

MAS による short-cut 動的繋ぎ変え Small-World 上の Lockdown 効果の評価

猪毛尾 賢亮¹, 内海 忍¹, 立川 雄一^{1,2}, 谷本 潤^{1,3}

¹九州大学大学院 総合理工学府 総合理工学専攻

²エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社

³九州大学大学院 総合理工学研究院 環境理工学部門

概要

既報で提示した short-cut リンクを毎日繋ぎ変える Small-world ネットワーク上で、所謂、lockdown の効果を、最終感染者サイズとピーク感染者サイズの低減率で評価することで検討した。Lockdown は、感染者数がある閾値に達すると、平均次数と short-cut 確率を夫々独立に低減することで模擬した。

Quantification of lockdown effect for a disease spreading on a Small-World network with time-varying its short-cut links

Kensuke Ikeo¹, Shinobu Utsumi¹, Yuichi Tatsukawa^{1,2}, Jun Tanimioto^{1,3}

¹ Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

² MRI research Associates Inc.

³ Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University

Abstract

The diminishing final epidemic size and peak infected fraction brought by a lockdown is quantified by Multi Agent Simulation; MAS. We presume that a disease obeys a SIR process spread on a Small-world network with time-varying its short-cut links. Lockdown is emulated by sudden reductions of average degree and short-cut probability.

1. 緒言

著者らは既報[1]で short-cut リンクを動的に繋ぎ変える Small-world ネットワーク（以下、動的 SW）上の SIR プロセスを解析した。動的 SW は、遠隔地への移動が飛び火感染のトリガーになることを、固定 short-cut 確率 (p) で繋ぎ替えられるランダムリンクを日々差し替えることで模擬している。本報では、この topology 上で SIR プロセスに従う感染が、所謂、lockdown により、如何に封じ込め得るかを Multi Agent Simulation (MAS) により検討した。

2. モデル

動的 SW は、2次元ラチスを基盤に、固定の short-cut 確率 p で繋ぎ替えた Watts &

Storgatz Small-world を多数生成しておき、日毎にこれを差し替えることで付与する。粒子数は 10^4 で、lockdown が適用される以前の default 状況は、平均次数 $64 (<k>_{def} = 64)$, short-cut 確率 5% ($p_{def} = 0.5$) とした。

SIR プロセスでは、感染エージェントの I から R への遷移確率 $\gamma = 1/3[\text{day}^{-1}]$, 基本再生産数 $R_0 (\equiv \beta/\gamma)$ は 2.5 とした。あるリンクの他端に I エージェントをもつ S エージェントの I への遷移確率は、 $\beta_{eq} = R_0 \cdot \gamma / <k>_{def}$ で与える。各エピソードは、初期感染者 5 エージェントをドメイン上にランダムに配置し、感染の時間発展を Gillespie 法で追跡する。

Lockdown は図 1 のように模擬した。ある

エピソードで、感染者数が総人口に対する比で定義する閾値（図中の $I_{threshold}$ ）を上回った時、平均次数を $\langle k \rangle_{def}$ から $\langle k \rangle_{LD}$ に、short-cut 確率を p_{def} から p_{LD} に削減する。評価は Default の最終感染者サイズ（Final Epidemic Size; FES）と最大感染者数（Peak Infected）が lockdown によってどれだけ削減されたかを 100 エピソードのアンサンブル平均を採って計量する。

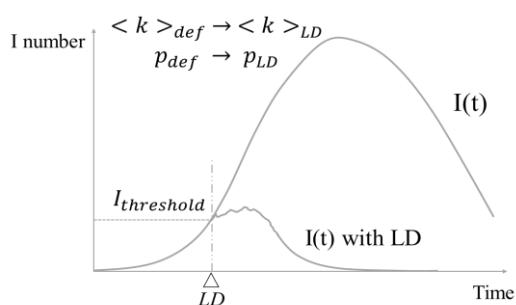


図 2 Lockdown のモデル化概要

3. 結果及び考察

図 2 に FES の削減率（左カラム）、ピーク感染者数の削減率（右カラム）を夫々、 $1 - p_{LD}/p_{def}$ と $1 - \langle k \rangle_{LD}/\langle k \rangle_{def}$ の 2次元平面のヒートマップとして示した。パネル上から閾値 $I_{threshold}$ は総人口の 1%, 2%, 5%, 10%である。最も厳しい Lockdown (1%ケース) では、平均次数を 50%以下に抑制すると ($(1 - \langle k \rangle_{LD}/\langle k \rangle_{def} > 0.5)$) FES はほぼ完封の状況になる。逆に、平均次数 30%以下の抑制率では、ほとんど効果が挙がらなくなる。1%ケースでは効果有無は平均次数削減率に対して急激に変化するが、lockdown 導入閾値を緩和すると効果有（青色領域）境界が退潮し、効果無（赤色領域）境界が上方（より大きな平均次数削減率の方向）に押し上げられる。

4. 結言

COVID-19 のパンデミックでは、各国で lockdown が施行された。本邦では非常事態

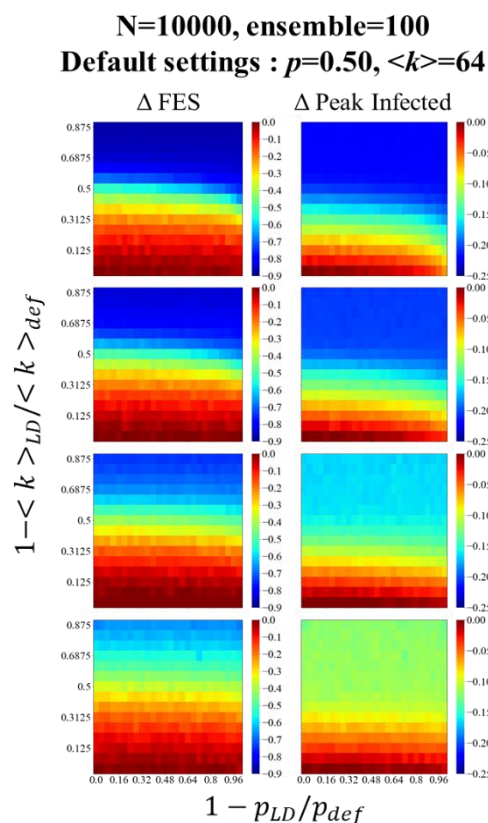


図 1 Lockdown による感染抑制効果

宣言下により人出、移動は劇的に削減された。厳しい lockdown が導入されても、現実に感染拡大が鈍化ないしは感染者数が減り始めるのには時間遅れが伴う。これらの実世界で行われた lockdown のスケール感、効果からすると、本報の予測結果は少々過大評価傾向にあるのかも知れない。社会活動レベルを動的 SW の平均次数と short-cut 確率で表象する適否に加え、既往の MAS による感染症シミュレーションの多くは時不変ネットワークでエージェントの物理接触を表していることの妥当性を、向後、検討する必要があるだろう。

参考文献

- [1] 猪毛尾, 内海, 立川, 谷本 ; Short-cut を動的に繋ぎ変える small-world における最終感染者サイズへの影響とその評価, 第 27 回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム論文集, 2021.