

なぜ計算論的認知スキーマが今必要なのか？ —システム設計意図の整合性評価・比較・共有に向けて—

Why Do We Need Computational Cognitive Schemas Now? -Toward the Evaluation, Comparison, and Sharing of System's Design Intentions-

古池 謙人^{*1}, 油谷 知岐^{*2}, 芦田 淳^{*3}, 森田 海^{*4}, 久乗 皓大^{*5}
Kento KOIKE^{*1}, Tomoki ABURATANI^{*2}, Atsushi ASHIDA^{*3}, Kai MORITA^{*4}, Kota KUNORI^{*5}
^{*1}東京理科大学 ^{*2}大阪公立大学 ^{*3}大阪大学 ^{*4}福井工業高等専門学校 ^{*5}関西大学
^{*1}Tokyo University of Science ^{*2}Osaka Metropolitan University ^{*3}The University of Osaka
^{*4}National Institute of Technology, Fukui College ^{*5}Kansai University
Email: kento@koike.app

あらまし：学習支援システムは、学習者に特定の問題解決スキルを習得させることを目的として設計されるが、多くの場合、そのスキルは学習課題や支援形態の背後に意図として埋め込まれたままで、明示的に記述されることはない。このため、設計意図の不透明性、学習課題との整合性の曖昧さ、さらに他システムとの比較や知見の再利用の困難といった課題が生じている。著者らはこの課題に対し、学習者が最終的に **perform** 可能となる問題解決スキルを、状態遷移と認知的操作の系列として抽象的に記述する枠組み「計算論的認知スキーマ (CCS)」を提案してきた。本稿では、メタ科学的視点からこの CCS 概念の必要性を論じるとともに、CCS によって設計意図を構造的に記述することで得られる利点——学習課題との整合性評価、システム間の比較、同型 CCS の同定による設計知の共有——について議論し、展望を示す。

キーワード：計算論的認知スキーマ、学習目標、学習課題、学習支援システム、問題解決スキル

1. 背景

教育システムにおいて、学習者が最終的にどのような能力を獲得することを目指して設計されているのかを明示することは、設計の根幹をなす重要な課題である。とくに問題解決スキルの習得を目的とするシステムにおいては、どのような思考の流れや知識操作の獲得を支援しようとしているのかを明確にすることが不可欠である。

本研究では、このような「学習者が最終的に自力で実行可能となる問題解決スキル」を、認知科学における認知スキーマ (cognitive schema) として捉える。認知スキーマとは、ある種の問題状況に対して、適切な判断や操作を可能にする構造化された知識・手続きの枠組みである⁽¹⁾。学習者が認知スキーマを獲得するとは、状況を抽象的に捉え、柔軟に問題を分析・解決するための思考パターンを内面化することに他ならず、教育的にきわめて重要な学習成果である。

しかし現状では、多くの学習支援システムにおいて、こうした認知スキーマの定義や記述は明示されず、課題構成や支援形態の背後に意図として埋め込まれたままになっている。そのため、設計意図の不透明性、学習課題との整合性の曖昧さ、さらに他システムとの比較や設計知の再利用の困難といった課題が生じている。

近年では、知識の伝達にとどまらず、学習者の思考過程そのものを支援対象とする設計が重視されている。すなわち、学習者が問題をどのように捉え、どのような知識やスキルを適用して解決に至るかという過程に対し、支援を与えるという視点である。

このような支援は、まさに認知スキーマの形成を目標とするものであり、システム設計においてもその意図を明示的に記述・共有可能な形で定式化する必要がある。

著者らはこれまで、学習者が最終的に習得すべき問題解決スキルを、状態遷移と認知的操作の系列として抽象的に記述する枠組み「計算論的認知スキーマ (Computational Cognitive Schemas: CCS)」を提案してきた^(2,3)。

本稿では、メタ科学的視点からこの CCS 概念の必要性を論じるとともに、CCS によって設計意図を構造的に記述することで得られる利点——学習課題との整合性評価、システム間の比較、同型 CCS の同定による設計知の共有——について議論し、CCS の今後の展望を示す。

2. 問題意識

これまで教育システム情報学・学習科学の分野では、さまざまな学習支援システムが提案されてきた。各システムは、特定の学習目標に基づき、教材提示、ヒント提供、学習者モデルの更新などを通じて学習を支援しており、それぞれに独自の設計思想や課題形式が存在する。

しかし、その設計の背後にある「学習者にどのような問題解決スキルを習得させたいのか」という問いに、正面から答えている事例 (例えば、文献⁽⁴⁾) は多くない。多くのシステムでは、育成すべきスキルの定義が明示的に記述されておらず、設計者の経験や暗黙知に依存して構築されているため、目標スキルが設計言語として外化されていないという課題を抱えている。

たとえば、あるシステムが代数の式変形を支援し、別のシステムが論証の構成を支援しているとする。一見すると異なるタスクを扱っているように見えるが、いずれも「問題を要素に分解し、段階的に操作を重ねて解を導く」といった共通の認知的構造を備えている可能性がある。このような構造的共通性を、経験や直観に頼らずに捉えるには、学習者の思考過程を構造的に記述し、表面的な課題やドメインの違いを越えて抽象化できる枠組みが必要となる。

一方で、同じような問題解決スキルの習得を目指しながら、課題形式や支援手法が大きく異なるシステムも少なくない。このような場合、両者が本質的に同じスキーマ形成を目指していたとしても、それを明示的に表現する枠組みがなければ、設計方針や支援戦略の違いを構造的に比較・説明することは困難である。したがって、こうしたスキルを共通言語として記述・比較可能にする枠組みを整えば、個別の実装に依存することなく設計知の相互参照や再利用が可能となり、効果的な支援戦略の抽出と一般化にもつながると期待される。

3. CCS という共通言語の導入と意図

著者らはこれまでに、学習支援システムにおける設計意図を抽象的に記述し、異なるシステム間で共通する問題解決スキルの比較や再利用を可能にする枠組みとして、計算論的認知スキーマ (CCS) を提案してきた^(2,3)。本章では、その理論的位置づけを整理し、CCS がもたらす実践的およびメタ科学的意義について検討する。

第1の利点は、学習課題との整合性の評価⁽²⁾である。従来の学習支援システムでは、課題設計と学習目標の接続が明示されることは稀であり、課題が本当に目標とするスキルの獲得に寄与しているのかを検討する手がかりが乏しい。CCS を用いれば、ある課題が促す思考過程を操作と状態の系列として表現し、それが目標とする問題解決スキルとどの程度整合しているかを構造的に評価できるようになる。これは、教育効果の定量的評価とは異なる設計論的な視点から、支援の妥当性を問い直す枠組みとなる。

第2の利点は、異なるシステム間でのスキル記述の比較可能性⁽³⁾である。従来、学習支援システムはドメインや課題形式に大きく依存しており、システム間で共通のスキルを扱っていたとしても、それを比較する言語的・構造的基盤が存在しなかった。CCS は、問題解決スキルを個別の実装から切り離して抽象的に表現するため、設計理念や支援戦略の比較・参照を可能にする。これにより、異なる分野や文脈で開発されたシステムが内包する設計知を接続し、学習科学全体としての知見の統合に寄与することが期待される。

第3の利点は、同型の CCS の同定による設計知の共有・再利用の可能性である。複数のシステムが、異なる外見や課題内容を持ちながら、共通の認知ス

キーマの習得を目指している場合、それらを同型の CCS として整理することで、支援手法の横断的再利用が可能となる。たとえば、「構造を抽出し再構成する」といったスキルが、プログラミング教育と文章構成支援にまたがって現れる場合、それぞれの課題形式を超えて、支援の工夫や設計原理を共有することができる。

このように、CCS は単に個別のシステムを記述するための設計ツールではなく、学習支援システム研究の知見を構造的に接続し、再利用可能にするための「共通語彙」として機能する。これにより、教育システム情報学の中においても、個別実践を超えて形式的な理論知を蓄積・再編成するためのメタ科学的な枠組みが形成される可能性がある。

4. 結論と展望

本稿では、異なる学習支援システムにおける問題解決スキルを比較・共有するための枠組みとして、計算論的認知スキーマ (CCS) の概念的意義を再整理した。CCS は、学習者が最終的に習得すべき問題解決スキルを、状態の変化と認知的操作の系列として記述することで、システムごとの設計意図を構造的に表現できるようにするものである。

この枠組みを用いることで、学習課題と目標スキルとの整合性を検討したり、異なるシステムの支援方略や設計理念を比較したりする際の手がかりが得られる。また、共通するスキル構造を持つシステム間で、知見や設計資源を再利用するための基盤にもなりうる。

今後は、CCS の具体的な記述例を蓄積しながら、どのような記述粒度が適切か、どうすれば異なる記述間での共通性や違いを見出せるかといった点について検討を進めていく必要がある。最終的には、システム設計の透明性を高め、異なる研究や実践をつなぐ「共通言語」として CCS が機能することを期待したい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP25K21362, JP24K22761, JP24K16753 の助成を受けた。

参考文献

- (1) Derry, S. J.: "Cognitive schema theory in the constructivist debate," *Educational Psychologist*, Vol. 31, No. 3-4, pp. 163-174 (1996)
- (2) 古池謙人, 油谷知岐, 芦田淳, 森田海, 久乗皓大: "合目的な学習課題デザインに目掛けたドメインモデル設計プロセスの初期検討," 人工知能学会第102回先進的学習科学と工学研究会, pp. 38-43 (2024)
- (3) Koike, K., Aburatani, T., Ashida, A., et al.: "Are Cognitive Schemas Taught to Learners Same in Two Systems?: A Computational Approach," *HCI International 2025*, to appear (2025)
- (4) 平嶋宗: "作問学習に対する知的支援の試みと実践—組立としての作問および診断・フィードバック機能の実現—," *科学教育研究*, Vol. 43, No. 2, pp. 61-73 (2019)