Untangling Food Webs

Robert M. Pringle

UE chap.18

漁業情報解析部

長田 穣

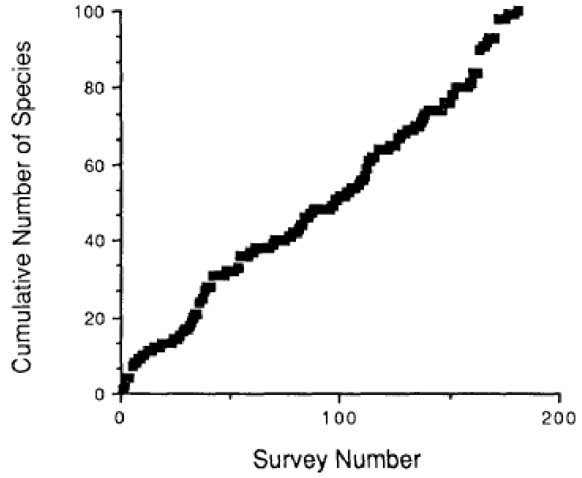
野生動物の本当の食性を調べることの難しさ

野外データに関する問題

・分類の低い解像度（属・科・目・他の機能群にまとめられる）

・時空間的に低い解像度

理由：野生動物の食性を正確かつ一般的に特徴づけることが難しい



Polis (1991)

古典的手法は生物によってはハマる場合はあるものの、

研究の大変さ・分類の難しさ・調査による生物への影響を考えると

多様な生物において食性や食物網構造を正確に・完全に把握することは難しい

古典的手法

直接観察・胃内容分析・糞分析・安定同位体

エキスパートオピニオン・餌選択実験

隠れた多様性と分類の不正確さが形作る食物網解析のチャレンジ

未解決の問題

システムレベルのプロセスや特性（競争・共存・生産性・安定性）を予測するうえで、どこまで正確・詳細な分類が必要なのか？

例）１種のジェネラリストが多くのスペシャリストに再分類される

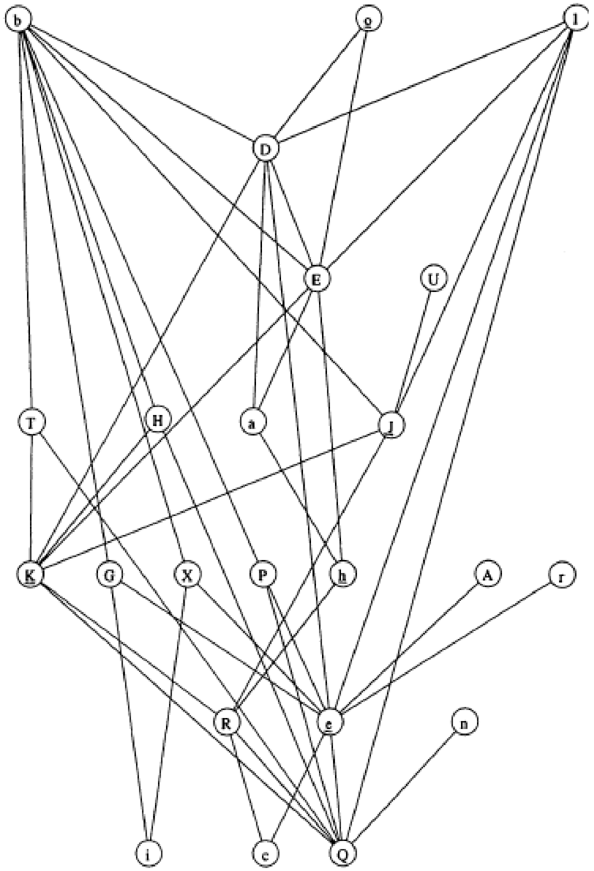
コスタリカ：セセリチョウ科・コマユバチ科・ヤドリバエ科

ケニヤ　　：ネズミ類

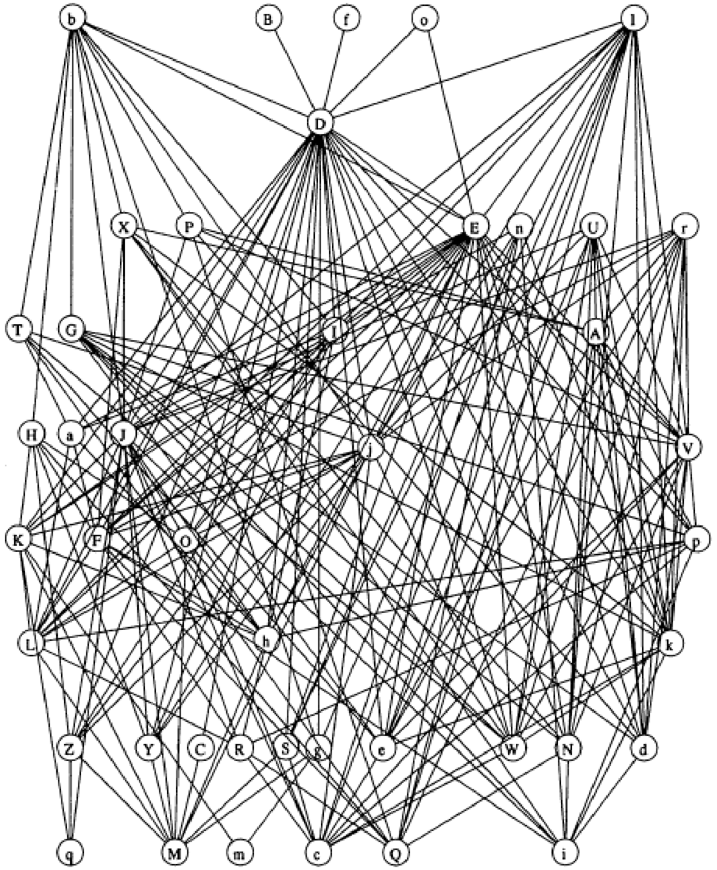
例）餌の種類は同じだが割合が異なる

ケニヤ　　：大型哺乳類

St. Martin food web（Goldwasser & Reagan 1993）



初期バージョン



最終バージョン

<u>人為的に種をまとめることの影響</u>

・ネットワーク構造
・食性幅
・ニッチ重複度

・食物連鎖長の変化
・種数・リンク数関係の変化
・ギルド内捕食の増加
(Hall & Rafaelli, 1991)

新しいボトルと古いワイン

食物網データの不十分さに対する懸念は古くからある

・データによる検証への取り組みが少ない（May 1983）

・理論的発展を導くには正確さや解像度が不十分（Paine 1988）

数種のモジュールによる単純化

ただし、食物網はモジュールのランダムな組み合わせではない（Cohen 2009）

2000年代以降、新しい理論、コンピュータや計算技術の高度化により

ネットワーク構造（とその動的特性）に関する理論的は発展があった

これらの検証に必要な食物網データが不十分

生態学的科学調査：分子手法による参入

Lawton (1999)

中間スケールは複雑なので
系依存的・偶発的な法則になりがち

慎重な単純化や抽象化は複雑な現象を扱うのに有用

一方で、新しい手法の出現により正面から複雑さを扱えるようになりつつある

・DNAメタバーコーディング

・安定同位体・脂肪酸分析

Going Big

Stefano Allesina

UE chap.27
漁業情報解析部
長田 穣

生物システムの難しさ

生物システムの大きさ

ショウジョウバエの遺伝子制御ネットワーク（15,000遺伝子）

イリノイ西部の送粉ネットワーク（456植物, 1420送粉者）

インフルエンザの社会ネットワーク（10,000,000ノード）

歪んでいるリンク分布

少数のリンクをもつノードが多く、多数のリンクをもつノードが少ない

⇒ 平均場近似が使いづらい

時間・空間的に変化するネットワーク

グリーンランドの送粉ネットワーク

複雑な生物システムを扱うために単純で自然なツールが必要

n → ∞ の極限を持つ生態学

数学的・実証的な簡便さから小さなシステムに注目してきた

・非線形な自律系微分方程式は３ノード以上で解析的に研究することが難しい
・数値シミュレーションも結果を要約することは難しい
・多種間の相互作用を測定することは現実的ではない

生態学の多くの進展は n → 2 の極限の群集で行われてきた
もし n → ∞ の極限を考えていたら、生態学はどうなっていただろうか

例）統計力学（物理でのパラレル）
多くの気体分子の動きを個別に記述することなく、気温や気圧といった統計的な量によってシステム全体の挙動を決定づける

ランダム行列理論

ランダム行列理論

行列の要素を確率変数と扱うことで固有値や固有ベクトルの分布を考える

<u>生物システムに利用できる特徴</u>

・ネットワーク ≒ 行列（i.e., 線形代数）

・測定の難しい相互作用を分布として扱うことができる

・行列要素の詳細な確率分布によらない普遍的な結果が得られる

（結果は分布の平均や分散、共分散に支配されるため）

今こそランダム行列理論を利用して群集を研究する絶好のタイミング

・ランダム行列理論は現在急速に発展をしている分野

・ハイスループットなデータが利用可能になりつつある

群集のリアプノフ安定性（Allesina & Tang 2012）

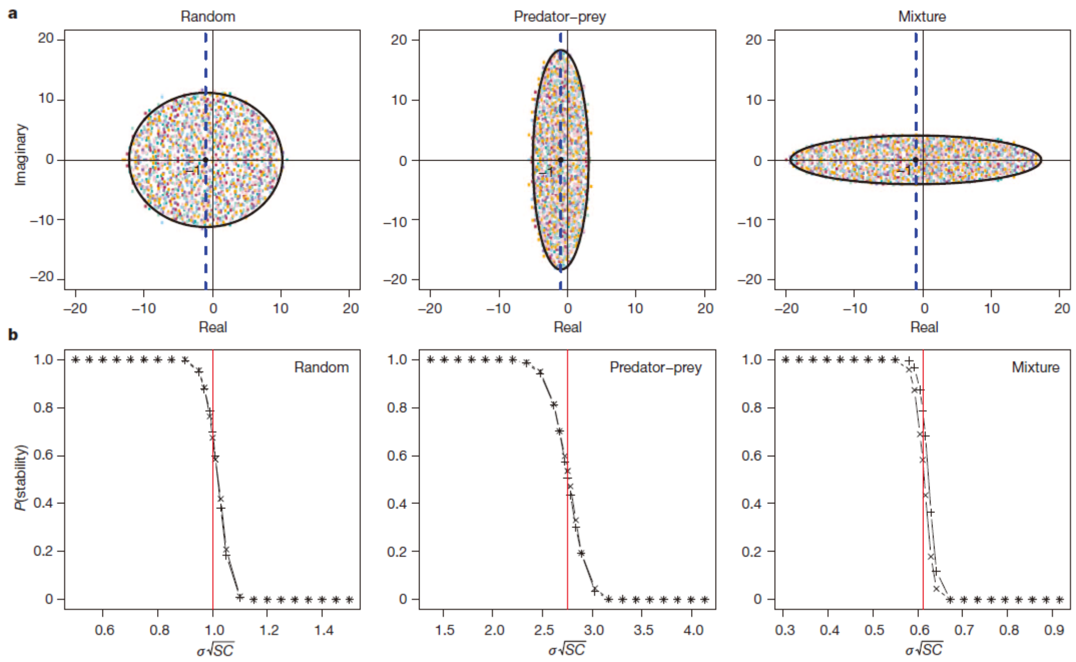


Table 1 | Stability criteria for different types of interaction and network structure

Interaction	Stability criterion	$S_{max}(C, \theta)$ (0.1, 2.0)	(0.1, 4.0)	(0.2, 4.0)
Nested mutualism		9	28	18
Mutualism	$(S-1)C\sqrt{\frac{2}{\pi}}<\theta$	16 (15)	41 (51)	22 (20)
Bipartite mutualism		17	41	23
Mixture	$\sqrt{SC}<\frac{\theta\pi}{\pi+2}$	17 (14)	58 (59)	33 (29)
Competition	$\sqrt{SC}\left(1+\frac{2-2C}{\pi-2C}\right)\sqrt{\frac{\pi-2C}{\pi}}+C\sqrt{\frac{2}{\pi}}<\theta$	17 (15)	62 (63)	38 (33)
Random	$\sqrt{SC}<\theta$	50 (40)	168 (160)	88 (80)
Niche predator–prey		149	461	245
Cascade predator–prey		298	1,134	535
Predator–prey	$\sqrt{SC}<\frac{\theta\pi}{\pi-2}$	314 (302)	1,201 (1,211)	603 (605)

In all cases, the criterion is derived for large $S \times S$ matrices with $X \sim N(0, \sigma^2)$ (and thus $\mathbb{E}(|X|) = \sigma\sqrt{2/\pi}$), connectance C and $\theta = d/\sigma$. Numerical simulations report, for a given combination of C and θ, the largest S (S_{max}) yielding a probability of stability ≥ 0.5 (computed using 1,000 matrices). In parenthesis are the analytical predictions.

・ランダム行列理論を使って、種数・結合度でリアプノフ安定性を明示的に表現した研究
・May (1972) の発展的な研究

生態系管理（生態系サービスの保全）を考えると自然群集の複雑性を扱う理論はますます必要に

I maintain that in the next century ecology should go big or go home.