

Web 調べ学習支援のデザイン

柏原 昭博*

Design of Web-Based Investigative Learning

Akihiro KASHIHARA*

On the Web, learners are allowed to investigate any question in open-ended and unstructured space where they can navigate numerous Web resources to learn in a self-directed way. Knowledge about the question learned as the outcome of such Web-based investigative learning is not unique nor pre-defined. It would be dependent on their own investigation. How to systematically promote learning from such question without unique/pre-defined promising outcome is one of challenging issues in research on learning and educational technology. This paper introduces a novel approach to this, in which we have designed a model of Web-based investigative learning and a cognitive tool for learners to learn as modelled. Such model and tool make it possible to follow self-directed investigative learning process, which could also provide adaptive awareness of learning outcome created by learners and learning skill development.

キーワード：Web 調べ学習，モデルデザイン，学習の主体性，適応的支援，スキル向上

1. はじめに

現代の知識社会では、既存の知識を利活用するだけでなく、新たな知識を創造することが重要であり、そのためには解決すべき課題を自ら発見し、その解を探究する力が求められる。その際の課題とは、解が事前には分かっておらず、課題解決を通して探究され、さらに解は一意的でなく複数の可能性があるような課題である。

社会生活で直面する課題のほとんどは、こうした「答え(解)のない課題」である。学習の文脈では、解決することだけにとどまらず、得られた解自体(成果物)やその解き方を学ぶことも期待される。一方、学校教育では、事前に正しい解が分かっている課題を課すことが多い。しかし、昨今ではPBL(Problem-Based Learning)形式で解の探究を体験させる試みがなされており⁽¹⁾、答えのない課題に挑むスキルの育成は、今後ますます重要性を増すと考えられる⁽²⁾。

答えのない課題では、学習者自ら解を見いだそうとする主体的な姿勢が第一義的に重要である。また、何をどう思考したかを俯瞰的に捉え、解に至るには何が足りないか、何が適切でないかなど、自らの思考プロセスを吟味するためのより高次の思考が不可欠である。加えて、得られた解の妥当性や重要性などを自ら評価すること、さらには同様の課題に対応するために課題解決に至るまでの学び方を学ぶ力が必要となる。

このような主体的な課題解決や学びは、学習者にとっては簡単ではなく、支援の必要性は非常に高いといえる。しかしながら、従来の教育・学習支援システム研究のように、事前に準備された正解や解き方との対比で学習者の課題解決や学びを誘導する方法論は適用できない。では、どのように支援すべきか？これは、学習工学研究として解決すべき重要な問いであり、難問の一つといえる。

筆者らは、Webにおける調べ学習(Web調べ学習)支援の研究を通して、正解を事前準備することが困難

*電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻 (Department of Informatics, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications)

な課題に対して、学習者の主体性を助長しながら、学習者の思考に寄り添って適応的な支援を可能にしつつ、かつ学習者が見いだす解の妥当性や適切さに気づきを与えるような支援方法論を模索してきた。本論文では、筆者らがこれまでに取り組んできた Web 調べ学習支援環境のデザインについて解説し、答えのない課題からの学びをいかに支援するべきかという問いに対して一つの解を提示してみたい。

2. Web 調べ学習

まず、Web 調べ学習の様相を概観し、それを踏まえて学びを支援するために必要となるアプローチについて言及する。

2.1 学びの様相

Web 上の情報リソース (Web リソース) を有効に活用して調べ学習するスキルは、高度情報化社会において極めて重要となっている。また、その向上を支援することは 21 世紀型スキルとして位置づけられる情報スキルとそれに基づく課題解決力の育成にも貢献すると考えられている⁽³⁾。

Web には、同じトピックでも膨大で多種多様なリソースが存在しており、テキスト教材と異なり、特定の見方に縛られることなくさまざまな観点から課題について広く深く学ぶことができる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。筆者らは、このような特徴を備えた Web 調べ学習の定義として、調べたい課題 (例えば、地球温暖化について調べるといふ課題) に関連した情報 (Web ページ) を単に検索サービスを用いて検索することではなく、Web から課題について存在する多種多様な関連項目や項目間の関係を網羅的かつ体系的に学ぶことであると捉えている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

また、オープンエンドな空間に存在する多くの Web リソースは、学びやすいように情報が構造化されていない⁽⁸⁾⁽⁹⁾。そのため、この非構造的な空間を学習者自身が主体的にナビゲーションしながら課題について調べる必要がある。しかしながら、テキスト教材のように学ぶべき項目や順序を規定するような学習シナリオが与えられていない。そのため、Web ページの探究から課題に関して学ぶ項目を見だし、また学

んだ知識やプロセスを振り返りつつ、さらに調べを進めるべき項目や学びが不十分な項目を見極めて、新たな課題 (部分課題) として調べ学習を展開 (課題展開) することが必要となる。これは、課題を構造化して、学習シナリオを作成することに相当するものである⁽⁷⁾。このようなシナリオ作成は、学習者が課題自体を定義することであり、Web 調べ学習の本質的な特徴とみなすことができる⁽⁷⁾。

一方、Web 調べ学習プロセスでは、特定の項目を学ぶことに集中し、課題展開が滞って調べ学習の拡がり限定性となってしまいがちである⁽¹⁰⁾。また、学習シナリオを適切に作成することも容易ではない⁽¹¹⁾。さらに、学習結果としての学習シナリオや学んだ内容は、調べた Web リソースや学習者が何を学びたいかによって異なったものとなる。つまり、同じ課題であっても、解は学習者固有のものとなり、一意に決まるものではない⁽⁴⁾⁽⁷⁾。加えて、正解となるシナリオや学習内容が与えられないため、学習者が解の良し悪しを自ら評価し、不適切・不十分さがあれば調べ学習を継続することが求められる⁽¹²⁾。こうしたメタ認知的活動を、知識構築や学習シナリオ作成と同時に並行的に遂行することは、学習者にとって認知的負荷が非常に大きいといえる⁽¹³⁾。

2.2 支援アプローチ

以上のような主体的に遂行される学びを支援するためには、学習者がどのように課題を解決したのか、どのように学んだのかをできるだけ確に把握することが肝要である⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。この際、課題に対する正解や学び方 (課題の解き方) を想定できれば、課題解決プロセスや学びの状態を認識しやすくなる。しかしながら、Web 調べ学習では、正解を定めることは適切でなく、特定の解を正解として準備することも困難である⁽⁷⁾⁽¹²⁾。また、情報教育の一環として、初等教育から高等教育、研究活動、企業研修、生涯学習などさまざまな文脈で Web 調べ学習の指導が行われているが、Web 空間の特徴を活かした調べ学習のシステムティックな学び方を指南するものは筆者らの知る限りない。多くの場合、Web ブラウザを学習ツールとして用いるだけで、ツールを利用してどのように学ぶのかは学習者に委ねられてしまっている⁽⁹⁾。

そこで、筆者らは、学習者による主体的な学びについて、「何をどう学ぶべきか」という観点からモデルをデザインし、モデルにしたがって学習プロセスや学習状態を外化表現させるアプローチを提唱してきた⁽⁶⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。モデルにしたがって学ばせることは、学習者の学びに制約を与えることになり、学びの主体性を損なうともいえるが、課題解決の指針として最低限必要な措置であり、また外化表現によって非構造なWeb空間での学習者の思考に寄り添うことを可能とするものとなる⁽⁶⁾。ただし、学習者の思考を特定の解に収束させることを意図したものではなく、さまざまな解を探究できることがモデルには求められる。さらに、モデルベースに学習プロセスを外化させることで、適応的な介入も可能となる⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。学習者にとっても、外化表現された自らの思考を客観的に眺めることができ、学びのプロセスや状態を観察・制御するメタ認知的活動も助長される効果が期待できる⁽¹⁸⁾。

また、学習をうまく遂行するためには学び方を習得し、スキル向上を図ることが必要である。一般に、学び方を学ぶためには、手本にそって学ぶ経験を積む必要があるが⁽⁶⁾⁽¹⁹⁾、モデルベースに調べ学習を行うことはその学び方を学ぶことにつながる⁽¹⁶⁾。さらに、より適切な学び方を習得するためには、学習者が自らの学習プロセスや成果物の良し悪しを評価できることが必要となる。これまでの教育・学習支援システム研究では、問題演習を通してスキル向上を支援し、演習での学習者の学びのプロセスや成果物をシステムが診断してきたが、正解を事前準備できない場合モデル

ベースに得られた解が課題に対して妥当かどうか、十分かどうか、意義あるものかどうかなどを学習者が自己評価することになる。

なお、学び方を習得してスキルが向上したかどうかを評価するためには、本来長期的な観点から学び方の定着を見極める必要があり、短期的な問題演習では評価できる範囲が限定的にならざるを得ない。とはいえ、その短期的支援の効果を明らかにすることは、長期的支援の方策や方向性などを見いだすうえで有益な知見をもたらすと期待できる。

3. モデルデザイン

筆者らは、以上の支援アプローチに基づき、Web空間における調べ学習モデルをデザインしてきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾。このモデルは、Webでの調べ学習のプロセス・状態を情報表現し、情報操作として学び方を表現する。また、学習者の主体性を重視し、任意の学習課題に対してモデルベースのWeb調べ学習を遂行する足場を築く認知ツールiLSB(Interactive Learning Scenario Builder)⁽⁷⁾を開発してきた。以下では、これらについて論じる。

3.1 モデル表現

Web調べ学習は、図1に示すように、①Webリソース空間、②調べ学習空間の二つの空間を往来する学びと捉えることができる⁽¹²⁾。①は、学習者が課題に関連するWebリソースを主体的に探索し、学ぶべき情

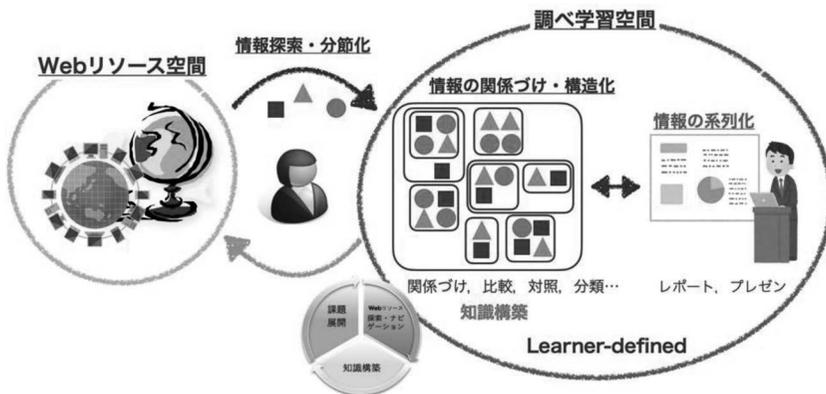


図1 Web調べ学習における課題空間

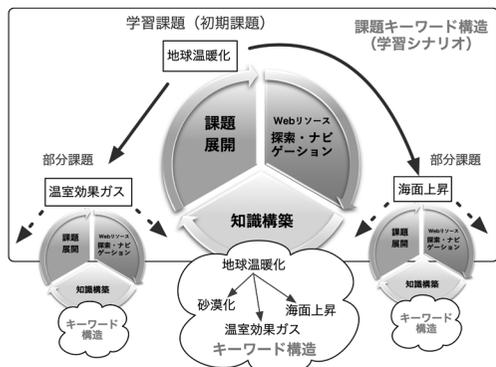


図2 Web 調べ学習モデル

報を見いだして分節化する空間である。②は、分節化した情報の関係づけ・構造化を通して課題についての知識を構築するための空間である。この空間では、学んだ知識からさらに探究すべき部分課題を見だし、その解決のために①に戻って学ぶべき情報を探究・分節化し、再び②で部分課題に対する知識を構築する。このように、両空間を行き来することで、学習シナリオをつくり上げていく。

以上のような課題解決の図式を踏まえて、筆者らは、図2に示すようにWeb 調べ学習モデルをデザインしてきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾。本モデルでは、調べ学習を(a)Webリソース探索・ナビゲーション、(b)知識構築、(c)課題展開の3フェイズのサイクルからなるプロセスとして表現している。(a)では、課題(初期課題)に対してWebリソース・Webページを探索・ナビゲーションし、課題について学ぶべき項目を見いだして分節化する。(b)では、分節化した項目間を関係づけて課題についての知識を構築する。(c)では、初期課題に関する知識を拡げる・深めるために、構築した知識からさらに調べるべきいくつかの項目を部分課題として展開する。そして、展開した各部分課題に対して、同様に(a)から(c)のフェイズを、新たな部分課題が見だされなくなるまで繰り返す。最終的には、初期課題を根とし、展開された部分課題を節とする課題の木構造が作成される。この木構造が学習シナリオを表す。

本モデルでは、これらの学びのプロセス・状態を学習者に外化表現させるために、(a)で分節化した項目を表すキーワードを表現素(representation primitives)として用いる。そのうえで、分節化したキー

ワード間を関係づけてキーワード構造を作成するプロセスを(b)の知識構築とし、またそのキーワード構造から次に展開すべき部分課題となるキーワード(これを課題キーワードと呼ぶ)を選択し、課題キーワード構造を作成するプロセスを課題展開としている。

例えば、図2では、「地球温暖化を調べる」という初期課題(課題キーワード:地球温暖化)に対する3フェイズでの調べ学習が表現されている。この例では、初期課題に関するWebリソース探索・ナビゲーションの結果、「砂漠化」・「温室効果ガス」などのキーワードが分節化され、これらのキーワードを関係づけて、地球温暖化について学んだ知識がキーワード構造として表現されている。また、このキーワード構造から「温室効果ガス」・「海面上昇」を部分課題キーワードとして課題展開し、それぞれの部分課題ごとに3フェイズを遂行している様子が示されている。これらの3フェイズを部分課題が展開されなくなるまで繰り返すことで、成果物として課題キーワード構造が作成される。この課題キーワード構造は、学習者が遂行してきた調べ学習のシナリオを表しており、学んだ課題間の全体・部分関係を木構造で表現する。また、部分課題を展開した順に木構造の左から配置することで、学んだ順が表現される。

本モデルでは、解としての学習シナリオは学習者固有のものとなり、同じ課題に対して作成されるシナリオにはさまざまな可能性がある。これは、表現素である課題キーワードが、事前準備されたものではなく、学習者自身が分節化したものであるためである。

3.2 認知ツール

iLSBは、上述した3フェイズにおける外化表現の足場を提供する認知ツールであり、それぞれのフェイズのために、(1)Webブラウザ・検索エンジン、(2)キーワードドリポジトリ、(3)課題キーワードマップを提供する。まず、学習者は、Webブラウザを用いて、検索エンジンで収集したWebリソースをナビゲーションしながら課題について学ぶべき項目を探索・分節化することができる。

次に、キーワードドリポジトリでは、分節化したキーワード間を関係づけて、課題について学んだ知識を表現することができる。筆者らは、これまでWebペー

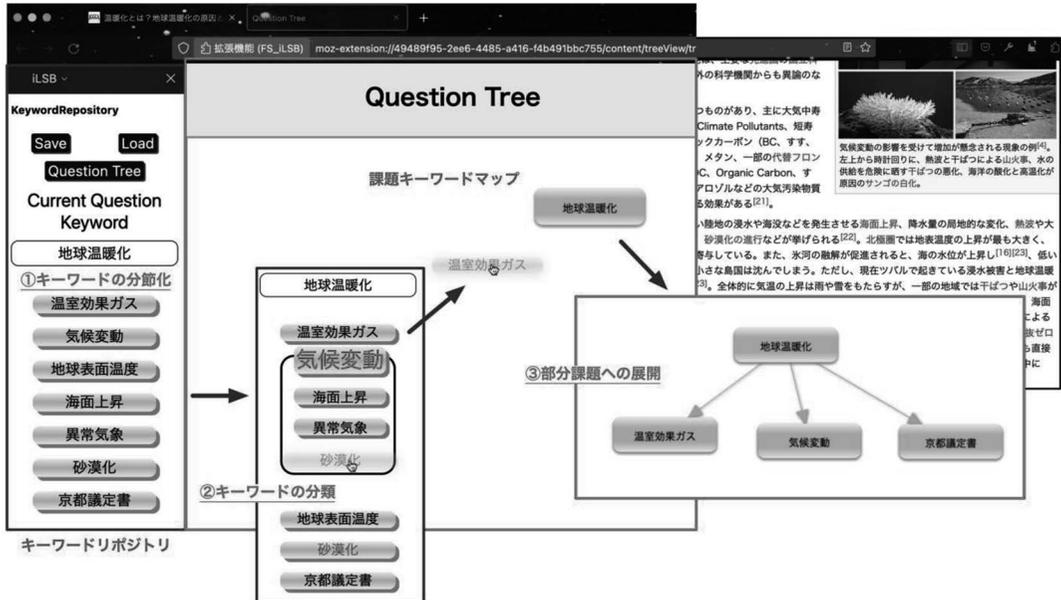


図3 課題キーワードマップ作成例

ジのナビゲーションにおいて学んだ項目間の関係を分類して、学習者に提示することで知識構築の指針を与える手法を提案してきた⁽¹⁰⁾⁽²⁰⁾。iLSBでは、この手法を参考にして、現在キーワード間の包含関係に着目した関係づけの足場を築いている。これによって、学習者は、課題について分節化したキーワードを分類・整理することができる。

課題キーワードマップでは、学習シナリオを作成する。最初に、初期課題キーワードが配置され、次にキーワードリポジトリから展開すべき部分課題となるキーワード（課題キーワード）をドラッグ＆ドロップ操作で課題キーワードマップ上に配置し、親となる課題キーワードとの間にリンクを付与する。これにより、課題キーワードを節とする木構造を作成することができる。また、マップ中の任意の課題キーワードを選択すると、そのキーワードのリポジトリの状態を確認することができる。さらに、未学習の課題キーワードを選択して右クリック操作すると、そのキーワードを検索語として検索エンジンが起動し、部分課題に関連するWebリソースの収集を開始することができる。このように、iLSBは3フェイズのサイクルをシームレスに連携する。

図3に、「地球温暖化」課題についてiLSBで学習

シナリオを作成している様子を示す。ここでは、Webブラウザや検索エンジンでWebページを探索し、学ぶべき項目として「温室効果ガス」、「気候変動」などを分節化し、キーワードリポジトリに格納している(図中①)。その後、「温室効果ガス」に関連するキーワードを内包関係で分類しながら、学んだ知識を表現している(図中②)。そして、リポジトリの中から「温室効果ガス」、「気候変動」、「京都議定書」を部分課題として展開するために、課題キーワードマップに配置し、「地球温暖化」との間にリンクを付与している(図中③)。こうした3フェイズを繰り返すことでシナリオが作成される。なお、iLSBの詳細な動作については文献(7)を参照されたい。

3.3 問題点

iLSBを用いた評価実験の結果、Webブラウザのみを用いた調べ学習と比較して、課題展開が促進され、初期課題について広く・深く知識が学ばれる可能性が示唆された⁽⁷⁾。また、作成された学習シナリオが、学んだ知識を説明する課題レポートの作成に寄与するという知見も得られている⁽⁷⁾。

その一方で、学習の成果物である学習シナリオの分析から、その妥当性、十分性、多様性について問題点

を確認している⁽¹²⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾。まず、学習課題に対する部分課題として妥当でない課題キーワードが展開されてしまう場合がある。これは、学習者によって分節化されたキーワード（表現素）が学習課題と関係しないことが原因で起こる。従来の教育・学習支援システムでは、こうした問題は生じず、通常教育的な観点から学びの成果物である解の表現素の妥当性が保証され、課題解決や成果物作成に供されるが、Web 調べ学習のような主体的な学びでは表現素が必ずしも妥当であることが保証されない。任意の課題について妥当なキーワード群を教育的に準備しておくことも考えられるが、Web 調べ学習の主体性を損なうことになる。

次に、学習シナリオの十分性に関して、iLSB を用いても課題展開が促進されず、規模の小さな成果物が作成されてしまう場合がある。これは、主に Web リソース空間からのキーワードの分節化が限定的であることが原因と考えられる。また、学習シナリオの作成において、課題とその部分課題との関係が偏ってしまうことが起きる⁽²³⁾。例えば、「地球温暖化」のような現象に関する課題の場合、その現象の「影響」である気候変動や「原因」となる温室効果ガスなどが部分課題の候補となり得る。この「影響」・「原因」のような課題間の関係の特徴づける属性が多岐にわたるほど、課題を網羅的・体系的に学ぶことに貢献するため、より多様な属性を用いた課題展開が望まれるが、特定の属性（例えば影響）だけに着目してしまい、学ばれる内容が偏ってしまう。

以上のような学習の成果物に関する妥当性、十分性、多様性の問題は、答えのない課題に対するモデルベースの学習支援では避けて通ることができない極めて重要なものと考えられる。本解説では、Web 調べ学習支援を題材にその解決策を提示したい。

4. 支援環境

上述したモデルベースの主体的学習の問題は、Web 調べ学習スキルが習得されていない学習者がしばしば直面するものであり、必ずしもより良い成果物を作成できるとは限らないことを示唆している⁽²¹⁾。こうした問題を解決するには、iLSB を単純に使い続けるだけでは難しい。そこで、学習スキルの向上を図ること

を目的とした iLSB ベースの支援環境を開発してきた。

4.1 枠組み

成果物としてより良い学習シナリオを作成するためには、ある課題から (i) 妥当な部分課題を展開できる、(ii) 網羅的に部分課題を展開できる、(iii) 多様な属性を用いて部分課題を展開できる、の三つを可能とするスキルの習得が必要である⁽¹¹⁾。また、そのためには、①学習者が自らの成果物の良し悪しを評価できること、②モデルにそった学習の経験を積むことが必要である。

なお、①については、学習コミュニティにおいて同一課題に取り組んだピアがいれば、ピアと学習者の成果物と対比し、相対的に成果物について気づきを与えることができる⁽²⁴⁾。また、コミュニティ内の学習者群の成果物から共通部分を抽出し、それを望ましい解とみなして、学習者の成果物と対比させる方法⁽²⁵⁾も考えられる。しかしながら、これらの相対評価による支援は学習コミュニティを前提としなければならない。

そこで、本支援環境では、オープンエンドかつ非構造な Web 空間において学びの主体性を維持しつつ、図 4 のような学習支援を提供する。まず、学習者が作成した学習シナリオの良し悪し（妥当性、十分性、多様性）については、シナリオを見直すだけでは判断が難しいため、学習者の学びに対する適応的な気づきを与える。学習シナリオの妥当性については、シナリオ中の課題—部分課題間の関係性を iLSB が診断し、その結果を提示すること（prompting）で、妥当な部分課題かどうかを考えさせる⁽¹⁰⁾⁽²¹⁾。具体的には、Web サービスである LOD（Linked Open Data）を用いて、任意のキーワード間の関連度、類似度を計算し、それらに基づき妥当性の診断結果を提示している。本手法により、事前に妥当な課題キーワード群を準備せず、学習者の成果物に応じた気づきを与える支援を可能としている。

ここで、LOD とは Web 上でリンクしているデータを関連づけて表現したデータベースのことである。本研究では、日本語版 Wikipedia の LOD である DBpedia Japanese⁽²⁶⁾ を用いている。データは RDF 形式で表現され、主語、述語、目的語の 3 要素から構成さ

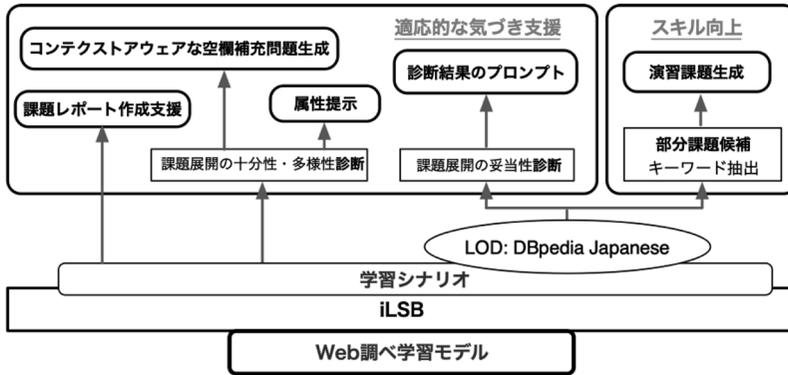


図4 モデルベースの主体的 Web 調べ学習の支援

れている。また、クエリ言語 SPARQL を用いることで、日本語 Wikipedia の範囲内で、任意のキーワードに関連する語句や、キーワード間の距離・経路数を求めることができる。

また、作成された学習シナリオが初期課題を学ぶうえで十分な課題キーワードを含むかどうか（十分性）について気づきを与えるために、図1にも示したように、シナリオで表現される課題構造を系列化し、学んだ内容の課題レポートやプレゼンテーションを作成させる手法を検討してきた。本支援環境では、現在レポート作成支援を実現している⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。レポート作成では、学んだ内容を順序立てて説明する必要があるが、学びに不十分な点があれば、うまく順序立てることができないことが生じる。それを通して、再度 Web リソース空間でのナビゲーションを促し、学ぶべき新たな部分課題に気づかせようとする手法である。

次に、iLSB では学習シナリオ全体として、初期課題および各部分課題からの展開数や展開の多様性（属性数）、課題木の深さから課題展開の十分性を診断し、展開数が不十分な課題については、キーワードリポジトリに着目し、リポジトリ内のキーワードを空欄とする空欄補充問題を学習者に提示する手法を提案している⁽²⁹⁾。具体的には、キーワードを分節化した Web ページ以外のページから、キーワードおよびその課題キーワードや初期課題キーワードをできるだけ多く含むテキストを抽出し、キーワードの部分为空欄とすることで問題を自動生成する。この手法では、学習者が空欄に解答できないことを通して、そのキーワードに関する学びが不十分であることに気づかせて、新たな

部分課題として展開することを期待している。本手法によって、学習者の Web 調べ学習文脈に応じた（コンテキストアウェアな）問題の提示を可能としている。

また、課題展開の多様性の不十分さを解決するために、課題タイプごとに整理した属性群⁽²³⁾を利用して、学習者が取り組んでいる課題に応じた属性リストを提示する。これによって、シナリオの表現素となる課題キーワードを分節化する足場を築く。課題タイプには現象、制度、組織などがあり、また属性タイプは因果関係（原因、影響、作用、対策）、階層関係（クラス、インスタンス）、全体部分関係（構成要素、構造、特徴）、比較関係（類似、対比）などに分けられる。学習者は、図5に示すように属性リストから課題間の関係を表す属性を選択し、課題間リンクに属性を付与することができる。また、課題に対する属性リストを参照することで、未だ展開していない部分課題を分節化するヒントを得ることができる。このような属性提示によって、ある課題からの展開の偏りや、展開すべき属性・部分課題に気づきを与え、より多様な部分課題キーワードの分節化および多様な展開を促すことを可能としている。この手法を評価した結果、より多くの属性を用いた課題展開が促進されることを確認している⁽²³⁾。

本支援環境では、もう一つの支援機能として iLSB を用いたモデルベースの学びの経験の積ませるための問題演習を実現し、学びのスキル向上を支援する。一般に、スキル向上支援では、学習者のスキルに応じた難易度を持つ演習課題を提示することが重要である。

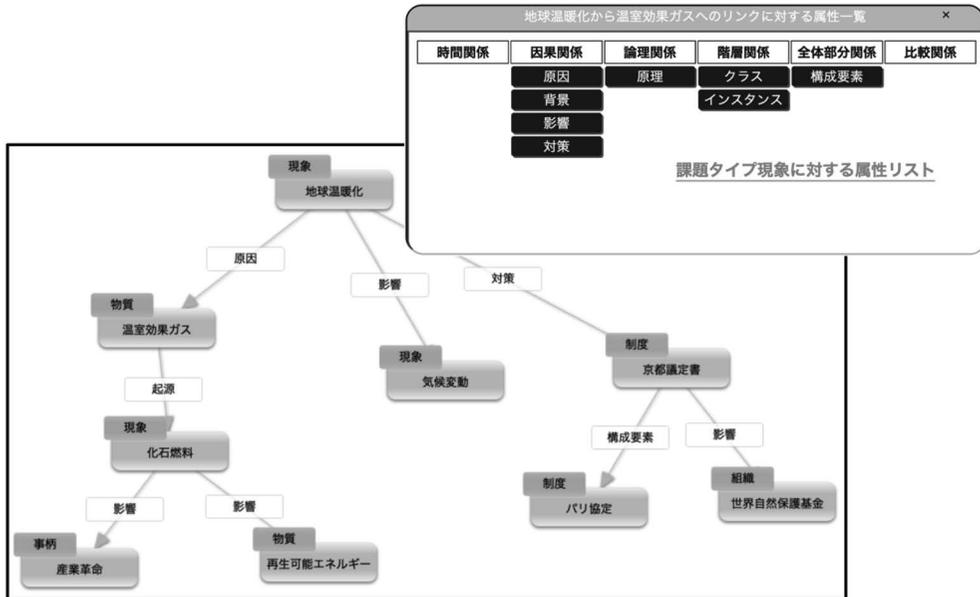


図5 属性提示による課題展開の促進

通常の調べ学習では、初期課題のみ与えられるが、ここでは課題の難易度変更は難しい。そこで、初期課題に加えてその部分課題候補を LOD から抽出して学習者に提示することを演習課題とした⁽³⁰⁾。そして、部分課題候補数や初期課題との関連度を調整することで、演習課題の難易度を変更する手法を開発した。ただし、候補を用いた課題展開を強制するものではない。

以下では、上述した支援手法のうち、課題展開の妥当性診断に基づく適応的な気づき支援と演習課題の生成手法に焦点を当てて述べる。

4.2 適応的な気づき支援

Web のような非構造的な空間での主体的な学習に対して適応的な支援を施すことは、学習支援システム研究として非常にチャレンジングといえる⁽¹⁶⁾。まず、Web 調べ学習では、図6に示すように課題展開が進むにつれて、初期課題との関係性が低い部分課題が展開されることがしばしば起こる⁽¹¹⁾。そこで、展開されたすべての課題（ターゲット課題）について、ターゲット課題—親課題間と、ターゲット課題—初期課題間の関連度・類似度を LOD から推定して、展開先となるターゲット課題の妥当性を診断する⁽¹¹⁾⁽²¹⁾。

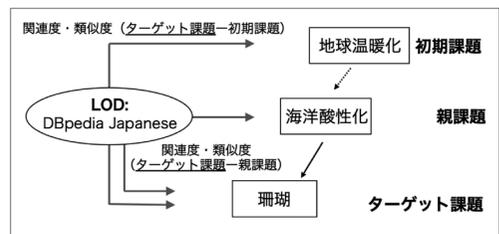


図6 課題キーワードの妥当性計算

そのために、各課題キーワード間について SPARQL クエリを生成し、DBpedia Japanese から二つの課題キーワード間の関連度と類似度を算出する。関連度は、課題キーワード間の距離と経路数から3段階（関連度が強い・弱い・不明）で求められる。類似度も同様に、各課題キーワードに関連した単語集合を取得し、それらの積集合の大きさを表す Simpson 係数から3段階（類似度が強い・弱い・不明）で求められる。ターゲット課題キーワードの妥当性は、初期課題および親課題との関連度・類似度を統合して3段階（妥当性が高い・低い・不明）で算出される⁽²¹⁾。なお、「妥当性が不明」は、課題間の関係が妥当でないということの意味するものではなく、日本語 Wikipedia のリソース範囲では妥当性を判断できないことを意味している。

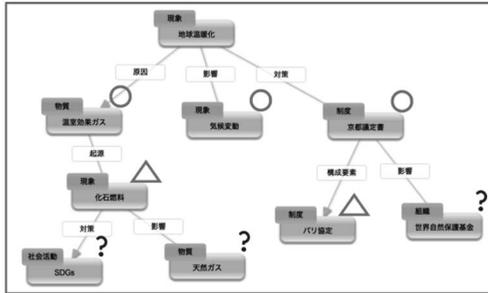


図7 診断結果のプロンプト

こうして求められた診断結果を、図7に示すように、課題キーワードマップ上にプロンプトとして提示することで、学習者による課題展開のリフレクションを促す⁽¹⁰⁾。これによって、特に妥当性が低い(△)、あるいは不明(?)と診断されたターゲット課題キーワードを見直すきっかけと与えることができる。ただし、課題展開の修正を強制するものではない。

この妥当性診断方法を評価するケーススタディの結果、本手法による診断結果が課題に詳しい人間による評価と高い精度で整合することを確かめた。また、プロンプト提示前後で、妥当性が高いと診断された課題展開が有意に増加し、妥当性が不明と診断された課題展開は有意に減少することも確認した⁽³⁰⁾。

4.3 スキル向上

本支援環境では、学習課題について学習者が作成した学習シナリオに対して、上述した適応的気づきの支援を施し、その支援の程度に応じて次に与える演習課題の難易度を定めることを想定している。こうした演習を繰り返すことで、学習者のモデルベースの学習スキル向上を図る。

具体的には、学習者のスキルが低い場合は部分課題候補数を少なく、初期課題との関連度が高い部分課題候補(正の課題キーワード)の比率を高くすることで学習シナリオの作成を促し、妥当な課題展開を助長する。一方、学習者のスキルが高い場合は、部分課題候補数を多く、初期課題との関連度が低いあるいは不明な部分課題候補(負の課題キーワード)の比率を高くすることで、より多くより多様な課題展開を促し、妥当な課題展開の難易度を高める。

課題生成では、word2vec⁽³¹⁾も併用しながら、DB-

pedia Japanese から初期課題キーワードとより関連度が高いキーワードを正の課題キーワード、より低いものを負の課題キーワードとして抽出する。そして、学習者のスキルに応じて正の課題キーワードの総数と正負の課題キーワードの比率を決めて演習課題を生成する。ここで、正の課題キーワードは、作成が期待される学習シナリオの大きさを示し、この数を増やすことで課題展開の順序や属性を意識させることができる。また、正負の課題キーワードの比率は、展開すべき部分課題の選択の難しさを反映し、この値を大きくすることで部分課題としての妥当性をより強く意識させることができる。これらの意識づけは、学習者の課題展開スキルの向上に寄与すると考えられる。

以上の演習課題に関する有効性評価実験では、よりスキルの低い学習者に対して、妥当な課題展開を促す傾向が得られているが、スキルの高い学習者に対しては有効に機能しないことが示唆されている⁽³⁰⁾。これは、そもそもスキルのある学習者にとって部分課題候補の提示は主体性を阻害するためとも考えられる。

このような実験的知見は、短期的な支援の効果から得られたもので、必ずしも学び方を学ぶことによるスキル向上を的確に評価ができていないわけではない。学び方が定着したことを判断するには、モデルベースの学び方によって長期的に学びとその支援を経験する必要があり、その効果を評価することが重要である。筆者らも、認知ツールの中長期的な利用を通して、ツールが有する支援機能を段階的に取り除き、支援なしでもモデルベースの学び方を行えるようにする手法とその評価を提案してきた⁽¹⁹⁾が、学習支援システム研究分野では未だ決定的な評価方法は確立されていない。今後、短期的・長期的視点の両面から、学び方の学びによるスキル向上評価に関する知見が蓄積され、評価方法論が浮き彫りになっていくことを期待したい。

5. 今後の展望

本解説では、Web 調べ学習を題材に、主体的な学びを助長するためにデザインしたモデルと、モデルベースの学びを支援する環境について論じてきたが、Web 調べ学習のモデルは唯一というわけではない。全く異なる観点からのモデルがあっても良い。

Web では、現在フィルタバブルと呼ばれる問題がある⁽³²⁾。これは、膨大かつ多種多様な情報へのアクセスが可能であるにもかかわらず、Web 上の検索サービスなどを使えば使うほど、ユーザが意識せずともアクセスできる情報が適応的に限られてしまう（困り込まれる）ことである。Web 調べ学習の文脈でも学べる情報が知らず知らず偏っていく恐れがある。このような情報偏差の問題をいかに回避するかは、現代の知識社会で求められる情報リテラシーとして非常に重要である。

iLSB ベースの支援環境では、属性提示機能がこの情報偏差を低減する一助になると考えられる。また、現在、属性について対立する観点を定義し、iLSB ベースに批判的思考を巡らせることができるような支援を検討している。例えば、課題「地球温暖化」の影響を考える際、海面上昇などマイナスの影響を思考する傾向があるが、対立観点となるプラスの影響を考えると作物の生育促進などについて思考を展開することができる。こうした思考は、情報偏差を打ち破るうえで非常に効果的である。今後、情報偏差の問題を解決する有用な Web 調べ学習モデルがデザインされることを期待したい。

また、本解説では、答えのない課題として解や解き方が事前には用意されていないことを前提に論じてきたが、解決すべき課題をいかに発見するかについては支援策を提示できていない。Web 調べ学習モデルでは、初期課題が与えられる、あるいは学習者がすでに見いだしているときに、その部分課題を見つけ出すプロセスは支援できているが、初期課題をいかに見いだすかは、その必要性を生み出すような文脈を想定することになり、より困難な課題になると考えられる。この課題発見力は、人間にとって非常に高度なスキルであり、いかに支援すべきかについては今後の研究に期待したいところである。

6. おわりに

答えのない課題に対して、その解決や解決からの学びをいかにシステムティックに支援するかは、難問中の難問である。これまでの多くの学習・教育支援システムでは、正解や解き方を基盤として、学習者の解を

評価する、スキル向上を支援することがなされてきた。この方法論は、教育的に学習者のゴールが定義されるため、そこに学習者を向かわせれば良く、やるべきことがはっきりしている点で安心感もある。一方、正解が準備できず、かつ一意的にも決まるものではない課題では、これまでの支援方法論では対応が難しく、教育的な観点からすると学習者をどこに帰着させれば良いのか分からない。そのため、支援可能なかと戸惑いも出るであろう。しかしながら、答えのない課題では、教育的な観点よりも、学習者が学ぶプロセスや学ぶ内容に寄り添い、学習者の観点からそれらを眺めることが重要ではないだろうか。

本解説では、そのためにはどう学ぶべきかを表すモデルをデザインし、モデルベースに学ばせることが必要になることを主張した。モデルをデザインすることは、課題に対する学び方を提供することにほかならない。今後、正解が想定できないことを恐れず、学習者の主体性を助長しながら有用で適切な学習支援を作り出す研究が数多く出てくることを期待したい。本解説が、答えのない課題に対する主体的な学びを支援する方法を考えるうえでの一助となれば幸いである。

謝辞

本稿の内容の一部は、JSPS 科研費 JP17H01992、26282047 の研究成果による。

参考文献

- (1) Hmelo-Silver, C. E.: "Problem-based learning: What and how do students learn?", *Educational Psychology Review*, Vol. 16, No. 3, pp. 235-266 (2004)
- (2) Griffin, P., McGaw, B. and Care, E. (Eds.): "Assessment and Teaching of 21st Century Skills", Springer Dordrecht (2012)
- (3) Griffin, P., Murray, L., Care, E. et al.: "Developmental assessment: Lifting literacy through professional learning teams", *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, Vol. 17, No. 4, pp. 383-397 (2010)
- (4) Hill, J. R. and Hannafin, M. J.: "Cognitive strategies and learning from the World Wide Web", *Educational Technology Research and Development*, Vol. 45, No. 4, pp. 37-64 (1997)
- (5) Henze, N. and Nejdil, W.: "Adaptation in open corpus hy-

- permedia”, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 12, No. 4, pp. 325–350 (2001)
- (6) 柏原昭博: “学習を工学的にモデル化する—認知プロセスの具象化に向けて—”, *人工知能学会誌*, Vol. 30, No. 4, pp. 473–476 (2015)
- (7) Kashihara, A. and Akiyama, N.: “Learning scenario creation for promoting investigative learning on the Web”, *Journal of Information Systems Education*, Vol. 15, No. 1, pp. 62–72 (2016)
- (8) Brusilovsky, P. and Henze, N.: “Open corpus adaptive educational hypermedia”, In P. Brusilovsky, A. Kobsa, and W. Nejdl (Eds.), *The Adaptive Web*, LNCS 4321, Springer Berlin, pp. 671–696 (2007)
- (9) Land, S. M.: “Cognitive requirements for learning open-ended learning environments”, *Educational Technology Research and Development*, Vol. 48, No. 3, pp. 61–78 (2000)
- (10) Sato, Y., Kashihara, A., Hasegawa, S. et al.: “Promoting reflection on question decomposition in Web-based investigative learning”, *Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education (ICCE2019)*, Vol. 1, pp. 75–80 (2019)
- (11) 柏原昭博, 佐藤禎紀, 萩原未来, 太田光一, 長谷川 忍, 鷹岡 亮: “Web 調べ学習スキル向上を目的としたマイクロワールドの構築”, 第 88 回 先進的学習科学と工学研究会, 資料 SIG-ALST-B903-17, pp. 91–96 (2020)
- (12) 柏原昭博: “非構造な情報空間における主体的学習支援の難しさ”, *教育システム情報学会第 47 回全国大会*, pp. 291–292 (2022)
- (13) Azevedo, R. and Aleven, V.: “Metacognition and learning technologies: An overview of current interdisciplinary research”. In R. Azevedo and V. Aleven (Eds.), *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies*. Springer International Handbooks of Education, Vol. 28. Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5546-3_1 (2013)
- (14) Wenger, E.: “Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge”, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. (1987)
- (15) Mandl, H. and Lesgold, A. (Eds.): “Learning Issues in Intelligent Tutoring Systems”, Springer-Verlag (1998)
- (16) 柏原昭博: “学習支援システム研究における学びのモデルデザイン”, *人工知能学会誌*, Vol. 35, No. 2, pp. 201–207 (2020)
- (17) 柏原昭博: “Web におけるナビゲーションを伴う学習活動と支援環境のデザイン”, *人工知能学会誌*, Vol. 25, No. 2, pp. 268–275 (2010)
- (18) Jonassen, D. H.: “Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking”, Second Edition, Prentice-Hall (2000)
- (19) 柏原昭博, 伊藤 真: “認知ツールの操作スキル向上支援を目的とした Fadable Scaffolding”, *人工知能学会論文誌*, Vol. 30, No. 3, pp. 559–569 (2015)
- (20) 柏原昭博, 坂本雅直, 長谷川 忍, 豊田順一: “ハイパー空間における主体的学習プロセスのリフレクション支援”, *人工知能学会論文誌*, Vol. 18, No. 5, pp. 245–256 (2003)
- (21) Sato, Y., Kashihara, A., Hasegawa, S. et al.: “Diagnosis with linked open data for question decomposition in web-based investigative learning”, *Proceedings of International Conference on Smart Learning Environments*, pp. 103–112 (2019)
- (22) Hagiwara, M., Kashihara, A., Hasegawa, S. et al.: “Adaptive recommendation for question decomposition in web-based investigative learning”, *Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Education (TALE)*, pp. 750–757 (2019)
- (23) 木下恵太, 柏原昭博: “Web 調べ学習における課題展開のための属性提示手法の評価”, *電子情報通信学会教育工学研究会技術研究報告 (信学技報)*, ET2014-99, pp. 77–82 (2015)
- (24) Ota, K., Kashihara, A. and Hasegawa, S.: “A navigation history comparison method for navigational learning with web contents”, *Journal of Information Systems Education*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–23 (2005)
- (25) 太田光一, 柏原昭博: “ハイパー空間におけるナビゲーションプランニング支援のための Guided Map 生成”, *教育システム情報学会誌*, Vol. 28, No. 3, pp. 94–107 (2011)
- (26) DBpedia Japanese: <http://ja.dbpedia.org>(参照 2023.1.30)
- (27) 森下夏暉, 柏原昭博, 太田光一, 長谷川 忍: “Web 調べ学習における適応的な目次構造作成支援の評価”, *教育システム情報学会 2021 年度第 6 回研究会*, pp. 22–29 (2022).
- (28) Harada, O. and Kashihara, A.: “Summary writing with graphic organizers in web-based investigative learning”, In D. Ifenthaler, P. Isaías and D. G. Sampson (Eds.), *Orchestration of Learning Environments in the Digital World*, Springer Cham, pp. 215–230(2022)
- (29) Kato, S. and Kashihara, A.: “Generating context-aware fill-in-blank problems for prompting reflection on web-

based investigative learning”, HCHI 2022: Learning and Collaboration Technologies: Designing the Learner and Teacher Experience, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 13328, Springer Cham (2022)

- (30) Saito, R., Kashiwara, A., Sato, Y. et al.: “How to generate exercise questions for web-based investigative learning”, In D. Ifenthaler, D. Sampson, and P. Isaias (Eds.), Balancing the Tension between Digital Technologies and Learning Sciences, Springer International Publishing, pp. 235–252 (2021)
- (31) Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G. et al.: “Efficient estimation of word representations in vector space”, Proceedings of the 1st International Conference on Learning Representation, arXiv:1301.3781[cs] (2013)
- (32) Pariser, P.: “The Filter Bubble: What the Internet is Hiding from You”, Penguin Books (2012)

著者紹介

柏原 昭博



1987年徳島大学工学部情報工学科卒業。1989年同大学院修士課程修了。1992年大阪大学大学院博士課程修了。大阪大学産業科学研究所助手、講師、助教授を経て、2011年電気通信大学大学院情報理工学研究科教授、現在に至る。博士(工学)。学習工学、特にWeb

調べ学習、メタ認知、知識外化、プレゼンテーション、学習支援ロボットなどを対象に、学びのモデルデザイン研究に従事。