性感染症防御における接触抑制の有用性の検討

向坂 幸雄[†] 髙尾 有香[‡] 岩村 幸雄[†] 横山 典侑[*] 泰中 啓一[**]
[†]茨城県立医療大学人間科学センター [‡]茨城県立医療大学保健医療学部作業療法学科
[*]静岡大学大学院工学研究科 [**]静岡大学創造科学技術大学院

はじめに

AIDS は他の感染症とは異なり、HIV 感染後、AIDS 発症までの潜伏期間が長いという特徴を持ち、この間は自覚症状がない。潜伏期間の HIV 感染者を識別する方法は、血液中の HIV 抗体を調べる以外にはないが、感染者には他の人への HIV 感染能力がある [1]。このことにより、気付かない間に HIV 感染は拡大していく。

2007 年における世界の HIV 感染者数は前年に比べ 16%減少した [2]。一方日本では、HIV 感染者の報告数は 1996 年以降増加が続き、HIV 感染者の累計は、9426 人に達した。2008 年第３四半期に報告された新規の HIV 感染者は、294 人と過去最多を記録している。新規の HIV 感染者報告例での感染経路は、異性間の性的接触が 18%、同性間の性的接触が 72%で、性的接触によるものがあわせて９割を占めた [3]。以上のことより、わが国では性的接触による HIV 感染の拡大が続いており、訴求性のある予防啓発とそれを推進する積極的な施策が望まれる。その対策として、不特定多数の人と性的接触を持たないという教育を定着させることは、HIV 感染の拡大に歯止めをかけることができると考えられる。感染症の防御法を検討するには、その伝播パターンの特徴から、数理的手法を用いた解析が有効である。中でも格子モデルは 2 次元空間上でのダイナミクスを解析する上で極めて有効な手法である。

本研究では 2 次元格子モデルを用いて、教育を受けた人が増加した場合の定常状態での感染者の密度を観測することにより、教育の普及が HIV の感染拡大過程にどのような効果をもたらすのかを明らかにすることを目的に、コンピュータシミュレーションを実施し、その有用性の検討を行った。

The effectiveness of reduced sexual intercourse in defense against the expansion of sexually transmitted disease

†Yukio Sakisaka, Yukio Iwamura: Center for Humanities and Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences
‡Yuka Takao: Department of Occupational Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences
*Noriyuki Yokoyama: Graduate School of Engineering, Shizuoka University
**Kei-ichi Tainaka: Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

方法

１．モデル

本研究では格子空間上でのセルの反応解析を行う格子モデルを用いて、HIV 非感染者 - 感染者の空間配置を仮想空間上に再現した。コンタクトプロセスにより伝播させることで、感染の進行動態を空間構造の視点から経時的に検証できる [4]。各格子サイトは非感染者と感染者のどちらかが存在している状態を考えた。

今回適用するのは、感染症では確立された手法である SI(Susceptible-Infected)モデルである [5]。このモデルは HIV 非感染者を S、HIV 感染者を I で表し、S と I が接触すると一定の感染確率 r で S に感染させる。状態変化は

$$S + I \xrightarrow{r} 2I$$

と表わせる。反応候補はノイマン近傍で規定される上下左右の隣接格子とした。格子空間内のすべての格子点は S、I のどちらかで表すことができる。このことから、I の格子空間内での密度(以下単に密度と表記する場合は格子空間内の密度)は格子空間全体における HIV 感染者の割合を示すことがわかる。

２．教育を受けた人

本研究では、不特定多数の人と性的接触を持たないという教育を受けた人を表す３方向壁モデルを新しく作り導入した。教育を受けた人は格子サイトの４辺の中からランダムに選ばれた３辺に壁ができ、１方向とのみ相互作用が起こることになる。今回は教育を受けた人の密度(以下 e)をパラメータとして変化させた場合の I の定常密度の違いを調べた。

３．シミュレーション

格子サイズは１辺を 50 格子とする正方格子である。教育を受けた人の密度 e を 0.05～0.95 まで 0.05 刻みで変え、それぞれ 200 モンテカルロステップ(MCS)の試行を実施した。単純化のため、感染率は１とした($r=1$)。これは反応の速度を促進するだけで、本質的なモデルの性質には影響を与えない。また、I の初期密度は全ての試

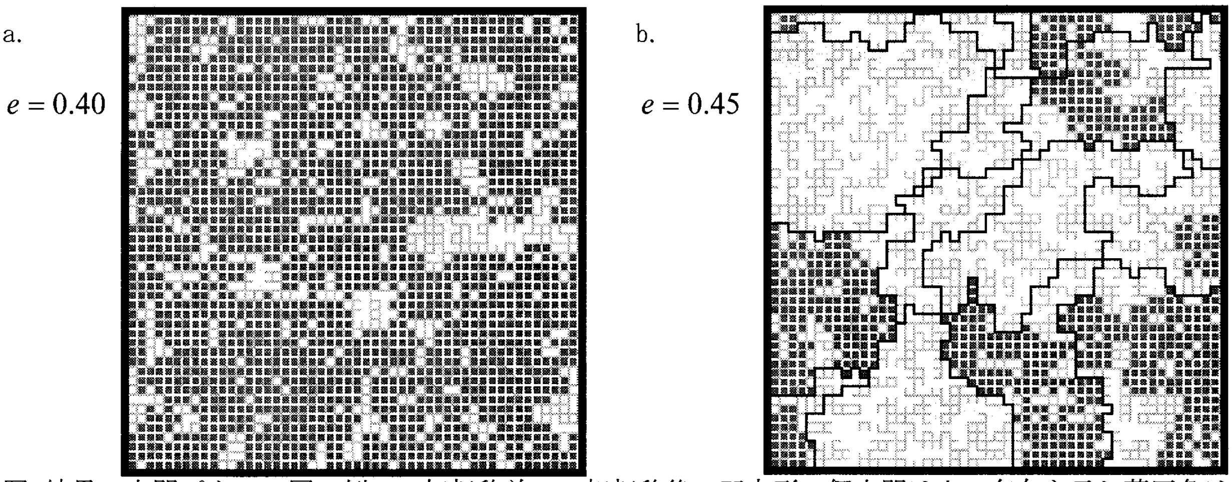

図:結果の空間パターン図の例。a.相転移前、b.相転移後。正方形の個空間は人の存在を示し薄灰色は非感染者、濃灰色は感染者を表わす。灰線は壁の存在を示し、白線部には壁はない。a には貫通した壁の繋がりは存在しないが b では水平または鉛直方向に複数の貫通連続壁が存在し、黒線で示した。

行で 0.002 とし、教育を受けた人は含まれない。本系では初期値に依存せず定常状態が決まる [6]。

結果

シミュレーションを実施すると、格子空間内での I の密度は、時間経過と共に増大し、定常状態に到達する。それぞれのパラメータにおいて、50 回シミュレーションを試行し定常密度を平均した値をそのパラメータの定常密度として規定した。この定常密度が e の値を変化させたときにどのように変化をするかを調べた。結果は e がある程度より小さな値の時には e の増加と共に I の定常密度は緩やかに減少し、その後一定の値に達すると急激に減少する。ある程度 I の定常密度が減少した後、0 に近づきながら緩やかに減少していく。つまり、直線的に減少していくのではなくある一定以上になると急激に I の定常密度が減少することが明らかになった。

考察

教育を受けた人(接触機会を減少した非感染者)の密度を高めることは感染拡大に非線形な効果をもたらすことが判明した。図は I の定常密度が急激に低下する直前とそこから教育を受けた人の密度を 0.05 増加させたときの定常状態での空間分布を示したものである。低下直前では感染者は格子空間内に浸透していき、壁に囲まれた小さな領域以外の大部分に HIV 感染は拡大し、感染者で埋め尽くされる。一方、そこから教育を受けた人の密度を 0.05 増加させたときでは、空間の端から端まで繋がった壁がいくつか存在しており、繋がった壁が交差することにより大きな規模のブロックができたため、感染が起こる部分が限定され伝播は局所的にしか起こらない。つまりボンドパーコレーションによる相転移が起きたといえる [7]。

このことから、ある一定以上の人が不特定多数の人と性的接触を持たなければ、HIV 感染の蔓延は防げると考えられる。教育を受けた人の密度の増加と比例して効果が表れ、そのため多くの人が対策を行っていないと重大な効果は表れないと考えがちであるが、実際には、特定の領域では、教育を受けた人の密度がわずかに増加することで感染拡大効果を加速させ、感染者の密度を急激に減少させることが判明した。そのため、一人でも多くの人が HIV についての知識と予防策を理解することは重要であるといえる。

参考文献

1)山口，後藤編(1993). 図説 HIV 感染症:病態解明から臨床の実際まで. メジカルビュー.
2)UNAIDS(2007). AIDS epidemic update. UNAIDS, Geneva.
3)厚生労働省エイズ動向委員会(2008). 平成 19 年エイズ発生動向年報. 厚生労働省エイズ動向委員会. http://api-net.jfap.or.jp/mhw/survey/07nenpo/nenpo_menu.htm
4)向坂，岩村(2008). 格子モデルによる昆虫媒介感染症の防除法検証-マラリアなどを想定して-. 茨城県立医療大学紀要 13. 39-46
5)W.O.Kermack, A.G.McKendrick(1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. Proc R Soc A 115. 700-721
6)Tainaka K(1988). Lattice model for the Lotka-Vol-terra system, J Physc Soc Jpn.
7)小田垣(2000). つながりの科学. 裳華房.