

## Workshop 2-1

# 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）

# タイムテーブル

## Time table

Nov. 9 (Fri.)	9:30-11:00	1st class
	11:10-12:40	2nd class
	Lunch	
	13:40-15:10	3rd class
	15:20-16:50	4th class
	17:00-18:00	5th class
	19:00	Party

# How to use WiFi in Komaba

Please check the website below.

<https://www.u-tokyo.ac.jp/adm/dics/ja/wlan.html>

# 予告 Next workshops

「個体群行列データベース  
COMPADRE・COMADREの  
使用法(R演習とともに)」  
川合由加(北大・地球環  
境)

実際にデータベースを見てみ  
たい人向け

2019年5月開講

「行列モデルを使った集団生  
物学:超発展編(マルコフ行  
列の応用・分集団モデルな  
ど数学重視)」  
高田壮則(北大・地球環境)

数理モデルを使いたい、関連論文を理  
解するために学びたい人向け

「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)」  
高田壮則(北大・地球環境)

実際に使ってみたい、関連論文を理解  
するために学びたい人向け

「行列モデルを使った集団生物  
学:超入門編(生命表から齢構  
成モデルまで)」  
西村欣也(北大・水産)

初学者、学んで  
おきたい人向け



# 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



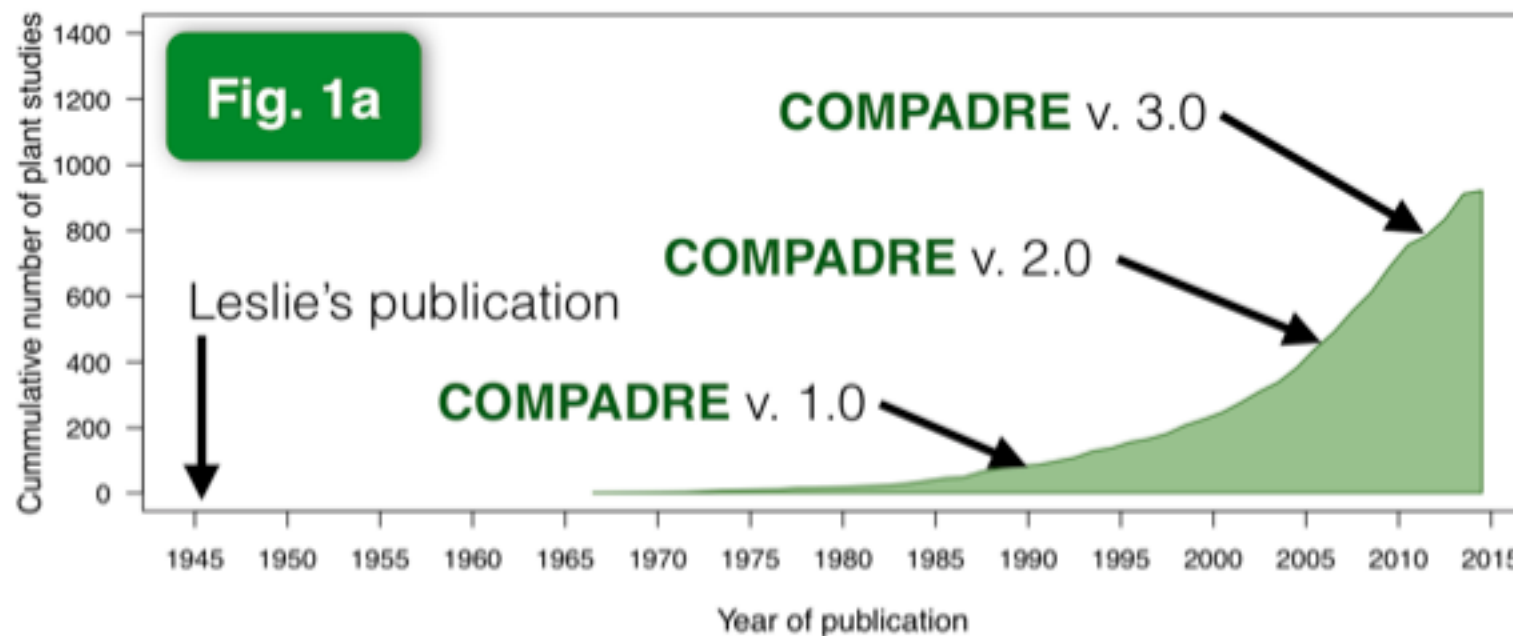
個体群統計統計学時代  
の幕開け

# 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 Nov.10 symposium

- 現在、468研究、598植物種
- 6ヶ月ごとに更新
- 5621行列(3621行列+平均処理により派生した1997行列)
- Taxonomic names
- Phylogenetic tree
- Geolocation
- Architectural organization
- Matrix information

付加情報

$$\begin{matrix} & \mathbf{A} & & \mathbf{U} & & \mathbf{F} & & \mathbf{C} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.4 & 5.2 \\ 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.8 \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.8 \end{pmatrix} & + & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.4 & 5.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & + & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Projection matrix  
以前は推移行列と  
呼んでいた

推移行列

繁殖行列

クローン行列

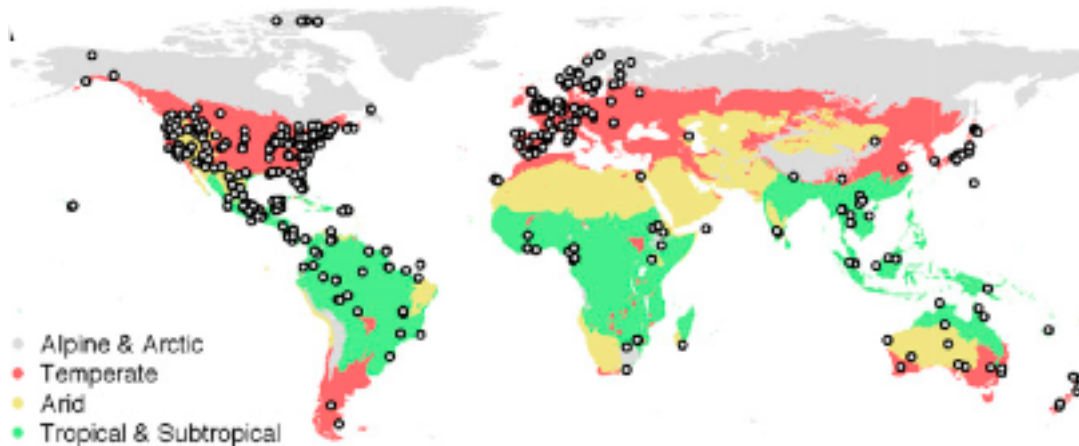
この行列が多数種にわたって集められると何ができるのか？

# 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。

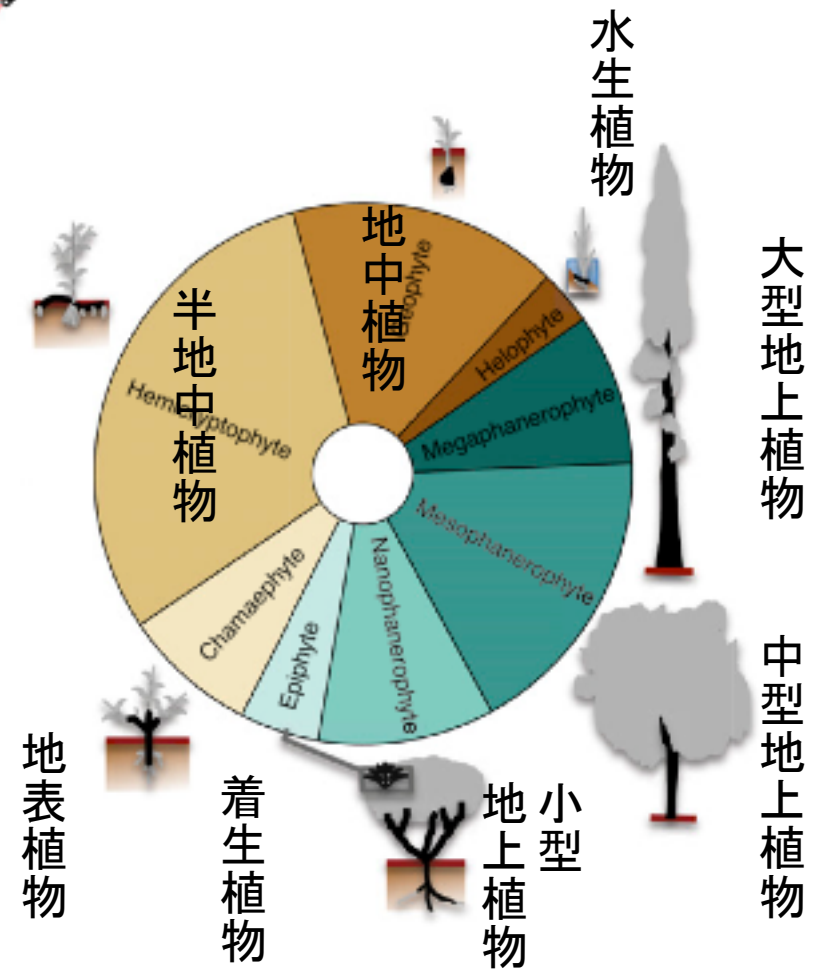




全部で418種  
(極域から熱帯まで)

### 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	$H_K = -\sum_x (\log l(x)) l(x) / \sum_x l(x)$ Keyfitz's entropy
	成熟年齢	$L_\alpha$ 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	$S_D = -\sum_x \left( \log(l(x)b(x)\lambda^{-x}) \right) (l(x)b(x)\lambda^{-x})$
	純繁殖率	$R_0 = \sum_{x=0} l_x b_x$
	成熟期間	$L_w = \sum_{j=1}^i N_j - L_\alpha$

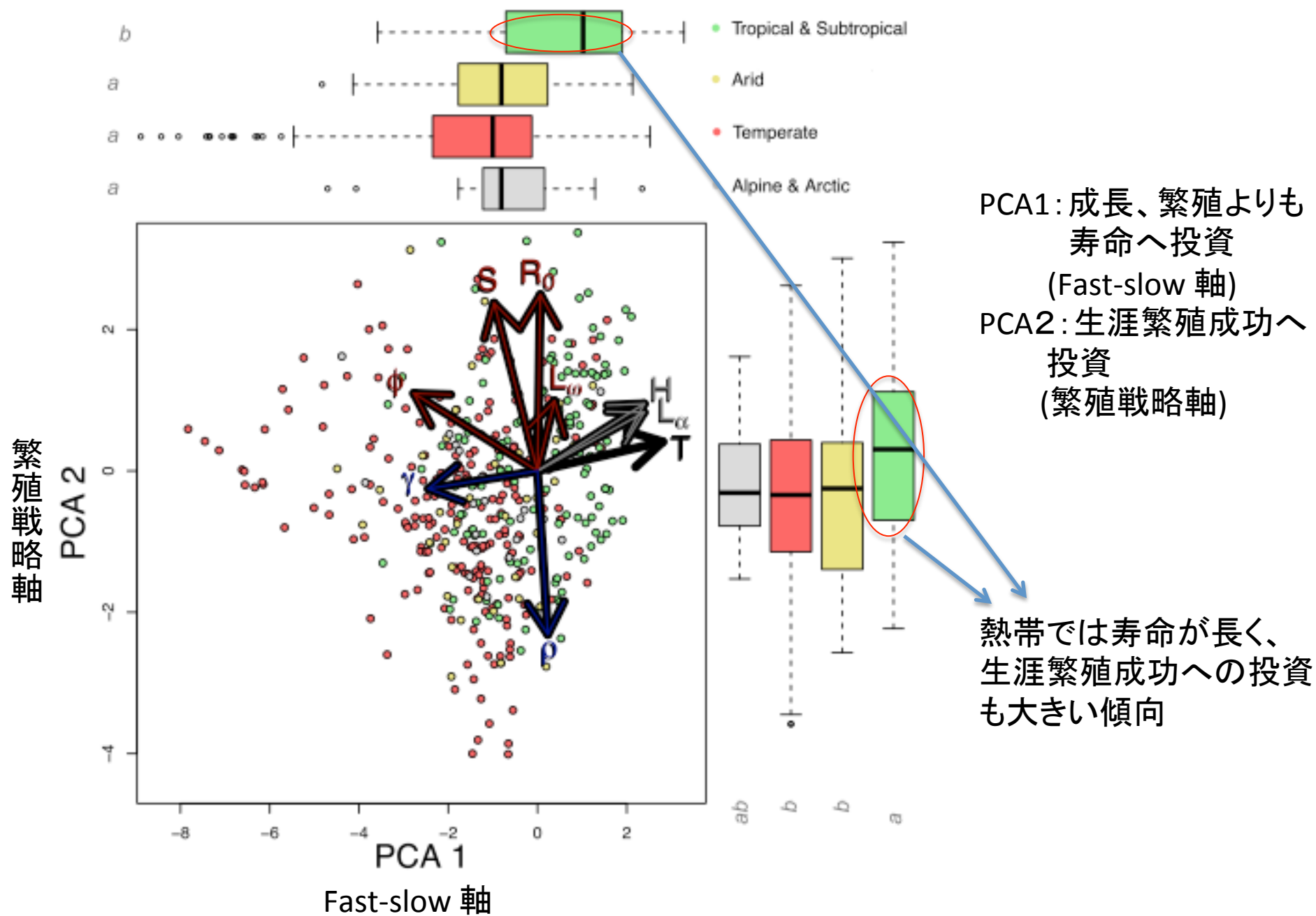
$l_x$  : 齢別生存率     $m_x$  : 齢別繁殖率

$U'$  : 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

} を使っている

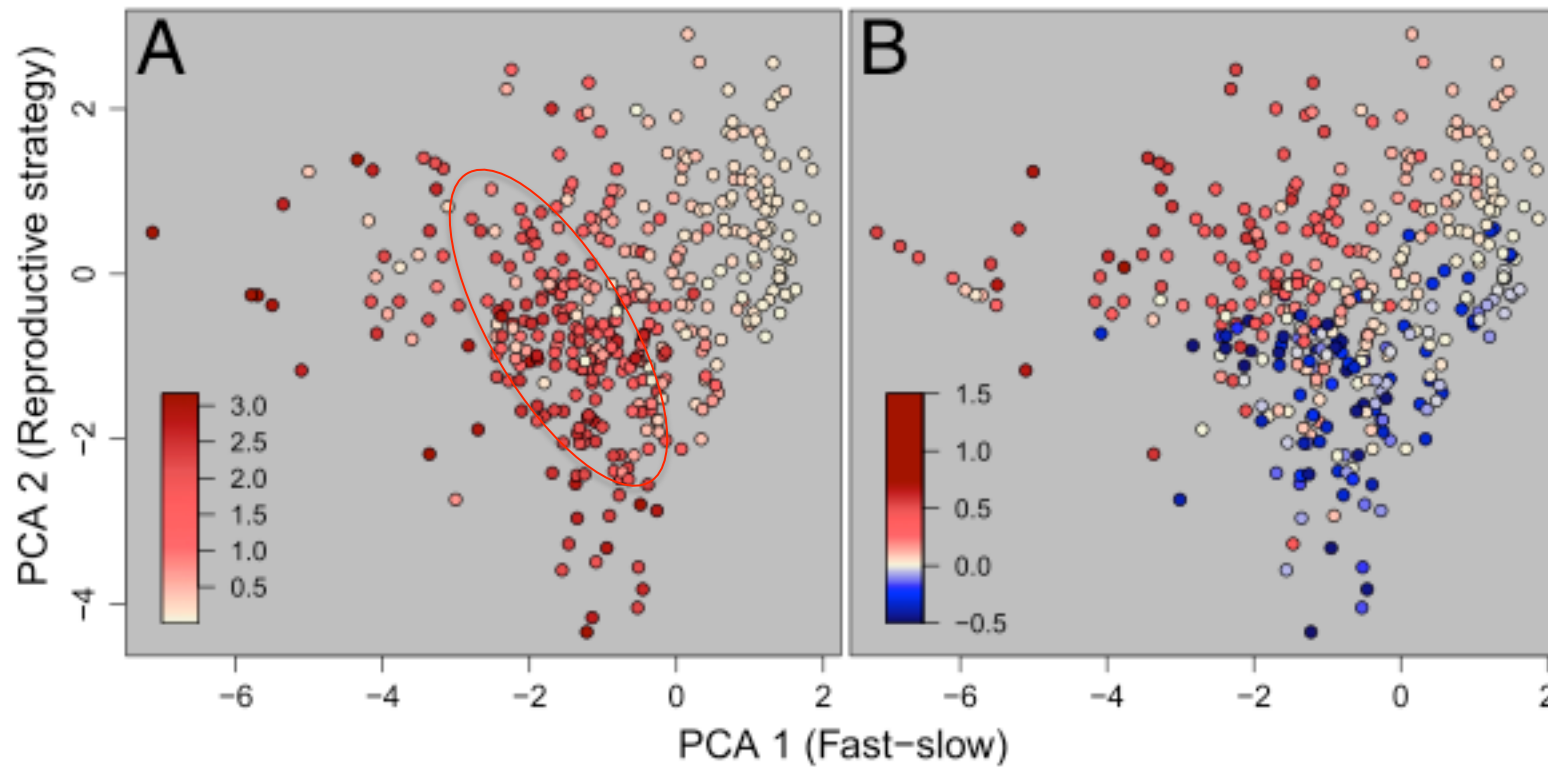
A



## 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)



# こりゃ、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の(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。