

学修満足度ダイナミクス研究を進めるための予備的検討

Preliminary study to advance research on the dynamics of learning satisfaction

牧野 千里^{1*}

Chisato Makino^{1*}

¹ 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

*Corresponding author: Chisato Makino, makino.chisato.xg@alumni.tsukuba.ac.jp

Abstract The author has discussed enrollment management for working adult learning and the dynamics of learning satisfaction in order to realize this enrollment management before. In this article, assuming that the learning satisfaction function is expressed as a linear combination, the author discusses "clarifying the relationship between changes in facial expression and learning satisfaction" and "the possibility of treating the dynamics of learning satisfaction as a function" prior to starting research for "Dynamics of learning satisfaction". Regarding clarifying the relationship between changes in facial expression and learning satisfaction, although the technology for "the relationship between facial expression changes and emotions that last for a very short time" has been largely established, further basic research is required on "the relationship between facial expression changes and emotions that last for a few tens of minutes." Regarding "the possibility of treating the dynamics of learning satisfaction as a function", the order statistics approach is thought to be the most promising approach for treating the dynamics of learning satisfaction as a function, but large-scale research is needed.

Keywords dynamics; learning satisfaction; facial expression; normed linear space

1 はじめに

著者は既報にて、社会人教育用エンrollmentマネジメント (EM) の必要性及びその設計を提案し[1]、更に、本 EM 設計に先立ち学修者の学修期における学修満足度の動的挙動 (学修満足度のダイナミクス) 評価の必要性について述べた[2]。学修者が学修障壁により学修満足度が低下してしまうという場合、適切な学修サポートを適切なタイミングで提供できれば、学修満足度は維持できると考えられる (図 1)。この学修障壁を検出する方法として、(i) 学修期間を通しての学修障壁の検出 (1 日から数週間の期間における検出方法)、(ii) 講義中の学修障壁の検出 (数秒から数分における、迅速検出方法) の 2 法を提案している[2]。

(i)は講義の後、質的・量的調査により、学修障壁の種類/タイミング、学修サポートの種類を整理し、学修満足度の数値化/関数化がある程度可能であると考えられる。なお学修障壁は、講義の内容、講義環境等から推定できると考えられ、さらにど

のような学修サポートを提供したかは講師側で把握できるため、純粋に、学修満足度の数値化/関数化が課題となる。一方、(ii)では講義中における学修者の反応、主に表情変化から学修障壁発生タイミングを検知する必要がある。学修障壁の種類及び提供した学修サポートについては(i)で述べた通りである。この時、「表情変化と学修満足度の関係の明確化」が学修満足度ダイナミクス研究遂行の上で大きな課題となる。

次に、「学修満足度の数値化/関数化がある程度可能」と先に述べたが、この点においても大きな課題がある。学修満足度のダイナミクスを議論する上で、文献[2]に示したように、学修全体の満足度 $S^x(m, t)$ を各目標における学修満足度 $s^x_n(\mathbf{g}(m, t), t)$ の線型結合で表現することを前提とするのであれば、学修満足度はノルム線型空間上の数値である必要があるためである。その理由は、(a) データ間の距離の概念が明確、(b) 収束性の議論が容易 (特定の「値」に収束するのか、発散するのかを数学的に考察容易)、(c) 線型演算子が定義しやすい、が挙げられ、特に(a)は重要な理由となる[3]。学修満足度自体は心

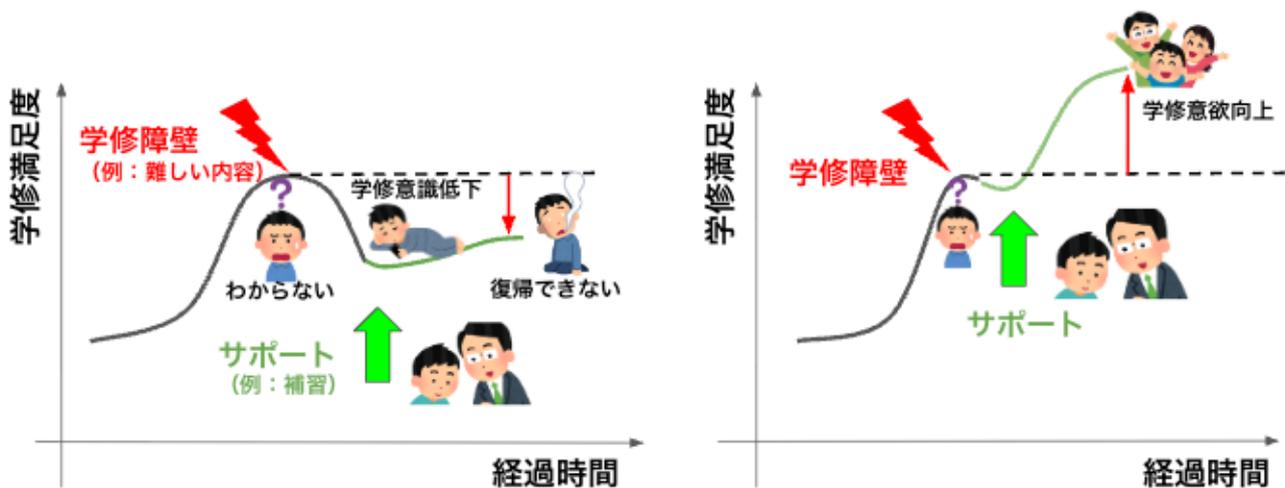


図 1 学修満足度のダイナミクスの一例 (イメージ図)。 a) 同じサポート (↑: 質および量は同じとする) でも、学修者に与えるタイミング (満足度が異なる) によって、その後の学修満足度変化量への影響は変わることがある。文献[2]より転用。挿絵: いらすとや

理量であるため[4]、特別な解析処理を施さない限りは、一般的にノルム線型空間上にある値とはならない。よって「学修満足度のダイナミクスを関数として扱うことの可能性」も研究遂行の上で大きな課題となる。

本稿では、学修満足度のダイナミクスの検討を開始する前に、「表情変化と学修満足度の関係の明確化」、「学修満足度のダイナミクスを関数として扱うことの可能性」、について予備的検討を実施したので報告する。

2 表情分析の現状

FACS (Facial Action Coding System)

Ekman らは解剖学的視点から、可視的な顔面動作（顔面の筋肉の動き）を区別できる Facial Action Coding System (FACS) を開発した[5-6]。約 30 種類の顔面動作（AU: Action unit）を検知して比較的短期的な感情を推測することに活用されている。

表情計測の例

表情変化自体の顔の動きの経時変化は評価可能であり、市販アプリケーションも報告されている[7]。表情の時間的変化、さらには非常に短時間の表情変化（微表情[8]）の検出も可能である。顔の動作コード（Facial Action Code: FAC）[5-6]は、顔の動きを解剖学的に分析した結果から導き出されている。FAC 測定では、顔の筋肉の動き（各部位変化の順序、時間的変化（時間的符号化））に基づいて顔の動作を詳細に表現している。具体的には、オンセット（Onset）：筋肉の収縮が始まる時点、アペックス（Apex）：最大収縮に達した時点、オフセット（Offset）：筋肉の収縮が終了する時点、を計測する。その上で、持続時間：各 AU がどの程度の時間継続したか、強度変化：時間の経過とともに表情の強度がどう変化したか、複数 AU の協調：異なる筋肉群がどのようなタイミングで連動したか、をデータ化する。

以上から、現時点で表情の経時変化については、ほぼ正確に評価できる技術が確立されていると言える。

3 感情の定義

感情の定義

定義として、感情（affect：喜び、悲しみ、怒り、恐怖、驚き、嫌悪）を情動（emotion）、気分（mood）に分けるという説明がある[9]。感情が上位概念であり、情動、気分は下位概念となる。ここで、情動は強度が強く、短期的な感情を意味し、その感情が向けられる対象や原因が比較的明確であるものとされる。一方、気分は、強度が弱く、やや持続的な感情である（図 2）[9]。本研究に例えるならば、講義中の学修満足度は情動、学修期間におけるそれは気分に関連すると考えられる。本稿では講義中の比較的長時間（数十分程度）の感情も情動と呼ぶことにする。

文献[1-2]では、(i) 質的・量的調査による学修期間を通しての学修障壁の検出、(ii) 講義中の表情変化による学修障壁の検出、を提案しているが、学修全体の学修満足度 $S^x(m, t)$ 、各目標における学修満足度 $s_n^x(g(m, t), t)$ 、の線型結合モデル化

の可能性についても十分予備検討が必要と考えている。

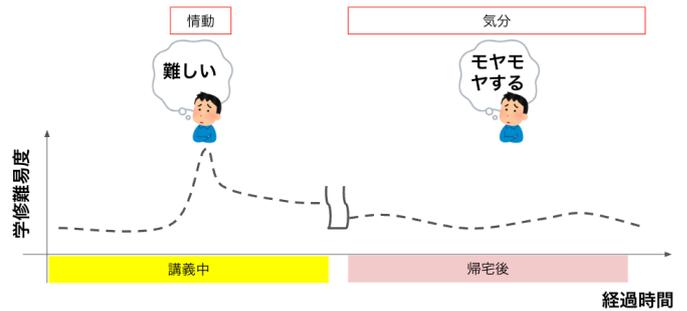


図 2 情動と気分のイメージ図。講義中に何らかの学修障壁により、学修満足度が上がり、“なんだこれ？”、“難しい！”と感じる。この感情は、長時間は続かないものの、帰宅後も何かしら“モヤモヤ”、“腹落ちしない”、“講義の内容がわからなかったけど大丈夫かな”、という状態になってしまう。文献[9]より著者が作図。挿絵：いらすとや

4 表情変化と学修満足度の関係の明確化

“学修満足度のダイナミクス”を表情変化から評価する場合、“表情から感情への変換”、“感情から学修満足度への変換”の関係の明確にする必要がある。“感情から学修満足度への変換”は本研究で探究しなければならないが[2]、“表情から感情への変換”は現時点の技術でどの程度可能であろうか。

表情変化からの感情計測の例

自然な顔の表情は、感情体験の具体的な側面を示し、感情強度の変化は各 AU の強度レベルの時間的変化から推定される[10]。表情変化からの感情計測の例としては、AU と幸福感の関係の検討が報告されている。AU の頻度、持続時間、最大強度が幸福感と相関するとされる[10]。

基本感情の識別方法として、Ekman が提唱した 6 つの基本感情については、特定の AU パターンとの対応関係が確立されている[5-6]。例としては、

- 喜び：AU6（頬の持ち上げ）+ AU12（口角の引き上げ）
- 怒り：AU4（眉毛の引き下げ）+ AU5（上まぶたの引き上げ）+ AU7（下まぶたの緊張）

があげられる[5-6]。ただし、この表情の持続時間は長くても数分程度であり、例えば数十分の講義時間にわたって感情推定できるわけではないことに注意が必要である。

さらに感情とは直接関係ないが、表情と欺瞞の関係に関する報告がある[11]。この報告では、リアルタイム判定をしているわけではなく、さらに経時変化まで評価できているわけでもない。但し特筆すべきことは、表情は身体の動きに比較し制御されやすく、欺瞞に関して言えば、身体の動きを評価した方が望ましいとも述べられている。本研究では、表情に特化することを想定したが、体勢についても表情と同様に考慮する必要があるかもしれない。

表情変化からの感情計測の現状

上述のように表情変化自体のダイナミクスは評価可能であり、微表情の検出を含め、感情、特に極短時間の感情（情動：emotion）

表出の検出には非常に有効であると考えられる[12]。一方、数十分程度の情動の経時変化を検出する(すなわち講義時間を通じて情動を検知する)ことはさらなる研究が必要であると考えられる。

5 学修満足度のダイナミクスを関数として扱うことの可能性

学修満足度の数値化

学修満足度は心理量であり潜在変数の一種である[4]。文献[2]でも触れたように、線型結合で表現された関数を確立するために、例えば潜在変数モデリング[13]等の検討が必要である。さらに、学修満足度の変化をノルム線型空間上で扱う必要が生じるわけであるが、そのための対策が必須となる[4]。ではどのような方法が考えられるであろうか。現在の研究動向を参考に、学修満足度を関数として扱うことの可能性について以下に述べる。

学修満足度変化量のノルム線型空間上の定義によるアプローチ

文献[2]では、学修満足度は、社会人学修者の学修目標に対する達成度で数値化/関数化は可能であろうと述べた。これは、履修生個々人の目標に対して、目標通り：0、目標を上回った：1、想定外に得るものがあった：2、目標を下回った：-1、目標を下回り損失があった：-2 というような表現をする方法である[2]。この手法で得られる数値にて、直接ダイナミクスの解析ができれば、最もシンプルではあるが、実際には困難である(図3:「目標を上回った」→「想定外に得るものがあった」の大きさと、「目標通り」→「目標を上回った」の大きさは同じではないと考えられる)。

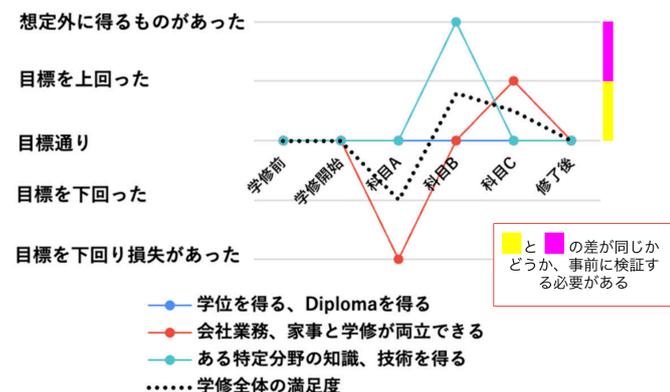


図3 学修満足度におけるノルム線型空間整備の必要性。文献[2]の図を用いてあらためて作図したもの。学修者個々人の変化を追うことが可能であるが、「目標通り→目標を上回った」の大きさと、「目標を上回った→想定外に得るものがあった」の「大きさ」が同じかどうかは別途研究が必要である。

この課題に対して、学修満足度の変化量をノルム線型空間上で定義する[4]、あるいはノルム線型空間上にある“ものさし”に変換する対策が考えられる。

前者の方法としては、例えば、「目標を上回った」→「想定外に得るものがあった」の差を10、「目標通り」→「目標を上回った」のそれを15、という数値に変換できることを別研究にて

確立するというものである。

後者の方法としては、学修満足度の値をノルム線型空間上にある“ものさし”に変換するためには、例えば、学修満足度を費用に変換するというような別研究を行い、評価基盤を整える必要がある。

いずれの方法においても、成果が得られるか否かは明確ではない。

順序統計学的なアプローチ

学修満足度のような順序尺度(順番に意味を持たせる尺度のこと。目標を下回り損失があった→目標を下回った→目標通り→目標を上回った→想定外に得るものがあった、という順序が挙げられる)のデータを解析するアプローチである。

方法として、例えば、各満足度の構成比、分布、最大値、最小値を採用する方法、あるいは満足度低から高へ並べて、その中央値(累積中央値)を採用する方法、が考えられる[14](図4)。

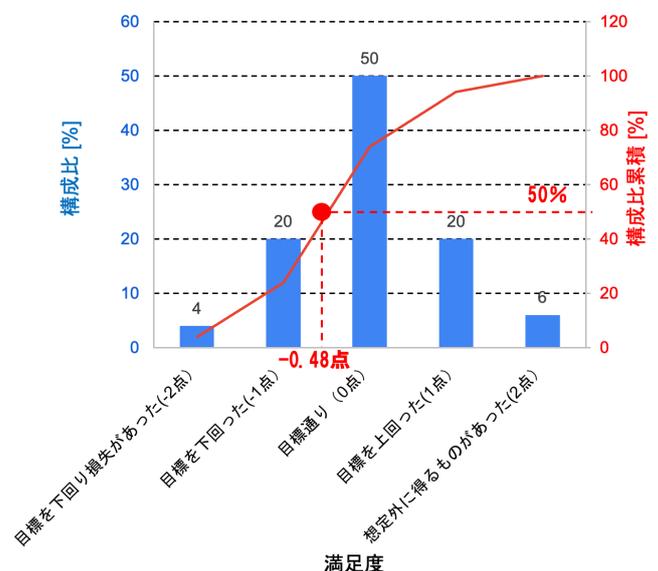


図4 学修満足度におけるノルム線型空間整備の必要性。満足度の大きさを議論するわけではなく、集団の中の構成比の変化を評価する。構成比(人数比)はノルム線型空間上で表現されるため、ダイナミクスの議論が可能である。一方、累積中央値の場合、学修満足度の点数がノルム線型空間上にないため、ノルム線型空間上の定義検討が必要である。

前者の例として、各満足度の比率を指標とした場合がある。すなわち、期待通り：50人中25人(50%)、期待より高い：50人中10人(20%)、期待より非常に高い：50人中3人(6%)、期待より低い：50人中10人(20%)、期待より非常に低い：50人中2人(4%)、というような形式になる(図4、青柱)。この手法は、満足度の点数(例えば、目標を上回った：1点)を採用せず、人数を変数とした分布を評価するため、ノルム線型空間上での学修満足度の評価が可能となる。但し、学修者個人の学修満足度変化を計測し、平均化、関数化することになるため、研究推進において、非常に多くの研究対象者を募る必要がある。解析するためには研究対象者群(属性を整えた学修者集団)のn数(人数)を多く確保する必要があり、かつ属性数をhとすれば、研究対象者総数はn・h人となる。大規模研究が必要となる。

後者の例としては、図4の赤プロットで示したように、学修満足度の累積中央値を指標とするものである（図4の場合、50%累積時点の満足度は-0.48点となる）。学修者集団の学修満足度変化を認知する方法に適するが、この方法における学修満足度の点数はノルム線型空間上にないため、ノルム線型空間上の定義検討が必要となる。

ノンパラメトリック手法によるアプローチ

非ノルム線型空間上の順序尺度データにおいて検定を行う場合、ノンパラメトリック手法による解析が用いられることがある[15]。例えば、研究対象者群の学修満足度平均値の経時変化前後の学修満足度差のみを検定する方法であり、有用ではある。しかし、学修満足度の値はノルム線型空間上に上のもではないため、ノルム線型空間上の定義検討が必要となる。

情報論的解析によるアプローチ

情報論的解析方法の一つとしてマルコフ連鎖モデルが知られている[16]。この手法は学修満足度の「状態」とその「遷移確率」という概念で動的变化を表現できる。学修満足度の変化

を確率で表現するため、図5に示すような、学修満足度の上昇、あるいは降下を確率で表現、あるいは図6に示すような学修満足度分布の遷移を確立で表現する方法である。例えば図5の場合、「期待より低い」から「期待通り」に移行する確率は60%、というように読み取ることができる。

図6の場合、学修者集団の学修満足度分布が青線から赤線に移行する確率は60%、というように読み取ることができる。学修サポート提供前後というような経時的パラメータを加味することもできる。但し、例えば「目標を下回った」と「目標通り」の距離をノルム線型空間で表現できていないため、文献[2]で述べられているダイナミクス解析を行うためには、ノルム線型空間上の定義検討が必要となる。

学修満足度ダイナミクス研究を進めるための条件

学修満足度のダイナミクスを関数として扱うことの可能性について、事前検討事項を述べたが、まとめると以下のようになる。

- ・心理量である学修満足度を関数として扱うためには、ノルム線型空間上のデータを扱うことが望ましい。
- ・そのためには学修満足度変化量をノルム線型空間上で定義を事前研究として行う必要がある。但し、成果が得られるか否かは明確ではない。
- ・学修満足度変化量のノルム線型空間上の定義によるアプローチであれば、学修満足度の変化量をノルム線型空間上で定義する、あるいはノルム線型空間上にある“ものさし”に変換する対策が考えられる。
- ・順序統計学的アプローチであれば、学修者集団の学修満足度変化を関数化可能であり、最も可能性が高いと考えられるが、研究対象者総数を多く確保する必要がある。
- ・ノンパラメトリック手法、情報論的解析手法によれば、経時変化前後の差を検定するのであれば、この方法は有用である。但し、学修満足度の値はノルム線型空間上のもではないため、ノルム線型空間上の定義検討が必要となる。

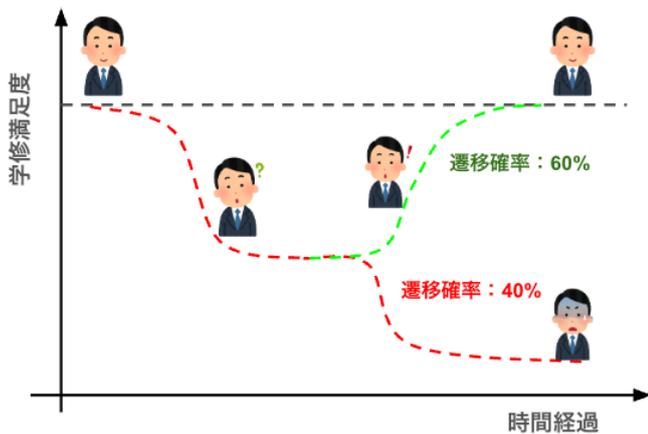


図5 マルコフ連鎖モデル解析における学修満足度遷移確率イメージ。挿絵：いらすとや

6 まとめ

本稿では、“学修満足度のダイナミクス”の研究を始めるにあたって、「表情変化と学修満足度の関係の明確化」、「学修満足度のダイナミクスを関数として扱うことの可能性」、について予備的検討を行い、結果を以下にまとめた。

- ・「表情変化と学修満足度の関係の明確化」については、「表情変化と情動 (emotion：極短時間の感情) の関係」の技術についてはほぼ確立されているが、「表情変化と情動 (数十分程度の感情) の関係」はさらなる基礎研究が求められる。
- ・学修満足度関数を線型結合で表現することを前提とするのであれば、「学修満足度のダイナミクスを関数として扱うことの可能性」については、順序統計学的アプローチが最も可能性があると考えられたが、大規模研究等が必要である。

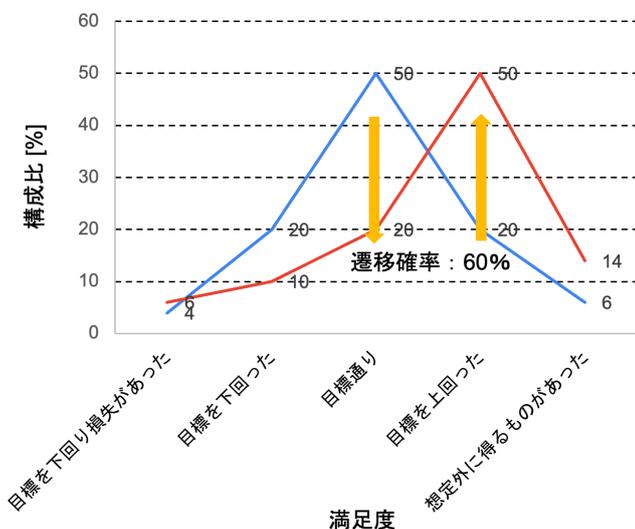


図6 マルコフ連鎖モデル解析における学修満足度遷移確率イメージ。青線のプロットから赤線のプロットに分布が遷移する確率を表現。

謝辞

東京都立産業技術大学院大学橋本学長には心理量の取り扱い、特にノルム線型空間における取り扱いについてご助言をいただきました。また、表情評価、表情変化から感情変化への推定については、(株)エモスタ CEO 小川修平氏よりご助言をいただきました。最後にこの様な機会を設けてくださった東京都立産業技術大学院大学諸先生方、事務局の方々に深謝致します。

参考文献

1. 牧野 千里, 橋本 洋志. 社会人教育用エンロールメントマネジメントの提案及びその設計. 産業技術大学院大学紀要. 2024;(17): 186-191.
2. 牧野 千里, 橋本 洋志. 社会人の学修過程における学修満足度のダイナミクス. 産業技術大学院大学紀要. 2025;(18): 179-184.
3. 竹内慎吾. 数学のとびら 関数解析: 基本と考え方. 東京: 裳華房;2023.
4. 井上裕光. 心理量を測る-現状とその問題点-. 人間工学. 1994;30(3):137-140.
5. Paul Ekman, Wallace V. Friesen, Measuring Facial Movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*. 1976;1(1): 56-75.
6. Paul Ekman, Wallace V. Friesen, Joseph C. Hager. *Facial action coding system*. 2nd ed. Salt Lake City, UT: Research Nexus eBook; 2002.
7. AI ソリューション. (株)エモスタ. [cited 26 September 2025]. Available from: <https://emosta.com/ja/solution/>
8. 野口芹奈, 白井昇太. 微表情を用いた心身状態推定システムの要素技術開発. 電気・情報関係学会九州支部連合会. 06-1P-09 [Preprint]. 2022: 191.
9. 北村英哉, 田中知恵. 気分状態と情報処理方略(2)-SACモデルの改訂-. 東洋大学社会学部紀要. 2007;45(2): 87-98.
10. Paul Ekman, Wallace V. Friesen, Sonia Ancoli. Facial signs of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1980;39(6): 1125-1134.
11. Paul Ekman, Wallace V. Friesen. Detecting deception from the body or face. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1974; 29(3): 288-298.
12. Sidney D'Mello, Art Graesser. Dynamics of affective states during complex learning. *Learning and Instruction*. 2012; 22: 145-157.
13. 古川徹生, 石橋英朗. 潜在変数モデルのメタモデリング: 最適輸送距離の観点による考察. The 38th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence. 2M5-OS-24-02[Preprint]. 2024: 1-2.
14. 大谷拓哉. 理学療法の科学と研究. 2013;4(1): 9-13.
15. 浜田和久馬. 解説論文 ノンパラメトリック検定の考え方. *アブライト⁺・セラビ⁺ユーティクス*. 2015;6(2): 63-69.
16. 安田浩二, 鬼東俊一, 松浦忠孝, 中川孝之. マルコフ連鎖モデルによる火力土木設備の劣化評価と点検頻度の合理化. *コンクリート工学*. 2018;56(1): 83-87.