

新たに生じた疑問を支援するための教授方略の有効性に関する研究

—小学生のための科学工作「永久ゴマ」の実践を事例として—

山岡武邦* 山田哲也**

1. はじめに

子ども達は好奇心を抱き、ものごとの意味を探るため、様々な自然現象に対し「何故。」「どうやって。」等、多くの疑問を述べる。Harlan & Rivkin (1976) は、適切な刺激や援助があると、子ども達の知りたいという内的な欲求は強まると述べている。ただ、稲場 (1998) が指摘するように、子どもが「何故。」を3回以上繰り返すと、専門家でも頭を抱えるケースが多くなるのも事実である。例えば、「シャボン玉がきれいなのは何故。」という子どもに対して「赤とか、緑とか、いろいろな色が見えるね。」と答えたとする。さらに、その子どもが「いろいろな色が見えるのは何故。」と2回目の疑問を述べたとすると、光の干渉や色の混合、減色法に関する内容をよぎり「光が強めあったり、弱めあったりしているから。」と答えたとする。「クジャクの羽根が虹色に見えるのも同じ原理だね。」と日常で見られる現象をつけ足しながら説明するのも良いと考えられる。ただ、納得のいかない子どもは、さらに「光が強めあったり、弱めあったりするのでは何故。」というように「何故。」を繰り返した場合、その回答には、既に高校物理以上の科学的理解が必要となる。このように、最初は素朴な疑問であったとしても「何故。」の繰り返しで、科学の本質に迫る可能性があると考えられる。ただ、子ども達の疑問を手放して推奨するのではなく、森本 (1999) が述べるように、今の学びの状況を把握させ、先に進むべく動機付けである「子どもの追究」あるいは「問い」を核とした知識の広がりを考えていく必要がある。つまり、新たに生じた子ども達の疑問を支援するためには、教師による何らかの教授方略が必要であると考えられる。

一方、欧米で実績があるSTEM “Science, Technology, Engineering and Mathematics” 教育における理論的支柱であるK-12科学教育スタンダード (NRC, 2012) によれば、発問は科学的思考を促進させるものであると述べられている。実際に、日本においても、STEM教育を手掛かりに、認知的葛藤を生起させ、高次思考を促進させる等の教授方略を活用しながら、子どもの興味・関心を惹きつけるSTEM領域の授業が数多く提案されている (例えば、白濱ら, 2016)。探究活動の中で議論を深めながら、子ども達自身が新たな疑問を生じ、次の学習へとつなげる実践である深い学びは大変意義深いものであると考えられる。本研究では、コマが回り続けるという日常とは異なる現象により、認知的葛藤を生起させる教材「永久ゴマ」を事例とした実践を試みることにした。

2. 研究目的

本研究は、子どもの学びを探るアンケート調査用紙を作成したうえで、小学生を対象に永久ゴマの科学工作に関する実践を行うものである。その実践の中で生じた、小学生の新たな疑問を支援するための教授方略の有効性について検討することを目的とした。

* 東海学園大学教育学部 准教授 ** 湊川短期大学人間生活学科 教授

3. 研究方法

本研究では、科学実験や科学工作を一同に集め、来場者に楽しんでもらう科学イベントである青少年のための科学の祭典（以下、「科学の祭典」という。）において、科学工作の実践を試み、新たな疑問を支援する教授方略の有効性について評価することにした。

(1) 時期及び調査対象

2019年10月26日（土）から同月27日（日）にかけて、愛媛県松山市総合コミュニティセンターで開催された青少年のための科学の祭典で、小学生40名を対象に「永久ゴマ」の製作を行うものとした。

(2) 科学の祭典及び実践形態「ワークショップ」

科学の祭典は、1992年より公益財団法人日本科学技術振興財団における科学技術館が主軸となって実施している科学イベントである。大会運営等の詳細は、科学の祭典事務局が運営するホームページに記載されている（公益財団法人日本科学技術振興財団法人財育成部，2010）。参加者は、未就学児から大学生まで幅広く見られるが、主に小学生の層が厚いのが一般的である。実際、大会当日に、参加者全員に配布される実験解説集は、小学低学年を意識して構成されている（例えば、青少年のための科学の祭典松山大会実行委員会，2019）。

科学の祭典は、東京都では科学技術館で全国大会が、東京都以外の全国各地では地方大会が実施されている。本研究では、愛媛県で開催された松山大会において実践を行うものとした。また、実験演示形式には「ブース」「ステージ」「ワークショップ」等が挙げられるが、本研究では「ワークショップ」型で、小学生を対象とした科学工作を60分かけて実施するものとした。

(3) 永久ゴマの製作

科学工作にあたっては、小学低学年を対象にした科学工作を想定したため、ハンダ付けは困難であると判断し、著者らが、あらかじめハンダ付けしたものを用意することにした。科学の祭典は、限られた予算の中で実施されるものなので、可能な限り安価に作成するという条件を考慮しなければならない。こうした条件を踏まえた上で、安価に製作可能な教材を開発することにした。なお、「永久ゴマ」は、有名な科学おもちゃの一つであり、市販品は1000円程度である^{注1)}。自作すれば200円以内で製作することが可能である^{注2)}。

(4) アンケート調査用紙の作成及び実施

科学工作を行う前後で、小学生40名のうち保護者の許可が得られた小学生36名を対象に自由記述式のアンケート調査を実施した。小学生対象であることと、科学の祭典当日の僅かな時間を活用することから、短時間で回答可能な質問を用意することにした。

(5) テキストマイニングによるアンケート分析

自由記述式のアンケート調査の分析は、テキストマイニングで行うことにした。具体的には、アンケート調査の結果に見られる記述内容の傾向を考察するために、自由記述が行われた箇所は全てテキスト形式で入力し、データベースを作成した。その上で、テキストマイニングの手法を用いて、教授方略の有効性を評価することにした。本研究では、樋口（2001-2019）が開発した計量テキスト分析システムKH Coder Ver.3.Alpha.16j（以下、「KH Coder」という。）の共起ネットワークを用いることにした（樋口，2014）。

4. 結果と考察

(1) 自作教材「永久ゴマ」

一般的なモーターは、電気が電磁石の働きをして、磁石が引きついたり、反発したりする性質を使っている。これと同じ原理で、半分がN極、半分がS極の2極磁石のコマを動かしたものが「永久ゴマ」である。永久に回りつづけるように見えるが、実際は電池がなくなるまで回りつづけることになる。図1のように、電磁石の回路にはコマの位置でスイッチが開閉するリードスイッチを入れている。

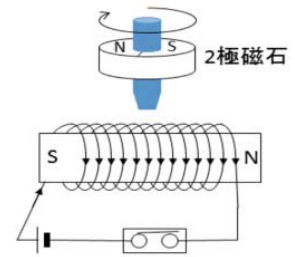


図1 永久ゴマの原理

(2) アンケート調査用紙の作成

新たに生じた疑問を支援するため、子どもの学びにおける足場づくり“Scaffolding”の観点でアンケート調査用紙を作成することにした。足場づくりとは、Vygotsky (1935) による発達の最近接領域“ZPD”という概念に基づき、Bruner (1975) が提唱した理論である。Blackburn (2014) によれば、足場づくりの理論に基づき、子ども達の既有的知識を特定化するための最も一般的な教授方略は、Ogle (1986) が開発したK-W-L “Know, Want to Know, Learned” チャートである。この教授方略は、3つの段階に分けられる。最初のK “Know” は、授業前に該当のトピックについてまとめたり、議論したりする段階である。次のW “Want to Know” は、最初のKの段階でまとめた内容に基づき、知りたいことや興味あることに関する一連の疑問をまとめる段階である。最後のL “Learned” は、学習済みの知識を用いて、Wの段階でまとめた疑問に答えたり、学んだ新しい情報をまとめたりする段階である。このK-W-L “Know, Want to Know, Learned” チャートを実際の授業で活用する場面を想定すれば、図2に示すようなワークシートを活用し、授業前、授業中、授業後における各文脈を考慮しながら、活用していくのが一般的であると考えられる。

知っていることは何ですか	知りたいことは何ですか	学んだことは何ですか

図2 K-W-L “Know, Want to Know, Learned” チャート

図2のように、現状分析と今後の方針を確認する観点で開発された教育支援ツールには、K-W-Lチャートの他にも、K-W-H-Lチャート、LINKストラテジー等、様々なものがある。本研究では、K-W-LチャートとKQS×3という教育支援ツールを参考にしてアンケートを作成することにした。なお、KQS×3とは、Walsh & Sattes (2011) によると、既存の知識K “Know” で工夫したい点を確認させ、新たな疑問Q “Question” が生じたかどうかについて尋ね、最後に、新たな疑問を解決するための見通しS “Strategy” があるかどうかについて尋ねる、という内容で構成されるものである。

実際に作成したアンケート調査用紙は、図3のとおりである。実験前は、K “Know” の段階として該当のトピックについて知っていることをまとめる質問とした。また、実験後は、L “Learned” の段階として該当のトピックについて学んだことをまとめる質問とした。さらに、製作過程で、新たな疑問が生じたかどうかについて尋ねるQ “Question” の段階、最後に、生じた疑問を解決するための見通しについて尋ねるS “Strategy” の段階という3段階の構成とした。

(3) アンケート調査の分析結果

永久ゴマを製作する前に、図3に示したアンケート調査Q1及びQ2を実施した。科学工作の参加者は小学生40名であったが、その中の36名が保護者同伴のうへ参加していた。36名の保護者にアンケートの協力をお願いし、許可を得てから実施した。なお、保護者同伴ではない小学生についても、アンケート調査に回答してもらったが、保護者の許可を得られていないという理由から、今回の分析対象から外すことにした。

本研究では、小学1から6年生までの児童を、低学年（小学1から3年生）、及び高学年（小学4から6年生）に二分することにした。アンケート調査Q1の結果は、調査対象である小学生36名の内訳は、低学年25名（男子16名、女子9名）、高学年11名（男子7名、女子4名）となった。次に、アンケート調査Q2の結果については、表1のようにまとめることができた。なお、表中の数字は回答者数を表している。

ひとことアンケート

実験をする前

Q1【学年・性別を教えてください。】
 { 学年 小・中・高 _____年 }
 { 性別 男・女 }

Q2【回りつづけるコマについて知っていることはありますか?】
 { _____ }

実験をした後

Q3【回りつづけるコマについて学んだことはありますか?】
 { _____ }

Q4【回りつづけるコマについて疑問に思ったことはありますか?】
 { _____ }

Q5【その疑問はどのようにして解くことができますか?】
 { _____ }

ご協力ありがとうございました。

図3 作成したアンケート調査用紙

表1 アンケート調査Q2の結果—実験前の段階で知っていること—

	知っている	知らない	回答例
低学年 (N=25)	1	24	・磁石で回ること (小1男子)
高学年 (N=11)	3	8	・10分くらい回るコマだと知っている (小4女子) ・テレビで見たことがある (小5男子、小5女子)

表1より、学年別の認知回答者数の割合には、有意な差が認められた ($\chi^2 = 4.19, df = 1, p < .05$)。実験前の段階では、高学年の方が永久ゴマのことを知っているという結果となった。ただ、高学年の回答例から判断すると、テレビで見たことがある、というような内容にとどまっていることから、実際に永久ゴマを使って詳しく学んだり、遊んだりした経験は無いと考えられる。

アンケート調査Q1及びQ2を回答し終えた段階で、実際に永久ゴマの製作に取り掛かった。図4は、全体に向けて製作過程の説明をしている様子である。その後、個別に質問がある場合は、図5のように、個別で対応するようにしたため、参加者全員が完成させることができた。



図4 全体に向けて説明している様子



図5 個別に対応している様子

永久ゴマを製作した後、図3に示したアンケート調査Q3からQ5を実施した。アンケート調査Q3は、学習した内容を記述するものである。そのため、一見すると子ども達の記述内容は、共通した内容が多くみられた。ただ、それらの記述内容には、例えば「面白かった」「難しかった」など感想だけ記述したものや「磁石の力で回っていることが分かった」「電池で回ってすごいと思った」のように、磁石または電池など、1つの部品に着目した記述がみられるものや「電気や磁石の仕組みで回りつづけることが分かりました」「磁石とリードスイッチの関係がわかった」などの2つ以上の部品に着目した記述がみられるものがあった。そこで、表2に示す基準を設けて分析を進めることにした。アンケート調査Q3は、表2の分類方法に基づき、表3のようにまとめた。

表2 記述内容の分類方法

分類A	2つ以上の部品に着目して記述しているもの
分類B	1つの部品に着目して記述しているもの
分類C	使用した部品には触れておらず、ただ感想のみ記述しているもの

表3 アンケート調査Q3の結果—製作を通じて学んだこと—

	分類A	分類B	分類C
低学年 (N=25)	2	11	12
高学年 (N=11)	4	6	1

表3より、学年別と分類ごとの回答者数の割合には、有意な差が認められた ($\chi^2 = 7.07$, $df = 2$, $p < .05$)。残差分析の結果、低学年における分類Aが有意に少ないこと、高学年における分類Aが有意に多く、分類Cが有意に少ないことが明らかとなった。

なお、アンケート調査Q4、Q5については、次節のテキストマイニングで分析を進めることにした。

(4) テキストマイニング

KH Coderは、テキスト全体をこれ以上分割できない語に分割したうえで、出現頻度の多い語を抽出するソフトウェアである。抽出された語は円で描かれ、出現パターンが似通った円と円を線で結んだものが共起ネットワークである。なお、円は、出現数の頻度によって大きさが異なるとともに、出現パターンが似通う度合いが強ければ、太い線で描写される仕組みになっている。アンケート調査Q4は、疑問に思ったことを記述する内容であり、質問に対する自由記述式の回答の中で、使用された語の出現パターンが多いものを中心に抽出し、表4のようにまとめた。なお、表中の数字は、出現回数を表す。

表4 アンケート調査Q4における出現パターンの多い語の抽出結果 (一部)

抽出語		低学年 (N=25)	高学年 (N=11)
回る	動詞	11	6
極	名詞	4	0
コマ	名詞	3	5
思う	動詞	3	1

表4より、小学低学年、高学年ともに「回る」という語が多いことが明らかとなった。「なぜ、コマは回りつづけるのかな (小2女子)。「回っているコマは、なんで、N極とS極でくっつかないのかな (小3男子)。「コマはどのような力を使って、ずっと回りつづけているのか疑問に思いました (小5男子)。」

のようにどの学年においても、回りつづける現象そのものを疑問に感じた様子であり、その結果「回る」という語が多くみられたと考えられる。ただ、高学年は、コマが回りつづける現象そのものに加え、「コマの数を増やしても回りつづけるのか (小4女子)。」「コイルとコマの磁力を上げたら、どうなるだろうか (小5男子)。」のように、回ることに對する疑問について、条件を変えて解決できるかどうかを検討しようとする記述もみられた。この抽出語をもとにして共起の程度が強い語を線で結ぶことで描かれる共起ネットワークは、図6のようにまとめることができた。

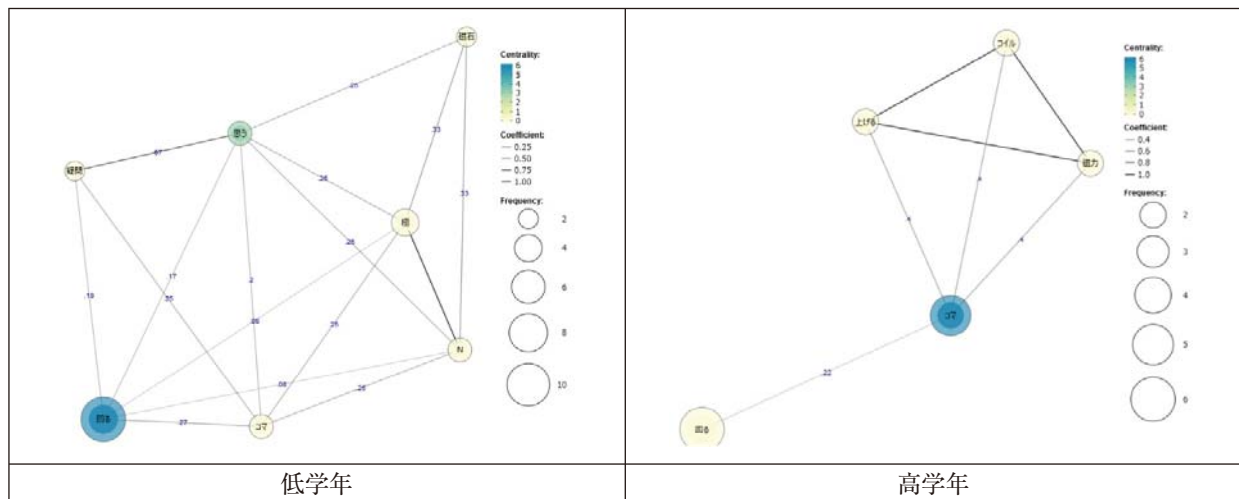


図6 アンケート調査Q4における共起ネットワーク

図6は、高学年よりも低学年の方がより複雑なネットワークができている点が特徴的である。ただ、抽出語を見てみると、低学年では「疑問に思った」等の文章で「疑問」「思う」という抽出語に強い関連性が認められた。一方、高学年では、共起ネットワークの図自体は、低学年よりも単純な構造となっていたが、科学用語を用いた抽出語に強い関連性が認められた。例えば、「コイルとコマの磁力」「磁力を上げたら」等の文章で「コイル」「コマ」「磁力」「上げる」という抽出語に強い関連性が認められた。つまり、高学年の方が疑問に感じた点を、「コマ」「磁力」のような語をキーワードとして記述していこうとする傾向がみられたことがわかった。アンケート調査Q5は、疑問を解決するための方法を記述する内容である。アンケート調査Q4と同様の方法で、分析を行い、表5のようにまとめた。なお、表中の数字は、出現回数を表す。

表5 アンケート調査Q5における出現パターンの多い語の抽出結果 (一部)

抽出語		低学年 (N=25)	高学年 (N=11)
調べる	動詞	6	1
磁石	名詞	4	3
電気	名詞	3	1
もう一度	副詞	3	0
タイマー	名詞	1	0
インターネット	名詞	1	0
コマ	名詞	0	7
試す	動詞	0	5
増やす	動詞	0	4
いろいろ	形容動詞	0	3
磁力	名詞	0	2
コイル	名詞	0	2

表5より、低学年は「もう一度調べる」「インターネットで調べる」というような記述に含まれる語がみられた。これは、疑問が生じたのでもう一度調べてみよう、という文脈で記述されていたことが特徴的である。その結果「調べる」「もう一度」等の抽出語が多くみられた。一方、高学年は「コイルの巻き数を増やしてコマの回り方を試す」「磁力を強くしてコマの回り方を試す」というような具体的に調べる方法を記述する傾向がみられた。この抽出語をもとにして描かれた共起ネットワークは、図7のようにまとめることができた。

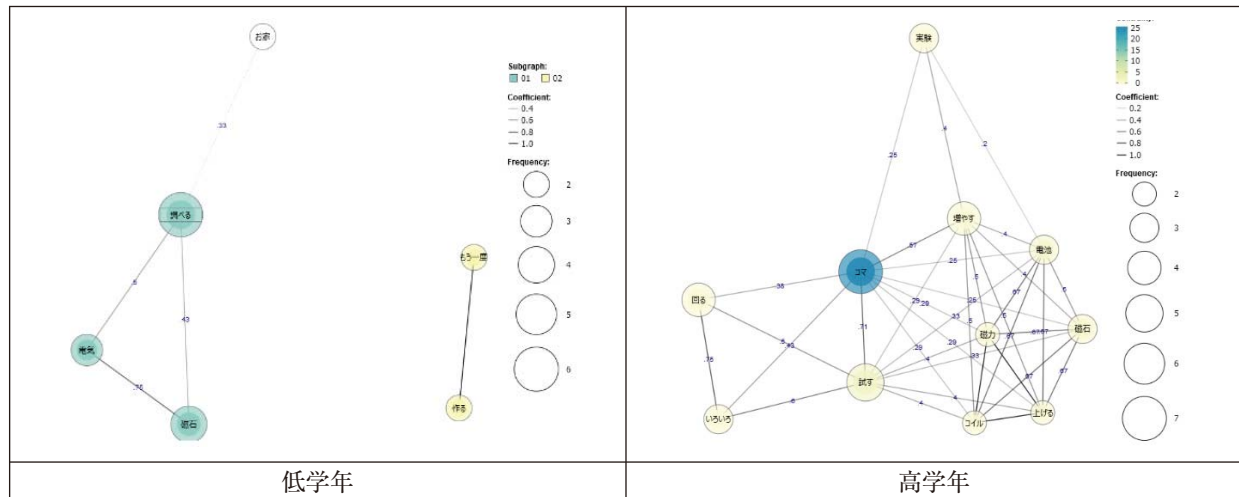


図7 アンケート調査Q5における共起ネットワーク

図7から、低学年よりも、高学年の方が、多くの具体例を記述できていることが分かる。そのため、今回用いた教授方略は、低学年よりも高学年でより有効であることが分かった。ただ、低学年は「もう一度調べる」「インターネットで調べる」というような記述が多くみられたことから、あともう一つの足場づくりが必要であることが推察される。例えば、実際の授業場面で、「もう一度調べる」「インターネットで調べる」といったような意見が子ども達から出された際に、教師は「興味を持った点はどこだったのか」「もう一度調べる際には、何に注目して調べると良いのか」といったような、より具体化させながら、試行錯誤を重ねられる発問をしていく工夫が必要であると考えられる。

5. まとめ

探究活動の中で、学習者自身が新たな疑問を次の学習へとつなげる実践は、大変意義深い。本研究は、子どもの学びにおける足場づくりの観点で作成したアンケート調査用紙を活用して、小学生を対象に実践を行う中で生じた新たな疑問を支援するための教授方略について検討することを目的としたものである。そのために、青少年のための科学の祭典で、小学生を対象に「永久ゴマ」を製作させる中で、K-W-LチャートとKQS×3を参考にして新たに生じた疑問を支援する教授方略の有効性について評価することにした。具体的には、保護者の許可が得られた小学生36名（低学年25名、高学年11名）を対象に、自由記述式のアンケート調査を実施し、テキストマイニングを利用した分析を行った。その結果、低学年は疑問が生じたのでもう一度調べてみるという文脈で記述されることが特徴的であり、高学年は具体的に調べる方法を記述していた点が特徴的であった。この結果から、今回用いた教授方略は、低学年よりも高学年でより有効であることが分かった。ただ、低学年は「もう一度調べる」「インターネットで調べる」というような記述が多くみられたことから、実際の授業場面で、そうした意見が子ども達から出された際に、教師は「もう一度調べる際には、どこに注目して調べると良いのか」といったように、より具体化させながら

ら、さらに深める発問をしていく工夫が必要である。このような工夫で、より具体的に学びを深めていくことで、子ども達に対して根拠のある試行錯誤を促したり、新たな疑問を支援したりしていくことが可能になると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 18K02602 の助成を受けたものである。

註

- 1) 例えば、ネット通販サイト「Amazon.co.jp」で、「永久ゴマ」を検索すると、市販品の値段は、1,099円から1,339円であった。<https://www.amazon.co.jp/>（閲覧日2019年11月11日）。
- 2) 自作する際に必要なリードスイッチ、LED、電池ボックス等の部品は、株式会社 秋月電子通商のオンラインショップで購入した。<http://akizukidenshi.com/catalog/>（閲覧日2019年11月11日）。

引用文献

- Blackburn, B. (2014), *Rigor in Your Classroom: A Toolkit for Teachers*, Routledge, 10-101.
- Bruner, J. (1975), "The ontogenesis of speech acts", *Journal of Child Language*, Vol.2, 1-19.
- Harlan, J., Rivkin, M (1976/2007) (著), 深田昭三, 隅田学 (訳), 「8歳までに経験しておきたい科学」, 北大路書房, 3-10.
- 樋口耕一 (2014), 社会調査のための計量テキスト分析 内容分析の継承と発展を目指して, ナカニシヤ出版, 1-16.
- 稲場秀明著 (1998), 氷はなぜ水に浮かぶのか—科学の眼で見る日常の疑問—, 丸善株式会社, i - ii .
- 森本信也 (1999), 子どもの学びにそくした理科授業のデザイン, 東洋館出版社, 63-70.
- National Research Council of the National Academies. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press, 41-82.
- Ogle, D. (1986). K-W-L: A teaching model that develops active reading of expository text. *Reading Teacher*, 39 (6), 564-570.
- 白濱弘幸, 細田宏樹, 岳野公人, 山岡武邦 (2016), 『「K-12科学教育のためのフレームワーク」に基づいた結晶構造モデルに関する授業実践』電気学会論文誌A (基礎・教材・共通部門誌) Vol.136 (10), 641-648.
- 公益財団法人日本科学技術振興財団 人財育成部 (2010), 『「青少年のための科学の祭典」のオフィシャルサイト』, <http://www.kagakunosaiten.jp/site.php> (閲覧日2019年11月11日).
- 青少年のための科学の祭典松山大会実行委員会 (2019), 第25回松山大会実験解説集, 一宝堂印刷株式会社, 1-59.
- Vygotsky, L. (1935/2003) (著), 土井捷三, 神谷栄司 (訳), 『「発達の最近接領域」の理論—教授・学習過程における子どもの発達』, 三学出版, 21-22.