

数学における動くワークシートとしてのプログラミング教材の作成

樫山いづみ*¹・安藤 明伸*²

情報ものづくりコース*¹・教科教育学域（技術科教育）*²

概要：本研究では、算数・数学教育を対象に、どうすれば楽しく子供たちが各端末でプログラミングを通じた学びができるか、どうすれば児童生徒が「数学的見方・考え方」を働かせ算数数学の必要性、活用力を実感でき、同時にプログラミング的思考を育成することができるのか検討し、モデルとなる教材としてScratchによる教材を開発した。さらに、数学の授業の中に、「動くワークシート」としてプログラミングというテクノロジーを取り入れることから、特に「小さいSTEAM」教育の観点からも、他教科や社会とのかかわりを持たせられる教材にした。

キーワード：プログラミング，数学，動くワークシート，小さいSTEAM

1. はじめに

新学習指導要領では資質・能力を実際の社会や生活で生きて働く知識・技能、未知の状況にも対応できる思考力、判断力、表現力等、学んだことを人生や社会に活かそうとする学びに向かう力、人間性等の三つの柱に分け示している。また、学習の基盤となる資質・能力として、言語能力、問題発見・解決能力等とともに情報活用能力の育成が示された。その情報活用能力の育成やICTを適切に活用した学習活動の充実を進める中で、小学校からプログラミング教育の導入が示され、さらにGIGAスクール構想により高速大容量の通信ネットワークの一体的整備と一人一台の端末を持つことができるようになってきており、プログラミング教育の一層の充実が求められている。

また、教科を算数・数学に絞ると他の教科と比較して座標平面状での点の動き、図形や角度の平行移動などの移動等動的な考え方を扱う場面が多い（上出吉則ら 2017）。しかしそういった動的な考えは紙媒体の教科書やノートでは、視覚的に把握することが難しい。

そこでデジタル教科書などでは、アニメーションなどのコンテンツで解説するなどの工夫がみられる。最近では、そうした動的なコンテンツとしてプログラミングを取り入れ実際の点や図形を描画することで、プログラミング的思考の育成も図る指導は行われている。さらに、プログラムを組むためには不等号（ $<$ $>$ $=$ ）の考えや、関数の概念を使うことがある。プログ

ラミングで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み合わせが必要であり、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、記号の組み合わ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、という論理的に考える力であるプログラミング的思考を働かせる。これは「自分が意図する一連の活動」を一つの事象ととらえることができ、プログラミングにおける「一つ一つの動きに対応した記号」には数や演算を含むのでプログラミング的思考を働かせる時には同時に「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、論理的、統合的・発展的に考えること」すなわち、数学的な見方・考え方も同時に働かせることも期待できる。これは習指導要領における数学的な見方・考え方がプログラミングにおいても求められるといえよう。この点において、算数・数学教育においてプログラミングを取り入れることで相互関係的に学習効果があるのではないだろうか。算数・数学では動的な考えが必要な場面が多いが、教科書、黒板、ノートだけでは動的にとらえることは難しく、デジタル教科書などのアニメーションは自分で動かすことができないので、プログラミングを取り入れることが有効だと考えられる。さらに、現状として数学や科学に関するリテラシーは世界でトップレベルにありながら、言語能力や情報活用能力、デジタル時代における情報への対応などの課題がある。

一方、GIGA スクール構想が2019年から進められ、公立の小中学校における端末の利活用状況は文科省によると小学校などでは96.1%、中学校などでは96.5%が「全学年」、または、「一部の学年」での端末の利活用を開始とあり、授業において児童生徒が授業においてプログラミングに取り組む環境は整っているといっている。

そこで本研究では、特に算数・数学教育を対象に、どうすれば楽しく子供たちが各端末でプログラミングを通した学びができるか、どうすれば児童生徒が「数学的見方・考え方」を働かせ算数・数学の必要性、活用力を実感でき、同時にプログラミング的思考を育成することができるのかを検討し、モデルとなる教材の開発と授業設計し、その効果を検証することを目的とした。さらに、数学の授業の中に、「動くワークシート」としてプログラミングというテクノロジーを取り入れることから、特に「小さいSTEAM」教育の観点（アテック 2021）からも、他教科や社会とのかかわりについて考察することとした。

2. 授業実践用に開発した教材

教材は実際に実践を行う学校の数学科教員とのヒアリングを重ねて、実践校の生徒の実態に即した教材となるよう開発した。その際の教材開発の観点においては以下の3点を重視した。

1. 数学での学習事項を扱うための最低限の処理となるようにすること、
2. 教科書で学んだことをプログラミングによる指導で実用性や発展性を実感できること、
3. 題材が生徒に身近で理解しやすいものであること

2.1. 比例と反比例の教材例「①にわとりを小屋に帰そう」「②小鳥の待ち合わせ」

2.1.1. 「にわとりを小屋に帰そう」の教材の詳細

このプログラムは関数の領域の比例と反比例の単元での活用を想定して開発したものである。この教材で学べることとしては、にわとりのスプライトを座標の考えを使って移動させるというプログラミング教材を取り入れ、座標の考えを実際を使って問題解決する経験をさせることで座標の考えが身近に使われていることを実感し、座標の意味が理解できるということである。プログラムされている内容としては農場が背景に

なっている画面においてにわとりのスプライトが乱数的に配置されており、にわとりのスプライトが「小屋に帰りたいよ!」としゃべり、座標の考えを使って背景の小屋に移動させる、というものである(図1)。中は図2に示したようにプログラムが組まれており、「旗が押されたとき」ににわとりのスプライトを「x座標を(-240から240)までの乱数、y座標を(180から-180)までの乱数にする」として、「背景を(farm)」にし、「(小屋に帰りたいよ!)と10秒しゃべる」となっており、ここで「どうしたらにわとりを小屋にかえすことができるか」というような問題提起できるようにした。

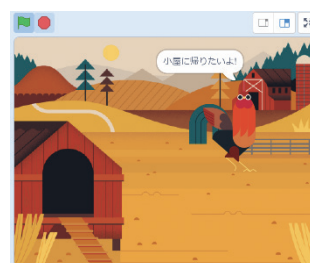


図1 乱数的に配置されたにわとり

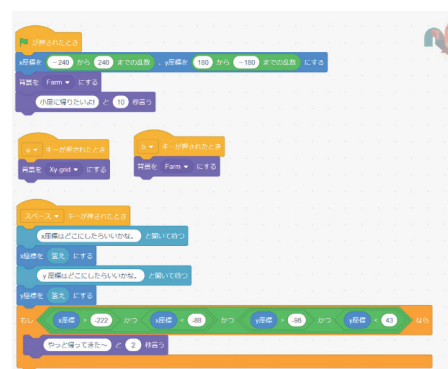


図2 「にわとりを小屋に帰そう」のプログラム

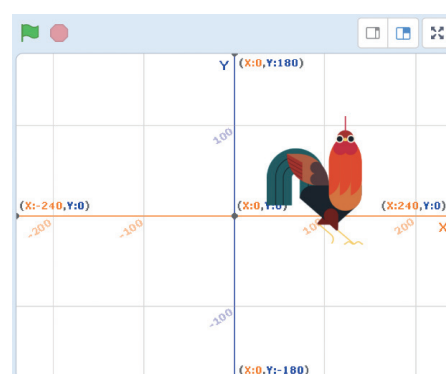


図3 背景をxy-gridにした実行画面

そして「a キーが押されたとき」に「背景を(xy-grid)にする」ことができ、「b キーが押されたとき」に「背景を(farm)にする」ことができるようにプログラムを組むことで、このにわとりのスプライトの位置は座標平面状で座標によってプログラムされていること、座標を変えればにわとりの位置を変えることができる可能性に気付かせることができると考えた。背景をxy-gridにした実行画面を図3に示す。

そして背景を農場と座標平面で切り替えながら小屋の位置が分かった後に「スペースキーが押されたとき」に「(x座標はどこにしたらいいかな)と聞いて待つ

つ」、聞いた答えを「座標を(答え)にする」事でのにわとりのスプライトを回答された位置に移動させ、その後「(y座標はどこにしたらいいかな)と聞いて待つ」、聞いた答えを「y座標を(答え)にする」事でのにわとりのスプライトを移動させたいところに表示させ、その答えが「もし(x座標 >-222 かつx座標 <-88 かつy座標 >-96 かつy座標 <43 なら」、正解なので「(やっと帰ってきた〜)と2秒言う」ようにプログラムを組んだ。図4にx座標を尋ねるにわとり、図5にy座標を尋ねるにわとり、図6に正解と判断したときのにわとりを示す。

このプログラムの特徴は生徒が座標の考えを使えば位置を決めることができる、ということに集中できるように正解である小屋に帰った、とする範囲を広くしたことである。scratchは座標平面の範囲が、x座標が $-240\sim 240$ 、y座標が $-180\sim 180$ であり、中学校で扱う座標平面の数字よりはるかに大きい。このことから中学生がすぐに座標平面における3桁の数の感覚をつかむことは容易ではないと考え、小屋に帰ってきたとする範囲を広くした。このプログラミング教材を経て次に示す「小鳥の待ち合わせ」のプログラム「では正確さが必要となるようプログラムを組み段階的に大きな数でも座標は位置を表す、ということが理解できるようにした。なお、このプログラムは<https://scratch.mit.edu/projects/728000104/>で公開している。

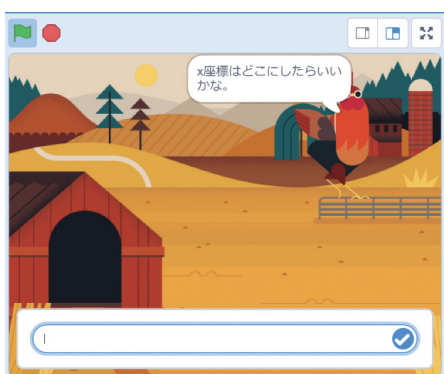


図4 x座標を尋ねるにわとり



図5 y座標を尋ねるにわとり

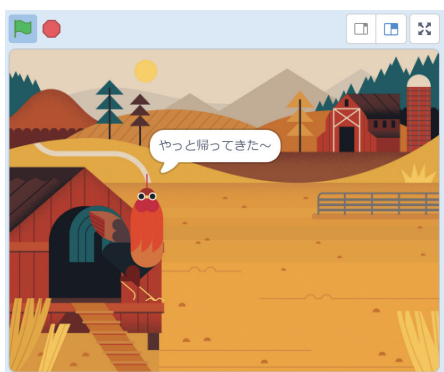


図6 正解と判断したときのにわとり

2.1.2.小鳥の待ち合わせ

このプログラムは関数の領域の比例と反比例の単元で、①で述べた「にわとりを小屋に帰そう」というプログラミング教材を扱った後に活用すると想定して開発したものである。授業実践に向けた打ち合わせを実際の中学校数学教員と行った時に最初は「にわとりを小屋に帰そう」のプログラムのみを提案していたが、①でも述べたように普段扱わない大きい数を扱うためには段階が必要であると考えたことから、座標が位置を表すということを理解できるもの、それを理解した後に微調整が必要となるものに取り組むことによってより生徒は理解しやすいのではないかと、ということが提案された。そして開発されたのがこの「小鳥の待ち合わせ」というプログラムである。プログラムされている内容としては、電線の上で青いく縁どられた小鳥と、赤く縁どられた小鳥が待ち合わせをして



図7 待ち合わせをしている小鳥

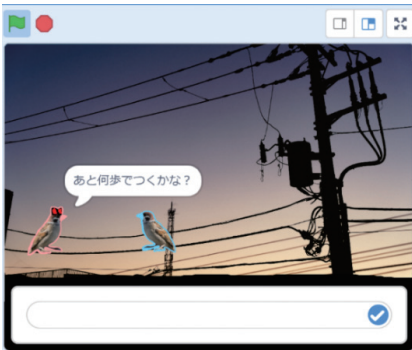


図8 後何歩でつくか尋ねる小鳥

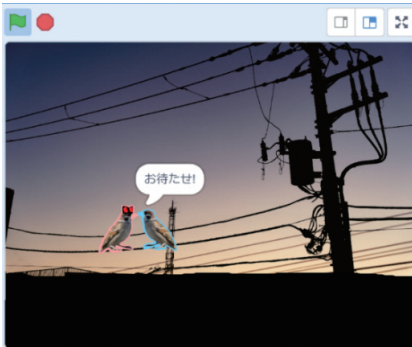


図9 待ち合わせにたどり着いた小鳥



図10 背景のプログラム



図11 青く縁どられた小鳥のプログラム

いる(図7)。もう少しでたどり着きそうだが赤く縁どられた小鳥が「あと何歩でつくかな」と尋ね(図8), 座標の考えを使って青く縁どられた小鳥のもとにたどりつかせる(図9), というものである。

中は図10に示したようにプログラムが組まれており, 背景は「にわとりを小屋に帰そう」のプログラムと同様に a キー, b キーで座標平面と, もととの夕焼けの背景に切り替わるように組み, 小鳥の位置は座標で定められている, ということが再度理解できるようにした。

青く縁どられた小鳥は「旗が押されたとき」の位置のみプログラムを組んだ。図11にプログラムを示す。赤く縁どられた小鳥は「旗が押されたとき」に座標で位置を示し「(すずきちさ~んお待たせ~あと少しでつきます!)と2秒言う」, そして「(あと少しでつきます!)と2秒言う」後に「(後何歩でつくかな?)と聞いてその答えを「x座標を(-167+答え)にする」よいう動きを正解である「 $-86 < (-167 + \text{答え})$ 」かつ「 $(-167 + \text{答え}) < -75$ 」となるまで繰り返されるように組まれている。正解であれば「(お待たせ!)と

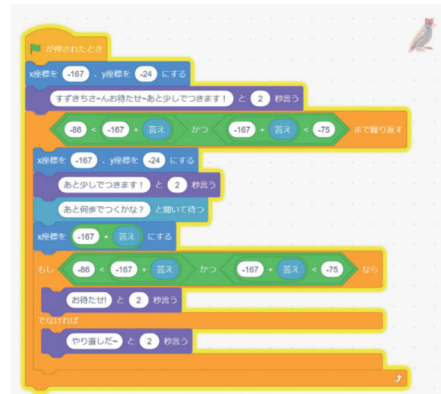


図12 赤く縁どられた小鳥のプログラム

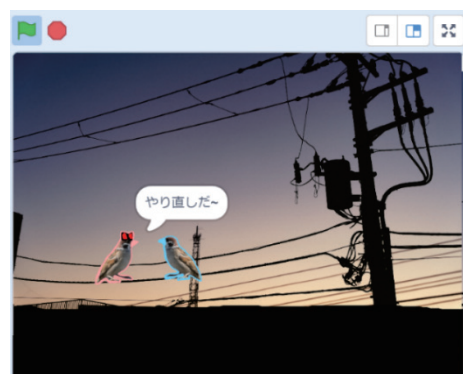


図13 やり直しとなったときの画面

2秒言う」，不正解であれば「やり直しだ〜）と2秒言う」ようにプログラムを組んだ（図12，図13）。

「にわとりを小屋に帰そう」のプログラムとの大きな違いは尋ねられていることがたどり着く座標ではなく，今いる座標から後何歩進めばいいか，という部分である．この違いによって「にわとりを小屋に帰そう」というプログラムでは必要がなかった負の数を含む加法について考える必要がある．さらに「にわとりを小屋に帰そう」のプログラムでは正解がおおよそ18000通りあったが，この「小鳥の待ち合わせ」のプログラムの正解は10通りのみと比較的少なくなっている．それによってやり直しが多くなると考え，正解の範囲を満たすまで繰り返すようプログラムを組んだ．答えの範囲を狭くすることで数字が1違うだけで異なる結果になる，ということも経験できるようにし，数が大きくなっても座標の考え方が教科書などを活用した授業と同様の理解ができるようにした．

なお，このプログラムは <https://scratch.mit.edu/projects/739229091/> で公開している．

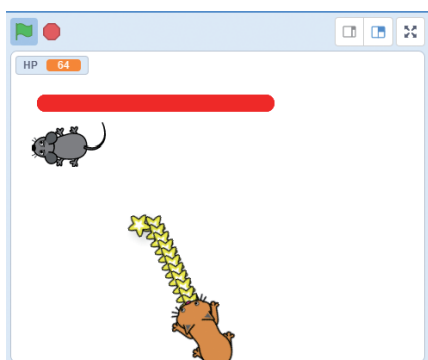


図14 猫とねずみのシューティングゲーム



図15 ねずみのプログラム

2.2.比例と反比例の教材例「とねずみのシューティングゲーム」

このプログラムは関数の領域で比例と反比例の単元の単元での活用を想定して開発したものである．プログラミングされている内容は前述の「にわとりを小屋に帰そう」や「小鳥の待ち合わせ」より複雑なものになっている．教材開発の観点として学習事項を扱うための最低限の処理となるようにすることを挙げたが，このプログラミング教材では，ほかの観点として挙げた取り扱う題材が生徒に身近で理解しやすいものであること，に焦点を当てて開発した．生徒たちにとって



図16 猫のプログラム



図17 星の旗が押されたときのプログラム



図18 星のクローンされたときのプログラム

身近だと感じられるとともに、背景や、音、動きなどの生徒にとって数学の学習への集中の妨げになるものは最低限となるようにした。

プログラムされているゲームの内容は左右に動くネズミにマウスポインタを合わせてクリックすることで猫から星が発射されねずみのHPが100から攻撃を受けるごとに減り、赤いHPゲージがHPと連動して減っていき、HPが0になったらゲーム終了、というものである(図14)。

中は図15に示したようなプログラムが組まれており、ねずみは「旗が押されたとき」座標でスタートの位置を定め、「HPを100にする」、そして「10歩動き」、「0.001秒待つ」、「もし端についたら、跳ね返る」という一連の動きを「(HP=0)まで繰り返す」ように組まれている。

猫は図16に示したように「旗が押されたとき」座標で位置を定め、「マウスのポインターへ向く」ことを「(HP=0)まで繰り返す」ように組まれている。

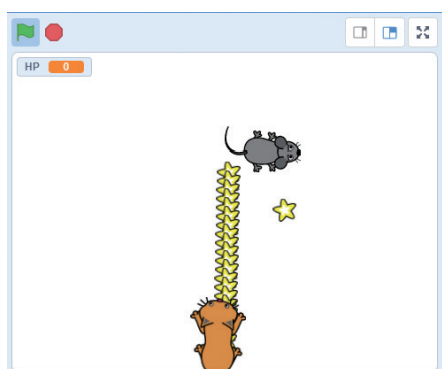


図19 星が不自然に残ったときの画面



図20 HPゲージのプログラム

星は図17, 18に示したように「旗が押されたとき」と「クローンされたとき」にブロックが分かれている。「旗が押されたとき」、「もしマウスが押されたなら」「自分自身のクローンを作る」事を「(HP=0)まで繰り返す」ように組まれており、クローンという複製のもととなる星はクローンをつくることだけがプログラムされている。クローンされた星は「クローンされたとき」クローンを「表示」する。そして「(猫の向き)度に向ける」と、猫が「マウスのポインターに向く」ようにプログラムが組まれているので、クローンされた星が猫の向きに向くということは、猫が向いているマウスのポインターに向くように組まれている。「10歩動く」と、「もしねずみに触れたら」「HPを-1ずつ変える」こと、「もし(ねずみに触れた)または(端に触れた)なら」「クローンを削除する」ことを「(HP=0)まで繰り返す」し、繰り返しが終わった後「隠す」ようにプログラムされている。最後に隠すようにプログラムを組むことで図19に示したようにゲームが終わったときに不自然に星が残らないようにしている。

HPゲージは図20に示したように「旗が押されたとき」ペンの色と太さを定め、「もし(HP > 0)なら」「全部消す」、座標で位置を指定し「ペンを下す」そして「x座標を(4*HP)ずつ変える」、「もし(HP > 0)でなければ」「全部消す」という一連の動きをずっと繰り返すようにプログラムが組まれている。

このプログラミング教材はHPゲージの描き方に焦点を当てて活用できると想定した。この「猫とねずみのシューティングゲーム」のプログラムにはいくつかの数学の考えが含まれているがHPゲージを描く部分において「x座標を(4*HP)ずつ変える」という部分が関数の領域の比例の考えを使っている。シューティングゲームにおいて数字で示したHPと、線の長さなどで表したHPゲージがよく見られ、その長さと数字は必ずしも等しくはない。ゲーム上の敵によって数字が変動するのに対して、ゲージの長さは画面上という限りがあり、HPの減り方とゲージの減り方には調整が必要だということが分かる。個々の調整はこの開発したシューティングゲームにも同様に必要で、そこに数学の考えが使われている。具体的にこのScratchの画面は端から端まで480なので、余白なども含めゲームスタート時のゲージの長さも400である。HPは

ゲームスタート時100あり星が1回当たるとにHPは1ずつ減っていく。つまり100回の攻撃でゲージの長さが400から0になるようにプログラムを組む必要がある。ここにHP:ゲージの長さ=1:4の比の考えが使われている。

「にわとりを小屋に帰そう」や「小鳥の待ち合わせ」のプログラミング教材では問題提起がプログラムの中に組み込まれていて、生徒がすることはプログラムで問われた事を回答することで解決できたが、この「猫とねずみのシューティングゲーム」の教材はプログラムの組み方に注目する必要がある。組み方に注目させるようなプログラミング教材を開発することで、プログラミングは学習している数学の考えを使ってできる、身近なゲームにもプログラムは組み込まれている、という理解をさせることができ、こういった経験が数学に対する興味関心を高められると考えた。

なお、このプログラムは <https://scratch.mit.edu/projects/712286922/> で公開している。

3. おわりに

本研究では、数学の目標達成のための手段として「動くワークシート」のように使用できるScratch教材を開発した。安藤らのいう小さいSTEAMとしては、プログラミングというテクノロジーの中での数学的概念に体験的に触れられるアプローチと言える。また、簡易的でもゲームの要素には画面デザインや動きといったアートの要素も含まれている。エンジニアリングでの問題解決で意味のある活動を行うためには、こうした「小さい」活動でプログラムを扱うことに慣れることが有効なのではないだろうか。仙台市内の小学校でこれらの教材を実践利用しており、教材の教育的効果を検証するための調査も行っている。今後の課題は、それらの調査の結果を分析・考察することが今後の課題である。

参考文献

- アーテック (2021) STEAM教育 一はじめの一歩一、
https://www.artec-kk.co.jp/special/school_programming/steambook.php
(参照日 2023.03.01)
- 上出吉則・辰巳丈夫・村上裕子 (2017) : プログラミングと算数教育, 情報処理学会研究報告, No.16, 1-8.

謝 辞

本研究の一部はJSPS 科研費(課題番号: 22K18575, 19H01735および22H01063)の助成を受けた。