

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00492

研究課題名(和文) 観点の違いを取り入れた階層構造の構築学習と洗練活動の支援に関する研究

研究課題名(英文) Research of a Learning Support System for Class Structure Mapping Based on Viewpoint

研究代表者

東本 崇仁 (Takahito, Tomoto)

東京工芸大学・工学部・助教

研究者番号：10508435

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：知識を構造的に構築することの重要性は広く知られており、特に多くの観点に基づいて柔軟にこの構造が構築されることが望まれる。本研究では、プログラミング、数学、物理学、論理学などの領域において、知識を構造的に整理させることや複数の観点で構造化させるための手法を提案し、その学習支援を実現した。結果として、様々な領域において知識の構造を構築させることができ、さらにこのような構造的な構築は、近年注目されているプログラミング教育の領域、特にオブジェクト指向言語などの領域におけるシステム設計(クラス設計)の領域においても活用できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The importance of constructing knowledge structurally is widely known, and it is particularly desirable that this structure be flexibly constructed based on many viewpoints. In this research, we proposed a method to structurally arrange knowledge in the fields of programming, mathematics, physics, logic, etc., and proposed a method to structurize from multiple viewpoints, and realized learning support. As a result, learners were able to construct the structure of knowledge in various areas. In addition, such structural construction has been shown to be applicable to the field of system design (class design) in the field of programming education (especially object oriented languages), which has attracted attention in recent years.

研究分野：知的学習支援システム

キーワード：知識の構造化 学習支援システム プログラミング的思考 コンピューショナルシンキング プログラミング学習 数学学習 異なる観点

1. 研究開始当初の背景

知識はただ盲目的に記憶するのではなく、有意味な構造として保存することが重要であることが多くの研究において指摘されている。たとえば、脊椎動物などをルートノードとする階層構造においては、上位・下位の関係にあるノードにおいては上位から下位のノードに属性(特徴)が継承され、同じ階層にある異なる概念においては必ず異なる属性(特徴)を持つという弁別がされていることを理解した上で、構造を理解することが大切である。

一方で、知識の活用の観点からすると、単一の構造としての理解だけでは不十分であり、いろんな観点で知識を構造として蓄積し、活用する目的に応じて使い分けることが大切である。たとえば、先の動物の事例においては、生息場所という観点から階層構造を構築したり、様々な観点での構造化が考えられる。このように多くの観点を考慮することは、プログラミングにおけるオブジェクト指向言語におけるシステム設計時などを適切に進めるための訓練ともなると考える。そのため、知識を観点の違いに基づいて階層構造として整理させる学習手法は重要である。一方で、このような学習手法においては未熟な学習者は誤ってしまうことが容易に想像され、適切なフィードバックを備えた学習支援システムの開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「知識を様々な『観点の違い』に基づいて階層構造として整理する能力の向上を支援する個別フィードバックシステム」の開発・実践である。学習者は日常生活や授業、書物から様々な知識を吸収し、学習者が保持する他の知識と関連付けて体系的に整理する。この体系の一つが階層構造である。しかし、オブジェクト指向言語に見るように、階層構造を適切に構築することは容易ではない。その原因の一つが、同じインスタンスを扱う場合であっても、注目する属性により異なる階層構造が構築されるという、階層構造の多義性である。本研究では、これを「観点の違い」と呼び、「観点の違い」に着目した階層構造構築スキルの育成を支援することで、より高度な階層構造構築能力の育成を支援する。このような多角的な視点で物事を理解することは現実の様々な局面において有用なスキルである。

3. 研究の方法

以下に、研究計画書に記載した各年度の計画を記す。

平成 27 年度

(1)システムの機能拡張:5W1H に基づいた複数観点での階層構造構築:先行研究においては、開発した階層構造構築学習支援システムを改良し、多角的な視点を獲得させるために、様々な観点での階層構造の構築を学習者に促す。知識を体系的に整理するために、5W1H の観点で情報を分類する研究を活用する。本研究では 5W1H 観点での階層構造を構築させるインタフェースと、診断機能を実装する。学習者は What 観点タブや Why 観点タブを切り替えて、論文中から各観点において適切な属性を選択し、階層構造を構築する。

(2)複数観点に基づいた階層構造の誤りの診断およびフィードバック:学習者が構築した階層構造は「観点对応していない属性の誤り」「不適切な抽象化」の 2 点について診断し、誤っている場合は誤りを可視化する。本システムを実現するために先行研究に加え以下の機能を実装する。「5W1H のタブごとに異なる階層構造の構築インタフェース」「論文から学習者がキーワードを選択し、階層構造のノード化するインタフェース」「各観点ごとの階層性を持つ領域知識(オントロジー工学の手法を応用)」「各論文がもつ属性」「不適切な抽象化に基づいた誤りの可視化」このうち領域知識については網羅的に記述することは困難であるため、本研究で対象とする論文を限定し、その範囲における階層的な領域知識を記述する。さらに、各論文がもつ領域知識もあらかじめ記述しておく。

(3)現場での実践:前述したとおり、既に現場の小学校教諭および中学校教諭、大学教授と平成 27 年度における利用について計画である。評価としては、下記の 2 点をメインに行う。診断機能および誤りの可視化機能の有効性:システムログから学習者が複数の観点において不適切な属性の抽出、不適切な階層化を行ったかを評価し、システムの機能によりそれが修正されたかを前後のログにより評価する。学習効果の調査:システム利用した実験群と紙面上で学習を行った統制群で、体系化の能力に差が出るかを調査する。具体的には複数の観点で階層構造を構築させるテストと、ある領域における説明テストを実施する。

平成 28 年度

平成 28 年度は、平成 27 年度に開発する 5W1H に基づいた階層構造の構築インタフェースと領域知識に基づいた診断システムを応用したシステムを開発する。27 年度は明示的に観点を提示し学習者に構築させるが、平成 28 年度は観点を提示せずに階層構造を構築させる。その上で、平成 27 年度の 5W1H の観点对応した領域知識を活用し、一定の観点で構築していない場合は、

観点が揺らいでいることをフィードバックとして与えるシステムを開発する。たとえば、What と Who の観点が混在した階層構造の構築などが予想され、その修正により一貫した観点での構築についてのスキルの獲得を支援する。

平成 29 年度

平成 29 年度は、専門家と初学者の階層構造の違いを分析し、初学者を専門家の知識体系へと近づける支援を行う。一般的に専門家は解法に基いて知識を体系化しているのに対し、初学者は見た目や状況に基づいた体系化をし易いことが知られており、その差を埋める形で洗練を支援する。

4. 研究成果

平成 27 年度

当初の計画通りのシステムを開発した。先行研究における階層構造構築学習支援システムを、多角的な視点（特に 5W1H の観点）における階層構造構築学習支援システムに改良するための要件定義、機能設計を行い、実際にシステムを開発した。具体的には、階層構造の構築について 5W1H の観点タブを用意し、タブを切り替えながら属性を選択し、階層構造を構築できるインタフェースの開発した。さらに、本システムでは「観点对応していない属性の選択の誤り」と「不適切な抽象化（過度な抽象化）」の 2 点についての誤りを診断し、それに対するフィードバック機能を実装した。

本研究では、複数論文を読み、それらの関係性を 5W1H の観点でまとめるように設定し、実際に大学の学生相手に評価を行った。本実験により、下記のこと が判明した。本システムの診断機能およびフィードバック機能は有効に働いていることが、学生のシステム利用ログより明らかになった。さらに、学習効果についてもシステムの利用の前後で効果が確認できた。ただし、紙面上での学習を行わせた統制群との比較実験では、成績の向上について有意な差が得られなかった。これは、紙面で正解をあらかじめ与えるだけでも、卒研を終えた 4 年生であれば学習を行えたことを意味する。ただし、システムでは正解を与えておらず、最終的に正解までいきついていない学生も存在したが、正解をすべて提示した統制群と同じ効果を得られたことは一定の成果であると考えられる。今後は、正解を与えるだけで成績の向上が期待できない領域において本システムの利用による効果を調査する必要がある。

平成 28 年度

平成 28 年度は、27 年度までに開発した観点に基づく知識の階層構造化支援システムを応用した種々のシステムを開発し、実践した。特にオントロジー工学の知見を活用した科目の階層構造と、それを複数の教科に展開した階層構造を元とした学習方法の転移システムでは、複数の異なる教科においても観点を定めることで類似した学習方法が転用できる可能性があることが示唆された。

また、プログラミング領域においては、要求（問題文）に合わせてソースコードをどのように（How）設計するかという通常のプログラミング学習の観点から、あるソースコードが与えられたときにその要求がなんであったか（What）、なぜそのソースコードが作られたか（Why）について考えさせる学習方法を提案した。さらに、How 観点と What、Why 観点の両方を学習できるシステムを開発することで、異なる観点でのプログラムの考え方を学習させる方法を実現した。さらに、システムでは、知識を明示的にチャンキングするための仕組みを関数の構築を通して実現した。これにより、一定の観点で知識を追加していくフレームワークを提供することができた。

さらに、一定の観点で思考することを支援するために論理的思考力の育成支援システムも開発した。本システムでは、学習者に複数の命題を与え、それらを事実、論拠、主張に整理させ、論理構造を論証図として作らせることを要求する。さらに、システムは個々の命題を述語論理形式でデータベースとして保存し、学習者が構築した命題の関係性を解析し、適応的な診断を行う機能を有する。これにより、学習者の主張に対して根拠や論拠が間違っていることなどをフィードバックとして実現できた。

数学領域においても、記号的表現と図形的表現の二つの観点を取り扱い、二つの観点の関係性を理解させる学習支援システムも開発した。これにより、2 つの観点を統合した思考の育成を行った。

平成 29 年度

平成 29 年度は、27 年度に開発した論文を対象とした観点に基づく知識の階層構造化支援システム、それをベースとした 28 年度の各領域（プログラミング、論理、数学）における知識構造の構築支援システムを発展させ、より高度な知識の構造化支援システムを開発した。特に、プログラミング領域および数学の領域において発展させ、システムの開発および実践を行い、それを国際会議や学術論文として発表できた。オブジェクト指向プログラミングなどにおけるシ

システム設計においては、機能の階層的整理が重要であり、この実現のためにはボトムとして活用できるプログラミングのためのコードのまとめ(以下部品と呼称)の獲得が重要である。本年度は、この部品について段階的に拡張する手法について提案し、その学習支援システムを開発し、実験を通して効果を確認し、国際会議、学術論文として発表した。さらに、部品の構造化のために処理、振る舞い、機能の3観点でプログラムを定義し、複数観点を視野に入れた構造化のためのモデルを提案した。また、プログラムの振る舞いそのものがわからない人に関しては、振る舞いをトレースさせ、その実行結果を確認させるシステムも補助的に開発、実験を行い、同様に国際会議、学術論文として発表した。

数学の領域においては、数学における表現である、記号的表現(数式などの文字を用いた表現、一般的な解法に相当)と、図形的表現(解法に対応した図)についての理解を促進するために、両表現の相互変換機能を有するシステムを開発し、両表現の関連付けを支援するシステムを開発した。これについても実験を通して評価を行い、国際会議、学術論文として発表した。これは、通常の数学学習においては解法のみ構築できていれば正解となるが、熟達者は自身の表現した文や数式の意味を深く理解しており、図的に表現できることから、初学者をこのレベルに誘導しようとした試みである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

東本崇仁, 赤倉貴子, “提案するプログラムトレース課題のための学習支援システムの開発とその実践,” 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J101-D, No. 6, pp.810-819 (2018).

黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, “軌跡を題材とした数学の表現変換と能動的誤りの発見支援機能を有する学習支援システムの開発と評価,” 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J101-D, No. 6, pp.864-873 (2018).

古池謙人, 東本崇仁, “プログラミングにおける構造的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, 査読有, vol. 35, no. 2, pp. 215-220, (2018).

東本崇仁, 赤倉貴子, “プログラムトレース課題の提案と学習支援システムの開発,” 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, vol. 99, no. 8, pp. 805-808, (2016).

[学会発表](計 42 件)

K. Kurokawa, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima, “Development of a Mathematical Solution Environment to Understand Symbolic Expressions in Mathematics,” Int. Conf. Hum. Interface Manag. Inf., p. Acceptance as a full paper, 査読有, (2018).

K. Koike, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima, “Proposal of a Framework for Stepwise Task Sequence in Programming,” Int. Conf. Hum. Interface Manag. Inf., Acceptance as a full paper, 査読有, (2018).

平本千裕, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, “Error-Based Simulation に対する力・加速度・速度・運動間の関係性理解支援機能の開発,” 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 82, pp. 79-84, (2018).

植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, “速度・重量の観測器による誤りの可視化を目的とした力学学習支援システムの開発と評価,” 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 82, pp. 73-78, (2018).

古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, “プログラミング学習を対象とした課題系列の拡張,” 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 82, pp. 7-12, (2018).

黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, “解答テンプレートを用いた軌跡を題材とした記号文の図形的フィードバックによる能動的誤りの発見支援機能を有する学習支援システムの開発,” 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 82, pp. 1-6, (2018).

古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, “プログラミング課題を対象とした課題系列の構築,” JSiSE 学生研究発表会, p. A04, (2018).

K. Kurokawa, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima, “A Learning Support System for Mathematics with Visualization of Errors in Symbolic Expression by mapping to Graphical Expression,” Work. Proc. Int. Conf. Comput. Educ. ICCE 2017, 査読有, pp. 461-470, (2017).

K. Koike, T. Tomoto, T. Hirashima, “Proposal of a Stepwise Support for Structural Understanding in Programming,” Work. Proc. Int. Conf. Comput. Educ. ICCE 2017, 査読有, pp. 471-481, (2017).

- T. Tomoto, T. Akakura, "Report on Practice of a Learning Support System for Reading Program Code Exercise," Int. Conf. Hum. Interface Manag. Inf., 査読有, pp. 85-98, (2017).
- 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段階的な課題系列の検討," 電子情報通信学会技術研究報告(ET), vol. 117, no. 296, pp. 47-52, (2017).
- 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, "力学問題における速度・重量の観測器を導入した誤りの可視化による学習支援システムの開発," 電子情報通信学会技術研究報告(ET), vol. 117, no. 296, pp. 41-46, (2017).
- 古池謙人, 山添崇, 東吉彦, 東本崇仁, "視覚刺激の提示位置が一時記憶に及ぼす影響," 第8回 AFS 研究会×而立の会(日本感性工学会), (2017).
- 小山俊哉, 東本崇仁, "内省を指向したノートリビルディングシステムの蓄積機能及び関連付け機能開発," 教育システム情報学会特集論文研究会研究報告, no. 8, pp. 227-234, (2017).
- 古池謙人, 東本崇仁, "プログラム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特集論文研究会研究報告, no. 8, pp. 211-218, (2017).
- 石井悠斗, 東本崇仁, "役割設定型オンライン協調学習支援システムの開発と評価," 教育システム情報学会第6回研究会研究報告, no. 8, p. 211-218, (2017).
- 岡野稜平, 東本崇仁, "文型を利用した英語アプリの開発," 教育システム情報学会第6回研究会研究報告, no. 8, pp. 111-118, (2017).
- 廣瀬健太郎, 東本崇仁, "学生の理解状況に基づいたペア構築及び学生間の教えあいのための講義システムの開発," 教育システム情報学会第6回研究会研究報告, no. 8, p. 31-38, (2017).
- 浅野直人, 東本崇仁, "論証図インタフェースと適応的フィードバック機能を備えた論理力育成支援システムの開発," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 79, pp. 85-90, (2017).
- 綾部沙樹, 古池謙人, 東本崇仁, "複数科目の階層化に基づいた学習方法の転移支援システムの開発," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 79, pp. 45-50, (2017).
- ②① 古池謙人, 東本崇仁, "プログラミング学習における部品の段階的拡張手法の提案," JSiSE 学生研究発表会, p. B01, (2017).
- ②② 黒川魁, 東本崇仁, "数学における記号表現から図形表現の変換機能と能動的誤りの発見支援機能を有する学習支援システムの開発," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 79, pp. 33-38, (2017).
- ②③ 渡辺圭祐, 東本崇仁, 藤森進, 赤倉貴子, "プログラム意味理解学習におけるソースコード構造化の枠組みに基づく補助問題出題機能の設計・開発," 電子情報通信学会技術研究報告(ET), vol. 116, no. 517, pp. 85-88, (2017).
- ②④ 黒川魁, 東本崇仁, "数学的表現の変換機能を用いた能動的誤りの可視化機能を有する学習支援システムの設計," JSiSE 学生研究発表会, p. B05, (2017).
- ②⑤ 黒川魁, 東本崇仁, "数学問題における図形的表現と記号的表現の相互変換および能動的誤りの自発的発見支援システムの開発," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(第77回), pp.35-37(2016).
- ②⑥ 古池謙人, 東本崇仁, "段階的な設計能力の向上を目的としたブロック育成型学習支援システムの提案," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 78, pp. 35-38, (2016).
- ②⑦ 堀口知也, 東本崇仁, 平嶋宗, "力学の概念的理解における問題系列の効果について," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 78, pp. 1-5, (2016).
- ②⑧ 黒川魁, 東本崇仁, "数学問題における図形的表現と記号的表現の相互変換および能動的誤りの自発的発見支援システムの開発," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, vol. 77, pp. 35-38, (2016).
- ②⑨ 渡辺圭祐, 東本崇仁, 石井隆稔, 藤森進, 赤倉貴子, "プログラミング学習における漸進的学習のための構造の提案," 日本教育工学会第32回全国大会講演論文集, pp. 597-598, (2016).
- ③⑩ 新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, "観点に基づく階層構造構築のための学習支援システムの開発," 信学技報, Vol. 115, No. 319, pp.5-8, 2015.11.20, 木更津高専.
- ③⑪ 東本崇仁, "誤りの可視化を用いた構造構築学習支援システムについての検討," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(第75回), pp.17-22(2015.11).
- ③⑫ 古池謙人, 東本崇仁, "FPS を対象とした瞬間判断能力の育成システム," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(第75回), pp.50-53(2015.11).
- ③⑬ 東本崇仁, 浅井華奈, 田村友里奈, 赤倉貴子, "プログラムリーディング課題のための学習支援システムの開発および評価," 信学技報, Vol. 115, No. 50, pp.7-10, 2015.5.23, 千葉工大.

- ③④ 渡辺圭祐, 東本崇仁, 赤倉貴子, “段階的抽象化を用いたプログラムを読む学習の支援システムの開発とその評価,” 信学技 報, Vol.115, No.50, pp.49-54, 2015.5.23, 千葉工大.
- ③⑤ T. Arai, T. Tomoto, T. Akakura, “Development of a Learning Support System for Class Structure Mapping Based on Viewpoint,” in International Conference on Human Interface and the Management of Information, 査読有, 2015, pp. 285-293.
- ③⑥ 渡辺圭祐, 東本崇仁, 赤倉貴子, “段階的抽象化によるプログラミング学習支援システムの開発,” 2015年電子情報通信学会総合大会情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション予稿集, p. 212, (2015).
- ③⑦ 新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, “観点に基づく階層構造の構築を目的とした属性の選択のための学習支援システムの開発,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 114, no. 441, pp. 1-4, (2015).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

東本崇仁 (TOMOTO, Takahito)

東京工芸大学・工学部・助教

研究者番号: 10508435

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

()