



プログラミング教育における論理的な思考とは何か

赤堀 侃司

学習ソフトウェア情報研究センター*・ICT CONNECT 21・教育テスト研究センター

我が国におけるプログラミング教育は、小学校では2020年の新学習指導要領から必修として実施されることになったが、その内容についてはまだ検討段階であるが、本小論では、プログラミングの思考が目指す論理的な思考とは何かを、いくつかの調査を通して、明らかにすることを目的としている。論理的な思考は、プログラミング教育に限らず、数学や算数は典型的な論理的思考を子どもたちに要求し、理科も自然科学を理解する上で、論理的な思考が必須であることは言うまでもない。では、プログラミング教育における論理的な思考とは、他の教科における論理的な思考と同じなのか、異なるとすれば、どこが異なるのか、どのような構造なのかという問いに対して、ほとんど解答が出されていない。そこで、本小論では、大学生を対象にして、プログラミングの問題に対する正解率と、他教科の問題の正解率との相関を調べることによって、その関係構造を明らかにしようとした。その結果、プログラミング教育と他教科との相関では、数学・理科だけではない、他教科との相関も見られ、総合的な論理的思考が必要とされることがわかった。

キーワード：プログラミング教育、教科教育、教科目標、プログラミング的思考、学習指導要領

1. はじめに

2020年から、我が国の小学校では、プログラミング教育が必修となった（文部科学省、2017年）。そのカリキュラムは、諸外国と異なっている。端的には、多くの諸外国のプログラミング教育が独立教科や独立科目であることに対して、日本では、クロスカリキュラムとして位置づけられていることである。クロスカリキュラムとは、他教科と連携して実施することである。新学習指導要領では、総合的な学習の時間、算数、理科を中心にして、他教科でもプログラミング教育を実施することが明記された。その記述は、新学習指導要領の総則にあるが、算数と理科の教科では、教科の中でも記述されているので、すべての小学校で実施することになるだろう。しかし、プログラミング教育における課題は多い。筆者は、「プログラミング教育の現状についての考察」と題して、小論として発表した（赤堀、2017年）。

いくつかの課題があるが、本小論は、カリキュラム開発に関連する。カリキュラムを開発するには、教科の目標を明確にして、下位目標に分解し、その下位目

標に応じて単元を開発し、単元に応じて教材や指導法を開発するという手順になろう。その元になるのが、教科の目標設定であるが、我が国のプログラミング教育は、既に述べたように、他教科とのクロスカリキュラムとして提案されている。つまり、他教科の目標も達成しながら、かつプログラミング教育の目標も達成するという両方のねらいをゴールにしなければならない。そのためには、それぞれの目標を明確にして、どのような補完関係があるかを知らなければならない。

もし、プログラミング教育のねらいである論理的な思考が、例えば、数学や算数や理科と同じならば、何故、算数や理科の教科でプログラミングを実施する必要があるのか、素朴な疑問が生じる。異なるとすれば、どのように異なるのかを、明らかにする必要がある。

また、他の教科、例えば、国語の読解を考えてみよう。文章の前後関係から、この文の意図する内容とはという問いに答えるには、論理的思考力が必要である。そのような論理的な思考と、同じなのか異なるのか、答える必要がある。他教科でも同じである。

したがって、プログラミング教育の目標が、他の教

受理日 2017年12月10日

Akahori Kanji: What is Logical Thinking in "Computing" Education?

*Fellow of Information Research Center for Learning, 2-9-8 Toranomon Minato-ku Tokyo Japan 105-0001

URL: http://www.gakujoken.or.jp/gakai/ronbun/akahori2018_03.pdf

科・領域と比較して、どのような関係にあるのか、その構造を明らかにする必要がある。それは、カリキュラム開発にも、カリキュラム・マネジメントにも、関連する。それは、新学習指導要領で記述されている、育成すべき資質・能力や、教科・領域の「見方・考え方」にも関連するであろう（文部科学省・教育課程部会、2016年）。

さらに、評価の枠組みにも、関連する（例えば、ベネッセ、2017年、佐々木、鷺崎、他、2017年）。

ここで改めて、プログラミング的思考について、その定義を文部科学省の有識者会議から引用する（プログラミング教育に関する有識者会議、2016年）。

「プログラミング的思考とは、自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」

2. 研究方法

男女それぞれ30名からなる東京都内の大学生60名を対象に2017年10月に以下のような実験を行った。実験テーマは、「プログラミング問題と教科の問題の相関」として、以下の手順で実施した。

- ① フェースシートとして、実験協力者の特性について記入してもらう。
- ② プログラミング問題として、2種類の問題を用意する（以下、情報1、情報2と呼ぶ）。
- ③ 教科の問題として、国語、算数、理科、社会の問題を用意する。
- ④ 解答時間を決めて、問題を解いてもらい採点する。
- ⑤ 情報1と情報2に対して、他の教科の得点との相関を求める。

情報1は、流れ図を作成する問題（以下、情報・流れ図と呼ぶ）で、付録1に問題を示す。情報2は、電車の切符を買う文章を読んで、画面を設計する問題（情報・設計図と呼ぶ）で、付録2に示す。教科の問題として、国語は文章を読んで問いに答える読解問題（国語・読解と呼ぶ）で、算数は文章問題で数学の代数に相当する問題（数学・代数と呼ぶ）で、理科は、地球と太陽と月の位置関係の理解を求める問題（理科・天体と呼ぶ）で、社会は、グラフが与えられてグラフから読み取る問題（社会・グラフと呼ぶ）で、さらに結果に

ついて回答者の意見を求める問題（社会・考察と呼ぶ）で、教科についての問題は、紙幅の関係上省略する。

プログラミングの問題を、どのような内容にするかは、プログラミング教育のカリキュラム、目標設定、評価基準に依存することは言うまでもない。いくつかの先行研究があるが、プログラミング的思考に近い目標は、Computational Thinking（J.M.Wing,2006）であり、太田（2016年）による下位目標が参考になる。

下位目標を元にしたカリキュラムも諸外国で報告されているが（例えば、CSTA,2016）、諸外国では独立教科としてのカリキュラムなので、日本のクロスカリキュラムでは、概念が異なる。日本のプログラミング教育の目標設定や評価基準としては、ベネッセ（2017年）、佐々木、鷺崎他（2017年）などが参考になる。ベネッセの評価基準は、文科省の資質能力を下敷きにした内容で学習指導要領に則した内容で、佐々木、鷺崎らの提案している評価基準は、どちらかと言えば、情報科学をベースにした内容に近いと言える。

どの評価基準を元にて問題作成するにしても、すべての評価基準を反映した問題作成はできないので、本研究では、佐々木、鷺崎らの目標の中で、プログラム作成とプログラム設計に焦点化して、問題作成した。プログラム作成に伴う思考力には、流れ図の作成問題が適していると考え、プログラム設計では、問題の細分化や、動作の抽象化などを反映する、利用者の要求に応じた設計図の作成が適していると考え、付録1と付録2の問題を採用した。

筆者自身も、プログラミング教育では、プログラムを作成すること、つまり、場合分けや繰り返しや順次処理などの手続きに関わる論理的思考力だけでなく、その前段階である、どのように対象を理解して（抽象化）、どのような要素があるかを抽出して（細分化）、全体としてまとめるか（設計）に関わる論理的思考が重要であると思っている。そこで、情報1（情報・流れ図）と情報2（情報・設計図）の両方の問題を設定した。

本研究では、教科の問題は、小学校高学年レベルとしたが、数学だけは中学校レベルとした。正解率によって、およその教科特性がわかると思われる。

3. 結果と考察

分析の結果を、以下に示す。

3.1 正解率の比較

図1に、2種類のプログラミング問題と教科の問題の正解率の比較を、10点満点に換算して示す。情

報・流れ図、国語・読解、社会・グラフは、正解率が高く、やさしかったと思われる。難しい問題は、理科・天体と社会・考察である。理科は、小学校高学年レベルであっても、概念そのものが難しく、社会・考察は、自分の考えを記述することは難しいという結果であった。文章やグラフから読み取る、国語・読解や社会・グラフは、やさしいので、読み取ることと自分の考えを述べること、概念を理解することなどに、差があることがわかった。

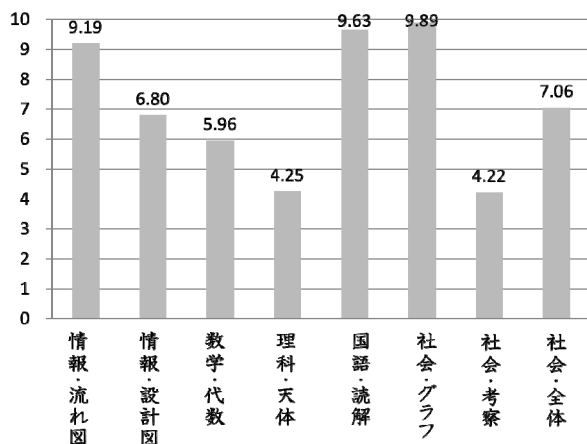


図1 プログラム課題と他教科の正答率

3.2 プログラミング問題と教科の問題の相関

図2に、情報・流れ図、情報・設計図、と他教科との相関を模式的に示した。図2から、同じ情報の問題であっても、流れ図作成と設計図作成では、他教科との相関が大きく異なることがわかった。相関係数の数字の表を、付録3に示す。

模式的に図2に示すが、流れ図の作成では、数学や理科との相関があるが、国語や社会との相関はない。一方、設計図の作成では、国語や社会と相関があるが、数学や理科とはない。ただし、流れ図の作成と、設計図の作成の間には、強い相関がある。つまり、佐々木、鷺崎ら(2017年)のプログラム作成とプログラム設計には、プログラムという共通の思考を求める上では、強い相関があるが、それぞれは別の論理的思考を求めていると言える。同じプログラミングと言っても、何を目標とするかで、思考方法が異なると言えるのではないだろうか。

なお、図2は模式的に示したので、線の太さで相関係数の大きさを示していること、統計的な検定に基づいてはいないことを、お断りしておきたい。

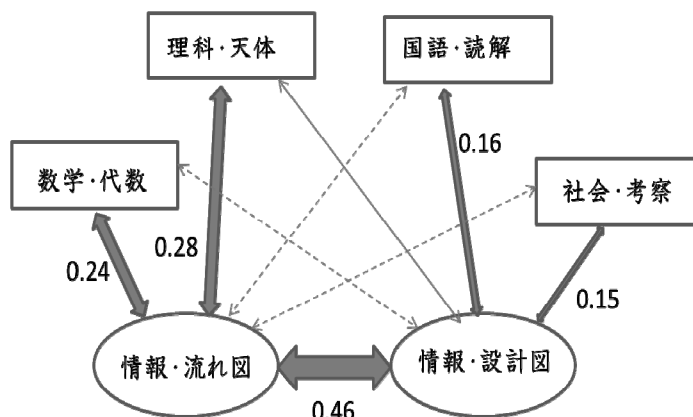


図2 プログラム課題と他教科の相関の模式図

3.3 実験協力者の特性との相関

実験協力者には、テストの他に、実験協力者の特性としてフェースシートの調査をした。情報・流れ図、情報・設計図、と実験協力者の特性との相関係数を、図3に、模式的に示した。なお、相関係数の数字は、付録4に示す。

図3から、情報・流れ図と情報・設計図の間には、テスト間の相関は強いが、実験協力者の特性との間には、それぞれの相関は異なっていることがわかる。これも、先の図1と同様に、興味深い結果と言える。情報・流れ図は理数科目が好き、理系の学部、将来の仕事は自分でやりたい、などと相関があり、情報・設計図は、工作などはあまり好きではない、家庭教師が好き、どちらかと言うと文章派などに相関がある。共通している特性は、推理小説が好きだけである。

以上の結果と、他教科との相関と合わせて考えると、流れ図を作成する思考は、理数的な、深く考えるような論理的思考であり、設計図を作成する思考は、国語や社会などの広く考えるような論理的思考ではないかと思われる。その模式図を、図4に示す。

図4は、本研究では実施していないが、他の教科・領域とも相関があると思われるので、総合的な学習や音楽・図工なども、模式図にも追加している。図4から言えることは、プログラム作成や設計における論理的思考は、理数だけでなく、他教科・領域にも関連しているのではないかという模式図である。この意味で、日本におけるプログラミング教育が、独立教科・科目でなく、クロスカリキュラムとして公示されたことは、意味深いと言える。

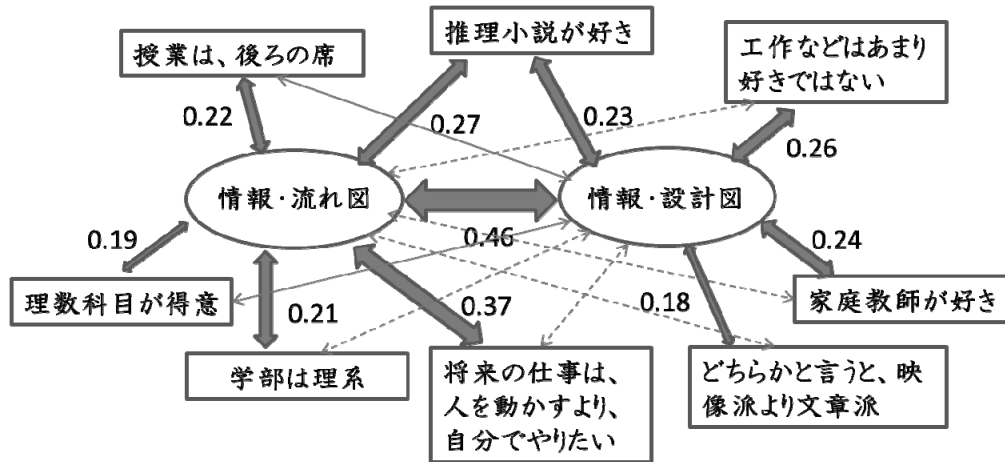


図3 プログラム課題と実験協力者の特性との相関

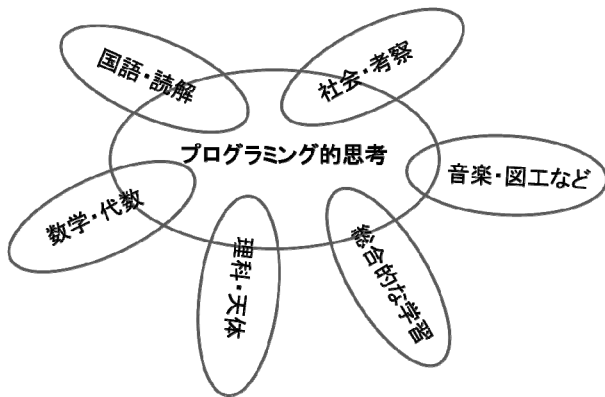


図4 プログラミング的思考の他教科・領域との関連の模式図

4. 終わりに

本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

- ① プログラミング的思考における論理的思考を調査する目的で、いくつかの評価項目の中から、プログラム作成とプログラム設計の2つを取り上げ、プログラム作成に対応する問題として、流れ図を作成する問題(情報・流れ図)、プログラム設計に対応する問題として、切符を購入する利用者の要求に対応できる、切符の自動販売機の画面の設計の問題(情報・設計図)を、取り上げた。
- ② 他教科の問題として、小学校高学年と中学校レベルの問題を取り上げた。
- ③ 決められた回答時間によって、大学生60名に問題に回答してもらった。

- ④ 情報・流れ図の問題と、情報・設計図の問題と、他教科との回答についての相関を求めた。
- ⑤ その結果、情報・流れ図の問題は、数学・代数や理科・天体の問題との相関があり、情報・設計図の問題は、国語・読解や社会・考察の問題と相関があった。
- ⑥ 実験協力者の特性との相関においても、情報・流れ図と情報・設計図では、異なった項目との相関が見られた。
- ⑦ また、情報・流れ図と情報・設計図の問題には、強い相関があった。
- ⑧ 以上から、情報・流れ図と情報・設計図の問題には、共通の思考を基盤としながらも、その思考力は、理数のような深い理解と、国語社会のような広い理解のような違いが見られた。
- ⑨ 以上から、プログラム作成とプログラム設計は、共通性はあるが、異なった論理的思考を必要としているのではないと思われる。
- ⑩ 推測をすれば、プログラミング的思考は、他教科・領域の論理的思考と関連するような総合的な論理的思考ではないと思われる。
- ⑪ このことから、日本のプログラミング教育が、クロスカリキュラムになっていることは、興味深く、妥当なカリキュラムとも言えよう。

海外の文献において、Computational Thinkingの問題として、迷路問題を取り上げ、その回答と、他の要因との相関を調べた結果、最も大きい要因が、空間

認識能力と推論能力、次が言語能力、相関がなかったのが、計算能力であったという (Marcos Roman-Cozalez,他, 2017年)。

この結果が興味深い理由は、迷路問題は、確かに空間の認識と、どの道をたどればどこに行くという推論が必要なことを考えれば、妥当な結果と言える。このように、プログラムに関わる能力は、目標設定や評価基準に依存すると言える。単純に、プログラミング教育は、理数科目の論理的思考が必要だなどと言えない。どのような課題、どのような活動、どのような内容かに依存して、他教科と関連した能力が必要とされる。

今回の調査は、小学校高学年を中心にした他教科の問題であったので、中学校や高等学校のレベルではどうかなどの課題も残されている。但し、レベルが高くなると、教科や科目に固有の知識が必要とされるので、問題作成が難しい。また、本調査では、プログラム作成とプログラム設計の2つを取り上げたが、他の目標についても、調査をする必要があるが、これらについては、今後の課題としたい。

【謝辞】

最後に、本小論は、NPO 教育テスト研究センターの支援と、科学研究費助成金・基盤研究C (代表、赤堀侃司, 課題番号 15K01034) の支援を受けたことを明記して、厚くお礼申しあげる。

【参考文献】

- ・赤堀侃司 (2017) プログラミング教育の現状についての考察, 教育テスト研究センター年報第 2 号, <https://www.cret.or.jp/dissertation/113/>
- ・ベネッセ; プログラミングで育成する資質・能力の評価規準 (試作版), <https://beneprog.com/keyc/> (2017年11月現在)
- ・CSTA(the Computer Science Teachers Association) Standards Task Force, CSTA K 12 Computer Science Standard 2016, (2016)
- ・Jeannette M. Wing (著) (Computational Thinking, Communications of the ACM, Vol.49, No.3, pp.33-35, (Mar. 2006)), (翻訳中島秀之, Computational Thinking, 計算論的思考, 情報処理 Vol.56 No.6 June 2015)
- ・Marcos Román-González, Juan-Carlos Pérez-González, Carmen Jiménez-Fernández (2017) "Which cognitive abilities underlie computational

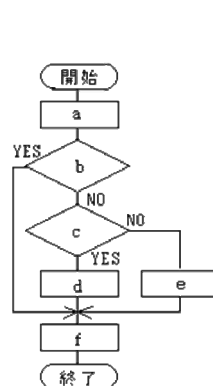
thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test", Computers in Human Behavior, Volume 72, July 2017, pp. 678-691

- ・文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領, 平成 29 年 3 月公示
- ・文部科学省・教育課程部会 (2016) 「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について」平成 28 年 6 月
- ・太田剛, 森本容介, 加藤浩 (2016) 諸外国のプログラミング教育を含む情報教育カリキュラムに関する調査 - 英国, オーストラリア, 米国を中心として, 日本教育工学会論文誌 40(3), 197-208
- ・佐々木綾菜, 鷲崎弘宜, 齋藤大輔, 深澤良彰, 武藤優介, 西澤利治 (2017); 小学校におけるプログラミング教育において活用可能なルーブリックの提案, 日本デジタル教科書学会年次大会発表原稿集, Vol. 6 (2017) pp.33-34

【付録】

以下、付録の資料を示す。

付録 1 情報 1 (情報・流れ図) の問題



「果物を買いにスーパーに行く。りんごかみかんのうち安い方を買うことにする。ただし、スーパーが休みなら家に帰る。」

- ① りんごを買う。
- ② みかんを買う。
- ③ りんごの方が安い。
- ④ スーパーが休み。
- ⑤ 家に帰る。
- ⑥ スーパーに行く。

6点満点

解答

- d = ⑥ b = ④
 c = ③ d = ①
 e = ② f = ⑤

<http://masudahp.web.fc2.com/flowchart/flow06.html>,
 フローチャートの基礎) より引用

付録2 情報2 (情報・設計図) の問題

駅に自動販売機がある。その画面は、次ページのように、A画面からD画面へと移動する。

いろいろなお客がいる。例えば、

- ① 普通運賃で、列車で、普通乗車券で2枚購入したい。
- ② 今日1日、地下鉄に4回乗って、市内を回る予定で、学生なので、割引運賃を利用して安く買いたい。

問題

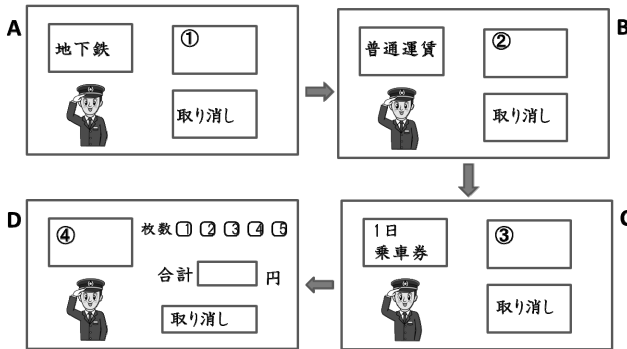
1. 次ページのAからDの画面の①から④の名称を書きなさい。

- ① 列車 ② 割引運賃
- ③ 普通乗車券 ④ 購入する 4点

2. 地下鉄で、普通乗車券で2枚購入したいが、学生なので、安く買いたい。AからDまで、どのボタンを押すか、書きなさい。但し、Dでは、2つのボタンを押す。

- A: 地下鉄 B: 割引運賃
 - C: 普通乗車券 D: 2、購入する 5点
- 9点満点

下図は、駅の自動販売機の画面である。A画面からD画面へと移動する。但し、D画面の枚数を押すと金額が表示され、④を押すと、切符が出ます。



(http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/pisa2012_it_em_ps.pdf PISA 調査問題例からの著者による改題)

付録3 情報の問題と各教科の相関係数

	情報 流れ図	情報 設計図	算数 代数	理科 天体	国語 読解	社会 グラフ	社会 意見
情報・流れ図	1.00	0.46	0.24	0.28	0.02	-0.05	0.09
情報・設計図	0.46	1.00	0.08	0.10	0.16	0.01	0.15

付録4 情報の問題と実験協力者の特性の相関

	情報1 流れ図	情報2 設計図
① 性別は、男(30名)、女(30名)		
② 学部は、文系でなく理系	0.21	0.06
③ 数理系が、得意なほう	0.19	0.13
④ どちらかと言うと、映像派よりも文章派	-0.09	0.18
⑤ 授業はどちらかと言うと、後ろよりも前の席	-0.22	-0.14
⑥ 家庭教師をするのは、好き	-0.01	0.24
⑦ 友達と議論するのが、好き	-0.06	0.08
⑧ 論理的な科目は、好き	0.05	0.05
⑨ どちらかと言うと、筋道を立てて考える	-0.11	-0.10
⑩ 旅行計画を立てるのは、好き	-0.07	-0.01
⑪ 推理小説を読むのが、好き	0.27	0.23
⑫ ゲームを自分で、作りたい	-0.01	0.10
⑬ 工作などのモノづくりは、好き	0.09	-0.26
⑭ クラス会などの企画をするのは、好き	-0.08	0.03
⑮ テストの答案の返却後に、見直すほう	-0.16	-0.10
⑯ 数学の証明問題は、好き	0.09	0.06
⑰ 将来は、自分で設計するような仕事に就きたい	-0.05	-0.02
⑱ 手帳を持って計画的に行動するのが、好き	0.09	0.12
⑲ 協働で仕事をするのが、好き	-0.16	-0.08
⑳ 将来の仕事は人を動かすよりも自分でやりたい	0.37	0.08

なお、情報以外の各教科の問題は、北九州市教育センターのチャレンジシートを参考にした。

<http://www.kita9.ed.jp/eductr/Handbook/Challengesheet/Elementaryschool/Challengesheet-s.html>