



地球内部へ迫る

高橋栄一 研究室 ~ 地球惑星科学専攻



高橋 栄一 教授

東工大の石川台地区に入っすぐに見える石川台2号館。これは本館と並ぶほど歴史のある建物で、地球惑星科学専攻の研究室が集まっている。その建物の中央にあるのが高橋研究室の有する実験室だ。ここには世界屈指の数を誇る実験装置がそろっている。そしてこの恵まれた実験環境を使い、世界各地から研究者がやってくる。

高橋研究室では、そのような豊富な実験装置を使い、様々な分野に研究の対象を広げている。外からは見えない実験室の様子を見ていこう。



「圧力」という条件のために

地球内部の研究をするにあたって厄介なのが「圧力」だ。人間の住む地上と地球内部では、圧力が違うので物質の挙動がかなり異なってくる。地球内部の鉱物の状態を調べるため、ここ高橋研では、様々な圧縮装置を使って地球内部のシミュレーションを試みている。

圧縮装置には、大きく分けて2種類ある。一つは気体を用いて圧縮する装置、もう一つは固体を用いる装置である。気体で圧縮する場合は、試料に対して均等に圧力が加わる(図1(a)参照)。そ

れに対して、固体を用いて圧縮すると、気体よりは大きな圧力を出せるが、上下方向に加わる圧力が他の方向よりも大きくなってしま(図1(b)参照)という問題がある。そのため、気体で圧縮できる範囲内の圧力(高橋研究室では5000気圧まで)では気体で圧縮して、それより大きい圧力を出したい時には固体で圧縮する。

ところで、固体で圧縮する代表的な装置にピストンシリンダーというものがある。これの仕組みは図2のようになっていて、ピストンを上から油

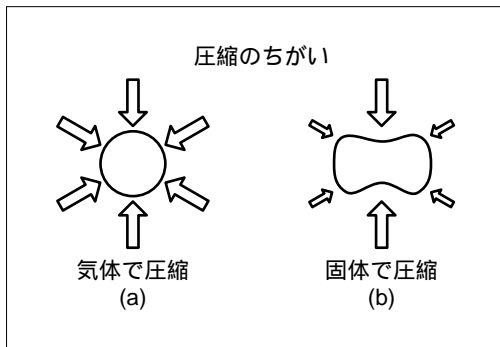


図1 気体と固体での圧縮の違い

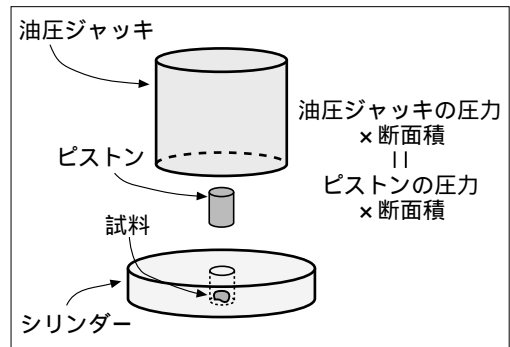


図2 ピストンシリンダーの仕組み

圧ジャッキで押さえつけるというものである。これにはピストンにかかる力を正確に把握することができるという利点がある。なぜならば、(油圧ジャッキがかけている圧力)×(ジャッキの断面積)=(ピストンにかかる圧力)×(ピストンの断

面積)という関係式が成り立つからだ。

高橋研究室では、地球や火山のメカニズム、月や他の惑星の生成などの研究にこうした圧縮装置を使ってアプローチしている。



高橋研究室にある様々な装置

この研究室には1気圧で加熱だけをする装置から、25万気圧を出せる装置までたくさんある。これらの装置を一つ一つ見ていこう。

まず加熱装置(写真1)である。この装置は1気圧のままで1400℃まで加熱できる。また水素やヘリウム、アルゴンなどを使って、地球内部と同じように酸素を乏しい状態にさせることができる。そうすることで、例えば伊豆大島で噴いたマグマの温度を推定する再現実験が可能だ。

次に2000気圧(地球の深さ7~8km相当)1600℃くらいまで色々な圧力と温度を発生可能な、「マグマ溜まりシミュレータ」(写真2)を紹介しよう。この装置の中身は図3のようになっている。この装置を高橋先生は、加熱した後、ワイヤーを電流で切り、試料を落とす工夫をした。アルゴンの比重が1近くになるまで圧縮されているので、切られた試料は水中に沈むようにゆっくり



写真1 加熱装置

落ちる。またヒーターが圧縮容器の上部を加熱している所以、上は高温、下は比較的低温に温度勾配ができています。その中を落ちるので試料が急速に冷やされる。この工夫をする前は、自然に試料の温度が下がるのを待っていたが、これにより水蒸気やその他の揮発成分と溶けたマグマと一緒に存在する状態で、急速に温度を下げて、マグマを凝固させることが可能になった。その結果それらのガスが、マグマ中にどのくらい溶け込めるかと

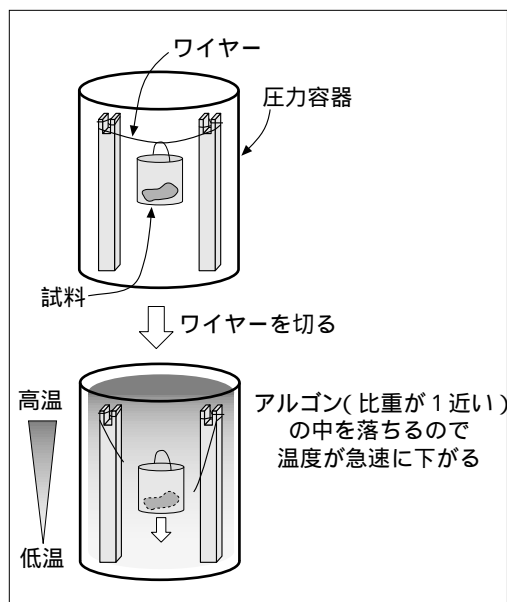


図3 マグマ溜まりシミュレータの構造



写真2 マグマ溜まりシミュレータ

いうのを調べられる。今では、このような工夫をした装置が色々な大学の実験室で活躍している。

次の装置は、先ほどの装置を大型化したもので5000気圧（地球の深さ20km相当）まで出せる。これを使い現在、高橋研究室では富士山のマグマ溜まりの研究をしている。さらに大型化して国内最大の1万気圧（地球の深さ40km相当）まで出るガス圧縮装置を計画中だ。しかしガス圧縮装置は大型化するにしたがって非常に扱いが難しくなる。万が一装置が爆発した時、四方八方に装置が飛び散る恐れがある。そのため法律によって圧縮装置を取り囲む厚重な外枠を付けることを義務づけられるほどである。

続いて固体での圧縮装置の一つピストンシリンダーを見ていこう。高橋研究室には3台のピストンシリンダーがある。1台目の装置（写真3）は高橋先生が大学院生の時に他の大学からよく実験に通っていた、東京大学の物性研究所にあったものである。高橋先生がこの装置を愛用していたので、その物性研究所の先生が辞める時に譲ってもらったものである。

2台目の装置（写真4）は東工大の無機材料工学科の教授だった福永先生が所有していた。福永先生は東工大の誇る超高压の大家で、東工大に来る前は科学技術庁の無機材質研究所にいてダイヤモンドの合成チームを引っ張っていた。その福永先生が、東工大に来たばかりの高橋先生に譲った装置がこれである。

写真3と写真4のピストンシリンダーは、どちらの装置も4万気圧（地球の深さ150km相当）を出すには使いやすく安定している。この2台は油圧ジャッキを大きくしたり、高压に耐えられるよ

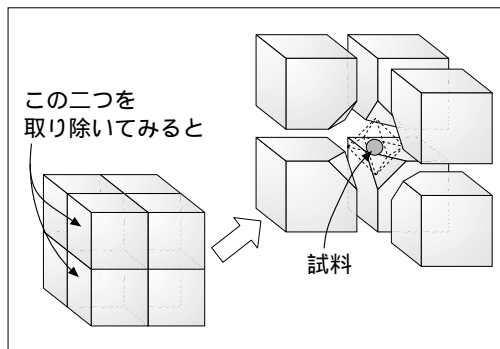


図4 マルチアンビルの構造

うにシリンダーを何重にも作ったりしているため、とても大きくなってしまふ。

3台目の装置（写真5）は、高橋先生自身が製作したもので他のとは一転してかなり小さく、軽い。これは他の2台（写真3・写真4）の大きなピストンシリンダーが4万気圧出すところをこの大きさで2万気圧（地球の深さ80km相当）まで出せる。このような利点に加えて安く装置を作ることができるので、様々な分野での活躍が期待される。

固体で圧縮する装置にマルチアンビル（図4）というものがある。これはピストンシリンダーでは実現不可能な25万気圧（地球の深さ700km相当）を出す。試料は、針の先のように小さいカプセル（やわらかい固体）の中に、超小型耳かき（マイクロスパチュラ）と病院で使用する外科手術用の精密ピンセットを使って入れる。試料の周りの硬い金属を上下から押しつけることによって圧縮している。この装置で今まで調べることができなかった地球の深部の状態をシミュレーションで



写真3

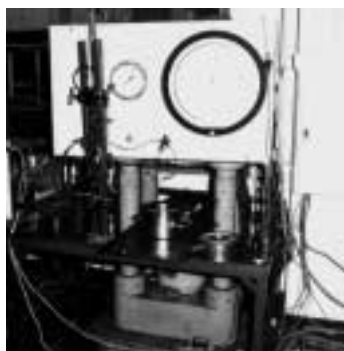


写真4



写真5

きるようになったのだ。

圧縮装置で作ることのできる圧力が、どんどん大きくなっている。そして現在は50万気圧（地球

の深さ1400km相当）を出す圧縮装置の製作を計画中である。高橋研究室は地球の中心へと一歩ずつ迫っている。



圧縮そして分析

圧縮装置について述べてきたが、実験はこれらの装置を使うだけではない。装置で得られた結果を処理し、分析することが不可欠となる。

まず、高圧実験をした後に試料を分析するのが、EPMA（X線マイクロアナライザ）である。これは高速の電子を試料に当てることによって出てきた特性X線を分析して、超高圧実験で合成した試料の化学組成を決定できる。

EPMAとは違った方法で高圧実験の分析をする装置にシンクロトロンがある。これは高温高圧下の状態の試料をリアルタイムで分析する装置である。シンクロトロンは電子を高速で回すための装置で、電子に加速度を与えると、反作用として強力なX線を放出する。これを圧縮装置に照射することで、X線テレビで反応を見ることができる。しかし大型のシンクロトロンは日本に2台しかない。そのため、高橋研では普段は実験室で予備実験をして、シンクロトロンではどのような実験をしたらよいかを調べている。ではシンクロトロン

はどのような時に利用するのだろうか。例えば、地震学的な地球内部の特性を測定する時は、どのように地震波を伝えるかなどの弾性的性質を調べたい。しかしこの性質は「圧力」という条件を取り除くと測定できない。だから地球内部でのその温度その圧力での鉱物の弾性的性質は、その状態でしか調べられない。それを可能にするのがシンクロトロンだ。

そして最後にコンピュータシミュレーションについてである。実験室での反応は地球内部での反応からみればごく小さいスケールで、地球のような大きなスケールを見ることができない。ここで実験データをもとにコンピュータを使ってスケールを大きくすることで、地球全体の様子が見える。それをもとに惑星の形成過程などの大きな視野の予測を可能にする。

これらの分析装置を用いることによって、圧縮装置を使うだけでは分からない情報を得ることができる。



優秀な研究者を残すために

高橋先生は教育についても非常に熱心だ。新しく研究室に所属した学部4年生にはまず最初は何もテーマを決めずに2、3ヶ月先生と一緒に研究する。それでこの人はどんなことが合うのかを考えてから学生の人数に対して3、4倍の研究テーマを作って、その中から選ばせている。そして修士の人はある程度自分で自分の適正が分かっているのので、卒業研究でやった内容を発展させるか、新しく自分でテーマを見つけるかを学生に考えさせて

いる。研究者というのは、研究を自発的にする人であるので、学生が動き出すのをできるだけ援助しようと考えている。そのためにはじめは世の中にはどのような研究があって、どのようなことをしたら研究になるのかを教える。そして、これをやりたいという研究が学生自身に出てくればそれに任せるようにしている。このように教育され、そして実験環境に恵まれた高橋研究室の学生の最後に期待したい。

高橋研究室では今まで書いた高圧実験をしている人ばかりではない。今回の記事では取り上げなかったが、ハワイなどで色々な野外調査をしている人もいる。その調査結果と実験室での結果をもとに研究を進めている。

最後になりましたが、お忙しい中、何度も実験室での取材を快諾してくれた高橋先生と研究室の皆様、ありがとうございました。

（薩摩 兼士）