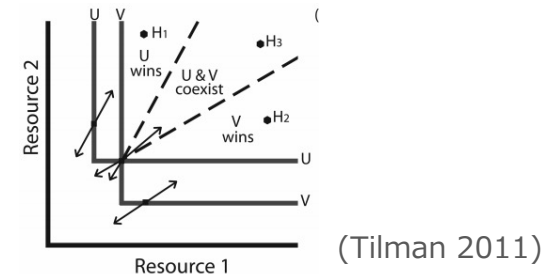


Evolution, Speciation, and the Persistence Paradox

2021/07/05 担当：篠原直登（資源解析グループ）

概要

- 地球の歴史の中で、新たに分化、あるいは他所から来た種は他の種を駆逐することなく共存（persistence）してきた。
：数百万年の化石記録、アフリカサバンナのたくさんの哺乳類など
- これは、自然選択が各種の適応度が（他の種と比べて）高くなるように働くこととパラドックス。現在の進化理論では説明できない。
 - 生存者バイアス？
 - たまたま？
 - 進化（種分化）には何かしらの制約がある？
（トレードオフ）
- さらに、共存に必要なトレードオフ（例えば強い種内密度効果）の進化的な基盤はわかっていない。この章では、その第一歩として、一般的な食物網モデルでの共存を考える。



種分化と共存

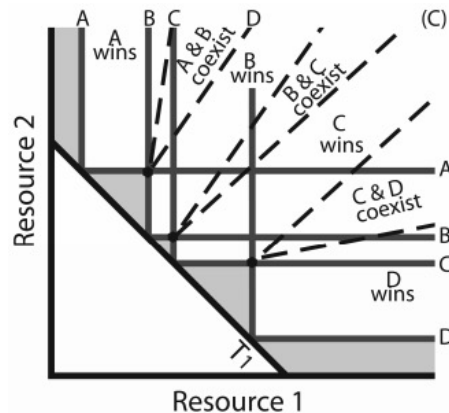
- 地球の歴史の中で、種多様性は増えてきた。
 - ： 陸の動植物は、50科（4億年前）→ 200（2億年前）→ 500（1億年前）→ 1400（500万年前）。その間の絶滅は、外的な要因による大量絶滅が主。
 - ： 四肢動物（tetrapods）は、1種から20000以上の種に多様化し、化石記録からは、新たな種の登場による既存の種の絶滅はほぼ見られない。
- こうした増加は、新たな種が空きニッチを利用すると考えると妥当だろう（ダーウィンフィンチなど）

移入と共存

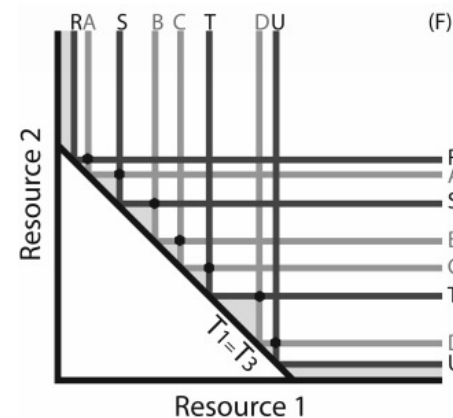
- 生物の移動や人為的な移入で、他所で進化してきた種が出会った場合でも、共存は広く見られてきた。
 - ： この500年間で、13の海洋島での植物種数は倍増したが、絶滅した在来種は3%に過ぎない。
 - ： 第三紀（300万年前）に、太平洋から北海に200種もの軟体動物（mollusk）が移動したが、元々いた種の絶滅率は変わらなかった。
 - ： 過去の大陸間の生物の移動（biotic interchange）でも、在来、外来種は共存してきた。むしろ移動先で放散を起こすことすらあった。
- これらの例から得られる重要な問いは、どんな形質の種が侵入できるのか、適応放散できるのか、など。

食物網におけるトレードオフと共存

- こうした共存は、各種が “universal interspecific competition tradeoff surface” によって制限されているを示唆するか。



ある地域での種は、何かしらのトレードオフ（直線 T_1 ）に制限されている。（この例では二つの資源の利用効率）



異なる地域（黒線と灰色）の種も同じトレードオフ（ $T_1=T_3$ ）で制限されている、という仮説

- 実際の生態系では、種の共存は（競争だけでなく）食物網の中で起こる
- 食物網の中でのトレードオフを調べるため、簡単な食物網モデルを作ってみる。

モデル (Box 1)

- 資源 (R)、植物2種 (P_1, P_2)、植食者 (H)、捕食者 (T) のモデル。派生としてII型の機能反応も考えられる (Box参照)。

$$\frac{dR}{dt} = f(R) - c_1 r_1 P_1 R - c_2 r_2 P_2 R$$

資源は自然に増加 (指数増殖、ロジスティック成長、ケモスタット) し、植物に利用される。

$$\frac{dP_1}{dt} = r_1 P_1 R - c_3 r_3 H P_1 - m_1 P_1$$

植物1は資源量に応じて成長し、植食者に食われる。その代わり死亡率が低い ($m_1=0?$)。

$$\frac{dP_2}{dt} = r_2 P_2 R - m_2 P_2$$

植物2は資源量に応じて成長し、植食者に食われない代わりに死亡率が高い。

$$\frac{dH}{dt} = r_3 H P_1 - c_4 r_4 T H - m_3 H$$

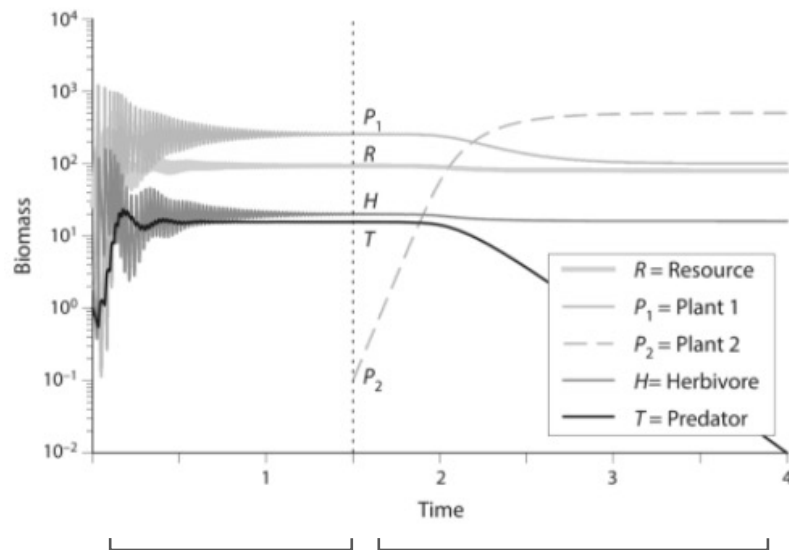
植食者は植物1を食べ、捕食者に食われる。

$$\frac{dT}{dt} = r_4 T H - m_4 T$$

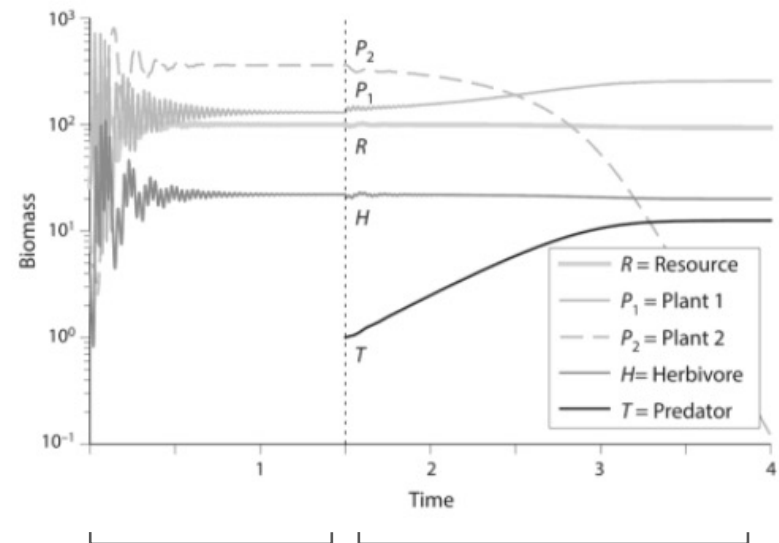
捕食者は植食者を食べる。

モデルの挙動

- シンプル（資源—植物2種—植食者）な時、共存は可能（Box内の図）。
- しかし、全登場人物を入れたモデルでは共存が不可能。植食に強い植物 P_2 か捕食者 T が絶滅する。



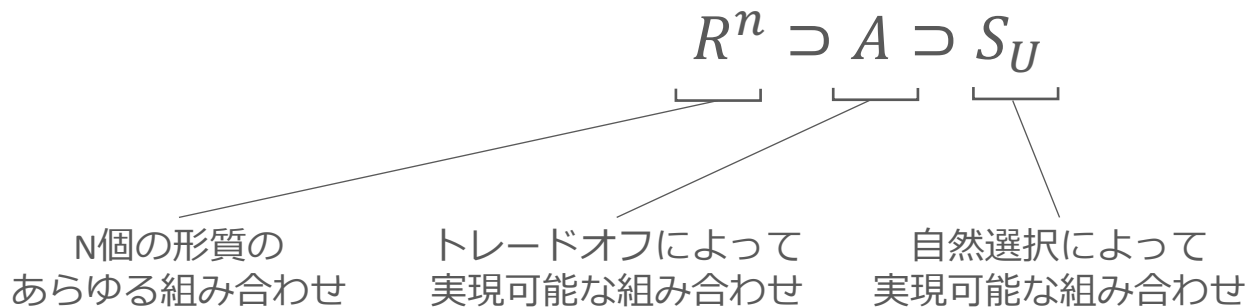
資源—植物1種—
植食者—捕食者の共存。 植物 P_2 を入れると
捕食者が絶滅。



資源—植物2種—
植食者の共存。 捕食者を入れると
植物 P_2 が絶滅。

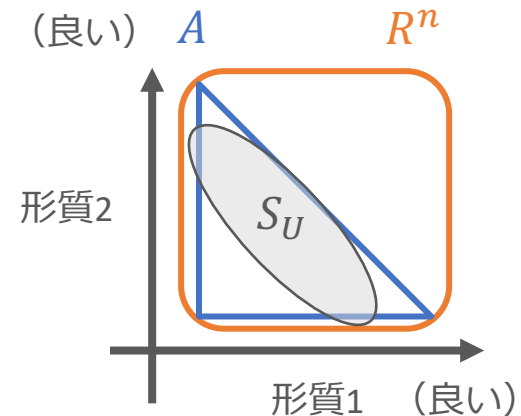
食物網でのトレードオフ

- シンプルなモデルでも食物網での共存は難しい上、共存を実現するようなトレードオフも理論的にわかっていない。
- 各種についてN個の形質（N次元空間 R^n ）を考えると、トレードオフや自然選択でその実現値は狭まる：



例：

- タンパク質の体内器官への配分
- 植物における成長や防御への投資
- 餌探索と捕食リスク



仮説・まとめ：食物網でのUniversal tradeoff

- 筆者らの仮説：
地球上の生物は同じトレードオフ（universal tradeoff, s_U ）に制限されているのではないか。
（あるいは、ハビタットやギルドごとに共通のトレードオフ）
- 対立仮説：
異なる進化背景を持つ地域ごとで、トレードオフが異なる。
- 地球の歴史の中で、種分化や移入後で新たな種が入った後も元の種と長く共存している現象（food-web persistency）はパラドックスである。
これは、どの種も同じトレードオフに支配されているためかもしれない。
- 未解決の問いとして、
どうしてトレードオフが維持されるのか？食物網構造への影響は？実際の形質で説明できるか？