

紙製受動歩行模型教材を使用した小学校設計学習に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2018-12-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山田, 哲也 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00026088

博士論文

紙製受動歩行模型教材を使用した
小学校設計学習に関する研究

2018年5月

愛知教育大学大学院・静岡大学大学院 教育学研究科
共同教科開発学専攻

山田哲也

目次

目次

第 1 章 研究の背景と目的	1
第 1-1 節 研究の背景.....	2
第 1-2 節 問題の所在.....	3
第 1-3 節 目的と構成.....	5
第 1 章 引用参考文献	9
第 2 章 初等教育におけるものづくり教育の意義	12
第 2-1 節 緒言	13
第 2-2 節 ものづくり教育の歴史的変遷	13
第 2-3 節 ものづくり教育の意義	14
第 2-4 節 設計学習の意義	20
2-4-1 ものづくり計画に関する先行研究	20
2-4-2 設計と学習	21
2-4-3 Learning By Design (LBD)	23
第 2-5 節 受動歩行モデルと設計	24
第 2-6 節 設計学習の方法	26
第 2 章 引用参考文献	29
第 3 章 紙製 2 足受動歩行モデル	32
第 3-1 節 緒言.....	33
第 3-2 節 紙製 2 足受動歩行モデルの提案.....	34
3-2-1 紙製 2 足受動歩行モデルの製作	39
3-2-2 材料と道具	39
3-2-3 製作手順	40
3-2-4 製作上の留意点	41
3-2-5 調整・改良	41
第 3-3 節 歩行の力学的解析	44
3-3-1 紙製 2 足受動歩行モデルの周期測定	44
3-3-2 周期測定用 2 足受動歩行モデルの製作	45

3-3-3 周期測定用 2 足受動歩行模型の製作手順	45
3-3-4 運動解析	46
3-3-5 歩行実験	57
3-3-6 運動解析用歩行模型	58
3-3-7 構造パラメータ	60
第 3-4 節 最適設計のための歩行実験	64
3-4-1 実験方法	64
3-4-2 実験結果	65
第 3-5 節 授業実践と評価	71
3-5-1 授業実践	71
3-5-2 基本型の製作	71
3-5-3 試行錯誤から再設計	72
3-5-4 結果と考察	73
第 3-6 節 結言	79
第 3 章 引用参考文献	82
第 4 章 紙製 4 足受動歩行模型	84
第 4-1 節 緒言	85
第 4-2 節 紙製 4 足受動歩行模型の提案	86
第 4-3 節 歩行の力学的解析	86
4-3-1 脚の力学的解析	86
4-3-2 脚のパラメータ変更実験	90
第 4-4 節 最適設計のための歩行実験	94
第 4-5 節 授業実践と評価	97
4-5-1 授業における紙製 4 足受動歩行模型	97
4-5-2 授業実践	99
4-5-3 調査の手続	103
4-5-4 結果と考察	105
第 4-6 節 探求のための教育方法	109
4-6-1 教育方法の検討	109
4-6-2 調査の手続き	109
4-6-3 結果と考察	110

第 4-7 節 結言	113
第 4 章 引用参考文献	114
第 5 章 模型製作の応用と教育方法	116
第 5-1 節 緒言	117
第 5-2 節 教師への利用	117
5-2-1 教師が学ぶ受動歩行模型	117
5-2-2 授業実践	117
第 5-3 節 家庭へ持ち帰る学習での利用	120
5-3-1 家庭での利用の背景	120
5-3-2 実践の目的	121
5-3-3 調査の手続き	122
5-3-4 紙製受動歩行模型の製作	122
5-3-5 家庭の中でのものづくり	124
5-3-6 学習プログラムの提案と実践	125
5-3-7 結果と考察	127
5-3-8 まとめ	134
第 5-4 節 設計学習の教育方法	135
第 5-5 節 結言	140
第 5 章 引用参考文献	141
第 6 章 結論	143
あとがき	147

第 1 章 研究の背景と目的

第 1-1 節 研究の背景

第 1-2 節 問題の所在

第 1-3 節 目的と構成

第 1 章 引用参考文献

第 1 章 研究の背景と目的

第 1-1 節 研究の背景

著者は、初等教育から中等教育まで幅広く、ものづくりに関する教育に関わってきた。ものづくりに関する教育も様々な教科から、そのアプローチがあるが、どの場面でも共通することは、児童生徒が頭を使い、手を使い、きわめて意欲的に活動する場面がいたるところで見られることである。このような児童生徒の様子に内発的な動機に基づく学びを感じてきたのは著者だけではないと考えられる。一方、若者たちの科学技術離れ、理数科離れ、ものづくり離れの流れが懸念される。それは、我が国の産業界にも大きな影響を及ぼそうとしている。ものづくりに関する教育は、産業教育の面から議論されることも多いが、人として必須となる創造・工夫する能力、設計する能力の育成にも大きな役割を果たしている。すなわち、ものづくり教育は、技術立国である我が国の基盤を支えることにつながり、それは将来の国力にも影響を及ぼすことであるとも言える。現在この技術教育を普通教育の 1 教科として扱っているのは、中学校の技術・家庭科の中の技術分野のみであるが、子どもの健全な発達や、生活に必要な最低限な技術的素養を身につけるという視点、そして将来の国力という視点から、新しいものづくり教育を初等教育の中から探り、初等・中等教育へと一貫した流れの中に位置づけることは、重要であると考えられる。一方で、OECD(経済協力開発機構)は、キー・コンピテンシーを提唱し、これからの社会を生きるために必要な能力を具体的に示している。その動きは、21 世紀型能力として、教育現場でも動き始め、思考の方法 (Ways of Thinking) や仕事のツール (Tools for Working) としてのコミュニケーション能力、コラボレーション能力など新しい課題解決のための能力をつけていくことが必要となっている。

我が国は、平成 8 年度から第 1~4 期「科学技術基本計画」^{1),2),3),4)}により長期的視野に立って体系的かつ一貫した科学技術政策を実行してきている。その計画では一貫して子どものときからものづくりの面白さに親しむ必要性を述べている。現在は平成 28 年度~32 年度第 5 期「科学技術基本計画」を策定している。科学技術基本計画では、以下のことが述べられている。第一に初等中等教育段階から理数科目への関心を高め、理数好きの子ども達の裾野を拡大する。第二に優れた素質を持つ児童生徒を発掘し、その才能を伸ばすための一貫した取組を推進することがうたわれている。また「ものづくり基盤技術基本法」のなかで、ものづくり基盤技術に関する能力を尊重す

る社会的気運が醸成されるよう、小学校・中学校等における技術に関する教育の充実をはじめとする学校教育及び社会教育におけるものづくり基盤技術に関する学習の振興について述べられている。

平成 14 年度から完全実施された改訂版学習指導要領⁵⁾では、技術・家庭科の技術分野「技術とものづくり」は、技術と環境・エネルギー・資源との関係や、加工技術、エネルギー利用の基礎的な知識と技術を盛り込んだ学習が挙げられ、習得のみならず、工夫・創造する能力と実践的な態度を育てることが大きな柱となっている⁶⁾。しかしながら、この内容につながるような学習を、小学校から系統だって学ぶことはなかった。

このようなこともあり、これまでは小学校における科学的な要素を取り入れたものづくりを行うことは難しかった。しかしながら、平成 24 年文部科学省研究開発学校において小中学校 9 年間を通した新教科「みらい創造科」が創設された⁷⁾。またこれに先立って、平成 20 年の学習指導要領において図画工作は、中学校技術・家庭科の技術分野に関連する教科であることに配慮することが明記されている⁸⁾。また理科では、「生活科との関連を考慮し、ものづくりなどの科学的体験や身近な自然を対象とした自然体験の充実を図るようにする」⁹⁾と示され、各学年の「A 物質・エネルギー」に関する目標に、ものづくりを位置づけている。平成 29 年の学習指導要領においても、図画工作では、教科の目標に「材料や用具を使い、表し方などを工夫して、創造的につくったり表したりすること」が挙げられ¹⁰⁾、理科におけるものづくりも引き続き踏襲されている¹¹⁾。また、新たに「児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動」を行うこと¹²⁾とし、ものづくりに関連するプログラミング教育が位置づけられている。日本では、教師は近年、小学校においてもものづくりを中心にした授業を行うことができる環境が整いつつあると言える。

第 1-2 節 問題の所在

このような状況の中、日本産業技術教育学会でも小学校と中学校での一貫した技術リテラシーの必要性が取り上げられ、小学校教員等を対象とした研究報告がある^{13),14),15)}。しかし、長期的な視点での技術リテラシーのためには、初等教育から大学へと繋がる内容が必要である。またものづくりを学ぶには、構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程が大切である。現在のものづくりに関する教育は、自

然科学の理論を学ぶことを目的としたり、ものづくりの楽しさや達成感を持たせるものが多いが、ものづくりの過程、すなわちデザイン・プロセスそのものを学ばせようとする教材は少ない。ものづくりに関する教育方法には、デザイン・プロセスの学びと対照的な教育方法として Russian System がある。この方法はデラ・ボス(1868)が考案したもので、ものづくりの徒弟制度が伝統的な模倣による技術の教授方法であったことを捨て、製作をいくつかの基本的な部分に分解（要素作業）し、それぞれの部分の習得をするというかたちを採る。技能のみを習得するにはこの方法は効率的で、多くの技能者を必要とした高度経済成長期の工業高校などには適していた。しかしながら、現在の教育において必要な思考力や判断力などを身につけることに対しては不向きであるとともに応用が効きにくい。構想から設計にいたる過程はものづくりの基本であり、初等教育から身につけるべき技術リテラシーであると考えられる。

構想から設計にいたるプロセスは、工学的には、設計要求、概念設計、基本設計、詳細設計および生産設計が示されている¹⁶⁾。一連のプロセスにおいて、概念設計は、最初に必要となるもので、概念設計がなければものづくりは始まらない。小林ら(2009)は、一般に概念設計とは、製品の機能構造を構築し、その機能を実現するための概略的な形状・レイアウトを具体化するプロセスであると述べ概念設計法を提案している¹⁷⁾。これらのプロセスは、初等教育においては、ものづくりの方法・手順を計画的に考えることに他ならない。岳野(2005)は、計画とは、行為を行う前に目標の達成を見通し、方法や手順及び必要な準備を考える過程であると定義している¹⁸⁾。本研究におけるものづくり学習における設計とは、作品に対する設計要求に向け、方法や手順を計画的に考え、実行する過程と定義することにする。

著者は、これまでに多くの小学校等において、数多くの自作教材を用いて、ものづくりの出前授業の講師を務めてきた。特許庁・近畿経済産業局が、「知的財産立国」の基盤となる知的財産を生み出す人材育成のため、自由な発想や創意工夫の大切さ、創造性を尊重する意識を形成するための出前授業や公民館等での工作教室を実施するとして実施したもの^{19),20),21)}や滋賀大学教育学部附属小学校で9年間にわたり実施した「えらぶ学習」がある²²⁾。それらの児童の学習活動は、非常に活発で、児童の関心意欲を高めるものであった。中でも、動きを持つ教材は、「すごい。歩いた！」といった驚きが多く見られた²³⁾ということが、毎回観察できた。

これまでの小学校では技術的素養を高めるための教育内容や教育方法は少なかった。特に小学校の技術教育に関する研究も少なく、そのなかでも鈴木(2004)が児童の作業分析を行い、短時間で完成度の高い作品を制作する児童は、要素作業に順次性が

あり集中して作業を行っていることを明らかにした²⁴⁾。また、子どもの学びを軸として教材の開発を行うことが、小学校のものづくり教育の教材開発の基本であることを見出した²⁵⁾。ところが、小学校で技術教育を行う場合の教材はまだ少なく、造形的な創造活動の基礎的な能力を培い、豊かな情操を養う「図画工作」や、自然の事物・現象についての理解を図り、科学的な見方や考え方を養う「理科」等の中で目的を異にして行われている教材を目にする程度であった。さらに、小学校でもものづくりを行う場合、危険な工具や工作機械が安全上の問題などから使用できないなど、制約がある。必然的に扱う材料は、金属より木材やプラスチックとすることになる。しかし、木材やプラスチックにおいても加工では、一定のハードルがある。そこで小学校でも行うことのできる技術教育の教材開発をねらいとし、紙を使用した歩行模型を研究している^{26),27),28),29)}。

動く教材で行うものづくり学習は、児童の興味や関心を引くことができる学習となりえる。さらに、工夫しながら改良や調整を行う問題解決的な学習に導きやすい。松永(2009)は、受動歩行模型についてその教育的効果を示している。「木材を使用した受動歩行模型を製作することで児童らは身近なものでも歩行させることができることがわかり、他のものも歩行させたいという意欲を示していた。また、小刀の使い方や危険性、安全性を学ぶことができ、微妙に異なる形状の足が製作でき、歩行の仕方も異なるので、改良や調整を自ら行い、ものづくりを通してなぜ歩行するのかと考えることのできる、興味をひく教材として有用であることがわかった。理科と図工を一緒に学ぶことができ、理科が好きになりましたという感想が得られた」²³⁾。

小学生が簡単に製作できるものづくり教材としての紙製2足受動歩行模型は、重心位置などを捉えながら、動力学的な設計パラメータに着目できる教材として有効性が示されている²⁶⁾。受動歩行模型は、動きに関するパラメータが多く存在し、それを変更することによって、動きが簡単に変更できることから、児童が作品を設計するという点において、適した教材となると考えられる。

第 1-3 節 目的と構成

諸外国では初等教育から“Technology Education”を始めている国が多い。Kolodner,J.L.,(2002)は、“Science”の中でも設計の必要性を挙げ、“Learning by Design”を提唱した³⁰⁾。日本の教育システムでは、生活科、理科、図画工作、総合的な学習の時間等でもものづくりが、行われることが想定される。小学校低学年児童は図

画工作において、身近で扱いやすいものを造形材料に選び、切断や接着に、はさみ、のり、簡単な子刀類などを扱い材料や用具に慣れ親しみながら基本的な扱いを身につけ、ものづくりを体験しているほか、様々な場面での教育活動でもものづくりが取り上げられている。また、藤田ら(2014)は理科の中でもものづくり活動を取り入れた研究で、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を明らかにしている³¹⁾。しかしながら、小学校でもものづくりの実践をするとき構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程はあまり意識されていない。小学校における設計は上記の過程のうち、設計－製作－評価部分を計画的に探究する過程を想定している。これを学ぶ萌芽的設計学習を小学校からでも行えることを示すために、計画的に作る能力をつける教材を開発し、その教育効果を示すことが本研究の目的である。

構想、設計、製作、評価、発表のものづくりの過程には、材料の大きさや重さなど多くのパラメータ、切断の方法や工具、環境など解決に関する情報が多く存在する。この知識や情報を操作することが児童の思考となるが、この思考を対象とする分野に認知心理学がある。認知心理学では知識体系としてのスキーマを問題解決場面で取り上げるが、ものづくり学習において、ものづくりの過程を認識し計画的に作る能力を育むには、このような児童の思考の過程を解明することも必要になってくる。本論文においては、教材の持つ特性から、児童の思考についての考察を行うことによって、設計学習の教育方法に繋げていくことについても取り扱う。

教科開発学が新しい学問分野として構想されている。それは、現在の教育内容に適合した教科内容構成の研究と学校教育が抱える諸課題に対応した教科内容構成を実践するための教育環境の研究を柱にしている。その下層には教科専門と教科教育の融合を考える教科学と学校環境や学校環境以外の教育環境を幅広い視点で捉える教育環境学を位置づけ、その融合を図っている。教育環境学は、突き詰めれば教職専門を発展させたもので、教科内容などとして構成されたものを実践するための教育環境を考える新しい研究領域と言える。人の学びは教室、または学校園だけではなく様々な場所や学習の形態が関わっている。教科の座学だけではなく、体験的な活動（ものづくり）、図書館、家庭、地域、メディア・インターネットなど教育方法を含めた教育環境をいかに最適化し、デザインするかについて研究する必要がある。これらの様々な教育環境を考える中で、効果的な教育内容や教育方法を構築することは、簡単なことではないが、教育環境を適切に組み入れ、能動的な学習に導くことは、今日の多様

な情報があふれる社会の中を生きる子どもにとっても欠かせない重要なことだと言える。学校教育の中の授業展開だけに着目するのではなく、広い視野で子どもの学びを捉え、教師も学び、子どもとともに成長したり、家庭における教育環境を利用することにより子どもの学びを支える可能性を追求することも必要である。

「総合的な学習の時間」が、学校教育の中に大きく位置付けられて久しいが、問題解決を児童とともに教師も行う場面は多い。場合によっては、答えが一つに定まらなく、教師も解決できないような不良定義問題に取り組むことも珍しくなくなった。そのような場面では、児童も教師も解決に向けて、ともに協調的に学び、学びを能動的なものにする。しかしながら、教師が本当に児童と同じレベルで問題に取り組むより、学習を児童より高い次元から支援するということが必要である。例えば、本論文で取り扱うような教材においても、児童を深い学びに導くために、教材の意義や挙動についての理解が望まれる。そのため、本論文においては、教材の運動解析等にも、一定のページを割いた。

また、探求型の教材は、子どもの探求が授業内だけで終わることがない。児童の探求心をくすぐるような教材を授業で取り扱ったとき、昼休みや放課後、家庭に帰って親や兄弟と探求を続けることが多い。そのような姿は、夏休みの自由研究などでもよく見かける。本論文で取り扱う設計学習は探求の要素が多く含まれている。先に教育環境の重要性について述べたように、広い視野から捉える必要であると考え、家庭に持ち帰る学習についても取り扱う。

本研究では、ものづくり教育の教育方法に、教科専門的知見を取り入れ、能動的な学習の成立を考え、教科学の視点として既存の教科の枠組みをこえる能動的な学習のための体験的な教育環境について着目するものである。

本論文は全6章から成り、以下に各章の概要を示す。

第1章では、研究の背景から、今日生じている課題、目的・方法及び論文の構成について述べる。

第2章では、ものづくり教育の歴史的変遷や世界的動向を踏まえ、初等教育におけるものづくり教育や設計学習の意義について述べる。

第3章では、具体的教材として、紙製2足受動歩行模型の開発、力学的解析、最適化のための歩行実験、および授業実践とその評価について述べる。

第4章は、第3章と同様に、具体的教材として、紙製4足受動歩行模型の開発、力学的解析、最適化のための歩行実験、および授業実践とその評価について述べる。

第5章では、紙製受動歩行模型を教師の学びや家庭に持ち帰る学習において用いた

事例や保護者などの教育資源の関わりについて述べた上、本論文で提案する教育方法について述べる。

第6章では、開発した歩行模型の特性を踏まえ、設計教育を初等教育で導入した場合における実際の教育的効果や今後の展望についてまとめる。

第 1 章 引用参考文献

- 1) 内閣府，第 1 期科学技術基本計画（1996）
- 2) 内閣府，第 2 期科学技術基本計画（2001）
- 3) 内閣府，第 3 期科学技術基本計画（2006）
- 4) 内閣府，第 4 期科学技術基本計画（2011）
- 5) 文部科学省，改訂中学校学習指導要領 技術・家庭（1998）
- 6) 松永泰弘，ものづくり大好きな子どもたちを育てる創意工夫教材の開発と教育実践による検証，科学研究費補助金基盤研究（c）課題番号 19500736 研究成果報告書，p.1（2009）
- 7) みらい創造科，上三川町本郷小学校
http://www.kaminokawa-tcg.ed.jp/schoolhp/hongoele/?page_id=19（2015 年 9 月 20 日確認）
- 8) 文部科学省，小学校学習指導要領 図画工作（2008）
- 9) 文部科学省，小学校学習指導要領 理科（2008）
- 10) 文部科学省，小学校学習指導要領 図画工作（2018）
- 11) 文部科学省，小学校学習指導要領 理科（2018）
- 12) 文部科学省，小学校学習指導要領 総則（2018）
- 13) 太田雅彦，山崎貞登，「ものづくり学習領域」における小・中学校教員合同によるワークショップ型授業研究の効果，日本産業技術教育学会誌，第 52 巻，第 3 号，pp.195-204（2010）
- 14) 谷田親彦，森山潤，図画工作科のものづくり学習に対する技術科教員と小学校教員の意識の比較，日本産業技術教育学会誌，第 54 巻，第 4 号，pp.213-220（2012）
- 15) 谷田親彦，安藤明伸，大谷忠，竹野英敏，上野耕史，安田健一，児童・生徒を対象とした技術的素養と技術教育の内容の有用性を検討する調査，日本産業技術教育学会誌，第 56 巻，第 2 号，pp.93-100（2014）
- 16) 赤木新介，藤田喜久雄，設計エキスパートシステムの基礎と応用，コロナ社，pp.3-6（1990）
- 17) 小林正和，鈴木佑哉，東正毅，概念設計支援のための機能構造とレイアウトの同時最適化，精密工学会学術講演会講演論文集 2009 S(0)，pp. 269-270（2009）

- 18) 岳野公人, ものづくり学習の構想設計における生徒の思考過程, 風間書房, p.73 (2005)
- 19) 山田哲也, 小学校ものづくり教室教材資料, 科学研究費補助金基盤研究(c) 課題番号 20500777 報告書, 技術リテラシーの育成を図る教育実践を支援する拠点形成とネットワーク化, 研究代表者 森山潤, pp.130-144 (2009)
- 20) 山田哲也, 谷口義昭, 近畿地区におけるものづくり実践の拠点活動, 科学研究費補助金基盤研究(C) 課題番号 20500777 報告書, 技術リテラシーの育成を図る教育実践を支援する拠点形成とネットワーク化, 研究代表者 森山潤, pp.46-53, (2010)
- 21) 山田哲也, 上野亮, 山下博史, 小学校知的財産教育支援事業について, 日本産業技術教育学会第 53 回全国大会(岐阜) 講演要旨集, p.49 (2010)
- 22) 山田哲也, 「総合的な学習の時間」からの小学校技術教育へのアプローチ, 科学研究費補助金基盤研究(C) 課題番号 20500777 最終報告書(第 3 年次), 技術リテラシーの育成を図る教育実践を支援する拠点形成とネットワーク化, 研究代表者 森山潤, pp.55-59 (2011)
- 23) 松永泰弘, ものづくり大好きな子どもたちを育てる創意工夫教材の開発と教育実践による検証, 科学研究費補助金基盤研究(C) 課題番号 19500736 研究成果報告書, p.3 (2009)
- 24) 鈴木隆司: 小学校でのものづくりの授業における児童の作業分析, 日本産業技術教育学会誌, 第 46 巻, 第 1 号, pp.25-31 (2004)
- 25) 鈴木隆司, 小学校におけるものづくり教育の教材開発, 千葉大学教育学部研究紀要, 第 61 巻, pp. 145-153 (2013)
- 26) 山田哲也, 鞍谷文保, 小・中学校におけるものづくり教材としての 2 足歩行模型に関する研究, 日本産業技術教育学会誌, 第 48 巻 3 号, pp. 207-213 (2006)
- 27) 松永泰弘, 中村玄輝, 山田哲也, 鞍谷文保, 教材用 2 足やじろべえ型受動歩行模型の運動解析, 日本産業技術教育学会誌, 第 49 巻 3 号 pp. 205-211 (2007)
- 28) 山田哲也, 鞍谷文保, 前田浩司, 教材用 2 足歩行模型の構造パラメータを設定する教育方法, 日本産業技術教育学会誌, 第 55 巻 1 号, pp.35-42 (2013)
- 29) 山田哲也, 鞍谷文保, 小学校ものづくり教材としての 2 足歩行模型の実践研究, 日本産業技術教育学会近畿支部 第 22 回研究発表会講演論文集, pp.5-6 (2005)
- 30) Kolodner J. L., Learning by Design: Iterations of design challenges for better learning of science skills, Cognitive Studies, 9(3), pp.338-350 (2002)

- 31) 藤田剛志, 日向彩子, 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－, 千葉大学人文社会科学研究
no. 28, pp. 13-31 (2014)

第 2 章 初等教育におけるものづくり教育の意義

第 2-1 節 緒言

第 2-2 節 ものづくり教育の歴史的変遷

第 2-3 節 ものづくり教育の意義

第 2-4 節 設計学習の意義

2-4-1 ものづくり計画に関する先行研究

2-4-2 設計と学習

2-4-3 Learning By Design (LBD)

第 2-5 節 受動歩行模型と設計

第 2 章 引用参考文献

第2章 初等教育におけるものづくり教育の意義

第2-1節 緒言

本章では、初等教育におけるものづくり教育の意義について、種々の文献や今日的動向を示したうえで、これまで筆者が行ってきたものづくり教材を用いた実践から、ものづくり教育で養うことのできる態度や能力、またその教育的効果を明らかにし、初等教育におけるものづくり教育や設計学習の意義について述べる。

ものづくりには、構想、設計、製作、評価、発表という過程がある。本研究ではその過程を大切にしている。製作のための知識や技能だけではなく、その過程で育まれる様々な態度や能力について考えることによって、初等教育におけるものづくり教育の位置づけが見えてくると考える。

第2-2節 ものづくり教育の歴史的変遷

現在、我が国の初等・中等学校教育において、技術教育が教科として存在するのは、中学校における技術・家庭科の技術分野、高等学校における工業科や工業高等専門学校に設置の教科などに限られる。技術教育ではものづくりを中心とした学習活動により、体験的な学習が行われているのが特徴である。小学校においては、生活科、図画工作、理科、総合的な学習の時間などにおいても、ものづくりは行われるが、それぞれの目標は異なっており、ものづくりを体系的に教科の中に位置づけているわけではない。高等学校工業科は、専門教育であり、職業教育を旨とするものである。ここでは、普通教育としての歴史的変遷を概観してみることにする。本論文では、教科における技術の教育と教科横断的にも行われるものづくりを分けて考え、前者を技術教育、後者をものづくり教育と呼ぶことにする。

我が国の、ものづくり教育の歴史は古く、戦前では、1886年（明治19年）小学校手工科に始まる。これに先立ち1881年（明治14年）に中学校及び師範学校には工業という学科目が設置されていたにもかかわらず、手工という新しい教科目を小学校に設置し、師範学校の「工業」を「手工」と改めたことは、文部当局が手工を工業とは区別した意味に解釈したことを示している。初期の手工教育は、一般陶冶の理想に従う形式陶冶の面を無視し、児童をいたずらに高級な物品の製作に没頭させて世の不評を買う結果をもたらした¹⁾。高等小学校の手工科と実業科、中学校においては、作業

科が設置されていた。大正時代には山本鼎の自由画教育運動が図画工作と手工教育に大きな影響を与え、芸術的な手工教育も「自由手工」、「芸術手工」、「創作手工」などの研究団体が生まれた。藤五代策（当時東京女子高等師範学校講師）と山本鼎が共著で出版した「玩具手工と図画」（児童保護研究会，東京刊行社）では玩具手工という題名を使用している。藤は将来のものづくり教育を思考しながら、「手工」と「理科」がもっと密接に連絡しあい、手工科教材から理科の応用分野の教材として採用すべきである。さらに、理科の教師は手工の技術を学び、手工の教師は理科にもっと親しむべきであると提言している²⁾。戦後は、1947年（昭和22年）職業科に農業科，工業科，商業科，水産科，家庭科が分類された。1951年（昭和26年）には、職業・家庭科となり、1957年（昭和32年）に技術・家庭科となった³⁾。技術・家庭科は、高度経済成長の中、職業的な能力が必要とされることと同時に家庭生活においても、家電製品，自動車の普及など国民の社会生活への適応には近代的な技術リテラシーが必要とされたからに他ならない。技術・家庭科は、男女別履修で始まったが、1977年（昭和52年）17領域の中から7以上の領域を履修させることになり⁴⁾、1989年（平成元年）男女必修に至った。現在では、技術分野，家庭分野それぞれに目標や内容が構成されている。

一方で、技術・家庭科の年間授業時間は、減少の一途をたどり、当初の各学年の年間授業時間は必修105時間，選択が3年生で140時間以上であったのが、1998年（平成10年）の学習指導要領⁵⁾では、1年生70時間（技術分野35時間），2年生70時間（技術分野35時間），3年生35時間（技術分野17.5時間）の構成となっている。内容的にはA：材料と加工に関する技術，B：エネルギー変換に関する技術，C：生物育成に関する技術，D：情報に関する技術の4つの内容で構成されるが、情報分野などが新たな学習内容となってからは、ますますものづくりを学ぶ時間は減少している。

現在、小学校においては、体系的なものづくりの教育課程は存在しない。生活科，図画工作，理科などで、ものづくりを行う場面が見られるものの、それぞれに、目標や内容が異なり、技術的な観点からものづくりを行う場面はほとんど見られない。

第2-3節 ものづくり教育の意義

教育とものづくりの関わりの歴史は古い。ルソーは、「エミール」の中で手工的作業を高く評価し、その存在理由を近代的な観点から把握している。「終日の説明によって得るものより、1時間の仕事によっておぼえるところが一層多い⁶⁾とし、手工の

教育を強調した。ペスタロッチは、ものづくりの教育を、手仕事に専心する態度形成としての訓育と考え、いま一方では、職業教育に結びつく実学的な内容として数学や自然科学の陶冶と考えた。生産労働と教育を結合して人間の全面発達をめざす総合技術教育という、生産労働にすべての教育的価値を認める思想として広く認知された⁷⁾。ものづくりによって、巧緻性などの技能だけではなく、様々な能力や態度を育むことができる。日本産業技術教育学会では、技術教育によって、児童生徒に図 2-1 に示すような能力や態度を身に付けることができるとしている⁸⁾。特に、知識・技能だけではなく、思考・判断等をも重要視する今日の教育の潮流から、「自立的な態度」や「解決する力」など高次の学力と考えられる内容が見られる。またキャリア発達に関わる能力として、自己肯定感の醸成が考えられるなど、今日的な教育課題に大きく関わる分野ではないかと考えられる。

諸外国のものづくり教育の歴史を紐解いてみると、フィンランドは、世界で初めて義務教育の中に「手工」を正科必修とした。ペスタロッチの実験学校やフレーベルに学んだシグネウスは、これを職業の準備的な理由だけではなく、手を使い、手とともに深く考えることを通して人間陶冶としての意味を重要視した。フィンランドのサロモンは、教育的スロイドを教材化した。スロイドの特色は、従来の家内工業の伝統を重んじて有用な物品を製作することを目的としたこと、デラ・ボスと同様に製作過程を分解したこと、従来の手工教育につきまとった経済的見地を離れて初等教育の一分肢としたことにある⁹⁾。手工教育としてのスロイド教育について、サロモンは、スロイド学校と国民学校との統合を主張していた。横山(2005)は、サロモンのスロイド教育の実践の検討からサロモンがシグネウスと出会う以前に普通教育としてのスロイド教育の理念を形成していたことを明らかにしている¹⁰⁾。ものづくりは、ドイツのケルシェンシュタイナーやアメリカのデューイによっても学校教育に影響を与えた。教育学の歴史は、ものづくりによっても、思考し判断する力を養う方法を取ってきており、形式陶冶の一翼を担ってきたとも言えるかもしれない。

初等教育においては、ものづくりを行うとき、目標をただちに達成できる手段を教え、それを適用して問題を解決することに陥りやすい。しかしながら、目標の定め方を誤ると、計画性のない試行錯誤のみのものづくりになってしまう恐れもある。

大橋(2013)は小学校、中学校での発達段階におけるものづくりについて、小学校、中学校という学校種は異なるが、児童・生徒は発達段階に応じて、ものづくりの方法を体験的、あるいは論理的に理解し、スキルを修得することで、さらなるものづくりのためのスキルアップを図ることが可能となる¹¹⁾。と述べている。

- ・ 技術的な課題解決と価値創造に取り組む自律的な態度
- ・ 技術的な課題を創造・工夫して解決する力
- ・ 技術的な活動や成果に対する技術的な評価力
- ・ 生産，利用，消費，廃棄に対する技術的な倫理観
- ・ 身体と思考を協応する能力，一般的には器用さと言われる巧緻性
- ・ 主として技術に関する職業，仕事へのキャリア発達

図 2-1 技術教育で発達を促す資質・能力¹²⁾

さて、小学校において、図 2-1 に示されたすべての態度や能力の育成を目指すのは、困難であるかもしれない。特に発達段階に応じた目標や学習課題が、設定されることが望まれる。日本産業技術教育学会では、発達段階に応じた技術教育のあるべき姿として、小学校段階では図 2-2 に示すような概念の形成や実践力の発達を促すことが望ましいとしている¹²⁾。低学年では、感性に基づき、巧緻性の発達などに目を向けているが、中学年や高学年では、ものづくりの計画と実行に重きを置くような学習を提案しているといえる。

低学年では、児童の直感や感性を大切にするとともに、手の感性・巧緻性の発達を主眼にした学習課題を設定する。中学年では道具を使う技能の発達とともに、ものづくりの計画と実行に関わる基礎的概念の形成を促す。さらに高学年では、技能の発達をさらに促すとともに合理性や最適解を意識した創造の動機から始まり、設計・計画，製作・制作・育成，成果の評価という一連の初歩的で技術的な活動を行い、ものづくりの設計と実行に関わる概念・実践力の発達を促す。

図 2-2 発達段階に応じた技術教育のあるべき姿(小学校)¹²⁾

世界的に見ても、諸外国では初等教育から“Technology Education”を始めている国が多い。例えば、米国では、教科の名称やカリキュラムは、各州又は学区の教育課

程基準に従うものの、小学校では合科的に、中学・高校では選択又は必修科目として技術教育に相当する科目が実施されている¹³⁾。イギリスでは、小学校から高等学校まで、“Design and Technology”が位置づけられている。日本産業技術教育学会がまとめた主要各国のK-12の中の技術教育における教育課程の状況を図2-3に示す¹⁴⁾。日本の教育課程がいかに系統的に組織されていないかがわかる。特に多くの国が、日本で言う小学校中学年以上で、技術教育を進めている。

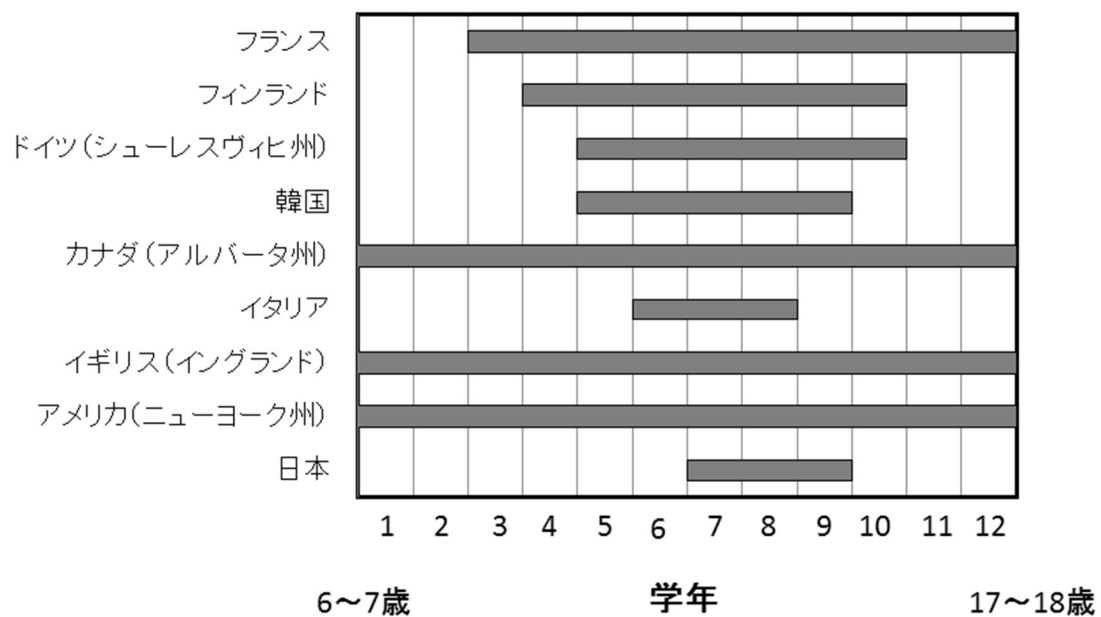


図 2-3 諸外国における技術教育 (文献¹⁴⁾により著者作成)

小学校では7歳から12歳までは具体的操作期と分類し、論理的・形式的に考えることができるようになるが、思考内容はまだ、未熟な時期である。12歳以上になると形式的操作期に入り、思考は完成した働きをし、科学的・実験的思考が可能となるとされている¹⁵⁾。

小学生の「ものづくり」は、発達段階の視点から見ると図2-4に見るように、緻密に手や体を動かす巧緻性の発達が際立って高い。また、図2-5に示すように小学生の発達段階では、ものづくりへの意欲が高水準で維持する年代であることが、先行研究からわかっている。この学びには、就学前から小学校低学年にいたる学びの継続が重要と考える。

日本では、現在、体系的なものづくり教育が行われているとは言い難いが、学校の

様々な場面に関する製作や手工などは行われてきたと言える。教育的な検討は、19世紀後半から20世紀初頭に行われ、昭和24年小学校学習指導要領で、記述された。ものづくりともかかわりが多かった「理科」においては、経験主義教育課程から系統主義教育課程への転換とともに減少していくことになった。その後、児童や生徒の興味・関心を引く教材開発は盛んにおこなわれたが、寺田(2014)は現在、子ども科学教室やおもしろ実験というものづくりの情意面や認知面を重視した実践が行われ、その有効性を示唆しているものの、それらの効果が現れるしくみはほとんど調査されていない¹⁶⁾と指摘している。

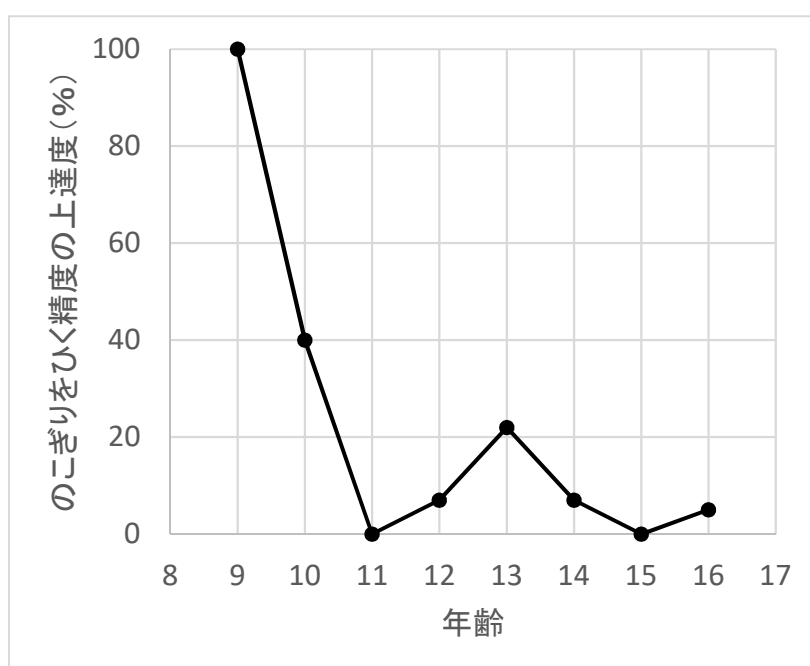


図 2-4 道具使用の上達度と年齢との関係(橘田ら 1999)
(文献¹⁷⁾により著者作成)

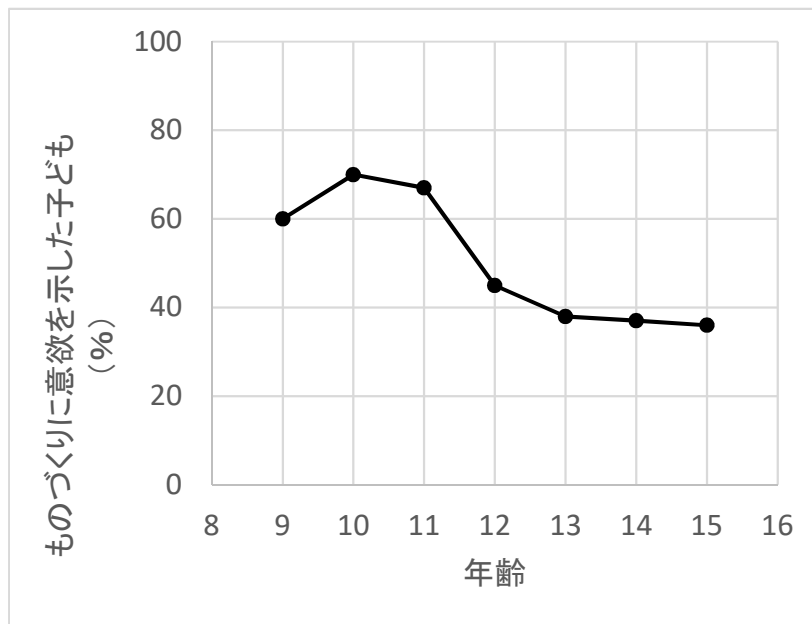


図 2-5 意欲を示す割合と年齢との関係（土井 2007）
（文献¹⁷⁾により著者作成）

ものづくり教育は、この発達段階を踏まえ、系統的に配置することによって、図 2-1 に示されたような態度や能力が身につくと考えられる。また、初等教育では、理科・科学等で学ぶ科学的知識や知識をもとにした思考力を育み、ものづくりのための解決力を醸成するにも適した時期でもある。世界各国が、系統的な教育課程を敷いているのも、K4～K6 あたりの概念形成、実践力の発達に着目していることが窺えるものである。

アメリカの国家戦略とされる STEM 教育は、Science, Technology, Engineering, Mathematics の理系教育を総称するものであるが、米国においては、政府のみならず民間からも資金面や人材面からその教育を推進している状況がある。日本においても、将来の国際的な科学技術関係人材を育成するため、先進的な理数教育を実施する高等学校をスーパー・サイエンス・ハイスクール(SSH)として指定した。2011 年には、小学校の現学習指導要領の実施となったが、その改訂では言語活動の充実とともに、理数教育の充実がうたわれ、2017 年 3 月に公示された学習指導要領ではプログラミング的思考を養うためにプログラミング教育が必須化された。国内外で、科学技術教育が新しい局面を迎えている。STEM 教育は、初等教育から高等教育まで、様々な教育方法や教育内容が考えられていて、きわめて幅広いが、Science, Technology などを統合的に考えていく流れは一致している。Science, や Technology

の基礎・基本は、根底におきながら、時代に即応した新しい教育方法や内容の対応も迫られている。

第 2-4 節 設計学習の意義

第 2-4-1 項 ものづくり計画に関する先行研究

本研究では、ものづくり学習における設計とは、作品に対する設計要求に向け、方法や手順を計画的に考え、実行する過程として捉えているが、ものづくりを計画的に行うことに関しては、作業段取りという考え方がある。

作業段取りに関する先行研究として、森、手塚(1977)は、作業段取り能力を、技術的知識と実技能力の間に介在し、両方に帰属性をもつ能力と考え、技術的知識と実技的能力とをコントロールする能力であると指摘している¹⁸⁾。さらに、森(1995)は、作業段取り能力は、感覚運動系の技能における作業段取り能力の変化について訓練の初期のころからその萌芽が見られるとした¹⁹⁾。これらの研究では、作業段取りの能力の構造が明らかにされておらず、認知的な計画の過程に関しては触れられていない。土井(2004)は、作業段取りを最適な方法や順序を志向する過程と意思決定する過程及び工具などの準備行為の過程とし、教育実践のモデルを提起している²⁰⁾。このように段取りは、認知的な計画よりも、作業の手順や材料・工具の準備手順という意味合いがあり、本論文で扱う認知的な計画とは、区別して考える。

計画の認知過程に関する研究として、Miller,Galanter&Pribram(1960)は、TOTE(Test-Operate-Test-Exit)単位モデルを提唱し、計画を実行するときテストの機構において合格すれば計画は実行され、不合格であれば再帰的に戻る階層構造を示した²¹⁾。計画を時系列だけではなく、このモデルによって階層化したことに注目することができる。Sacerdori(1977)は計画の中の目標の達成について、別の一つの下位目標を考えるだけではなく、複数の独立した下位目標を考えることが一般的であると指摘した。問題解決においても下位目標のあり方については、重要な要素であり、ものづくりにおいても、下位目標が有効に作用する場面も多い²²⁾。また、Wilensky(1983)は人の計画に関する情報処理システムを4システムから構成されると指摘した。1つめは望ましい状態を見つけるシステム、2つめは目標に関わる作業を行い新たな目標を組むシステム、3つめは提案された計画実行による予測、4つめは望ましい計画に従い実行するシステムである。教育活動についての計画に関する指摘もある。

Conway(1989)は、計画の役割は、児童・生徒の自律的課題解決活動を促進させ、課題解決を実行する際、符号化処理の重要性を気づかせることにあり、活動のチェックリストのような機能があるとしている²³⁾。

これらを総括すれば、計画に関わる認知過程は、様々な視点から指摘されており、一定のものにはなっていないと言える。また効果を明らかにすることに課題が残されていると言える。

本論文では設計を、設計要求に対する計画と実行の過程と定義しているが、設計の概念は広く、初等教育で扱う認知的な計画は、設計の概念の中に含まれるものとして、扱っている。

第 2-4-2 項 設計と学習

著者は、これまで、多くの小学校で、ものづくり教材を用いて、授業実践を行ってきた²⁴⁾。課題解決と価値創造に取り組む自律的な態度や様々な課題を創造・工夫して解決する力が育つ姿を見て、実際に体感し、評価してきた。それは、きわめて能動的な学習であるがゆえに、そこに体系化した教育方法を持って、その教育効果を高めることに本論文の意味があると考ええる。

体系化した教育方法とは、ものづくり教育においては、ものづくりの過程に即した学習といえる。ものづくりを学ぶには、構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程のうち、製作、評価、発表の過程は注目されやすく、製作では、その知識や技能を教示することが中心となり、短期間でも力をつけることができる。しかしながら、構想から設計に至る過程は、思考力や判断力に関わる場所が多くあり、初等教育から系統だった学習が必要であると考えられる。設計は、高度な能力が求められる作業であり、その教育について考えたとき、一般的な過程は、ヘルバルト派の教授段階説（分析、総合、連合、系統、方法）との類似性を見つけられる。

このようなものづくりの過程は、キルパトリックによって提唱された **Project Method**²⁵⁾が理論的背景になっていると考えられる。学習の過程において、目標をたて、その実現のために計画を立て実行する。また、その実行結果を再点検する。すなわち、**Project Method** は、目的から計画、実行へと進む。通常、問題解決は目的というよりも問題の理解から計画を進めることになると考えられている。**Project Method** は目的(**purpose**)という言葉を強調したが、デューイはその場合の教師の役割を重要視した²⁶⁾。すなわち、学習者自身が目的を持つことは難しく、教師の果たす役割が大

きいということを示唆するものである。また、ピアジェは子どもの思考に関わる発達段階を、具体的操作段階から形式的操作段階へ進むとしている²⁷⁾。このことは、構想、設計が抽象的であり、いきなり、目的や動機を持って学習を進めていくことが困難ということにもつながり、教師の支援が必要なことを裏付ける。教師が仕掛けを施した教育方法により、学習者の具体的な問題解決に支援が行われ、構想、設計、製作、評価、発表の流れをスムーズに認識し、計画的に製作していくという能力が育まれる。ものづくりを計画的にするということは、先にも述べたように、思考力や判断力に裏付けられるものであり、これまでのものづくりの実践の場面で多く見られた、技能・技術や達成感に主眼を置いた教育の内容より、一線を画し、次代を担う子どもに必要な力をつけてくれるものになる。

すなわち、図面を見て、そのとおりに製作することはできても、自ら工夫・創造するような作品や製品の製作には対応できない。これに対応するには、設計する力が必要である。今日における学びの形態は、かつてのように教員などの知識の源より知識や技能の獲得を重要視するものから、人やそれを取り巻く環境との相互関係、思考力や判断力を重要視する知の構築への転換を考えるようになってきている。ものづくり教育においても、児童や生徒が能動的に思考し、計画的なものづくりをするということが、将来の生活や職業にも役立つ力を育むと考える。

一般に、科学は科学者や研究者の個人に内発する真理探究心や好奇心によって動機づけられた「好奇心駆動」であるのに対して、技術（工学）はある使命を果たすために行われる「指令指向」型である¹⁶⁾。科学の方法論である仮説と技術の方法論である設計はよく似ており、寺田(2014)は仮説を設計に変えることは可能であると言及している。一方で、寺田は、理科と技術の融合の問題点も指摘しており¹⁶⁾、ものづくりは、学習者が環境に働きかけ、新しく「ものをつくる（構成する）」という構成主義の立場で学習する。後述、Kolodner, J.L.の“Learning By Design(LBD)”においても、理科教育における「ものづくり」と言う立場が主ではなく、「事例に基づく推論 case-based reasoning(CBR)」によって示された認知モデルに基づき、「経験から得られる学習モデル Problem based learning(PBL)」を基本としていると主張している。ものづくりは、学習の意欲や関心を高めるのは言うまでもないが、科学の真理や原理を必ずしも学んでいるとは限らない。真理や原理を追求する場合の理科実験や観察と異なり、ものづくりは限定された制約（設計仕様）をもって進めることで、制約の中で様々な試行錯誤をすることとなる。例えば一般的なシステム設計では、すべての要素を変数とするのが原理的であるが、教育上の指導計画としては、一部の要素について変数

とし、他を定数として指導することが考えられる²⁸⁾。これはイギリスの技術教育でも行われている方法である。小さな「仮説—検証」を繰り返し、パラメータを1つ変更し、実験してみたり、変数を統制することができるようになる。設計上の決定をデータに基づき自らが説明できるようになるために、設計から製作を繰り返すことが、偶然に解決に至る試行錯誤ではなく、ものづくりのプロセスを科学的に遂行するということにつながる。

第 2-4-3 項 Learning By Design (LBD)

アメリカ、ジョージア工科大学の Kolodner, J.L. は、ものをつくるという設計・製作活動を通して中等教育段階において物理と地学の分野において実践的なプロジェクト “Learning By Design (LBD)” を実施している^{29),30)}。Kolodner, J.L. は、「事例に基づく推論 case-based reasoning (CBR)」によって示された認知モデルに基づき、「経験から得られる学習モデル Problem based learning (PBL)」を基本とし、「設計・製作—評価—再設計・製作—・・・」のサイクルを行わせ、学習の中で、フィードバックを与えるしくみを作っている。例を挙げれば、力学や運動を学ぶために、小さな車と推進システムを設計し、いくつかの丘を乗り越えるようになる性能を持つまで最適化の作業を行う。車を設計することによって、力学の基本的な3法則を学ぶ課題を自然にこなしていくことになる。

理科や科学の教科書に出てくるような法則や原理は文字式で表されていたり、日常とは異なる用語を定義するなど抽象的である。科学は抽象的に表してこそ理論として通用する。しかしながら、初等教育などにおいて、初めて科学を学ぶ学習者にとってはわかり難い原因となっている。抽象的な理論が生まれるまでには、科学者の簡単な発想から、多くの検討・実験と評価を繰り返している。この過程は1人で研究しているのではなく、協調的に行われている。Kolodner, J.L. は、この過程を教室に持ち込もうとした。科学者の協調的な学びのプロセスを再現するために、「ものづくり」のプロセスを活かした LBD を実践したと考えられる。

LBD では、ものづくり活動を核にして、5つの場面を取り入れている。1.自由試行 (Messing About) 試行錯誤でおもちゃの車を走らせ、性質や能力を確かめる、2.書き出し (White Boarding) 分かったことや製作方法をホワイトボードに書き出し明確にする、3.経験則 (Rule of Thumb) の構築 実験結果が信頼できるものになったところでパターンを共有して経験則を構築する、4.まとめと説明 (Pin-up Session) 1 度目の

設計・製作の後、他の班に説明し、他の班のよい点などを見つけながら再設計・再生策を行う、5.ギャラリー歩行(Gallery Walk)自分たちが試したことや学んだことを説明するコーナーを設ける。互いのコメントや提案から学ぶ。

LBD は、設計・製作と科学的なサイクルを、繰り返し回している。設計・製作することが科学的な探求を行わせ、また探求が新たな設計へとつながっていくというしくみである。

抽象的な理論が使われていく過程を教室に再現し、科学や技術に対するプロセスやスキルを学ばせようとしたこのプロジェクトにおいて、LBD で学んだ群は力学の法則などの内容理解は、LBD で学ばなかった群より、優れていたことを明らかにしている。また、家庭の背景と LBD の学びについても言及している。この実践では、協調的に学ぶ場面を大切にしており、この部分においても実際のものづくりのプロセスを意識しているが特徴である。

Kolodner,J.L.のプロジェクトはものを作る（構成する）ということを通じて、なにかの新しい知識や能力を得るという点で、教授・学習理論から見れば、社会的構成主義の立場であるとも言える。ものづくりに関する教育は、第 2-3 節で述べたように、長年、形式陶冶の一翼を担ってきた。Kolodner,J.L.のプロジェクトにより、設計学習の方法論に様々な知見を得ることができる。

第 2-5 節 受動歩行模型と設計

大橋(2015)は、最初に製品設計を行う例として、子どもの興味をひくおもちゃが適切と考え、動力を持つおもちゃを取り上げている。動力源として「ぜんまい」、「おもり」、「ゴム」を示している³¹⁾。「おもり」を利用したおもちゃは位置エネルギーを利用することになるが、子どもが生活の中で最も身近に感じることのできるエネルギーのひとつと考えることができる。

子どもは、ロボットに関心を持つことが多いが、ほとんどの場合子どもは、コンピュータ、電気やモーターなどの先進的な技術を用いたロボットを想像する。歩行は、モーターなどのアクチュエータを用いなくとも、人や動物の歩行のように、位置エネルギーをうまく利用していることを知らせたとき、子どもの関心はさらに高まることになる。

歩行ロボットの開発が盛んになってから、静歩行と動歩行という分類で歩き方を表現することが多くなった。静歩行とは、重心をいつも体の中心に置きながらバランス

を常に保ちながら歩行する形態で、黎明期のロボットに多く見られた。静歩行は常に倒れないように重心を考えながら姿勢制御するために、数歩歩くのにも、長い時間を必要とした。赤ちゃんもこの歩き方であり、倒れないように慎重な歩き方である。動歩行は、軸足に重心を置かずに、倒れる前に一步前に足を出すもので、現在の2足歩行ロボットは、動歩行をしているものが多い。佐野(1993)は全重心の水平面への垂直投影点が支持多角形の内部を通過する場合、動的安定性が保たれていると言い、静的安定性が保持できない時期を持つ歩行が動歩行であると言っている³²⁾。この歩行の高度さの由来は人間や動物の感覚器(センサ)、筋肉(アクチュエータ)や脳(制御装置)にあるのではなく力学的世界という自然界に存在するものであると考えられる。佐野はこの力学的な原理から人間の歩行を平衡点(着地直後の状態といった離散的な状態)の力学的構造ならびに安定メカニズムから説明している³³⁾。HONDA ASIMOの初期型「Eシリーズ」は、この歩き方を採用し、ロボットにおける2足歩行の概念を画期的に変えてしまった。

受動歩行は、McGeer(1990)³⁴⁾によって研究が始められた。動歩行の中に分類しても良いと考えられるが、先に述べたように2足歩行をするときには、自然に生じる力学的な自然現象のみを取り出したものと言える。人間や動物は、歩くときに、筋肉で足や体を動かし歩行するが、歩行はそれだけではなく、力学的な位置エネルギーなども利用しながら歩いていることになる。この力学的な自然現象により、アクチュエータを一切用いずに、歩行させることが出ることが知られ、歩行に関する介護機器などに応用が始まっている^{35),36),37)}。人間や動物の歩行は受動歩行の要素が入り、ロボットに比べ、エネルギーをあまり消費しない歩行を行っていると考えられる。PassiveからPoweredへの研究を進め、平地歩行を目指しているものもある³⁸⁾。

受動歩行モデルは、受動歩行を利用したモデルである。すなわち、歩行モデルでありながら、電池やモーターを一切使用しない。電氣的な仕掛けがないものの、力学的視点では、多くのパラメータを持つことになり、このパラメータにより、歩いたり、歩かなかったりする。また早く歩くことや、遅く歩くこと、右に曲がる、左に曲がるなど、パラメータの値のよって、運動が全く異なるものになる特徴を持っている。

歩行という、目に見えてわかりやすい現象が、パラメータを変更させることにより、自由に制御させることができるということになる。運動に関する設計を行わせると考えると、このように、運動に関するパラメータが多く存在し、これを変更させることができるということは、教育目的で設計を行う際、パラメータの発見、パラメータの変更を行うことができることから、教材として適していると考えられる。すなわち、

この受動歩行模型を使用することは、これまでに学習したり、生活の中や実験して得た知識、情報や結果をもとに、繰り返し思考して製作する過程を経ることになり、人が問題解決を行う場合の過程と同じ認知過程を教材特有の仕掛けをもって、効果的にたどらせようとするものである。

しかしながら、歩行モデルを製作するということになれば、骨や関節を構造がしっかりしたかたちで製作することが必要で、小学生が教材として用いるには、困難である。受動歩行に関する複雑な部分を省き、最小限の構造とし、製作も紙を中心とした簡単に加工できる材料を使用することで、設計学習に用いるのに適した教材とすることができる。

第 2-6 節 設計学習の方法

第 1 章で述べたように、初等教育においてもものづくりのデザイン・プロセスそのものを学ばせようとする教材は少ない。技術的なものづくりには、そのプロセスが必要であり、構想から設計にいたる過程は、特に重要視される。

ものづくりは、生産・創造・発明を実現する活動と、それに関わる素材・材料や方法・操作の知識体系であり、人の要求と欲求の充足を目的とするという点で、自然界の法則、理論づけ、知識の集積と体系化を目的とする自然科学とは大きな違いがある³⁹⁾。本論文では、小学校における萌芽的設計学習の可能性を探るために計画・設計を中心としたプロセスに着目している。

Bruner, J.S. は、子どもが現象を説明できるように、提示された課題に対して仮説を立て、それを実験や観察を通して検証するプロセスの展開を発見学習として提唱した⁴⁰⁾。具体的な事物について学習することで問題を発見し解決する能力や態度、発見するための方略などの獲得を目指している。その延長線上として、最近の学習科学研究においては、探求活動を行う学習者を育成することやその集団を形成することを目的とすることが多く、その支援のための教育環境が継続的に組織されている。第 2-4-2 項で述べた LBD もこの流れにある。発見学習や LBD は、科学者や研究者が、実際に歩んだ同じプロセスを子どもが、体験するという特徴が共通している。ものづくりのプロセスにおいても技術者が実際に歩んだプロセスの体験が、探究活動を豊かなものにすると考えられる。

本研究においては、ものづくりの場面において、仕様という限定を施すことによる設計の能力の定着を考える。低年齢を対象とするほど、問題解決は良定義問題に近い

ものが多く、限定は大きいことになる。この限定の度合いの設定を行うためには、教師が基礎知識をある程度把握している必要がある。目標設定において、教師や仲間が要求する仕様を明確に示すことは学習者に評価基準を示すことにもつながる。また、仕様設定にあたっては問題解決中に手がかりを与える場面で、その手がかりに対するマセマジエニック行動、すなわち、その手がかりに対する処理の仕方を適切に方向づけることの必要性がある⁴¹⁾。

小学校における萌芽的設計学習の方法は、中学校の技術科で行われているの設計と共通点も多いが、中学校における設計では、実際の実用的な製品を製作することや時間数の関係もあり探求のサイクルが少なくなるのに対し、探求のサイクルを十分に機能させることや、明確な設計仕様を提示することに特徴がある。また、小学校においては、図画工作においても、児童が工夫するようなものづくりが行われるが、造形的な視点や創造的な発想に重きが置かれることになっている。しかしながら、小学校においては、図画工作と横断的に取り組んだり、中学校技術科へ発展的に繋がることが考えられる。初等教育段階において、設計の基礎的な考え方や方法に触れておくことは、問題解決などの高次の学力にもつながることになる。

本論文では、図 2-6 に示すように、設計仕様を与え、それに向け問題を解決していくという流れとなるが、構想・設計—製作—評価—再設計・・・という流れを、何度も繰り返す探究活動を行うことになる。この探究活動を効果的に行うことができる教材として、紙製受動歩行模型を開発、実践に使用することとする。

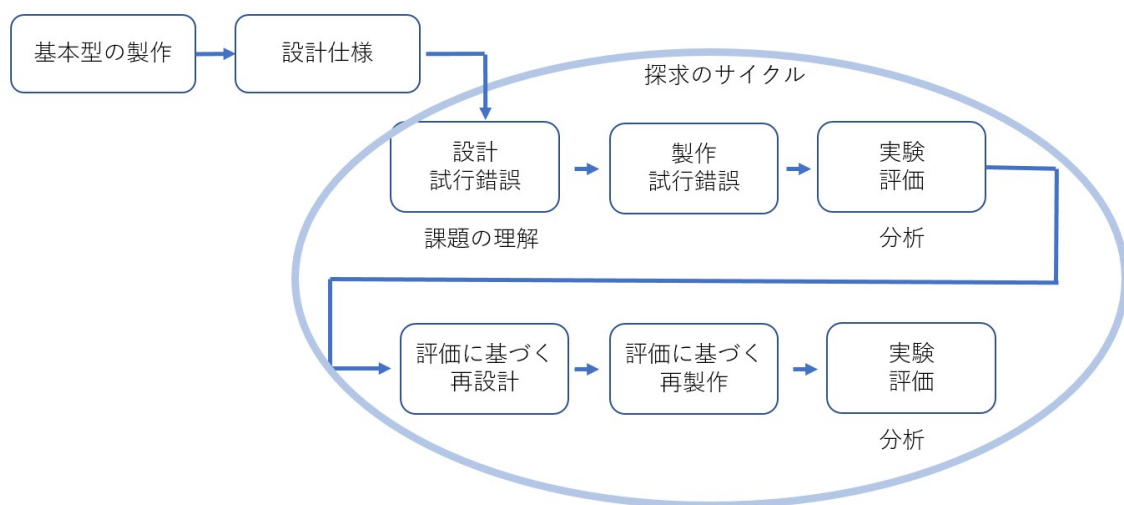


図 2-6 設計学習の探求サイクル

最初に設計仕様を与えたとき、子どもは試行錯誤によって設計や製作を行うであろう。仲はフィンケの実験を示しながら、創造性が発揮できるのは「試行錯誤」からであることを示した⁴²⁾。思考は問題を考える子どもの頭の中と、外界から入ってくる様々な刺激との相互作用の結果成立している。偶然の解決を見た試行錯誤を少しずつ根拠に基づく試行錯誤とし、実験や評価による再設計へとつなぎ、何度も再設計を繰り返しながら、設計能力を高めていくことができると考えている。

第2章 引用参考文献

- 1) 細谷俊夫, 技術教育概論, 東京大学出版会, pp. 100-105 (1978)
- 2) 春日昭夫, 創作玩具の研究—造形教育の歴史と理論を探る—, 日本文教出版株式会社, p. 232, 239, 249 (2007)
- 3) 文部省, 学習指導要領 技術・家庭 (1958)
- 4) 文部省, 学習指導要領 技術・家庭 (1977)
- 5) 文部省, 学習指導要領 技術・家庭 (1998)
- 6) 平林初之輔, エミール, 世界大思想全集第10巻, p. 238 (1927)
- 7) 柳久雄, 生活と労働の教育思想史, 御茶の水書房, pp. 98-102 (1971)
- 8) 日本産業技術教育学会, 21世紀の技術教育(改訂), 日本産業技術教育学会, p. 2 (2012)
<http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf> (2016年9月20日確認)
- 9) 前掲1) p. 54
- 10) 横山悦生, オットー・サロモンの初期スロイド教育: ネース・少年スロイド学校における実践の到達点からみたシグネウスの影響, 産業教育学研究 36(1), pp. 73-80 (2006)
- 11) 大橋和正, 小学校におけるものづくり教育の実践, 岡山大学大学院教育学研究科研究集録, 第153号, pp. 89-95 (2013)
- 12) 日本産業技術教育学会, 21世紀の技術教育(改訂), 日本産業技術教育学会, p. 3 (2012)
<http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf> (2016年9月20日確認)
- 13) 日本産業技術教育学会, 新技術科教育総論, pp. 174-179 (2009)
- 14) 日本産業技術教育学会, 「今, 世界の技術教育は」(2014)
<http://www.jste.jp/main/data/sheet4.pdf> (2015年9月20日確認)
- 15) J.ピアジェ(著), 中垣啓(訳), ピアジェに学ぶ認知発達科学, 北大路書房 (2012)
- 16) 寺田光宏, 理科教育における「ものづくり」の研究, 日本評論社, pp. 115-117 (2014)
- 17) 日本産業技術教育学会, 「小学校から始める技術教育」リーフレット (2010)
- 18) 森和夫, 手塚太郎, 機械加工技能の因子論的研究—機械科訓練生の能力構造—, 教育心理学研究, 第25巻, pp. 22-23 (1977)

- 19) 森和夫, 技能習熟における能力の構造化過程, 職業能力開発大学校指導学科報告シリーズ NO. 13, p. 87 (1995)
- 20) 土井康作, 技術教育における作業段取りの教育的効果, 風間書房, pp. 192-203
- 21) Miller&Galanter&Pribram, K.H.1960,Plan and the structure of behavior.New York:Holt,Rinehart,&Winston (ミラーG.A, ギャランターE, プリブラム K.H , 十島雍蔵, 佐久間章, 黒田輝彦, 江頭幸晴 (訳), プランと行動の構造, 誠信書房, pp. 22-40 (1979)
- 22) Sacedori, A Structure for plans and behavior,Elsvier (1977)
- 23) Wilensky, Planning and Understanding:A computaioal approach to human reasoning. Addison-Wesley (1983)
- 24) 山田哲也, 小学校「総合的な学習」における振動をテーマにした科学教育の実践, 日本産業技術教育学会 2004 年度機械分科会研究発表要旨集, pp. 1-2 (2004)
- 25) H.Kilpatrick, 西本三十二訳, プロジェクト法, 明玄書房 (1967)
- 26) Dewey,J., The School and Society, INTELEX CD-ROM Database (1992)
- 27) 波多野完治, ピアジェの認識心理学, 国土社 (1983)
- 28) 日本産業技術教育学会技術教育分科会編集, 技術科教育の研究, 朝倉書店, p. 19 (1993)
- 29)Kolodner,J.L.,Camp,P.J.,Crismond,D.,Fasse,BGray,J.,Holbrook,J.,&Ryan,M.,Promoting Deep Science Learning Through Case-Based Reasoning:Rituals and Practices in Learning by Design Classrooms, In Seel,N.M.and Dykstra,S.(Eds),Curriculum,Plans and Processes of Instructional Design:International Perspectives, Lawrence Erlbaum Associates:Mahwah,NJ.(2004)
- 30) Kolodner,J.L.,Learning by Design : Iterations of Design Challenges for Better Learning of Science Skills,Cognitive Studies,9(3), pp.338-350 (2002)
- 31) 大橋和正, 人の発達段階を考慮したものづくり教育の体系化, 風間書房, pp. 32-33 (2015)
- 32) 佐野明人, 重力場を巧みに利用した動的 2 足歩行 (人間に近い歩行への挑戦), 日本ロボット学会誌 11(3), pp. 55-57 (1993)
- 33) 佐野明人, 歩行現象の力学的原理から見たヒトの歩行 (<特集> 転ばぬ先のバイオメカニズム), バイオメカニズム学会誌 30(3), pp. 119-122 (2002)
- 34) McGeer, T, Passive Dynamic Walking, The int J. of Robotics Reseach,9(2),pp.62-82 (1990)

- 35) 佐野明人, 岩月和輝, 受動歩行に基づく新しい歩行支援機の開発 (福祉情報工学一般, ライフイノベーションのための介護・リハビリ・生活支援技術), 電子情報通信学会技術研究報告.WIT, 福祉情報工学, pp.111, pp. 65-66 (2012)
- 36) 佐野明人, 福永大輝, 馬場文哉, 池俣吉人, アシスト受動歩行に関する研究 (受動歩行ロボット(2)), ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014, 2A2-106(1)-“2A2-106(2)” (2014)
- 37) 佐野明人, 鈴木捷也, 脚式歩行器の開発 (福祉ロボティクス・メカトロニクス(1)), ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014, 1 A1-F04(1)-“1A1-F04(2)” (2014)
- 38) Collins, S., Ruina, A, Tedrake, R. and Wisse, M. , Efficient Bipedal Robots Based on Passive-Dynamic Walkers, Science, 307, pp.1082-1085 (2005)
- 39) 日本産業技術教育学会, 「新たな価値と未来を創造する技術教育の理解と推進」 (2013), <http://www.jste.jp/main/data/leaflet.pdf> (2016年9月20日確認)
- 40) Bruner, J.S., The Process of Education, University Press, (1960), (鈴木祥蔵, 佐藤三郎訳「教育の過程」岩波書店, (1963))
- 41) 仮屋園昭彦, 問題解決に及ぼす下位目標の提示形態の効果, 教育心理学研究, Vol. 38 , No. 2, pp. 145-150 (1990)
- 42) 仲真紀子, 「想像力から創造力へ」若き認知心理学者の会『認知心理学者教育を語る』, 北大路書房, pp. 62-71 (1994)

第 3 章 紙製 2 足受動歩行模型

第 3-1 節 緒言

第 3-2 節 紙製 2 足受動歩行模型の提案

3-2-1 紙製 2 足受動歩行模型の製作

3-2-2 材料と道具

3-2-3 製作手順

3-2-4 製作上の留意点

3-2-5 調整・改良

第 3-3 節 歩行の力学的解析

3-3-1 紙製 2 足受動歩行模型の周期測定

3-3-2 周期測定用 2 足受動歩行模型の製作

3-3-3 周期測定用 2 足受動歩行模型の製作手順

3-3-4 運動解析

3-3-5 歩行実験

3-3-6 運動解析用歩行模型

3-3-7 構造パラメータ

第 3-4 節 最適設計のための歩行実験

3-4-1 実験方法

3-4-2 実験結果

第 3-5 節 授業実践と評価

3-5-1 授業実践

3-5-2 基本型の製作

3-5-3 試行錯誤から再設計

3-5-4 結果と考察

第 3-6 節 結言

第 3 章 引用参考文献

第3章 紙製2足受動歩行模型

第3-1節 緒言

小・中学校での一貫した技術的素養育成の必要性が話題に上がり、中学校だけでなく小学校においても、ものづくりを主体とした授業構築が可能な状況が生まれている。本論文では、小学校の児童・生徒にもものづくりの楽しさと力学的な知識に対する興味を抱かせる教材として、紙製2足受動歩行模型を開発した。開発した模型は製作、調整、改良が容易で、さらに部品の寸法や重さが模型の動きに及ぼす影響を理解しやすい機構となっている。小学校高学年の授業で模型製作の授業実践をしたところ、児童はものづくりとしての楽しさだけでなく、重心などの力学的な知識に対する理解も示した。

これまでの科学技術基本計画^{1),2),3),4)}では、幼いころからものづくりの面白さに馴染む必要性が謳われている。また、ものづくり基盤技術振興基本法⁵⁾においても、学校教育におけるものづくりの重要性が挙げられている。これまで小・中学校における科学的な要素を取り入れたものづくりは、理科教育の中で行われることが多かった。しかしながら、「総合的な学習の時間」の活用など、ものづくりを主体とした授業構築が可能な状況が生まれている。

このような状況の中、日本産業技術教育学会でも小学校技術教育委員会が設置されるなど、小・中学校での一貫した技術的素養育成の必要性が取り上げられ、学会誌においても小学生を対象とした研究報告がなされている^{6),7),8),9)}。しかし、長期的な視点での技術的素養育成のためには、小・中・高等学校さらに大学へと繋がる内容が必要となる。その一つとして、高等学校や大学での物理や工学の基礎である力学的な知識を応用したものづくりが考えられる。しかし、小学校の児童にもものづくりの楽しさを教え、さらに力学的な知識に対する興味を抱かせる教材は少ない。

本論文では、ものづくりに取り組むことで設計に必要な科学的な知識、特に力学的な知識に興味を抱かせるような教材として、紙製2足受動歩行模型を開発した¹⁰⁾。開発した模型は、力学の基礎である力のつりあいや重心位置が模型の動きに直接的に影響を及ぼす機構となっている。また、動きを伴うために児童・生徒の興味を引きやすい。ただし、本章の目的は歩行原理の詳細な理解を求めるものではなく、力学的な知識の基礎的な理解のもとに、調整・改良を進めながら完成させるものづくり教材の開発である。前半では開発した紙製2足受動歩行模型の歩行原理と製作方法を提

示し、後半では授業実践の結果をもとに教材の有効性を示す。

第 3-2 節 紙製 2 足受動歩行模型の提案

受動歩行を用いたおもちゃは、古くから存在する。そのおもちゃは、子どもがなぜ歩くのだろうか、歩き方がかわいいなど、子どもの好奇心をつかむものであった。しかし、科学的に製作されたものではなく、おもちゃ製作者の経験から製作されてきたものと思われる。図 3-1 に受動歩行を用いたおもちゃの一例を示す。これは、市販品であり、左端におもりを付けた糸を結び、机の端からおもりを下げることによって、おもちゃを引き、歩かせるようになっている。



図 3-1 受動歩行を用いたおもちゃの一例

開発した紙製 2 足受動歩行模型には、小学校の児童でも短時間で製作でき、調整・改良が容易であることが求められる。歩行模型を開発するために、歩行に欠かせない左右振動のふるまいを明らかにし、教材として用いるため、各種パラメータの変更や設定が可能なやじろべえ型振り子を開発した。やじろべえ型振り子では、長さや重さのパラメータを各自が設定して、実験と評価を行えるようになっている。紙製 2 足受動歩行模型は、このやじろべえ型振り子の延長線上にある教材として開発した。新たに開発した 2 足受動歩行模型を図 3-2 に示す。図に示すように Roll, Pitch, Yaw の 3 軸方向の運動がある。運動は 3 次元のものであり、複雑であるものの軸を限定して、

動きを分析することによって、模型全体の動きを掴むことができる。模型は roll 方向に歩く。図 3-3 に下方に向けて歩く連続写真を示す。図 3-3 の(a)図は、右脚の接地と左脚振り出し,(b)図は、左脚の接地と右脚の振り出し始め, (c)図は、右脚の振り出しと左脚接地, (d)図は、右脚の接地の様子を示すものである。この模型は、斜面をトコトコと可愛らしく歩きながら下り、小学生の興味を十分に引くものである。この模型は、動かないものが動き出すという面白さを持っているものである。動き出すためには、調整や工夫のハードルがあり、それを製作する児童自身が超えるような動きの設計の面白さを伝える教材を目指した。また、これまで解明されてこなかった人の歩行システムでもあり、新しいロボットなどにも応用されているなど、人体のしくみやロボットなどからも興味を引きつけることができる。模型の動くエネルギー源は位置エネルギーで、位置エネルギーを運動エネルギーに変換しながら歩行していることになる。位置エネルギーすなわち、モーターなどのアクチュエータを持たない受動歩行機械¹¹⁾の一種であり、電気を使用する電子・電気製品に囲まれて生活している現代の子どもにとっては、なぜ歩くのかという疑問や友人と歩行のゴールまで競争したり、自分の思うように歩かせてみようという気持ちを喚起させる。

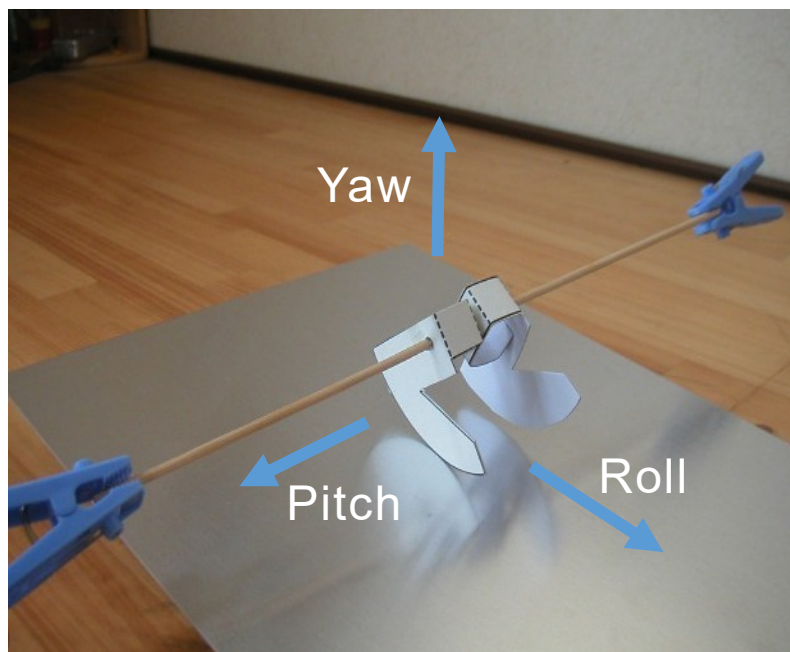


図 3-2 紙製 2 足受動歩行模型



(a) 右脚の接地と左脚振り出し

(b) 左脚の接地と右脚の振り出し始め



(c) 右脚の振り出しと左脚接地

(d) 右脚の接地

図 3-3 紙製 2 足受動歩行模型の歩行

開発した 2 足受動歩行模型と類似のおもちゃは酒井¹²⁾や加藤¹³⁾によっても製作方法が示されている。しかし、歩行原理の説明はなされていない。そこで、小・中学生にも直感的な理解が可能な程度の歩行原理を示す。

模型の動きは複雑なので、ここでは 3 つの運動に分けて考える。すなわち、模型を正面から見たときの動き、側面から見た足単体の動き、さらに側面から見た模型全体の動きを考える。

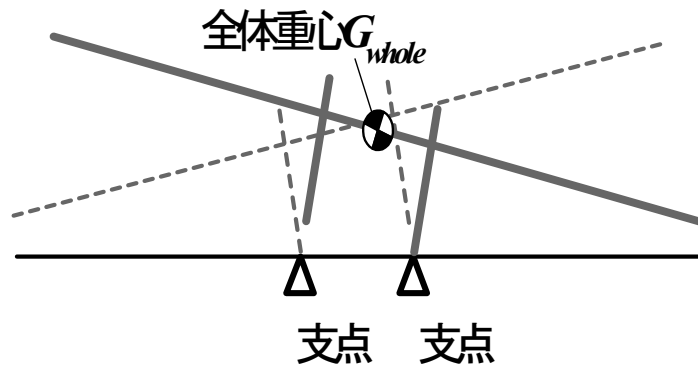


図3-4 全体の左右運動

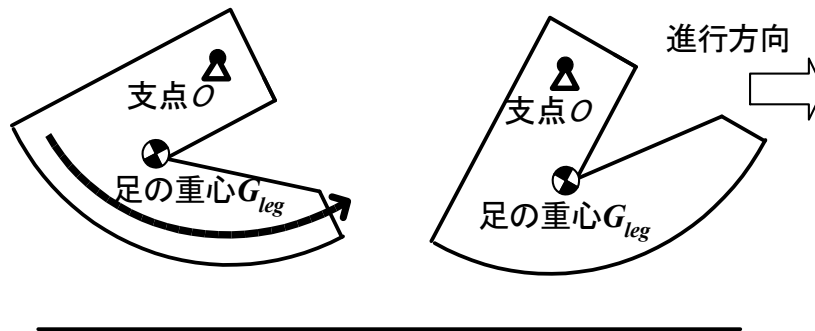


図3-5 足の前後運動

紙製2足受動歩行模型を正面から見たときのモデルを図3-4に示す。歩行中の腕の変形は微小と考えられるので、模型の左右の動きは剛体の運動と見なせる。そこで、片側の足を持ち上げて離すと、左右の足が交互に上がるようなロッキング振動¹⁴⁾が生じる。基本的な動きはやじろべえの動きと同じで支点まわりの回転運動と考えることができる。ただし、重心位置が支点より高いことと、左右に動くときに支点が交互に入れ替わることが大きく異なる点である。模型を歩かせるためには、この左右の動きを持続させる必要がある。そのためには、模型の前後方向、すなわち図3-4の紙面に垂直な軸まわりの慣性モーメント¹⁵⁾が大きい方がよい。そこで、左右に腕を伸ばし、先端におもりを付けて慣性モーメントを大きくする。ただし、慣性モーメントが大きすぎるとロッキング振動の周期が長くなりすぎるので適切な値に調整する必要がある。

紙製2足受動歩行模型が歩くためには、左右のロッキング振動に加えて2本の足が

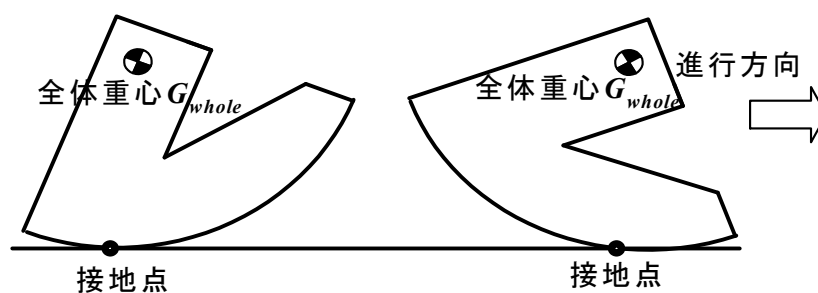


図3-6 全体の前後運動

交互に踏み出るような機構となる必要がある。そこで、図 3-5 のように支点まわりに足が自由に回転できる構造とする。さらに、足の重心位置が底面の円弧の中央と支点を結んだ線より少し後方になるように足に切り欠きを入れる。これにより足が持ち上がったときに重心の移動が起こり、足が前に振り出されることになる。持ち上がった側が遊脚、接地している側を接地脚とする。なお、足の運動は剛体振り子として解析が可能であり、その解析法は著者らによって示されている^{16),17)}。

足が振り出されるだけでは、模型は前に進まない。模型を前に進ませるために、足の底辺を円弧形にしている。その結果、以下の一連の動きで模型が前方に進む。図 3-4 のところで説明したように、ロッキング振動により左右の足が交互に持ち上がり、交互に支持脚となる。支持脚と反対側の足は持ち上がると図 3-5 のように前に振り出される。振り出された足が接地するときには、接地点は図 3-6 左のように模型全体の重心より後ろになる。その結果、全体重心に働く重力による接地点まわりのモーメントにより全体の重心が前に移動、すなわち全体が前方に転がろうとする。このままでは転倒するが、転倒する前に支持脚が入れ替わる。これらの運動が繰り返されて模型が前に進むことになる。

なお、安定な歩行を実現するためには、振り出された足が接地するときには、接地点は模型全体の重心より後ろになる必要がある。そのために、斜面の角度に応じて適切に足の重心位置を調整する必要がある。基本的には、傾斜が緩やかな場合は、重心位置を円弧中央と支点を結んだ線から離し、傾斜が急になるにともない重心位置を円弧中央と支点を結んだ線に近づける。その具体的な調整方法は 3-2-5 節で述べる。

また、上記の 3 つの運動の解析および連成解析の詳細は今後の課題とする。

第 3-2-1 項 紙製 2 足受動歩行模型の製作

開発する紙製 2 足受動歩行模型を小学校の授業実践に導入するためには、短時間で製作できることや工夫や改良が可能な上に、材料費が安価であることが求められる。そこで、足の材料は厚紙、腕は竹ひご、腕の先端のおもりとしては洗濯バサミを用いることにした。

第 3-2-2 項 材料と道具

使用する材料と道具を表 3-1 に示す。表 3-1 からわかるように、材料や道具の準備においては教師の負担は軽く、図 3-7 に示す紙製 2 足受動歩行模型の型紙を印刷しておくこと以外の準備は特にない。

足の材料として厚紙を用いるのは足の強度を保つためであるが、足型を厚紙に直接印刷することが困難なため、あらかじめ印刷した型紙を厚紙に貼り付けて切り抜くことにした。

なお、図 3-7 の紙製 2 足受動歩行模型の足型(型紙)は、製作の容易さと歩行の安定性を両立させるように試行錯誤により決めた。したがって、足の重心位置を決める切り欠きの形状や足の底辺の円弧の径は最適なものでない。また、竹ひごを通す軸受け部についても製作の容易さを考慮し、厚紙を折り曲げて組み立てることにした。

表 3-1 材料と使用道具

材料・道具	数 量
型紙 A 5	1
厚紙 A 5	1
竹ひご $\phi 3\text{mm} \times 300\text{mm}$	1
洗濯バサミ	2
はさみ	1
のり	1
キリ	1
鉛筆 (穴の拡大に用いる)	1
セロハンテープ	1
斜面用板材	1 (数名に 1 枚)

第 3-2-3 項 製作手順

製作手順を以下に示す。

1. 型紙（図 3-7）をのりで厚紙に貼り付ける
2. はさみで型紙の実線どおりに切り抜く
3. キリで黒丸の位置に穴をあける
4. 点線箇所を山折りにする
5. 軸受け部を組み立て、のりづけする
6. 穴に竹ひごをとおす
7. 竹ひごの両端に洗濯バサミを取り付ける
8. 全体の形を整える
9. 試走させ、調整を行う

以上の作業を行うことで、完成となる。

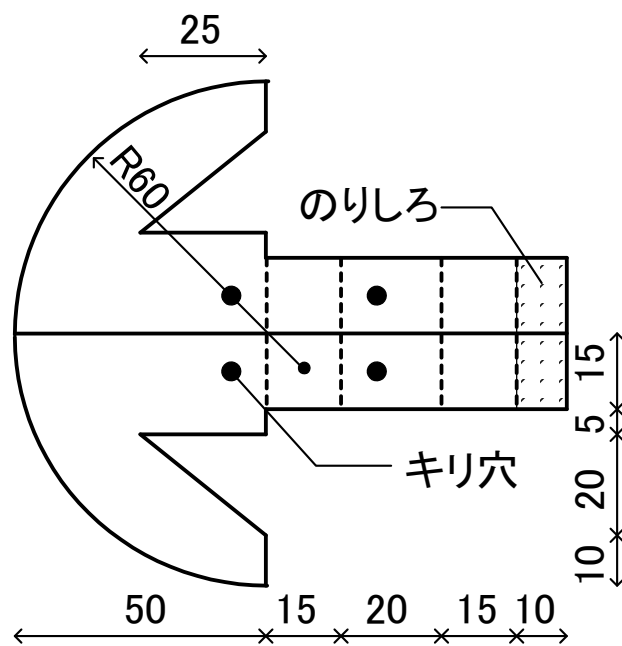


図 3-7 型紙（配布用）

第 3-2-4 項 製作上の留意点

前記の作業手順において、特別に困難な作業はないが、製作上の細かい注意点を以下にまとめる。

- ・小学校においては系統だった技術教育が行われていないため、作業は図画工作など学校教育で行われている範疇にある必要がある。

- ・型紙を厚紙に貼り付ける作業は簡単なのりづけであるが、のりを全面にわたって薄く広く展ばし貼り付ける必要がある。

- ・切断においては、型紙の実線どおりに 1mm 以下程度の精度で切り抜く必要がある。厚紙ははさみを正しく使用しないとうまく切断できない。はさみのせん断力を最大に利用するような切断法の指導を行う必要がある。

- ・穴あけにはキリを用いる。キリを使用するのが初めての児童も多いが、使用方法を説明すれば全員が安全に作業できるレベルである。キリの穴が竹ひごの直径より小さい場合は、足がスムーズに回転するように適切な直径に調整する作業が必要となる。

- ・竹ひごを通す軸受け部は、特に組み立て精度が要求され、足が床に対して垂直になるように軸受け部を組み立てる必要がある。そこで、破線の折り曲げには定規を添えて折り曲げるなどの工夫が必要となる。また、のりしろをのりづけする際にも軸受け部が歪まないように注意する必要がある。

このように厚紙の切断、穴あけ、組み立てにおいて正確な作業が要求され、模型を製作することで基本的な技術作業についての認識が生まれると考えられる。

第 3-2-5 項 調整・改良

製作した紙製 2 足受動歩行模型は、調整や改良することで約 5 度の斜面を軽快に歩行しながらまっすぐに下るようになる。歩行が困難な場合の代表的な対策を表 3-2 に示す。小学生が製作したときに歩行困難な場合の原因で圧倒的に多いのが、1 のケースである。穴を広げる場合には、身近にある鉛筆で穴を広げさせれば良いが、広げすぎると、足が直立せず、安定しないことになる。穴の大きさが竹ひごの径よりわずかに大きくなるように、様子を見ながら穴を広げていく作業が必要である。

表 3-2 模型の調整

現象	調整
1. 足が動かない	竹ひごをとおす穴を広げる
2. すぐに止まってしまう	斜面の角度を増す 竹ひごの長さを長くする
3. まっすぐ歩かず、すぐに左右どちらかにまわってしまう	腕の中央付近になるように身体 の位置をずらす 左右の足の動きを同じにする (片方の足が動きにくい場合)
4. 足が大きく踏み出してしまう	足の間隔を広くする 竹ひごの長さを短くする 斜面の角度を小さくする 足の重心位置を変える

なお、歩かせるときには、後ろから押すのではなく、片方の腕の端を下に押し下げ離すことで歩行を開始させる。

すぐに止まってしまう場合は、振動を持続させるためのエネルギーが不足していることになるので、斜面の角度を急にして位置エネルギーを大きくする必要がある。また、腕の長さを長くし、慣性モーメントを大きくすることも有効な対策となる。しかし、慣性モーメントを大きくしすぎると左右振動の周期が大きくなり、足が大きく踏み出してしまう原因になる。

まっすぐ歩かず、すぐに左右どちらかにまわってしまう原因の多くは、腕の中央に身体（2本の足を合わせて身体と呼ぶ）が位置しない場合である。これは、左右のロッキング振動の左側と右側の振動周期に差がでることによって、足の振り幅（歩幅）が左右で異なるためである。そこで、身体が腕の中央付近になるように位置をずらすことが対策となる。

足が大きく踏み出してしまう場合の対策として、斜面の角度が極端に大きい場合を除

いては、角度を小さくすることは望ましくない。そこで、足の間隔を広くしたり、腕の長さを短くする（慣性モーメントを小さくする）ことで、振動周期を短くする対策が有効となる。

なお、斜面の角度が大きいために、足が大きく踏み出でて転倒してしまう対策の一つに、足の重心位置の変更がある。図 3-8 は足が床より浮いたときの状態を示すものである。左が重心修正前で、右が足の先端付近にクリップをはさむことで、足の重心位置を円弧の中央付近に近づけた場合である。足の重心位置を円弧の中央と支点を結んだ線上に近づけることは、剛体振り子において初期変位を小さくする働きと、慣性モーメントを小さくする働きになる。これは、結果として歩幅を小さくし、足の振り幅が大きすぎることによる転倒を防ぐことにつながる。

児童に表 3-2 に示すようなさまざまな対策案や足の重心位置の変更を例示し、安定した歩行をさせるための調整や改良を行わせる。その作業において、児童は模型の運動を観察し、対策と現象との関係を考えることが期待できる。その結果、模型の運動に大きな影響を及ぼす力学的な知識に気がつく。それが、力のつりあいや重心位置あるいは慣性モーメントと呼ばれる物理量であることを完全に理解しなくとも、中・高等学校さらに大学と進むうちに理解が進むと思われる。したがって、開発した紙製 2 足受動歩行模型は、力学的な知識に興味を抱かせる教材として利用できると考えられる。

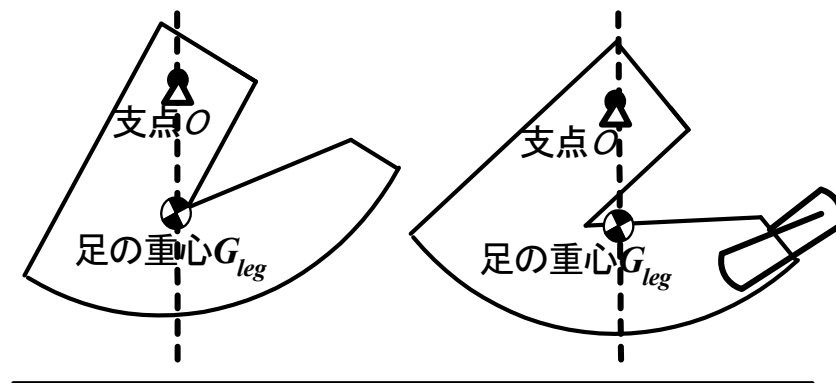


図3-8 重心位置の変更

第 3-3 節 歩行の力学的解析

第 3-3-1 項 紙製 2 足受動歩行模型の周期測定

学習指導要領¹⁸⁾において、技術・家庭科の技術分野では、技術と環境・エネルギー・資源との関係や、加工技術、エネルギー利用の基礎的な知識と技術を盛り込んだ学習が挙げられ、習得のみならず、工夫・創造する能力と実践的な態度を育てることが大きな柱となっている。技術・家庭科が対象としている生活や科学技術は従来と比べて大きく変化しており、科学技術の進展への対応や生活と技術の関わりを理解する指導が要求されるものの、工夫・創造するための教材は不足している。理論的にブラックボックスとなってしまう教材ではなく、科学的に裏付けのある教材も求められている。

また、「科学技術基本計画¹⁹⁾」においては、ものづくりを担う人材を養成・確保するため、幼い頃からものづくりの面白さに馴染み、創造的な教育を行い、子ども自らが知的好奇心や探求心を持って、科学技術に親しみ、目的意識を持ちながらものづくり、観察、実験、体験学習を行うことにより、ものづくりの能力、科学的に調べる能力、科学的なものの見方や考え方、科学技術の基本原則を体得できるようにすることが強調されている。ものづくりの観点からもものづくりを科学的に探究する学習教材が必要となっている。

児童生徒が目にする先進的科学技術として、HONDAのASIMOに代表される 2 足歩行ロボットがあげられる。本章では、より少ないエネルギーで人間の歩行に近い受動歩行に着目し、「紙製周期測定用 2 足受動歩行模型（以下、周期測定用 2 足受動歩行模型とする）の運動解析」を行った。受動歩行は、Mc Geer²⁰⁾により研究が進められてから 25 年程が経ち、2 足歩行ロボットの一機構として利用が期待され、関連する分野での研究が進められている^{21),22)}。また、2 足受動歩行模型は小学生から製作でき、その運動においては重心の移動や周期が重要な役割をはたし、2 足受動歩行型模型の各要素を変更することで最適な歩行条件を児童生徒自身が見つけだすことが可能である²³⁾。本研究では、周期測定用 2 足受動歩行模型の製作およびその運動解析を行う。ここでは、周期測定を中心に、歩行におけるさまざまな要素の影響について、理論解析および実験結果から考察する。

第 3-3-2 項 周期測定用紙製 2 足受動歩行模型の製作

製作した周期測定用紙製 2 足受動歩行模型は、文献²⁴⁾のおもちゃを元に簡略化し、また、実験の再現性も考慮し、摺動部に田宮模型のブッシュ、脚部の材料として CD および木材を使用した。また、脚部の重心の位置を変えるため、脚部の形状が扇型と L 字型の 2 種類を製作した²⁵⁾。

第 3-3-3 項 周期測定用紙製 2 足受動歩行模型の製作手順

周期測定用紙製 2 足受動歩行模型の製作手順について述べる。

1. CD および円盤状の木材を四等分する。

製作した 2 足受動歩行模型の運動を、正面、側面、平面の三つの運動に分け、解析および実験を行う。2 足受動歩行模型の運動は複雑である。本研究では、3 つの運動を取り出すことで、周期運動の近似的解析解を求める。また、実験結果と比較、考察する。運動において、浮いている足を遊脚、地面に接地している足を接地脚と呼び、接地脚と遊脚は左右交互に入れ替わる。

2. ブッシュを取り付けるために、CD は中心円のふちから 5mm の位置に、木材は 7 mm の位置に直径 5mm の穴をあける。

3. 穴にブッシュを接着剤で接着する。

4. 腕（長い棒）の中央に対して左右対称になるように足を取り付ける。ただし、足の間隔はスペーサーによって調節をする。また、足が左右に移動しないようにリングで固定する。

5. おもり（洗濯バサミなど）を棒の両端に取り付け、完成させる。

周期測定用 2 足受動歩行模型で用いる記号は以下の通りである。

θ_i : 回転角（添字 $i=a,b,c$ は正面、側面の遊脚、および接地脚の回転角を示す）

θ_o : 初期角度

Φ : 斜面の傾き

g : 重力加速度

L : 片腕の長さ

e : 腕の中央から脚部までの距離

h : 脚の高さ

h' : 接地時における床から重心までの距離

R : 脚部の扇型の半径

α : 脚部 (扇型) の中心角

M : 全体の質量 ($=2m_w+2m_L+2m_A+2m_S$)

m_w おもりの質量

m_A : 腕 (長さ L) の質量

m_L : 足の質量

m_S : スペーサー (長さ e) の質量

d : 腕 (脚部の頂点) から脚部の重心までの距離

(扇形 : $d = (4R/3\alpha)\sin(\alpha/2)$)

第 3-3-4 項 運動解析

正面から見た運動について考える。周期測定用 2 足受動歩行モデルのモデルを図 3-9 に示す。

2 足受動歩行モデルを正面から見た 2 次元の運動を調べ、理論値と実験値を比較する。実験では接地面を点に近づけるために、CD 製の脚を用いた。

(a) CD (b) 木材

ただし、受動歩行実験では、より安定な歩行を示す木材製の脚を使用した。

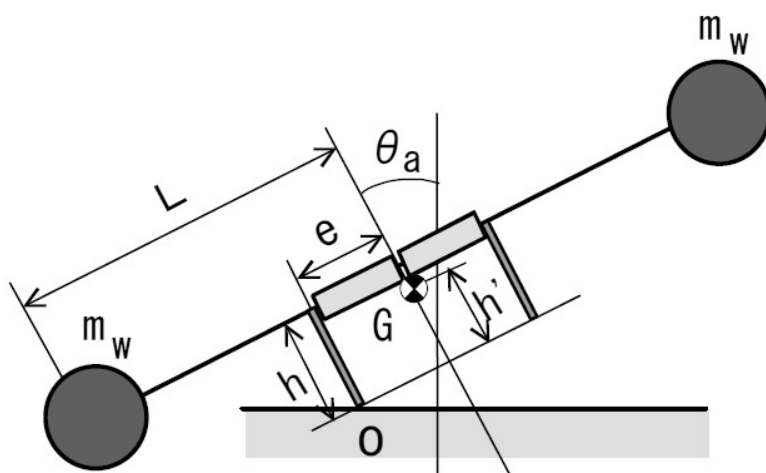


図 3-9 2 足歩行モデル

図3-9に示すように、2足受動歩行模型を剛体と仮定し、2次元で左右の振動運動を繰り返すものとして解析する。ただし、回転運動の支点となる足が時間により左右に入れ替わることを考慮しなければならないため、初期角度から両足が接地するまでの時間 t を1/4周期として取り扱う。足の入れ替わりによるエネルギーロスがないと仮定すると、周期は $T_a = 4t$ で与えられる。

運動方程式は、

$$I_a \ddot{\theta}_a = -Mg(ecos\theta_a - h'sin\theta_a) \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

ただし、 O 点まわりの慣性モーメント I_a は、腕、おもり、脚部、スパーサーの慣性モーメントの和で与えられる。

$$\begin{aligned} I_a = & 2m_w(h^2 + L^2 + e^2) + \frac{2}{3}m_A(L^2 + 3e^2 + 3h^2) \\ & + \frac{1}{2\alpha}m_L R^2(\sin\alpha + 5\alpha - \frac{32}{3}\sin\frac{\alpha}{2}) \\ & + 4m_L e^2 + \frac{1}{3}m_S(4e^2 + 3h^2) \quad \dots\dots\dots(3-2) \end{aligned}$$

また、重心の位置 h' は、

$$h' = \frac{2[m_w h + m_L(R - d) + m_A h + m_S h]}{M} \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

となり、質量 m_S と e はスパーサーの個数に比例する。

回転角 θ_a が微小と仮定すると、運動方程式(3-1)は、

$$I_a \ddot{\theta}_a - Mgh'\theta_a = -Mge \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

となる。初期条件は、

$$t = 0 \text{ のとき } \theta_a = \theta_0 \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

初期条件のもとに運動方程式を解くと、回転角 θ_a および角速度 ω_a はそれぞれ、

$$\theta_a = C \cos h\omega_a t + \frac{e}{h'} , \quad C = \theta_0 - \frac{e}{h'} \quad (0 < t < t_l) \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

$$\omega_a = \sqrt{\frac{Mgh'}{I_a}} \quad \dots\dots\dots(3-7)$$

となるので、両足が設置する時間 t は、

$$t = \frac{1}{\omega_a} \ln \left[-\frac{e}{ch'} + \sqrt{\left(\frac{e}{ch'}\right)^2 - 1} \right] \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

したがって、周期 T_a は、

$$T_a = \frac{4}{\omega_a} \ln \left[\frac{e}{e-h'\theta_0} + \sqrt{\left(\frac{e}{e-h'\theta_0}\right)^2 - 1} \right] \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

2足受動歩行模型において腕の中央から脚部までの距離 e の値が周期に与える影響を調べる。また、式(3-9)より理論値を求め、理論値と実験値との比較を行い、実際の動きに対する影響を考察する。

実験では図3-9の模型を用い、 e を10mm, 20mm..., 50mmと変えて周期の測定を行う。なお、撮影したビデオの性能は30fpsである。実験で用いた2足受動歩行模型の諸元を表3-3、実験結果の周期を表3-4に示す。ここで、初期角度 θ_0 は各振動の開始角度を示す。

図3-10に周期 T_a における中央から脚部までの距離 e の影響を示す。実験値は1周期目の値を用い、理論値は表3-3の諸元値を式(3-9)に代入し求めた。ただし、初期角度 θ_0 は実験結果より1周期目の平均値から $\theta_0=12^\circ$ を用いた。

図3-10において理論値、実験値ともに右下がりのグラフとなっており、 e の値が増加すると周期が短くなることがわかる。 e の値の増加にともない、 O 点周りの慣性モーメントが大きくなり、周期が長くなるという影響を及ぼすが、慣性モーメントよりも重力によるモーメントの増加が大きく影響し、周期は短くなる。ある。さらに、腕・脚部のたわみの影響で、 e が小さいほど、また、 θ_0 が大きいほど、実験値と理論値の差は大きくなる。

周期 T_a における初期角度 θ_0 の影響を $e=20\text{mm}$ について図3-11に示す。この図より、理論値、実験値ともに初期角度が増加すると周期が長くなることがわかる。この結

果は，周期が振り上がり角度に無関係な振り子とは異なり，角度が大きくなるにつれ，つりあい状態に近づくためである。

表3-3 諸元

記号	値	記号	値
h	45mm	L	250mm
R	60mm	α	90°
m_A	6.15g	m_L	3.7g
$m_s/\text{個}$	0.2g	m_w	14.6g

表3-4 足の位置と振動周期の変化

e [mm]	周期回数	初期角度 θ_0 [°]	周期 T_a [sec]
10	1	10	1.567
	2	8	1.300
	3	6	1.000
	4	3	0.766
	5	2	0.567
20	1	11	1.200
	2	11	1.167
	3	10	1.033
	4	7	0.967
	5	6	0.800
30	1	13	0.834
	2	9	0.666
	3	6	0.667
40	1	12	0.767
	2	7	0.567
50	1	12	0.667
	2	7	0.567

解析結果から腕の長さ L とおもりの質量 m_w 周期 T_a に及ぼす影響を図3-12, 図3-13に示す。腕の長さもしくはおもりの質量以外の諸元は表3-3の値を用いた。また, $e = 20\text{mm}$, $\theta_0 = 12^\circ$ とした。

図3-12において, $L < 20\text{mm}$ の範囲はおもりが両脚の間に位置することを示す。また, 腕の長さ L が十分大きな値では, 周期は L に正比例することがわかる。図3-10, 図3-11ともに, 理論値において, 周期は $\theta_0 = \tan^{-1}e/h'$ で ∞ に発散する。これは, 重心の位置が O 点の真上に位置し, モーメントが0となり, つりあい状態にあるためである。また, 実験値は理論値よりも周期が短い値を示す。これは, 解析において着地時のエネルギーロスを無視しており, 実際には跳ね上がり角が小さくなるため図3-13において, おもりの質量の増加にともない, 周期は長くなり, ある値に収束することがわかる。これは, 質量の増加により慣性モーメントが増加し, 周期が長くなるためである。

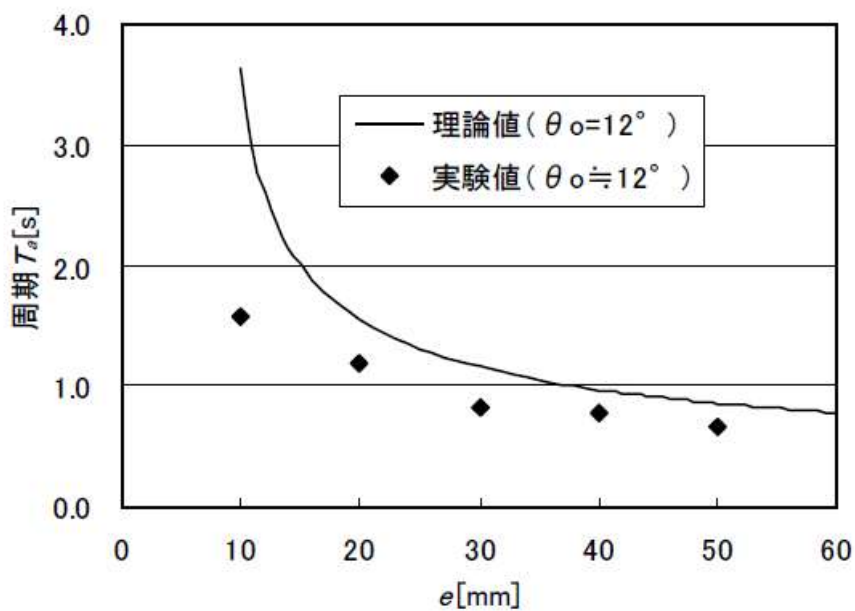


図3-10 周期 T_a における e の影響

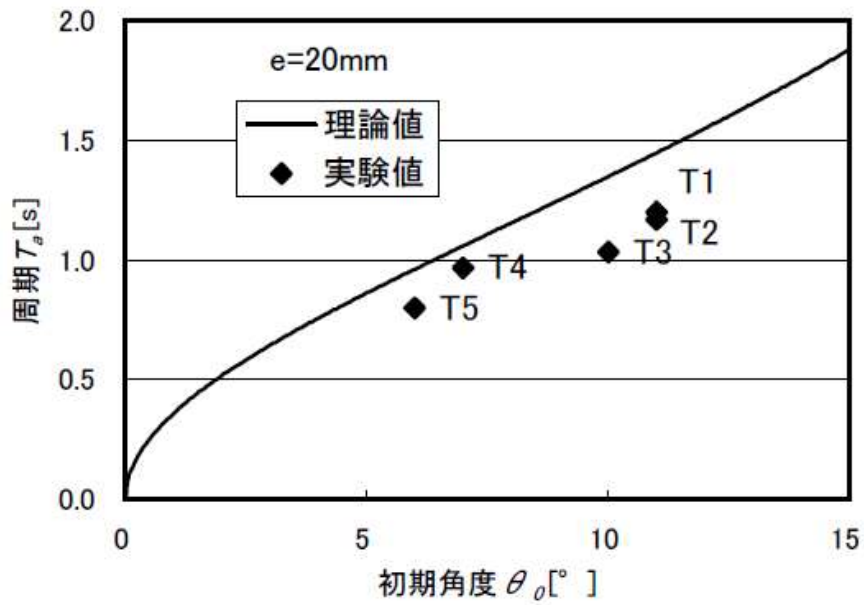


図3-11 周期 T_a における初期角度 θ_0 の影響
 (T_n : n 回目の振動周期)

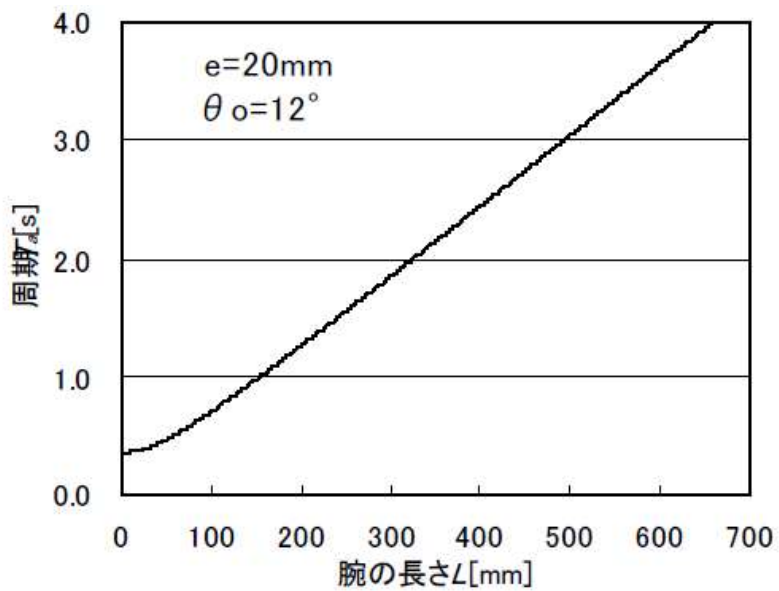


図3-12 周期 T_a における腕の長さ L の影響

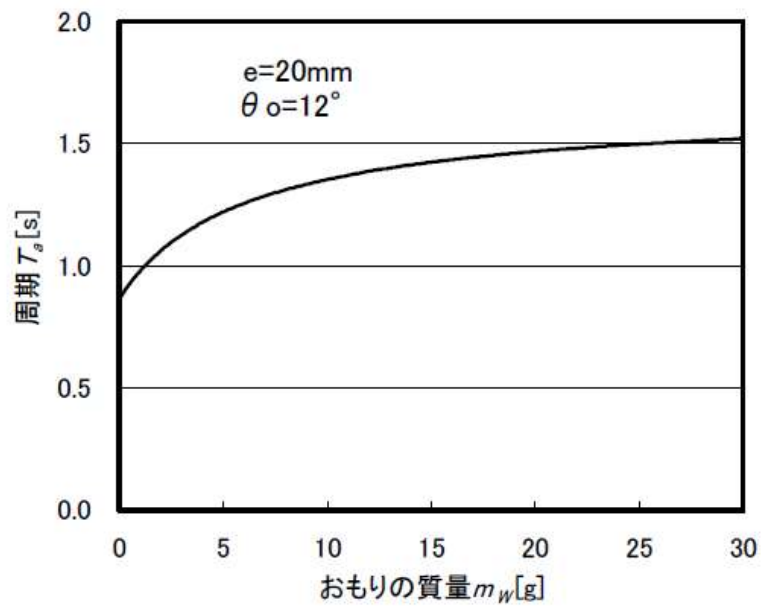


図3-13 周期 T_a におけるおもりの質量 m_w の影響

次に側面から見た運動について考える。

2足受動歩行模型の歩行を側面から見た運動を実験および解析する。

側面からビデオ撮影し、側面から見た運動を調べる。ここで、脚部には木材製の扇形を用いた。

- 1 2足受動歩行模型の足の重心を調べ、印をつける。
- 2 歩行の様子を側面から撮影し、重心の運動を調べる。

結果をモデル化したものを図3-14に示す。ここで、重心の位置を黒丸で示した。

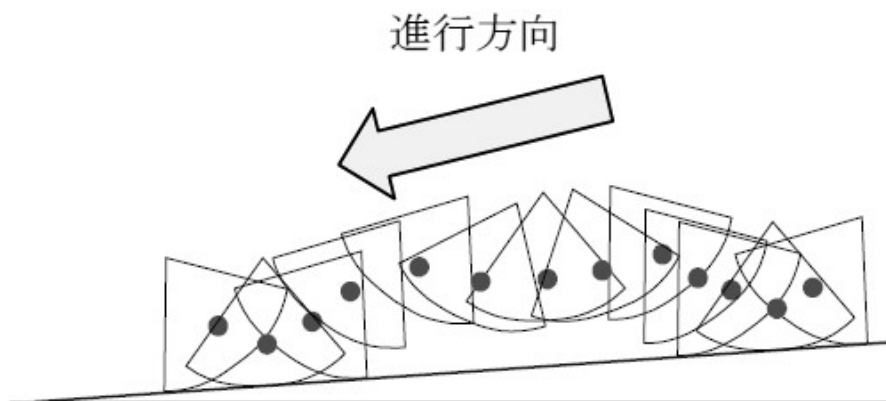


図 3-14 脚部の運動のモデル化

図3-14から、接地脚より遊脚が重心の移動が大きいことがわかる。歩行を行う際、最初に接地脚が浮いた全体の重さを受けて進行方向へと進む。すると、接地脚の動作に連動して腕、遊脚が移動を行う。そのとき、遊脚は剛体振り子の動きをしているため、遊脚自体も移動を行う。そのため、遊脚は接地脚の移動と自身の移動、腕の回転によって、接地脚より移動距離が長くなる。次に、遊脚は支点が移動しないと仮定すると、剛体振り子と同様の支点を中心とした回転運動、接地脚は接地点を中心とした回転運動となっている。以下で、遊脚、接地脚それぞれの周期を理論解析する。

次に遊脚の運動解析を行う。

回転軸が移動せず、支点が脚部の頂点にあるものと仮定すると、遊脚の運動は剛体振り子と考えることができる(図3-15)。

このとき、運動方程式は、

$$I_b \ddot{\theta}_b = -m_L g d \sin \theta_b \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

支点 O を中心とした慣性モーメント I_b は、

$$I_b = \frac{1}{2} R^2 m_L \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

回転角 θ_b は微小と仮定すると、回転角 θ_b および角速度 ω 、周期 T_b は、

$$\theta_b = \theta_o \cos \omega_b t \quad \dots\dots\dots(3-12)$$

$$\omega_b = \sqrt{\frac{m_L g d}{I_b}} \quad \dots\dots\dots(3-13)$$

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{3\alpha R}{2g \sin \frac{\alpha}{2}}} \quad \dots\dots\dots(3-14)$$

となる。

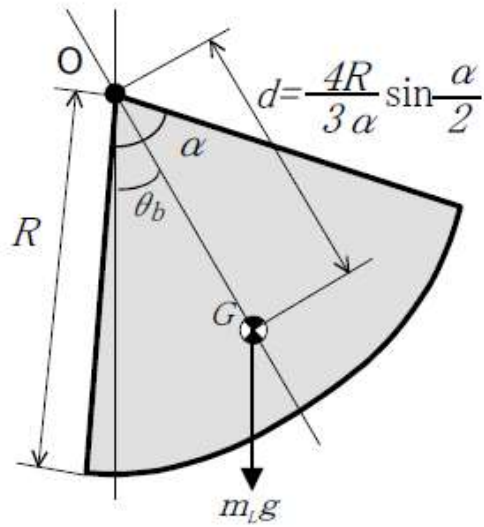


図3-15 遊脚のモデル

次に，接地脚の運動解析を行う。

接地脚については，図3-16のモデルを使用し，頂点に他の部位の質量がかかっているとす。なお，すべり，摩擦などのエネルギーロスは無いものとする。

運動方程式は

$$I_c \ddot{\theta}_c = -g[m_L(d \sin \theta_c + R \sin \phi)] \quad \dots\dots\dots(3-15)$$

接地点Oを中心とした慣性モーメント I_c は

$$I_c = \frac{1}{2} R m_L [3R - 4d \cos(\theta_c + \phi)] \quad \dots\dots\dots(3-16)$$

回転角 θ_c が微小であると仮定すると，回転角 θ_c および角速度 ω_c ，周期 T_c は

$$\theta_c = \left[\theta_0 + \frac{MR}{m_L d} \sin \phi \right] \cos \omega_c t - \frac{MR}{m_L d} \sin \phi \dots\dots\dots(3-17)$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{8g \sin \frac{\alpha}{2}}{R(9\alpha - 16 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \phi)}} \dots\dots\dots(3-18)$$

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{R(9\alpha - 16 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \phi)}{8g \sin \frac{\alpha}{2}}} \dots\dots\dots(3-19)$$

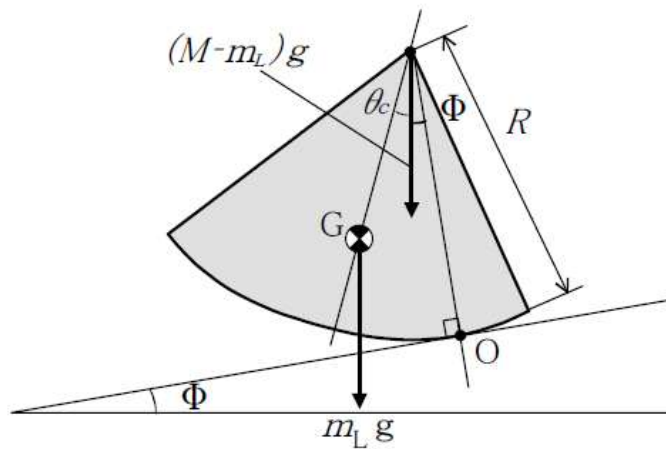


図3-16 接地脚のモデル

遊脚と接地脚の比較を行う。

式(3-14), (3-19)より遊脚と接地脚の周期を比較し, 図3-17に示す。ただし, 木材型をモデルとし, $\alpha=90^\circ$, $\phi= 4^\circ$ の値を用いた。図3-17より, 遊脚の方が接地脚より周期が長く, また, 脚部の半径の増加にともない, 周期が増加することがわかる。正面から見た運動の周期に連動させて, 脚部の周期を変える必要があり, 後述の歩行実験であらわれる脚部の振り出しの過不足は脚部半径の調節による制御も可能である。

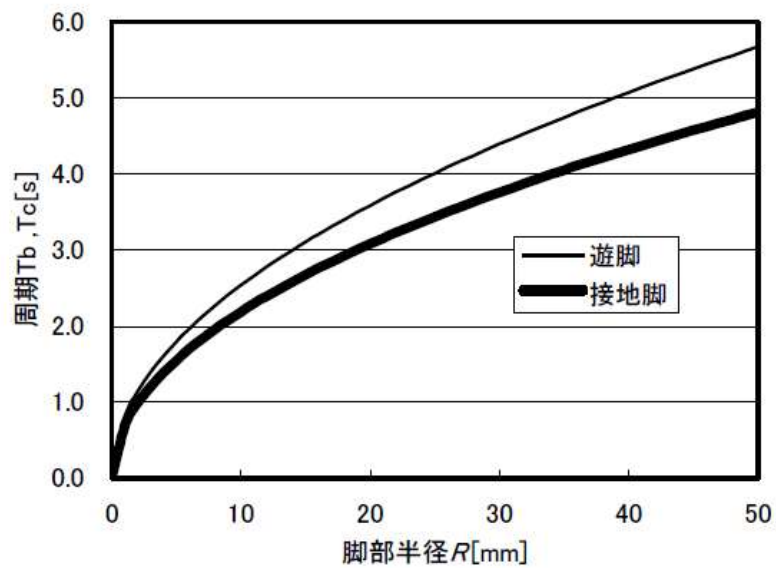


図 3-17 遊脚と接地脚の周期

平面内の運動について検討する。

まず，真上からビデオ撮影し，平面内の運動を調べた。

歩行の平面内の運動のモデル化を図3-18に示す。左腕が前方に出るとき，右足が遊脚となり前方へ出る。また，右腕が前方に出るとき，左足が遊脚となり前に出る。このことから，2足受動歩行モデルは，人間の歩行と同様に歩行の際に前に出した足とは逆の腕を出すように歩くことがわかる。

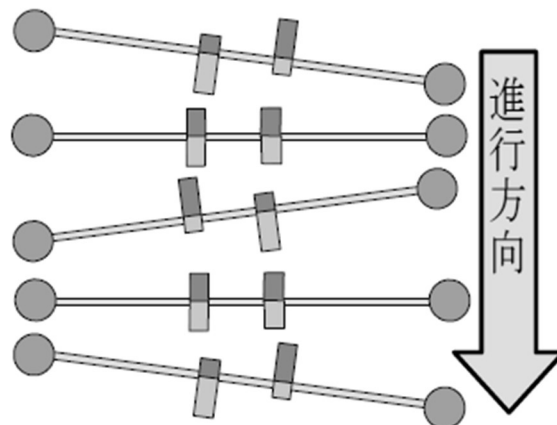


図3-18 平面歩行モデル

第 3-3-5 項 歩行実験

2 足受動歩行模型の歩行と実験を行い、各諸元の影響を考察する。ただし、以下の実験で変動させた変数以外は表3-3の値を用いた。

斜面の角度を変えることのできる台を製作し、各斜面の角度 ϕ (約4, 6, 10°)に対して中央線から脚部までの距離 e 、おもりの質量 m_w 腕の長さ L を変化させたときの歩行の様子を調べる。なお、初期角度 θ_0 に関しては値が一定になるように実験を行った。

表3-5に台角度 ϕ に対する最適な e の値を示す。ただし、値が示されていない条件では転倒するか歩かない、もしくは不安定な歩行となった。表3-5より、斜面の角度 ϕ が大きく、傾斜が急になるほど、 e を大きくとる必要があることがわかる。歩幅が一定の場合、傾斜が急なほど一歩あたりのエネルギー変換能力が大きくなる。そのため、傾斜が急なほど脚の入れ替わり周期を短くすることで、歩幅を小さくしエネルギー変換能力を抑える必要がある。これは、 e の値が大きいかほど脚の入れ替わり周期が短くなる結果(図3-10)と一致する。また、おもりを重くした場合、最適な e の値は大きくなることが分かる。おもりをより重いものへと変更することで、その周期は長くなるため(図3-13)、 e を大きくすることで、周期を短くし、おもりと e の影響による周期の増減に一定のバランスが保たれる。

表3-6に歩行可能な腕の長さ L の範囲を示す。 e が大きいかほど腕の長さが長くなる傾向にある。これは、図3-10, 図3-12からも明らかなように、腕の長さが長いほど周期は長くなるため、腕の長さ L と e の影響による周期の増減にも一定のバランスが保たれるためである。

表3-5 台角度 ϕ に対する最適な e の値 [mm]

($m_{w1}=4.5\text{g}$ $m_{w2}=14.6\text{g}$)

台角度 ϕ	m_{w1}	m_{w2}
4°	10	30
6°	40	50
10°	50	—

表3-6 歩行可能な腕の長さ L の範囲 [mm]

($m_w = 4.5\text{g}$)

台角度 ϕ	e				
	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
4°	160-250	160-250			
6°		160-220	220-250	160-250	
10°				190-220	220-250

本実験では、より少ないエネルギーで人間に近い歩行を行う受動歩行を取り上げ、教材用2足受動歩行模型の運動解析を行った。2足受動歩行模型は小学生高学年から製作することが可能である。教材化にあたり、その動作原理を調べるために、正面、平面、側面の運動を取り出し、実験および解析を行い、模型の各諸元が周期に及ぼす影響を明らかにした。このことにより、安定した歩行を実現させるための試行錯誤に、理論的な裏づけを提示した。

第 3-3-6 項 運動解析用歩行模型

動く教材を開発するときにはその挙動を解析しておくことが大切である。これまでも著者は、運動解析を教育に利用してきた^{16),17)}。紙製2足受動歩行模型を教材として使用する場合においても、その運動解析を行う必要があるが、模型の運動は非常に複雑である。それぞれの構成要素を変更しながら運動解析ができるように、運動解析用の歩行模型を用いながら、教材の分析を行うことにした。

先に述べたように第3-2節で開発した紙製2足受動歩行模型は、授業実践での使用を目的としたものである。小学校の児童でも製作が容易な反面、脚単体の重心位置・腕先端の質量・脚の円弧半径を簡単に変更できる構造とはなっていない。そこで、脚単体の重心位置・腕先端の質量・脚の円弧半径の構造パラメータを容易に変更可能なものにした。また軸受けが紙の穴であったため歩行が不安定であったが、プラスチック製の軸受けに変更し安定して歩行できるような模型を開発した。

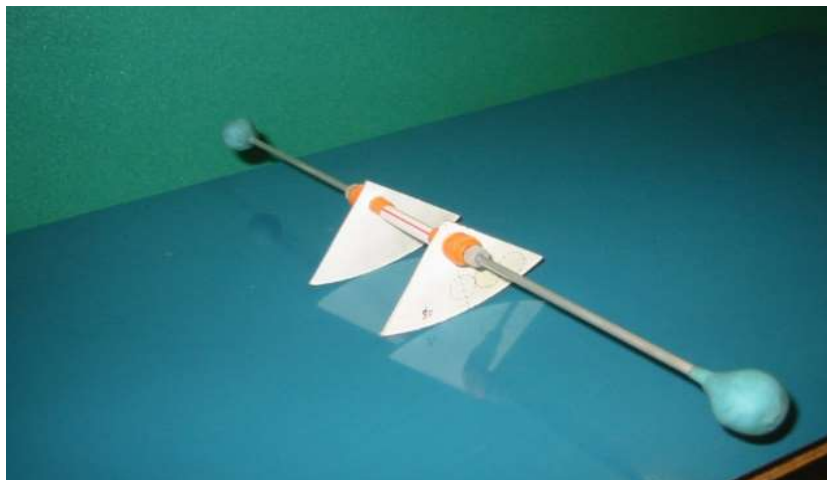


図 3-19 模型全体図

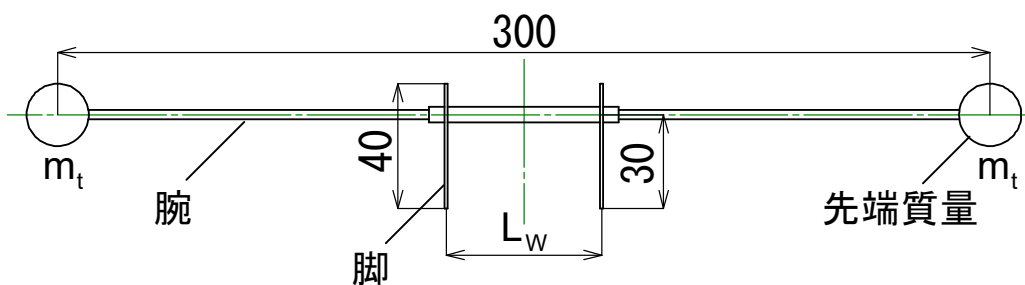


図 3-20 正面図

図 3-19 に模型全体図を示す。また、図 3-20 に正面図、図 3-21 に側面から眺めた脚の形状、図 3-22 に脚部の詳細図を示す。脚は腕のまわりを前後方向に自由に回転できる構造となっており、脚に付加質量（粘土）を取り付けることで脚単体の重心位置を容易に変更できる。腕にはアルミニウム製のパイプ（外形 $\Phi 3\text{mm}$ ）を使用し、脚の材質としては厚紙を用いた。また、脚の回転を滑らかにするために、プラスチック製の軸受（外形 $\Phi 5\text{mm}$ 、内径 $\Phi 3\text{mm}$ ）を用いた。さらに、図 3-22 のスペーサー（材質はプラスチックパイプ）の長さを調整することで、脚の間隔を変更可能とした。腕先端には任意の重さの粘土を取り付けることで腕先端の質量の大きさを調整可能にした。これらによって、模型全体の慣性モーメント、脚単体の重心位置および両脚の間隔が自由に変更できる模型となった。

第 3-3-7 項. 構造パラメータ

歩行原理は第 3-2 節で説明しているのので、ここでは概要を述べる。模型を斜面に置いて片側の腕を押し下げて離すと図 3-23 のように左右の脚が交互に上がるロッキン

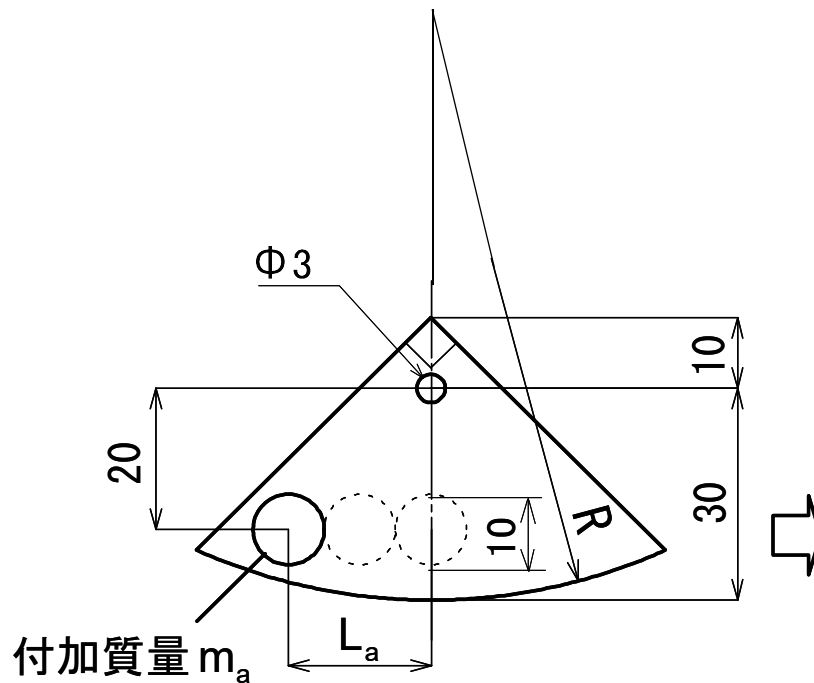


図 3-21 脚の形状

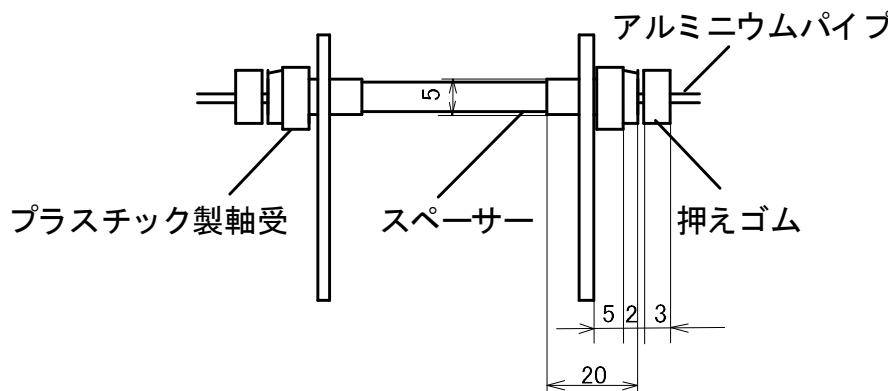


図 3-22 脚部の詳細図

グ運動が起きる。これにより接地する脚（支持脚）が左右入れ替わる。浮いている脚（遊脚）は、図 3-24 のように支点（腕）まわりに回転（進行方向に）し、ロックイン振動に合わせて接地する。そのとき、支持脚の接地点より模型全体の重心位置が前方にあるため、全体が前にころがろうとする。しかし、ロックイン運動により支持脚が入れ替わるので転倒しない。これらの運動が繰り返されることで歩行しながら斜面を下る。

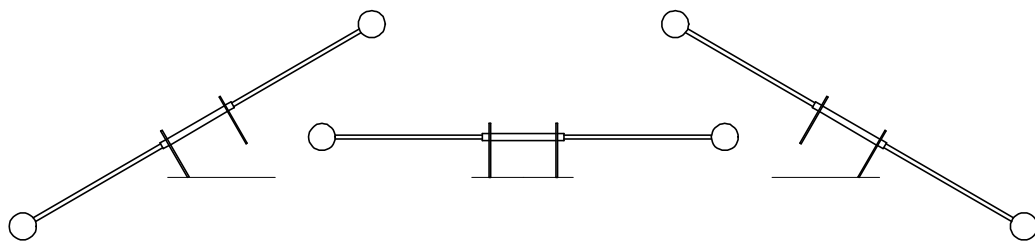


図 3-23 ロックイン運動

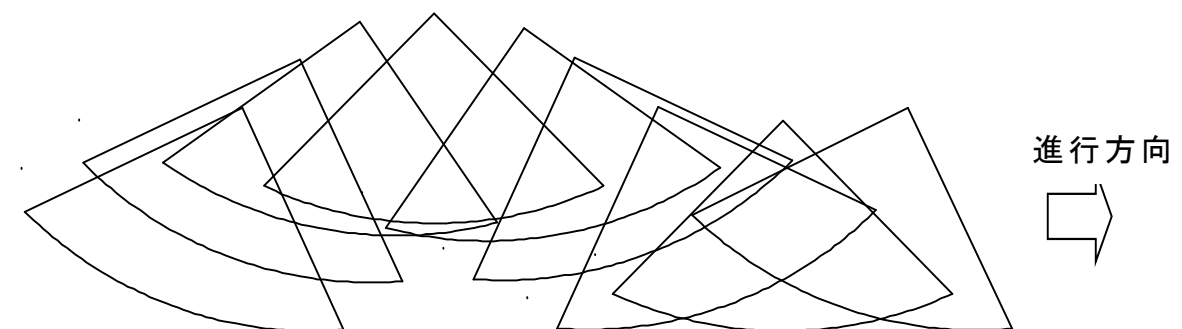


図 3-24 足の動き

本論文の提案では、児童に速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型への調整方法を考えさせる。その過程を通じて重心位置と慣性モーメントの意味を考えさせる。今回扱っている条件は①腕の重さ、②脚部の重さと位置、③傾斜板の角度、④脚部形状と間隔の 4 つの条件である。しかしながら教育用に用いるためには、模型の構造を変更する箇所が、生徒が容易に変更可能でさらに重心位置や慣性モーメントに直接関係する必要がある。そこで、以下の 2 つの構造パラメータ L_a, m_t を取り上げた。

1) 脚の付加質量位置 L_a

脚の振り子運動に影響を及ぼす。脚単体の重心位置と慣性モーメントが変化するが、特に遊脚となったときの脚の振れ幅（振れ角度）が大きく変化する。

2) 腕先端の質量 m_t

左右のロッキング運動に影響を及ぼす。全体質量，正面から見たときの模型全体の慣性モーメントが変化する。慣性モーメントは剛体を構成する各微小部分の質量と，その質量と回転中心からの距離の2乗との積を全体にわたって積分したものである。慣性モーメントだけを変更する構造パラメータとしては腕の長さが適しているが，ロッキング運動において腕を長くした場合，腕先端が斜面に接触する問題があり，採用しなかった。

歩行特性には①～④で示したとおり上記以外に，脚底辺の円弧半径，両脚の間隔などの構造パラメータ，さらに斜面の傾斜角度，脚と斜面との摩擦係数など構造パラメータ以外の要因も影響を及ぼす。本論文では，脚の付加質量位置と腕先端の質量を変更したときに，歩行可能あるいは歩行の再現性のよい構造を決めるために，以下のパラメータ（3～5）の適正值を実験により検討し，他のパラメータは実験により教育に適切なものを利用することを目指す。

3) 斜面の傾斜角度 θ

脚の振り子運動，前後のころがり運動などすべての運動に影響を及ぼす。

4) 脚底辺の円弧半径 R

前後のころがり運動に影響を及ぼす。脚の形状を変えることで調整可能である。

5) 両脚の間隔 L_w

左右のロッキング運動に影響を及ぼす。スペーサーの長さを変えることで調整可能である。

紙製2足受動歩行模型を正面から見た2次元の運動を考える。第3-3節と同様，図3-25に示すように，紙製2足受動歩行模型を胴体と仮定し，2次元で左右の振動運動を繰り返すものとして解析する。ただし，回転運動の支点となる脚が時間により左右に入れ替わることを考慮しなければならないため，初期角度から両脚が接地するまでの時間 t を1/4周期として取り扱う。脚の入れ替わりによるエネルギーロスがないと仮定すると，周期は $T_a=4t$ で与えられる。

したがって，周期 T_a は第3-3-4項の式(3-9)のとおりである。

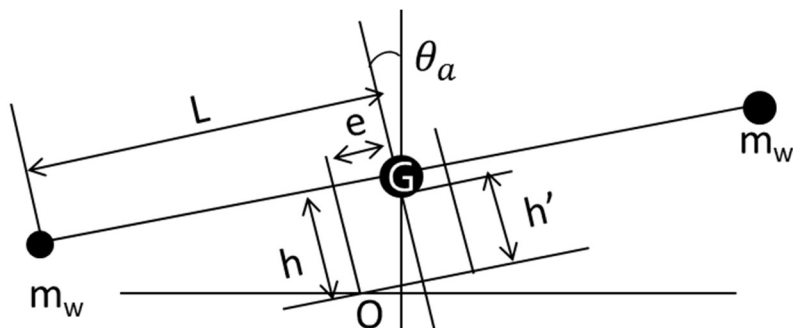


図 3-25 紙製 2 足受動歩行模型を 1 つの剛体としたモデル

腕先端の質量 m_w の増加にともない、周期 T_a は長くなり、ある値に収束することがわかる。これは、質量の増加により慣性モーメント I_a が増加し、周期が長くなるためである。腕先端のおもり m_w を大きくしたり、腕の長さ L を大きくしたりすると、周期 T も大きくなり、比例することがわかる²⁵⁾。

比較的単純なモデルであるにも関わらず、パラメータが多く、その挙動が、大人でもわかりそうで、わかりにくいそれぞれのパラメータがどのように挙動に関わっているのかがわかってくるにつれて、内発的な学びにつながると考える。

第 3-4 節 最適設計のための歩行実験

第3-4-1項 実験方法

図 3-26 に実験の様子を示す。長さ 900mm×幅 300mm×厚さ 1mm の鋼板にビニールのコーティングをしたものを木製の板に固定し、実験用斜面とした。傾斜は市販の角度計を用いて指定の角度に設定した。実験においては、模型を頂上から歩かせ、その歩行時間を計測するとともに、その動きをビデオカメラ（フレームレート：30fps）で撮影した。歩行時間の定量的な評価においては、10 回の歩行時間を計測し、その平均値と標準偏差を算出した。

ここで、 T_i は i 回目の歩行時間、 n は実験歩行回数である。標準偏差は歩行時間のばらつきの程度を表すことになるので、標準偏差が小さいほど歩行の再現性が良いといえる。

また模型を構成する各部品の質量は、アルミ棒（腕）3.3 g，プラスチック製軸受け 0.7 g × 2，押えゴム 0.3 g × 2，紙製の脚 1.1 g × 2，スペーサー 0.2 g となっている。

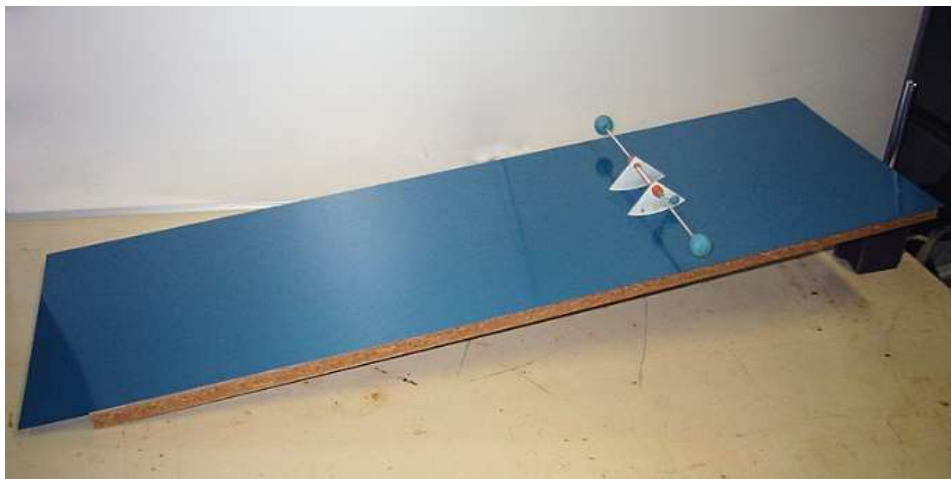


図 3-26 歩行実験の様子

第3-4-2項 実験結果

(a)傾斜角度の影響

紙製2足受動歩行模型は、位置エネルギーを運動エネルギーに変換しながら斜面を下ることからも、斜面の傾斜角度は模型の歩行に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、第3-3節で示した構造パラメータの影響を調べる前に、実験に適した傾斜角度を検討する。

(a-1) 脚底辺の円弧半径を変化させた場合

第3-2節では脚底辺の円弧半径を変化させていないため、脚底辺の円弧半径 R を60mmから90mmまで10mmごとに変化させ、10回歩行させたときの完走回数を調べた。斜面の傾斜角度は 5° から 15° とし、他の実験条件は腕先端の質量 $m_t=5.0\text{g}$ (片側)を両側に取り付けた。両脚の間隔 $L_w=50\text{mm}$ 、脚の付加質量なし ($m_a=0$)とした。結果を表3-7に示す。表中の◎は10回完走、○は9~7回、△は6~5回、×は5回未満の完走回数を表す。

表3-7において、すべての円弧半径で10回完走する傾斜角度の範囲が存在することがわかる。 $R=60\text{mm}$ の場合は $5^\circ\sim 8^\circ$ 、 $R=70\text{mm}$ の場合は $7^\circ\sim 11^\circ$ 、 $R=80\text{mm}$ の場合は $7^\circ\sim 13^\circ$ 、 $R=90\text{mm}$ の場合は $9^\circ\sim 13^\circ$ である。このことから、斜面の傾斜角度に応じた適切な円弧半径が存在するといえる。

本実験範囲では、10回完走した範囲が最も広いのは $R=80\text{mm}$ の場合である。広い傾斜角度において歩行可能な模型が授業での利用に適すると考え、以後の実験では脚底辺の円弧半径 $R=80\text{mm}$ の模型を用いた。授業でも円弧半径 $R=80\text{mm}$ の模型を用いるのが望ましい。

(a-2) 腕先端の質量を変化させた場合

すべての傾斜角度において歩行特性を定量的に評価することが望ましいが、多大な実験を要する。

表 3-7 円弧半径の影響

傾斜角度 θ [deg]	円弧半径 R [mm]			
	60	70	80	90
5	◎	×	×	×
6	◎	○	○	×
7	◎	◎	◎	○
8	◎	◎	◎	○
9	○	◎	◎	◎
10	○	◎	◎	◎
11	○	◎	◎	◎
12	△	○	◎	◎
13	△	○	◎	◎
14	×	○	○	○
15	×	×	○	○

◎:10 回完走, ○:9~7 回, △:6~5 回, ×:5 回未満

ここでは、一つの傾斜角度を決め（授業においても傾斜角度を設定することは可能である）、その傾斜において定量的な評価を行う。そこで、傾斜角度を決めるために、円弧半径 $R=80\text{mm}$ の模型を用いて、腕先端の質量 m_t を 5.0g , 10.0g , 15.0g と変えて、10 回歩行させたときの完走回数を調べた。他の条件は前項と同じである。結果を表 3-8 に示す。なお、表中の◎, ○, ×は表 3-7 と同じ意味である。

表において、腕先端の質量 m_t を大きくすると傾斜角度が小さくなくても歩くが、逆に大きな傾斜角度では歩きにくくなっていることがわかる。この原因として以下のことが考えられる。腕先端の質量を大きくすると、模型を正面から見たときの模型全体の慣性モーメントが大きくなる。これにより、振動が持続しやすくなる。さらにロッキング運動の周期が長くなるので、遊脚の時間が長くなり脚が前に出やすくなる。しかし、傾斜角度が大きくなるとロッキング運動の周期が長くなりすぎ、脚が前に出すぎて転倒するなど不安定になり歩きにくくなる。

腕先端の質量 m_t を 5.0g , 10.0g , 15.0g と変化させた本実験の範囲では、傾斜角度 7° から 11° の範囲で 10 回すべて完走している。そこで、中央に位置する傾斜角度 9° を以後の実験の傾斜角度とした。授業でも歩行安定性のある 9° の斜面を用いるのが

望ましい。

(b)脚単体の重心位置の影響

ここでは、重心の意味を学習させる教材として2足受動歩行模型を使う。簡単に変更可能な重心位置は第3-3節でも述べたように脚単体の重心位置である。そこで、脚単体の重心位置が歩行特性に及ぼす影響を調べる。脚単体の重心位置は、図3-21に示すように位置をずらしながら、扇形の脚に $m_a=0.5g$ の付加質量をつけ、その位置

表 3-8 腕先端の質量の影響

傾斜角度 θ [deg]	腕先端の質量 m_t [g]		
	5	10	15
5	×	×	×
6	○	◎	◎
7	◎	◎	◎
8	◎	◎	◎
9	◎	◎	◎
10	◎	◎	◎
11	◎	◎	◎
12	◎	◎	○
13	◎	○	○
14	○	○	○
15	○	×	×

◎:10回完走, ○:9~7回, △:6~5回, ×:5回未満

を移動することで変更した。しかしながら脚板も質量を持っているため脚板の質量と付加質量をあわせた共通重心と考えるが、付加質量の位置 L_a は支点の真下および後方に 10mm と 20mm 移動させた 3箇所とし共通重心の移動を試みた。なお、腕先端の質量 $m_t=5.0g$ で、両脚の間隔 L_W は 40mm, 50mm, 60mm の 3通りとした。10回歩行させたときの歩行時間の平均値と標準偏差を図3-27に示す。図中の縦棒は標準

偏差を表している。

図 3-27 において、すべての L_W で付加質量の位置 L_a (脚の重心位置) を後方にずらすと平均歩行時間が短くなっていることがわかる。これは、脚の重心位置を後ろにずらすと振り子運動の周期が同じでも振幅(振れ角度)が大きくなるが、その結果として1歩の歩幅が大きくなったためと考えられる。

安定に歩行した10歩 ($L_W=50\text{mm}$) をビデオ撮影し、1歩あたりの歩行距離と歩行時間を算出した。1歩は片脚の踏み出しである。表 3-9 に、歩行回数5回で1回10歩の計測結果(平均値)を示す。表より、付加質量位置を後ろにずらすことで1歩あたりの歩行距離が長くなり、歩行時間も短くなっていることがわかる。この結果が図 3-27 の平均歩行時間が短くなることにつながったといえる。なお、表 3-9 の数値は振り子運動だけではなくころがり運動も含むために、振り子運動の振幅が大きくなることで1歩あたりの歩幅が大きくなることを直接に示すデータではないが、関連性はあると考える。歩行時間が短くなる原因については、振り子運動の振幅が大きくなることで脚の接地位置が変化することと関連が見られるが、現状では明確に説明はできない。

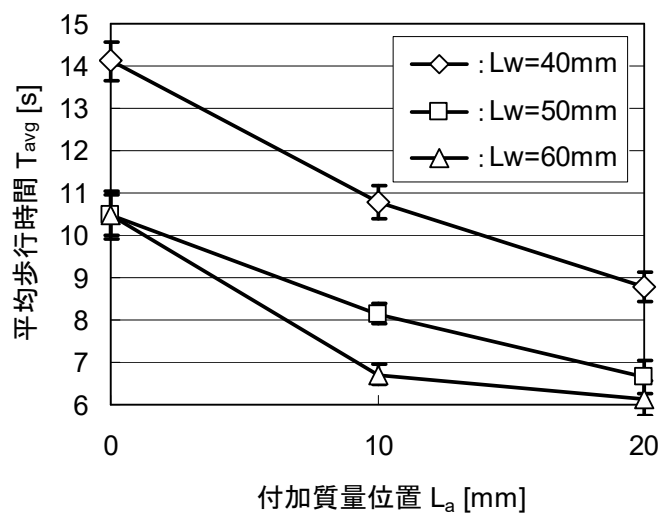


図 3-27 歩行時間(脚の付加質量の影響)

表 3-9 1 歩あたりの歩行距離と時間

付加質量位置 L_a [mm]	歩行距離 [mm]	歩行時間 [s]
10	25.2	0.221
20	28.1	0.198

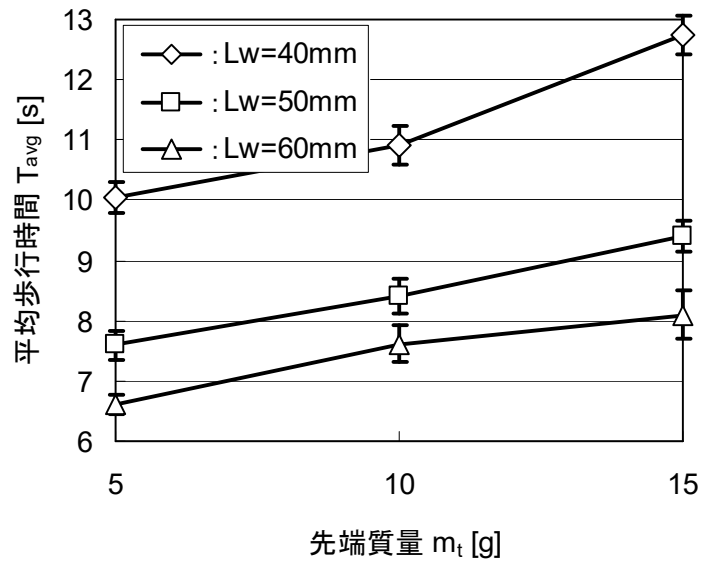
なお、再現性の指標である標準偏差は、付加質量位置 $L_a=10\text{mm}$ のときに最も小さくなっている。両脚の間隔としては、 $L_W=50\text{mm}$ の場合が脚単体の重心位置の変化に対する歩行時間の変化が最も滑らかであるので、授業に適していると考えられる。

(c)腕先端の質量の影響

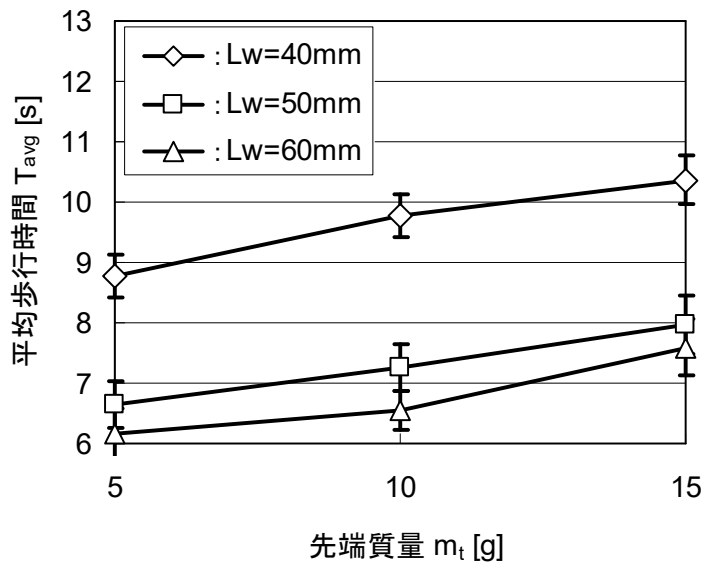
ここでは、慣性モーメントの意味を考える教材として2足受動歩行模型を使う。ここで、腕先端の質量 m_t を 5.0g, 10.0g, 15.0g と変えたときの歩行特性を調べた。なお、脚の間隔 L_W は 40mm, 50mm, 60mm の3通りとした。図 3-28(a)に $m_a=0.5\text{g}$ の付加質量を $L_a=10\text{mm}$ の位置につけたときの結果を、図 3-28(b)に $L_a=20\text{mm}$ の位置につけたときの結果を示す。図において、すべての L_W で腕先端の質量 m_t を大きくすると歩行時間が長くなっていることがわかる。 L_W を大きくすると、模型を正面から見たときの模型全体の慣性モーメントが大きくなり、ロッキング運動の周期が長くなる²⁵⁾。その結果、歩行時間が長くなったと考えられる。歩行の再現性の評価である標準偏差については、脚単体の付加質量位置 L_a による大きな違いが見られない。脚の間隔としては、 $L_W=50\text{mm}$ の場合が腕先端の質量の変化に対する歩行時間の変化がもっとも滑らかであるので、授業に適していると考えられる。

(d)パラメータを考慮し、計画的に製作する手順

紙製2足受動歩行模型は、多くのパラメータを持つことやそれぞれのパラメータによって、運動がどのように変化するかがわかった。脚の付加質量位置と腕先端の質量は、児童が変更を加える際、簡単に行えることから、速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型の調整を行うことで、パラメータを考慮した上で計画的に目的に向かった製作を行なえるようなプロセスを授業の中で展開できることになる。



(a) 付加質量位置 $L_a = 10\text{mm}$



(b) 付加質量位置 $L_a = 20\text{mm}$

図 3-28 歩行時間 (腕の先端質量の影響)

第 3-5 節 授業実践と評価

第 3-5-1 項 授業構成

平成 17 年 2 月に、滋賀県大津市立小学校で紙製 2 足受動歩行模型を用いた授業実践を行った。対象は 6 学年 3 クラスで、1 組 36 名、2 組 38 名、3 組 37 名、合計 111 名の出席者数であった。また、平成 18 年 2 月、和歌山県和歌山市立小学校においても、5 年生 35 名と 36 名の 2 クラスに対して授業実践を行った。授業構成を図 3-29 に示す。クラスごとに、休憩をはさみ 100 分で説明から製作、試走・調整、改良までを行う授業展開で実施した。導入の後、30 分間で製作を終え、残りの時間で試走・調整と改良に当てる時間配分である。導入は、人とロボットの歩行に触れ、実際のビデオを見せながら課題に対する興味づけを行い問題の提起を行った。

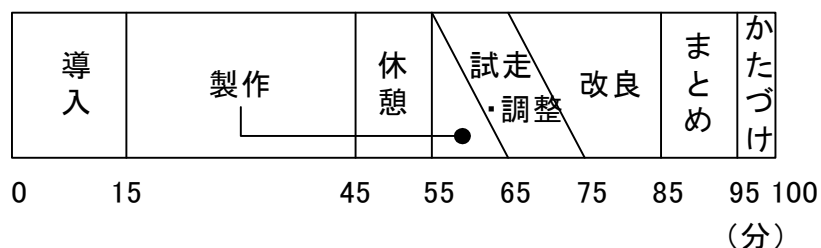


図 3-29 授業の構成

第 3-5-2 項 基本型の製作

およそ 30 分で大半の児童が自力で紙製 2 足受動歩行模型を製作することができた。作業が遅れた児童も休憩後 5 分程度の延長時間で製作を終えた。製作中に、次に行く作業についての質問が多く出ていたことから、次の作業について考えながら作業する児童が多いことが推察できた。これは、完成品の構造が簡単なため、製作過程の見通しを持つことができるためと思われる。また、自分の作業が終わると他者にも自分の方法を教える姿が多く見られたことから、他者との協力がなされたこともわかる。

多くの児童は、表 3-2 の調整を行うことで歩行させることができたが、歩行させることができない児童も若干名あらわれた。歩行させることのできない児童は切断や折り曲げが正確にできていないもので、雑な作りとなっているものである。しかし、そのような場合でも、教師の補助によってすべての児童が歩行可能な模型を完成させる

ことができた。試走・調整時の児童の様子を図 3-30 に示す。



図 3-30 試走・調整時の児童の様子

第 3-5-3 項 試行錯誤から再設計

歩行可能な模型を完成させた児童は、安定して歩かせたり、様々な動きを確かめたりするために改良作業を行った。偶然的にうまく歩く試行錯誤から歩行の評価により改良作業を指示した。

大津市立小学校の実践において、児童が行った改良作業として観察できたものを表 3-10 にまとめる。これらのことから、模型の動きを変化させるために再設計を行い様々な工夫をしたことがわかる。

表 3-10 に示すような改良を行った理由を数名に質問したところ、「歩く方向をまっすぐにするため」「斜面が急になっても転ばないようにするため」など、全員が明確にその目的を説明することができていた。このことから、自分の改良がどの動きに対するものかに気づいていることがわかる。

表 3-10 改良作業

事 項	改 良
直進性の向上	左右の腕の長さを変更した
	洗濯バサミの位置を変更した
斜面の角度変化への対応	足の間隔を変更した
	クリップを取り付けた
	クリップの数・位置を変更した
歩行安定性の向上	斜面の角度を変更した
	足を短くした
	腕を短くした

第3-5-4項 結果と考察

大津市立小学校の実践において、授業実践の後、授業に参加した 111 名の児童に対して簡単なアンケートと記述式の感想を求めた。図 3-31 に「作業はていねいにできたか」、図 3-32 に「友だちと協力してできたか」、図 3-33 に「自分で工夫しながらできたか」についての結果を示す。それぞれ 3 段階で評価した。

作業はていねいにできたかということに関して、図 3-31 に示すように 105 名の児童は「よくできた」あるいは「ふつうくらい」と答え、作業を投げ出すことのなかったことがわかる。

友だちとの協力についても、図 3-32 に示すように 104 名の児童が「よくできた」あるいは「ふつうくらい」と答えている。この授業には模型の改良の時間が与えられており、その時間では、他者と動きを競い合うなど他者との相互交流が多く見られた。このことから、自分の改良について他者に伝えるなどの相互の学習活動が行われたことが知れる。

この模型は、自ら工夫を行わなければ安定した歩行を得ることができない。図 3-33 に示すように 102 名の児童が「よくできた」あるいは「ふつうくらい」と答えており、工夫を行ったことを自覚していることがわかる。このことから、開発した紙製 2 足受

動歩行模型は、児童が工夫を行いやすい教材であるといえる。

図 3-34 は学習を終えての児童の学習に前向きな感想の一部である。これらの感想には、ものづくりへの興味と楽しさが表れている。また、科学的な視点からものづくりに取り組んでいることもわかる。さらに、「今日の学習でわかったこと」という記述式の設問に対し、111 名中 70 名が文中に長さ、重さ、重心などの言葉を使いながら製作や歩行の様子を説明していた。

以上のことから、児童は開発した紙製 2 足受動歩行模型を製作することで、ものづくりの楽しさを知り、さらに部品の寸法や重さが模型の運動に深く関わっていることに気づいたと思われる。それらが力学的には力のつりあいや重心位置あるいは慣性モーメントと呼ばれる物理量であることを完全には理解しなくとも、力学的な知識の基礎的な理解はなされたと考えられる。したがって、開発した紙製 2 足受動歩行模型は力学的な知識に対する興味を抱かせ、さらに基礎的な理解を助ける教材として有効だといえる。

なお、感想の中にはロボットの歩行に興味を示すものが多く見られた。このことから、開発した紙製 2 足受動歩行模型にはより高度なロボット技術への興味・関心を高める効果も期待できる。

紙製 2 足受動歩行模型では、児童が様々な変更を加え、自らが考えるような模型を製作した。模型は運動解析を行い、多くの運動に関するパラメータを発見できているが、このパラメータを活かした授業の展開をすることで、自らが考えるような運動をする模型を製作することが可能となる。その過程をうまく引き出すような教育方法について第 5 章で述べる。

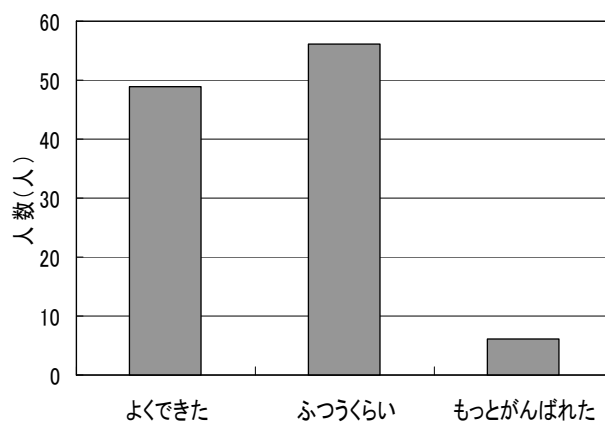


図 3-31 作業はていねいにできたか

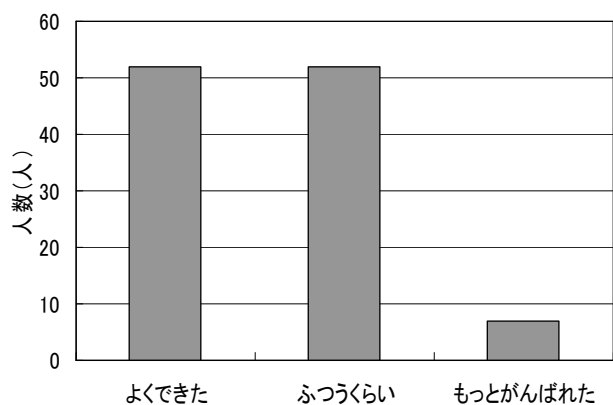


図 3-32 友だちと協力してできたか

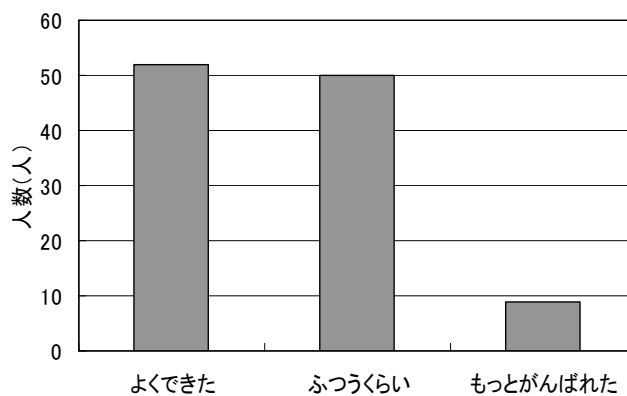


図 3-33 自分で工夫しながらできたか

- ・計算して、おもちゃやロボットができるので算数にに
てるなどおもいました。
- ・おしえてもらってすごくわかりやすかった。てんびん
(?) っぽいこととか，理科系のことを教えてくれた
のがけっこうよかったです。
- ・とても楽しい学習でした。もっとロボットのことが調
べたくなりました。

図 3-34 児童の感想の一部（学習に前向きな感想）

和歌山市立小学校の実践において，挙手で「重心位置」や「慣性モーメント」の例を話し，他に例はないかと聞いたところ一切回答はなかった。「重心位置」や「慣性モーメント」の概念は全く持っていないと思われた。しかしながら小学校の児童からも図 3-35 に示すように「重心位置」や「慣性モーメント」が歩行に大きな影響を及ぼすことの理解を示す発言が多数見受けられた。これらの文章を 2 クラス分 (71 名) 分析した結果，ものづくりの楽しさに関する記述 48 件，授業そのものに対する楽しさに関する記述 56 件，重心や慣性モーメントに関係する動きの変化に対する記述 45 件が見られた。重心や慣性モーメントに関係する動きの変化に対する記述は 25 件を超えており，構造パラメータと運動の関係に対する学習効果が認められる結果となった。

児童は，構造パラメータを発見しており，それを，活かしながら，自分の考える模型の動きを作り出そうとする姿勢が見られた。模型が複数の構造パラメータを持つことで，児童は，速く歩く模型やゆっくり歩く模型の簡単な調整実験を行うことができた。その結果を反映した模型作りへと授業が展開でき，決まった型の模型を作るだけではない授業は，ものづくりの過程をたどらせるのに，非常に有効な授業となった。

- ・うでにねんどをたくさんつけるとゆっくり歩いた。
- ・あしのおもりを後ろにつけるとはやく歩いた。
- ・いろんな場所の重さが歩き方に関係する。
- ・ロボットの動きに興味があった。

図 3-35 児童の感想の一部（歩行の影響）

大津市立小学校の実践において、授業に参加した 111 名の感想の記述を思考過程の枠組みにより分類した。思考過程は、岳野(2005)が計画能力を分析するために CD が入る箱を作るという課題において、計画の作成における記述を分析した²⁶⁾カテゴリーに分けた。思考過程の枠組みカテゴリーと記述例を図 3-11 に示す。

思考過程を問題の理解と解決策の検討に分け、問題の理解の思考の要素として、「問題意識の提示」、「制約条件の認識」、「情報の収集・探索」に分類し、思考過程を分析する。また、解決策の検討のうち、思考の要素として、「プログラム」、「段取り」、「準備」に分類し、解決策の検討の様子を分析した。

岳野は、この枠組みのうち、問題の理解を問題の解決のために必要な意味を理解し、目標を明確にする過程としているが、その下層の「問題意識の提示」を与えられる問題、もしくは自ら算出した問題に対して目標や目標達成の意思を明確にすること。「制約条件の認識」について、目標を達成するための条件を考えること。「情報の収集・探索」を解の候補を生成するために、解決者の知識から問題にあてはまる解法を探索し、外部から情報を得ることとした。また、解決策の検討を、問題の理解において達成する目標を検討した後、その達成までの具体的な方法を選択することとし、「プログラム」について、目標を実現するために具体的な行為や方法を考えること。「段取り」を行為の手順や方法を考えること、「準備」を必要な工具、材料や備品を考えることとした²⁶⁾。設計学習では、これらのプロセスを合わせて設計と考えているが、特に小学校での設計を設計要求に向けての方法や手順と実行する過程と捉えていることから、「プログラム」がその中心となり、解決策の検討全体が実行の過程と置き換えることができる。

具体的には、「問題意識の提示」と分類するために、「なぜ」、「どうして」などの類語が記述されている場合の件数を調べた。「制約条件の認識」においては、「こけないように」、「型紙に合わせて」、「速く歩くように」、「ゆっくり歩くように」などの制約

に関する類語が記述されているかを調べた。「情報の収集」については、様々な情報資源に関する記述を調べた。「プログラム」においては具体的行動が順次処理として表れている場合を調べた。「段取り」は順序を示す語が使用されている場合を調べた。

「準備物」は、具体的な準備が記述されているかを調べた。それぞれの語は、1人で複数記述されている場合は、その都度、件数として数えている。件数の確認について、文脈を読み取り、語を抽出している。客観性を保つため教育学を専攻する大学生4名で2回確認した。さらに感想の中に図が含まれているかどうかによって、より具体的な思考があるかを分析することとした。

表 3-11 思考過程の枠組みカテゴリーと記述例

児童の記述の分析例		
思考過程	思考の要素	記述語
問題の理解	問題意識の提示	なぜ どうすれば
	制約条件の認識	こけないように 型紙にあわせて 速く歩くように ゆっくり歩くように
	情報の収集・探索	(情報資源の記述)
解決策の検討	プログラム	図を書く はさみで切る 長さを変える おもりを付ける
	段取り	その次に
	準備	必要なもの クリップ はさみ

表 3-12 思考過程の枠組みカテゴリーの件数

n=111(人)

思考過程の枠組みによる計画の記述分析		
思考過程	思考の要素	件数(件)
問題の理解	問題意識の提示	10
	制約条件の認識	79
	情報の収集・探索	16
解決策の検討	プログラム	26
	段取り	14
	準備	30
図の使用		9

この思考の要素を示す記述語の件数の結果を見れば、紙製2足受動歩行模型を使用したことによって、制約条件の認識を多くの児童が行っている様子がうかがえる。制約条件は、言い換えれば、設計仕様であり、目的とする動きを追及する表れである。情報収集は、多く示されていないが、制約条件を認識することにより、次の解決策へとつながることになると考えられる。解決策の検討において、プログラムおよび段取りという計画性を示すカテゴリーに合計40件示されている。これは言い換えれば設計や計画と言えるであろう。多くの児童が、設計や計画を意識したことが示されている。また、79名が制約条件の認識に関する記述をしているが、その半数近い40件がプログラムおよび段取りに関する記述を残していることから、制約条件の認識は、プログラムや段取りという解決策の検討に結びついていると考えることができる。制約条件を意識することは、問題を解決することに関わっていることから、この流れを意識的に作る教育方法を構築することは、意味があることだと言える。

図を使いながら記述した児童はいなかった。図示しなければならないような、具体的に複雑な解決策には至らなかったとも言える。

第3-6節 結言

本章では、小学校の児童がものづくりに取り組むことで科学的な知識、特に力学的な知識に興味を抱くような教材として、紙製2足受動歩行模型を開発した。小学校高学年の授業で紙製2足受動歩行模型を製作する授業実践をしたところ、児童はものづくりとしての楽しさだけでなく、重心などの力学的な知識に対する理解も示した。し

たがって、本研究で開発した紙製2足受動歩行模型は、小学校の児童にもものづくりの楽しさと力学的な知識に対する興味を抱かせるのに適した教材だといえる。さらに、構造パラメータと運動の関係に対する学習効果が認められる結果となった。

また本章では、紙製2足受動歩行模型を用いて機械の運動とそれに及ぼす重心、慣性モーメントの影響を明らかにした。児童は構造パラメータを発見し、それを、活かしながら、自分の考える模型の動きを作り出そうとする姿勢が見られた。

以下に、本章の結論をまとめる。

1) 実験および解析を行い、模型の各諸元が周期に及ぼす影響を明らかにした。このことにより、安定した歩行を実現させるための試行錯誤に、理論的な裏づけを提示した。

2) 重心の影響を考えさせるために脚単体の付加質量位置を変更し、慣性モーメントの影響を考えさせるために腕先端の質量を変更する模型を提案した。また、脚単体の付加質量位置と腕先端の質量を変更した場合にも歩行可能あるいは歩行の再現性のよい構造を示し、その教育方法を提案した。

3) 模型の構造を決定する過程で、以下のことが明らかになった。

- ・ 斜面の傾斜角度に応じた適切な脚底辺の円弧半径が存在する。
- ・ 脚の重心位置を後方にずらすと歩行速度が速くなる。
- ・ 腕先端の質量を小さくすると歩行速度が速くなる。

4) 紙製2足受動歩行模型の歩行原理と製作方法を提示し、授業実践の結果をもとに、製作結果を反映した模型作りを行う受動歩行模型教材の有効性を示した。

模型が上記の歩行特性を有することを見出した。速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型の調整を実験で行うことで、構造パラメータを考慮した上で計画的に目的に向かった製作を行なえるようなプロセスを考えさせる教育方法を構築する可能性を示した。

5) 児童の感想から思考の過程を分析するために、問題の理解と解決策の検討に関する記述語を調査した結果、制約条件の認識を行っている児童が多数存在し、プログラム、段取りといった計画性を示すカテゴリーが111人中40件認められ、設計・計画を意識したことが示され、制約条件の認識は、プログラムや段取りという解決策の検討に結びついていることが分かった。

以上のように、紙製2足受動歩行模型とそれを用いた教育方法による、教育効果を示すことができた。一方、質問紙調査などでは、十分な工夫ができなかったり、巧緻性を必要とする作業に課題がある児童も一部に見られた。紙製2足受動歩行模型製作

の難易度により、児童のスキルの差が探求活動の度合いに差を及ぼすことやパラメータの変更が行いにくいパラメータも存在することがあった。また、家庭で同じことを再実験しようとしてもある程度の材料をそろえなければならないことなども、今後解決すべき課題として挙げられる。

紙製 2 足受動歩行模型は、児童が認識する挙動が 3 次元でパラメータが多く存在する。パラメータの認識が多く存在するのは、構造が複雑であることにも起因している。また、構造を簡略化することで巧緻性を必要とする作業に課題がある児童への対応もできる。受動歩行模型は、様々なバリエーションを考えることができることから、構造が比較的簡単で、製作や改良の作業が行いやすい受動歩行模型を開発することが課題として残った。その開発や教材の特性に合わせた教育方法を分析していくことは、本論文の目的に近づけていくことができると考えられる。

第3章 引用参考文献

- 1) 内閣府, 第1期科学技術基本計画 (1996)
- 2) 内閣府, 第2期科学技術基本計画 (2001)
- 3) 内閣府, 第3期科学技術基本計画 (2006)
- 4) 内閣府, 第4期科学技術基本計画 (2011)
- 5) 内閣府, ものづくり基盤技術振興基本法 (1999)
- 6) 鈴木隆司: 小学校でのものづくりの授業における児童の作業分析, 日本産業技術教育学会誌, 第46巻, 第1号, pp.25-31 (2004)
- 7) 山田哲也, 小学校ものづくり教育における創造性育成について, 日本産業技術教育学会 2005年度機械分科会研究発表要旨集, p. 1 (2005)
- 8) 江馬諭, フレンドシップ事業での銅鏡製作について, 日本産業技術教育学会誌, 第46巻第2号, pp.85-91 (2004)
- 9) 松永泰弘, 壺谷仁美, 形状記憶合金を用いたものづくり教材用エンジンカーの製作に関する実践研究, 日本産業技術教育学会誌, 第47巻第2号, pp.141-145 (2005)
- 10) T. Yamada, F. Kuratani, Y. Matsunaga, Development of a Bipedal Walking Model as Teaching Material, Proceeding of International Technology Education Conference, Ulaanbaatar Mongolia, pp.155-161 (2007)
- 11) 大須賀公一, ダイナミックベースト制御, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1049, p.273-276 (2006)
- 12) 酒井高男, おもちゃの科学, 講談社, pp.84-86 (1977)
- 13) 加藤孜, ほんとうに動くおもちゃの工作, コロナ社, pp.39-43 (1999)
- 14) 日本機械学会編, 機械系の動力学, オーム社, pp.54-61 (1991)
- 15) 太田博, 加藤正義, わかりやすく例題で学ぶ機械力学, 共立出版, p.16 (2001)
- 16) 山田哲也, 鞍谷文保, 動力学学習教材としてのやじろべえ型振り子の開発, 日本産業技術教育学会誌, 第47巻第3号, pp.193-199 (2005)
- 17) T. Yamada, F. Kuratani, T. Yamano, Use of Balancing Toy Pendulum as Teaching Material for Rigid body Dynamics, Proceeding of International Conference On Technology Education, HongKong pp.198-203 (2006)
- 18) 文部省, 中学校学習指導要領 (1998)
- 19) 例えば, 文部科学省「第3期科学技術基本計画」(2006)

- 20) McGeer, T.: Passive Dynamic Walking, The Int. J. of Robotics Research, 9(2), pp.62-82 (1990)
- 21) 佐野明人, 池俣吉人, 藤本英雄: 歩行現象の力学原理から見たヒトの歩行, バイオメカニズム学会誌, Vol.30, No.3, pp.119-122 (2006)
- 22) 大須賀公一, 桐原謙一: 受動的歩行ロボットQuartet IIの歩行解析と歩行実験, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.5, pp.737-742 (2000)
- 23) 山田哲也, 鞍谷文保: 小・中学校におけるものづくり教材としての2足歩行模型に関する研究, 日本産業技術教育学会誌, 第48巻第3号, pp.207-213 (2006)
- 24) 加藤孜: ほんとに動くおもちゃの工作, コロナ社, pp.39-43 (1999)
- 25) 松永泰弘, 中村玄輝, 山田哲也, 鞍谷文保, 教材用2足やじろべえ型受動歩行模型の運動解析, 日本産業技術教育学会誌, 第49巻3号, pp.205-211 (2007)
- 26) 岳野公人, ものづくり学習の構想設計における生徒の思考過程, 風間書房, p.91-94 (2005)

第 4 章 紙製 4 足受動歩行模型

- 第 4-1 節 緒言
- 第 4-2 節 紙製 4 足受動歩行模型の提案
- 第 4-3 節 歩行の力学的解析
 - 4-3-1 脚の力学的解析
 - 4-3-2 脚のパラメータ変更実験
- 第 4-4 節 最適設計のための歩行実験
- 第 4-5 節 授業実践と評価
 - 4-5-1 授業における紙製 4 足受動歩行模型
 - 4-5-2 授業実践
 - 4-5-3 調査の手続
 - 4-5-4 結果と考察
- 第 4-6 節 探求のための教育方法
 - 4-6-1 教育方法の検討
 - 4-6-2 調査の手続き
 - 4-6-3 結果と考察
- 第 4-7 節 結言
- 第 4 章 引用参考文献

第4章 紙製4足受動歩行模型

第4-1節 緒言

第3章では、紙製2足受動歩行模型について述べた。児童はものづくりとしての楽しさだけでなく、重心などの力学的な知識に対する理解も示した。しかしながら、構造がやや複雑でもあり、簡単に発見できない動きに関するパラメータの数も多い。そこで、高度な製作の技量も必要とせず、動きに関するパラメータも発見しやすいシンプルな構造をとる受動歩行模型を提案することにした。また、児童だけではなく、指導する教師も煩雑な準備をすることなく、紙、のり、はさみを用意するだけで、授業が展開できるようにすることにも心がけた。

大橋(2015)は、紙という材料について、強度的には脆弱であるが、使い方を工夫することによって強度を確保でき、ものづくりを行う初期においては、試行錯誤の末、ものづくりの感覚を養うことができるものであるとしている¹⁾。

動きに関する様々なパラメータを発見し、それを変更することによって、自らが製作したい模型を計画的に作る事ができれば、工学的に設計するための初歩的な手順を学ぶことができる。平成16年から3年間文部科学省研究開発学校であった東京都大田区矢口小学校、同区安方中学校、同区蒲田中学校においても、小学校からのものづくりにおいてもものづくりの過程を大切にしてい取り組まれた^{2),3)}。その中で、エネルギー変換に関わる教育課程が検討された^{4),5),6)}。同様に平成19年からは、新潟県三条市立下田中学校、長沢小学校、荒沢小学校においても義務教育9年間の4つの段階ごとに教育課程が構成された⁷⁾。しかしながら、具体的にどのような系統だった教育方法を取るかという点までは明らかにされていない。そのような取り組みを経て、磯部(2015)は、デザイン・プロセス力は、制約条件のトレード・オフ(比較考量)と、リスク分析をして、リスクを予見し限りなく少なくして、適切と考えられる解を洞察する問題解決過程に関わる力としている⁸⁾。すなわち、最適解を求める過程は、問題解決に関する児童の力をはぐくむものと考えられる。本章においては、最適解を求める過程を大切に、計画的に設計することを目的とする教材を用いて、授業実践し、その教育効果を明らかにする。

第 4-2 節 紙製 4 足受動歩行模型の提案

これまで著者は、小学生でも簡単に楽しく製作することができる受動歩行模型の研究を多く行ってきた。受動歩行模型は、モータ、センサ、コンピュータを一切用いずに、重力だけで歩くことができる。子どもはなぜ動くのかという興味や愛らしくトコトコ歩く姿に関心を寄せる。しかしながら、小学校低学年にはリンクの機構等、製作に手間取る場面もあった。そこで著者らは小学生低学年あるいは、工具や工作機械がそろわない諸外国の Elementary Schoolなどを対象に紙とはさみとのりがあればできる最も簡素な紙製の受動歩行模型を提案する。この紙製 4 足受動歩行模型は、製作はもとより構想から設計にいたる過程を学ばせるための教材として開発したものである^{9),10)}。特にものづくりに必要な技能や巧緻性よりもものづくりの過程を学ぶことを意識している。開発した紙製の受動歩行模型を図 4-1 に示す。図 4-2 に右に向けて歩く連続写真を示す。



図 4-1 紙製 4 足受動歩行模型と斜面

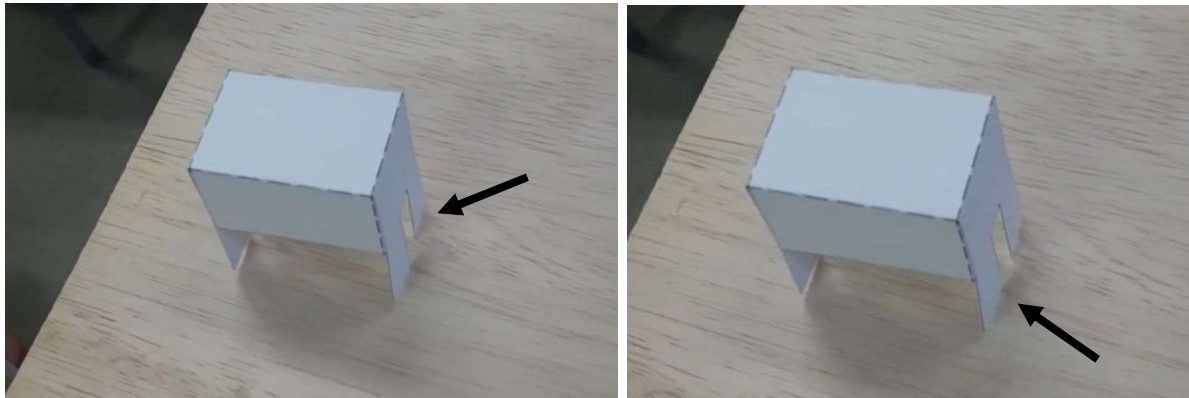
第 4-3 節 歩行の力学的解析

第 4-3-1 項 脚の力学的解析

紙製 4 足受動歩行模型は、小学校低学年においても、型紙を切り組み立てることでペーパークラフトの感覚で、簡単なものづくりができる。また確実に斜面を歩行する

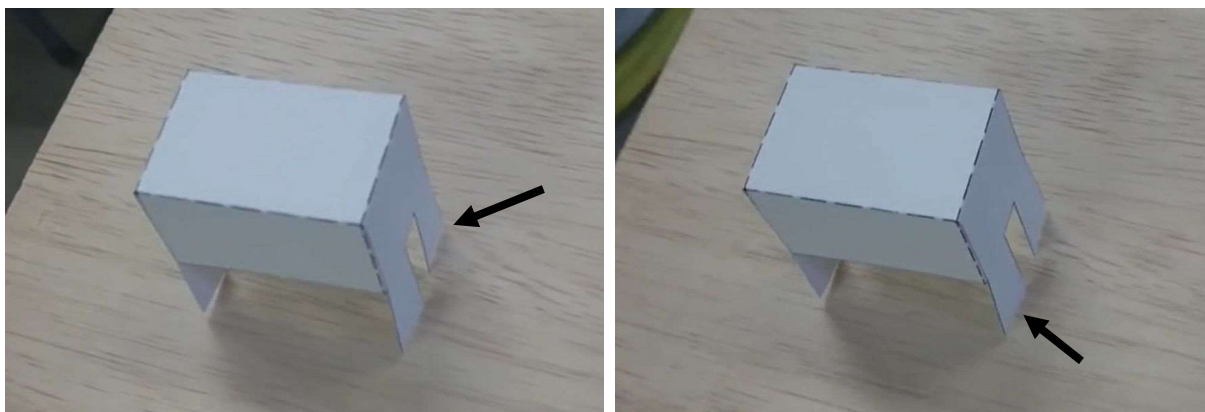
ので、ものづくりの楽しさや達成感も得られる。

紙製4足受動歩行模型の歩行の様子を図4-2に示す。図(a)は、左前脚の沈みこみ、図(b)は、右前脚への重心移動、図(c)は、右前脚の沈みこみ、図(d)は、左前脚への重心移動の様子を示している。



(a) 左前脚の沈みこみ

(b) 右前脚への重心移動



(c) 右前脚の沈みこみ

(d) 左前脚への重心移動

図4-2 紙製4足受動歩行模型の歩行

図4-3に児童が型紙の中で、模型の運動に関するパラメータを自由に変更できる可能性がある部分を示す。一つは、脚の長さ l 、もう一つは脚底面の角度 θ である。これらのほかにも模型の動きに関するパラメータは多数考えられるが、この2つのパラメータは、簡単に変更が可能で、なおかつ運動への影響が大きい。

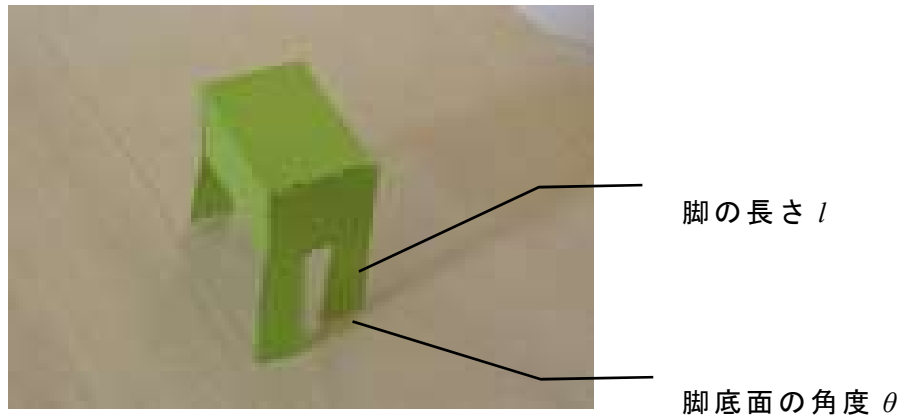


図 4-3 型紙の中で変更できるパラメータ

このような知見を得るには模型の運動解析を行い、教材として用いる前にパラメータを明らかにする作業が必要である。これまでに第 3 章で紙製 2 足受動歩行模型の運動解析は終わっている。さらに紙製 4 足受動歩行模型の運動解析も行っている。

紙製 4 足受動歩行模型は、位置エネルギーの供給により左右の揺れを持続して歩行を行う。歩行の一步は、接地脚時に荷重で変形した脚が、遊脚時に荷重から解放され元の形状に戻るにより、その幅が決定される。

図 4-4 において、支持端の支持反力 R_1, R_2 , 支持モーメント M_1 を生じる。変形を考慮して力のつりあいを考えると、柱に生じる曲げモーメントは紙の変形を座屈として取り扱い¹¹⁾,

$$M = P_{cr}y - R_2(l - x) \dots\dots\dots (4-1)$$

で与えられ、未知の外力には次式が成り立つ。

$$R_1 = R_2, M_1 = R_2l \dots\dots\dots (4-2)$$

たわみ曲線の微分方程式は

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} + P_{cr}y = R_2(l - x) \dots\dots\dots (4-3)$$

この式の一般解は、 $q^2 = P_{cr}/EI, C_1, C_2$ を未定係数として

$$y = C_1 \sin qx + C_2 \cos qx + R_2(l-x)/P_{cr} \dots\dots\dots (4-4)$$

$$\frac{dy}{dx} = C_1 q \cos qx - C_2 qx - R_2/P_{cr} \dots\dots\dots(4-5)$$

ここで、 C_1, C_2 は、未定係数、 q は次の式で表される。

$$q^2 = P_{cr}/EI \dots\dots\dots(4-6)$$

支持端での境界条件は次のようである。

$$y_{x=0} = 0, (dy/dx)_{x=0} = 0, y_{x=l} = 0 \dots\dots\dots (4-7)$$

最大たわみの境界条件は次のようである。

$$y_{max} = y_{x=x^*} = \delta, (dy/dx)_{x=x^*} = 0 \dots\dots\dots(4-8)$$

境界条件の式 (4-7) より

$$C_1 = R_2/(P_{cr}q), C_2 = -R_2l/P_{cr} \dots\dots\dots(4-9)$$

この最小解は、脚の両端以外に節を生じない状態を表し、次式で表される。

$$ql = 4.4934 = 1.4303 \pi \dots\dots\dots(4-11)$$

式 (4-11) を式 (4-6) に代入すると

$$P_{cr} = q^2 EI = 20.1906 EI/l^2 = 2.0457 \pi^2 EI/l^2 \dots\dots\dots(4-12)$$

脚の変形は、一端固定・他端単純支持された細長い脚に元たわみを与えた状態で軸荷重 P を徐々に増加しある値（座屈荷重）に近づけていくと、変形した状態で力のつりあいが起こった状態である。

すなわち、脚の長さ l が大きくなれば最大たわみ δ が増し、歩行の一步が大きくなる。脚の長さだけで歩行速度を調整することができる。また、脚底の角度を調整することで左右振動の周期が変わるなど、歩行速度に関係する要素を見つけることができる。

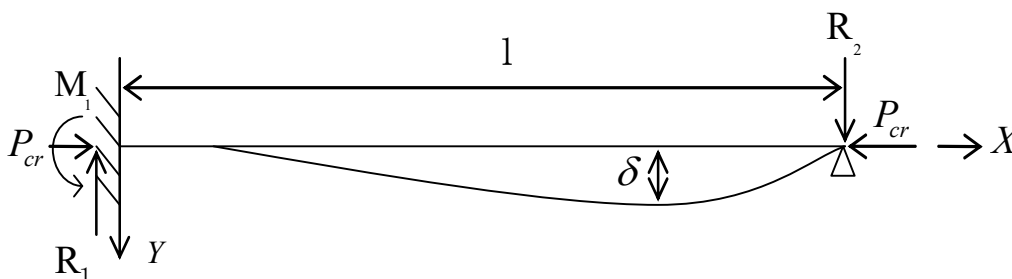


図 4-4 接地脚の大たわみ

P_{cr} は、脚の曲げ剛性 EI に比例し、脚の長さ l の 2 乗に反比例することになる。すなわち、材料の紙の厚さが同じであった場合、脚の幅に反比例し、脚の長さ l の 2 乗に比例して変形しやすくなることを示している。

足の長さ、幅をパラメータとして、歩く 1 歩の大きさを決定できることになる。

第 4-3-2 項 脚のパラメータ変更実験

図 4-5 の寸法の模型を基準に脚の幅 w を 10 mm, 13 mm, 16 mm, 19 mm, 22 mm に変化させ、脚の長さ l を 20 mm, 30 mm, 40 mm と変化させた模型が 500 mm を歩行する間を計測した。脚先の角度は 5° , 7° , 9° とした。実験はそれぞれの条件において、10 回の測定を行い、極端に歩行に失敗したものを除いて平均値を算出した。

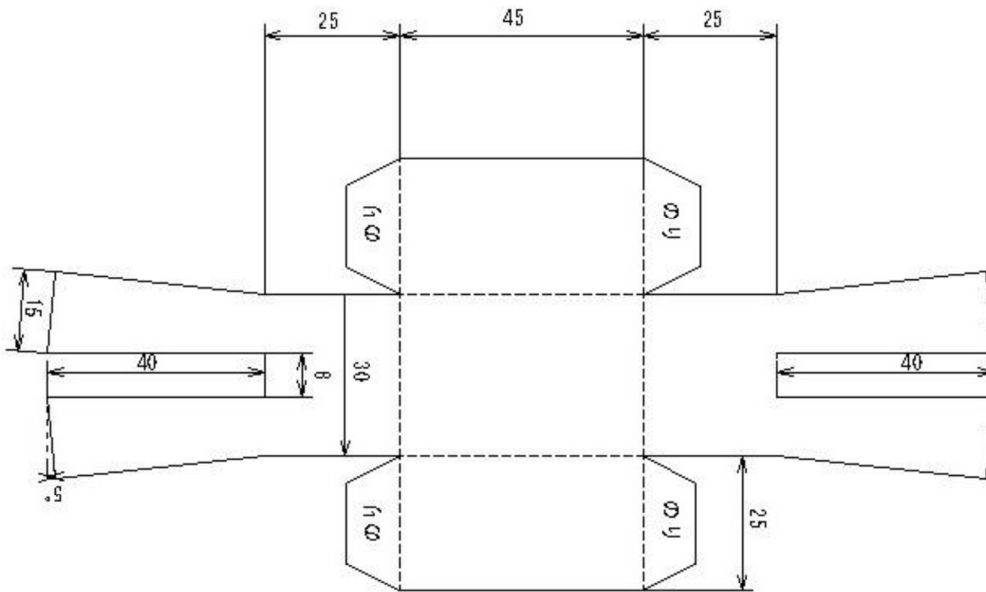


図 4-5 実験模型の展開図

脚の長さ、幅と歩く時間の実験結果を表 4-1 に示す。表 4-1 をグラフ化した図を図 4-6、図 4-7 に示す。脚先の角度 7° 、脚の長さ 20 mm および、斜面 9° 、脚の長さ 20 mm、40 mm では、脚の幅にかかわらず、ほぼ途中で歩行を停止した。また、図 4-6、図 4-7 に示すように、歩く時間は、脚先の角度が 5° の場合、脚の幅が増すと減少した。また、脚の長さが増すと減少している。脚先の角度が 7° の場合は、 $l=20$ mm で歩行困難であった。脚の幅 13 mm~22 mm の範囲において、歩く時間は、脚の幅が増すと減少した。

表 4-1 脚の長さ，幅と歩く時間

脚の幅	$\theta = 5^\circ$			$\theta = 7^\circ$			$\theta = 9^\circ$		
	l=20mm	l=30mm	l=40mm	l=20mm	l=30mm	l=40mm	l=20mm	l=30mm	l=40mm
w=10mm	8.35	6.81	4.88	7.88	7.92	6.55	6.53	5.96	x
w=13mm	7.23	6.33	4.73	x	7.82	6.67	x	5.99	x
w=16mm	7.01	6.06	4.69	x	7.45	6.21	x	5.27	x
w=19mm	6.38	6.01	4.51	x	6.85	5.44	x	5.13	x
w=22mm	6.45	5.97	4.66	x	6.34	5.42	x	5.21	x

500mmを歩く時間
(sec)

坂の角度 $\Phi = 12$

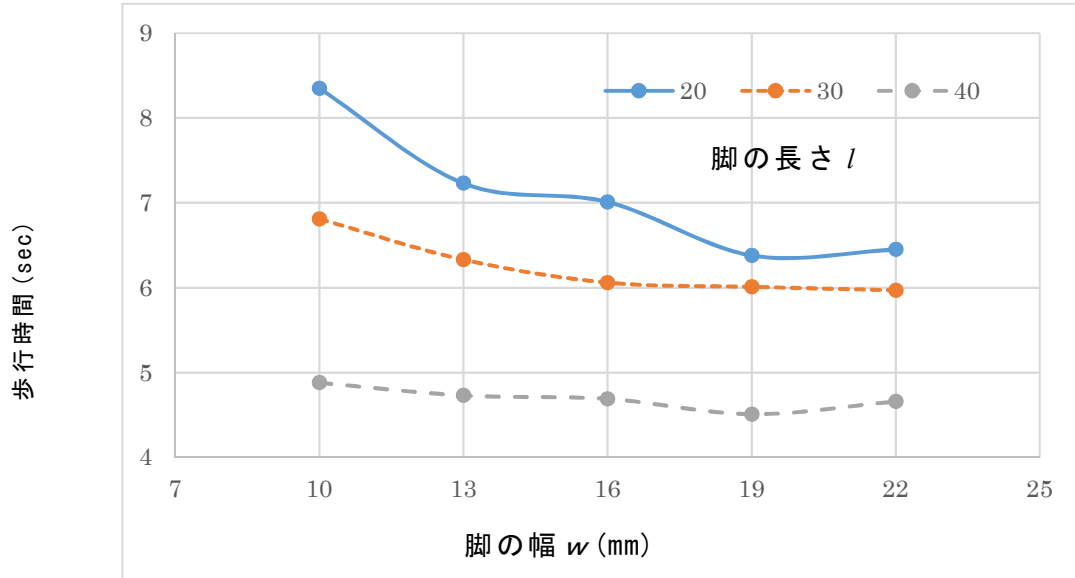


図 4-6 脚先の角度 5° の歩行時間変化

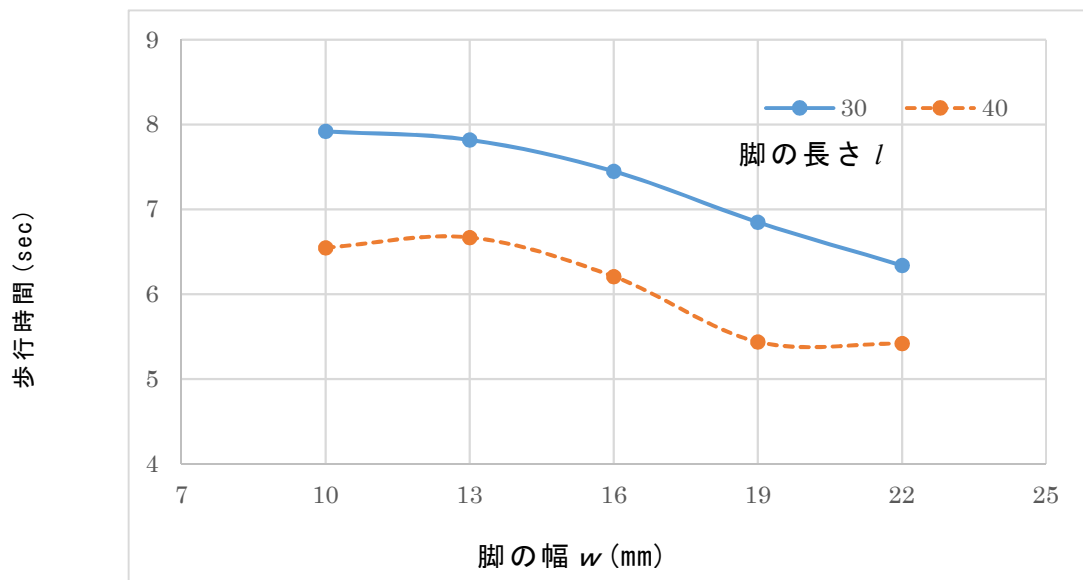


図 4-7 脚先の角度 7° の歩行時間変化

脚先の角度 5° のときは、脚の長さ l が長いほど、脚の幅 w による影響が大きいことがわかる (図 4-6)。足先の角度 7° のときは、 $l=40$ mm で歩行困難であったことから、 $l=30\sim 40$ mm のときが、最も理論に近くなる。 $l=40$ mm では、最大たわみ δ が大きくなるため、歩行速度が速く、限界に達しているものと考えられる。

第 4-4 節 最適設計のための歩行実験

表 4-2, 表 4-3, 表 4-4 に坂の角度を変え、脚の長さ l と脚底面の角度 θ を変更した場合の歩行状態を示す。「▲はきわめてゆっくり歩行する (500mm を 8 秒以上で歩行)。△はゆっくり歩行する (500 mm を 6~7 秒で歩行)。○は普通で歩行する (500 mm を 7 秒以下で歩行)」ことを示している。この表からゆっくり歩かせるためのパラメータや普通に歩かせるためのパラメータの値がわかる。設計学習の教育方法として「ゆっくり歩く模型を作りなさい。」という設計仕様が考えられる。設計仕様を与えられることにより児童は仕様に基づいた設計によって模型を製作することで構想から設計するというものづくりの流れを学ぶことができる。たとえば、ゆっくり歩かせるためには脚底面の角度 θ を 5° に設定しなければならない。坂の角度によっては脚の長さを変更しなければならないことになる。

表 4-2 脚底面の角度 $\theta=5^\circ$ のとき脚の長さ l を変更した場合の歩行状態

坂の角度 θ [$^\circ$]	$\theta = 5^\circ$		
	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$
7	×	×	×
8	×	×	×
9	×	▲	×
10	×	▲	○
11	×	△	○
12	▲	△	○
13	▲	○	×
14	▲	○	×
15	▲	×	×
16	▲	×	×
17	○	×	×
18	×	×	×
19	×	×	×

▲はきわめてゆっくり歩行, △はゆっくり歩行, ○は普通で歩行

表 4-3 脚底面の角度 $\theta=7^\circ$ のとき脚の長さ l を変更した場合の歩行状態

坂の角度 Φ [°]	$\theta=7^\circ$		
	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$
7	×	×	×
8	×	×	×
9	×	▲	×
10	×	○	○
11	×	○	○
12	×	○	○
13	×	○	×
14	×	○	×
15	×	○	×
16	×	×	×
17	×	×	×
18	×	×	×
19	×	×	×

▲はきわめてゆっくり歩行,△はゆっくり歩行,○は普通で歩行

表 4-4 脚底面の角度 $\theta=9^\circ$ のとき脚の長さ l を変更した場合の歩行状態

坂の角度 Φ [°]	$\theta=9^\circ$		
	$l=20\text{mm}$	$l=30\text{mm}$	$l=40\text{mm}$
7	×	×	×
8	×	×	×
9	×	×	○
10	×	×	×
11	×	×	×
12	×	○	×
13	×	×	×
14	×	×	×
15	×	×	×
16	○	×	×
17	×	×	×
18	×	×	×
19	×	×	×

▲はきわめてゆっくり歩行,△はゆっくり歩行,○は普通で歩行

製作はもとより構想から設計にいたる過程を学ばせるための教材として紙製4足受動歩行模型を開発した。また設計仕様に最適な脚の長さ l 、脚底面の角度 θ があることを示した。児童は与えられた設計仕様に基づいた設計を行うことにより、設計により製作し評価するものづくりの流れの楽しさを学ぶことができる。これまで、決められたパラメータでものを製作する形態のものづくりが多かったが、設計仕様に基づくパラメータを変更する教育方法により、技術リテラシーを身につけさせることができる。

第 4-5 節 授業実践と評価

紙製 4 足受動歩行模型における授業実践では、製作にあたって自分の思い通りの歩き方をする模型を作ることを目指して授業設計を行うことにした。製作にあたっては、まず基本型を製作することによって、模型の動きを観察し、何が動きに関係しているかを考えさせる。

次に、設計仕様を与えるようにする。今回は、「最も遅く歩く模型を作ろう。」という設計仕様を与える。数名でグループをつくり、様々なパラメータの変更を行い、各児童が実験し、その結果をグループで出し合いデータを収集し、その結果を製作に反映させるという流れのもとに授業設計した。

設計仕様を与えた直後の一回目の実験は、偶然の解決による試行錯誤であり、根拠に基づく設計にならないが、いくつかの実験や他人のデータと照らし合わせることによって、データに基づくものづくりを行なうことになる。このような授業を展開した結果、児童に計画設計能力や作業遂行能力がついているかを調査する。また、その他の児童のあらわれについても調査する。

第4-5-1項 授業における紙製 4 足受動歩行模型

小学生でも簡単に楽しく製作することができる紙製 4 足受動歩行模型を開発した。技術教育では手先の巧緻性の発達もその目標としているが、この教材では、巧緻性の教育よりも設計に力点を置いた教材と教育方法を開発している。小学校の各学年あるいは、材料・工具や工作機械がそろわない世界各国の Elementary Schoolなどを対象に紙とはさみとのりがあればできる最も簡素な紙製 4 足受動歩行模型を提案した。また第 4-4 節のように、その運動特性も明らかにしている。この紙製 4 足受動歩行模型は、製作はもとより構想から設計にいたる過程を学ばせるための教材として開発するものである。開発し児童が製作する基本型の紙製 4 足受動歩行模型を図 4-8 に、その基本模型の型紙を図 4-9 に示す。子どもはなぜ動くのかという興味や愛らしくトコトコ歩く姿に関心を寄せる。開発した教材が、これまでの受動歩行模型教材と大きく異なる点は、ハサミとのりのみで製作できることである。これにより、小学校では難しい工作機械による材料の加工をすることなく、構想から設計にいたるものづくりの手順にのみ集中して、調整しながら作るものづくりの製作を体験することができる。

紙製 4 足受動歩行模型は、位置エネルギーの供給により左右の揺れを持続して歩行を行う。歩行の一步は、接地脚時に荷重で変形した脚が、遊脚時に荷重から解放され元の形状に戻ることににより、その幅が決定される。

脚の変形は、図 4-4 において、一端固定・他端単純支持された細長い脚に元たわみを与えた状態で軸荷重 P を徐々に増加しある値（座屈荷重） P_{cr} に近づけていくと、変形した状態で力のつりあいが起こった状態である。

すなわち、脚の長さ l が大きくなれば最大たわみ δ が増し、歩行の一步が大きくなる。脚の長さだけで歩行速度を調整することができる。また、脚底の角度を調整することで左右振動の周期が変わるなど、歩行速度に関する要素を見つけることができる。

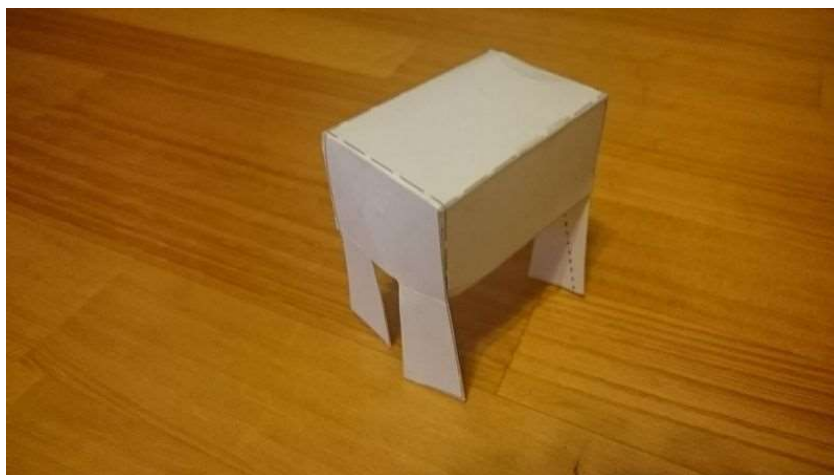
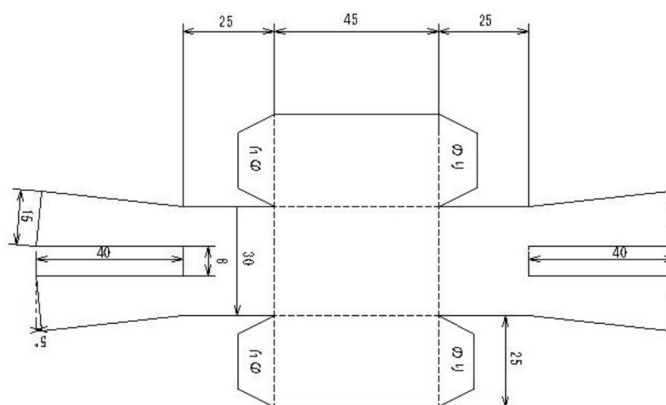


図 4-8 紙製 4 足受動歩行模型の基本型



すんぼう線以外のほかの線をはさみでていねいに切りましょう

図 4-9 紙製 4 足受動歩行模型の展開図

第 4-5-2 項 授業実践

(a) 実施期間及び対象児童

設計学習を行うための紙製 4 足受動歩行模型を使用した授業実践を 2014 年 6 月に滋賀県内の公立小学校で 6 年生 4 クラスを対象に行った。合計 152 名の児童を対象とした。

(b) 授業の位置付け

教科は特定することなく特別活動の位置づけである。ものづくりを行いやすい環境を作るために小学校の理科室で授業実践を行った。小学校におけるものづくりをどの場面においても、設計と言うキーワードをもとに行うための構成であり、そのための試行的授業実践と言える。授業は教職経験 5 年以上の各クラスの担任が行ったが、ティームティーチングのゲストティーチャーとして著者が参画した。

対象学年は、図画工作で感性に基づく造形的なものづくりを体験しているが、科学的かつものづくりの手順などを意識した学習は全く経験していない学年である。

授業の学習指導案を表 4-5 に示す。授業のめあては、エネルギーを利用して、動くロボットを作ることである。

(c) 授業の内容

導入として、ロボットはどのようなエネルギーを利用しているかについて話すとともに、実際に動くロボットを作ってみたいかと問い、児童の関心を引き出す。

製作の前に、人間の歩行やロボットの歩行を動画で示し、設計や製作を通して歩行原理を追求するための予備知識を与えた。動画は、ロボット製作の黎明期、静歩行をしていた時代のロボットの動画、現在の先端技術を用いた動歩行をするロボットの動画、さらに受動歩行と呼ばれる、一切アクチュエータなどの動力を使わないタイプのロボットを見せた。

表 4-5 学習指導案

	学習活動・内容	教授活動・指導上の留意点等	形態	配時
	本時の事前アンケートの実施			
導入	自分が何を学ぶか学習のめあてはなにかを確認し、自己の学習について認識させる。エネルギーを利用したロボットづくり。		一斉	5
展開	1. 様々なロボット	日常生活で目にする様々なロボットの歩き方に注目させる。	PPT	5
	2. ものづくり環境の設定 (基本模型の製作)	はさみの使い方 模型の製作 模型の歩行・調整	一斉 個人	10
	3. 設計仕様を与える (最も遅く歩く模型を作る)			20
	4. 討議	何が動きに関係したかを話し合わせる。 グループごとに結果を発表し、製作品に対する評価を行う。	グループ	10
まとめ	ものづくりにおける最適化のためのアドバイス	ものづくりの楽しさ、大切さ つくる計画の大切さ ふりかえりシート記入 宿題（家族で遊ぼう）	個人	10

これにより、歩行のエネルギー源を、様々な角度から考えることを狙うものである。様々なロボットの解説の様子を図 4-10 に示す。

小学校では体系的な、技術教育は行われていない。そこで、はさみの使い方など、技能に関する注意をしながら、与えられた型紙に沿って紙製4足受動歩行模型の基本模型を製作する。児童が基本模型を製作の様子を図 4-11 に示す。基本模型は、誰が作っても確実に動作するように設計されているが、脚の曲がり具合など各種の調整は必要である。児童は、調整しながら行うものづくりの大切さを知ることになる。ほとんどの児童は基本模型を製作することによって、他者のロボットと競争する場面が現れることになる。

次の段階として、「最も遅く歩く模型を作ろう。」という設計仕様を与える。工学的には最適化設計を行う作業と言い換えることができる。「最も速く」ではなく「最も遅く」という課題にしているのは、著者らの実験の結果、遅い方がより安定した歩行となることの確認が取れているためである。



図 4-10 様々なロボットの解説の様子

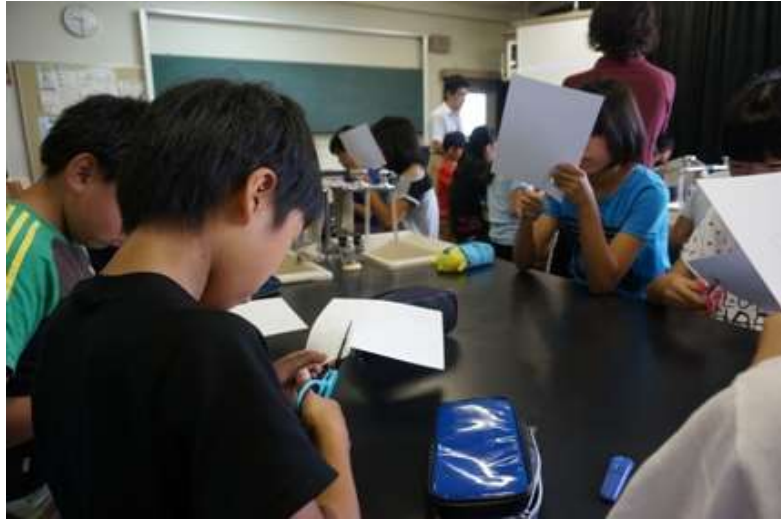


図 4-11 児童が基本模型を製作する様子



図 4-12 児童の実験の様子

型紙はあくまで目安とし、脚の長さや、形状を自由に考えて良いことにし、質量も可変できるようにクリップを用意した。また紙製4足受動歩行模型は坂による位置エネルギーを使うことになるが、坂の角度も変更できるように、板の下に敷く角度調整用の角材も複数用意した。児童の実験の様子を図4-12に示す。

この段階の学習形態はグループによる学習方法を取る。様々なアイデアや知見を児童がグループ内で共有できるように配慮した。何のパラメータがどのように動きに関係したかをグループ内で話し合い、どうすれば設計仕様に近づくかについて意見をまとめる。まとめた意見をグループごとに発表する。

まとめでは、どのパラメータが、どのように動きに関係するかについて解説するが、答えは一つではない。脚の長さによって一歩前に出る歩幅が異なることや脚底の角度によって、揺れる周期が異なることなどに言及し、「動力的なものづくりは適当に試行錯誤するのではなく、設計仕様の目標に向かい、試験結果に基づいた設計をすることが必要である。」とまとめた。

第4-5-3項 調査の手続き

紙製4足受動歩行模型の評価の1つとして、どれだけの児童が、基本模型を安定して歩かせることができるかの調査を行った。「安定」とは用意した長さ1100mmの半分の長さ(坂道)を止まらずに歩くことを言う。

授業の事前・事後には表4-6に示す質問項目を設定した。

「Ⅰ. 計画設計能力」、「Ⅱ. 作業遂行能力」の2因子¹²⁾について各4項目から構成される質問調査を4件法で実施した。

山本ら(2008)が作成した質問項目を小学校教諭4名に児童が理解できるか否かについて確認した。さらに児童が理解しやすいように教諭らに修正してもらったものを、心理学研究者による確認を取り用いた。

また事後には、表4-8に示すように紙製4足受動歩行模型の製作の難易度や製作の意欲について、4件法で尋ねた。また授業や紙製4足受動歩行模型の感想を、自由記述で尋ねた。

表 4-6 質問調査項目と結果

	調査項目	事前		事後		t値
		平均	S.D.	平均	S.D.	
I	学習の計画を上手に立てることができると思う	2.59	0.74	2.89	0.81	4.60**
	学習の計画を立てることは大事なことだと思う	3.61	0.59	3.77	0.45	3.23**
	学習の計画を立てたほうがうまくいくと思う	3.58	0.66	3.69	0.64	1.81†
	わからないことは自分で調べようとしている	2.88	0.84	3.01	0.79	2.08*
II	計画を立てると早く作りたいと思う	3.31	0.85	3.61	0.62	4.43**
	実験には積極的に取り組んでいる	3.32	0.76	3.38	0.72	1.29
	道具を使うのは得意だ	2.96	0.95	2.96	0.87	-0.11
	ものを作ることはうまい方だと思う	2.58	0.97	2.72	0.91	2.19*

†p<.10 *p<.05 **p<.01

表 4-7 各因子調査結果

調査因子	事前		事後		t値
	平均	S.D.	平均	S.D.	
計画設計能力	3.17	0.5	3.34	0.5	4.80**
作業遂行能力	3.04	0.65	3.17	0.6	3.38**

**p<.01

表 4-8 製作の難易度・製作の意欲の調査結果

調査項目	平均	S.D.
歩行ロボットの作り方がわかった	3.74	0.54
歩行ロボットは簡単に作ることができた	3.51	0.75
歩行ロボットを使うと計画が立てやすかった	3.24	0.72
歩行ロボットをまた作ってみたいと思う	3.70	0.62
歩行ロボットを使った授業は楽しかった	3.88	0.39

4件法で得た回答は、A:「はい」を4点、B:「どちらかといえば、はい」を3点、C:「どちらかといえば、いいえ」を2点、D:「いいえ」を1点と点数化し統計処理を行った。

自由記述については、複数回答があるものを取り上げ考察した。

第 4-5-4 項 結果と考察

152名の児童全員が、基本模型を安定して歩かせることができた。これにより、紙製4足受動歩行模型が小学校6年生の教材として使用することができることがわかった。

当初、歩かせることができなかった児童も、周囲の児童や教師の助けにより、時間内には歩かせることができていた。また、討議の中では、長さや重さなど動きに関するパラメータが複数挙がってきた。

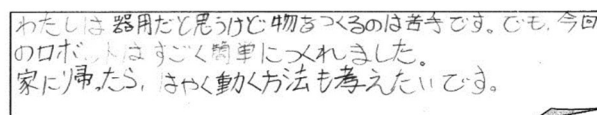
質問調査結果については、t検定の結果、「学習の計画を上手に立てることができると思う」、「学習の計画を立てることは大事なことだと思う」、「わからないことは自分で調べようとしている」の項目について事後に有意な向上が見られた。また、「学習の計画を立てたほうがうまくいくと思う」については事後に有意傾向が見られた。

「計画を立てると早く作りたと思う」、「ものを作ることはうまい方だと思う」の項目においても事後に有意な向上が見られた。「実験には積極的に取り組んでいる」、「道具を使うのは得意だ」の項目については有意な向上は見られなかった。

表 4-7 に示すとおり、計画設計能力と作業遂行能力において事後に有意な向上が見られた。

また、表 4-8 に示すとおり、製作の難易度・製作の意欲の調査結果については、すべての項目で3.2以上の高い値を示していた。

自由記述の中からは、「ロボットが簡単に作れることがわかった。」(図 4-13)、「家でもう一度作りたい。」(図 4-14)、「脚を短くするとゆっくり歩いた。」(図 4-15)、「顔をつけるとかわいくなった。」(図 4-16)「思い通りに作れた。」(図 4-17)などが複数回答として現れた。



わたしは器用だと思っけと物をつくるのは好きです。でも、今回のロボットはすごく簡単にできました。家に帰ったら、はやく動く方法も考えたいです。

図 4-13 児童の自由記述 1

ロボットはおえらい人が物理白々にX...みたい
なのかと思っていたけど紙で楽しくロボットがっくわて
楽しかった。今度家でも作ってみようと思った。

図 4-14 児童の自由記述 2

歩行ロボットが中、くり動くには足をみじかくし
たり軽い方がいいことが分かった。

図 4-15 児童の自由記述 3

顔をつけたらかわいくなって おもしろかった。
と中でどうしても止まってしまう残念だった。

図 4-16 児童の自由記述 4

自分がっくわったのか...思...どうりにつくることか
でした。

図 4-17 児童の自由記述 5

実践において、授業に参加した 152 名の感想の記述を思考過程の枠組みにより分類した。思考過程は、第 3-5-4 項と同様に、計画の作成における記述を分析した¹³⁾カテゴリーに分けた。

思考過程を問題の理解と解決策の検討に分け、問題の理解の思考の要素として、「問題意識の提示」、「制約条件の認識」、「情報の収集・探索」に分類し、思考過程を分析する。また、解決策の検討のうち、思考の要素として、「プログラム」、「段取り」、「準備」に分類し、解決策の検討の様子を分析した。それぞれの思考の要素は、第 3 章、第 3-5 節、第 3-5-4 項で考え方を示したものと同様である。

具体的には、表 4-9 に示すように、「問題意識の提示」と分類するために、「なぜ」、「～したい」などの類語が記述されている場合の件数を調べた。「制約条件の認識」においては、「こけないように」、「型紙に合わせて」、「速く歩くように」、「ゆっくり歩くように」などの制約に関する類語が記述されているかを調べた。「情報の収集」については、様々な情報資源に関する記述を調べた。「プログラム」においては具体的な行動が順次処理として表れてい

る場合を調べた。「段取り」は順序を示す語が使用されている場合を調べた。「準備物」は、具体的な準備が記述されているかを調べた。それぞれの語は、1人で複数記述されている場合は、その都度、件数として数えている。件数の確認について、客観性を保つため教育学を専攻する大学生4名で2回確認した。

表4-10に示すように、児童の記述のうち、制約条件に関する認識をしている記述が45件認められた。プログラムや段取りという解決策の検討に関する記述は、総数で55件認められ、仕様を設定した製作に関して計画的な思考を行っていることが、記述からも認められた。第3章の紙製2足受動歩行模型の場合の分析結果と同様、制約条件の認識はプログラムや段取りにつながっていくことが数値から確認できる。

第3-5-4項の紙製2足受動歩行模型の記述に比べ、相対的に件数が減少しているのは、質問紙の記述欄が3行程度の記述欄であったため、記述量が少なかったことが考えられる。

表4-9 思考過程の枠組みによる計画の記述分析

児童の記述の分析例		
思考過程	思考の要素	記述語
問題の理解	問題意識の提示	なぜ ～したい
	制約条件の認識	こけないように 型紙にあわせて 速く歩くように ゆっくり歩くように
	情報の収集・探索	(情報資源の記述)
解決策の検討	プログラム	線を引く はさみで切る 長さを変える 幅を変える
	段取り	その次に
	準備	型紙 のり はさみ

表 4-10 思考過程の枠組みカテゴリーと記述例

n=152(人)

思考過程の枠組みによる計画の記述分析		
思考過程	思考の要素	件数(件)
問題の理解	問題意識の提示	15
	制約条件の認識	45
	情報の収集・探索	14
解決策の検討	プログラム	30
	段取り	25
	準備	24
図の使用		0

小学生にとって設計という言葉や概念は理解できないかもしれないが、ものづくりをするときに作業の手順があるということ認識することは重要である。計画的に製作することが、中学校「技術・家庭、技術分野」での設計や高等教育における工学的設計に繋がる。

今回、計画設計能力と作業遂行能力において事後に有意な向上が見られたことから、紙製4足受動歩行模型を使用した設計仕様を与える教育方法は、設計学習に有効に作用すると言える。児童は、最初に基本模型を製作しているが、その後、設計仕様に基づく製作に取りかかる。最初は偶然の解決による試行錯誤であるが、2回、3回目と回数を重ねるごとに、設計の大切さを認識できたものと思われる。工学的設計も同じようなプロセスを踏むものであり、初等教育においても、設計の初歩に関する教育は可能であるということがわかった。

紙製4足受動歩行模型は、全員が製作できたこと、児童が必要なパラメータを見つけられたこと、各因子に有意な向上があることや「また作ってみたい」、「授業は楽しかった」と多くの回答があるように児童の高い関心を誘う、有効な教材であることが示された。また、自由記述において「家で作りたい。」という回答から、家庭をも巻き込む教育環境を作り出す可能性も示された。小学生の製作意欲を高めるために、ロボットに動物やロボットの顔をつけたりする装飾を取り入れる可能性も見出せた。「思い通りに作れた。」という回答からは、児童が、設計仕様に基づき、ロボットを制御できている様子がうかがえ、工学における最適化設計に近づいていることがわかる。

この実践は、紙製4足受動歩行模型を使う授業で完結するものではなく、動きに関するパラメータを見つけ、設計する力をつけようとするものである。それゆえに、他の科学的ものづくりにおいても、同じ認識を持って製作に取り組むことができるものと考えている。将来的に他の場面においてもその検証を行うことが、必要であると考えている。

第 4-6 節 探求のための教育方法

第 4-6-1 項 教育方法の検討

第 4-5-2 項で示した学習の流れのうち、表 4-5 の展開にあたる部分は、設計仕様を与えて、児童が討議を踏まえて工夫改善を繰り返す流れとなっている。すなわち、設計仕様に基づいて、設計を試行錯誤しながら行い、製作を試行錯誤しながら行う。そのうえでその結果を評価する。その後、評価に基づく再設計を行い、評価に基づく製作を行えば、また評価する。時間さえあればこの繰り返しになる。この学習の流れの検討を行うことにした。

第 4-6-2 項 調査の手続き

2016 年 8 月、O 市科学館において、科学工作教室を実施した。対象は就学前、児童、生徒及び保護者であり特定の年齢を対象とはしていない。おおむね表 4-5 の学習の流れではあるものの、科学工作教室であるため、工夫改善のための討議の時間は設けられていない。参加した子どもは 54 名であったがそのうち、小学校中学年の 20 名を対象に質問紙による調査を行った。有効回答数は 19 であった。子どもに対して、感想を自由記述で求めた。

また、同じ学習の流れであるが、工夫改善のための討議の時間を設け、再設計や再製作行えるようにした実践を、2017 年 1 月、大津市立 H 小学校、第 4 学年 6 クラスを対象に理科の授業の一環として実施した。製作開始時の様子を図 4-18 に示す。また、再設計・再製作を評価する授業の様子を図 4-19 に示す。授業実践後、児童 203 名に対して、質問紙による調査を行った。有効回答数はそれぞれ 199 であった。子どもに対して、感想を自由記述で求めた。

両方の実践の自由記述に出現した語句を単語ごとに分析し、その出現度数を調査した。



図 4-18 製作開始時の様子



図 4-19 再設計・再製作を評価する授業実践の様子

第 4-6-3 項 結果と考察

〇市科学館と H 小学校の自由記述の文章を単語ごとに分け、キーワードについて多い順に 5 番目までを表 4-11 に示す。

表 4-11 自由記述のキーワード

O市科学館			H小学校		
順位	キーワード	出現頻度	順位	キーワード	出現頻度
1	楽しい	11	1	楽しい	54
2	面白い	5	2	凄い	50
3	可愛い	5	3	歩く	65
4	動く	7	4	思う	64
5	歩く	5	5	面白い	19

どちらも、楽しいや面白いなどの語句が多く表れているのがわかる。H小学校は、凄いという語句が目立ち、この文章には、受動歩行がすごいという記載の他に、自分で制御できることが凄いという記述も多くみられた。

設計に関わる自由記述のキーワードの出現頻度を、表 4-12 に示す。

O市科学館の記述では、模型の面白さに関する記述が中心になっており、設計に関わるような記述は少ない。H小学校では、パラメータや他者との協調による設計に関わる課題解決の文章に多くの語句が出現している。

再設計や再製作を行うことで、模型の動きを評価し、その設計に対して着目するようになったと考えられる。設計—製作—評価—再設計—再製作—評価を行うことは、工学的設計においても重要なことと考えられ、小学校におけるものづくりにおいても有効に作用するといえる。

表 4-12 設計に関わる自由記述のキーワード

O 市科学館		H 小学校	
キーワード	出現頻度	キーワード	出現頻度
動き	1	坂	11
くだり坂	1	つける	9
ビミョー	1	速い	8
切る	1	工夫	7
工夫	1	曲げる	5
長さ	1	あし	6
左右	1	走る	6
ズレる	1	斜め	6
		実験	4
		教える	5
		動き	4
		協力	3
		形	2
		折りまげる	2
		スピード	2
		はやい	2
		むき	2
		すべる	2
		おる	2
		ながい	1
		試す	1
		しくみ	1
		重い	2
		高さ	1
		深い	1
		重力	1
		エネルギー	1
		増やす	1
		多い	1
		差	1
		速さ	1

第 4-7 節 結言

初等教育におけるものづくりは、その有効性を誰もが認めることであろう。しかしながら、その教育方法は体系化されておらず、その効果も明らかにされてこなかった。

著者らは、初等教育のために開発した紙製 4 足受動歩行模型を使用して、ものづくりの過程のうち主に設計に主眼を置いた教育方法を提案し、授業実践した。その結果を以下のよう

にまとめる。

- 1) 紙製 4 足受動歩行模型は小学生（6 年生）において、確実に製作することができる。
- 2) 児童にはものづくりを計画的に行う姿勢が見られ、計画設計能力、作業遂行能力の向上が見られた。
- 3) 児童は、この教育方法による授業に対して高い関心と意欲を示した。
- 4) 児童の感想から思考の過程を分析するために、問題の理解と解決策の検討に関する記述語を調査した結果、制約条件の認識を行っている児童が紙製 2 足受動歩行模型と同様、多数存在し、プログラム、段取りといった計画性を示すカテゴリーが 152 人中 55 件認められ、設計・計画を意識したことや、その関連性が示された。
- 5) 設計—製作—評価—再設計—再製作—評価を行うことで、模型の動きを評価し、その設計に対して着目するようになることが示された。

以上、紙製 4 足受動歩行模型と設計仕様を与える教育方法について実践を行った結果、初等教育における設計教育のきっかけについて示すことができた。本章での実践は、授業という枠組みでの子どもの学びを追った。

紙製 4 足受動歩行模型では、容易に設計、製作、評価を繰り返すことができ、紙製 2 足受動歩行模型の場合より、本論文の目的を追いやすい教材であると評価できる。しかしながら、設計、製作、評価を繰り返すのは、授業という枠組みを超えればさらに、児童の深い学びを達成できる。そこで、授業後、家庭に持ち帰る学習を想定して、その教育環境を調査する必要性が生じた。教育資源としての教師や家庭などを含む教育環境を広く捉え子どもの学びを支える方策や他の題材についての転移についても検証していく必要がある。

第4章 引用参考文献

- 1) 大橋和正, 人の発達段階を考慮したものづくり教育の体系化, 風間書房, pp. 66 (2015)
- 2) 東京都大田区矢口小学校・同区安方中学校・同区蒲田中学校, 2006年度小中一貫した Technology Education 教育課程の開発 ～よりよい社会を創造し, 支えていく技術的素養の育成～, 文部科学省研究開発学校 (2004～2006年度) 最終年次研究紀要 (2007)
- 3) 山崎貞登, 宮城徹也, 山田哲也, 谷口義昭, 文部科学省教育課程開発研究指定:大田区立矢口小・安方中・蒲田中学校 技術的素養の育成を目指す小・中学校一貫した新教科の教育課程開発<最終年次研究発表会報告>, 日本産業技術教育学会誌, 第49巻第1号, pp. 84-93 (2007)
- 4) 有川誠, 山田哲也, エネルギー変換システム, 平成17-19年度科学研究費補助金基盤研究(c)課題番号17500578 研究成果報告書「技術的素養の育成を重視した初・中・高等学校教育一貫の技術教育課程開発」研究代表者 山崎貞登, pp.65-75 (2006)
- 5) 有川誠, 山田哲也, エネルギー変換システム教育課程基準, 平成17-19年度科学研究費補助金基盤研究(c)課題番号17500578 第2年次研究成果報告書「技術的素養の育成を重視した初・中・高等学校教育一貫の技術教育課程開発」研究代表者 山崎貞登, pp.85-90 (2007)
- 6) 有川誠, 山田哲也, 高等学校における技術教育, 平成17-19年度科学研究費補助金基盤研究(c)課題番号17500578 第3年次(最終年次)研究成果報告書「技術的素養の育成を重視した初・中・高等学校教育一貫の技術教育課程開発」研究代表者 山崎貞登, pp.107-111 (2008)
- 7) 新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校, 豊かな未来を切り拓く力をはぐくむものづくり学習 ～地域の「ひと・もの・こと」とかかわる学習を通して～, 文部科学省研究開発学校 (2007～2009年度) 最終年次紀要 (2009)
- 8) 磯部征尊, 小学校段階における設計力と工夫・改善力を育成するための基礎的研究, 愛知教育大学教育創造開発機構紀要, vol. 5, pp. 29-34 (2015)
- 9) T. Yamada, K. Maeda, Y. Matsunaga, Development of Design Education Method Using Passive Walking Paper Robots in Elementary School, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, JTL-AEME Special Issue, pp. 72-75 (2014)
- 10) 山田哲也, 松永泰弘, 紙製歩行模型を用いた小学校設計学習に関する研究, 愛知教育大学大学院・静岡大学大学院教育学研究科教科開発学論集, 第3巻, pp. 131-138 (2015)

- 11) 松永泰弘, 材料力学「長柱の座屈」に関する提言, 論文集「高専教育」, 第 17 号, pp. 74-81(1994)
- 12) 山本利一, 大関拓也, 五百井俊宏, マインドマップを活用した生徒の思考整理を支援する指導過程の提案, 教育情報研究, 第 24 卷 3 号, pp. 23-29 (2008)
- 13) 岳野公人, ものづくり学習の構想設計における生徒の思考過程, 風間書房, p. 91-94 (2005)

第5章 模型製作の応用と教育方法

第5-1節 緒言

第5-2節 教師への利用

5-2-1 教師が学ぶ受動歩行模型

5-2-2 授業実践

第5-3節 家庭へ持ち帰る学習での利用

5-3-1 家庭での利用の背景

5-3-2 実践の目的

5-3-3 調査の手続き

5-3-4 紙製受動歩行模型の製作

5-3-5 家庭の中でのものづくり

5-3-6 学習プログラムの提案と実践

5-3-7 結果と考察

5-3-8 まとめ

第5-4節 設計学習の教育方法

第5-5節 結言

第5章 引用参考文献

第5章 模型製作の応用と教育方法

第5-1節 緒言

受動歩行模型を教師への利用や家庭に持ち帰る学習において用いた事例について述べた上、本論文で提案する教育方法について述べる。本論文で述べる萌芽的設計学習は、知識や技能を一方向的に伝達するものではない。近年、重要視される思考力や判断力の育成にも大きく関わるものだと考えられる。したがって、児童だけの取組みではなく、教師もともに考えながら問題解決を行う姿勢が望まれる。

大学の講義で行った教師への利用や家庭に持ち帰る学習の実践の評価を行った上、小学校での実践と合わせて、最適な教育方法について、提案をする。

第5-2節 教師への利用

第5-2-1項 教師が学ぶ受動歩行模型

これまで、受動歩行模型を児童用の教材として利用することについて述べてきた。受動歩行模型は、動きは単純に見えても、多くの運動に関するパラメータが存在し、教師であっても、即座に運動の説明をすることは難しい場合がある。既に述べたように、基本型を製作することによって、模型の動きを観察し、何が動きに関係しているかを考えることが、設計する過程の基礎となる。設計仕様を与える場面でどのような設計仕様を与えるか、あるいは、他にどのような授業展開を行い、児童のものづくりの力を高めるかについては、あらかじめ教師がこの受動歩行模型製作や製作の意図について、理解しておく必要がある。

昨今、教師は知識や技能を与えるだけでなく、ともに課題解決にあたる問題解決型の学習の機運が高まっている。著者は、これまでも、教師側や大学生が教材をどのように利用するかという側面から、その教材利用について提案してきた^{1),2),3),4)}。そこで、教師側から見て、紙製4足受動歩行模型をどのように分析し、授業に使おうとするかを調査した⁵⁾。

第5-2-2項 教師への授業実践

紙製4足受動歩行模型を使った教育実践は、2014年6月に滋賀大学の「技術科教育法」の一部として実施した。これには現職教員を含む8人の学生が参加した。講義の流れは、第4章で示した児童に対する授業の流れと同じである。ただし、学生は、最初にこれから学習することは教材を児童のための授業にどのように活かすかを議論するためのものであると

いう認識を持たせた。この授業の目標は受動歩行模型の制御であることを示した。次に、日常生活において見られた様々なロボットにより使われた歩行方法について意見を出し合った。どのように、古いロボットまたは現在のロボット歩行が、イメージを使って学生に示されたか、このとき、製造された受動的な歩行ロボットのイメージは、どうであったかなどを話し合った。学生は、基本型によって紙製4足受動歩行模型を製作した。歩行速度は、すべての学生が同じ型によって製作しているため、全員が同じ結果を得た。そして、設計仕様を学生に与えた。設計仕様は、「最も遅い歩行模型を製作する。」ということにした。学生は、足の長さや形を変更して、実験を繰り返した。実験の様子を図5-1に示す。実験が終わったときには、グループに分かれて、意見を交換した。学生は、彼が実施した実験をお互いに報告することによって多くの歩行に関するデータを得ることになった。

学生は、運動に関するパラメータや最終的に彼らが発見したことについてのアンケートを記入した。また、授業展開するときにはどのようなめあてでどのような教育方法を取ろうと思うかについて自由記述式で回答させた。



図 5-1 学生の歩行実験

表 5-1 発見されたパラメータ

足の長さ	(5 人の学生)
足の先の角度	(3 人の学生)
模型の質量	(2 人の学生)
坂の角度	(2 人の学生)
坂の摩擦係数	(2 人の学生)
など	

表 5-1 に示すように、学生は多くのパラメータを発見した。5 人の学生が足の長さの影響を指摘したが、全員が議論の中で、多くのパラメータが関係していることを認識することができた。学生は、この議論を長時間にわたって続け、議論が白熱した。教師側が、多くのパラメータを認識することで、自らが組み立てる授業の展開に役立つことがわかる。

授業展開するときにはどのようなめあてでどのような教育方法を取ろうと思うかについての回答を図 5-2 に示す。

・小学校高学年なら条件制御してベストなものづくり（例えば今日のような遅いものを作ることで）をしていく楽しさを味あわせる。

小学生低学年ならものづくりそのものの楽しさ、動かしたときの動きのおもしろさ（不思議さ）、そして教師の用意した条件のちがうものでの動きの違いに気づかせる。

・小学生に実施するならどのようなロボットを作れば遅くなるのかを実際に行うことで感覚的に理解させればいいと思います。中学生に実施するならそこからどうしてそうなるのかまで考えさせられたらいいと思いました。

図 5-2 学生の授業展開案

図 5-2 の意見を示した学生は、設計仕様に向けて、製作を行わせたいという内容を挙げている。8 人中 6 人の学生が、同様に、設計するという考え方を大切にしたいと回答した。残り 2 人の学生は、「模型の動く原理を教えたい。」が 1 人、「正確に模型が作れ、感動を味あわせたい。」が 1 人であった。

紙製 4 足受動歩行模型は、教師への利用においても教師がパラメータを多く発見し、そのパラメータを利用して、児童に、目標に向け、計画的な設計を行う授業を行いたいと考えることがわかった。このように、運動が複雑な教材の場合は、教師がその教材を深く学ぶことによって、教師自身の学習にもなると同時に、その内容を児童に還元しようとする姿勢が見られ、教師があらかじめ、模型についての教材研究をすることについての重要性がうかがえた。

教師があみ出した知見や技術を子どもの教育に用いていくのは、与えられた教材を与えられた教育方法で実施していく場合とは子どもに対する影響も大きい。総合的な学習の時間などでも、教師がともに課題解決を行うことで、子どもにより深い洞察力がつくと考えられる。教師も学ぶという意味では、子ども自身の学びにとって大きな発見をもたらすものと考えられる。

第 5-3 節 家庭の持ち帰る学習での利用

近年、子どものコミュニケーション能力の不足や表現力の低下に関することについて、議論されることが多くなった。コミュニケーション能力は、これからの時代を生きる子どもにとっては欠かせないものであることは言うまでもない。コミュニケーションに関する能力や感性は、学校とともに家庭や地域での子どもの行動、また人と協調して探究する能力にも大きく影響を受けていると考え、家庭でのコミュニケーションを活性化するための方策を模索した。

本研究は、設計学習のための教材を通したものづくりによって家庭コミュニケーションに結び付けた教育課題探求プログラムを提案した。初等教育において、児童・生徒にものづくり学習の基礎に触れてもらうため、探究型受動歩行モデルを用いた。この教材を通したものづくりによって家庭コミュニケーションに結び付けた結果、探求に関するコミュニケーションが活発に行われ、プログラムが有効に作用する可能性が示された。

第 5-3-1 項 家庭での利用の背景

1988 年改訂の学習指導要領「総合的な学習の時間」の導入、2008 年の改訂では、「言語活動の充実」があげられ、知識をベースに、「思考力・判断力・表現力」などの育成に力が

入れられてきている。これらの流れは、学習におけるコミュニケーション能力育成にも大きく関わっている。コミュニケーション能力は、社会に出たときに重視される力の一つと認識されている⁶⁾（文部科学省，2011）。学校教育の場においても、他者の理解や協同学習・協調学習というキーワードが学習場面で重視される傾向があり、その背景には、コミュニケーション力を育成する目的がある。しかしながら、近年電子機器の普及で家庭でのコミュニケーションが減っている。コミュニケーションは一方的に伝えたり、表面上の言葉のやり取りをすることではない。自分が伝えたい内容や、相手が伝えたい内容をそれぞれ理解し、深め合いながら合意形成や課題解決をするものであり、対話やディスカッションの場を多く持たなければ、その力の向上は期待できない。また、コミュニケーションに関する能力や感性は学校教育だけで育まれるのではなく、家庭という人間形成の場まで視野において育成する必要があるのではないかと着目している。

小学校低学年は、社会性の芽生えがみられるようになる学齢であることから、家庭での学びのコミュニケーションを増やすことが大切である。家族がともに合意形成や課題解決するために、子どもが感動したり、興味を抱くような優れた教材を学校で提供すること、またそのための指導の過程を示すことで、子どもの学びのきっかけを作り、学校が主導して家庭と連携した探求型の学習を考えた。

提供する教材は、家庭に持ち帰って家族の関心を引き起こし、工夫・改善によって家族が話し合いながら課題解決できるような、最適解を導く科学的教材を用意する。それによって、家庭内で共通の課題について思考しながら、ともに学ぶ場を提供することを考える。

第 5-3-2 項 実践の目的

小学生向けに科学的教材を使用して家庭での探求のためのコミュニケーションの活性化を促すプログラムを開発し、その設計に関わる効果を示すことを目的とする。

ここで言うプログラムとは、学校での学習指導だけではなく、学校と家庭の学習の場をつなぐ流れを示している。一連の流れを実際に機能させるための開発を行う。

以下に、具体的な研究目的を挙げる。

- 1 小学校で実践するための指導案の作成
- 2 作り上げた紙製受動歩行模型を家庭に持ち帰り、家族と行う実験の提言
- 3 家族への質問紙により、教材を通してどのようなコミュニケーションがなされたかを調査し、本プログラムの有効性を確認する。

第 5-3-3 項 調査の手続き

開発した教材を使用し、子どもが家庭でのコミュニケーションが起こりやすいような学習プログラムを開発する。使用した教材は、動くものづくり教材であり、筆者らが開発したものである。小学校で授業を行うときの学習指導案を作成し、授業を行った。

家庭で、授業内容に基づく宿題を課し、家庭で起こるコミュニケーションの状況を、家族への質問紙により調査する。質問紙の分析は、回答があった内容ごとに分類し、量的及び質的な内容を検討するものとした。

2017年1月、大津市立H小学校、第4学年6クラスを対象に理科の授業の一環として、授業を実施した。実践に先立って、大津市立H小学校の教員らと複数の打ち合わせを行った。実践後、保護者406名に対して、質問紙による調査を行った。有効回答数は85で回答者のうち男性の保護者が39、女性の保護者が46であった。調査項目は、子どもの家での教材を使った学びの様子を自由記述式で調査した。

保護者の自由記述データから、子どもの学びを支援するような保護者の考えや具体的な支援のあり方を抽出できる可能性がある。このような仮説を立て、自由記述データをテキストマイニングによって分析することにした。単語ごとに解析するために、社会情報サービス社のテキストマイニングソフトウェアであるトレンドサーチ2015を使用し、単語を抽出した上で、コンセプトマッピングを行った。このコンセプトマッピングは抽出された単語の関連性をもとに平面上にマッピングする分析処理法であり、形態素解析の手法を採用している。単語の関連性をばねの強さとみなして、物理的なシミュレーションを行う。単語をお互いに引っ張り合わせることによって平衡状態として適正配置を可能にする。関連性の度合いによって単語が近く、または離れて配置される^{7),8),9)}。テキストマイニングでの分析に加え、2014年6月同様の内容を第4学年37名に行った実践で、14名の保護者から回答を得たうち特徴的な記述から、保護者の関わりと設計学習の関係を分析した。

第 5-3-4 項 紙製歩行模型教材の製作

本実践では、紙で製作することのできる歩行模型教材を開発¹⁰⁾(Yamada, Maeda & Matsunaga, 2014)し、はさみやカッターナイフを使用(図5-3)して、自ら工夫して製作する教材として用いた。

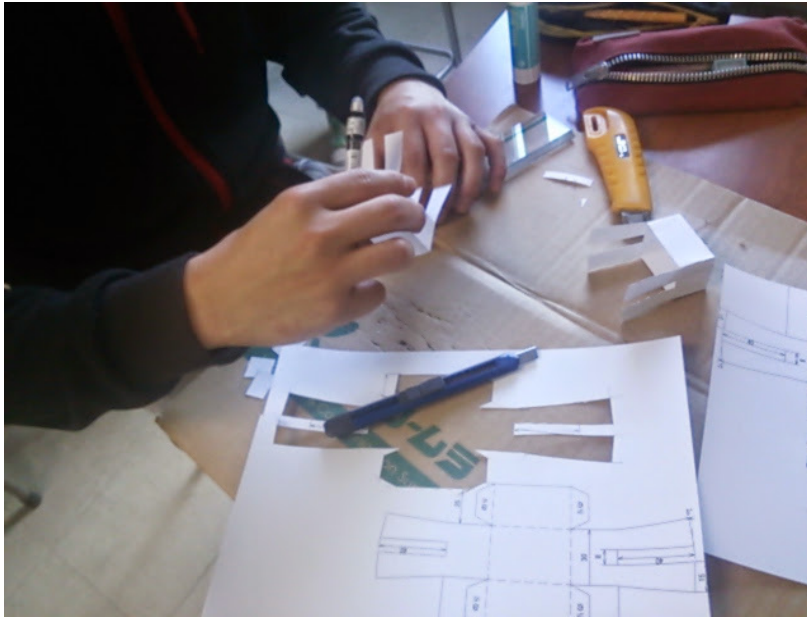


図 5-3 歩行模型教材の製作

この教材において、子どもはなぜ動くのかという興味や愛らしくトコトコ歩く姿に関心を寄せる。開発した教材が、これまでの受動歩行模型教材と大きく異なる点は、ハサミとりのみで製作できることである。これにより、小学校では難しい工作機械による材料の加工をすることなく、構想から設計にいたるものづくりの手順にのみ集中して、調整しながら作るものづくりの製作を体験することができる。

歩行模型は、位置エネルギーの供給により左右の揺れを持続して歩行を行う。歩行の一步は、接地脚時に荷重で変形した脚が、遊脚時に荷重から解放され元の形状に戻ることににより、その幅が決定される。歩行に関しては、非常に多くのパラメータが関与しており、足の長さ、模型の重量、脚先の角度など、様々な変更を与えることによって、歩行をある程度制御できるような構造となっている。決められた型を切り抜き組み立てるだけで、子どもの達成感は、満たされるものとなっているが、さらに、動きを制御するという探究心を持たせることを狙っている。

歩行模型は、今日的なロボット動作のひとつの要素を抽出したものである。人の歩行とも共通点が多く、日常生活で目にするものを、分析するような意味合いがある。このような教材は、実際に使われているものを DVD で見せてから、学習していくような流れが構築しやすく、子どもの興味・関心を引く。他にも、紙製のグライダーを、主翼の重心位置を考えながら課題解決するような教材 (Oshima & Yamada, 2014) も同様なプログラム ¹¹⁾ が構築できる。

第 5-3-5 項 家庭の中でのものづくり

学校と家庭の連携により，子どもが好奇心を揺さぶられ夢中になって活動した結果が家族にも伝えられ，子どもが頼りとする親が子どもの教育に大きく参画するような授業での実践を目指した。解決が難しいような課題を与えた場合は，父親がアドバイスを与える場面が多く見られる。また，子どもは父親に母親とはものごとを教えてくれる存在としては異なるイメージを持ち，その父親像は「物知りで教えてくれる」，「遊び，話してくれる」と言った評価がされている（図 5-4）。そのために，多くの場合，母親より父親にアドバンテージがあると思われるものづくりを媒介として家庭での学習を支援する。「科学」と「ものづくり」の楽しさがほどよく準備された優れたものづくり教材は，家庭での学習支援の一つの方策として考えられる。

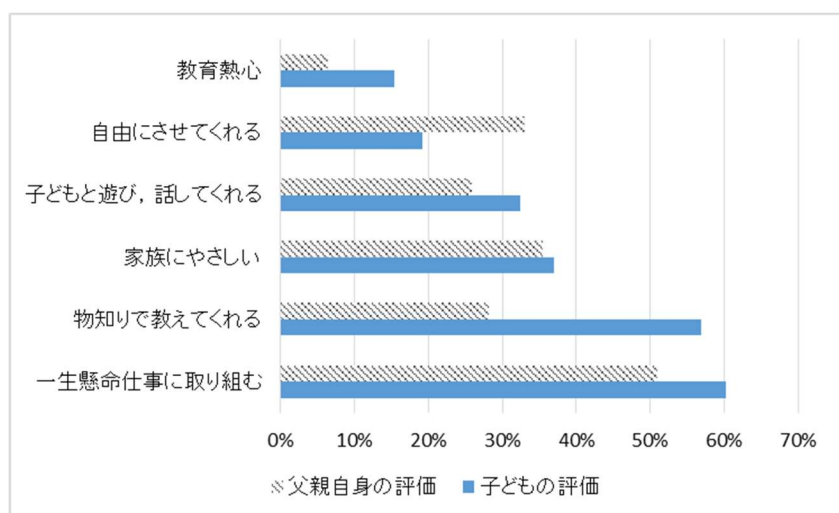


図 5-4 子どもによる父親像（上嶋，1997¹²⁾ より山田作成）

子どもにとって解決が難しい課題に直面した場合，日頃，父親が子育てから距離を置いている場合でも，子どもの学びに参画する場面がしばしばみられる。小学校の「自由研究」などは，その典型であるかもしれない。「自由研究」は，「科学」や「ものづくり」に関するものが多いのも特徴である。父親は，子どもの課題解決に大きな影響を与えているとも考えられる¹³⁾。

父親が子育てにおいて重要であるという認識が得られるようになったのは諸外国に起こ

った産業革命にあったとされている¹⁴⁾(Lamb, 1975)。産業革命によって、父親が外に働きに出ていくという家庭が形成され、父親の家庭内での影響力は、弱くなっていく原因となった。Mitscherlich,1963は、「父親なき社会」の中で父親の必要性について論じている¹⁵⁾。その後もCohen et al.,1984¹⁶⁾などが父親の存在や役割について論じている。しかしながら、父親の役割などに関する研究も蓄積されてきているものの、母親に関する研究と比較すると少ない。

児童期の子どもは小学校という新たな社会的集団に属することになり様々な活動を通して、自分以外の他者の存在を認め、自分との比較により、自己を確立していく段階にある。学校の教師だけではなく、親からの言葉がけは、自己の評価の基準を定めやすく、自己を形成していく手助けとなる。学校とともに家庭環境は、自己形成にとってきわめて重要である。

山田(2016)は探求するものづくりを行う活動によって、家庭内コミュニケーションに結びつけた結果、コミュニケーションが活発に行われることを明らかにした¹⁷⁾。ものづくり活動の教育的効果については、ペスタロッチが、ものづくりの教育を、手仕事に専心する態度形成としての訓育と考え、いま一方では、職業教育に結びつく実学的な内容としての陶冶と考えて以来、多くの研究や実践が行われ、日本におけるものづくり教育や技術教育に関する蓄積は多い。父親は、家庭において技術的作業の役割を果たすことも多く、「ものづくり」、「父親」、「家庭」を結びつけることによって、全く新しい家庭での学習に関する知見が得られると考えられる。学校と家庭を結びつけるような教材を用いる教育プログラムは、どちらか一方の立場では難しく、家庭での学習を包括的に考えるべきである。

第 5-3-6 学習プログラムの提案と実践

小学校におけるものづくりでは、図画工作において感性に基づく造形的なものづくりが多く行われている。また、理科においては、ものづくりを通して、科学的に調べる能力、科学的なものの見方や考え方を育成しようとしている。ここでは、家庭でのコミュニケーションが生まれることを考え、「ひとつの目標に向かって工夫する」という教育プログラムを提案した。工学的ものづくりでいうところの設計仕様を与えるものづくりというものである。学校と家庭をつなぐ学習の場としてプログラムを位置づけた。

授業は、歩行模型が教材になっていることから、ロボットに興味を持たせるため、ロボットの動画を見せて、授業の導入を行った。次に、規定のモデルを製作し、安定して歩く模型を製作した。この時点で、最終的には自分の思い通りに歩くモデルを作ることを伝えていたため、子どもは、他者との競争をしてみたいという姿勢が現れ、いたるところで、後ろから押したり、坂の角度を増したりする姿が見られた。後ろから押すことや、坂の角度の調整は、最も簡単にできる歩行パラメータの調整である。簡単なことで自分だけの歩行を実現させ

ようとした結果である。

次に設計仕様を与え、自由に模型構造を変えさせ、何が動きに関係したかの討議をして、授業を終えた。学習指導案を表 5-2 に示す。同様の学習指導案は、児童の計画設計能力の向上にも有効であることが示されている¹⁸⁾ (山田,松永, 2015)。

保護者へのアンケートの依頼文を図 5-5 に示す。即日、子どもに持ち帰らせた。

表 5-2 学習指導案

学習活動・内容	教授活動・指導上の留意点等	形態	配時
自己評価シートによって学ぶことについて認識する。	自分が何を学ぼうとしているのかを認識する。制御することができることを知る。	一斉	5
1. ロボットの歩き方を見る。	様々なロボットの歩き方に注目しながら、その概要を知る。	PPT	15
2. ものづくりを始める。	型紙の決まったモデルを製作する。	個人	20
3. 設計仕様を与え目標に向かわせる	様々なパラメータを実験しながら、その意味を考える。	個人	30
4. 討議	動きに関係したパラメータや動き方を話し合わせる。	グループ	10
5. 発表	全体に対して、まとまった意見を発表する。		
まとめ：ものづくりの手順についてまとめる。	自由記述シート記入	個人	10

本日の理科の時間に「ものづくりのちからを高める」研究授業を行いました。児童には、家庭において、学んだ教材を使って遊ぶように宿題を課しております。是非ご家族で話をしながら一緒に遊んでいただきたく存じます。

お手数ではございますが、子どもの様子や教材に対するご感想を記入し提出していただきますよう、お願い申し上げます。

図 5-5 保護者へのアンケートの依頼文

第 5-3-7 結果と考察

自由記述により子どもの様子や教材に対する感想を求めることを行った結果、85 の家庭から回答を得た。ほとんどの回答が回答枠一杯に書かれているものであった。この中で、今回の学習に関して否定的な記述はほとんど見られなかった。

テキストマイニングソフトウェア・トレンドサーチ 2015 により、重要度の高い順に頻出語句を抽出した結果を図 5-6（男性の保護者の回答）及び図 5-7（女性の保護者の回答）に示す。重要度は同一テキスト内に含まれるキーワードの数が少ないほど個々のキーワードの重要度を高く評価するものである。図の左から順に重要度の順に配列している。

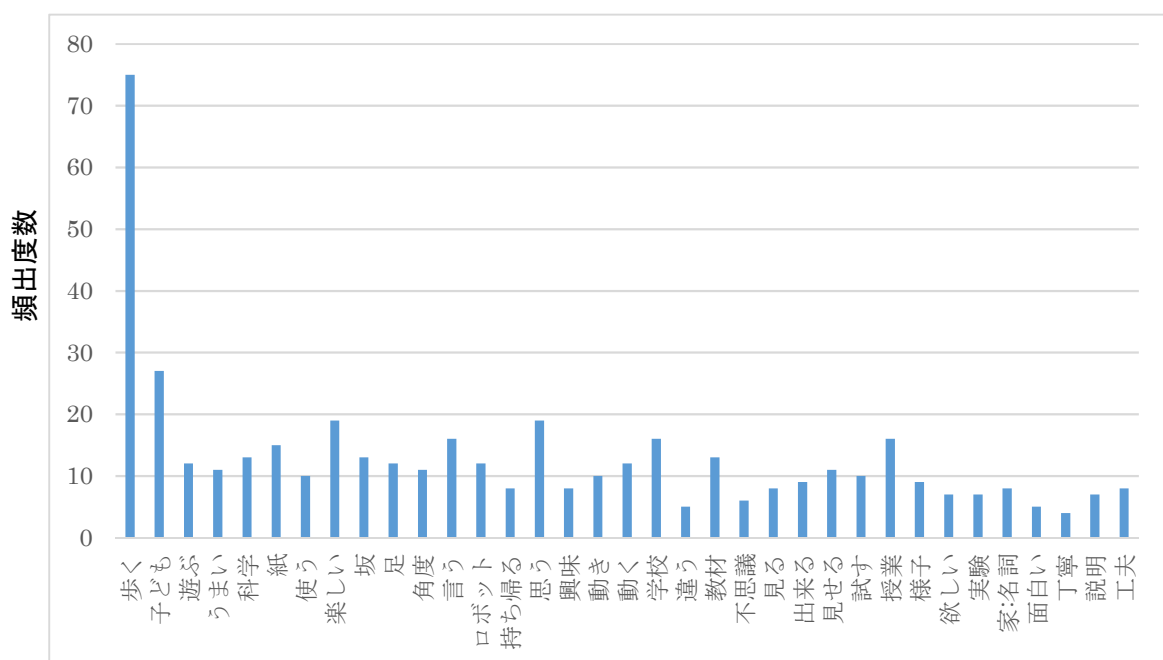


図 5-6 テキストマイニング解析による男性の保護者の記述に現れる語句

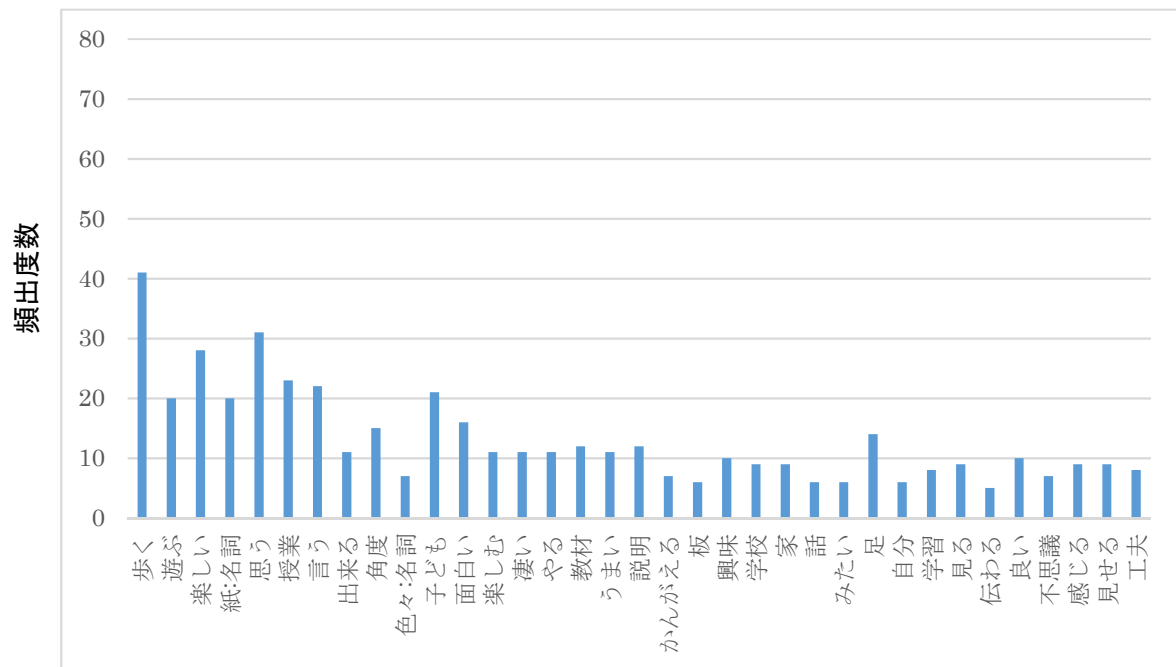


図 5-7 テキストマイニング解析による女性の保護者の記述に現れる語句

男性の保護者、女性の保護者ともに「歩く」の出現が目立つが、頻出度数は男性の保護者の回答から 75、女性の保護者の回答から 41 となった。男性の保護者に女性の保護者の 2 倍弱の出現があった。男性の保護者は、「科学」や「ロボット」の出現があり、女性の保護者は、「授業」や「出来る」などに、重要度が高くあらわれているのが特徴的である。ともに角度などのパラメータや材料としての「紙」、さらに「工夫」も出現している。

また、男性の保護者には、「歩く」の出現が多いのに加え、「動き」や「動く」の出現があり、運動に特に注目している様子がうかがえる。

次に、語句の間の関係をテキストマイニング解析でネットワーク図に表したものを図 5-8 (男性の保護者) 及び図 5-9 (女性の保護者) に示す。出現頻度の高い語句を中心にして語句の間の関係をマッピングしたものである。

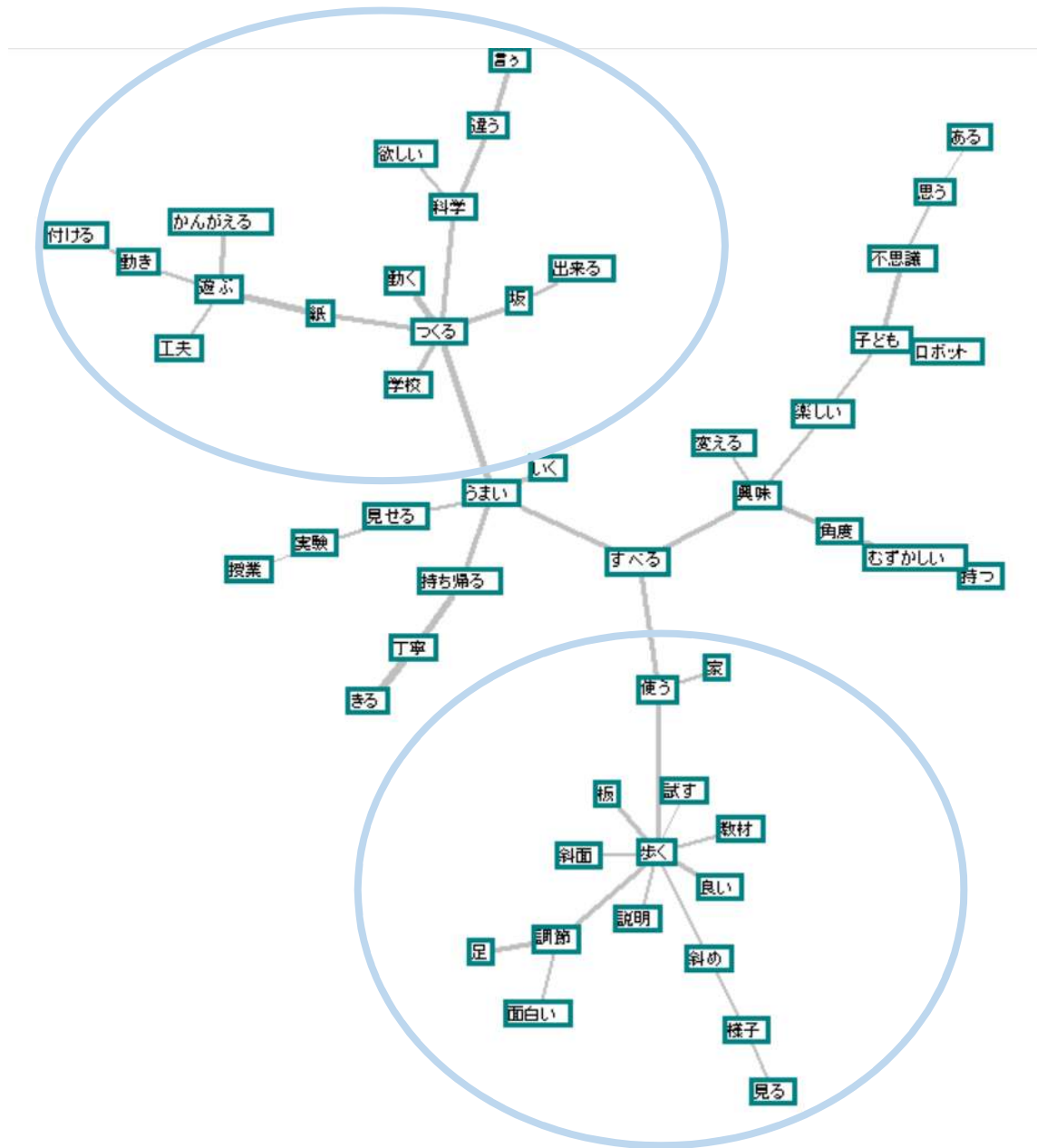


図 5-8 テキストマイニングによる父親の語句間のネットワーク図

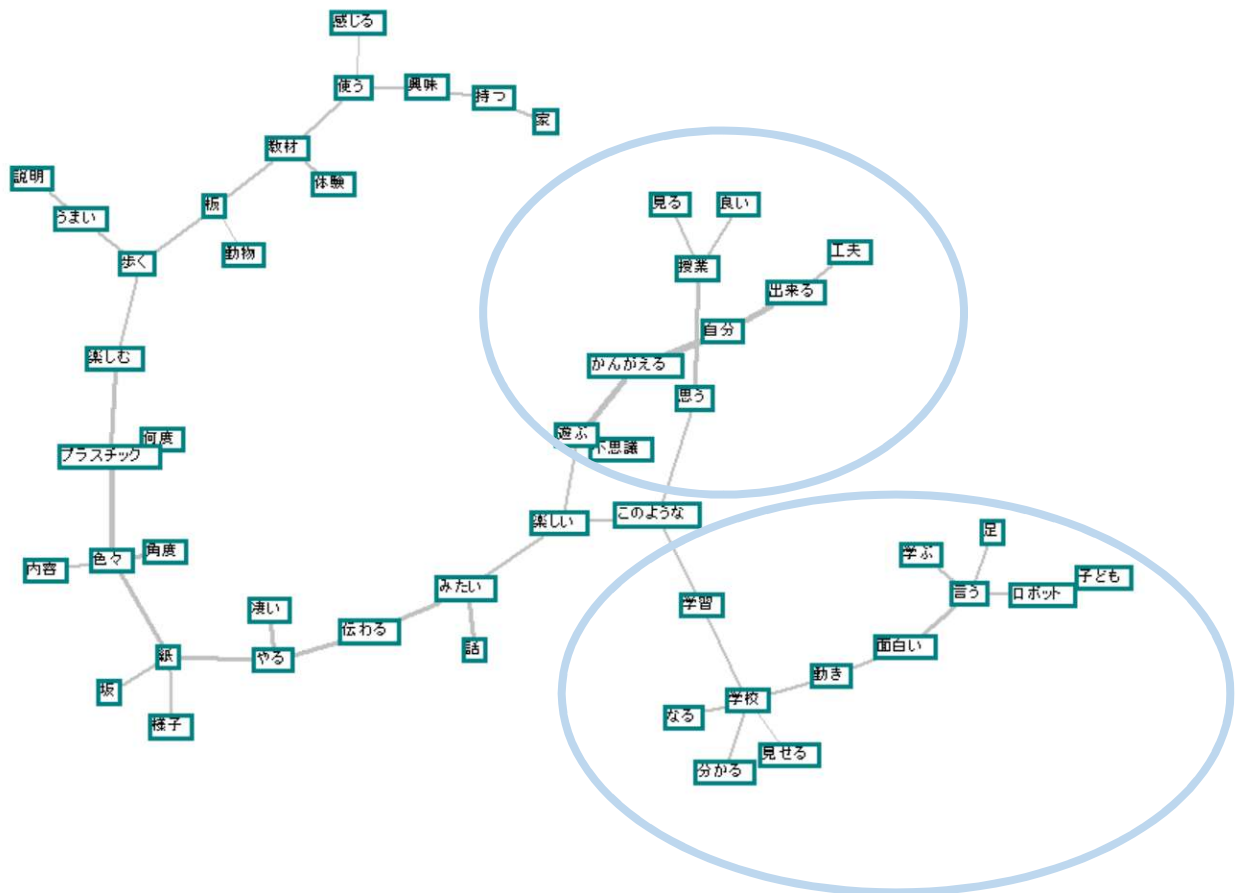


図 5-9 テキストマイニングによる母親の語句間のネットワーク図

男性の保護者のネットワーク図には、「歩く」と「つくる」の語句に対して、放射線状に関連語句が集中している。一方、女性の保護者のネットワーク図には、「学校」と「自分」の周辺にまとまりがあるが、男性保護者のように動作や製作に関する記述の関連が認められない。男性の保護者は、ものをつくることに関しての着目度が高く、女性の保護者は、様々な観点からの学校や学びのあり方の視点がうかがえる。

運動解析を行う保護者の保護者の感想の一例を図 5-6 に示す。また、子どもの学びに着目する保護者の感想の一例を図 5-7 に示す。

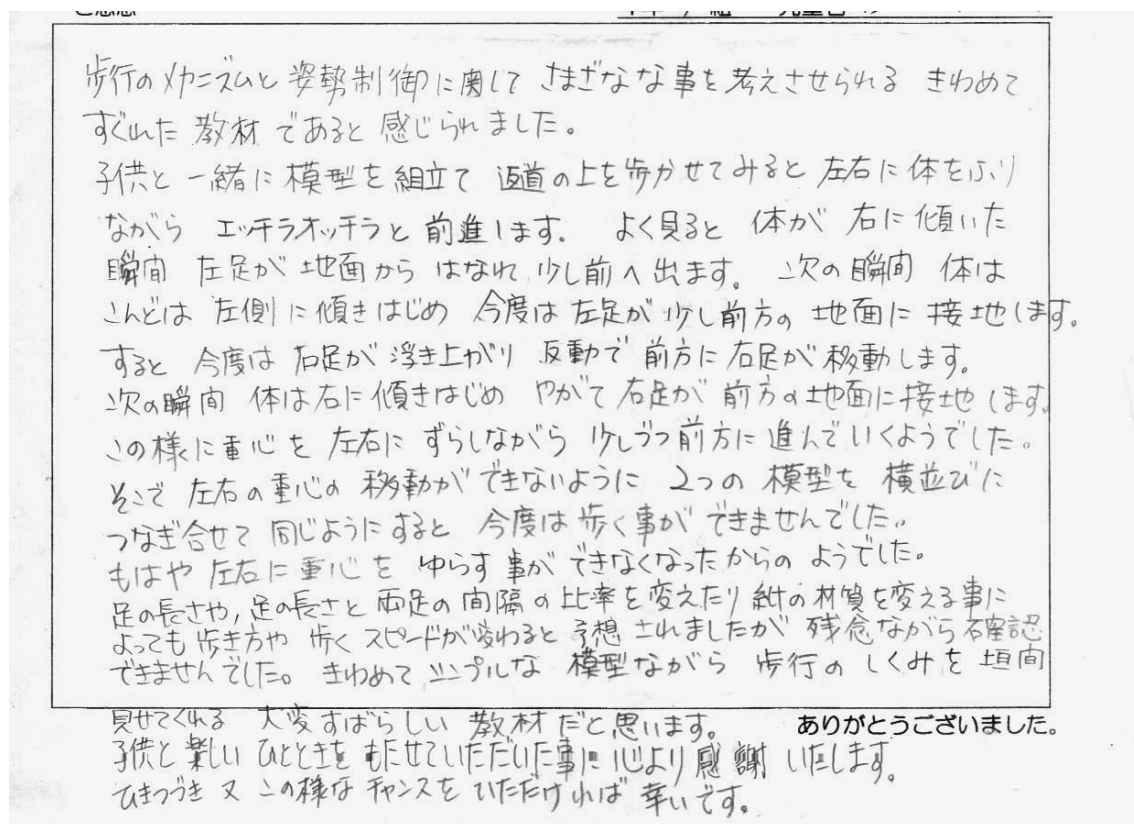


図 5-6 運動解析を行う保護者の感想

図 5-6 では、保護者が模型の運動解析実験を行っている様子がよくわかる内容となっている。

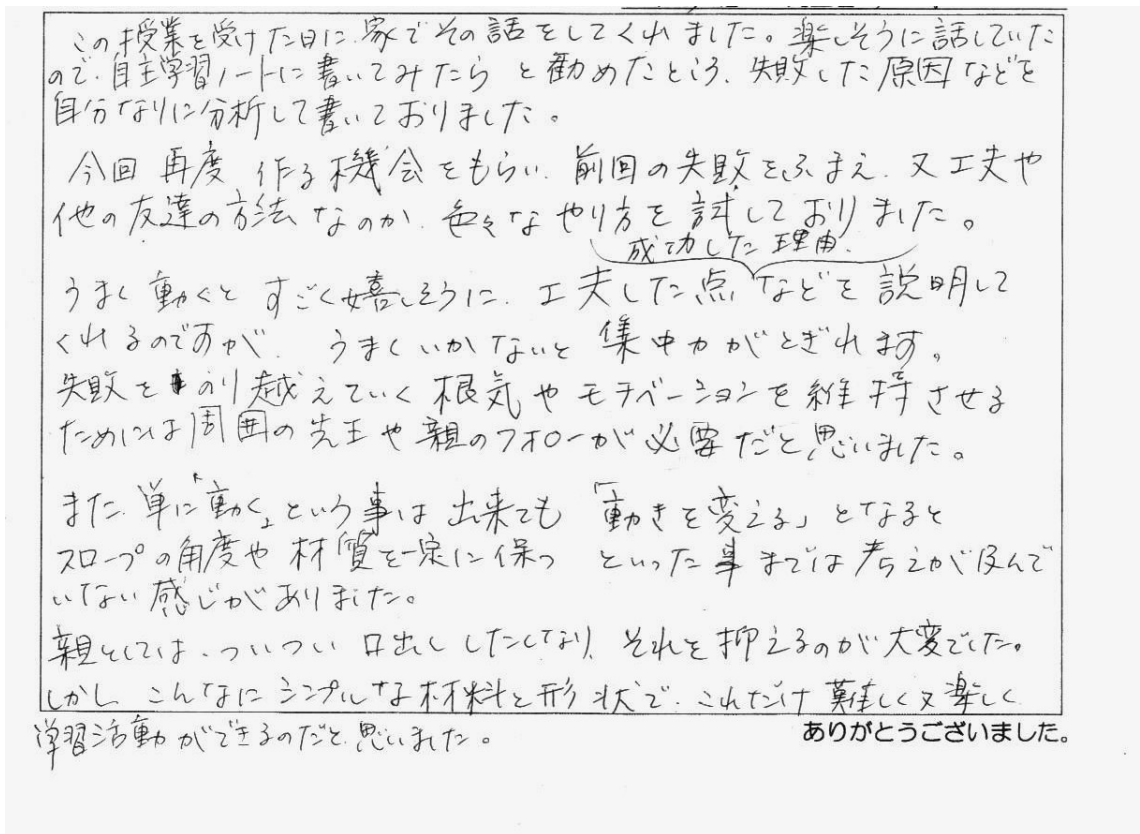


図 5-7 子どもの学びに着目する保護者の感想

図 5-7 では、親が子どもの学びに親としてどうかかわればよいと考えているか、その様子が伝わる内容となっている。

すべての感想が、粋一杯に書かれていたことから考えて、この教材やプログラムについての保護者の関心の高さがうかがえる。

表 5-3 保護者の感想の抜粋 1

「授業後早速、親に自慢げに話した。」
 「普段は話さない子なのに、「こんな授業があった。すごいんだよ。」と話したなど。」
 「家で子どもがいきいきと、ロボットの解説を始めた。」

表 5-3 に示すように、家庭において、家族間のコミュニケーションが行われたことが窺える記述が 12 の家庭に見られた。逆にコミュニケーションによる記述が見られなかった家庭は、教材の分析について詳細に書いてくれていた保護者のものである。その家庭でも

実際には、子どもと動く原理や工夫について、家族間で話し合ったことが容易に推測できる。

表 5-4 保護者の感想の抜粋 2

「親が教材にびっくりした。」

「歩き出したときは、夫婦そろって歓声を上げた。」

「またいつものように何か図工で作ってきたのかと思ったら、今度のは全然違う、考えさせる教材だ。」

表 5-4 に示すように、教材そのものに対する評価を与えてくれている記述が 9 件見られた。特に、教材の歩行原理や解説を行っているものが 5 件見られ、そのうち 4 件は男性の保護者であった。

今回、ものづくりを通して、製作の目標（設計目標）を与えるような学習プログラムを与えることで、家庭でのコミュニケーションが、活発に行われたことがわかった。特に、ものづくりや科学的な要素の教材になっていると、男性の保護者の参画が多く見られ、日頃、あまり家庭教育に参画しないといわれる父親の存在が大きくクローズアップされた結果となった。

男性保護者は、模型の製作や動作に着目することが、頻出語句や語句間のネットワーク図から知ることができ、女性の保護者とは、異なる視点を持ち子どもに接していることがわかる。ものをつくることやものをつくることに関する経験が男性には多く、子どもに対して製作そのもののアプローチが期待できる。

このように、父親を教育に参画させるには、親も一緒に考えてもらえるような教材や学習プログラムの方が、より効果的に機能することがうかがえる。

子どもを教育するだけでなく、その背後の保護者をも学びに参画させる影響力をもつような教育プログラムを意識的に入れていくことが、家庭でのコミュニケーション力向上につながると考えられる。今日、思考や判断をはじめとして、高次の学力を身につけるには、単一の教科や教育環境では、十分な教育効果を出すことができないと考えられる。他教科との架橋や初等教育から中等教育への接続、家庭との連携など、教育資源を効果的に利用したうえで、様々な連携が求められる。

第 5-3-9 項 まとめ

家庭でのコミュニケーションを促すために、保護者も一緒に考えるような、教材や学習のプログラムを提言することができた。また、このような教材、学習プログラムを導入することによって、家庭でのコミュニケーションが、活発に行われる可能性があることがわかった。

また、父親の参画が認められ、探求型の教材を用いることによって、家庭での教育に父親が積極的に参画し、子どもとともに探求活動をする様子もうかがうことができた。

今後、同様な考え方に基づいた多角的な実証を行うことで新たなプログラムの開発をコミュニケーションの内容について詳細な分析を行いながら、行っていくことができることが分かった。

第 5-4 節 設計学習の教育方法

東京都の小中 3 校は、文部科学省研究開発学校の指定を受け、3 年間にわたり「小中一貫した Technology Education 教育課程の開発」の研究を実施し、研究結果として小学校から始めるものづくり教育の必要性を示した^{19),20)}。その後もいくつかの研究開発学校が指定されてきた²¹⁾。その時流の中で著者は小学生から実践できるものづくり教材として紙製 2 足受動歩行模型や紙製 4 足受動歩行模型を開発してきた。ものづくり教育の効果として、ものづくりの体験だけでなく、これまでに学んだ知識や理論の実感を伴う理解、さらに科学技術に関する新たな知識の獲得や思考・判断・表現力の高揚などが挙げられる。これらは、ものづくりのプロセスを学ぶことによって、さらに高まった学習となる。

本論文では、ものづくりや萌芽的設計学習のための教材として酒井・加藤の考案した歩くやじろべえ^{22),23)}を参考に、小学生でも短時間で簡単に製作が可能な紙製 2 足受動歩行模型を開発した。開発した紙製 2 足受動歩行模型は受動的歩行機械の一種で、位置エネルギーを運動エネルギーに変換しながら斜面をトコトコと歩きながら下る。単純な構造であるが歩行原理は複雑なことから、原理を探究することで身近に科学や技術に触れることができる。特に、動く機械を設計するときの基本の一つである剛体の力学を学ぶことは学校教育では非常に少なく、これはその意味でも動く機械を学ぶのに適した教材と考える。剛体の力学で重要な事項は様々存在するが、今回は模型の動きに大きく関係する可能性がある重心と慣性モーメントを取り上げた。小・中学校の児童・生徒に重心と慣性モーメントが運動に及ぼす影響を実際のものづくりを通して考えさせることで、その重要性を認識させることは意義があると考え。そのためには、歩行原理の詳細な解析ではなく、調整を進めながら学ぶ教材の開発が必要である。当初、ものづくり教材としての紙製 2 足受動歩行模型は各種構造パラメータの変更は考えられていなかった。またその後、運動解析を行っているが、各種の構造パラメータを周期との関係で捉え、具体的な教育方法にまで踏み込む必要がある。そこで本論文では、速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型の構造パラメータを設定することによって小中学生にもものづくりをするときの設計の意味を考えさせる学習に適した教育方法を整理し提案する。そのために、腕先端の質量や脚単体の重心位置などいくつかの構造パラメータが容易に変更可能な紙製 2 足受動歩行模型を製作し、その歩行特性を実験的に調べた。その結果をもとに、速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型の構造を明らかにし、学習に適した模型を提案する。

ここで言う提案は、紙製 2 足受動歩行模型を用いて、速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型を考えさせることによって、脚の付加質量位置 L_a 、腕先端の質量 m_l を最適化させ、運動との関係を考えさせることを目指している。そのための模型として、3 章の実験結果をもとに表 5-5 の仕様（表 5-5 に明記していない寸法は、第 3 章、第 3-3-6 項に示す図の寸法を

用いる)のモデルを提案する。すなわち、重心の影響を考えさせるために、脚単体の付加質量位置 L_a を変更する。慣性モーメントの影響を考えさせるために腕先端の質量 m_t を変更する。 L_a と m_t を変更した場合にも歩行可能あるいは歩行の再現性のよい構造として、後の値を決定した。

紙製2足受動歩行模型を使用した具体的な教育方法を提案する。

① 予備知識の説明

簡単な模型の動作原理を説明する。具体的には模型は左右に揺れてやじるべえのような動きをすること、片脚が接地しているとき、もう一方の脚は前方に振り出すこと、坂を円弧状になった脚が転がることなどをモデルを使用して説明する。児童はおよその原理を知る。所要時間は約10分使用する。

② 標準モデルの製作

次に製作方法を示す。まずアルミパイプにスペーサーを通し、プラスチック製の軸受けに紙製の脚を通す。スペーサーをはさむようにその軸受けをアルミパイプに左右から通す。さらに軸受けの両外側を押さえゴムで押さえ脚が広がっていかないようにする。腕先端の質量 $m_t=10g$ で両側に粘土のおもりをセットする手順で行う。製作の教示は、教壇上でプロジェクターを用い1つ1つの手順の写真によって、全員が一斉に製作していく。チームティーチングを想定しているので遅れる生徒には他の教師がつく。巧緻性についても学習の一貫に置くことができる。この所要時間は約20分そのモデルをある程度の長さの斜面をまっすぐ下る模型に調整させる。調整に約10分使用する。標準モデルの製作費用は1人あたり100円弱で材料を用意できる。

③ モデルの調整 I

速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型の調整方法を課題として与える。調整させる構造パラメータとして腕先端の質量 m_t と脚の付加質量位置 L_a を示す。

まず、最初に腕先端の質量を5~15gの間で変化させて歩行させその歩行時間の変化を記録させる。次に付加質量位置を変化させて歩行させ、その歩行時間の変化を記録させる。どの構造パラメータの設定パターンのモデルが最も速く歩き、最もゆっくり歩くかを実験結果から考えさせる。簡単なまとめの書き方を示した上で腕先端の質量 m_t と脚の付加質量位置 L_a は自由に試行錯誤させる。表やグラフが書けなくても「おもりが軽い速い」と言うような簡単な記述でも良い。データはグループ内で持ち寄り、共有することにする。

表 5-5 模型の部品と仕様

部 品	材 質	諸 元	値
腕	φ3mmのアル ミパイプ	長さ	300mm
腕先端の質量	粘土	質量 m_t	5~15g
脚	厚さ1mmの厚 紙	底辺の円弧 半径 R	80mm
脚の付加質量	粘土	質量 m_a	0.5g
		位置 L_a	0~20mm
スペーサー	φ4mmの プラスチック パイプ	両脚の間隔 L_w	50mm
軸受け	プラスチック	内径	φ3mm
斜面	鋼板	寸法	900mm× 300mm
		傾斜角度	9°

④ モデルの調整Ⅱ

腕先端の質量 m_t と脚の付加質量位置 L_a 以外のパラメータが歩行特性に及ぼす影響を考えさせる。④は時間が余っている児童に対して教師が課題を投げかける。速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型を完成させる。

⑤ 結果のまとめと発表

自分たちが、実験したデータによって思い通りの模型を計画的に作ることに試行錯誤によって作ることに違いについて考えさせる。重心、慣性モーメントと腕先端の質量 m_t と脚の付加質量位置 L_a との関係性をまとめさせても良い。また、模型の歩行特性に及ぼす様々なパラメータの影響の考えをまとめさせる。自分の書いた簡単な文章を皆に提示し討論の時間を設ける。発表に教材提示装置があれば理想的である。また、まとめた結果を発表させる。

評価方法は、重心や慣性モーメントが運動に影響を及ぼすことの気づきに加えて、ものづくりの巧緻性、計画的に設計を行うことに関する思考力、判断力、表現力などを総合的に評価する。

同様に、紙製4足受動歩行模型を使用した具体的な教育方法を提案する。

① 予備知識の説明

簡単な模型の動作原理を説明する。模型は左右に揺れてやじろべえのような動きをすること、足がたわんで、伸びるときに一步前に出るということを簡単に説明する。

② 標準モデルの製作

型紙に沿って、模型の本体部分を切りぬく。型紙の破線部分を折り曲げ、模型を組み立てた後、のりしろの部分を糊付けする。この所要時間は約 20 分そのモデルをある程度の長さの斜面をまっすぐ下る模型に調整させる。調整に約 10 分使用する。標準モデルの製作費用は 1 人あたり数円で材料を用意できる。

③ モデルの調整 I

最も遅く歩く模型の調整方法を課題として与える。調整させる構造パラメータは、それぞれ考えさせ、どのようなパラメータが存在するかについても検討させる。構造パラメータのどの設定パターンのモデルが最も速く歩き、最もゆっくり歩くかを実験結果から考えさせる。簡単なまとめの書き方を示した上、表やグラフが書けなくても良く簡単な自由記述をしてデータを集めさせる。データはグループ内で持ち寄り、共有することにする。

④ モデルの調整 II

それぞれの構造パラメータが歩行特性に及ぼす影響を考えさせる。

もっとも遅く歩く模型を製作する。

⑤ 結果のまとめと発表

自分たちが、実験したデータによって思い通りの模型を計画的に作ることに試行錯誤によって作ることの違いについて考えさせる。模型の歩行特性に及ぼす様々なパラメータの影響の考えをまとめさせる。自分の書いた簡単な文章を皆に提示し討論の時間を設ける。発表に教材提示装置があれば理想的である。また、まとめた結果を発表させる。

評価方法は、ものづくりの巧緻性、計画的に設計を行うことに関する思考力、判断力、表現力などを総合的に評価する。

それぞれの構造パラメータの言葉を使用して小学生の児童にその考えをまとめさせるには学齡的には早期であると考えられる。紙製 2 足受動歩行模型の歩行特性と構造パラメータの関係を考えることで、児童が科学技術に関する新たな知識に興味を持ったり、児童の科学的な見方・論理的な考え方の育成に役立ったりすることが期待できる。

萌芽的設計学習の教育方法は、第 2 章、第 2-6 節に示したように、設計仕様を与え、それに向け問題を解決していくという流れとなるが、構想・設計—製作—評価—再設計・・・という流れを、探究活動を行うことが行いやすく、設定パラメータが多く存在する教材を用い、何度も探究活動を行うことが効果的であることが示された。一連の学習の流れを図 5-8 に示す。この探究活動を効果的に行うことができる教材として、紙製受動歩行模型を開発、実践に使用することは有効であることが示された。

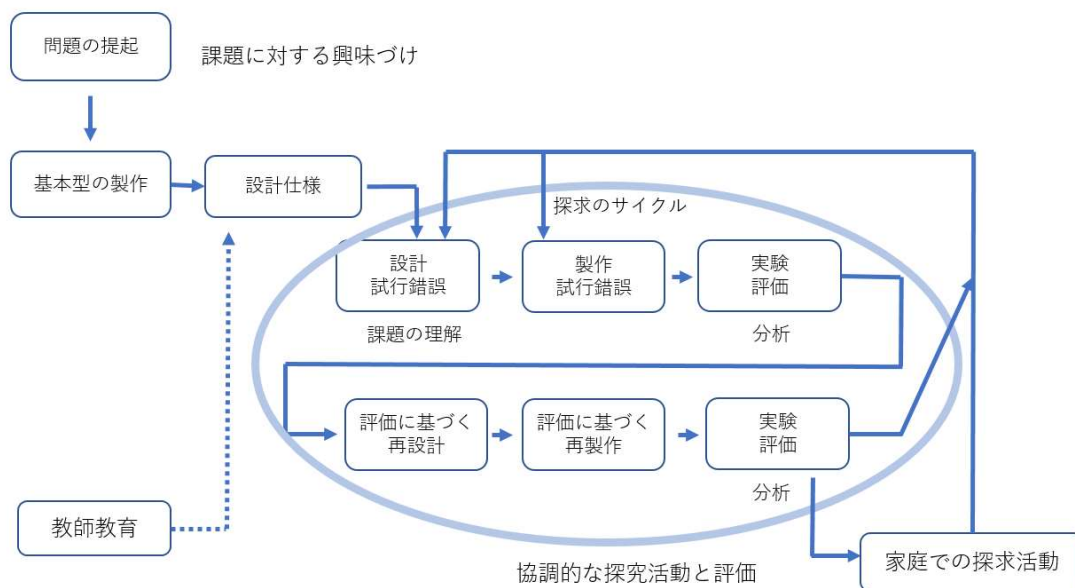


図 5-8 紙製受動歩行模型を使用した萌芽的設計学習の流れ

図 5-8 において、受動歩行模型の完成型を提示することにより、課題に対する興味づけを持ちながら問題の提起することが出発点となるが、教材の動きの不思議さや人やロボットの関連づけを行うことによって、内発的動機付けを行うことが有効である。

設計仕様は、教師が適切な課題をとして仕様を与えることができる。紙製受動歩行模型は、教師自らも、課題を解決したくなるような仕様を見つけられる教材として位置付けている。探求のサイクルとして、「設計—製作—実験・評価」を繰り返すが、繰り返し回数が浅いほど、試行錯誤の中から、新たなアイデアを創造し、実験や評価に基づいた再設計へとつなげていくことができる。これらの探求活動は、協調的に行われ、友人たちとのデータや考えを共有しながら行うことで、計画や設計の能力を高めていく。学習活動は、家庭にも伝えられ、家庭でさらに深い探究活動が行われることが望まれる。これらの探究活動は、その過程がループするものである。図の探求のサイクルには矢印が元に戻るようにループしている。授業の中では、ループの回数も限られるが、児童の学びに制限はない。家庭での探究活動などを通して、繰り返し設計や製作を行うことになる。設計は、制約条件の認識から解決策を検討していくことにつながっていることから、この学習活動は、繰り返すほど解決策を見出す能力が養われ、設計能力が高められることになる。

第 5-5 節 結言

本論文で取り扱う紙製受動歩行模型教材は、児童に対する教育だけではなく、教師においても、同様の学びを提供するものであることがわかった。教師も児童と同様に各種のパラメータを見つけ、それを自分の目的に合った計画的なものづくりをする場面が見られた。教師は、自分のパラメータの過程とそれを利用する設計について、体系的な教育方法を考える傾向にあった。

教師や児童は、ただ漠然と現物に合わせて、ものづくりをするのではなく、規定のモデルなどから、理論的な背景や、各種のデータを得た上で、設計の仕様に向けた計画的な設計の作業に入ることによって、計画的な作業能力が養われることとなる。また、パラメータの発見は、設計において、重要な役割を果たすことから、多くのパラメータを見つけられるよう教師が適切に、ヒントを与えることも有効である。

本提案では、速く歩く模型あるいはゆっくり歩く模型の構造パラメータを設定することによって小中学生にもものづくりをするときの設計の意味を考えさせる学習に適した教育方法を整理し提案した。授業設計のポイントとしては、規定のモデルを製作し、その理論的背景やデータを得ること、またそれを利用した、問題解決的な学習を行うことである。

家庭に持ち帰る学習として受動歩行模型のプログラムを持ち込んだところ、父親の参画が認められ、探求型の教材を用いることによって、家庭での教育に父親が積極的に参画し、子どもとともに探求活動をする様子もうかがうことができた。男性と女性の保護者では教材に対する意識が異なる傾向があり、児童の設計学習を促す上では、父親の参画を求めることによって、子どもの科学的な学びを支えることができると考えられる。

開発した紙製受動歩行模型の教材は、児童が目標に向かい、計画的な設計を行っていきやすいことが分かったが、紙製受動歩行模型のどのような構造やパラメータが児童の認知活動に刺激を与え、設計能力に影響するのかという部分においては、本論文の研究のみでは、課題が残る。今後、多角的な実証を行うことで教材や教育方法について詳細な分析を行っていくこととする。

第5章 引用参考文献

- 1) 山田哲也, 岡田雅樹, 2足歩行模型を使用した際における学生の慣性モーメントの認識, 湊川短期大学紀要第48巻, pp. 27-31 (2012)
- 2) T. Yamada, L. Ziye, An Attempt to Have Introduced Bipedal Walking Model into the Undergraduate Class, Proceeding of Japan-Thailand-Lao P.D.R Joint Friendship International Conference on Applied Electrical and Mechanical Engineering, pp.343-345 (2011)
- 3) T. Yamada, L. Ziye, Development of Kinetics Learning Materials for Teacher Education, Proceeding of the 11th International Conference on Technology Education in the Asia Pacific Region, pp.15-17 (2015)
- 4) T. Yamada, L. Ziye, Development and Analysis of Kinetics Teaching Materials for Teacher Education, Special Issue of Industrial Engineering Research (IER) Journal (2015)
- 5) T. Yamada, K. Takeno, Y. Matsunaga, Educational Methods Using the Passive Walking Paper Robots for Teacher Education, International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET) Special Issue - ACEIAT & JTSTE pp. 101-106 (2015)
- 6) 文部科学省・コミュニケーション教育推進会議審議経過報告, 子どもたちのコミュニケーション能力を育むために―「話し合う・創る・表現する」ワークショップへの取組―, 1 (2011)
- 7) 青木仕, 青木きよ子, わが国のアスベスト研究の分析, 順天堂医学 55 巻第 4 号, pp. 478-486 (2009)
- 8) 渡部勇, 緩い協調: 協調フィルタリングシステム, 情報処理学会研究報告 (ヒューマンインターフェイス) 91, pp. 179-186 (1991)
- 9) 神田陽治, 渡部勇, 三木和夫他, グループ発想支援システム GrIPS, 人工知能学会誌, 8, pp. 65-74 (1993)
- 10) T. Yamada, K. Maeda, Y. Matsunaga, Development of Design Education Method Using Passive Walking Paper Robots in Elementary School, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, JTL-AEME Special Issue, pp. 72-75. (2014)
- 11) M. Oshima, T. Yamada, Study on the Educational Cooperation Using Model Airplane Manufacture —The Program which Cancels the First Grader Problem in an Elementary School—, Proceedings of 1st Asian Conference on Electrical

- Installation & Applied Technology,3rd Japan-Thailand Friendship International Workshop on Science, Technology,Chiangmai, Thailand pp. 109-112 (2014)
- 12) 上嶋正彦, 子どもの父親観, 日本教育社会学会大会発表要旨集録, 49. pp. 10-11 (1997)
 - 13) 山田哲也, 家庭教育におけるものづくり教材の可能性, 日本産業技術教育学会近畿支部第33回研究発表会講演論文集 (2016)
 - 14) Lamb, M.E., The relationships between infants and their mothers and fathers, Unpublished doctoral dissertation, Yale University (1975)
 - 15) Mitscherlich, A., (小宮山実 (訳)) 父親なき社会—社会心理学思考—, 新泉社, 1972
 - 16) Cohen, R.S., Cohler, B.J., & Wessman, S.H., Parenthood: A psychodynamic Perspective, New York The Guilford Press (1884)
 - 17) 山田哲也, ものづくりを通じた「家庭内コミュニケーション向上プログラム」の開発, 家庭教育研究所紀要, 37. pp. 155-160 (2015)
 - 18) 山田哲也, 松永泰弘, 紙製歩行模型を用いた小学校設計学習に関する研究, 愛知教育大学大学院・静岡大学大学院教育学研究科教科開発学論集, 第3巻, pp. 131-138 (2015)
 - 19) 東京都大田区矢口小学校・同区安方中学校・同区蒲田中学校, 2006年度小中一貫した Technology Education 教育課程の開発 ～よりよい社会を創造し, 支えていく技術的素養の育成～, 文部科学省研究開発学校 (2004～2006年度) 最終年次研究紀要 (2007)
 - 20) 山崎貞登, 宮城徹也, 山田哲也, 谷口義昭, 文部科学省教育課程開発研究指定:大田区立矢口小・安方中・蒲田中学校 技術的素養の育成を目指す小・中学校一貫した新教科の教育課程開発<最終年次研究発表会報告>, 日本産業技術教育学会誌, 第49巻第1号, pp. 84-93 (2007)
 - 21) 新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒沢小学校, 豊かな未来を切り拓く力をはぐくむものづくり学習 ～地域の「ひと・もの・こと」とかかわる学習を通して～, 文部科学省研究開発学校 (2007～2009年度) 最終年次紀要 (2009)
 - 22) 酒井高男, おもちゃの科学, 講談社, pp.84-86 (1977)
 - 23) 加藤孜, ほんとうに動くおもちゃの工作, コロナ社, pp.39-43 (1999)

第 6 章 結論

第6章 結論

初等教育におけるものづくりは、その有効性を様々な場面で見出すことができる。しかしながら、その教育方法は体系化されておらず、その効果も十分には明らかにされてこなかった。ものを作る過程は、問題解決の過程でもあり、目標に向かい計画的にものを作るような能力を高めることは、思考の方法を取り扱う教育であるとも言えるが、そのような教育のための教材は少なかった。筆者は初等教育において萌芽的設計学習を提案し、その教材や教育方法を開発してきた。

しかしながら、我が国においてもものづくり教育の扱いは少なく、中学校技術・家庭科の限られた時間の中でしかものをつくる過程について学ぶ機会がないというのも国際的に見れば、不自然な状況とも言える。ものづくり教育は、資源の少ない我が国においては、これからも重視していかなければならない教育内容であり、国民の基礎的素養としても、教育を体系化していく必要がある。日本が高度経済成長期を経験し、知識や技能を優先されがちなものづくりを行ってきたことから、ものづくりの教育方法は転換期に来ていると考えられる。かつて、児童がものづくりをする場合、遊びなど様々な場面で、多くの経験を得ることから、経験的にその方法を身につけてきた。しかしながら、今日においては、生活上においても、ものづくりをする場面が激減し、少ない経験の中から、ものづくりをする場面が多くなってきている。

ものづくりには、構想、設計、製作、評価、発表といったものづくりの過程が大切だと著者は主張する。ただし、初等教育では、工作機械や工具を十分に使用することができない。この過程のうち製作の部分に、大きなハードルがあるのは事実である。しかしながら、紙やはさみ、あるいは木材など身近な材料でものづくりをすることは、初等教育でもありうる。むしろ、生活上のものづくり体験の減っている現状においては、身近な材料を使ってものづくり体験を進めていかなければならない。初等教育段階から、このようなものづくりの過程を経る体験を積むことで、生活上、必要なものづくりの基本だけではなく、将来の科学技術立国を支えるような人材も生まれてくると考える。

本論文において著者は、初等教育のために開発した紙製2足受動歩行模型、紙製4足受動歩行模型を使用して、歩行に関するデータを共有することや設計仕様を与える教育環境に配慮した教育方法を提案し、授業実践した。また、教える側からの視点にも立ち、その授業展開を考慮し、その教育方法を示した。

紙製受動歩行模型は小学生において、確実に製作することができる。ものづくり学習において、定型のものを製作する場合においても、確実に完成させられない場合がある。完成させられないと児童の達成感は、著しく低下し、学習そのものに対する興味や関心すら失ってしまう。本論文で取り扱っている紙製受動歩行模型は、動く教材であるため、完成とは動く

こと（歩くこと）を意味する。提案する教育方法は、設計仕様を与え、それに向け問題を解決していくという流れとなるが、構想・設計—製作—評価—再設計・・・という流れを、何度も繰り返す探究活動を行うことが効果的であることが示された。すなわち、一度、定型の模型を製作してから、再度模型の調整をさせる過程をたどる。紙製2足受動歩行模型及び紙製4足受動歩行模型はこの定型の模型において、高い完成率を示した。2回目に模型の調整を行った場合においても、1回目の動作成功経験があるからこそ、動作に向けた関心や意欲を保持することができる。

児童には紙製受動歩行模型のものづくりを計画的に行う姿勢が見られ、計画設計能力、作業遂行能力の向上が見られた。これまで、小学校で実践されるものづくりは、明確な目標の仕様に向けて製作することは、あまり意識されてこなかった。本論文では、一度製作した紙製受動歩行模型から知れる情報をもとに、仕様に向けた製作活動が行われる。児童は、計画的に製作するということを認識し、計画を立てると早く作りたいと思うようになっている。本論文で最も重要視している小学生における計画・設計の能力を養うのに適した教材として紙製受動歩行模型を提案することができる。

児童は、この教育方法による授業に対して高い関心と意欲を示したことは、教材に対する関心と意欲はもとより、思考・判断を伴うような計画・設計の学習そのものに関心と意欲を示すということであり、定型の製作をすることやトライ・アンド・エラー(偶然の解決を見た試行錯誤)の製作ではないものづくり学習の重要性を示すものであると言える。

また、児童だけではなく、現職教員を含む学生においても、運動に関するパラメータを発見し、これを利用しようとする姿勢が見られた。児童が問題解決にあたって、最初から目的を持つことには、困難が予想される。問題解決には、良定義問題や不良定義問題があるが、今日の学習には、不良定義問題に対応できる姿勢や能力も必要とされる。問題解決に関する学習を行うにあたって、小学生の場合は、教師の支援が必ず必要になる。教師も児童と同じ、問題解決を体験しておく必要がある。教師は、児童より、はるかに多くのパラメータを見つけることが分かった。教師は、そのことを活かし、授業内で、それぞれの活動の支援にあたることができることになる。

また家庭に持ち帰るものづくりを通して、製作の目標（設計目標）を与えるような学習プログラムを与えることで、家庭でのコミュニケーションが、活発に行われたことがわかった。特に、ものづくりや科学的な要素の教材になっていると、男性の保護者の参画が多く見られ、日頃、あまり家庭教育に参画しないといわれる父親の存在が大きくクローズアップされ、親とともにコミュニケーションを取りながら、模型の運動を中心とする探求活動を行い、学校の学びだけではない探究活動に有効に作用する。

仕様を示し、これに向けて、2度に分けたモデルの調整をする教育方法が効果的に作用することを示した。1度目は既定のモデルによって、紙製受動歩行模型の運動やパラメータを

認識する。2度目は、実験によってそれぞれのパラメータが運動に及ぼす影響を認識し、仕様に向けた製作を行う流れである。受動歩行模型は、運動に関するパラメータが多く存在し、そのパラメータによって運動が大きく変化する。構造も簡単であるため、パラメータの変更を簡単に行うことができるため、小学生の萌芽的設計学習に適している。学習者は自分が確認したパラメータやパラメータの値によって、ものづくりを計画的に行うことができ、中学校、技術・家庭科の技術分野の設計につなげていくことができる。さらには、大学工学部等にもつながる素養となる可能性がある。

以上、児童は、ただ漠然と現物に合わせて、ものづくりをするのではなく、規定のモデルなどから、理論的な背景や、各種のデータを得た上で、設計の仕様に向けた計画的な設計の作業に入ることによって、計画的な作業能力が養われる。紙製受動歩行模型と設計仕様を与える教育方法について実践を行った結果、その教育効果を示した。また、その結果より初等教育における具体的な萌芽的設計学習の教育方法を整理し示した。ここで示す教育方法は、受動歩行模型の製作においてのみ提案するものではなく、他の教材においても、ものづくりをするときにおいては汎用性のある考え方である。今日、ものづくりに関する教育も思考力や判断力が重視されるようになり、ものづくりのスキルだけではなく、コンピテンシーを見据えた教育として、初等教育におけるものづくり教育のあり方を、設計の側面から考察し、提案することができた。

本論文は、設計能力を高めるために特化した教材を開発し、使用した。設計を行う場面での児童の認知過程を十分に分析し教育方法にも活かしていく必要性をさらに感じることもなった。設計能力を高めるために特化した教材の要素のうち児童の思考に影響を与えた部分を明らかにすることや認知過程を教育方法に活かす部分においては課題が残される。今後は、教材の特性と児童の認知活動に着目して課題を追求していきたい。

あとがき

本論文は、愛知教育大学大学院・静岡大学大学院教育学研究科共同教科開発学専攻後期3年博士課程の学位論文として、提出したものである。著者は、高等学校理科・工業科の教諭を勤めるかたわら、長年、初等教育におけるものづくりに関する実践を行ってきた。長きにわたり、実践を積み重ねる中で、様々な問題意識が生まれた。子どものものづくり経験の不足、科学とものづくりの教育的な乖離、ものづくりに関しての初等教育から中等教育への一貫性の不足などである。私の取組みについて、小学校に教科が存在しないとして、とりあってももらえないことも多くあり、挫折しそうになったこともあった。

そのような中、本大学院教育学研究科共同教科開発学専攻では、教育環境学という立場からも児童の学びについて学習する機会を与えられた。教育の領域を狭い範囲で捉えず、子どもの学びに対して最適化した学習環境や社会のかかわりから、これまでの研究や実践を捉えることができた。このことは、問題意識の解決に向けて、さらに研究を続けることができ、自分自身が、教育環境に救われたような気持ちである。

本研究の遂行に当たっては、静岡大学大学院・新保淳教授、小川裕子教授、村越真教授、松永泰弘教授をはじめ、愛知教育大学大学院及び静岡大学大学院教育学研究科の多くの先生方に、本当に適切なお指導をいただいた。静岡大学大学院・山崎保寿教授、愛知教育大学大学院・岩山勉教授からは終始、副指導教員としてのご指導と励ましをいただき、また静岡大学大学院・伊藤文彦教授からは図画工作教育の立場から、ご助言いただけたのは、研究をより深めることに繋がった。本専攻は、専門分野の異なる教授陣や学生の皆さんから領域を超えた議論があり、研究を広い視点で捉えていくことができ、本当に感謝している。また、本論文にたどり着くまでに、数え切れない児童・生徒の皆さんの笑顔や皆さんと学びをともにしたことを、長き間の研究の糧とした。関わってくださった皆さんに、この場を借りてお礼申し上げたい。今後も教育研究を進め、我が国の教育の向上に努める決意を新たに、筆を置きたい。