

＜技術情報検討会資料＞
技術情報検討会は、新知見のふり分けや作業担当課の特定を目的とした事務的な会議体であり、その資料及び議事録は原子力規制委員会の判断を示すものではありません。

第61回技術情報検討会(令和5年9月28日)
資料(火山関係抜粋)

資料3-2

資料6 1-1-1

最新知見のスクリーニング状況の概要（自然ハザードに関するもの）（案）

令和5年9月28日 長官官房 技術基盤グループ

（期間：令和5年7月14日から令和5年9月13日まで）

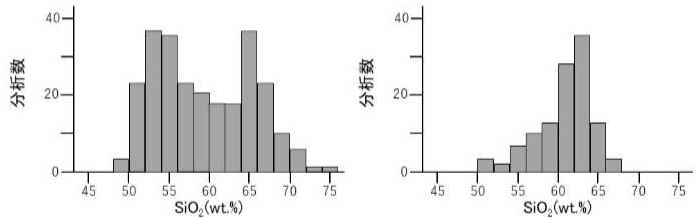
最新知見等 情報シート番号	件名	スクリーニング結果 (対応の方向性(案))	資料ページ
23 地津-(D)-0002	SSHAC レベル3 ガイドラインに基づく伊方サイトにおける震源特性モデル及び地震動特性モデルの構築	vi)	2~6
23 地津-(D)-0003	大規模噴火を起こす可能性のある火山の判断に資する地球化学的指標について	v)	7~10
23 地津-(D)-0004	テフラの粒径、落下速度及び堆積速度のリアルタイム検出に関する新たな知見について	vi)	11~13

対応の方向性（案）： i）直ちに規制部等関係部署に連絡・調整し、規制庁幹部に報告する。 ii）対応方針を検討し、技術情報検討会へ諮問する。 iii）技術情報検討会に情報提供・共有する。 iv）情報収集活動を行い、十分な情報が得られてから再度判断する（必要な場合には安全研究を実施する）。 v）安全研究企画プロセスに反映する。 vi）終了案件とする。以下同じ。

最新見 等情 報シ ート 番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針
23地 津 - (D)- 0003	大規模 噴火を 起こす 可能性 のある 火山の 判断に 資する 地球化 学的指 標につ いて	<p>掲載日 : 令和4年9月23日 掲載誌: Scientific Reports 論文名: Geochemical variability as an indicator for large magnitude eruptions in volcanic arcs 著者: Gregor Weber (University of Oxford) and Tom E. Sheldrake (University of Geneva)</p> <p>著者らは、既報の火山岩の地球化学的データを収集・整理した結果、過去にカルデラ形成噴火を起こした火山は、そうでない成層火山と比べ、最初のカルデラ形成噴火の前までに形成した火山の段階から、地球化学的に多様なマグマを噴出していたことが明らかになったとした。このことから、カルデラのような大規模な噴火を引き起こす可能性が高いシステムを有している成層火山を地球化学的特徴から識別することができる」と述べている。当該論文の概要は以下のとおりである。</p> <p>・著者らは、Newhall et al.(2018)¹⁾が提唱した将来的に大規模な噴火を引き起こす可能性のある火山を予測するための6つの尺度*のひとつである「地殻下部から上部への高いマグマ供給速度」について、既報の地球化学的データと熱化学的な数値モデリングを用いて調査した。</p> <p>・地球化学的データを検討するために十分な情報を持つ11の火山弧に分布する54の火山についてデータを収集、整理した結果、カルデラ形成噴火を引き起こした火山では、多様なマグマを噴出(SiO₂含有量の幅**が広い)し</p>	2023/9/1 3	v)	<p>・当該知見は、過去にカルデラ形成噴火を起こしていない火山の中から、地球化学的特徴を用いてカルデラを形成するような噴火を起こす可能性が高い火山を識別できる可能性を提案したものである。</p> <p>・「原子力発電所の火山影響評価ガイド」には、「検討対象火山の調査結果から噴火規模を推定する。調査結果から噴火の規模を推定できない場合は、検討対象火山の過去最大の噴火規模とする。」旨が記載されている。</p> <p>・当該知見は、Newhall et al.(2018)¹⁾が提唱した指標のひとつについて、地球化学的データを収集して整理した結果及び数値モデリングを用いて検証を試みた事例であり、検討対象火山の噴火規模推定のための情報のひとつとなり得るので、今後着目すべき知見である。しかしながら、現時点では、指標のひとつの</p>			

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
		<p>ているのに対し、ほとんどの成層火山では、そのような傾向がない(SiO₂含有量の幅が狭い)ことを示しているとした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・さらに、カルデラ形成噴火を引き起こした火山の地球化学的データを詳細に整理したところ、最初のカルデラ形成噴火の前までに形成した火山の段階から多様なマグマを噴出している。この多様性の要因は、カルデラ形成に起因する地下の構造崩壊によるものではなく、マグマの供給系に主要因があることを示しているとした。 ・加えて、カルデラ形成噴火は、十分なマグマ量の蓄積を必要とする^{***}。そこで、熱化学的な数値モデリングから、それを蓄積するための空間的に広範なマグマの供給系を検討した。その結果、地球化学的データから認識された多様なマグマを生成するとともに、カルデラ形成噴火において噴出する主なマグマである珪長質メルトを大量に生成するための主な要因は、高いマグマ供給率にあることが示唆されるとした。 ・著者らは、既往の地球化学的データの収集と整理及び数値モデリングによって示されたマグマの多様性と供給系の大きさの関係から、大規模噴火を起こす可能性が高い火山の指標として地球化学的特徴を用いることができると提案した。これにより、大規模な噴火を引き起こす可能性を有する火山を識別することができるとした。 ・一方で、その指標の適用に当たっては、世界中のほとんどの火山は噴火履歴が明らかになっていないことから、噴出量データによるバイアスがかかることのないような、リス 		<p>検証を試みた段階のものであることから、上記評価ガイドへの反映については今後の研究進捗を踏まえて判断するのが適切である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該知見では、国内火山のデータについてはカルデラ形成噴火を引き起こした火山として、阿蘇火山の地球化学的データを用いて整理されているが、その他の火山については整理されていない。そのため、過去の噴火履歴等に基づいた既審査の見直しは生じないが、今後の研究によって検証データが蓄積されれば、有用な知見となる可能性がある。 ・地震・津波研究部門では、評価ガイドへの反映を見据え、当該知見での検討事例も踏まえた、国内の火山のデータを用いた再整理が有効であると考えるとともに、火山岩の形成プロセスと多様性の関係を確立することを目 				

最新見 等情 報シ ート 番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針
		<p>クの高い火山を抽出するための基準についても策定したうえで、この指標による識別結果と比較し、その適用性を確認する必要があると述べており、火山岩の形成プロセスと多様性の関係を確立することを目的としたさらなる研究が必要であるとしている。</p> <p>【参考文献】 1) Newhall, C., Self, S. & Robock, A. Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts. Geosphere 14, 572–603 (2018).</p> <p>* : Newhall et al.(2018)が提唱した6つの尺度 (a) 既に VEI7 以上の噴火を少なくとも1回発生し、その後数千年以上比較的静かな火山。 (b) 過去10万年間に複数の火口から珪長質マグマが噴出した火山。 (c) 成熟した大規模な成層火山または成層火山群で、その多くは珪長質ドームおよび/または過去に溶結凝灰岩および非溶結凝灰岩が生成されていたが、ここ数千年は比較的静かであったもの。 (d) 火山の系へのマグマの定期的な再供給の証拠があるにもかかわらず、現在のガス放出が少ない火山。 (e) 地殻下部から上部へのマグマ供給速度が異常に高い火山。 (f) 上記の尺度に加えて、近年に平常レベルから顕著な活動の活発化を示した火山。</p>		<p>的としたさらなる研究が必要であると考えている。</p> <p>・以上から、v)「安全研究企画プロセスに反映する」とする。</p>				

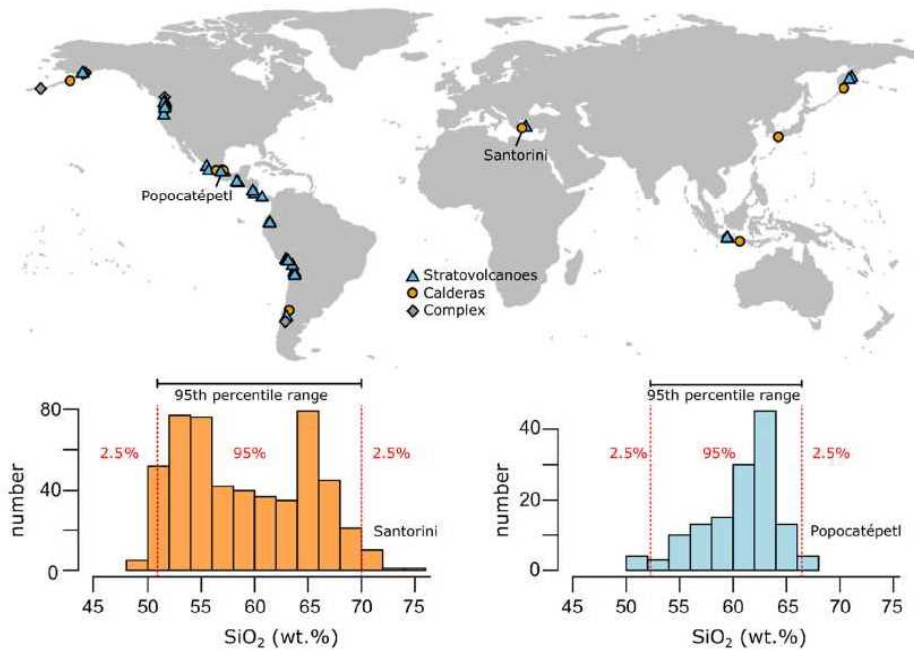
最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針
		<p>***: SiO₂含有量の幅について(イメージ図)</p>  <p>左図:カルデラ形成噴火を引き起こした火山の SiO₂ 含有量の範囲。 玄武岩(～53.5wt.%)、安山岩(53.5～62wt.%)、デイサイト(62～70wt.%)、流紋岩(70wt.%～)までの多様なマグマが噴出している。 右図:成層火山の SiO₂ 含有量の範囲。 安山岩～デイサイト質マグマが主で、左図のものほど多様でない。</p> <p>***:例として、VEI7 の噴火では 100km³ 以上のテフラが生成される。</p>						

最新知見等情報シート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング																	
				対応の方向性	理由	対応の方向性	理由	対応方針															
23 地 津 - (D)- 0004	テフラの粒径、落下速度及び堆積速度のリアルタイム検出に関する新たな知見について	<p>掲載日： 令和 4 年 3 月 17 日 掲載誌： Scientific Reports 論文名： New insights into real-time detection of tephra grainsize, settling velocity and sedimentation rate 著 者： V. Freret-Lorgeril (University of Geneva), C. Bonadonna (University of Geneva), E. Rossi (University of Geneva), A. P. Poulidis (Kyoto University & University of Bremen) and M. Iguchi (Kyoto University)</p> <p>著者らは、桜島火山において、降灰時の火山灰の粒径と落下速度を測定できる光学式ディストロメーター^{*1} (LPM 及び PS2; 下表参照)を用いた降灰観測を行い、得られたデータに対して、粒子形状分析及び専用の抗力方程式を適用し、凝集体を判定した。凝集の有無を識別することで、凝集効果の見られる実際の降灰現象においても、リアルタイムに降下テフラの粒径分布^{*2}を推定できると述べている。当該論文の概要は以下のとおりである。</p> <p>表 当該論文で使用された光学式ディストロメーターの比較^{*3}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>LPM (Thies Clima Laser Precipitation Monitor)</th> <th>PS2 (OTT Parsivel² disdrometer)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レーザーシートの理論測定面積</td> <td>46.5 cm² (22.8 x 2 cm)</td> <td>54 cm² (18 x 3 cm)</td> </tr> <tr> <td>粒径</td> <td>0.15~8.00 mm</td> <td>0.25~26.00 mm</td> </tr> <tr> <td>落下速度</td> <td>0~10 m s⁻¹</td> <td>0.0~21.4 m s⁻¹</td> </tr> <tr> <td>主な特徴</td> <td>検出された各粒子に対して粒径と速度の観測値が得られる</td> <td>データはそれぞれ決まった範囲の粒径と速度のクラスに分類される</td> </tr> </tbody> </table>	項目	LPM (Thies Clima Laser Precipitation Monitor)	PS2 (OTT Parsivel ² disdrometer)	レーザーシートの理論測定面積	46.5 cm ² (22.8 x 2 cm)	54 cm ² (18 x 3 cm)	粒径	0.15~8.00 mm	0.25~26.00 mm	落下速度	0~10 m s ⁻¹	0.0~21.4 m s ⁻¹	主な特徴	検出された各粒子に対して粒径と速度の観測値が得られる	データはそれぞれ決まった範囲の粒径と速度のクラスに分類される	2023/9/1 3	vi)	<ul style="list-style-type: none"> ・当該知見は、光学式ディストロメーターによる観測データを基に、凝集体を除去するデータ処理を施すことで、テフラの粒径分布や堆積速度に関する情報をリアルタイムに提供する可能性を示唆するものである。 ・「原子力発電所の火山影響評価ガイド」では、外気取入口から侵入する火山灰の想定に当たって、添付 1「気中降下火砕物濃度の推定方法について」を参照して推定した気中降下火砕物濃度を用いる旨が記載されている。 ・当該知見について、現時点では、様々な噴火様式での検証が必要であり、観測の一事例であることから、現行の評価ガイドの記載に影響を与えるものではないと考えられるが、上記評価ガイドへの反映については、観測データが蓄積された段階で判断するのが適切である。また、当該知見は、既審査の評価対象となる 			
項目	LPM (Thies Clima Laser Precipitation Monitor)	PS2 (OTT Parsivel ² disdrometer)																					
レーザーシートの理論測定面積	46.5 cm ² (22.8 x 2 cm)	54 cm ² (18 x 3 cm)																					
粒径	0.15~8.00 mm	0.25~26.00 mm																					
落下速度	0~10 m s ⁻¹	0.0~21.4 m s ⁻¹																					
主な特徴	検出された各粒子に対して粒径と速度の観測値が得られる	データはそれぞれ決まった範囲の粒径と速度のクラスに分類される																					

最新見 等情 報シ ート 番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方 向性	理由	対応 の方 向性	理由	対応 方 針
		<p>・著者らは、14 のテフラ降下イベントにおいて、LPM 観測で得られた粒径分布データを地上で直接採取されたテフラサンプルのものと比較することで、LPM による粒径分布のリアルタイム観測のポテンシャルを調査した。その結果、10 イベントでは両者が類似していたが、4 イベントについては両者に大きな不一致が見られたとしている。当該 4 イベントにおいても、テフラサンプル分析時のサンプリングバイアスが疑われる 1 イベントを除き、LPM の検出下限の粒径や凝集体と推定される物体を除外するフィルタを適用することで両者が類似することが分かったとした。</p> <p>・堆積速度^{*4} に関しては、採取したサンプルから得られたものと LPM 記録から計算されたものとの関係を示した両対数プロットにおいて、堆積速度が遅い場合に LPM 記録側へやや大きくオフセット(過大評価)しているものの、良好な直線関係が得られたとした。さらに、LPM 記録から凝集体を除外した場合においても、凝集体の寄与が高い 1 イベントを除くと、両者は同じ範囲に入るとしている。</p> <p>・LPM と PS2 の両方で観測されたイベントにおいて、LPM 観測で得られた粒径分布は PS2 観測で得られたものよりも低い中央値を示したが、速度分布は同様な最頻値を示したとしている。また、PS2 記録から計算された堆積速度は LPM 記録から計算されたものに対して高い値を示したとしている。</p> <p>・著者らは、本研究とは異なる噴火/大気条件における LPM データと PS2 データとの比較等の検討の余地はあるものの、LPM によるデータの取得と凝集体を除去するた</p>		<p>降下火砕物濃度を示していないので、既審査結果にも影響を与えるものではないと考えられる。</p> <p>・当該知見は、火山噴火に伴う降灰現象の実態を容易に観測できる可能性を示唆するものであり、これまで困難であった火山灰濃度^{*5} の推定に資する観測データ取得に寄与すると考えられる。また、降灰中の細粒な火山灰粒子が凝集することで粒径の大きい粒子となり、効果的に気中から落下する等、その振る舞いを踏まえた当該知見のデータ処理手法は、その凝集体の割合を観測結果から定量的に見積もることができる可能性があり、安全研究においても活用できる。</p> <p><small>*5: 堆積速度を落下速度(終端速度)で除することで得られる。</small></p> <p>・以上のことから、安全研究における参考情報と整理し、vi) 終了案件とする。</p>				

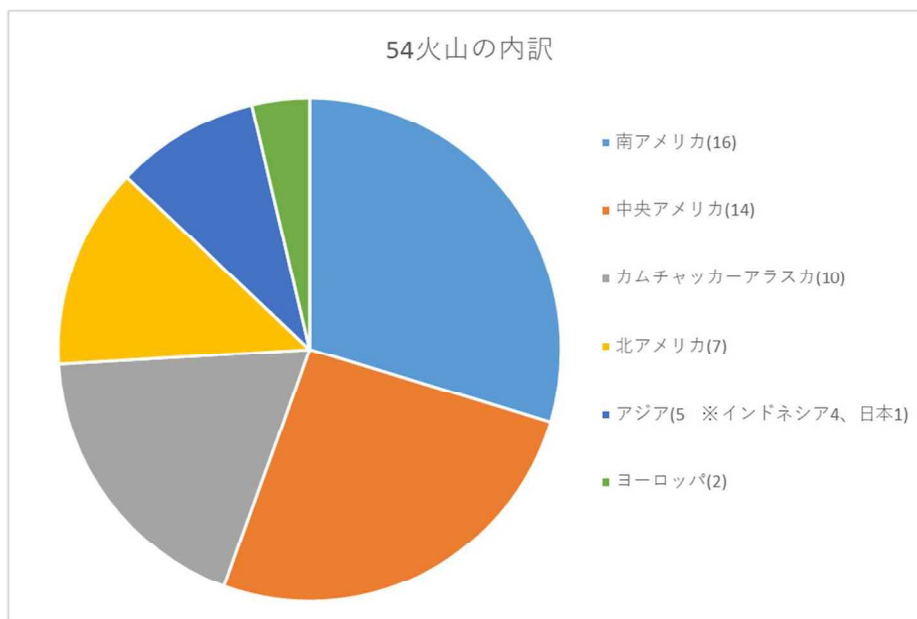
最新見 等情報シ ート番号	件名	情報の概要	受理日	1次スクリーニング		2次スクリーニング		
				対応 の方向 性	理由	対応 の方向 性	理由	対応 方針
		<p>めのデータ処理によって、実際に採取したサンプルから得られたデータと類似することが確認されたことから、活火山におけるテフラの粒径分布や堆積速度に関する情報をリアルタイムに得られる可能性が示されたと結論づけている。</p> <p>*1: 降水粒子の粒径と落下速度をリアルタイムで計測する地上設置型の気象測器であり、得られた観測データに基づいて、雨や雪等の種々の降水粒子の種別判定ができる。</p> <p>*2: 粒径の度数分布。</p> <p>*3: 論文の内容に基づき、当庁が作成したものである。</p> <p>*4: 単位面積、単位時間当たりの降下テフラの総質量。</p>						

「大規模噴火を起こす可能性のある火山の判断に資する地球化学的指標について」に係る補足資料



当該知見で収集及び分析された火山弧に**成層火山(54火山)**の分布する**54火山の位置**と全岩化学組成の例

成層火山(青い三角形)、カルデラ(オレンジ色の円)、および火山複合体(灰色の菱形)の位置を示す。全岩化学分析の結果の例は、左(オレンジ):カルデラ火山(サントリーニ島火山@ギリシャ)、右(水色):成層火山(ポポカテペトル島@メキシコ)。Weber & Sheldrake(2022), Scientific reports (<https://doi.org/10.1038/s41598-022-19902-1>)の Figure 1 より引用。



54火山の地域別内訳

上記 Weber & Sheldrake(2022)の Supplementary Information に記載された火山リストを基に作成したもの。

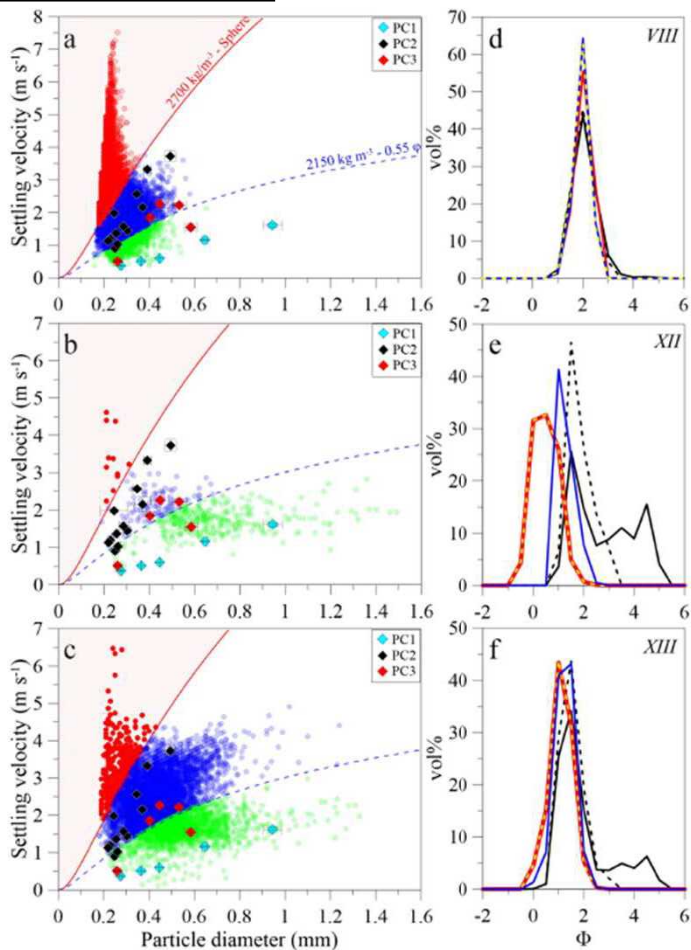
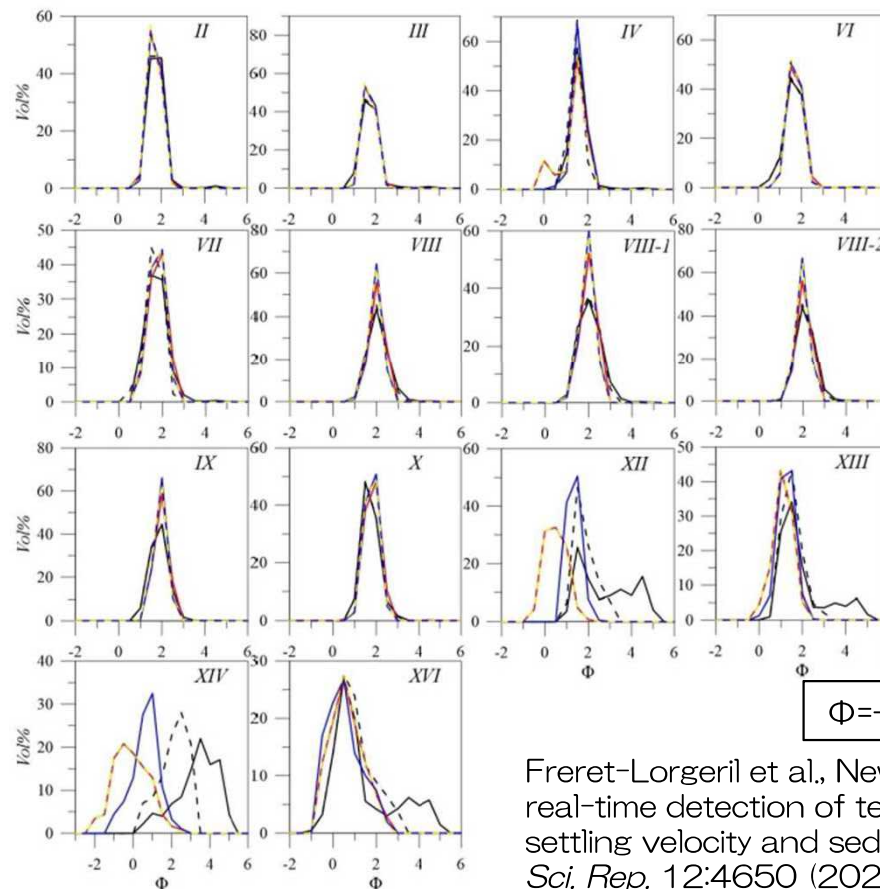


Figure 3. Particle size and velocity measured during the tephra-fallout events (a) VIII, (b) XII and (c) XIII. Red and blue dashed lines indicate the margin trend and the individual-particle trend, respectively. Diamonds indicate aggregate estimates retrieved based on high-speed camera analyses by Diaz-Vecino et al.³⁹ (blue: Ash Cluster-PC1; black: Coated Particle-PC2; red: Cored Cluster-PC3). Vol% GSD of LPM records and obtained from BETTERSIZER analysis for events VIII, XII and XIII are shown in (d), (e) and (f), respectively. Red: raw LPM data; dashed yellow: LPM data without margin fallers; Blue: LPM filtered for single settling particles; Black: raw BETTERSIZER distributions; Dashed Black: GSD_{ST75} of particles > 0.15 mm.

Figure S1. Grain-size distribution of all recorded and sampled tephra fallout during the measurement campaign. Red: raw LPM data; dashed yellow: LPM data without margin fallers; Blue: LPM for individual particles; Black: BETTERSIZER raw data; Dashed Black: BETTERSIZER without particles < 0.15 mm.



$$\Phi = -\log_2(D \text{ [mm]})$$

Freret-Lorgeril et al., New insights into real-time detection of tephra grainsize, settling velocity and sedimentation rate, *Sci. Rep.* 12:4650 (2022).

- 14のテフラ降下イベントにおいて、4イベント (XII~XVI) ではLPM観測で得られた粒径分布と地上で直接採取されたテフラサンプルのもので大きな不一致。
- 当該4サンプルにおいても、LPMの検出下限の粒径を有する粒子を取り除き、凝集体を除去するフィルター (左図の青点線) を適用することで両者が類似 (テフラサンプル分析時のサンプリングバイアスが疑われるイベントXIVを除く)。

当該論文の主要な結果（2）：堆積速度

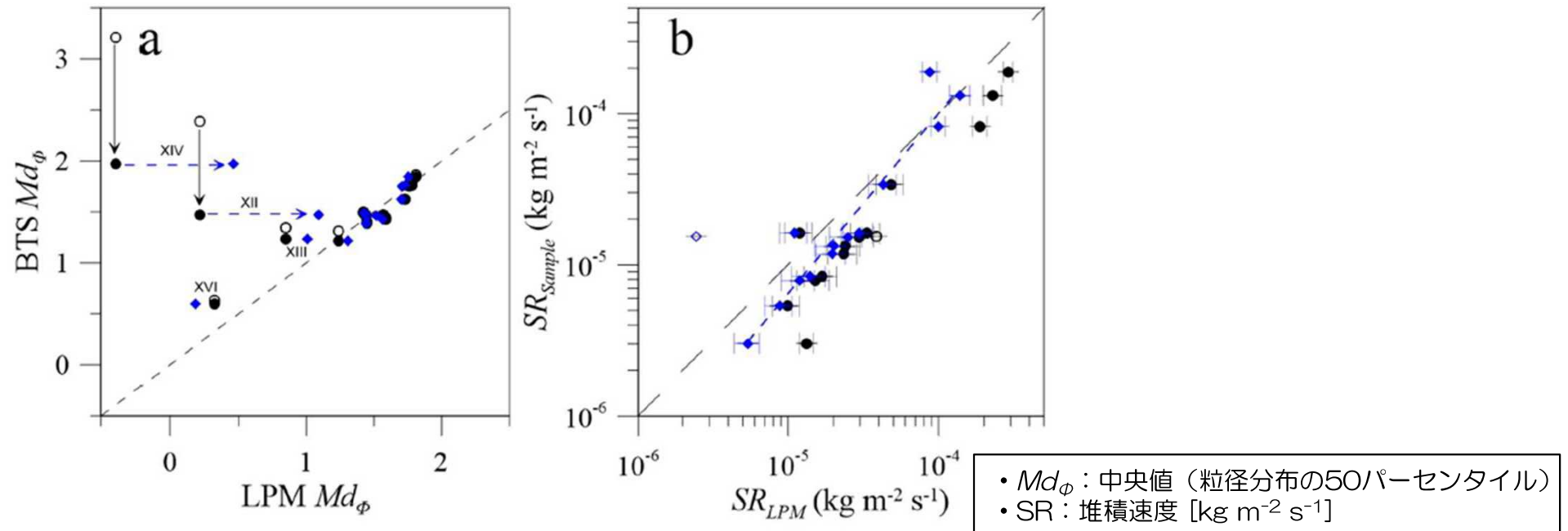


Figure 4. (a) Md_ϕ of the GSD_{LPM} from recorded tephra fallout as a function of Md_ϕ values of the GSD_{BTS} based on collected samples. Open circles: raw GSD_{LPM} (including margin fallers); Black dots: GSD_{BTS} for particles > 0.15 mm vs GSD_{LPM} with margin faller filter; Blue diamonds: GSD_{BTS} for particles > 0.15 mm vs GSD_{LPM} of individual particles (i.e., applying both the margin faller and the individual-particle lowest velocity filters); Black and blue arrows indicate the effect on Md_ϕ values of filtering particles below 0.15 mm in GSD_{BTS} and filtering the aggregates in GSD_{LPM}, respectively. The black dashed line is the one-to-one line. (b) Sedimentation Rate in $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ computed based on sampling in trays (SR_{Sample}) and from the LPM records (SR_{LPM}) of all fallout events. Black: LPM data without margin fallers; Blue diamonds: SR_{LPM} based on GSD_{LPM} with both margin fallers and individual-particle lowest velocity filter; The open symbol indicates event XII for which a large quantity of aggregates was observed in the LPM records (see Fig. 3b). The dashed blue line corresponds to a power-law between SR_{Sample} and SR_{LPM} for individual particles (see text for more details). Horizontal error bars of the mean differences of SR_{LPM} for size classes whose width dD is ± 0.05 mm (see the “Materials and methods” section).

Freret-Lorgeril et al., New insights into real-time detection of tephra grain size, settling velocity and sedimentation rate, *Sci. Rep.* 12:4650 (2022).

- 採取したサンプルから得られた堆積速度とLPM記録から計算されたものとの関係を示した両対数プロット（右図）において、堆積速度が遅い場合にLPM記録側へやや大きくオフセット（過大評価）しているものの、良好な直線関係が得られた。
- LPM記録から凝集体を除外した場合でも、凝集体の寄与が高い1イベント（右図の白抜きの菱形）を除くと、両者は同じ範囲に入る。

当該論文の主要な結果 (3) : LPMとPS2で得られた観測データの比較

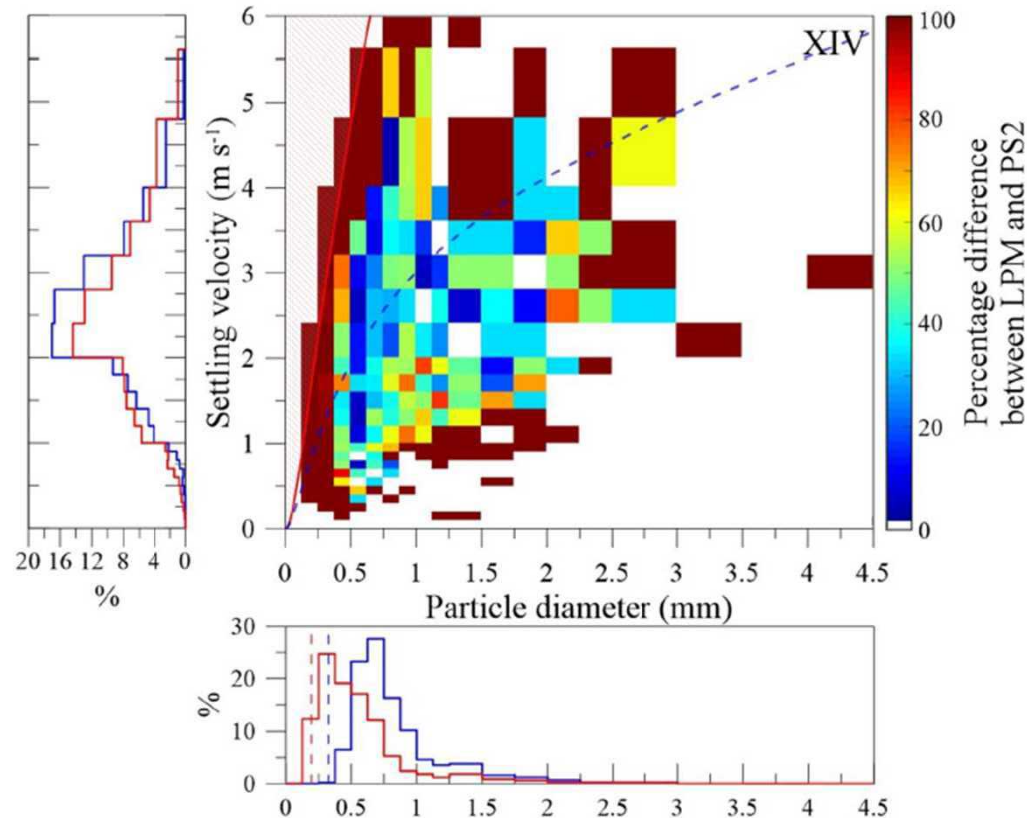


Figure 5. PSVD difference in percentage between LPM vs PS2 records of event XIV (station SVO in Fig. 1a). LPM data are reshaped following the size and velocity bins of PS2 data. Margin fallers have been corrected from LPM data. The red line indicates the trend used to filter margin fallers. The dashed blue line indicates the individual-particle trend. Left and down panels present the number percentage distributions of settling velocities and particle sizes using PS2 class widths, respectively (blue line: PS2; red line: LPM without margin fallers). All velocity and size distributions are in number frequency for a better comparison between both disdrometers. Vertical dashed blue and red lines in both down panels indicate the lower detection limits of the PS2 and the LPM, respectively.

Freret-Lorgeril et al., New insights into real-time detection of tephra grain size, settling velocity and sedimentation rate, *Sci. Rep.* 12:4650 (2022).

- LPM観測で得られた粒径分布（下図）はPS2観測で得られたものよりも低い中央値を示したが、速度分布（左図）は同様な最頻値を示した。
- PS2記録から計算された堆積速度 ($7.2 \pm 0.1 \times 10^{-4} \text{ [kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$) はLPM記録から計算されたもの ($2.9 \pm 0.2 \times 10^{-4} \text{ [kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$) に対して高い値を示した。