

ものづくり活動を取り入れた理科教材の開発に関する研究 —実践的指導力の育成をめざした教員養成の試み—

Development of Science Teaching Materials Incorporating Manufacturing Activities :
Teacher Training Aiming to Cultivate Practical Learning Instruction Abilities

藤田剛志・日向彩子
FUJITA Takeshi, HINATA Ayako

要旨 科学的体験としてのものづくりを取り入れた理科の学習指導が重視されている。しかし、自信を持って理科のものづくり活動を指導することのできる小学校教員は少ない。本研究では、理科のものづくり教材の開発、実践、そして評価の過程を、教員をめざす大学生に体験させ、ものづくり指導力の育成を試みた。理科のものづくり教材としては、重心の安定性が崩れることによって自力で歩くことのできる「てくてこモアイ」を開発した。開発に当たり、大学生の物体の重心と安定性に関する理解度を調査したところ、大学生でも十分に理解できていないことが明らかになった。開発したものづくり教材による理科授業を実践し、「てくてこモアイ」の評価を行ったところ、ものづくりの達成感や創意工夫の面白さを味わうことができる、楽しい教材であると評価された。また、ものづくりの意義についても体感することができる教材であることが明らかになった。

1 背景と目的

中央教育審議会は、平成20年1月の答申において、教育課程改訂の基本的な考え方を示すとともに、各教科の主な改善事項を明らかにした。小学校理科の改善の具体的事項としては6項目が挙げられた。そのうちの 하나가、「生活科との関連を考慮し、ものづくりなどの科学的な体験や身近な自然を対象とした自然体験の充実を図る」¹⁾、であった。この答申を受け、平成20年に改訂された小学校学習指導要領の理科の各学年の「A物質・エネルギー」に関する目標に、「ものづくり」が位置づけられるとともに、内容の取扱いにおいて、「○種類以上のものづくりを行うものとする」、と明記された。たとえば、第3学年の目標では、「物の重さ、風やゴムの力並びに光、磁石及び電気を働かせたときの現象を比較しながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して、それらの性質や働きについての見方や考え方を養う(下線、引用者)²⁾、とある。内容の取扱いでは、「内容の『A物質・エネルギー』の指導に当たっては、3種類以上のものづくりを行うものとする」³⁾、と記載されている。

ところで、小学校理科において、ものづくりの言葉が用いられるようになったのは、平成20年度の学習指導要領が初めてではない。平成10年度の小学校学習指導要領において、すでに、各学年の目標にものづくりが登場し、内容の取扱いにおいても、「内容の『B物質とエネルギー』の指導に当たっては、3種類程度のものづくりを行うものとする」⁴⁾、と明記されていた。ただし、平成20年度版では、内容の取扱いにおける記述が、上のように、「○種類以上」に変わった。このことから、小学校理科において、科学的体験としてのものづくり活動がより一層重視されるようになった、と指摘されている⁵⁾。

科学的体験としてのものづくりの重視性が指摘されるにつれて、小学校理科にもものづくりを取り入れることが、子どもたちの学習にどのような影響を及ぼすかを明らかにするための実践的研究が数多く行われた。たとえば、松永らは⁶⁾、受動歩行模型づくりと形状記憶合金エンジンづくりの2つの授業を実践した。ものづくり活動が科学に対する児童の興味・関心を喚起し、理科の学習意欲を高めることにつながるということが明らかにされた。井口らは⁷⁾、ものづくりを取り入れた理科授業が実感を伴った理解を促すことを確かめるために、小学校4年生の「電気のはたらき」でメリーゴランドづくりやミニ扇風機づくりなどを取り入れた授業を行った。その結果、ものづくり活動が科学に対する興味・関心を喚起し、理科の学習意欲を高めるだけでなく、知識の定着にも効果があることを明らかにした。一方、東京都教職員研修センターが、小・中学校におけるものづくり教育の在り方を探るために実施した教員の意識調査によれば、ものづくり教育のねらいとして、「ものづくりの楽しさや達成感を味わわせること」が重視され、「教科等のねらいや内容との関連は、あまり意識していない」ことが示唆された⁸⁾。

ところで、これらの先行研究には教員養成の観点から行われた研究は見られなかった。科学技術振興機構理科教育支援センターが小学校教員免許を取得見込みで、小学校での教職を希望している学生を対象とした調査においても、「科学技術のすばらしさを実感したことがありますか」「科学ボランティアの経験がありますか」の経験を問う質問項目は見られたが⁹⁾、ものづくりに関する調査項目は含まれていなかった。学級担任として理科を教える教員の約半数が理科の内容の指導に苦手意識を感じていると言われる¹⁰⁾ 今日、ものづくりを取り入れた理科の学習指導を、自信を持って行うことができる教員を養成することは、教員養成に携わる者にとって、避けて通ることのできない課題である。

そこで、本研究では、次の二点を研究目的とした。一つは、理科に対する児童の興味・関心を高め、楽しい理科授業を展開することのできるものづくり教材を開発することである。もう一つは、教員志望の大学生にもものづくりを取り入れた授業づくりを体験させ、ものづくりを指導する能力を育成することである。

この目的を達成するために、本研究では、まず小学校理科におけるものづくりを取り入れる際の留意点について検討した。次に、どのようなものづくり活動を取り入れるかについて、ものづくりを実際に行って考えてみた。そして、物体の重心と安定性に関する科学的な知識や概念の習得をめざすものづくり教材を開発することとした。教材開発にあたり、学習者が重心概念をどのように理解しているかを把握するために実態調査を行った。実態調査の知見等を踏まえ、教員をめざす大学生に歩くモアイ像づくりを実施し、開発したものづくり教材の評価を行った。この一連の過程を大学生に体験させ、ものづくりの実践的指導力を育成することをめざした。

2 ものづくりを取り入れた理科教材の開発

(1) 理科におけるものづくり活動

ものづくり活動を取り入れた理科教材を開発する場合、どのような点に留意すればよいのだろうか。この問題を考えるために、小学校理科にもものづくり活動が取り入れられるきっかけとなった「ものづくり教育・学習に関する懇談会」の見解を見ていくことにしよう。ものづくり教育・学習に関する懇談会は、ものづくり活動の意義について、次のように述

べている。すなわち、「自分で実際に身体を動かし、試行錯誤や様々な工夫、努力や忍耐を通して、十分な時間をかけてものづくりをすることによって、作る喜びや完成の達成感を味わうことができる」¹¹⁾、と。つまり、児童・生徒は、通常の理科授業では得ることができない作る喜びや達成感を、ものづくり活動を通して体験することができる、のである。子どもにとって、ものづくりは楽しい活動である。

鈴木はものづくりの授業実践を小学校で数多く行ってきた¹²⁾。その経験から、子どもたちがものづくりに求めるのは、「ものづくりの面白さや楽しさ」であって、教師が子どもに習得を期待している「ものづくりに関する技能や知識」ではないことに気づいた。そして、「小学校におけるものづくり教育では、何かを学ぶためにつくるのではなく、子どもが本当につくってみたいと思うもの、作ったもので子どもの生活がより豊かになるものを教材化」すべきである、と主張する。具体的には、作って遊ぶことのできる、遊びを取り入れた楽しいものづくりを提案した。

しかし、ものづくりが楽しいだけで終わってしまうことに疑問を呈する者は多い。堀は、「理科という教科では、ものづくりも単なる工作としてではなく、意義のあるものとしなければならない」、と述べている。ものづくり活動が、単なる工作ではなく理科の学習活動として意義ある活動となるためには、「よく動くものをつくるという共通の目的意識をもって学び合う中で、動くメカニズムをはっきりと認識して」いけるようなものづくりが必要であることを指摘している¹³⁾。この指摘は、小学校学習指導要領解説の中の記述に反映されている。風で動くおもちゃやゴムで動くおもちゃを作るものづくり活動では、「風力やゴムの伸びとおもちゃの動く距離とを関連付けて考えるなどの学習が」¹⁴⁾求められている、のである。

ものづくり教育・学習に関する懇談会は、さらにもものづくり活動の意義について次のように述べている。「ものづくりの体験における試行錯誤の繰り返しや解決方法の探求を通じ、各教科や生活の中で学んだ知識や理論を実感を伴って理解することができ、『わかった』という満足感を得られるとともに、これらを通じ、プロセスの大切さや、ものづくりの重要性、技能・技術が果たす役割の理解を促進することができる」¹⁴⁾、と。ものづくりに、児童に実感を伴って知識や理論を理解させることができるという意義がある。だからこそ、「『A物質・エネルギー』の指導に当たっては、実験の結果から得られた性質や働き、規則性などを活用したものづくりを充実させる」¹⁵⁾ことによって、「実感を伴った理解」を図ることがめざされた、のである。

実感を伴った理解とは、「具体的な経験を通して形づくられる理解」であり、実感を伴った理解を図ることによって、児童の「自然に対する興味・関心が高められる」とともに、「知識や技能の確実な習得」につながり、さらには「理科を学ぶ意欲や科学への関心を高めることにつながるもの」¹⁶⁾と期待されている。

(2) 動くモアイ像づくり

どのようなものづくりを理科授業に取り入れるか。夏休みの自由研究や科学工作のための書籍¹⁷⁾には、とても面白そうなものづくりの事例がたくさん紹介されている。そこで、これらのものづくりを実際に行ってみることにした。「バランストンボ」¹⁸⁾は簡単に作ることができた。しかも、予想以上の感動を味わうことができた。うまく作れないものもあった。「シャルルの温度計」¹⁹⁾は、どうしてもホースに空気が入ってしまう。食紅で色づけし

ようとしても、うまく着色しない。どうすればうまくいくか。工夫を重ね、完成させることができれば、その喜びもひとしお、というのは頭では理解できる。しかし、うまく作れないと悲しくなる。これらのものづくり体験を通して実感したことは、作品が完成すると、そのメカニズムなどわからなくても、とても楽しいということであった。これこそが、ものづくりの醍醐味である。理科授業に取り入れるものづくりは、楽しいと感じられるものでなくてはならない。

様々なものづくりを体験する中で、楽しいと感じられたのは、「バランストーン」[クッションシート・グライダー]²⁰⁾「逆立ちゴマ」²¹⁾といった重心を利用したものづくりであった。重心を利用したおもちゃは、面白い動きを見せてくれる。そんな折、YouTubeで「歩くモアイ像」の動画を見た²²⁾。巨大なモアイ像が、重心の位置が変えられることによって、あたかも自分で歩いているかのように動く姿に興味を引かれた。モアイ像は、多くの謎に包まれた石造彫刻である。その愛くるしい表情には、人を引き付ける魅力がある。これならば、子どもたちに楽しいものづくりを体験させることができるのではないか。歩くモアイ像づくりを小学校理科授業に取り入れてみることにした。

モアイ像は、チリ領イースター島にある石造彫刻である。多くの考古学者によって、様々な調査が行われてきたが、未だに解明されていない謎が数多く残っている。その一つが、どうやってモアイ像を運搬したか、である。モアイ像は凝灰岩から造られている。凝灰岩はイースター島の唯一の石切場であるラノララク山から切り出された。ラノララク山からモアイが設置されるアフ（プラットフォーム型祭壇）までは、近くても数km、遠いところでは20km以上の距離がある。比較的平坦なイースター島だが、平均の高さが約4m、質量が12.5トンのモアイ像を運ぶのは大変な作業であったことは間違いない²³⁾。

Terry Hunt と Carl Lipo は、「モアイは一人で歩いた」という古くから島に残る伝説に着目し、モアイ像を運搬する方法について一つの仮説を設定した。それは、モアイ像の頭部に3本のロープを巻きつけ、ロープを交互に引っ張ることでモアイ像を動かしたという仮説であった。モアイ像の底の部分は、なだらかな曲線を描いている。後方のロープでモアイ像を引っ張ると、前傾姿勢を保っていたモアイ像の底面はわずかな部分だけが地面と接するようになる。その状態で、前方右側のロープを引っ張ると左側の底が持ちあがる。すると、底面の右側の一点を中心に、回転するような力が働くため、半歩前へ進み出る。3本のロープをリズムよく引っ張ることで、モアイ像は歩き出す。上述の動画はこの仮説を実証したものであった。

モアイ像の運搬方法に関する仮説を調べている中で、長井徹也の考案した歩くモアイ像に出会った²⁴⁾。これは、図1に示すように、木材でできたモアイ像のレプリカとA字形に組んだ支柱とを組み合わせたものである。このモアイ像の歩く仕組みを簡単に説明すると次のようになる。まず、モアイ像を斜面に置く。そのとき、重心は支点よりも斜面下方にあるため、斜面に沿って倒れるが、モアイ像に取り付けられた支柱が支えとなり、転倒を免れる。このとき、モアイ像本体の底面部分は斜面から離れ、支柱に支点が移る。この状態での重心は、支点よりも斜面の上方に移動している。したがって、モアイ像は進行方向と反対側の斜面後方に傾く。モアイ像の底面が斜面に接する。そこを支点とすると、重心は支点よりも斜面前方に移動する。これは、初めに斜面上にモアイ像を置いたときと同じ状態であり、再びモアイ像は斜面前方に倒れる。こうして、支点と重心の位置関係が繰り返



図1 歩くモアイ像

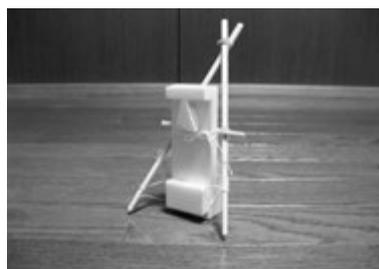


図2 てこてこモアイ

返し変わることによって、モアイ像は斜面上を歩くのである。

長井のホームページに掲載されている歩くモアイ像を実際に作成してみた。作成して気づいたことは、小学生にとっては非常に難しい作業が多い、であった。そこで、小学生でも容易に作成することができる歩くモアイ像づくりを考えることとした。製作の過程で重視したことは、第一に、巨大で重いモアイ像を運搬するのに、物体の重心と安定性に関する科学的知識が生かされていたことが、実感を伴って理解できるようにすること、第二に、簡単に入手できる材料を用いて、歩くモアイ像を作成できるようにすること、第三に、作成手順をできる限り簡潔にし、誰もが歩くモアイ像を作り上げることができるようにすることである。

具体的には、100円ショップで販売されているスチレンボード（厚さ1.0cm）でモアイの彫像部分を、割り箸でA字形の支柱を作成した。彫像部分と支柱をたこ糸で結びつけ、図2に示す、歩くモアイ像を完成させた。摩擦の大きなコルク板を下り坂に見立て、完成したモアイ像を置くと、モアイ像はてこてこと歩き始めた。この歩く姿から、「てこてこモアイ」と命名した。彫像部分は3つのパーツのスチレンボードを両面テープで貼り合わせたものである。パーツの位置をずらすことによって、モアイ像の重心の位置を変えることができる。また、支柱の取り付け位置を変えることによっても、重心の移動の仕方が大きく変わる。スチレンボードのパーツや支柱のバランスを試行錯誤的に変えることで、実感を伴って、物体の重心と安定性を理解することができるものづくりになっている。

(3) 重心概念の理解状況

理科におけるものづくり活動に求められることは、作る喜びに加えて、ものづくりに関わる科学的な知識や概念の習得である。本研究では、「てこてこモアイ」づくりを通して、重心概念について、実感を伴って理解させることをめざす。「てこてこモアイ」は受動歩行模型の一種である。支点と重心との位置が移動することによって、斜面を歩くモアイ像である。受動歩行模型づくりにおいては、重心が重要な概念となる。

ところで、重心は、誰もが耳にしたり、口にしたりしたことのある身近な言葉である。体操をするとき、スキーをするときなど、「重心を意識するように」と言われた経験が無い人はいないだろう。しかしながら、現在の小・中学校理科では物体の重心について、まったく教えられていないのである。重心は、小学校5年生の振り子の運動や6年生のてこの規則性と密接に関連する概念であるが、小学校理科の教科書に重心の用語が記載されることはない。中学校理科でも同様である。中学校3年生の運動の規則性において、力のつり合いを学ぶ場合、作用・反作用や力の合成・分解には触れるが、重心が取り上げられることはない。義務教育段階で重心が取り上げられるのは、中学校3年生の数学である。発展

的内容として、三角形の重心が数社の教科書で取り上げられている。

物体のつり合いを深く理解するためには、重心についての知識・理解が不可欠である。にもかかわらず、多くの者がなんとなく理解してしまっている概念である。実際、大学生の中にも重心をよく理解していない者が多くみられる。そこで、重心に関する大学生の理解度を明らかにすることとした。

① 調査目的

調査の目的は、物体の重心に関する教員志望の大学生の理解度を明らかにすることである。歩くモアイ像づくりを通して、習得することが求められている物体の重心と安定性に関する知識を、大学生がどの程度理解しているかを把握したい。

② 調査方法

物体の重心と安定性に関する調査問題を作成し、教員志望の大学生を対象に調査を実施する。

調査対象は、千葉大学教育学部で開講している「理科教材開発演習」の受講者、42名である。理科教材開発演習は、中学校理科教員免許取得のために修得が望ましいとされる理科の教職に関する科目の一つである。受講生の多くは、小学校教員免許の取得をめざしていた。

調査時期は、平成24年11月上旬であった。

調査問題は、図3と図4に示すように、2問で構成されている。問題1は、太さが一様ではない棒（たとえば、バット）を使った天秤のつり合いに関する問題である（図3）。野球のバットで天秤をつくり、両端に同じ重さのおもりをつり下げたとき、天秤バットがどのような状態になるかを問うた。正答は、「① 右側が下がる」である。

問題2は、缶が斜めに立っているとき、その缶にどの程度の水が入っているかを問う問

【問題1】下の写真に示すように、野球のバットで、天秤を作りました。バットは写真の支点の位置でつり合っています。さて、この状態で、両端に同じ重さのおもりをつるしました。このときの天秤のようすとしてふさわしいものはどれですか。次の①～③の中から最も適当なものを1つ選び、その番号に○をつけて下さい。また、そう答えた理由を書いてください。

① 右側が下がる
 ② 左側が下がる
 ③ つり合う

図3 天秤のつり合い

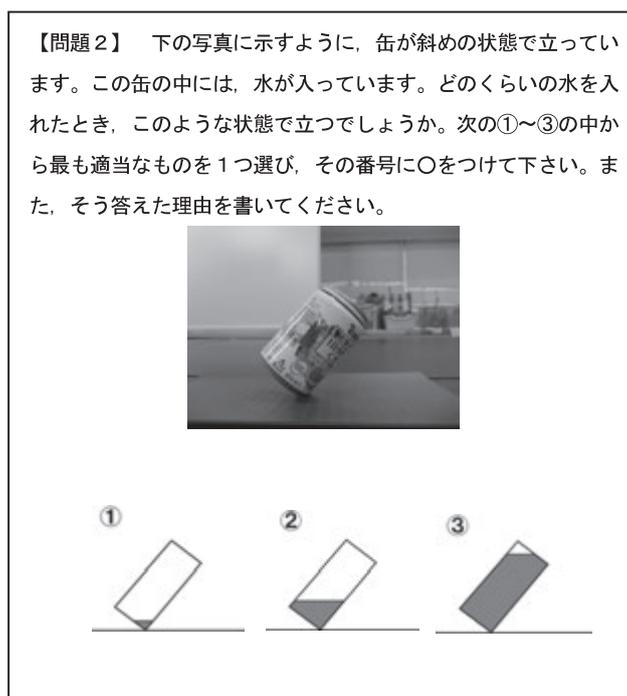


図4 傾いた缶の重心

題である。3つの選択肢から最も適当なものを一つ選択し、その選択肢を選んだ理由を記述してもらった。物体が斜めに静止した状態にあるとき、どこに重心があるかを考えさせる問題であった。正答は「② 1/3程度の水」である。なお、実際の選択肢は、文章ではなく、図4のように、図で示した。

③ 調査結果・考察

(ア) 天秤のつり合い

表1は、天秤問題の回答の選択率を示したものである。正答である、「① 右側が下がる」を選んだのは、調査対象者の45.2%であった。受講生の過半数は正しい答えを選択できると期待していたが、正答率はそれほど高くなかった。「③ つり合う」(42.9%)を選択した大学生の割合は、正答率とほぼ同じ割合であった。この回答に「② 左側が下がる」を加えると、半数以上の大学生(54.8%)が、この問題に正しく答えることができなかった。

表1 天秤のつり合いの回答

① 右側が下がる	② 左側が下がる	③ つり合う	合計
45.2	11.9	42.9	100
(19)	(5)	(18)	(42)

()の数値は人数を表す。

なぜ多くの大学生は誤答を選んだのだろうか。各選択肢を選んだ理由をしてみることにする。理由は自由記述で求めた。そこで、記述内容が同じと思われる理由は同一のカテゴリーにまとめ、カテゴリーごとの回答数を集計した。その結果が表2である。

誤答「③ つり合う」を選んだ理由から見てみよう。誤答を選択した受講生のおよそ8

表2 天秤のつりあいの理由

	理 由	回答数
① 右側が下がる	(a) 支点（重心）からおもりまでの距離が右側の方が長いから。	17
	(b) 棒の重さはすべて支点にかかるとすると、棒の重さを考えなくてよくなり、すると右側の方が支点からの距離が長くなるから。	2
② 左側が下がる	(c) 両端に同じ重さのおもりをつるしてつりあうのは、棒（バット）の太さが一樣なときに限るから。	1
	(d) 長さ×重さで習ったから。	1
	(e) モーメントの関係でかたむく。	1
	(f) 記述なし	2
③ つり合う	(g) (つり合っている状態から、) 同じ重さのおもりをつるしているから。	9
	(h) 左の方が棒は短い为重さが大いので、(うでの長さ) × (重さの和) の総和が等しい。	3
	(i) バットは左右がつり合った状態で支点が決まり、天秤と同じはたらきをするようになるから。	1
	(j) 天秤はつり合うものだから。	1
	(k) 記述なし、何となく。	4

割は、「③ つり合う」を選択していた。③の理由としてもっとも多かったのが、「(つり合っている状態から、) 同じ重さのおもりをつるしているから。」であった。太さが一樣ではないバットでも、つり合った状態で支点が決まったので「天秤と同じはたらきをする(理由(i))」ようになり、両端に同じ重さのおもりをつるしたので、「天秤はつり合う(理由(j))」と考えていたと推察できる。天秤はつり合うものというイメージは、小学生のとき、てこ実験器を用いて学習したことによって強化されたのかもしれない。てこ実験器は、おもりをつるしていない状態でもつり合っている。つり合った状態で、両端に同じ重さのおもりをつるせばつり合うのが当然である。この経験から、天秤バットの場合でも、つり合った状態から両端に同じ重さのおもりをつるしたので、つり合うものと考えてしまったのかもしれない。

もちろん天秤は、てこの規則性、すなわち「左側の(力点にかかるおもりの重さ)×(支点から力点までの距離)」=「右側の(力点にかかるおもりの重さ)×(支点から力点までの距離)」の関係が成り立つときにつり合うのであって、不均一な棒の両端に同じ重さのおもりをつるしてもつり合うものではない。このてこの規則性を思い出せば、理由(c)に示されるように、天秤バットは左右のどちらかに傾く。「① 右側が下がる」は正答であり、「② 左側が下がる」は誤答である。

正答の「① 右側が下がる」が選ばれた理由は、大きく2つのカテゴリーに分けること

ができた。2つのカテゴリーの違いは、太さが均一ではない棒（バット）が均一な棒と同じようにつり合っている状況についての記述があるかどうかであった。両カテゴリーには、ともにこの法則「重さ×支点からの距離」に関する記述が見られた。天秤のつり合いには、両端のおもりの重さと支点からおもりまでの距離が影響を及ぼすことは理解していた。しかし、①の正答を選択した回答者のうち、およそ9割（89.5%）は、理由（b）に示すように、太さが一様ではないバットがつり合っているのだから、棒の重さについては考慮しなくてもよいとは考えていなかったようである。支点からバットの右側部分と左側部分の力点、すなわち重心がどこにあるかを回答者が明確に理解していたかどうかは不明である。しかし、不均一な棒でも、水平につり合うように支点を定めたので、均一な棒と同じように天秤として働くのだから、両端のおもりの重さと支点からおもりまでの距離が棒のつり合いに影響を及ぼすと理解していたものと推察することができる。そこで、支点からおもりまでの距離が長い右側が傾くと推定したと考えられる。

「③ 左側が下がる」を選択した場合も、記述なしの2名は別として、理由（d）や（e）に示されるように、この法則は理解していたと思われる。しかし正答とは反対の左側を選んだのは、支点からおもりまでの距離よりも、おもりの重さに目が奪われてしまったからであると考えられる。理由（h）に示されるように、支点から力点までの距離は、支点から両端のおもりまでの距離と考えている。両端におもりをつり下げている状態で水平につり合っているのだから、バットの左側部分は右側部分よりも短い。（力点にかかるおもりの重さ）×（支点から力点までの距離）だから、支点の左側部分のバットの方が重さは重いはずである。左右のバットの重さにさらに両端に同じ重さのおもりを加えたので、おもりの和は左側の方が右側よりも大きい。距離はおもりをつり下げる前と変わらないので、②と答えたのであろう。

（イ） 傾いた缶の重心

表3は、問題2の選択肢ごとの選択率を示したものである。受講生のおよそ8割（78.6%）が正答「② 1/3程度の水」を選んだ。「① ごく少量の水」を選択したのは16.7%、「③ 缶いっぱいの水」はわずか4.7%であった。なお、問題文中の選択肢は、文字ではなく図で示されていた。

表3 傾いた缶の重心の回答

① ごく少量の水	② 1/3程度の水	③ 缶いっぱいの水	合計
16.7	78.6	4.7	100
(7)	(33)	(2)	(42)

（ ）の数値は人数を表す。

静止している物体に力を加え、少し傾けてから手を離れたとき、物体が元の位置に戻ろうとする場合には、その物体は安定しているという。問題2は物体の安定性に関わる問題である。本問の正答率はおよそ8割と高かったが、物体の安定性について、受講生はどのように理解していたのであろうか。各選択肢を選んだ理由をみてみることにする。表2と同様、理由は自由記述なので、内容的に同一の理由を一つのカテゴリーにまとめた。カテゴリーごとに集計した結果が表4である。

受講生の多くが正答の「② 1/3程度の水」を選ぶことができた。しかしながら、理由として挙げられた記述のうち、正解といえるのは、理由 (g) と (h) の15人だけであった。②を選択した大学生の過半数は、「何となく」「つり合いそうだから」「ちょうどよいから」と感覚的・経験的に回答していた。この経験的、感覚的回答は、①と③の選択肢を選んだ理由にも見いだすことができる。理由 (r) は、缶一杯に水が入っていたので、一番安定していると答えている。安定しているから傾いたままの状態でも静止すると考えたと思われる。しかし、安定した物体は、上に述べたように、傾けても元の位置に戻ろうとする。理由 (d) は、この考えに基づいている。これらの誤答に共通するのは、重い物体ほど安定しているという考えである。

もちろん、物体の安定性には重さがかかわるだけではない。理由 (s) に示されるように、バランスが関係する。別の表現をすれば、つり合いが関係する。理由 (e) は、経験的につり合わないと答えたと考えられる。さて、物体の安定性であるが、直方体の物体を床に置くとき、底面積が大きい面を下にするかしないかによって、物体の安定性は大きく異なる。

表4 傾いた缶の重心の理由

	理 由	回答数
① ごく少量の水	(a) ②は元に戻り、③は倒れてしまうから。	2
	(b) 一点に重心がかかりやすそうだから。	1
	(c) 右側の缶の重さとつり合うくらいだから。	1
	(d) ②、③だと多すぎて、安定して元に戻ってしまうから。	1
	(e) ②、③だと多すぎて、倒れてしまうから。	1
	(f) 何となく。	1
	② 1/3程度の水	(g) 支点を中心として、左右の重さ(力)がつり合うから。
(h) 支点の垂直線上に、重心がくるから。		3
(i) 重心の位置が、ちょうどよいから。		3
(j) 重心の位置が、地面との接地点にくるから。		2
(k) 水の量がちょうどいいから。		2
(l) 重心が安定するから。		2
(m) 缶の重力のモーメントと同じ大きさのモーメントを水によって発生させなければならないから。		1
(n) 右と左が同じ量だから。		1
(o) 支点からの距離を考えるとつり合いそうだから。		1
(p) 経験上。		1
(q) 記述なし、何となく。	5	
③ 缶いっぱいの水	(r) 一番安定しているから。	1
	(s) 水が多いほうが、バランスがとりやすそうだから。	1

る。物体を安定した状態に保つには、重心の位置を低く、底面積が広くなるように置くことが重要である。そこで、自由記述の文章の中に記述された「重心」という言葉に着目することにした。重心を用いて説明していたのは、全部で11人（26.2%）であった。このうち10人が②を選択した。このことから、正答を選んだ大学生は、少なくとも物体の安定性には、重心がかかわっていることは理解していたといえる。しかし、多くの大学生は傾いた物体が静止しているときの重心と物体の安定性について十分に理解していなかった、のである。

問題1と2の両問を、理由まで正解できたのはわずか6人（14.3%）であった。調査対象者が中・高等学校の理科の教員免許を取得しようとしている大学生であることを考えると、残念な結果である。およそ8割の受講生は、物体の重心と安定性について、十分に理解していないことが明らかにされた。

3 実践授業

実態調査から、教員をめざす大学生の物体の重心と安定性についての理解が不十分であることが明らかになった。ところが、物体の重心は小・中学校の理科では取り上げられることがない。重心について体験的に学ぶ機会も与えられていない。そこで、重要でありながら学校教育で無視されてきた重心について、ものづくりを通して考えることのできる教材を開発することとした。教材を開発するに当たっては、第一に子どもがワクワクし楽しむこと、第二に驚きや感動があること、第三に学習意欲を向上させること、に重点を置いた。

重心を取り上げる単元は、小学校6年生の「てこのはたらき」とした。45分1単位時間の授業を2時間で授業計画を作成した。第1時では、モアイ像の歴史とモアイ像の運搬方法に関する仮説について、写真と動画を用いて説明するとともに、物体の重心と安定性に関する基礎的な知識を提供した。第2時では、歩くモアイ像、「てこてこモアイ」づくりを行った。

図5に授業計画を示す。

第1時 モアイ像をどのように運んだか？

1. 授業のねらい

モアイ像の歴史と運搬方法に関する仮説を理解することによって、歩くモアイ像づくりに対する製作意欲を高める。

2. 準備するもの

針、長い棒、三角形・四角形に切った厚紙、立方体、パソコン、プロジェクター

3. 本時の展開

学習活動	指導上の留意点
<p>モアイ像について知っていることを挙げる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ (イースター) 島にある ・ 大きい、重たい ・ 石でできている <p>モアイ像についての理解を深める。 写真を見る。</p> <p>本時の課題を確認する。</p>	<p>児童がモアイ像についてどのくらい知っているのかを把握する。</p> <p>モアイ像について説明し、謎に包まれた石造彫刻に対する児童の興味を引く。</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> どのようにしてモアイ像を運んだのか？ </div>	
<p>今回取り上げた仮説について、説明する。</p> <p>「てこてこモアイ」の動画を見せ、歩く仕組みについて考えさせる。</p> <p>モアイ像が歩く仕組みについて理解する。</p> <p>○ 物体の重心を体感する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 重心は物体をある一点で支えたとき、その点で全体を支えることのできる、重さ的にバランスのとれる点であることを体感する。 ・ 三角形、四角形（平面）の重心 ・ 長い棒の重心 <p>○ 物体の安定について、重心と関連づけて考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 重心の位置を低くするほど、底面積を大きくするほど、物体の安定性は高まる。 <p>次回、「てこてこモアイ」づくりを行うことを伝える。</p>	<p>数ある仮説の中でも、古くから現地に伝わる「モアイは自分で歩いた」という伝説と一致する仮説であることを説明する。</p> <p>個人で実験してみることで、重心の理解を深めさせる。</p> <p>児童に予想を立てさせながら、演示実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 重心位置が高い場合と低い場合の安定性の違い ・ 底面積が狭い場合と広い場合の安定性の違い
<p>次回、「てこてこモアイ」づくりを行うことを伝える。</p>	<p>製作意欲を高める。</p>

第2時 歩くモアイ像を作ろう！

1. 授業のねらい

ものづくりの楽しさを体感するとともに、試行錯誤を繰り返すなかで、物体の重心と安定性について実感を伴って理解する。

2. 準備するもの

スチレンボード（厚さ1cm）、割り箸、タコ糸、輪ゴム、カッター、カッター板、コルクボード、両面テープ、パソコン、プロジェクター

3. 本時の展開

学習活動	指導上の留意点
<p>学習課題を確認する。</p> <p style="text-align: center;">「てくてこモアイ」を作ろう。</p> <p>作り方のプリントを参照して、「てくてこモアイ」を製作する。</p> <p>(1) モアイ像を作成する。</p> <p>(2) 支柱を作成する。</p> <p>(3) モアイ像を支柱に取り付ける。</p> <p>作成したモアイ像を歩かせてみる。</p> <p>ものづくり学習を振り返る。</p>	<p>モアイづくりに必要な材料を配布する。 タコ糸は草、割り箸は木材、スチレンボードは凝灰岩の代用品である。</p> <p>製作は、班で教えあいながらできるようにする。 製作の苦手な児童には、教師が手助けをする。 動画を止めたり動かしたりすることで、わかりやすく手順を説明する。</p> <p>歩かない場合は、モアイ像のお腹や背中部分のスチレンボードを動かしたり、支柱のバランスを変えたりして、うまく歩くように調節する。 歩いた場合は、どのようにしたら、より早く、よりきれいに歩かせることができるかを考えさせる。</p> <p>ノートに、わかったこと感じたことなど、感想を記入させる。</p>

図5 歩くモアイ像づくりを取り入れた授業計画

4 開発したものづくり教材の評価

(1) 目的

開発したものづくり教材は学習者にどのような効果をもたらしたのか。言い換えれば、学習者はものづくりを取り入れた理科の授業から、ものづくり活動にどのような意義を見いだしたのか。この問いに答えることによって、ここでは本研究で開発したものづくり教材、すなわち「てくてこモアイ」づくりを取り入れた重心概念の学習教材を評価する。と

同時に、ものづくり活動のねらいであった楽しい理科授業を設計することができたかどうかを検証したい。

(2) 方法

「3 実践授業」に示した、ものづくりを取り入れた授業を、平成24年11月中旬、理科教員免許状取得予定の大学生42名を対象に実施した。授業後、大学生42名に対して、質問紙によるアンケート調査を行った。

調査問題は、図6に示すように、大きく問題Aと問題Bの二問から構成されている。問題Aは10個の小問（問1～問10）からなる。各問について、とてもそう思うから、全くそう思わないまでの5点尺度で回答を求めた。問1～問9の9問は、本研究で開発したものづくり教材について教員志望の大学生がどのような意義を体感することができたかを明らかにするための問いである。これらの問いは、露木²⁵⁾の述べるものづくりの意義9つを参考にして作成した。問1は関係性の構築、問2は学んだことの統合、問3は有能感の自覚、問4は周辺への気づき、問5は納得することの快感、問6は問題発見の契機、問7は活用として生かす、問8は近感覚の覚醒、問9は作品としての喜び、を問う設問であった。問10は「歩くモアイ像」づくりの授業が楽しかったかどうかを問う問題であった。

問題Bでは、ものづくり活動の楽しさについて、自由記述で答えてもらった。

【問題A】						
「歩くモアイ像」づくりの授業について質問します。						
以下の問いに、次の5つの段階のうちから最も当てはまるものを1つ選んで、○を付けてください。						
(5…とてもそう思う 4…そう思う 3…どちらでもない 2…あまりそう思わない 1…全くそう思わない)						
問1	作ったモアイ像に愛着がわいた。	5	4	3	2	1
問2	「そうか、そういうことだったのか。」という気づきがあった。	5	4	3	2	1
問3	「できた!」という喜びがあった。	5	4	3	2	1
問4	ものづくりを通じて、新しいことを学んだ。	5	4	3	2	1
問5	重心やものの安定性について、改めて確認することができた。	5	4	3	2	1
問6	ものづくりの活動から、新たな問題を発見した。	5	4	3	2	1
問7	この授業で学んだことを、別の場面で生かそうと思った。	5	4	3	2	1
問8	手を動かすことは楽しかった。	5	4	3	2	1
問9	モアイ像を作ったとき、作品を完成したときのように嬉しかった。	5	4	3	2	1
問10	「歩くモアイ像」づくりの授業は楽しかった。	5	4	3	2	1
【問題B】						
問10 『歩くモアイ像』づくりの授業は楽しかった。』について、お尋ねします。						
授業のどのようなところが、どのような場面で楽しいと感じましたか。具体的に記入してください。						

図6 ものづくり活動を取り入れた理科授業の評価質問紙

(3) 結果と考察

① ものづくり活動の意義

図7は、問題Aの問1から問10の結果を示したものである。歩くモアイ像のものづくり

活動を通して、大学生はものづくり活動にどのような意義を見いだすことができたのか。ものづくり活動の意義に関する質問（問1～問9）に対する回答を見ていくことにする。

問1から問9のうち、もっとも肯定的な回答が多かったのは、問8「手を動かすことは楽しかった」（95%）であった。次に肯定的な回答が多かったのは、問3「『できた!』という喜びがあった」（93%）であった。とともに受講生の90%以上が「とてもそう思う」、「そう思う」と答えていた。特に問8については、肯定的な回答のうちの8割は、「とてもそう思う」であった。問8は、近感覚の覚醒に関する問いであった。露木は、感覚を近感覚（触覚や臭覚）と遠感覚（視覚や聴覚）に分け、ものづくり活動が近感覚を目覚めさせる効果を持つことを指摘した。歩くモアイ像づくりでは、手を動かすことで近感覚が覚醒されたと考えられる。問3は、有能感の自覚を問うものであった。有能感とは自分ができるといった感覚であり、有能感を自覚することにより次の行動が促される。

続いて肯定的な回答が多かったのは、問9「モアイ像を作ったとき、作品が完成したときのように嬉しかった」（88%）であった。問1「作ったモアイ像に愛着がわいた」の肯定率は81%であった。問9は作品としての喜びを問う問題であり、問1は関係性の構築を問う問題であった。大部分の受講生は、作成した歩くモアイ像を作品として受け止めるとともに、モアイ像と自分との間に何らかのつながりを見いだしていた。問5「重心やものの安定性について、改めて確認することができた」の肯定率も、およそ8割であった（79%）。モアイづくりを通して、物体の重心と安定性について、実感を伴って理解することができたと思われる。残り3項目についても、65%以上の肯定的な回答を得られたことから、「てくてこモアイ」づくりは、受講者にとって相応しい難易度のものづくりであり、かつものづくりの意義を体感するのに適した教材であったといえる。

肯定的な回答がもっとも少なかったのが、問7「この授業で学んだことを、別の場面で生かそうと思った」である。この質問項目に対する肯定率だけが50%を下回った。「活用する力」の重要性が指摘される今日²⁶⁾、日常生活において、ものづくりを通して習得した

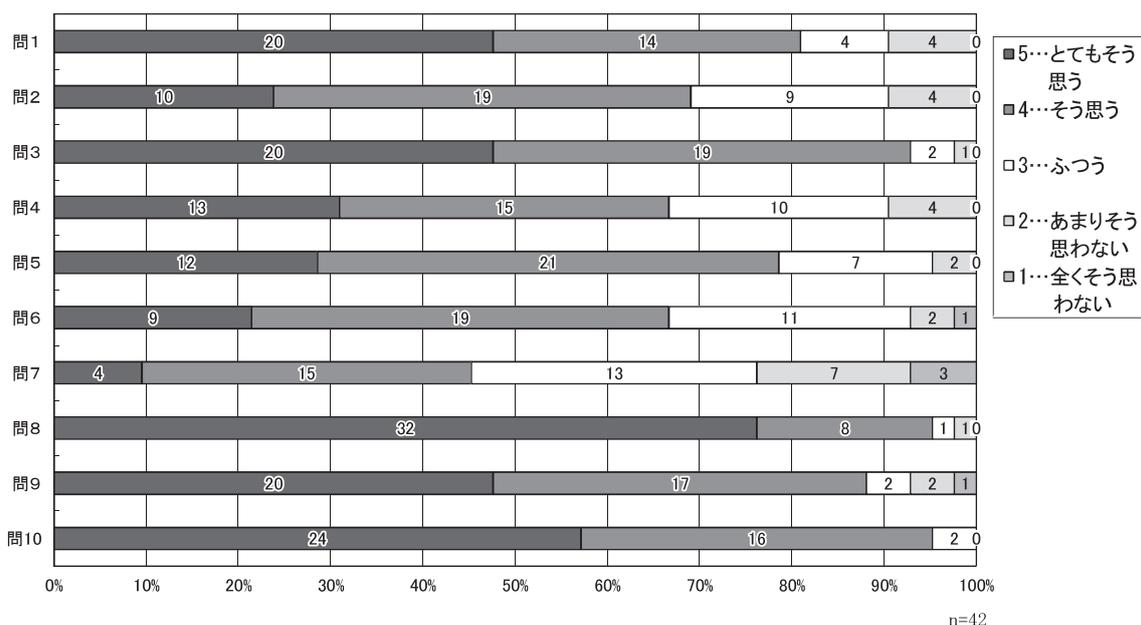


図7 ものづくりを取り入れた授業の評価

物体の重心や安定性に関する知識を別の学習場面に関係づけさせることのできる活動を取り入れる必要があった。

② ものづくり活動の楽しさ

問10『『歩くモアイ像』づくりの授業は楽しかった』の問いに対して、「とてもそう思う」と答えたのが24人、「そう思う」が16人であった。肯定的な回答は95%に上り、否定的な回答をした者はいなかった。このことから、ものづくりを取り入れた歩くモアイ像づくりの学習活動は、学習者にとってとても楽しいものであったといえる。小学校6年生の「てこのはたらき」の学習用に開発したものづくり教材であったが、教員志望の大学生にとっても、十分にものづくり活動を楽しむことができる教材であった。

この楽しさは、モアイづくりを取り入れた授業のどのような要素から生まれたのであろうか。問題Bの自由記述から、ものづくりの楽しさがどのような場面で生じるのかを分析してみよう。

図8は、自由記述のうち同義の記述を11のカテゴリーに分類し、それぞれのカテゴリーの回答数を示したものである。回答には、同一の調査対象者が複数の要因を挙げている場合が含まれるため、回答総数は42を超えている。

最も回答数が多かった場面は、「モアイが歩いたとき」であった。てこてこモアイは、製作手順どおりに作れば必ず歩くというものではなかった。モアイ像を作り上げてからも、割りばしやスチレンボートの位置を変えるなどの試行錯誤を加えなければ、モアイ像をうまく歩かせることができない。だからこそ、モアイ像が歩いたとき、達成感を感じられたのであろう。次に多かった場面は、「モアイが歩くように試行錯誤したとき」であった。このカテゴリーには、「うまく動くように試行錯誤するのが楽しかった」「歩きそうで歩か

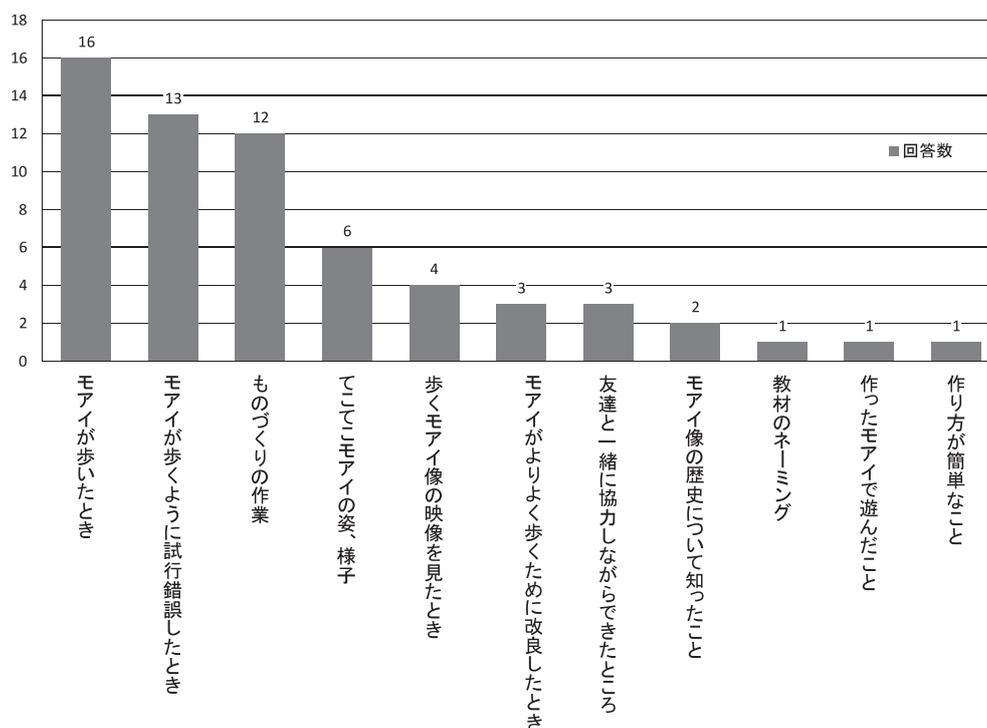


図8 授業を楽しいと感じた具体的場面

ないときに調節して改善されていくのが楽しかった」など、作成過程における創意工夫に楽しさを感じた記述が含まれていた。モアイ像をうまく歩かせることができなかつた者も、「自分の工夫によって少しでも歩けるようになると嬉しかった」、と回答した。一步一步向上している自分を感じられることに楽しさを感じていた。

「何かを作ること自体が楽しい」との回答も多かった。ものづくりの作業そのもの楽しさを覚えた者もいた。「鼻をつけて、モアイの顔になったとき」「動かしてみると歩いたり止まったりする姿や、人によって、歩幅が違う姿に楽しさを感じた」「無機質な発泡スチロールが、モアイっぽくなった場面！」「モアイが転んだところ」など、「てくてこモアイの姿、様子」に楽しさを感じた、との回答もあった。「友達とポイントを教え合ったりする協力的なところ」「複数人で競えるところ」など、友達と協力しながらものづくりを行えたことが、楽しさにつながっていることも示唆された。このことから、楳内のいう「友達といっしょに考えながら、『ものづくり』に取り組むことで知的好奇心をくすぐり、学ぶ楽しさ・本当の遊ぶ楽しさを味わわせていく」²⁷⁾活動ができたといえる。

5 おわりに

子どもたちの理科に対する興味・関心を高めることができる楽しい授業を作りたい。これが本研究の出発点であった。理科の授業にもものづくり活動を取り入れれば、楽しい理科授業を実践することができるのではないか。そこで、本研究では、子どもたちを理科学習へと駆り立てる、楽しい理科のものづくり教材を開発することを目的とした。この目的を達成するために、次の手順で研究を進めた。まず、教材開発の視点を探るために、理科教育におけるものづくりの意義や価値、ものづくりのよさについて明らかにした。次に、先行する理科のものづくり教材を吟味し、具体的なものづくり教材を選定した。そして、ものづくりを取り入れた理科教材を開発し、授業を実践した。最後に、開発した教材を評価した。実践授業は、教員を希望する大学生を対象に行った。ものづくりに関する実践的指導力の育成に寄与すると考えられたからである。

ものづくりには、講義形式の授業では味わうことが難しい驚きや感動が得られること、実感を伴った理解ができること、「できた！」という有能感を自覚できることなど、多くの意義があることが明らかになった。ものづくりは、楽しい理科授業を設計するのに有効な学習活動であることが示唆された。

これまでに紹介されたものづくりを実際に試したところ、動くおもちゃづくりに興味が引かれた。そこで受動歩行模型づくりを取り入れた教材を開発することにした。具体的には「歩くモアイ像」づくりを取り入れることにした。このものづくりでは、物体の重心と安定性に関する知識・概念が求められる。教材開発の前段階として、大学生の重心に関する理解度を調査した。ほとんどの大学生が物体の重心と安定性を十分に理解していないことが明らかになった。大学生にとっても楽しいものづくりになると期待できた。

先行研究や理解度調査を踏まえて、歩くモアイ像づくりを小学校6年生の「てこのはたらき」に取り入れることにした。小学生にでも、限られた時間内で、うまく作り上げることができるものづくりでなければならない。しかも子どもたちの興味を引きつけ、驚きや感動を与えられるものでなければならない。これらの留意点を踏まえて、「てくてこモアイ」を開発した。

開発した教材を用いた授業を、教員志望の大学生を対象にして、実施した。授業後、この授業が楽しかったかを尋ねた。ほとんどの大学生（95%）が、楽しかったと肯定的に回答した。楽しい理科授業を作りたいという当初の目的を達成することができた。その楽しさは、うまく作れたという達成感からだけではなく、創意工夫しながら、作り上げていく過程から生じる喜びからも生まれるものであった。

本研究で開発した「てくてこモアイ」づくり教材は、学習者にもものづくりの意義を実感させることができる、楽しい教材であることが明らかになった。このようなものづくり教材を理科授業に活用することによって、子どもたちの理科への興味・関心が高まり、実感を伴った理解が形成されるであろう。

註

- 1) 文部科学省, 小学校学習指導要領解説 理科編, p. 5, 大日本図書, 2008.
- 2) 同上, p. 20.
- 3) 同上, p. 27.
- 4) 文部省, 小学校学習指導要領解説 理科編, p. 26, 東洋館出版社, 1999.
- 5) 人見久城, 理科における「ものづくり」, 橋本建夫他編『現代理科の教育改革の特色とその具体化』, p.98, 東洋館出版社, 2010.
- 6) 松永泰弘・芹澤沙希・堀井千裕, 小学校理科におけるものづくり教材の授業実践, 静岡大学教育学部研究報告教科教育学篇, 第42号, pp. 161-174, 2011.
- 7) 井口克三・北爪美穂・金井大季・加藤幸一, 「ものづくり」指導の工夫とその効果—小学校理科の実践を通して—, 群馬大学教育実践研究, 第28号, pp. 289-300, 2011.
- 8) 東京都教職員研修センター, 豊かな人間性と創造性を養うものづくり教育に関する研究, 東京都教職員研修センター紀要, 第4号, p. 32, 2005.
- 9) (独) 科学技術振興機構 理科教育支援センター, 理科を教える小学校教員の養成に関する調査報告書, 2011. (http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/investigation/cpse_report_011.pdf)
- 10) (独) 科学技術振興機構 理科教育支援センター・国立教育政策研究所教育課程研究センター, 平成20年度小学校理科教育実態調査集計結果(速報), 2008. (http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/elementary/cpse_report_004.pdf)
- 11) ものづくり教育・学習に関する懇談会, 若年者に対する熟練技能技術者によるものづくり教育・学習の在り方について—「ものづくり教育・学習に関する懇談会」報告書—, 2001年6月29日. (http://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286794/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/13/06/010621.htm#s1)
- 12) 鈴木隆司, 小学校におけるものづくりの授業実践開発, 千葉大学教育学部紀要, 第57巻, 165頁, 2009.
- 13) 堀雅敏, 授業に生かすものづくり, 理科教室, Vol. 45, No. 8, pp. 6-7, 2002.
- 14) 文部科学省, 前掲書, p. 5, 2008.
- 15) 同上, p. 12.
- 16) 同上, pp. 9-10.
- 17) 例えば, 次の書籍が挙げられる。
科学ソフト開発部編, 小学生の100円ショップ大実験, 学習研究社, 2006.
左巻健男, キットつき!! 小学生のアイデア工作, 成美堂出版, 2012.
- 18) 理科工作の作り方, バランストンボ, <http://rika.k8246.net/tombo.html>.
- 19) 佐伯平二, Newtonムック 親子で遊べる実験と工作 不思議を実験!, pp. 98-101, 2006.
- 20) 学研キッズネット, 学研サイエンスキッズ 理科・実験ランド, 100円ショップ大実験, クッションシート・グライダー, http://kids.gakken.co.jp/kagaku/100yen/exp25_index.html.
- 21) 藤間信久・原賢輔・藤田晶子・村松 淑美, 逆立ちこまを回そう!, おもしろ科学実験室(工学の不思議な世界). (http://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/101201_01.php)
- 22) National Geographic Daily News, Easter Island Mystery Solved? New Theory says Giant Statues Rocked, 2012. (<http://news.nationalgeographic.com/news/2012/06/120622-easter-island-statues-moved-hunt-lipo-science-rocked/>)
- 23) 以下の文献を参考にした。
柳谷杞一郎, 写真でわかるイースター島 謎への旅 改訂版, 雷鳥社, 2005.

木村重信, 巨石人像を追って—南太平洋調査の旅, 日本放送出版協会, 1986.

ピーター・ジェイムズ、ニック・ソープ, 福岡洋一訳, 古代文明の謎はどこまで解けたか I —失われた世界と驚異の建築物篇一, 2002.

- 24) 長井鉄也, 歩くモアイの作り方 (<http://www.tegakinet.jp/moaij.htm> 2013年1月11日閲覧).
- 25) 露木一男, 「ものづくり」の意義, 初等理科教育, Vol. 43, No. 9, pp. 10-13, 2009.
- 26) 安彦忠彦, 「活用力」を育てる授業の考え方と実践—新学習指導要領対応, 図書文化社, 2008.
- 27) 榎内典明, わくわく体験モノづくりマニュアル: 簡単・かっこいい・自慢できる, 楽しい理科授業, 臨時増刊号 No.361, 明治図書出版, 1996.