

教育方法の可視化に向けたICT開発に関する研究

—集団の顔の向き情報と授業デザインの関係—

A Study on ICT Development for the Visualization of Educational Methods: The Relationship between Group Face Orientation Information and Class Design

山田 徹志¹、宮田 真宏²、浅賀 圭祐¹、大森 隆司³

Tetsuji Yamada, Masahiro Miyata, Keisuke Asaka and Takashi Omori

要旨：本研究では、教育方法の可視化に向けたICT開発に関する研究報告を行う。ここでは、子どもの顔の向き情報から推定される子どもの関心状態と授業デザイン(活動の流れ)の関連性について検討した。まず、小学1年生13名を対象とした授業の映像データ(6分18秒間)から、画像処理技術により子どもの顔の向き情報を連続的に抽出した。次に、得られた顔の向き情報から形成される交点群の空間的な広がりを円近似し、その半径の時間変化を求めた。最後に、その時間変化を授業デザイン(活動の流れ)及び教諭の働きかけと比較し、それらの関連性について検証した。その結果、交点の広がりの時間変化を表す波形に授業デザインの構造を反映する特徴が認められた。これにより、子どもの顔の向き情報により授業デザインの構造が定量的に可視化されることが示唆された。

キーワード：教育方法、ICT、視線、デザイン、技術活用

Abstract : In this study, we report on ICT development for visualization of educational methods. There, we examined the relationship between the child's interest state estimated from the child's face direction information and the lesson design (activity flow). First, the direction information of the child's face was continuously extracted from the video data (6 minutes 18 seconds) of the lesson for 13 first graders using image processing technology. Next, the spatial extent of the intersection group formed from the obtained face orientation information was approximated by a circle, and the time change of the radius was obtained. Finally, the time change was compared with the lesson design (flow of activities) and the teacher's efforts, and their relevance was verified. As a result, it was found that the waveform representing the time change of the spread of the intersections reflects the structure of the lesson design. This suggests that the structure of the lesson design can be quantitatively visualized by the direction information of the child's face.

1. はじめに

1-1 教育におけるICT活用への期待

昨今、教育領域においてICT利活用への期待が高まっている。例えば、Society5.0、未来の教室、ポスト

¹ 玉川大学 学術研究所

² 玉川大学 脳科学研究所

³ 玉川大学 工学部

コロナ期（新型コロナウイルス感染症（COVID-19）災禍後）における教育提言などにおいて、ICTの利活用は必要不可欠である。そして、新たな社会状況を見据え、AIやビッグデータ解析など、より高度な情報通信技術を応用するデータ駆動型教育へ向けた実装方策が検討されている（内閣府 2021¹⁾、経済産業省 2021²⁾、教育再生実行会議 2021³⁾）。

また現在、教育現場は子ども^{註1)}へのIoT機器（Chromebook、iPad等）やGoogle Classroomをはじめとした情報通信プラットフォームの採用、電子黒板、Wi-Fi設置等のICT環境の基礎的な整備段階にある。そこで取得される教育データは生徒・児童のデバイス操作から記録される学習ログ等の限定された情報であり、その範囲内でのデータ分析によるICT活用が中心となろう。そこで次に議論的となるのが、教育場面でそのような機器から新たに取得されるデータの活用方策である。中でも、教育効果の科学的根拠の導出に大きな期待が寄せられる。

実際、教育サービス領域におけるデータ活用は急速に発展している。個々の子どもの学習効率を最適化するための効果的な教育方法の提案事例がすでに多数存在する（Z-KAI⁴⁾、家庭教師のトライ⁵⁾、スタディサプリ⁶⁾）。これらの教育サービスが実施するデータ分析の多くは、授業前後のアンケートや生活調査、課題・テストの回答ログ等の得点分布からの確率予測などである。そして、このような分析により提示される個々の子どもの学習特性に応じた学習計画や課題に、一定の効果（成績・得点の向上）が認められている（総務省、ベネッセ総合研究所 2018⁷⁾）。

一方で課題となるのが、系統的な学習達成度評価からは導出できない子どもの心情・意欲といった内的状態の評価に関わるデータの取得である。このような子どもの内的状態データは、非認知能力^{註2)}（Heckman et al. 2013⁸⁾）をはじめとした人間性の発達に関する教育効果の検証に活用できる。そして、人の内的状態の推定は、教育とは別の領域においてすでに社会実装されている。身近な例としては、消費者の行動センシングを通じた購買意欲の推定がある（amazon 2021⁹⁾、富士通 2021¹⁰⁾）。そうであるならば、子どもの詳細な行動データの取得が内的状態推定の鍵になると言えよう。加えて、人工知能技術（AI）による画像認識能力の進歩は著しく、人に近い詳細な行動特徴の検出技術が開発されつつある（Yolo 2019¹¹⁾、NEC 2019¹²⁾、sensetime 2021¹³⁾）。これらの技術を援用し、子どもの詳細な行動情報量の取得を通じた内的状態の推定を基盤とする新たな教育ICTの開発が期待される。

1-2 子どもの関心と教諭の授業デザイン

実際の教育実践における子どもの内的状態は、教諭とのリアルタイムでのインタラクションにより刻々と変化する。つまり、子ども側の内的状態と教諭側が実施する教育方法との相互作用プロセスそのものが検証の対象となる。しかし、双方の変数は、その瞬間の状況および個人特性により流動的に変化し、検証の対象となる変数の数も膨大である。そのため、いかなる手段により子どもの内的状態と教諭が実施する教育方法の関係を定量的に可視化されるのか、明らかではないのが現状である。そこで本研究では、子ども側の内的状態としての「関心」と、教諭側の教育方法に内在する教育設計（以下、授業デザイン）に着目した。それぞれの着目点について以下①②より説明する。

① 子どもの内的状態における「関心」

「関心」という心の状態は、人の行動決定の原因とも言える主体的な価値の知覚の結果として現れるもので、自律的な学習の基礎となる物事への働きかけの動機となることは、行動経済学などで広く知られている（ヴィンター 2017¹⁴⁾、K.Renninger et al. 1992¹⁵⁾、カーネマン 2014¹⁶⁾）。さらに関心という心的状態は、マーケティングにおける消費者行動研究の中でも用いられている。そこでは、顧客の注意状態が関心状態へ移行し、最終的に行動決定へと変化するプロセスがモデル化（AIDCA、AISAS等）されている（Strong, E.K. 1925¹⁷⁾、電通 2005¹⁸⁾）。そして注意は、一部の知覚刺激を取り入れ、それ以外のものごとを排除する心的能力（注意

バイアス)とされる。中でも、人が自分自身の意思決定によって特定の対象へ注意を向ける現象を表す選択的注視 (Simons, D. et al. 1999¹⁹⁾) は、複数の刺激情報が環境内に混在する、すなわち注意を配分して個別に観察すべき対象が多く存在する教育状況下において頻繁に発生する。この注意現象には雑音下で特定の言葉、例えば自分の名前がよく聞こえるカクテルパーティー効果に類似した、特定の現象に自動的に注意が向く効果も含まれる (Cherry, E. C. 1953²⁰⁾)。

つまり、子どもは、多様な教育環境を知覚し、その中で今の状況に応じた対象を価値知覚の結果より決定し、選択的注視という行為によって働きかける。これまでの研究からは、関心状態は選択的注視として行動に表れることから、身体や頭の向きという行動量から関心状態が可視化できることが示されている。そのため、本研究でも、子どもの向き情報を分析の対象とした。

② 教育デザインにおける「活動の流れ」

教育方法の定義・種別は実に幅広いが、教育現場において共通して参照する資料に指導計画がある。これは、何かしらの教育方法を授業にて実践する上での設計図と言える。また、指導計画の記載内容は、個々の教諭独自の授業デザインそのものであり、その内容には教諭間で差異が生じる。一方で、共通する構造要因として「児童・生徒の姿」がある。つまり、教諭は関わる子どもの姿を想定し、授業内容を設計する。そして、指導計画の中には子どもの教育活動への参加を考慮した授業デザインの基礎構造がある (小学校学習指導要領解説²¹⁾)。そこでは、本時の教育のねらい (目的) を遂行するための活動の導入から展開までの道筋が設定される。つまり、指導計画に記された子どもの姿に基づく教育活動の意図的な設計には、実施する授業中に想定される「活動の流れ」が共通構造として存在する。これより本研究では、本時の指導計画に基づき作成された授業資料と教諭の働きかけにより実施される授業デザイン、つまり活動の流れを構造化し検証の対象とした。

上記の①②より本研究では、子どもの関心を定量的に推定する為の行動量 (向き情報) を用いて、その変化傾向と教諭が指導計画に基づき実施する授業デザインとの対応関係の検証を試みる。このことは、教育方法の可視化に向けた新たなICT開発に繋がると期待する。

1-3 子どもの顔の向き情報と活動の流れ

人の内的状態の定量化を試行した先行研究では、集中度・覚醒度が視線情報より推定可能であることが示唆されている (中村ほか2020²²⁾、寺井ほか2020²³⁾)。また、我々のこれまでの研究からも、子どもの関心状態の発生には視線の先にある対象物 (関心を向ける対象) が影響することが確認されている (山田ほか2021²⁴⁾)。

同時に、子どもの視線は教諭の意図的な教育方法の設計 (活動の流れ) の影響を受けることも示唆されている²⁴⁾。例えば、絵本の読み聞かせの教育活動場面では、子どもの視線は教諭や絵本へと集中する。一方で、自由時間などの教諭の明確な教示がない場面では、子どもの視線は雑談する友だちや窓の外の風景へと向けられ離散する。つまり、子どもの視線情報をもとに教育方法の具体的内容となる「活動の流れ」の可視化が期待できる。さらに、視線情報は、教諭の働きかけに呼応して変化することが予想される。これは、他者の伝達意図理解の研究において心の理論の発達前兆としての幼児期の共同注意の発現より示唆されている (Cohen 1995²⁵⁾)。つまり、教諭の働きかけ (事前の授業デザイン) に子どもの視線情報が随伴するならば、可逆的に視線情報という定量的指標に基づく教育方法の可視化が期待できる。

しかし、教室内の個々の子どもの視線の検出は現在の工学技術を用いても難しい。特に、本研究が対象とする小学低学年期の子どもの顔のサイズは比較的小さいため、視線 (目の中の黒目の位置) の安定したセンシングは困難である。そこで、本研究では、子どもの顔の向き情報を視線情報に近似する変数として用いた。また、個々の子どもの顔の向きの先にある対象物の同定は困難であるため、集団の子どもの個々の顔の向きから定まる直線群の交点の広がり进行分析対象とした。これらの方法は、我々のこれまでの関心推定研究によ

り、頭・体の向き情報が関心対象の推定に有用であると示されたことに基づく（宮田ほか2020²⁶、山田ほか2021²⁷）。この分析方法の詳細は後述する。

以上より本研究では、顔の向き情報から推定される子どもの関心状態と授業デザイン（活動の流れ）の関連性の検証を目的とする。具体的には、授業映像から個々の子どもの顔の向き情報を自動抽出し、頭の位置から顔の向き方向に伸ばした半直線群の交点を求める。そして、その交点群の分布を円近似した際の半径を交点の広がり指標とし、その時間変化を求め、その波形と実際の授業デザイン（授業資料・教諭の働きかけ）との関係を定性的に評価する。これらの分析結果を通し、教育方法の具体的内容を示す授業デザインが集団の子どもの顔の向き情報の分布特徴（交点の広がり）から可視化されることを示す。

2. 研究の方法

2-1 集団の子どもの顔の向き検出環境の構築

本研究における集団の顔の向き検出には、NECの視線検出技術を適用した。同時に、我々のこれまでの研究において提案した子どもの位置・向き情報による子どもの関心推定手法を援用した。これらより今回の検証では、映像中の子どもたちの顔情報を自動検出し、個々の子どもの顔の位置と向きを取得した。

子どもの位置・向きの計測には、高解像度画像センサによるステレオ方式を採用した。なお、近年のAI技術を用いると、人物の顔情報の中でも黒目の位置をある程度安定して推定できる。そして、画像中の人物の同一特徴点の位置を複数のカメラより検出可能となる。これにより、ステレオ画像として教育場面を計測し、三角法により広範囲での集団の子どもの3次元的な位置を同時に推定することができる。

使用する計測機器には、ノンディストーションレンズ（非歪み）を搭載した4K解像度の小型カメラ（See3CAM_CU135_CH_TC：e-con Systems社製）を採用した。このカメラを同一視軸の方向に向けて左右に20cm離して設置し、両カメラを同期して8fpsで小学校の授業映像を記録した。なお、8fpsという撮像速度は既存のカメラに比べ少ないフレーム数であるが、計測システムの安定的な稼働、および人による関心状態の記述（アノテート）に要した映像の間隔（1秒）を参照した上で、同フレーム数での記録方式を用いた。

本研究の分析に用いた授業映像と対象は以下の通り。

[計測日時/場所]：2020年11月27日 玉川学園小学部 低学年部 英語教室

[記録した授業]：1年生15名が参加する英語授業（6分18秒、3024フレーム）

[分析対象]：映像記録時、授業に参加した子ども15名中、保護者より研究同意が得られた13名

[倫理的配慮]：玉川大学倫理審査委員会の承認を得た後、同法人小学部低学年部での保護者に研究内容を説明した上で、同意書にて承諾を得た。

なお、本研究において、分析対象を小学校低学年とした理由は、これまで就学前教育期から縦断的に教育中の子どもの内的状態と行動量変化を検証していることによる。また、本研究で用いた分析技術は、今後、汎用的に多様な教育段階への活用を想定している。そのため、定点観測による継続的な記録分析を可能とする英語教育教室での記録データを使用した。

2-2 集団の子どもの顔向き情報の検出

本研究では、計測装置（図1）を教室正面にあるテレビモニター上部へ設置した（図2）。本カメラの画角は着席時の子ども全員が正面方向から写る角度とした（図3）。これより取得した授業映像に対して、子どもの顔の向きを検出するための顔認識AIとしてNECの遠隔視線推定技術（Takamoto et al. 2020²⁸）を適用した。なお、本測定においてカメラから最後列に座る子どもまでの距離は約7mであるが、その範囲では子

どもの顔の検出および顔の向き の推定も概ね可能であった。

本研究の分析では、遠隔視線推定技術を左右のカメラ映像の個々のフレームに対して適用し、画像中の人物の顔の特徴量を抽出した。そして、左右のカメラからの画像間で検出された人物の顔同士を対応付けし、三角法により対象の子どもの顔の3次元的な位置を算出した。その後、対応付けられた左右画像の顔と視線の角度の平均値を求め、個々の子どもの顔・視線の向き の推定値とした。なお、本分析では、子どもの顔の向きに関して3軸ある顔の向き特徴量のうち、左右方向の回転角(yaw角)を用いた。本来は顔の上下方向も、例えば机を見ている、先生を見ている、などの判定に有用な情報であるが、今回の分析ではyaw角のみを用いた。



図1. 計測機器の画像

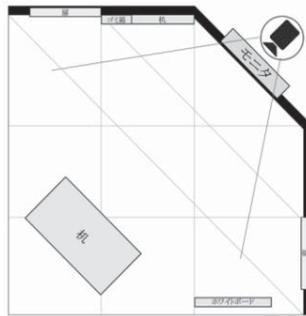


図2. 計測装置の配置



図3. 計測場面の一例

2-3 教諭が実施した授業デザインの構造化

本研究で対象とした授業デザインの構造化には、担当の英語教諭が複数の教育計画指標を援用しつつ、本時(対象とした授業)ごとに学齢に応じて独自に作成した授業資料を使用した。この時、資料作成に用いられた指導計画の指標は、小学校学習指導要領解説²¹⁾およびKid's Box²⁹⁾(ケンブリッジ大学のYoung Learners English: YLE)、および玉川学園小学部低学年部1年生の英語のシラバスである。そして、これらの指標を基に作成された授業資料には、現在の子どもの姿を想定した本時の指導計画が反映されている。つまり、子どもの姿を想定した教育計画は、担当教諭が作成した授業資料の中に反映されている。本研究ではこれらを用いて、授業資料とそれに沿った教諭の働きかけ方を参照しながら、授業デザインを活動の流れとして構造化した。以下が、分析に使用した授業資料の詳細である。

[分析した授業資料]: 2020年11月27日の授業時に使用された授業資料(パワーポイントスライド)

上記の授業資料と記録映像を参照しながら、英語担当教諭2名、研究者2名の計4名で当日の授業デザインを活動の流れとして解釈し、本時の授業を時間区間に分けた。そして、授業を担当した教諭に対し各時間区間における働きかけの意図と配慮事項の聞き取り調査を行い、弁別した時間区間の内容的妥当性を確認した。そしてこれを、前節に記した交点の広がり の時間変化と比較した。

本研究の方法で示した分析の過程を、以下1~3の手順として整理し示す。

[分析1]: 子どもの顔の向き の推定と交点の広がり の時間変化の算出

小学校で記録した授業映像中の子どもの顔情報を検出後、集団の顔の向きから形成される交点の広がり を定量化し、その時間変化をデータとして抽出する

[分析2]: 教諭の授業デザインの構造化

教諭の当日の授業資料と記録映像を参照し、有識者複数人により定性的に授業デザイン(活動の流れ)を時間区間で弁別し構造化する

[分析3]：交点の広がり の時間変化と授業デザインの比較

分析1より得られた交点の広がり の時間変化（特にその最大と最小の箇所）と、分析2より得られた授業デザインの構造を比較し、関連性を調べる。

3. 結果と考察

3-1 子どもの顔の向き の交点の広がり の時間変化と可視化

顔認識AIと三角法により推定された子どもの位置から顔の向きに伸ばした直線群の交点の広がり（交点の分布を円近似した際の半径）の時間変化を図4に示す。重心点の位置の算出は、分析対象場面の瞬間のみではデータ数が少なくノイズを含むゆらぎの影響が大きいため、対象場面の ± 0.5 秒間の交点を合わせて計算に用いた。その計算では、x方向とy方向について交点位置の平均と標準偏差をそれぞれ求め、そのどちらか一方でも平均 $\pm 1.5\sigma$ を超えた範囲の交点はノイズと仮定して除去した。そして、ノイズ除去後のデータに対して再度平均（重心）位置と標準偏差を算出した。そして、x方向とy方向それぞれの標準偏差の二乗和の平方根を交点の広がり の指標とした（円近似）。ここで、図4に示す交点の広がり の時間変化の波形から選んだ、特徴的な2つの瞬間の状況を図5に示す。なお、この時、大きく変化する箇所を特定するために ± 10 フレーム（ ± 1.25 秒間）の範囲に対して移動平均を用いて平滑化した。

図5では、その瞬間（1フレーム間0.125秒）に位置が推定できた子どもたちをオレンジ色の丸で示し、その瞬間の顔の向きを青色の線で示した。そして、緑色の十字（+）は子ども個々の顔の向きを伸ばした直線群の交点を示す。なお、図5ではノイズを含む観測されたすべての交点を示している。そして、黒色の円は、計算された重心位置を中心としてx方向とy方向の交点の 1.5σ の範囲の広がり を示している。

図5（a）のシーンは、図4註1の箇所に該当し、交点の広がり が最小値を示す瞬間（303秒）である。この時、実際の授業では、3～5個の複数の英単語より構成される文を絵本のストーリーを通して学習する場面である。これは、本時の授業構成中で最も複雑な学習内容が子どもに提示されている箇所である。そのため、教諭は身振り手振りを使い子どもたちの関心状態が維持されるように配慮し、頻繁に子どもへ働きかけながら学習内容を丁寧に説明している。そのため、多くの子どもは説明する教諭およびその内容が投影されるモニターへと関心を向けていると想像される。つまり、多くの子どもの関心は、教諭が行う教示の動作による注意バイアスの影響を受け、選択的注意が発生して視線が特定箇所へと集中していると考えられる。そのことが、集団の顔の向き の交点の広がり の最小値として現れていると推察される。

それに対し、図5（b）のシーンは、図4註2の箇所であり、分析区間内で交点の広がり が最大値を示す瞬間（352秒）である。この時、交点の広がり が最大化する直前に、教諭は本時の授業終了を告げる「グッバイソング」を歌うことを子ども全体へ明示している。そして、「グッバイソング」というキーワードを認識した瞬間、各々の子どもたちは授業が終わることを予測して自由な行動を取っており、顔の向きが方々へ離散し、交点の広がり が拡大したと考えられる。つまり、本シーンは、交点の広がり が最小化する場面とは対照的に教諭の教示による注意バイアスが生じないため、関心を向ける対象は離散している。これが、交点の広がり の最大値として現れたと考えられる。さらに、子どもは授業終了の合図としての「グッバイソング」を既に学習して知っているため、瞬時に授業終了を察知し、即時に他の対象へ関心を移したことが図4中の註2の値へ反映されたと推察される。

これらは、交点の広がり が最小値および最大値を示す特徴的な2場面では、教諭の教示の強さによる注意バイアスからの関心状態が交点の広がり の程度としてそれぞれ可視化されたことを示すと考える。そして、両瞬間での注意バイアスを伴う教諭の働きかけは、事前に想定された授業計画中に設計された活動内容に基づいている。つまり、実施される教育活動内容の時間変化は授業デザイン（活動の流れ）の現れであり、その中に生じる注意バイアスが子ども の顔の向き から形成される交点の広がり へと影響する。逆に考えると、

顔の向きから形成される交点の広がりが見出す特徴的な箇所からの授業デザインの可視化が可能であることが示唆されたと言えよう。

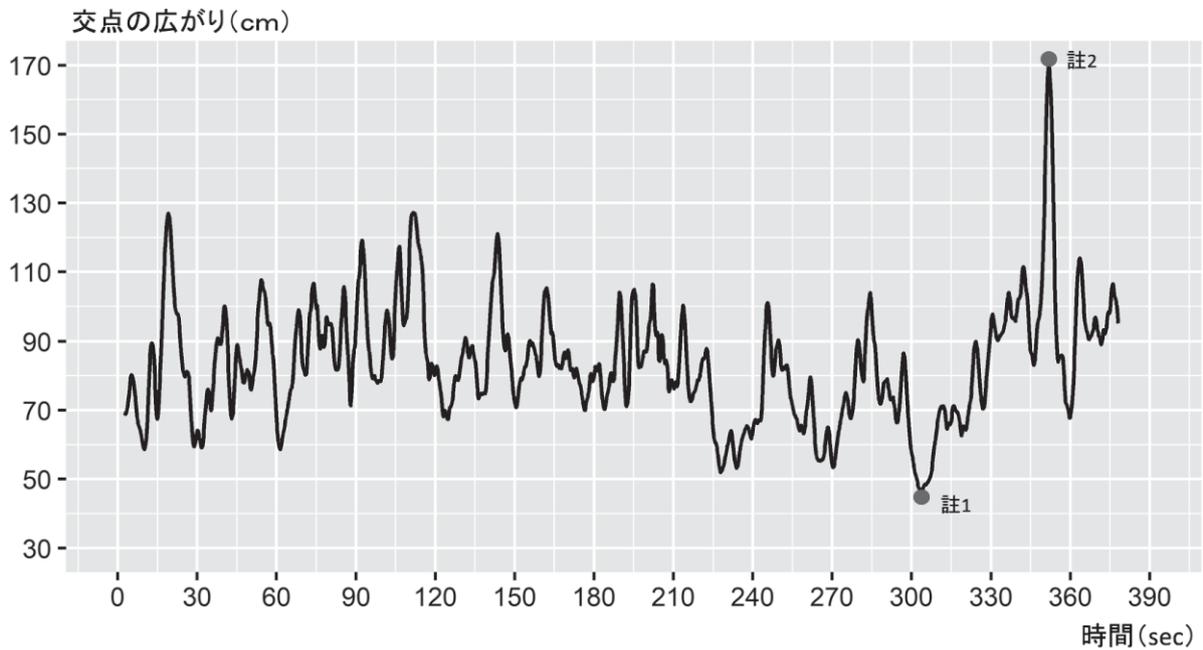


図4. 集団の子どもの顔の向き交点の広がりの変化

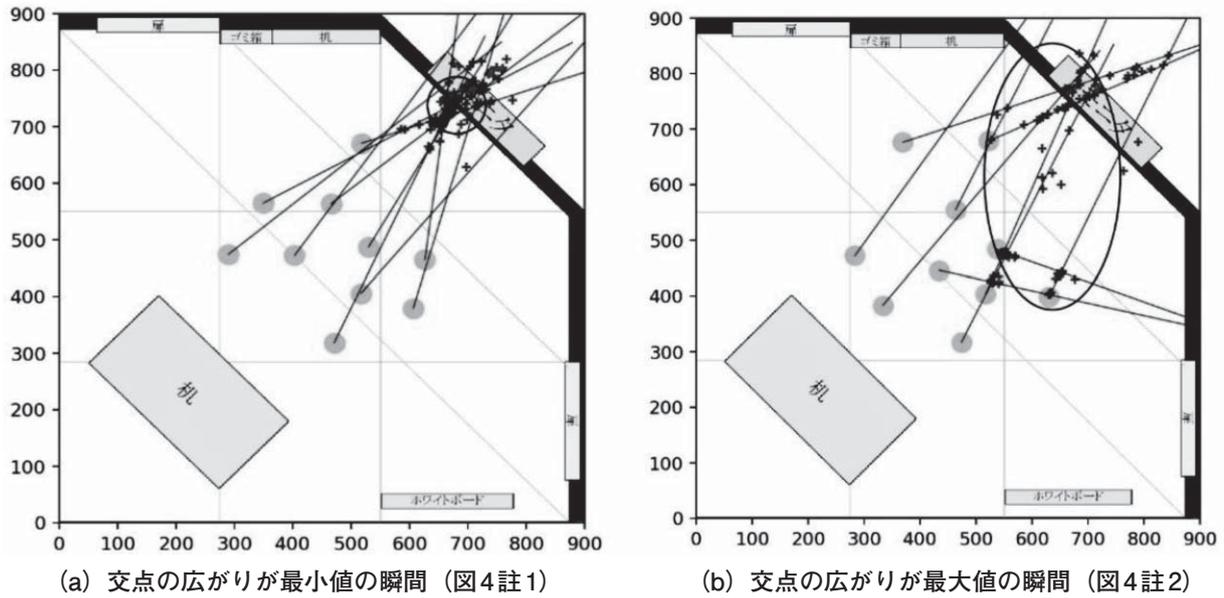


図5. 交点の広がりが見出す箇所を可視化する

3-2 教諭が実施した授業デザイン構造の解釈

3-1の結果は、交点の広がりを見るに留まる。そこで本節では、分析対象とした映像中の大規模な授業デザインの構造と交点の広がりとの関係を検証する必要がある。事前に想定された授業デザインの構造は定性データを用いるしかないので、分析対象とする授業資料（パワーポイント9枚）と6分18秒間の映像から授業デザインの構造化を行った。

授業デザインを示す「活動の流れ」の構造化の結果を図6に示す。図6は、図4の交点の広がり（時間変化に重ねて、活動の流れを時間区間ごとに示したものである。点線は、次に示す構造化された活動の流れ（活動の流れ1：使用単語の説明、活動の流れ2：絵本中の単語、活動の流れ3：絵本中の文、活動の流れ4、グッバイソング）の時間区間を示す。そして、赤線は、各時間区間の交点の広がり（平均値）を示す。

分析対象の授業内容は、英語の物語（Sid's Pit：シドの穴）に沿い、物語中に登場する英単語と英文の学習を意図している。そして、4つの活動の流れから構成される授業デザインが設計されていた。各活動の流れの詳細は、以下の通り。

[活動の流れ1：使用単語の説明]（時間区間：0～115秒）

活動の流れ1は、物語が始まる前に物語中にて使用される英単語の種別を紹介し、綴りと発音の確認を想定した活動が設計されている。これより、物語を用いて英語を学習する準備段階としての「導入段階」の活動の流れを有する時間区間とした。

[活動の流れ2：物語中の単語]（時間区間：117～205秒）

活動の流れ2は、物語が始まり、各スライドに登場する人物名を中心に1語の英単語を復唱しながら学習することを想定した活動が設計されている。これより、物語を通して学習を開始する「展開段階：前半」の活動の流れを有する時間区間とした。

[活動の流れ3：物語中の文]（時間区間：205～347秒）

活動の流れ3は、物語中に登場する2～5語の単語から形成される英文を復唱しながら学習することを想定した活動が設計されている。これより、物語中、学習内容が複雑化する「展開段階：後半」の活動の流れを有する時間区間とした。

[活動の流れ4：グッバイソング]（時間区間：347～378秒）

活動の流れ4は、授業の終了を明示し、クロージングを行うことを想定した活動が設計されている。これより、授業を修了する「終了段階」の活動の流れを有する時間区間とした。

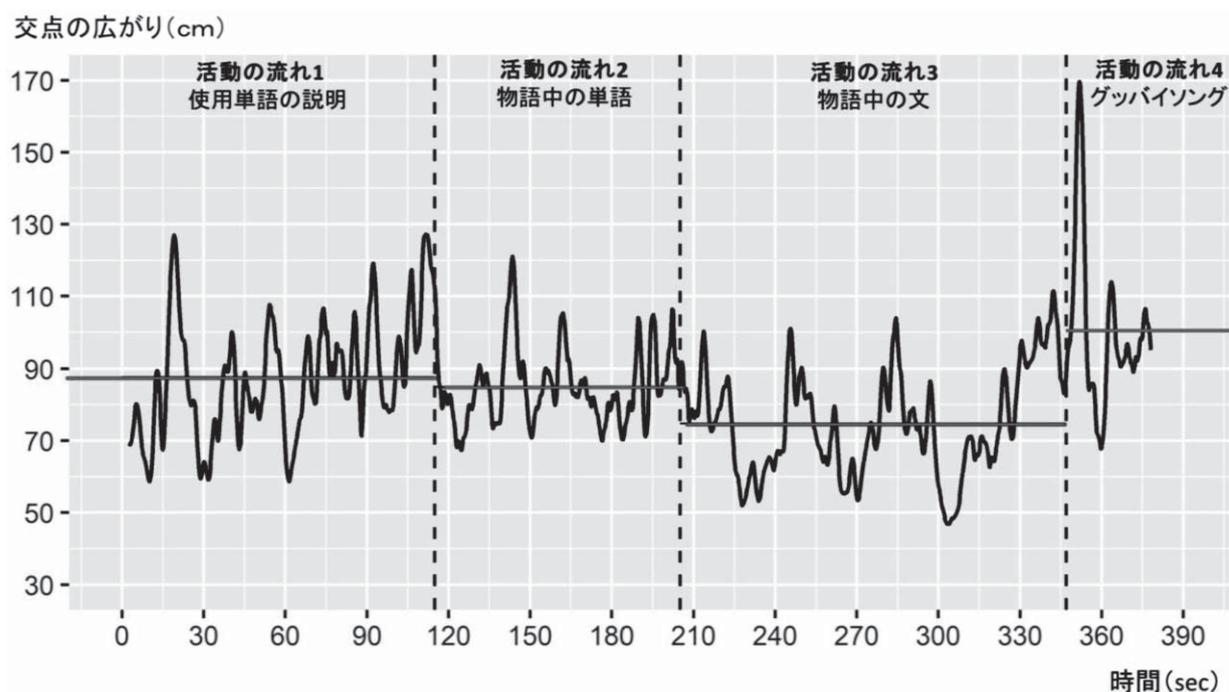


図6. 集団の子どもの顔の向きから形成される交点の広がり（時間変化）と活動の流れ

上記の各活動の流れには、教諭が授業実施前に想定した子どもの姿への考慮が反映されている。本授業の対象は小学1年生であり、授業への関心状態を常に維持することは難しい。このため教諭は、本時の授業中、最も複雑な5つの英単語より形成される英文の学習へ向け、段階的に教育内容を複雑化し、関心状態を維持できるように授業資料を作成している。また、子どもの注意が向くよう授業資料を大型モニタへ投影し授業を行っている。これらを踏まえここでは、各活動の流れの授業内容も考慮し授業デザインの構造背景を考察する。

導入段階では、物語中の出現単語を一覧化し、文字のみのスライドを提示している（図7）。ここで教諭は、声を出し、子どもたちへの発話を促している。また、導入段階として、次の活動の流れを考慮し、意図的に文字のみのスライドを使用している。これは、次の活動の流れへ移行する際、有色の絵を用いた授業資料との変化を明確にし、子どもの関心を引き付ける「ねらい」があると考えられる。

展開段階は、絵本を使用する展開の前半部分に活動の流れ2がある。そして、活動の流れ2の中で使用される授業スライドは、全てが1語のみで作成されている（図8）。その後、後半の活動の流れ3より2語以上の英文が含まれるスライドとなる（図9）。そして、この区間では、教諭は身振り・手振りを使い子どもの注意を引きながら時間をかけ説明する。つまり、意図的に学習内容を段階的に複雑にし、それと同時に、子どもの関心状態を高め維持していけるよう、より大きな動作を伴う働きかけを行っている。これは、教諭の一方的な教示ではなく、子どもの発達段階を考慮し関心状態を維持するための注意バイアスの調整であると考えられる。

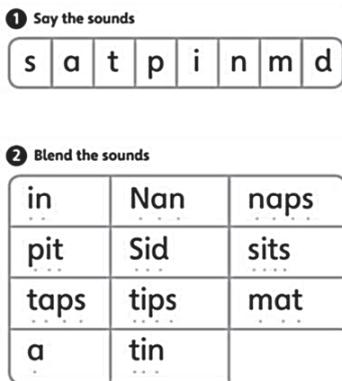


図7. 活動の流れ1の資料



図8. 活動の流れ2の資料



図9. 活動の流れ3の資料

終了段階の活動の流れ4では、スライドは使用せずグッバイソングを歌うことを言葉で明示する。そして、子どもたちは、授業終了を瞬時に察知し各々の注意は個々の関心対象へと離散する。この時、教諭は子どもの関心状態の維持がもはや困難であることを察しているため、あえてその状態を見守りながら、1人の子どもを指名し、教室の前でグッバイソングの指揮を依頼する。これにより、一度は離散的になる子どもたちの動きは教室前方に立つ子どもに再び注目し、落ち着いた状態で授業は終了する。つまり、グッバイソングにより、子どもの関心状態が離散することも想定した授業デザインがなされている。

これらより、活動の流れ1～4には、子どもの姿を想定した授業デザインの構造が反映されていると考えられる。そして各活動の流れには、授業内容に応じた子どもへの注意バイアスの調整が考慮・実施されているであろう。であるなら、子どもたちの関心状態が反映する交点の広がりにもその影響が表れるはずである。図6は、図4の交点の広がりの変化に対して、活動の流れを時間区間ごとに示したものである。点線は、構造化された活動の流れ（活動の流れ1：使用単語の説明、活動の流れ2：絵本中の単語、活動の流れ3：絵本中の文、活動の流れ4、グッバイソング）の時間区間を示す。そして、赤線は、各時間区間の交点の広がり

均値を示す。各活動の流れの時間区間について交点の広がり の平均値を見ると、活動の流れ1～3において段階的に減衰し、活動の流れ4で最大となる ことが分かる。つまり、子どもの顔の向きからの形成される交点の広がり が、教諭の授業デザイン（活動の流れ）を整合的に反映していることが分かる。したがって、授業デザインの構造の可視化には、各活動の流れの時間区間における交点の広がり を参照することの有効性が示唆される。また、活動の流れの弁別は、授業デザインの構造化の作業における主要な参照要因となるであらう。

3-3 教員の働きかけと子どもの顔の向き情報の関係

ここまでの結果を受け、本節では、異なる切り口から交点の広がり の変化と各活動の流れとの関係を比較する。比較箇所については、導出された各時間区間において交点の広がり が極大から極小へと向かう際の落差が最大となる箇所とした。これは、交点の広がり が時間と共に大小の振動を繰り返す波形となることによる。交点の広がり は、特定の波形パターンとして近似できる可能性もあるが、安定した規則パターンは確認できず基本的にはノイジーである。しかし、特徴的な波形を示す箇所は授業デザインと関連し、子どもたちに対する教諭の何らかの働きかけにより生じていることが予想される。これより、交点の広がり の変化の振幅が大きい区間とそこでの活動内容（教諭の働きかけ、教材）を比較した。

まず、各活動の流れの区間において、交点の広がり の振幅が最小化する箇所を抽出した（図10、赤色の区間A～Dが当該箇所）。各活動の流れにおける広がり の最小値を含む区間の詳細は以下の通り。

[区間A]（時間区間：17～32秒）

物語を用いた授業内容が開始される導入段階であり、図7の slides が提示される。この時、教諭は、指さし棒（先端に指差しの型あり）をとりだし、slide 内の英単語を一つずつ棒で指しながら復唱を促す。

[区間B]（時間区間：116～135秒）

物語が始まり、絵を含む slide（図8）へ切り替わる箇所である。この時、授業 slide の切り替わりと同時に、教諭は立ち上がり、モニタの脇に立ちながら物語の開始を子どもに知らせ、指さし棒を使用しながら登場人物 Sid の紹介をする。その後、着座し物語を進める。

[区間C]（時間区間：285～317秒）

物語の後半部分へ差し掛かる。そして、slide（図9）を使用する。ここでは、教示してきた英単語から構成される英文を身振り・手振りを使いながらゆっくりと説明する。また、slide を拡大して表示する。この時、教諭は着座しているが、椅子を子どもの方へ向けて近づける。

[区間D]（時間区間：351～361秒）

グッバイソングを歌うことを言葉で明示した後、再び立ち上がり、1人の子どもに歌の指揮を依頼する。その後、教室前方へ来た子どもと横並びに立つ。

区間Aでは、教諭の指さし棒による子どもへの注目箇所の指示と復唱による行動同期の教示が子どもの注意を誘発させ、交点の広がり の大幅な減少を促したと考える。区間Bでは、数値的には活動の流れ1から2へと波形がまたがり切り替わる区間である。この時、教諭は、絵を含む slide へと授業資料を切り替えた後、移動して立ち上がりながら別の位置で授業をしている。これに伴い、活動の流れ1で離散する子どもたちの顔の向きは教諭の方へと再び集中する。これは、同様に教諭からのより強い教示シグナルが注意バイアスとなり顔の向きの集合を促すと考える。特に、物語をもとに行う授業の展開段階での交点の広がり は、教諭への注目が継続するため小さくなる。この交点の広がり の減衰は、活動の流れ3の後半部分にも同様に認められる。

区間Cは、活動の流れ3の区間において類似した波形を示す3か所の内、最大の落差を示す箇所である。

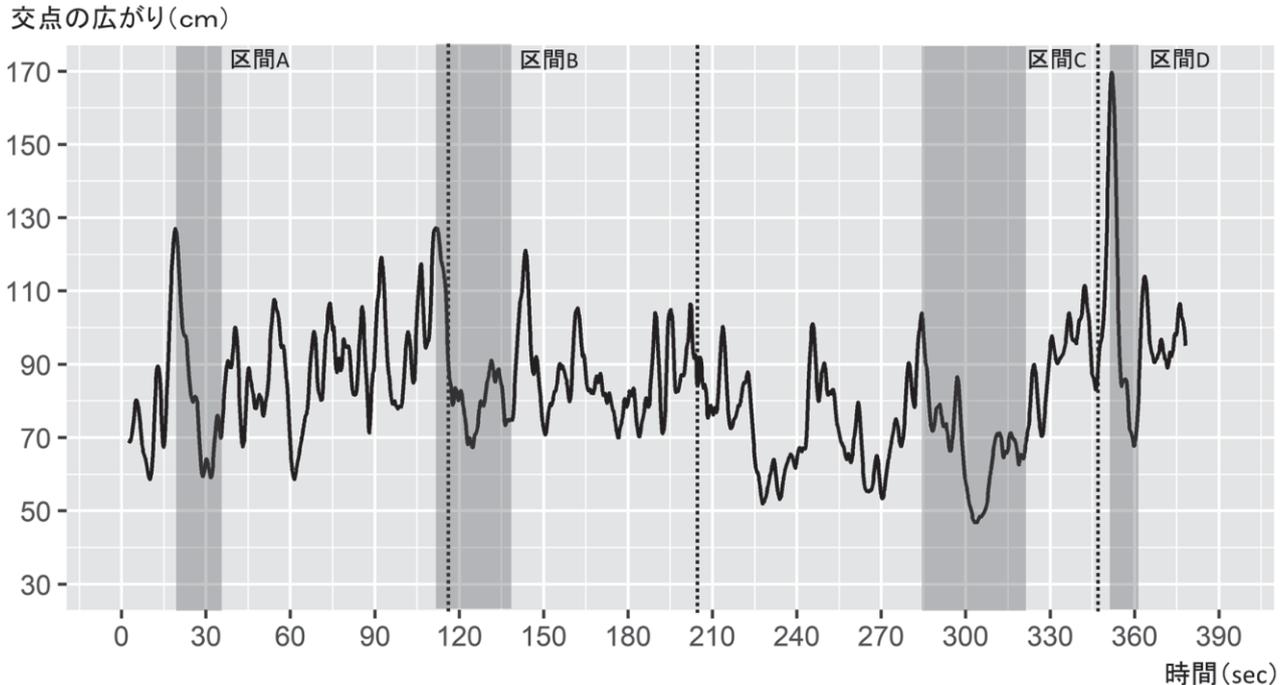


図10. 交点の広がり(振幅)が最大化する区間

この3か所は、230秒付近、270秒付近、300秒付近の交点の広がり(振幅)の減少箇所であるが、区間Cはそのうちの300秒付近の交点の広がり(振幅)の減少箇所である。そして、この時、教諭は、身振り手振りを使用し、ゆっくりと話しかけながら、子どもの注意状態を維持するようより強く働きかけをしている。また、より注意を向けられるよう授業資料を拡大している。つまり、想定された授業デザインに応じて必要な強さの教示シグナルを授業資料だけでなく自身の行動を用いて作り出し、子どもの注意状態を維持していると考えられる。さらに、活動の流れ3の区間において類似した波形が複数確認できるのは、複雑な授業内容を受け教諭が同様の働きかけを一定間隔で反復して実施していることによるものと推察される。

一方で、区間Dの直線では、教諭のグッバイソングの明示により、子どもの授業への注意状態が解放される。この時、子どもたちは、動き出し落ち着きがなくなる。このため、顔の方向は離散し交点の広がり(振幅)は最大値を示す。その後、区間Dでは、教諭は落ち着き一人の子どもを教室前に誘導し、グッバイソングを皆で歌う状況を作ることによって、子どもたちの注意は自然と指揮を行う子どもへと向くため、交点の広がり(振幅)は再び収束する。つまり、教諭の働きかけにより生じる教示シグナルは、子どもの注意の維持だけでなく離散へも影響すると考える。

以上より、交点の広がり(振幅)の波形には、授業資料のみならず教諭の働きかけにより生じる注意バイアスの変化が反映されることが示唆された。

4. 結論

4-1 本研究のまとめ

本研究では、教育方法の可視化手法の開発に向け、集団の子どもの顔の向き情報と授業デザインの関連性を検証した。そこでまず、小学校低学年の教室に設置したセンサ装置より取得した6分18秒の教育映像から、集団中の個々の子どもの位置と顔の向き情報を自動抽出した。その後、個々の子どもの頭の位置から顔の向き方向に伸ばした半直線群の交点を求め、その交点群の分布を円近似し、その半径を交点の広がり(振幅)の指

標として算出し、その時間変化を導出した。次に、映像取得時に実施された授業で用いていた資料と映像を参照しながら定性的に授業デザインを構造化し、活動の流れとして弁別した。その後、交点の広がりや時間変化と活動の流れとの関連性を、特に交点の広がりの特徴的な波形に着目し、分析した。これらの分析を通し、教育方法の具体的内容を示す授業デザインについて、集団の子どもの顔の向き情報から形成される交点の広がりからの、教育方法の具体的内容を示す授業デザインの可視化を試行した。

その結果は、以下のようにまとめられる。

- ・ 集団の子どもの顔の向きから形成される交点の広がりや時間変化の波形において、最大値・最小値となる箇所や、極大から極小への向かう際の落差の大きい箇所など、特徴的な瞬間・区間に対し、教諭の注意バイアスを伴う働きかけとの関連性が確認できる
- ・ 授業デザインの構造、つまり活動の流れが、集団の子どもの顔の向きから形成される交点の広がりや時間的な平均値に、活動の流れの意図や教諭の「ねらい」と整合する形で反映されることが確認できる

以上より、限定的な記録からの示唆ではあるが、交点の広がりや時間変化より、授業デザイン（活動流れ）が可視化されることが示唆される。さらに、交点の広がりや収束が顕著に生じる箇所には、教諭の注意バイアスを伴う子どもの行動変化が生じる。これらは、教育方法を可視化する要素技術としての活用が期待できる。

4-2 課題と展望

本研究の課題は、大きく2つある。1つ目は、再現性の問題である。本検証は、一つの授業中の特定の時間区間での示唆に留まる。そのため、より多様かつ長時間の授業場面の記録に同手法を適用し検証する必要がある。2つ目は、センシングの精度向上と分析機能の拡張である。現状では、取得映像の全フレーム中で全員の顔情報を検出することは難しい。これに対して、センシング機器や情報通信技術の発展は著しい。特に8K記録機器や5G（第5世代技術）の実装は、本研究手法の教育ICTとしての実現を可能にすると期待できる。また、本研究より示唆された教諭側の行動も同時に記録し、分析機能を拡張することで、より定量的な教育方法の可視化手法を提案できるであろう。これらを通した本研究の発展が望まれる。

本研究で示された教育方法の可視化に向けた示唆は、教育実践・研究としてはまだ一部の報告としてみられた知見にすぎない。特に、教諭の働きかけに関しては、教諭の現場での直観的な判断に委ねられており、事前の指導計画にはそのすべては含まれていない。例えば、登壇位置、目くばせ、発話、身振りなど、教諭の働きかけの方策は実に多様である。そのため、これらの詳細をすべて機械的に記録し解釈することは難しい。しかし、教諭の働きかけに対する子どもたちの応答が、子どもの顔の向きから形成される交点の広がりや波形に表れるなら、そこから子どもの内的状態（関心状態）を予測することは可能であろう。

そして、特徴的な箇所の同定は、子どもの機微な変化や状況に応じ流動的に変化する授業デザインの暗黙的な構造の解明に繋がると期待できる。例えば、交点の広がりや波形から教諭の働きかけが生じた箇所を割り出し、その場面の教諭の働きかけにより生じる行動量（動き、表情、音声など）の同期時間を検出する。そして、この同期時間の縦断的な変遷を記録する。これが実現できれば、教育効果を教諭の授業デザインと子どもの内的状態の同期量から定量化できよう。さらに、教諭のワザ・コツ・ノウハウといった暗黙的な能力の解明への寄与も期待される。これらの技術の実現を目指し、教育方法を可視化する教育ICT技術の開発を継続することは重要な課題と言えよう。

謝辞

本研究は、産業技術総合研究所人工知能研究センターからの委託研究、科研費19H01718、およびキャノ

ン財団研究助成プログラム「善き未来をひらく科学技術」の支援、およびNECバイオメトリクス研究所との共同研究を受けて実施された。支援に感謝する。また本研究は、玉川大学研究倫理委員会及び小学部低学年部保護者の承認のもと実施された。さらに、分析データ取得および解釈の検討に協力頂いた玉川学園小学部低学年部の皆様、英語担当教諭、西脇友美氏およびMallory Hendricks氏に感謝の意を表す。

【註】

註1) 本稿では、教育を受ける対象となる就学前児、児童、生徒を総じて「子ども」と表記する。これは、子ども・子育て支援法第6条1項に定める定義による。

註2) 自己調整、意欲、忍耐力、自制心、メタ認知ストラテジー、社会適応性（リーダーシップ、社会性）、回復力と対処能力（レジリエンス）、創造性、性格特性（Big5）などが含まれるとされる。

【引用・参考文献】

- 1) 内閣府「科学技術政策 Society 5.0とは」https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/（参照2021.7.1）
 - 2) 経済産業省「未来の教室 Learning Innovation」<https://www.meti.go.jp/press/>（参照2021.7.1）
 - 3) 首相官邸 教育再生実行会議「ポストコロナ期における新たな学びの在り方について（第十二次提言）」（令和3年6月3日）https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaizei/pdf/dai12_teigen_1.pdf（参照2021.7.1）
 - 4) Z-KAI <https://www.zkai.co.jp/>（参照2021.7.1）
 - 5) 家庭教師のトライ <https://www.trygroup.co.jp/campaign/ai/>（参照2021.7.1）
 - 6) スタディサプリ AI研究所 <https://ring.education/>（参照2021.7.1）
 - 7) 総務省、ベネッセ教育総合研究所（2018）「クラウドで教育をより良く教育ICTガイドブック」ver.1 https://www.soumu.go.jp/main_content/000492552.pdf（参照2021.7.1）
 - 8) Heckman, James J. and Tim Kautz (2013) *Fostering and Measuring Skills : Interventions that Improve Character and Cognition*, NBER Working Paper Series 19656Zhe
 - 9) amazon go <https://www.amazon.com/>(accessed 2021.7.1)
 - 10) 富士通 Zippn <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2020/12/8.html>（参照2021.7.1）
 - 11) Joseph Redmon:“YOLO:Real-Time Object Detection” <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>(accessed 2021.6.1)
 - 12) NEC the WISE <https://jpn.nec.com/ad/onlinetv/gaze.html>（参照2021.7.1）
 - 13) DeepID, DeepID2, GaussianFace <https://www.sensetime.jp/core-technologies> (accessed 2021.7.1)
 - 14) エヤル・ヴィンター（2017）愛と怒りの行動経済学、早川書房
 - 15) K. Ann Renninger, Suzanne Hidi, Andreas Krapp, et al. (1992) *The Role of interest in Learning and Development*, Psychology Press, New York
 - 16) ダニエル・カーネマン（2014）ファスト&スロー—あなたの意思はどのように決まるのか？ 上・下、早川書房
 - 17) Strong, E.K. (1925) “Theories of Selling” *Journal of Applied Psychology*, 9, 75–86
 - 18) 電通（2005）「AISAS」商標登録番号第4874525号
 - 19) Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999) Gorillas in our midst: Sustained inattentive blindness for dynamic events. *perception*, 28(9), 1059–1074
 - 20) Cherry, E. C. (1953) “Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears” *The Journal of the acoustical society of America*, 25(5), 975–979
- 箱田裕司・都築誉史・川畑秀明・萩原滋（2016）認知心理学、有斐閣

-
- 21) 文部科学省「小学校学習指導要領解説」https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387014.htm、
(参照 2021.7.1)
 - 22) 中村佳菜子、南戸秀仁、平澤一樹、石川健介、竹井義法 (2020) 「注視対象が変化する学習状況における学習者の状態推定」電子情報通信学会 信学技報 119 (394)、23-27
 - 23) 寺井省吾、川村亮介、白井詩沙香、メラサ・アリザデ他 (2020) 「顔表情および頭部動作に基づく eラーニング時の覚醒度推定」情報処理学会 第82回全国大会講演論文集、421-422
 - 24) 山田徹志 他 (2021) 「機械学習を用いた「子どもの育ち」の可視化—位置・向き情報を用いた関心推定の試み—」日本教育工学会論文誌、Vol.44、No.4、365-376
 - 25) S. Baron-Cohen (1995) *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind* Cambridge, MA: MIT Press
 - 26) 宮田真宏 他 (2020) 「顔情報を用いた子どもの関心対象の推定—教室の認知科学に向けたセンシング手法の検討—」日本認知科学会第37回大会、351-358
 - 27) 山田徹志 他 (2021) 「子どもの関心を推定する為のセンシングシステムの開発—試験実装による位置・向き情報の検出精度評価—」日本システムデザイン学会誌、Vol.1、No.1、65-71
 - 28) Makoto. Takamoto et al. (2020) *An Efficient Method of Training Small Models for Regression Problems with Knowledge Distillation*, (2020) IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR), 67-72
 - 29) Kid's Box <https://www.cambridge.org/us/cambridgeenglish/catalog/cambridge-english-exams-ielts/kids-box-updated-2nd-edition-1> (accessed 2021.7.1)