

平成22年6月11日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18500686

研究課題名（和文）

理工系科目の教育に使用される言葉についての研究—問題点の解明と改善について—

研究課題名（英文）

The study about words used for the education of science and technology

—The elucidation and the improvement of problems—

研究代表者

田崎 弘章 (TASAKI HIROAKI)

佐世保工業高等専門学校・一般科目・教授

研究者番号：40280490

研究成果の概要（和文）：

技術者教育の初期段階において、漢字熟語で表記される専門用語が多用される。これらの漢字熟語は、漢学を学問の素養としていた明治期の科学技術者によって作られた。しかし、現代の学習者は、漢語に対する馴染みが薄くなっており、専門用語の理解に困難を感じ始めている。本研究は、専門用語理解の現状を明らかにし、伝統的な漢文訓読の手法を用いて専門用語を理解する等、学習内容の定着に向けた実践とその効果について検証した。

研究成果の概要（英文）：

Recently, students are beginning to feel it difficult to understand technical terms written in Chinese character idioms. However, this research considers an effective acquisition method for understanding with the technique of traditional reading Chinese classics in the Japanese way. And we inspected about practice for the fixation of learning contents.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	700,000	0	700,000
2007年度	400,000	120,000	520,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
年度			
総計	1,900,000	360,000	2,260,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：分科：科学教育・教育工学 細目：科学教育

キーワード：工学教育

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、工業高専に勤務しながら、国語や文章表現関係の授業を担当しているため、科学技術の世界でしか通用しない特殊な暗号や符牒のような用語を目にする機会が多い。文章表現についても、明らかに誤用

であると思われるにも拘らず、「この世界では常套的な表現」というものが無いわけではない。このような特殊な言葉の体系は、理工系科目の専門毎に少しずつ異なり、全体として、非常に煩瑣で複雑なものになっている。科学技術は、厳密さと発展とを至上命題と

しているためか、後に続く世代のために、分かり易く自らを語る努力を怠ってきたのではないだろうか。そのため、現在、我々の日常生活は科学技術に深く依存しているにも拘らず、科学技術の内実を理解している者はほとんどいないという奇妙な事態を招いている。将来、科学技術の維持・発展を担う小中高生に対しても、科学技術が自らを適切に説明する言語表現は欠如している。この憂慮すべき事態を少しでも改善するために、本研究を着想した。

近年、学生の学力低下が深刻な問題となっている。少し前のデータになるが、1999年に、京都大学の西村和雄教授と慶應義塾大学の戸瀬信之教授が、全国37大学の1年生約1万人に対して実施した調査では、中学校1年生で習う小数四則計算の正答率は難関国立大学文系で約75%、難関国立大学工学部でも91%であった。(日経新聞2000年1月25日)そして、朝日新聞が全国の国公私立大学320校の学長に対して実施した調査では、93%の学長が「学力低下を感じる」と回答している。(朝日新聞2000年4月3日)この調査から5年が経過した現在、学力低下はもはや常態化している観すらある。

また、併せて小中高生の理科離れが深刻な状況に陥っている。これは科学技術立国を国是とする我が国にとって、憂慮すべき事態であろう。本研究では、理科離れの一因を、理工系教育における「言語」のあり方の問題に求め、有効な改善方法を研究・開発することを目的として出発した。

従来、理工系教育に用いられる用語は、厳密さを重視するあまり、分かり易さや教育・普及といった点についてあまり配慮してこなかったように感じられる。我が国における科学技術用語の歴史を辿れば、まず数多くの科学技術用語が和文脈の中に導入されたのは、幕末から明治にかけてのことであった。当時、急速に製造された翻訳語の多くは、明治期の知識階級の基礎教養であった漢文脈をベースにして形成されている。次に科学技術用語が多量に導入されたのは、高度経済成長期である。この時代からは、外来語(主として英語)をそのまま片仮名で表記することが普通になった。このような経緯から、科学技術の表記に用いられる言語と一般の生活で用いられる言葉との間には、大きな乖離が生じていった。このことが、青少年の理科離れの一因になっているのではないだろうか。

例えば、「電力」の学習において、交流電源から供給される電力量は、「皮相電力」と表記される。そして、この「皮相電力」がインピーダンスの角度によって $\cos \theta$ を乗じた「有効電力」と $\sin \theta$ を乗じた「無効電力」

とに分別される。この学習内容についての聞き取り調査の中で分かったことだが、実は、この説明の中に出てくる「皮相」という漢語が持つ意味を、学生たちは理解できていなかったのである。この術語を作った先達は「表面上の」「見かけ上の」というニュアンスを込めて「皮相」という漢語を選択使用したものと思われるが、現代の若い世代には、その折角の意図が通じていない。

このような用語理解上の齟齬は、科学技術系教育の全領域にわたって生じている。初等数学における「正弦」「余弦」「背理法」などの術語が持つ意味についても、漢語が持つ表意性は、今の学生たちに対しては、ほとんど機能していないのである。

以上のような状況は、科学技術を後世に修得させ、伝えていくことを使命とする理工系教育の根幹を危うくするものではないだろうか。もちろん、現在では、翻訳や意識という日本語への置き換えを省いて、直接英語で理解・表記することが推奨されていることは承知している。しかし、言語の使用においては、表現者が「母語」として習得した言語を基盤としなければ、高度な思考や深みのある表現が不可能であることは常識である。日本語を母語とする学生を対象とする科学技術教育の現場において、本研究の成果が多少なりとも役立つのではないかと思われる。

2. 研究の目的

本研究は、ますます高度化が進む科学技術と、それを学び修得することを求められる小中高生の意識との間に、適切な言葉の架橋を形成することを目的としている。

特に近代初期に形成され、今も理工系科目の初期教育に多用されている翻訳漢字熟語に焦点を当て、漢語の表意機能を生かしながら言葉の意味を理解させる方法論の確立を目的とする。

3. 研究の方法

理工系教育に使用されている教科書・教材等を、言語表現の観点から見直し、教員、学生への聞き取りやアンケート調査等を踏まえて、理科系科目の学習において、用語に対して抱く「難解さ」「嫌悪感」が生じる原因を探る。そして、その上で、発達段階や理解レベルに配慮した適切な用語、文脈の構成等を提案できるようにする。

この提案に際しては、難解語・難解表現のリストを作成し、それぞれの語について、特に漢語の表意機能を生かす形で、分かり易いパラフレーズの方法論確立を目指す。そこから理工系教育に携わる者が授業等に活用できる言葉の教材を開発する。

4. 研究成果

(1) 電気工学の初期教育に使用される漢字熟語の学習について一語意の理解から学習内容の定着へ

①まえがき

理工系教育の導入期に多用される専門用語は、現在の学生たちにとって、馴染みの薄い漢語で形成されているため、意味の理解が困難なものになりつつある。

科学技術の記述に用いられている語は、原語である欧米語の翻訳語が大部分を占めている。古来、我が国では、抽象的な概念を表記する際、漢語を用いる伝統があり、科学技術用語の翻訳語も必然的に意識による漢字熟語となった。

この意識の跡を丹念に辿るだけでも、科学技術を学習していく上で、大きな助けとなるものと思われるが、実際の科学技術教育の現場では、実験・実習や計算演習に多くの時間を取られるため、用語理解に時間を割くことは難しい。そのため、多くの学習者たちは、科学技術用語の数々を、概念の上に貼り付けられた難解なレッテルとして、「丸暗記」していくことになる。

本論をまとめるために、学習者に対して、聞き取りやアンケート調査を実施したが、そこから、浮かび上がってきたのは、用語が意味する概念を正確に理解していない実態であった。※雑誌論文①②参照

本論をまとめた筆者は、工業高等専門学校において、国語国文学を担当する教員である。科学技術系の研究手法からすると、本小論は、主観的で、客観性を欠くことのご指摘もあろう。しかし、学習者が「分かり難い」と「主観的」に感じていることに寄り添い、その解決の方法を考えていく中で、このような論考の形を採ることとなった。

また、本論では、以下の2点のことについて、具体例を示しながら、次章以降、考察を進めていく。

「②漢字熟語の文字列の区切り方」

「③多義的に用いられる漢字の理解」

そして、その考察の中で、初学者に向けて漢文訓読の手法を用いて「用語の成り立ち」「意味のつかみ方」を指導する方法を提案する。また、教科書を執筆する立場の先生方に向けては、「初学者向けの用語表記」や「電気工学用語成立のエピソード」について提案してみたい。

②漢字熟語の文字列の区切り方

電気工学の基礎科目の学習で躓いている学生を対象に、以下のような簡単なテストを実施してみた。

設問：以下の三つの四字熟語において、意味の区切りと思われる箇所に斜線を施しなさい。

「皮相電力」 「熱起電力」 「許容電力」

正解は、もちろん「皮相／電力」、「熱／起電／力」「許容／電力」であるが、基礎学習に躓いているレベルの学生は、自信を持って区切りを入れることができない。

翻訳によって形成された漢字熟語は、原語と照合しなければ、正確な意味を理解し難い。

「皮相電力」＝「apparent power」

「熱起電力」＝「thermo-electromotive force」

「許容電力」＝「allowable power」

この三つの用語は、いずれも「電力」という共通した文字列を含んでおり、初学者はそこに惑わされてしまう。「電力」という文字列は、日常的には既に一つの意味を持たされており、「九州電力」(会社名)や「新しい家電製品への買い替えは使用電力の節約になる」(啓蒙的CM)などで耳にすることも多い。しかし、電気工学の学習においては、「熱起電力」という用語が如実に示しているように、「電力」という文字列が、常に同じ意味で使用されるわけではないのである。

この混乱を回避するために、私は二つの方法を提案したい。

第一に、原語を直訳した形の内語については、原語の上に漢字でルビを振るのである。最近の教科書では、漢語の内語の次に()に原語を入れた記述が普通になっている。例えば、「皮相電力 (apparent power)」という具合である。しかし、直訳体の内語であるという折角の利点が生かされていない。例えば、以下のように漢字でルビを振ることはできないのであろうか。

【例】 熱 - 起 電 力
thermo·electromotive force

明治期の書籍には、ルビという日本独自の表記法を生かしたものが多い。これを現代に生かすことを考えるべきであろう。

第二に、漢字の文字列を漢文と捉え、初出の内語には、訓点(特に送り仮名)を施しておく。

【例】 熱=ヨリ起電スル力
皮相ナル電力

このように訓点を施すことが無理であれば、初学者用教材については、せめて意味の区切り目に「・」を入れておくことが望ましいと思われる。

【例】 熱・起電・力

このように「送り仮名」を施したり、「・」で分割したりする表記は、実際には原語の表記に近いものである。例えば、「許容電

力」は、原語の英語「allowable power」を見れば、「許容デキル電力」の意味が込められていることが分かる。おそらく、漢語の知識を持っていた造語者は、学習者が「許シ容ルル電力」と読めることを前提としていただろう。だが、現在の学生が読むことは困難である。それならば、せめて初学者向け教材なりとも、入門期には専門用語に表記上の工夫をしてもよいと思われる。

③多義的に用いられる漢字の理解

科学技術の内容を表記するために作られた翻訳漢字熟語は、専門領域の分野別に造語が進められたために、原語は同じものでありながら、用いる漢字が異なることが多い。

例えば、「地学」の分野で地球の中心部分を「核」と呼ぶ。また、「電気工学」の分野では、電磁石の中心にあつてコイルを巻きつける芯のことを「鉄心」と呼ぶ。この二者の原語はいずれも「core」である。

「核心」という類義字を重ねた熟語が示すとおり、「核」も「心」も同じ意味であるから、翻訳に当たっていずれを採用しても構わないと言える。また、一つの英単語が、様態の変化に応じて分節化され、複数の漢語に訳し分けられることは、ある意味で自然のことでもあろう。

しかし、学生の理解において、非常に厄介なのは、異なる原語が、一つの漢字で訳されてしまっているケースである。そのような例は、先に見たように「power」も「force」も「力」とまとめられているように、幾つか散見される。

本小論では、「極」という文字に注目して、考察してみたい。

再び、電気工学の基礎科目の学習で躓いている学生を対象に、以下のような簡単なテストを実施してみた。

- | | |
|------|--|
| 設問 1 | 方位磁石において、正極と負極のいずれが北方を指示するか。 |
| 設問 2 | 地球を大きな磁石と考えた時、南極は、正極、負極のいずれか。 |
| 設問 3 | 交流回路に接続したダイオードに電流を流した時、電子が回路に流れ出ていくのは陽極、陰極のいずれからか。 |

正解は、設問 1 は正極、設問 2 も正極、設問 3 は陽極である。しかし、このレベルの設問についても、基礎学習に躓いている学生は、自信を持って解答できない。二者択一という最も解答が容易な形式の問題においてすら、混乱するのである。

この混乱の最も大きな原因は、異なる概念を意味する原語が、「極」という一つの漢字で翻訳表記されていることであろう。

例えば、手近にある国語辞典を引くと、以下のような説明を目にすることになる。

せいきよく【正極】⇔負極

- ①電気の陽極。プラス。
- ②(磁石の)北を指している極。

ふきよく【負極】⇔正極

- ①電気の陰極。マイナス。
- ②磁石の南極。

三省堂・新明解国語辞典・第六版(2005年4月)

この説明を見ると、「正極」「負極」という用語は、電極においても磁極においても用いられ、電極の場合には、「陽極」「陰極」という別名までもが存在する。

自然科学に用いられる言葉は、現象を正確に写しとって表記するものでなくてはならないはずである。異なる現象に同じ名詞が用いられることは、言葉を多義的にするため、自然科学の現象記述には好ましくない。電気と磁気とは、学習を進めていくにつれて、様々な法則に従って緊密に関連づけられていく現象でもある。「正極」「負極」のように「同音同表記異義語」という用語のあり方は、問題であろう。

ここで、電気工学の入門期に用いられる教科書における「極」の使用例を挙げ、初学者が学んでいく上での混乱を防ぐための方法について、「i 表記上の工夫」と「ii 授業展開上の配慮」について提案してみたい。

以下の表-1に「極」の字を含む電気工学会用語(入門期教材)とその原語(英語)とを併記する。

表-1

電極	electrode
正極(陽極)	positive electrode
負極(陰極)	negative electrode
陽極	anode(電気分解・ダイオード) cathode(電池)
陰極	cathode(電気分解・ダイオード) anode(電池)
消極剤	depolarizer
二極真空管	diode(di-electrode tube)
三極真空管	triode(tri-electrode tube)
磁極	magnetic pole
N極(正極)	north magnetic pole
S極(負極)	south magnetic pole

i 表記上の工夫

表-1に見られるとおり、「同音同表記異義語」に陥っている「極」を含む用語群を、どのようにすれば学習者に正確に理解してもらいことができるのだろうか。意味の正確な理解がなされなければ、正確な使用もできない。現在、学習者の多くは「丸暗記」と「慣れ」で何とか対応している。しかし、「丸暗記」や「慣れ」は苦痛が多いばかりで、学習の喜びは少ない。

そこで、せめて初学者が使用する教材においては、省略されている漢字を、下記のように

に小さなポイントで補うことを提案したい。

【例】正電極 (positive electrode)

負磁極 (south magnetic pole)

磁極を正負に分けて表記するようになるのは、磁気を電気と同様に数的に処理・記述するようになってからのことである。電磁気学に習熟した者であれば、「正極」「負極」が、「電極」「磁極」のいずれの意味で用いられているのか文脈から判断することができる。しかし、初学者には、その判別は困難であろう。入門期教材には、このような補字を施してもよいと思われる。

ii 授業展開上の配慮

近年、大学工学部や工業高専で、「技術史」を授業科目として教えるところが少なくなっていると聞く。しかし、歴史を学び、用語が創られた現場を辿ることは、重要である。何に対してどのような発想から命名がなされたのか、それを知ることは、専門用語の背景にある思想に触れることである。科学技術者の育成にあたって、入門期の段階で、言葉が創られた背景を教えながら、用語の理解・定着を図っていく必要があるのではないか。

【授業のための電気工学用語成立エピソード例】

「電極」を意味する「electrode」、「陽極」を意味する「anode」、「陰極」を意味する「cathode」といった用語の数々は、ファラデー (Michael Faraday・1791-1867) が創りました。どれも「-ode」という文字列を含んでいますが、これはギリシャ語の「上り口 (anodos)」、「下り口 (cathodos)」から来ています。

なぜ、「上り」「下り」なのかと言えば、ボルタ (Alessandro Volta・1745-1827) が1799年に発明した「電堆」という電池に由来しています。「電堆」とは、「上」に「銀板」、間に塩水を含ませた吸い取り紙、「下」に「亜鉛板」という組合せを1セルとして、それを幾重にも積み重ねた電池のことです。この電池の発明により、長時間、安定した直流電気を取り出すことが可能になり、電気の研究が飛躍的に進みました。

ファラデーは、この電堆を用いて、電気分解の実験をしました。その時、「上」(anode)の銀板側から繋いだ線の端に集まって「行く」ものを「陰イオン (anion)」、「下」(cathode)側から繋いだ線の端に集まって「行く」ものを「陽イオン (cation)」と名付けました。ちなみに「ion」とは、ギリシャ語で「行く」という意味です。

「ボルタの電堆」のイメージは、その後、電気工学に用いられる言葉を次々と決定していくこととなります。

例えば、電堆を高く積み上げるほど、「起電力 (電圧)」が高くなります。「電位差」は電堆の積み上げられた形状がアナログ的に表していたイメージから創られた概念なのです。また、「電流」が上 (anode) から下 (cathode) に流れる (current) というイメージも、電堆の形状・構造から来ています。「銀板」を置いた「上」側を電位が高いとしたから「正極 (positive electrode)」、「亜鉛板」を置いた「下」側を電位が低いとしたから「負極 (negative electrode)」という名称も、自ら決まっていきました。(後略)

これに類するエピソードは、科学史の専門書には記述してある。ただし、学生の理解の程度に応じてパラフレーズしてあるものが殆どないため、授業用教材として、授業担当者が準備する必要がある。

筆者が、上記のエピソード文例を学生に聞かせたところ、「面白い」という反応が返ってきた。派生して『カソード (cathode)』の『cath-』を『下り口』の意味で用いている言葉には、『カタルシス (catharsis)』(下剤による排便)、『カテーテル (catheter)』(導尿管) 等があることも伝え、定着を図った。

また、翻訳漢字熟語の形成については、学生が既に知っている「極」を用いた漢字熟語「極端」と「対極」の二つを示して、用語の構造を説明すると分かり易くなる。

「極端」という類義字を重ねた漢字熟語に見られるとおり、「極」の文字は、ものごとの一方の「端」の意味も持つ。また、「対極」という熟語に見られるとおり、反対の性質を持つ「二つの対の一方」という意味も持つ。

このことを知っていると、「二極真空管」と同じ働きをするトランジスタ・ダイオードが「二端子素子」と訳されている理由も納得ができる。「極」と「端」とは、類義字なので互換可能なのである。

また、「極」の漢字を含む電気工学用語の造語上の特徴は、原語 (英語) の訳に努めながらも、古代中国の「易経」から始まる陰陽理論を援用しているところにある。陰陽理論とは、文字どおり「陰」「陽」の「対極」する二元の要素の組み合わせと変化とで世界の解釈を試みたものであり、古来、日本人の世界観に、多大な影響を及ぼしてきた。その影響は、近代初期、電気工学用語を生み出す時にまでも、及んでいるのである。

原語では「anion」「cation」が一般的であるにも拘らず、概念の翻訳・導入に当って、日本電気工学の先達は、電位差による区分である「正イオン (positive ion)」「負イオン (negative ion)」の方を採用している。し

かし、電位差による分類ではなく、イオン自体の性質や反応の仕方を表記する場合には、「正」「負」の区分では具合が悪いこともある。そのため、どうしても「anion」「cation」の訳語も必要となった。その際に援用されたのが「陰陽」の概念である。日本の科学者は「ボルタの電堆」のイメージから離れ、独自の解釈で用語を創っている。「易経」が語るとおり、「太極」は「陰」と「陽」の両極に別れるが、陰陽は互いに引き合い、相補的振舞うことで、世界に様々な変化をもたらす。「陰イオン」「陽イオン」という命名は、西洋の「化学」を「易経」の世界観で解釈し直して表現しているのである。易の世界観では、「正＝陽」「負＝陰」（「天＝陽」「地＝陰」、「男＝陽」「女＝陰」など、両極を持つものは全て陰陽に区分される）であるため、それをそのままイオンの名称に適用したのであろう。

「磁極」に関する用語成立については、エピソードを詳述することはしないが、「磁極（magnetic pole）」の「pole」とは、本来、「地表に垂直に立てた杭」や「回転軸」を意味する言葉であったことから始めれば、パラフレーズのためのストーリーを作成することは容易であろう。地球儀を南北に串刺しにしている「棒」を意味している。その両端をそれぞれの「極」としたのである。

ストーリー化して説明を試みれば、同じ「極」の文字で表記しながら「電極」とは成立の背景が全く異なっていることが分かる。

専門用語成立の背景にある興味深いストーリーを知ることが、用語の意味の理解、定着に大きく役立つものと思われる。

④あとがき

言葉を的確に伝えることは、教育の大きな目標の一つである。工学教育では、実験・実習の重視もあって、学習者に専門用語を分かり易く理解させ、定着させるという営みが軽視されてきたきらいがある。本小論は、工学教育に欠けていると思われる言葉の学習を、いかにして分かり易く、興味深いものにするか、ということについて、専門外（国語）の立場から、具体的な提案を試みた。今後は、教育現場で実際にこれら提案を試行しながら、更に教育効果のある方法を研究・開発していこうと思っている。素人ゆえの勘違いも多いと思うが、初学者の戸惑いは誰よりも理解できているつもりである。

謝辞：

本稿の作成にあたり、佐世保高専一般科目数学科ならびに電気電子工学科の教職員各位、学生諸君のご協力を得た。協力に対し、深く感謝する。

文献：

基礎的な電気工学に関する用語（漢字熟語）のサンプルを抽出するにあたり、以下の書籍を参照した。

・電気基礎1, 2 実教出版

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① 田崎弘章、理工系科目の教育に使用される翻訳漢字熟語の理解について、独立行政法人国立高等専門学校機構主催、平成19年度教育教員研究集会講演論文集、2007、pp139-142（査読有）
- ② 田崎弘章、南部幸久、電気工学の初期教育に使用される漢字熟語の理解について—一語意の理解と学習内容の定着—、電気学会教育フロンティア研究会資料、2009、pp53-58（査読なし）
- ③ 田崎弘章、南部幸久、電気工学の初期教育に使用される漢字熟語の学習について—一語意の理解から学習内容の定着へ—、電気学会教育フロンティア研究会資料、2010、pp89-92（査読なし）

〔学会発表〕（計2件）

- ① 田崎弘章、南部幸久、電気工学の初期教育に使用される漢字熟語の理解について—一語意の理解と学習内容の定着—、電気学会教育フロンティア研究会、2009. 8. 28、岩手大学
- ② 田崎弘章、南部幸久、電気工学の初期教育に使用される漢字熟語の学習について—一語意の理解から学習内容の定着へ—、電気学会教育フロンティア研究会、2010. 3. 4、福岡工業大学

〔その他〕

ホームページ

佐世保工業高等専門学校（勤務先）

<http://web.cc.sasebo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田崎 弘章 (TASAKI HIROAKI)

研究者番号：40280490

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

南部 幸久 (NANBU YUKIHISA)

研究者番号：00228115

三橋 和彦 (MITSUHASHI KAZUHIKO)

研究者番号：60311114