

概念マップとイメージ図の対応付け演習の設計・開発と実践利用

森 智彦^{†a)} 林 雄介[†] 平嶋 宗[†]

Design and Development of Mapping Exercise between Concept Map and Image Figure

Tomohiko MORI^{†a)}, Yusuke HAYASHI[†], and Tsukasa HIRASHIMA[†]

あらまし 概念マップを命題単位でイメージ図と対応付ける学習活動として、(1) イメージ図選択活動と(2) イメージ図組立活動、の二つの活動を演習として実現するソフトウェアシステムを設計・開発し、小学校理科での授業実践を通して評価した。概念間の関係として表現されている概念マップを視覚的な意味をもった構成要素とその空間配置として表現されたイメージ図と対応付けることは、知識の精緻化の一つとなりえる。正誤判定を伴ってこの対応付けを実現するためには、概念マップが命題レベルで正誤判定されている必要があるが、このためにキットビルド概念マップを用いている。授業実践を通して、この対応付け演習が児童及び教諭に有用な学習活動と認識されたこと、対象課題についての理解促進に貢献すること、を示唆する結果が得られた。

キーワード 概念マップ, Kit-Build 概念マップ, イメージ図との対応付け, イメージ図選択活動, イメージ図組立活動

1. ま え が き

意味記憶の代表的なモデルとして、意味ネットワークが挙げられる [1]。このモデルでは記憶を概念同士が結び付いたネットワークで構成されるものとし、想起はリンクを辿ることによる情報検索であると実験的に検証されている。このネットワーク構造の教育分野における知識構築及び共有のための利用としては、Novak による概念マップが多く用いられており [2]~[5]、知識表現としては意味ネットワークと等価とされている [6]。その他にもネットワーク構造として意味記憶を表す手法は幾つか存在しており、知識構築及び共有におけるそれらの役割の違いと相補的な関係が論じられている [7]。また、概念マップの重要な要素の一つとして概念の上位・下位関係による階層表現が挙げられることが多いが、階層構造の必要性については否定的な意見もあり、階層構造がないものも概念マップと称されており、また必ずしも階層構造では無くても

学習効果があることが報告されている [8]。よって、本論文では広義の意味で「概念マップ」という言葉を用いる。

本研究では、知識の整理と理解を支援する仕組みとしてキットビルド (KB) 概念マップ [9]~[11] を用いる。KB 概念マップでは教授者が教授を行った内容に関して学習者に概念マップを作らせることを前提としており、教授者はその教授内容を踏まえた学習者に作成して欲しい概念マップ (以下、ゴールマップと呼ぶ) を作成する。学習者は、そのゴールマップを分解して得られる部品を与えられ、それを組み立てることで概念マップを作成する。学習者は教授者マップと同じ部品を使って自身のマップを作るため、ゴールマップとの比較による学習者の作った個々の概念マップに対する命題レベルでの自動正誤判定ができるとともに、複数の概念マップの重畳によって作られる重畳マップにより学習者グループとしての正誤状況の可視化が可能となっている。ただし、教授者が正解としてのゴールマップを設定する為、教授者がゴールマップで設定した内容に伝達内容が制限されるというデメリットも存在する。しかし、この点については、自由なマップ作成との比較実験から、学習内容の構成要素とその要素間の構造が明確な教材では、マップの記述範囲内で学

[†] 広島大学大学院工学研究科, 東広島市
Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

a) E-mail: mori@lel.hiroshima-u.ac.jp

DOI: 10.14923/transinfj.2016JDP7035

習者の記憶に与える効果に差異はないことが示されている [12].

また、小学校理科授業における実践利用において KB 概念マップの有用性の確認が行われている [13], [14]. この実践利用ではゴールマップの内容を理解の目標として考え、学習対象を概念レベルで構造的に理解することの促進を指向して KB 概念マップを利用している.

本研究では、この KB 概念マップを用いた活動を拡張し、概念間の関係として表現された概念マップを、視覚的な意味をもった構成要素とその空間配置として表現されるイメージ図と対応付ける演習とその支援システムを設計・開発した。概念マップとイメージ図を対応付ける場合、どのような単位で対応付けるかが問題となるが、本研究では、命題単位でのイメージ図との結びつけを行っている。具体的な対応付け演習としては、(1) イメージ図選択演習と (2) イメージ図組立演習、を実現した。イメージ図選択演習は、概念マップとイメージ図集合が提供された上で、概念マップ中の指定した命題に対してイメージ図を選択することで行われる。学習者の行った選択による命題とイメージ図の対応付けはシステムによって正誤判定され、その結果が教師に提供される。教師はその正誤判定結果に基づいて演習状況を把握し、演習に対する補足説明・演習のやり直しを指示する。イメージ図組立演習は、概念マップとイメージ図の構成要素が与えられ、概念マップ中の指定した命題に対応するイメージ図を構成要素から組み立てることで行われる。この対応付けの正誤についても、システムによる正誤判定とその結果を用いた教師による指導が行われる。

これらの演習は、個々の概念マップに対する命題レベルでの即時的で自動的な正誤判定と、重畳マップによる学習者グループとしての命題レベルでの正誤の集計ができることで成立している。命題レベルで概念マップの正誤が判断できない場合、イメージ図との対応付けの正誤も判定できない。また、集計できなければ、教師による授業内でのフィードバックも困難である。上記のような概念マップとイメージ図の対応付けにおいてはその正誤の決定が可能であり、したがってその活動において正誤のフィードバックを与えることが教育的に望ましいといえる。概念マップの命題レベルの即時的自動正誤判定及びその集計・可視化の実現を報告している研究は KB 概念マップ以外には見当たらず [15], 本論文で述べる対応付け演習は、本枠組みによって初めて実現させるものであるといえる。

イメージ図選択演習の実践は、小学 3 年生理科「明かりをつけよう」の単元で行った。その 1 年後、4 年生になった同一児童を対象として、イメージ図組立演習の実践を「影と太陽」の単元で行った。これらの実践の結果として、(i) 実践が行えたこと自体、及びアンケート結果からこのイメージ図との対応付け演習が実施可能であったこと、(ii) 事前・事後等のテストのスコアの比較から対象課題についての理解促進に貢献すること、を示唆する結果を得た。

以下本論文では、2. においてキットビルド概念マップについて概説する。3. においてイメージ図を取り扱う意義について述べたうえで、本研究で設計・実現したイメージ図選択の活動とイメージ図組立の活動について説明する。4. では、イメージ図選択演習（以下選択演習と呼ぶ）とその実践結果について報告する。5. では、イメージ図組立演習（以下では組立演習と呼ぶ）とその実践結果について報告する。

2. キットビルド概念マップ

KB 概念マップを用いた学習活動は 1) ゴールマップ・キット作成過程、2) 学習者マップ作成過程、3) マップ診断・フィードバック過程、の三つで行われる。以下に各過程の詳細とそれを実現するシステムの概要について記述し、実際の小学校現場での利用実績について紹介する。

2.1 ゴールマップ・キット作成過程

教授者が学習者に習得して欲しい概念を教材や自身の教授内容から抽出し、概念マップを構築する。これがゴールマップとなる。ゴールマップの整合性は教授者が保証するものとする。このゴールマップのノードとリンクを接続していない状態に分解し、それを学習者に配布する。これをキットと呼んでいる。

2.2 学習者マップ作成過程

学習者は教授者によって提供されたキットを組み立てることにより概念マップを構築し、自身の理解を外化し表現する。学習者がキットから作った概念マップを学習者マップと呼ぶ。

2.3 マップ診断・フィードバック過程

学習者マップとゴールマップは同じリンクと同じノードによって構成されている。このため、あるリンクがどのノードとどのノードの間に引かれているか、を比べることで、学習マップとゴールマップを比較することができる。概念マップにおいてはリンク一つとその両端にあるノード二つの三つの要素の組で一つの

命題を表しているので、この比較は、概念マップを命題レベルで比較していることになり、命題レベルの正誤判定ができる [15].

個別の学習者マップとゴールマップを比較した比較マップにより学習者個人の理解度が把握でき、更に複数の学習者マップを重ね合わせた重畳マップにより、その学習者集合の理解状況を可視化できる。この可視化により、教師は多くの学習者が理解できていない命題を即時に把握し、それに応じたフィードバックが可能となる。重畳マップの例を図 1 に示す。各リンクレベルの後にある数字は、重畳度（重畳されたリンク数 = そのリンクがその箇所に存在した学習者マップの数）であり、学習者集合の理解状況を把握することが可能となる。この重畳マップをゴールマップと比較することで、この重畳マップ中のどのリンク（両端のノード

を合わせて命題を指す）が誤って引かれており、その誤りが何名くらい学習者に於いて発生しているかを知ることができる。この例は、南半球における太陽の通り道について学習者が組み立てたマップを重畳したものであり、北半球と同様に北の空を通らない、とする命題を作っている学習者が 10 名存在することを表している。これをゴールマップと比較することで、この命題がゴールマップにある命題と異なっていることが検出され、誤りであると判定される。なお、実際のシステム上では、ゴールマップとの比較の際には、ゴールマップでの引き方と一致するリンクと一致しないリンクを色分けして表示している。

2.4 KB マップシステム

KB マップシステムは、学習者のマップ構築を支援する KB マップエディタ、キットやゴールマップ作成、マップ診断を支援する KB マップアナライザの二つのクライアントシステムとデータの管理を行うサーバで構成されている。両クライアントシステムはタブレット端末に対応している。図 2 に KB マップエディタでのマップ構築画面を示す。

2.5 KB マップシステムの利用実績

KB マップシステムを用いた小学校理科授業を現場の教諭と一緒に授業内容に応じたゴールマップを設計し、これまで小学校 3・4・5・6 年生で、10 単元、35 クラスで 66 時限実施してきており、のべ 1307 人の児童が利用している。利用した教諭の人数は 3 名である。本研究は、このうち最も利用時限数の多い教諭と、これまでの利用方法の発展形として実施したものである。

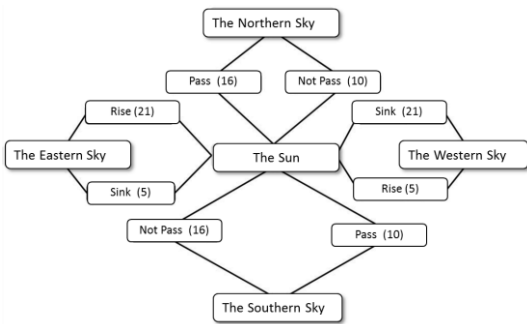


図 1 重畳マップ
Fig. 1 Overlay map.

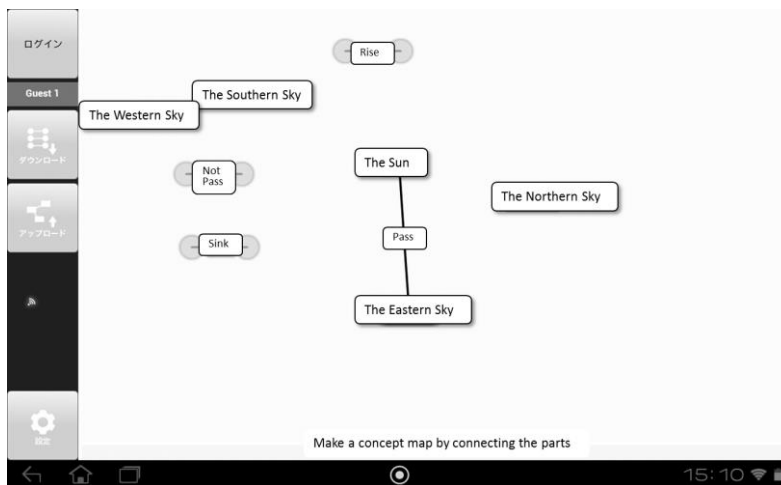


図 2 KB マップエディタ
Fig. 2 KBmap editor.

なお、KB マップシステムは、小学校理科以外にも、中学校社会 [16]、大学における工学系 [17]、文系 [18]、及び英文読解 [19] の授業においても利用実績がある。

3. 概念マップとイメージ図の対応付け活動

3.1 イメージ図の位置づけ

言語的な情報だけに基づくのに比べて、視覚的な情報を用いるほうが、問題解決がスムーズにいくことが多いことが経験的に知られている。Larkin ら [20] は、視覚的情報を用いることで、(1) 必要な情報が視覚的にまとまって表現されるため、探索がしやすくなる、(2) 知覚的推論が可能になる、ことをコンピュータシミュレーションによって示した。また、記憶を精緻化する手法の一つとして、概念をイメージしやすい教材を用いることが効果的であるとされており [21]、低学年に向かうほどイメージを用いることが効果的であることも実験的に示されている [22]。

理科においても、実験や観察などの結果を言語や記号などの表現だけでなく、視覚的要素を介在させて関連させることが重要であるとの指摘がされており [23]、イメージ図を用いた学習活動の重要性が指摘されている [24]。理科で用いられるイメージ図の明確な定義は見当たらないが [25]、(1) 図の構成要素が絵として意味をもっており、(2) 構成要素間の空間的配置が意味をもっている場合、その図をイメージ図と呼ぶ場合が多い。算数でよく用いられる情景図や、Larkin らが例示した力学の例は図としては同様なものとなっている。以下では、理科の通例に合わせて、このような性質をもった図のことをイメージ図と呼ぶ。

イメージ図が問題解決や理解を助けることはこれまでの知見から示唆されているが、単にイメージ図を提供すればよいのではなく、学習者にイメージ図を認識させたり、外化させたりすることも重要であることが指摘されており、このようなイメージ図を通じた活動が、イメージ図を用いた問題解決や理解を促進するとともに、抽象と具体を結びつけるような知識の精緻化に貢献するとされている [24]。

筆者らは前章で述べたようにキットビルド概念マップを用いた授業実践を主に小学校理科を対象として行っているが、概念間（つまり言語的表現間）の関係を取り扱っているのみであり、前述のようなイメージ図は対象としていなかった。小学校理科においては、イメージ図は教科書等において多用されており、このイメージ図と学習者が作成した概念マップを対応付け

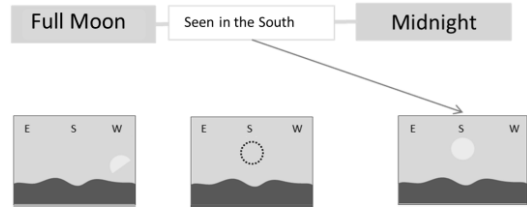


図3 イメージ図選択活動
Fig.3 Selective activity.

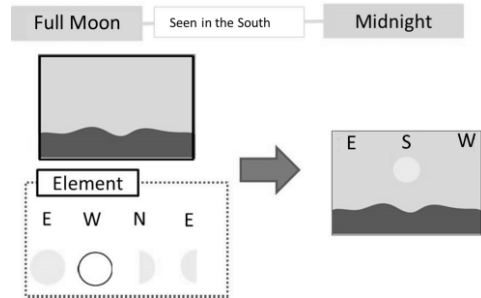


図4 イメージ図組立活動
Fig.4 Assembly activity.

ることは、実践的にも希望されていることであり、自然な拡張であるといえる。

3.2 イメージ図を用いた演習

本研究では、命題単位でイメージ図と概念マップを対応付ける。一つの命題は、二つの概念とそれらの関係という三つの要素で構成されるが、イメージ図もそれらに対応する構成部品で構成している。イメージ図選択演習では、幾つかのイメージ図を用意し、選択によって概念マップを構成している命題とそれらに対応づける活動を行わせる。イメージ図組立演習では、イメージ図の部品を用意し、命題に対応するイメージ図を組立てる活動を行わせる。

例として 5. で述べる実践で対象とした「月の満ち欠け」に関する概念マップとイメージ図を用いて、選択演習 (図3) と組立演習 (図4) の概要を説明する。これらの図においては、月の満ち欠けの概念マップに対応する図の構成要素として、月の形 (満月, 新月, 上弦の月, 下弦の月), 月の位置 (方角, 高さ) が用意されている。選択演習では、図3のように、命題 (この例では、「満月は夜中に南に見える」という命題が対象となっている) に対して正しい月の形と位置を表したイメージ図を複数の図の中から選択させる。組立演習では、図4のように構成要素である月の形や位置、方角から命題と対応付くイメージ図を組み立てさせる。

概念マップを命題単位でイメージ図と対応付ける活動は、リンクに画像情報等を付与する機能によって実現している例がある [2]。しかしながら、この例の場合、学習者が作った概念マップを命題レベルで診断する機能を実現していない。このため、概念マップとイメージ図との対応付けはできても、その正誤判定はできないことになる。また、概念マップとイメージ図との対応付け活動の実践やその結果についての報告は見当たらない。したがって、本演習は機能としても実践としても従来実現できていなかったことであり、新規性をもつと判断している。

なお、概念マップに限定しなければ、言語的・概念的な表現をイメージ図のような図的表現に対応付け、その対応付けを正誤判定するという仕組みは実現されている。例えば、Nathan ら [26] や伊藤ら [27] は、数学の文章題に対応する図を学習者に組み立てさせる環境を開発している。また、小出ら [28] は力学問題で、正田ら [29] は電気回路の問題で、文で書かれた問題に対して作図を行う学習環境を実現している。これらの研究と同様なことを本研究で行うとすれば、教師が与えた概念マップに対して、イメージ図を対応付けるということになる。したがって本研究がこれらの研究と異なる点は、学習者が作成した概念マップとイメージ図を対応付ける点ということとなる。これらの研究において本研究と同様なことを行おうとすれば、学習者に問題を作らせる仕組みと、その作った問題を診断する仕組みが不可欠となる。これらの研究が本研究と同様のことを実現できれば、元の研究を発展させた新しい研究となりえるといえ、したがって、本研究も新規性があるといえる。作問とその診断及び作図を一貫して行った研究として合田ら [30] の試みがあるが、これは 1 回の和差で解ける算数文章題を対象とし、作図としても全体部分関係図のみを対象としており、本研究の新規性を損なうものではないと考えている。

4. 選択演習とその実践

4.1 選択演習の概要

KB 概念マップの組み立て活動の拡張として、学習者が自身で作った概念マップとイメージ図を対応付ける活動をも可能にするため、KB 概念マップと同様に教授者が正解となる概念マップとイメージ図を対応付けたマップをゴールマップとしてあらかじめ用意し、それを分解し、分解されたキットを用いて学習者が再構成する方式を採用した。これにより KB 概念マップ

の特徴である教授者の作成したゴールマップと学習者の作成したマップの計算機による比較や重ね合わせなどの自動診断をイメージ図との対応付けにおいても利用可能にしている。このためまず、従来のゴールマップは、イメージ図とそのイメージ図と概念マップをつなぐリンクを含んだ形で拡張されていることになる。この際、二つの概念と一つの関係で構成される命題に対応付けイメージ図を指定する。命題は一つのリンクと二つのノードで構成されるため、リンクを指定すると命題と指定したことになるので、具体的には、リンクラベルとイメージ図を対応づけることになる。このイメージ図と対応付けられたゴールマップを、拡張ゴールマップと呼ぶ。学習者は、提示された概念マップとイメージ図を、リンクラベルをもたない対応付けリンクで結ぶことを求められる。構築画面を図 5 に示す。右側にイメージ図が提示されており、左側に対応付けリンクが提供されている。

4.2 小学校における実践授業

本節では開発した選択演習支援システムを利用し、小学校現場での利用可能性の検証を行った実践内容と結果について報告する。

4.2.1 実践の設定

本実践を通して以下の二つを確認する。

(1) 選択演習支援システムを用いた活動が小学校現場で実施可能であるかどうか

(2) 選択演習支援システムを用いた概念マップの組み立てとイメージ図への対応付け活動が従来の授業・教育と比較して効果があるか

(1) に関しては選択演習支援システムを用いることで学習者が自身の作った概念マップとイメージ図を対応付けできること、教諭が演習状況を即時に把握・診断し有用なフィードバックを学習者に返すことができること、を確認するため以下の仮説を立てる。仮説 1: 実験群における学習者によるイメージ図選択の状況を教師がシステムを通じて把握し、その把握に基づいて学習者に対して行ったフィードバックによって、対応付けの正解率がフィードバック前よりも向上する。

(2) に関しては、選択活動の学習効果を実験群と統制群の学習内容の理解度で検証するため、授業前後での理解度確認テストのスコアの比較によって確認する。そこで以下の仮説を立てる。仮説 2: 統制群と比較して実験群のほうが理解度確認テストのスコアが高い。

本実践で利用した単元は小学校 3 年生理科「明かりをつけよう」の単元であり、4 時限を使った。本実

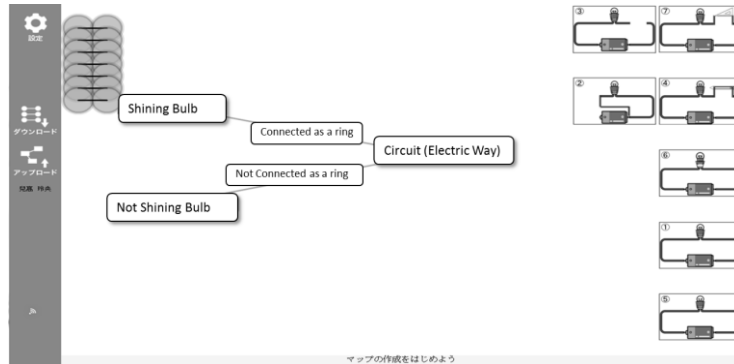


図5 選択演習支援システム
Fig. 5 Selective activity support system.

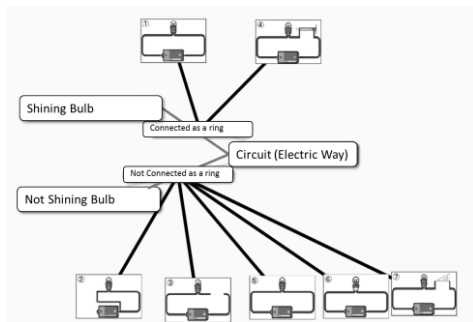


図6 拡張ゴールマップ
Fig. 6 Extended goal map.

践の教授内容は、実験を通し、豆電球が光るための条件としての回路の性質と金属の性質に関する知識を得ることの二つである。今回の実践で利用した拡張ゴールマップ（イメージ図との対応付けまで含んだゴールマップ）を図6に示す。

また、理解度確認テストの設問の内容は豆電球等の名称を答える問題（4問）と実験内容の理解を問う問題（20問）で構成されている。

4.2.2 実践の流れ

まず実験群の実践の流れについて説明する。今回の実践では4時限の授業内で、本システムを用いた通常概念マップの作成と、作った概念マップとイメージ図との対応付けの二つを行った。1, 2時限目は回路に関する実験として豆電球に明かりをつける実験を行った。この際に、ソケットが外れている場合やフィラメントが切れている場合には明かりがつかず、輪のように電気の通り道が途切れずにつながっていることが豆電球の明かりがつかない際に重要であることを強調して教

授活動を行っている。2時限目の最後に通常概念マップ作成を行った。ここで教諭は豆電球の概念について学習内容の理解状況を確認し、対応付けの誤りに対してフィードバックを返した。そして、3, 4時限目は金属の性質に関する実験として、回路に釘や筆箱をはさみ、明かりがつかないかを確認する実験を行った。4時限目の最後に選択演習支援システムを利用して2時限目に作った概念マップとイメージ図の対応付けを行った。その結果をもとに、教諭が児童の理解状況を把握し、フィードバックを返し対応付けに関する理解の修正をはかった。なお、概念マップ自体は二つの命題で構成された単純なものであり、そこでの間違いは見られなかった。

統制群では、実験を含めた同様の内容を、黒板を使った説明と児童によるノートへの書き込み、教諭による発問やそれに対する児童の回答、児童同士の話し合い、といった従来通りの授業スタイルで行い、システムは用いなかった。担当教諭は、従来の授業においても授業内容の確認の問いかけや教えた内容に関するイメージ図に基づいて再吟味するといったことは行っており、統制群と実験群では教授内容という点では差はないように構成しているとのことであった。時限数は実験群と同様に4時限であり、実験は同様に行っている。

4.3 実践結果と考察

本節では仮説1, 2の検証をする。選択による対応付けに対する教師のフィードバック前後での学習者の対応付けの正解率を図7、授業前後での理解度確認テストのスコアを図8に示す。

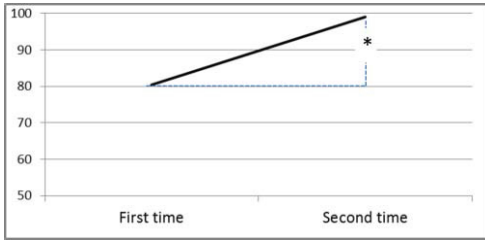


図 7 対応付けの正解率
Fig. 7 Correct rate of mapping.

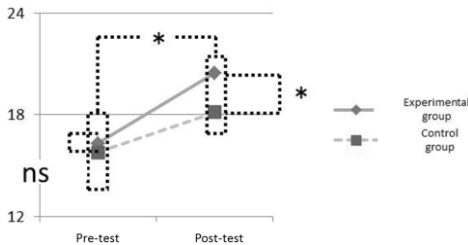


図 8 テストスコア
Fig. 8 Test score.

4.3.1 対応付けの実施可能性

実験群の学習者は対応付け活動をフィードバックの前後の二回行い、1回目の正答率は80.3%、2回目の正解率は99%であり、フィードバック前後で対応付けの正解率が有意に向上した（ウィルコクソン符号付順位和検定により $p < 0.001$ ）。この結果として、学習者は概念マップとイメージ図をおおむね適切に対応付けることができている、またシステムの正誤判定結果に基づく教師のフィードバックも効果があったことが示された。

4.3.2 実験群と統制群の比較

理解度確認テストは、担当教師が採点し、その結果を提供して頂き、分析を行った。各平均は、実験群事前：16.1 ($\sigma = 3.7$)、実験群事後：20.6 ($\sigma = 2.6$)、統制群事前 15.8 ($\sigma = 4.4$)、統制群事後：18.1 ($\sigma = 3.8$)となった（満点 24 点）。「実験群・統制群」を被験者間要因、「事前テスト・事後テスト」を被験者内要因とし、2 要因分散分析を行った結果、実験群・統制群間において実験群のスコアが有意傾向で高かった ($F = 2.881$, $p < 0.1$)。また事前テスト・事後テスト間のスコアに有意な差が見られた ($F = 34.088$, $p < 0.001$)。交互作用には有意差が見られなかった ($F = 2.623$, $p = 0.1110$) が、実験群・統制群ともに成績が上昇することは予想でき、実験群と統制群の平均値に差が

あることを検証することは必要であると考え、事前比較 [31] の立場から多重比較を行った。その結果、実験群・統制群の事前テストのスコアに有意な差はないが ($p = 0.6100$)、実験群・統制群の事後テストのスコアに有意な差があると言えるという結果が得られた ($p < 0.01$)。

以上の結果より、授業前後において両群のテストスコアが向上するが、実験群のほうがより向上するという結果が得られた。

4.3.3 教師に対するアンケート結果

担当教師（1 名）から、下記のアンケート結果を得た。アンケートは、とてもそう思う：4、少しそう思う：3、あまりそう思わない：2、全くそう思わない：1、の 4 件法で行った。(A) 児童は対応付けに熱心に取り組んだ：4、(B) 対応付け活動は児童にとって学習に有用な活動になった：4、(C) 対応付け活動は児童にとって難しかった：2、(D) 対応付けに関するシステムの情報提供は児童にフィードバックを返すのに役立った：4 (E) 他の单元にも適用可能である：3、となった。(E) については、「適切な概念マップとイメージ図を用意することが必要であるため」、とのコメントがついていた。これについては、各单元における妥当な概念マップとそれに対するイメージ図の用意には各单元の内容の吟味が必要であることから、妥当な回答であると判断している。

4.3.4 考察

本実践を通して、(1) 選択演習支援システムを用いた活動が小学校現場で実施可能であること、及び (2) 選択演習支援システムを用いた概念マップの組み立てとイメージ図への対応付け活動が従来の授業と比較して効果があること、を検証できたと判断している。学習者が作成した概念マップをイメージ図と対応付ける活動は、3. で述べたように理科の学習においては自然な活動であるといえ、先行研究で行えなかったことを行えるようにしたという意味で、機能としての意義をもち、その機能を用いて実践の実施可能性やその効果を確認することができれば、評価としては意味をもつと考えている。特に小学校 3 年生という理科の学習を始める学年において実践可能であることが確認できたことは意義があると考えている。

しかしながら、本実践における選択演習支援システムを用いた活動には、マップの作成活動が含まれており、また、比較対象が通常授業であるため、概念マップを作るだけの場合と、それをイメージ図と対応付け

る活動まで行った場合との効果の比較にはなっていない。本実践においては、概念マップとイメージ図を対応付ける意義が高いと担当教員が判断した単元を対象としているが、児童や関係者に責任をもった授業を行う必要上、評価を目的として敢えてイメージ図との対応付を行わないことが適当ではないとの判断によるものである。概念マップを作成するだけの場合と、イメージ図との選択による対応付けまでを行った場合の学習効果の違いを調べることの意義は明らかであり、比較実験を実施可能にするための条件設定と検討していく予定である。

5. 組立演習支援システムの実践利用

選択演習支援システムを用いた実践を通して、選択による概念マップとイメージ図との対応付けが可能であり、また、学習効果も期待できることが示唆された。本章では、この結果を踏まえ、選択活動のより発展的な活動である、構成要素を組み立てることによって条件に合う図を作成させる、イメージ図組立活動を実現するシステムと小学校実践について述べる。

5.1 組立演習支援システムの概要

本システムはKBマップシステムと同様に、計算機によるマップの比較・重畳による即時診断を可能にするため、教授者が組み立てに利用する構成要素をあらかじめ設定し、学習者は統一された部品が与えられ、その部品を組み立てるKB方式を採用した。学習者が図を組み立てる際に、部品の配置場所に制限をかけることで採点を可能とした。

5.2 小学校授業における実践授業

本節では、組立演習支援システムを小学校理科授業に適用した内容と結果について報告する。

5.2.1 小学校授業における実践授業

本実践では、(1) 概念マップを構成する命題に対応するイメージ図を、部品を用いて組み立てる演習が学習者に取って実施可能であることを確認することに加えて、(2) 概念マップのみを作成した後と、組立活動を行った後で理解度確認テストを行うことで、組立活動が上積み学習効果を得られるかどうか調べた。

本実践は、小学校4年生を対象とし、既に学習した既習単元である「影と太陽」の復習として2クラスで行った。2時限の授業内にKB概念マップを拡張したイメージ図組立活動を導入した。今回の実践では二つのゴールマップを利用した。ゴールマップをそれぞれ①、②とし図9、図10に示す。またゴールマッ

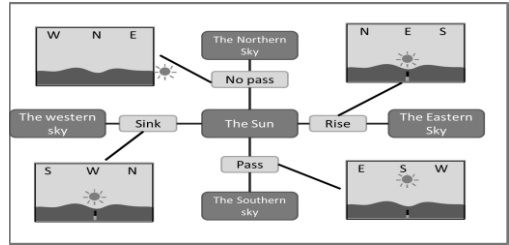


図9 ゴールマップ①
Fig. 9 Goal Map 1.

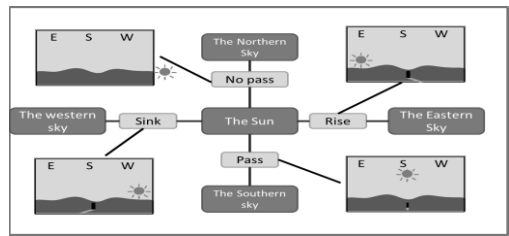


図10 ゴールマップ②
Fig. 10 Goal Map2.

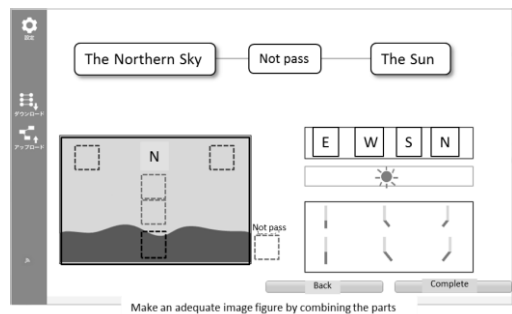


図11 組立演習支援システム
Fig. 11 Assembly activity support system.

プ①に対応するシステム画面を図11に示す。

5.2.2 理解度確認テスト・アンケート

理解度確認テストは担当教師が作成したものであり、影や太陽の位置を答える選択問題4問、方角や太陽の理解を問う問題18問、太陽と影の関係性について問う記述問題1問である。また活動に対するアンケートも行った。設問内容は活動に対する学習者の意見を問う内容となっている。

5.2.3 実践の流れ

今回の実践の流れについて説明する。クラスにより実践の流れが異なっているためクラスごとに説明する。

1クラス目では、まずKB概念マップの構築を行い過去の学習内容の復習を行った。次にマップの診断に

基づく教師のフィードバック，そして学習者によるマップの再構築を行った．この後，理解度確認テスト（対応付け活動に対する事前テストとなる）を行い，授業内容の理解状況の確認を行った．次に対応付け活動としてゴールマップ①の内容について，イメージ図の組み立てを伴うイメージ図と概念マップの対応付け，システムによるイメージ図の組み立て及びイメージ図の正誤判定とその結果に基づく教師のフィードバック，学習者による対応付けのやり直し，を行った．その後ゴールマップ②の内容についても同様の活動を行ったが，授業時間の関係上フィードバックを返すだけで対応付けのやり直しをする時間を取る事ができなかった．これは予想していたよりも学習者のイメージ図の組み立てと対応付けに時間がかかってしまったためである．最後に事後テストとして事前テストと同じ理解度確認テストを行い，更に，組立活動に関するアンケートを実施した．1週間後に遅延テスト（内容は同じ）を実施した．

2クラス目では，1クラス目と同様に事前テストまで行ったが，1クラス目での実践状況から二つのゴールマップを利用した活動を授業時間内に取り扱うことが難しいとの教授者の判断により，ゴールマップ②に関しては，教授者がマップ構築の様子をモニター画面に映しながら学習者と一緒に行った．その後ゴールマップ①の内容に関して学習者自身に活動を行わせた．その結果に対してフィードバック・マップの再構築を行った．その後は1クラス目と同様の流れでアンケート，事後テスト，遅延テストを実施した．

5.3 実践結果・考察

5.3.1 システム結果

今回の実践において，ゴールマップ②の内容については1クラス目では時間が足りず不十分であり，2クラス目が教授者との同時作成であったため，組立活動の結果の検証においてはゴールマップ①の内容についてのみ行う．ゴールマップ①のフィードバック前後での学習者の対応付けの正解率の検証を行った．正解率の推移を図12に示す．1回目の対応付けの正解率は，60.1%，2回目の正解率は90.0%であった．正規性はなかったため，ウィルコクソンの符号付順位和検定を行い，有意な差が確認できた ($p < 0.001$)．

5.3.2 理解度確認テスト結果

組立活動による学習効果の上積みを検証するため理解度確認テストにおいて分散分析を用いた．理解度確認テストのスコアを図13に示す．分散分析の結果，事

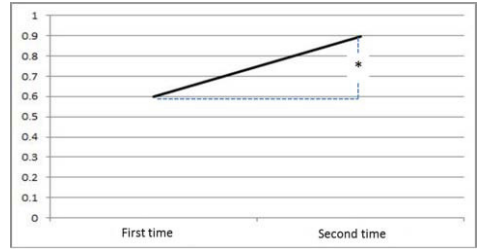


図12 対応付けの正解率
Fig. 12 Correct rate of mapping.

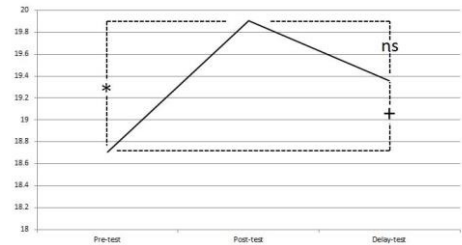


図13 テストスコア
Fig. 13 Test score.

表1 実験後アンケートの質問項目
Table 1 Items of questionnaire.

Q1: マップ(図あり)を作ることは授業の復習になると思いますか
Q2: マップ(図あり)を作るような(絵や図であらわすことをかんがえる)活動はべんきょうの役に立つとおもいますか
Q3: マップ(図あり)を作る活動は、マップ(図なし)をつくる活動より、たくさんのことを考えましたか
Q4: マップ(図なし)を作るときに、マップ(図あり)を作るような絵や図であらわすことをかんがえていましたか
Q5: マップ(図あり)を作るような(絵や図であらわすことをかんがえる)活動を今までにやったことがありますか

前・事後・遅延要因に有意差が確認できた ($F = 6.113$, $p < 0.005$)．3水準であることから更にライアンの方法における多重比較を行ったところ事前-事後間において有意差 ($p < 0.001$)，事前-遅延間において有意傾向 ($p < 0.1$) が確認でき，事後-遅延間においては有意差が確認されなかった．

5.3.3 アンケート結果

学習者に対応付け演習の後アンケートを行った．その質問項目を表1に，結果を図14に示す．組立活動に関する活動の有効性に関して肯定的意見・否定的意見に分け符号検定を行ったところ，全ての項目に対して有意差 ($p < 0.01$) が見られ，肯定的意見が多数を占めた．

担当教師(1名)に対して選択演習と同様の内容でアンケートを行ったところ，(A) 児童は対応付けに熱

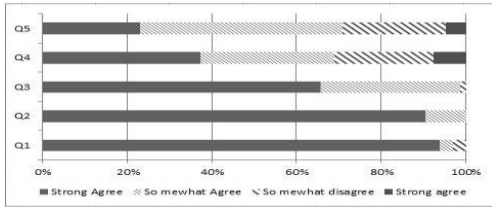


図 14 アンケート結果
Fig. 14 Result of questionnaire.

心に取り組んだ：4, (B) 対応付け活動は児童にとって学習に有用な活動になった：4, (C) 対応付け活動は児童にとって難しかった：3, (D) 対応付けに関するシステムの情報提供は児童にフィードバックを返すのに役だったか：4 (E) 他の单元にも適用可能である：3, となった。(E) については選択演習の場合と同様に、「適切な概念マップとイメージ図を用意」が必ずしも簡単ではない旨のコメントが得られた。

5.4 結果の考察

本実践を通して、(1) 概念マップを構成する命題に対応するイメージ図を部品から組み立てる演習が学習者にとって実施可能であることが確認できた。また、(2) 組立活動が上積みの学習効果をもつことを示唆する結果を得た。(1) については、2 クラスで実践的に活動を実施できたこと、システムから得られた情報に基づいてフィードバックが行え、それが対応付けの正解率の向上に貢献したこと、児童及び教師から肯定的な意見が得られたことから、確認できたと考えている。(2) については、概念マップを組み立てただけよりも、対応付け活動を行った後の方がテストスコアの向上が見られたことが根拠となるが、正誤を教えているわけではないものの、二回同じテストを行った影響は免れないといえる。しかしながら、遅延においても事前に比べて高い得点が保持されている（ただし有意傾向）ことから、組立活動による学習の積み上げがあったことが示唆されたと考えている。

なお、本実践では、今回用いた单元及び演習内容から考えて、(i) 通常の授業において同等の内容を伝えることは難しく、また、難しいからこそ本システムを用いると判断したのであり、通常授業群を設けることは適当ではない、(ii) マップ作成だけ行わせてイメージ図との対応付を行わないことも不自然であり、そのような群を設けることは実践としては適当ではない、という担当教師の判断で、本実践では対照群を設けることができていない。このため、(2) の学習効果の確

認については、十分ではないといえる。筆者らとしては、イメージ図を組み立てるという活動は、与えられたイメージ図を選択するという活動に比べて高度であり、このような活動を小学生に行わせて効果を見た研究は見当たらないことから考えて、このような条件下での実践であっても意義があると判断している。

6. む す び

本論文では、従来の概念マップの作成活動を発展させ、作った概念マップをイメージ図と対応付ける活動までも可能にするを考え、そのための支援システムの設計・開発とその実践利用を行った。

イメージ図選択演習を実施した小学3年生に対する実践では、選択による概念マップとイメージ図の対応付け活動が児童にとって可能であることと、従来形式の授業と比較し学習内容の理解に効果的であることが確認できた。イメージ図組立演習を実施した小学4年生に対する実践では、イメージ図の組み立てと組み立てたイメージ図と概念マップの対応付け活動が児童に取って可能であることと、概念マップの作成に対して学習効果の上積みが見込めることが示された。今回、実践を行った教師は、本システムの継続的な利用を望んでおり、今回の試みを他の单元にも広げていく話し合いを既に進めている。

今後の課題として、前述のように別单元での実践利用や別教科への適用などが挙げられる。また学習者個人への活動を支援する機能を作成し、より効果的な活動支援を行えるようにすることも課題となる。更に、今回は初めての試みであるため支障なく実践することに重きをおいたが、本研究を通して演習として利用可能であることは示されたので、今後は実験計画法に沿った対照実験を行うことで、本演習の学習効果を明確にしていけることが必要であると考えている。

これらの課題に加えて、学習者の活動履歴と学習効果の関係の分析も重要な研究課題になると考えている。本研究では、学習者の活動を設計・促進する仕組みを用意するとともに、学習者の活動履歴も取得可能となっている。活動履歴はプロセスデータとして膨大な量となるため、現時点ではまだ分析できていないが、活動履歴を踏まえて学習効果を分析することができれば、活動の再設計・促進方法の考案などに重要な役割を果たすと期待できる。

文 献

- [1] A.M. Collins and M.R. Quillian, "Retrieval time from

- semantic memory,” *J. Verbal Learning & Verbal Behavior*, vol.8, pp.240–247, 1969.
- [2] J.D. Novak and A.J. Canas, “The theory underlying concept maps and how to construct them,” *Technical Report IHMC CmapTools*, 2006.
- [3] 山口悦司, 稲垣成哲, 福井真由美, 舟生日出男, “コンセプトマップ：理科教育における研究動向とその現代的意義,” *理科教育学研究*, vol.43, no.1, pp.29–51, 2002.
- [4] L. Cimolino and J. Kay, “Verified concept mapping for eliciting conceptual understanding,” *Proc. ICCE2002*, pp.1561–1563, 2002.
- [5] E. Gouli and A. Gogoulou, “Evaluating learner’s knowledge level on concept mapping tasks,” *Proc. ICALT2005*, pp.424–428, 2005.
- [6] S.R. Alpert, “Abstraction in concept map and coupled outline knowledge representations,” *J. Interactive Learning Research*, vol.14, no.1, pp.31–49, 2003.
- [7] M.J. Eppler, “A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing,” *Information Visualization*, vol.3, no.5, pp.202–210, 2006.
- [8] 皆川 順, “導入的概念地図の諸要素と択一式テスト成績との関係,” *東京未来大学研究紀要*, vol.2, pp.33–39, 2009.
- [9] T. Hirashima, K. Yamasaki, H. Fukuda, and H. Funaoi, “Framework of kit-build concept map for automatic diagnosis and its preliminary use,” *RPTEL*, vol.10, no.1, pp.1–21, 2015.
- [10] 福田裕之, 山崎和也, 平嶋 宗, 舟生日出男, “Kit-Build 方式による概念マップの自動診断及びその実験的評価,” 第35回教育システム情報学会全国大会, pp.493–494, 2010.
- [11] K. Yamasaki, H. Fukuda, T. Hirashima, and H. Funaoi, “Kit-build concept map and its preliminary evaluation,” *Proc. ICCE2010*, pp.290–294, 2010.
- [12] 舟生日出男, 石田耕平, 福田裕之, 山崎和也, 平嶋 宗, “概念マップ作成方式の違いによる記憶効果の差異の比較,” *日本教育工学会論文誌*, vol.35, no.2, pp.125–134, 2011.
- [13] K. Sugihara, T. Osada, S. Nakata, H. Funaoi, and T. Hirashima, “Experimental evaluation of kit-build concept map for science classes in an elementary school,” *Proc. ICCE2012*, pp.17–24, 2012.
- [14] 吉田 完, 仁野由彬, 杉原康太, 林 雄介, 志田正訓, 平嶋 宗, “Kit-Build マップによる伝達内容に対する理解の形成的評価,” 2013年度人工知能学会全国大会, 3D3-5in, 2013.
- [15] 平嶋 宗, 長田卓哉, 杉原康太, 中田晋介, 舟生日出男, “キットビルド概念マップの小学校理科での授業内利用の試み,” *教育システム情報学会誌*, vol.33, no.4, pp.164–175, 2016.
- [16] 野村敏弘, 林 雄介, 鈴木拓磨, “Kit-Build 概念マップを用いた協調活動による知識伝搬の分析：中学校社会科授業におけるグループワークを例として,” *人工知能学会全国大会論文集*, vol.28, pp.1–4, 2014.
- [17] 林 雄介, 平嶋 宗, “プレゼンテーション能力の向上を目指した輪講型授業のデザインと実施：Kit-Build 概念マップを用いたプレゼンテーションの振り返りの支援,” *工学教育研究講演会講演論文集平成26年度*, pp.330–331, 2014.
- [18] 林 雄介, 宇津井美代子, 茅島路子, 平嶋 宗, “人文科学系講義における学習者の理解把握のための許容リンクを導入した Kit-Build 概念マップの試験的利用,” *日本教育工学会論文誌*, vol.38, pp.149–152, 2014.
- [19] M. Alkhateeb, Y. Hayashi, T. Rajab, and T. Hirashima, “Comparison between kit-build and scratch-build concept mapping methods in supporting EFL reading comprehension,” *Information and Systems in Education*, vol.14, no.1, pp.1–15, 2015.
- [20] J. Larkin and H. Simon, “Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words,” *Cognitive Science*, vol.11, pp.65–99, 1987.
- [21] 豊田弘司, “記憶の精緻化に及ぼすイメージと意味的適合性の効果 (記憶方略, 学習 11),” *日本教育心理学会総会発表論文集*, vol.28, pp.728–729, 1986.
- [22] 杉島一郎, 賀集 寛, “動物名の記憶における形容詞情報と行動文情報の比較,” 児童の記憶の精緻化におけるエピソード情報とイメージの効果, *日本教育心理学会総会発表論文集*, vol.39, p.410, 1997.
- [23] 和田一郎, 森本信也, “子供の科学概念構築における表象の変換過程の分析とその教授論的展開に関する研究,” *理科教育学研究*, vol.51, no.1, pp.7117–127, 2010.
- [24] 和田一郎, 宮村連理, 澤田大明, 森本信也, “理科学習におけるメタ視覚化の概念とその社会的相互作用を通じた変容過程の分析,” *理科教育学研究*, vol.56, no.1, pp.75–92, 2015.
- [25] 野呂泰仁, “「物の溶け方」の科学的思考力や表現力を育てる指導法の研究—イメージ図のモデル化を通して,” *青森県総合学校教育センター教科等教育長期研究講座報告*, G4-02, 2014.
- [26] M. Nathan, W. Kintsch, and E. Young, “A theory of algebra-word-problem comprehension and its implications for the design of learning environments,” *Cognition and Instruction*, vol.9, no.4, pp.329–389, 1992.
- [27] 伊藤敏裕, 金子敬一, “数学の文章題を解くための作図支援システムの開発,” *情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (2006-CE-083)*, pp.9–16, 2006.
- [28] 小出 誠, 平嶋 宗, 柏原昭博, 豊田順一, “初等力学を対象とした作図の診断システム,” *情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (1996-CE-043)*, pp.1–8, 1997.
- [29] 正田久美子, 草野隆太郎, 中村 学, 大槻説乎, “電気回路の知的マイクロワールドに関する研究,” *信学論 (D)*, vol.J83-D1, no.6, pp.531–538, June 2000.
- [30] 合田将治, 林 雄介, 平嶋 宗, “算数文章題の構造的理解を指向した問題文と全体部分関係の対話的組立環境の設計・開発,” *信学技報*, ET2014-104, 2015.
- [31] D.C. Howell, *Statistical Methods for Psychology*, Wadsworth Publishing, 2002.

(平成28年3月14日受付, 8月8日再受付,
10月13日早期公開)



森 智彦

平 26, 広島大学工学部第二類情報工学専攻卒, 現在広島大学大学院工学研究科情報工学専攻の博士課程前期に所属.



林 雄介

平 10 阪大・基工・システム工学卒, 平 15 同大大学院博士後期課程了, 北陸先端大助手. 大阪大学特任助教, 名古屋大学准教授を経て, 平 24 より広島大学大学院工学研究科准教授. 知識モデリング, 知的教育システムの研究に従事. 博士 (工学).



平嶋 宗 (正員)

昭 61 阪大・工・応物卒, 平 3 同大大学院博士課程了, 同年同大産業科学研究所助手. 同講師, 九工大・情工助教授を経て, 平 16 より広島大学大学院工学研究科教授. 人間を系に含んだ計算機システムの高度化に関する研究に従事. 工学博士.