

[論 文]

STEAM 教育推進に寄与する教育方法の 開発に関する研究

—生活科・理科における「ものづくり」の再興—

白 敷 哲 久

Teaching Materials and Methods that Contribute to the Promotion of Science,
Technology, Engineering, Art and Mathematics Education
—Reviving “Monozukuri” in Living Environment and Natural Science Studies

SHIRASU Tetsuhisa

The purpose of this study is to examine what constitutes effective educational materials and teaching methods in STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) education. It is the authors' contention that materials and teaching methods that emphasize hands-on learning are effective in creating authentic learning in Living Environment and Natural Science classes. There are, however, some nation-wide problems with “monozukuri” as it is currently used at schools in Japan, so it is necessary to design a new teaching-learning model for STEAM education. To consider the significance of STEAM education, we conducted a case study in which students made a small electric fan by hand. Results revealed problems such as that curriculum development in this area in Japan is lacking, and that systems for delivering teaching materials to children are underdeveloped. Findings also demonstrated that 1) encouraging an artistic approach and tinkering is essential in STEAM education, 2) children are motivated to use their hands and learn in depth when they are given materials manipulable with some degree of freedom and are taught to use these materials with appropriate teaching methods, and 3) learning through engineering combined with art has the potential can create a beneficial synergy which can trigger learning in science, technology, and mathematics. Results further suggested that if the teacher refrains from pre-emptive intervention and allows children to work by themselves, the teacher, as well as the children, will enjoy the process and be able to learn together.

Key words: STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) Education (STEAM 教育),
“Monozukuri” (ものづくり), Living Environment Studies (生活科), Natural Science (理科),
Tinkering (ティンカリング)

はじめに

本研究の目的は、生活科・理科における「ものづくり」の再興に向け、STEAM 教育の教材に求められる条件を吟味するとともに、STEAM 教育に適した教育方法を開発することである。そのために、我が国の「ものづくり」の問題点を明らかにするとともに、STEAM 教育の教授-学習モデルを構築し、

「小型扇風機作り」を通じた事例的研究によってSTEAM教育の教育的意義を検討した。その結果、我が国のカリキュラム整備の遅れや、子どもに教材を届ける仕組みが十分に整っていない等の問題点が明らかとなった。また、STEAM教育においては1) Artやティンカリングの視点が欠かせないこと、2) 操作性の高い教材と適切な教育方法の試行によって子どもは意欲的に手を動かし深く学んでいくこと、3) EngineeringとArtによる学びがScience, Technology, Mathematicsによる学びを呼び起こし相乗効果をもたらす可能性があることが明らかとなった。さらに、子ども主体の「ものづくり」の場において、教師が子どもの活動を先回りせず子どもの様子を見ながら授業を構成していったならば、教師と子どもは共に楽しみながら拡張的学習を作り出すことができるようになることが示唆された。

1. 問題の所在

我が国の理科教育において「ものづくり」という言葉が登場するのは、1998年（平成10年）告示の小学校学習指導要領からであるが、それ以前に「ものづくり」を通して物の性質、構造、機能を学ぶ教育活動は盛んに行われてきた。1952年（昭和27年）改訂の小学校学習指導要領理科編（試案）には「制作」という項目があり、糸電話作り、動くおもちゃ作り、楽器作り、ブリキ板をはんだづけする活動を行うように記されている。1980年（昭和55年）発行の小学校第2学年理科教科書（学校図書）には、空き箱やどんぐりで作るやじろべえ等のおもちゃ作りで、おもりの位置を変化させると動き方がどう変わるか調べる活動が6ページにわたって図示され紹介されている。このように集めた素材を一から組み合わせる「ものづくり」においては、子どもは試行錯誤しながら手を動かし思考を巡らせ、発見の喜びを味わったり深い理解に至ったりする機会が多くなることが期待される。1980年代には米国のSTS教育（Science, Technology, Societyを緩やかに繋ぐ教育）への注目が高まり、わが国においても1990年代に理科教育におけるSTS教育の重要性が認知され広まっていった（梅埜, 1993, pp. 8-11）。

しかし、1989年（平成元年）告示の小学校学習指導要領では低学年理科が無くなり生活科が新設され、「ものづくり」の機会は大幅に減少した。具体的には、低学年で「ものづくり」をしながら学ぶ「風やゴムの力」「じ石」「おもり」「電気」「音」の単元は扱われなくなり、約40時数減となった。現行の生活科では、主に「身近な物を使った遊び」の活動の中で「ものづくり」を行うが、その授業時数は小学校第1・2学年あわせて約20時数であることから、低学年ではおよそ半減したと言える。1989年（平成元年）告示の小学校学習指導要領小学校第3学年以上の理科では空気の性質を利用して動かすものが作れることや、電磁石を利用してモーターなどの道具をつくったりする活動等が記されているが、時代の移り変わりとともにパッケージ化された教材を用いることが増えていった。パッケージ化された教材の活用は、「ものづくり」を、自分なりに思考して工夫をする活動から設計図に倣って作る活動へと質的に変容させている。

2000年代に入り、世界的な技術者不足と教科の枠を超えた柔軟な思考力を発揮できる人材育成の観点から、米国で急速に注目を集めるようになったのがSTEM（Science, Technology, Engineering, Mathematics）教育である。これは、科学、技術、工学、数学等を有機的に結びつけ教科横断的に関連させた教育を指向するものであるが、科学技術の向上が国家戦略と直結することから国の施策や産学共同事業と連動し、国際的な理科教育の中心的な潮流の一つとなっている^{註1)}。例えば、2013年に発行された、米

国各州の理科教育の基となる Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013, pp. 79-90, 以下: NGSS) では、教科横断的な概念である「原因と結果」「スケール・比率・数量」「構造と機能」等が、Science (科学) と Engineering (工学) の中心的な概念と実践的理解の促進を促すことや、その際、数学的なアプローチが欠かせないことが示されている。NGSS の刊行を機に、我が国でも STEM 教育研究が活発に行われるようになり (松原・高坂, 2017), 刊行から 5 年後の 2018 年に文部科学省と経済産業省が、日本が参考にすべき重要な海外の教育動向として STEM 教育を紹介するに至った。文部科学省の専門部会である「新たな時代を豊かに生きる力の育成に関する省内タスクフォース」(2018) は、高等学校教育に限定して、「思考の基盤となる STEAM 教育を、すべての生徒に学ばせる必要がある。こうした中で、より多くの優れた STEAM 人材の卵を産みだし、将来、世界を牽引する研究者の輩出とともに、幅広い分野で新しい価値を提供できる数多くの人材の輩出につなげていくことが求められている。」と述べている。また、経済産業省 (2018) は「『未来の教室』と EdTech 研究会第 1 次提言」で、米国、中国、オランダ、イスラエル、シンガポールにおける EdTech^{註2)} を活用した「STEM/STEAM」と「個別最適化学習」を紹介している。文部科学省が高等教育からの STEM 教育に限定して論じているのに対して、経済産業省は幼児期からの STEM/STEAM 教育を紹介する等、立場の違いが見られる。経済産業省 (2019) はその後「学びの STEAM 化」を提唱し、「未来の教室プロジェクト」を立ち上げ「STEAM ライブラリー」を WEB で公開し地域に「STEAM 学習センター」を構築するなど、STEAM 教育を広める事業を推進し今日に至っている。

このような時代の流れの中で、中央教育審議会 (2021, p. 57) は答申で「STEAM 教育は、「社会に開かれた教育課程」の理念の下、産業界等と連携し、各教科等での学習を実社会での問題発見・解決に生かしていく高度な内容となるものであることから、高等学校における教科等横断的な学習の中で重点的に取り組むべきものであるが、その土台として、幼児期からのものづくり体験や科学的な体験の充実、小学校、中学校での各教科等や総合的な学習の時間における教科等横断的な学習や探究的な学習、プログラミング教育などの充実に努めることも重要である。」(下線筆者) と見解を整理し提言をまとめた。

ここまで述べてきた STEM/STEAM 教育の系譜から、我が国の STEAM 教育に関する教育施策は諸外国から 10 年ほど遅れて始まったと言える。しかし、我が国の施策に多大な影響を与える答申では下線で示した通り、高等学校に主眼を置き、小学校ではあくまでも高等学校教育の土台としての位置づけとして記述されていることから、今後小学校における STEAM 教育の推進が迅速に進むかについては疑問視せざるを得ない。我が国の理科教育においては、STEAM 教育以前に「ものづくり」が重視されてきたことを先に述べた。「ものづくり」が教科横断的に行われるようになったならば、STEAM 教育と同等の価値を持つと考えられる。しかし、我が国の小学校における「ものづくり」をめぐる状況は一変している。

平成 29 年告示小学校学習指導要領では、第 1・2 学年の生活科で遊びに使う物を工夫して作る活動を行うことが示された。また理科では、第 3 学年で 3 種類以上、第 4 学年で 2 種類以上、第 5 学年で 2 種類以上、第 6 学年で 2 種類以上、計 9 種類以上の「ものづくり」を扱うことが示された。しかし、生活科では子どもは自分の思いや願いに沿った「ものづくり」を行うことから、学級で共通の話題を出して深めることが困難である。また、物の性質・構造・機能を学ぶことを目的としていないことから、生活科において STEAM 教育を位置付けることは極めて困難である。さらに、理科の「ものづく

り」においては教材のパッケージ化が進んでいる。例えば、風やゴムで動く車セット、磁石遊びセット、電磁石実験セットを使うことが一般的になっている。説明書を読み解きながら制作するだけでは我が国が目指してきた「ものづくり」で育てたい力を十分に育てることはできない。素材の吟味に始まり自由な発想に基づいて行われる「ものづくり」では、子どもはトライアンドエラーを繰り返しながら創造力をはたらかせて作品を改良し続ける楽しさを味わい、物を生み出していく技術力と思考力を伸ばしていく。パッケージ化された教材の多用は、子どもが失敗から学ぶ機会を奪うことになりかねない。このことは、STEAM教育推進の観点からも問題である。

以上のことから、我が国の学校教育において「ものづくり」を通して行われる教科横断的な学習の推進は喫緊の課題であると言える。そこで、小学校生活科・理科にSTEAM教育を組み込んでいくことによって問題の打開を図ることができるのではないかという立場から論考する。

2. 研究の目的と方法

本研究の目的は、小学校の生活科と理科におけるSTEAM教育推進に寄与する教育方法の開発を行うことである。研究仮説は次の2点である。

仮説① STEAM教育に適した操作性の高い教材、適度な手掛かりがあれば、子どもは、教師による手助けが十分に無くても意欲的に手を動かし、Engineering, Artによる学びがScience, Technology, Mathematicsによる学びを呼び覚まし相乗効果をもたらす。

仮説② 子ども主体の「ものづくり」の場では、教師は子どもの活動を先回りせず、「ものづくり」の過程を共に楽しみながら授業を構成することができるようになる。

これらの仮説の検証のため、第一に、我が国の「ものづくり」とSTEAM教育の共通点と差異点を吟味することによって未来を指向した新しい教育の姿を描く。第二に、我が国でSTEAM教育普及の障壁となっている原因について検討する。これを踏まえ第三に、障壁を乗り越えるために必要となる要件を整理し、適合する教材と教育方法を検討し、事例的研究によって得られた知見に基づいた提言をまとめる。

3. STEM教育と「ものづくり」

3.1 Engineeringの重視

STEMの要素であるScience(科学), Technology(技術), Mathematics(数学)に比べEngineering(工学)の意味は捉えにくい。Engineeringの「工学」が意味するところは広く、物の構造や機能を追究することと目的を持って物の設計や制作をすることをも含んでいる。そこで本研究ではEngineeringを英字表記のまま用いることとする。

NGSSでは、STEMの要素のうち特にEngineeringの視点の重要性を強調し、その効果について「幼稚園から高校までのレベルでイノベーションと創造性の機会を提供する。」と、その教育的意義を強く主張している(NGSS Lead States, 2013, p. 104)。米国の科学教育施策を長年に渡って牽引してきたBybee(2012, p. 41)は、理科教育にEngineeringの要素を導入する意義について「科学では、自然界についての問題が提起され、根拠に基づいた説明の形で答えを提案します。そして、Engineeringでは、人間にとっての必要性と望みは何であるかを明らかにし、新しい制作物と制作過程という形で解決策を提案します。-科学とEngineeringの実践は並行であり相互補完的です。」と述べ、両者が「理論

の構築」と「活用による検証と提案」の関係にあることを示している。その具体例として、科学的アプローチでは、自然現象について説明するのに役立つモデルの構築やシミュレーションを行うのに対して、Engineering 的アプローチでは、構築したモデルやシミュレーションの利用によってシステムを分析し、発生しそうな欠陥を特定したり新しい問題に対する解決策をテストしたりすることが紹介されている (Bybee, 2012)。すなわち、Science, Technology, Mathematics を従来型の教育と捉えるならば、Engineering では対象に働きかけることによって得られるリアクションによって逆説的に理解を深めているという教育方法を採用していると捉えることができる。このことを生活科・理科教育に援用すると、「ものづくり」によって新たに生じた問題を解決するために作品を改良したり学びなおしたりする過程で、習得と活用の往還を促す教育の推進として位置づけることができる。このことから、Engineering と「ものづくり」に通底する教育方法と教育効果への期待は酷似していると言える。

3.2 STEM 教育と Art

STEM 教育は、しばしば A を加えて STEAM 教育と表記される。A は芸術の概念に近い Art あるいは、教養の概念に近い Arts と捉えられるが、辻合・長谷川 (2020) は、未だにそれぞれが混在し、場合に応じた概念を採用しながら推進されようとしていることには疑問があると述べている。しかし近年では、STEM に Art の要素は欠かせないという考えに立脚した論が広がりつつある (Sousa・Pilecki, 2017/Quigly・Herro, 2019)。Sousa と Pilecki (2017, p. 42) は、脳科学の視点から Art は脳を活性化させて拡散思考を促すことから STEM 教育に織り込むことで創造性をはぐぐむことができると主張している。このことについて辻合・長谷川 (2020, p. 98) は、STEM 教育が収束思考に位置づくのに対して、Art はそれと対照的なものとして拡散思考に位置づくことと述べ、両者が合わさることでイノベーションが生まれることを表していると述べている。

STEAM 教育は生産を指向したアート思考を内在している。人は購入する物を選ぶ際にその判断基準としてデザインを強く意識する場合があることから、制作の過程で使う人の受け取り方を推し量る必要が生じる。このことは、商品としての「物」だけでなくテレビ番組用の「物」の制作においても同様である。

NHK 教育テレビジョンが制作し 2010 年に日本賞を受賞した番組「大科学実験 discover science」では、太陽熱で巨大な袋を浮かばせて人を持ち上げる実験が行われた (原口・山本, 2011)。効率良く安定的に浮力を生じさせる袋の形は円盤型であるが、番組制作ではデザインを優先し袋をクジラの形にして目を描き尾びれを付けた。膨らまない尾びれは風になびく錘となって袋を浮きにくくした。複雑な形になったことでサーモグラフィーによる内部温度の不均衡さや、尾びれが引き起こす予想外の空気抵抗の大きさといった様々な発見が生まれている (原口・山本, 2011)。教育の場面においても子どもは、「よりきれいに」「よりかっこよく」といった思いや願いを形にしようとして制作を行う場合がある。袋をクジラの形にした事例のように形状の変更は、物の性質・構造・機能を再考する契機となり得る。このことは、Engineering と Art の相互補完性を示している。すなわち、一方を満足させようと制作を進めると当初意図していなかった新たな現象が立ち現れ、思考力や創造力をはたらかせる場面が次々に訪れるようになるのである。

3.3 ティンカリングと自由試行—Engineering と Art の親和性

ティンカリングは比較的新しい考え方であり、学校教育よりもむしろ民間の実験教室やプログラミング教室等で広がりを見せている。Martinez と Stager (2013, p. 2) は、ティンカリングとは「あれこれ思いつくままに知恵を絞り工夫すること」だと紹介している。ティンカリングを理科の「ものづくり」の視点から検討した柚木・片平 (2016, p. 53) は、ティンカリングの特徴を次の3点に整理している。

- ・明確の目標、計画（設計）が存在しない。
- ・遊戯性、熱意という情動的な側面を持つ。
- ・組み合わせる、分解するなどをして、様々な目的に合うように作り変えるという技術的な側面を持つ。

これら3つの視点のうち、情動的な側面と技術的な側面は Engineering と Art にも見られる。すなわち、子どもは遊戯性や熱意をもって制作にあたり組み合わせたり分解したりして作品を作り変えていくのである。情動に基づいて物をいじり回しながら組み合わせたり分解したりと試行錯誤を繰り返しながら思考を深めるティンカリングでは、現象と理論との結びつけは後回しになりがちである。学校教育においては、先に学ぶべき理論を置く顕在的カリキュラムに沿って学習が進行することから、しばしば子どもの側にある潜在的カリキュラムと対立する。しかし、単元の導入時にティンカリングを取り入れようとする試みは、我が国では古くから「自由試行」と呼ばれ行われてきた。「自由試行」は、実験器具や教材を渡された子どもが、それらをいじり回しやりたいことを自由に行って気付いたことをまとめていく学習方法であり、米国の Messing About に端を発している。森本 (1992, pp. 23-30) は、Messing About について、Hawkins によって開発された米国の初等理科カリキュラム ESS (Elementary Science Study) を支える中心概念で、構成主義の観点から、子どもの素朴概念から経験に束縛されない子供自ら説明する論理を構成することを目指す学習論であると、その優位性を主張している。「自由試行」を授業に取り入れて分析した杉山・山下 (1998, p. 5) は、「自由試行をしていくことで興味が高まり、自分で法則を発見したという達成感や自ら探ろうとする意欲が出てきた。」と報告している。小学校生活科・理科に Engineering と Art を組み込んでいく際には「自由試行」に見られる教育方法を参考にすることが有効であると考えられる。

3.4 発達の最近接領域の場における STEAM 教育のフロー

Vygotsky, L.S. (1956, 訳, 柴田, 2001, p. 298) は、子どもが現時点でわかっている水準を「現下の発達水準」とよび、「現下の発達水準」に対して、他人の助けを借りれば出来るようになる水準を「明日の発達水準」とよび、「現下の発達水準」と「明日の発達水準」の間の領域を発達の最近接領域 (Zone of Proximal Development : 以下, ZPD) と名付けた。ZPD の解釈について山住 (2004, pp. 64-65) は、現代では、垂直方向の「より有能」であることへの引き上げとしてだけでなく、異質な世界が相互に出会っていく時空間としても捉えられ、人間の集団的活動の水平的・越境的拡張を通じた文化の再創造として再定義されるようになりつつあると指摘し「拡張的学習」の可能性を提起している。白敷 (2017, pp. 96-122) は、「拡張的学習」の視座から小学校第1学年生活科の学習の題材として鳥の巣を取り上げ、実践と科学読み物や専門家の助言によって、水平的相互作用と垂直的相互作用の相乗効果が起こり生活的概念と科学的概念の融合という帰結を見たことを報告している。この事例では、ツバメなどの巣の観察（自由な探索）が鳥の巣を真似してつくるという「ものづくり」（体験的な学び）に発展し、子

子どもたちは鳥のように美しい巣をつくるのがいかに難しいかということに気付いていった。また、ゲストティーチャーとして招いた鳥の巣研究者であり絵本作家でもある鈴木まもる氏から、鳥にとって巣は人のお母さんのおなかと同じような役割があることを学び、生活的概念（生活知）としての鳥の巣に関する知見と、科学的概念（学校知）としての鳥と人間の共通点と差異点に関する知見とが一体となり、深い学びが起きたと考えられる。

鈴木（2017）は、芸術的な視点から鳥の巣を真似してつくる楽しさを紹介する書籍を発表し子ども向けのワークショップを実施している。鈴木が2022年7月24日に栃木県小山市にある小山市立博物館で実施したワークショップには、幼児10名、小学校低学年4名、小学校中・高学年4名、保護者21名が参加した。参加者は鳥の巣の実物と絵を見て巣の構造と機能を学んでから思い思いに巣を作っていく。図1はその時に参加した小学校第4学年の子どもの作品である。木の枝に枯草をのせて崩れないように毛糸でとめている。巣の中にはクッションになる綿を敷いて紙粘土で作った青い卵を置いている。台座はどんぐりで装飾している。ワークショップの中で子どもは、「何度やっても崩れた。よくくちばしと足だけでできるなと思いました。」「こんなものを作る鳥はすごいなと思いました。」といった感想を語った。この事例における鳥の巣作りは、巣の構造と機能に関わる Engineering の要素と美しさに関わる Art の要素を融合させた好例である。また、ゴールのない自由な制作はティンカリングの要素を多分に含んでいると言える。さらに指導者である鈴木氏は制作前に作り方の説明をせず、思い思いに制作する子どもの様子を見て回り、必要に応じて材料を渡したり話しかけたりして子どもと共に制作を楽しんでいた。



図1 子どもが作った鳥の巣

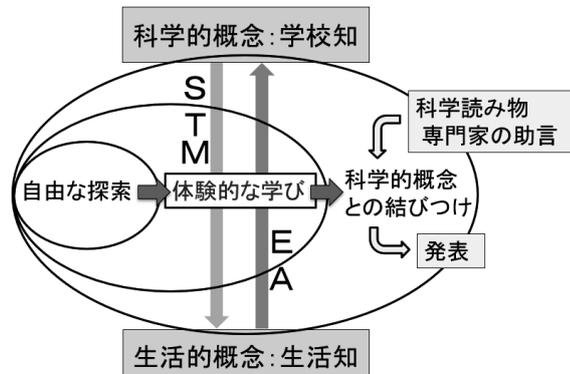


図2 ZPD の場における STEM 教育のフロー（白敷, 2017 を改変）

これまで述べてきたことから、STEAM 教育においては、Engineering と Art は、一般的な学びの道筋の逆を辿っていることが示唆される。このことを「拡張的学習」の視座から ZPD の場における学習のフローとして模式化したのが図2である。Science (S), Technology (T), Mathematics (M) が伝統的な教授-学習法に従い、科学的概念の高次の特性である「自覚性・随意性」の領域から生活的概念の低次の特性である「個人的経験・具体性の領域」へ向かって成長するとするならば、「ものづくり」を伴う Engineering (E) と Art (A) は、その逆を辿る。両者の相互作用を可能にするには、教師が先回りをせず共に学ぶ姿勢を持つことであることを鳥の巣作りの事例は示唆している。また、制作を通して鳥の巣の優れた構造と機能に気付いた子どもの内面では、科学的概念（学校知）と生活的概念（生活知）の往還による相乗効果が起き概念形成が進んだと捉えることができる。

4. 我が国で STEAM 教育が普及しない理由の日米比較による検討

4.1 カリキュラムにおける STEAM 教育の日米比較

米国では技術者養成の観点から国家の施策として NGSS において STEM 教育が位置付けられ強力に推進されている。対象は5歳児から高校生までと広い。一方、我が国では、問題の所在で述べたように、平成元年告示の小学校学習指導要領施行以降、低学年理科の廃止や教材のパッケージ化によって創造力をはたらかせる「ものづくり」の機会は減少している。5歳からの理科教育の全分野で Engineering 的思考を単元の指導計画に組み込んでいる米国と比べ、我が国の「ものづくり」は極めて限定的で、単元構成の主軸になり得ていないと言える。

4.2 教科書と教材の役割の日米比較

米国では一般的に教科書は1年間の貸与であり、学校に置いておき次の学年に引き継がれる。我が国の教科書よりページが多く、発展的な内容を多く含む。教師は教科書の全てを扱うのではなく、子どもは学習の情報源として必要に応じて活用する。

一方、教材については個別に渡されるものが多い。カルフォルニア大学パークレー校ローレンツホールオブサイエンスが開発している理科教育プログラム“Full Option Science System”（以下：FOSS）の教材を制作している教材メーカーは、クラスの人数に応じた教材を届けている。例えば、1～3年のSTEM領域の単元“Force in Action（運動と力）”では、人数分のビー玉やプラスチックカップ、2人で使う坂道になるレール、掲示用ポスター等、授業で使用する教材29種類が届けられる。この教材は完全にパッケージ化されているわけではない。教師はビデオ、指導書、ワークシートを参考にし、教材を場面に応じて小出しに使っていく。この仕組みによって経験の浅い教師であっても質の高い授業を行うことができるようになる。我が国の教師が自ら単元の指導計画を立てて多くの教材を自ら準備している状況とはかなり異なっている。

5. 事例的研究

5.1 教材開発の趣旨

本研究では、「2. 研究の目的と方法」で述べた2つの仮説の検証を行うことを目的として教材開発と事例的研究を行った。

我が国の市販の「ものづくり」教材は、子どもが失敗せずに完成させられることを目指して設計されていることから、組み替えたり改良したりする操作性は高くない。一方、FOSSの教材には、自由にいじり回す活動を想定した素材が含まれ、子どもが物の性質・構造・機能を考えながら、それらを組み替えたり改良したりしやすいように設計されている。操作性の高い教材はティンカリングと Engineering の観点から、子ども自身が説明可能な論理を構築するのに有効であると言える。

我が国でティンカリング的なアプローチで行われている単元に生活科の「動くおもちゃづくり」がある。ここでは、輪ゴム、厚紙、トイレットペーパーの芯等、身近な素材を使って自由な発想でおもちゃづくりを行う。しかし、子どもの思いや願いを重視することから子どもは動く仕組みの異なる多種多様なおもちゃを作る。思い通りにおもちゃが動かない時にこそ Engineering の視点に立った思考力を伸ばすチャンスであるが、子どもが多種多様なおもちゃを作っている場合は2つの理由でこれが

困難となる。第一に、共通の経験が不足している状態では図2の体験的な学びにおいて子ども同士による水平的相互作用が起きにくくなり、科学的概念との結びつけが困難になる場面が増えることが懸念される。第二に、問題の解決には科学的知見に基づいた教師の適切なアドバイスが必要な場面があるが、クラスの構成人数が多く作るおもちゃの種類が多いと1人の教師で適切なタイミングで助言することが困難になる。また、我が国の理科においては、機能を追加したり構造に改良を加えたりすることが容易な操作性の高い教材が使われる場面や自由な発想に基づいて創造力を働かせて制作をする自由試行の場面は極めて少ない。このような我が国の生活科・理科の実情において、Engineering的思考をはたらかせた「ものづくり」の実施は極めて困難であると言わざるを得ないことから、操作性の高い教材の開発と普及に課題があると言える。そこで本研究では、下記の観点で自由度の高いSTEAM教材の開発を行った。

- ・印刷して用いることのできる型紙，理科室にある教材，身近な材料だけで制作できる。
- ・型紙に印刷された解説と見本の写真を手掛かりに教師の説明や手助けが無くてもある程度自分だけ，もしくは友達と協力しながら制作できる。
- ・材料にいくつかの選択できる物があり，子どもが作りたいと思うものを材料を選んで制作できる。

5.2 開発した教材の概要

制作した教材は、小型扇風機と風で動くおもちゃである。小学校生活科と理科では、風に関する学習を扱うことが可能である。また、小型扇風機は身近な道具になり得ることから、子どもにとってその構造をイメージしやすく、興味の継続に期待が持てる。これらの理由から、教材として小型扇風機と風で動くおもちゃを選定した。

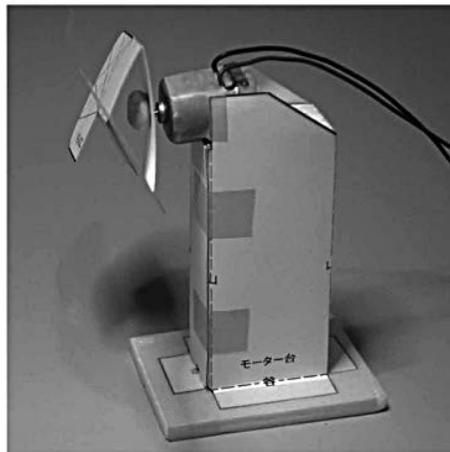
教材は、工業デザイナーの吉澤弘氏に開発を依頼し、昭和女子大学現代教育研究所研究員と検討会を重ねて改良して用いた。制作した教材はホームページで公開している(資料1, 資料2)。公開している資料の一部を図3に示した。資料の通り、作り方の手順は細かく指示していない。図3の「1風送りプロペラ」では、全体的な構造は分かるが、とめ方の順番やモーターの位置、羽根の止め方は写真から読み解くしかない。図3の「2回転ステージ」では、風を受ける物をどのように円盤に貼るかを示していない。羽根は2種類から選べる。乾電池のつなぎ方、羽根の取り付け方、羽根の曲げ方についての指示は書いていないことから、子どもはトライアンドエラーを繰り返しながら学びを進める。

5.3 実施校と対象

東京都中野区にある私立東京コミュニティスクールの第4学年2名，第5学年7名，第6学年1名を対象に，2021

1 風送りプロペラ

モーターに、プロペラ大か小をつける。



2 回転ステージ

支柱小に、円盤を乗せる。

円盤に、風を受ける物をテープで貼りつける。

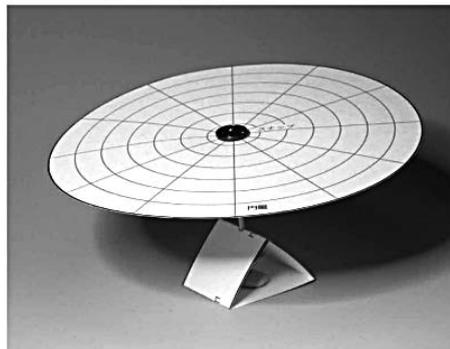


図3 写真資料の一例

年12月8日放課後の16:30~18:00に実施した。授業の様子は子ども及び保護者の同意を得てビデオで録画して分析に用いた。授業者は白敷(筆者)で、埼玉大学STEM教育研究センターに所属しSTEAM教育について研究をしている星名由美氏が授業のサポートに入った。

5.4 結果

扇風機作りでは、大人が指示をしたり手伝ったりすることなく、50分間で10人全員が扇風機を作ることができた。その後、20分間、子どもは集中して作品に改良を重ねていた。多くの子どもたちに見られた活動は次の5点であった。

- ・羽根が支柱にぶつからずスムーズに回るようにモーターの位置と羽根の位置を調整していた。
- ・風が強くなるように羽根の曲げ方を工夫していた。
- ・大きい羽根と小さい羽根でどちらが強い風が出るか比べていた。
- ・電池の向きを変えると風の出る向きが変わることに気付いた。
- ・乾電池を2個にして回り方が早くなるのを試した。

次に、個別に起きていた事例を2つ取り上げる。

5.4.1 事例1：乾電池の向きによる扇風機自体の動き方に関する気づきの場面

プロペラの回転数を上げることに取り組んでいた子ども(C1)は、図4のように2つの乾電池を直列つなぎにする試みをしていた。そして、回転数を上げることに成功したが、乾電池の繋ぐ向きによって扇風機自体が激しく動く場合があることに気付いた。その時の発話プロトコルと行動は下記の通りである。C1は当該児童でT1は授業者(筆者)である。()の中は、筆者による加筆である。

C1 「(つなぎかたを) 逆向きにすると後ろに下がってっちゃう。」

リード線をつなぐとプロペラが回転し扇風機自体が激しく動く。

T1 「ああ、なんでだろう。」

C1 「つなぐ方向を逆にすると…」

T1 「自分で風をふきだして動いちゃうんじゃない。」

リード線のつなぎ方を戻しプロペラを回転させると風が前に出て扇風機は安定する。

C1 「換気扇になると動いちゃう。」



図4 乾電池の向きを変えて扇風機の動きを比べる子どもC1

5.4.2 事例2：風で動くおもちゃ制作で助言が必要だった場面

風で動くおもちゃを作っていたC2は、図5のように作ったおもちゃが動かず困っていた。その時の発話プロトコルと行動は下記の通りである。C2は当該児童でT1は授業者（筆者）である。

C2 「動かない……。」(図5)

T1 「ここに羽根を立ち上げて、ちょっと切れ込みを入れて」

自分なりに考えながら円盤に切れ込みを入れて改良して試す(図6)。



図5 なぜ回らないか考える子ども

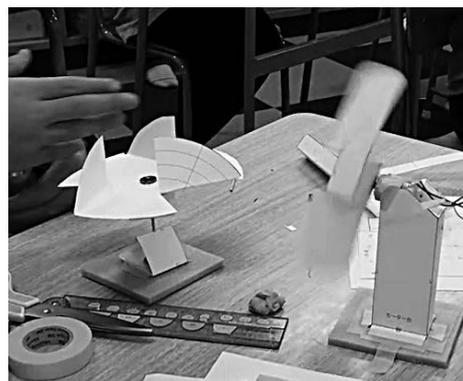


図6 助言後のC2の作品

5.4.3 授業後の指導者とTTの感想

授業後授業者である白敷（筆者）の感想は次の通りである。

- ・説明をすることが少なく制作にたっぷり時間をとることができた。
- ・配線はすぐにできていたが、羽根が支柱に当たらないようにバランスよくプロペラをつけるところが難しそうでした。
- ・風で動くおもちゃ作りは子どもと一緒にどうしたら摩擦を減らしてよく回るようにできるか一緒に考えるのが楽しかった。

授業のサポートに入った星名氏の感想は次の通りである。

- ・子どもたちは、これまでに勉強した知識も活かして、「もっと早く動かしたい！」と電池の組み合わせを変えて実験したり、羽根の折る角度を変えたりと、いろいろな実験をしていた。またそれを見て、自分もやってみよう！とチャレンジする子どもたちもいて、学びの深まりと広がりを感じた。組み立てて、動き出したときの驚きと喜びの笑顔も印象的だった。
- ・カチッと組み立てるキットとは違う、自由度のある教材だからこそ、子どもたちの工夫や実験が広がるのだなとも感じた。
- ・全体を通して、子どもたちが生き生きと、「こうしてみたい！こうしたらどうなる？」という好奇心をもって、体が前のめりになって活動しているワークショップで、こちらも、次にどんな工夫をするのかと見ているのも楽しい時間だった。

5.7 考察

5.7.1 仮説①の検証

扇風機作りでは、自分で作りたいものをイメージしそれに近づけるようにいろいろな物を組み合わせ、機構を考えながら作っていくことから Engineering の要素を多分に含んでいると言える。また、しっかり風を吹き出す扇風機の羽根は美しい曲線を備えていたり、風で動くおもちゃから点対称の形を見出したりできるなど、Art の視点からも評価可能である。このように、扇風機作りでは図 2 における生活的概念（生活知）から科学的概念（学校知）へと向かう学びの道筋が見られた。

この扇風機作りの過程において、第一に「STEAM 教育に適した操作性の高い教材、適度な手掛かりがあれば、子どもは教師による手助けが十分に無くても意欲的に手を動かす」という仮説の確かさについて検討を試みる。扇風機作りでは、約 60 分間の間に、子どもたち自身で、モーターの位置と羽根の位置を調整したり、風が強くまっすぐ出るように羽根の曲げ方を工夫したり、大きい羽根と小さい羽根でどちらが強い風が出るか比べたりしていた。その後のおもちゃ作りも含めて 90 分間休みなく集中して制作に取り組んでいたことから、子どもは次々にやりたいことを見つけて意欲的に制作に取り組んでいたことが伺える。このように次々に活動がつながった理由として、自分で作りたい物を自由に選び作れるだけの教材がそろっていたことが挙げられる。

事例 1 では、子ども C1 は、リード線のつなぎ方によってプロペラの回転方向が変わり扇風機になったり換気扇になったりすることと、風の出方の違いが扇風機自身の安定性に影響を及ぼしていることを発見した。これらのことは試行してみないと分からないことであり、子どもは風が物体に与える影響を深く洞察しながら「ものづくり」を行っていた成果であると評価できる。

事例 2 の子ども C2 は、図 3 の写真を参考に制作を進めるが、図 5 に示したように作品が動かないことでなぜ動かないか思考を始めた。そこで、授業者が「ここに羽根を立ち上げて、ちょっと切れ込みを入れて」と助言をすることで C2 は手掛かりを得て見通しを得て作品を作り続けることができるようになった。授業者の助言は一度だけだったが、C2 は図 6 のような空気抵抗を大きくする部位を作って試すに至った。このことから、作り方の手順や完成図を示していない教材だったからこそ、C2 はトライアンドエラーを続けることができたということが出来る。これらのことから、操作性の高い教材、適度な手掛かりがあれば、子どもは教師による手助けが十分に無くても意欲的に手を動かし、深く学ぶ方向へと向かう可能性が高まることが示唆された。

扇風機作りにおいては、乾電池のつなぎ方において理科で学んだことを活用する場面があった。すなわち、Science, Technology, Mathematics の要素を含んでいたということが出来る。このように、扇風機作りは、図 2 における科学的概念（学校知）から生活的概念（生活知）へと向かう学びの道筋を有していると言える。そこで、第二に、扇風機作りの過程において、「Engineering による学びが Science, Technology, Mathematics による学びを呼び覚まし相乗効果をもたらす」という仮説の確かさについて検討を試みる。

扇風機作りでは、乾電池とモーターを輪のようにつないで回路を作った。また、乾電池の向きを変えて電流の向きを変えるとプロペラの回転方向が変わり、扇風機になったり換気扇になったりすることに気付いていった。さらに、よりプロペラの回転数を上げるために乾電池を 2 個使いたいと考えた場面では、乾電池の直列つなぎという知識や、乾電池を増やすと電流の流れも増えるという関数的な考え方を活用して「ものづくり」を行っている。このように、Science と Technology, Mathematics

に関わる知識や技術を駆使して子どもは「ものづくり」を行っていたことが、子どもの行動観察の分析から見出すことができる。これらのことから、「ものづくり」の Engineering の要素が Science と Technology, Mathematics で学んだことを呼び起こして相乗効果をもたらし、科学的概念との結びつけを質的に高めたことが示唆された。

5.7.2 仮説②の検証

本研究は、STEAM 教育の拡張的可能性を示すことによってその教育的価値を提起することを試みている。拡張的学習では、子どもを自ら学びを拡張することのできる有能な存在として捉え、時として教師を追い越し学習を先導する位置に立ってエージェンシーを発揮することによって学習が拡張していくと捉える。一方、STEAM 教育ではティンカリングや自由試行の視点が重要であることについて述べた。これらは教師が先回りすることなく子どものエージェンシーを保証する点において拡張的学習の学習方法と軌を一にしている。子どもと教師で共に作る学びには、先に鳥の巣作りの事例で述べたように、Engineering や Art の視点で子どもも教師も一緒に「ものづくり」を楽しむ場が重要な役割を担っていた。このような場では、図 2 に示した ZPD の場における STEM 教育のフローが起きる可能性が高まる。すなわち、Engineering や Art の要素が Science と Technology, Mathematics で学んだことを呼び起こして相乗効果をもたらすのである。

そこで、「教師は子どもの活動を先回りせず、「ものづくり」の過程を共に楽しみながら授業を構成することができるようになる。」という仮説が本研究の事例で見られたか、授業者（筆者）と授業のサポートに入った星名氏の感想から検討する。

授業者が、「羽根が支柱に当たらないようにバランスよくプロペラをつけるところが難しそうでも意外だった」と述べているように、子どもの活動の後に新たな学びの可能性を見い出している。また、「子どもと一緒にどうしたら摩擦を減らしてよく回るようにできるか一緒に考えるのが楽しかった」と述べているように、授業前には想定していなかった新たな課題の解決に共に取り組む課程の楽しさを見い出している。このことから授業者は子どもの活動を先回りせず、子どもの様子を見ながら授業を構成していることが伺える。また、星名氏は、「全体を通して、子どもたちが生き生きと、「こうしてみたい！こうしたらどうなる？」という好奇心をもって、体が前のめりになって活動しているワークショップで、こちらも、次にどんな工夫をするのかと見ているのも楽しい時間だった。」と述べている。このことから、子どもたちが主体的に楽しく学んでいただけでなく、見ている大人も子どもの工夫を見ることに楽しみを見い出していたと言える。

これらのことから、本事例では、指導者が子どもの活動を先回りせず、「ものづくり」の過程を共に楽し見ながら授業を構成していたことが明らかとなった。

6. ま と め

本研究では、生活科・理科における「ものづくり」の再興を目指し、Vygotsky, L.S. の「ZPD 理論」と山住の「拡張的学習」の理論を援用し、STEAM 教育推進に寄与する教材と教育方法の開発を目指した。

まず、我が国の「ものづくり」と STEAM 教育の共通点と差異点については、共通点は多いものの、Art やティンカリングの視点から再考し、あらかじめ明確な設計図を用意しないことや、遊戯性、熱意という心情的な側面を重視する必要性が示唆された。

次に、我が国でSTEAM教育普及の障壁となっている原因について検討した結果、5歳からの理科教育の全分野でEngineeringの考え方を導入する米国と比べると、我が国の「ものづくり」は極めて限定的で、単元構成の主軸になり得ていないことがわかった。また、米国ではEngineeringの考え方を学ぶのにふさわしい操作性の高い教材を子どもの人数に応じて渡すことが可能であることから、我が国では「ものづくり」の教材を子どもに届ける仕組みが十分に整っていないという問題点が浮き彫りとなった。

最後に事例的研究によって、STEAM教育に適した教材の活用と、自由試行を取り入れた教育方法によって、子どもは教師による手助けが十分に無くても自ら意欲的に「ものづくり」を行うようになることと、EngineeringとArtによる学びがScience, Technology, Mathematicsによる学びを呼び覚まし相乗効果をもたらす可能性があることが明らかとなった。また、このような子ども主体の「ものづくり」の場において、教師が子どもの活動を先回りせず子どもの様子を見ながら授業を構成していったならば、教師と子どもは共に楽しみながら拡張的学習を作り出すことができるようになることが示唆された。

今日、STEAM教育とプログラミング教育が接近し、ますます指導が難しくなっている。今後は、STEAM教育推進に向けた方策を、プログラミング教育にも当てはめることができるか検討することが課題である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、教材を制作していただいた工業デザイナーの吉澤弘様と、授業実践にご協力いただいた東京コミュニティスクール中島敦子様、この場を借りてお礼申し上げます。また、本研究は、JSPS 科研費若手研究（課題番号 19K14210）の助成を受けています。

注

- 註1) 例えば、2019年12月にタイで開催されたICASE (International Council of Associations for Science Education) 主催の理科教育に関する国際学会では、全発表66本中、タイトルまたはキーワードにSTEM/STEAMが表記されているものは19本あった。全体の29%がSTEM教育を視野に入れていることから、国際的に見てSTEM/STEAM教育への関心は高いと言える。
- 註2) EdTechとはエデュケーションとテクノロジーとを組み合わせた造語で、進歩の著しいIT技術を教育分野に活かす取り組み全般を包含する概念であると説明している（山田，2019）。

引用文献

- ・新たな時代を豊かに生きる力の育成に関する省内タスクフォース（2018）「Society 5.0に向けた人材育成～社会が変わる，学びが変わる～平成30年6月5日」https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/fieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf（2022年8月14日アクセス）
- ・Bybee, Rodger W. (2012) “Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms”, Harold Pratt (2012) The NSTA reader’s guide to a framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas, NSTA Press, 35-43.
- ・中央教育審議会（2021）「『令和の日本型学校教育』の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学びの実現～（答申）令和3年1月26日」

- ・ 経済産業省 (2018) 「『未来の教室』と EdTech 研究会第 1 次提言 2018 年 6 月」 https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20180628001_1.pdf (2022 年 8 月 14 日アクセス)
- ・ 経済産業省 (2019) 「『未来の教室』ビジョン 経済産業省「未来の教室」と EdTech 研究会 第 2 次提言 2019 年 6 月」 https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mirai_kyoshitsu/pdf/20190625_report.pdf (2022 年 8 月 14 日アクセス)
- ・ 松原憲治・高坂将人 (2017) 「資質・能力の育成を重視する教科横断的な学習としての STEM 教育と問い」, 科学教育研究 41(2), 150-160.
- ・ Martinez, Sylvia Libow., & Stager, Gary Stager. (2013) “Invent to Learn”, 訳: 酒匂寛 (2015) 『作ることで学ぶ Maker を育てる新しい教育のメソッド』, オーム社.
- ・ 森本信也 (1992) 「第 1 章学習論の変遷」, 日本理科教育学会編『理科教育学講座 第 4 巻 理科の学習論 (上)』, 東洋館出版社, 23-30.
- ・ NGSS Lead States (2013) Next Generation Science Standards For States, By States Volume2: Appendixes, The National Academy Press.
- ・ Quigley, C. F., & Herro, D. (2019) “An educator’s guide to STEAM. Engaging students using real-world problems”, Teachers College Press.
- ・ 白數哲久 (2017) 『児童の科学的概念の構造と構成—ヴィゴツキー理論の理科教育への援用』, 福村書店.
- ・ Sousa, David A., & Pilecki, Tom. (2017) “From STEM To STEAM”, 訳: 胸組虎胤 (2017) 『AI 時代を生きる子どものための STEAM 教育』, 幻冬舎.
- ・ 杉山良一・山下雅文 (1998) 「現代理科教育学からとらえた自由試行と中学校理科における実践」, 鳥取大学教育学部実践研究指導センター研究年報 第 7 号.
- ・ 辻合華子・長谷川春生 (2020) 「STEAM 教育における“A”の概念について」, 科学教育研究 44(2), 93-103.
- ・ 梅埜國夫 (1993) 「STS 教育の理念と理科にとっての意味」理科の教育 42(11), 8-11.
- ・ Vygotsky, L.S. (1956) “Мышление и Речь”, 訳, 柴田義松 (2001) 『思考と言語』, 新読書社.
- ・ 山住勝広 (2004) 『活動理論と教育実践の創造—拡張的学習へ—』, 関西大学出版部.
- ・ 山田浩司 (2019) 『EdTech エドテック テクノロジーで教育が変わり, 人類は「進化」する』, 幻冬舎.
- ・ 柚木翔一朗・片平克弘 (2016) 「テインカリングの観点を取り入れた生徒主体の「ものづくり」に関する研究」, 日本科学教育研究会研究報告書, 30(6).

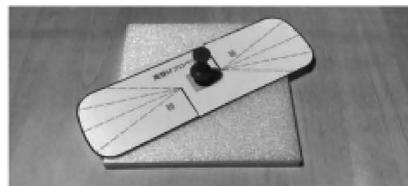
参考文献

- ・ 原口るみ・山本栄喜 (2011) 『大科学実験 DVD-Book 空飛ぶクジラ』, 小学館.
- ・ 鈴木まもる (2017) 『鳥の巣をつくらう』, 岩崎書店.

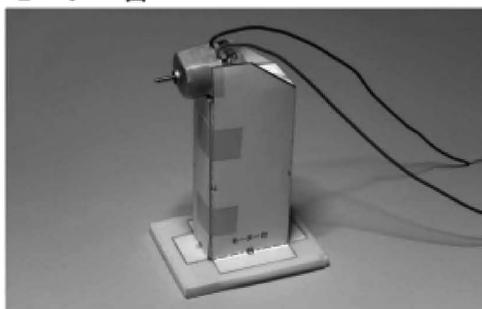
部品の組み立て

注意：穴を開ける時は発泡スチロールの上

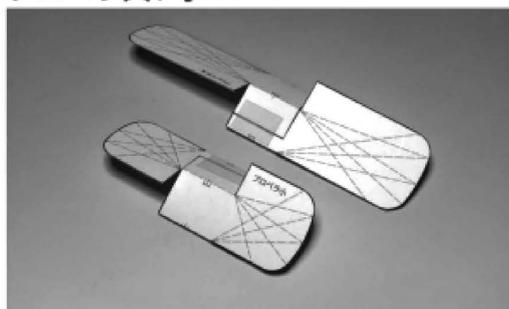
- 使う物 モーター (FA130)、マスキングテープ、ひっつき虫、プッシュピン、スナップ、つまようじ、竹串、細いストロー



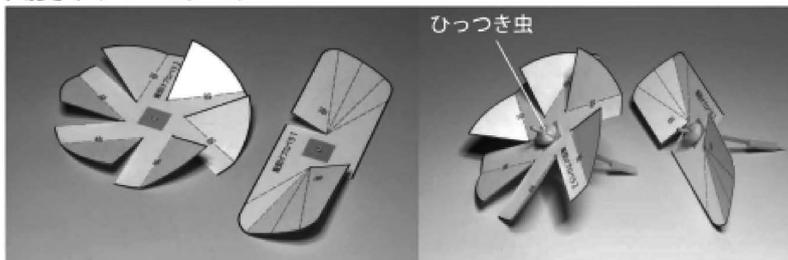
モーター台



プロペラ大 / 小



風受けプロペラ 1/2



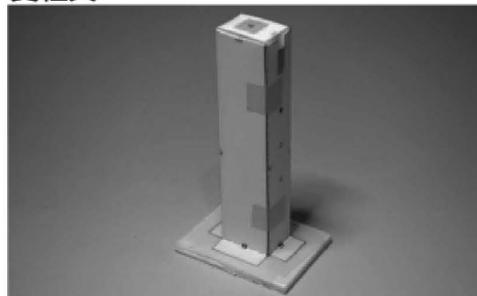
回転計



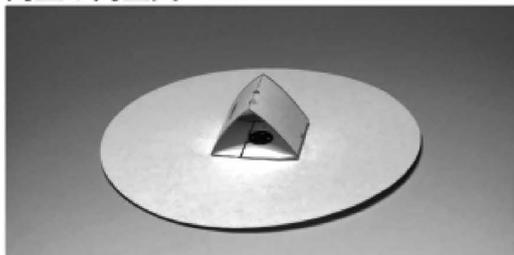
腕



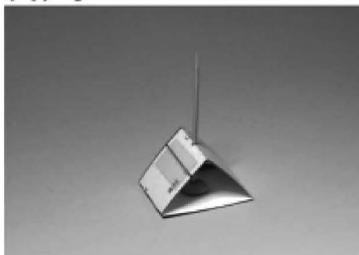
支柱大

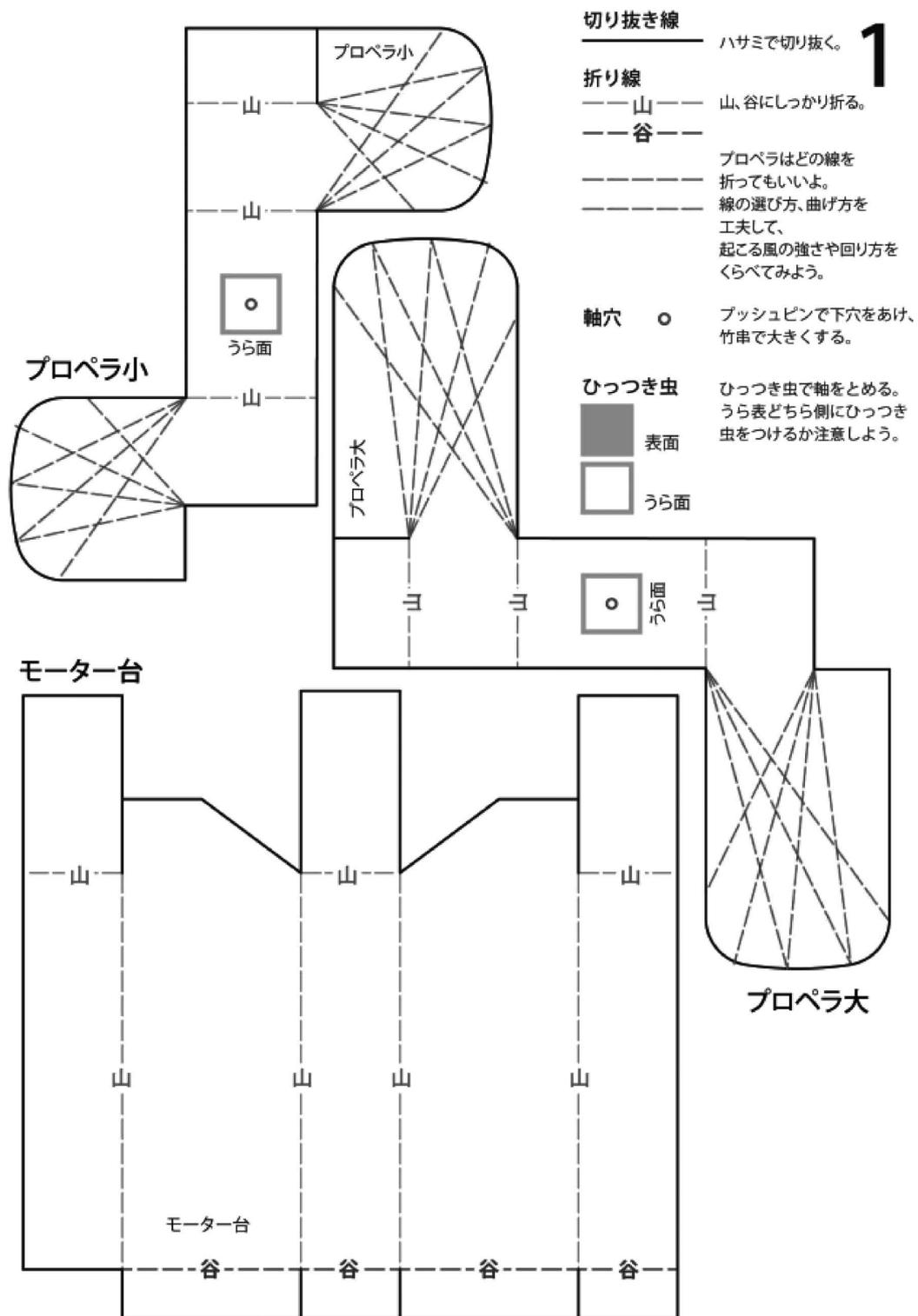


円盤と円盤支え



支柱小





出典 : https://swuhp.swu.ac.jp//ime/publication/20220303_vol.4_rika_contents.pdf