

## ウイルス捕食プロセスシミュレーション

小牧 嵩征<sup>1</sup> 森口 一郎<sup>2</sup>東京情報大学総合情報学部情報システム学科<sup>1, 2</sup>

## 1. はじめに

現在コンピュータウイルス対策の主流となっているウイルス対策ソフトで各コンピュータに免疫を与える方法では、インターネット上からウイルスを絶滅することは困難である。これに替わる手法として、ネットワーク上にウイルスを削除してまわるプログラムを放つ手法を提案し、どの程度ウイルスを削除することが出来るのかを、シミュレーションで検証した。

本研究ではウイルスを削除して回るプログラムを捕食者と呼び、捕食者が存在するノードを捕食者ノード、捕食者が感染ノードを治癒させることを捕食と呼ぶことにする。シミュレーションでは、次数分布がベキ則に従い、インターネットのネットワーク構造に近いと言われているスケールフリーネットワーク [1] (Barabási-Albert モデル、以下 BA) と、BA との比較のため、次数分布がポアソン分布に従うランダムネットワーク [1] (以下 RN) の 2 つのネットワークモデルを用いた。RN、BA 共に 100 万ノード、平均リンク数 6 でシミュレーションを行なった。

## 2. 感染プロセス

ウイルス感染のプロセスは SIS モデルを採用した。SIS モデルは実際の生物間の伝染病解析によく用いられるモデルであり、ノードの状態を S(susceptible):健康な状態 I:(infected)感染状態の 2 通りに分類し、図 1 のように  $S \rightarrow I \rightarrow S$  の流れでノードの状態を遷移させる。また、S から I に状態が遷移する感染確率は  $\lambda$  とし、I から S 状態が遷移する治癒確率は  $\delta$  とする。今回のシミュレーションでは  $\delta$  はすべて確率 1.0 とした。

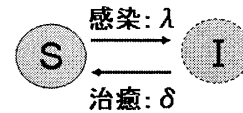


図 1: SIS モデルにおけるノードの状態遷移

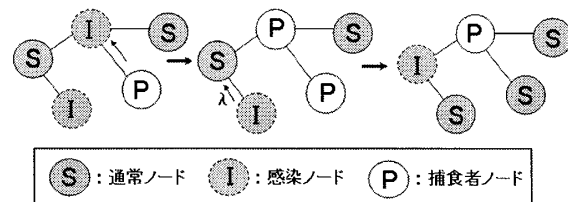


図 2: 捕食後免疫なしでの 1 ターンの流れ

## 3. 捕食プロセス

捕食シミュレーションは SIS モデルに、P(predator):捕食者が存在する状態、R(removed):免疫を持っている状態の 2 つの状態を付加したものになる。ノードが免疫を持った場合、それ以降ノードには捕食、感染共に行なえないものとする。

シミュレーションの 1 ターンの流れは、図 2 のように、最初に捕食者が捕食活動を行い、捕食活動終了後に、ウイルスが感染活動を行なう。その後、感染ノードと捕食者ノードの治癒判定を同時に行なう。この流れを 1 ターンとする。

捕食者ノードと感染ノードが隣接している場合のみ、感染ノードを確率 1.0 で捕食させる。また、捕食者ノードが治癒確率  $\delta$  で通常ノードに戻るパターンと、治癒確率  $\delta$  で免疫を持ったノードに変わるパターンの 2 パターンでシミュレーションを行い検証した。

## 4. 捕食シミュレーション

シミュレーションでは、まず 1 つのノードをランダムに選び、ウイルスに感染させる。ネットワーク上にウイルスが蔓延し、感染割合が平衡状態

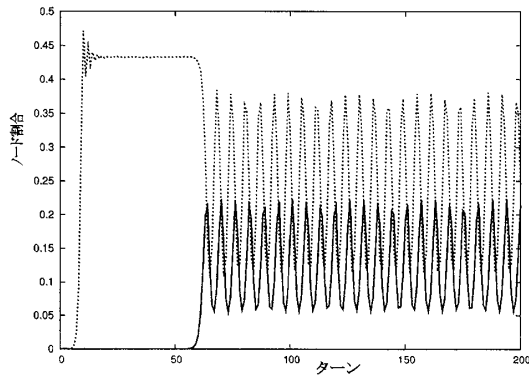


図 3 : RN 捕食後免疫なしの感染と捕食割合推移  
 $\lambda=0.8$ 、点線:感染ノードの割合、実線:捕食者の割合

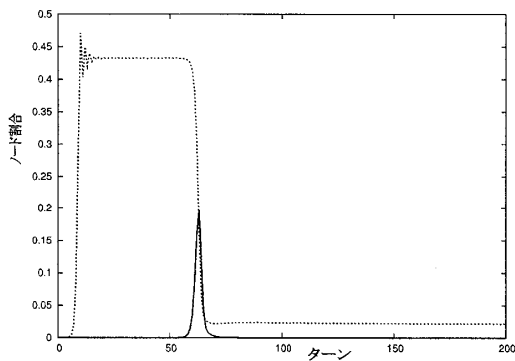


図 4 : RN 捕食後免疫ありの感染と捕食割合推移  
 $\lambda$ と線種は図 3 と同じ

に達した後、通常ノードの中からランダムにノードを 1 つ選び、そのノードに捕食者を放つ方法をとった。今回シミュレーションで使用したネットワークでは、殆どの場合 50 ターンまでに平衡状態に達するので、50 ターン目に捕食者を放している。

RN で捕食後に免疫を与えずにシミュレーションを行なった結果、感染力が低い場合振動は起きずに捕食、感染割合共に平衡状態になり、 $\lambda$  が確率 0.8 に近づくにつれて、捕食者とウイルスが互いに影響し合い、図 3 のような減衰しない振動を起こす臨界点が存在することがわかった。この振動は捕食者と被食者の増減関係を式にしたモデルであるロトカー-ヴォルテラモデル[2]と同じ特徴が現れていると考えられる。

RN で捕食後に免疫を与える方法でシミュレーションを行なった結果、殆どの場合図 4 のように捕食者が先に絶滅してしまい、ウイルスを絶滅に追い込むことが難しいことがわかった。また、感染力が高いほど、捕食者が免疫を与えたノードの割

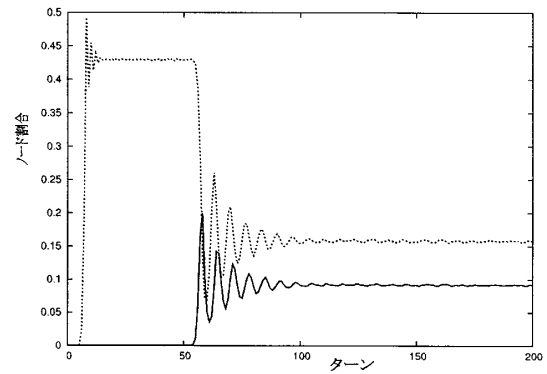


図 5 : BA 捕食後免疫なしの感染と捕食割合推移  
 $\lambda$ と線種は図 3 と同じ

合は増加していく傾向が見られた。これは感染力が高い程多くのノードが感染しているので、捕食者も多くのノードを捕食し、免疫を与えることができたものと考えられる。

BA で捕食後に免疫を与えずにシミュレーションを行なった場合、図 3 で起きた振動は発生するが振動は図 5 のように減衰しやすいことがわかった。減衰した理由として、RN は次数分布がほぼ均一なのに対し、BA モデルは次数分布に大きくバラつきがあり、各ノードの次数が均一ではないため、振動が安定にくい事が原因と考えられる。

BA で捕食後に免疫を与える方法でシミュレーションを行なった場合、図 4 と同じようにウイルスが絶滅する前に捕食者が絶滅した。

## 5. まとめ

RN、BA 共にロトカー-ヴォルテラモデルの特徴を持つ振動は発生するが、BA のような次数分布に大きくバラつきがあるネットワークではロトカー-ヴォルテラモデルと同じ特徴を持つ振動が発生しても減衰しやすいことがわかった。

また、隣接している感染ノードに対して捕食活動を行い免疫を与え、捕食者が 1 ターンで治癒するような捕食のプロセスでは、ウイルスを絶滅に追い込むことが難しいことがわかった。今後は、ウイルスの感染力が小さくとも、ネットワークからウイルスを絶滅できるような捕食プロセスが必要であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 今野紀雄、増田直紀. 「『複雑ネットワーク』とは何か」, pp. 105-108, pp. 54-57, 講談社(2006)
- [2] 巖佐 庸. 「数理生物学入門」, pp. 34-39, 共立出版(1990).