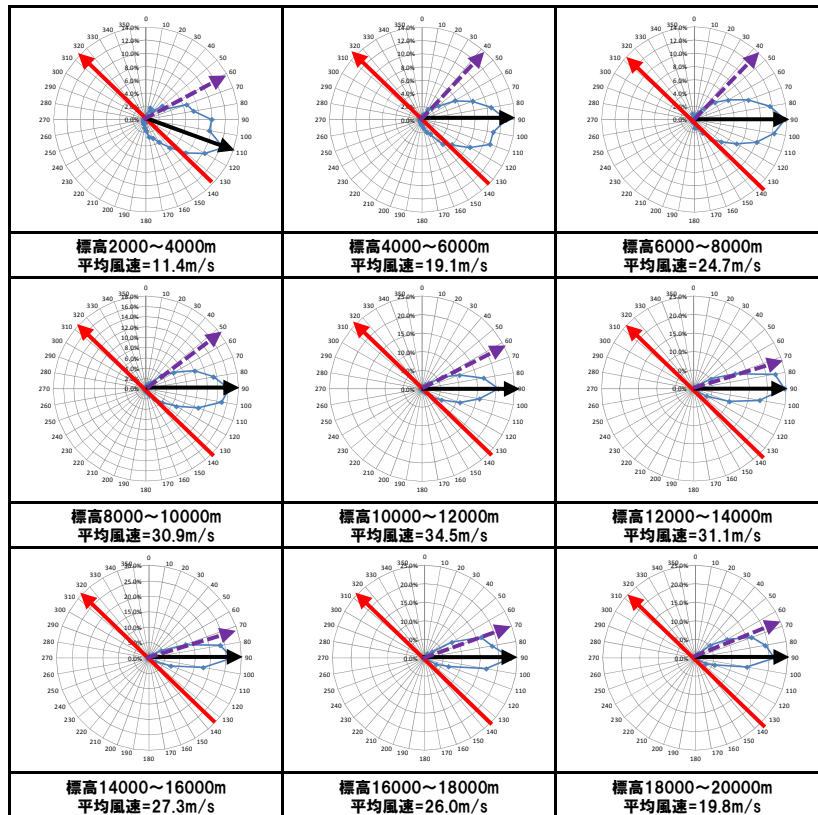
風向のバラツキ(2月)



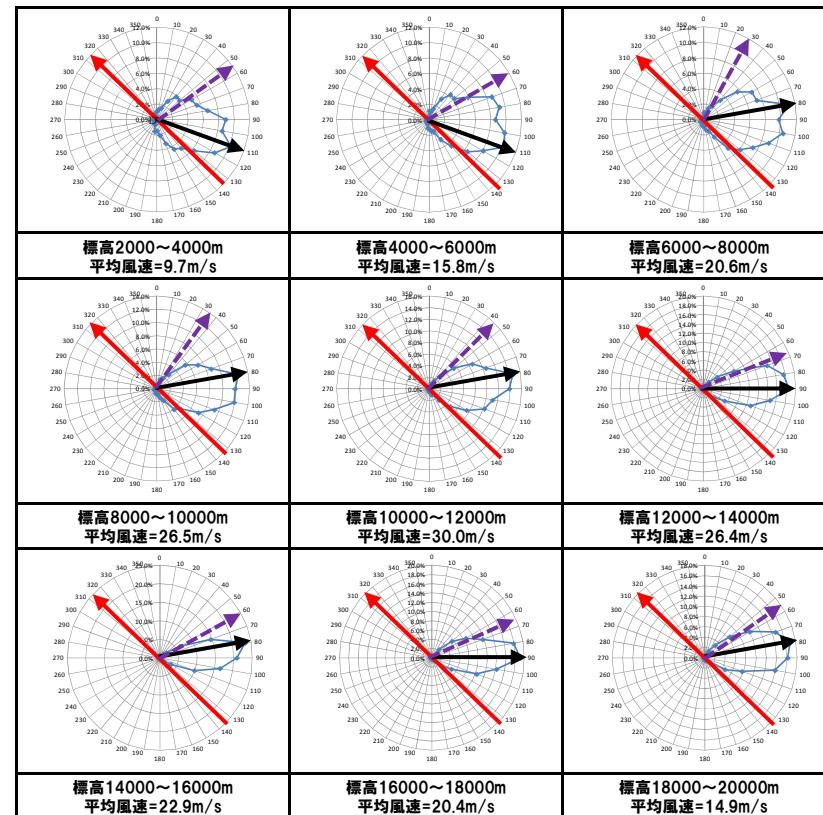
 羊蹄山から泊発電所への方角
 μ 方向
 バラツキ採用方向

風向のバラツキ(3~4月)

風向のバラツキ(3月)



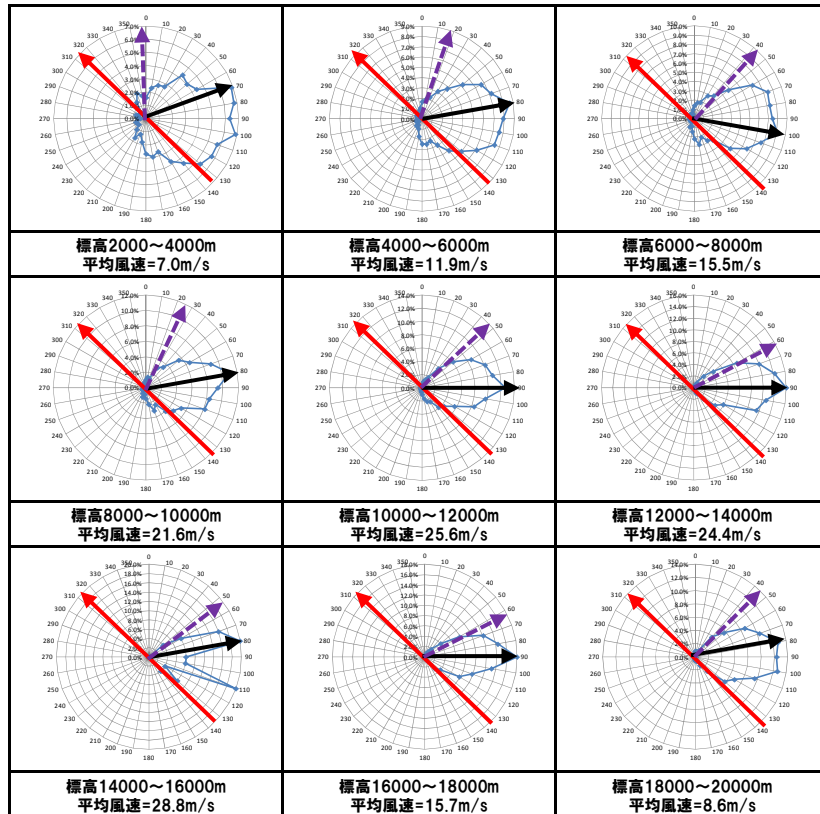
風向のバラツキ(4月)



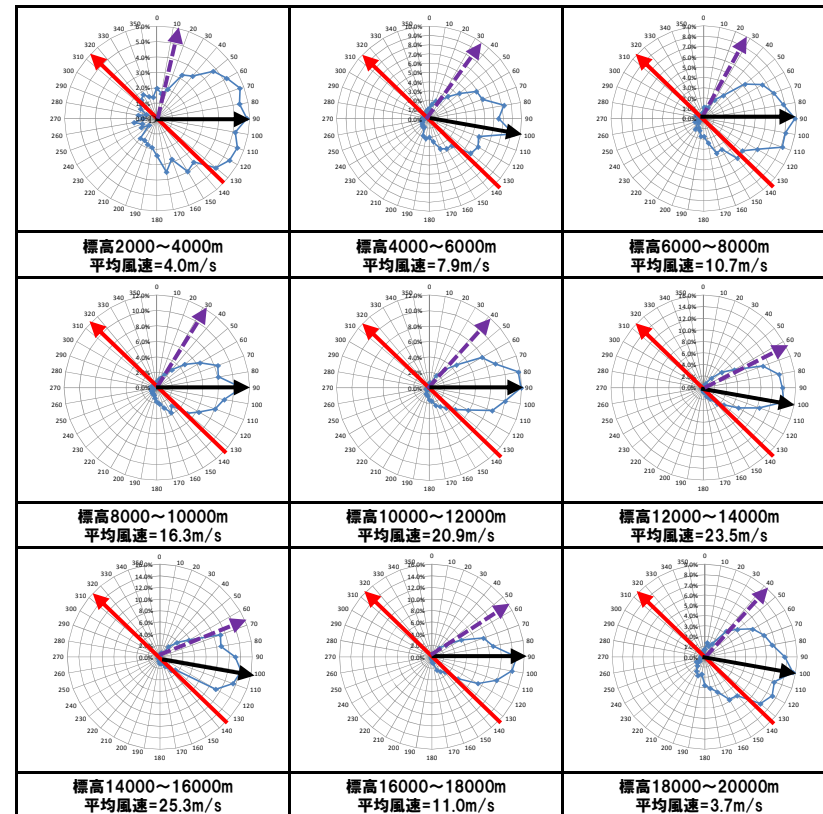
羊蹄山から泊発電所への方角
 μ 方向
 バラツキ採用方向

風向のバラツキ(5~6月)

風向のバラツキ(5月)



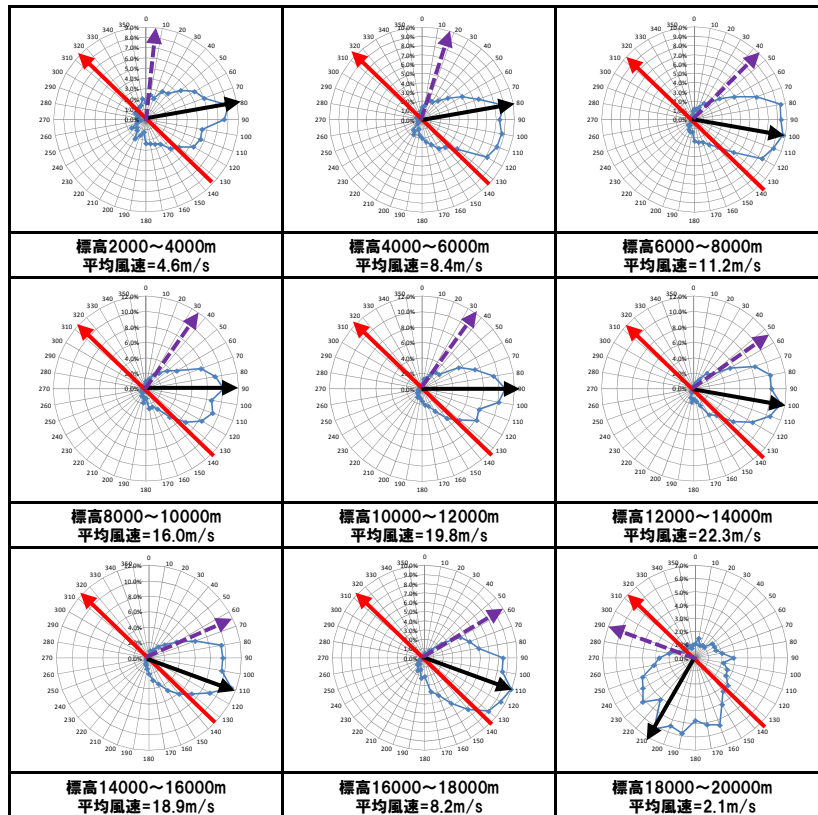
風向のバラツキ(6月)



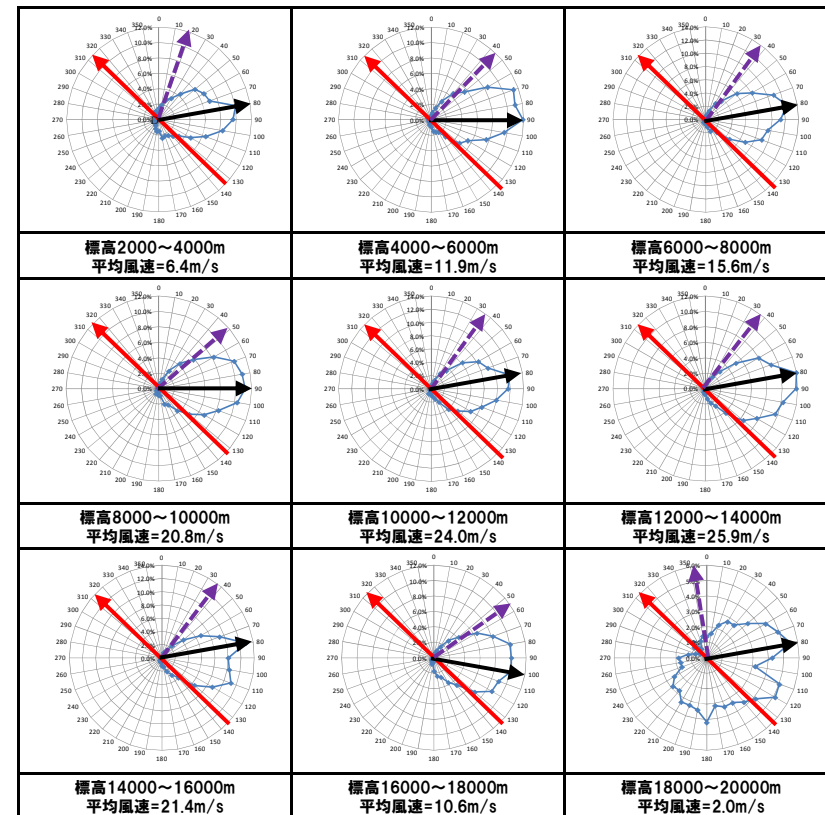
羊蹄山から泊発電所への方角
 μ 方向
 バラツキ採用方向

風向のバラツキ(7~8月)

風向のバラツキ(7月)



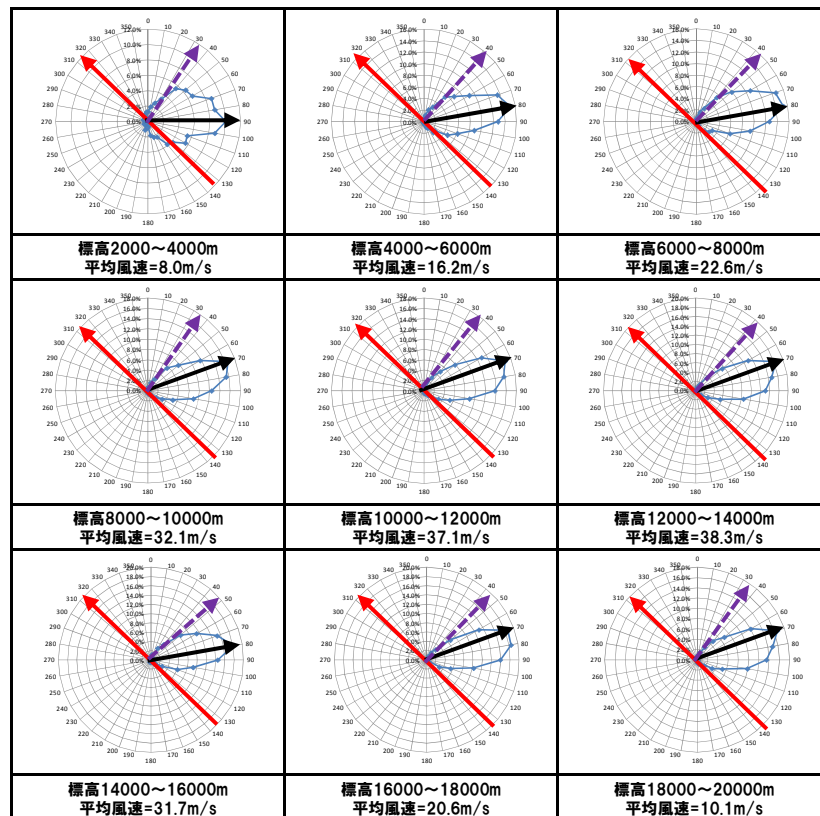
風向のバラツキ(8月)



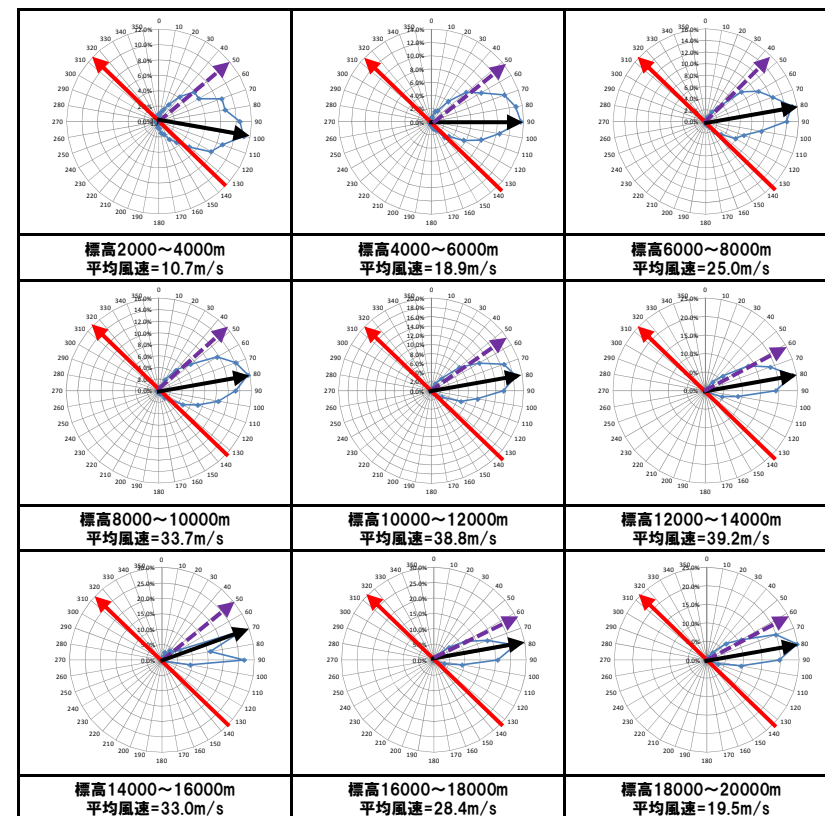
羊蹄山から泊発電所への方角
 μ 方向
 バラツキ採用方向

風向のバラツキ(9~10月)

風向のバラツキ(9月)



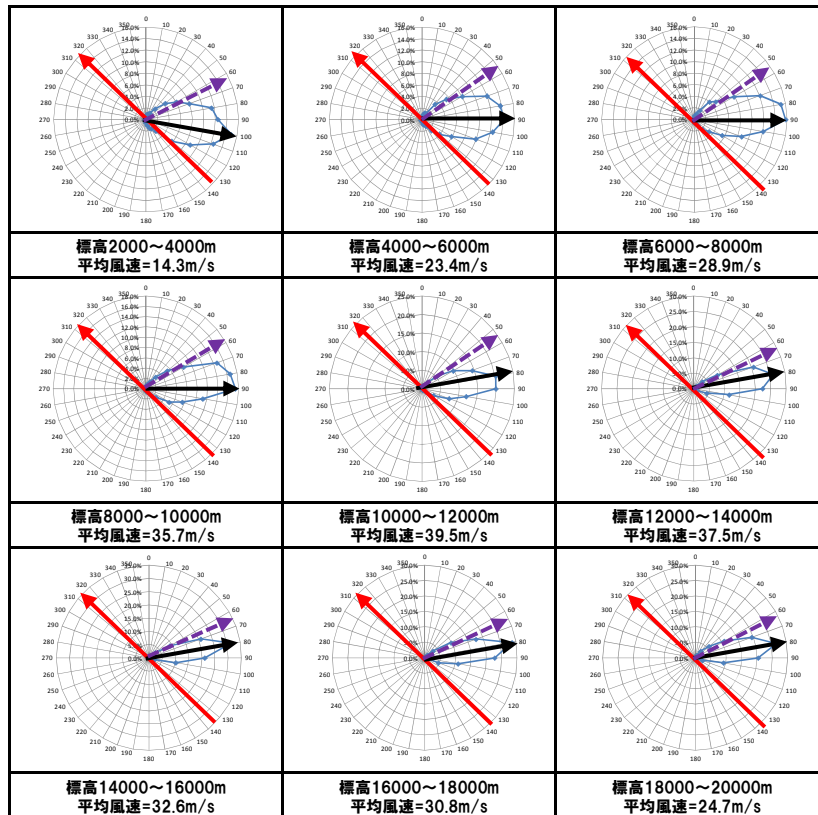
風向のバラツキ(10月)



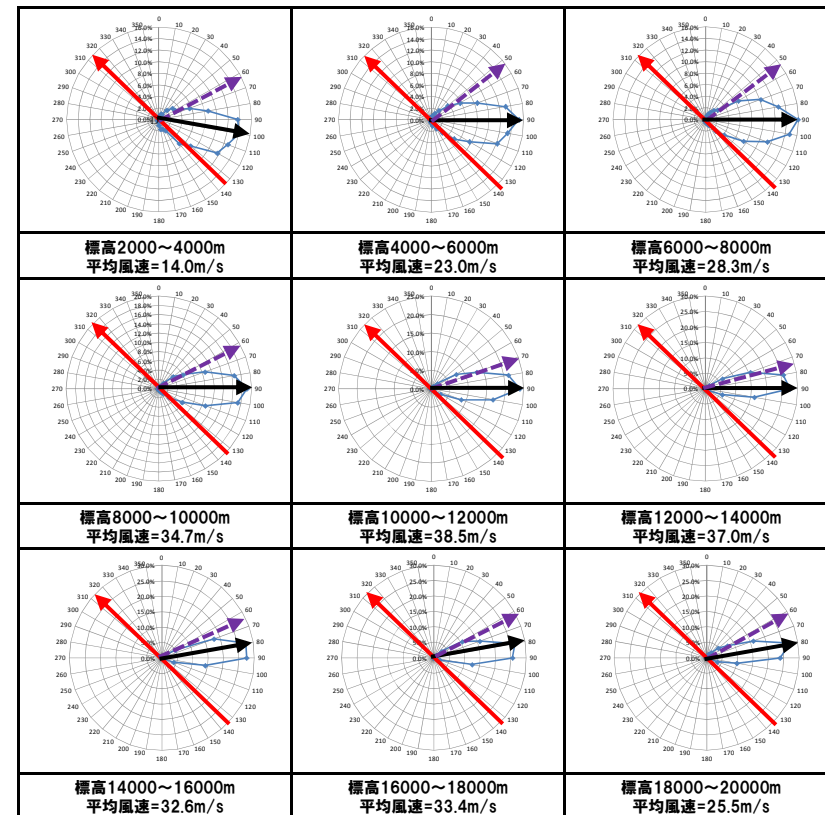
羊蹄山から泊発電所への方角
 μ 方向
 バラツキ採用方向

風向のバラツキ(11~12月)

風向のバラツキ(11月)



風向のバラツキ(12月)



羊蹄山から泊発電所への方角
 μ 方向
 バラツキ採用方向

(文献)

- 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) : 日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会
- 須藤 茂・猪股隆行・佐々木寿・向山 栄 (2007) : わが国の降下火山灰データベース作成, 地質調査研究報告, 第58巻, 第9/10号, pp.261-321.
- Michael F. Sheridan (1979) : Emplacement of pyroclastic flows: A review, Geological Society of America, Special Paper 180, pp.125-136.
- Richard M. Iverson (1997) : THE PHYSICS OF DEBRIS FLOWS, Reviews of Geophysics, 35, 3, pp.245-296.
- 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明・中田節也編 (2008) : 火山の辞典<第2版>
- 柏原 信・広瀬保志・香河正人・菅 恵一・春日井昭・山岸一夫 (1976) : 羊蹄火山のデフラー降下軽石・スコリア堆積物とその¹⁴C年代について一, 第四紀研究, 第15巻, 第2号, pp.75-86
- 気象庁編 (2013) : 日本活火山総覧(第4版).