

るので、以前に構築した部品を再利用して拡張しながらより大きな部品を構築する。

例えば図 1 では、「swap を作りなさい」という課題に対して「c=a」「a=b」「b=c」を組み合わせることで「swap」の部品を構築する。その後、「sort を作りなさい」という課題に対して、以前作った「swap」に対して「if a>b」を拡張することで、より大きな部品である「sort」を構築する。この学習手法では、こうした部品の構築や再利用、拡張を繰り返すことで、学習者に部品ごとの関係性の意識や、再利用の訓練を指向している。

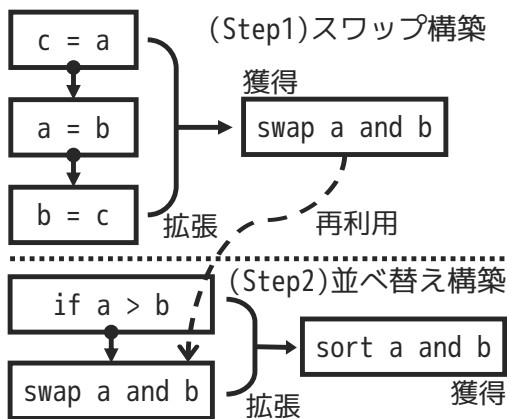


図 1 部品の段階的拡張手法の例[1], [2]

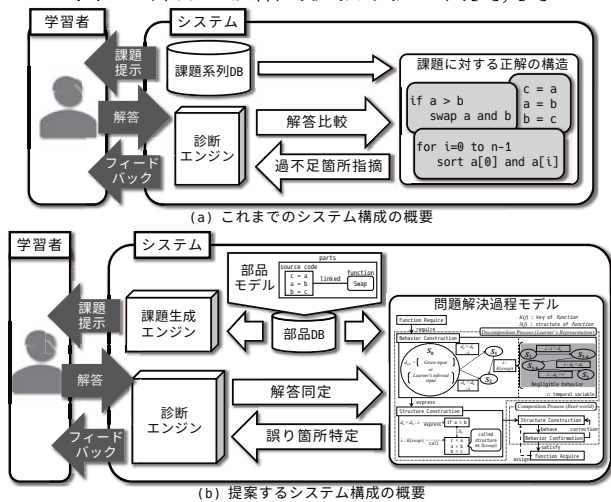


図 2 既存システムと提案システムのシステム構成の概要

これまで著者らは、この学習手法を用いて知識体系化を支援するシステム（以下、既存システム）を開発してきた。既存システムの構成を図 2(a)に示す。既存システムでは、一定の課題系列の中で段階的に問題を提示していき、それに沿って学習者は学習を行っていく。また、解答時やヒントボタン押下時には、学習者の解答に対してフィードバックを行うことで、学習者の行詰りを解消している。

しかしながら 1 章でも指摘した通り、既存システムでは図 2(a)のように著者らが主観的に定めた課題系列を提示しているに過ぎず、さらにフィードバックは学習者の解答と正解の構造を比較して不足・過剰箇所を指摘するのみであった。よって著者らは、システムがより学習者の学びを捉えて支援できるように、知識としての部品モデルの定義や、部品の獲得・拡張に関わる問題解決過程のモデルについて検討してきた（詳細は 3 章にて述べる）[3]。本稿で提案するシステム（以下、提案システム）では、これらのモデルを既存システムに実装することで既存システムの抱えている問題点の解消を狙う。

提案システムの構成を図 2(b)に示す。提案システムでは、システムが持つ部品データベースから課題を生成し、さらに課題間の差について配慮しながら課題系列を自動生成することが可能になる。また問題解決過程をもとに、学習者が部品の構築に失敗したときにどの過程で誤りが発生したのかを捉えたり、学習者が部品のどの要素の理解が不十分かを考慮することで、より適応的なフィードバックが可能になると考えている。

3. 部品と問題解決過程のモデル

本章では、著者らがこれまで検討してきた部品のモデルと、部品のモデルに基づく問題解決過程のモデルについて概説する[3]。

3.1. 部品のモデル

有意義な一連のコードを部品として再利用するためには、ソースコードとソースコードの動作の間を学習者が関係付けて記憶しておく必要がある。「ソースコードの動作」は、そのソースコード全体がする動作と、着目した動作に対して目的に沿ってつけた意味に分けられる。例えば、swap における「c=a」「a=b」「b=c」のソースコードでは、「cをaの値にする」「aをbの値にする」「bをaの値にする」といった動作を振舞う。しかしながら、swapの意味、すなわち機能として着目しているのは後者の2つのみであり、「cをaの値にする」という振舞いには着目されない。

よって本研究では、ソースコードを構造、ソースコード全体の動作を振舞い、目的に沿って着目した動作に対してつけた意味を機能と呼んでいる。また、これらの3要素を併せて部品として定義している。

3.2. 問題解決過程のモデル

図 3 に、部品の定義に基づく問題解決過程のモデルを示す。本研究では、部品に関わる問題解決過程を学習者の表象として行われる「要求される機能の

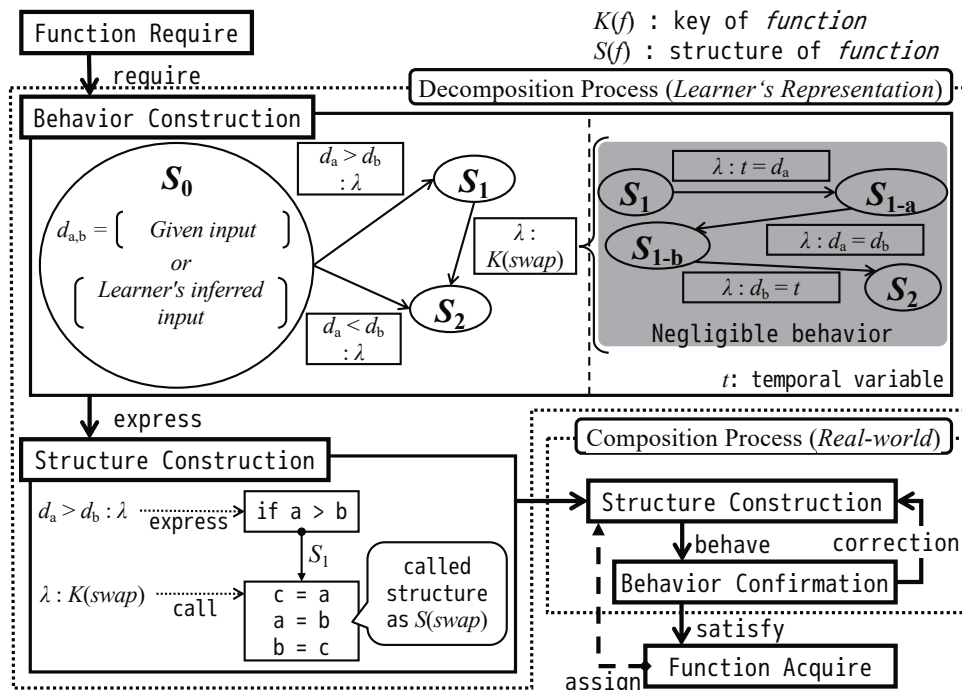


図3 部品に基づく問題解決過程のモデル[3]
 (「2変数の入れ替え」を拡張して「2変数の並べ替え」を獲得する場合を事例に)

分解 (Decomposition)」と、実世界で行われる「要求される機能の構成 (Composition)」の2つのプロセスに分けて捉えている。特に、実世界における学習者の解答が導出されるプロセスをシステムが捕捉することを目的に、Decomposition Process に着目している。したがって、このモデルでは Decomposition Process において部品の各要素がどのように導出されるかを問題解決過程としてモデル化している。

図3のモデルでは、既に獲得している「2変数の入れ替え」を拡張して、「2変数の並べ替え」を獲得する課題を想定した場合の問題解決過程を表現している。まず、「2変数の並べ替え」の機能を達成するために必要な振舞いを導出する (Behavior Construction)。つまり、機能を達成するために、明示的に与えられた入力か、学習者が想定する入力をもとに、行うべき状態遷移を導出する。状態遷移において、状態は S で示され、入力は d で示される。 S_0 から次の状態に移行するとき、次の状態 S_n との間のエッジ上の矩形内に遷移条件と操作が表現される。矩形内の表現は「遷移条件: 操作」となっており、「 λ 」は無操作であることを示す。例えば、 $S_0 \rightarrow S_1$ の状態遷移は $d_a > d_b$ のときにのみ行われる。一方、 $S_1 \rightarrow S_2$ の状態遷移では、無条件に $K(swap)$ の操作が行われる。ここでの $K(swap)$ は「変数の入れ替え」の構造を呼び出す索引の意味であり、学習者の既有知識を再利用することによる表象する振舞いの省略に用いられる。知識を持たない学習者であれば、右上灰

色部に示されるような詳細な操作を想定しないと達成できないが、「2変数の入れ替え ($swap$)」の部品を予め知っていることで、詳細な振舞いについて考慮する必要がなくなる (Negligible behavior)。

必要となる振舞いが導出されると、次に Structure Construction では、振舞いを表現するために部品を組み合わせて構造を組み立てる。各振舞いに対応する部品を組み合わせていくが、「 $\lambda : K(swap)$ 」では $swap$ の索引をもとに学習者の既有知識から構造を再利用している。

その後、Composition Process では表象で問題解決した構造を実世界に書き出し、振舞いを検証していくが、本稿では紙面の都合上省略する。詳細は文献 [3] を参照されたい。

4. 提案システム

2章で述べたように、これまで本研究では知識体系化手法について提案し、その支援システムを開発してきた。本章ではこの支援システムを拡張し、3章で概説したようなモデルを実装したシステムを提案する。提案システムでは部品や問題解決過程のモデルを捉えることにより、学習者の構築した部品から振舞いを生成し、さらにシステムが持つ部品の構造に基づいて正しい振舞いも導出する。よって、学習者の構造の振舞いや、正しい振舞いとの差分について明示的なフィードバックを与えることが可能になる。これにより、普段、学習者が暗黙的に思考して

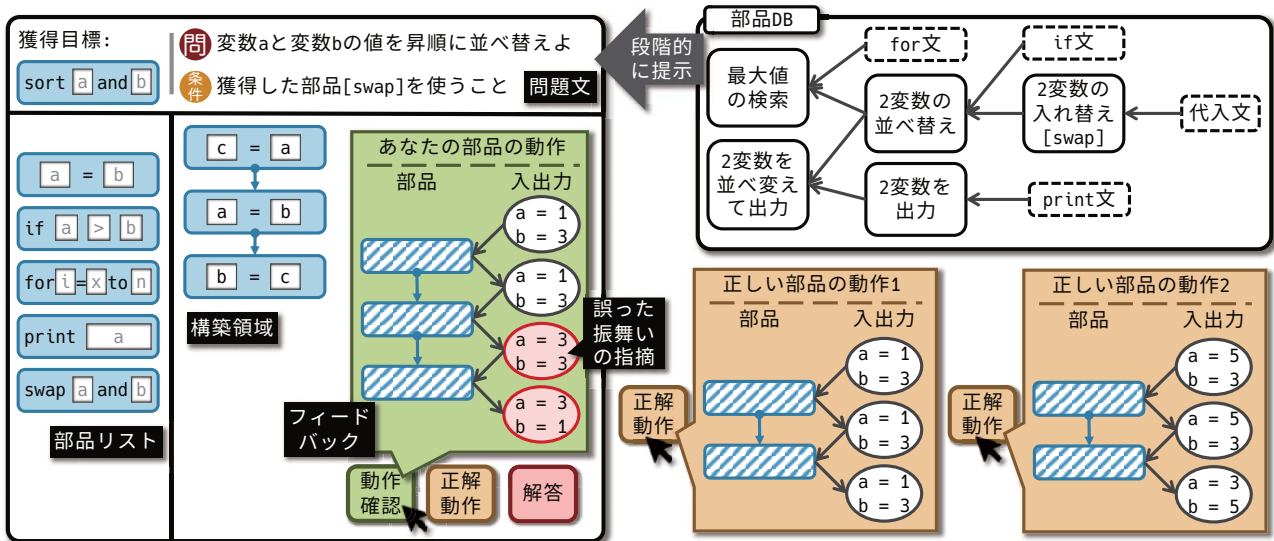


図5 提案システムのインタフェースと動作例

いる振舞いをより強く認識させ、知識間の差に基づいて知識を体系化させることを目的としている。

図5の左側に示す提案システムのインタフェースを例に、具体的な学習フローについて説明する。図5の例では、既に学習者はswapの学習を修了している。まず、学習者には問題文が提示され、条件に示されるような制約に従いながら部品リストの部品を構築領域にて組み合わせて構造を組み立てる。その後、動作確認ボタンを押下したとき、フィードバックとして学習者の構造の振舞いが生成され、システムが持つ正しい部品の構造から生成される振舞いと同定し、誤っている部分が指摘される。また正解動作ボタンを押下した場合、図5右下に示すような、いくつかのデータセットにおける正しい振舞いが部品部分がスケルトンになった状態で提示される。これら2つのフィードバックにより、学習者に自身の構造がどのように振る舞うべきかを思考する機会が与えられると考えられる。

提案システム上での課題提示は、図5右上に示すようなシステムが持つ部品データベースの中から部品の包含関係を移行するように、設定された最終目標の部品に向かって課題が提示されていく。次の部品に、他の系からの部品が合成される場合には、その系をルートから提示し、合成される別部品の獲得も促す。ただし、本研究は既に記憶している知識を再利用可能にするために体系化することを指向しているため、図5右上に点線で示すようなシステムで決められたプリミティブな部品の獲得は行わない。

5. おわりに

本研究ではこれまで、知識の再利用性向上を指向した知識体系化手法の提案やそのシステムの開発、

評価などを行うことにより、知識体系化支援を行ってきた[1], [2]。しかし既存システムにおける課題提示とフィードバックには改善の余地があり、今まで検討してきた知識のモデルや、問題解決過程のモデル[3]を用いることで改善を狙った。

そこで本稿では、これらのモデルをシステムに実装することにより課題提示機能やフィードバック機能を改善したシステムの提案を行った。提案システムにより、学習者に対してより部品の動作に着目させながら知識の体系化を支援することが期待できる。

今後の課題は提案システムの設計や実装および実装したシステムを用いた評価実験である。

謝辞

本研究の一部は科研費・基盤研究(C)(18K11586)、基盤研究(B)(15H02931)、挑戦的萌芽研究(16K12558)、基盤研究(B)(17H01839)の助成による。

参考文献

- [1] 古池謙人, 東本崇仁: プログラミングにおける構造的な理解のための部品の段階的拡張手法の提案とそのシステムの開発, 教育システム情報学会誌, Vol. 35, No. 2, pp. 215–220, (2018)
- [2] 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: プログラミングの構造的な理解を指向した部品の段階的拡張手法の提案と支援システムの開発・評価, 教育システム情報学会誌, Vol. 36, No. 3, To appear, (2019)
- [3] 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: プログラミングにおける部品の獲得・拡張活動プロセス, 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, Vol. 85, pp. 104–109, (2019)