

連載

研究で君が光り輝くために

第1回

客観と主観を分けることから始めよう

筑波大学教授 野村 港二

新学習指導要領において、「主体的・対話的で深い学び」の実現にむけ、実験観察を通して探究する授業が求められています。これから研究の道に進む生徒さんへ、研究者としての姿勢、規範、発表時の基本的なルールやコツを、筑波大学で高校生を対象とした科学技術人材育成事業に力を入れていらっしゃる野村港二教授に連載でご解説いただきます。

この連載のオリエンテーション

研究は自ら課題を見つけ、それを解決して発表する活動です。そして、スポーツやゲームと同じようにルールに従って進められます。スポーツやゲームではルールを守らなければ反則になります。でも、ルールがあるから競い合うことができます。研究も同じです。研究の基本ルールの第一は、過去の成果を受け止めて、その先に自分のオリジナルな成果を積み上げること、第二は客観的な論拠に基づいて論理的な結論を導くこと、そして第三は、論拠には十分な量があり、結論には高い質があることだと、私は考えています。このシリーズでは、ルールを生かして研究を楽しみ、その研究とそれを行った人を輝かせるためのヒントをお話ししようと思っています。

第1回では、研究の流れの中を確認し、事実と意見の区別について解説します。第2回以降は、データの取り扱い、図表の作り方、論文と口頭発表そしてポスター発表の実際、考えたり説明したりするときの視点、専門用語などについてお話しする予定です。また、学校現場の視点から、芝浦工業大学柏高等学校非常勤講師の石井葉子先生に協力をいただいています。

研究の流れ

研究は、1) 課題を見つける、2) 過去の研究を

調べる、3) 仮説を立てる、4) 仮説を裏付ける論拠を得る方法を決める、5) 調査や実験の結果など論拠を集め、必要なら統計的な処理を行う、6) 結果を考察することで仮説を結論に導く、7) 発表する、という流れで行われます。

課題は、自分で見つけることもあります。社会から要請されることもあります。料理にたとえると、自分が食べたいカレーを作ることも、誰かからパスタを頼まれることも、両方あるのと同じです。課題が決まったら、同様の課題について過去にどのような研究がなされてきたかを、文献やWebなどで調べます。私たちは、これをレビューと呼んだりします。レビューによって、その課題について、何がどこまで明らかになったり実現したりしているか、逆に言えば、まだ明らかになっていないこと、これから解決すべきことがはっきりしてきます。そして、予想や解決策など、課題に対する仮説を立てることが出来ます。料理だと、いろいろなカレーを調べて、自分の味を想像する段階です。仮説は一つとは限りません。むしろ、相互に対立する可能性も含めて、たくさん考えておくのが良いとも考えられます。シナリオをたくさん作ると表現する研究者もいます。というのも、実際に調べてみると、結果が予想と異なることもありますし、一つの仮説にとらわれて研究を進めると、自分でも気づかないうちに、自分に都合の良いように事実をゆがめて記録してしまう恐れもあるからです。実際、何かの数が毎日増えるという仮説で計測すると、つい都合の良い数え方をしてしまうものです。仮説を立てること、あるいは可能なシナリオを作ることは、研究の第一歩として、他人には任せず自分で行うべき仕事です。

実験や調査は、仮説を裏付ける、あるいは最も合理的なシナリオを見つけるための客観的な論拠を得る作業です。レビューの過程で勉強した事柄から研究計画を立てます。実験や調査の過程では、誰が行っても、同じ手法であれば、同じ結果が得られるという再現性が大切です。ですから、途中で不要なアドリブを加える必要が無いよう、さまざまな可能性を考えて計画は良く練ってください。そうでないと、同じ料理を作っているのに、毎日、調味料の配合が

変わってしまうのと同じことになります。

結果が得られたら、統計を使って、結果が有意であるか検定をします。大学生や大学院生は、この実験や調査と、検定に多くの時間を費やします。しかし、プロの研究者にとって、実験や調査や検定の作業は研究の流れの中で手放せる部分です。個々の操作で、私たちは熟練した技術者の腕にかなわないことと、実験の途中では方法を迷えない、すなわち考えるという研究者の本質が不要であることが、手放せる理由です。しかし、自分ですべてを行うことで、見つけられることがたくさんあります。何が起きるのか、ワクワク感を大切に実験や調査を楽しんでください。

後で、もう一度書きますが、実験や調査では、できるだけたくさんのデータを集めてください。いろいろな視点から対象を調べた結果があることが、論理的な考察のために必要です。結果という客観的な論拠が足りないと、論理的な結論は導けません。

結果が出て統計的にも検証されたら、仮説と照らし合わせて考察し、仮説を学説にします。ここでは、課題に対して、実験や調査で得られた事実を論拠として、自分の考えである考察を論理的に展開するという、頭脳労働が必要です。

研究は、発表してこそ意味があります。そして、発表するからには、魅力的にしたいですね。せっかく作った料理は、おいしそうに盛り付けましょう。ただ、プロの研究者も発表にあまりエネルギーを使わないのが残念なところ。これから研究を始める若い人たちには、ぜひ、発表まで含めて研究だという認識を持って欲しいと考えています。

研究の基本的なルールとしてのオリジナリティー

先人の残した成果を基礎に、自身で新しく作り上げた成果を積み上げるか、あるいは、それまでの通説の間違いを正して基礎を作り直すのが研究です。成果は、一般的には研究論文として公表されます。有名な Nature とか Science などをはじめ、学術雑誌に掲載される論文は、同じ分野の研究者が覆面で審査して掲載を受理されたものです。そのため、査読を受けた学術論文は、その分野の研究者によって

内容の妥当性と新規性が保証され、新たな学説によって否定されない限り、その研究分野で共有されています。

過去の成果を共有しているからこそ、自分で論文を書くときには、どこまでが過去の成果で、どこからが自分のオリジナルな成果であるかを、はっきり示す必要があります。特に、成果のオリジナリティーを絶対的に求められるプロの研究者は、過去の成果と自分の成果をきちんと分けます。引用したら出典を明示するのは、自分を際立たせるためだと、積極的にとらえれば、引用リストを作るのも、楽しくなりません。

プロの研究者の場合には、オリジナリティーすなわちオンリーワンであることと同時に、誰より早く論文として出版したナンバーワンである必要もあります。しかし、高校生の場合には、すでに専門書などに載っている課題であっても、自身で確かめてみることも大切だと思います。オリジナルな作品に限っている科学コンテストに応募するといった場合以外では、過去の研究の追体験も含めて、課題を設定してよいのではないのでしょうか。もちろん、その場合には、追試であることをきちんと述べて始めることは大切です。一方、結論は知られていても、オリジナルの研究と異なった方法で、同じところにたどり着いたら、その方法に、オリジナリティーを見出せるかもしれません。過去の事例をレビューし、よく気をつけて、自分の研究のどこがオリジナルな部分なのかを探してみるのも楽しいと思います。

結果と考察を分ける

結果と考察、どこが違うのでしょうか。結果は、客観的な事実です。きちんと実験方法を守ることで、誰が測定しても同じ値が得られるはずのデータが結果の例です。一方で、考察は結果を基にした自分の判断や考え、すなわち主観を交えて論理が展開され、書き手によって変わりうる部分です。このように、結果と考察の違いは単純なのですが、書き分ける際には、ちょっとしたコツがあります。かく言う私も、結果と考察の書き分けに苦勞してきました。書き分けるための練習問題をご紹介します。

状況は以下の通りです。あなたは、手のひらサイズの魔物を2匹手に入れました。水槽に入れて飼った時の、魔物の増え方を表したのが図1です。それでは、一切の主観を交えずに、グラフから読み取れる客観的な事実を箇条書きで10項目ほど書いてください。これ以降は、書いてから読み進んでください。なお、この例題では統計的な検定は無視してください。

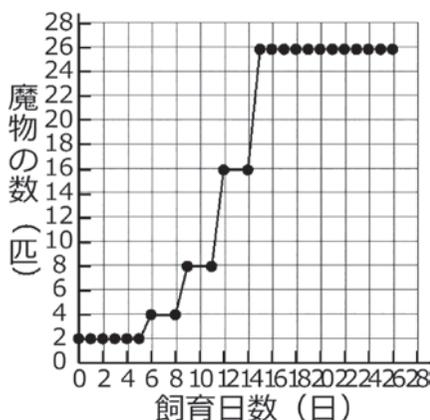


図1. 手のひらサイズの魔物の増え方

- 1) グラフの横軸は飼育日数を、縦軸は飼育日数ごとの魔物の数を示している。(グラフは独立変数 x と従属変数 y の関係である $y = f(x)$ を表したものですから、 x と y を最初に確認します)
- 2) 魔物の数は、飼育0日目から1日ごとに数えられている。
- 3) 0日目の魔物は2匹である。
- 4) 初めの5日間、魔物の数は変化しない。
- 5) 6日目に、魔物は4匹になっている。
- 6) 4匹になった後の2日間、すなわち6日目から8日目まで、魔物の数は変化しない。
- 7) 9日目に魔物は倍の8匹になり、続く2日間は数が変化しない。
- 8) 12日目に倍の16匹になると、魔物の数は2日間変化しない。
- 9) 15日目に魔物の数は26匹になっている。
- 10) 15日目以降、魔物の数は変わらない。

客観的な事実を書くコツは、分量をあいまいに示す形容詞や副詞を排除することです。データには、

長さや質量など定量的なもの、形や性質など定性的なものがあります。定量的なデータなのに「長かった」とか「多かった」では何も伝わらないどころか、人によってさまざまな量になってしまいます。たとえば、体育に関わる研究をしている人には100 kmは「長い距離」でしょうが、天文学の人には何億光年でも「長くない」かもしれません。定性的なデータを客観的に示すのは簡単ではありませんが、関連する研究を調べる中で、その分野独自の表現を探ることができるかもしれません。皆さんの答えの中に、少しの間、盛んに、とても、ずっと、はるかに、わずかに、明らかに、非常に、などが入り込んでいませんか。見直して、それらが入っていたら削除する。コツはそれだけですが、意外に難しいので、グラフが出てきたら練習を繰り返してください。私は、学生が書いた原稿に、これらが出てきたら、赤ペンで消して「どれくらい?」と書き込んでいます。もし、2倍になったとか、 2.0 ± 0.3 mだったのが 2.9 ± 0.2 mと有意に伸びた、とか具体的に書けるなら、書くべきです。

客観的に記述するもう一つのコツは、視覚特別支援学校の教壇に立っている場面を想像して表現することです。視覚に訴える表現は使えませんが、正確だからといって、ポイントを1つずつ座標で $(0, 2)$, $(1, 2)$ などと読み上げては、全体像が分かり難くなります。どう伝えたら伝わるかを考えるのは練習になります。

なお、ここまで私は、「たくさんあります」とか「ほとんどありません」などと書いてきました。あいまいで構わないとき、データを読むときで、書き方は変わります。

それでは、この結果の考察をしてみましょう。箇条書きにした結果のそれぞれに、なぜだろう、とか、何が起きたのだろう、その測定が妥当だろうか、などのつつこみを考えてみてください。たとえば、以下が一例です。

- 1) グラフの横軸と縦軸：魔物は26匹だけなのに、1匹ずつを識別していないのは、手抜きとも思えます。なぜ、個体識別をしなかったのでしょうか。

- 2) 飼育0日目から1日ごと：つつこみどころ満載です。0日目の魔物は、どんな状態だったのでしょうか。たとえば、このグラフの5日目や8日目のような増える直前でしょうか、15日目以降のような増えるのが止まった状態だったのでしょうか。説明が必要です。また、1日ごとの測定で十分でしょうか。このグラフだと、魔物は1日かけて倍になりますが、もしかしたら、実際に倍になるのに要する時間は、数時間かもしれません。
- 3) 始めは2匹：他の数から始めると、どうなるでしょう。
- 4) 初めの5日間変化なし：なぜ、5日間変化がないのでしょうか。すぐに増えられる状態の魔物ではなかったのでしょうか。それとも、新しい環境に慣れるのに時間がかかったのでしょうか。環境だとしたら、餌、温度、空気、明るさ…何が影響したのでしょうか。
- 5) 1日で倍に：どんな増え方をしたのでしょうか。2匹がそれぞれ分裂したのか、それぞれ1匹ずつ子どもを生んだのか、一方が2匹生んだのか、2匹から4匹の子どもができた時点で、親2匹は消滅して4匹が残ったのか。増える瞬間を見なければならぬという、新たな課題が生まれます。
- 6) 以下は、同様に考えれば良いので省略しますが、このように客観的な事実と、それを自分がどう考えたかである考察を分けることは、さほど難しくはありません。

これらのつつこみには、グラフに描かれた事実をどう解釈するのかという、グラフを読んだ人の主観が満載されています。グラフを描いた本人が考察するのであれば、それらを自身の考えとして説明する必要がありますでしょう。第三者が批判的にグラフを読んだのであれば、なぜだろうと気づいて質問すべき内容です。そして、これらのつつこみは、研究の次のステップを考える材料になっています。

結果と考察の関係は、事実と意見、客観と主観、objectとsubject、dataとinformationなどにも見られます。両者は違うものなのに、それらを発信したり受け取ったりしたとき、我々はいずれも情報と

して把握していることに、混乱の原因があると思います。客観的な事実なのか、主観を交えたものなのか分けることが、研究では大切です。ちなみに、dataとinformationという英語の語源を辞書で調べると、dataはgivenを意味するラテン語、informationはconceptやinform actionを意味する語が語源と出てきます。事実である結果は、「あなたが気づいても気づかなくても、そこにある物事だが、言葉にできた物」で、意見を含む考察は、「あなたの感性が動くことで、あなたの気持ちをこめて言葉などで表現した何か」と考えて、すこし練習すると、2つを分けられるようになると思います。

量と質

言うまでもなく、研究成果では質の高さが大切です。斬新な視点、画期的な結論、明快な説明など、どれもが質を高めます。一方で、客観的な論拠となる結果には、質だけでなく量も求められます。先ほど考察の5)で、図1の実験だけでは、魔物の増え方は分かりませんでした。このままで、結論は出せませんね。実験や調査をとことん行って、たくさんの論拠を集めることが、事実を突き止めるためには欠かせません。

まとめ

調査や実験で得られる結果は、もともと自然界に存在している事実を人間の言葉で表したものです。過去の研究成果、すなわち出版されている書物や科学雑誌に書かれている内容も、すでに世界にあるgivenの存在ですから、考察の客観的論拠として利用できます。詳しくは次回で取り上げますが、我々が引用文献を慎重に、大切に扱うのは、このような事情によっています。

研究は、共有された知的な財産を活用し、調査や実験で得た結果に基づいて、オリジナルな考えを積み上げるというルールに基づいて行われること。客観的な論拠と、主観を含む意見の両方が大切なので、結果と考察を区別する必要があること、なんとなく理解していただけたでしょうか。