

科学の
峰々

71

と き：2012年10月17日
ところ：東京科学機器協会会議室

東京農工大学 工学府機械システム工学専攻 教授

亀田 正治 先生 に聞く

“流体力学”と火山爆発・高速流れ ・衝撃波・気泡の研究 下

聞き手：南 明則 日本科学機器協会 広報委員
藏満 邦弘 同 専務理事
森尾 武男 同 事務局参事
(取材・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)



亀田 正治先生のプロフィール

1989年 東京大学工学部機械工学科卒業
1991年 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻修士課程修了
1994年 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了
1993年～1994年 日本学術振興会特別研究員
1994年～1997年 東京農工大学工学部機械システム工学科講師
1997年～2009年 東京農工大学工学部機械システム工学科助教授
2009年～現在 東京農工大学工学府機械システム工学専攻教授
1997年 文部省在外研究員として独・アーヘン工科大学・
米・ジョンスホプキンス大学・カリフォルニア工科大学に滞在
2001年 文部省在外研究員として独・ダルムシュタット工科大学に滞在

〈研究分野〉

高速流体力学、混相流体力学、流体計測

〈学会〉

日本機械学会
日本航空宇宙学会
可視化情報学会
日本流体力学会
日本混相流学会

〈賞〉

日本機械学会奨励賞(研究)(1997年)
英国機械学会Thomas Hawksley Gold Medal(最優秀論文賞)(2009年) など

〈著書〉

泡のエンジニアリング(テクノシステム、2005)
非侵襲・可視化技術ハンドブック(エヌ・ティー・エス、2007)
火山爆発のダイナミックス(東京大学出版会、2009)
(いずれも分担執筆) など

博物学的な火山研究から 数理的なアプローチへ

— これまで亀田先生が火山噴火の解明に取り組まれるようになったきっかけなどをお聞きしてきましたが、引き続き、日本ではどのような火山研究が進められているのか、お聞かせいただけますでしょうか。

亀田 流体力学を研究していた私に火山学の研究者から声がかかった背景には、火山学の方向性の変化がありました。

火山噴火はバラエティに富んでいるため、以前の火山学は、個別の火山や個別の噴火の研究に重点を置いた観測を主体とする博物学的な色彩が濃かったようです。状況が変化したのはおそらく20年前くらいのことだと思います。

火山学者の中から、「火山現象をつかさどる物理法則」を系

統的に整理して数理的なモデリングを立てることや、観測では見ることのできない火山内部で進行するマグマや水の動き（素過程）を明らかにする室内実験を行うべきだ、という機運が高まったようです。

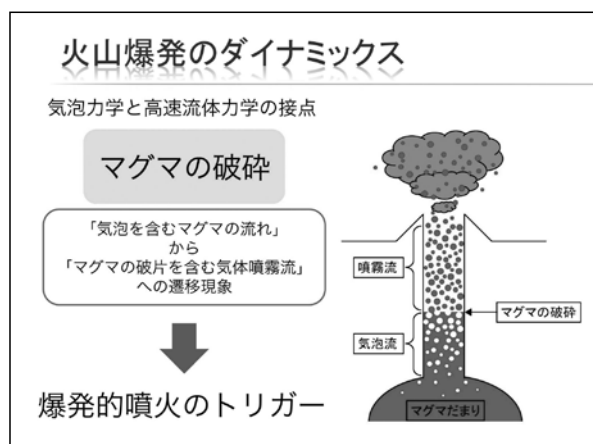
自分自身が研究に本格的に取り組むようになったのは、文科省の科研費特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」（2002年～2006年）の計画研究に参画してからです。このプロジェクトは、先に述べた機運に沿って「噴火現象の仕組みを体系的に理解する」ことを目指したもので、火山学者だけでなく、私のような機械系の流体研究者も多く加わっていました。

マグマの圧力低下によって 火山噴火が起こる

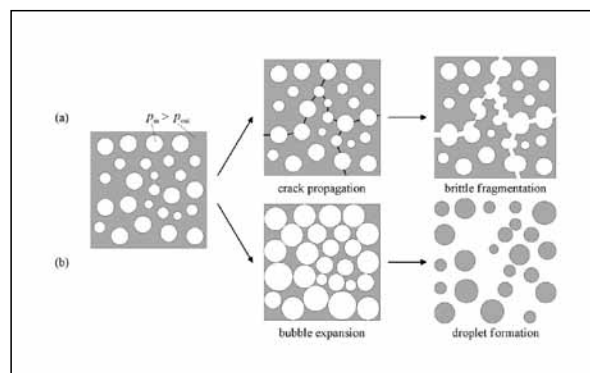
— 火山噴火はどのようにして起こるのでしょうか。

亀田 爆発のきっかけは、マグマ圧力の低下にあるとされています。私たちの興味は、圧力の低下によって、どのような条件で発泡したマグマが爆発（破碎）されるのか、ということをはっきりさせることです。長年行ってきた室内実験や解析を通じて分かってきたことは、激しい爆発のきっかけとなるようなマグマの破碎には、破壊に必要な力が加わっているに加えて、マグマ自体が固体的な性質を示すことが必要だ、ということです。

地震とは異なり、火山は形がはっきり見えているので、ある程度の観測体制を有する火山であれば、噴火の発生自体を見落とす可能性は低いとされています。しかし、我々の実験からは、破壊に必要な力が加わっている際のマグマの挙動はmetastableで、爆発的な噴火になるか否かは、発泡マグマの不均質性に強く依存しているようだ、ということが分かりつつあります。



火山噴火は高速流体力学と気泡力学の接点にあり、どのような条件で発泡したマグマが破碎するのかを明らかにしようと室内実験や解析を行ってきた



マグマの破碎過程には、(a)亀裂の発生、伝播による分裂と(b)気泡膨張後の液膜不安定による分裂、という2つのシナリオがあり、(a)の過程を経ると、マグマ内に閉じ込められていたガスが急激に放出されるため、大規模な爆発につながると考えられている

これは本当の意味での「私見」ですが、地震と同様に、火山噴火の発生や進行過程の予測には、確率的な要素を含めざるを得ないのではないかと考えています。

—— ちなみに、先生が参画された文部科学省のプロジェクトは、2006年をもって完全に終了したのでしょうか。

亀田 はい。このプロジェクトは5年計画で実施され、火山爆発の体系的な理解、すなわち、物理的な法則の解明を目差した研究が行われました。プロジェクト自体は2006年で終わりましたが、終了後もいろいろな研究が続けられています。

観測体制の充実によって 噴火の発生自体は予測可能

—— 今までの先生のお話と重複するところがあるかもしれませんが、いくつかお聞きしたいと思います。現在の火山研究からすると、富士山などがいつ噴火するのか、前もって分かるということでしょうか。

亀田 富士山は観測網が充実しているので、噴火するとすれば、その観測網に何らかのことが引っかかるはずで、地震のように予兆もなく、火山噴火が起こることはありません。専門の先生からは、これまで複数回の火山噴火を経験した火山では、観

測から火山活動の高まりを把握し、噴火開始時期をおおよそ予測できる段階にある、と聞いています。

しかし、同じような噴火を繰り返している火山であれば経験に基づいて噴火時期を予測することは不可能ではないと思いますが、経験則だけからすべての噴火を予測することは無理なのではないでしょうか。

—— 火山が噴火したあと、どのような動きをするのかは予測できるのでしょうか。

亀田 それはさらに難しい問題です。例えば、10年前のことになりますが、当時の火山学の知識を総合しても、三宅島の火山噴火がどのような経過をたどるのかをつかむことはできなかったようです。

—— それらを予測するための研究としては、どのようなものが行われているのでしょうか。

亀田 これまで述べてきたような観測網の充実化、数理的なモデルに基づくシミュレーションや私たちのような室内実験を通じて火山噴火の素過程を明らかにすることに加えて、火山の地下構造やマグマの動きを計測する手法を研究しているグループがあります。

宇宙線の中に含まれるミュオンという名の素粒子を使うと、

山体を透過する素粒子の量を画像計測することによって山のどこに空洞やマグマがあるのかを計測することができます。また、雲仙普賢岳では、10年ほど前に科学的な掘削が行われ、マグマの通り道である火道の様子などが明らかになるなど、さまざまな方法で内部を把握しようという努力が続けられています。

しかし、火山内部のマグマの動きをリアルタイムで計測する技術を確立するのにはまだ時間が必要だと思います。

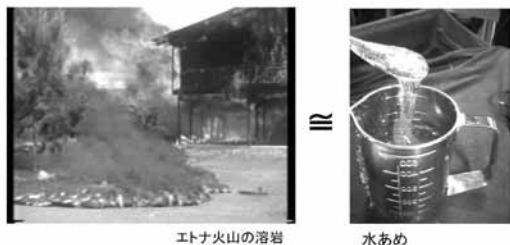
—— マグマが噴き出すためには、マグマ自体が固い動きをするということでした。一般的にはマグマというと、どろどろと柔らかいものを想像するように思いますが、そのような状態では噴火は起こらないということでしょうか。

亀田 いいえ、柔らかいマグマでももちろん噴火は生じます。マグマの固さ（高い粘度）が必要なのは、広範囲に火山灰をまき散らすような爆発的な噴火の発生です。

たとえば、ハワイのキラウエア火山や伊豆大島のマグマは、比較的やわらかく（粘度が低く）、発泡したマグマは火口まで穏やかに達し、どろどろと流れ出ます。このようにやわらかいマグマからは激しい爆発は生じません。

これに対して、桜島などは、

マグマ模擬材料～水あめの利用



エトナ火山の溶岩と水あめ。マグマのように粘り気があり、かつ、ゴムのような伸び方をしない、という点で、水あめはマグマの性質をよく表している

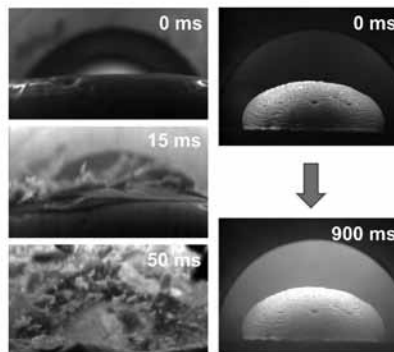
マグマが比較的固く（粘度が高く）、マグマの中に閉じ込められたガスはマグマの殻を破るように急激に噴出するため、爆発的噴火と呼ばれる激しい噴火が起きやすいとされています。室内実験や理論的な解析からは、マグマに加わる圧力変化の急激さとマグマの粘度の兼ね合いで爆発的な噴火が生じるかどうかが決まっているのではないかと考えられます。

— 先ほどの話で、室内実験によって、火山内部で進行するマグマや水の動きを明らかにする機運が高まったとありましたが、火山の噴火には水の影響も大きいのでしょうか。

亀田 そうですね、火山噴火の大きな要因は、マグマに水が含まれることです。日本の火山は海からのプレートが沈み込むところにあるので、海水が相当地

下に入り込み、常に水が供給されている状態にあります。

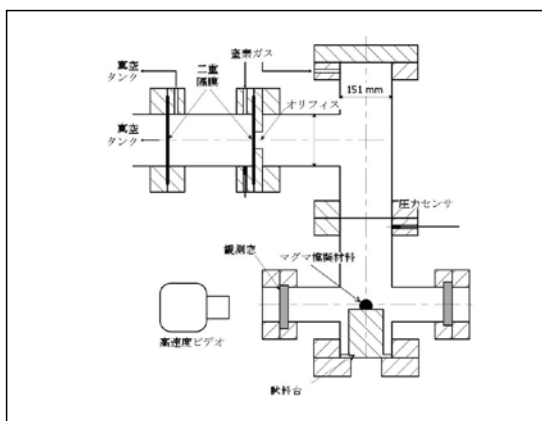
このように水を含んだマグマが火山噴火を起こすことは分かるのですが、前にも述べたとおり、どのように噴火をするのか、現状では正確な予測は難しいと思います。特に噴火開始後の進行過程については、予測も確率論にならざるを得ないだろう、と考えています。



マグマ模擬材料による破碎実験の様子。（左）直ちに破碎された例、（右）破碎せずに膨張した例。このような実験を丁寧に行うことで、破碎の有無をつかさどるメカニズムが明らかになりつつある

国はこれまで以上にプロジェクトへの支援を

— これまでのお話のように、亀田先生の研究は多岐にわたっていますが、現代の科学研究における課題や問題点があれば、お聞かせいただけますか。また、その解決にはどのような対策や取り組みが必要でしょうか。



急減圧破碎模擬実験装置の図。火道内部の高圧を模擬するため、100気圧まで加圧することが可能であり、圧力を速やかに低下させるための工夫が施されている。また、水あめを模擬材料として用いることで、常温での実験ができるため、欧州で行われている同種の実験に比べて大きな試料を使えることも特徴の一つとなっている

亀田 メジャー（主専攻分野）に対する確固たる識見を有しつつ、異分野の内容にもある程度の知見を持つような、幅広い視野を持った人材を育てることが重要なのではないかと考えています。このことは、現在の研究者養成における需要と供給のミスマッチを解消するためにも、教育する側が強く意識する必要があります。

また、視野を広げる工夫として、国にはこれまで以上に学際的なプロジェクトへの支援を行ってほしいと思っています。先に紹介した科研費特定領域研究でも、その活動を経た結果として、機械系の研究者顔負けの大規模数値シミュレーションや精密な室内実験を行う火山学研究者が増えているのは良い例だと思います。

——異分野の研究者の交流を活発にするためにも、教育者と国家プロジェクトの役割が重要ということですね。

亀田 現代は1つの専攻分野だけでは解決できない問題が増えていると思います。そして私自身は、専攻を超えて研究に取り組んだところに、サイエンスのフロンティアがあると信じています。

そのためにも教育者は、研究者を育てる上で、1つのメジャーに十分な知見を持たせるとともに、多くの分野に関心を持た

せるようにしなければいけないと思います。

私自身はこれまで火山研究や感圧塗料の研究開発などに携わってきましたが、きっかけがなければ異分野であるそれらの研究には手を出さなかったと思います。参画したきっかけは国家プロジェクトでしたので、私の経験から言えば、国にはそういうプロジェクトをもっと増やしていてもらいたいと思います。

それと国民の理解も必須だと思います。平成7年に始まった科学技術基本計画のおかげで、大学などで行われる科学研究に対しては、この20年は多額の資金が投入され充実していましたが、今後も同じように資金が投下されるかは分からず、綱渡りのようなところがあります。

一例ではiPS細胞の研究が挙げられると思います。先日、山中教授がノーベル賞医学・生理学賞を受賞しましたが、とても良かったと思いました。国の財政状況が悪いので、今回ノーベル賞を取らなければ、研究資金を集めるのに苦労したのではないかと思います。

——亀田先生のご研究では研究費は潤沢なのでしょう。

亀田 私はプロの研究者になって20年ほどが経ちますが、外部資金には比較的恵まれていたのではないかと思います。ただし、20年後、私の次の世代の研究者

たちが同じように研究費を得ることができるかどうかは、国の財政状況のことがあるので、かなり心配しています。

それと、研究で一番お金がかかるのが人件費なのですが、日本では人にあまりお金をかけていません。欧米では、博士課程の学生には、プロの研究者の卵として給費があることが普通ですが、日本では多くの学生は授業料を払って研究を行っています。

また、有期の研究ポストはそれなりに用意されているものの、常勤の研究者のポストが増えていくわけではないので、優秀であっても、若い研究者からは、来年も研究を続けられるかどうか分からない、どうすればいいのかといった声が聞かれます。

——産業界との共同研究、いわゆる産学連携については、どのようにお考えでしょうか。

亀田 東京農工大学は産学連携には力を入れており、私の周りの先生方は産学連携を活発に行っていますし、私自身も積極的に推進すべきだと考えています。ただ、私の場合は、主な研究パートナーは宇宙航空研究開発機構の研究者なので、官との共同研究が中心です。また、私の興味の中心が自然科学にあることから、モノづくりの企業との連携は一部にとどまっています。

産学官との連携

——先生にはまだ先のことと思いますが、定年についてはどのようにお考えでしょうか。

亀田 日本の場合、研究意欲も能力もまだあるのに、年齢によって強制的に退職してもらう制度になっています。欧米では、研究者が自分で研究資金を獲得できるうちは、本人が辞めると言わない限り、研究を続けられます。

日本でも制度の改革は必要かもしれませんが、この問題は若い研究者の就職口を減らすことと表裏一体の関係にあり、簡単にこうだということは難しいように思います。

海洋・深海研究に 次なる大きな可能性が

——先生の一連の研究は自然や地球などを幅広く対象にされていますが、今後、取り組んでみたい研究分野や関心を寄せている対象があれば、お聞かせください。

亀田 私がフロンティアだと思っているのは、海洋（深海）です。資源の供給源としての可能性だけでなく、地球規模での二酸化炭素などの物質循環を把握するという点でも、生命の起源を探るという点でも重要なフィールドです。

どのような形になるかはまだ決めていませんが、近々、物質

循環の研究に関わりたいと考えています。

——昨今、日本近海には豊富な海洋資源が眠っていると言われるようになりましたが、まだまだ研究の進んでいない分野ですね。

亀田 日本は世界で第6位の広い水域面積（領海と排他的経済水域）を持っていますが、深海は宇宙より行きづらく、海面から11kmより先にはまだ人が行っていないです。

また、よく知られた話ですが、二酸化炭素の循環における海洋の役割は非常に大きいにもかかわらず、その仕組みはまだまだ解明されていません。

機械系の研究者の中には海面で二酸化炭素がどう取り込まれているのかを研究しているグループがありますが、この分野もさまざまな研究を総合して解明に取り組むべきだと思います。

これまでも協会会員企業の 科学機器を利用

——最後に、研究サポート産業としての科学機器業界に身を置くメーカーやディーラー、あるいは団体に対して、ご要望やご意見がありましたらお願いいたします。また、励ましのお言葉などを賜わることができれば、我々も仕事への励みにできると思います。

亀田 本インタビューを受けるということで、貴協会のホームページの会員企業リストを拝見したところ、これまでに、私がお世話になった数多くの会社の名前を連ねていることを知りました。

私自身も、感圧塗料というセンサの開発を通じて、多くの分野にわたる知識だけでなく、「商品」としての機能や信頼性を得るためには、単なる研究とは比べものにならない労力が必要であることを感じています。そのような労力に対して感謝するとともに、日本の発展のためにも、不断に開発努力を続けてほしいと願っています。また、計測器がないとそれを自分たちで作らなければなりませんが、幸い日本にはさまざまな計測器があり、それを利用できることを大変ありがたく思っています。



次号「科学の峰々」1月号では
公益財団法人 日本科学協会
大島 美恵子 会長 に
生物化学・病態代謝学・公益学
についてお話いただきます。