

プログラミング学習を取り入れた主体的で深い学びを促す算数の授業

Arithmetic Class that Promotes Independent and Deep Learning Incorporating Programming Learning

上原 昭三 *

Shozo UEHARA

抄 録

プログラミングソフトを用いて図形描画のプログラムを作ることは、図形の性質など多くの数学的知識・技能を使った論理的思考を必要とするものであり、学習指導要領の求める「主体的な学び」や「深い学び」を促進するものである。ただ、教科書等に示された手順に従って、単にソフトを動かし図形を作っただけの授業では、「主体的で深い学び」の実現とは程遠いものになることも多いと考えられる。

そこで本稿では、中教審答申や学習指導要領の記述を手掛かりに、「主体的で深い学び」を促す「プログラミングを取り入れた図形の授業」を提案する。

I. 「主体的で深い学び」とプログラミング教育

1. 「主体的で深い学び」を促す授業の条件

中央教育審議会（2017）によれば、「主体的な学び」とは、「学ぶことに興味や関心を持ち、自己のキャリア形成の方向性と関連付けながら、見通しを持って粘り強く取り組み、自己の学習活動を振り返って次につなげる」（中央教育審議会,2017）学びであり、「深い学び」とは、「習得・活用・探究という学びの過程の中で、各教科等の特質に応じた『見方・考え方』を働かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解したり、情報を精査して考えを形成したり、問題を見いだして解決策を考えたり、思いや考えを基に創造したりすることに向かう」（中央教育審議会, 2017）学びとされている。

また、「数学的な見方・考え方」を、文部科学省（2017）は「事象を数量や図形及びそれらの関係などに着目して捉え、根拠を基に筋道を立てて考え、統合的・発展的に考えること」（文部科学省,2017）としている。さらに、「統合的・発展的に考えること」について、『統合的に考察する』ことは、異なる複数の事柄のある観点から捉え、それらに共通点を見いだして一つのものとして捉え直すこと」（文部科学省, 2017）、『発展的に考察する』とは、物事を固定的なもの、確定的なものと考えず、

* 関西国際大学教育学部 教育総合研究所学内研究員

絶えず考察の範囲を広げていくことで新しい知識や理解を得ようとする事」(文部科学省,2017)と定義づけている。つまり、算数科においては、数量や図形(およびそれらの関係)への着目や論理性を軸としながら、統合的・発展的な考察をもとに、知識を相互に関連付けたり、情報を精査したり、問題を見いだして解決策を導いたりすることが、「深い学び」と解釈できる。

一方、北尾(2020)は、子どもが学ぼうとする意欲を、課題関与型意欲と自己実現型意欲の2つの意欲に分類し、それぞれの具体例を以下のように示している。

・課題関与型意欲

「面白いから」「楽しいから」という興味・感情、「できそうだと思うから」「分かったときに達成感を持ったから」という効力感、「もっと知りたいから」「次々考えていくのが面白いから」という知的好奇心、「疑問を解決するのが面白いから」「さらに調べてみたいから」という探求心など

・自己実現型意欲

「勉強することは将来のために役立つから」「自分のためになるから」という価値づけ、「どんな力を伸ばしたいから」「得意な科目でがんばりたいから」という有能感、「社会で役立つ仕事がしたいから」「困っている人を助けたいから」という向社会的欲求など(北尾,2020)

これら2つの意欲は、中央教育審議会(2017)に示された「学ぶことへの興味や関心」、「自己のキャリア形成へ方向性」ということに繋がるものと考えられる。つまり、児童が授業での課題や学習活動について「興味や関心を持つ」とは「面白い」「楽しい」という感情の他、知的好奇心、探求心を持っていること、また「自己のキャリア形成へ方向性と関連付ける」とは、学びに対する価値づけや有能感、向社会的欲求を学習活動の中に見出し自覚することではないかと考えられる。

筆者は以上のことを勘案し、算数の各授業の中で「主体的で深い学び」を促すためには、授業の内容や児童の活動の中に以下のような要素や場面があればよいのではないかと考えている。

<主体的な学び>

- ①児童が、授業の内容や活動に興味・関心(知的好奇心、探求心を含む)を持っている。
- ②児童が、自己のキャリア形成の方向性と関連付けながら取り組んでいる。
- ③児童が、課題などに対して見通しをもって取り組んでいる。
- ④児童が、問題解決に向けて粘り強く取り組んでいる。
- ⑤児童が、学習活動を振り返り次の学びにつなげている。

＜深い学び＞

- ⑥児童が、事象を数量や図形及びそれらの関係などに着目して捉えている。
- ⑦児童が、根拠を基に筋道を立てて考えている。
- ⑧児童が、自ら問題を見だしその解決策を考えている。
- ⑨児童が、問題解決に際し情報を精査している。
- ⑩児童が、問題解決に際し知識を相互に関連付けている。
- ⑪児童が、統合的・発展的に考えている。

図1 「主体的で深い学びの要素や場面」

2. プログラミング教育と「主体的で深い学び」

小学校におけるプログラミング教育のねらいの1つ目に『『プログラミング的思考』を育むこと』（文部科学省, 2018）が挙げられている。「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」（文部科学省, 2018）と説明されている。図2は、上記の説明を具体的な思考の流れとして示したものである。

さて、図2にある思考の流れを見ると、①～⑤それぞれにおいて主体的な学び、深い学びを実現する要素が隠されていることがわかる。例えば、①は、児童が自ら「させたい動き」を明確にするのであるから、児童の興味・関心にかかわっているのであり、②は「させたい動き」を分析する、つまり情報を精査することになっている。④には、先ほどの情報精査の他、見通しを持つこと、論理的に考えること、命令と具体的な動きを関連付けること等が含まれている。⑤は④の要素の他、自らの考えを振り返ること、それを次の考えにつなげること、粘り強く取り組むことが加わっている。

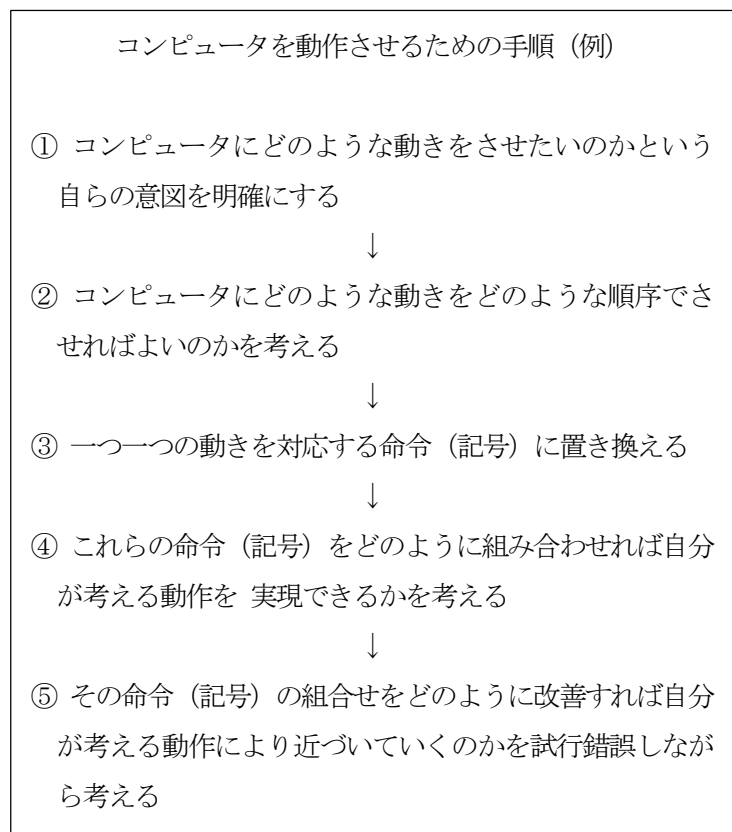


図2

このように、教科の授業においてプログラミングを取り入れることは、「主体的で深い学び」を実現する上で効果的であると考えられる。

Ⅱ. プログラミングを活用した「算数の授業」

これまでに述べたように、プログラミングを算数の授業に取り入れることにより、今回の学習指導要領が求める「主体的で深い学び」を促進することが期待できる。ここでは、図1の要素が多く含まれる算数の授業とそれら（図1の要素）が児童に実現されやすくなるための教師の支援（留意点）について提案していきたい。

1. プログラミングソフトを用いた「図形の授業」の提案

文部科学省（2018）には、算数科でのプログラミング教育（授業）の例として、「正多角形の作図」が例示されている。既に、その内容について先行的に多く実践が行われており、授業案も公開されている。4月から使用される教科書およびその教師用指導書にも授業手順がよくわかるよう詳細に記載されており、ソフトがありその動かし方さえ理解すれば授業を実施することに困難は少ないように感じられる。

確かに、プログラミングソフトを活用した授業は、特別なものではない。これまでも各学校、各教師が教材や教具を工夫し授業を開発・実施してきたことと同様であり、筆者は環境（PCやソフトの設置状況）が整っていれば、教具など用意することのない分、教師の負担は少ないと感じている。

ただ、教科書等に示された手順に従って、単にソフトを動かし図形を作っただけに終わってしまうのであれば、ねらいとする「プログラミング思考」の育成することや「主体的で深い学び」の実現とは程遠いものになってしまうと考えられる。以下に示す、授業の展開は、筆者がこれまでに開発して効果が確認できた課題学習の留意点を踏まえ、「主体的で深い学び」が促進される要素や場面（図1）が数多く表れるよう組み立て直したものである。

■授業展開案～「ロボットに図形を描かせてみよう」（全2時間）

この授業は、正多角形についての学習が一通り終了した後の課題学習として設定したものである。使用ソフトは、Web上に公開されているソフト「プログル」を想定している。このソフトには、図3にある①～⑤の命令が設定されている。

- | |
|--|
| <p>①（ ）前に進みます
ロボットが前に進むことによって、数値分だけの線分を引くことができる。</p> <p>②（ ）° 右に向きます
ロボットが現在の進行方向から数値分だけ右に向きを変えることができる。</p> <p>③（ ）° 左に向きます</p> |
|--|

ロボットが現在の進行方向から数値分だけ左に向きを変えることができる。

④ () 回繰り返すこと

この命令の下位にある動作を数値分だけ繰り返す。この命令を使うことによって、同じ作業が複数ある場合、プログラムを短く編集することができる。

⑤ () 前にジャンプ

線を引かずに数値分だけ現在向いている方向にロボットを動かすことができる。この命令を使うことで、線分の始点を任意に定めることができる。

※ () 内には数値が入る。また、この他、色の設定に関するものが2つあるが、図形の作成に直接かわらないものであるので、今回は使用しないこととした。

図3

以下、学習の流れ(1)～(4)までを1時間目(次項の指導案 図5)、(5)を2時間目に予定している。

(1) 復習…活用する既習事項に対する理解の確認

「知識を相互に関連付ける」学習である以上、既習の知識の確認は不可欠である。特に、活動の土台となる既習の知識の理解が不十分な場合は、「深い学び」に至るまでに失速してしまうことになりかねない。この授業の場合は、正方形、長方形、正三角形、ひし形、平行四辺形、正五角形、正六角形など基本的な多角形の性質について、復習しておくことが大切である。児童に質問し、思い出させながら一つ一つ確認させたい。

この場面は、深い学び(特に図1の⑥⑩)につながる準備段階(知識の再認識)であり、これを省くと課題提示後、児童が見通しを持てず活動が停滞したり、混乱を生じたりすることが多いと思われる。

(2) ロボットを動かす命令を理解しよう…活動のルール(条件)の理解

教師の方で、基本的な操作について、スクリーンに投影させながら説明する。一つひとつの命令と画面上のロボットのキャラクターの動きやそれによって作られる図形を丁寧に確認していく。つづいて、正方形を描かせる命令(プログラム)を児童とやり取りしながら作り、PCで実行させて確認していく。

用意されている命令やその操作の仕方は、それほど難解なものではない。ただ、一方的な説明では、定着が不十分になることも危惧されるわけであるから、じっくり児童とやり取りし、確認しながら進めていく必要がある。

児童が、操作方法(特にプログラムの組み方)を理解したことを確か

4回繰り返すこと
90° 右に向く
100 前に進む

図4

学習活動	指導上の留意点
<p>(1) 復習～正多角形の性質</p> <p>◆正三角形</p> <ul style="list-style-type: none"> ・辺の長さが全部同じで角がすべて60° <p>◆正方形</p> <ul style="list-style-type: none"> ・辺の長さが全部同じで角がすべて90° <p style="text-align: center;">⇓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>◎正多角形</p> <ul style="list-style-type: none"> ・辺の長さが全部同じで角がすべて同じ </div> <p>(2) 活動のルール（条件）の理解</p> <p>①本時で使う命令</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>「□前に進みます」…□分だけの線分を引くことができる。 「□° 右に向きます」…□° だけ右に向きを変える 「□° 左に向きます」…□° だけ左に向きを変える 「□回繰り返すこと…この命令の下位にある動作を数値分だけ繰り返す。 「□前にジャンプ」…線分の始点を変える</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ・子どもたちと問答しながら進める ・具体的な正三角形, 正方形を提示しながら、確認していく。 ・子どもたちの発言をもとに、それぞれの性質をまとめていく。 <p style="text-align: center;">⇓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・正五角形, 正六角形を提示し、正○角形の性質を確認させる。 ・PC画面を投影し、実際に動かしながら説明していく。
<p>②プログラミングを使ってみよう</p> <ul style="list-style-type: none"> ・正方形を作図する命令をつくる。 →パソコンで実行して確かめる。 <p>(3) 課題追究1</p> <p>◎正三角形を作図しよう。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・命令をワークシートに作成する。 →パソコンで実行して確かめる。 (修正→再実行) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシートを配布する。 ・まず、紙上に命令を書くよう指示する。 ・数名の児童を指名し発表させ、確認する。 ・確認された命令を教師用PCで実行させる。 ・グループに分かれる。(4人程度) ・個人で追究→集団で検討の順に進めさせる。 ・机間指導を行う。
<p>(4) 課題追究2</p> <p>◎正○角形を作図する命令を考えよう</p> <ul style="list-style-type: none"> ・命令をワークシートに作成する。 ・グループ内で発表しあう。 ・各自パソコンで実行して確かめる。 <p>まとめと振り返り</p>	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>正三角形が描けなかった場合(曲がる角度は外角なので60°にすると描けない)は、再度命令の意味をよく考えるよう促す。</p> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>正五角形以上の正多角形を一つ選択させる。その際、命令には、概数が使用できないことを考慮させる。(正七角形などの場合、曲がる角度が有限小数とならない)</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ・命令の意味や根拠についても説明させる。 ・それぞれのプログラムの改善を促す。 ・学んだこと、発見したこと、難しかったことなどについてワークシートにまとめさせる。

図5

めるため、正方形作成のプログラムを予想させる。正方形は、「前に同じ長さだけ4回進む」、「同じ向きに 90° 4回曲がる」という命令を組み合わせる(図4)ことによってつくることができるわけだが、正方形の性質(「4つの辺の長さが等しく、4つの角が 90° 」)をもとに見つけられるよう仕向けるとともに、命令手順を根拠づけさせるようにしたい。数学的な定義や法則を根拠にして、細分化されその意味が限定された命令を組み合わせる図形を描く命令群を作るという、この後の課題の趣旨を印象付けるためにも命令の根拠(「なぜ、この命令で正方形が描けるのか?」)を確認させたいところである。

この場面も、プログラミングの「やり方」や図形作成のルールを理解という意味で、知識理解の段階(準備段階)であるが、その確認作業では「主体的で深い学び」(図1の①③⑥⑦⑩)の要素も含まれている。

(3) 正三角形を描く命令を考えよう…課題解決1

まだ、十分要領を掴んでいない児童の存在も予想されるわけであるから、この場面までは、個別よりはクラス全体でやり取りしながら進めるのがよいと思う。また、「行き当たりばったりでなく、理屈で命令を考えて(仮説)→PCで実行させて図形ができたかどうか確かめる(検証)」という算数・数学の課題解決ということを印象付けるためにも、アンブラグドでの作業が望ましい。

先ほど確認した正方形のプログラムと同じ考え方を使えばよいので、児童の多くも、「4回繰り返す」を「3回繰り返す」「 90° 右に向く」を「 60° 右に向く」に変えるだけでよいと判断すると思われる。しかし、その変更でプログラムを実行しても正三角形は描けないのである(図6)。ここで、「何故予想通りにならなかったのか。」「どうすればよかったのか」と自身の思考を振り返ることになる。「() $^\circ$ 右を向く」という命令の意味をよく吟味すると、入力する角度は、ロボットが進んできた向きに対して次に曲がる角度すな

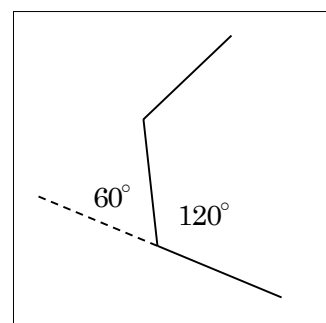


図6

わち多角形の外角を意味している。つまり、 60° ではなく 120° にすればよいのである。気づいてしまえば簡単なことであるが、それを自らが発見することが大事である。

ここでは、ぜひ上記のような「勘違い」から「間違いの発見→修正」が起こるようにさせたい。これは、作ったプログラム(動作の手順)を吟味し、よりよく改善していくというこの学習の中核になる作業の入り口であり、安易に教師が解説したり、誘導したりすることは控えたい。

この場面は「主体的で深い学び」(図1の③⑤⑥⑦⑨⑩)が促進されると考えられる。

(4) 正六角形を描く命令を考えよう…課題解決2

ここからは、実際にPCを使つての活動になる。「紙上でプログラム案を作成(個人)→他者と検討(ペアまたは4人程度のグループ)→PCでの実行による検証」という流れで課題解決に取り組ませる。

正多角形という枠は指定するもの、正何角形を描くかについては児童に選択させたい。こちらから課題を与えるのではなく、子供自身が興味関心（「できそうだ」という見通しも含む）にもとづいて課題（作成したい図形）を設定し、その解決に向けて取り組む形にしたい。教師が課題を与え、その解答を探す展開はこの学習が目指す「主体的な学び」にそぐわないと考えられる。思いつきで辺の数の多い正多角形（例えば正二十角形）を描こうとすると、曲がる角度を求める計算が煩雑になる。また辺の数を奇数にした場合は、曲がる角度が無限小数になることもあり正確な図形を描く命令は作れない場合があるわけである。つまり、自らがプログラム作成の難易度を見通し、時には失敗し修正を行いながら目指す正多角形を完成させる活動にしたい。最初は、正六角形など既習の形から始めた児童に対しても成功（図形を作成できた）すれば、より難易度の高い正多角形に挑戦するよう促したい。

この場面では、図1の①③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩が促進される。

（5）描いてみたい図（図形）のプログラムを作成しよう…課題解決3

各自ロボットに描かせてみたい図形を構想し、そのプログラムおよび、描画手順とそれが意図する図形になる理由（算数的な）を示した説明を作成する。

前時に習得したプログラムの技法を組み合わせで自分なりに「おもしろい」と思える図形を描くプログラムを作成しようというのがこの課題である。作りたい図形（図、デザイン）を分析し、用意された命令の組み合わせで描くことができるかどうかを検討しながら図形を構想することが必要である。そのため、子供たちには、できるだけ既習の図形ではないものを考えるように促したい。

この場面では、図1の②以外の要素すべてが促進される。

文部科学省（2018）に示された授業例は（4）の活動までであるが、筆者は「主体的で深い学び」を実現するためには、（5）が必要であると考えている。（1）～（4）は、最後に自ら課題を設定する活動があったとはいえ、大半が教師からの説明や条件・方法（やり方）の理解や習得に費やすことであり、受動的な場面も多い。そこで、自ら自由に課題を設定し、既習の知識と論理を動員して試行錯誤しながら時間をかけて課題に迫るこの時間を是非確保したい。

2. 大学生を対象とした実践から～提案授業の可能性

春学期科目「算数Ⅰ」（教育福祉学科2年生を中心に104名受講）において、2コマ分を使って大学生を対象として1の授業を行った。1コマ目に（1）～（4）を行い、2コマ目を（5）の活動に充てた。（5）については、プログラムの作成だけではなく「活用されている算数の知識や考えるポイント」「もし小学生に提示する場合にその意欲を喚起するために工夫した点」などを記載した説明を求めた。

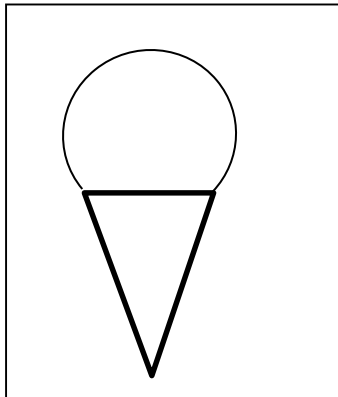
104人という多人数であり、算数・数学を苦手とする学生も少なくないが、この活動については90分間非常に集中して取り組む様子が見られた。特に、算数・数学を苦手になっている学生の間にも、工夫された図を考案している者が数多くおりそれを図形の性質と対応させて命令につなげることに苦労しながらもあきらめずに取り組む姿が印象的であった。なお、作成したプログラムと説明の方は、ワークシートにまとめさせ課題として提出させている。

提出された97名分の課題のうち約半数（43名分）が、単なる正多角形（正六角形、正方形などの比較的容易なものまたはその組み合わせ）ではなく、日常に見る図案など図を分析してその要素を数学的な図形に分解する必要があるものであった。（図7）

12角の星型	掛け算記号	ハート型
四つ菱	亀	鉢植えの花
五つ菱	ゲームコントローラ	花
アイスクリーム	五芒星	日の丸の旗
アジサイの花	サザエさんエンディングの家	ヒヨコ
家	切断された立体	封筒
円に内接する五芒星	ダイヤ型	プラスの符号
円の中に三角形	太陽の塔	ペンタゴン
おでん	ドラえものの顔	星形(複雑)
音符	二等辺三角形5つ	窓と花
ミニオン	六芒星の中に五芒星	風船
迷路	若葉マーク	兵庫県のマスコットキャラクター
モンスターボール	正五角形を8つ集めた花	立方体が三つあるような図
雪の結晶	大阪市のマーク	
六芒星	団子三兄弟	

図7

図8はそのうちの1つである。アイスクリームという子供たちの好む食べ物を図案化したものが描かせたい図形になっている。1で提案した授業の（5）において、子供たちがこのような図を作ろうとすることは十分予想されることである。その場合、「面白そう」「描いてみたい」という興味・関心、アイスの部分を円の一部、コーンを二等辺三角形と捉え、そのつながり具合を考慮して、命令の数値（繰り返す回数や、進む長さなど）を導くという「数学的な見方考え方」を働かせた考察を含んだ活動を行うことになる。また、(ii) (iii) に記されているように、子供たちにとってよく知っている図形の組み合わせでありながら、いろいろと工夫を要し少しだけ難しい課題になっているため、一筋縄ではゴールに届かず、何度か失敗しながら試行錯誤する（自身の考えを振り返って改善する）ことになるはずである。興味・関心の持てる図であることと、簡単そうに見えて少しの工夫（複数の知識を関連付ける）を要することによって、あきらめずに粘り強く取り組めることになると思われる。



16回繰り返す
 やること 15° 右を向きます
 25前に進みます
 68° 右を向きます
 170前に進みます
 110° 左を向きます
 100前に進みます
 100前に進みます
 132° 左を向きます
 100前に進みます
 110前に進みます

(i) 活用されている知識

正24角形を使い、内角の角度を計算する。内角の和「 $(n-2) \times 360$ 」という公式を使う。

正24角形の3分の2までの形を作るために36回繰り返せばよいのか考えることができる。

二等辺三角形は2辺が同じ長さで同じ角度になるという知識を活用する。

このようにこれまで既習した内容で取り組むことができる。

(ii) 考えるポイント

正24角形の内角が何度か計算し求めた角度から外角の角度を求めることができる。そこから右に何度か回せばよいのか考えることができる。内角の角度ではなく外角の角度で曲がることに気づかせる工夫が必要である。

正24角形の3分の2までの形を作るために36回繰り返せばよいのか考えることができる。

二等辺三角形の二つの角度を考える。

失敗を重ねながら命令すればよいのか工夫しながらできるよう取り組んでまいり。

(iii) 意欲を喚起する工夫

子どもたちが大好きなアイスクリームの図を使った。また、今までの習った知識を用いて図を完成することができる。少し難しい図のため集中して取り組み夢中になるだろう。

図8

このように、今回は大学生を対象とした実践であったが、算数・数学への苦手意識を持つ者がおり、課題解決に使う知識が上級学校（中・高）でのものでないということから、小学生でも同じ反応が起こることが十分考えられる。その意味で、実践からは、提案授業には次の点について、一定の効果が期待できるのではないだろうか。特に、2時間目に設定している子供たち自身が課題を設定して解決する活動では、「興味・関心の喚起」「粘り強い取り組み」「(現実的な)事象を数理的にとらえる」といった普段の授業の中で教師が苦勞している事柄に関して、効果的であると考えられる。

参考・引用文献

- 上原昭三 (2019) , 「プログラミングを『道具』とした中学校図形領域における課題学習」, 関西国際大学教育総合研究所 教育研究叢書, 第 12 号, pp49-64
- 北尾倫彦 (2020) , 「『深い学び』の科学」, 図書文化社
- 特定非営利活動法人みんなのコード (2017) , 「授業で使えるプログラミング教材『プログル』」, <https://proguru.jp/>
- 中央教育審議会 (2017) , 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の 学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申) 【概要】」
- 文部科学省 (2017) , 「小学校学習指導要領解説算数編」
- 文部科学省 (2018) , 「小学校プログラミング教育の手引 (第二版)」

Abstract

Creating a program for drawing graphics using programming software requires logical thinking using a lot of mathematical knowledge and skills such as the properties of figures. And "deep learning". However, it is thought that in a class in which a software is simply created by moving software in accordance with a procedure shown in a textbook or the like, it is often far from realizing "independent and deep learning".

Therefore, in this paper, we propose a "Graphics Class Incorporating Programming" that encourages "independent and deep learning" based on the description of the junior high school trial report and the guidelines for learning.