小学生を対象としたプログラミング教育のための ルーブリックの提案

Propose of Rubric for Programming Education for Elementary School Student

齋藤 大輔[*1]・佐々木 綾奈[*1]・鷲崎 弘宜[*1,*5,*6,*7]・深澤 良彰[*1]・武藤 優介[*2]・田村 麻里子[*3]・西澤 利治[*4]
早稲田大学[*1]・株式会社フジテレビKIDS[*2]・株式会社D2C[*3]・株式会社電脳商会[*4]・国立情報学研究所[*5]
株式会社システム情報[*6]・株式会社エクスモーション[*7]

小学生を対象としたプログラミング教育を等しく評価する方法は確立されていない。この課題を解決するために，Rubric ProEEsという評価指標の提案とRubric ProEEsに対応するテストを作成した。 提案した指標はプログラミング教育における多くの学習目標の重要な項目を網羅し，評価者に関係なく同等に評価することを可能にする。また，我々は，プログラミングを活用したワークショップにそれを適用し，その妥当性と有用性を確認した。結果，Rubric ProEEsは課題を解決し，児童の理解を定量的に把握することを可能にした。今後は，プログラミングが活用される科目との関係を研究し，学習における総合的な能力を継続的，体系的に評価する。

キーワード：プログラミング教育，ルーブリック，学習評価

1. はじめに

小学生を対象としたプログラミングを活用した教育（プログラミング教育）は，日本においては小学校学習指導要領(平成29年告示)「総則第３ 教育課程の実施と学習評価（3）イ」にて「児童がプログラミングを体験しながらコンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身につけるための学習活動」（文部科学省, 2017）と示されている。このことから，教科教育の中での体験という側面があるといえる。加えて, 課外活動や民間の事業者などによるプログラミングを通して実施される論理的思考や問題解決能力等を培うSTEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics)教育といった側面もある。本論では後者の側面に焦点を当てている。

そのうえで，プログラミング教育における学習到達度の評価は確立されていない。プログラミングを活用することによる教育効果および学習到達度を評価するいくつかの研究や評価基準（CSTA & ACM, 2016; 電脳商会, 2016; 株式会社ベネッセコーポレーション, 2017; 総務省, 2017; 兼宗・中谷・御手洗・福井・久野, 2003)は事例がある。しかし，これらの評価基準にはいくつかの課題が残されている。第1に，ほとんどの指標は，Scratchやグループ学習といった，特定のツールや学習方法に依存している。第2に，学習目標は段階的になっていない。この課題のためプログラミング教育による学習到達度を等しく評価することは困難である。課題を解決するため, 我々は小学生を対象とした新しい指標を，学習到達度を評価する基準であるルーブリック(大中・工藤, 2014)という形で提案し，Rubric ProEEsと名付けた。

我々の提案したRubric ProEEsは，いくつかの既存の指標における学習目標を参照し，Bloomの教育目標分類とSOLO分類に関連させた。また，プログラミングの活用における教育効果に関して多くの重要な項目を網羅するように設計されており，各段階の学習目標のレベルを同等に評価することが可能である。

加えて，我々は，Rubric ProEEsの妥当性，有用性を確かめるために，Rubric ProEEsに対応するプログラミング活用での論理的概念などのいくつかの項目の理解度を測定するテストを作成した。本テストを用いることで評価を容易にするとともに，主観による評価を無くし，公平性を向上させるのに役立つ。

さらに，我々はRubric ProEEsをプログラミング学習のワークショップに適用させた。その結果, 学習目標の設定が適切であることが確認され, 毎回, 同じ

指標で評価することが可能となった。また，児童の理解を定量的に表現することができるため，有用であることが証明された。また，本研究における課題として評価の難しさが挙げられる。何故ならば，プログラミングの多くの問題は複数の答えを持っているため，評価者はすべての可能な回答をリストアップする必要がある。さらに，いくつかの異なる視点で比較する必要があるため，プログラミングを十分に理解し経験している必要がある。

本研究の展望としては，先ず，Rubric ProEEsを引き続き適用し調査する。次に，算数や理科などのプログラミングを活用される科目にRubric ProEEsを適用する。これは，プログラミングの活用を通して，児童が教科教育の中でどのような能力を得られたかを総合的，継続的に評価するのに役立つであろう。

本論文の構成は次の通りである。まず，本章では，この研究に関する大まかな概要を述べた。次に，第2章では，プログラミング教育に関する評価指標における背景と課題を説明する。第3章ではRubric ProEEsとそれに対応する理解度確認テストについて説明する。第4章では，ワークショップへの適用結果を示す。第5章ではRubric ProEEsの特徴とプログラミング学習の評価の難しさについて議論する。最後に第6章で，本研究のまとめと今後の展望について述べる。

2. 背景

2.1. 日本における小学生を対象としたプログラミング教育

「はじめに」で述べた通り，日本における小学生（児童）を対象としたプログラミング教育は「小学校学習指導要領(平成29年告示)総則第3 教育課程の実施と学習評価」の中で「児童がプログラミングを体験しながらコンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身につけるための学習活動」としている。加えて，文部科学省等が示す小学校段階のプログラミングに関する学習分類(例)(文部科学省, 2018)では ，表1のように分類されている。しかし，これらプログラミング教育の実施における学習到達度や教育効果等の評価方法は，未だに確立されておらず，評価指標などを策定し体系的に等しく評価するための取り組みが必要不可欠である。

本論文では，表1の分類について，C，Dで実施されるSTEM教育やE，Fの教育について焦点を当て，これらのプログラミング教育における，多くの学習目標の重要な項目を網羅した指標を提案する。A，Bや全てのC,Dへの対応は各教科との関連性を調査および分析し検討する必要がある。故に，まずは，C，Dで実施されるSTEM教育，E，Fに対応する評価指標を策定し，プログラミングの活用における教育の，多くの学習目標を調査し，A，B，全てのC，Dとの関連性を検証する必要がある。

表1. プログラミング教育の分類

教育課程内のプログラミング教育	
A	学習指導要領に例示されている単元等で実施するもの
B	学習指導要領に例示されてはいないが，学習指導要領に示される各教科等の内容を指導する中で実施するもの
C	各学校の裁量により実施するもの（A，B，D以外で，教育課程内で実施するもの）
D	クラブ活動など，特定の児童を対象として，教育課程内で実施するもの
教育課程外のプログラミング教育	
E	学校を会場とするが，教育課程外のもの
F	学校外でのプログラミングの学習機会

2.2. プログラミング教育における評価指標

プログラミングの理解と学習態度を評価するための測定基準は，これまでいくつも作成されてきた。例を図1に2つ示す。

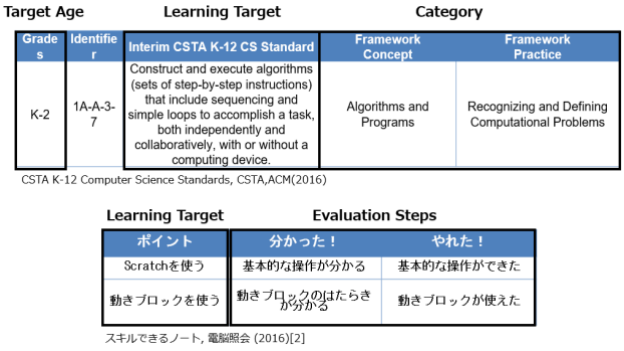


図1. 評価指標の例

まず一つ目はCSTAとACMによって作成および公開された指標のCSTA K-12 Computer Standards (CSTA & ACM, 2016)である。本指標は各年齢の学習者が達成する目標を定義し，評価対象をいくつかのカテゴリーに分類している。2つ目が日本の総務省の事業である若年層におけるプログラミングの実証事業において提案された「スキルできるノート」(電脳

商会, 2016)である。本指標はビジュアルプログラミング環境であるScratch用として作成された。本指標では学習目標を定義し, 各目標に対して「理解」と「実践」の2つの評価段階を有している。

2.2.1. 評価指標における現状の課題

これまで, 多くの指標が作成されてきたと述べた。しかし, これらの指標には, 課題が残されている。

まず, ほとんどの指標がScratchのような特定のツールやグループ学習のような特定の学習方法に特化した形となっている。この課題は図1における「スキルできるノート」に当てはまる。

次に, 学習目標は複数の段階に分かれていない。この課題は, 図1におけるCSTA K-12 Computer Standardsに当てはまる。つまり, この指標は達成度を0%もしくは100%でしか評価できない。このため, 教育者は, 部分的に正しいと思った際に, 評価指標を変更しなければならず, 教育者に関係なく学習者を同等に評価することは困難である。理想的には, 教育者は様々なツールや学習方法を使用して学習計画を立てたいと考えており, 親は子どもの成長を確認したい。故に毎回, 同じ指標を使用するほうが良い。そこで, 我々は, 前述した課題を解決するため, 小学生を対象とした評価指標をルーブリックという形で提案した。

3. 評価指標

3.1. Rubric ProEEs

我々は, 小学生を対象としたプログラミングの活用における論理的概念等の理解度を評価するための指標をルーブリックという形で提案した。さらに, 提案したルーブリックを「Rubric for Programming Education in Elementary School(小学生を対象にしたプログラミング教育のためのルーブリック)」からRubric ProEEs(ProEEs)と名付けた。ProEEsを使用することによって, いつでも同じ指標で評価することを可能とする。また, 小学1年生から6年生までの児童を継続的に評価できるように設計している。図2にProEESの構成を示す。また, 次節にて本ルーブリックの詳細について説明する。尚, 付録1にProEEsの一部抜粋を掲載する。

3.1.1. 分類と評価項目

ProEEsは, 8つの分類とそれぞれの分類に属する30の評価項目で構成されている。これらの評価項目は, CSTA K-12 Computer Standards, スキルできるノート, プログラミングで育成する資質・能力の評価基準(試行版)などの既存の評価基準(CSTA & ACM, 2016; 電脳商会, 2016; 株式会社ベネッセコーポレーション, 2017; 総務省, 2016; Kelleher & Pausch, 2005)を参照し決定した。加えて, プログラミング学習に対する児童の態度も併せて評価するため, 学習態度も評価項目とした。分類および評価項目を表2に示す。

ProEEsは, 一連のプログラミングの学習に関連している。具体的には, まずプログラミングの概念とコンピュータ原理の基礎を学び, 次にどのようなプログラムを作ってからプログラムを書くかを考え, 最終的にはプログラムが正しく動作しているかどうかを確認する。ProEEsはこれらの段階すべてを網羅し

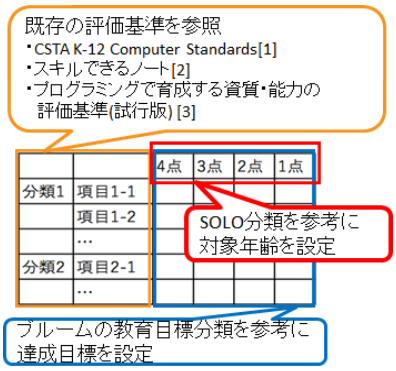


図2. Rubric ProEEsの構成

表2. ProEEsの評価項目とカテゴリー

カテゴリー	項目
学習態度(C1)	意欲, 興味, 忍耐力・根気
プログラミングの概念の理解(C2)	逐次, 繰り返し, 条件分岐
コンピュータ原理の理解(C3)	コンピュータの原理に関する理解
プログラムの設計(C4)	問題の細分化,事象の分析, 動作の抽出, 動作の構築・関数化, 一般化, 設計書の作成, 表現力, 創造性
プログラムの作成(C5)	各要素を用いたプログラムの作成, プログラム作成における論理的思考力, プログラミングソフトの使用, 扱える言語, データの表現, 数式の使用
プログラムの読解, 編集, 評価(C6)	プログラムの読解, プログラムの編集,プログラムの評価
自律的な作業(C7)	計画の実行, 安全への配慮
他者との協力(C8)	自分のアイデアの発表,他人の発表への理解, プログラム作成での協力, グループワークでの貢献

()内のC1-C8は識別子

ている。これにより，プログラミングが与える影響を知ることができる。また，項目の自律的な作業と他者との協力は直接，プログラミングには関係していないが，これらの能力はプログラミングによって，引き出される可能性があるためProEEsに含めた。

3.1.2. 評価手順

ProEEsは，評価1から評価4までの4段階の評価を有している。各分類には評価点をつけるために達成すべき要件として評価項目を設定している。

本評価はBloomの分類法(Lister & Leaney, 2003)を参照して，各評価段階の学習目標を決定した。Bloomの分類法は教育のための有名な分類法であり，知識，理解，適用，分析，統合，評価の6つの認知段階を定義している。しかし，改訂版では統合が評価に，評価が創造に変更された。

ProEEsでは，Bloomの分類法をプログラミング教育に関連させた先行研究(Lister & Leaney, 2003)を参照し。知識と理解を評価2に，適用と分析を評価3に，評価と創造を評価4に接続した。これにより，各評価段階で必要とされる能力を明確にし，難易度の変化を防止する。

3.1.3. 対象年齢

SOLO分類法(岩田, 1984)を参照して，各評価段階の対象年齢を決定した。SOLO分類法は，子どもの各年齢における理解可能な問題について説明している。この分類法によると，児童は1つまたは少数の問題を観察することができ，これはBloomの分類法の理解と知識に対応する。したがって，評価2が合格の基準であると言える。つまり，児童は最低限の学習が可能であることが分かり，この分類法の参照は，特定の年齢の児童のための学習計画を立てるのに役立つ。

3.2. プログラミングの理解度確認テストとアンケート

我々は，評価者の主観を無くし，公平性を向上させるのに役立たせるため，ProEEsに対応するテストとアンケートを作成した。

3.2.1. 理解度確認テスト

このテストは，プログラミングの理解に関する5つの質問(Q1-Q5)で構成される。ProEEsに対応し，いくつかの異なる評価項目について確認をする。児童は，授業の前と後の両方でテストを実施する。評価者はその結果を比較し学習効果を測定する。故に，このテストは，授業前と授業後の2種類ある。この2種類のテストは同じ仕様を持つ。つまり，プログラミングに関して詳細設定が異なる同じ問題を尋ねる。テストの例として図3と図4を示す。

3.2.2. 態度に関するアンケート

アンケートは，プログラミング学習の態度に関する5つの質問で構成される。5つの質問は，「楽しさ」，「難易度」，「有用性」，「意欲」，「興味」である。アンケートの回答にはリッカートスケール方式を用いて，1(強い否定)から6(強い肯定)の6段階で回答する。図5にアンケートの質問の例を示す。他の質問についても図5と同じ形式である。また，これらの質問はProEEsの評価に直接，関与している。

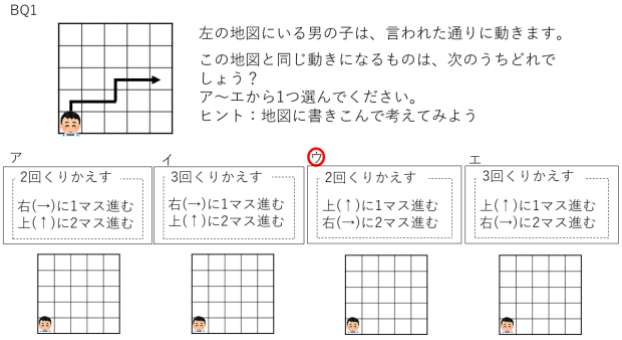


図3. ProEEsのテスト例(事前テスト)

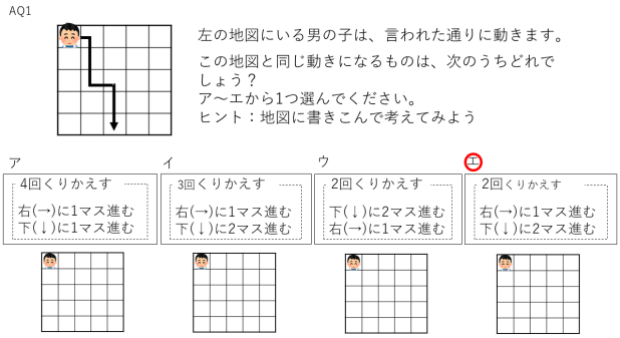


図4. ProEEs対応テスト例(事後テスト)

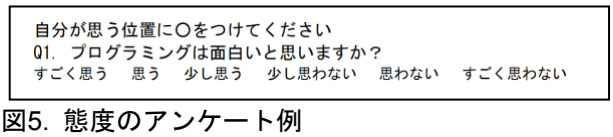


図5. 態度のアンケート例

3.2.3. 評価者による観察

児童の態度の評価はアンケートだけでは難しいため，授業中に児童を観察する必要がある。故に，評価者は，ProEEsと対応させて児童の態度を観察する必要がある。

3.2.4. ProEEsへの対応

テスト, アンケート, および観察がすべて実施されると，ProEEsの多くの項目を評価することが可能となる。表3はProEEsと各テスト問題，アンケート，および観察との対応を示している。コンピュータ原理の理解，自律的な作業，他者との協力，プログラムの設計の一部を除く項目を網羅する。また，表3の1番右の列は，必要に応じて授業で対応する必要がある。

表3. テストとProEEsの評価段階との対応

分類	項目	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	態度アンケート	態度観察	授業設計依存
C1	積極性							x(4)	
	関心						x(4)	x(4)	
	忍耐力・根気							x(4)	
C2	逐次実行	xx(3)		x(3)	x(4)	x(3)			
	繰り返し	xx(3)		x(3)	x(4)				
	条件分岐		xx(2)			x(3)			
C3	コンピュータの原理に関する理解								x
C4	問題の細分化				xx(4)				
	事象の分析			xx(4)					
	動作の抽出				xx(4)				
	動作の構築・関数化			xx(3)	xx(4)	xx(4)			
	一般化					xx(4)			
	設計書の作成								x
	表現力								x
	創造性								x
C5	各要素を用いたプログラムの作成			xx(3)	x(3)	xx(4)			
	プログラム作成における論理的思考力				x(3)	xx(4)			
	プログラミングソフトの使用							x(4)	
	扱える言語							x(2~4)*	
	データの表現			x(4)		x(4)			
	数式の使用			x(3)		x(4)			
C6	プログラムの読解	x(3)				xx(4)			
	プログラムの編集					x(4)			
	プログラムの評価			x(3)	x(3)	x(3)			
C7	計画の実行								x
	安全への配慮								x
C8	自分のアイデアの発表								x
	他人の発表への理解								x
	プログラム作成での協力								x
	グループワークでの貢献								x

xx: 強く関連する, x: 多少の関連する, *: 学習ツールの機能に依存する, () 内の数字: Rubric ProEEの評価段階

4. 適用実験

我々はProEEsの妥当性を示すため，ワークショップ「G7 Programming Learning Summit (G7PLS)」にProEEsを適用した。この章では，適用の方法と結果について説明する。

4.1. 適用方法

4.1.1. 条件

G7PLSは児童にプログラミングを活用して論理的な概念等を教えるためのワークショップイベントである。このワークショップは90分の授業で実施した。種々のプログラミング学習ツールを使用し，6つの授業を開催した。

各授業では，プログラミングの基本概念（逐次，繰り返し，条件分岐）を基軸に論理的な考え方を，年齢が6歳から12歳までの児童を対象に教えた。参加した児童はインターネットを介してオンライン上で募集し，基本的に，プログラミングの初学者であり1つの授業に参加している。

また，G7PLSは3回(G7PLS1 – G7PLS3)開催している。表4に各G7PLSの詳細情報を示した。

表4. G7PLSの概要

略名	G7PLS1	G7PLS2	G7PLS3
開催日	2016/11/12 (Sat)	2017/3/18 (Sat)	2017/8/22 (Tue)
実施場所	早稲田大学	楽天株式会社 仙台支社	早稲田大学
参加人数	42	39	20

2018年1月14日に千葉県柏市にて第4回目を実施している

4.1.2. 評価の方法

各G7PLSでは理解度確認テストと態度アンケートが実施された。態度アンケートはすべてのG7PLSで同じである。しかし，理解度確認テストは，実施されたG7PLSによって異なる場合がある。G7PLS1とG7PLS2では，5問[Q1(逐次), Q2(繰り返し), Q3とQ4(条件分岐), Q5(自由記述)]の問題を出題し，同一のテストを使用している。G7PLS3ではテストを少し修正したバージョンを使用している(この，テストも全5問[Q1とQ2(逐次・繰り返し), Q3とQ4(条件分岐), Q5(自由記述)])。加えて，これらのテストは，第3章で取り上げた，テストとは少し異なる。表5と表6は，ProEEsとテストの各バージョンとの対応を示している。今回は，2つの分類と6つの評価項目に焦点を当てた。

この表に従って，児童の回答を確認し各項目の評価段階を定めた。例えば，G7PLS1の児童がQ1とQ2に正しく回答できた場合，逐次と繰り返しで評価3を得る。これらのテストの評価結果を図6，図7，図9に示す。加えて，我々は，G7PLS2とG7PLS3における授業では，児童の態度も評価した。また，G7PLS3では根気力・忍耐の観察も実施した。評価した結果を図8と図10に示す。

表5. G7PLSのテスト概要(G7PLS1, G7PLS2)

分類	項目	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
C2	逐次	xx(2)	x(3)			x(4)
	繰り返し		xx(3)			x(4)
	条件分岐			xx (2)	xx(2)	
C4	問題の細分化					xx (4)
	動作の抽出					xx (4)
	動作の構築・関数化					xx (4)

xx; 強く関連する, x: 多少関連する, 0内数字: ProEEsの評価段階

表6. G7PLSのテスト概要(G7PLS3)

分類	項目	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
C2	逐次	xx(2)	x(3)		xx(3)	x(4)
	繰り返し	xx(2)	xx(3)		xx(3)	x(4)
	条件分岐			Xx (2)	xx(3)	
C4	問題の細分化					xx (4)
	動作の抽出					xx (4)
	動作の構築・関数化					xx (4)

xx; 強く関連する, x: 多少関連する, 0内数字: ProEEsの評価段階

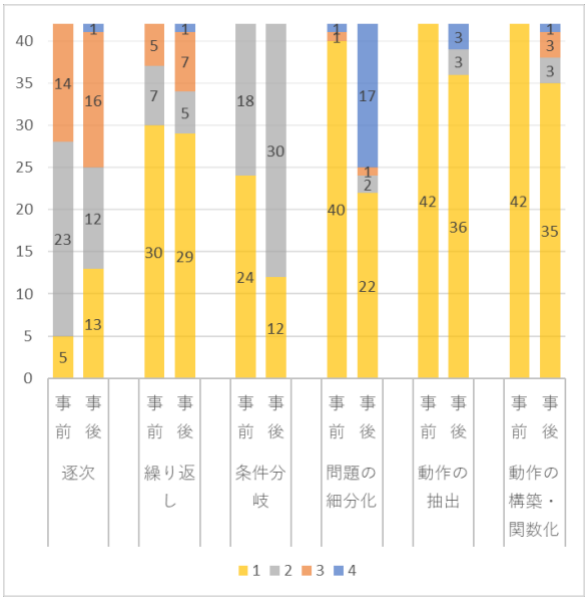


図6. G7PLS1のテストの評価結果

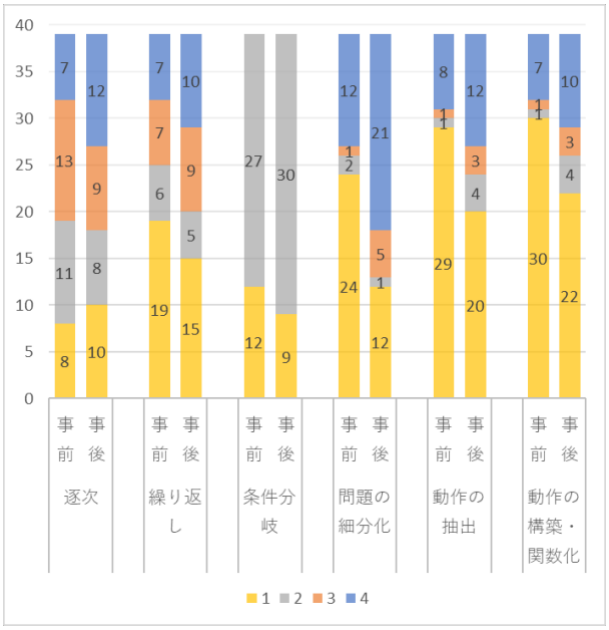


図7. G7PLS2のテストの評価結果

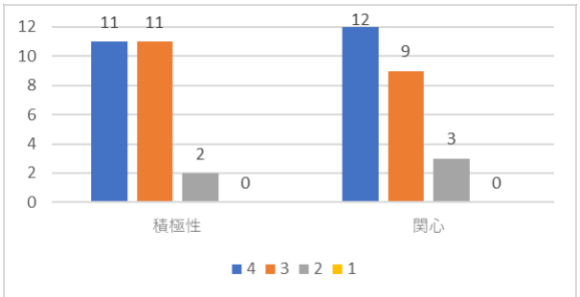


図8. G7PLS2の態度の評価結果

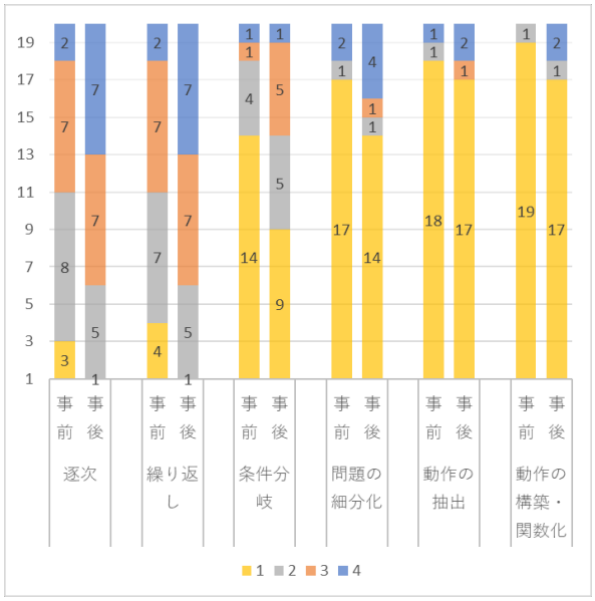


図9. G7PLS3のテストの評価結果

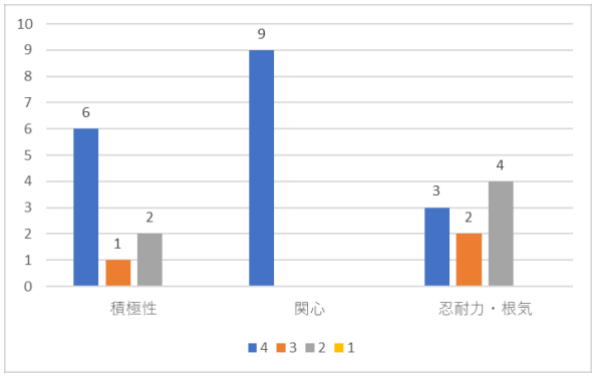


図10. G7PLS3 態度の評価結果(観察含む)

4.1.3. 適用結果と分析

G7PLS1，G7PLS2，G7PLS3の理解度テストの結果にProEEsを適用し，その結果を用いて，ウィルコクソンの符号順位検定によりデータを分析した。何故ならば，今回使用した母集団が正規分布に従わないため，この検定方法を使用した。この検定を実施することにより，児童の学習効果の有意性を判断する。検定結果のp値を表7に示す。

表7. 検定結果のp値（$p < 0.05$で有意差あり）

	逐次	繰り返し	条件分岐	細分化	抽出化	関数化
G7PLS1	0.36	0.38	0	0	**0.03**	**0.02**
G7PLS2	0.52	**0.02**	0.45	0	**0.01**	0
G7PLS3	0	0	**0.03**	0.13	0.5	0.25

5. 結論

5.1 Rubric ProEEsの特徴

第4章で説明した適用の結果から，ProEEsの3つの特徴を明らかにした。

第1に，学習目標の設定が適切であるといえる。理由として，少なくとも1人は事後テストの結果を用いて，多くの項目を評価段階での評価が可能であった。故に，これらの評価段階は，プログラミングの授業後の児童の理解度を測定するのに適切であるといえる。態度のアンケートや観察では評価1に属する児童は０で，全員がプログラミングを活用した学びに積極的であり，授業における課題とならなかった。

第2に，ProEEsは毎回，等しい指標にて評価することができる。G7PLSでは小学校の1年生から6年生までの児童がいた。加えて，様々な種類のツールや授業方法でプログラミングを活用して論理的概念等を学習したが，児童を評価するために，ProEEsを変更する必要はなかった。故に，ProEEsがすべての年齢の児童を対象とした，様々な授業方法で等しく使用できることを示している。

第3に，ProEEsは児童の理解度を定量的に評価した。これは，単にテストの得点を比較することとは異なる。図11と図12は，G7PLS3の2人の児童のテスト結果(表)とProEEsでの評価(レーダーチャート)を示している。彼らは授業前に3つの質問に正解し，授業後に5つの質問に正解した。彼らはテストの得点は同じであるが，授業で学習内容は違う。この学習内容は単にテストの得点だけではわからないが，回答をProEEsに適用することによって学習内容が明らかになる。故に，プログラミング教育における多くの学習内容について児童の理解を把握するのに役立つ。

これらの特徴により，ProEEsは，児童の理解を定量的に評価するのに役立ち，毎回，同じ指標で評価することができるといえる。

5.2. Rubric ProEEの使用の妥当性

表7から，各G7PLSにおける児童の学習効果の結果を見ることができる。授業後の結果側に有意な差があった場合，その授業は児童にプログラミングを活用した論理的概念を理解させるのに十分であり，テストおよびProEEsは児童の理解を適切に評価したと言える。有意差がない場合は，片方または両方が適切ではないことを示している。

G7PLS1，G7PLS2とG7PLS3には大きな違いがある。第4章で述べたように，テストがG7PLS2の後に改訂されたためである。G7PLS1とG7PLS2では，プログラムの設計（問題の細分化，動作の抽出，動作の構築・関数化）が重要な意味を持つが，プログラミング概念（逐次，繰り返し，条件分岐）は重要な意味を持たなかった。しかし，G7PLS3では結果が逆転した。

この逆転が起きた理由は2つ考えられる。第１に，G7PLS1と2では繰り返しや条件分岐の概念を含んでいないプログラミング学習ツールがいくつか使用されたが，G7PLS3のすべてのツールには繰り返しと条件分岐の両方の概念が含まれていた。これはツールの特徴(Saito & Sasaki & Washizaki & Fukazawa & Muto, 2017)が結果に反映されたといえる。第2の理由は，テストの難易度である。表5と6に示すように，Q1～Q4はプログラミング概念について質問し，Q5はプログラム設計について質問する。多くの児童はテストに対して真面目に取り組んで問題を解決していた。しかし，G7PLS1とG7PLS2では，Q1-Q4は比較的簡単であり，ProEEsのより低い評価段階のみを網羅している。故に，授業の前後で得点の差はほとんどなかった。したがって，G7PLS3でのテストはQ1-Q4はG7PLS1およびG7PLS2のバージョンよりも難しいものに改訂された。しかし，授業の前後の違いを見ることができるものの，多くの児童はQ1～Q4に多くの時間を費やし，Q5の問題に到達することができなかった。したがって，プログラムの設計の得点は低かった。

第3章で一部，紹介した最新のテストでは，この分析の結果に基づいて難易度を調整した。

5.3. 妥当性の脅威

このProEEsの適用については，いくつかの妥当性の脅威がある。

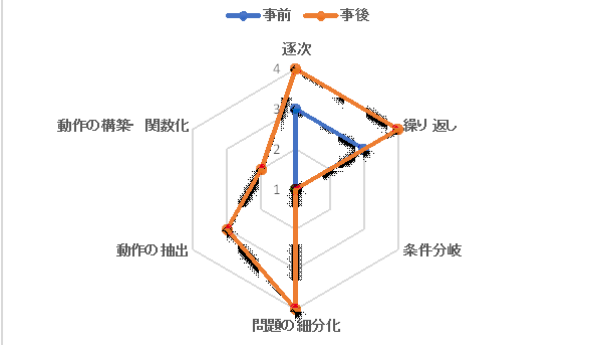
まず，このProEEsでの適用で使用したG7PLSのテストは，各評価項目のすべての評価段階を網羅するものではない。例えば，プログラミング概念の条件分岐は評価3と4は確認することが出来ない。なぜなら，実施したテストでは，条件分岐を含むプログラムを読むことができるかを尋ねている。しかし，書くことは尋ねかった。故に我々は，このような問題を解決するため，第3章で紹介した最新バージョンのテストにおいて，おおよその評価段階を網羅するように修正した。

第2に，このProEEsの適用は1人の評価者が実施した。ProEEsは，誰が使用しても同じように評価でき

るように設計されているが，評価が不揃いになる可能性は否定しきれない。故に2人以上の評価者がProEEsを使用し，同一性を確認する必要が求められる。

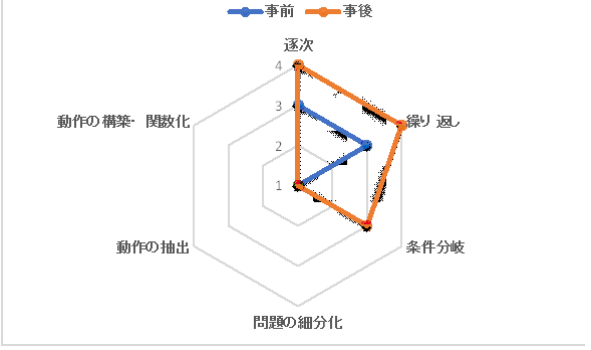
第3に提案したProEEsはすべてのプログラミング教育を評価できるわけではない。ProEEsは多くのプログラミングの活用における学習目標が項目として含まれているが，教科学習への対応と一般的な小学校の授業へ適応されていない。今後，小学校等の連携を図り，授業での評価に適用し，提案したProEEsが活用できることを調査する。加えて，教員の意見を反映させ，扱いやすい形に改良する。

これらの妥当性の脅威は今後の研究で解決されなければならない。



	Q1 (1)	Q1 (2)	Q2	Q3	Q4	Q5 (1)	Q5 (2)	得点
事前	○	○	○	×	×	×	×	3
事後	○	○	○	×	×	○	○	5

図11. ProEEsの評価とテストの得点1



	Q1 (1)	Q1 (2)	Q2	Q3	Q4	Q5 (1)	Q5 (2)	得点
事前	○	○	○	×	×	×	×	3
事後	○	○	○	○	○	×	×	5

図12. ProEEsの評価とテストの得点2

5.4. 評価の難易度

この研究を通して，プログラミング活用したSTEM教育における教育効果の学習到達段階を等しく評価することは可能であるが，評価を実施することが難しいことが明らかとなった。多くのプログラミングを活用する問題では，答えは1つに限定されない。例えば，テストで質問した自由記述の問題(Q5)では，複数の回答が見られた。この問題では升目をすべて通過する線を書くように質問した。図13は，代表的な2つの解答を示す。どちらも正解であるが，より良い答えは重要と考えられるものによって異なる。答えを導くだけでなく，最も適切な答えを選択する能力もプログラミングを活用する場合では評価されるべきである。したがって，評価者は，すべての回答可能な答えリストアップし，いくつかの異なる視点で比較する必要があるため，プログラミングを理解し経験が豊富である必要があり，これは評価の難しさである。

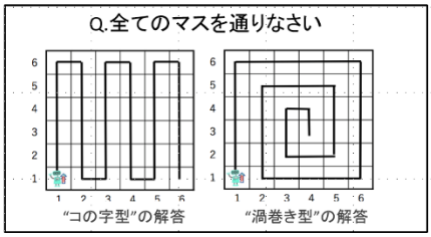


図13. 自由記述問題の回答

6. まとめと今後の展望

プログラミング教育を評価することができる指標はこれまで多く提案されてきた。課題としてツールやグループ学習のような特定の学習方法に依存した形や学習目標が複数の段階に分かれていないことが挙げられる。我々は課題を解決するため，小学生を対象としたプログラミング教育における学習到達度を評価する指標を観点と尺度で評価することができるルーブリックという形でRubric ProEEsを提案・作成した。ProEEsでは特にプログラミング教育内における論理的思考や問題解決能力等を培うSTEM教育の側面について評価が可能である。加えてProEEsは，既存の指標を参照し，多くの重要な学習項目と目標を網羅し，特定のツールや方法に依存しないようにした。また，本ルーブリックに対応するテストを作成することで，評価者に関係なく等しく評価すること

を可能とする。さらに, 本ルーブリックをいくつかのワークショップに適用させ, 有用性を検証した。結果, 児童における論理的思考などの理解を定量的に把握することに有用であることが示された。故に, これらの特徴から，ProEEsは，児童を等しく評価することを可能とし，プログラミングの活用における論理的な概念等の理解を評価することに関して，現在の課題を解決されたことを意味する。

この研究にはいくつかの展望がある。まず, テストの最新バージョンがまだ使用されていないため, ProEEsを引き続き適用して調査を継続する。次に, 算数や理科などのプログラミング活用される科目にProEEsを適用する必要ある。故にプログラミングが各科目に与える影響や関係を慎重に調査し，それに，よって得られる能力を総合的，継続的に評価する。

謝辞

本論文を執筆するにあたって, 多くのご指摘, ご指導をいただきました，G7プログラミングラーニングサミット関係者の皆様，早稲田大学鷲崎研究室の皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

ベネッセコーポレーション株式会社. (2017). 「プログラミングで育成する資質・能力の評価基準(試行版）」Ver 1.0.0. Retrieved from: http://progstd.org/. (June 25,2017.)

CSTA., & ACM. (2016). CSTA K-12 Computer Science Standards. Retrieved from: https://www.csteachers.org/page/standards. (June 25,2017.)

電脳商会. (2016).スキルできるノート. Retrieved from: http://programming.ictconnect21.jp/gakujoken.html. (June 25,2017.)

岩田茂子 (1984). 認知発達理論の教育評価への応用: SOLO分類学　慶応義塾大学大学院社会学研究科紀要 ： 社会学心理学教育学, 24, 67-75.

兼宗進・中谷多哉子・御手洗理英・福井眞吾・久野靖 (2003). 初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価　情報処理学会論文誌プログラミング(PRO), 44(SIG13 (PRO18)), 58-71.

Kelleher, C., & Pausch, R. (2005). Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers. ACM Computing Surveys (CSUR). 37(2), 83-137.

Lister, R., & Leaney, J, (2003). Introductory programming, criterion-referencing, and bloom. ACM SIGCSE Bulletin, 35(1), 143-147.

文部科学省. (2017).小学校学習指導要領. Retrieved from: http://www.mext.go.jp/component/a_menu/edueducat/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/00/07/1384661_4_3_2.pdf. (June 27, 2018.)

文部科学省. (2018). 小学校プログラミング教育の手引(第1版). Retrieved from: http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/03/30/1403162_01.pdf. (June 27, 2018.)

大中逸雄・工藤一彦　(2014). 学習・教育に関する達成目標の評価方法, 一般社団法人 日本技術者教育認定機構. Retrieved from: https://jabee.org/doc/1983.pdf. (March 20,2018.)

Saito, D., Sasaki, A., Washizaki, H., Fukazawa, Y., & Muto, Y. (2017). Program learning for beginners: Survey and taxonomy of programming learning tools. 2017 IEEE 9th International Conference on Engineering Education (Kanazawa, Japan), 137-142.

総務省. (2016). プログラミング全体スキルマップ. Retrieved from: http://www.gakujoken.or.jp/jakunenpg/download/2/2_3/101.pdf. 総務省. (March 20,2018.)

付録

付録1. Rubric ProEEs 抜粋

分類	項目	4	3	2	1
プログラミング概念の理解	逐次実行	逐次実行を理解し、プログラムを最初から最後まで順番に読み進めることができ、逐次実行のプログラムを書け、かつ、自分で逐次実行のプログラムを考えられる	逐次実行を理解し、プログラムを最初から最後まで順番に読み進めることができ、逐次実行のプログラムを書ける	逐次実行を理解し、プログラムを最初から最後まで順番に読み進められる	逐次実行を理解していない
	繰り返し	繰り返しを理解し、繰り返しのプログラムを読むことができ、かつ、自分で繰り返しを見つけてプログラムに取り入れることができる	繰り返しを理解し、繰り返しのプログラムを読むことができ、繰り返しのプログラムを書ける	繰り返しを理解し、繰り返しのプログラムを読むことができる	繰り返しを理解していない
	条件分岐	条件分岐を理解し、条件分岐のプログラムを読むことができ、かつ、自分のプログラムに条件分岐を取り入れることができる	条件分岐を理解し、条件分岐のプログラムを読むことができ、条件分岐のプログラムを書ける	条件分岐を理解し、条件分岐のプログラムを読むことができる	条件分岐を理解していない

リンクからダウンロード可能: http://g7programming.jp/wp-content/uploads/2018/02/RubricProEEs_171106.pdf