プログラミング教育におけるプログラミング的思考レベルの評価基準に関する研究

大阪芸術大学　教養課程　教授　武村 泰宏

文部科学省が、2016年「小学校プログラミング教育に関する有識者会議」でComputational Thinkingの調査研究を始め、2018年には「小学校プログラミング教育の手引」でプログラミング教育において育成される「プログラミング的思考」を明示している。また、Society 5.0 に適応するための学校教育モデルや実施方法を示すなど、Society 5.0 で必須な資質・能力を体系的に育成するためのSTEAM教育の充実が提唱されている。米国では、2016年にACM（Association for Computing Machinery）関連団体のCSTA（the Computer Science Teachers Association）が、「プログラミング的思考」を包括するComputational Thinkingの観点から、CSTA K-12 Computer Science Standardsのカリキュラムを提案している。このようにプログラミング教育への多様な観点から多くの議論が展開され、初等・中等教育におけるプログラミング教育が関連する教育領域への貢献が期待されている。STEAM教育の観点からは、初等・中等教育におけるプログラミング教育の定量的な学習効果に基づいた議論が重要である。しかしながら、その学習効果がSociety 5.0実現のために必須な資質・能力であるにも関わらず、プログラミング教育の体系的で定量的な学習効果の解析に基づいた議論や、適切適量な教材や効果的なカリキュラムが見当たらない。このような状況に鑑み本研究では、初等中等教育におけるプログラミング教育で育成される「プログラミング的思考」レベルを定量的に測定する評価基準の開発を行った。今までに小学校プログラミング教育の定量的な学習効果の評価に着目し、学習効果のアセスメント尺度の提案と評価実験を行ってきた。2019年には小学生プログラミング教育の学習指導案を提案し、プログラミングロボットキットとScratch3.0によるプログラミング教材を開発し、その評価基準となるプロトタイプを提案してプログラミング教育を試行してきた。ここでの「プログラミング的思考」レベルを測定する過程において、評価基準の①学習年齢による難易度の調整、②評価基準パターンの多様化、③基準値の設定、が必要になり本研究に至っている。

本研究では、従来のプログラミング教育の学習効果に関する研究を発展させ、Computational Thinkingの観点から「プログラミング的思考」の定量的な把握を目指し、これまで得られたプログラミング教育に関する知見を基にして、初等中等教育におけるプログラミング教育で育成される「プログラミング的思考」のレベルを定量的に測定するための評価基準を導出した。さらにはPISA2021 MATHEMATICSのフレームワークに提示されているComputational Thinkingを評価する試問が、タイルを配置した図を作成するためのアルゴリズムを扱っている事も参考にしている。プログラミング教育の学習効果を、Computational Thinkingにおける「プログラミング的思考」のレベル向上として捉え、初等中等教育のプログラミング教育で育成される「プログラミング的思考」に着目し、そのレベルを測定して把握するための評価基準を構築した。具体的には、これまでのプログラミング教育で得られた知見に基づいて、初等中等教育におけるプログラミング教育で育成される「プログラミング的思考」のレベルを定量的に測定する手法を提案し、その基準を導出する評価問題を設計した。その際、学習年齢による測定項目の難易度調整、繰り返し使用するための評価基準パターンの多様化といった観点も抱合した。本手法では条件分岐を基調とした平面の迷路問題における高々mの距離を直進すると必ず丁字路に突き当たるといった、通路の規則的なパターンにおける問題に着目し、その問題を解くアルゴリズムP1／P2／P3を提案している。P1：平面の1点から右左に向けて有向線分を描き、それぞれの終端において、有効線分の向きと、座標、その他の属性を記録する。P2：アルゴリズムP1で記録した全ての終端に対して、有効線分の向き、座標、その他属性を導出し、その座標の向きに対して右左に向けて有効線分を描き、それぞれの終端における、線分の向き、座標、その他属性を記録する。P3：アルゴリズムP2で決定したステップ数をくり返す。アルゴリズムP1／P2／P3の状態遷移モデルを描画して、条件分岐を基調とした平面の迷路問題を解析した。アルゴリズムP1／P2において右左の線分の長さが等価であれば十字路が生成されるが、丁字路が構成されないために右左の線分においての差異が必須となる。m ＞ nとして、右線分の長さがmで左線分の長さがnの状態（Ln Rm）と、右線分の長さがnで左線分の長さがmの状態（Lm Rn）の2つへ状態遷移する。それぞれの状態の2つの端は丁字路になり、そこで新たに描く線分もこれら2つの状態のいずれかになる。線分の両端それぞれに元の線分に垂直な線分が描かれる状態を、Ln、Rm、Lm、Rnから（Ln Rm）あるいは、（Lm Rn）への状態遷移として捉えた。次にアルゴリズムP1／P2／P3を用いたシミュレーションを行い、その結果の視覚的な解析から、ピンホイール、バスケットウイーブ、ヘリンボーンといった3つの連続丁字路パターンを導出した。これらパターンを用いて初等中等教育のプログラミング教育で「プログラミング的思考」の評価問題を作成し、プログラミング教育の教育的試行後に「プログラミング的思考」レベルの基準値を導出した。本研究成果によってプログラミング教育の有効性の一つが理解され、初等中等教育における多様な教科でのプログラミング教育の積極的な受入れと、Society 5.0におけるSTEAM教育実現の一助になれば幸いである。