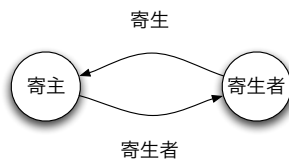


## 寄生系のダイナミクス

寄生者と寄主（宿主）のダイナミクス



- 寄生者は寄主に寄生して繁殖
- 昆虫の寄生バチ・寄生バエなど、宿主を食い尽くして発育するものが多い（捕食寄生）

平成 21 年度（2009 年度）情報科学特別講義 I

## 寄生系の例

アズキゾウムシとコマユバチ



<http://www.nfri.affrc.go.jp/contents/database/chozougaicyu/zukan/11.html>



<http://www.museum.kyushu-u.ac.jp/INSECT/07/07-1.html>

平成 21 年度（2009 年度）情報科学特別講義 I

## アズキゾウムシとコマユバチの 個体群動態

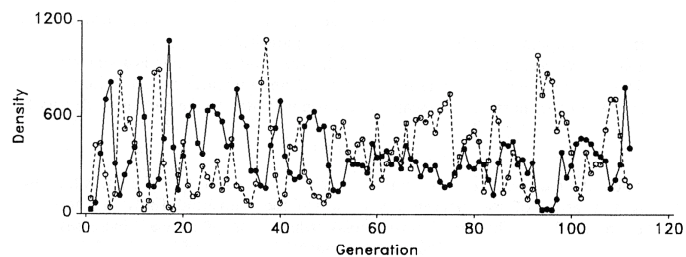


Figure 10.12 Changes in densities of the parasitoid braconid wasp (solid line) and its host the azuki bean weevil (broken line) in an experimental population (after Utida, 1957).

平成 21 年度（2009 年度）情報科学特別講義 I

## 寄生者と寄主の個体ベースモデル

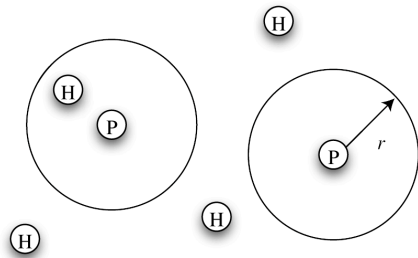
計算機内で一定のアルゴリズムに従って各個体を繁殖・死亡（移動・相互作用）させるモデルを個体ベースモデルとよぶ

個体ベースのアルゴリズム例

1. 2次元空間に、寄生者と寄主をランダムに配置
2. 寄生者の半径  $r$  内（探索半径）に位置する寄主は寄生される
3. 寄生された寄主からは寄生者が 1 匹出現
4. 寄生を免れた寄主は  $b$  匹の子孫を残す
5. 親は全て死亡、子孫は寄生者・寄主ともにランダムに配置
6. 2-5 を繰り返す

平成 21 年度（2009 年度）情報科学特別講義 I

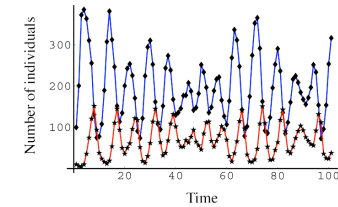
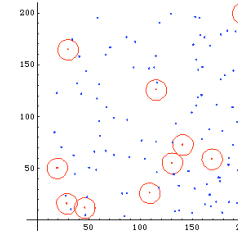
## アルゴリズム例



$r$  は寄生者の探索半径  
 $b$  はホストの数に密度依存

## IBM シミュレーション例

赤：寄生者  
 青：寄主



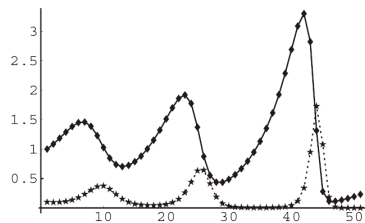
## Nicholson-Bailey モデル

$$N_{t+1} = R e^{-a P_t} N_t$$

2 変数差分式

$$P_{t+1} = c (1 - e^{-a P_t}) N_t$$

初期値  $N_0, P_0$  を与えると解が決まる



寄主のランダム探索では  
 発散する振動解

## 寄生系のモデル

寄主数  $N_t$  と寄生者数  $P_t$  のダイナミクス

$$N_{t+1} = R F(N_t, P_t) N_t$$

$R$ : 寄生を免れた時の寄主の子孫の数

$F$ : 寄主が寄生を免れる確率

$$P_{t+1} = c (1 - F(N_t, P_t)) N_t$$

$c$ : 寄生された寄主から発生する  
 寄生者の子孫の数

寄生者がランダムに寄主を探索する場合

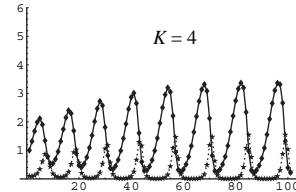
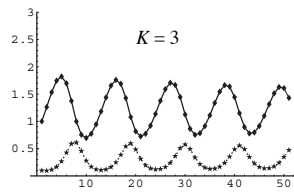
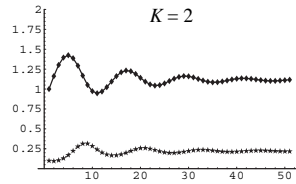
$$F(N_t, P_t) = \exp[-a P_t]$$

## Nicholson-Bailey モデル+密度依存

$c=1, r=0.5, a=1$

$$N_{t+1} = e^{r(1-N_t/K)} e^{-aP_t} N_t$$

$$P_{t+1} = c(1 - e^{-aP_t}) N_t$$

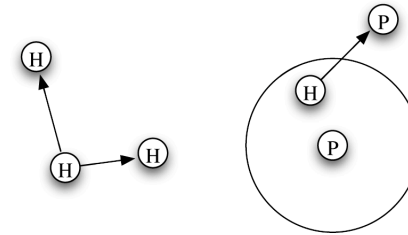


平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 寄生者の非ランダム探索

寄生者・寄主ともに子孫は親の近隣に配置

親個体の場所から距離  $L$  だけ飛翔

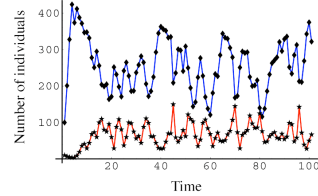
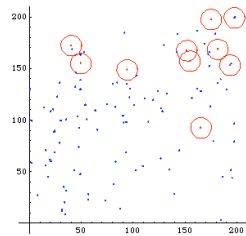


平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 非ランダム探索シミュレーション

寄主の平均移動距離:  $L_H = 10$

寄生者の平均移動距離:  $L_P = 10$



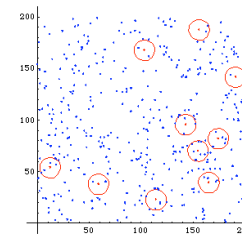
個体群動態が安定化

平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 非ランダム探索 2

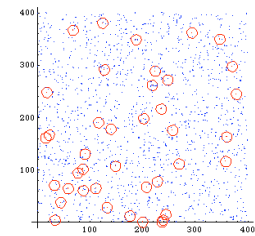
寄主の平均移動距離:  $L_H = 5$

寄生者の平均移動距離:  $L_P = 5$



寄主の平均移動距離:  $L_H = 10$

寄生者の平均移動距離:  $L_P = 1$



平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

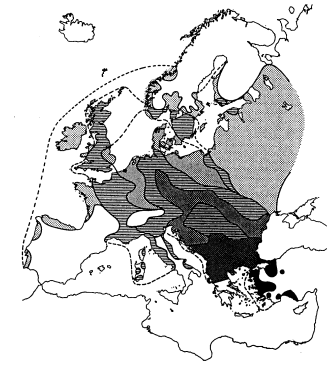
## 個体群動態 + 空間構造

- 生物は多かれ少なかれ移動分散する
- どこに、どれだけ、いるかに注目する必要がある
- 空間構造を考慮した個体群動態モデル

$N_t(x, y)$  もしくは  $N(t, x, y)$  に関する数式

平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 生物の分布域拡大例 1



Collared Dove

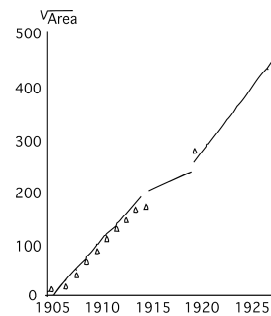
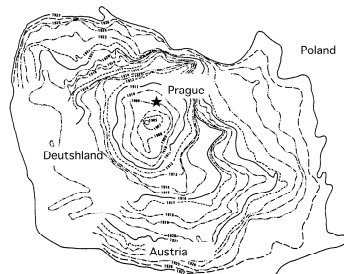
平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 生物の分布域拡大例 2

Muskrat



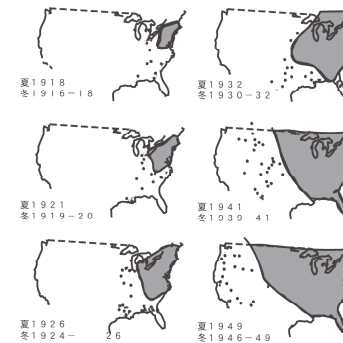
[http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Common\\_Muskrat\\_FWS.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Common_Muskrat_FWS.jpg)



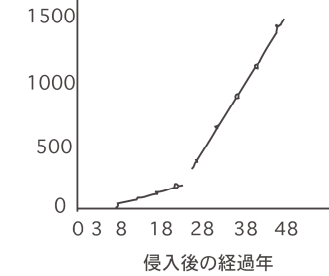
平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 生物の分布域拡大例 3

ホシムクドリ



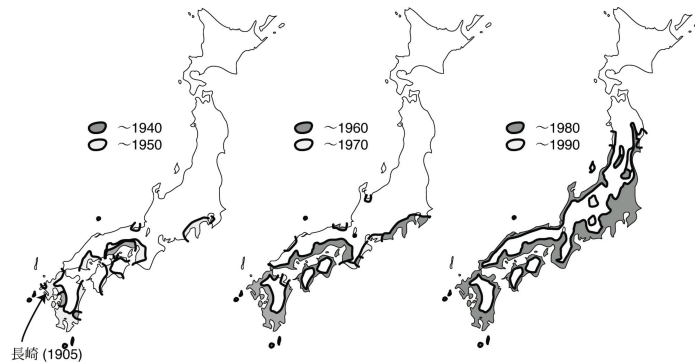
伝搬距離 (km)



平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 生物の分布域拡大例 4

マツノザイセンチュウの被害域拡大



平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 分布域拡大速度

Species	Speed of range expansion (km/yr)
Weedy plant	9.4-32.9
Gypsy moth	9.6
Musk rat	0.9-25.4
Collared dove	43.7
European starling	200
Crab	55
Barnacle	30
Snail	34
Mussel	115

生物種の繁殖 (個体数増加) + 移動分散 = 分布域の拡大

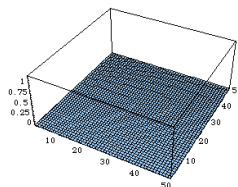
平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 空間構造を含んだ様々なモデル 2

個体のランダム移動 + ロジスティック増殖

偏微分方程式 (反応拡散方程式) による記述

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + r(1 - N/K)N$$

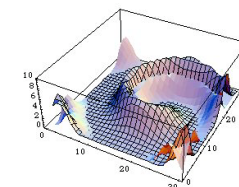
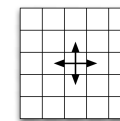


平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

## 空間構造を含んだ様々なモデル 2

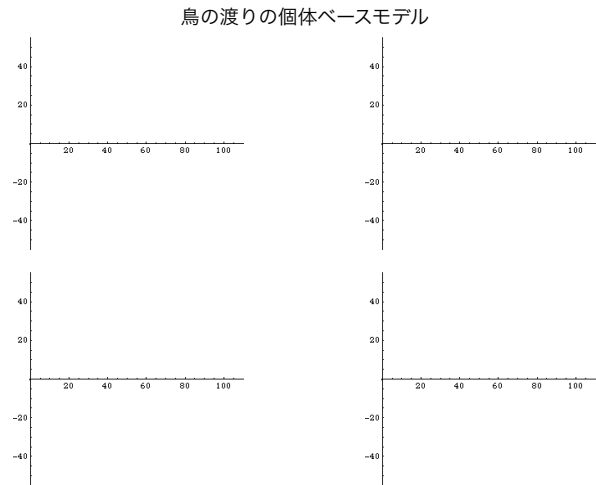
Nicholson-Bailey モデル + 格子状空間

隣接する格子への個体移動を導入することで、系は維持される



平成 21 年度 (2009 年度) 情報科学特別講義 I

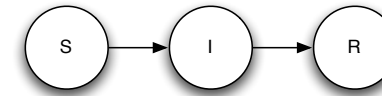
## 空間構造を含んだ様々なモデル3



平成 21 年度 ( 2009 年度 ) 情報科学特別講義 I

## 感染症のモデル

- 感染症の古典モデル
- 感受性集団 Susceptible、感染集団 Infectious、隔離集団 Removed の3つの集団のダイナミクス



I と接触した S は I になる  
I は一定の率で R になる

平成 21 年度 ( 2009 年度 ) 情報科学特別講義 I

## SIR モデル

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

空間構造無し

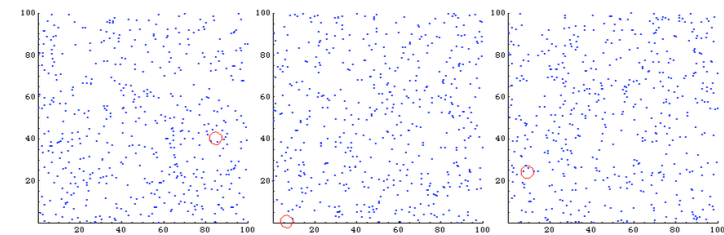


2次元空間上の  
個体ベースモデル

平成 21 年度 ( 2009 年度 ) 情報科学特別講義 I

## シミュレーション

移動速度：小 ←————→ 移動速度：大



平成 21 年度 ( 2009 年度 ) 情報科学特別講義 I

## 数理的手法

- 地球規模で物資の人為移動が拡大する中で、外来種の繁殖が社会的な問題となりつつある
- 個体の移動分散をモデル化する事で分布域拡大の予測、対策などへの提言
- 数式のみではなく、アルゴリズム的に動態を記述するモデル
- 効率的なシミュレーションを行う為の計算アルゴリズムの開発