

非情報専攻学生の情報リテラシー科目における問題解決の計算機モデル構築による学習の予備的検討

小島 一晃^{1,a)} 三輪 和久^{2,b)}

概要：近年の一般情報教育では情報科学も含めて誰もが広範な分野を学ぶようになっており、AIの活用のためのリテラシーを育成する取り組みも進められている。人がAIと相互作用することを前提とした問題解決に対しては、AIの理解に加えて、問題解決における人間の知や役割への理解も必要と考えられる。本研究では情報を専攻しない学生を対象に、人間の問題解決の性質についての理解を深める方法と教材を検討した。学習の方法には、プロダクションシステムによる計算機モデルの構築を採用した。情報リテラシーの授業において問題解決のモデル化の基本を学ぶ教材に受講生を従事させたところ、問題表現やプロダクションシステムについて不慣れであることが原因と見られる失敗が観察され、初学者への足場がけの改善の必要性が確認された。

キーワード：情報リテラシー教育、問題解決、計算機モデル

Preliminary study on learning through construction of computational models of problem solving in an information literacy course for undergraduates not majoring in informatics

KAZUAKI KOJIMA^{1,a)} KAZUHISA MIWA^{2,b)}

Abstract: Recent general information education has involved everyone in learning a broad range of fields including information science. It has also started attempts to promote literacy to use AI. In problem solving where people are supposed to interact with AI, it is regarded as essential to understand human intelligence and roles as well as understanding AI. This study examined an activity and materials for undergraduates not majoring in informatics to enhance their understanding of the nature of human problem solving. Construction of computational models in a production system was adopted as the learning activity. We engaged students in an information literacy course in learning materials to master basics on modelling of problem solving, then observed failures that may have been caused because they were unfamiliar with problem representation and the production system. It confirms the need for improvement of scaffolding for novice learners.

Keywords: Information literacy education, problem solving, computational model

1. はじめに

近年の一般情報教育はその範囲が拡大しており、情報科

学も含めて誰もが情報通信技術のより広範な分野を学ぶようになっている。たとえば小学校においては、情報科学者のように思考する computational thinking[1] を基礎とする思考スキルを育成するためにプログラミング教育が導入され[2]、高等学校普通科においては、プログラミングやモデル化・シミュレーション等も含む情報1[3]の科目が2022年度より必修となつている。さらに人工知能(AI)が注目を集めている背景から、文部科学省による数理・データ

¹ 帝京大学
Teikyo University

² 名古屋大学
Nagoya University

^{a)} kojima@it-lab.teikyo-u.ac.jp

^{b)} miwa@is.nagoya-u.ac.jp

サイエンス・AI教育プログラム認定制度 [4] が 2024 年度より開始され、情報を専門としない学習者も対象とするデータサイエンスと AI の教育が大学や高等学校で行われるようになっていく。

深層学習によって発展した機械学習とその応用が広く認識されて依頼、長らく第三次 AI ブームにあるとされているが、2022 年に OpenAI が ChatGPT を発表してから大規模言語モデルによる生成 AI のサービスが次々に登場し、AI への注目は飛躍的に高まった。AI の利用は今後あらゆる分野の問題解決において不可避と考えられるようになっており、「AI リテラシー」という考え方も出現している [5][6]。機械学習の基本的な仕組みを知ることも含め、AI とその利用のスキル、利用時の倫理などを学ばせる AI リテラシー育成の取り組みも進められている（たとえば [7][8][9]）。

AI リテラシーに統一的な定義はないとされる [5] が、AI の存在の認識、AI に関する知識・理解、AI の活用とその評価のスキル、倫理的な使用等といった点では概ね研究者間で一致が見られる。また、AI の技術を用いた情報システムはこれまでのものと性質が異なるため、人間がユーザとしてシステムと関わるのではなく、人間は AI と共同するという仮定の下で、共同における人間の役割についての知識を含む AI リテラシーも提唱されている [10]。さらに Long [6] による AI リテラシーの定義では、AI の知識・理解に、人間・動物・機械の違いという観点も含めた「知 (Intelligence) の理解」を加えている。AI の利用を前提とした問題解決に対しては、目的の発見・設定に焦点を置いた教育の必要の指摘もなされているが [11]、つまり問題解決とそこにおける知を理解することが、今後の重要なリテラシーのひとつになる可能性があると言えるだろう。そこで本研究では最終的に、人間の知に焦点を置いて問題解決を学ぶ方法を、一般情報教育において構築することを目指す。

以上に述べた背景から、本研究では情報を専攻しない学生を対象に、問題解決の性質についての理解を深める方法と教材を検討し、情報リテラシー科目の授業に適用した。ここで学ぶことは、高等学校の情報 1 で扱われている問題解決の方法論ではなく、人間の問題解決における認知プロセスの性質であり、例えば高次認知処理における暗黙的な処理の存在や分散表象のようなものである。情報 1 において問題を分析する間にこの側面への気づきに遭遇する可能性もあるが、情報 1 はこの側面についての明示的な教示を含まない。学習の方法には、モデルの構築を採用する。なお、本研究は現時点で初期検討段階であり、教材は問題解決のモデル化の基本を学ぶのみに留まっている。本稿では以後、2 節において学習の方法と教材について説明し、それを実際の授業に適用した結果を 3 節で述べる。

2. モデル構築による問題解決の学習と教材

2.1 モデル構築による学習

人間の知の理解を目指す認知科学は、AI と同様にダートマス会議から発祥したと言われている [12]。AI 研究は知的な機械の実現のみならず、知の性質の発見もその目的に持っており [13]、AI と認知科学とは知の追及における二輪という考え方もある [12]。実際に認知科学は、実験を通じて人間の行動を経験的に検討する分析的な方法の他に、計算機モデルを実行する構成的な方法を採用してきた [14]。

モデルは科学的知識の産出と伝搬において不可欠である [15] とともに、モデルの構築とシミュレーションは学習手段としても有用である [15][16][17]。計算機モデルの構築はプログラミングを必要とするため初学者には困難であるが [18]、認知プロセスのモデル作成には暗黙の過程を明確化し、認知プロセスへの省察やメタモニタリングを活性化する効果が期待される [19][20]。また、モデル構築による対象理解では、実装による具体化を通じて（実際または仮定の）世界からフィードバックを受け取ることに意義がある [21][22]。これら効果を期待して、初学者向けのプロダクションシステムを用いて学習者がモデルを実装する学習とその支援の方法の構築を、著者らは展開してきた [23][24]。

2.2 本研究における学習の方法と先行研究

本研究で用いるプロダクションシステムは、先行研究で開発された DoCoPro [25] である。DoCoPro は非常に小さい仕様を持ち、if-then ルール、マッチング、いくつかの組み込み関数の 3 点について短時間の教示を与えるだけで、プロダクションシステムに熟知せずとも簡単なモデル構築を行うことが可能である。競合解消やその他の認知のメカニズムを再現するための機能は持たないが、モデル作成における試行錯誤を支援するための機能を持つ。

ここでは人間の問題解決を意図したモデルを作成するが、人間の認知メカニズムを精緻に再現することは目指さない。if-then ルールだけでは、多くの場合人間の思考プロセスとかなりの違いが生じる。この違いも学ぶべき対象であり、モデル作成の狙いは、自身の思考への省察を促して人間の問題解決に対する理解を深めることにある。他方で、ここでのモデルはもちろん、計算機に効率的な問題解決をさせるプログラミングとは本質的に異なる。

図 1 に DoCoPro の画面を示す。画面右の「ルール」のウィンドウにルールを追加して編集することで、モデルを構築する。問題の初期状態の情報は、左の「ワーキングメモリ (WM)」に入力する。モデルの実行は、上の「モデルの操作」のボタンでコントロールする。モデルを実行すると 1 つ目のルールから順に、if 節の条件を WM と照合させ、条件が満たされたらその then 節のアクションを実行

して WM の情報を更新する，という処理を繰り返す。

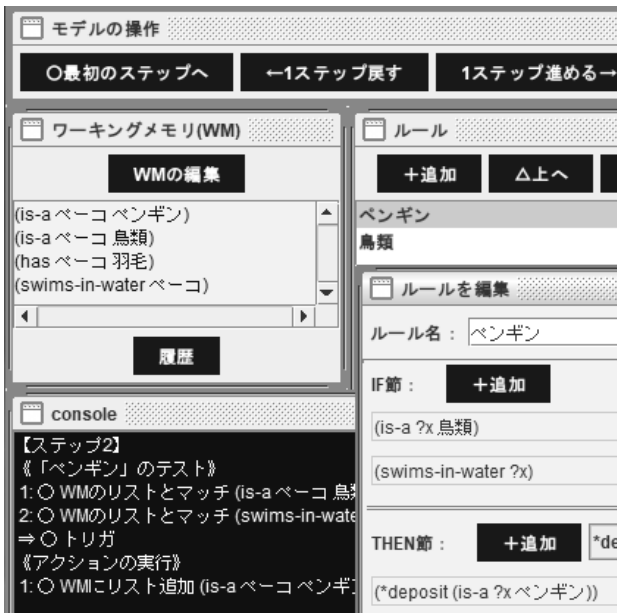


図 1 DoCoPro の画面の一部

先行研究 [26] では，モデル構築の経験が問題解決に対するメンタルモデルの構築とシミュレーションを改善することを確認している．この研究において DoCoPro で引き算の筆算のモデルを作成した大学生は，ある小学生による計算間違い（例：「9008-3149」の解答を 5959 や 3969）の原因を診断するバグ同定課題をよりの確に遂行できるようになった．すなわち，モデル構築を通じて認知プロセスの理解が促進され，心的に他者のモデルを描いて問題解決のシミュレーションができるようになったということである．

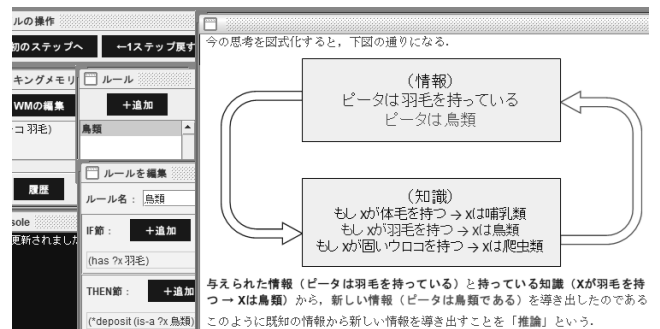
上述の先行研究では情報系学部の学生が対象であり，モデル作成とバグ同定課題は認知科学の授業，すなわち専門科目において行われた．モデルを完成させた学生はバグ同定課題のパフォーマンスが十分に改善されたものの，完成させられなかった学生はあまり改善されなかった．つまり，モデル構築には失敗することがある．モデルの作成にあたっては教科書的な教材が与えられ，学生はまずプロダクションシステムによる問題解決のモデル化の基本を学んだ上で，筆算のモデル構築を行った．なお，モデル構築では学生が自分自身で if-then ルールを DoCoPro に入力したものの，最初のルールは与えられたものを入力するのみで，その後のルールも多くは半完成のものを完成させる形であり，自身で 1 から設計するルールはごく一部であった．このことを踏まえると，非情報専攻の学生にモデル化を経験させる際には，教科書も含め，より低負荷な材料が必要となると考えられる．

2.3 非情報専攻学生を対象とする教材

先に挙げた先行研究 [26] で基本を学ぶ題材として使用した問題は，3 つのブロックを 1 つずつ積み上げる積木の問

題であった．積木は誰にとっても簡単な問題であるが，そのモデルの構築となると初学者には困難である可能性がある．非情報専攻の学生を対象として，情報リテラシー科目に適用するために，本研究ではまず導入教材を作成した．この教材を通じて学習者に学ばせることは，プロダクションシステムの if-then ルールと推論，プロダクションシステムでの問題解決のモデル化，人間の問題解決における思考の暗黙的な側面の 3 点である．

DoCoPro では，図 2 の右ウインドウのように文書を教科書として提示できる．この文書は HTML ファイルで作成されるが，HTML ファイル内に DoCoPro 用の特定のコードを埋め込むことで，特定の情報を WM にセットしたり完成済みのルールを追加するといったアクションを DoCoPro に実行させることが可能である．これにより，初学者がモデル構築を体験する際の足場がけができる．



※図中の「ピータは羽毛を持っている」，左の矢印，「X が羽毛を持つ → X は鳥類」は青で表示され，右の矢印と「ピータは鳥類である」は赤で表示され，青の情報から赤の情報が導かれたという説明がされている。

図 2 DoCoPro 教科書

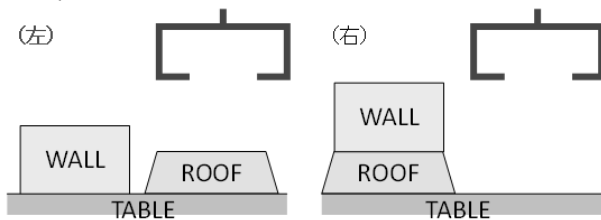
まず教材の第一章は，人工知能の教科書 [27] でも用いられている「動物の分類」を例に，プロダクションシステムにおける if-then ルールと推論の解説とした．「もし X が羽毛を持つならば，X は鳥類である」という知識と「ある動物が羽毛を持つ」という情報から「ある動物は鳥類である」という思考を，if-then ルールと WM でモデル化する方法を学んだ上で，実際に DoCoPro に入力して推論を実行する体験をさせる．さらに「もし X が鳥類である，かつ X が水中を泳ぐならば，X はペンギンである」というルールを作成し，2 つの推論を繋ぐ体験をさせる．ルールは全て与えられ，学習者はそれを入力するのみである．

第二章は，通学での移動を例に用いた，問題解決のモデル化の解説とした．「操作を適用して状態を変化させることで初期状態から目標状態に到達する」という問題解決の捉え方を示した上で，状態を WM に記述し，操作をルールで実現することを学ばせる．例として，「雀宮駅にいる」状態を WM に記述させ，「もし雀宮駅にいるならば，雀宮駅にいる状態を削除し，宇都宮駅にいる状態を追加する」

という「電車での移動」の操作をルールとして入力させ、ルールによって状態を変化させる体験をさせる。続いて、同じ要領で「もし宇都宮駅にいるならば、宇都宮駅にいる状態を削除し、大学にいる状態を追加する」という「バスでの移動」を、自身で考案して入力させる。最後に、目標状態に到達したら問題解決を終了するルールを示し、状態を変化させていって目標状態で停止するプロセスの再現を体験させる。

第三章は、積木を例に、少し複雑な問題解決のモデル化の解説とした。図3に、第三章の解説の例を示す。積木のブロックを屋根と壁の2個とし、壁の上に屋根を乗せて家を作るという単純なプロセスであるが、1つのルールで複数の情報の削除・追加を行う点で第二章より複雑となる。ここではさらに、屋根の上に壁が乗っている状態も含めた複数の状態から1つの目標状態に到達できるモデルとして、5つのルールを入力させる。そのうち2つは与え、2つは自然言語で記述したルールに基づいて自身で作成させる。残りの1つの終了ルールは、自身で考案して入力させる。

次に、積み木の操作を考えよう。ブロックを積み上げるためには、当然「ブロックを持ち上げ」てから「ブロックを置く」必要がある。しかし、この2つだけではなく、実際には2種類の「持ち上げる」+2種類の「置く」の、計4つが必要になる。



目標状態を目指すには、**ROOF**を持ち上げ、**WALL**の上に置けばよい。しかし、上図左の場合はそれでよいが、右の場合は**ROOF**を持ち上げられないので、まず**WALL**を持ち上げなければならない。

上図左の場合にブロックを持ち上げる (=pick Up) 操作を作成しよう。**ROOF**を対象にするので、**U-R**である。

IF節

ROOFが**TABLE**の上にある
ROOFの上に何も無い
 クレーンが何も持っていない

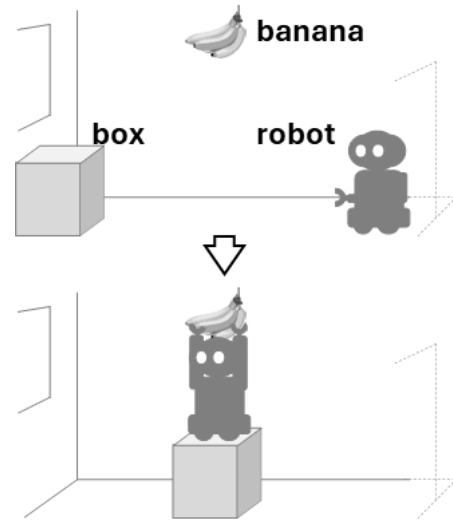
THEN節

クレーンで**ROOF**を持ち上げる
 または
 「クレーンが**ROOF**を持っている」状態が成り立つ
 「**ROOF**が**TABLE**の上にある」、**「ROOF**の上に何も無い」状態は成り立たなくなる

図3 第三章の解説の一部

最後に課題として、Monkey & Banana問題の猿をロボットに変えた「Robot & Banana問題」のモデルを作成させた。この問題では図4に示す通り、ロボットが箱を部屋の中央に移動させて乗り、バナナを取る。ここでは4つのルールを作成させたが、4つ全てを自然言語で記述したものを与えた上で、初期状態の表現に必要な情報とその表現を考案してWMに入力させた上で、その表現に基づいて

ルールをDoCoProに入力させた。



上が初期状態、下が目標状態

図4 Robot & Banana問題

第三章と課題の問題自体は極めて単純であるが、ルール作成においては、「もし屋根の上に何も乗っていなければ(屋根ブロックを持ち上げる)」や「もしロボットと箱の場所が同じであれば(ロボットは箱を部屋の中央に移動させる)」のような一目瞭然である条件がむしろ欠落してしまうことが多い[28]。計算機モデル化においてはこういった問題が難しく、一方で専門的で体系化された領域知識を用いた論理的な思考のほうが平易となることが、問題解決のモデル化において学ぶべきことの1つである。また、第三章と課題ではモデルの設計に必要な情報のほとんどを与えており、学習者はモデル構築のための実装の一部、または全部を行うという形になっている。これは、実装を経験することで計算機と人間の違いへの気付きも促進されるであろうという仮定の下での設計である。

3. 予備調査

前節で述べた教材を用いたモデル構築を実際に非情報専攻の学生ができるか、情報リテラシー科目において確認した。

3.1 対象者と方法

帝京大学経済学部の1年生を対象として開講される情報リテラシー科目・情報基礎2の受講生に、問題解決を学ぶ授業の一環として計算機モデル構築の演習を行わせた。この受講生は必須科目の情報基礎1においてPCやオフィススイートソフトウェアの基本的な使い方、レポートの作成方法、情報倫理について事前に学んでいる。情報基礎2は、1で身に着けたスキルを問題解決に適用することを学ぶという位置付けで、選択科目である。まずグループでテーマを決め、情報を收拾してアイデアを立案し、プレゼンター

ション資料を作成して発表したり、文書に記録するという問題解決の演習を行った後に、個人で DoCoPro を使うモデル構築の演習を行った。

モデル構築の授業は2回に渡り、1回目ではまず趣旨を説明した上で、教員の指示の下で DoCoPro 教科書の第一章の1つ目のルールを入力するところまでを一斉に実施した。以後は第三章まで各自で進めさせ、DoCoPro の操作等で不明点がある場合は教員か TA に質問し、授業時間内に完了しなかった場合は次回までに完了させておくよう指示した。2回目の授業では課題のモデル構築に従事させた。また、2回目の最後には、(プログラミング等のスキルの不足以外の観点で)モデル作成が難しい理由と演習を通じた気づきを、ワークシートに記述させる形で報告させた。その次の授業において、この演習の意図や学ぶべきこと等を座学で解説した。

3.2 データと分析

モデル構築の授業2回の両方に出席した受講生を対象に、DoCoPro の操作のログに基づいて三章と課題で作成したモデルが完成したか否かを分析した。各モデルは、下記の5つに分類した。

失敗 モデルを作成したが、そのモデルは一切動作しないか、動作するが問題を解決するまでの所定のプロセスを一切再現しない。

不完全 所定の問題解決プロセスの一部を再現するモデルを作成した。

完成 所定の問題解決プロセスを全て再現するモデルを作成した。

3.3 結果と考察

モデル構築の授業2回に出席した受講生は24名であった。2名のデータはログに欠損が生じていたため分析から除外し、残りの22名を対象とした。

図5に、第三章と課題で受講生が作成したモデルの分類を示す。第三章では不完全が多く、課題では失敗が多かった。

第三章のモデルでは、各ルールで複数の情報の削除と追加を行う必要がある。不完全のモデルの大半は、ルールで実行すべき情報の追加が欠落していることが原因で、目標状態まで到達できないものとなっていた。なお、モデルが含む5つのルールのうち2つは与えられるため、それを入力するだけでも不完全のモデルにはなるが、2人が失敗のモデルを作成していた。いずれもルールが1つしか入力されておらず、与えられたルールを正確に登録していなかった。このことから、モデル作成に十分な労力を費やさずに途中段階で終わらせた可能性が推測される。

課題のモデルでは失敗が多かったが、その原因は WM に入力した問題の初期状態の情報が不十分であったこと、な

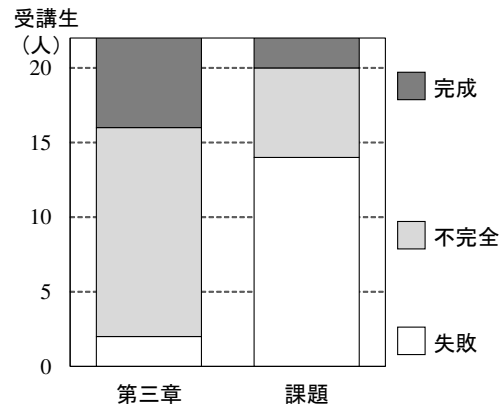


図5 受講生のモデルの分類

らびに、初期状態の表現とルールのif節に条件として入力した状態の表現が食い違っていたことであった。具体的には、初期状態にはロボット、箱、バナナがあることだけが記述され、それぞれの位置を表す情報がなかったり、WMではバナナについて「(at banana)」とのみ記述したが、ルールのif節には「(hang banana)」を条件として記述したといった事例が見られた。これらの原因には、問題表現を設計するような経験を持っていなかったり、プロダクションシステムの仕様を理解できなかったりといったことが挙げられる。これらのことから、そのため非情報専攻の学生にモデル構築を経験させるためには、さらなる足場がけやより平易な教材を用いる必要があると言えるだろう。

DoCoProでのモデル構築には、プログラミングの経験が影響する可能性がある[20]。受講生にはプログラミングの経験があるか否かを情報基礎1で実施したアンケートで聞いているが、22名のうち5名があると回答していたものの、この5名は第三章・課題のいずれでも完全モデルを作成していない。なお、5名のプログラミングに対する習熟の程度は不明であるため、ここでのプログラミングの経験の影響の程度は推測できない。プログラミングでは基本的に手続き的な記述を経験をしたと思われるが、プロダクションシステムでは宣言的な記述になるため、経験の転移ができなかった可能性がある。あるいは、プログラミングの経験は既知のアルゴリズムのコーディングが中心で、本研究のようにオペレータを定義するような思考は訓練されてないのかもしれない。

今回は詳細な分析を行っていないが、授業2回目の最後のワークシートの記述には、人間に対して問題解決の方法を説明する場合との違いや、意識せずともできることを言語化することの難しさについての言及が数件見られた。モデル構築自体に成功できずとも、問題解決について多少の気づきが得られた可能性はあるだろう。一方で、モデル構築の負荷の高さについての言及が多かったため、先述の通りの改善が必要といえる。

4. おわりに

本研究では情報を専攻しない学生を対象に、計算機モデルの構築を通じて、問題解決の性質について学ぶための教材を検討し、情報リテラシー科目の授業に適用した。その結果、モデル構築に対する支援の強化の必要性が確認された。

本研究で作成した教材は、現時点ではモデル構築の基本を学ぶまでの範囲に留まっている。将来の課題としては、問題空間の探索や問題解決の種類など、より広範に問題解決の考え方について学ぶための材料の考案も必要となる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(C)23K11353の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Wing, J. M.: *Computational thinking, Communications of the ACM*, Vol. 49, No. 3, pp. 33-35 (2006).
- [2] 文部科学省: 小学校プログラミング教育の手引(第二版), 入手先 <https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm> (accessed on 2024.06.01).
- [3] 文部科学省: 高等学校学習指導要領(平成30年告示), 入手先 <https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/newcs/1407074.htm> (accessed on 2024.06.01).
- [4] 文部科学省: 数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度, 入手先 <https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/suuri_datascience_ai/00001.htm> (accessed on 2024.06.01).
- [5] Almatrafi, O., Johri, A., Lee, H.: A systematic review of AI literacy conceptualization, constructs, and implementation and assessment efforts, *Computers and Education Open*, Vol. 6, Article 100173 (2023).
- [6] Long, D., Magerko, B.: What is AI literacy? Competencies and design considerations, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-16 (2020).
- [7] Kong, S. C., Cheung, W. M. Y., Zhang, G.: Evaluation of an artificial intelligence literacy course for university students with diverse study backgrounds, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, Vol. 2, Article 100026 (2021).
- [8] 竹澤則乃, 山本利一, 小浦一: 人工知能を用いた画像認識技術をプログラミングを通して学習する指導過程の提案と評価, *教育情報研究*, Vol. 38, No. 1, pp. 37-49 (2022).
- [9] Amplo, E., Butler, D.: Design-Based learning and constructionist learning principles to promote artificial intelligence literacy and awareness in K-12, a pilot study, *Proceedings of the 8th IAFOR international conference on education*, pp. 807-818 (2023).
- [10] Pinski, M., Benlian, A.: AI literacy - towards measuring human competency in artificial intelligence, *Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 165-174 (2023).
- [11] 斎藤俊則: ChatGPT から見えてくる情報教育の今後, 新時代の道具, ChatGPT: 14 の視点からその可能性を探る, *情報処理*, Vol. 64, No.9, e24-26 (2023).
- [12] 松原仁: 人工知能と認知科学, *認知科学*, Vol. 27, No. 4, pp. 607-617 (2020).
- [13] Schank, R. C.: What is AI, anyway?, *AI Magazine*, Vol. 8, No. 4, pp. 59-65 (1987).
- [14] Schunn, C. D., Crowley, K., Okada, T.: The Growth of Multidisciplinary in the Cognitive Science Society, *Cognitive Science*, Vol. 22, pp. 107-130 (1998)
- [15] Gilbert, J. K.: Models and Modelling: Routes to more Authentic Science Education, *International Journal of Science and Mathematics Education*, Vol. 2, No. 2, pp. 115-130 (2004).
- [16] Clement, J.: Model based learning as a key research area for science education, *International Journal of Science Education*, Vol. 22, No. 9, pp. 1041-1053 (2000).
- [17] Harrison, A. G., Treagust, D. F.: Modelling in science lessons: are there better ways to learn with models, *School Science and Mathematics*, Vol. 98, No. 8, pp. 420-479 (1998).
- [18] Penner, D. E.: Cognition, computers, and synthetic science: building knowledge and meaning through modeling, *Review of Research in Education*, Vol. 25, No. 1, pp. 1-35 (2000).
- [19] Fum, D., Del Missier, F., Stocco, A.: The cognitive modeling of human behavior: why a model is (sometimes) better than 10,000 words, *Cognitive Systems Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 135-142 (2007)
- [20] Miwa, K., Morita, J., Nakaike, R., Terai, H.: Learning through Intermediate Problems in Creating Cognitive Models, *Interactive Learning Environments*, Vol. 22, No. 3, pp. 326-350 (2014).
- [21] Miwa, K., Morita, J., Terai, H., Kanzaki, N., Kojima, K., Nakaike, R., Saito, H.: Use of a Cognitive Simulator to Enhance Students' Mental Simulation Activities, *Proceedings of 12th Intelligent Tutoring Systems*, pp. 398-403 (2014)
- [22] 中島秀之: 構成的研究の方法論と学問体系, *Synthesiology*, Vol. 1, pp. 305-313 (2008).
- [23] Kojima, K., Miwa, K., Nakaike, R., Kanzaki, N., Terai, H., Morita, J., Saito, H., Matsumuro, M.: Preliminary study on learning by constructing a cognitive model based on problem-solving processes, *Workshop Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education*, pp. 438-444 (2017).
- [24] Kojima, K., Miwa, K.: Effects on Fostering Computational Thinking by Externalizing a Solution with Construction of a Problem-Solving Model, *Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education*, pp. 51-56 (2019).
- [25] 中池竜一, 三輪和久, 森田純哉, 寺井仁: 認知科学の入門的授業に供する Web-based プロダクションシステムの開発, *人工知能学会論文誌*, Vol. 26, No.5, pp. 536-546 (2011).
- [26] 神崎奈奈, 三輪和久, 寺井仁, 小島一晃, 中池竜一, 森田純哉, 齋藤ひとみ: 認知モデル作成による認知情報処理の理解を促す大学授業の実践と評価, *人工知能学会論文誌*, Vol. 30, No. 3, pp. 536-546 (2015).
- [27] Winston, P. H.: *Artificial Intelligence, Second Edition*, Addison-Wesley (1985).
- [28] Kazuaki Kojima, Kazuhisa Miwa: Preliminary Study on Fostering Computational Thinking by Constructing a Cognitive Model, *Workshop Proceedings of 26th International Conference on Computers in Education*, pp. 265-270 (2018)