

## 秋田高校の凍結した坂道での交通整理シミュレーション

## Traffic control simulation on a frozen slope at Akita Senior High School

山上陽香理<sup>1,2</sup>, 内ヶ崎巧真<sup>1</sup>, 石田晴那<sup>1,2</sup>, 押久保信<sup>1</sup>, 野呂耕一郎<sup>1</sup>, 遠藤金吾<sup>1</sup>  
YAMAKAMI Hikari<sup>1,2</sup>, UCHIGASAKI Takuma<sup>1</sup>, ISHIDA Haruna<sup>1</sup>, OSHIKUBO Shin<sup>1</sup>,  
NORO Koichiro<sup>1</sup>, ENDO Kingo<sup>1</sup>

秋田県立秋田高等学校<sup>1</sup>, 東北大学「科学者の卵養成講座」<sup>2</sup>

Akita Senior High School<sup>1</sup>, EGGS, Tohoku University<sup>2</sup>

Corresponding Author's e-mail: endo.kingo.z1@alumni.tohoku.ac.jp

(Received: 2 October 2024; Accepted: 30 October 2024; Released: 15 November 2024)

## [要約]

本校には校門から校舎をつなぐうぐいす坂と呼ばれる急な坂があり、また歩行者は坂のいずれかの地点で横断しなければならず、交通事故の危険性が高くなっている。中でも、冬季には坂の表面が凍結し、歩行者の横断のために停止した自動車が再発進できなくなる可能性があることから、冬季の安全な横断箇所の提案を目的とした。Microsoft Excel VBAを用い、セルオートマトン法によるシミュレーションを行い、自動車と歩行者の横断のタイミングが重なった確率(自動車停止率)を調べた。シミュレーションの正確性を確かめるために、現地調査を行い、結果を比較した。シミュレーションでは、歩行者の人数と自動車の台数の条件によって自動車停止率に違いが生じた。現地調査の結果より、自動車停止率は、歩行者の人数と自動車の台数に依存する傾向があったが、一方の要素が大きすぎる場合では、その傾向から外れることが示された。以上の結果を照らし合わせ、坂下から150 m付近が横断箇所に最も適切ではないかと結論付けた。今後は、シミュレーションの精度を上げるために、自動車と歩行者が互いに認知し、加速したり減速したりできるようにしたい。交通量調査の際に、自動車の通行の妨げにならないように歩く速度を調節する歩行者が多くいた。カーブがなく見通しが良いところでは、互いを認識することで横断のタイミングが重ならないようにしようとする意識が働き、自動車の停止率への影響が大きくなり、結果に変化が生じると考えられる。

[キーワード] 交通シミュレーション,セルオートマトン,雪道,坂道発進

Traffic Simulation, Cellular Automaton, Snowy roads, Starting on a hill

## 1. はじめに

本校校舎は、秋田県秋田市手形山という高台に位置している。高台の麓から校舎までをつなぐ坂は、「うぐいす坂(図1)」と呼ばれている。うぐいす坂は手形山の斜面に沿って緩やかに登っていく形になっているものの、傾斜が急な箇所や大きくカーブしている箇所も多くある。駐車場が高台の上にあるために、教職員の通勤用の自家用車(以下、自動車とする)はうぐいす坂を走行していくとともに、徒歩(自転車を押している者も含む)で校舎に向かう生徒(以下、歩行者とする)もうぐいす坂を通行することになる。うぐいす坂は坂下から40 m 付近までは道幅が広いので、左側に歩道が設置されているが、高台の上の校舎はうぐいす坂の右側つまり坂下から40 m 地点まで存在する歩道とは反対側に位置しており、歩行者はうぐいす坂の途中で車道を横断する必要があり、交通事故の危険性が高くなっている。現在は、横断箇所については学校側からは特に指定されていないものの、多くの歩行者は慣例的に歩道が途切れる坂下から40 m 付近で横断している。この坂下から40 m 付近は傾斜が特に急であり、冬季の路面凍結や積雪がある時期では、歩行者の横断を待つために一時停止した自動車のタイヤが、坂道発進時に空転し、発進不能(スタック)または車種や路面の凍結状況によっては斜面に沿って後

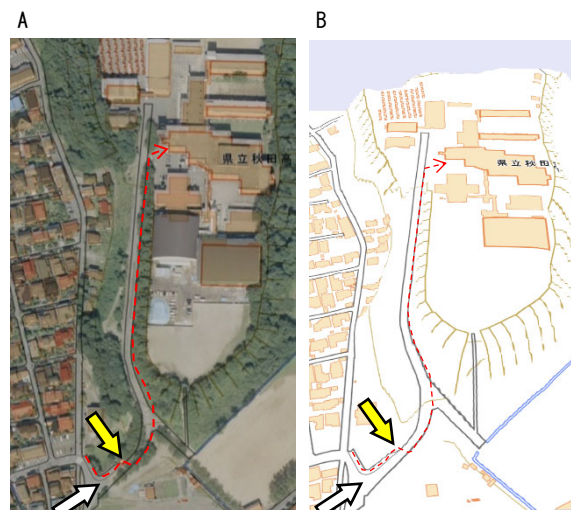


図1 秋田高校の上空写真と白地図(出典: 国土地理院 地理院地図(電子国土 web))

Aは上空写真、Bは立体的白地図である。それぞれの図中の白色のポインターは校地内への自動車の進入方向を、黄色のポインターは坂下から40 mの歩道が途切れる地点を、赤色の点線矢印は歩行者の現在の経路を表しており、うぐいす坂に向かって左側の歩道を通って登り始めるものの、車道を横断して右側に渡らないと校舎にたどり着けないため、現在は坂下40 m地点で横断している。

退してしまうなど非常に危険な場面があるという課題がある。そこで、危険な地点を避けて横断により適した箇所を設定すること、歩行者の横断するタイミングと自動車の通行するタイミングをずらし、自動車の一時停止を最小限にとどめることが必要であると我々は考えた。以上より、秋田高校うぐいす坂における自動車と歩行者の動きをシミュレーションするプログラムを組み、冬季の登校時間帯における歩行者の適切な横断箇所を検討し、これを提案することを本研究の目的とした。

## 2. 材料と環境

うぐいす坂の形状と傾斜を確認するために、国土地理院地図1：国土交通省)を用いた。交通整理シミュレーションで用いたプラットフォームはMicrosoft Excel マクロVBAを用いた。

## 3. 方法

### 3-1. 地理的条件からの横断箇所の候補地点を検討

適切な横断箇所を絞り込むために、国土地理院地図からうぐいす坂の断面図を作成し、10 m 間隔での勾配を算出した。

### 3-2. 交通整理シミュレーション

歩行者や自動車の移動の再現にあたっては、渋滞や避難モデリングによく用いられるセルオートマトン (Cellular Automaton, CA) の一種である「フロアフィールドモデル (柳澤ら, 2006)」を用いた。これは、床を正方形のセル (空間格子: 図1) に区切り、そのセルが、近隣のセルと相互作用をする中で自らの状態を時間的に変化させていく「自動機械 (オートマトン)」である (坂本, 2017) (加藤, 2000)。ハイスペックなコンピューターを使わずともシミュレーションを行うことができるようにするためには、歩行者と自動車の動きをできるだけ単純化する必要があること、本手法は与える規則が単純でも、複雑な結果を得ることができることから採用した。

初めに、うぐいす坂を Excel の空間格子に再現した (図2)。本研究において、1セルの一辺の大きさを歩行者の歩幅の大きさとして、本校生徒と年齢的に近い日本人大学生の歩幅の平均値とされている0.7 m に設定した (植木, 2021)。次に、歩行者のモデルを作成し、道路の路肩に沿って4.5 km/h で移動することとした。自動車は道路の中央を27 km/h で移動することとした。どちらの速さも、登校時の様子を撮影した映像から算出した。シミュレーション上では、歩行者が1マス前進

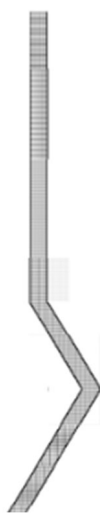


図2 Excel 上に表したうぐいす坂

したとき自動車を6マス前進させた。歩行者、自動車ともに出現するタイミングは時間帯によるばらつきを再現するために乱数を用いた。

歩行者の横断箇所を任意の位置に設定し、シミュレーションを行った。歩行者のセルが横断するタイミングと自動車のセルがその地点を通過するタイミングが重なった場合、歩行者優先ということで自動車が停止することになるので、これを「自動車の停止」とし、その回数を「自動車の停止回数」とした。自動車の出現数はランダムであることから、試行ごとに式(1)を算出し、自動車停止率を求めた。

$$\text{自動車停止率} = \frac{\text{自動車の停止回数[回]}}{\text{自動車の台数[台]}} \quad \text{式(1)}$$

### 3-3. 交通量調査

3-2 で作成したシミュレーションの正確性を検証するために、実査に交通量調査を行い、現行の横断箇所 (坂下から40 m 付近) におけるシミュレーションの結果と比較した。現在の横断箇所にカメラを設置し、冬季の登校時の様子を撮影した。撮影は、路面に積雪があり、かつ降雪や降雨がない日に実施した。撮影した動画をもとに歩行者の数、自動車の台数、自動車の停止回数を調査した。自動車の停止回数は、自動車が歩行者の横断のために一時停止または明らかに減速した回数と、歩行者が自動車に通行を譲ろうとして立ち止まった回数の合計値として算出した。なお、自動車と歩行者がともに一時停止した場合は、自動車の一時停止としてカウントした。時間帯による歩行者や自動車のばらつきを確認するために時間帯ごとに分けてのカウントも行った。

## 4. 結果と考察

### 4-1. 歩行者の横断箇所の候補地検討

「全長50 mの坂道で、スタッドレスタイヤを装着した前輪駆動のコンパクトカーでも、氷盤路 (アイスバーン) 条件下では9%以上の勾配では坂道発進が不可能であった」という交通科学総合研究所 (北海道士別市) での検証結果がある (JAF, 2018) ことから、9%以上の勾配地点は横断箇所の候補から除外することとした。また、スタック発生区間の特徴的なパターンを抽出した調査では、「車線幅員と路肩幅が狭い平坦もしくは上りカーブ区間でのスタックが30%を占めた (山本ら,

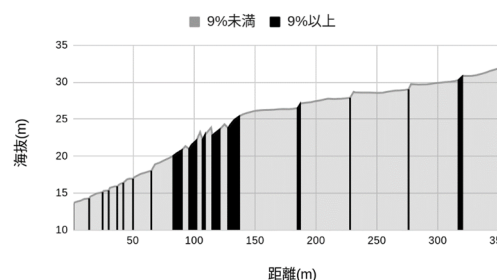


図3 作成したうぐいす坂の断面図

横軸は坂下からの水平方向の距離、縦軸は海拔を示す。図中の■は勾配9%以上の箇所を、■は勾配9%未満の地点を示す。

2020)」ことから除外することとした。これらより、うぐいす坂の断面図において、勾配が9%以上の地点を着色して示し(図3)、横断箇所の候補地店の選定を行った。その結果、うぐいす坂の坂下から150 mまでの地点では、大きなカーブがあり、勾配が9%を超える箇所も多いため、横断箇所としてふさわしくないと考えた。よって、勾配が9%未満かつ、カーブが少ない地点として、坂下から、150 m、240 m、300 mの3地点および、比較対照として現行の横断箇所である40 mを検討することとした。

#### 4-2. 現実とシミュレーション結果の比較

坂下から40 mを歩行者の横断箇所(現行の横断箇所)と設定して、3種類の条件でシミュレーションを行ったところ、自動車停止率は表1のようになった。同じ横断箇所に設定したとしても自動車停止率のばらつきが大きく、自動車停止率は歩行者の人数や自動車の台数に依存していた。自動車停止率を求める際に自動車の台数で除して、自動車の台数の影響は排除していることから、特に歩行者の人数の影響が強く現れていることが示唆された。

表1 現行の横断箇所でのシミュレーションによる自動車停止率

条件	1	2	3	平均
歩行者[人]	360	403	520	427.7
自動車[台]	26	29	40	31.7
自動車の停止回数[回]	21	24	36	27
自動車停止率	0.804	0.832	0.900	0.849

また、現在横断している坂下から40 mの地点で実際に交通量調査を行ったところ、自動車停止率は全時間帯を通して0.750であった(表2)。時間帯別に見ると、7:25~7:30と7:30~7:35を比べると、自動車の台数は同じであるが、歩行者が2倍に増えていることによって自動車の停止回数が2倍に増えている。一方、7:30~7:35と8:00~8:05を比べると、歩行者の人数は同じであるが自動車の台数が1/2であるために自動車の停止回数が1/2になっている。つまり、シミュレーションと同じく、自動車停止率は歩行者の人数や自動車の台数に依存する傾向にあった。両者の通行量が増加すればこれらが遭遇する可能性が高まるのはある意味必然ではあるが、7:40~7:45、7:45~7:50のように、歩行者の人数あるいは自動車の台数のいずれかだけが增加しても、自動車の停止回数は頭打ちになる傾向があることがわかった。これは、一方の要素が一定数以上増加しても、遭遇するもう一方の要素が不足して、自動車の停止には至らなくなるケースが多くなるからであると考えられた。よって、自動車停止率を求める際に自動車の台数で除して、自動車の台数の影響は排除しているものの、歩行者の人数や自動車の台数の一方が多すぎるときは、自動車停止率は歩行者の人数だけに依存した値にはならないことが示唆された。

表2 坂下から40 m地点での交通量調査の結果

時間帯	歩行者[人]	自動車[台]	自動車の停止回数[回]	自動車停止率
7:20~7:25	24	3	1	0.333
7:25~7:30	23	4	2	0.500
7:30~7:35	46	4	4	1.000
7:35~7:40	54	4	4	1.000
7:40~7:45	87	3	3	1.000
7:45~7:50	62	5	3	0.600
7:50~7:55	89	7	5	0.714
7:55~8:00	92	8	6	0.750
8:00~8:05	43	2	2	1.000
合計	520	40	30	0.750

7:30~7:45にかけて自動車停止率が高くなり、自動車停止率1.000が続いた。7:50~8:00は歩行者の人数と自動車の台数のどちらもが最多であり、登校・出勤のピークであったが、自動車停止率は0.714、0.750とさほど大きくはならなかった。

表1の40 m地点で横断すると設定した場合のシミュレーション結果である自動車停止率は0.849であったので、表1のシミュレーションの中で歩行者の人数が520人、自動車の台数が40台という同条件の結果と現実の結果を比べると、シミュレーション結果は自動車停止率0.900、現実の結果は自動車停止率0.750と、シミュレーション結果の方が現実よりも自動車停止率が約0.150大きかった。これは、シミュレーションにおいては520人と40台がランダムなタイミングで出現するのに対し、現実の結果は520人と40台が現れるタイミングには偏りがあり、特に人数や台数が多い時間帯においては、「歩行者の人数あるいは自動車の台数のいずれかだけが增加しても、自動車の停止回数は頭打ちになる」ということが影響していると考えられた。また、シミュレーションにおいて歩行者は前進しかできず、前方の歩行者に追いつくと渋滞という形になってしまうが、現実の歩行者は前方の歩行者に追いついたときに横にずれて並ぶ、追い抜くということが可能である。そのため、渋滞となりがちなシミュレーション結果においては、後続歩行者は前列の歩行者の後ろに追従したままで、自動車と遭遇しないまま横断を終わってしまうケースがあることも表1と表2の結果の違いに繋がっているのではないかと考えた。これらは今回のシステムの限界であるので、シミュレーション結果と現実の結果との乖離を補正するために、シミュレーションにおける自動車停止率に対して、 $\frac{0.750}{0.900}$ を乗じて評価することとした。これは、自動車の台数40台という同条件で、シミュレーション結果の自動車停止率0.900を現実の結果の自動車停止率0.750へと補正するという意味で設定した。

### 4-3. 交通整理シミュレーションによる最適な横断地点の検討

坂下から 150 m、240 m、300 m の 4 地点を歩行者の横断箇所と設定して、4-2 での条件 1~3 それぞれにおいてシミュレーションを行ったところ、自動車停止率は表 3-1、表 3-2、表 3-3 のようになり、自動車停止率は横断箇所よりも歩行者数や自動車の台数に強く依存していた。各条件における自動車停止率が最低になる横断箇所は、条件 1 においては現行の坂下から 40 m 地点であった。しかし、4-1 で「うぐいす坂の坂下から 150 m までの地点では、大きなカーブがあり、勾配が 9% を超える箇所も多いため、横断箇所としてふさわしくない」と述べた通り、現行の 40 m 付近以外では、条件 1 では坂下から 240 m 地点、330 m 地点で自動車停止率が最低になった(表 3-1)。また、条件 2 においては坂下から 240 m 地点、条件 3 においては坂下から 150 m 地点で自動車停止率が最低になった(表 3-2、表 3-3)。これらの中からより適切な横断箇所を検討すると、自動車停止率が高くなりがちな条件 3 を改善することをより重視して、坂下から 150 m 付近が適切ではないかと結論付けた。

表 3-1 条件 1 でのシミュレーションによる自動車停止率

横断箇所[m]	40	150	240	330	平均
自動車停止率(a)	0.804	0.839	0.831	0.831	0.826
補正後の自動車停止率 (a) × $\frac{0.750}{0.900}$	0.670	0.699	0.693	0.693	0.689

表 1 と同じく、歩行者 360 人、自動車 26 台でのシミュレーション結果である。

表 3-2 条件 2 でのシミュレーションによる自動車停止率

横断箇所[m]	40	150	240	330	平均
自動車停止率(a)	0.832	0.839	0.818	0.838	0.832
補正後の自動車停止率 (a) × $\frac{0.750}{0.900}$	0.693	0.699	0.682	0.698	0.693

表 1 と同じく、歩行者 403 人、自動車 29 台でのシミュレーション結果である。

表 3-3 条件 3 でのシミュレーションによる自動車停止率

横断箇所[m]	40	150	240	330	平均
自動車停止率(a)	0.900	0.880	0.900	0.873	0.888
補正後の自動車停止率 (a) × $\frac{0.750}{0.900}$	0.750	0.733	0.750	0.728	0.740

表 1 と同じく、歩行者 520 人、自動車 40 台でのシミュレーション結果である。

## 5. 成果と今後の展望

本研究では、本校のうぐいす坂に焦点を当て、冬季の登校時における安全な横断箇所を検討し、現行よりも適切な横断箇所として坂下から 150 m 付近を提案することができた。今

後も研究を続け、より安全な学校生活を送ることができるようにしていくとともに、このプログラムを様々な坂道に適用することにより、雪国が固有に抱える交通問題の解決へと貢献したい。

今後は更にシミュレーションの精度を上げるために、自動車と歩行者が互いに認知し、加速したり減速したりできるようにしたい。交通量調査の際に、自動車の通行の妨げにならないように歩く速度を調節する歩行者が多くいた。現在の横断箇所である 40 m 地点よりも坂下から 150 m 以上の地点のほうがカーブがなく見通しが良いため、互いを認識することで横断のタイミングが重ならないようにしようとする意識が働き、自動車の停止率への影響が大きくなると推測される。今回のシミュレーションでは各候補箇所における自動車の停止率の差は小さかったが、この条件を追加することでより明確な結果が期待される。

また、今回シミュレーションに用いたマクロ VBA は複雑な処理を苦手としているため、互いの認識などの条件を付け加えるとプログラムが重くなり、実装できなくなってしまう可能性がある。よりシミュレーションの精度を上げ、現実近づけるために、今後の研究では、マクロ VBA よりも複雑な処理を可能とする開発環境でシミュレーションの作成を行う必要があると考えている。

今回、歩行者と自動車の出現するタイミングを設定するためにシミュレーションで用いた乱数は一様乱数であった。一様乱数とは、「一様な確率で、つぎつぎと現れる整数の列  $\{I_i\}$ 、または実数の列  $\{u_i\}$ 、 $(0 \leq u_i \leq 1)$ 」である(宮武, 1994)。実際には、交通が集中しやすい時間帯が存在していたため、一様乱数を用いて自動車と歩行者を出現させるタイミングを設定することは適切でなかったと考えられる。今後は、時間帯別の交通量を反映させた疑似乱数をもちいてシミュレーションを行いたい。他にも、時間帯ごとに区切って、より細かい単位でシミュレーションを行いたい。

## 引用及び参考文献

- 植木岳雪(2021), 身長と歩幅の関係—大学生の事例から—, 帝京科学大学教育・教職研究, 7(1), p55-58.
- 加藤恭義(2000), セルオートマトン法による 道路交通シミュレーション, 人工知能学会誌 15 巻 2 号, [小特集] 「高度道路交通システム (ITS) と AI」
- 国土交通省, 国土地理院「地理院地図(電子国土 web)」, <https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1> (2024/08/11 確認).
- 坂本拓人(2017), 「セルオートマトンモデル」, MAS COMMUNITY web サイト.
- [https://mas.kke.co.jp/model/auto\\_model/](https://mas.kke.co.jp/model/auto_model/), (2024/08/11 確認).
- 宮武修(1994), 乱数とモンテカルロ法, 計算機統計

学, 7(1), p85-89.

柳澤大地, 西成活裕(2006), 群集の集団運動と拡張フロアフィールドモデル, 応用力学研究所研究集会報告 No. 17(ME-S2)

山本航, 辰巳嘉大, 小山田哲郎, 塚井誠人(2020), トピックモデルによるスタック発生区間の分析, 交通工学論文集, 6巻(3号), p1-10.

JAF web サイト「雪道での登坂テスト(JAF ユーザーテスト)」(2018), <https://jaf.or.jp/common/safety-drive/car-learning/user-test/snow/climbing-test>, (2023/10/05 確認).