

# 水槽を用いた噴煙のアナログ実験

下 司 信 夫<sup>1)</sup>

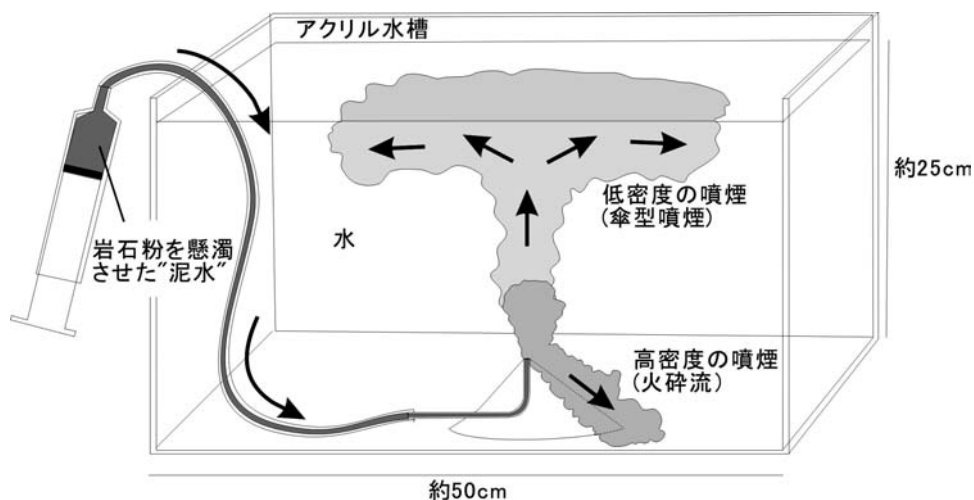
## 1. はじめに

火山噴煙は火口から噴出する火山ガスと火砕物の混合物であり、大気との混合や火砕物の離脱による密度の変化により噴煙柱や火砕流といったさまざまな挙動をするため、そのダイナミクスは近年の火山学の主要な研究テーマのひとつである。とくに、噴煙柱の崩壊によって発生する火砕流は大きな災害要素であり、また上空に広がる噴煙は広い範囲に火山灰を降らせる。従って火山噴煙の挙動を理解することは火山防災の上でも重要である。一方、大気中に立ち上る噴煙や、火口から高速で流下し広がる火砕流の噴煙は、一般の人々にとっても火山活動をイメージするときにもっとも身近な現象の一つではないだろうか。ここでは、火山噴火としてなじみの深い現象である噴煙の挙動の基本的な原理である密度による上昇と下降を理解するために、大気を水で置き換えたアナログ実験を行なった。

## 2. 実験の準備

アクリル水槽(約40×30cm, 深さ約40cm)に水道水を深さ約30cm注ぎ、その底面から水中に向かって上向きに泥水を噴出することにより噴煙噴火をアナログ実験化した(第1図)。噴出する噴煙のアナログ物質としては、自動粉碎装置で粉碎して発生した岩石粉末(径~数10 $\mu$ m)約10gを約500mlのイオン交換水に懸濁させて準備した。そのままでは拡散すると噴煙が薄くなり観察しにくくなるので、イオン交換水に少量の硝酸銀を溶解させた。この工夫により、水道水中に注入された噴煙が周囲の水と混合して次第に希薄になっても、水道水中の塩素イオンと銀イオンとの反応により塩化銀の白濁が発生するため、噴煙を視認しつづけることが容易になる。

噴煙を水底から鉛直上向きに噴出させるために、直角に曲げた“折曲がりストロー”を水槽の底に固定し、その一方に約30cmのゴムチューブを介して20cc



第1図 実験装置の概略図.

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: アナログ実験, 噴火, 噴煙, 火山, 水槽

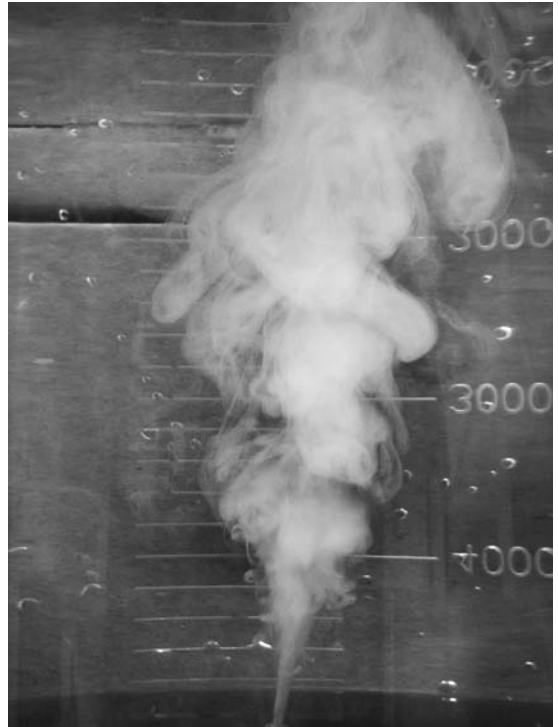
の注射器を接続して、岩石粉を懸濁させた水溶液を注入した(第1図)。噴煙の密度は、岩石粉末を懸濁させる水の温度と岩石粉末の量を調整することで調整した。周囲の水より軽い噴煙を作る場合には約90℃の熱湯を用いた。周囲より重い噴煙を作るためには常温のイオン交換水に岩石粉を加えたものを用いた。噴煙実験を繰り返すと水槽全体が濁ってくるため、4~5回実験を行なうたびに水槽の水を入れ替える必要がある。大型水槽の水の入れ替えにはかなりの時間を要するため、実験はおおむね1時間に1ないし2回のセットで行なった。

### 3. 実験

水槽の中で噴火の実験をすることから「海底噴火の実験ですか?」という質問を何度も受けた。そこで、実験に際してわれわれは大気という流体の底に住んでおり、陸上の火山の噴火もまた大気の中で起こる現象であること、そして噴煙の挙動は周囲の大気との相互作用により複雑な挙動を示すことなどを最初に説明し、大気のアナログとして水を使った実験を行う意味について理解していただいた。説明に際しては、大気中・水中での噴火を問わず、噴煙とそれを取り囲む周囲の粘性流体との相互作用や比重の大小が重要であることを強調した。

実験に先立ち、まず大気中の噴煙の挙動について、上昇する噴煙中と流下する火砕流という現象が存在することを、実際の噴煙の写真を見せながら説明した。そして、いずれの現象も、気体(火山ガス+大気)と火砕物粒子の混合物からなるという点では同じであることを説明した。そして、煙が高温であるために周囲の大気よりも密度が小さく、浮力によって上昇する場合として煙突から昇る煙を例に挙げて説明し、また低温で周囲の大気よりも重い煙の例としてドライアイスによる白煙が床に沿って広がる現象などが挙げられることなどを、それぞれの現象の写真を示しながら説明した。

こうした煙の基本的な挙動の説明の後に、噴火現象で発生する噴煙の挙動もまた周辺大気との密度によって支配されていることを解説した。そしてこの水槽を用いた実験が、噴煙の密度の違いにより、水中を上昇する噴煙を形成する場合と、途中から噴煙が崩壊して水底を流れ下る噴煙、すなわち火砕物重力



第2図 水槽実験で形成された水中噴煙。噴煙の表面で渦が発生し、周囲の水を取り込みながら噴煙が上昇する様子が再現されている。

流的な噴煙を再現することを目的としていることを解説した。

以上のような解説を前座として行なった後に、水底から密度の異なる懸濁噴煙を噴出してその挙動を観察してもらった。噴煙の密度は、水に加える岩石粉末の量と懸濁させる水の温度を変えることでコントロールし、周囲の水よりも軽い噴煙と重い噴煙を作り出した。ごく細かい岩石粉末を少量懸濁させた噴煙は、水底から噴出させると浮力によりゆっくりと上昇し、水面下まで上昇した後に側方に広がって傘型の噴煙を形成した。また上昇中に周囲の水を巻き込んで、噴煙の表面にうずを形成しながら次第に噴煙が拡散する様子が再現できた(第2図)。さらに傘型の噴煙部からは懸濁させた粒子が徐々に離脱して降下物が形成される様子も観察できた。一方、多量の岩石粉末を常温の水に懸濁させた噴煙は、噴出直後に崩壊し水槽の底に流れ下り、「火砕流」が再現された。

噴煙実験についての説明をしながらまずデモンストラーションをしてみせ、その後子供に注射器を操作

してもらい懸濁噴煙を噴出させ、自分の手で“噴火”を発生させてもらった。勢いよく噴煙を噴出させても、比重の大きな濃い懸濁噴煙がすぐに崩壊する様子に気づいた子供も多く、またもくもくとした噴煙が突然噴出する様子は理屈ぬきに子供の興味を引いたようである。自分の手で実験できるということは子供にとって魅力的である。

#### 4. 明らかになった問題点

周辺を満たしている水よりも軽い噴煙を作り出すために今回の実験では粒子を懸濁させる流体として熱湯を用いた。しかし、懸濁させる粒子の量によっては十分な密度差を作ることが出来ず、浮力による上昇を明瞭に示すことが難しかった。また加える岩石粉末の量を間違えると密度が周囲よりも大きくなり、上昇するはずの噴煙が下降して“火砕流”になってしまったりした。またしばしば長いチューブの中を懸濁水溶液が移動する間に岩石粉末が沈殿してしまい、噴煙の密度が変わってしまうようなことも生じた。こう

した粒子の分離を避けるためには、墨汁などで着色した水を噴煙として使用するほうがよいのかもしれない。噴煙と周囲の水とのより大きな密度差を作るためには、周辺の気体である水の密度をより大きくすることが必要である。たとえば、食塩水などを用いることで周囲の水の密度を大きくするなどの工夫が必要であろう。ただし、今回の展示のように同じ水槽を用いて何度も繰り返し実験するとき、そのつど大量の食塩水を作成するのは手間がかかる。

また子供を含む一般の人を対象とした展示実験としてこのようなアナログ実験を行ない十分な興味をひきつけるためには、単なるアナログ実験よりもリアルな設定が必要である。たとえば、今回は水槽の底の火山はストローを折り曲げた筒がむき出しの構造であった。実験としてはそれで十分であるが、たとえば火山体の立体模型を沈めておいてその火口に噴出口を設置するなど、より実際の噴火現象を想像しやすくするような工夫が必要であろう。

---

GESHI Nobuo (2006) : Demonstration of analogue experiments of eruption cloud in a water tank.

<受付：2006年10月2日>