| 島根原子力発電所２号炉 審査資料 | |
|---|---|
| 資料番号 | EP(E)－079改05 |
| 提出年月 | 令和３年４月22日 |

# 島根原子力発電所

# 火山影響評価について

令和3年4月22日

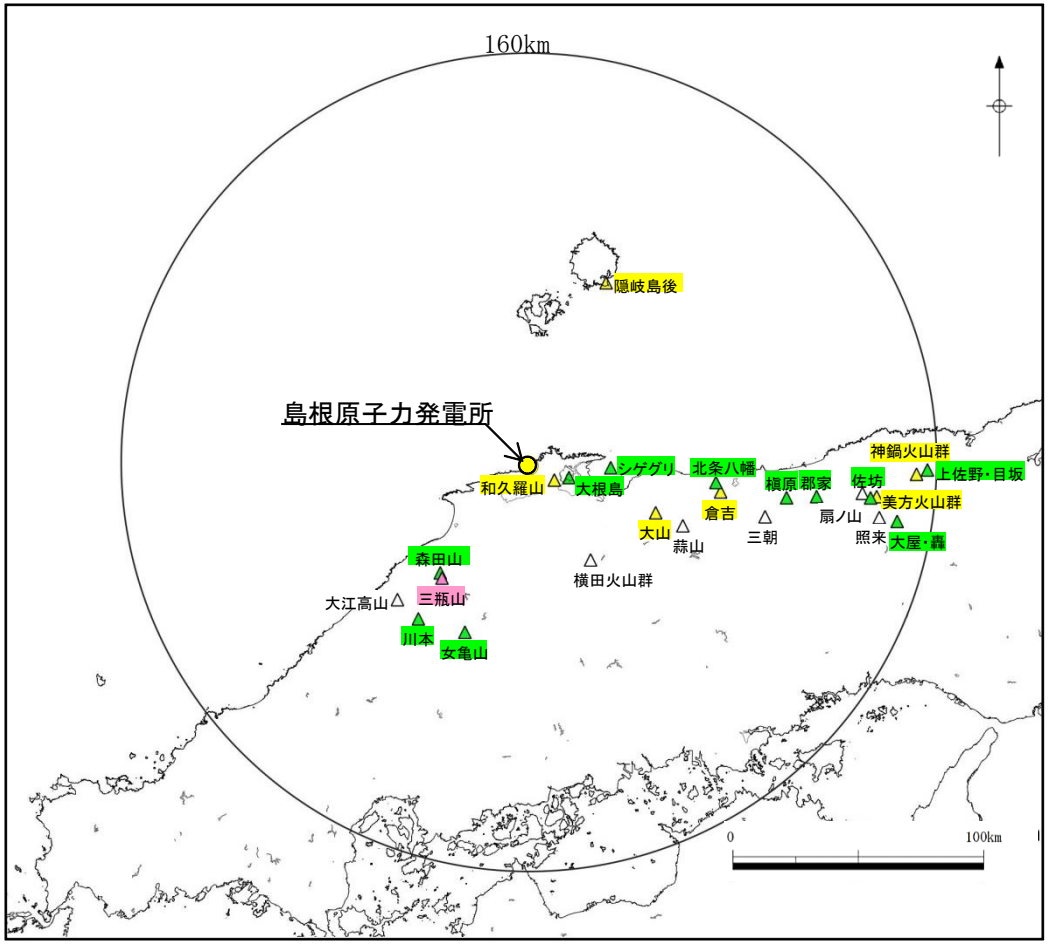
中国電力株式会社

Energia

# 概要（島根原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出）



・地理的領域（原子力発電所から半径160km以内の範囲）内における第四紀火山を文献調査から24火山を抽出し，その中から原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として18火山（完新世に活動があった火山として1火山，最大活動休止期間が不明な火山として11火山，最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも短い火山として6火山）を評価した。




地理的領域内の第四紀火山の位置

| 該当する第四紀火山 | 活動年代（万年前） | | | 最大活動休止期間 |
|---|---|---|---|---|
| 和久羅山 | 約80 | ～ | 約634 | 約416万年 |
| 大根島 | 約19 | | | － |
| シゲグリ | 約90 | | | － |
| 横田火山群 | 約97 | ～ | 約217 | 約26万年 |
| 大山 | 約2 | ～ | 約100 | 約28万年 |
| 森田山 | 約101 | ～ | 約115 | － |
| 三瓶山 | 約0.36 | ～ | 約11 | 約4万年 |
| 蒜山 | 約42 | ～ | 約101 | 約14万年 |
| 女亀山 | 約180 | | | － |
| 北条八幡 | 約221 | ～ | 約229 | － |
| 大江高山 | 約86 | ～ | 約358 | 約75万年 |
| 川本 | 約209 | | | － |
| 倉吉 | 約49 | ～ | 約183 | 約51万年 |
| 隠岐島後 | 約42 | ～ | 約468 | 約104万年 |
| 三朝 | 約223 | ～ | 約590 | 約140万年 |
| 槇原 | 約77 | | | － |
| 郡家 | 約214 | | | － |
| 扇ノ山 | 約44 | ～ | 約122 | 約20万年 |
| 佐坊 | 約170 | | | － |
| 美方火山群 | 約22 | ～ | 約158 | 約47万年 |
| 照来 | 約225 | ～ | 約313 | 約28万年 |
| 大屋・轟 | 約241 | ～ | 約277 | － |
| 神鍋火山群 | 約1 | ～ | 約70 | 約48万年 |
| 上佐野・目坂 | 約13 | ～ | 約23 | － |

| | |
|---|---|
| A | 完新世に活動があった火山（活火山） |
| B | 最大活動休止期間が不明な火山（単成火山を含む） |
| C | 最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも短い火山 |
| | 最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも長い火山 |

# 概要（設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価結果）



・原子力発電所に影響を及ぼし得る18火山（検討対象火山）について，原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分小さいと判断できないことから，設計対応不可能な火山事象（溶岩流，岩屑なだれ，地滑り，斜面崩壊，火砕物密度流，新しい火口の開口及び地殻変動）が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性について，噴出物分布，熱水活動，深部低周波地震，検討対象火山と敷地との距離等に着目して検討を行った。
・その結果，溶岩・火砕流堆積物の分布状況等から，過去の最大規模の噴火による設計対応不可能な火山事象が敷地に到達・発生する可能性は十分小さいと評価した。
・また，上記のことから原子力発電所の運用期間中に設計対応不可能な火山事象が敷地に到達・発生する可能性は十分小さいと評価したことから，火山活動のモニタリングは不要である。

| 火山事象 | 評価結果 |
|---|---|
| 溶岩流 | 地質調査の結果，敷地には，検討対象火山を起源とする火山噴出物は確認されていない。文献調査の結果，確認されている溶岩・火砕物堆積物の最大到達距離は，検討対象火山と敷地との距離よりも十分小さいことから，溶岩流・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 岩屑なだれ，<br>地滑り及び斜面崩壊 | |
| 火砕物密度流 | 地質調査の結果，敷地には，検討対象火山を起源とする火砕流堆積物は確認されていない。文献調査の結果，確認されている最大到達距離は，検討対象火山と敷地との距離よりも十分小さいことから，火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 新しい火口の開口 | 文献調査の結果，敷地と活火山である三瓶山は約55kmと十分な距離があること，敷地近傍において熱水活動が認められないこと及び深部低周波地震が認めれないことから，新しい火口の開口が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 地殻変動 | 文献調査の結果，敷地と活火山である三瓶山は約55kmと十分な距離があること，敷地近傍において熱水活動が認められないこと及び深部低周波地震が認めれないことから，地殻変動が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |

# 概要（地理的領域内の火山による火山事象の評価結果）



・原子力発電所に影響を及ぼし得る18火山（検討対象火山）について，降下火砕物以外の火山事象（土石流，火山泥流及び洪水，火山ガス，火山性地震とこれに関連する事象，熱水系及び地下水の異常）の影響評価を行った。
・その結果，降下火砕物を除く地理的領域内の火山による火山事象が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

| 火山事象 | 評価結果 |
|---|---|
| 土石流，<br>火山泥流及び洪水 | 敷地と検討対象火山の間には，日本海又は標高100m以上の稜線及び宍道湖・中海低地帯が位置することから，土石流，火山泥流及び洪水は敷地に到達することはなく，影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 火山ガス | 検討対象火山から敷地方向には，火山ガスの拡散に対し地形的障害となる標高100m以上の稜線及び宍道湖・中海低地帯が位置していること並びに敷地の前面は日本海に面しており，到達した火山ガスが拡散しやすい地形条件となっていることから，火山ガスが敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 火山性地震とこれに関連する事象 | 敷地は，検討対象火山と十分な離隔があることから，火山性地震及びその関連事象が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 熱水系及び<br>地下水の異常 | 敷地は，検討対象火山と十分な離隔があることから，熱水系及び地下水の異常が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |

※降下火砕物については，「敷地において考慮する降下火砕物の層厚」を参照
※津波及び静振については，「津波評価について」に示す。
大気現象については，竜巻・落雷等の影響評価に包含されると評価する（第6条：外部からの衝撃による損傷の防止を参照）。

# 概要（敷地において考慮する降下火砕物の層厚）



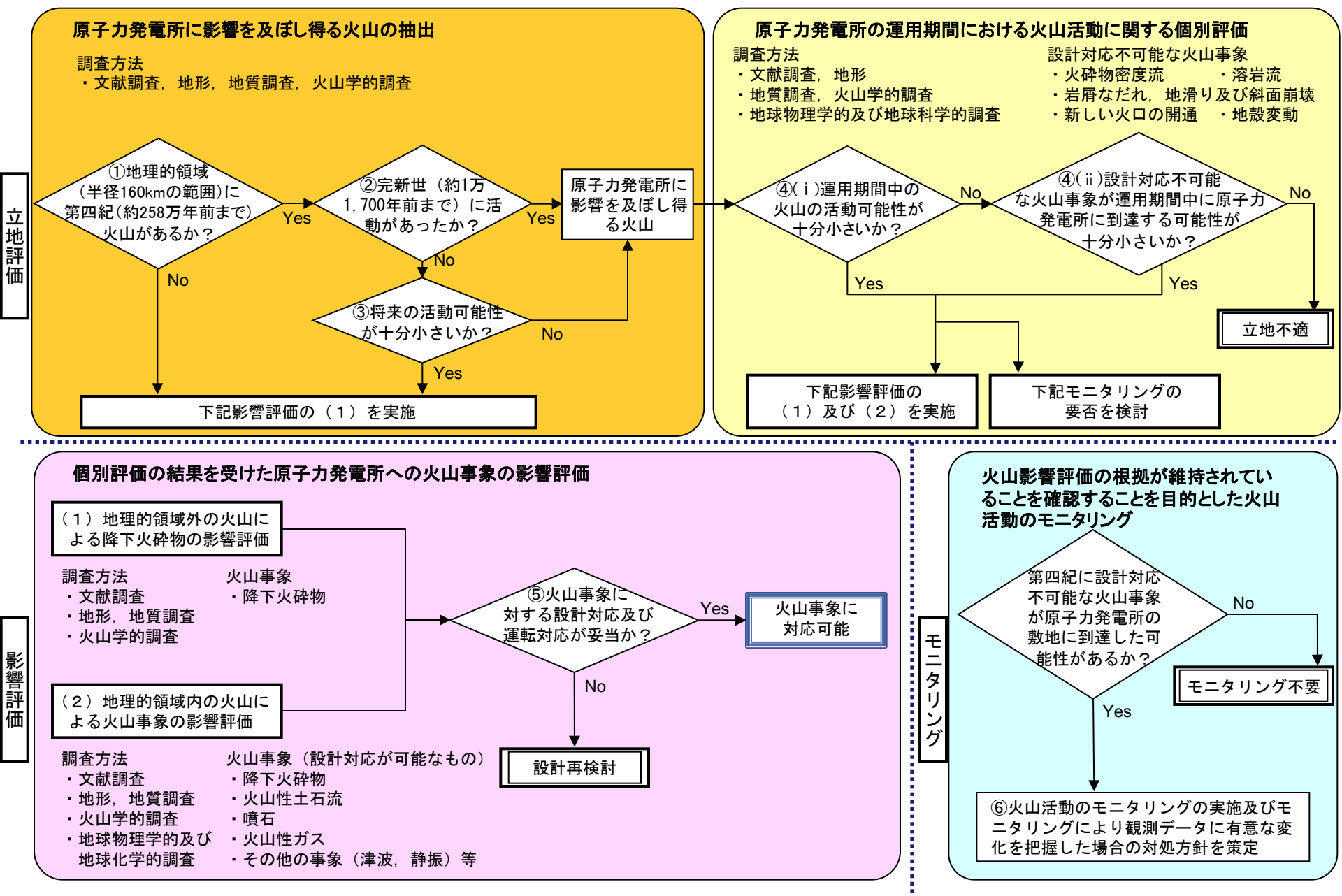
・原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について，原子力発電所の運用期間中の噴火規模を想定し，降下火砕物の影響評価を行った結果，敷地において考慮する降下火砕物の層厚を56cmと評価した。

| 対象火山 | | 評価結果 |
|---|---|---|
| 地理的領域内（半径160km以内） | 三瓶山 | 三瓶浮布テフラ（噴出量：4.15km$^3$）について，文献調査，地質調査，火山灰シミュレーション及び敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討結果55.5cmを踏まえ，敷地における降下火砕物の層厚を56cmとする。 |
| | 大山 | 大山松江テフラ（噴出量：2.19km$^3$）について，地質調査の結果，敷地における層厚は30cm程度と推定される。<br>大山生竹テフラ（噴出量：11.0km$^3$）について，文献調査，地質調査及び火山灰シミュレーションを踏まえた検討結果44.5cmを踏まえ，敷地における降下火砕物の層厚を45cmとする。 |
| | 三瓶山・大山以外の16火山 | 三瓶山・大山以外の16火山からの降下火砕物は，島根半島には認められないとされることから，三瓶山・大山による敷地における降下火砕物の層厚を上回るものではないと評価した。 |
| 地理的領域外（半径160km以遠） | 鬼界カルデラ<br>姶良カルデラ<br>阿多カルデラ<br>阿蘇カルデラ | 鬼界カルデラ・姶良カルデラ・阿多カルデラ・阿蘇カルデラは，原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さく，降下火砕物による敷地への影響は十分小さいと評価した。 |
| | 鬱陵島 | 鬱陵隠岐噴出時の火山灰は，敷地付近では層厚2cm以下とされている。火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降下火砕物の層厚は0.1cm以下であった。 |

※降下火砕物の密度・粒径については，敷地内で降下火砕物が確認されていないことから，既往の文献に基づいて設定した。
【密度】湿潤密度：1.5g/cm$^3$，乾燥密度：0.7g/cm$^3$（宇井編(1997)）
【粒径】粒径：4.0mm以下（鈴木ほか(1973)）

# 申請時（H25.12.25）からの変更内容





# 申請時（H25.12.25）からの変更内容



**原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出**

| 評価項目 | 申請時の評価 | 申請後の検討・反映事項（審査会合での主な議論） | 最終評価 | 該当頁 |
|---|---|---|---|---|
| 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山 | 26火山<br>（統合後21火山） | ・最新の知見を踏まえ都度更新されている地質調査総合センターのWeb版（地質調査総合センター（2021），令和3年1月21日更新）に基づき，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出した。 | 24火山 | 2章 |
| 完新世に活動があった火山 | 1火山 | | 1火山 | |
| 最大活動休止期間が不明な火山（単成火山を含む） | 10火山 | | 11火山 | |
| 最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも短い火山 | 5火山 | | 6火山 | |
| 最新活動時期からの経過時間が最大活動休止期間よりも長い火山 | 5火山 | | 6火山 | |
| 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 | 16火山<br>（大根島，シゲグリ，大山（三平山），三瓶山（森田山），女亀山，八幡山，川本，倉吉，隠岐島後[御崎]，槇原，郡家，佐坊，美方，大屋，轟，神鍋山（目坂）） | | 18火山<br>（和久羅山，大根島，シゲグリ，大山，森田山，三瓶山，女亀山，北条八幡，川本，倉吉，隠岐島後，槇原，郡家，佐坊，美方火山群，大屋・轟，神鍋火山群，上佐野・目坂） | |

**原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価（設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価）**

| 評価項目 | 申請時の評価 | 申請後の検討・反映事項（審査会合での主な議論） | 最終評価 | 該当頁 |
|---|---|---|---|---|
| 溶岩流 | 過去の最大規模の噴火による設計対応不可能な火山事象が敷地に到達・発生する可能性は十分小さい。 | － | 過去の最大規模の噴火による設計対応不可能な火山事象が敷地に到達・発生する可能性は十分小さい。 | 3章 |
| 岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊 | | | | |
| 火砕物密度流 | | | | |
| 新しい火口の開口 | | | | |
| 地殻変動 | | | | |
| モニタリング | 不要 | | 不要 | |

# 申請時(H25.12.25)からの変更内容



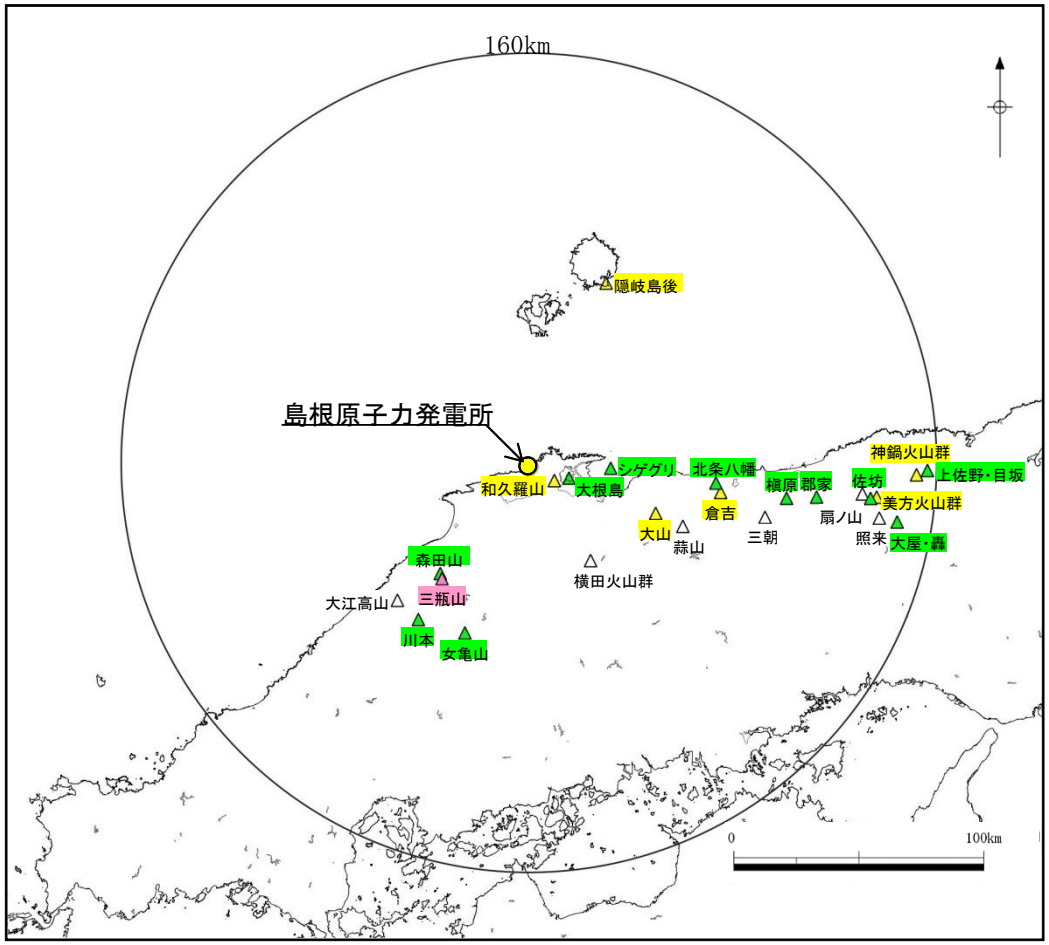
**個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価**

| 評価項目 | 申請時の評価 | 申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論) | 最終評価 | 該当頁 |
|---|---|---|---|---|
| 土石流，火山泥流及び洪水<br>火山ガス<br>火山性地震とこれに関連する事象<br>熱水系及び地下水の異常<br>その他の火山事象 | 敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さい。 | 【降下火砕物】<br>・三瓶山及び大山に関する文献調査を実施し，三瓶浮布テフラの降灰分布，大山生竹テフラの噴火規模等に関する最新の知見を踏まえた評価を行った。<br>・敷地周辺の地質調査(火山灰調査)を実施し，敷地周辺において確認された三瓶木次テフラ，三瓶浮布テフラ，三瓶雲南テフラ及び大山松江テフラの分布状況を整理した。<br>・降下火砕物について，三瓶浮布テフラ，大山松江テフラ，大山生竹テフラ及び鬱陵隠岐テフラを対象に，風向の不確かさとして敷地方向への仮想風等を考慮した火山灰シミュレーションを実施した。<br>・敷地は三瓶山の風下側に位置し，風向によっては降灰が想定されること等から，三瓶浮布テフラについては，文献による等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが，その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮した。 | 敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さい。 | 4章 |
| 降下火砕物 | 敷地における降下火砕物の層厚：2cm | | 敷地における降下火砕物の層厚：56cm | |

# 申請時（H25.12.25）からの変更内容



原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出に関して，最新の知見を踏まえ都度更新されている地質調査総合センターのWeb版（地質調査総合センター（2021），令和3年1月21日更新）に基づき，右表のとおり，申請時から見直しを行い，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を18火山とした。




地理的領域内の第四紀火山の位置

| 評価項目 | | 申請時の評価 | 最終評価 |
|---|---|---|---|
| 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山 | | 26火山（統合後21火山） | 24火山 |
| A | 完新世に活動があった火山 | 1火山 | 1火山 |
| B | 最大活動休止期間が不明な火山（単成火山を含む） | 10火山 | 11火山 |
| C | 最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも短い火山 | 5火山 | 6火山 |
| | 最新活動時期からの経過時間が最大活動休止期間よりも長い火山 | 5火山 | 6火山 |
| 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 | | 16火山 | 18火山 |

| 該当する第四紀火山 | | |
|---|---|---|
| 申請時の評価 | 変更内容 | 最終評価 |
| － | 新規追加 | 和久羅山 |
| 大根島 | － | 大根島 |
| シゲグリ | － | シゲグリ |
| 横田（鶴田・野呂） | 名称変更 | 横田火山群 |
| 大山（三平山）<br>※蒜山を含めて評価 | 三平山を除外 | 大山 |
| | 分離して評価 | 蒜山 |
| 三瓶山（森田山） | 分離して評価 | 森田山 |
| | | 三瓶山 |
| 女亀山 | － | 女亀山 |
| 八幡山 | 名称変更 | 北条八幡 |
| 大江高山 | － | 大江高山 |
| 川本 | － | 川本 |
| 倉吉 | － | 倉吉 |
| 隠岐島後[御崎] | 名称変更 | 隠岐島後 |
| 三朝 | － | 三朝 |
| 槇原 | － | 槇原 |
| 郡家 | － | 郡家 |
| 扇ノ山 | － | 扇ノ山 |
| 佐坊 | － | 佐坊 |
| 美方 | 名称変更 | 美方火山群 |
| 照来 | － | 照来 |
| 大屋 | 統合して評価 | 大屋・轟 |
| 轟 | | |
| 神鍋山（目坂） | 名称変更<br>分離して評価 | 神鍋火山群 |
| | | 上佐野・目坂 |

# 第924回審査会合（R2.11.27）からの変更内容



| No. | 変更内容 | 頁 |
|---|---|---|
| 1 | 地質調査総合センターのWeb版の更新内容（地質調査総合センター（2021），令和3年1月21日更新）を確認し，第四紀火山の抽出，将来の活動性評価，設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価及び火山事象の影響評価に変更がないことを確認した。 | 18 |
| 2 | 敷地周辺における三瓶雲南テフラの分布に関する地質調査結果を記載した。 | 52，53<br>▪<br>補足説明<br>30，31，53 |
| 3 | 三瓶山の火山噴火予知連絡会による最新の評価を反映した。 | 77，79 |

# 目次




**1. 調査内容**・・・

# １．調査内容
## ２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
### ２．１ 地理的領域内の第四紀火山
### ２．２ 将来の火山活動の可能性
## ３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
## ４．火山事象の影響評価
### ４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
### ４．２ 降下火砕物の影響評価
（１）敷地における降下火砕物の分布状況
（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
（５）降下火砕物の密度・粒径

# 原子力発電所の火山影響評価の基本フロー



## 立地評価

### 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

調査方法
・文献調査，地形，地質調査，火山学的調査

①地理的領域（半径160kmの範囲）に第四紀（約258万年前まで）火山があるか？
- Yes → ②完新世（約1万1，700年前まで）に活動があったか？
  - Yes → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
  - No → ③将来の活動可能性が十分小さいか？
    - No → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
    - Yes → 下記影響評価の（１）を実施
- No → 下記影響評価の（１）を実施

### 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価

調査方法
・文献調査，地形
・地質調査，火山学的調査
・地球物理学的及び地球科学的調査

設計対応不可能な火山事象
・火砕物密度流　・溶岩流
・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊
・新しい火口の開通　・地殻変動

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 → ④(ⅰ)運用期間中の火山の活動可能性が十分小さいか？
- No → ④(ⅱ)設計対応不可能な火山事象が運用期間中に原子力発電所に到達する可能性が十分小さいか？
  - No → 立地不適
  - Yes → 下記モニタリングの要否を検討
- Yes → 下記影響評価の（１）及び（２）を実施

## 影響評価

### 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

（１）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査

火山事象
・降下火砕物

（２）地理的領域内の火山による火山事象の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査
・地球物理学的及び地球化学的調査

火山事象（設計対応が可能なもの）
・降下火砕物
・火山性土石流
・噴石
・火山性ガス
・その他の事象（津波，静振）等

⑤火山事象に対する設計対応及び運転対応が妥当か？
- Yes → 火山事象に対応可能
- No → 設計再検討

## モニタリング

### 火山影響評価の根拠が維持されていることを確認することを目的とした火山活動のモニタリング

第四紀に設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の敷地に到達した可能性があるか？
- No → モニタリング不要
- Yes → ⑥火山活動のモニタリングの実施及びモニタリングにより観測データに有意な変化を把握した場合の対処方針を策定

# 火山事象及び位置関係



・敷地を中心とする半径160kmの範囲（地理的領域）内の第四紀火山の活動時期，火山噴出物の分布等に係る文献調査，地質調査等により，敷地への火山事象の影響を評価した。
・降下火砕物（火山灰）については，半径160km以遠（地理的領域外）の第四紀火山も含めて敷地への影響を評価した。

## 火山事象の影響評価

| 火山現象 | 原子力発電所との位置関係 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0～10km | 10～50km | 50～120km | 120～160km | 160km～ |
| 火山から発生する飛来物（噴石） | 評価対象 | | | | |
| 溶岩流 | 評価対象 | | | | |
| 岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊 | 評価対象 | | | | |
| 土石流，火山泥流及び洪水 | 評価対象 | | | | |
| 火山ガス | 評価対象 | | | | |
| 火砕物密度流 | 評価対象 | | | | |
| 降下火砕物 | 評価対象 | | | | |
| 新しい火口の開口 | 評価対象 | | | | |
| 地殻変動 | 評価対象 | | | | |

1. 調査内容
2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
2．１ 地理的領域内の第四紀火山
2．２ 将来の火山活動の可能性
3. 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
4. 火山事象の影響評価
4．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
4．２ 降下火砕物の影響評価
（1）敷地における降下火砕物の分布状況
（2）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
（3）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
（4）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
（5）降下火砕物の密度・粒径

# 原子力発電所の火山影響評価の基本フロー



## 立地評価

### 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

調査方法
・文献調査，地形，地質調査，火山学的調査

①地理的領域（半径160kmの範囲）に第四紀（約258万年前まで）火山があるか？
- Yes → ②完新世（約1万1，700年前まで）に活動があったか？
  - Yes → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
  - No → ③将来の活動可能性が十分小さいか？
    - No → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
    - Yes → 下記影響評価の（１）を実施
- No → 下記影響評価の（１）を実施

### 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価

調査方法
・文献調査，地形
・地質調査，火山学的調査
・地球物理学的及び地球科学的調査

設計対応不可能な火山事象
・火砕物密度流　・溶岩流
・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊
・新しい火口の開通　・地殻変動

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 → ④(ⅰ)運用期間中の火山の活動可能性が十分小さいか？
- No → ④(ⅱ)設計対応不可能な火山事象が運用期間中に原子力発電所に到達する可能性が十分小さいか？
  - No → 立地不適
  - Yes → 下記モニタリングの要否を検討
- Yes → 下記影響評価の（１）及び（２）を実施

## 影響評価

### 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

（１）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査

火山事象
・降下火砕物

（２）地理的領域内の火山による火山事象の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査
・地球物理学的及び地球化学的調査

火山事象（設計対応が可能なもの）
・降下火砕物
・火山性土石流
・噴石
・火山性ガス
・その他の事象（津波，静振）等

⑤火山事象に対する設計対応及び運転対応が妥当か？
- Yes → 火山事象に対応可能
- No → 設計再検討

## モニタリング

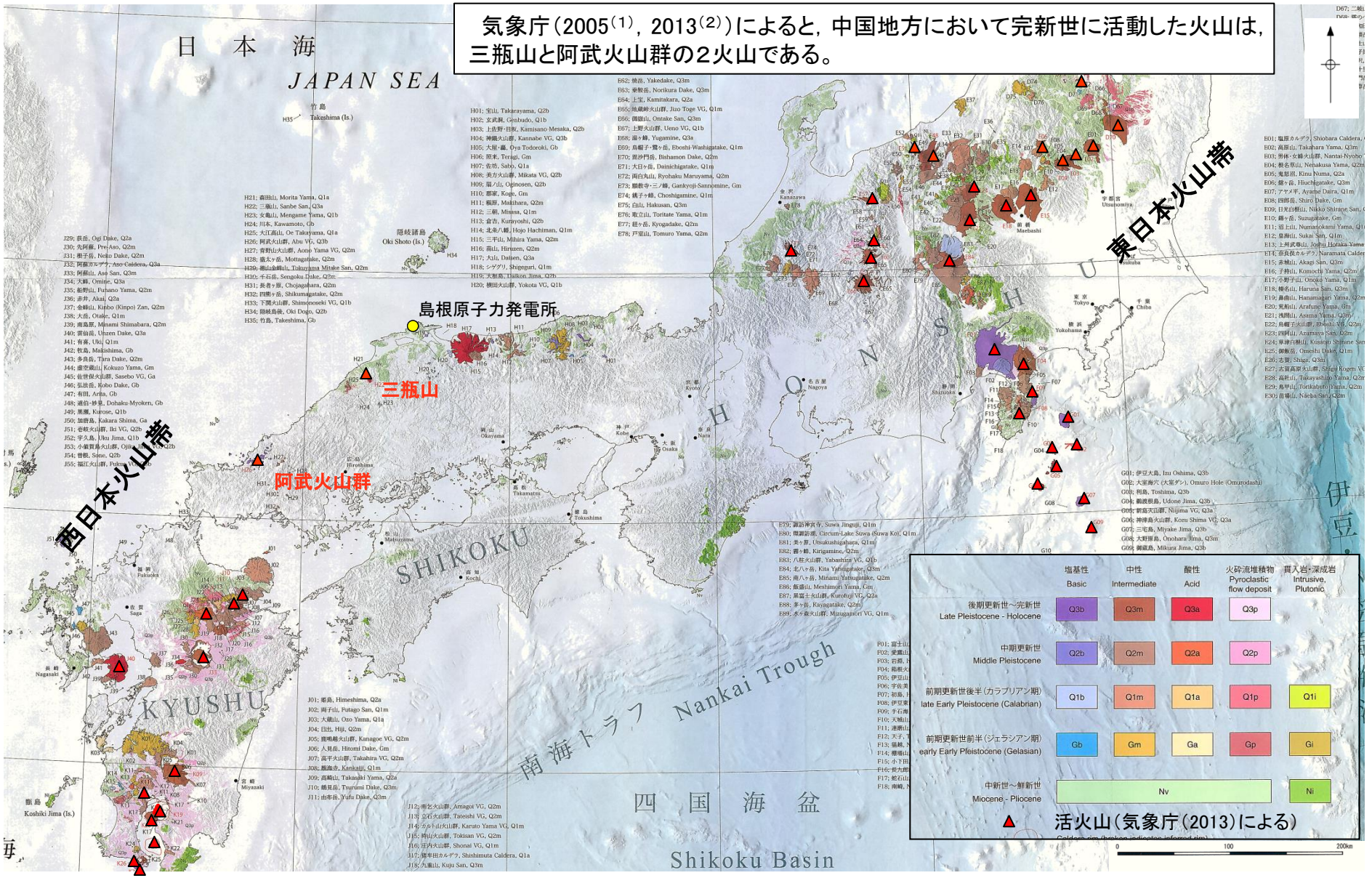
### 火山影響評価の根拠が維持されていることを確認することを目的とした火山活動のモニタリング

第四紀に設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の敷地に到達した可能性があるか？
- No → モニタリング不要
- Yes → ⑥火山活動のモニタリングの実施及びモニタリングにより観測データに有意な変化を把握した場合の対処方針を策定

# 中国地方の第四紀火山の特徴（活火山の分布）



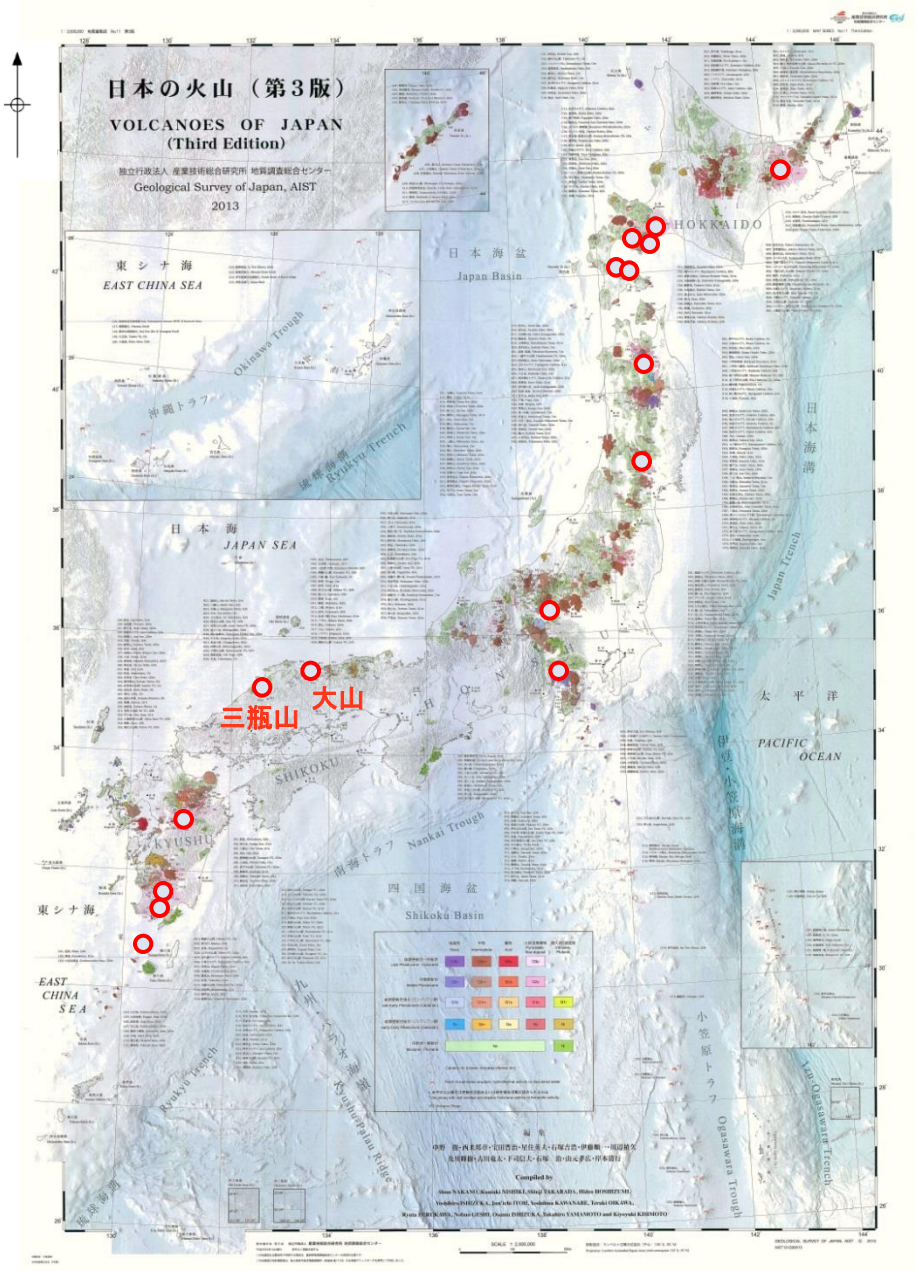
気象庁（2005[1]，2013[2]）によると，中国地方において完新世に活動した火山は，三瓶山と阿武火山群の2火山である。




中野ほか編(2013)[3]より引用・加筆

# 中国地方の第四紀火山の特徴（噴火規模）






・須藤ほか（2007）(4)をもとに第四紀にVEI6※（総噴出物量10～100km$^3$）以上の噴火を起こしている火山を抽出した。
・第四紀以降の日本におけるVEI6以上の噴火は，主に北海道及び九州を中心に発生しており，2回以上繰り返している火山が存在する。
・一方，中国地方では，VEI6以上の噴火が発生している火山は大山及び三瓶山である。

※　火山爆発指数（補足説明P265参照）

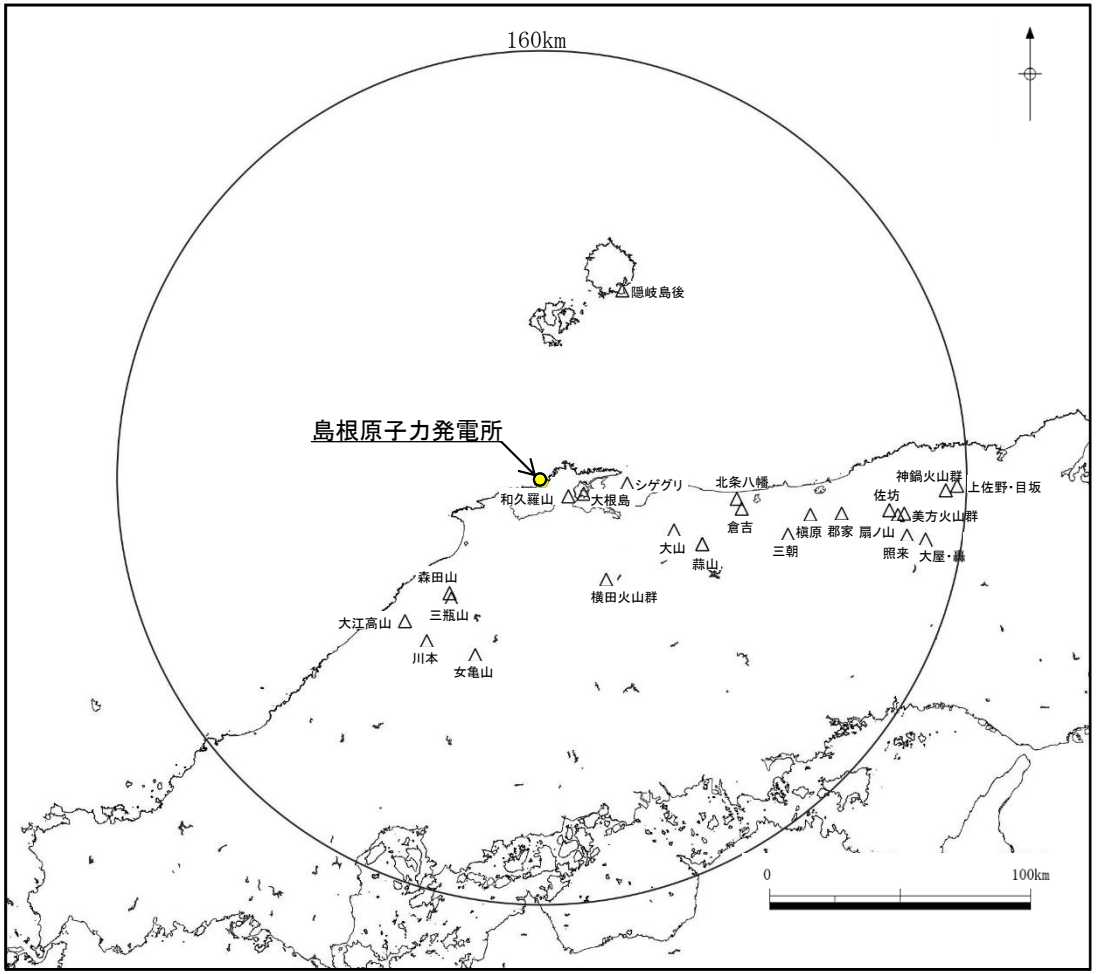
凡例
○ 第四紀にVEI6（総噴出物量10～100km$^3$）以上の噴火を起こしている火山

中野ほか編（2013）より引用・加筆

# 第四紀火山の抽出（地理的領域内）



文献調査の結果，地理的領域内にある第四紀火山（24火山）を抽出した。第四紀火山の抽出にあたっては，西来ほか編（2012）[5]，中野ほか編（2013）及び地質調査総合センターのWeb版をデータベースとして参照した。また，地質調査総合センターのWeb版は，最新の知見を踏まえ都度更新されていることから，これらの更新内容（以下，地質調査総合センター（2021）[6]）を踏まえた検討を実施した。個別火山の概略（活動年代等）の把握にあたっては，既存の文献を集約し整理した（補足説明「1．第四紀火山について（三瓶山・大山を除く）」参照）。




地理的領域内の第四紀火山の位置

| 敷地からの距離 | | 該当する第四紀火山 | |
|---|---|---|---|
| 10km以内 | － | 該当無し | |
| 30km以内 | 11km | 島根県 | 和久羅山(わくらやま) |
| | 16km | | 大根島(だいこんじま) |
| 50km以内 | 32km | 島根県 | シゲグリ |
| | 44km | 島根県・鳥取県 | 横田火山群(よこた) |
| 120km以内 | 53km | 鳥取県 | 大山(だいせん) |
| | 54km | 島根県 | 森田山(もりたやま) |
| | 55km | | 三瓶山(さんべさん) |
| | 64km | 鳥取県・岡山県 | 蒜山(ひるぜん) |
| | 69km | 広島県 | 女亀山(めんがめやま) |
| | 73km | 鳥取県 | 北条八幡(ほうじょうはちまん) |
| | 73km | 島根県 | 大江高山(おおえたかやま) |
| | 74km | | 川本(かわもと) |
| | 75km | 鳥取県 | 倉吉(くらよし) |
| | 77km | 島根県 | 隠岐島後(おきどうご) |
| | 94km | 鳥取県 | 三朝(みささ) |
| | 101km | | 横原(まきはら) |
| | 113km | | 郡家(こおげ) |
| 160km以内 | 131km | 鳥取県 | 扇ノ山(おうぎのせん) |
| | 134km | 兵庫県 | 佐坊(さぼう) |
| | 137km | | 美方火山群(みかた) |
| | 139km | | 照来(てらぎ) |
| | 146km | | 大屋・轟(おおや・とどろき) |
| | 152km | | 神鍋火山群(かんなべ) |
| | 156km | | 上佐野・目坂(かみさの・めさか) |

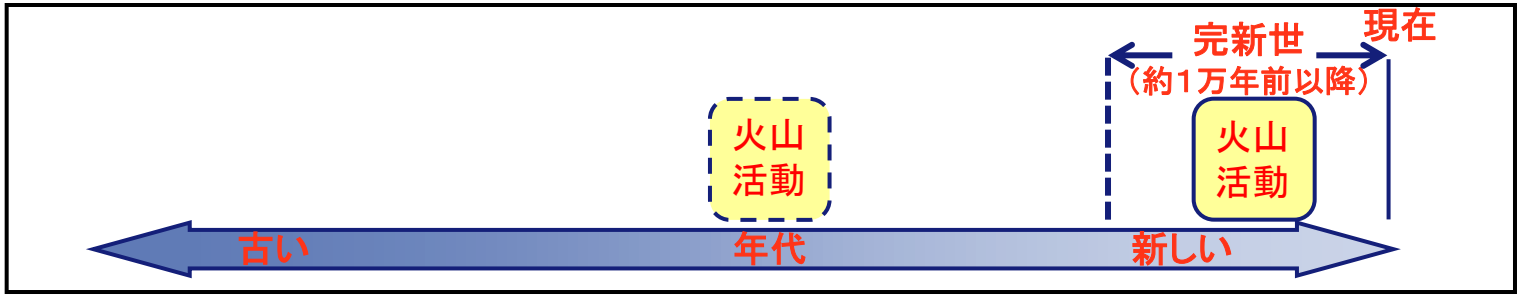
1. 調査内容
2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
2. 1 地理的領域内の第四紀火山
2. 2 将来の火山活動の可能性
3. 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
4. 火山事象の影響評価
4. 1 地理的領域内の火山による火山事象の評価
4. 2 降下火砕物の影響評価
(1)敷地における降下火砕物の分布状況
(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
(3)地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
(4)敷地において考慮する降下火砕物の層厚
(5)降下火砕物の密度・粒径

# 評価方法

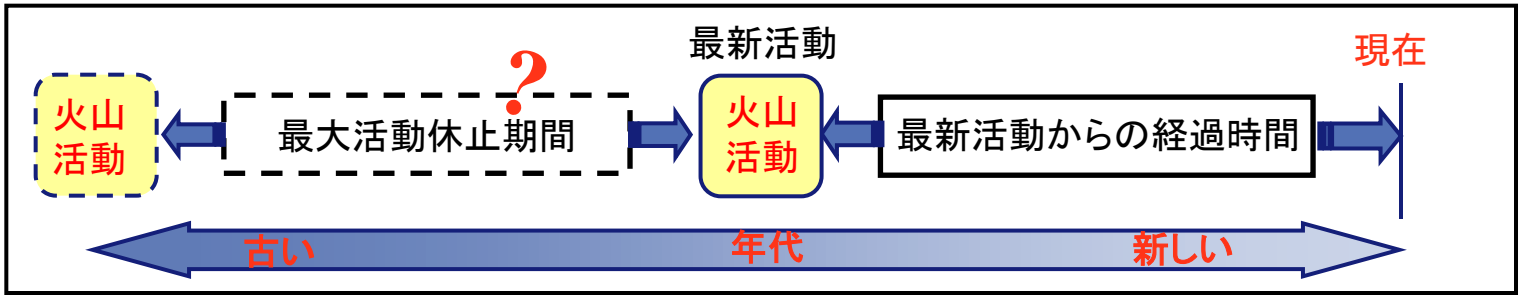


以下の条件に1つでも該当する火山を，**原子力発電所に影響を及ぼし得る火山**として評価した。

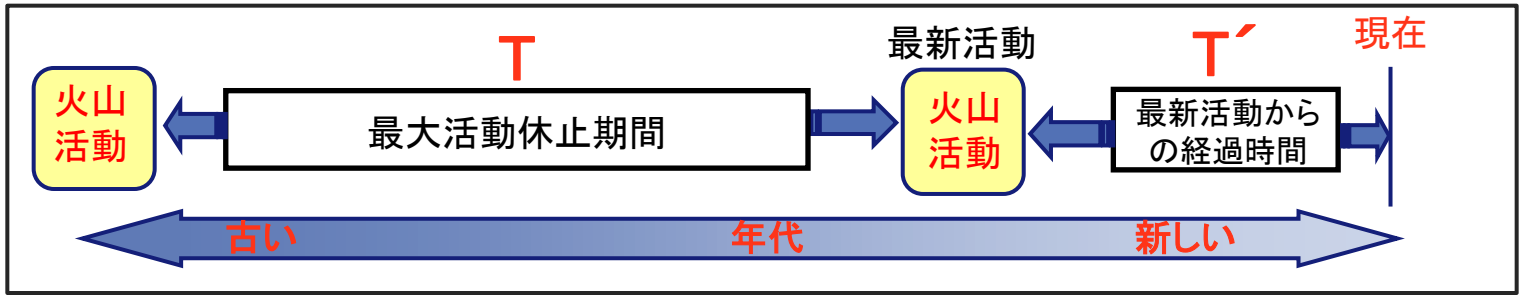
A：完新世に活動があった火山（活火山）




B：最大活動休止期間が不明な火山（単成火山を含む）



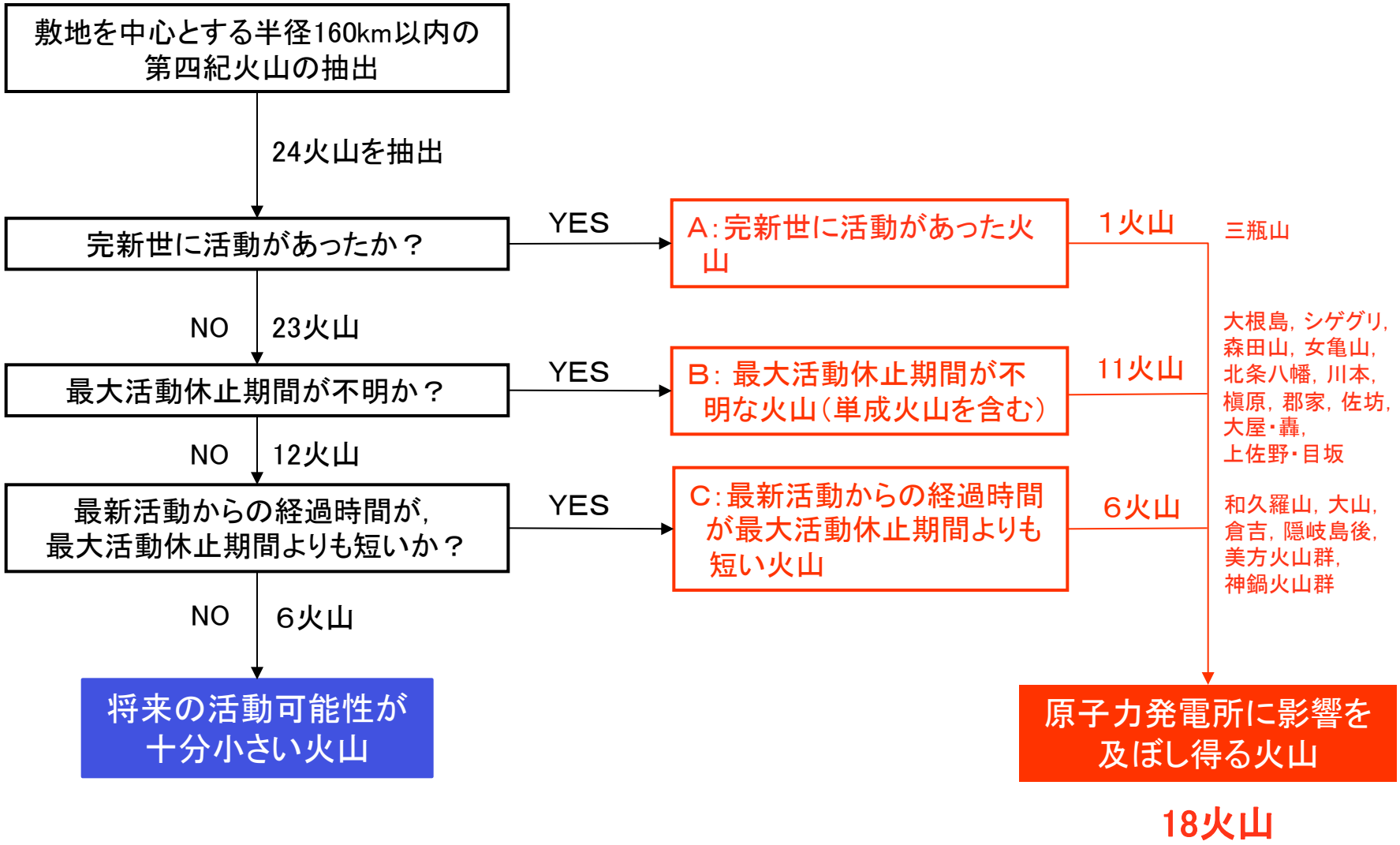

C：最新活動からの経過時間が，最大活動休止期間よりも短い火山（T＞T´）



# 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出フロー



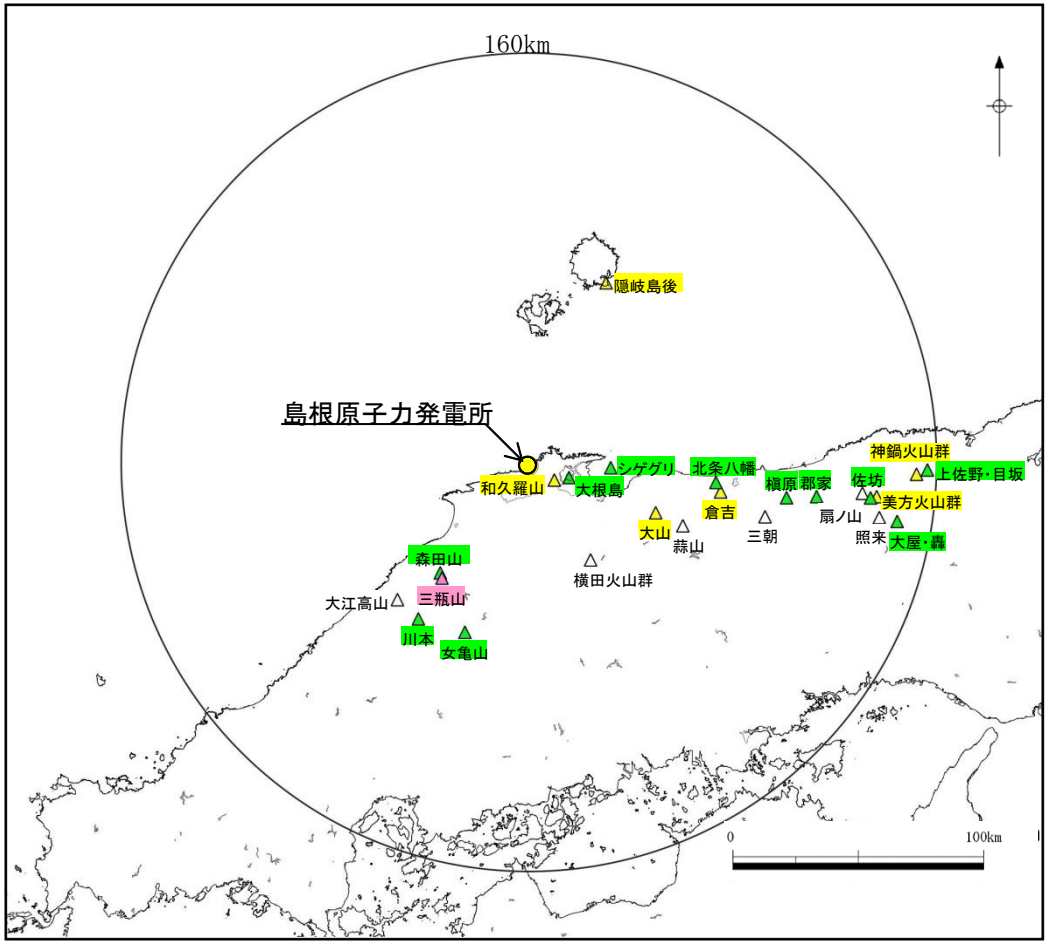
以下のフローに従い，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として，18火山を抽出した。



# 評価結果



第四紀火山の将来の活動可能性を評価し，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出した（三瓶山及び大山を除く火山の火山形式，主な岩石及び噴火履歴（階段ダイヤグラム）は補足説明「1．第四紀火山について（三瓶山・大山を除く）」参照）。




地理的領域内の第四紀火山の位置

| 該当する第四紀火山 | 活動年代（万年前） | | | 最大活動休止期間 |
|---|---|---|---|---|
| 和久羅山 | 約80 | ～ | 約634 | 約416万年 |
| 大根島 | 約19 | | | － |
| シゲグリ | 約90 | | | － |
| 横田火山群 | 約97 | ～ | 約217 | 約26万年 |
| 大山 | 約2 | ～ | 約100 | 約28万年 |
| 森田山 | 約101 | ～ | 約115 | － |
| 三瓶山 | 約0.36 | ～ | 約11 | 約4万年 |
| 蒜山 | 約42 | ～ | 約101 | 約14万年 |
| 女亀山 | 約180 | | | － |
| 北条八幡 | 約221 | ～ | 約229 | － |
| 大江高山 | 約86 | ～ | 約358 | 約75万年 |
| 川本 | 約209 | | | － |
| 倉吉 | 約49 | ～ | 約183 | 約51万年 |
| 隠岐島後 | 約42 | ～ | 約468 | 約104万年 |
| 三朝 | 約223 | ～ | 約590 | 約140万年 |
| 槇原 | 約77 | | | － |
| 郡家 | 約214 | | | － |
| 扇ノ山 | 約44 | ～ | 約122 | 約20万年 |
| 佐坊 | 約170 | | | － |
| 美方火山群 | 約22 | ～ | 約158 | 約47万年 |
| 照来 | 約225 | ～ | 約313 | 約28万年 |
| 大屋・轟 | 約241 | ～ | 約277 | － |
| 神鍋火山群 | 約1 | ～ | 約70 | 約48万年 |
| 上佐野・目坂 | 約13 | ～ | 約23 | － |

| | |
|---|---|
| A | 完新世に活動があった火山（活火山） |
| B | 最大活動休止期間が不明な火山（単成火山を含む） |
| C | 最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも短い火山 |
| | 最新活動からの経過時間が最大活動休止期間よりも長い火山 |

第四紀火山24火山のうち，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山は18火山である。このうち，三瓶山及び大山では，過去にVEI6規模の噴火（噴火規模：三瓶山約20km$^3$，大山約20km$^3$）が発生している。

１．調査内容
２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
　２．１ 地理的領域内の第四紀火山
　２．２ 将来の火山活動の可能性
**３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価**
４．火山事象の影響評価
　４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
　４．２ 降下火砕物の影響評価
　　（１）敷地における降下火砕物の分布状況
　　（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
　　（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
　　（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
　　（５）降下火砕物の密度・粒径

# 原子力発電所の火山影響評価の基本フロー



## 立地評価

### 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

調査方法
・文献調査，地形，地質調査，火山学的調査

①地理的領域（半径160kmの範囲）に第四紀（約258万年前まで）火山があるか？
- No → 下記影響評価の（１）を実施
- Yes → ②完新世（約1万1，700年前まで）に活動があったか？
  - Yes → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
  - No → ③将来の活動可能性が十分小さいか？
    - No → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
    - Yes → 下記影響評価の（１）を実施

### 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価

調査方法
・文献調査，地形
・地質調査，火山学的調査
・地球物理学的及び地球科学的調査

設計対応不可能な火山事象
・火砕物密度流　・溶岩流
・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊
・新しい火口の開通　・地殻変動

④(ⅰ)運用期間中の火山の活動可能性が十分小さいか？
- No → ④(ⅱ)設計対応不可能な火山事象が運用期間中に原子力発電所に到達する可能性が十分小さいか？
  - No → 立地不適
  - Yes → 下記影響評価の（１）及び（２）を実施
- Yes → 下記影響評価の（１）及び（２）を実施

下記モニタリングの要否を検討

## 影響評価

### 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

（１）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査

火山事象
・降下火砕物

（２）地理的領域内の火山による火山事象の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査
・地球物理学的及び地球化学的調査

火山事象（設計対応が可能なもの）
・降下火砕物
・火山性土石流
・噴石
・火山性ガス
・その他の事象（津波，静振）等

⑤火山事象に対する設計対応及び運転対応が妥当か？
- Yes → 火山事象に対応可能
- No → 設計再検討

## モニタリング

### 火山影響評価の根拠が維持されていることを確認することを目的とした火山活動のモニタリング

第四紀に設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の敷地に到達した可能性があるか？
- No → モニタリング不要
- Yes → ⑥火山活動のモニタリングの実施及びモニタリングにより観測データに有意な変化を把握した場合の対処方針を策定

# 評価対象事象



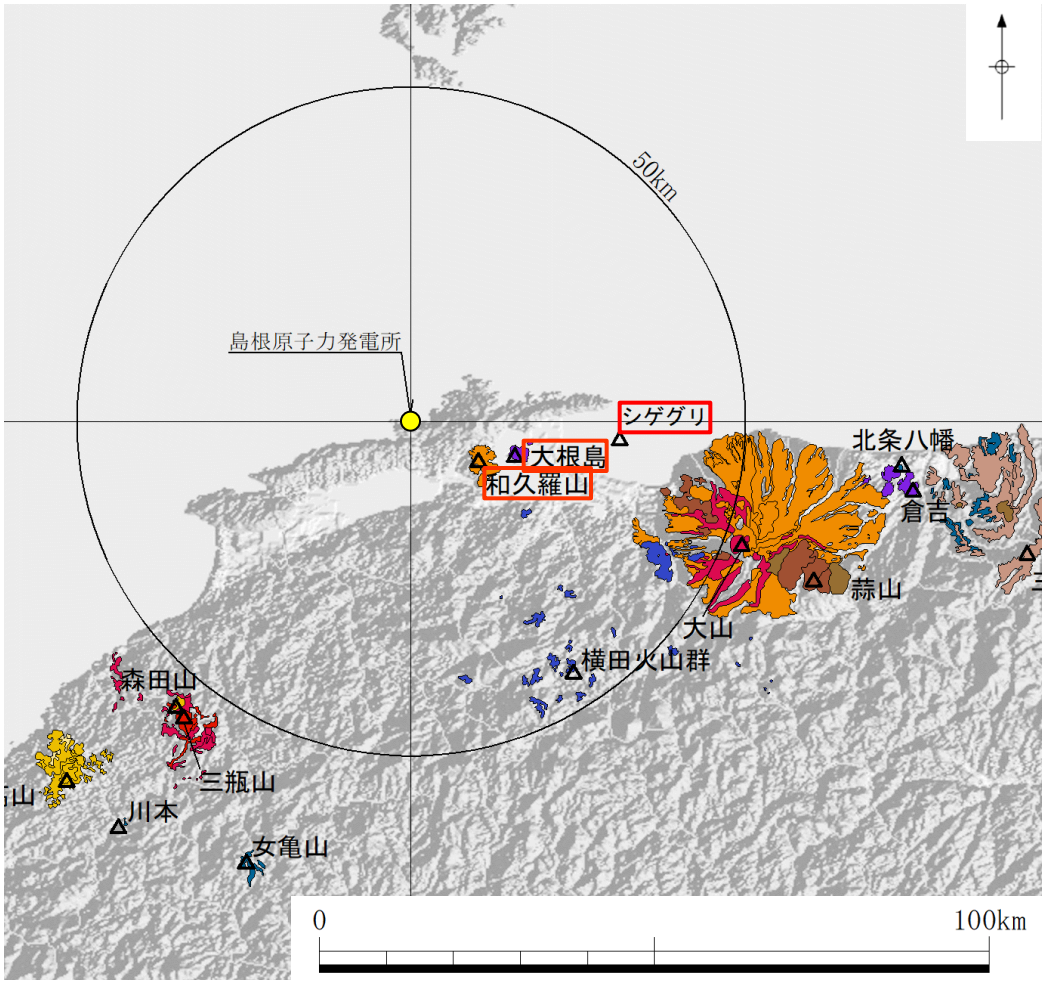
| 火山名 | 敷地からの距離(km) | (○:評価対象) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 溶岩流 | 岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊 | 火砕物密度流 | 新しい火口の開口 | 地殻変動 |
| | | 0～50km | 0～50km | 0～160km | 位置関係によらず検討 | |
| 和久羅山 | 11 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大根島 | 16 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| シゲグリ | 32 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大山 | 53 | 評価対象外 | 評価対象外 | ○ | ○ | ○ |
| 森田山 | 54 | | | ○ | ○ | ○ |
| 三瓶山 | 55 | | | ○ | ○ | ○ |
| 女亀山 | 69 | | | ○ | ○ | ○ |
| 北条八幡 | 73 | | | ○ | ○ | ○ |
| 川本 | 74 | | | ○ | ○ | ○ |
| 倉吉 | 75 | | | ○ | ○ | ○ |
| 隠岐島後 | 77 | | | ○ | ○ | ○ |
| 槇原 | 101 | | | ○ | ○ | ○ |
| 郡家 | 113 | | | ○ | ○ | ○ |
| 佐坊 | 134 | | | ○ | ○ | ○ |
| 美方火山群 | 137 | | | ○ | ○ | ○ |
| 大屋・轟 | 146 | | | ○ | ○ | ○ |
| 神鍋火山群 | 152 | | | ○ | ○ | ○ |
| 上佐野・目坂 | 156 | | | ○ | ○ | ○ |

原子力発電所に影響を及ぼし得る18火山（検討対象火山）について，原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分小さいと判断できないことから，過去の最大規模の噴火による設計対応不可能な火山事象を評価する。

# 溶岩流・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊（検討範囲：50km）



・半径50km以内には和久羅山，大根島，シゲグリがある。
・地質調査の結果，敷地には，検討対象火山を起源とする火山噴出物は確認されていない。
・地質調査総合センター（2020）[7]により確認される溶岩・火砕流堆積物の最大到達距離は，検討対象火山と敷地との距離よりも十分小さいことから，溶岩流・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。




和久羅山：中期更新世（チバニアン期），珪長質　Q2_A
大　根　島：中期更新世（チバニアン期），苦鉄質　Q2_B
シゲグリ：前期更新世後半（カラブリアン期），中間質　Q1_M

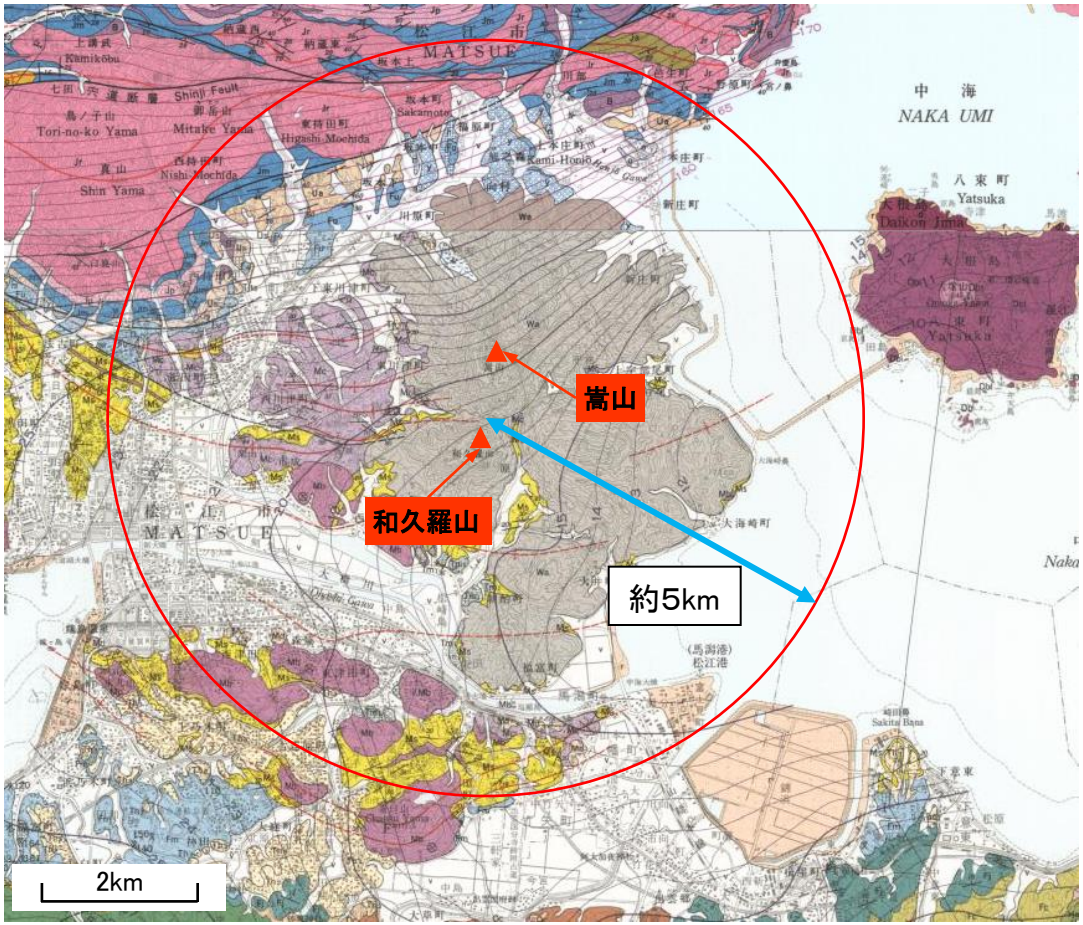
| 時代区分 Ma | 記号 | 岩相区分 B | M | A | P |
|---|---|---|---|---|---|
| | 岩相 | 火山岩（主に溶岩） | | | 火砕流堆積岩 |
| | 岩質 | 苦鉄質 玄武岩 | 中間質 玄武岩質安山岩・安山岩 | 珪長質 デイサイト 流紋岩 | － |
| 完新世 0.0117 | H | H_B | H_M | H_A | H_P |
| 後期更新世 0.129 | Q3 | Q3_B | Q3_M | Q3_A | Q3_P |
| 中期更新世（チバニアン期） 0.774 | Q2 | Q2_B | Q2_M | Q2_A | Q2_P |
| 前期更新世後半（カラブリアン期） 1.80 | Q1 | Q1_B | Q1_M | Q1_A | Q1_P |
| 前期更新世前半（ジェラシアン期） 2.58 | G | G_B | G_M | G_A | G_P |

地質調査総合センター（2020）より引用

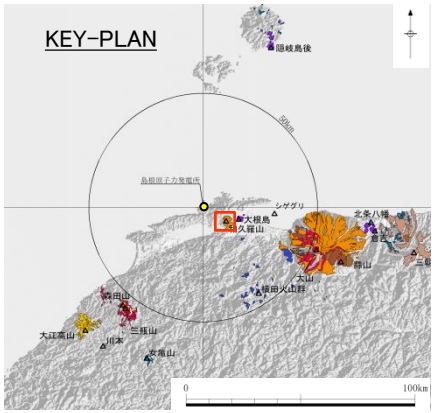
# 溶岩流（和久羅山）



・鹿野ほか(1994)(8)及び鹿野・吉田（1985）(9)より確認される和久羅山の溶岩流（安山岩～デイサイト）の最大到達距離3～5kmは，敷地から和久羅山までの距離約11kmよりも十分小さいことから，溶岩流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。



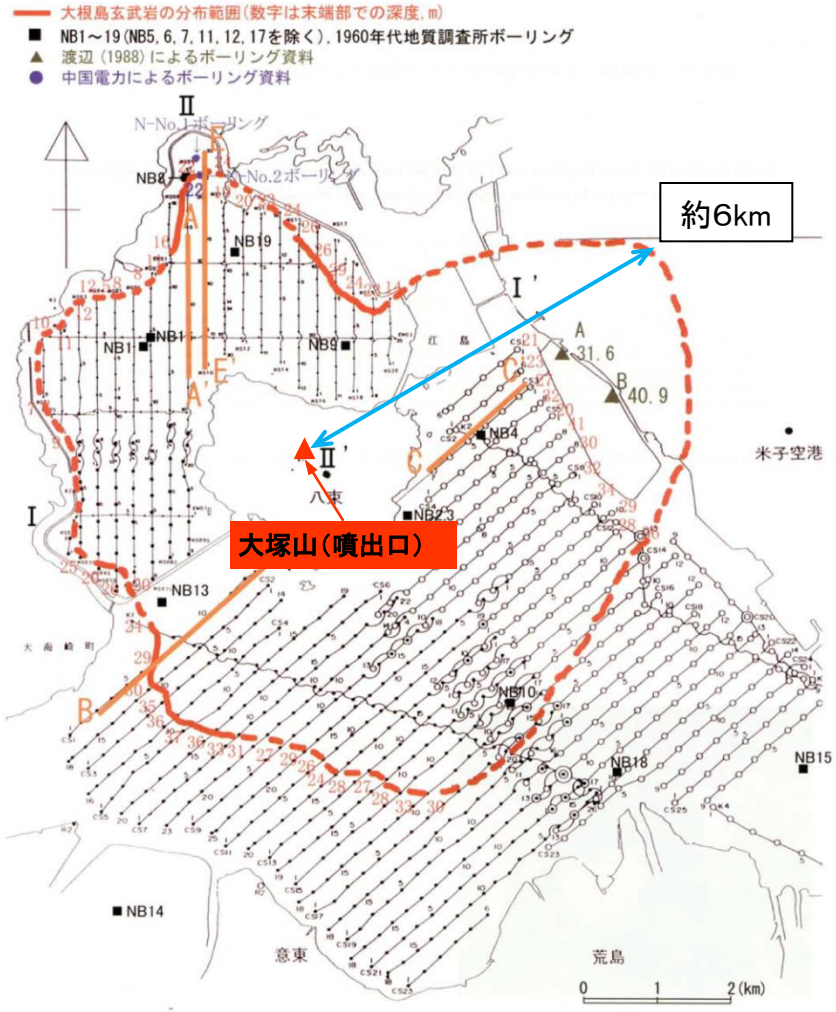

鹿野ほか(1994)，鹿野・吉田（1985）より引用・加筆

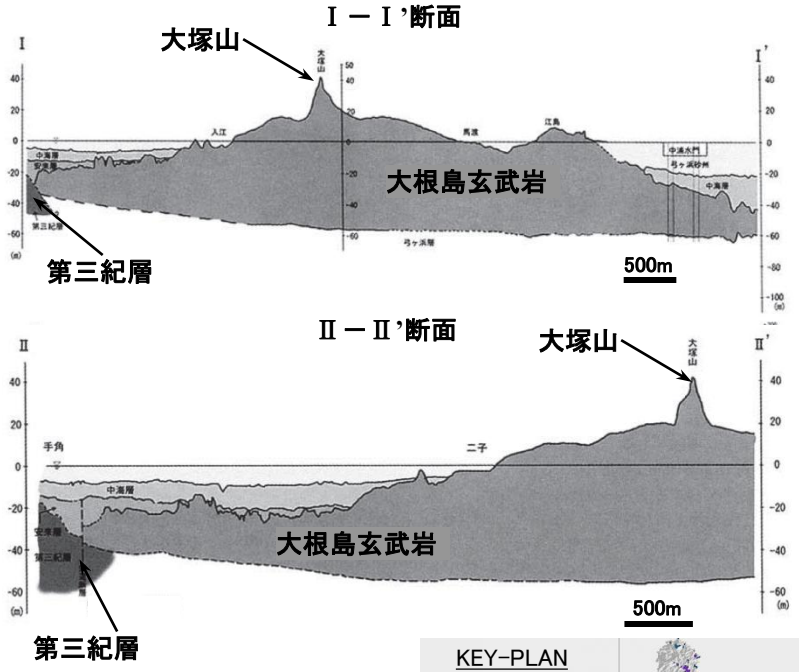


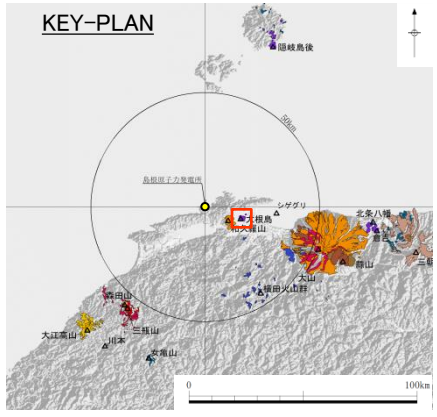
# 溶岩流（大根島）



・吹田ほか(2001)[10]により確認される大根島の溶岩流（玄武岩）の最大到達距離約6kmは，敷地から大根島までの距離約16kmよりも十分小さいことから，溶岩流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。



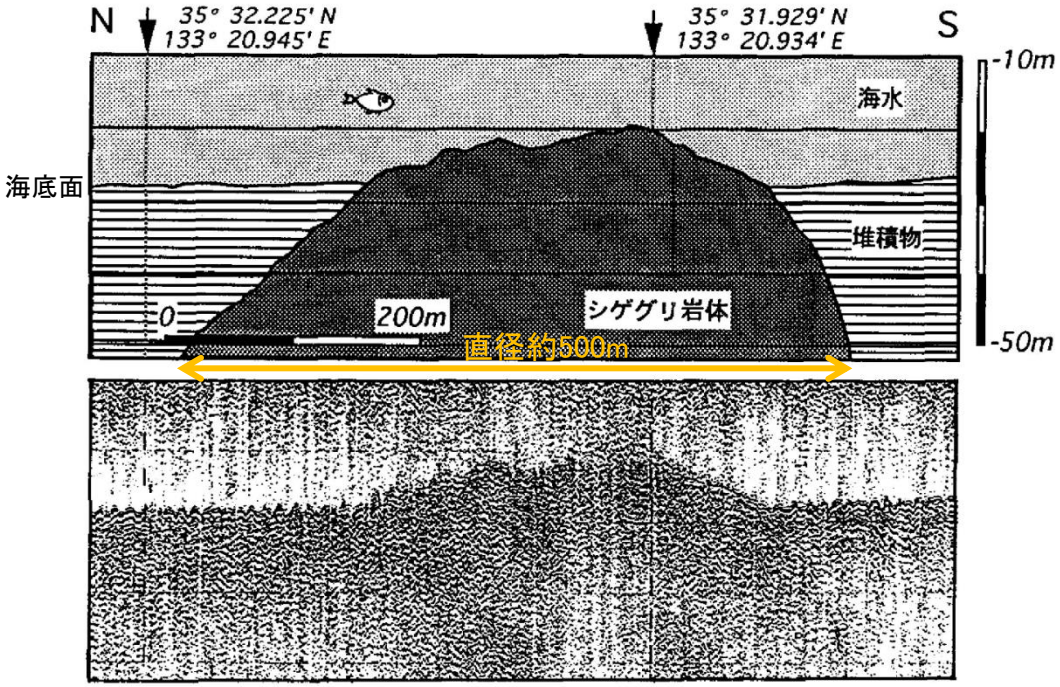




吹田ほか(2001)より引用・加筆

# 溶岩流(シゲグリ)

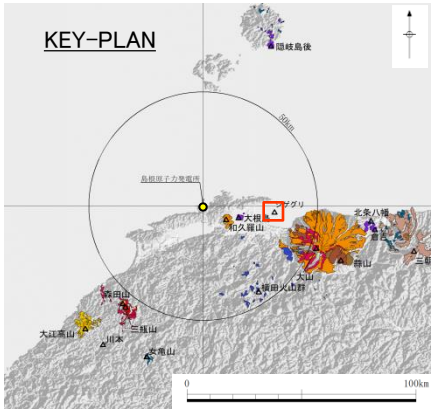


・沢田ほか(2001)[11]によると，シゲグリは水深26mの海底にある，頂部の水深が19mの岩礁で，岩礁の直径は約500mとされている。
・沢田ほか(2001)により確認される最大到達距離約250mは，敷地からシゲグリまでの距離約32kmよりも十分小さいことから，溶岩流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。




**第4図.** ユニブームによるシゲグリ岩礁周辺の断面図（下図）とその解釈（上図）.

沢田ほか(2001)より引用・加筆

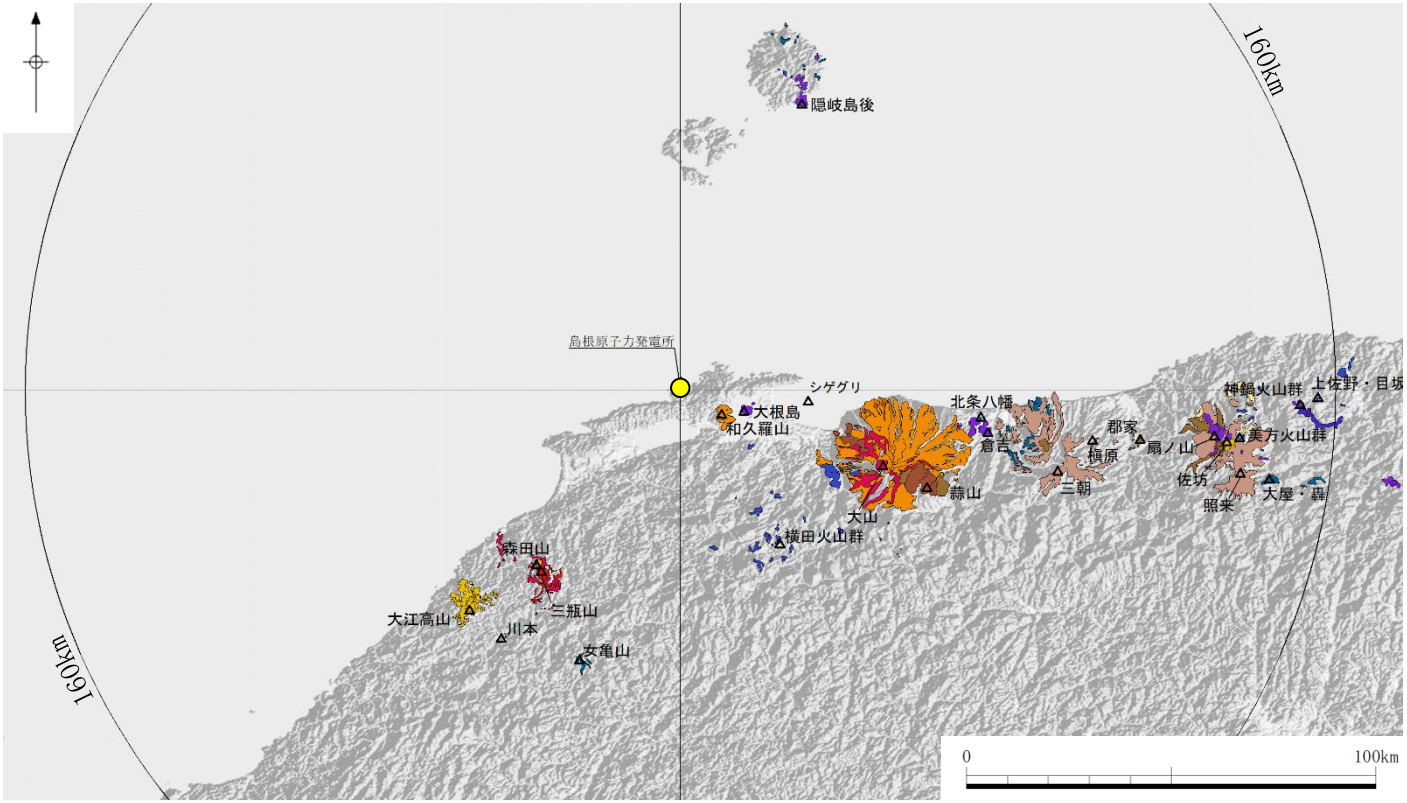



主な岩石
安山岩，デイサイト
西来ほか編(2012)による

# 火砕物密度流（検討範囲：160km）



・地質調査の結果，敷地には，検討対象火山（18火山）を起源とする火山噴出物は確認されていない。
・地質調査総合センター（2020）により確認される最大到達距離は，検討対象火山と敷地との距離よりも十分小さいことから，火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。
・なお，三瓶山及び大山については，敷地からの距離が比較的小さく，火砕流堆積物が広範囲に分布していることから，火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性を詳細に検討した。




凡　例

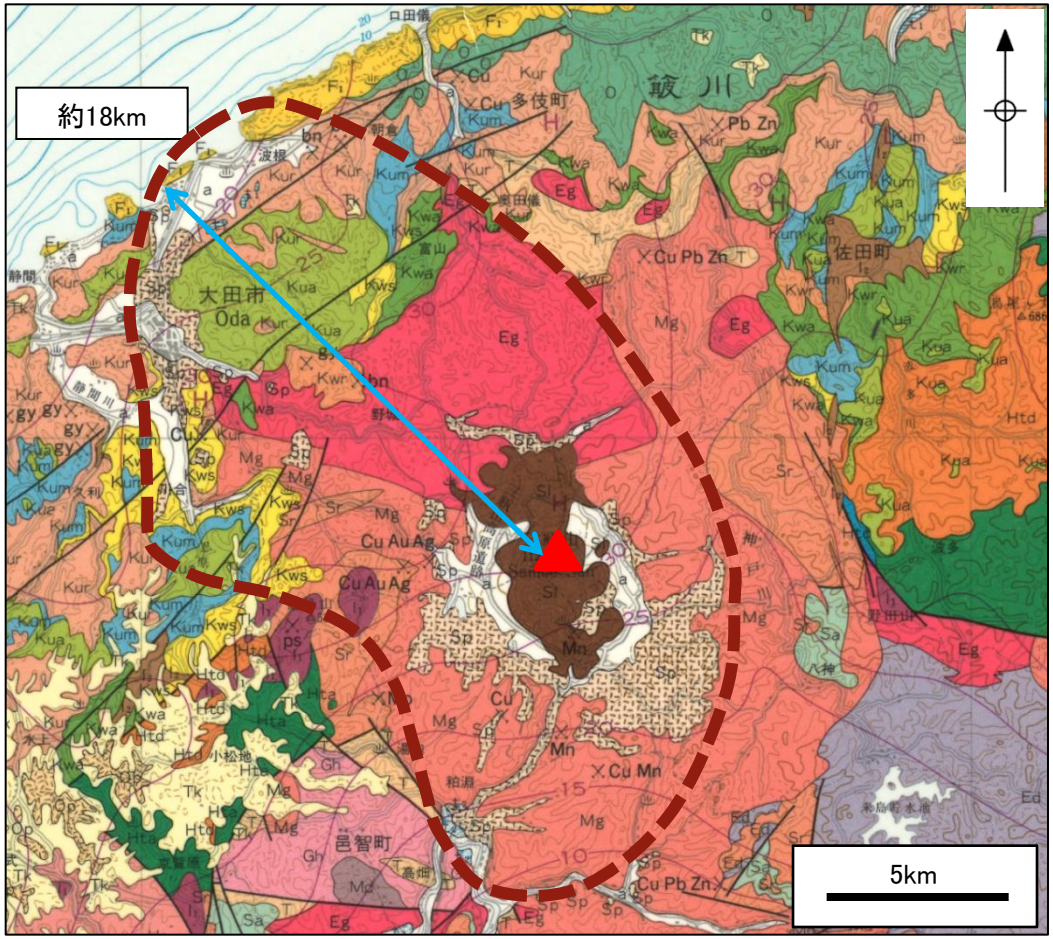
| 時代区分 Ma | 記号 | 岩相区分 B | M | A | P |
|---|---|---|---|---|---|
| | 岩相 | 火山岩（主に溶岩） | | | 火砕流堆積岩 |
| | 岩質 | 苦鉄質 玄武岩 | 中間質 玄武岩質安山岩・安山岩 | 珪長質 デイサイト・流紋岩 | — |
| 完新世 0.0117 | H | H_B | H_M | H_A | H_P |
| 後期更新世 0.129 | Q3 | Q3_B | Q3_M | Q3_A | Q3_P |
| 中期更新世（チバニアン期） 0.774 | Q2 | Q2_B | Q2_M | Q2_A | Q2_P |
| 前期更新世後半（カラブリアン期） 1.80 | Q1 | Q1_B | Q1_M | Q1_A | Q1_P |
| 前期更新世前半（ジェラシアン期） 2.58 | G | G_B | G_M | G_A | G_P |

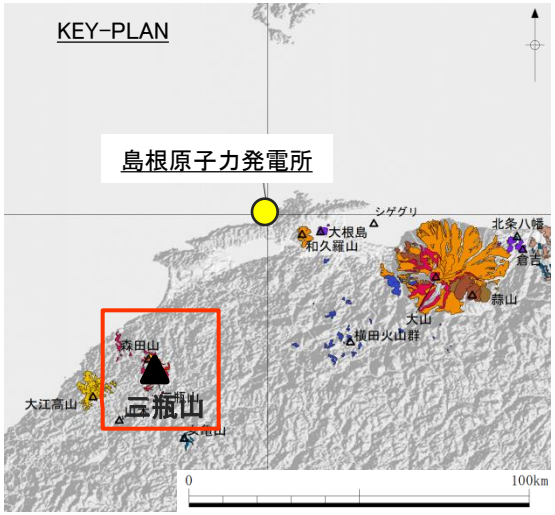
地質調査総合センター（2020）より引用

# 火砕物密度流（三瓶山）



・鹿野ほか(1988)[12]により確認される三瓶山の火砕流堆積物の最大到達距離約18kmは，敷地から三瓶山までの距離約55kmよりも十分小さいことから，火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。
・なお，評価対象外である溶岩流，岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊についても，敷地との距離を踏まえ評価した結果，鹿野ほか(1988)により確認される溶岩・火砕流堆積物の最大到達距離（約18km）から，これらの火山事象についても敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。




凡 例

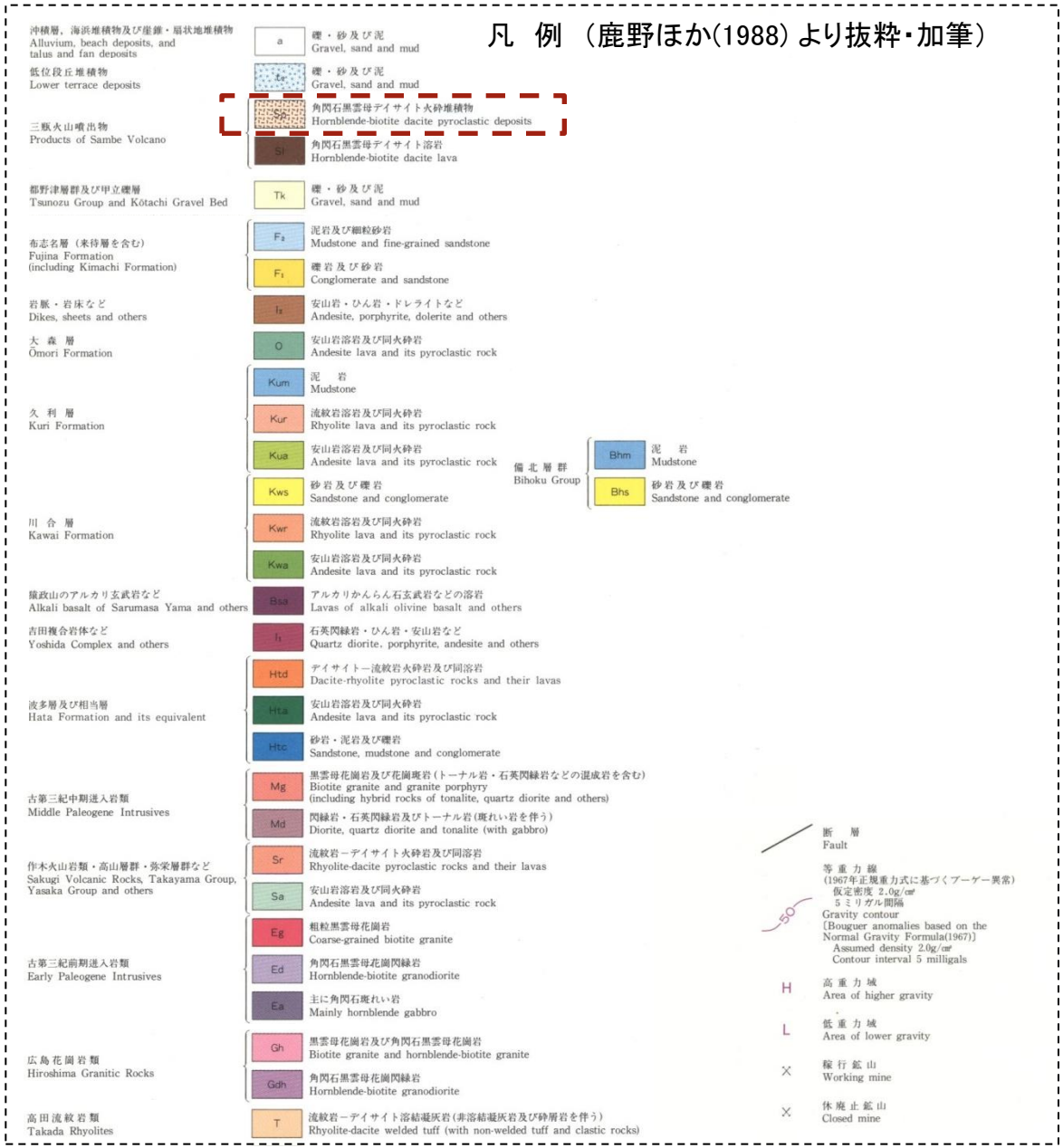



鹿野ほか(1988) より抜粋・加筆

# 火砕物密度流（三瓶山）



凡　例　（鹿野ほか(1988) より抜粋・加筆）

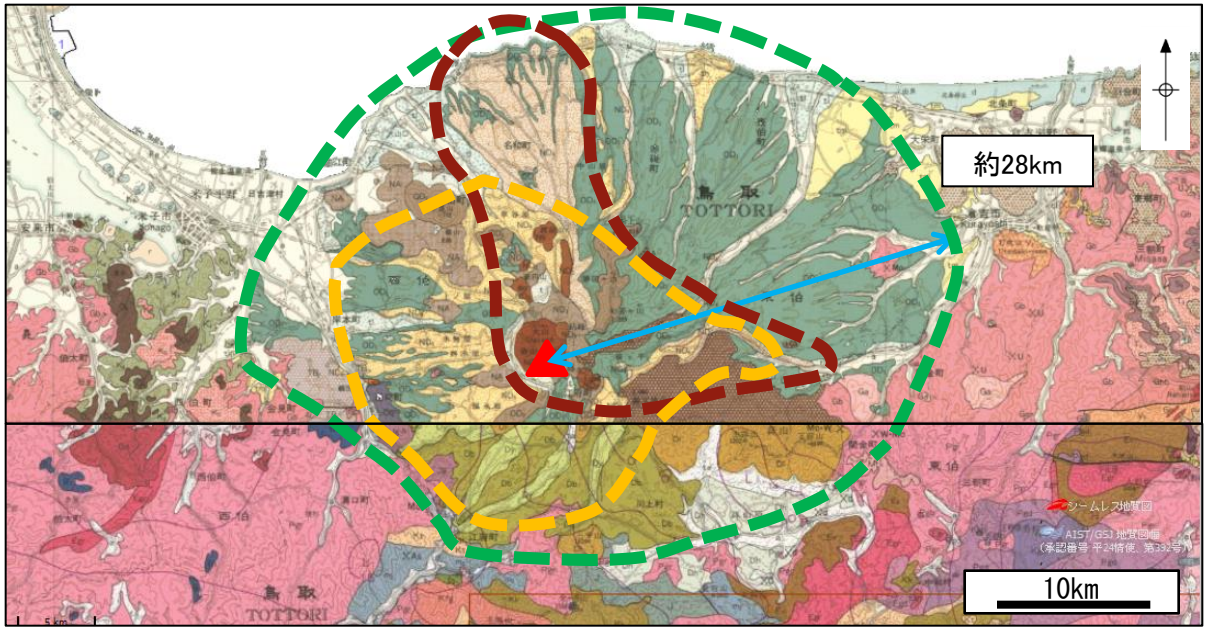


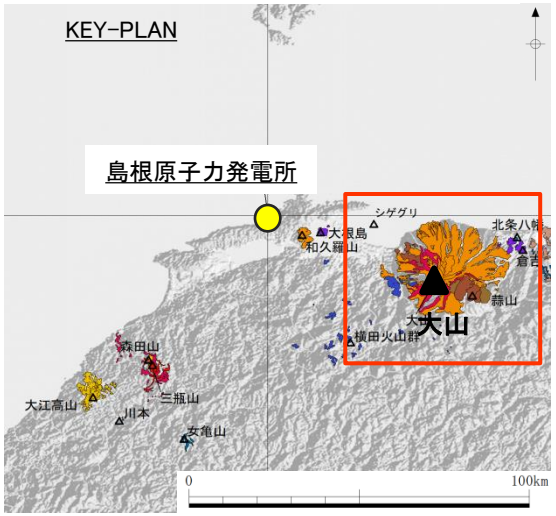
# 火砕物密度流（大山）



・坂本・山田(1982)[13]及び寺岡ほか(1996)[14]により確認される大山の火砕流堆積物の最大到達距離約28kmは，敷地から大山までの距離約53kmよりも十分小さいことから，火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。
・なお，評価対象外である溶岩流，岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊についても，敷地との距離を踏まえ評価した結果，坂本・山田(1982)及び寺岡ほか(1996)により確認される溶岩・火砕流堆積物の最大到達距離（約28km）から，これらの火山事象についても敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

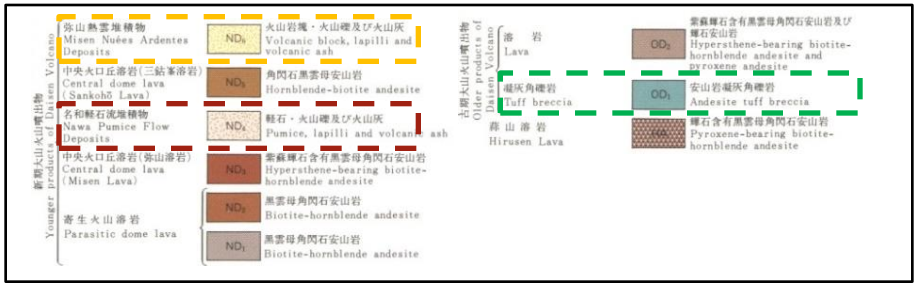
図上段
図下段



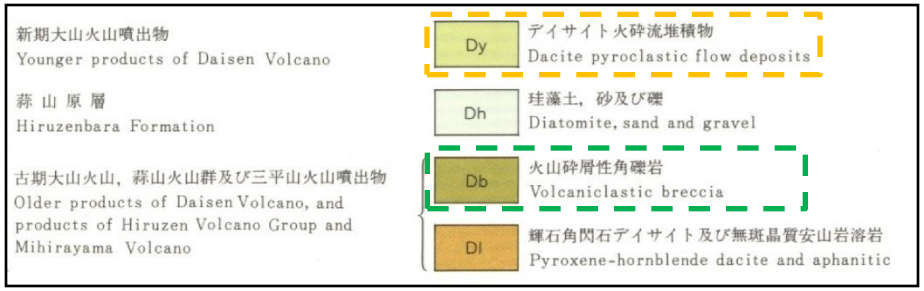




図上段は坂本・山田(1982)，図下段は寺岡ほか(1996)より抜粋・加筆

凡　例（図上段，坂本・山田(1982)）




凡　例（図下段，寺岡ほか(1996)）



# 火砕物密度流（大山）

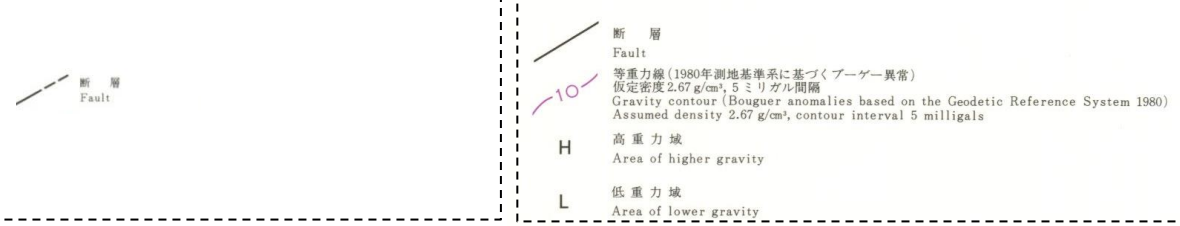


## 凡　例（P33左図上段，坂本・山田(1982)より抜粋・加筆）




## 凡　例（P33左図下段，寺岡ほか(1996)より抜粋・加筆）

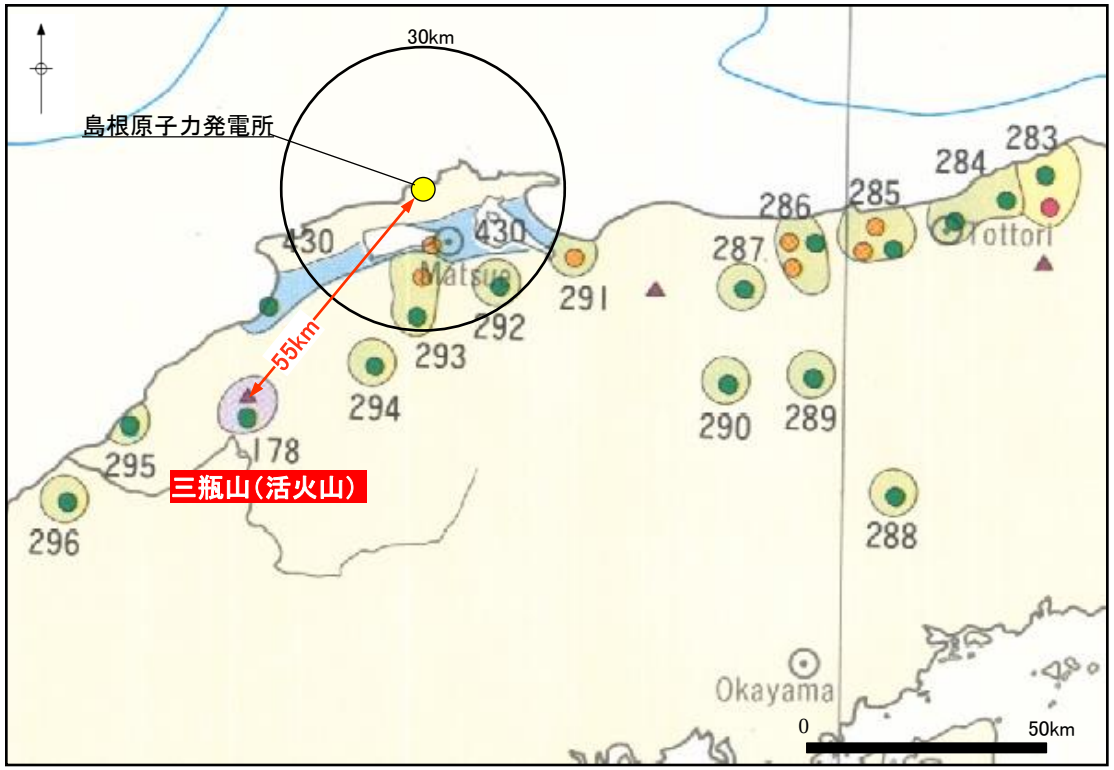


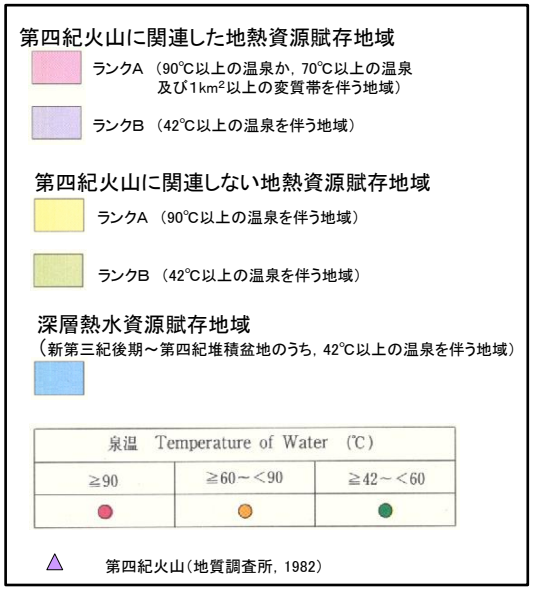
# 新しい火口の開口・地殻変動による影響について



・「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（原子力規制委員会(2013)[15]）によると，新たな火口が開口した過去の事例では，新たな火口の開口は火山の噴出中心から半径20kmの範囲にとどまっているとされているが，敷地と活火山である三瓶山は約55kmと十分な距離がある。
・地質調査所編(1992)[16]によると，敷地近傍では，熱水活動は認められない。




凡　例

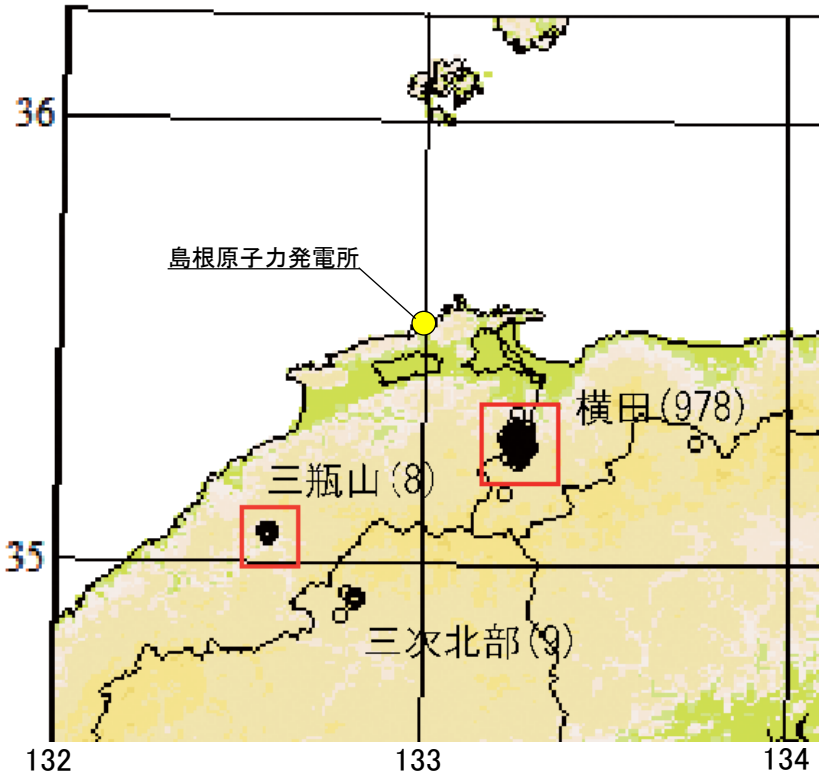



地質調査所編(1992)より抜粋・加筆

# 新しい火口の開口・地殻変動による影響について



・高橋・宮村(2009)[17]によると，敷地近傍では，深部低周波地震（1997年10月～2008年12月）は認められない。




凡　例

深部低周波地震の震央分布の中心から概ね10km以内にある第四紀火山

**Fig. 3.** Detailed epicenter distribution of deep low-frequency earthquakes. Clusters of earthquakes in and near quaternary volcanoes are shown by red rectangulars. (a) Hokkaido region, (b) northern Tohoku region, (c) southern Tohoku and northern Kanto regions, (d) Koushinetsu, Chubu, and Hokuriku regions, (e) southern Kanto region, (f) Kinki and Chugoku regions, (g) Kyushu region. Number of each cluster indicates total earthquake number from October 1997 to December 2008.

高橋・宮村(2009)より抜粋・加筆

・新しい火口の開口及び地殻変動については，敷地と活火山である三瓶山は約55kmと十分な距離があること，敷地近傍において熱水活動が認められないこと及び深部低周波地震が認められないことから，新しい火口の開口及び地殻変動が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

# 評価結果



| 火山事象 | 評　　価 |
|---|---|
| 溶岩流 | 地質調査の結果，敷地には，検討対象火山を起源とする火山噴出物は確認されていない。文献調査の結果，確認されている溶岩・火砕物堆積物の最大到達距離は，検討対象火山と敷地との距離よりも十分小さいことから，溶岩流・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 岩屑なだれ，<br>地滑り及び斜面崩壊 | |
| 火砕物密度流 | 地質調査の結果，敷地には，検討対象火山を起源とする火砕流堆積物は確認されていない。文献調査の結果，確認されている最大到達距離は，検討対象火山と敷地との距離よりも十分小さいことから，火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 新しい火口の開口 | 文献調査の結果，敷地と活火山である三瓶山は約55kmと十分な距離があること，敷地近傍において熱水活動が認められないこと及び深部低周波地震が認められないことから，新しい火口の開口が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 地殻変動 | 文献調査の結果，敷地と活火山である三瓶山は約55kmと十分な距離があること，敷地近傍において熱水活動が認められないこと及び深部低周波地震が認められないことから，地殻変動が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |

・溶岩・火砕流堆積物の分布状況等から，過去の最大規模の噴火による設計対応不可能な火山事象が敷地に到達・発生する可能性は十分小さいと評価した。
・また，上記のことから原子力発電所の運用期間中に設計対応不可能な火山事象が敷地に到達・発生する可能性は十分小さいと評価したことから，火山活動のモニタリングは不要である。

１．調査内容
２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
　２．１ 地理的領域内の第四紀火山
　２．２ 将来の火山活動の可能性
３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
４．火山事象の影響評価
　４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
　４．２ 降下火砕物の影響評価
　　（１）敷地における降下火砕物の分布状況
　　（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
　　（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
　　（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
　　（５）降下火砕物の密度・粒径

# 原子力発電所の火山影響評価の基本フロー



## 立地評価

### 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

調査方法
・文献調査，地形，地質調査，火山学的調査

①地理的領域（半径160kmの範囲）に第四紀（約258万年前まで）火山があるか？
- No → 下記影響評価の（１）を実施
- Yes → ②完新世（約1万1，700年前まで）に活動があったか？
  - Yes → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
  - No → ③将来の活動可能性が十分小さいか？
    - No → 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
    - Yes → 下記影響評価の（１）を実施

### 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価

調査方法
・文献調査，地形
・地質調査，火山学的調査
・地球物理学的及び地球科学的調査

設計対応不可能な火山事象
・火砕物密度流　・溶岩流
・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊
・新しい火口の開通　・地殻変動

④(ⅰ)運用期間中の火山の活動可能性が十分小さいか？
- No → ④(ⅱ)設計対応不可能な火山事象が運用期間中に原子力発電所に到達する可能性が十分小さいか？
  - No → 立地不適
  - Yes → 下記モニタリングの要否を検討
- Yes → 下記影響評価の（１）及び（２）を実施

## 影響評価

### 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

（１）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査

火山事象
・降下火砕物

（２）地理的領域内の火山による火山事象の影響評価

調査方法
・文献調査
・地形，地質調査
・火山学的調査
・地球物理学的及び地球化学的調査

火山事象（設計対応が可能なもの）
・降下火砕物
・火山性土石流
・噴石
・火山性ガス
・その他の事象（津波，静振）等

⑤火山事象に対する設計対応及び運転対応が妥当か？
- Yes → 火山事象に対応可能
- No → 設計再検討

## モニタリング

### 火山影響評価の根拠が維持されていることを確認することを目的とした火山活動のモニタリング

第四紀に設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の敷地に到達した可能性があるか？
- No → モニタリング不要
- Yes → ⑥火山活動のモニタリングの実施及びモニタリングにより観測データに有意な変化を把握した場合の対処方針を策定

# 評価対象事象



| 火山名 | 敷地からの距離（km） | （○：評価対象） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 火山から発生する飛来物（噴石） | 土石流，火山泥流及び洪水 | 火山ガス | 火山性地震とこれに関連する事象 | 熱水系及び地下水の異常 | 降下火砕物 |
| | | 0～10km | 0～120km | 0～160km | 全ての火山 | 全ての火山 | 全ての火山 |
| 和久羅山 | 11 | 評価対象外 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大根島 | 16 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| シゲグリ | 32 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大山 | 53 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 森田山 | 54 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 三瓶山 | 55 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 女亀山 | 69 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 北条八幡 | 73 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 川本 | 74 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 倉吉 | 75 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 隠岐島後 | 77 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 槇原 | 101 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 郡家 | 113 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 佐坊 | 134 | | 評価対象外 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 美方火山群 | 137 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大屋・轟 | 146 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 神鍋火山群 | 152 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 上佐野・目坂 | 156 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |

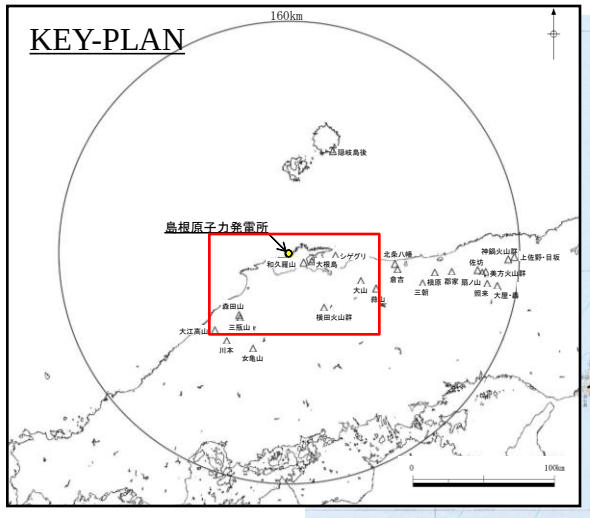
※津波及び静振については，「津波評価について」に示す。
大気現象については，竜巻・落雷等の影響評価に包含されると評価する（第6条：外部からの衝撃による損傷の防止を参照）。

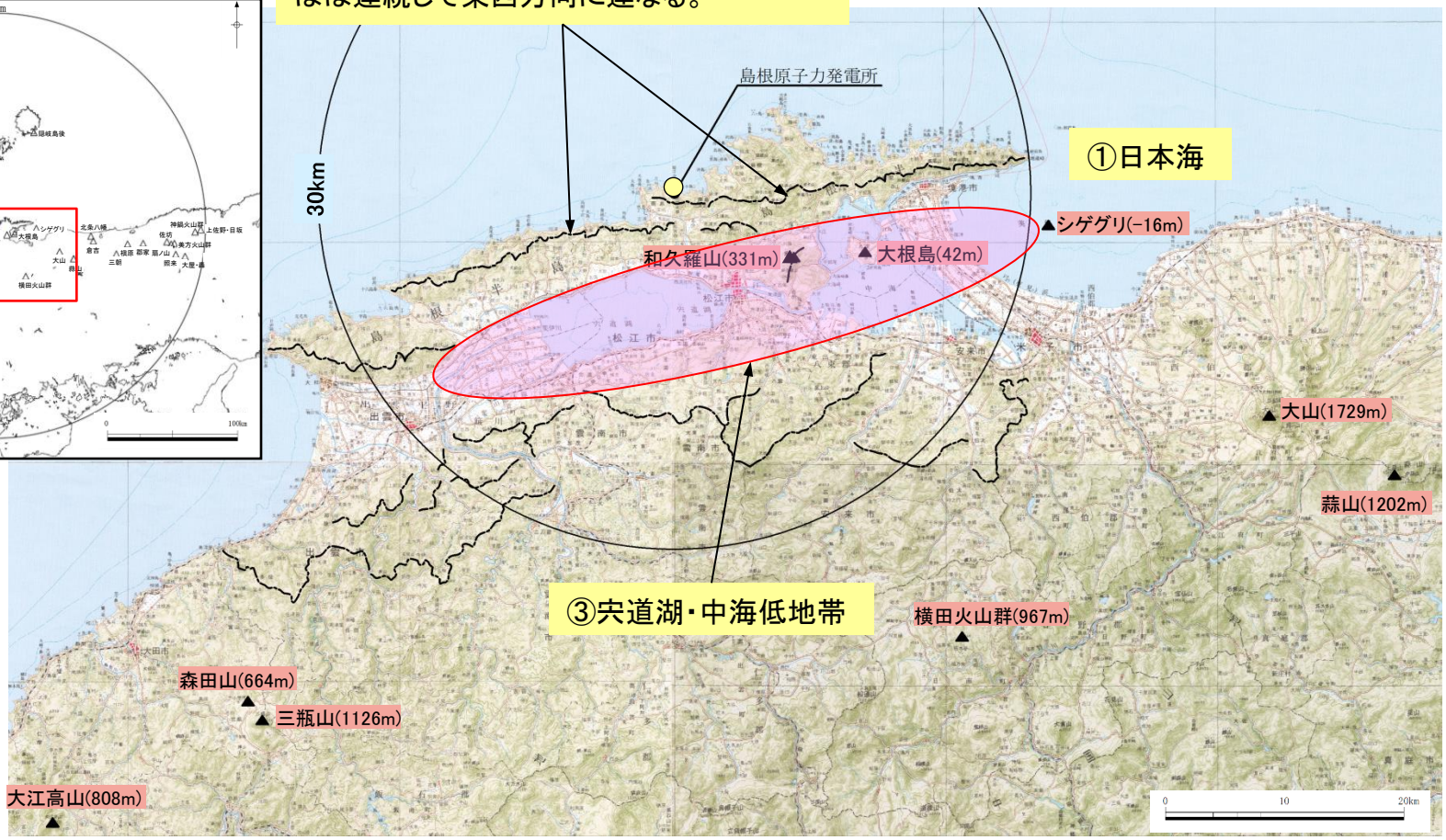
検討対象火山について，土石流，火山泥流及び洪水，火山ガス，火山性地震とこれに関連する事象，熱水系及び地下水の異常の影響を評価する。なお，降下火砕物については別途評価する。

# 4．1 地理的領域内の火山による火山事象の評価
# 土石流，火山泥流及び洪水，火山ガス，火山性地震とこれに関連する事象，熱水系及び地下水の異常（敷地周辺の地形条件）

第924回審査会合
資料1-1 P39 再掲

②島根半島には，標高100m以上の稜線が，ほぼ連続して東西方向に連なる。




凡　例

▲：検討対象火山
（数値）は，最高標高

標高100m以上の主な稜線

・敷地の前面は日本海に面しており，敷地と検討対象火山の間には，①日本海又は②標高100m以上の稜線及び③宍道湖・中海低地帯が位置している。
・敷地は検討対象火山と十分な離隔がある。

第924回審査会合
資料1-1 P40 加筆・修正

| 火山事象 | 評価結果 |
|---|---|
| 土石流，<br>火山泥流及び洪水 | 敷地と検討対象火山の間には，日本海又は標高100m以上の稜線及び宍道湖・中海低地帯が位置することから，土石流，火山泥流及び洪水は敷地に到達することはなく，影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 火山ガス | 検討対象火山から敷地方向には，火山ガスの拡散に対し地形的障害となる標高100m以上の稜線及び宍道湖・中海低地帯が位置していること並びに敷地の前面は日本海に面しており，到達した火山ガスが拡散しやすい地形条件となっていることから，火山ガスが敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 火山性地震とこれに関連する事象 | 敷地は，検討対象火山と十分な離隔があることから，火山性地震及びその関連事象が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |
| 熱水系及び<br>地下水の異常 | 敷地は，検討対象火山と十分な離隔があることから，熱水系及び地下水の異常が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。 |

※降下火砕物については，「敷地において考慮する降下火砕物の層厚」を参照
※津波及び静振については，「津波評価について」に示す。
大気現象については，竜巻・落雷等の影響評価に包含されると評価する（第6条：外部からの衝撃による損傷の防止を参照）。

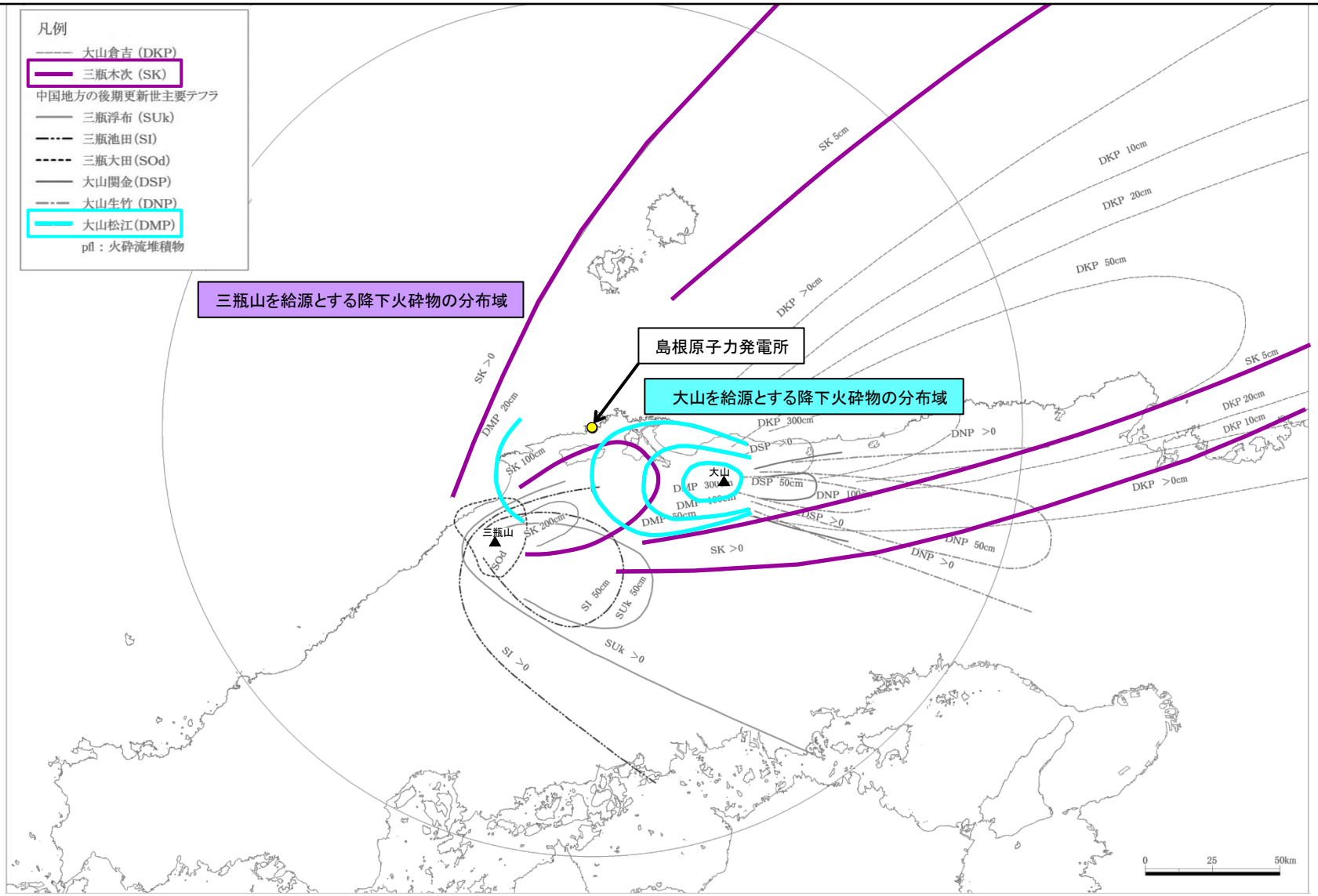
・降下火砕物を除く地理的領域内の火山による火山事象が敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

余白

１．調査内容
２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
２．１ 地理的領域内の第四紀火山
２．２ 将来の火山活動の可能性
３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
４．火山事象の影響評価
４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
４．２ 降下火砕物の影響評価
（１）敷地における降下火砕物の分布状況
（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
（５）降下火砕物の密度・粒径

# 敷地における降下火砕物の分布に関する文献調査（地理的領域内）

町田・新井（2011）[18]によると，地理的領域内の火山のうち，敷地に到達した可能性のある降下火砕物の給源は，三瓶山及び大山とされている。

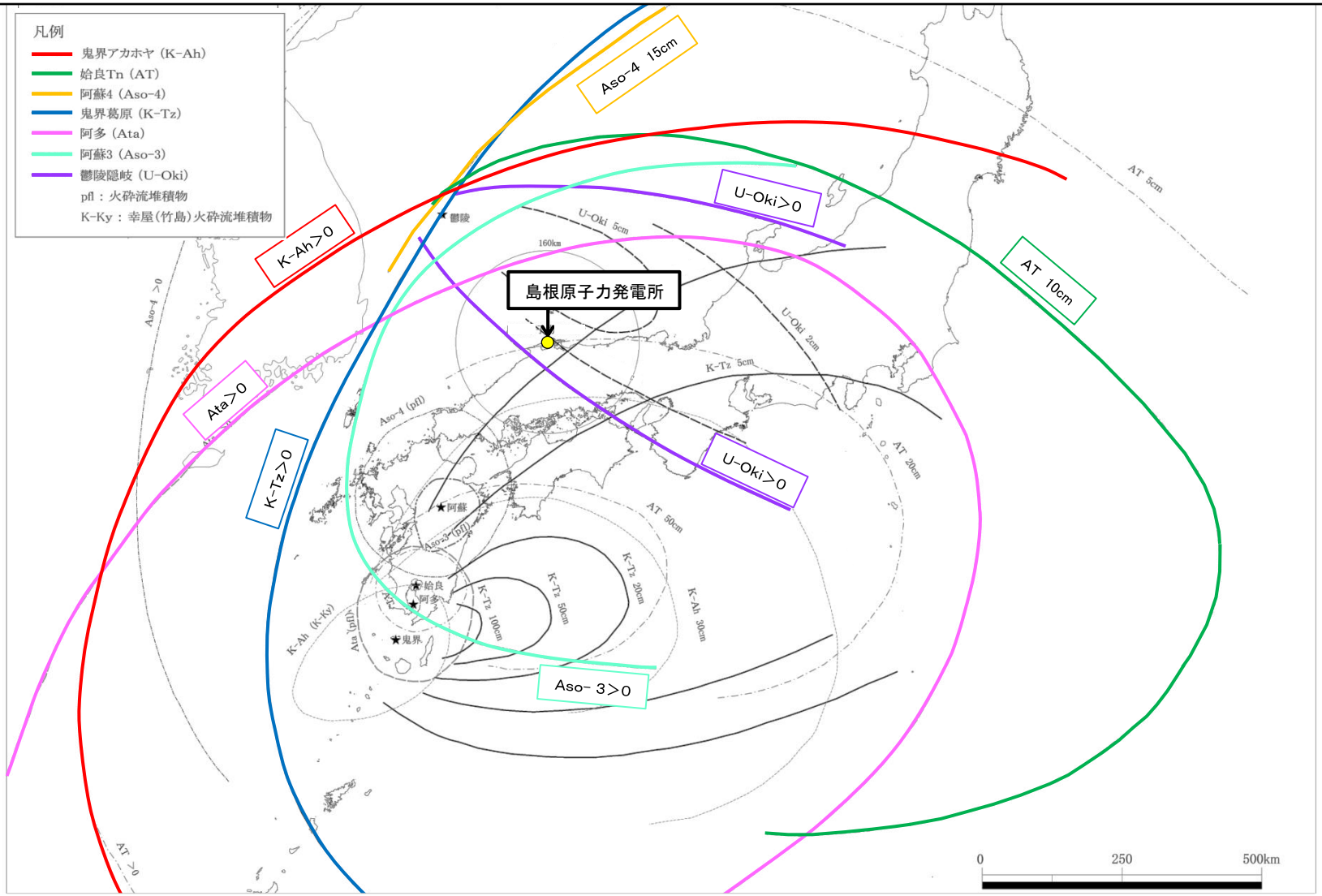



町田・新井（2011）よりテフラの等層厚線図を引用・加筆

# 敷地における降下火砕物の分布に関する文献調査（地理的領域外）



町田・新井（2011）によると，地理的領域外の火山のうち，敷地に到達した可能性のある降下火砕物の給源は，鬼界カルデラ，姶良カルデラ，阿多カルデラ，阿蘇カルデラ及び鬱陵島とされている。

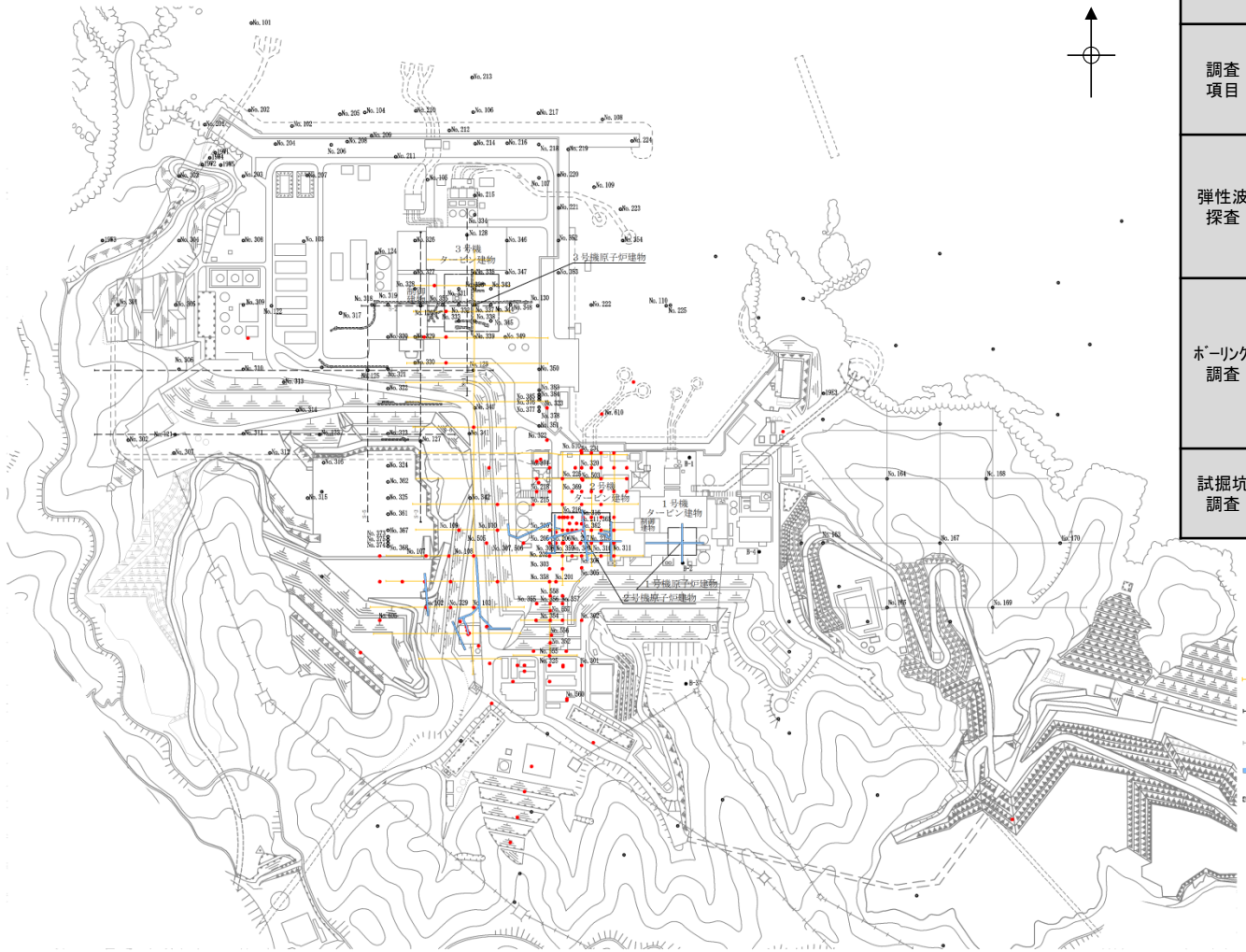



町田・新井（2011）よりテフラの等層厚線図を引用・加筆（敷地を包括する等層厚線のうち，層厚が最大の線を凡例の実線で示す）

# 敷地における降下火砕物の分布に関する地質調査



・敷地の地質は，新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
・敷地においてボーリング調査等の地質調査を実施した結果，敷地では第四紀火山を給源とする降下火砕物（給源不明を含む）は確認されていない。




ボーリング調査他位置図

調査数量一覧表

| 調査項目 | 1・2号炉 調査他 1968～1982年度 2006～2008年度 | 3号炉調査 1995～2002年度 | その他調査 1995年度 2007～2008年度 2011～2015年度 2019年度 | 合計 |
|---|---|---|---|---|
| 弾性波探査 | 5,600m（24測線） | 2,520m（6測線） | 3,320m（9測線） | 11,440m（39測線） |
| | 8,120m（30測線） | | | |
| ボーリング調査 | 155孔（延9,230m） | 113孔（延12,293m） | 49孔（延4,963m） | 317孔（延26,486m） |
| | 268孔（延21,523m） | | | |
| 試掘坑調査 | 840m | 930m | — | 1,770m |
| | 1,770m | | | |

ボーリング柱状図については，第762回審査会合（令和元年8月30日），第802回審査会合（令和元年11月22日）及び第841回審査会合（2020年2月28日）において，机上配布資料として一部提出済。

１．調査内容
２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
２．１ 地理的領域内の第四紀火山
２．２ 将来の火山活動の可能性
３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
４．火山事象の影響評価
４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
４．２ 降下火砕物の影響評価
（１）敷地における降下火砕物の分布状況
（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
（５）降下火砕物の密度・粒径

# 評価対象事象



| 火山名 | 敷地からの距離(km) | （○：評価対象） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 火山から発生する飛来物（噴石） | 土石流，火山泥流及び洪水 | 火山ガス | 火山性地震とこれに関連する事象 | 熱水系及び地下水の異常 | 降下火砕物 |
| | | 0～10km | 0～120km | 0～160km | 全ての火山 | 全ての火山 | 全ての火山 |
| 和久羅山 | 11 | 評価対象外 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大根島 | 16 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| シゲグリ | 32 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大山 | 53 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 森田山 | 54 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 三瓶山 | 55 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 女亀山 | 69 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 北条八幡 | 73 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 川本 | 74 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 倉吉 | 75 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 隠岐島後 | 77 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 槇原 | 101 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 郡家 | 113 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 佐坊 | 134 | | 評価対象外 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 美方火山群 | 137 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 大屋・蘆 | 146 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 神鍋火山群 | 152 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 上佐野・目坂 | 156 | | | ○ | ○ | ○ | ○ |

検討対象火山について，降下火砕物の影響を評価する。

# 噴火規模の想定（降下火砕物の影響評価方針）



**地理的領域内（半径160km以内）**

検討対象火山について，原子力発電所の運用期間中の噴火規模を想定し，降下火砕物の影響評価を行う。

三瓶山及び大山については，これらを給源とする降下火砕物が敷地に到達した可能性があること及び過去にVEI6規模の噴火が発生していることを踏まえ，詳細評価を行う。

<table>
<tr><th colspan="2">対象火山</th><th>評価の基本方針</th><th colspan="2">評価項目</th></tr>
<tr><td rowspan="6">地理的領域内<br>（半径160km以内）</td><td rowspan="5">三瓶山<br>大山</td><td rowspan="5">過去の噴火履歴を検討し，発電所の運用期間中の噴火規模を想定する。</td><td>降下火砕物の分布に関する調査</td><td>敷地周辺の降下火砕物の分布状況を評価</td></tr>
<tr><td>噴火履歴の検討</td><td>噴火履歴から活動性を評価</td></tr>
<tr><td>地球物理学的調査</td><td>マグマ溜まりの状況等から活動性を評価</td></tr>
<tr><td colspan="2">気象庁による観測結果等から活動性を評価（三瓶山のみ対象）</td></tr>
<tr><td colspan="2">マグマ供給系に関する検討結果等から活動性を評価（大山のみ対象）</td></tr>
<tr><td>三瓶山・大山以外の16火山</td><td>発電所の運用期間中の噴火規模として，既往最大の噴火規模を想定する。</td><td>噴火規模の検討</td><td>既往最大の噴火規模を評価</td></tr>
</table>

# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査（文献調査）



・町田・新井（2011）によると，三瓶木次テフラ（SK）は敷地に到達（層厚：概ね5～100cm）しているとされている。
・三瓶浮布テフラ（SUk），三瓶池田テフラ（SI）及び三瓶大田（SOd）は敷地に到達していないとされている。

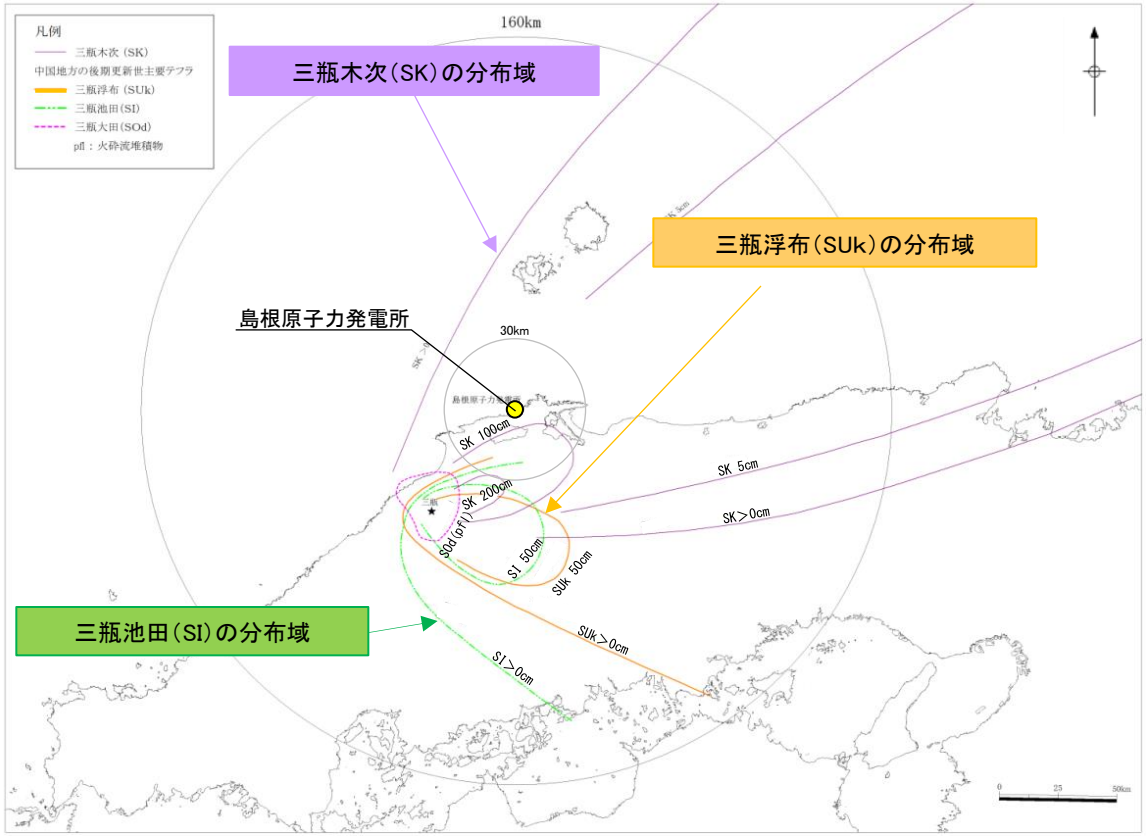


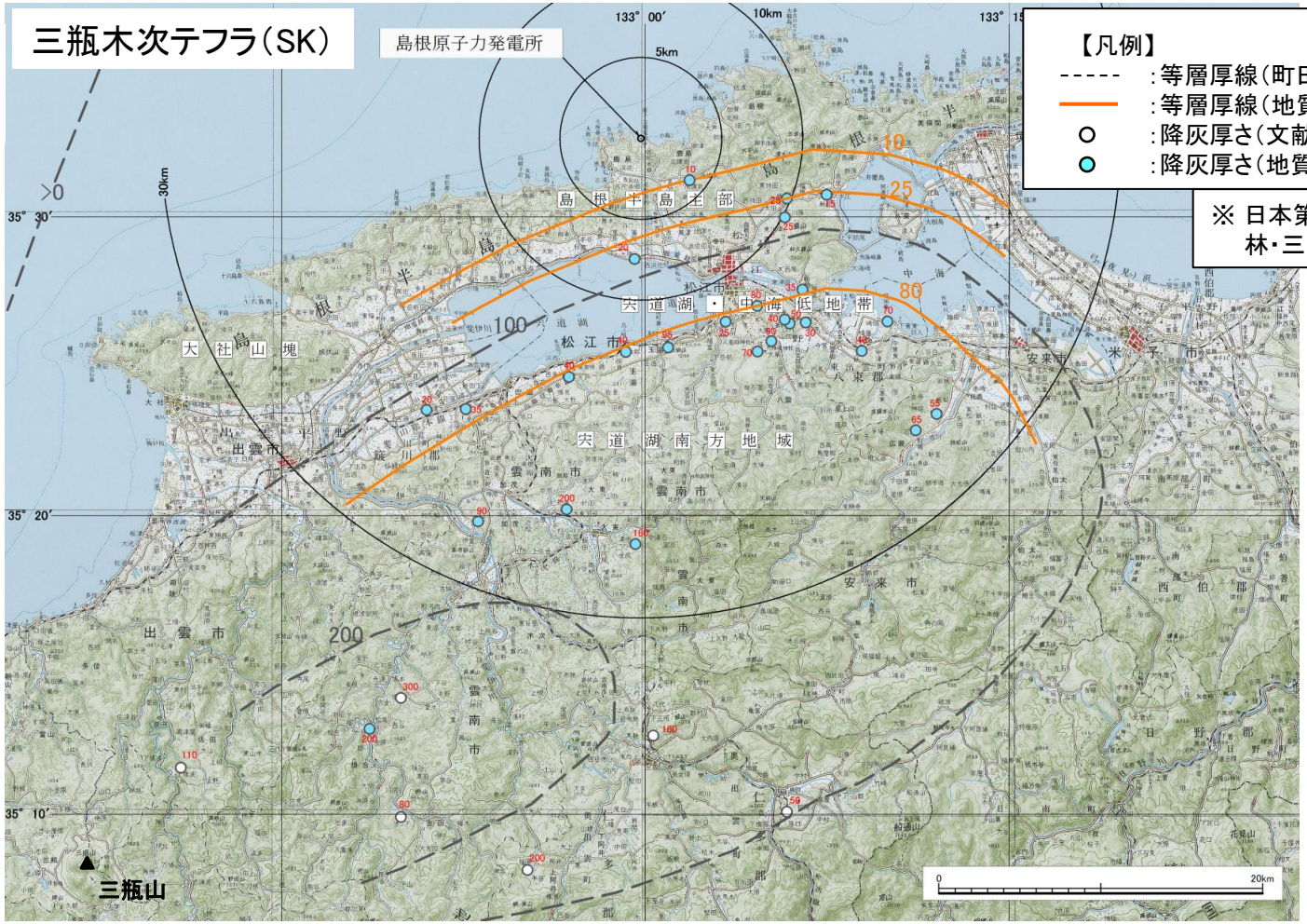

図 3. 2-1　中国地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図.
SUk　三瓶浮布[1,4-7)など]　SI　三瓶池田[1)など]　SOd　三瓶大田[1)など]（点線内が pfl 分布域）
DSP　大山関金[2,3)]　DNP　大山生竹[2,3)]　DMP　大山松江[2,3)]　D：大山，S：三瓶
[1）林・三浦（1987），2）町田・新井（1979），3）津久井（1984），4）竹村ほか（1994），5）吉川ほか（1986），6）Ooi（1992），7）加藤ほか（1996）]

町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線図を引用・加筆

# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査（地質調査：三瓶木次テフラ）



文献調査により，三瓶木次テフラ（SK）が敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）に到達している可能性が示唆されたことから，敷地周辺における三瓶山起源の降下火砕物の層厚を確認するための地質調査を実施した。地質調査の結果，三瓶山起源の降下火砕物のうち，三瓶木次テフラ及び三瓶雲南テフラ（SUn）が敷地周辺において火山灰層として認められた。文献調査及び地質調査によりSKが確認された地点及びこれらに基づく等層厚線を示す。また，SUnが確認された地点を次頁に示す。

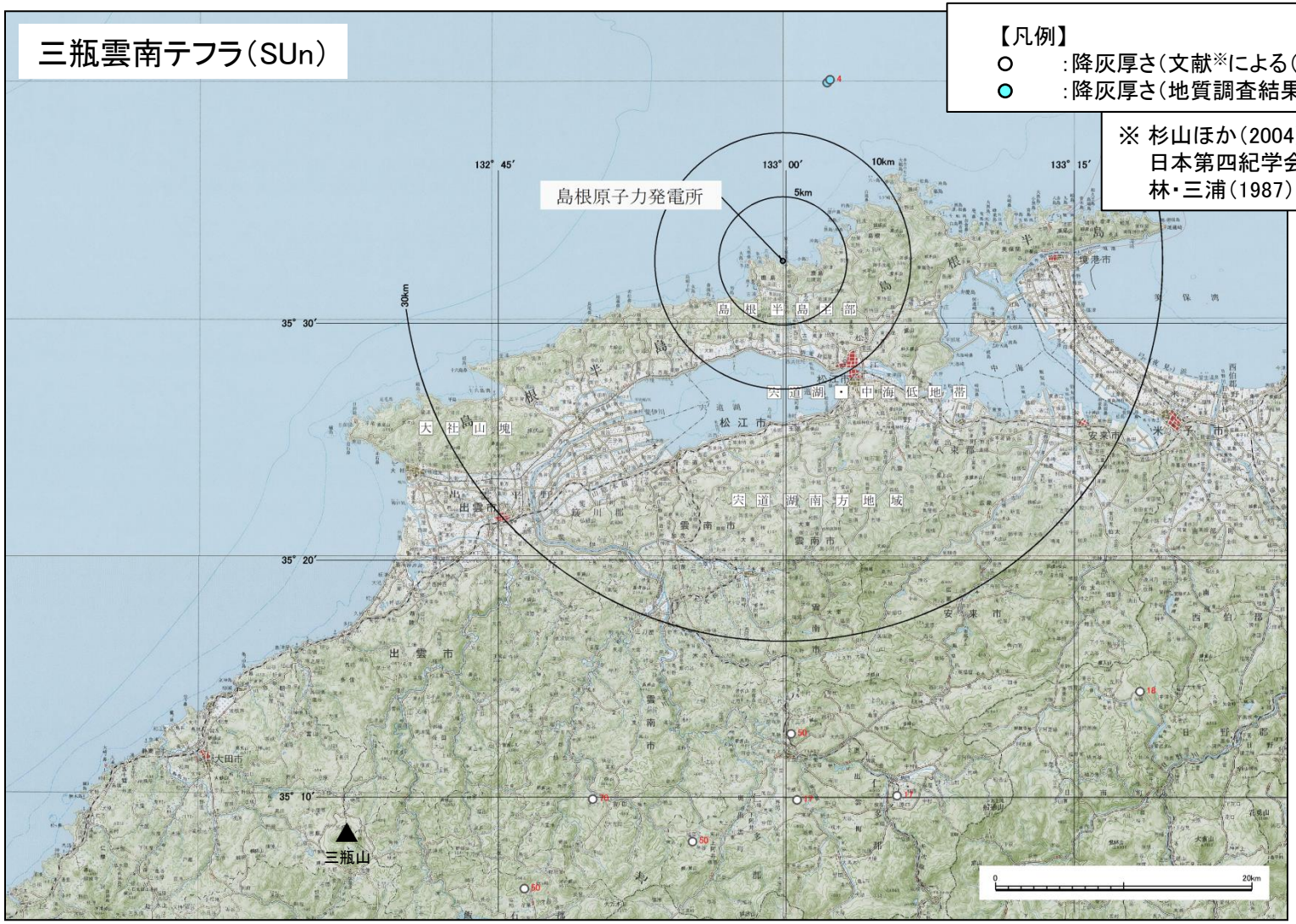



※敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）で確認されたSKのみを示す。

敷地周辺における地質調査の結果，敷地は三瓶木次テフラ（SK）の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。

# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査（地質調査：三瓶雲南テフラ）





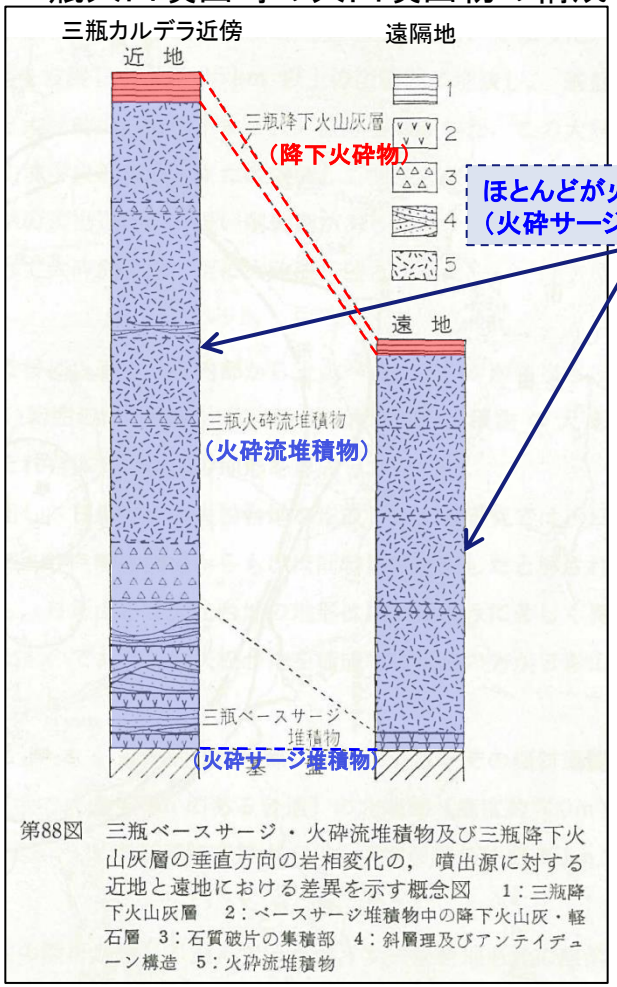

※敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）で確認されたSUnのみを示す。

敷地周辺陸域（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）では三瓶雲南テフラの火山灰層は認められなかったが，敷地前面海域における柱状採泥調査の結果，三瓶雲南テフラ（SUn）が確認され，その層厚は最大4cmである。

# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査（文献調査）



## 三瓶大田噴出時の火山噴出物の構成




第88図　三瓶ベースサージ・火砕流堆積物及び三瓶降下火山灰層の垂直方向の岩相変化の，噴出源に対する近地と遠地における差異を示す概念図　1：三瓶降下火山灰層　2：ベースサージ堆積物中の降下火山灰・軽石層　3：石質破片の集積部　4：斜層理及びアンティデューン構造　5：火砕流堆積物

服部ほか(1983)より引用・加筆

## 降下火砕物の分布域

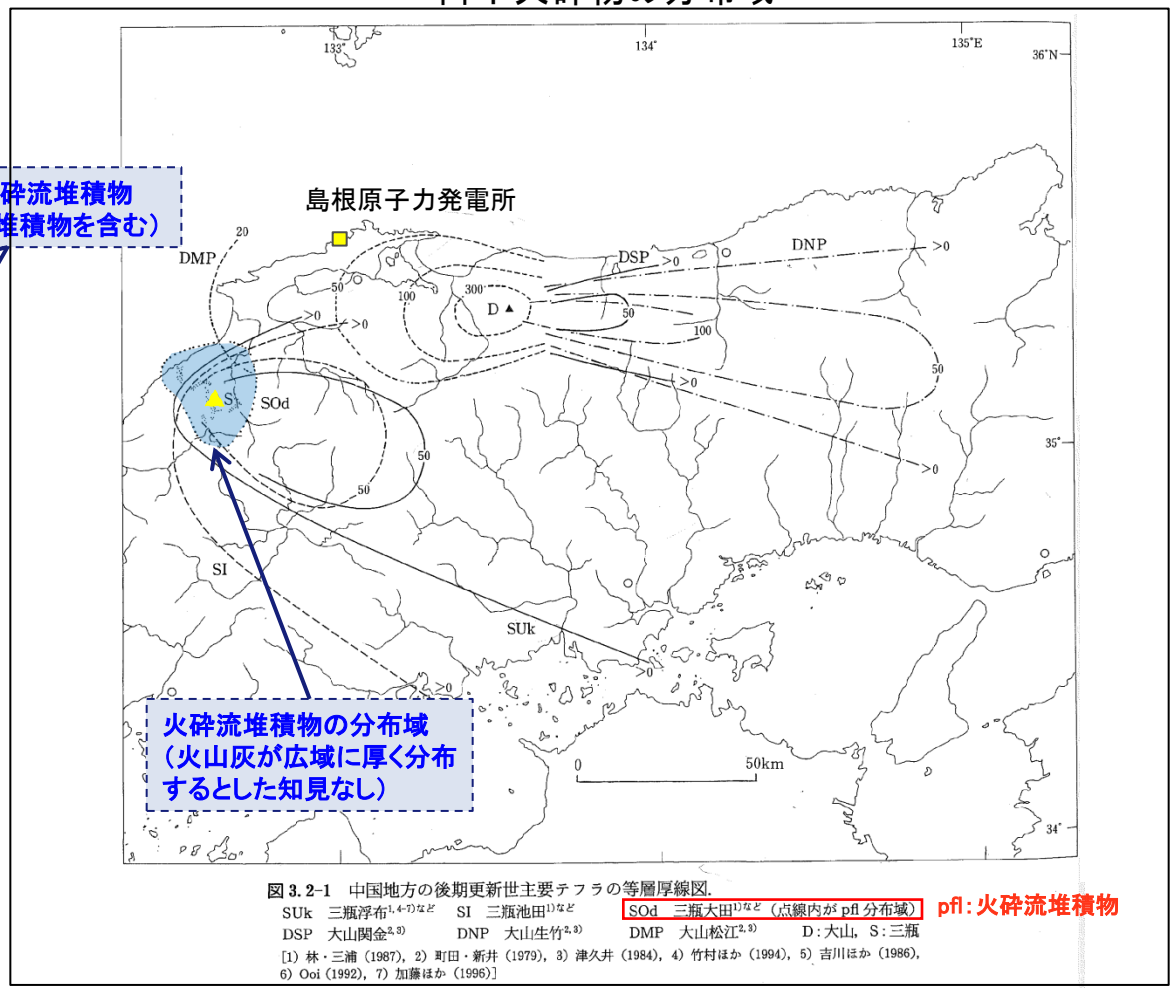



図 3. 2-1　中国地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図.
SUk　三瓶浮布[1,4-7)など　SI　三瓶池田[1)など　SOd　三瓶大田[1)など（点線内が pfl 分布域）　pfl：火砕流堆積物
DSP　大山関金[2,3)　DNP　大山生竹[2,3)　DMP　大山松江[2,3)　D：大山，S：三瓶
[1) 林・三浦（1987），2) 町田・新井（1979），3) 津久井（1984），4) 竹村ほか（1994），5) 吉川ほか（1986），6) Ooi (1992)，7) 加藤ほか（1996）]

町田・新井(2011)より引用・加筆

・町田・新井（2011）によると，三瓶大田（SOd）は火砕流堆積物（pfl）の分布域として記載されている。
・林・三浦（1986[22]，1987）によると，三瓶雲南テフラは三瓶大田と同時期の噴出物と考えられるとし，また，火山本体から10km以内では発見されておらず，通常描かれる等層厚線図を作成することは困難であるとされている。
・服部ほか（1983）[23]によると，三瓶大田噴出時の火山噴出物について，「これらは，互いに時間をほとんど置かずに相次いで起った一連の噴火活動の産物であると考えられる。」とし，また，「降下火山灰層の分布面積・層厚は著しく小さい。」とされている。

# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査（文献調査）



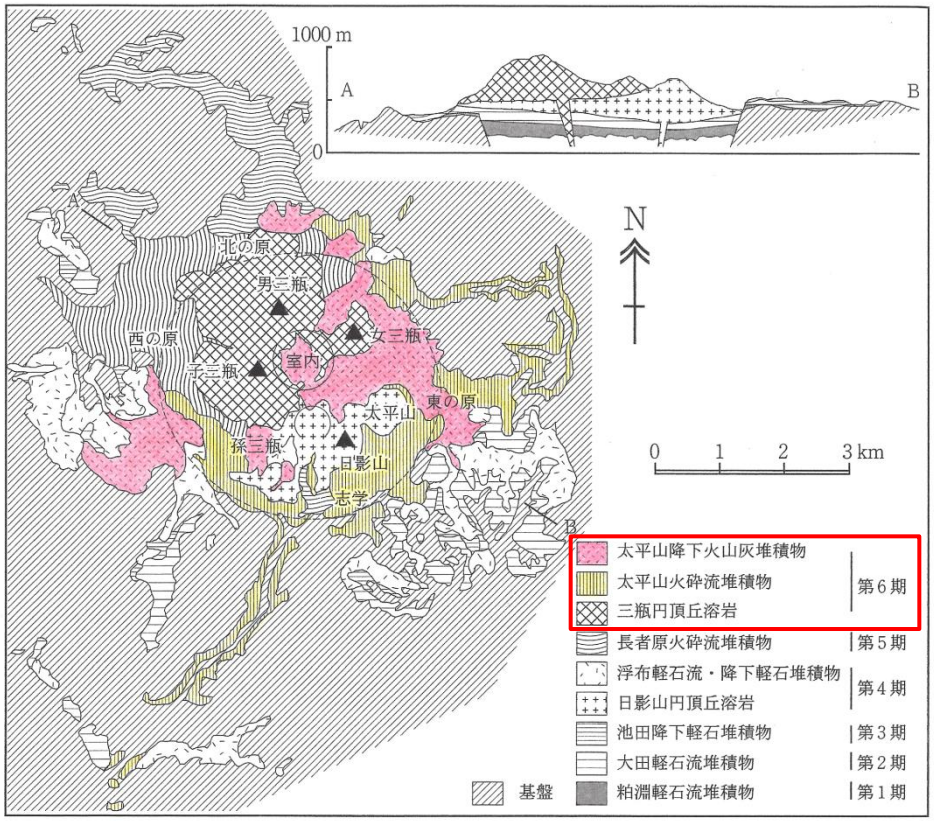



図 6.3.6 島根県三瓶山の地質図と地質断面図（松井・井上，1971 を簡略化）

日本地質学会編(2009)[26]より引用・加筆

三瓶太平山噴火時の降下火砕物の分布範囲

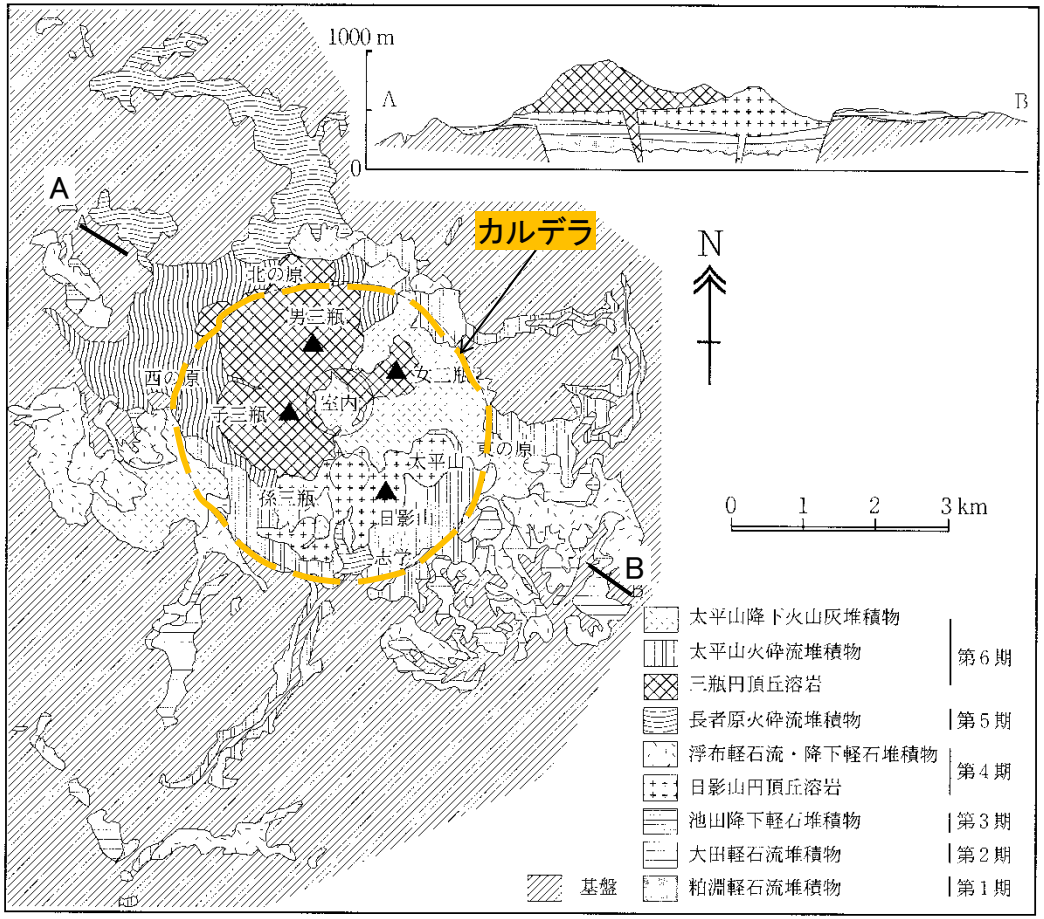
三瓶太平山噴火（噴出量2.6km$^3$）時の降下火砕物について

- 松井・井上(1971)[24]によると，三瓶太平山噴火に伴う火山灰は，火砕流の余燼（じん）的堆積物であり，火砕流の付近しか分布していないとされている。
- 草野・中山(1999)[25]によると，太平山火砕流をブロックアンドアッシュフロー(溶岩ドーム崩落に伴う火砕流)であるとし，出雲平野で連続の良好な降下火山灰層がないこと，三瓶山とその周辺を広く覆う降下火砕物ユニットが存在しないことから，太平山期に噴煙柱を高く上げ多量の降下火砕物を広く伴うような噴火はなかったとされている。
- また，敷地では，三瓶太平山噴火時の降下火砕物は確認されていない。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（三瓶山の概要）



敷地の南西約55kmに位置し，最大標高約1,126mの男三瓶山を最高峰とする。日本地質学会編（2009）によると，直径約5kmのカルデラと，カルデラ形成期の軽石流堆積物及びカルデラ中央のデイサイト溶岩ドーム山体からなる複成火山とされている。




日本地質学会編（2009）より引用・加筆

## 火山形式

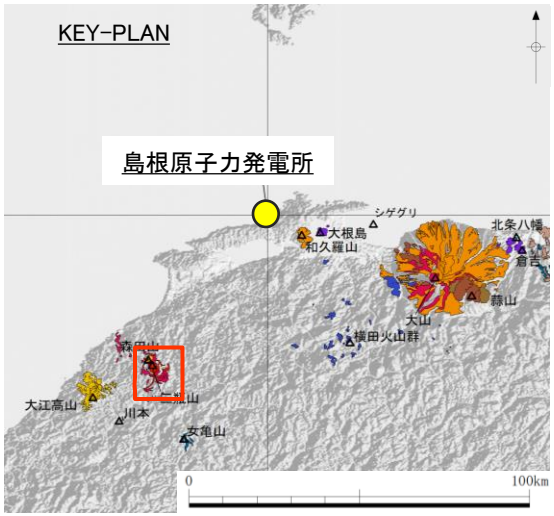
火砕流台地ーカルデラと火砕丘及び溶岩ドーム

地質調査総合センター（2021）による

## 主な岩石

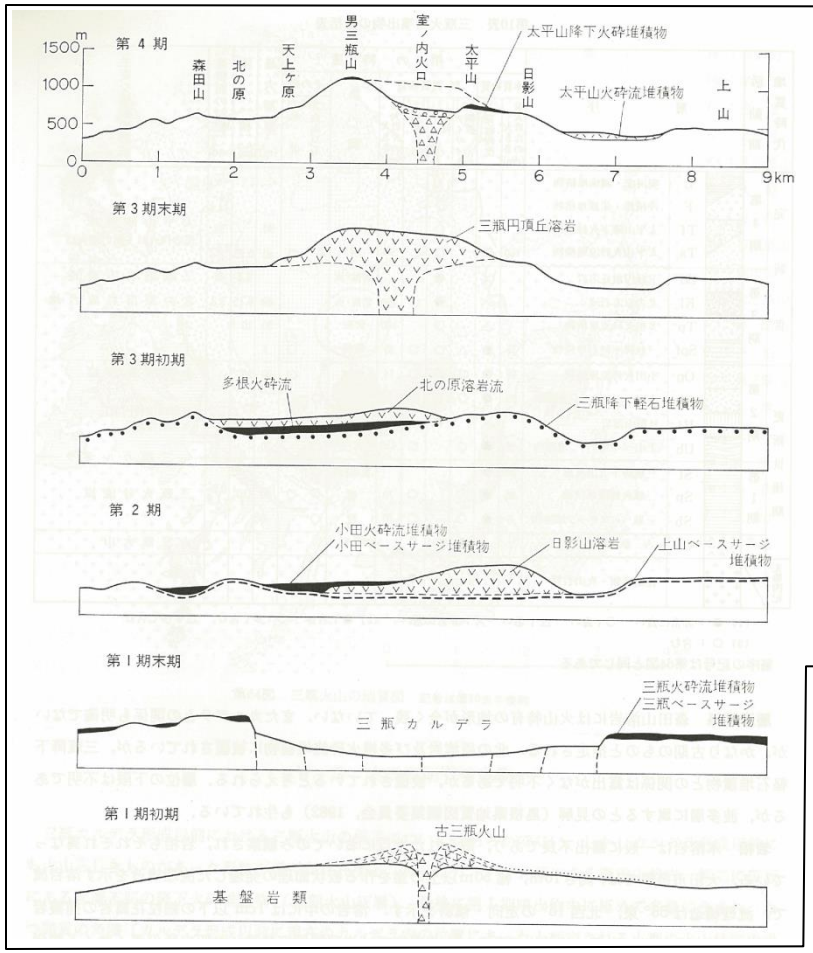
デイサイト，安山岩

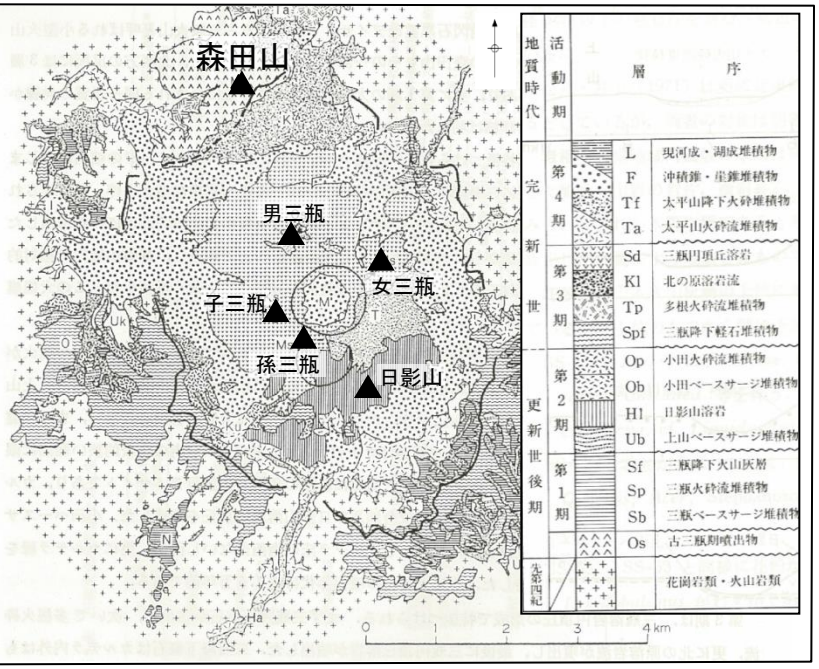
地質調査総合センター（2021）による



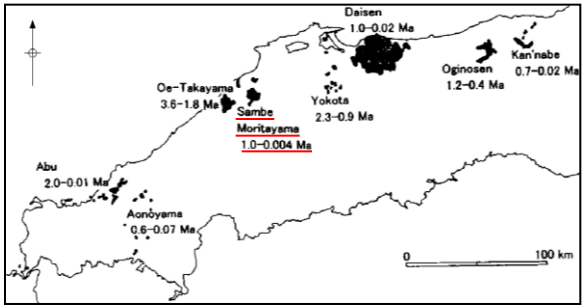
# 三瓶山の噴火履歴の検討(三瓶山の概要)






服部ほか(1983)より引用・加筆

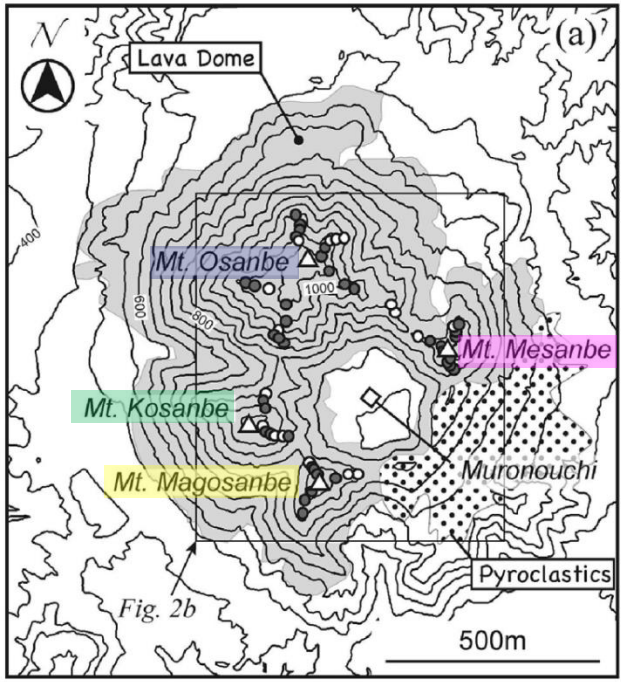



松浦・土谷(2003)より引用・加筆

・服部ほか(1983)によると，三瓶火山は活動休止期及び活動様式の顕著な変化に基づいて5群(古三瓶期・第1期ー第4期)に大別されている。また，古三瓶期には，小型(三瓶カルデラより小さな底型の)成層火山あるいは単成火山群が存在していた可能性が高いとされ，カルデラ北部の森田山は古三瓶火山の一部とされている。
・松浦・土谷(2003)[27]によると，森田山溶岩は更新世前期のハラミヨ・サブクロン(約110万年前)に噴出した角閃石デイサイトの溶岩ドームであり，三瓶火山は山陰地域の鮮新世以降の一般的な火山活動継続期間と同程度の100万年に及ぶ長い活動レンジを持っているとされている。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（三瓶山の概要）





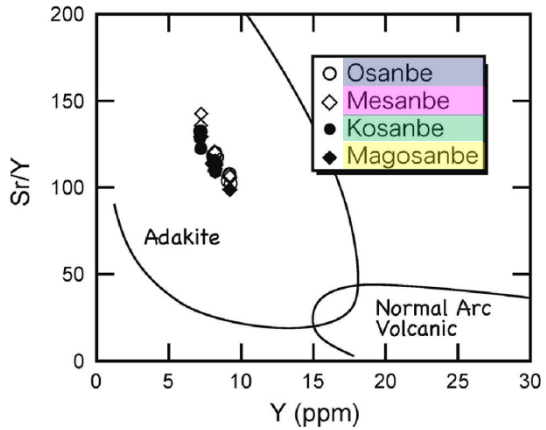




Fig. 7. Y vs. Sr/Y characteristics of Sanbe lava domes samples that are plotted well within the adakite field proposed by Defant and Drummond (1990).

Table 3. Petrographical and chemical characteristics of four peaks.

| | | Osanbe | Mesanbe | Kosanbe | Magosanbe |
|---|---|---|---|---|---|
| Matsumoto (1993) | Quartz | | lower | | |
| | $SiO_2$ | wider* | lower | narrower* | |
| | $K_2O$ | higher | higher | lower narrower* | lowest* |
| This study | Quartz | | lower | | |
| | An-rich plagioclase | rare | usual | usual | rare |
| | $SiO_2$ | | lower | | |
| | Ti, Al, Fe *vs.* Si | | distinct | | |
| | K, Rb, Sr, Ba, Zr La, Ce, P | higher | higher | lower | lower |
| * not oberved in this study | | 高カリウムG | | 低カリウムG | |

浅野ほか（2018）より引用・加筆

・三瓶山の溶岩ドームの形成過程について，浅野ほか（2018）[28]は，記載岩石学・岩石学的検討の結果，溶岩ドームはアダカイト質デイサイトで構成されるが，単一の岩石で構成されているわけではなく，4峰がそれぞれ異なる特性を持つ岩石で構成されているとしている。
・また，浅野ほか（2018）は，男三瓶・女三瓶の高カリウムグループと子三瓶・孫三瓶の低カリウムグループの2種類のマグマに分け，それぞれのマグマが地殻下部の部分溶融によって形成され，独立したマグマ溜りを形成し，分化作用の違いによって4種類のマグマが生成され，独立した4峰を形成したとしている。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（活動形態の変遷）



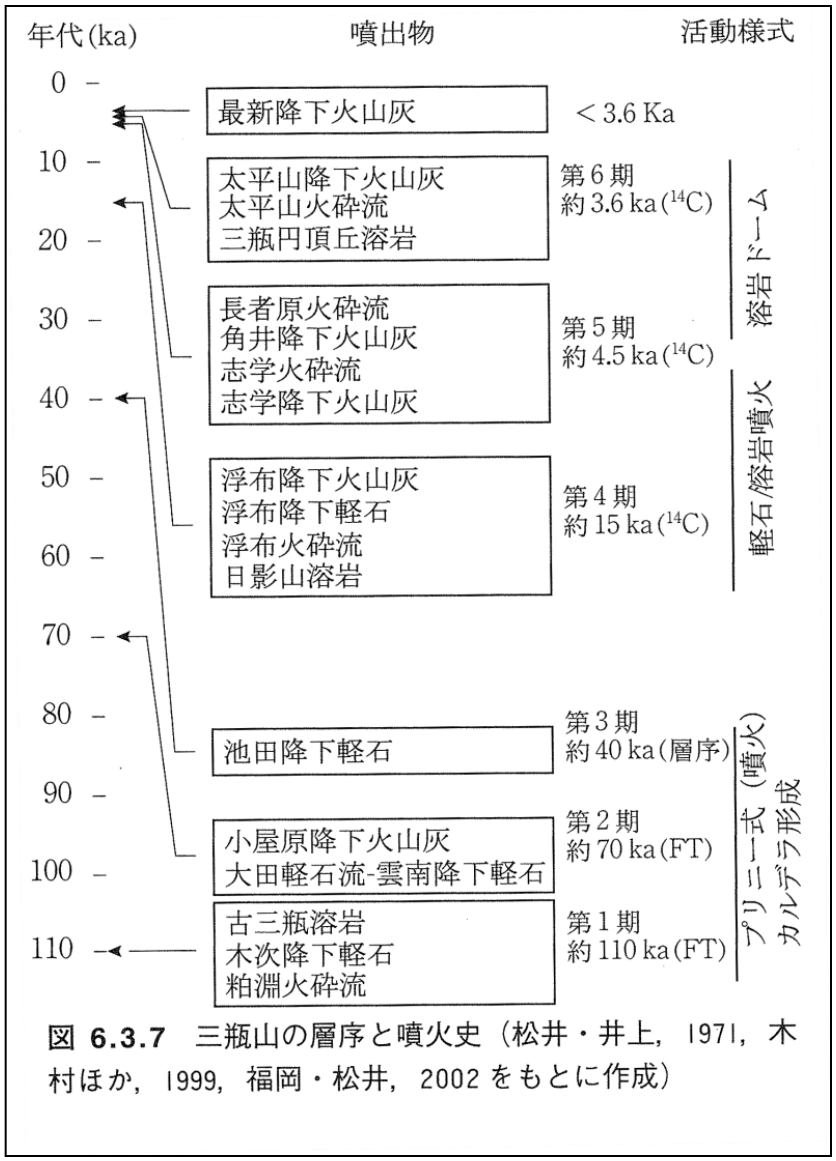



図 6.3.7　三瓶山の層序と噴火史（松井・井上，1971，木村ほか，1999，福岡・松井，2002 をもとに作成）

日本地質学会編（2009）より引用

日本地質学会編（2009）によると，約11万年前の噴火以降は，第１期から第６期に区分（前述の服部ほか（1983）の第２期を更に3つの活動期に細分化）されており，最終噴火が約3,600年前とされている。

さらに，三瓶山の活動は，爆発的軽石噴火が優勢な第１－３期及び溶岩の噴出が優勢な第４－６期の２つに分けられるとしている。

第１期から第３期にかけては，３回のプリニー式の流紋岩質軽石噴火があったとし，これらの爆発的噴火により，現在のカルデラが形成されたとしている。

第４期においてもサブ・プリニー式の噴火が発生しているが，噴出物はデイサイト質（日影山溶岩）に変わり，第５期以降は溶岩ドームを形成する活動へと変化し，爆発性が低下したとされている。

三瓶山は，第４期のサブ・プリニー式噴火により三瓶浮布テフラを噴出して以降は溶岩ドームを形成する活動へと変化し，爆発性が低下しているとされている。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（活動形態の変遷）



| 活動期 | | 古三瓶期 森田山 | | 第1期 | 第2期 | 第3期 | 第4期 | 第5期 | 第6期 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 噴出年代 | | 約110万年前 | — | 約11万年前 | 約7万年前 | 約4万年前 | 約1.5万年前 | 約0.45万年前 | 約0.36万年前 | |
| $SiO_2$含有比 | 服部ほか（1983） | — | — | 73.11 | 72.14 | 68.27 | 63.90 | — | 65.07<br>65.88 | 活動期は日本地質学会編（2009）により分類 |
| | 縫部・藤巻（1996）(29) | — | — | 74～76 | | 60～70 | | | | |
| | 松元（1994）(30) | — | — | — | — | — | — | — | 64.83<br>～<br>66.92 | 第6期の三瓶円頂丘溶岩のみ分析 |
| | 松浦・土谷（2003） | 62.98 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 噴出物の岩質 | | デイサイト質※ | — | 流紋岩質 | | | デイサイト質 | | | 日本地質学会編（2009）による |
| 主な活動様式 | | 溶岩ドーム形成※ | — | プリニー式 | | | サブ・プリニー式 | 溶岩ドーム形成 | | 日本地質学会編（2009）による |

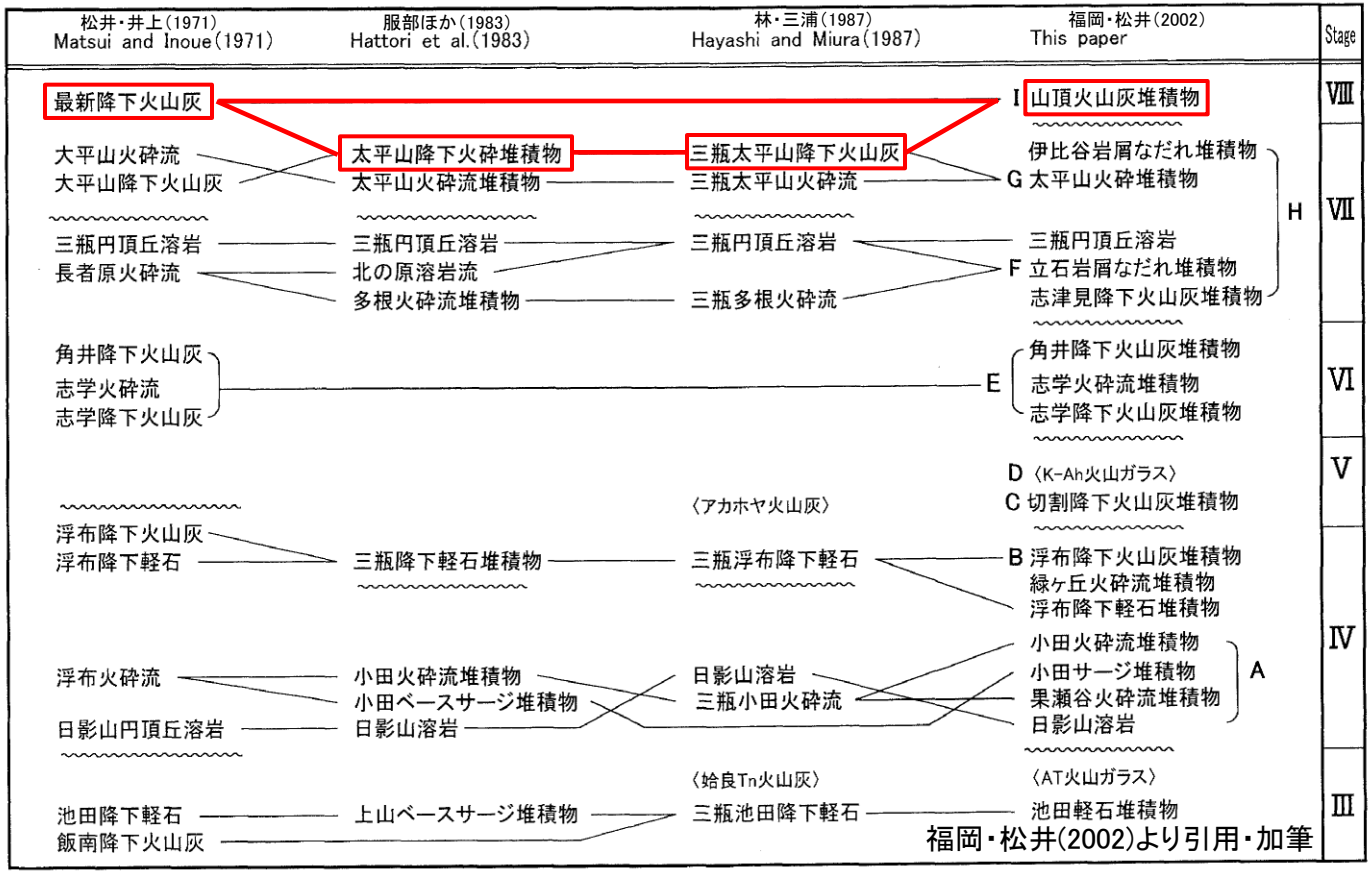
※松浦・土谷(2003)による

- 三瓶山起源の噴出物は，活動開始から時間の経過に伴い$SiO_2$含有比，噴出物の岩質，及び活動様式が変化している。
- 現在（第6期）の$SiO_2$含有比，噴出物の岩質及び活動様式は，古三瓶期（森田山の活動期）のそれらに類似しており，爆発的軽石噴火が優勢な第1－3期とは異なる。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（最新降下火山灰）



- 日本地質学会編（2009）の「最新降下火山灰（＜3.6Ka）」は，松井・井上（1971）より引用されており，これによると三瓶火山の最終期の噴出物として報告している。
- 服部ほか（1983）及び林・三浦（1987）によると，松井・井上（1971）の最新降下火山灰は，それぞれ太平山降下火砕堆積物の最上部及び三瓶太平山降下火山灰の最上部に対比されている。
- 福岡・松井（2002）[31]によると，松井・井上（1971）の最新降下火山灰は山頂火山灰堆積物に対比されている。
- 福岡・松井（2002）によると，山頂火山灰堆積物は，これを挟む黒色土の$^{14}$C年代を求め，380±60yBPから1,250±60yBPの間の堆積物とし，有史時代の活動による噴出物の可能性が示唆されているが，同時に，風成の二次堆積物の疑いも指摘されている。




| Geo. age | Stage | Deposit [Symbol] | $^{14}$C age(yBP) (*:Converted from paleomagnetic age) |
|---|---|---|---|
| Holocene | VIII | 山頂黒色土[Su-bs] (Summit Black Soil) | 380±60 [7] |
| | | 山頂火山灰堆積物[Su-ad] (Summit Ash Deposit) | |
| | VII | 第1黒色土[1st-bs] (First Black Soil) | 1250±60 [7], 2180±60 [7] |
| | | 伊比谷岩屑なだれ堆積物[Ib-da] (Ibidani Debris Avalanche Deposit) | |
| | | 太平山火砕堆積物[Th-pd] (Taiheizan Pyroclastic Deposit) | 3600±75 [3], 3530±100 [4], 3710±100 [4], 3710±130 [4] |
| | | 三瓶円頂丘溶岩[SL] (Sanbe Dome Lava) | *3530±100 [5], 3680±40 [6] |
| | | 立石岩屑なだれ堆積物[Tt-da] (Tateishi Debris Avalanche Deposit) | 3690±60 [8], 3450±150 [8] |
| | | 志津見降下火山灰堆積物[St-fa] (Shitsumi Ash Fall Deposit) | |
| | VI | 第2黒色土[2nd-bs] (Second Black Soil) | 3800±40 [8], 3900±50 [8], 4090±290 [8] |
| | | 角井降下火山灰堆積物[S3-fa] (Tsunoi Ash Fall Deposit) | |
| | | 志学火砕流堆積物[S2-fl] (Shigaku Pyroclastic Flow Deposit) | 4480±110 [1], 4780±100 [4] |
| | | 志学降下火山灰堆積物[S1-fa] (Shigaku Ash Fall Deposit) | |
| | V | 第3黒色土（K-Ahガラス混入）[3rd-bs] (Third Black Soil・K-Ah Glass) | 5670±70 [6], 6520±60 [6], 8960±70 [6] |
| | | 切割降下火山灰堆積物[Kr-fa] (Kiriwari Ash Fall Deposit) | |
| Late Pleistocene | IV | 第4黒色土[4th-bs] (Fourth Black Soil) | 9570±240 [6], 9900±200 [6], 10880±70 [6] |
| | | 浮布降下火山灰堆積物[Uk-fa] (Ukinuno Ash Fall Deposit) | |
| | | 緑ヶ丘火砕流堆積物[Md-fl] (Midorigaoka Pyroclastic Flow Deposit) | |
| | | 浮布降下軽石堆積物[Uk-pfa] (Ukinuno Pumice Fall Deposit) | |
| | | 小田火砕流堆積物[Od-fl] (Oda Pyroclastic Flow Deposit) | 16000±400 [1] |
| | | 小田サージ堆積物[Od-sd] (Oda Surge Deposit) | |
| | | 果瀬谷火砕流堆積物[Ht-fl] (Hatasedani Pyroclastic Flow Deposit) | 14780±350 [2], 16400±190 [2] |
| | | 日影山溶岩[HL] (Hikageyama Lava) | |
| | III | 池田淡色古土壌（ATガラス混入）[Ik-ps] (Ikeda Paleosol・AT Glass) | |
| | | 池田軽石堆積物[Ik-pd] (Ikeda Pumice Deposit) | |

福岡・松井(2002)より引用・加筆

# 三瓶山の噴火履歴の検討(最新降下火山灰)

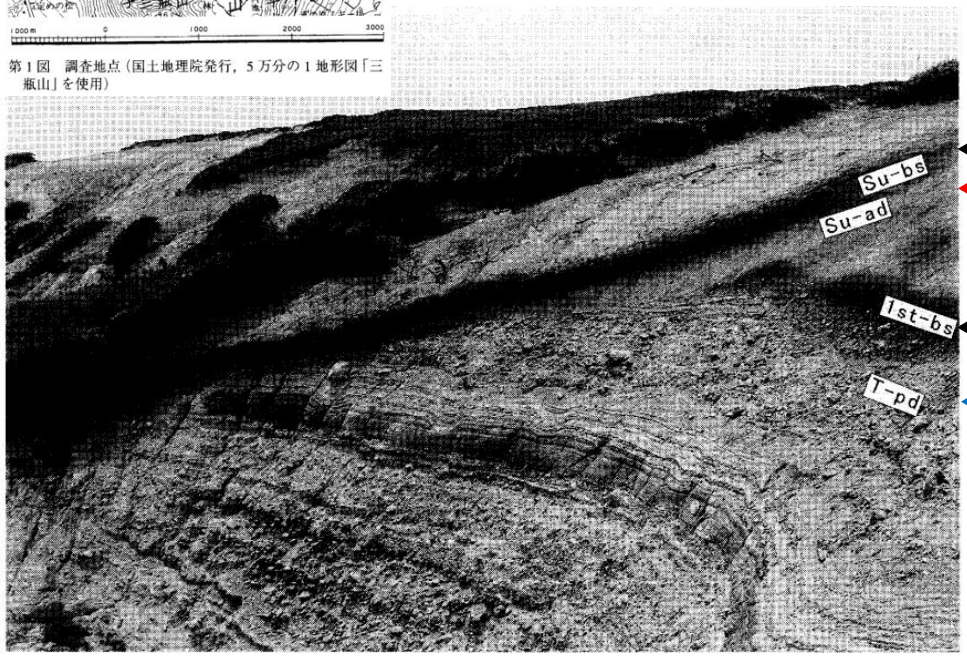


- 福岡・松井(2000)[32]によると，山頂火山灰堆積物は，男三瓶山頂に不連続に分布するとされている。また，山頂火山灰堆積物は，黒雲母含有率の測定結果から下位にある太平山火砕堆積物の降下火山灰に類似するとされている。
- 福岡・松井(2004)[33]によると，仮に，山頂火山灰が新たな噴火による堆積物とするならば，山頂火山灰堆積物は男三瓶山頂以外では見いだされないことから小規模な水蒸気爆発が考えられるとされている。

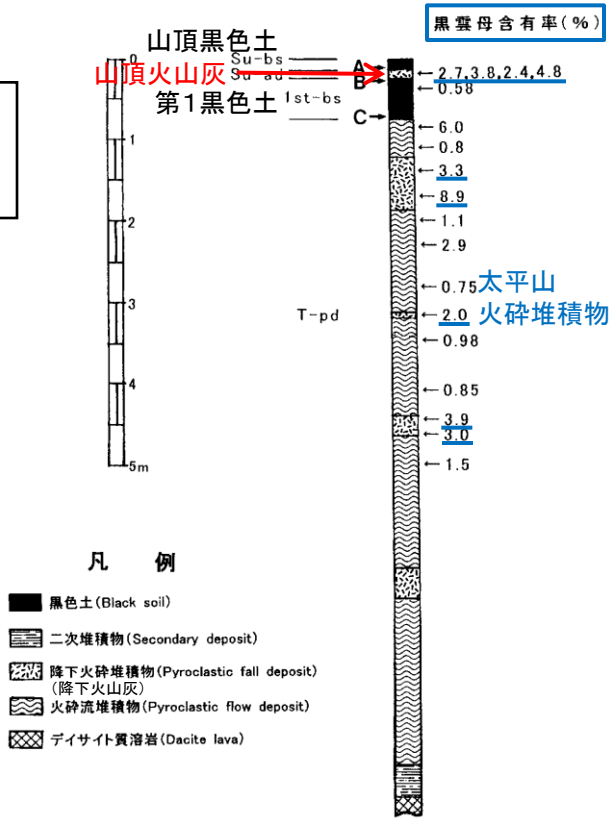



第1図　調査地点(国土地理院発行，5万分の1地形図「三瓶山」を使用)

【黒雲母含有率(福岡・松井(2000))】
・山頂火山灰　2.7～4.8%
・太平山火砕堆積物(降下火山灰)　2.0～8.9%




第2図　男三瓶山頂の露頭
Su-bs：山頂黒色土，Su-ad：山頂火山灰，1st-bs：第1黒色土，T-pd：太平山火砕堆積物




第3図　男三瓶山頂の第1図地点の柱状図(堆積物の記号は第2図参照)
A～Cは$^{14}$C年代測定試料採取層準．柱状図右の数値は，黒雲母(125～250 mμ)含有率と試料採取層準を示す．但し，黒雲母含有率＝[(黒雲母の粒数)／(黒雲母の粒数＋角閃石類の粒数)]×100(%)である．

福岡・松井(2000)より引用・加筆

# 三瓶山の噴火履歴の検討（最新降下火山灰）



- 気象庁（2013）によると，福岡・松井（2000，2004）等を引用し，約3,600年前以降の火山活動としては，1,400～1,300年前に水蒸気噴火の可能性があるとされている。
- なお，有史以降の火山活動については，「記録に残る火山活動はない。」とされている。

**噴火活動史**

**・過去１万年間の噴火活動**

約１万年前以降には、約 4500 年前、約 3600 年前、それ以降で時期不詳の少なくとも３回の火山活動があったと推定されている。これらの火山活動の噴出物は主にデイサイトで、降下火山灰、火砕流、溶岩の噴出、火砕丘の形成、火山泥流の発生などが知られている。特に火砕流および火山泥流は遠方にまで到達した実績がある。

| 噴火年代 | 噴火場所 | 噴火様式 | 主な現象・マグマ噴出量 |
|---|---|---|---|
| 13←→12.9ka[2,11] | 三瓶山山頂近辺（詳細位置不明）[11,13] | マグマ噴火[11,13] | 火砕物降下。 |
| 5.6←→5.5ka[13] | 三瓶山山頂近辺（詳細位置不明）[2,11,13] | マグマ噴火[2,11,13] | 火砕物降下→火砕流→火砕物降下、火砕サージ。 |
| 3.87ka[6] | 三瓶山山頂付近[2,3,9,11,12,13] | マグマ噴火→（山体崩壊）→マグマ噴火、（山体崩壊）[2,3,4,7,9,11,12,13,14] | 志津見火砕物降下→三瓶溶岩ドーム、立石岩屑なだれ→太平山火砕流、火砕サージ、火砕物降下、伊比谷岩屑なだれ。マグマ噴出量は2.6 DREkm$^3$。（VEI4）[3] |
| 1.4←→1.3ka[8] | 三瓶山山頂近辺（詳細位置不明）[8,11] | 水蒸気噴火？[2,8,11,13] | 火砕物降下。 |

※噴火イベントの年代、噴火場所、噴火様式等については、（独）産業技術総合研究所の活火山データベース（工藤・星住，2006-）を参考とした。なお、年代は暦年代で示す。表中の「ka」は「1000 年前」を意味し、西暦 2000 年を 0 ka として示した。

A←→B：A 年から B 年までの間のどこかで起こった噴火イベント

福岡・松井（2004）等を引用

福岡・松井（2000）を引用し，山頂火山灰堆積物の下位にある第１黒色土の$^{14}$C年代（1,250±60yBP）より，同位体補正，暦年校正を考慮して設定

**・有史以降の火山活動**

記録に残る火山活動はない。

気象庁(2013)より引用・加筆

# 三瓶山の噴火履歴の検討（最新降下火山灰）



【文献調査結果】
・松井・井上(1971)及び福岡・松井（2002）によると，三瓶山の最終期の噴出物として，「最新降下火山灰（山頂火山灰堆積物）」が報告されている。一方，服部ほか（1983）及び林・三浦（1987）によると，約3,600年前に噴出した「三瓶太平山降下火山灰（太平山降下火砕堆積物）の最上部」に対比されている。
・福岡・松井（2000，2002）によると，最新降下火山灰（山頂火山灰堆積物）は，黒雲母含有率の測定結果から下位にある太平山降下火山灰に類似するとし，風成の二次堆積物の可能性が指摘されている。
・福岡・松井（2004）によると，仮に，山頂火山灰が新たな噴火による堆積物とするならば，山頂火山灰堆積物は男三瓶山頂以外では見いだされないことから小規模な水蒸気爆発が考えられるとされている。

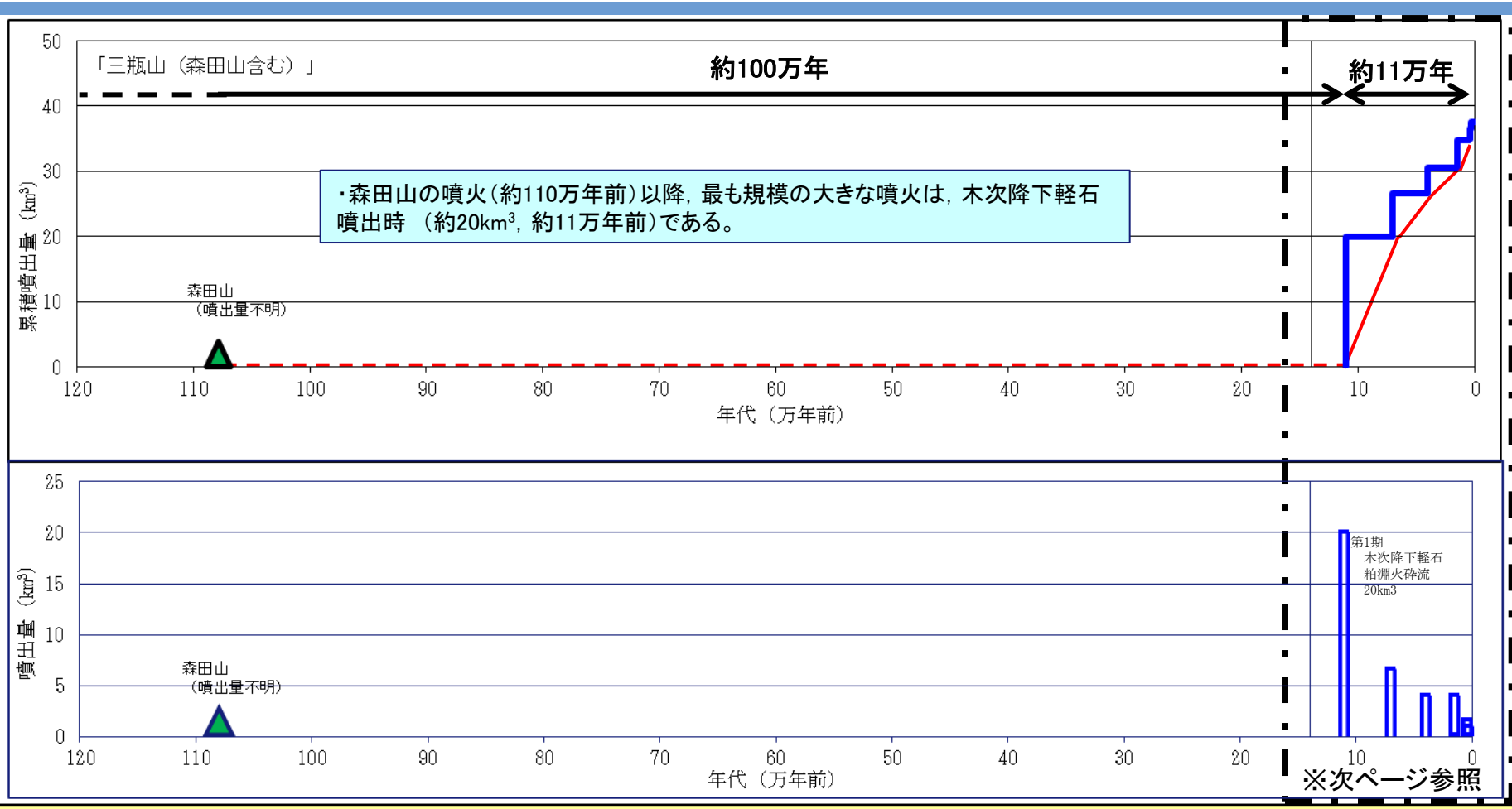
【気象庁による評価結果】
・気象庁の三瓶山に関する最近の報告（気象庁（2013））によると，福岡・松井（2000，2004）等を引用し，約3,600年前以降の火山活動としては，1,400～1,300年前に水蒸気噴火の可能性があるとされているが，有史以降の活動はないとされている。

・最新降下火山灰は，福岡・松井（2000）による黒雲母含有率の測定結果等に基づくと約3,600年前に噴出した太平山降下火山灰の二次堆積物であると考えられる。
・有史以降の火山活動はないとされているが，新たな噴火を仮定しても，最新降下火山灰の分布範囲は男三瓶山頂に限定されていることから，小規模な水蒸気爆発とされている。
・以上のことから，最新降下火山灰噴出時の火山活動については，約3,600年前の三瓶太平山降下火山灰噴出時の活動として取り扱う。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（階段ダイヤグラム）

第924回審査会合
資料1-1 P63 加筆・修正

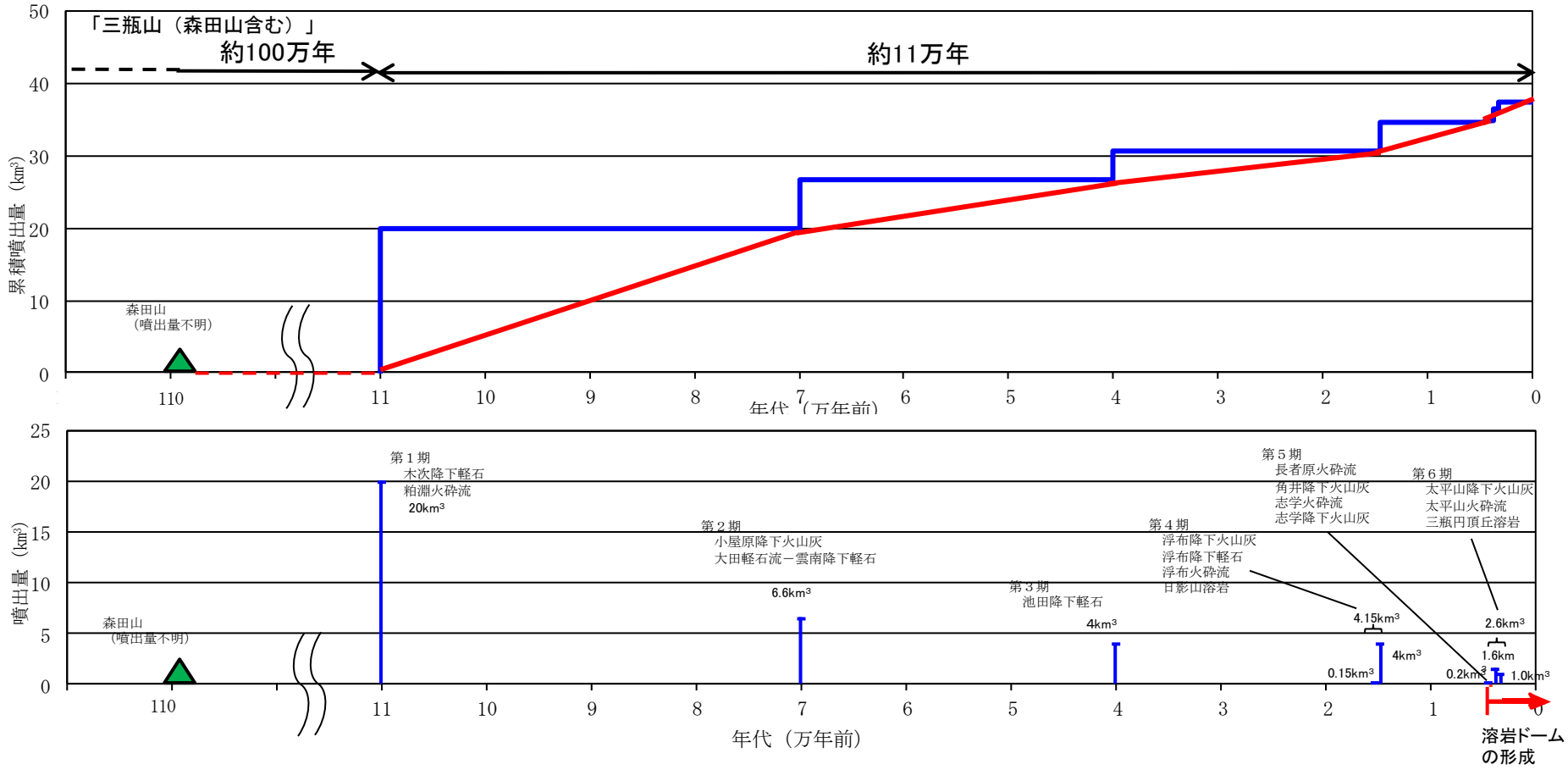





・地質調査総合センター（2021）は，三瓶山とその北方の森田山を区別して整理しているが，その一方で，森田山は，「三瓶カルデラ形成以前の山体で，古三瓶あるいは先三瓶といわれる，先カルデラ火山。」としていることから，三瓶山の噴火履歴の検討にあたっては，森田山の噴火も含めて評価する。
・松浦・土谷（2003）によると，森田山溶岩は，時間的・空間的分布の上で三瓶火山噴出物に密接に伴っていると見られ，三瓶火山の最初の活動として生じた可能性が考えられるとされている。
・服部ほか（1983）によると，森田山の噴火（約110万年前）から木次降下軽石噴出（約11万年前）までの期間は，三瓶カルデラより小型の成層火山あるいは単成火山群が存在していた可能性が高いとされている。また，この期間に広域火山灰を降下させる規模の噴火が起こったという知見は得られていない。

# 三瓶山の噴火履歴の検討（階段ダイヤグラム）





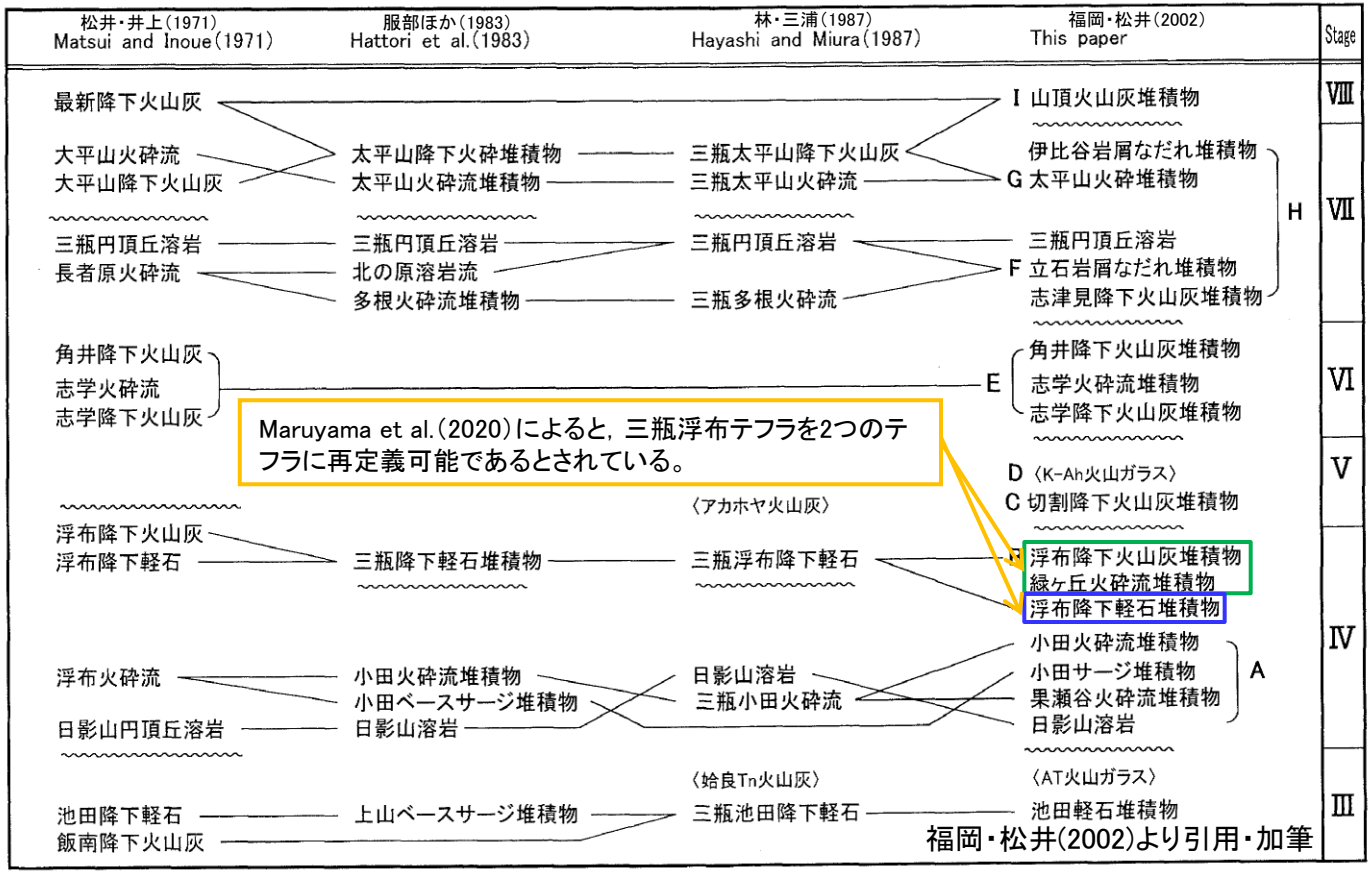

（町田・新井（2011），第四紀火山カタログ編集委員会編(1999)(34)，須藤ほか(2007)に基づき作成）

・森田山の噴火以降において，最も規模の大きな噴火は木次降下軽石（SK）噴出時である。
・約110万年前の森田山の噴火以降，噴火規模の最も大きな木次降下軽石の噴出までの期間（約100万年）は，木次降下軽石の噴出からの経過時間（約11万年）に比べ十分に長い。
・一方，数km³以下の規模の噴火については，木次降下軽石の噴出以降においても繰り返し発生している。

# 三瓶浮布テフラの噴出時の噴火規模



・福岡・松井（2002）は，三瓶山近傍の露頭調査に基づき，三瓶浮布テフラ（SUk）を下位から順に浮布降下軽石堆積物（Uk-pfa），緑ヶ丘火砕流堆積物（Md-fl），浮布降下火山灰堆積物（Uk-fa）の3テフラに細分している。
・Maruyama et al.（2020）[35]によると，Uk-pfaとMd-fl/Uk-faは一連の噴火活動で噴出したものと考えられるが，火山ガラスの屈折率及び化学組成の相違やテフラの分布域から明確に区別可能であるとし，それぞれSUk（lower）（下部）とSUk(upper)（上部）テフラとより単純なものに再定義可能であるとされている。
・三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模は，第四紀火山カタログ編集委員会編（1999）に基づき，<u>第4期の小田火砕流・浮布降下軽石4km$^3$と日影山（溶岩）0.15km$^3$を全て足し合わせた4.15km$^3$と評価</u>し，後述するMaruyama et al.（2020）のSUk-Lの分布域に着目して噴出量の妥当性を確認した（噴出量の妥当性確認は，補足説明「4．三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模について」参照）。



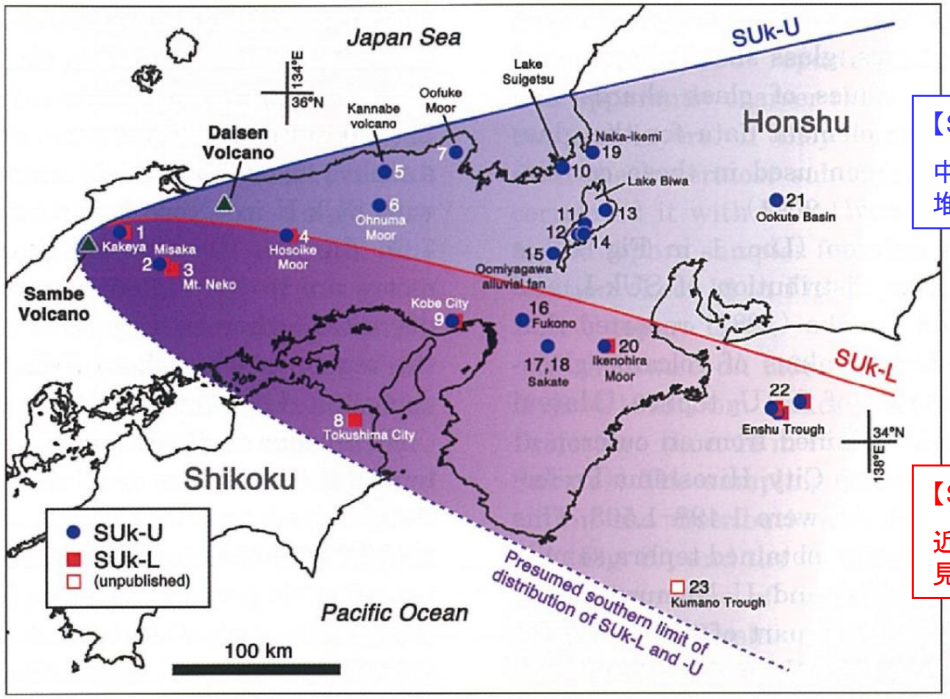

| Geo. age | Stage | Deposit [Symbol] | $^{14}$C age(yBP) (*:Converted from paleomagnetic age) |
|---|---|---|---|
| Holocene | VIII | 山頂黒色土[Su-bs] (Summit Black Soil) | 380±60 [7] |
| | | 山頂火山灰堆積物[Su-ad] (Summit Ash Deposit) | |
| | VII | 第1黒色土[1st-bs] (First Black Soil) | 1250±60 [7], 2180±60 [7] |
| | | 伊比谷岩屑なだれ堆積物[Ib-da] (Ibidani Debris Avalanche Deposit) | |
| | | 太平山火砕堆積物[Th-pd] (Taiheizan Pyroclastic Deposit) | 3600±75 [3], 3530±100 [4], 3710±100 [4], 3710±130 [4] |
| | | 三瓶円頂丘溶岩[SL] (Sanbe Dome Lava) | *3530±100 [5], 3680±40 [6] |
| | | 立石岩屑なだれ堆積物[Tt-da] (Tateishi Debris Avalanche Deposit) | 3690±60 [8], 3450±150 [8] |
| | | 志津見降下火山灰堆積物[St-fa] (Shitsumi Ash Fall Deposit) | |
| | VI | 第2黒色土[2nd-bs] (Second Black Soil) | 3800±40 [8], 3900±50 [8] 4090±290 [8] |
| | | 角井降下火山灰堆積物[S3-fa] (Tsunoi Ash Fall Deposit) | |
| | | 志学火砕流堆積物[S2-fl] (Shigaku Pyroclastic Flow Deposit) | 4480±110 [7], 4780±100 [4] |
| | | 志学降下火山灰堆積物[S1-fa] (Shigaku Ash Fall Deposit) | |
| | V | 第3黒色土(K-Ahガラス混入)[3rd-bs] (Third Black Soil・K-Ah Glass) | 5670±70 [6], 6520±60 [6] 8960±70 [6] |
| | | 切割降下火山灰堆積物[Kr-fa] (Kiriwari Ash Fall Deposit) | |
| Late Pleistocene | IV | 第4黒色土[4th-bs] (Fourth Black Soil) | 9570±240 [6], 9900±200 [6] 10880±70 [6] |
| | | 浮布降下火山灰堆積物[Uk-fa] (Ukinuno Ash Fall Deposit) | |
| | | 緑ヶ丘火砕流堆積物[Md-fl] (Midorigaoka Pyroclastic Flow Deposit) | |
| | | 浮布降下軽石堆積物[Uk-pfa] (Ukinuno Pumice Fall Deposit) | |
| | | 小田火砕流堆積物[Od-fl] (Oda Pyroclastic Flow Deposit) | 16000±400 [1] |
| | | 小田サージ堆積物[Od-sd] (Oda Surge Deposit) | |
| | | 果瀬谷火砕流堆積物[Ht-fl] (Hatasedani Pyroclastic Flow Deposit) | 14780±350 [2] 16400±190 [2] |
| | | 日影山溶岩[HL] (Hikageyama Lava) | |
| | III | 池田淡色古土壌(ATガラス混入)[Ik-ps] (Ikeda Paleosol・AT Glass) | |
| | | 池田軽石堆積物[Ik-pd] (Ikeda Pumice Deposit) | |

福岡・松井(2002)より引用・加筆

## 三瓶浮布テフラの噴出時の噴火規模（Maruyama et al.（2020）によるテフラ分布域）



・Maruyama et al.（2020）によると，SUk-Uテフラは，中国地方及び近畿地方に広い範囲で薄く堆積するとされている。一方，SUk-Lテフラは，近畿地方南部及びその近海，四国東端で見出され，テフラ分布域も異なり， SUk-Uと比較し厚く堆積するとされている。
・三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模については，Maruyama et al.（2020）によると SUk-UとSUk-Lは別々の噴火イベントとされていること及び SUk-LはSUk-Uと比較し厚く堆積するとされていることを踏まえ，SUk-Uは広い範囲で分布するものの堆積量はわずかであると考えられることから，支配的と考えられるSUk-Lの分布域に着目して噴出量の妥当性の確認を行った。その結果，第4期の噴出量を4.15km$^3$と評価とすることは概ね妥当と判断した（噴出量の妥当性確認は，補足説明「4．三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模について」参照）。




【SUk-U】
中国地方及び近畿地方に広い範囲で薄く堆積する

【SUk-L】
近畿地方南部及びその近海，四国東端で見出され， SUk-Uと比較し厚く堆積する

Fig. 8 Presumed distribution of the SUK tephra based on previous studies. 1 = this study (Kakeya outcrop); 2 = Nomura and Tanaka (1987); 3 = Nomura (1991); 4 = Nomura *et al.* (1995); 5 and 21 = Nakamura *et al.* (2011); 6 = Katoh *et al.* (2007); 7 = Takahara *et al.* (1999); 8 = Nishiyama *et al.* (2012); 9 = Katoh *et al.* (1996); 10 = Takemura *et al.* (1994), Maruyama *et al.* (2019) and this study; 11 = Yoshikawa and Inouchi (1991); 12, 16, and 17 = Yoshikawa *et al.* (1986); 13 and 14 = Takemura *et al.* (2010); 15 = Togo *et al.* (1997); 18 = Ooi (1992); 19 = Ooi *et al.* (2004); 20 = Takahara and Masuda (2017) and this study; 22 = Ikehara *et al.* (2011); 23 = JAMSTEC (2012) (the cruise report only).

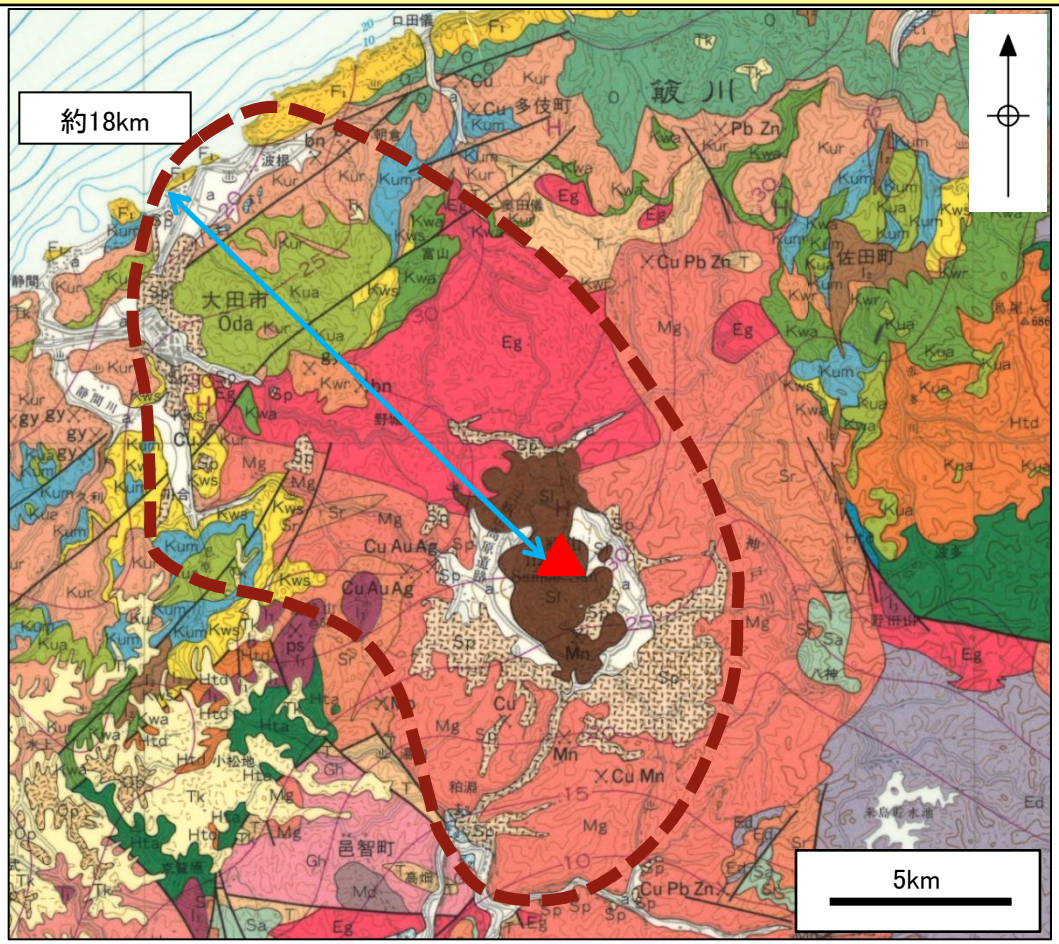
Maruyama et al.（2020）より引用・加筆

# 三瓶山の巨大噴火に関する評価

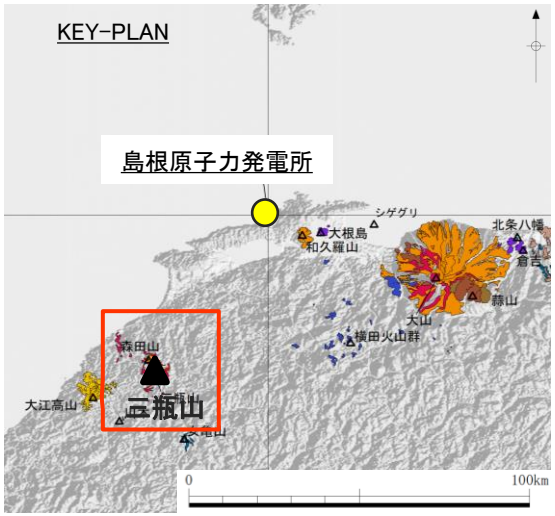


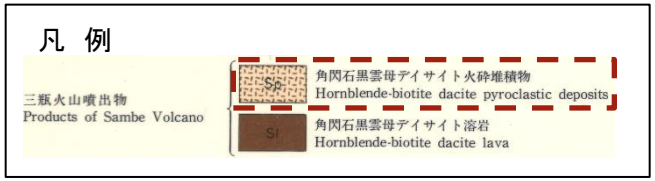
・林・三浦(1987)によると，第2期の大田軽石流を発生させた噴火によって直径約5kmのカルデラが形成されたとされている。
・鹿野ほか(1988)によると，三瓶山の火砕流堆積物の最大到達距離は約18kmとされている。
・第2期の大田軽石流噴出時の噴火規模は6.60km$^3$である。

三瓶山のカルデラ形成期を含む一連の噴火は，火砕流堆積物の分布範囲は限定的であり，その噴火規模もVEI5規模であることから，原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火※には該当しない。




※巨大噴火：地下のマグマが一気に地上に噴出し，大量の火砕流となるような噴火であり，その規模として噴出物の量が数10km$^3$程度を超えるようなもの



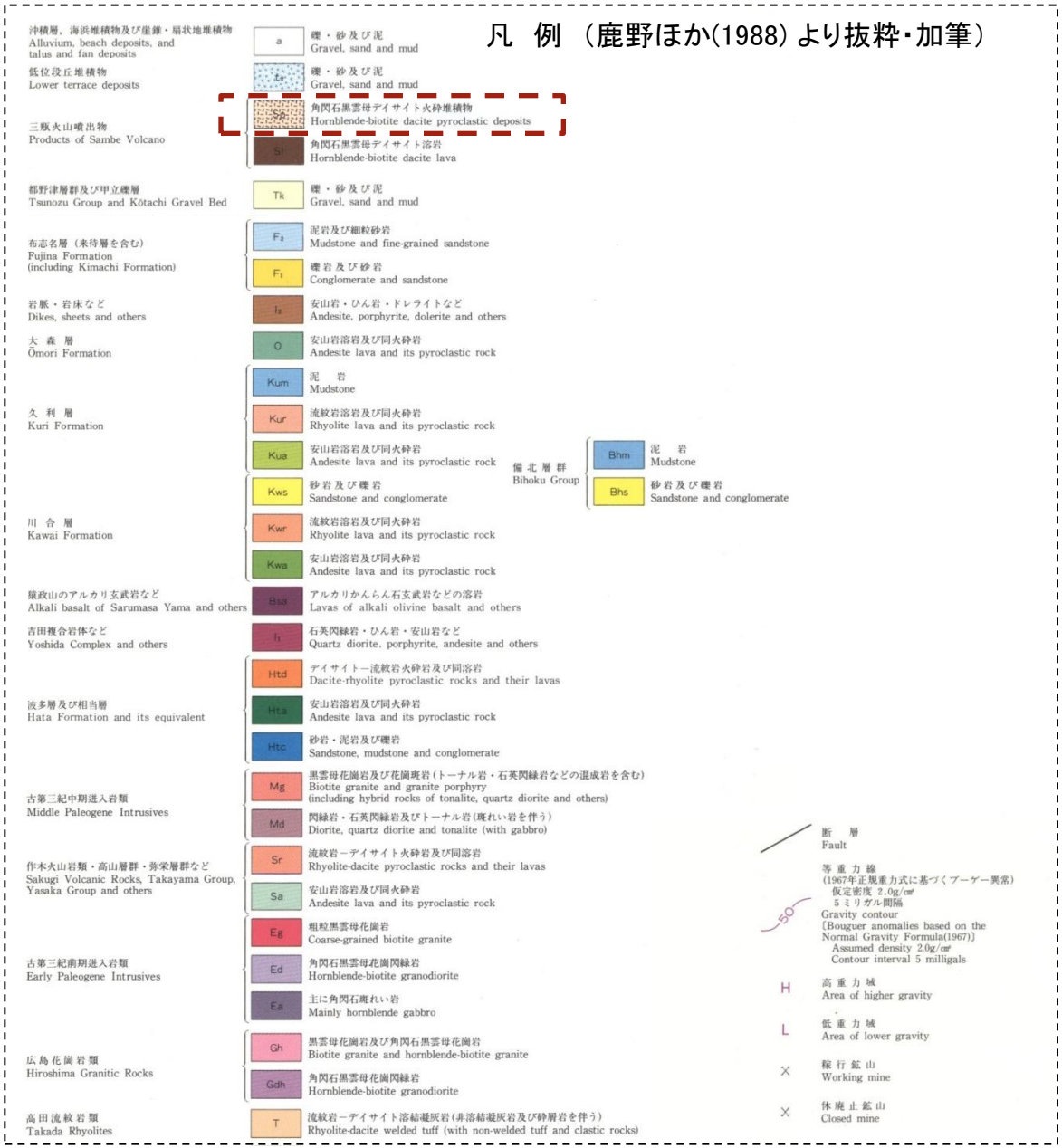




鹿野ほか(1988) より抜粋・加筆

# 三瓶山の巨大噴火に関する評価



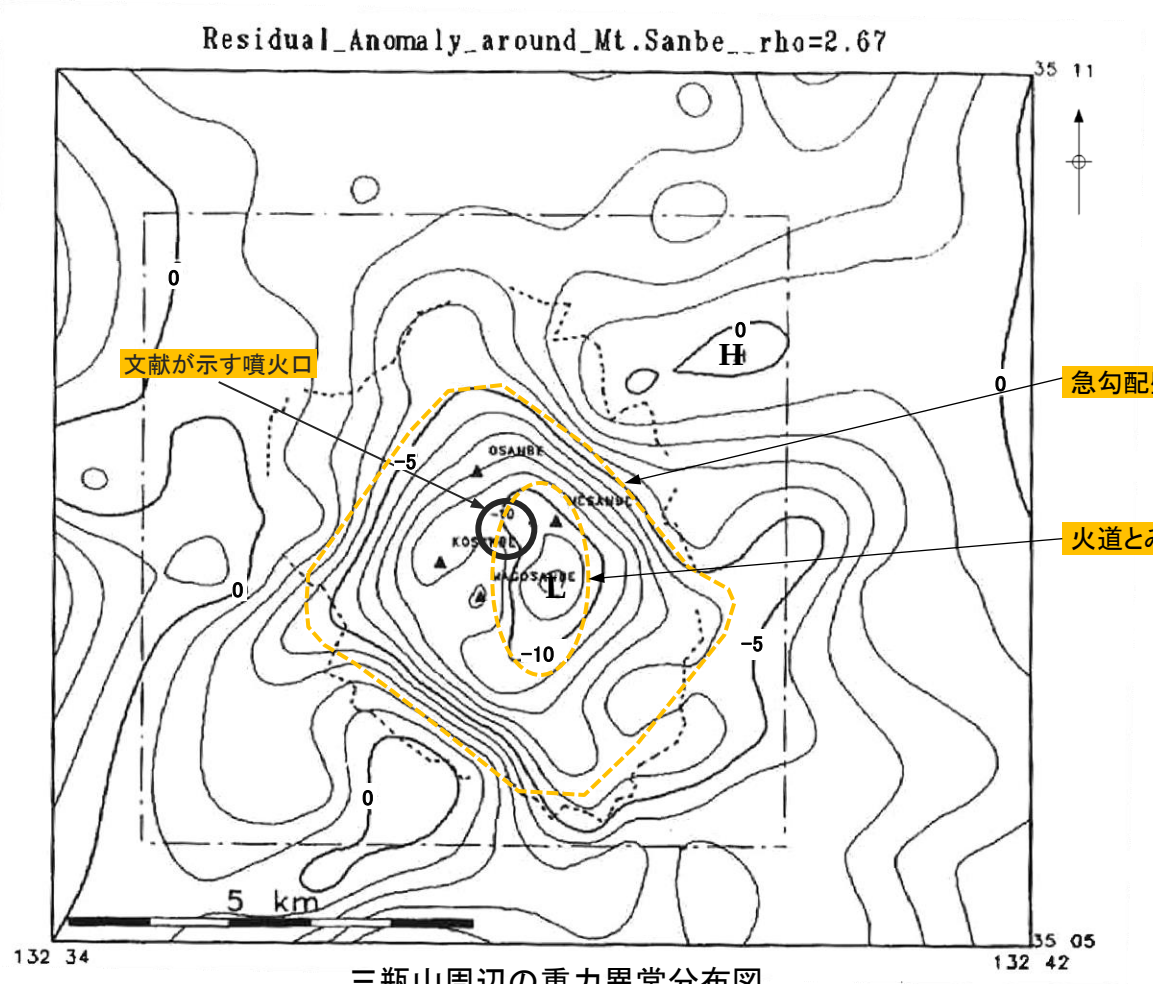
凡　例　（鹿野ほか(1988) より抜粋・加筆）



# 三瓶山に関する地球物理学的調査（重力構造）



小室ほか(1996)[36]によると，三瓶山は 中心部に急勾配壁に囲まれた四角形の凹みと，その北西及び南東側に浅い平坦部が棚状に広がるというカルデラ基盤の起伏が推定され，低重力異常型のカルデラであると結論することができる。また，現在の噴火口の東－南東に，火道とみなせる凹みが認められる。なお，火道に相当するような凹みはこれ以外には観察されないとしている。



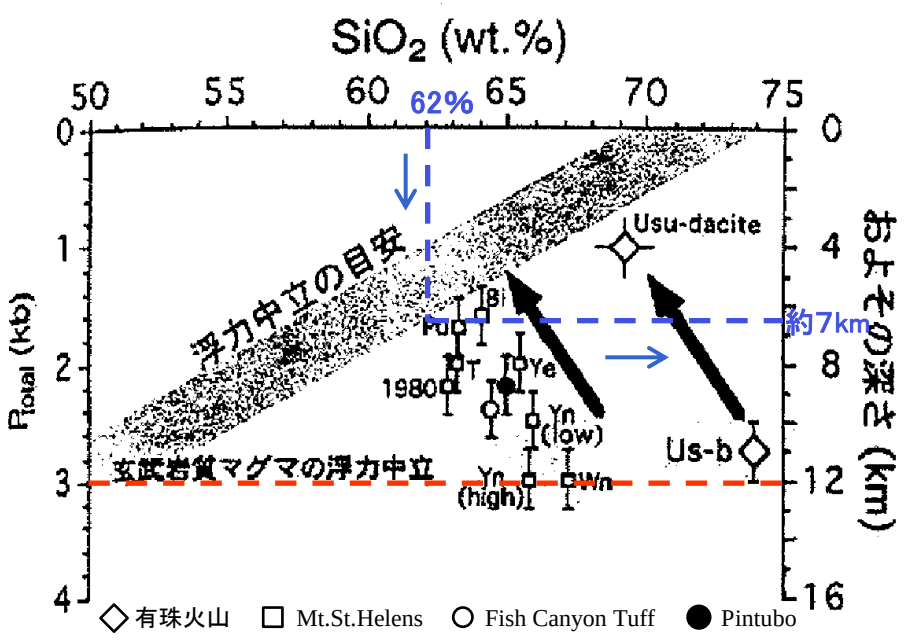

三瓶山周辺の重力異常分布図

小室ほか(1996)より引用・加筆

# 三瓶山に関する地球物理学的調査(マグマ溜まりの評価方法)



東宮(1997)[37]によると，マグマ溜まりは，マグマの密度と地殻の密度の釣り合う深さ(浮力中立点)よりも浅部には形成されていないとし，幾つかの火山の事例から約6～約12kmの深さに形成されているとしている。




マグマの組成($SiO_2$)と深度の関係
東宮(1997)より引用・加筆

マグマの種類と性質

| マグマ | 玄武岩質 | 安山岩質 | デイサイト質 | 流紋岩質 |
|---|---|---|---|---|
| 化学組成 | マフィック ← | | → | フェルシック |
| $SiO_2$ (重量%) | 45～53.5 | 53.5～62 | 62～70 | 70以上 |
| 密度 (kg/m$^3$) | 約2700 | 約2400 | 約2300 | 約2200 |
| 粘性率 (Pa.s) | $10^2$～$10^4$ | $10^4$～$10^7$ | ～$10^9$ | ～$10^{11}$ |
| 噴出温度 (℃) | 1000～1200 | 950～1200 | 800～1100 | 700～900 |
| 噴出物 | 溶岩 | 火砕物，溶岩 | 火砕物，溶岩 | 火砕物，溶岩 |
| 固形噴出物の色 | 黒～灰 | 灰 | 灰～茶 | 褐色～白 |
| 主な噴出形態 | 溶岩流，溶岩噴泉 | 噴煙，噴石，溶岩流 | 噴煙，溶岩流，溶岩ドーム | 噴煙，溶岩流，溶岩ドーム |

下鶴ほか編(2011)[38]より引用

・三瓶山及び大山を構成する地質は安山岩～デイサイトとされており，仮に同質のマグマ溜まりが形成されるとすれば，$SiO_2$の重量%は62%程度であり，マグマ溜まりは浮力中立点の7kmの深さに定置すると推定される。

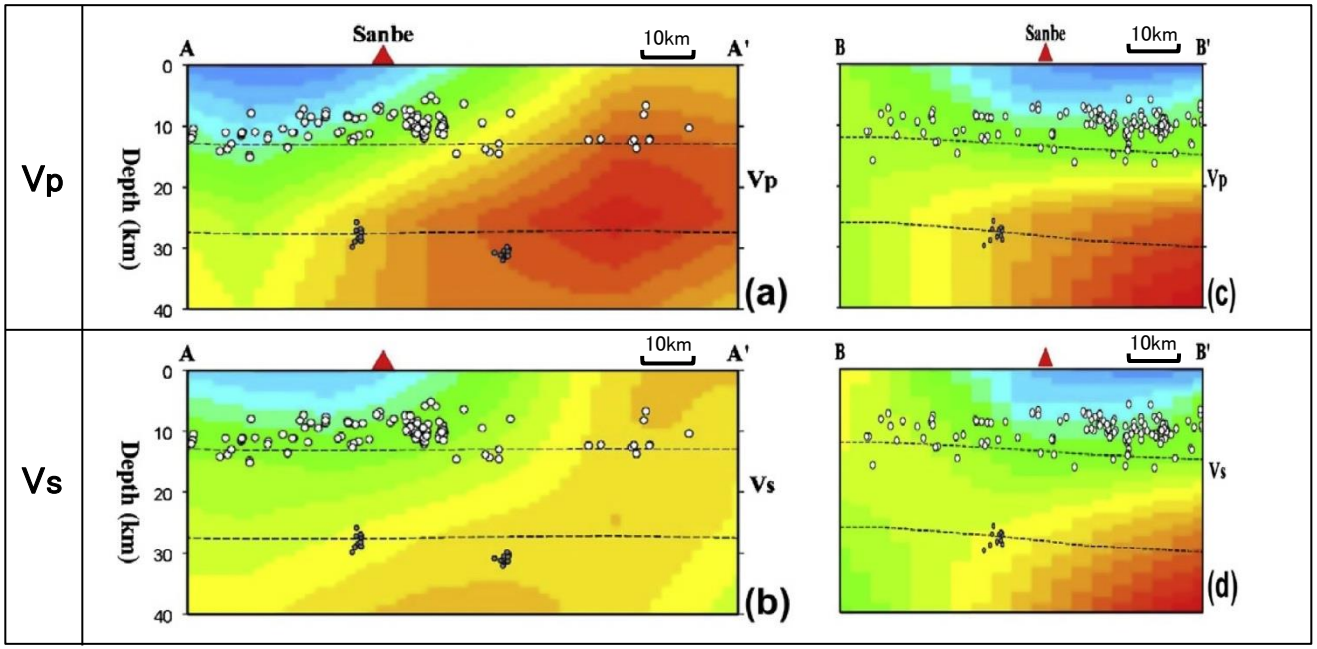
・三瓶山及び大山を構成する安山岩～デイサイト質マグマ溜まりの浮力中立点は7kmと推定される。
・珪長質マグマの浮力中立点の7kmより浅部にマグマ溜まりを示す兆候がなければ，原子力発電所運用期間中に大規模噴火が発生する可能性は十分小さい。

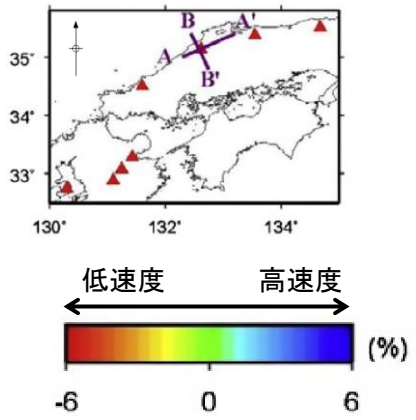
# 三瓶山に関する地球物理学的調査(地震活動，地震波速度構造)



【地震活動，地震波速度構造に関する一般論としての文献】
・森田・大湊(2005)[39]によると，地震の活動度は，一般に火山活動が活発になると火山周辺において高まるとされており，流体の移動が示唆される地震(低周波地震等)が発生するとされている。
・浅森・梅田(2005)[40]によると，地震波トモグラフィ解析から得られる地震波速度構造は，岩石の種類，流体の飽和度，温度，圧力等の変化を反映しており，低速度領域には，流体や高温異常の存在を示唆するとされている。

【三瓶山地下深部の地震活動，地震波速度構造に関する文献】
・Zhao et al.(2011)[41]は，三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と，低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆している。



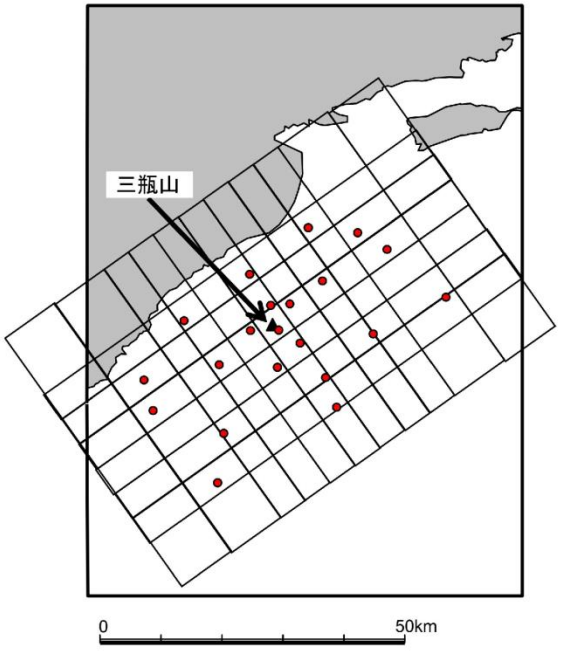

Zhao et al.(2011)より引用・加筆

三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが，仮にマグマ溜まりとしても，これらの低速度層は20km以深に位置しており，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmよりも深い位置にあると推察される。

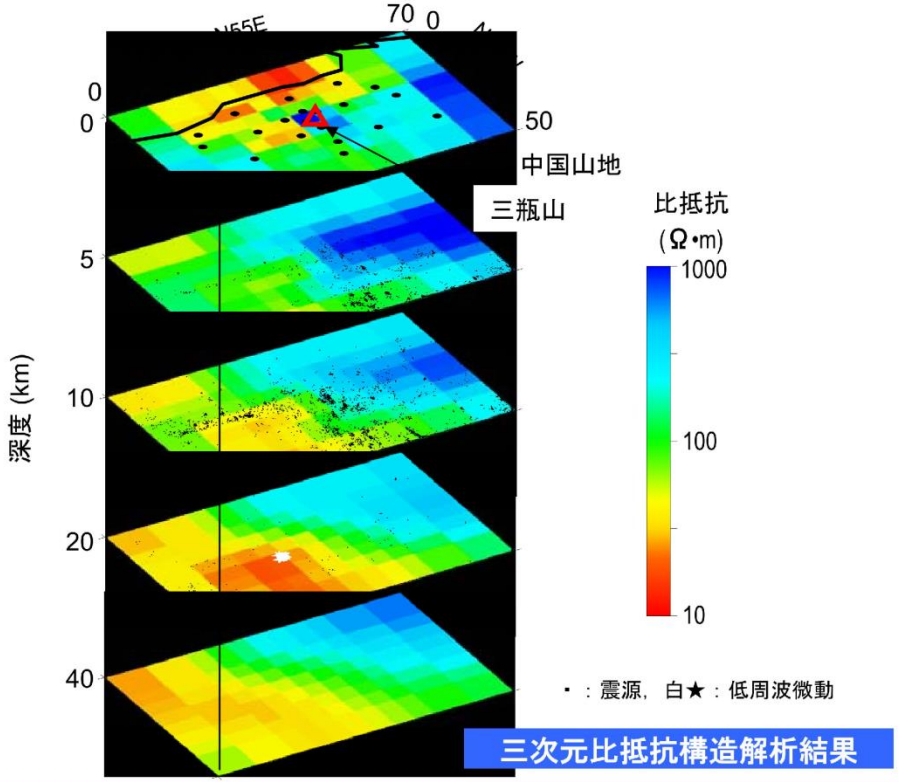
# 三瓶山に関する地球物理学的調査（比抵抗構造）



【三瓶山地下深部に比抵抗構造に関する文献】
・根木ほか（2009）(42)は，三瓶山周辺において，MT法による地下深部の比抵抗構造調査を2008年11月に実施している。
・また，日本原子力研究開発機構（2009）(43)は，根木ほか（2009）に示される三次元MT比抵抗構造解析結果をカラー表示し，三瓶山の南側の地下20km付近に低比抵抗体の存在が認められるとしている。




観測点の配置図




三次元比抵抗構造解析結果

三瓶山周辺を対象とし，21点の観測点で調査を実施した。三次元比抵抗構造解析の結果から，三瓶山の南側の地下20km付近に低比抵抗体の存在が認められた。

日本原子力研究開発機構（2009）より引用

三瓶山の南側の地下深部に広がる低比抵抗体は，Zhao et al.（2011）に示される低速度層の存在と調和的である。

# 三瓶山の火山噴火予知連絡会による評価(中長期的な火山活動評価)



## 中長期的な噴火の可能性に備えた

## 監視・観測体制の充実等の必要性の評価について

### 1. 目的

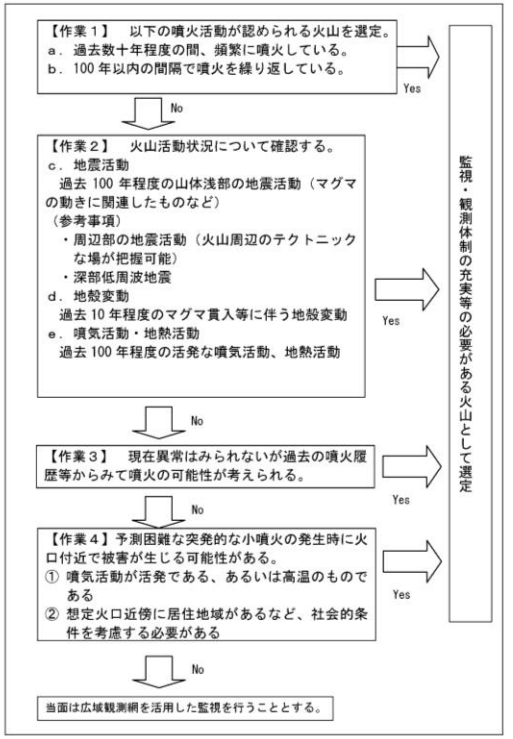
気象庁は全国の活火山について、火山防災を目的として監視を行なっている。それらのうち、活発な火山活動を繰り返しているなど、必要と考えられる火山に対して、近傍に地震計等を設置し連続監視を行ってきた。また、近年は多項目観測の実施や、機動観測により連続監視火山を増やすなど火山監視の強化を進めた。

今後、さらに火山防災対策の充実を図るために、中長期的な噴火の可能性を評価して、監視・観測体制の充実等が必要な火山を選定することとした。中長期的な期間については、概ね100年程度とし、噴火の可能性を検討することとする。噴火の時期や規模を定量的に求めることは現在の火山学の知見では困難であるが、過去の噴火履歴と現在観測されている火山活動の状況から、噴火の可能性を検討する。その上で、噴火による周辺の社会的な影響についても考慮することとする。

また、選定された火山については、具体的な監視・観測体制を検討に資するため、噴火準備過程や、噴火プロセス等に関する知見に基づいた整理を行うこととする。

火山噴火予知連絡会(2009)より引用・加筆

監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定手順(図1)




| 火山番号 | 火山名 | 気象庁観測体制 | 緊急減災着手年度 | アンケート順位 マグマ | アンケート順位 水蒸気 | 整備必要性理由 | 過去1万年間の噴火履歴(VEI)(VEIは産総研1万年噴火イベントデータ集による) マグマ噴火(▲) | 過去1万年間の噴火履歴(VEI)(VEIは産総研1万年噴火イベントデータ集による) 水蒸気噴火(△) | 噴火間隔 噴火種類 | 噴火間隔 平均間隔 | 噴火間隔 標準偏差 | 噴火間隔 データ数 | 最新噴火開始からの経過年数 | VEI2以上マグマ噴火活動履歴による今後100年間程度の長期評価 ○:活動期 ×:休止期 | 山体浅部地震活動 ・過去約100年間を対象 ・火山性地震多発 ・微動発生 | 火山性地殻変動 ・過去約10年間を対象 D:深部ダイク貫入 S:山体浅部膨張 | 噴気活動・熱活動 ・過去約100年間を対象 ・沸点以上の高温噴気 ・熱泥噴出(数m以上) ・噴気高度100m以上 | 【参考事項】 ・山体付近(10km以内)の深部低周波地震 | 【参考事項】 ・山体周辺の地震活動 | 社会的影響 ・活動火口から500m以内の居住人口 ◎:100人以上 ○:10人以上 ・活動火口から1km以内 ◇:観光施設、観光道路あり |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 77 | 三瓶山 | × | × | 59 | 68 | × | 約4500年前<br>約3600年前<br>以降1回 | 不明 | | | | | 約3600年 | × | 不明 | 不明 | なし | 南西約10kmにわずかにあり | 周辺の地震活動活発 | ◇:火口付近にスキー場 |

火山噴火予知連絡会(2009)[44]は,火山防災対策の充実を図るために,中長期的な噴火の可能性を評価して,監視・観測体制の充実等が必要な火山を選定するとしているが,三瓶山については,VEI2以上マグマ噴火活動履歴による今後100年間程度の長期評価が「休止期」であること等から,当該対象火山として選定していない。

なお,今後100年間程度の長期評価が困難な火山は「不明」として整理されている。(阿蘇山,桜島他)
また,監視・観測体制の充実等が必要な火山としては,御嶽山,口永良部島,箱根山等がある。

# 三瓶山の火山噴火予知連絡会による評価（中長期的な火山活動評価）



**御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する緊急提言**

平成 26 年 11 月
火山観測体制等に関する検討会

○　はじめに

平成 26 年 9 月 27 日に発生した御嶽山の水蒸気噴火は、死者 57 名および行方不明者 6 名（平成 26 年 10 月 28 日時点）を数え、平成 19 年に気象庁が噴火警報の発表を開始してから初めて犠牲者を出す噴火であった。また、この噴火は、近代的な火山観測が始まって以降では、1926 年十勝岳噴火につぐ数の人命を失う災害であった。

火山観測体制等に関する検討会では、これまで調査研究の推進及びその成果を踏まえた監視体制のあり方、観測データの流通および共有化体制、各機関の役割分担と観測網整備の優先度を踏まえた火山毎の具体的な観測網のあり方について検討を行ってきた。また、今後の課題として火山監視に係る研究の進展等も踏まえて必要な場合には適切な改善策を講じることを指摘してきたことから、今回の御嶽山で起こった災害を踏まえ、監視及び火山活動に関する情報発表に必要な観測体制について検討し、以下のように緊急提言をとりまとめた。

○　活火山の観測体制の強化に関する緊急提言

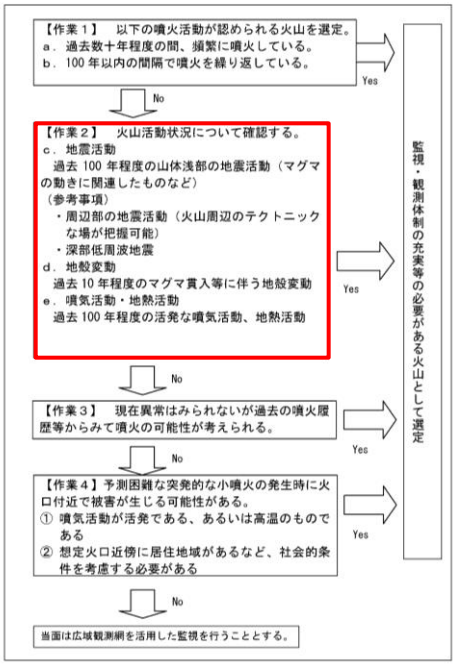
3．常時監視が必要な火山の見直し

常時監視が必要な火山すなわち常時観測火山は、平成 21 年に開催された火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会において、それまでの知見に基づき、①近年、噴火活動を繰り返している火山、②過去 100 年程度以内に火山活動の高まりのある火山、③現在異常は見られないが過去の噴火履歴等からみて噴火の可能性が考えられる火山、④予測困難な突発的な小噴火の発生時に火口付近で被害が生じる可能性がある火山として 47 火山が選定された。

平成 21 年の選定以降、②に該当する顕著な異常現象が見られた以下の火山があり、常時観測火山への追加を検討すべきである。

- 八甲田山　平成 25 年に山頂直下の地震の増加や地殻変動を観測
- 十和田　平成 26 年 1 月に震源の浅い地震の増加を観測
- 弥陀ヶ原　平成 24 年 6 月以降、噴気域の拡大や噴気温度の上昇を観測

監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定手順（図 1）




火山噴火予知連絡会（2014）(45)より引用・加筆

平成26年9月の御嶽山の噴火を受け，火山噴火予知連絡会から出された「御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制強化に関する緊急提言」（気象庁　火山観測体制等に関する検討会，平成26年11月）においても，三瓶山については常時監視が必要な火山の見直し対象に選定されていない。

# 三瓶山の火山噴火予知連絡会による評価（地震観測結果）



第 147 回火山噴火予知連絡会　　気象庁

## 三　瓶　山（2020 年 11 月 20 日現在）

火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。
噴火予報（活火山であることに留意）の予報事項に変更はない。

○ 概況（2019 年 11 月～2020 年 11 月 20 日）

・地震活動（図３）

2018 年４月９日 01 時 32 分に三瓶山の北西約７km、深さ約 12km で M6.1 の地震が発生し、最大深度５強を観測した。この地震の震源付近で地震活動が活発になったが、地震活動は徐々に低下している。

・噴気等の状況

山頂部の室の内火口には鳥地獄と呼ばれる噴気孔があるが、噴気異常等に関する通報はない。

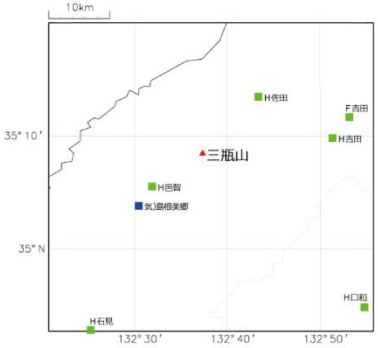



図１　三瓶山　周辺の地震観測点
■H）：防災科研観測点　■気）：気象庁観測点
この図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図 25000 を使用した。

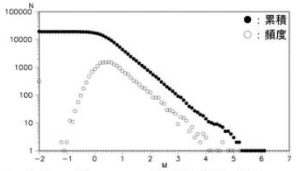



図２　三瓶山　一元化震源によるマグニチュード別度数分布図（図３-①震央分布図の範囲内）

この資料は気象庁のほか、国立研究開発法人防災科学技術研究所のデータも利用して作成。

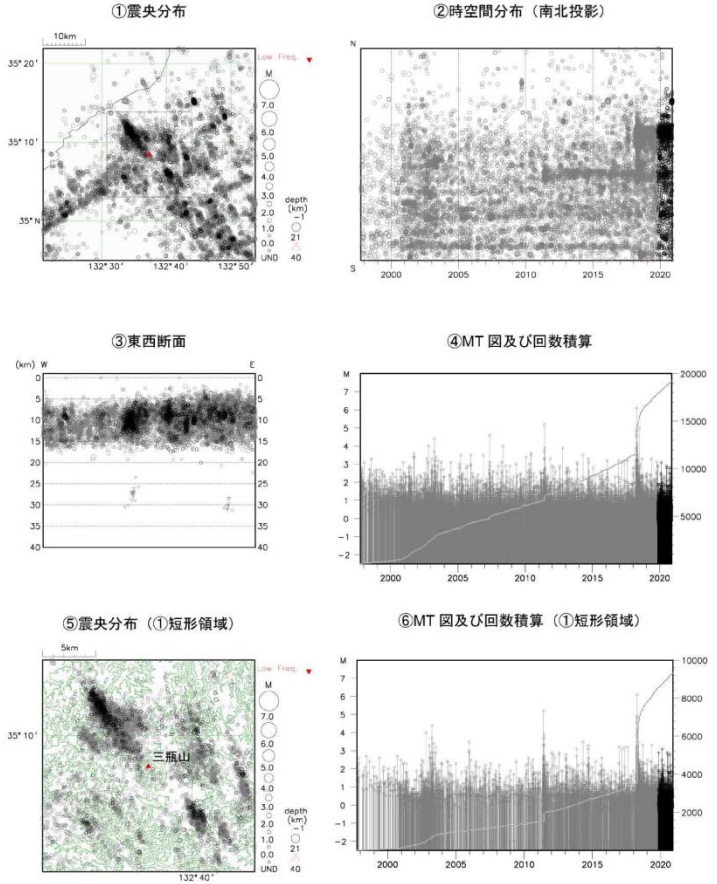



図３　三瓶山　一元化震源による周辺の地震活動（1997 年 10 月１日～2020 年 11 月 20 日）
○：1997 年 10 月１日～2019 年 10 月 31 日、○：2019 年 11 月１日～2020 年 11 月 20 日
▼は低周波地震を示す（赤は 2019 年 11 月以降）。
2002 年 10 月以降、Hi-net 追加により検知力向上。
表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが表示されることがある。
この図では、関係機関の地震波形を一元的に処理し、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で得られた震源を用いている（ただし、2020 年８月以前の地震については火山活動評価のための参考震源）。
2020 年 11 月 20 日現在、2020 年４月 18 日から 10 月 23 日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化（増減）が見られる。
この図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図 50mメッシュ（標高）を使用した。

火山噴火予知連絡会（2020）より引用・加筆

火山噴火予知連絡会（2020）(46)によると，火山活動に特段の変化はなく，静穏に経過しており，噴火の兆候は認められないとされている（令和元年11月～令和2年11月）。

# 三瓶山の気象庁による評価（噴気・地熱の観測結果）



火山活動解説資料（平成 24 年 12 月）

## 三瓶山の火山活動解説資料（平成 24 年 12 月）

気 象 庁 地 震 火 山 部
火山監視・情報センター
大阪管区気象台地震火山課

火山活動に特段の変化はなく、火口周辺に影響を及ぼす噴火の兆候は認められません。
平成 19 年 12 月 1 日に噴火予報（平常）を発表しました。その後、予報警報事項に変更はありません。

### ○ 活動概況

**・噴気など表面現象の状況（図２～６）**

気象庁では 2012 年 12 月 10 日から 14 日に、三瓶山周辺で現地調査（目視観測、地表面温度分布[1]観測）を実施しました。山頂部の室ノ内（なろのうち）火口には鳥地獄と呼ばれる噴気孔がありますが、子三瓶山中腹からの観測では噴気や地熱域は確認できませんでした。その他、山頂火口周辺及び山腹に噴気及び地熱域は認められませんでした。

**・地震や微動の発生状況（図１、図７※）**

気象庁では、三瓶山近傍の地震活動に関する基礎的な資料を得るため、2012 年 12 月 12 日に三瓶自然館サヒメルの協力を得て同施設内に地震計を臨時に設置しました。観測開始以降、三瓶山近傍を震源とする火山性地震は観測されず、地震活動は静穏に経過しました。また、火山性微動も観測されませんでした。

1）赤外熱映像装置は、物体が放射する赤外線を感知して温度を測定する機器で、熱源から離れた場所から測定することができる利点がありますが、測定距離や大気等の影響で実際の熱源の温度よりも低く測定される場合があります。

気象庁（2012）より引用・加筆

火山活動解説資料（平成 24 年 12 月）

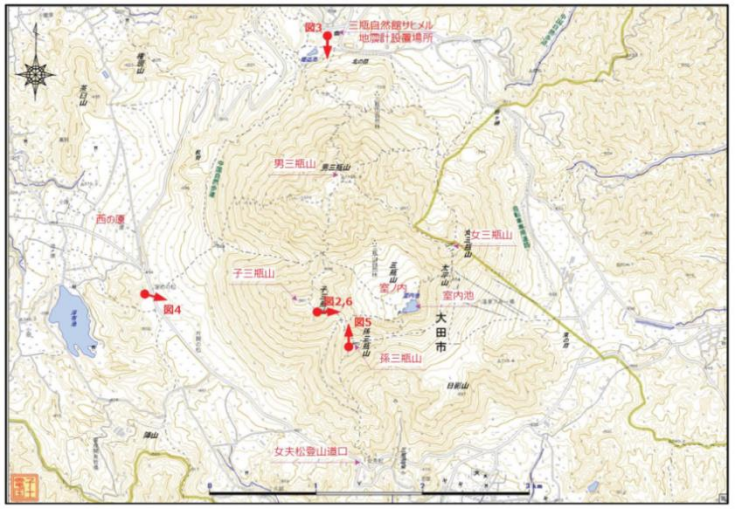



図１　三瓶山　付近地図　赤矢印は各図撮影場所・方向

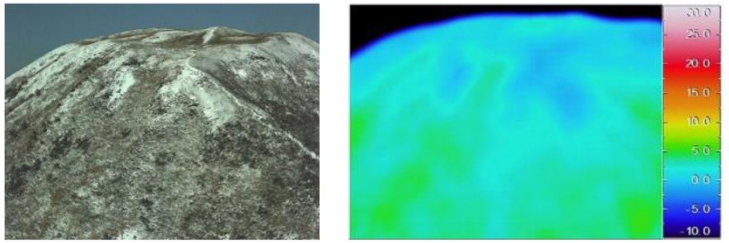



図５　三瓶山　子三瓶山南斜面地表面温度分布（12 月 13 日 11 時 40 分　孫三瓶山より）

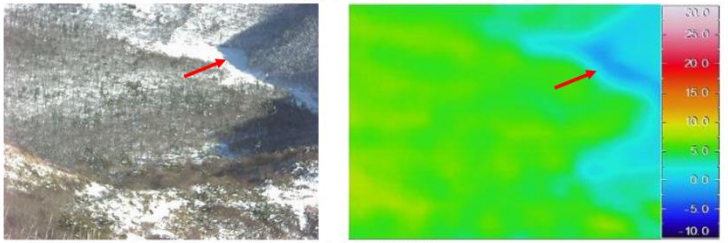



図６　三瓶山　室ノ内地表面温度分布（赤矢印部分は室内池）
（12 月 13 日 13 時 10 分　子三瓶山中腹より）

気象庁（2012）[47]によると，噴気及び地熱域の観測結果から，火口周辺に影響を及ぼす噴火の兆候は認められないとされている（平成24年12月）。

# （2）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

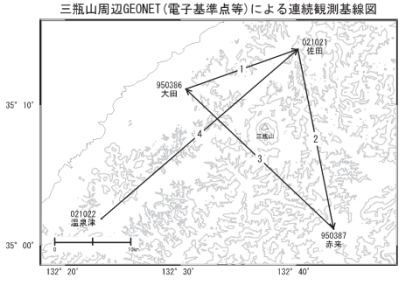
## 三瓶山の火山噴火予知連絡会による評価（GNSS連続観測結果，SAR干渉解析結果）

第１４７回火山噴火予知連絡会　　国土地理院

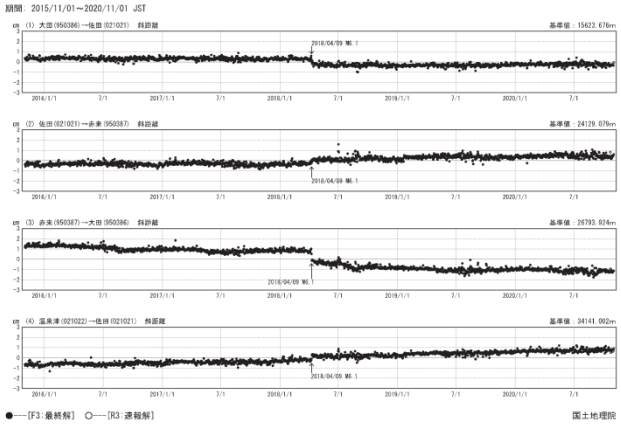
三瓶山

ＧＮＳＳ連続観測結果には特段の変化は見られません。

三瓶山周辺GEONET（電子基準点等）による連続観測基線図




基線変化グラフ



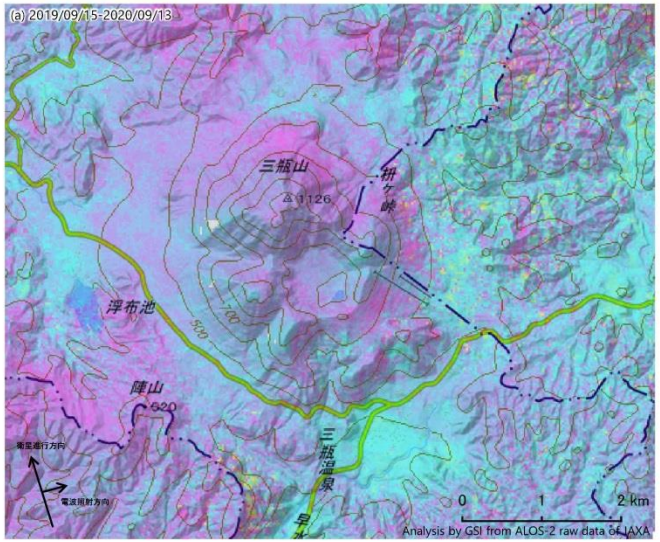

※[R3：速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

三瓶山

第１４７回火山噴火予知連絡会　　国土地理院

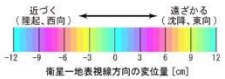
三瓶山のSAR干渉解析結果について

ノイズレベルを超える変動は見られません。




| | (a) |
|---|---|
| 衛星名 | ALOS-2 |
| 観測日時 | 2019/09/15<br>2020/09/13<br>0:05頃<br>(364日間) |
| 衛星進行方向 | 北行 |
| 電波照射方向 | 右(東) |
| 観測モード* | H-H |
| 入射角 | 36.8° |
| 偏波 | HH |
| 垂直基線長 | - 55m |

*　H：高分解能(6m)モード




背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

火山噴火予知連絡会（2020）より引用・加筆　三瓶山

火山噴火予知連絡会（2020）によると，GNSS連続観測結果には特段の変化は見られないとされている（平成27年11月～令和2年10月）。また，SAR干渉解析結果では，ノイズレベルを超える変動は見られないとされている（令和元年9月～令和2年9月）。

火山噴火予知連絡会等の中長期的な火山活動評価及び観測結果によると，火山活動に特段の変化はなく，静穏に経過しており，噴火の兆候は認められないとされている。

# 三瓶山の噴火規模の想定（まとめ）



【降下火砕物の分布に関する調査結果】
・文献調査の結果，三瓶浮布テフラ（SUk），三瓶池田テフラ（SI），三瓶大田（SOd）及び三瓶太平山噴火時の降下火砕物は，敷地まで到達していないと考えられる。
・敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）における地質調査の結果，敷地は三瓶木次テフラ（SK）の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。また，敷地周辺陸域（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）では三瓶雲南テフラの火山灰層は認められなかったが，敷地前面海域における柱状採泥調査の結果，三瓶雲南テフラ（SUn）が確認され，その層厚は最大4cmである。
・文献調査の結果，三瓶大田（SOd）は火砕流堆積物（pfl）の分布域として記載されており，降下火山灰層の分布面積・層厚は著しく小さいとされている。
【噴火履歴による検討結果】
・最新活動期は溶岩ドーム形成期であり，爆発性が低下している。
・階段ダイヤグラムによる検討の結果，約110万年前の森田山の噴火以降，噴火規模の最も大きな木次降下軽石の噴出までの期間（約100万年）は，木次降下軽石の噴出からの経過時間（約11万年）に比べ十分に長い。
・一方，数$km^3$以下の規模の噴火については，木次降下軽石の噴出以降においても繰り返し発生している。
・三瓶山のカルデラ形成期を含む一連の噴火は，火砕流堆積物の分布範囲は限定的であり，その噴火規模もVEI5規模であることから，原子力発電所の火山影響評価ガイド（一部改正）における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火には該当しない。
【地球物理学的調査結果】
・三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが，仮にマグマ溜まりとしても，これらの低速度層は20km以深に位置しており，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmよりも深い位置にあると推察される。
・ また，比抵抗構造調査の結果，三瓶山の南側の地下20km付近に低速度層の存在と調和的な低比抵抗体の存在が認められる。
【火山噴火予知連絡会等の中長期的な火山活動の評価結果】
・三瓶山はVEI2以上マグマ噴火活動履歴による今後100年間程度の長期評価が休止期であること等から，気象庁による監視・観測体制の充実等の必要がある火山として，選定されていない。
・火山噴火予知連絡会等の中長期的な火山活動評価及び観測結果によると，火山活動に特段の変化はなく，静穏に経過しており，噴火の兆候は認められないとされている。

・噴火履歴による検討結果，地球物理学的調査結果等より，原子力発電所の運用期間中には，木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は十分小さいと評価した。
・三瓶大田は，火砕物密度流主体の噴火であることから，前述のとおり設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動として評価した。なお，三瓶大田と同時期の降下火砕物とされる三瓶雲南テフラは，その分布範囲及び降灰層厚を踏まえると三瓶浮布テフラの噴出量を上回るものではないと評価した。
・原子力発電所の運用期間中の規模として，木次降下軽石の噴出時を除いて降下火砕物の噴出量が最大である浮布降下火山灰（噴出量：4.15$km^3$）を考慮する。

余白

# 火山灰シミュレーション（Tephra2の概要）



・萬年(2013)[48]によると，「Tephra2」は，移流拡散モデルを用いた降下火山灰シミュレーションコードであり，火山灰の風による移動（移流）と空中に広がる現象（拡散）を計算するモデルであるとされている。
・「Tephra2」の移動拡散モデルについて，風向きと速度は各高度で一定と仮定され，拡散は水平方向のみが考慮されている。
・「Tephra2」は，風について単純なモデルしか仮定できないが，火山周辺100kmのオーダーで風向きが大きく変わるということは考えにくいため，100kmのオーダー以下で考える場合，一定の実用性があるとされている。

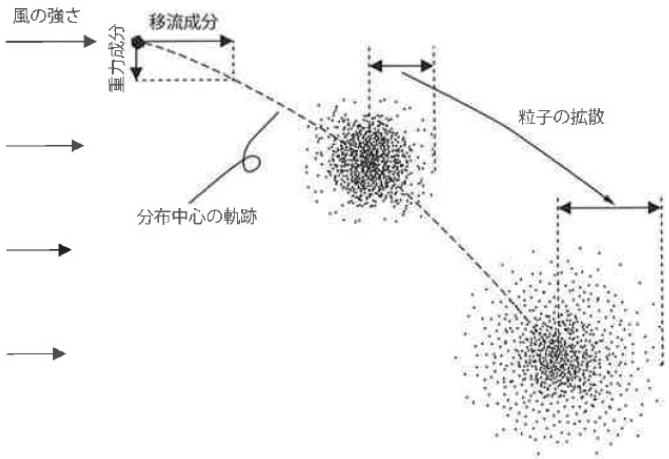



図 1　移流拡散モデルの概念図
粒子の分布中心の軌跡は，重力による落下と風による移流によって決まる．粒子の一団は時間 0 の時に点で表されるが，時間の経過とともに拡がっていく．

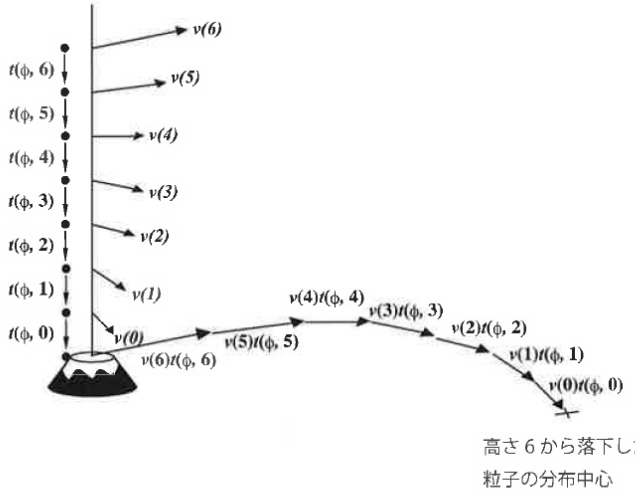



図 3　移 流 の 概 念 図
火口直上の風が，高さ 0 から 6 までそれぞれベクトル $v\,(0)\sim v\,(6)$ で表されるとする．各高さ区間 n を落下する間に粒子が流されるベクトルは $v\,(n)\;t\,(\phi, n)$ で表されるので，高さ 6 から放出される粒子はこれら全ての積算が分布の中心のベクトルとなる．

萬年（2013）より引用

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（検討方針）



原子力発電所の運用期間中の規模として，木次降下軽石の噴出時を除いて降下火砕物の噴出量が最大である浮布降下火山灰（以下「三瓶浮布テフラ」という。）を考慮し，火山灰シミュレーションを実施する。

・敷地は三瓶山の風下側に位置し，風向によっては降灰が想定されることから，敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを用いたシミュレーションを基本ケースとし，パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討する。
・三瓶大田（噴出規模6.60km$^3$）については，火砕物密度流主体であるが降下火砕物を含むことから，火山の活動様式の不確かさとして，その噴出規模を考慮する。

**基本ケース**
・三瓶浮布テフラの噴出規模（4.15km$^3$）
・敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを選定

**パラメータの不確かさ**
- 不確かさ①：風向
- 不確かさ②：風速
- 不確かさ③：粒径
- 不確かさ④：密度
- 不確かさ⑤：噴煙柱高度

**火山の活動様式の不確かさ**
噴出規模
（更に，火砕物密度流主体である三瓶大田噴火時の噴出規模6.60km$^3$を考慮※）
※Mastin et al.（2009）[49]に示される噴煙柱高度の回帰式を適用し，噴煙柱高度を29kmとする。

・不確かさのパラメータ設定の考え方
①敷地方向への仮想風を考慮したケース
②基本ケースの風速を1σ 増減させたケース
③Tephra2による推奨値の粒径範囲（珪長質：−10～10phi）に対し，推奨限界値（−6～6phi）を設定したケース
④粒径に基づき設定される粒子密度（1,000～2,600kg/m$^3$）に対し，密度均一（1,000kg/m$^3$，2,600kg/m$^3$）を設定したケース
⑤基本ケースの噴煙柱高度27kmに対し，20km，25km，30kmを設定したケース

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（基本ケースのパラメータ）



## 火山灰シミュレーションの概要

・シミュレーションのプログラム：Tephra2（バグ修正後プログラム※1）
・想定する噴火規模：三瓶浮布テフラ（総噴出量：4.15km$^3$※2）
・各パラメータ（地形，噴煙柱，粒子，大気）：下表のとおり

※1 詳細は，第860回審査会合　資料2　（参考）「火山灰シミュレーションTephra2のバグ修正に係る影響検討について」に示す。
※2 保守的に溶岩を含む総噴出量を設定

※4 Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式　$H(km) = 25.9 + 6.64\log_{10}(V(km^3 DRE))$

：見かけ体積は，第四紀火山カタログ編集委員会編（1999）による。
：計算により算出

## 各パラメーター覧表

| 対象とする火山 | | | 三瓶山 | 引用した文献・資料など |
|---|---|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | | | SUk（溶岩ドーム含む） | |
| 地形パラメータ | 地形モデル解析 | m | 1,000 | 国土地理院基盤地図情報 数値標高モデル（10m） 座標：UTM座標系 |
| | 火口位置X | m | 283,297 | |
| | 火口位置Y | m | 3,891,189 | |
| | 火口位置Z | m | 1,126 | |
| 噴煙柱パラメータ | 噴煙柱上端の標高 | m | 27,000 | 右表参照 |
| | 噴出物の総重量 | kg | 4.2E+12 | 右表参照 |
| | 最大粒径 | phi | $-10(2^{10}$mm=1024mm) | TEPHRA2による推奨値※3 |
| | 最小粒径 | phi | $10(2^{-10}$mm=$9.77\times10^{-4}$mm) | |
| | 中央粒径 | phi | $4.5(2^{-4.5}$mm=0.0442mm) | |
| | 標準偏差 | phi | $3(2^{-3}$mm=0.125mm) | |
| 粒子パラメータ | 渦拡散係数 | $m^2/s$ | 0.04 | T.Suzuki(1983)[50]より |
| | 拡散係数 | $m^2/s$ | 500 | 萬年(2013)　より |
| | Fall Time Threshold | s | 3,600 | C.Bonadonna et al.(2005)[51]より |
| | 岩片の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 2,600 | TEPHRA2による推奨値※3 |
| | 軽石の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 1,000 | |
| 大気パラメータ | 風速 | m/s | 高度ごとに月平均風速（9時，21時）の平均値 | 気象庁公開データ(1988.1～2013.6) ・松江(2010.3～)&米子(1988.1～2010.2) ・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度 |
| | 風向 | 度 | 高度ごとに月平均風向（9時，21時）の最頻値 | |
| | 季節条件 | | 1月～12月 | |

※3　Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

| 対象とする火山 | 三瓶山 | |
|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | SUk | 備考 |
| 噴煙柱高度 H（km）※4 | 27 | |
| 見かけ体積 V1（$km^3$） | 4.15 | |
| 見かけ体積 V2（$km^3$DRE） | 1.60 | |
| 噴出物総重量　（kg） | 4.2E+12 | |

| 換算値 | | |
|---|---|---|
| 岩片の見かけ密度 | 2,600 | $kg/m^3$ |
| 軽石の見かけ密度 | 1,000 | $kg/m^3$ |

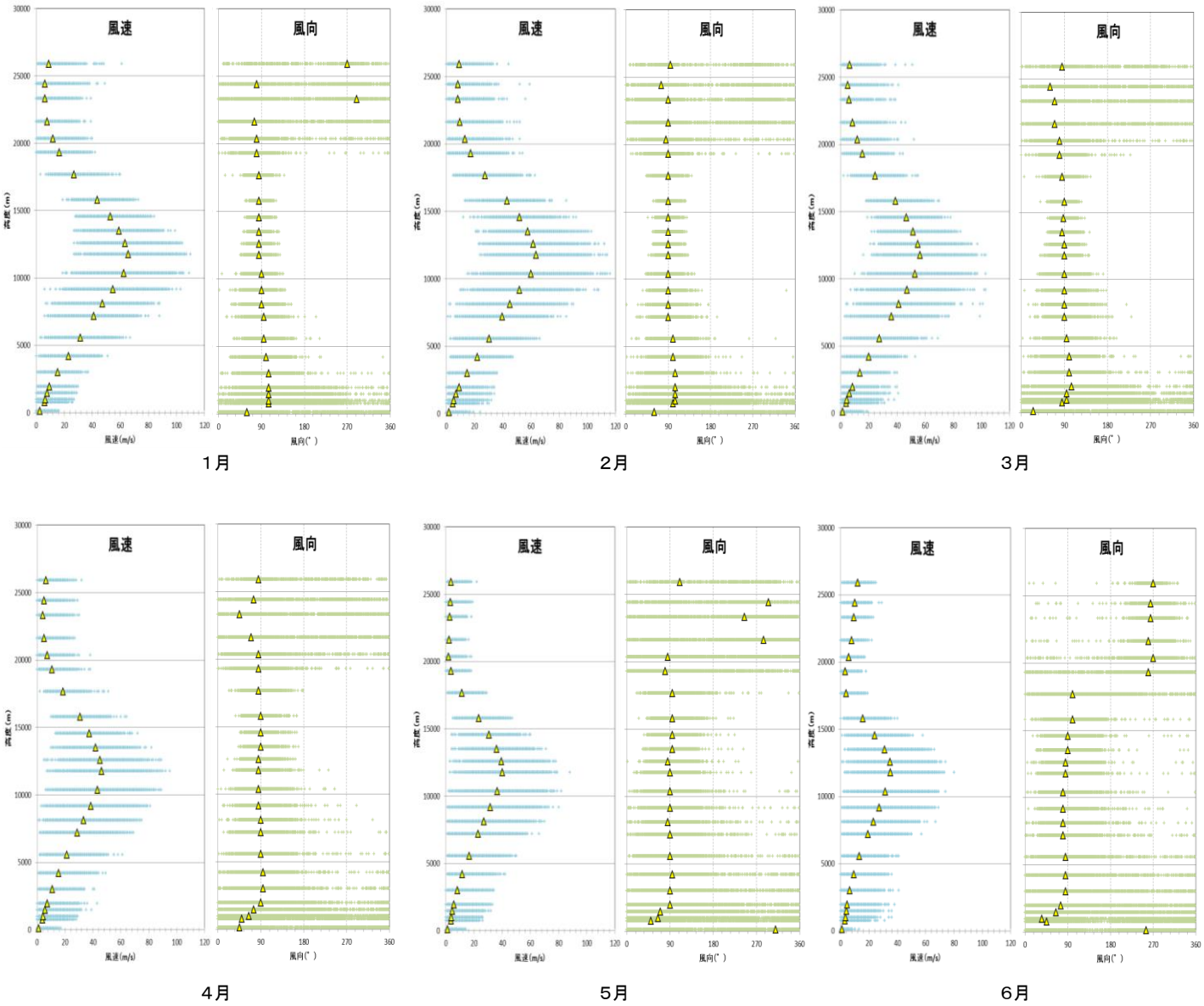
# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）



大気パラメータ

三瓶山と比較的緯度が近い，気象庁の鳥取地方気象台（1988年1月～2010年2月）及び松江地方気象台（2010年3月～2013年6月）のデータを用いた。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では，年間を通じて西風が卓越し，冬は風向のばらつきが小さく，夏は風向のばらつきが著しい。また，冬に風速が大きく，夏に風速が小さい。

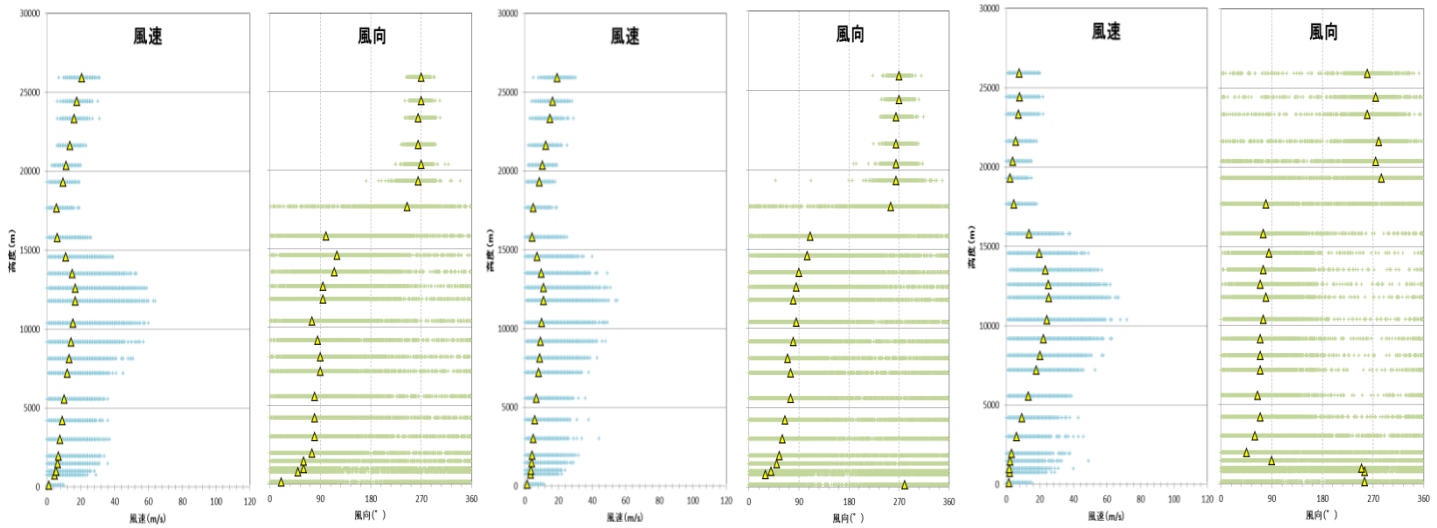



凡例
＋：風速データ
＋：風向データ
△：月平均風速の平均値
　月平均風向の最頻値

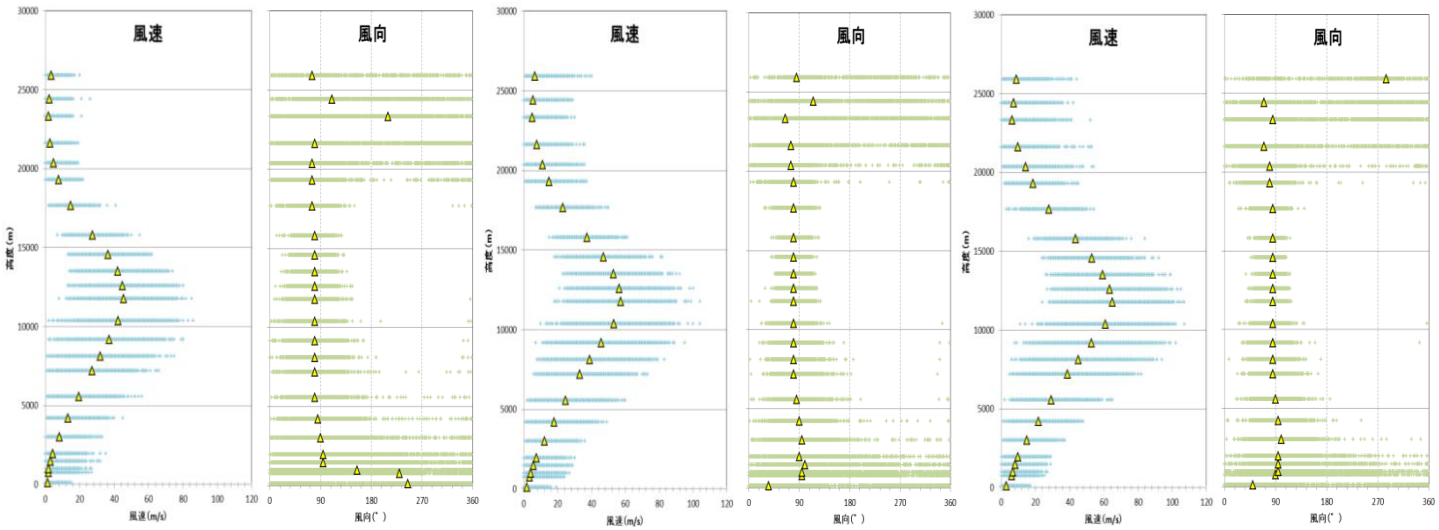
注）標準高度による大気パラメータとして表示

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）






7月　8月　9月




10月　11月　12月

凡例
＋：風速データ
＋：風向データ
△：月平均風速の平均値
　月平均風向の最頻値

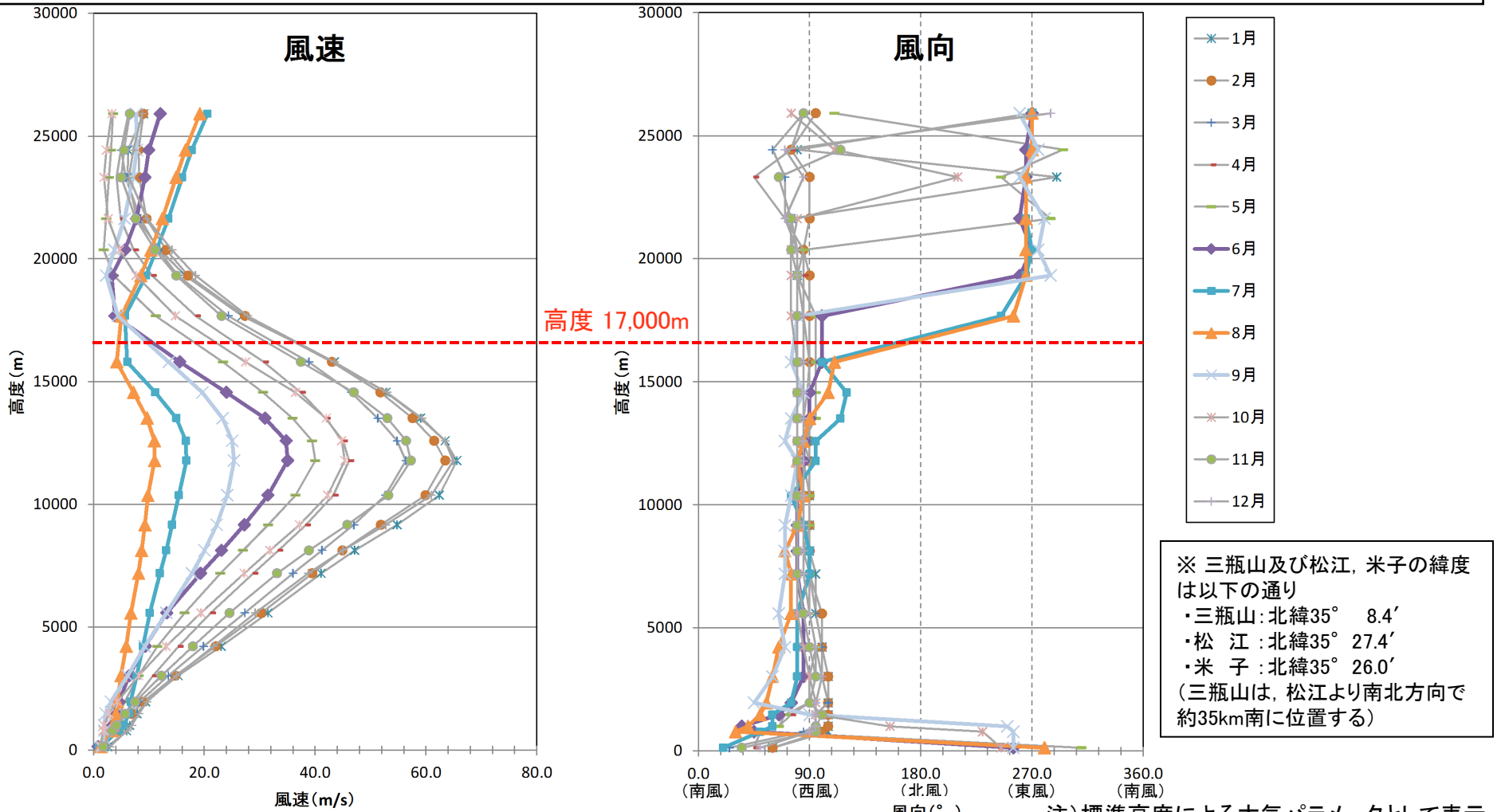
注）標準高度による大気パラメータとして表示

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）



大気パラメータは，三瓶山と比較的緯度が近い※，気象庁の鳥取地方気象台（1988年1月～2010年2月）及び松江地方気象台（2010年3月～2013年6月）のデータを用いた。風速は高度毎の9時，21時の月平均風速の平均値，また風向は高度毎の9時，21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお，風向・風速データの最高高度（約26,000m）を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから（次頁以降参照），最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である（変化しない）ものとして取り扱った。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では，年間を通じて西風が卓越する。




※ 三瓶山及び松江，米子の緯度は以下の通り
・三瓶山：北緯35° 8.4′
・松 江：北緯35° 27.4′
・米 子：北緯35° 26.0′
（三瓶山は，松江より南北方向で約35km南に位置する）

注）標準高度による大気パラメータとして表示

余白

# 大気パラメータの考え方



・ 気象庁は，指定気圧面（観測を実施する25の気圧面，1000hPaから5hPaまで）の風速，風向等を取得している。
・ 指定気圧面の換算高度については，主に以下の2種類がある。

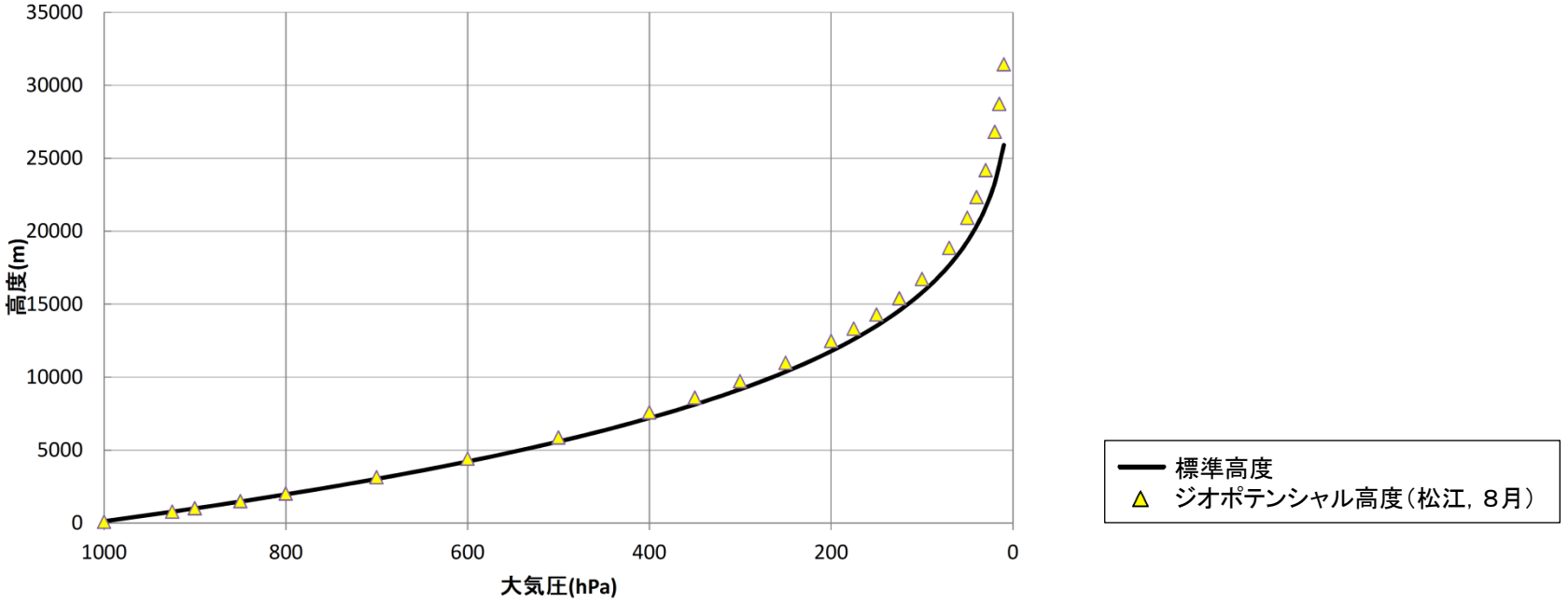
方法① 実際の大気の状態に係わらず，標準的な大気モデルを用いて求めた高度（以下「標準高度」という。）
→ 標準高度は，ICAO（国際民間航空機関）の標準大気（大気圧と高度の関係）を参考に，対象火山周辺の大気条件（観測所における地上の大気圧，気温）を考慮して作成している。

方法② 指定気圧面ごとの気圧，気温等を用いて計算で求めた高度（以下「ジオポテンシャル高度」という。）
→ ジオポテンシャル高度は，同一気圧面における高度が大気の状態に応じて変動するため，気象庁よりデータ提供されている対象火山周辺のジオポテンシャル高度に基づき統計処理を行い，データ取得期間の指定気圧面ごとの平均値を作成している。

大気パラメータの考え方：

① 基本ケースのうち敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータにより，標準高度による場合とジオポテンシャル高度による場合とを比較した結果，敷地における降灰層厚は同程度となることから（補足説明「9．火山灰シミュレーションにおける大気パラメータ及び噴煙柱高度の考え方について」参照），標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーションを実施する。

② 敷地における降灰層厚が最大となるケースについては，ジオポテンシャル高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーションも実施し，標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。




大気圧と高度の関係

# 噴煙柱高度の考え方（Mastin et al.（2009）による）



・Mastin et al.（2009）は，西暦1,900年以降の世界の火山の噴火（VEI2～6）について，既存の公開資料に記載されている噴煙柱高度，噴出量，継続時間等を整理し，これらのデータセットを用いて噴煙柱高度と噴出量の回帰式を求めている。
・火山灰シミュレーションの対象火山である三瓶山，大山及び鬱陵島の考慮する噴出量は2.19～12.22km$^3$と幅広となることから，この回帰式を用いて噴出規模に応じた噴煙柱高度を設定する。なお，設定された噴煙柱高度は25～30kmであり，町田・新井（2011）に示されるVEI5以上の噴煙柱高度（＞25km）と整合する。
・三瓶浮布テフラ（噴出量：4.15km$^3$）の場合，回帰式により設定される噴煙柱高度は27kmとなる。この三瓶浮布テフラに関する火山灰シミュレーション（基本ケース）について，回帰式により設定される噴煙柱高度27kmを用いた場合と町田・新井（2011）に示されるVEI5の噴煙柱高度の最小値25kmを用いた場合の敷地における降灰層厚を比較した結果，いずれの月も両者は同程度である（補足説明「9．火山灰シミュレーションにおける大気パラメータ及び噴煙柱高度の考え方について」参照）。

## 世界の火山の噴火事例（データセット）

**Table 1**
Eruption source parameters for well-studied eruptions. Variables include plume height *H*, erupted volume *V*, mass eruption rate *M*, and duration *D*. The mass eruption rate is calculated by multiplying the erupted volume by density to arrive at an erupted mass, and then dividing the erupted mass by the duration. Plume heights are annotated with a letter, which indicates the method by which plume height was estimated: "v"=visual observation from the ground or an airplane; "r"=radar; "s"=satellite images; "i" = isopleth data. For silicic eruptions, column 3 indicates the magma type; r=rhyolite, d=dacite, a=andesite. Letters in parentheses indicate subordinate magma types. Observations that form the basis for these values are described in Mastin et al. (in preparation)

| Volcano | Date of onset | Magma type | VEI | *H* (km) | *V* (km$^3$) DRE | *M* (kg/s) | *D* (h) | Reference |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Silicic and andesitic eruptions* | | | | | | | | |
| St. Helens | 3/8/2005 | d | 2 | 9v | 1e-04 | 4e05 | 0.5 | 1,2 |
| St. Helens | 7/22/1980 | d | 2 | 10.3r | 0.001 | 1.4e06 | 0.45 | 3 |
| St. Helens | 5/25/1980 | d | 3 | 10.2r | 0.016 | 2e07 | <0.5 | 3 |
| St. Helens | 6/12/1980 | d | 3 | 9.6r | 0.017 | 2e07 | 0.5 | 3 |
| Pinatubo, Philippines | 6/12/1991 | d | 3 | 17.5r | 0.0056 | 6e06 | 0.63 | 4,5,40 |
| Ruapehu, NZ | 6/17/1996 | a | 3 | 5.7s | 0.002 | 2e05 | 6.5 | 12,13 |
| Redoubt, USA | 12/15/1989 | a | 3 | 9v | 0.008 | 4–7e06 | 1.03 | 14, 15 |
| Nevado del Ruiz, Colombia | 11/13/1985 | a,d | 3 | 26i | 0.014 | 3e07 | 0.3 | 16 |
| Spurr, USA | 6/27/1992 | a | 3 | 11.3r | 0.012 | 2e06 | 4.4 | 17,18,19 |
| Spurr, USA | 8/18/1992 | a | 3 | 10.5r | 0.014 | 3e06 | 3.5 | 17,18,19 |
| Spurr, USA | 9/17/1992 | a | 3 | 10.7r | 0.015 | 3e06 | 3.6 | 17,18,19 |
| Hekla, 1970 | 5/5/1970 | a | 3 | 12–16v | 0.017 | 6e06 | 2 | 20 |
| Hekla, 1980 | 8/17/1980 | a | 3 | 15v | 0.019 | 2e06 | 5 | 21 |
| Reventador, Ecuador | 11/3/2002 | a | 4 | 17v | 0.12 | 1e07 | 22 | 22 |
| Hekla, 1947 | 3/29/1947 | | 4 | | | | | |
| brownish-gray ash | | a | | 28v | 0.034 | 4.6e07 | 0.5 | |
| brownish-black ash | | a | | 8–25v | 0.013 | 1.6e07 | 0.5 | 23 |
| Soufrière, St. Vincent | 5/7/1902 | a,d | 4 | 14v | 0.14 | 3–4e07 | 2.5–3.5 | 24,25 |
| El Chichón A, Mexico | 3/29/1982 | a | 5 | 20i | 0.30 | 3.5e07 | 5 | 26 |
| El Chichón B, Mexico | 4/4/1982 0135 GMT | a | 5 | 24i | 0.39 | 6.0e07 | 4 | 26 |
| El Chichón C, Mexico | 4/4/1982 1122 GMT | a | 5 | 22i | 0.40 | 4.0e07 | 7 | 26 |
| Hudson, Chile | 8/12/1991 | a | 5 | 12–18v | 3.0 | 7e07 | 31 | 27,28 |
| St. Helens | 5/18/1980 | d | 5 | 13.5r | 0.2 | 2e07 | 9 | 3,6 |
| Quizapu, Chile | 4/10/1932 | d | 6 | 27–30i | 4.0 | 1.5e08 | 18 | 7 |
| Novarupta | 6/6/1912 | | 6 | | | | | |
| Episode I | | r,d,(a) | | 23.5i | 2.94 | 1.2e08 | 16 | |
| Episode II | | d | | 22.5i | 1.96 | 5.2e07 | 26 | |
| Episode III | | d,(a) | | 19i | 1.63 | 1.1e08 | 10 | 8 |
| Pinatubo, Philippines | 6/15/1991 | d | 6 | 35–40s | 0.8–1.6 | 2–4e08 | 3 | 9,10,11,40 |
| Santa Maria, Guatemala | 10/24/1902 | a,(d) | 6 | 34i | 3.3 | 5–7e07 | 24–36 | 29,30,31 |
| *Basaltic eruptions* | | | | | | | | |
| Etna, 2001 | 7/19/2001 | | 2 | 0.5–2.5v | 9e–04 | 6e03 | 115 | 32 |
| Cerro Negro, 1995 | 11/19/1995 | | 2 | 2–2.5v | 1.3e–03 | 9.4e03 | ~100 | 33 |
| Cerro Negro, 1992 | 4/9/1992 | | 3 | 2.8–6.8v | 0.0094 | 3e05 | ~21 | 33 |
| Izu–Oshima | 11/21/1986 | a,(a) | 3 | 10s,r,v | 0.0045 | 8e05 | 3 | 41 |
| Fuego, 1971 | 9/14/1971 | | 3 | 10v | 0.03 | 1.7e06 | 12 | 34,35 |
| Miyakejima, Japan | 8/18/2000 | | 3 | 15.5r | 0.0042 | 1.2e06 | 3.4 | 36,37,38 |
| Fuego, 1974 | 10/14/1974 | | 4 | 10v | 0.02 | 3e06 | 5 | 39 |

Information sources:
[1]Mastin (2007); [2]Scott et al. (in press); [3]Sarna-Wojcicki et al. (1981); [4]Paladio-Melosantos et al., 1996; [5]Hobliitt et al. (1996); [6]Durant et al. (this volume); [7]Hildreth and Drake (1992); [8]Fierstein and Hildreth (1992); [9]Koyaguchi (1996); [10]Koyaguchi and Ohno (2001a); [11]Holasek et al. (1996); [12]Prata and Grant (2001); [13]Bonadonna and Houghton (2005); [14]Miller and Chouet (1994); [15]Scott and McGimsey (1994); [16]Naranjo et al. (1986); [17]Neal et al. (1995); [18]Eichelberger et al. (1995); [19](McGimsey et al., 2001) [20]Thorarinsson and Sigvaldason (1971); [21]Gronvold et al. (1983); [22]Smithsonian Institution (2002); [23]Thorarinsson (1949); [24]Anderson and Flett (1903); [25]Carey and Sigurdsson (1978); [26]Carey and Sigurdsson (1986); [27]Scasso et al. (1994); [28]Naranjo et al. (1993); [29]Rose (1972); [30]Carey and Sparks (1986); [31]Anderson (1908); [32]Scollo et al. (2007); [33]Hill et al. (1998); [34]Bonis and Salazar (1973); [35]Rose et al. (1973); [36]Tupper et al. (2004); [37]Nakada et al. (2005); [38]Geshi et al. (2002); [39]Rose et al. (2008); [40]Pallister et al. (1992); [41]Mannen (2006).

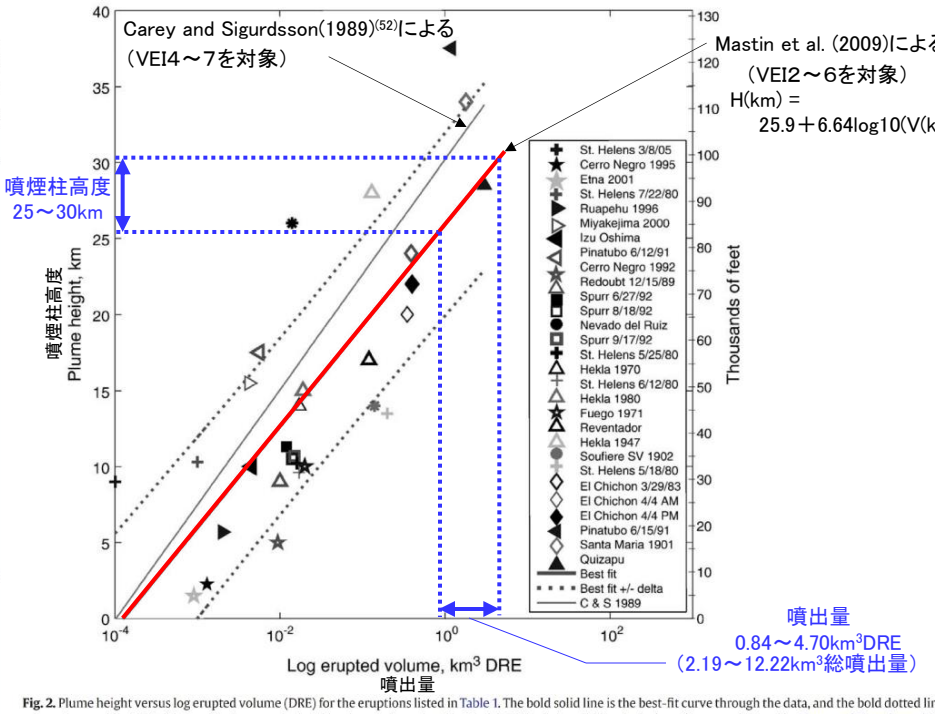



**Fig. 2.** Plume height versus log erupted volume (DRE) for the eruptions listed in Table 1. The bold solid line is the best-fit curve through the data, and the bold dotted lines are envelope curves that enclose 50% of the predictions as calculated by the routine polyval in Matlab®. The light solid line is the best-fit curve obtained by Carey and Sigurdsson (1989). Symbols in the legend are arranged from smallest to largest erupted volume.

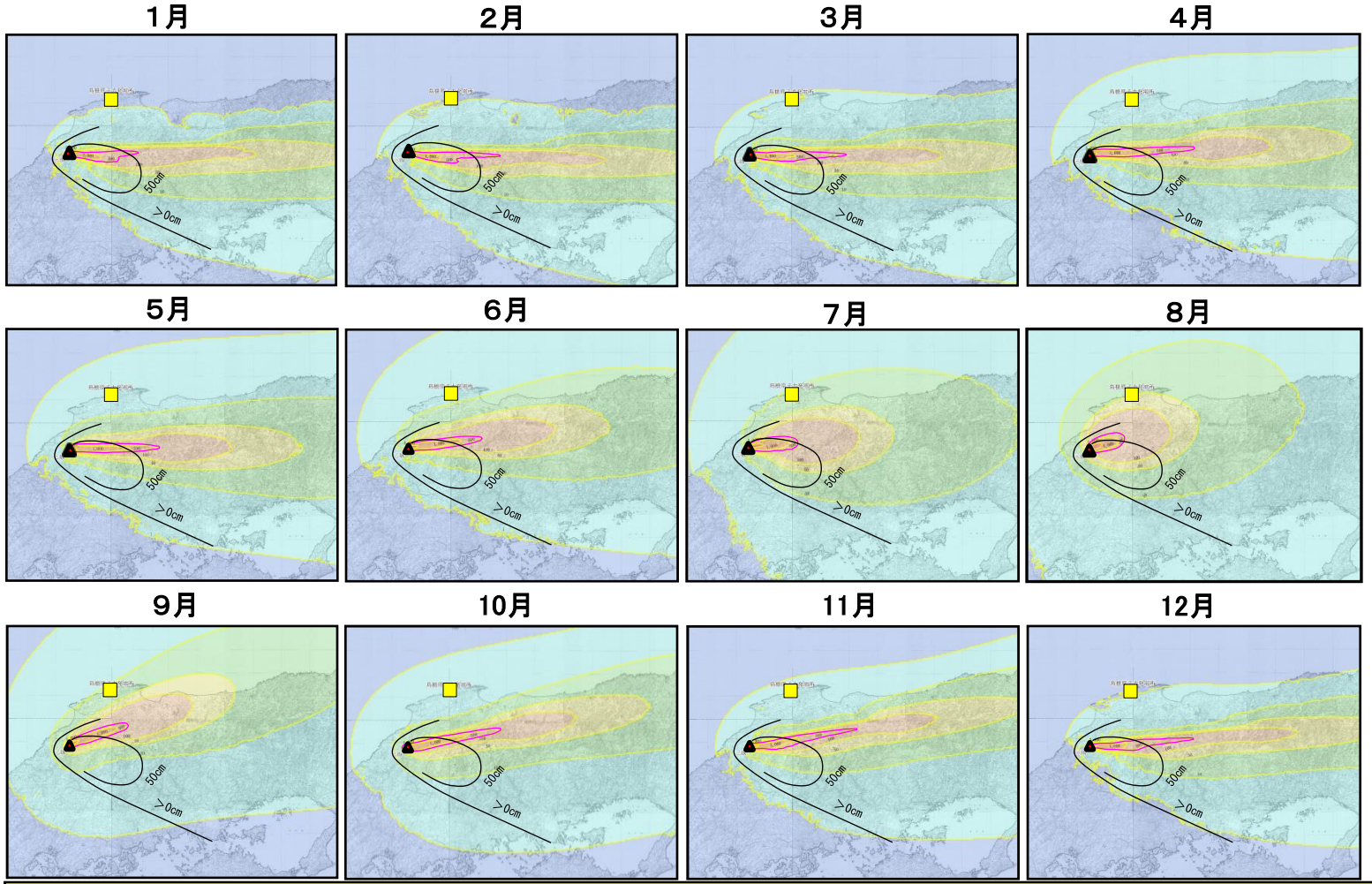
## 噴煙柱高度と噴出量の関係

Mastin et al.（2009）より引用・加筆

# 三瓶山に関するパラメータの妥当性確認



三瓶山に関する火山灰シミュレーションのパラメータの妥当性を確認するため，基本ケースのシミュレーション結果を町田・新井（2011）による等層厚線図と対比した。



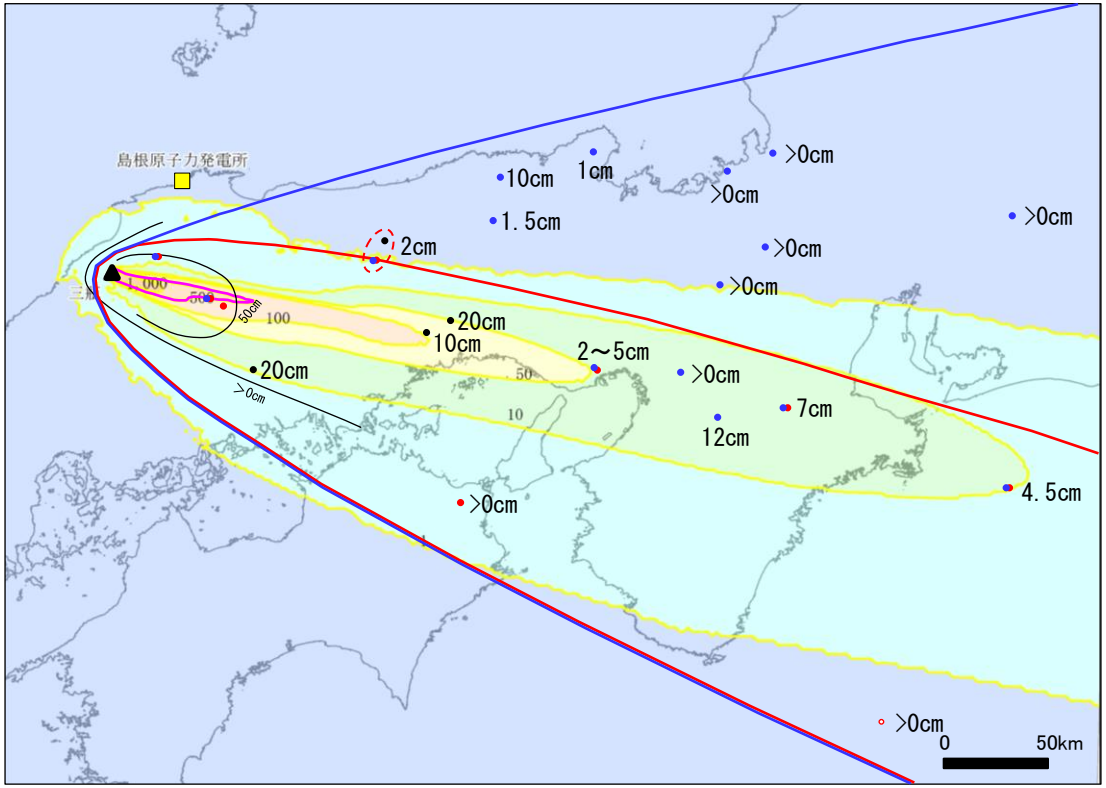

シミュレーション結果は，冬（12～2月）において給源から東方へ厚く降灰する領域が細長く伸び，また，町田・新井（2011）による0cm以上の等層厚線のような領域の広がりを表現している。一方，風速の小さい夏（7～9月）は給源近くにおいて広範囲に降灰し，町田・新井（2011）による0cm以上の等層厚線とシミュレーション結果が剥離する傾向が認められる。冬（12～2月）のうち，町田・新井（2011）による50cm等層厚線の火山灰の到達を最も表現している，2月の大気パラメータを用いて詳細検討を行う。

# 三瓶山に関するパラメータの妥当性確認



２月の大気パラメータを用いたケースについて，風向を町田・新井（2011）による50cm等層厚線の主軸方向に向けた仮想風（全高度の風を10°回転）でのシミュレーションを実施し，そのシミュレーション結果と等層厚線図との整合性を確認した。

２月




凡　例

- ▲ 三瓶山
- □ 島根原子力発電所
- 降灰量（kg/m²≒mm）
  - ～1
  - 1～10
  - 10～50
  - 50～100
  - 100～500
  - 500～1000
  - 1000～5000
  - 5000～
- 町田・新井(2011)による等層厚線
- (●) （町田・新井(2011)等の文献による降灰報告地点）
- Maruyama et al.(2020)によるSUk-Uの分布域
- (●) （降灰報告地点）
- Maruyama et al.(2020)によるSUk-Lの分布域
- (●◦) （降灰報告地点）
- シミュレーションによる50cm等層厚線

注）丸印（赤破線）は，同一地点（岡山県北部（細池湿原））の降灰報告であるが，Maruyama et al.(2020)の位置はやや南側にシフトしている。

※三瓶山から約65kmの範囲の降灰報告地点は記載を一部省略。
各降灰報告地点の降灰層さの根拠は補足説明「3．三瓶浮布テフラの降灰層厚に関する文献調査及び地質調査」参照

・シミュレーション結果は，三瓶山から敷地までの距離に概ね相当する範囲にある町田・新井（2011）による50cm等層厚線への到達，町田・新井（2011）による降灰報告地点である赤穂市域（10cm），神戸市域（2～5cm）の層厚を概ね再現できていることを確認した。

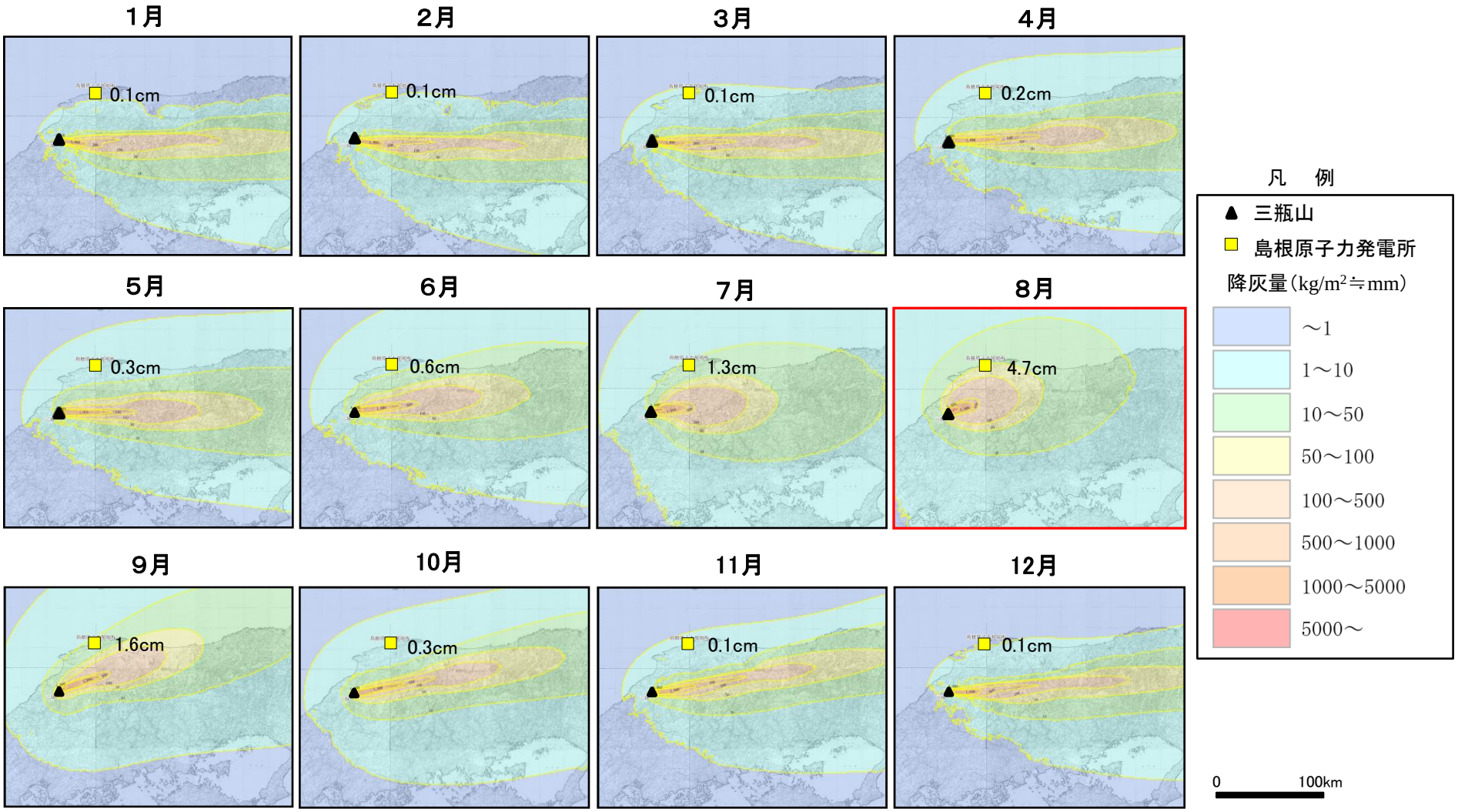
・Maruyama et al.(2020)によると，SUk-UとSUk-Lは別々の噴火イベントとされており，2方向の降灰分布を1条件のシミュレーションにより表現することは困難であることから，SUk-Uに比較し厚く堆積するとされ支配的と考えられるSUk-Lの分布域に着目した結果，SUk-Lの分布域とも概ね整合し，Maruyama et al.(2020)の降灰報告地点である遠州灘への到達も表現されている。

・以上のことから，三瓶山に関する火山灰シミュレーションのパラメータは概ね妥当と評価する。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（基本ケース）



**基本ケース（噴煙柱高度：27km（Mastin et al.（2009）に示される噴煙柱高度の回帰式による））**




火山灰シミュレーションの結果，偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり，敷地における降灰層厚は4.7cmとなった。8月の大気パラメータを不確かさを考慮する際の基本ケースとして選定する。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ①〈風向〉）



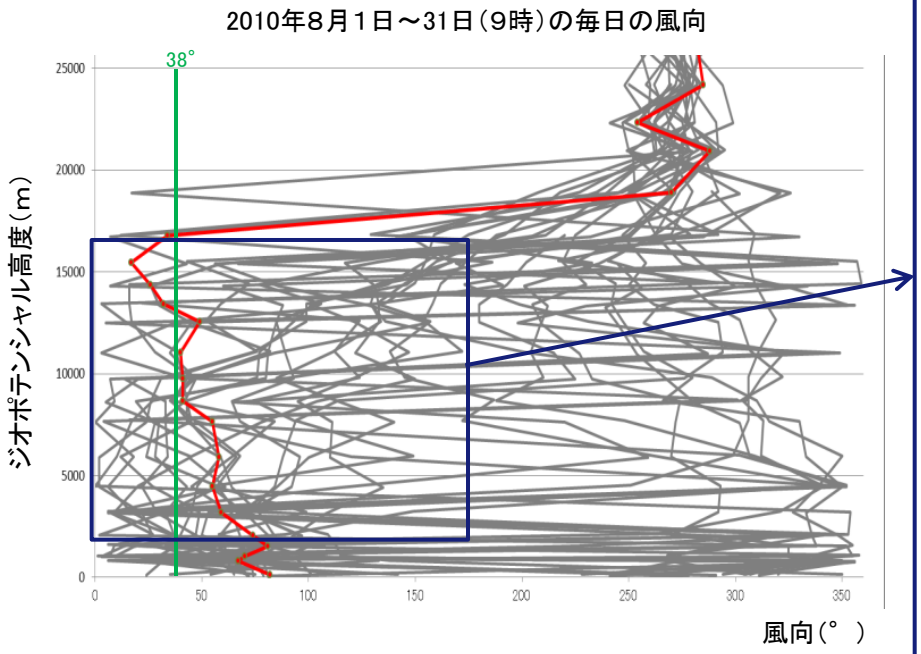
## 敷地方向への仮想風を用いた検討

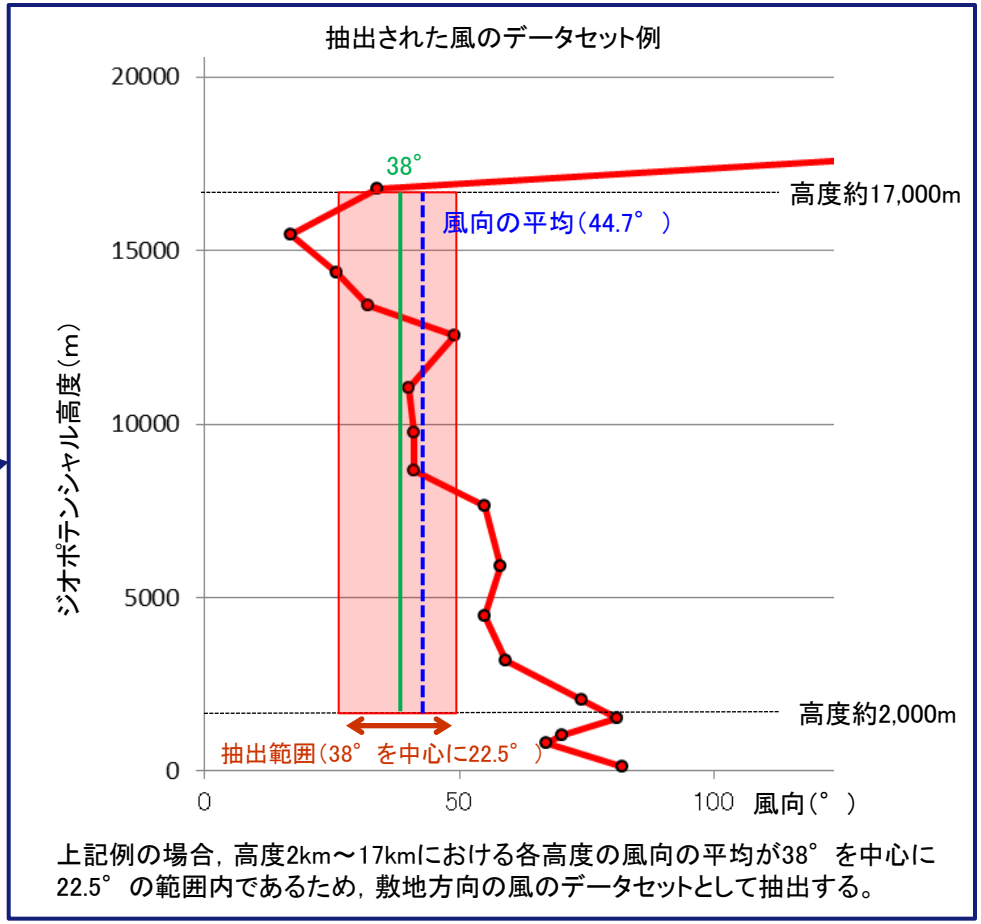
風向のバラつきによる影響が最も大きい８月を対象に，より厳しい条件を考慮した検討として，敷地方向への仮想風を用いたシミュレーションを実施した。なお，風向・風速は，毎日９時，21時の観測データを用いた。

【敷地方向の風の抽出条件】
高度約2,000m～約17,000mにおける風向の平均値が抽出範囲内（38° ※1を中心に22.5° ※2の範囲）に入る風。

※1　三瓶山から敷地へ向かう方向
※2　風向を16方位に区分した際の1方位の角度

## 敷地方向の風の抽出方法



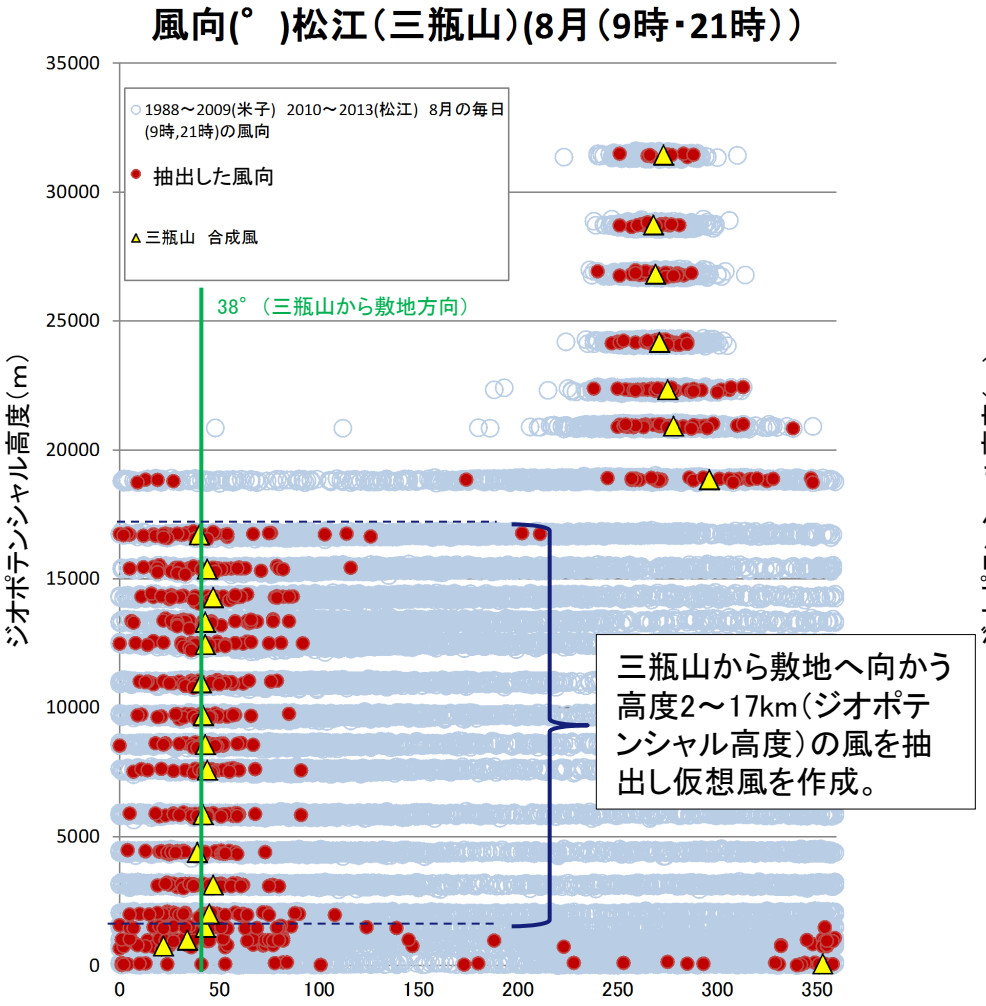



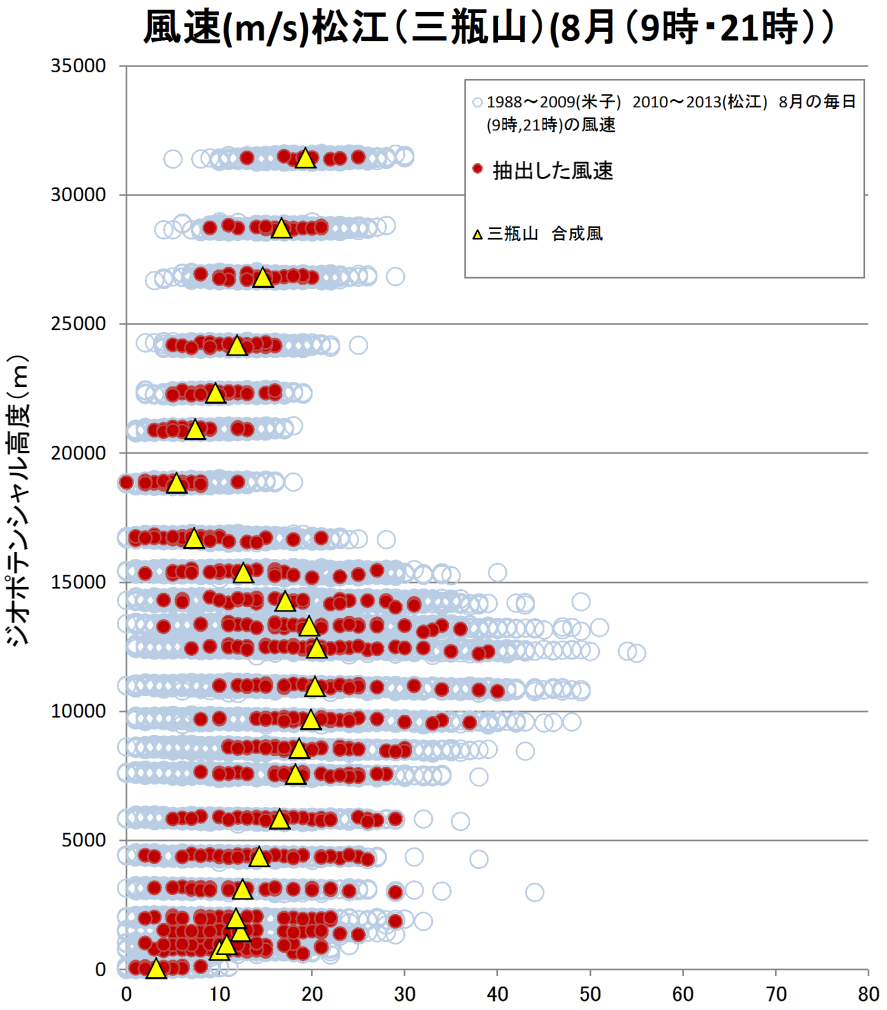

上記例の場合，高度2km～17kmにおける各高度の風向の平均が38° を中心に22.5° の範囲内であるため，敷地方向の風のデータセットとして抽出する。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ①<風向>）



## 敷地方向への仮想風の作成結果（三瓶山）



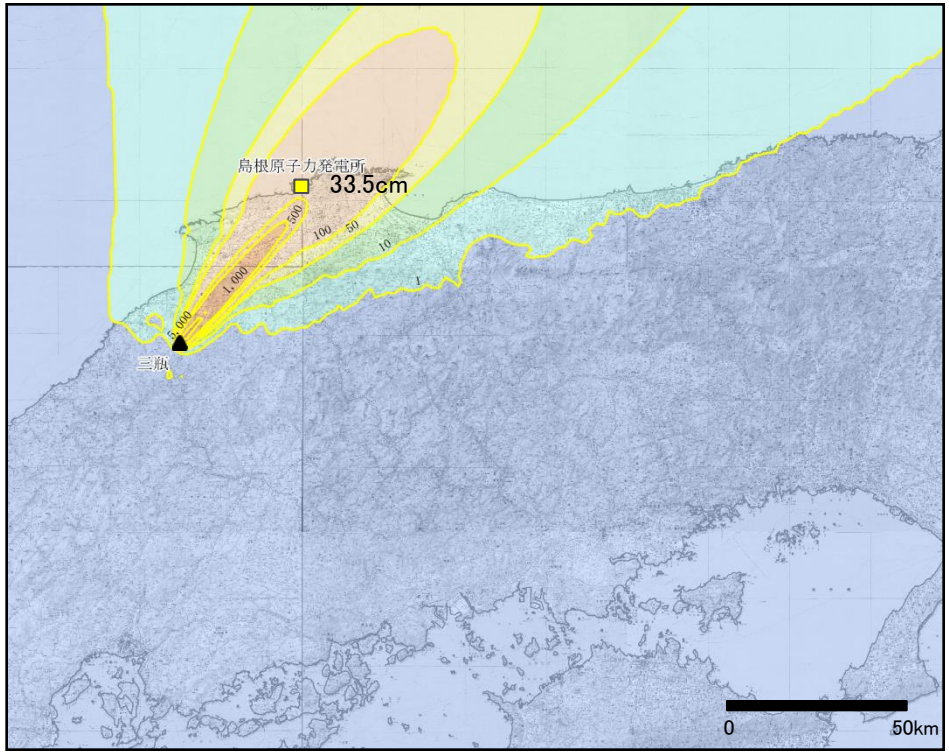



# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ①<風向>）



## 風向の不確かさを考慮した検討結果

風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した検討を実施した。




凡　例

- ▲ 三瓶山
- □ 島根原子力発電所

降灰量（kg/m²≒mm）

- ～1
- 1～10
- 10～50
- 50～100
- 100～500
- 500～1000
- 1000～5000
- 5000～

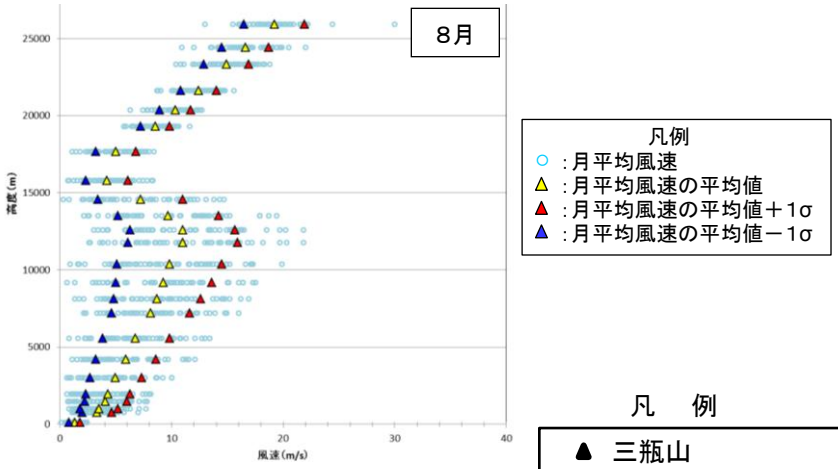
風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの4.7cmに対し33.5cmとなった。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ②〈風速〉）

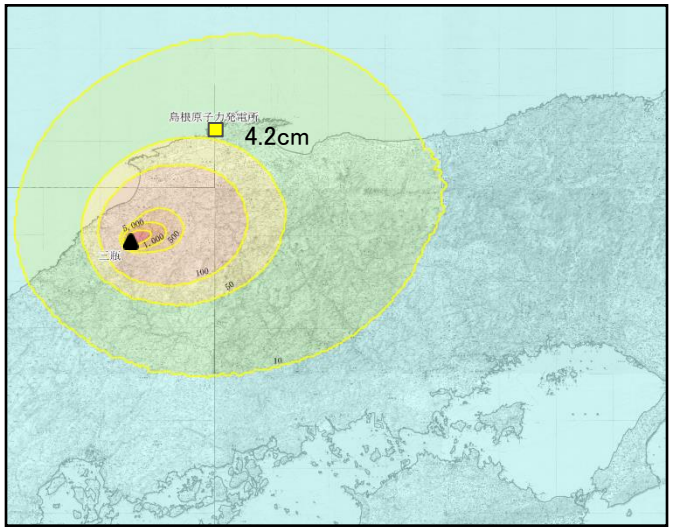


## 風速の不確かさを考慮した検討結果（±1σ ）

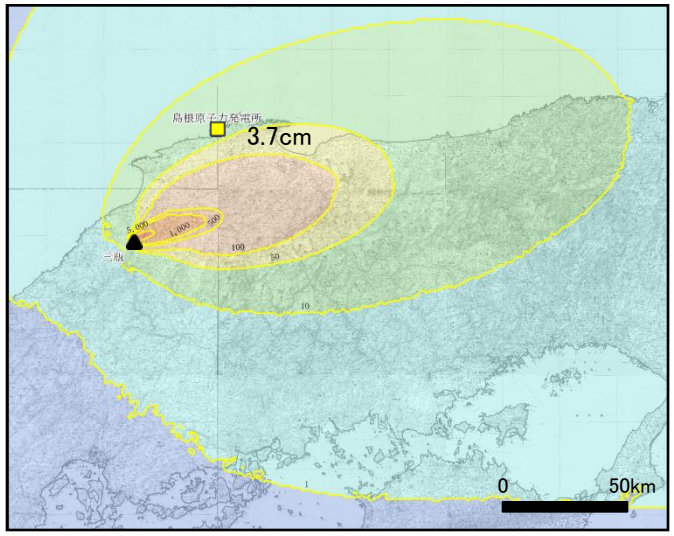
風速の不確かさ考慮した検討として，敷地における降灰層厚が最大となった8月の大気パラメータを対象に，風速を−1σ ，1σ 変化させたケースの検討を実施した。

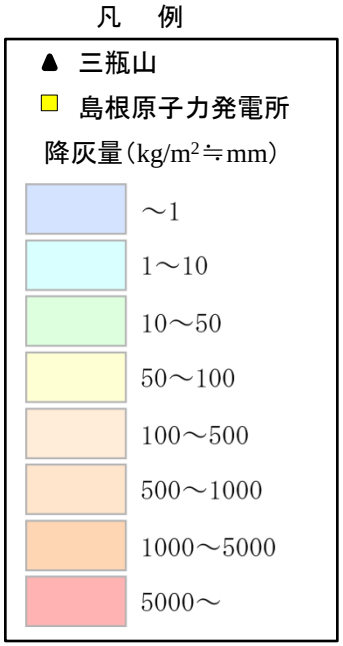



風速−1σ




風速1σ



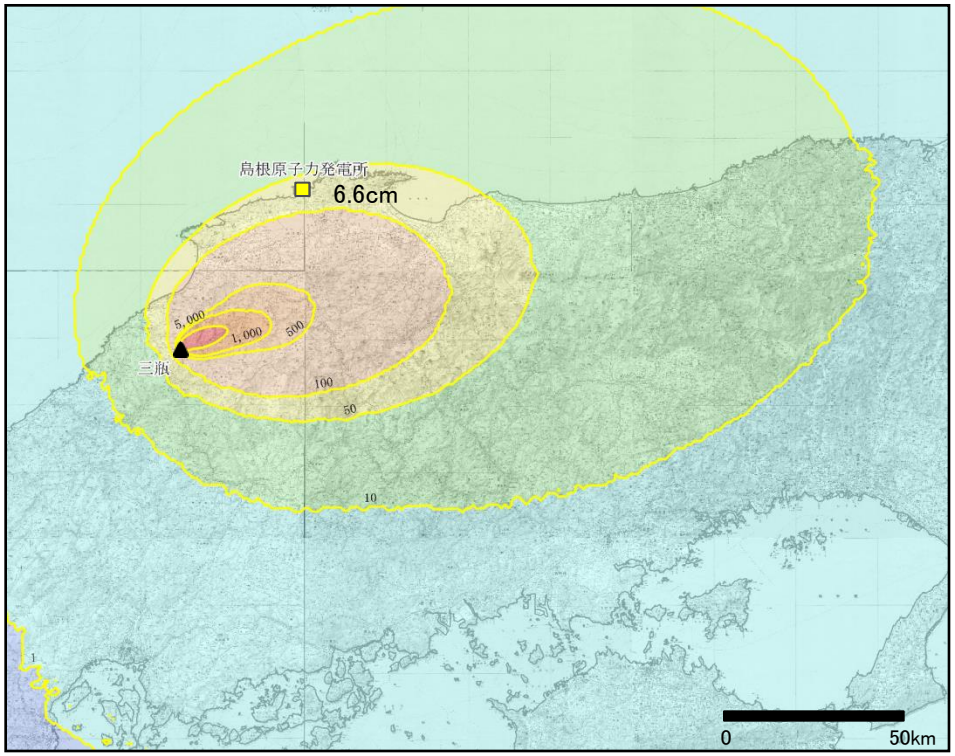

風速の不確かさを考慮した検討として，風速を−1σ ，1σ 変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの4.7cmに対し，風速−1σ の場合では4.2cm，風速1σ の場合では3.7cmとなった。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ③<粒径>）



## 粒径の不確かさを考慮した検討結果

粒径の不確かさを考慮した検討として，Tephra2による推奨値（珪長質）の粒径範囲（最大粒径：-10phi（$2^{10}$mm），最小粒径：10phi（$2^{-10}$mm））に対し，推奨限界値（最大粒径：-6phi（$2^{6}$mm），最小粒径：6phi（$2^{-6}$mm））を設定したケースの検討を実施した。




凡　例

- 三瓶山
- 島根原子力発電所

降灰量（kg/m²≒mm）

- ～1
- 1～10
- 10～50
- 50～100
- 100～500
- 500～1000
- 1000～5000
- 5000～

粒径の不確かさを考慮した検討として，粒径範囲を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの4.7cmに対し6.6cmとなった。

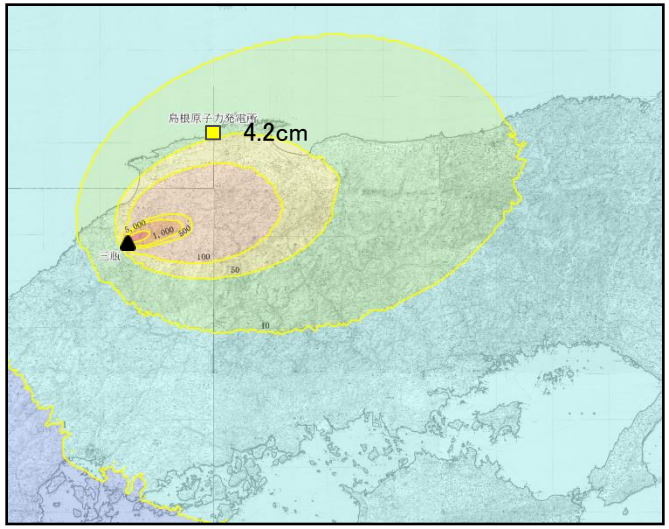
# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ④〈密度〉）



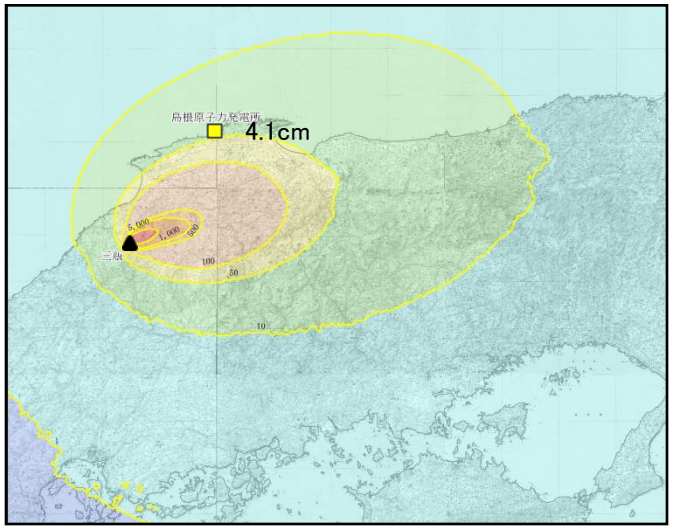
## 密度の不確かさを考慮した検討結果

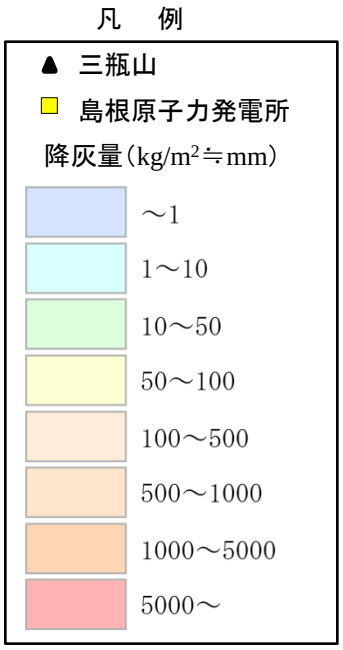
密度の不確かさを考慮した検討として，粒径に基づき設定される岩片・軽石粒子密度（1,000～2,600kg/m$^3$）に対し，密度均一（1,000kg/m$^3$，2,600kg/m$^3$）を設定したケースの検討を実施した。

密度均一（1,000kg/m$^3$）




密度均一（2,600kg/m$^3$）




0　50km

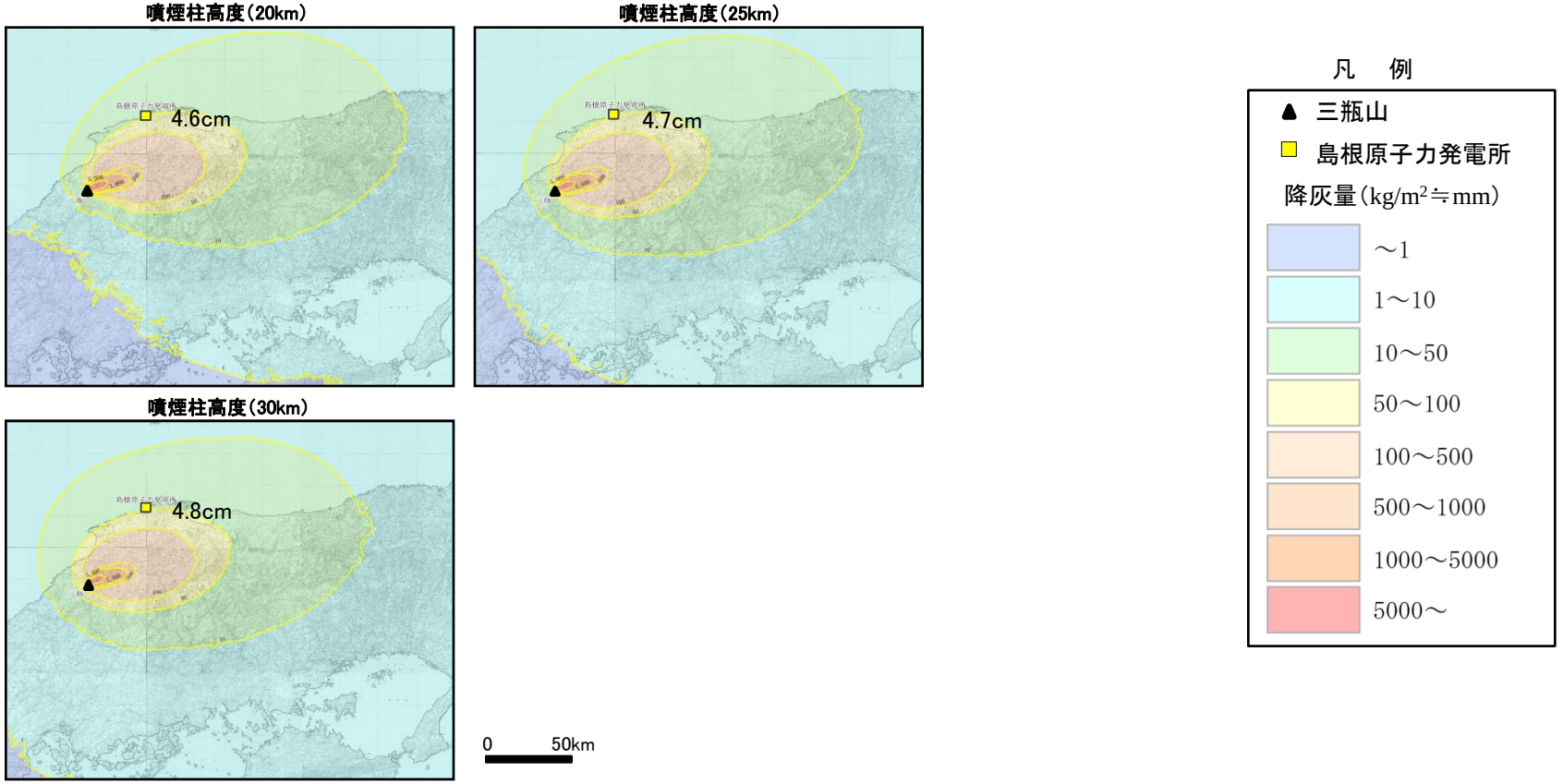
密度の不確かさを考慮した検討として，岩片・軽石粒子密度を均一とした火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの4.7cmに対し，密度1,000kg/m$^3$の場合では4.2cm，密度2,600kg/m$^3$の場合では4.1cmとなった。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ⑤<噴煙柱高度>）



## 噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討結果

噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として，Mastin et al.（2009）に示される噴煙柱高度の回帰式より設定した噴煙柱高度27kmに対し，噴火規模VEI5相当の総噴出量（1～10km$^3$）に対応する噴煙柱高度（回帰式）は23～30kmであることから，20km，25km，30kmを設定したケースの検討を実施した。



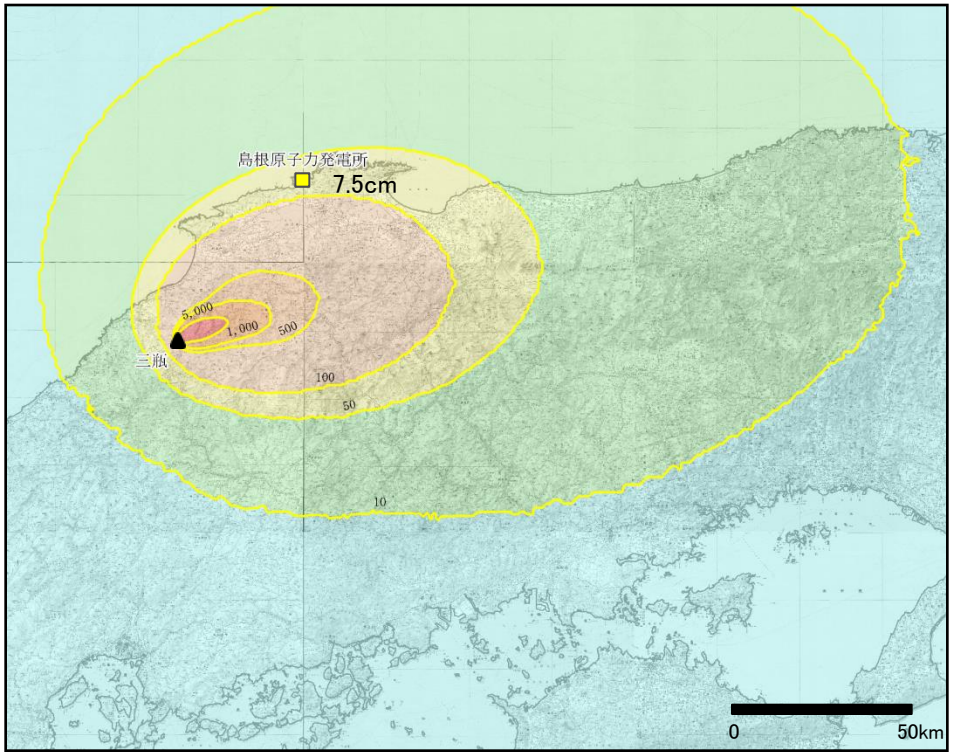

噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として，噴煙柱高度を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの4.7cmに対し，噴煙柱高度20kmの場合では4.6cm，25kmの場合では4.7cm，30kmの場合では4.8cmとなった。

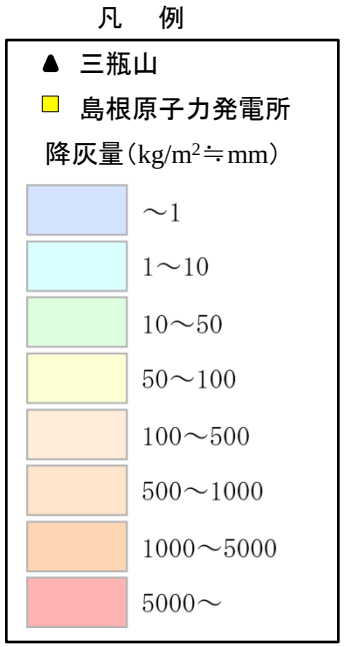
第924回審査会合
資料1-1 P99 加筆・修正



## 火山の活動様式の不確かさを考慮した検討結果

火山の活動様式の不確かさとして三瓶浮布テフラの噴出規模（噴出量：4.15km$^3$）に対し，火砕物密度流主体である三瓶大田（SOd）の噴出量6.60km$^3$を考慮したケースの検討を実施した。



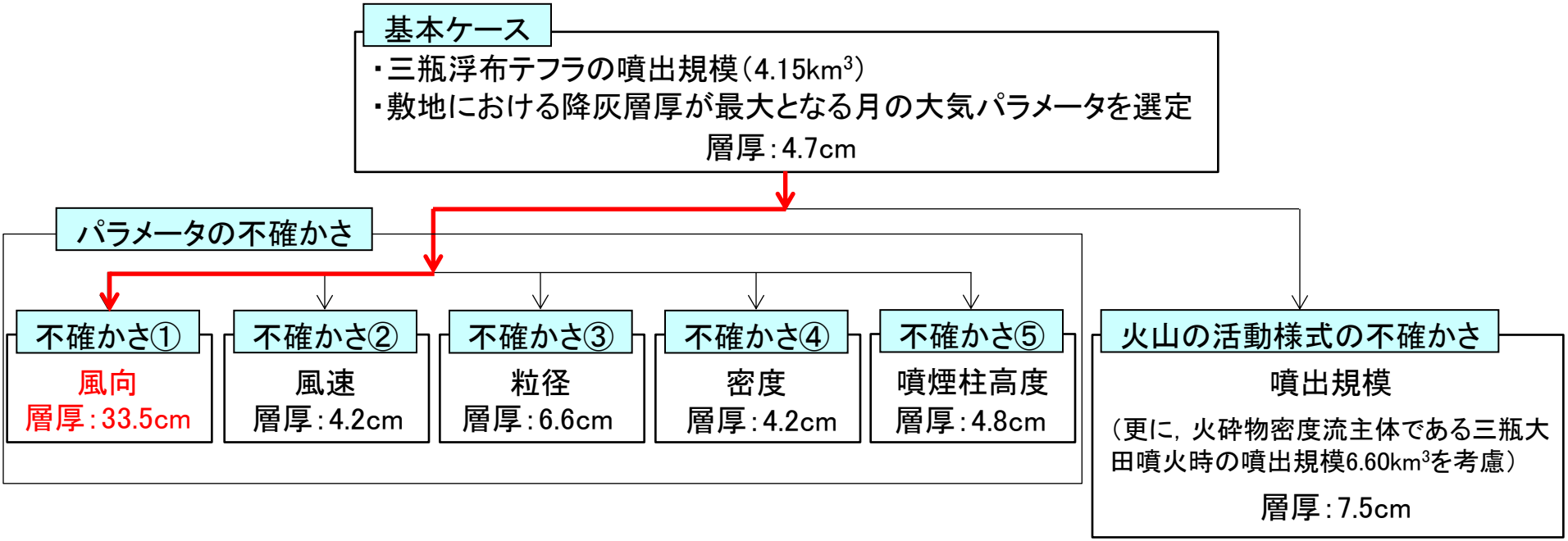

火山の活動様式の不確かさとして火砕物密度流主体である三瓶大田（SOd）の噴出規模を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの4.7cmに対し7.5cmとなった。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション結果（不確かさの考慮）



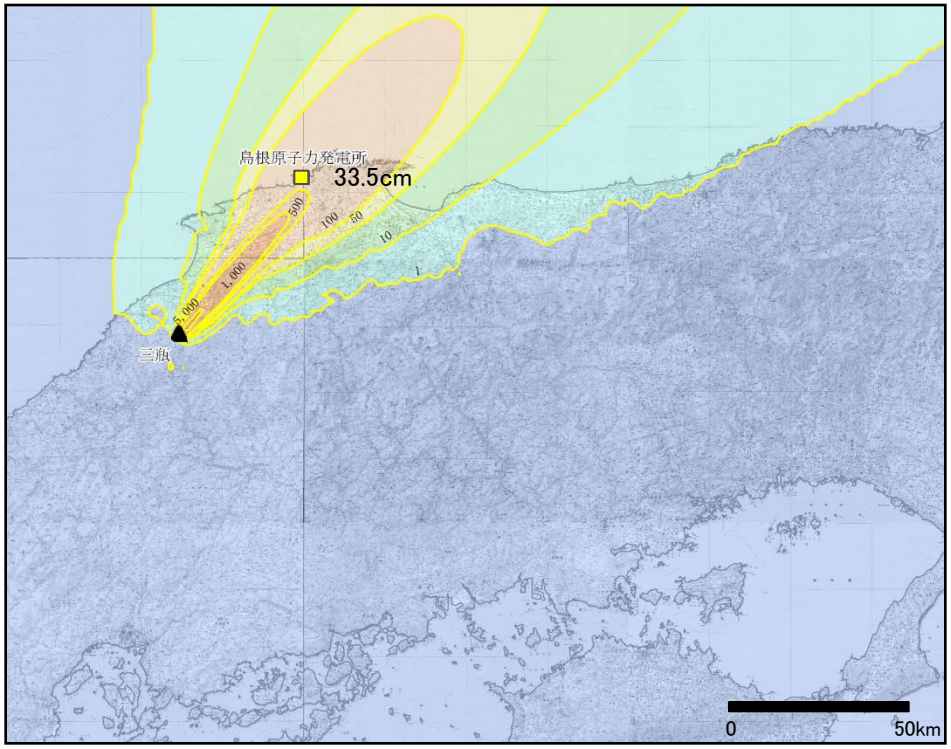
・原子力発電所の運用期間中の規模として，木次降下軽石の噴出時を除いて降下火砕物の噴出量が最大である三瓶浮布テフラ（噴出量：4.15km$^3$）を考慮した火山灰シミュレーションの結果，偏西風の弱まる８月の降下量が最大となり，敷地における降灰層厚は4.7cmとなった。
・８月の大気パラメータを用いたシミュレーションを不確かさを考慮する際の基本ケースとし，パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果，降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向であり，風向の不確かさ（敷地方向への仮想風）を考慮した検討において，敷地における降灰層厚は33.5cmとなった。
・火山の活動様式の不確かさとして火砕物密度流主体である三瓶大田の噴出規模6.60km$^3$を考慮した検討を実施した結果，敷地における降灰層厚は7.5cmとなった。

・風向の不確かさを考慮した検討において，敷地における降灰層厚が最大となることから，ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し，標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



## 風向の不確かさを考慮した検討結果（ジオポテンシャル高度による大気パラメータ）

風向の不確かさを考慮した検討において，敷地における降灰層厚が最大となることから，ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し，標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認した。




凡　例
- ▲ 三瓶山
- □ 島根原子力発電所

降灰量（kg/m²≒mm）
- ～1
- 1～10
- 10～50
- 50～100
- 100～500
- 500～1000
- 1000～5000
- 5000～

ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，標準高度による場合と同程度の33.5cmとなることが確認された。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション結果（まとめ）



原子力発電所の運用期間中の規模として，木次降下軽石の噴出時を除いて降下火砕物の噴出量が最大である三瓶浮布テフラ（噴出量：4.15km$^3$）を想定し，各種の不確かさを考慮した火山灰シミュレーションにより降下火砕物の影響評価を行った。

**基本ケース**

・三瓶浮布テフラの噴出規模（4.15km$^3$）
・敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを選定

層厚：4.7cm

**パラメータの不確かさ**

| 不確かさ① | 不確かさ② | 不確かさ③ | 不確かさ④ | 不確かさ⑤ |
|---|---|---|---|---|
| 風向<br>層厚：33.5cm | 風速<br>層厚：4.2cm | 粒径<br>層厚：6.6cm | 密度<br>層厚：4.2cm | 噴煙柱高度<br>層厚：4.8cm |

**火山の活動様式の不確かさ**

噴出規模

（更に，火砕物密度流主体である三瓶大田噴火時の噴出規模6.60km$^3$を考慮）

層厚：7.5cm

・原子力発電所の運用期間中の規模として，木次降下軽石の噴出時を除いて降下火砕物の噴出量が最大である三瓶浮布テフラ（噴出量：4.15km$^3$）を想定し，パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果，降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向である。
・風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における層厚は33.5cmとなった。
・火山の活動様式の不確かさとして火砕物密度流主体の三瓶大田の噴出規模（6.60km$^3$）を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における層厚は7.5cmとなった。

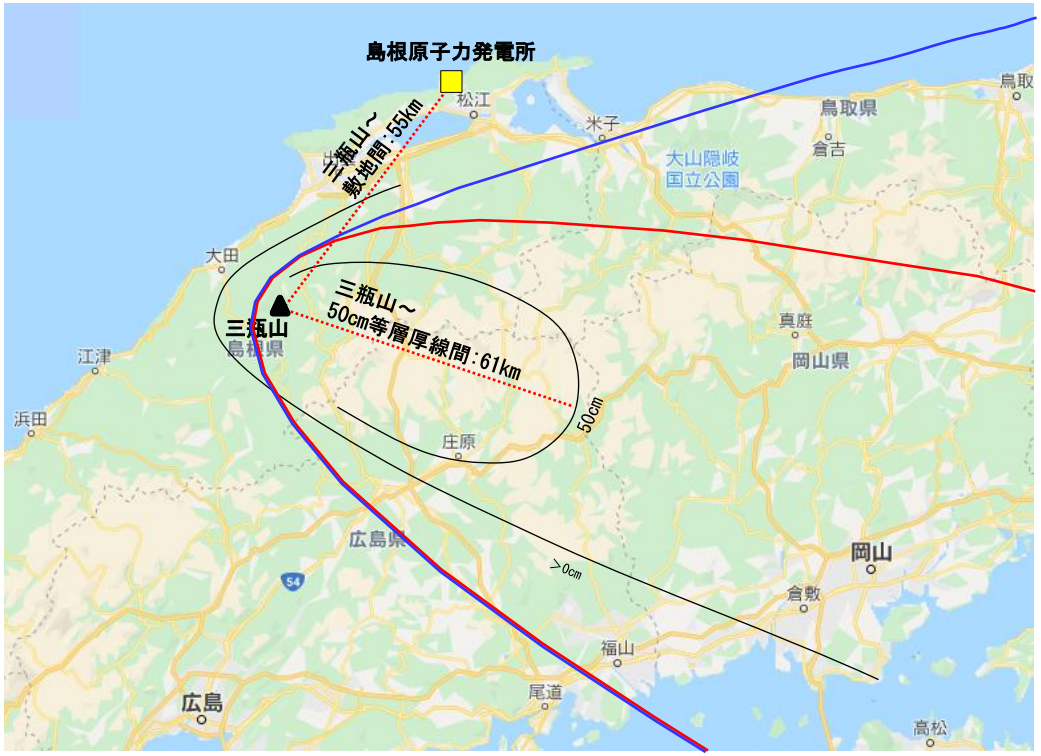
余白

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討



・敷地は三瓶山の風下側に位置し，風向によっては降灰が想定される。また，Maruyama et al.（2020）によると，三瓶浮布テフラの分布域は明確に2方向に区分され，その一方（SUk-U）が中国地方の広範囲で分布している。以上のことから，敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションによる検討に加え更なる保守的な検討として，町田・新井（2011）による50cm等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが，その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する55km地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮する。

敷地における降灰層厚＝（三瓶山～50cm等層厚線間距離／三瓶山～敷地間距離）×50cm




凡　例

- 三瓶山
- 島根原子力発電所
- 町田・新井(2011)による等層厚線
- Maruyama et al.(2020)によるSUk-Uの分布域
- Maruyama et al.(2020)によるSUk-Lの分布域

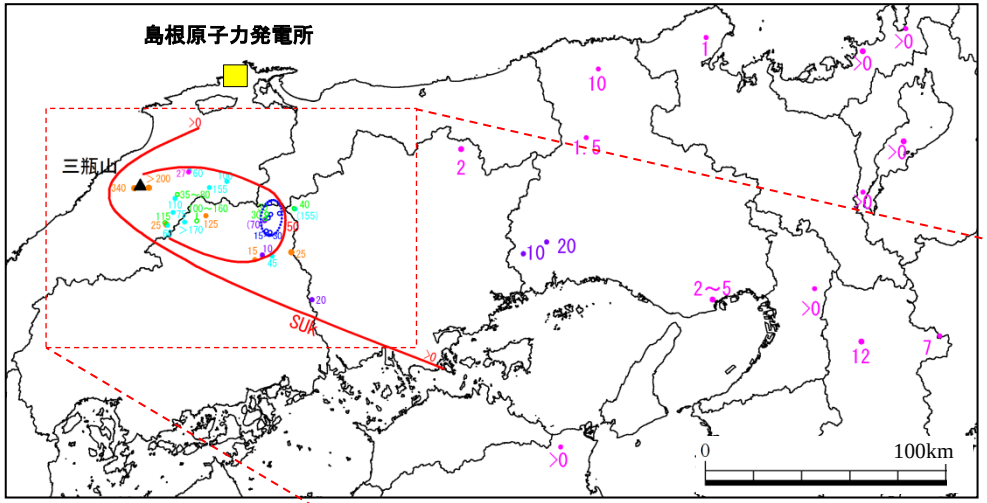
0　50km

原子力発電所の運用期間中の規模として想定した三瓶浮布テフラについて，町田・新井（2011）による50cm等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが，その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する55km地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮した結果，敷地における降灰層厚は55.5cmとなった。

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（算定式の妥当性）



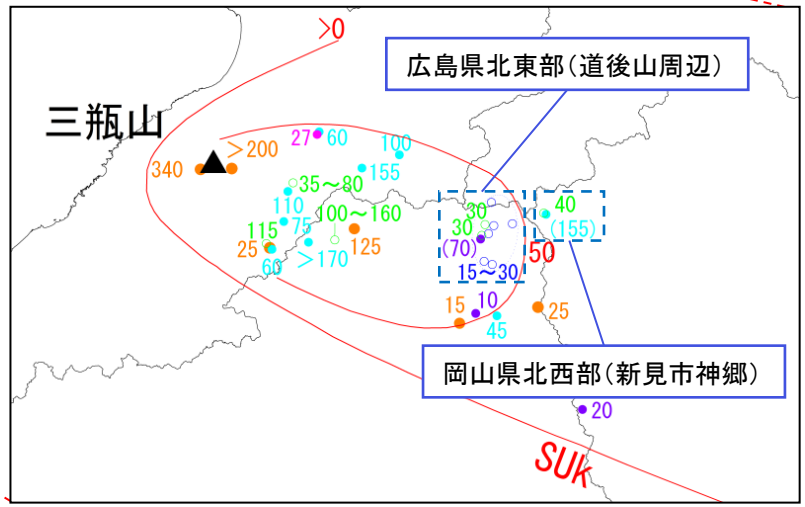
・敷地における降灰層厚の算定式の妥当性を確認するため，文献調査及び地質調査による降灰報告地点との関係を確認する。また，算定式を反比例と仮定する妥当性についても確認する。




【凡例】
- ：町田・新井（2011）による等層厚線
- ：地質調査地点
- ：松井・井上（1971）による降灰報告地点
- ：林・三浦（1987）による降灰報告地点
- ：野村・田中（1987）[53]による降灰報告地点
- ：野村（1991）[54]による降灰報告地点
- ：その他（町田・新井（2011），Maruyama et al.（2020）等の文献による降灰報告地点）
- （ ）：地質調査結果により参考扱いとする降灰報告地点

（数字は降灰厚さ（cm））

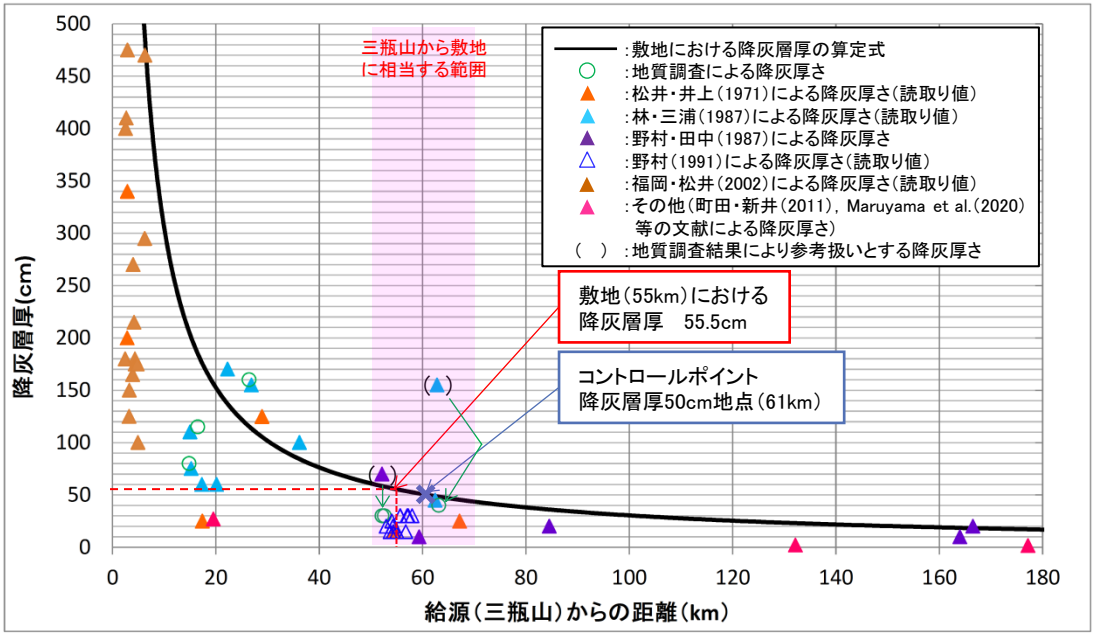
※福岡・松井（2002）による降灰報告地点は三瓶山周辺（三瓶山から約7kmの範囲）のため記載を省略



# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（算定式の妥当性）



・敷地における降灰層厚の算定式は，等層厚線図の主軸方向について，降灰層厚が給源からの距離に反比例すると仮定し，層厚50cm地点（三瓶山から61km）をコントロールポイントとして設定している。
・当該算定式の適用にあたり，三瓶山から敷地までの距離に相当する範囲の層厚が保守的な評価となることを確認する。



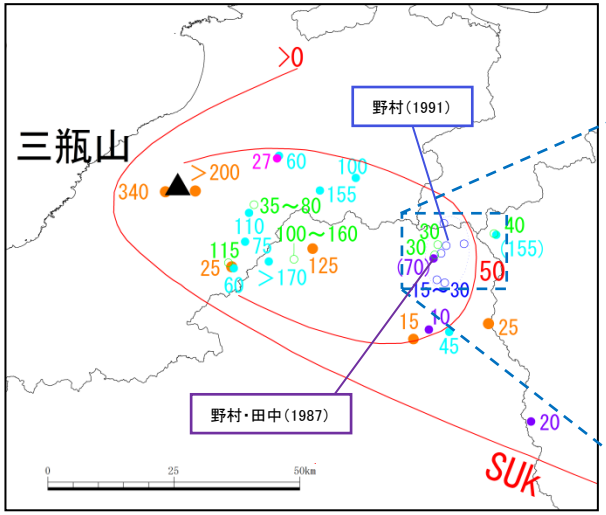

・三瓶山から敷地に相当する範囲に位置する広島県北東部（道後山周辺）及び岡山県北西部（新見市神郷）の層厚は，それぞれ70cm及び155cmであり，給源からの距離に対し，周辺の降灰厚さと比較し突出して大きい（P109～119参照）ことを確認した。
・上記地点について地質調査を実施した結果を踏まえると，いずれの地点とも地点の代表性を示す層厚とは考え難いことから，当該層厚を参考扱いとした。
・文献調査及び地質調査結果を踏まえると，三瓶山から敷地に相当する範囲において，各降灰報告地点の層厚は当該算定式に比べ小さく，保守的な層厚評価となっていることから，当該算定式を用いることは妥当であると評価した。

(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(広島県北東部(道後山周辺))

## 広島県北東部(道後山周辺)(地質調査)

・三瓶山から三瓶浮布テフラの分布主軸方向約55kmに位置する道後山周辺において，野村・田中(1987)及び野村(1991)は三瓶浮布テフラの降灰を報告している。※
・野村・田中(1987)に示される広島県北東部(道後山周辺)の露頭(層厚70cm)の具体的な露頭地点が不明なため，当該地域において地表地質踏査(右下図に主な地表地質踏査ルート(赤線)を示す)を実施した。
・地表地質踏査の結果，〇で示した2地点(三瓶山からの距離約52～53km)において三瓶浮布テフラを確認した。




【凡例】
- ——:町田・新井(2011)による等層厚線
- ○:地質調査地点
- ●:松井・井上(1971)による降灰報告地点
- ●:林・三浦(1987)による降灰報告地点
- ●:野村・田中(1987)による降灰報告地点
- ○:野村(1991)による降灰報告地点
- ●:その他(町田・新井(2011)，Maruyama et al.(2020)等の文献による降灰報告地点)
- ( ):地質調査結果により参考扱いとする降灰層厚

(数字は降灰厚さ(cm))

※福岡・松井(2002)による降灰報告地点は三瓶山周辺(三瓶山から約7kmの範囲)のため記載を省略

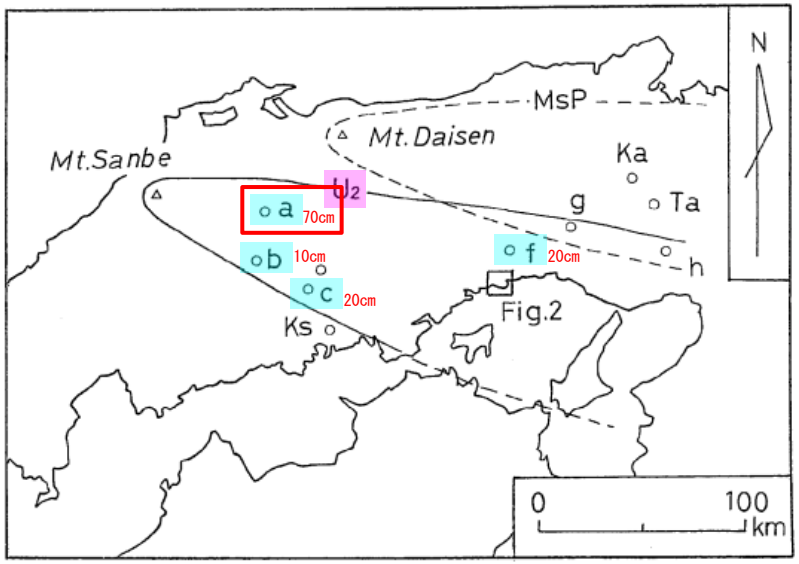



出典:国土地理院地図　地図・空中写真閲覧サービスに加筆

※当該地域周辺で野村・田中(1987)(道後山周辺)及び野村(1991)(道後山周辺(三坂北，猫山，鳶の巣山，白滝山))が報告している露頭の具体的な地点は不明のため，地図上には明記していない。

(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(広島県北東部(道後山周辺))




第1図　調査地点および火山灰の分布範囲

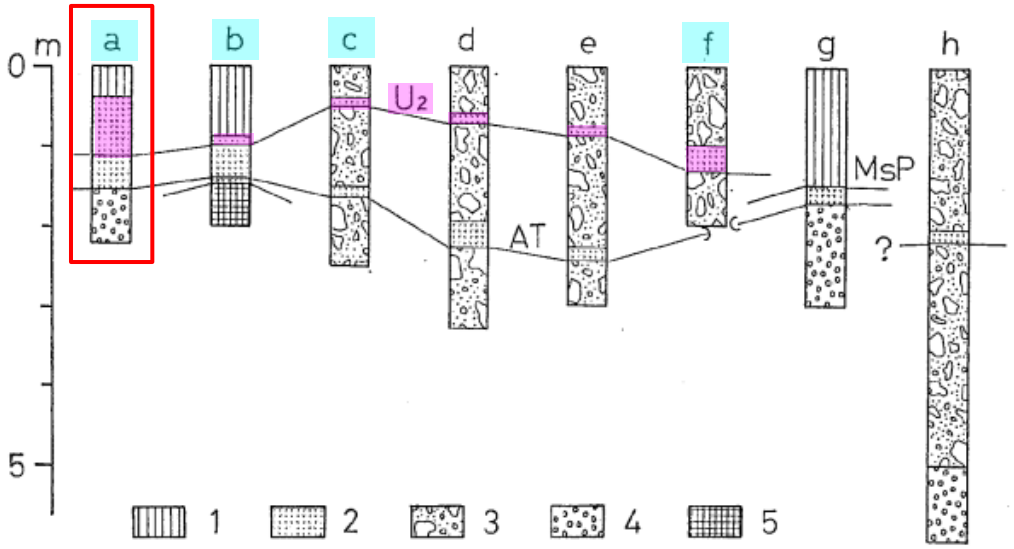
MsP：弥山軽石　　$U_2$：浮布軽石

a：広島県西城町三坂　　b：広島県東城町帝釈　　c：岡山県芳井町三原

f：兵庫県上郡町国光　　g：兵庫県市川町田中　　h：神戸市道場町飛瀬

Ka：兵庫県春日町朝日　　Ks：笠岡市　　Ta：兵庫県丹南町大山

a～hは露頭位置を示す。d，eの位置は第2図に示す。




第4図　柱　状　図

1：ローム層　2：火山灰・軽石　3：麓屑面構成層　4：段丘礫　5：基盤岩

$U_2$：浮布軽石　　MsP：弥山軽石　　AT：姶良Tn火山灰

野村・田中(1987)より引用・加筆

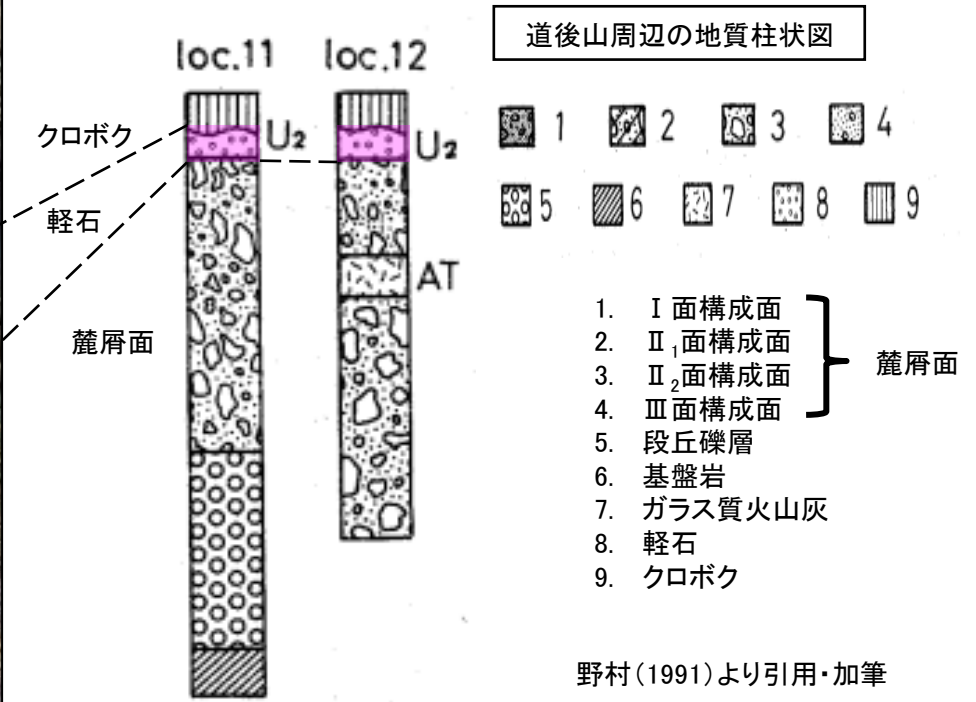
・野村・田中(1987)は，広島県西城町道後山山麓(地点a)において，地表付近に黄赤色の粗粒のパミス，その下位に風化の進んだガラス質火山灰があるとし，上位は$U_2$,下位のガラス質火山灰はATであると報告している。
・野村・田中(1987)は，上位層($U_2$)の層厚は70cmと報告している。また，本層の上位にクロボク化した部分が40～50cmあると報告している。
・新しい文献(野村(1991))は，広島県北東部の道後山周辺の緩斜面な山頂付近の凹地に見られる巨岩塊で構成された地形や山麓に形成された麓屑面の地質柱状図を作成しており，調査域のほとんどで三瓶浮布軽石(U2)が認められることを報告している。野村(1991)に示される地質柱状図の読み取り値によると，U2の層厚は，15～30cm程度である。

・広島県北東部(道後山周辺)の層厚70cmについては，給源からの距離に対し，周辺の降灰厚さと比較し突出して大きく，当該地点の代表性を示す層厚とは考え難いことから，地質調査により評価を実施する。

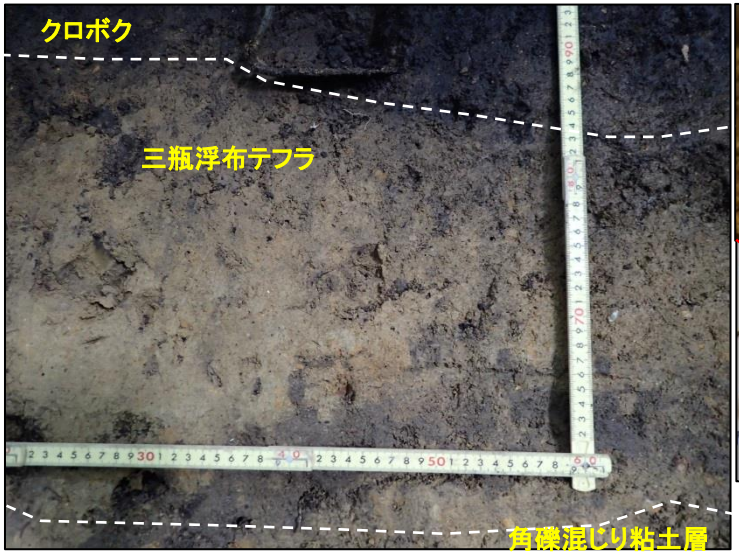
(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

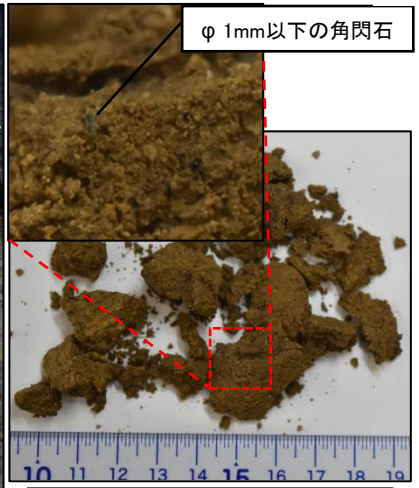
# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(広島県北東部(道後山周辺①))




野村(1991)より引用・加筆




当該地点で採取した三瓶浮布テフラの接写写真
φ 1mm以下の角閃石を含む。

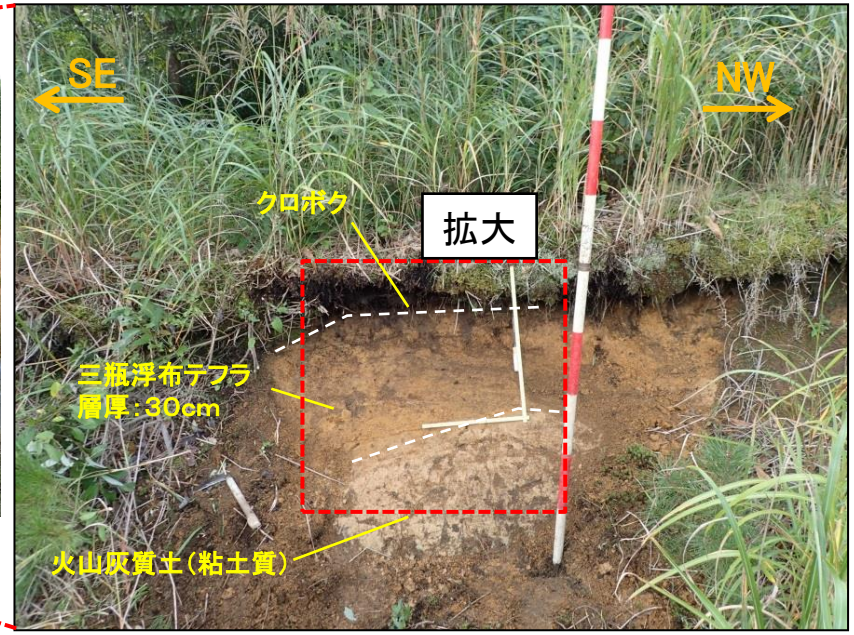
・上位からクロボク，三瓶浮布テフラ(層厚30cm)，角礫混り粘土層(φ 5～20cmの角礫)を確認した。
・最下位層の角礫混じり粘土層は野村(1991)の地質柱状図を踏まえると麓屑面に相当する層と考えられ，層序が類似することから黄褐色の軽石層を三瓶浮布テフラと同定した。
・三瓶浮布テフラは黄褐色を呈し，極細粒～シルト質である。φ 1mm以下の軽石を含み，φ 1mm以下の角閃石が確認される。

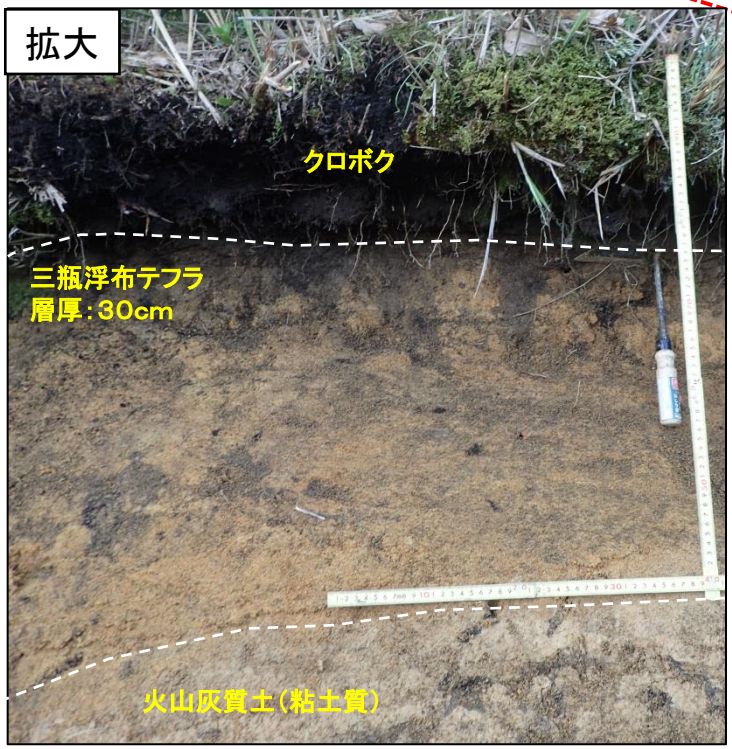
・広島県北東部(道後山周辺①)の三瓶浮布テフラの層厚は30cmとする。

(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(広島県北東部(道後山周辺②))







当該地点で採取した三瓶浮布テフラの接写写真
φ 1mm以下の角閃石を含む。

・上位からクロボク，三瓶浮布テフラ(層厚30cm)，火山灰質土(粘土質)を確認した。
・最下位層の火山灰質土(粘土質)は地点1～3の三瓶浮布テフラの下位層の火山灰質土(粘土質)と層相が類似し，火山ガラスを含むことからAT混じりと考えられ，その層の上位に分布する黄褐色を呈し，角閃石を含む軽石層を三瓶浮布テフラと同定した。
・三瓶浮布テフラは黄褐色を呈し，粗粒サイズでφ 1mm程度の軽石を含み，φ 1mm以下の角閃石が確認される。

・広島県北東部(道後山周辺②)の三瓶浮布テフラの層厚は30cmとする。

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（広島県北東部（道後山周辺））



・野村・田中（1987）に示される広島県北東部（道後山周辺）の詳細な露頭地点 （三瓶浮布テフラ層厚：70cm）が不明なため，当該地域において地表地質踏査を実施した。

・地質調査の結果，道後山周辺①及び②において，三瓶浮布テフラを確認し，同テフラの層厚が30cmであることを確認した。

・新しい文献（野村(1991)）では，道後山周辺（三坂北，鳶の巣山，猫山，白滝山）の地質柱状図の読取り値で三瓶浮布テフラの層厚は15～30cm（再堆積を除く）と報告されており，地質調査で確認した三瓶浮布テフラの層厚と調和的である。

・上記を踏まえ，野村・田中（1987）で報告されている三瓶浮布テフラの層厚70cmについては，給源からの距離に対し，周辺の降灰厚さと比較し突出して大きく，当該地点の代表性を示す層厚とは考え難いことから参考扱いとし，当該地域における三瓶浮布テフラの降灰層厚は，地質調査によって確認した層厚30cmとする。

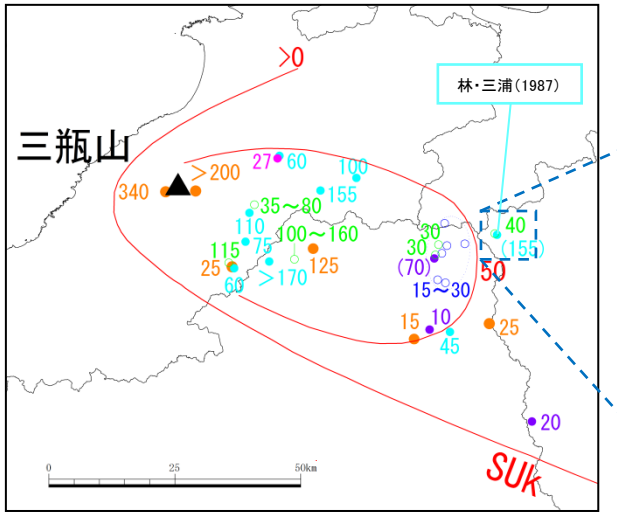
・広島県北東部（道後山周辺）の三瓶浮布テフラの降灰層厚は30cmとする。

（2）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（岡山県北西部（新見市神郷））

## 岡山県北西部（新見市神郷）（地質調査）

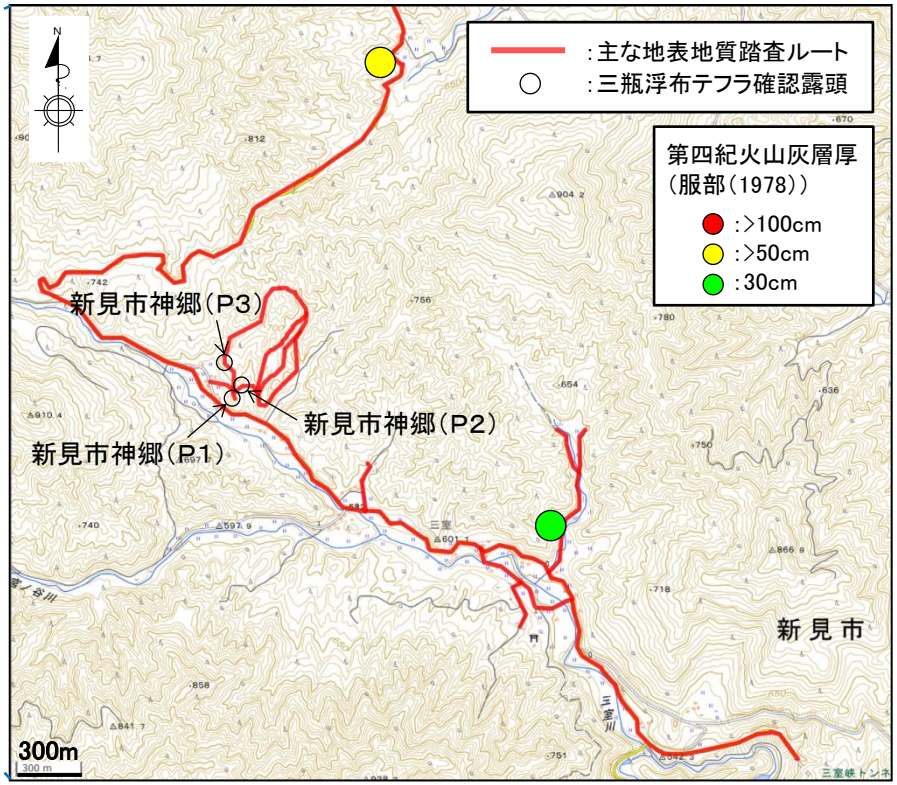
・三瓶山から三瓶浮布テフラの分布主軸方向約63kmに位置する新見市神郷において，林・三浦（1987）は三瓶浮布テフラの降灰（155cm）を報告している。※
・町田・新井（2011）は，左下図に示される三瓶浮布テフラの等層厚線図を作成するにあたり，林・三浦（1987）を引用しているが，当該地域は町田・新井（2011）の等層厚線図の50cm以下の範囲に位置する。
・服部（1978）(55)の5万分の1図幅「上石見地域の地質」によると，新見市神郷において第四紀火山灰層が2地点で認められるとされている。
・林・三浦（1987）に示される新見市神郷の露頭の具体的な地点が不明であること，及び服部（1978）によると新見市神郷において第四紀火山灰層が2地点で認められるとされていることを踏まえ，当該地域において地表地質踏査（右下図に主な地表地質踏査ルート（赤線）を示す）を実施した結果，〇で示した地点（三瓶山からの距離約63km）において三瓶浮布テフラを確認した。




【凡例】
- ：町田・新井（2011）による等層厚線
- ：地質調査地点
- ：松井・井上（1971）による降灰報告地点
- ：林・三浦（1987）による降灰報告地点
- ：野村・田中（1987）による降灰報告地点
- ：野村（1991）による降灰報告地点
- ：その他（町田・新井（2011），Maruyama et al.（2020）等の文献による降灰報告地点）
- （ ）：地質調査結果により参考扱いとする降灰層厚

（数字は降灰厚さ（cm））

※福岡・松井（2002）による降灰報告地点は三瓶山周辺（三瓶山から約7kmの範囲）のため記載を省略




出典：国土地理院地図　地図・空中写真閲覧サービスに加筆

※当該地域周辺で林・三浦（1987）が報告している露頭の具体的な地点は不明のため，地図上には明記していない。

## （2）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（岡山県北西部（新見市神郷））

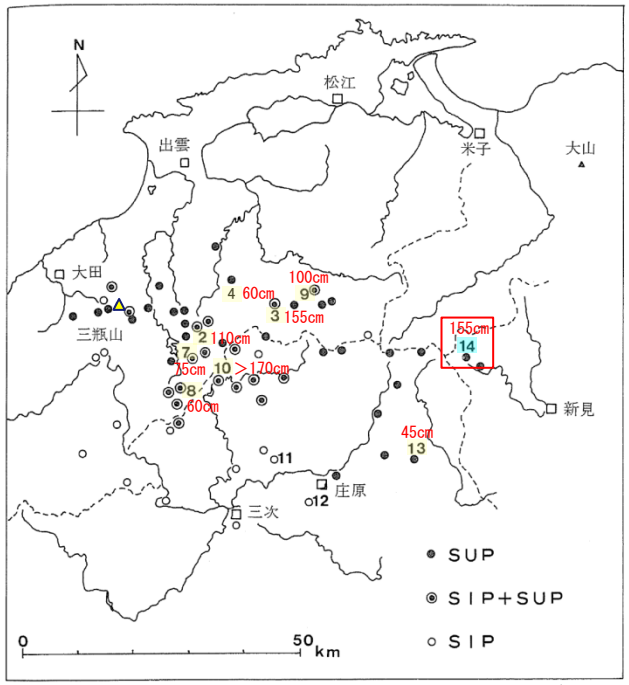
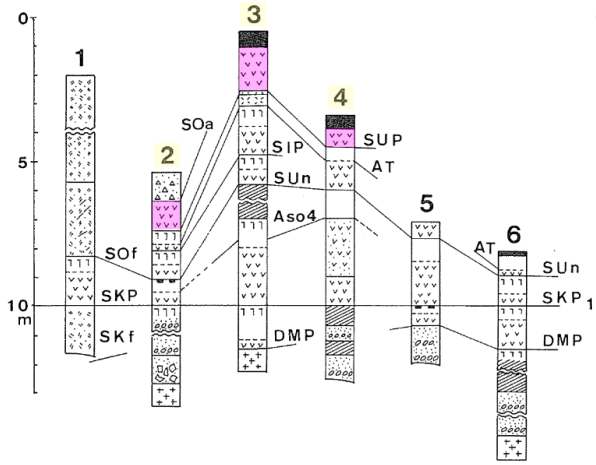



図22　三瓶池田降下軽石（SIP）と三瓶浮布降下軽石（SUP）の分布

図中の数字は図の柱状図の位置



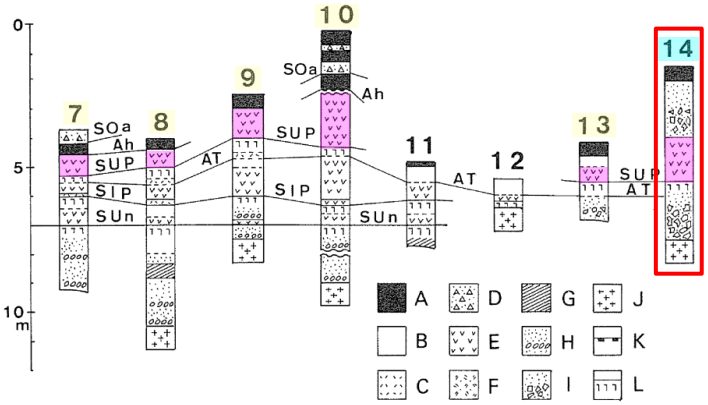




図１　三瓶起源のテフラを中心とする柱状図

地点　1：佐田町下橋波横見　2：幡原町花栗晴雲トンネル　3：仁多町上阿井福原　4：掛合町奥明　5：仁多町三成　6：横田町稲原横田中学校　7：幡原町佐見井羅谷　8：赤来町上来島安江　9：仁多町高尾　10：広島県高野町高暮指谷　11：広島県口和町永田市場　12：広島県庄原市実留　13：広島県東城町宇山　14：岡山県神郷町三室

凡例　A：黒ボク土　B：火山灰質土　C：降下火山灰　D：降下ラピリ　E：降下軽石　F：火砕流　G：シルト・粘土　H：砂礫　I：角礫　J：基盤岩　K：鉄・マンガン盤　L：クラック帯

テフラ名　SOa：三瓶太平山降下火山灰　SUP：三瓶浮布降下軽石　SIP：三瓶池田降下軽石　SOf：三瓶大田軽石流　SKf：三瓶粕淵火砕流　DMP：大山松江軽石　Ah：アカホヤ火山灰　AT：姶良Tn火山灰　SUn：三瓶雲南降下軽石　SKP：三瓶木次降下軽石　Aso4：阿蘇４火山灰

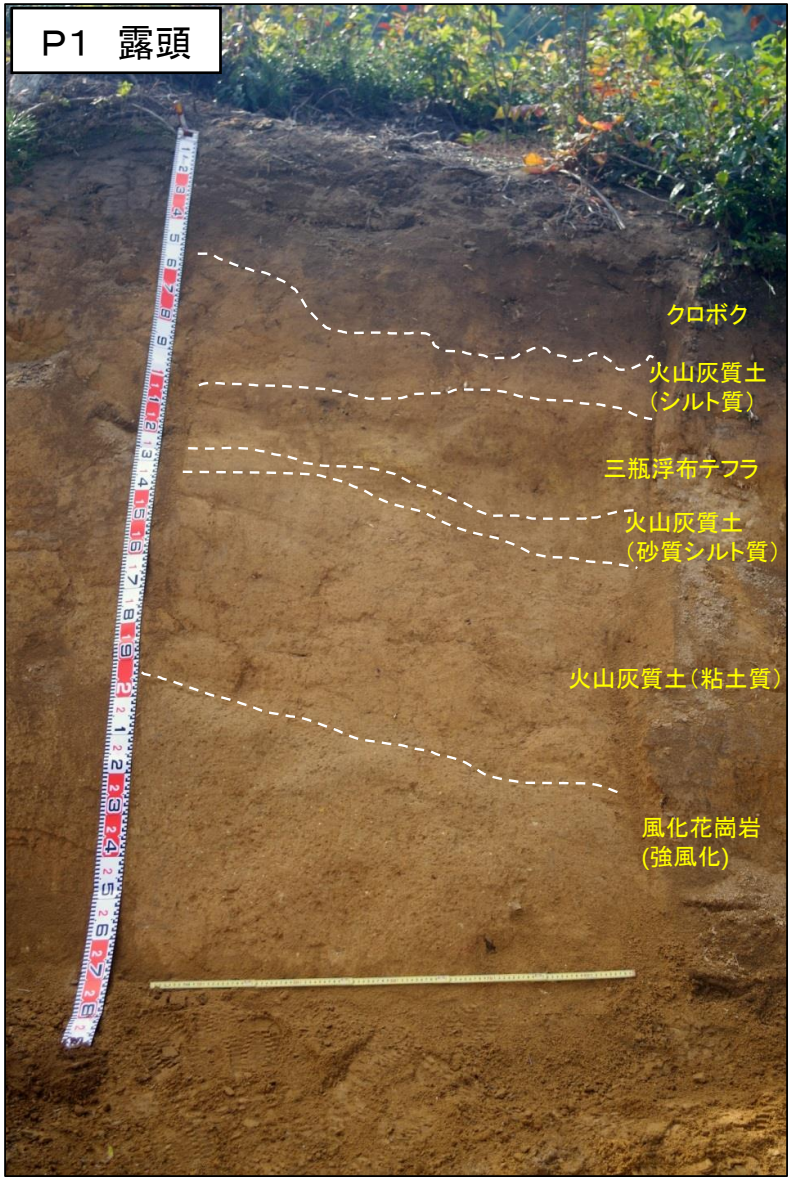
林・三浦(1987)より引用・加筆

・林・三浦（1987）に示される地質柱状図（14）の読取り値によると，岡山県北西部（新見市神郷）（旧神郷町）では155cmである。

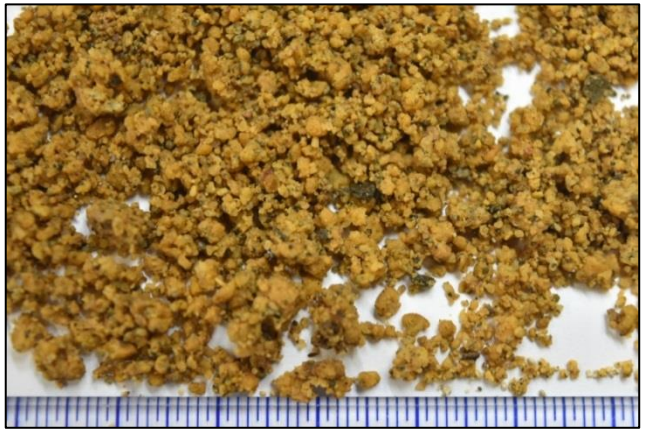
・岡山県北西部（新見市神郷）の層厚155cmについては，給源からの距離に対し，周辺の降灰厚さと比較し突出して大きく，当該地点の代表性を示す層厚とは考え難いことから，地質調査により評価を実施する。

（2）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（岡山県北西部（新見市神郷（P1））



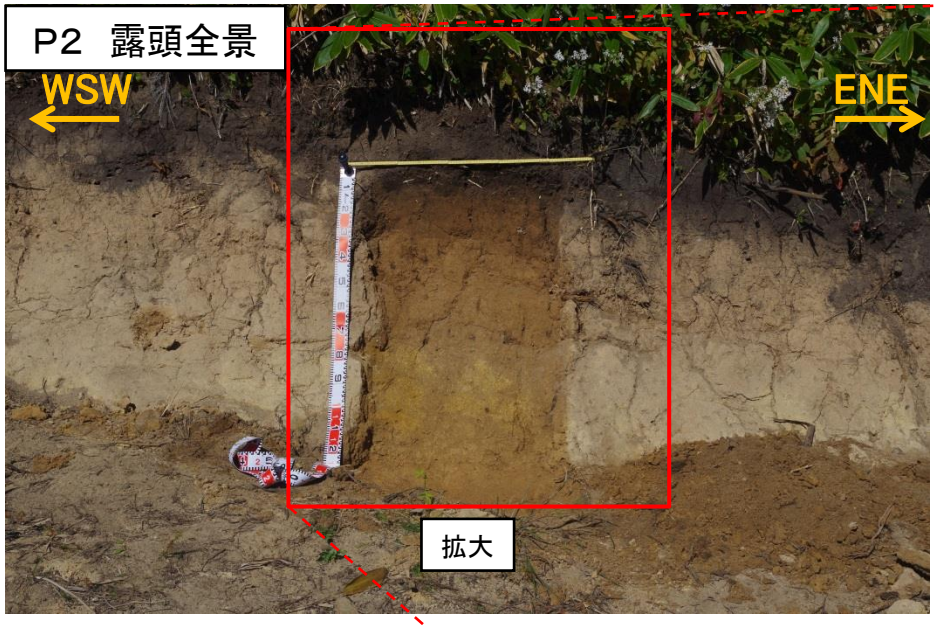

三瓶浮布テフラの接写写真

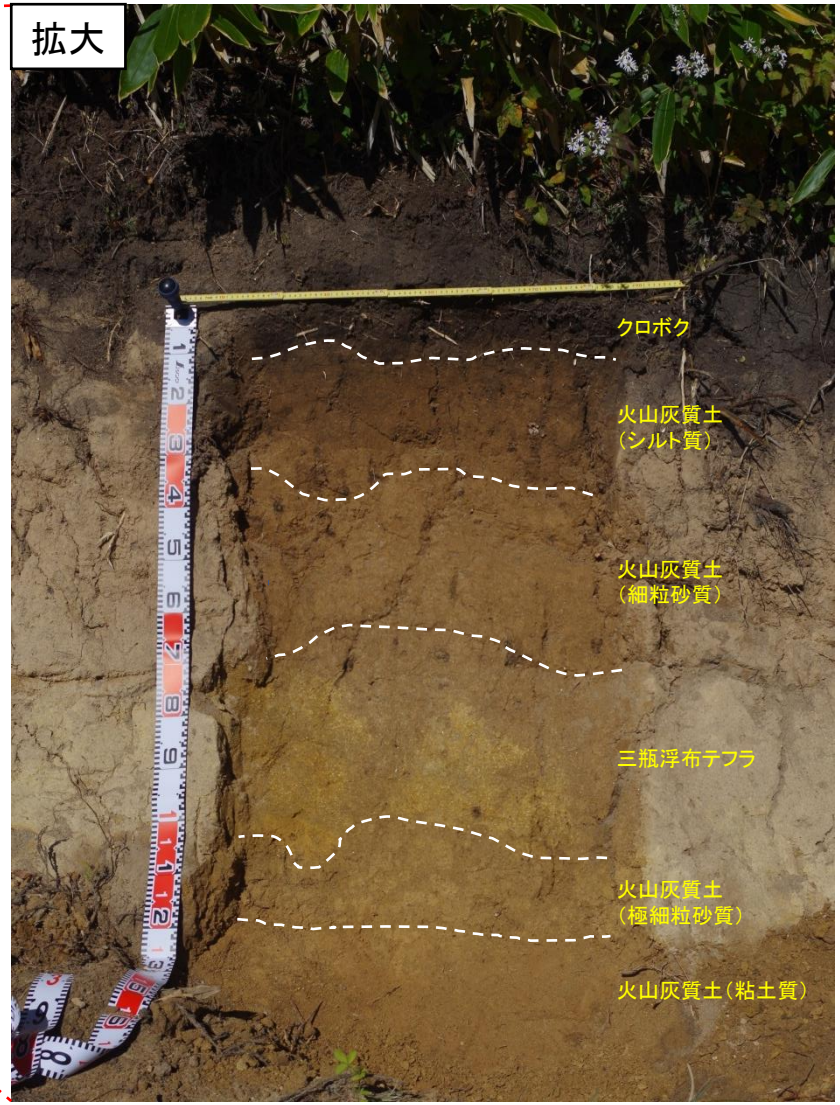


・上位からクロボク，火山灰質土（シルト質），三瓶浮布テフラ，火山灰質土（砂質シルト質），火山灰質土（粘土質），風化花崗岩（強風化）を確認した。
・風化花崗岩の上位に分布する火山灰質土（粘土質及び砂質シルト質）は火山ガラスを含むことからAT混じりと考えられ，その層の上位に分布する黄褐色を呈し，角閃石を含む軽石層を三瓶浮布テフラと同定した。
・三瓶浮布テフラは黄褐色を呈し，φ 5mm程度の軽石を含み，φ 2mm程度の角閃石が認められる。
・三瓶浮布テフラの層厚は，黄褐色を呈する軽石主体部分がブロック状に分布する範囲とその上位の不均質に混在する範囲を合わせて「30cm」と評価した。
・三瓶浮布テフラの上位または下位に分布する火山灰質土（シルト質または砂質シルト質）は，褐色または淡黄褐色を呈し，三瓶浮布テフラの特徴的な黄褐色の色調とは異なり，これらはレス，ロームなどの風成堆積物や周辺から供給された崩壊土などの二次的堆積物からなると考えられる。

(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(岡山県北西部(新見市神郷(P2)))



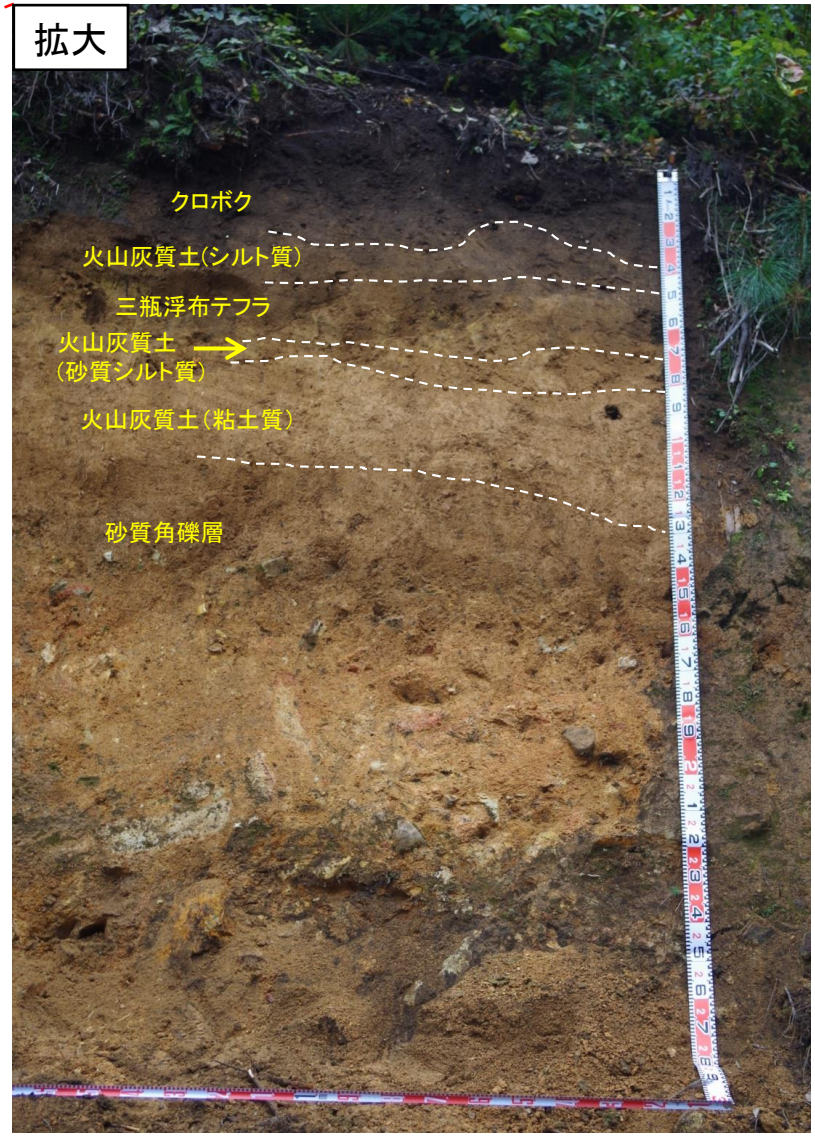




・上位からクロボク，火山灰質土(シルト質)，火山灰質土(細粒砂質)，三瓶浮布テフラ(層厚40cm)，火山灰質土(極細粒砂質)，火山灰質土(粘土質)を確認した。
・最下位層とその上位の火山灰質土(粘土質及び極細粒砂質)は火山ガラスを含むことからAT混じりと考えられ，その層の上位に分布する黄褐色を呈し，角閃石を含む軽石層を三瓶浮布テフラと同定した
・三瓶浮布テフラは黄褐色を呈し，φ 2mm程度の軽石を含み，φ 2mm程度の角閃石が認められる。
・三瓶浮布テフラの層厚は，黄褐色を呈する軽石主体部分が層状に分布する範囲とその上位の不均質に混在する範囲を合わせて「40cm」と評価した。
・三瓶浮布テフラの上位または下位に分布する火山灰質土(細粒砂質または極細粒砂質)は，風成堆積物や崩壊土などの二次的堆積物からなると考えられる。

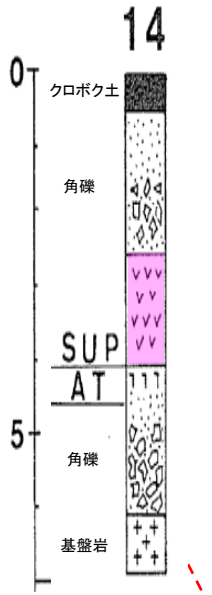
(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(岡山県北西部(新見市神郷(P3)))




・上位からクロボク，火山灰質土(シルト質)，三瓶浮布テフラ(層厚20cm)，火山灰質土(砂質シルト質)，火山灰質土(粘土質)，砂質角礫層，風化花崗岩を確認した。
・砂質角礫層が認められることから，林・三浦(1987)に示される地質柱状図(14)に類似する露頭である。
・砂質角礫層の上位に分布する火山灰質土(粘土質及び砂質シルト質)は火山ガラスを含むことからAT混じりと考えられ，その層の上位に分布する黄褐色を呈し，角閃石を含む軽石層を三瓶浮布テフラと同定した。
・三瓶浮布テフラは黄褐色を呈し，φ 6mm程度の軽石を含み，φ 1～2mm程度の角閃石が認められる。
・三瓶浮布テフラの上位または下位に分布する火山灰質土(シルト質または砂質シルト質)は，風成堆積物や崩壊土などの二次的堆積物からなると考えられる。




林・三浦(1987)より
引用・加筆

# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討（岡山県北西部（新見市神郷））



・林・三浦（1987）に示される岡山県北西部（新見市神郷）の詳細な露頭地点（文献調査地点⑲三瓶浮布テフラ層厚：155cm）が不明なため，当該地域において地表地質踏査を実施した。

・地質調査の結果，林道沿い（P1，P2及びP3）において三瓶浮布テフラが認められ，その層厚は最大40cmであることを確認した。

・町田・新井（2011）は，三瓶浮布テフラの等層厚線図を作成するにあたり，林・三浦（1987）を引用しているが，当該地域は町田・新井（2011）の等層厚線図の50cm以下の範囲に位置する。

・上記を踏まえ，林・三浦（1987）で報告されている三瓶浮布テフラの層厚155cmについては，給源からの距離に対し，周辺の降灰厚さと比較し突出して層厚が大きく，当該地点の代表性を示す層厚とは考え難いことから参考扱いとし，当該地域における三瓶浮布テフラの降灰層厚は，地質調査によって確認した最大層厚40cmとする。

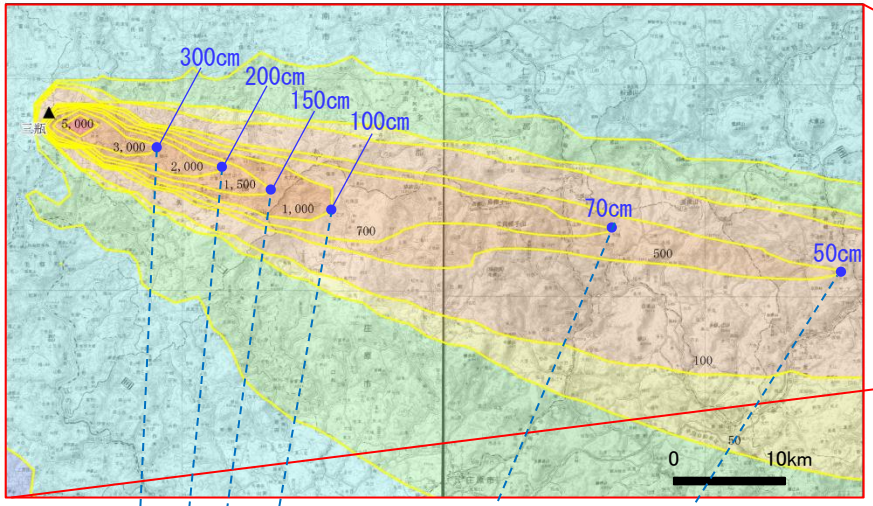
・岡山県北西部（新見市神郷）の三瓶浮布テフラの降灰層厚は40cmとする。

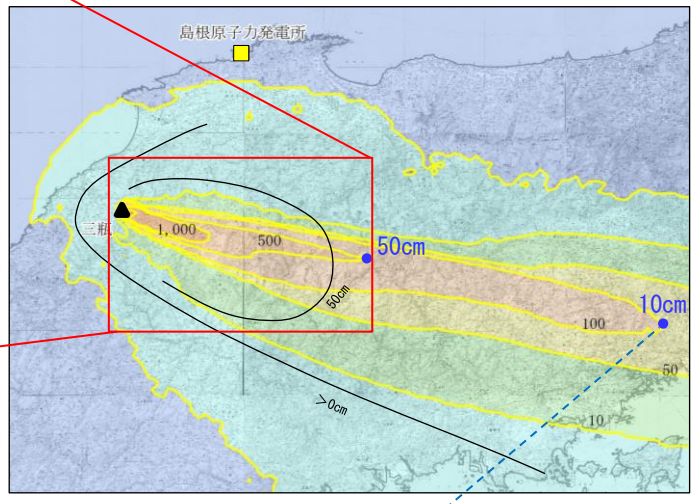
# 三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討(算定式の妥当性)



・敷地における降灰層厚の算定式の妥当性を確認するため，三瓶山に関するパラメータの妥当性確認に用いた火山灰シミュレーション結果※より，各等層厚線の主軸方向までの距離と降灰層厚の関係を確認した。

※ 2月の大気パラメータ，風向を町田・新井(2011)による50cm等層厚線の主軸方向に向けた仮想風(全高度の風を10° 回転)




凡　例

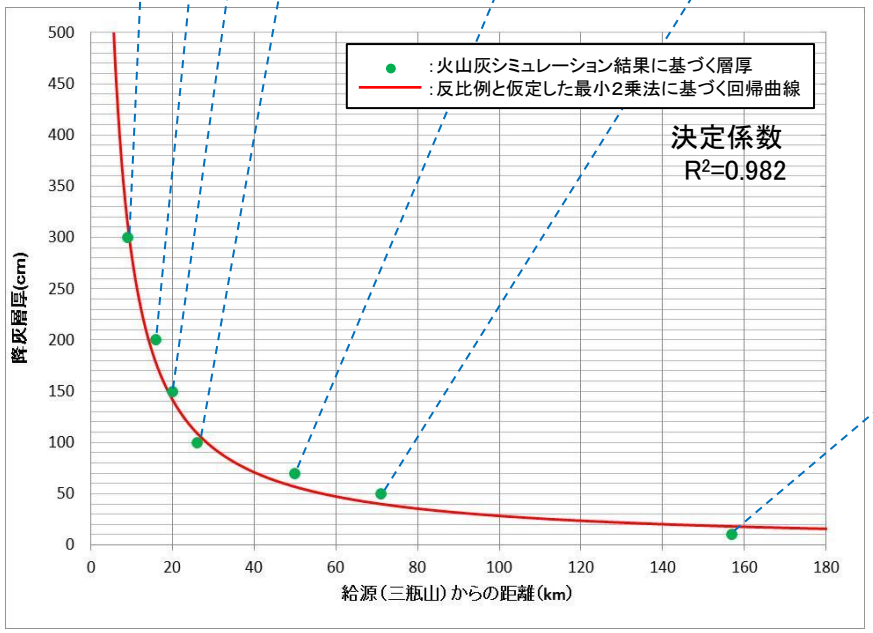
- ▲ 三瓶山
- □ 島根原子力発電所

降灰量(kg/m²≒mm)

- ～1
- 1～10
- 10～50
- 50～100
- 100～500
- 500～1000
- 1000～5000
- 5000～

町田・新井(2011)による等層厚線

シミュレーションによる等層厚線の主軸位置




決定係数：　推定された回帰式の当てはまり度合いを示し，1に近いほど回帰式が実際のデータに当てはまっていることを示す。

・火山灰シミュレーション結果より，各等層厚線の主軸方向までの距離と降灰層厚の関係は，反比例と仮定した回帰曲線の決定係数は高い(決定係数0.982)。

・このことから，降灰層厚が給源からの距離に反比例する仮定が妥当であると判断する。

# 三瓶山の降下火砕物の影響評価（まとめ）



【降下火砕物の層厚評価における想定噴火規模】
・噴火履歴による検討結果等より，原子力発電所の運用期間中には，木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は十分小さいと評価した。
・三瓶大田は，火砕物密度流主体の噴火であることから，前述のとおり設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動として評価する。なお，三瓶大田と同時期の降下火砕物とされる三瓶雲南テフラは，その分布範囲及び降灰層厚を踏まえると三瓶浮布テフラの噴出量を上回るものではないと評価した。
・原子力発電所の運用期間中の規模として，木次降下軽石の噴出時を除いて降下火砕物の噴出量が最大である浮布降下火山灰（噴出量：4.15km$^3$）を考慮する。
【文献調査結果・地質調査結果】
・敷地では第四紀火山を給源とする降下火砕物（給源不明を含む）は確認されていない。
・敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）における地質調査の結果，敷地は三瓶木次テフラ（SK）の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。また，敷地周辺陸域（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）では三瓶雲南テフラの火山灰層は認められなかったが，敷地前面海域における柱状採泥調査の結果，三瓶雲南テフラ（SUn）が確認され，その層厚は最大4cmである。
【火山灰シミュレーション結果】
・風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は33.5cmとなった。
・火山の活動様式の不確かさとして火砕物密度流主体の三瓶大田の噴出規模6.60km$^3$を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は7.5cmとなった。
【三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討結果】
・敷地は三瓶山の風下側に位置し，風向によっては降灰が想定される。また，Maruyama et al.（2020）によると，三瓶浮布テフラの分布域は明確に2方向に区分され，その一方（SUk-U）が中国地方の広範囲で分布している。以上のことから，敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションによる検討に加え更なる保守的な検討として，町田・新井（2011）による50cm等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが，その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する55km地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮した結果，敷地における降灰層厚は55.5cmとなった。

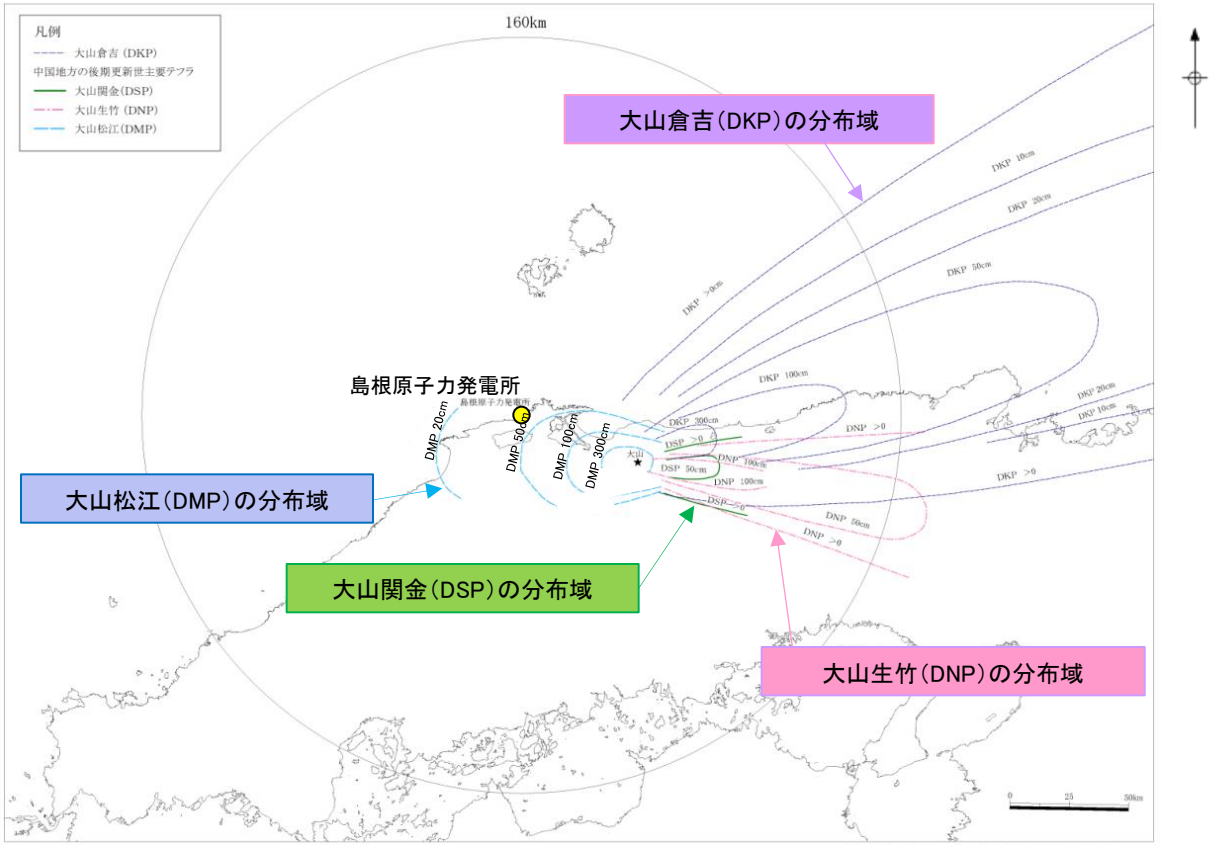
原子力発電所の運用期間中の規模として想定した三瓶浮布テフラ（噴出量：4.15km$^3$）について，文献調査，地質調査，火山灰シミュレーション及び敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討結果55.5cmを踏まえ，敷地における降下火砕物の層厚を56cmとする。

余白

# 大山の降下火砕物の分布に関する調査（文献調査）



・町田・新井（2011）によると，大山松江（DMP）は敷地に到達（層厚：概ね20～50cm）しているとされており，分布主軸を火山の西方に伸ばす珍しい分布域をもつテフラとされている。
・大山倉吉（DKP），大山生竹（DNP）及び大山関金（DSP）は敷地に到達していないとされている。

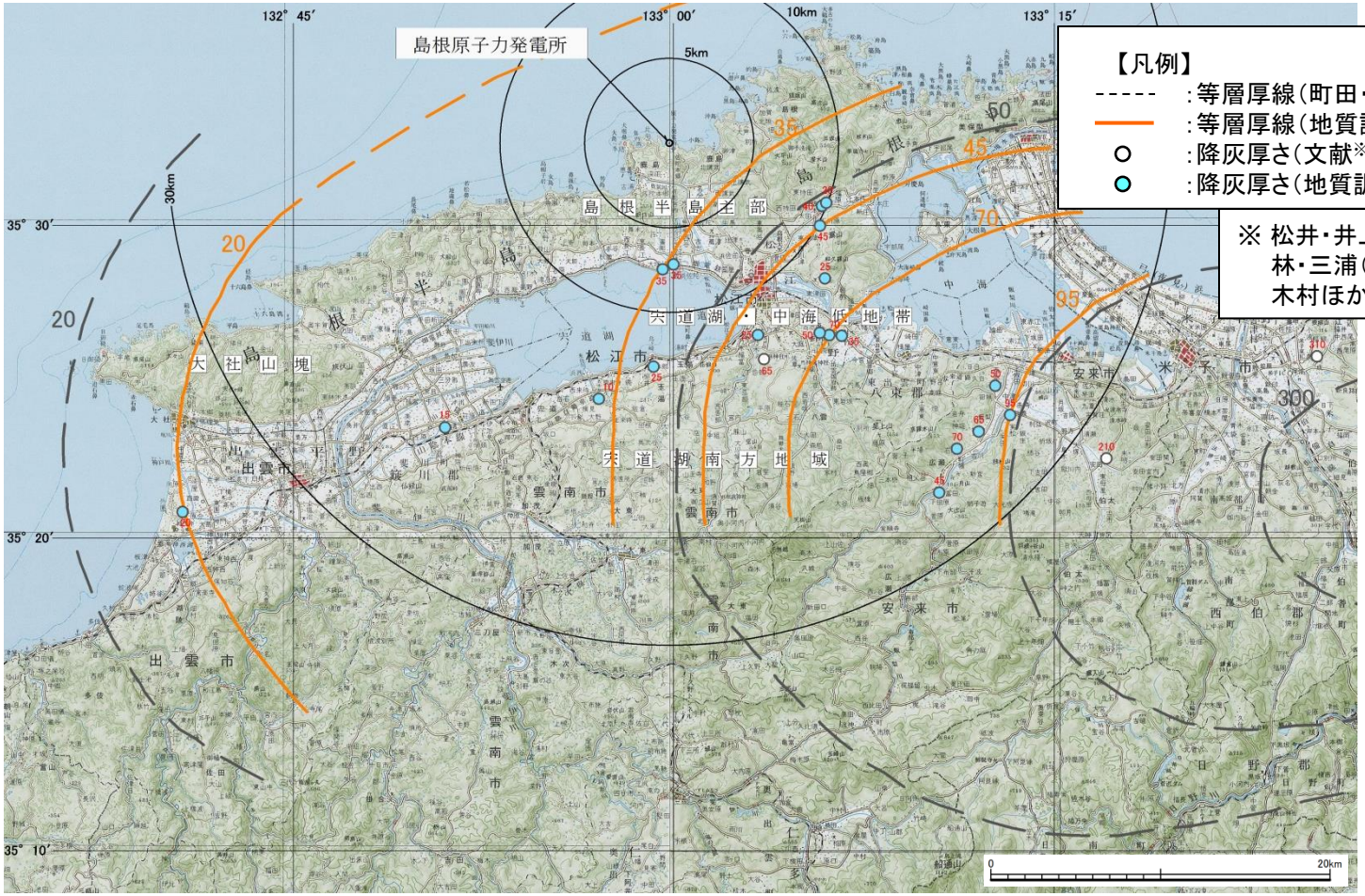



町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆

# 大山の降下火砕物の分布に関する調査（地質調査：敷地周辺）



文献調査により，大山松江テフラ（DMP）が敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）に到達している可能性が示唆されたことから，敷地周辺における大山起源の降下火砕物の層厚を確認するための地質調査を実施した。地質調査の結果，大山起源の降下火砕物のうち，DMPのみが敷地周辺で火山灰層として認められた文献調査及び地質調査によりDMPが確認された地点及びこれらに基づく等層厚線を示す。



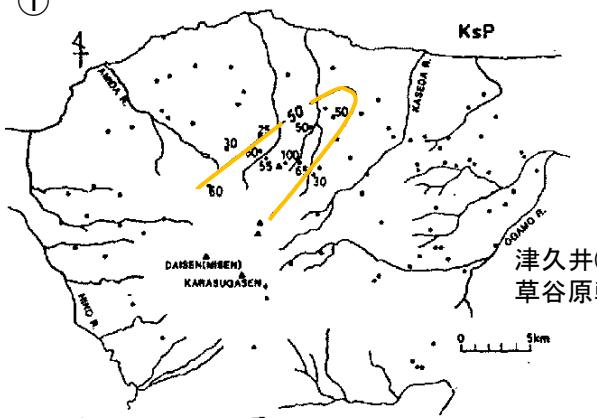

※敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）で確認されたDMPのみを示す。

敷地周辺における地質調査の結果，敷地周辺の層厚は概ね文献と同等であり，敷地は等層厚線20～35cmに位置し，大山松江テフラ（DMP）の敷地における層厚は30cm程度と推定される。

# 大山の降下火砕物の分布に関する調査（文献調査）

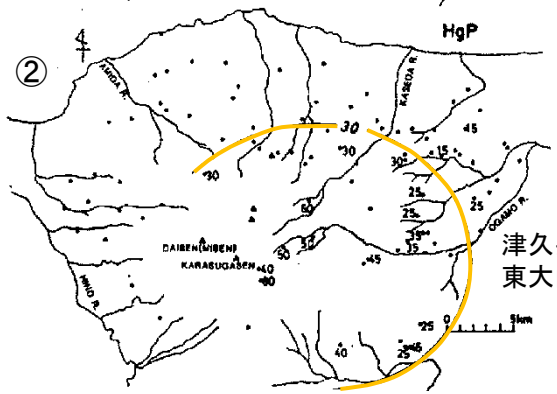


①



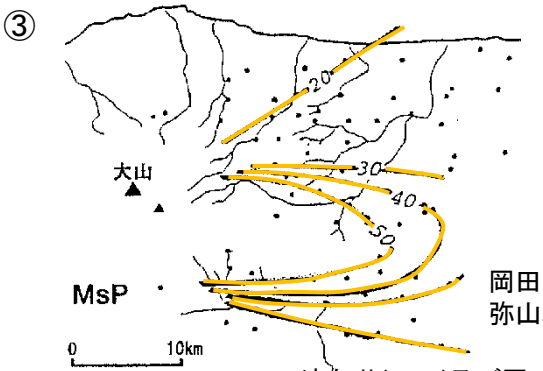

津久井(1984)による
草谷原軽石のアイソパック

②




津久井(1984)による
東大山軽石のアイソパック

③




岡田・石賀(2000)による
弥山軽石のアイソパック

津久井(1984)及び岡田・石賀(2000)より引用

・弥山－三鈷山噴火時のテフラについては，最新の知見に基づき，町田・新井(2011)の大山弥山を採用する。
・町田・新井(2011)では，大山弥山のアイソパックは示されていないが，以下の文献調査結果から大山弥山は敷地まで到達していないと考えられる。
(1) 津久井(1984)[57]に示される①草谷原軽石層，②東大山軽石層のアイソパック，及び岡田・石賀(2000)[58]に示される③弥山軽石のアイソパックによると，これらの大山テフラは敷地まで到達していないとされる。
(2)加藤ほか(2004)[59]によると，上記の降下火砕物は，町田・新井（2003）[60]に示される大山弥山（町田・新井（2011）に同じ）に対比されている。
・敷地周辺において当社で実施した地質調査においては，弥山－三鈷山噴火時の降下火砕物は確認されていない。

大山テフラの層序区分とその対比

| | 津久井(1984) | 岡田・石賀(2000) | 町田・新井(2011) |
|---|---|---|---|
| 新しい | | | 大山鏡ヶ平(DKg) |
| | 弥山火砕流堆積物(MiF) | 弥山火砕流(MiF) | |
| | ① 草谷原軽石層(KsP) | 草谷原軽石(KsP) | 大山弥山(DMs) |
| | ② 東大山軽石層(HgP) | ③ 弥山軽石(MsP) ？ | |
| | 東大山火山灰層(HgA) | 上のホーキ(Uh) | 大山東大山(DHg) |
| | 笹ヶ平火砕流堆積物(SaF)<br>笹ヶ平火山灰層(SaA) | オドリ火山砂(Od)<br>下のホーキ(Sh) | 大山笹ヶ平(DSs) |
| 古い | ＜姶良Tn火山灰(AT)＞ | | |

加藤ほか（2004）を元に修正・追記

# 大山の噴火履歴の検討（大山の概要）



・敷地の東南東約53kmに位置し，最大標高約1,729mの剣ヶ峰を最高峰とする。東西約35km，南北約30km，総体積約120km$^3$を超える大型の複成火山で，日本海から下蒜山までの間に分布する複数の火山からなるとされている。
・噴出物は古期と新期に区分され，古期噴出物は厚い溶岩流，新期噴出物は軽石層や火山灰層，火砕流堆積物及び溶岩円頂丘からなる。

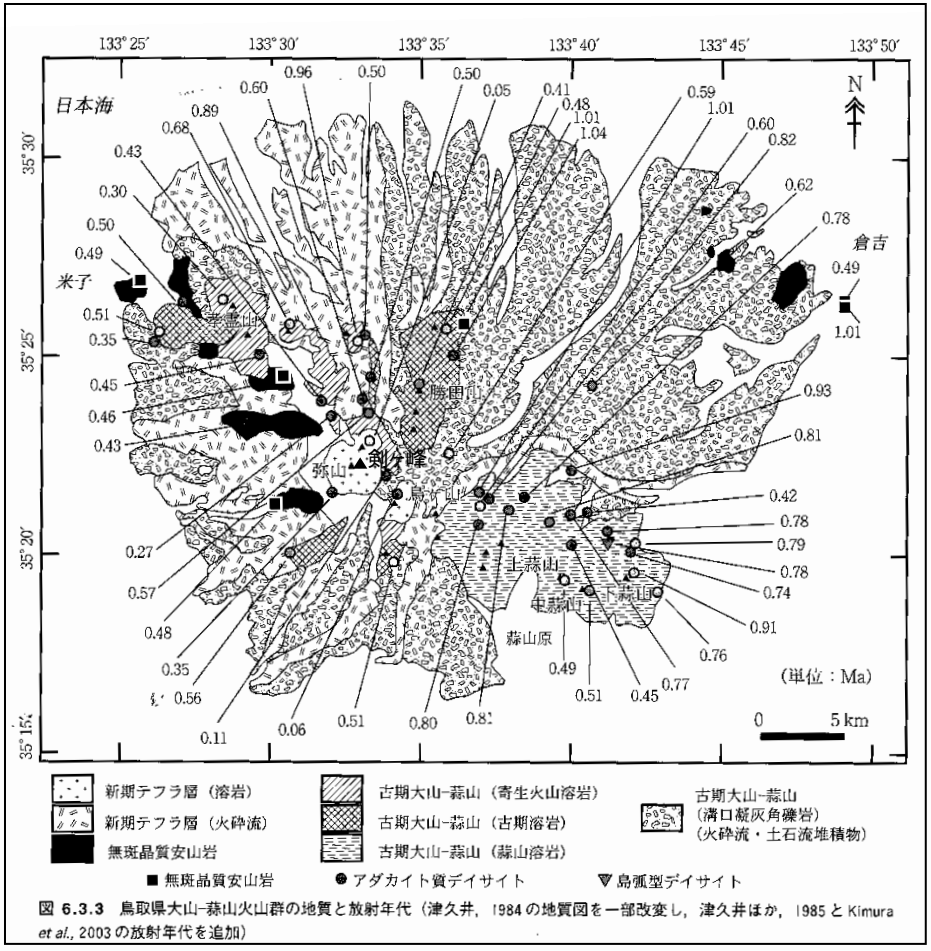



図 6.3.3 鳥取県大山-蒜山火山群の地質と放射年代（津久井，1984の地質図を一部改変し，津久井ほか，1985とKimura et al., 2003の放射年代を追加）

日本地質学会編（2009）より引用

## 火山形式

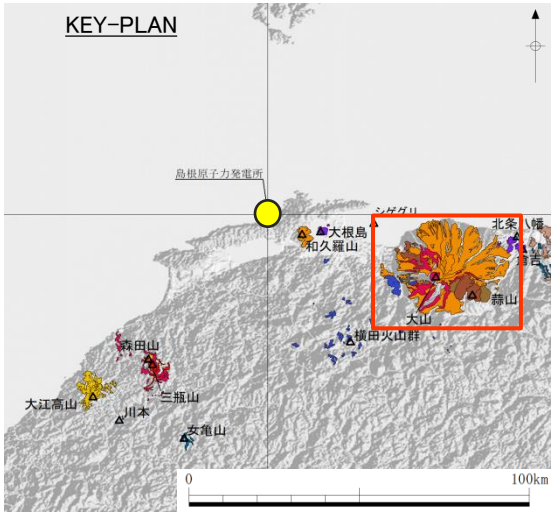
溶岩ドームと火砕丘及び溶岩流

地質調査総合センター（2021）による

## 主な岩石

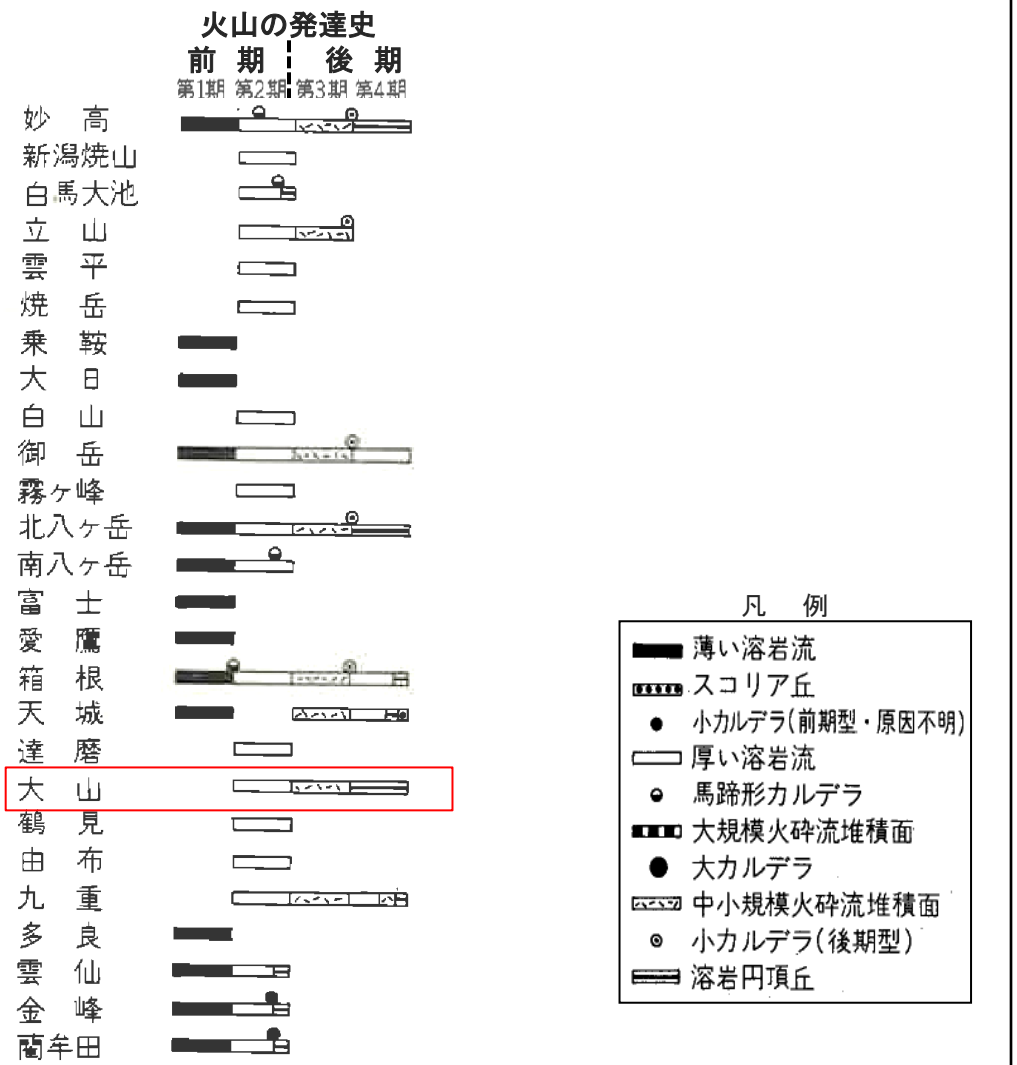
デイサイト，安山岩

地質調査総合センター（2021）による

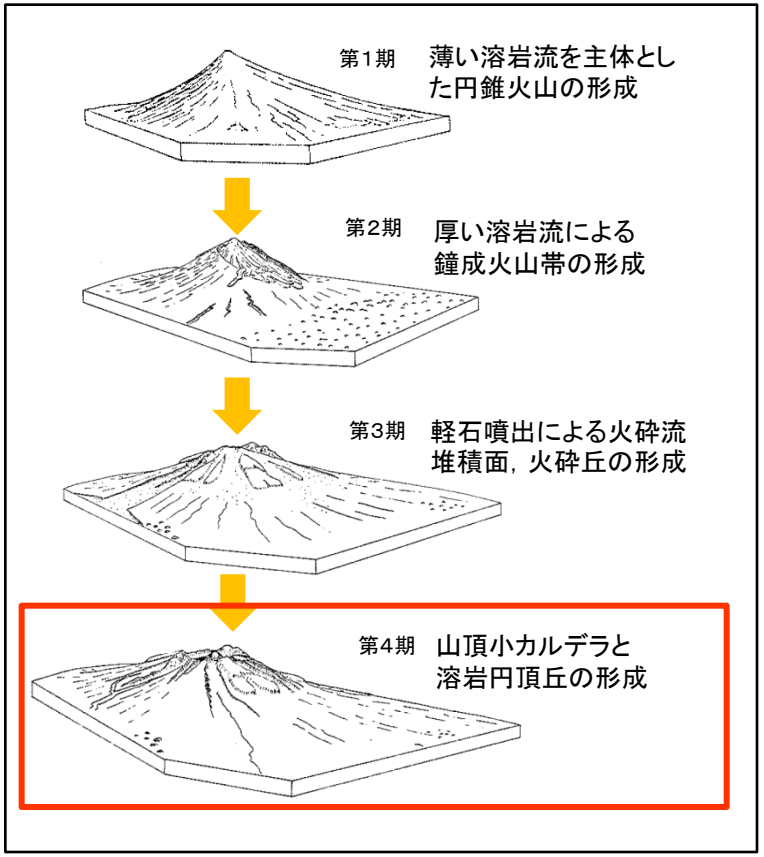


# 大山の噴火履歴の検討(地形発達史)






守屋(1983)より引用・加筆




守屋(1983)より引用・加筆

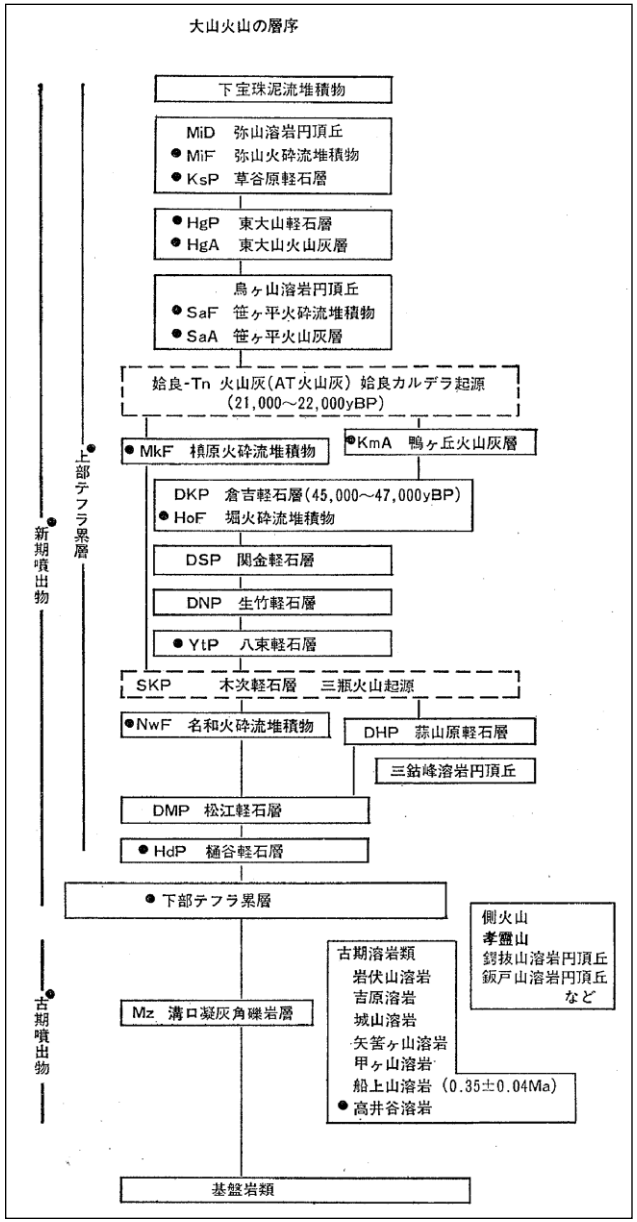
・守屋(1983)[61]によると，日本の第四紀火山の発達史的分類が行われており，大山が分類される円錐火山は，火山地形に応じて，前期(第1期と第2期)と後期(第3期と第4期)の2期にまとめられている。
・大山は，現在は火山活動の末期である第4期の溶岩円頂丘が発達しているとし，後期型円錐火山とされている。

# 大山の噴火履歴の検討（活動形態の変遷）



現在
～
約40万年前

約40万年前
～
約100万年前




津久井（1984）より引用・加筆

津久井ほか(1985)[62]による大山の火山活動は以下のとおりである。

**【約100万年前～約40万年前（古期噴出物）】**

約100万年前の溶岩円頂丘形成や溶岩流出から始まり，約60万年前から約40万年前にかけて，現在の大山の骨格の大部分を形成した活動（古期溶岩類，溝口凝灰角礫岩層等）があるとされている。

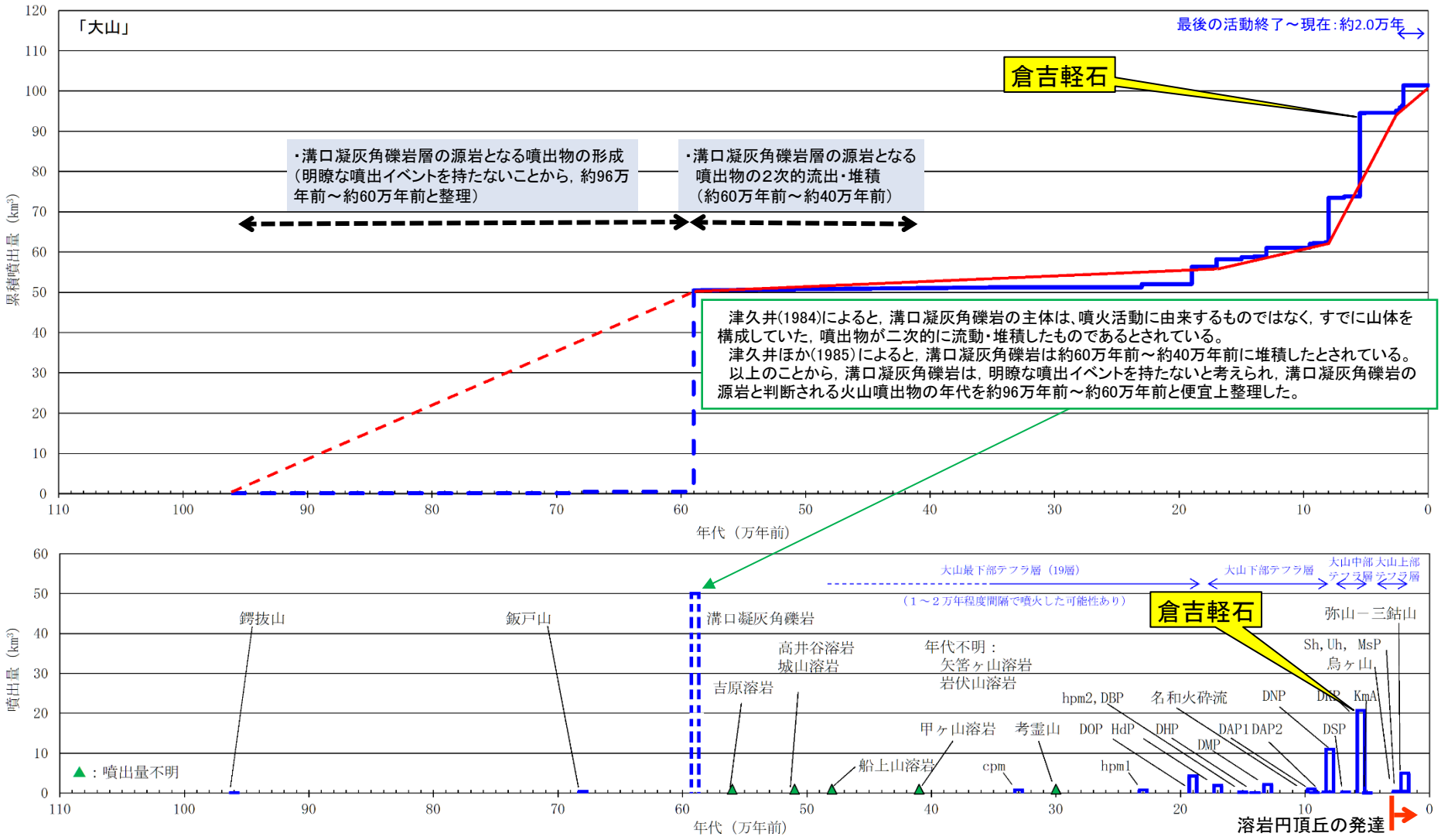
なお，溝口凝灰角礫岩層の主体は，噴火活動に直接由来するものではなく，すでに山体を構成していた噴出物が，二次的に流動・堆積したものと考えられるとしている。

**【約40万年前～現在（新期噴出物）】**

約40万年前以降に繰返した噴火は，長期間の噴火休止期間が無く，1万年～数万年ごとに噴火を繰り返したとされている。

# 大山の噴火履歴の検討(階段ダイヤグラム)

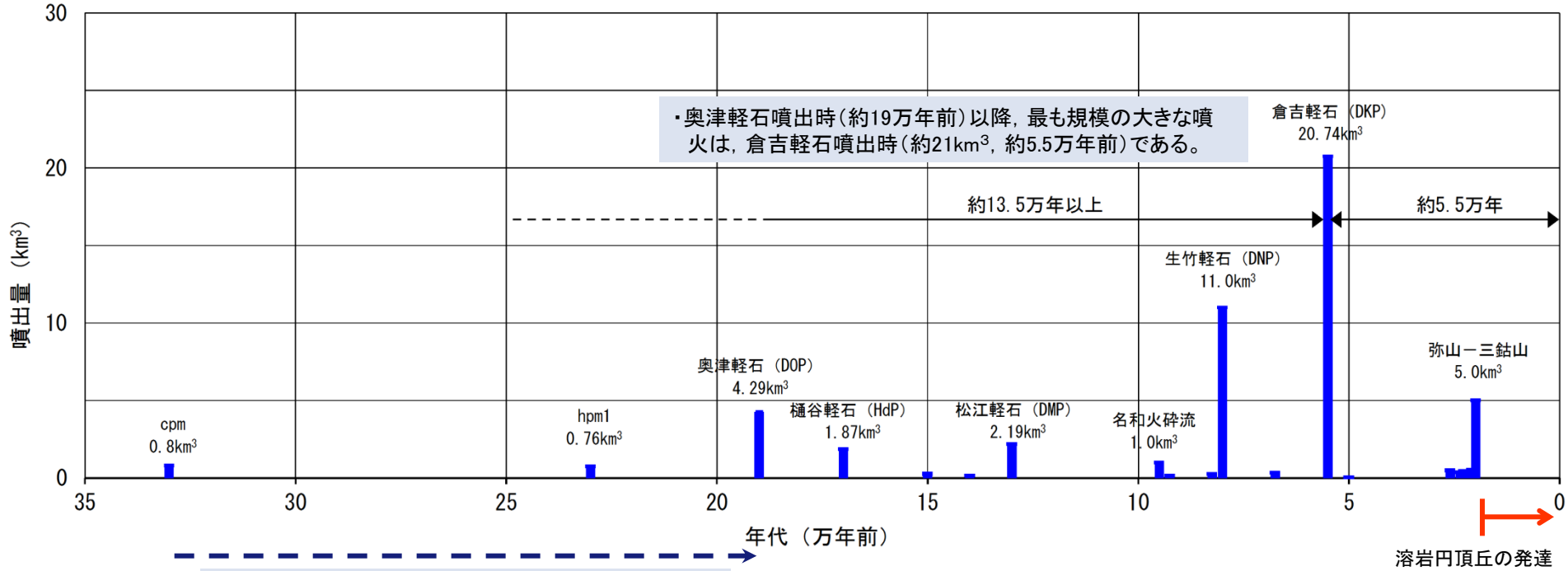





※地質調査総合センター(2021)に基づき，大山と蒜山の活動場変遷に共通性はないと判断されることから，大山と蒜山を区別して評価する。また，三平山は，西来ほか編(2012)の編者による年代測定結果を踏まえ，第四紀火山から除外する。なお，三平山の第四紀火山としての考慮の有無が大山の活動性評価に影響を与えるものではない。

# 大山の噴火履歴の検討（新期噴出物の噴火履歴）






岡田・石賀(2000)によると，新期噴出物のうち奥津軽石の下位に続くテフラについては，今のところその詳細はまったく不明であるとされている。

（第四紀火山カタログ編集委員会(1999)，須藤ほか(2007)，原子力規制委員会（2019）(63)，関西電力（2019）(64)に基づき作成）

・溝口凝灰角礫岩の堆積以降において，最も規模の大きな噴火は倉吉軽石（DKP）噴出時である。
・約40万年前以降，噴火規模の最も大きな倉吉軽石規模の噴出までの期間（約34.5万年）は，倉吉軽石の噴出からの経過時間（約5.5万年）に比べ十分に長い。更に，奥津軽石（約19万年前）の噴火から倉吉軽石規模の噴火までの期間（約13.5万年）を見積もっても，最新の噴火からの経過時間（約5.5万年）に比べ十分に長い。
・一方，数km3以下の規模の噴火については，倉吉軽石の噴出以前若しくは以降においても繰り返し発生している。

第924回審査会合
資料1-1 P129 加筆・修正



・平成29年3月に大山を対象とした噴火履歴に関する論文（山元（2017）(65)）が発表された。
・山元（2017）は，大山の過去約20万年間の噴出物層序の再構築とマグマ噴出量の再計測を行い，Legros（2000）(66)の手法（以下「Legros法」という。）に統一した岩石換算噴出量を用いた噴火履歴及び階段ダイヤグラムを作成し，大山の長期的な活動について報告している。

第3表　大山火山噴出物の岩石換算体積．DKPの年代は長橋ほか（2016），DSPからDBPの年代は山元（2015）のコンパイルによる．他の噴出物の年代の引用は本文を参照のこと．

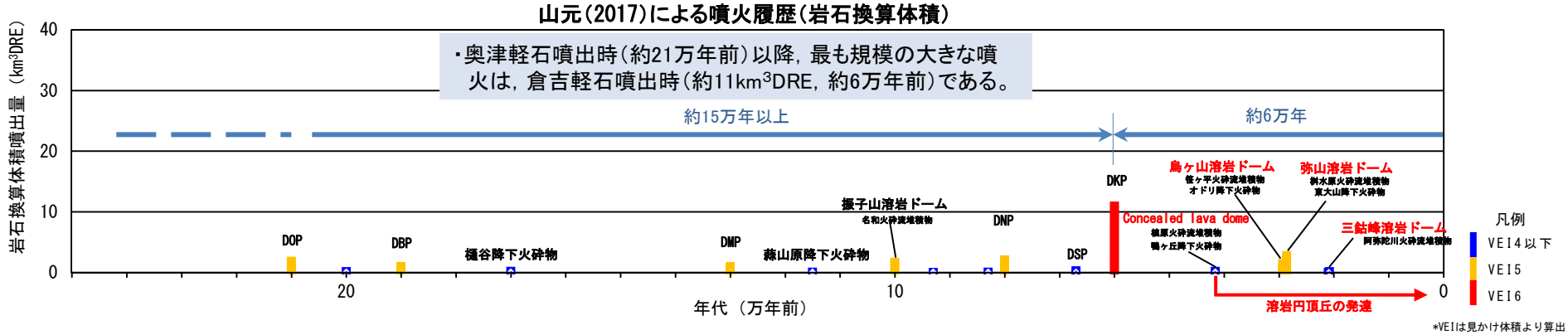
Table 3　Dense-rock equivalent volume for the products of Daisen Volcano. Eruption ages for DKP and DSP to DBP are based by Nagahashi *et al.* (2016) and complied data in Yamamoto (2015), respectively. See text for references of other product ages.

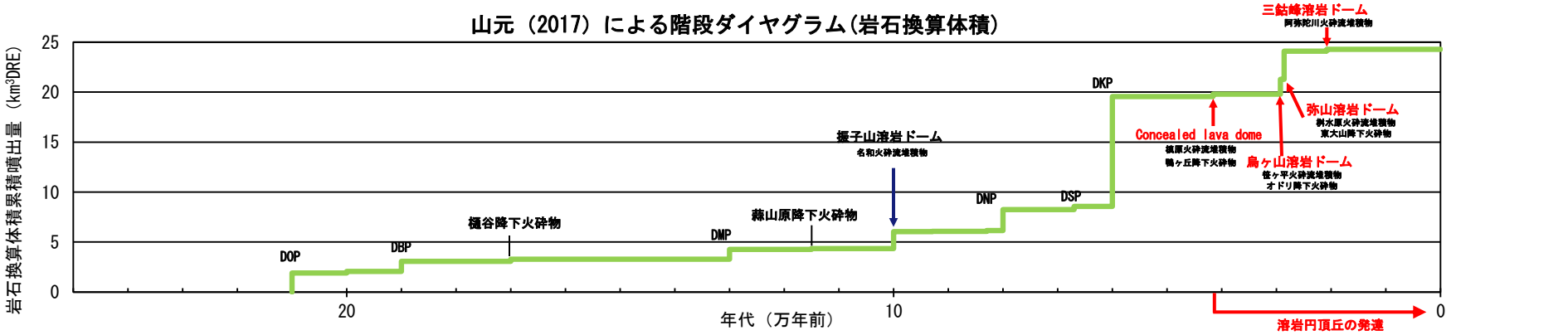
| Age (ka) | Lava | ($km^3$ DRE) | Pyroclastic flow | ($km^3$ DRE) | Pyroclastic fall | ($km^3$ DRE) | Total ($km^3$ DRE) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20.8 | Sankoho | $1.5 \times 10^{-1}$ | Amidagawa | $6.7 \times 10^{-3}$ | | | $1.6 \times 10^{-1}$ |
| 21 | | | | | Kusatanihara | $3.4 \times 10^{-2}$ | $3.4 \times 10^{-2}$ |
| 28.6 | Misen | $1.9 \times 10^{0}$ | Masumizuhara | $7.3 \times 10^{-1}$ | Higashidaisen | $1.3 \times 10^{-1}$ | $2.8 \times 10^{0}$ |
| 29.3 | Karasugasen | $7.2 \times 10^{-2}$ | Sasaganaru | $1.0 \times 10^{0}$ | Odori | $4.4 \times 10^{-1}$ | $1.5 \times 10^{0}$ |
| 41.6 | | | Makibara | $1.9 \times 10^{-1}$ | Kamogaoka | $3.5 \times 10^{-2}$ | $2.3 \times 10^{-1}$ |
| 60 | | | | | Kurayoshi (DKP) | $1.1 \times 10^{1}$ | $1.1 \times 10^{1}$ |
| 67 | | | | | Sekigane (DSP) | $3.0 \times 10^{-1}$ | $3.0 \times 10^{-1}$ |
| 80 | | | | | Namatake (DNP) | $2.1 \times 10^{0}$ | $2.1 \times 10^{0}$ |
| 83 | | | | | Arata 2 | $8.0 \times 10^{-2}$ | $8.0 \times 10^{-2}$ |
| 93 | | | | | Arata 1 | $2.4 \times 10^{-2}$ | $2.4 \times 10^{-2}$ |
| 100 | Furikosen | $3.6 \times 10^{-1}$ | Nawa | $1.3 \times 10^{0}$ | | | $1.7 \times 10^{0}$ |
| 115 | | | | | Hiruzenbara | $8.7 \times 10^{-2}$ | $8.7 \times 10^{-2}$ |
| 130 | | | | | Matsue (DMP) | $9.9 \times 10^{-1}$ | $9.9 \times 10^{-1}$ |
| 170 | | | | | Hidani | $2.2 \times 10^{-1}$ | $2.2 \times 10^{-1}$ |
| 190 | | | | | Bessho (DBP) | $1.0 \times 10^{0}$ | $1.0 \times 10^{0}$ |
| 200 | | | | | HPM2 | $1.6 \times 10^{-1}$ | $1.6 \times 10^{-1}$ |
| 210 | | | | | Okutsu (DOP) | $1.9 \times 10^{0}$ | $1.9 \times 10^{0}$ |

山元（2017）より引用・加筆

第924回審査会合
資料1-1 P130 再掲






Legros法に統一した岩石換算噴出量を基に噴火履歴を検討した結果，倉吉軽石（DKP）と倉吉軽石（DKP）以外の噴出量との関係は，倉吉軽石（DKP）のみが突出して大きい。

## DNPの噴出規模の算出方法について

以下のP134～P142に示す資料は，関西電力(2019)での評価内容である。

○DNPの噴出規模は，等層厚線図を用いて算出した。
○DNPの等層厚線図の作成に用いた情報は，以下のとおりである。

●火山灰アトラスに記載されるDNPに関する情報（等層厚線図）
●原子力規制委員会(2018)[67]に示される7地点の降灰層厚

原子力規制委員会(2018)に示される7地点のうち，大山池地点，灘川山地点，越畑地点，水月湖地点，琵琶湖高島沖地点における文献，現地調査結果については，第827回審査会合資料1-2-2のとおり。

●①岡田・谷本(1986)[68]，②田中他(1982)[69]，③野村・田中(1992)[70]に記載されるDNPの降灰層厚に関する情報

上記①～③に示される各地点における文献調査結果については，補足説明（第827回審査会合資料1-2-2）のとおり。

**DNPの降灰層厚に関する文献①～③の結果から等層厚線図の作成に反映する地点について**

・①岡田・谷本(1986)で記載される7地点（大山池地点は除く）については，火山灰アトラスに 引用されている文献でもこれらに近い地点で同程度の層厚が示されていることより，これら7地点の層厚の値は概ね妥当であると判断した。

**等層厚線図の作成に岡田・谷本(1986)で記載される7地点の降灰層厚に関する情報を反映した。**

・②田中他(1982)，③野村・田中(1992)で記載される2地点については，火山灰アトラスに引用される文献には，これら2地点に近い地点がなく，その層厚の値の確からしさを確認できなかった。

**等層厚線図の作成にこれら2地点の降灰層厚に関する情報は，参考扱いとした。**

DNPの等層厚線図の作成に用いた14地点の降灰層厚の情報は，下表のとおりである。

| | 評価地点 | 降灰層厚 |
|---|---|---|
| 原子力規制委員会（2018）に示される7地点 | 大山池（だいせんいけ） | 200cm |
| | 上斎原（石越）（かみさいばら いしごし） | 100cm |
| | 上斎原（中津河）（かみさいばら なかつこう） | 150cm |
| | 灘川山（とろかわやま） | 10～15cm |
| | 越畑（こしはた） | 25cm |
| | 水月湖（すいげつこ） | なし |
| | 琵琶湖高島沖（びわこたかしまおき） | 5cm |
| 文献に示される7地点 | 倉吉市服部（くらよしし はっとり） | 45cm |
| | 倉吉市悴谷・般若（くらよしし かせだに はんにゃ） | 110cm |
| | 関金町荒田（せきがねちょうあらた） | 115cm |
| | 関金町関金宿・三朝町福本（せきがねちょうせきがねしゅくみささちょうふくもと） | 220cm |
| | 中和村別所（ちゅうかそんべっしょ） | 50cm |
| | 人形峠（にんぎょうとうげ） | 120cm |
| | 上斎原村恩原貯水池南（かみさいばらそんおんばらちょすいちみなみ） | 120cm |

・原子力規制委員会(2018)：大山火山の大山生竹テフラの噴出規模見直しに伴う報告徴取命令の発出について（案），平成30年12月12日
・関西電力(2019)：大山火山灰に係る新知見を踏まえた噴出規模と原子力発電所ごとの敷地における降下火砕物の最大層厚に関する評価結果について

## 等層厚線図に用いた降灰層厚情報のまとめ

○DNPの等層厚線図の作成にあたって火山灰アトラス以外に用いる地点は，下図に示す報告徴収命令で示された7地点と岡田・谷本(1986)に示された7地点の計14地点（参考扱いの2地点は除く）である。



## 等層厚線図の作成について

・14地点の降灰層厚に関する情報を用いて，100cm，50cm，25cm，15cm，5cm，0cmの6本の等層厚線を作成した。

・等層厚線図の作成については，須藤他(2007)に記載される以下の(a)～(c)に示す等層厚線図の作成方法に従った。

【須藤他(2007)による等層厚線図の作成方法 】

(a)等層厚線図は火口から何らかの基準点とした円または楕円などの滑らかな閉じた曲線を描く

(b) 複数の等層厚線は互いに交差しない

(c) 層厚値は火口から離れるにしたがい小さくなる

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,地質調査研究報告書,58,p.261－p.321

・主軸については，火山灰アトラスに示される等層厚線図の主軸を踏襲した。

## ＜①100cmの等層厚線の作成方法＞




・火山灰アトラスに示される100cmの等層厚線と悪谷（かせだに）・般若地点，大山池地点，上斎原（石越（いしごし））地点，上斎原（中津河（なかつこう））地点，関金町荒田地点，関金宿・福本地点，人形峠地点及び上斎原村恩原貯水池南（かみさいばらそんおんばら）地点の8地点が整合しているかを確認し，悪谷（かせだに）・般若地点を除く7地点は，火山灰アトラスに示される100cmの等層厚線に概ね整合していることを確認した。

・悪谷（かせだに）・般若地点は，火山灰アトラスに示される100cmの等層厚線の外側となっているため，火山灰アトラスの100cmの等層厚線を若干変更した。

## ＜②50cmの等層厚線の作成方法＞




・50cmの等層厚線は，中和村別所地点と倉吉市服部地点のやや南を通り，火山灰アトラスに示される50cmの等層厚線の東端と大山を結ぶ直線を長辺とする楕円を設定した。

・楕円の形状は①で設定した100cmの等層厚線の形状を参考にしつつ，須藤(2007) に記載される(a)に従い形状を楕円に変更した。

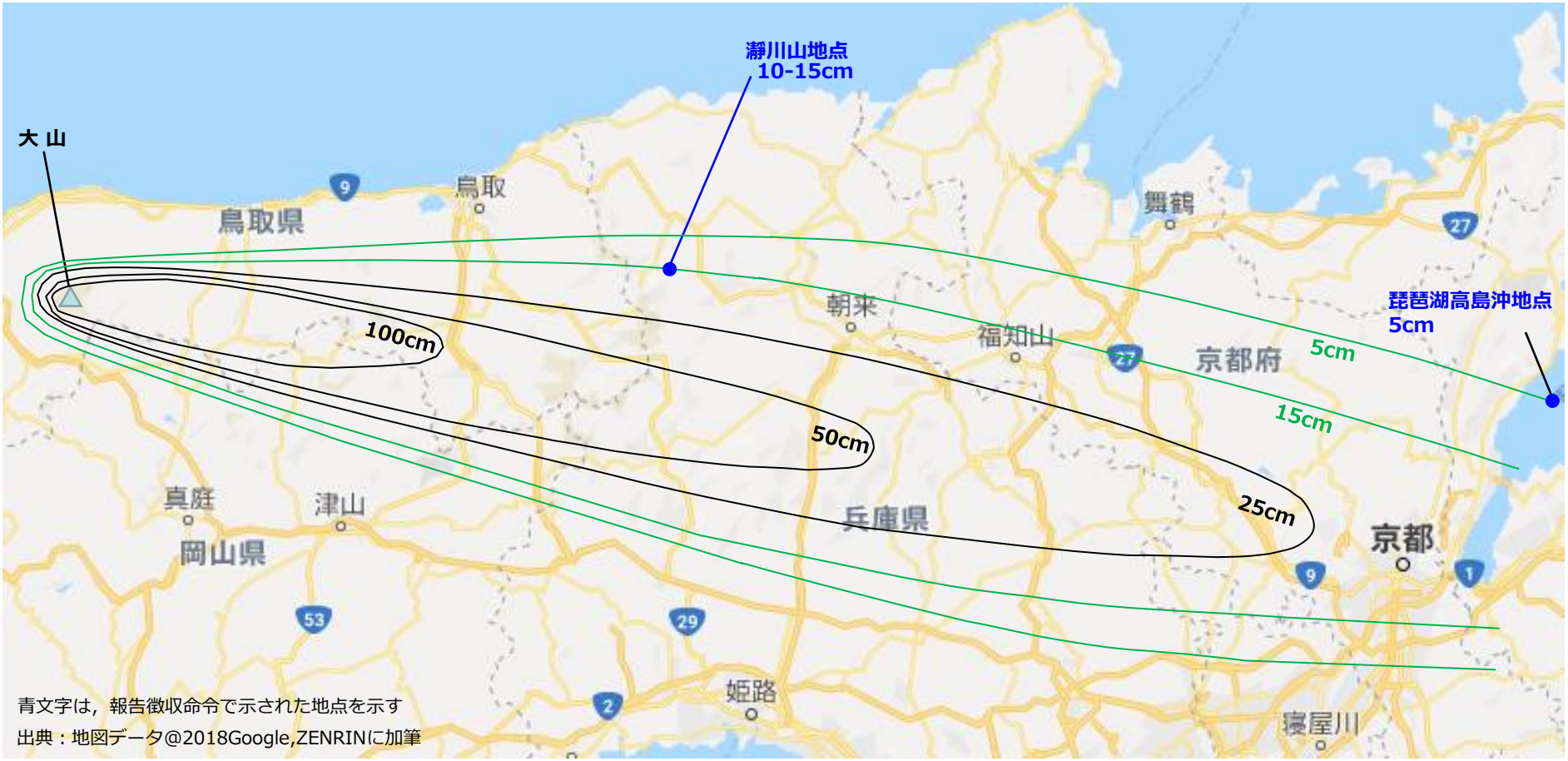
## ＜③25cmの等層厚線の作成方法＞




・25cmの等層厚線は，越畑地点(25cm)と大山を結ぶ直線を長辺とする楕円を設定した。

・楕円の形状は②で設定した50cmの等層厚線と瀞川山地点(15cm)の間を通過するようにして①，②で設定した100cm及び50cmの等層厚線の形状と整合するようにした。

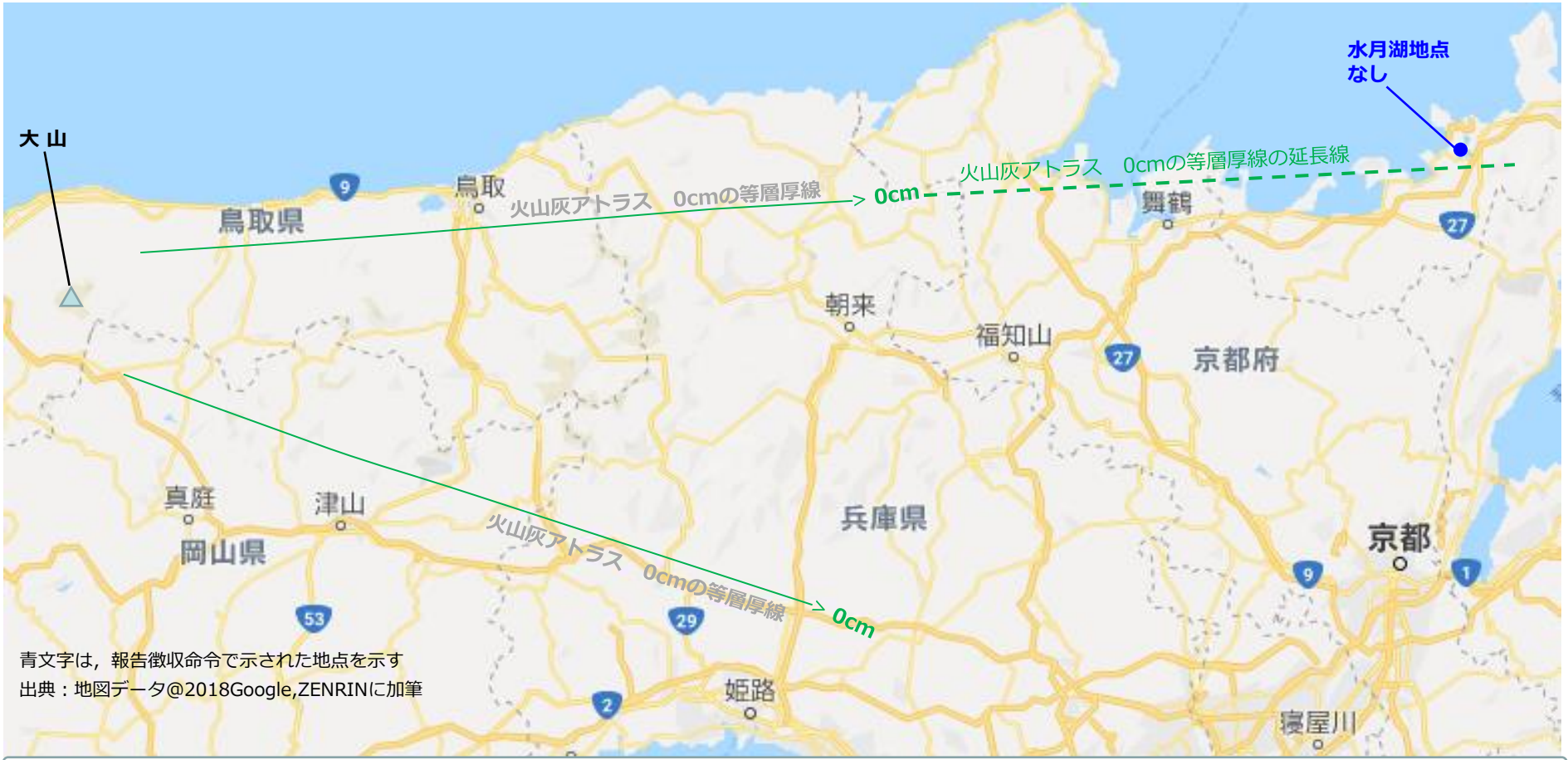
## <④15cm，⑤5cmの等層厚線の作成方法 >




・15cmの等層厚線は灘川山地点(15cm)を通り，また 5cmの等層厚線は琵琶湖高島沖地点(5cm)を通り，双方とも①～③で設定した100cm，50cm及び25cmの等層厚線の形状と整合するような楕円の一部を設定した。

・双方とも主軸方向に降灰層厚を特定もしくは推定することが出来る情報がないため，楕円は閉じない形状とした。

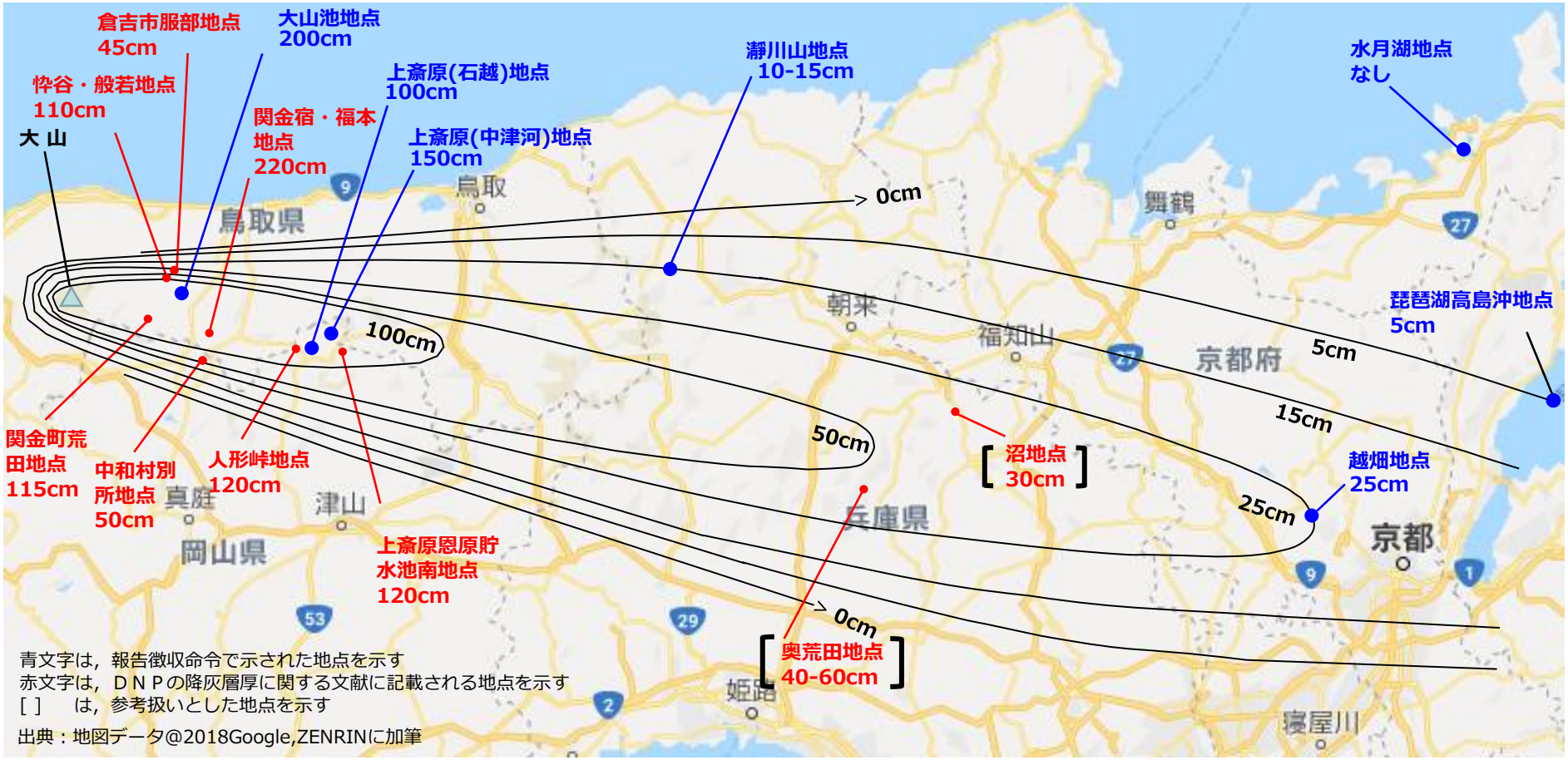
## ＜⑥0cmの等層厚線の作成方法＞




・0cmの等層厚線は，火山灰アトラスに示される0cmの等層厚線の延長線が水月湖地点の層厚と整合していることを確認したため，火山灰アトラスの0cmの等層厚線をそのまま採用した。

・関西電力(2019)：大山火山灰に係る新知見を踏まえた噴出規模と原子力発電所ごとの敷地における降下火砕物の最大層厚に関する評価結果について

## ＜100,50,25,15,5,0cmの等層厚線を重ね合わせた図 ＞




青文字は，報告徴収命令で示された地点を示す
赤文字は，ＤＮＰの降灰層厚に関する文献に記載される地点を示す
[ ]　は，参考扱いとした地点を示す
出典：地図データ@2018Google,ZENRINに加筆

・参考扱いとした沼地点(30cm)については，今回作成した等層厚線図と矛盾しない。
・同じく参考扱いとした奥荒田地点(40−60cm)については，降灰層厚を最低値である40cmとすれば
今回作成した等層厚線図と矛盾しない。

## 等層厚線図から噴出量を算出する方法と降下火砕物の噴出量の算出結果について

・等層厚線図から噴出量を算定する方法は，①複数の閉じられた等層厚線から求める方法と，②単一の閉じられた等層厚線から求める方法がある。
・今回，作成した等層厚線のうち，閉じられた等層厚線は100cm，50cm，25cmの3本であり，15cm，5cmなど等層厚線図の幾つかは閉合して描けないこと及び給源から近傍範囲と遠方範囲において閉じられた等層厚線のデータが少ないことから，①の方法で必要となる火山からの距離と層厚の関係を精度よく求めることが出来ない可能性がある。一方，②の方法は，簡便法であり一つの等層厚線の面積から全体積を見積もることが可能な方法である。降下火砕物全体の等層厚分布が把握できていない場合にも用いることが可能な方法であり，山元(2017)にも同様な記載が示されている。
・上記より，等層厚線図から噴出量を算出する方法として②の単一の閉じた等層厚線から求められる方法であるLegros法とHayakawa（1985）[71]の手法（以下「Hayakawa法」という。）の方法を採用した。
・閉じた3本の等層厚線（100cm，50cm，25cm）のそれぞれの面積を求め，降灰層厚と面積から噴出量を算出した。
面積はGoogle Earth Pro(バージョン：7.3.2.5776(64-bit))により算出した。更に三斜法による面積計算を実施することによって，その面積が妥当であることを確認した（詳細は，補足説明（第827回審査会合　資料1-2-2）のとおり）。

＜Legros法を用いたＤＮＰの降下火砕物の噴出量算出結果＞

噴出量($km^3$)＝3.69×降灰層厚(cm)×面積($km^2$)　詳細は，第827回審査会合資料1-2-2のとおり

| 降灰層厚(cm) | 25 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|
| 面積($km^2$) | 3,589 | 1,646 | 474 |
| 噴出量($km^3$) | 3.4 | 3.1 | 1.8 |

＜Hayakawa法を用いたＤＮＰの降下火砕物の噴出量算出結果＞

噴出量($km^3$)＝12.2×降灰層厚(cm)×面積($km^2$)　詳細は，第827回審査会合資料1-2-2のとおり

| 降灰層厚(cm) | 25 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|
| 面積($km^2$) | 3,589 | 1,646 | 474 |
| 噴出量($km^3$) | 11.0 | 10.1 | 5.8 |

以上より，DNPの降下火砕物の噴出量はLegros法の場合，1.8～3.4$km^3$，Hayakawa法の場合，5.8～11.0$km^3$となった。

【原子力規制委員会の評価】

原子力規制委員会(2018)によれば，DNPの噴出規模は既往の研究で考えられてきた規模を上回る10$km^3$以上と考えられるとしている。

**これらを踏まえ，火山影響評価上，大山生竹軽石（DNP）の降下火砕物の噴出量は，11.0$km^3$とする。**

・山元(2017)：大山火山噴火履歴の再検討,地質調査研究報告,第68巻,第1号,p.1-16,2017
・原子力規制委員会(2018)：大山火山の大山生竹テフラの噴出規模見直しに伴う報告徴取命令の発出について（案）,平成30年12月12日

# 大山のマグマ供給系に関する検討



【大山マグマの特徴】

・大山マグマの特徴としては典型的アダカイト質であることが知られている。アダカイトとは，火山弧の下に沈み込んだ若くて熱い海洋スラブが部分融解して形成した火山岩で，一般に斜長石，角閃石，黒雲母を含むデイサイトであるが，Yに乏しくSrに富む高Sr/Y比を持つことなど，通常の島弧火山岩とは異なる特徴を持っている。

【大山のマグマ供給系とマグマ組成変化の関係】

・Morris（1995）(72)ほかによると，大山の位置する山陰地域の地下には，日本列島の中では特異的に中新世の背弧拡大で形成された四国海盆由来のスラブが沈み込んでおり，大山の噴出物のようなアダカイトの成因もこの若いスラブの部分融解に由来するとされている。

・産業技術総合研究所（2018）(73)によると，倉吉軽石（DKP）のような噴火が発生するためには，含水量の高い大量のマグマの存在が不可欠であり，この期にスラブメルト指標（Sr/Y比）が低下することは，スラブメルト・マントル反応が進行したものと考えられるとされている。

・産業技術総合研究所（2018）によると，最末期に噴出量が激減するとともに，スラブメルト指標（Sr/Y比）が上昇して，噴火活動を停止していることは，高温マントルの関与が約2万年前の三鈷峰噴出時にはほとんどなくなり，噴火が継続できなかったと理解できるとされている。Yamamoto and Hoang（2019）(74)によると，同様の化学組成の時系列変化は，$K_2O$量，（La/Yb）n比，$^{87}Sr/^{86}Sr$比，$^{206}Pb/^{204}Pb$比でも確認できるとされている。

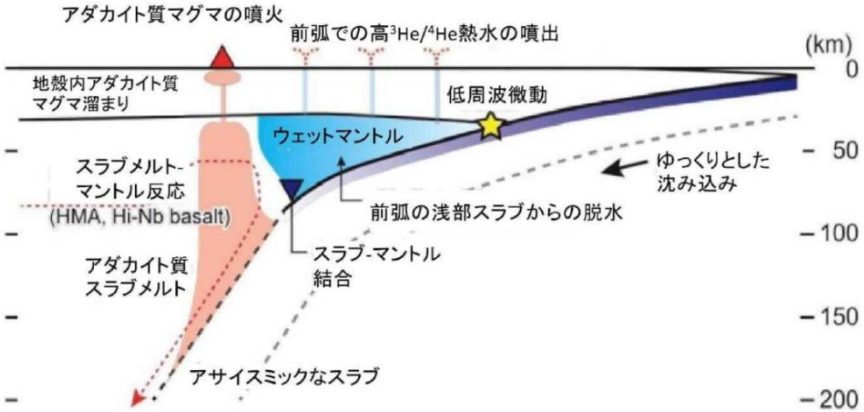


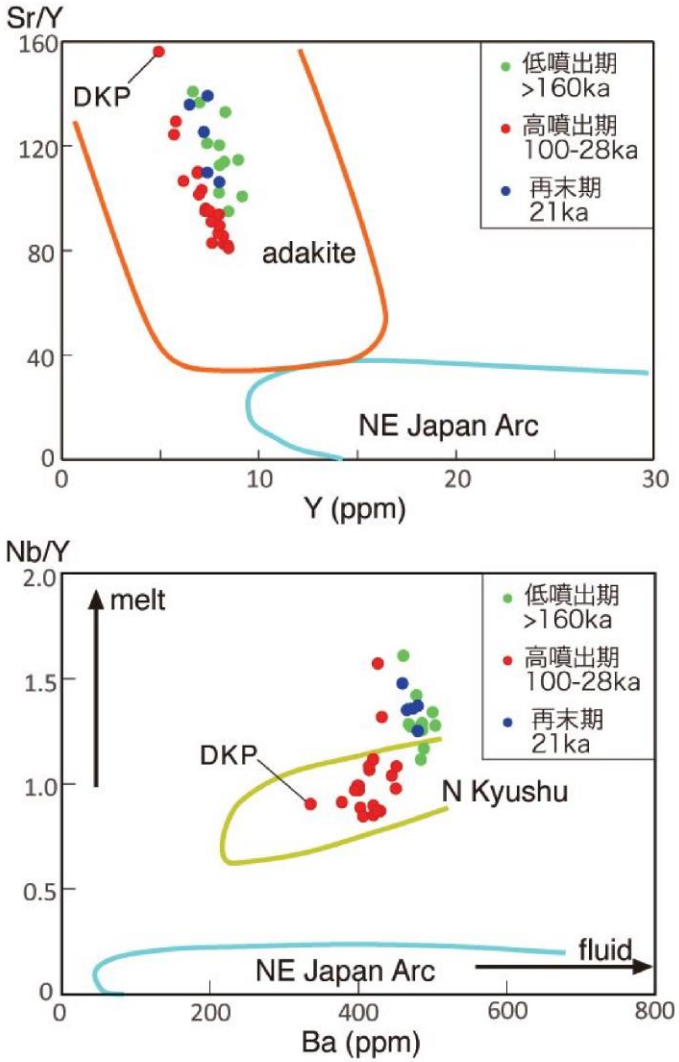

図 2.1.13　西南日本の沈み込み帯におけるマグマ供給系モデル　(Kimura et al. (2015) (参39) に加筆)

Figure 2.1.13　Magma supply system model in the subduction zone of Southwest Japan (Add to Kimura et al., 2015)

原子力規制庁（2019）(75)より引用

# 大山のマグマ供給系に関する検討






・産業技術総合研究所（2018）は，産業技術総合研究所（2017）[76]より分析精度を向上させスラブメルト指標であるSr/Y−Yの関係を整理した結果，高噴出期と低噴出期では噴出物が異なる組成トレンドを持つことを明らかにし，両者は異なるSr/Y比を持つ親マグマから分化したことが確実であるとしている。同様に，メルト－流体指標であるNb/Y−Baの関係についても，高噴出期と低噴出期の噴出物は明瞭に異なる領域にプロットされ，DKPも含め高噴出期のものは，北九州地域のマントル由来玄武岩の領域に，低噴出期のものはさらにNb/Y比の大きな領域に分布するとしている。

・産業技術総合研究所（2018）によると，大山のアダカイトの多様性は，マントル－スラブメルト反応の相違を反映したものであり，約10万年前から始まった高温マントルの関与が約2万年前にはほとんどなくなり，噴火が継続できなくなったと理解できるとされている。

第 1.3-3 図　大山火山噴出物の Sr/Y−Y 図及び Nb/Y−Ba 図．北九州地域火山岩の分析値は Hoang and Uto (2003)，東北日本弧の分析値は Kimura and Yoshida (2006)による．

産業技術総合研究所（2018）より引用

# 大山のマグマ供給系に関する検討



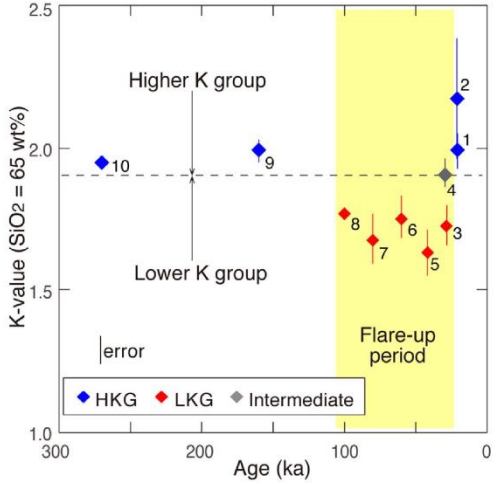



Fig. 6. Temporal variations in K-values for the eruptive products of Daisen. The K-value indicates the abundance of $K_2O$ at $SiO_2$ = 65.0 wt% HKG = higher K group; LKG = lower K group. The dotted line is a boundary between two groups. 1 = Sankoho Lava + Amidagawa Pyroclastic Flow; 2 = Kusatanihara Pyroclastic Fall; 3 = Misen Lava + Masumizuhara Pyroclastic Flow; 4 = Sasaganaru Pyroclastic Flow; 5 = Makibara Pyroclastic Flow; 6 = Kurayoshi Pyroclastic Fall; 7 = Namatake Pyroclastic Fall; 8 = Nawa Pyroclastic Flow; 9 = Nodagasen Lava + Boryo Pyroclastic Flow; 10 = Old-stage lava.

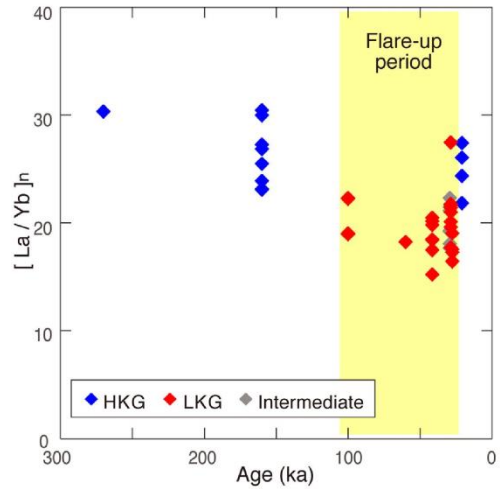
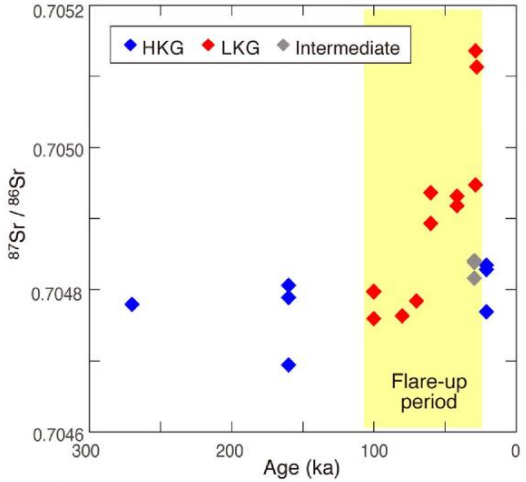



Fig. 9. Temporal variations in chondrite-normalized ratios (La/Yb)n for the eruptive products of Daisen. HKG = higher K group; LKG = lower K group. The yellow part is the flare-up period.



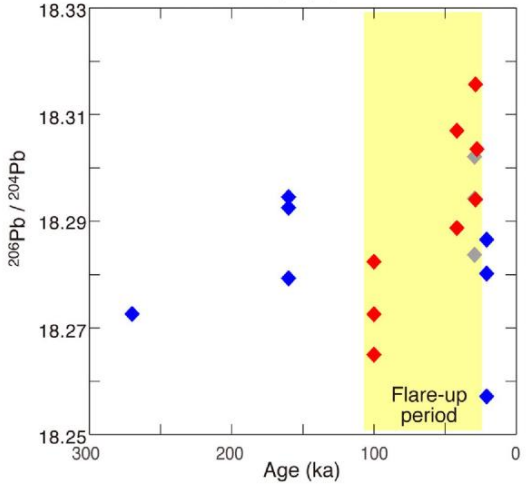




Fig. 11. Temporal variations in $^{87}Sr/^{86}Sr$ (A) and $^{206}Pb/^{204}Pb$ (B) for the eruptive products of Daisen. HKG = higher K group; LKG = lower K group. The yellow part is the flare-up period.

・Yamamoto and Hoang（2019）は，大山のアダカイトについて$K_2O$量（K-value）の高いグループ（HKG：Higher K group）と低いグループ（LKG：Lower K group）に分類できるとし，LKGのアダカイトは約10万年前から約2万年前の高噴出率期に発生し，HKGのアダカイトはその高噴出率期の前後に発生したとしている。

・Yamamoto and Hoang（2019）によると，同様の化学組成の時系列変化は，$K_2O$量，（La/Yb）n比，$^{87}Sr/^{86}Sr$比，$^{206}Pb/^{204}Pb$比でも確認できるとされている。

マグマ噴出率とマグマ組成変化の関係より，約2万年前の三鈷峰噴出では低噴出率期のトレンドに戻っていることから，原子力発電所の運用期間中には，倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は十分小さいと評価した。

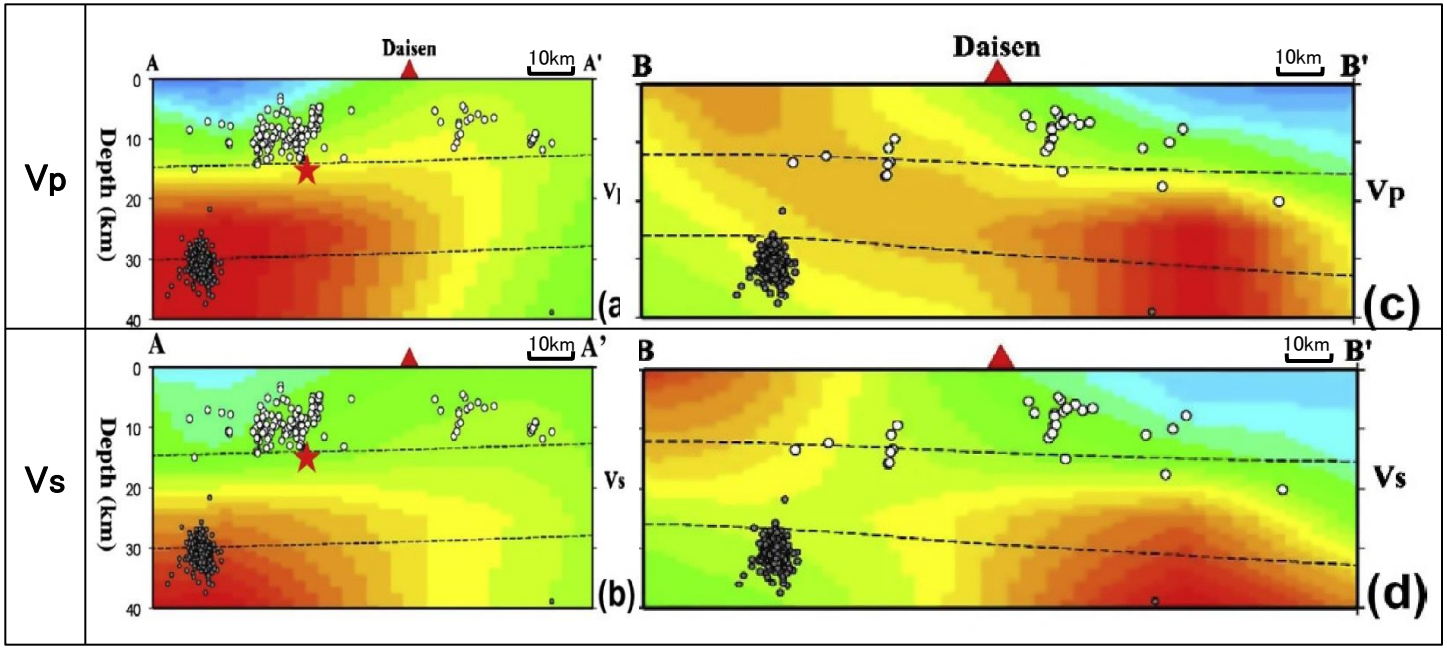
Yamamoto and Hoang（2019）より引用

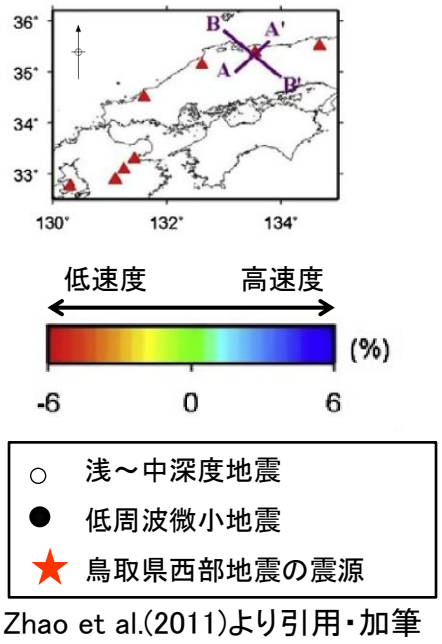
余白

# 大山に関する地球物理学的調査（地震活動，地震波速度構造）



【大山地下深部の地震活動，地震波速度構造に関する文献】
・Zhao et al.（2011）は，大山の南西～南東側の地下深部に広がる低速度層と，大山の西で生じている低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆している。
・なお，大見（2002）[77]によると，鳥取県西部地震震源域の深部低周波地震は，深部のマグマ活動に限定して考えるよりも，スラブから供給された流体の挙動に基づくものと考えるほうが理解しやすいとされている。




Zhao et al.(2011)より引用・加筆

大山の南西～南東側の地下深部に広がる低速度層と，大山の西で生じている低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが，仮にマグマ溜まりとしても，これらの低速度層は20km以深に位置しており，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmよりも深い位置にあると推察される。

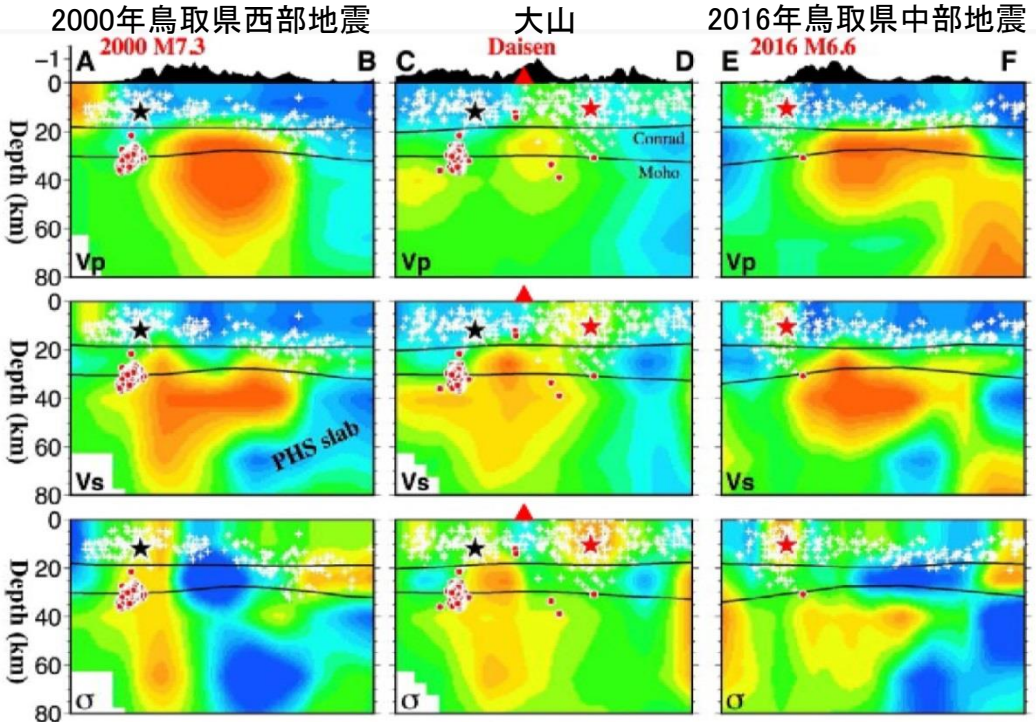
# 大山に関する地球物理学的調査（地震活動，地震波速度構造）

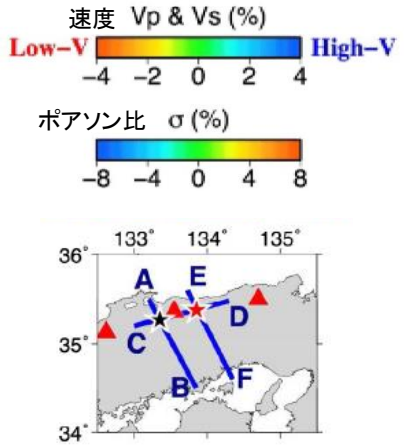


【大山地下深部の地震活動，地震波速度構造に関する最近の文献】

・Zhao et al.（2018）[78]は，Zhao et al.（2011）の研究をさらに進め，大山，2000年鳥取県西部地震震源域及び2016年鳥取県中部地震震源域を横断する地下深部のP波速度，S波速度及びポアソン比を示し，大山付近の上部マントル及び下部地殻には，顕著な低速度・高ポアソン比が認められるとしている。

・また，Zhao et al.（2018）は，2000年鳥取県西部地震震源域のモホ面付近に集中する低周波微小地震は，マグマを含む流体の移動による地震であるとしている。




＋（白） 常時地震
● 低周波微小地震
★ 2000年鳥取県西部地震の震源
★ 2016年鳥取県中部地震の震源

Zhao et al.(2018)より引用・加筆

大山の地下深部に広がる低速度・高ポアソン比と，2000年鳥取県西部地震震源域のモホ面付近に集中する低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが，仮にマグマ溜まりとしても，これらの低速度・高ポアソン比は20km以深に位置しており，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmよりも深い位置にあると推察される。

# 大山の噴火規模の想定（まとめ）



【降下火砕物の分布に関する調査結果】
・敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）における地質調査の結果，敷地周辺の層厚は概ね文献と同等であり，敷地は等層厚線20～35cmに位置し，大山松江テフラ（DMP）の敷地における層厚は30cm程度と推定される。
【噴火履歴による検討結果】
・現在は火山活動の末期である第４期の溶岩円頂丘が発達しているとし，後期型円錐火山とされている。
・溝口凝灰角礫岩の堆積以降において，最も規模の大きな噴火は倉吉軽石（DKP）噴出時である。
・階段ダイヤグラムによる検討の結果，約40万年前以降，噴火規模の最も大きな倉吉軽石規模の噴出までの期間（約34.5万年）は，倉吉軽石の噴出からの経過時間（約5.5万年）に比べ十分に長い。更に，奥津軽石（約19万年前）の噴火から倉吉軽石規模の噴火までの期間（約13.5万年）を見積もっても，最新の噴火からの経過時間（約5.5万年）に比べ十分に長い。
・一方，数$km^3$以下の規模の噴火については，倉吉軽石の噴出以前若しくは以降においても繰り返し発生している。
・生竹軽石（DNP）の噴出規模は，等層厚線図を用いて算出した結果，Legros法の場合，1.8～3.4$km^3$，Hayakawa法の場合，5.8～11.0$km^3$となること，また，原子力規制委員会(2018)によれば，生竹軽石（DNP）の噴出規模は既往の研究で考えられてきた規模を上回る10$km^3$以上と考えられるとしていることから，火山影響評価上，生竹軽石（DNP）の噴出規模を11.0$km^3$とする。
【マグマ供給系に関する検討結果】
・マグマ噴出率とマグマ組成変化の関係より，約2万年前の三鈷峰噴出では低噴出率期のトレンドに戻っている。
【地球物理学的調査結果】
・大山の地下深部に広がる低速度・高ポアソン比と，2000年鳥取県西部地震震源域のモホ面付近に集中する低周波微小地震の存在から，マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが，仮にマグマ溜まりとしても，これらの低速度・高ポアソン比は20km以深に位置しており，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmよりも深い位置にあると推察される。

・噴火履歴による検討結果，地球物理学的調査結果等より，原子力発電所の運用期間中には，大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は十分小さいと評価した。
・原子力発電所の運用期間中の規模として，敷地周辺において確認された大山松江軽石の噴出規模2.19$km^3$を考慮する。
・さらに，大山倉吉軽石の噴出時を除いて最大規模の噴火である大山生竹軽石（噴出量：11.0$km^3$）も考慮する。

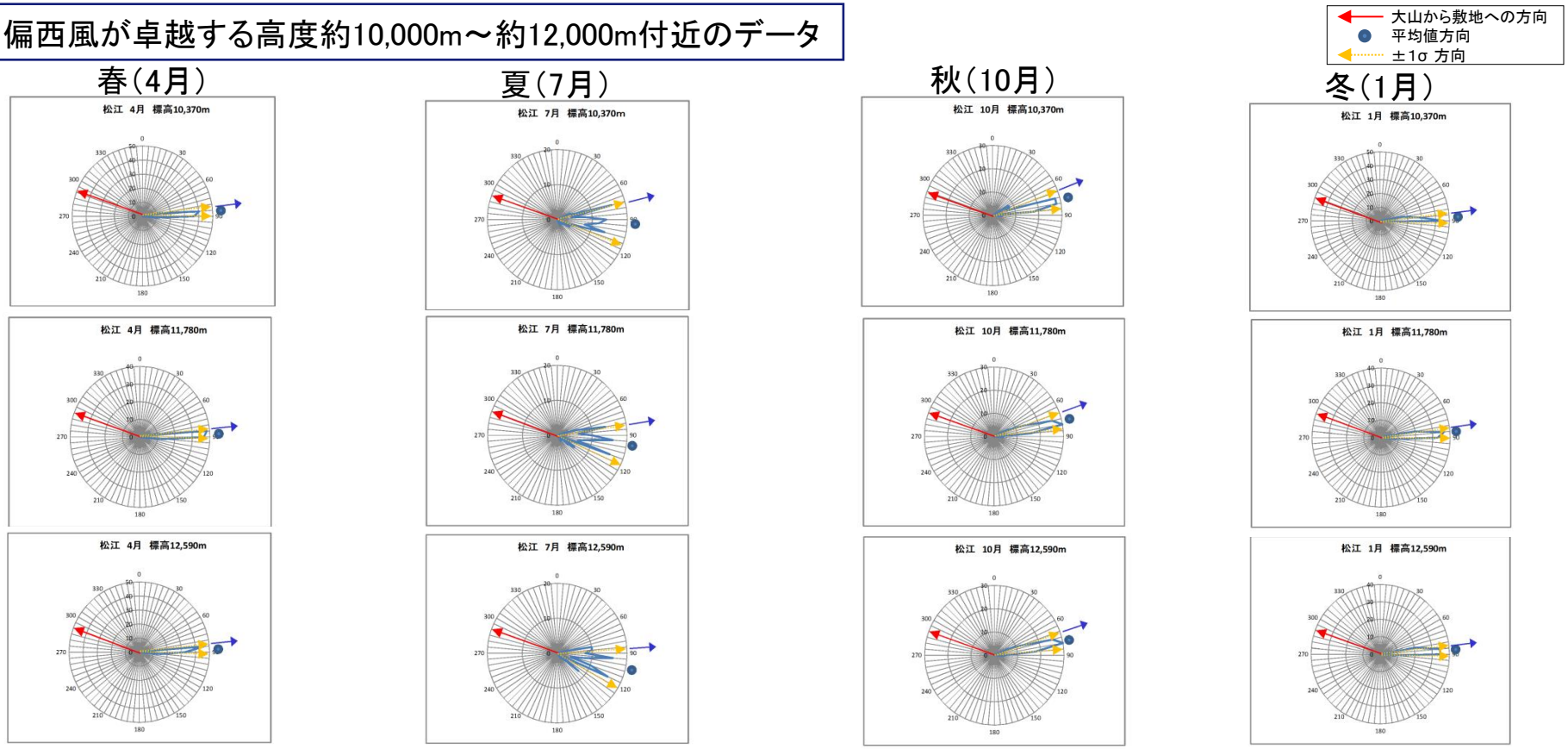
余白

# 大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション（パラメータ）



現在の気象条件において，敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が，松江軽石（DMP）のような西向きの降灰分布となる可能性について風向に関する統計処理により検討した。

偏西風が卓越する高度約10,000m～約12,000m付近のデータ




注）標準高度による大気パラメータとして表示

偏西風が卓越する高度約2,000mから約12,000mの１月～12月の風向データについて，統計処理した結果，敷地方向は±1σ の風向範囲にないことを確認した。

26年間（ 1988/1 ～ 2013/6 ）の毎9時及び21時の風向観測結果
鳥取地方気象台：1988/1～2010/2
松江地方気象台：2010/3～2013/6

現在の気象条件では，敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が，松江軽石（DMP）のような西向きの降灰分布となる可能性は十分小さいと考えられる。

# 大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション（パラメータ）



松江軽石（以下「大山松江テフラ」という。）について，現在の気象条件における降灰分布を確認するために，火山灰シミュレーションを実施した。

**火山灰シミュレーションの概要**
- シミュレーションのプログラム：Tephra2（バグ修正後プログラム）
- 想定する噴火規模：大山松江テフラ（総噴出量：2.19km$^3$）
- 各パラメータ（地形，噴煙柱，粒子，大気）：下表のとおり

※2 Mastin et al.（2009）に示される噴煙柱高度の回帰式　$H(km) = 25.9 + 6.64\log_{10}(V(km^3 DRE))$

：見かけ体積は，須藤ほか（2007）による。
：計算により算出

## 各パラメーター覧表

| 対象とする火山 | | | 大山 | 引用した文献・資料など |
|---|---|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | | | DMP | |
| 地形パラメータ | 地形モデル解析 | m | 1,000 | 国土地理院基盤地図情報<br>数値標高モデル（10m）<br>座標：UTM座標系 |
| | 火口位置X | m | 367,926 | |
| | 火口位置Y | m | 3,915,169 | |
| | 火口位置Z | m | 1,729 | |
| 噴煙柱パラメータ | 噴煙柱上端の標高 | m | 25,000 | 右表参照 |
| | 噴出物の総重量 | kg | 2.2E+12 | 右表参照 |
| | 最大粒径 | phi | $-10(2^{10}$mm=1024mm) | TEPHRA2による推奨値※1 |
| | 最小粒径 | phi | $10(2^{-10}$mm=$9.77\times10^{-4}$mm) | |
| | 中央粒径 | phi | $4.5(2^{-4.5}$mm=0.0442mm) | |
| | 標準偏差 | phi | $3(2^{-3}$mm=0.125mm) | |
| 粒子パラメータ | 渦拡散係数 | $m^2/s$ | 0.04 | T.Suzuki(1983) より |
| | 拡散係数 | $m^2/s$ | 500 | 萬年(2013) より |
| | Fall Time Threshold | s | 3,600 | C.Bonadonna et al.(2005) より |
| | 岩片の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 2,600 | TEPHRA2による推奨値※1 |
| | 軽石の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 1,000 | |
| 大気パラメータ | 風速 | m/s | 高度ごとに月平均風速（9時，21時）の平均値 | 気象庁公開データ(1988.1～2013.6)<br>・松江(2010.3～)＆米子(1988.1～2010.2)<br>・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度 |
| | 風向 | 度 | 高度ごとに月平均風向（9時，21時）の最頻値 | |
| | 季節条件 | | 1月～12月 | |

※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

| 対象とする火山 | 大山 | |
|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | DMP | 備考 |
| 噴煙柱高度 H（km）※2 | 25 | |
| 見かけ体積 V1（$km^3$） | 2.19 | |
| 見かけ体積 V2（$km^3$DRE） | 0.84 | |
| 噴出物総重量 （kg） | 2.2E+12 | |

| 換算値 | | |
|---|---|---|
| 岩片の見かけ密度 | 2,600 | $kg/m^3$ |
| 軽石の見かけ密度 | 1,000 | $kg/m^3$ |

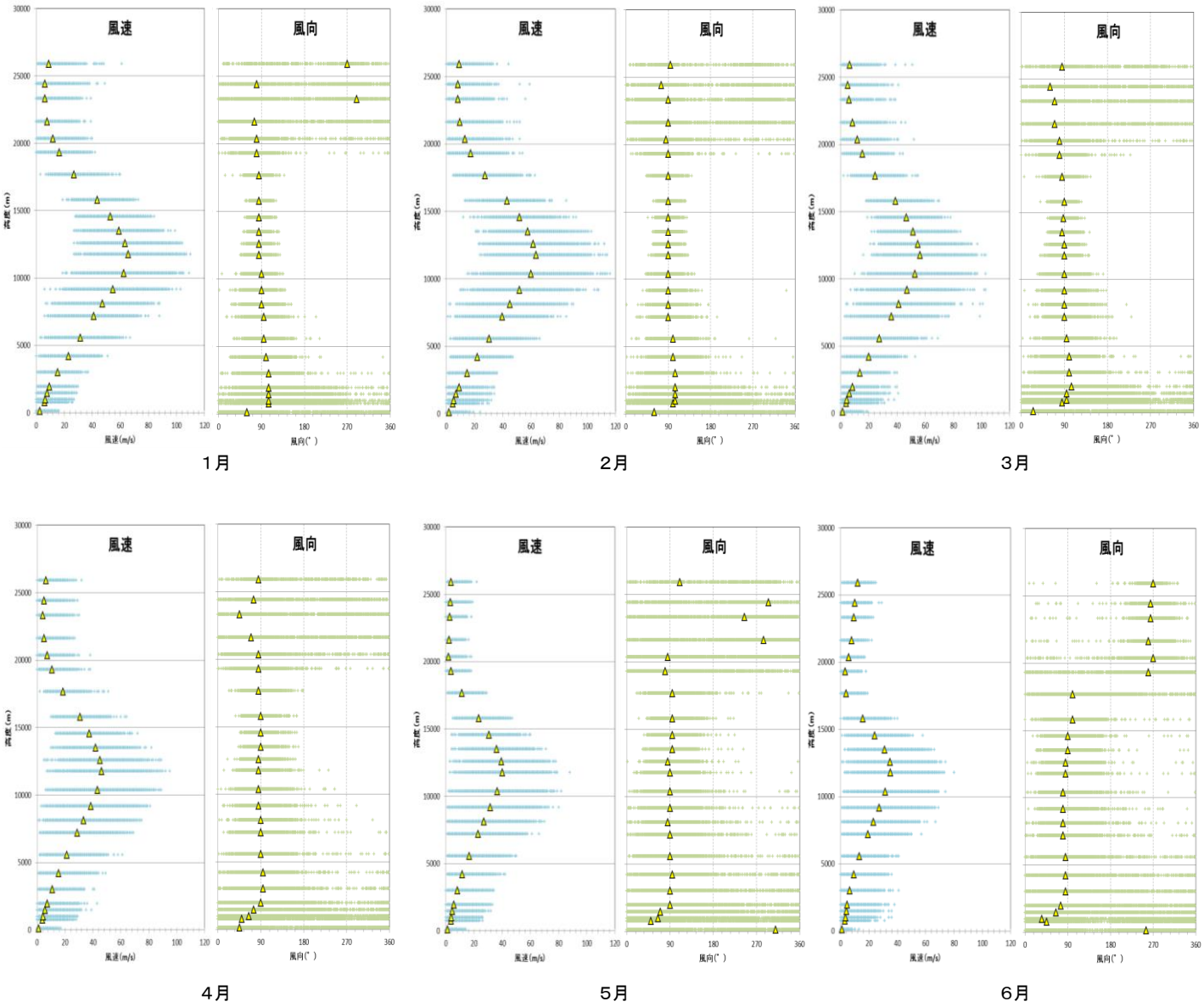
# 大山に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）



大気パラメータ

大山と比較的緯度が近い，気象庁の鳥取地方気象台（1988年１月～2010年２月）及び松江地方気象台（2010年３月～2013年６月）のデータを用いた。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では，年間を通じて西風が卓越し，冬は風向のばらつきが小さく，夏は風向のばらつきが著しい。また，冬に風速が大きく，夏に風速が小さい。

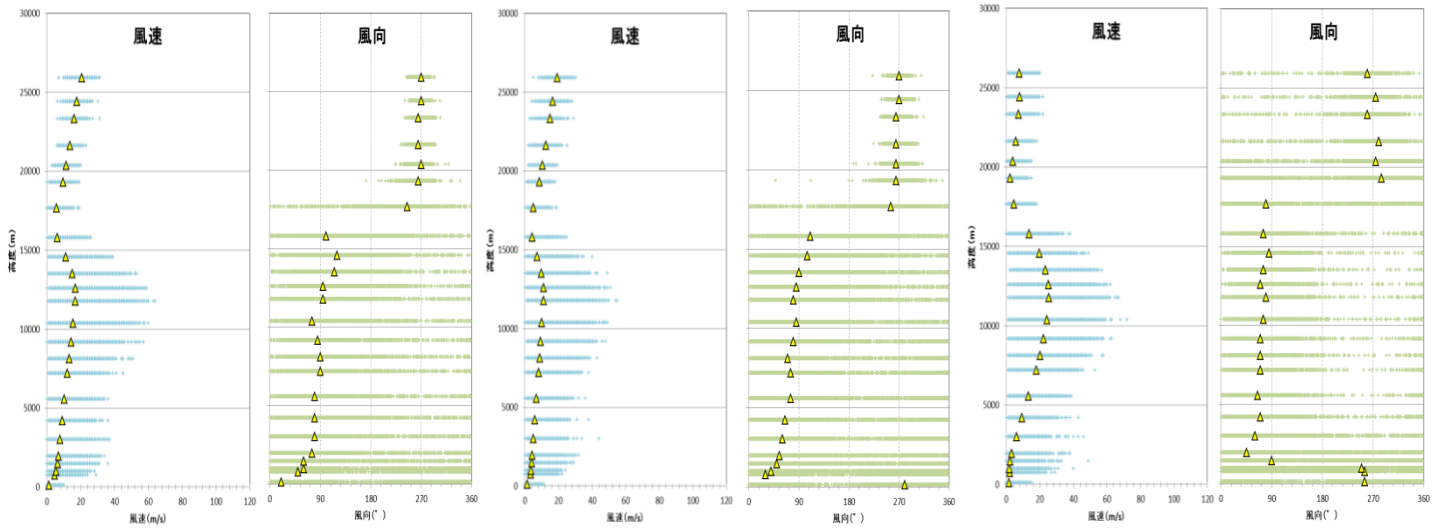



凡例
＋：風速データ
＋：風向データ
△：月平均風速の平均値
　月平均風向の最頻値

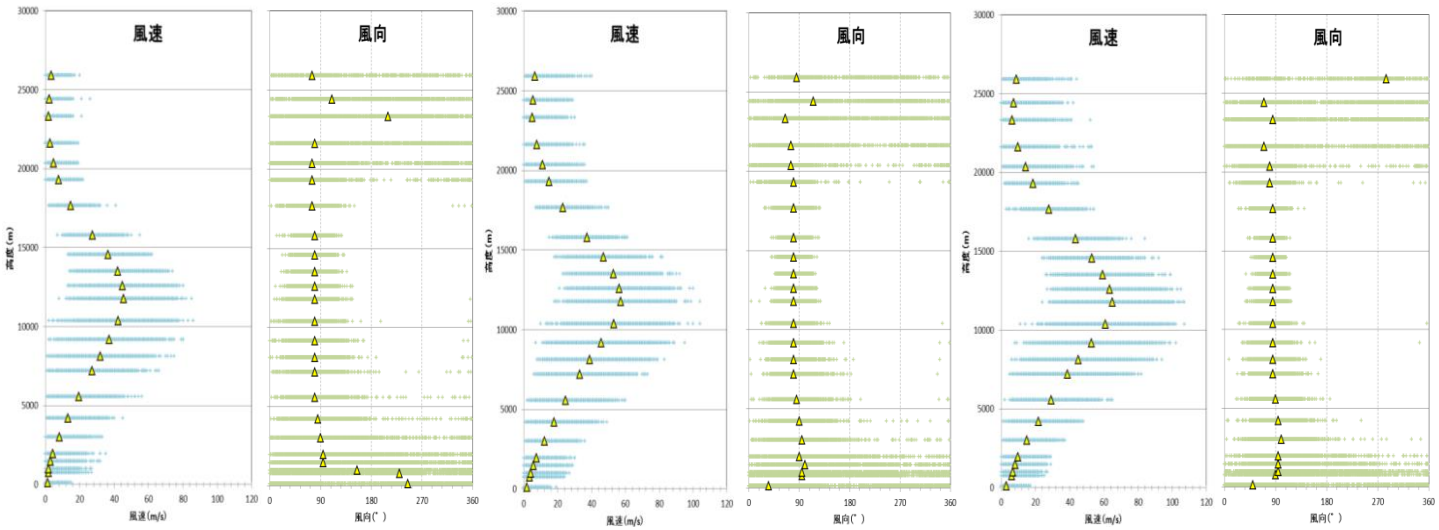
注）標準高度による大気パラメータとして表示

# 大山に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）






7月　8月　9月




10月　11月　12月

凡例
＋：風速データ
＋：風向データ
△：月平均風速の平均値
　月平均風向の最頻値

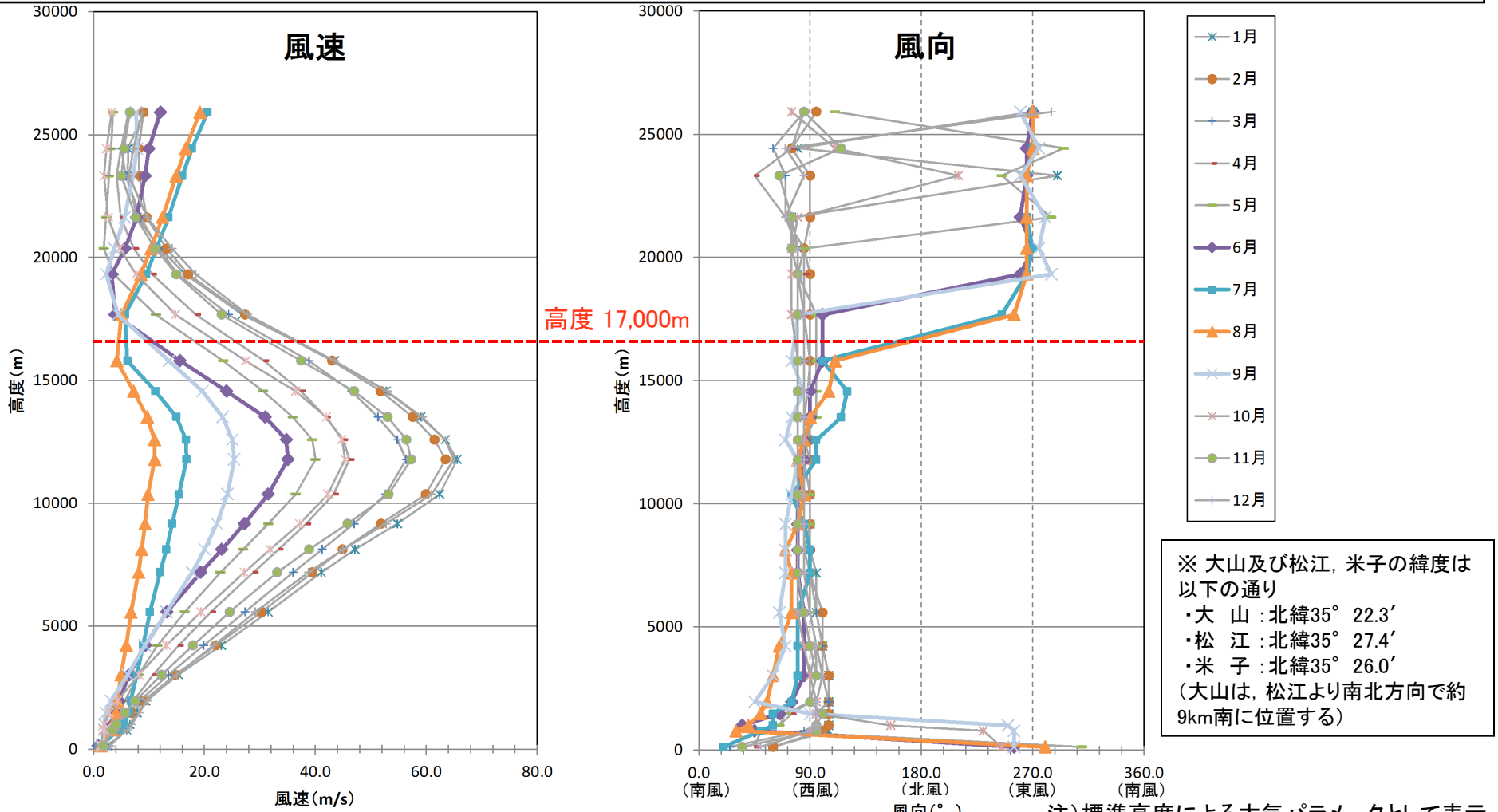
注）標準高度による大気パラメータとして表示

# 大山に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）



大気パラメータは，大山と比較的緯度が近い※，気象庁の鳥取地方気象台（1988年1月～2010年2月）及び松江地方気象台（2010年3月～2013年6月）のデータを用いた。風速は高度毎の9時，21時の月平均風速の平均値，また風向は高度毎の9時，21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお，風向・風速データの最高高度（約26,000m）を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから（次頁以降参照），最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である（変化しない）ものとして取り扱った。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では，年間を通じて西風が卓越する。

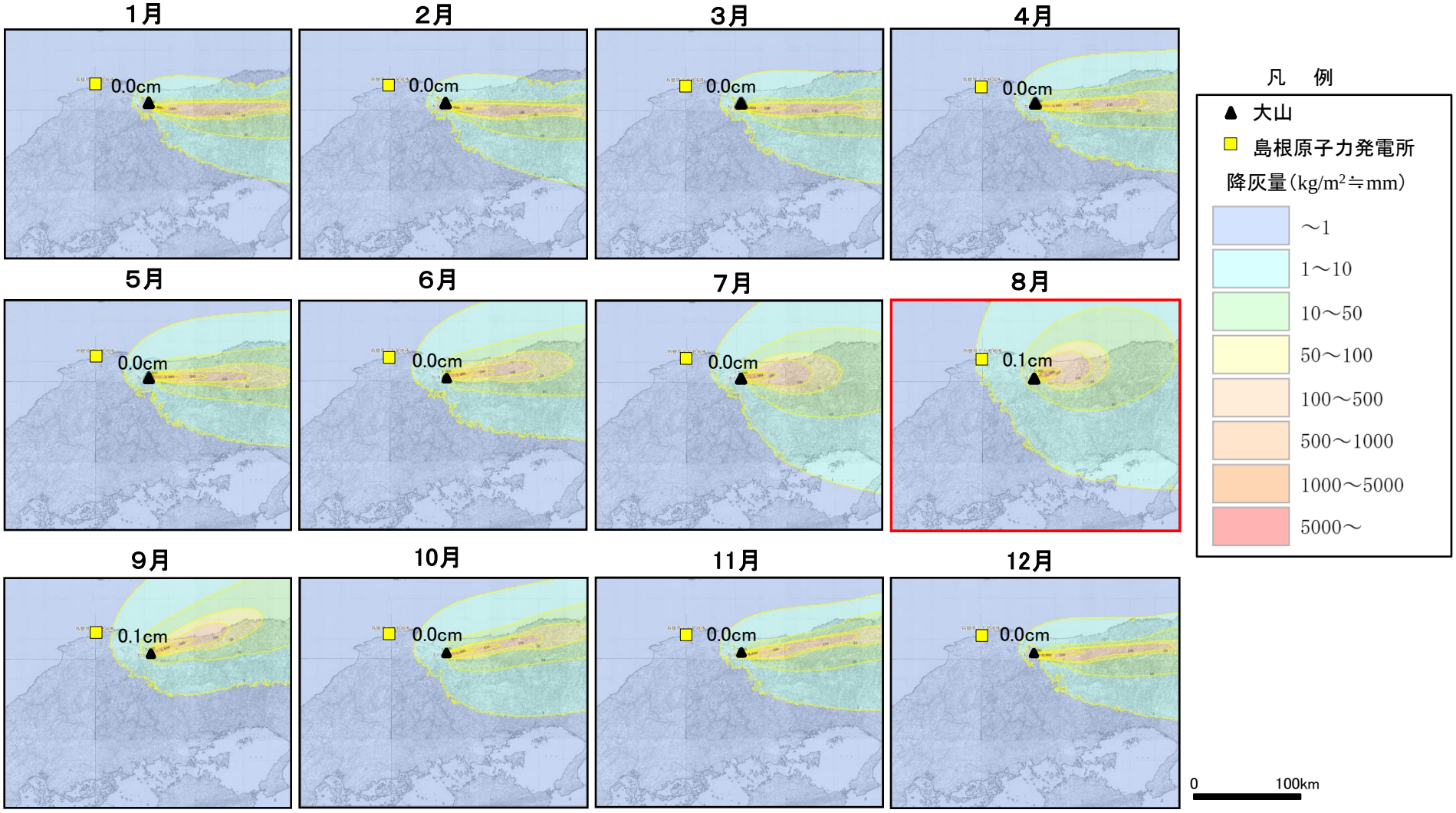



※ 大山及び松江，米子の緯度は以下の通り
・大　山：北緯35° 22.3′
・松　江：北緯35° 27.4′
・米　子：北緯35° 26.0′
（大山は，松江より南北方向で約9km南に位置する）

注）標準高度による大気パラメータとして表示

# 大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション





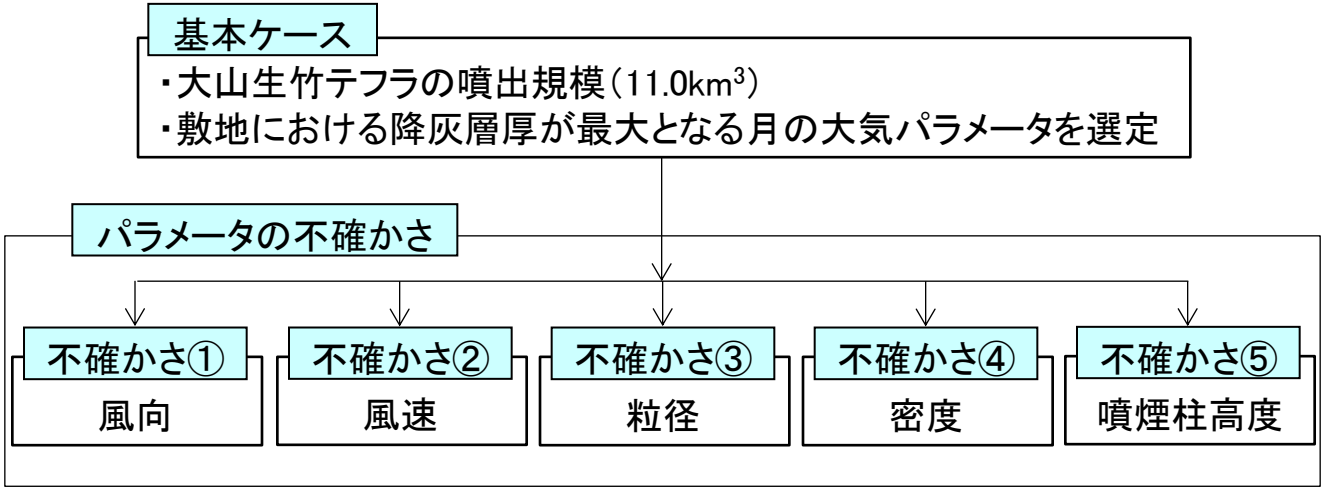

火山灰シミュレーションの結果，偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり，敷地における降灰層厚は0.1cmとなった。現在の気象条件では，敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が町田・新井（2011）や地質調査結果において確認されたような西向きの降灰分布となる可能性は十分小さいことが火山灰シミュレーションからも確認された。

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション（検討方針）



原子力発電所の運用期間中の規模として，大山倉吉軽石の噴出時を除いて最大規模の噴火である大山生竹軽石（以下「大山生竹テフラ」という。）を考慮し，火山灰シミュレーションを実施する。

・大山生竹テフラは，敷地及び敷地周辺では確認されていないことから，火山灰シミュレーションにより敷地における降灰層厚を確認する。
・敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が西向きの降灰分布となる可能性は，現在の気象条件では十分小さいが，敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを用いたシミュレーションを基本ケースとし，パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討する。
・なお，敷地は大山の風上側に位置すること，大山生竹テフラは，大山から東方への細長い降灰分布を示し，その分布範囲も限定的であることから，敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討は実施しない。




・不確かさのパラメータ設定の考え方
①敷地方向への仮想風を考慮したケース
②基本ケースの風速を1σ 増減させたケース
③Tephra2による推奨値の粒径範囲（珪長質：-10～10phi）に対し，推奨限界値（-6～6phi）を設定したケース
④粒径に基づき設定される粒子密度（1,000～2,600kg/m³）に対し，密度均一（1,000kg/m³，2,600kg/m³）を設定したケース
⑤基本ケースの噴煙柱高度30kmに対し，20km，25kmを設定したケース

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション（パラメータ）



**火山灰シミュレーションの概要**
- シミュレーションのプログラム：Tephra2（バグ修正後プログラム）
- 想定する噴火規模：大山生竹テフラ（総噴出量：11.0km$^3$）
- 各パラメータ（地形，噴煙柱，粒子，大気）：下表のとおり

※2 Mastin et al.（2009）に示される噴煙柱高度の回帰式 $H(km) = 25.9 + 6.64\log_{10}(V(km^3 DRE))$

：見かけ体積は，原子力規制委員会（2019）及び関西電力（2019）による。
：計算により算出

## 各パラメーター覧表

| 対象とする火山 | | | 大山 | 引用した文献・資料など |
|---|---|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | | | DNP | |
| 地形パラメータ | 地形モデル解析 | m | 1,000 | 国土地理院基盤地図情報<br>数値標高モデル（10m）<br>座標：UTM座標系 |
| | 火口位置X | m | 367,926 | |
| | 火口位置Y | m | 3,915,169 | |
| | 火口位置Z | m | 1,729 | |
| 噴煙柱パラメータ | 噴煙柱上端の標高 | m | 30,000 | 右表参照 |
| | 噴出物の総重量 | kg | 1.1E+13 | 右表参照 |
| | 最大粒径 | phi | $-10(2^{10}$mm=1024mm) | TEPHRA2による推奨値※1 |
| | 最小粒径 | phi | $10(2^{-10}$mm=$9.77\times10^{-4}$mm) | |
| | 中央粒径 | phi | $4.5(2^{-4.5}$mm=0.0442mm) | |
| | 標準偏差 | phi | $3(2^{-3}$mm=0.125mm) | |
| 粒子パラメータ | 渦拡散係数 | $m^2/s$ | 0.04 | T.Suzuki(1983) より |
| | 拡散係数 | $m^2/s$ | 500 | 萬年(2013) より |
| | Fall Time Threshold | s | 3,600 | C.Bonadonna et al.(2005) より |
| | 岩片の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 2,600 | TEPHRA2による推奨値※1 |
| | 軽石の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 1,000 | |
| 大気パラメータ | 風速 | m/s | 高度ごとに月平均風速（9時，21時）の平均値 | 気象庁公開データ(1988.1～2013.6)<br>・松江(2010.3～)&米子(1988.1～2010.2)<br>・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度 |
| | 風向 | 度 | 高度ごとに月平均風向（9時，21時）の最頻値 | |
| | 季節条件 | | 1月～12月 | |

※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

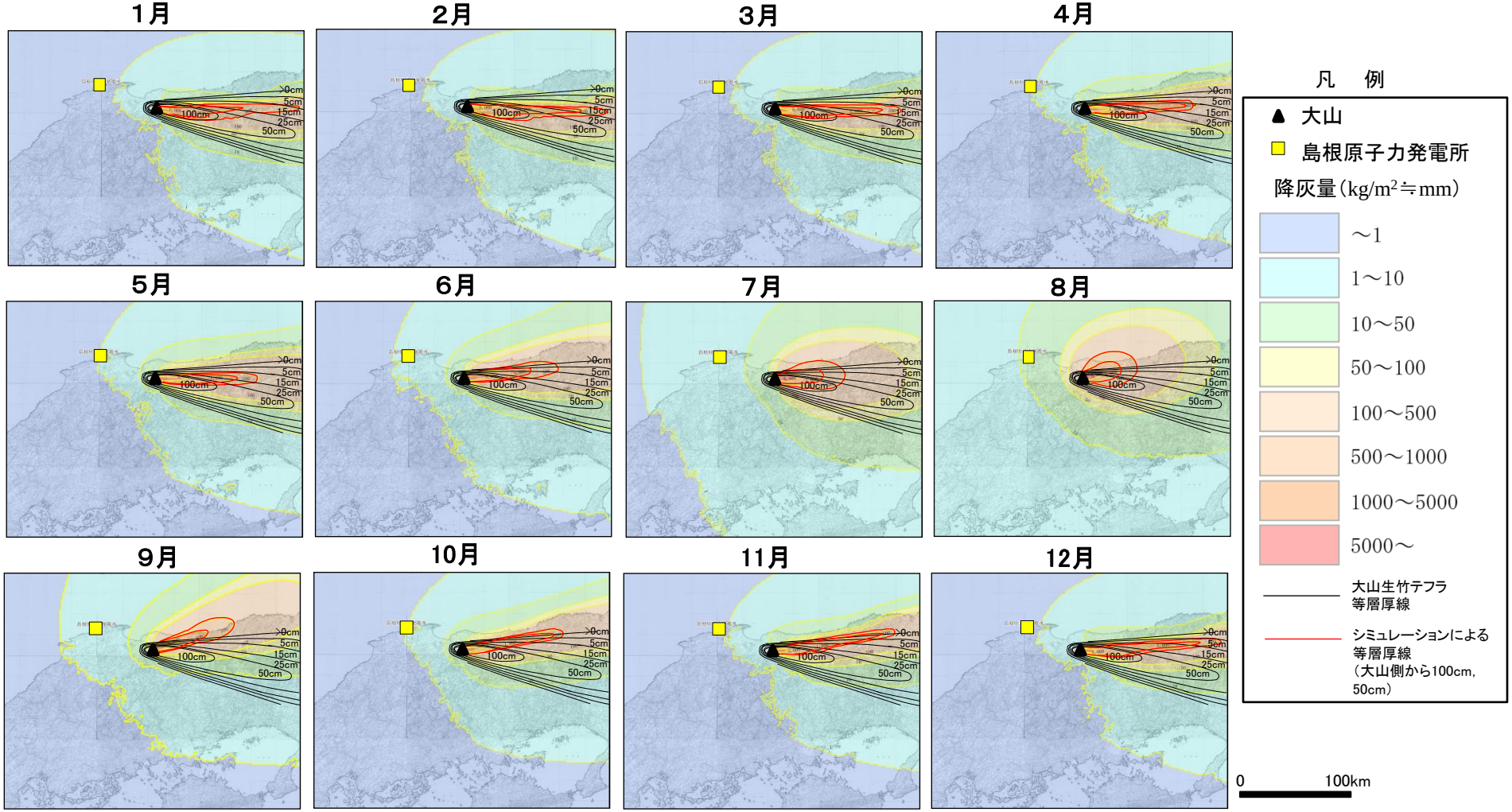
| 対象とする火山 | 大山 | |
|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | DNP | 備考 |
| 噴煙柱高度 H（km）※2 | 30 | |
| 見かけ体積 V1（$km^3$） | 11 | |
| 見かけ体積 V2（$km^3$DRE） | 4.23 | |
| 噴出物総重量 （kg） | 1.1E+13 | |

| 換算値 | | |
|---|---|---|
| 岩片の見かけ密度 | 2,600 | $kg/m^3$ |
| 軽石の見かけ密度 | 1,000 | $kg/m^3$ |

# 大山生竹テフラに関するパラメータの妥当性確認



大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーションのパラメータの妥当性を確認するため，基本ケースのシミュレーション結果を大山生竹テフラの等層厚線図と対比した（広域のシミュレーション結果は，補足説明「10．大山生竹テフラの火山灰シミュレーション結果について」参照）。



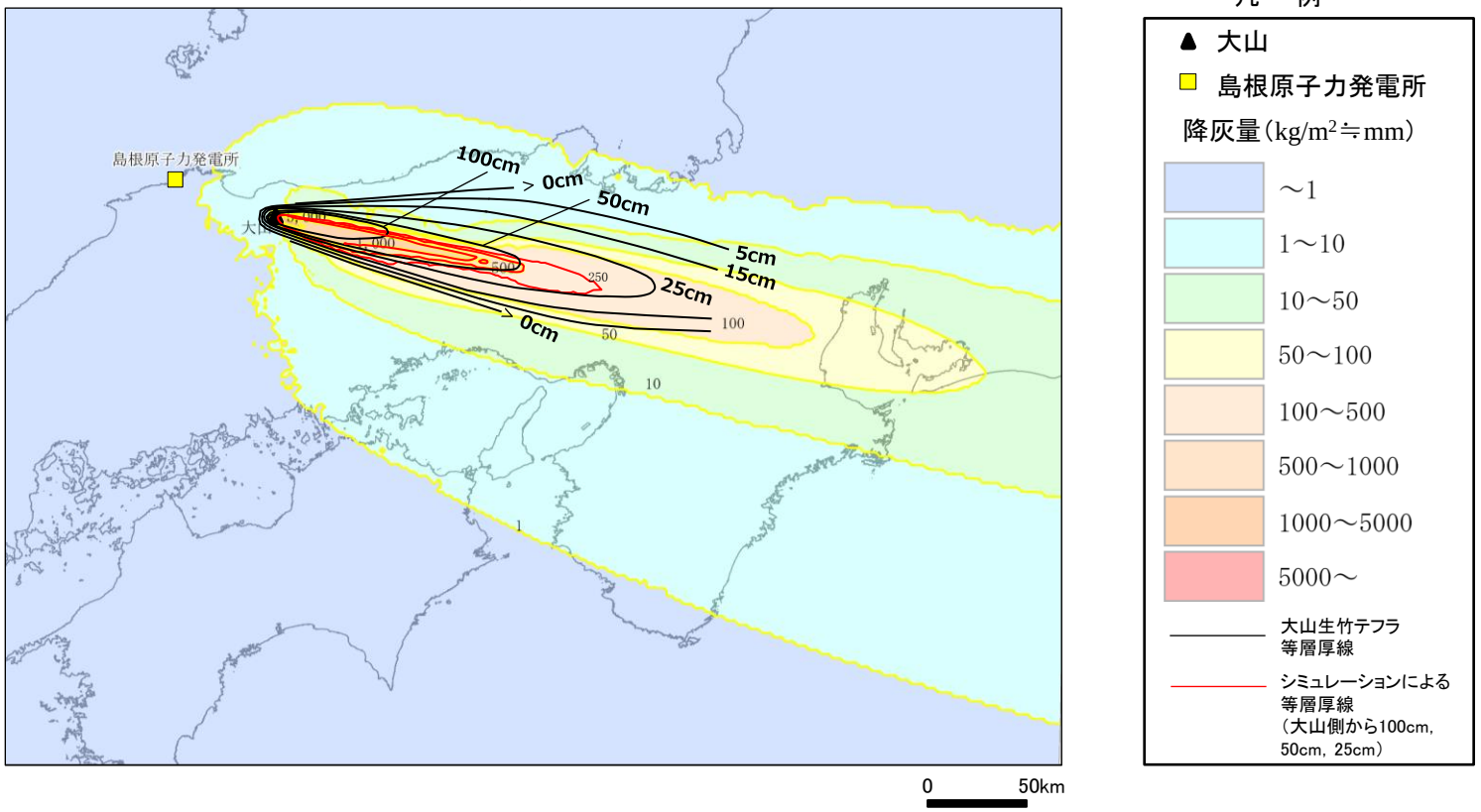

シミュレーション結果は，冬（12～2月）において給源から東方へ厚く降灰する領域が細長くのびる。一方，風速の小さい夏（7～9月）は給源近くにおいて広範囲に降灰し，0cm以上の等層厚線とシミュレーション結果が剥離する傾向が認められる。冬（12～2月）のうち，50cm等層厚線の火山灰の到達を最も表現している，2月の大気パラメータを用いて詳細検討を行う。

# 大山に関するパラメータの妥当性確認



２月の大気パラメータを用いたケースについて，風向を50cm等層厚線の主軸方向に向けた仮想風（全高度の風を10°回転）でのシミュレーションを実施し，そのシミュレーション結果と大山生竹テフラの等層厚線図との整合性を確認した。

２月



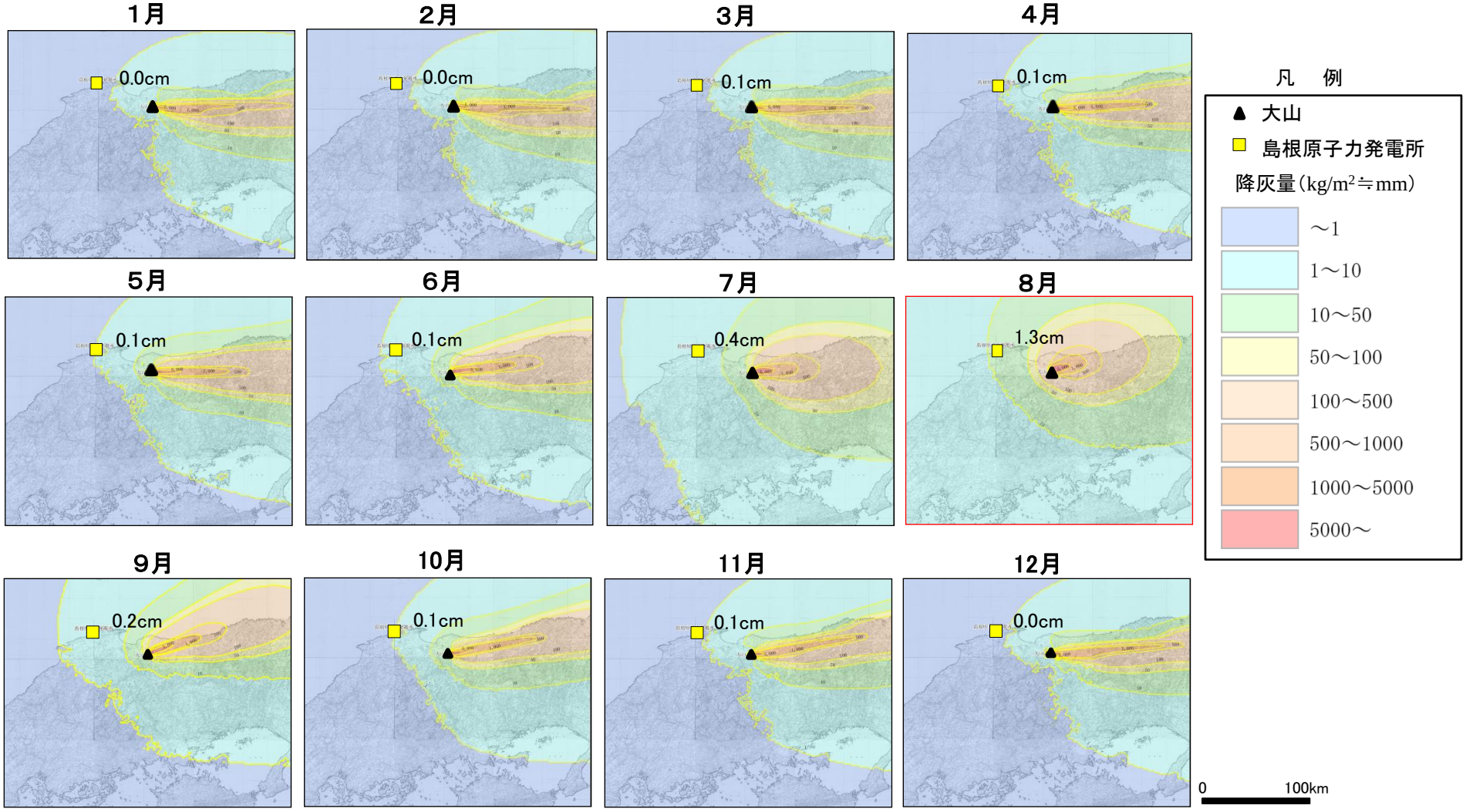

・シミュレーション結果は，大山から敷地までの距離に概ね相当する位置にある50cm等層厚線への到達を概ね再現できていることを確認した。また，その他の等層厚線についても細長い領域の広がりを概ね表現できていると考えられる。

・以上のことから，大山に関する火山灰シミュレーションのパラメータは概ね妥当と評価する。

余白

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション（基本ケース）






火山灰シミュレーションの結果，偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり，敷地における降灰層厚は1.3cmとなった。8月の大気パラメータを不確かさを考慮する際の基本ケースとして選定する。

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション（不確かさ①＜風向＞）



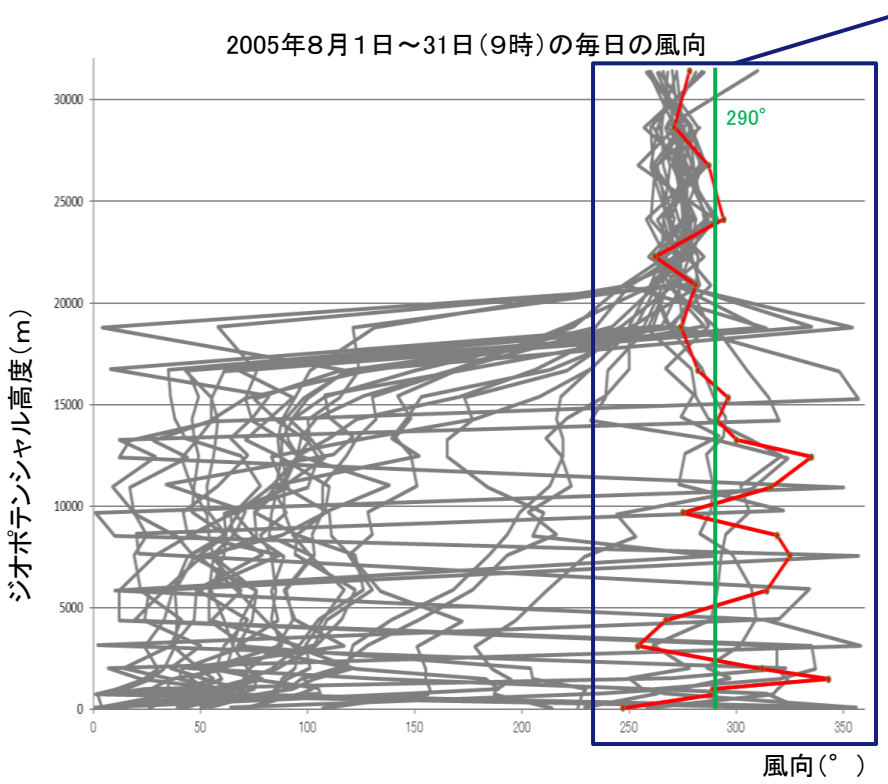
## 敷地方向への仮想風を用いた検討

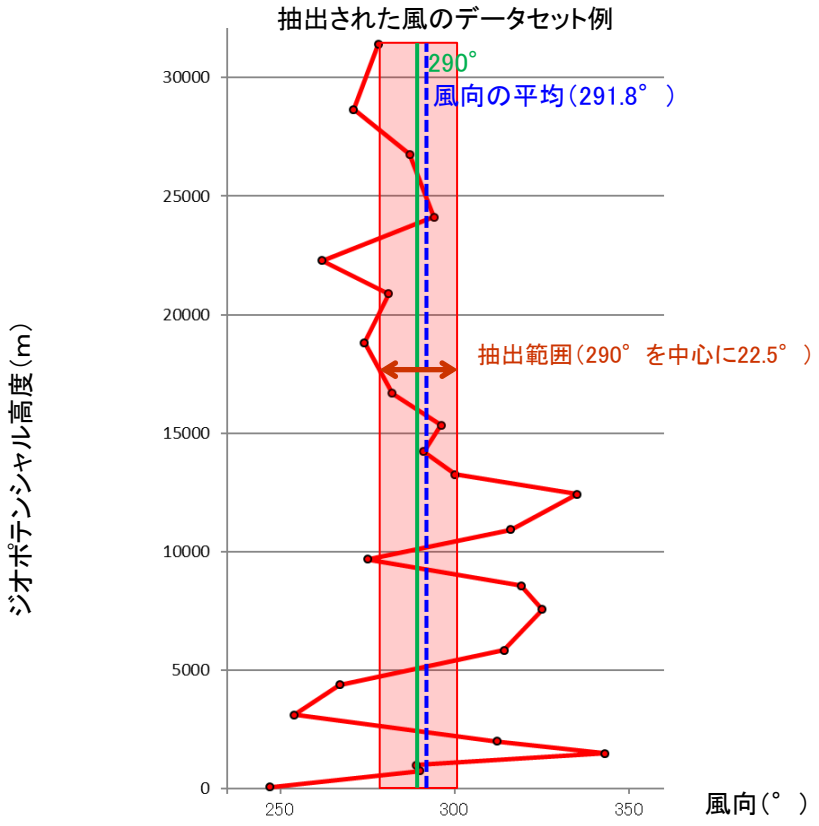
風向のバラつきによる影響が最も大きい８月を対象に，より厳しい条件を考慮した検討として，敷地方向への仮想風を用いたシミュレーションを実施した。なお，風向・風速は，毎日９時，21時の観測データを用いた。

【敷地方向の風の抽出条件】
全高度における風向の平均値が抽出範囲内（290°※1を中心に22.5°※2の範囲）に入る風。

※1 大山から敷地へ向かう方向
※2 風向を16方位に区分した際の1方位の角度

## 敷地方向の風の抽出方法



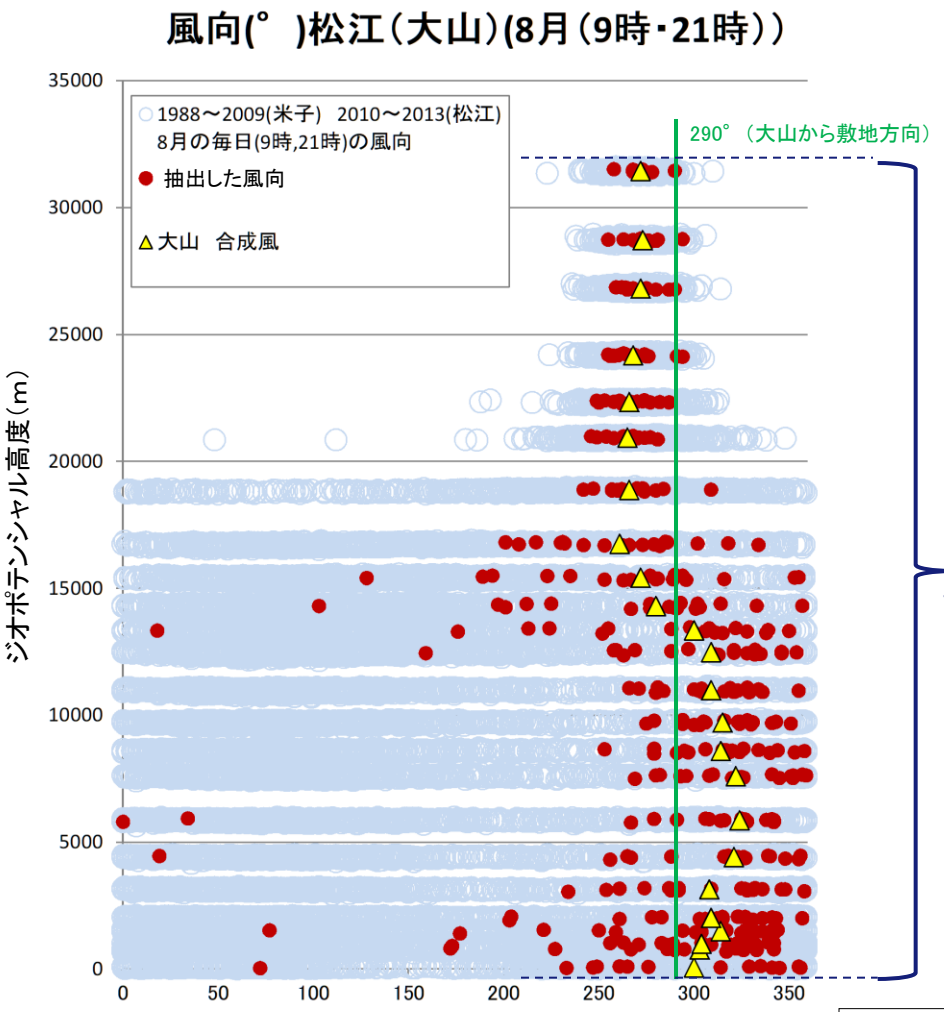



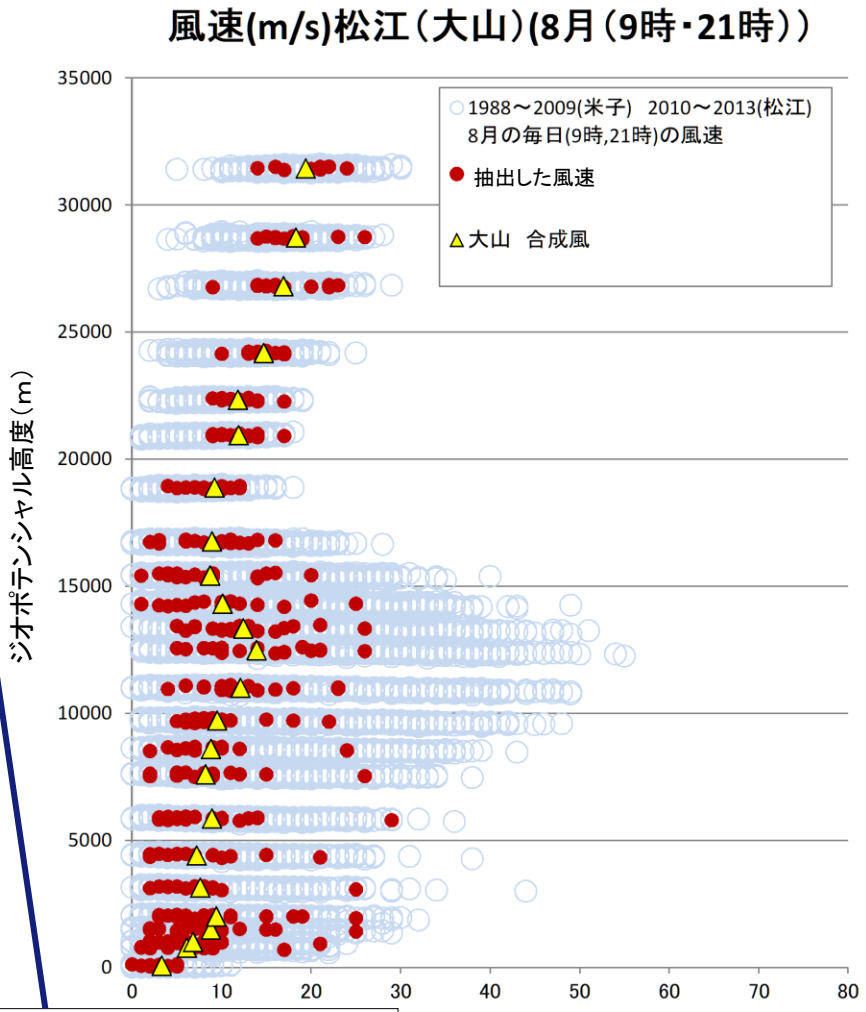

上記例の場合，全高度の風向の平均が290°を中心に22.5°の範囲内であるため，敷地方向の風のデータセットとして抽出する。

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション（不確かさ①＜風向＞）



## 敷地方向への仮想風の作成結果（大山）

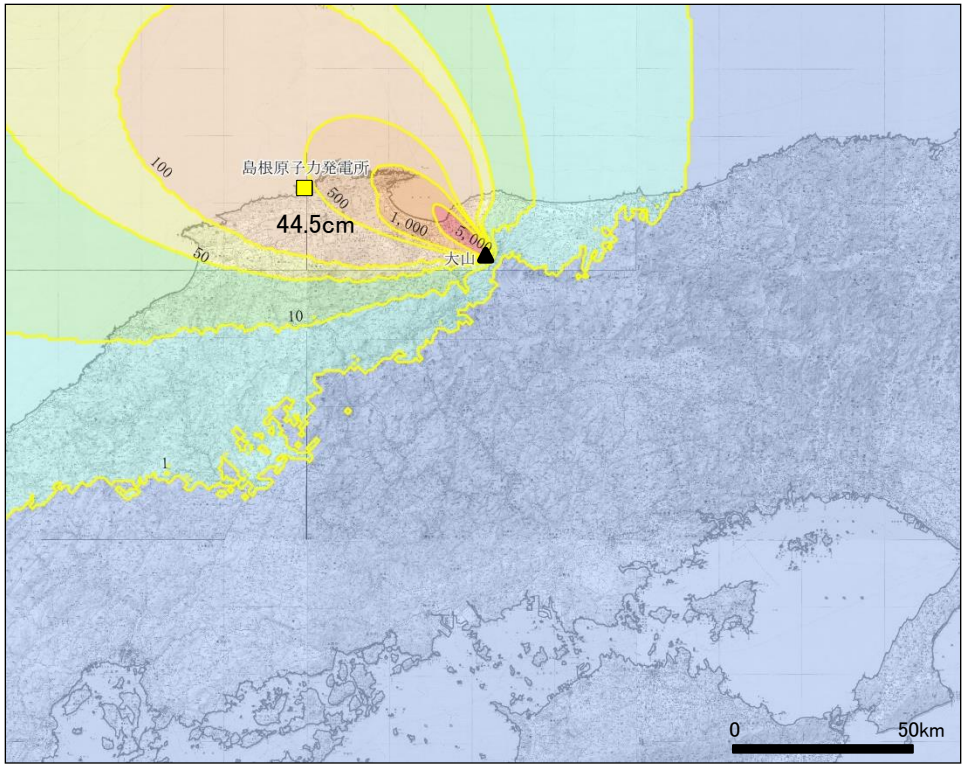


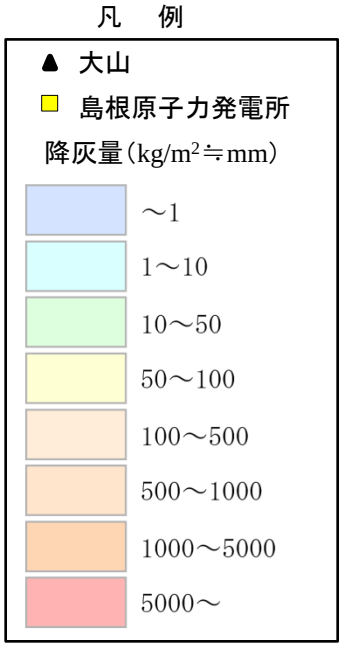




大山から敷地へ向かう全高度（ジオポテンシャル高度）の風を抽出し仮想風を作成。

## 風向の不確かさを考慮した検討結果

風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した検討を実施した。



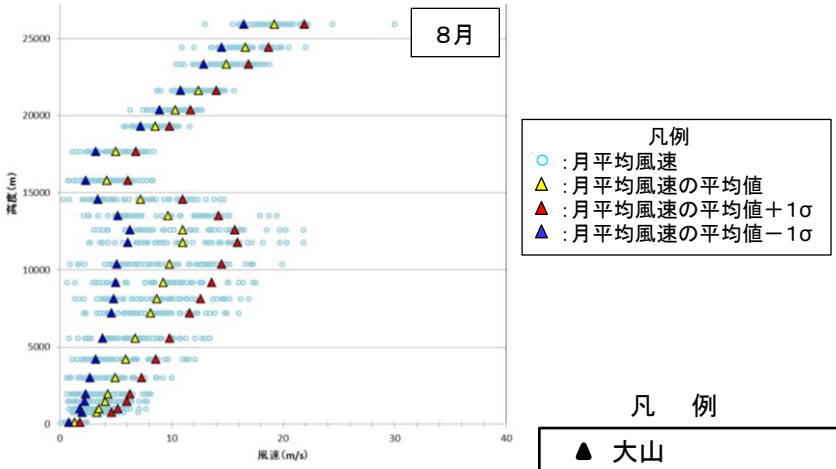

風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの1.3cmに対し44.5cmとなった。

# 大山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ②<風速>）

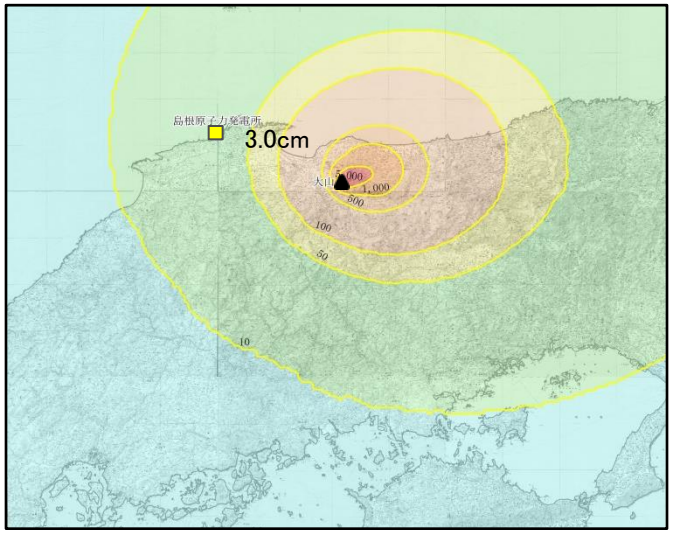


## 風速の不確かさを考慮した検討結果（±1σ）

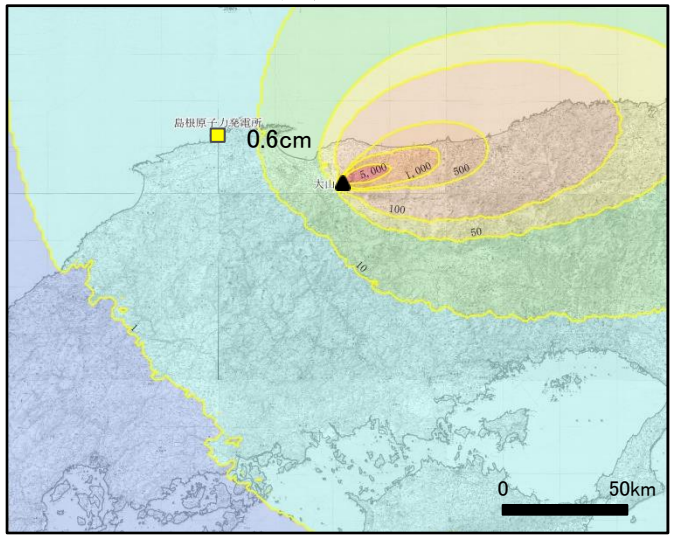
風速の不確かさ考慮した検討として，敷地における降灰層厚が最大となった8月の大気パラメータを対象に，風速を-1σ，1σ 変化させたケースの検討を実施した。

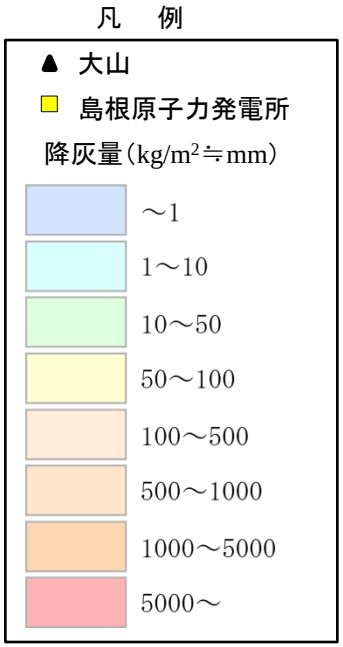



風速-1σ




風速1σ



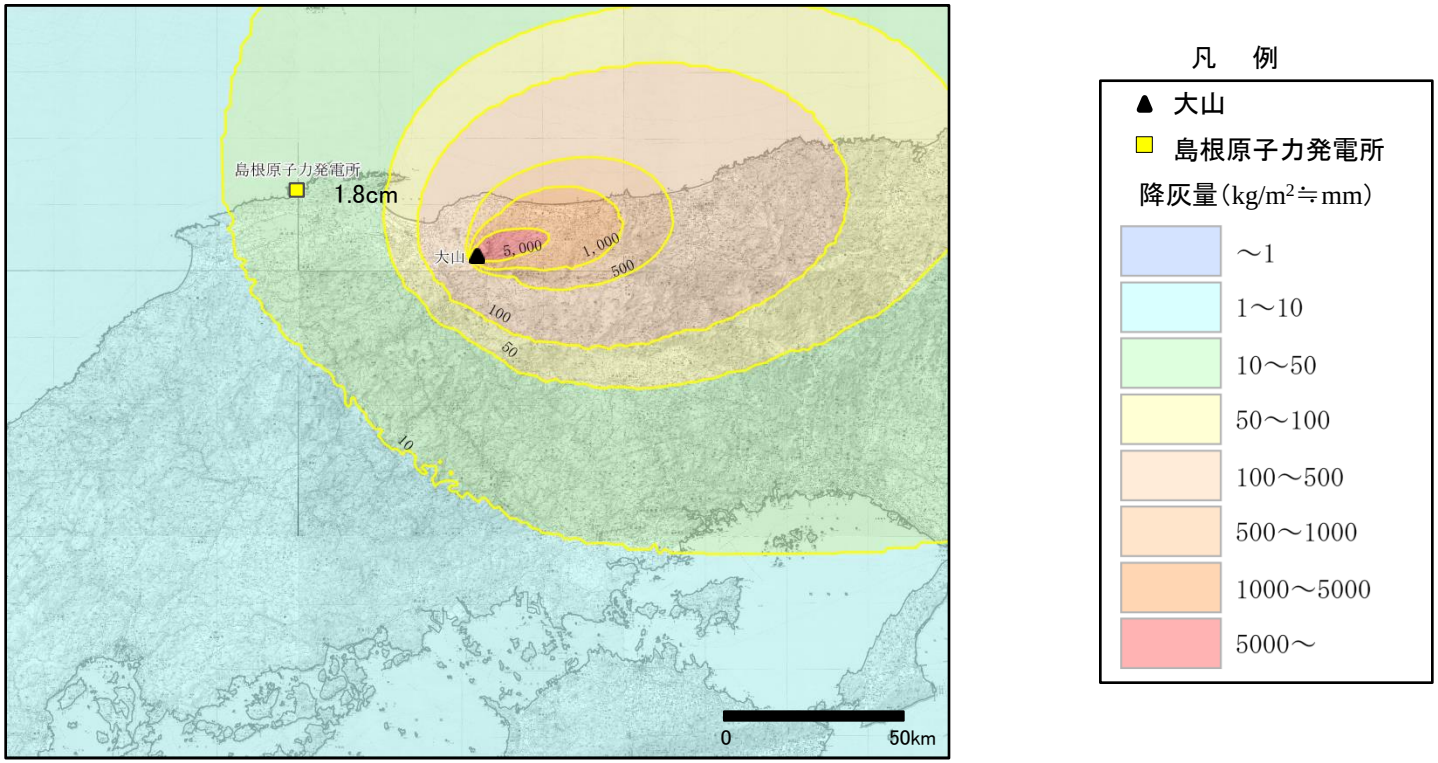

風速の不確かさを考慮した検討として，風速を-1σ，1σ 変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの1.3cmに対し，風速-1σ の場合では3.0cm，風速1σ の場合では0.6cmとなった。

# 大山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ③<粒径>）



## 粒径の不確かさを考慮した検討結果

粒径の不確かさを考慮した検討として，Tephra2による推奨値（珪長質）の粒径範囲（最大粒径：−10phi（$2^{10}$mm），最小粒径：10phi（$2^{-10}$mm））に対し，推奨限界値（最大粒径：−6phi（$2^{6}$mm），最小粒径：6phi（$2^{-6}$mm））を設定したケースの検討を実施した。




粒径の不確かさを考慮した検討として，粒径範囲を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの1.3cmに対し1.8cmとなった。

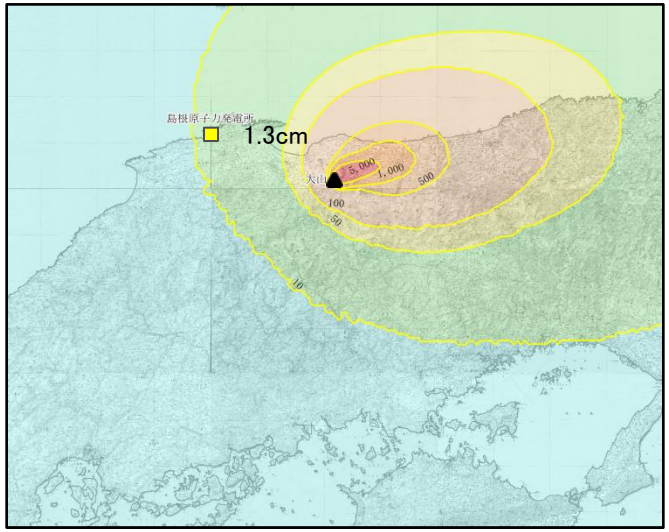
# 大山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ④<密度>）



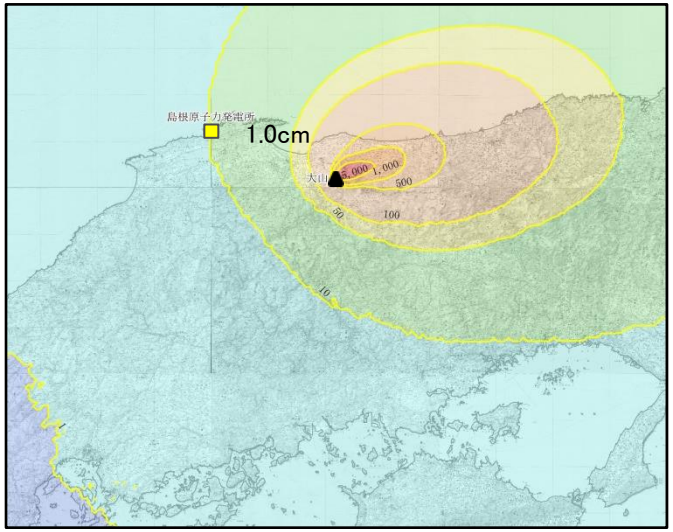
## 密度の不確かさを考慮した検討結果

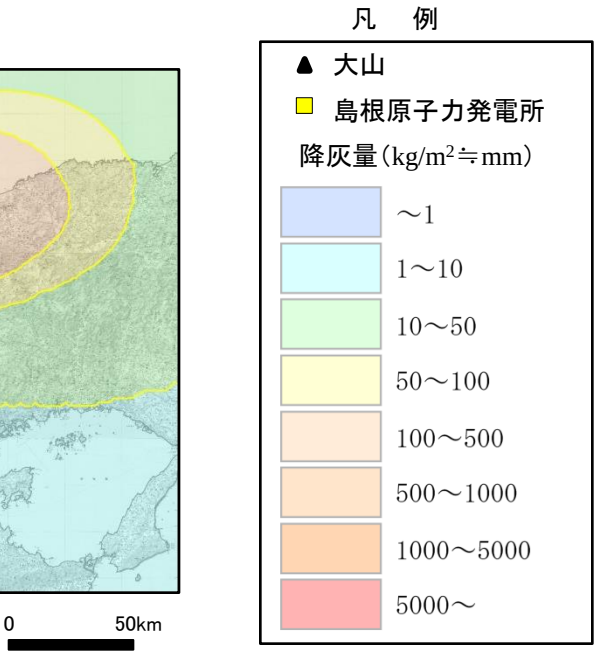
密度の不確かさを考慮した検討として，粒径に基づき設定される岩片・軽石粒子密度（1,000～2,600kg/m$^3$）に対し，密度均一（1,000kg/m$^3$，2,600kg/m$^3$）を設定したケースの検討を実施した。

密度均一（1,000kg/m$^3$）




密度均一（2,600kg/m$^3$）




密度の不確かさを考慮した検討として，岩片・軽石粒子密度を均一とした火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの1.3cmに対し，密度1,000kg/m$^3$の場合では1.3cm，密度2,600kg/m$^3$の場合では1.0cmとなった。

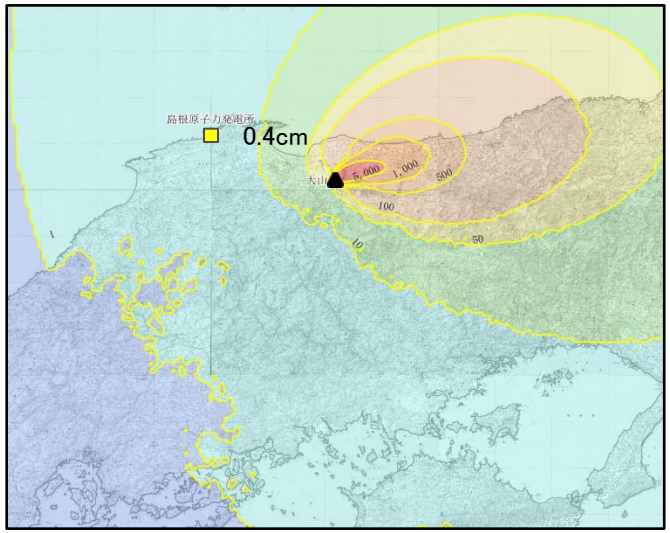
# 大山に関する火山灰シミュレーション（不確かさ⑤<噴煙柱高度>）



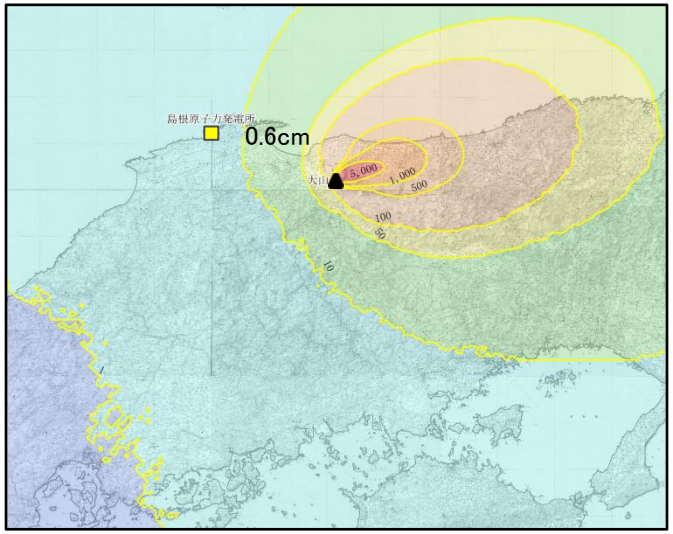
## 噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討結果

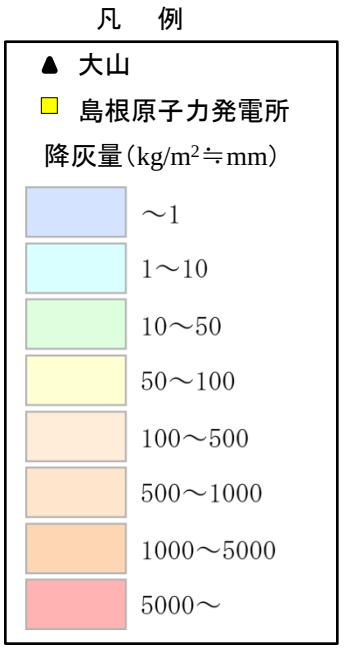
噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として，Mastin et al.（2009）に示される噴煙柱高度の回帰式より設定した噴煙柱高度30kmに対し，20km，25kmを設定したケースの検討を実施した。

噴煙柱高度（20km）




噴煙柱高度（25km）







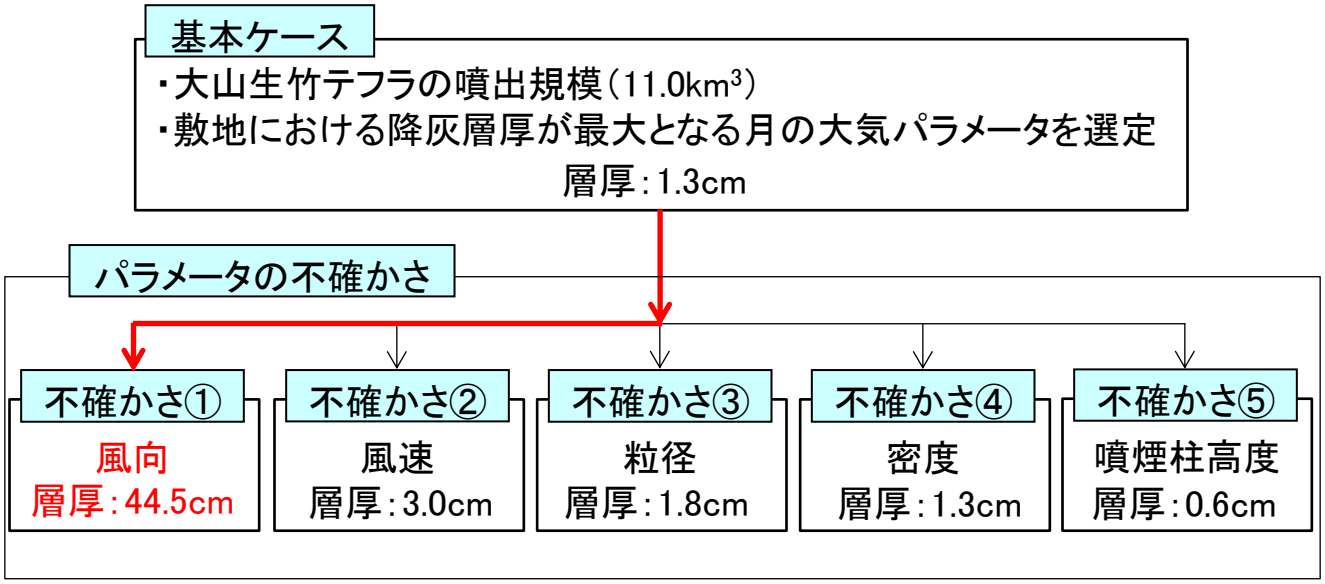
噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として，噴煙柱高度を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，基本ケースの1.3cmに対し，噴煙柱高度20kmの場合では0.4cm，25kmの場合では0.6cmとなった。

# 大山に関する火山灰シミュレーション結果（不確かさの考慮）



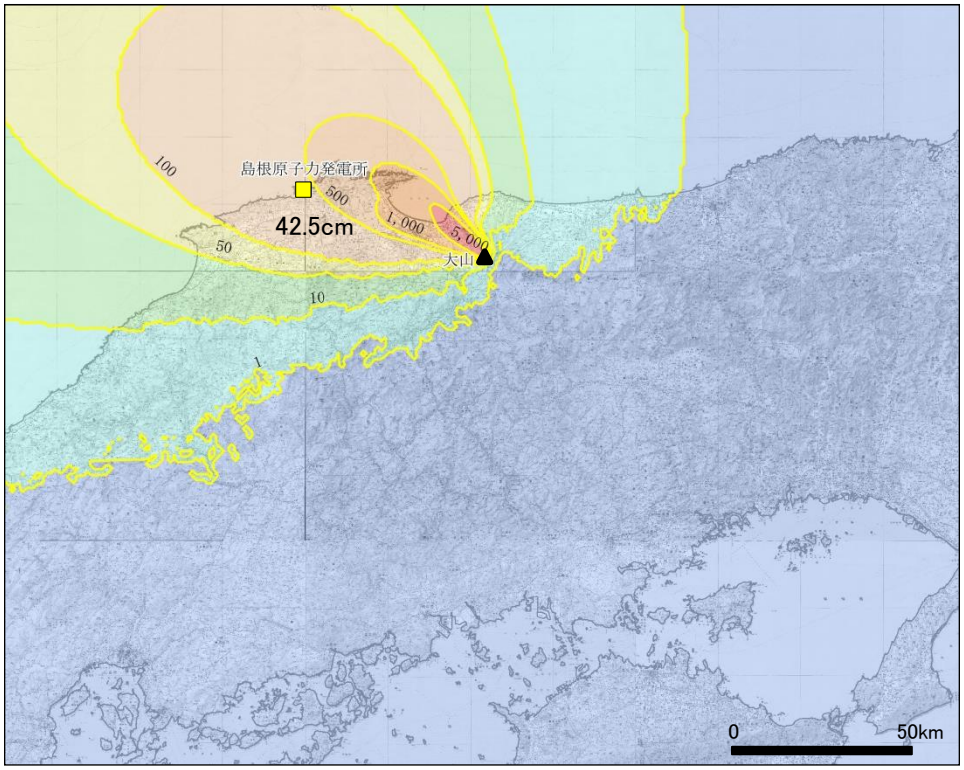
・原子力発電所の運用期間中の規模として，大山倉吉軽石の噴出時を除いて最大規模の噴火である大山生竹テフラ（噴出量：11.0km$^3$）を考慮した火山灰シミュレーションの結果，偏西風の弱まる８月の降下量が最大となり，敷地における降灰層厚は1.3cmとなった。
・８月の大気パラメータを用いたシミュレーションを不確かさを考慮する際の基本ケースとし，パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果，降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向であり，風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した検討において，敷地における降灰層厚は44.5cmとなった。

・風向の不確かさを考慮した検討において，敷地における降灰層厚が最大となることから，ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し，標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



## 風向の不確かさを考慮した検討結果（ジオポテンシャル高度による大気パラメータ）

風向の不確かさを考慮した検討において，敷地における降灰層厚が最大となることから，ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し，標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認した。

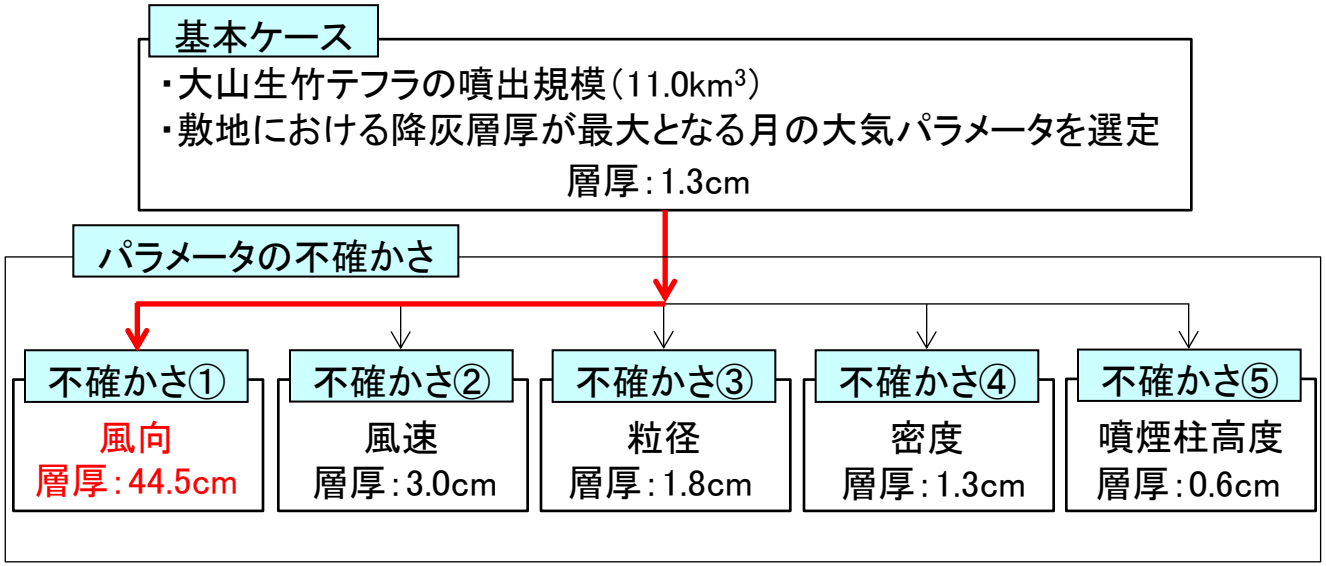



ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は，標準高度による場合と同程度の42.5cmとなることが確認された。

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション結果（まとめ）



原子力発電所の運用期間中の規模として，大山倉吉軽石の噴出時を除いて最大規模の噴火である大山生竹テフラ（噴出量：11.0km$^3$）を想定し，各種の不確かさを考慮した火山灰シミュレーションにより降下火砕物の影響評価を行った。




・原子力発電所の運用期間中の規模として，大山倉吉軽石の噴出時を除いて最大規模の噴火である大山生竹テフラ（噴出量：11.0km$^3$）を想定し，パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果，降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向である。
・風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における層厚は44.5cmとなった。

# 大山の降下火砕物の影響評価（まとめ）



【降下火砕物の層厚評価における想定噴火規模】
・噴火履歴による検討結果等より，原子力発電所の運用期間中には，大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は十分小さいと評価した。
・原子力発電所の運用期間中の規模として，敷地周辺において確認された大山松江軽石の噴出規模2.19km$^3$を考慮する。
・さらに，大山倉吉軽石の噴出時を除いて最大規模の噴火である大山生竹軽石（噴出量：11.0km$^3$）も考慮する。
【文献調査結果・地質調査結果】
・敷地では第四紀火山を給源とする降下火砕物（給源不明を含む）は確認されていない。
・敷地周辺（敷地を中心とする半径約30kmの範囲）における地質調査の結果，敷地周辺の層厚は概ね文献と同等であり，敷地は等層厚線20～35cmに位置し，大山松江テフラ（DMP）の敷地における層厚は30cm程度と推定される。なお，大山起源のその他の火山灰層は確認されていない。
・大山生竹テフラ（DNP）は，敷地及び敷地周辺では確認されていない。
【大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション結果】
・現在の気象条件では，敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が町田・新井（2011）や地質調査結果において確認されたような西向きの降灰分布となる可能性は十分小さいことが火山灰シミュレーションからも確認された。
【大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション結果】
・風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における層厚は44.5cmとなった。
・なお，敷地は大山の風上側に位置すること，大山生竹テフラは，大山から東方への細長い降灰分布を示し，その分布範囲も限定的であることから，敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討は実施しない。

原子力発電所の運用期間中の規模として想定した大山生竹テフラ（噴出量：11.0km$^3$）について，文献調査，地質調査及び火山灰シミュレーションを踏まえた検討結果44.5cmを踏まえ，敷地における降下火砕物の層厚を45cmとする。

# 三瓶山・大山以外の16火山による降下火砕物の影響評価



| 火山名 | 敷地からの距離(km) | 降下火砕物に関する文献調査結果 |
|---|---|---|
| 和久羅山 | 11 | 鹿野ほか（1994）によると，噴出物は安山岩質溶岩流が主体で，町田・新井（2011）によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 大根島 | 16 | 吹田ほか(2001)によると，噴出物は玄武岩質溶岩流が主体で，噴出口にスコリア丘が形成されるが，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| シゲグリ | 32 | 沢田ほか(2001)によると，海底下の安山岩質溶岩ドームの噴出であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 森田山 | 54 | 松浦・土谷(2003)によると，噴出物はデイサイト溶岩主体で，溶岩ドームの山体をなしているとされており，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 女亀山 | 69 | 松浦(1990)[79]によると，噴出物は玄武岩質溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 北条八幡 | 73 | 村山・大沢(1961)[80]によると，噴出物は安山岩質溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 川本 | 74 | 松浦(1990)によると，噴出物はミネットの溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 倉吉 | 75 | 村山・大沢(1961)によると，噴出物は安山岩質溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 隠岐島後 | 77 | 山内ほか(2009)[81]によると，噴出物は玄武岩質溶岩流が主体で，降下火砕物による火砕丘形成が形成されるが，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 槇原 | 101 | 村山ほか(1963)[82]によると，噴出物は安山岩質溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 郡家 | 113 | |
| 佐坊 | 134 | 古山・長尾(2004)[83]によると，噴出物はデイサイト質溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 美方火山群 | 137 | 地質調査総合センター(2021)によると，噴出物は玄武岩・安山岩質溶岩流が主体で，降下火砕物による火砕丘が形成されるが，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 大屋・轟 | 146 | Furuyama et al.(1993)[84]によると，噴出物は玄武岩質溶岩流が主体であり，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 神鍋火山群 | 152 | 高橋・小林編(2000)[85]によると，噴出物は玄武岩質溶岩流が主体で，降下火砕物による火砕丘が形成されるが，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |
| 上佐野・目坂 | 156 | Furuyama et al.(1993)によると，噴出物は玄武岩質～安山岩質溶岩流が主体で，降下火砕物による火砕丘が形成されるが，町田・新井(2011)によると，広範囲に降下したテフラは確認されていない。 |

三瓶山・大山以外の16火山による降下火砕物は，文献調査等の結果，島根半島には認められないとされることから，三瓶山・大山による敷地における降下火砕物の層厚を上回るものではないと評価した。

１．調査内容
２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
２．１ 地理的領域内の第四紀火山
２．２ 将来の火山活動の可能性
３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
４．火山事象の影響評価
４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
４．２ 降下火砕物の影響評価
（１）敷地における降下火砕物の分布状況
（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
（５）降下火砕物の密度・粒径

# 噴火規模の想定（降下火砕物の影響評価方針）



**地理的領域外（半径160km以遠）**

過去の破局的噴火※により敷地に到達した可能性のある降下火砕物の給源である鬼界カルデラ，姶良カルデラ，阿多カルデラ，阿蘇カルデラ及び鬱陵島火山について，原子力発電所の運用期間中の噴火規模を想定し，降下火砕物の影響評価を行う。

※ 町田・新井（2011）に従い，VEI7以上の噴火を「破局的噴火」と定義する。

| 対象火山 | | 評価の基本方針 | 評価項目 | |
|---|---|---|---|---|
| 地理的領域外（半径160km以遠） | 鬼界カルデラ<br>姶良カルデラ<br>阿多カルデラ<br>阿蘇カルデラ | 過去の噴火履歴を検討し，発電所の運用期間中の噴火規模を想定する。 | 噴火履歴の検討 | 噴火履歴から活動性を評価 |
| | | | 地下構造の検討 | マグマ溜まりの状況等から活動性を評価 |
| | 鬱陵島 | | 噴火履歴の検討 | 噴火履歴から活動性を評価 |

# 噴火規模の想定（南九州におけるカルデラ火山の噴火サイクル）



地理的領域外（半径160km以遠）に位置する鬼界・姶良・阿多・阿蘇の各カルデラについて，敷地が過去の破局的噴火に伴う降下火砕物の分布範囲に含まれることから，降下火砕物の影響評価対象として，Nagaoka (1988)(86)及び町田・新井(2011)を参考に，原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性について検討した上で，降下火砕物の影響評価を行った。

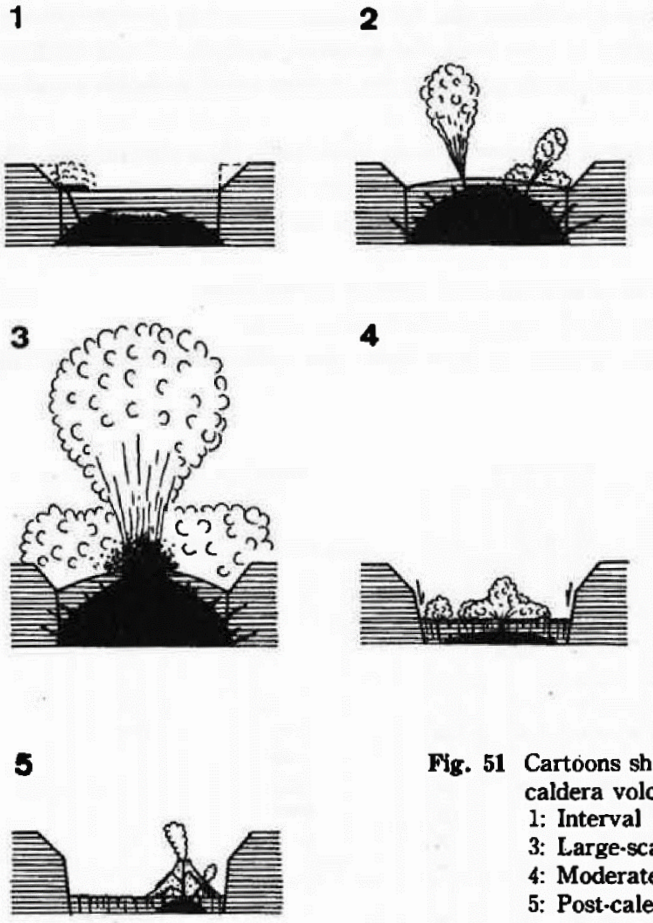



Fig. 51 Cartoons showing an eruptive multi-cycle of a caldera volcano
1: Interval of quiescense; 2: Plinian stage; 3: Large-scale pyroclastic flow stage; 4: Moderate-scale pyroclastic flow stage; 5: Post-calera stage

Nagaoka(1988)より引用

Nagaoka(1988)によると，南九州のカルデラ火山は次のような噴火ステージのサイクルを持つとされている。

**1；休止期間**

**2；プリニー式噴火ステージ**（破局的噴火に先行して間欠的に発生）

**3；破局的（大規模火砕流）噴火ステージ**

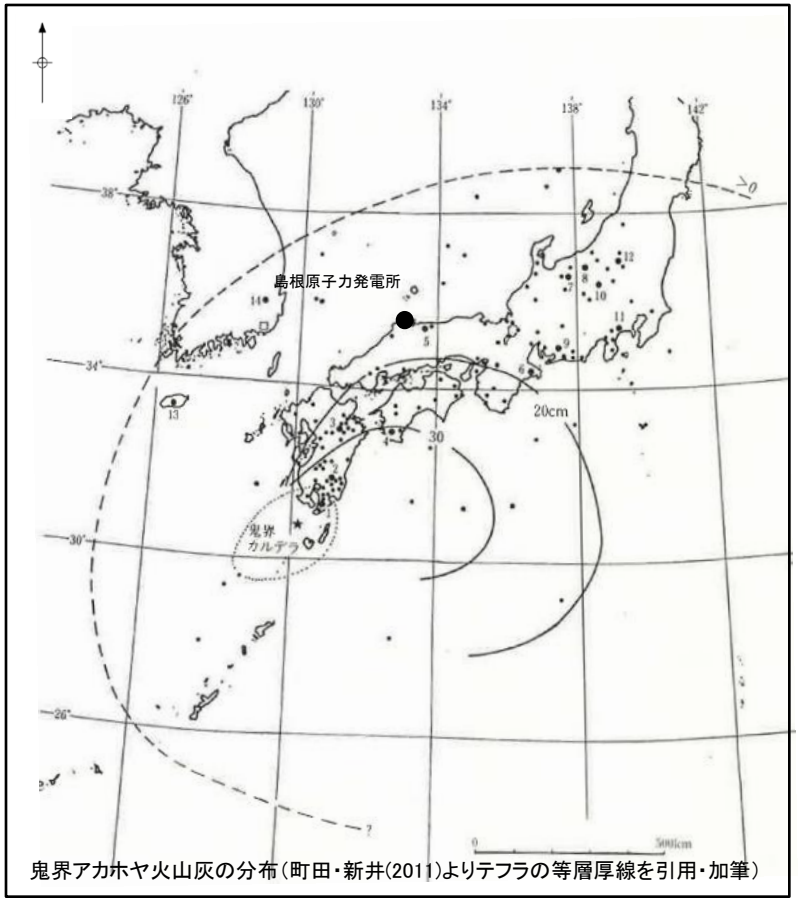
**4；中規模火砕流噴火ステージ**（破局的噴火時の残存マグマによる火砕流が発生）

**5；後カルデラ噴火ステージ**（多様な噴火様式の小規模噴火が発生）

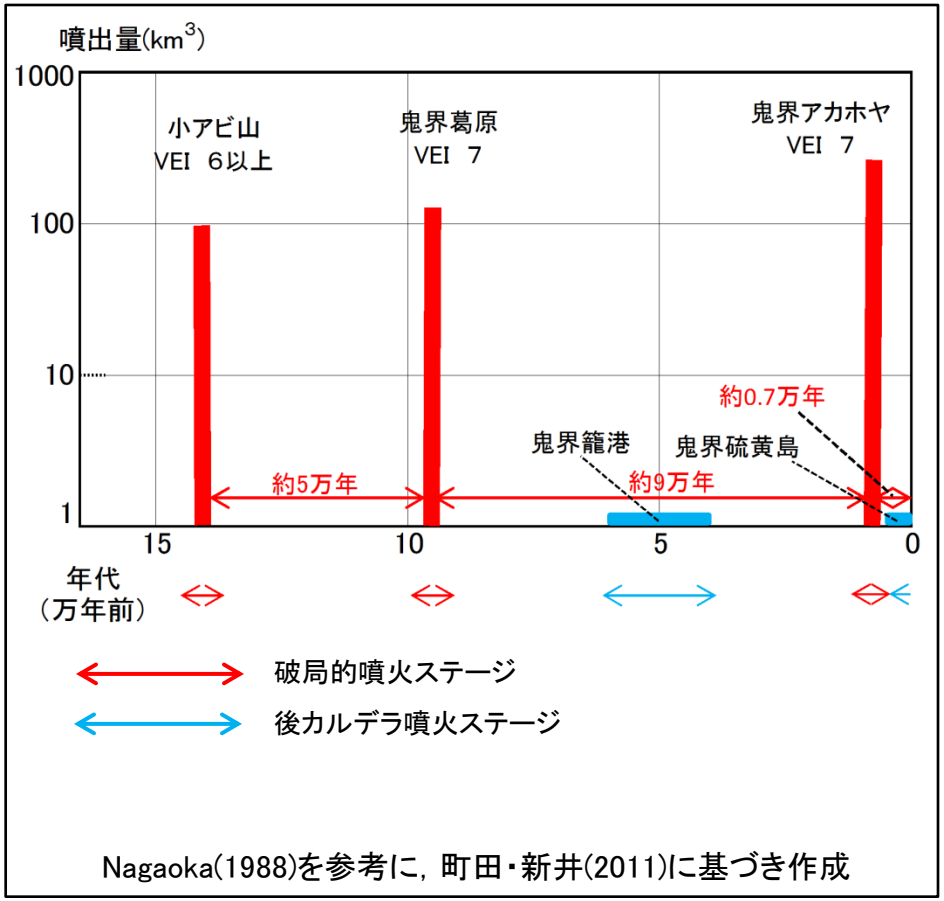
# 鬼界カルデラの噴火規模の想定(噴火履歴の検討)



・破局的噴火の最短間隔(約5万年)は，最近の破局的噴火からの経過時間(約0.7万年)に比べ十分に長いことから，破局的噴火までの時間的余裕が十分にあると考えられる。
・鬼界カルデラにおける現在の噴火活動は，薩摩硫黄島における後カルデラ噴火ステージと考えられる。



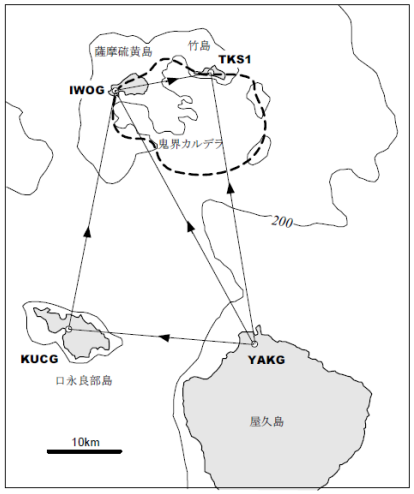

鬼界アカホヤ火山灰の分布(町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆)



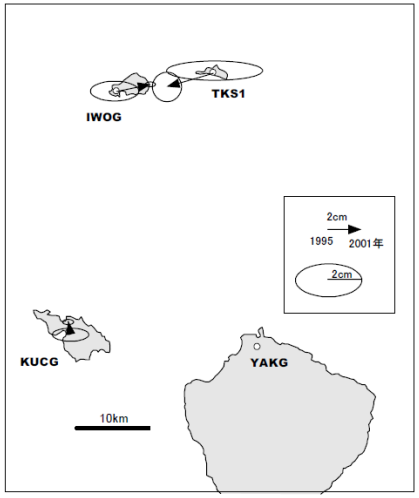

Nagaoka(1988)を参考に，町田・新井(2011)に基づき作成

# 鬼界カルデラの噴火規模の想定(地下構造の検討)






GPS観測点配置図

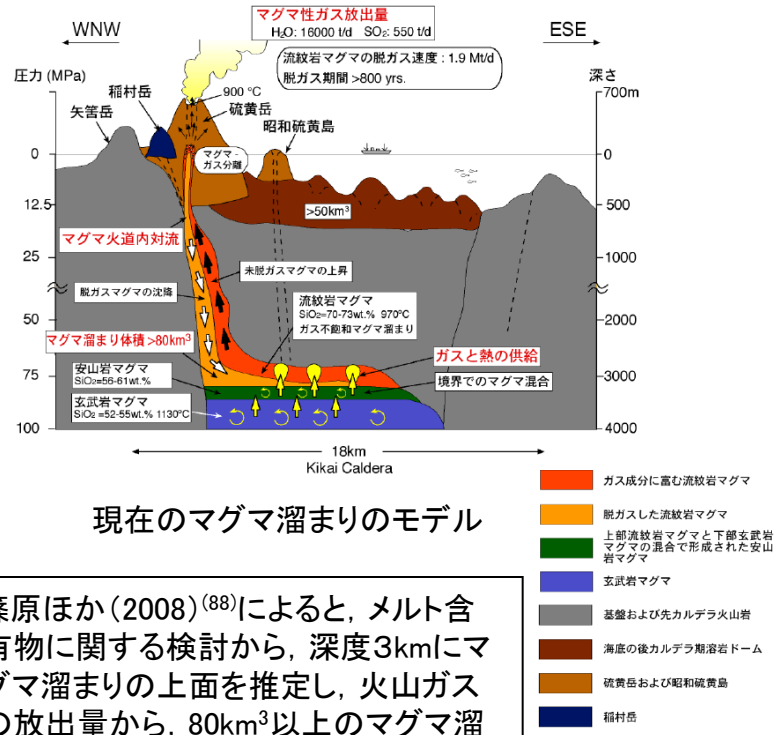



水平変位ベクトル

観測期間:1995年6月～2001年1月
楕円は誤差を表す。

井口ほか(2002)より引用・加筆

・井口ほか(2002)[87]によると,硫黄島,口永良部島,屋久島,竹島に設置されたGPS観測の結果から,顕著な膨張は検出されておらず,少なくとも最近数年間には深部からの新たなマグマの供給はないと判断できるとされている。




現在のマグマ溜まりのモデル

・篠原ほか(2008)[88]によると,メルト含有物に関する検討から,深度3kmにマグマ溜まりの上面を推定し,火山ガスの放出量から,80km$^3$以上のマグマ溜まりが推定されるとし,火山ガス起源のほとんどを地下深くに潜在している玄武岩マグマとされている。

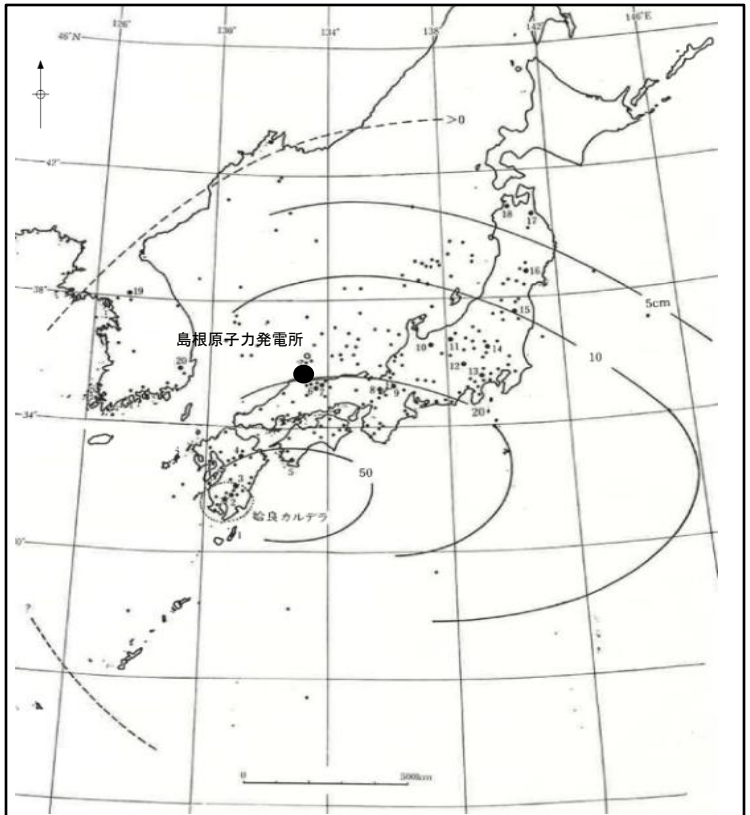
篠原ほか(2008)より引用

鬼界カルデラ直下に大規模なマグマ溜まりが推定されているものの,マグマ溜まりのほとんどが玄武岩質マグマであるとされていることから,このマグマ溜まりは破局的噴火を発生させるものではないと考えられる。以上のことから,鬼界カルデラは,原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さく,降下火砕物による敷地への影響は十分小さいと評価した。

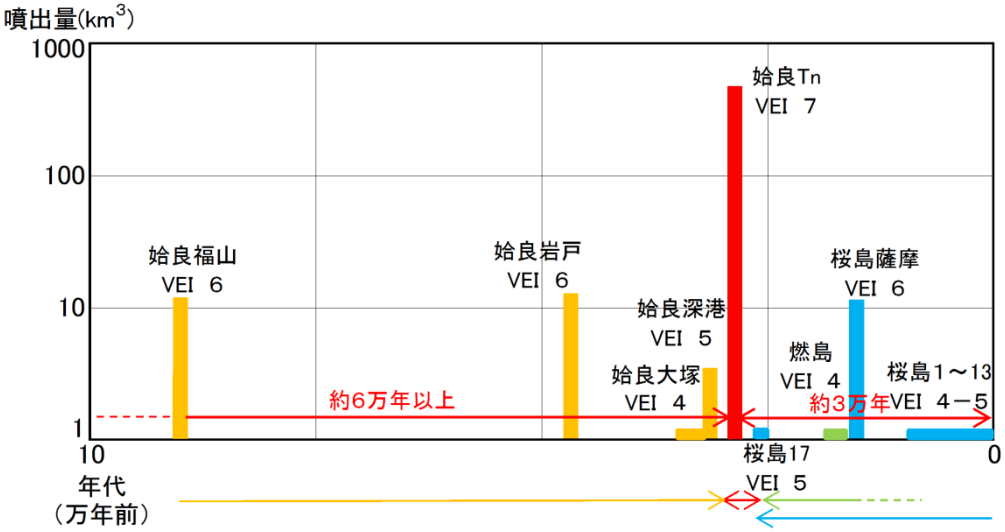
# 姶良カルデラの噴火規模の想定(噴火履歴の検討)



・破局的噴火の活動間隔(約6万年以上)は，最近の破局的噴火からの経過時間(約3万年)に比べて十分長いこと，現在，破局的噴火に先行して発生するプリニー式噴火ステージの兆候が認められないことから，破局的噴火までには十分な時間的余裕があると考えられる。
・姶良カルデラにおける現在の噴火活動は，桜島における後カルデラ噴火ステージと考えられる。



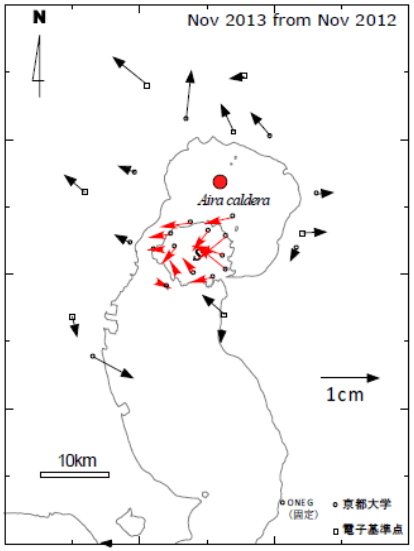

姶良Tn(AT)火山灰の分布(町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆)



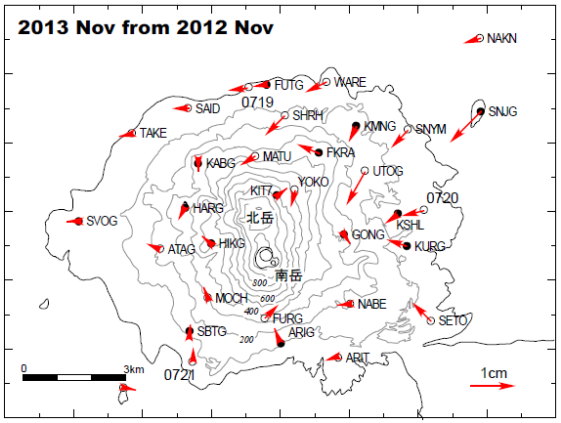

Nagaoka(1988)を参考に，町田・新井(2011)に基づき作成

# 姶良カルデラの噴火規模の想定(地下構造の検討)





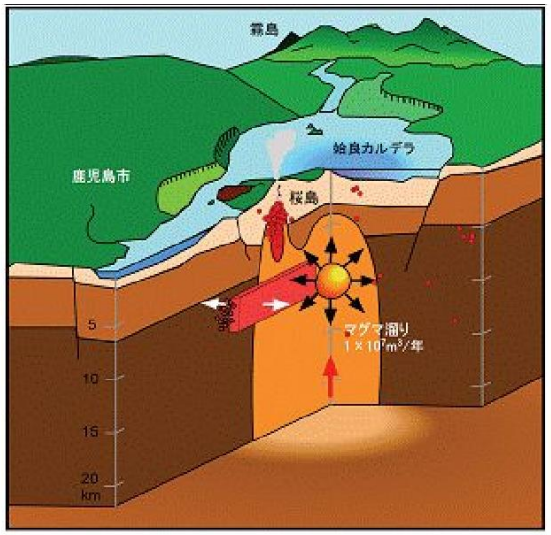

姶良カルデラの水平変位ベクトル




桜島の水平変位ベクトル

井口ほか(2014)より引用・加筆

・井口ほか(2014)[89]によると，GPS連続観測および高密度繰り返し観測の結果において，姶良カルデラ中央部を中心とする外向きの放射状の水平変位が認められ，姶良カルデラ中央部下の深度10kmの位置に圧力源が想定されている。




桜島のマグマ供給系のイメージ

気象庁(2013)より引用

・気象庁(2013)によると，姶良カルデラの地下約10kmに主マグマ溜まりが存在し，副マグマ溜まりは桜島の直下4kmに存在すると推定されている。

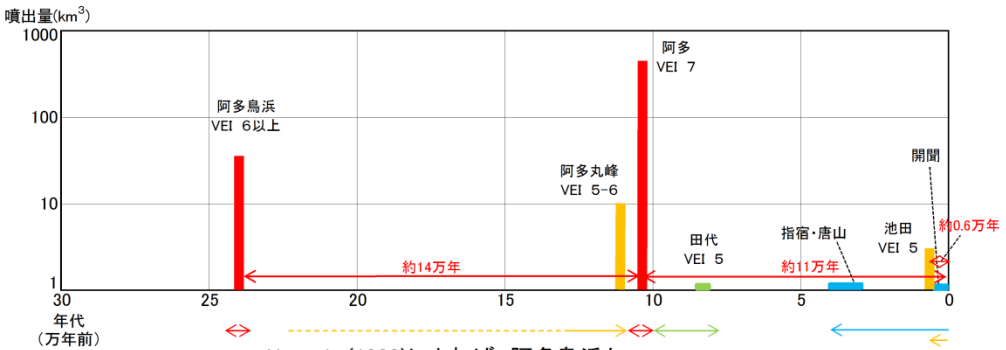
姶良カルデラ中央部のマグマ溜まりについては，深度約10kmで確認されているものの，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmより深い位置にあることから，破局的噴火の可能性を示唆する珪長質のマグマ溜まりではないと考えられる。以上のことから，姶良カルデラは，原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さく，降下火砕物による敷地への影響は十分小さいと評価した。

# 阿多カルデラの噴火規模の想定(噴火履歴の検討)






阿多火山灰の分布(町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆)




Nagaoka(1988)によれば，阿多鳥浜から阿多の間に，阿多丸峰・上ノ宇都・塩谷など複数回のプリニー式噴火があったとされている。

プリニー式噴火ステージ

破局的噴火ステージ

中規模火砕流噴火ステージ

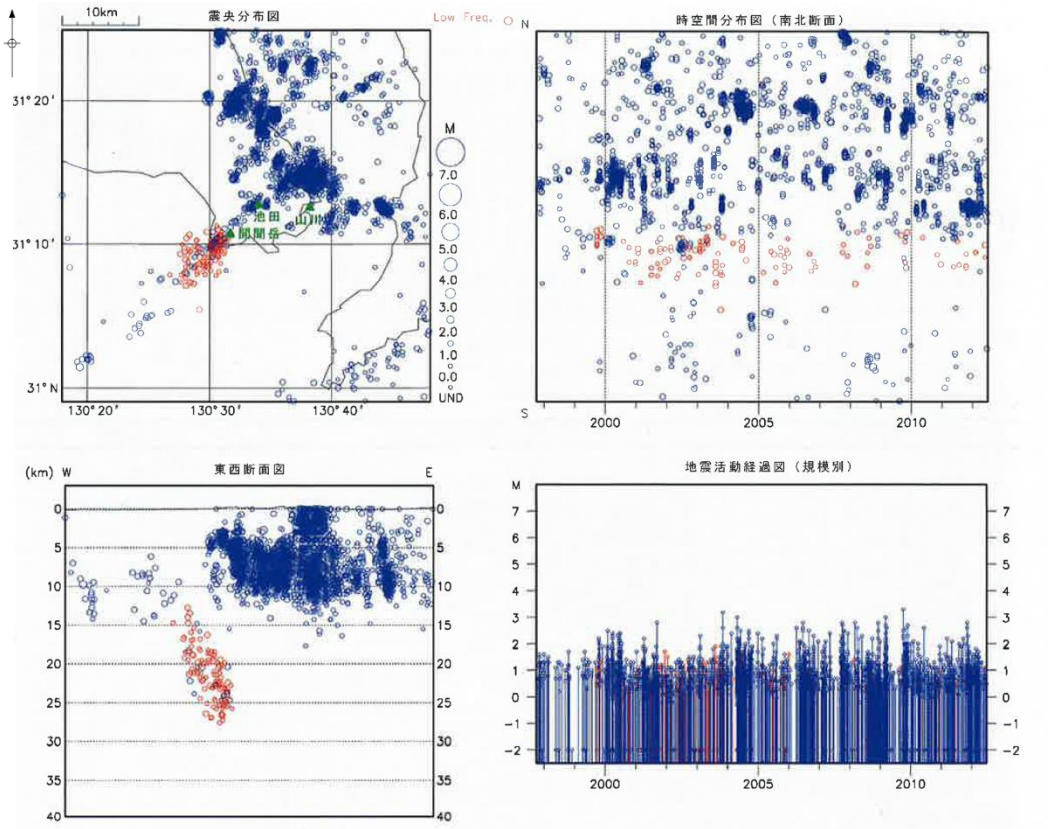
後カルデラ噴火ステージ

Nagaoka(1988)を参考に，町田・新井(2011)に基づき作成

・破局的噴火の最短間隔(約14万年)は，最近の破局的噴火からの経過時間(約11万年)に比べて長いことから，次の破局的噴火までには十分な時間的余裕があると考えられる。
・また，プリニー式噴火の池田噴火(約0.6万年前)が知られているが，過去のプリニー式噴火ステージの継続時間に比べて十分に短い。
・現在の噴火活動は，開聞岳における後カルデラ噴火ステージもしくは池田におけるプリニー式噴火ステージの初期段階と考えられる。

# 阿多カルデラの噴火規模の想定(地下構造の検討)






凡　例

○：浅部地震活動
○：深部低周波地震活動

気象庁(2013)より引用

阿多カルデラ周辺における，広域地震観測網による浅部の地震活動及び深部低周波地震活動（1997年10月１日～2012年６月30日）の記録によると，低周波地震活動は13km以深から認められ，概ね深度20km～25kmに集中している。

阿多カルデラの地下深部では低周波地震が複数回観測されており，マグマ溜まりの存在の可能性を示唆しているが，東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmよりも十分深い位置にある。以上のことから，阿多カルデラは，原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さく，降下火砕物による敷地への影響は十分小さいと評価した。

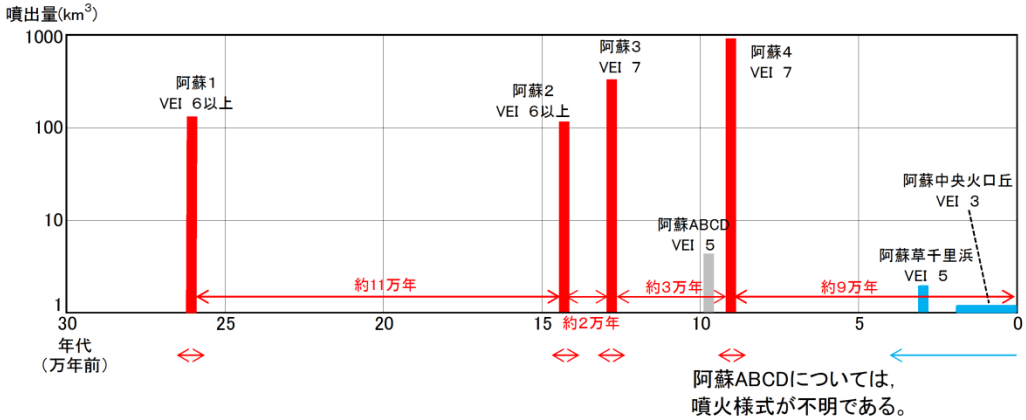
# 阿蘇カルデラの噴火規模の想定(噴火履歴の検討)



・現在の噴火活動は，阿蘇における後カルデラ噴火ステージの活動が継続しているものと考えられる。
・破局的噴火の最短間隔(約2万年)は，最近の破局的噴火からの経過時間(約9万年)に比べて短く，破局的噴火のマグマ溜まりを形成している可能性，破局的噴火を発生させる供給系ではなくなっている可能性等が考えられる。




阿蘇4火山灰の分布(町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆)



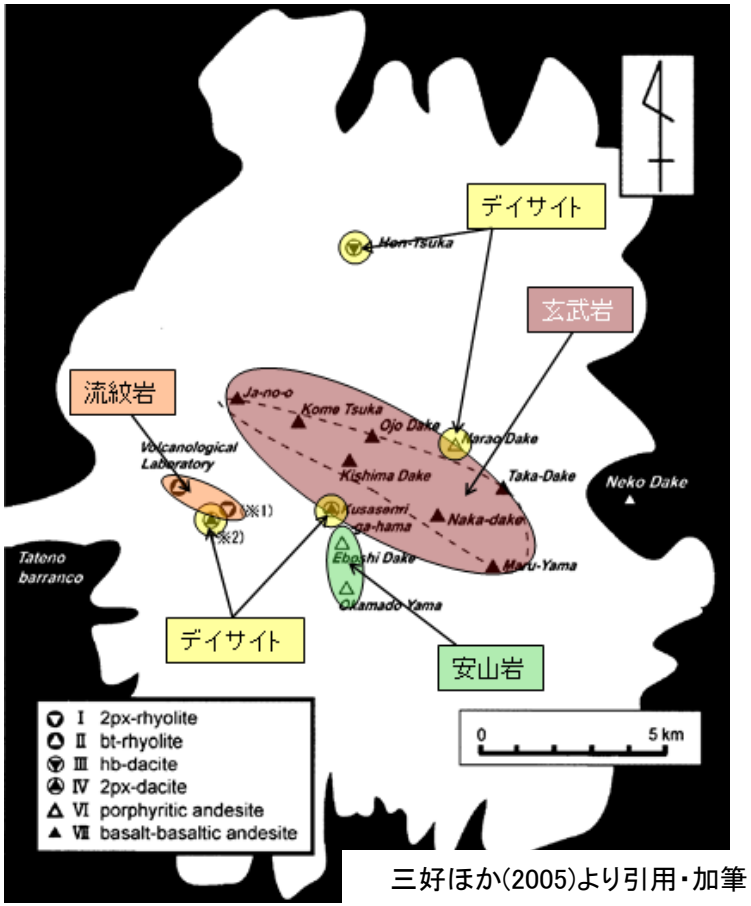

破局的噴火ステージ

後カルデラ噴火ステージ

Nagaoka(1988)を参考に，町田・新井(2011)に基づき作成

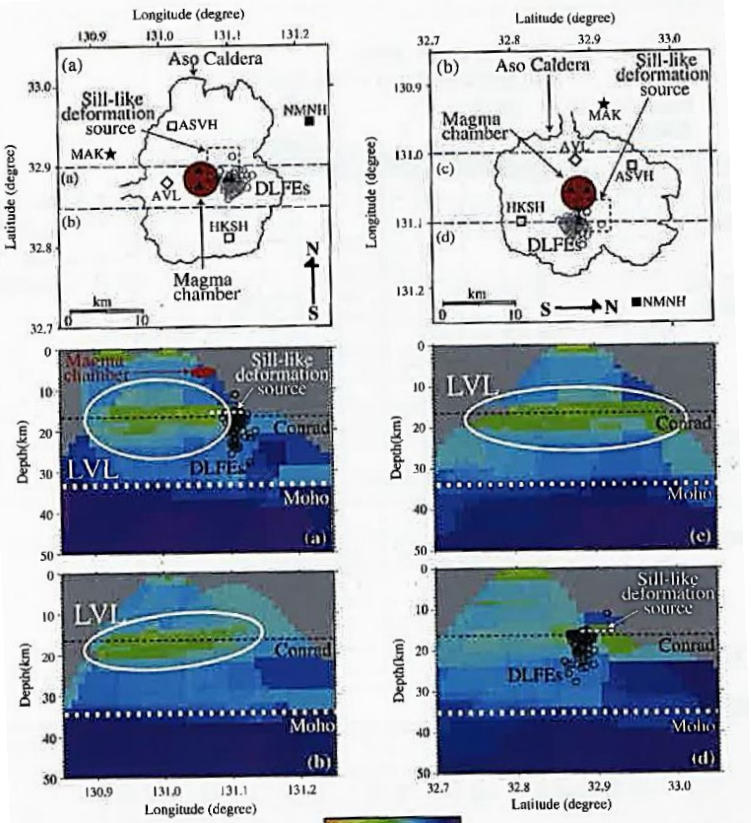
# 阿蘇カルデラの噴火規模の想定(地下構造の検討)






三好ほか(2005)より引用・加筆

三好ほか(2005)[90]によると，カルデラ中央部で玄武岩質マグマが，周辺で珪長質マグマが活動しており，後カルデラ期には単一の大規模なマグマ溜まりは存在していないと考えられる。




LVL：低速度層(Low Velocity Layer)

Abe et al.(2010)より引用・加筆

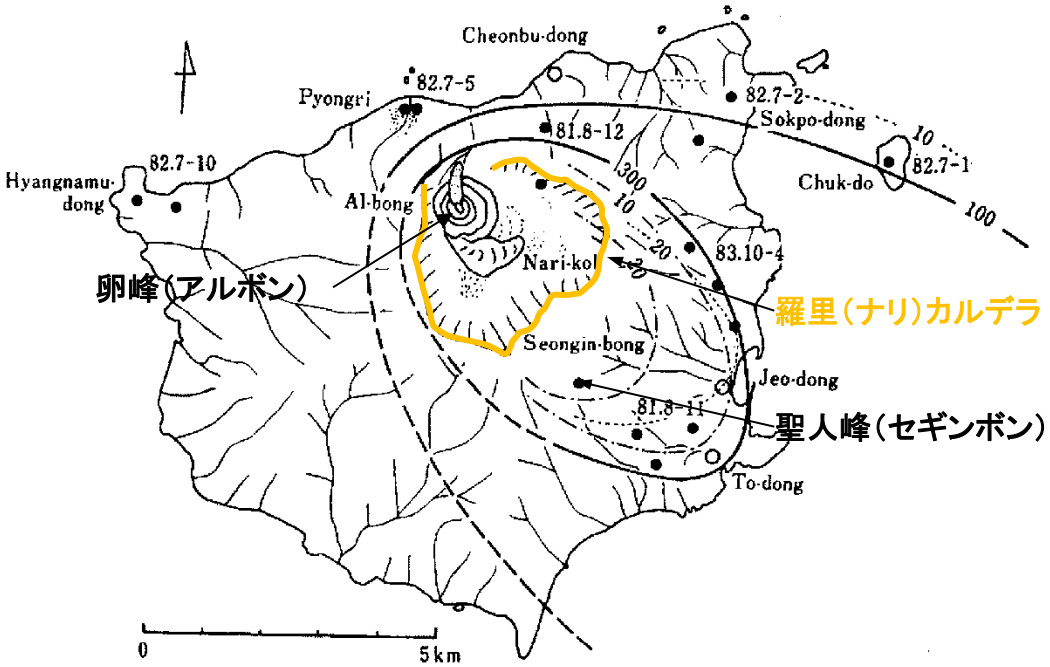
Abe et al.(2010)[91]によると，カルデラ下の深度15～25kmに地震波の低速度層が認められ，マグマ溜まりの存在を示唆するものとされているが，その分布深度は深く，近い将来に破局的噴火を引き起こすものではないと考えられる。

以上のことから，阿蘇カルデラは，発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さく，降下火砕物による敷地への影響は十分小さいと評価した。

# 鬱陵島の噴火履歴の検討(鬱陵島の概要)



敷地の北西290kmに位置し，最大標高約984mの聖人峰(セギンボン)を最高峰とする。火山山体が直径約30km，比高約3,000mに達する大型の複成火山で，中腹以上が海面に現れた火山島で，島の大きさは東西約12km，南北約10kmである。




町田ほか(1984)より引用・加筆

<u>火山形式</u>

火砕丘及び溶岩流

町田ほか(1984)[92]による

<u>主な岩石</u>

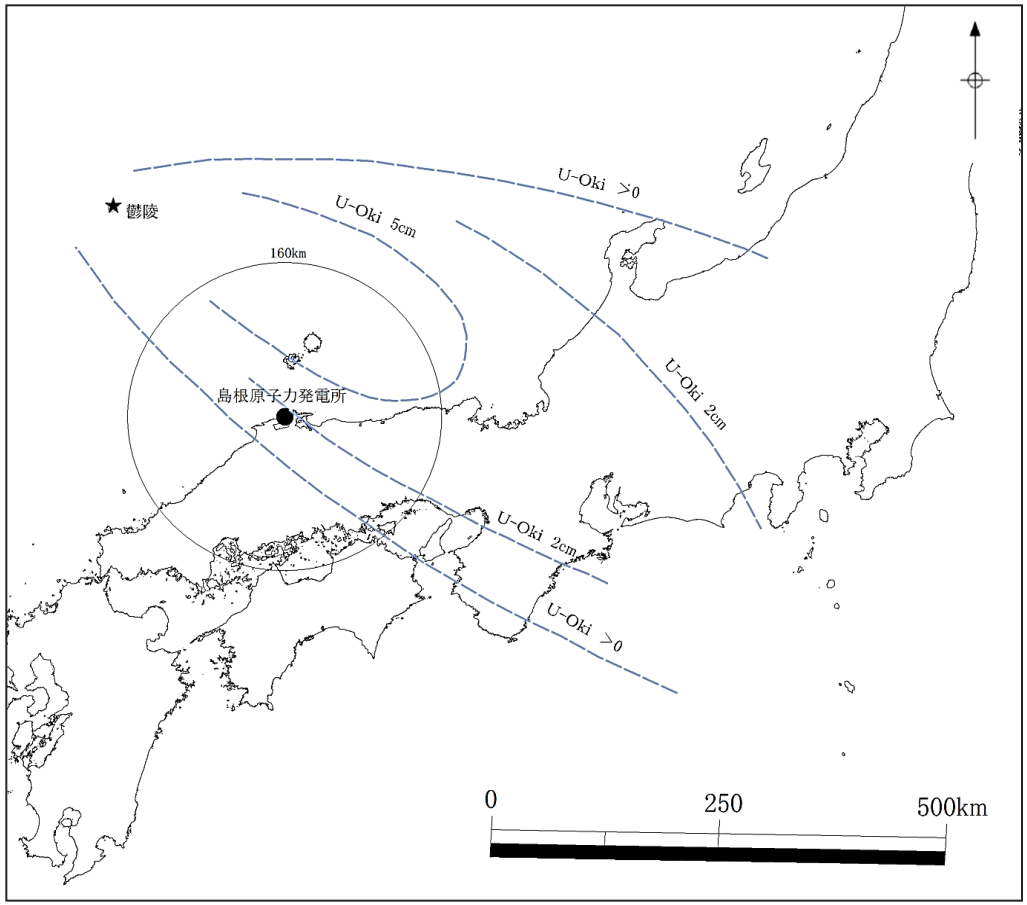
玄武岩，粗面岩，粗面安山岩

Harumoto(1970)[93]による

島中央のやや北寄りには，羅里(ナリ)盆地と呼ばれる直径約3.5kmのカルデラが形成され，その北西に中央火口丘である卵峰(アルボン)が形成されている。

# 鬱陵島の噴火履歴の検討（鬱陵島の概要）



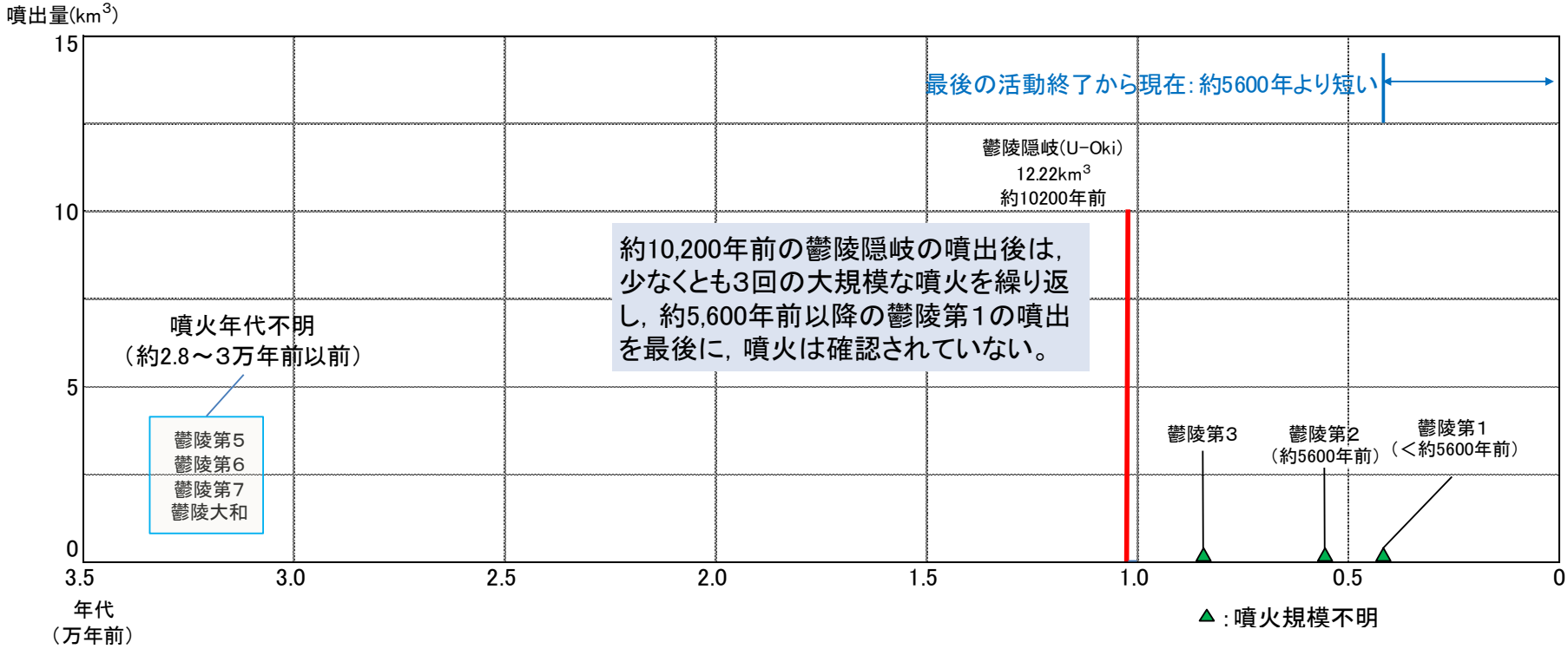



町田・新井（2011）よりテフラの等層厚線を引用・加筆

・Harumoto(1970)によると，鬱陵島火山の活動は，5期に分けられ，Ⅰ期からⅢ期までは，多量の玄武岩質マグマの噴出や爆発的噴火活動を伴う粗面岩質マグマの噴出の反覆により大型火山が形成され，Ⅳ期にはカルデラの形成と中央火口丘卵峰（アルボン）が形成されたとしている。
さらに，Ⅴ期には爆発的活動による多量の軽石・火山礫の噴出をしたとしている。
・町田ほか（1984）及び金（1985）(94)によると，Harumoto（1970）のⅤ期の軽石火山灰の噴出は，Ⅳ期のカルデラ形成期によるもので，中央火口丘卵峰（アルボン）が形成された後の活動はないとされている。
・町田・新井(2011)によると，日本国内の陸域で確認されているのは約10,200年前の鬱陵隠岐（U-Oki）で，噴火規模はVEI6とされている。

# 鬱陵島の噴火履歴の検討(階段ダイヤグラム)






須藤ほか(2007),町田・新井(2011)に基づき作成

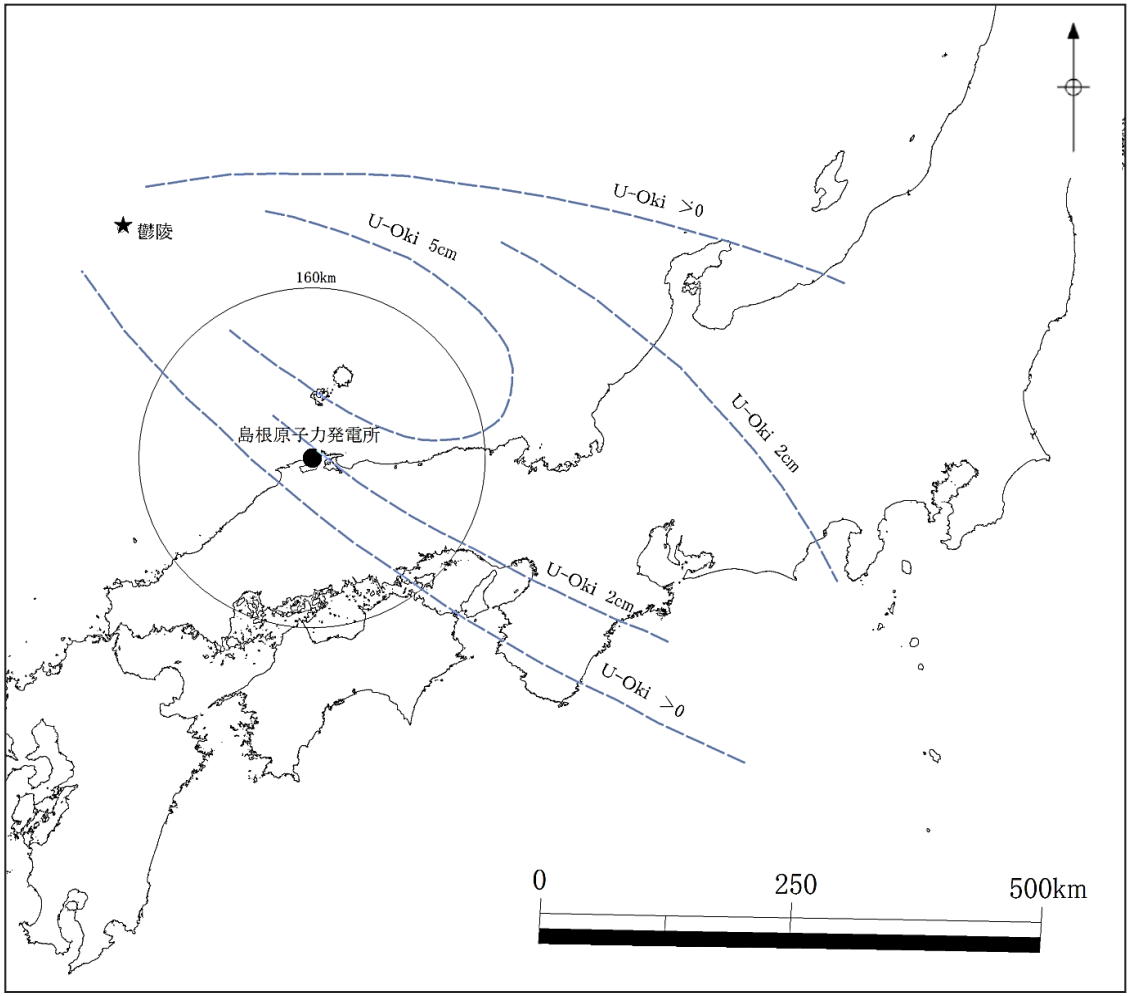
町田・新井(2011)によると,鬱陵島起源のテフラは,鬱陵島周辺と東方の日本海南部の海域を覆うとされている。

完新世において,鬱陵隠岐噴出時のVEI6規模の噴火があり,鬱陵隠岐の噴火以降,少なくとも3回の噴火があったとされているが,それらの詳細な噴火規模が不明であることから,運用期間中の噴火規模として,過去最大の鬱陵隠岐の噴火規模(12.22km$^3$)を想定する。

# 鬱陵島の降下火砕物の分布に関する調査（文献調査）



・町田・新井(2011)によると，鬱陵隠岐（U-Oki）について，敷地付近における降下火砕物の層厚が2cm以下とされている。
・敷地では，鬱陵隠岐（U-Oki）は確認されていない。




町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆

# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション(パラメータ)



鬱陵隠岐(U-Oki)について，敷地では確認されていないが，文献調査の結果，敷地付近の層厚が2cm以下とされていることから，現在の気象条件における降灰分布を確認するため，火山灰シミュレーションを実施した。

**火山灰シミュレーションの概要**
- シミュレーションのプログラム：Tephra2(バグ修正後プログラム)
- 想定する噴火規模：鬱陵隠岐テフラ(総噴出量：12.22km$^3$)
- 各パラメータ(地形，噴煙柱，粒子，大気)：下表のとおり

※2 Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式 $H(km) = 25.9 + 6.64\log_{10}(V(km^3DRE))$

：見かけ体積は，須藤ほか(2007)による。
：計算により算出

各パラメーター覧表

| 対象とする火山 | | | 鬱陵島 | 引用した文献・資料など |
|---|---|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | | | U-Oki規模 | |
| 地形パラメータ | 地形モデル解析 | m | 1,000 | 国土地理院基盤地図情報<br>数値標高モデル(10m)<br>座標：UTM座標系 |
| | 火口位置X | m | 134,205 | |
| | 火口位置Y | m | 4,158,383 | |
| | 火口位置Z | m | 984 | |
| 噴煙柱パラメータ | 噴煙柱上端の標高 | m | 30,000 | 右表参照 |
| | 噴出物の総重量 | kg | 1.2E+13 | 右表参照 |
| | 最大粒径 | phi | $-10(2^{10}mm=1024mm)$ | Tephra2による推奨値※1 |
| | 最小粒径 | phi | $10(2^{-10}mm=9.77\times10^{-4}mm)$ | |
| | 中央粒径 | phi | $4.5(2^{-4.5}mm=0.0442mm)$ | |
| | 標準偏差 | phi | $3(2^{-3}mm=0.125mm)$ | |
| 粒子パラメータ | 渦拡散係数 | $m^2/s$ | 0.04 | T.Suzuki(1983)より |
| | 拡散係数 | $m^2/s$ | 500 | 萬年(2013)より |
| | Fall Time Threshold | s | 3600 | C.Bonadonna et al.(2005)より |
| | 岩片の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 2600 | Tephra2による推奨値※1 |
| | 軽石の見かけ密度 | $kg/m^3$ | 1000 | |
| 大気パラメータ | 風速 | m/s | 高度ごとに月平均風速(9時，21時)の平均値 | 気象庁公開データ(1988.1～2013.6)<br>・輪島(1988.1～2013.6)<br>・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度 |
| | 風向 | 度 | 高度ごとに月平均風向(9時，21時)の最頻値 | |
| | 季節条件 | | 1月～12月 | |

※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

| 対象とする火山 | 鬱陵島 | 備考 |
|---|---|---|
| 想定する噴火規模 | U-Oki | |
| 噴煙柱高度 H (km) ※2 | 30 | |
| 見かけ体積 V1 (km$^3$) | 12.22 | |
| 見かけ体積 V2 (km$^3$DRE) | 4.70 | |
| 噴出物総重量 (kg) | 1.2E+13 | |

| 換算値 | | |
|---|---|---|
| 岩片の見かけ密度 | 2,600 | $kg/m^3$ |
| 軽石の見かけ密度 | 1,000 | $kg/m^3$ |

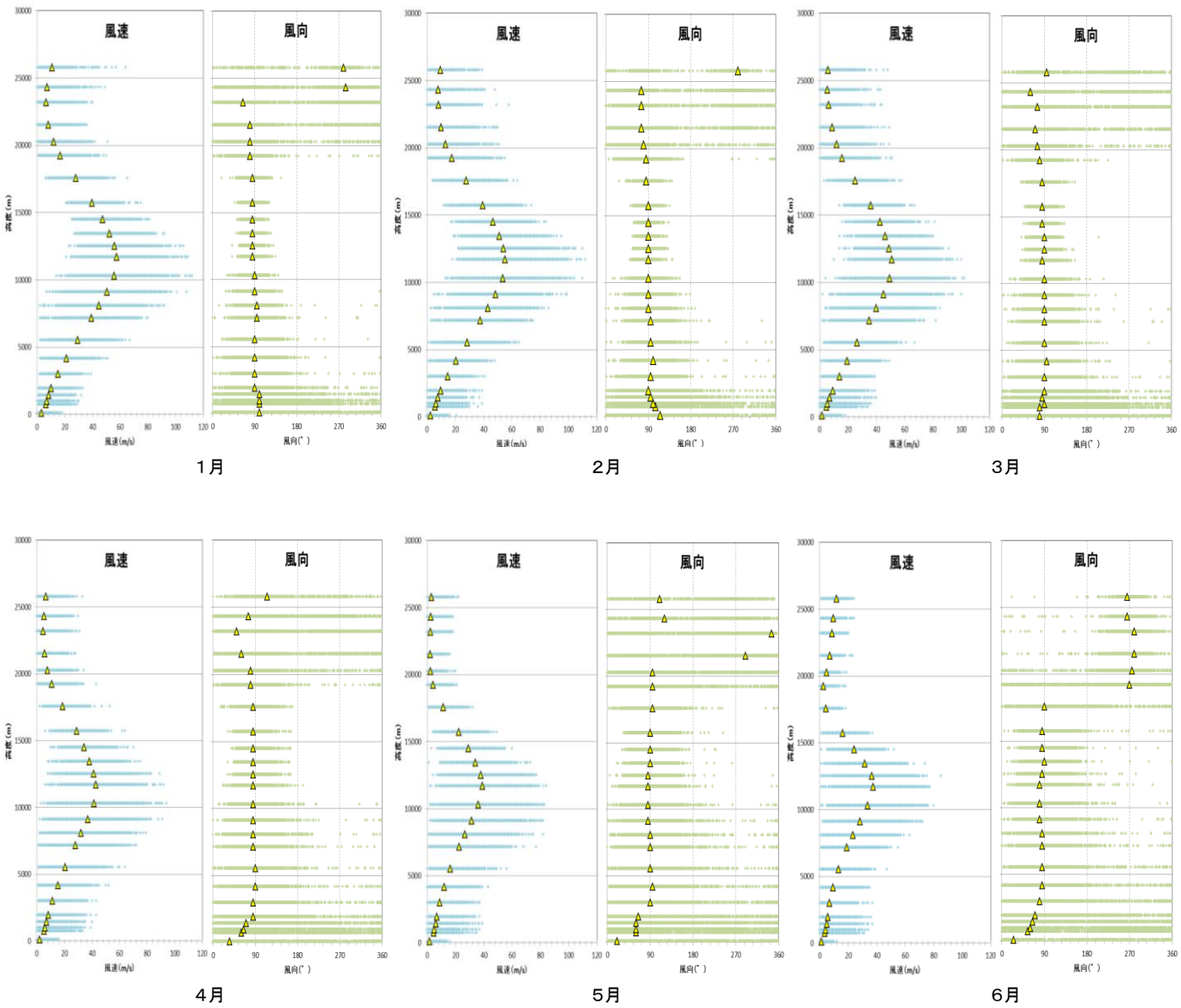
# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)



大気パラメータ

鬱陵島と比較的緯度が近い，気象庁の輪島特別地域気象観測所(1988年1月～2013年6月)のデータを用いた。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では，年間を通じて西風が卓越し，冬は風向のばらつきが小さく，夏は風向のばらつきが著しい。また，冬に風速が大きく，夏に風速が小さい。

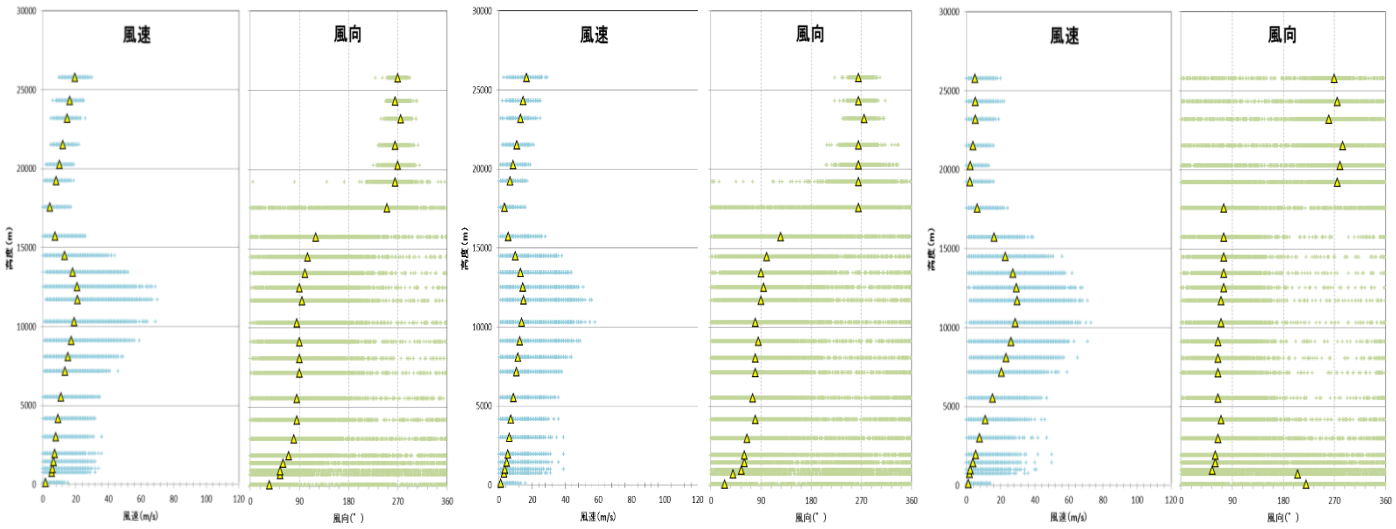



凡例
+ :風速データ
+ :風向データ
△ :月平均風速の平均値
月平均風向の最頻値

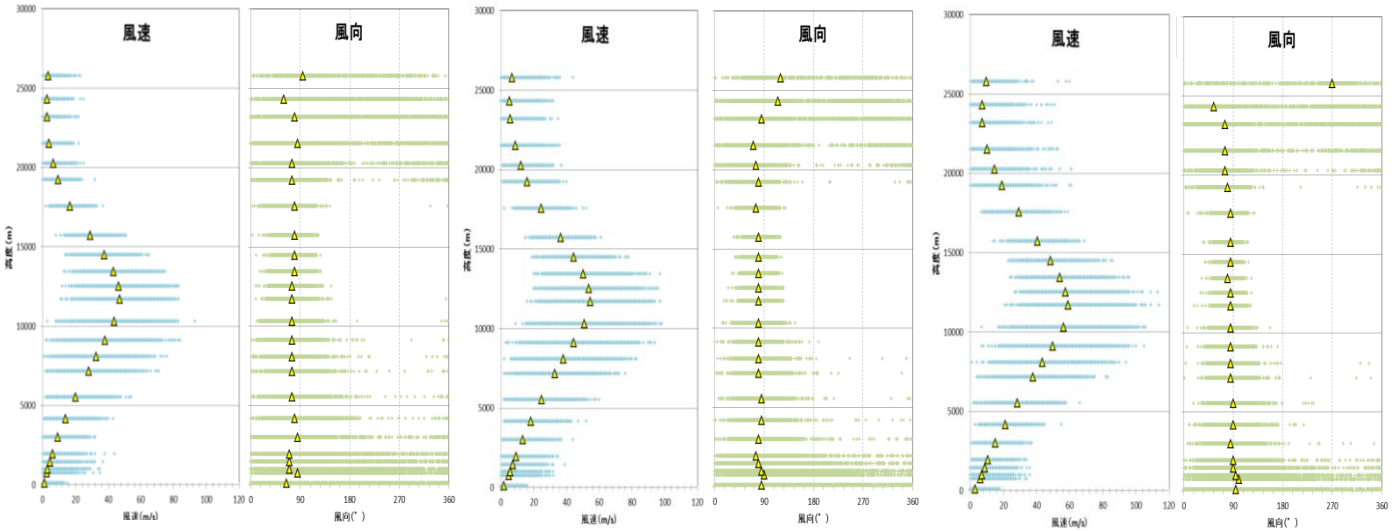
注)標準高度による大気パラメータとして表示

# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション（大気パラメータ）






7月　8月　9月




10月　11月　12月

凡例
＋：風速データ
＋：風向データ
△：月平均風速の平均値
　月平均風向の最頻値

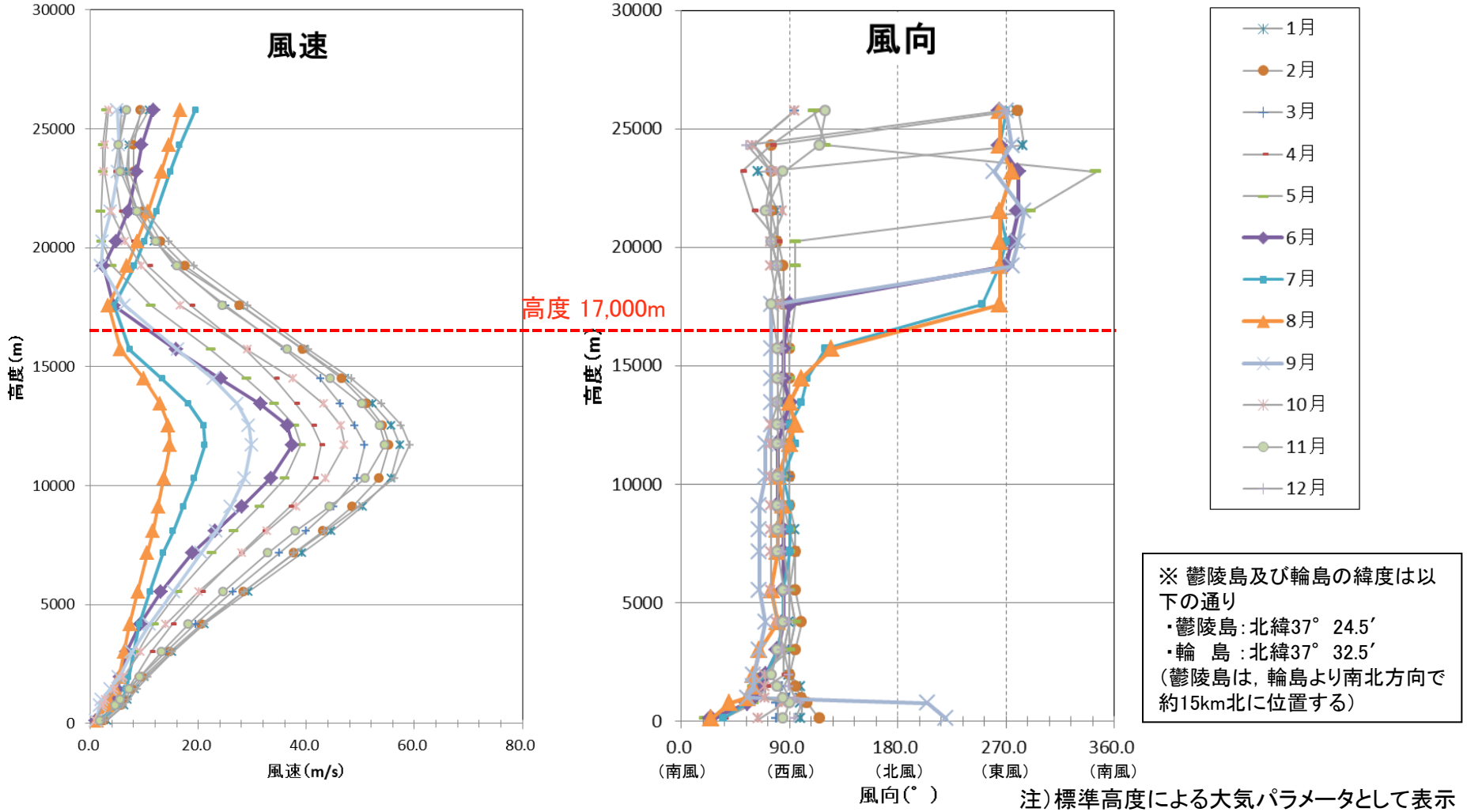
注）標準高度による大気パラメータとして表示

# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)



鬱陵島と比較的緯度が近い※，気象庁の輪島特別地域気象観測所(1988年1月～2013年6月)のデータを用いた。風速は高度毎の9時，21時の月平均風速の平均値，また風向は高度毎の9時，21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお，風向・風速データの最高高度(約26,000m)を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから，最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である(変化しない)ものとして取り扱った。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では，年間を通じて西風が卓越する。

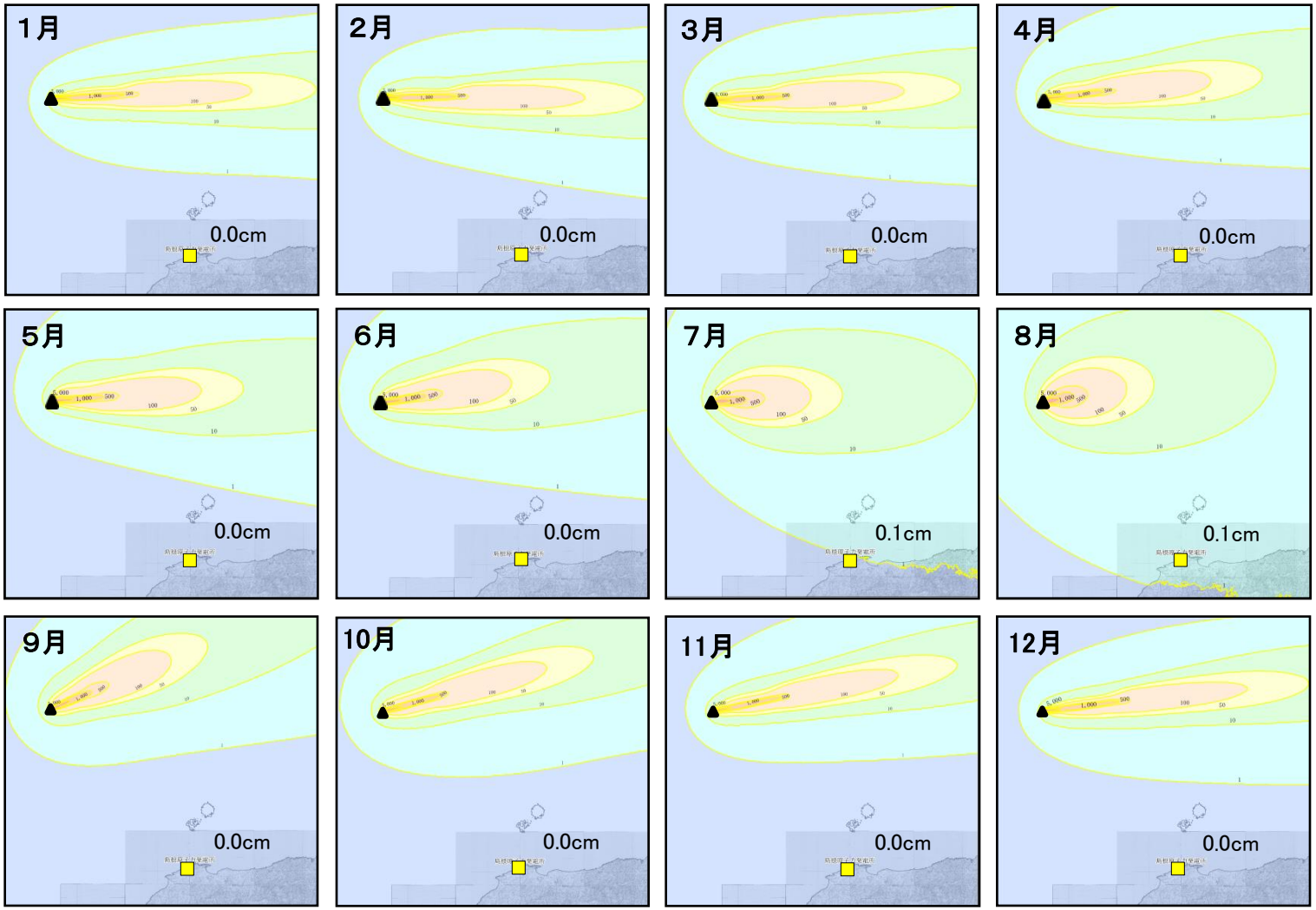



※ 鬱陵島及び輪島の緯度は以下の通り
・鬱陵島:北緯37° 24.5′
・輪　島:北緯37° 32.5′
(鬱陵島は，輪島より南北方向で約15km北に位置する)

注)標準高度による大気パラメータとして表示

# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション






火山灰シミュレーションの結果，敷地において偏西風の弱まる7・8月で最も厚い1mm程度，その他の季節において1mm以下の降灰層厚となり，文献に示される敷地付近における降下火砕物の層厚2cm以下を下回ることが確認された。

余白

１．調査内容
２．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
　２．１ 地理的領域内の第四紀火山
　２．２ 将来の火山活動の可能性
３．設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
４．火山事象の影響評価
　４．１ 地理的領域内の火山による火山事象の評価
　４．２ 降下火砕物の影響評価
　　（１）敷地における降下火砕物の分布状況
　　（２）地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
　　（３）地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
　　（４）敷地において考慮する降下火砕物の層厚
　　（５）降下火砕物の密度・粒径

# 敷地において考慮する降下火砕物の層厚

第924回審査会合
資料1-1 P195 加筆・修正



・原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について，原子力発電所の運用期間中の噴火規模を想定し，降下火砕物の影響評価を行う。
・地理的領域内（半径160km以内）の三瓶山及び大山については，これらを給源とする降下火砕物が敷地に到達した可能性があること及び過去にVEI6規模の噴火が発生していることを踏まえ，詳細評価を行う。

| 検討項目＼対象火山 | 三瓶山<br>（三瓶浮布テフラ） | 大山<br>（大山松江テフラ） | 大山<br>（大山生竹テフラ） |
|---|---|---|---|
| 噴火規模の想定 | ・原子力発電所の運用期間中の規模として，三瓶浮布テフラの噴火の可能性を考慮する。<br>・Maruyama et al.（2020）によるテフラ分布域を踏まえ，三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模について検討する。 | ・原子力発電所の運用期間中の規模として，敷地周辺において確認された大山松江テフラの噴出規模を想定する。 | ・大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹テフラの噴火の可能性も考慮する。 |
| 文献調査 | ・三瓶浮布テフラは，敷地に到達していないとされている。 | ・大山松江テフラの敷地における層厚は，20～50cmとされている。 | ・大山生竹テフラは，敷地に到達していないとされている。 |
| 地質調査 | ・三瓶浮布テフラは，敷地及び敷地周辺（敷地を中心とする半径約30km範囲）では確認されていない。 | ・大山松江テフラは，敷地では確認されていない。<br>・敷地周辺（敷地を中心とする半径約30km範囲）における地質調査の結果，大山松江テフラの敷地における層厚は30cm程度と推定される。 | ・大山生竹テフラは，敷地及び敷地周辺（敷地を中心とする半径約30km範囲）では確認されていない。 |
| 火山灰シミュレーション | ・風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における層厚は33.5cmとなった。 | ・火山灰シミュレーションの結果，偏西風の弱まる８月の降下量が最大となり，敷地における降灰層厚は0.1cmとなった。<br>・現在の気象条件では，敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が町田・新井（2011）や地質調査結果において確認されたような西向きの降灰分布となる可能性は十分小さいことが火山灰シミュレーションからも確認された。 | ・大山生竹テフラは，敷地及び敷地周辺では確認されていないことから，火山灰シミュレーションにより敷地における降灰層厚を確認した。<br>・風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降灰層厚は44.5cmとなった。 |
| 敷地周辺の層厚を踏まえた検討 | ・敷地は三瓶山の風下側に位置し，風向によっては降灰が想定される。また，Maruyama et al.（2020）によると，三瓶浮布テフラの分布域は明確に2方向に区分され，その一方（SUk-U）が中国地方の広範囲で分布している。以上のことから，敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションによる検討に加え更なる保守的な検討として，町田・新井（2011）による50cm等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが，その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する55km地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮した結果，敷地における降灰層厚は55.5cmとなった。 | ・地質調査結果による実績層厚を踏まえ敷地における降灰層厚を30cm程度と推定した。 | ・敷地は大山の風上側に位置すること，大山生竹テフラは，大山から東方への細長い降灰分布を示し，その分布範囲も限定的であることから，敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討は実施しない。 |

# 敷地において考慮する降下火砕物の層厚



| 対象火山 | | 評価結果 |
|---|---|---|
| 地理的領域内<br>(半径160km以内) | 三瓶山 | 三瓶浮布テフラ(噴出量:4.15km$^3$)について，文献調査，地質調査，火山灰シミュレーション及び敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討結果55.5cmを踏まえ，敷地における降下火砕物の層厚を56cmとする。 |
| | 大山 | 大山松江テフラ(噴出量:2.19km$^3$)について，地質調査の結果，敷地における層厚は30cm程度と推定される。<br>大山生竹テフラ(噴出量:11.0km$^3$)について，文献調査，地質調査及び火山灰シミュレーションを踏まえた検討結果44.5cmを踏まえ，敷地における降下火砕物の層厚を45cmとする。 |
| | 三瓶山・大山以外の16火山 | 三瓶山・大山以外の16火山からの降下火砕物は，文献調査等の結果，島根半島には認められないとされることから，三瓶山・大山による敷地における降下火砕物の層厚を上回るものではないと評価した。 |
| 地理的領域外<br>(半径160km以遠) | 鬼界カルデラ<br>姶良カルデラ<br>阿多カルデラ<br>阿蘇カルデラ | 鬼界カルデラ・姶良カルデラ・阿多カルデラ・阿蘇カルデラは，発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さく，降下火砕物による敷地への影響は十分小さいと評価した。 |
| | 鬱陵島 | 鬱陵隠岐噴出時の火山灰は，敷地付近では層厚2cm以下とされている。火山灰シミュレーションを実施した結果，敷地における降下火砕物の層厚は0.1cm以下であった。 |

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について，発電所の運用期間中の噴火規模を想定し，降下火砕物の影響評価を行った結果，敷地において考慮する降下火砕物の層厚を56cmと評価する。

1. 調査内容
2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
2. 1 地理的領域内の第四紀火山
2. 2 将来の火山活動の可能性
3. 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価
4. 火山事象の影響評価
4. 1 地理的領域内の火山による火山事象の評価
4. 2 降下火砕物の影響評価
(1)敷地における降下火砕物の分布状況
(2)地理的領域内の火山による降下火砕物の影響評価
(3)地理的領域外の火山による降下火砕物の影響評価
(4)敷地において考慮する降下火砕物の層厚
(5)降下火砕物の密度・粒径

# 降下火砕物の密度・粒径



降下火砕物の密度及び粒径については，敷地内で降下火砕物が確認されていないことから，既往の文献に基づいて設定した。

【密度】

宇井編(1997)[95]によると，乾燥した火山灰は密度が0.4～0.7であるが，湿ると1.2を超えることがあるとされていることから，安全側の値として以下のように設定した。

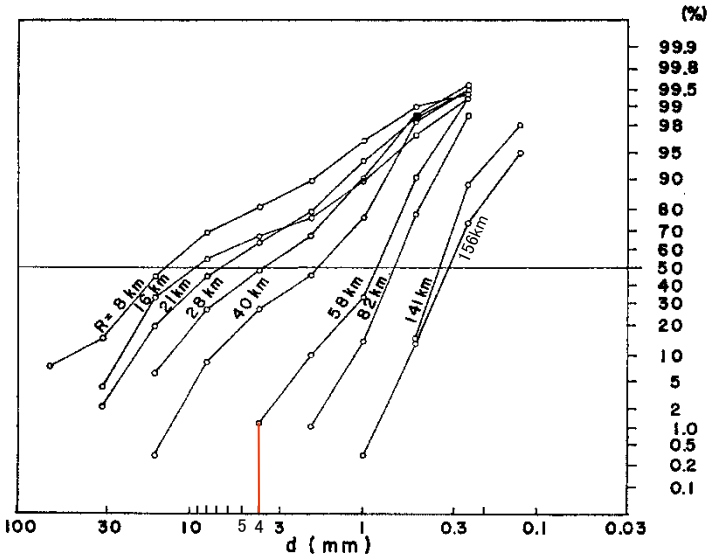
- 湿潤密度：1.5g/cm$^3$
- 乾燥密度：0.7g/cm$^3$

【粒径】

- 鈴木ほか(1973)[96]によると，北海道樽前山の降下火砕物の噴出源から距離ごとの粒径分布曲線が示されており，これに基づき粒径を設定する。
- 三瓶山から敷地までの距離は55km，大山から敷地までの距離は53kmであることから，鈴木ほか(1973)に示される図の58kmの粒径分布曲線から，以下のように設定した。
  - 粒径：4.0mm以下

Table 1. Size composition of the Ta-$b_8$ fall unit along the distribution axis.

| Locality | Distance from the source (km) | Modian ($Md$, mm) | Sorting coefficient ($So=\sqrt{Q_3/Q_1}$) |
|---|---|---|---|
| 0 | 8.0 | 14 | 2.0 |
| I | 15.9 | 10 | 2.6 |
| II | 21.0 | 7.0 | 2.3 |
| III | 28.2 | 3.8 | 2.3 |
| IV | 39.8 | 1.8 | 2.0 |
| V | 58.4 | 0.82 | 1.4 |
| VI | 81.9 | 0.66 | 1 3 |
| VII | 141 | 0.37 | 1.2 |
| VIII | 156 | 0.32 | 1.3 |




鈴木ほか(1973)より引用・加筆

# 参考文献




（1）気象庁（2005）：日本活火山総覧（第3版），（財）気象業務支援センター

（2）気象庁（2013）：日本活火山総覧（第4版），（財）気象業務支援センター

（3）中野俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚治・山元孝広・岸本清行編（2013）：日本の火山（第3版）・200万分の1地質編集図，No. 11，地質調査総合センター

（4）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

（5）西来邦章・伊藤順一・上野龍之編（2012）：第四紀火山岩体・貫入岩体データベース．地質調査総合センター速報，No. 60，地質調査総合センター

（6）地質調査総合センター（2021）：日本の火山，ver. 2.35，2021.01.21更新，地質調査総合センター

（7）地質調査総合センター（2020）：20万分の1日本火山図，ver. 1.0a，地質調査総合センター

（8）鹿野和彦・山内靖喜・高安克已・松浦浩久・豊 遙秋（1994）：松江地域の地質.地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所

（9）鹿野和彦・吉田史郎(1985)：境港地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所

（10）吹田歩・徳岡隆夫・上野博芳(2001)：音波データ解析による中海湖底下の大根島火山の広がりと三次元可視化，島根大学地球資源環境学研究報告　20

（11）沢田順弘・徳岡隆夫・山内靖喜・三瓶良和・西村清和(2001)：宍道地溝帯中軸部，美保湾で発見された更新世火山とその地質学的意義，地質学雑誌　第107巻　第6号

（12）鹿野和彦・松浦浩久・服部仁・山田直利・東元定雄(1988)：20万分の1地質図「浜田」，地質調査所

（13）坂本亨・山田直利(1982)：20万分の1地質図「松江及び大社」，地質調査所

（14）寺岡易司・松浦浩久・牧本博・吉田史郎・神谷雅晴・広島俊男・駒沢正夫・志知龍一(1996)：20万分の1地質図「高梁」，地質調査所

（15）原子力規制委員会(2013)：原子力発電所の火山影響評価ガイド

（16）地質調査所編（1992）：日本地質アトラス，第2版，地質調査所

（17）高橋浩晃・宮村淳一(2009)：日本列島における深部低周波地震の発生状況，北海道大学地球物理学研究報告　No.72

（18）町田洋・新井房夫（2011）：新編火山灰アトラス（第2刷），東京大学出版会

# 参考文献



(19)日本第四紀学会編(1996):第四紀露頭集, 日本第四紀学会

(20)林正久・三浦清(1987):三瓶火山のテフラの層序とその分布, 山陰地域研究(自然環境) 第3号

(21)杉山雄一 ・宮下由香里 ・伏島祐一郎 ・小林健太 ・家村克敏 ・宮脇明子 ・新谷加代(2004):鳥取県西部,日南湖リニアメント上でのトレンチ調査, 活断層・古地震研究報告, No.4

(22)林正久・三浦清(1986): 三瓶雲南軽石層の鉱物特性と分布の広域性, 山陰地域研究(自然環境) 第2号

(23)服部仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之(1983):三瓶山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所

(24)松井整司・井上多津男(1971):三瓶火山の噴出物と層序, 地球科学 25巻 4号

(25)草野高志・中山勝博(1999):ブロックアンドアッシュフローの堆積過程(予察):島根県三瓶火山の太平山火砕流堆積物の例, 火山第44巻 第3号

(26)日本地質学会編(2009):日本地方地質誌6中国地方, 朝倉書店

(27)松浦浩久・土谷信之(2003):前期更新世森田山溶岩—古三瓶期火山—, 火山 第48巻 第1号

(28)浅野一平・五井健登・清杉孝司・鈴木桂子・巽好幸(2018):三瓶火山溶岩ドームの形成過程, 火山 第63巻 第2号

(29)縫部保徳・藤巻宏和(1996):三瓶火山の珪長質マグマについて(演旨), 日本地質学会第103年学術大会講演要旨

(30)松元拓朗(1994):三瓶火山円頂丘溶岩の科学組成, 地質学雑誌

(31)福岡孝・松井整司(2002):AT降灰以降の三瓶火山噴出物の層序, 地球科学 56巻

(32)福岡孝・松井整司(2000):三瓶火山の山頂火山灰について, 島根大学地球資源環境学研究報告 19

(33)福岡孝・松井整司(2004):三瓶火山の噴火様式の変遷, 島根県立三瓶自然館研究報告, No.2

(34)第四紀火山カタログ編集委員会編(1999):日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会

(35)Maruyama.S・Yamashita.T・Hayashida.A・Hirata.T・Danhara.T(2020):Examination of the Relationship between the Ukinuno and Sakate Tephras from Sambe Volcano, Southwest Japan, Journal of Geography 129(3)

(36)小室裕明・志知龍一・和田浩之・糸井理樹(1996):重力異常からみた三瓶カルデラの基盤形態, 火山 第41巻 第1号

(37)東宮昭彦(1997):実験岩石学的手法で求めるマグマ溜まりの深さ, 月刊地球, Vol.19 No11

# 参考文献



(38)下鶴大輔・荒牧重雄・井田善明・中田節也編(2011):火山の事典〔第2版〕, 朝倉書店山起源テフラのフィッショントラック年代とその火山活動史における意義, 第四紀研究, 38

(39)森田裕一・大湊隆雄(2005):火山における地震観測の発展と成果, 火山　第50巻

(40)浅森浩一・梅田浩司(2005):地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術－鬼首・鳴子火山地域および紀伊半島南部地域への適用－, 原子力バックエンド研究　Vol.11　№.2

(41)Zhao.D・Wei.W・Nishizono.Y・Inakura.H(2011):Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity, Journal of Asian Earth Sciences 42

(42)根木健之・二ノ宮淳・花室孝広・梅田浩司(2009):沿岸域における三次元比抵抗構造解析, 物理探査学会第120回学術講演会論文集

(43)日本原子力研究開発機構(2009):火山・地熱活動に関する研究－H20年度の成果およびH21年度の計画について－, 地質環境の長期安定性研究検討委員会, 第6回(2009年3月9日)

(44)火山噴火予知連絡会(2009):中長期的な噴火の可能性の評価について－監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定－, 火山活動評価検討会

(45)火山噴火予知連絡会(2014):御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する緊急提言, 火山観測体制等に関する検討会

(46)火山噴火予知連絡会(2020):第147回火山噴火予知連絡会資料

(47)気象庁(2012):三瓶山の火山活動解説資料(平成24年12月)

(48)萬年一剛(2013):降下火山灰のシミュレーションコードTephra2の理論と現状－第四紀学での利用を視野に, 第四紀研究　52

(49)Mastin.L.G・Guffanti.M・Servranckx.R・Webley.P・Barsotti.S・Dean.K・Durant.A・Ewert.J.W・Neri.A・Rose.W.I・Schneider.D・Siebert.L・Stunder.B・Swanson.G・Tupper.A・Vollentik.A・Waythomas.C.F(2009):A　multidiciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport　and dispersion during eruptions, Journal of Volcanology and Geothermal Research 186

(50)Suzuki.T(1983):A theoretical model for dispersion of tephraArc Volcanism:Physics and Tectonics, Terra Scientific Publishing

# 参考文献



(51)Bonadonna.C・Connor.C.B・Houghton.B.F・Connor.L・Byrne.M・Laing.A・Hincks.T.K(2005):Probabilistic modeling of tephra dispersal:Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand, Journal of Geophysical Research Vol.110 B03203

(52)Carey S・Sigurdsson H(1989):The intensity of plinian eruptions, Bulletin of Volcanology 51(1)

(53)野村亮太郎・田中眞吾(1987):兵庫県南部の$U_2$火山灰層－その対比と地形編年上の意義－, 神戸大学教養部紀要 39

(54)野村亮太郎(1991):中国山地中央部, 道後山周辺の麓屑面と岩塊流, 地理学評論 64巻 11号

(55)服部仁(1978):上石見地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所

(56)木村純一・岡田昭明・中山勝博・梅田浩司・草野高志・麻原慶憲・館野満美子・檀原徹(1999):大山および三瓶火山起源テフラのフィッショントラック年代とその火山活動史における意義, 第四紀研究, 38

(57)津久井雅志(1984):大山火山の地質, 地質学雑誌 第90巻 第9号

(58)岡田昭明・石賀敏(2000):大山テフラ, 日本地質学会第107年学術大会 見学旅行案内書

(59)加藤茂弘・山下透・檀原徹(2004):大山テフラの岩石記載的特徴と大山最下部テフラ層中のテフラの対比, 第四紀研究 43

(60)町田洋・新井房夫(2003):新編日本の火山灰アトラス, 東京大学出版会

(61)守屋以智雄(1983):日本の火山地形, 東京大学出版会

(62)津久井雅志・西戸裕嗣・長尾敬介(1985):蒜山火山群・大山火山のK-Ar年代, 地質学雑誌 第91巻 第4号

(63)原子力規制委員会(2019):大山火山の大山生竹テフラの噴出規模の見直しに係る今後の規制上のアプローチについて, 第10回原子力規制委員会, 資料2

(64)関西電力(2019):大山火山灰に係る新知見を踏まえた噴出規模と原子力発電所ごとの敷地における降下火砕物の最大層厚に関する評価結果について

(65)山元孝広(2017):大山火山噴火履歴の再検討, 地質調査研究報告 第68巻 第1号

(66)Legros.F(2000):Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 96

(67)原子力規制員会(2018):大山火山の大山生竹テフラの噴出規模見直しに伴う報告徴取命令の発出について(案), 平成30年12月12日

# 参考文献



(68)岡田昭明・谷本慎一(1986):大山下部火山灰から新たに発見された2枚の降下軽石層について，鳥取大学教育学部研究報告．自然科学，35

(69)田中真吾・井上茂・野村亮太郎(1982):杉原川流域の山麓斜面の形成機構ならびに形成年代について，地理学評論，55巻，8号

(70)野村亮太郎・田中真吾(1992):兵庫県東部に降下した後期更新世以降のテフラ，神戸大学教養部紀要　50巻

(71)Hayakawa.Y(1985):Pyroclastic geology of Towada volcano. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo 60

(72)Morris. P. A.(1995):Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan, Geology 23

(73)産業技術総合研究所(2018):平成29年度原子力規制庁委託成果報告書　火山影響評価に係る技術知見の整備

(74)Yamamoto.T・Hoang.N(2019):Geochemical variations of the Quaternary Daisen adakites, Southwest Japan, controlled by magma production rate, Lithos. 2019, Vol.350-351

(75)原子力規制庁(2019):火山影響評価に係る科学的知見の整備，安全研究成果報告

(76)産業技術総合研究所(2017):平成28年度原子力規制庁委託成果報告書　火山影響評価に係る技術知見の整備

(77)大見士朗(2002):平成12年鳥取県西部地震の余震分布－震源座標の関数としての観測点補正値を用いた震源決定－，地震2　54

(78)Zhao.D・Liu.X・Hua.Y(2018):Tottori earthquakes and Daisen volcano: Effects of fluids, slab melting and hot mantle upwelling, Earth and Planetary Science Letters 485

(79)松浦浩久(1990):赤名地域の地質．地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所

(80)村山正郎・大沢穠(1961):5万分の1地質図幅「青谷・倉吉」，地質調査所

(81)山内靖喜・沢田順弘・高須晃・小室裕明・村上久・小林伸治・田村良一(2009):西郷地域の地質．地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査総合センター

(82)村山正郎・一色直記・坂本亨(1963):5万分の1地質図幅「鳥取南部」，地質調査所

(83)古山勝彦・長尾敬介(2004):照来コールドロンのK-Ar年代，火山　第49巻　第4号

(84)Furuyama.K・Nagao.K・Mitsui.S・Kasatani.K(1993): K-Ar Ages of Late Neogene monogenetic volcanoes in the east San-in district Southwest Japan, EARTH SCIENCE Vol.47 No.6

# 参考文献



(85)高橋正樹・小林哲夫編(2000):フィールドガイド　日本の火山6　中部・近畿・中国の火山, 築地書館

(86)Nagaoka.S(1988):The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay, southern kyushu, Japan, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University 23

(87)井口正人・高山鉄朗・味喜大介・西祐司・斉藤英二(2002):鬼界カルデラの地盤変動, 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測

(88)篠原宏志・斎藤元治・松島喜雄・川辺禎久・風早康平・浦井　稔・西　祐司・斎藤英二・濱崎聡志・東宮昭彦・森川徳敏・駒澤正夫・安原正也・宮城磯治(2008):火山研究解説集:薩摩硫黄島, 産総研地質調査総合センター(https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/satsumaioujima/vr/index.html)

(89)井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・関健次郎・堀田耕平(2014):桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測－2013年～2014年－, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25 年度分報告書

(90)三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司(2005):阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について, 火山　第50巻　第5号

(91)Abe.Y・Ohkura.T・Shibutani.T・Hirahara.K・Kato.M(2010):Crustal structure beneath Aso Caldera, Southwest Japan, as derived from receiver function analysis, Journal of Volcanology and Geothermal Reserch 195

(92)町田洋・新井房夫・李柄高・森脇広・古田俊夫(1984):韓国鬱陵島のテフラ, 地学雑誌　第93巻　第1号

(93)Harumoto.A(1970):Volcanic Rocks and Associated rocks of Utsuryoto island, (Japan Sea), 京都大学理学部地質学鉱物学教室内春本篤夫教授退官記念事業会

(94)金允圭(1985):韓国,鬱陵火山島の岩石学－その1.地質－, 岩石鉱物鉱床学会誌　第80巻　第4号

(95)宇井忠英編(1997):火山噴火と災害, 東京大学出版

(96)鈴木建夫・勝井義雄・中村忠寿(1973):樽前降下軽石堆積物Ta-b層の粒度組成, 火山　第2集　第18巻　第2号