

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23700987
 研究課題名（和文） コンセプトマップの個別診断及び誤りの可視化シミュレーション学習支援システムの開発
 研究課題名（英文） Development of Learning Support System with Individual Diagnosis and Error-based Simulation for Concept Map
 研究代表者
 東本 崇仁（TOMOTO TAKAHITO）
 東京理科大学・工学部経営工学部・助教
 研究者番号：10508435

研究成果の概要（和文）：本研究は、自らの知識の構造を理解するためには自己の知識構造の可視化が重要であることを背景に、学習者に自己の知識構造の可視化をするための手法であるコンセプトマップを構築させ、個別診断・誤りの可視化シミュレーション学習支援システムを実際に開発した。本来コンセプトマップは知識の可視化において有効であるが、個別診断やモチベーションの低さから修正を行うことは難しく、その点を解決したことが主に本研究の意義である。本システムは、実際に中学の授業の中で利用され、知識の構造化が促進されることが確認された。

研究成果の概要（英文）： In this research, we developed learning support system with individual diagnosis and Error-based Simulation for concept map. Concept map is useful tool for visualization of learners' knowledge structure. It is important for them to visualize their knowledge structure for their understanding. Learning by construction of concept map, however, required to adjust correctly when they have error concept. Each of learner constructs individual map. Therefore, it is necessary to diagnose individual map and to provide motivation for adjustment. Our system solved this problem. In addition, junior high school students used our system in their class. As a result, their knowledge structure is improved.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：教授学習支援システム、知的学習支援システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究の位置づけ

コンセプトマップの学習利用についての研究は国内・国外で多く行われている。コンセプトマップは、概念をノード、関係のある概念間をリンクで結び、関係の内容をリンク語句を用いて表現したグラフ構造である。コンセプトマップの学習利用は様々な形態が存在するが、本研究は学習者自身にコンセプト

マップを構築させることで理解を促進させる主旨での利用に位置する。

(2) コンセプトマップ構築作業の有効性と問題点

学習者自身にコンセプトマップを構築させることは、対象の学習領域のモデルを構築させる活動であり、対象領域の理解およびモデルの設計能力の育成に効果的であるとされており、かつ自己の知識状態を内省する契機

となる。

しかし、同じ内容を記述する際でも各学習者のコンセプトマップは多様な記述となり、個別診断は容易ではない。また、学習途上である学習者は誤りを犯すため誤りの修正が必要となるが、学習者は自己の知識に執着する傾向が強いため、コンセプトマップの修正もまた容易ではなく、強い動機づけが必要である。これらの理由より、教師のみでの現場での実施は現実的に難しい。そのため、計算機による学習支援が重要であることが研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

学習者のコンセプトマップを個別に診断し、その結果を元にもし誤っていれば「誤答が正しいとすればどのようなおかしなふるまいになるか」を可視化する誤り可視化シミュレーションを用いて、自己の知識の修正に対しての強い動機を誘発するために、「学習者自身によるコンセプトマップ生成インタフェース」「学習者の作成したコンセプトマップの診断機能」「診断結果に基づいた誤りの可視化シミュレーション機能」の3つを兼ね備えた学習支援システムを開発（詳細は下記）すること、およびそれを現場の中学校で活用し、学習者の知識の構造化を促すことが研究目的であった。

3. 研究の方法

研究機関内に下記を行うことで目的を達成した。

(1) 分野・領域の制約

コンセプトマップの特色を発揮するために、数量的な関係の記述ではなく、概念間の関係が重要である【生物の分野を対象】とした。

(2) コンセプトマップの制約

コンセプトマップ構築は一般的な方式の一つである【ノードを全て与え、リンクを学習者に考えさせる方式】を採択し、リンクの種類は、領域知識の記述法であるオントロジー工学に基づき、最重要概念の Is-a 関係（概念間の階層性、例えば、「被子植物は種子植物の一種である (Is-a)」）と Part-of 関係（概念が持つ特徴、例えば、「被子植物はおしべ・めしべという特徴を持つ (Part-of)」）に制限した。

(3) システムの開発・評価手順

① 予備実験

学習者に紙面上で生物領域を対象とした

コンセプトマップの構築を行うテストを実施し、誤りの種類を同定した

② システム設計（概要）

対象領域における正解となるコンセプトマップの記述と、正解と学習者の解答の差分を特定し誤り箇所を同定する診断機能の設計および差分に基づくおかしなふるまいの可視化シミュレーション機能の設計を行った。

③ システム設計（取扱う内容・課題）

図1はシステム上で与えられる階層性をもつ知識構造に関するコンセプトマップの正解例である。図2は図1に関して実際に学習者に与えられる課題例である。学習者は階層における継承関係や弁別関係を理解するために、各植物が持つ属性がどのようにリーフノードに継承されるかを考え、コンセプトマップの構築を行うことで、自らの知識を振り返り、必要があればシステムのフィードバックにより再構成する。

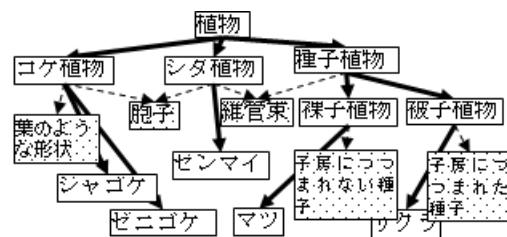


図1. 階層性を持つコンセプトマップの例

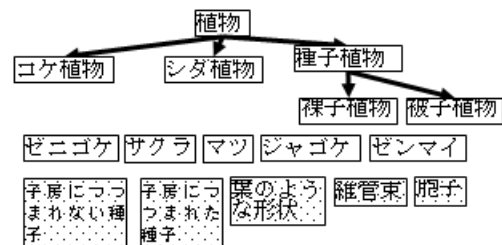


図2. 学習者に与えられる課題例

④ システム設計（個別診断）

本システムは、属性の継承による学習者の知識構造の洗練を目的としているため、継承先であるリーフノードに適切な属性が継承されているかどうかにより個別診断を行う。図1の問題において各リーフノード（インスタンス・具体的な植物）に継承される属性を表1にまとめた。

表 1. 正解におけるインスタンスの属性

ジャゴケ	ゼニゴケ	ゼンマイ	マツ	サクラ
孢子 葉のよう な形状	孢子 葉のよう な形状	孢子 維管束	子房に包 まれない 種子 維管束	子房に包 まれた種 子 維管束

仮に学習者が何らかのコンセプトマップの構築の誤りを生じた時、上記の表との比較により、各リーフノードのいずれかに属性の不足・余剰が発生する。この差分により学習者の作成したコンセプトマップを個別に診断することが可能となる。

④システム設計（誤りの可視化）

誤りの可視化は、学習者に学ばせたい内容に基づいて設計される必要がある。本学習支援環境では、図 1 の各階層の弁別が可能な「葉のような状態（葉状体）と維管束の存在の有無」と「種子と孢子の違い」、「子房に包まれた種子と包まれない種子の違い」についての属性（図 1 の灰色部）を扱う。これらの属性は、植物の成長の過程で差を表現することが可能であり、本研究では植物の成長過程にしたがって属性を表 2 のように分類し、表 2 に基づいた可視化内容を表 3 のように設計した。

表 3. 植物の成長過程と関連した属性

初期状態	成長の仕方	繁殖の仕方
孢子 子房に包まれた種子 子房に包まれない種子	葉のような状態 維管束	孢子 子房に包まれた種子 子房に包まれない種子

表 4. 植物の属性と可視化内容

植物の属性	可視化内容
孢子	小さな点
子房に包まれた種子	大きな丸. 果肉に包まれた様子
子房に包まれない種子	中間の大きさ. むきだしの種
葉のような状態	根・茎・葉の区別がない状態.
維管束	根・茎・葉の区別がある様子

4. 研究成果

(1)実装されたシステム

2. 研究の目的で述べた「学習者自身によるコンセプトマップ生成インタフェース」を図 3 に示し、学習者の作成したコンセプトマップの診断機能とそれに基づいた誤りの可視化シミュレーション機能による可視化結

果を図 4, 正しいマツの成長過程を図 5 に示す。

図 3 に示したコンセプトマップ生成インタフェースでは、リーフノードの名前から直接属する植物を推測できないように名前ではなく画像で表示している。リーフノードと画面右部の属性を既に構造化されているノードに連結することを要求されている。

図 4 は、学習者がマツの画像に対し、葉状体（葉のような形）の属性を継承した例である。この場合、マツというリーフノードに葉状体という余計な属性が付与される。そこでシステムは表 2 のプロセスと表 3 の属性と可視化内容に基づいて、本来であれば図 4 のように初期状態→成長の仕方→インスタンスと同じ状態→繁殖と遷移するマツについて、成長の仕方のステップで根・茎・葉の区別のない画像を描画している。これにより、学習者は適切に植物が成長していない様子を観察し、自らのコンセプトマップのどこかに誤りが含まれていることに気づき、自ら修正を行うことになる。

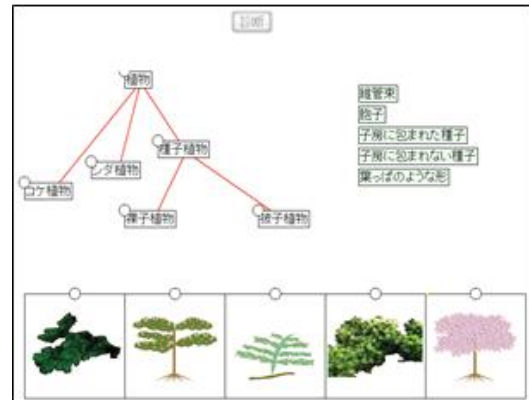


図 3. コンセプトマップ生成インタフェース

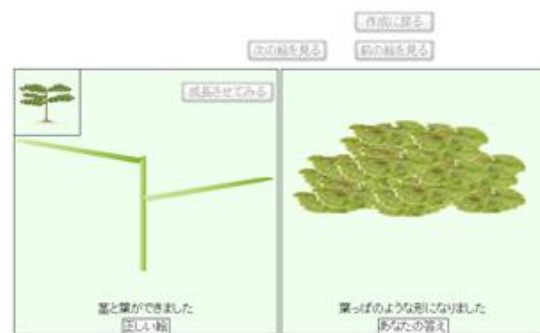


図 4. 誤りの可視化例



図 4. マツの成長過程の例（正解のプロセス）

(2) 中学校における実施の結果

(1) 実装されたシステムを実際の中学校で用いた結果について報告する。本実践は中学1年生29名、2年生31名の協力の元行われた。本実践は、各クラスに対して合計1コマ(45分)の授業内に行われた。実践の手順は以下のとおりである。

- i. 事例を用いたコンセプトマップについての説明(5分)
- ii. 事前テスト(10分)
- iii. システム利用(20分): 図3の課題を1問
- iv. 事後テスト(10分)

事前テストと事後テストについては、コンセプトマップを構築させる問題を2問取り扱った。なお、片方の問題についてはシステムで扱った植物問題に關与した範囲であるため学習課題と呼び、他方についてはシステムで扱っていない動物問題に關与した範囲であるため転移課題と呼ぶ。システム利用は20分と短時間であり、さらにシステム内で扱った問題は2問であったが下記の表5, 6, 7のような結果を得ることが出来た。

各属性を最終的に適切なリーフノードに継承できていた場合、各リーフノードごとに正解した各属性数を点数とし、合計点を成績としたところ、表5の結果になった。中学1年生、2年生ともに事前から事後にかけて平均点が向上していることがわかる。表7には、本結果を課題の差(学習課題と転移課題)と時期の差(事前・事後)をそれぞれ要因としてについて、時期要因について有意な差が見られたが、課題要因について差が見られなかったことから、システムの利用の前後により成績は向上しており、かつ転移した範囲においても有効であったことがわかった。

表6は最終的な継承関係以外の、ノードとリンクの関係について正解のリンク数をいくつ過不足なく再現できているかについて検証した。毛かとして、事前から事後にかけて成績が向上しており、個々の関係性についても理解が促進されたことがわかる。

表5. 事前・事後の属性の正解平均(標準偏差)

	学習課題		転移課題	
	事前	事後	事前	事後
1年生	4.9(3.5)	7.2(3.5)	4.8(3.9)	6.0(4.0)
2年生	2.4(3.2)	7.2(2.9)	1.6(3.0)	7.5(3.8)

表6. 正解マップとのリンクの平均一致度

	学習課題		転移課題	
	事前	事後	事前	事後
1年生	0.49	0.57	0.43	0.52
2年生	0.30	0.65	0.22	0.71

表7. 課題要因と時期要因の分散分析結果

(a) 1年生について

1年生	df	F値	結果
時期要因	1	3.93	p<.01
課題要因	1	3.93	n. s.
交互作用	1	3.93	n. s.
繰り返し誤差	112		

(b) 2年生について

2年生	df	F値	結果
時期要因	1	3.92	p<.01
課題要因	1	3.92	n. s.
交互作用	1	3.92	n. s.
繰り返し誤差	120		

(3) 研究成果のまとめ

本研究では、学習者の理解状態を可視化させるためのコンセプトマップを用いて、誤っている場合に修正のモチベーションを換気するための誤りの可視化機能をもつシステムを開発した。システムは、生物の領域においてデザインされ、実装された。中学校で活用したところ、短時間の利用においても知識を構造化させる問題において学習者の理解状態を大きく促進できることが明らかとなった。

(4) 国内外におけるインパクトおよび波及効果

本研究は、従来フィードバックが重要とされておりながらも、診断やフィードバックが困難であった領域の一部において個別に診断し、フィードバックを与えることができたという貴重な事例である。本研究は、ツールとしてコンセプトマップを用いており、このような汎用的な記法において、質的に評価をし、フィードバックを行う研究は国内外においてほとんど行われていない。また本研究もコンセプトマップをツールとして用いているが、対象領域において適切に特徴と可視化を結びつけることができれば、誤りの可視化が行え、しかも学習者にとって効果的であることが明らかになった。

同時に、本研究は誤りの可視化の範囲においても重要な意味を持つ。従来、誤りの可視化は数値計算を対象とした物理などの領域において実現されることが多く、生物のように直接数値を対象としない領域においてシミュレーションし、可視化した貴重な事例となる。本研究は対象領域として生物を扱ったが、同様の手法でコンセプトマップを意味的に作成できる範囲であれば誤りの可視化を行える可能性を示すことができた。

従来誤りの可視化シミュレーションが対象としていた範囲

ホームページ等
<http://www.takahito.com/>

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1件)

(1) 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "誤りの可視化による階層構造の理解を指向したコンセプトマップ構築学習の支援環境", 教育システム情報学会誌, 査読有, Vol. 30, No. 1, pp. 42-53, 2013.1

〔学会発表〕(計6件)

(1) 国際会議 (査読あり)

① Takahito Tomoto, Isao Imai, Tomoya Horiguchi and Tsukasa Hirashima, "Error-based Simulation for Learning of Meaning of Class Structure by Concept Mapping", Proc. of ICCE2012(11 poster acceptance in 23 submissions; acceptance rate 48%)(2012.11.27), Singapore.

② Takahito Tomoto, Isao Imai, Tomoya Horiguchi and Tsukasa Hirashima, "Error-based Simulation in Dynamics and Its Evaluation in Junior High School", Proc. of ICCE2011, pp. 81-85(90 short paper acceptance in 244 submissions; acceptance rate 37%), (2011.12.1), Chang-Mai, Thailand.

③ Takahito Tomoto, Takako Akakura, Satoko Sugie, Yuri Nishihori and Keizo Nagaoka, "Collaborative Knowledge Construction Using Concept Maps for Cross-cultural Communication", Proc. of UBICOMM2011, pp. 180-186 (The acceptance rate varies from 28% to 42%)(2011.11.24), Lisbon, Portugal.

(2) 国内発表(査読なし)

④ 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "階層構造の意味的理解のための誤りへのフィードバック環境の設計と評価", 教育システム情報学会第37回全国大会公演論文集, pp. 270-271 (2012.8.22), 千葉.

⑤ 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "知識の体系化を指向したコンセプトマップ構築学習の支援環境の開発", 教育システム情報学会第36回全国大会公演論文集, pp. 124-125 (2011.8.31), 広島.

⑥ 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "生物領域におけるコンセプトマップ構築学習のための誤りの可視化", 第62回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST), pp. 1-6 (2011.7.29), 千葉.

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東本 崇仁 (TOMOTO TAKAHITO)
東京理科大学・工学部経営工学部・助教
研究者番号: 10508435