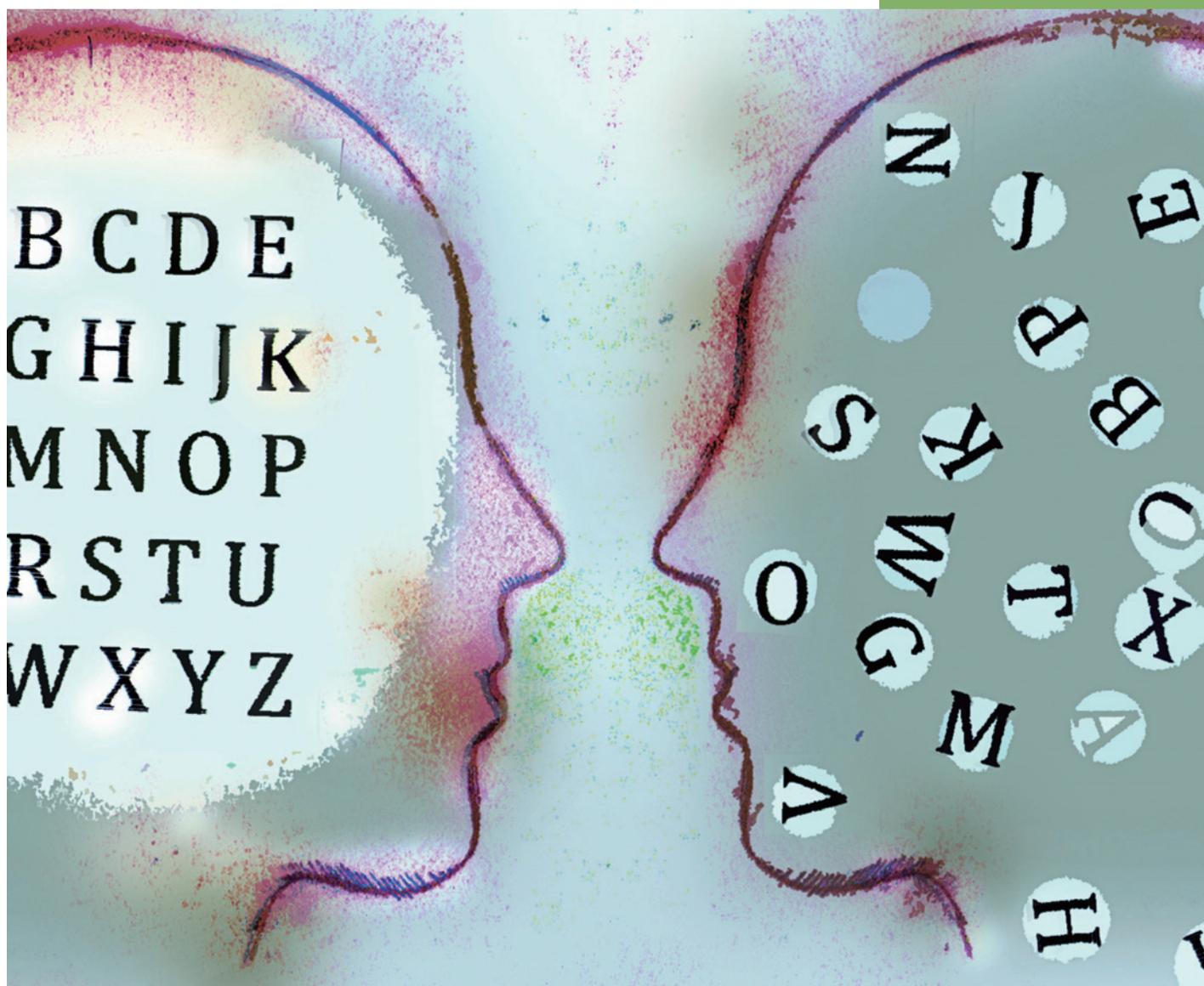


日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. **13**
AUGUST
2015



特集 |||

グローバル化に対応した
これからの英語教育 II

Rimse (財)理数教育研究所

Contents

表紙裏

巻頭言

「理科」のもつ可能性

JT生命誌研究館 館長 中村 桂子

特集

グローバル化に対応した これからの英語教育 II

- 2 **I** **対談** 新たな教科「小学校英語」の
スタートに向けて(後半)
鹿児島純心女子大学 副学長 影浦 攻
文部科学省初等中等教育局 教科調査官 直山 木綿子
- 7 **II** **英語教育と理数科教育のコラボレーション** **高等学校の実践例**
金光学園 SSH における課題研究と
国際化発表会の取り組みについて
金光学園中学・高等学校 教諭 田中 誠
- 11 **III** **英語教育と理数科教育のコラボレーション** **高等学校の実践例**
英語と数学がコラボレートした授業実践報告
～サイエンス・コミュニケーション(SC)～英数コラボ～
福井県立武生高等学校 教諭 青木 慎恵

15 **連載** 数学と音楽の織りなす世界 第2回

「音」の中に隠れた数比と数学

ジャズピアニスト・作曲家 中島 さち子

18 **連載** サイエンス・フィクション? 第2回

百年の計

大阪大学全学教育推進機構 講師 山内 保典

21 **連載** ヒトの生物学を教えよう 第2回

色覚から考えるヒトの“多様性”

東京都立国立高等学校 主任教諭 大野 智久

24 **広場** 地域教育で活躍する人々 第12回

「すべての教室へ新聞を」 ものづくりの町 大田区での取り組み

大田新聞販売同業組合 相談役 大塚 悟史

裏表紙

科学史の散歩道 第13回

「ビタミン」概念の確立に寄与した鈴木梅太郎 ～日本人初のノーベル賞は逃す～

大阪教育大学 名誉教授 鈴木 善次

巻頭言

Kantougen



JT生命誌研究館 館長

中村 桂子 / なかむら けいこ

東京都出身。1936年生まれ。東京大学理学部化学科卒業、東京大学大学院生物学専攻博士課程修了。理学博士。国立予防衛生研究所、三菱化成生命科学研究所社会生命科学研究室長、三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長、早稲田大学人間科学部教授、JT生命誌研究館副館長を経て現在館長。東京大学先端科学技術研究センター客員教授、大阪大学連携大学院教授も歴任。

『科学者が人間であること』(岩波新書)、『自己創出する生命—普遍と個の物語—』(ちくま学芸文庫)、『ゲノムが語る生命—新しい知の創出—』(集英社新書)、『生命誌とは何か』(講談社学術文庫)、『ゲノムに書いてないこと』(青土社)など、著書多数。

「理科」のもつ可能性

科学はいま曲り角におり、その教育についても基本から考えなければならないと思っています。

いま科学と呼ばれているものは、16世紀から17世紀にかけて西欧で始まったいわゆる科学革命に端を発しています。大きな動きは、ガリレイの「自然は数学で書かれた書物である」、ベーコンの「自然は操作的支配可能」に始まります。その後デカルトが物心二元論を確立し、人間の体も物体として扱うことを可能にしました。そしてニュートンが光学、力学、微積分の基礎を生み出し、現代物理学の基礎を築きました。

ここから現在までの科学の進歩を考えると、これらの人たちの自然の見方が新しい学問を生んだことのすばらしさを思います。ところで、このような成果は望遠鏡の発明や分光・引力の発見などという具体的な活動だけでなく、その根底にある世界観にも大きく依存しました。「機械論的世界観」です。いま問題にしなければならないのはこの世界観なのです。なぜか。理由は大きく二つあります。

一つは科学が進歩し、自然科学の名のとおり、自然を対象にしなければならないようになったことです。機械論の中では、孤立分断性(物の性質・運動などはいつでもどこでも同じ)が重要です。しかし、自然を考えれば、地震も豪雨もいつ・どこで起きたかに大きな意味があるのです。生物などまさにいつ・どこで生まれ、暮らしているかが大事です。これまでの科学は実験室の中での実験や観察で進められ、自然そのものでなくモデルを対象にしてきました。大森莊蔵(1921～1997年、哲学者)は、いつでもどこでも同じである形と運動だけを見るときの物質は「死物」と言います。死物を見てもしかたありません。自然を見る学問として科学を考え直さなければならないときが来ているのです。

もう一つの理由は、科学技術の進展です。近年、日常生活がすべて科学技術の成果の中で行われるようになりました。テレビ、エアコン、パソコン、携帯電話、自動車、新幹線、ジェット機、…。これらなしでは毎日の生活が成立しない社会です。私たち人間は生き物であり、自然の一部ですから、大森の言う「死物」の科学から生まれた科学技術の肥大をそのまま続けることは、生きやすさにつながらないでしょう。

科学は本当に自然と向き合っているか、科学技術はこれか

らの社会を暮らしやすいものにするだろうか。この二つの問いは、いまどうしても考えなければならないものです。これまでの科学や科学技術を否定することはありません。それを踏まえながら、新しい考え方を出し続けていかなければならないのです。ここで最も大切なことは、「機械論的世界観」の見直しです。自然をそのまま見つめる立場、これを私は「生命論的世界観」として考えています。固定的な死物でなく、時間の流れの中で動いている対象—宇宙も地球もそうですし、もちろん生き物はそうです—を見るのです。

世界観の転換は至難ですが、ここで新しい道への第一歩として「理科」のもつ意味を見直すことを提案します。明治の始め、西欧から導入した科学を教える教科としてつくったのが「理科」です。このとき文部省(当時)が作成した学習指導要領(小学校理科)にこうあります(興味深いことに、今もまったく同じです)。

「自然に親しみ、見通しをもって観察、実験などを行い、問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り、科学的な見方や考え方を養う」。藤島弘純(1933年～、生態遺伝学)が、ここには二つの事柄が混在していると鋭く指摘します。日本の自然観(自然に親しむ、自然を愛する心情を育てる)と科学的自然観(観察・実験などを行う、問題解決の能力を育てる、自然の事物・現象についての理解を図る、科学的な見方や考え方を養う)です。

つまり理科は、科学を教えていながら自ずとそこに生命論が入っていることに気づかぬまま、科学(機械論)と日本文化(生命論)をみごとに融合させてきたのです。こんなことをしているから日本はグローバル社会の競争に勝てないのだとおっしゃる方もあるでしょう。でも、これはすばらしいことです。私は科学そのものの見直しが必要だと思っていますが、それを広めるのは難しいことです。いますぐできることは、理科のもつ可能性をよく見つけ、経済の中での競争に明け暮れる科学でない科学を身につけた科学者を育てることであり、それが暮らしやすい社会づくりにつながると思います。日本が培ってきた本物の理科教育を大切にしようというのが私の提案です。



グローバル化に対応した これからの英語教育 II

I 対談 新たな教科「小学校英語」のスタートに向けて (後半)



鹿児島純心女子大学 副学長
国際人間学部 教授

影浦 攻 / かげうら おさむ

鹿児島県教育庁指導主事、文部省(現文部科学省)教科調査官、宮崎大学教授を経て、2006年度より現職。



文部科学省初等中等教育局
教育課程課 国際教育課 教科調査官

直山 木綿子 / なおやま ゆうこ

京都市公立中学校で英語教諭、京都市教育委員会指導主事を経て、2009年度より現職。

前号の対談内容

前号では、新学習指導要領に向けて文部科学省で議論されている新たな教科「小学校英語」について、その教科化の背景や現実的な課題などについて、現在小学校5、6年生で取り組まれている外国語活動の成果を織り交ぜながらお話いただきました。(この対談は2015(平成27)年1月に行われたものです。)

評価について

影浦：評価はどうなりますか。ほかの教科に合わせて数値で評価するという考え方や、基本は文章記述でという2つ考え方がありますよね。

直山：文部科学省の中でも2通りの考え方があって、数値による評価と文章記述があります。数値による評価という考え方については、「算数」「国語」「音楽」「体育」など、教科はすべて数値による評価をしているので、外国語が教科になれ

ば当然ほかにならって数値でしょう、という考え方です。

ところが、研究開発学校として長年研究していただいている学校では、教科として取り組んでいても数値による評価をしているところは、現段階では1つありません。香川県の直島町立直島小学校については数値による評価を試みましたが、無理だという判断をして文章記述としたと報告しています。

ですので、ほかの教科が数値だから外国語も数値と単純に考えてよいものなのかどうか。これについては有識者会議では十分に論議されませんでしたし、中央教育審議会でさらに審議をいただくこととなります。有識者会議では文章記述の場合、学級担任の先生の負担が増すという意見が出ていました。先生の負担感も考えつつ、でもまず何よりも子供にとってどのような評価の在り方がよいのかを考える必要があると思います。子供が「僕はこうだ、それならもっと次頑張ろう」と思うのが評価であって、子供にレッテルを貼ることはありません。

影浦：中央教育審議会で任せるということになりますね。

直山：中央教育審議会で、初等教育全体を踏まえてご審議いただく必要があると思います。英語教育という軸も必要です

が、初等教育の中の外国語教育ということのを忘れてはならないと、私は強く思います。

影浦：それも今からの議論ですね。なかなか難しいですよ。数値評価で子供たちの意欲をそぐ可能性も出てくる。文章でいいところをほめることもまた大事なことです。

直山：ただ、子供にしても保護者にしても、文章記述だとあいまいだという感じがあるのでしょうか。文章記述による評価でも数値による評価でも、大事なことは、その評価の根拠を明確にしておくことと、何より子供がその評価によって学習意欲がさらに増すものでなければなりません。

小・中・高の目標

影浦：今は小学校ではコミュニケーションの「素地」、中学校では「基礎」、高校は「コミュニケーション能力」という表現を使っていますが、それは新しい学習指導要領でも同じでしょうか。

直山：これも有識者会議でイメージとして出ただけではありますが、3、4年生の外国語活動はやはり「素地」、高学年で教科になった場合は「コミュニケーション能力の基礎」にしています。

影浦：中学校の文言を持ってくるのですか。

直山：言葉だけ取り上げるとそうなりますが、その前にいろいろな修飾語がつくところが、中学校のそれとは違います。

今の中学校では、「聞くこと、話すこと、読むこと、書くことなどのコミュニケーション能力の基礎」と4技能をバランスよく身につけることを求めています。小学校高学年で教科になった場合は「聞くことや話すことなどのコミュニケーション能力の基礎」としており、読み書きについては記していません。さらに、「聞くことや話すことなど」に加えて、「身近で簡単なことについて」「基本的な表現に関わって」と、題材や扱う言語材料についても中学校のもの比べると、規制が加わっていることに留意する必要があります。

影浦：わかりました。そうすると、小・中・高等学校の連続性というのは文言上も学習指導要領の中で図られているわけですね。

直山：はい。今後はそれをもとに専門部会等で議論していただくことになっています。

他教科との連動

影浦：他の教科との関連という点ではどうでしょう。例えば、沖縄のある小学校の授業を見せてもらったときに、英語で「今朝何を食べてきた？」とたずねることから始まり、「パンと牛乳」「みそ汁とご飯」という話が出てきて、和食と洋食という表現から、栄養素の話にまで広がっていきました。活動の中に他教科、この場合は家庭科と関連を持たせている具体例だなと思いました。

直山：家庭科の栄養素と連動した授業はとてもすてきなものが多くあります。単にランチメニューを作る場合でも、子供は楽しんでレストラン屋さんごっこをして作りますが、決められた20種類ほどのメニューからどれをチョイスするかぐらゐの違いにしかなりません。ピザとかスパゲティとかハンバーグステーキなど、みんなよく似たものになってしまいます。そして、“This is my lunch menu. I like hamburger steaks. I like orange juice. I like salad, too.”と言って発表します。

一人目はそれを聞いて、「あ、そうか」と思いますが、これが5人目になると、もう5年生後半の時期ですから、子供たちは「それがどうしたの？ 君がスパゲティを好きなことと僕とは何の関係もないよ」と思い始めるわけですね。

この活動を、家庭科の食品を赤・緑・黄で分けた3つのグループと結びつけるとどうなるか。単にランチメニューを作るのではなく、家庭科で勉強したバランスのいい食事を作ることにします。ですからレストランに行くのではなく、食材を買いに出かけます。赤の群、緑の群、黄の群からバランスよく食材を選び、メニューを作ります。そして、例えばこんなふうに作ったメニューをクイズ形式で発表します。

Teacher: What's my healthy menu? Hints, please?

Students: Yes, please.

Teacher: Which color? Red? Yellow? Green?

Student: Green!

Teacher: Onion.

Student: Red, please.

Teacher: Chicken.

Student: Yellow, please.

Teacher: Rice.

onion, chicken, rice と聞いて「あっ、親子丼？」「違うよ」

という会話になっていきます。これは実はオムライスだったのですが、そうやってやりとりをしていると、聞いている子供は家庭科で学習してきたことをもとにどの色から聞いたらいいんだらうと思います。紹介する側の子供はどの食材から答えたらみんなが考えるだらう、難しくなるだらうと計算するわけですね。他教科と連動して頭を働かすことができます。

また、「総合的な学習の時間」や社会科で地域学習をしているわけですね。単に「道案内をしましょう」にしないで、例えば地域素材と組み合わせて、「京都市にこんなすてきなところがあるよ」と紹介してから“Where do you want to go?”とたずね、“I want go to to Kiyomizu Temple.” “OK!”と言って説明するなど、他教科などの学習内容や、経験してきた活動と絡めると、伝える目的や伝える相手意識などが生まれてくる。それがコミュニケーションの質を高めると思います。

影浦：かけ算などを英語でしている授業を見たことがありますが、算数や理科の一部を英語の中に取り込んでいくことも考えられますが。

直山：例えば、小学校6年生の算数で立方体などの展開図が出てきます。その展開図を子供に見せて、“What’s this?”とたずねて、これがどんな形になるか考えさせると、子供たちは算数で学習したことを思い出して、“Cube.”などと答えていくという活動も考えられます。反対にその展開図で、きちんと立方体にならないものも並べて、どれが正しい立方体になるかというクイズをすとか。それから四角形の数をたずねるなど、How many ...?の学習もできます。

子供は算数や他教科などで学習したことを取り入れた授業がとても好きです。他教科等で頑張っていることが外国語活動の中でも生きてきます。

影浦：知っている内容を英語でやるというのは興味を示しますよね。昔話もそうですね。

直山：「桃太郎」は日本の伝統文化を大事にしましょうという学習指導要領とも合致します。また、絵本の読み聞かせのときに、絵本を選択するポイントの1つは繰り返しがあることです。繰り返しのある日本の昔話と言えば、「桃太郎」です。猿や犬やキジと出会うところですね。あるいは「おむすびころりん」のおじいさんが何回もおむすびを転がすところなどですね。

教科書はどうなる？

影浦：3, 4年生は活動で、5, 6年生を教科にしようという計画ですが、教科になれば出版社が教科書を作りますよね。3, 4年生は活動のままだと文部科学省が教材を作ることになるのでしょうか。



直山：5, 6年が教科になったら、2020年度からは出版社が作った教科書が学校に配布されることになります。3, 4年生については教科ではないので、教科書がありませんので、今の5, 6年生に配布しているような教材を国が作成することも検討しています。子供にとっても指導者にとっても、国が作った3, 4年生用の教材というのは、5, 6年生用の教科書との連続性や接続性を考えると少しつらい面もあるのでと思います。ここも要検討だと思います。

影浦：文部科学省が3, 4年生の教材を作る場合、それ以前、あるいは同時並行で出版社が5, 6年生の教科書を作っていくわけですよね。うまく接続ができるのかどうか難しいところですよね。

直山：今のこのスケジュールでいくと2020年度全面実施、2018年度、2019年度が先行実施になります。今の予定では2016年度に学習指導要領改訂の予定ですね。そうすると、出版社の方にとりましたら、2020年度に教科書を使用、2019年度に採択、2018年度が検定になり、2017年度にはとっくに教科書開発に着手していなければならない状況ですよね。

今、文部科学省では5, 6年生が教科になった場合に使っていただける補助教材を作っています。それは次年度の2015年4月に研究開発学校等にお配りしようと思っています



対談場所 臨濟宗大本山 南禅寺（京都市左京区）にて

か、「買い物」などの場面を設定して、必要な言語材料はお選びくださいというのか、両方のアプローチがあると思いますが。

直山：外国語活動は、『Hi, friends!』を活用いただいていることが多いですが、学校が児童の実態に応じて、場面設定、話題を選んでいることが多いと思います。子供の認知に合わせてとなるでしょうか。外国語という教科になった場合は、中・高等学校のように文法事項を示すことがあり得るかもしれませんね。

影浦：学習指導要領の性格上、どういったレベルまで書き込むのか、ちょっと、気になります。

直山：基本、学習指導要領には学習目標、内容は記載されますが、指導法については記載されませんので、どこまで書けるかですね。ただ、文法事項を示していくと、どうしてもそちらに引っ張られる形になる可能性は高いかもしれませんね。

影浦：4、5日前の新聞に私立の中学校で英語の試験を考えているという報道が出ていました。ゆくゆくはそのような流れになってしまうのでしょうか。

直山：有識者会議でもそのような話が出ました。子供の過度な負担を考えて中学入試については配慮をお願いするという文書は出してはいるのですが。

直山調査官からのメッセージ

影浦：最後に、英語教育あるいは英語に興味を示している方々へ、直山調査官として、こんな夢があるというメッセー

ジをお願いします。

直山：今まで申し上げていたことのポイントでもあるのですが、小学校で行う外国語教育は小学校文化に根付いていることがとても大事です。小学校では子供にコミュニケーションを体験させるという性質上、指導者の子供理解は欠かせないわけですね。それが小学校の外国語活動で示されました。教科になった場合も、このことは引き継がれるべきだと思います。これがあつたから小学校の外国語教育はここまで成果を上げてこられたのだと思っています。

小学校の先生方にお伝えしたいことは、これから作ろうとしている教科としての外国語教育は新しいものだということです。中学校英語の前倒しでもない、外国語活動でもない。新しい外国語教育であるということです。そして、それは小学校文化に根ざしたものでなければならないということです。そして、外国語活動と中学校の英語を結びつける役割を担うものでもあります。ですので、小学校や中学校英語担当の先生たちに力を貸していただき、一緒に新しい外国語教育を作っていきたいと思っています。どうぞよろしく願いいたします。

影浦：今日は貴重なお時間をいただきまして、ありがとうございました。 ❖

補注

※1 『Hi, friends!』：2011（平成23）年から小学校5、6年における外国語活動の必修化が全面実施され、外国語活動を円滑に導入するため、文部科学省は2009（平成21）年に『英語ノート』を作成し、全国へ配布。その後、『英語ノート』の活用実績等を踏まえ、2012（平成24）年からは新たな外国語活動教材『Hi, friends!』を作成し、全国の小学校の児童および教員に配布した。

II 英語教育と理数科教育のコラボレーション 高等学校の実践例

金光学園 SSH における課題研究と国際化発表会の取り組みについて



金光学園中学・高等学校 教諭

田中 誠 / たなか まこと

1971 年生まれ。1990 年金光学園高等学校卒業。1994 年岡山大学教育学部中学校教員養成課程数学専攻卒業。1996 年度から本校に勤務。

1 ■ 背景

◆本校の紹介



図1 金光学園校舎

わが母校でもある学校法人金光学園 金光学園中学・高等学校は、併設型の中高一貫校で、1894(明治27)年に「真に世のお役に立つ人を育てる」ことを

願って、神道金光教会学問所として発足し、昨年創立120年を迎えた。2006(平成18)年度から探究クラスを設置し、課題研究の取り組みを始めた。2011(平成23)年度にはSSH(スーパーサイエンスハイスクール)の指定を受け、取り組みを進めている。研究開発課題は、「国際社会において『真に世のお役に立てる』理系人材の育成」である。

◆本校の国際化の歴史と取り組み

本校の国際化の取り組みの歴史は古く、金光教を母体とする学校でありながら、創立間もない1908(明治41)年にはアメリカンボードの宣教師を英語の非常勤講師として迎え、週1時間の授業を開始したとの記録がある。近年では、修学旅行で北海道コースのほか、オーストラリアコースとシンガポール・マレーシアコースの2つの海外コースを実施してい

る。このほか、希望者によるイギリス英語研修や仁川(韓国)英語村研修等の海外研修等を行い、海外を体験する生徒は年間のべ200人を超える。

2 ■ コミュニケーション力

よく言われることであるが、「英語を話せる人」=「グローバル人材」ではない。英語は「伝えるためのツール」に過ぎない。本校では、コミュニケーション力を以下のような図式でとらえている。

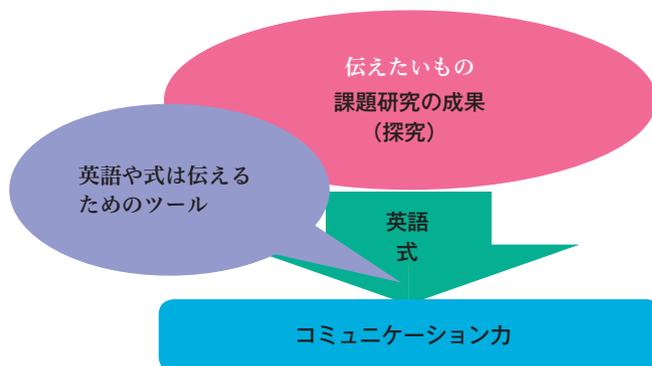


図2 本校におけるコミュニケーション力

本校はSSHの指定を受けて「国際化」を見据えた理系人材の育成を目指して取り組みを進めている。とりわけ探究クラスで行っている課題研究についてその成果をコンテンツ(伝えたいもの)として、コミュニケーション力の育成を図っている。

3 ■ 課題研究の取り組み

2006（平成18）年度に探究クラスを設置した際には、市川伸一先生（東京大学大学院教育学研究科教授）が提唱された「探究と習得のサイクル」の実践を目指し、京都市立堀川高等学校の取り組みを参考にして、課題研究に取り組み始めた。今から振り返ると、当時の取り組みは調べ学習の域を超えていなかったといえる。その後、2011（平成23）年度からSSHの指定を受け、さらに課題研究の取り組みを深めてきた。SSHの指定当初、運営指導委員やJST（国立研究開発法人 科学技術振興機構）の主任調査官より課題研究のレベルアップという課題を提示され、SSHを最大限に活用して取り組んできた。結果として、2013（平成25）年度には、SSH生徒研究発表会で科学技術振興機構理事長賞、2014（平成26）年度には同大会でポスター発表賞を受賞した。理数教育研究所主催の「算数・数学の自由研究」作品コンクールにおいては、2014（平成26）年度に『タイリング』という作品で生徒が奨励賞を受賞することができた。

ここで、課題研究のレベル向上につながった取り組みについて述べる。

課題研究を進めるにあたっては、

- 1) テーマ設定
- 2) 実験・調査・研究
- 3) 発表

という段階を経ていく。

テーマ設定の段階では、先行研究の調査や予備実験等を行う。このテーマ設定が重要であることはいうまでもない。いいテーマを設定することができれば、その課題研究は8割方成功といっても過言でないと思っている。また、実験・調査・研究においては、考察を重ねることにより、一捻りがあると面白い研究発表となる。ここでは一捻りと書いたが、起承転結の「転」とらえていただくとわかりやすいと思う。また、これらを可能にする研究期間の確保も重要な要素である。

これらのことには早い段階で気づき、研究期間（上記1、2）として1年間を確保するカリキュラムの見直しを行った。そのうえで、テーマ設定と一捻りを各ゼミの担当教員に求めた。

ここで転機が訪れた。ある教員から「それができれば、自分が研究者になっている」という発言があったのだ。この発

言を消極的発言ととらず、「自分たちでできること」と「自分たちではできないこと」を区別し、外部の力（専門家）の協力を求めることにつながられたことが、今日の取り組みへとつながっていると考える。

◆生徒発の課題研究を行う

専門家と連携した課題研究では、専門家から与えられたテーマに取り組む場合も多くあるのではないだろうか。高校生の限られた知識の範囲内で取り組むことができるテーマは限られている。一方で、生徒にテーマを求めると、ネット上に結論が出ていてありふれているものや、壮大すぎるものを設定しがちである。

本校では中高一貫校の特性を生かし、中学校3年生から課題研究の流れを体験し、高校1年生の秋から本格的な課題研究に取り組んでいるが、高校1年生の3月に中間発表として、テーマ設定のための発表会を開催してきた（今後は、時期を早める方向で検討中）。ゼミごとの分科会方式で、自分の興味があること、それに伴う先行研究、やってみたいことや疑問を発表し、研究テーマの設定について専門家よりアドバイスをいただくという会である。各ゼミに複数の専門家を招いて開催している。方向性やアイデア等、具体的なアドバイスがいただけることもある。当日には結論が出なかったり、当日一定のアドバイスをいただきながらも、後から思いついたと、後日提案をいただくということもある。

6月に2回目の中間発表会を行う。研究を進める中で、つまづいている点へのアドバイスや、一捻りのアイデアを協議する場である。



図3 課題研究のテーマ設定のための中間発表会

いずれの中間発表会も、ご協力いただく専門家の先生方には「確実な道しるべである必要はない」とお願いしている。「困ったら連絡するので、そのときに助けてください」とも言っている。研究であるので、予想(仮説)と異なる結果が出るのも自然である。

中間発表会は議論が白熱し、定刻に終われないという事態も珍しくない。

◆数学ならではの問題点

課題研究とはいえ、研究である以上、オリジナリティーが求められる。近年では、理科の分野で高校生による新発見・新発明や高校生が定説の誤りを指摘といったニュースを見かけることも多くなった。数学は定義、公理から定理を証明することによって体系化された学問である。定説の誤りはあり得ない。未解決問題といわれる問題は、人類が数十年から数百年取り組んで未だに解決されていない問題である。高校生がオリジナルな新発見をするには、数学は難しい分野である。シミュレーション等、数学を利用して現象を表現する研究や統計を活用した研究—これらが高校生でも可能な数学の研究の王道かもしれない。昔ながらの数学にこだわるのなら、既知のものであっても、高校生の知識の範囲内で証明する。よく知られている性質の条件を変更して、性質を見いだす等が考えられる。本校でよく行う課題研究は、後者である。

4 ■ グローバル化の取り組み

2010(平成22)年度にSSH申請書に記載した文面は、「SSHにおける国際化の取り組みについては、テレビ会議システムを構築し、海外の学校と連携した課題研究を推進する」というものであった。

「グローバル化」ではなく「国際化」となっていることから、ここ数年のこの分野での激動が感じられる。

まず、この計画を策定する前に、海外研修についても検討した。本校は、中高6学年で約1,300人の生徒が在籍している。当時の議論を振り返ってみると、SSHの予算を使って、この中のいったい何人を海外に派遣できるか、十数人を派遣したとしてもそれが学校全体の国際化にどの程度のインパクトを与えることができるか、という点に問題意識を持ち、できるだけ多くの生徒にチャンスを与える方法はないかと考え

た。それが「海外に行く」ではなく、「校内に海外を作る」というコンセプトの原型となった。

当初の計画は、2011(平成23)年度中に光ファイバーが本校地域にも敷設されるという情報を受けて、SSH申請書に記載したものであった。東日本大震災の復興の関係からか、2011(平成23)年7月には光ファイバー敷設の白紙撤回の情報が流れてきた。そこで、現在の取り組みへと変更することになった。

◆再計画にあたって

再計画するにあたり、「国際化」といわれる取り組みを発表しているSSH校を多数視察させていただいた。まずは、その中で気づいたことを2つ述べたい。

1) 英語を話さざる得ない環境が必要

日本人であれば誰でも、わざわざわかりにくい英語よりも、ふだんから使い慣れている日本語で議論したいと思うのは自然である。それが、研究として中身について詳しく知りたいと思えばなおさらである。外国人の割合の少ない発表会に行ったとき、一部で日本語が聞こえ始めると、一気に会場を日本語が支配した。この発表会では公用語は英語と取り決めていたが、知的好奇心のほうが勝った結果であると思った。場合によっては、日本語でのやりとりを英語に引き戻すためには、相当な割合の外国人の協力が欠かせない。

2) 聞き手の理系の基礎知識も重要

地域のALTを動員したオールイングリッシュでの発表会に参加したときのことである。詳しい内容は覚えていないが、複素数(虚数)に関する周期性だったと思う。生徒がひとりひとり説明して「質問はないか?」との問いに、ALTはしばらく考えて、「What is complex number (imaginary number)?」と質問してきた。彼らは、生徒が知っていることとして話した複素数(虚数)が何か、全く理解していなかったということだ。サイエンスを題材に英語を活用する発表会を行う以上、理系の基礎知識を有するALTである必要性を感じた。

◆英語で研究発表を行うために

英語は英語の授業で学習している。それを活用すればいい。最初はそのように気軽に考えていた。数式を英語でどのように読むのか—例えば、「 2^4 」。英語の教員に質問して返ってきた返事は「知らない」であった。理科・数学で扱われる専門用語と言われるものも同様である。考えてみれば、文系出

身の英語科の教員が、文学や日常会話で使うことのないサイエンスに関する英語の専門用語や言い回しを知らないことは当然のことである。サイエンスの課題研究を英語で発表するために、専門用語の獲得が必要となった。そこで学校に理系のドクターコースの留学生2名を非常勤講師として雇い入れてもらい、次の2つの取り組みを行うこととした。

1) サイエンスイングリッシュの授業

本校の英語科教員、理数科教員と留学生ALTの4名でのチームティーチングで、数学においては数式の読み方から始め、理科では図鑑等を教材として英語での質疑応答の手法を学びながら専門用語に触れる。クイズ方式など、ゲーム要素も取り入れながら行う。数式の場合は、グループワークで隣の人が書いた式を英語で読む等の活動を行っている。取り組み当初はALTが授業を作り、理数科の教員が補助という関係であったが、近年では理数科の教員が中心となって授業を展開することもある。

2) 留学生ALTによる課題研究への質問

日常の課題研究を日本人の教員がすべて日本語で進め、成果発表だけを英語で行おうとした場合、発表の内容を暗唱することで発表はできるが、質疑応答のようなディスカッションを行うことは難しい。日頃から英語でやり取りしながら進めることによって、ディスカッションまで対応できる力をつけることができると考えた。そこで、課題研究の授業中に、留学生ALT2名に教室を巡回していただき、「何をしているの?」「どうなった?」等々質問をしていただく。その中で、わからない用語を獲得しながら、質疑応答の実践を積み重ねる。8つのゼミに分かれ、それぞれのゼミで複数のグループに分かれて課題研究を行っているので、生徒にとっては1回の授業(2時間連続で約100分)で10分あるかないかのわずかな時間であるが、回数を重ねるにつれ自然に質疑応答を行えるようになっていっている。

生徒の以前のようすを知る教員から、この取り組みを始めてから今何をしているか、何を目的として実験(実習)しているかを生徒たちは日本語でもきちんと説明できるようになったということを聞いた。

◆SSHにおける国際化の取り組みについての発表会

2012(平成24)年度から「SSHにおける『国際化』の取り組みについての発表会」として、他校の参加もいただきな



図4 発表会に集まった発表者、助言者、外国人留学生等

がら発表会を行っている。

大学教授等専門家30名前後、留学生50～70名の協力をいただきながら実施してきた。上の写真は、発表者、助言者、外国人留学生等を含む集合写真である。

昨年度は14校からの参加をいただき、本校の生徒を合わせて65本のポスター発表会となった。参加いただいた専門家の方々から「ちょっとした国際シンポジウムの雰囲気だ」とのお言葉をいただいた。会場随所で次の写真のような熱心なディスカッションが繰り広げられた。

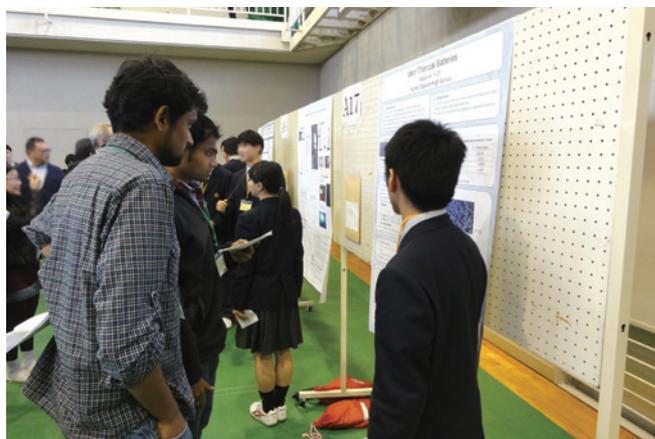


図5 発表会参加者とディスカッションする生徒たち

経費面ではSSHのご支援をいただき、全国の専門家の先生や留学生の協力のおかげで、年々大きな大会へと成長している。他校生徒の参加をいただくことで、「自分も負けていけない」とか、中高一貫校の中学生の参加もあり、「中学生があんなに頑張っている」などのたいへんよい刺激をいただいている。



Ⅲ 英語教育と理数科教育のコラボレーション 高等学校の実践例

英語と数学がコラボレートした授業実践報告

～サイエンス・コミュニケーション (SC) — 英数コラボ～

福井県立武生高等学校 教諭

青木 慎恵 / あおきのりえ

筑波大学大学院教育研究科 教科教育専攻 数学教育コース修了。大学院修了後、小学校教諭2年、中学校教諭5年を経て、今年、高等学校教諭13年目の教員生活20年目。武生高等学校に赴任して8年目。赴任1年目よりSSH研究推進部の一員として1期目の企画・運営に携わる。その間、理数科を担任し、生徒とともにSSH1期目を経験する。現在は普通科3年担任。進路指導部所属。



1 ■ はじめに

この実践報告は、本校が2008～2012年度（平成20～24年度）まで文部科学省よりSSH（スーパーサイエンスハイスクール）に指定された第1期目における学校設定科目「探究」：サイエンス・コミュニケーション（SC）において、英語と数学がコラボレートした単元授業の報告である。

現在本校は、2013～2017年度（平成25～29年度）まで2期目のSSHの指定を受けている。本校は創立115年を数える伝統校であり、校歌の歌詞に「いかに生くと人間はば 我は明朗自律の児 まことを求め 道に生き 世に尽くさんと 答へまし」とあるように、明朗で品格ある生徒、地域社会や国家、国際社会のリーダーたるにふさわしい人材の育成を目指している。

各学年とも、普通科8クラスと理数科1クラスがあり、普通科では2年次より文系4クラス・理系4クラスに分かれ、生徒のほとんどが国公立大学進学を目指しており、毎年200名前後の生徒が国公立大学に進学している。

2 ■ 本校のSSH事業について

- 1期目：2008～2012年度（平成20～24年度）
- ・地域の大学や研究機関・産業界等と連携・協働して構想する、21世紀型の理数カリキュラムおよび「持続可能な開発のための教育プログラム」の研究開発
- ・福井から世界へと活躍の場を広げ、「地球的課題・現代的

課題に逞しく挑戦する、国際感覚に優れ、問題解決志向が強く、情報発信のできる理数系人材」および「将来にわたって科学技術を正しく理解・評価し、社会に貢献する人材」の育成

この2つの研究課題のもと、学校設定教科「探究」の研究開発や、県内はもとより国内、海外の大学・企業・研究機関における実習や見学などの研修活動、科学や科学技術に関連した研究者等による講演会の実施、地域の中학생に対して成果の広報事業ともなる中高連携講座「武高アカデミア」の実施など、各種事業に取り組んだ。研究活動はおもに、理数科生徒が中心となって活躍した。

- 2期目：2013～2017年度（平成25～29年度）
- ・「旺盛な好奇心の涵養と論理的ディスカッション能力育成」の研究開発

この研究課題のもと、2013（平成25）年度より2期目がスタートした。国際社会に貢献できる科学や科学技術に携わる人材を育成するために、旺盛な好奇心、明快な論理、高いディスカッション能力の育成のため、IMRADプロジェクト（科学論文の構成であるIntroduction, Methods, Results And Discussionの略でこれを意識して課題研究を行う）、地域の小中高生対象にSaturday Science、普通科の課題研究を行っている。

3 ■ 学校設定科目「探究」：サイエンス・コミュニケーション (SC) について

【科目の目標】

コミュニケーションリテラシー、コンピュータリテラシー、

科学的リテラシーを意識し、①単元学習、②外部講師による招へい授業、③外国人研究者や留学生との交流などを通じて、自然科学や先端科学技術への興味を育て、科学技術の適正な評価や伝達ができるようになるための能力を養う。

【実施概要】

この授業は、1学年対象で普通科・理数科ともに2単位で実施した。理科、数学、国語、英語、地歴・公民科による単元授業で言語活動や表現活動を重視した。また、科学講演会や留学生との交流会事業も行った。

【2教科がコラボレートする単元授業について】

理科と国語、理科と社会、英語と数学がコラボレートする単元授業を行った。英数コラボは、『英語で書かれた数学の問題を解こう』というテーマで、3～4時間配当で実施した。数学科と英語科の教員2名で実施した。

4 ■ 英数コラボの授業内容について

【目的】

- ①英語で書かれた数学の教科書を読み、問題解法の説明を読んで論の進め方や表現方法について学ぶ。
- ②英語で書かれた数学の問題を解き、解法を英語で書くことができるようにする。
- ③問題の解法を英語で発表することができるようにする。

【授業の流れ】

第1, 2時間目

4人グループになり、まず英語で書かれた数学の問題の意味(座標平面上に描かれた三角形の重心座標を求める)を把握する。

日本語で解答した後、英語で書かれた解法を読む。

読んで理解した論理的展開をフローチャートにまとめる。

最後にクラスで発表する。

第3, 4時間目

4人グループになり、英語で書かれた数学の問題の意味(座標平面上に描かれた三角形の中線、垂線の方程式、および円と接線の交点の座標を求める)を把握する。

配られた英語の用語集を用い、英語で解答する。

それぞれの問いについて解答を英語で発表する。

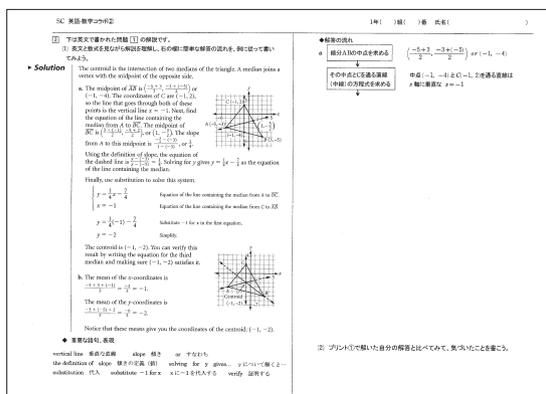
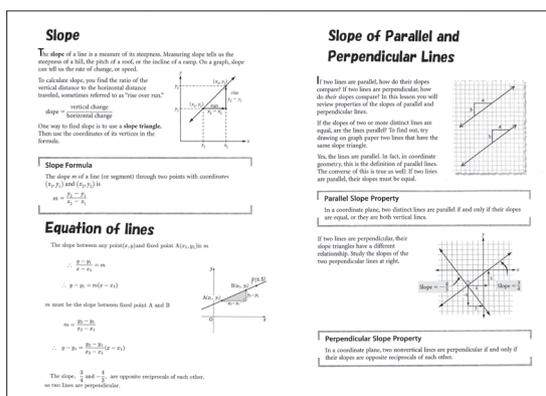


図1 授業で使用したワークシートやプリント

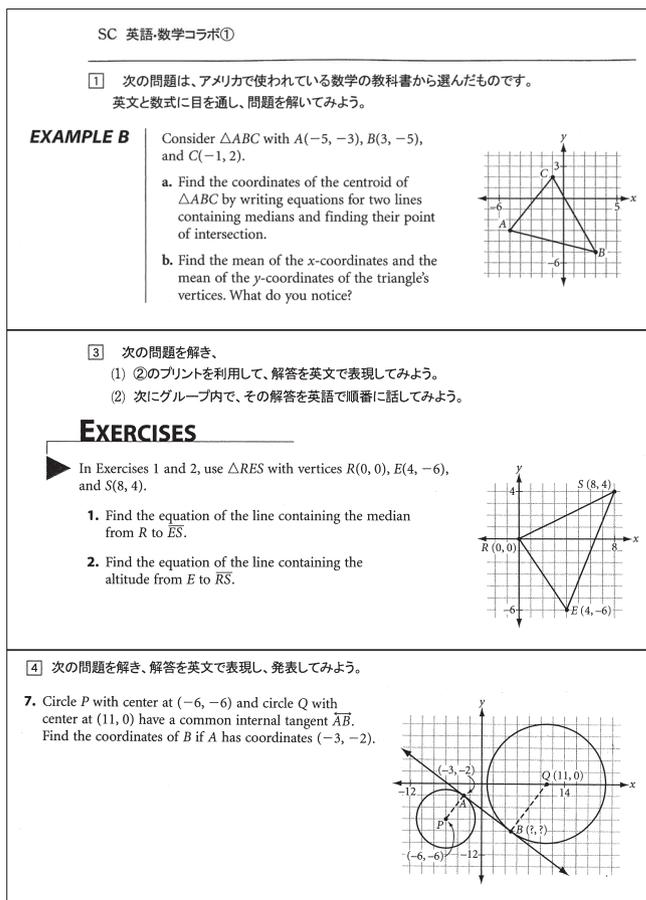


図2 生徒のワークシート

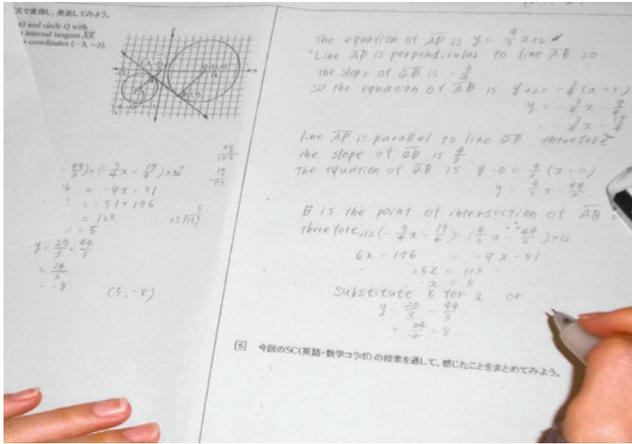


図3 解法を書き入れた生徒のワークシート

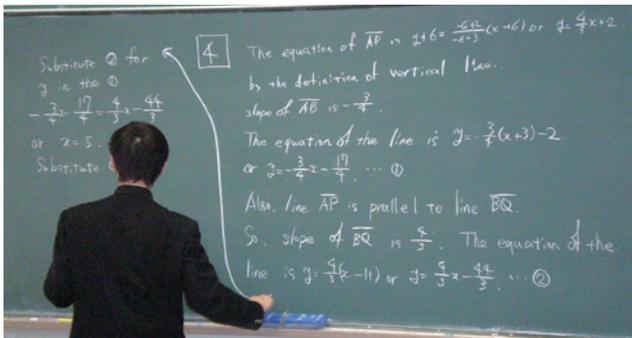


図4 生徒が英文で板書しているようす

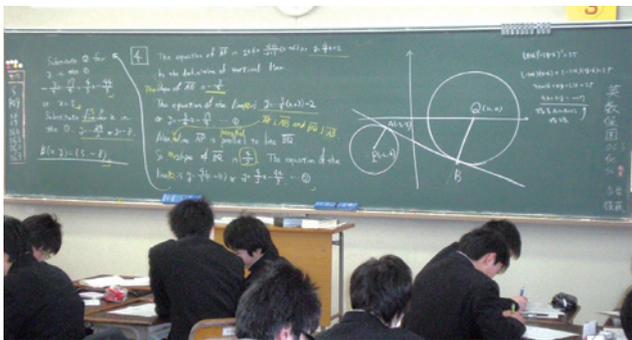


図5 英語科教員による添削後のようす

【生徒のようす】

5年間の大きな流れは、以上のとおりであるが、毎年少しずつ改良を加えて実施した。次に、生徒のようすを述べる。

<2008・2009年度>

第1, 2時間目

数学の授業でちょうど扱っている分野であり、生徒は興味を持って意欲的に取り組んでいた。座標平面上の三角形の中線を方程式で表すことは馴染みがなく、英語の意味はわかっても、どう解いていいのかわからず悩んでいるグループも見受けられた。英語で書かれた解法は論理展開にしたがって丁

寧に書かれていたことや、数式が手がかりになったため、理解しやすかったようである。ただフローチャートにまとめることに手間取っている生徒がおり、論理的に考えることを苦手とするようすが見られた。

第3, 4時間目

前回の復習となる基礎的な問題と応用問題を課した。今回は英語の用語集を準備し、解を書くのに必要な英語表現の表記と読み方を載せた。いきなり英語で書くことにとまどい、日本語で書いてからそれを英訳する生徒もいたが、それを止めさせることはせず最終的に英語で書いたものを仕上げるように指導した。また、応用問題については解けない生徒がクラスの半数程度いた。日本の高校数学の授業ではあまり見かけない問題で、生徒もとまどっていたようである。しかしながら、数学的には良問で数学のレベルを下げずに英語で扱えたことはたいへんよかった。英語で解答を書くのに手間取り、発表の時間が充分とれなかったのは残念であるが、生徒は熱心に取り組んでいた。中には休み時間になっても必死にプリントに取り組んでいる生徒もいた。

<2010・2011・2012年度>

第1時間目

生徒は意欲的に取り組んでいた。座標平面上の三角形の中線を方程式で表すことが理解できず、どう解いていいのかわかっているグループも見受けられたが、数学の教員が説明を加えて理解することができた。また、英語の用語集を配ったので、数式が何を表しているか、どのような解法を用いているかは理解したようである。ただフローチャート作成に時間がかかる生徒や、論理的に考えることを苦手とするようすが見られた。

第2, 3時間目

前回の復習となる基礎的な問題と応用問題を課した。生徒は、前回配布した、解を書くのに必要な英語表現の表記と読み方を載せた用語集を利用して考えた。日本語で書いてからそれを英訳する生徒もいたが、どのような手順でも最終的に英語で書いたものを仕上げるように指導した。応用問題については、解答を導くことと英語で解答を書くのに時間がかかったため、発表の時間がなかなかとれなかったのが残念である。だが、時間いっぱい熱心に取り組む姿や、休み時間になっても必死にプリントに取り組む生徒の姿が印象的であった。

【生徒の感想】

- もっといろんな問題に挑戦したいし、他の教科との英語のコラボも面白そうだった。
- 今回のSCでは英語での方程式の表し方がわかったので、次はもっと勉強しているいろいろな分野の数学の問題を英語を使って解いていきたいと思う。
- 数学だけでなく化学や物理の問題も英語で解いてみたいと思った。
- 英語は、日本語に比べてたくさん文字を書かないといけなからたいへんだった。まだまだ、知らない単語が多いと思った。
- 英語になるととても難しく感じる。将来こういう問題を解く機会があるかもしれないと思った。難しかった。
- 日本とアメリカで問題の表し方は違うけれど、解き方は全く同じだと思った。

【教員の感想】

- 内容は数学の授業の進度に合わせたものであり、生徒が意欲的に取り組んでいたのはたいへんよかった。教材は、量的にも質的にも欲張らず、かつやさしすぎることもなくちょうどよかったようだ。生徒の感想には「楽しかった、また是非やってみたい」という前向きなものが多く、生徒の好奇心の強さと学習意欲の高さに驚いた。英語で発表することに関しては時間が足りなかったが、もう少しじっくり取り組ませれば可能であるように思えた。(2008年度)
- クラスによっては数学の授業との進度が間に合わず、この授業で初めて新しい内容を扱うクラスもあったが、中学校の知識を応用して解くこともできたようで、生徒たちは楽しんで活動していた。英語で表現することに関しては昨年より時間をかけることができたが充分とは言えなかった。今後は表現活動の充実を図っていきたい。(2009年度)
- 教材は昨年と同じものを用いたが、何が求められているかわかっていても、数学の問題を解くのに苦労している生徒が多かった。少しでも英語の表現に慣れるようにと、昨年は2時間目で配った用語集を今年は1時間目で配ったが、やはり解法を英語で表現するのはかなり難しかったようである。ただ、生徒の感想には、「新たな発見があった」、「日本語との表記の違いが面白かった」、「回を重ねるうちにわかってきて楽しくなってきた」といった前向きな意見が多く、今後につながる経

験だったのではないかとと思われる。一方で、多様な学力層の生徒がいることを考慮し、英語の表記の仕方を練習し定着させる時間をとれたらよかったと思う。また、問題を解くこと自体に時間がかかりすぎたので、ある程度の道筋を指示するとか、ヒントをもう少し加えるなどの工夫が必要だと感じた。(2010・2011年度)

- 数学の授業の進度が昨年度より遅く、問題を解くのに苦労している生徒や問題を解くことに時間がかかる生徒がいた。そこで、理解を補助するプリントを配布し、取り組みやすいように工夫をした。それでもなお、解法を英語で表現するのはかなり難しかったようである。ただ、生徒の感想には前向きな意見が多く、よかったと思う。(2012年度)

5 ■ まとめ ～英数コラボ授業を実践して～

このコラボ授業を実践して率直に感じたことは、私自身が楽しかったということである。それは、他教科教員とのコラボ授業の経験が初めてであることと、数学的な内容は数学科教員が、英語表現については英語科教員がサポートするという授業スタイルにより、私も生徒と同様に新しい学びがあったということである。また、毎年、前回の授業を振り返りながら改良や工夫をして実施してきた。そのため、回数を重ねるごとによりよい授業実践ができたと感じる。それは、英語科や数学科の大きな財産となった。

現在、2期目ではこのようなコラボ授業は実施していないが、他教科とコラボレートした単元授業は、積極的に取り入れていくとよいと考える。特に数学は、英語だけでなく、理科や社会、芸術や体育や家庭などの教科ともコラボすると、新たな学びの可能性が見えてくると考えている。

多くの事象は文系・理系とはっきり区別できるとは限らず、さまざまな視点からアプローチをすることで解決の糸口が見つかったり、構造がより深く理解できたり、新たな発見があったりする。また、グローバル化が進む中、ますます世界共通の言語である英語で表現し、伝え合うことが求められる。今回のコラボ授業は、そういった点で、これからの時代の新しい学びにつながる実践だったと考えている。❖

第2回

「音」の中に隠れた数比と数学



ジャズピアニスト・作曲家

中島 さち子 / なかじま さちこ

1996年国際数学オリンピックインド大会で日本人女子初の金メダル、翌年のアルゼンチン大会で銀メダル獲得。東京大学で数学を専攻する一方、ジャズに出会い、卒業後本格的に音楽活動開始。2010年ピアノトリオCD「REJOICE」リリース。2012年『人生を変える「数学」そして「音楽」』（講談社）出版。現在は、独自の音楽活動や数学研究のほか、全国で数学や音楽についての講演活動、教育、グローバル人材育成などに携わる。「算数・数学の自由研究」作品コンクールの中央審査委員を務める。

「音と音」が織りなす響きの個性

皆さんの身近には、ピアノやキーボード、鉄琴、ハーモニカなどの楽器はあるでしょうか。

楽器がある方は、適当に2、3の音を選んで同時に鳴らしてみましょ。そのとき、好きな響き、苦手な響きなどはあるでしょうか。例えば、ドとオクターブ上のド、ドとソ、ドとミ、ドとミ♭、ドとド♯、ドとファ♯、…。それぞれどんな音がするでしょうか。また、皆さんの好きな映画やドラマなどで、うれしいとき、悲しいとき、不穏なとき（サスペンスなど）、おどけるときは、それぞれどんな響きが多く使われているでしょうか。

おそらく、多くの楽しい・明るい曲には、ドミソ、ドファラ、ソシレなどといったシンプルな基本的な音の響きがたく

さん使われているでしょう。また、壮大で夢のある曲では、メジャーセブんと音楽では呼ばれる4音の響き（ドミソシ）が使われていることが多いようです。ベートーベンの『運命』では、最初の「ソとミ♭」がとても印象的に響きます。不穏な曲ではジョーズのテーマ曲の「ミとファの繰り返し」のように半音ずれた2音が効果的に使われていたり、サスペンスではドとファ♯のような2音がよく使われていたりします。

もちろん、音の感じ方は人それぞれ。ある音楽を楽しみ喜びの歌と感じる人もいれば、悲しい絶望の歌、はたまたおどけた歌、など全く違うとらえ方をすることも往々にしてあります。また、感じ方には「慣習」の力（サスペンスといえばこの和音！などの刷り込み）も大いにあるはずですよ。

それでも、多くの方がなぜ、響きに応じて心地よさや居心地の悪さ、明るさや不穏な感じを同じように感じるのか。その背後には、実は、数の魔力があり、私たちの美や快・不快の感覚も、数にある程度支配されていると私は考えます。

さらには、音はフーリエ解析や微分方程式といった数学の分野とも大なる関係を持っています。これから音の中に潜む数学の不思議を少し味わってみましょ。

ピタゴラスの大発見：数比は音の美しさを支配する？！

私たちはなぜ「ドミソ」に心地よさを感じ、安心するのでしょうか。楽しい音楽にはなぜドミソや、それを移行したファラド、ソシレなどが多く使われているのでしょうか。

5世紀頃のイタリアの哲学者ポエティウス（480～524年頃）は、長い間欧州での音楽理論の基礎となった著書『音楽教程』の中で、古代ギリシャの数学者ピタゴラス（紀元前582～紀元前496年）の大発見について言及しています。

「ある日、鍛冶屋を通りかかったピタゴラスは、ハンマーが打ち鳴らす音を耳にして、協和する音（よく響き合う音）とそうでない音があることに気づきました。ふと、ハンマーの長さ^{*1}が関係しているのではないかと思い、はかってみると4本のハンマーの長さの比率は12:9:8:6になっていて、残りの1本がそれらの比率からはずれていました。

さらに見ていると、長さが12:6のハンマーがオクターブ、12:8と9:6の2組が5度^{*2}、12:9と8:6の2組が4度、9:8が全音を響かせているとわかり、響きの美と数比に関連があると気づいたピタゴラスは狂喜乱舞して帰り、弦を

使って実験を始めました。」(ポエティウス著『音楽教程』)

このように、数の比と音の響きの間には深い関係があります。物理的には、音とは空気などの媒体が織りなす「波」であり、人間の耳を通じて音として認識されます。波の振幅が大きくなるほど音は大きくなり、振動数(1秒間に生じる波の数)が多くなるほど音は高くなります。そして、ハンマーの長さや振動数は反比例することがわかっています。ピタゴラスは、振動数比が美しい分数になる(既約分数にした際、分母と分子の最小公倍数が小さい)ほど、2つの波はより深く混じり合うことを発見したのです。

では、なぜ振動数比がシンプルほど音はよく混じり合うのでしょうか。そのためには、19世紀初頭に活躍したフランスの数学者フーリエ(1768～1830年)の発見「どんな周期的関数も、サイン波の無限和(フーリエ級数)で表すことができる」を知る必要があります。

一般的に、音程のある音(楽音)は比較的周期的な波となっています。フーリエによれば、周期関数である楽音は、「基本的な振動数のサイン波の音と、その整数倍の振動数のサイン波の音(倍音)の無限和」で表されます。つまり、「振動数が x の1音の中」には、一般的には振動数が $2x, 3x, 4x, \dots$ である倍音もそっと含まれているのです。なお、自然界には1つのサイン波だけからなる純音は存在せず、バイオリンもピアノも人の声も無限の倍音を含みます。倍音の含まれ方の違いが波の形や音色の違いとなるのです。

さて、振動数が $x, 2x$ の音はいずれも振動数が $2x, 4x, 6x, \dots$ の倍音を含みますので、よく協和します。振動数が $2x, 3x$ の音は振動数が $6x, 12x, 18x, \dots$ の倍音を共通に含みます。比較的混じり合うと言えます。しかし、例えば振動数が $8x, 9x$ の音は振動数が $72x, 144x, 216x, \dots$ の倍音しか共通に持たず、あまり協和するとは言えません。

シンプルな振動数比の2音のほうがよく協和することが直感的に感じ取れたでしょうか。

では、「ド」の倍音は具体的にどんな音になるのでしょうか(本から音が出るとよいのですが！)。

基準音をドとすれば、おおよそ、

ドの2倍音は1オクターブ上のド(半音12個上)

ドの3倍音は1オクターブ上のソ(半音19個上)

ドの4倍音は2オクターブ上のド($4=2^2$, 半音24個上)

ドの5倍音は2オクターブ上のミ(半音28個上)

ドの6倍音は2オクターブ上のソ($6=3 \times 2$, 半音31個上)

ドの7倍音は2オクターブ上のシb(半音34個上)

ドの8倍音は3オクターブ上のド($8=2^3$, 半音36個上)

ドの9倍音は3オクターブ上のレ($9=3^2$, 半音38個上)

です。では、ドの10倍音や12倍音は何でしょうか。^{*3}

このように、振動数を2倍にすると音は1オクターブ上がり、振動数を $\frac{1}{2}$ 倍にすると1オクターブ下がります。適宜2倍や $\frac{1}{2}$ 倍して1オクターブ内に音を表すと、ドに対し、ソは $\frac{3}{2}$ 倍、ミは $\frac{5}{4}$ 倍、シbは $\frac{7}{4}$ 倍、レは $\frac{9}{8}$ 倍、ファは $\frac{4}{3}$ 倍となります。

フーリエによれば、一般的には、1音の中に無数の倍音が隠れています。つまり、ピアノやバイオリンの「ド」の中には、何オクターブか上のドやソ、ミ、シb、レ、…などがそっと含まれています。特に近い倍音を抜き出せば、ドの中にはドミソという基本和音がこっそり隠れているとわかります。

また、ドミソやファラド、ソシレという基本和音は、振動数比が4:5:6ととてもシンプルな数比なので美しくハモることもわかります。この「協和度」こそが、私たちが安心する要因であり、基本和音を多用したモーツァルトの音楽が赤ちゃんを眠らせるのも4:5:6の生み出す魔術なのかもしれません。ちなみに、ドレミを同時に弾くとかなりぐちゃぐちゃとした音になりますが、こちらの数比は8:9:10です。なお、サスペンスでよく使われるドとファ#は $1:\sqrt{2}$ 、ジョーズが現れるときに流れるミとファは15:16の数比です。

ぜひ、身近な楽器で数比の響きを聴いてみましょう。^{*4}

サイン関数が「初音ミク」を創りだす！

以下は少し難しい数式が並びますが、サイン関数と音とのつながりを感じるために、いくつかの「音の式」を紹介しましょう。なお、私もデジタルシンセサイザーを使うときは、目的に応じ、多様な波を効果的に組み合わせで演奏します。

のこぎり波： k 倍音を $(-1)^{k-1} \frac{1}{k}$ の重みで含むフーリエ級数の波。倍音が多いバイオリンのような豊かな音色。

$$x_1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} \frac{\sin(kt)}{k} \quad (t: \text{時間})$$

くしい矩形波：くしいのこぎり波の奇数倍音成分のみ抜き出したフーリエ級数の波。クラリネットのようなまろやかな音色。

$$x_2(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)t)}{2k-1} \quad (t: \text{時間})$$

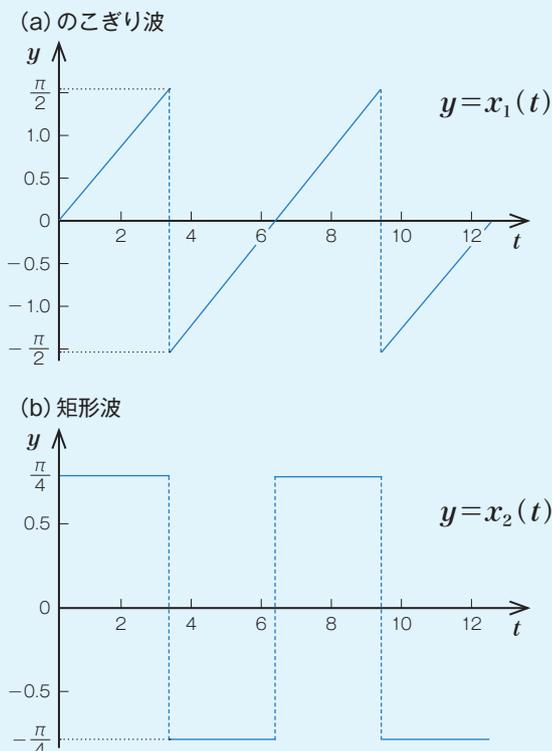


図1 のこぎり波と矩形波

フーリエは、さらに、周期的ではない複雑な波の音（楽音ではない^{そうおん}雑音—太鼓の音、風の音、掃除機の音など）も、フーリエ解析という手法で、さまざまな振動数のサイン関数の連続和（積分）となることを示しました。フーリエ解析は現代科学全般に大きな影響を及ぼし、現在では音のサンプリングやコンピューターグラフィックス、CTスキャンなど、さまざまな場面で利用されていて、私たちの社会に貢献しています。最近では、iPhone などでも、バイオリンやトランペットそっくりの音が出せるようになってきていますよね。いずれも、フーリエ解析を通じてアナログな音や画像の構成を分析し、デジタルに再構築しているわけです。こうした技術も、初音ミク^{※5}も、フーリエ変換がなければ決して生まれ得なかったモノたちです。

違う形の太鼓から同じ音が聴こえるか？

以下も少し難しい話題ですが、音楽と深い関わりがある20世紀数学の一例を紹介します。

一般的に、楽器の音は楽器の構造により決まります。太鼓ならば皮の張り具合や素材、太鼓の形、笛ならば穴の大きさや笛の形、長さ、素材などに応じた、複雑な境界条件を持つ偏微分方程式（波動方程式）を自然界が瞬時に解き、音とな

るわけです。実際にはこうした微分方程式は人間の手に負えない複雑さを持っており、ある意味では自然界は随時人間にとっての未解決問題をいとも簡単に解いているとも言えます。

さて、1966年にアメリカの数学者・数理物理学者カツツ（1914～1984年）は、「太鼓の形は太鼓の音だけからわかるか？（Can one hear the shape of a drum?）」という面白い疑問を数学界に投げかけました。^{※6}

数学者たちの健闘により、「太鼓の音から、太鼓の表面積や周長、皮にあいた穴の数は決まる」とわかりましたが、音から形が完全に復元できるかの研究は難航しました。

結論を言えば、1次元では答えはYESです。両端を固定した弦を弾いた音を聴けば、弦の形（弦の長さ）はわかります。

では、2次元以上ではどうでしょうか。

答えは実はNOです。2次元では、1991年、以下の2つの2次元図形が同じ「音」を出すことが証明されました。つまり、同じ音を出す、別の形の太鼓は存在するのです！

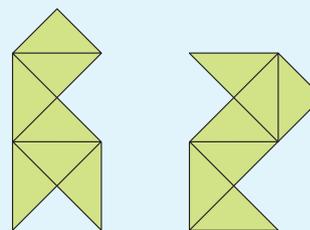


図2 全く同じ音を出す2つの太鼓の形

このように、数学と音楽は、複雑に互いに深く絡み合う関係にあります。余談ですが、現代数学最大の予想である「リーマン予想」も、実は「ある種の太鼓の音」とつながっていて、「音と素数もつながっているのではないか」などと予想されています。音楽はリーマン予想を解く鍵を握っているのかも。素数の奏でる究極の音楽。ぜひ聴いてみたいものです。❖

補注

- ※1 実はボエティウスはハンマーの長さでなく重さと書いていますが、ボエティウスの誤記と信じられています。
- ※2 5度、4度、全音というのは音楽用語で、各々半音7個、5個、2個分の差をもつ2音の関係を表します。
- ※3 ドの10、12倍音は、各々、もとのドの3オクターブ上のミ、3オクターブ上のソです。
- ※4 現代ピアノ（平均律使用）では近似音になっています。歴史的にはドからオクターブ上のドまでを結ぶさまざまな音律が生み出されてきました。このことは次回とりあげます。
- ※5 ヤマハが開発した音声合成システムにより、女性の歌声を合成することができるソフトウェア音源。女性のバーチャルキャラクターが設定されています。
- ※6 本誌では感覚的な説明にとどめています。

第2回

百年の計



大阪大学全学教育推進機構 講師
山内 保典 / やまのうち やすのり



1977年愛知県に生まれる。2005年名古屋大学大学院教育発達科学研究科博士課程後期課程修了。博士(心理学)。2007年名古屋大学大学院情報科学研究科研究員、2008年大阪大学コミュニケーションデザイン・センター特任研究員、特任助教を経て、2014年より現職。コミュニケーションを軸に、科学の営み、科学者と市民の対話、科学技術政策形成への市民参加を研究・実践している。現在は、将来の科学者や研究者が学ぶ高等教育の在り方にも関心を広げ、カリキュラムの調査、開発、実践にも取り組んでいる。

200年前の出来事：産業革命と地球温暖化

今年も暑いですね。この直接の原因ではありませんが、現在、地球温暖化が指摘されています。20世紀半ば以降に観測された温暖化は、人間の活動により排出された温室効果ガス、特に二酸化炭素がおもな原因だといわれています。

二酸化炭素の人為的な排出が急激に増加し始めたのは、産業革命により化石燃料が使用され始めてからです。その産業革命が起きたのは約200年前。私がものごころついたときには、工業化のただなかで、戻るわけにもいかず、そのまま時間がたって、今のような状態になってしまいました。

このように、先代が始めた「計画」（違和感がありますが、今回は「百年の計」というタイトルに合わせて、便宜的に産業革命や工業化も「計画」と呼びます）が、将来世代に対し

て何らかの影響を与えることは多々あります。

今回は、約200年前の人が始めた計画に巻き込まれた、ある宇宙人の物語を紹介します（次ページの「作品の概要」参照）。そこから、百年の計と言われるような世代を超えた計画について考えていきましょう。

今回のポイントー百年の計は誰のため？

内容は伝わりましたか。時間があれば、ぜひ原作をお読みください。この作品では、恒星間飛行という、遠い将来まで見通した計画が題材になっています。こうした、いわゆる百年の計は、否応なく将来世代の人を巻き込みます。

今回は、議論を単純にするため、対比を際立たせた形で二つの世代について考えていきます。その二つの世代とは、計画を立ち上げる「立ち上げ世代」と、計画を継承する「継承世代」です。今回の作品では、前者の立場にいた地球人が、後者の立場の三代目宇宙人を目の当たりにし、その期待と現実のギャップに困惑するようすが描かれています。

さて、ここで質問です。あなたは、この計画が誰のためのものだったと思いますか。計画を立ち上げた「立ち上げ世代」のためでしょうか。それとも、計画を完成させ、成果を享受し得る「継承世代」のためのものでしょうか。

「立ち上げ世代」のための計画として見る

作中の三代目宇宙人は、この計画に対する情熱もなく、「立ち上げ世代」のための計画に巻き込まれたと感じているように見えます。「どうもこうも、あるものじゃない（略）時間がたって、そのあげく、ここに着いただけだ」という発言は、「継承世代」の実感の一つをよく表しています。

三代目宇宙人は、乗員となる生涯を余儀なくされ、否応なしに地球に着きました。地球を目指す理由や意義も知らず、使命だけが与えられています。この宇宙人の運命一すなわち、会ったこともなく、何らかの感情を持つことすら難しい故郷の住民のために、自分を犠牲にして、調査をし、寿命が尽きるまで宇宙飛行をするという運命一は、先代により決められたものです。その意味で「継承世代」である宇宙人の人生は、「立ち上げ世代」の立てた計画のために利用されています。

また、この宇宙人が星に戻る頃には、この時点からさらに

作品の概要 「情熱」 星 新一

『悪魔のいる天国』(新潮社)収録

宇宙研究所では、巨大な宇宙船の設計図が検討されていた。その宇宙船は、太陽系を脱出し、恒星間飛行をし、地球に帰るためのものだ。この時代、恒星間飛行が全人類の悲願となっており、世論は純粋な気持ちでこの計画を支持していた。

傍らには、乗員を志願する書類の山がある。この中から、男女2名ずつ、合計4名の若者が選ばれて乗員となる。

所長は、恒星間飛行は距離と時間への挑戦だという。片道200年近い時間がかかるため、最初の乗員の孫たちの世代にやっと目的の星に行きつけるのだ。変化のない宇宙で人生の大部分を過ごし、目的地への途中で一生を終えるとわかっていながら進んで志願する若者を、関係者はたたえた。

「人類の期待にこたえるために、自己をささげる。ヒューマニズムの華といえよう」、「このような未来を信ずるエネルギーが、文明を高めるもとなのだ」、「われわれだって、この宇宙船がもたらす報告を知る前に世を去らなければならない。それでも、われわれは実行するのだ」。

感激が高まったそのとき、緊急連絡のブザーが鳴り、巨大な宇宙船が地球に接近していることを告げる。関係者らは、計画の参考になる情報を得るため、着陸予定地へと向かった。

着陸した宇宙船は、設計中のものに近いサイズで、地球人と似た一人の宇宙人が乗っていた。意思疎通ができるようになると、ともにホテルに移動し、質問が始められた。

質問を重ねる中で、この宇宙人が地球人の検討している計画と同じく、三世代かけてたどり着いたことがわかった。地球人は同じ方法を計画していることを告げ、時間と空間の征服者である宇宙人に、時間との戦い方

について教えを乞うた。

宇宙人は答える。「どうもこうも、あるものじゃない。わたしがものごころついた時には、宇宙のただなか。戻るわけにもいかず、そとへ飛び出すわけにもいかない状態のまま時間がたって、そのあげく、ここに着いただけだ」。

もっともな答えだが、未知の世界への情熱や、退屈と孤独を克服する姿を期待する地球人には、物足りなさもあった。

質問は、宇宙人の星の文明に切り換えられた。しかし宇宙人は「わたしは空間の途中で生まれたのだから、なにも知らない」と答える。さらに食料の量の問題から、祖父たちが年をとって子供を作ったため、祖父たちすら知らないという。

「おやじの話では、じいさんたちは、むやみやたらに張り切って、出発してきたらしい。人びとの期待にこたえなければならぬ、とか叫んで」。地球人は、祖父たちの情熱に共感を示す。ところが宇宙人はピンときていなかった。宇宙人の父親も、人びとの期待について、あまり話さなかったらしい。宇宙人は「逃げ場のない宇宙船のなかで、見たことも話したこともない故郷の連中からの期待にこたえろ、と絶えず叫ばれたら、さぞうんざりするだろう。わたしはそんな目にあわないで、まだしもよかった」と振り返った。

地球人は顔をしかめつつ、今後の予定を尋ねる。宇宙人は、父の教えでは地球を調査し、帰途につき、寿命の限り飛びつづけねばならないが、もう打ち切りにしたいと言う。地球人は星で待つ住民を気遣うが、宇宙人は「会ったこともない連中に対して、なにかの感情を持つといっても、それは無理だ」と答える。そして、むしろ地球人や地球に好感を持ったので、地球で暮らしたいと言いだした。「わたしを宇宙に追いかえして、殺してしまうほど残酷じゃないんでしょう」。

200年(地球人の計画している宇宙船と同じ性能だと仮定します)が過ぎています。到着は、出発から400年後です。その頃の星の住民は、何百年も前の知らない星の資料などを求めているかもしれません。より高性能な探査機が開発されて、既に情報を持っている可能性や、宇宙戦争で星がなくなったり、住民が絶滅したりしている可能性もあります。あくまで地球の情報を必要だと感じ、計画の実現を求めたのは、400年前の「立ち上げ世代」なのです。その点でも、この計画は「立ち上げ世代」のための計画であるといえそうです。

「継承世代」のための計画として見る

地球人に代表される「立ち上げ世代」は、人類の期待に対する使命感や情熱に燃えています。未来を信じ、人類文明を高めるという遠い目標を胸に自らの人生を捧げます。その成果を自分は享受することができません。成果を享受するのは将来の住民です。その点で、この計画は「立ち上げ世代」ではなく、「継承世代」、あるいは全人類のためのものです。

「立ち上げ世代」から見れば、「継承世代」がその悲願を

共有し、情熱をもって計画を完了させること、そして「立ち上げ世代」に対して感謝することは、当然に見えるかもしれませんが。何しろ、計画の立案や予算獲得など、煩わしいことをする必要もなく、計画に従うだけで、目的地に降り立ち、調査をするという名誉と成果を得ることができるのです。

文明を高めるような、大きな達成や問題の解決は、現実問題として一世代では達成できません。そして、そうした百年の計が功を奏すタイミングは人類史において限られています。「立ち上げ世代」には、こうした機会を逃さずに、人類全体のために計画実行に踏み切る責務があるともいえます。

現代の私たちとのつながり

百年の計を巡って「立ち上げ世代」と「継承世代」との間で食い違いが生じるケースは、現実世界においても多くあります。今回は、冒頭の地球温暖化問題とその対策を、この構図で考えてみましょう。ただし、この作品は、あくまで限られた宇宙船の中の話なので、そのままぴったり当てはまるわけでもないですし、現実はいくらほど単純ではありません。もし時間があれば、どう違うかを考えてみてください。

現代の私たちは、地球温暖化の原因の一つである工業化の「継承世代」であり、同時に、新しい世界的な地球温暖化対策の「立ち上げ世代」でもあります。

まず工業化の「継承世代」として、私たちは200年前の人が享受できなかった物的に豊かな生活を得ました。まさに200年の積み重ねによる成果を享受している立場です。一方で、200年前には想定しなかった工業化の負の遺産も同時に継承しています。その一つが地球温暖化問題です。工業化の負の側面を知りながら、今もなお世界各地で進む工業化の流れを、三代目宇宙人のように冷めた目で見ている人もいます。これまでの世代への非難もあるかもしれませんが。

こうした状況下で、私たちの「立ち上げ世代」としての役割が現れてきます。「立ち上げ世代」になる場合には、私たちは作中の「立ち上げ世代」のように、将来のために犠牲になる覚悟が必要です。世界的な地球温暖化対策にはコストがかかります。環境のための税金やライフスタイルの制約が課され、豊かな生活を手放す可能性もあります。まだ見たこともない、存在すらしていない、時間と空間に隔たりのある将来の誰かのために、本当に自分を犠牲にできるでしょうか。

また、作品と同じように「継承世代」がその計画に不満を抱き、途中で放棄する可能性もあります。長期的な対策を始めた場合、次の世代は、否応なく地球温暖化対策を継続する使命を背負わされ、生活に制限を強いられるでしょう。しかもその対策の多くは、効果が現れるのに数十年以上かかります。次の世代は、対策の意義や効果をあまり実感できない、作中の宇宙人と似た境遇に立たされるかもしれません。

さらに「立ち上げ世代」の考える最良の計画が、「継承世代」から見ても最良とは限りません。効果は不確実ですし、副作用もあり得ます。万が一、対策により経済が停滞すれば、対策費用の調達すら困難になる可能性もあります。少し待てば画期的な方法が出てくるかもしれません。

そうであれば、しばらく何もせず、ようすを見ればよいと考える人もいます。しかし地球温暖化問題が厄介なのは、保留すれば確実に進行するということです。保留は、現状維持の無難な策ではなく、消極的に地球温暖化を進行させる選択なのです。つまり、私たちの世代は、ライフスタイルの変更にせよ、科学技術の応用にせよ、対策を始めればもちろん、もし対策をしなかったとしても、何らかの影響を次の世代に与えてしまうのです。この点は、地球温暖化問題を考えるうえで無視できません。

地球温暖化問題を含む環境問題では「世代間倫理」が重視されます。それは「未来の世代の生存条件を保証するという責任が現在の世代にある」^{*}という考えです。この考えからは、環境問題は「現在の世代が加害者になって、未来の世代が被害者になる犯罪」となります。「被害者は、地球の大気圏が汚染されても、核廃棄物を残されても、石油・石炭を使わなければ動かない機械を山ほどつくって、肝心の地下の石油・石炭を空っぽにされても、なに一つ文句はいえない」のです。

私たちは、作中の宇宙人と同じように「宇宙船地球号」の乗員の一人になっています。それは三世代どころではなく、もっと長い営みの一部です。しかし同時に重要な点で異なっています。私たちは、今、自分たちで何を行うか、次の世代にどのような「計画」を託すのかを選択できるのです。さて、あなたは前の世代から託された使命のうち、何を優先し、何をあきらめますか。そして、次世代に何を託しますか。❖

補注

* 加藤尚武(編)、2005、『環境と倫理－自然と人間の共生を求めて新版』、有斐閣、pp.9-11。

第2回

色覚から考えるヒトの“多様性”



東京都立国立高等学校 主任教諭
大野 智久 / おおの とむひさ



1981年茨城県に生まれる。2004年東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了。在学中は松田良一教授に師事。2006年都立高校の教諭（理科・生物）となり、2015年より現任校に勤務。日本生物教育学会、日本生物教育会に所属。東京都生物教育研究会を中心に活動。日本人類学会や日本人類遺伝学会などの学会と連携し、「ヒトの生物学」の高校現場への導入を模索。上越教育大学の西川純教授の提唱する『学び合い』の考え方に基づく協働学習を実践。NHK高校講座の生物基礎の講師を務める。

遺伝学は高校でどう扱われていたか

連載第1回目の前回は、ヒトの生物学が高校で取り上げられない背景について述べました。今回からは、ヒトの生物学に関する具体的な内容を取り上げていきます。最初に取り上げるのは、「遺伝学」です。

高等学校の理科の学習指導要領は、3年前から新しいものになり、生物分野では『生物基礎』と『生物』という2つの科目が設置されています。それぞれが、市民のための生物学（biology for all）を指向したものと、専門的な生物学（biology for interested students）を指向したものになっています。この直近の学習指導要領の改訂は大改革といってもよいものでした。その象徴ともいえるのが、「遺伝学」の扱いについてです。ここでは特に「市民のためのリテラシー」

として何がどう教えられてきたのかに着目してみます。

一つ前の学習指導要領にも、市民のための生物学と専門的な生物学を指向した2つの科目が設置されていました。『生物Ⅰ』と『生物Ⅱ』という科目です。『生物Ⅰ』では、遺伝学として、「メンデルの法則」を中心とする遺伝の法則に関する内容が大きく扱われていました。これは、要するに、「どのような遺伝子を持つ親からはどのような遺伝子を持つ子が生まれる可能性があるか」ということを遺伝子を記号で表してパズルのように考える内容であり、世界各国の高校生物の教科書で必ずといっていいほど扱われているセントラルドグマ等の分子生物学の基礎的な内容の扱いはありませんでした。

表1 学習指導要領における「遺伝学」に関する内容の扱いの変化
表の黄色アミは「市民のための生物学」、青色アミは「専門的な生物学」としての扱いを示す。

◎：詳細な扱い ○：標準的な扱い ×：扱いなし

内容	前学習指導要領	現学習指導要領	区分
遺伝の法則 (メンデルの法則)	◎生物Ⅰ (さまざまな遺伝現象を含む)	○中学校 (一遺伝子雑種)	遺伝
DNAの構造 (二重らせん構造等)	○生物Ⅰ	○生物基礎	遺伝子の働き
	◎生物Ⅱ	◎生物	
遺伝情報の発現 (セントラルドグマ)	◎生物Ⅱ	○生物基礎	遺伝子の働き
		◎生物	
ゲノムの多様性 (生物種間)	○生物Ⅱ	○生物	多様性
ゲノムの多様性 (ヒトの個体間)	×	×	多様性

遺伝学の扱いはどう変わったか

テレビなどを見ても、ATGCが並んだ塩基配列のイメージが頻繁に使用されています。しかし、上で述べたように『生物Ⅰ』の学習者にはその意味はわからないままだったのです。そこで直近の学習指導要領の改訂では、遺伝の法則は大幅に内容が削減されて中学校に移行し、生物教育の現代化というテーマの下、高校では「遺伝」の内容から、セントラルドグマを含む「遺伝子の働き」という内容に大きく舵を切ることとなりました(表1)。塩基配列がタンパク質のアミノ酸配列を決めていること、すべての遺伝子が常に発現しているわけではないことを学ぶことで、DNAの持つ遺伝情報についてある程度は理解できるようになりました。しかし、なお問題は残っています。

遺伝学は遺伝と多様性の科学

ここで用語の問題に触れておきましょう。日本人類遺伝学会は、2009年9月に、遺伝学用語の改訂を行いました。用語の旧来のイメージや使用法から誤った概念を誘導する可能性がある等の問題があるため、それを修正しようという試みです。この中で、遺伝学 (genetics) とは、遺伝 (heredity) と多様性 (variation) の科学とされています。つまり、遺伝情報が祖先からどのように受け継がれ、また今後どのように受け継がれていくのかを考える視点である遺伝だけでなく、どのような遺伝的な多様性が存在するのかを考える視点も必要なのです (図1)。

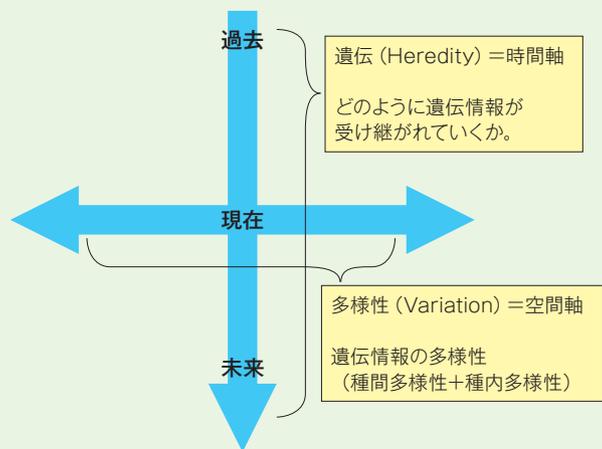


図1 遺伝学のイメージ 鎌田直之氏の図を改変

このことに関して、日本のこれまでの学習指導要領での扱いから、2つの問題を指摘することができます。1つは、遺伝学に関してメンデルの法則に代表されるような、遺伝 (heredity) の内容に偏った内容が大きく扱われてきたことです。この問題については、現行の学習指導要領で、セントラルドグマを含む遺伝子の働きを扱うように内容が大きく変更されたことである程度は解消されました。しかし、実はまだ、より根が深いもう1つの大きな問題が隠れています。それが多様性 (variation) の問題です。

高校生物でゲノムの多様性と言えば、今も昔もそれはおもに種間の比較を意味します。つまり、ヒトとチンパンジーやマウス、ショウジョウバエ等のゲノムはどのくらい似ているかということが中心であり、ヒトとチンパンジーは遺伝情報としては99%同一である、などのように取り上げられます。これに対して、種内の多様性は、メンデルの法則で取り上げ

られる、エンドウの種子を丸くする遺伝子Aとしわにする遺伝子aで、Aはaに対して優性、というイメージでの理解にとどまっており、ヒトのゲノムの多様性はほとんど扱われていません。ヒトどうしてもでは遺伝情報は99.9%同一であるといわれますが、0.1%の違いは何を意味するのでしょうか。実はそれを理解するためにはメンデルの法則だけでは充分とはいえません。ではどのような理解が必要なのか、ヒトの色覚の多様性を例に考えてみましょう。

色覚の多様性を考える

ヒトは、網膜にある錐体細胞の働きにより色を識別しています。錐体細胞には赤錐体、緑錐体、青錐体の3種類があり、それぞれの細胞で吸収極大を持つ波長域の異なるオプシン遺伝子 (赤、緑、青) のいずれかが発現しています。赤オプシンと緑オプシンは非常によく似ており、赤錐体と緑錐体の分光特性はよく似ています。このオプシン遺伝子に何らかの変異が生じて色の識別が難しい色覚特性を持つ人がいて、「色覚異常」と表現されることがあります。図2では、一般的な色覚であるC型と、赤錐体を持たない強度のP型、赤錐体の働きが弱い軽度のP型での色の見え方の違いを示しています。これをもう少し詳しく見ていきます。

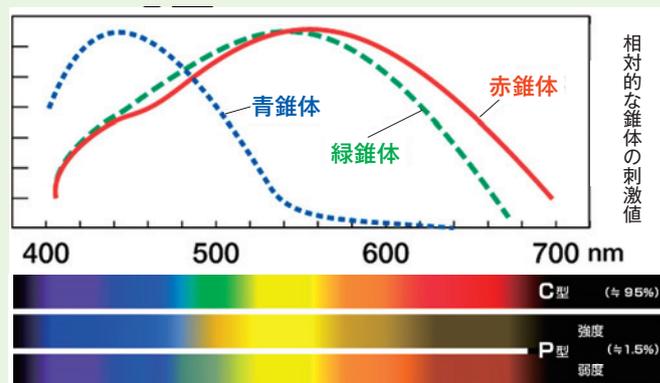


図2 錐体細胞の特性と色覚の多様性 NPO 法人カラーユニバーサルデザイン機構 HP の資料より抜粋して改変
http://www.cudo.jp/colorud/color_vision/peculiar_color_vision_types

「色覚異常」の原因として、まずはオプシン遺伝子の塩基配列の変化により、オプシンの吸収する光の波長が変化してしまうことが考えられます。実際に、赤オプシンと緑オプシンに変異が生じると、赤～緑の波長域の色の差を感じにくくなります。しかし、色覚の多様性を生み出す要因はこれだけ



図3 X染色体上に存在するオプシン遺伝子の模式図

ではありません。赤オプシン遺伝子と緑オプシン遺伝子は、X染色体上に並んで存在しており、1個の赤オプシン遺伝子の下流に数個の緑オプシン遺伝子が存在しますが、発現するのは上流にある2つだけなのです。これを模式的に示したものが図3の①です。さらに、染色体の不等交叉と相同組換えにより、さまざまなX染色体が生じます。男性の場合には、X染色体を1本しか持たないので、そこからどのようなオプシンが発現してくるかによって色覚が影響を受けます。②のX染色体を持つ男性は赤オプシンを持たないため、①の男性と比べて色覚が変化することはわかるでしょう。それでは、③の男性はどうでしょうか。この男性は、赤オプシンが重複して2つになっているために、緑オプシンを持っているにもかかわらず発現せず、色覚の変化を生じます。つまり、単純にある遺伝子を持っているかいないかだけで色覚特性を理解することはできないのです。さらに、相同組換えにより、④のような赤オプシンと緑オプシンの“ハイブリッド”の遺伝子が生じることがあります。これらももとの遺伝子とは分光特性が少し異なることがあり、色覚の変化を生み出します。

色覚検査で「異常」と診断されるのは、日本人では男性の5%、女性の0.2%といわれています（女性に少ないのは、X染色体を2本持つためです）。これだけ聞くと、色覚は「正常」と「異常」にはっきりと分けられるように感じてしまいます。これは、エンドウの種子の遺伝にも通じる感覚です。しかし、どのような原因で色覚特性が変化しているのかは、まさに千差万別です。また、「正常」と診断された男性のうち、25%が“ハイブリッド”遺伝子を持っていたという調査結果もあるそうです。これ以外にも、先に述べたようにオ

プシン遺伝子には塩基配列の違い（一塩基多型）も存在します。そのために実際には、「正常」と診断された人の見る「色世界」も千差万別なのでしょう。このように、色覚はさまざまな要因で多様性が生じているにもかかわらず、ある検査の結果によって線引きをして「正常」と「異常」を区別することは本質的ではありません。

ヒトの多様性と社会

ヒトに関する遺伝子変異は、疾患関連遺伝子が紹介されることが多かったように思います。これが、メンデルの法則の「2種類の対立遺伝子」というイメージとあいまって、基本的に遺伝子は「正常」と「異常」に区別されるという誤った理解に結びついてしまうと、「異常」なものを社会から排除するような思考につながりかねません。しかし、ここで紹介した色覚の例のように、ヒトの多様性はそのような単純なものでは決してありません。

こうして考えてみると、「色覚異常」という表現はヒトの色覚の多様性を表現するのにふさわしい表現ではないように思えます。NPO法人カラーユニバーサルデザイン機構では、こうした状況を踏まえて、ヒトの色覚多様性をC型、P型、D型などの「色覚タイプ」として表現することを提唱しています。割合が最も多いC型を「一般色覚」と呼び、C型色覚以外を色の配慮の不十分な社会における弱者として「色・弱者（しきじゃくしゃ）」と呼ぶそうです。

視力が悪い人を「障害者」として区別することはほとんどないと思います。それは、眼鏡やコンタクトレンズなどで、社会生活を営むうえでの困難を軽減できているからです。そうであるならば、「色・弱者」に対して、正しい知識を持ったうえで配慮のあるカラーデザインを意識することができれば、同じ効果が期待できるのではないのでしょうか。大切なことは、ヒトの多様性を生物学的な知見を持って理解することであり、お互いの違いを認め合って、自然と配慮し合えることです。ヒトの多様性を学ぶことは、よりよい社会を築くための大切な一歩なのです。

参考資料

NPO 法人 カラーユニバーサルデザイン機構

<http://www.cudo.jp/colorud>

色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション

<http://www.nig.ac.jp/color/barrierfree/barrierfree.html>

「すべての教室へ新聞を」 ものづくりの町 大田区での取り組み



大田新聞販売同業組合 相談役
有限会社 読売ネットサービス 代表取締役

大塚 悟史 / おおつか さとし

■ はじめに

私が活動している大田新聞販売同業組合とは、東京都大田区にある新聞販売店 60 店で組織された組合です。私はそこで昨年度まで組合長をさせていただき、現在は相談役として組合活動に携わっています。

系列の違う新聞販売店が協力し、私たちができる地域貢献とは何かを考え、出した結論が「すべての教室へ新聞を」運動への参加でした。

■ 「すべての教室へ新聞を」運動とは

「すべての教室へ新聞を」運動は、公益社団法人 日本新聞販売協会が推進し全国規模で活動している運動です。

2001(平成 13)年末に子供の読書活動の推進に関する法律が施行されました。その基本理念は「すべての子どもがあらゆる機会とあらゆる場所において自主的に読書活動を行うことができるよう、積極的にそのための環境の整備が推進されなければならない」とし、国や地方公共団体のみならず、関係の事業者にも参加、協力をうたい、全国的な取り組みと位置付けています。

そして文部科学省の後援のもと地域の新聞販売店から最寄りの学校へボランティアで新聞を届ける「すべての教室へ新聞を」運動が始まりました。今では全国の約 2,300 校で実施されています。



図1『公益社団法人 日本新聞販売協会「すべての教室へ新聞を」運動 推進マニュアル』の表紙

■ 実現までの道のり

当初、大田区内にある小学校3年生～6年生と中学校のすべてのクラスへ新聞を届けることを目標としました。しかしながら、大田区内には 87 の小・中学校があります。ふだんはライバルでもある系列の違う新聞販売店が一つにまとまり、ボランティアで新聞を届けることにさまざまな意見がありました。そこで、大田区内の限定した小さな地域でのスタートとなりました。

手探りで始めた運動ですが、組合役員の熱意が届き、今では大田区内の 87 校すべての小・中学校へ毎朝、新聞が届けられています。

■ 行政とのタッグで講演会開催へ

「すべての教室へ新聞を」運動に賛同していただいた大田区議会議員の協力もあり、大田区教育委員会から後援をいただき、著名人を招いた講演会を開催することになりました。講演会の名称を「この人に聞きたい! 講演会」とし、大田区内の全小・中学校の保護者を対象に、無料で招待するという企画です。

■ 校長会へ参加して趣旨説明

講演会実現のためには小・中学校の協力が必要となります。そこで小・中学校の校長会に参加させていただき、この活動の「すべての教室へ新聞を」運動の趣旨説明と協力をお願いしました。

参加募集から集約までの手順は、全小・中学校へ案内チラシを届け、学校から児童・生徒へチラシを渡していただき、後に参加者数を学校単位でまとめていただくということで承



図2 校長会での趣旨説明の様様

諾をいただきました。

■ 尾木直樹氏・紺野美沙子氏の講演会を実現

2013(平成25)年11月に「この人に聞きたい! 尾木直樹氏講演会」を行いました。講演会のサブタイトルは「ケータイ・ネット時代と子どもの未来」とし、たいへんわかりやすくお話しいただきました。定員1,477名の大ホールが満席になる盛況でした。

そして、2014(平成26)年11月には「この人に聞きたい! 紺野美沙子氏講演会」を行いました。講演会のサブタイトルは「国連開発計画(UNDP)親善大使として、見たこと、感じたこと」とし、実際に訪れた国の子供たちとの触れ合いのようすをスクリーンに映しながらお話しいただきました。世界に数人しかいない親善大使としてのお話しはたいへん貴重なもので、参加者の心に残る内容でした。

■ 本年度の講演会は池上彰氏に決定!

池上彰氏からOKが出たときは歓声が上がったほどです。まず無理といわれていた池上彰氏に、第3回目となる講演会に出演していただけることになりました。本年は11月20日に開催いたします。聞くとところによると池上彰氏が行う講演会は多くて年2回で、全く行わない年もあるそうです。

編集後記

2020年に開催される東京オリンピックの年には小学校英語が教科となりそうです。そのころにはさらにグローバル化が進み、英語を使ったコミュニケーションは政治・経済、文化などさまざまな面でますます重要になることでしょう。次号では「高大接続改革が目指すこれからの教育(仮)」を特集します。2019年からの導入が検討されている高等学校基礎学力テスト(仮称)についても紹介する予定です。これからの時代に対応した英語教育や高大接続は、日本の教育を大きく変えようとしています。

(財)理数教育研究所 事務局

なにより私たちが感動したのは、多数の依頼がある中、池上彰氏自身が私たちが行う講演会を選んでいただいたということです。これは主催する私たちが一つの新聞社ではなく在京6紙(読売・朝日・毎日・産経・日経・東京)が協力し合い、ボランティアで運営していることと、大田区内の全小・中学校へ参加募集のチラシを届け、無料で招待することに賛同していただいたからと思います。

池上彰氏の話しをライブで聞けるチャンスはなかなかないことと思います。私たちが今から楽しみにしています。

■ 同業他社コラボの重要性

異業種とのコラボは事業の活性化と新たな顧客開拓が期待できる有効なビジネス手法だと思えます。しかし、地域貢献を考えたボランティアを行うためには同業他社とのコラボがたいへん重要なことと考えます。1社よりも同業他社が丸となればパワーが違います。また、行政との協力関係も築きやすく、賛同していただける方も多いのではないかと思います。これまでの講演会では大田区長も舞台上に立って挨拶をいただいています。

本年度の池上彰氏講演会のサブタイトルは「池上彰の新聞活用術」に決定いたしました。新聞の記事にある統計データなどを読みとることは、数学で学んだ知識を活用できる格好の授業となります。また、近年ますます関心の高まる環境問題などに関する記事は、理科の視点からグループ討議をする際の教材となることでしょう。

「すべての教室へ新聞を」運動を推進していく中で、ものづくり大田区の未来を担う子供たちのために、理数の視点に立った講演会などを引き続き行っていききたいと思います。

最後に、このような執筆の機会を与えていただき心より感謝申し上げます。ありがとうございました。 ◆

「ビタミン」概念の確立に 寄与した鈴木梅太郎

～日本人初のノーベル賞は逃す～



© 朝日新聞社/アマンナイメージズ

昭和18年度文化勲章受賞の記念写真（1943年4月29日）

1929年度を迎えて、米ぬかから脚気の予防・治療に効果のある成分の抽出に成功し、それをイネの学名 (*Oryza sativa*) に因んで「オリザニン」と名づけた鈴木梅太郎(1874～1943年、現東大農学部、農芸化学者)にノーベル賞の期待がかかりました。受賞すれば日本人初。それまで北里柴三郎を皮切りに、野口英世、山極勝三郎など日本人の何人かがノーベル賞候補に推薦されたそうですが、すべて落選でした。残念ながらこの年も生理学・医学部門ではエイクマン(1858～1930年、オランダ。脚気治療の研究)とホブキンズ(1861～1947年、イギリス。成長促進ビタミンの発見)が受賞。化学部門にも鈴木の名前はありませんでした。

しかし、同じ頃、鈴木とほぼ同じ方法で同様の成分を抽出し、「ビタミン」と呼ぶことを提案したフंक(1884～1967年、ポーランド生まれ。イギリスの生化学者)とともにその後の「ビタミン」(微量で生物にとって不可欠な栄養素)概念を確立するうえで重要な役割を果たしたのです。鈴木はその功績で学士院賞受賞。その後、文化勲章も受賞しました。上の写真はそれを記念したものです。ちなみに中央が鈴木、左端が後に日本人初のノーベル賞(1949年度物理学賞)を手にする湯川秀樹。

大阪教育大学名誉教授 鈴木善次/すずき ぜんじ

Rimse (リムス)

No.13

編集・発行 (財)理数教育研究所

大阪オフィス

〒543-0052 大阪市天王寺区大道4丁目3番23号
TEL.06-6775-6538 / FAX.06-6775-6515

東京オフィス

〒113-0023 東京都文京区向丘2丁目3番10号
TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail : info@rimse.or.jp

http : //www.rimse.or.jp

※本冊子は、上記ホームページでもご覧いただけます。

印刷所：岩岡印刷株式会社

デザイン：株式会社 アートグローブ

本文イラスト：株式会社 アートグローブ

表紙写真：© Gary Waters/Ikon Images/amanaimages