

Social Knowledge Map : 学習者の理解状況把握のための知識マップ分析ツール

尾ノ上 晃^{1,a)} 山田 政寛¹ 島田 敬士¹ 峰松 翼¹ 谷口 倫一郎¹

概要 : 本研究では, 教師や学習者が知識マップを分析し, 教育活動を実施するための有用な情報の把握を容易にするシステムを構築する. 学習者は, 自身の学習活動を反映するために独自の知識マップを作成する. 本システムは, 学習者個人の知識マップを収集し, それらを統合した知識マップ「Social Knowledge Map (SKM)」を生成する. 本システムにより, 知識マップのインタラクティブな可視化と分析を可能にする. 教育科学分野の教授と教育技術を研究する学習サポータを対象にアンケートによる評価実験を行い, 本システムの有用性を評価した. 実験の結果, システムの有用性に関して肯定的な回答が得られた. また, より多くの分析機能の実装と他の種類の学習ログとの併用の必要性が明らかとなった.

1. はじめに

Information and Communication Technology (ICT) の普及により, 教育分野におけるデジタル学習環境が普及しつつある. デジタル学習環境を活用することによって収集されるログデータから学習行動を分析し, データを分析し, その結果に基づいて教師の教育活動や学習者の学習行動を理解することは, 教育・学習手法を改善する際に重要な役割を果たし, ラーニングアナリティクス (LA) の研究領域においても重要な課題である. 経験則ではなく実際の分析結果に基づいて教育手法を改善することは, 学習者の知識獲得状況を明らかにし, その状況に応じて短時間で適応的に学習するなどの学習効率を向上させるうえで重要なプロセスである.

学習内容の知識獲得状況を把握するためのツールのひとつに, ノードを知識, リンクをその知識間の関係として表す知識マップがある. 知識マップを用いて学習内容を体系立てて理解することにより, 新たに学んだ内容の理解も促進される利点がある. 知識マップの使用が, 学習者の学習状況の理解 [1] や学習/教育戦略の開発, 自身の学習の復習, 学習効果の強化 [2] などに効果的であることが示されている. Show ら [3] は, プログラミング教育の設定において, 知識マップが学習パフォーマンスと, 初心者学習者の自己効力感と満足度の向上の両方に効果的であることを示した. また, 知識マップを使用することにより, アイデ

ア生成の促進 [4], 協調学習環境下における学習者同士の対話を通じた学習効果の向上 [5] に貢献することが明らかとなった. 加えて, 教師の観点から知識マップを活用した学生の評価も行われている. Watson らは [6], 個々の知識マップの新しい評価戦略を検討した. Yin ら [7] は, 学習プロセスデータと学習パフォーマンスデータの両方をクラスタリングすると, 教師は効果的な学習スタイルを理解可能であることを示した. 知識マップの教育的効果を考慮すると, マップ作成ツールとマップ分析システムの統合は, 教育・学習活動の改善を促進し, 学習分析へのアプローチとして学習者の理解プロセスを明らかにするための強力なツールとなる. 本研究では, 教育者と学習者の知識マップの分析・活用をサポートするための, 既存のデジタル学習環境と知識マップのインタラクティブな可視化ツールを統合する新たなシステムを提案する. 本システムは, 学生自身が作成した知識マップ統合したマップをベースとして, 知識マップに関する様々な分析結果を Web ブラウザ上で可視化することにより, コースの内容が学習者によってどのように整理されているかを示す. この情報は, 教師・学習者の教育・学習活動を反映しているため, 教師と学習者の双方にとって重要な情報となる.

2. 知識マップ分析

2.1 システム概要

Social Knowledge Map システム (SKM システム) は学生の学習ログを収集および分析し, 可視化した情報に基づいてステークホルダーが容易かつ便利に理解できるように支援する. 本研究は教師や, 学習意欲の高い学習者のみを対

¹ 九州大学
Kyushu University
^{a)} onoue@limu.ait.kyushu-u.ac.jp

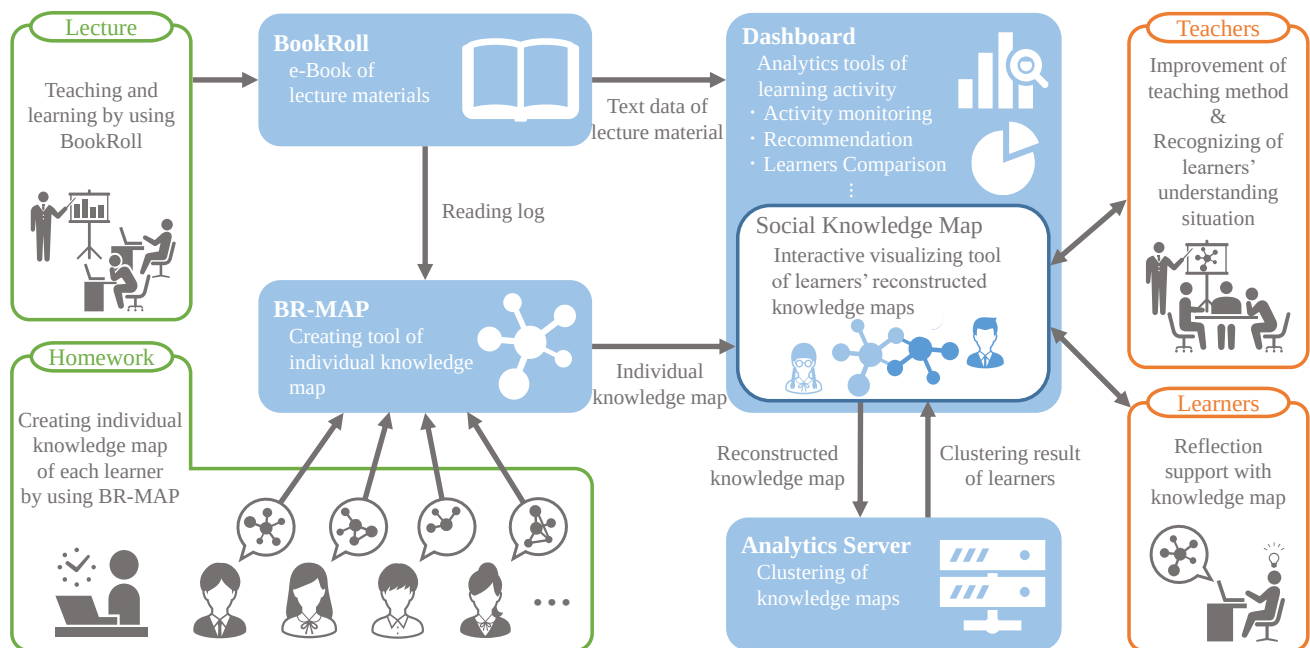


図 1 SKM システム構成図

象とするものではない。学習者の学習行動と分析結果を反映する SKM システムの使用をきっかけとして、学習意欲が低くドロップアウトのリスクが高い学生の関心を高める用途もある。本章では、提案する SKM システムの概要、既存の LA システムである BookRoll[8] および BR-Map[9] との連携方法について述べる。

SKM システムの構成の概要を図 1 に示す。本研究において SKM システムを用いるためには、講義資料の閲覧ログ（マーカー、メモ情報）が取得可能なデジタル講義資料閲覧環境を用いた講義の実施、知識マップ作成ツールを用いて収集された学習者固有の知識マップデータの収集が必要条件となる。本研究では、BR-Map を用いた知識マップ作成に BookRoll[8] を、知識マップ作成ツールに BR-Map[9] を採用する。既存の LA システム（BookRoll および BR-Map）は、学習支援ツールの提供のみでなく関連データの保存場所としての役割も果たす。BookRoll データベースには、講義資料のテキストデータと学習者の講義資料の閲覧ログが保存される。BR-Map データベースには、知識マップを作成したコース情報、BR-Map システムユーザ、知識マップが保存される。知識マップは、最新版のデータのみでなく、ノードやリンクの追加などのイベントが発生すると逐次新たなレコードとして保存される。また、SKM のキーワード候補とストップワード（SKM に適さないキーワード）に関するデータは、ダッシュボードに設置されたデータベースに保存される。これらのデータは、知識マップの構造決定以外にも、講義資料内のキーワードの登場回数カウントやキーワードに関連するテキストメモ表示など SKM システムの機能を充実させるためにも用いられる。

なお、本研究では SKM システムで使用するデータの作成過程において 4 種類の知識マップが登場するが、それぞれ以下の呼称を用いて説明する。

- Original Knowledge Map (OKM): BR-Map[9] を使用して学習者個人が作成した知識マップ
- Reconstructed Knowledge Map (RKM): OKM を基にノードとキーワードが一对一対応するように再構築された学習者個人の知識マップ
- Social Knowledge Map (SKM): 全学習者の RKM を統合した知識マップ
- Clustered Knowledge Map (CKM): RKM の構造に基づく学習者のクラスタリングの結果、同一クラスタに含まれる学習者の RKM を統合した知識マップ

教師および学習者は以下の手順で、SKM で使用するデータを作成する。

- (1) 教師は Moodle と BookRoll システムを使用して講義を実施
学習者は BookRoll システムで講義資料を開き、講義資料にマーカーまたはメモを付与
- (2) 各学習者は、BR-MAP システムを使用して個々の知識マップ (OKM) を作成

SKM 使用時のデータ作成および使用手順は以下の通りである。

- (3) 教師と学習者が SKM を使用する講義を選択

- (4) SKM システムにおけるステップ2で作成された知識マップの再構築 (RKM の作成)
- (5) SKM システムにおける学習者の知識マップ統合 (SKM の作成) およびキーワード注目度の推定
- (6) SKM システムにおける再構築された知識マップに基づいた学習者のクラスタリング (CKM の作成)
- (7) 教師と学習者が SKM システムを使用

2.2 RKM の作成

デジタル講義資料閲覧ツール「BookRoll」[8], および BR-MAP ツール [9] を用いて学習者個人の知識マップ Original Knowledge Map (OKM) を作成する. BR-MAP ツールは, BookRoll の閲覧ログに基づく知識マップ作成ツールである. 各学習者は, BR-MAP ツールを使用して自分の学習マップを作成し, 自身の学習活動を反映する.

多くの学習者が作成した個々の知識マップ (OKM) を収集した後, SKM や CKM の作成を容易にするために OKM を再構築し Reconstructed Knowledge Map (RKM) を作成する. OKM においては, 学習者がデジタル講義資料上にひいたマーカのテキストデータがノードとして採用される. よって, 複数のキーワードを含むノードや, 反対に1つも含まれないノードが存在する. また, 異なるノードが同一のキーワードを含む場合もある. よって, BR-Map で使用されたノードをそのまま SKM に適用することはできない. 本研究において OKM を統合する際, 同一のキーワードは1つのノードにまとめる. ゆえに, 以下の2ステップからなるノードの統合・分割プロセスを行うことで, キーワードとノードとの一対一対応を取り, SKM で使用するノードを決定する.

- (1) 形態素解析による SKM・CKM に適したキーワード候補の抽出
- (2) 正規化レーベンシュタイン距離に基づいた類似キーワードの統合

さらに, ノード間のリンクを分析し, 接続されたノードの状態に応じて分割・統合を行う. ノードとリンクの処理後, 各学習者の再構築された知識マップ (RKM) を得る (ノードおよびリンクの統合・分割プロセスの詳細については [10] を参照).

2.3 SKM の作成

ノードの分割・統合とリンクの分割・統合プロセスの後, 各学習者の再構築された知識マップ (RKM) を得る. すべての学習者の RKM を統合することで SKM を作成する. RKM において, ノード間のリンクは重み付きリンクである. 複数の学習者が同一組み合わせのキーワード間にリン

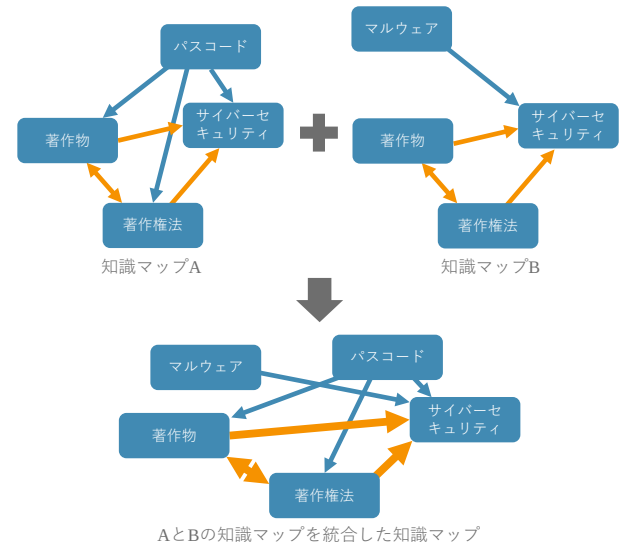


図2 知識マップ (RKM) の統合

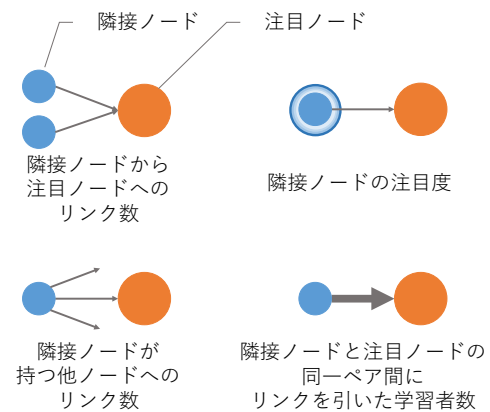


図3 注目度の決定要因

クが存在する場合, 学習者の数に比例してリンクの重みが増加する.

次に, SKM から学習者が注目する知識を発見するために, SKM に中心性アルゴリズムを適用する. 本研究では, 我々が [10] で提案した中心性アルゴリズムによって各キーワードの注目度を算出する. 本中心性アルゴリズムでは, 主に図3で示す要因を考慮する. どのキーワードに対する注目度が高いのかという情報は, 教師にとって重要な情報となる. 本アルゴリズムによって注目度が高いとされるキーワードが, 講義においてコアとなる知識や教師が重要であると考えたキーワードと一致する場合, 教師は講義を通して伝えなかった内容を学習者が正しく理解しているみなすための有益な判断材料となる. 教師が重要と考えるキーワードの注目度が低い場合, 教師は教育戦略の修正を検討する際の一助となる.

2.4 CKM の作成

知識マップは, 学習者が学習した内容を整理して理解する方法を反映したネットワークである. 実際の教育状況で

は、教師は講義だけでなく、さまざまなタスクも複数持っている。したがって、学習者の知識獲得状況を把握したい場合でも、多くの時間を費やすことは困難である。このため、多くの学習者の個々の知識マップを逐一確認することは容易ではない。本研究の目的は、教師が学習者の知識マップを簡単に分析し、教育活動を行う際に有用な情報を提供することである。さらに、知識マップを使用して、学習者が学習内容の理解を深めることを目指す。知識マップに基づいた学習者のクラスタリングが可能になれば、教師による学習者の理解パターンを把握や、知識構造の特徴別にサマリーなどを作成する際に役立つと考えられる。その情報をもとに、クラスタリング結果に基づいて教師が教育設計を検討し各学習者に適切な情報を提供すると、学習者の理解を向上させることが期待される。本節では、我々が[11]で提案したRKM構造に基づいた学習者のクラスタリングについて述べる。

第1に、知識マップ間の類似度を計算する。我々が[11]で提案した類似度計算手法は、ノードに対応するキーワードおよびリンクの方向を考慮したアルゴリズムと点で既存手法と異なる。類似度計算は、特徴抽出、ベクトル化、および比較の3つのステップからなる。特徴抽出プロセスでは、ノードに対応するキーワードおよびリンクの方向を考慮した各知識マップの特徴行列を生成する。ベクトル化のステップでは、特徴行列をベクトル化して特徴ベクトルを作成する。最後に、比較ステップで、特徴ベクトル間のコサイン類似度を計算する（類似度計算プロセスの詳細については、[11]を参照）。各学習者のRKM間の類似度を計算した後、類似度行列から関係行列を作成する。類似度行列の行・列は学習者を、各要素は知識マップ間の類似度を表す。知識マップ間の類似度がしきい値を超える場合、関係行列の要素を1に設定し、それ以外の場合は0に設定する。最後に、無限関係モデル（IRM）[12]が関係行列に適用され、学習者をクラスタリングする。ノンパラメトリックベイジアンモデルに基づくIRMは、二値関係データから隠れクラス数を推定可能である（IRMの詳細なアルゴリズムについては、[12]を参照）。

3. Social Knowledge Map(SKM) システムインターフェース

本章では、知識マップのインタラクティブな可視化と分析を可能にするSocial Knowledge Map(SKM)システムのインターフェース、機能について説明する。これまでも述べたように、実際の教育現場では、教師は講義だけでなく、さまざまなタスクを受け持っている。したがって、自身が担当するコースの学習者の知識獲得状況を把握するために多くの時間を費やすことは困難である。ゆえに、第2章で述べた方法で収集された多くの学習者の知識マップを比較することは容易ではない。本研究の目的は、教師や

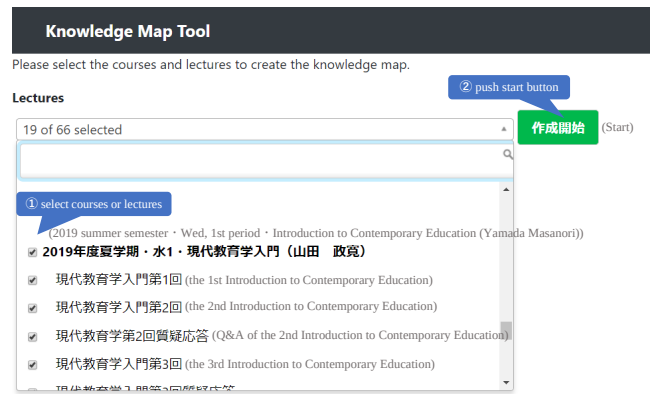


図4 講義選択画面およびデータ選択手順

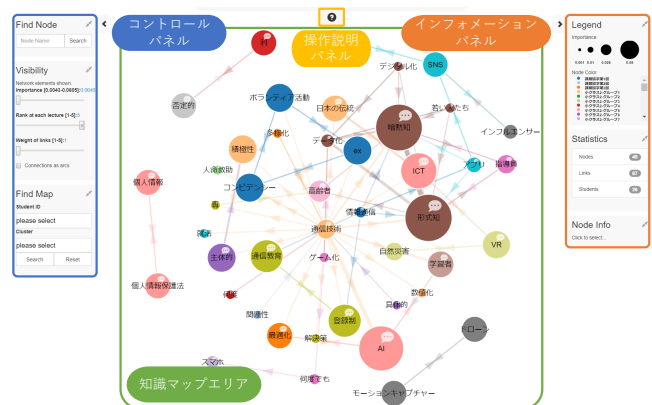


図5 SKM システムインターフェース

学習者が行う知識マップを通した教育・学習活動の分析を容易にし、活動を行う際の有用な情報を提供できるようにすることである。これを実現させるためのシステムとしてSKMシステムを提案する。SKMシステムの利用を通して、教師と学習者がWebブラウザで知識マップを容易に分析し教育・学習手法の改善に役立つ情報の提供を目指す。以下、SKMシステムの使用手順に沿って機能を説明する。

まず、システムユーザは、知識マップを作成するために使用するデータのコースまたは講義を選択する。図4に講義選択画面を示す。なお、コースや講義回は複数選択が可能となっている。複数のデータ選択パターンを許可することにより、さまざまな目的に沿って知識マップを作成するためのデータを使用することが期待される。たとえば、単一の講義回データから知識マップを作成する場合、学生がその講義回で学んだ知識をどのように整理したかを理解するのに役立つ。逆に、複数のコースや講義回が選択された場合、異なるコース・講義回にわたって学習した知識を学習者がどのように関連付けるかを理解する手助けになる。ユーザがコース・講義回を選択した後、「作成開始」ボタンをクリックすると、選択されたデータを基に知識マップが構築される。

3.1 インターフェース・可視化ルール

知識マップの構築が終了すると、図5に示す画面へと遷移する。本画面は、知識マップエリアと操作説明パネル、コントロールパネル、インフォメーションパネルから成る。SKMシステムでは、SKMをベースに知識マップエリアに可視化する。SKMは、コースの内容がそのコースを受講する学習者全体でどのようにまとめられているかを示す。

SKMシステムの可視化にはいくつかのルールがある。ノードについては以下のルールに従って可視化される。

- 大きさ：ノードの大きさは第2章2.3節で定義したキーワードへの注目度を表す。つまり、SKMの構造から推定されたキーワードへの注目度が高いほど、ノードのサイズは大きく設定される。
- 色：ノードの色は講義回を表す。最初に選択した講義回の講義資料内でそのキーワードの登場回数が最も多い講義回に対応する。
- メモの有無：ノードに付加された吹き出しアイコンはキーワードに関連するメモがあることを表す。Original Knowledge Map(OKM) (第2章2.1参照)において、キーワードが含まれるノードとメモのノードがリンクで繋がれている場合、そのメモを、キーワードを理解する有益な情報としてインフォメーションパネル内Node Infoタブで表示する。

リンクは以下のルールに従って可視化される。

- 太さ：リンクの太さはBR-Mapツールにおいて両キーワードが含まれるノード間にリンクを引いた学習者の数を表す。学習者数が多いほどリンクは太くなり、両キーワードの関連性が強いと学習者に考えられているといえる。
- 色：リンクの色は、そのリンクの出発元のノードと同じ色に設定される。
- リンクの形状：リンクは直線と曲線の2種類を定義する。用途に応じてコントロール内Visibilityタブで切り替え可能である。

次に、各パネル、タブの見方について述べる。操作説明パネルでは各機能の操作方法、SKMの見方が記載されている。インフォメーションパネルには、凡例や可視化されている部分のSKMについて詳細情報が表示される以下のタブで構成される。

Legend ノードの大きさと注目度の値の関係、ノードの色と講義回の対応

Statistics 表示されているSKMに関する詳細情報。

- (1) ノード数, (2) リンク数, (3) 講義回数, (4) 学習者数, (5) SKMの構築に使用されたRKM数

Node Info 注目キーワードに関する詳細情報。(1) キーワード, (2) キーワードが最も多く登場した講義回, (3) 全キーワードにおける注目度の順位, (4) キーワードが最も多く登場した講義回における注目度の順位, (5) キーワードへ向かうリンク数, (6) 他のキーワードへのリンク数

3.2 分析機能

コントロールパネルには以下の機能が実装される。

Find Node キーワードによるノード検索

Visibility ノード・リンクのフィルタリングによるSKMの規模の調節

Find Map 複数パターンの知識マップ比較

SKMシステムでベースとなるSKMは多くの学習者のReconstructed Knowledge Map (RKM) が統合されたものである。そのため、ノード・リンク数が多い大規模な知識マップとなるため、注目ノード(キーワード)と他のノードとの関係を分析したい場合でも、ノードを容易に見えない可能性ある。したがって、フォーカスされたノードをすばやく見つけることができるように、キーワードによるノード検索機能が実装される。操作例を図6(a)に示す。ユーザは、Find Nodeタブの入力フォームにキーワードを入力し、検索ボタンを押すことで本機能を使用可能である。入力したキーワードと一致するキーワード(ノード)がSKM内に存在する場合、そのノードのエゴネット(注目ノードとその隣接ノード、ノード間をつなぐリンク)がハイライト表示される。また、知識マップエリアでノードを直接クリックすることでもエゴネットのハイライト表示が可能である。

大規模な知識マップにおいては、ノード・リンクの関係が複雑となり可読性が低くなる可能性がある。この際、表示されるノードとリンクの数を用途に応じて調整できる場合、システムユーザの使用目的に適した情報を提供できる。よって、本研究では3つのパラメータを設定し、それらを調整することで条件に適合するノードとリンクのみにフィルタリングを行う。ノードに関するパラメータは注目度と注目度の順位、リンクに関するパラメータはリンクをひいた学習者の数である。システムユーザは、Visibilityタブの各パラメータに対応するスライダを調整して、表示されるノード/リンクの数を変更する。ノードのパラメータを変更すると、パラメータ設定に適したノードと、そのノードに接続するリンクのみが表示される(図6(b))。同様に、リンクパラメータを変更すると、パラメータ設定に適したリンクのみが表示される(図6(c))。ただし、リンクパラメータを変更した結果、ノードに接続されたリンクがない場合でも、その時点でのノードのパラメータ設定に適している場合は表示される。3つのパラメータを同時に変更し、複数条件でのフィルタリングが可能であるため、柔軟にシ

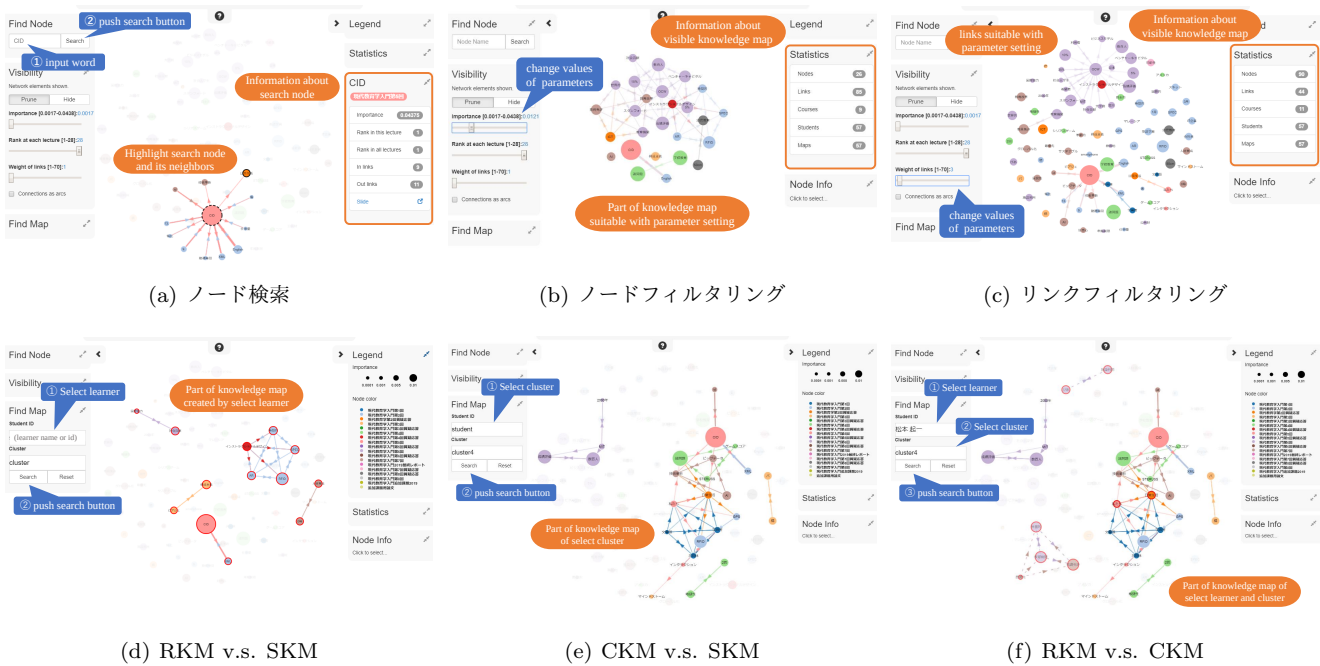


図 6 Functions of Social Knowledge Map

ステムユーザのニーズに対応できると考える。

SKM システムは、学習者の知識マップの統合の結果 (SKM) を可視化するだけでなく、SKM のどの部分が学習者個人 (RKM) や知識獲得状況別にクラスタリングされた学習者のグループの知識マップ (CKM) なのかも可視化する。本節では、知識マップ比較のケースと、各ケースにおいて比較機能を利用した教育・学習支援手法について述べる。主に以下の 3 つのケースを想定する。

- (1) RKM v.s. SKM
- (2) CKM v.s. SKM
- (3) RKM v.s. CKM

次に、各ケースに対応した機能の操作方法と得られる知見、活用例について述べる。第一に、ケース 1 の RKM と SKM の比較機能を実装する (図 6(d))。Find Map タブで学習者名または学習者 ID を選択し、検索ボタンをクリックする。その結果、選択した RKM がハイライト表示される。本ケースでは、学習者が現在の自分の知識構造を確認することができる。また、注目度に着目すると、学生全体が注目するキーワードを自分の知識構造に含まれているかを確認する目的で利用できる。注目度が高いにもかかわらず自分の知識マップに含まれないキーワードに関する内容の復習を促すことが可能である。

第二に、ケース 2 の CKM と SKM の比較機能を実装する (図 6(e))。Find Map タブで、クラスタを選択して検索ボタンをクリックすると、選択された CKM がハイライト表示される。本ケースでは、理解状態別に学習者をグループ分けすることが可能である。知識構造の傾向とテストな

どの成績との関係性が明らかになれば、学習内容の理解にはキーワードをどのように整理すればよいのかを知ることができる。

第三に、ケース 3 の RKM と CKM の比較機能を実装する (図 6(f))。Find Map タブで学習者とクラスタを選択 (学習者モードの場合、ハイライト表示スイッチを ON にし、クラスタを選択) し、検索ボタンをクリックすると、選択した学習者の RKM と CKM がハイライト表示される。ケース 2 と同様に、グループ別の知識構造とテストなどの成績との関係性が明らかになれば、ドロップアウトなどのリスクのある学生に成績のいいグループの知識マップを提示することで、自身の知識マップとのギャップを視覚的に把握し学習を手助けすることができる可能性も考えられる。

4. 教師・学習サポータによる SKM システムの有用性評価実験

4.1 実施コース

教師・学習サポータ目線での SKM システムの活用法や有用性を評価するために、九州大学で実施されたコースのデータを用いて実験を実施した。実験を実施したコース「現代教育学入門」は、2019 年 6 月から 8 月までの 8 週間にわたって実施された。学習者は、教育と学習支援システムのケーススタディを行った。本コースの目標は、これらの学習理論に基づいて ICT (情報通信技術) を使用して効果的な学習環境を説明できるようにすることであった。「ICT を使用した効果的な学習環境とは」という質問に答える形で、最終講義では BR-Map を使用して知識マップを

作成するよう学習者に指示した。合計で 33 人の 1 年生が OKM を作成した。

4.2 アンケート評価

教育科学分野で 20 年間研究を行う教授と教育技術进行研究している 3 人の学習サポータにアンケートを実施した。学習サポータのうち 1 名は学習者を 4 年間サポートし、他の 2 名は 2 年間サポートしている。実験参加者は教育工学の観点から SKM システムを評価した。最初に、参加者は SKM システムの操作に関するマニュアルを読む。次に、SKM システムを平均 30 分間使用した後、次の質問からなる自由記述式アンケートを実施した。

- (1) 知識マップを集約して教師や学習者に見せることは授業改善や教材改善、学習支援などに有効かどうか？
- (2) 知識マップは、RKM と SKM, RKM と CKM, および CKM と SKM の間で比較できる。これらの機能は授業改善や教材改善、学習支援などに有効かどうか？
- (3) どのようにこのコースを設計し、BR-MAP を使用すれば KNOWS ツールを効果的に使用できるか？
- (4) (1) 現状のツールでは不十分であれば、どのような機能や見せ方などがあれば有効活用できるか？
- (5) 知識マップの作成だけではなく、いろんな学習履歴が取れるが、どのようなログと組み合わせて分析・可視化したら、授業改善・教材改善、学習支援に活かせるか？

問 1 は、SKM システムが教育活動において教師に役立つかどうかを評価するために聞かれた。回答者からは以下のような肯定的な回答を受け取った。

- 教師と学習者の両方が、今後このツールを使用して教育および学習活動を改善することを期待
- 教師は SKM システムの使用を通して学習者の知識構造を理解することにより、講義資料の内容を改善し、教育戦略を検討することが可能
- 教師は知識マップを使用して、教師は適切に学習した学習者とそうでない学習者を区別可能
- 学習者はこのツールを使用して講義の知識構造を整理および確認できる

また、SKM システムを使用して、適切に学習した学習者の知識マップを同じ内容を学習前の学習者に表示することにより、学習者が熱心に学ぶことを促すことが可能であること、学習者は複数の講義回にわたる知識間のつながりの把握が可能であることが示唆された。

問 2 では、知識マップの比較機能を使用して教育活動を改善できるかどうかを尋ねた。回答者は、知識マップ比較機能が有用であると回答した。以下は、回答者によって提案された教師および講義マネージャ向けのこの機能の使用例である。

- 異なるクラスに属する学習者で構成されるグループを作成し、各グループ内で作成された知識マップについて議論することにより、ジグソー法 [13] を適用することが可能
- 誤解や誤解の原因となるノードを発見することで、教師が授業や教材を改善するのに役立つ
- 学習者は、他の人の知識マップを比較することにより、他の人の知識を吸収し、それに応じて自分の知識構造を調整および拡張できる。

問 3, 問 4, および問 5 は、SKM システムの機能、システム全体。さらにこれらの改善を備えた将来のシステムを使用すると、教育活動にどのような影響があるかを尋ねた。問 3 は、SKM システムを効果的に使用するための BR-MAP を使用した学習者の知識マップ作成方法を尋ねた。回答から、BR-MAP を使用した教育に関する以下のアイデアが明らかになった。

- 各学習者は、各講義の終わりに復習として、または講義の課題として知識マップを作成する。
- 同じキャンパス上で、学習者は講義ごとに知識マップに新しい知識を追加する。その結果、多くの学習者の知識マップから作成されたマスター知識マップを作成する。
- コースマネージャは、講義ごとに知識マップを更新する講義スタイルを採用する。

SKM システムが学習活動と教育行動の改善に貢献するためには、BR-Map で知識マップを作成するためのルール（たとえば、重要と考えられるキーワードが含まれるマーカのノードを少なくとも 1 つを選択するなど）を適切に決定する必要がある。また、事前に BR-Map システムの使用手順を学習者に周知させることが重要である。SKM システムで可視化された知識マップに適切に作成されていないものが含まれている場合、その結果を正しく解釈することが困難となる。よって、学習者は知識マップを適切な手順に従って作成することで、学習者は SKM システムから意味のある情報を把握できるように注意を払う必要がある。

問 4 は、教育分野で実際に活動する回答者の視点から、SKM システムにどういった機能を実装すべきかを明確にするために設けられた質問である。回答から、RKM の作成プロセスを時系列で可視化する機能が求められているこ

とが明らかとなった。また、ノートから講義資料を直接閲覧する機能も提案された。

問5は、回答者がKNOWSを他の種類の学習ログと統合する方法について尋ねた。この質問に対する回答では、講義資料の閲覧ログを各クラスタの詳細な説明に使用できることが示唆された。たとえば、特定のクラスタの学習者が理解できていない部分を教師が見つけれられる場合、個々のトピックをより深く理解するための参考資料や文献を推奨し、学習者の知識獲得状況に基づいて課題の内容を変更できる。

5. おわりに

本研究では、教育者と学習者の知識マップの分析・活用をサポートするための、既存のデジタル学習環境と知識マップのインタラクティブな可視化ツールを統合する新たなシステム Social Knowledge Map システム (SKM システム) を提案した。教育学的観点から SKM システムの有用性を評価するために、教育科学分野の教授と教育技術を学ぶ学習サポータにアンケートを実施した。アンケートの結果、教師から SKM システムの有用性に対する肯定的な反応を得た。

従来の知識マップ利用は、教師が作成した知識マップを正しい知識構造として学習者に提示する、もしくは学習者がそれぞれ独立した知識マップの作成を通して学習内容を整理するといった手法が一般的であった。また、近年普及しつつあるデジタル学習環境の強みを活かした知識マップ活用もあまりなされていなかった。本研究では、知識マップの分析手法の開発と SKM システムシステムの構築、およびそれらの評価を通して、既存のデジタル学習環境に組み込み可能な SKM システムが教育・学習活動を改善に貢献できることが示唆された。知識マップの用途に応じたインタラクティブな分析・可視化が知識獲得状況の把握を容易にし、更なる知識獲得を促すことで学習意欲の向上に貢献することが期待される。

今後の研究で対処しなければならない点が2点ある。第1に、適切な手法で作成された学習者の知識マップを収集するための授業戦略を検討する必要がある。BR-MAPの正しい使用方法を教師が学習者に説明し、予期しない方法で知識マップを作成する学習者を減らすことは非常に重要である。本システムに使用するデータの信頼性を向上させることで、システムを通じて得られる知見もより信頼できるものとなる。第2に、SKM システムの分析機能を改善する。教師に実施した SKM システムの使用感・有用性に関する評価実験の結果、現在の SKM システムを使用して知識獲得状況を把握することは教育・学習活動の改善に役立つことが示唆された。アンケート結果で明らかとなった追加が望まれた機能を SKM システムに追加することで、より教師のニーズに応えるシステムを構築する。

謝辞 本研究は、JST AIP 加速課題 JPMJCR19U1, 科研費基盤研究 (A) JP18H04125 の支援を受けた。

参考文献

- [1] Xiuqin Zhong, Hongguang Fu, Huadong Xia, Leina Yang, and Mingsheng Shang. A hybrid cognitive assessment based on ontology knowledge map and skills. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 73, pp. 52–60, 2015.
- [2] Yejun Wu, Amanda Lehman, and David J Dunaway. Evaluations of a large topic map as a knowledge organization tool for supporting self-regulated learning. *KO KNOWLEDGE ORGANIZATION*, Vol. 42, No. 6, pp. 386–398, 2015.
- [3] Ruey-Shiang Shaw. A study of learning performance of e-learning materials design with knowledge maps. *Computers & Education*, Vol. 54, No. 1, pp. 253–264, 2010.
- [4] Jae Hwa Lee and Aviv Segev. Knowledge maps for e-learning. *Computers & Education*, Vol. 59, No. 2, pp. 353–364, 2012.
- [5] Douglas A Wiegmann, Donald F Dansereau, Edward C McCagg, Kirsten L Rewey, and Urvashi Pitre. Effects of knowledge map characteristics on information processing. *Contemporary educational psychology*, Vol. 17, No. 2, pp. 136–155, 1992.
- [6] Mary Katherine Watson, Joshua Pelkey, Caroline R Noyes, and Michael O Rodgers. Assessing conceptual knowledge using three concept map scoring methods. *Journal of engineering education*, Vol. 105, No. 1, pp. 118–146, 2016.
- [7] Chengjiu Yin, Zhuo Ren, Agoritsa Polyzou, and Yong Wang. Learning behavioral pattern analysis based on digital textbook reading logs. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 471–480. Springer, 2019.
- [8] Hiroaki Ogata, Misato Oi, Kousuke Mohri, Fumiya Okubo, Atsushi Shimada, Masanori Yamada, Jingyun Wang, and Sachio Hirokawa. Learning analytics for e-book-based educational big data in higher education. In *Smart Sensors at the IoT Frontier*, pp. 327–350. Springer, 2017.
- [9] Masanori Yamada, Atsushi Shimada, Misato Terai, Yuta Taniguchi, and Shinichi Konomi. Br-map: Concept map system using e-book logs. In Demetrios G. Sampson, Demetrios G. Sampson, Pedro Isaias, Dirk Ifenthaler, Dirk Ifenthaler, and Luis Rodrigues, editors, *Proceedings of the 15th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, CELDA 2018*, pp. 248–254. IADIS Press, 2018.
- [10] Akira Onoue, Masanori Yamada, Atsushi Shimada, and Rin-ichiro Taniguchi. The integrated knowledge map for surveying students' learning. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, pp. 838–846. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2019.
- [11] Akira Onoue, Atsushi Shimada, Minematsu Tsubasa, and Rin-ichiro Taniguchi. Clustering of learners based on knowledge maps. In *16th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, CELDA 2019*. IADIS Press, 2019.
- [12] Charles Kemp, Joshua B Tenenbaum, Thomas L Griffiths, Takeshi Yamada, and Naonori Ueda. Learning systems of concepts with an infinite relational model. In *AAAI*, Vol. 3, p. 5, 2006.
- [13] Elliot Aronson, et al. *The jigsaw classroom*. Sage, 1978.