

高等学校における問題解決型探究指導の知識モデリング ～PPDAC サイクルオントロジーの構築と探究過程の可視化～

Knowledge Modeling and Visualization of the Inquiry based Learning Instructional Process in Japanese High Schools PPDAC Cycle Ontology

林宏樹^{1*} 笹嶋宗彦¹
Hiroki Hayashi¹ Munehiko Sasajima¹

¹ 兵庫県立大学
¹ University of Hyogo

Abstract: 高等学校では、問題を発見し解決する探究学習を通して問題解決能力の育成を目指している。しかし、探究学習の指導法が確立されておらず、指導経験の浅い教員が指導計画を立てることは困難な状況である。本研究では、統計的探究プロセスを基盤とした探究学習指導を支援する PPDAC サイクルオントロジーを提案した。研究方法として、探究学習における知識の獲得、体系化を行い、構築した知識体系と PPDAC サイクルの対応付けを行い、知識モデルを構築した。アンケート調査によって検証した結果、構築したオントロジーは探究学習の指導経験の浅い教師が指導計画を立案する支援を行うことができる可能性があることがわかった。

1 はじめに

テクノロジーの発展によって単純作業はコンピュータに代替され、人間に求められる力は高度化している。OECD が実施する国際学習到達度調査 (PISA2012) [1] で相互作用的な操作を通じた問題解決力に関する測定が行われているように、近年、問題発見・解決能力の育成が重視されている。これらを踏まえ、日本の高等学校教育では、問題解決プロセスを用いた探究活動を行うことで問題解決力を育む教育活動が盛んとなってきた。

高等学校における学習指導要領では問題発見・解決力の学習基盤となる資質・能力の育成が求められている。ここで、学習指導要領とは、文部科学省が定める日本の小学校、中学校、高等学校の各教科の到達目標や、教育すべき内容を定めたものである。全ての教員は学習指導要領に定められた内容に基づいた指導を行うため、学習指導要領は国全体の指導内容を方向付ける基準となっている。

問題解決力の育成の 1 つの方策として、学習指導要領の改訂によって「総合的な探究の時間」が設立された。「総合的な探究の時間」では、解決の道筋がすぐに明らかにならない課題や、唯一の正解が存在しない課題に対して、最適解や納得解を見いだすことを重視し

ている点が挙げられている [2]。このような「問題解決を目的とした探究活動」(探究活動) が問題解決力の育成のために必要となり、高等学校教員は生徒が探究活動を行う支援となる探究学習の指導 (探究指導) を行う必要性が高まってきた。

生徒が探究活動を円滑に進めていく 1 つの手段として、問題解決プロセスに従って指導する方法がある。そこで、高等学校学習指導要領や教員研修用教材に提示されている問題解決プロセスについて整理する。一つ目として、総合的な探究の時間では「課題の設定、情報の収集、整理・分析、まとめ・表現」の探究の過程の 4 つのプロセス [2] がある。第二に、数学科「数学 I」では「問題 - 計画 - データ - 分析 - 結論」の統計的探究プロセス [3] がある。第三に、情報科「情報 I」教員研修用教材では「問題の発見、情報の収集と分析問題の定義、計画の立案・解決方法の探索、計画の実行・結果の予測、振り返り、次の問題解決へ」の学習活動の流れ [4] がある。これらの 3 つのプロセスは、問題解決につながる研究経験があり、大学などで論文を書いたことのある人ならば、実質的に同じプロセスであることは理解できるであろう。しかしながら、稲永 [5] は修士レベルの学識経験がないと探究学習の指導は難しく、探究学習の指導を行うには学問的な経験とともに一定の経験が必要であることを指摘している。現状調査すると、現役の高等学校教員の学歴構成は、学士修了者の割合が 84.1 %、大学院修了者の割合が 15.9 % であ

*連絡先：兵庫県立大学社会情報学部社会情報科学科
〒 651-2197 兵庫県神戸市西区学園西町 8 丁目 2-1
E-mail:sasajima@sis.u-hyogo.ac.jp

る [6]. このことから、日本の高等学校教員がこの3つのプロセスを同じであると判断できるかどうかは疑問である。そのため、多くの高等学校教員が問題解決プロセスに従って探究指導を行うのは困難であることが想像できる。本稿では、問題解決プロセスに関連した経験が少ないまたは未経験である、もしくは、探究指導の経験が少ないまたは未経験である教員を「指導経験の浅い教員」と呼ぶことにする。関連して考えると、指導経験の浅い教員が問題解決につながる探究学習の指導計画を立てることも困難であると考えられる。例えば、「問題発見」の段階では、問題を発見するまでの状態遷移の過程が暗黙的に含まれており、どのような状態が存在し、その状態を遷移するためには何を達成すればよいかのわかりづらい。このような過程が暗黙的に含まれている探究指導において、学習指導要領が示す問題解決プロセスは、その定義が詳細ではないため、指導経験の浅い教員が指導計画を立てるための参考にはなりにくいと考えられる。

本研究では、問題解決プロセスを活用した探究学習の指導方法の標準化を目指す。まず、問題解決プロセスに関する知識を獲得し、獲得した知識を体系化する。次に、知識体系と問題解決プロセスのフェーズを対応させる。探究学習の指導方法は暗黙的な要素が多いため、暗黙知を明示化するのに適したオントロジー構築ツールを用いることにした。本研究の成果は、探究指導の手引きの作成につながり、探究指導ができる教員の育成に貢献することが期待される。

本稿の構成は以下の通りである。第2章では、オントロジー工学に関する関連研究について述べる。第3章では、探究学習のプロセスをモデル化する方法について述べる。第4章では、PPDAC サイクルに基づいたオントロジーを構築し、モデル化する。第5章では、構築したオントロジーについて、探究学習の専門家として判断した高等学校教員や研究経験が豊富である大学の教員からのアンケート調査とインタビュー調査による評価について述べる。第6章では、結論と今後の展望についてまとめる。

2 オントロジー工学の関連研究

2.1 オントロジー構築について

本研究は、探究学習の指導経験が浅い教員でも理解し実践することができるような探究学習指導方法の標準化を目指している。日本の高等学校における探究指導の現状として総合的な探究の時間があるが、専門的な指導ができる教員免許をもった教員はおらず、他教科の教員免許をもった教員が割り当てられている。また、文部科学大臣の検定を経た教科書がない状態であ

る。そのため、教員自身の研究経験の有無に加え、探究指導の模範となる教員もおらず、教科書もなく、指導方法を確立するための体制が乏しい状態である。このような状況を解決する方法として、探究学習の指導方法のモデルを構築することが1つ挙げられる。指導方法のモデルがあれば、モデルを指針として指導内容の全体像を理解し、どのフェーズにどれだけの時間が必要であるのか、どのような状態になれば次の状態に遷移することができるのかを想定した年間指導計画を立てることが可能であると考えられる。そこで、本研究では、共通語の提供、暗黙情報の明示化、知識の体系化に適したオントロジー工学を用いることにした。

オントロジー工学とは、溝口 [7] によって提唱された、現実に存在する本質的な概念構造をコンピュータ上で表現するための理論と技術である。オントロジーで定義された概念は、知識を共有するための共通概念として利用することができ、知識の共有や使い勝手を向上させることができる。オントロジー構築では、is-a 関係に基づく概念クラスの構築が重要である。概念クラスは単なる分類を行うのではなく、概念間の意味的な差異を明確にすることで概念を分類する [9]。探究指導に必要な知識を獲得し、その知識の差異をプロパティによって明確に分類することで、生徒の探究学習の状態を把握し、次への状態に遷移するための指導助言ができる。オントロジーを構築することは、これまで暗黙的であった探究活動の状態を可視化し、具体的な指導方法を明示化することにつながる。よって、状態とプロパティが教員同士の共通語となり、一貫した生徒の指導が可能となると考えられる。

2.2 教育とオントロジー

教育分野に関連するオントロジーには以下のようなものがある：オントロジーを用いた情報教育目標の体系的記述 [12]、オントロジー教育における複雑な協同学習の場の設計を支援するオントロジー [10]、教育設計モデルのためのオントロジー教育設計モデルのためのオントロジー [11]、オントロジーを活用した授業設計システム開発 [13] などがある。教育分野では、暗黙的となっている情報の明確化や体系化のためにオントロジーが利用されている。

2.3 オントロジーと知識獲得方法

オントロジー構築のための知識獲得方法について、一般的なプロセス知識を構造化する方法 [14] や、介護現場ごとに依存して変化する固有プロセスを獲得する知識発見の方法、CHARM(Convincing Human Action Rationalized Model) と呼ばれる暗黙的行為の明示的記

述モデル [15][16] などがある。また、クラシックギター
の専門家から暗黙的な知識を獲得し手続き知識を構築
したドメインオントロジーの構築に関する研究がある
[17]。これらの研究を参考に、2種類の専門家から知識
を獲得することにした。1つは、探究指導に十分な経
験を持つ高等学校の教員である。もう1つは、研究経
験と研究指導が豊富な大学の教員である。専門家の知
識に基づいて、探究指導に関わる知識体系をモデル化
する。

3 探究指導プロセスのモデル化

探究指導における指導方法をモデル化するために、基
盤とする問題解決プロセスと PPDAC サイクルの説明、
探究指導の知識獲得とオントロジー構築の手順と評価
方法について述べる。

3.1 問題解決プロセス

問題解決プロセスに関する研究は盛んに行われてお
り、多くの問題解決プロセスが提案されている。その
中で、我々は日本の学校教育において、小学校、中学
校 [18]、高等学校 [19] の授業実践で用いられている統
計的探究プロセス Problem (問題) - Plan (計画) -
Data (データ) - Analysis (分析) - Conclusion (結
論) (PPDAC サイクル) に着目した。先進的な統計教
育を実施しているニュージーランドの学校教育 [20] で
も活用されている。本研究の成果は全国の高等学校教
員を対象に普及することを考えている。このことから、
学習指導要領に記載されているプロセスの1つである
PPDAC サイクルを採用することにした。

3.2 PPDAC サイクルについて

PPDAC サイクルは、Problem (問題) - Plan (計
画) - Data (データ) - Analysis (分析) - Conclusion
(結論) の5段階のフェーズに従って統計学を用いて問
題解決を行うためのフレームワークである。フェーズ
の内容について、学習指導要領 [3] では Problem は問題
の把握、問題の設定、Plan はデータの想定、収集計画、
Data はデータの収集、表への整理、Analysis はグラフ
の作成、特徴や傾向の把握、Conclusion は結論付け、振
り返りと表記している。深澤ら [21] では、Problem は
問題をとらえる、Plan は計画を立てる、Data はデー
タを集める、Analysis は分析する、Conclusion は結果
を読み取ると表記している。このことから、各フェーズ
の表記には探究活動を行う上で広義にも狭義にも解釈
できる表記となっており、具体的に何を指導したらよ
いのか指針が示されていないことがわかる。したがっ

て、獲得した問題解決プロセスの知識を体系的に可視
化し、PPDAC サイクルに対応させることで、探究指
導において PPDAC サイクルを活用した指導方法が明
確になると考えた。

3.3 知識獲得

日本の高等学校における探究活動の問題解決プロセ
スに関する知識を獲得するために、スーパーサイエン
スハイスクール (SSH) で開発されている評価を行うた
めのルーブリックが有効な資料となる。SSH とは、理
数系教育を通して、生徒の科学的な探究能力等を培い、
国際的に活躍し得る科学技術人材等の育成を行う文部
科学省が指定した中学校、高等学校である。ルーブリ
ックとは、数レベル程度の尺度と記述語から構成され
る評価基準表である。SSH 校では 2013 年前後から科
学的探究を通して獲得した力を評価することが意識さ
れ、多くの SSH 校が独自でルーブリックを作成し評価
に活用している。例えば、アメリカの科学的探究の議
論を参考に科学的探究力の質を判断するルーブリック
が開発されている [22]。

このような状況において、8校の SSH によって標準
化されたルーブリックが開発されている (標準化ルー
ブリック) [23]。標準化ルーブリックは、生徒の問題
解決プロセスに即した取組の質を判断するために、生
徒を捉える観点 (評価規準) と質の深まり (評価基準)
が明文化されている。このことから、先進的な問題解
決に関わる探究指導を行っている SSH 校が開発した
ルーブリックに基づいて問題解決プロセスの知識を獲
得することで、日本の高校生の実態に対応したもの
と考えている。

一方、標準化ルーブリックでは、問題解決プロセス
に特化しているわけではない。探究活動の評価を行
うためのものであり、探究活動におけるフェーズ間
のつながりが表現されていない。探究活動の状態基
準を1から5の状態では表しているが、探究活動の過
程において状態を遷移する方法が明確に記述されて
いるとは言い難い。このことから、標準化ルーブリ
ックに基づいて獲得した知識をプロパティを用いて
体系的に記述することで、フェーズ間や状態間の遷
移を明確にすることが指導方法につながると考えら
れる。本研究では、評価のための標準化ルーブリ
ックとは異なり、探究指導の指導方法につながる可
視化がオントロジーによって明示化される。

3.4 オントロジー構築の手順

本研究では、次の手順で行うことにする。

手順1 問題解決プロセスに関する知識を獲得する。

手順2 獲得した知識を体系化する。

手順3 知識体系とPPDACサイクルに対応させて構造化する。

手順1では、標準ルーブリックの記述語を参考に、問題解決プロセスの状態に関連する用語を獲得した。獲得した用語は、概念間の重複、用語間の関係、用語がクラスかクラスでないかを考慮することなく作成した。手順2では、手順1で獲得した知識を体系化した。下位クラスは、プロパティを用いて上位クラスを特殊化した。手順3では、手順2で体系化した知識をPPDACサイクルに対応させて構造化した。各フェーズの状態を初期状態、中間状態、発展状態、終了状態として設定し、フェーズに対応した状態を割り当てた。構造化では探究学習の状態とPPDACサイクルの各フェーズとの対応関係を考慮した。

3.5 オントロジーの評価方法

探究指導の経験豊富な専門家がアンケート調査によって構築したオントロジーを評価した。本研究では、専門家は高等学校での探究学習の指導経験が4年以上、もしくは大学における研究指導がある実務経験者と定義した。第一著者が個別に60分から90分程度の時間を要してオントロジーの説明を行い、その後専門家はアンケートの回答を行った。アンケート内容は、オントロジーを評価するために21の項目から構成した。表1に質問項目を示す。回答は5件法(1:いいえ, 2:あまり, 3:どちらともいえない, 4:まあまあ, 5:はい)を用いた。

4 PPDACサイクルオントロジーの構築

PPDACサイクルオントロジーはオントロジー構築・利用環境「法造」[24]上で実装した。

4.1 知識の獲得

標準化ルーブリックでは、4つの観点があり、課題の設定、調査計画の立案と実施、情報収集と情報の評価、結果からの考察が設定されており、観点ごとに基準、徴候、指導方略が定義されている。これらを参考に、探究学習の状態に関する知識を獲得し、49の状態概念を含む93の概念を定義した。具体的には以下のように知識を獲得した。基準に基づいて、「問いを立てることができている」という記述は「問い状態」、「見通しをもった計画となっている」という記述は「実行不

明状態」、「実行可能状態」と概念化した。徴候に基づいて、「結果と考察が分離できず、結果のみとなる」という記述は「言語化状態」、「未考察状態」、「考察状態」と概念化した。

4.2 知識の体系化

獲得した知識と標準化ルーブリックに基づき、上位クラスと下位クラスをis-a関係によって体系化した。各観点に基づいて、上位クラスを「定式化状態」、「仮説設定状態」、「実行状態」、「データ収集状態」、「分析状態」、「結論状態」として特殊化を行った。以下に、具体例として「定式化状態」に関する知識を体系化した状態を図1に示す。

第一に、標準化ルーブリックにおける観点「課題の設定」の基準2「問いを立てることができている」、基準3「研究の目標を踏まえて、問いや仮説を設定できている」の記述から、問い状態から仮説状態へ状態が遷移することが読み取れた。

第二に、徴候3「曖昧な語を含んでいるものの、研究を通じて明らかにしたいことを目標や仮説といった形で表現できている」の記述は、「明らかにしたいこと」を問いに対する「予想した解」と判断し、プロパティに「予想した解の有無」のbooleanを設定し、Falseであれば「問い状態」、Trueであれば「仮説状態」として体系化した。

第三に、徴候3「仮説を立てている」と徴候4「数多くの実験をした上でそれを踏まえた仮説を立てている」、徴候5「先行研究がある場合、それらと比較できるような課題が設定できている」の記述は、「仮説状態」ではあるが客観的な根拠をもった仮説とそうでない仮説によって区別することが示唆されており、状態は変わらず、仮説の質の高さを区別する必要があると考えた。よって、「仮説状態」を特殊化し、「仮説設定・客観性有」、「仮説設定・客観性無」を設定した。

このような手順によって、それぞれの状態について、「仮説設定状態」、「実行状態」、「データ収集状態」、「分析状態」、「結論状態」に定義した概念を体系化した。「仮説設定状態」、「実行状態」は状態の遷移だけ、「定式化状態」、「データ収集状態」、「分析状態」、「結論状態」は状態の遷移と質の高さを表現することができた。本研究における構築したオントロジーは、ウェブページ¹に掲載する。

4.3 PPDACサイクルへの構造化

PPDACサイクルに基づき、獲得した知識体系を構造化した。まず、問題解決プロセスである各フェーズの

¹<https://sites.google.com/view/education-ontology>

表 1: 専門家に実施した質問項目

項目 1	オントロジーの可読性
1-1	PPDAC サイクルのオントロジーの概要を理解できたか
1-2	クラスとプロパティについて理解できたか
1-3	Problem 段階における生徒理解状態の分類を読み取ることができますか
1-4	Plan 段階における生徒理解状態の分類を読み取ることができますか
1-5	Data 段階における生徒理解状態の分類を読み取ることができますか
1-6	Analysis 段階における生徒理解状態の分類を読み取ることができますか
1-7	Conclusion 段階における生徒理解状態の分類を読み取ることができますか
項目 2	オントロジーの適切性
2-1	上位の概念は適切でしたか
2-2	プロセスの状態の分類は適切でしたか
2-3	Problem に含まれる状態の定義は適切でしたか
2-4	Plan に含まれる状態の定義は適切でしたか
2-5	Data に含まれる状態の定義は適切でしたか
2-6	Analysis に含まれる状態の定義は適切でしたか
2-7	Conclusion に含まれる状態の定義は適切でしたか
項目 3	オントロジーの有用性
3-1	PPDAC サイクルオントロジーによって、手続き的知識の理解が深まったか
3-2	手続き的知識の構造化において、PPDAC サイクルオントロジーの用語が役に立ちましたか
3-3	手続き的知識のプロセスが、PPDAC サイクルオントロジーで適切に分類されていたか
3-4	PPDAC サイクルオントロジーは、PPDAC サイクルに対する意識や認識を高めるのに役に立つと思えましたか
3-5	本オントロジーを用いることで、あなたは指導計画を立てることができたか
3-6	本オントロジーを用いることで、あなたは探究指導を行うことができたか
3-7	本オントロジーを用いることで、あなたは評価基準を立てることができたか

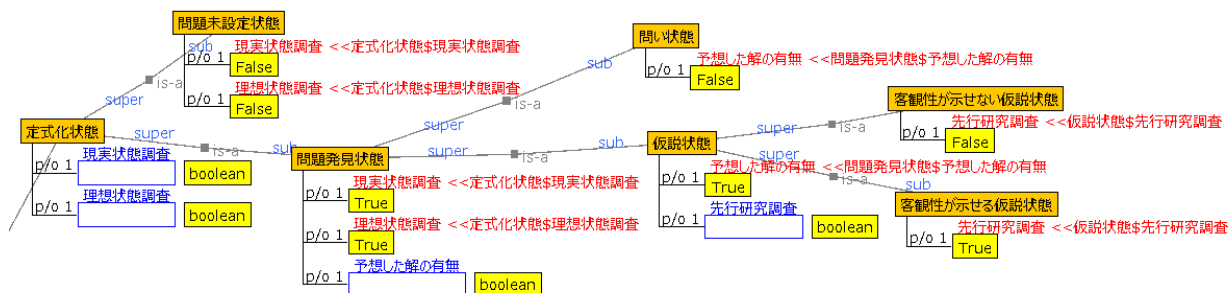


図 1: 定式化状態

上位クラス「プロセス」には初期状態，中間状態，発展状態，終了状態を割り当てた．初期状態と終了状態は必ず到達する状態であると定義した．次に，初期状態から終了状態へ遷移するためには，中間状態が存在する場合があり，それらの状態を配置した．最後に，必ず遷移するとは限らないが，状態の遷移ではなく，状態の質が高い状態を発展状態とし，該当する状態がある場合は配置した．図 2 に Problem フェーズ，図 3 に Plan フェーズと Data フェーズ，図 4 に Analysis フェーズと Conclusion フェーズを示す．

4.4 アンケート調査結果

専門家として判断した高校教員 (n=5) と大学教員 (n=4) を対象としたアンケート調査の結果が表 2 である．「はい」，「まあまあ」の回答を肯定的な回答とす

る．どの項目も概ね肯定的な回答が多く，各項目の平均値は 4.0 以上であった．高校教員と大学教員の全体回答結果から，肯定的な回答割合が 100 % であった項目は，オントロジーにおける概要の可読性，クラス・プロパティの可読性・適切性，Problem フェーズの可読性，Data フェーズの可読性・適切性であった．また，本オントロジーは PPDAC サイクルの認識向上に有効であることが示唆された．しかしながら，Plan，Analysis，Conclusion の各フェーズの可読性・適切性は肯定的な意見が少なく，検討の必要性が示唆された．

高校教員の回答結果では，5 名全員が「はい」と回答した項目は，1-2，1-7，3-1，3-2，3-4 であった．可読性については，クラスとプロパティの理解，Conclusion 段階の生徒理解状態の分類，有用性については，PPDAC サイクルの手続き的知識の理解，意識や認識の向上，オントロジーの用語の有用性の点において効果がある

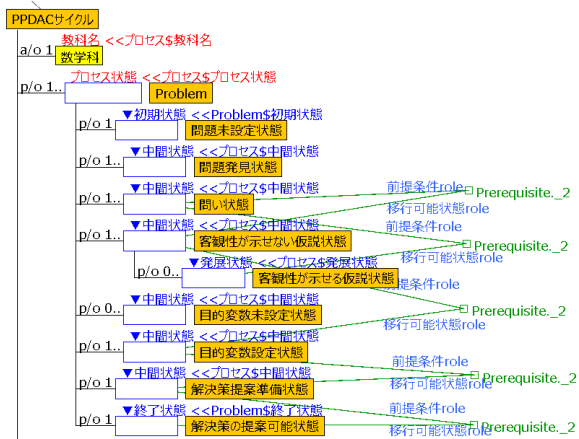


図 2: Problem フェーズ

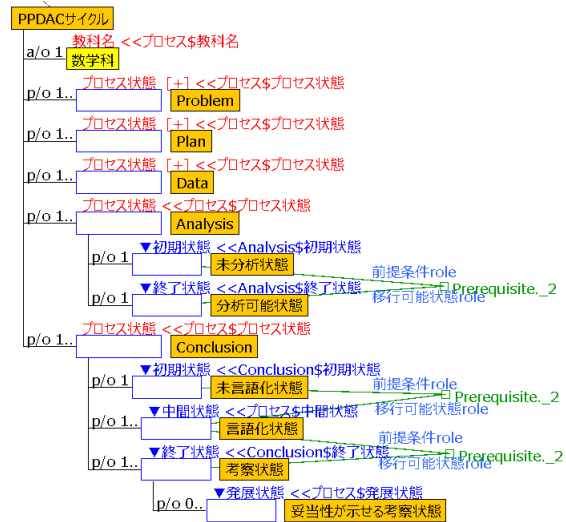


図 4: Analysis · Conclusion フェーズ

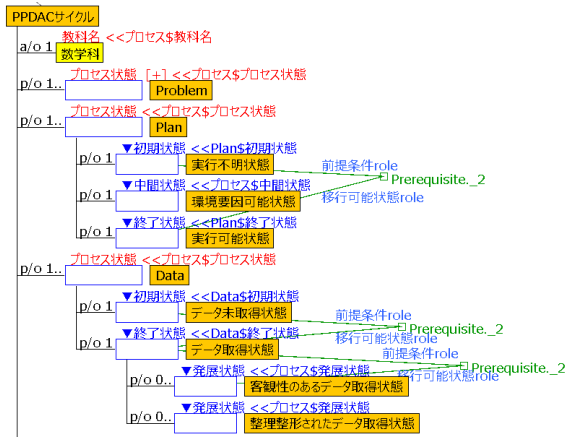


図 3: Plan · Data フェーズ

5.1 オントロジーの評価

高校教員と大学教員を対象としたアンケート結果の全体の回答によって評価した。オントロジーの可読性、適切性について、(1)オントロジーの概要の可読性、(2)クラス・プロパティの可読性・適切性、(3)Problem フェーズの可読性、(4)Data フェーズの可読性・適切性、以上の4項目で良好な評価を得た。

アンケートの記述回答では、探究指導の全体像が明確になったことと、専門家自身が探究指導をする上で暗黙的な用語を使用していることを認識できたという意見があった。具体的には、Problem フェーズを学習指導要領から判断すると「問題の把握、問題の設定」としか提示おらず、問題発見をするだけと捉えがちである。しかし、オントロジーで指導方法を明示化したことにより、探究活動では問題発見から仮説を設定し、解決策の提案まで実施する必要があることを明らかにできたことを支持された。このことから、Problem フェーズを明示的に定義して可読性を高めたことにより、Problem フェーズには多くの段階が含まれていることが理解でき、多くの指導時間を要することが明らかとなった。したがって、構築したオントロジーによって、経験の浅い教員でも探究活動の年間指導計画を立てることが可能となり、Problem フェーズの指導時間数には考慮する必要があることがわかった。

Data フェーズにおいては、単にデータを取得するだけで留まらず、データ取得状態の質を高めるための整理整形を行った状態が存在すること、整理整形はPPDACサイクルの発展状態に位置するために全員に指導する必要はないが、探究活動が進んでいる生徒に対しては整理整形を行うように指導を進めればよいと指導方法

ことが示唆された。一方、「どちらともいえない」の回答が含まれている項目が項目 1-6, 2-3, 2-6, 2-7であった。可読性の観点では、Analysis 段階の生徒の理解状態の分類、適切性の観点では、Problem, Analysis, Conclusion に含まれる状態の定義について検討の必要性が示唆された。

大学教員の回答結果では、可読性・適切性における Problem, Data フェーズは肯定的な回答が 100%であるが、Plan, Analysis, Conclusion フェーズは「どちらともいえない」と「あまり」が含まれていた。

5 考察

専門家によるアンケート結果に基づいて、構築したオントロジーの評価と改善点について述べる。

表 2: アンケート調査結果

項目	全回答								高校教員								大学教員							
	1	2	3	4	5	平均	SD	1	2	3	4	5	平均	SD	1	2	3	4	5	平均	SD			
1-1	0	0	0	1	8	4.9	0.3	0	0	0	1	4	4.8	0.4	0	0	0	0	4	5.0	0.0			
1-2	0	0	0	1	8	4.9	0.3	0	0	0	0	5	5.0	0.0	0	0	0	1	3	4.8	0.4			
1-3	0	0	0	1	8	4.9	0.3	0	0	0	1	4	4.8	0.4	0	0	0	0	4	5.0	0.0			
1-4	0	0	1	2	6	4.6	0.7	0	0	0	1	4	4.8	0.4	0	0	1	1	2	4.3	0.8			
1-5	0	0	0	3	6	4.7	0.5	0	0	0	2	3	4.6	0.5	0	0	0	1	3	4.8	0.4			
1-6	0	0	2	1	6	4.4	0.8	0	0	1	0	4	4.6	0.8	0	0	1	1	2	4.3	0.8			
1-7	0	0	1	1	7	4.7	0.7	0	0	0	0	5	5.0	0.0	0	0	1	1	2	4.3	0.8			
可読性	0	0	4	10	49			0	0	1	5	29			0	0	3	5	20					
2-1	0	0	0	3	6	4.7	0.5	0	0	0	2	3	4.6	0.5	0	0	0	1	3	4.8	0.4			
2-2	0	0	1	4	4	4.3	0.7	0	0	0	4	1	4.2	0.4	0	0	1	0	3	4.5	0.9			
2-3	0	0	2	2	5	4.3	0.8	0	0	2	1	2	4.0	0.9	0	0	0	1	3	4.8	0.4			
2-4	0	0	1	1	7	4.7	0.7	0	0	0	1	4	4.8	0.4	0	0	1	0	3	4.5	0.9			
2-5	0	0	0	5	4	4.4	0.5	0	0	0	2	3	4.6	0.5	0	0	0	3	1	4.3	0.4			
2-6	0	1	1	4	3	4.0	0.9	0	0	1	2	2	4.2	0.7	0	1	0	2	1	3.8	1.1			
2-7	0	0	2	0	7	4.6	0.8	0	0	1	0	4	4.6	0.8	0	0	1	0	3	4.5	0.9			
適切性	0	1	7	19	36			0	0	4	12	19			0	1	3	7	17					
3-1	0	1	0	0	8	4.7	0.9	0	0	0	0	5	5.0	0.0	0	1	0	0	3	4.3	1.3			
3-2	0	1	0	1	7	4.6	1.0	0	0	0	0	5	5.0	0.0	0	1	0	1	2	4.0	1.2			
3-3	0	0	0	3	6	4.7	0.5	0	0	0	1	4	4.8	0.4	0	0	0	2	2	4.5	0.5			
3-4	0	0	0	0	9	5.0	0.0	0	0	0	0	5	5.0	0.0	0	0	0	0	4	5.0	0.0			
3-5	0	1	0	4	4	4.2	0.9	0	0	0	2	3	4.6	0.5	0	1	0	2	1	3.8	1.1			
3-6	0	1	1	2	5	4.2	1.0	0	0	0	2	3	4.6	0.5	0	1	1	0	2	3.8	1.3			
3-7	0	1	0	2	6	4.4	1.0	0	0	0	1	4	4.8	0.4	0	1	0	1	2	4.0	1.2			
有用性	0	5	1	12	45			0	0	0	6	29			0	5	1	6	16					

が明確化されると高評価を得た。このことから、質の高さの設定によって、学校の実態に応じて生徒の理解度に合わせた指導計画を設定することに有効であることを示したと考えられる。

構築したオントロジーは、探究活動の遷移状態がオントロジーによる体系化によって明確に表現されており、暗黙的な指導手順を明示していると知識の体系化に関する肯定的な意見があった。PPDAC サイクルオントロジーの有効性では、手続き的知識が構造化されたことにより、PPDAC サイクルの認識を高めることに対する良好な評価が得られた。大学教員からは探究活動の指導の全体像が表現されており、高校生段階では有効であると評価された。

一方、可読性と適切性に関して、Plan, Analysis は一定程度の評価は得ているが、十分とはいえず、検討する必要がある。Plan フェーズでは環境的要因が抽象的であること、Analysis フェーズでは他のフェーズと異なった状態遷移ではない表記となっていることが指摘された。したがって、知識の体系化による改善が必要であるが、本オントロジーによって、探究学習に関する知識が獲得されたこと、探究活動の状態が体系化されたこと、PPDAC サイクルに基づいて構造化されたことは良好に評価されていると判断した。

5.2 オントロジーの改善点

探究活動を進める上で、問題発見から問題解決まで進めていくための知識の獲得に不足はないかどうか、知

識の体系化において上位と下位の関係が逆ではないかという点について検討した。

可読性において、Plan, Analysis, Conclusion に肯定的ではない回答があった。Plan, Conclusion については、ラベルの用語が難しいという指摘があった。これは再度検討をするが、知識の獲得や体系化に関する問題点ではなかった。Analysis については、知識の不足の指摘があり、今後追加修正を行う。

適切性において、Data 以外のフェーズに肯定的ではない回答があった。Problem では現実状態調査について具体的な知識の体系化を加えること、Plan では環境的要因が抽象的であること、Analysis では分析状態のよりよくなる特殊化を追加すること、Conclusion では未考察状態のラベルの記載が伝わりづらいことという指摘であった。したがって、Problem, Analysis は知識獲得不足、Plan はプロパティ不足が指摘され、追加修正を行う。また、Conclusion についてはラベルについて再度検討を行う。

有効性において、大学教員から大学教育における探究活動、つまり研究指導では Problem や Analysis に関する手続き的知識は一方通行ではなく、試行錯誤を行いながら実行していくため、その表現が不十分であるという指摘であった。ただし、高等学校教育の探究活動を大学教育の研究活動の導入と捉えるならば、高等学校教育では十分に役に立つオントロジーであるという意見であった。このことから、大学での探究学習の指導という視点では有効性に肯定的ではないが、高等学校教育に限定すれば有効性は見られるという回答で

あった。

したがって、それぞれの懸念点はあるが、回答した要因を調査すると、本オントロジーが不適切と考えられる要因ではなく、概ね影響はないと判断し、今後、適切な修正を行う。

6 おわりに

本研究では、問題解決プロセスを用いた探究活動の指導方法に関するPPDACサイクルオントロジーを構築した。標準化ルーブリックに基づき、問題解決プロセスに関する知識を獲得し、体系化し、PPDACサイクルに対応した手続き的知識を構造的に記述した。構築したPPDACサイクルオントロジーは一定の評価を受けたことを示した。このことから、以下の4点のことを明らかにした。

- 問題解決型探究指導における指導に関する知識を獲得したこと。
- 知識の体系化によって、暗黙的であった指導方法が明示化されたこと。
- 本オントロジーによって、指導経験の浅い教員が指導計画を立てるサポートとなる可能性を示唆したこと。
- Problem フェーズの指導には多くの時間を要することが示唆されたこと。

今後の課題としては、専門家によるアンケート調査結果をもとにオントロジーを再構築すること、その他の探究学習の指導用の資料にどれだけ対応しているのか妥当性を検証することが挙げられる。

謝辞

本研究では、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）JPNP18002の助成を受けた。

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所:OECD 生徒の学習到達度調査 PISA2012 年問題解決能力調査-国際結果の概要-, 2014.
- [2] 文部科学省: 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説総合的な探究の時間編, 2018.
- [3] 文部科学省: 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説数学編理数編, 2018.
- [4] 文部科学省: 高等学校情報科「情報 I」教員研修用教材 第 1 章情報社会の問題解決, 2019.
- [5] 稲永由紀:「総合的な探究の時間」の指導を支える教員の学術経験-学士課程教育をめぐる状況と教員養成上の課題-, RcusWorkingPaper, No20, p. 1-9, 2020.
- [6] 文部科学省: 令和元年度学校教員統計調査, 2021.
- [7] 溝口理一郎: オントロジー研究の基礎と応用, 人工知能学会誌, Vol14, No6, p.978-988, 1999.
- [8] 溝口理一郎: オントロジー構築入門, オーム社, 2006.
- [9] 古崎晃司: ドメインオントロジーの構築と利用, 情報知識学会誌, Vol19, No4, p.296-305, 2009.
- [10] 武内雅宇, 林雄介, 池田満, 溝口理一郎: 実践・教育複合型協調学習場の設計支援に向けたオントロジー工学的アプローチ, 人工知能学会論文誌, 21 巻, 2 号 F, p.184-194, 2006.
- [11] Yusuke Hayashi, Seiji Isotani, Jacqueline Bourdeau, Riichiro Mizoguchi: Toward a Learning/Instruction Process Model for Facilitating the Instructional Design Cycle, Education and Technology for a Better World, p.138-147, 2009.
- [12] 笠井俊信, 山口晴久, 永野和男: オントロジー理論に基づく情報教育目標の体系的記述, 電子情報通信学会論文誌, 88 巻, 1 号, p.3-15, 2005.
- [13] 笠井俊信, 永野和男, 溝口理一郎: 教師の授業設計意図自動外化システムの開発とその有効性評価, 人工知能学会論文誌, 30 巻, 3 号 SP-E, p.570-584, 2015.
- [14] 西村 悟史, 大谷 博, 島山 直人, 長谷部 希恵子, 福田賢一郎, 来村 徳信, 溝口 理一郎, 西村 拓一: 現場主体の“知識発現”方法の提案, 人工知能学会論文誌, 32 巻, 4 号, p.1-15, 2017.
- [15] Satoshi, Nishimura and Yoshinobu, Kitamura and Munehiko, Sasajima and Akiko, Williamson and Chikako, Kinoshita and Akemi, Hirao and Kanetoshi, Hattori and Riichiro, Mizoguchi: CHARM as Activity Model to Share Knowledge and Transmit Procedural Knowledge and its Application to Nursing Guidelines Integration, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 17 巻, 2 号, p.208-220, 2013.
- [16] 西村 悟史, 笹嶋 宗彦, 来村 徳信, 中村 明美, 高橋 弘枝, 平尾 明美, 服部 兼敏, 溝口 理一郎: 目的指向の看護手順学習に向けた複数観点からの知識閲覧システム CHARM Pad と新人看護師研修への実践的活用, 人工知能学会論文誌, 30 巻, 1 号, p.22-36, 2015.
- [17] 飯野 なみ, 西村 悟史, 西村 拓一, 福田 賢一郎, 武田 英明: 領域オントロジーと手続き的知識を併用した知識構築の実践と分析, 人工知能学会論文誌, 35 巻, 1 号, p.1-12, 2020.
- [18] 菊野 慎太郎, 松元 新一郎: 中学校数学科における「データの活用」の指導 統計的な問題解決のサイクル (PPDAC) に基づいた単元の開発と実践, 静岡大学教育実践総合センター紀要, 30 巻, p.69-78, 2020.
- [19] 林 宏樹, 渡辺 博芳: 高等学校「情報 I」における PPDAC サイクルの段階的指導法を用いたデータサイエンス教育の授業実践例, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE), CE-167, 1 号, p.1-7, 2022.
- [20] 青山 和裕: ニュージーランドの統計教育から得られる示唆, 日本数学教育学会誌, 100 巻, 7 号, p.11-20, 2018.
- [21] 深澤 弘美, 櫻井 尚子, 和泉 志津恵: 統計的探究プロセスとその評価, 統計数理, 66 巻, 1 号, p.15-36, 2018.
- [22] 大貫 守: 高等学校での課題研究ルーブリック作成の取り組み—科学的探究の指導と評価を中心に—, 思考力・判断力・表現力育成のための長期的ルーブリックの開発 最終成果報告書 (研究代表: 田中耕治), p.71-83, 2016.
- [23] 西岡 加名恵, 大貫守: スーパーサイエンスハイスクール 8 校の連携による「標準ルーブリック」開発の試み, 教育方法の探究, 京都大学大学院教育学研究科・教育方法学研究室, 23 巻, p.1-12, 2020.
- [24] 古崎 晃司, 来村 徳信, 佐野 年伸, 本松 慎一郎, 石川 誠一, 溝口 理一郎: オントロジー構築・利用環境「法造」の開発と利用, 人工知能学会論文誌, 17 巻, 4 号, p.407-419, 2002.