

# 第213回 ファジィ科学シンポジウム 講演論文集

期日 2023年3月27日(月)

場所1 金沢工業大学 扇が丘キャンパス  
23号館 216講義室  
〒921-8501 石川県野々市市扇が丘7-1  
TEL 076-248-1100

場所2 Zoom 会議室(ホスト:上江洲 弘明(金沢工業大学))

## プログラム

研究講演1 「超音波センサーを用いた障害物認識ロボットの研究」

pp. 1 - 7 石原 和真, 美尾 千花, 滑川 光裕 (嘉悦大学)

## 金沢工業大学基礎教育シンポジウム 2023

研究講演1 「大学と小学校の両者が win-win な関係を築きあげられるプログラミング教育の実践の提案4 —東京家政学院大学の場合—」

pp. 8 - 12  
新海 公昭 (東京家政学院大学)

**主催** 日本知能情報ファジィ学会ソフトサイエンス研究部会  
バイオメディカル・ファジィ・システム学会  
ESA (教育システム解析) 研究会

# 超音波センサーを用いた障害物認識ロボットの研究

## Obstacle Recognition Robot Using Ultrasonic Sensors

石原 和真<sup>1</sup>, 美尾 千花<sup>1</sup>, 滑川 光裕<sup>2</sup>

1) 嘉悦大学 経営経済学部 経営経済学科 2年

2) 嘉悦大学 経営経済学部 教授

Kazuma ISHIHARA<sup>1</sup>, Chihana MIO<sup>1</sup>, Mitsuhiro NAMEKAWA<sup>2</sup>

1) Department of Management and Economics, Kaetsu University (2nd grade student)

2) Department of Management and Economics, Kaetsu University (Professor)

**概要:** 本研究では、室内で障害物を回避しながら移動できるロボットの研究である。ロボット本体としては、室内空間を効率良く移動できるお掃除ロボットである **Roomba** をベースとした。そして、この **Roomba** にボードコンピュータ(**Raspberr Pi**)を接続することでプログラム制御できるようにし、障害物までの距離を計測するために超音波センサーを接続し、超音波センサーと物体との距離を計測しやすいように超音波センサーの角度をサーボモータで調整する仕組みとした。このようにして、**Roomba** の移動と超音波センサーの角度が変えられるようなロボットを製作し、このロボットが障害物の形状を認識できるようなアルゴリズムを考案して実験を行なった。

**キーワード:** ロボット, センサー, 空間認識

---

連絡先: Kazuma ISHIHARA

2-8-4 Hanakoganei-minami, Kodaira-city, TOKYO, 187-8578, Japan

Phone: +81-42-466-3711, Fax: +81-42-463-1788

### 1. はじめに

現在、様々な現場においてロボットが活用されており、工場や店舗などで利用する大型なものから、家庭で利用する小型なものまで幅広く活躍するようになってきている。

これら、生活の質向上や、作業効率向上などのために作られ利用されるロボットは、必要不可欠になってきており、今後は日本でも賃上げの傾向があることから、人間にとって代わるロボットは、これからも多くの場所で見かけることになる。

我々に馴染みのあるロボットとして、ソニーの **aibo** やソフトバンクの **Pepper** のような人や動物に真似たようなものがあるが、家庭では、すでに **AI** がカメラやセンサーなどから自動的に判断する **IoT** というシステムが機能しており、とても重要な働きをしている。

例えば、三菱電機の「霧ヶ峰」エアコンは世界で始めてセンサーによる判断による自動運転を実現した。このエアコンでは、**AI** が住宅の断熱性能や室内の人間の位置をセンサーで判断・分析した上で、外気温の変化や一人一人の体感温度などを先読みして運転を自動でコントロールする。部屋の中で運動をして体温が上昇すると室温を下げるようにコントロールし、昼寝をして体温が下がってくると室温を下げて体を冷やさないようにするなど、過ごしやすい生活環境を実現させた[1]。

他にも、シャープの **AIoT (AI : Artificial Intelligence 人工知能 + IoT : internet of Things モノのインターネット)** を組み合わせたシャープによる造語)スマート家電も幅広い製品を展開しており、**AI** が調理履歴や季節、好みに合わせて献立のアドバイスをする機能が搭載している冷蔵庫や調理家電などがあり、これらが連携して、例えば、冷蔵庫にある食材から調理器での調理方法を提案した

り、洗濯機で服が乾いたことをリビングの冷蔵庫がしゃべって教えたり、スチームオーブンでの調理が完了したことをテレビで表示するなど、今後、様々な機器の連携している。

特に、話しかけることで電気をつけたり、エアコンを作動させるなど、音声によるIoT動作については、スマートスピーカーによる利用が一般化してきており、その普及率も2割を超えて、年々、高くなってきている。その中でも、AmazonのEcho(Alexa)は、40%近いシェアを持っている。この機能は、スマートフォンからも利用でき、スマートフォン所持率も20~30代は90%以上となっていることから、AI利用は一般的になりつつある。前述したように、エアコンや冷蔵庫、洗濯機など、多くの家電製品にIoTやAIの搭載が増えており、一般化しつつある [2][3][4]。

よりロボットに近い機器として、自動車の自動運転がある。自動運転の技術は、事故に対するブレーキなどの判断が早く、省エネ効果も確認されている[5]。すでに、米カリフォルニア州やネバダ州でタクシーやバスなどのサービスカーでの自動運転は実現しつつあり、中国でも同様のサービスが始まっている。海外では「サービスカーの完全自律運転」の開発を中心に行っているのに対して、日本では基幹産業である自動車産業が販売する「オーナーカーの自動運転」としての研究が進められている。この自動運転の実現には、周囲の環境を理解するセンサーが必要で、それらは、レーザーを使用するLiDAR(レーザーレーダー)、周囲の画像を撮影するカメラ(ステレオカメラ、単眼カメラ)、電波を使うミリ波レーダーの3つある。これらのセンサーから得た情報を人工知能などの技術を用いて解析しながら環境を認知・判断する[6]。

特に、自動運転としては、電気自動車の先駆けとなったテスラ社が進んでいる。テスラは2014年に、デュアルモーターを搭載した最新のモデルSに、オートパイロットを可能にする標準ハードウェアを導入した。テスラの進んでいる点としては、自動車システムのソフトウェアがネットワーク経由で更新され、将来、様々な機能の提供を可能にしている。テスラのハードウェアとしては、前方レーダーと長距離超音波センサー、前方監視カメラ、高精度のデジタル制御電動アシストブレーキで構成されている[7]。

日本車では、2013年にスバルがアイサイト ver.3.0として、プリクラッシュブレーキ、後退時ブレーキアシスト、警報・お知らせ機能などが搭載され、ハンズオフ(ハンドルから手を放すことが可能な技術)は出来ないものの、

縦制御と横制御のサポートを両立した。2020年にスバルの新型レヴォーグに搭載した最新のアイサイト X では、前後に配置した4つのレーダーによる360度センシングや、準天頂衛星「みちびき」のGPS情報と高精度3D地図データにより、アクセル・ブレーキ・ステアリング操作のアシスタントを自然な動作で行うことができ、一定要件を満たすとハンズオフ走行が可能になり、渋滞中の運転負荷を大幅に軽減できる技術になっている。また、スバルとトヨタは、EV(電気自動車)基盤技術の共同開発をはじめとした電動化拡大に向けた協業や、コネクテッド・セキュリティといった新世代技術領域での連携強化を図っている[8]。

そのトヨタは、2017年に電動化の分野において長期的な目標を掲げている。それはエンジンよりも電気制御のほうがAIを扱いやすく自動運転と切り離せないという観点からの開発である。トヨタの自動運転技術の名称として「トヨタ・リサーチ・インスティテュート」があり、人工知能をトヨタ製造の車両に適用させて、人と車の密接な関わりによる安全性の向上を進めている。トヨタの自動運転に搭載されているセンサーは、長距離・短距離LiDARをそれぞれ前後左右に4つ、ミリ波レーダーを前後・タイヤフェンダーに10個、車両上面のマウント内に前方・左右・左右前方カメラ、そして、フロントタイヤハウス後方にカメラになる[9][10]。

他にも、日産のプロパイロットや、メルセデス・ベンツインテリジェントドライブなどもある[11]。

なお、本論文は、2章で様々なロボットに関する「先行研究」、3章で「障害物の認識(実験環境・実験方法・実験結果)」、4章で「今後の研究」について述べる。

## 2. 移動式ロボットに関する先行研究

移動式のロボットでは、オープンな環境、つまり公共の施設の中でのロボット移動について、例えば病院の中や災害の被害にあった地域などでより良い手法が研究されるなど、限定的な場所ではあるが、効果的な成果を挙げてきた。

移動式ロボットにおける先行研究としては、大きく以下の4つを挙げることができる。順次、これらについて説明する。

- 1) 震災・災害におけるロボット
- 2) 病院内での機材搬送システム
- 3) 人物追跡システム
- 4) 障害物感知・回避システム

## 2.1 震災・災害におけるロボット

震災や災害では、様々な危険があり、人間では対応できない場所で活用されている。

例えば、1991年に発生した雲仙普賢岳噴火では、火砕流の危険性がある工事現場で、遠隔操縦の無人建機が開発され、無人化施工が行われるようになった。

さらに、1995年に発生した阪神淡路大震災では、ロボット学が初めて経験した大規模自然災害であった。そして2011年の東日本大震災では、大地震だけでなく津波の被害も大きく、その影響で電源を失ったことでメルトダウン・水素爆発を起こした福島第一原子力発電所の事故もあるなど、複雑に絡まった大規模な複合災害であった。ここでの防災ロボットの技術レベルは徐々に向上し、福島第一原発の緊急対応・冷温停止・廃炉準備では、種々のロボットが使用された。

これら大規模災害はめったには起きないが、日本での地震は(震度1以上有感地震)年間平均1,000~2,000回程度発生しており、風水害も毎年絶えない。さらに、戦後作られた建物やインフラや産業設備の老朽化は進み、災害に対するレジリエンス(回復力・復元力)の低下は待ったなし状態である[12][13]。

## 2.2 病院内の機材搬送システム

ロボットによる搬送を行う研究では、病院内でのロボットによる機材の搬送システムがある。これは、人間が存在する環境における自律全方位移動ロボットである。マルチ時間スケール型行動制御手法により、事前に検出可能な静止障害物あるいは事前の検出が困難な移動体が突然現れるような状況においても、障害物に衝突することなく、目的地に到着するものである。そして、人とロボットがすれ違う時に、円滑にすれ違えるようにロボットが通過しようとしていることを気付かせるようなジェスチャーも行うようにしている。搭載されたセンサーでは検出できない環境情報に対して、超音波タグを用いた位置計測技術を導入することや、車椅子など、ロボットが物理的な接触をもって搬送する必要があるものについても研究が行われている[14]。

## 2.3 人物追跡システム

人の位置を追跡する研究は、多く行われているが、レーザーレンジファインダを用いた移動ロボットの研究も行われている。これは、距離センサ(レーザーレンジファインダ)を用いてView-basedな情報に基づく追跡手法を提案している。センサー空間における足の見え方をテン

プレートとして格納し、そのテンプレート群とセンサーデータとのブロックマッチングにより人の追跡を行なっていることが大きな特徴である。そして、よりシンプルなアルゴリズムにより、人追跡システムの構成が可能になった。対象を多重仮説で推定することで、追跡システムのロバスト性(様々な外部の影響によって影響されにくい性質)が向上し、オクルージョン(塞ぐ・手間にある物体が後ろにある物体を隠す状態)にも対応可能なシステムである。課題としては、一定時間以上に及ぶオクルージョンや、他の物体により発生する陰に対して人が自ら入っていく場合には、追跡を継続することが出来ないことである[15]。

その他にも、台車の人物追従に関するアルゴリズムや計算式により、荷物を運ぶことに特化した台車の研究なども見受けられる[16]。

## 2.4 障害物感知・回避システム

障害物を感知し回避する研究は、とても重要であり、例えば、自動走行車いすを対象にしたUnityでのシミュレーション実験が行われている。これは、自動走行車いすと、その動作を確認できるシミュレーション環境を作成し、シミュレーション環境上で障害物回避の強化学習を行い、実機に適用するものである。車いすの構成としては、自動走行や障害物回避などにおける速度情報は、優先度付き速度情報として車いすに送信するものである。優先度を考慮すると、緊急時のみ動作への介入が容易になる。シミュレーション環境を作成し、障害物回避のための強化学習が行われている。そして、ROSで強化学習を行うためのライブラリとしてopenai\_rosを使用している。この研究では、3000エピソードほどの学習を行い、障害物を回避し前進するモデルを作成している。ただし、移動障害物や複雑な地形などの難易度の高い環境下での回避を柔軟に行う際の課題が挙げられている[17]。

他に、歩行者の視覚に着目し、視覚情報の有無や認識の仕方による障害物回避行動の違いを検討した研究などもある[18]。

この移動式ロボットの研究は、人が立ち入ることのできない危険な場所への調査や、重い物・多くの物を運ぶなどの状況において有効である。すでにファミリーレストランでの配膳ロボットが人の代わり皿を運んだり、駅では清掃ロボットが自動で床を拭いて回るなど、導入が進んでいる。

### 3. ロボットの障害物回避について

本研究は運搬ロボットの移動中の障害物回避を想定した障害物の認識が目的である。前述したように、東日本大震災で被災した福島第一原子力発電所などの人の立ち入りが難しい場所や身障者などの物の運搬が困難な方が利用する施設で活躍することができる。

障害物の回避方法については、様々な手法が提案されているが、限定された条件下で効率よく正確に動作することが求められる。その条件によってアルゴリズムを変更する必要があるが、この条件を絞り過ぎると応用が利きにくくなり、また、条件を広げ過ぎても効率が悪くなってしまう。

そのため、まずは一般的に障害物回避のアルゴリズム作成における前提条件を以下に挙げる。

- (1) 周辺の環境
- (2) 障害物の想定
- (3) 障害物の性質

また、障害物の種類も事前に分類しておき、種類ごとの特徴を捉えておく必要がある。一般的な障害物の性質の分類を以下に挙げる。

- (1) 動的・静的
- (2) 動的な場合、人物か動物かの判断
- (3) 光の透過性

これらの環境によってロボットの構造を変える必要があり、対象の障害物によっては、さらにセンサーを変える必要も出てくる。

例えば、環境が道路と室内ではタイヤの大きさが違い、必然的にロボットの大きさが違う。例えば、対象物が椅子であれば赤外線やレーザーを用いた検知ができるが、ガラスであれば光を透過してしまうために赤外線やレーザーなどを用いた検知ができない。

本研究では室内の運搬ロボットを前提とし、スタートとゴールが明確になったうえで移動するロボットを想定している。

本研究の環境と想定できる障害物をまとめた。

- (1) その他の交通の影響を受けない
- (2) 数センチから数メートルの障害物がある
- (3) 壁に囲まれている
- (4) 人物の動きがある
- (5) 窓ガラスがある
- (6) 数センチ～数十センチの高さ、幅の隙間がある。

本研究では、全ての条件を考慮するのではなく、障害物を避けることから始めた。そのため、(3)(4)(5)の条件を除外した実験を行った。

### 4. 障害物の認識

本実験においては iRobot 社が製造・販売する Roomba を使用した。室内での利用を前提としていることから、Roomba を利用することで、後述するようなタイヤの構造により、狭い場所での回転が可能なためである。

次に、この Roomba を制御するために使用したのは、ボードコンピュータの Raspberry Pi である。また、障害物の認識は、超音波センサーを用いた。この超音波センサーの型番は「HC-SR04」であり、ボードコンピュータの利用では一般的に良く使われている。

実験では、サーボモータに超音波センサーを付けて角度を変えながら距離を計測するが、この際、パルス幅を指定して出力する必要がある。Raspberry Pi にはハードウェア PWM があるため、「pigpio」モジュールを利用することで、パルス幅を指定して出力することが可能である。



図1 製作したロボット

図1は製作したロボットの写真である。Roomba の端子に Raspberry Pi からのケーブルを接続し、ブレッドボードを通して、超音波センサーが取り付けられている。この超音波センサーは、ロボットの前方に取り付けられており、超音波センサーはサーボモータの上に乗っており、これによって距離を計測する方向(角度)を変えられるようになっている。

そして、図2のように、Roomba の車輪は前と左右にあり、前の車輪はキャスターと同じ構造で a あるが、自由に動く(制御不可)となっている。それに対して、左右の車輪はそれぞれが別々に制御可能である。

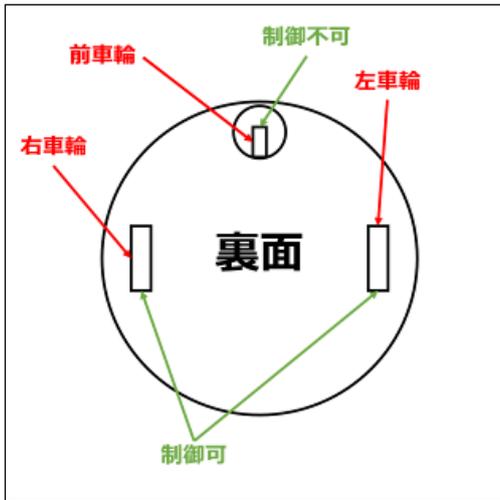


図2 Roombaの車輪配置

このRoombaの左右の車輪は、 $-500\sim 500\text{mm/s}$ の速度で回転させることができ、左右の車輪を同じ速度に設定すると真っすぐ前進するか、後退する。また、左右同じ速度で逆方向に回転させるとその場で回転する。例えば、左の車輪を $300\text{mm/s}$ にし、右の車輪を $-300\text{mm/s}$ にすると時計回りに回転することができる。

超音波センサーについては、センサー自身が超音波を発信してから返ってくるまでの時間を計測し、超音波が目標とする場所を往復することを考慮し、その値を2分の1にしたうえでミリメートル単位の長さに変換する仕組みである。

### 5. 実験方法

本研究における運搬ロボットの製作では、室内走行を想定していることから、まずは、スタートとゴールの最短ルートを走行することになる。そのため、ゴールに向かって真っすぐ前進するが、その途中で障害物が目の前に現れることになる。その場合の障害物を認識する手法について考え、この手法を実現するシステムを設計した。

これらの状況においては、図3に示したように、Roombaが障害物との位置関係を計測する際には、障害物の側面と超音波センサーの角度をサーボモーターで合わせるようにする。

この実験の途中、超音波センサーを一定の角度まで回すと超音波センサーからの値が不安定になることが判明した。この時の、超音波センサーの角度を確認すると、有効角度が $15$ 度であることがわかった。

そのため、仕様書を確認すると、この超音波センサーでは、 $\pm 15$ 度、詰まり全体で $30$ 度の範囲のみでしか計測できないことがわかった。

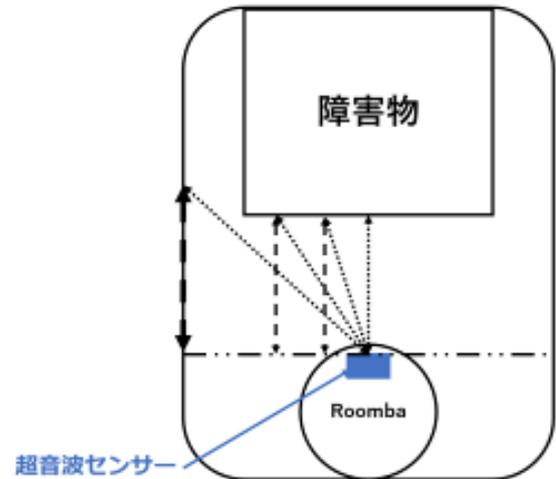


図3 始めの障害物認識方法構成図

つまり、この方法では障害物の認識が不可能であることが判明した。

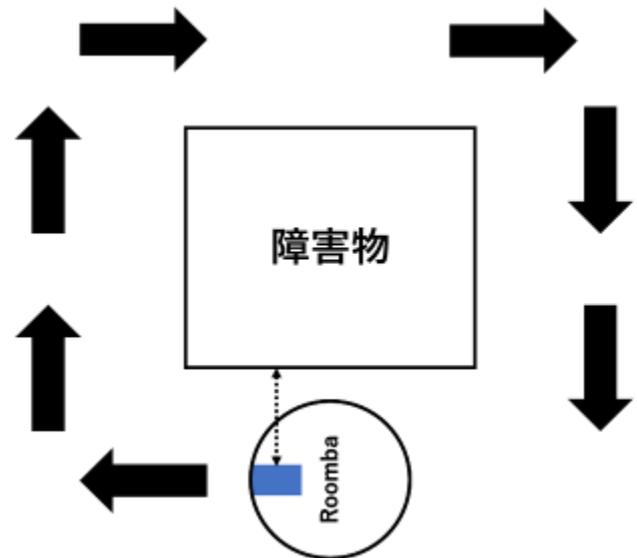


図4 障害物認識方法の改良

そのため、図4のように障害物の周りを周りながら計測する手法とした。

この手法をフローチャートで示したものが図5である。障害物全体を一周することで、全体の形を把握することとした。また、超音波センサーで計測した結果は2次元配列を用い、その配列を2次元マップとして表現することにした。

本研究では、ロボット移動における障害物の回避が目的であるため、障害物位置の正確性よりも障害物の形と位置の認識が優先されるため、多少のずれを許容し、認識することでスピードを上ることが可能となった。

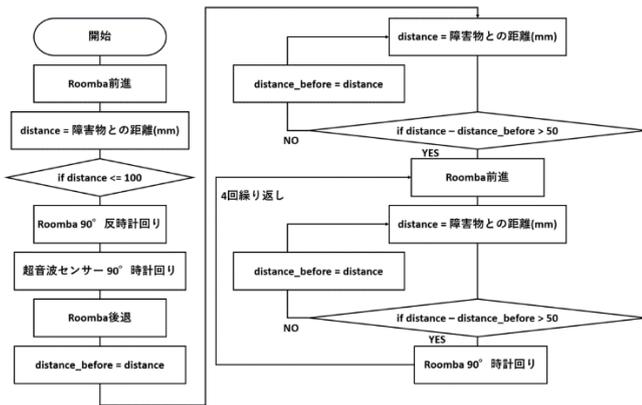


図5 障害物認識アルゴリズム

障害物認識速度を上げるための手法として、①10mm進んで計測を繰り返して進む方法と、②進みながら計測する方法があり、①の方が正確ではあるが、②の方がスピードが速い。そのため、②の方法で計測し、前回の計測と今回の計測の結果をもとに1次関数の式を求め、前回と今回の計測結果の間を埋める方法で2次元マップを作成した。

## 6. 実験方法とその結果

前述のように、Roomba というロボットの動作特性と超音波センサー+サーボモータの機器特性を考慮したアルゴリズムを提案したが、これらの実験を図6のようなシンプルな長方形の段ボールが進路上に置かれていたという想定で実験を行った。

アルゴリズムからわかるように、本研究では、平面上に置かれた障害物であることから、センサーから得られたデータを、そのまま2次元配列として格納するようにした。その2次元配列を図として表現したものが図7である。



図6 障害物認識のための実験

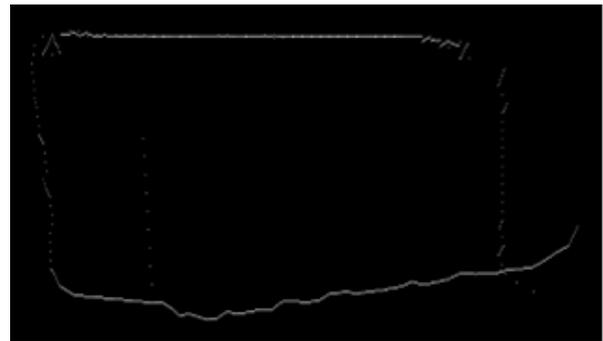


図7 2次元マップの障害物認識結果

この2次元配列には、初期値として「0」が全てに代入されており、本研究におけるロボットが超音波センサーによりロボットから障害物までの距離を測定し、その距離情報とロボットの位置関係から、室内の絶対的な座標に変換することで障害物の輪郭部分に「1」を代入する手法である。この図7の白い部分が障害物として認識された場所となる。

## 7. 結果の考察

本研究の実験結果としての2次元マップ(図7)を見てわかるように、障害物の形を大間かではあるが、認識していることがわかる。しかしながら、この結果の図では、角が丸くなっていたり、正面である2次元マップ下の線が斜めになっている部分がある。これは、使用しているRoombaの左右の車輪に速度の違いがあり、真っすぐ進まないため、絶対的な座標位置にずれが生じるためである。さらにRoombaは、動きを止める命令を送ってから実際に止まるまでの時間が長い時間、命令を送ってから余分な進行、あるいは回転をすることがある。これらの原因により、図7のような結果となった。また、前述した進行のずれと回転のずれから、角が丸くなっていると考えられる。

また、図7では、右下からスタートして、またゴールとなっているが、交点があいまいで少しはみ出している部分がある。これについても、前述した原因から、ロボットの論理的な位置と実際の位置のずれによるものである。この問題を解決するためには、障害物の計測だけを行うのではなく、室内の壁面も同時に計測する必要がある。

## 8. 今後の研究

本研究では、段ボールや書籍などが置いてあることを想定し、四角形(正方形・長方形)の障害物を対象に実験を行った。そのため、三角形やひし形などの障害物があった場合には、誤作動を起こし、形状が大きすぎる

可能性がある。また、前述したように、壁の有無やその他障害物の有無を考慮していないことと、障害物が静的であることが前提であった。

今後の研究では四角形以外の障害物も想定してアルゴリズムを改良し、さらに、今後は、動的な障害物にも対応できるアルゴリズムの作成、実験を計画している。そのためには、障害物や周囲の3次元での検知、ロボットの高さや幅を考慮した障害物の回避、超音波センサー以外のセンサー(レーザーや赤外線など)とカメラによる画像認識など、現在の自動車の自動運転のように、様々なセンサーを複合的に利用することで、正確な計測ができるように改良したい。

### 参考文献

- [1] “三菱ルームエアコン” Web ページ, 三菱電機, [https://www.mitsubishielectric.co.jp/home/kirigamine/product/2021\\_zd/feature/comfortable\\_winter.html](https://www.mitsubishielectric.co.jp/home/kirigamine/product/2021_zd/feature/comfortable_winter.html), (参照 2023-03-20)
- [2] 総務省平成30年版 情報通信白書, 総務省「通信利用動向調査」第1部特集 人口減少時代のICTによる持続的成長(第2節 ICTによる「つながり」の現状)
- [3] “シャープのAIoT スマート家電”, SHARP Be Original, <https://jp.sharp/aiot/> (参照 2023-03-20)
- [4] “シャープのa lot スマート家電”, SHARP Be Original, <https://jp.sharp/aiot/kitchen-reizo/>, (参照 2023-3-20)
- [5] 青木啓二, 須田義大, 自動運転技術の開発動向と技術課題, 情報管理, vol.57, no.11, p.809-817, 2015
- [6] 菅沼直樹, 自動運転の実現に必要なセンサーと自動運転用地図, 日経 XTECH ラーニング INTERVIEW, June 2022 NIKKEI MONOZUKURI, p.119-p.122
- [7] 自動運転ラボ編集部, “テスラの自動運転技術(2023年最新版) 将来の自動運転をFSDで実現する戦略”, 自動運転LAB. 最新のモビリティ業界テクノロジー系ニュースメディア, 2023-01-23, [https://jidounten-lab.com/u\\_tesla-history](https://jidounten-lab.com/u_tesla-history) (参照 2023-03-20)
- [8] 自動運転ラボ編集部, “スバルと自動運転(2022年最新版) 取り組みを解説 2024年目途にレベル2以上実装へ”, 自動運転LAB. 最新のモビリティ業界テクノロジー系ニュースメディア, 2022-06-20, [https://jidounten-lab.com/u\\_35472#ver302](https://jidounten-lab.com/u_35472#ver302), (参照 2023-03-22)
- [9] 自動運転ラボ編集部, “トヨタと自動運転(2023年最新版) 商用展開に向けた協業・投資状況含め一挙解説”, 自動運転LAB. 最新のモビリティ業界テクノロジー系ニュースメディア, 2023-01-09, [https://jidounten-lab.com/u\\_toyota-autonomous-40000#Highway\\_Teammate](https://jidounten-lab.com/u_toyota-autonomous-40000#Highway_Teammate), (参照 2023-03-20)
- [10] ZMP, “Autonomous Driving(自動運転)の取り組み トヨタ自動車編”, ZMP Robot of Everything, [https://www.zmp.co.jp/knowledge/ad\\_top/work/toyota](https://www.zmp.co.jp/knowledge/ad_top/work/toyota), (参照 2023-3-20)
- [11] Ancar Channel, “【徹底比較】運転支援システム比較! どのメーカーのシステムが一番いい?”, 2018-11-18, <https://www.ancar.jp/channel/15566/>, (参照 2023-3-22)
- [12] 田所諭, 防災ロボットについて我が国が取り組むべき中長期的課題, 日本ロボット学会誌, vol.32, no.2, pp.154-161, 2014
- [13] 松野文俊, 「震災対応 レスキューロボットの活動を振り返ってI」特集について, 日本ロボット学会誌, vol.32, no.1, p1, 2014
- [14] 今井倫太, 高橋正樹, 森口智規, 岡田卓也, 湊雄一朗, 中野剛, 田中昌司, 下本英生, 堀俊夫, 病院内ロボットシステムの開発, 日本ロボット学会誌, vol.27, no.10, pp.1101~1104, 2009
- [15] 奥迫伸一, 坂根茂幸, レーザレンジファインダを用いた移動ロボットによる人の追跡, 日本ロボット学会誌, vol.24, no.5, pp.605~613, 2006
- [16] 樽床祐樹, 渡辺嘉二郎, 小林一行, 移動ロボットの人物追従アルゴリズムの開発, 21st Fuzzy System Symposium, p.842-847, 2005
- [17] 坂田悠馬, 長尾確, 強化学習による仮想環境と実環境における自動走行車いすの障害物回避, 情報処理学会第84回全国大会, p.3-81-p.3-81, 2022
- [18] 渡部優弥, 高梨宏之, 歩行者の顔向きと視覚情報を考慮した集団歩行者の障害物回避行動, 第65回自動制御連合講演会, p.712-p.714, 2022

# 大学と小学校の両者が win-win な関係を築きあげられる

## プログラミング教育の実践の提案 4

### —東京家政学院大学の場合—

新海 公昭<sup>1</sup>

1) 東京家政学院大学 現代生活学部 児童学科

Kimiaki SHINKAI<sup>1</sup>

**概要:** 2020年4月より小学校教育においてプログラミング教育が全面実施され3年が経った。1人1台端末等のICT環境はかなり整っているが、実際にプログラミング体験を伴うプログラミング教育を行うことが出来ている小学校は多くない現状がある。その要因の1つに、教科の理解を深めるプログラミング教材の少なさが挙げられる。本稿では、算数の「速さ」の理解を深めるためのプログラミング教材を提案する。

#### キーワード:

小学校教員, Society5.0 プログラミング体験を伴うプログラミング教育, 教科の理解を深めるプログラミング教材, 速さ, 内包量

---

連絡先: 新海 公昭

東京都町田市相原町 2600

E-mail: k-shinkai@kasei-gakuin.ac.jp

#### 1. はじめに

Society 5.0 時代の到来に向け、2020年4月より、論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成等を目的に小学校におけるプログラミング教育が実施された。時を同じくして始まった GIGA スクール構想では、個別最適化され創造性を育む ICT 環境の実現に向けて、当初、数年間かけて1人1台端末の環境を全国の小中学校等で実現する計画だったが、大幅に前倒しされ、1年間で97.6%の自治体でほぼ環境が整えられたデジタイゼーションをむかえ、児童が自身の端末で自身のペースでプログラミング学習をする環境が整った<sup>1)</sup>。

ところが、プログラミング教育活動はというと、今年度も、既存の教育時間内で時間を確保することが難しい状況であること、そもそも現場の教員の負担が大きいこと、クロスカリキュラムのため教員の受け取り方が様々であること等で、実際にプログラミ

ング体験を伴うプログラミング教育を行うことが出来ている小学校は多くない現状がある。また、実践活動報告は素晴らしい提案があるが、多くが時間をかけて行う1大イベントの形になっていたり、学校外の様々な関係各所との連携が必要だったりして、なかなか一般的に真似をすることが難しい事例が多い状況である<sup>2)</sup>。

そのため、まだまだ各種プログラミング教育の教材提案や実践活動の提案が必要な状況であるといえる。

#### 2. 小学校プログラミング教育の狙いとプログラミング体験の重要性

文部科学省は、小学校プログラミング教育の手引き(第3版)において、3点のプログラミング教育の狙いを示している<sup>3)</sup>。1点目はプログラミング的思考を育むことである。プログラミング的思考とは、コン

コンピュータに自分が意図する処理をさせるために、命令を組み合わせたたり、組み合わせを改善したりすることを論理的に考えていく力である。2点目は、プログラムの働きのよさ、情報社会がコンピュータをはじめとする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である。3点目は、各教科等の内容を指導する中で実施する場合には、教科等での学びをより確実なものとするということである。

また、小学校学習指導要領の総則においては、プログラミング教育に関して、「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付けるための学習活動」と記述されている<sup>4)</sup>。関連して、堀田(2016)は「学習指導要領の本文に書かれている文章であるから、まずこの文章をしっかりと理解する必要がある。もっとも重要な点は、プログラミングを体験させることが明記されていることである。小学校での多くの授業は体験的な活動を重視する。したがって各学校では、子供がプログラミングを体験できるような学習環境の整備が必要である」と指摘している<sup>5)</sup>。そこで、プログラミング的思考を身につけさせることにとどまらない、プログラミング体験までを含めたプログラミング教育の実践活動の提案を行っていく必要があると考える。

### 3. 小学校プログラミング教育の現状の課題と研究目的

2020年4月より小学校教育においてプログラミング教育が実施されたが、コロナ禍の中で通常の教育でさえ困難であったこと、そもそも現場の教員の負担が大きいこと、既存の教育時間内で時間を確保することが難しいこと、独立した「特別の教科 道徳」や「外国語活動」とは異なり各教科と連携するクロスカリキュラムとしての位置づけのため現場の受け取り方が様々であること、プログラミングをすることで教科の理解が深まる教材が少ないことなどを根拠にして、実際にプログラミング体験を伴うプログラミング教育を行っている小学校は多くない現状がある。そのような状況の中、これまでに筆者はいくつかの

小学校プログラミング教育の授業実践を参観した結果、プログラミング教育の狙いに関する現状について3点を指摘した<sup>6)</sup>。まず、プログラミング教育の狙いの2点目については、概ね達成されている。次に、狙いの1点目については、プログラミング的思考を育むことを意識した授業は展開されているが、同一単元内で一度もプログラミング体験を伴わない授業展開になっている場合が多い。最後に、狙いの3点目については、各教科の理解を深めるためのプログラミング体験であるべきところが、そもそもプログラミング経験不足によりプログラミング自体ができず、教科の理解を深める授業になっていない場合が多い。筆者は、2018年度および2019年度の東京都のプログラミング教育推進校におけるプログラミング教育の公開授業を2019年9月18日に参観した。小学6年生の理科の「電気のはたらきの中のセンサーを使う働き」でエコな電気の使い方を考える授業であった。赤外線センサーやタッチセンサーなどのセンサーを用いて「人が近づいたらまわる扇風機」や「人が遠ざかると消えるライト」などの作成を試みていたが、現実にはプログラミングができず、教科の学びをより確実なものにするという目標には到底到達できていない現状があった。高学年では教科と紐づけしたプログラミング教育を行う実践例がいくつかあるが、中学年、場合によっては低学年から教科と必ずしも教科と紐づけしないプログラミング体験をしながら高学年に向かう重要性が示唆された。算数教科書では、表1のように低学年から学習単元と深くは紐づけしない形でのプログラミング体験の学びがいくつか載っているが、よりいっそうの充実が望まれる。

表1. 算数教科書に記載されたプログラミング体験

1年	大日本図書	プログラミングにちょうせん! ゴールをめざそう
1年下	学校図書	プログラミングのブ・ロボくんをおもいどおりにごかしてみよう
2年	大日本図書	プログラミングにちょうせん! すごろくゲーム
2年下	学校図書	プログラミングのブ・ロボくん「ハノイのとうのリングのうつし方」を教えよう
3年	大日本図書	プログラミングにちょうせん! 数あてゲームをしよう

3年下	学校図書	プログラミングの「ロボくん」に「重さのちがうもののさがし方」を教えよう
-----	------	-------------------------------------

関連して、筆者は、高学年での各教科の理解を深めるためのプログラミング教育を実現するために、その前段階として教科とは特に紐づけしないプログラミング体験を伴うプログラミング教育の教材および活動案を提案し、一定の効果を見てきた<sup>6)</sup>。

次の段階の研究として、教科の理解を深めるためのプログラミング教材の提案を行いたい。小学校学習指導要領(平成29年告示)解説算数編に記載されているプログラミング体験を伴う教材は、第5学年「B 図形」の「正多角形の作図」のみである<sup>7)</sup>。学習指導要領に例示されていないが、算数科の単元指導の中で実施するものとして、大日本図書が2020年度より第6学年「C 変化と関係」の「比例と反比例」でプログラミング教材を教科書内に記載したり、啓林館や東京書籍が、第5学年「A 数と計算」の「倍数と公倍数」の単元でプログラミング体験のできるような特設コーナーをホームページ上で公開したりしているが、まだまだ数が少ない。算数科における児童の「つまずき」が多く見られる単元に着目して、理解を深めるプログラミング教材を提案することは喫緊の課題であると考える。

銀林(1983)が、算数科におけるわかり方について、「手続きの習得(できる)」と「意味・内容の理解(わかる)」があり、これらは必ずしも一致せず「やり方がわかっても意味がわかったとは言えず、逆に意味を理解したからといって手続きを身につけたとは限らない」と2種類の「つまずき」の存在を指摘している<sup>8)</sup>。

筆者は、「できるが、わからない」の「つまずき」が多く指摘される「速さ」の単元を題材にして、プログラミング教材の提案を行うこととした。令和3年度全国学力・学習状況調査「C 変化と関係」において最も正答率が低い56.0%となった問題は、速さを求める除法の式と商の意味を理解しているかどうかをみる問題である(図1参照)<sup>9)</sup>。また、石松(1991)は、『車はコンピュータの働きで、何時間でも何日間でも同じスピードで走り続けています』と記した後、「速さ」を学習済みの6年生41人に対して、以下4つの問いを出し、

- (1) 時速30kmで走り続ける車があります。この車がAB間(20km)を走っているときの速さと、CD間(130km)を走っているときの速さでは、どちらが速いでしょう。
- (2) 時速50kmで走り続ける車があります。この車が5分間走ったときと、3時間走ったときでは、どちらが速いでしょう。
- (3) 時速40kmのスピードで走り続けている車が2時間走ると何km進みますか。
- (4) 90kmの道のりを3時間で行った車の時速は何kmですか。

(3)の正答率78%および(4)の正答率98%に対して、(1)(2)共に正答した正答率54%の低さから、公式を適用することはできていても、「速さの保存」の意味を理解できていない児童の多さを指摘している<sup>10)</sup>。

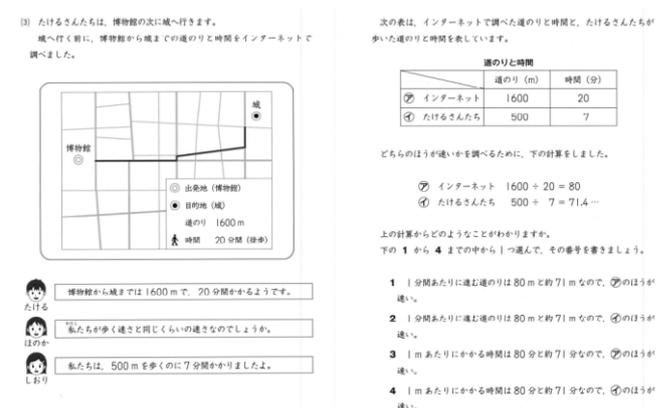


図1. 令和3年度全国学力・学習状況調査「速さ」の比較の問題

速さは、道のり(外延量)と時間(外延量)の異種の二つの量の割合(内包量)で定義される。長浜(2020)は、「速さ」が「内包量」であるがゆえの子どものつまずきの様相やその背景を明らかにするなかで、以下の課題を指摘している<sup>11)</sup>。

- ・「速さ」と「道のり」の混同(課題1)
- ・道のりや時間が短い方が速いと捉える誤解念(課題2)
- ・「速さの同一性」の理解の不十分さ(課題3)
- ・「速さの保存」概念の未獲得(課題4)

そこで、これら4つの課題に対応するプログラミング教材を提案する。

#### 4. 教材および活動案の提案

将来小学校第5学年の全クラスでの実践を視野に入れたとき、費用面も考慮に入れる必要がある。そこで、フィジカルプログラミングではなく、MITメディアラボで開発されたビジュアルプログラミング言語であるScratchを使って、プログラミング教材を作成することにした。

##### ・課題1への対応教材の提案

児童が、下記のようなプログラミング教材作成に取り組むことで、道のりと速さは別の量であることと理解を深めることができると考える(図2参照)。

- ① 赤い服を着た少年(Ben)の進む道のりを、スタート(水色のライン)からゴール(紫のライン)までの長さで可視化する。
- ② Benの走る速さを、単位時間当たり〇歩動かすという形で表現する。〇にいろいろな数字を代入することで「スピード」として可視化し、「とろとろ」や「びゅっ」などの表現をするとよい。

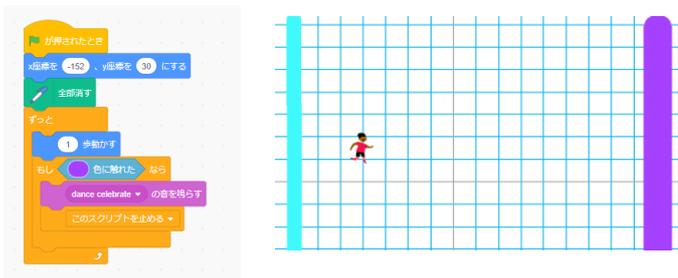


図2. 課題1への対応教材の提案

##### ・課題2への対応教材の提案

進む道のりは短いけど速いとは言えないような教材や、かかる時間は短いけど速いとは言えないような教材が、速さ、道のり、時間の関係性を捉えることができるようになることを考える。例えば、前者の場合は、児童が下記のようなプログラミング教材作成に取り組むことで、3つの量の関係性について理解を深めることができると考える(図3参照)。

- ① 進む道のりについて、黄色のラインからスタートする黒い服の女性(Avery)と水色のラインからスタートする赤い服の少年(Ben)を用意する。
- ② Averyのプログラムは教師が作成しておく。それを参考にして、Averyより先にゴールできるように単位時間当たり〇歩動かすかを考えながら

Benのプログラムを作成する。

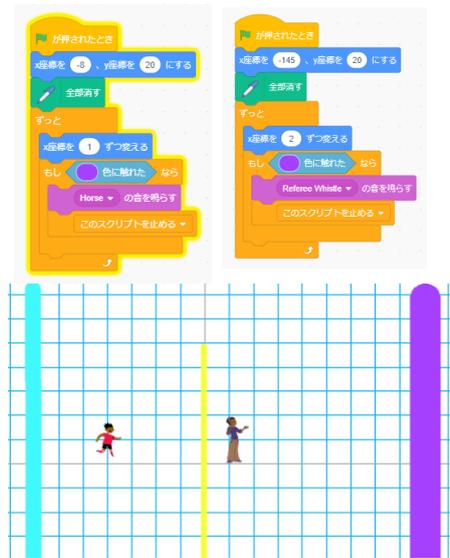


図3. 課題2への対応教材の提案

(上左図: Averyのプログラム, 上右図: Benのプログラム)

##### ・課題3と課題4への対応教材の提案

例えば、分速400mと時速24kmは、単位変換の結果でありどちらも同じ速さであるという「速さの同一性」を理解するためには、林等(2017)が指摘するように「道のり」と「時間」が比例関係にあることを理解する教材が必要である<sup>12)</sup>。これは、プログラミング教材の活用よりも比例数直線と関連付けた教材が有効であると考えられる。すでに教科書等でも活用がなされていることである。ところで、この比例関係が「速さ」ゆえに理解し辛い場合がある。日常生活の中で使用する「速さ」には車のスピードメーターなど「瞬間の速さ」が多くあり、小学校段階で考えている「平均の速さ」との関係性の理解がほとんど無いまま学習を進めていることである。そこで、児童が下記のようなプログラミング教材作成に取り組むことで、2つの速さの関係性について理解を深めることができると考える(図4参照)。

- ① 同じ場所からスタートし、刻々とスピードが変化する黒い服の女性(Avery)と等速運動をする赤い服を着た少年(Ben)を用意する。
- ② Averyのプログラムは教師が作成しておく。Averyより後にゴールしたり、だいたい同時にゴールしたりするように単位時間当たり〇歩動

