

視線追跡による内容理解度判断手法の開発 ～教科書が読めない学生の早期発見に向けて～

代表研究者 横山 有太 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 准教授

1 はじめに

近年、学習障害や発達障害などの理解が進んだことで、授業内容が理解できない、学習意欲が低い、説明や指示が聞けないなどの原因は、本人の努力が足りないのではなく、そのような特性を持つがゆえであり、各教育機関において適切な支援が必要であることが認識されるようになってきた。最近是小中学校のころに検査を受けこのような特性を持っていることがわかり、事前に進学先の学校に伝えられることもある。研究代表者の所属する高知工業高等専門学校（高知高専）でも、そのような学生が入学してきた場合、保健室や相談室、担任や授業担当教員など複数の教職員で支援チームを作り、支援を行っている。

一方で、中学校までは問題がなくとも、高専に入学して授業についていけなくなる学生も多い。高専は主に工学に興味を持つ学生が入学してくる学校であるにもかかわらず、年々物理や数学、化学の授業についていけない1年生が増加している。この原因は、「教科書が読めない」、すなわち、実際に教科書を開いて文章や図を読むことができないだけでなく、文章を読んでも単語の意味や文のつながりを正しく理解できていない学生が増えているためであると推察される。高知高専においても特性を持つ学生は毎年一定数入学してくるが、特性があるために教科書が読めず授業についていけないのか、単に勉強（学力）が足りずに授業についていけないのか、あるいはその両方なのかの区別は難しい。また、一見熱心に授業を受けているように見えても、実は教科書や問題文を全く読めていないという場合もある。いずれにせよ、1年生の時点で理解ができずにつまずいてしまうとその後挽回は難しく、留年・退学となってしまうケースが多いため、このような学生を早期に発見し、個別に適切な指導をしていく必要がある。

教員が授業をしながら学生の様子をうかがうときに、学生の視線の動きから得られる情報は多い。視線の動き（頭の動き）を見ることで、黒板やスクリーンを見ているか、教科書や問題を読んでいるかをある程度把握することができる。学生の視線の動きをより詳しく解析し、視線移動の特徴から内容理解度を判別することができるになれば、授業時に教科書を読む様子から、授業についてこれていない学生の早期発見につなげることができる。

視線追跡(eye tracking)手法自体は以前から存在するものであるが、近年の情報通信技術の発展により、その精度や操作性は向上している。これにより被験者の負担を減らすことができ、より自然体に近い状態の情報を得ることが可能となった。最近ではメガネ型のウェアラブル端末なども登場しており、医学、心理学、教育、マーケティングなど非常に幅広い分野で様々な研究成果が報告されている[1]。また、代表的な視線追跡装置のメーカーであるトビー・テクノロジー社のホームページでは、トビー社の製品を使用した2,000件以上の研究論文のリストが掲載されている[2]。日本語のテキスト読解時の視線移動に関する研究に着目すると、以下のような研究例がある。北条らは、識字障害群とADHD群、コントロール群の児童を対象に音読検査課題を実施し、視線追跡装置により眼球運動を計測し、読字障害児童の音読時の特徴を報告している[3]。関口らのグループは、眼球運動を計測することで、文章読解時の図表のレイアウトが読解に及ぼす影響や、読み書き障害児童の漢字の注視パターンなどを測定している。また、読み書き障害者にセンター試験問題を解いてもらうことで、読み時間が健常者よりも長くなることなどを明らかにしている[4]。

本研究では、学生の視線の動きから内容理解度を判別するための初期段階として、まずは学生が教科書や授業資料の文章や図をどのような順番で読んでいるか、どの部分に着目しているかといった資料閲覧時の特徴を視線追跡装置により可視化し、内容理解度との関係を客観的に評価することを目的とする。また、本研究により得られる知見を活かして、学生が読み易い授業資料の特徴を解明する。

2 研究方法

2-1 使用教材

本研究では、実際に高専1,2年生の物理の授業で使用している自作スライドと、高校物理の検定教科書[5]

を視線追跡測定資料とした。自作スライドは基本的に教科書に沿った内容であるが、内容を要約し、できるだけ短い文章にしたり、フォントサイズや色を変えたりすることで、重要な語句や式を強調したものとなっている。今回の測定では主に、1年次に学習する「放物運動」の一部分を対象とした。

2-2 測定方法

図1に、視線追跡測定時の様子を示す。視線追跡には、Tobii社製の視線追跡装置（Tobii Pro ナノ）[2]を用いた。これはノートパソコン等の画面下部に取り付けて使用するカメラタイプの視線追跡装置で、画面に表示した資料を読むときの被験者の目の動きをカメラで読み取ることで、視線移動や視線の停留を測定することができる。測定したデータは、専用ソフトウェアTobii Pro ラボで読み込むことで、被験者が「どの部分に着目して読んでいるか」、「どのような順番で読んでいるか」を可視化することができる。なお、測定中に被験者の目の位置がずれてしまうと正確な視線追跡を行うことができないため、測定中は頭の位置をほとんど動かすことができない。被験者の疲労を軽減するため、表示する資料は7,8ページ程度とし、測定時間が10分程度になるようにした。測定終了後、被験者に資料の見易さと理解度に関する自己評価アンケート調査を行い、視線追跡による客観的評価と合わせて、資料読解の特徴と理解度の関係を評価した。



図1 測定の様子

2-3 被験者

被験者は、事前に実験内容や個人情報の取り扱いについて説明し同意を得た、高知高専の学生である。教科書は彼らの授業でも同じものを使用していたが、スライド資料は初見となる。また、学生の資料読解の特徴と比較するため、スライド資料の測定は資料作成者（研究代表者）も行った。

3 スライド資料の授業評価アンケート結果

研究代表者が担当している授業では、授業時の内容理解度の向上や予習・復習の機会を与えることを目的とし、スライド資料や授業ノート、授業動画等を作成し、受講学生へ開示してきた。これらの資料は学生には概ね好評であるが、どのような点が良い・悪いかを具体的に調査したことはなかった。そこで、スライド資料の視線追跡測定とは別に、実際にスライド資料を用いて授業を行っている物理Ⅰ（1年生）および物理Ⅱ（2年生）の受講学生に、スライド資料の視認性や資料を読んだ後の内容理解度（自己評価）に関し、表1の項目からなる5段階評価のアンケート調査を行った。なお、内容理解度については、評価5が「非常に良く理解できた」である。回答数は、アンケート調査に関して同意を得られた1年生78名、2年生76名である。Q1～Q5の回答結果の平均を図2に、Q6の自由記述をまとめた結果を表2に示す。

表1 質問項目と評価基準

質問番号	質問内容	評価	評価基準
Q1	全体的な資料の読み易さ	5	非常に読み易い
Q2	文字の読み易さ	4	読み易い
Q3	図の見易さ	3	問題なく読める
Q4	数式の読み易さ	2	読みにくい
Q5	内容理解度	1	非常に読みにくい
Q6	「資料の良かった点や読みにくかった点」について自由記述		

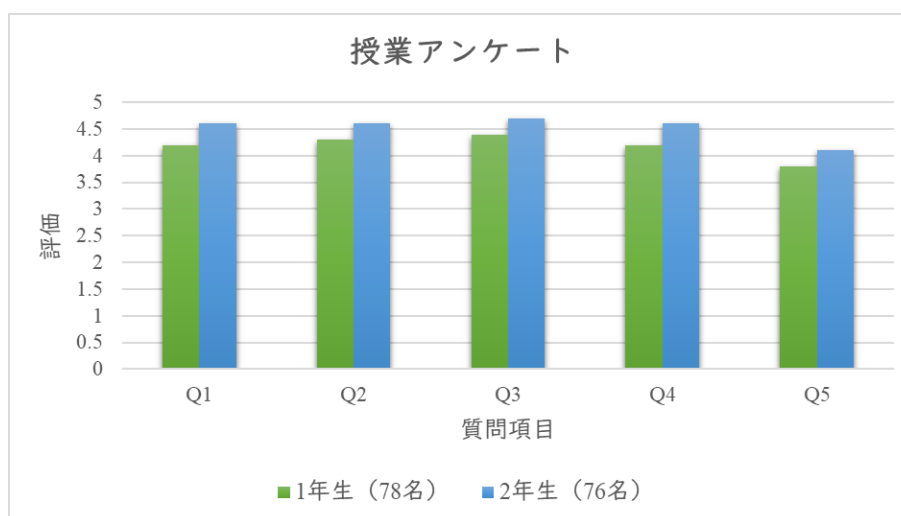


図2 スライド資料に関するアンケート結果

表2 Q6の自由記述回答

肯定的なコメント		否定的なコメント	
文字が色分け・強調されていて見やすい	13名	文字が小さい	6名
図が大きくて良い	2名	文字の色が見えにくい	5名
(問を補足する) 図があるのが良い	2名	数式が小さい	4名
文字サイズがちょうどよい	1名	ページ送りが早い	4名

図2より、スライド資料の視認性に関する項目(Q1～Q4)については、1・2年生とも評価平均が4を超えており、多くの学生が資料を「読み易い」と感じていることがわかる。また、Q6の自由記述における肯定的な意見としては、「文字が色分けされていたり、(太字や枠線などで)強調されていたりして見やすい」というものが大半であった。重要な語句を色分けしたり強調したりすることは、スライド資料の読み易さに大きく影響することが確認できた。しかし、否定的な意見として「文字の色が見えにくい」という意見も複数挙げられた。スライド資料の文字の色分けには主に赤系と青系の色を用いているが、色覚に異常がある場合、これらの色の見分けがつきにくい場合があるようである。色覚異常のある学生にとっても見やすいスライドとするためには、色分けだけでなく、重要部分は太字にする、フォントサイズを変える、下線を引くなどの対応をとる必要がある。

一方、Q5(内容理解度)の評価平均はQ1～Q4に比べて低く、資料の見易さが必ずしも内容理解度の向上に影響しているとは言えない。これは、資料を読んだことで内容を理解したつもりになっている(実際は理解が十分でない)学生が多く存在することを示唆している。そこで、学生は資料をどのように読んでいるかを視線追跡装置で測定・解析することで、内容理解度との関係を客観的に評価すべく、下記の測定を行った。

4 結果・考察

4-1 スライド資料閲覧時の視線移動の特徴

(1) 主に文字と図からなるスライド閲覧時の特徴

図3に、放物運動に関するスライド資料のうち、文字と図が主となるページを閲覧したときの、各被験者の視線停留時間を可視化した図(heat map: 上段)と視線移動を可視化した図(gaze plot: 下段)を示す。

(a)Participant 1 はスライド資料作成者(研究代表者)の測定結果であり、(b)～(e)のParticipant 2～5

が学生の被験者である。また、元のスライドを(f)に示す。Heat map からは、被験者が資料の「どの部分に特に注目しているか」を、gaze plot では、「どのような順番で読んでいるか」を読み取ることができる。

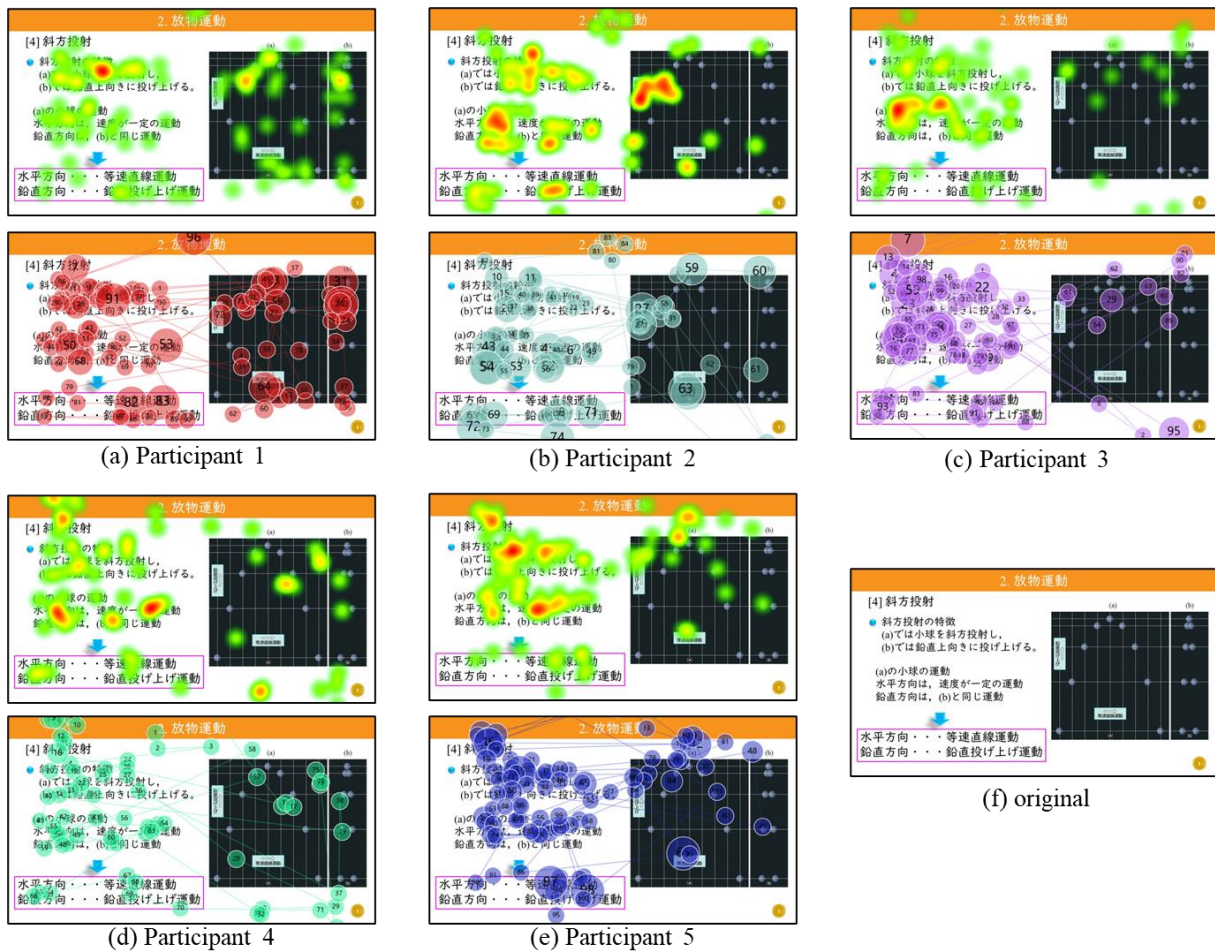


図3 文字と図が主のスライド資料閲覧時の heat map (上段) および gaze plot (下段)

図3(a)の資料作成者の場合、作成したスライドの内容を確認しながら読み進めているため、スライド全体に渡って heat map の分布が現れていることが確認できる。また、heat map の強度がほぼ同じであることから、途中で視線が長時間停留することなく、スムーズに閲覧していることがわかる。このときの gaze plot を詳しく解析すると、まず左上から読み始め、「(a)では小球を～」の行を読んだ後に右側の図(a)を見て、「(b)では～」の行に戻って文字を読み、その後また図を見る、というように、文字→図の順番で読んでいることがわかる。また、同じ行を読み返したり、読み飛ばしたりはしていない。

資料作成者の読み方と同様の傾向を示したのが、Participant 4 と 5 である。彼らはまず説明の文を読み、そこに対応する図に視線を移し、また次の文に移るとい、文字→図の順番で読み進めている。このような読み方は、書かれている文章に対応する図が正しく把握できていることを示唆している。また、スライド左半分の文章部分に heat map の強度が大きい（注視時間が長い）赤色部分が多い。これは、言葉の意味を真剣に考えているために視線が停留しているためであると考えられる。

Participant 2 は、全体的に heat map の赤色部分が多い。この被験者は、まず初めに文を上から下まですべて読み、その後もう一度文と図を読み直している。初めに全体の内容を把握し、その後一文ずつ理解しようとしながら読み進めていっていることが読み取れる。Participant 3 も先に文をすべて読み、その後もう一度文と図を読み直していくスタイルである。ただし、Participant 2 ほどじっくりとは読んでおらず、特に図を見ている時間が非常に短かった。

図3のスライドの学生の閲覧結果で特徴的な点は、スライド下部のピンクの枠で囲みフォントサイズも大

きくした部分の視線停留時間が比較的短いことである。この部分が放物運動を理解する要であるため、枠をつけたりフォントサイズを変えたりして強調することでこの部分に着目してもらおうというのが作成者の意図であった。しかし、実際はあまり着目されておらず、重要部分の強調方法については検討の余地があることが明らかとなった。

(2) 文字、図、数式からなるスライド閲覧時の特徴

次に、文字と図に加え、数式が混在するスライド資料閲覧時の結果を図4に示す。Participant 1~5は、図3と同一である。資料作成者であるParticipant 1は、やはりスライド全体を万遍なく読んでいる。Participant 2, 5の閲覧時の特徴はParticipant 1とほぼ同様であり、文字・図・式を万遍なく読んでいる。特に、文字の色が変わっている部分や、文中に式(記号)が書かれている部分では注視時間が長くなっており、式の内容を確認しながら読んでいることが示唆される。Participant 3, 4は、文字や式は読んでいるが、右側の図にはほとんど視線を向けていない。

このページでは強調部分の文字をピンク色にしているが、この部分については各被験者とも注視時間が長かった。なお、その他のページの測定結果でも、色がかわっている部分の文字を注視する傾向がみられた。以上の結果より、重要部分を強調する場合、枠で囲むよりも文字の色を変えることで高い効果が得られることが明らかとなった。一方、文字部分を読む時間に対し、図を見る時間が短く、中にはほとんど図に視線を向けていない学生もいる。放物運動を学習する場合、式と図の対応関係がイメージできると理解が深まる。図をあまり見ず式に着目する読み方は、式を暗記することに力を入れていると考えられる。今後の授業では、図の位置や見せ方を工夫したり、口頭で図に着目したりするように促すことで、本質的な理解を深められるように指導していく必要がある。

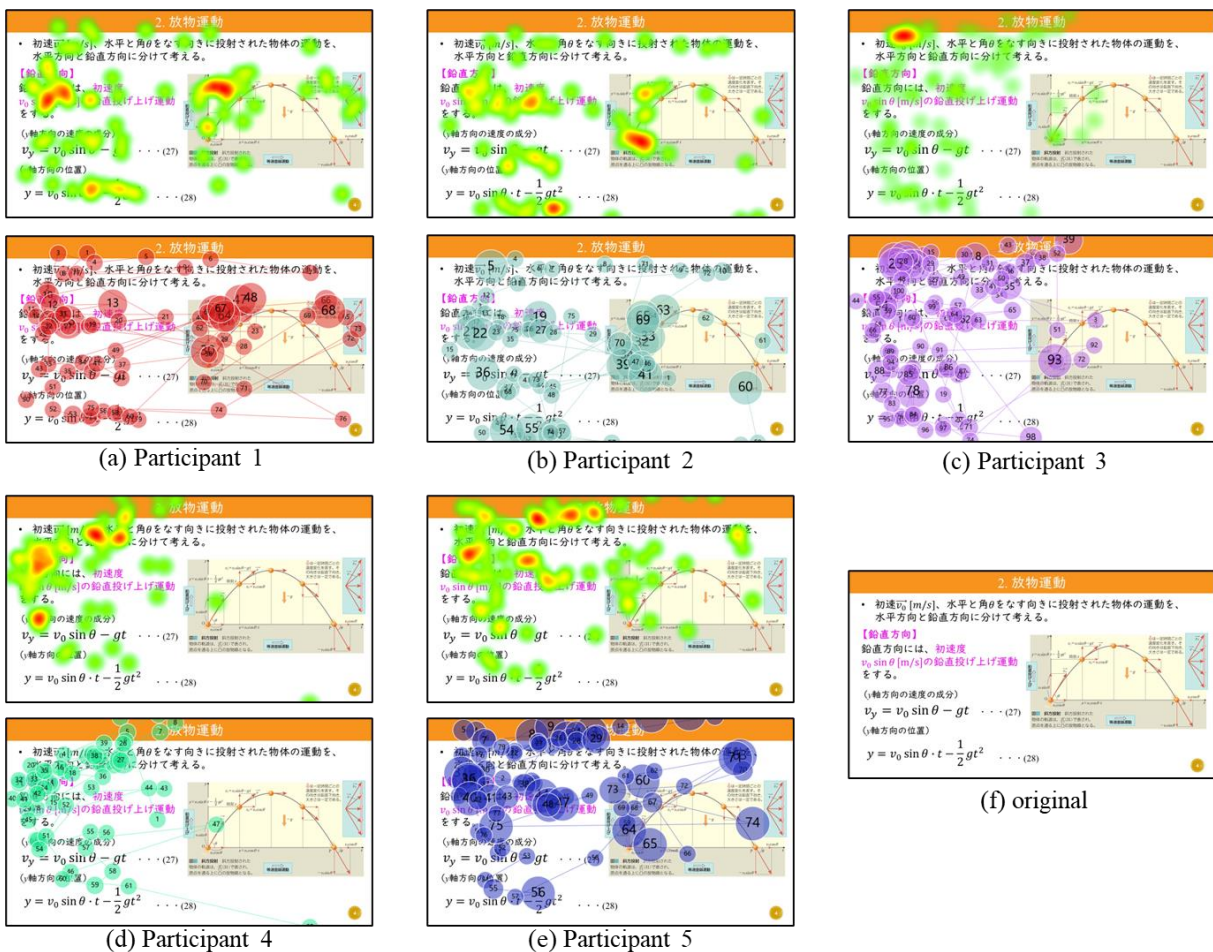
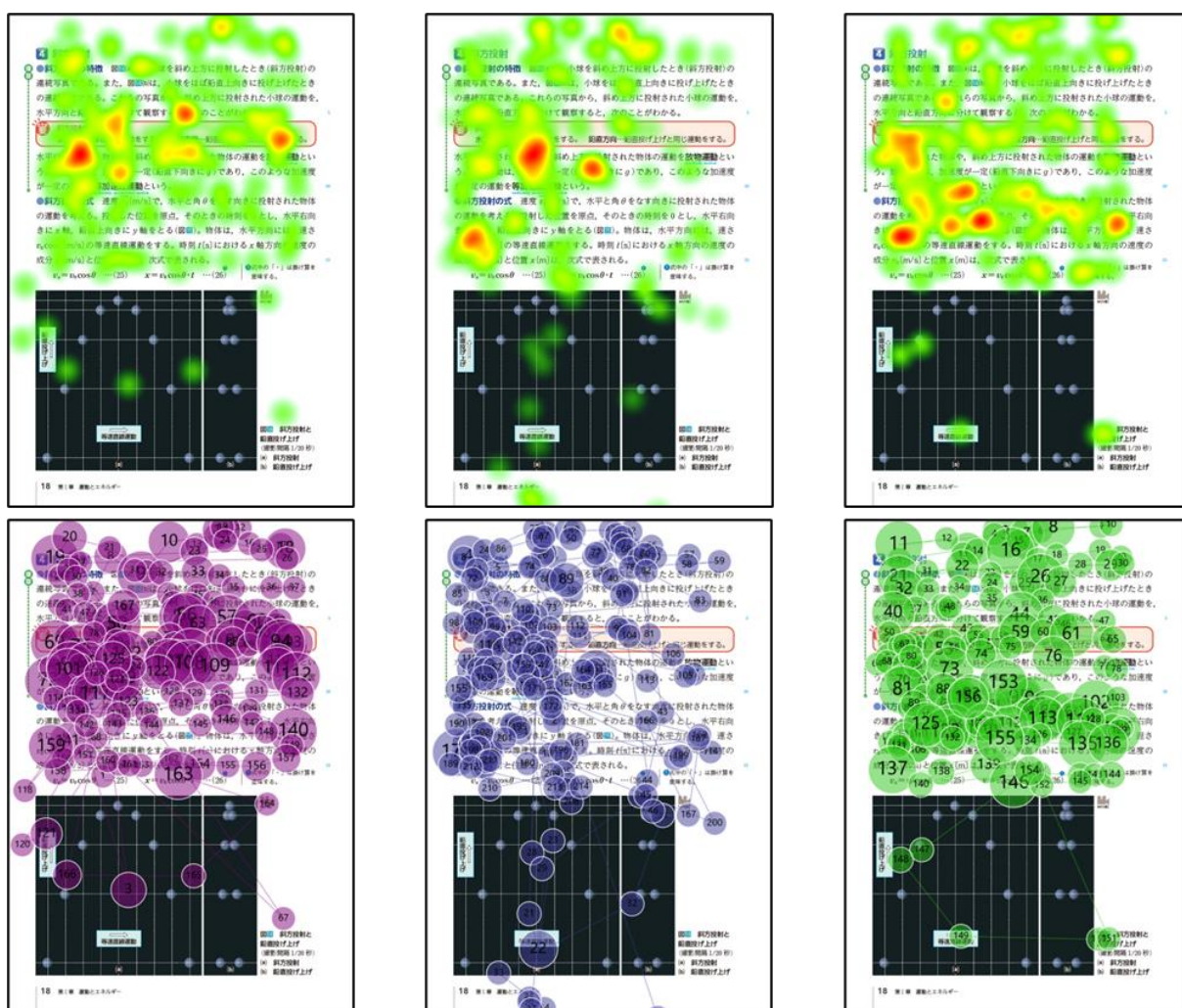


図4 文字・図・数式が混在するスライド資料閲覧時の heat map (上段) および gaze plot (下段)

4-2 教科書資料閲覧時の視線移動の特徴

次に、実際の教科書を読むときの視線移動について調査した。図5に、図3のスライド資料と同じ内容を含む教科書資料の視線追跡測定結果を示す。なお、participant1~3 はすべて学生の被験者である。このページは上半分に説明文、下半分に図が配置されており、数式も含まれている。各被験者のheat mapではいずれも上半分で強度が大きく、文章部分を読んでいる時間が長いことが分かる。特に、「要」として枠で囲われ背景が色付きになっている部分を注視している傾向がみられた。図3のスライド資料では、同様の内容を枠で囲み、フォントサイズも大きくしていたが、あまり注視されることはなかった。この結果から、重要部分に着目してもらうためには、他と背景の色を変えることが有効であることが示唆された。また、数式部分についても文章と同程度の強度になっており、しっかりと視線を向けていることがわかる。一方で、3名とも図にはほとんど視線を向けていない。1 ページの半分を占めている図であるにもかかわらずほとんど見ていないという結果は、非常に意外である。このページの図（写真）が非常にシンプルであるため、直接視線を向けなくても視界の端に入っていれば、認識できている可能性が考えられる。



(a) Participant 1

(b) Participant 2

(c) Participant 3

図5 図3のスライドに対応する教科書資料のheat map (上段) および gaze plot (下段)

各被験者の gaze plot から、基本的に文章を左上から順番に読んでいることが分かった。また、読み進める途中で何度か「要」の部分に戻り、もう一度読み返す傾向がみられた。この被験者3名は、文章に書かれている内容をしっかりと確認しながら読み進めていると考えられる。ただし、図については、文章を読ん

でいる途中で一瞬視線が図に飛び、すぐに文章に戻ったり、説明文をすべて読んだ後のページ送りの直前に一瞬視線を向けたりする程度であり、文章の内容と対応させながら見ている傾向はみられなかった。スライド資料の測定結果から明らかになったように、学生は図と文字が含まれる資料を見る場合、まず文から読み始めている。スライド資料のように一文が短ければ、文を読んですぐに図の対応する部分を見ることができるが、文が長いと読んで内容を理解するほうに集中するため、図を見る意識が低くなっていると考えられる。

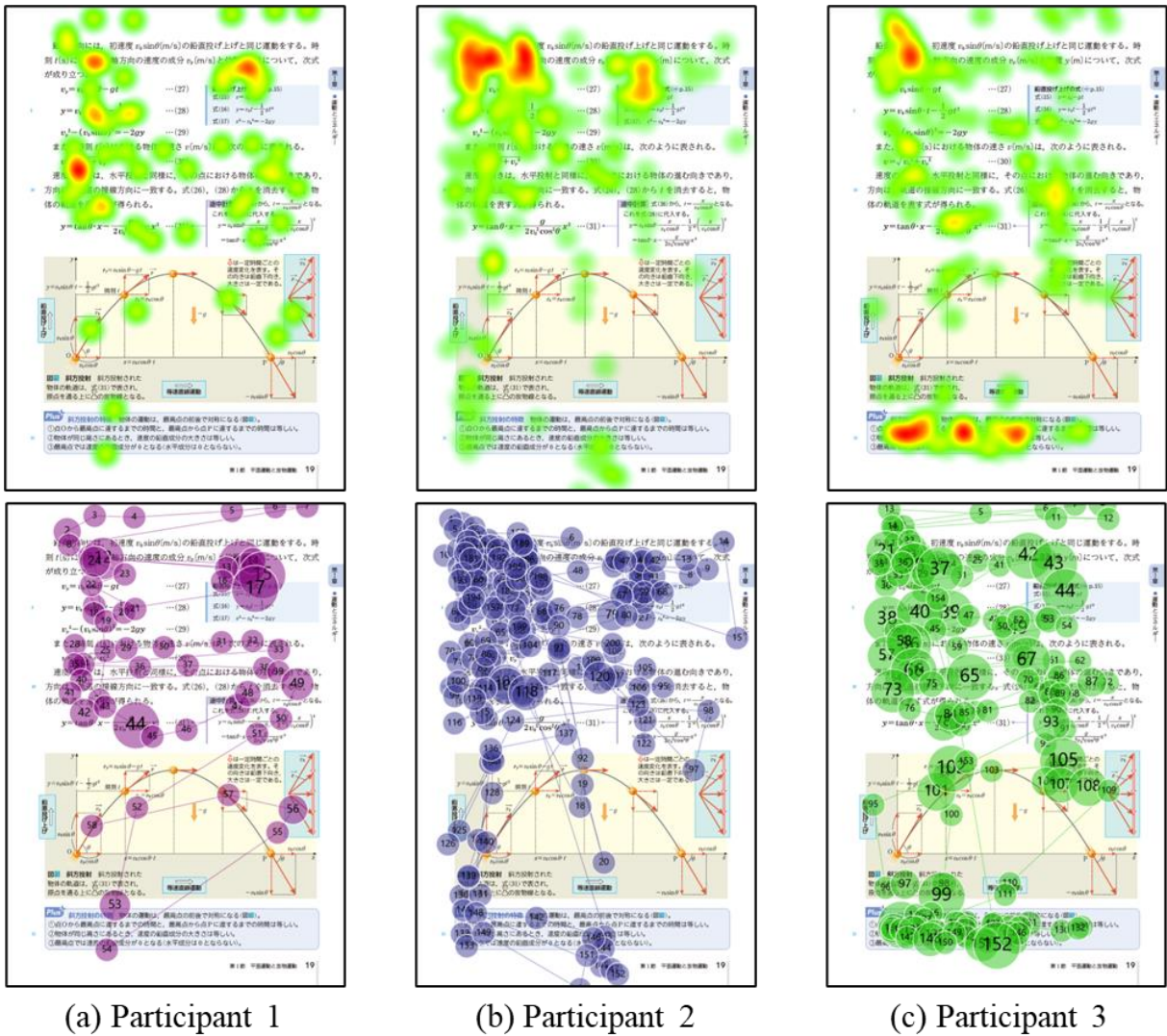


図6 図4のスライドに対応する教科書資料のheat map (上段) およびgaze plot (下段)

図6に、図4のスライド資料と同じ内容を含む教科書資料の視線追跡測定結果を示す。こちらのページは主に数式と図からなっており、各被験者とも数式付近でheat map強度が強くなっており、数式に着目していることがわかる。また、Participant 3は図の下の背景が青く塗られている部分にも着目している。この部分は本文に較べてフォントサイズが小さいが、背景に色がついているため着目されやすいと考えられる。

Gaze plotの解析からは、やはり左上から順番に読んでいくことが分かった。数式が多いページでも、順を追って読んでいくことが確認できた。このページも下半分に図が掲載されているが、図5と同様、途中で一瞬視線を向けるか、ページ送りの際に流し読みする程度にしか着目されていない。これは教科書資料の他のページの測定結果においても同様であり、教科書資料の図はあまり着目されていないことが明らかとなった。

4-3 視線追跡測定後のアンケート調査

視線追跡測定後被験者に対し、資料の視認性や資料を閲覧しての自身の理解度に関するアンケート調査を行った。質問項目は表3のとおりで、それぞれ5点満点の評価である。内容理解度については評価5が「非常によく理解できた」である。なお、今回のアンケートは匿名で実施しており、視線追跡測定結果とアンケート結果は紐づいていない。

表3 質問項目と評価基準

質問番号	質問内容	評価	評価基準
Q1	全体的な資料の読み易さ	5	非常に読みやすい
Q2	文字の読み易さ（大きさ・間隔・色等）	4	読みやすい
Q3	強調部分（太字や枠囲み部分等）の読み易さ	3	問題なく読める
Q4	図の見易さ	2	読みにくい
Q5	図の配置や大きさ・量	1	非常に読みにくい
Q6	数式の読み易さ		
Q7	内容理解度		

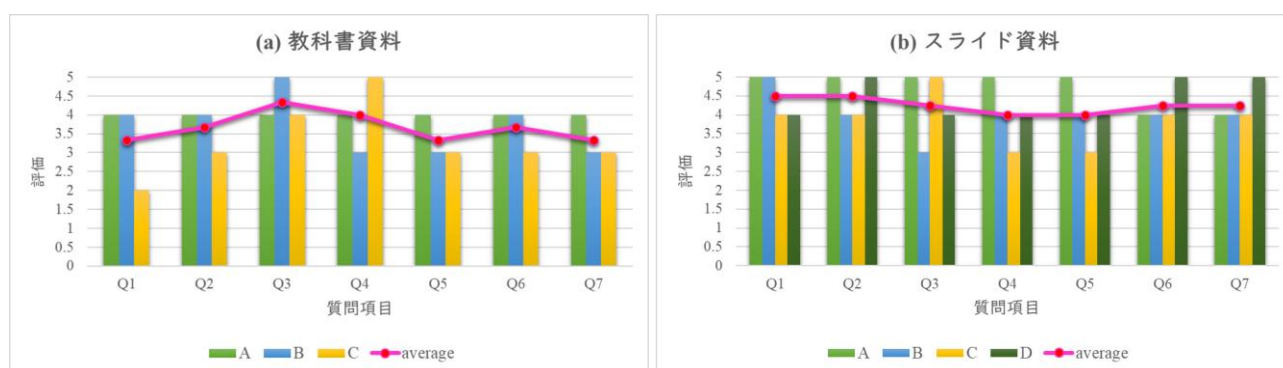


図7 視線追跡測定後のアンケート結果

図7に、教科書資料閲覧後（回答者3名）およびスライド資料閲覧後（回答者4名）のアンケート評価を示す。各項目の評価の平均（図中の折れ線グラフ）を比較すると、ほとんどの項目でスライド資料の評価が教科書資料の評価を上回った。文字サイズを大きくしたり、重要部分を色分けしたりすることで学習者にとって読みやすい資料になっているといえる。資料の読み易さが向上したことで、閲覧後の内容理解度向上の一助になっていると考えられる。

一方、Q3「強調部分（太字や枠囲み部分等）の読み易さ」は教科書資料の方が高評価であった。教科書資料の場合、枠囲み部分は背景色も変えているが、スライド資料では色付きの枠線で囲みただけであった。視線追跡測定の結果から、枠線で囲うよりも背景色を変えるほうが着目されやすいことが明らかとなっており、この差がアンケート結果に表れていると考えられる。

また、Q4「図の見易さ」は、どちらの資料も同程度の評価であった。教科書の図はすべてカラーで、必要な情報が簡潔にまとめられていることから、学習者にとって（全体的に）見易いものになっているといえる。スライド資料の図は基本的に教科書の図を拡大して載せているため、図自体の見易さには大きな差が出なかったものと考えられる。なお、Q5「図の配置や大きさ・量」は、スライド資料の方が高評価となっている。上述のように、教科書資料の文章部分をしっかりと読んでいる学生でも、図にはほとんど視線を向けていなかった。スライド資料の場合も図を見る時間は少ないが、教科書資料よりは高頻度、長時間図を注視していた。この違いは、図の配置によるものであると考えられる。教科書資料の場合文章から図までの距離が離れ

ており、また文章も一文が長いので、文章を読んでいる途中で図に視線を移動することが躊躇われている可能性がある。このことが、教科書資料の Q5 の評価が低いことの一因ではないかと推測される。見やすい授業資料を作成するためには、図や図中の文字サイズを大きくして視認性を高めるだけでなく、重要な語句や式と図の関係がわかるように配置したり、矢印などで視線移動を補助したりし、図に着目しやすくする工夫が必要であることが示唆された。

5 おわりに

本研究では、学生の視線の動きから内容理解度を判断し、理解度の低い学生を早期に発見する手法を開発する初期段階として、実際に学生が教科書や授業資料の文章や図をどのような順番で読んでいるか、どの部分に着目しているかといった資料閲覧時の特徴を視線追跡装置を用いて調査した。また、資料の視認性と理解度に関するアンケート調査を行うことで、視線移動の特徴と内容理解度との関係を客観的に評価することを目指した。

視線追跡測定の結果、教科書のように比較的文字数が多い資料を読む場合、文字部分を順に読んでいき、図はほとんど見られていないことが分かった。スライド資料の場合も、図を見る時間は文章を読む時間に比べて短かったが、一部の学生は文章と図を交互に見ながら読み進めており、教科書資料よりも図を見る機会が多かった。物理を学習する場合、内容を理解するためには図をしっかりと見て、言葉や式との関係を理解することが重要である。スライド資料の場合、短い説明文→図の順に視線が移動することで、読んだ内容と図を関連付けることができ、理解度の向上に役立っていると思われる。一方、測定後のアンケート調査において教科書資料閲覧時の内容理解度が低いのは、図をよく読んでいないことが一因であると思われる。教科書の図の多くはページの上部または下部に配置されていることから、教科書を読む学生の視線が紙面に対して上下に移動していない場合は、図をよく見ていないと考えられる。教員が授業時に学生の様子を確認する場合、視線の上下移動に注意すると、理解度の低い学生を発見することができる可能性がある。

測定後のアンケートや授業評価アンケートでは、スライド資料の視認性について概ね高い評価が得られた。ただし、強調部分の見易さについては、教科書資料の方が高評価であった。視線追跡測定の結果からは、重要部分を色付きの枠線で囲む強調方法は、その部分に着目してもらうという観点からはあまり有効ではなく、背景に色を付けるほうが有効であるという知見が得られた。本研究結果より、見やすい授業資料を作成するためには、図や図中の文字サイズを大きくして全体の視認性を高めるだけでなく、強調部分の表し方や読者の視線を図に注目させるような図の配置や表記の工夫が必要であることが明らかとなった。

なお、本研究では視線追跡測定の被験者が非常に少ないため、本研究で得られた視線移動の特徴と内容理解度との関係について明確に結論付けることができていない。今後さらに被験者数を増やし、定量的な解析を行っていく。また、資料閲覧後の内容理解度に関する評価はあくまで学生の自己評価であり、実際は資料を読んだことで内容を理解したつもりになっている（実際は理解が十分でない）学生が存在する可能性がある。今後、測定後に閲覧内容に関する小テストを行い、内容理解度を客観的に評価する。本研究をさらに進めることで、内容理解度が低い学生の視線移動の特徴を解明し、教員がその特徴をもとに早期発見するための手法を開発していくとともに、万人にとって読み易く、授業内容の理解度を高めることができる授業資料を開発していく。

【参考文献】

- [1] Ahmad F. Klaib, et al., “Eye tracking algorithms, techniques, tools, and applications with an emphasis on machine learning and Internet of Things technologies”, *Expert Systems With Applications*, 166, 114037 (2021).
- [2] トビー・テクノロジー株式会社
https://www.tobii.com/ja/research_paper/
<https://www.tobii.com/ja/product-listing/tobii-pro-nano/>
- [3] 北条彰等、「特異的識字障害児の音読における視線の特徴」、*昭和学会誌*、第 76 巻、第 5 号、pp.598-606、(2016).

- [4] 関口貴裕、「眼球運動計測を通じた新しい読みの評価法の開発研究」、平成 22－23 年度 広域科学教科教育学研究経費研究報告書
http://www.u-gakugei.ac.jp/~graduate/rengou/kyouin/news/data_kouiki/04.pdf
- [5] 文部科学省検定済教科書高等学校理科用「高等学校 改訂 物理」、第一学習社 (2018).

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
視線移動の特徴に基づいた授業資料の改善について	工学教育	(投稿準備中)