

論文

高等学校における自然科学研究と科学論文執筆指導の実際
～兵庫県立加古川東高等学校地学部の活動を具体例にして～

川 勝 和 哉*

Guidance of a natural science study and article writing

—Introduction to the activity of the Earth Science Club of Kakogawa Higashi High School as a concrete example—

Kazuya Kawakatsu *

Abstract

The serious educational issue that “students are not interested in natural science” has become apparent in recent years. Civic lectures for children have been given in many places. The contents of such lectures are interesting, and public experiments have attracted the attention of the children. However, such events can be classified as “scientific play”, and cannot be said to be study of “the natural science”. Initially, all students are interested in natural science. The teachers have a strong sense of perseverance, and it is necessary to have the desire to train students to study a natural phenomenon they are interested in. When teachers think that it is serious when students dislike science, and care about them, they appeal to the students to study for only the pleasure of the science, but the students lose interest in the natural world. The training of sciences, languages and mathematics to express nature objectively is important for students. The students become disinterested in natural phenomena. It is “diminishing will” of the students.

It tends to be argued in student meetings whether the research is an applied study or is fundamental research. Examination committee members may ask “are the results of the research useful for the society?” Research that leads to discoveries and innovations that are immediately useful for the general society tend to get high evaluations. In the Earth Science club of our high school, students perform fundamental research in a very difficult situation, but get results. In addition, personal and collaboration studies are being evaluated highly, although the group study is hard to evaluate. In the case of group studies, it is difficult to determine the contribution of each individual to the study as a whole. The Earth Science club of our high school forms a student group for every study theme, and each student has a role responsibility that carries through the study. We do not use any special analytical instruments, but can do high-quality research if there are good viewpoints and original ideas. By this process, the students understand the meaning of study, and acquire study techniques and the desire to become researchers in the future.

Key words: “not interested in natural science” diminishing will applied study fundamental research
personal study collaboration study group study

はじめに

近年、学生の「理科離れ」が深刻な問題として取り上げられている。それをくい止めようと、あちこちで「科学実験教室」が実施されている。参加者の興味・関心を引き、それはそれで面白いが、それは「科学あそび」であって「自然科学」ではない。そもそも本当に「理科離れ」の現実はあるのか疑問である。また、高校生の言語力の低下が強く指摘され、様々な教材が工夫されている。兵庫県教育委員会（2010）も、新学習指導要領を先取りして、すべての授業の中で言語力を育成することを目指した「ことばの力」教育の取り組みを始めている。たしかに授業をしていても、近年の高校生の国語力

の低下は著しいと感じる。

本校地学部は7年前に筆者の赴任を機に発足し、活発に活動を始めた。①どこの高校にでもある機器を用いて先端的で学術的な研究活動をおこない、文部科学省認定の研究論文大会や専門学会で発表すること、②地元の小学生を中心に科学の面白さ、身の回りの不思議について調べ考えることの大切さを伝え、自然を理解したいという欲求をひきだす活動に寄与すること、を2本の柱にして活動している。初年度8名であった部員も現在51名になり、日々グループ研究に励んでいる。昨年度は、JSEC（Japan Science and Engineering Challenge）2009全国大会ファイナリスト表彰、日本学生科学賞読売新聞社賞および兵庫県教育委員会賞、筑波大学「科学の芽」賞奨励賞、日本地質学会優秀賞、日本物理学会奨励賞、そして「第8回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞」で大賞を受賞することができた。研究活動の歴史はとて浅いが、歴代生徒の並々ならぬ努力で、急激な成長をとげた。

* 兵庫県立加古川東高等学校 〒675-0039 加古川市加古川町粟津232-2
Kakogawa Higashi Senior High School 232-2 Awazu, Kakogawa-cho, Kakogawa City, 675-0039 Japan

地学部の活動目的は、「井の中の蛙」を井戸の外に出すことにある。蛙は、井戸の外に出されて初めて「第2の世界」があることを知るだけでなく、「第3の世界」の存在を「推論」することを始める。自然界の堅い扉を開かせようとして努力を重ねる過程においてのみ、副産物としての「第3の世界」を展開することができる可能性があり、実際にはそれが自然科学を発展させているといっても過言ではない。

研究は、論文や口頭・ポスターなどで発表することで初めて意味をもつ。いくらよい研究でも、それが社会に発信されなければ価値は生まれない。自分の研究の価値を認めてもらえなければ、研究に必要な資金を提供してもらえない。これは会社におけるプレゼンテーションと同じで、発信能力は訓練によって培う必要がある。ところが、研究の方法についてはまだ指導と訓練がおこなわれることがあるものの、論文化やプレゼンテーション能力の育成について、システムティックにおこなわれることはほとんどないのが現状である。

本稿では、筆者が高等学校の部活動指導をおこなう基本的方針とその背景についてまとめる。地学部がどのように研究テーマを決め、どのように実験を設定して結果をまとめ、それを論文化あるいはポスター化して発表しているか、またその目的とポイントはどこにあるのかについて具体的に紹介する。高等学校における科学研究の現状を知って頂きたいと考えたからである。その中で、地学教育を取り巻く問題点にも言及する。なお、兵庫県立加古川東高等学校は創立80年をこえる進学校で、平成18年度に文部科学省からSSH（スーパーサイエンス・ハイスクール）の指定を受けている。

理科離れはあるのか

生徒は基本的にだれでも知的好奇心をもっている。自然に興味・関心をもってもらうとして、わざわざ遊びの中に自然をもちこみ、そのあとの根気強い訓練の指導をしなくて、それを「理科好きな生徒の育成」だと考えてはならない。教師も、理科嫌いになっては大変だとばかりに生徒に気を遣い、理科のおもしろさばかりを前面に出すことはやめた方がよい。それはかえって自然界の不思議さに立ち入ることから生徒を遠ざけ、表面的な興味に終始することで、結局は理科への興味をうばうことにつながる。理系や文系といった垣根を越えて、自然を客観的に表すための数学や、それを相手に正しく伝えるための言語力の訓練をおこなう必要がある。「理科離れ」は、興味・関心が失われたのではなく、自然を理解するための努力や苦勞を避けようとする姿勢、つまり「意欲の低下」によるものである。これは進学校である本校に限った話ではない。筆者が勤務したすべての高等学校（普通科・工業科・家政科・定時制など）で同じように感じてきたことである。波多野・稲垣(1973)は興味深い指摘をしている。「幼児に学習させるなら、遊びを通して、遊びを中心に、というキャッチ・フレーズが幼児の知的教育に賛成している人びとの間で流行しているようだ。しかし、この傾向の中には、“遊び”というのを学習という苦い薬の上にかけて口あたりをよくする砂糖のようなものとして考えているきらいがある」。

幼い子どもが道ばたに咲く花に「興味」をもち、「きれいだなあ」で終わってしまうのか、そこに親が出てきて「帰ったら図鑑で調べてみよう」といって子どもとともに図鑑をのぞき込むのか、その違いが科学の面白さを感じることができるかどうかを分けるのではない。時間をとって行動すること、面倒がらずに努力することが絶対的に必要である。誰でももっている興味・関心を育て、自然科学に向かわせるためには、次の一歩を踏み出すために背中を押してやる必要があるであり、それがあれば多少の努力や苦勞は厭わないのだと思う。これまで筆者が生徒の「理科離れ」を感じたことは一度もない(川勝, 1994/2000/2004)。

研究に向かう姿勢～動機付け

「生徒はいやなことからすぐに逃げようとする」、「苦しいことを我慢しようという姿勢が見られない」、という批判が聞こえてくる。それは多くの面で事実であろう。地学部の生徒のほぼ全員が、「論文というものを書いて有名になりたい」という不純な動機か、あるいは「何となく楽しそうだから」という打算的な動機で入部してくる。純粋に「科学研究をしてみたい」とか、「身のまわりの不思議を明らかにしてみたい」といった生徒は、学年に一人いるかどうかである。

研究は既に前年度の冬から新しくスタートしているので、新入生にとって、最初のうちはわからないことの連続である。顧問は基本的に科学研究の基礎についての教育以外、前に出て部活動をリードすることはない。上級生の実験やまとめ、コンピュータの活用による発表準備などに、それぞれ1年生をグループ分けして担当させるのみである。あとは上級生の行動を見よう見まねで覚え、上級生から仕事を分担されて実際に分析に加わることで研究内容を体得していく。その中で、学習の必要性を肌で感じ、自ら学び始める。上級生の生き生きと活動する姿や壁にぶつかって苦勞しながら努力する姿、新しい発想に喜びがわきあがる姿を見て、新入生は成長していく。自分も責任ある立場で研究に加わりたいと望むようになるのである。こうして、ただ単に「楽しい」、「面白い」という「興味・関心」の入り口の段階から、自然科学の学習や研究に取り組むための基本的な姿勢である「苦しさや努力が伴わないと面白さは表面的なもので終わってしまう」という考えが定着していく。自分の提案が形となり、発見へとつながるかもしれないと思えることほど活動のモチベーションをあげるものはない。

生徒が誤った情報や知識をもっていると、それが強固であればあるほど、その誤りを実験や観察によって認識させることによって、大きな動機付けをおこなうことができる。知的な衝撃は大きければ大きいほど、強い動機付けになる。そして個人的な知的好奇心から出発した研究の成果は、最終的に社会の役に立つものになるということも理解させなければならない。地学部の生徒は早く研究したいと渴望し、あれもこれもしたいというようになる。こうなればしめたもので、次のテーマ選びに入る。

研究テーマの選び方

生徒は学校で主に「どのようにして」問題を解くかについての訓練を受けるが、研究テーマは、「なぜ」と考える限り、身のまわりに満ちあふれている。そして、不思議だと思っただけではだめで、自分で調べてみようと思行動することが求められる。「教科書に書いていないことこそ面白い」というのは、中村桂子氏（JT生命誌研究館館長）の口癖である。科学研究において最も重要なことは、プライオリティーとオリジナリティーである。誰かがすでに明らかにしている現象を追認しても、その意味は薄い。すでによく知られている現象の解明であるならば、そこに新しい視点や方法がなければならない（オリジナリティー）。

高校生の部活動で取り扱う研究テーマとして筆者が考えるのは、社会から乖離せず、地元根ざした社会性をもつ身近なテーマを、第三者的に冷静な目で見、どこの学校にでもある基礎的な実験機器を用いて研究することである。その成果は社会に還元できるものでありたいが、社会に直接役に立つかどうか（損得）を判断材料とするべきではない。地学部最初の研究テーマは「シャボン膜」に関する研究であった。まだ地学部が駆け出しの頃、何をどうすればよいのか見当もつかず、近所のオモチャ屋に出かけていき、面白そうなものを買ってきた。その中に「長持ちシャボン玉キット」があった。近隣の小学生を対象に、シャボン玉実験を「移動実験教室」としておこなうことになった。その予備実験の最中に、レモン汁と納豆汁を入れたときのシャボン玉のできかたや壊れ方に一定の規則性があることに気づいた。シャボン膜の構造とpHとの間には相関関係がある、という仮説ができあがった。それでも、誰でも知っているシャボン玉である。そのようなことはすでに研究され尽くされているのだろうと思い調べてみると、実は誰も調べていないことがわかった。「身近で誰でも知っていることでも、わかっていないことはまだまだある」と学んだ。実験を繰り返すと不思議な点が続々と出てくる。そして、驚くほど簡易な方法で精密な数値結果を得ることに成功した。特別な装置を用いた研究は大学に入ってからおこなえばよく、科学的に思考することこそ大切にしたいと考えた。実験結果について専門家に質問すると、「系統性などあるはずがない」と一蹴された。それでも疑問をそのままにしておきたくないという強い思いで実験を続けた。そうして応募した論文が、神奈川大学で努力賞を得た「シャボン膜の性質とpHの相関関係」であった（兵庫県立加古川東高等学校地学部、2007）。

以後の地学部の研究は、部員一人一人がそれぞれ自分の興味・関心に基いて研究したいテーマを考え、そのテーマについて「何がわかっていて何がわかっていないのか」を調べることから始める体制をとっている。取り上げたいテーマについて全員の前でプレゼンテーションさせ、全員でその内容について評価していく。その中で、面白そうなもの、研究が実現可能であるもの、などの項目で優先順位をつけ、その順位の高いものから地学部の研究テーマとしてとりあげる。毎年研究テーマはたいいてい4編程度である。これらを筆者がす

べて担当する。

興味・関心をもてるテーマを選ぶためには、生徒の能力からかけ離れた知識や技能を必要とする研究に手を出さないことが重要である。「身近なテーマを選び、どこの高校にもある実験機器を使って研究する」ことの理由はここにある。結果的に、論文をまとめていく際に大学院程度の知識が必要になっても、そこに至る学びがあれば到達することは可能である。実際、角閃石の研究は専門研究者の研究レベルに到達していると評価されている（兵庫県立加古川東高等学校地学部、2008）。

テーマは自然科学に関わるテーマであれば何でもかまわない。数年来継続して研究をおこなっているシャボン膜の研究や、現在取り組もうとしている静電気、雨のにおい、砂時計、蚊の飛行高度、など分野は多岐にわたる。それらを論文化して文部科学省認定大会や学術学会で発表する。地学部が出品する文部科学省認定大会には、日本学生科学賞、JSEC、筑波大学「科学の芽」賞、神奈川大学「全国高校生理科・科学論文大賞」の4種がある。同一の研究成果を異なる大会に応募することはできない。テーマを4編にしぼり込むもうひとつの理由はここにある。テーマが決まれば、部員を希望に応じて4つのグループに分け、研究を始める。リーダーはその研究を提案した生徒が担当し、とりまとめをおこなう。

ひらめきとセレンディピティ

たいいていの発見は、それがわかってしまった後で考えれば、「どうしてこんなことがわかっていなかったのだろう」と思えるようなものである。逆にいえば、そう思えるくらいに身近にテーマがあふれているということであり、発見は本当に些細な「ひらめき」、「セレンディピティ」によっている。もちろん、ひらめくためには、感性を高めると同時に、日頃からの知識の蓄積が条件である。日頃の努力なくしてひらめきはないし、仮にひらめいたとしても、それを研究に発展させることはできない。そしてひらめきを生み出す能力は、生来のものではなく、経験や努力を重ねるごとに高められていく。もちろん、ひらめきがすべて研究に結びつくわけではない。無意味なひらめきも多くあるが、自分のひらめきを信じてやってみるという気構えは必要である。

セレンディピティは常識の規制力を減少させる可能性であるといわれる。計画していた研究の途中で、偶然に革新的で斬新な解決策が見つかるのは、研究者のもつ知識や常識をこえるからであり、知識や常識をもたない者にはセレンディピティは期待できないということになる。ほとんどの場合には知識や常識が正しい。革新的な発想が浮かんだとしても、それが本当に成果として実のあるものになるかといえば、ほとんどその可能性はゼロに近い。しかしその一方で、革新性の度合いが研究の学術的価値の高さを決定するといえる。実験に失敗したと思われるとき、そのデータを意味のないものとして破棄してしまうのか、常識をこえる有意な成果が潜んでいるとみるのかは、察知力の問題である。セレンディピティは研究の膠着状態からのブレイク・スルーには欠かせない能力である。セレンディピティには、この「偶然」と「察知力」が

必要であるため、「偶察力」と訳される場合が多いようである。

着眼点について考えると、たいていある現象について議論している間にこそ、研究のヒントとなるひらめきの発想が潜んでいる。筆者と生徒との会話は、他の生徒が書き留めるなどして記録するようにしている。地学部の研究テーマと研究方法のすべては、このようにして生み出されてきた。議論の際にはいつもホワイトボードを準備しておく。記録することは案外軽視されているが、「これは重要かもしれない」という自覚があっても、口にした瞬間記憶から消え去っていくものである。

先行研究から学ぶ

すべての研究は先行研究の上に成り立っており、その積み上げが科学の進歩につながっているため、先行研究をよく調べ、学ぶことが重要である。すべてが自分の研究成果であるかのように発表する生徒には、科学研究者としての基本的な資質が欠けている。近年では相当な学術的内容までもがインターネットで調べられるようになった。その一方で、論文に対する敬意が失われてしまったように感じる。なお、インターネットで紹介されている文章の中には、信頼性が著しく低い情報も多く含まれている。そのため地学部では、①出版物のオンライン版である、②しかるべき研究機関が公表しているものである、のいずれかの条件を満たすものでなければ、少なくとも先行研究としての価値を与えないことにしている。これは引用文献でも同じである。したがって Wikipedia のようなものは決して用いない。

先行研究を調べ始めると、際限がなくなってしまう。いったいどこまで遡ればよいのか、どの程度関係がありそうな論文まで収集するのか、という問題である。地学部では、先行研究の中でも自分たちの研究にとって核となる論文を発見することに力を入れている。多くの場合、その論文でほとんどの問題は示されており、あとは関連する論文を「引用文献」または「参考文献」のリストの中からピックアップするだけで事足りる。

基礎研究と応用研究

評価を得るという観点から、基礎研究と応用研究ではどちらが「有利」という議論がある。一般には高校生発表の場合、応用研究、つまりその発見や発明がすぐに世の中の役に立つものが、親しみやすく、話も聞きやすく、理解もしやすいため、高い評価を得る傾向にある。逆に基礎研究は、高校生レベルでおこなうこと自体が難しく、高度に専門的になりやすいため評価されにくい。公には「分け隔てはしていない」という文部科学省認定科学研究コンテストの審査委員でさえ、個別に聞くと、基礎研究は評価が難しく避ける傾向にあることを認めている。研究発表会の場でよく質問される事項は「それがどのように世の中の役に立つのか」である。部員たちは、「評価に偏りは無い」としながらも「役に立つかどうか」を評価基準とする矛盾に悩まされながら努力を重ねている。基礎研究も応用研究も、およそ科学というものは世の中をよくする

ためにあるものである。しかし、理学系の研究が、直接的にあるいは即座に社会の役に立つのかどうかと聞かれば、それは工学系にはかなわない。地学部の研究のうち、岩石鉱物学に関するものは基礎研究である。鉱物の結晶状態を詳細に追跡することによって、マグマの分化末期の状態を推定しようとする試みである。

研究の形態と評価について

近年の論文の評価は、個人研究やせいぜい数名による共同研究が高く評価される傾向にある。グループ研究では個人の研究への関わりがはっきりしない、という理由から評価されにくいのだという。地学部は、研究テーマごとにグループを形成し、全員が責任ある役割を担って研究を進めている。一定の成果が上がると全員で討論し、筆者が助言して論文化する。英文要旨も生徒自らが書く。このような活動は全国的にも珍しく、またその内容が非常に高く評価されている。グループ研究が評価され続けること自体、極めて稀である。欧米では、高校生であっても「研究は個人的な営み」であるという考えが基本にある。一方日本では、将来ノーベル賞を受賞するような学生を育てようという目的の大会と、科学的に思考する高校生の裾野を広げる目的の大会とがあり、その基準は実施年によっても揺らいでいる。いずれの大会でも、高校生の柔軟な発想とバイタリティーで、未知のものを研究していく姿勢を大切にしたい、という思いを強くもっている審査委員が多数いることは救いである。

審査した高校生の中から、将来のノーベル賞受賞者が生まれはしないかと期待し、「高校生だからこの程度で」と研究に棒を設けることなく、とことんつきつめて研究せよ、それが大学レベルに至っても突き進め、という助言は、SSH（文部科学省指定 Super Science Highschool）の大会でよく聞く話である。これは一見、科学技術立国日本の将来を担う高校生を育成するという理念に貫かれた姿勢のように思われる。しかし、この発想は危うい面をもっている。「疑問に思えば高校の教科書に書いていないこと、大学レベルの知識に至ることがあっても、自然科学の学びを大切にしよう」という本来の意図を離れ、いつの間にか「特別な機器を用いて高度な分析をおこない、研究成果を得る」という意味だと曲解されているのではないか。これでは、潤沢な資金が与えられている SSH 校に特権的に与えられる考え方ということになってしまふ。高度な分析機器など本来必要とはされないはずである。

平成 20 年度の SSH 生徒研究発表会当時、既に本校地学部の研究は、審査委員の間でも超高校生級の研究として認知されており、審査委員の関心は、本当に生徒がその研究をおこなったのかどうか、先生の指示通りにやっただけなのではないのか、という点に集中していた。研究成果が先端的であっただけに、鉱物学の専門家でも答えられないような極度に専門的な質問が立て続けにあげられ、生徒は疑惑を解くことに終始した。「どんどん高度な研究を」といいながらも、一方で生徒の高い能力と研究力を理解できない審査委員に審査されることに矛盾を感じたものである（第 1 図）。



第1図 平成20年度のSSH生徒研究発表会

他の文部科学省認定大会の審査委員にもこのジレンマがあり、コンテストが「裾野を広げる」ことを目的としているのか、それともノーベル賞を受賞するような特別な生徒の発掘を目的にするのかで議論になるようである。実はこの議論の発端となったのも、本校地学の研究論文の応募であった。

本校地学部の活動は、「先進的あるいは学術的成果を得る」という研究目的と、「自然科学への興味・関心を深め、裾野を広げる」という普及目的が両立している点がユニークであると評価されている。特別な機器は用いないが、着眼点と発想力で先端的研究はできる。その過程において、研究するというこの意味、研究手法の修得、将来研究者になりたいと思う心の育成に力を入れている。そして、高校の部活動なのだから、個人研究ではなく、部員全員によるグループ研究にあくまでこだわっている。現代の多くの研究は、さまざま異なる領域の研究者が同じチームを作ってプロジェクトを推進している。理工系の研究者に経済や社会系の研究者が混じっていることも珍しくない。そのためには、科学技術と人間社会との関係についての洞察力を身につける必要がある。科学者が社会の中で特別なコミュニティを形成していればよい時代は終わった。地学部の活動は、理数系の生徒と文系の生徒とのグループによってすすめられている。そして理数系の生徒であっても文系科目の学習は必要であり、また科学倫理学についての英知も育成する必要があるのである（川勝、2010）。

要素還元論と全体論

複雑に見える全体像を考えると、全体を構成している基本要素は簡単で単純なものはずであるから、基本単位を理解することで全体を見渡せるはずだ、というのが要素還元論である。微分的発想で、原子論にしても細胞説にしても、近代の自然科学はこの考えに基いて発展してきた。しかし、還元主義は万能でないことは、高校生でもよく理解しており、枝葉ばかりを見るのではなく、木全体を見るべきであるという全体論の考え方もまた浸透している。いくら金属の物性を

研究しても、自動車の性能を理解することはできない。ゲームが理解できても、ある人物の個性や癖はわからない。地震の起こるシステムは、微視的な要素をいくら研究しても理解することはできない。地震は、複数ある構成要素が互いに関係しあって引き起こされる非線形現象だからである。自然法則に近づくためには、要素還元論で研究を進めるのがよいのか、全体論的視野で研究を進める方が真理により早く到達できるのかの判断は、研究方針を立てる際に見込みを立てておく必要がある。

仮説を立てる

優れた仮説は科学の進歩の原動力である。それだけに、予備実験をもとにして「よい仮説」を立てることに最も苦勞し、悩み、その時間を楽しむ。仮説は試行錯誤によって生み出される場合が多い。地学部の「シャボン膜の性質に関する研究」では、子どもを対象とする「移動実験教室」の準備において得たものであった。他の岩石鉱物学分野の研究でも、とにかく多くの薄片を作成して観察することから生み出されていった。試行錯誤はいわば探求活動の核をなすものである。

研究方法を大きく分けると、演繹法と帰納法がある。演繹法は、結論を前提だけから論理学の規則にしたがって引き出す方法で、前提の中に含まれていた結論を明るみに出す「推論」をおこなうことだといえる。一方帰納法は、個々の事例を経験的に多く集めて調べることによって一般的な結論を一気に導き出す手続きのことで、いわば「推理」である。「推論」は消去法によってなされることが多く、自然科学研究では本道であると考えられているが、問題は、推論の前提の中に真実の結論が含まれていなくても、消去法によって誤った結論が引き出されてしまう危険性があることである。たとえばSSH校の全国大会で、前提として並べられた事象が誤っているにもかかわらず、消去法によって残った「誤った」結論が導き出され、それが発表されてしまったことがあった。この高等学校の研究は非常に専門性が高かったため、審査委員はだれもその誤りに気付くことなく、受賞にまで至ってしまった。また神奈川大学の論文大賞では、ある現象が起こる原因をAと仮説立て、それを実験によって検証して「矛盾がなかった」としてAが仮説として正しかった、と結論付けるものもあった。これは「高校生らしい研究」かもしれないが、科学的論理の組み立てという観点から考えれば誤っている。これらは、仮説を立て、演繹法で研究する場合、前提に選択肢が本当に見落とされることなくあがっているかを慎重に考えなければならないことを示している。一方帰納法を用いるならば、それは膨大なデータを集め、その雲の中から一粒の真実を発見するようなものである。地学部の研究をどのように進めていくかで生徒と最初に協議するのは、この点である。

実験の客観性

高校生は、仮説を立てると、その仮説を「証明」しようとして実験をおこなう傾向に傾きやすい。無意識のうちに、自

分たちに都合のよい結果が出るように実験条件を組み立てるわけである。客観的な実験など、ほんとうにあり得るのか？これが地学部の研究でも最大の問題であり、いつも生徒の頭を悩ませる。

定性的分析をおこなっていても、分析を続けるうちに定量的分析だと勘違いする生徒もいる。定量的分析であるためには、ある単位で測定し数値化されること、さらにそれが数式を用いて表現される法則と照合ができることが必要である。比較対照してどうだという実験結果がいつの間にか数式へと変化していくことは避けなければならない。

実験には誤差がつきものだが、誤差の扱い方を誤ると研究そのものの評価が変わってしまうため、慎重さが求められる。広辞苑で「誤差」をひくと、「真の値と近似値または測定値との差」とある。このよくわからない定義に誤差の問題が潜んでいる。真の値がわからないから実験するのであって、その意味においてこの定義は意を成さない。誤差には2種類あると考えられる。まず、①測定機器そのものに起因する誤差、つまり同じ試料を同じ条件で測定しても、測定機器そのものに内在する問題によって生じる差である。他方、②試料に不均一性がみられることによって、完全に同じ測定機器によって測定しても生じる差、がある。岩石や鉱物を研究する場合には、この双方の誤差がみられることになる。岩石や鉱物は不均一な試料であり、それを測定する機器そのものにも誤差が含まれる。そこで地学部の研究では、たとえば加熱炉による加熱実験を例にとると、まず最初に、岩石を加熱する条件と同じにしてデータをとり、測定機器そのものの温度の振れ幅（加熱温度の誤差）を明らかにするようにしている（信頼性試験）。実際に岩石を加熱する際には、このデータを用いて測定データを補正する必要が生じる場合がある。また論文には使用した機器のメーカーや品番などとともに信頼性試験結果を添付する。

岩石や鉱物は不均一な試料なのだから、測定値は本来ばらつくはずである。したがって実験結果を示すときには、「どのくらいばらつくのか」という視点を重視すべきであり、単純に複数回の測定値の平均値を表やグラフとして示すことは避ける。グラフ化する場合には、平均値を点で示し、その点を中心としてばらつきの幅を棒の長さで示すようにする。自然科学では、データの精密さが信頼度を高めるものという考え方にとらわれやすいが、データがばらついていることの方が、より重要な情報を含んでいる場合もある。データの分析という観点からいえば、データの「偏り」と「ばらつき」を混同しやすいので生徒に注意を促している。「偏り」は「真の値」からデータがどれだけ、ある傾向をもってずれているか、という意味で、データがすべて同じようにずれているときに用いる。一方「ばらつき」はデータが散らばっている状態をいう。

困難に向き合う

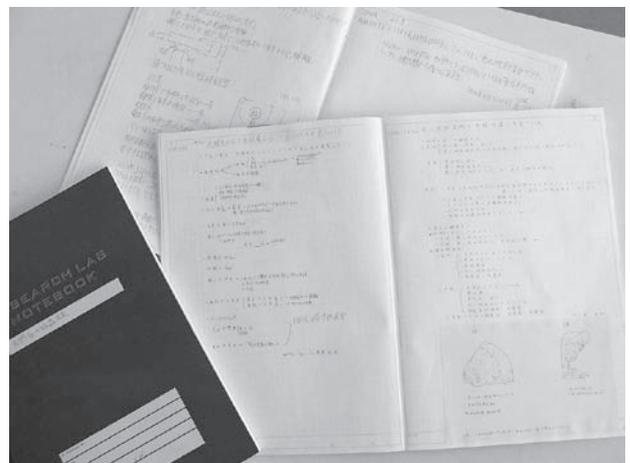
実験をしていると、予想もつかない結果が出る 경우가少なくない。以前に発表した研究成果との矛盾が露呈することも

ある。生徒は、「今更間違っていましたなんていえない」といって困惑するが、研究とはそのような性格のものである。これは、科学の進歩を実体験できるよいチャンスである。

ある勉強や研究が難しいと感じるとき、それは、自分の知識の不足によるものなのか、内容そのものが難しいのかを、冷静に判断させる必要がある。研究内容の専門性が高くなると、探求活動が一方に集中する傾向が強くなり、逆に問題解決に役立つ発見やひらめきであらう機会が少なくなるという関係がある。ねらいからはずれた領域からこそひらめきを得られるのであり、研究者自身が広い視野をもたなければならない。地学部の活動では生徒に要求する視野は、経験が少ないということもあり、専門研究者のそれとは比較にならないほど狭い。そのため、理系と文系の生徒が協力してグループ研究をおこなう必要が生じる。議論によって、一見無関係に見えることがらを関連付けることが創造性を高めるためには欠かせない。経験的に面白さを知っていることは、自然科学の面白さを知っていることとは異なる。「なぜ」そうなるのか、理屈を考えることは苦しいが、それこそが科学である。

リーダーに対する顧問の関わり方

それぞれのグループの研究内容は、すべてグループごとに準備している「実験観察記録ノート」に記録している（第2図）。実験などに前進があれば、グループのリーダーは顧問に報告する。顧問は、次の実験へのアドバイスをしたり、欠点を指摘する。リーダーはそれをグループに持ち帰り、メンバー間で議論する。これを繰り返すことで、グループのメンバーには、生徒自ら研究をおこなっているという自負心が育っていく。実際、経験も知識もない高校生が、未知の事象に対して革新的な発見をすることはまず不可能である。顧問の指導・助言が絶対的に必要とされるが、全員の前であれこれと指示を出すと、生徒は自ら考えて自発的に行動することができなくなってしまう。リーダーだけに指示を出すようにすれば、「自分たちの力で研究を進めていかなければならない」という意識が育ち、自発的に行動するようになっていく。



第2図 実験観察記録ノート

各グループの研究が進行し、ある程度まとまった成果が上がってきた時点で、部員全員が集まって報告会と討論会を開く。この時に初めて筆者は顧問としての助言を全体の前で与える。今後の実験の指針について話し合い、一定の研究成果が期待できそうだということになれば、その研究を優先研究と位置付けて部員全員で集中的に取りかかる。議論で新しい実験を提案した生徒は、その実験の責任者となる。研究は最初のグループの生徒だけのものではなく、論文は全員の名前で出すことになる。高等学校の部活動における研究であるから、これは当然の方向性である。

論文を書く

授業で痛感するのは、近年の生徒の国語力の低下である。その中には、問題文を読んでも題意を把握できない、解答を文章化できない、などがあげられる。筆者は、記述式の入試問題や小論文で、①題意を把握する、②答えるべき事項を箇条書きする、③各事項に順位を付ける、④順位の高いものから接続詞でつないで字数内にまとめる、⑤文章は短くし、そのまま英文化できるように留意する、と指導している。これはそのまま論文化するための訓練となる。日本の学校における作文教育は国語表現としておこなわれることがほとんどで、「いつどこに行って何をしたか」を正確に記述するというよりも、「心情がどれだけ生き生きと描かれているか」によって評価される傾向が強い。そのような作文教育はもちろん大切であるが、一方で論文や将来の仕事に役立つための、「情報を正確に伝え、筋道を立てて意見を主張する」作文指導が欠落しているという事実がある。このような訓練は、せいぜい大学入試の2次試験対策としておこなわれる程度で、部活動で論文を書こうとすれば、たちまちつまづくことになる。誰が読むのかをよく考え、相手に合わせた文章にしなければならない。

地学部の生徒は部活動内で訓練を受けているので、比較的内容易に文章化することができる。千葉(1985)はこう指摘する。「リングが木から落ちる」というだけでは科学とはいえないが、「2つの物体は引き合い、その引力は距離の2乗に反比例する」といえば、「万有引力の法則」という科学的法則になる。つまり、日常的な言語表現と科学は本質的にそれほどの違いはないのである。つまり、科学とはことば(数字を含む)を駆使する学問である。(中略)結果をできるだけ普遍的に定義されたことばで表現し、こと(事象)のなりゆきを法則としてとらえるのが科学である。科学とは日常的な言語的認識あるいは思考の延長線上にあるということになる。この考え方は、とりわけ理系の生徒に徹底させるようにしている。

書き始めるときには、だいたいのアウトラインを決めておいて、とにかくどんどんコンピュータに打ち込んでいくようにする。そのときにキーワードになりそうな語にはアンダーラインを引くか、文字色を変えておくかすれば、あとの作業が楽である。一文ずつ改行し、後から並べ直ししやすいように工夫しておく。後から読み返すと、同じことを2度書いていたり、相反する内容があったりするため、まとめる際にフ

ローチャートを作成し、それに従って整理する必要がある。同じセクションに書いた内容を上手に接続詞でつないでいけば、第1稿の完成となる。その際、主語がきちんと示されているか、目的格が正しく主格に対応しているかに注意する。一文はできるだけ短くする。高校生の文章では、①文章が長く、主語と目的語や動詞が対応していない、②「それ」などの指示語や「こと」という意味不明の言葉が多く用いられていて具体的でない、という特徴がみられる場合が多い。清水(1978)が指摘するように、「こと」ではなく「事実」とか「結果」という具体的な単語を用いるように指摘する。論文では、「こういう意味のことを書いているのかな?」などと相手に推測される余地を与えてはならない。曖昧さをなくすためには、はっきり言い切る表現にすることが重要である。「相手には相手の考えがあるかもしれない」などと遠慮深く考えずに、明確に述べる。

以下に、本校地学部における論文文化の指導方法を具体的にまとめる。一般論の詳細は、木下(1981)やJ. R. Mattheus・R. W. Mattheus(2009)に詳細が紹介されており、筆者もよく引用している。一般的な論文の様式は、「題名」、「研究者名」、「要旨(Abstract)」、「はじめに」、「実験方法と結果」、「考察」、「さいごに」、「謝辞」、「引用文献」からなる。これらを最初から順に書かず、客観的事実をまとめる部分から書き始めるようにすると作業をスムーズに進められる。最初から書く場合には、相当きちんとしたフロー・チャートを作成しておく必要があるので勧められない。

1. オーサーシップを明確にしておく

執筆者になり得るのは、論文に書いてあることについて熟知しており、その内容に責任をもてる生徒だけである。実験をおこない、その結果について分析したり討論したりした経験が必要で、実験の一部を受け持っただけでは執筆者には含めない。したがってもちろん、部員だからといって自動的に執筆者になるということはない。さらに記名の順番にも決まりがある。ファースト・オーサー(シニア・オーサー)は研究を中心的立場で推し進めた人物であり、グループ研究プロジェクトの責任者である。高校生の研究論文では、これらのことが明確にされていない研究論文があまりにも多い。

文章化するとき、誰がコーディネーションするのかの人は慎重におこなう必要がある。文章を複数の部員で分担して書くと、文体や表現が異なるため、後で統一する作業が大変な負担になる。そのため、グループの中で文才のある者がまとめて文章を打ち込んでいくスタイルをとっている。その間に、他のメンバーは英文化や図表の画像作成などを担う。

2. 「実験の方法と結果」をまとめる

実験の準備物と方法、結果についてまとめて書く。実験結果のデータを示すことは、客観性を保証する上で絶対的に必要である。論文によっては、その大半をこのセクションにあてる場合がある。何を明らかにするためにどのような実験をおこなったのかについてまとめる。読み手が頭にフローチャートを思い浮かべられるような書き進め方がよい。もちろん、そ

のためには、どのような仮説を立てたのかについて説明する必要がある。実験内容は、「その筋の人なら」追試ができるように書くという程度が適当である。

「この実験結果からこのようなことがわかる」と書いてしまう生徒がいるが、このセクションで結果の解釈（考察）を書いてはならない。科学研究において、客観的な実験データと推論（考察）を混同することは避けなければならない。この際、実験の写真を貼付すると理解してもらいやすい。結果は生データとして表にして示すと同時に、要素間の関係に注目してわかりやすく見やすいようにグラフや図として示すのもよい。ただし、グラフ化する際には、そこに主張が入り込みやすいので注意を要する。不安であれば、グラフ化は考察のセクションでおこなう方がよいかもしれない。

よく、どのような筋道で今回報告する発見にたどりついたのかを、時系列を追って説明する文章をみるが、場合によっては煩雑になり、結果として主張が伝わりにくくなる。筑波大学「科学の芽」賞などは、その創意工夫の部分を大きく評価するため、詳細に時系列を追っていけばよいのかもしれないが、他の論文コンテストや口頭発表ではそうはいかない。結論に至るまでの苦勞を伝えたいという思いはわからないではないが、ストレートに結論に向かうように構成を考えた方がよい。

3. 「考察」を書く

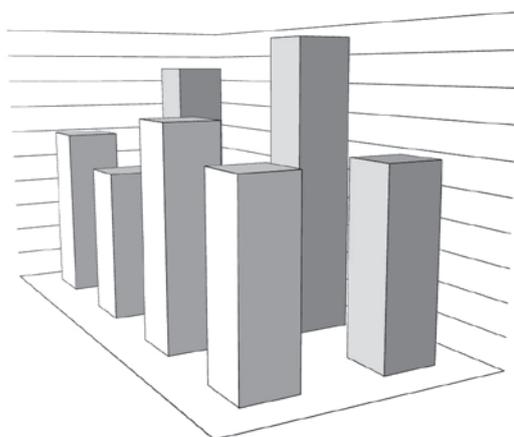
この研究で何がわかり、それがこの分野全体においてどのような意味をもつか、なぜ重要なのか、という解釈について、実験結果に基づいて考察する。このとき、研究を先行研究と結びつけて論じる。仮説が正しくなかった場合でも、その原因を明らかにし、新たな仮説を立てて次の研究へとつなげる内容にすればよい。それも立派な研究である。もしかすると、仮説の誤りの原因を追及することによって、新たな視点の発見に結びつくかもしれない。先行研究と結びつけることによって、結論が新たな理論として一般化できないか検討することも必要である。

このとき、根拠のない内容を書いたり、いきすぎた思いこみの表現をしたりしないように注意しなければならない。要するに、実験からは導くことができない「きっとこうだろう」という内容を不用意に書いてしまうと、論文全体の信用を失墜させかねない。「大きな成果であると思いたい」、「重要な研究だ」という自負がある」という妄想に取り憑かれず、わかったことだけを書く。大きな発見など、専門家でもそうそうあるものではない。高校生の視点であくまで謙虚にすすめる。

4. 図表やグラフを作成する

図表やグラフは、論文を書き始めるとともに作成を始め、早い段階から本文中に収めていくのがよい。図表をまとめることで、頭の整理がつくからである。地学部では、コンピュータに強い生徒が専門に担当している。図表を作成するためには論文のポイントが理解できていなければならないので、これは単純なコンピュータ描画の作業とは異なる。論文の図表やグラフは、ゆくゆくポスターやパワーポイント画面にも用

いるため、カラー版と白黒版の2種類を作っておき、それらをPNGやJPEG、パワーポイントなど、さまざまな方法で保存する。近年の技術の進歩はめざましい。簡単に作図ができてしまうために、かえってデータやグラフに潜む問題点に気がつかない場合がある。最近のコンピュータ描画ソフトを用いると、さまざまな視覚的效果を加えることができるが、それらの多くは科学論文には適さない。たとえば、グラフを立体的に斜めから見たように示すことである（第3図）。こうすることによって、一部が誇大に表現されてしまう。不適切な視覚的效果を用いると、データを捏造することなく、相手の錯覚を引き起こすことによって、恣意的に一定の方向に考察を誘導することも可能である。グラフに斬新さは不要である。

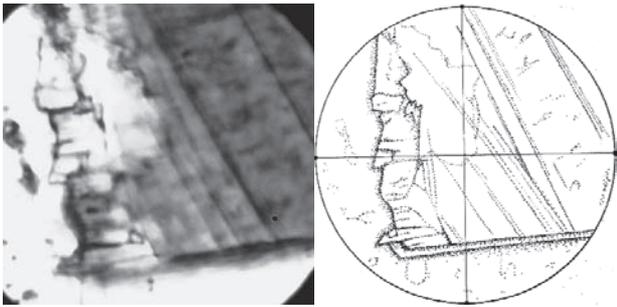


第3図 立体的に示した棒グラフ

どの種類のグラフを用いるかは、表現したいデータによって異なる。ある期間にわたる連続変移を示すのであれば、折れ線グラフを用いるように指導する。ただしデータが連続性をもっている場合に限られる。非連続なデータの変移は棒グラフで示すべきである。円グラフは全体と各部分の関係を明確に示すのに有効である。散布図は、一般に2つの変数間の関係を見いだすことができるのかどうかを示す場合に用いる。地学部の竜山石の加熱実験グラフでは、散布図が大変有効に機能した。物理分野の研究では一般的であるが、グラフ上のプロットが、同じ条件でおこなった何度かの実験結果の平均値であるならば、プロットの中心を縦に走る棒で変動幅がどれくらいあったのかを示さなければならない。そのとき、標準誤差を用いたのか、標準偏差を用いたのか、実験総数とサンプル数を、理由とともに説明する必要が生じる。安易に平均値をプロットすると、データの信憑性が失われる事態を招きかねない。

地学部の研究では、顕微鏡観察像を示すことがある。鉱物には、屈折率の関係で浮かび上がって見えるものと沈んで見えるものがある。写真の焦点深度は浅く、そのため高倍率で撮影すると、視野の一部の明瞭さが失われる。また、写真をただ掲載するだけでは、主張したい部分がどこなのかがわか

りにくい。そこで、写真とともにスケッチを掲載するようにしている（第4図）。スケッチの基本は点描である。同じ大きさ、同じ濃さの点の集合で、顕微鏡下で観察できる画面のうち、特に強調したい部分を中心に描いていく。点がつながって線にならないように注意する。できる限り少ない数の点で主張を示すことができれば、それはすぐれたスケッチである。部員は全員が点描の訓練を受ける。もちろん写真やスケッチには、必ずスケールを貼付する。



第4図 偏光顕微鏡写真とスケッチ

いくら頑張って作成した図表であっても、不要なものを論文に載せてはならない。それは、「あってもなくてもよい」という以上の「余計なこと」、「本筋を理解できていない」というマイナス効果を生むからである。

5. 「さいごに」を書く

本研究で残った疑問点、新たに生まれた問題、などについてまとめ、それらを解決する道筋がある程度見えていれば、それをまとめて書く。今後の研究の方針を宣言する部分であると考えればよい。このセクションで、あらためて考察や結論を書いてしまいうるので、短く簡潔にまとめる。

6. 「謝辞」を書く

高校生が研究するにあたって、本当に多くの方々にお世話になる。半人前の「研究者」を温かく育ててやろう、という周囲の人たちの思いがなければ、研究はおこなうことができない。お世話になった方々には、名前だけではなく、どのような面でお世話頂いたのかについても紹介して謝意を表す。

7. 「引用文献」をまとめる

引用文献は必ず正しく挙げる。他人の知的財産を無断で使用したり、許可なく用いてはならない。インターネットからの引用は極力避ける。引用文献を正しく掲載することによって、発表する論文そのものの信頼性も高くなる。

引用文献の表記の方法には次の2種類がある。①「番号方式」：本文中の文献執筆者名に、論文が出てくる順番に番号をつけ、論文の最後に出てきた順にまとめる方式。たとえば、「田中³⁾によると」などと表記する。②「ハーヴァード方式」：「田中（2009）によると」などと、文中に執筆者名と発表年を示し、論文の最後にアルファベット順にまとめる方法。高

校生による論文では②をよく用いる。

8. 「はじめに」を書く

「はじめに」は論文の中で最も書くのが難しい部分である。ここでは、何がどのような理由で問題になっているのか（研究の動機）を明確に示すことが最も重要である。論文を読んでもよと思わせる文章力が求められる部分である。さらに、これまでわかっていることを手短かに紹介し、本研究で明らかになったのはどのようなことなのかを簡潔にまとめる。

9. 要旨 (Abstract) を書く

Abstractは論文の短縮版で、それだけを読めば研究の内容が一望できるという性格のものである。これに対してSummaryは論文の結論部分のみをまとめるもので、性格が異なる。本校地学部の論文では、一般にAbstractを英文で貼付する。多くの文部科学省認定大会では、論文ではなくこのAbstractによって一次審査がおこなわれるため、時間をかけてまとめる。主語は3人称、動詞は能動態、時制は過去、をAbstractの基本にしている。部員は、「英語が苦手では論文を完成させることはできない」と強く動機付けされる。

10. 論文のタイトルを考える

論文全体の内容を端的に表すものにする。一般には20文字以内で収めるとよいといわれている。たとえば「竜山石の色相変化について」というタイトルだと、色相変化の原因について調べたのか、色相変化のバリエーションについて調べたのかがわからない。また原因だとしても、何が原因なのかがタイトルには示されていないため、やはり内容を端的に示しているとはいえない。たとえば「竜山石赤色化の原因はマグマ残液の熱と推定」などとする方がよい。これはやや長いので、2つに分けて、副題として示すのもよい。とにかく論文の顔となる部分だけに、大胆にしかも慎重に命名したい。

11. チェックをする

以上が終わったら、内容が論理的かどうかをチェックする。地学部ではだいたい3回以上の校正を、異なる生徒でおこなうようにしている。書いた本人がチェックすると、「こう書いてあるはず」と期待しながら読むため、チェック機能が効かない場合が多い。理論的に表現されているかどうか、理論に飛躍がないか、章立ての見出しが正しく成されているか、事実と意見を混同していないか、自分のした仕事と他人の仕事（引用）とが明確に区別されているか、などのチェックをする。これらの内容について検討したら、主語は明確か、文章表現が正しいか、含みをもたしたような曖昧な表現はないかや、文章の読みやすさ、言葉の選択の可否、句読点や英語の場合には綴りのミスがないか、といった表現上の問題をチェックする。

論文からパワーポイント画面を作成する

発表の方法には、演繹型と帰納型がある。演繹型は、「こ

れからどのような話をするのか」, 「どのような結論を導き出したのか」について最初に提示する方法である。一方, 帰納型は, 一般論から説明を始め, 具体的な実験データを示しながら聴き手を結論へと導く方法である。聴き手側の立場から考えれば, どこに向かって話が進むのかを最初に示してもらうと, 実験データや結果の説明がどのように結びついていくのかを頭の中で関連付けながら聞き進むことができる。いつ終わるのか, 何時間あるのかを知らされていない講演会ほど緊張感のない行事はない。そのため地学部の発表は, すべて演繹型でおこなっている。

パワーポイント画面も後述するポスターも, 論文をもとにして作成する。いきなり画像作成に入ると, 理論の内容や展開を検討する十分な時間を確保することなく, 画像の美しさや奇抜さばかり注意が向くからである。発表全体のアウトラインを考えて章立てをきちんとおこなうことが大切である。同じことを何度も言ったり, まわりくどいが結論は大したことがない, というのは, ほとんどの場合この章立てがうまくいっていないからである。章立てをおこなったら, 画面に映したい事象を箇条書きにして書きあげ, それらをいくつかのグループに分類する。それぞれのグループ内で優先順位をつけ, それらを上手く接続詞で結びつける。このようにしてフロー・チャートを作成していく。これは論文でも同じであるが, 発表では聞いてもらえる時間が限られており, 限られた情報量で相手を説得しなければならないので, より入念におこなう必要がある。当然, 発表原稿を画面にそのまま書くなどということはすべきでない。

それぞれのスライドには必ず具体的な表題をつける。1枚のスライドにかける時間はたいてい1分程度であると考えて枚数を計算する。スライド上に過大な情報を載せることがないようにする。最後に, 文字や図表類の大きさを確認する。発表会場の投影幕のサイズにも拠るが, たいていの場合, コンピュータの画面上では, 大きすぎると思える程度がちょうどよい。また, パワーポイント画面上で引用した部分についても, きちんと引用先を明示してあるかどうかを確認する。

論文からポスターを作成する

ポスターには, ①研究の動機と目的, ②研究の方法, ③得られた結果から考察できること, を簡潔に書く(第5図)。順を追って見ていけば内容が理解できるように, フローチャートをきちんと整える。論文のAbstractを少し膨らませたものと考えればよい。1年間かけて研究してきた内容であれば, どうしても「あれもこれも」書きたくなるが, 主張を理解してもらえるための資料に絞らなければ, 研究の輪郭がぼやけてしまいやすい。質疑応答に備えて, 詳細な実験データや補足説明を書いたリーフレットを配布したり, 模型を準備しておいたり, 小型のホワイトボードを活用したりするとよい。色彩的に目立つポスターは人目をひくため有効にはたらく場合があるが, 懲りすぎると本質を見えにくくし, 見栄えがよいだけのポスターになる。日本物理学会などでは, 白地に黒文字のシンプルな作りのポスターが好まれる。



第5図 作成したポスター (JSEC2009)

地学部のポスターは, 1枚の大きな用紙に印刷するようにしている。パワーポイント・ソフトを用いて作成した画面を, 大型プリンターで印刷する。しかしA4サイズの用紙1枚ごとにスライドの要領で印刷し, フローチャートのように並べるのも, 聴き手としては見やすい場合があるので, どちらがよいとはいえない。なによりも1枚のものにすると準備に膨大な時間がかかり, しかも印刷時にトラブルが起こりやすいというデメリットがあり, 精神的によくはない。

口頭発表する

パワーポイント画面に文章が書いてあり, 発表者はそれをただだと読み上げる, といった口頭発表をみかけることがある。聴き手は大変疲れるし, そもそも画面の文章は発表者の原稿ではない。地学部は, プレゼンテーションについて徹底的に訓練している。グループで長い時間をかけて研究してきた成果が, 発表の悪さによって相手に伝わらず, 認めてもらえなかった, という結果は避けなければならない。

パワーポイント画面はできるだけ簡素にまとめ, アニメーションも多用しないようにする。アニメーションや色のバリエーションがあればあるほど聞き手の注意は散漫になり, 相手を疲れさせる割には理解してもらえない。発表時には滑舌をよくし, 重要な単語がよくわかるように間をうまくとるようにする。抑揚や手の動きも重要である。身振り手振りは話のポイントを明確にする上で重要なアイテムである。

発表の際には、聴き手とのコミュニケーションをできる限りとるように注意する。口頭発表では、壇上から一方的に早口で言いたいことを話し続けることが多いため、聴き手に苦痛を与えることも少なくない。相手の様子をみたり、セクションの変わり目で問いかけてみたりすることも有効である。理解を促すという点と、発表に変化をつけるという点で、途中に動画を入れてみるのもよい。よく、投影幕の画面に向かって話しかけている姿を見るが、聴き手は蚊帳の外に置かれた気分、聞こうという意欲をそがれる。原稿を見ずに相手の方を見て発表すると、相手も聞いてくれやすい。

原稿は棒読みしてはならない。それを避けるために練習するわけだが、覚えることを目的に発表練習するのではなく、練習の結果覚えてしまう、というのがよい。覚えることを目的にしていると、発表現場で頭が真っ白になり、話す内容を完全に忘れてしまうことがある。発表では、それぞれのスライドで何を説明するのか、骨子さえ頭に入れておけばよく、あとは現場で接続詞に注意しながら文章化していく。何度も発表していれば、自然となめらかに話せるようになる。発表原稿は論文の文章をもとにして作成するが、論文と同じ表現は避ける。難しい表現を用いると、一度聞いても理解することはできない。同じ理由で、実験結果からの考察についても、くどくどと説明しない。

発表時間が10分間あるとすると、その最初の2分間程度は論文の「はじめに」の部分の発表にあてる。研究の動機や先行研究、研究の意義などを理解してもらえば、あとの説明は相当端折ることができる。一般によくいわれるのは、発表の3分の1は会場全員にわかるように、3分の1は大部分の聞き手がわかったような気になるように、そして3分の1は専門家にわかるように話す、という基本である。

かつて、生徒研究発表会で、コンピュータが動かなくなったり、画面が予期しない動きをしてあわてたことがある。このような場合には、あわてずに、聴き手に「コンピュータ・トラブルが起こっており、復帰まで時間がかかる」と説明すればよい。コンピュータ・トラブルが起こったまま発表を続けても、聴き手は誰も聞いていないし、理解もできない。最悪の場合には、パワーポイント画面がなくても発表できるような体制をとっておくようにする。

質疑応答の時間は、願ってもない補足説明のチャンスである。聴き手からの質問をきっかけにして、短い時間で発表しきれなかった部分を説明できるからである。さらに、自分たちの研究の問題点や改善すべき点を指摘してもらえるという点でも、欠かせない時間である。生徒の多くは質疑応答の時間をいやがるが、「自分たちの研究が完成されたものである」という傲慢な姿勢や、「欠点を指摘されたらどうしよう」といった「この時間をやり過ぎよう」という考えは捨てさせなければならない。受けた質問に対しては、質問者だけに答えるのではなく、会場全体に向かって答える。もしもわからないことがあれば、率直にわからないと答え、助言を求めるようにする。わかったような顔をして、あれこれと理屈をこねるような答え方はしてはならない。最後に、「今後の研究の参考にさせていただきます」という言葉が逃げ言葉として

定着している感があるが、本当にそうするつもりなのか疑わしい気がする。ことがある。

ポスター発表する

ポスター発表は、直接研究者と対面して説明を受けたり、疑問点を質問したり、互いに議論したりすることができる点で、口頭発表よりも優れた方式である。高校生段階では、まだ口頭発表よりも低いレベルの発表という意識が残っているが、欧米ではポスター発表の有効性が高く評価されている。聴き手にとっても、多くの研究を一望でき、気に入った研究について、何度でも何時間でも注目することができる。この場で、共同研究の話が持ち上がったたり、「こんどうちの学会でも発表してくれないか」などと話が進むことも珍しくない。実際に地学部が日本地質学会でポスター発表した際、そこに訪れていた京都大学工学部の教授に研究を高く評価していただいたおかげで、日本物理学会での発表につながり、学会そのものを本校地学部が主催開催するという企画にまで発展した。また文部科学省認定大会での発表を機に、共同研究や研究機器の自由使用の話を提案してくださる大学や研究機関が多数あらわれた。この協力体制が現在の地学部の基礎となっている。

説明の際には、ポスターを順を追って説明する。あちこちに説明箇所が飛ぶようでは、理解が得られない。説明には準備しておいた模型やホワイトボードが役に立つ。時間が決められていて、必ず自分のポスターの前で説明を聞いてくれるというタイプの発表はほとんどない。実際には発表時間帯の大枠が何時間と決められていて、自由にポスター間を行き来して、興味のあるポスターの説明を聞くというタイプがほとんどである。自分たちの研究成果を聞いてもらうためには、どのようなポスターを作り、どのように研究者の足を止め、どのように説明すればよいかを工夫する必要がある。説明の際には必ず、①研究の動機と目的、②研究の方法、③得られた結果から考察できること、を簡潔に説明する。時間が十分ある場合でも、ひとまず説明にかけられる時間は10分程度以内におさえておく。数ヶ月～数年かけてきた研究であるから、説明しきれない部分は必ず残る。その部分は、相手から質問を受ける際に補足説明として話すようにする。発表は、とにかく抑揚をつけてゆっくりと話すこと、相手の顔を見て話すこと、手を上手に使うこと、に工夫する。原稿を見ながら説明することは避ける。話が一段落するごとに相手の理解を確認し、笑顔を交えるなど表情を変えることもテクニックである。そして、自分がいかにこの研究に愛着を感じて取り組んできたかを伝える。

昨年度日本科学未来館で開催されたJSEC (Japan Science and Engineering Chareng) 2009の全国大会では、時間割審査(ポスター説明を聞く担当者が決まっており、一定時間で説明をし評価を受ける)でさえ、「地学分野はよくわからない」として、きちんと立ち止まって審査してもらえず、悔しい思いをした。自由審査時間では、声をかけても審査委員が聞きにさえてくれず、ようやく説明にまでこぎつけると、「そ

んな専門用語を使われたらわかるわけがない」と一蹴されてしまった。説明に用いたのは「高等学校地学Ⅰ」の教科書に登場する程度の用語である。翌日の審査委員との質疑応答の時間に、この問題について地学部員が質問に立ったものの、納得のいく回答は得られなかった(第6図)。この提起は「審査基準の問題」としてJSECを後援している日本地質学会の理事会でも取り上げられ、正式にJSEC委員会に対して申し入れがなされた。文部科学省認定大会であり、優秀研究は国際大会へと続くコンテストでさえ、このような状況にある。



第6図 JSEC2009で質問に立つ

論文を投稿する

口頭発表やポスター発表で指摘や助言を受けた部分について、追加実験をおこなったり補足修正をおこなったりした上で、最終版として論文を完成させる。

どこで発表するか、論文をどのコンテストに出品するかは、それぞれの大会の個性を考える必要がある。日本物理学会は高校生らしさを求めている。因果律の検証と一般化が評価の対象となっており、プレゼンテーションの善し悪しはほとんど評価の基準とされていない。一方で、「神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞」は、単にすぐれた論文を選ぶのではないとされている。大賞が「未来の科学者との対話」(兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2010)という書籍になって店頭と並ぶことも想定に入れており、大賞の研究を通じて全国の高校生へメッセージを送るという意味合いが強い。身近な題材から不思議の芽を育て、苦労を重ねて成果に至る過程を大切にしている。筑波大学の「科学の芽」賞ではこの傾向がより強く、ひとつの疑問に対してどのように試行錯誤したかに評価の重心がおかれている。一方、「日本学生科学賞」や「JSEC」は国際大会へとつながるものであるから、国際的に通用する研究が評価される傾向が強い。地元の竜山石の研究をJSECに出しても評価されにくい。花崗岩の角閃石から発見した波状累帯構造がマグマ分化の「指標となる」という研究を提出したのもそのためである。

地学部は、文部科学省認定大会にこだわって出品している。

現代は、特定の大学が実施している論文コンテストであふれている。高校生のための論文コンテストのブームの様相を呈しているといってもよい。中でも、文部科学省認定大会の多くは、審査委員が特定の大学の教員に偏っていないのがよい。

さいごに

近年、工学部への進学希望者の割合が低下しており、外国に行つて見識を深めたいと考える若者も減っているという。がむしゃらに取り組むことを「かっこわるい」と考える傾向があるようである。しかし彼らは決して自然への興味・関心を失ってはいない。兵庫県教育委員会(2010)は高校生の言語力の低下に対応するために「ことばの力」という冊子を作成し、兵庫県下の全公立高等学校に配布した。この理科地学編を執筆するにあたって筆者が目指したのは、通説もなく結果も分からない実験をおこない、自分なりの仮説を立てて検証し、論文にまとめる、という過程を実体験してもらうことであつた。多くの高校生に、どんな結果が出てくるか分からない科学研究の面白さを体験してほしい。そして、それを解明するために行動することが、苦しいことではあるが楽しいのだということを知ってもらいたい。研究し、それを論文文化し、そこからポスターやパワーポイント画面を作成して発表する、という一連の過程において、生徒は理科だけではなく数学、英語や国語、社会の知識が必要であることに気づく。鉱物の研究をおこなっていると、そこにはイオン置換や流体力学が頻りに登場し、まとめる際にはどうしても英語力が必要になる。

神奈川大学の大会受賞記念講演会に出席した際、審査委員の一人であつた細矢治夫氏が「sensitivityより sensibilityを大切にしてほしい」と指摘された。受け身で変化を感じ取るよりも、自分から変化を見つける感性を大切にせよ、という意味である。科学研究はひとり理系のものではない。理系の生徒ばかりでは偏った発想に陥ってしまう。そのとき、文系生徒が大きな力を発揮する。

筆者がこのような科学研究の指導にあたるのは、本校に赴任してきてからのことであつた。手探りの指導の中から、部員生徒とともに研究活動のノウハウを学び、それが現在の地学部の活動につながっている。実質的な創部から7年という短期間で、成果を挙げ続ける研究活動を定着させることができたのは、歴代の部長をはじめとする部員生徒たちの努力と熱意以外に理由はない。

現在、地元竜山石や花崗岩の研究に加え、シャボン膜の物性や条痕色に関する研究、さらには地元と協力して竜山石の製品化にも取り組み、それをもとにして都市計画立案にも参画しようとしている。2010年秋には地学部と物理学系学会「形の科学会」が共催で、学会を本校で開催した。その場では、先輩の研究を「疑ってみる」研究成果を披露することができた。

謝 辞

本報告をまとめるにあたって、長倉三郎（東京大学名誉教授・日本学士院長）、上田誠也（東京大学名誉教授・地震研究所教授・日本学士院会員）、田畑米穂（東京大学名誉教授・日本アイソトープ協会副会長）、中村桂子（JT生命誌研究館館長）、細矢治夫（お茶の水女子大学名誉教授）、竹内敬人（東京大学名誉教授）、永田一清（東京工業大学名誉教授・新世代研究所副理事長）の各氏に、数年間という長きにわたって、さまざまなご指導をいただいた。また筆者の恩師である山口佳昭（信州大学名誉教授）と、矢島道子（東京医科歯科大学・地質情報整備活用機構理事）の両氏には、長期にわたって高校生の研究活動に関する有意義な議論をいただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

千葉康則, 1985, 「ひらめき」の開発. 講談社, 東京.
波多野諠余夫・稲垣佳世子, 1973, 知的好奇心. 中公新書, 東京.
兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2007, シャボン膜の性質とpHの相関関係. 日刊工業新聞社「未来の科学者との対話V」, 310-322.

兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2008, 山陽帯チタン鉄鉱系列と山陰帯磁鉄鉱系列のマグマ分化を系統的に説明する～山陽帯加古川市花崗岩類の角閃石とリン灰石から波状累帯構造を発見. 日刊工業新聞社「未来の科学者との対話VI」, 78-101.
兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2009, マグマ残液流体相と風化変質作用が凝灰岩に与えた影響～高級石材“竜山石”の成因. 日刊工業新聞社「未来の科学者との対話VII」, 54-76.
兵庫県立加古川東高等学校地学部, 2010, マグマ分化末期の流体相の状態を推定する～凝灰岩の加熱実験からその赤色化を指標にして. 日刊工業新聞社「未来の科学者との対話VIII」, 28-55.
兵庫県教育委員会編, 2010, ことばの力. 兵庫県.
川勝和哉, 1994, 高等学校における地学教育の今後～新学習指導要領施行にあたって教育現場からの提言. 鳥根大学地質学研究所報告, vol.13, 69-83.
川勝和哉, 2000, 高等学校理科教育の在り方を考える. 鳥根大学総合工学部地球資源環境学研究所報告, vol.19, 187-194.
川勝和哉, 2004, 高等学校における理科教育(地学)の今後を考える(2). 鳥根大学総合工学部地球資源環境学研究所報告, vol.23, 55-63.
川勝和哉, 2010, 科学倫理. 兵庫県立加古川東高等学校, 兵庫県.
木下是雄, 1981, 理科系の作文技術. 中公新書, 東京.
松村 秀, 2006, 論文捏造. 中公新書, 東京.
J. R. Matthews and R. W. Matthews/ 畠山雄二・秋田カオリ訳, 2009, 成功する科学論文～構成・プレゼン編～. 丸善, 東京.
清水幾太郎, 1978, 論文の書き方. 岩波書店, 東京.

(受付: 2010年9月30日, 受理: 2010年10月15日)