

中心性に基づくネットワークにおける感染症モデルの分析

日大生産工 ○坂口 知大 日大生産工 山内 ゆかり

1 まえがき

現実の世界を表すモデルとして複雑ネットワークが有効とされている。感染症を説明するモデルとして有名なSISモデルとSIRモデルがある。SISモデルとは伝染病の伝播を表す確率モデルのひとつで、健康な人をS、病人をIとし、健康な人と病人の数の変化速度を表したモデルである。SIRモデルとはSISモデルと似たモデルで病気から治って免疫を獲得した人(再感染しない人)Rを考慮したモデルである。複雑ネットワーク上で感染症モデルのシミュレーションを行うことは現実の感染症の経路解析や対策の検討において有効であるとされている[1]。本研究では、従来のモデルに中心性[3]を取り入れその値によって新たにIを治療するD(医者)を取り入れたSIRDモデルを提案し、感染症の蔓延を抑制するメカニズムを解析することを試みる。

2 提案手法

感染症の蔓延を抑制するメカニズムを解析する為には本研究では、SIRモデルに新たにIを治療しRに変化させるDを取り入れたSIRDモデルを提案する。また、Dの配置には中心性を取り入れる。具体的に取り入れる中心性として、ネットワーク内のノードとどの程度つながっているかを示すDegree、ネットワーク内でのコミュニケーションの効率を示すCloseness、情報伝達におけるフローのコントロールの可能性を示すBetweennessを取り入れる。そしてそれぞれの中心性に基づいてIを治療するDのノードを決定する。Dはネットワークを生成した時にひとつだけ生成され、I、S、Rに変化することは無く、Iのノードに移動することによってRに変化させる性質を持つ。Dは最も近いステップのIに向かって移動するが、ステップ数が同じIが複数ある場合は、遅く発病したIを優先して移動する。本研究ではDの位置をランダムで決めた場合と中心性に基づいて決めた場合の感染症の推移を比較する。

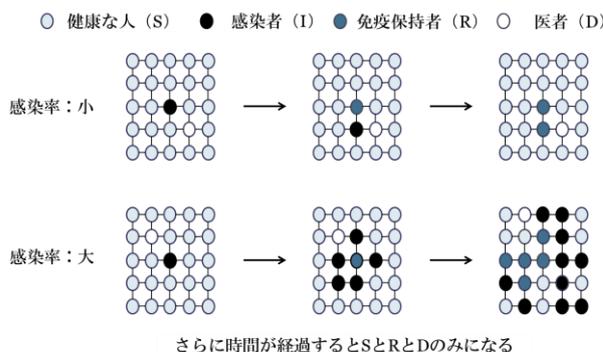


図1 SIRDモデル

3 実験方法

実験ではスモールワールドネットワーク、レギュラーネットワーク、ランダムネットワークそれぞれにSIRモデル、またはSIRDモデルを取り入れSステップ後のS、I、Rの数を比較していく。また、ノード数 $N=20$ 、平均次数 $K=4$ 、総日数 $B=30$ 、感染確率 $PI=0.3$ 、完治期間 $M=5$ として実験を行った。

4 実験結果

レギュラーネットワークにおけるSIRモデルのS、I、Rの推移を図2に示す。

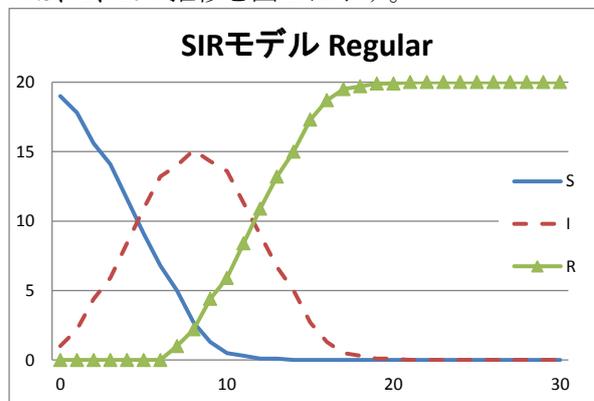


図2、SIRモデル

感染が拡大するにつれて健康な人が減少していく様子が見られる。最終的には病人がいなくなり免疫保持者だけが残る。スモールワールドネットワーク、レギュラーネットワーク、ランダムネットワークでも同様の結果が得られた。

次にレギュラーネットワークにおけるSIRDモデルの医者Dの位置をランダムに決定した場合のS、I、Rの推移を図3に示す。

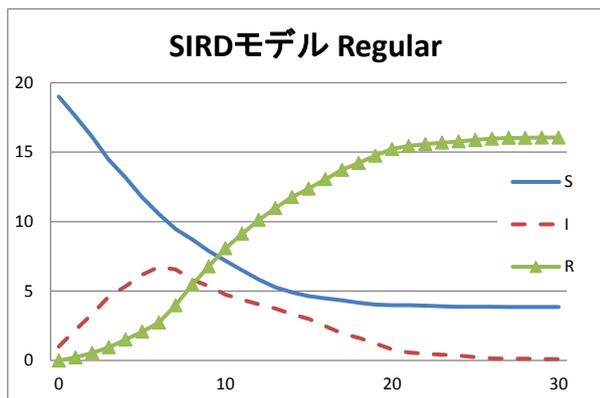


図3、SIRDモデル (D: ランダム)

医者が病人を治療し、免疫保持者に変化させることによって序盤で感染症の蔓延を抑制することができ、最終的には健康な人が多く残るようになった。

次にランダムネットワークにおけるSIRDモデルの医者の位置をClosenessに基づいて決定した場合のS、I、Rの推移を図4に示す。

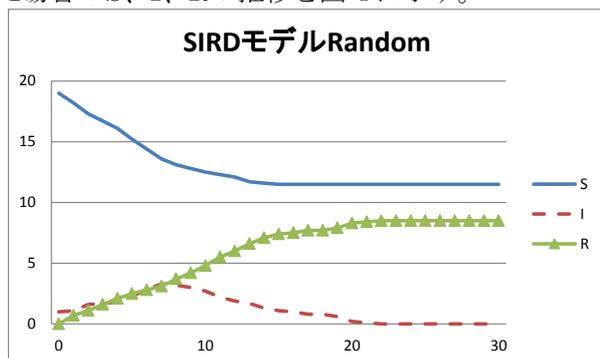


図4、SIRDモデル (D: Closeness)

ランダムで医者を配置した時より免疫保持者の増加が加速し、感染者の増加がゆるやかになっている。それにより感染症の蔓延を抑制することができ、高い効果を得られた。

SIRDモデルにDの配置に中心性を取り入れた結果の健康な人、病人、免疫保持者の数を10試行した平均値を表1に示す。また、レギュラーネットワークではそれぞれのノードの条件が同じなため中心性の概念が存在しない。その為Dの配置はランダムのみとなる。

医者の位置をDegreeの中心性に基づいて決定した場合、ランダムに医者を決定した時と比べても高い効果は得られなかった。医者の位置をClosenessの中心性に基づいて決定した場合、他の実験結果に比べ、病人が推移の序盤で大幅に減少し、多くの健康な人が残った。医者の位置をBetweennessの中心性に基づいて決定した場合、

Closeness程では無いが序盤で病人が減少し、多くの健康な人が残った。

表1、最終的なS、I、R

		S	I	R
Dの配置	Regular	3.9	0.1	16.1
ランダム	Random	3.8	0.0	16.2
	SmallWorld	5.4	0.0	14.6
Degree	Random	4.3	0.0	15.7
	SmallWorld	3.0	0.0	17.0
Close	Random	11.5	0.0	8.5
	SmallWorld	11.2	0.0	8.8
Between	Random	10.1	0.0	9.9
	SmallWorld	7.0	0.0	13.0

4 考察

実験結果より、どのネットワークのSIRモデルでも共通して病人が著しく増加した後、それに比例して免疫保持者が増加していき最終的に免疫保持者だけが残った。それに比べSIRDモデルでは病人と免疫保持者の増加が緩やかになっており、SIRモデルでは見られなかった健康な人が残る状態になり、感染症の蔓延の抑制を確認できた。SIRDモデルの問題点として医者に隣接しているノードの状態が病人もしくは免疫保持者だった場合、医者は行動をしなくなってしまう事が挙げられる。

5 まとめ

SIRDモデルを提案し医者の配置をそれぞれの中心性に基づいて決定する事で感染症の蔓延を抑制できることが確認できた。特にCloseness、Betweennessに基づいて医者を配置した場合、序盤で病人の増加を緩やかにすることが可能となり、感染症の蔓延を抑制する効果が高かった。今後の課題として考察で述べた医者の問題点を見直し、隣接したノード以外の病人にも行動していくよう修正していきたい。

「参考文献」

- [1]増田直紀,今野紀雄,複雑ネットワークの科学,産業図書,2005年2月25日
- [2]増田直紀,今野紀雄,複雑ネットワーク～基礎から応用まで～,産業図書,2010年4月30日
- [3]篠田孝祐,松尾豊,中島秀之,複数の中心性尺度によるネットワーク生成モデル,(日本知能ファジィ学会誌) vol.20, No.3, pp.410-422 (2008)