

誤り発言からの学習者の誤り箇所候補推定

トレーニングシステム

秦 弘和¹, 小尻 智子^{*2}

*1 関西大学大学院理工学研究科 *2 関西大学システム理工学部

Training System for Estimating Learner's Incorrect Knowledge from Erroneous Utterances

Hirokazu Hata^{*1}, Kojiri Tomoko^{*2}

*1 Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

*2 Faculty of Engineering Science, Kansai University

指導者は学習者の誤った発言をもとに学習者の知識状態を推定し、誤っている箇所を修正するような指導をする。学習者は発言した内容だけでなく、関連する他の知識も誤っている場合があり、指導者はそれらを推定したうえで指導方針を考える必要がある。そこで、本研究では指導者が教えるべき知識と学習者が発言した内容から、誤っている可能性がある箇所（誤り候補）を推定するための手法を提案し、その手法を習得できるようにするためのトレーニングシステムを構築する。

キーワード: 発言, 知識推定, 誤り発見, トレーニングシステム

1. はじめに

指導者は学習者との会話の中で、学習者が誤った発言をしている場合、正しい知識となるように指導する。誤った発言は誤り箇所を直接表している訳でなく、間接的に影響している可能性がある。例えば、クジラの生態について教授しているときに、クジラは卵を産まないにも関わらず、学習者がクジラの卵の大きさを尋ねたとする。この場合、クジラが卵を産まないことを理解していないかもしれないし、クジラが哺乳類ではなく魚類と理解していることが原因で誤った発言をしたかもしれない。後者の場合、クジラが哺乳類であることを教えることでクジラが卵を産まないと判断できるようになる可能性がある。

指導者が学習者に正しい知識を理解させるためには、誤り箇所を正確に発見する必要があるが、学習者の一回の誤った発言からは誤り箇所を正確に特定することは困難である。その代わりに、指導者は誤っている発言の原因となりうる誤り箇所の候補（誤り箇所候補）をすべて考え、可能性の高そうなものから修正を試みる。

この時に誤り箇所候補を十分に推定できないと誤りを修正できなくなる。そこで、本研究では、指導者が学習者の誤り箇所候補を推定できるようになることを支援する。

学習者の誤りを表現する方法としては、バグモデルとオーバレイモデル⁽¹⁾がある。バグモデルは、誤りに対する誤り原因のパターンをあらかじめ保持しておき、学習者の表出化された誤りから原因を同定する方法である。バグモデルを用いて誤りを推定している研究としては、筆算の計算過程を対象としたもの⁽²⁾や、プログラミングのバグの発見⁽³⁾などがある。バグモデルでは想定している誤りのパターンをあらかじめすべて想定しておく必要があるが、学習者の誤りを事前に全て予測することは困難である。それに対して、オーバレイモデルを用いて誤りを推定する方法は、学習者の知識と正誤を比較し、正解に存在しない知識は誤っていると判断する方法である。オーバレイモデルを用いて、誤りを推測する研究としては、学習者の分数計算を対象とした研究⁽⁴⁾がある。オーバレイモデルは学習者から観測されない知識は保持していないと判断するが、

対話でのやりとりでは学習者は自身が持っている知識をすべて発言するわけではない。そのため、知識の断片である発言から誤り箇所候補を推定する必要がある。

指導者にとって、誤り箇所候補の推定は通常は暗黙的な活動である。暗黙的なスキルの獲得支援では、暗黙的な活動の成果を表出化することで活動の不十分さを学習者に考えさせるアプローチが多くとられる。石井らは学習者の利き手と反対の手による動作の支援として、利き手時の動作を理想的な動作として提示し、反対の手と比較させることで不十分さに気づかせる研究⁵⁾をしている。また、Nishino らは書道の実力を上げる支援として、ディスプレイの上に仮想のキャンパスを用意し、仮想のキャンパスの位置関係の変化から力の加え方を計算することで、理想の筆跡と自身の筆跡を再現したものを比較できるようにする研究⁶⁾をしている。これらの研究は、暗黙的な活動の結果から活動の不十分さを示すにとどまっており、活動の仕方そのものは暗黙のままである。そのため、活動自体が改善できない場合がある。

本研究では、指導者が教える知識と学習者の発言を表出化し、そのうえで誤り箇所候補を推定させる過程を段階的に実施する方法を提案する。そして、提案した推定方法の各ステップに従って、仮想的に指導者の知識と学習者の発言を提示し、誤り箇所候補を推定する体験が可能な環境を構築する。

2. 学習者の誤り箇所候補の推定方法

誤った発言をする学習者は、正しい知識の中で保持していない知識があったり、正しくない知識を有していたりする。発言は学習者の知識の断片しか表出していないため、学習者の発言から学習者の保持する知識を推測する必要がある。

学習者が発言した内容は学習者が信じている知識であると想定することができる。そのため、発言があっても間違ってもそこに含まれる知識は学習者の知識となる。一方、学習者に指導している指導者は、学習者は教えた知識は最大限有していると想定して誤り箇所を推定する。そのため、学習者が発言していない知識は正しく保持していると想定する。学習者が誤った発言をしている場合、このようにして学習者の知

識と想定したものには矛盾が発生する。このとき、学習者の知識と想定している知識の中のいくつかを保持していないと仮定すると、矛盾が解消できることがある。この矛盾を解消できる知識を誤り候補として特定する。

以上のことより、学習者の誤り箇所候補の推定方法は以下のとおりである。

1. 学習者が発言した知識を学習者の知識と想定する。
2. 指導者が教える知識で学習者が発言していない知識を学習者の知識と想定する。
3. 学習者の発言箇所と矛盾している知識のうち、誤りと仮定することで矛盾が解消できる知識を誤り箇所候補とする。

具体例を示す。教える知識が「ほ乳類は卵を産まない、クジラはほ乳類の一種、クジラは海を泳ぐ」であり、学習者が「クジラは海を泳ぐ、クジラは卵を産む」と発言したとする。このとき、指導者は学習者が保持している知識として、発言した知識と教える知識の重複を除いた「ほ乳類は卵を産まない、クジラはほ乳類の一種、クジラは海を泳ぐ、クジラは卵を産む」を学習者の知識として想定する（図 1）。これらの知識の中で、「ほ乳類は卵を産まない、クジラはほ乳類の一種」と「クジラは卵を産む」が矛盾する。学習者は「クジラは卵を産む」と発言しているため、「ほ乳類は卵を産まない」もしくは「クジラはほ乳類の一種」という知識を学習者が持っていないと仮定すると矛盾がなくなる（図 2）。そこでこれらの知識を誤り箇所候補とみなす。

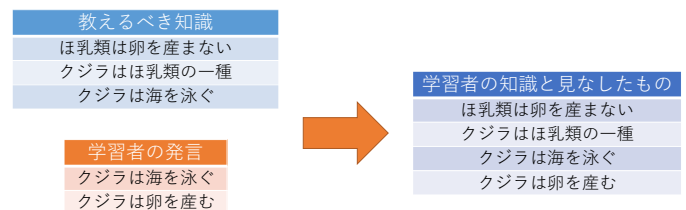


図 1 誤り箇所候補の推定例（ステップ 1, 2）

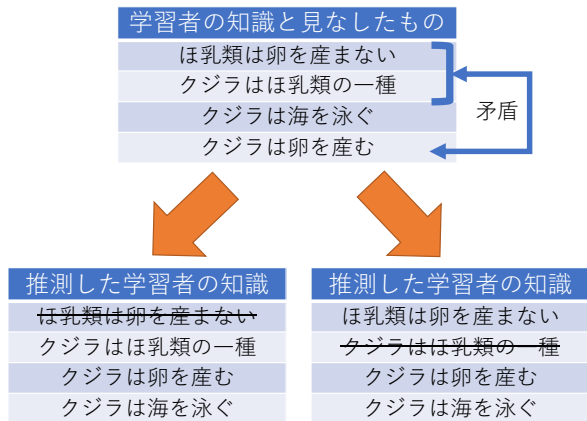


図 2 誤り箇所候補の推定例 (ステップ 3)

3. 誤り箇所推定トレーニングシステム

指導者が学習者の発言から誤り箇所候補を推定できるようになるには、誤り箇所候補を推定する方法を明示的に1つずつ実施していくことが有効である。誤り箇所推定トレーニング支援システムは、仮想的に用意した指導者の知識と学習者の発言から誤り箇所の候補を推定する体験が可能な環境を提供する。また、システムは各ステップをユーザが正しくできているかを判定し、フィードバックを与える。すべての誤り箇所候補を推定できるまでトレーニングを実施する。

システム構成図を図3に示す。システムは教えるべき知識と仮想学習者の発言を保持する。また、発言から学習者が保持すると想定できる矛盾を含んだ知識および誤り箇所候補を、ユーザが推定すべき正解として保持する。インタフェースは学習者知識想定インタフェースと誤り箇所候補推定インタフェースの2つにわかれている。学習者知識想定インタフェースは、ステップ1とステップ2で行っている学習者の知識を想定する活動をする場を提供しており、誤り箇所候補推定インタフェースは、ステップ3の誤り箇所候補を推定する活動をする場を提供する。システムが教えるべき知識と学習者の発言を提示すると、ユーザは学習者が保持すると想定できる矛盾を含んだ知識を入力する。学習者想定知識正誤判定機能は、入力された学習者が保持すると想定できる知識が正解かどうかを判定し、フィードバックを返す。また、正解と判定すると、誤り箇所候補推定インタフェースが起動する。誤り箇所候補推定インタフェースにユーザが誤り箇所候補と入力すると、誤り箇所候補正誤判定機能はユーザが推定

した誤り箇所の候補が正解となる誤り箇所候補と同じであるかを判定し、フィードバックを返す。

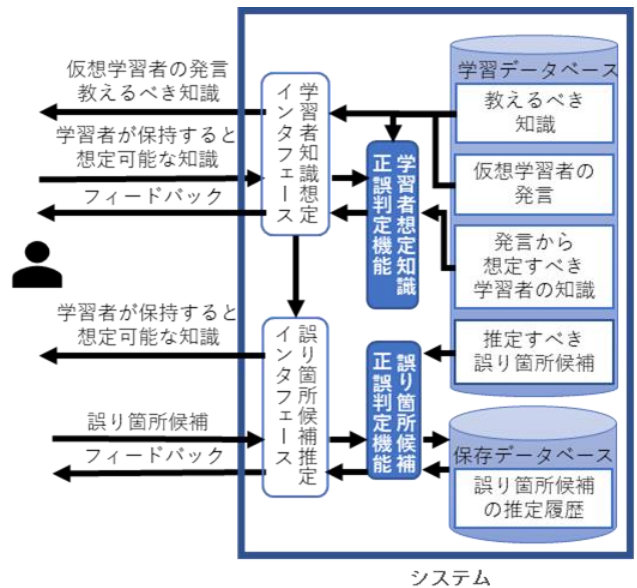


図 3 誤り箇所候補推定トレーニングシステム

4. 学習者知識想定インタフェース

4.1 教えるべき知識の表現方法

学習者知識想定インタフェースはユーザが教えるべき知識を見やすい形式でユーザに提示する。本研究では宣言的知識を教授の対象とする。宣言的知識は概念と概念間の関係で表現される。

概念間の関係を表現する方法として、意味ネットワークがある。意味ネットワークとは、概念をノードとし、概念間の関係を有向リンクとしたラベル付き有向グラフで知識を表現したものである⁷⁾。ラベルにはあらゆる関係を記述することができる。継承関係や包含関係などの一部の関係は is_a、has_a などの特別な名称で記述する。

教える知識の意味ネットワークでの表現例を図4に示す。図4は教える知識が「クジラはほ乳類の一種、ほ乳類は卵を産まない」である例である。この知識における概念は「クジラ、ほ乳類、卵」であり、概念間の関係は「一種、産まない」である。「一種」は継承関係を示しているため、概念間の関係がクジラとほ乳類の間の関係は is_a になり、ほ乳類と卵の関係は産まないとなる。

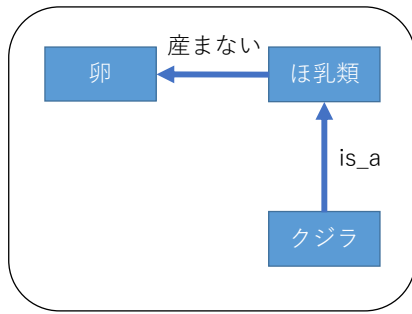


図 4 教えるべき知識の表現例

4.2 学習者想定知識正誤判定機能

学習者想定知識正誤判定機能は、ユーザが入力した学習者が保持していると想定できる知識が正しいかを判定する。ユーザは、仮想学習者の発言に含まれているが、誤って理解していることが明らかな知識と、学習者が正しく理解しているだろうと想定できる知識をわけて入力する。学習状況判定機能はシステムの保持する正解となる知識と比較して、それらの入力が正しいかを判定する。

例を示す。教えるべき知識が「クジラはほ乳類の一種、ほ乳類は卵を産まない、クジラは海を泳ぐ」で、学習者が「クジラは海を泳ぐ、クジラは卵を産む」と発言したとする。このとき、学習者が誤って保持していると想定できる知識として、「クジラは卵を産む」をユーザが入力したとする。この知識は学習者が誤って理解している知識であるため、システムはユーザの入力は正しいと判定する。一方、学習者が理解していると想定できる知識として同様に「クジラは卵を産む」をユーザが入力したとする。この知識は誤って理解していると判定する。

4.3 プロトタイプ・システム

学習者知識想定インターフェースを図 5 に示す。トレーニング番号が入力されると、発言表示エリアと知識表示エリアに仮想学習者の発言と教えるべき知識が意味ネットワークの形式で表示される。正解予測知識入力エリアは仮想学習者が正しく理解していると想定できる知識を入力するエリアであり、誤り予測知識入力エリアでは誤っていると想定できる知識を入力するエリアである。

学習者想定知識表示エリアでは、ユーザが想定する

仮想学習者の知識が表示されるエリアである。システム開始時は教えるべき知識が表示されているが、正解予測知識入力エリアと誤り予測知識入力エリアへの入力に応じて更新される。正解予測知識入力エリアに入力された知識が正しければオレンジ色に（図 6）、誤り予測知識入力エリアに入力された知識が正しければ緑色に（図 7）着色される。

入力された知識が正しくない場合は、フィードバックを返す。入力された知識が正しくない場合は以下のいずれかが考えられる。

1. 学習者が理解していると入力した知識が学習者の発言に含まれていない
2. 学習者が理解していると入力した知識が教える知識に含まれていない
3. 学習者が理解していないと入力した知識が発言に含まれている

1 の場合は、「学習者が発言していない知識は理解していると想定できません」、2 の場合は、「学習者が正しく理解していると想定できる知識は教える知識に含まれるべきです」、3 の場合は、「学習者はその知識を正しく理解していると想定できます」というメッセージを表示する。

想定完了ボタンが押されると、発言した知識がすべて入力されたかを判定する。すべて入力されていない場合は、入力できていない学習者の発言部分の色を変化させることで強調する。

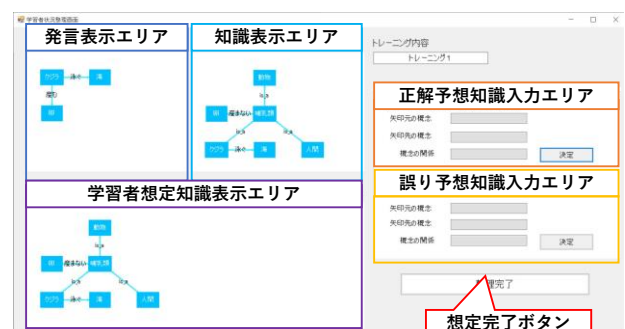


図 5 学習者知識想定インターフェース



図 6 正解予測知識入力後の学習者知識想定インタフェース

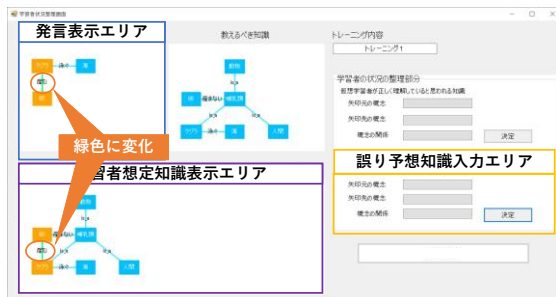


図 7 誤り予想知識入力後の学習者知識想定インタフェース

5. 誤り箇所候補推定インタフェース

5.1 誤り箇所正誤判定機能

誤り箇所正誤判定機能は、誤り箇所候補推定インタフェースに入力される誤り箇所候補を正誤判定する機能である。誤り箇所正誤判定機能はユーザの入力とシステムの保持する正解を比較し、ユーザが推定した誤り箇所候補が正しいかを判定する。また、ユーザがすべての誤り箇所候補を推定できたかを判定し、フィードバックを与える。

5.2 プロトタイプ・システム

誤り箇所候補推定インタフェースを図 8 に示す。学習者想定知識表示エリアは、学習者知識想定インタフェースで学習者が保持する知識の想定結果を表示する。矛盾解消知識入力エリアは、誤りと仮定すると矛盾を解消できる知識を概念とその関係の形式で入力するエリアである。知識を入力すると、学習者想定知識表示エリアからユーザが入力した知識に対応した部分が削除される (図 9)。誤り箇所候補推定履歴表示ボタンを押すと、図 10 の画面が表示され、同じトレーニング内でこれまでに推定した誤り箇所候補が閲覧可能である。

誤り箇所候補推定エリアは、ユーザが誤っている知識を自然言語で入力させるエリアである。誤り箇所候補は矛盾解消知識入力エリアに入力された知識と同じであるが、ユーザが意味ネットワーク上での矛盾の解消するために誤りと見なした知識が誤り箇所と同じであると理解できているかを確認するために再度自然言語の形式で入力させるようになっている。ユーザが誤り箇所候補を入力し、決定ボタンを押すと、誤り箇所正誤判定機能により正誤を判定する。誤り箇所正誤判定機能が正しいと判定した場合、図 11 のようなフィードバック画面が表示される。一方、誤り箇所正誤判定機能が誤っていると判定した場合、「矛盾が解消できていないので推測した学習者の知識に誤り箇所があります」というメッセージが表示され、誤りと仮定したときに矛盾を解消できる知識の入力からやり直させる。

推定完了ボタンを押すと、すべての誤り候補が推定されたかを判定し、未推定の誤り候補が存在した場合は、「推定できていない学習者の知識が存在するため、誤り箇所候補が他に存在します」というメッセージを表示し、学習者予測情報表示エリアで今まで推定した誤り箇所候補にあたる部分を強調して提示する。全ての誤り箇所候補が推定されていた場合、トレーニングを終了する。

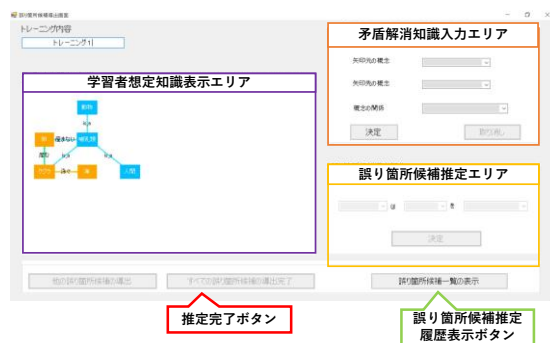


図 8 誤り箇所候補推定インタフェース



図 9 矛盾解消知識を入力した際の誤り箇所候補推定インタフェース

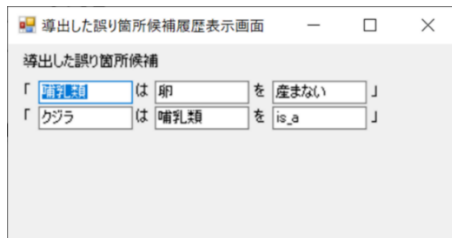


図 10 誤り箇所候補推定履歴



図 11 誤り箇所候補を推定できたときの
フィードバック画面

6. 評価実験

本研究で提案した誤り箇所推定トレーニング支援システムの有効性を評価した。評価項目は、システムによって誤り箇所候補の推定方法が習得できたか（項目 1）と、習得した誤り箇所候補の推定方法は教える知識や学習者の発言が複雑な場合でも適用可能か（項目 2）、の 2 点である。実験協力者は 18 歳から 25 歳までの男女 8 名(A~H)である。

実験の手順を以下に示す。

- ① プレテスト
- ② システムを用いたトレーニング
- ③ ポストテスト 1
- ④ ポストテスト 2

プレテストでは、教える知識と学習者の発言を用意し、誤り箇所候補とそれぞれの誤り箇所候補を推定した過程や理由を回答する問題に 2 問（問題 a, b）解答してもらった。教える知識と学習者の発言は、意味ネットワークの形で表した図と文章で示した。問題 a, 問題 b の文章を図 12, 図 13 に示す。

システムを用いたトレーニングでは、問題 a, b とは異なる教える知識と学習者の発言を 2 組与え、システムを用いて誤り箇所候補の推定トレーニングを 2 回して

もらった。ポストテスト 1 では、プレテストと同様の活動を再度実施し、プレテストから解答が変わるかを調査した。ポストテスト 2 では、項目 2 を評価するため、問題 a, b とは異なり、かつ問題 a, b より難しい問題（問題 c）を用意した。プレテストと同様に誤り箇所候補とそれぞれの誤り箇所候補を推定した過程や理由を可能な限り回答してもらった。問題 c の文章を図 14 に示す。問題 a, b よりも学習者の発言の数を多くしている。問題 a と b のプレテストとポストテストにおいて、正解のうち推定できた誤り箇所候補の数とその理由で項目 1 を評価する。項目 2 は問題 c の誤り箇所候補の数と理由より評価する。

教えるべき知識

- ジャガイモはイモの一種
- タロイモはイモの一種
- 寒い土地ではタロイモは育たない
- 寒い土地ではジャガイモは育つ
- 北海道は寒い土地の一種
- 知床半島は北海道の土地の一種
- 十勝平野は北海道の土地の一種

仮想学習者の発言

- 十勝平野は北海道の土地の一種
- 北海道はタロイモが育つ

図 12 問題 a

教えるべき知識

- 無脊椎動物は動物の一種
- 無脊椎動物背骨を持たない
- 背骨は骨の一種
- 節足動物は無脊椎動物の一種
- 節足動物は外骨格を持つ
- 昆虫は節足動物の一種
- 昆虫は六本足を持つ
- カブトムシは昆虫の一種
- カブトムシは空を飛ぶ
- カブトムシはつのはを持つ
- 軟体動物は無脊椎動物の一種
- いかは軟体動物の一種

仮想学習者の発言

カブトムシは骨を持つ

図 13 問題 b

教えるべき知識

- 鉄は金属の一種
- 鉄は磁石にくっつく
- 鉄は電気を通す
- アルミニウムは金属の一種
- アルミニウムは磁石にくっつかない
- アルミホイルはアルミニウムの一種
- アルミホイルは電気を通す
- 雷は電気の種類

仮想学習者の発言

- 鉄は金属の一種
- 鉄は電気を通す
- アルミニウムは金属の一種
- アルミホイルは電気を通す
- アルミニウムは磁石にくっつく

図 14 問題 c

実験結果を示す。まず、項目 1 を評価する。それぞれのテストで用いた問題の正解のうち、推定できた誤り箇所候補の数を表 1 に示す。推定できた誤り箇所のうち、提案した推定方法を用いて推定できたとみなせる数を表 2 に示す。推定できた誤り箇所がない場合は斜線にしている。提案した推定方法を活用していたかについては、回答に「教えるべき知識を元に考えている」、「学習者の発言と一致しているに対して、正しく理解できているか否かを判断している」、「矛盾の組が作成されている」、「その組の一部が誤り箇所ということを記述している」という趣旨が全て記述されている、もしくは具体的に理由となる発言や教える知識が示されていれば、活用していたとした。

表 1 より、8 名中 6 名がプレテストよりもポストテストの方が推定できた誤り箇所候補の数が増加した。また、表 2 より 8 名中 5 名（実験協力者 B、C、D、F、G）がシステムの使用前は、提案した誤り箇所候補の推定方法を全く用いていなかったが、使用後では提案方法を用いて誤り箇所候補を推定できていた。この

うち、実験協力者 C は問題 a のプレテストでは誤り箇所候補を推定した理由が「北海道はタロイモが育つという発言がおかしかった」と回答していたが、ポストテストでは「教えるべき知識と仮想学習者を比較したときに、教えるべき知識になかった誤った発言であろう『北海道はタロイモが育つ』と、『北海道は寒い土地の一種』と『寒い土地ではタロイモが育つ』が矛盾していて、その中で『北海道はタロイモが育つ』は学習者の発言なので、それ以外が誤り箇所候補になるから」と回答していた。このことから、誤り箇所候補推定トレーニングシステムを用いることで誤り箇所候補の推定方法を習得できることが示唆された。

次に項目 2 を評価する。問題 c で推定された誤り箇所候補の数を表 3 に示す。表 2 より提案方法を用いて誤り箇所候補を推定できていた 7 名（実験協力者 B～H）のうち、5 名が全ての誤り箇所候補を推定できていた。そのため、誤り箇所候補の推定方法を用いることで、複雑な問題に対しても誤り箇所候補を推定できると考えられる。一方で、実験協力者 B と F は 1 つも推定できなかった。その理由として、実験協力者 B 「矛盾となる組み合わせがわからなかった」と、実験協力者 F は「教えるべき知識における仮想学習者の発言部分がわからなくなった」と回答した。これらのことは、発言数が多い場合など教える知識や学習者の発言が複雑になると、誤り箇所候補の推定方法を習得していても学習者の状況を整理することや矛盾を発見することが困難になる人がいることも明らかになった。トレーニングシステムで知識や発言が少ないものから多いものまで段階的にトレーニングをさせることで、複雑な知識や発言にも提案手法を適用できるように支援をしていく必要がある。

表 1 推定できた誤り箇所候補の数（推定できた数／正解の数）

実験協力者		A	B	C	D	E	F	G	H
a	プレテスト	1/2	1/2	1/2	2/2	2/2	1/2	2/2	1/2
	ポストテスト	1/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	1/2
b	プレテスト	0/5	1/5	1/5	3/5	2/5	0/5	3/5	1/5
	ポストテスト	0/5	4/5	5/5	5/5	5/5	3/5	5/5	1/5

表 2 提案した導出方法を用いた数（導出方法を用いた数／導出した誤り箇所候補の数）

実験協力者		A	B	C	D	E	F	G	H
a	プレテスト	0/1	0/1	0/1	0/2	0/2	0/1	0/2	1/1
	ポストテスト	0/1	1/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	1/1
b	プレテスト	/	0/1	0/1	1/3	1/2	/	0/3	1/1
	ポストテスト	/	3/4	5/5	5/5	5/5	3/3	4/5	1/1

表 3 問題 c で導出した誤り箇所候補の数

実験協力者	A	B	C	D	E	F	G	H
	/	0/2	2/2	2/2	2/2	0/2	2/2	2/2

おわりに

本研究では、指導者が学習者の誤り箇所の候補を推定できるようにすることを目的に、学習者の誤り箇所候補を段階的に特定するための方法を提案し、その方法の習得を支援するためのトレーニングシステムを構築した。トレーニングシステムでは、指導者が教える知識と仮想学習者の発言を提示し、ユーザがすべての誤り候補を正しく推定できるまでフィードバックを出して支援する。提案システムを用いた評価実験の結果、システムを用いてトレーニングすることで、誤り箇所候補の推定方法を習得できることが明らかになった。また、習得した誤り箇所候補の推定方法は、問題が複雑になっても適応できる可能性があることが明らかになった。

本研究では誤り箇所の候補の推定までを支援している。学習者の誤り箇所を正しく修正するためには、推定した誤り箇所候補が正しい知識になるように教授し、反応を見るところというやりとりが必要となる。想定した誤り知識が正しければよいが、誤り箇所候補が誤りでない場合は得られた反応を基に誤り箇所候補をさらに推定するという仮定が必要となる。学習者の誤りを素早く特定するためには、学習者の反応を正しく解釈することと、反応をもとに誤り箇所候補の中から誤っている箇所を絞る必要がある。今後は学習者の反応のパターンを分類し、個々のパターンに応じて誤り箇所を適切に絞る方法を明らかにし、その方法の習得を支援するシステムを構築したい。

参考文献

- (1) D. Sleeman, J. S. Brown: "Intelligent Tutoring Systems", Academic Press (1982).
- (2) 三輪和久, 寺井仁, 森田純哉, 中池竜一, 齋藤ひとみ: "モデルを作ることによる認知科学の授業実践", 人工知能学会論文誌, Vol. 27, No. 2, pp. 61-72(2012).
- (3) 原田裕基, 西原佑, 松本剛史, 藤田昌宏: "充足可能性判定に基づくシステムレベルデバッグ支援手法におけるバグモデルの導入による効率化", 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-SLDM-145, No. 10, pp. 1-6 (2010).
- (4) 渡辺健次, 岡崎泰久, 只木進一, 近藤弘樹: "分数計算を指導する知的 CAI システムの実現", 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 77, No. 3, pp. 518-529 (1994).
- (5) 石井和喜, 曾我真人, 瀧寛和: "モーショキャプチャシステムを利用した左右反転動作スキル習得支援環境の構築", 情報処理学会シンポジウム論文集, pp. 327-330 (2011).
- (6) H. Nishino, K. Murayama, T. Kagawa, K. Utsumiya: "A Japanese Calligraphy Trainer Based on Skill Acquisition Through Haptization", Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, pp. 1225-1232 (2010).
- (7) 岡本敏雄, 香山瑞恵: "人工知能と教育工学—知識創産指向の新しい教育システム", 株式会社オーム社(2011).