

# “反省”モデルに基づく情報推薦エージェントアーキテクチャの構築

## Construction of recommend system based on cognitive model for “self-reflection”

安田有希<sup>1\*</sup> 田和辻可昌<sup>1</sup> 松居辰則<sup>2</sup>

YASUDA Yuki<sup>1</sup> TWATSUJI Yoshimasa<sup>1</sup> MATSUI Tatsunori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学 大学院人間科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Human Sciences, Waseda University

<sup>2</sup> 早稲田大学 人間科学学術院

<sup>2</sup> Faculty of Human Sciences, Waseda University

**Abstract:** Every human possesses a set of mental schemas for problem solving. We develop and improve these schemas by reflecting on our experiences of errors, which is a type of metacognition[Kayashima, 2008]. In this study, we proposed a cognitive model of this “self-reflection” process based on Kayashima’s Two Layer WM Model, and developed a food-recommendation system using our cognitive model. In the test simulation, the users were satisfied with the foods that the system recommended, although the recommendations results were unexpected to the users. This implies the practicality of the system. On the other hand, the candidate recommendations from which the system selected its final outputs were different from those provided by the users. This suggests that the cognitive model needs improvement in psychological reality.

## 1 はじめに

人間は、日々多くの問題解決を行わなければならない。そのため、単に直面している問題の解決が成功すれば良いというわけではない。それよりもむしろ、様々な問題に対応できるような問題解決方略を身に着けることが人間にとって重要である。このような問題解決方略を獲得するための人間の能力としてメタ認知が挙げられる [1][2]。人間はメタ認知を用いることで、自身の行った問題解決の方略を対象に観察、改善を行う。なかでも、人間は失敗した問題解決方略の改善を行うことによって、同種のエラーを回避していると考えられる。しかし、人間がメタ認知によって失敗経験をどのように利用し、問題解決方略の改善を行っているのかという点については多くが明らかになっていない。そこで、本研究では人間の失敗経験に基づいた問題解決方略の改善を“反省”と定義し、そのモデル化を試みた。

また、近年の Informaton and Communication Technology の発展に伴って、人間とエージェントとの関係性

が変化している。その変化の方向性として、エージェントの役割が単なる人間の道具ではなく、人間にとってのパートナーにならねばならないと考えられる。Human Agent Interaction において、人間とエージェントとの相互適応をいかにして促進するかということは重要な課題である [3]。特に、内容ベースフィルタリング方式の推薦システムが利用者にとって意外性のある推薦をすることが困難であるという問題が存在する [4]。というのも、利用者にとって意外性があり、かつ興味のある推薦をするためにはユーザの嗜好モデルを予測しなければならないからである [5]。しかしながら、人間の嗜好は動的でありシステムが利用者の過去の履歴をもとに嗜好モデルを構築したとしても、その予測が正しいとは限らない。これは、推薦システムにおける相互適応の課題であると考えられる。そこで、本研究ではこの問題を“反省”アーキテクチャの具体的なドメインとして設定した。なぜならば、人間のメタ認知機能における情報の入出力を観測することは不可能だからである。すなわち、モデルの評価検討のためにはドメインを限定したアーキテクチャを構築する必要があると考えられる。

\*連絡先：早稲田大学 大学院人間科学研究科  
〒359-1165 埼玉県所沢市堀之内 135-1 フロンティア  
リサーチセンター 213 実験室  
E-mail: gomikuzu.binbin@akane.waseda.jp

## 2 構築したモデル

### 2.1 前提となる課題解決モデル

本研究の“反省”モデルの前提となるモデルは茅島らの提唱する Working Memory(以下, WM) 二層モデルである [6]. このモデルについて茅島らは以下のように説明している. 通常の問題解決は, 図 1 が示すように, 観察 (observation), リハーサル (rehearsal), 評価 (evaluation), 仮想実行 (virtual application), 選択 (selection) といった 5 種類の認知活動による WM の状態遷移として示すことができる. なお, 図中の  $t$  は時間を表す. 観察は, 対象を注意深く見て, そのモデルを WM に product として生成することである. リハーサルは, 複雑な認知活動を支えるために product を WM に保持する機能である. 評価は, 適用できるオペレータを知識ベースから検索できるように見定めることである. 仮想実行は, action-list を生成するために知識ベースの適用可能なオペレータを仮想的に実行することである. 選択は, 仮想実行の結果から最適なオペレータを選択し, 実際に適用するオペレータのリスト (action-list) を生成することである. 生成した action-list を適用 (application) すると WM の products-A( $t$ ) は新たな products-A( $t+2$ ) へと遷移する.

さらに, WM 下位層で行われる認知活動を観察, 調整するための認知活動としてメタ認知活動が存在する. このメタ認知活動による product の生成方法は二通り存在する. reflection in action と reflection on action である. 前者は下位層での認知操作とそれらの観察を並行進行し, その観察結果を product として上位層に生成することである. 後者は下位層の product を観察し, それが生成されるまでの認知操作プロセスを推論し, そのプロセスを上位層に生成することである.

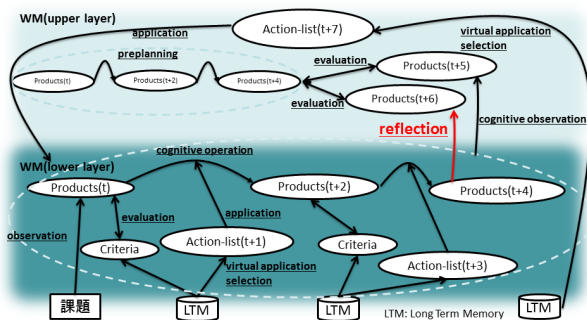


図 1: 課題解決時の WM 二層モデル ([6] より引用, 改変)

### 2.2 本研究で構築した“反省”モデル

茅島らの提唱する WM 二層モデルでは, メタ認知活動の存在と役割について検討されている. しかしながら, メタ認知活動によって何がどのように獲得されているのかという点については説明が成されていない. そこで, 本研究では WM 二層モデルにおけるメタ認知活動を“反省”のモデル化の対象とすることによって, 何がどのように獲得されているかの検討を試みた. なかでも, 課題解決終了後に行われる reflection on action に焦点を当てる. なぜならば, 既往の研究によって人間が失敗経験を内省することによって方略の生成, 転移, 改善を行っていることが示唆されているからである. 例えば, 堀口らは中等教育に理科の授業において Error-based Simulation (以下, EBS) の活用を試みた [7]. EBS とは, 「もしも生徒の誤った考えが成立するとすればどのような現象が生起するか」ということをシミュレートするシステムである [8]. その結果として, 生徒が試行錯誤を通して課題の法則性を発見していると堀口らは考察している. また, 植阪らの研究では, 教訓帰納を用いた認知カウンセリングを行うことによる生徒の教科間の方略の転移が確認されている [9]. さらに, 知見らの研究によって失敗情報を知識化することによって方略が生成されていることが確認されている [10]. 知見らの研究では, 失敗の情報を事象, 背景, 経過, 原因, 対処, 総括の 6 つのカテゴリーに整理している.

以上の知見から, 人間は失敗経験を観察することで reflection on action を行っているのではないかと考えられる. さらに, reflection on action によってメタ認知の知識的側面である方略変数に関する知識が獲得されているのではないかと考えられる [11]. そこで, 本研究では“反省”を「失敗知識の構築を通じた reflection on action による方略 (pre planning) の構築」と定義し, そのモデル化を試みた.

本研究の“反省”の概念モデルを図 2 に示す. また, その具体的なプロセスは以下のように書ける. まず, ①失敗のフィードバックがトリガーとなり, 失敗知識の構築が始まる. 次に, ②原因 product を特定するために対処の試行錯誤とその結果の観察を行う. すなわち, 各認知活動の変更を行うことで product の変化を観察し, 試行錯誤によって原因の product の特定を試みる. そして, ③原因の特定に伴って失敗の背景と原因 product, 自身の対処の関連付けを行う. 最後に, ④その関連付けを教訓として Long Term Memory(以下, LTM) に格納する. LTM に方略を格納することによって, 課題解決の最中に WM 下位層を調整する reflection in action を通じて方略を利用することが可能となる.

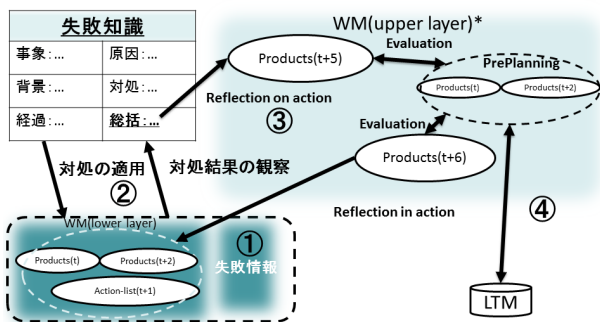


図 2: “反省”の概念モデル

### 3 システム構築

本研究では“反省”モデルをアーキテクチャとしてコマンドライン上で動作する食事推薦システムを構築した。基本的なシステムの働きは、コンテキスト情報(予算, 気温, 人数, 時間, 空腹度)を入力とし, 食事のジャンル1つをユーザに出力情報として提供することである。本研究で構築したシステムは大きく分けて二つの機能から成り立つ。一つ目は, 食事推薦機能である。二つ目は, “反省”機能である。また, システムの構成図を図3に示す。図中の太線部分が“反省”機能部分である。なお, これ以降このシステムを“反省”システムと呼ぶ。

#### 3.1 食事推薦機能

食事推薦機能について述べる。食事推薦機能は, 茅嶋らのWM二層モデル[6]におけるWM下位層を近似の対象としている。本システムにおけるproductは食事の推薦候補である。すなわち, 本システムにおける食事推薦候補を認知活動モジュールによって食事推薦候補を少なくしていくことがWM二層モデルの認知操作に当たる。したがって, 各認知活動をモジュールとして表現した。具体的には観察(observation), 仮想実行(virtual application), 選択(selection)のモジュールを構築した。

observation moduleは, 食事推薦課題の観察を行う。すなわち, ユーザが入力するコンテキスト値を入力として, ユーザが重要だと考えているコンテキスト二つを課題観察結果として出力する。

virtual application moduleは, productである推薦候補の絞りこみを観察結果に沿って行う。virtual application moduleが絞り込みを行う方法として, 本システムでは三つの絞り込み方法を実装した。それらは, 着目するコンテキストがユーザの入力値に近い食事を残す絞り込み, 着目するコンテキストが高い食事を残す絞

込み, 着目するコンテキストが低い食事を残す絞り込みの三つである。これら全ての絞り込み結果を出力する。

selection moduleは, virtual application moduleによって絞り込まれた結果を比較し, もっともユーザの嗜好に合う候補を次のproductとして生成する。

また, このシステムの推薦に用いられる食事のデータベースは, アンケート調査によって構築された。具体的な食事ジャンル名は食ベログ[12]に記載されている料理ジャンルの中で最も具体的なものから, その粒度が統一されるように102個の料理ジャンルを選別した。例えば, 中華料理という料理ジャンルを省くことによって, 中華料理に含まれるラーメンと混在しないようにした。そして, 14名の被験者に対して各食事を食べる時のコンテキスト(予算, 気温, 人数, 時間, 空腹度)を10段階のアンケートによって調査し, その平均値をシステムが利用するデータとした。なお, このコンテキストは筆者の主観によって選別された。

#### 3.2 “反省”機能

“反省”機能について述べる。“反省”機能は, 本研究の“反省”モデルを近似の対象としている。そのため, WMメモリ二層モデルにおけるメタ認知活動に当たり, reflection moduleとconscious observation moduleの二つのモジュールから成り立つ。

reflection moduleは失敗知識の構築によって方略を生成, 改善するモジュールである。ユーザが推薦を拒否した場合に失敗知識の構築が開始される。具体的には, 食事推薦機能を再度稼動し, 推薦課題をもう一度行う。このとき, 着目するコンテキスト全ての組み合わせをやり直し, その結果をリストとして作成する。そのリストをユーザに提示しユーザがその中から食べたかった食事を選択することによって原因productを決定する。すなわち, 失敗した推薦を導き出した着目コンテキストと異なる食事をユーザが選択した場合には, 原因productは観察によって生成されたproductだと判定する。一方で, 失敗した推薦を導き出した着目コンテキストと同一の食事をユーザが選択した場合には, 二回目のproductである推薦候補からユーザに再度正解を選択させることで何回目のselection moduleによって生成されたproductが原因かを判定する。

conscious observation moduleは, reflection moduleによって構築された方略データベースを用いて食事推薦機能の調整を行う。食事推薦機能を観察しユーザの入力したコンテキスト値と似たような状況で推薦の失敗が起きている場合に作動する。さらに, observation moduleとselection moduleの二つのモジュールのうち失敗推薦の原因productと関連するモジュールを対象に調整を行う。observation moduleに対する調整は,

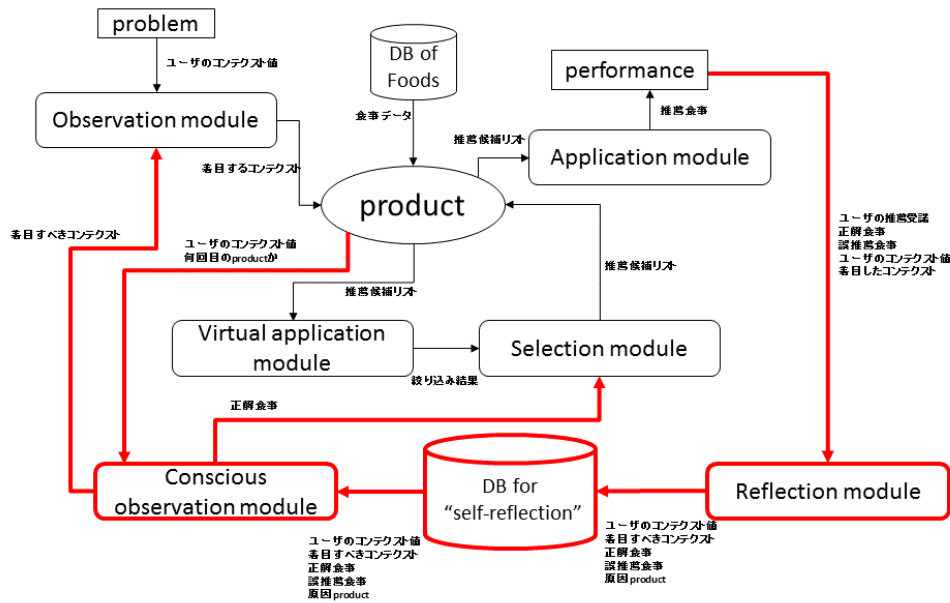


図 3: システム構成図

着目するコンテキストを出力する。一方で、selection module に対する調整は、失敗時にユーザが食べたかった食事を出力することである。つまり、selection module の選択基準を出力することである。さらに、conscious observation module が作動した場合には、システムの食事推薦における内部処理のどこがどのように変更されたのかをユーザに対して提示する。システムの内部処理変更表示を以下図 4 に示す。

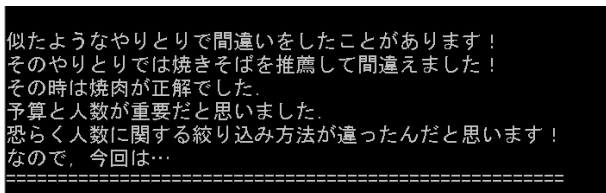


図 4: “反省”システムの内部処理表示

## 4 実験 1

### 4.1 目的

実験 1 の目的は“反省”機能の有用性の検討とモデルの評価実験のためのデータ収集である。

### 4.2 方法

大学生、大学院生、社会人計 15 名（男性 10 名、女性 5 名）の被験者が実際にシステムとの食事推薦インタラクションを行った。具体的に、被験者は実際に自身が食事をする状況をコンテキスト（予算、気温、人数、時間、空腹度）を用いて表現し、システムに入力することで食事推薦を受けた。また、各被験者が表現した状況は 10 個であった。

“反省”機能の有用性の検討のための指標は、推薦受託率、システムの推薦に対する満足度と意外性の 10 段階評価を用いた。なお、推薦受託率は以下の式 1 のように定義される。

$$\text{推薦受託率} = \frac{\text{推薦を受け入れた回数}}{\text{推薦回数}} * 100(\%) \quad (1)$$

また、“反省”機能の評価を行うため、食事推薦機能のみを有する一般システムと全ての推薦をランダム関数によって行うランダムシステムを新たに構築した。一般システムとは、“反省”システムから“反省”機能を取り除いたシステムである。一方で、ランダムシステムは全ての推薦をランダム関数によって決定するシステムである。なお、統制をとるために一般システムとランダムシステムにおいても類似コンテキストの判定のモジュールを実装した。しかしながら、このモジュールは類似コンテキストを判定し、内部処理を表示する目的で実装しており、内部処理は変更されない。以下図 5、図 6 にシステムの内部処理表示を示す。

```

=====
似たようなやりとりで間違いをしたことがあります！
そのやりとりではコーヒーを推薦して間違えました！
その時はふぐが正解でした。
今回はその時とは推薦の方式を変えようと思います。
周りのみなさんが似たような状況に食べているものを推薦します。
なので、今回は…
=====

```

図 5: 一般システムの内部処理表示

```

=====
似たようなやりとりで間違いをしたことがあります！
そのやりとりではハンバーガーを推薦して間違えました！
その時はしゃぶしゃぶが正解でした。
今回はその時とは推薦の方式を変えようと思います。
今回はランダムによって決めたいと思います
なので、今回は…
=====

```

図 6: ランダムシステムの内部処理表示

### 4.3 結果

各システムに対する推薦受諾率を図 7 に示す。縦軸は推薦受諾率(%), 横軸は各システムを表している。このことから, “反省”システムでは他のシステムに比べて被験者の推薦受諾率が高いことが確認された。なかでも, “反省”システムが内部状態を表出した場合において他の二つのシステムに比べて推薦受諾率が高いことが確認された。

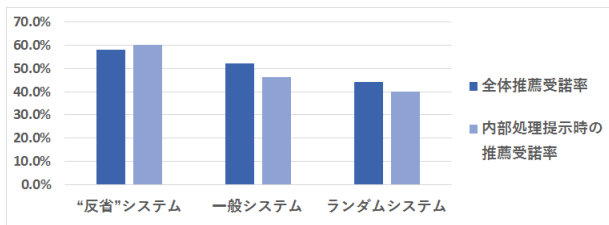


図 7: 各システムにおける推薦受諾率

また, システムの推薦に対する意外性, 満足度が共に 7 以上と評価された推薦数を図 8 に示す。縦軸は推薦数, 横軸は各システムを表している。このことから “反省”システムとインタラクションを行った被験者は, 他のシステムとインタラクションを行った被験者に比べて, システムの推薦の意外性と満足度をともに高く評価する傾向が示された。具体的に, 被験者がシステムの推薦の意外性と満足度を共に 7 以上と評価した推薦は, “反省”システムでは 6 件, 一般システムでは 1 件, ランダムシステムでは 3 件確認された。

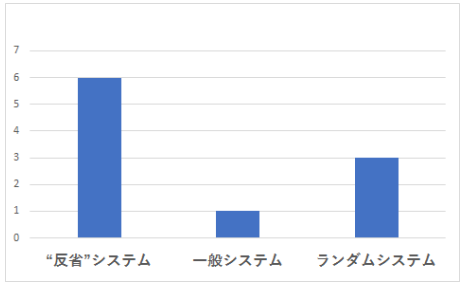


図 8: 意外性と満足度が共に 7 以上の推薦数

## 5 実験 2

### 5.1 目的

実験 2 の目的は “反省” モデルの妥当性評価である。

### 5.2 方法

社会人計 3 名 (男性 2 名, 女性 1 名) が被験者として実験に参加した。それぞれの被験者は, 実験 1 によって得られたコンテキスト値を用いて, 画面越しの相手に 10 回の食事推薦を行った。実験 1 によって得られたコンテキスト値とは, 実験 1 における被験者が “反省”システムに実際に入力したコンテキスト値である。すなわち, 被験者は推薦相手のコンテキスト値のみを与えられ, システムと同様の食事データベースから食事推薦候補を生成することで食事推薦を行った。つまり, システムが生成した推薦候補と人間が生成した推薦候補を食事推薦課題における product とみなし, 比較を行った。また, 被験者が行った 10 回の推薦のうち, 自身の失敗した推薦履歴を参照した推薦を “反省” 行動として定義し, インタビューを行った。

### 5.3 結果

システムの生成した方略データベースにおける着目コンテキストと被験者が “反省” 行動時に修正した着目コンテキストの一致は確認されなかった。そこで, 方略データベース上で着目コンテキストを, 被験者が “反省” 行動によって修正した着目コンテキストと一致させ推薦候補リストの作成を新たに行った。その結果, 推薦候補リストの上一致率は最大で 40% 上昇した。しかしながら, 着目コンテキストを一致させていない推薦候補リストの一致率が, 一致させた推薦候補リストよりも高い推薦も多く見受けられ, 最大で 36.4% の差が確認された。

また, “反省” 行動時のインタビュー結果として特徴的な結果は次の通りであった。

- 2でこの人は予算と人数を気にするのかも思った。だから今回は予算が中くらいで2人で食べるのにちょうどいいやつを残した。
- さっきから2と似ている時はおいしいから空腹度で削ってる。他に目立ったものがないからとりあえず予算に合わせた
- 3回目で朝なのに水炊きにしちゃったから朝ごはんのやつにした。寒いからあったかいやつ持ってきた。

## 6 考察

以上の実験1, 実験2の結果に対する考察を述べる。“反省”システムとインタラクションを行った被験者が、システムの推薦に対して意外性、満足度を共に高く評価する傾向が示唆された。この理由として、“反省”機能によって生成された方略がユーザの動的嗜好を克服している可能性とシステムの内部処理表示が寄与している可能性の二つが考えられる。しかしながら、実験2においてシステムの生成した推薦候補が人間の生成した推薦候補と一致していなかったことから、“反省”システムによる“反省”モデルの近似が達成されていなかったと考えられる。したがって、システムの内部処理表示が寄与している可能性に焦点を当てる。

“反省”システムの内部処理表示は、他の二つのシステムの内部処理表示に比べて具体的な表示である。すなわち、システムの内部処理においてどこがどのように変更されたのかということを表示する。したがって、人間がシステムの内部処理モデルを獲得し、処理結果を予測している可能性が考えられる。なぜならば、エージェントの内部状態の表出に人間が自身の経験をオーバーラップしてしまうからである [13]。

また、人間がシステムの処理結果を予測することで、実際のシステムの処理結果との誤差が生じるのであれば、この予測誤差が推薦物に対する意外性を高めることに寄与していると考えられる。このとき、自身の嗜好モデルにある程度合致している場合において、推薦物に対する満足度も高まるのではないかと考えられる。村上らの研究において、利用者にとって意外性があり興味のある推薦をするためには利用者にとって習慣性の低いアイテムを推薦する必要があると示されている [5]。しかしながら、人間のシステムに対する予測誤差を用いれば、習慣性の高いアイテムであっても意外性のある推薦を実現できる可能性が考えられる。

また、人間による実験2におけるインタビューから、人間が推薦課題において失敗情報を利用し試行錯誤を行うことで失敗原因を特定し、推薦相手の嗜好傾向を推薦方略として生成、改善していることが示された。こ

のことから、“反省”の概念モデルの妥当性が示唆されたと考えられる。

## 7 まとめと今後の展望

本研究では、人間の“反省”モデルの構築を行い推薦システムへの実装を行った。その結果、利用者にとって意外性と満足性の高い推薦が実現されていることが示唆された。これは、人間にシステムの内部処理を提示することにより、システムの学習を予測させていることが寄与していると考えられる。

今後の展望として、“反省”モデルの妥当性の定量的な検証と人間によるエージェントの学習結果予測に対する検証が必要であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 市川伸一: 認知心理学 (4) 思考, 東京大学出版会, (1996)
- [2] 波多野誼余夫: 認知心理学 (5) 学習と発達, 東京大学出版会, (1996)
- [3] 山田 誠二, 角所 考, 小松 孝徳; 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 648-653 (2006)
- [4] 神高敏弘: 推薦システムのアルゴリズム (1), 人工知能学会誌, Vol. 22, No. 6, pp. 826-837 (2007)
- [5] 村上知子, 森紘一郎, 折原良平; 推薦の意外性向上のための手法とその評価, 人工知能学会論文誌, Vol. 24, No. 5, pp. 428-436 (2009)
- [6] 茅島路子, 稲葉晶子, 溝口理一郎; メタ認知活動の困難さに関するフレームワークの提案, 教育システム情報学会誌, Vol. 25, No. 1, pp. 19-31 (2008)
- [7] 堀口知也, 今井功, 東本崇仁, 平嶋宗; Error-based Simulation を用いた中学理科の授業実践: ニュートンの第三法則を事例として, 日本教育工学会論文誌, Vol. 32, pp. 113-116 (2008)
- [8] Hirashima, T, Horiguchi, T, Kashihara, A, Toyoda, J; Error-based simulation for error-visualization and its management, International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 9, No. 1-2, pp. 17-31 (1998)
- [9] 植阪友理: 認知カウンセリングによる学習スキルの支援とその展開一図表活用方略に着目して一, 認知科学, Vol. 16, No. 3, pp. 313-332 (2009)
- [10] 知見邦彦, 榎山淳雄, 宮寺庸造; 失敗知識を利用したプログラミング学習環境の構築, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 88, No. 1, pp. 66-75 (2005)
- [11] 三宮真知子, 思考におけるメタ認知と注意, 市川伸一: 認知心理学 (4) 思考, 東京大学出版会, (1996)
- [12] 料理ジャンル一覧, [https://tabelog.com/cat\\_1st/](https://tabelog.com/cat_1st/), 2016/9/1 閲覧
- [13] 小林一樹, 山田誠二; 擬人化したモーションによるロボットのマインド表出, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 380-387 (2006)