

# 動作解析を利用した総合的な学習の提案

橘 和雄 (神戸市立摩耶兵庫高等学校, 神戸大学大学院総合人間科学研究科)  
e-mail : k-tac@k5.dion.ne.jp  
矢野 澄雄 (神戸大学 発達科学部)  
e-mail : yano@kobe-u.ac.jp

近年、多くの教育者から子どもの学力や運動能力の低下が指摘されている。そこで筆者らは、科学と身体の運動の双方に関わる取り組みとして、歩行動作をバイオメカニクス(生体の構造や機能を力学的に解明する科学)の観点から捉え、教育の分野で利用することを検討した。

今回は、高校生にコンピュータやセンサを用いて自分たちの動作を計測・分析させることにより、科学への興味付けを行うと同時に健康に関する啓発を行う総合的な学習を提案したい。

**キーワード: 情報教育,教科教育,総合学習,自由研究**

## 1. はじめに

近年、多くの教育者から子どもの学力低下が指摘されている。しかし、IEA の第3回国際数学・理科教育調査 第2段階調査[1]によると、参加した 38 개국/地域の中で、日本の中学2年生の数学と理科の学力は、低下傾向ではあるものの依然として上位を保っている。一方で、これらの教科を好きと答える生徒の割合は最低レベルであり、学習意欲の方の低下は著しい。

また、文部科学省による調査をもとに子どもの身体能力の低下を指摘している教育関係者もあり[2]、子どもが“歩かなくなる = 歩けなくなる”現代社会を問題視し、子供が自発的に歩く意欲や意識を喚起し続けるような社会環境の整備を指摘する動きもある[3]。

このような状況から筆者らは、普段は意識せずに行っている歩行動作を様々な角度から分析し理解することにより、高校生が科学に関心を持つと同時に、歩くことに興味を持つ契機にしたいと考えた。

平成 12 年度より導入された総合的な学習の時間は、文部科学省の学習指導要領によると、「横断的・総合的な学習や生徒の興味・関心等に基づく学習など創意工夫を生かした教育活動を行う」ものであり、指導のねらいの一つとして「各教科・科目及び特別活動で身に付けた知識や技能等を相互に関連付け、学習や生活において生かし、それらが総合的に働くようにすること」があげられている。今回とりあげる歩行動作の解析は、こういった趣旨に沿った学習教材として、活用することができる。

折しも現在は優秀な歩行型ロボットの開発が話題になっており、そういった技術に興味をもつ生徒にとっても興味ある課題となる。

## 2. 歩行動作に関連する学習

高等学校で歩行動作と関連付けて学習できる教科は、主として「物理」や工業科の「工業数理基礎」等である。基礎的な力学を用いて歩行動作を分かりやすく解説した書籍も出版されており[5]、あらかじめある程度の学習をしておく、動作解析のイメージがつかみやすい。関連する項目としては以下のような内容がある。

- ・ 速度・加速度
- ・ 作用・反作用の法則
- ・ 運動方程式
- ・ 力のモーメント
- ・ 仕事と仕事率
- ・ 運動エネルギーと位置エネルギー

また、実験においてはコンピュータ、センサ等、機器の活用も不可欠である。後に4章の実験で使用する加速度センサなどは、コンピュータ等のデジタル機器を利用することではじめて有効に活用することができる。こういったコンピュータの「計測のためのツール」という側面も、高校生に認識させたい。その他のコンピュータの活用としては、データの整理・分析、静止画・動画の取り扱い、プレゼンテーションといった場面を想定している。

## 3. 歩行動作の計測と分析の例

今回提案する学習の中で特に重視したいのは、「目的を設定して、自分で工夫しながら実験を計画し、計測を行う」というデータを探るまでのプロセスである。費用の点から考えて高等学校でも実施できる実験として、次のような例を考えた。

### 3-1 フットプリント(足型)をとる

基礎資料としてフットプリント(足型)を採る。この採り方にはポピュラーな方法があり、決まった手順に従って行う[6]。フットプリントのみから得られる情報は限られているが、長さ・幅などの形状による分類ができる他、外反母趾や指の接地などの異常に対する警告にもなる[7]。

足底の圧力分布まで測定できればさらに個性が鮮明になるが、高等学校ではそのための機器の利用は困難である。また、富士写真フィルム株式会社のプレスケールという圧力測定フィルムも使ってみたが、鮮明な結果は得られなかった。

### 3-2 動画による検討

前面・側面の2方向から動画を撮影し、歩行の様子を観察する。左右方向、上下方向に注目すると、下半身の動きの大きさと比較して、重心付近の動きはかなり小さいことがわかる。一方で、一見スムーズに見える前後方向の動きにも速度の変動がある。これは画像からではわかりにくいので、次に示す加速度センサによる実験で捉えることができる。

動作解析のソフトウェアがあれば、肩峰・股関節・膝関節・足関節・つま先の5点を結んだスティックピクチャーやグラフを作成し、関節の動きを詳細に検討することができるが、専用のソフトウェアは非常に高価である。しかし、平面的に捉えるのであれば、ビデオ画像から座標を採り、表計算ソフトウェアなどに入力して処理することで同様のものを作成することもできる。

また、ビデオ画像から重心付近の変位や平均速度を求め、加速度センサによる実験から求めたデータと比較検討することも可能である。

### 3-3 加速度センサによる計測

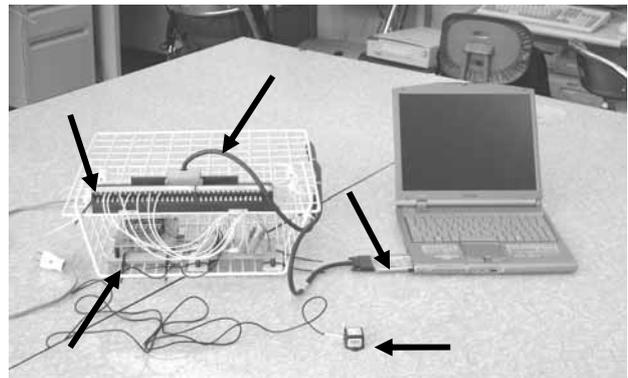
歩行動作を、外見だけではなく力学的に計測してみる。歩行動作の力学的な計測には、一般的に足底の圧力分布を計る、歩行時の床反力を計るといった方法があり、目的によって使い分けられているが、いずれも装置が高価で、実験場所も制約されるため、高等学校で取り上げるのは現実的でない。そこで、比較的安価で実験方法も簡便である加速度センサの利用を提案する。

この実験については、高校生が行うことを想定し、筆者らが実施したものがある。具体例について、次章で述べる。

## 4. 加速度センサによる実験方法

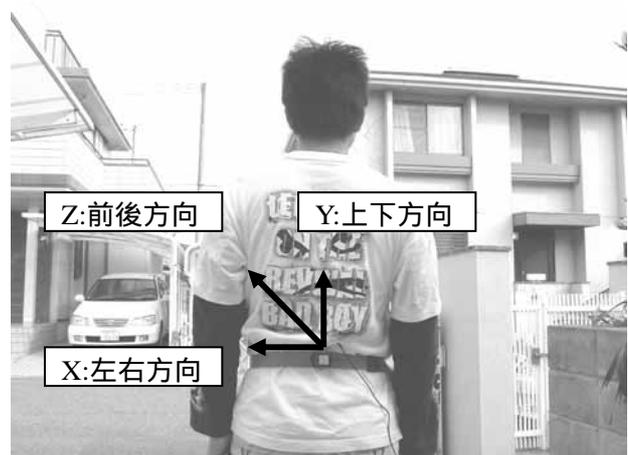
### 4-1 実験装置

加速度センサは、(株)シリコン センシング システムズ ジャパンの静電容量型3軸加速度センサ CXL02LF3



加速度センサ CXL02LF3  
AD 変換入出力カード CBI-3133B  
68点端子台 TRM-3100  
接続ケーブル CAB-2901  
安定化電源 5V

図1 実験装置



(矢印が+方向)

図2 加速度センサの装着

を使用した。

また、加速度センサからの出力(アナログ電圧 5V)をパソコンに取り込むために株式会社インタフェースのAD 変換入出力カード CBI-3133B、68点端子台 TRM-3100、接続ケーブル CAB-2901 を使用した。

今回の実験で使用した装置を図1に示す。

### 4-2 実験の概要

加速度センサは、図2のように腰部の背骨の位置にベルトで固定した。この部分に装着したのは、体の重心に近い、背骨があるため装着場所を特定しやすい、歩行の妨げにならない場所であるという理由による。

また、今回の加速度センサはコードの長さが 2mであったため、図3のように測定者が被験者のすぐ後ろについて歩行するようにした。測定者の操作は入出力カード専用ソフトウェアが提供されているため、容易である。

なお、センサの出力範囲は $\pm 2g$ ( $g$ :重力加速度)であ

り、サンプリング周波数は 100Hz に設定した。

### 4-3 実験データの整理

#### 4-3-1 データ形式の変換

パソコンに取り込んだデータはバイナリ形式であるため、これを表計算ソフトウェアで読めるようにファイル形式を変換する必要がある。この操作は、入出力カード専用ソフトウェアでメニューによって行った。

#### 4-3-2 データの整理

##### (a) データの確認

上記の変換後に得られるデータは、図 4 に示すように数値だけのものである。これらの数値が表す内容は、機器の接続方法やセンサを装着する向きによって異なるため、確認が必要である。今回の場合は、A 列が左右方向、B 列が上下方向、C 列が前後方向の加速度をそれぞれ表している。

##### (b) 時間データの追加

計測したデータに、時間経過を表すデータを付け加



図 3 実験の様子

	A	B	C	D	E	F
1	2.470086	3.542125	2.54823			
2	2.472528	3.537241	2.545788			
3	2.472528	3.537241	2.545788			
4	2.472528	3.539683	2.54823			
5	2.470086	3.542125	2.545788			
6	2.467644	3.539683	2.553114			
7	2.472528	3.547009	2.557998			
8	2.470086	3.549451	2.555556			
9	2.467644	3.549451	2.54823			
10	2.47497	3.547009	2.545788			
11	2.472528	3.542125	2.538462			
12	2.47497	3.537241	2.53602			
13	2.477412	3.539683	2.543346			
14	2.47497	3.537241	2.540904			
15	2.479854	3.537241	2.543346			
16	2.479854	3.539683	2.53602			

図 4 測定データの例

える。今回の場合はサンプリング周波数を 100Hz に設定したため、0.01 秒刻みのデータとなった。

##### (c) 重力加速度の補正

上下方向には重力の加速度がかかっているため、約 1V 高い値が出力される。データを検討する際は、この分を差し引いた値を使用する。

##### (d) 単位換算

センサの仕様書によると、得られた測定値は 2.5V を中心としたアナログ DC 電圧であり、1g 当たり 1V の割合で直線的に変化する。このことを利用し、 $g=9.8\text{m/s}^2$  としてデータの単位を変換する。

#### 4-3-3 グラフの作成と分析

##### (a) 加速度

以上の操作で得られたデータを、表計算ソフトウェアを利用し、グラフ化する。歩行時の加速度の変動で最もよく特徴が表れるのは前後方向である。今回の実験で得た前後方向の加速度のデータをグラフ化したものを図 5 に示す。このグラフは、文献[5]の床反力から計算した加速度のグラフの傾向とも一致している。

グラフには 7 つのはっきりした山とその後に小さな山が現れているが、ビデオ画像を見ると 7 歩歩いた後に、後ろにある足をそろえて静止しており、このデータが実際の歩行動作に対応していることが分かる。

なお、文献[5]によると床反力のデータ等から前後方向の加速度が増加するのは単脚支持期、減少するのは両脚支持期であることが分かっている。これは実際に自分が歩行するときの感覚からも納得できるものである。

##### (b) 速度

加速度のグラフの面積を計算することで、任意の時点での歩行速度を求めることができる。今回は、1 つ 1 つのデータを図 6 のように幅 0.01 秒の矩形と考え、表計算ソフトウェアにより面積を計算した。得られた結果を図 7 に示す。

グラフから、加速度の変動に対応した速度の変化を見ることができるが、速度の増加が著しく、最後の静止時にも  $2\text{m/s}$  を越える速度があることになる。このグラフから、センサの 0 点が + 方向に若干ずれており、その誤差が累積されていることが推察できる。この誤差の補正に関しては力学台車等を利用した別の測定が必要となるため、今後の課題としたい。

##### (c) 変位

速度のグラフの面積を求めると、任意の時点での

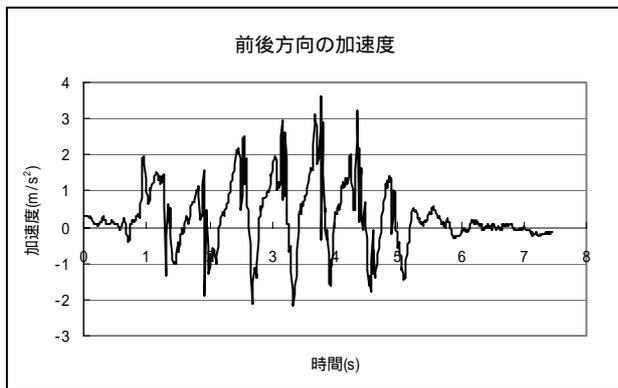


図5 前後方向の加速度のグラフ

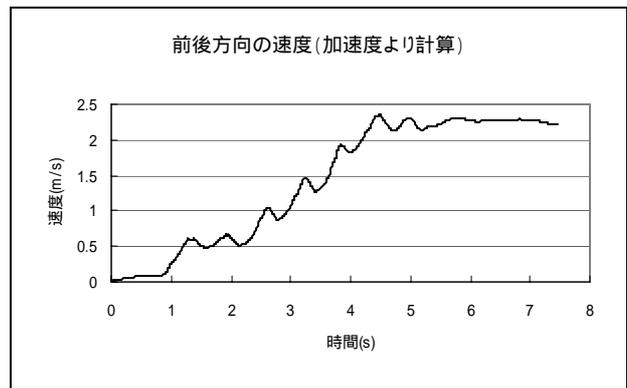


図7 前後方向の速度のグラフ

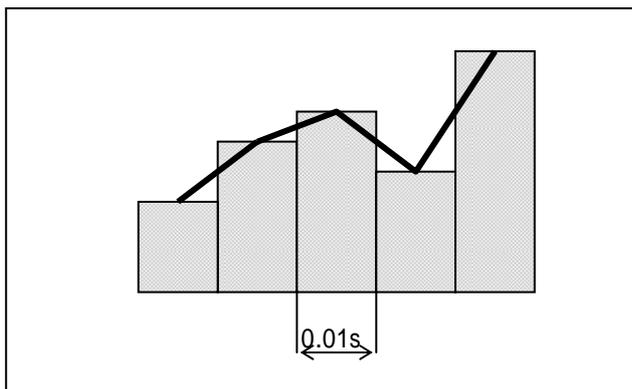


図6 グラフの面積の計算

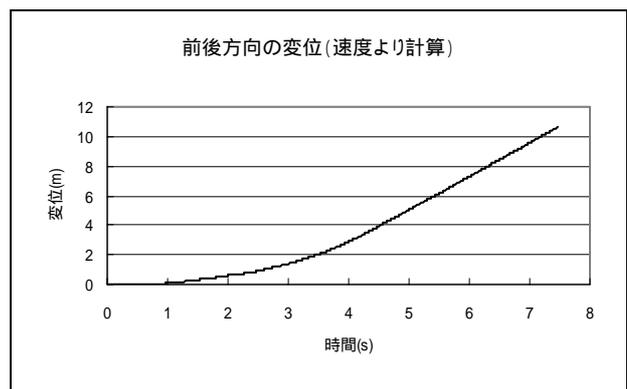


図8 前後方向の変位のグラフ

変位を求めることができる。図8がそのグラフであるが、今回の場合は速度を求めたときに考えた誤差がさらに累積されるため、変位も大きくなっているようである。

このデータから、下半身の複雑な動きにもかかわらず、重心付近の前後の変位はほぼ直線的でスムーズであることが分かる。

## 5.まとめと今後の課題

普段私たちはあまり意識していないが、歩行は微妙なバランスの上に成り立った巧妙な動作であり、様々な視点からの分析ができる。

今回の実験は、重心の動きだけに注目した大まかなものであるが、この実験だけでも

- ・個人差がどれくらいあるかを比較する
- ・素足・運動靴・ハイヒール・ブーツ等の履物による違いを調べる
- ・幼児や高齢者に被験者になってもらうことにより加齢による変化を追う
- ・階段を上るといった他の動作にも適用してみる

といったような、様々な興味に応じたバリエーションを考えることができる。実際に著者らの実験で、5歳児の歩行時における加速度の変動を取って見たが、中学生と比較してかなり大きな値が出ている。

今回提案した学習は、物理等で学んだ力学的な知識を実際に利用するものであり、筆者らは科学に対する

関心を高めるために役立てたいと考える。

また、中村は著書[3]において、歩行動作が「生得的だが習熟可能」な動作であることを指摘し、子どもが自発的に歩く意欲や意識を喚起しつづけるような社会環境を整備する必要性について問題提起している。この学習が生徒に歩くことへの興味を喚起し、自発的に歩く意欲をもつ契機となれば幸いである。

## 参考文献

- [1]国際教育到達度評価学会(2000):第3回国際数学・理科教育調査 第2段階調査(TIMSS-R) 国際調査結果報告(速報)
- [2]財団法人日本体育協会:子どもの体力向上ホームページ,<http://www.japan-sports.or.jp/kodomo/>
- [3]中村好男(2002):才能教育論-スポーツ科学から見て-第5章系統発生的動作か個体発生的動作か-歩くと走る-,放送大学教育振興会,pp.63-78.
- [4]文部科学省:高等学校学習指導要領(平成11年3月)
- [5]江原義弘,山本澄子(2002):ボディダイナミクス入門 歩き始めと歩行の分析,医歯薬出版
- [6]野田雄二(1998):足の裏からみた体,講談社, pp.46-48.
- [7]山崎信寿(1999):足の事典,朝倉書店