

理科教育に関わるコメント

櫻井 勇良*

Comment which is related to the science education.

Yuryo SAKURAI

Abstract:

It has commented on the four subjects which are related to the science education.

1. “on the education of the science teacher”. By relating science and meaning of the language of the science and concept of the new guideline, it was discussed.
2. “On learning environment design of the science class.” As a result of outlining Active Learning and learning environment design of the science class, the conclusion that the purpose of Active Learning could be also achieved by devising the conventional method, was got.
3. “On the science detached room.” As a result of examining science detached room from various viewpoints, it was possible to deepen the understanding to the condition that it is called the science detached room. And, it was able to be realized again that the consideration to heart and feeling was important, when the human is made to be a partner, through the outline of the science detached room phenomenon as the result that it had the interest for the manpower training and thought.
4. “On the internalization of a knowledge of the science.” As one method for deepening the understanding on the internalization of a knowledge of the science in the learning, the description which seemed to be able to promote the understanding as the result digestion process was got. And, it was possible to apply to the capital letter of the language of repeating the character of CR of time constant with the concentration as a result of noticing the similarity between forgetting curve and discharge curve in RC circuit.

KEY WORDS: Education of the science teacher, Learning environment design of the science class, Science detached room, Internalization of a knowledge of the science

要旨:

理科教育にかかわる四つの題材についてコメントしている。

1. 科学教師教育について
サイエンス、科学の言葉の意味と新指導要領のコンセプトである生きる力を養うことを関連づけた。
2. 理科授業の学習環境デザインについて
アクティブラーニング(AL)と理科授業の学習環境デザインについて概観した結果、従来の方法を工夫することでALの目的も達成できるという結論を得た。
3. 理科離れについて
種々の視点から理科離れについて考察を行った結果、理科離れと呼ばれる状態への理解を深めることができた。また、理科離れ事象の概観を通して、ジンザイ育成に興味をもち、思考した結果、人間を相手にする以上、心・感情への配慮が重要であることを再認識できた。
4. 理科の知識の内面化について
理科の学習における知識の内面化に関する理解を深める一つの方法として、消化過程との類推を試みた。その結果、理解を促進できると考えられる説明が得られた。また、忘却曲線とRC回路における放電曲線との類似性に着目した結果、時定数のCRの文字を集中と繰り返すという言葉の頭文字に当てはめることができた。

キーワード: 科学教師教育, 理科授業の学習環境デザイン, 理科離れ, 理科の知識の内面化

*湘南工科大学 工学部 電気電子工学科 准教授

1. はじめに

筆者は、十数年前から理科教育興味を持ち続けている。そのころ、筆者が担当する授業において、学生の反応が“なんか変である、これまでと少し違う”という違和感を覚え始めていた。それをきっかけにして、彼らへの対応について思考錯誤するようになった。その過程で彼らは、大学に来るまでにどのような理科教育を受けてきたのだろうかということに興味を持ち、初等理科教育、理科の教育、物理教育などの雑誌を購読し、知識・理解を深めるようになった。当初は、理科の知識に関する興味が主であったが、次第に内面的な部分、すなわち心理や認知過程に興味が移っていった。理科に限らず、学習行為は、脳作業なので心理や認知過程が変わるのは当然である。このように興味の広がりにより、それまで有していた理科教育にかかわる知識・理解が増えることが実感できるようになった。それに伴って、今まで気づけなかった理科教育に関係する事柄に対して、持論を構築したいという気持ちが強まってきた。これまでに多くの項目について、様々な視点から持論の構築を行ってきた。ある程度結論めいたことが得られたものから進行中のものまでいろいろあるが、本稿では、その代表として4つの項目(科学教師教育、理科授業の学習環境デザイン、理科離れに関する思考、理科の知識の内面化)について述べる。なお、独断と偏見が混じっている恐れもあるが、一つの意見ということで参考になれば幸いである。

2. コメント

2.1 科学教師教育について

2.1.1 緒言

1999年に「分数ができない大学生」¹⁾という本が刊行され、それ以降学力低下が社会問題視されるようになった。この学力低下問題は、IEA(International Association for the Evaluation of Educational Achievement, 国際教育達成度評価学会)が実施した第3回の国際学力比較調査結果の公表により大学生に止まらず子どもたち全般の問題へと広がった²⁾。その後、理科離れ、理科嫌と呼ばれる事象が出現し³⁾、未だに解決には到っていない状況にある⁴⁾。そんな中、2011年に学習指導要領が改訂された。1954年に第1次改訂が行なわれてから約10年毎に行なわれ今回で第8次になる(2011年)。いわゆるゆとり教育への見直しということで今回の改訂が行なわれ、それについて様々な提言がなされている⁵⁻⁸⁾。

筆者は、今回の改訂を見て、感じたことがある。それは、コンセプトである。今回の生きる力を養うという内容に強い共感を持った。

最近、筆者は「学生に伝えなければならないことは、何か」について再考を行っている。その過程で、「魚を一匹もらうと、一日には食べていける。魚釣りの方法を学ぶと、一生食べていける(孔子)」という格言の存在を知った。この格言は、小手先のことでなく、生き方を学ぶ・教えることが大事であることを示唆している。これを読み終わったとき「そうか、これだ」と強く感動したことを覚えている。この格言の2行目の意味は、フィンランド教育における小さい頃からの教で「自分の人生は、自分のもので、どうするかは、自分で考えなければいけない」⁹⁾というのと似ている。

このようなことがあったので、今回の指導要領のコンセプトを見た瞬間大きなショックを受けたのである。この経験を踏まえ、本稿では、生きる力を育成することと科学教育との関わりについて思考したことの一部を述べる。

2.1.2 提言の概要

2.1.2.1 語源からの提言

ここでは、サイエンス、科学の語源を使って思考することを試みる。英語でサイエンス(Science)は、ラテン語のScire(スケル:知る)から作られたScientia(知識や知ること)を語源とする。知る対象は、自然界の摂理である。蓄積された多くの知識は、15世紀ごろから生活向上のための技術に応用されはじめた。そして産業革命を境にして加速された。20世紀になると科学の負の側面すなわち公害が顕著になってきた¹⁰⁾。

一方、日本語の科学とは、さまざまな分野の学問技術が輸入された明治時代に、それらを総称するために啓蒙思想家の西周が用いた語であり、現在は、サイエンスに対応させて用いられる。科学の科には分ける、区分けるという意味があり、それを踏まえると科学は分けて学ぶという意味にもなる¹¹⁾。

知ることを語源とするもう一つの言葉として英語のフィロソフィー(philosophy)がある。この言葉は、ギリシャ語のフィロソフィアに由来する。フィロとは愛する、好むという意味の接頭語であり、ソフィアとは知恵という意味を持つ。すなわち、知を愛すること、「愛知の学」である。一方、日本語の哲学の哲とは、賢ないし知という意味である。また、工学は不可能を可能にし、サイエンスは未知を既知にするという表現もあり、ここでも知るとい言葉が用いられている。

したがって、理科、科学を担当する者は知ることについて知ることとは何か、知ることがなぜ大事なのか、知るとはなぜ面白いのか、なぜ知りたいのか、など知ることに対して深い思考を自ら行い、信念を得る必要がある。そして、PDS (plan (計画), do (実施), see (評価) の頭文字をとる) のサイクル過程を用いて実施過程を自分で構築する、すなわち自己調整学習の実践を行ない、思考と実践力を向上させなければならないと考える。そうすれば魅力的な授業が展開できると共に、生徒たちが授業についてくることが期待できる。

2.1.2.2 知ることを通して生きる力を育成する

次に、知ることから生きる力を育成することについて述べる。「知識は力なり」という表現があるように、知識が力を持つことは、容易に理解できる。問題は、その力を生きることに結びつけることである。

サイエンスは、知ることであるが、知るには様々な思考力が必要になる、すなわち科学的思考力が必要になる。この思考力が生きるために有用であることは容易に理解できる。

小学校学習指導要領解説理科編では、科学的であることの条件として実証性、再現性、客観性の3つが示されており、これらの条件を満たした事象や概念によって構築された思考が科学的思考であると記述してある。一方、中学校指導要領解説理科編では、「科学的な見方や考え方を養うこと」の説明として時系列に沿って記述してある¹²⁾。

寺崎氏¹²⁾は、科学的思考力として16種類の力を提案している。思考力が生きる力になる、その力を身につけるために理科の授業が存在する、という考え方ができる¹³⁾。つまり、理科授業の目的は生きる力を養うことであり、その方法として科学的思考力を養う、題材とし自然現象を扱う、ということになる。生きる力を養うのは、理科に限らず全ての教科の目的であると考えられる。言い換えれば、学校教育の目的は生きる力を養うことである、その手段として教科学習を行なうといえる。生きる力の評価の一つとしてメタ認知能力の評価がある¹⁴⁾。

最後に、本稿をまとめるに当たり試行錯誤した結果、この種のテーマには妙薬や王道はなく、どうすれば良いか、という答え探しをしても仕方がなく、「私(自分)はどうしたいか」と問いかけるべきであることを痛感した。また、前述したフィンランド教育における小さい頃からの教えではないが「自分の人生は、自分のもので、どうするかは、自分で考えなければいけない」ということを教え、内面化させることが先決であることを感じた。内面化とは別

の言葉で言えば納得する、わかる、魂が許すことである。筆者は、教育行為の中でこれが最も重要であると考えている。筆者が多用する朝永振一郎氏の格言である「魂の許さないものは身につかない」状態からいかに脱却させるかを常に考えながら授業を行っている。

2.1.2.3. 結言

サイエンス、科学の言葉の意味と新指導要領のコンセプトである生きる力を養うことを関連づけた思考の一端を述べた。

2.2 理科授業の学習環境デザインについて

2.2.1 経緯

筆者は、工科系の大学の教員であるが、ある時期から義務教育期間における理科教育に興味を持った。入学してくる学生の状態に観察していたとき、彼らは、小・中・高校で電気に関して、どのようなことを学んでいるのだろうかという疑問を感じたことがきっかけである。

それ以来、「初等理科教育」、「理科の教育」、「物理教育」、「科学教育学研究」などを購読している。現場の声や授業の実践内容などを拝読しているが、教師の努力を痛感する思いである。掲載されているのは、一部の学校における出来事であり、一部の教師の報告であるので、それを見てすべてを語るのは、危険であるという見方もできるが、筆者は、好意的に捉えている。

拝読後は「なるほど、そういうことか」、「よく、ここまでやるな」、「こんなことは、児童生徒には理解することは困難だろう、期待しすぎではないか」という印象を受ける場合が多く、いろいろな意味で刺激的である。

上記の雑誌を約10年間拝読しながら、理科とは何か、理科授業とは何かという大きなテーマを含めて、自問自答を現在まで行ってきた。そんな折、『理科の教育』、第64巻、第760号(2015, 11月号)において「理科授業の学習環境デザイン」に関する論文募集の記事が掲載されているのを知り、興味があったので、コメントを述べたいと考えた。以下では、その過程で得た思考の中で、上記のテーマおよびそれに関するものをいくつか述べる。

2.2.2 理科について

理科とは何か、文言の意味から考える。理科は、サイエンスの訳であり、サイエンスの語源は、「知識や知ること」であり、もともとギリシャ時代に始まった自然界の摂理を知るということであつたといわれる¹⁰⁾。これらを踏まえると、理科の理は理由あるいは自然の

摂理, 科は分けるであるので, 理科は分けて自然の摂理を理解し, 知識を得る, という意味に解釈できる. また, 科学と訳しているが, この場合の科は, やはり分けるであり, 学は自然界の摂理を学ぶということで, 理科も科学も基本的な意味は, 同じといえる. したがって, 小・中学校では, 自然界の摂理を知る・学ぶためにエネルギー, 粒子, 生命, 地球などの科学の基本的な見方や概念を柱とした学習内容が用意されている.

理科の学びの特徴の一つとして, 科学的センス, すなわち客観的な事実に基づいた論理的な思考・判断・表現の修得が挙げられる. この修得は, 理科の教科における学びの結果としても重要であるが, 児童生徒の将来においても重要であるといえる. 何故なら, 科学的センスは, 児童生徒が学校教育を終え, 社会人として生きていく時, 大なり小なり必要になると考えられるからである. これは, 小・中学校において, 理科を学ぶ意義の一つでもあるといえる.

自然現象を理解するには, 事象の再現・洞察・推考が重要になる. その手段の一つとして, これもほかの教科にはない実験による体験が実施される. この実験を通して, 事象の洞察, 機構の推測, 論理の構築, 思考の表現, などの練習を行い, 具体的な知識・技能を養う. そして, これを小・中学校と段階的にを行い, 上記した科学的センスをはじめ, それを担う様々な理解・知識・技能を修得する.

以上のように, 理科は, ほかの教科に比べて科学的なセンスを養う点で特徴的な科目といえる. また, そのセンスは, 世の中に出ても役に立つものであるので, テストのためというような狭い見ではなく, 広い視野を持って日々の学びを行ってほしいと思う.

以上のように, 理科授業は, 理科の特徴である実験を多用する授業なので, そのことが児童生徒の学びに有効に働くように創意工夫を凝らしながら, 児童生徒との協同作業を具現化させることが理科授業の学習環境デザインのポイントであると考えられる(具体的なことは, 現場の教師の判断に支配されるので, ここでは触れない). そして, 脳の生理学的発育が終わる年齢(約15歳)までに, 児童生徒に「生きる力」を身に付けさせなければならない. これは, 理科だけの使命ではなく, 学校教育全般における使命でもある. したがって, 理科も含めた教科教育などの意図的教育のみならず無意図的な教育を施し, 児童生徒に対して最大の支援を行わなければならない. これは, 教師, 親を含めた大人たちの責務であるといえる.

2.2.3 理科授業の学習環境デザインとアクティブ・ラーニングの関係について

理科は上記したように, ほかの教科に比べて, 経験・

体感する機会が多く取り入れなければならないという特徴がある. したがって, 以前から実験と取り入れた授業が実施されてきた. その間, 特別な問題が発生したという記憶もない.

ところが, 最近, 授業形態の一つとして, アクティブ・ラーニング(Active Learning, 以下ALと略す)が注目を浴びてきており, 様々な議論が行われている¹⁵⁻¹⁸⁾. そこで, ALとの関係について思考した. 以下ではその概要について述べる. 結果を述べる.

2.2.3.1 ALの名称・意味について

ALが注目を浴びている理由は, その背景として, 次期学習指導要領改訂があるためである. 次期の改訂においてALを注視した理由は, 最大の目標である「生きる力」の育成に適していると判断したからである. 「生きる力」は, 多くの要素成分によって構成されるものであり, 単一の要素成分で成り立つものではない. 多くの要素からなる「生きる力」を効率よく得る方法として, ALが提案されている.

ところで, 従来の授業方法は, 教育という言葉と比べると, 整合していると考えられる. つまり教えて育てるという孟子の言葉を意味する教育をそのまま実行しているように見る. 教える行為は, 教える側(主体)と教えてもらう側(客体)が必要であり, 現行はその通りになっている. そして, 客体がある程度育ちあがるまでその立場が維持される. これが教育の姿である. 客体は, 学校教育によって, ある程度育ちあがったら, 卒業し, それまで培った力を活用しながら, 人生を生き抜いていく, というシナリオの中で学校教育による支援が客体に施されている.

ここで, 突然にALが舞い込んでくる. 舞い込み方が, 従来の方法を批判するところまではいかないまでも, 何らかの不足を指摘した形で入ってこようとしている. キーワードは, 主体的な学びの実現である. 客体に押し込むことになりがちだった教育の基調を転換し, 客体の立場に立って, 客体に自ら学び自ら考える力を育成することを重視した教育を実現するために, すなわち主体的・対話的で深い学びの実現を目指すための授業改善の一つとしてALが提案されている.

筆者は, ALという言葉初めて耳にしたとき, 「ALというが, ラーニング自体が主体的なのに, 何故, わざわざ主体的に類するアクティブという言葉を付けたのか」について自問自答を行った. 以下では, その概要について述べる.

ラーニングには, 「マスターする」という意味があるので, 主体的な意味を持つといえる. しかし, ラーニングするのは, 客体である. 客体は, 現行の教育制度では, 受動的な立場である. つまり, 「学ぶ」, 「マスタ

一する」という意味ではなく、それぞれ受け身的になる、すなわち「学ばされる」、「マスターさせられる」となる。そこへ、アクティブという文言が前に付いたことにより、「自主的に学ばされる・マスターさせられる」という解釈が得られる。こじつけのようであるが、このように解釈するとALという文言への抵抗もなくなる気がする。この解釈は、上記した「客体に自ら学び自ら考える力を育成する」という表現に合致するといえる。つまり、文科省が、主体に対して、「客体が自ら学べるように、また自ら考えられるように力をつけてやりなさい」と言っているように聞こえる。このように解釈するとALの導入も理にかなっているように思える。しかし、従来の方法でも、上記した「客体に自ら学び自ら考える力を育成する」ことは、十分可能であり、ALを導入する必要はないように思える。

ALの導入による目的として、自主的な学びをする児童生徒を増やす¹⁶⁾、主体的・協働的な学びを児童生徒に体験させる・児童生徒の学習内容における学びがより広く・深くする¹⁷⁾、児童生徒における正しい理解の定着率を上げる¹⁸⁾などがあるが、これらは、現行の授業スタイルでも実現が可能あるいはすでに実現していることである。また、現行の指導要領も「生きる力」の修得を目指した内容になっており、それを目指して実施している最中である。その結果が出ていないのに、それも手段の一つにしか思えないALが、話題になっていることについて疑問を感じる。ALに特別な効果があるのならば、次期の指導要領の改定と言わないで、今、導入することを提案すればよいと思う。すでに、実施しているところもあるので、今、導入を提案しても、あまり意味がなさそうにも思える。

ところで、学びがアクティブであるかどうかは、客体の精神状態（心）に依存することであり¹⁹⁾、時によって変化するものであるという指摘がある。ある時は、アクティブになるかもしれないが、時が変わればそうでもなくなる、というように変化するものである。これを踏まえると、名称にアクティブと文言を付けたからと言って、誰もがアクティブな学びができるというものではない。例えるならば、「わかる」、「よくわかる」、「わかりやすい」、「なっとくする」、「やさしい」という読者が、読んだ後に感じる言葉を、先回りして図書のタイトルに付けたからと言って、その図書を読んだ誰もが「わかる」、「よくわかる」、「わかりやすい」、「なっとくする」、「やさしい」という印象を持つわけではないのと同じである（誇大広告に似ている）。

筆者は、そのような文言を教育に持ち込むことに、強い疑問と不快感を感じる。「ゆとり」という文言を用いこんだ時も、同じ印象を持っていたので、ALの話題を聞いたときは、「またか」と憤慨した。「ゆとり」を

持ち込んだ結果、教育現場、児童生徒および世間に混乱を招いたが、ALの導入により同じことを引き起こすのではないかと筆者は危惧する。

最後に、上記した「学習者の精神状態（心）に依存する」に関する知見を用いて、主体、客体について述べる。一般的に、主体、客体は複数の人間の間で使われる。しかし、個人の中にも複数の人格が形成される。つまり、自我（大脳旧皮質）と超自我（大脳新皮質）である。前者は、欲求の実現を求め、後者は、それを監視する、すなわちモニタリングする。我々の言動は、これらのバランスによって、支配される。教育においてもこれらは作用している。例えば、従業中、「眠たいな、寝ようかな」と自我が認識すれば、超自我が「今、授業中だから寝てはいけない、先生の話聞きなさい」と命令する。そして、「眠たいけど、我慢するか」という命令に従うと判断（前頭葉）すれば、先生の話聞くかどうかは別にして、少なくとも寝ることはしない。しかし、命令に逆らって、「寝てしまえ」という判断が下されれば、寝てしまう。このような葛藤は、誰もが日常的に経験していることである。もちろん、このような葛藤は、学習においても起きる。「勉強は嫌だ、やりたくない」という認識と「そんなことを言わずにがんばろう」という認識との葛藤を経ながら、客体は、日々、学習していることは容易に想像できる。上記した「客体に自ら学び自ら考える力を育成する」こともこの葛藤を経て実現される。人間が行うことなので当然であり、実は、教育で最も重要なことは、主体の創意工夫でも気配りでもなく、客体の精神状態（心）を含めてレディネス（学ぶための準備）である。この状態が良ければ、客体は、授業スタイルや環境には関係なく、どんどん学ぶであろうし、そうでなければ、素晴らしい環境を提供しても学ばないといえる。

実は、教育で最も重要なことは、教師の創意工夫でも気配りでもなく、児童生徒の精神状態（心）を含めてレディネス（学ぶための準備）であるといえる。この状態が良ければ、児童生徒は、授業スタイルや環境には関係なく、どんどん学ぶであろうし、そうでなければ、素晴らしい環境を提供しても学ばないであろう²⁰⁾。筆者は、この指摘に対して強い共感を持つと同時に、このことは、教授側のみならず、学習側も強く認識・自覚すべきであると思った。この部分への認識・自覚が整えば、教育の風景も随分変わったものになると期待できる。

『分析論後書』の冒頭で、アリストテレスは、「思考のはたらきによる、すべての教授、すべての学習は、どれもみな、「学習者の内に」予め存在する認識から生まれてくる」と述べている。表現は異なるが、アリストテレスが述べていることは、上記の学習者のレディ

ネスの重要性を強調している点で類似している。

ところで、2002年の改定において、「いかに社会が変化しようとも、自分で課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、行動し、よりよく問題を解決する資質や能力などの「生きる力」の育成を宣言し、生涯学習社会へ移行を促していく」というスローガンが掲げられた。それ以降、ALもそうであるが、自主的という文言が付いた表現を多く目にするようになった。

自主的という文言を目にした時、始めは、児童生徒の判断に100%委ねるといことなのかと疑問を持った。仮に、そうならば、問題が起きるだろうと想像した。しかし、いくらなんでも、児童生徒の判断に100%委ねるといことはいないだろうと思い、その後、冷静に考えた結果、限定された自主性であると思った。つまり、児童生徒の判断に100%委ねるといのではなく、教師が期待することを児童生徒が自主的に行うという意味であろうと考えるようになった。これはあくまでも筆者の想像であるので、誤解を生まないためにも、自主的の意味を説明する必要があると思う。そのくらいは分かるだろうと安易に考えて、それが原因で思わぬ問題を起きてからでは遅いので、事前に対応する必要がある。

2.2.4 結言

以上のように、ALと理科授業の学習環境デザインについて自問自答した内容の概観を述べた。結論としていえることは、ALの導入は、必要なく、従来の方法を工夫することでALの目的も達成できるという結論を得た。

2.3 理科離れに関する思考について

2.3.1 緒言

理科離れということが先進国で浮き彫りになったのは、OECD（世界協力開発機構）の国際的な学習到達度調査が始まった2000年ごろである²¹⁾。日本では、その少し前に物理系3学会（日本物理、応用物理、日本物理教育）の会長が声明を出した辺りと考えられる²²⁾。それ以来、社会的問題事象の一つとして扱われるようになった²²⁾。この事象については、定義、統計処理結果（学力調査やアンケート調査の結果）、対策など様々な視点で論じられている²³⁻³²⁾。しかし、解決されていないのが実情である。そこで、その一助になればと思い、考察を続けている。その過程で、いくつかの持論を得ることができたので、その一部を報告する。

2.3.2 理科離れ事象の源について

この問題への対応として、ポイントは二つある。

一つは、この事象の源を探究することである。二つ目は、目の前の対応策を検討することである。本稿は、前者の視点で行った内容である。この事象の源について思考した結果、その一因として原体験不足が考えられるという結論を得た。本稿では、その経緯について述べる。

思考のきっかけは、上記の問題がいつになっても解決しないことへの疑問である。問題の機構が分かれば、対応のできる。しかし、いつになっても解決を見ないのは、機構がわかっていないからである。何故、機構もわからずに対応を取るのだろうかという素朴な疑問が思考のきっかけである。

まず、好き・嫌いは、個人的な判断であり、快感を重要と考える脳の働きによって支配される。理科という教科に対して、快感を求めるといことはどういうことか。それは、理解の獲得である。理解を獲得すると、優越感、達成感、有能感などの自己実現欲求が満たされるので気持ちが良い。このような状態が発生すれば、そのことを好きと感じるのは当然である。したがって、この状態を誘発しなければ、そのことに対して嫌いという印象を持つようになる。理解が得られないという状態を別に表現すれば、知識の再構築ができないという言い方ができる。知識は、生きている限り、再構築を繰り返すものである。再構築は、新たな知識に出会うたびに起きる。再構築するには、その元となる知識が内面化されていなければならない。もし、元になる知識が無い場合は、そのまま通り過ぎてしまう確率が高くなる。関心が高い情報であれば、再構築に必要な元の知識が無くとも内面化し、再構築の元になることもある。

一概には言えないが、筆者が義務教育を受けていたときは、自然を通した原体験を多く積んでおり、それが学校での理科学習を助けていたように思える。つまり、学校外での原体験があったため、そこで、得られた知識と学校の理科学習で得られた知識を合体させ、新たな知識を獲得していた、すなわち、丸暗記せずに、理解という行為を自然に行っていたような気がする。このような再構築によって、優越感、達成感、有能感等の自己実現欲求が満たされたので気持ち良く学習ができたのではないかと考えている。理科に対して嫌悪感を持たなかったのは、当時はこのような経験をする環境にあったからかもしれない。

以上のようなことを踏まえると、現在、理科が嫌いである、という印象を持つ児童・生徒が多く見られるようになったのは、時代の違い、すなわち自然と関わった原体験不足がその一因と考えられる。原体験が不足しているために、学習で出会った知識を再構築によって内面化することができない。そこで、

何らかの形で記憶しなければならないが、手だてがないので仕方なく、丸暗記によって記憶する。このような環境下で学習は、自己実現欲求を満たす要因である優越感、達成感、有能感をまったく誘発しないので、嫌いという印象を持つのは、当然であり、正しく、強いて勉めるという意味を持つ、勉強状態であるといえる。このような勉強状態を続けた児童・生徒が増えた結果、理科が嫌いという印象が支配するようになったものと考えられる。

学習は、個人的な行為である。その必要性は、個人の判断に依存する。外力は、補助的なものになるが主要にはなれず、学習者自身の判断に大きく依存している。したがって、学習に関する行為も学習者の価値判断に大きく依存する。以前は、教授側が学習者の行為を支配しなければならないような風潮であったが、脳科学、心理学、認知学などの分野の発展に伴う新たな知見の獲得により、学習行為の支配者は教授側ではなく、学習者自身であるという認識が主流となってきている。

一般的に、この問題への対応を概観すると、教授側が積極的に対応するという姿勢のものが多く見られるようであるが、これは、外的れであるといえる。これは、上述した古い価値観をぬぐいきれないであることを物語っている。このような人には、早く価値観を変えることを期待する。学習者が主人公であることを教授側のみならず学習者自身にも納得しなければならない。筆者は、これが、学習行為の始点であると考える。始点が異なった状態で学習行為を行っているのが実情であり、そのずれに起因する問題の一つが、理科離れ・理科嫌いであると、筆者は考えている。

知識の再構築には、自発的な場合と教授に基づく場合があるが、いずれも学習者の主体性に依存する。教授されてもその必要性が無ければ、単なる刺激にしか過ぎない。学習者の主体的な認識があればこそ再構築が遂行する。その行為が全て自発的なものであろうが、その一部が外的であることが所詮は、学習者自身の認識に支配されていると考えられる。つまり、根源の一つといえる。もし、そうであれば、このことについてさらに深く考える必要がある。そうすれば、解決策のヒントが得られるはずである。つまり、考えなければならないのは、対応策ではなく、原因と考える事象についてである。

物事を考える場合、考え無ければならないことと考えなくとも出てくるものがあるのを踏まえなければならない。何でもかんでも考えればよいのではない。考えなくとも出てくるものについては、考え

る必要はないが、考えなければならないことについては、徹底的に考えなければならない、ということ肝に銘じるべきである。この区別をせずに、やみくもに考えればよいという価値観で物事が遂行している場合が時々見受けられる。

筆者は、〇〇が問題であるあるいは〇〇問題という表現に遭遇した場合、その根拠を気にする。問題の状況を知りたいからである。また、問題と判断している価値を知りたいからである。問題という文言の使用に関しては、客観性が低く、個人の判断、すなわちその言葉を発した人、そのような言葉を用いた人の価値に支配される。したがって、その根拠や判断経緯を知りたいのである。本稿で取り上げた事項についてもその視点で調査したが、客観性を有する原因の存在を確認することはできなかった。中には、この事象を冷静に分析し、問題ではない、という結論を出しているものがあったが、どちらかと言えば、問題ありきの視点の方が多いという印象を持った。

2.3.3 理科離れと人材育成

上記のような考察を行っている過程でジンザイ育成に関して興味を持った。その大きな理由は、この事象には、人が深く関わっているからである。この事象に関わらず、教育は人に係る行為であることを踏まえれば、人について興味を持つのは当然である。

そこで、ジンザイという漢字の意味を用いながら、ジンザイの育成について概観する。

2.3.3.1 ジンザイの意味

人の育成に関して、ジンザイ育成という言葉が使われる。しかし、このジンザイという読み仮名を使う漢字は、複数存在する。良く使われるのが、人材である。この人材という言葉は、初心者、未経験者、初学者（ビギナー、Beginner）を意味する。これ以外の言葉として、人材、人在、人罪などある。人材は、指導者（リーダー、Leader）、人在は、学徒、追従者、模倣者、子分（フォロワー、Follower）、人罪は、失敗者、敗者（ルーザー、Loser）などの意味を有する。

良く目にするのは、人材という表現である。気になる表現として、有能な人材という表現がある。人材の前にある有能なという表現に違和感がある。この表現は、言い換えると有能な初心者とも表現できる。有能な初心者とは、どういう意味なのか、有能を求めるならば、人材ではなく、人材という表現を用いた方が適している。

2.3.3.2 ジンザイ育成と自己調整学習について

故松下幸之助の言葉に「学ぶ心さえあれば、万物すべてこれわが師である。語らぬ石、流れる雲、つまりはこの広い宇宙、この人間の長い歴史、どんな小さいことにも、どんな古いことにも、宇宙の摂理、自然の理法がひそかに脈づいているのである。そしてまた、人間の尊い智恵と体験がにじんでいるのである。これらすべてに学びたい。」³³⁾というのがある。これに類する西洋の格言に「学びたいときに師が現れる」というのがある。これらから、自主的に学ぶ気持ちが大事であるのがわかる。

孔子の言葉に、

「魚を一匹もらうと、一日には食べていける。

魚釣りの方を学ぶと、一生食べていける。」³⁴⁾というものがある。後半の文章の意味は、フィンランド教育における「自分の人生は、自分のもので、どうするかは、自分で考えなければいけない」³⁵⁾という教えに似ており、小手先のことではなく、生き方を学ぶ・教えることが大事であること示唆している。

教育の意味理解にはいろいろある^{20, 36)}。教えて育てるという漢字の意味を有するが、教える側が主人公ではなく、主人公は、学習者であり、教授側は、あくまでも支援者であるといわれる³⁷⁾。つまり、教育は、学ぶことが前提となっている^{38, 39)}。これは、ジンザイ育成においても同じである。つまり、教育もジンザイ育成もそれを受ける者の心構え⁴⁰⁾、すなわち学びたい、そうなりたいという欲求の大きさ・強さによって支配されるといえる。

2.3.3.3 理科離れを踏まえたジンザイ育成について

理科離れに関するジンザイ育成には、教える側と学習者側の両方を考えなければならない。

理科は、物理と同じ意味、すなわち物の理（ことわり）を学ぶ教科である。物の理（ことわり）とは、物事が起きる理由を学び、理解する教科である。面白さは、理由を学ぶところにあるといえる。理由を学ぶ前に、何故そうなるのかという強い疑問を持つのが先決である。疑問が強いほど、その理由に対する知りたいという欲求が強くなる。そういう状態で理由を学び、理解すると“なるほどそういうことだったのか”という感動を得やすい。この感動は、継続的学習をもたらす要因といわれており⁴¹⁾、学習過程においては、有用な認知である。

理科離れ事象を、理科嫌いと解釈し、その視点から人材育成を論じている報告例がある^{30, 31)}。そもそも、勉強という強いて勉める、すなわち強制的あるいはいやいや行う状態の中で学習しているので、学習者がその教科に対して好き・嫌いの感情を抱くの

は当然である。このような感情を抑制させるためには、楽しいと思う工夫を施す必要がある。このような工夫ができることが、学習者のジンザイ育成において重要な要素といえる。同じ感情に支配されるなら、嫌いという感情よりは、楽しいという感情に支配されたいのは、誰しも同じであろう。そうなるには、自主的に工夫を実行することが先決である。そうすれば、理科嫌いなどというレベルの低い感情が薄められ、楽しくなり、やる気も出てくるような気がする。学習者はそのようなジンザイになるように、教える側は、それを支援できるジンザイになるように共に工夫し、努力すれば、理科離れ・理科嫌いから解放されと考えている。そのような状態が早く来ることを強く願っている。

2.3.3.4 結言

種々の視点から理科嫌い、理科離れについて考察を行った。その結果、理科嫌い、理科離れと呼ばれる状態への理解を深めることができた。ただし、解決策を論ずるまでは至っていない。今後もこの課題について考察を続ける予定である。また、理科離れ事象の概観を通して、ジンザイ育成に興味をもち、思考した結果、人間を相手にする以上、心・感情への配慮が重要であることを再認識できた。

2.4 理科の知識の内面化について

2.4.1 消化過程との類推からの考察

知識の内面化とは、学習者の外側に存在する情報・知識・技能などが学習者の内部に保持・固定される（長期記憶として保存され、活用される）ことを意味する⁴²⁻⁴⁴⁾。これは、教育行為におけるわかる・わからない⁴⁵⁻⁴⁸⁾や知識の再構成^{43, 49-51)}とも関係しているので重要な要素の一つである。したがって、これへの理解を深めることは、意義がある。そこで、このことを分かりやすくするための引用例の探索を行った。その過程で以下のような考えを得ることができた。

2.4.1.2 思考の概要

結論から言えば、動物が肉を食した時に起きる体内での反応過程が有効な引用例になることに気づいた。動物によってその過程が異なるが、ここでは、人間を対象とし、食べ物には肉とする。つまり、人間が肉を食べた時に起きる反応を用いる。人間が肉を食べると、主要な部分としては、以下の消化器（口・咽頭・食道・胃・小腸・大腸・肛門）を通過する。口から入った肉片（タンパク質）は、消化過程でア

ミノ酸に分解され、小腸で吸収される。そして、人間の筋肉を構成するようになる。この一連の過程が人間の学習行為に類似すると考えられる。肉片は人間の外部に存在する情報に、タンパク質がアミノ酸に変わる過程は、学習・理解の認知過程に、そして、アミノ酸が筋肉に変化する過程が構成化にそれぞれ相当すると考えた。これらをまとめると次のように類推が得られる。

外部にある肉（情報）を食する（入力する）とタンパク質（他者の理解）がアミノ酸（自己の理解）に変わる。そして、アミノ酸（自己の理解）を吸収（記憶）するとそれが肉（構成された知識）に変化する。このように、人間が知識を構成するまでの過程は、肉を食した結果、筋肉が作られるまでの過程に当てはめることができた。これを用いれば、知識を構成する過程に対する理解が進むことが期待できる。以下では、この類推の適応について述べる。

まず、英語の *to have*, *to be* という表現について述べる。これらを認知過程に当てはめると、前者は、知識が学習者の外に存在する時を指す。後者は、その知識が学習者の理解に基づいて内面化された時を指す。上記の解釈を用いると、食べる前の肉が、*to have* に相当し、アミノ酸が変化してできた肉は、*to be* に相当するといえる。

次に、「知識は力なり (Knowledge is power)」⁵²⁾について述べる。知識を筋肉と見なせば、筋肉によって力を発生するので、知識は力なり、という表現は筋肉によって力が発生するという当然の表現に置き換えられる。

以上のように、人間が肉を食し、それによって筋肉を獲得する過程は、人間が知識を獲得する行為のみならず、他の表現の類推として使えることがわかった。一般に学習行為により、知識や技術を獲得することを表す表現として、“身に付ける”、“身にやる”、“血となり肉となる”などが用いられているが、今回の思考により、これらの表現への理解が深まったといえる。

2.4.1.3 理科離れ・理科嫌いへの適応

以下では、上記の考えを、理科離れ・理科嫌いの状態に当てはめて思考したことを述べる。

理科離れ・嫌いの状態は、大別すると二つある。前述のたとえを用いると、1つは、口から肉を取り込むが、消化・吸収されない状態である。もう一つは、口から取り込まない状態である。前者の場合は、消化器の働きを活性化させることが対策となる。後者の場合は、消火器の働きは問題ないが食欲が無い状態と食欲も無く、消火器の働きも悪い、という二

つの状態が考えられる。

食欲不振は、気持ち・気分の精神状態の改善により解決できる。消化不良は、考え方・理解の仕方などの方略の改善により解決できる。精神状態の改善は、やる気を起こさせる（発揮させる、増進させる）のに尽きる⁵³⁾。消化不良については、まず、学習者自身の理解過程の検証が必要である。今までの経験を踏まえ、自分はどのような理解過程を経験してきたか、自分の理解過程がどうであったかを再認識させる意味で、その検証が必要である。これを通して自分の思考過程を理解するのがポイントになる。自分の思考過程を理解した上で、それ以外の方法の存在を知り、それに有用性の重みをつけながら内面化させることで、自分自身の理解過程の再構成と課題解決の方略を会得できるようになる^{42, 49, 50)}。そのような成功体験を積み重ねると、精神的な状態も改善され、学習行為が継続的かつ活性的になることが期待できる。

一般に内面化とは、外部にある情報をそのまま内部に取り込み、再現できることを意味する。教授側は、自分が発信した情報を学習者に取り込ませようと努力する。しかし、取り込む作業は、学習者の自主的な行為である。学習者は、与えられた情報を独自の情報処理過程により構成作業を行う。その際、早く取り込ませようと、教授側があせって、余計なことを行うと、学習者は構成作業を中断あるいは拒否する場合がある。その結果、学習者が嫌気を差し、理科嫌いになる恐れがある。そうならないためには、「与えた情報は、必ず学習者の独自の情報処理過程を経て、学習者の中に構成されるのであって、わかりやすくとかいていねいに説明しようが、そのまま学習者には伝わらない・移らない」ということ、すなわちいくら高価な肉を与えても、その肉がそのまま筋肉になるわけではない。消化・吸収の化学変化の状態に依存して筋肉が構成されることを肝に銘ずる必要があるといえる。

2.4.2 放電曲線と忘却曲線の類似性について

興味のないことや、意味がわからないことを理解する、あるいは記憶することは、困難である⁵⁴⁾。そのような場面に遭遇した場合、何かに置き替える、あるいは差し替えるという、いわゆる例えることによって、理解や記憶を得ることができるようになる⁵⁵⁾。すなわち、有意味学習と呼ばれる行為が効果的であり、筆者のみならず多くの人が経験していると思われる。これは、認知過程において、比喩（～のようなもの）と呼ばれている。一般的な言葉としては、例え話という文言の方に馴染みがある。

例え話を作るのは、まず、言葉や概念の意味を深く理解する必要がある。次に、理解した内容の対比を行い、類似性の有無を検討する。類似性の存在が認められたもの同士を比べ、類似性・整合性について、さらに理解を深める。そして、例え話が完成する。筆者は、このようにして例え話を作っている。実践して感じることは、理解を深化させることにより、関係がなさそうに見えていたものが、実は、類似性が存在していたことに気づかされる、あるいは新たな理解が生まれることである。これらは、瞬間的に起きるので、その瞬間までは気づかない場合が多い。その瞬間、「そうだったのか・なるほど」という納得感を得る。筆者は、これを体感したいために学びを続けていると言っても過言ではない。

筆者の専門は、電気系であるが教育全般についても興味を持っている。特に、脳科学との関連性について関心がある。教育と脳は、強い関連性があるが、それらと電気とは、それほど強い関係があるようには見られない。しかし、時々、類似性のあるような事柄に遭遇する場合がある。本稿では、その過程で得られた例え話の一つについて述べる。

2.4.2.1 忘却と CR 回路の時定数との関係

2.4.2.1.1 類推のヒント

(エビングハウスの忘却曲線)は、記憶過程の検証結果として有名である^{56, 57)}。この曲線は、長期にわたる記憶の破壊過程を調べたものであり、長期記憶の先駆的研究と呼ばれている⁵⁶⁾。筆者は、この曲線(指数関数的に減衰する曲線)を見たとき、あることを思い出した。それは、抵抗(R)とコンデンサ(C)を使ったRC回路における放電特性と類似することである。このことを認識したのは、単に曲線の形状が類似していたからだけではなく、記憶することは充電に、忘却は放電に、例えられるからである。当時、筆者は、異なる分野の知識同士を組み合わせで知識をチャンク化^{58, 59)}することを試みており、上記の二つの曲線もこの対象になると考えた。以下では、その概要を述べる。

2.4.2.1.2 思考の概要

一般に、コンデンサに蓄えられた電荷を放電させた場合、その特性(放電曲線)は、時定数 τ (初期値から63.2%減少するまでの時間、 $\tau=CR$ (秒)、 C =コンデンサの容量(F)、 R =抵抗値(Ω))に依存する。つまり、同じ量の電荷が蓄えられていても、それにつながるRの大きさによって、放電の様子が変わる。これと忘却曲線の関係を深め、知識のチャンク化を図るのがポイントになる。これに対するヒントを得

るために、記憶(忘却)過程に関する知見を深める必要があると判断し、知識の収集を行いながら、試行錯誤した。

まず、 τ を構成しているのがCとRなので、それらが頭文字になっている言葉を探す。次に、その言葉の意味を調べ、忘却に関係するかどうかを確かめる、ということ念頭に置きながら作業を行った。その結果、集中という言葉と繰り返すという言葉が使えることがわかった。これらの言葉を選択したのは、1)集中⁶⁰⁻⁶³⁾と繰り返すこと⁶³⁻⁶⁵⁾は、記憶方略の有効な要因として挙げられる、2)それらの英語表示(Concentration:集中, Repeat:繰り返す)の頭文字がCとRであり、 $\tau=CR$ で表現できるからである。この二つの言葉を用いると、「忘却特性は、集中と繰り返しの積に依存し、集中を高めながら繰り返し学習することで記憶を長期保存できるようにする」という解釈が得られる。この解釈自体、特別なものではなく、ごく当たりまえの事であるが、放電特性の τ の構成因子を電氣的なものから、記憶(忘却)過程で用いられるものに置き換えたことがポイントである。これにより、放電特性と忘却曲線がチャンク化された知識に再構築されたといえる。

記憶や理解に関する諺の一つとして「What I hear I forget. What I see I remember. What I do I understand. (聞いたことは忘れる。見れば覚える。やってみれば理解する)」というのがある⁶⁶⁾。この諺は、聞く、見るおよびやるという三つの刺激に対する記憶や理解度の違いを示唆しており、1)「聞いたことは忘れる」は、単に言われたものあるいは言葉だけの情報などは、聞いてもすぐに忘れる、2)「見れば覚える」は、言葉だけではなく、言葉に代わるものを示されれば、あるいは見せられれば覚える、3)「やってみれば理解する」は、やってみるにより、聞くおよび見るより多くの情報(刺激)が与えられるので理解しやすくなる、と解釈できる。この諺と例え話の関連は、2)の部分に相当し、例え話に限らず、自分に関係すること、すなわち自分が興味のあることや自分にとって大切なことは、何の苦勞もなく記憶できる⁶³⁾。また、何かを思い出すとき、どのようにして覚えたかを振り返ることで思い出すこともあるといわれる⁶⁷⁾。

上記の諺が示唆していることは、筆者を含めて多くの人が実感しているといえる。また、上述の諺の意味と類似する諺として「百聞は一見如かず」というのがある。この場合の一見の中には、「やってみる」という意味も含まれていると考えられる。つまり、この諺は、上述の諺と表現は異なるが、同じことを示唆しているといえる。

ところで、文献 68 に「学んだことがどれだけ記憶にとどめられる」を明らかにした調査結果が掲載されていた。それによると、「聞いたとき：10%」、「見たとき：15%」、「聞いて見たとき：20%」、「話あったとき：40%」、「体験したとき：80%」、「教えた時：90%」となっていた。この結果の信頼度は不明ながら、「体験したとき：80%」や「教えた時：90%」が高い割合を持ったことは、上述した諺が示唆することを裏付けるといえる。

最近、理科における「活用」が求められており⁶⁹⁾、知識は、思考や表現の道具であり、その知識を使って新しい知識をつくりだすことが「活用」であるという指摘がある⁷⁰⁾。本稿で述べたことは、理科教育そのものに関することではないが、「活用」に関する理解に基づいたものであるといえる。

理科における「活用」について、興味深い報告がある。それは、文献 71 である。この文献では、物理学の概念について熟考した際の脳をスキャンした結果とそれへの議論が報告されている。実験は、9 人の学生が被験者になって行われている。実験した結果、日常的に使われている脳領域が科学の学習に転用されているということが明らかになった。

人間の情報処理が脳を通して行われていることを踏まえれば、当然である。脳から見れば、入力される情報が、日常的であろうが、学問的であろうが情報には変わらないので、類似する情報であると脳が判断すれば、同じ領域で処理されるのは容易に想像できる。文献 71 は、そのことを実証したものととして価値があるといえる。この話と上記の話との接点は、類推解釈である。似ているということがポイントになる。

未体験の状況に遭遇した場合、脳は、記憶の中から類似したものを探索し、その経験を活用して対応するといわれている。したがって、脳は、アルゴリズムを求めたかと言われている。経験が重要視されるのは、このためであると考えられる。この場合の経験とは、単なる経験ではなく、求めたいという欲求が伴った経験を意味している。

上記した忘却曲線と時定数の関連付けについても、何とかして関連付けできないだろうかという強い欲求があったからこそ、実現できたのである。

本稿で述べた関連付けや文献 80 における関連付けも、強い欲求が伴ってこそ実現できるといえる。この欲求の存在は、すべての学習行為について共通するものである。昨今、この欲求が弱い状態で学習している人が多くなったように思えるのは、筆者だけだろうか。学習行為は、そもそも能動的で強い欲求が伴うものであると考えている。しかし、能動的で

強い欲求を持っているかどうかは、他者には分かることではなく、当事者にしか分からないことである。

2.4.3 結言

理科の学習における知識の内面化に関する理解を深める一つの方法として、消化過程との類推を試みた。その結果、理解を促進できると考えられる説明が得られた。また、エビングハウスの忘却曲線と RC 回路における放電曲線との類似性に着目し、知識のチャンク化を図った。その結果、時定数の CR の文字を集中と繰り返すという言葉の頭文字に当てはめることを通して、チャンク化ができた。

3. おわりに

以上、筆者はこれまでに思考してきた科学教育に関する題材の一部を紹介した。この種の議論には正解はない。したがって、本稿で結論めいたことを述べたが、実は、引き続き思考を続けている。つまり、その後も知識・理解の再構築を続けているので、当然、考え方、解釈の仕方、結論なども変わる。したがって、本稿が出版される頃には、異なった考え方、解釈の仕方、結論を持っている可能性がある。最終的な結論は、いつになるかは不明である。

一般的に、客観的な視点からの議論が要求されるが、執筆者が人間である限り、その人の思い・気持ちに支配されたものになるといえる。本稿も筆者の思い・気持ちが影響したものであるので、その部分を理解していただければ幸いである。

参考文献

- 1) 岡部恒治他：分数ができない大学生,(東洋経済新報社,1999).
- 2) 刈谷剛彦,志水広吉:学校臨床社会学, p.157 (放送大学教育振興会, 2003) .
- 3) 佐藤学:「学び」から逃走する子どもたち,(岩波ブックレット,2000).
- 4) 財団法人 日本学術協力財団:今,なぜ,若者の理科離れ,(2005).
- 5) 清原洋一他:理科の教育,58(681), pp.5-45(2009).
- 6) 清原洋一他:理科の教育,58(687), pp.4-50(2009).
- 7) 兵藤他:科学,80(5),pp.489-543(2010).
- 8) 磯崎哲夫他:初等理科教育,45 (4) , pp.3-29 (2011).
- 9) 福田誠治:格差をなくせば子どもの学力は伸びる. p.32 (巫紀書房,2009).
- 10) 小田垣孝:科学者の責任,科学,82 (5) , pp.557-562 (2012).
- 11) 坂本賢三:「分ける」こと「わかる」こと, pp.188-205

- (講談社学術文庫, 2006).
- 12) 寺崎正人：理科の教育, 59(693), pp.13-16(2010).
 - 13) 森本他：理科の教育, 59(693), pp.5-39(2010).
 - 14) 市川英貴：理科の教育, 59(693), pp.44-47(2010).
 - 15) 兵頭俊夫：科学, 80(5), pp.502-509(2010).
 - 16) 森本信也：理科の教育, 64(760), pp.5-8(2015).
 - 17) 寺本貴啓：理科の教育, 64(760), pp.9-12(2015).
 - 18) 村田隆紀：物理教育, 64(1), pp.1-2 (2016) .
 - 19) 西田俊章：理科の教育, 64(760), pp.13-15(2015).
 - 20) 山崎清男：教育をまなぶ, pp.1-13 (川島書店, 2007).
 - 21) 川又政征, 原田正親：電子情報通信学会誌, 86(11), pp.845-849 (2003).
 - 22) 滝川洋二：応用物理, 65(3), pp.296-299 (1996).
 - 23) 黒川清ほか著：今, なぜ, 若者の理科離れ, (財団法人 日本学術協力財団, 2005).
 - 24) 西川純：なぜ理科は難しいといわれるのか?, (東洋館出版社, 2004)
 - 25) 村元直人：日経サイエンス, 6, pp.116-118 (1998).
 - 26) 有馬朗人：日経サイエンス, 8, p.3 (2006).
 - 28) 石井芳典：物理教育, 54(2), pp.146-149 (2006).
 - 28) 佐藤勝昭：新電気, 7, p.36 (2006).
 - 29) 和田恭雄：現代化学, 420, p.62 (2006).
 - 30) 黒川清ほか著：前掲書, pp.220-229.
 - 31) 葛生伸：応用物理教育, 38 (2), pp.115-120 (2014).
 - 32) 長沼祥太郎：科学教育研究, 39 (2), pp.114-123 (2015).
 - 33) 筆者は、この文章が PHP 出版の単行本のしおりに記述してあったのを偶然目にした。その後、インターネットで検索した結果、松下幸之助の名言集第4集に掲載されていることを知った (<http://earth-words.org/archives/1229>) .
 - 34) 塚野州一, 牧野美和子：自己調整学習の指導, p.11, (北大路書房, 2010).
 - 35) 福田誠治：格差をなくせば子どもの学力は伸びる, p.3 (亜紀書房, 2009).
 - 36) 井口潔：ヒトの教育, pp.132-151 (小学館, 2006).
 - 37) 西林克彦：間違いだらけの学習論, p.152 (新曜社, 2012).
 - 38) 佐藤学：教育の方法, p.49 (左右社, 2011).
 - 39) 斉藤孝：人はなぜ学ばなければならないのか, p.29 (実業 - 日本社, 2011).
 - 40) 安彦忠彦：「教育」の常識・非常識 - 公教育と私教育をめぐって -, p.97 (学文社, 2010).
 - 41) 稲垣佳世子, 鈴木宏昭, 亀田達也：認知過程研究 - 知識の獲得とその利用 -, pp.157-160 (放送大学教育振興会, 2003).
 - 42) C.カミイ, 加藤泰彦：ピアジェの構成論と幼児教育I, pp.2-11 (大学教育出版, 2008).
 - 43) 藤沢晃治：「分かりやすい教え方」の技術, 第2章, pp.35-52 (講談社, 2009).
 - 44) 高橋靖直：ベストプロフェッサー, 第2章, pp.31-56 (玉川大学出版部, 2011).
 - 45) 坂本賢三：「分かる」こと「わかる」こと, pp.51-89 (講談社学術文庫, 2006).
 - 46) 橋本治：「わからない」という方法, pp.69-132 (集英社新書, 2006).
 - 47) 山鳥重：「わかる」とはどういうこと, 第3章, pp.59-97 (講談社学術文庫, 2006).
 - 48) 西林克彦：「わかる」のしくみ 「わかったつもり」からの脱出, pp.1-36 (新曜社, 2008).
 - 49) 湯澤正通：認知心理学から理科学習への提言, pp.1-40 (北大路書房, 2004).
 - 50) 稲垣佳世子, 鈴木宏昭, 亀田達也：認知過程研究 - 知識の獲得とその利用 -, pp.30-43 (放送大学教育振興会, 2003).
 - 51) 新井郁男：教育経営論, pp.260-262 (放送大学教育振興会, 2004).
 - 52) 櫻井勇良：物理教育, 61(2), pp.76-77 (2013).
 - 53) 鈴木誠：学ぶ意欲の処方箋 やる気を引き出し18の視点, pp.9-22 (東洋館出版社, 2002).
 - 54) 米山公啓：忘れる脳覚える脳, pp.40-45, (青春文庫, 1998) .
 - 55) 鈴木誠：学ぶ意欲の処方箋, p.93, (東洋館出版社, 2002) .
 - 56) 西川泰夫：認知行動科学, p.257, (放送大学振興会, 2004) .
 - 57) 辰野千壽：学び方の科学, pp.188-193, (図書文化, 2006) .
 - 58) 稲垣佳世子, 鈴木宏昭, 亀田達也：前掲書, p.47.
 - 59) 辰野千壽：前掲書, p.182.
 - 60) 米山公啓：前掲書, p.153.
 - 61) 中原英臣：脳の力なるほど事典, p.108, (実業日本社, 2002) .
 - 62) 佐伯胖：「学び」の認知科学辞典, p.301, (大修館書店, 2011) .
 - 63) 米山公啓：前掲書, pp.92-93.
 - 64) 清水寛之 (2009) 『メタ記憶』北大路書房, 142 .
 - 65) 辰野千壽：前掲書, p.187.
 - 66) 湯澤正通：前掲書, p.98.
 - 67) 米山公啓：前掲書, p.50.
 - 68) 岩瀬直樹：食農教育, 2010年3月号(No.73), p.113.
 - 69) 志水誠：理科の教育, 59 (691), p14 (2010).
 - 70) 小牧啓介：理科の教育, 59 (691), p22 (2010).
 - 71) Robert A. Mason, Marcel Adam Just : Psychological Science 27(6), pp.904-913 (2016).