

高校共通教科情報におけるモデル化とシミュレーション授業の検討と実践

宮本賢治*, 石井鉄也**

平成30年告示の新学習指導要領では、高等学校の共通必修科目「情報Ⅰ」でモデル化とシミュレーションについて言及されている。本研究は交通渋滞を題材として採り上げ、限られた授業時間数でモデル化やシミュレーションの授業を行うことが可能かどうかについて検証した。シミュレーションを行う際には Excel を活用した。高等学校3年生の生徒40名(男子19名, 女子21名)を対象とし、全6時間の授業を行った。各授業終了時の Excel のシミュレーションデータから概ねの生徒が、社会や自然などにおける事象をモデル化やシミュレーションを適切に行ったり、グラフを作成したりしてその解釈を理解できていることが分かった。

[キーワード: 情報教育, シミュレーション, モデル化, 高等学校情報]

1. はじめに

情報化が進む現代において、Society5.0に向けて求められる力には「文章や情報を正確に読み解き対話する力」, 「科学的に思考・吟味し活用する力」, 「価値を見つけ生み出す感性と力, 好奇心・探究力」があり, 新たな社会を牽引する人材には「技術革新や価値創造の源となる飛躍知を発見・創造する人材」, 「技術革新と社会課題をつなげ, プラットフォームを創造する人材」, 「様々な分野において AI やデータの力を最大限活用し展開できる人材」などがある[1]。

しかし, わが国では義務教育・高等学校教育で社会の変化に十分には対応できていないことから, 高等学校においては情報科において改訂前の「社会と情報」, 「情報の科学」の内容が合わさり, 共通必修科目「情報Ⅰ」を新設することが平成30年告示の新学習指導要領で明記されている[2]。内容としては, 全ての生徒がプログラミングのほか, ネットワーク(情報セキュリティを含む)やデータベースの基礎等について学習する。学習指導要領解説によると, コンピュータとプログラミングの「ア(ウ)」「社会や自然などにおける事象をモデル化する方法, シミュレーションを通してモデルを評価し改善する方法について理解すること。」とされている。そして, 「イ(ウ)」「目的に応じたモデル化やシミュレーションを適切に行うとともに,

その結果を踏まえて問題の適切な解決方法を考えること。」と記載されている[3]。ア(ウ)には知識及び技能として, 身近な問題を発見し解決するために, 事象をモデル化して表現する方法, モデル化した事象をシミュレーションする方法, 作成したシミュレーションを通じてモデルの改善する方法を理解するとしている。イ(ウ)では思考力, 判断力, 表現力として, モデル化とシミュレーションの考え方を活用するために, 問題の発見や解決に役立てたり, その結果から問題の適切な解決方法を考え選択したりする力を養うとしている。

高等学校でのモデル化やシミュレーションの授業の先行研究として, 情報活用コース所属の3年生を対象にし, シミュレーション専用ソフトウェアの artisoc を活用した授業実践が挙げられる[4]。具体的には artisoc の操作の習得, 研究テーマの選択とモデル化, モデルの評価と改善, 発表会, 研究のまとめ・反省という, 学習指導要領解説の「ア(ウ)」と「イ(ウ)」を踏まえた内容になっている。しかし, 専門教科情報科目の「課題研究(4単位)」における全140時間もの授業時間を費やしており, 先行研究の授業内容をそのまま共通教科情報科目「情報Ⅰ」に適用することは困難である。

以上を背景として本研究では, 限られた授業時間数でプログラミング, モデル化とシミュレーションについての授業を行うことが可能かどうかについて検討した。具体的には, 身近な題材として交通渋滞を採り上げ, 生徒が図や数式等によりこれをモデル化し, シミュレーションできるようにプログラミングしたり, シミュレーションの結

* 鳴門教育大学 大学院 学校教育研究科 自然・生活系教科実践高度化コース(技術・工業・情報)

** 広島県三原市立沼田小学校

果をグラフ化したりして、その結果の解釈を理解できるかどうかを評価した。

2. セルオートマトン法による交通渋滞の

シミュレーションモデル

セルオートマトン法[5-7]とは、空間に格子状に敷き詰められた多数のセルが近隣のセルと相互作用する中で、自らの状態を時間的に変化させていく離散的計算モデルである。各セルの状態が離散的な値を取る点、各セルは周囲一定の範囲内(近傍)のセルと局所的な相互作用を行う点、次期のセルの状態は自身と近傍のセルの今期の状態から決定論的に決められる点などが特徴である。このようにセルオートマトン法は抽象的なモデルであるが、様々な物理現象や生命現象を捉えたモデルとして古くから研究されてきた。

交通流の物理的研究[5-7]は様々なモデルがあるが、本研究ではセルオートマトン法を用いて交通渋滞のモデルを作成した。モデルの概要は以下の通りである。解析領域として、工事区間が有/無の場合の片側1車線の自動車専用道路を考えた(図1)。道路を多数のセルで表現し、各セルには1つの車両しか存在せず、各車両は時間ステップの更新とともにセルを移動させた。移動については、各時間ステップあたり最大1セル移動させた。これにより、車両を制御するルールを定義するときに参照するセルの範囲が小さくなり、ルールを簡略化することができる。速度は、一様乱数によって表現する確率速度モデルを用いた。解析領域内に設置された工事区間を車両が通過するときには、車両速度をある一定の速度にするようにモデル化した。

モデル化の詳細を以下に示す。今回は10台の車両を扱い、以下では先頭の車両を車両1、それに引き続き車両2、車両3...と定義する。

2.1 道路の設定

1セルの大きさを3m×3mで、道路の長さを1500セル(4.5km)とした。また、工事区間有りの場合は図1に示すように最後の500セル(1.5km)分の道路工事区間を設けた。

2.2 速度ルール

一様乱数を用いて、車両1は60km/h~80km/hの速度に設定した。車両2から車両10は車両の速度 v から安全車間距離 G_s を求め(「2.4 安全車間距離ルール」を参照)、前方車両との車間距離 G を求めた。そして、

安全車間距離 G_s と車間距離 G の大きさを比較し、速度の増減を決定した(図2)。 $G > G_s$ の場合は加速し、 $G < G_s$ の場合は減速した。また、 $G = G_s$ の場合は原則的に等速を保つが、前方車両が減速した場合は減速した。減速する際には、安全車間距離の式から速度を求めた「2.3 移動ルール」の式(2)を参照)。加速する際には車両速度を1.1倍した。

2.3 移動ルール

以下の手順に従って、車両を移動させた(図3)。

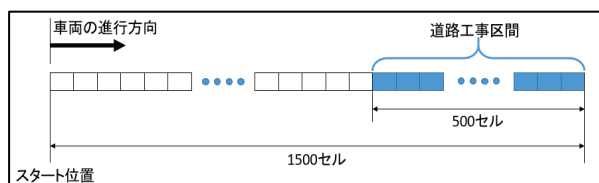


図1 解析領域

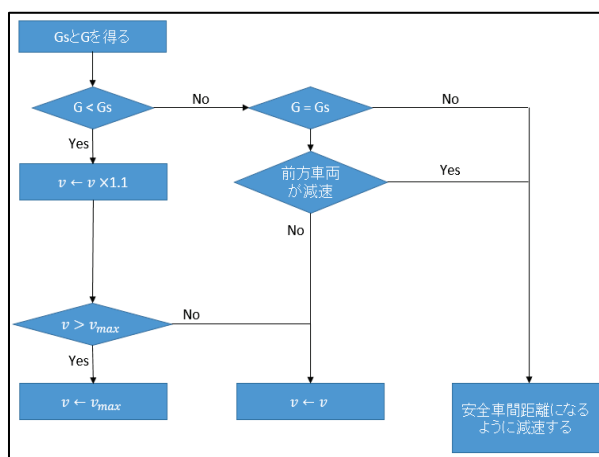


図2 速度ルールのフローチャート

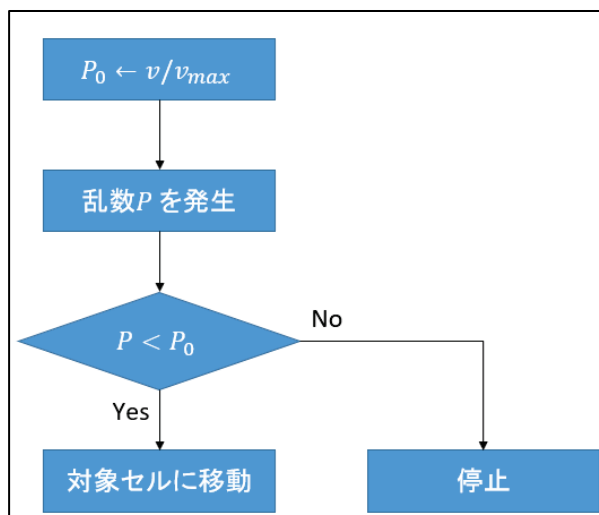


図3 移動ルールのフローチャート

1. 閾値 $P_0 = v / v_{max}$ を求めた。 v と v_{max} はそれぞれ注目車両の速度と、解析領域内の全車両の最大速度を示す。
2. 0 ~ 1 の範囲で、一様乱数 P を発生させた。
3. $P < P_0$ であるとき、その時間ステップで車両を1セル進ませた。

2.4 安全車間距離ルール

車間距離 G を求める式は次式で与えた。

$$G = (\text{前方の車両の位置} - \text{後方の車両の位置}) \times 3\text{m} \quad (1)$$

また安全車間距離 G_s を求める式は実測値を基にして導出された実験式である

$$G_s = -0.0028v^2 + 1.1122v - 24.498 \quad (2)$$

で与えた[7]。ただし v は車両速度である。

3. シミュレーションの授業の概要

徳島県立A高等学校の3年生40名(男子19名、女子21名)を対象にして、2020年9月8, 15, 29日と10月6, 20, 27日に授業を行った。授業時間数は6時間である。1人1台のパソコンを使った実習形式とした。シミュレーションを行う際のソフトウェアは、協力校の事情を踏まえてExcelを用いた。また、新型コロナウイルスの感染リスクを避けるため、Zoomを活用した遠隔授業を行った。各時間の授業内容は以下の通りである。

1時間目はモデル化とシミュレーションについての導入である。スーパーコンピュータ「富岳」[9]や流体力学、災害シミュレーション、天気予報を例に挙げて、モデル化やシミュレーションとは何かを説明した。そして練習問題として、グッピーの増殖モデルをExcelで実習した。

2時間目は、前節で述べた交通渋滞のモデル化についての説明を行った後、工事区間無しの場合の車両1台目のモデル化とシミュレーションのプログラム制作を行った。

3時間目は工事区間無しの場合の車両2台目のモデル化とシミュレーションのプログラム制作を行った。

4時間目は、車両3から10までのシミュレーションのプログラム制作を行った。

5時間目は工事区間有りのモデル化とシミュレーションのプログラム制作を行った。また、工事区間無しの場合と有りの場合のそれぞれについて、全車両の平均速度と車間距離を求めてグラフの作成を行った。図4、図5は工事区間無しの場合と有りの場合の平均速度と車間距離のシミュレーション結果である。工事区間無しの場合、車両の速

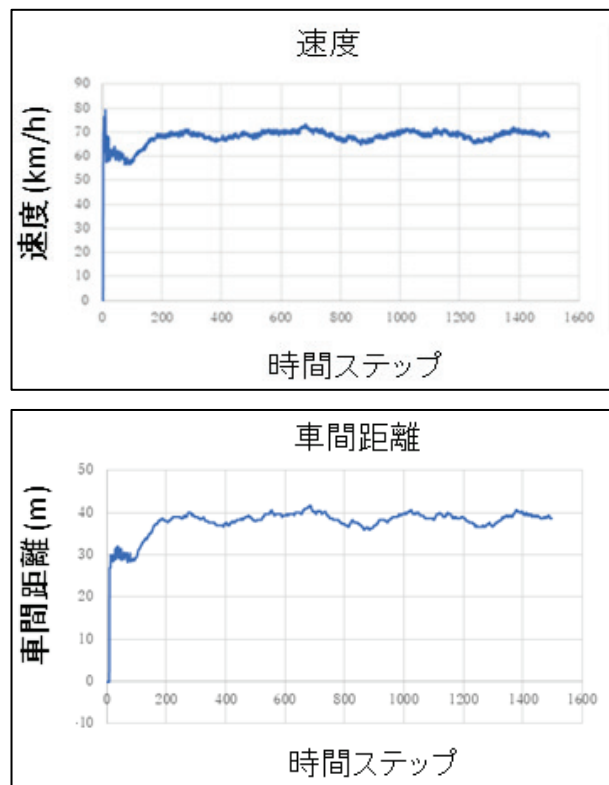


図4 平均速度と車間距離のシミュレーション結果(工事区間無しの場合 上側：速度，下側：車間距離)

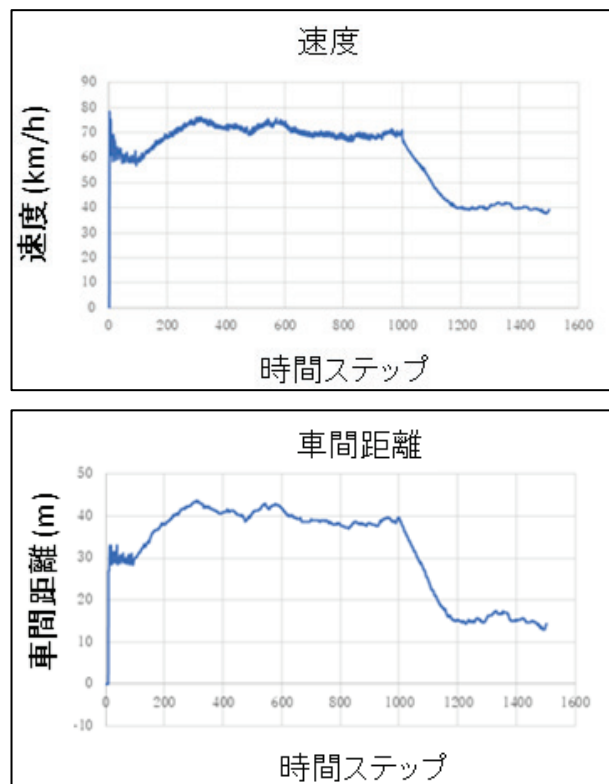


図5 平均速度と車間距離のシミュレーション結果(工事区間有りの場合 上側：速度，下側：車間距離)

度・車間距離は一定である。工事区間有りの場合、時間ステップが 1000 の時に車両 1 が工事区間を通過するため速度制限される。ここから時間ステップが 1200 付近まで平均値が下がり、その後は一定を保っていることが分かる。

6 時間目は車両 1 と車両 2, 車両 5 と車両 6, 車両 9 と車両 10 の車間距離のグラフを作成し、交通渋滞の原因について考察した。図 6 は, 「車両 1 と車両 2」, 「車両 5 と車両 6」, 「車両 9 と車両 10」の車間距離の時間変化を表す。図 6 の下側のグラフ(工事区間有りの場合)から, 後方の車両へ渋滞が伝播している様子分かる。まず先頭の車両 1 が工事区間に差し掛かり減速するため, 車両 1 と車両 2 の車間距離は時間ステップが 1000 の時点から急激に縮まっている。次に, 車両 5 と車両 6 がタイムステップ 1100 付近から縮まっている。最後に, 車両 9 と車両 10 の車間距離が縮まる。このような渋滞の伝搬メカニズムを理解しやすいように, 授業では図 7 に示すような説明図を用いた。

4. 授業実践の結果と考察

4.1 アンケート調査

授業の理解度を確認するために, 6 時間目の授業終了後にアンケート調査を行った。アンケート調査の質問事項を表 1 に示す。項目①は授業で行った

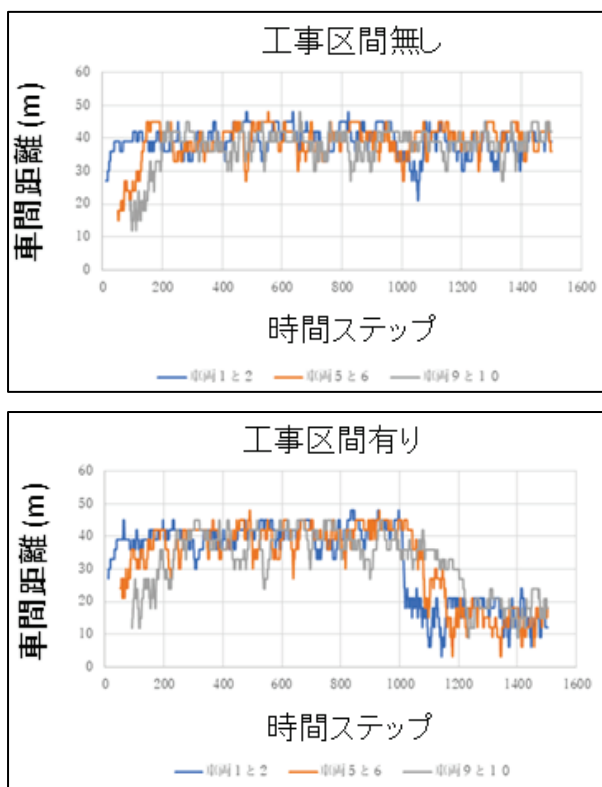


図 6 車間距離(車両 1 と 2, 車両 5 と 6, 車両 9 と 10)の時間変化(上側: 工事区間無しの場合, 下側: 工事区間有りの場合)

シミュレーション全般についての難易度や興味・関心を, 項目②はシミュレーションの際に Excel での文字入力等の操作性に関することや, 用いた「RAND」などの関数の理解度について問いた。項目③は, 表形式で表したシミュレーション結果からのグラフ作成の難易度やグラフから傾向を読み取れたかどうかについて問いた。

アンケート調査結果を図 8 に示す。項目①については, ①-1 で 90%以上の生徒が肯定的な回答であったが, ①-2 では 56%の生徒が難しいと回答している。これから, 授業は生徒にとって歯ごたえがあるにもかかわらず, よく理解できたと言える。また①-3 で約 80%の生徒が興味を持てたという肯定的な回答であった。

項目②については, まず操作性に関する②-1-1, ②-1-2 はそれぞれ約 80%, 98%の生徒が肯定的な回

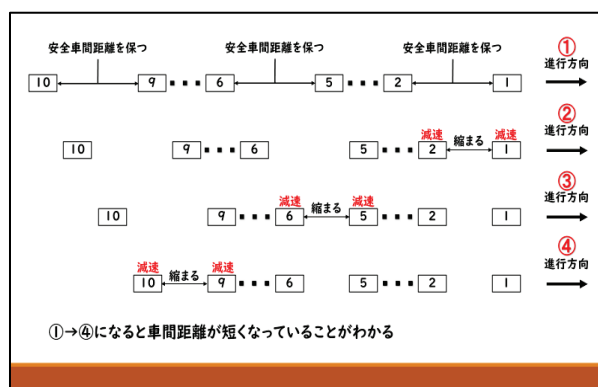


図 7 渋滞の伝搬メカニズムの説明図

表 1 授業終了後のアンケート調査の質問事項

①-1	シミュレーションはできましたか。
①-2	シミュレーションをすることは難しかったですか。
①-3	シミュレーションをすることに興味を持ちましたか。
②-1-1	文字や数式の入力は難しかったですか。
②-1-2	セルを 1500 行までコピーすることは難しかったですか。
②-2-1	「RAND」を使った式は理解できましたか。
②-2-2	「IF」を使った式は理解できましたか。
②-2-3	「MAX」を使った式は理解できましたか。
②-2-4	「AVERAGE」を使った式は理解できましたか。
③-1-1	平均速度・車間距離グラフを作ることは難しかったですか。
③-1-2	車間距離を抜き出して作ったグラフは難しかったですか。
③-2-1	工事区間ありとなしの平均速度・車間距離のグラフの違いについて理解できましたか。
③-2-2	工事区間ありとなしの車間距離を抜き出したグラフの違いについて理解できましたか。

答であり、特に問題はなかったと考えられる。ただし②-1-1で「1」または「2」を選んだ人はどういったことが難しかったですか」という自由記述の設問に対して、「長い数式を打つことや、何を意味しているのかの理解が難しかった」、「長い数式を打ち込む際に、正確に打つのが難しかった」、「どこでどんな関数を使ったらいいのかわからなかった」、「間違えたときにどこで間違えたのかわからなかった」等の回答結果が挙げられた。モデル化における数式の意味が理解できていないことが言える。次に Excel の関数に関する②-2-1～②-2-4についてはそれぞれ85%、92%、98%、98%の生徒が肯定的な回答であった。多くの生徒が、授業で活用したRAND、IF、MAX、AVERAGEの関数を理解できたと考えられる。ただし、RANDについては他に比べて、理解できないと回答した生徒が多かった。乱数を初めて学習したことが原因であると思われる。

項目③については、まずグラフの作成に関する③-1-1、③-1-2はそれぞれ90%、87%の生徒が肯定的な回答であり、特に問題はなかったと考えられる。次に、グラフの読み取りに関する③-2-1、③-2-2はそれぞれ77%、87%の生徒が肯定的な回答であり、概ねの生徒がグラフから傾向を読み取れたと言える。

4.2 Excelによるシミュレーションデータ

図9は全6回の各授業終了時のシミュレーションデータを集計したものである。概ねの生徒が、学習指導要領のア(ウ)やイ(ウ)における1)社会や自然などにおける事象をモデル化やシミュレーションを適切に行ったり、2)シミュレーションを通してモデルの評価をしたり出来ていると考えられる。

しかし、ごくわずかではあるが、2時間目にできていない生徒がそのまま6時間目までできていない。特に2時間目において、2.3節に示した移動ルールに従って車両1の位置を求める際に間違いが見られた。車両を1セル進ませるかどうかの判定をする際に、一様乱数を発生させる関数RANDを用いる。調査で関数RANDに関する結果②-2-1にも「全くできなかった」と回答した生徒が数%おり、これが車両1の位置を求める際に間違えた原因であると考えられる。

3、4時間目ではシミュレーション対象の車両数が増加するため、シミュレーションができていない生徒数も増加したと考えられる。なお授業進度を全生徒同じにするために、5時間目の開始前に、遅れている生徒には教師側で個別に修正を行った。

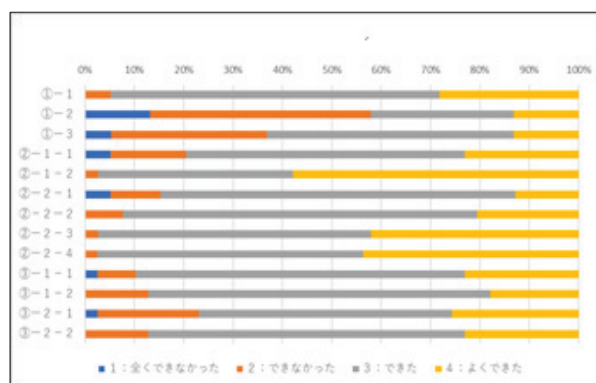


図8 アンケート調査結果

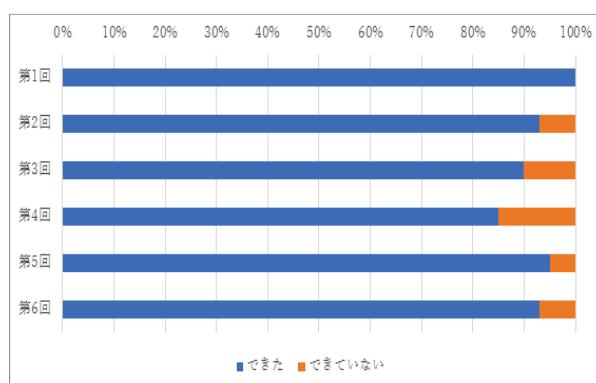


図9 授業終了時のシミュレーションデータ

そのため、5時間目は4時間目に比べて、シミュレーションができていない生徒数が減少したと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、情報Iの時間の6時間という限られた授業時間数において、モデル化とシミュレーションの単元でExcelを用いて、交通渋滞のシミュレーションの授業実践を行った。

概ねの生徒が、学習指導要領のア(ウ)やイ(ウ)における1)社会や自然などにおける事象をモデル化やシミュレーションを適切に行ったり、2)グラフを作成したりして、その解釈を理解できており、すなわちシミュレーションを通してモデルの評価が出来ていた。また全授業終了後のアンケート結果から授業内容の難易度は歯応えがあるが、十分に理解できる内容だったと言える。さらに、身近な問題として交通渋滞を取り上げることによってシミュレーションに対して興味を持つことができたと思われる。

今後の課題としては、シミュレーションを改善するまでを行うことができなかったことが挙げられる。シミュレーションを改善するまでを授業に取り組むために短縮できる箇所を検討し、授業資

料の改善を行う必要がある。さらに、生徒がシミュレーションにより、問題解決を図るような授業内容とすることも今後の課題である。

参考文献

- [1] 文部科学省：Society 5.0 に向けた人材育成について，https://www.mext.go.jp/component/a_menu//education/detail/__icsFiles/afieldfile/2018/11/19/1411060_02_1.pdf (最終確認日：2021年12月16日)
- [2] 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成30年告示)，東山書房
- [3] 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 情報編，開隆堂出版株式会社
- [4] 一般社団法人日本産業技術教育学会：小・中・高等学校でのプログラミング教育実践 問題解決を目的とした論理的思考力の育成，第IV部，第7章，九州大学出版会(2019年)
- [5] 杉山雄規：交通流の物理，ながれ，Vol.22，pp.95-108 (2003)
- [6] 黒田卓也・脇田佑希子・清水光輝・北栄輔：計算数理工学論文集，Vol.8，11-081128 (2008)
- [7] Kei Nagel and Michael Schreckenberg：A cellular automaton model for freeway traffic, J. Phys. I Franc, 2, pp. 2221-2229 (1992)
- [8] 脇田佑希子：車両特性の違いが交通流に与える影響，名古屋大学情報文化学部 卒業論文 (2003)
- [9] 理化学研究所計算科学研究センター：富岳とは，<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/about/> (最終確認日：2021年12月16日)