

七輪マグマ装置開発の歴史

馬渡秀夫^{*†}

Development History of the Shichirin-magma Devices

Hideo MAWATARI^{*†}

はじめに

七輪マグマの装置開発については、平成 26 年度北海道大学総合技術研究会（馬渡ほか，2014）などにおいて既報ではあるが、後述の状況を受け、2019 年度については、その開発の時系列について、及び、開発に関わった人的・技術的な背景などについてまとめ、発表を行うこととした。

東京大学地震研究所平成 29 年度職員研修会での発表で、2010 年当時在籍していた三好雅也氏（機関研究員）らのグループが困った状況となっているのを見かねて溶岩流演示を手伝うことになり、七輪マグマ装置を開発することになったことを記載した（馬渡，2018）。2019 年度は地球科学関連では定常以外の業務が少なく、発表は行わずに参加だけを考えていた。しかし 11 月上旬、七輪マグマ装置を使った TV 番組（でんじろうの THE 実験, フジテレビジョン）が放送された際、紹介された装置の開発については、多少事実誤認があるのではないかという感想を持ち、装置誕生の話をまとめることとした。

最初の溶岩流演示

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設（以後は地球熱学研究施設と略記）における溶岩流演示は、2007 年に齋藤武士氏（機関研究員）らのグループにより発案され、2007 年 2 月 11 日に「おおいだっこ科学マインド育成事業～ジュニアサイエンスフォーラム～」で実施された（図 1）。

図 2a, b は当時の開発記録写真の一部である。

彼らは度重なる試行錯誤により、溶岩流演示に適する試料組成を見出した（図 3a, b）。

溶岩流 リスタート

その後、メンバーの転出などもあり、溶岩流演示は途絶えていたが、2010 年に、三好研究員が再開することを決意して準備を始めることとなる（図 4a, b）。

演示方法としては 2007 年と同じように電気炉加熱で溶岩を作ることとし、順調に準備が進んでいたが、試料容器であるアルミナ坩堝（るつぼ）が加熱途中で割れ、高温の融剤を含む試料が漏れて炉内を熔損してしまい、電気炉が使えなくなってしまう。

七輪と木炭とガスバーナー

電気炉が使えなくなったため、その当時地球熱学研究施設に在籍していた下岡順直氏（機関研究員）が、七輪に入れた木炭を、輪（ふいご）に変えたヘアドライヤーで強制燃焼させて加熱する方法を提案し試料の融解を試みた。

しかし、この方法だけでは、試料を融解させることができず、どうにも困った状況になっていたようであった。

研究員たちが七輪を囲んでいるところに通りかかり、話を聞いたところ、前述のように「融けなくて困っている」ということだった（図 5a, b）。

電気炉ではうまく融けていたという話を聞き、ざっと観察したところ、上部からも加熱（もしくは断熱）すれば、融解までもっていきそうに思われた。そこで、自宅にある手持ちの草焼きバーナーのボタンガスの炎（約 1300℃）で加熱後半に試料容器全体を覆えばどうだろうかと考え、バーナーを持参し、テストしてみたところ、時間は 20 分ほど掛ったが全体を融解させる事が出来、2010 年の地球熱学研究施設一般公開において、溶岩流の演示を行うことが可能となった（図 6a, b）。

試料溶融容器

地球熱学研究施設の溶岩流演示として形になった七輪・バーナー加熱方式であったが、次の演示は一年後の施設公

2020 年 9 月 30 日受付, 2020 年 12 月 7 日受理.

[†] mawatari@vgs.kyoto-u.ac.jp

^{*} 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設（別府）

^{*} Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University.



図 1. ジュニアサイエンスフォーラムでの演示



図 2 (a). 融剤を手にする研究員



図 2 (b). 融剤配合比の検討



図 3 (a). 良い試料配合比の発見



図 3 (b). 試料の流動性の確認



図 4 (a). 電気炉での融解



図 4 (b). 溶岩流路の模索



図 5 (a). 初期七輪加熱



図 5 (b). 七輪加熱の模索



図 6 (a). バーナー加熱での演示



図 6 (b). 簡易流路での溶岩流演示

開だということで忘却の彼方となっていたある日、研究員たちとしては、別府市内の小学校での出前授業に使えないかと引き続き予備実験を続けていたところ、「ストックしていた試料容器のアルミナ坩堝も消耗して割れてしまったがどうしようか」という相談を受けた。私は何も考えず、今までと同じアルミナ坩堝を買うように助言した。しかし、この助言が全くの裏目に出てしまう。新たに届いた坩堝でのテストは散々で、一度も試料を融解させることなく購入

した全ての坩堝が割れてしまった。

これまでは行き掛り上でのお手伝いだし、ということもあり、正直なところ本腰ではなかったのだが、もうそんな事を言っている場合ではなくなってしまった。試料容器を何とかしなくてはならない。調べてみると、一般的にアルミナ坩堝は、炎で直接加熱するような昇温速度には耐えられないという事が判った。以前に使っていた坩堝がなぜ耐えられていたのかは不明であるが、生産方法や原料の違い

などによる製品特性の変化、だとすれば、再度購入したとしても、今回と同じように割れてしまい使えない可能性が非常に高い。

この問題に対処するため、更なる調査・検討を行ったところ、高い昇温速度（内部応力）に耐えられる坩堝材料は、白金、超耐熱合金、炭化珪素などではないだろうかと思われたが、本業ではないアウトリーチ予算で買えるようなモノではなかった。

どうしたものかと考えているところ、昨今は、スポーツカーではない普通の乗用自動車の工場出荷時に取り付けられているエンジン排気集合部品（エキゾーストマニフォールド）にも、燃費改善を目指す軽量化のためにステンレス系耐熱材の薄板が使われ始めている、という記事を思い出した。調べてみると、耐熱用途ではない一般のステンレス鋼材でも繰り返し加熱で800℃近辺まで、一度きりの加熱なら1050℃近辺まで使えるらしい事が判り、七輪マグマ実験に使う試料容器としてキッチン用品が使えるのではないかと考えた。

七輪マグマへ

これまでの演示方法である急場凌ぎのバーナー加熱は、取って付けたさまがありありとしていてあまりにも不自然であり、不細工である。そのため、なんとかしなければと真面目に考え直してみた所、マグマを融かすための試料容器を支えている金網が、炎の熱を外側へ拡散することで冷却部材の役目を果たしているように考えられた。木炭の燃焼熱を効率良く試料容器へ伝えるためには、三角架などを作って容器上部のみを支え、炎で直接加熱する必要があるのではないかと考えた。これには、趣味であるレースコースでの走行において、BP-ZE 型エンジン（マツダ株式会社）の動力性能を高めてラップタイムを短縮するために、エンジン燃焼室を形成するシリンダヘッドやポペットバルブとピストントップ形状と燃焼の炎との関連性を四六時中考えた経験が非常に役立った。



図 7 (a). 七輪切断の試行

加えて、木炭の投入量を増やして加熱時間を長く取るために七輪を重ねて内容積を増やしてはどうかというアイデアで止まっていた研究員たちに対して、「七輪を切れば良い」というアドバイスと実演をして、最初のテストでマグマを生成することができ装置化を達成した（図 7a, b）。

これには、所有していた車の高性能化に必要な駆動装置、懸架装置など、主要な部品を移設し終え、不要となった車のボディ部分を運び易くするために、ルーフ、フロアをハンドグラインダーで切り離し、二つにして捨てた経験が役立った。

これらの貢献により七輪マグマ装置が誕生したが、マグマ流の演示をやるのだ、と決めた齋藤武士氏（現・信州大学准教授）と三好雅也氏（現・福岡大学教授）の着眼と努力がなければ装置は誕生することも無かった。ここに感謝の意を表したい。

アウトリーチへの貢献と業績

大学技術職員には、色々な業務が課せられている状況があるが、国立大学技官には、文部省訓令第 33 号、及び文人給第 178 号により、技術専門官（法人化後は技術専門員）、技術専門職員という職階が適用され、京都大学の技官・技術職員（東京大学も同様）には、文末に記載したような、東京大学で策定された基準（学内規程）による昇任制度があった。私自身としては、アウトリーチ活動はその基準にはあまり合っていないのではないかと、という懸念があった。また、「アウトリーチ活動は技術ではないよなあ」という思いも抱いていた。しかし、溶岩流演示に関われた事によって、持てる技術を応用できる場面があること、また、それが評価される業績として結実する場合もあることを、身を持って知ることとなった。

ただ、これまで、アウトリーチ活動を評価に繋げるための論文にしても、非常勤である機関研究員たちの就職の一助となれば良いという思いもあり、部分的な執筆をしただけで著者順などは気にしていなかった。しかしながら、今



図 7 (b). 七輪マグマ装置誕生

回の発表を行う動機付けとなった、「考案者は誰だ?」という問題に直面して、おろそかにしてはいけない現実も存在するのだということを痛感することとなった。

余談ではあるが、七輪マグマは京都大学の地球熱学研究施設で開発されたので、熱学をはじめ京都大学の先生方にTV番組の件を相談した。こういった件を多く扱う教員の意見としては、第一報となる装置の応用事例を論文公表(下岡ほか, 2011)するにあたり、装置開発に誰がどのように関与したのかについて事前に同意を取り付けていなかった場合には、後々関与した分野、貢献度を明らかにする事は難しい場合が多いとのことであった。

しかし、幸いなことに、装置開発にかかる貢献などについて、表1にまとめた、時系列での課題と解決者についてコンセンサスを得ることができた。加えて、七輪マグマ装置開発への貢献度については、馬渡、下岡、三好の順ということで合意が得られた。

ま と め

今回、大学における業務や分担、貢献に関わるいろいろな事柄を考えさせられることになってしまった。だが、良い方向性や結果を得られた背景の一つとして、東京大学地震研究所平成27年度職員研修会(馬渡, 2016)をはじめ、隔年で実施されている、各国立大学持ち回り開催の大学総合技術研究会や、京都大学理学研究科技術部の、2010年度、2011年度の報告やその後の報告書(吉川ほか, 2013; 馬渡, 2013)などで七輪マグマ装置についての報告や発表を行ってきたことも影響が大きいと思われた。

大学技術職員という立場にとって、業務や貢献の内容について実績や結果を残すことが可能となるこのような場を提供してもらえることに大変感謝している。

表 1. 装置開発における課題と解決者リスト

<p>課題1: 試料融解のための電気炉が破損。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・七輪と金網、木炭とヘアドライヤーを使用した加熱装置の提言・実験(下岡・三好) <p>課題2: 上記の加熱装置では試料を溶融できず。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型バーナーの炎で上面を覆う提言・実験で試料を溶融(馬渡) <p>課題3: 使用していたアルミナ坩堝の不適が判明。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・試料容器へのステンレスの利用可能性について調査・提言(馬渡) <p>課題4: 七輪への木炭の1回投入量では溶融前に燃料が燃え尽きてしまう</p> <ul style="list-style-type: none"> ・七輪を2個使えば容量が増える(下岡) <p>課題5: どうやって装置化するのか。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・七輪底部を切り落とし、上下逆にして重ねる提言・製作(馬渡) ・冷却損失の疑われる金網支持を止め針金支持の提言(馬渡) ・上下逆にして重ねた上側七輪の上部を研削し加熱容器支持部を作り込む考案・製作(馬渡) ・加熱容器にキッチン用100円ステンレスボール使用の提言・実験(馬渡)
--

文 献

- 下岡順直・三好雅也・馬渡秀夫・吉川 慎・山本順司・渡辺克裕・齋藤武士・杉本 健・山田 誠・三好まどか・竹村恵二, 2011, 七輪でマグマをつくる—身近なものをういてマグマ形成過程を観察する—, 地学教育, **64**, 3, 53-69.
- 吉川慎・馬渡秀夫・木村剛一・仲谷善一・田村裕士・井上寛之・三島壮智, 2013, アウトリーチ業務 —提供出来る実験・工作の紹介—, 2012 年度京都大学理学研究科技術部業務報告集, 10-17.
- 馬渡秀夫, 2013, 2012 年度業務報告, 2012 年度京都大学理学研究科技術部業務報告集, 34-34.
- 馬渡秀夫ほか, 2014, 七輪で火山岩の融解を連続観察する器具の製作, 平成 26 年度北海道大学総合技術研究会要旨集, 85-85.
- 馬渡秀夫, 2016, 七輪マグマ展示装置の課題, 平成 27 年度東京大学地震研究所職員研修会アブストラクト集, 19.
- 馬渡秀夫, 2018, 七輪マグマ展示装置の開発と改良, 平成 29 年度東京大学地震研究所職員研修会アブストラクト集, 7-8.

参考資料

- ・技術専門官は、次の各号に掲げる者のうちから選考するものとする。
- 一 職務に関連する技術系の国家試験（大卒程度以上）に合格した者
 - 二 特許取得の独創的な技術開発を行った者
 - 三 学会賞等を受賞した者
 - 四 科学研究費補助金等の公募採択型の各種助成金を受けた者
 - 五 修士以上の学位を有する者
 - 六 学会等において職務に関連する論文発表を行った者
 - 七 職務に関連する著作を発表した者
 - 八 技術職員研修会等において講師の経験を有する者
- ・技術専門職員は次の各号に掲げる者のうちから選考するものとする。
- 一 技術専門官の選考基準に該当する者
 - 二 職務に関連する技術系の国家試験に合格した者
 - 三 技術発表会等において職務に関連する技術発表等を行った者
 - 四 技術職員研修会等の研修を終了した者