

特集：我々にとっての教育システム情報学マップ：問いの体系化の試みとその共有

教育システム情報学とはどのような学問領域なのか？ ——領域の未来のための検討——

山元 翔^{*}，田和辻 可昌^{**}，林 佑樹^{***}

Working Towards Future—What We Know about Research Field of Information and Systems in Education?

Sho YAMAMOTO^{*}, Yoshimasa TAWATSUJI^{**}, Yuki HAYASHI^{***}

This article explores future directions in addressing two key challenges for the advancement of Information and Systems in Education (iSE) research: the systematization of research questions and the development of research area maps. To address these challenges, we have used ontology engineering knowledge to construct an ontology for iSE research. This ontology centered on the learner's learning. Based on this ontology, we created two research maps: one structured around the foundation-application axis of iSE research and the other organized by perspectives and approaches aimed at advancing the frontiers of iSE research. The article also provides concrete examples of the use of these ontologies and maps, based on existing research that has been evaluated in JSiSE. It then outlines how the maps can be used for external entry, joint research with other disciplines and as a simple textbook for young people. Finally, contribution and limitations in this project are being discussed.

キーワード：教育システム情報学，オントロジー工学，体系化，問い

1. はじめに

Coverage of subject matter is a snare and a delusion. You begin where the students are prepared to begin; and you carry them as far as you can without losing them.

— Herbert A. Simon⁽¹⁾

教育システム情報学会（JSiSE）は、CAI（Computer Assisted Instruction）学会から発展し、50年の歳月、知見を積み重ねてきた学問分野を対象とする学会である⁽²⁾。CAI学会からJSiSEへと改名した理由は「学会が包摂する研究領域が、社会的要請や情報技術の進化とともに飛躍的に拡大したこと」とされている。その定義としては、名称変更の同時期の当学会の巻頭言に

において「教育で行われている様々な事象を、情報の流れとしてモデル化し、その要因を明らかにすること」と述べられている⁽³⁾。そして現在、学会Webサイトの学会概要⁽⁴⁾では、「およそ教育・学習に関わるシステムに関するあらゆる研究が対象とされており、こと教育・学習に関係する様々な学術的情報を扱う幅広い領域を対象とした学会」と記されている。

教育・学習に関する広大な範囲をカバーする学問領域として、教育システム情報学会誌では、本学問分野に根差した価値あるさまざまな論文が発行され続けている。その一方で、間口の広い学会だからこそ、個々の論文の価値や、その後の研究の方向性、あるいは若手の育成や、他領域との接続／参入において、どのような形が望ましいかを論じることは難しい。このよ

^{*} 近畿大学情報学部／情報学研究所（Faculty of Informatics/Cyber Informatics Research Institute, Kindai University）

^{**} 東京大学大学院工学系研究科（Graduate School of Engineering, The University of Tokyo）

^{***} 大阪公立大学大学院情報学研究所（Graduate School of Informatics, Osaka Metropolitan University）

うな課題については、2001年に教育システム情報ハンドブックとして整理がなされ⁽⁵⁾、近年においても編集委員会の取り組みとして、iSEにおける問いのフレームワーク（Yモデル）やiSE研究の5分類を提示するなど、本分野の研究を明らかにする取り組みがなされている⁽⁶⁾。

こうした経緯を受けて、JSiSE 50周年記念プロジェクトとしてのJSiSE Map Working Groupが、(a)教育システム情報学研究（以下、iSE研究）における問いの体系化、(b)iSE研究を位置付ける研究マップの構築という2点を目的として、3年に渡り展開されてきた。我々のサブグループでは、まずはiSE研究マップ構築のための共通言語として、iSE研究のオントロジー構築に取り組んだ。これは、マップを提案するためには、（あくまで我々の視座ではあるが）対象となるiSE研究を定義・共有しておく必要があると考えたためである。本解説では、オントロジー工学によるiSE研究の定義を土台として、(a)、(b)の課題への回答を示す。この回答は解説として、本誌の読者の方々にとって、ご自身の研究を深めたり、発展／拡張したり、あるいはほかの研究者との連携に活用したりすることを目的に執筆するものである。

以上より、2章ではまず本解説の構成や本サブグループの取り組みを位置付ける。これは、本プロジェクトが非常に抽象度の高いものであり、さまざまなアプローチが存在するため、我々のアプローチを理解いただくことが重要だと考えたためである。そのうえで、3章では問いの体系化やマップについて説明するための拠り所として作成したiSE研究のオントロジーを概説する。4章ではこのオントロジーに基づいて表現された問いの体系化、5章では同様に作成した2種類のマップについて解説する。そして6章ではこれらの提案内容がどのように活用できるのか、我々の研究内容等を踏まえて具体化する。最後に、7章では本プロジェクトを通して見えてきた課題を述べ、8章でまとめる。

2. 本解説におけるiSE研究へのアプローチ

本プロジェクトは、(a)iSE研究における問いの体系化、(b)iSE研究を位置付ける研究マップの構築の

2点が目的である。教育システム情報学が、CAI学会からの継統として一つの「独自の知見」に基づく学問分野として発展してきたとすれば、すべてのiSE研究に当てはまり、かつ、iSEの研究の持つ概念がほかの研究の持つ概念と差別化されるような、iSE研究独自の本質的な性質があるはずである。これを考えることは、このプロジェクトにおいて重要だといえる。

そこで我々のグループでは、iSE研究の本質的な性質をオントロジー工学的観点から考察し、iSEの主要な概念を定義することを一つのマイルストーンに設定した。オントロジー工学を選択した理由は、「オントロジーは既存の知識ベースに潜んでいる対象世界に関する暗黙の概念化を明示化したものである」⁽⁷⁾ことから、これまでiSE研究で議論されてきたさまざまな知見が、どのような概念体系に基づいて論じられてきたかを考察するうえで適切な記法の一つであると考えたためである。

無論このオントロジーは容易に記述しうるものではない。多くの読者をご存知のように、本分野はヒトや社会的相互作用を系に含む学問分野であり、それゆえ、時代の変化に影響を受け変更・拡張する必要のある分野である。加えて、学際領域に位置付けられるiSE研究は多様な分野が融合して新たな知見が生まれていくという性質も備えている⁽⁸⁾。したがって、iSE研究に関する諸概念とその構造を必要十分なレベルまで整理することは本質的に不可能であり、拡張や修正を前提としたものにしかなり得ないと考えている。

このような性質を備えるiSE研究の記述にあたり、我々は、「教育システム情報学とは（本解説で）規定された範囲を扱う分野である」という境界線を定める排他的立場ではなく、「教育システム情報学はこのように表現でき得ると思えられ、この性質のもと自身の研究をどのように説明できそうか（できなさそうか）」を議論するための明示的な土台をオントロジーによって提案することを指向した。そのため、我々の概念定義で不足していると考えられる箇所については検討・拡張いただきたい。このことは読者の皆さまが取り組む研究課題の新規性を考えることにもつながるかもしれない。ゆえに、ご自身にとって誤りと考えられる箇所は、忌憚なく修正いただければ幸いである。この活動を通して、対象世界（教育システム情報学）のあり

方を陽に議論する思考が促されるような、一つの研究の捉え方を提供できることが有用だと考えている。

このオントロジーは、目的(a)においては問いをどのような視点で体系化するか、目的(b)においては各iSE研究がどのような関係性にあるか、すなわちマップを表現するためにiSE研究間の関係をどう捉えるかを明示的に論じるための対話基盤となる。ただし、オントロジーに対して興味を持っている、あるいは慣れ親しんだ表現ではない場合には、3章は読み飛ばし、目的(a)、(b)の回答である、4章から先にお読みいただくことを強く推奨する。ある程度専門的な記載は控えたが、それでも解説としては負担が高いためである。

3. iSE 研究オントロジー概要

ここでは第一著者が中心となって構築した iSE 研究オントロジーの概要を示す。先にも述べたように、このオントロジーで表現された知識を我々は十分な妥当性・網羅性があるものとは考えておらず、改善・拡張の余地は残る。しかし、iSE 研究に関わる読者諸氏との間で iSE 研究の全体像を把握・共有するための補完的ツールにはなりうると位置付けている。不足や修正などはぜひ個々人で発見・実施していただきたい。これをベースに知識の不足点などを論じること、読者らの研究の位置づけがより進むことや、相互理解を通じた研究者間理解と共同研究への発展への一助となることを期待する（詳細は 7 章に譲る）。

なお、オントロジーは法造⁽⁹⁾を用いて構築しており、大きなサイズの図は Web に掲載している⁽¹⁰⁾。また、オントロジーに記載されているが、説明はされていない概念等については、一般的な研究の定義に含まれる範囲であり、4、5 章で説明するマップに深く関わっていないと判断したものである。以下、初出の概念に「」を記すこととする。

3.1 iSE 研究の全体像

まず前提として、本オントロジーはYAMATO⁽¹¹⁾⁽¹²⁾をトップレベルオントロジーとして採用し、各概念を規定して、iSE研究における各概念を整理している。この作業にあたり、まずは研究の概念整理を大まかに行った。この整理自体はサッカーのオントロジー⁽¹³⁾

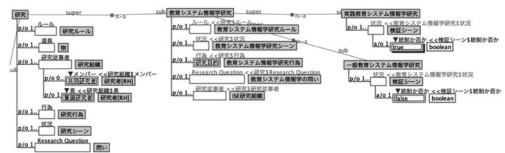


図1 iSE 研究行為のオントロジー⁽¹⁰⁾

図2 iSE研究のオントロジー⁽¹⁰⁾

同様に、各シーンを経て目的を達成する動的なもの（プロセス）とした。

iSE 研究は、「iSE 研究行為」(図 1)、iSE 研究 (図 2)、および「iSE 研究シーン」によって定義した。iSE 研究行為に関しては、研究行為の下位概念である。これは単純に領域において「行為」に差異が生まれると捉えたためである。そして行為であるため「行為主体」であるが、研究行為の主体は「人」とした^(注1)。そして研究行為を主体的に行うものは、「研究者」といえるため、「iSE 研究者」は iSE 研究の行為主体のロールホルダーとして定義した^(注2)。

さて、iSE 研究者はさまざまな研究シーンをコンテキストとして、研究行為を進めていく。ただし、例えば図2で例示している「モデリング」などは、研究者の「方法論」によって、その行為自体が変化すると考えた。例えば「Data Driven」の場合はボトムアップにモデルを構築するであろうし、「Model Driven」の場合はトップダウンにモデルを構築するであろう。なお、iSE 研究行為自体は網羅的に記載できているわけではなく、一例を挙げているのみである。

次に、iSE 研究は研究の下位概念であり、前述の iSE 研究行為によってシーンを遷移させて進めていくものとして定義でき（図 2）、iSE 研究ルールによってそのシーンの中断などが規定される（例、教育システム情報学会における倫理要項⁽¹⁸⁾は研究倫理として、研究

(注¹) Agent としなかった理由は、近年では AI が研究者として記載されることにさまざま議論がある（例えば、Stokel-Walker⁽¹⁴⁾）ことを考慮してである。ただし、内容の推敲など、行為主体ではない場合には認められていることは申し添えておく。

(注2) ロール概念については、砂川ら⁽¹⁵⁾やKitamuraら⁽¹⁶⁾、溝口⁽¹⁷⁾を参照。

行為の中断などを規定する部分概念の集合であるといえる）。研究には Research Question (RQ) も必要であり、iSE 研究における RQ は iSE 研究の問いとした。

iSE 研究イベントの下位概念には、一般系 iSE 研究と実践系 iSE 研究の概念を規定している。この iSE 研究の概念の個別化は、JSiSE 論文誌のカテゴリに存在する一般系論文（一般論文／ショートノート）および、実践系論文（実践論文／実践速報）に相当する⁽⁶⁾。この個別化は、現時点では研究シーンの一つである研究成果の検証において、統制された環境であるか、そうではないかが指定されるのみである。

3.2 iSE 研究の問いと方法論

iSE 研究の問いと方法論について、図 3 と図 4 を示す。図 3 は iSE 研究の問いの性質を表したものである。人工知能大辞典において、問いはなんらかを問うものであり、この未知情報と既知情報を明確に定義することで問題解決可能な形になるとされている⁽¹⁹⁾。この点を踏まえて、「問題」という概念は「未知情報」と「既知情報」を部分として持つと定義している。

未知情報は問い（をパラメータとして扱ったもの）、既知情報は状況のさまざまなパラメータが対象となる。研究は RQ という問いを解く活動であり、その問いを解決可能とするための具体的な未知情報や既知情報は研究者が判断・決定しながら進めるものである。このシーンは「問題定義シーン」において問いを問題に変換する行為によって定義づけられる。

改めて、問いというのは、背景となる「状況」を鑑みた 5W1H の要素を組み合わせることで表現されることが一般的であろう。よって、なんらかの着目した背景に対して、5W1H のいずれかによって特徴づけられるのが、問いであると考えられる。iSE 研究では学習・教育・教育支援（後述するが、学習支援は教育の下位概念として定義）に関するあらゆるものが背景となる。

また、これらの問いは、対象についてなんらかを明らかにしようとする「検証的な問い」と、なんらかの機能を実現しようとする「目的的な問い」があるとした。これは後述する教育・学習というものが、学習者や学びの性質を明らかにする側面と、それらの知見に基づいてなんらかの機能を持った教育・学習に資するシステムを開発する側面があるためである。なお、こ

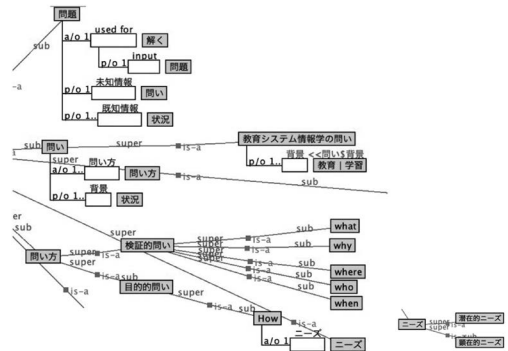


図 3 iSE 研究の問いの性質⁽¹⁰⁾

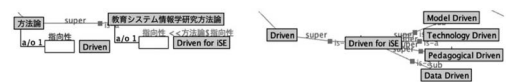


図 4 iSE 研究の方法論と Drive される性質⁽¹⁰⁾

こでのシステムはコンピュータのことではなく、よく構造化されたものであることを示す。よって支援システムとは、コンピュータを用いた支援アプリだけではなく、カリキュラムや Body of Knowledge⁽²⁰⁾ などさまざまなものが含まれる。

目的的な問いには「ニーズ」が存在するが、矢野と平嶋の書籍である教育工学とシステム開発において、これは「潜在的ニーズ」と「顕在的ニーズ」に分けられている⁽²¹⁾。すなわち、明らかには求められていないが、それが実装されればなんらかの問題が解決するような、ステークホルダーが明示的に意識していないニーズと、ステークホルダーによって明らかに求められているニーズの違いである。前者は対象の分析などから、後者はユーザーリサーチなどから明らかにされる側面がある。

次に、図 4 に「方法論」の概念定義を示す。方法論は、指向性という属性を持つ概念であり、「Driven」と呼ばれる概念に depend するロール概念とした。iSE 研究における方法論においては、iSE 研究としての指向性の役割を担う Driven が存在することになり、ここでは「Driven for iSE」と呼称している。この指向性は、先に述べた教育工学とシステム開発にもいくつか記載されており、ここでは「Model-Driven（モデルドリブン）」と「Technology-Driven（技術ドリブン）」が挙げられる。

これらは図 1 に示すように研究行為の具体的な手

法を定めるものであり、Model-Driven な研究であれば、学習対象などなんらかのモデルに基づいて教育・学習に資する研究成果を提供するし、Technology-Driven であればユビキタスなどなんらかの技術に基づいて教育・学習に資する研究成果を提供する。これは先に述べたモデリングの手法の差異に表れている。

なお、方法論は相反するものではなく、それぞれの立場で研究した結果、同じ知見を深めることになったり、異なる指向性の研究者が共同で研究したりすることで、より問いを深掘りすることにもつながるといえる。ほかにも、教育学的な知見に基づく方法論（「Pedagogical Driven」）や、Learning Analytics のように収集されたデータ駆動型の方法論（「Data Driven」）なども挙げられる。

3.3 iSE 研究における学習と教育

図5に「学習」概念を個別化した結果を示す。学習行為とはさまざまな部分的な行為（プロセス）からなる概念としてみることができる。学習行為には主体が存在し、この学習行為の主体は学習者というロールホルダーに participate した Agent としてみなすことができる。iSE 研究の中には認知科学のように、学習の性質を明らかにするために、人間の学習過程を数理モデルなどの形式的表現を用いてモデル化、コンピュータによるシミュレーションを通してモデルの挙動を検証する⁽²²⁾方法をとるような研究も含まれる。このような研究を加味すると、学習者はコンピュータ（上で表現されたモデル）となるため、学習者を人に限定せずに Agent として与えられる。

また、Agent は学習前の「初期状態」、「中間状態」、「終端状態」を保持する。少なくとも学習前（どのような学習者に）と学習後（どのようになってほしいか）を定義することは ISE 研究において重要であり、後者は学習目標となりうる。そして学習者は学習におけるインタラクションを通して、この状態変化を起こしていく。ガニエの 9 教授事象などはこのようなインタラクションの主たるカテゴリをまとめたものとして捉えられる⁽²³⁾。また、インストラクショナルデザインもこのような学習者の変化を効果的に実現するための理論であるといえる⁽²⁴⁾。

学習者は「学習対象」を、「学習ツール」を用いて

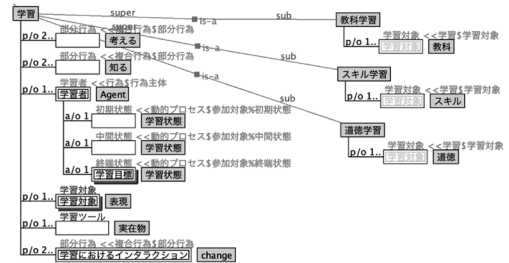


図5 iSE 研究における学習⁽¹⁰⁾

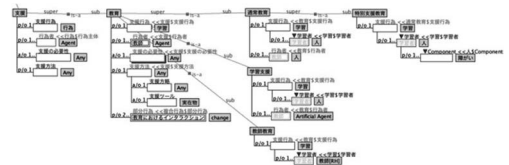


図6 iSE 研究における支援⁽¹⁰⁾

学習する。学習ツールには、iSE 研究の成果として提供される学習支援システムが含まれるのはもちろんのこと、鉛筆やノート、PC なども含まれる。このため、さまざまな実在物がこの学習ツールの役割を担うことができるため、コンピュータを用いた支援システムだけが iSE 研究ではないことがわかる。また、学習は学習対象によってさまざまなタイプに分かれる。一例を示すと、学習対象が教科であれば「教科学習」であり、スキルであれば「スキル学習」、道徳であれば「道徳学習」になる。このように、学習対象が学習の「表現」を規定していると考えた。なお、メタ認知なども対象として想定される。例えば三宅の言及する自らの学習の仕方や成果についての認知であるメタ学習⁽²⁵⁾なども対象となる。

図6に「教育」、つまり「学習のための支援」を規定する概念体系を示す。まず「支援」は、支援対象となる「行為（支援行為）」、そして支援の「行為者」、「必要性」、具体的な支援方法からなる。教育とは、支援（行為）に対し is-a 関係で定義され、この支援対象となる行為は「学習」で、行為者は教師という役割の Agent で規定される。すなわち、本オントロジーでは教育（行為）とは、「誰かの学習を、誰か（何か）によって支援するという学習支援行為である」と捉えている。教育行為は支援行為であることから、（支援の）必要性という概念も継承されている。教育行為の必要性はさまざま

まな観点から述べられる。それは例えば誰かの抱える困難の解決かもしれないし、制度面における潜在的なニーズが必要性になっているかもしれない。いずれにしても、教育が支援行為であるということから自ずから必要性が実在するという点は強調しておく。

また、教育行為が継承する支援方法は「支援方略」と「支援ツール」に個別化される。言い換えれば、「どのように」「何で」支援をするのか、によって教育行為における支援方法が規定される。どのような支援方略や支援ツールが採用されたかによって、教育行為におけるインタラクションの在り様は規定される。

以上の観点からみれば、例えば通常の教室における教育（＝「通常教育」）とは、1名以上の人（学習者）の学習を支援対象とし、人の教師が行為者となって支援する環境と捉えることができる。なお、教師も1名以上としており、これはチーム・ティーチングのような教授形態も網羅するためである⁽²⁶⁾。また別の教育について言及すれば、人の学習を支援対象とするところは変わらないが、（支援）行為者を人の教師に限定せずに（Intelligent Tutoring System⁽²⁷⁾のように）コンピュータのような Artificial Agent が担っている場合もあるだろう。我々は、多くの場合、このような教育を指して、「学習支援」と呼んでいると捉えた。なお、学習支援の例では、1対1のような Tutoring System もあれば、1対Nのような classroom orchestration⁽²⁸⁾を行うシステムもあり、必ずしも行為者が1名ではない（classroom orchestration を、アプリを用いて教師が行う）場合もある。また、支援対象を教師の学習とすれば、それは「教師教育」であり、障がいを抱えている学習者の学習を支援対象とすれば、「特別支援教育」である。どのような行為者かによってさまざまな iSE 研究が定義されうるが、行為者がおり支援行為（＝教育）を行うという点は一貫している。

なお、教育を対象とした支援行為である教育支援も存在する。図3の iSE 研究の問いの背景には学習、教育、教育支援を対象としているが、JSiSE は「およそ教育・学習に関わるシステムに関するあらゆる研究が対象」とされているように、ほかにも関連するものが存在すれば、適宜追加される。

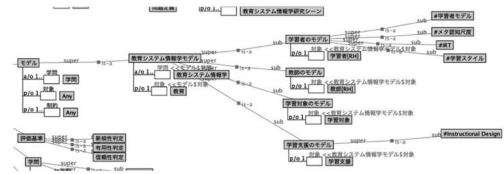


図7 モデルに関する整理⁽¹⁰⁾



図8 学問に関する整理⁽¹⁰⁾

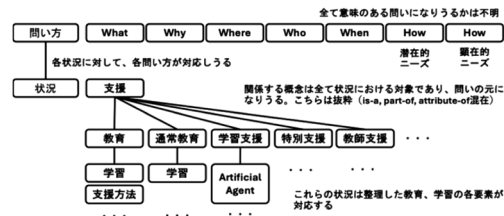


図9 問いの体系化の枠組み

3.4 iSE 研究におけるモデル

図8にモデルに関する整理を、図9に学問に関する整理を示す。モデルは学問を特徴づけるもので、さまざまな対象を表現し、かつ、完全に表すことはできないもの（制約があるもの）であると捉えた。例えば、Knowledge Tracing の（古典的な）Bayes' model⁽²⁹⁾ではマルコフ性が仮定されている。すなわち、次の状態が直前の時刻の状態にのみ依存すると仮定されている。ただし、モデルの発展によりこのような制約が解決されていく場合もあり、これは研究の洗練であるといえるであろう。なお、図8に学問に関する整理も行っており、これはなんらかの表現を Agent が知ること、そしてその知識によって構成されるものが学問であるとした。これはさまざまな知見を研究によって積み重ねていくという点で、細部はともかく大枠としては問題ないように考えている。

iSE においては iSE のモデルが存在し、対象となる学問は iSE である。そして表現対象は教育（学習を含む）であろう。ここでいくつかのモデルの対象について例を挙げておくと、教育における要素として存在している、学習者、教師、学習対象、学習支援などが挙げられる。さらに学習者は障がいの有無でモデルは変化するであろうし、ほかにもインタラクションのモデ

ルなどが存在しうるのであろう。

なお、モデル自体は先に述べた iSE 研究行為の一つであるモデリングによって生まれるもので、これを対象とした研究もあれば、これを活用して支援システムを開発するような研究もあることは申し添えておく。

4. iSE 研究の問いの体系化

図 9 に 3 章で述べたオントロジーに基づく、iSE 研究の問いの体系化の枠組みを示す。3.2 節で述べたように、問いは問い方と問いの背景（となる状況）によって成立する。つまり、研究における問いを体系化するというのは、実際のところその背景によって体系化することになると捉えた。そしてその背景は、当然、教育・学習に資するものすべてが対象となり、それはひいては人の学習の支援につながるもののはずである。これは 3.3 節で整理している。この捉え方に基づいて、[問い方]-[背景]-[動詞] の三つ組で成立するものがリサーチクエスト（RQ）であると考えられる。なお、動詞を加えた理由は、単純に対象となる名詞と問い方だけでは文法として不成立であることが理由である。

例えば、ARCS モデル⁽³⁰⁾ は一つの教授モデルといえるが、一斉授業などにおける学習者のモチベーション促進についての枠組みを提供するものであるため、教育の方法としての 1 要素に分類可能である。強いて ARCS モデル自体を提案する研究のリサーチクエスト（RQ）を考えるとすれば、「学習者のモチベーションをどのように捉え、授業や教材に取り入れるべきか？」となるであろう。顕在的か潜在的かは領域の知識を持たなければ判断できないため我々には明記ができないが、How の問いである。背景は学習者のモチベーションであり、動詞は「促える」と考えた。

そして別途、モチベーションに関しては、それを計測する尺度研究も進められている⁽³¹⁾。引用文献では、背景は、組織におけるモチベーションという ARCS モデルとの違いがあるが、問い方は同様であり、動詞は「捉える」となる。これらのことから、対象がモチベーションという点で同様であり、問い方も同様であるため、これらの二つは関連する研究として位置付けられる。一方、問い方が異なっていた場合（How ではない）でも、対象が同じであれば、「モチベシ

ョンの発揮がなぜ（Why）」「モチベーションの促進をどのように（How）」は無関係にはなり得ないため、相互にレビューすることで、お互いに新たな知見をもたらす可能性も指摘できる。

以上を踏まえ、iSE 研究において、「体系化のためには、RQ を背景と問い方によって分類する必要がある」ことを主張したい。つまり、学習・教育に関する背景を軸として、それに対してどのように問う（問い方+動詞）のかによって、ある研究の位置付けが RQ によって決まる。

こう捉えると、背景が同じ、あるいはその背景を部分・全体として持つ研究であれば、それはなんらかの形で関連研究となりうるはずである。そのような研究を網羅的に調査し、自身の研究と比較すれば、自身の研究を深めることができるし、また、初めて iSE 研究に取り組むのであれば、興味を持っている背景に焦点を絞ることで、そもそも RQ となっていない、あるいはその研究者から見て十分に明らかにされていない（解決結果に limitation が残る）RQ を発見することなどに繋がる。そのようにしてさまざまな研究者が取り組むことで、その背景に対する知見が積み重なり、より深いさまざまな知見が明らかになるのではないかと考えている。

5. iSE 研究マップ

人工知能学会（JSAI）の AI マップの D と E⁽³²⁾ をベースとした二つのマップを提案する。AI マップをベースとした理由は、一つの学会において十分に考察されたマップ表現であることや、同様に学際領域であることから、有用な先行事例として活用できると考えたためである。なお、それぞれのマップは、中心に AI フロントティアと周囲に知能の捉え方の領域を持つマップ（D）と、AI 研究の現在を基礎-応用と実世界-サイバーの軸で整理したマップ（E）である。

この二つのタイプを対象としたのは、AI マップ D は、問いのフロントティアを開拓していく問いのマップとして捉えられ、(a) にも関連する有用なマップであると考えたためである。AI マップ E は、基礎-応用という関係性を捉えやすい軸を持つため、参照しやすいマップを検討できると考えたためである。

以下、AI マップ E を参考とした基礎・応用のマッ

ブから説明し、AI マップ D を参考としたフロンティアマップの説明、最後にこれらのマップを踏まえた現在の iSE 研究との比較と課題について提案する。

5.1 基礎・応用マップ

図 10 に作成したマップを示す。横軸は基礎と応用だが、縦軸は人を対象としたシステムの対象範囲に変更している。基礎と応用について、iSE 研究における応用領域は非常に明瞭であると考えられる。JSiSE には産学連携委員会があり、産業界と連携した研究、社会への適用について検討されている。つまり産業への適用が一つの応用領域であるとされている。

次の領域の検討として、3.1 節でも記載したように JSiSE の学会誌には実践研究という区分がある。また、学会 Web サイトの学会概要⁽⁴⁾には教育・学習に関わるシステムについて言及されていることから、実践に適用するのはシステムだろう。よって、支援システムが次の領域となり、システム-実践-社会適用という流れが想定される。

もちろんシステムで終わりではなく、JSiSE への名称変更時の巻頭言において、教育で行われているさまざまな事象を情報の流れとしてモデル化することが言及されている⁽³⁾。加えて 3.4 節より、モデルはシステムの開発において非常に重要なベースとなりうるものであり、モデリングもプロセスとして規定される。したがってモデルは一つの領域となりうる。そしてさまざまなモデルは、さまざまな基礎理論等に裏付けられるため、図 10 のように、基礎-応用の軸は表現されたと考えた（色の濃度によって表現）。

次に、基礎-応用ではない軸については、iSE 研究における支援のオントロジー（図 6）を踏まえて検討した。支援という概念は iSE 研究において重要な概念である。オントロジーに示すように、支援の持つ概念にはさまざまなものがあるが、我々はそのなかでも支援を適用される学習者の人数に着目した。これは、学習者の人数によって、個別学習支援から Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) といった支援システムの分類がなされており、学習者等のモデル化においても大きな違いがあると考えたためである。教師ではないのは、学習科学における Learner-Centered の考え方を引用するまでもなく、そもそも

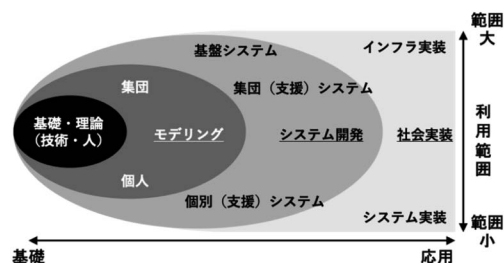


図 10 基礎・応用マップの概要

学習とは学習者を中心に捉えることが重要であるためである。もう一つの理由としては、支援の適用人数が量的データであり、その位置付けを、我々マップ構築を行った人間でなくとも行いやすいという利点があるためである。

支援においては、これまでに述べたような背景や必要性という重要な概念も存在する。問い方等も挙げられるであろう。しかし、背景や必要性は多様であり、広く合意を得られるような決まったカテゴリ化を行うことが難しい。問い方は 7 つのタイプに分けられるので離散変数として位置付けは可能だが、我々の定義においては、背景によってその性質を大きく変える場合もあると考えられ、マップ上の位置付けに、「タイプ内である」という以上の意味を持たせることが難しい。

さて、本マップの大きな活用方法として、各研究の引用・被引用関係を明確にできる。基礎研究を参照し、応用研究を進める、あるいは応用研究を行うものが基礎研究を参照するといった関係が例として挙げられる。無論、グループと個人のような関係性も、システムやモデル、実装それぞれの領域の関係性を表すうえで有用な軸になりうる。

一方で、システムで扱う学習者のデータ処理のフォーマットを定めるような研究は、あらゆる学習対象や学校、グループといったものを対象とすることができる。つまり、対象によっては点ではなく面として研究を位置付けることも可能である。よって、モチベーション測定という個人に適用されるものにおいて、このようなフォーマットを活用する（引用する）ことが可能だということが見いだせる。

また、例えば、Body of Knowledge (BoK) などは、一般に適用可能な知識の体系化として、iSE 研究においては一種の基礎・理論として位置付けられる。こ

れがCS-BoK⁽³³⁾であれば、コンピュータ科学領域における基礎理論ということになり、例えばコンピュータ科学を対象とした学習者のモデリングや、インストラクショナルデザインを組み合わせた教授法の構築、JABEE などへの適用といった社会実装などが考えうる。このように、一連の研究の発展についても、引用・被引用関係の一種として表現可能である。

ほかにも、自身の分野の文脈とは異なる研究（語弊もあるが、例えば認知科学的アプローチと、教育学的アプローチの研究など）があった際に、基礎・応用の枠組みに沿って引用・被引用関係を導出可能である。例えばモデリング研究とシステム開発研究の関係を例に挙げると、個別学習支援システムは、その集団への適用法を、インストラクショナルデザイン（モデル）を活用して構築することで、新たな集団を支援する教授システムを考えうるといったような発展を想定することも可能である。つまり、個人のモデルをシステムに適用し、このシステムを既存の集団のモデルに適用するといったアプローチを描くことができる。

以上のことから、研究の対象が筆頭研究者にとって同様と捉えられる場合に、基礎・応用マップの隣接領域の研究は引用・被引用であったり、次の研究領域の関係としての洞察を与えうる。これはある研究組織（筆頭研究者）だけで閉じるものではなく、ほかの研究グループとの共同研究に繋げるうえでの共通言語として活用できる可能性もあると考えている。また、基礎・応用の各領域は、隣接するほかの学問領域や研究組織（例えば、基礎理論やモデリングにおいては神経回路学のような学問、社会実装においては現場の教師など）と連携し、より研究を進展させられることも明記しておく。

前章の問いの体系化と関連づけると、本マップはそれぞれの課題に対して、「開発した〇〇支援はどのように効果的か」「△△システムを構築するために必要な技術は何か」⁽³⁴⁾といった問いはシステム開発領域、「理解とは何か」「人はどのようにして知識獲得を行なっているのか」はモデリング、あるいは基礎・理論領域に位置付けられる⁽³⁵⁾。このことから、後者のような問いを解決するような研究は、本来的に前者のような研究で活用されるべきである。

なお、このマップにサブカテゴリのような形でなん

らかの領域や対象を表現することも可能かもしれないが、現在は記載していない。これは我々が把握できる具体的な研究対象には限界があることと、おそらく我々も想定していないような新規な領域、例えば感性工学のような他分野の知見から生まれる新規なモデルなどもありうると考えられるためである。よってこのマップにおいても、どのような具体的な領域を配置できるか、どのような流れが想定しうるかは、研究者によってさまざまに拡張しうるといえる。

5.2 フロントアマップ

図 11 に示すのは、AI マップ D を参考としたフロントアのマップである。AI マップにおいては、諸主張はあると思われるが、知能というものを明らかにするために、AI フロントアの周囲に知能の捉え方の領域を配置している。ではこれは iSE 研究においては果たして何であるだろうか。これは前節のマップ、およびその土台となったオントロジー、そしてそれらの土台になった諸研究や JSiSE における巻頭言等の定義に基づけば、「学習者の学びの支援をいかに最適で実現するか」ということだと我々は考えた。おそらく、iSE 研究に携わるもので、何の形であっても、このことを考慮しない研究はないであろうし、その効果や範囲を拡大させることにつながらない研究はないであろう。

そのように捉えると、この周囲に配置される領域は、オントロジーから導き出される。学習者の学びの支援においては、学習者、教師（支援の行為）、学習対象が大きな要素として挙げられる。そして、学習者の人数（相互作用）、社会実装、情報基盤はオントロジーを元にした基礎・応用マップから導かれた重要な要素である。つまり、これらの概念が、それぞれ iSE フロントアを開拓するための大きな視点の一つとして位置付け

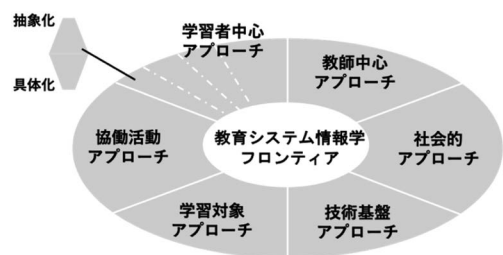


図 11 フロントアマップの概要

られるはずである。そしてこれらはここで独立するものではなく、相互に関連しあって知見を生み出す。

例えば、学習者中心で捉える場合、それは学習者自身の認知的、あるいは心理学的側面を明らかにしていき、そこから教師の行う教育や、学習対象の捉え方を明確にするという関連が想定しうる。例えば、心理学におけるガードナーの多重知能理論⁽³⁶⁾は学習者中心の理論といえる。ACT-R⁽³⁷⁾を学習に適用するのであれば、それは学習者の認知モデルを情報基盤によって実現した研究といえる。

教師中心のアプローチの場合、教師の教授方略の定義に基づいて技術基盤を活用するなどが考えられる。インストラクショナルデザインやガニエの教授理論は著名なものであろう。ここから対象構造へアプローチした研究としては、Merrill の Instructional Transaction Theory などが考えられる⁽³⁸⁾。なお、境界領域として、学習者を中心に教授方法を研究することと、教師の教授を中心に学習者を捉えることは、研究を進めるうえでなんらかの対応が取れると考えられる。

協働学習アプローチでは、伊藤らが展開しているジグソー法による教育研究が考えられる⁽³⁹⁾。つまり、学習者の相互作用によって捉えられる学びやその支援を明らかにするという方法である。これはいわゆる社会的構成主義ベースと考えることもできる⁽⁴⁰⁾。

また、学習対象アプローチにおいては、学習の対象の構造を明らかにし、そこから学習者や、教授法などを捉えていく、あるいはそれを技術基盤によって明らかにする。平嶋のオープン情報構造指向アプローチ⁽⁴¹⁾は、対象の構造を情報技術によって捉える、情報基盤との境界領域研究といえるであろう。

技術基盤のアプローチとしては、緒方らのユビキタス学習環境などが挙げられる⁽⁴²⁾。この研究自体は情報基盤を中心に行っているといえるが、学習分析などの技術を活用して、学習者中心や、教授法の構築など、他領域の知見にも幅広く貢献している⁽⁴³⁾。また、このような情報基盤アプローチを用いつつ、社会実装において必要な、例えばデジタル教科書の持つべき機能などを明らかにしようという研究も見られる⁽⁴⁴⁾。

社会的アプローチは、Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) model⁽⁴⁵⁾や SAMR model⁽⁴⁶⁾などが挙げられる。これらは社会適用として

は、教師が情報技術を効果的に適用するモデルである。

無論、ここに挙げた以外に、それ特有のアプローチ（領域）はまだ存在しうると考えられる。また、それぞれの領域もさらに細分化されうる。例えば、IRT のような数理的なアプローチは、教育的な情報処理を前提とすることを考えると、情報基盤の一種のアプローチであると捉えられる（用語や分類の表現は現時点では適当ではないかもしれないが）、それを教育学の知見と組み合わせて教育支援システムを構築すること⁽⁴⁷⁾や、作文のような複雑な問題の採点、テスト分析等により学習者の様相を捉えることなどに活用される⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾。

さて、iSE フロンティアは学習者の学びの支援と述べたが、これはもちろん、さまざまな支援がありうる。我々が定義した特別支援や個別学習支援、一般教育というものはあくまでフロンティアの一つの側面ではない。オントロジーには明記できていないが、支援を適用する学習者の人数が増えるということは、個人からグループ、教室、学校、地方、日本、そして世界、といったように、適用の枠組みが個人から社会へと広がっていく側面を表している。基礎・応用マップとして表現した際に現れた、社会実装の領域はこのことを表していると考えられる。

例えばいくら素晴らしいシステムを開発したとしても、それが社会に適用されないのであれば、結局そのシステム・研究は、本来的に学習者の支援を成し得ない。研究内の検証において確認できたのみで、社会に還元はされていないのである。そして、語弊を恐れずにいうのであれば、このような貢献を段階的にでも研究レベルで成し遂げていくからこそ、我々のような研究者の価値を社会に対して示すことができるのではないだろうか。これは 3.1 節、3.2 節、3.3 節に基けば、すでに存在しているシステムを、真正な場において適応することであり、そのシステムを個人、あるいは集団で用いた場合に、特にインタラクションに生じる問題を対象とした研究になりうると考えられる。オントロジーを参照するまでもなく、インタラクションの問題が生じたとしても、真正な場はさまざまな多くの要因が複雑に関係しているため、このような研究は厳密にモデルやシステム研究を成し遂げ、精緻に原因を追求できることが望ましいであろう。

このことは一人の研究者で成し遂げるべきではなく、基礎・応用に明らかにしたように、さまざまな研究領域が協力し、行っていくことであるともいえる。誰かの定義したモデルを用いて、誰かがシステムを構築し、それを目に留めた実践者や企業の方が社会への適用を研究すれば、それによって一連の知見は社会における学習者の学習の質を上げるような研究として実現するはずである。つまり、学習やその支援を突き詰めるという側面と、それを社会に適用していくという側面、それぞれとその関係がより精緻に（より抽象的、具体的に）突き詰められていくことが、iSE フロントニアにおいて重要な視点の一つだと主張したい。ゆえに、フロントニアのマップをベースに研究を捉え、発展させることは、iSE という研究領域として非常に重要であると考えている。JSiSE の例ではないが、アメリカにおいては Cognitive Tutor は研究領域から生まれた著名なシステムであり、2000 を超える学校で活用された実績を持つ⁽⁵⁰⁾。わが国においても、このような社会への貢献を実現していくことは、本研究領域だけではなく、国際的にも価値のあることであると考えられる。国内における例としては、平嶋らによるモンサクンのデジタル教科書実装⁽⁵¹⁾や、緒方らによる Leaf プロジェクト⁽⁵²⁾などが挙げられるであろう。

こちらも前章の問いの体系化と関連づけると、本マップは「開発した〇〇支援はどのように効果的か」「理解とは何か」といった問いに対して、学習者の学びを如何に支援するかという目標に向けて、どのようなアプローチから明確にしていくかを明らかにする。例えば、理解とは何かを対象を明らかにすることから明らかにしてもよいし、学習者のモデリングなどから明らかにしてもよい。教師の指導やその反応としてもよいだろう。いずれにしても、こちらのマップはさまざまなアプローチから同一の問いに迫る場合に、どのような差異や同一性が生まれるのか、そしてその差異や同一性から、なんらかの知見がより深まることを可視化できるようになっている。例えば対象モデルの Model-Driven な研究と、情報基盤に基づく Data-Driven な研究が同様に学習者の理解を明らかにすることに貢献することなどが期待できる⁽⁵³⁾。

なお、こちらのマップも同様に、具体的な要素まで

は記載していない。理由はやや異なっており、本マップは RQ を解き明かすことでその領域がどのように中央（新たな研究領域）に向かっていくのかを表すため、我々の専門である領域以外は具体的な記述が難しいためである。なお、領域ではないが、著者らの研究に関しては具体例として 6 章で紹介する。こちらのマップにおいても、利用いただける読者の方にはぜひマップの詳細化をしていただけると幸いである。

5.3 従来の JSiSE における領域定義との比較と課題

5.3.1 JSiSE の定義との比較

まず「学会が包摂する研究領域が、社会的要請や情報技術の進化とともに飛躍的に拡大したこと」⁽²⁾「およそ教育・学習に関わるシステムに関するあらゆる研究が対象とされており、こと教育・学習に関係する様々な学術的情報を扱う幅広い領域を対象とした学会」⁽⁴⁾に関しては、本マップはこの拡張を前提としている。実際に 3 章で述べたオントロジーは、ある程度抽象的な整理になっており、具体的な要素（例えば Intelligent Tutoring System など）は含まれていない。抽象的な整理となっていることで、具体的な要素の拡張を容易とするためである。

また、まだ生まれていないような境界領域にあるさまざまな研究はそもそも記載することができないことや、すべてを記載することで iSE 研究はこの範囲しか扱わないとするというような誤解を防ぐことも理由として挙げられる。これらのことから、今なお Transformer⁽⁵⁴⁾に代表されるような AI などの情報技術の進化などにも対応できるようなものになっていると考えている。

次に「教育で行われている様々な事象を、情報の流れとしてモデル化し、その要因を明らかにすること」⁽³⁾については、基礎-応用のマップで表現している。このマップのモデル部分はまさに該当部分であるし、このマップ自体は社会実装から基礎・理論へ向かうことも想定しているため、要因を明らかにするという点は、実践から基礎理論への表現であるとも捉えられる。

5.3.2 JSiSE の投稿時の関連分野定義との比較

一方で、学会誌への投稿時に関連分野として入力が求められる「認知・情報・教育（各 1~3 の値）」の分類については、検討が必要である。これは本マップを

踏まえるのであれば、基礎・理論、モデル、システム開発、社会実装のような軸を検討することもできる。例えば、基礎・理論の値が多い研究であれば、モデル研究が参照することができる関係となり、動的に研究を位置付けよう場合には有用な情報になる。査読者の依頼に関しても、同様の値が多い投稿のある研究者を選ぶことで、適切な査読者選択に活かすこともできるであろう。一方で、システム開発などにおいては、基礎・理論やモデルに依存する場合（プロトタイプと実装を目指したものの違い）もあり、マップにおけるグラデーションを考慮すると、単純に活用できないかもしれない。

また、従来は認知領域に基づいてシステム開発を行うことが主流であったかもしれないが、神経科学や社会学といった別領域もまた活用可能であることが見いだされたモデルなどが提案されており、iSE 研究における基礎・理論となるようなモデル等に基づいて教育を捉える向きもあるだろう。また、情報処理としてモデルを捉える部分においては、おそらく意味は変わらないものの、システム化（コンピュータ処理に限らないシステム）であることや、教育に関しても、必ずしも教育というだけではなく、個人の学習の支援という側面（こちらはコンピュータの発展により、古くは実現の難しかったシステムが容易に実現・検証可能となった背景を踏まえると）も強調する必要があるのではないかと考える。

5.3.3 Yモデルとの比較

Yモデル⁽⁶⁾（図12）は、オントロジーの表現に内包されている。オンラインや人的制約といったような、真正な学習環境特有の要素は書き出しきれていないが、これは提案システムを提供する環境を定義すれば、拡張して定義可能である。現在は真正な学習環境と統制環境で、実践論文と一般論文を区別することは表現できている。そして達成したい学習目標は、到達すべき学習者の状態として表現している。この状態は、Affectiveな状態もあれば、スコアが満点という状態もあれば、認知モデルによって表現される状態もあるだろう。この点はどの表現だから適当というわけではなく、それが適切に提案されているのであれば、あとは読者に委ねることになると考えている。学習者像に関しても、学習者モデルという形で提供してい

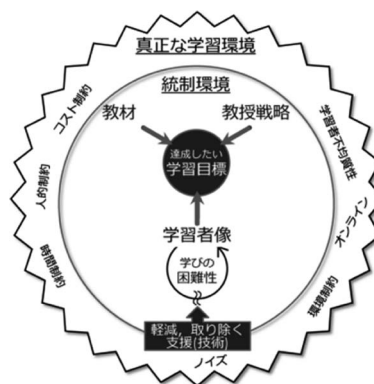


図12 Yモデル（文献(6)より抜粋）

る。これは学習におけるAgentとしての学習者として、その状態変化の初期値に対応しているといえる。あるいはその変化においても、その状態変化の系列として提供可能である。

オントロジーにおける支援の「必要性」は、学びの困難性を包括する自然な拡張とみなせる。これは、例えば仲林らの研究であるシステムのデータ保存方法の提案⁽⁵⁵⁾などは、学習者の学びの困難性には適用されず、iSEの範囲外の研究となってしまうためである。また、顕在的ニーズにおける困難性は、顕在であるが故に対象者が存在し、その対象者の困難性といえるため妥当な表現といえるが、潜在的ニーズにおいては、潜在的であるがゆえに対象者がいたとしても困難性として顕在化していないという問題がある。よって、必要性として、顕在的ニーズとしての困難性も、潜在的ニーズとしてのより良くするための最適化としての必要性も扱えるようにすることが妥当と考えた。ただし、Yモデルは学習者の学習を中心においたモデルなので、そもそも困難性に起因するものしか扱われていないという捉え方もできることは注意が必要である（ただし、やはりインフラのような研究は対象外となる）。

5.3.4 JSiSEの研究の5分類との比較

前述の解説記事⁽⁶⁾で同様に提案されているiSEの研究の5分類（学習支援系論文、教師支援系論文、システム開発系論文、調査系論文、探索系論文）は、図13のように対応づけられる。このことからわかるのは、基礎・理論や社会実装については、一見してiSE研究では対象外になっていることと、教師支援や学習者支援を前提としたモデリングは存在するもの

の、モデリングそのものを対象とした研究はカテゴリとしては存在しないということである。例えば平嶋らによる MIPS の研究は、算数文章題のドメインモデルに基づく学習者の解決プロセスを提案したものであり、これは重要なモデル研究といえる⁽⁵⁶⁾。これは現段階ではシステム開発と組み合わせなければ位置付けられないが、提案マップにおいては、モデリング研究として提案できる。基礎・理論や社会実装においても同様であることから、従来の5分類の拡張であると考えている。ただし、基礎・理論が何で、社会実装が何を問いとして扱うのか、どのような研究なのかを明らかにする必要性もある。また、技術の発達した時代において、モデルだけの論文を評価するかという点も、議論のある点であろう。JSiSE の一般論文は、システムありき、評価ありきの、システム開発論文に近い位置付けになってしまっているかもしれない。

5.3.5 JSiSE のカテゴリ表との比較

最後に、カテゴリ表⁽⁵⁷⁾については、支援対象と技術、そしてその他に分かれている。これは、2014年時点において、教育システム情報学会では、教育・学習と情報技術の融合を目指した研究が多いため、同じ研究でも教育・学習に焦点を当てた研究と、情報技術を主とする研究に分類したとある。その他に関しては、現在発見されていない新たな問いを見いだすという点で、曖昧ながら必要であるとはいえるであろう。我々のマップに対応づけるとすれば、フロンティアマップに存在する、情報基盤と、教師、学習者中心の領域が挙げられる。しかし、カテゴリ表は教師と学習者をまとめて扱っており、我々はこれをさらに発展させることを試みたといえることができる^(注3)。

5.3.6 まとめ

これまでの検討により、いずれの定義においても我々の定義は包含しており、さらに細分化を進めたり、調整を行ったものであるといえる。なお、本解説における整理は、これらの先人たちの功績を否定するものではない。むしろ彼ら／彼女らが明らかにした知見を礎とし、我々の世代がそれをどのように発展させ

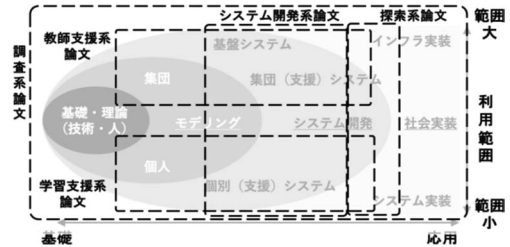


図13 JSiSE 論文誌の研究の5分類と基礎・応用のマップとの対応

られるかという可能性を示すことを目指している。そのため、あくまで先人の成果に基づいて、iSE オントロジーを提案し、それに基づくマップの構築から、先人の成果の潜在的な問題点を指摘し、その改善点を提案している。このような整理は、我々もある種先人と同様の視座で iSE 研究を表現し、次の世代へと繋げる意義を共有していることの証である。

我々が行うのは、新たな道をゼロから切り開くことでは決してない。先人たちが築いてきた道を深く理解し、その道筋を引き継ぎながら、さらに発展させて次の世代へとバトンを渡すことである。それが悪路であれば整備し、適切な道であればそのまま進む。このように道を繋ぎ、高みへと登っていくことが重要と考えたことは示したく、本節を執筆した。

6. 著者らの研究における対応づけ

本章では、著者らの研究の(1)問いの体系化、(2)基礎・応用マップ、(3)フロンティアマップへの位置付けを、具体例として提供する。その際、iSE 研究として認められているものを位置付けたほうがよいと考え、JSiSE 全国大会奨励賞(山元)、研究会優秀賞(田和辻)、論文賞(林)として評価された研究を位置付ける。

また、基礎から応用の例としてモンサクンの一連の研究が位置付けられるため、研究プロジェクトの一員である山元がまとめる。

6.1 位置付けに関する概要

本解説で提案する捉え方を活用する場合、(i) 図5で示した iSE 研究における学習のオントロジーの要素を踏まえ、必要な範囲で研究者の対象とする学習の持つ要素を明らかにする。そのうえで、その支援をどの

(注3) サブカテゴリまでは定義できておらず、カテゴリ表としては不十分である。ただし、提案したオントロジーにおいて教育と学習は明確に異なるものであり、異なった細分化が可能であると考えられる。

ように行おうと考えているのか、(ii) 図 6 の iSE 研究における支援のオントロジーを用いて明確化していく。

それらによって背景となる学びが形作られれば、(iii) 4 章で述べた枠組みにより RQ を明確化し、(iv) 二つのマップを用いて研究の位置付け（基礎-応用、アプローチとフロンティア）を定める。これによって、この一連のフレームワークに沿った研究の説明や、それに基づいた研究の調査による、自身の研究との位置付け（引用・被引用関係）を把握することができる。

なお、(i)-(iv) はそれぞれをはじめから充足すべきものではなく、この順番で固定された不可逆的なものでもない。行きつ戻りつしながら、研究を洗練していくものであるとしている。

6.2 JSiSE 全国大会奨励賞研究（山元）

2023 年度の全国大会奨励賞の研究に基づき、(1)-(3) について説明する⁽⁵⁸⁾。この研究は算数文章題の作問を協調的に行うための支援システムの提案である。演習内容は、ドメインモデルに基づき部品化された算数文章題のパーツ（量命題）を学習者が互いに複数所持する。このカードを交換しながらすべての種類の問題を作成することで、お互いの知識を交換し合いながら、算数文章題のドメインというモデルを学習する。

この研究の問いの背景について図 5 に基づいて考察する。本研究は、学習対象は加減の算数文章題の構造である。学習者は人であり、カードを交換することや、作問と回答、フィードバックを受けることなどがインタラクションとして設計されている。学習は 2 人の学習者を対象とする、グループ単位の学習である。学習者は算数文章題の構造を部分的に理解している状態（初期状態）から、他者とのカード交換等を経て、算数文章題の構造理解を完備なものとする（終端状態）。

次に図 6 に基づいて支援として捉えたと、支援行為はもちろん上記の学習である。これは学習支援システムとして構築されるため、支援の行為者は Artificial Agent である。支援方法は、協調学習という方略や、AR といったツールなどを活用する。教育におけるインタラクションは、さまざまな演習活動の指示である。支援の必要性は複数あり、大枠として、通常作問や問題解決では、算数文章題の構造について十分な理解が促せないため

である（詳細は文献（58）を参照されたい）。

このような背景に基づいて、(1) 問いの体系化に基づいて研究を検討すると、算数文章題の協調的な学習が背景である。問い方は How であり、「どのようにして算数文章題の作問を協調的かつ学習として効果的に行うか」([How]-[算数文章題の作問の協調学習]-[行う])になる。作問を協調的に行う方法論自体は提供されている（学校教育において、みんなで考えながら問題づくりをするなど）ので、顕在的なものではなく、潜在的なニーズであると捉えている。

次に方法論としては、オープン情報構造指向アプローチ⁽⁴¹⁾をとっており、学習すべき対象（算数文章題の構造）を外在化、操作可能化、診断可能化するという手法である。加えて、三宅の提唱する協調学習の定義⁽⁵⁹⁾も活用しており、これらを組み合わせ、知識の相互交換とそれに基づく抽象構造の取得を、明示的に支援可能な演習、および AR による現実と仮想空間を組み合わせた環境を構築したことに新規性がある。つまり、筆者としては問いこそある種一般的なものであるものの、その解決方法に新規性があると認められたと考えている。

以上の(1)の整理に基づいて、(2) 基礎・応用マップでは、システムの開発に位置付けられる。そしてベースとなるモデルは平嶋の三文構成モデル⁽⁶⁰⁾および三宅の認知科学的な協調学習の定義である。これはドメインモデル、および集団の協調的な学習のモデルという異なるモデルである。これらに基づいて、集団（グループ）の支援システムを構築しているといえる。

そして(3) フロンティアマップに関して言えば、(1)の問いと関連づけると、学習対象からのアプローチとして、算数文章題の三文構成モデルをベースに、協調活動のアプローチや技術基盤のアプローチ、学習者中心のアプローチを経てフロンティアへ向かっている研究だと考えている。つまり、三文構成モデルに基づいて協調学習のフレームワークや、学習者の状態定義、AI や AR の活用によるそれらの状態変化の促進をしながら、最適な算数文章題の学びを追求する研究である。

従来は協調的に作問をするとなると、その作成された問題の評価を学習者個々人に委ね、その質を向上させるということが RQ として積み重ねられてきた。そこに、対象のモデルを活用することで、診断

の自動化を持ち込み、これによって試行錯誤的に協調学習が行えるような仕組みを提案したことは、フロンティアに向かう一つの道筋を立てたのではないかと考えている。ただしこれは別の方法としてプランチを切ったものであり、もちろん、従来の Peer-Assessment 的な方法にも先はあると考えている。このようにして、最適な学習支援システムとして問いを積み重ねている一つの提案研究であると考えている。

6.3 JSiSE 研究会優秀賞研究 (田和辻)

本節では第二著者による 2022 年の JSiSE 研究会優秀賞の研究を (1)~(3) の観点でオントロジーおよびマップに位置付ける。なお、紙面の都合上各研究の詳細はここでは触れない。

まずこれまでの議論から、iSE 研究は教育（行為）を支える研究である。既に述べたように教育（行為）とは「誰かの学習を、誰か（何か）によって支援するという学習支援行為である」ことから、教育（行為）を規定する重要な諸概念で文献 (61) の研究（以下、この節では「本研究」と呼ぶ）を捉え直す。この研究は、(学習支援) ロボットと学習者とのインタラクションをとるにあたって、非言語的表現である振動表示がロボットの多様な動作に対する「意図」帰属を促進するかを検証したものである。

(1) 3 章に基づき、本研究における「問い」「リサーチクエスション」を捉える。本研究では、支援対象行為とその行為者は「学習者」の「学習支援者であるロボットの意図推定」であり、支援行為者は (Peer) Robot である。リサーチクエスションは、[問い方]-[背景]-[動詞] の三つ組で定義され、本研究では「どのような振動（非言語的表現）とロボット動作の同時呈示が、ロボットの多様な動作に対する「意図」帰属を促進するか」と捉えられる。すなわち、「背景」は「学習支援を意図したロボットの情報伝達表現（振動および身体動作）」であり、「動詞」は「促進する」、「問い方」は「what (what kind of) 型」で規定されることになる。

なお、本研究での必要性とは、「支援行為者（ロボット）の情報伝達表現（非言語的表現：より具体的には振動と身体動作）の適切な設計」である。ここで付記したい点は、この必要性は、「困難性」に起因するものではなく、潜在的にロボットとの学習環境をより

人間にとって親和性の高い環境にするといった潜在的ニーズに依拠しているという点である。

(2) 基礎・応用マップ上への位置づけを考える。基礎・応用マップでは縦軸を「(支援対象行為者の) 規模」、横軸を「基礎・応用」にとる。まず規模の観点からみれば、心理学的実験で得られた結果の適用範囲は個人学習者に限定され、個人の学習者を対象としている。また基礎・応用の観点で見れば、システムを用いた実践的な学習環境を対象としたというよりはむしろ、対象のもつ性質、すなわち（学習シーンに局限された範囲で）非言語的表現が学習者に与する効果を検証した基礎的研究であり、(心理変数間の関係性の)「モデリング」に位置づけられる。

(3) フロンティアマップ (図 11) への位置づけでは、本研究が対象としているのがロボットによる学習支援であることを踏まえると、「学習・教育（支援法）」に位置づけられる。ロボットによる学習支援は、国内外を問わず近年注目されており⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾、人間とロボットとの間でのコミュニケーションに関する基盤技術開発はより重要になるであろう。特に、学習者と学習支援ロボットが存在する学習シーンを対象とする場合、ロボットの役割 (e.g. tutor, mentor, peer, novice⁽⁶²⁾) を踏まえながら多様なコミュニケーションに関する知見を積み立てる必要がある。また、Human-Agent Interaction (HAI) 分野では、ASE (Artificial Subtle Expression) に関する研究⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁵⁾が進められてきた。本研究は、学習者に関する心理学的特性を、HAI 研究を活用しながら明らかにする学習者中心アプローチであり、HAI に基づいた iSE 研究のフロンティアであるといえよう。

最後に、シーンの同定と再認は科学的思考態度を演繹的・帰納的思考態度⁽⁶⁶⁾としてみれば、iSE 研究の科学的研究としての側面として重要な示唆を与える^(注4)。一般にある与えられたシーンでの知見が得られたとしても、シーンが変わればその知見が成り立つかは不明である。例えば、ロボットの情報伝達表現に関して novice の役割をもったロボットを対象として得られた知見は、tutor の役割をもったロボットに転用できない。これは再現性の問題ではなく、シーンを

(注4) iSE 研究は「教育システム情報科学」とも「教育システム情報工学」ともいずれの立場とも表明しておらず、科学的・工学的立場での研究を内包している。

構成する支援行為者の属性が異なるからである。ほかの例でいえば、大学生を対象者として tutor ロボットを設計したとして、それがたとえ同じ情報伝達表現を用いたとしても、小学生に対して同様の効果があるかは定かではない。これはシーン（の参加者、さらに言えば参加者の属性値）が異なるからであり、前者のシステムが後者にも適用可能であると判断するのは拡大解釈であるからである。このような状況を整理するためには、シーンに存在する「対象」や行為者などの属性とその属性値を整理したうえで基礎的知見を積み立てる必要があるし、また、そのような基礎的知見に指針を示す理論研究が必要不可欠であろう。

6.4 JSiSE 論文賞研究(林)

本節では、協調学習支援システムの開発・運用・分析に跨る CSCL システムライフサイクルを支える統合プラットフォームを論じる研究⁽⁶⁷⁾について、(1)～(3)を位置づけて説明する。

この研究では、遠隔・同期型の協調学習でやり取りされる発話や視線、身振りといった社会的シグナルを組み合わせた情報（マルチモーダルインタラクション情報）を、CSCL システムの開発者と分析者が互いの専門作業に専念できる仕組みを整え、ここで得られた知見を積み上げてゆくためのプラットフォームを提案している。

教育・学習における本研究の問いの状況を整理する。本プラットフォームが指向するシステム開発・運用・分析のライフサイクルが対象とする学習は「協調学習」であり、学習者はその「参加者」となる。本研究では、参加者の初期状態から終端状態（学習目標）に至る相互作用（マルチモーダルインタラクション）を対象に、システム開発の側面から学習ツールを実装する「開発者」と、ここでのインタラクションを分析する「分析者」という専門性が異なるステークホルダの作業を持続的に支えるプラットフォームを構築するものである。マルチモーダルラーニングアナリティクス研究を背景として協調学習インタラクション情報を利活用・分析対象とする研究は見られるものの、この統合処理を可能とする汎用的な CSCL システム開発・分析基盤は報告されていない。「誰かの学習を、誰か（何か）によって支援することが教育という学習の支

援活動である（3.3 節）」という観点から捉えると、本研究は学習者（参加者）の具体的な学習対象に対する学習行為に直接的に働きかける学習支援システムを提案するものではなく、協調学習を介した学びに資するマルチモーダルインタラクションに踏み込む（多様な教育という支援行為におけるインタラクションが背景として想定され得る）新奇な学習ツール開発、そして、この運用を通じて得られるデータの科学的分析・評価の可能性を拓いてゆくための仕組みを探究することを指向している。

こうしたことを背景として、「(1) 問いの体系化」における「問い方」は目的的問い（How 型）となり、「マルチモーダル情報の統合処理を可能とする CSCL システムライフサイクルの開発・運用・分析活動サイクルを支える仕組みとは？」となる。つまり、[How]–[マルチモーダル情報の統合処理を前提とした CSCL システム開発・運用・分析基盤の構成]–[明らかにする]といえるだろう。マルチモーダルインタラクション情報に着目した教育という支援行為の多様な支援（教育支援）を将来的に支えうる可能性を持つという観点から、「潜在的ニーズ」に応える立ち位置となる。

研究課題の「方法論」としては、Model-Driven 型のアプローチを採っている。本研究においては、マルチモーダルインタラクションデータを CSCL システム開発／分析においてプログラム（手続き）に埋め込まれる形で扱うのではなく、互いの意図が理解しやすく処理の説明性が高い宣言的形式（解釈パターン）で定義できる仕組みを採用している。ここでは、各種センシングデバイスで観測される低次データを高次な解釈へと積み上げるインタラクションの階層的解釈モデル⁽⁶⁸⁾を援用し、プラットフォームのデータ管理機構に活用している。

「(2) 基礎・応用マップ」(図 10)においては、多人数マルチモーダルインタラクションを指向した協調学習支援を目掛ける「モデリング」と、この「システム開発とその実践」の往還を支えるための「基盤システム」に位置づけられる。実学習文脈での学習ツール開発・拡張、分析活動を実証的に検証しているわけではないため、横軸（基礎⇄応用）はインタラクションのモデルに基づいて、それを情報基盤上でどのように実現するかというフレームワーク（仕組み）を提案するもの

であり、システム開発領域に位置するものと認識している。縦軸（利用範囲）の規模については、CSCL システムライフサイクルに携わるステークホルダから捉えた場合にシステム開発・利用・分析のコミュニティを、プラットフォームの活用場面での学習者（協調学習参加者）は少人数規模のグループ学習が範囲になると想定される。つまり、提案システムが対象とする規模はCSCL システムを介して学びあう学習者だけではなく、その管理側の双方を想定したシステム基盤である。

「(3) フロンティアマップ」(図 11) について考察する。本研究では、角らが提案している多人数会話のインタラクション構造理解⁽⁶⁸⁾を協調学習で観測される相互作用を捉えるための参照モデルに位置付けている。情報基盤アプローチを中心に据えながら、協働活動アプローチとしてのモデルを介すことによる、マルチモーダルインタラクションを考慮した新たな協調学習支援方法を検討・導入するための基盤を提案したものと考えている。より具体的には、データドリブン型のアプローチではなく、宣言的データ解釈の仕組み（解釈パターン）を採用したことにより、開発者⇄分析者間の意図の比較・共有を相対的に容易とする枠組みとなっている。こうした研究内容を踏まえると、多人数マルチモーダルインタラクション研究領域と協調学習支援システム研究領域の橋渡しを成す Model-Driven 型のプラットフォームの構成法というフロンティアの開拓を試みる研究として位置付けられると考えている。

6.5 基礎・応用を網羅する研究としてのモンサクン

個別の研究をマップに位置付ける解説とは別に、提案したマップに個別の研究を位置付け、各研究間の関係性やそれに基づく発展も一例として示す必要があると考えた。先にも述べたように、フロンティアマップは非常に複雑になるため全体像を捉えることは数名の専門家では難しいため、基礎-応用マップのみを対象とすることは、ご了承いただきたい。

ここではある程度正確を記すため、第一著者の関係する研究プロジェクトとして、平嶋によって提案された、社会実装も果たしている、「モンサクン」という算数文章題の学習支援システム、特に加減算を対象とした研究について、「基礎-応用マップ」に基づいて概説する。まずモンサクンは山元の研究でも述べた算数

文章題の構造に基づいた作問学習支援システムである。算数文章題の構造はゼロから生み出されたわけではなく、基礎・理論として、Mayer⁽⁶⁹⁾の算数文章題の認知などが対応づけられる。作問学習という学習の形態に関しては、Polya⁽⁷⁰⁾が著名であろう。これは一つの学習システムであるといえる。また、学習支援としてはPapertのMindStorm⁽⁷¹⁾に記載の、学習者にとって飲み下せる大きさの学習単位を提供し組み立てさせるという考え方や、CAI への AI 導入の基礎理論⁽⁷²⁾など、さまざまな知見がベースとして学習支援システムであるモンサクンに組み込まれている。そしてそのようなモンサクンを幾度かの実践利用によって知見を積み重ね、実際の学習者に適用するうえで問題を洗い出す^{(73)~(75)}。そしてデジタル教科書に実装され、社会実装を遂げている⁽⁵¹⁾。

このように、先人の積み重ねてきた基礎・理論をさらに積み上げて三文構成モデルというモデルを構築し、そのモデルやさまざまな学習方略に基づくシステムを開発、および実践利用により学習者の特性に合わせた調整についての知見も得たうえで、社会実装がなされている。つまり、教育システム情報学的な考え方に基けば、このように種々の研究を積み重ね、相互に関連づけながら、実装へと至ることが一つの基礎-応用マップに基づく研究の発展の説明であるといえる。よって、このような実装へ繋がる形で捉えたときに、マップは対応がとれたものであり、それゆえに、自身がどの領域に取り組んでいるか、どの領域が欠けているかを捉えることは、新たな研究の発見につながるといえる。

7. さまざまな立場にとってのマップの活用

iSE 研究においては、企業や現場との連携、他領域の参入は分野の発展や価値のためには外すことができない。また、若手の育成も、領域問わず重要な課題である。本章ではこれらに資するマップの活用について述べる。

7.1 企業との産学連携

本学会誌では松浦らによって「教育・学習支援システム研究分野における産学連携・共創への道標」という解説記事を執筆されているので、細かな点はこちらを参照いただきたい⁽⁷⁶⁾。この解説によれば、(1)シ

システムを共同制作する場合と、(2) 教育実践を共同実施する場合という点で、一般論文と実践論文に対応づけた類型化が行われている。また、(2) については、(3) 企業自体が社内の内部システムに活用する場合もあるだろう。これは教育分野特有かもしれない。これらについて整理すると、(1) システム開発、(2) システム活用、(3) システム開発と活用と位置付けられる。

まず、(1) に関しては、新規なシステム開発、既存のシステム改良に分けられ、既存のシステムはさらに、研究者のシステムと企業のシステムに分けられよう。新規なシステム開発であれば、例えば基礎・応用マップを用いて、システム研究からモデル研究を参照することが考えられる。マップとしてはいずれキーワードを載せる必要があるので、それに基づいて検索することができると良い。

既存システムの場合、企業の既存システムであれば上記と同じでよいだろう。もし研究者のシステムをベースに進めるのであれば、社会実装、あるいは連続した実践利用の結果を参照されるとよいといえる。

次に(2)については、既存のシステムを用いた実践と評価であるため、研究者のシステム、企業のシステムで単純に分けられる。この場合は、研究者のシステムを参照とするのであれば、システムの有用性にもつながるモデルにおいて企業は意図として持っており、利用を行うことが望ましい。企業のシステムを活用するのであれば、連携する研究者はその企業のシステムのベースになりうるようなモデルの知見を持った研究者が望ましいことがわかる。

最後に(3)は新規のシステムと既存のシステム改良が考えられるが、いずれにしても実践も企業内で行われるところに特徴がある。これは企業が意図を持って教育を実施する場合に、その背景となるモデルを研究者に求める場合がありうる。これは田中らが企業の週報を自らの知見に基づいて改良した例が挙げられるであろう⁽⁷⁷⁾。このように、基本的には基礎-応用のマップで位置付けることで、有用な関連研究やアプローチを発見することができる。企業としての製品価値などに基づいてマップを参照いただき、どのレイヤーを求めているかを明確化していただくことで、どのような研究が自社の求める価値に貢献しうるかを判

断いただけるのではないかと考えている。

一点気をつけなければならないのは、現在 JSiSE においては社会実装系の研究が少ないため、上記では明確に社会実装研究との関連づけを記載しなかった。教育系はビジネスにしばらくという認識もある程度あり、これについては、社会実装の経験を持つ研究者の知見が有用となるであろう。しかし注意しなければならないのは、一時的なシステム活用は社会実装ではなくシステム開発研究とその実践である。継続して社会に適用して社会実装といえるので、この点を切り分けて議論することが肝要であろう。もし企業の方が社会実装の知見を持つ研究者と協働しようと考えておられるのであれば、この点に留意して研究者を調査いたくと、円滑に連携を進めることができるかもしれない。

7.2 他分野からの参入・連携研究

JSiSE は学際分野であるからこそ、さまざまな分野と連携し、新たな知見を生み出すことができるという強みがある。また、教育自体はあらゆる分野において存在するものであり、多様な領域を対象として研究分野全体が知見を深めることにも大きな意義がある。このような接面に存在する境界領域研究は特にフロンティアに近い研究といえるかもしれない。

しかし、注意しなければならない点として、学術分野にはその分野特有の文化があるということであり、これはその分野特有の研究の論じ方があるという点である。その論じ方については、問いの体系化によってある程度整理が可能であるし、その分野の立ち位置に合わせてどういった視点で参入するかは、マップに基づいて検討できる。

まず論じ方だが、学術分野である以上、基本的にはリサーチクエスチョンを中心に論じることになるはずである。そうなった場合、4 章で述べたように、まずは背景を中心に整理をする必要がある。どのような教育、学習の状況を対象としているか、そしてそこでどのような問いが扱われているかをサーベイしていただけると、その領域の研究の方向性や論じ方は概ね把握いただけるはずである。

そのうえで、どういった視点で参入するかについては、基礎・応用マップを用いれば、モデル、システム、あるいはシステムにしてもその要素を提案するのかな

どの立ち位置を明らかにできる。フロンティアマップにおいては、比較的どの領域のアプローチとして主張することがよいかあたりをつけ、関連する研究をその視点で調査いただくと、位置付けを明確にしやすいと考えられる。このようにして、ISE 領域の研究者と対話することで、他領域の視点を取り入れた新規な研究を生み出すことも可能である。

また、現場教員は当然教育学や専門教科に関する専門、あるいは社会学など幅広い専門領域をお持ちである。これらを踏まえ、例えば自身の授業に適用する(社会実装)を検討する場合には、あるシステム開発研究に着目し、そのモデルが自身にとって適切なモデルかを検討するという流れなどが明らかになる。フロンティアマップを踏まえれば、どのようにアプローチを横断しているかを、実践者と研究者で相互に検討することは、共通言語になりうるだろう。

ここで重要な点は、他分野であるということ、お互いに有用性が判じづらい可能性が高いということである。よって、ここに記載したような位置付けを明らかにしたうえで、どのような教育的な価値(それはモデルとしてやシステムとしてなど)を提供するかの例示を示すことが重要である。詰まるところ、本マップは自身の研究を ISE の視座に基づいて説明するための共通言語として活用できるということである。これにより、本学会における研究者も価値を理解し、有用性を見いだすことができるといえる。

7.3 若手にとっての我々の提案マップ

若手の皆様にとっては、まずは基礎-応用マップで自身の立ち位置を見定め、より抽象的な領域としてフロンティアマップでどのようにフロンティアに向かっているかを考えてほしい。この時、問いの体系化に基づいて、どのような背景を扱っているかは、合わせて検討いただきたい。

例えば、システムの開発に携わる若手研究者、あるいは学生がいたとする。この時基礎-応用マップを用いれば、まずは自身の研究につながるモデルや実装研究が何かを検証することが必要だという指針を得られる。

フロンティアマップは少し難しいかもしれないが、例えば指導教員との議論を通じながら、自身のアプローチが何に根ざしたものなのか、どのような方向を

経てフロンティアへと進んでいるかを検討することができる。これはマップの具体例の説明において述べたとおりなので、具体例は割愛する。

先にも述べたが、マップ自体は研究を位置付け、関連づけるための視座を与えるものなので、これらを参照しながら、文献の調査や自身の研究の位置付けや発展をするために活用いただけるのではないかと考えている。これにより、我々の歩いた道をより早く走り抜けていただき、よりさまざまな、そして先へと至る道を見つかる助けになるのであれば、幸いである。

8. まとめと今後の課題

8.1 プロジェクトとしての議論の変遷

最後に、本プロジェクトにおける我々のグループの成果についてまとめる。まず、我々はそれぞれ、「インタラクティブな教育システム情報学マップのメタ視点からの構想」⁽⁷⁸⁾「私の考える教育システム情報学マップ—問題逆遷移アプローチによるマップ作成の検討」⁽⁷⁹⁾「Learner Experience の視点からの教育システム情報学」⁽⁸⁰⁾という解説を 2022 年に執筆した。この時点では、林はメタ的視点で教育システム情報学をとらえ、RQ と研究課題を中心に研究を保存し、相互に参照しながら自由に引き出せる枠組みを提供している。田和辻は問いが研究間で関連しており、相互に参照・探索可能であるという点に着目して問いを軸としたマップを提案している。山元は学習体験に基づき、問題の階層関係や研究の基礎や応用、学習者の性質や状態など、複数のマップ化に資するであろう軸と具体例を挙げている。

2023 年には「学習・教授のインタラクションに基づく教育システム情報学マップのプロトタイプ」というタイトルで、この 3 名でインタラクションに着目したマップを提案している⁽⁸¹⁾。ここではそれぞれの視点を一つに集約するため、ITS の知見に基づき、教育・学習支援システムのフレームワークをベースに、インタラクションに基づいたマップを提案した。しかし、このマップではモデルをモデルで留めてそれ以上の is-a や part-of 関係は論じていなかったり、従来の授業のコミュニケーションのモデル⁽⁸²⁾や ITS のフレームワーク等に対してどのように新規な提案になっ

ているかが明瞭ではないといったような問題があった。これはあくまで我々の開発する学習支援システムという視点で研究を捉えていたことや、掘り下げが不十分であったことが理由として挙げられた。

そこで今年度は、各々の個別の提案も視座として含みつつ、対象のフレームワークとして ITS ではなくオントロジー工学を用いて可能な範囲で詳細化を行い、研究そのものを捉え直すことを行った。また、モデルはあくまで研究の一要因であることを認識したうえで、モデルを用いた方法論や、その検証など、さまざまな観点を包含できるような概念整理を行った。そして、その整理に基づき、どのように整理することが、本分野の研究の全体像を想定しやすいか、そして問いを追求しやすいかを検討し、先人の知恵でもある AI Map から二つの表現を参照しオントロジーと組み合わせることで、前述のマップを構築した。

以上のように、研究の枠取りや関係性、そして軸の取り方を捉え、一つにまとめる過程を経て、本プロジェクトの我々のグループの取りまとめはできたのではないかと考えている。

8.2 プロジェクトとしての回答

さて、本プロジェクトでは、冒頭に述べたように、二つのゴールが示されていた。(a)iSE 研究における問いの体系化、(b)iSE 研究マップの構築である。期限は3年間であった。ここで我々のサブグループは、スコープを、(a)体系化に至る視座を提供する、(b)少なくとも一つのレイヤーとしてのマップを表現する、とした。そしてこれらが別々のものとならないよう、iSE 研究をオントロジー工学という一つの対象を定める方法によって規定するというを試みた。

この成果としては、RQ を [問い方]-[背景]-[動詞] で捉えること、および基礎-応用とフロンティアのマップである。前者は、背景をベースとして問いを体系化しうること（背景が同じであれば、問い方や同士が異なっても、その背景の元で研究を比較検討可能になる）を示しており、それに基づいたマップにおける研究の位置付けや方向性を明らかにできる。後者に関しては、基礎-応用によって、自身の研究の位置付けを基礎-応用の視点で捉え、さまざまな引用・被引用の関係を捉える助けとすることができる。また、

フロンティアにおいては、その研究アプローチ（何を中心としてシステムとしての学習や教育を明らかにしていくか）に軸を置いて、さまざまな研究の引用・被引用を捉える視座を提供している。無論、これらは自身の研究の次の方向性についてのヒントを与えうるし、他領域との連携における共通言語や、若手の育成における地図としても作用すると考えている。

なお、本解説におけるオントロジーや問いの体系化、2種のマップは、あくまで一つの例として提示している。「iSE 研究はこの要素を持たなければならない」ではなく「iSE 研究の持つ要素の少なくとも一部はこうであり、他にあれば拡張は可能なものである」という立場である。しかし無闇に拡張をできるとなると拡張をする側も適切にできずに無駄な労力を割くことになるので、その土台となるものとしてオントロジーを採用した。

地図はいくつかの用途によって求められるだろうが、我々の提案した地図は、各々の研究が、広い教育システム情報学という世界において、どこに位置付けられるのかを明らかにする導になればと考えた。そして、大まかな方向もまたマップによって位置付けている。例えば基礎・応用のマップを携えて、システム開発研究であることがわかれば、その範囲を絞っても、広げてよいだろう。モデルに進むことで、さらに今のシステムを深めてもよいし、社会実装に舵を切ることもできる。その時には、同じ位置に立つであろうさまざまな文献が参考となるだろうし、そのような視点で文献調査もできるであろう。無論まだ地図の解像度は粗いものではあるが、それを認識できる研究者の方は、ぜひ自身の目で見えた世界を持って、自身で解像度を高めて地図を更新いただきたい。そのような、多くの方が同じ視点で世界を語ることで、より広く教育システム情報学の世界は拓けるであろう。

8.3 マップの限界と今後の課題

今後の課題としては、オントロジーもマップもまだ未完成であることである。現時点では、「自身の研究はどのような位置付けといえるのか」を中心として「どのような研究を探せばよいか」「どのようにほかの研究に対して位置付けるか」「今後の発展の方向性にはどのようなものがあるか」を「位置付けられる」こ

とは提案したと考えている。つまり iSE 研究を捉える視点の提供である。

しかし、具体的にそれらの研究にどのようなものがあるか、あるいはキーワードとして具体的にどのようなキーワード群が想定されるかまでは踏み込めていない。これは先に述べた解像度の問題である。特に、筆者らにとっては専門性の薄い教育学方面のマップの拡張はほぼ手付かずと言ってよい。

あくまで第一著者の伝え聞いた記憶によればだが、教育システム情報ハンドブックにおいては、実際にコンテンツとして考えるキーワードなどを、当時の担当者ら KJ 法を用いるなどして整理し、構成したそうである。つまり、我々のマップにおいても、少なくともキーワードなどの、多くの研究に共通しつつ具体的なところに関しては、まだまだ提案できる内容であると考えられる。

また、7章においてマップ活用の概説はしたもの、こちらは具体例を述べられていないため、抽象的な説明に始終してわかりづらいところが大きい。この辺りも整理し、それこそハンドブックとして成立させることができれば理想であろう。

このように、マップとしては甚だ心許ないものがあるが、CAI 学会から JSiSE に名称変更され、開拓されてきた広大な地平を、少なくとも区画に区切り、道路を敷くくらいはできたのではないかと考えている。この土地をさらにどのように区切るのか、どのような建物を建てるのかなどは、後に続くタスクになるであろう。我々がオントロジーを構築した際に、コアとなったのはやはり学習者とその学びである。あくまで我々は先人の切り開いた地平を整地したに過ぎないが、後に続く研究者がより良い教育・学習支援システムを実現し、さらに先へと学習者を連れていくことができる礎になれるのであれば、これほど幸いなことはない。

謝辞

溝口理一郎先生、矢野米雄先生、仲林清先生、鈴木克明先生、小松川浩先生、三石大先生、平嶋宗先生、松居辰則先生、瀬田和久先生、林雄介先生の皆様からいただいたご指摘、議論が本プロジェクトの我々のアウトプットや本稿に関して多くの重要な知見をもたらした。本解説においては、この皆様を、11 人目のメ

ンバーの代表者として謝辞を申し上げたい。

また、多くの研究を拝読したうえで、本解説は完成されたものである。さまざまな制約で引用できなかった方々も多くいるが、これらの方々も 11 人目のメンバーとしての貢献があり、合わせてお礼を申し上げる一方で、引用が著者の意図に沿わない場合もあると考えるので、その点はお詫び申し上げたい。

最後に、渡辺茂先生、東洋先生、坂元昂先生にこの解説を捧ぐ。

参 考 文 献

- (1) Simon, H. A.: "Models of My Life", MIT Press (1996)
- (2) 大槻説乎: "CAI 学会から教育システム情報学会への展開-学会名変更にあたって", 教育システム情報学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 1-2 (1995)
- (3) 永野和男: "情報学への発展をめざして", 教育システム情報学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 177-178 (1995)
- (4) 教育システム情報学会: "学会概要: 教育システム情報学会とは", <https://www.jsise.org/about/index.html> (参照 2024.12.11)
- (5) 教育システム情報学会(編): "教育システム情報ハンドブック", 実教出版 (2001)
- (6) 瀬田和久, 桑原千幸, 仲林 清: "採録される論文の書き方—誌上チュートリアル—", 教育システム情報学会誌, Vol. 38, No. 2, pp. 82-93 (2021)
- (7) 溝口理一郎, 池田 満, 來村徳信: "オントロジー工学基礎論—意味リンク, クラス, 関係, ロールのオントロジーの意味論—(「オントロジーの基礎と応用」)", 人工知能, Vol. 14, No. 6, pp. 1019-1032 (1999)
- (8) 松居辰則: "学際性を強みにできる学会に!", 教育システム情報学会誌, Vol. 27, No. 4, pp. 299-301 (2010)
- (9) 古崎晃司, 久保成毅, 來村徳信: "オントロジー構築利用環境「法造」の設計と試作", 第 13 回人工知能学会全国大会論文集, pp. 374-377 (1999)
- (10) 山元 翔: "今回作成したオントロジーの拡大図", <https://sites.google.com/view/jsise-map-wg/jsisemap-ontology2025> (参照 2025.1.30)
- (11) Mizoguchi, R. and Toyoshima, F.: "YAMATO: Yet another more advanced top-level ontology", Applied Ontology, Vol. 3, pp. 1-3 (2006)
- (12) Mizoguchi, R. and Borgo, S.: "YAMATO: Yet-another more advanced top-level ontology", Applied Ontology, Vol. 17, No. 1, pp. 211-232 (2022)
- (13) 溝口理一郎(編), 古崎晃司, 來村徳信, 笹島宗彦, 溝口

- 理一郎(著): “オントロジー構築入門”, オーム社 (2006)
- (14) Stokel-Walker, C.: “ChatGPT listed as author on research papers: Many scientists disapprove”, *Nature*, Vol. 613, No. 7945, pp. 620–621 (2023)
- (15) 砂川英一, 古崎晃司, 来村徳信, 溝口理一郎: “コンテキスト依存性に基づくロール概念組織化の枠組み”, *人工知能学会論文誌*, Vol. 20, No. 6, pp. 461–472 (2005)
- (16) Kitamura, Y., Koji, Y. and Mizoguchi, R.: “An ontological model of device function: Industrial deployment and lessons learned”, *Applied Ontology*, Vol. 1, No. 3–4, pp. 237–262 (2006)
- (17) 溝口理一郎: “知の科学 オントロジー工学の理論と実践”, オーム社 (2012)
- (18) 教育システム情報学会: “教育システム情報学会倫理綱領”, <https://www.jsise.org/about/rinri/>(参照 2025.1.30)
- (19) 人工知能学会: “人工知能学大事典”, 共立出版 (2017)
- (20) Stinson, S. W.: “Body of knowledge”, *Educational Theory*, Vol. 45, No. 1, pp. 43–54 (1995)
- (21) 矢野米雄, 平嶋 宗: “教育工学とシステム開発”, ミネルヴァ書房 (2012)
- (22) 安西祐一郎: “認知科学における学習モデルの研究”, 認知科学会(編): “認知科学の発展”, Vol. 4, pp. 1–22 (1991)
- (23) Gagné, R. M.: “The Conditions of Learning”, Holt, Reinhart and Winston (1965)
- (24) 鈴木克明: “e-Learning 実践のためのインストラクショナル・デザイン”, *日本教育工学会論文誌*, Vol. 29, No. 3, pp. 197–205 (2006)
- (25) 三宅なほみ: “学習プロセスそのものの学習—メタ認知研究から学習科学へ—”, *日本認知科学学会 冬のシンポジウム 予稿集*, pp. 136–137 (2005)
- (26) Daly, E. B.: “An Experimental Investigation of Team Teaching in United States History at the Secondary School Level”, *Dissertations of Loyola University Chicago*, No. 759 (1965)
- (27) Nwana, H. S.: “Intelligent tutoring systems: An overview”, *Artificial Intelligence Review*, Vol. 4, No. 4, pp. 251–277 (1990)
- (28) Dillenbourg, P. and Jermain, P.: “Technology for classroom orchestration”, “New Science of Learning: Cognition, Computers and Collaboration in Education”, Springer, New York, pp. 525–552 (2010)
- (29) Corbett, A. T. and Anderson, J. R.: “Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge”, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 4, No. 4, pp. 253–278 (1994)
- (30) 鈴木克明: “「魅力ある教材」設計・開発の枠組みについて—ARCS 動機づけモデルを中心に—”, *教育メディア研究*, Vol. 1, No. 1, pp. 50–61 (1995)
- (31) 池田 浩, 森永雄太: “我が国における多側面ワークモチベーション尺度の開発”, *産業・組織心理学研究*, Vol. 30, No. 2, pp. 171–186 (2017)
- (32) 人工知能学会: “AI MAP”, <https://www.ai-gakkai.or.jp/aimap/>(参照 2025.1.30)
- (33) 情報処理学会: “J17CS-BoK”, <https://www.ipsj.or.jp/annai/committee/education/j07/9faeag000000uisc-att/J17CSBOK.pdf>(参照 2025.1.30)
- (34) 柏原昭博: “教育システム情報学を担う学会の未来像”, *教育システム情報学会誌*, Vol. 36, No. 4, pp. 219–220 (2019)
- (35) 溝口理一郎: “知的教育システム”, *情報処理*, Vol. 36, No. 2, pp. 177–186 (1995)
- (36) Gardner, H.: “The Essential Howard Gardner on Education”, Teachers College Press (2024)
- (37) Anderson, J. R., Matessa, M. and Lebiere, C.: “ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention”, *Human-Computer Interaction*, Vol. 12, No. 4, pp. 439–462 (1997)
- (38) Merrill, M. D., Li, Z. and Jones, M. K.: “Instructional Transaction Theory: An introduction”, *Educational Technology*, Vol. 31, No. 6, pp. 7–12 (1991)
- (39) 伊藤智哉, 原田一平, 田島 啓, 安田 遼, 白水 始: “公式を自力生成する協調学習過程の効果—ジグソー法と協調的な転移課題解決を用いた検討—”, *認知科学*, Vol. 19, No. 2, pp. 230–235 (2012)
- (40) Kalina, C. and Powell, K. C.: “Cognitive and social constructivism: Developing tools for an effective classroom”, *Education*, Vol. 130, No. 2, pp. 241–250 (2009)
- (41) Hirahshima, T. and Hayashi, Y.: “Design of meta-problem with open information structure approach”, *Proceedings of the 26th International Conference on Computers in Education* (2018)
- (42) Ogata, H. and Yano, Y.: “Context-aware support for computer-supported ubiquitous learning”, *Proceedings of 2nd IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education*, pp. 27–34 (2004)
- (43) Liang, C., Horikoshi, I., Majumdar, R. et al.: “Tackling un-serious raters in peer evaluation: Behavior analysis and early detection with learner model”, *Proceedings of the 31st International Conference on Computers in Education* (2023)
- (44) 中嶋俊也, 篠原 駿, 田村恭久: “電子教科書の要求

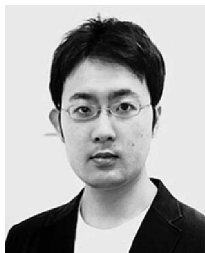
- 機能と ePub 教材による相互運用性の検証”, 日本 e-Learning 学会誌, Vol. 13, pp. 114-122 (2013)
- (45) Mishra, P. and Koehler, M. J.: “Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge”, Teachers College Record, Vol. 108, No. 6, pp. 1017-1054 (2006)
- (46) Romrell, D., Kidder, L. and Wood, E.: “The SAMR model as a framework for evaluating mLearning”, Journal of Asynchronous Learning Networks, Vol. 18, No. 2, 435 (2014)
- (47) 植野真臣: “AI・ビッグデータによるアダプティブラーニング”, 人工知能, Vol. 39, No. 2, pp. 111-117 (2024)
- (48) Uto, M.: “A multidimensional item response theory model for rubric-based writing assessment”, Proceedings of the 22nd Artificial Intelligence in Education Part I, Vol. 22, Springer International Publishing, pp. 420-432 (2021)
- (49) 宮澤芳光, 植野真臣: “高精度能力推定を保証する 2 段階等質適応型テスト”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 106, No. 1, pp. 34-46 (2023)
- (50) Koedinger, K. R. and Corbett, A. T.: “Cognitive tutors: Technology bringing learning science to the classroom”, K. Sawyer (Ed.): “The Cambridge Handbook of the Learning Sciences”, Cambridge University Press, pp. 61-78 (2006)
- (51) 学校図書株式会社: “指導者用デジタル教科書”, https://gakuto.co.jp/2020s_tokusetsu/webpamph/sansu-7.html (参照 2025.1.30)
- (52) 京都大学緒方研究室: “Leaf”, <https://eds.let.media.kyoto-u.ac.jp/leaf/> (参照 2025.1.30)
- (53) 2019 年度人工知能学会全国大会 (第 33 回): “OS-21 プロセス中心のシステムデザインとラーニングアナリティクス”, <https://www.ai-gakkai.or.jp/jsai2019/os/#os-21>
- (54) Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N. et al.: “Attention is all you need”, Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, pp. 6000-6010 (2017)
- (55) 仲林 清, 森本容介: “拡張性を有する学習支援システムにおける再利用性向上のための教材オブジェクトデザインパターン設計と実装”, 教育システム情報学会誌, Vol. 35, No. 3, pp. 248-259 (2018)
- (56) Hirashima, T., Kashiwara, A. and Toyoda, J.: “Providing problem explanation for ITS: A problem solving model: MIPS and a problem explanation facility”, Proceedings of 2nd International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Vol. 2, Springer Berlin Heidelberg, pp. 76-83 (1992)
- (57) 小尻智子, 越智洋司, 香山瑞恵, 國宗永佳, 長谷川忍, 林 雄介, 益川弘如, 村上正行, 小松川浩: “全国大会活性化に向けて—プログラム委員会の取り組み—”, 教育システム情報学会誌, Vol. 31, No. 1, pp. 164-167 (2014)
- (58) 小代翔大, 山元 翔, 平嶋 宗: “AR を用いた協調的作問学習支援システムの設計・開発”, 第 48 回教育システム情報学会全国大会, A5-2 (2023)
- (59) 三宅なほみ: “協調的な学習と AI”, 人工知能学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 174-183 (2008)
- (60) Hirashima, T., Yamamoto, S. and Hayashi, Y.: “Triplet structure model of arithmetical word problems for learning by problem-posing”, Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Applications and Services, Vol. 3, No. 136, pp. 42-50 (2014)
- (61) 田和辻可昌, 本野凛太郎, 松居辰則: “振動刺激を用いた学習支援ロボットの安心感動作に対する学習者の意図推定の誘発”, 2022 年度教育システム情報学会第一回研究会, Vol. 37, No. 1, pp. 9-16 (2022)
- (62) Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A. et al.: “Social robots for education: A review”, Science Robotics, Vol. 3, No. 21, Article No. eaat5954 (2018)
- (63) Wang, S., Wang, F., Zhu, Z. et al.: “Artificial intelligence in education: A systematic literature review”, Expert Systems with Applications, Vol. 252, Part A, Article No. 124167 (2024)
- (64) 小松孝徳, 山田誠二, 小林一樹, 船越孝太郎, 中野幹生: “Artificial Subtle Expressions: エージェントの内部状態を直感的に伝達する手法の提案”, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 733-741 (2010)
- (65) Komatsu, T., Kobayashi, K., Yamada, S. et al.: “Vibrational artificial subtle expressions: Conveying system's confidence level to users by means of smartphone vibration”, Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 478, pp. 1-9 (2018)
- (66) Lawson, A. E.: “Basic inferences of scientific reasoning, argumentation, and discovery”, Science Education, Vol. 94, No. 2, pp. 336-364 (2009)
- (67) 林 佑樹, 杉本 葵, 瀬田和久: “マルチモーダルインタラクションアウェアな CSCL システムの開発・運用・分析を支援する統合プラットフォーム”, 教育システム情報学会誌, Vol. 39, No. 2, pp. 235-251 (2022)
- (68) 角 康之, 矢野正治, 西田豊明: “マルチモーダルデータに基づいた多人数会話の構造理解”, 社会言語科学, Vol. 14, No. 1, pp. 82-96 (2011)
- (69) Mayer, R.: “Mathematical problem solving”, In J. Royer (Ed.): “Mathematical Cognition”, Information Age Publish-

- ing, Greenwich, CT, pp. 69-92 (2003)
- (70) Polya, G.: "How to Solve It", Princeton University Press (1945)
- (71) Papert, S.: "Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas", Basic Books (1980)
- (72) Carbonell, J. R.: "AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-assisted instruction", IEEE Transactions on Man-Machine Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 190-202 (1970)
- (73) 平嶋 宗, 前田一誠, 岩井健吾, 山元 翔, 松本慎平, 林 雄介: "量命題を部品とした算数単位文章題組立作問学習ソフト「モンサクン」の小学校全学年での試験的利用", 教育システム情報学会誌, Vol. 39, No. 3, pp. 357-367 (2022)
- (74) 山元 翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋 宗: "教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクンTouchの開発と実践利用", 電子情報通信学会論文誌D, Vol. 96, No. 10, pp. 2440-2451 (2013)
- (75) 山元 翔, 平嶋 宗: "特別支援学級でのモンサクンをを用いた作問学習実践事例", 教育システム情報学会誌, Vol. 30, No. 4, pp. 243-247 (2013)
- (76) 松浦健二, 柏原昭博: "教育・学習支援システム研究分野における産学連携・共創への道標", 教育システム情報学会誌, Vol. 38, No. 3, pp. 209-217 (2021)
- (77) 田中孝治, 水島和憲, 仲林 清, 池田 満: "営業実習の週報から見る新入社員の学び方の学びと指導員によるその支援質的データ分析手法 SCAT を用いた一事例分析", 日本教育工学会論文誌, Vol. 41, No. 1, pp. 1-12 (2017)
- (78) 林 佑樹: "インタラクティブな教育システム情報学マップのメタ視点からの構想", 教育システム情報学会誌, Vol. 39, No. 2, pp. 187-192 (2022)
- (79) 田和辻可昌: "私の考える教育システム情報学マップー問題逆遷移アプローチによるマップ作成の検討ー", 教育システム情報学会誌, Vol. 39, No. 2, pp. 174-178 (2022)
- (80) 山元 翔: "Learner Experience の視点からの教育システム情報学", 教育システム情報学会誌, Vol. 39, No. 2, pp. 200-207 (2022)
- (81) 山元 翔, 田和辻可昌, 林 佑樹: "学習・教授のインタラクションに基づく教育システム情報学マップのプロトタイプ", 教育システム情報学会誌, Vol. 40, No. 2, pp. 131-140 (2023)
- (82) 坂元 昂: "教育工学の原理と方法", 明治図書 (1971)

著 者 紹 介

山元 翔

2014 年広島大学大学院博士後期課程了。博士(工学)。同年同大学特任助教, 近畿大学工学部助教等を経て, 2024 年より情報学部准教授。情報学研究所, 次世代基盤技術研究所兼務。学習工学に基づく学習体験に関する研究に従事。2017 年人工知能学会現場イノ



ベーション賞, ICCE 2021 Best Overall Paper Award, 2021 年度 e ラーニングアワード 文部科学大臣賞ほか受賞。教育システム情報学会, 人工知能学会, 教育工学会, 電子情報通信学会, APSCE, AAAI, 各会員。

田和辻 可昌

2020 年早稲田大学大学院人間科学研究科博士後期課程修了。博士(人間科学)。早稲田大学人間科学部助手, 同大学グローバルエデュケーションセンター, データ科学センター講師を経て, 現在, 東京大学大学院工学系研究科附属人工物工学研究センター特任助



教。関心は, 不気味の谷を通した人間の他者認知を実現する機構の理解, 感情の記述など。ICCE 2021 Best Overall Paper Award。教育システム情報学会, 人工知能学会, 日本感性工学会, 日本神経回路学会, 日本神経科学学会, 日本認知科学会, 各会員。

林 佑樹

2012 年名古屋大学大学院情報科学研究科博士課程後期課程修了。博士(情報科学)。日本学術振興会特別研究員, 成蹊大学理工学部, 大阪府立大学現代システム科学域, 同大学院人間社会システム科学研究科を経て, 2022 年より大阪公立大学大学院情報学研究科准教授。



人の知的活動の高度化を目指して, 多人数インタラクションや思考スキルに関する研究に従事。2016 年人工知能学会創設 30 周年記念最優秀論文賞, ICCE 2017 Best Overall Paper Award, 2021・2024 年教育システム情報学会論文賞など。人工知能学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, 教育システム情報学会, APSCE, ACM, 各会員。