

論文

Pedagogical Agentの導管メタファ・ジェスチャが 学習者の理解に与える効果

長谷川 大^{1,a)} 白川 真一² 佐久田 博司³

受付日 2017年6月13日, 再受付日 2017年10月10日,
採録日 2017年11月11日

概要: 本論文では, Pedagogical Agent (PA) が説明を行う際に用いる導管メタファ・ジェスチャが, 学習者における専門用語の記憶定着, 抽象概念間の関係性の理解, 学習体験, および, PA の知覚に与える影響を評価する. 実験は, ジェスチャ要因 (スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件 vs. スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件 vs. ジェスチャなし条件) を操作する 1 要因 3 水準参加者間実験デザインとし, 用語記入課題, 図形選択課題, およびアンケートによって評価を行った. 大学生 140 名によるオンライン実験の結果, スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件で, スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件およびジェスチャなし条件と比較して, 図形選択課題スコアに向上がみられた. またスピーチ・ジェスチャ・マッチ条件で, ジェスチャなし条件と比較して, 参加者がより学習内容の理解に努めていたことが明らかになった. これらのことより, PA の導管メタファ・ジェスチャは学習者にとって内容理解の補助になることが示唆された.

キーワード: 教育エージェント, 隠喩的ジェスチャ, 導管メタファ・ジェスチャ, 学習者の理解

The Effect of Conduit Metaphoric Gestures Performed by a Pedagogical Agent on Learners' Understanding

DAI HASEGAWA^{1,a)} SHINICHI SHIRAKAWA² HIROSHI SAKUTA³

Received: June 13, 2017, Revised: October 10, 2017,
Accepted: November 11, 2017

Abstract: In this paper, we examine the impact of conduit gestures performed by Pedagogical Agent (PA) on learners' memorization of technical terms, understanding of relationships between abstract concepts, learning experience, and perception of the PA. The study employed a one-factor three-level between-participants design where we manipulated gesture factor (speech-gesture match vs. speech-gesture mismatch vs. no-gesture). The data of 140 students were acquired in an on-line experiment. As the results, we found that students showed accurate understanding of the relationship between abstract concepts when the PA used conduit gestures matched to speech content than when used gestures mismatched, and no gesture. Also, we found that students tried to understand the contents harder when the PA used conduit gestures matched to speech content than when used no gesture. Those results suggest that conduit gestures performed by PA help learners to better understand the learning contents.

Keywords: pedagogical agent, metaphoric gesture, conduit gesture, learners' understanding

¹ 東京工科大学メディア学部
School of Media Science, Tokyo University of Technology,
Hachioji, Tokyo 192-0982, Japan

² 横浜国立大学大学院環境情報研究院
Faculty of Environment and Information Science, Yokohama
National University, Yokohama, Kanagawa 240-8501, Japan

³ 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科
Department of Integrated Information Technology, College
of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University,
Sagamihara, Kanagawa 252-5258, Japan

a) hasegawad@stf.teu.ac.jp

1. はじめに

Flipped Classroom や Connectivist MOOCs など, 近年の新しい教育パラダイムでは, 従来, 教授者から学習者への一方通行な知識伝達を行っていた学習方法から, 学習者の体験に基づく主体的な知識獲得を重視する方法へのシフトが始まっている [1], [2]. この新しい教育観に基づく高等教育では, ディスカッションやプロジェクトワークな

どの実践的学習に重点がおかれるが、これらの実践的学習は、学習者が自学自習によって事前に基礎知識・基礎技術を身につけておく必要がある。そのため、効率的・効果的な自学自習を支援するための Computer Aided Education (CAE) システムが求められている。

人間らしい身体を備えた Pedagogical Agent (PA) を用いた学習環境は、エージェントの身体性によって人間の社会的反応を引き出すことができる点において、従来の CAE システムと一線を画する [3], [4]。これまでに、PA を用いた CAE システムは、従来のテキスト・音声ベースの CAE システムと比較して学習効率や学習意欲を向上させる効果があることが確認されている [5], [6], [7]。また、その学習効果を高めるために、PA の容姿や表情や音声、姿勢などの要因が学習者に与える影響の調査や、PA を共同学習に応用する試みなどが行われている [8], [9], [10], [11], [12]。しかしながら、ジェスチャが学習者の理解にどのような影響を与えるかを調査した研究は報告例が少ない。そのため、PA による情報伝達をより効果的に行うために、ジェスチャ設計の指針となる知見の収集が期待されている。

これまでに、ヒト対ヒト・コミュニケーションにおいて、図像的ジェスチャと呼ばれる具体的事物の視覚的特徴を伝えるジェスチャが、聞き手が内容を理解する助けになることが確認されている [13], [14], [15]。また教育現場においても、科学的説明の理解や、学習者同士の共同学習においてジェスチャは大きな役割を果たしていることが指摘されているが、実証的に確認された例は少ない [16], [17]。実証的な調査例としては、学習者がスピーチとジェスチャから別々に情報を取得していることを明らかにした報告や、また、直示的ジェスチャと呼ばれる図の一部を指し示すポインティングジェスチャが学習者の理解を促進させることを確認した報告があげられる [18], [19], [20]。しかしながら、これらの具体的事物を表現するジェスチャとは区別される、抽象概念や概念間の関係などを伝える隠喩的ジェスチャについては、これまでに実証的な調査例がなく、学習者にどのような影響を与えているのかは明らかにされていない。

一方、PA を用いた CAE システムによるヒト対エージェント・コミュニケーションにおいて、ジェスチャが学習に与える効果について調査した例では、Buisine らの研究があげられる。Buisine らは、PA において補完的ジェスチャ（言語では伝達されない情報を伝えるジェスチャ）と冗長的ジェスチャ（言語でも伝達されている情報を伝えるジェスチャ）について調査を行い、冗長的ジェスチャを利用した際には、言語だけの場合と比較して説明内容の記憶定着率が向上するが、補完的ジェスチャを利用した場合には、PA の説明が上手に感じられる、PA が表現豊かに感じられる、などの好ましい効果があることを示した [21], [22]。しかし、Buisine らの研究においても、図像的ジェスチャや直示的ジェスチャの有効性が示されているものの、隠喩的

ジェスチャについては、その効果が確認されていない。

このように具体的事物を示すジェスチャについてはその効果や役割が明らかにされているものの、抽象的概念を示すジェスチャについては、ヒト対ヒト・コミュニケーションおよびヒト対エージェント・コミュニケーションの双方において、聞き手や学習者に及ぼす効果が明らかにされていない。具体的事物を示すジェスチャと抽象的概念を示すジェスチャでは性質が大きく異なり、とりわけ抽象概念や抽象概念およびその関連性は、科学的説明において頻繁に用いられるものであり、ジェスチャによる効果的な伝達が可能であれば学習者の理解の助けになることが期待される。これらのことから、PA が使用する隠喩的ジェスチャの効果を検証することにより、PA のジェスチャデザインおよびインストラクションデザインの一助となる知見が得られると考えられる。

そこで、本研究では、PA を利用した CAE システムにおいて、抽象的概念およびその関係を伝える隠喩的ジェスチャが学習者の理解に与える影響を調査する。具体的には、隠喩的ジェスチャのなかで最も頻繁に使用される導管メタファ・ジェスチャを対象として、ジェスチャ要因（スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件 vs. スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件 vs. ジェスチャなし条件）を操作する 1 要因 3 水準参加者間実験デザインのオンライン調査を行い、確認テストにより専門用語の記憶定着率および抽象概念間の関係性の理解度を評価することで学習効果を比較する。また、ジェスチャがシステムの学習体験および PA の印象に与える影響についてもアンケートにより調査を行う。

以下では、2 章で、本研究で対象とするジェスチャについて詳述する。次に、3 章で実験概要について述べ、4 章で実験結果を示し議論を行う。最後に 5 章で結論を述べる。

2. 導管メタファ・ジェスチャ

McNeil による整理では、ジェスチャは発話にともなって自然発生的に産出される手と腕の動きと定義される。またそれらは、図像的 (iconic) ジェスチャ、直示的 (Deictic) ジェスチャ、拍子 (Beat) ジェスチャ、隠喩的 (Metaphoric) ジェスチャの 4 つのタイプに分類される [23]。図像的ジェスチャは「丸い」や「ゆっくり」など形や動き、色などの具体的事物の視覚的特徴を伝えるジェスチャであり、直示的ジェスチャは「これ」や「そこ」など話者の周囲の事物を指し示す指差しの動作などである。また、拍子ジェスチャはリズムカルな手の運動として現れ、単語やフレーズのアクセントを伝達する。

しかし、これらの 3 つのタイプとは異なり、隠喩的ジェスチャは、抽象的な概念を 3 次元空間に射像して表現するジェスチャである。たとえば、人の精神状態や、場の雰囲気、または事物の変化や繰返しなどの概念が、ジェスチャとして 3 次元空間に表現される。さらに、これらのなかで



図 1 導管メタファ・ジェスチャの例

Fig. 1 Examples of conduit metaphoric gestures.

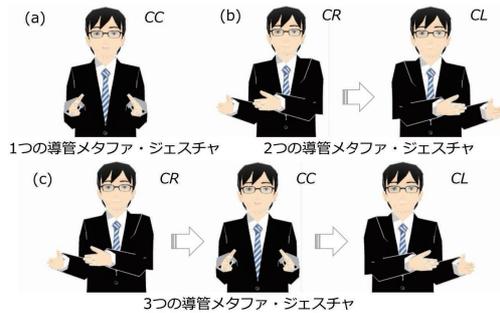


図 2 本研究で対象とした導管メタファ・ジェスチャの例

Fig. 2 Conduit metaphoric gestures used in this research.

最も頻繁に観察される隠喩的ジェスチャが、導管メタファ・ジェスチャ (Conduit Metaphoric Gesture) である。ここで導管メタファとは、「思考が言葉という容器に入れられて導管を通じて相手に伝達される」という人間同士のコミュニケーションを理解するために用いられるメタファであり、人間は意図せずこのメタファを利用している [24]。たとえば「聞き流す」(流体のイメージ) や「読み取る」(容器のイメージ) などの表現に現れている。一方、導管メタファ・ジェスチャは、図 1 に示すように、「アイデア」などの発話にもなって産出される、カップ状の容器のような形態や、何かを持つような形態を形成するジェスチャを指す [25], [26]。これらはあたかもジェスチャで形成された容器に概念が入れているように理解でき、導管メタファを想起させるため、導管メタファ・ジェスチャと呼称されている [23]。また、導管メタファ・ジェスチャを用いて、複数の概念を空間上に配置して表現することで概念間の関係を示すことも頻繁に観察される。

本論文では、隠喩的ジェスチャのなかで、最も頻繁に観察される導管メタファ・ジェスチャおよび複数の導管メタファ・ジェスチャを空間的に配置したジェスチャを対象とする。これは、 n 個の概念の関係を説明する場合、 n 個の導管メタファ・ジェスチャを空間的に配置することになるが、後述する実験で用いる教示スクリプトに含まれる概念関係が多くとも 3 つに限定されることから、図 2 に例を示す 3 種類のジェスチャを対象に調査を行う。

ここで本論文では、McNeil [23] の定義に従い、腕がレストポジションから動作を開始し、またレストポジションに戻るまでの一連の動作を 1 つのジェスチャと見なす。ま

表 1 ジェスチャ・フレーズ

Table 1 Gesture phrases.

CC: 体の正面で行う両手の導管メタファ・ジェスチャ・フレーズ
CL: 体の左側で行う両手の導管メタファ・ジェスチャ・フレーズ
CR: 体の右側で行う両手の導管メタファ・ジェスチャ・フレーズ

た、本研究では 3 種類のジェスチャを対象とするが、それらは 1 つ以上の意味を持つ最小単位の動作から構成されている。これらを一連のジェスチャと区別するために、ジェスチャ・フレーズと呼ぶ。具体的には表 1 に示すフレーズ CR, CC, CL を使用する。ここで、図 2 (a) が CC, 図 2 (b) が CR, CL, 図 2 (c) が CR, CC, CL に対応する。さらに本論文では、ジェスチャは最小で 1 文節、最大で 1 文に対応するものとする。以下に、3 種類のジェスチャについて詳述する。

1 つの導管メタファ・ジェスチャ

両手でモノを把持しているかのようなジェスチャ・フレーズ CC のみで構成されているジェスチャ。1 つの抽象概念を表現する (図 2 (a))。たとえば、「この e-learning サイトでは、ウェブアプリケーション構築に必要とされる基本的な事柄について学習していきます」という発話の下線部においてジェスチャ・フレーズ CC が産出される。また、次の 2 種類のジェスチャと区別しやすくするために、このジェスチャは必ず CC を使うこととした。さらに、1 文内に複数の「1 つの導管メタファ・ジェスチャ」が現れても、それらが同一の概念に対応する場合は、出現数は 1 とカウントする。

2 つの導管メタファ・ジェスチャ

ジェスチャ・フレーズ CR と CL から構成されるジェスチャ。2 つの抽象概念間の関係を示す (図 2 (b))。たとえば、「一方で、ウェブアプリケーションと区別されるものにデスクトップアプリケーションがあります」という発話の下線部において順に CR と CL が産出される。また、このジェスチャが PA によって産出される際は、アニメーションの視認性を考慮して、必ず CR と CL を使い、CC は使用しない。さらに、ジェスチャが示す具体的な概念関係は、発話内容によって異なる。上記の発話例では、対比関係を示す。しかし、「A と同様に B も」などの発話にもなって産出された場合、類似関係を示すことになる。また、ジェスチャが CR, CL のみで構成されている場合、各フレーズの出現回数にかかわらず 2 つの導管メタファ・ジェスチャとする。

3 つの導管メタファ・ジェスチャ

ジェスチャ・フレーズ CR, CC, CL から構成されるジェスチャ。3 つの抽象概念間の関係を示す (図 2 (c))。たとえば、「ユーザは クライアントプロ

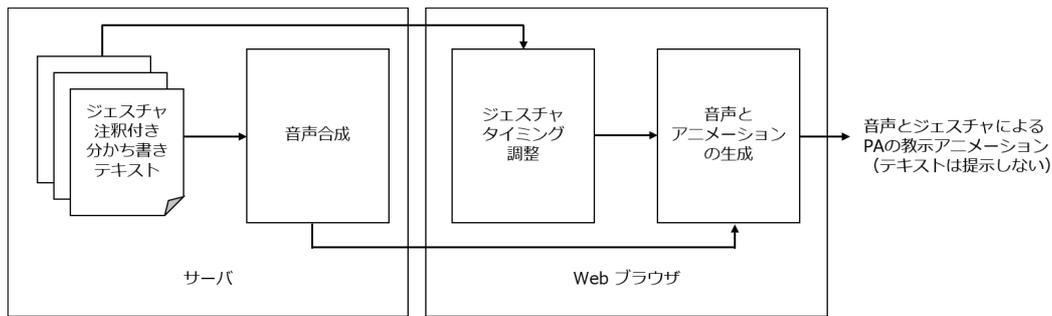


図 3 実験システムの概要

Fig. 3 An overview of experiment system.

グラムを通じてウェブアプリケーションサーバにリクエストを送り、ウェブアプリケーションサーバはデータベースとやりとりしながら、動的にウェブページを生成し、クライアントに送信します」という発話の下線部において順に CR, CC, CL, CR が産出される。この発話では、1 文中に「クライアント」が 2 回出現しており、それらは同一の概念であるため、CR が 2 回産出されることになる。このように、3 種類のジェスチャ・フレーズが提示されていれば各フレーズの出現回数にかかわらず 3 つの導管メタファ・ジェスチャとする。

3. 方法

本研究では、オンライン実験システムを使用した調査を行う。実験システムは、ジェスチャがアノテーションされた教示スクリプトの 1 文ずつをインプットとして、音声およびジェスチャによる教示アニメーションを生成する。以下では、実験システムと学習教材について説明し、また実験デザイン、評価方法などについて詳述する。また以下では、ユーザに教示されるアニメーションを教示アニメーション、エージェントの発話内容を教示スクリプト、教示スクリプトを構成する各文を教示文と呼ぶ。

3.1 実験システム

実験に際して、図 3 に示す PA による教示アニメーションを提示するオンラインシステムを構築した。PA によるインストラクションは音声とジェスチャアニメーションのみで構成され、文字の提示は行わない。また、実験システムは、クライアント・サーバ構成の Web アプリケーションとした。実験参加者は Web ブラウザを通じてシステムを利用し、PA のアニメーションは、Web ブラウザで実行可能な HTML5, JavaScript, WebGL を用いて描画されるため、参加者は特別な準備を必要としない。また、PA の外見が男性の方が外向的な印象を与えやすく、同意されやすい傾向があることから [27], 本システムでは PA を男性のキャラクターとした。

システムは次のような仕組みで動作する。まずシステムはジェスチャ・フレーズが注釈付けされた教示文を入力とする。教示文は文節ごとに分割されているものを使用する。注釈付けには、各文節に対して表 1 に示した CR, CC, CL をアノテーション・スキーマとして使用した。次にシステムは、教示文から音声合成ソフトウェア・ボイスソムリエ*1によって発話音声を生成し、各文節に注釈付けされたジェスチャ・フレーズのアニメーションと同期させて再生する。音声とジェスチャを同期するにあたり、1 音節にかかる発話時間が一定であると仮定したうえで、教示文をかな変換した場合の文字数をカウントしてジェスチャ生成タイミングを決定した。この際、「きゃ」などの拗音は 1 文字としてカウントした。また、アニメーション再生時に発話音声と同期したリップシンクアニメーションを付与した。

3.2 学習教材の作成

学習教材とした教示スクリプトおよび教示アニメーションの一部を図 4 に示す。教示スクリプトは、後述する参加者が受講する講義内容から Web アプリケーション構築に関する基礎的な内容を説明する計 42 文、1,805 文字からなる文章である。また、文節数は 325 であった。教示スクリプトの内容は、Web アプリケーションの概念の説明、Web アプリケーションの構成要素、および、Web アプリケーション開発に利用されるプログラミング技術の 3 項目について説明とした。本教示スクリプトから生成された音声およびアニメーション尺は 4 分 30 秒であった。

図 4 で示すように、ジェスチャは複数のジェスチャ・フェーズで構成される。McNeil [23] によると、ジェスチャは、レストポジションから始まりレストポジションに戻るまでに、式 (1) に示すフェーズにより構成される。

$$\begin{aligned}
 \text{gesture} = & \\
 & \text{pre-stroke} \Rightarrow \text{stroke} \Rightarrow \\
 & (\text{hold} \Rightarrow \text{stroke}) \Rightarrow \text{post-stroke}
 \end{aligned} \tag{1}$$

*1 ボイスソムリエ: <http://www.hitachi-solutions-create.co.jp/solution/voice/index.html>

Webブラウザ で生成される アニメーション					
ジェスチャ フェーズ	pre-stroke	stroke	hold	stroke	post-stroke
注釈付き テキスト	ウェブページを	サーバに CR	保存しておき、	ユーザに CL	提示する

図 4 サーバとユーザの 2 つの概念間の関係を表す導管メタファ・ジェスチャ

Fig. 4 Conduits gestures representing the relationship between two abstract concepts: a server and a user.

ここで、矢印 ⇒ はジェスチャ・フェーズの推移を示す。また、*stroke* フェーズに意味を持つジェスチャ・フレーズが出現し、*pre-stroke* および *post-stroke* フェーズは準備動作、*hold* は次の *stroke* まで現在の姿勢を維持するフェーズを示す。さらに、括弧内は場合によって産出され、また繰り返される。

3.3 実験条件およびジェスチャ注釈付け

実験は、ジェスチャ要因を操作した 1 要因 3 水準の参加者間実験デザインとした。以下にジェスチャが異なる 3 つの条件について説明する。

C1. スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件

ウェブアプリケーション構築の知識を持つ著者 2 名の協議により教示スクリプトの内容に適するジェスチャを選定した。選定にあたっては、学習内容において重要と考えられる概念と概念関係に対してジェスチャを付与することとした。結果として、27 個の「1 つの導管メタファ・ジェスチャ」(CC, 図 2(a)), 12 個の「2 つの導管メタファ・ジェスチャ」(CR-CL, 図 2(b)), 3 個の「3 つの導管メタファ・ジェスチャ」(CR-CC-CL, 図 2(c)) が適切に注釈付けされた。また、ジェスチャ・フレーズの総数は 60 であった。

C2. スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件

著者 1 名が注釈付けを行った。ここで、ジェスチャがまったく発話に関係ないものに見えてしまうと、学習者に意図的に無視されてしまうことも考えられる。そのためランダムなジェスチャとして認識されないよう、発話内容にマッチしたジェスチャも含めながら、部分的にミスマッチなジェスチャとなるように注釈付けを行った。結果として、42 個の「1 つの導管メタファ・ジェスチャ」、15 個の「2 つの導管メタファ・ジェスチャ」、および、5 個の「3 つの導管メタファ・ジェスチャ」が付与された。そのう

ちジェスチャが発話内容に一致しない割合は、「1 つの導管メタファ・ジェスチャ」で 25%、「2 つの導管メタファ・ジェスチャ」で 65%、および、「3 つの導管メタファ・ジェスチャ」で 60%であった。また、ジェスチャ・フレーズの総数は 87 であった。

C3. ジェスチャなし条件

ジェスチャの注釈付けを行わなかった。ただし、音声と同期したリップシンクアニメーションのみ付与した。

3.4 評価方法

ジェスチャ要因を説明変数として、目的変数を用語の記憶定着率、抽象的概念の理解、学習体験、および PA の知覚とした。またこれらの測定には、用語記入課題、図式選択課題、12 項目からなるアンケートを用いる。以下に各課題の詳細を述べる。

a) 用語記入課題

学習教材内で説明された専門用語について、「サーバサイドで用いられるプログラミング言語を 3 つあげなさい」などの設問に対して、記入式で回答する課題とする。設問は全部で 6 つあり、参加者は合計で 15 個の専門用語を回答するように求められる (15 点満点)。

b) 図式選択課題

学習教材内で説明された概念間の関係を表す図式として適切なものを選択式で回答を行う。設問には「Web アプリケーションを構成するコンポーネント間の相互作用 (ユーザ、クライアント、サーバ、データベースの関係)」、「アプリケーションの種別間の関係 (アプリケーション一般、デスクトップアプリケーション、Web アプリケーションの関係)」、および「プログラミング言語の種別間の関係 (一般的なプログラミング言語、サーバサイドプログラミング

表 2 アンケート詳細
Table 2 Details of Questionnaire.

学習意欲 (Cronbach's alpha = 0.96)
Q1. ウェブアプリケーション構築に興味を持った
Q2. ウェブアプリケーション構築について詳しく学びたい
Q3. ウェブアプリケーション構築について分からないことを知りたい
信頼性 (Cronbach's alpha = 0.87)
Q4. 人型キャラクタは知的であると感じた
Q5. 人型キャラクタは役に立つと感じた
Q6. 人型キャラクタは助けになると感じた
人間らしさ (Cronbach's alpha = 0.82)
Q7. 人型キャラクタは人間らしいと感じた
Q8. 人型キャラクタの動作は自然だと感じた
Q9. 人型キャラクタの音声は自然だと感じた
学習態度 (Cronbach's alpha = 0.84)
Q10. 単語の意味をイメージしようと努めた
Q11. ウェブアプリケーションにおける情報の流れを覚えようと努めた
Q12. 各項目でまず概要を理解しようと努めた

言語、クライアントサイドプログラミング言語)のいずれかを表現する 9 枚の適切な図と 11 枚の不適切な図が提示される。実験参加者は、それぞれの図に対して正誤を選択して回答する。分析は、適切に正誤を判定した図の数をカウントする (20 点満点)。

c) アンケート

7 段階リッカートスケールで「まったくそう思わない」「非常にそう思う」とアンカリングされた 12 項目のアンケートを行う。アンケートは「学習意欲」「PA の信頼性」「PA の人間らしさ」「学習態度」の 4 つの評価カテゴリで構成され、各カテゴリに 3 つの項目を設定して評価する。全アンケート項目を表 2 に示す。

3.5 参加者および実験手順

実験は 2014 年度および 2015 年度の Web アプリケーション構築に関する授業を受講している理系大学生を対象として 2 カ年度にわたって行われた。対象者は本授業の受講登録者として 2014 年度で 123 名、2015 年度で 86 名の計 209 名であった。参加者には、本実験に参加することは講義の一部として出席日数にカウントするが、実験内の課題の結果は成績には関わりがないと説明を行った。

また、参加者へは実験の概要や注意事項が記載された Web サイトへの URL を配布し、自宅やそれに類する静かな環境において、最新版の Firefox ブラウザ、ヘッドフォンあるいはスピーカを用意したうえで参加するようにアナウンスされた。URL はアナウンスから 1 週間で無効とした。実験条件への参加者の割当てには、実験概要 Web サイトに記載された実験システムへのリンクにアクセスする

際に、ランダムに 3 つの条件のいずれかの実験システムを起動するよう設計した。

URL にアクセスすると参加者はまず実験にあたっての注意事項を確認し、次に 4 分 30 秒の教示スクリプトを閲覧する。その後、アンケートに回答してから、用語記入課題、図式選択課題を行った。その際、学習開始から回答終了までの経過時間や、Web ブラウザのリロードなどが行われていないことなどを確認するために、参加者のアクセスログを収集した。

3.6 仮説

実験にあたって、次のように仮説を定めた。専門用語と同期して産出される導管メタファ・ジェスチャは学習者の注意を適切に導くため、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件で最も用語記入課題の成績が向上する。また、「2 つの導管メタファ・ジェスチャ」と「3 つの導管メタファ・ジェスチャ」は視覚的に概念間の関係を示すことで言語情報を補足するため、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件で最も図式選択課題の成績が向上する。さらに、学習者は発話内容とジェスチャが適切に対応するスピーチ・ジェスチャ・マッチ条件において、学習意欲、PA に対する信頼性、PA に対する人間らしさの知覚が向上し、より内容理解に努めるよう学習態度が改善される。

4. 結果および考察

受講登録のあった学生 209 名のうち、実験に参加しなかった 29 名、実験を最後まで完了していなかった 24 名を分析対象から除外した。また本実験は教室外における参加であったため、取り組み方に個人差が生じる可能性があった。そのため、実験は平均で 20 分~30 分で終了していたのに対し、60 分以上経過していた 16 名については取り組み方が不適切であったものと考えられるため分析対象から除外した。結果として、140 名 (男性 84%, 女性 16%) のデータを分析対象とした。各水準の参加者数は、C1 が 45 名、C2 が 48 名、C3 が 47 名であった。

実験データは一元配置分散分析により分析した。多重検定にはボンフェローニ法を用いた。

4.1 専門用語の記憶定着

図 5 (左) に用語記入課題の結果を箱ひげ図で示す。分散分析の結果、用語記入課題では、条件間に有意差はみられなかった。全条件で、第 1 四分位点と第 3 四分位点の差が大きくばらつきが大きい結果となった。この結果は、どの条件においても専門用語の記憶という点においては適切な学習が行われず、初期知識量の個人差が結果に強い影響を与えたと考えられる。このことから、導管メタファ・ジェスチャによって専門用語が強調されていたとしても、学習者の記憶定着は促さなかったと推測され、用語記入課

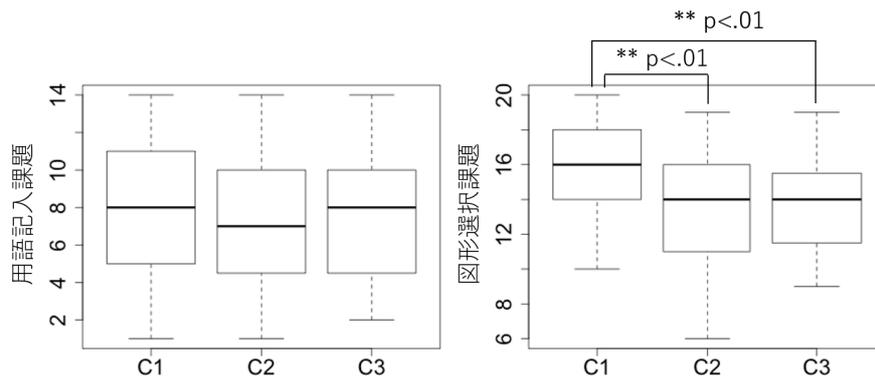


図 5 用語記入課題と図形選択課題の結果

Fig. 5 Results of the vocabulary recall test and the figure selection test.

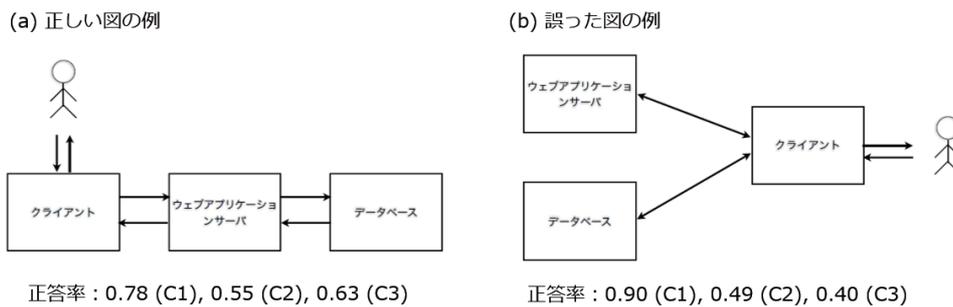


図 6 図形選択課題においてスピーチ・ジェスチャ・マッチ条件とスピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件で参加者の正答率に大きな差異が見られた例

Fig. 6 Examples of appropriate choice and inappropriate choice that the participants in speech-gesture-mismatch group answered wrongly.

題における仮説は支持されなかった。

4.2 概念間関係の理解

図 5 (右) に図式選択課題の結果を箱ひげ図により示す。各条件の平均値と標準偏差は、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件では $M = 15.6$, $SD = 2.52$, スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件では $M = 13.6$, $SD = 3.21$, ジェスチャなし条件では $M = 13.7$, $SD = 2.80$ であった。

分析の結果、ジェスチャ要因の主効果がみとめられた ($F(2,137) = 6.98$, $p = .0013$)。多重検定の結果、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件では、スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件と比較して、有意に成績が向上し ($p = .004$)、またジェスチャなし条件と比較しても有意に成績が向上した ($p = .006$)。

スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件とスピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件で、特に正答率に大きな差がみられた選択肢の例を図 6 に示す。設問の内容は「Web アプリケーションの構成要素間の情報のやりとりを表す適切な図をすべて選択しなさい」であった。図 6(a), (b) とともにユーザとクライアントプログラム、ウェブアプリケーションサーバ、データベースの関連性を示した図であるが (a) は適切な図であり、(b) は不適切な図である。しかしながら、図 6(a) を選択した参加者の割合は、スピーチ・ジェス

チャ・マッチ条件で 78%であったのに対して、スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件で 55%、ジェスチャなし条件で 63%と大きく低下した。また図 6(b) を選択しなかった参加者の割合では、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件で 90%であったのに対して、スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件で 49%、ジェスチャなし条件では 40%と低下した。

この概念間関係の説明を行っている箇所でのスピーチ・ジェスチャ・マッチ条件とスピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件におけるジェスチャ注釈付けされた教示スクリプトを図 7 に示す。スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件では、「3つの導管メタファ・ジェスチャ」が図 6(a) に対応する形で適切に現れているのに対して、スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件では、データベースを示すジェスチャ・フレーズが現れておらず、またクライアントの位置が途中で変化している。このためスピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件では、ジェスチャによって適切に概念間の関係性が補助されず、正答率が低下したと考えられる。これらのことから、導管メタファ・ジェスチャは概念間の関係性理解を促す効果があることが示唆され、図式選択課題における仮説を支持する結果となった。

また、本実験では教示スクリプトの内容による制約から、「1つの導管メタファ・ジェスチャ」、「2つの導管メタファ・ジェスチャ」、「3つの導管メタファ・ジェスチャ」の出現数

例1: C1条件	このe-learningサイトでは、ウェブアプリケーション構築に必要な事柄について学習していきます。 CC
C2条件	このe-learningサイトでは、ウェブアプリケーション構築に必要な事柄について学習していきます。 CC
例2: C1条件	一方で、ウェブアプリケーションと区別されるものに、デスクトップアプリケーションがあります。 CR CL
C2条件	一方で、ウェブアプリケーションと区別されるものに、デスクトップアプリケーションがあります。 CL
例3: C1条件	ユーザはクライアントプログラムを通じてウェブアプリケーションサーバにリクエストを送り、ウェブアプリケーションサーバはデータベースとやりとりしながら動的にウェブページを生成し、クライアントに送信します。 CR CC CL
C2条件	ユーザはクライアントプログラムを通じてウェブアプリケーションサーバにリクエストを送り、ウェブアプリケーションサーバはデータベースとやりとりしながら動的にウェブページを生成し、クライアントに送信します。 CC CR CL

※ 実線部はジェスチャの Stroke フェーズ、点線部は hold フェーズ

図 7 スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件 (C1) とスピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件 (C2) におけるジェスチャ注釈付けの差異

Fig. 7 A part of the script annotated differently in speech-gesture match condition and speech-gesture mismatch condition.

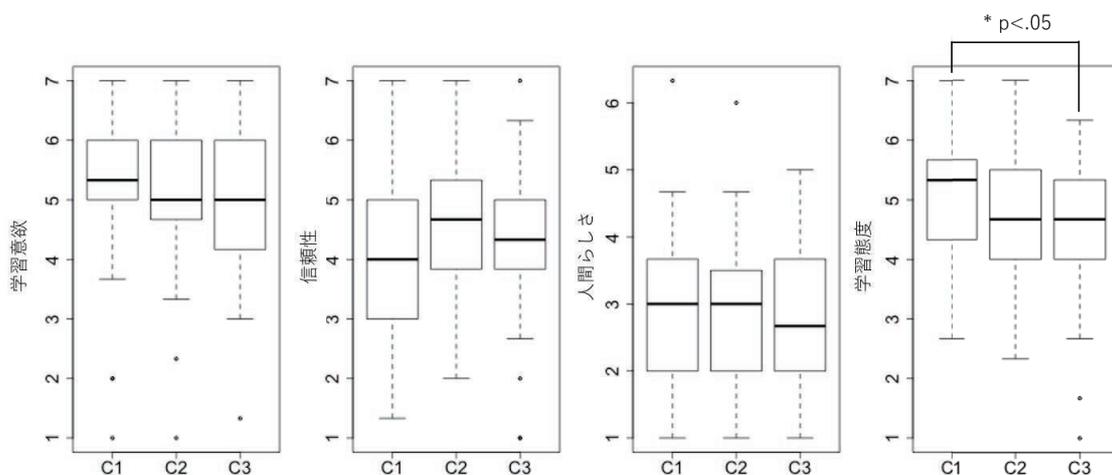


図 8 アンケート結果 (グラフ内の太線は中央値を示す)

Fig. 8 Results of the questionnaire.

についてはコントロールしておらず、導管メタファ・ジェスチャの概念数に応じた効果の比較は行っていない。しかし、学習者にとって概念数が増加するほど関係性をとらえることが困難になるため、ジェスチャの役割が大きくなると予想される。今後、導管メタファ・ジェスチャが扱う概念数と理解度の比較を行うことで、より詳細なジェスチャ設計が可能になると考えられる。

4.3 学習体験および PA の知覚

図 8 にカテゴリごとのアンケート結果を箱ひげ図で示す。分析の結果、学習意欲、信頼性、人間らしさのカテゴリでは有意差はみられなかったが、学習態度ではジェスチャ要因による主効果が認められた ($F(2,137) = 3.297, p = .04$)。多重検定の結果、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件 ($M = 5.07, SD = 0.97$) で、ジェスチャなし条件 ($M = 4.52, SD = 1.10$) と比較して、スコアが向上した ($p = .034$)。一方、スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件とスピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件 ($M = 4.757, SD = 1.05$) の間では有意差はみられなかった。

このことから、PA が導管メタファ・ジェスチャを使用することで、学習者が内容理解に努めるように作用することが示唆される。しかし、ジェスチャ内容の妥当性との関連性は確認されなかったことから、PA がジェスチャをともなった説明をしている行為そのものが学習者心理に影響を与えている可能性も考えられる。また、信頼性の知覚では、スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ条件がスピーチ・ジェスチャ・マッチ条件を上回る傾向を示した。これは、本実験ではジェスチャ・フレーズ数のバランスをとっていなかったことが原因と考えられる。Neffら [28] によると、擬人化エージェントが生成するジェスチャ頻度と外向性 (暖かみ, 社交性, 断定性, 積極性など) の知覚が正の相関があることが確認されており、このことから信頼性の評価において仮説を支持する結果が得られなかったと考えられる。

5. おわりに

本論文では、PA が利用する導管メタファ・ジェスチャが学習者の専門用語の記憶定着、抽象的概念間の関係性の

理解, 学習意欲, 学習態度, PA の知覚に与える影響について, ジェスチャを要因とする 1 要因 3 水準参加者間実験計画 (スピーチ・ジェスチャ・マッチ vs. スピーチ・ジェスチャ・ミスマッチ vs. ジェスチャなし) のオンライン実験により検証した. 大学生 140 名から収集したデータを分析した結果, 用語の記憶定着では効果が認められなかったが, 抽象的概念間の関係理解を問う図式選択課題では, スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件の参加者は, 他の 2 条件と比較して, 統計的に有意に高い成績を示した. また, スピーチ・ジェスチャ・マッチ条件では, ジェスチャなし条件と比較して統計的に有意に参加者が内容の理解に努めていたことを確認した. このことから, PA が利用する導管メタファ・ジェスチャが学習者にとって内容理解の一助となっていることが明らかになった.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP17K18075 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] Rodriguez, C.O.: MOOCs and the AI-Stanford like courses: Two successful and distinct course formats for massive open online courses, *European Journal of Open, Distance and E-Learning*, Vol.15, No.2 (2012).
- [2] Downes, S.: Connectivism and Connective Knowledge: essays on meaning and learning networks, Stephen Downes Web (Open eBook) (2012).
- [3] Johnson, W.L. and Rickel, J.: Steve: An Animated Pedagogical Agent for Procedural Training in Virtual Environments, *SIGART Bull.*, Vol.8, No.1-4, pp.16-21 (online), DOI: 10.1145/272874.272877 (1997).
- [4] Lester, J.C., Voerman, J.L., Towns, S.G. and Callaway, C.B.: Cosmo: A life-like animated pedagogical agent with deictic believability, *Working Notes of the IJ-CAI'97 Workshop on Animated Interface Agents: Making Them Intelligent*, Citeseer, pp.61-69 (1997).
- [5] Atkinson, R.K.: Optimizing learning from examples using animated pedagogical agents, *Journal of Educational Psychology*, Vol.94, No.2, pp.416-427 (2002).
- [6] Moreno, R., Mayer, R.E., Spire, H.A. and Lester, J.C.: The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents?, *Cognition and Instruction*, Vol.19, No.2, pp.177-213 (2001).
- [7] Heidig, S. and Clarebout, G.: Do pedagogical agents make a difference to student motivation and learning?, *Educational Research Review*, Vol.6, No.1, pp.27-54 (2011).
- [8] Ogan, A., Finkelstein, S., Mayfield, E., D'Adamo, C., Matsuda, N. and Cassell, J.: "Oh Dear Stacy!": Social Interaction, Elaboration, and Learning with Teachable Agents, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'12*, New York, NY, USA, ACM, pp.39-48 (online), DOI: 10.1145/2207676.2207684 (2012).
- [9] Hayashi, Y.: Togetherness: Multiple Pedagogical Conversational Agents as Companions in Collaborative Learning, *Intelligent Tutoring Systems*, Trausan-Matu, S., Boyer, K., Crosby, M. and Panourgia, K. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.8474, pp.114-123, Springer International Publishing (2014).
- [10] Baylor, A. and Kim, Y.: Pedagogical Agent Design: The Impact of Agent Realism, Gender, Ethnicity, and Instructional Role, *Intelligent Tutoring Systems*, Lester, J., Vicari, R. and Paragau, F. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.3220, pp.592-603, Springer Berlin Heidelberg (2004).
- [11] Hasegawa, D., Ugurlu, Y. and Sakuta, H.: A human-like embodied agent learning tour guide for e-learning systems, *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2014 IEEE, pp.50-53 (online), DOI: 10.1109/EDUCON.2014.6826067 (2014).
- [12] Matsuda, N., Yarzebinski, E., Keiser, V., Raizada, R., Cohen, W.W., Stylianides, G.J. and Koedinger, K.R.: Cognitive anatomy of tutor learning: Lessons learned with SimStudent, *Journal of Educational Psychology*, Vol.105, No.4, p.1152 (2013).
- [13] Cassell, J., McNeill, D. and McCullough, K.-E.: Speech-gesture mismatches: Evidence for one underlying representation of linguistic and nonlinguistic information, *Pragmatics & Cognition*, Vol.7, No.1, pp.1-34 (1999).
- [14] Kellerman, S.: I see what you mean: The role of kinesic behaviour in listening and implications for foreign and second language learning, *Applied Linguistics*, Vol.13, No.3, pp.239-258 (1992).
- [15] Kelly, S.D., Barr, D.J., Church, R.B. and Lynch, K.: Offering a hand to pragmatic understanding: The role of speech and gesture in comprehension and memory, *Journal of Memory and Language*, Vol.40, No.4, pp.577-592 (1999).
- [16] Arzarello, F., Paola, D., Robutti, O. and Sabena, C.: Gestures as semiotic resources in the mathematics classroom, *Educational Studies in Mathematics*, Vol.70, No.2, pp.97-109 (online), DOI: 10.1007/s10649-008-9163-z (2009).
- [17] Reynolds, F.J. and Reeve, R.A.: Gesture in collaborative mathematics problem-solving, *The Journal of Mathematical Behavior*, Vol.20, No.4, pp.447-460 (2001).
- [18] Cook, S.W., Duffy, R.G. and Fenn, K.M.: Consolidation and Transfer of Learning After Observing Hand Gesture, *Child Development*, Vol.84, No.6, pp.1863-1871 (online), DOI: 10.1111/cdev.12097 (2013).
- [19] Valenzano, L., Alibali, M.W. and Klatzky, R.: Teachers' gestures facilitate students' learning: A lesson in symmetry, *Contemporary Educational Psychology*, Vol.28, No.2, pp.187-204 (2003).
- [20] Singer, M.A. and Goldin-Meadow, S.: Children learn when their teacher's gestures and speech differ, *Psychological Science*, Vol.16, No.2, pp.85-89 (2005).
- [21] Buisine, S. and Martin, J.-C.: The effects of speech-gesture cooperation in animated agents' behavior in multimedia presentations, *Interacting with Computers*, Vol.19, No.4, pp.484-493 (2007).
- [22] Buisine, S., Abrilian, S. and Martin, J.-C.: Evaluation of multimodal behaviour of embodied agents, *From brows to trust*, pp.217-238, Springer (2005).
- [23] McNeil, D.: *Hand and mind*, University of Chicago Press, Chicago IL (1992).
- [24] Reddy, M.J.: The Conduit Metaphor: A Case of Frame Conflict in our Language about Language, *Metaphor and Thought*, Ortony, A. (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, MA (1979).
- [25] McNeill, D.: Gesture: A psycholinguistic approach, *The Encyclopedia of Language and Linguistics*, pp.58-66 (2006).

- [26] Cassell, J. and McNeill, D.: Gesture and the poetics of prose, *Poetics Today*, pp.375–404 (1991).
- [27] Baylor, A. and Kim, Y.: The Role of Gender and Ethnicity in Pedagogical Agent Perception, *Proc. E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2003*, Rossett, A. (Ed.), Phoenix, Arizona, USA, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), pp.1503–1506 (2003) (online), available from (<https://www.learntechlib.org/p/12158>).
- [28] Neff, M., Wang, Y., Abbott, R. and Walker, M.: Evaluating the Effect of Gesture and Language on Personality Perception in Conversational Agents, *Intelligent Virtual Agents*, Allbeck, J., Badler, N., Bickmore, T., Pelachaud, C. and Safonova, A. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.6356, pp.222–235, Springer Berlin Heidelberg (2010).



佐久田 博司 (正会員)

1974年東京大学工学部卒業。1979年同大学大学院工学研究科博士課程修了。1981年同大学工学部金属工学科助手。1981年(株)日立製作所日立工場。1983年同技師。1984年長岡技術科学大学工学部助手。1988年同大学工学部助教授。1992年青山学院大学理工学部助教授。1997年マサチューセッツ工科大学客員助教授。2004年青山学院大学理工学部教授。2007年マサチューセッツ工科大学客員教授。



長谷川 大 (正会員)

2007年北海道大学工学部卒業。2009年ノースウェスタン大学客員研究員。2010年カーネギーメロン大学客員研究員。2012年北海道大学大学院情報科学研究科メディアネットワーク専攻博士課程修了。2012年青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科助手。2013年より同大学理工学部情報テクノロジー学科助教。2017年より東京工科大学メディア学部助教。



白川 真一 (正会員)

2009年横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程後期修了。2008～2010年日本学術振興会特別研究員。2010年株式会社富士通研究所研究員。2012年青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科助手。2013年同助教。2015年筑波大学システム情報系助教。2016年より横浜国立大学大学院環境情報研究院講師。進化計算、機械学習、画像処理等の研究に従事。博士(工学)。