

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03234

研究課題名（和文）小中高の接続を意識したプログラミング教育教材と利用モデルの研究

研究課題名（英文）A Study on Teaching Materials and Utilization Models for Programming Education with a Focus on Alignment between Elementary, Secondary, and Higher Education Curriculum

研究代表者

山川 広人（Yamakawa, Hiroto）

公立千歳科学技術大学・理工学部・専任講師

研究者番号：90724732

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、小中高の各発達段階に対応したプログラミング教育体系の整備と、適応型学習支援システムによる自己調整学習の実現を目的とした。学習指導要領や数理・データサイエンス・AI教育でのPythonプログラミングの内容も意識する形で、知識単元およびそのつながりを知識マップおよび954問の教材を作成し、大学および高校で試行を通じた評価を実施した。大学の試行では、理系・文系学習者の知識習得度の差異の確認の観点での有用性を示した。高校の試行では、学習者の習得度や苦手とする知識単元お判別、およびその補習への利用可能性の観点から可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はプログラミング教育の体系化と適応型学習支援システムの開発を通じて、各教育段階における一貫した知識マップと教材の整備を行った。これを適応型学習支援システムに組み込み、大学および高校での試行を通じて、学習者の知識習得度の差異やつまづきの要因を明らかにできる有用性を示した点に学術的意義がある。また、学校段階や教育現場でのカリキュラムの違いの中で学ぶ学習者の存在も考慮しながら、幅広い学習者がプログラミング技術を習得しやすくすることで、我が国のデジタル人材育成にむけた教育支援の土台の一つとして、将来の人材の育成に寄与する点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop programming teaching materials based on knowledge map tailored to the developmental stages of elementary, middle, high school, and university students, and to implement self-regulated learning through an adaptive learning support system. In alignment with the curriculum guidelines and the Mathematics, Data Science, and AI Smart Higher Education, a knowledge map and 954 exercises were created, encompassing knowledge units and their connections, and evaluated through trials in universities and high schools. The university trials demonstrated the utility of identifying differences in knowledge acquisition between science and humanities students. The high school trials highlighted the potential for identifying students' learning levels, pinpointing challenging knowledge units, and utilizing this information for remedial education.

研究分野：情報工学、教育工学

キーワード：プログラミング教育 知識マップ 教材開発 適応型学習支援システム

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初である 2020 年頃、コンピューターや AI 技術が進展する中で、これらの技術を普遍的に用いさらに発展させる役割を担う世代へのデジタル人材育成に向けた初等・中等・高等教育段階へ向けた教育改革が始まりつつある段階であった。特に、プログラミング教育の導入を盛り込んだ平成 29・30・31 年改訂の新学習指導要領により、2020 年度には小学校、2021 年度には中学校におけるプログラミング教育の全面開始が予定されていた。高等学校では 2022 年度「情報 I」、2023 年度「情報 II」の科目の整備が見据えられていた。大学・高等専門学校段階では、政府の AI 戦略 2019 に基づく「数理・データサイエンス・AI」に関わる AI 技術・データ活用人材育成のための教育プログラム認定制度も創設された当初であった。こうした中で、各学校段階へのプログラミング教育開始に向けた準備や、開始を見据えた試行事例は学会や教育委員会、教育現場レベルで個別に検討され始めていた一方で、プログラミングに関する知識・スキルの習得が十分に満たない学習者や、新学習指導要領に基づく学習機会を十分に享受できない世代の学習者、およびそういった学習者が存在する中での中中高大の接続を考慮したプログラミング教育教材や利用モデルの研究については十分に進められていなかった。

2. 研究の目的

上記の背景の中で、各段階で学習者が育む能力はもちろん、学習できる内容を小学校から大学まで段階的・接続的に整備するためには、発育段階にあわせたプログラミング教育の内容の体系化が重要となる。また体系化された教育内容のもとで、学習者が知識・スキルの習得度をはかりながら、自己調整的にプログラミングに関する学習を進めていく仕掛けも重要となる。

研究代表者は、知識の定着・活用・創発を一元的に図る適応型の学習支援システム開発(基盤研究(C) 17K00492)を進め、高等教育のプログラミング授業における自己調整学習の実践で高い教育効果を確認してきた。本研究ではこのシステムを基盤として、小中高大の各段階の接続を意識したプログラミング教育の支援に焦点をあて、目的 1: 小中高大の発達段階に対応しかつ各段階での学習内容を接続可能にするプログラミング教育体系の整備を図ること、目的 2: 目的 1 の体系の整備を前提に、前述の適応型学習支援システムの活用も可能とする形で教材整備を行い、プログラミング教育分野の自己調整学習を可能とする利用モデルを実現することを研究目的に据えた。

3. 研究の方法

目的 1 に対する研究方法として、小中高大の発育段階も意識し、プログラミング教育分野で学習すべき内容の知識体系を整備することとした。知識体系には、学校段階が異なっても共通的に取り扱う「コンピューティング概念」や「プログラミング的思考」に近い部分と、前提となるプログラミング言語の文法などの理解を前提とする部分がある。これらは学校段階ごとに学習深度を考慮し整備する必要がある。このため、既存の情報系の学部教育カリキュラムと各発育段階での指導要領の情報を参考にしながら、小学から大学までの知識体系を検討することにした。なお、知識体系は単元やその中の到達目標を知識マップとして表現できる形で整備する。

目的 2 に対する研究方法として、検討した知識マップに合わせた教材(テストおよび演習兼用の設問)を整備することとした。特に高等教育部分では、数理・データサイエンス・AI 教育を意識した Python ベースの演習問題をもとに、整備済みの教材なども活用しながら知識マップに対応するようトップダウン型で演習問題を作成した。小中学校分野については、学習指導要領との関係も踏まえ、小学校段階からボトムアップ型で新たに設問を作成した。これらの設問にはヒント情報も付与し、習得レベルの確認に用いることができるだけでなく、学習時には演習問題を解きながら適宜ヒント情報を参考にすることで知識やスキルを補えるように工夫を施した。その上で、前後の学校段階で習得する知識単元も意識し、前述の適応型学習支援システムの中核となる Computer Based Testing (CBT) 機能で取り組めるようにした。この CBT は最尤推定法を用い、試験結果から学習者にとって最適な問題難度を知識の習得レベルを基に算出し、学習者に提示することができる。これにより、知識体系を学習支援システムで組み込んだ形で、学習者が CBT で自身のプログラミング知識・スキルの習得レベルを測ることや、それに基づいて自身の不足している知識・スキルの習得に向けた学習が行えるようにした。

4. 研究成果

研究目的に対する研究成果として、(1)知識マップの整備結果、(2)設問の整備結果、(3)利用を通じた試行と評価について述べる。

(1) 知識マップの整備結果:

図 1 の知識マップを整備した。この知識マップは上述の通り、学習指導要領との関係も踏まえた形で、各学校段階のプログラミング学習に必要な知識やスキルを単元名とそのつながりを表したものになっている。また、単元ごとに、表 1 に例示する到達段階を定義している。このレベ

ルは、単元内の「知識の習得段階」、「知識の活用段階」、「知識の応用段階」の3段階と、その中での具体的な知識・スキルの習得目標を7レベルで表現したものとなっている。これにより、学校段階を考慮した知識単元内での学びの深度の表現や、各知識単元の到達目標を達成することができる知識・スキルを有していると思われる形で習得度の把握を細やかに行うことができるよう工夫している。

(2) 設問の整備結果

知識マップの到達目標に対して問題を整備し、適応型学習支援システムに組み込み、CBT機能で利用できるようにした。単元ごとに整備した教材数(総計:954問の内訳)を表2に示す。これにより、学習者がCBT機能を用いて知識単元の習得度の確認や、確認を行った上での学習をWeb上で行える環境を整えた。

(3) 利用を通じた試行と評価:

知識マップおよびそれに基づいた教材を組み込んだ適応型学習支援システムを、大学のプログラミング教育および高等教育のプログラミング教育で試行し、評価を行なった(参考文献・)。

大学のプログラミング教育の試行では、プログラミング言語(C言語、Java)を学んだことがあるもののPython未習者が多くを占める理系大学Aの学習者(プログラミングに関する知識・スキルの習得が十分なケースとなる学習者)と、Pythonの基本文法の学習を通じて初めてプログラミングを学んだ初学者(プログラミングに関する知識・スキルの習得が十分ではないケースとなる学習者)が多い文系大学Bの学習者に、高校・大学レベルのPythonプログラミングの知識単元のCBTを実施し、その結果を比較した。表3に表すように、大学Aの学習者はPythonの既習・未習にかかわらず、どの知識単元においても到達レベルの平均値が「知識の応用段階」に達していたが、大学Bの学習者はPythonの習得度合いに応じて到達レベルの平均値の差が大きく、また発展的な知識単元に向けて到達レベルが低下し、「知識の習得段階」、「知識の活用段階」にとどまる学生が多かった。これを裏付けるように、学習者に問題の難しさを問うアンケートでも、A大学の学習者は簡単と感じている回答が目立つ一方で、B大学の学習者は難しく感じている回答が目立った。これらのことから、特に知識マップの高校・大学段階の知識単元においては、プログラミングの学習の中で身につけた知識・スキルや、プログラミング言語が変わっても他の言語に応用できる概念的な考え方の有無を、知識マップとCBTで判別できる可能性が示された。

高等学校のプログラミング教育の試行では、北海道のある高等学校において、小・中学校でのプログラミング教育の経

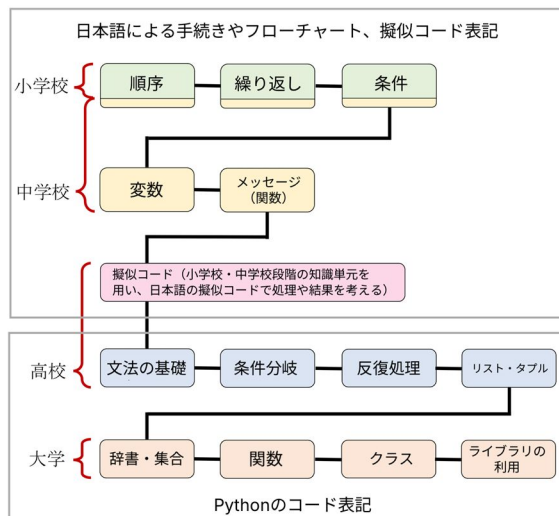


図1 知識マップの単元とそのつながり

表1 到達段階の例(変数の知識単元)

段階	レベル	到達目標
知識の習得	1	数値を記号に置き換えて、隠れている値や大小関係を答えることができる
	2	数値を記号に置き換えて、簡単な四則・比較演算を行うことができる
知識の活用	3	値を記号に置き換えて、複写や上書きを取り入れた四則・比較演算を行うことができる
	4	値を文字や記号に置き換えて、順次処理の結果や流れを考慮することができる
	5	値を文字に置き換えて、繰り返し処理の結果や流れを考慮することができる
知識の応用	6	値を文字に置き換えて、条件分岐の処理結果や流れを考慮することができる
	7	値を文字に置き換えて、順次・繰り返し・条件分岐を組み合わせた処理の結果や流れを考慮することができる

表2 整備した教材数

知識単元	設問数	知識単元	設問数
順序	70	条件分岐	71
繰り返し	70	反復処理	57
条件	70	リスト・タプル	98
変数	70	辞書・集合	68
メッセージ	56	関数	60
擬似コード	68	クラス	61
文法の基礎	54	ライブラリの利用	81

験がない学習者（学習指導要領に基づく学習機会を十分に享受できていないケースとなる学習者）に対し、情報Ⅰプログラミング単元の前段階として、小・中学校段階全般の知識単元（1・2回目の授業）と、それらの知識を用いて擬似的な日本語でのコード表記（擬似コード）の読み取りや処理結果を考える知識単元（3・4回目の授業）をそれぞれの授業で設定し、CBTを行なった、また学習者には、自身のCBTの結果と知識マップの知識単元のつながりを確認した上で、自信がない単元の設定問を演習問題として補習するように指示した。ここで、1・2回目、3・4回目のテストを同じ内容としている理由は、CBTの結果を受けた補習の成果が次のCBTの到達レベルに反映されること期待したものである。特に希望者については、授業外の休み時間なども補習に取り組むことも可能とした。表4は各授業でのCBTによる到達レベルを比較できるように集計したものである。なお比較は、比較する二つの授業の両方に出席した学習者のみで行い、欠席者は除いている。授業1と2の比較では、知識レベルの平均値は授業2の方が若干上昇している。これには学習者が2回目のCBT受験で回答の慣れがあったことや、補習の成果が出ていることが考えられ、より深い検討が必要である。また到達レベルの平均値は「知識の応用段階」に留まっている。これは、プログラミング的思考に基づく知識を成長課程で自然と身につけ理解できる学習者はみられるものの、処理の流れやアルゴリズム等に応用する知識の応用段階に達していない学習者が多い可能性がある。授業2と3および授業3と4の比較では、3回目のCBTから到達レベルの平均値が低下している。授業3からは擬似コードの知識単元であり、プログラミング言語のコード構造を模した記述による処理の流れ、処理結果を考えることにプログラミング的思考を反映できない学習者が多い可能性がある。このように、小中学校段階の知識単元の中での学習者の習得度の判別やその補習、学習者の習得でのつまずきが起こる知識単元などを知識マップとCBTで判別できる有用性が示唆された。

試行とその評価結果から、本研究の目的1および目的2は一定程度達成できたと考える。また、国内で求められるデジタル人材育成への橋渡しとなるプログラミング教育のデジタル人材育成に必要なプログラミングの知識・スキルの獲得を支援するための土台が構築できたと考えている。ただし、特に高等学校での試行で見られた、学習者の習得でのつまずきが起こる知識単元に対しどのような学習支援を行なっていけるかを含め、知識マップや、適応型学習支援システムでの機能化、およびそれを実際の授業現場で活用していく利用モデルの高度化に新たな課題がある。今後の展望として、事業終了後も継続的にこれらの課題について追求を図っていく。

表3 理系大学A・文系大学BにおけるPython「文法の基礎」～「クラス」のCBT結果の比較

学習開始前の学生の状況	項目	理系大学A			文系大学B		
		授業1	授業2	授業3	授業1	授業2	授業3
		単元1-5	単元6	単元7	単元1-3	単元4,5	単元6,7
Python 学習済	CBT受験人数	8	8	8	7	5	5
	平均レベル (SD)	6.25 (2.12)	6.78 (0.67)	7.00 (0.00)	5.86 (1.07)	5.00 (1.58)	5.20 (2.49)
	レベルの中央値	7	7	7	6	5	6
Python 学習中	CBT受験人数	22	22	21	62	51	49
	平均レベル (SD)	6.86 (0.35)	6.91 (0.29)	6.86 (0.48)	4.87 (1.44)	4.69 (1.73)	3.31 (1.46)
	レベルの中央値	7	7	7	5	5	3
Python 未学習	CBT受験人数	29	27	31	11	8	7
	平均レベル (SD)	6.66 (1.01)	6.48 (1.01)	6.48 (1.21)	4.09 (1.45)	3.75 (1.67)	2.41 (0.69)
	レベルの中央値	7	7	7	4	3.5	2

表4 ある高等学校における「順序」～「メッセージ」および「擬似コード」のCBT結果

項目	授業1	授業2	授業2	授業3	授業3	授業4
範囲	順序～ メッセージ		順序～ メッセージ	擬似コード	擬似コード	
比較対象人数	18			20	18	
平均レベル(SD)	4.33 (1.45)	5.60 (1.75)	5.05 (1.94)	1.90 (1.09)	2.00 (1.11)	2.11 (1.33)
レベルの中央値	4	6	6	2	2	1

<参考文献>

- 山川広人, 上野春毅, 小松川浩, 長谷川理: Pythonプログラミングの知識習得度テストの試作と実践結果の検討, 日本情報科教育学会第15回全国大会公演論文集, pp.2-3, 2022.
Yamakawa, H. et al.: Proposal for a Knowledge Map in Programming Education Curriculum for IT Talent Development in Japan, 2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), pp.737-740, 2023

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hiroyuki Yamakawa, Kana Ohashi, Osamu Hasegawa, Haruki Ueno, Akihiro Matsuda and Hiroshi Komatsugawa
2. 発表標題 Proposal for a Knowledge Map in Programming Education Curriculum for IT Talent Development in Japan
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上野春毅, 長谷川理, 小松川浩, 山川広人
2. 発表標題 Pythonを用いた重回帰分析をテーマとしたレベル判別テストの試作
3. 学会等名 日本情報科教育学会第16回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kana OHASHI, Haruki UENO, Osamu HASEGAWA, Hiroshi KOMATSUGAWA & Hiroyuki YAMAKAWA
2. 発表標題 Development of Computer Adaptive Test of Python programming
3. 学会等名 22nd Chitose International Forum on Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山川広人, 上野春毅, 小松川浩, 長谷川理
2. 発表標題 Pythonプログラミングの知識習得度テストの試作と実践結果の検討
3. 学会等名 日本情報科教育学会第15回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山川広人, 上野春毅, 長谷川理, 小松川浩
2. 発表標題 Python知識習得度テストの結果から見る初年次教育におけるプログラミング教育の将来の可能性
3. 学会等名 リメディアル教育学会第17回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山川広人
2. 発表標題 小学校段階を想定したプログラミングのレベル別教材の試作
3. 学会等名 第46回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川広人
2. 発表標題 プログラミング教育必修化での利用を狙ったPythonプログラミングの知識習得度テストの試作
3. 学会等名 大学eラーニング協議会/日本リメディアル教育学会合同フォーラム2021
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山川広人
2. 発表標題 小学校段階を想定したプログラミングのレベル別教材の設計
3. 学会等名 日本情報科教育学会第13回全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小松川 浩 (Komatsugawa Hiroshi) (10305956)	公立千歳科学技術大学・理工学部・教授 (20106)	
研究 分担者	長谷川 理 (Hasegawa Osamu) (30647102)	武蔵野大学・データサイエンス学部・講師 (32680)	
研究 分担者	上野 春毅 (Ueno Haruki) (40948337)	公立千歳科学技術大学・理工学部・助手 (20106)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------