

高校生のための 科学論文の書き方

——SSH指定校，岐阜県立恵那高等学校での実践に基づいて——

奈良女子大学・理系女性教育開発共同機構 特任講師

寺内かえで

はじめに

2012年から3年弱の期間にわたり、岐阜県立恵那高等学校理数科2年生の生徒の必須科目である「課題研究」の授業のお手伝いをさせていただくことができた。岐阜県立恵那高等学校は、文部科学省から「スーパーサイエンスハイスクール(SSH)」の指定を受けており、日頃から理数教育に力を入れている。筆者は昭和54年にこの高校理数科を卒業しており、地域での催しで知り合った恵那高等学校の現役のSSH担当主任の教員からお声がけいただき、「課題研究」の一部のテーマではあるが実際に分担指導させていただいた。また、毎年度末に生徒がまとめることになっている課題研究の総まとめ「論文」の書き方についても、年1回(45分)を使って解説する機会をいただいた。

高校生が一生懸命取り組んだ研究を記録として残すことは大変意義のあることである。しかし、大学生が卒業研究、或いは学位論文や投稿論文を書くための参考書は数多く出版されているが、高校生が初めて科学論文を書くためには必ずしも適切とはいえず、一方、高校生が科学論文を初めて書くときに参考にできるものはあるものの、そのまま使えるテキストはないようであった。そこで、授業を行なうに当たって、参考にできる資料と、筆者が研究者として論文を執筆した経験とを盛り込み新たに構成することとした。また、現役教員の方と相談の結果、単に講義形式の授業とせず、授業の約半分の時間をアクティブ・ラーニングに充てることとした。アクティブ・ラーニングでは、実際に先輩が過去に残した論文を題材として、生徒たちにその論文の改善点などを考えて発表してもらうことにした。

短い授業時間の中でかなり内容盛りだくさんの授業ではあったが、生徒たちはよく頑張ってくれた。

今回、奈良女子大学とお茶の水女子大学とが設置する「理系女性教育開発共同機構」の発足に先だって、奈良女子大学の吉田信也先生から、中等教育での理数教育の記録として「高校生のための科学論文の書き方」をまとめる機会をいただいた。この理系女性教育開発共同機構のプロジェクトの1つは中等教育における理数教育の改革であることから、このブックレットを活用していくことを念頭に置き、これまでの授業報告としてだけでなく、授業時間の制限により詳しく触れられなかったことなども大幅に加筆し、高校生が初めて科学論文を書くときに役に立つようなものをと考えて執筆させていただいた。本質的なことを理解してもらうために、高校生の域を少し超えた内容も盛り込ませていただいた。

授業の実践の場を与えて下さった、岐阜県立恵那高等学校の校長先生及び当時SSH担当だった塚本寛先生、様々なこととお世話下さった道村貴美江先生、理科担当の諸教員並びに職員の方々、生徒の皆さん、そして、今回まとめる機会を与えて下さった奈良女子大学の吉田信也教授、小路田泰直教授をはじめ理系女性教育開発共同機構準備室の方々に心からお礼申し上げます。

2015年3月14日

寺内かえで

もくじ

第1章 科学論文とは何か

- §1-1 科学的とは
- §1-2 論文とレポートの違い
- §1-3 何のために論文を書くのか
- §1-4 文章作成上の諸注意

第2章 高校生のための科学論文の書き方

- §2-1 論文に必要な項目
 - §2-1-1 タイトル
 - §2-1-2 著者名
 - §2-1-3 要旨
 - §2-1-4 序論
 - §2-1-5 本論
 - §2-1-5-1 方法
 - §2-1-5-2 結果
 - §2-1-5-2-1 図・写真を使う場合の注意事項
 - §2-1-5-2-2 表を使う場合の注意事項
 - §2-1-5-3 考察
 - §2-1-6 結論
 - §2-1-7 引用・参考文献
 - §2-1-8 謝辞

第3章

- §3-1 過去例を使った実際の授業
- §3-2 授業に対する生徒のコメント

第4章 高校生による科学研究のための補足事項

- §4-1 「感想」をどう扱うか
- §4-2 「方法」はどこまで細かく書くか
- §4-3 「論文を書く」と「プレゼンテーション」の違いを考えよう
- §4-4 必ずグループの各人が論文を読んでみよう
- §4-5 日ごろの実験で心がけること
 - §4-5-1 先行研究をしっかりと調べよう
 - §4-5-2 実験の前にまず実験をデザインしてみよう

§ 4-5-3 実験はよく観察しよう

§ 4-5-4 実験をこまめに記録しよう

§ 4-5-5 実験について必ず評価をしよう

§ 4-5-6 学外研究者(大学・研究所等)とコンタクトを取る際の注意事項

第5章 おわりに

第6章 引用文献

付録 I 授業配布補足資料(2014年11月19日配布)

付録 II 授業で用いたパワーポイント(2章)

付録 III 2012年と2013年で用いた生徒の過去論文例(教材用に一部改変したもの)(3章)

第1章 科学論文とは何か

科学論文の書き方の約束事を学ぶ前に、まず、科学論文とは何かということを確認することから始めたい。ここでは、「科学的とは」とはどういうことをいうのか、「論文とレポートの違い」はどんなところか、「何のために論文を書くのか」ということについて説明し、さらに、いわゆる「理系の作文技術」ともいわれることについて解説してみたい。

§1-1 科学的とは

「科学的」であるためには、以下の①～③を全て満たさなくてはならない(付録I参照)。

①事実(fact)に基づく

観察や測定によって得られた事実(データ)に基づくことが重要である。自分の都合のよいように作作的に作成(選択)したものや、想像や憶測を含んだものは事実ではない。

②再現性(reproducibility)及び検証可能性(verifiability)を有すること

本当にそうなのかを検証できることができ、同じ方法で行なえば、誰がやっても必ず同様な結果が得られること、再現性があることが必要である。従って、科学論文では、それを読んだだけで誰でも再現できるように記述しなくてはならない。

③論理的(logical)であること

誰でも納得できるように論理的でなければならない。研究を進める段階の思考過程でも、記述をする際にも常に論理的でなければならない。また、論文の「結論」は「事実」に基づいて、論理的に導かれたものでなくてはならない。論理の飛躍は「独りよがり」である。科学論文では、論理のステップを飛ばさずに丁寧に記述することが必要である。

注意:「科学的」とは“数字”を扱うことではない。数字を使わなくても①～③を満たせば科学的なもの(話・文章)となる。一方、数字を多用していても、再現性がなかったり、論理展開に飛躍があれば科学的とはいえない。

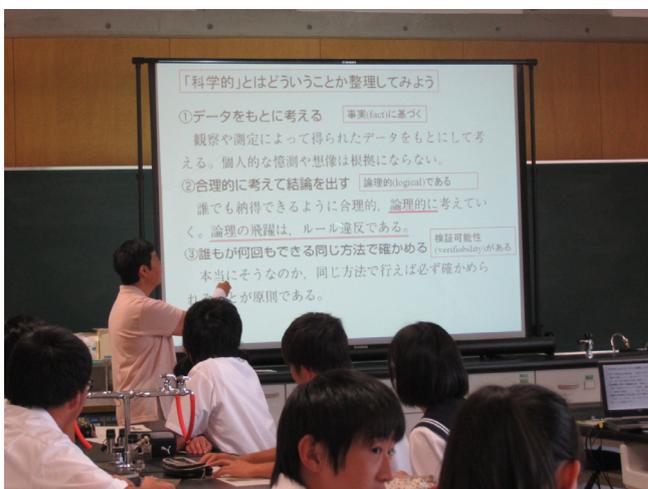


図1

2013年9月授業実施時の様子

§ 1-2 論文とレポートの違い

次に、論文とレポートはどう違うのかを考えてみよう。三省堂スーパー大辞林によれば、論文とは「(1)ある事物について理論的な筋道を立てて説かれた文章。(2)学術的な研究成果を理論的に述べた文章。」、レポートとは「研究・調査の報告書。学術研究報告書。」と説明されている。実際には、レポートでも論理的に書くことが要求され、論文でも先に述べたように「再現性」が担保されるように記載しなくてはならないので、両者は明確に区別されるとは限らない。一般的には、1回の実験ごとにまとめて記録したものがレポートであり、複数回分のレポートを論理的なつながりを持ってまとめられたものが論文であると簡単に考えてよいであろう。また、レポートには考察はない場合もありうるが、論文では考察が必須である。いずれにしても、両者ともに「科学的」であることが必要であることは同じである。

§ 1-3 何のために論文を書くのか

高校生の皆さんが、課題研究の成果を論文にまとめなくてはならないのはなぜだろうか。「授業のスケジュールでそう決まっているから」という受け身の考え方の人もいると思うが、ここで少し考えてみよう。論文に書くということにはいろいろな意義があるが、ここでは2つを取り上げてみたい。まず、研究で得られた内容や自分たちの考えを他者に伝えるということである。このことは、例えば研究発表会のように論文を書かない場合でも達成することができる。しかし、研究発表会はそのとき、その場所にいた人にしか伝えられない。一方、論文に書いておけば、その論文さえ入手できれば、いつでもどこでも、研究内容や書いた人の考えを知ることができる。つまり、論文を書くことのもう一つの意義は、研究したことを形として残すというものである。後者の意義について少し具体的に示しておこう。今あなたが行なっている研究に後輩が興味を持ったとする。後輩があなたの研究の続きを研究してみたいと思ったとき、あなたはもう卒業して大学生として遠方に行ってしまう可能性は結構大きいだろう。こんなとき、あなたの書いた論文があれば後輩は大いに助かるに違いない。

つまり、論文はこれまで行なってきた研究をまとめるために書くのであるが、記録として残すことによって後輩等に有益な情報源ともなるのである。

§ 1-4 文章作成上の諸注意 ——理科系の作文技術——

第一に大切なことは、「事実」と「意見」を明瞭に区別して書き分けるということである。これは最も基本的かつ重要なことであるが、実際には混在してかかっていることが多いのでよく注意をして欲しい。自分では「事実」と「意見」を区別しているつもりでも、第三者に「事実」なのか「意見」なのかがきちんと伝わらなければ意味のないものになってしまうおそれもある。

次に、わかりやすい文章で書くということである。わかりやすい文章というと、程度の

低い文章と勘違いする人もいるが、それは全く間違っている。専門用語を使うときは、いきなりその言葉を使うのではなく、用語の前に説明を修飾句とするなどして簡潔に説明をし、その用語を初めて目にする人にもおおよそのことがわかることが望ましい。また、専門性の高い用語は、本文の中でも説明した方がよいであろう。わかりやすい文章を書くためにはいくつか気をつけなくてはならない点がある。まず、「1つの文章に1つの内容」を心がけ、長い文章は避けるということである。次に、主語と述語の関係を明確にするということである。このことは、論文を英語で書く際にも大いに役立つことである。

さらに、誤解を起こさない文章を書くということである。悪質な意図を持っていなくても、あるフレーズが幾通りかの意味にとれる場合がある。例えば「赤い花柄の傘」では、「赤い花柄」の傘(傘の色は不明)という場合と、「赤い」花柄の傘(傘の色は赤)の両方の意味に受け取れる。これでは読む人によって異なったイメージを抱かせることになる。ではどのようなときに「誤解」を生じやすいのだろうか。例えば、修飾語と被修飾語の関係がよく例に挙げられる。先の例では、修飾語が「赤い花柄」なのか「赤い」なのかが問題となるわけである。読点(,)の使い方、修飾語はそれが係る語のすぐ前に置くなどすると「誤解」されない文章となる。例えば、先の例では「赤い、花柄の傘」とすれば傘の色は赤色であることがはっきりとする。

高校生の皆さんも「特許」という言葉を聞いたことがあると思う。特許の内容を記載した「特許明細書」では権利の及ぶ範囲を明確にするために、このような誤解を生じない書き方の技術は大変重要であることも知っておくとよいだろう。

科学技術文章を書く際の書物は数多く出版されているが、2014年に永眠された木下是雄先生の著書『理科系の作文技術』¹⁾は高校生にも十分理解できる良書としてお薦めする。

第2章 科学論文の書き方

この章では、科学論文にはどのようなことを書くのかということを解説したい。ここでは、岐阜県立恵那高等学校理数科2年生で実際に行った授業に大幅に加筆を行なったものを記載する。

§2-1 論文に必要な項目

千葉大学先進科学センターの刊行物『理科課題研究ガイドブック ～どうやって進めるか、どうやってまとめるか～』（小泉治彦著）²⁾の第6部「成果をまとめる」を参考にて作成した、科学論文の基本的な構成要素とその流れを図2に示す*1。

研究のタイトル、著者名、要旨、序論、本論、結論、引用文献までが論文としての必須要素である。

謝辞については、必要ではない場合

もある。下記に、それぞれの要素の書き方について具体例も含めながら解説する。

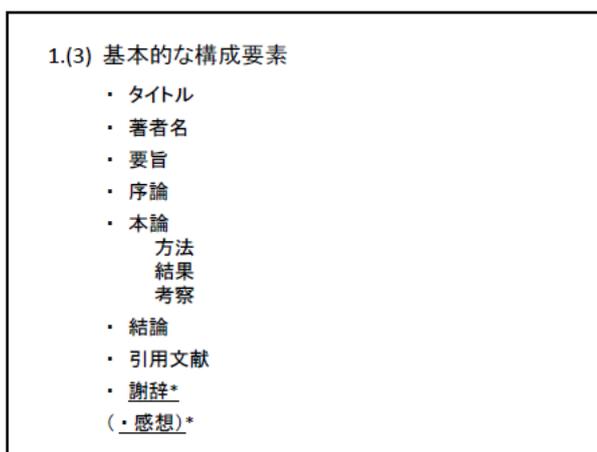


図2 科学論文の基本的な構成要素

§2-1-1 タイトル

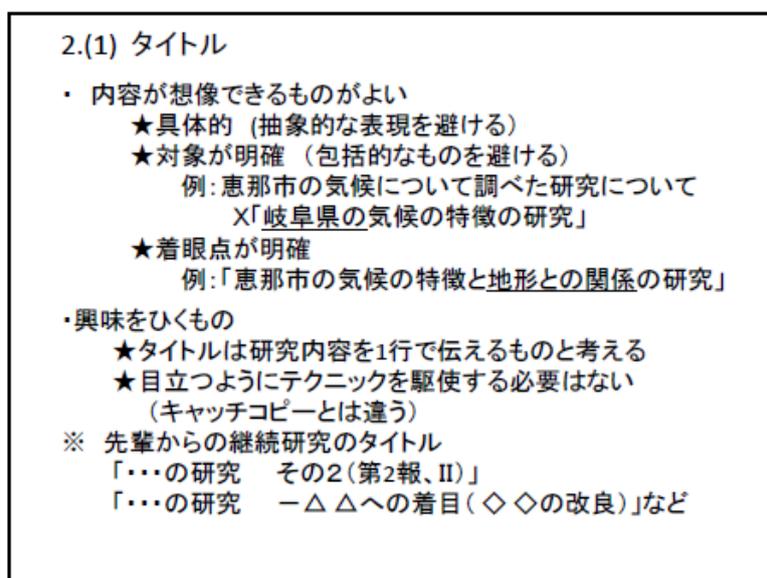


図3 タイトルの重要事項を解説したスライド

*1 この章で図として用いたスライドに「テキスト xx」と記載されているのは上記ガイドブックを参照するためのものである。

論文のタイトルは、最も多くの人が目を通すところである。タイトルを見て、内容まで読んでみようかどうか判断する場合が多い。短いけれど非常に大事な部分である。そこで、図3に示したように、

①タイトルだけを見て内容が想像できるものがよい

②興味を引くものが望ましい

という点に注意してもらいたい。

前者についてももう少し具体的な注意事項を示す。まず、「具体的」であることが重要である。抽象的な表現を避け、実際に行なった研究が具体的にイメージできるようなタイトルがよい。次に、「研究対象が明確」にわかるように気をつけたい。例えば、恵那市^{*2}の気候について調べた研究について、「岐阜県の気候の特徴の研究」というタイトルは適切だろうか。確かに恵那市は岐阜県の中の一つの市であるので、間違っていない。しかし、「岐阜県」という範囲はあまりに広い。そこで、ここでは「岐阜県恵那市の気候の特徴の研究」とするほうが適切である。つまり、包括的な表現はできるだけ避けた方がよい。次に、「研究の着眼点が明確」にわかるように気をつけたい。例えば、先ほどの例を用いると、「地形との関係」に着目したことが特徴であれば「岐阜県恵那市の気候の特徴と地形との関係の研究」というタイトルが、少し長くはなるが、適切であろう。

後者については、決して奇をてらった目立つキャッチコピーを意味しているのではない。「**タイトルは研究内容を1行で伝えるもの**」と考えて、研究をアピールするという意味である。研究の魅力が伝わるように工夫してもらいたい。

また、高校での研究は、先輩からの継続研究という場合も多くあると思う。そのような研究の場合、先輩の研究のタイトルとどのように違いを出していくかという例を示しておこう。先輩の研究が「〇〇の研究」だったとする。その継続研究のタイトルとして、「〇〇の研究 第2報」「〇〇の研究 その2」「〇〇の研究 II」「〇〇の研究 ——△△への着目」「〇〇の研究 ——△△の改良」などのような技法を知っておくと便利である。

§2-1-2 著者名

著者名には、研究を行った人全員の名前を記載する。「全員」とは、原則として、その研究に実際に関わった人全員であり、研究には関わっていないけれど仲良しだからというような理由で著者に加えてはいけない。名前を書く順番は、高校生の皆さんの場合は出席番号順でも何でも構わない。しかし、一般的に研究者が書く論文では、名前の順番はかなり大きな意味を持っていることも知っておこう。その論文の研究で一番大きな貢献のあった人の名前が、通常一番初めにくる。

著者の数は1人の場合(単著)もあるが、近年では、話題になった「ヒッグス粒子」関連の実験系素粒子物理学分野の論文で1000人を超える著者による論文も多くなってきているようである。

*2 恵那市は岐阜県南東部に位置する市である。

§2-1-3 要旨

要旨は「ミニ論文」と位置づけてもよい。つまり、短い文章の中に、研究内容のエッセンスをまとめたものである。要約は英語では Abstract という。論文では、タイトル、著者名の次に置かれているが、実際には本文を全て書き終わり、論文の全体像が固まった後に、研究内容のエッセンスとしてふさわしい内容をよく吟味して書く。

2.(2) 要旨 (Abstract)

★内容のエッセンス

- ・取り組んだ問題(対象)
- ・着眼点
- ・主要データ(最も重要な結果を具体的に示す)
- ・結論

※ 全体の要約
(本編を書き終えてから、最後に書く、
本編と異なったこと、書いてないことを書かない)

※ 簡潔に書くこと
(字数制限がある場合が多い)

※ 論理の流れをしっかりと考える
(本編と矛盾しないこと)

図 4 要旨の重要事項を説明したスライド

要旨には取り組んだ内容、着眼点、主要データ(その研究で最も重要な結果)、そして結論を書く。皆さんが外部の研究会や学会などで発表するときにも要旨の提出を求められることが多い。そしてそのときには、字数に制限があることが多い。少ない字数の中で、無駄なく、簡潔に、しかも論理的に矛盾がないように書かなくてはならない。うっかりミスで、本文に書いてないことを要旨で書いてしまうことがあるが、このようなことがないように、十分に本編と照らし合わせて確認しよう。つまり、要旨は本文にかかれた内容を離れて書いてはいけない。もちろん本文の主張と異なった主張もしてはいけない。

タイトルを見て興味を持った研究がある場合、要旨を読んで本文も読むかどうかを決めることが多く、論文の中ではタイトルの次に多くの人に読まれる重要な部分である。短いからといって決して軽い気持ちで書いてはいけない。

また、学外の研究会や学会での研究発表をする際にも「予稿集」「要旨集」に掲載する要旨を書かなくてはならない。要旨を書く機会は論文を書く機会よりも多いのでしっかりと訓練をして欲しい。

- 2.(3) 序論・はじめに(Introduction)
- ・何をやるのか(どのような問題に) ⇒ 研究対象
 - ・どうしてやるのか(なぜ取り組むのか) ⇒ 研究目的
 - ・過去の研究事例
 - ★調べたこと
 - ★先輩からの継続研究の場合 ⇒ 先行研究を簡潔に記載
 - ・新しい着眼点

図5 序論で書くことを解説したスライド

序論は、「はじめに」という言葉を使うことも多い。英語では **Introduction** である。もし論文に序論がなければ、皆さんの論文を初めて読む人は、その研究分野について何の背景知識もなく、また、研究の目的や意義も分からないままいきなり本文に突入することになる。そこで、本文の前に導入部を書くことになっている。

「序論」では、

- ①研究対象 (どんな分野の何を研究するのか, どのような問題に取り組むのか)
- ②研究目的 (なぜ取り組むのか)

ということを書かなくてはいけないのはもちろんであるが、

- ③先行研究についての知見
- ④新しい着眼点

についても記載しなくてはいけない。最も勉強して書かなくてはいけない部分である。①, ②及び④については、皆さんの考えをよく整理して論理的な流れとして書けばよい。実際に指導して感じたことであるが、初めて研究を行なう高校生の皆さんにとっては先行研究を調べて、自分たちより前にどういうことがされていたのかということを知るのはあまり簡単なことではない。そこで、つい、先行研究の調査が手薄になる傾向にある。そこで、後に(第4章 § 4-5-1)少し具体的なことをまとめることにした。

ここでは、先輩からの継続研究の場合について述べる。先輩のしてきた研究結果は皆さんにとっては当たり前の事実でも、他の人にとっては知られていない可能性の方が高い。そこで、先輩の行なった研究を、全く知らない人が見てもある程度わかるように簡潔に書いておこう。どういう目的でどういうことをしてきたのか。そこで何がわかり、どんな問題点があったのか、ということを書けばいい。

さて、ここで昨年(2014年)1月末以来、本来科学ニュースであるにもかかわらず世間に広く話題を提供した事件があった。それは **STAP** 細胞関連のニュースである。この一連の報道及び理化学研究所等の調査報告の中でも、**STAP** 細胞論文の筆頭著者である理化学研究所

の小保方さんが早稲田大学の博士課程で執筆したとされる博士論文について取りあげてみる。この博士論文は研究不正に関する様々な話題を提供してくれたが、この章では、小保方さんの博士論文の **Introduction** で問題になったことを取り上げ、**Introduction**(序論)は、論文の中でどういう意味を持つのかということについて論じてみたい。

小保方さんの博士論文では、イントロダクションの部分の半分以上が著名な研究機関(米国 NIH のホームページ)が一般に公開している解説文からの「コピペ」*3であった。このことについて、いわゆる専門家や有識者といわれる人たちからも様々な意見が述べられた。割合としては多くはないが、否定的ではない意見もあった。また、コピペを否定する意見の中には、著作権などに違反する等の意見も見られたが、これは的外れだと筆者は考える。

論文、特に卒業論文、修士論文、博士論文といういわゆる学位論文では、序論は研究者が通常書いている投稿論文より重要な意味合いを持つということである。学位論文の序論では、学位研究に臨んで勉強した内容を咀嚼し、自分の言葉で書かなければいけない。しかも、自分の研究目的と関連づけて書くことが要求される。つまり、序論は、どれだけその分野についてよく勉強したかが問われる部分である。このことを考えれば、序論はどこかのよくできた解説をコピペすればよい、というものではないこがわかると思う。もちろん、勉強した文献の内容は、適切な引用方式に従って引用をしなければならない。従って、序論を書くのは最も難しく、また、たいていの場合、実験・結果・考察等を書いた後に、全体を見据えて序論を矛盾なく書き上げる(多くの指導教員もそう指導していると思う)。学位論文の序論というのは、このように重みのあるものである。真面目に学位論文に取り組んだ人は、同様な考え方を持っているのではないだろうかと思う。

§2-1-5 本論

いよいよ、皆さんの研究を書く番である。序論は研究の背景や先行研究など、実際に皆さんが行なったことを書くわけではないが、本論では実際に皆さん行なったことを書く。これが序論との最も大きな違いである。

本論には大きく分けて「**方法**」「**結果**」「**考察**」を書かなくてはいけない。次にそれぞれについて説明していこう。

§2-1-5-1 方法

「方法」は英語では **methods** という項目の論文誌(**Journal**)も、**experimental** や **experimental procedures** という項目の論文誌もある。これをみると、「**方法**」は**実験に必要な情報を書く**項目であることがわかると思う。実際に行なったことを書くので、過去形の表現となる。

皆さんが普段の理科の授業で実験をするとき、実験に使う材料、道具、実験の手順は教科書・副教材または教師の作成したプリントに書かれているので、それに従って実験すれ

*3 コピー&ペースト、つまりコピーして貼り付ける操作を略している言葉。

ばよかった。ところが研究では、自分たちでどんな実験をしたらいいかを考え、そして実験する。つまり、それぞれの研究グループによってテーマも異なれば実験も違う。そこで、他の人に自分たちの研究を伝えるためには、皆さんが考え実行した実験について、できるだけ具体的に書く必要がある。例えば、**実験で使った材料(試薬や生物の種類など)**、**装置、道具(工夫して作ったものならばその情報)**、**実験の手順**、**温度や材料の量など実験の詳細な条件**である。材料、装置などをその名称だけ羅列する方法もあるが、どういう理由で使ったのかということも含めて文章で書くともっとよい。試薬は物質名だけでなく、等級や製造会社名も記載するのが望ましい(例：エチルアルコール(試薬特級・和光純薬)。装置も型番とメーカー名は必ず書くようにしたい。また、生物の種類については、できるだけ事典や図鑑を調べて、どこでも通用する名称を用いること。もしわかれば、「学名」も書いておくとよい(図6)。

- ・実験道具、試薬、材料(特に生物分野の場合)
- ・実験手順
- ・データ解析・処理の仕方 (テキスト2.-(1))

★どの程度詳しく書くのか？

- ◎研究発表と論文の違いを考えよう
- 後輩があなたの研究を引き継ぎたいと考えたとき
- 最も頼りになるのは、あなたの論文

図6 方法でかくことを説明したスライド

どのくらい詳しく書けばいいのか。それは、後輩、又は他の学校の人があなたたちの研究に興味を持ったときに、彼らが論文を読んで同じ方法を試してみられる程度書くことが望ましい。実際の研究でも、他の人の論文を少し改変して研究しようとするときには、まず書いてあることがその通りにできるかを確かめる実験(これをトレース実験という)をすることはよくある。書いてあるとおりにやれば、**多少の不出来はあっても再現性が担保されていることが重要**である。つまり、第1章で科学的とはどういうことかというところで「再現性があること」というのが一つの条件にあったことを思い出して欲しい。「方法」の項目をしっかりと書くということは、論文が科学的であるために重要なことなのだ。

また、「データ解析・データ処理の仕方」についても「方法」のところに書く。コンピュータを使ったデータ解析をしてその結果を示す論文では、データ解析の方法が実験方法に対応しているからだ。

§2-1-5-2 結果

「結果」(results)では、実験して得られたデータを示す。データは生データだけでなく、平均などの処理を施されたものも含む。第1章で「科学的とは」ということを説明したが、

「事実」に基づいていることということが重要だったことを思い出して欲しい。「結果」はまさしく「事実」を記述するものである。この事実に基づいて考えを練り上げていくのである。また、実際に得られたデータについて書くので、過去形の表現となる。

- ★主役は実験データ(平均などの処理をしたものを含む)
- ※ 実験データを図や表を使ってわかりやすく表現する
(テキスト2.-(2))
 - ☆適切なグラフは考察の役に立つ
 - ※ 図や表について、発表のとき口頭で説明する内容は、論文では必ず本文に書く

図7 結果では何を書くかを説明したスライド

ここでは、実験データを図や表を使ってわかりやすく表現すると効果的である。適切なグラフを書くことにより、一目瞭然、考察ができることもある。また、高校生の皆さんが忘れがちなことであるが、実験データの図や表を示しただけで、それに関する説明が本文で十分になされていない例が多く見受けられる。プレゼンテーションの時にグラフを示しながら説明する言葉の部分は、論文では本文に文章として書くものと考えてほしい。

§2-1-5-2-1 図・グラフ・写真を使う 場合の注意事項

「結果」では、図・グラフ・写真(以下、図等と記す)をよく用いる。図等を用いるときには、約束事があることを心に留めておいて欲しい。ここでは一般的かつ基本的な約束事について述べる。より細かい規則は、掲載される論文誌の出版社が出しているもの(「執筆要領」などの名称が多い)に従わなければならない。

論文では図と表(§2-1-5-2-2 参照)だけでなく、グラフ、実験装置・材料などの写真も「図」として扱う。図は、記載される順に図1、図2、図3・・・のような通し番号をつけなければならない。英語では、Fig.1, Fig.2, Fig3・・・のように記すことが多い。論文に載せる図は論文に必要なもの

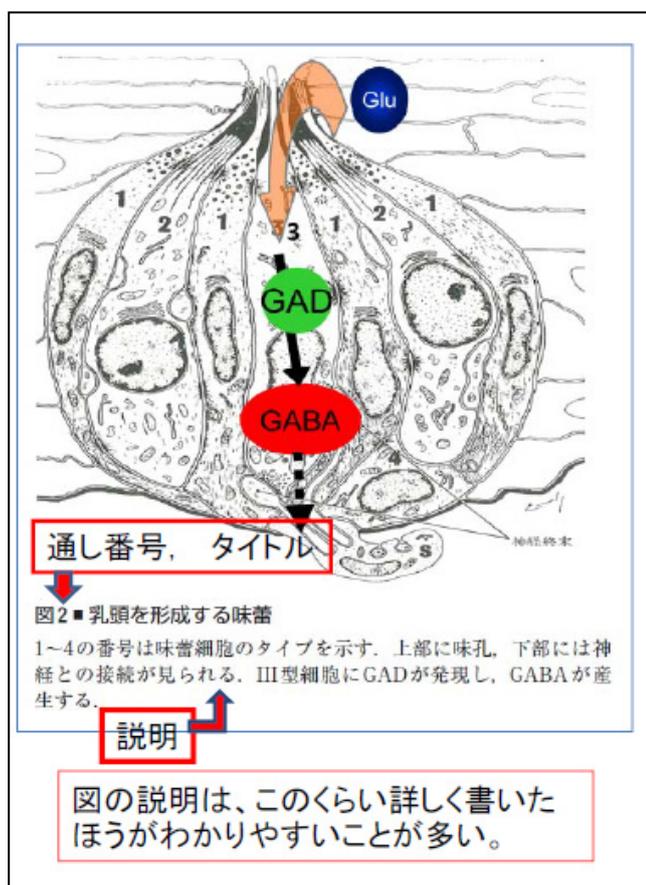


図8 「図」での通し番号、タイトル、説明の書き方の例

だけを選ぶようにし、論文の本文の中でその図に言及し(refer)、その図が何を意味しているのかなどを説明しなければならない。

また、この通し番号は図8に示すように、図の下側に書く(「表」は上側に通し番号を書くので注意すること)。通し番号とともに、図等が何を意味しているかを簡単に示したタイトルを付けるのが一般的である。さらに、「通し番号・タイトル」の下に、その図の解説、例えば、図の中のaは〇〇というサンプル、bは△△というというサンプルの結果；cはXという条件、dはYという条件での結果；eは××細胞を示す、などである。実際の研究者の論文ではこの説明文(legend)がかなり詳しく書かれている。余談ではあるが、同じ分野の研究論文ならば、図とそのlegendを読むだけで、その研究でなされたことがだいたいわかるようになる。

生徒の皆さんの論文を添削していると、一生懸命実験したデータが数多く示してあって興味深い研究だな、と思えるものが多いが、条件を変えて行なった実験などを1つ1つの図として示している例によく出会う。例えば、図9は試薬を変えて試してみるという4つの一連のデータを示したものであり、関係あるものを並べてよく工夫している。

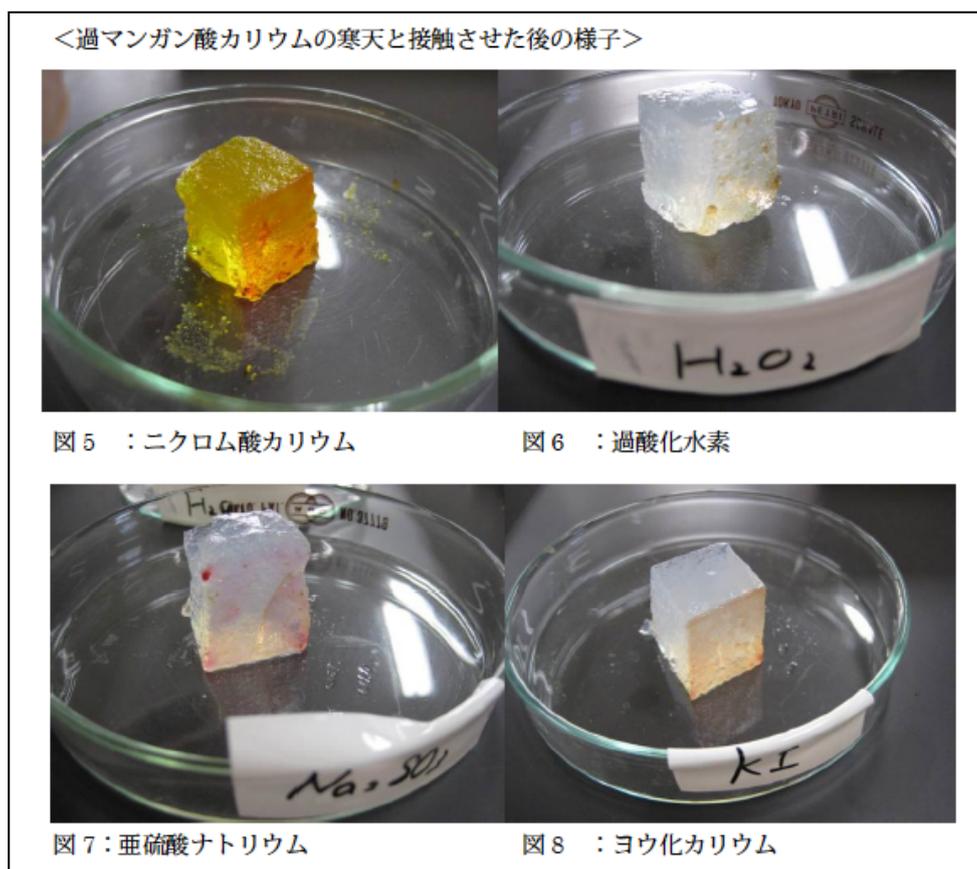


図9 4つのデータを4つの図として表わした例

これにもう一工夫して図10に示すように4つのデータを1つの図にまとめることができ

る。図は、条件を変えて行なったいくつかの写真などのデータをひとまとめにすると見やすいこともある。

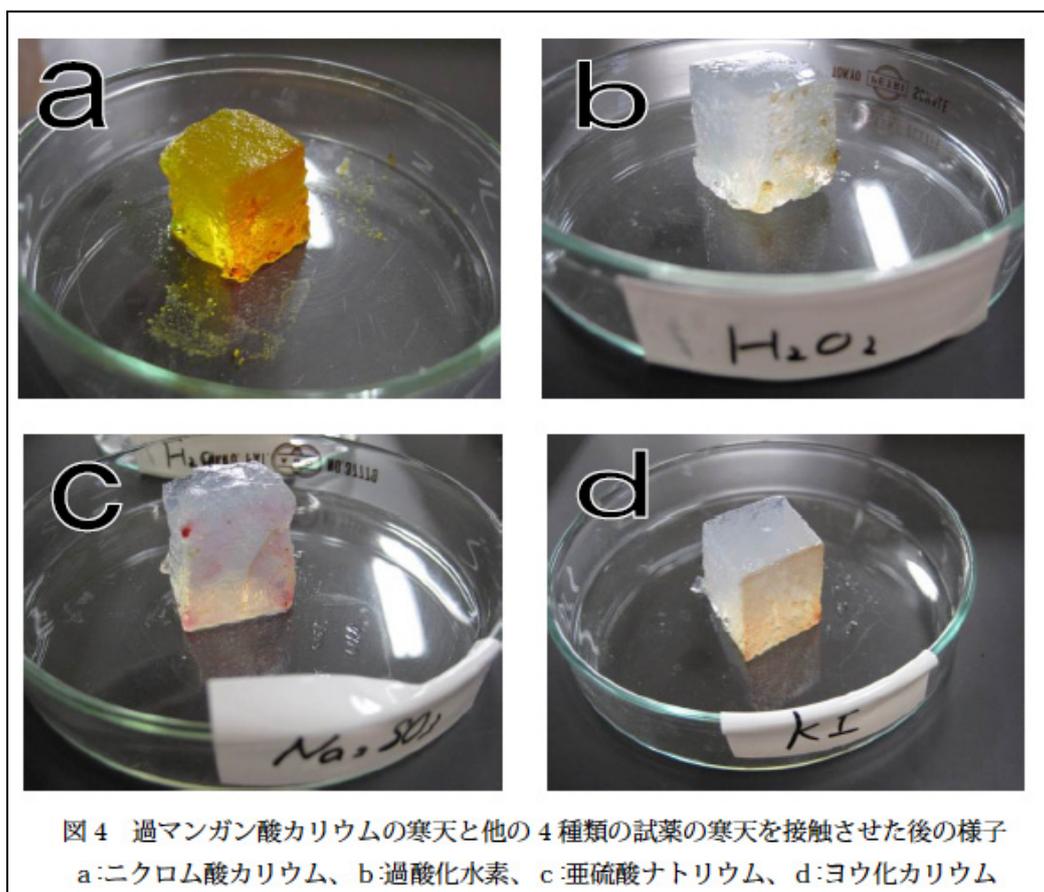


図10 4つのデータを1つの図として表わした例

また、現実的なこととしては、研究者の投稿論文では、通常、図は通し番号ごとに別ページに作成するので、一連の実験として比較することができるように見せることを考慮すると、4つのデータを1つの図にまとめることが必要となる。データを見やすくまとめることは大切なことなので、皆さんも試みてみてほしい。

§2-1-5-2-2 表を使う場合の注意事項

「結果」では、図以外に「表」もよく用いる。表を用いるときにも、図と同様に約束事がある。ここでは一般的かつ基本的な約束事について述べる。より細かい規則は、掲載される論文誌の出版社が出している「執筆要領」などに従わなければならない。

「表」も「図」と同様、記載される順に表1、表2、表3・・・のような通し番号をつけないといけない。英語では、Table 1, Table 2, Table 3・・・のように記すことが多い。論文に載せた表は、論文の本文の中で言及し(refer)、その表が何を意味しているのかなどを説明しなければならない。また、この通し番号は図11に示すように、表の上側に書く。ま

た、通し番号とともに、表が何を意味しているかを簡単に示したタイトルを付けるのが一般的である。

通し番号, タイトル

表3 ■ 3種の基質に対するXYLTとFUCTの K_m 値の比較⁽⁷⁾

| 糖鎖基質 | K_m 値 (mM) | |
|---------------|--------------|-----------|
| | XYLT | FUCT |
| GN2M3-Asn | 0.40±0.15 | 0.49±0.07 |
| GN2M3F(3)-Asn | 1.69±1.10 | — |
| GN2M3X-Asn | — | 0.75±0.10 |

図 11 「表」での、通し番号、タイトルの書き方の例

§2-1-5-3 考察

「考察」(discussion)は、論文とレポートの違いを最も端的に示しているところである。もちろんレポートにも考察が書かれているものも多いが、考察が無くてもレポートは一応成立する。しかし、考察のない論文はあり得ない。つまり、論文の最も論文らしいところが「考察」である。

それでは、「考察」ではどのようなことを書くのだろうか。まず、必ず書かなければいけないことがある。それは、「結果」を根拠としてそこから論理的に導けることを「結論」(conclusion)とすることである。「結果」に示したデータは「事実」であるから、まさしく、「事実に基づき論理を展開する」という第1章で説明した科学的とはどういうことか、ということそのものである。重要なことは、データ(事実)に基づいていることと、誰が読んでも論理の飛躍がない文章で記述するという点である。そして、導かれた結論は、最初に序論で提起した問題点や疑問に対応しているかということもきちんと検討しよう。予想通りか、予想に反していたかは、実験をやって初めてわかったことなので、予想と違ったことは全く問題ない。最初の問いに対する答えになっているかという点が重要である。もし問いに対する答えになっていないのならば、研究のいずれかの過程で問題点がすり替わってしまったということが考えられる。だとすれば、論文を書く段階では最初の問題点ではなく、すり替わってしまった問題点を出発点として書かなくては矛盾が生じてくることになるはずである。実際、長期にわたって研究をしていると、行き詰まったときなどにこのような問題点のすり替わりが起こることはよくある。そういうとき「問題点を整理し直し、意識的に方針を転換する」という日頃の訓練も大切なことである。

| |
|--|
| <p>1. 必須の事項</p> <p>★データから結論(conclusion)を導く</p> <ul style="list-style-type: none"> ・結果を根拠として、そこからいえることを結論とする ・「疑問」に対する「結論」になっているか (・他の主張、過去の研究との比較) <p>⇒論理的に記述することが重要</p> <p>2. ここまでできれば更によいという事項</p> <p>★モデル化・数式表現</p> <p>モデルは図を用いて表わすとよい</p> <p>3. できるだけ書きたい事項</p> <p>★今後の展望</p> |
|--|

図 12 考察で書くべきことを解説したスライド

また、「考察」では、他の研究グループの主張や過去の研究結果との比較などを記載することも有用である。相違点について議論するときは他者の主張やデータを正しく把握した上で、きわめて論理的に議論を記述しなくてはならない。また、過去の記録を更新したときなども、どういう点でどの程度優れているのかをきちんと書こう。

導かれたことをさらに一般的な概念として示す形で、図を用いてモデル化したり、数式表現を用いて記述する場合も「考察」に書く。しかし、これはかなり研究が進んだ段階でないと困難であり、また分野によってはこのようなことが難しいものもあるので「考察」に必ず書かなければならない事項ではない。

「考察」にできるだけ書いておきたいことは、今後の展開についてである。たとえ、卒業するのでもうこの研究は行なわない、ということがはっきりしていても、皆さんの携わった研究分野がこの先どのような展開をしていくと面白いかということをも是非書いてもらいたい。

§2-1-6 結論

ここでの結論は、論文のまとめとしての結論である。目的や結果から導かれたことを書くだけでなく、この研究分野でどのような意義があったかという点にまで言及できればさらに締まりのあるものになる。

§2-1-7 引用・参考文献

「引用文献」は、先行研究の文献や、実験方法で参考にした文献を漏らさず列挙した「文献リスト」である。第三者がこのリストに載っている文献を調べたいと思ったときに、入

手できるのに十分な情報を記載する必要がある。具体例を①「書籍」②「論文誌」③「インターネットのサイト」に分けて記す。

① 「書籍」の場合

書名，著者名，出版社名は必須事項であり，出版年もできるだけ書くようにしたい。

例：『理科系の作文技術』木下是雄著（中公新書）（1981）

② 「論文誌」の場合

論文タイトル，著者名，論文誌名，巻・号・， ページ数，発行年を書く。

例：『再生可能エネルギー』の学習に活かしたい数量的データについて，寺内 衛，寺内かえで，大学の物理教育，第 19 巻（第 3 号），pp.96-10 (2013)

③ 「インターネットのサイト」の場合*4

ページの名称，URL は必ず書くこと。

例：1)文部科学省 新学習指導要領・生きる力，

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/y

2) Science for all Americans Online,

<http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>

3) “科学”と“技術”に関する過去の議論，

2011年4月19日日経配信記事

(<http://www.nikkei.com/article/DGXBZO26552060R10C11A4000000/>)

4)STEM fields (英語版ウキペディア)

http://en.wikipedia.org/wiki/STEM_fields

また，引用文献の書き方には，それぞれの論文誌等により決まった書き方があるので，その決まりに従って書くこと。特に決まりがない場合は，自分で規則を決め，一定の形式で書くようにすること。

さらに，「引用文献」は，論文中で必ず引用されていなくてはならない。引用の方法も文誌等により決まった書き方があるので，その決まりに従ってきちんと書くこと。特に決まりがない場合は，引用している箇所の文章において，右肩に数字をつけるなどし，引用文献リストの番号とその番号とが一致するように気をつけること。また，論文中では引用していない文献を挙げる場合には，それは「参考文献」ということになる。

§2-1-8 謝辞

「謝辞」には材料提供や実験方法の指導などで研究に協力していただいた方々に対して感謝の気持ちを記載する。特定の「人」ではなく，研究機関や会社などを対象としてももちろんよい。これは，研究に協力してくれた方々に対する，論文を書くときのエチケットである。協力者については，必ずフルネームと所属機関を書くようにしよう。また，どう

*4 引用文献・参考文献にインターネットによる情報検索で得たものを採用することに関しては § 4-5-1 の中の 「インターネットを使った検索での注意事項」に詳述した。

いうことについて協力していただいたかも簡潔に書いておきたい。例えば、「△△の測定をしていただいた」とか、「〇〇を提供していただいた」とかである。

「謝辞」は、該当するような方々がない場合には書く必要がないが、「謝辞」に載せるべきかどうか迷ったら、必ず担当の先生などに相談してみよう。

また、「謝辞」は、エチケットとして以外にも、論文を読む後輩や第三者にとっての情報提供ともなることも付け加えておこう。どういうところに協力を求めたらよいかの大きな情報となるからである。

「感想」については、原則的には本文の構成要素ではないので本章では触れていないが、実際に理科教育という観点からすると、生徒にとって重要な要素でもあるので、第4章 § 4-1 において述べることにする。

第3章

3年間(3回)における「科学論文の書き方」の授業では、現役理科教員と相談し、単に講義形式の授業とせず、授業の約半分の時間をアクティブ・ラーニングの形式とすることにした。アクティブ・ラーニングでは、実際に先輩が過去に残した論文を題材として、生徒たちにその論文の改善点などを考えて発表してもらうことにした。

§3-1 過去例を使った実際の授業

過去の例として、同校の生徒が以前、陶器*5を焼くときの温度を変えると陶器の性質が変わることについて行った研究論文を授業時間内に課題として取り組めるように一部改編したものを用いた。付録 III に実際に用いた資料を添付した。

理科実験室で実施したため、同じ実験台に座っている4~5人の生徒を1つのグループとして、グループごとに2つの課題に取り組んでもらい、その結果を手短かに発表してもらった。課題の1つはこの論文の「タイトル」をつけること、もう1つの課題は、講義で学んだことを基にして、この論文をさらに良くするためにはどのような点を改善したらよいか、というものであった。

10分程度のグループ討議の後、各グループに「タイトル」を黒板に書いてもらい、また、代表者に改善点を発表してもらった。図13は2012年9月に実施した2クラスのうちの1つのクラスが実際に回答してくれたものである。また、2つのクラスから改善点として以下のようなことが指摘された(以下は筆者の当日メモから箇条書きにしたもの)。

-
- ・「目的」欄になぜ調べようと思ったのかとの理由が無く、目的になっていない
 - ・性質の中でもなぜ吸水率や周波数を選んだのか、その理由がわからない
 - ・図・写真に通し番号を付ける
 - ・図や表に説明やタイトルがない。図に説明がない
 - ・本文とグラフの値で不一致があるので統一する
 - ・結果の読み取り方が不正確である
 - ・折れ線グラフと棒グラフの利用が不統一
 - ・温度表記が「度」になっているが、「℃」にすべき
 - ・レイアウトを考え見やすくした方がいい
 - ・2つ実験があるが、全体の考察がない
 - ・「・・・思う」「・・・したい」の文章が本論に混じっているが、これらは「感想」に書くべき
 - ・協力先は「参考文献」ではなく「謝辞」に記載すべき
-

*5 実施校の所在地(岐阜県恵那市)は、全国でも有数の陶器の産地である瑞浪・土岐に隣接しており、陶器は生徒にとって身近な素材である。

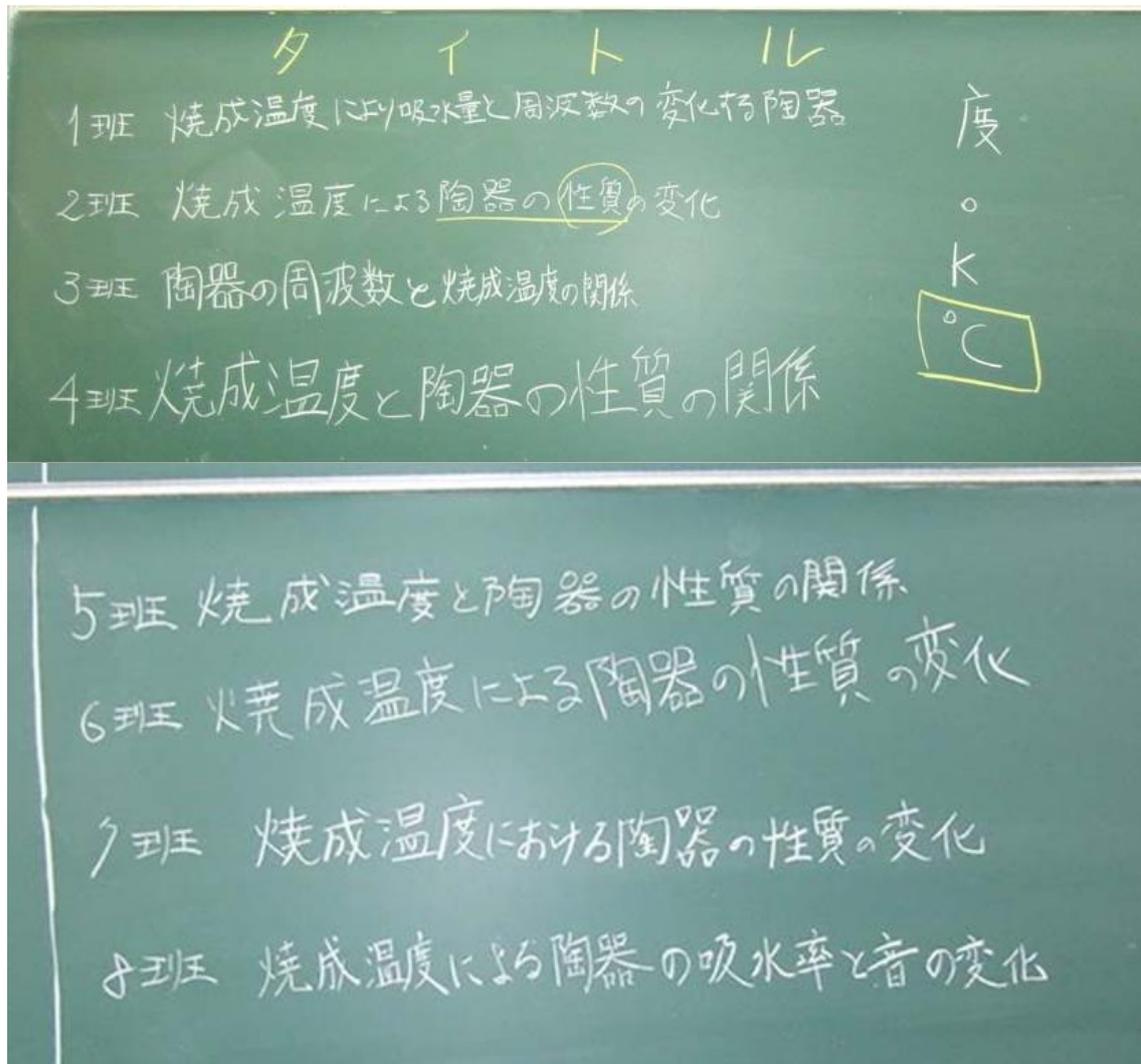


図 13 2012 年 9 月実施時の各グループによる「タイトル」の回答

筆者から生徒へのコメントとして、短時間にもかかわらず、「タイトル」「サンプル論文の改善点」ともによくできたことをまず評価した。そして、「タイトル」については、生徒からの質問もあったので、陶器の性質には論文にも書いてあるように、吸水率、周波数、その他いろいろがあるから“陶器の性質”だけでは少し広すぎることを指摘した。また、4 ページ目の「考察」には、3 ページ目の一番下のグラフの説明として「結果」に書くべきであることと、温度の表記について「度」と書いた場合には、角度の「°」、絶対温度の「K」、摂氏温度の「°C」があるので、この論文では「°C」と表記する必要がある点も付け加えた。その他のこと、例えば「方法」や「結果」は過去形で記述することなどは、時間不足で触れることができなかった。

§3-2 授業に対する生徒のコメント

2012年9月に初めて「科学論文の書き方」という講座を行なった年に、実施校である岐阜県立恵那高等学校のSHH担当主任の塚本先生から、生徒さんからの感想の抜粋をいただいたので以下に紹介する。

2012.9.5 『科学論文講座』 感想（抜粋）

- ・図に通し番号をつけることなど、初めて知りました。これから論文を書くときには、今回学んだことを活かして、より良い論文を書きたいです。
 - ・論文全体を通して統一しなければならない表記の仕方や、謝辞や感想をどこに書くかなど、とても勉強になりました。
 - ・先輩の論文を読んで改善点を考えることができ、おもしろかったです。
 - ・グループで話し合いながら理解することができました。
 - ・論文の書き方をどのように勉強すればよいのかわからなかったのですが、この講座を受けることができよかったです。
 - ・今まで論文の書き方がよくわからず、特に要旨や考察の書き方に迷っていた。この講座で書き方の基礎を学ぶことができたので、これから論文を書くときに活かしたい。
 - ・この講座を通して、以前書いた論文の直すべきところがわかってよかったです。
 - ・私たちの研究では先輩の研究データを参考にしているので、そのことを論文のどこにどのように書けばよいのかわかってよかったです。
 - ・この講義で、論文を書く際に必要なことや書き方のポイントがよくわかった。これからは、今まであやふやにしていた点を直して論文を書こうと思う。
 - ・多くの人に読まれるということをもっと意識して、わかりやすい論文を書くよう心がけたいです。
 - ・ただ研究をするだけでなく、それを人に伝える技術も身につけなければいけないと思いました。
 - ・論文は課題研究だけでなく、大学に進学してからも書くことがあると思うので、しっかり覚えておきたい。
 - ・今まで色々な研究をされてきた恵那高校の大先輩から講義を受けることができ、貴重な体験となった。
 - ・もっと詳しく知りたいこともあるので、この講座の時間を増やしてほしい。
-

第4章 高校生による科学研究のための補足事項

「課題研究」に年間通じて携わらせていただき、いろいろと貴重な経験をさせていただいた。そして、理科教育という観点から、前述したこと以外に気づいた点について以下に記したい。

§4-1 「感想」をどう扱うか

「感想」は論文の構成要素ではない。それでは、高校生がある程度長期間かけて行ってきた研究をまとめる際に「感想」を書いてはいけないのだろうか。筆者は、論文の要素を全て書き終えた後に「感想」という欄を設けて書くのはむしろ望ましいことではないかと考えている。その理由は、一生懸命やっていたらこそ、うまくいったこと、うまくいかなかったことなどいろいろな思いがあって当たり前だと思うからである。その「主観的」な気持ちを「客観的」な論文を書き終えた後で書くことは、理数系の学習に対して、ある種の親近感や達成感をもつことにつながるのではないかと感じるからである。また、論文としての構成要素の部分は、あくまで客観的でなければいけないことを明確にすることもできると感ずるからである。

§4-2 「方法」はどこまで細かく書くか

生徒さんたちの記述を拝見していると、「方法」についての記述は簡素化されすぎているように感ずることが多い。途中段階の論文の添削を依頼されたときには、もっと詳しく書くようにコメントするが、生徒さんたちはどのくらい詳しく書くのかがはっきりしなくて困るようである。そこで、第2章の繰り返しになるが、「方法」欄については、後輩、又は他の学校の人があなたたちの研究に興味を持ったときに、彼らが論文を読んで同じ方法を試してみられる程度書くことを基準としたらいいと思う。見方を変えると、書いてある通りに実施すれば、多少の不出来はあっても再現実験ができるということである。すなわち、再現性が担保されるように書くということになる。

§4-3 「論文を書く」ことと「プレゼンテーション」の違いを考えよう

論文にまとめることも、研究会などでプレゼンテーションするのもどちらも研究の発表にとって大切なことである。ここで、「論文を書く」ことと「プレゼンテーション」の違いについて簡単に比較してみよう。前者は記録として長く保存され、後者には直接コンタクトして伝えることができるという利点もあるが、一過的だということである。その結果、論文に書かれていれば、第1章の「何のために論文を書くのか」に書いたように、だから、あなたが行なった研究に興味を持った後輩がいた場合、あなたの書いた論文は後輩等に有益な情報源となるに違いない。

§4-4 必ずグループの各人が論文を読んでみよう

論文はグループ全員の研究の成果である。実験などを要領よく進めるために分担作業をすることはもちろんあるが、最後のまとめとしての論文は必ず全員参加でまとめるようにしたい。そして、必ず全員が論文を読み、1章や2章に書いた具体的なことがきちんとできているかを各人が確かめよう。

§ 4-5 日ごろの実験で心がけること

以下に、いくつか日ごろの研究について心がけて欲しいことを記す。

§ 4-5-1 先行研究をしっかりと調べよう

「研究」は、今まで知られたことをただ確認するだけでなく、どんな小さなことでのいいのでプラスアルファの新しい点が欲しい。そのためには先行研究にどのようなものがある、どの程度わかっているのかということを知る必要がある。それが先行研究を調べるということである。実際には調べることはかなり難しい点もあり、また、調べていると「何もかも知られていて、もう研究することがない」と落ち込んでしまうこともあるかもしれない。しかし、やはり先行研究については調べてみるということを心がけよう。

先行研究はどのようにして調べたらよいただろうか。思いつくところとして、図書館などで似た分野の本などを探してみるという方法があるだろう。また、最近では、ほとんどの場合インターネット検索を利用することが多いのではないかと思う。インターネットを使った検索は、学校でも利用できる(ただし、限られたサイトしか閲覧できないようにフィルタリングされているところが多いかもしれない)。また、個人でのスマートフォンなどで検索ができる環境を持っている人が多くなっている。大変便利ではあるが、その情報を使いこなすのは実は結構大変なのだということも知っておいて欲しい。

★インターネットを使った検索での注意事項

インターネットで検索すると、随分多くのサイトが表示される。表示されたものの中からどれかを選んでクリックなどの操作をすると、更に詳しい情報が得られる。まず皆さんにお尋ねしたい。検索語を入れて、多くのサイトが表示されたとき、あなたはそこからどのようにして、自分にとって最も適切な情報を提供してくれるサイトを選んでいらっしゃるのか。たいていは、上部に表示されているものから順番にいくつか見て「てきとう」に選んでいるのではないだろうか。筆者がある大学で学生に自由なテーマでプレゼンテーションさせた際に「どのようにネットの情報を選びましたか？」と質問したところ「検索して一番上に出てきたものを選びました」という答えがすぐに返ってきた。これは極端な例としても、多かれ少なかれ似たような状況でインターネット検索が情報源として使われているのだと思う。インターネットの情報はまさに「玉石混淆」である。その中から意味のある情報をつかみ取るのは本当に難しいということをまず知っておいて欲しい。このことをよく認識してもらうために、少し詳しい記載となるが『一般の情報処理』³⁾から著者の許可を受けて重要な点を引用しておく：

「インターネットでの情報発信は基本的に「pull型」、すなわち、全世界からのアクセスは許容するが、それぞれの受け手へアクセスを強要することは出来ない形式、であり、発信した情報を広めるためにはそれなりの方策が必要である。前述したように WWW 上の情報は URL (URI) によって指定されるため、インターネット草創期 (1990 年代前半) には、各分野における重要情報が掲載されているサイトの URL を集めた“URL リスト”が盛んに作られていた。例えば、現在でも少なくない数のサイトにある“お役立ちリンク集”というような表題のページはその名残である。今日では、WWW 上の情報検索を行なう際には、Google や Yahoo! などの『検索エンジン (search engine)』あるいはその機能を含んだ『ポータルサイト (portal site)』を利用することが主流となっているが、これは、上述の“URL リスト”を巨大化させ、各種検索機能を付加したものと原理的には同等である (なお、portal とは“入り口”の意味であり、“WWW ブラウジングをここから始めて下さい”というサイト運営者側の意図を反映している)。

検索エンジンを利用した情報検索は、通常、

- ①ブラウザを利用して、検索エンジンに“検索語”を入力する、
- ②入力された“検索語”を含むサイトの URL 及びその URL で示されるサイトが有している情報の概要とを含む“リンク付き URL リスト”を検索エンジンが作成し、その情報をブラウザ宛に返送してブラウザがそのリストを表示する、
- ③表示されたリストの中から、表示させたいものを利用者が選択すると、ブラウザにその内容が表示される、

という段階で行なわれるため、③のリストで上位 (リストの先頭) に表示される URL を利用者が訪れる蓋然性が高い。このため、発信した情報をより多くの受け手に受け取ってもらうためには、検索エンジンの“検索結果”において、その発信した情報の URL を上位に表示させることが重要になる。そのため、“検索エンジンによる検索結果にどのように反映させるか? (search engine management / search engine optimization)”という knowhow の提供がビジネスにすらなっている。

——中略——

前述したように、ネットワーク上の各種情報は必ずしも正しいものとは限らないため、**検索エンジンが出力する検索結果に対する“自分自身による取捨選択”—真正性 (authenticity) の確保—は必須である。**

ではどうすればよいであろうか。一つの方法としては、情報の真正性の確保できると考えられるサイト群を予め限定して、そのサイト群の中だけを検索する、という方法がある。例えば、政府関係機関 (.go.jp) のサイトだけを限定するには、検索語の後に空白を入れ、さらに、「site:.go.jp」などとするとドメイン名が.go.jp で終わるサイトだけが検索対象になる。大学関係(.ac.jp)のサイトを限定する場合には同様に「site:.ac.jp」とする。ここで断わっておきたいのは、大学のサイトにある情報は必ずしも正しいとは限らないということである。筆者が知る範囲でさえ「ちょっとおかしい」と思ったとき、生徒や学生に「どうし

てその情報が正しいと思ったのか？」と質問するが「大学の先生が書いたものだから」という答えが少なからずあった。この経験から、敢えて「大学の先生は必ずしも正しいことを書いているとは限らない」ということを留意しておいて欲しい。一方、専門分野の研究発表としてなされたものであれば、その信頼性はかなり高い。その理由は、それが間違っていれば、その研究者或いは研究グループの信用が大いに落ちることになるからである。同様な理由で、先端技術分野についての情報も、自社の信頼性がかかっている、その技術分野の専門企業の技術資料に書いてあることは間違っていないという点では信頼できる(ただし、都合のよくないことは書いてないということも知っておくべきであろう)。

もう一つ、よく利用される「ウキペディア」について述べておきたい。「ウキペディア」は一番よく利用される一方、情報リテラシー関係の書物には「信頼性のないもの」として扱われることが多い。しかし、頭から「ウキペディアだからだめだ」と決めつけることもないように思われる。前述の『一般の情報処理』³⁾から若干改変して引用する：

「Wikipedia (<http://www.wikipedia.org>) に関して付言すれば、全ての記述に関して必ずしも真正性が確保されているとは言い切れないが、そこに含まれているそれぞれの項目の記述は、“その記述に利用されている言語を日常的に利用する人々のうちの(ある程度以上の)多数によって「否定されてはいない」と見なすことは可能である。従って、“ある事項・ある概念に対して、日本語ではない言語を常用する人々(≡その言語を母語とする文化圏の人々)がどのように考えているのか?”についての“概略”を知るためにはまさにうってつけのツールと言える。」

つまり、英語版の Wikipedia は、使い方によっては便利に使える場合があるということである。

§ 4-5-2 実験の前にまず実験をデザインしてみよう

実験の前に、まずどのような実験をするのかを考えてもらいたい。教科書や実験書に書かれていないことを実験するのだから「いきなり実験」ではなく、「実験をデザインする」ということをまず行なって欲しい。

①実験のイメージ・方針を固める(実験のスケッチをすることに喩えられる)

知りたいことを明らかにするためには、どんな実験をすればいいのかを考えてみる。

②具体的に実験計画を立ててみる(実験の詳細な設計図を書くことに喩えられる)

具体的にどういうことを決めればよいのか：

材料・器具・分量・濃度・実験手順・実験条件

対照実験としてどういうことをすればよいか

結果をどう検証するか(何をどう測定するか)

etc.

§ 4-5-3 実験はよく観察しよう

実験では観察が非常に重要である。正確に測定するだけでなく、途中でどんな変化が起こったかなどをよく観察しよう。その観察から次の展開のヒントが見つかることもよくある。

§ 4-5-4 実験をこまめに記録しよう

実験するには、必ず筆記用具を手元に用意し、測定値だけでなく、観察したこともこまめに記録しておこう。このためには、研究用にグループで1冊専用の「実験ノート」を用意しておくとういのではないかと思う。

また、実験結果は客観的に記録することが大切である。感覚的な表現、感情的な表現は実験結果の記録としては不適格である。その理由は、そのような結果に基づいて解析や考察をすることはほとんど不可能であるからである。しかし、思いも寄らない結果が出たときに、客観的な記録の横などに囲みを作ってその中にメモとして「とてもきれいだった！」などと書いておくことは全く妨げにはならない。

質量を測定する、長さを測るなど計測ができる場合は数値としての記録が容易にできるが、味覚などの研究で官能評価を行なう場合には、グループ内で基準を設け、その基準によって数値化して記録しておくとうい。

§ 4-5-5 実験について必ず評価をしよう

実験をしたら必ずその結果を評価しよう。例えば、数値データの平均値を出酢などの解析をしてみる、グラフを書いてみる、表にまとめてみるなどをしてみるとよい。実験はやりっ放しではなく、必ず次に進むための評価をしていこう。

§ 4-6 学外研究者(大学・研究所等)とコンタクトを取る際の注意事項

先行文献を調べたりした場合などに、学外の研究者に問い合わせをしたいと思うことも出てくると思う。最近では、いろいろな研究機関で研究者情報をインターネット上でも公表しているので、メールなどで問い合わせしてみるのもよいと思う。その際気をつけなければいけない点を以下に示す：

- ①自分がどこの学校の生徒なのかということを明確に示す。
(必ず、「初めてメールさせていただく」ことや「突然のメールでお許し下さい」という礼儀を忘れないこと)
- ②その研究者の情報をどのように知ったかを明示する。
- ③自分がどのような研究をやっているかを明確に説明する。
- ④どのような点で、質問があるかを明確に尋ねる。
- ⑤できれば、担当教員の学校のメールアドレス(公的なもの)から送ってもらうのが望ましい。最近ではスパムメール対策で、知らない個人からのメールをフィルタリングしているケースも多いと聞く。

第5章 おわりに

3年弱、岐阜県立恵那高等学校理数科2年生に対して「課題研究」を担当させていただく機会を得て、筆者自身、母校であることも重なって、とても楽しい時間を過ごさせていただいた。何よりも、身近な題材をもとに、大人になってしまった筆者が全く思いもよらぬことに興味を抱き、研究テーマとしていたのが印象的であった。大学や大学院で研究テーマについてある種固定観念を持つようになっていくことに気づかせてくれた。いわゆるジャーナルに掲載されるような研究ではないかもしれないが、むしろ研究するということの面白さを再認識させてくれた。筆者は生物関係の実験グループを中心に指導等を行なったが、彼らの発想はいつも自由で面白かった。一方、科学実験としては大雑把であったり、押さえるべきポイントを押さえていなかったりすることも多かった。自由な発想を損なうことなく、実験の厳しい面を指導するということは大変難しいという実感を味わった。どうすればいいのかその処方箋はまだ筆者には書けないが、これを今後の課題の一つとしていきたい。

第6章 引用文献

- 1) 『理科系の作文技術』(中公新書) 木下是雄著(1981)
- 2) 小泉治彦・第6部「成果をまとめる」, 『理科課題研究ガイドブック ～どうやって進めるか, どうやってまとめるか～』(千葉大学先進科学センター) 小泉治彦著(2010)
- 3) 寺内衛・第8章「情報コミュニケーション」, 『一般教育の情報』(あいり出版) 北上始編(2013)

付録 I

「科学論文の書き方」補足版

2014年11月19日 岐阜県立恵那高等学校にて
作成 寺内かえで

「科学論文の書き方」の授業では、実践的なことを学びます。

この補足版では、「課題研究」に取り組んでいる皆さんに、前提として確認しておいて欲しいことをまとめました。

1. 「科学的」とはどういうことか

「科学的」であるためには、以下の ~ を全て満たさなくてはならない。

事実(fact)に基づく

観察や測定によって得られた事実(データ)に基づくことが重要である。自分の都合のよいように作為的に作成(選択)したものや、想像や憶測を含んだものは事実ではない。

再現性(reproducibility)及び検証可能性(verifiability)を有すること

本当にそうなのかを検証できることができ、同じ方法で行なえば、誰がやっても必ず同様な結果が得られる再現性があることが必要である。従って、科学論文では、それを読んだだけで誰でも再現できるように記述しなくてはならない。

論理的(logical)であること

誰でも納得できるように論理的でなければならない。研究を進める段階の思考過程でも、記述をする際にも当てはまる。「結論」は「事実」に基づいて、論理的に導かれたものでなくてはならない。論理の飛躍は「独りよがり」であり、科学論文では、論理のステップを飛ばさずに丁寧に記述することが必要である。

注意: 「科学的」とは“数字”を扱うことではない。数字を使わなくても ~ を満たせば科学的なもの(話・文章)となる。一方、数字を多用していても、再現性がなかったり、論理展開に飛躍があれば科学的とはいえない。

2. 小保方さんのSTAP細胞(STAP現象)はなぜ問題となったのかを考える。

まず、「再現性に問題あり」と研究者らが指摘した。つまり ~ を満たさなかった。

調査が進むにつれ、データの捏造・改ざんという問題も明らかになった。つまり ~ にも違反していた。

3. 論文のイントロダクション（序論）は、論文の中でどういう意味を持つのか。

小保方さんの博士論文では、イントロダクションの部分の半分以上が著名な研究機関が一般に公開している解説文からのコピペであった。このことについて、様々な意見があった。多くはないが否定的ではない意見もあった。また、コピペを否定する意見の中には、著作権などに違反する等の意見も見られたが的外れと私は考える。

論文、特に修士論文、博士論文といういわゆる学位論文では、序論は一般の投稿論文より重要な意味合いを持つ。学位研究に臨んで勉強した内容を咀嚼し、自分の言葉で書く、しかも自分の研究目的と関連づけて書くというものである。もちろん、勉強した論文の内容は、適切な引用方式に従って引用をしなければならない。従って、序論を書くのは最も難しく、また、たいていの場合、実験・結果・考察等を書いた後、最後に、全体を見据えて序論を矛盾なく書き上げる（指導教官からもそう指導される）。学位論文の序論というのは、このように重みのあるものである。真面目に学位論文に取り組んだ人は、同様な考え方を持っているのではないだろうかと思う。

付録 II

1.(1) 論文(レポート)に必要なこと

- ・ 学術的な問題を扱っていること
- ・ 調べたことの書き写しだけでなく、考えたことを書くこと

「感想」は書いてはいけないのか？
最後に「感想」という項目を作って書く

1.(2) 何のために論文(レポート)を書くのか

- ・ 問題に対する自分の考えを相手に伝える
- ・ 研究したことを形として残す

研究発表と論文との違いは何だろう？
あなたの考えは？

1.(3) 基本的な構成要素

- ・ タイトル
- ・ 著者名
- ・ 要旨
- ・ 序論
- ・ 本論
 - 方法
 - 結果
 - 考察
- ・ 結論
- ・ 引用文献
- ・ 謝辞*
- (感想)*

2.(1) タイトル

- ・ 内容が想像できるものがよい
 - 具体的 (抽象的な表現を避ける)
 - 対象が明確 (包括的なものを避ける)
 - 例: 恵那市の気候について調べた研究について
X「岐阜県の気候の特徴の研究」
 - 着眼点が明確
 - 例:「恵那市の気候の特徴と地形との関係の研究」
- ・ 興味をひくもの
 - タイトルは研究内容を1行で伝えるものとする
 - 目立つようにテクニックを駆使する必要はない (キャッチコピーとは違う)
 - 先輩からの継続研究のタイトル
「…の研究 その2(第2報、II)」
「…の研究 - への着目(の改良)」など

2.(2) 要旨 (Abstract)

内容のエッセンス

- ・ 取り組んだ問題 (対象)
- ・ 着眼点
- ・ 主要データ (最も重要な結果を具体的に示す)
- ・ 結論

全体の要約

(本編を書き終えてから、最後に書く、
本編と異なったこと、書いてないことを書かない)

簡潔に書くこと

(字数制限がある場合が多い)

論理の流れをしっかりと考える

(本編と矛盾しないこと)

2.(3) 序論・はじめに(Introduction)

- ・ 何をやるのか(どのような問題に) 研究対象
- ・ どうしてやるのか(なぜ取り組むのか) 研究目的
- ・ 過去の研究事例
 - 調べたこと
 - 先輩からの継続研究の場合 先行研究を簡潔に記載
- ・ 新しい着眼点

2.(4) 本論 方法・結果・考察

- ・ 実験道具、試薬、材料(特に生物分野の場合)
- ・ 実験手順
- ・ データ解析・処理の仕方 (テキスト2-(1))

どの程度詳しく書くのか？

研究発表と論文の違いを考えよう
先輩があなたの研究を引き継ぎたいと考えたとき
最も頼りになるのは、あなたの論文

2.(4) 本論 方法・結果(results)・考察

主役は実験データ(平均などの処理をしたものを含む)
 実験データを図や表を使ってわかりやすく表現する
 (テキスト2.-(2))
 適切なグラフは考察の役に立つ
 図や表について、発表のとき口頭で説明する内容は、
 論文では必ず本文に書く

2.(4) 本論 方法・結果(results)・考察

図・表の書き方の注意点

- ・図と表のそれぞれに、**通し番号**をつける(必須) 本文で引用
 図1、図2、…、表1、表2…
 一つの図の中に、いくつかのデータを含むときは、
 図1a、図1bなどの表記をする
- ・実験装置などの写真も図に含める
- ・図と表にはそれぞれ**タイトル**をつける(必須)
 例:「 の温度の時間変化」
- ・グラフなどの**図の下**に「図の通し番号」と「図のタイトル」を書く
- ・**表の上**に「表の通し番号」と「表のタイトル」を書く
- ・図や表には、下に説明文を入れるとわかりやすい
 要約と図(・表)とその説明だけで論文の内容が
 わかるくらいが望ましい

通し番号, タイトル

表1: 3種の細胞に対するXYLTとFUCTのK_m値の比較

| 細胞名称 | XYLT | FUCT |
|---------------|-----------|-----------|
| GN2563-Asp | 0.80±0.15 | 0.89±0.07 |
| GN2567(2)-Asp | 1.00±1.10 | — |
| GN2563-Asp | — | 0.75±0.10 |

通し番号, タイトル

説明

図1: 乳癌形成する細胞
 1-4の番号は特殊細胞のタイプを示す。上段に増殖、下段には細胞死の細胞が含まれる。図型細胞にGALが産生し、GABAが産生する。

一つの図の中で、関連あるものをA, B, C...と複数の写真やグラフをパネルとして扱うこともできる。

2.(4) 本論 方法・結果・考察(discussion) (テキスト2.-(3))

1. 必須の事項

- データから結論(conclusion)を導く
 ・結果を根拠として、そこからいえることを結論とする
 ・「疑問」に対する「結論」になっているか
 (・他の主張、過去の研究との比較)
- 論理的に記述することが重要

2. ここまでできれば更によいという事項

- モデル化・数式表現
 モデルは図を用いて表わすとよい

3. できるだけ書きたい事項

- 今後の展望

2.(5) 謝辞

実験で協力していただいた方、機関に対する感謝
 (論文を書く際のエチケット)

- ・協力者の氏名(フルネーム)、所属機関
- ・どういことについて協力していただいたか
 例: を測定をしていただいた
 を提供していただいた

理系の作文技術

「事実」と「意見」を区別する 最も基本的かつ重要

わかりやすい文章

- ・一つの文に一つの内容 (長い文章は避ける)
- ・主語と述語の関係を明確に 英語にするとき特に重要
 (わかりやすい文章) ≠ (程度の低い文章)

誤解を起こさない文章

- ・修飾語と被修飾語の関係
 読点(,)の使用
 修飾語は、それがかかる語のすぐ前に置く

参考図書

木下是雄著 「理科系の作文技術」(中公新書)

タイトル

要旨

陶器を焼くときの温度（焼成温度）を変えることによって、陶器の性質が変わることについて調べている。実験①では、吸水率との関係を調べた。その結果、焼成温度が低いと吸水率は高く、温度が高いと吸水率が低くなるということがわかった。実験②では焼成温度によってかわる陶器を叩いたときの音について調べた。焼成温度が高ければ高い周波数が出るわけではないとわかってきた。

〈実験① 陶器の水のしみこみ〉

1. 目的

焼成温度の設定を 25 度ずつ変えて陶器を焼き、吸水率を調べる。

2. 道具

粘土・石膏（これで型をつくる）・ビーカー・コンロ・温度計・ピンセット・キムワイブ・ストップウォッチ・焼成リング（これを陶器と一緒に焼成し、その後これの大きさを測ることで窯の温度が何度まで上がったのかがわかる）・窯・電子天秤

3. 実験手順

(1)同じ形の陶器を作るために、石膏で 3cm×3cm の型をつくる。

(2)陶器の粘土を少量の水とまぜて、中の空気を抜くようによく練る（粗練・菊練等）。

(3) (1)の石膏の型に粘土を入れて同じ形の陶器を作り乾燥させる。

(4)窯を使って 1 回に 2 個ずつ焼く。温度設定は 1100 度～1300 度の間で 25 度ずつ変えていく。

(5)焼きあがったら、窯に入れておいた焼成リングの大きさを測って実際の温度を調べる。

（設定した温度と実際の温度が異なることがある）

(6)80 度の湯 400ml を入れたビーカーに 1 個の焼けた陶器を入れる。1 時間 300W のコンロで湯を沸騰させ、陶器を煮る。こうすることで陶器の中の空気が膨張し外へ出ていく。

(7)コンロを切り、1 時間冷ます。冷ますと陶器の中に水が入る。

このとき、中の陶器にあまり衝撃を与えないように気をつける。

(8)ピンセットで慎重に陶器を取り出し、塗れた布(*)で水滴をふく。

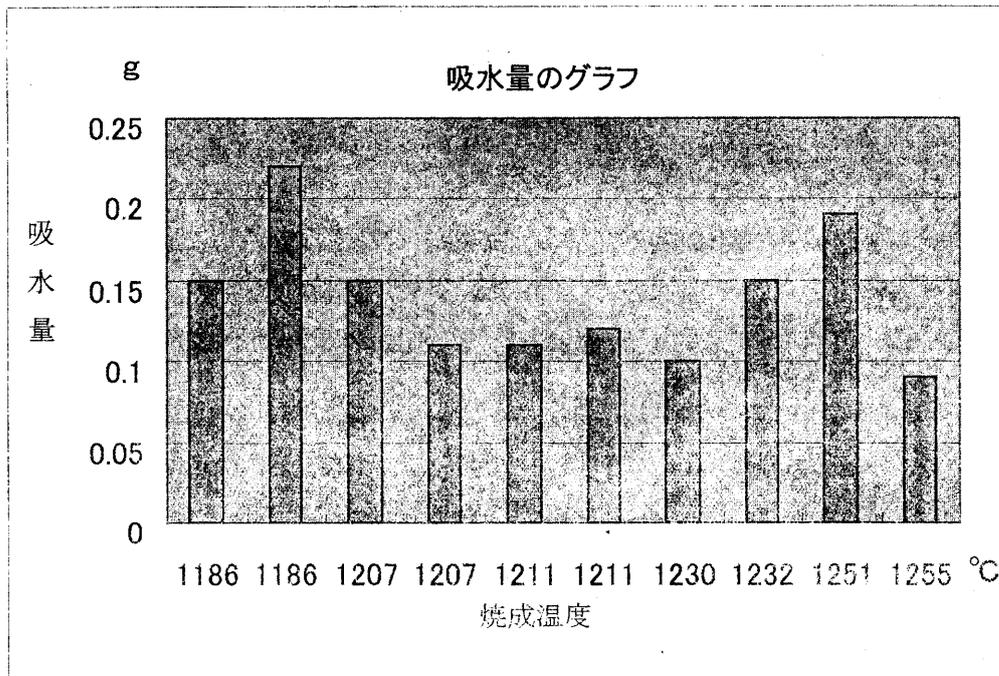
(*…あらかじめ水の量が測ってある。例えば、0.5g のキムワイブに 2.0g の水をしみこませておく)

(9)湯に入れる前の質量と比較する。

陶器を焼く釜→



4. 結果



5. 考察

沸騰させる時間や冷ます時間等の条件が統一されていないので、正確な結果は出せなかった。1186度、1232度、1251度の時を除けば、グラフは右下がりになっているとわかる。焼成温度が高いほど、陶器の中の構造の密度が高くなるから、吸水率が低くなるのだと思う。

〈実験② 陶器の音〉

1. 目的

実験①より、陶器は焼成温度によって性質が変化するとわかったので、次は陶器を板型に作り、周波数の変化を調べる。

2. 使用するもの

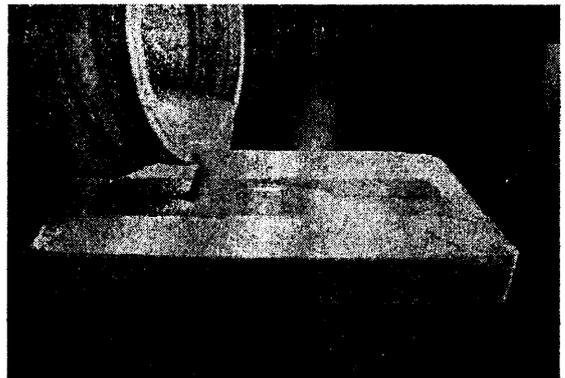
乾燥させ粉状にした陶器・水ガラス・pH試験紙・定周波発振器

3. 実験に使う陶器の作り方

粉状の陶器に水を加え、水が28%の液体粘土を作る。水ガラスをpH8になるまで加え、よく混ぜる。(水ガラスを加えることによって液体粘土が軟らかくなり、少ない水でも石膏型に流し込みやすくなる)

できたものを石膏の型に流し込み、固める。

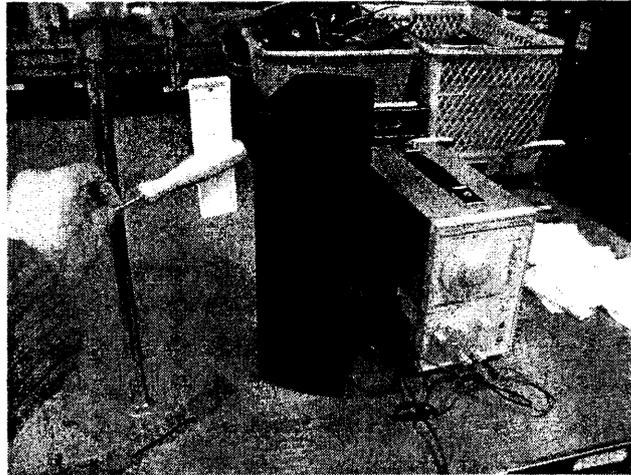
乾燥した陶器を温度を変えて焼く。



〈周波数の測り方〉

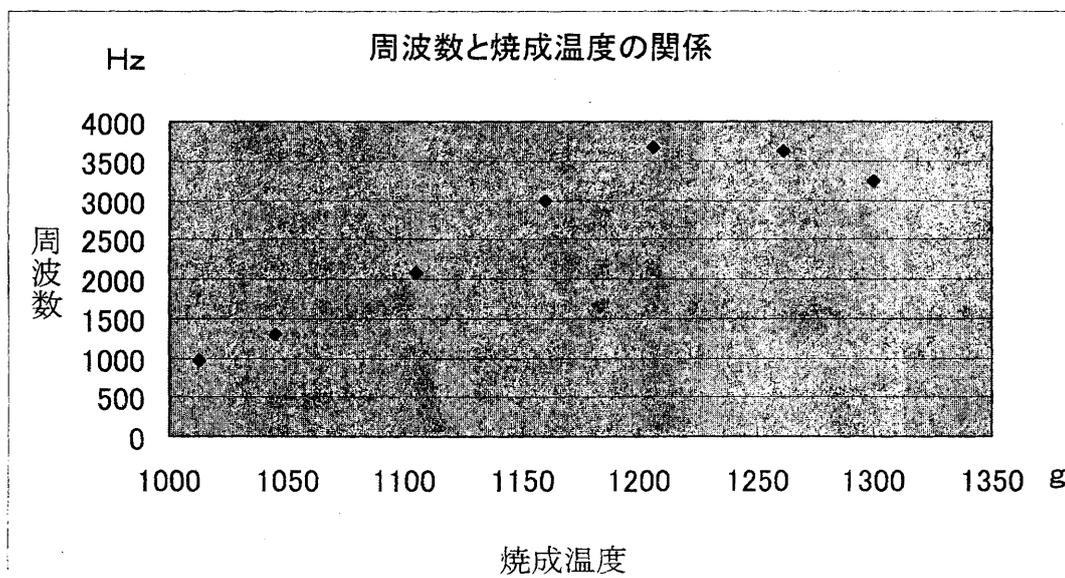
ワイヤーで吊るした陶器を叩き、その音と定周波発振器から出る音を聴き比べる。2つの音のうなりがなくなるように定周波発振器を調節し、うなりがなくなった時の周波数を読む。(写真C参照)

写真C



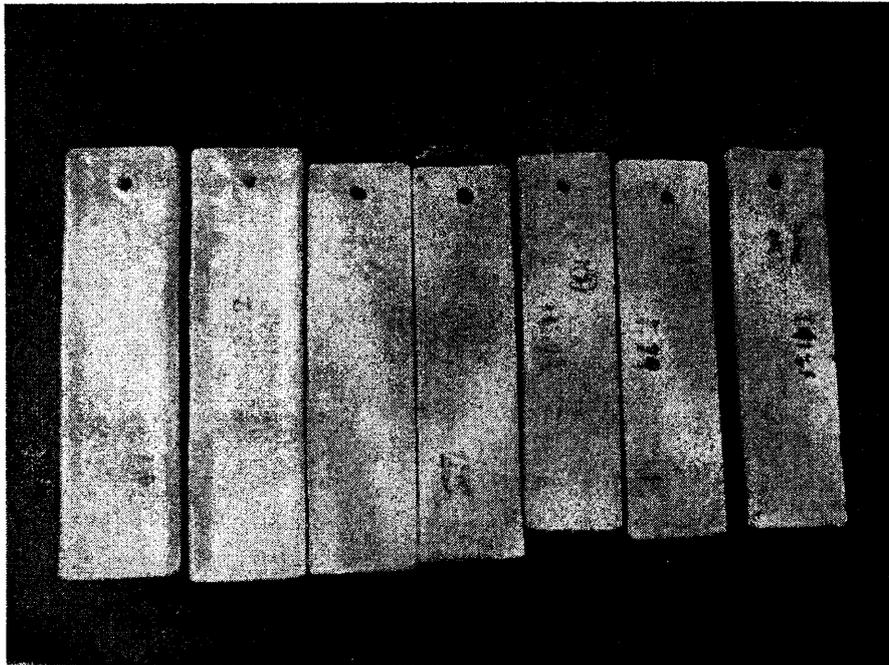
4. 結果

| 実際の温度 (狙った温度) °C | 周波数 Hz | 質量 g |
|------------------|--------|-------|
| 1000 (1000) | 950 | 37.16 |
| 1050 (1050) | 1280 | 38.32 |
| 1105 (1100) | 2070 | 33.97 |
| 1160 (1150) | 3000 | 36.67 |
| 1206 (1200) | 3670 | 34.78 |
| 1261 (1250) | 3620 | 38.80 |
| 1300 (1300) | 3250 | 34.11 |



1013 度から 1300 度までを並べて比べてみると、温度が高いほど焼きしまっていて焼く前は同じ大きさでも小さくなっている。

表面にも違いが出ていて、温度が高いほどつやがあつてきめが細かい感じがするが、低いと粉っぽい感じがして焼く前の表面に近い感じがする。



(左から、1013 度、1045 度、1105 度、1160 度、1206 度、1261 度、1300 度の陶器)

5. 考察

グラフから、1200 度～1250 度の陶器で高い周波数が得られた。この温度の間に、最大の周波数があるようなのでこの周辺の陶器をいくつか焼いてみたい。

温度が高ければ、周波数が高くなるわけではないとわかった。また、1000 度以下からのグラフは左下がりになると予想できる。

それぞれの陶器にわずかな厚み・重さのバラツキがあるので、これから同じ温度での陶器をつくり、テストを行って平均の周波数を測って、正確な結果を出せるようにしたい。

6. 感想

陶器の音の実験では、純粋に周波数を測りたいが、焼きしまりによって陶器の大きさが変わってしまうので、それによる音の変化もあると考えられ残念だ。焼く前の陶器は同じ形、同じ質量で作っているのに焼きあがった陶器の条件統一は難しいが、純粋に周波数がはかれるよう今後の課題にしたい。

7. 参考文献

・セラテクノ土岐の冊子

連携先

・セラテクノ土岐・土岐市陶磁器試験場

専門研究員 渡辺 隆さん

LADy SCIENCE BOOKLET 3
高校生のための科学論文の書き方

2015年3月27日発行

奈良女子大学 理系女性教育開発共同機構

CORE of STEM

Collaborative Organization for Research in women's Education of
Science, Technology, Engineering, and Mathematics

〒630-8506 奈良市北魚屋東町

コラボレーションセンター Z207

TEL.&FAX 0742-20-3266

ladyscience@cc.nara-wu.ac.jp
