

サイズ依存性のある進化システムにおける 生物種の多様性変動の数値実験

Numerical experiments on variation of species
diversity in size-dependent evolutionary system

佐々木貴教* & 阿部豊
(東大・理・地惑)

Introduction

(惑星科学と数理生態学)

惑星科学としての数理生態学

究極的な問い：

どのような惑星表層環境のもとで、

どのような進化を経れば、

惑星上に安定で多様な生態系が形成しうるのか？

自転軸変動や隕石衝突のような擾乱への応答は？



数理生態学に期待すること：

恣意的な仮定・解釈ではなく、一般的な生態系

を記述できる“汎”数理生態学

数理生態学の先行研究

[May, 1972]

種間の相互作用が強くなるとシステムが不安定化



現実世界では複雑で多様なシステムが安定に存在

[Tokita & Yasutomi, 2003] [Yoshida, 2003]

ランダムマトリックス・共生関係・種の進化

→ 安定な生態系を実現

自律的な増加・絶滅を実現

本研究の目的

仮想的生物群集を用いた数値実験
(Yoshida 2003 を拡張)

- ・ 進化速度のサイズ依存性を導入
- ・ サイズ依存性の有無による影響を調べる



生態系の一般的な進化パターンが得られるか？
サイズ依存性が系の安定化に与える影響

Methods

(食う-食われるの世界)

Lotka-Volterra 方程式

$$\frac{dM_i}{dt} = M_i \left(r_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} M_j \right)$$

M_i : 種 i の生物量

r_i : 自然増加率

a_{ij} : 種 i, j 間の相互作用

パラメータ

w : 重量

r : 自然増加率

D : 被食特性

A : 捕食特性

P : 捕食幅

種 i の捕食特性 A_i と 種 j の被食特性 D_j の差と
種 i の捕食幅 P_i との大小によって a_{ij} を決定する

いくつかの仮定

- 動物と植物を考える
- 動物の自然増加率 0
(動物は捕食によってのみ繁殖する)
- 動物は自分より小さい動物のみ捕食する
- 植物は自然増加によってのみ繁殖する
- 種の進化・枝分かれを定期的に起こし、娘種のパラメータは親種から微少変化させて与える
- 代謝・進化速度にサイズ依存性を設ける
- 本研究では動物の多様性変動のみを見る

ゾウの時間 ネズミの時間

代謝効率はサイズの4分の1乗に比例

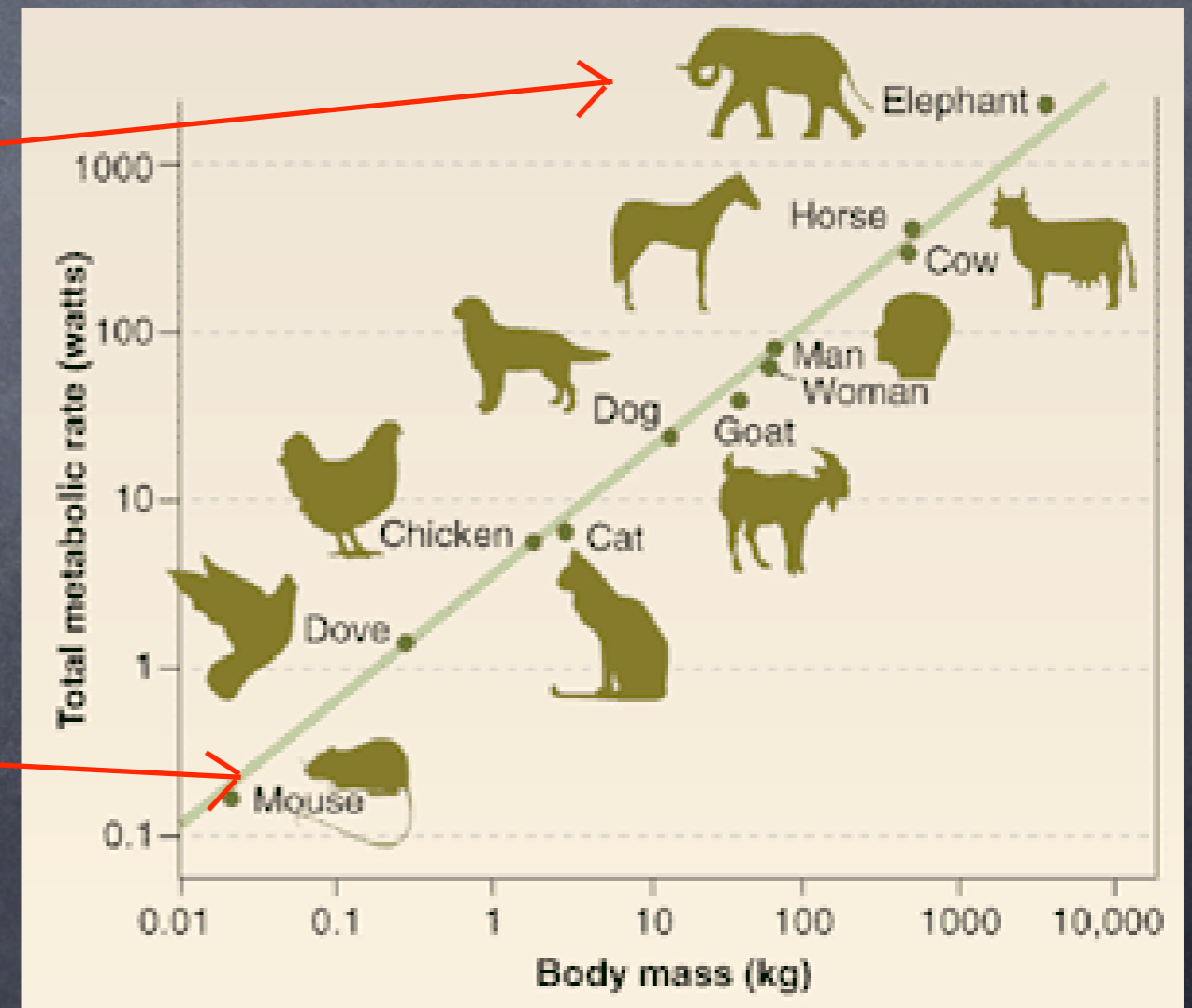
タイムスケールはサイズの4分の3乗に比例

[Schmidt-Nielsen, 1984]

ゾウは生物量が増えづらく進化速度が遅い



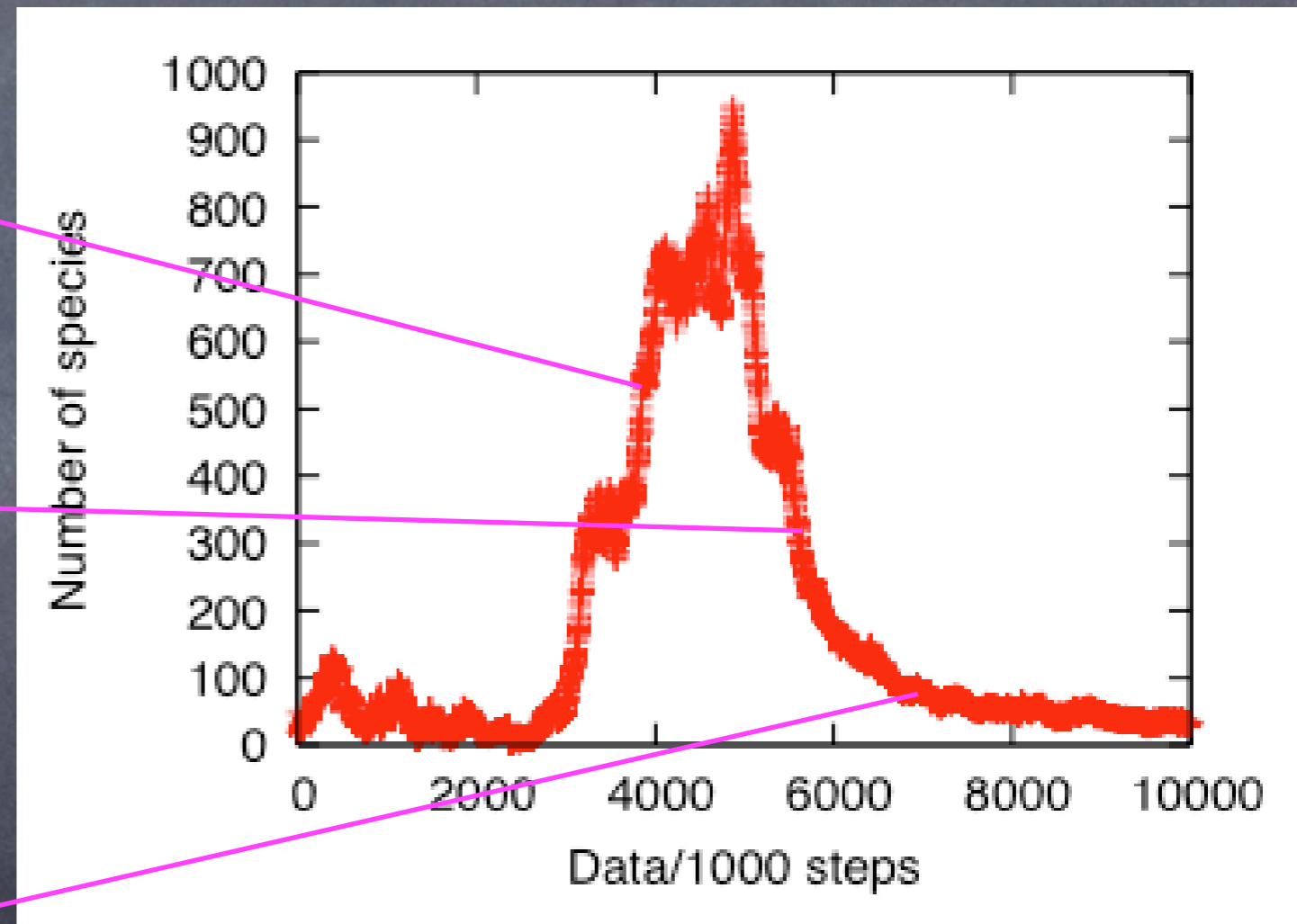
ネズミは生物量が増えやすく進化速度が速い

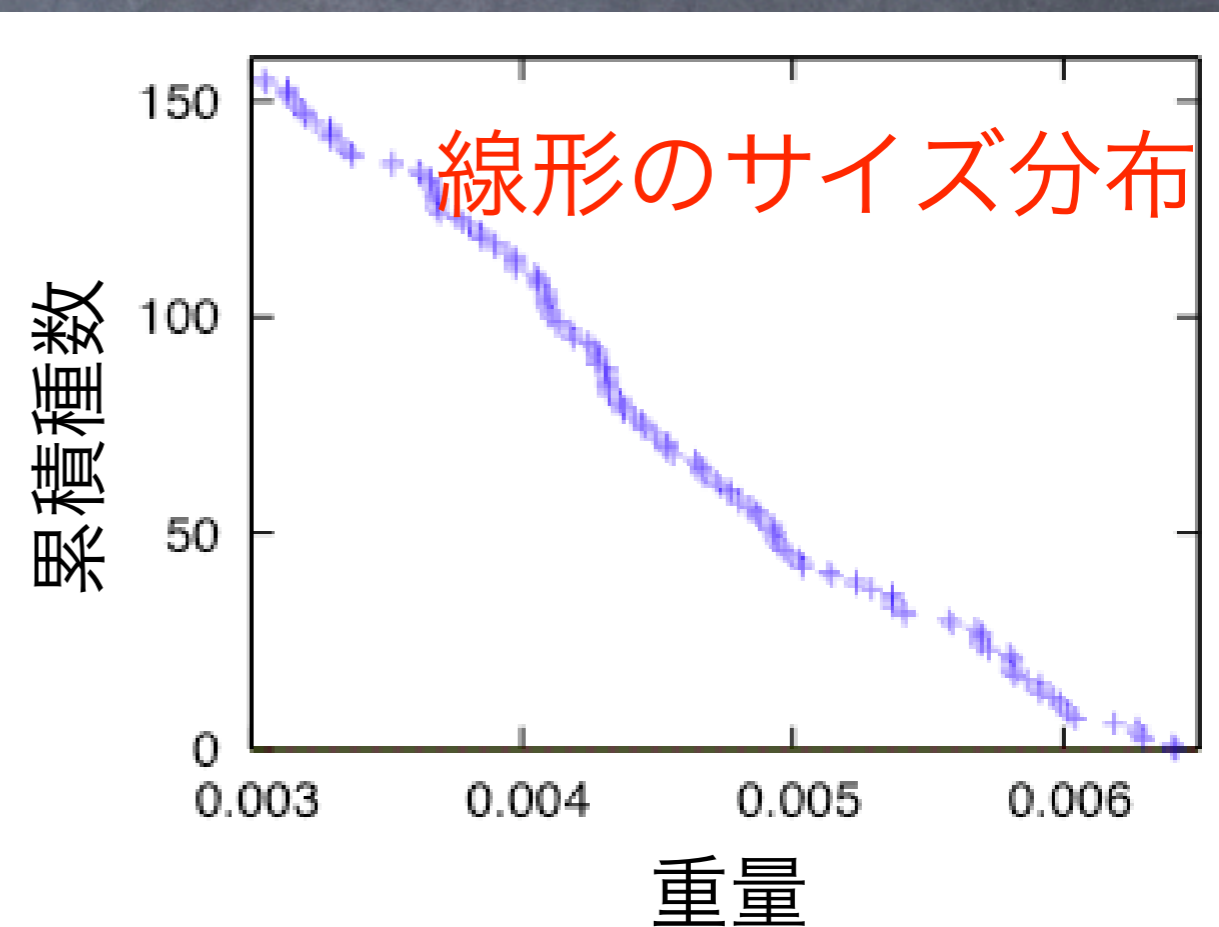
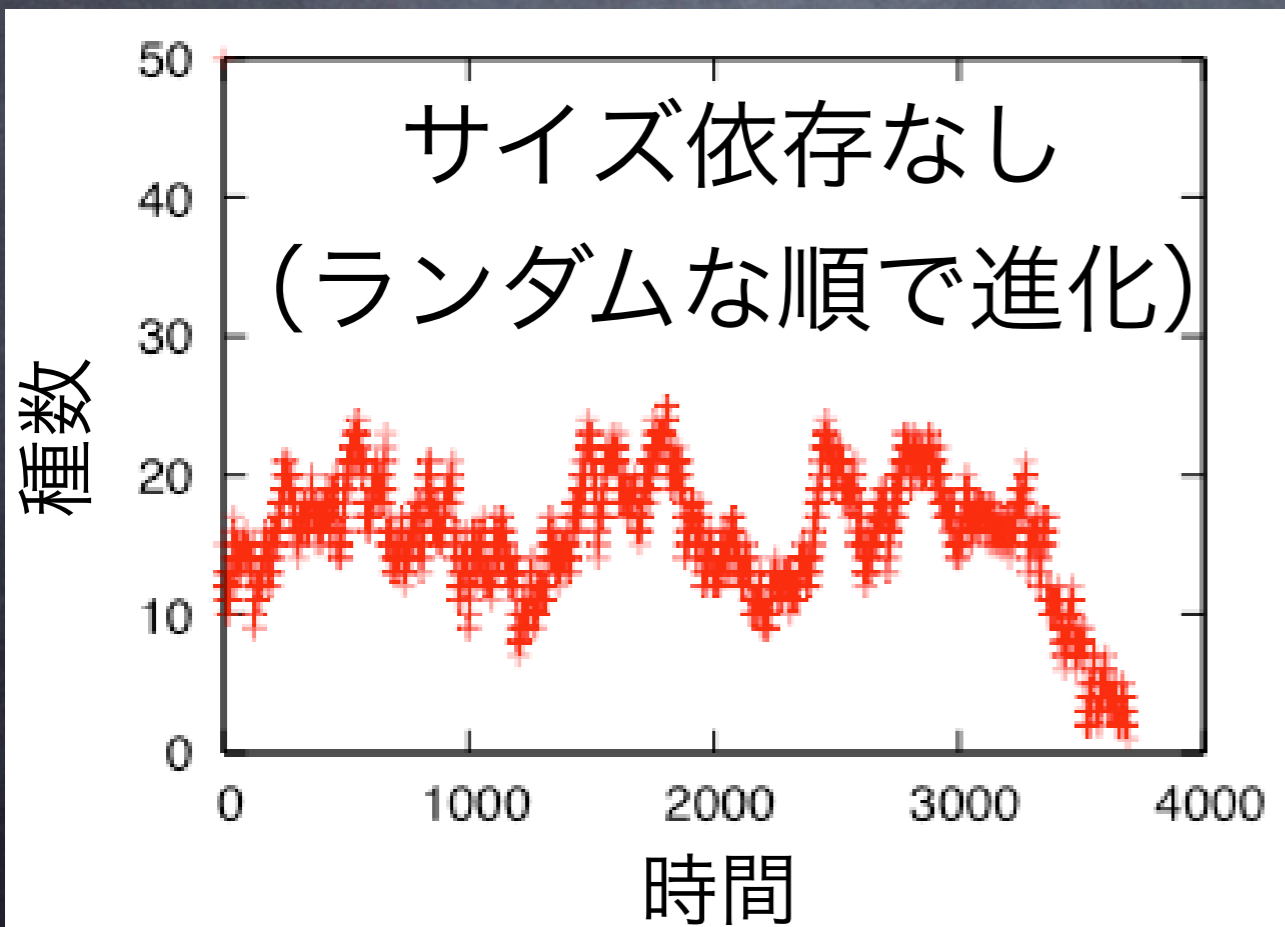
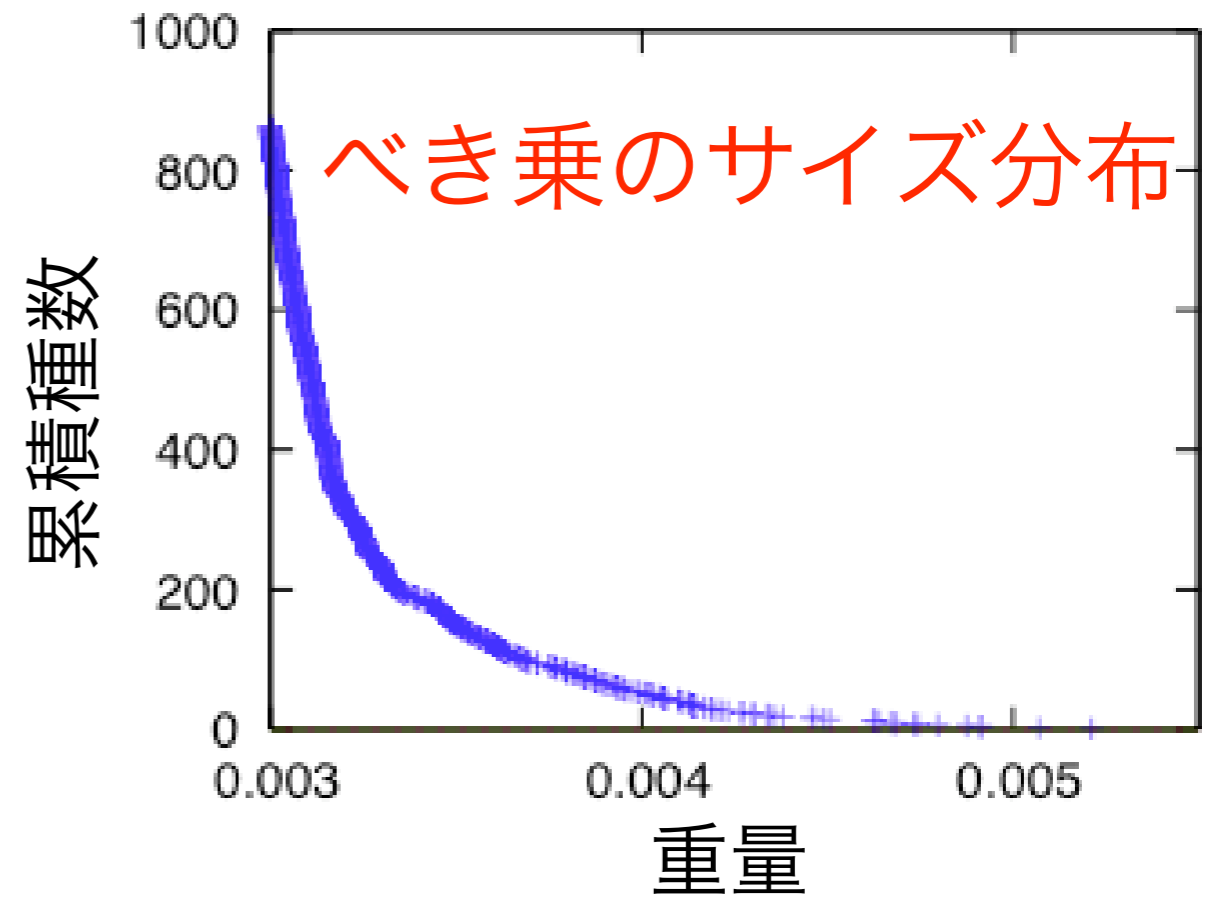
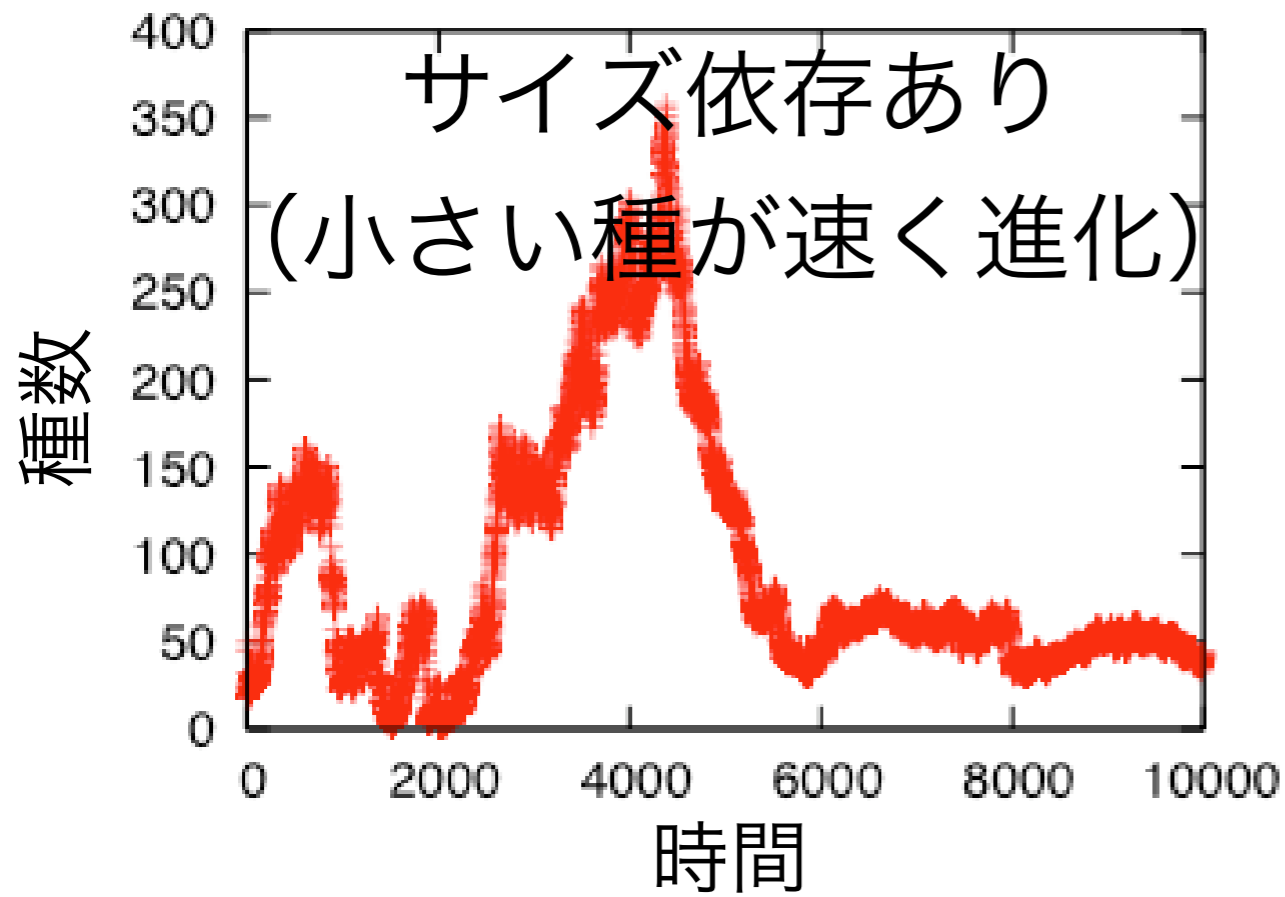


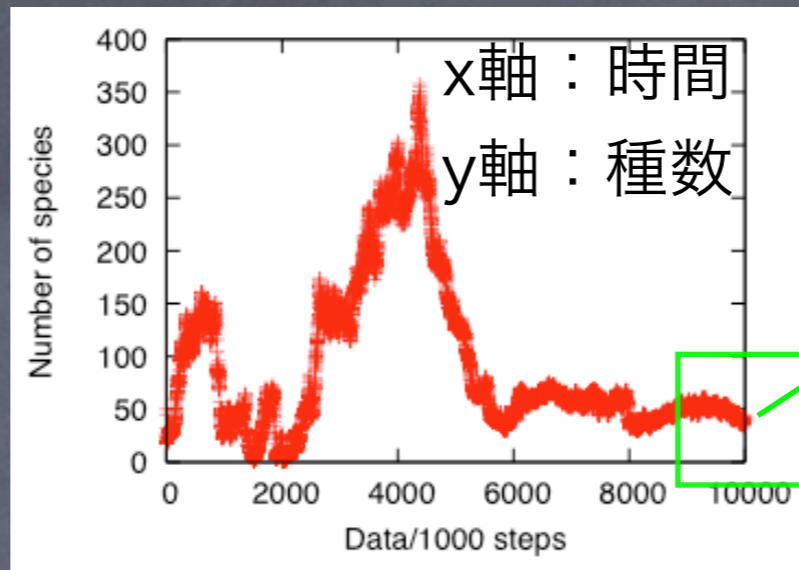
Results

生態系システム進化の固有パターンがみられた (初期変動 → 激増 → 激減 → 長期安定)

- 種数の増加と共に種間の相互作用が強くなる
- 相互作用が大きくなりすぎると系が不安定化、種数が減少する
- 相互作用が小さい状態で系が安定化する



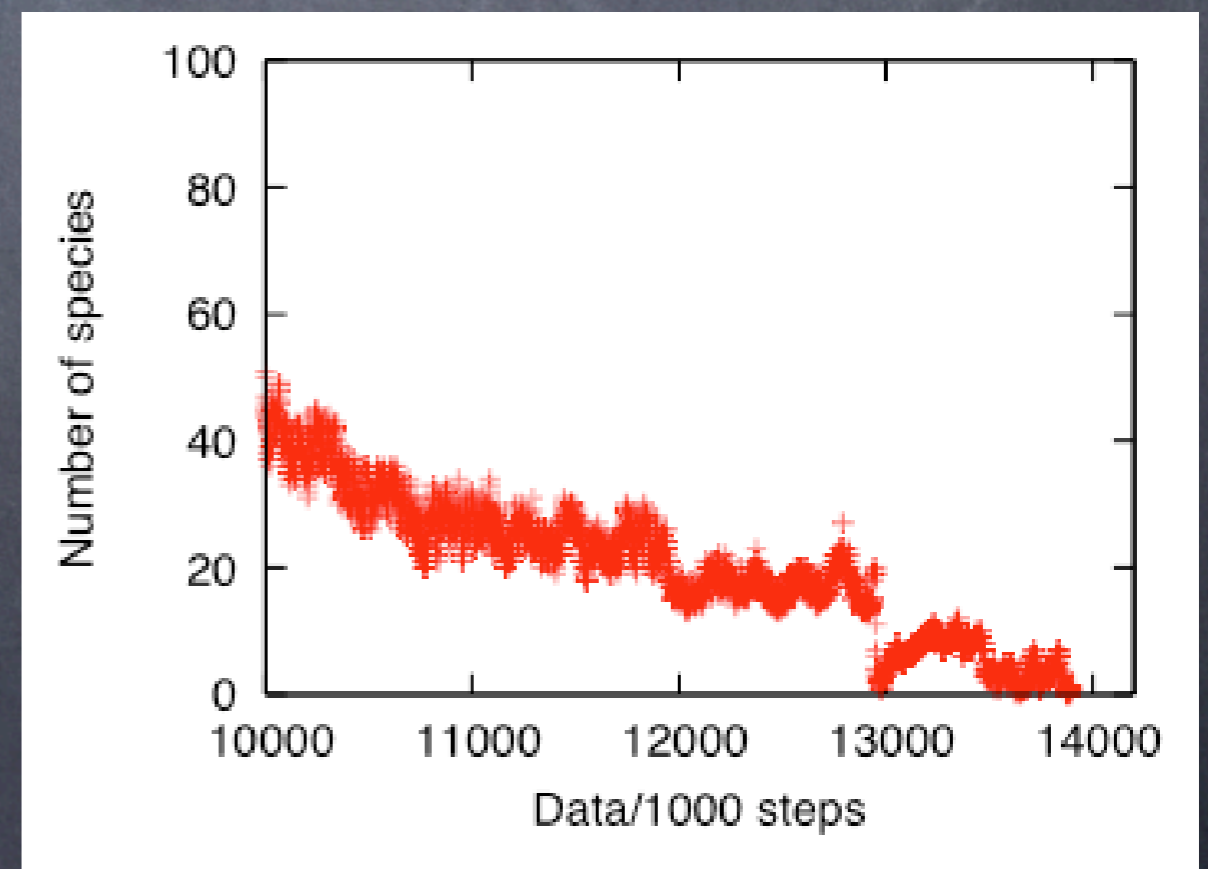
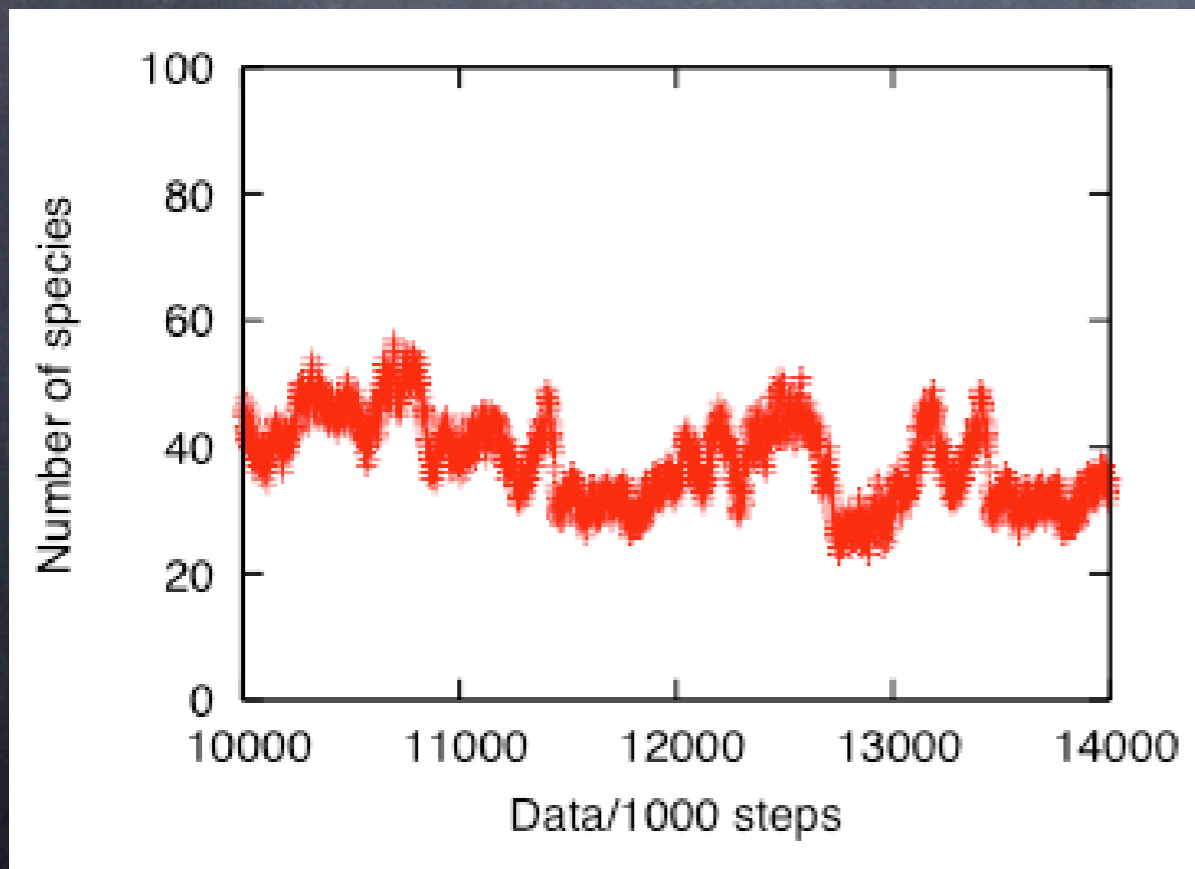




x=10000 で
二手に分かれる

進化速度に
サイズ依存ありのまま

進化速度のサイズ依存
をなしにする



Conclusion

- 生物種の多様性変動に関する数値実験を行った
- 進化速度のサイズ依存性を導入した
- 固有の進化パターンが現れた
初期変動 → 激増 → 激減 → 長期安定
- 進化速度がサイズに依存せずランダムな場合、
種数は安定しなかった（長期安定後でも同様）
べき乗のサイズ分布が多様化・安定化のカギ

Future Works

- 現実の生態系のサイズ分布は？
- 環境変動とそれに対する応答？
- 進化に本質的なパラメータは？



進化のサイズ依存性を含め、必要十分な
仮定とパラメータを用いたモデル作り

惑星科学と数理生態学を総合した研究へ

—1995年—

51 Pegasi の周りに “Hot Jupiter” を発見

[Mayor & Queloz, 1995]

～2005年9月

154個の系外惑星を検出

(ほとんどが巨大ガス惑星)



—1995年—

51 Pegasiの周りに“Hot Jupiter”を発見
(Mayor & Queloz, 1995)

～2005年9月

154個の系外惑星を検出
(ほとんどが巨大ガス惑星)

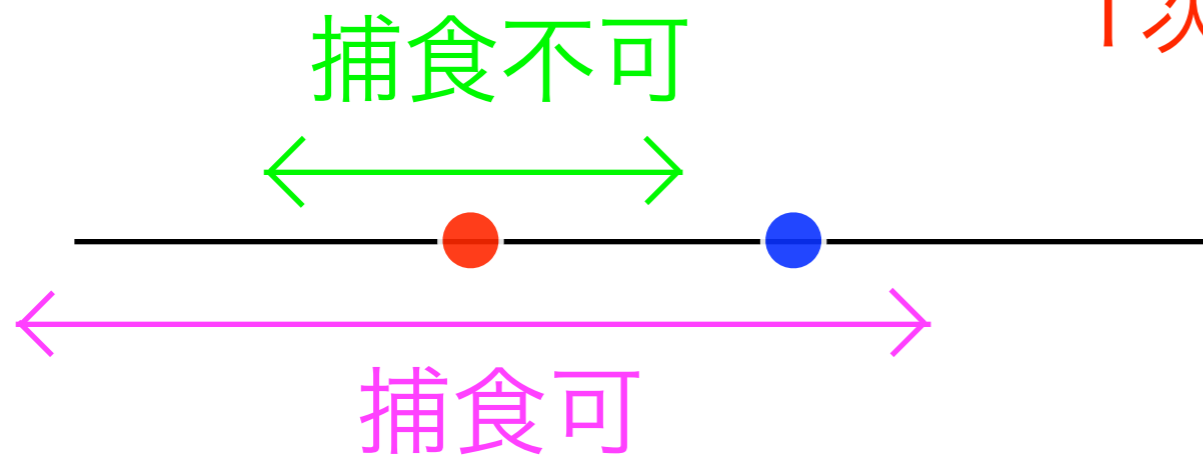
～20??年

地球型系外惑星の発見

地球外生命の研究へ “Astrobiology”

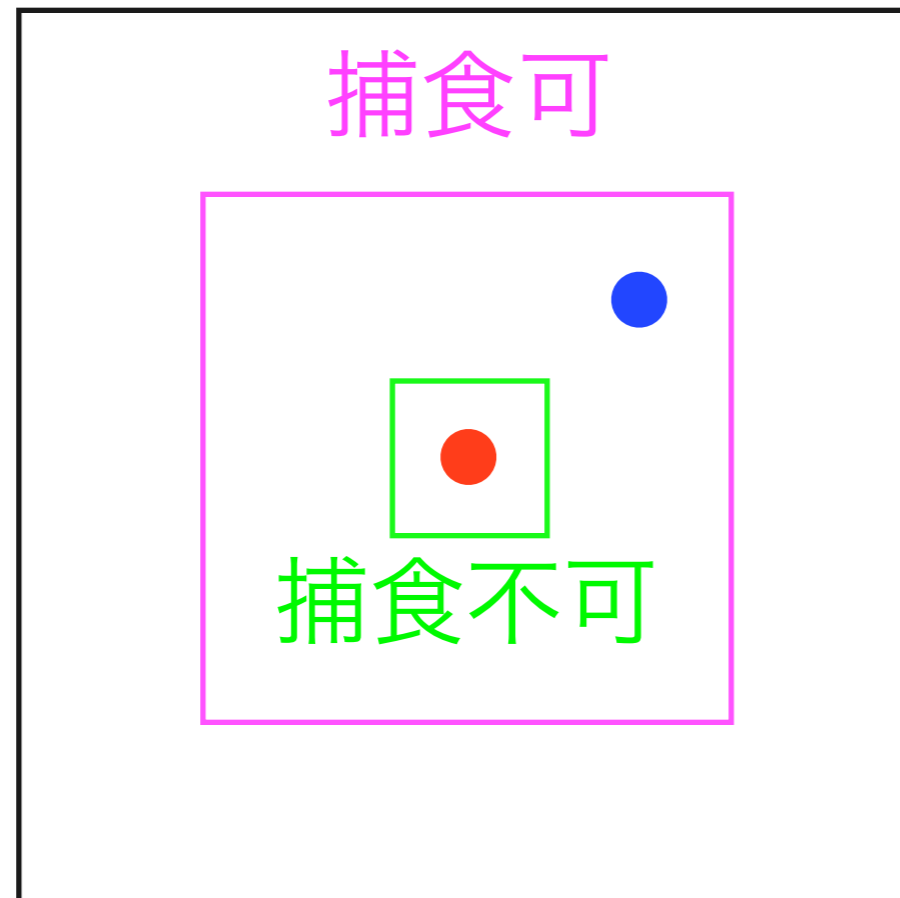


1次元



- 種 j の被食特性
- 種 i の捕食特性
- ↔ 種 i の捕食幅

2次元



- 種 j の被食特性
- 種 i の捕食特性
- 種 i の捕食幅

化石記録が示していること [Sepkoski, 1984]

種の爆発的増加

カンブリア爆発

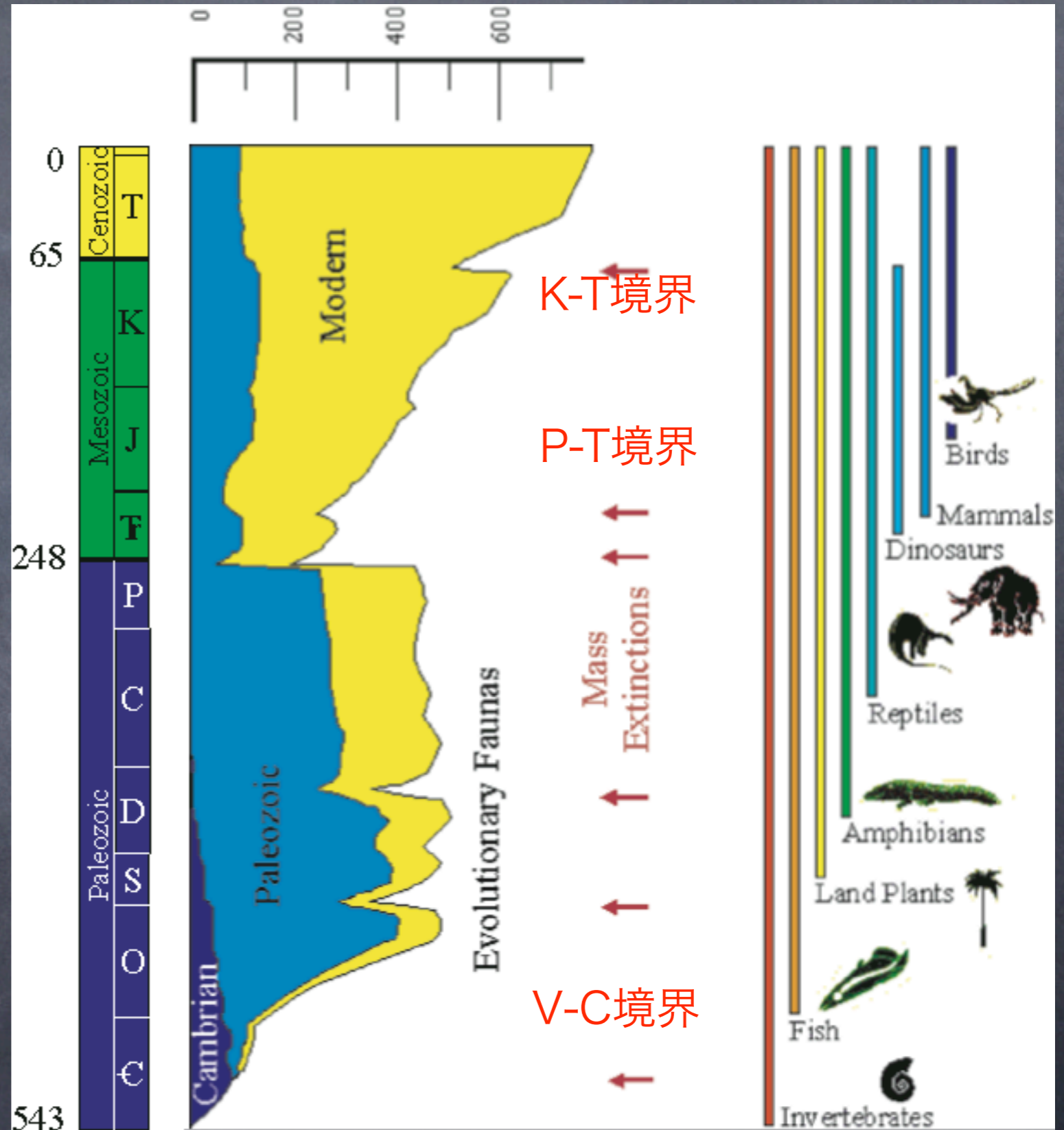
動物群の入れ替わり

カンブリア紀型

古生代型

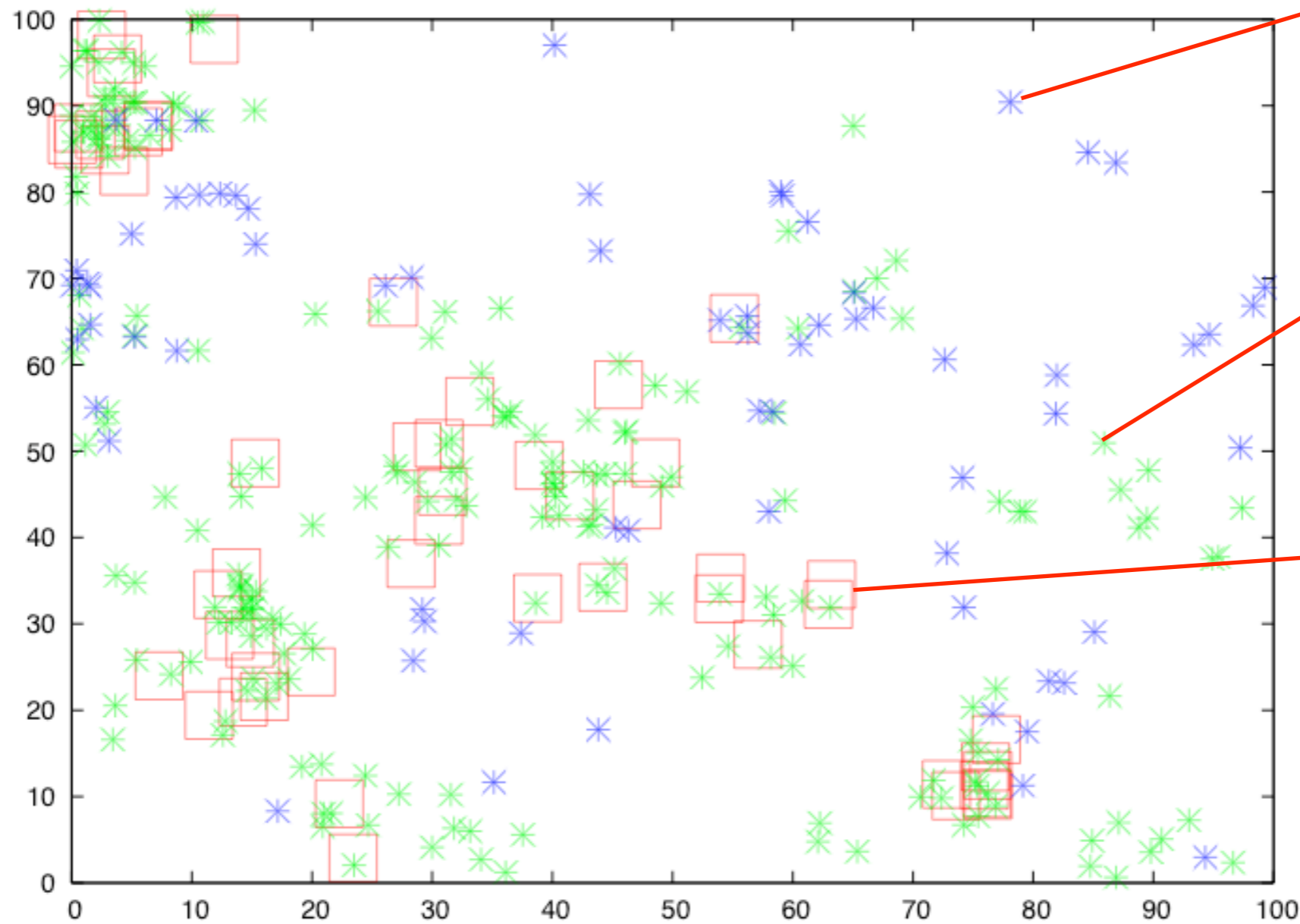
現代型

6度の大量絶滅



結果3：種間相互作用マップ

パラメータ空間



青星：動物

緑星：植物

赤四角：
各動物の
捕食範囲

草食動物 >> 肉食動物 の状態で安定化する