2V-6

格子上の餌－捕食者系における移動の効果

柏木　亨平*　　泰中　啓一*　　河合孝尚*　　橋本　剛**　　林　太朗*
吉村　仁*　　北村　孔志*　　＊静岡大学工学部　＊＊北陸先端大学

１.はじめに

現実の被食者－捕食者系において移動の非対称性が知られている。捕食者は捕食するためによく移動し、被食者は天敵から身を守るために群れをつくりあまり移動しないということが観察されている。本研究では捕食者と被食者それぞれの移動(ランダムウォーク)の効果を調べた。その結果、移動の非対称性が説明できた。さらに移動によって密集度が強くなることがわかった。

これまで、生物の移動プロセスは、主に反応拡散方程式という偏微分の方法で研究されてきた。移動の非対称性を説明することは、このアプローチからでは非常に困難である。そこで、本研究ではこれとは別の方法である格子モデルを用いて説明する。格子モデルは、コンタクトプロセス (CP) を発展させた[3]シミュレーション方法である。拡散移動(ランダムウォーク)について以下のような結果が、CP において報告されている。

i)　移動は種において有利に働く。
ii)　移動率が十分に高い場合、種の定常密度は平均場理論によって予測することができる。

CP は１種のみの生物系であるが、本研究では、被食者-捕食者系においての移動の効果について報告する。

２.モデル

本研究のモデルでは 2 つの種、すなわち被食者(X)と捕食者（Y）を考える。各格子のサイトはX、Yまたは O（空き地）に分類され、その反応式は以下で定義される。

X＋Y →２Y	(rate:1)	(1a)
X＋O →２X	(rate:r)	(1b)
Y→ O	(rate:m)	(1c)
X＋O →O＋X	(rate:DX)	(1d)
Y＋O →O＋Y	(rate:DY)	(1e)

反応式（1a）～（1c）は TF モデル(Tainaka&Fukazawa)である[4-6]。反応式（1a）はYの捕食、（1b）はXの増殖プロセス、（1c）はYの死亡プロセスを意味する。パラメータ r は被食者の増殖率、m はYの死亡率を意味する。ここに移動プロセスとして（1d）（1e）を導入する。式(1d)はXの移動であり、式(1e)はYの移動である。パラメータDX、DYは被食者と捕食者の移動率を意味する。

３.シミュレーション方法

1）最初に、ランダムに四角い格子上に、空き地(O)か被食者(X)または捕食者（Y）を配置する。この時、初期条件にかかわりなく同じ定常状態になるので初期密度はあまり重要ではない。

2) TF モデル（1a）～（1c）のシミュレーションは、2 段階に分けて実行される。

①：増殖プロセス

（1a）（1b）を実行する。これはランダムに 1 つの格子を選び、4 つの隣接したサイトのうちの 1 つを選び、反応させる。例えば、これらのサイトがXとOであるならば、Oのサイトは確立 r によってXになる。本研究では r=1 とする。

②：死亡プロセス

（1c）を実行する。これはランダムに 1 つの格子を選びYならばそのサイトは確立 m でOになる。

3) 移動プロセス（1d）（1e）を実行する。これはランダムに一対の隣接したサイトを選び、例えばこれらのサイトがXとOであるならば、確率 DX、DY(移動率)で入れ替わる。この反応を 50 回繰り返す。

４)上記の 2)3)を繰り返し実行する。

４.平均場近似(MFT)

TF モデルのための平均場近似（MFT）の結果は、すでに報告されているが、簡単に説明する。MFT の場合、（1a）（1b）の反応は、格子のどんな一組の間ででも起こる。ゆえに以下の微分方程式が成立する。

$$\frac{dx}{dt} = 2rx(1-x-y) - 2xy \qquad (2a)$$

$$\frac{dy}{dt} = -my + 2xy \qquad (2b)$$

(2a)(2b)の両式の左辺＝0とすると、X,Yの定常状態における密度(定常密度)が求める事ができる(3)。

$$x = m/2,\quad y = r(2-m)/2(1+r)\ . \qquad (3)$$

５.シミュレーション結果

本研究では、以下の 3 つの移動パターンについてシミュレーションを実行する。

i)　両方の種が移動(ランダムウォーク)する
ii)　種Xのみ移動する
iii)　種Yのみ移動する

結果は以下のようである。i)両種が移動する場合。図１の縦軸は初期条件に依らない定常密度を表す。種Yは、移動することで平均場近似に近づく事がわかる。他方、

Asymmetric Effect of Migration on a Prey-Predator Model
§Faculty of Engineering, Shizuoka University
†Kyouhei Kashiwagi, Keiichi Tainaka, Takahisa Kawai
Taro Hayashi, Jin Yoshimura, Koushi Kitamura

種Ｘも平均場近似に近づいた。これによって移動の非対称性が説明できる。ii)種Ｘだけを移動させた場合。この場合は、両種移動の場合と種Ｙだけ移動の場合の中間的な振る舞いを示した。iii)種Ｙのみ移動する場合。図２は個体数の時間変動を表している。時間 t=10 で移動を開始させた。Ｙの定常密度が増加することがわかる。種Ｙだけが移動した場合、基本的には平均場近似に近づくが、Ｙの死亡率が高くなった場合には平均場近似から離れる結果となった(図３)。そこで種Ｘ，Ｙの密集度を測定した(図４)。種Ｘは全体的に密集度が移動の効果によって減少している。種Ｙは移動の効果によって密集度が増加していることがわかる。

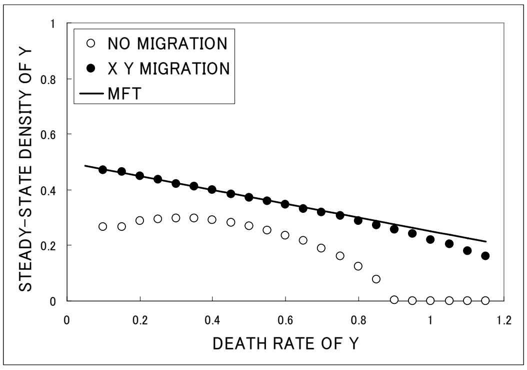

図１：種Ｘの両種の移動による定常密度の変化

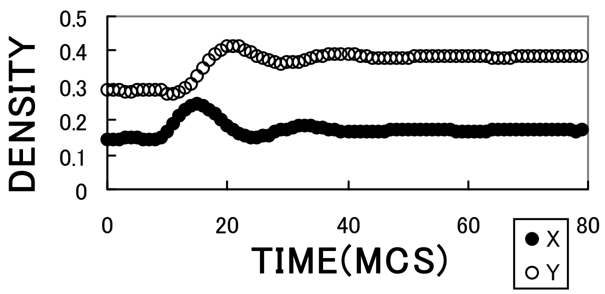

図２：種Ｙが移動した場合の密度変化

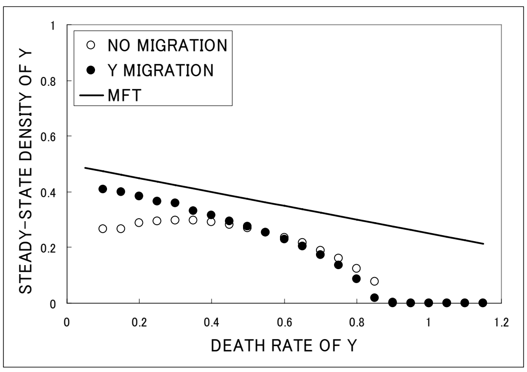

図３：種Ｙのみ移動の場合のＹの定常密度の変化

６．結論

格子モデルを用いることで、被食者と捕食者の間で、移動によって捕食者はその密度を増やし、被食者はその密度を減少させるという移動の非対称性があることを示すことができた。よって、移動の効果は捕食者に有利に働き、被食者には不利に働く。捕食者だけが移動した場合、平均場近似に近づくが、捕食者の死亡率が高くなった場合には平均場近似から離れた。原因として、捕食者の死亡率があがる事で被食者が高密度になり、捕食者の移動を妨げていると考えられる。つまり、排除体積効果が起こっている事を示している。さらに、被食者は移動(ランダムウォーク)によって密集度が弱くなり、捕食者は密集度が強くなる事を示すことができた。特に図４において、捕食者の死亡率 0.8 付近では捕食者の密集度は大幅に上昇している。捕食者はランダムウォークによって密集度が高くなることがわかった。

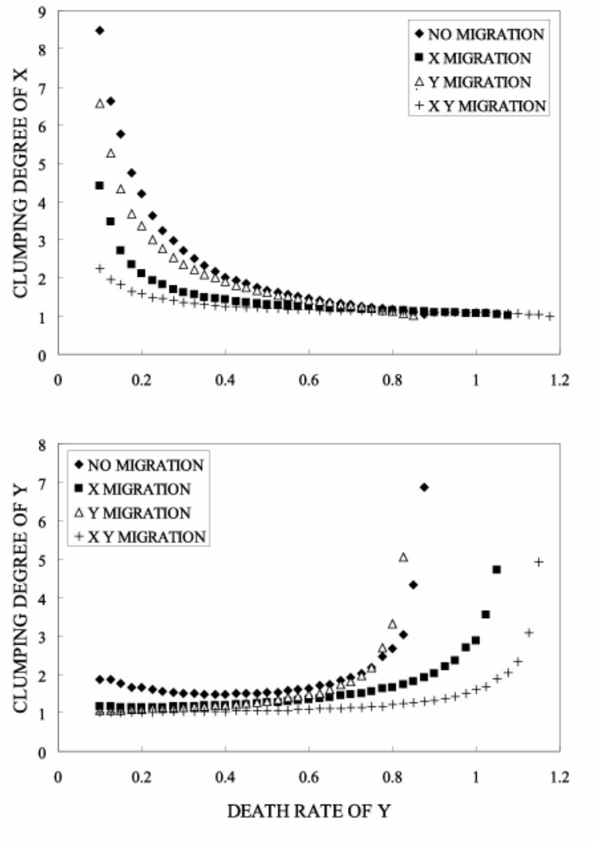

図４：密集度の図。横軸はＹの死亡率。

７．参考文献

1. I. Bena, F. CoppeＸ and Z. Racz, J. Chem. Phys. **122** (2005) 024512.
2. T. Antal, A. Lipowski and G. odor, Phys. Rev. E **64** (2001) 036118.
3. Y. Harada, H. Ezoe, Y. Iwasa, H. Matsuda and K. Sato, Theor. Pop. Biol.. **48** (1995) 65.
4. K. Tainaka and S. Fukazawa, J. Phys. Soc. Jpn. **61** (1992) 1891.
5. J. E. Satulovsky and T. Tome, Phys. Rev. E **49** (1994) 5073.
6. N. Nakagiri, K. Tainaka and T. Tao, Ecological Modelling **137** (2001) 109.