

# ハイブリッド型による主観的難易度の推定

菅野真功<sup>†1</sup> 小林稔<sup>†2</sup>

**概要:** 今日授業中の生徒が授業内容についてどの程度理解できていると感じているかを把握し授業改善に役立てるための主観的難易度の測定方法の研究が盛んである。主観的難易度とは学習者が授業や教材に対してどのくらい難しいと感じているかを表す指標である。主観的難易度の推定方法は大きく2つに分かれ、学習者が自ら理解度を申告するアクティブ型と、カメラやセンサを用いて自動的に推定するパッシブ型があるが、それぞれにメリット、デメリットがある。本研究ではアクティブ型とパッシブ型を組み合わせることで両方法のデメリットを軽減することを目的に、ハイブリッド型による主観的難易度の推定手法を提案する。ハイブリッド型、従来のアクティブ型、従来のパッシブ型をそれぞれ実装し、3つの手法を使用した時に受ける印象を比較する実験を行った。その結果から提案手法の有用性や不足している機能などを考察した。

**キーワード:** FD, 主観的難易度, 視点情報, 顔の傾き, アイトラッカ

## 1. はじめに

今日多くの高等教育機関において授業改善の試みが盛んに行われ、Faculty Development (以下FDと表記する)の重要性が大きくなっている。FDとは教員の授業改善に向けた組織的な取り組み方法を指す。また近年ではFDが大学、大学院で義務化され、教育機関で様々な手法で取り入れられている。教員の組織的な研修の他に従来の代表的なFD活動の例として、学生への授業評価アンケートが挙げられるが、集計や分析にコストがかかってしまう。またアンケートは授業を数回行うごとに実施されることが多く、講義全般に関する意見は出てくる可能性はあるが、「あの単語についてもっと説明してほしい」や、「もう一度戻って説明してほしい」など細かい指摘や意見を受け、それを即座に授業へ反映させることは難しい。このことからFD活動の改善や効率化の模索がなされている。

FD活動として次の授業に向けて授業後に教材や授業内容を改善することも必要であるが、学習者側から見ると授業を受けている最中に分からない部分をもっと説明してほしいという場が存在する。そのような問題を教師側が解消するためには、教師が講義中に学習者の状態を把握する必要がある。同様に学習者側から理解していない部分を提示することも重要であり、これによって教師が学習者の状態を把握しやすくなり授業内容に反映しやすくなる。このように学習者と教師が双方向でコミュニケーションのとれた授業は理想と言える。しかし大学の講義のような大多数の学習者のいる状況では、授業で理解できなかった箇所を質問しづらいと感じる者が多い。また学習者側が授業に対する反応をしないことで教師側は学習者の状態を掴みにくくなり、学生と教師での双方向コミュニケーションのとれた授業にすることは困難である。さらに、学習者の状態を

把握できない者やそうでない者にとっても、学習者の人数が増えるにつれて状態を把握することは困難になる。そのため学習者の状態を把握するための授業支援ツールの研究が進められている。

### 1.1 授業支援ツール

FD活動の中でInformation and Communication Technology (以下ICT)を利用する試みがなされている。ICTを活用する授業支援システムは多様な情報を効率よく提供するとともに、教員と学生間での双方向コミュニケーションを促進させる。

加藤らは優れた授業実践のための7つの原則に基づき、現状の授業支援システムで実施可能な活用方法を明らかにし、今後どのような拡張機能が必要かを検討している[1]。その結果、学生の学習状況を取得する機能の拡張が課題であることが分かった。要求される機能としては「学生の学習状況を取得する」、「教員に学生の学習状況を提供する」という2つが挙げられた。

授業支援システムは対面授業だけではなく近年普及しているe-learningのようなWeb上の教材や映像を通して自学自習する形態にも取り入れようと研究されている。e-learningは対面授業とは違い教師が学習者の状態を見ることすらできない。そのため一方的な授業になってしまうことが多い。よってe-learningにおいても学習者の学習状況を把握する機能が必要とされている。大川内らは非同期型e-learningシステムにおいて受講中の講義ビデオの再生回数や、一時停止の時間の長さが、学習者がその時に感じている講義内容に対する理解の困難さと関係があることを示している[2]。このように対面授業でもe-learningでも学習者の状態、理解度を把握し、教師側に提供することが重要になってきている。

<sup>†1</sup> 明治大学院総合数理科学研究科先端メディアサイエンス専攻  
Program in Frontier Media Science, Graduate School of Advanced  
Mathematical Sciences, Meiji University

<sup>†2</sup> 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科  
Department of Frontier Media Science, School of Interdisciplinary  
Mathematical Sciences, Meiji University

## 1.2 学習者の感じる難易度

学習者が講義中に感じる難易度は大きく客観的難易度と主観的難易度の2つに分けることができる。客観的難易度は、学習者の理解度を客観的に判断するものである。これはテストや問題を授業中に学習者に投げかけ、その結果から理解度を推定することができる。一方、主観的難易度は学習者自身が教材や授業に対してどのくらい理解していると感じているか主観的な基準で測るものである。教師側は主観的難易度を学習者の表情やしぐさなどから判断することができる。また、学習内容の理解を深めるためには、教師側から見た客観的難易度と学習者が感じる主観的難易度の両者を考慮することが必要不可欠である[3]。本論文では学習者自身が感じている授業の分からない部分を教師側に伝えるシステムを検討するため、推定するものは主観的難易度となる。主観的難易度を推定し、学習者側から楽に教師側へ伝えることのできる授業支援システムを検討していく。

## 2. 関連研究

### 2.1 アクティブ型の主観的難易度の推定方法

アクティブ型の主観的難易度の推定方法は学習者自身がボタンで知らせたり、何らかの申告を教師側に送ったりするものである。奥井らは授業中にボタン端末を学習者に持たせ、学習者が自分の理解度に応じたボタンを押し、そのデータを集計した後に学習者へフィードバックするシステムを提案している[4]。またこのシステムを適応したクラスと適応していないクラスとで試験の平均点を比較したところ、システムを使用したクラスが使用していないクラスを上回った。八重樫らは授業中に学習者がボタン操作で授業に対するフィードバックを行い、そのフィードバックがウェアネス情報として可視化される e-learning 用のシステム「iPlayer」を開発した[5]。システムの評価ではシステムを使うことによって学習者が集中して授業を受けられるという可能性が示された。しかし、これら従来の手法にはメリットもある一方でデメリットも存在する。アクティブ型の大きなデメリットとして挙げられるのは授業中に何らかのシステムの操作を自身で行わなくてはならないことである。システムの操作をするたびに授業への意識が中断され、学習者への負担が大きくなってしまふ。そのため学習者が操作する必要のない自動で推定するシステムが必要となっている。

### 2.2 パッシブ型の主観的難易度の推定方法

パッシブ型はアクティブ型のように学習者自身が主観的難易度を示すために操作することは無く、自動でカメラやセンサなどで推定する手法である。これまでの研究では学習者の主観的難易度を自動で測るためにカメラ画像を用いるものが多かった。中村らは難しいと感じた学習者の顔動作に着目し、主観的難易度を推定するための顔特徴をス

テレオカメラ画像から検討した。用いた顔特徴は顔の傾き、つぶやき、視点情報などであり、それらの顔特徴が多くの学生に有意な相関があると確認している[6]。また大社らは学習者の視点情報に加え一般的な単語の出現頻度を考慮して主観的高難易度単語を推定するシステムの開発を行った[7]。主観的高難易度単語とは文章を読んだ際にユーザが難しいと感じた単語である。一般的に出現頻度の少ない単語には知らない単語が多いと予想される。それに加えて難しいと感じる時に読む速度が遅くなったり同じところを見続けたりする傾向もある。これらのことから主観的難易度を推定しようとしている。他にも e-learning で学習している学習者のマウス操作と顔特徴を組み合わせて推定する手法などパッシブ型で主観的難易度を推定する手法は様々である[8]。このようにパッシブ型で主観的難易度を推定するために用いる情報の種類は多い。

これらパッシブ型の手法では高い推定精度を得るために個人差を想定した機械学習が必要であるが、そのために膨大なデータを集める必要がある。また顔特徴を取得するために複数台のカメラやセンサが必要となりコストがかかってしまう。そして学習者は授業中にカメラ等で撮影されることで監視されているように不快感を抱いてしまう可能性もある。実際に授業中に使われることを想定して外部機器は安価で標準的に使用できるものを活用し、学習者の心理的負担の少ない設計が求められている。

## 3. 研究目的・提案手法

### 3.1 研究目的

従来の主観的難易度の推定方法にはアクティブ型とパッシブ型の2種類があったが、それぞれでメリットと同時にデメリットも存在する。2章でも述べたようにアクティブ型のデメリットはシステムの操作で授業中に学習者に負担を与えてしまうことである。パッシブ型のデメリットは、カメラや特別なセンサを使いコストが高くなってしまふことや、精度を上げるために機械学習の準備が大変であること、そして学習者のカメラやセンサから受ける心理的負担が大きいことである。本研究ではこれらのデメリットを解消するシステム、特に学習者への負担が少ない、学習者の主観的高難易度箇所を教師側に提示するシステムの構築を目的とする。

### 3.2 ハイブリッド型による主観的難易度の推定

提案手法は、アクティブ型とパッシブ型を組み合わせたハイブリッド型による主観的難易度の推定である。アクティブ型とパッシブ型の両者を組み合わせることで両手法のメリットを消すことなくデメリットを低減することができる。まず従来のパッシブ型のようにカメラやセンサで主観的難易度の推定を行う。そして推定した箇所にシステム側から学習者へ問いかけを送り、学習者にボタン操作で理解度を回答させる。この2段階を通して理解できて

いないと判断された箇所が教師側に伝わる。本手法では分からないであろう箇所をシステムが自動で推定し、その箇所でのみ学習者は操作を行えばよい。アクティブ型のみで行うよりも操作面で学習者への負担は軽減できる。また、自動で推定して最終的に学習者自身が回答することによって、教師に伝わるか伝わらないかを自身で判断できるため、教師側へ勝手に情報が流れることは無い。これによって学習者の精神的負担もパッシブ型のみで推定するよりも軽減されることが期待できる。推定精度の面においても学習者が自分の主観によって回答するためパッシブ型の推定精度が高くなくても最終的な自分の主観で誤った情報が送られることを阻止できる。これによって、従来のパッシブ型のように機械学習を駆使する必要なく、推定精度を高く保つことができると考えられる。

#### 4. 提案システム

提案手法であるハイブリッド型、従来のアクティブ型、従来のパッシブ型の3つの手法を比較して、学習者がシステムを使用する際に受ける印象を調査するため、3つのシステムを構築する。また、近年の高等教育機関での授業は講義資料を共有し、学習者が自身のPCで資料を見ながら受ける講義が多くなっている。この状況を想定してシステムのメイン機材を授業中使用する学習者のPCとする。

##### 4.1 pdfビューワー

学習者が講義中使用するシステムでは講義中、教師が説明する資料と同じ資料を手元のPCで見ながら受講することを想定するため、任意のpdfを閲覧できるpdfビューワーを開発した。学習者は講義の進行に合わせて自分の見たいスライドを見るように使用してもらう。学習者がアクティブ型を使用する場合pdfを閲覧できる機能の他に、図1のように右下に設置されたスライダーを授業中適宜自身で理解度を教師側へ伝えるために使用する。パッシブ型は自動で推定するためこの機能がない図2のようなpdfビューワーとする。



図1 アクティブ型とハイブリッド型のpdf閲覧画面



図2 パッシブ型のpdf閲覧画面

##### 4.2 顔特徴量の検討

パッシブ型で推定するためにはカメラや特別なセンサーが必要となる。3.2で述べたように、パッシブ型のデメリットとして使用する機材のコストが高いことが挙げられるため、これらの機材を少なく、なるべくコストを下げることも重要である。そこで本研究では極力使用する機材を安価で少なくすることを試みる。従来のパッシブ型の研究では顔特徴量を使用するものが多く、主観的難易度を推定する上で有効な情報であることは結果からも分かっている。この顔特徴量をPCの内蔵カメラや容易に設置可能なWebカメラを使って測ることが可能であるかを検討する。はじめに、学習者が理解困難箇所を直視した時、首を傾げたり頭部位置が大きくずれたりする傾向を基に使用している顔の傾きをWebカメラで撮影した画像から測った。次に、分からない単語や文章を読む際、視線の動きが遅くなったり、同じ部分を注視したりすることから学習者の主観的難易度を判断する視線の検出を行った。結果からWebカメラでの視線検出は十分な精度で視線位置を測ることはできず主観的難易度を推定するには難しいと判断した。安彦らの研究では同様にWebカメラによる視線検出を行っているが、取得できるのは画面外の下および左右を注視している場合であった[9]。従来のパッシブ型のように視線の動く速さや分散から主観的難易度を推定することは困難である。しかし、視線検出を行うアイトラッカが内蔵されているノートPCがすでに販売されていることや、安価で十分な精度を持つアイトラッカも気軽に手に入れることができるためアイトラッカを用いて視線を検出する。視線と同様に口のつぶやきの検出もWebカメラでの検出は精度の面で難しいと判断した。よって本手法のパッシブ型の推定方法を使用する部分では顔の傾きと視線を利用する。

### 4.3 パッシブ型を用いる部分

パッシブ型とハイブリッド型のシステムでは学習者が理解していないと思われる箇所をパッシブ型の推定方法で推定する。図3のように Web カメラとアイトラッカを PC に接続して使用する。



図3 Web カメラとアイトラッカを使用したシステム

### 4.4 顔の傾き

Web カメラで撮影した学習者の画像から顔の傾きを測定する。顔の傾きは学習者の目の位置を検出し、両目の中心座標 2 点を求め、その 2 点を結んだ線の垂直 2 等分線を顔の軸とした。また講義を受けている間学習者は前方に映された資料や講師を見ることもあるため、顔の向きが PC の画面に向かっていているときのみ測ることとした。従来の研究では顔の傾きの分散を特徴量として使用するものが多いが、本手法のパッシブ型を使用する部分ではステレオカメラのような高精度のカメラを使用せず、設置が安易な Web カメラを用いる。そのため顔画像を撮影するフレームレートが低い。さらにカメラで撮影した画像から顔の傾きを求める処理に時間がかかる。よって分散値を扱った場合、大きなずれが生じてしまい上手くデータをとることができなかった。そこで本手法のパッシブ型を使用する部分では、顔の傾きの分散ではなく顔の傾きの大きさを特徴量として利用する。

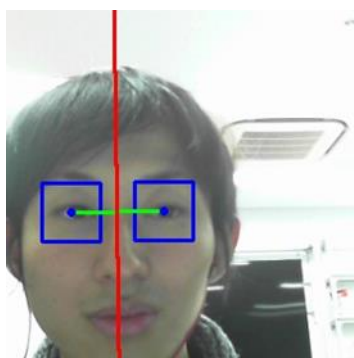


図4 顔の傾きを測っている様子

### 4.5 視線検出

アイトラッカを用いて視線を検出し、注視している箇所を推定する。視線の動きを測る際従来の研究では視線の分散を用いている。よって本手法のパッシブ型を使用する部分でも視線位置の分散の値を計測する。また使用するアイトラッカは Tobii eyeX であり、サンプリングレートは 60 Hz である。

### 4.6 ポップアップ

ハイブリッド型では 4.4, 4.5 で述べたパッシブ型の推定方法で自動推定した箇所に対して理解度に関する問いかけを表示し、学習者に回答させる。図5のように理解していないと判断したスライドに対して画面の最前面にポップアップが表示される。問いかけ内容は「このスライドを本当に理解できていますか?」であり、学習者は「はい」か「いいえ」のボタンを押し、回答する。アクティブ型と同じスライダーを右下に設置し、理解できていなかったのにポップアップが表示されなかった時のみスライダーを動かすように使用させる。また、スライドの内容を理解しているのにポップアップが表示された場合やそもそも表示されること自体が学習の邪魔であると考える学習者がどのくらいいるかを実験で調査する。

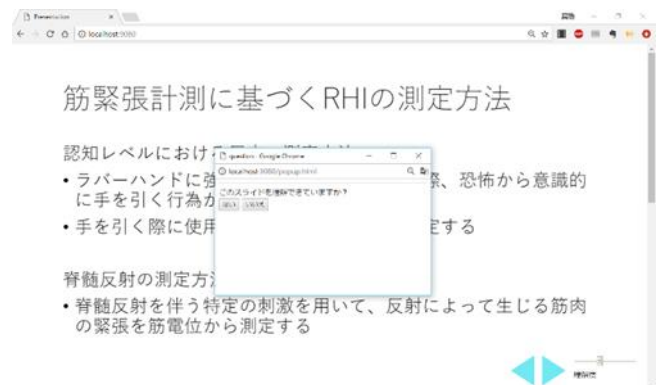


図5 ポップアップが表示された画面

## 5. 予備実験

4 章で述べた提案手法のパッシブ型を用いて推定する部分では、実際に学習者の視線や顔の傾きがどのような変化をした時、理解していないであろうと判断するかを決定しなければならない。従来の手法では、個人差を考慮して、機械学習を行いその学習器を基に判定している。本手法では、パッシブ型の精度は高くなくとも教師に伝わる前に本人が理解度に関する問いかけに回答するため、最終的に教師に伝わる情報は学習者が伝わって欲しい情報になる。したがって本手法では予備実験を通して簡易的に視線位置の分散と顔の傾きの閾値を設定する。



### 5.1 実験手法

予備実験では、実験参加者4名にあらかじめ録画しておいたおよそ10分の講義映像を見てもらい、その時の実験参加者の視線位置の分散と顔の傾きを測る。映像を見終わった後、理解できなかったスライド番号を答えてもらい、理解できている箇所と理解できていない箇所で見線位置の分散と顔の傾きがどのような値の変化を示すかについて調査した。また、実験は図6のように前方のスクリーンに講義映像を映し出している。これは実際の講義状況で学習者は前方を見たりPCの画面上を見たりするためその状況を再現することを期待している。また、実験参加者間で、受ける講義の内容に差異が生じることを防ぐ目的で講義映像を用いる。

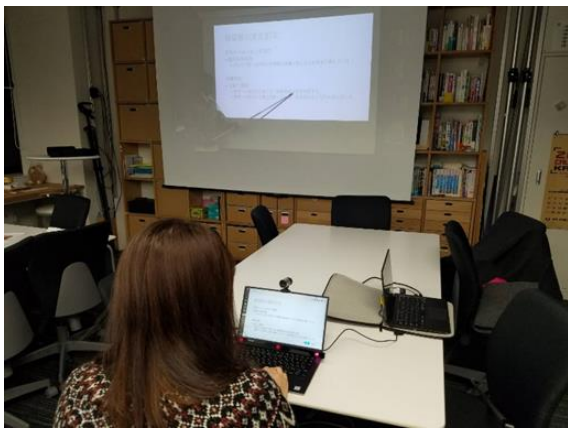


図6 実験の様子

### 5.2 実験結果

実験の結果、表1のように実験参加者には理解できなかったスライドがそれぞれ存在した。そこで理解できなかったスライドと理解できたスライドで実験から得た顔の傾きと視線位置のデータを比較した。分からなかったスライド番号と実験開始からの時間は表1のとおりである。図7、図8は予備実験で得られた実験参加者4人の視線位置の分散の遷移と顔の傾きの遷移をまとめて表したものである。またグラフ外の数値が明らかに大きくなっている部分は誤認識や閾値を求める際に必要ないものとして扱っている。

表1 実験参加者の分からなかったスライド番号と実験開始からの経過時間

	分からなかったスライド番号	実験開始からの時間(秒)
実験参加者A	9	336~401
実験参加者B	5, 9	159~187, 336~401
実験参加者C	4, 8, 9	106~158, 285~335, 336~401
実験参加者D	6, 8, 9	188~256, 285~335, 336~401

### 5.3 実験考察

まず、視線位置の分散では図7から表1にある実験参加者が理解できたと回答したスライドと理解できなかったと回答したスライドでどちらも低い値と高い値が示されていることが分かる。しかし、実験参加者が理解できなかったと回答したスライドでは理解できたと回答したスライドよりも低い値で連続した値が示されている。これは分からない箇所で見線が一定時間停留しているからであると考えられる。よって理解できたと回答したスライドで連続して表れた群の最小値703.28を上限とし、それよりも低い値を連続して示した場合、その箇所が理解できていないと判断することとした。

次に顔の傾きに関して、図8から実験参加者が理解できたと回答したスライドも顔の傾きが低い値に集中している。理解できたと回答したスライドにおいて、数値が連続して大きい値を示した群の最大値は13.67度となった。一方、実験参加者が理解できなかったと回答したスライドでは図8に示すように理解できたと回答したスライドの結果からは見られなかった高い値を連続して示していた。よってシステムの閾値は理解できなかったと回答したスライドで連続して現れた群の最大値である21.96度を上限とする。この値と理解できたと回答したスライドで現れた最大値である13.67度との間が学習者の理解できていないとされる範囲と設定することとした。

顔の傾き、視線位置の分散のそれぞれで実験参加者が理解できなかったと回答したスライドに特別な傾向が見られた。また、それぞれの実験参加者で理解できなかったと回答したスライド以外ではこのような傾向は見られず、実験参加者の癖による傾向でないことも示された。6章で述べる評価実験では精度ではなく学習者のシステムを使った印象評価を比較するため、主観的難易度を推定する閾値の決め方としては十分でない。本システムの精度は、実際に学習者が使う場合、今後改善していく必要があると考える。

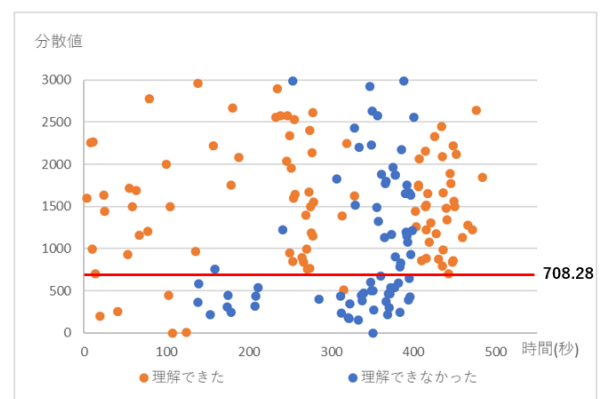


図7 実験参加者の視線位置の分散

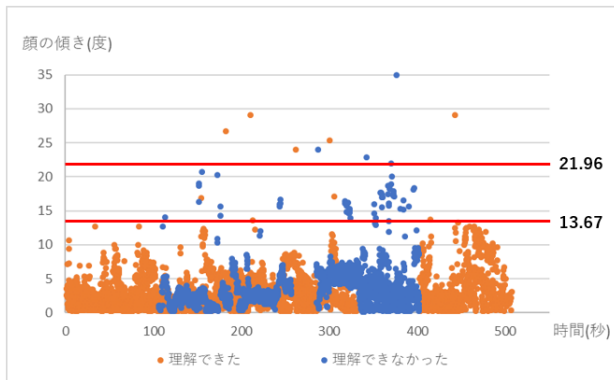


図 8 実験参加者の顔の傾き

## 6. 評価実験

4 章で述べたアクティブ型、パッシブ型、ハイブリッド型のシステムを実験参加者に使用してもらい、感じた印象や負担を調査する実験を行った。

### 6.1 実験手法

実験は実験参加者 11 名を対象に行った。あらかじめ録画しておいた 10 分前後の講義映像を 3 種類用意し、予備実験と同様に前方のスクリーンに映し出す。実験の手順としては、まず初めに実験参加者にそれぞれのシステムについて説明し、1 回目にアクティブ型の手法を使用しながら講義映像を見てもらい、映像終了後アンケートに答えてもらう。その後 2 回目、3 回目にそれぞれ別の講義映像でパッシブ型とハイブリッド型をそれぞれ使用した場合も 1 回目と同様の手順で進める。また、実験を後に行う手法の方がカメラやセンサに慣れてしまう可能性も考えられることから実験参加者の 5 人はハイブリッド型より先にパッシブ型を使用し、残りの 6 人はパッシブ型よりハイブリッド型を先に使用してもらった。実験参加者の疲労が数値に影響を与えることを防ぐため、それぞれアンケートを答えてから次の手法を行うまで十分に休息をはさんだ。

それぞれの手法を使用した後行ったアンケートでは 3 手法それぞれの印象について(5)を除き 7 点を最高としたリッカート法で行った。アンケートの内容は以下の通りである。(1)、(2)については 3 手法で実験参加者の回答の平均値を比較し、(3)はパッシブ型とハイブリッド型で実験参加者の回答の平均値を比較する。(5)、(6)はハイブリッド型の通知機能についての印象をたずねた。

- (1) システムの操作が受講の負担になると感じましたか？
- (2) カメラやセンサでセンシングされていることが不快に感じましたか？
- (3) 画面上のインタフェースが邪魔であると感じましたか？
- (4) 理解しているか問いかける通知が邪魔だと感じましたか？

- (5) 理解している箇所に問いかける通知が来ましたか？
- (6) ((5)で“はい”と答えた場合)理解している箇所に問いかける通知が来ることを不快に感じましたか？

### 6.2 実験結果

アンケートの結果は図 9~14 で示す。図 9~11 では実験参加者の回答の平均値を示し、図 12~14 はそれぞれの項目に回答した実験参加者の人数を示す。図 9 よりアンケート(1)の結果では提案手法であるハイブリッド型がアクティブ型よりも操作が負担になると感じた実験参加者が少なかった。図 10 よりアンケート(2)ではパッシブ型とハイブリッド型ではカメラとセンサに対する不快感に大きな差が見られなかった。

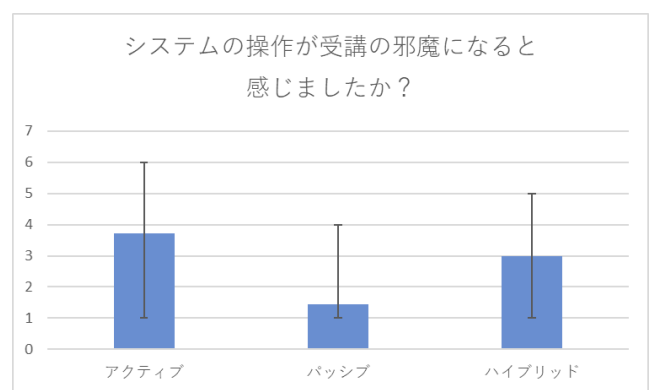


図 9 アンケート(1)の結果

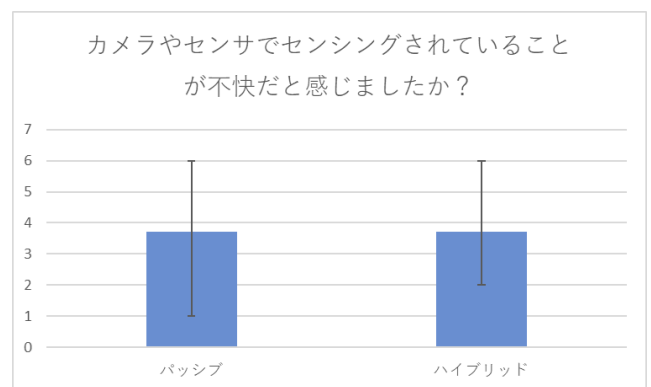


図 10 アンケート(2)の結果

図 11、図 12 はシステムのインタフェースが学習の邪魔だと感じるかを調査した結果である。パッシブ型と比べるとアクティブ型とハイブリッド型で画面上のインタフェースが邪魔であると多くの実験参加者が感じている。また、ハイブリッド型に関してはポップアップが出現することが邪魔であると感じている実験参加者が多く見受けられた。

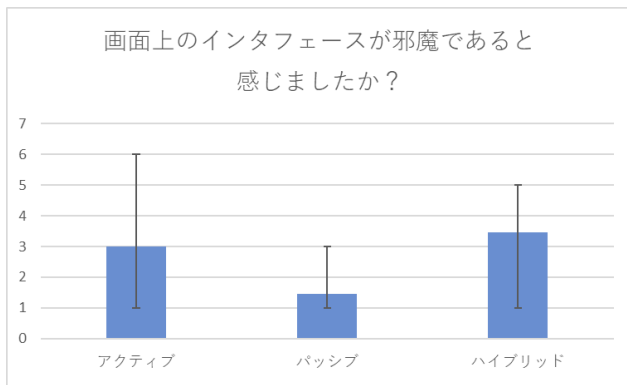


図 11 アンケート(3)の結果

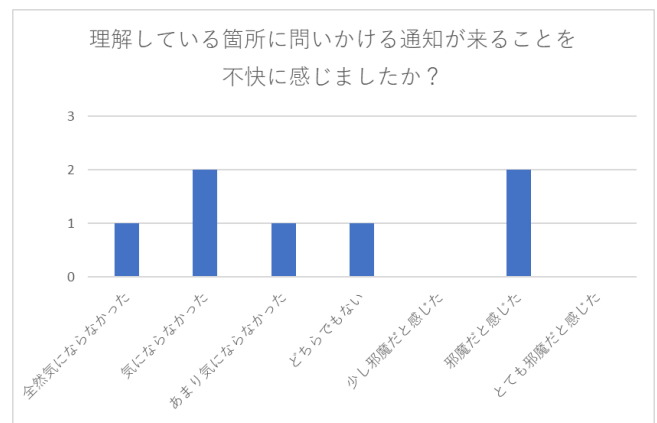


図 14 アンケート(6)の結果

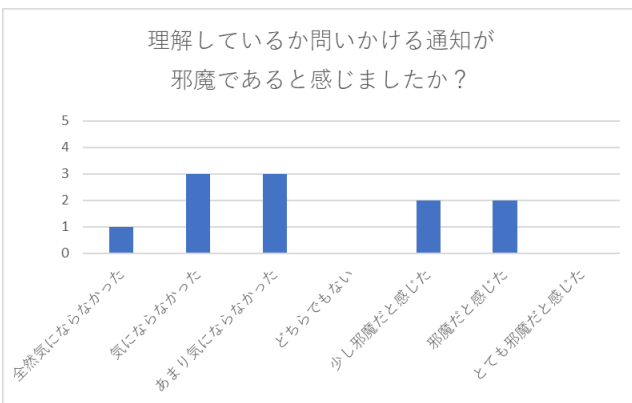


図 12 アンケート(4)の結果

図 13, 図 14 では、理解しているスライドに通知が現れた時の印象をたずねた結果を示す。まず実験参加者 11 人のうち 7 人が理解しているスライドに通知が現れたと回答している。そして印象をたずねると、不快に感じたという回答した実験参加者は少数だった。

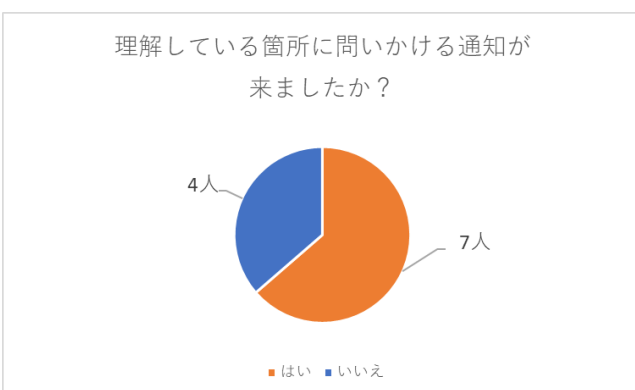


図 13 アンケート(5)の結果

### 6.3 実験考察

図 9 からハイブリッド型による主観的難易度の推定は特にシステムの操作面での負担を低減する可能性があることが示された。図 10 ではパッシブ型とハイブリッド型でカメラやセンサに対する不快感が変わらない結果となった。また、実験参加者は実験の順番が後である手法においてカメラやセンサに対する不快感が少なかったという傾向が見られた。これは後に使用した手法でのカメラやセンサでセンシングされることへの慣れによるものであると考えられ、ハイブリッド型によるカメラやセンサに対する不快感を低減させる効果は見られなかった。

図 11, 図 12 からシステムのインターフェースが講義の邪魔であると感じる実験参加者が多かった。特にハイブリッド型のポップアップが邪魔であると感じている。ポップアップの出現位置を中央ではなくし、主張の少ない通知であれば、今回とは異なる結果を得ることができる可能性が考えられる。また、画面上の通知に答えさせるのではない別の手法での通知方法を検討していく必要があると考える。

図 14 より理解している箇所に通知が来ることに関して不快に感じる実験参加者は少なく、本システムのようにパッシブ型の精度が高くなくとも通知に気楽に答えてくれるようであった。

実験結果からまとめるとハイブリッド型はアクティブ型よりもシステムの操作の面で負担を軽減させる可能性が示された。パッシブ型と比べると不快感や負担を低減させるまでにはいかず、同じくらいであることが分かった。しかし、ハイブリッド型ではパッシブ型とは違い問いかけに回答することで最終的に自身の意思で教師に伝えることができるため、パッシブ型のみで推定するよりも精度の面で優れているというメリットはある。また、ハイブリッド型は学習者の回答とセンサによって取得するデータを組み合わせ学習させることで精度の高い学習器を作り、よりパッシブ型の精度を高くするという使い道もあると期待できる。

## 7. まとめ

本研究では高等教育の授業中の生徒が分からないと感じている箇所を教師側へ伝えるために、主観的難易度の推定を行った。従来の推定方法は大きくアクティブ型とパッシブ型の2種類分けられ、それぞれにメリットがある一方でデメリットが存在した。そこで本研究の提案手法では、アクティブ型とパッシブ型を組み合わせたハイブリッド型で主観的難易度を推定し互いのデメリットを低減することができる考えた。このハイブリッド型のシステムでは、まず Web カメラとアイトラッカを用いて自動的に学習者が理解していないであろう箇所を推定する。次にその推定した箇所に対して学習者側へシステムが本当に理解できているか尋ね回答させる。この2段階を踏まえて理解できていないと判断された箇所が教師側に伝わるようになっている。実験ではアクティブ型、パッシブ型、ハイブリッド型のシステムを実装し、それぞれ使用した後の印象を実験参加者に評価してもらった。実験の結果、操作面における負担は提案手法によって軽減される可能性を示した。カメラやセンサに対する不快感においては下がる傾向は見られなかった。しかし、パッシブ型のみで推定するよりも学習者自身の意思を教師側へ伝えやすい点や学習者の回答とセンサから取得したデータを学習させ、パッシブ型を使用する部分をより精度の高いものにさせる使用方法などパッシブ型の有用性は期待できる。また、システムの通知する機能や画面上のインタフェースを邪魔であると感じる実験参加者が多くいたため、通知や情報の提示方法などを再考していきたい。

## 参考文献

- [1] 加藤利康, 石川孝. 優れた授業実践のための7つの原則に基づく授業支援システムの要求分析. 研究報告コンピュータと教育(CE), 2011, Vol.2011-CE-110, No.6, p.1-7.
- [2] 大川内隆朗, 大谷淳, 米村俊一, 徳永幸生. e-learning 用講義ビデオにおける学習者の学習行動を利用した主観的難易度の把握方法の基礎的検討. 日本教育工学論文誌, 2012, Vol36, No.3, p.193-203.
- [3] 繁田亜友子, 濱本和彦, 野須潔. 英語リスニング電子教材を対象とした眼球運動分析による学習者の主観的難易度の推定. 東海大学紀要, 開発工学部, 2010, Vol20, p.117-125.
- [4] 奥井善也, 原田史子, 高田秀志, 島川博光. 講義中の反応に基づく説明方法と教材の改善. 情報処理学会論文誌, 2009, Vol.50, No.1, p.361-371.
- [5] 八重樫文, 北村智, 久松慎一, 酒井俊典, 望月俊男, 山内祐平. iPlayer: e ラーニング用インタラクティブ・ストーリーミング・プレイヤーの開発と評価. 日本教育工学論文誌, 2005, Vol29, No.3, p.207-216.
- [6] 中村和晃, 角所考, 村上正行, 美濃導彦. e-learning における学習者の顔動作観測に基づく主観的難易度の推定. 電子情報通信学会論文誌 D, 2010, Vol.J93-D, No.5, p.568-578.
- [7] 大社綾乃, Oliver Augereau, 黄瀬浩一. 視点情報と単語の出現頻度を用いた主観的高難易度単語の推定. 電子情報通信学会技術研究報告 信学技法 116(461), 2017, p.187-192.
- [8] 堀口祐樹, 小島一晃, 松居辰則. e-learning における学習者の何気ない行動からの心理状態の抽出手法の提案. 先進的学習

科学と工学研究会, 2009-03, Vol55, p.65-70.

- [9] 安彦智史, 池辺正典, 丸山広, 長谷川大. PC 内蔵カメラを用いた学習態度把握方式の検討. 情報教育シンポジウム 2015 論文集, 2015, p.103-108.