

## 高校教員 6 年間これまでの取り組み

——私の追いかけたもの 中和滴定から幸せの青い鳥まで——

橋本 宥右  
Yusuke HASHIMOTO

先端理工学部応用化学課程 実験助手  
Laboratory Assistant, Materials Chemistry Course



### はじめに

私は6年間、高校理科教員として勤務してきた。その中で大切にしていたことは“面白そうだと思うことには飛び込む”である。私の場合は化学が専門であり、大学院在学時はアモルファス炭素薄膜の表面にプラズマを用いて官能基を導入する研究をしていた。しかしながら教員免許状には“理科”と書かれているため物理、化学、生物、地学どの分野であっても興味をもって飛び込んでみようと思っていた。ここでは私が興味のままに飛び込んだ以下のテーマについて紹介する。

- ① 高校化学実験における誤差の原因
- ② 琵琶湖のプランクトンの調査
- ③ イソヒヨドリの調査報告

高校では教員個人の研究などに予算や時間はつかないため授業で利用できるもの（高校生にわかるもの）に限定され使用できる金額は数万円程度、専門的な分析装置は一切ない。つまり、これを読んでいる学生諸君でも十分に飛び込めるテーマである。これだけではなく、毎年いくつかのテーマに挑戦していたのでほかにもあるのだがあまりたくさん挙げて

もしかたないのでここでは前述のテーマに絞って述べる。

### 1. 高校化学実験における誤差の原因

#### 1.1 高校化学実験における誤差の原因

多くの理科教員にとって、悩みの種の一つがレポートである。特に高校生くらいまでのレポートは感想文なども合わせて書かせるケースが多く、大学実験などで取り扱うレポートとは少し内容が異なる。高校理科実験においては思考のプロセスもガイドがあり、順番に空欄を埋めていけばそれらしい結論、考察に結びつくようにひっそりと誘導される。しかしそれでも理科教員が頭を抱えるのは考察の内容である。特に高校生に多いのが「実験ミスによる誤差」である。この文章を読んでいる大学教員の方は私と同様に「だったらもう一度正確に再実験すればいいのになぜしないんだ?」と言いたいところだろう。学生が本当に着目すべき誤差の原因はどこなのだろうか。レポートを読んでいるといくつかそれらしい考察もあるが、本当にあっているのだろうか。本実験では高校化学実験で取り上げられるテーマを対象に、誤差の原因について調査することにした<sup>[1]</sup>。

## 1.2 中和滴定

対象クラスで行った中和滴定実験は、水酸化ナトリウムと濃度未知の酢酸を用いて滴定を行い未知試料の濃度を求めるというものである。濃度未知と表現したが実際には10倍希釈の食酢を用いているため、指導者側はおおよその濃度がわかっている。各グループの中和滴定の結果を以下の表1に示す。実験を実施するにあたって、実験前の授業・実験途中でかなりしっかりと指導したためか例年に比べてかなり良い滴下量となった。しかし、それでも班によってある程度のばらつきがある。表1の $\beta$ は私自身が、生徒と全く同じ環境で再現実験を行った際のデータである。これらを基準として、いくつかの実験を行った。(なお本学でも同じような実験をしている。本実験では4つの条件で実験を行っているが学生の学びを奪わないためにここからは、意図的に情報を省くことにする)

表1 中和滴定における各班の水酸化ナトリウム水溶液の滴下量 [mL]

グループ	滴下量 [mL]			AVE	MAX	MIN
	1回目	2回目	3回目			
A班	10.94	10.86	10.91	10.90	10.94	10.86
B班	10.85	10.83	10.95	10.88	10.95	10.83
C班	10.83	10.92	10.91	10.89	10.92	10.83
D班	10.82	10.88	10.89	10.86	10.89	10.82
E班	10.70	10.25	11.00	10.65	11.00	10.25
F班	10.80	10.82	10.80	10.81	10.82	10.80
$\alpha$	10.75	10.78	10.72	10.75	10.78	10.72
$\beta$	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90	10.90

生徒が考察として「二酸化炭素の影響」を挙げるものが多い。そこで簡易的な二酸化炭素過多条件下を作り同様に実験を行った。大きなビニール袋の中に実験器具を入れ、二酸化炭素濃度をモニタリングしながらガス導入を行っておよそ任意の二酸化炭素濃度になったところで滴定を開始した。なおビニール袋は透明で2か所に穴をあけビニール手袋を隙間なく取り付け、大変簡易的なグローブボックスのようになっている。普段、中和滴定実験を行っ

ている大気中の二酸化炭素濃度はおよそ400ppm程度である。二酸化炭素濃度を12000ppmまで上げると、変色域に入ると同時に無色に移行し始めるような状態になる。つまり終点を見極めることが難しい。教員が実験してもいつが終点かよくわからない。滴下量は安定せず、0.5mL以上は滴下量が多くなる傾向が確認できた。次に長時間換気のできていない室内を想定し3000ppmの条件で滴定を行ったところ、滴下量に大きな差はないがすぐに無色に戻ってしまった。生徒の健康のためにも実験のためにも教室の換気は行った方が良いが、少し二酸化炭素濃度が高いくらいでは滴下量には大きな差は出ないことが明らかとなった。

次に「実験ミスによる誤差」について実験を行った。どの段階の操作を取り上げるかが問題であるが、今回は「ホールピペットで試料を測り取る際」に着目して実験を行った。なぜこの操作に着目したのかはすべて省略するので、もしこの記事を読んでいる学生諸君がいるのであればある濃度のシュウ酸・酢酸の中和滴定においてホールピペットの操作ミスが0.1mol/L NaOH水溶液の滴下量にどの程度、影響を及ぼすのか考えてみてほしい。この実験ではホールピペットの代わりにあえて試料を正確に測り取れない(やや少なく、5%未満のばらつきのように)工夫をしたもの(表1.α)と、ホールピペットで正確に測り取ったもの(表1.β)を比較した。実験者は同じ人物(私自身)であるが滴下量と再現性に大きな差が生まれている。

これらのことから学生実験レベルでどこまで実験精度を上げられるだろうか。またそれはどのような手法だろうか。ここからが面白いところだが…学生諸君の楽しみを奪うのは申し訳ないから、ここで述べるのはやめておくことにする。

## 1.3 湖水を用いたCODの調査

対象校では酸化還元分野において、簡易的なCOD測定を行っている。琵琶湖のCODについて北湖は2.5mg/L程度、南湖は3.0mg/L程度<sup>[2]</sup>である

が採水地点によって多少ばらつきがある。COD 用パックテストを用いて、用意した湖水をパックに入れるだけという非常に簡単なものだが、班によって 8mg/L を超えるなど大きな違いが出ていた。室温と反応時間はすべての班でほぼ同様となっているため、本実験ではコンタミネーションについて着目し、調査した。採水地点は図 1 に示す 3 地点である。ビーカーの中の試料水をパックテスト容器で吸い取るだけだが、その際に手が試料水に触れてしまっている可能性を考えた。そこで、衛生的な手・不衛生な手・砂糖による汚染の比較を行った。その結果を以下の図 2 に示す。生徒が行う実験では、低濃度用の検査キット (0~8mg/L) で実験を行ったが調査ではそれに加えて中濃度用の検査キット (0~100mg/L) を用いて実験を行った。その結果、衛生的な手 (洗剤で手を洗った場合) 5mg/L、不衛生な手 (手を洗わず半日過ごした場合※2020 年 12 月実験) 20mg/L、砂糖が手に付着していた場合 100mg/L となり 3 種類でそれぞれ大きな差があった。化学系の実験では見落としがちだが実験時には事前にしっかりと手を洗う必要があることが明らかとなった。学校の購買などでは甘い菓子パンがたくさん販売されている。特に昼休み後の授業では特に注意が必要である。実験に慣れた人からしてみればあたりまえの話だが、慣れていない人は想像しがたいのか

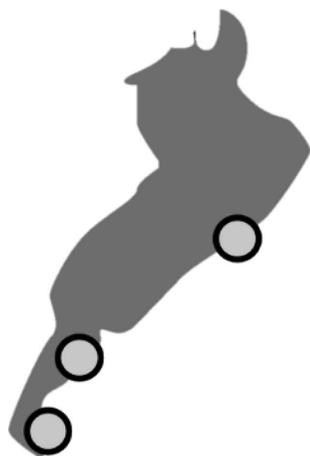


図 1 採水地点

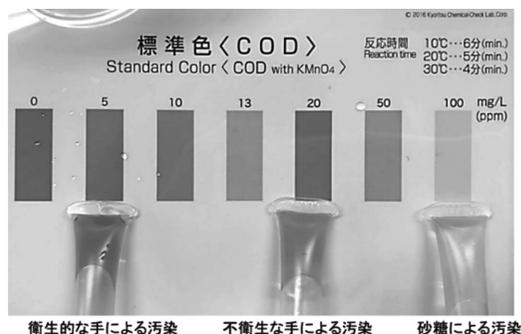


図 2 それぞれの条件における検査パックの色

もしれない。確かに教科書にも“実験前に手を洗いなさい”とは書いていない。

## 2. 琵琶湖のプランクトンの調査

### 2.1 琵琶湖のプランクトンの調査

県立高校に勤務していたある日、一人の生徒が職員室を訪ねてきた。“自分は個人的にあるプランクトンを研究している。他の先生から研究が得意な橋本先生を紹介してもらった。指導してほしい”と言われ、研究が得意なわけでもなく、ましてプランクトンなど小学校以来見ていなかったが、一緒に勉強する形なら放課後頑張ってみようと言った。そこから約3年間、琵琶湖の優占種 (他の種よりもたくさんいる種) である、ミクラステリアス・ハーデイ *Micrasterias hardyi* について研究をすることになった。もちろん、私はプランクトンについての知見がひどく浅い。的確な指導助言ができないため滋賀県琵琶湖環境科学研究センター一瀬 諭先生、立命館大学 熊谷道夫先生、滋賀県立大学 伴 修平先生に協力を仰ぎながら少しずつ進めた。他にも琵琶湖トラスト関係者の皆様や琵琶湖博物館、日本陸水学会の皆様にもアドバイスをいただき、私も含めて大変勉強になった。述べた通り、私はどちらかといえば研究の指導者ではなく共同研究者として、一緒に悩み、一緒に調べ、一緒に顕微鏡をのぞいていた。非常に楽しい放課後であった。実は訳あって今も実験棟の化学準備室の片隅で培養に再チャレンジしている。

## 2.2 外来大型植物プランクトン

ミクラステリアス・ハーディ（緑藻類ホシミドロ目ツヅミモ科ミクラステリアス属）は2つの半細胞で構成され、中央部に深い切れ込みがある。この半細胞の側裂部は6本に見えるが大きく分けると3組の腕状突起からなっている。（図3に示す）琵琶湖でもよく見られるミクラステリアス・マハブレッシュワレンシスと比較するとやや腕状突起が細くて、長いのが特徴である。2011年に琵琶湖で確認された大型植物プランクトンであり、近年急激に優占した外来種である。長らくオーストラリア南東部の固有種とされてきたが2011年、琵琶湖において報告され2016年以降、主要な優占種となった。このプランクトンが琵琶湖に入ってきたのは2000年代初頭の事であると予想されている<sup>[3]</sup>から、短期間で巨大な琵琶湖を埋め尽くしたことになる。

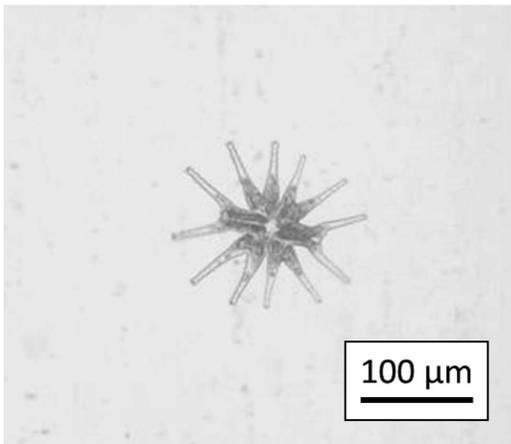


図3 *Micrasterias hardyi* 光学顕微鏡写真

## 2.3 培養

それほどまでに増えやすいなら簡単なものだろうと、実験室でミクラステリアス・ハーディを培養することにしようとしたのだが、全く増えない。色々な人からツボカジにも強く、比較的簡単に培養できると聞くのだが…理由は簡単で、光量であった。プランクトンにとって適切な明るさがわからずインキュベーター内のライトに頼っていたのだが、植物育成用ライトを導入してしばらくすると爆発的に増え始めた

のだ。もともと研究に使える時間が少ないこともあるとはいえ、これに気づくまでに数か月が水泡に帰した。

次に問題になったのは培地である。一般的に用いられるのはC培地だが、高価で管理・作成が難しく高校理科実験室では取り扱い切れなかった。そこで、わむし屋<sup>[4]</sup>というサイトを利用してはどうかという案が生徒から出た。わむし屋から藻類万能培地を購入し、ようやくそれらしい培養を始めた。

水深毎のクロロフィル a 濃度および顕微鏡による観察からミクラステリアス・ハーディの水深分布を考えると水深15m付近が最も多い。これにより水深から培養に適した水温は15~20℃あたりであると予想していたが、最も分裂が活発に起こったのは水温25~30℃であった。これにより比較的浅い水深10m未満で分裂しやすく、水温躍層（水温の違いにより生じる層）のあたりに溜まるということが明らかとなった。他にも条件を振ったり、*Staurastrum dorsidentiferum* West との比較実験を行ったりしたが訳あって割愛する。光源と万能培地と顕微鏡があれば簡単に培養チャレンジできるので興味のあるかたは琵琶湖にプランクトンネットを投げに行ってみてはいかがだろうか。

## 3. イソヒヨドリの調査報告

### 3.1 イソヒヨドリの繁殖報告

私がある高校に勤めていた頃、とても美しい鳴き声の鳥と出会った。最初は気にも留めていなかったが、次第に気になり始めて調べてみることにした。しかし、WEBや図鑑を漁っても全く正体がわからない。ムキになって日本野鳥の会や琵琶湖博物館に連絡を取り、都市部に棲む鳥に詳しい都市鳥研究会を紹介してもらった。そこで都市鳥研究会 越川氏に写真を送ると、“イソヒヨドリ”だということがようやく明らかとなった。これで一安心と思いきや“せっかくなので発見したイソヒヨドリの調査をしてみませんか”とお誘いをいただき、ありがたいことに参考文献やアドバイスまでいただいた。調べて

いくうちにだんだんとイソヒヨドリへの関心が強まっていった私は、専門外ではあるが思い切って飛び込んでみることにした<sup>[5]</sup>。



図4 中庭に現れたイソヒヨドリの雌

イソヒヨドリ *Monticola solitarius* は日本において海岸や島の岩石地に生息する鳥であり、近年にいたるまで都市部では繁殖報告のなかった鳥である<sup>[6][7][8]</sup>。しかしながら最近では都市部で繁殖を始めたようで、今や“都市鳥”のカテゴリーに入る。なぜ急に磯（イソ）から離れてしまったのだろうか。それは謎に包まれているが、海外のイソヒヨドリは山域の特に岩場を好む鳥で、都会のコンクリートジャングルには元々適応しやすかったようだ。もう“イソ”ヒヨドリとは呼びにくいと感じてしまう。ちなみに名前に関して言えば、イソヒヨドリはスズメ目ヒタキ科の鳥でヒヨドリ科ではない。このあたりもまた、この鳥のチャームポイントである。見た目は、図4に示すように雌は全体的に灰色である。一方で雄は紺に近い青色の体でおなかの部分だけオレンジ色になっている大変美しい見た目をしている。私が調査・報告したあとの話だが、NHKのダーウィンが来た！で“幸せを運ぶ青い鳥”として紹介されている。それほどまでに姿も鳴き声も美しいのである。そのほかにも威嚇の手法、雛分けなど調べれば調べるほど面白い鳥であり、私は半年ほど望遠レンズをもって校内を駆け回るはめになった。気になる学生諸君は是非調べてみてほしい。

### 3.2 高校に現れたイソヒヨドリ

2019年6月13日頃、県立高校の化学室内で小鳥の鳴き声が聞こえ始めた。調べてみたところ化学実

験用ドラフトの排気用ダクトの中に鳥が巣を構えていることがわかった。ドラフトを使うと巣も雛も排気口の外へ放り出されてしまうため、どうしたものかと悩んだが、実験助手の先生の「巣立つまでドラフトを使う実験を禁止します」の一言でまどまった。そうなるにだんだんと鳥が気になり始め、美しい鳴き声にも興味が出始めた。日本国内においてイソヒヨドリは崖や岩のある海岸に生息していたが、近年内陸に分布を拡大しており<sup>[6]</sup>都市部での目撃が多数報告<sup>[7][8]</sup>されている。一方で、どのように分布が広がっているのか、なぜ分布が内陸（特に都市部）に移ったのかは不明瞭なままである。そのような中で滋賀県の高校にてイソヒヨドリが目撃されたため、調査を実施した。



図5 ダクト内の巣

イソヒヨドリが巣営したダクトは、直径30cmほどの管であった。巣の外径は20cm程度であり、一般的な巣の大きさと大きな違いはなかった<sup>[9]</sup>。6月13日頃から化学室内に何か動く音が響くようになり、14日に雛が動く音だと判明した。雛が巣立ったあとに中を調査してみると、奥に巣があり枯草や小枝でできていることが分かった。学校の諸事情により撤去作業をしなければならないという状況であったため、作業に立ち会い巣材を回収した。なお

ビデオカメラを用いた事前調査と目視確認によって、雛鳥ならびに卵がないことは確認済みであった。回収した巣の内容物（構成物）については以下の表2に示す。

表2 巣材の構成

巣材名	質量 [g]	割合 [w%]
フン	38.3	29.4
コケ類	23.8	18.3
木の枝	16.2	12.4
枯れ葉	12.7	9.7
枯れ草	7.2	5.5
異物	6.3	4.8
その他	25.9	19.9
計	130.4	100

巣材には木の枝や枯れ草のほかに、コケ類が用いられていた。巣を構成する材料で最も質量比の大きいコケ類は雛の怪我防止、保温・保湿、巣の補強などで役立っていると考えられた。少量ではあるが異物も確認できた。表2〔異物〕には結束バンド、貝殻、昆虫、植物の種、トカゲの尻尾、ビニール紐のような物が含まれており、巣材の一部として人工物を利用していたことがわかった。なお排気ダクト付近では吹奏楽部と軽音部の演奏練習の音が鳴り響いており、イソヒヨドリは人の出入りや、騒音に耐性のある鳥であると考えられた。

### 3.3 雛鳥の観察

今回確認できた雛鳥は、羽は焦げ茶色、嘴が黄色で全体的にふっくらしていた。（図6、図7に示す）6月17日までは親鳥が巣に餌を運んでいたが6月18日から巣に餌を運ばなくなった。観察を続けると雛が最低でも2羽いることがわかった。図7に示す通りこの時期の雛は飛ぶのが苦手らしく、藤棚（高さ約2.0~2.5m）から中庭中央の樹木を歩き来していた。樹木に到達した際は、雛がとまったのがわかるほど枝が揺れていた。6月19日までは親鳥が屋上から中庭を見守っているのを確認できたが、6月20日には中庭では雛1羽しか確認できず親鳥

は時々見に来る程度であった。最後に残った雛は壁や窓ガラスに衝突しながらも高さ6~8m（校舎二階程度）まで飛べるようになった。観察を続けていると、衝突を続け窓から校舎内に侵入したのが見えたため、触れないように気を付けながら外に出るように誘導するとともに、近くから撮影した。（図7）6月21日に中庭を観察したところ、親鳥も雛も観察できなかったため無事に巣を離れたと考えられた。（時系列を表3に示す）

対象校を取り巻く生物環境として、山や森が近く自然が豊かである一方で駅に近づくほどコンクリートが多くなり市街地化しており都市と自然の間に位

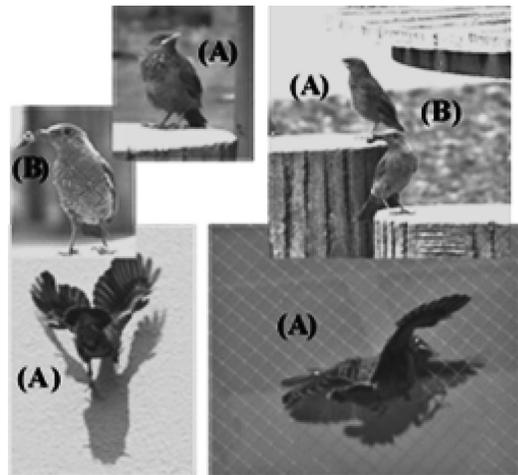


図6 雛鳥 (A) と雛を見守る親鳥 (B)



図7 校舎内に侵入した雛鳥

置している。見かける生き物は猫やカラスで、カラスは中庭に巣を構えていたこともあった。ほかにトンビによる被害も報告されている。

対象校周辺で観察を続けると2020年度でもインソヒヨドリを見ることができた。渡り廊下を歩く教員に威嚇をする親鳥を観察することができた。雛鳥をそだてている親鳥はかなりあちこち威嚇してまわるので、不用意に近づかないほうがよい。お辞儀をするように「グエッグエツ」と鳴き始めたら要注意である。また、2020年はインソヒヨドリとカラスの攻防を観察することができた。観察を始めた当初は、天敵は猫やトンビであると考えていたが“都市鳥”同士の争いも確認できた。なお観察時はカラスを撃退していた。全体を通して目撃数は2019年に比べて増加し、2020年は雄のインソヒヨドリの目撃情報もあった。対象校付近で繁殖を続けているようである。

表3 2019年インソヒヨドリの観察における時系列

日付	確認内容
6月13日	化学室で音を確認。
6月14日	雛鳥が動く音、鳴き声であることが判明。
6月17日	インソヒヨドリを初めて確認。餌を巣に運んでいた。
6月18日	雛鳥と思われる2羽目を確認。
6月19日	藤棚に雛鳥を発見。
6月20日	親鳥が藤棚に餌を運んでいた。校舎内に雛鳥が侵入。

#### 参考文献

- [1] 橋本宥右, 島中晶子. 高校化学実験における誤差とその原因. 滋賀科学. 2021, (64), 18-22
- [2] 独立行政法人水資源機構 琵琶湖開発総合管理所. “琵琶湖管理データ”. [https://www.water.go.jp/kansai/biwako/html/w\\_survey.html](https://www.water.go.jp/kansai/biwako/html/w_survey.html), (2023/06/25)
- [3] Yoshikuni Hodoki, Tadatoshi Koitabashi, Yukiko Goda, Tetsuji Akatsuka, Shin ichi Nakano. Long term variation in abundance of the non native phytoplankton *Micrasterias hardyi* (Zygnematophyceae, Streptophyta) in Lake Biwa, Japan, *Limnology*. 2020, (21), 67-72
- [4] わむし屋. <http://www8.plala.or.jp/wamushiya/>, (2023/06/25)
- [5] 橋本宥右, 浅野裕貴. 滋賀県立石山高等学校におけるインソヒヨドリの繁殖報告—Report on the increase in appearances of Blue Rock Thrush in Ishiyama High School, Shiga Prefecture, 都市鳥研究会誌 (bulletin of the Urban-bird Society of Japan). 2019, (36), 19-24
- [6] 鳥居憲親, 江崎保男. インソヒヨドリのハビタットとその空間構造, 山階鳥学誌. 2014, (46), 15-24
- [7] 川内 博. インソヒヨドリの内陸部進出 東京と伊豆半島の状況, URBAN-BIRD SOCIETY OF JAPAN. 2018, 都市鳥ニュース 25, 2-3
- [8] 有田一郎. 神奈川県箱根地域におけるインソヒヨドリの分布拡大, URBAN-BIRD SOCIETY OF JAPAN. 2018, 都市鳥ニュース, (24), 2-6
- [9] 西 教生. インソヒヨドリの山梨県初繁殖記録. 山階鳥学誌 (J. Yamashina Inst. Ornithol.). 2012, (43), 194-196

