

計算機シミュレーションを利用した小学生向けプログラミング教育

廣 田 千 明¹

新型コロナウイルス感染症の感染拡大により、社会は大きく変化した。そのため、感染症についての関心は非常に高まっているが、わからないことがほとんどで、不安を抱く人や間違った情報を信じてしまうケースが多数ある。こういった時、以前はどうすることもできず、データに基づかない予測を頼りにして行動や政策を決めていたという現実があった。しかし、近年コンピュータが急速に発達し、計算機シミュレーションやデータサイエンスを駆使し、データを基に科学的なアプローチにより、行動や政策を決定できる状況となった。これからの社会ではこのような思考法や問題解決法を身につけ、社会の問題を解決できるようになることが重要であり、教育もそのような人材を育成できる教育へ進化する必要がある。

感染症について計算機シミュレーションで調べてみようと考え、最低でも高校生くらいの学力が必要であろうと考えてしまうのではないかと感じる。実際、井手(2020)は感染症のシミュレーションをテーマとした高校生を対象とした教材を作成している。しかし著者は子ども向けのプログラミング環境である Scratch¹でも感染症のシミュレーションプログラムを作成可能であると考え、2020年4月に Scratch を用いて感染症のシミュレーションプログラムを作成した。このプログラムを基にして小学生を対象とした教材を作成することとして、現在までに2種類の教材を作成し、実際に授業を行った。本論文では作成した2種類の教材を紹介する。

これからの社会で活躍するために育成すべき能力

近年、自動運転車の登場や電子マネーによる決済など、日常生活に変化をもたらすような技術が多数登場している。これに加え、コロナ禍により遠隔会議や在宅ワークが進んだため、社会が変化していることを肌身で感じることができている状況となっている。新しい社会は「Society 5.0」、「Industry 4.0 (第4次産業革命)」、「データ駆動型社会」などと形容されており、それぞれ違った見方であるが、それぞれの見方で社会が急速に変化していることを現している。例えば、「Industry 4.0」という用語は、産業構造が大きく変化することを意味しており、古い産業はなくなり、新しい産業が生まれることを意味している。このような変化に伴い、雇用も変化すると言われており、Frey and Osborne (2013)によれば、今の仕事の半数が自動化されてなくなると主張されている。したがって、新しい社会で、社会生活を行っていくためには、これまでと違った資質や能力が必要となる。

これからの社会で必要となる資質や能力は様々な形で議論されており、代表的なものとして、「21世紀型スキル」(表1)やマイクロソフト社が提唱する「フューチャー・レディ・スキル (Future-ready skills)」(表2)などがある。これらのスキルについて、本研究に関係する特徴的な能力について解説する。

¹システム科学技術学部

表 1
21世紀型スキル (KSAVE モデル) (グリフィンほか
(2014:46))

思考の方法	1. 創造性とイノベーション 2. 批判的思考, 問題解決, 意思決定 3. 学び方の学習, メタ認知
働く方法	4. コミュニケーション 5. コラボレーション (チームワーク)
働くためのツール	6. 情報リテラシー (ソース, 証拠, バイアスに関する研究を含む) 7. ICT リテラシー
世界の中で生きる	8. 地域とグローバルのよい市民であること (シチズンシップ) 9. 人生とキャリア発達 10. 個人の責任と社会的責任 (異文化理解と異文化適応能力を含む)

表 2
フューチャー・レディ・スキル

Communication	コミュニケーション, 議論しあう力
Collaboration	コラボレーション, 協働しあう力
Curiosity	好奇心
Critical Thinking	批判的思考, 疑問を逃さない思考性
Creativity	創造性
Computational Thinking	計算論的思考

まず、クリティカル・シンキング（批判的な思考）を取り上げる。これまではなんらかの意思決定をする際に、検討するために必要なデータがなかったこともあり、過去の経験に基づいて意思決定されることが多かった。しかし、Society5.0ではモノのインターネット（IoTと略される）の技術により、現実社会の情報を基に仮想社会が形成されるため、仮想社会においてデータを基に論理的に考えることができるようになった（データに基づいて意思決定がなされることからデータ駆動型社会の考え方といってもよい）。したがって、データに基づき規準を設け、その規準を満たしているか批判的な姿勢で物事を見つめ、合理的に判断を下すことができるようになった。そのため、規準を基に考える思考力である批判的思考力が重要な能力となる。経験に基づいた感覚ではなく、客観的な規準を基にした思考は他にも役立つ。近年、インターネットを介して、誰でも情報を発信できるようになった。便利になった一方で、インターネットには間違った情報も多く存在している。中には意図的に間違った情報を流すケース、いわゆるフェイクニュースも存在する。このような状況で、間違った情報に惑わされないためには、批判的な思考で情報を捉え、情報の真偽を判断できる力を有している必要がある。したがって、批判的思考は21世紀型スキルの情報リテラ

シーとも関係し、これからの社会で必須の能力である。

続いて、問題解決力を取り上げる。問題解決力はその名の通り問題を解決する能力であるが、問題を解決するには、問題の本質を見極め、解決方法を探るか、もしくは考案し、その方法を実行してみる必要がある。このような一連の活動を実施できる力が問題解決力である。これまでの学校教育は知識や技能を教えることが中心であり、活用方法はあまり教えてこなかったと感じる。そのため、知識や技能はあってもそれを使いこなすことができず、実際の問題を解決することができなかった。論拠となるのは毎年実施されている全国学力・学習状況調査で、平成30年度までは主に知識を問うA問題と主に活用の力を問うB問題に分かれて実際されていたが、B問題の正答率はA問題より低い状況にある。知識を単なる知識で終わらせずに、活用できて初めて具体的な問題を解決することができると考えられるため、問題解決力を高めるためには、知識を活用する力を身に付けさせる必要がある。また、解決方法が見つかった時に、その方法を実行できる力が必要であり、そこにはICT機器を活用したり、プログラムを活用したりといった能力も必要となる。

このように社会に必要な資質・能力が変化したことを踏まえ、教育も大きく変革を遂げている。小・中・高等学校の学習指導要領は平成29、30年に改訂され、小学校ではプログラミング教育が必修化され、学習の基盤となる資質・能力として、言語能力、情報活用能力、問題発見・解決能力が定められた。情報活用能力や問題発見・解決能力が学習の基盤と位置付けられたことはとても大きなことである。情報活用能力や問題発見・解決能力が学習の基盤として、様々な教科の中で利用されていくことを意味しており、これらの能力がなければ、学習が行えないことを意味している。

プログラミング教育に目を向けると、情報活用能力の一部としてプログラミング的思考が位置付けられており、プログラミング教育を通して、プログラミング的思考を育成する必要がある。また、問題発見・解決能力については、問題解決の手段としてプログラミングが利用でき

るようになることが重要であると考えられる。したがって、プログラミングの学習を通して、簡単なプログラムを作成することでプログラミング的思考を養うことや実際の問題解決にプログラムを利用してプログラミングが問題解決のツールとして活用できることを知ることができる教材が必要である。

計算機シミュレーションを利用したプログラミング教育

令和2年2月頃、急速に新型コロナウイルス感染症の感染が拡大し、2月末から全国の学校が一斉臨時休業となった。新型コロナウイルスは社会的に大きな影響を与えただけでなく、未知のウイルスであるため、憶測や誤報も多かったのではないかと感じる。政府も不確かな情報を基に対応せざるを得なく、少なからず混乱したと感ぜられるし、新型コロナウイルスと特に関連性のないトイレットペーパーが買い占めにより品薄になるといった混乱も見られた。前節で示した資質・能力を有していれば、批判的思考で考え、プログラムを用いて計算機シミュレーションにより情報の真偽を確かめるといったことにより、こういう時に不確かな情報に惑わされずに冷静に合理的な判断を下せるであろう。そこで、感染症のシミュレーションを題材とした教材を作成することを考えた。

ウイルスの感染拡大はマルチエージェントシミュレーションという技法を用いてシミュレーション可能である。本格的なマルチエージェントシミュレーションは専用のシミュレータ（例えば artisoc4 (n.d.) や NetLogo (n.d.) など）を用いる必要があり、これは小学生には難しい（井手（2020）は高校生を対象として artisoc4 を用いて感染症を題材とした授業を実施している）。一方、子ども向けのプログラミング環境として Scratch があり、Scratch でも簡単なマルチエージェントシミュレーションは可能である。そこで Scratch を用いて小学生でも学習できる教材を開発した。以下では、作成した2種類の教材を紹介する。

批判的思考をテーマとした教材

一つ目の教材は批判的思考や情報リテラシーをテーマとした教材である（なお、この教材はあきたキッズプログラミングアワードのオンライン教室で利用された。詳しくは廣田、橋浦、寺田、小西、伊藤、林（2021）を参照せよ）。令和2年4月には新型コロナウイルス感染症の感染が急速に拡大し、拡大を防止するには人との接触を8割削減する必要があるとの報道がなされた（秋田魁新報社（2020））。当時の報道でも、なぜ8割なのかといったことが議論されており、多くの人がどれくらいの信憑性があるのか疑問をもったと感ぜられる。例えば政府の発表であったとしても、鵜呑みにすることはよいことではなく、批判的思考で考える必要がある。しかし以前はこのような疑問をもってもなにも対処のしようがなかった。しかしながら現在は問題解決の手段としてプログラミングがあり、その力を有していれば、計算機シミュレーションによりどの程度信憑性があるか調べることが可能である。

シミュレーションにより、人が普通に接触した場合と8割削減した場合に感染症の拡大にどの程度影響があるのか確認したい。作成したプログラムの実行画面を図1に、プログラムのURLを表3に示す。図1には Scratch キャットと呼ばれるキャラクターが100匹現れている。一つ一つのキャラクターはエージェントと呼ばれ、それぞれのエージェントが決められたルールに従って動作するのがマルチエージェントシミュレーションである。Scratch キャットは2種類おり、オレンジ色の猫は健康な猫を表し、青色の猫は病気に感染した猫を表している。どちらの猫も自由に動き回り、オレンジ色の猫が青色の猫に接触したとき、一定の確率で病気に感染する。この確率のことを感染率と呼ぶことにする。感染した猫は1秒経つと感染していない猫に戻る（ここでは病気が治るまでの時間を治癒時間と呼ぶことにする）。このシミュレーションでは、1度感染して回復した猫も感染者と接触すれば再び感染するプログラムになっている。表3に示したプログラムは3種類あるが、感染率100%のプログラムと20%プログラムは同じプログラムで、違いは感染率という変数の設定

値が異なるだけである（変数の設定値を変更することで、様々な条件でシミュレーションできるようにになっている。感染率の他は、猫の人数（個体数）、シミュレーション開始時の感染率、治癒時間を設定することができる）。感染率は、病気の猫が健康な猫に接触したときに病気に感染する確率のことであり、100%とすると接触すれば必ず感染することとなり、20%とすると5回接触したときに1度だけ感染することとなる。感染率を20%とすることで、100%の時から比べて、人との接触を8割削減した状態を模倣している。この教材は人が普通に接触した場合と接触を8割削減した場合で感染の拡大にどのような影響があるか調べることが一番の目的であるため、2つのプログラムを並べて実行して違いをみる。そのため、プログラムとしては同じプログラムであるが、あえて2つのプログラムを提供している。プログラムを実行するとシミュレーションが20秒間実施され、停止する。感染率が100%のプログラムは多くの場合、感染が終息することはなく、シミュレーション終了時に病気の猫が多数いる状況になるが、感染率が20%のプログラムは多くの場合、感染が終息し、感染している猫がいない状態となる。

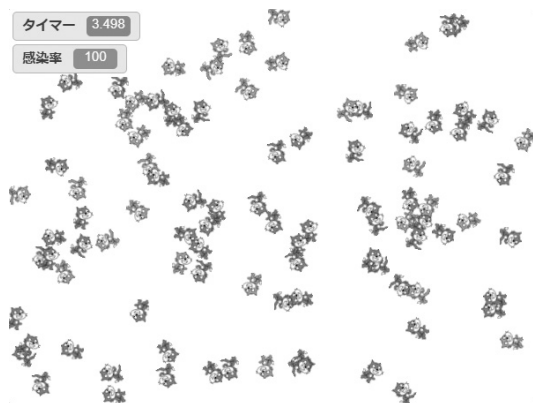


図1. プログラムの実行中の様子

この教材はプログラムを作成し、プログラミング的思考を養うことも目的としており、単にプログラムを実行するだけでなく、児童にプログラムを作成させる。上述のプログラムはかなり複雑なプログラムとなっており、児童が作成するには難しすぎるため、簡易版のプログラム（表3に簡易版のプログラムのURLを示す）

を作らせる。簡易版のプログラムは、変数、タイマー、クローン、乱数といった内容を含んでおり、決して簡単なプログラムではないが、小学生でも高学年の学生であれば理解可能なプログラムである（図2）。

表3
プログラムのURL

感染率 100%のプログラム	https://scratch.mit.edu/projects/385134176/
感染率 20%のプログラム	https://scratch.mit.edu/projects/385455461/
簡易版のプログラム	https://scratch.mit.edu/projects/471255553/

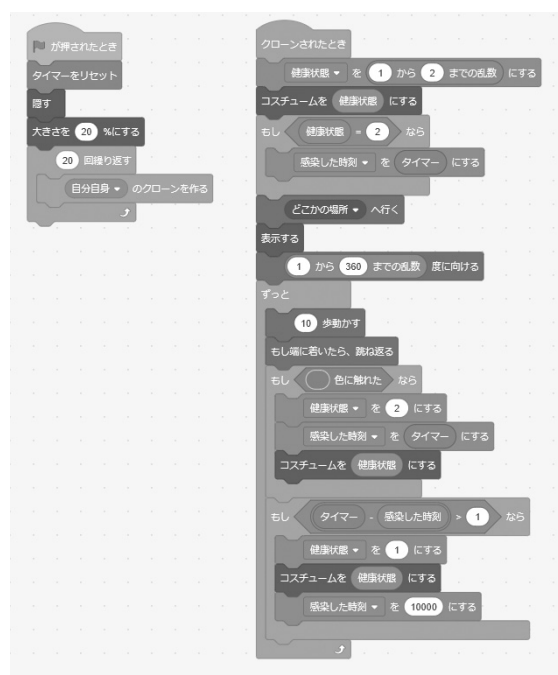


図2. 簡易版のプログラム

この教材のねらいは、第一に情報を鵜呑みにせず批判的思考で考え、情報の真偽を確かめる姿勢を養うこと、第二に問題解決の手段としてプログラムを利用できることに気づくこと、第三にプログラミング実習により、プログラミング的思考を養うことである。

病気の予防について学ぶ教材

前述の教材は、学習指導要領に例示された学習内容ではない。もし小学校で授業を実施するとすると、文科省（n.d.）が示す小学校段階のプログラミングに関する学習活動の分類（表4）でいえば、C分類として実施することになる。C分類の教材はそれぞれの小学校のカリキュラムマネジメントに基づき、必要な学習内容と認められなければ利用してもらえない。一方、B

分類は学習指導要領に明記された学習内容であるため、どの小学校でも必ず教える内容である。したがって B 分類に該当する教材を作成することができれば、多くの学校で利用される可能性がある。

表 4
小学校段階のプログラミングに関する学習活動の分類

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	教育課程内で各教科等とは別に実施するもの
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
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

著者は近年、秋田市教育委員会や大仙市教育委員会からプログラミングに関する教員研修の講師を依頼されている。その研修の中で前述の教材を紹介したところ、秋田市立四ツ小屋小学校（当時）の小野哲教諭から、プログラムを改変することで小学 5 年の保健の授業で利用できるのではないかという申し出を受けた。以下では小野教諭の提案に基づき、改変した教材の内容を紹介する。

小学校学習指導要領の体育科保健領域の第 5 学年及び第 6 学年に「G 保健（3）病気の予防について理解できるようにする」があり、この項目に該当する教材として、マスクをすることが病気の予防に効果があることを実感できる教材を作成した。エージェントとして、4 種類のエージェントを用意した（図 3）。マスクをしている猫としていない猫のそれぞれに対して健康な猫と病気の猫がいる。健康な猫は病気の猫と接触することで一定の確率で病気に感染する。感染する確率は忽那（2020）を基に、表 5 に示す値を用いる。作成したプログラムの URL を表 6 に示す。プログラムの利用方法は、ステージにあるプログラム（図 4）で 4 種類のエージェントの初期状態の個数を設定した後、プログラムをスタートし、すべてのエージェントが表示された後で、「s」キーを押すことでシミュレーションが開始される。20秒のシミュレーションの後、猫を動きが停まり、その時点での各エージェントの個数が表示される（図 5）。初期状態のエージェントの個数を変化させることにより、マスクをしている猫が多い場合とそ

うでない場合で、感染の広がりには違いがあるか調べることができる。

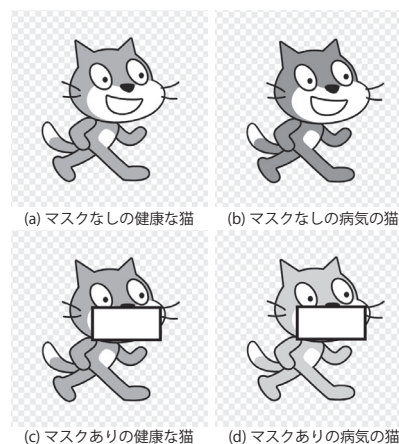


図 3. エージェントの種類

表 5
病気の感染率

		感染者	
		マスクなし	マスクあり
非感染者	マスクなし	66.7%	16.7%
	マスクあり	33.3%	5.6%

表 6
マスクの有効性を調べるプログラムの URL

マスクの有効性を調べるプログラム	https://scratch.mit.edu/projects/445343366/
------------------	---



図 4. 初期状態のエージェント数を設定するプログラム

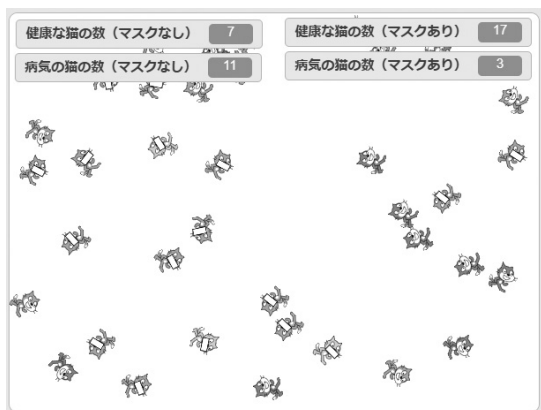


図5. シミュレーション結果

この教材の特徴を述べる。文部科学省 (n.d.) に小学校におけるプログラミング教育のねらいが記載されており、該当箇所を引用すると、「①『プログラミング的思考』を育むこと、②プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることなどに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育むこと、③各教科等の内容を指導する中で実施する場合には、各教科等での学びをより確実なものとするための三つ」と記載されている。プログラミング教育というとプログラミングそのものを教える教育と捉えられてしまうが、小学校で期待されているプログラミング教育はプログラミングを教えることに主眼が置かれているわけではないことがわかる。この教材のようにマスクが病気の予防に有効であるかどうかという問題を、プログラムを利用して解決し、プログラムのよさを知ることでも小学校で期待されているプログラミング教育である。

授業の実施

批判的思考をテーマとした教材はあきたキッズプログラミングアワードのオンラインスクールの教材として利用したほか、秋田県立大学で実施したプログラミング教室「Scratch プログラミング」にて授業を実施した。参加者数は表7の通りである。

表7
Scratch プログラミングの参加者数

	日程	参加者数
第1期	令和2年10月3日(土)、11日(土)、17日(土)	7名
第2期	令和2年11月7日(土)、14日(土)、28日(土)	6名

一方、病気の予防について学ぶ教材については、令和2年11月30日に秋田市立四ツ小屋小学校の5年生に対して、小野哲教諭が授業を実施した。授業に参加した児童にアンケートを実施しなかったため、効果の分析はできなかった。そこで、令和3年11月8日に実施された秋田県立大学システム科学技術学部情報工学科2年生を対象とした授業「システム科学応用(情報)」にて、同様の授業を実施した。この授業では、猫の総数を50匹、初期状態のマスクなしの病気の猫の数を10匹と固定し、初期のマスクをした健康な猫の数を0、10、20、30、40と増やしていく形で実験を行った(表8)。31名の学生が授業に参加し、授業中に実行した実験結果をGoogle スプレッドシートで共有した(図6)。授業後アンケート調査を実施し、27名の学生がアンケートに回答した。設問1「マスクの有効性を調べるのにシミュレーションは役立つと思いますか」に対する回答を表9に示す。肯定的意見(1および2)を選んだ学生は27名中19名(70.4%)おり、シミュレーションが効果的であると受け取られていることがわかる。また、設問2「マスクの有効性の教材について、意見があれば教えてください」という自由記述式の設問について、「目に見えてわかったので理解しやすかった」や「分かりやすく、簡単にシミュレーションができるのでいいと思う」という意見が寄せられた。

表8
実験の条件

	マスクなし		マスクあり	
	健康な猫	病気の猫	健康な猫	病気の猫
条件1	40	10	0	0
条件2	30	10	10	0
条件3	20	10	20	0
条件4	10	10	30	0
条件5	0	10	40	0

	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
平均値	38.5	29.7	20.0	7.9	1.4
学籍番号					
BxxP00x	42	27	32	16	0
B20P028					
B22P001	40	30	22	7	0
B22P002	40	32	22	0	0
B22P003					
B22P004	38	0	0	0	0
B22P006	40	0	0	42	25
B22P007	43	33	30	0	0
B22P009	46	36	25	8	0
B22P010	42	40	26	0	0
B22P011	42	40	29	0	0

図6. 実験結果

表9

設問1「マスクの有効性を調べるのにシミュレーションは役立つと思いますか」

そう思う	1	9名	33.3%
	2	10名	37.0%
	3	5名	18.5%
	4	1名	3.7%
そう思わない	5	2名	7.4%

おわりに

計算機シミュレーションを活用した教材を2種類作成した。感染のシミュレーションはGIGAスクール構想により一人一台端末が配布されたことやScratchという子ども向けのプログラミング環境が提供されたことを受けて、初めて実施できた内容であるため、新しく実施可能となった教育内容として意味があると考えられる。なお、現時点では効果を測定することができていないため、この点を今後の課題としたい。

付記

教材の開発にご協力いただいた秋田市立四ツ小屋小学校の小野哲教諭（現秋田市立仁井田小学校）、伊藤千春教諭、北嶋尚子校長（現秋田市立保戸野小学校）に謝意を表す。なお本研究はJSPS 科研費 JP18K02585の助成を受けたものである。

参考文献

- 秋田魁新報社（2020）。「接触8割減で爆発制御」、『秋田魁新報』、2020年4月7日版。
- artisoc4（n.d.）。「artisoc4」、<https://mas.kke.co.jp/artisoc4/>
- C.B. Frey and A. Osborne（2013）。「The Future of Employment」、http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf
- P. グリフィン、B. マクゴー、E. ケア（編）、三宅なほみ（監訳）（2014）。「21世紀型スキル 学びと評価の新たなかたち」、京都：北大路書房。
- 廣田千明、橋浦康一郎、寺田祐樹、小西一幸、伊藤桂一、林良雄（2021）。「小学校の学習内容に即したプログラミング教材の開発」、『秋田県立大学ウェブジャーナルA』9 106-119。
- 井手広康（2020）。「ウイルス感染をシミュレーションする」、『情報処理』61(11) 1130-1135。
- 忽那賢志（2020）。「マスク着用による新型コロナウイルスの感染防止効果について」、<https://news.yahoo.co.jp/byline/kutsuna-satoshi/20201010-00202347>
- 文部科学省（n.d.）。「小学校プログラミング教育の手引き（第三版）」、https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf
- NetLogo（n.d.）。「NetLogo」、<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

註

- ¹ Scratchは、MITメディア・ラボのライフロング・キンダーガーデン・グループの協力により、Scratch財団が進めているプロジェクトである。<https://scratch.mit.edu> から自由に入手できる。