

[ラーニングアナリティクス]

# ④マルチモーダルラーニング アナリティクス



松居辰則 | 早稲田大学

## マルチモーダルラーニングアナリティクスとは

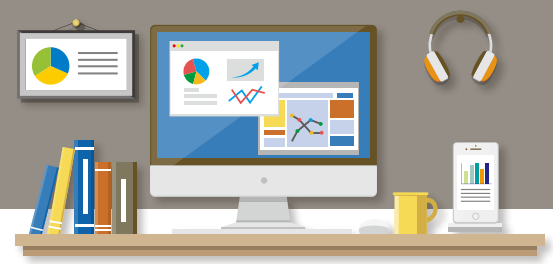
ラーニングアナリティクス（以下、LA）への期待は大きい。これは、教育評価の観点からは学習者の学習過程の記録をさまざまな粒度で、かつさまざまな量で蓄積することができ、学習過程に関する評価の可能性が高まっていることにほかならない。さらに、Society5.0と呼ばれる社会変化の中では、高度に個別化されたサービスやソリューションの実現が期待される中、学習・教育においても例外ではない。LAによる高度に個別化された学習環境の提供の可能性への期待も大きい。

LAでは、LMS (Learning Management System) を通して蓄積される学習履歴、LRS (Learning Record Store) に蓄積されるさまざまなデータが利用されることが一般的である。これらのデータは時間変化に対するデータ取得の粒度が比較的粗い場合が多い。これに対して、学習時に取得可能な生体情報やマウス等のデバイスの動き、あるいは学習者の姿勢や表情といったデータは時間変化に対するデータ取得の粒度が比較的細かいことが一般的である。本稿では、前者のデータは明確な学習者の意識を伴う高次のインタラクションにより取得されるデータであるため、ハイレベルインタラクションリソース (HLI リソース) と呼び、後者は必ずしも明確な意識を伴わない低次のインタラクションにより取得されるデータであるためローレベルインタラクションリソース (LLI リソー

ス) と呼ぶ。HLI を用いて学習者の知識・理解 (認知的領域) の状態を推定する研究は今までの教育工学研究や学習支援システム研究において多くの知見が蓄積されてきている。一方、視線や発汗に関するデータ等 LLI を用いた教育評価の研究も教育工学研究の中で多くの知見が蓄積されてきている。LLI リソースを取得するためには生体計測によることが多く、昨今の生体計測機器の高性能化、小型化、低廉化により、LLI を用いた学習支援に関する研究・開発が比較的容易になってきている。特に、LLI を用いた学習者の感情状態や集中度などの心的状態 (情動的領域) や技能、スキル (技能運動的領域) に関する支援への期待が高まってきている。そこで、本稿ではマルチモーダルラーニングアナリティクス (以下、MMLA) を「単一または複数の LLI リソースを用いて認知的領域・情動的領域・技能運動的領域に関する学習支援を行うこと」と定義して、MMLA を志向した研究を俯瞰してみたい。なお、認知的領域・情動的領域・技能運動的領域は Bloom の教育目標分類学を参考にしている。

## MMLA の研究事例

LLI リソースは生体情報機器を用いて人間の五感 (視覚・聴覚・触覚・味覚・嗅覚) から取得されることが多い。そして、LLI リソースは学習者の感情や心的状態 (情動的領域) の推定を目的とするものが多い。



## 視線情報の利用

視線情報と人間の心的状態との関連性に関する知見は多く、視線情報を用いた MMLA の研究事例は歴史も長く豊富である。視線情報の取得はアイマークレコーダ、アイトラッカー（据え置き型、装着型等）を用いるのが一般的である。視線情報を用いた研究事例としては以下のようなものがある。学習者の心的状態の推定のみならず、メタ認知学習支援、組織パフォーマンスの評価等、従来は客観的な測定が困難な側面への利用も積極的に行われている。

- 選択肢回答による問題解答時の視線の動きから学習者の選択に関する「確信度」を推定。
- 英語問題解答時の視線情報（停留点分布、移動速度等）から機械学習を用いて得点（能力）を推定。
- 自信や興味、困惑など情動状態の推定。
- 適切な学習活動を行わずにシステムから答えを引き出そうとする不適切な行動の検出。
- 行き詰まりや迷い等の異常状態の検出。
- 学習者のメタ認知活動と視線情報との関連付けの試み。
- 研修中（授業中）の集中度と組織パフォーマンスとの関係の検討。

## 脳活動情報の利用

昨今の脳科学（神経科学）研究の進展により脳波や脳血流量等の脳活動情報と心的状態との関連性に関する知見が蓄積されつつある。脳活動情報は脳波計測、近赤外分光法（NIRS, Near-Infrared Spectroscopy）による脳表面の酸素状態の計測、磁気共鳴機能画像法（fMRI, functional Magnetic Resonance Imaging）による血流動態反応の可視化等によって取得するのが一般的である。脳活動情報を用いた研究事例としては以下のようなものがある。

- 脳波を用いた集中度、興味関心の程度の推定。

- NIRS 計測を用いた学習プロセスの理解度の推定。
- fMRI を用いた学習課題への興味・関心の推定、能力推定。
- 複数の学習者の脳波の同期状態から話題の指向性を推定<sup>1)</sup>。

## 複数の生体情報の利用

生体情報を用いて心的状態の推定精度を高めるためには、複数の生体情報を同時に用いることの有効性が指摘されている。筆者らは、教師と学習者のインタラクションにおいて教師の発話と学習者の複数の生体情報（脳血流量（NIRS 計測）、呼吸、皮膚コンダクタンス、容積脈波）、および学習者の心的状態との関係の形式化を試みてきている<sup>2)</sup>。この研究では、学習にかかわる多面的情報から深層ニューラルネットワーク（Deep Neural Network, DNN）を用いて学習者の心的状態の推定の可能性を検討している。特に、生体情報特有の時間遅れ（刺激に対する反応とそれが測定機器によって測定されるまでには時間遅れが生じることが知られている）の補正、次元解析による時系列データの周期性の反映、心的状態の持続性（減衰性）を考慮することによる推定精度の向上の可能性を示している。さらに、心的状態のリアルタイム提示の有効性に関する検討を行っており、特に、学習者の心的状態の変化を教師に提示することが、形成的評価を促し授業改善に役立つことの可能性を示している（図-1）。

## 特殊な計測機器を利用しない MMLA

生体情報の利用は、心的状態の推定には有効であるが、実学習環境での利用を想定した場合には、特殊な計測機器を利用することは非現実的であるとも考えられる。そこで、特殊な計測機器を利用しない、すなわち、PC 等に標準に装備されている機器を用いて心的状態を推定することも重要である。筆者らは、マウスと顔の動きに関する情報を

用いて学習者の困惑度の推定を行っている<sup>3)</sup>。マウスのLLIリソースとしては、カーソル座標とクリックの状態を、顔のLLIリソースはコンピュータに内蔵されたカメラから画像解析により顔の位置と傾きを取得している。学習者の心理状態の情報は、解答中の発話プロトコルと事後のヒアリングを組み合わせて取得している。取得された複数のLLIリソースを入力として多重解像度解析とニューラルネットワークを用いて、学習者の困惑度のリアルタイム推定を実現している。

## スキル学習の支援

知識・理解（認知的領域）に加えて身体性を伴うスキルの獲得（技能運動的領域）も学習・教育においては重要である。スキル学習支援はモーションキャプチャシステム、深度カメラ、加速度センサ等を用いて学習者の身体動作を数値化し、熟達者との相違点を可視化することで実現可能性が高まるとされている。運動技能、楽器の演奏技能、発声技能のスキル獲得支援に関する研究が行われている。また、擬似的な力覚を生成するハプティックデバイス（ユーザに力（反作用）、振動、動きなどを与えることでコンピュータ上に提示されたオブジェクトの硬さや力（反作用）の強さをフィー

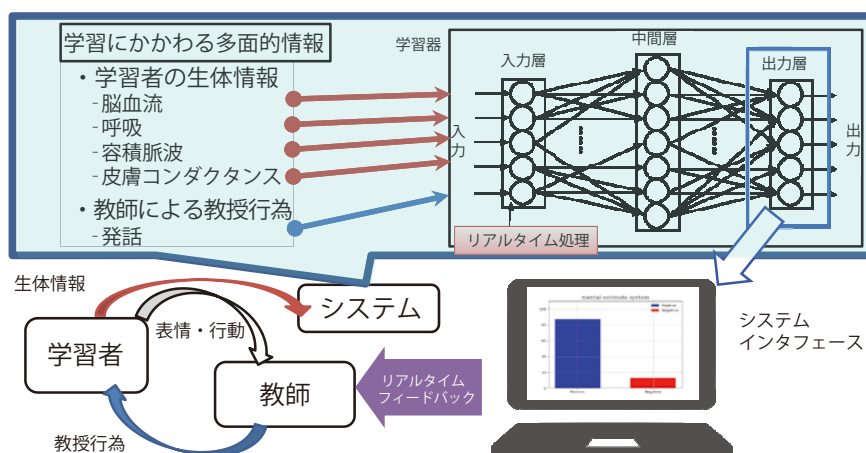
ドバックするデバイス）を用いた書道や描画のスキル支援の研究も行われている。

## その他

人間の表情は心的状態を推定する上では重要な手がかりとなる。特殊な計測機器を利用することなく、パソコンと一般的なカメラとで表情認識を比較的容易に行うことができるOpenFace等のオープンソースのツールが提供されている。また、身体動作を比較的容易に可視化することが可能なOpenPose等のオープンソースのツールも提供されている。今後はこのようなツールが、学習者の表情から認知的領域、情動的領域の状態を推定し学習支援を行う研究・開発にも活用されることが期待される。

## 学習時の心的状態に関する知識記述<sup>4)</sup>

前章まで、LLIリソースとして生体情報を用いて学習者の心的状態を推定する研究事例について述べてきた。それらの取り組みにおいては、あらかじめ研究者が推定しようとする心的状態は明確にされており、どのような生体情報を用いるかということが課題であった。今後これらをはじめ



■図-1 心的状態のリアルタイム提示システムのイメージ



とした MMLA を志向した研究は増えていき、学習者とその状況を理解するために有用な知見がますます蓄積されていく見通しである。

こういった知見を利用する際に注意しなければならない点は、それぞれの研究において推定の対象である心的状態と推定方法が、類似したものも含めて多種多様であり整理されていないことである。それぞれの研究において扱われている心的状態がほかの研究で扱われているものどのように異なっているかということは現時点において不明確であるといわざるを得ない。さらに、同じ心的状態であっても異なった生体情報が推定に用いられることがあり、取得された生体情報がそのまま心的状態を意味するわけではない。したがって、生体情報を学習者とその状況の理解に役立てるためには、生体情報と心的状態の関係を明らかにするとともに、学習支援システムを構築する際に参照可能なようにそれを記述しておく必要がある。

生体情報と心的状態の関係を記述するにあたっては、まず (1) 生体情報と心的状態がそれぞれどのような過程において生起しているかということを押えた上で、(2) その過程の中でいかに心的状態が概念的に分類されるかということを明確化する必要がある。筆者はオントロジ工学の手法を用

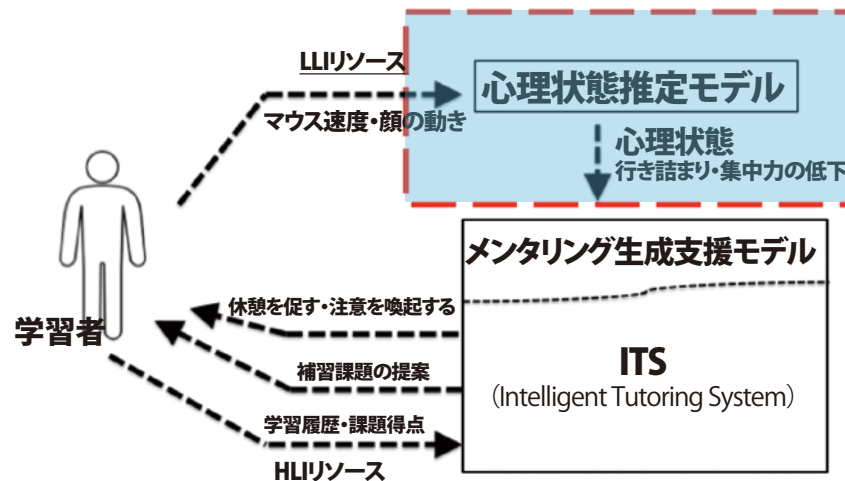
いて、学習者の心的状態と生体情報の関係に関する汎用性の高い記述方法を提案している<sup>4)</sup>。

## 実効性の高い MMLA を目指して

実効性の高い MMLA を実現するためにはさまざまな課題が存在する。

まず、学習者の心的状態（情動的領域）と理解状態（認知的領域）は相互に関連性を有することである。つまり、心的状態と理解状態は必ずしも独立ではなく、理解状態に依存して心的状態が変化すると考えるのが一般的である。したがって、LLI リソースと HLI リソースの双方を関連付ける必要がある。筆者らは広義の学習支援システム（e-learning システムを含む）において学習者の知識・理解状態、心理状態の両側面を推定する機能を実装し、適切な自動メンタリングを実現するために必要なモデルと技術基盤を開発してきている<sup>4)</sup>。このような学習支援機能を備えたシステムを、知的メンタリングシステム（IMS, Intelligent Mentoring System）と呼んでいる（図-2）。

次に、学習・教育に関するデータ特有の特殊性の問題である。すなわち、個別性が高い、インタラクションが複雑、形式（学習履歴データ等）と



■図-2 知的メンタリングシステムの概念図

意味（学習・教育上の解釈）との乖離が大きい、便益遅延性（その効果がいつ現れるか）が大きい、効果の多様性（その効果がどのように現れるか）が大きいといった性質である。

実効性の高いMMLAを実現するためには以下のような課題を解決する必要がある。

- 理論・技術のさらなる展開（計測機器の小型・軽量化、計測精度の向上、学習文脈・教育文脈に強いデータ解析や機械学習アルゴリズムの開発、サービス視点での学習デザイン・設計手法の検討）
- LAにかかわる人材の育成（“La-er”の育成と教育・学習の従事者との連携）
- データや知見の共有（コミュニティ形成やデータの共有プラットフォームの開発（生体計測データの大規模サンプルの収集は非現実的）、分析ノウハウの共有）
- データの扱い（個人情報扱い、取得データの所有権の問題、偶発的に（偶然に）抽出された結果の扱い等に関する関連法の整備）
- 古くから蓄積された教育工学、教育システム学研究の知見の再認識と利活用

この中で「知見の共有」や「データの共有」はデータの個性からより一般性の高い知見を得る上で重要である。Augereauらは計測データ、特に視線情報の共有基盤の開発を行っており<sup>5)</sup>、今後の参考となるモデルを提供している。

最後に、実行性の高いMMLAを指向した研究・開発・実践が進展しGoswamiが提唱する「教育神経科学」<sup>6)</sup>という学問分野として展開することも期待される。

#### 参考文献

- 1) Bevilacqua, D., Davidesco, I., Wan, L., Oostrik, M., Chaloner, K., Rowland, J., Ding, M., Poeppel, D. and Dikker, S. : Brain-to-Brain Synchrony and Learning Outcomes Vary by Student-Teacher Dynamics : Evidence from a Real-world Classroom Electroencephalography Study, *Journal of Cognitive Neuroscience* X:Y, pp.1-11, doi:10.1162/jocn\_a\_01274 (2018).
- 2) 松居辰則, 宇野達朗, 田和辻可昌 : 心的状態の持続モデルを考慮した生体情報からの学習者の心的状態推定の試み, *人工知能学会第80回先進的学習科学と工学研究会*, B507-08, pp.44-49 (2017).
- 3) Matsui, T., Horiguchi, Y., Kojima, K. and Akakura, T. : A Study on Exploration of Relationships between Behaviors and Mental States of Learners for Value Co-creative Education and Learning Environment, In *Proceedings of HCI International (HCII2014)*, LNCS Vol.8522, pp.69-79 (2014).
- 4) 松居辰則 : 感性情報学としての学習支援システム研究—学習者の心的状態の推定手法—, *人工知能学会誌*, Vol.30, No.4, pp.481-485 (2015).
- 5) Augereau, O., Jacquet, C., Kise, K. and Journet, N. : Vocabulometer : An Eye-tracking Web Platform for Reading Analysis, *Proceedings of the IAPR International Workshop on Document Analysis Systems* (2018).
- 6) Goswami, U. : Neuroscience and Education : From Research to Practice?, *Nature Reviews Neuroscience*, 7, pp.406-413 (2006).

(2018年6月19日受付)

松居辰則（正会員） matui-t@waseda.jp

1964年生。1988年早稲田大学卒業。1994年博士（理学）早稲田大学。早稲田大学助手、東京学芸大助手、電気通信大学大学院助教授、早稲田大学助教授を経て2007年より同大教授。知的学習支援システム、感性情報科学、スキルサイエンス等の研究に従事。