



### 理科自由研究の発表に役立つ！

### トップガン課外講座「伝えるための技術講座」

令和4年4月27日、静岡大学教育学部附属浜松中学校西館2階音楽室において、同中学校に通う7年生、8年生の生徒を対象に「伝えるための技術講座」と題して特別講座が行われた。講座では主に研究論文と研究助成金の申請書類を題材とし、「山崎自然科学教育振興会研究助成金」の獲得を視野に、自分の研究内容を魅力的に伝えるための技術についての説明があった。



図1：講座の様子（1）

講師は同中学校内トップガン事務局で本年4月より研究補佐員として勤務している村上拓（むらかみたく）氏。昨年度、静岡大学創造科学技術大学院（藤間信久研究室）の博士後期課程を修了し、博士（工学）の学位を取得している。専門は軽金属合金材料の第一原理計算で、講座内でも専門的な知識を活かした具体例や、最先端の研究の話題を扱って、聴講する生徒の興味を惹いていた（図1）。

参加した生徒数は各学年合わせて41人。当初の予想を遥かに上回る人数であり、講座内容の調整に苦勞したと、村上氏は語る。

#### 【講座の概要】

自由研究をまとめる上で重要な「研究発表の技術」に関すること、特に、科学者にとって必要な技術としてのデータの魅せ方、皆さんの研究の素晴らしさ伝えるための科学技術文書の書き方を、講師作成による実際の研究論文を通して分かりやすく説明します。また、直近の小・中学生、高校生向けの研究助成である「山崎自然科学教育振興会研究助成金」の申請に向けたいくつかのテクニックについてもお伝えする予定です。

#### 活動レポート

講座の後、数人の聴講生が集まって、講座の中で回覧した原子模型や"はんだ"を元に、とりとめのない質問をされていた。今回の講座はどちらかと言えば科学的な内

容に乏しい、メタ技術の話題だったから、あるいは少し退屈だったのかもしれない。ある種のフラストレーションのようなものが却って彼らの知的好奇心を煽ったのだとすれば、それは果たして喜ぶべきことなのか、分からない。

満田拓也氏による野球漫画「MAJOR」の中に、主人公の茂野吾郎が、所属する海堂高校野球部のトレーナー早乙女泰造に投球練習を禁じられ、地下で折り鶴を折り続けるよう命じられるシーンがある。1週間後、投球練習に戻った吾郎は、投球のキレが向上していることに気づくのだが、その理由を吾郎自身は「折り紙を通じて手先が器用になったから」と解釈し、コーチは「1週間肩や体を休めたから」と解釈する。人間を相手にするあらゆる営みの中には、多かれ少なかれ、そういう側面がある。つまり、こちらの意図が意図通りにはたらくとは限らないが、それにもかかわらず、意図通りの結果を生んでくれることがある。



図2：講座の様子（2）

ある生徒は、「はんだ」で文字が書けることを面白がって、講座で配布した紙の余白に、灰色の文字を書きつけていた。表面の酸化膜が剥がれ落ち、新鮮な金属光沢が表面に現れると、その不思議さに素朴な感動を覚えたらしく、歓声を上げていた。ナトリウムをカッターナイフで切ってその断面を見せるより、「はんだ」の内側から現れた偶然の光沢を目にするほうが、あるいは強く印象に

残るのかもしれない。しかしそういう偶然を授業に組み込むのは、少し考えてみただけだが、とても難しいことのように思える。私のような非教育者が講師に求められるのは、あるいはそういう偶然を作り出せるからかもしれない。

またある生徒は、金属の結晶構造を作るのが電子軌道の重ね合わせであると聞いて、原子模型の安っぽい、年季の入ったプラスチックを指先で弄びながら、素朴な質問を口にした。

「つまり、金属の結晶ができるかどうかは、運ゲーってことですか？」

運ゲー！ と私は思った。なるほど、確かにそうかもしれない。金属の結晶に限らず、あらゆるものが生まれるかどうかは「運」なのだ。どんなに長距離的な相互作用でも、無限遠までは届かない。それでも、金属の結晶が生じるのは一体なぜだろうか？……この原稿の残りでは、その点について、皆さんと一緒に考えてみたいと思います。もしよろしければ、お付き合いいただけたら幸いです。

## コラム

### 確率論から考える金属結晶の生成

実は、純粋な金属というのは、自然界にはほとんど存在しません。私たちの身近にある金属は、鉱物や海洋中から取り出され、精錬されたものです。もちろん鉱物の中にも、局所的には金属の結晶を見ることができます。天然のダイヤモンドはその好例です。しかし、鉱物の中の結晶について考えるには、地球がどのようにして生まれ、

どのようにして冷え固まったのか、また、その場所が地球上においてどのような環境にあるのかなど、多くの要因を考慮しなければなりません。もちろん、それらについてひとつひとつ考えていくことも可能ですし、楽しいのですが、残念ながら紙数が足りませんので、この原稿では人工的に精錬された金属を対象を絞って、金属の結晶構造が成長する理由を、皆さんと一緒に、考えてみたいと思います。

人工的な精錬の過程で、金属は高温に晒され、液体の状態になります。液体の状態では、固体の状態に比べて原子が動きやすいため、それぞれの原子は絶えずその場所を交換しながら、自由に動き回っています。

講座の中で、電子の軌道同士の重なりが、原子同士を結び合わせる（結合させる）のだと言いました。液体の状態でもそれは例外ではなく、電子軌道の「相性が良い」原子同士は強く結合します。

強く結合した状態はエネルギー的にも有利なため、一度結合が形成されると、壊れにくいということになります（この辺りはやや曖昧な説明ですが、許してください）。なぜこのような注意を入れたかという、結合に関係する2つの原子だけに注目して、エネルギー保存則の元で考察すると、上記の文章があたかも誤りであるかのような結論が得られてしまうからです。正しい結果を導くためには、結合に直接は関係しない周辺の原子についても考察に含む必要がありますが、これを行うためにもやはり紙数が足りません）。これはつまり、偶然原子が近くにやってきて結合する確率が、結合した原子が離れていく（分離する）確率に比べて大きいということを意味しています。

簡単なモデルを使って考えてみましょう。ここで、1つの金属原子のまわりに新しい原子がやってきて結合する確率を  $1/2$  とし、結晶から原子が分離する確率を  $1/4$  とします。また、結合と分離の判定は1タイムステップ (TS) ごとに1回、独立に行うことにしましょう。このとき、図3に示す樹形図から、1 TS において結合と分離が同時に起こる確率は  $1/8$ 、結合のみが起こる確率は  $3/8$ 、分離のみが起こる確率は  $1/8$ 、どちらも起こらない確率は  $3/8$  となります（樹形図からそれぞれの場合の数を数えて、確認してみてください）。

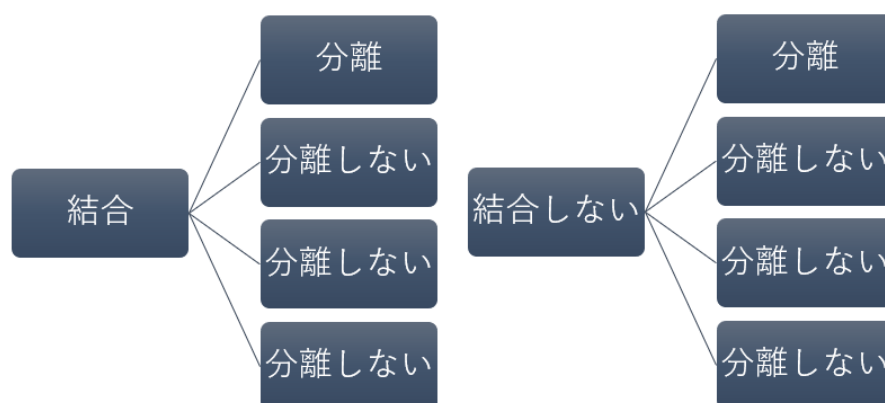


図3：1 TS における結晶と原子と結合および分離の樹形図

結晶中の原子数の変化はそれぞれ 0、+1、-1、0（ここで、結晶中の原子数が増える場合を正とする）であるため、1 TS 中の原子数の変化の期待値は以下のように、1/4 という正の値になります。

$$0 \times \frac{1}{8} + (+1) \times \frac{3}{8} + (-1) \times \frac{1}{8} + 0 \times \frac{3}{8} = \frac{1}{4} > 0 \quad (\text{結晶成長の期待値の計算})$$

これは、ある時間から  $n$  TS（ここで、 $n$  は十分に大きな整数）後に結晶を観察すると、結晶中の原子数は  $1/4 n$  だけ増えているということを意味します。

このように（数学を使うまでもなく、考えてみれば当たり前のことですが）原子間の結合の確率が分離の確率を上回っていれば、結晶は成長しますし、そうでなければ成長しない（分散する）ことが分かります。ダメ押しで、分散する場合についても見てみましょう。私たちのいる教室では、金属は固体の状態にありますから、自由に動き回ることにはできません。したがって、結合の確率はほとんど 0 であり、一方、分離（この場合、例えば”はんだ”で文字を書く等によって、結晶から原子が剥がれ落ちることを意味します）は常に起こり得ます。ここでは、1 TS での確率を、結合、分離のそれぞれについて 0、1/2 としましょう。同じ方法で期待値を計算すると（結合の起こる確率が 0 であることから余事象の確率を考えて、結合の起こらない確率は 1 となります。このことに注意しながら、皆さんの手で計算してみてください）、1/2 という負の値になります。したがって、我々の身近にある金属結晶は、基本的には壊れる一方であるということが（これも当たり前の結論ですが）分かります。

さて、はじめの質問に戻ってみましょう。

「つまり、金属の結晶ができるかどうかは、運ゲーってことですか？」

これまで見てきた通り、確かに、それは確率的なものです。1つのタイムステップ（確率論の言葉を使うと、これは試行に対応します）で見れば、それは成長（結合）したり、壊れ（分離）したりします。しかし、試行回数を増やせば、それは期待値通りの成長率に収束することになるのです（このような性質は中心極限定理としてまとめられています。証明はやや高度な数学を要求するので、ここでは触れません）。結局それは、短期的に見れば「運ゲー」でも、長期的な目線で見れば必然ということになるのです。

**（村上 拓）**

### 編集後記

このような確率の問題について考えるとき、いつも思い出す言葉がある。  
「諦めなければ夢は必ず叶う」

これは、例えば血の滲むような特訓を重ねてきたオリンピックの選手が輝くメダルを掲げながら無邪気に語る言葉である。あるいは、ノーベル賞を受賞した偉い先輩科学者が、穏やかな笑みを浮かべながら、我々を励ます言葉である。

私には常々、この言葉に対する違和感があった。もしこの言葉を「確率論」の文脈における言葉であると解釈するならば、「必ず」というのは、数学的に正しい言葉遣いではないんじゃないか。科学的には、この格言は次のように修正されるべきなのである。

「ある夢が存在して、期待値が正の値を取るならば、十分な試行回数の元でその夢の叶う確率が限りなく1に近づく」

さて、このような「十分な試行回数」の元で「確率が限りなく1に近づく」ようなものを「必ず」と表現して、果たして本当に良いものだろうか？……この問題は科学の領分を逸脱しているように思えるため、科学者（一応）である私はここで筆を置く。

後日談

4月に実施した課外講座のジャーナルが9月に？と思われる方も多いでしょう。まあ、それはいろいろあったのです。察してください！ というのも乱暴ですが……科学論文に限らず、書く立場と読む立場では、読む立場に回ることが圧倒的に多いものです。そして書く立場の人間は、多くの場合、読む立場の人間を説得して、自分の考えを通そうとしているのです。ですから……たとえどんな些細なことであっても、おや？ と思ったら、少し立ち止まって考えてみる癖をつけてください。このジャーナルが遅れた理由は、トップガン室を訪れてみればきっと分かります。皆さんの話を手を止めて聞いてくれる、優しい先生がいますよ（自画自賛ではありません。念のため）。

さて、7月3日に山崎助成金の伝達式がありました。附属浜松中学校からは1件のグループ研究（落合美琴さん 他「天神森のデータから考える理想の都市緑地」）と1件の個人研究（田中宏征さん「地球温暖化は嘘か真か ～二酸化炭素と気温～」）、そして1件の教員研究（はてさて？）が助成金を獲得し、本校としては7年振りの快挙！ 静岡新聞でも報道されました（図4）。このジャーナルを読んでいる皆さんも、ぜひ、これに続けてください。研究計画の提出期限は、例年通りなら来年の6月です。今年中学3年生の皆さんも大丈夫。高校生も助成金



図4：山崎助成金伝達式の新新聞報道 [静岡新聞 朝刊 令和4年7月4日より引用]

の対象です。もちろん、添削等のご相談も大歓迎です。トップガン室でお待ちしております。それでは。