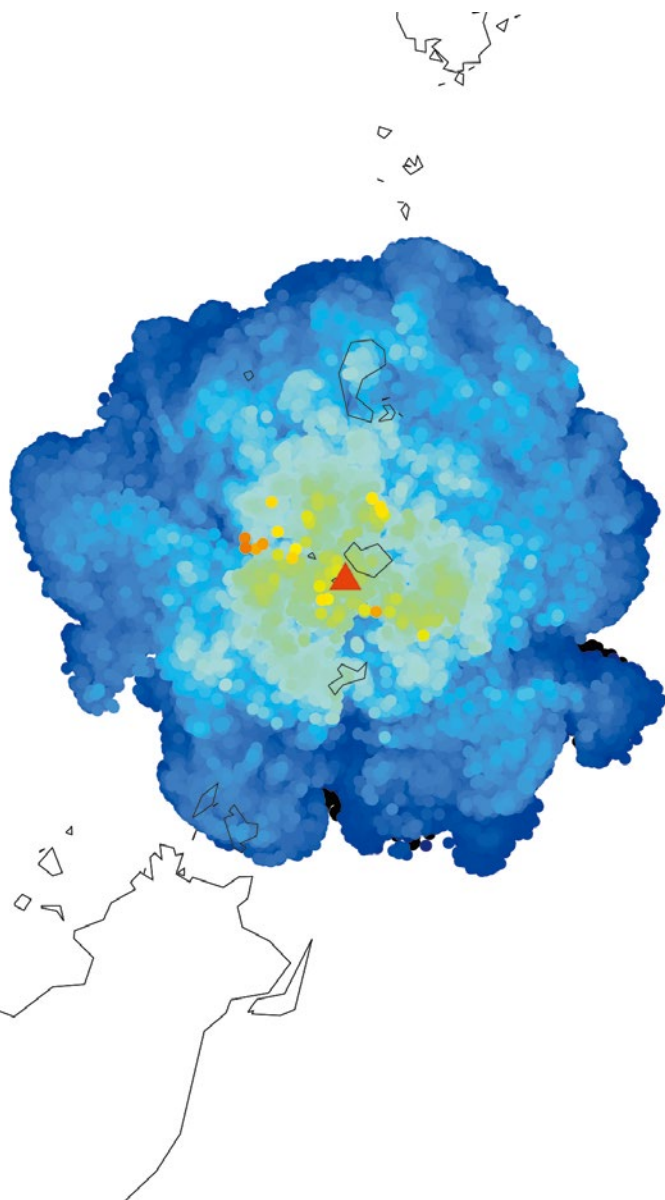
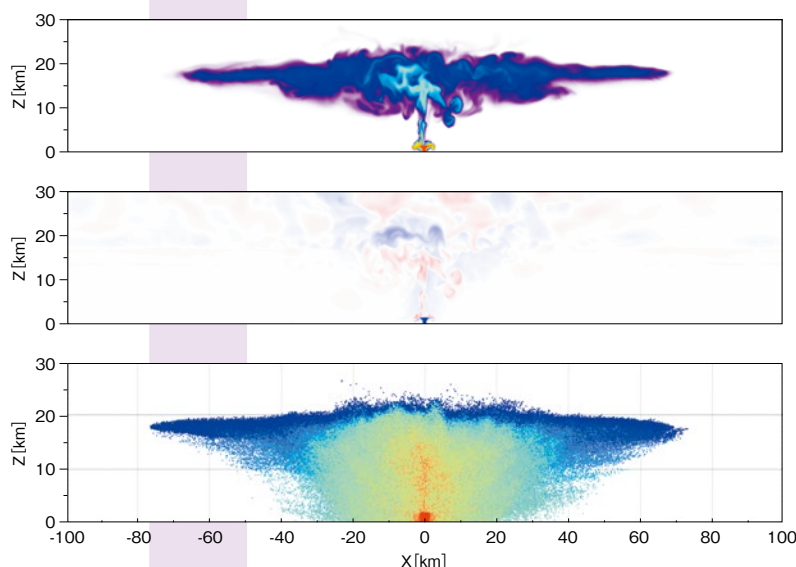


Plus

地震研究所 ニュースレター

NEWS LETTER Plus No.43
Earthquake Research Institute,
The University of Tokyo



火 山が噴火した際に、その噴火強度を迅速・高精度に把握することは、噴火の推移を予測し、また火山災害を軽減するためにも重要である。しかし、噴火強度の指標である噴出率を推定するには、さまざまな難しさがある。そのような中で、数理系研究部門の鈴木雄治郎准教授は、2024年4月にインドネシアのルアン火山で発生した爆発的噴火の噴出率を、傘型噴煙面積の時間変化に注目し、ほかの火山噴火のデータとの比較と噴煙シミュレーションによって数時間で高精度に推定することに成功した。

特集

噴煙シミュレーションを用いて 噴火強度を迅速・高精度に 推定する



東京大学地震研究所

噴煙シミュレーションを用いて 噴火強度を迅速・高精度に推定する

数理系研究部門 准教授 鈴木 雄治郎

噴火の強度を表す「噴出率」とは

2024年4月17日21時ごろ（日本時間、以下同。世界時間17日12時ごろ）、インドネシアのルアン（ルアング）火山で爆発的な噴火が発生した。それを知った鈴木雄治郎准教授は、すぐ噴煙の広がりシミュレーションに取りかかった。「徹夜でやりました」と言う。それほど急いだのには理由がある。

「火山が噴火すると、噴煙が上昇して航空機の運航に支障を来したり、降灰の影響が広範囲に及んだりします。そのため噴火の強さをいち早く正確に把握することが、噴火の状況を理解してその後の推移を予測し、災害を軽減するためにも重要です。噴火強度は噴出率で表されますが、噴出率を迅速に推定するのは難しい上に、従来の方法には不確実性があります。そこで、私が有効だと考えている方法を試そうと考えました。日本で爆発的な火山噴火が起きた場合に備え、ど

のくらいの時間で噴出率を出せるかも確かめたかったです」

火山が噴火すると、火山灰などのマグマの破片と火山ガスが噴出する。火山の噴火強度を表す噴出率とは、単位時間当たりの噴出物の量を指す。また噴火規模を示す火山爆発指数（VEI）という指標があり、こちらは噴出物の総量によって9段階で表される。

鈴木准教授は「噴出率を推定する方法はいくつかありますが、人工衛星が観測した傘型噴煙の最高高度がよく使われています」と説明する。火口からの噴出物が周囲の大気を取り込むと、大気が加熱されて膨張して密度が低くなり、噴煙柱となって上昇していく。大気の密度と噴煙の密度が釣り合う高さに達すると、噴煙は水平方向に同心円状に広がる。これが傘型噴煙だ。

「噴出率が大きいほど、傘型噴煙の最高高度が高くなることが知られています。しかし

噴煙の最高高度は、衛星画像を用いて大気の温度との比較から求めていることなどから、特に噴煙が対流圏を越えて成層圏に達するような場合、噴煙の最高高度の算出には不確実性があります。そこで、噴出率を高精度に推定する方法として私が注目しているのが、傘型噴煙の面積です」

傘型噴煙面積の時間変化に注目

図1は、気象衛星「ひまわり」が捉えた2024年4月17日のルアン火山周辺の画像である。高温の噴煙が水平方向に広がっていく様子が分かる。「噴煙の広がりをシミュレーションした結果が適切かどうかは、10分ごとに更新される衛星画像で答え合わせができます。ただし、噴火が起きて即座にその火山の条件に合わせたシミュレーションを行えるかというと、それは難しいです。でも私には噴煙シミュレーションの蓄積があります」と鈴木准

図1 気象衛星「ひまわり」の赤外光観測で得られた噴煙画像 データ提供：千葉大学環境リモートセンシング研究センター

「ひまわり」の画像は10分ごとに更新される。ここでは、噴火のおよ10分後から1時間30分後まで、20分ごとの画像を示している。

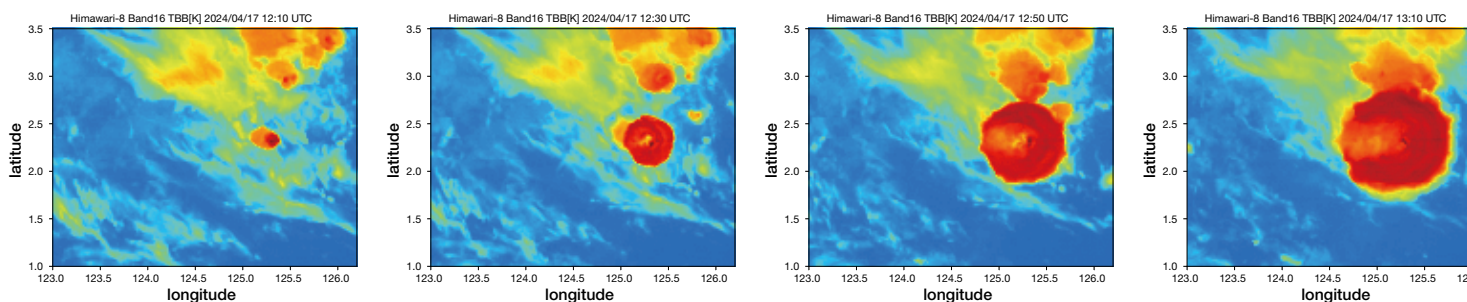
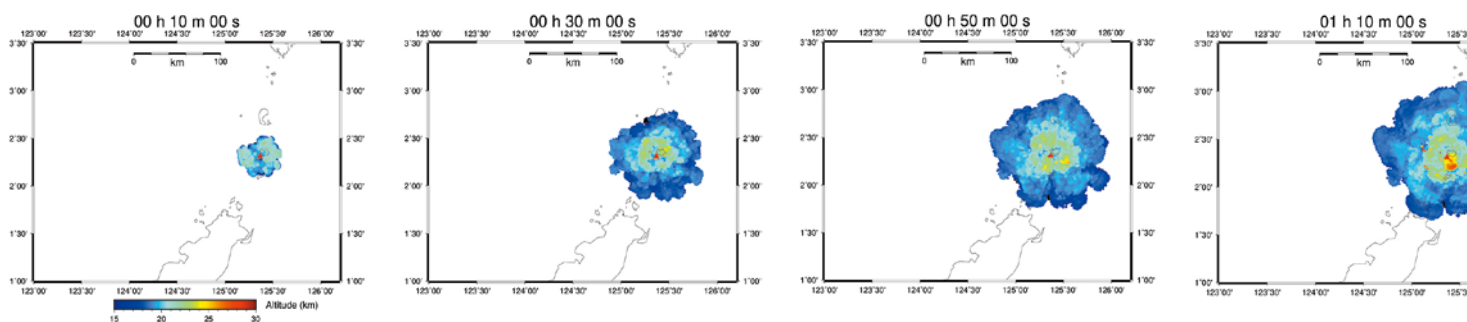


図2 ルアン火山の噴煙シミュレーション結果（噴出率 10^6 kg/s ）

噴火10分後から1時間30分後まで、20分ごとの噴煙の広がりを示している。

表紙には、噴火1時間後の噴煙の広がり、2次元断面で見た噴煙濃度、煙と大気の密度差、粒子分布のシミュレーション結果を示した。



教授。

火山噴煙のシミュレーションが世界で初めて行われたのは1984年である。ただし、噴煙の一つの断面だけを計算する2次元シミュレーションであったため、噴煙の挙動を十分に再現できなかった。噴煙の3次元シミュレーションに初めて成功したのが2005年で、鈴木准教授の成果だ。鈴木准教授はこれまで、1991年のフィリピン・ピナツボ、2011年の霧島山新燃岳、2014年のインドネシア・ケルト、2022年の海底火山フンガ・トンガの噴火などについて、噴煙シミュレーションを行ってきた。それらを流用することで、ルアン火山のシミュレーションをすぐに実行できたのだ。

とはいえ、噴出率を適当に設定するので、衛星画像の噴煙の広がりを再現できるまで噴出率を少しずつ変えながら膨大なパターンの計算をしなければならない。その点についても鈴木准教授には考えがあった。「噴煙拡大スケーリング則」といって、傘型噴煙の面積が噴火開始からの経過時間の3分の4乗に比例するという関係が理論的に得られています。過去の火山噴火とルアン火山の噴火を比較することで、おおよその噴出率を推定できるのです」

図3には、フンガ・トンガ2022年、ピナツボ1991年、ケルト2014年の傘型噴煙面積

の時間変化が示されている。これらの噴火の噴出率は精度良く求められており、フンガ・トンガ2022年は $\sim 3 \times 10^8 \text{ kg/s}$ 、ピナツボ1991年は $\sim 1 \times 10^8 \text{ kg/s}$ 、ケルト2014年は $3 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8 \text{ kg/s}$ である。そして、ルアン火山の2024年4月17日噴火について衛星画像から計測した値をプロットすると(図3○)、その噴出率はケルトと同程度と推定できた。

そこで噴出率を 10^8 kg/s に設定して噴煙の広がりのシミュレーションを行った。その結果が図2である。「衛星画像(図1)とシミュレーション結果が、ほぼ一致していますよね」と鈴木准教授。さらに噴出率を少し変えたシミュレーション結果とも比較した。その結果、4月17日噴火の噴出率は $1 \times 10^8 \text{ kg/s}$ と推定された。これは富士山の1707年宝永噴火の噴出率より1桁大きく、噴火強度が比較的強い噴火といえる。ルアン火山は4月30日にも噴火しており、同じ手法で噴出率は $2 \times 10^8 \text{ kg/s}$ と推定された。比較的強い噴火が続けて起きた例は珍しい。

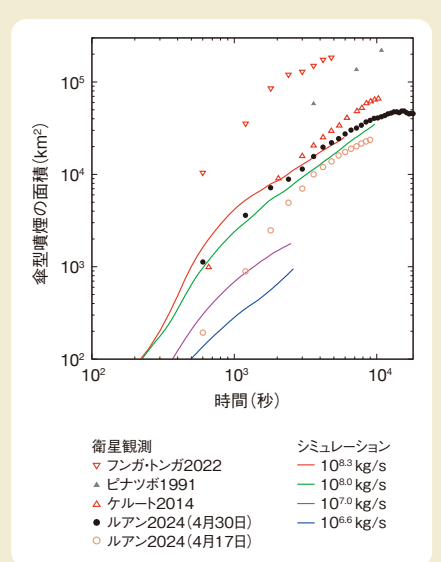
「噴火から数時間で噴出率を精度良く推定し、噴火強度を把握できることを示せました。従来の方では傘型噴煙の最高高度という1点の情報を使いますが、噴煙面積の時間変化では複数点の情報を使い、さらに噴煙シミュレーション結果を衛星画像で検証しているので、不確実性が小さくなります。傘型噴煙面積の時間変化と噴煙シミュレーションを用いた手法は、近い将来、噴出率を迅速に高精度で推定する標準的な手法になるでしょう。傘型噴煙面積の時間変化のグラフの数が増えれば、おおよその噴出率も求めやすくなります」と、鈴木准教授は今回の成果の意義を解説する。

一つ先の噴煙シミュレーションへ

噴煙シミュレーション研究を先導してきた鈴木准教授は、「まだ課題がある」と指摘する。「その一つが、火山灰粒子の動きです」。最近の噴煙シミュレーションでは、火山ガスとさまざまなサイズの大量の火山灰粒子の動きを計算しており、どのサイズの火山灰粒子がどの高さまで上昇し、どこまで運ばれて落下するのか、その量も分かる。しかし火山灰粒子は、火山ガスの流れに乗って受動的に動いているとして計算されているのだ。

「火山ガスと火山灰粒子の動きについて、それぞれの物理法則に基づいた計算ができるようにしたいです。また、火山灰粒子が落下したら火山ガスのエネルギーが減少して動きも変わりますが、その効果は計算されていません。火山ガスと火山灰粒子の相互作用も考慮しなければ、噴煙の動きを再現したと

図3 傘型噴煙の面積の時間変化



は言えません。天文学の惑星形成シミュレーションでは、乱流中のガスと粒子の動きを相互作用を含めて計算しています。他分野のシミュレーション研究にも学びながら、一つ先の噴煙シミュレーションの実現を目指します」と、鈴木准教授は意気込む。

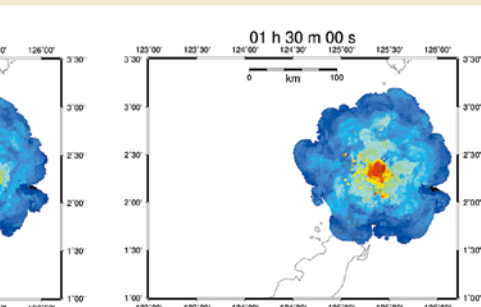
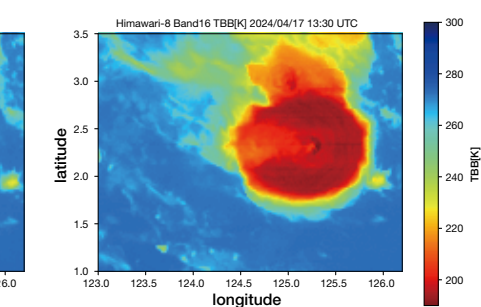
過去の火山噴火の理解にも貢献

鈴木准教授は、「噴煙シミュレーションは火山災害の軽減につながるということも意識しています」と言い、文部科学省の「次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト」にも参加している。これは、2014年9月に発生した御嶽山の噴火を踏まえ、日本の火山研究を飛躍的に発展させ火山噴火に対する減災・防災対策に貢献することを目指す10カ年(2016~2025年度)のプロジェクトである。

さらに「噴煙シミュレーションは、過去の火山噴火の理解にも役立ちます」と鈴木准教授。過去の火山噴火については、地層に含まれる火山灰層の厚さや火山噴出物のサイズ・成分を調べる火山地質学的手法を用いて理解されてきた。そうして得られた情報と噴煙シミュレーション結果を比較することで、噴出率を高精度で推定し噴火強度が分かると期待される。「そういう研究が出てこないかと待っていたところ、火山地質学の学生から噴煙シミュレーションを研究に取り入れたいと相談を受けました。とてもうれしかったです」

火山に興味を持つ学生は、フィールド調査研究を希望することが多い。鈴木准教授自身もそうだった。しかし卒業論文のために計画していた観測がうまく進まなかったこともあり、シミュレーション研究を始め、今に至る。「噴煙シミュレーション研究の面白さや意義を学生や若い研究者に伝え、この分野に入ってきてもらうことも私の役割です」

(取材・執筆: 鈴木志乃 / フォトクリエイト)



TOPICS

広報アウトリーチ室活動報告

●地震研究所 公開講義・一般公開

2024年も東京大学オープンキャンパスに合わせて、地震研究所 公開講義・一般公開がオンラインで開催されました。公開講義や学生実験などのライブ配信を8月6日に実施しました。

●懇談の場

2024年4月3日にハイブリッドで開催されました。「令和6年能登半島地震」について、地震予知研究センターの加藤愛太郎 教授によるお話でした。

●「サイエンスカフェ」開催報告

●第23回「桜島火山大規模噴火のメカニズムと災害予測」

2024年4月24日にハイブリッドで開催。下司信夫 教授（九州大学大学院理学研究院）および井口正人 名誉教授（京都大学）を迎え、桜島火山について紹介していただきました。

●第24回「新潟県の地震の歴史と地震学の歴史の中の1964年新潟地震」

2024年6月6日にハイブリッドで開催。矢田俊文 名誉教授（新潟大学）・亀仲樹 准教授（東京大学地震研究所）を迎え、6月16日で60年になる1964年新潟地震についての歴史的な観点と、地震断層モデル発展の中でこの地震の観測データが果たした重要性について紹介していただきました。

地震・火山情報

●【研究速報】2024年4月17日インドネシア・ルアング火山の噴火（2024年4月30日更新）

プレスリリース

- 2024年6月20日 地震のマグニチュード―頻度特性の断層強度依存性と応力状態臨界度―*
- 2024年5月24日 令和6年能登半島地震に伴う学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海（第一次、第二次）の結果速報*
- 2024年3月1日 令和6年能登半島地震に伴う学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海（第三次）について―共同利用研究航海：地震発生域の海洋地球科学総合調査―*（2024/03/21更新） *共同プレスリリース

最近の研究

最近の研究を紹介するコンテンツ「最近の研究」に、新たな論文が追加されています。ぜひご覧ください。

- 東北地方背弧のひずみ集中域の地下電気比抵抗構造の推定
- 2024年能登半島地震は流体を豊富に含む断層でのゆっくりすべりから始まった
- アポロ短周期月震計データの解析によりもたらされた月の地震活動の新たな描像



本所永遠の使命とする所は
地震に関する諸現象の科学的研究と
直接又は間接に地震に起因する災害の予防並に
軽減方策の探究とである（寺田寅彦）

東京大学地震研究所 ニュースレターPlus 第43号

発行日 2024年9月24日

発行者
東京大学 地震研究所

編集者
地震研究所 広報アウトリーチ室

制作協力
フォントクリエイト
（デザイン：酒井デザイン室）

問い合わせ先
〒113-0032
東京都文京区弥生1-1-1
東京大学 地震研究所
広報アウトリーチ室

Eメール
orhp@eri.u-tokyo.ac.jp

ホームページ
https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/

INFORMATION

お知らせ

●「地震研究所基金」設立

―地震研究所基金へのご支援のお願い―

東京大学地震研究所は、関東大震災（1923年）を契機として1925年に設立されました。地震火山現象を科学的に解明し、それらに起因する災害の軽減を使命としています。これまでの100年間の観測研究データの蓄積と地震・火山学の進展により、地震・火山噴火メカニズムの理解は大きく進みました。しかし、近年の東日本大震災、熊本地震、能登半島地震、そして雲仙普賢岳噴火や御嶽山噴火など甚大な災害は続き、地震・火山研究の成果を災害軽減に繋げるための一層の研究努力を重ねていく所存です。

まもなく創立100年を迎える地震研究所では、これまでの研究所の歩みと成果を振り返り、使命達成に向けた次の100年の研究発展と人材育成のための「地震研究所基金」を設立しました。

皆さまのあたたかいご支援を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

東京大学地震研究所長 古村孝志



地震研究所基金ホームページ

「地震研究所基金へのご支援のお願い」

https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt183



- 「懇談の場」を2024年10月3日（木）16時からオンラインで開催予定です。今号の特集「噴煙シミュレーションを用いた噴火強度を迅速・高精度に推定する」について、鈴木雄治郎 准教授によるお話です。接続情報をお送りしますので、orhp@eri.u-tokyo.ac.jp宛てに件名を「懇談の場参加希望」としてメールをお送りください。お気軽にご参加ください。