

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501163

研究課題名(和文) 視覚障害者の科学学習における事象のイメージ創成支援に関する研究

研究課題名(英文) Research on a system supporting visually impaired students in learning science and image-creation of scientific phenomena

研究代表者

鈴木 貴 (Suzuki, Takashi)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40289260

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚障害を持つ学生が理数系科目を学習する上で、数学的な図形や自然界の現象をイメージすることの困難であるというハンディを解消するひとつの方策として、力覚デバイスを用いた学習支援システムの構築を試みた。力覚デバイスを用いると、PC内に構築された仮想現実を、学習者は触覚によってリアルに知覚することができる。そこで、さまざまな力学現象や、立体的な幾何学図形を力覚デバイスを通して仮想体験できるプログラムを開発し、視覚障害学生が科学を理解するために必要な科学的事象のイメージを持つことができるような支援システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：As an attempt to support visually impaired students in learning science, we develop a system using haptic device with which they can overcome their handicap such that it is quite difficult to image mathematical objects and phenomena in nature. The haptic device makes it possible to perceive virtual realities built in PC realistically through the haptic sense. We have constructed mainly the programs by which visually impaired students can have virtual experience of the scientific things such as dynamical phenomena and geometrical 3D objects with the haptic device, and finally built the supporting system which enables them to have mental images of these things so that they can promote their understanding of science.

研究分野：科学教育，教育工学

キーワード：力覚デバイス 視覚障害者の科学学習支援 視覚障害者の理科教育支援 視覚障害者の数学教育支援

1. 研究開始当初の背景

視覚障害を持つ児童、生徒および学生(以下、視覚障害学生と呼ぶ)の学習には、聴覚と触覚のみに頼らざるを得ないことに起因する数多くの困難が指摘されている。とくに理数系科目を習得する過程で遭遇する困難として、おもに次の2つの問題が挙げられる。

(1) 視覚障害学生が利用できる書籍、および文献が極端に不足している。

(2) 視覚障害学生は、科学の理解を促進させる上で不可欠な、空間的および動きのある事象をイメージすることが困難である。

(1)は、視覚障害学生が知識を習得する上での大きなハンディとなっている。視覚障害学生は点訳または音訳された書籍しか利用することができない。しかも、理数系科目の書籍には多くの数式や図、グラフが含まれているため、視覚障害学生の学習環境はより制限されてしまう。幸いにも、近年の情報技術の躍進に基づく多くの研究によって、この問題は急速に改善されつつある。

一方(2)の問題についてはより深刻である。空間的な概念や動きのある現象のイメージをもつことが、理科系科目における本質的な概念の把握や内容の理解を促進させる上で大変重要な鍵となることは言うまでもない。高等教育では、抽象的な概念や直接知覚することができない現象を扱うことも多くなるため、このようなイメージの役割がなおさら重要になる。ところが、このようなイメージの大部分は通常、視覚的経験によって創られる。晴眼者は子どものころからの数々の視覚的経験の記憶の中から、意識的ではなくとも、適当なものを選び出してそれらを自由に組み合わせ、さまざまなイメージを創り出すことが可能である。たとえ、見た経験がない現象であっても、それを自分なりにイメージすることができる。ところが、身のまわりの世界を認識する手段として触覚と聴覚しか持たない視覚障害学生にとっては、知覚することができる空間的事物、動きのある事象はかなり限定されてしまう。空中を飛んでいるボールに触れることは不可能である。また、振り子などの動いている物体に、その動きを妨げることなく触れることは不可能である。

このように、自然に直接接する経験の不足から、視覚障害学生がイメージできる自然界の事象はごく限られたものになってしまい、そのことが視覚障害学生の理数科目の学習を極端に阻んでいるばかりでなく、科学への興味を起こす機会をも奪いかねない。視覚障害学生に対しても、科学に対する興味をもつことができる機会を与え、彼らの可能性を広げる環境を整えることは至急の課題である。このことは充分認識されてはいるものの、技術的にこの問題を解決する系統的な研究はほとんど成されていなかった。

2. 研究の目的

視覚障害学生が理科系の科目を学習する

にあたって抱えているこのようなハンディを解消するためには、身の回りの空間的事物や動きのある自然現象のイメージを、彼らが頭の中に創ることを支援する方策が必要である。そのためには、音声と触覚を効果的に活用することが要となる。平面図形や物体の(2次元的な)運動の軌跡であれば、触図でも充分触知できる。ところが、入り組んだ立体図形や複雑に運動する物体の軌道を、晴眼者に対して用いられるような遠近法や投映法を触図に適用するだけでは、現実の3次元的なイメージを持たせることはほぼ不可能であろう。さらに、軌道の触図だけから物体の速度変化も併せて理解させることはできない。しかし、理科系科目の修得には、このような空間図形のイメージや運動のリアルなイメージを持つことが極めて重要である。

そこで本研究の目的は、「力覚デバイス」と呼ばれる比較的新しい情報技術を用いて、視覚障害学生が空間図形および動きのある自然現象のイメージを創生することを支援するシステムを構築することである。

具体的には、力覚デバイスの機能を用いて、視覚障害学生が仮想体験できるさまざまな仮想現実のアプリケーション・ソフトウェアをPC内に作成していく。このようなアプリケーション・ソフトウェアを、以下「触知モデル」と呼ぶ。とくに、曲面や立体図形の形状をありのままに触知できる数学的触知モデルと、時間的に変動する現象をリアルに知覚できる物理的触知モデルを作成する。

3. 研究の方法

本研究で構築する支援システムは、ハードウェアとしてのPCおよびそれに接続された力覚デバイスと、それを制御するOpenHapticsと呼ばれるソフトウェアを用いる学習教材としての触知モデルから成る。

力覚デバイスとは、学習者とPCとの間の力覚による3次元的な相互作用を可能にするインターフェースであり、PC内に構築された3次元的仮想現実を、学習者は力覚を通してありのままに知覚できるようになる。本研究で用いた力覚デバイスを図1に示す。



図1. 力覚デバイス

力覚デバイスを操作するためには、学習者は「スタイラス」と呼ばれるペン状のハンド

ルを手を持って動かす。スタイラスの動きは OpenHaptics によって触知モデルに伝えられ、仮想現実との相互作用が発生すると、それが力覚としてスタイラスにフィードバックされる。学習者はその力覚を知覚して、仮想現実を実際にスタイラスで触っているように感じることができる。

本研究で行った主要な部分は、学習教材の構築である。数学教材としての幾何学的対象、物理教材としての自然現象を仮想体験させ、図形の形状や物体のリアルな動きを理解させるための触知モデルを計画し、簡単なサンプルを試作した。それらを視覚障害学生に試行してもらい、機能改善や拡充、さらに触知モデルの増強を、彼らの意見をもらいながら遂行していった。

4. 研究成果

本研究は、3つのステップを経て遂行された。以下、得られた成果について、ステップごとに報告する。

第1段階：触知モデルの試作と試行実験

触知モデル化するべき科学的事象(数学的図形や動きのある物理的事象)は多種多様である。それぞれを実際にモデル化したときの問題点を明らかにするために、科学的事象を次の3つのタイプに分類し、タイプごとにサンプルプログラムを試作した。これらのサンプル触知モデルに対する試行実験に、視覚障害をもつ大学生に参加してもらった。3つのタイプとは、

- 空間図形タイプ
- 平面グラフタイプ
- 力学現象タイプ

である。それぞれのタイプで作成したサンプル触知モデルは、

- 球面触知モデル
- 2次関数グラフ触知モデル
- 放物運動触知モデルと惑星の公転運動触知モデル

である。それぞれのタイプの機能について、 [1] では、触知モデルが作りだす仮想曲面や平面上のグラフ曲線を学習者がスタイラスでなぞることによってその形状を触知するというタイプの教材である。一方、 [2] では、スタイラスは物体に固定され、物体と一緒に動くようにプログラムされている。つまり、このタイプの触知モデルでは、スタイラスが学習者の手をガイドするため、スタイラスを軽く握っているだけで物体のリアルな動きを認識できる。

試行実験は、視覚障害を持つ大学生3名に対して行われた。先天盲と中途失明との差を明らかにするために、1人の先天盲の学生と2人の中途失明の学生に参加してもらった。実験の結果を、以下簡単に述べる。

[1] のタイプの触知モデルでは、形状を認識するために学習者がスタイラスを動かさなければならない。したがって、ある程度スタイラスの操作に慣れる必要があること

がわかった。とくに [1] の球面触知モデルでは、スタイラスはつねに球面の1点だけに触れている。全体の形を認識するためには、適当にスタイラスを動かして曲面全体を触らなければならない。しかし、1点だけの情報の積み重ねから全体の形状を理解することには限界があることが判明した。最もシンプルな球面でさえ形状認識が困難であったことを考慮すると、より複雑な形状の曲面をスタイラスだけで認識することはほぼ不可能であろう。この結果は、いくつかの先行実験でも報告されていたことである。抜本的な改善が必要である。 [2] の2次関数曲線の触知モデルでは、やはりスタイラスの動かす方に慣れる必要はあるが、平面上しか動かす必要がないため、 [1] の場合と比較すると、スタイラスの操作にすぐに慣れ、形状認識も容易であった。しかし、グラフと座標軸との位置関係など、数学的に重要なことを認識させることが難しかった。2次関数のグラフ(放物線)の触知モデルで作られたディスプレイ画像を図2に示す。

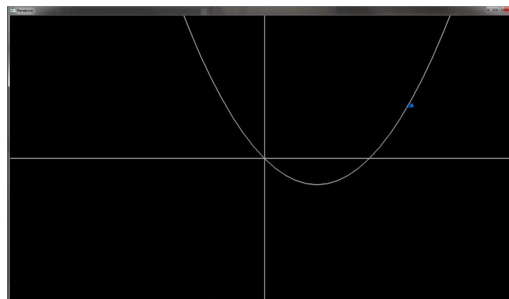


図2. 放物線触知モデル

一方、 [2] の放物運動や公転運動の教材では、視覚障害学生はスタイラスを自ら操作する必要はない。触知モデルはスタイラスに物体と同じ動きをさせて彼らの手をガイドする。したがって、このタイプでは簡単に物体のリアルな動きが認識でき、被験者の学生たちはこれらの運動を明確に知覚でき、運動のイメージを創ることができた。とりわけ、一度も物体の放物運動を認識したことのない先天盲の学生は、それまで受けてきた言葉だけの説明だけではわからなかった速度変化などの細かい部分を理解することができた。惑星の公転運動については、先天盲、中途失明にかかわらず、初めて知覚する惑星の楕円運動に興味を持っていた。上記の実験結果を鑑みると、本システムの有効性が最も発揮されるのは、 [2] のタイプの触知モデルであることが明確になった。放物運動触知モデルのディスプレイ画像を図3に示す。ただし、このタイプでは、次のような改善点があることもわかった。放物運動では、速度変化や軌道の大体のようすは知覚させられるが、物理として重要なことを理解させることが難しい。たとえば、初速度を変化させたときの最高到達点や飛距離の変化、加速度などをスタイラスで知

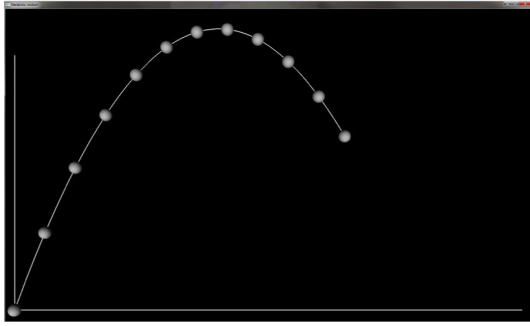


図 3. 放物運動触知モデル

覚させることは難しい。また、惑星の楕円運動では、太陽との距離に応じて惑星の速さは変化するが、惑星に固定されたスタイラスを握っているだけでは、軌道と速さの変化は知覚できても、物理として重要な太陽との位置関係を認識することは不可能である。このように、このタイプの触知モデルは、物体の運動を大雑把に認識させることには極めて有効であるが、高校や大学で扱われる物理を理解させるためには、何等かの改善が必要である。

第2段階：機能の改善と追加

実験結果をもとに、平面グラフ型の触知モデルの改善を行った。この型の問題点は曲線と座標軸との位置関係が認識しづらいことであった。その改善策を以下に述べる。まず、曲線だけでなく座標軸も作り、スタイラスで触れるようにした。こうすることによって、グラフと座標軸との交点の位置を触知させ、座標平面上でのグラフの位置を理解させることが可能になる。このとき、スタイラスは引力によって曲線や座標軸の上に束縛され、それらの線の上だけを自由に動かすことができるようにプログラムした。しかし、曲線と座標軸とが交わる場合には、交点から曲線へとスタイラスを動かそうとしても、誤って座標軸のほうへ入り込んでしまうことが度々起こる。誤った線をなぞっていることは視覚障害者はなかなか気が付かないため、この間違いは曲線の形状認識を阻害する。そこで最終的に、座標軸を取り去ってスタイラスは曲線だけをなぞるようにした。その代わりに音声機能をシステムに組み入れ、スタイラスが座標軸を通過したとき、その象限を音声で通知するようにした。音を利用することは、実験後に学生たちから強く要望されたことである。

次に、力学現象の触知モデルに対しても、同様の音声機能の組み入れを行った。スタイラスだけでは知覚しづらい物理的に重要な箇所は音を利用した。たとえば、放物運動の触知モデルでは、物体の高さや速度の各成分などを音の高低で伝えれば、聴覚によっても運動の細かな事実を理解させることが可能になる。また、惑星の公転運動の触知モデルでも、音の高低で太陽との距離を表現すれば、スタイラスだけでは表現できなかった太陽

との位置関係を理解させることができる。つまり、学習者は、速さを変えながら楕円運動するスタイラスと高低を繰り返す音によって、惑星の楕円運動が深く理解できるようになった。

第3段階：教材コンテンツの増強

前述したように、本システムが最も効果的に活用できる触知モデルのタイプは、動きのある物理現象である。そこで、このタイプの事象に的をしばって、触知モデルを増やした。以下、作成した触知モデルの一部を紹介する。

() 単一の振り子やばねによる振動

おもりの振動のようすを知覚させる触知モデルである。振り子の糸の長さやばね定数、物体の質量と振動周期の関係など、物理的に重要なことを理解させるために、学習者がそれらの値を自由に変化させて運動の変化を確認できるようにした。また、音の高低によって、おもりの速度変化をリアルタイムに知覚できる。

() 波動現象

波の振動と進行のようすを知覚させる触知モデルである。物体の運動の場合とは異なり、波には広がりがあるため、スタイラスを波の線に沿って自由に動けるようにすると、このタイプと同様な問題が起こる。つまり、スタイラスで波をなぞって波形を認識させることは静止している波でも難しく、進行波では何がおこっているのかすらわからなくなる。そこで、波の1点にスタイラスを固定し、「振動」または「進行」のいずれかだけを体験できるようにした。ただし、振動と進行のどちらを触知するのかは、キーボードなどで自由に切り替えられる。波形の触知は進行を止めて行う。また、波長と振動数および速さの関係を理解することは、物理において重要である。学習者がそれぞれの値を自由に変えてその関係を理解できるようになっている。ここでも音を有効に利用して、振動数などは聴覚によって知覚できるようにしている。

() 縦波と横波の発生

複数のおもりを水平に並べ、おもりの間をばねでつなぐ。ここでは、2台の力覚デバイスを利用して、2つのおもりにそれぞれのスタイラスを固定する。学習者は両手を使っておもりの振動が伝わるようすを知覚する触知モデルである。一方の手でひとつのおもりを垂直または水平方向に振動させると、その振動が次々に伝わり、一定の時間が経過した後で、スタイラスが固定されたもうひとつのおもりが振動を始める。垂直に振動させれば横波、水平方向に振動させれば縦波になることが認識できる。

() 慣性の法則、力と運動の関係

慣性の法則は力学の出発点であり、力が作用していない物体は等速度で動き続けると主張する。一方、力が作用すると物体は力に比例する加速度を持つ。この触知モデルは、これらの法則を実際に体験させる触知モデル

ルである。実は、これらの法則は視覚障害者、晴眼者を問わず間違っ認識している人は多い。水平面上に置かれている物体を指で押すと、通常、一定の速さで動き続け、指を離すと物体はすぐに止まってしまい、上記の法則とは食い違っている。これは、水平面と物体の間には必ず摩擦力があるため、そのことを忘れて間違っ理解していると、力学だけでなく物理全体が現実離れしたものに感じられて興味を失いかねない。ところが、触知モデルで構築する仮想世界では、摩擦力はコントロールできる。そこで、水平面上に置かれている物体をスタイラスで押して、力と物体の加速度を認識させる。水平面と物体の間に摩擦がないときでも、物体を押すときは力が必要であり、力を作用し続けると加速することを理解させるようにした。音を利用して、物体の速さが速くなると高い音に変化するようにした。したがって、押し続けると徐々に音は高くなり、スタイラスを物体から外すと音の高さは変化しなくなり、一定の速さで動いていることがわかる。

() フーリエ展開

これは、理工系の学生を対象とした、のタイプの触知モデルで、フーリエ級数展開を理解させる。周期的関数を、三角関数の波数によって級数展開したものがフーリエ展開である。ここではひとつのサンプルとして、矩形波のフーリエ展開の触知モデルを作成した。2周期分程度の矩形波をフーリエ展開し、展開の項数を自由に増減できる。展開の項数ごとの曲線の状態をなぞらせて、項数を増やしていくと、曲線がもとの矩形波に近づいていくようすを触知できる。触図に比べて曲線の形状認識はやや難しいが、自由に項数を変化させることができるため、曲線がダイナミックに形を変化させていくようすが知覚できる。

まとめ

本研究では、視覚障害学生が理科系科目を修得する際にハンディとなっていた、科学的事象のイメージの欠如を補強する支援システムを構築した。本システムを用いることで、視覚障害学生は科学的事象の仮想現実を触体験でき、それらのイメージを持つことができるようになる。本研究では、この支援システムが最も効果的に利用できると実験から判断された「動きのある物理現象」を中心に、数々の触知モデルを作成した。運動の単なるようすを知覚できるだけでなく、触覚と聴覚を活用させて、高等学校や大学初等レベルの物理の内容も理解できるようにしたことが本研究の独創的なところである。

視覚障害学生が科学学習において抱えているすべてのハンディを、本システムだけで解決できないことは言うまでもない。触図やそのほかの道具と併用することが不可欠である。しかし、本システムを用いれば、身のまわりで起こるさまざまな自然現象を「あり

のままに」仮想体験できるという意味で、視覚障害学生への従来の科学教育に欠如していた部分を埋める可能性を持っていることは確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Takashi Suzuki, Tomoyuki Araki, Katsuhiro Kawai, Yasuki Murai, Hisayuki Tatsumi: On a Learning-Science System Supporting Visually Impaired Students via the Haptic Device, Proc. 2013 IEEE Int. Conf. on System, Man, Cybernetics, IEEE SMC2013, pp.4629-4634, 2013, 査読有.

鈴木 貴, 荒木 智行, 河合 克浩: 視覚障害者のための力覚デバイスによる科学学習支援システムについて, 日本知能情報ファジー学会誌, 特集号(知能と情報), vol.126 No.2, pp.581-592, 2014, 査読有.

〔学会発表〕(計1件)

鈴木 貴: 全盲者が力覚デバイスによるゲームを楽しむことの考察, 日本知能情報学会, ファジーシステムシンポジウム 2014 講演論文集, TC1-3, 2014年9月2日, 高知県高知市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 貴 (SUZUKI, Takashi)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 40289260

(2) 研究分担者

荒木 智行 (ARAKI, Tomoyuki)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20257413

(3) 連携研究者

宮川 正弘 (MIYAKAWA, Masahiro)
筑波技術大学・名誉教授
研究者番号: 70248748

巽 久行 (TATSUMI, Hisayuki)
筑波技術大学・保健科学部・教授
研究者番号: 30188271