

メタ認知的活動に着目した反省モデルを有した食事推薦エージェントの有効性の検証

Experimental Study of Food Recommendation Agent with "Self-Reflection" Function Based on Meta-Cognition

安田 有希*¹
YASUDA Yuki

田和辻 可昌*¹
TAWATSUJI Yoshimasa

松居 辰則*²
MATSUI Tatsunori

*¹早稲田大学 大学院人間科学研究科
Graduate School of Human Sciences, Waseda University

*²早稲田大学 人間科学学術院
Faculty of Human Sciences, Waseda University

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

1.1 背景と目的

人間にとって、日々直面する個々の問題解決を果たす以上に、様々な問題に対応できるような問題解決方略を身につけることが重要である。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、一般的に人間がメタ認知に基づい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、“反省”過程を表現する認知モデルの構築を試みる。

1.2 手法

メタ認知に基づく問題解決方略の改善、つまり“反省”過程は、外的に表出されることのない認知的活動である。この点から、“反省”過程を表現する認知モデルを、構成論的手法を指向して構築することを目指す。本研究では具体的なドメインとして、食事推薦を行う場面を想定した。一般的に推薦システムにおいて、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 [3]。この問題は、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とに起因することから、予測がうまくいかない場合、その情報をもとにしてどのように次の食事推薦を構築するか、という“反省”活動は重要な課題解決の方法の一つとなる。

1.3 学習科学と本モデルの関連性

学習者の学習過程において、“反省”は極めて重要な役割を果たすと考えられる。具体的に学習者による主体的学習の観点から見れば、学習者が自身の問題解決過程のどのような点に着

目し、自身の問題解決過程の誤りを修正しようとするかという“反省”過程を理解することで、学習者の“反省”活動を支援する際にどのような情報提示が有効であるか、あるいはそのような情報提示を行うシステムの構築を検討することができるようになると思われる。この点において、本研究で構築される“反省”過程を表現する認知モデルは、学習科学においても重要な役割を果たすと考えられる。

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 [4]。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。refraction in action と refraction 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。

連絡先: 安田 有希, 早稲田大学 大学院人間科学研究科, 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, gomikuzu.binbin@akane.waseda.jp

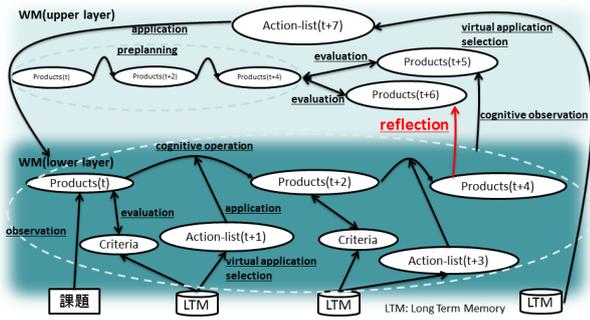


図 1: 課題解決時の WM 二層モデル ([4] より引用, 改変)

2.2 本研究で構築した“反省”モデル

本研究では茅島らの WM 二層モデルを踏まえて，“反省”のモデル化を試みた。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 [5][6]。また，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 [7]。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。つまり，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 [8]。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 LongTermMemory(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。

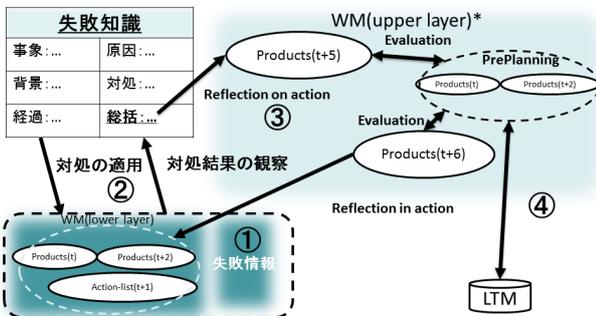


図 2: “反省”の概念モデル

3. システム構築

本システム (図 3) 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。本節ではシステムを構成する食事推薦機能と“反省”機能について説明する。

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 [4] 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。本システムでは，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込みの三つの絞り込み方法を実装した。これら全ての絞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 [9] 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。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。

3.2 “反省”機能

“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働し，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

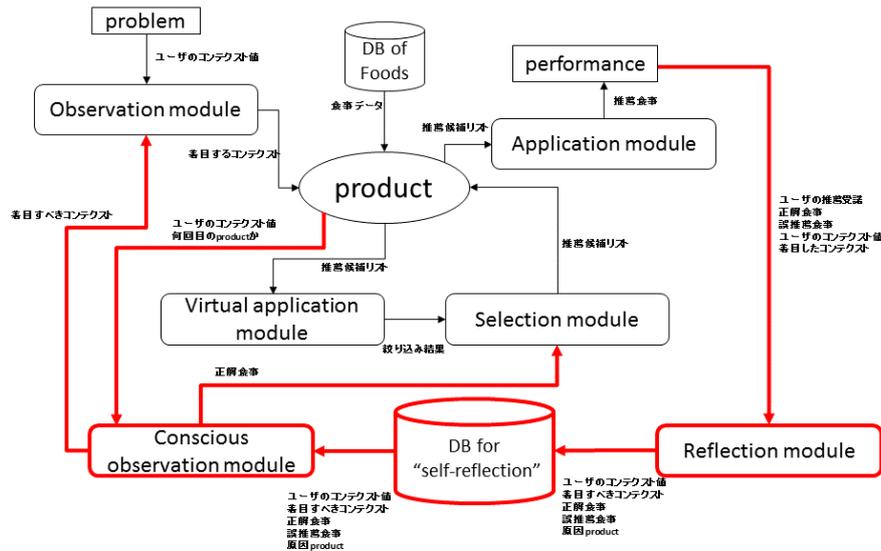


図 3: システム構成図 (太線部が“反省”システム)

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。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。

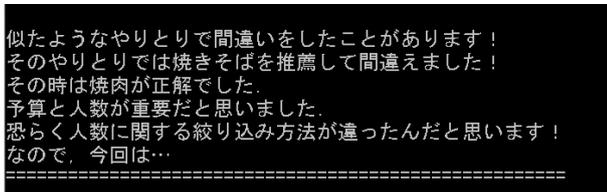


図 4: “反省”システムの内部処理表示

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。

4.3 結果

各システムに対する推薦受託率を図 5 に示す。縦軸は推薦受託率 (%), 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託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託率が高いことが確認された。

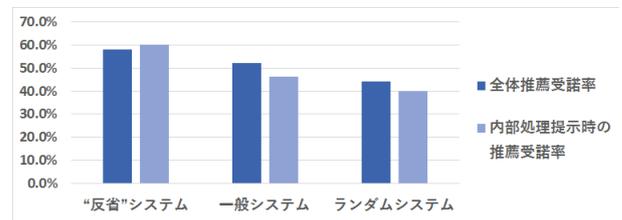


図 5: 各システムにおける推薦受託率

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 6 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。

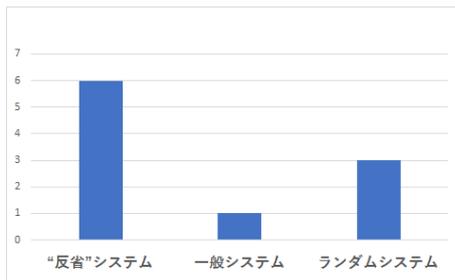


図 6: 意外性と満足度が共に 7 以上の推薦数

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に対して 10 回の食事推薦を行った。これと実験 1 によって得られた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とを食事推薦課題における人間とシステムの 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もかと思った。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

“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。“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どこがどのように変更されたかを具体的に表示する。このことから，人間がシステムの内部処理モデルを獲得し，次の処理結果を予測・期待する可能性が考えられる。この予測と，実際のシステムの処理結果との間に起こる誤差によって推薦物に対する意外性が高められたと考えられる。またこの際，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められ，“反省”システムにおいて意外性と満足度が高い評価を得られたと考えられる。

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。また，本実験において被験者は食事の場面を数パターン想定し，その際の食べたいものを考えるという手順を求められた。このため，その際に浮かんだ食べ物に実際にその時に食べたいものであるかについては明らかではない。このことから実験の枠組みに関して更なる検討が必要であるといえる。さらに，学習文脈における“反省”過程の検討を行い，学習者の“反省”過程を説明する認知モデル構築を目指すことも重要な課題である。

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] 波多野諺余夫: 認知心理学 (5) 学習と発達, 東京大学出版会, (1996)
- [3] 神宮敏弘: 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)
- [4] 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)
- [5] 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)
- [6] 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)
- [7] 知見邦彦, 檀山淳雄, 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)
- [8] 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)
- [9] 料理ジャンル一覧, https://tabelog.com/cat_1st/, 2016/9/1 閲覧