

Workshop 3-1

行列モデルを使った集団生物学：
発展編(生育段階構成モデルとその基本統計量)

イントロダクション

高田 壮則(北海道大学)

How to use WiFi in Komaba

UTokyo-Guest を利用

"UTokyo-Guest" という SSID で、携帯電話による認証を行った上で無料で利用できます。ソフトバンク社が提供するサービスを用いており、東京大学のネットワークではありません。

1. Connect your device to UTokyo-Guest Wi-Fi and open the login page using a web browser.
2. Click “初めての方はこちら” on the Japanese login page (not the English/Chinese/Korean page as those are for international roaming mobile phone users only). Follow the instructions provided, 1) call the dedicated number, and 2) get your password from the Japanese audio guidance.
3. Your login ID is your phone number.

COMPADRE データベース

The COMPADRE Plant Matrix Database: an open online
repository for plant demography Journal of Ecology 2015, 103, 202–21



COMPADRE

Plant Matrix Database

個体群統計統計学時代
の幕開け

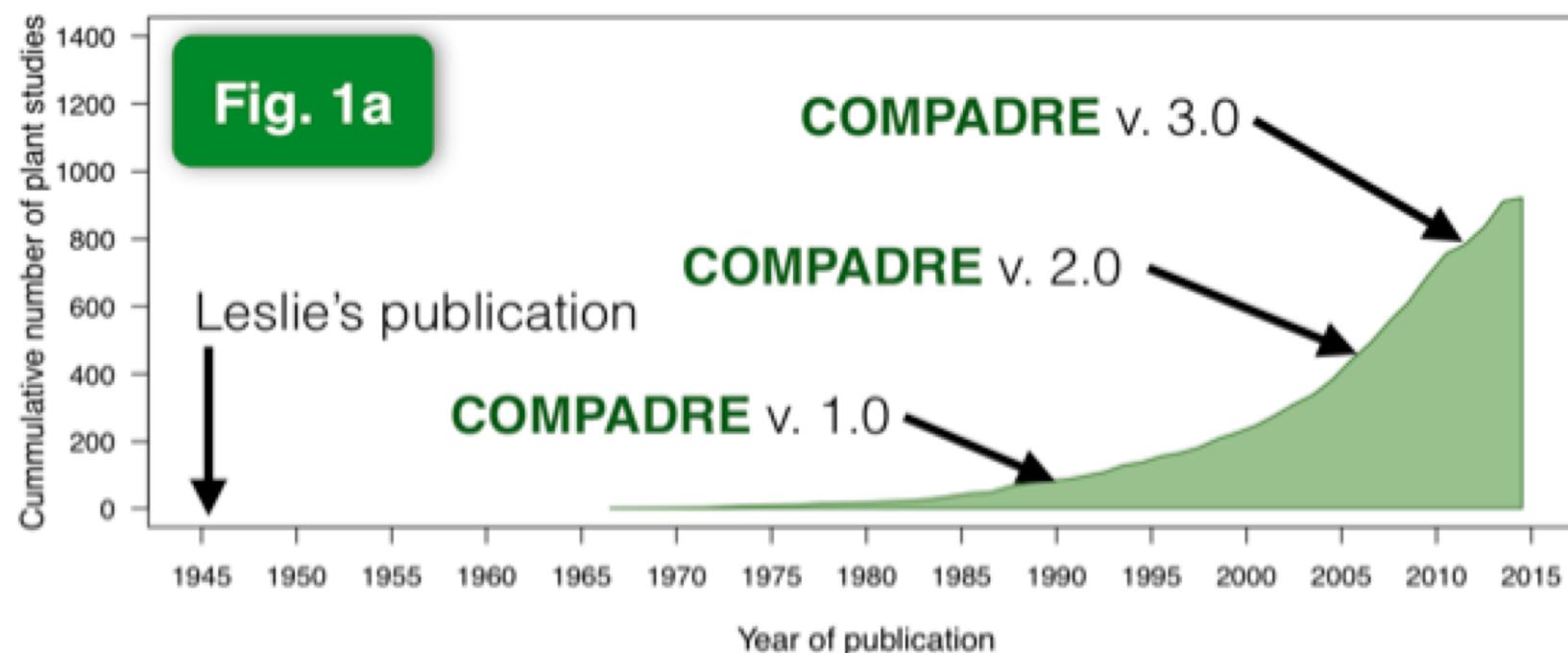
History of Matrix Population Model

Bernardelli (1941), Lewis (1942), Leslie (1945) Age-structured model

Lefkovitch (1965) and Keyfitz (1964) Stage-structured model

1970年代から様々な動植物に応用がなされ、理論的研究も進んだ

データベース の歴史	Version 1: Silvertown & Franco (1989) 105種
	Version 2: Salguero-Gomez & Hodgson(2008) 500種
	Version 3: Max Plank Institute (2011–)



Compadreの概要

The details are presented in Course 5
of our workshop.

- Version 5, 392研究、781植物種、8653行列
- Taxonomic names
- Phylogenetic tree
- Geolocation
- Architectural organization
- Matrix information

付加情報

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} + \mathbf{F} + \mathbf{C}$$
$$\begin{pmatrix} 0.2 & 0.1 & 0 & 1.4 & 5.2 \\ 0.2 & 0 & 0.2 & 0.2 & 3.0 \\ 0 & 0.3 & 0.1 & 0.3 & 1.5 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.1 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.4 & 5.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Projection matrix

推移行列

以前は推移行列と
呼んでいた

繁殖行列

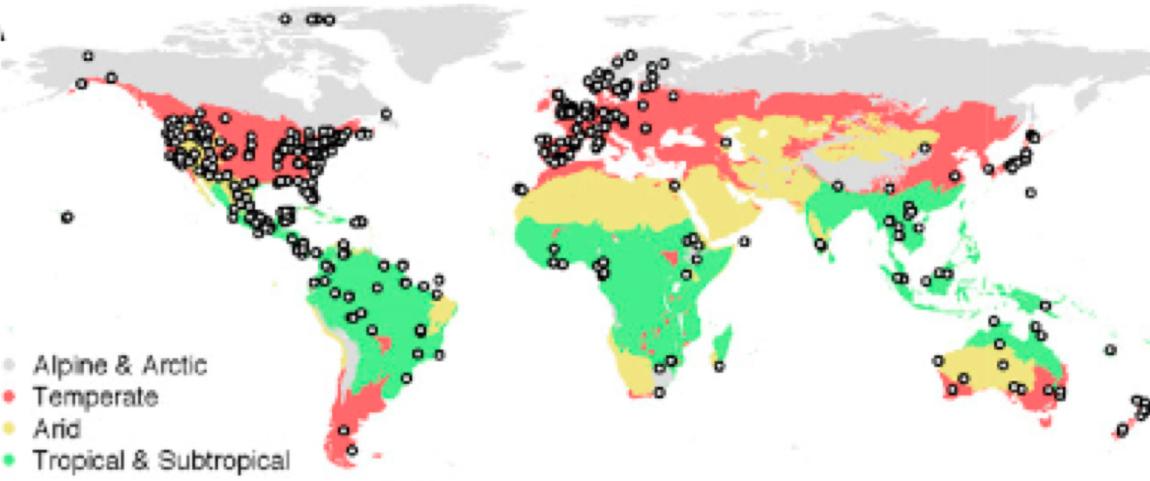
クローン行列

この行列が多数種にわたって集められると何ができるのか？

Fast–slow continuum and reproductive strategies structure plant life-history variation worldwide

Roberto Salguero-Gomez et al. (PNAS 113: 230–235, 2015)

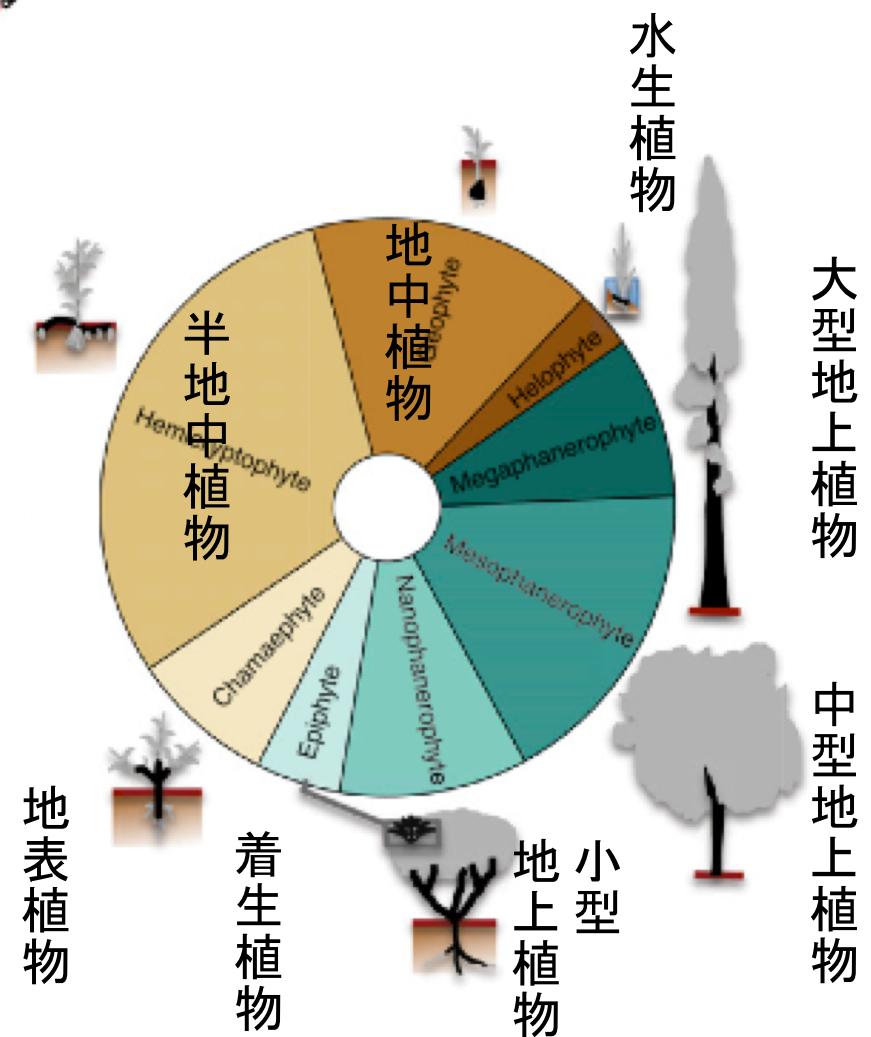
- 植物の寿命、成長や繁殖の仕方はとても大きいバラツキ(**生き急ぎ種とスローライフ種**)をもっているが、そのバラツキを説明できる主要な決定因子を明らかにしたい。
- 一年生草本から長寿命の木本にわたる418種の植物のデータを用いて、生活型、生息地、系統関係がどのように生活史を制約しているかについて調べた。
- その答えは、植物の進化、現存量、分布に関する我々の理解を助けると期待される。



全部で418種
(極域から熱帯まで)

生活型(life form)の内訳

灰色部分が毎年新たに作られる
黒色部分が毎年残っている部分



Two addressed questions

1. 生活史戦略のバラツキを説明する主な因子は何か？
(主成分分析を用いて)
2. 生活型、生息地、行列サイズがどの程度生活史戦略のバラツキを作り出しているか？

生活史戦略を示す指標とは何か？

用いられた指標は9種類

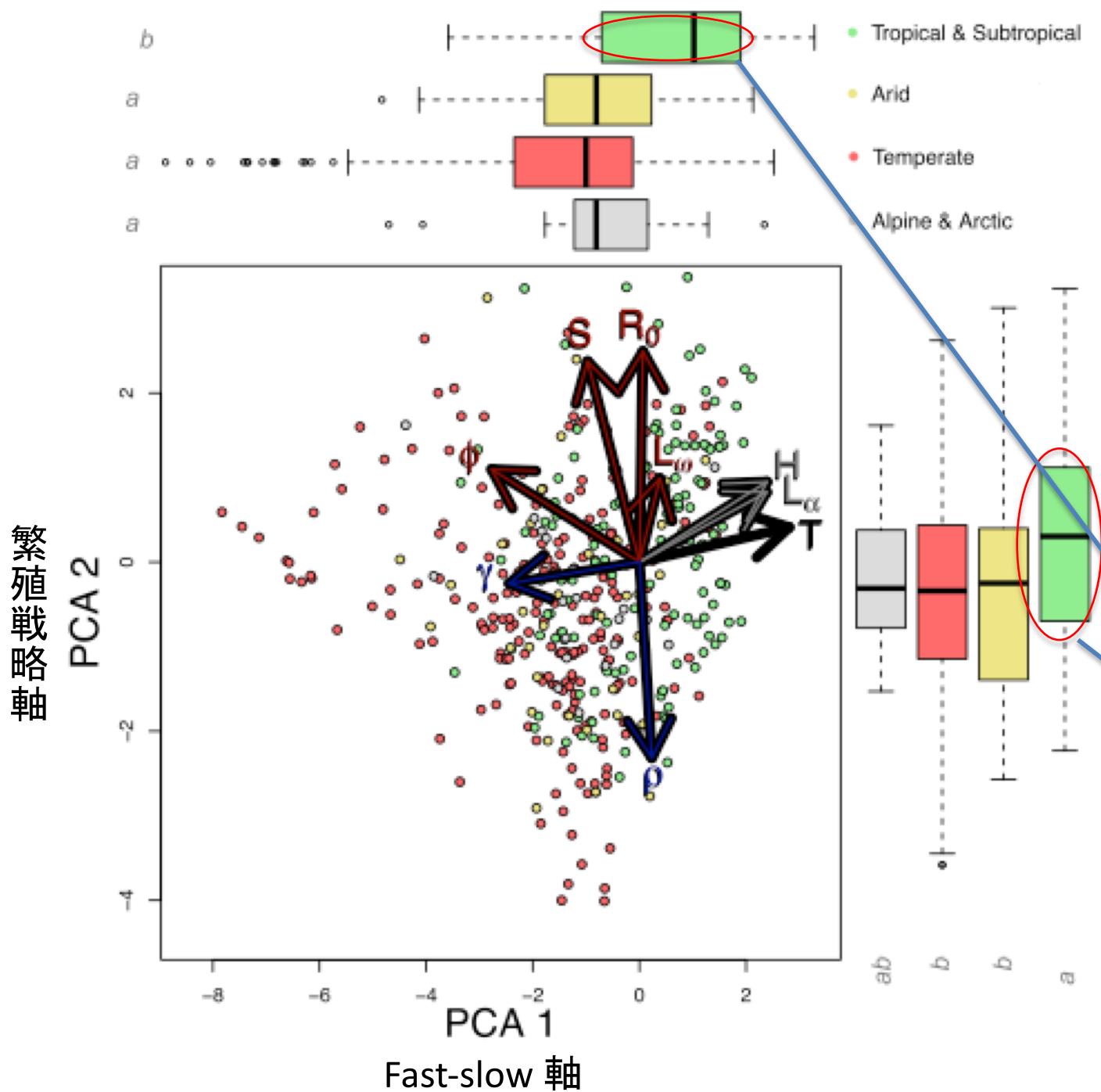
	生活史形質	定義式
世代交代	世代時間	$T = \frac{\log R_0}{\log \lambda}$
寿命	生存曲線タイプ	$H_K = - \sum_x (\log l(x))l(x) / \sum_x l(x)$
	成熟年齢	L_α in Caswell (2001)
成長	前進成長	$\gamma = \sum_{i,j} U'_{ij} w_j \Big _{i < j}$
	後退成長	$\rho = \sum_{i,j} U'_{ij} w_j \Big _{i > j}$
繁殖	多回繁殖の度合い	$S_D = - \sum_x \left(\log(l(x)b(x)\lambda^{-x}) \right) \left(l(x)b(x)\lambda^{-x} \right)$
	純繁殖率	$R_0 = \sum_{x=0} l_x b_x$
	成熟期間	$L_w = \sum_{j=1}^i N_j - L_\alpha$

l_x : 齢別生存率 m_x : 齢別繁殖率

U' : 推移行列(生存率を除去した) w : 安定生育段階構成

N : マルコフ基本行列

} を正在する

A

PCA1: 成長、繁殖よりも
寿命へ投資

(Fast-slow 軸)

PCA2: 生涯繁殖成功へ
投資

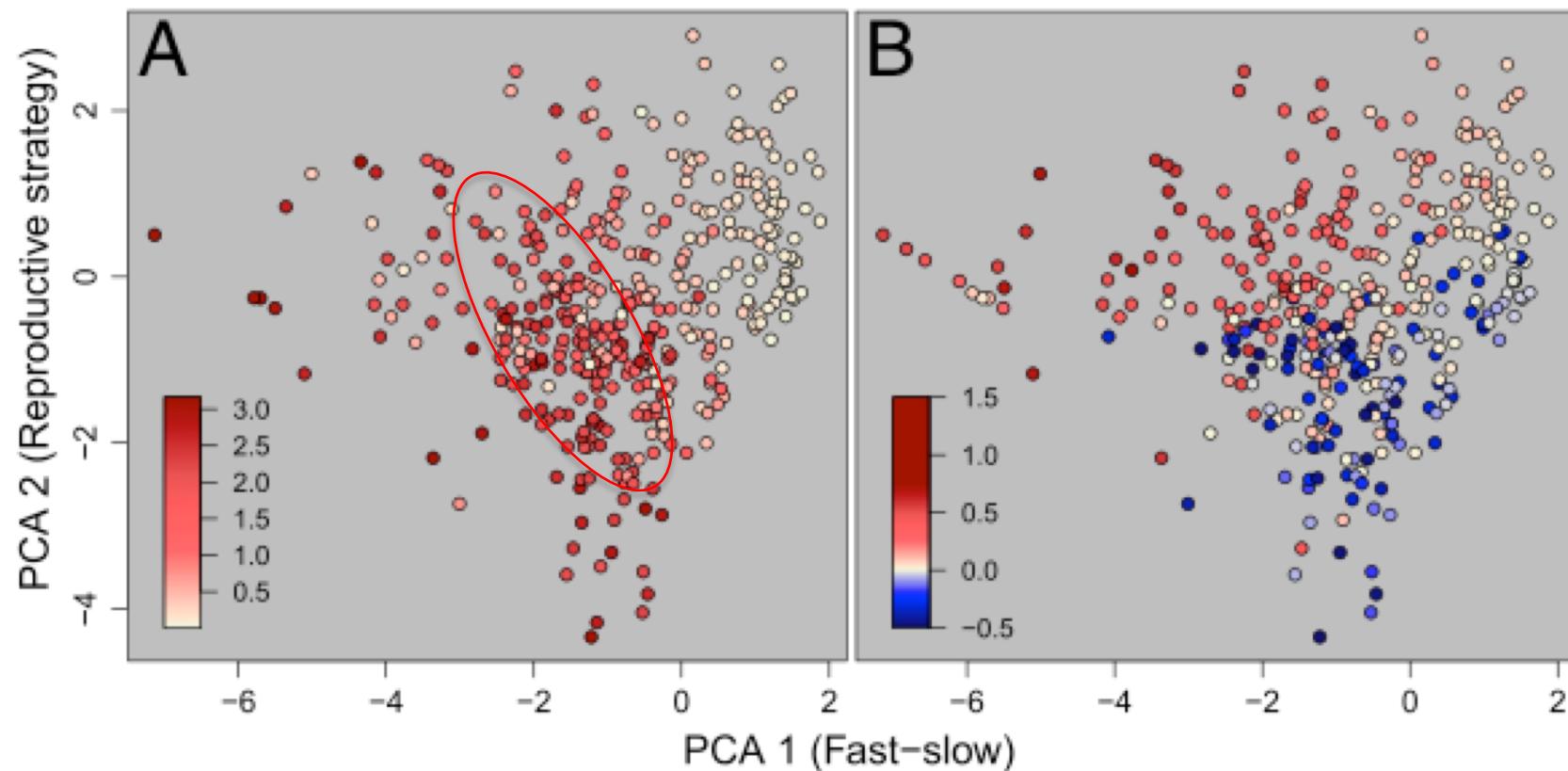
(繁殖戦略軸)

熱帯では寿命が長く、
生涯繁殖成功への投資
も大きい傾向

PCA1,2とdamping ratio, $\log\lambda$ の関係

(A) damping ratioの高低
(i.e.個体群サイズが平衡状態へ戻る速度の高低)

(B) $r(=\log\lambda)$ の高低
(i.e.個体群増加率の高低)



こりや、困った！？

1. 主成分分析や分散分析(ANOVA)についての教科書は世の中にたくさんあるが、個体群の基礎理論に関する教科書は少ない。



* これでも足りない。

2. 紹介した論文には、重要な個体群統計の指標が満載。
(世代時間、生存曲線タイプの指標、成熟年齢、純繁殖率などなど)

3. ワークショップで学ぼう！！

主成分分析

西

1. 多次元データのもつ情報をできるだけ損わずにいくつか(できれば2つまで)に情報を縮約する方法
2. その二つは主成分1(PCA1)、主成分2(PCA2)と言う。
3. 主成分1：最もバラツキが大きくなるようにもとの多次元データ変数の一次結合を行うように選ぶ。主成分2は2番目にバラツキが大きいもの。

生活形での植物の分類

ラウンケルは休眠芽の地面からの高さによって、植物を次の6つに分類しました。

- **地上植物**…休眠芽が地上30cm以上につく。 • 高木・低木
- **地表植物**…休眠芽が地表から30cm以内につく。 • コケモモ・シロツメクサ
- **半地中植物**…休眠芽が葉を広げて地表に接してつく（ロゼット）。 • タンポポ・ススキ
- **地中植物**…休眠芽が地表面から離れた地中につく。 • カタクリ・エンレイソウ
- **水生植物**…休眠芽が水中や水で飽和した地中につく。
- **一年生植物**…個体は枯れて、休眠芽は種子中にある。

気温や降水量によって、その地域にどの植物が多いのかが決まります。気温が高く降水量が多くなるほど**地上植物**が増えます。逆に気温が低くなるほど凍結から休眠芽を守るために、**半地中植物**や**地中植物**が増えます。そして乾燥する地域では、乾燥から休眠芽を守るために**一年生植物**が増えるのです。