

## 【論文】

## 紙製4足受動歩行模型を用いた授業提案とものづくり探究活動の実践

古田このみ<sup>1</sup> 松永泰弘<sup>2</sup><sup>1</sup>静岡大学大学院教育学研究科修士課程・<sup>2</sup>静岡大学教育学部

## 要約

紙製4足受動歩行模型は、力学・科学・数学等の学習内容を含み、幼稚園から大学までを対象として活用することが可能な教材として開発された。また、発展させて開発した上肢下肢分離型紙製4足受動歩行模型は、上肢下肢を分離することでねじれ現象を伴う歩行を実現し、より子どもたちの興味関心を引き出し、上肢下肢一体型模型の学習内容を補強する教材である。模型を使用した授業を行う際には、授業者が模型の利用方法・学習内容を理解していることが重要である。そこで本研究では、これまでに行われてきた実践の結果を踏まえ、紙製4足受動歩行模型の学習内容と模型を使用した授業に関する提案を行う。また、上肢下肢分離型模型を用いた授業実践の分析から、本模型及び模型を用いたものづくり探究活動の有効性を明らかにする。

## キーワード

受動歩行模型, ものづくり, 探究活動, 4足歩行, 上肢下肢, ねじれ現象

## 1. 問題及び目的

現在、急速な技術革新等によって、社会構造が大きく変化しつつある。国立教育政策研究所「社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則」<sup>1)</sup>において、これからの時代を生き抜くために必要とされる力として「21世紀型能力」を取り上げ、問題解決・発見力・想像力などを含む思考力を中核として、基礎力(言語・数量・情報スキル)や実践力(自律的活動力・持続可能な未来づくりへの責任等)を育てていくことを挙げている。文部科学省「Society5.0に向けた人材育成—社会が変わる、学びが変わる—」<sup>2)</sup>においては、これからの時代を生き抜くために必要とされる力として、「科学的に思考・吟味し活用する力」や「価値を見つけ生み出す感性と力」または「好奇心・探究力」を挙げている。

一方、国際数学・理科教育動向調査(TIMSS 2015)<sup>3)</sup>では、科学的リテラシーの結果が1995年以降最も良好であったのに対し、「観察・実験の結果などを整理・分析したうえで、解釈・考察し、説明すること」などの資質・能力が他国と比較して低い結果が報告された。また、質問紙調査では、勉強の楽しさ、勉強への積極性、勉強に対する自信など、すべての項目において国際平均よりも低い結果を示し、理科を好む生徒が少ない等の課題も明らかになった。

このような背景のもと、2017年小学校・中学校の学習指導要領の改訂が行われ、改訂のポイント<sup>4)</sup>には「理数教育の充実」が挙げられている。小学校学習指導要領解説理科編<sup>5)</sup>では、「目的を設定し、計測して制御するといった考え方に基づいた観察、実験やものづくり活動の充実を図ったり、(中略)、理科の面白さを感じたり、理科を学ぶことの意義や有用性を認識したりすること」とあり、小学校から高校を通して観察・実験を含む活動や、活動によって学習の質を向上させることが重視されている。図画工作編<sup>6)</sup>では、「感性や想像力を働かせて、思考・判断し、表現したり鑑賞したりするなどの資質・能力を相互に関連させながら育成する」活動を充実させることが挙げられている。

子どもたちが感性や想像力を働かせながら表現・創造する力、主体的に観察・実験やものづくりの活動を行い、問題解決の力、問題解決に向けた考え方(比較・関係づけ・

条件制御・多面的に調べること)等を身につけ、理科の面白さや学ぶことの意義を感じることができる授業・教材が求められている。

そこで本研究では、遊びを通してものづくりや科学的内容の楽しさ・面白さを実感でき、探究活動を行う中で科学的内容について実感を伴った学習が可能な教材として受動歩行模型を取り上げる。受動歩行とは、倒立振り子を応用したものであり、モータなどの動力を使用せずに位置エネルギーを運動エネルギーに変換して斜面を移動する歩行であり、古くから玩具の機構として応用されてきた。教材としては、木製2足受動歩行模型<sup>7)</sup>、丸棒を使用した木製4足受動歩行模型<sup>8)</sup>などの研究が挙げられる。松永・前田<sup>9)</sup>は幼児から大学生までを対象とし、図画工作・理科・

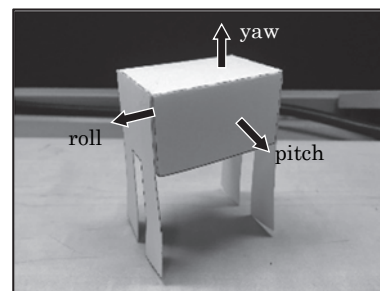


図1 一体型4足受動歩行模型

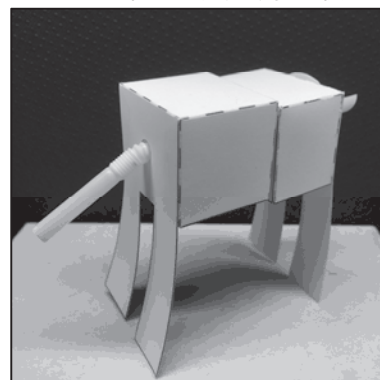


図2 上肢下肢分離型4足受動歩行模型

数学などの学習内容と科学的な探求を含む教材として、紙製4足受動歩行模型を開発した。これまでの教材は木材を使用していたのに対し、紙を使用し、直線系で設計することで製作の難易度を下げることを実現した。さらに、受動歩行模型の学習内容を補強する教材として上肢下肢分離型模型<sup>10)</sup>を開発した。

著者らは、紙製4足受動歩行模型を用いたものづくり探究活動を幼児・小・中学生・高校生・大学生を対象として行った<sup>10)・13)</sup>。これらの実践により、模型及び模型を用いた活動の有効性は明らかにされてきたが、模型の利用方法や獲得が期待される学習内容は明らかにされていない。模型を用いた活動を行う上では、授業者が模型の利用方法や期待される学習内容を適切に理解していることが重要である。本研究では、紙製4足受動歩行模型の教材化を目指し、これまでに行われてきた実践の結果を踏まえて幼稚園・小・中学校・高等学校・大学での学習内容や利用方法を明らかにする。また、上肢下肢分離型模型を用いたものづくり探究活動の実践を行い、探究活動について分析を行う。4件法によるアンケート、自由記述に対してはテキストコードの分析などから模型と模型を用いた活動の有効性を明らかにする。

## 2. 紙製4足受動歩行模型の歩行動作と学習内容

著者らは、幼稚園から大学にわたって科学的な内容や歩行について学習可能な教材として、紙製4足受動歩行模型(図1)を開発し、学習内容を補強する発展型模型として上肢下肢分離型紙製4足受動歩行模型(図2)を開発してきた。模型は、roll軸周りの初期の回転(揺れ)により、斜面を歩行し続けるが、その動作原理は2つの模型で大きく異なる。

一体型模型は、roll軸周りの回転により、左右片側の前後脚が接地脚となり、自重により曲げ変形を生じる。同時に、模型の重心は斜面との接地点よりも遊脚側に位置することにより、逆方向のモーメント(復元力の作用)を生じるため、逆方向の回転を生じる。その後、遊脚は接地脚となる。左右に回転を生じ、左右の脚が接地脚と遊脚を繰り返すことによって4足歩行が成立する。曲げ変形によるたわみ量が歩幅となり、一歩分の位置エネルギーの差が揺れの運動エネルギーに変換される。

上肢下肢分離型模型は、ストローを軸として使用することで上肢下肢がroll軸周りに回転可能とした。また、上肢下肢間のねじれを制限する連結構造により、上肢下肢をねじり、yaw軸周りの回転を伴いながら歩行する。roll軸周りの回転に加え、yaw軸周りの回転を生じることで、脚の変形により歩行する一体型模型よりも大きな歩幅となる。

模型の製作過程に使用される材料・道具、獲得が期待される学習内容を幼稚園から大学までのそれぞれの教育課

程についてまとめ、表1に示す。これまでの実践の結果を踏まえ、模型の利用方法を明らかにする。また、一体型模型の発展型模型として開発した上肢下肢分離型模型を用いた、小・中学生を対象とした実践を行い、分析する。

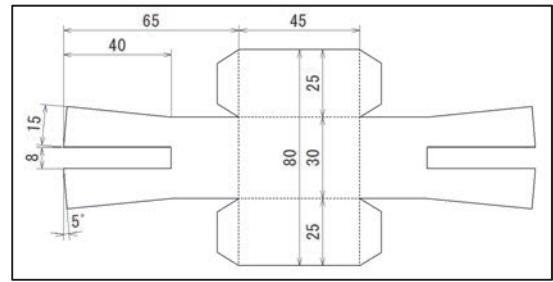


図3 一体型4足受動歩行模型設計図(JW-CAD)

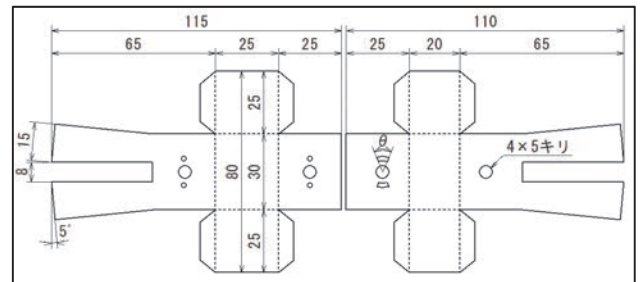


図4 上肢下肢分離型4足受動歩行模型設計図(JW-CAD)  
(上肢:左, 下肢:右)

## 3. 紙製4足受動歩行模型の利用方法

### 3-1 幼稚園における利用方法

幼児の探究活動の様子を図5に示し、幼児が制作した作品を図6に示す。

幼稚園では、はさみとのりで製作可能な一体型紙製模型を使用した製作活動が予想される。幼児期は、「生涯にわたって必要な運動の基となる多様な動きを幅広く獲得する非常に重要な時期」<sup>14)</sup>であり、運動能力にかかわる神経系の発達が著しい時期であるため、様々な動きを経験することが必要とされる。幼稚園教育要領<sup>15)</sup>では、幼児教育課程において育みたい資質・能力に「知識及び技能の基礎」が挙げられ、製作に関する基礎的な技能の獲得が求められている。歩行模型の製作活動を行うことで、線上で切る、線で折り曲げる、のりで接着する、思った通りに色を塗るなどの製作に関する基本的な工程を経験することが可能である。

また、これからの社会を切り開く人材の育成として「豊かな感性」が求められており、幼稚園教育要領<sup>15)</sup>では、「心を動かす出来事などに触れ感性を働かせる中で、様々な素

表1 4足受動歩行模型教材による幼稚園・小学校・中学校・高校・大学において期待される学習内容(\*:高校対象)

	幼稚園	小学校	中学校・高校*	大学
材料	・紙 ・のり		・紙 ・のり ・金属(アルミ・銅・トタンなど)	
道具	・はさみ		・はさみ ・カッターナイフ ・穴あけポンチ	・金切ばさみ ・金づち
知識	・真っ直ぐな線 ・規則性の発見	・直線, 角度 ・垂直, 直角, 平行 ・揺れ, 振り子 ・重心 ・てこの原理	・金属の加工法 ・回転力 ・運動エネルギー ・位置エネルギー ・鋭角, 鈍角 ・振り子の周期 ・三角比*	・倒立振り子 ・慣性モーメント ・たわみの基礎式 ・変形, たわみ ・長柱の座屈 ・弾性係数 ・摩擦 ・滑り ・はりの曲げ剛性 ・瞬間中心
巧緻性	・線上で切る ・線で折り曲げ ・のりで接着 ・手順の理解	・角を正確に出す	・運動方程式* ・モーメント*	・金属の性質を理解し, 適切な加工法で直角を出す
創造性	・色を塗る ・頭, しっぽをつける ・ごっこ遊び	・表したいものに適したデザインができる	・形状の異なる模型の設計(製図・CAD)	・形状の異なる模型の設計(3D-CAD)



材の特徴や表現の仕方などに気づき、感じたことや考えたことを表現したり、友達同士で表現する過程を楽しんだりし、表現する喜びを味わい、意欲を持つようになる」とある。本教材は、製作に対して「楽しい」と感じ、自分で製作したものが動き出すことに「達成感」「感動」「喜び」を感じ、紙で製作した模型が動くことに「驚き」を感じるなど、様々な感性を引き出すことが期待される。また、斜面の材質について「ツルツル」「ザラザラ」などのオノマトペを用いて表現することによって、オノマトペの獲得に加え、斜面の摩擦の違いについて感覚的に理解することにもつながる。

製作に関する基礎的な技能を習得すること、豊かな感性を育むこと、科学的内容を感覚的に理解することを目的とした利用が期待される。

幼稚園で使用する際の支援として、足底や歩行に重要な部分などに切り込みを入れ、カッターの背を使って折り曲げる線に沿って折り目(溝)を付けることで、製作に関する技能が未熟な子どもに対しても使用することが可能である。



図5 幼児の探究活動の様子(左:模型の製作,右:斜面に粘土板を使用して模型を歩行させて遊ぶ)  
(2016年3月7日,名古屋市平梁針原保育園,  
(半澤幸恵,松永泰弘))



図6 幼児が制作した作品

### 3-2 小学校における利用方法

小学生の探究活動の様子を図7に示す。

小学校においても、はさみとノリで製作可能な一体型紙製模型を使用した製作活動が予想される。

小学校低学年は幼稚園や保育園との環境の違いに馴染むことができず、集団行動をとれない、授業中座っていないなどの小1プロブレムなどが懸念される時期であるため、「幼児期の学びから小学校教育への円滑な接続」を図り、「主体的に自己を発揮しながら学びに向かう」ことを目指すスタートカリキュラムの充実が求められている<sup>16)</sup>。また、第2学年後半は、「社会や理科、総合的な学習の時間などをはじめとする各教科等への接続を意識する」時期とされ、生活の見方・考え方を養うとともに理科の見方・考

え方を養うことが求められている。そこで、幼児期における学びと小学校教育をつなぎ、中学年以降の学習(理科・社会)にもつながる生活での製作活動を提案する。今回の学習指導要領の改訂により、生活<sup>17)</sup>では「見つける」「比べる」「たとえる」「試す」「見通す」「工夫する」などの様々な活動を一層重視することとした。一体型模型の製作と歩行実験では、「見つける」活動として、「足底が斜めである」

「左右に揺れながら歩行する」という模型の形状や歩行の特徴を見つけること、紙の利用方法の広がり、電池等を持たない模型が動くことや歩行そのものの不思議さなどを見つけることが期待される。「比べる」「試す」活動として、斜面の角度を変えたり、斜面の材質を変えたりして遊ぶ活動(歩行実験)が挙げられ、条件を変更した歩行の様子を比べ考えることで「見通す」活動も可能である。模型に重りをつけたり、斜面に身近なものを使用したり平らなものに変更したりすることで「工夫する」活動も可能である。模型や模型の動作原理には、表1に示す科学的要素等が含まれており、製作活動や遊ぶ活動を通して、感覚的な理解を促すこと、中学年以降の理科における見方・考え方の基礎を養うことが可能である。遊びを通して学習する活動により、子どもたちを円滑に小学校教育に適応させることを目的とした利用、または、中学年以降の学習を感覚的に理解すること、理科における見方・考え方を養うことを目的とした利用が期待される。

小学校中学年では、図画工作での利用が期待される。豊かな感性を育むために、小学校図画工作編<sup>6)</sup>では、「児童が感じたことや想像したことなどを造形的に表す」活動を取り上げており、特に中学年では「豊かに発想や構想」をすることが求められている。一体型紙製模型は紙のみで製作できるため、容易にデザインを改良することが可能である。これまでの実践の中で、キリン、ゾウ、ウサギ、カニなどの動物、卵のお寿司、自分でキャラクターを設定した模型などに改良し、一人一人が箱型の模型から自由に発想を膨らませ、様々な作品を制作している様子が見られた(図8)。また、作品の制作後発表の時間を設けることで、自分では思いつかなかった発想に気づき、さらに子どもたちの創造性を育むことが期待される。模型を用いて作品を制作することで、豊かな感性や創造性を育むことを目的とした利用が期待される。さらには、算数<sup>18)</sup>の学習内容(平行・直交・垂直)の重要性を実感する。

小学校高学年では、理科での利用が期待される。小学校学習指導要領理科編<sup>5)</sup>では、児童が主体的に問題解決を行う上で「自然の事象・現象に興味・関心」をもつことが前提として挙げられている。また、「学習効果を上げるには学習活動に積極的に根気強く取り組む必要がある。そして、意欲的な学習への取り組みには、学習への興味や知的的好奇心が不可欠である」<sup>19)</sup>とされている。主体的な学習の好き出し、学習の質を上げるためには、子どもたちの興味や知的な好奇心を引き出すことが重要である。模型を用いた活動の中では、「なぜ紙だけで製作した模型が動き出すのだろうか」という不思議さや、「紙だけでできた模型が本当にしっかりと歩行している」という意外性などにより、模型や模型の歩行原理について興味や知的な好奇心を引き出す。さらに、「もっと受動歩行模型について学んでみたい」という意見をもつ子どもや、家に持ち帰り歩行実験を行う子どもにみられるように、さらなる学習の意欲や自発的な学習へとつながることがわかる。小学校理科では、第3学年「風とゴムの力の働き」の中でエネルギーについての基本的な概念を学び、「物と重さ」の中で物質には重さがあることや形が変わっても重さが変わらないことなどについて学ぶ。そして、第5学年に「振り子の運動」、第6学年に「てこの原理」について学習する。模型を製作し歩行実験を行い、

模型の歩行原理について考察する中で、模型が電池等の動力源を持たないことから物には高さや重力によるエネルギーが存在することについて実感を持って理解することや、模型は左右の揺れを持続しながら歩行することから、振り子に関する学習（倒立振り子）が可能である。また、図9に示す3パターンの模型の状態に対して「この後、模型はどのように動くだろう」ということを考えることで、この原理を応用した学習が可能である。模型によって興味や知的好奇心に加え、学習への意欲を引き出すことを目的とした利用、または、学習内容を応用して考える活動を行うことを目的とした利用が期待される。

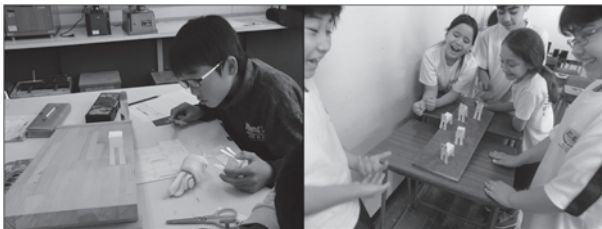


図7 小学生の探究活動の様子（左：模型の動作を観察する，右：競争させて遊ぶ）<sup>11)~13)</sup>

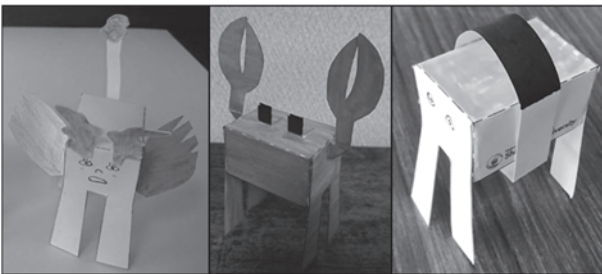


図8 制作した作品

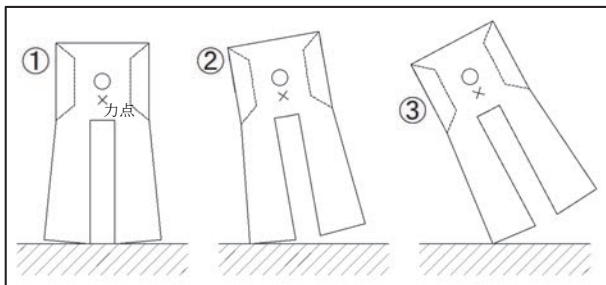


図9 模型の重心と傾き

### 3-3 中学校における利用方法

中学生の探究活動の様子を図10に示す。

中学校では、一体型模型に加え、製作の難易度が高い上肢下肢分離型紙製4足受動歩行模型の製作活動・探究活動が予想される。

中学校では、技術・家庭（技術分野）での利用を提案する。上肢下肢分離型紙製模型の製作工程を表2に示す。模型の製作では、はさみとのにに加え、穴あけポンチ・金づち・小刀・カッター・定規を使用するため、様々な道具の使用経験を含む教材である。様々な道具を使用した安全な加工方法、使用前後の点検・調整・手入れなどを学習すること、材料の成形等に関する新しい発想を養うことを目的とした利用が期待される。

また、中学校学習指導要領解説技術・家庭編<sup>20)</sup>では、A材料と加工の技術において、「材料や加工の特性等の原理・法則と、材料の製造・加工方法等の基礎的な技術の仕組みについて理解すること」や「身の回りの製品に利用されている材料の製造技術や加工技術」に関する学習活動が挙げ

られている。そこで、材料にアルミ缶を使用した模型製作を提案する。アルミ缶模型の製作工程を表3に示す。①切り開いたアルミ缶を平らにする工程⑦アルミ缶を折り曲げる工程では、弾性や塑性に関する学習が可能である。⑥カッターで切り込みをつけたアルミ缶を折り曲げて切断する工程では、金属の切断（加工硬化）の特性に関する学習が可能である。①で切り開いたアルミ缶を観察したり、厚さを測定したりする活動を通してアルミ缶の製造方法について学習することも予想される。金属の性質・加工法の学習や、アルミ缶に利用されている製造技術に関する学習を目的とした利用が期待される。

一体型模型、上肢下肢分離型模型、アルミ製模型の歩行実験や比較実験、歩行原理の探究によって、エネルギー変換の内容（位置エネルギーを運動エネルギーに変換）や、紙とアルミの性質の違い（密度・強度・摩擦）などの学習も可能である。



図10 中学生の探究活動の様子（左：模型の動作原理について班で話し合い考える，右：班ごと発表）  
(2016年5月19日，静岡大学教育学部附属静岡中学校（岩崎尚太，松永泰弘）)

表2 上肢下肢分離型4足受動歩行模型の製作工程表

①	ポンチと金づちを使って穴をあける。
②	カッターと定規を使ってスペーサーをつくる。
③	厚紙を切る。
④	厚紙を折り，上肢と下肢を組み立てる。
⑤	軸をつくる。
⑥	つまようじを切り，上肢に差し込む。
⑦	全ての部品を組み立てる。

表3 アルミ缶でつくる4足歩行模型の製作工程表

①	カッターとはさみを用いてアルミ缶を切り開く。
②	切り開いたアルミ缶をタオルではさみ，机の角にこすりつけて平らにする。
③	模型の設計図が印刷された紙を平らにしたアルミ缶に軽く貼る。
④	線と線の交点にポンチを打つ。
⑤	ポンチでつけた印に沿ってカッターで切り込みを入れる。
⑥	カッターの切り込みに沿って2, 3回折り曲げ，切り取る。
⑦	山折をするところに治具を当てて，直角に折り曲げる。
⑧	アルミテープで接着する。

### 3-4 高校における利用方法

高校生の探究活動の様子を図11に示す。

高等学校では、一体型模型を使用した製作活動・探究活動が予想される。

TIMSS2015<sup>21)</sup>の結果から、理科や数学が「役に立つ」、「楽しい」との回答が国際平均よりも低いことが明らかになった。そこで、高等学校理科<sup>21)</sup>・数学<sup>22)</sup>においても、観察・実験等を含む探究活動の充実が求められ、「探究活動の中で、観察・実験を通じて仮説を検証するために効果的な教



材の開発が重要」とされている。また、現在、「学力の3要素」を高等教育で確実に育成し、大学教育でさらなる伸長を図るため、高校教育・大学入試・大学教育に一貫性を持たせる「高大接続改革」<sup>23)</sup>が進められている。

高校では、物理において図12に示す実験ノートを使用した探究活動を提案する。実験ノートには、目的・仮説・実験条件を記述する欄を設け、見直しをもって観察・実験を行う。1回の実験結果のみによって評価することを防ぐため、歩行実験の欄に実験結果を記入する枠を5つ設け、5回の試行によって平均を求めることで評価することとした。歩行実験を記入する枠を2列設けることで2つの実験結果を比較することが可能となる。実験ノートを使用して活動を行うことで、研究の手法について学習する。実験条件の斜面の角度を決定する際には、タンジェント表から三角比を利用して求める。歩数と移動距離により、一步あたりに必要なエネルギーを算出し、エネルギー効率について考える。また、模型は表1に示す学習内容を含み、改良実験や歩行原理の探究などを行う中で、「位置エネルギーを動力として用いている」のように、学習内容との関連に気が付く。「科学と技術を駆使するとすごいものができることを実感しました」のように、学習内容を活用することで創造的なものを生み出すことができることに気が付くことができる。さらに、高校までの学習内容に加え、大学で学習する内容(倒立振り子・慣性モーメント・たわみ)についてふれることで、大学における学習に展望を持つこと



図11 高校生の探究活動の様子(左: 模型の製作, 右: 歩行実験)(2017年7月29日, 静岡大学教育学部オープンキャンパス(古田このみ, 松永泰弘))

紙製4足受動歩行模型 実験ノート						
年 組 番 名 前						
目的						
						ため。
仮説						
						と考えられる。
実験条件						
坂道の材質:	その他の条件(付属物, 足底の角度など):					
坂道の角度:						
歩行距離(歩数)						
変更条件	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
	( )	( )	( )	( )	( )	( )
	( )	( )	( )	( )	( )	( )
1歩あたりに必要なエネルギー:( ) J/歩						
コメント・考察(歩行の変化や気づいたことも書こう!)						

図12 紙製4足受動歩行模型用実験ノート

も期待される。

研究の手法の基礎を学習すること、学習内容が具体物に適用されていることに気づくことを目的とした学習活動、または、大学における学習に展望を持つことを目的とした利用が期待される。

#### 4. 上肢下肢分離型模型を用いたものづくり探究活動

上肢下肢分離型4足受動歩行模型は、一体型受動歩行模型の学習内容を補強する教材として開発した。模型は表2に示す製作工程によって製作する。様々な道具を使用するだけでなく、カッターで可動範囲の穴をあける細かい作業や、ポンチで軸・つまようじを刺す穴を正確に開ける高い巧緻性が求められる作業等が含まれるため、一体型模型よりも難易度が高い。そこで、小学校高学年・中学生を対象としたものづくり探究活動を実施し、小学生または中学生を対象とした製作活動が可能であるかを明らかにする。また、模型や模型を用いた活動の有効性についても明らかにする。

##### 4-1 活動の概要

ものづくり探究活動の概要を以下に示す。

【日 時】2018年6月23日13時~15時(120分)

【場 所】静岡大学教育学部附属浜松中学校

【授業者】大学教員, 大学院生及び大学生3名(著者ら)

【対 象】小学生7名(5年生1名, 6年生6名)

中学生32名(1年生15名, 2年生10名,

3年生7名) 計39名

静岡大学付属浜松中学校において開講された「トップガン課外講座」において、上肢下肢分離型紙製4足受動歩行模型(図2)を使用したものづくり探究活動を行った。講座の様子を図13に示す。講座の流れと各過程で期待される内容を以下に示す。

##### 【導入】

- ・驚きや不思議さを伴う教材の動画(形状記憶合金カー, 振り子時計, オートマタ, 紐を移動する木製模型, 木製受動歩行模型)を提示し, 製作への意欲を引き出す。
- ・製作する模型の動画を提示し, 製作物に対する興味関心を引き出す。

##### 【製作】

- ・児童生徒が各自で製作マニュアルを読み, 模型を製作する。
- ・模型を製作する中で, 製作者の工夫, 困難さ, 精度が要求されることに気づく。
- ・自分で製作できたことに達成感を感じる。

##### 【歩行実験】

- ・歩行実験を行う中で歩行原理を探究し, 新しい課題を発見する。
- ・より安定して歩行する模型を目指し改良実験を行う。
- ・上肢下肢間のスペーサー, 上肢の突出の役割を理解し, 設計者の工夫に気付く。



図13 講座における探究活動(左: 模型の製作, 右: 歩行実験)

【発表・まとめ】

- ・歩行実験からわかったことを児童生徒が発表する。
- ・倒立振り子と同じ原理である一輪車などを例に動作原理を解説する。
- ・上肢下肢間のスペーサー、上肢の突起の役割を解説する。

【家庭】

- ・家に模型を持ち帰ることで会話のきっかけとなり、模型の動作原理等について説明することで学びの再構築となる。

4-2 アンケート・ワークシート

講座で使用したアンケートとワークシートの項目を表4～6に示す。アンケートでは、模型や模型を用いた講座に対して4件法で回答する項目2)を、設定した。実践後の郵送により、アンケートは16名、ワークシートは5名から回収した。

アンケート項目2) ①～⑤からは、模型を用いた活動の

表4 ワークシートの項目

項目
1) 模型が歩行するために大切な要素(ポイント)についてわかったことを書いてみよう!
2) 模型の歩行の仕組みについてわかったことを書いてみよう!
3) 上肢下肢のスペーサー(幅1mmのストロー)はどのような役割を果たしているのかな? わかったことを書いてみよう!
4) 上肢の突起(つまようじ)はどのような役割を果たしているのかな? わかったことを書いてみよう!

表5 児童生徒対象のアンケート項目

項目
1) 模型は歩きましたか。 はい・いいえ
2) 最も当てはまると思うところに○をつけてください。 ① 授業は楽しかった。 ② 模型をつくることは楽しかった。 ③ 紙で歩く模型をつくることできることはおもしろい。 ④ 平面から立体の模型ができることはおもしろい。 ⑤ 模型が動くのはおもしろい。 ⑥ 模型を製作することは難しかった。 ⑦ 模型を歩行させるのは難しかった。 ⑧ 上肢下肢間のスペーサーの役割を理解することができた。 ⑨ 上肢に付属する突起の役割を理解することができた。 ⑩ 模型の動く仕組みを友達や家族に説明することができた。 ⑪ 受動歩行模型についてもっと学んでみたいと思う。
3) 授業の終了後、製作した模型を誰かに見せましたか? 当てはまるところに○をつけてください。複数回答可 保護者・きょうだい・友人・その他・見せていない
4) 模型を見せた時の相手の反応について詳しく教えてください。
5) 模型や授業に関する感想を自由に記述してください。(絵を描いてもいいよ!)

注: 項目2) については4件法(4とても思う, 3そう思う, 2あまり思わない, 1全く思わない)による回答

表6 保護者対象のアンケート項目

項目
1) 今回の講座を通して、ご家庭でどのような話をしましたか? また、その時のお子さんの様子はどのようなものでしたか?
2) お子さんに何か変化は見られましたでしょうか? 講座に対するご意見・ご感想とともに教えてください。

楽しさ・おもしろさについて分析し、⑥、⑦からは難しさについて分析する。⑧～⑩では、ワークシートの記述と照らし合わせ、歩行実験等によって上肢下肢間のスペーサー・上肢の突起・動作原理の理解について分析する。⑪では、模型を用いた活動による学習意欲について分析する。項目3)、4)では、講座終了後に模型を誰かに見せたか、見せた相手の反応がどのようなものであったかを明らかにし、児童生徒の自由記述の内容分析と照らし合わせ、講義終了後の児童生徒の様子、模型の特徴等を分析する。

また、講座終了後の保護者対象アンケート調査を行った。保護者アンケートからは、講座終了後の児童生徒との会話の内容、家庭における児童生徒の様子や変化について明らかにする。児童生徒対象のアンケートとワークシート、保護者対象のアンケートから、模型や模型を用いた活動の有効性を明らかにする。

5. 結果と考察

5-1 ワークシート

上肢下肢間のスペーサーの役割に関して、「スペーサーがある(ない)と上肢と下肢の接地面が減る(増える)」という記述がみられ、上肢の突起の役割に関して、「ねじれを制限し倒れないようにしている。上肢の突起がない(ある): 左右に揺れすぎて最後には倒れる(左右の揺れが安定し、スムーズに進む)」という記述がみられた。記述から、スペーサー・上肢の突起(つまようじ)がある場合とない場合でそれぞれ比較実験を行った様子や、比較実験の結果をまとめ、スペーサー・上肢の突起の役割を明らかにできていることがわかる。比較実験を行い、上肢下肢間のスペーサーや上肢の突起の役割に気づくことができたことが明らかになった。

5-2 児童生徒のアンケート

項目2)の集計結果を表7に示し、児童生徒のアンケートの記述内容と件数を表8に示す。項目①～⑤すべての平均値において3.50以上の結果が得られ、模型や模型を用いた活動は楽しい・おもしろいと感じられるものであったことがわかる。項目②「模型をつくることは楽しかった」に対し、すべての児童生徒が「とてもそう思う」と回答した。「模型をつくるのは楽しく」という記述が出現したことから、様々な工具を使用した模型の製作は特に楽しいと感じたことが予想される。項目④「紙で歩く模型をつくることできるのはおもしろい」に対して、ほぼすべての児童生徒が「とてもそう思う」と回答した。「紙で歩く模型ができたのでとても驚きました。」「模型はシンプルだったけど動く仕組みになっていたのすごかった。」などの記述が出現し、紙製かつシンプルな構造で歩行する模型が製作できるところに意外性を持ち、面白いと感じられる模型であることがわかる。

項目⑥「模型を製作することは難しかった」に対し、半数以上が肯定的な回答をしたことから、細かい作業や様々な工具の使用が含まれる製作活動は難しいことがわかる。項目⑦「模型を歩行させるのは難しかった」に対し、ほぼすべての児童生徒が肯定的な回答をし、平均値は3.31であった。児童生徒の中には、線に沿って切れていなかったり、正確な寸法でつまようじを突起させていなかったり、模型が歩行せずに修正を繰り返す様子が見られたことから、模型を歩行させる過程はより難しいものであったことがわかる。しかし、項目1)「模型は歩きましたか」に対して全ての児童生徒が「はい」と回答したことから、小学校高学年・中学生を対象とした製作活動が可能であることが予想される。

項目⑧～⑩に対して、ほぼすべての児童生徒が肯定的な

回答をし、平均値は3.0以上の結果が得られた。自由記述には、上肢下肢間のスペーサーや上肢の突出の役割について考えたことで「ものには意味があるということ改めて感じました」「たくさんの工夫がありすごいと思った」という記述が出現し、模型に含まれる工夫点に目を向けさせることができたことがわかる。

表7 4件法による質問項目の集計結果

項目	平均値	SD
①授業は楽しかった。	3.94	0.24
②模型をつくることは楽しかった。	4.00	0.00
③紙で歩く模型をつくることできることはおもしろい。	3.93	0.26
④平面から立体の模型ができることはおもしろい。	3.50	0.50
⑤模型が動くのはおもしろい。	3.94	0.24
⑥模型の製作は難しかった。	2.50	0.73
⑦模型を歩行させるのは難しかった。	3.31	0.85
⑧上肢下肢間のスペーサーの役割を理解することができた。	3.56	0.61
⑨上肢に付属する突出の役割を理解することができた。	3.56	0.61
⑩模型の動く仕組みを友達や家族に説明することができた。	3.31	0.85
⑪受動歩行模型についてもっと学んでみたいと思う。	3.44	0.61

表8 児童生徒のアンケートの記述内容と件数

記述内容	件数
つくるのが楽しい:「模型をつくるのは楽しく」「また、製作も楽しかったです。」	3
驚き・すごい:「紙で作ったロボットなんてしっかり動くのかと思っていましたが、本当に作ってみると、しっかり動いて、歩いて行ったので、本当にびっくりしました。」「紙で歩く模型ができたので、本当にびっくりしました。」	3
模型の工夫点(スペーサー・上肢の突出等): 「先生方がスペーサーの役割や突出の役割を詳しく教えてくださったので、ものには意味があるということ改めて感じました。」「歩くだけの模型でも、たくさんの工夫がありすごいと思った。」	2
またつくりたい:「残りもまたつくってみたいと思っています。」「また模型をつくってみたい。」	2

表9 講座終了後に模型を見せた相手

項目	回答数
保護者	16
きょうだい	9
友人	0
見せていない	0

表10 項目4)「模型を見せた時の相手の反応について詳しく教えてください」の記述内容と件数

記述内容	件数
楽しい・おもしろい:「面白がって遊んでいた。」「とても楽しんでいた。(弟)」「すごい面白かった。とても面白がっていたと思う。」	7
気になる・知りたい:「なぜ走るのかを詳しく知りたがっていた。」「仕組みが気になっていた。」	2
つくりたい:「お父さんとお母さんがつくりたいと言っていました。」「にこにこしていた。つくりたがっていた。」	2
教えた・説明した:「ロボットの仕組みがわからなそうだったので教えてあげました。」「説明すると感心しておもしろいと言っていました。」	2

項目⑪「受動歩行模型についてもっと学んでみたいと思う」に対して、ほぼすべての児童生徒が肯定的な回答を示した。また、「また模型をつくってみたい」などの記述が出現したことから、学習意欲や製作意欲が引き出されたことがわかる。

項目3)の集計結果を表9に示し、項目4)の記述内容と件数を表10に示す。表9から、すべての児童生徒が保護者に模型を見せ、9名がきょうだいにも見せたことがわかる。「とても楽しんでいた」「すごい面白かった」という記述が出現し、保護者も楽しい・おもしろいと感じる模型であることがわかる。「なぜ走るのかを詳しく知りたがっていた」「つくりたがっていた」などの記述から、保護者が模型に興味を示していることがわかり、家庭を巻き込んだ学習につながることを期待される。「ロボットの仕組みがわからなそうだったので教えてあげました」などの記述から、講座で学んだことなどを説明したことがわかり、学びの再構築が期待される。

### 5-3 保護者のアンケート

保護者アンケートの記述内容と件数を表11に示す。講座終了後の家庭における会話の内容について、模型の動く仕組みについて話した子どもが最も多く、「振り子の原理を利用して進むと説明してくれました」という記述からは、講座の中で学習したことを話したことがわかる。また、「ラキュー(知育玩具立体ブロック)でロボットを作って実際に動かして教えてくれました。」「比較的わかりやすい言葉で説明してくれました。」という記述がみられ、工夫して相

表11 保護者アンケートの記述内容と件数

記述内容	件数
模型の歩行の仕組み:「人が動くのと同じように揺れることで振り子の原理を利用して進むと説明してくれました。」「口で説明するのが、少し難しくなってしまうから…とラキュー(知育玩具立体ブロック)でロボットを作って実際に動かして教えてくれた。(これがすごかったです。)」	8
製作過程・製作方法:「用紙の切り方まで教えてくれました。」「今回製作したものを子どもに聞きながら、家族で製作しました。家族でどうしたらもっと長い距離を歩くようになるのか話し合いをしたりしました。」	3
歩行に関する内容:「人間の歩行との違い共通点など。」	1
部品の役割:「部品の役割、紙製歩行ロボットの歩行の仕組み等詳しく話を聞かせてくれました。」	1
脚部の変形:「脚部の反り返りが必要なことなどを説明する様子は少し誇らしげでした。」	1
歩行実験の様子:「つくった後の歩行実験時の様子」	1
楽しそう:「帰りの車の中で「模型の用紙があるから家へ帰ってつくろう!」と楽しそうに話していました。」「予備でいただいたものをまた新たに製作をし、楽しそうに行っていました。」	7
実験的内容:「坂道を段ボールで作り、何度も角度を調節したり、歩かせる面を少し滑りやすくして動かしてみたり、途中で倒れるとロボットを調節したり、家庭でも熱心に取り組んでいました。」「形状をこうしたらもっと早く動作するのか、もっと滑らかに動くのかと、工夫する様子が見られ、大変頼もしく感じました。」	6
大事:「帰宅してからは大事そうにいつまでもロボットで遊んでいました。」	1
誇らしげ:「説明する様子は少し誇らしげでした。」	1
満足そう:「いろいろなことがわかってとても満足そうでした。」	1



手に伝えていたことがわかる。他者に説明することによって、学びの再構築が期待される。

さらに、「家族で、どうしたらもっと長い距離を歩くようになるのか話し合いをした」という記述が出現し、家族で模型を製作し、共に考え、話し合いをした様子がわかる。家に持ち帰ることで、家庭を巻き込んだ学習につながるということが予想される。

講座終了後の家庭における児童生徒の様子について、「楽しそう」という言葉を含む記述が最も多く7件みられた。楽しそうに話をしていく様子、楽しそうに製作や実験を行っていた様子が記述され、模型や模型を用いた活動は楽しいと感じられるものであったことがわかる。話をする児童生徒の姿については、「楽しそう」に加え「誇らしげ」「満足そう」という言葉も出現し、模型を用いた活動は肯定的な感情を多く引き出したことがわかる。また、家庭において実験を行った児童生徒の様子を含む記述は6件みられ、斜面の角度・斜面の材質・足底の角度に関する実験を行っていたことがわかる。模型は、知的好奇心や自発的な学習を引き出す教材と言える。さらに、「帰宅してからは大事そうにいつまでもロボットで遊んでいました。」という記述がみられ、自分で製作した模型に愛着を持ったことがわかる。

## 6. 結言

本研究では、紙製4足受動歩行模型の幼稚園・小学校・中学校・高校・大学での学習内容や利用方法について明らかにした。また、上肢下肢分離型模型を用いたものづくり探究活動の分析から模型と模型を用いた活動の有効性について検討した。

- ・ 幼稚園では、製作に関する基礎的な技能を習得すること、豊かな感性を育むこと、科学的内容を感覚的に理解することを目的とした利用(製作活動)が可能である。
- ・ 小学校低学年では生活科において、遊びを通して学習する活動により、子どもたちを円滑に小学校教育に適応させることを目的とした利用、または、中学年以降の学習を感覚的に理解すること、理科における見方・考え方を養うことを目的とした利用が期待される。
- ・ 小学校中学年では図画工作において、豊かな感性や創造性を育むこと、算数の学習内容(平行・垂直・直行)の重要性を実感することを目的とした利用が期待される。
- ・ 小学校高学年では理科において、模型によって興味や知的好奇心、学習への意欲を引き出すことを目的とした利用、または、学習内容を応用して考える活動を行うことを目的とした利用が期待される。
- ・ 中学校技術・家庭(技術分野)において、様々な道具を使用した安全な加工方法、使用前後の点検・調整・手入れなどを学習すること、材料の成形等に関する新しい発想を養うことを目的とした利用が期待される。
- ・ 中学校技術・家庭(技術分野)において、金属の性質・加工法の学習や、アルミ缶に利用されている製造技術に関する学習を目的とした利用が期待される。
- ・ 高等学校理科において、研究の手法の基礎を学習すること、学習内容が具体物に活用されていることに気づくことを目的とした学習活動、または、大学における学習に展望を持つことを目的とした利用が期待される。
- ・ 上肢下肢分離型模型は人に見せなくなる、話したくなるものであり、多くの児童生徒が家庭において、模型の歩行原理等について話している。家族で模型を製作し、共に考えることで、家庭を巻き込んだ学習となる。家庭において足底の角度、斜面の角度や斜面の材質に関する歩行実験を行ったことから、講座の内容は児童生徒

の知的好奇心や自発的な学習を引き出した。学びの再構築が期待される。

- ・ 模型や模型を用いた活動は、「楽しい」「誇らしげ」「満足そう」などの肯定的な感情を引き出す。
- ・ 自分で製作したことにより、模型に愛着を持つ。
- ・ 上肢下肢分離型模型の製作難易度は小学校高学年・中学生に適しており、教材として利用可能であることが明らかになった。

本研究は平成30年度科学研究費補助金(課題番号:18K02933)、公益財団法人日本教育公務員弘済会平成30年度日教弘本部奨励金、公益財団法人マツダ財団助成金の援助による。

## 参考文献

- 1) 国立教育政策研究所:社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則(2013)  
<https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/Houkokusho-5.pdf>
- 2) 文部科学省:Society5.0にむけた人材育~社会が変わる、学びが変わる~(2018)  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/society/index.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/society/index.htm)
- 3) 文部科学省:PISA調査、TIMSS調査の結果分析(中間まとめ)(課題と改善の方向 主なポイント)(2005)
- 4) 文部科学省:次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめのポイント(2017)
- 5) 文部科学省:小学校学習指導要領解説理科編(2017)
- 6) 文部科学省:小学校学習指導要領解説図画工作編(2017)
- 7) 松永泰弘・中村玄輝・倉田麻美子:教材用2足前後型受動歩行模型に関する研究,日本産業技術教育学会誌,第52巻,第2号,pp.81-86(2010)
- 8) 松永泰弘・渡邊綾:脚部に丸棒を用いた4足受動歩行模型の開発,第30回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集,pp.9-12(2012)
- 9) 松永泰弘・前田耕典:みらい創造科教材としての紙製4足受動歩行模型の開発,静岡大学教育学部研究報告(人文・社会・自然科学篇),第65号,pp.165-179(2015)
- 10) 松永泰弘・古田このみ:上肢下肢をもつ紙製4足受動歩行模型教材に関する研究,第33回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集,pp.113-116(2015)
- 11) 松永泰弘・古田このみ:こども園における動くおもちゃものづくりー幼児の助けで目的の行為をつくりあげ幼児の感情を引き出す動くおもちゃー,第34回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集,pp.25-28(2016)
- 12) 松永泰弘・古田このみ:紙製4足受動歩行模型を用いたものづくり探究活動に関する研究,第61回日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集,p.131(2018)
- 13) 松永泰弘・澤瀬翔・八木涼・山崎智志:小学校図画工作における動くおもちゃものづくりの授業実践,第61回日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集,p.130(2018)
- 14) 文部科学省:幼児期運動指針(2014)
- 15) 文部科学省:幼稚園教育要領(2017)
- 16) 国立教育政策研究所:発達や学びをつなぐスタートカリキュラム(2017)  
[https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/startcurriculum\\_180322.pdf](https://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/startcurriculum_180322.pdf)
- 17) 文部科学省:小学校学習指導要領解説生活編(2017)
- 18) 文部科学省:小学校学習指導要領解説算数編(2017)
- 19) 柴山直・小嶋妙子:児童の学習意欲に関する研究ー自



己効力感との関連について－,新潟大学教育人間科学部紀要,第9巻,第1号,pp.37-52(2006)

- 20) 文部科学省:中学校学習指導要領解説技術・家庭編(2017)
- 21) 文部科学省:高等学校学習指導要領解説理科編(2018)
- 22) 文部科学省:高等学校学習指導要領解説数学編(2018)
- 23) 文部科学省:高大接続改革の動向について(2017)  
[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/educatio](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/educatio)

n/detail/\_icsFiles/afieldfile/2017/02/15/1381780\_3.pdf

注) URL の最終アクセス日:2018年9月5日

【連絡先 松永 泰弘

E-mail:matsunaga.yasuhiro@shizuoka.ac.jp】

# **Implementation of Activities on Making the Quadrupedal Passive Walking Paper Toys and Analysis of Inquiry Activities**

Konomi Furuta<sup>1</sup> and Yasuhiro Matsunaga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Education, Shizuoka University

<sup>2</sup> Faculty of Education, Shizuoka University

## **ABSTRACT**

We had developed the quadrupedal passive walking paper toys as teaching materials for the manufacturing, technology, science and mathematics classes in schools: kindergarten, elementary school, junior high school and university. Now, we have developed the quadrupedal passive walking paper toys separated to upper and lower bodies as a newest toy which makes up for the learning contents of the former toys. It keeps walking with the bodies' torsion. It is important that the teachers understand the both of the learning contents and how to make use of or use the toy for the students' inquiry activities. In this paper, we suppose to research inquiry activities using the quadrupedal passive walking paper toys. Furthermore, we will analyze the educational effects of the quadrupedal passive walking paper toy separated upper and lower bodies on making and inquiry activities.

## **Keywords**

Passive Walking Toy, Manufacturing, Inquiry Activities, Quadrupedal Walking, Upper and Lower Bodies, Torsion