

基本運動にみられる物理学的な教育的指導

増井壮太

(奈良教育大学大学院 教科教育専攻 理科教育専修)

坂本萌

(大阪府立柴島高等学校)

後藤瑞紀

(株式会社 ティスメ)

立正伸

(奈良教育大学 保健体育講座 (運動学))

中村元彦

(奈良教育大学 理科教育講座 (物理学))

Physical Educational Guidance in Basic Movements

Sota MASUI

(Graduate School of Education, Nara University of Education)

Moe SAKAMOTO

(Osaka Prefectural Kunijima High School)

Mizuki GOTO

(TSME Company)

Masanobu TACHI

(Department of Physical Education, Nara University of Education)

Motohiko NAKAMURA

(Department of Physics, Nara University of Education)

要旨: 今回奈良教育大学の学生 35 名を対象に、身体の基本的な仕組みや運動に着目し、人間のある動作が可能かどうか、もし不可能ならばその理由はなぜかを考える問題を 5 問出題した。その結果、身体の動作や仕組みについて物理学概念を抽出し、概ね正しく考えられている学生は約半数であった。また、全問正答できた学生はおらず、将来理科の教員を目指している学生であっても多くの素朴概念をもっていることが明らかとなった。そこで本研究では、実際に実験装置を用いて運動を測定・分析し、物理的に考察した例を二つ示す。理科や体育の授業、部活動などにおいて、身体運動における物理学的な概念を取り入れた説明を行うことで、生徒の物理学の学習にも効果が期待できるだけでなく、自ら実際に運動を測定・分析し、物理的に考察することで、物理的な知識を身につけるとともに、生徒の論理力や思考力を鍛えることにもつながると考えられる。

キーワード: 物理学概念 Physics concept
身体運動 Physical movement
素朴概念 Rustic concept

1. はじめに

奈良教育大学の理科教育物理学分野の卒業研究テーマに、できることなら部活動に関することを選択したがる学生が少なからず存在する。身体運動やボールなどの運動は様々な条件で変化する複雑な現象であるが、学生にとって身近な現象かつ興味のある現象である。ここに着目し、高等学校において部活動という既成実体験から物理学概念を抽出し活用することは、物理学の学習に効果があること

を示す研究が報告されている⁽¹⁾。

小学校、中学校において、物理学の内容を理解する過程は、日常生活の中で獲得してきた児童生徒自身の合理性を伴った素朴概念を修正または補足して科学的概念に変容させる過程であるとされる⁽²⁾。そうであれば、その過程において、出来る限り一貫した飛躍の少ない理解しやすい形で表現、そして理解するための論理力⁽³⁾、ブレーンストーミング、物理学では仮説実験授業のような自由とひらめきや飛躍を本質とする思考力⁽³⁾や直感力をはじめとする児童生徒の今後の生活に役立つと考えられる様々な能力を

育むことが期待される⁽⁴⁾。

一方、平成 13 年度学習課程実施状況では、個別の問題に適切に回答できたとしても、状況や場面が変わると不適切な考えになることが問題とされた⁽⁵⁾。さらに、児童生徒にとって、物理学と数学との文脈依存性がないこと⁽⁶⁾、今学習している内容と大学または社会との文脈依存性がないこと⁽⁷⁾も問題として提起されている。

2017～2018 年度の理科教育演習Ⅱの受講生 24 名に対して、身体の基本的な仕組みや運動に着目し、物理学概念を抽出できるかどうか聞いたところ、物理学概念を抽出できない学生が多く、物理学的に無理な動作であるにも関わらず、何度も挑戦し続ける、まだ鍛え足りていないと考える等、様々な反応があった。

そこで本論文では、まず奈良教育大学で理科の教員を目指す学生を対象に、身体の基本的な仕組みや運動に着目して、物理学概念を抽出できるかを問う問題を出題した。その結果をもとに問題点を明らかにし、その理由について考察した。そして、そこから見えてきた問題点を解決する方法として、実際に実験装置を用いて運動を測定・分析し、物理的に考察した実践例を二つ示し、それらを通して身に付く力について考察することを目的とした。

2. 調査方法

2. 1. 調査対象

調査対象は 2019 年度に奈良教育大学の物理学概論Ⅱの授業を受講し、この研究に承諾してくれた 35 名（うち男性 16 名、女性 19 名）の回答を分析データとした。

2. 2. 調査日時

2019 年 10 月 17 日（木）物理学概論Ⅱ

2. 3. 調査内容

身体の基本的な仕組みや運動に着目し、人間のある動作が可能かどうか、もし不可能ならばその理由はなぜかを考える問題を、イラストを提示しながら 5 問出題した。問題内容はそれぞれ以下の通りである。

- (1) 背中、お尻、かかとを壁につけた状態で立ち、90° お辞儀をすることは可能か。
- (2) 片腕、腰の側面、片足の側面を壁につけた状態で立ち、もう一方の足を横に開いてその姿勢をキープすることは可能か。
- (3) 椅子に深く腰かけ、足を 10 cm 程度前に出した状態で椅子から立ち上がることは可能か。
- (4) 椅子に深く腰かけ、おでこを頭がこれ以上前に出ない程度の力で押さえられた状態で椅子から立ち上がることは可能か。
- (5) 両足が地面についている状態と比較した時に、片足でつま先立ちをするとアキレス腱が切れやすくなる理

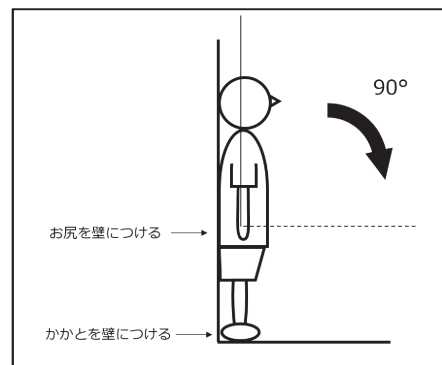
由はなにか。

全 5 問に対し、以下の 6 つの選択肢から当てはまるものを選択してもらった。（複数回答可）

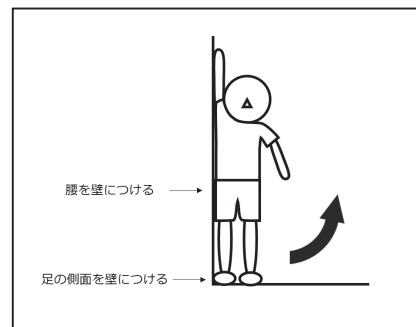
- ・「努力が足りない」、「根性がない」、「私ならできる」の基本的には可能であるという選択肢
- ・「生物学的に考える」、「物理学的に考える」、「その他」の不可能な理由を述べる選択肢

出題した問題のイラストはそれぞれ以下の通りである。イラストは文献^{(8),(9)}を参考にした。

- (1) 背中を壁につけて立ち、お辞儀をする



- (2) 身体の側面を壁につけて立ち、片足をあげる



- (3) 足を少し前に出した状態で、椅子から立ち上がる



(4) おでこを指で押さえられたまま椅子から立ち上がる



(5) 片足でつま先立ちをすると、アキレス腱が切れやすくなる理由



期待する模範解答は以下の通りである。説明にある支持基底面とは、重力によって圧力を感じることができる身体表面とその間にできる底面のことである。

- (1) 「物理学的に考える」
 身体の重心の位置が支持基底面からずれるため、力のモーメントを考えると前に倒れるので不可能。
- (2) 「物理学的に考える」
 身体の重心の位置が支持基底面からずれるため、力のモーメントを考えると身体が壁から離れてしまうので不可能。
- (3) 「物理学的に考える」
 椅子から腰を浮かせた瞬間、支持基底面は足と床との接着面積のみとなり、重心の位置から離れているので基本的には不可能。しかし、勢いをつけてバランスを崩す前に身体の重心位置を支持基底面上に持って行くことができれば可能。
- (4) 「物理学的に考える」
 椅子から腰を浮かせた瞬間、支持基底面は足と床との接着面積のみとなり、おでこを押さえられているので重心の位置を前にずらすことができないので不可能。
- (5) 「物理学的に考える」
 足にてこの原理を適用し、つま先（地面と接している点）を支点と考える。つま先から足関節までの水平

距離が、足関節からアキレス腱の付着までの水平距離の2倍だとすると、アキレス腱はたらく張力は体重の2倍となり、両足地面についている状態に比べて切れやすくなる⁽⁹⁾。

3. 調査結果、考察

3. 1. 調査結果

表1に調査結果を示す。

表1 調査結果

	(1)	%	(2)	%	(3)	%	(4)	%	(5)	%
努力が足りない	12	31.6	2	5.7	6	17.6	2	5.9	2	6.5
根性がない	1	2.6	3	8.6	2	5.9	2	5.9	0	0.0
私ならできる	0	0.0	0	0.0	16	47.1	6	17.6	4	12.9
生物学的に考える	6	15.8	3	8.6	1	2.9	4	11.8	13	41.9
物理学的に考える	16	42.1	23	65.7	7	20.6	18	52.9	5	16.1
その他	3	7.9	4	11.4	2	5.9	2	5.9	7	22.6
計	38		35		34		34		31	

「(1) 背中を壁につけて立ち、お辞儀をする」では、「物理学的に考える (42.1%)」および「努力が足りない (31.6%)」と回答した学生が多かった。

「(2) 身体の側面を壁につけて立ち、片足をあげる」では、「物理学的に考える (65.7%)」と回答した学生が多かった。

「(3) 足を少し前に出した状態で、椅子から立ち上がる」では、「私ならできる (47.1%)」と回答した生徒が多かった。

「(4) おでこを指で押さえられたまま、椅子から立ち上がる」では、「物理的に考える (52.9%)」と回答した生徒が多かった。

「(5) 片足でつま先立ちをすると、アキレス腱が切れやすくなる理由」では、「生物学的に考える (41.9%)」と回答した学生が多かった。

したがって、それぞれの問題に対して「物理学的に考える」以外の回答をした学生の割合は、(1) 60.5%、(2) 37.1%、(3) 85.3%、(4) 50.0%、(5) 87.1%となり、物理学的概念である重心や力のモーメント、てこの原理などに紐づけられていない学生が多いことがわかった。

また、全問を正しく物理的観点から説明できている学生はいなかった。全問不正解だった学生は13名 (37.1%)、問題によって正答している学生は18名 (51.4%)、(5) 以外正答できた学生は4名 (11.4%) という結果になった。

3. 2. 考察

今回の問題の中で特に物理学的に考えられた学生が少なかった項目は「(3) 足を少し前に出した状態で、椅子から立ち上がる」及び「(5) 片足でつま先立ちをすると、アキレス

腱が切れやすくなる理由」であった。問 (3) に関して、椅子から立ち上がった瞬間、支持基底面は足の裏のみであり、体の重心位置がその範囲に入っていないので基本的には立ち上がることはできない。しかし今回、「私ならできると」回答した学生が約半数になった理由としては、経験則として足を前に出しても勢いを付ければ身体が後ろに倒れる前に支持基底面上に重心をもってくることができ、立ち上がるができると思った学生が多かったのではないかと考えられる。また、問 (5) に関して、つま先立ちした時の足に着目し、てこの原理で考えるとアキレス腱に自分の体重の約二倍の張力がはたらくということがわかる。しかし今回、この問いに正答できた学生がいなかった一番大きな理由としては、身体運動をてこの原理を用いて考えるという発想がなかったのではないかと考えられる。てこの原理とは理科の授業の話であって、身体とは関係がないと考えてしまっているのではないだろうか。

物理学の内容を学習するとき、身近な現象を取り上げると児童生徒にはわかりやすい。例えば、小学校 6 年生で学習する「てこの原理」では、シーソーやくぎ抜き、ハサミなどがある。そこで身体運動にも着目し、ある動作を行う際に物理学的概念である重心や力のモーメント、てこの原理などに紐づけて学習することは、物理学概念の抽出に効果的なのではないかと考えられる。

続いて、今回の調査対象者の中には理科教育専修で中等教育を専攻している学生 (17 名) と、初等教育を専攻している学生 (15 名) がおり、志望している校種の違いによる物理学概念の習得度合いの差を調べるため、調査結果を比較した。表 2 に結果を示す。

表 2 調査結果 (中等と初等の比較)

	(1)				(2)			
	初	%	中	%	初	%	中	%
努力が足りない	6	40.0	6	35.3	2	13.3	0	0.0
根性がない	0	0.0	1	5.9	0	0.0	3	18.8
私ならできる	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
生物学的に考える	1	6.7	3	17.6	1	6.7	2	12.5
物理学的に考える	7	46.7	7	41.2	12	80.0	10	62.5
その他	1	6.7	0	0.0	0	0.0	1	6.3
計	15		17		15		16	

	(3)		(4)		(5)		
	初	%	初	%	初	%	
2	13.3	4	25.0	2	13.3	0	0.0
2	13.3	0	0.0	1	6.7	1	6.3
3	20.0	12	75.0	2	13.3	3	18.8
1	6.7	0	0.0	0	0.0	3	18.8
7	46.7	0	0.0	10	66.7	8	50.0
0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	6.3
15		16		15		16	

「物理学的に考える」という項目において、中等教育を専攻している学生と初等教育を専攻している学生の差が顕著に表れたのは、「(3) 足を少し前に出した状態で、椅子から立ち上がる」(初: 46.7%、中: 0.0%) であり、カイ二乗検定 (有意水準 5%) より、この問題に関しては初等教育を専攻している学生の方が中等教育を専攻している学生よりも有意に物理的観点から説明できていることがわかった。しかし、「(1) 背中を壁につけて立ち、お辞儀をする」、「(2) 身体の側面を壁につけて立ち、片足をあげる」、「(4) おでこを指で押さえられたまま、椅子から立ち上がる」、「(5) 片足でつま先立ちをすると、アキレス腱が切れやすくなる理由」ではカイ二乗検定 (有意水準 5%) より中等教育を専攻している学生と初等教育を専攻している学生との間に有意な差は見られなかった。

また、問 (5) 以外正答できた学生はカイ二乗検定 (有意水準 5%) より初等教育を専攻している学生の方が有意に多く、全問不正解だった学生は中等教育を専攻している学生の方が有意に多かった。全体を通して初等教育を専攻している学生の方が物理的観点から説明できている傾向にあるという結果になった理由として、初等教育を専攻している学生は小学生が理解できるように説明しようと日々模索しているため、身近なものを使って説明できる能力が優れていると考えられる。しかし、今回対象人数が少ないこともあり、一般的に同じことが言えるわけではない可能性がある。

4. 身体運動の物理学概念抽出

今回のアンケート調査によって、身体の動作や仕組みについて物理学概念を抽出し、概ね正しく考えられている学生は約半数であることが判明した。また、正しく考えられていない学生の中には、物理学的に不可能な動作であるにも関わらず、努力が足りていない、根性がないと考える者も少なくはない。このような問題に対し、素朴概念を修正する方法として、文献¹⁾では物理学実験の代わりに部活動を利用することを提案している。部活動で得た素朴概念は、物理およびシミュレーションを用いて分析することで、間違いであるという判定が出るので修正可能であるということが示唆されている。しかし、ただ物理の法則やシミュレーションを用いて説明されただけだと、実践の中で説明と異なる結果になった場合、どう解釈して良いかわからなくなってしまう可能性がある。アンケートの結果を踏まえて、本当の意味で素朴概念を修正するには、実際に自分で物理的および科学的根拠にのっとって測定や分析、考察を行うことが効果的ではないかと考えられる。自ら行った測定から得られたデータを物理的に分析・考察することで、自分の中にある素朴概念のどこが間違っているのかを理解することができる。また、その考察の過程において、物理的な知識を身につけるとともに、論理力や思考力を養うことにもつながると考えられる。

そこで、実際に実験装置を用いて運動を測定・分析し、物理的に考察した例を二つ示す。一つ目は、バスケットボールのディフェンスにおけるサイドステップを行う際に怪我が多いことに注目し、どのような身体の使い方をすれば怪我を未然に防げるかを研究したものである。サイドステップとは、横方向へ足を交差させずに移動するステップのことである。二つ目は、助走を伴うジャンプの踏切動作が跳躍高にどのような影響を与えるかを研究したものである。

一つ目の実験概要と明らかになったことを示す。まず8名の対象者に対し、人体セグメントに基づいて設計されたHelen Hayes Markerset (Kadaba 1990) に従って、体の29箇所に赤外線反射マーカーを貼り付けた。

サイドステップで進んでいき、ある地点を通るとブザーが鳴り、前方に設置したスクリーンに進行方向に対して60°、90°、120°の方向に進む指示が出るので、その指示に従って方向転換を行い、サイドステップを続ける。方向変換を行う地点に床反力計(9286B Kistler社製)を設置した。また、方向転換の様子を8台のリアルタイム光学式モーションキャプチャシステムMAC3D System (motion analysis社製)であらゆる角度から撮影し、物理量として、重心移動速度や方向変換時の関節角度、動作時間等を測定した。撮影した映像の解析には3次元動作分析ソフト(Cortex-64 5.5.0 motion analysis社製)を用いた。実験設定を上から模式的に表したものを図1に示す。

女子バスケットボール選手に多く発生する代表的な外傷として膝前十字靭帯損傷があり、この怪我が起こる原因の一つとして動作中の膝がより外反するということが言われている。外反とは、前額面(正面から見た状態)での関節の動きのうち、膝が内側に入っている状態のことである。今回明らかになったこととして、変換する方向があらかじめ分かっている場合より、動作中にランダムな指示をされる場合に、より膝関節内外反角度が大きくなったということである。

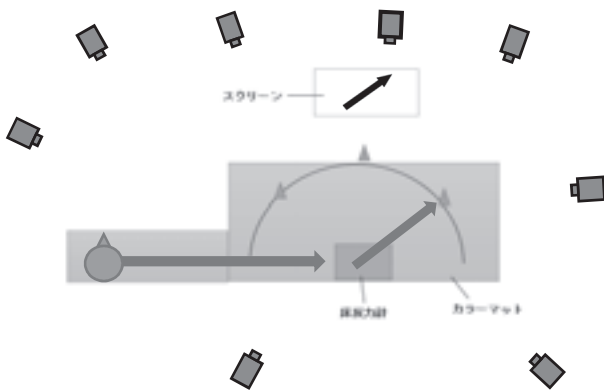


図1 実験設定の模式図

ここで、客観的に考察するために統計処理を行った。接地時の膝関節内外反角に関して、変換する方向があらかじめ分かっている場合(予測)と動作中にランダムな指示をされる場合(非予測)の変換角度が90°、120°の時の比較を図2に示す。図中の†は1%の有意水準で差が認められたことを示している。

このことから、練習時から動きの予測できない相手に対するディフェンスを行う際に、膝が外反しすぎないように意識し、癖付けを行うことで怪我の未然防止につながる可能性が物理的に示唆された。

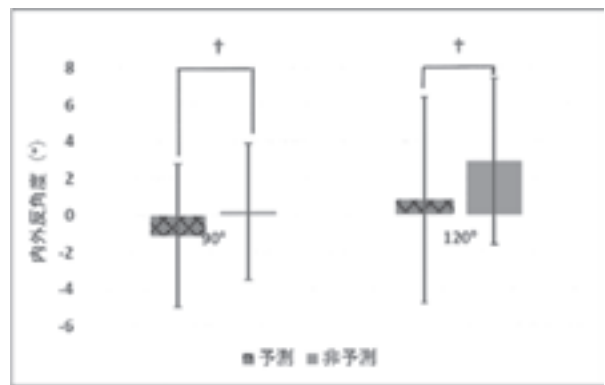


図2 接地時の膝関節内外反角に関する予測と非予測の比較(変換角度90°、120°)

続いて二つ目の実験概要と明らかになったことを示す。まず11名の対象者に対し、二歩の助走から三種類の踏切(片脚で接地し同一の脚で離地する片脚踏切、片脚で接地しその脚が離地する前にもう片方の脚を接地させ両脚同時に離地する両脚踏切I、両脚同時に接地し両脚同時に離地する両脚踏切II)を行ってもらい、その様子を一つ目の実験と同じ装置を用いて撮影し、物理量として、重心移動速度や力積、体幹、踏切角度等を測定した。実験設定を上から模式的に表したものを図3に示す。



図3 実験設定の模式図

また、片脚踏切の様子を図4-1に、両脚踏切Iの様子を図4-2に、両脚踏切IIの様子を図4-3に示す。



図 4-1 片脚踏切

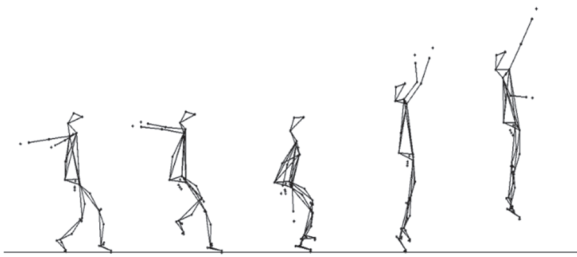


図 4-2 両脚踏切 I

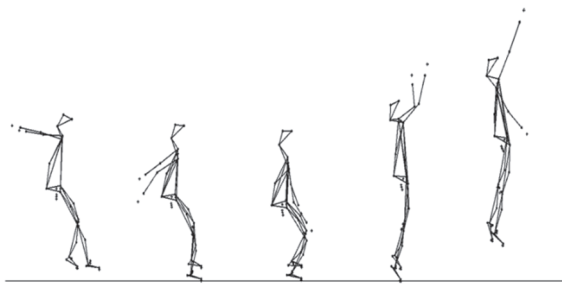


図 4-3 両脚踏切 II

ここで、客観的に考察するために統計処理を行った。片脚踏切と両脚踏切の違いに注目すると、踏切局面における鉛直方向の力積は片脚踏切よりも両脚踏切の方が有意に大きかった。また、踏切脚の離地時における鉛直方向の身体重心速度は片脚踏切よりも両脚踏切の方が有意に大きかった。一般的に跳躍高を高くするには踏切脚の鉛直方向の力積を大きくし、踏切脚が離地する瞬間の鉛直方向の身体重心速度を増加させれば良いとされている。しかし、今回の片脚踏切の方が両脚踏切よりも跳躍高が高いという結果から、跳躍高が必ずしも鉛直方向の力積の大小のみで決定されるものではないといえる。ここで、運動量と力積の関係のみを念頭に置いてしまうと、物理学の法則の否定につながる恐れがある。そこで他の項目を見てみると、離地時の身体重心位置は両脚踏切よりも片脚踏切の方が有意に大きかった。踏切脚が離地する瞬間に高い位置に身体重心位置があることは跳躍高を得るために有利である。また、踏切脚の踏込角度は両脚踏切よりも片脚踏切の方が有意に大きかった。踏切脚の踏込角度を小さくして接地させることによって、踏切前のプレーキング動作を少なくし、接地時の進行方向の身体重心速度を大きくすることができる、すなわち助走速度をあまり低下させずに踏切へ移行

できるので、跳躍高を高くすることができると考えられる。しかし、鉛直方向の力積及び身体重心速度は両脚踏切の方が片脚踏切よりも有意に大きかったので、助走による水平方向の力が跳躍高を得るための鉛直方向の力積の獲得につながったとはいえない。そのため、片脚踏切は離地時の身体重心位置を大きくできる点において両脚踏切よりも有利であるから、跳躍高を大きくすることができたことが明らかとなった。

一般的に、力学・解剖学・生理学を用いて身体の動きを解明しようという領域はスポーツバイオメカニクスと呼ばれており、保健体育教育の研究分野に位置づけられている。そのため、理科教育の学生にとって、身体をスポーツバイオメカニクスのような視点で捉えることができず、今回の調査結果のように物理学の概念と切り離して考えてしまったと考えられる。理科や体育の授業、部活動などで身体運動における物理学的な概念を取り入れた説明を行うことで、生徒の物理学の学習にも効果が期待できるだけでなく、今回例に挙げたように、実際に実験装置を用いて運動を測定・分析し、物理的に考察することで、物理的な知識を身につけるとともに、生徒の論理力や思考力を鍛えることにもつながると考えられる。

5. まとめ

今回、2019 年度に奈良教育大学の物理学概論Ⅱの授業を受講し、この研究に承諾してくれた 35 名（うち男性 16 名、女性 19 名）を調査対象とし、身体の基本的な仕組みや運動に着目し、人間のある動作が可能かどうか、もし不可能ならばその理由はなぜかを考える問題を 5 問出題した。全 5 問に対し、「努力が足りない」、「根性がない」、「私ならできる」、「生物学的に考える」、「物理学的に考える」、「その他」のうちから当てはまるものを選択してもらい（複数回答可）、理由も答えてもらった。その結果、今回の問題の中で特に物理学的に考えられた学生が少なかった項目は「(3) 足を少し前に出した状態で、椅子から立ち上がる」及び「(5) 片足でつま先立ちをすると、アキレス腱が切れやすくなる理由」であった。また、全問正答できた学生はおらず、将来理科の教員を目指している学生であっても多くの素朴概念をもっていることが明らかとなった。身近なものと物理とのつながりを児童生徒に教えていくためにも、まず教員自らが物理学概念の抽出の訓練を行わなければならない。

続いて、理科教育専修で中等教育を専攻している学生と初等教育を専攻している学生の調査結果を比較し、志望している校種の違いによる物理学概念の習得度合いの差を調べた。その結果、「(3) 足を少し前に出した状態で、椅子から立ち上がる」の正答数が、カイ二乗検定（有意水準 5%）より、初等教育を専攻している学生の方が中等教育を専攻している学生よりも有意に物理的観点から説明できている傾向にあることがわかった。また、問 (5) 以外正答でき

た学生はカイ二乗検定（有意水準 5%）より初等教育を専攻している学生の方が有意に多く、全問不正解だった学生は中等教育を専攻している学生の方が有意に多かった。しかし、今回対象人数が少ないこともあり、一般的に同じことが言えるわけではない可能性がある。

これらの結果より、身体の動作や仕組みについて物理学概念を抽出し、概ね正しく考えられている学生は約半数であることが判明した。その原因として、理科教育の学生にとって、身体をスポーツバイオメカニクスのような視点で捉えることができず、物理学の概念と切り離して考えてしまったことが考えられる。そこで、身近な運動から物理学概念を抽出し、素朴概念を修正する方法として、実際に実験装置を用いて運動を測定・分析し、物理的に考察した実践例を二つ示した。

理科や体育の授業、部活動などで身体運動における物理学的な概念を取り入れた説明を行うことで、生徒の物理学の学習にも効果が期待できるだけでなく、今回例に挙げたように、実際に実験装置を用いて運動を測定・分析し、物理的に考察することで、物理的な知識を身につけるとともに、生徒の論理力や思考力を鍛えることにもつながると考えられる。

参考文献

(1) 物理学実験の場としての部活動の活用：内山哲治、山

口智輝 宮城教育大学情報処理センター紀要第 19 号 P.9 (2012).

- (2) 理科授業実践におけるコンフリクトマップの有用性：土佐幸子、内田悠人 新潟大学教育学部研究紀要自然科学編第 11 巻第 1 号 P.1 (2008).
- (3) 新版 論理トレーニング：野谷茂樹 産業図書 (2010).
- (4) 学習者の特性や考える力が誤概念の修正に及ぼす影響：坂本司毅、中村元彦 奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要 Vol.1 P.199 (2015).
- (5) 小学校理科における力概念変容のための指導方法の研究：柿島圭祐 山形大学大学院教育実践研究科年報 (4) P.58 (2013).
- (6) 理科教育の中の数学的リテラシーの分析：藤岡侑子、中村元彦 奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要 Vol.19 P.75 (2010).
- (7) 高大連携による理系学問のキャリアガイドと卒業研究への展開：中村元彦 奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要 Vol.20 P.195 (2011). 大学と研究機関の連携による理科分野のキャリア形成：中村元彦 奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要 Vol.20 P.201 (2011).
- (8) 看護・介護を助ける姿勢と動作：小川鑛一 東京電機大学出版局 (2010).
- (9) 看護学生のための物理学（第 4 版）：佐藤和良 医学書院 (2008).