

# 公立高校から発信した科学英語論文と 英語発表の実践報告

## インタラクティブ・アクティブラーニングを取り入れた研究テーマの設定からのスタート

WATANABE Naoshi

渡辺 尚

宮城教育大学 准教授

科学部活動ではテーマ設定は教員側から与えることはなく生徒が自ら立案してきたものをディスカッションしながら設定し課題研究に取り組むという、双方向なアクティブ・ラーニングの手法を一貫して行った。その結果、英語の学術論文が受理・掲載されたり、2年連続でISEFに出場かつ入賞するなどの効果があった。課題設定に対し、指導者が戦略を立てて行動すれば、生徒は期待以上の成果を残してくれることを実感できた。英語で発表する大会に挑戦した歩みについて、主に私の前職である高校勤務時に行った4つの指導事例を紹介する。

### 1 はじめに

高校生が国内外を問わず英語で自分の研究を発表する機会が増えている。例えば、世界最大規模で歴史のある国際学生科学技術フェア (ISEF) には、日本学生科学賞 (JSSA) の上位入賞者から日本代表を1958年から派遣し、英語で発表する機会が与えられてきた。また2004年からは高校生科学技術チャレンジ (JSEC) の上位入賞者も派遣されるようになった。最近では、ISEFの代表枠が増え、JSSAとJSECそれぞれが8つの代表枠を出せるようになり、個人研究とチーム研究 (3人まで) を併せて最大エントリー数が16枠になっている。しかし、JSSAやJSECの国内大会を勝ち抜くにはハードルが高く、非常に狭き門といえる。

また、科学技術振興機構 (JST) 主催の第5回大会を終えた科学の甲子園では、全国大会優勝チームがアメリカの Science Olympiad National Tournament に親善大使として派遣される。2004年より始まった大阪市立大学等主催の高校化学グランドコンテストでは、上位入賞した2チームがシンガポールと台北に派遣され、大会に参加し英語で自分たちの研究を発表する機会が与えられるようになった。このように、副賞として外国の大会に参加し、自分たちの研究を英語で発表する機会が増えたように思われる。もちろん、学校単位で研修旅行など海外の交流を通じて英語で研究内容をプレゼンする機会も増えている。

### 2 私の部活動指導の実践概要

幸いなことに、私が指導した部活動からISEFに2年連続日本代表として出場できた。さらに出場チーム数の約20%程度しか受賞しないグランドアワードを日本で初

めて同一高校・異なる研究で2014・2015年と2年連続受賞することができた。また2014年には、「ノーベル物理学賞への第一歩」(ポーランドアカデミー主催: First Step to Nobel Prize in Physics) の RESEARCH PAPERS 部門にて佳作入選を果たすことができた。

そして一番反響が大きかったのは、東日本大震災が発生した2011年に国際科学雑誌の一つである Journal of Materials Science 誌に研究論文が掲載<sup>1)</sup>されたことである。出版社のシュプリンガー・ジャパン社の調べによると、現役高校生の論文が学術誌に掲載されたのは世界で初めて<sup>2)</sup>のことだそうで、部活動諸君をはじめ関係者の方々にとっては大変貴重な体験をすることができた。

上記の英語で研究発表した4つの事例は、科学部活動の中での研究成果がベースになっており、すべて異なる研究テーマ・研究内容である。

おそらく科学論文を英語で投稿する機会や、世界大会で研究を英語で発表する機会があるとしたら、日本では大学院生以上のことであり、高校生には関係ないことと感じる方が多いのは自然なことと思われる。また、ハードルが高すぎる!と思う方がほとんどであろう。

指導者が特に英語に堪能である必要や、生徒より能力の優れた指導者である必要はないと考える。私は指導者が課題研究を設定するにあたり、研究テーマを教員側が一方的に決めたり、いくつかの課題を用意して選ばせることは前任高校では行わなかった。代わりにインタラクティブなアクティブ・ラーニングによって課題設定を行った。その手法によって生徒がやる気を十分発揮する原動力が増し、研究活動に積極的に取り組む姿勢が大きく変容し、素晴らしい成果を挙げることができたといえる。

**Materials and Methods**

Preparation and identification of Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clathrate

To obtain Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clathrate, electrolysis of ~~400 ml~~100 mL of 1 M AgNO<sub>3</sub> were carried out in ~~400 ml~~100-mL beaker with platinum electrodes, one of which was installed into a 35-mm film plastic case with two slits (~~40 mm × 5 mm~~)(40 × 5 mm<sup>2</sup>) as anode. Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clathrate and pure silver were ~~respectively~~ deposited on the anode and ~~cathode~~-cathode, respectively. The plastic case prevents electrical short circuit caused by connection of either product on the electrodes. ~~Approximately~~Approximately, 380 mg Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clathrate was obtained in the plastic case of the electrolysis at ~~5 Volt~~5 V dc for 15 min. ~~X-Ray Diffraction (XRD)~~XRD analysis of the Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clathrate was performed with MO3XHF22 (MAC Science: ~~x-rays~~X-rays Cu K $\alpha$ :  ~~$\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$~~  $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ , 40 kV, 30 mA, Ni filter and scan area:  ~~$10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$~~  $10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ ,  $2\theta = 0.02$ ).

図1 英語論文の校正例 (途中)

英文校正会社に発注して戻ってきた校正原稿。原本は訂正箇所が赤字で取り消し線が施され、校正例のところに青字で記載されている。

3 国際科学誌への投稿事例

Journal of Materials Science に掲載された研究 (図1) は、ともすると「大学で提供され実施した研究」と疑われる。そのたびに私は、「違います。ほとんどの知見は高校で発見しました。生化学的な定性的知見を定量化できれば学術論文に出せると考え、その部分の実験をするために大学の先生を頼り Win-Win の関係を構築できるようになりました」と答えるようにしている。

高校生の化学の教科書に書かれている硝酸銀水溶液の電気分解から2つのセレンディピティー<sup>3)</sup>を得て発展した過酸化銀の合成法と解析に関する論文であったが、生物活性の定量化 (大腸菌等を用いた実験) 以外はすべて高校の化学室で発見された知見であった。研究部員の一人が東北大学大学院の東谷教授を存じており、我々がJSECにエントリーしていた研究を説明し、その研究に高校の実験室ではできなかった抗菌効果の定量データを付け加えることができた。JSECでは日本科学未来館で自信をもって発表することができた。入賞はできなかったが、非常に良い経験をすることができた。そして次のステップとして、学術論文掲載を目指し、東谷教授にこちらの研究内容を十分理解していただき、英語化していただくことになった。そして英語化していただいた原稿をフィードバックしていただき、共著である部活動の生徒と顧問 (私) で英訳された研究内容で意味が通るか、ニュアンスが伝わるかを検討し、修正希望を添えて二度三度のやりとりを行った。その後、東日本大震災が起り実験室など大変な状況になったが、粛々と学術論文を投稿する準備が進められた。また、掲載費用は高校で賄いきれないほど発生したとうかがった。例えば掲載費用、オープンアクセスするための費用、論文が受理された後に希望した記念のポスター費用、リプリント発注

費用などがかった。部活動で獲得した大会賞金に加え、私自身も数十万円の私費を投じる覚悟を決めて賄う予定でいたが、大学側の研究費用でほとんどが賄われ、精神的にも経済的にも高校生を支えていただいた懐の深さに大変感謝している。

4 ISEF (国際科学技術フェア) への取組事例

国際大会であるISEFに出場するためには、まずはJSSAかJSECの全国大会に選ばれる必要がある。そしてファイナルに残ってプレゼン審査を受けなければならない。私自身が携わった生徒研究において、ファイナルに残ったのはJSSAでは1回、JSECでは4回であり、4回目の王手で初めてISEFに出場することができた。また、JSECを通過し国際大会であるISEFに出場するとき提出する、アブストラクトやリサーチプランについては、基本生徒が執筆し顧問の私が生徒と一緒に加除訂正した。学校におられる外国人講師の先生や英語の先生に見ていただくこともあった。そしてJSECに提出し英文校正専門の会社に送られる。出場する生徒側の費用は全てJSECが負担してくれた。なお、JSSAからISEFに出場するときには、大学の先生が英語化する方法がとられるとうかがう。

4.1 ISEF2014 出場について

研究発表タイトル: Development of Highly Efficient and Stable Dye-sensitized Solar Cells using Natural Hydrangea macrophylla Dyes (アジサイ色素を用いた高効率で安定な色素増感太陽電池の開発); JSECタイトル: 塩害に強いあじさいを用いた色素増感太陽電池~被災地から復興へ~

- ◆グランドアワード2等受賞
- ◆欧州原子核研究機構 (CERN) 賞受賞
- ◆アメリカ化学会賞佳作受賞

2014年にISEFに出場したときの女子生徒は、プレゼン能力がとて高い生徒であった。研究内容は非常にシンプルで、「色素増感太陽電池の作製で今まで知られていたアントシアン系色素は発電効率が悪いが、アジサイの色素から得られたアントシアン系色素は極めて高効率の発電効率を示すものを見つけた」という内容であった。JSECの前哨戦となる大会会場でお会いした大学の先生のアドバイスで、高い太陽電池としての発電効率について専門家が使う指標で測定し直してJSECの大会に臨んだ。出場した生徒はネイティブスピーカー並みに英語が堪能な生徒であった。

JSECの前哨戦となった大会での彼女のプレゼンを見て「大会にできれば必ず上位入賞できISEFで活躍できる!」という確信をもった。実際、彼女の真摯で謙虚な態度に裏打ちされたプレゼンで、あらゆる審査員をも十分味方につけることができたと感じた。ISEF2014では、案の定、彼女の人の良さと持前のプレゼン能力の強みを十分に発揮し、高い評価を受けてグランドアワード2等の他にスペシャルアワード(協賛社賞)を複数獲得した。

#### 4.2 ISEF2015 出場について

研究発表タイトル: Landslide Forecasting: Contour Shape as a Major Factor in Slope Failure (斜面崩壊予測: 斜面崩壊における大きな要因としての砂山の形); JSECタイトル: 砂山シミュレーション ~揺れによる斜面崩壊~

##### ◆グランドアワード3等受賞

ISEF2015年に出場した生徒は、防災や土砂崩れに関する研究で、実際に斜面崩壊が起こった場所を驚くほど正確に再現し説明を加えた研究を発表した。彼の研究に近いと思われる大学の先生方に質問しても、ほとんど門外漢である(自分の専門ではないのでコメントできない)との回答を得るばかりで、前述した学術論文著者の一人であるOBからのアドバイスが唯一の外部助言者といえた。

発表者本人の健康状態が心配であったが、モチベーションの高さとプレゼン能力の高さ、何より「やるかやらないかで悩んで後悔するより、やって(失敗して)次につなげた方が良い!」というポジティブ思考の戦略でISEF2015に臨んだ。科学的には全く新しい知見で再現性も良いという「斜面崩壊に関する研究」であり、国際大会を意識しアメリカ本土の地形のシミュレーションや火星でのシミュレーションを盛り込んで大会に臨んだ(写真1)。浅はかなことに、当時は大げさに言えばNatureという超有名な科学雑誌に掲載されてもおかしくない内容と思ひ、泰然と構える戦略を選んだ。それで十分ISEFで上位に入賞できるのではと考えて大会に臨んだ。しかし昨年の成績を上回れず、顧問の戦略ミスを味わうこととなり、もっとアピールすべきことがたくさんあったということに加え、発表した生徒の能力を十分発揮させられたとはいえず、大変残念で



写真1 ISEF2015で設置された仙台二高・遠藤君のブース

反省を余儀なくされた。

#### 5 「ノーベル物理学賞への第一歩」への投稿について

研究発表タイトル: New discoveries concerning ceric ammonium nitrate in the oscillating Belousov-Zhabotinsky reaction (振動反応<sup>\*1</sup>における硝酸セリウムアンモニウムに関する新しい発見)

##### ◆HONOURABLE MENTION 受賞(写真2)

この研究は、前年度に日本学生科学賞で入選1等を受賞した「振動反応における新しい発見~Belousov-Zhabotinsky反応に硝酸アンモニウムセリウムは必要か~」に新しい知見を加筆して投稿したものである。すべて高校の化学室で行った実験である。化学の研究なのになぜ「ノーベル物理学賞への第一歩」に投稿したのかということ、振動反応による化学反応が(振動数)×(周期)=1の関係を利用して説明できることが物理化学的であろうという点に尽きる。過去の受賞論文の中で化学的に近い入賞タイトルが見当たらなかったため、目新しさを審査員に感じていただけないかと目論見、やや一点突破的な戦略を立てて投稿したものである。

英語化については、第一に本人が英訳を行った。次に生徒の姉の友人に留学生の大学院生(農学研究科修士課程学生)がおり、その方に添削してもらった。第三に英文校正・論文翻訳を専門とする会社を利用し、有料(学割有)で英文校正を行った。第四に英文校正で仕上がったものをもう一度我々が精査して、前記の会社再校正制度(無料)を利用した。プロの校正会社を学割で利用して5万円弱の

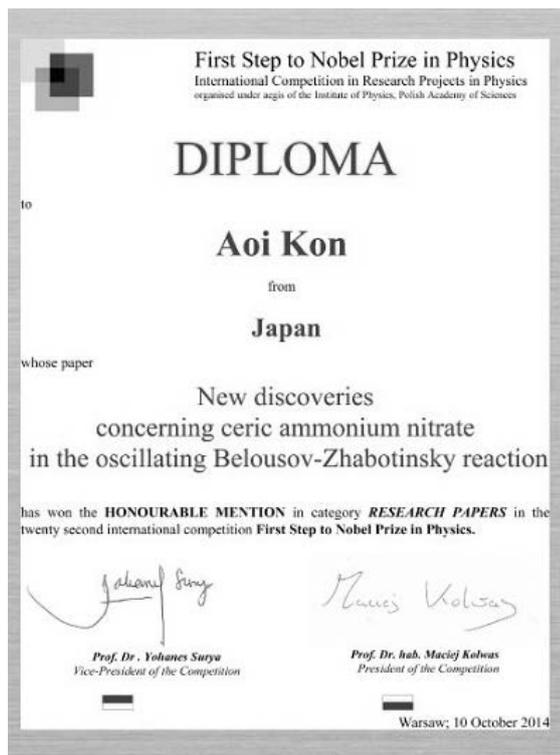


写真2 「ノーベル物理学賞への第一歩」の賞状  
2014年に佳作入選を果たした仙台二高・金(Kon)さん。

費用を要した。

ここで注意すべきは、英語を母国語とする留学生が他人の研究を英訳しても、こちらの研究の意図が半分以上は伝わっていないと考えるべきことである。留学生は学生であって、指導教官ではないということである。これは、プロの校正会社を利用しても同じである。たとえPh.D.をもっている翻訳家や校正担当者であっても、こちらの意図が100%伝わっているとは限らないということを意識すべきであり、盲目的にその英文を信じてはいけない。そして、自分たちの研究内容が伝わっていない、あるいは別な意味になっているように感じたら、校正者が直した英語とは異なっても自分たちの意思を押し通して英文投稿するというのである。

## 6 おわりに：「それでもやめないでしょう?」

初めてお会いする方の多くは「大学で行われた研究ですね。高校の研究ではないですね」というニュアンスで接してこられる。私に反論の余地のない機会ですら判断されることもたびたびであり、今後続く英文で高校生の研究発表に臨む指導者の方々も相当の覚悟で臨む必要がある。

私が救われた言葉の一つに当時の教頭先生からいただいたものがある。彼は「渡辺先生は部活動が忙しくても他の人に評価もされず、間違っただけを下されても『それでも部活動の指導をやめないでしょう?!』」と仰せられた。私はそのとき、目から鱗が落ちた感じがした。夢中で駆け回っていると毎月150~200時間の残業を記録してしまった。「自分ができることはとことん生徒にしておきたい」と思い、家族も同じ思いでいてくれたのは運が良かったかもしれない。また「これがやりがいなのか」とも感じた。

日本の大学でも少数派の「研究テーマを与えないで自ら探し出して設定する」ことは、インタラクティブな(双方向に指導者も生徒も学び合って共に成長できる)アクティブ・ラーニングで効果が検証できたように思う。もちろん、高校生の研究活動だからこそできた手法とも考えられるが、ヨーロッパの大学では当然の手法であると、大学院時代の教官から教わったことでもある。そして得られた研究成果に対して、勇気を持って発表し批判していただく機会を指導者として設けることが大切なことではないかと考える。

さらにどの大会にエントリーするのか、生徒に説明しながら戦略と戦術を練る。すなわち見通しと情熱をもって、モチベーションを維持できれば、生徒は「未見の我」に到達することができると思われ実践してきた。その結果として、国際的活躍の場で、4つの英語研究発表という形で開花することができたのであると思われる。

### 参考文献

- 1) Ando S, Hioki T, Yamada T, Watanabe N, Higashitani A, *J. Mater. Sci.* 2011, 47, 2928.
- 2) <http://www.springer.jp/author/files/SendaiDainiHighSchool.pdf> (2016年5月20日現在).
- 3) 渡辺 尚, 未来材料 2012, 12, 53.

### 用語解説

- \*1 振動反応：化学反応で周期性が認められる化学反応。色の変化などで確かめられることがある。



### わたなべ・なおし

**筆者紹介** [経歴] 1995年北海道大学大学院環境科学研究科単位取得退学、宮城県高校教諭として20年勤務し2015年4月より宮城教育大准教授、囲碁部顧問として2014年に団体戦で全国制覇も成し遂げた。[専門] 理科教育(化学)。[趣味] テニス、バドミントン、旅行、囲碁、スキー。[連絡先] 980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉149 (勤務先)

