

日本地質学会第125年学術大会(札幌) 2018
年9月7日(金) セッションR24原子力地球科学
講演番号R24-O-5 講演時間10:45-11:00(口頭)

(注)胆振東部地震で中止のため、同学会つくば
特別大会で発表:2018年12月2日(日)16:00-16:15

以下のスライドにおいては、実際に発表に用い
た写真や図について、発表者に著作権があるもの
以外は削除し、その出典を示すにとどめた。

気中火山灰濃度に関 する原子力規制の改善

石渡 明・西来邦章(原子力規制委員会・規制庁)

REVISED NUCLEAR REGULATION ON DENSE VOLCANIC
ASH FALL --- AKIRA ISHIWATARI & KUNIAKI NISHIKI
(NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, JAPAN)

1. 規則改正の経緯

- 2017年11月29日、原子力規制委員会は、「**「実用発電用原子炉の設置、運転に関する規則等の一部改正について ー火山影響等発生時の体制整備等に係る措置ー**」を決定した。外部有識者と事業者を含む3回の検討チーム会合と、一般からの意見募集を経て決定に至った。

これは、火山噴火時の気中降下火砕物(火山灰)濃度を新たな科学的知見に基づき調査し、非常用交流電源(ディーゼル発電機)が、この濃度でもフィルタの目詰まり等によって故障せずに原子炉を冷却できるよう、対策を求めるものである。

本講演では、この規則・基準・評価ガイド改正の科学的根拠、実施された対策、今後の注意点等について述べる。なお、ここで述べる数値は規則等には明示されておらず、参考値の例示にすぎない。(要旨の内容は2018年6月13日時点)

2. 火山噴火と原子力発電所

- 日本では噴出量 1km^3 程度(火山爆発指数VEI=4/5)の爆発的噴火が数10年に1回の頻度で発生しており、原子力発電所が運転期間中に降灰被害を受ける可能性がある。

例えば、多量の火山灰の付着による送電線の地絡等によって原子力発電所の外部電源が失われれば、原子炉の運転を停止し、非常用ディーゼル発電機等を用いて原子炉の冷却を行う必要が生じてくる。

- 日本の最近300年間の 1km^3 規模の噴火(理科年表):
桜島大正噴火(1914年) 2.0 km^3 (約半分は溶岩)
磐梯山明治噴火(1888年) 1.2 km^3 (大部分は山体崩壊)
浅間山天明噴火(1783年) 0.2 km^3 (溶岩・火砕流等)
富士山宝永噴火(1707年) 0.7 km^3 (ほとんど火山灰)

直近の爆発的噴火

2018年6月3日から
活発な活動を再開
した、グアテマラの
フエゴ火山
Fuego Volcano,
Guatemala

<https://videotopics.yahoo.co.jp/video/afpbnews/186315>

<https://videotopics.yahoo.co.jp/video/afpbnews/241188>

<https://this.kiji.is/376935994345505889?c=39546741839462401>

3. 従来の基準と問題点

- 新規制基準による初期の審査では、気中火山灰濃度の観測事例がほとんど無かったため、事業者は2010年のアイスランドのエイヤフィヤトラヨークトル火山噴火(VEI=4)の地上観測値($3\text{mg}/\text{m}^3$)を用いていた。

その後2016年の関西電力美浜発電所の審査書案に関する意見募集でのコメントを参考に、1980年セントヘレンズ火山噴火で火口から135km離れたYakima地点(降灰厚さ0.8cm, 粒径は90%以上が $10\mu\text{m}$ 以下)での降灰開始後8時間の平均濃度($33\text{mg}/\text{m}^3$; Baxter et al. 1983; *Archives of Environmental Health*, **38**, 138-143)を用いて安全確認が行われた。

しかし、服部ほか(2016, 電中研報告015004)は、例えば1707年富士山宝永噴火の際の南関東での気中火山灰濃度を、最大 $1000\text{mg}/\text{m}^3$ 程度と計算した。

セントヘレンズ噴火(1980年)における火山灰濃度

降下火砕物濃度観測の実例として「Mount St. Helens eruption: The acute respiratory effects of volcanic ash in a north American community」が1983年にArchives of Environmental Healthに公表された。

セントヘレンズ山から約135km離れたYakima地点において、

- 降灰量約0.8cm。90%以上の粒子が10 μ m以下。(ともに実測値)
- 5/18 AM9:45降灰開始。約8時間継続。この間の平均TSP(Total suspended Particles)レベルが33.402mg/m³。ただし、採取器がこのような高濃度に対応できる設計ではなかったため、実際はより高い濃度であった可能性も否定できない。
- 翌日からTSPレベルは減少、13.609 mg / m³ (5/19)、5.863 mg / m³ (5/20)。
- 風の影響で再びTSPレベルが増加、13.273 mg / m³ (5/21)、28.465 mg / m³ (5/22)。

<http://www.nsr.go.jp/data/000193534.pdf>

<http://www.nsr.go.jp/data/000193534.pdf>

Yakima地点での総浮遊粒子量の時間変化
(Baxter et al., 1983)

1980年5月18日噴火の降灰分布図 (★Yakima地点、135km)
単位はmm (Shinpley and Sarna-Wojcicki, 1983)

(原子力規制庁2017年6月22日「降下火砕物の影響評価に関する検討チーム」会合資料2, 参考2)

富士山宝永噴火による 降灰分布

1707年12月16日～1708年1月1日

日大文理学部地球システム科学
教室編(2006)「富士山の謎をさぐ
る」、p. 57, 図2 宝永噴火による
降灰分布図 史料および現地調
査結果にもとづき作成(富士山ハ
ザードマップ検討委員会(2002)
より)

毎日新聞2018年7月30日(月)朝
刊3面、「富士山噴火...都心降灰
10センチ 気象庁が推計 政府、
対策検討へ 「宝永」級の富士山
噴火による最大降灰量の分布予
想図(気象研究所の資料より作
成)つき」

江戸における実際の降灰は5cm以下
だったが、右記事のように、気象条件に
よっては10cm以上の降灰もあり得た。

日大文理学部地球システム科学教室編(2006)「富士山の謎をさぐる」p. 57:
富士山ハザードマップ検討委員会(2002)に基づく

富士山宝永噴火における降灰量と推定気中濃度

<http://www.nsr.go.jp/data/000183551.pdf>

(p. 13)

<http://www.nsr.go.jp/data/000183551.pdf>

(p. 14, 中央の上下2つの図)

電中研報告書O15004における気中濃度計算値→

原子力規制委員会 2017年03月29日
発電用原子炉施設に対する降下火砕物の影響評価に関する検討チーム第1回会合 資料2-1
電力中央研究所 原子力リスク研究センター提出

4. 航空機の基準と実測値

- 商用航空機については、火山灰濃度が $>0.2\text{mg}/\text{m}^3$ なら注意情報発出、 $>2\text{mg}/\text{m}^3$ なら機種や飛行時間を制限、 $>4\text{mg}/\text{m}^3$ なら全面飛行禁止という国際基準がある。

セスナ機で桜島の噴煙の火山灰濃度を観測した吉谷ほか(2014; 京大防災研年報, 57B)は最大 $7\text{mg}/\text{m}^3$ を観測した(窓は汚れたが飛行には支障なし)。

欧州で2010年4月16日から4日間全面飛行禁止になったエイヤフィヤトラヨークトル噴火の以後約1ヶ月間のライダー(レーザー)観測による欧州上空の火山灰濃度中央値は $0.01\sim 1.1\text{mg}/\text{m}^3$ だったが、5月6日のアイスランド南東方の噴煙は $3\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$ 程度だった(Mackie et al.2017: *Volcanic Ash*. Elsevier, p. 211-214)。

2010年5月6日13:45世界標準時のアイスランド南
東方におけるエイヤフィヤトラヨークトル火山噴火
の噴煙のライダー(LIDAR)観測結果
左:鉛直方向に積算した火山灰量の分布(g/m^2)
下:噴煙の厚さで除した火山灰濃度の緯度変化
(mg/m^3) — — — 左図の赤丸の範囲について

Mckie et al. (2017) “Volcanic Ash”,
Elsevier, Chapter 11, p. 212), Fig. 16,
Intercomparison of measurements
from different instruments for an ash
cloud from Eyjafjallajökull at 13:45 UT
on May 6, 2010. (A) Ash mass loadings
from SEVIRI. (B) Ash mass loadings
from MODIS/Aqua.

Mckie et al. (2017) “Volcanic Ash”,
Elsevier, Chapter 11, p. 212), Fig. 15,
Intercomparison of MODIS and SEVIRI
ash concentrations along the trace of
the CALIOP lidar. By using CALIOP
estimated cloud thicknesses, the
mean mass loadings can be converted
to concentrations.

5. 気中火山灰濃度の推定方法

- ①堆積厚さ、降灰継続時間、粒径（終端速度は粒径に依存）を仮定して計算する（15cm、24時間、0.5mmなら約2000mg/m³）、
- ②風向、風速、総噴出量、噴煙柱高度、降灰継続時間、粒径分布等を仮定し移流拡散モデルを用いてシミュレートする（距離100kmで厚さ15cmなら数1000mg/m³）等の推定方法が考えられる。
- いずれの方法も不確実さが多いものの、1km³規模の噴火の場合、風向き等によっては火山から50～100kmの地点で約1日間、気中火山灰濃度が1000mg/m³以上になる場合があると考えられる。この値は富士山宝永噴火（噴出量約1km³）の際の江戸（100km東、堆積厚さ5cm）の状況記録からみても妥当である。

降下火砕物の終端速度と堆積量からの気中平均濃度の推定

計算例

堆積量: 15cm

粒径分布: Case 1; 0.7mm (100%)

Case 2; 0.5mm (100%)

Case 3; 0.25mm (100%)

Case 4; 0.7mm (25%), 0.5mm (50%),
0.25mm (25%)

終端速度: 粒径0.7mm --- 1.1m/s

粒径0.5mm --- 0.8m/s

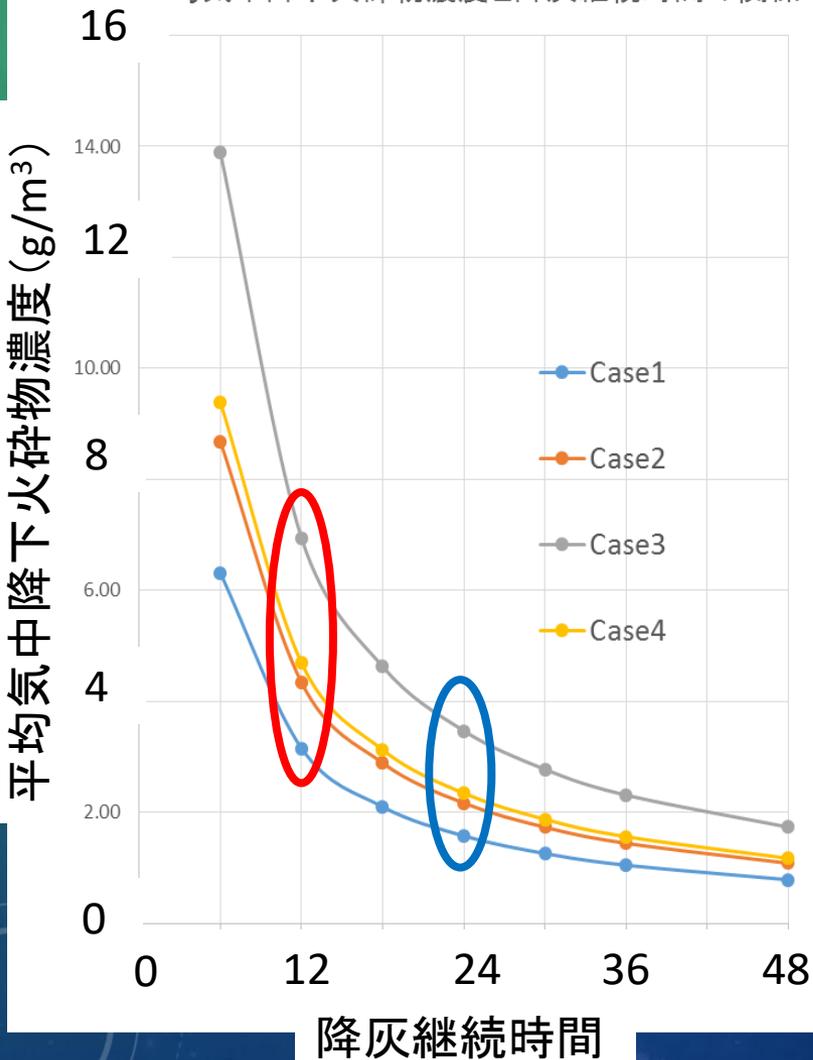
粒径0.25mm --- 0.5m/s

参考とした粒径分布: 樽前山起源の火山噴出物 (Ta-a) の火口から約100km地点 (占冠付近) での中央粒径実測値 (0.25~0.125mm (2-3 ϕ))

計算結果: 降灰継続時間を12~24時間とすると、
12時間の場合、平均気中濃度は 3~7g/m³
24時間の場合、平均気中濃度は 2~4g/m³

(原子力規制庁2017年6月22日「降下火砕物の影響評価に関する検討チーム」会合資料2, 参考5)

平均気中降下火砕物濃度と降灰継続時間の関係



6. 事業者の対策

2018年5月14日(月)
南日本新聞21面の記事「九電が火山灰対策
公開 フィルター交換
装置新設 写真説明
火山灰対策として新た
に設置したディーゼル
発電機のフィルター＝
13日、薩摩川内市の
九州電力川内原発(佐
伯直樹撮影)

- 昨秋の規則改正では対策実施に1年間の猶予を設けたが、九州電力川内発電所はフィルタコンテナを設置した旨を2018年5月に公表した。

これはディーゼル発電機の吸気口に接続し、その運転を止めることなく約80分で全フィルタの交換・清掃を一巡できる設備である。

これについては保安規定変更認可の審査で原子力規制庁が確認中である。

7. 今後の調査と注意点等

- 本件では、地表での気中火山灰濃度の実測例の少なさと新知見の重要性を痛感した。

1km³規模の噴火は日本では稀だが、地球上では数年に1回発生する。その際に現地へ行って降灰量や気中濃度を観測し、機器や健康への影響を調査する必要がある。

雲の雲粒濃度は100mg/m³程度であり、更に高濃度では暗中模索になる。気中火山灰濃度が150mg/m³を超えると人間の呼吸器に重大な影響がある(Mackie et al.前出 p.95)。それらの対策も忘れてはならない。なお、本講演要旨の内容は2018年6月13日時点のものである。

ご静聴ありがとうございました



大磯丘陵から見る富士火山(上)の南(左)斜面中程の雪線直上に宝永火口が黒く見える。江戸における実際の降灰は5cm以下だったが(左図)、気象条件によっては10cm以上の降灰もあり得た(スライド7参照)。2018年4月21日、石渡撮影。

最近40年間の人的・社会的被害が大きかった火山災害

国内

(単位のない数字は西暦年)

- **全島避難** 1986伊豆大島、2000三宅島、2015口永良部島
- **火砕流・噴石** 1990雲仙(死・不明44人)、2014御岳(63人)
- 死者100人超の火山災害は1925十勝岳以後発生せず(次頁参照)
- 国内最大の火山災害は1792雲仙(山体崩壊と津波、15,000人)※

国外

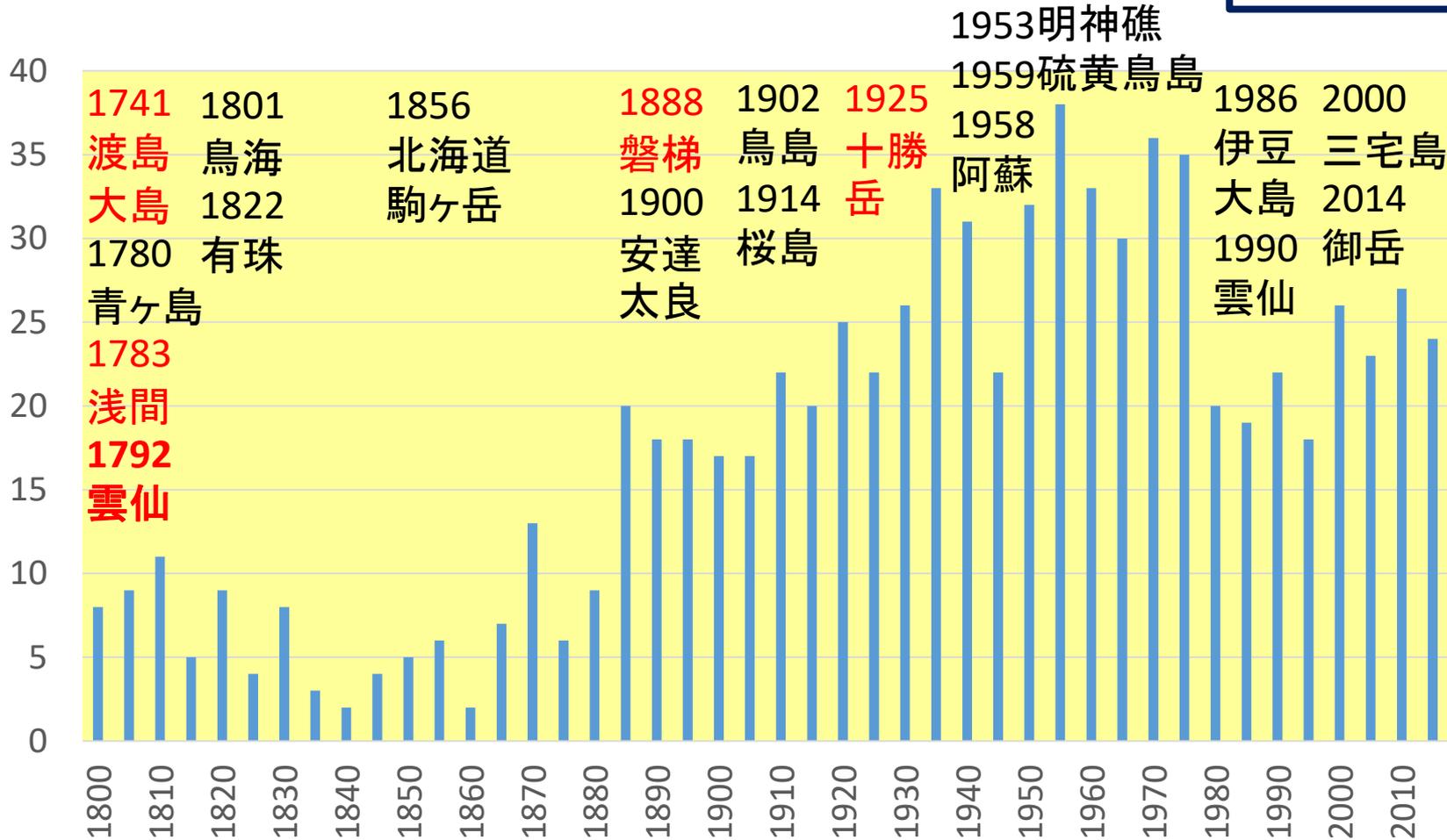
※(「島原大変、肥後迷惑」)

- **全島避難** 2004パプアニューギニア・マナム
- **火砕流・降灰・泥流・山体崩壊等** 1980米国・セントヘレンズ(57人)、1982メキシコ・エルチヨン(1,700人)、1985コロンビア・ネバドデルルイス(22,000~25,000人)、2018グアテマラ・フエゴ(442人)
- **火山ガス** 1986カメルーン・ニオス湖(1,746人)
- **航空障害** 1982ジャワ島ガルングンと1989アラスカ・リダウト(エンジン停止したが再起動でき無事だった)、2010アイスランド・エイヤフィヤトラヨークトル(欧州で4日間全面飛行禁止)

実際の発表では使用せず

日本の最近200年間の火山噴火数の推移(5年毎)

参考2



主な火山災害
赤字は死者
100人以上

日本の火山活動を5年間毎に噴火した火山の数で見ると、1930年代から1970年代は噴火数が多かったが、1980年代以後はやや少ない状態が続いており、東日本大震災以後も顕著な変化はない。ただし、2000年代以後、火山噴火数は増加に転じたように見える(データは理科年表平成29年版に基づく)。

実際の発表では使用せず