

# 筑波大学における感染症リスクの視覚化

リスク工学グループ演習 1 班

伊藤成彦 大金誠 小嶋陸大 魏丹

アドバイザー教員 高安亮紀

## 1. 背景

人類にとって、健康を維持し続けることは大きな課題である。一方で移動手段の発達により、人の移動が活発になり、感染症の被害も拡大するリスクが増大している。人類に大きな被害をもたらした感染症として、SARS（重症急性呼吸器症候群）が挙げられる。SARS は、重症急性呼吸器症候群制圧宣言が出される 2003 年 7 月までに、8069 人もの感染者を出し、774 名の死者を出した [1]。

日本では、インフルエンザや風邪が毎年冬期になると全国的に流行する。また、私たちに身近なつくば市では、2005 年のつくばエクスプレス開通後再び人口が増加傾向となり、2016 年以降も増加すると予想されている [2]。またこれに伴い、つくばエクスプレスの利用者数も年々増加している [3]。つくば駅における、1 日の平均乗車人員が 2014 年度には 17131 人であったのに対し、2015 年度には 17834 人、2016 年度 8 月までの速報値では 18520 人と年々増加している。これらのデータからつくば市における感染症のリスクは増加している。

また、本学も同様に感染症のリスクが増加している。筑波大学の学生 90 人を対象に実施したアンケートでは、20%の学生がほぼ毎日つくばセンターを利用しており、12%が週に 2, 3 回つくばセンターを利用していることがわかった(図 1)。

これらから、つくばセンターを頻繁に利用する学生は、つくばエクスプレスの利用者数増

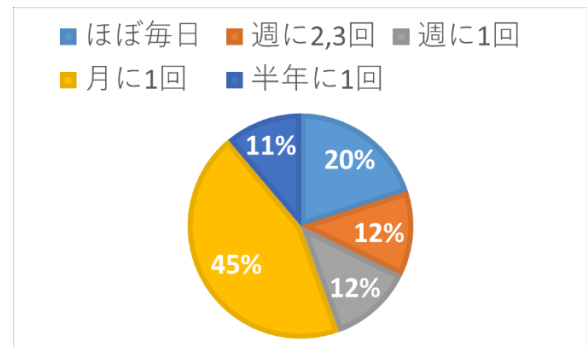


図 1 つくばセンターの利用頻度

加に伴い、通学時に感染症に感染するリスクが増加している。また学校という間柄、多くの人が一箇所に集まる機会が多い。そのため、感染者がそのような場所に行くことで、さらなる感染が想定される。

また感染症を研究対象として取り扱う研究室では、文科省によって定められた基準に従い徹底した対策がなされているが、その監視の外で事故が発生してしまうリスクはゼロではない。例として 2015 年 10 月一般ごみの廃棄箇所にバイオハザードゴミ袋が廃棄されるといふヒヤリ・ハット事案が発生した(図 2)。



図 2 ヒヤリ・ハット事案

このように筑波大学には、学外から感染者が侵入し、大学内で感染症が広がる「外的なリスク」と、筑波大学内の研究室から菌が流出し感染症が学内に広がる「内的リスク」の2つが考えられる。こうした実態を踏まえて、私たちは感染症のリスクの認知が必要であると考えた。

## 1. 目的

筑波大学における感染症のリスクをシミュレータによって視覚的に示すことで、感染症のリスクを認知し、対策促進に繋げる。また、シミュレータの精度向上のために、筑波大学内の歩道橋などを再現することで、地理的特徴を反映する。また、シミュレータを用いてシミュレーションを行うことで、筑波大学における感染症拡大の特徴を明らかにするとともに、シミュレータの精度改善に関する今後の課題を明らかにする。

## 2. 実験方法

今回伝染病（感染症）の流行過程を記述する数理モデルとして、最も古典的かつ広く利用されている SIR 感染症モデルをベースとした。

### 2.1 SIR 感染症モデル[4]

以下のような条件を満たすモデルを構築する。任意の空間と個体について考え、個体は Susceptibles（感受性保持者 S）、Infected（感染者 I）、Recoverd（免疫保持者 R）という3つの状態のいずれかを取るものとする。S は I との接触によって、ステップ毎に感染率  $\beta$  で I に変化する。I はステップ毎に隔離率  $\gamma$  ・もしくは一定時間の経過に伴い R に変化する。SIR 感染症モデルの個体数は連立常微分方程式の解として与えることができる[4]。他にも I から R への変化が存在しない（免疫を保持し得ない）SI モデル[4]や、R から一定確率で S へと変化する（免疫を失う）SIRS モデル[4]など、感染症の特性に応じた

数理モデルが提案されている。SIR 感染症モデルは連立常微分方程式の解として与えることができる。

本研究ではまず中間発表にて空間を長方形、個体を等速直線で移動する点とした SIR 感染症個体ベースモデルを Python 上で実装し、その挙動をアニメーションという形で公開した。しかし実際の個体の行動はここまで単純ではなく、複雑な動作をする全ての個体を完全にシミュレーションすることは困難である。

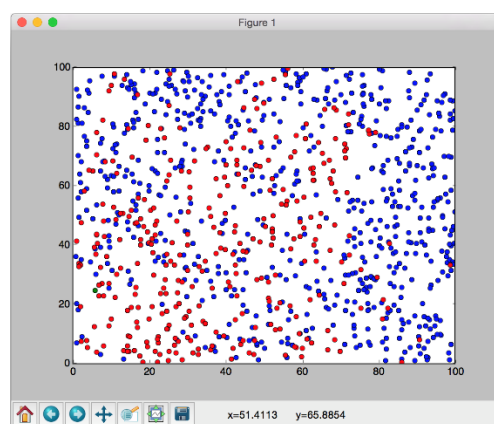


図3 移動点を個体ベースとした SIR シミュレーション

そこで今回はより大局的な視点として、セルを個体、セルを密に敷き詰めたグリッドを空間として取り扱うような SIR 個体ベースモデルをシミュレーションした。例えばグリッド全体を居住区、セルを分割した居住エリアと仮定することで、生息する個々の人間の動作の考慮を必要とせず、居住区全体における感染症の流行をシミュレーションすることができる。これは周囲のセルの状態によって自身の状態が変化するライフゲームと類似しており、これとの相違点は感染状態への変化が決定的ではなく確率的であることや、状態が生死の2つではなく3つであることなどが挙げられる。今回マイクロ・マクロな

範囲で SIR(S)感染モデルの動きをシミュレーションするツール「PyT-SIRS(Python Tsukuba SIR Simulator)」を実装した。以下実装に関する概要をまとめる。

## 2.2 PyT-SIRS について

Python、GUI は標準ライブラリとして Tkinter[5]を用いて実装した。実装上の前提条件として、以下の2点を目標として掲げた。①個体数の変動が一般的な SIR モデルの理論値に従う。②本ツールを扱ったことがない初心者でも使えるよう、分かりやすいユーザーインターフェースを作成する(図4)。

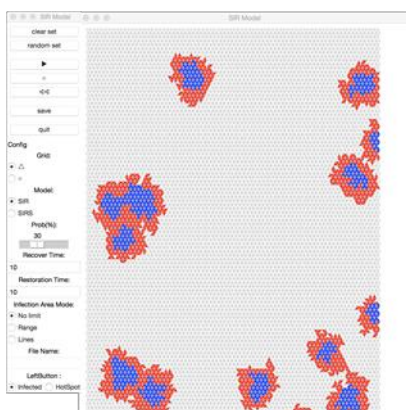


図4 PyT-SIRS の実行画面

以下に本研究で実装したシミュレータについての説明を記す。セル間で感染、回復が定義されるような SIR(S)モデルのシミュレーションについては、隣接セル間における一定確率 $\beta$ での感染、感染セルから一定時間での免疫獲得、及び SIRS モデル用に免疫保持セルから一定時間での免疫損失といった3つの状態変化を実装した。また実験時に壁や対象範囲外を明示する状態として、Block を用意した。次に、SIR 個体数の標準出力、出力ファイル自動保存について、キャンバスからは分かりづらい各状態の個体数の変化を標準出力し、またアプリケーションを終了させてもデータが残るよう、出力を自動で保存する。再生、停止、巻き戻しの機能については、感染流行の様子再確認や、異なる条件下で

の再現を可能にするため、これらの機能を実装した。次に、セルの形状選択について、正方形セルは実装が容易だが、角張ってしまうためセルを小さくしてもジャギー(ギザギザ)が発生してしまう。そこでセルの形状を三角形とすることで、曲面を滑らかにしつつ、一定領域中のセル数を増やすことを可能とした。SIR、SIRS モデルの選択については、SIR モデルと SIRS モデルを対象とする感染症に応じて GUI から選択可能にした。また、感染率の設定については、ステップごとに発生するセルからセルへの感染率を最低 0%、最大 100%として、スライダーを用いて選択可能にした。同様に、感染から回復まで、免疫獲得から免疫損失までの時間設定に関する GUI 実装 についても、Entry バーに直接数値を入力することで、回復時間と免疫損失時間を設定可能にした。感染可能範囲設定ファイルの読み込みについては、SIR 感染症モデルを検証する上では、建物・バリケードなどに阻まれて状態が変化しないセルを導入することで、より現実に即した感染シミュレーションを検証することができる。これを実現するため感染可能範囲の設定ファイルを事前に読み込むことで、感染可能範囲外を Block 状態に変化するような設定にした。また、容易な感染セル、Block の導入については、シミュレーション前・途中でも感染セルや感染対策の Block を容易に導入できるよう、キャンバス中のセルを左クリックで感染、右クリックで Block 設置という設定を実装した。局所的な高感染地域(ホットスポット)の GUI 設定について、通常セルの感染率は一定に保たれているが、人口密度が高いなどの条件で、局所的なセルでは感染率の高まるケースを想定できる。そこで GUI の設定からキャンバス上を自由にクリックすることで、局所的に周囲の感染率が上昇するホットスポ

ットを設定できるようにした。

### 3. 結果・考察

建物の形を凹型・長型・I型の3パターンとして、感染率を10%・20%・30%・100%と変化させ実験を行った。この実験から感染は感染セルを中心として円形に広がる事が確認された。感染率が低い場合、凹型またはL型の建物は長方形よりも感染しにくいことがわかった。また建物の一部では未感染となる場合があることが確認された(図5)。感染率を100%に設定した場合には、感染源から規則的に感染することがわかった(図6)。

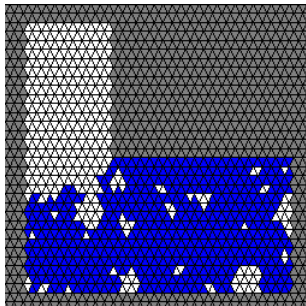


図5 L型の建物での実験結果

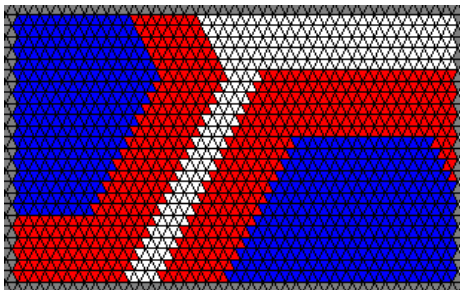


図6 感染率100%とした長方形での実験

次にSIRモデルを用いて、筑波大学全体を再現し、感染率19%、回復時間を10として、実験を行った(図7)。

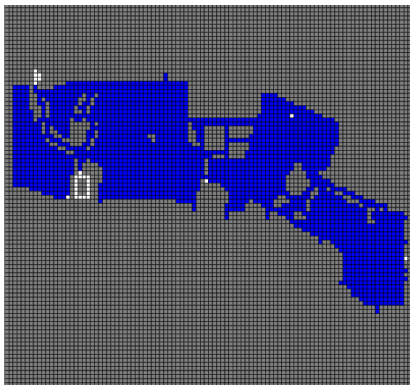


図7 筑波大学における感染症拡大のシミュレーション結果  
図7から、アイソトープ環境動態研究センターにあたる、図内中段左側のエリアでは感染が起きていないことがわかる。このことから、アイソトープ環境動態研究センターでは、感染が起きにくいと考えられる。実際に、この施設への人の出入りは他の施設と比較して少ないと考えられるため、この点はうまく再現されていると考えられる。一方で、平砂学生宿舎のように複数の出入り口が点在しているような施設は、あるルートから感染セルが入らなかったとしても、他のルートから感染セルが入ってくる事があった。このことから、平砂学生宿舎のような複数の出入り口が点在するような施設は、感染症リスクが高いことが今回のシミュレーションから確認された。これは、我々の直感と一致する。同じマップを使用しSIRSモデルを用いて、感染率19%、回復時間を10、免疫損失時間を10として実験を行った。この実験では、一の矢や平砂学生宿舎のような通路が入り組んでいる場所で、感染セルが免疫を獲得し、免疫を失うと再び感染する、定常状態が発生した。

次に、総合研究棟Bの一階フロアを再現し、実験を行った。まずは、感染率を10%と仮定し、実験を行った。感染源が自動扉の入口付近に1人いる場合を想定してシミュレーションを行うと、入口に近い空間、例えば、北側の自動扉であれば、自動販売機のあるスペースやSB0112-1の教室などへの感染の拡がりが見られるが、建物中央付近で感染の拡がり収束することが確認できた(図8~10)。

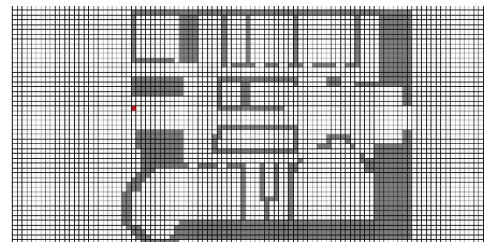


図8 感染率10%, 初期感染源1人: 初期

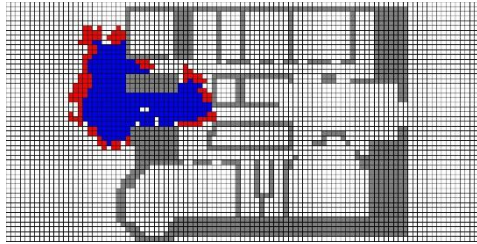


図 9 感染率 10%, 初期感染源 1 人 : 途中

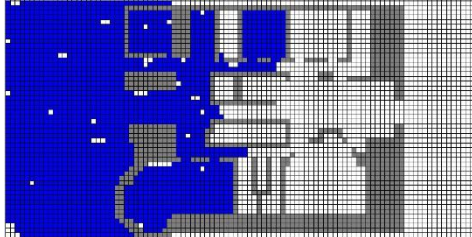


図 10 感染率 10%, 初期感染源 1 人 : 最終

次に、感染源が同一の自動扉の入口付近に 2 人いる場合では、ほぼ全ての場所に感染が広がっていき、別々の自動扉の入口付近に 1 人ずついる場合にも同様にほぼすべての場所に感染が広がることを確認できた (図 11~13)。

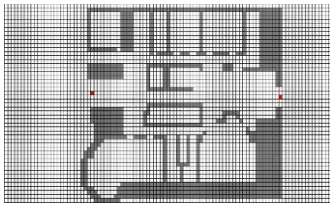


図 11 感染率 10%, 初期感染源 2

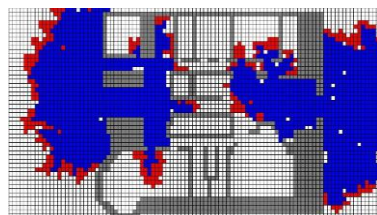


図 12 感染率 10%, 初期感染源 2 人 :

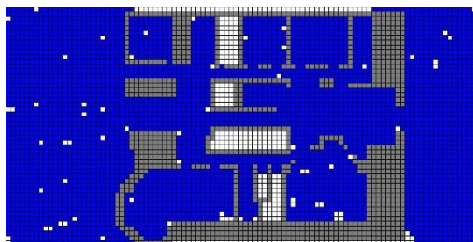


図 13 感染率 10%, 初期感染源 2 人 : 最終

次に、特定の空間に一度に多くの人が集ま

ることの多い教室を感染しやすいホットスポットとし、感染源が自動扉の入口付近に 1 人いる場合をみると、ホットスポットを指定しない場合に比べて、感染範囲が広がり、ほぼ全ての場所に感染がみられ、ホットスポットである教室内ではより急速に広がりをみせることが確認できた。感染源が 2 人いる場合でも同様にほぼ全ての場所での感染が見られ、1 人に場合と比べると、広がりが速くなった。

前述までは初期の感染源が建物内にいる場合を想定していたが、総 B 棟の建物の外に感染が 1 人いる場合を想定してみる。常に自動扉が開いている状態を仮定すると、総 B 棟から離れた場所においても、建物内への感染の広がりが見られた。

続いて感染率を 20% と仮定し上記と同様の実験を行った。その結果、感染源が 1 人であっても、感染率 10% の場合と比べて、早い時間で感染が広がり、ほぼ全ての場所で感染がみられる。当然、初期の感染源が 2 人であった場合や、ホットスポットがある場合には、さらに速い広がりが確認できた。

#### 4. 結論

施設への入り口が複数あり、それらが点在するような施設では感染症のリスクが高い。このことは、筑波大学全体を再現し行った実験で、平砂学生宿舎や一の矢学生宿舎のような施設への入り口が複数あり、それらが点在するような場所では、あるルートでは感染が収束してもそのたのルートから感染が起こるといった状態が観測されたことからわかった。また SIRS を用いた実験では、複数のルートから感染セルが侵入するため、感染が収束しない定常状態になることがわかった。

初期感染セルの数と建物の空間的特徴によって感染の広がり方は変化する。これは、総合研究 B 棟 1 階での感染症拡大のシミュレー

シヨンの結果、初期の感染源が1人である場合には、感染の広がりや建物全体の半分ほどで収まったが、初期の感染源を2人にしたり、教室をホットスポットと仮定したりした場合には、ほぼ全ての場所への感染の広がりが確認されたことからわかった。

今回行った実験で共通して言えるのは、

初期感染セルの数と建物の空間的特徴によって感染の広がり方は変化するということだ。初期感染セルはその周囲にどれだけ感受性保持セルが存在しているかによって広まり方が大きく異なる。そのため対処ではいち早く感染源を特定し、その地点から直ちに避難・もしくは適切に封鎖することで、感染を効率よく防止する可能性が高まることが示唆された。今回の実験では自動扉、教室の入口が常に開いている状態を仮定したが、特に教室については必要が無ければ扉を閉じていることで、無用な感染の広がりを抑制できると考えられる。

最後に、PyT-SIRS 実装の観点から考察する。まず上記で掲げた実装目標の達成について考察する。第一に、SIR 感染症モデルで記述される個体数のグラフと、PyT-SIRS で記録した個体数のグラフについて検討すると、自明ではあるがこれらはほぼ同型の形を取ることが分かる。すなわちこれは個体ベースでの実験結果をモデルが正しく予測していることの実証でもある。また PyT-SIRS の個体数に生じるグラフのゆらぎは、感染率によるランダム要素と設定した感染可能範囲（建築物・エリア）の特性という、最適化された数理モデルでは現れにくい特性を反映していることが分かる。

第二に GUI については、概ね予定通りの機能を全て導入しつつ、ラジオボタンやボタン、入力バー、スクロールというどれも直感的に理解しやすい TKinter のインターフェースの

みを用いて構成することができた。これも達成できたものと見られる。以上より実装については目標を達成することができた。

また今回作成した PyT-SIRS は感染症モデルだけでなく、建物の火事や浸水などといった別の蔓延するタイプの現象へと容易に応用できることが分かる。これは数理モデルが普遍的なものであることによる利点である。

## 5. 今後の課題

現在、地図の作成は Excel を用いて手動で行われている。より、ユーザ使いやすいシミュレータにするためには、この処理の自動化が必要であると考えられる。また、筑波大学以外の地図を用いた実験を行う必要がある。加えて、パラメータを適切に設定するための方法についても考える必要がある。

## 参考文献

[1] つくば市の人口分析状況：

[https://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/dbps\\_data/\\_material/\\_files/000/000/018/320/220jinkoudoukou.pdf](https://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/018/320/220jinkoudoukou.pdf)

[2] 重症急性呼吸器症候群(SARS)関連情報：

<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kansenshou05/03.html>

[3] つくばエクスプレス 乗車人員：

<http://www.mir.co.jp/company/number.html>

[4] 伝染病(感染症)のモデル：

<http://gi.ics.narawu.ac.jp/~takasu/lecture/global/H22-global-8.pdf>

[5] Python Official “Tkinter”

<https://wiki.python.org/moin/TkInter>