

陳述書（2）

——火山噴火が伊方地域に与える影響

平成30年 6月29日

東京都立大学名誉教授

伊方原発の再稼働問題に対して阿蘇火山などの噴火災害の評価が話題となっている。これには、1) 過去の阿蘇カルデラの噴出物が伊方地域を襲ったかどうか、2) そうした大噴火は数十年間という原発維持予定期間に、果たして起こるかどうかという論点がある。この2点にコメントする。

- 1) 過去の阿蘇カルデラの巨大噴火で伊方原発周辺地域へ火砕流(火砕物密度流)は到達せず、火山灰が堆積したに過ぎなかったという評価は明らかに地質学的事実と異なる。
- 2) 将来の巨大噴火予測については、筆者は自らの資料をもたないので、直接的コメントはしない。しかし伊方周辺に堆積した火山灰層から九州の諸カルデラ火山の60万年間にわたる噴火史が明らかで、それは巨大噴火のリスク評価の上で参考になる。

1) 阿蘇4火砕流の伊方原発周辺地域への到達

約40年前に公表した南九州始良カルデラや鬼界カルデラ起源の広域テフラ研究(町田・新井1976;1978)のあと、ほかのカルデラ火山も第四紀中後期に巨大な噴火を繰り返し、日本列島とその周辺に大量のテフラ(火山灰など火山砕屑物)を分布させたことが次々に判明した。それら巨大噴火のうち、約8.7万年前に発生した阿蘇4噴火は、第四紀の日本列島最大級の噴火である。これは大火砕流の噴出に終始した。この噴出物の分布、さらに衛星画像からみた1991年Pinatubo火山の大噴火による噴煙の挙動を参考にすると、阿蘇ではおそらく複数の火口から突然、また何回かに分けて大量のテフラと火山ガスからなる太い噴煙柱が高空に噴出し、上空で広がって巨大な厚い円盤状の濃密な噴煙となり、それは同心円をなして拡大した。噴煙円盤の下部に密集した大量の粗粒テフラは、大火砕流となって周辺地域の地表を覆った。東京大学地震研究所の鈴木雄治郎氏らの研究グループが最近発表した「超巨大噴火の噴煙シミュレーション」(Costa et al.(2018))は示唆に富んでおり、阿蘇4のような大規模火砕流の挙動を考える上で参考にすべき知見である。

阿蘇4火砕流の及んだ範囲は中部九州から周辺地域に及ぶ。この地層は現在、阿蘇カルデラから60km以下の距離では溶結凝灰岩(灰石)、また筑後平野周辺では八女粘

土や鳥栖ロームと呼ばれるかなり風化した地層をなしている。どこも谷間を埋め段丘をなし、また段丘面や丘陵頂部の小起伏面上に残っているのが火砕流は谷間のみならずタコの足状に拡がったと考えられやすいが、周囲を覆い尽くしたうえで低い場所に集積したのである。火砕流はきわめて流動的であったことは、南方の九州山地などの高峻な山地を乗り越えて人吉盆地・宮崎平野一帯、西や北西方では天草諸島、西彼杵半島、北方では北九州沿岸、中国山地西部の宇部周辺の低地から秋吉台にまで分布することからわかる。はるか北の男鹿半島の安田層に阿蘇 4 火砕流堆積物起源の径数 cm の軽石がはさまれていることから、火砕流は今よりも海面が低かった当時の日本海沖合まで押し出され、その後対馬海流がその軽石を運んだことが示唆される。火砕流は同心円状に広がったが、たまたま宇部、山口、秋吉台にかけて保存条件に恵まれたため、堆積物が現存しているものと解釈される。たとえば、瀬戸内の中国側には最終間氷期の海進によるいわゆる中位段丘は、宇部付近を除いてよく発達していない。佐田岬半島にもこうした段丘は皆無である。

本火砕流と同時の降下火山灰（阿蘇 4 火山灰）は、研究の当初意外にも四国、中国、近畿、東海ではなかなか見いだせなかったが、中部・関東・東北・北海道と異常に遠い諸地域で、10cm以上の厚さで見いだされた（町田ほか、1985）。四国・中国・近畿などではテフラは風化しやすくまた保存条件がよくないため露頭観察地点が少なかったのである。火砕流堆積物も然りであり、私どもがマッピングしたのは、数 m 以上の厚さがある部分、溶結した部分、堆積後すぐに別な地層で覆われた部分など限られた条件下のものだけである。阿蘇 4 は堆積後 9 万年近くの長い年月が経っているため、大部分は失われたものと考えられる。なお、現在肉眼で阿蘇 4 火山灰が地層として確認できるもっとも離れた場所は、阿蘇から東へ 2900 km も離れた北西太平洋のシャツキーライズ周辺の海底である。それは日本列島起源の広域火山灰としては列島全域を覆い北西太平洋・日本海に及ぶ最大の分布面積と堆積量をもつ。

ところで伊方原発敷地とその周辺には、この阿蘇 4 火砕流堆積物は見いだせないのので、起伏に富むこの地域には火砕流は流下しなかったという見解がある。上記したように本テフラの広域分布性からすれば、この地域もかつて火砕流に覆われなかった筈はない。それが現在見つけられないのはなぜか。

一般に谷底のみならず斜面も覆って流動し低地に堆積した火砕流堆積物は、溶結して固結したり、すぐ新たな別な地層で覆われたりするような場合を除くと、時間の経過とともに重力で崩れたり流水で侵食されたりして、消失する。とくに斜面では侵食が速い。ましてやこのテフラは噴火・堆積後約 8.7 万年も経過している。このため気温変化や降水で風化・粘土化し、圧密を受け、さらに風、生物、人為的な作用などのために一般には保存され難い。

四国電力は、佐田岬半島などの段丘面において、阿蘇 4 起源の粒子（角閃石）が確認されたとの報告をしている。彼らはこれを降下火山灰だとして火砕流が到達してい

ない証拠として挙げているようだが、わずかな粒子からその起源が火砕流堆積物なのか降下火山灰なのかを峻別することは不可能である。阿蘇4起源の粒子は辺り一面にばらまかれた筈であり、のちに再堆積したものも当然ある。一般にフィールドで火砕流堆積物と降下火山灰を見わけするには、粗粒部（軽石や岩片などを含む）の篩い分けや周囲の堆積状況から判断するしかなく、辺縁部に近づくほど判別は困難となる。

伊方原発敷地から南東へ20-25 kmとごく近い西予市の肱川上流に小さな宇和盆地がある。ここは湖、湿地、河川氾濫原などと変化したものの、四国西部では堆積条件も保存環境も最も良好なところで、九州諸カルデラ火山からのテフラの情報や環境変化とともに的確に知ることができる。そのため試錐調査が盆地内の数か所で行われた。そのコアには粘土層や砂層に挟まれて多数のテフラ層とテフラ起源の粒子集中帯が認められ、多くのテフラ層が同定されている。複数の研究報告は、必ずしもすべて一致しているとはいえないが、地表から深さ7.5mの新しいコアに限ると、7.3千年前の鬼界アカホヤ(K-Ah) (=欠如しているコアが多い)、3万年前の始良Tn(AT)、それに阿蘇4(Aso-4)の3テフラ層は明確に同定された。肉眼で観察できるテフラの厚さは大野ほか(2008)およびTsuji et al(2017)によると、AT:1.8mないし1.9m(上層は二次的堆積物)、Aso-4:1mおよび0.3mである。K-Ahは欠如するか周辺地域のそれより薄い。それは表土に近い人為的に乱された可能性が大きい。またコアによってテフラの厚さが相違するのは流水による侵食・堆積、風化・粘土化・圧密、コア抜き取り時の欠損などの問題があるためと思われる。厚い値もそれが原初の堆積層厚であるとは限らない。風化・侵食・あるいは二次的テフラの追加堆積などが起こるからである。

いずれにしてもこの地域にAso-4はかなりの厚さで堆積したことは事実である。どの報告でもそれが火砕流としてか、降下物として堆積したかは判定されていない。しかし厚さが1mと報告されたコアがあることは重要で、ここが火砕流から降下火山灰に移行する地域に当たることが推定される。K-AhやATの場合、火砕流の末端では厚さ1m内外のmassiveな火山灰はよくみられる。宇和盆地での厚さ1mのテフラは粒度組成や層理などを詳しく調べて堆積機構を探る必要がある。

この種の大噴火が与えた影響については、考古学的にもっともよくわかっている鬼界カルデラ7.3千年前のK-Ah噴火が示唆的である。その火砕流堆積物の中には、多くの炭化した木片が確認されており、東シナ海を50km程度は渡った火砕流もなお高温と破壊力を有していたと考えられる。現在の鹿児島県の火砕流分布と周辺の地域では、噴火前に盛行した縄文前期の土器文化は大打撃を受けてほとんど姿を消す。文化は途絶えるか、ほとんど無人地域となったと考えられている。植物化石や土器編年の研究ではそこに樹林が復活し、改めて人が渡来し新たな縄文文化を開始するまでに数百年の時間を要したらしい。

2) 四国西部に堆積したテフラから見た九州諸カルデラの巨大噴火史：その頻度と間隔

上記の宇和盆地試錐コアでは、K-Ah、AT、Aso-4 の下位に多数のテフラが記載・同定された。川村・篠原 (2008) では、過去 100 万年間少なくとも 25 層、また大野ほか (2008) では 70 数万年間 40 層、Tsuji et al (2017) によると 60 万年間 52 層、うち九州における既知のテフラと対比・同定できたのは 15 層。いずれも詳しい岩石記載的特徴 (火山ガラスや鉱物、屈折率、化学組成など) が綿密に調べられ、標準的なテフラ試料と比べて同定された。対象コアが違い、また報告者により同定テフラの数が異なるのは、試錐地点によって二次的な堆積、侵食、あるいは試料採取密度に違いがあるからであろう。

これらはほとんどすべて南・中九州のカルデラ火山に由来する。この中で、伊方原発にもっとも近い阿蘇カルデラ由来のテフラに注目してみる。約 25 万年前の Aso-1、約 14 万年前の Aso-2、約 13 万年前の Aso-3、約 10 万年前の Aso-ABCD、および上記した 8.7 万年前の Aso-4 の 5 層が確認された。これらはいずれも四国のみならず近畿地方から中部地方とそれ以遠の地域にも見出せる、VEI7 級(Aso-ABCD は VEI6 級)の噴火の産物である。

これらの噴出年代については、阿蘇カルデラの場合、巨大噴火の発生間隔は最長で約 11 万年、最短 1 万年弱ときわめて **random** である。また最後の巨大噴火からすでに 9 万年近く経過した。なお巨大噴火の間の時期にも中小規模の噴火は高頻度で起こった。大火砕流堆積物との間に、降下テフラ層が多数あるからである。これは火山近傍の調査からわかっていて、ほとんどがカルデラ内に生じた成層火山群の噴出物である。主なスコリア層や軽石層には名称が付けられている (小野ほか、1977)。宇和盆地のコアでそれらを明瞭に認知できないのは噴火規模がさほど大きくなかったことと特徴が際立っていないからである。

個々のカルデラ火山はそれぞれ過去数十万年間に巨大噴火を繰り返したが、その活動史は多様で、反復性について単純な統計的予測をほとんど不可能にしているようにみえる。宇和盆地コアでは比較的短時間に大噴火が発生したことがあり、逆に長い静穏期もあった。特に Tsuji et al(2017)の同定結果で注目されるのは、K-Tz、Aso-ABCD、Ata の 3 層の噴出は約 9.5 万年前から約 10.5 万年前までの間に集中している点である。年代測定の誤差を考慮すると数百年以下の短い間隔で起こったことも否定できない。

過去 60 万年間の九州の諸カルデラ火山起源 VEI7 級の噴火は日本各地に分布する広域テフラ層の年代研究から詳しくわかってきた。次のリストのように規模と周期性の有無を検討できる程度にデータが得られたといえる。

九州の5つのカルデラの巨大噴火のテフラ名と年代
数値は千年単位(>200の場合誤差は5%程度ある)。*をつけたテフラはVEI6級、ほかは
VEI7級

鬼界カルデラ Ksd: 520 Kob: 140 K-Tz: 95 K-Ah: 7.3
阿多カルデラ Ata-Th: 240 Ata: 105 Ikd*: 6.4
始良カルデラ Hwk: 580 Hgw: 450 A-Fk*: 110 A-Iw*: 60 AT: 30
加久藤・小林カルデラ Kb-Ks: 530 Kkt: 330
阿蘇カルデラ Aso-1: 250 Aso-2: 140 Aso-3: 130 Aso-ABCD*: 100 Aso-4: 87

このように、過去60万年で九州の巨大噴火は19回発生している。頻度は約3万年に1回である。前述のように周期性は認められず、前回の巨大噴火が約7300年前であるから2万年は大丈夫などという評価はできない。仮に火砕流が直接伊方地域を襲うことにはならなくとも、いずれの巨大噴火でも、降下火山灰層厚の基準値とされている15cmを大きく超える火山灰を四国西部に積もらせる可能性がある。

従来原発直下に活断層と疑われる地形が認められた場合、原発立地は適合しないと、規制委員会から見解が示されたと記憶する。直下の活断層ではなくとも、原発周辺の活断層は基準地震動の評価などに大きく関係する。原子力規制委員会は、活断層とは第四紀の過去12.5万年間(または40万年間)において活動していないという地形地質的証拠のあるものという定義をしている。一方で、伊方原発敷地へ影響する可能性の高い九州の前記5つのカルデラ火山では、それぞれ1万年～数10万年おきに巨大噴火が発生しており、活断層と同じ時間範囲のイベントである。

大地震とともに火山大噴火も人類社会に大きな影響を与える。原発立地・稼働にはより慎重な対応が必要である。

引用文献

- Antonio Costa, Yujiro J. Suzuki, Takehiro Koyaguchi (2018) Understanding the plume dynamics of explosive super-eruptions, Nature Communications, 9:654,
川村教一・篠原俊憲 (2008) 愛媛県西予市宇和盆地宇和層および中位段丘構成層中の火山灰の層序と対比. 地質学雑誌、114、415-425.
町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布するテフラ—始良 Tn 火山灰の発見とその意義 科学 46、339-347.
町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰。第四紀研究、17、143-163.
町田 洋・新井房夫 (2003) 「火山灰アトラス」 東大出版会
町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1978) 阿蘇4火山灰—分布の広域性と後期更新世指標層

としての意義。火山、30,49-70

小野晃司・松本柁夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信伸（1977）竹田地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1図幅）、地質調査所、156 p.

大野裕記・西坂直樹・池田倫治・市川清士・須貝俊彦・古澤 明・柳田 誠・佐藤賢・守出益宗（2008）愛媛県宇和盆地における約70万年間の連続コア（予報）。第四紀学会講演要旨 18, 108-109.

Tsuji, T., et al. (2017) High resolution record of Quaternary explosive volcanism recorded in fluvio-lacustrine sediments of the Uwa basin, southwest Japan. *Quaternary International*, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.10.016>