

# 物理学の習熟度による多肢選択式問題を解く際の視線行動の違い

奥野琳太郎\*1・渡辺祥子\*2・市川寛子\*3・大野栄三\*4

Email: 6422513@ed.tus.ac.jp

\*1: 東京理科大学創域理工学研究科生命生物科学専攻 \*2: 東京理科大学理工学部応用生物科学科

\*3: 東京理科大学教養教育研究院野田キャンパス教養部 \*4: 北海道大学大学院教育学研究院

◎Key Words 視線計測, 物理教育

## 1. はじめに

学生は、力学を学ぶ前の日常経験から運動や力に関する素朴概念を持っている。この素朴概念は、必ずしも正しい物理現象とは一致せず、誤った概念理解は誤概念とも呼ばれ、正しい概念の受容を妨げることがある。力学の理解には、この誤概念を修正することが困難な課題であり、これまでの物理教育研究で議論がされてきた。Hestenes ら<sup>1)</sup>は、ニュートン力学の基本的な概念や法則についての理解を問う目的で多肢選択式の物理問題を開発した。この問題を解かせることで解答者がどのような誤概念を持っているかを調査することが可能になった。

物理教育において多肢選択式問題に解答する際の解答者の思考過程を調べるために、アイトラッカーを用いた実験研究が近年盛んにおこなわれるようになってきた<sup>2)</sup>。アイトラッカーとは、眼球に近赤外光を照射することで瞳孔とプルキニエ像の位置関係を計測し、これらをもとに被計測者の視線がどこに向いているかという視線行動を測る装置である。これを使うことで解答時の視線が、どの選択肢に集まっているのかを調べ、これをもとに思考の過程を推定することが可能である。Han ら<sup>3)</sup>は、大学で物理学の講義を履修中の学生を対象として、講義の序盤と、その後 7 週間の講義を受けた後とで、多肢選択式問題に解答させ、解答中の際の視線行動を計測した。この結果、学習が浅い段階では、誤った選択肢に注視が集まっているのに対し、学習が進んだ後には、誤った選択肢と正答の選択肢間で遷移するような視線行動がみられた。物理の知識量によって、解答時の視線行動の違いが見られることが示唆された。Viiri ら<sup>4)</sup>は、物理学を履修した高校生 8 名の参加者を対象とし、選択肢がグラフと文章の 2 つの形式で書かれた多肢選択式問題に解答する際の視線行動を計測した。この実験の結果、解答者は、自分の好みの形式で書かれた選択肢をより注視することが示された。Susac ら<sup>5)</sup>の研究では、物理の習熟度により、グラフの読み取り能力が異なることを示した。

本研究では、選択肢をグラフと文章の 2 つの形式で提示した多肢選択式問題を解答する際の視線を計測し、物理学の習熟度の違いによって、問題解決時の視線行動の違いが生じるのか検討した。習熟度が高いほど、グラフと文章のうち、自分の好みの形式をより注視するという仮説を立て、これを検討した。iMotions の画面提示機能を使用し、PC 画面に提示された問題を見ながら、正答を考えさせ、同時にアイトラッカーで視線計測を行った。この前

には、参加者それぞれに事前テストを行い、その成績を元に習熟度を定義した。視線行動の計測結果から、問題への注視と習熟度との関係を調べた。

## 2. 方法

### 2.1 実験概要

理工系の大学生 15 名(男性 5 名、女性 10 名、平均年齢 = 22.3 歳)が実験に参加した。

実験課題は、24 インチ PC モニター (BenQ ZOWIE XL2411P) を用い、心理学実験用ソフトウェア iMotions (<https://imotions.com/>) の画面提示機能にて提示した。視線計測は Tobii 社製アイトラッカー (Tobii Pro Nano) を用い、サンプリングレート 60Hz で計測した。実験参加者は、モニターの観察距離 60cm となるよう椅子に座り、実験に参加した。実際の実験室内の配置は、図 1 に示した。



図 1 実験室内の配置

### 2.2 実験課題

力学に関する学生の概念学習を調べるために開発された力学概念調査 (FCI : Force Concept Inventory) を参考に Viiri ら<sup>4)</sup>が作成した問題を和訳して使用した。摩擦の有無が異なる 2 種類の問題であり、直線運動する物体にはたらく力の大きさが突然変化した時、その後の物体の速さの時間変化がどうなるかを 5 つの選択肢の中から 1 つ選ばせるようになっていた。

全ての問題において、解答のための選択肢として、文章とグラフとが水平に併記されていた。文章とグラフの配置は、問題ごとに、そして参加者ごとに疑似ランダムに左右を入れ替えた。グラフが左側の問題画面を図 2 に、グラフが右側の問題画面を図 3 に例示する。

以下、問題の主題から「等速直線運動に関する問題」と「運動方程式に関する問題」とした。それぞれの主題において、計測結果の信頼性を確認するため、文章とグラフの配置が異なる場合の同型問題を2問作成した。2問は互いに主語と目的語が異なったが、それ以外の文章は同一であった(例. 主語が「婦人」または「男の人」で異なり、目的語も「箱」または「ショッピングカート」で異なる、他の文章は同一であった)。こうして作成した等速直線運動に関する2問と、運動方程式に関する2問の、合計4問を参加者に解答させた。これら4問の提示順は、疑似ランダムとし、同じ主題の問題が2問続かないように提示した。

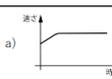
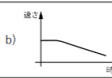
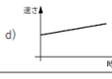
問題文	a)		しばらくの間、速さは増えていく。その後、一定の速さになる。
	b)		しばらくの間、一定の速さで動くが、その後、速さは減少する。
	c)		速さは一定である。
	d)		速さは、少しずつ増えていく。
	e)		しばらくの間、一定の速さで動くが、その後、速さは増えていく。

図2 実験課題(グラフ左・文章右)

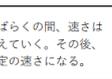
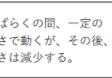
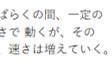
問題文	a)	しばらくの間、速さは増えていく。その後、一定の速さになる。	
	b)	しばらくの間、一定の速さで動くが、その後、速さは減少する。	
	c)	速さは一定である。	
	d)	速さは、少しずつ増えていく。	
	e)	しばらくの間、一定の速さで動くが、その後、速さは増えていく。	

図3 実験課題(グラフ右・文章左)

## 2.4 手続き

まず実験参加者は、力学に関する習熟度を調べるための事前テストに解答した。問題は、Viiriら<sup>4)</sup>が用いた問題を、共著者であった大野が和訳したしたものを用いた。内容は、等速直線運動や投げ上げ、投げおろしに関する理解を問うものであった。事前テストの例を図4に示す。解答形式は、5つの選択肢から正答を1つ選ばせ、A4の用紙2枚に印刷した紙に丸をつけて解答させた。

1) から9) のすべての質問で、正しい選択肢に丸印 (○) をつけてください。<sup>4)</sup>

1) 空気も重力もない宇宙を、ロケットが一定の速さで運動している。ロケットには、

- a) 一定の大きさの力がはたらいている。<sup>4)</sup>
- b) 力がはたらいていない。<sup>4)</sup>
- c) 少しずつ大きくなる力がはたらいている。<sup>4)</sup>
- d) 少しずつ小さくなる力がはたらいている。<sup>4)</sup>
- e) ときどき、力がはたらいている。<sup>4)</sup>

図4 事前テスト

その後、視線計測器のキャリブレーションを行った。キャリブレーションの手続きは以下の通りであった。参加者の画面上で問題が表示される矩形領域の上辺、中央、下辺のそれぞれにおいて、左辺、中央、右辺に1点ずつ、合計9点を1点ずつ順に表示し、参加者に点を目で追尾させた。これにより、参加者が見ているはずの点と、視線計測器で計測した視線位置とがどれくらい空間的にずれているかが推定できる。ずれに対する補正は視線計測器の機能によって自動で行われるが、ずれが大きすぎて補正できない場合は再度キャリブレーションを行った。ずれが視角1度に収まる範囲になるまでキャリブレーションを行った。

キャリブレーションが完了した後、視線計測を開始した。計測開始後、実験者から参加者の画面に図2,3で示したような実験課題を提示した。参加者の画面に問題が正しく表示されたことを実験者が確認した後、実験者による合図に合わせて解答を開始した。各問題に解答するための時間制限は設けなかった。1問終わるごとに参加者が解答すると、すぐに次の問題が画面に提示され、参加者のペースで合計4問を解き進めた。解答中は、なるべくモニターから目を離さないように教示し、モニターから目を離す時間を最小限にさせるため、メモ等を取ることは認めなかった。

4問に解答した時点で視線計測を終了した。視線計測後、グラフと文章形式に関するアンケートを行った。項目は、(1)「グラフを読むことは得意ですか」、(2)「文章を読むことは得意ですか」、(3)「グラフを読むことに自信がありますか」、(4)「文章を読むことに自信がありますか」、(5)「普段グラフをどの程度好みますか」、(6)「普段文章をどの程度好みますか」の6項目で、それぞれについてVAS法(Visual Analogue Scale)で評価させた。(1)(3)(5)で得られた回答値をグラフ形式を好む度合い、(2)(4)(6)で得られた回答値を文章形式を好む度合いとして、参加者ごとに加算平均した。グラフ形式を好む度合いから文章形式を好む度合いを減算した値が、正の値となった参加者はグラフ形式を好む参加者、負の値となった参加者は文章形式を好む参加者として分類した。

## 3. 解析

### 3.1 習熟度

事前テストの成績をもとに、参加者15名を事前テスト高群と低群とに分類した。1問1点で9点満点で採点した結果を図5に示す。6点以上であった10名を高群、6点

未満であった 5 名を低群と分類し、これを習熟度の指標とした。事前テストの詳細な得点分布については、図 5 に示した。

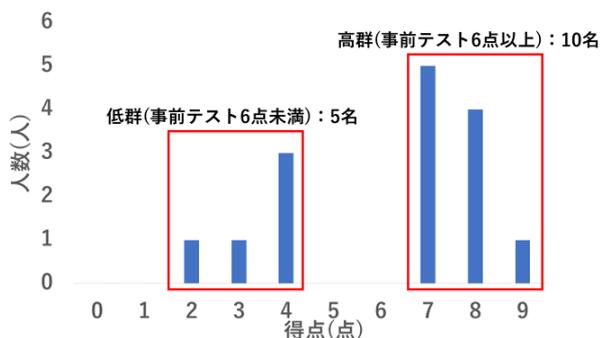


図 5 事前テストの得点分布

### 3.2 視線行動

視線行動の指標として、問題文・グラフと文章形式で書かれた各選択肢の計 11 カ所を AOI(Area of interest)に設定した。図 6 に AOI の定義された領域を示す。本稿では、グラフ形式の選択肢 5 つの AOI 領域に対する注視行動を合算し、グラフ形式に対する注視行動とした。同様に、文章形式に対する注視行動も、文章形式の選択肢 5 つの AOI 領域に対する注視行動の合算とした。グラフ形式および文章形式のそれぞれについて、注視の合計時間を示す注視時間、注視の頻度を示す注視回数、1 回あたりの注視にかかった時間の 3 つを調べた。

問題文	a)	しばらくの間、速さは増えていく。その後、一定の速さになる。
	b)	しばらくの間、一定の速さで動くが、その後、速さは減少する。
	c)	速さは一定である。
	d)	速さは、少しずつ増えていく。
	e)	しばらくの間、一定の速さで動くが、その後、速さは増えていく。

図 6 AOI の設定

## 4. 結果

課題全体を通しての総注視時間・注視回数・1 回あたりの注視時間の 3 つの指標について、好みの形式と好みでない形式のどちらにより長時間、または頻繁な注視が行われたかを検討した。参加者を事前テスト高群と低群とに分け、好みの形式をより多く見た参加者の人数と、好みでない形式をより多く見た参加者の人数が変わらないという帰無仮説に対し、フィッシャーの直接確率検定を行った。

等速直線運動に関する問題と、運動方程式に関する問題は分けて解析した。各問題について、参加者 1 人あたり同型の 2 問を回答させたため 2 回計測できたこととなる。

- ・総注視時間

好みの形式に対する課題全体を通しての総注視時間が長かった参加者の人数と、好みでない形式に対する総注視時間が長かった参加者の人数との差が、事前テストの高低によって異なるかを、フィッシャーの直接確率検定によって検討した。その結果、運動方程式に関する問題 ( $p=.11$ )、等速直線運動に関する問題 ( $p=.26$ ) いずれでも、事前テスト高群と低群とで異なるとはいえなかった。

- ・注視回数

好みの形式をより頻回注視した参加者の人数と、好みでない形式をより頻回注視した参加者の人数との差が、事前テストの高低によって異なるかを、フィッシャーの直接確率検定によって検討した。運動方程式に関する問題では、事前テスト高群と低群で有意に異なり ( $p=.019$ )、事前テスト高群では好みの形式を、低群では好みでない形式を頻回注視していた人数が多かった。等速直線運動に関する問題では、事前テスト高群と低群とで異なるとはいえなかった ( $p=.25$ )。

- ・注視 1 回あたりの注視時間

好みの形式に対する注視 1 回あたりの注視時間が長かった参加者の人数と、好みでない形式に対する 1 回あたりの注視時間が長かった参加者の人数との差が、事前テストの高低によって異なるかを、フィッシャーの直接確率検定によって検討した。運動方程式に関する問題では、事前テスト高群と低群とで異なるとはいえなかった ( $p=.13$ )。等速直線運動に関する問題では、事前テスト高群と低群で有意に異なる傾向がみられ ( $p=.056$ )、事前テスト高群では好みの形式を、低群では好みでない形式を、1 回あたり長時間注視した人数が多かった。

## 5. まとめ

本研究では、Viiri ら<sup>(4)</sup>の研究を参考に、物理学の習熟度を調べる事前テストでの成績の違いによって、問題解決時の視線行動に違いが生じるのかを検討した。その結果、事前テスト高群では、グラフか文章かの形式を問わず、自分の好みの形式の選択肢に対して、運動方程式に関する問題では注視回数が、等速直線運動に関する問題では 1 回あたりの注視時間が有意に頻回、または有意に長い時間注視された。

事前テスト高群で自分の好みの形式を注視した要因として、物理の習熟度が高い参加者が、これまでの経験から自分の好みを把握できていたことが考えられる。問題解決の経験が豊富なことから、文章とグラフのどちらの形式が自分に有用かを認識しており、さらに有用であることで好みと感じていた可能性が考えられる。

3 つの指標のうち、注視時間の指標では、有意な差が見られなかった。このことから事前テスト高群は、自分の好みの形式を頻繁に注視した一方で、部分的にもう一方の形式を確認し、解釈の裏付けを行っていた可能性があると考えられる。

今後の展望として、事前テスト高群と事前テスト低群の詳細な視線行動を解析することで問題解決のポイント(例えばグラフの軸など)となる箇所を明らかにしたいと考える。教育現場では、本研究とは異なり、初修者に教え

ることが主である。そこで視線データを元に見るべき箇所を教授側が明確に指導することで学習の促進に繋がれると考える。よってこれを探求することで学習指導に対する新たな基準を提案できると考えられる。

#### 参考文献

- (1) Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G.: “Force Concept Inventory”, Published in The Physics Teacher, 30, pp.141-158(1992).
- (2) Hahn, L., & Klein, P.: “Eye tracking in physics education research: A systematic literature review”, Physical Review Physics Education Research, 18, 013102(2022)
- (3) Han, J., Chen, L., Fritchman, J., and Bao, L.: “Eye-tracking of visual attention in webbased assessment using the Force Concept Inventory”, European Journal of Physics, 38(4), 045702(2017).
- (4) Viiri, J., Kilpelainen, J., Kekule, M., Ohno, E., and Hautale, J.: “Eye-movement study of mechanics problem solving using multimodal options”, Research and Innovation in Physics Education, Two Sides of the Same Coin, pp.145-154(2020).
- (5) Susac, A., Bubic, A., Kazotti, E., Planinic, M., and Palmovic, M.: “Student understanding of graph slope and area under a graph : A comparison of physics and non physics students”, Physical Review Physics Education Research, 14, 020109(2018)