

野生動物保全管理学

個体群動態の基礎と モニタリング

諸澤崇裕

(東京農工大学野生動物管理教育研究センター)

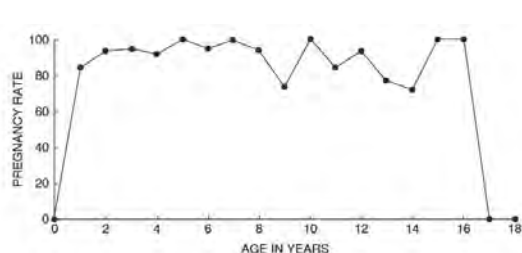
講義の内容

- 個体群動態の基礎
- モニタリング手法の紹介
- モニタリングデータを用いた個体数推定

個体群動態の基礎

野生動物管理においてなぜ個体群動態に関する知識が必要なのか

→モニタリングデータの変動、個体数推定の結果を正しく理解するためには、野生動物の個体群動態に関する基礎知識が必要



ニホンジカの年齢ごとの妊娠率 (Koizumi et al 2009)

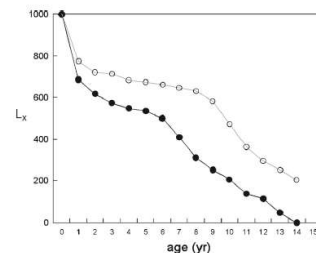


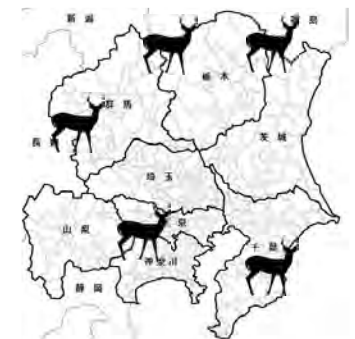
Fig. 27.1 Survival curves of males (●) and females (○) of sika deer on Kinkazan Island constructed from the information of all the births and almost all of the deaths.

Minami et al 2009

個体群動態の基礎

個体群とは・・・ある限られた空間にすみ、多少ともまとまりを有する1種類の生物の集合（嶋田ほか1992）

互いを見つけて繁殖できるほど十分に地理的に近接している個体の集まり（アクチャカヤ2002）



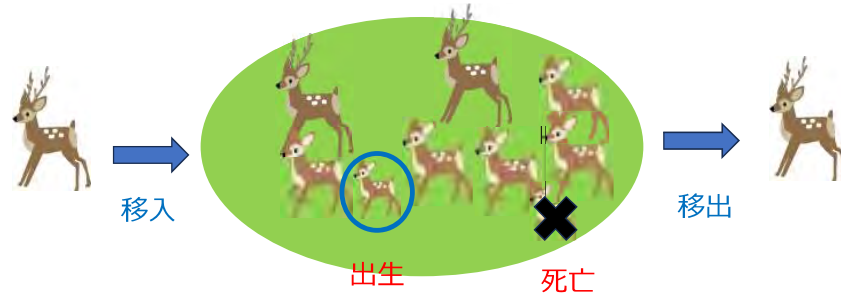
個体群動態の基礎

個体群特性

開放個体群

総数 (N)は出生 (B) ・ 移入 (I) ・ 死亡 (D) ・ 移出 (E) によって推移

$$N(t+1) = N(t) + B(t) + I(t) - D(t) - E(t)$$

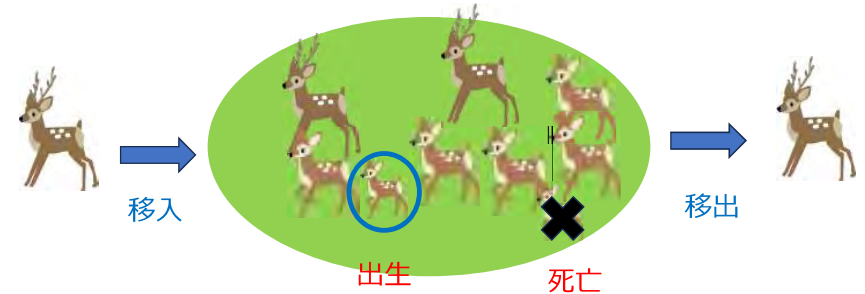


個体群動態の基礎

個体群特性

開放個体群

$$N(t+1) = N(t) \times \text{自然増加率}(r) - \text{捕獲数}(t)$$



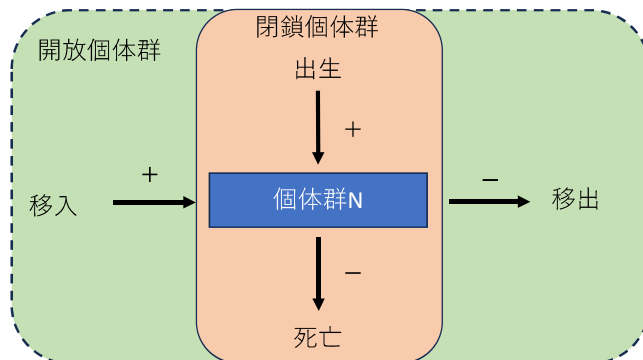
個体群動態の基礎

個体群特性

開放個体群と閉鎖個体群の2つがある。

閉鎖個体群

$$N(t+1) = N(t) + B(t) - D(t)$$



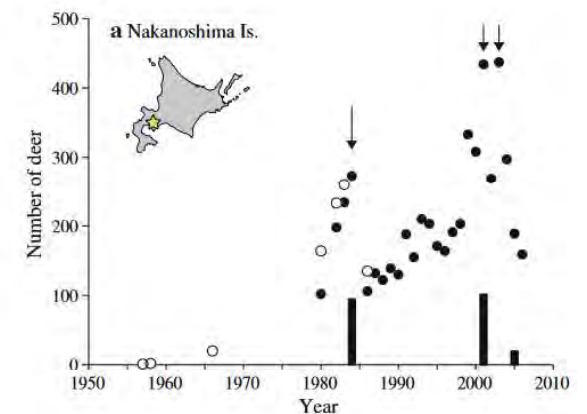
個体群動態の基礎

個体群特性

閉鎖個体群 (例：洞爺湖中島)

閉鎖個体群

$$N(t+1) = N(t) + B(t) - D(t)$$



Kaji et al 2010

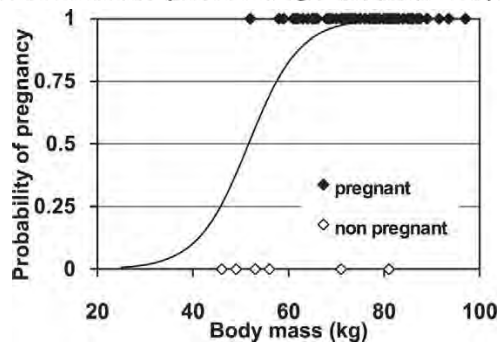
個体群動態の基礎

個体群特性（妊娠率）

Table 2. Number of pregnant and non-pregnant female deer collected in Akan and Hidaka districts during 1998–1999 and 2007–2008

Age class	1998/99 Akan		2007/08 Akan		2007/08 Hidaka	
	pregnant	non-pregnant	pregnant	non-pregnant	pregnant	non-pregnant
1歳	13	1	5	2	12	2
2～5歳	36	0	24	1	86	1
6歳以上	23	1	20	1	22	2

Prime age class includes the specimens between two and five years old, and Old age class includes those of six years old and older.



Uno et al 2013を改変

個体群動態の基礎

個体群特性（死亡率）

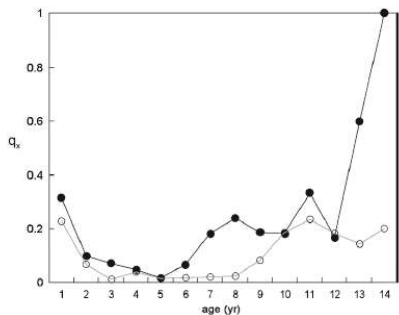


Fig. 27.2 Age-specific mortalities of males (●) and females (○) of sika deer on Kinkazan Island. Four 14-year-old females were alive in the spring of 2004.

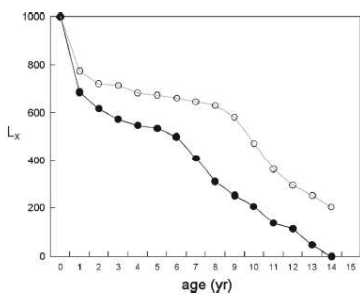


Fig. 27.1 Survival curves of males (●) and females (○) of sika deer on Kinkazan Island constructed from the information of all the births and almost all of the deaths.

Minami et al 2009

個体群動態の基礎

個体群特性(生存率・死亡率)

Table 3 Annual cause-specific mortality rates for radio-marked female sika deer (12 adults and 2 yearlings) monitored in eastern Hokkaido from June 1994 to May 1996

Source	Adults		Yearlings ^a	
	Mortality rate	95% CI	Mortality rate	95% CI
捕獲	0.118	0–0.271	0.863	0.485–1.000
自然死亡	0.053	0–0.154	0	
不明	0.050	0–0.145	0	

^aThe total of transmitter days for yearlings was 220 days

^bKilled by hunting, nuisance control and poaching

^cNatural mortality includes sickness, malnutrition and predation

^dThe carcass was not found

Uno and Kaji 2006を改変

個体群動態の基礎

生命表

同時に出生した集団（コホート）を時間経過とともに残存している個体数を記録したもの

表 4-1

a コホート生命表（齢別生命表）の例。カナダのトウヒノシントメハマキ（*Choristoneura fumiferana*）の1952～1953年の世代のいくつかのコホート（卵塊）で調査した平均値。グリーン・リバー計画のMorris and Miller（1954）のデータからPrice（1984）が作成した詳細な表を簡略化。d_xはここではN_x–N_{x+1}となっている。

x（発育段階）	N _x	l _x	p _x	d _x	q _x
卵	174	1,000	0.89	19	0.11
1 齢幼虫	155	890	0.52	74.4	0.48
越冬幼虫	80.6	463	0.83	13.7	0.17
2 齢幼虫	66.9	384	0.37	42.2	0.63
3～4 齢幼虫	24.7	142	0.05	23.42	0.95
蛹	1.28	7.4	0.64	0.46	0.36
成虫	0.82	4.7	0.00	0.82	1.00

嶋田ほか(1992)

個体群動態の基礎

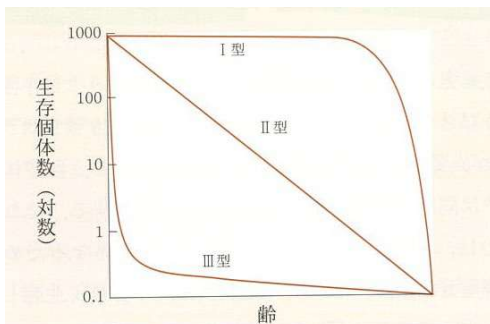
生存曲線

I 型（晩死型）：鳥類・哺乳類

II 型（平均型）：両生・爬虫類など

III 型（早死型）：魚類

産子数が多い生物は初期死亡率が高く、産子数が少ない生物は初期死亡率が低い



Begon et al 1996

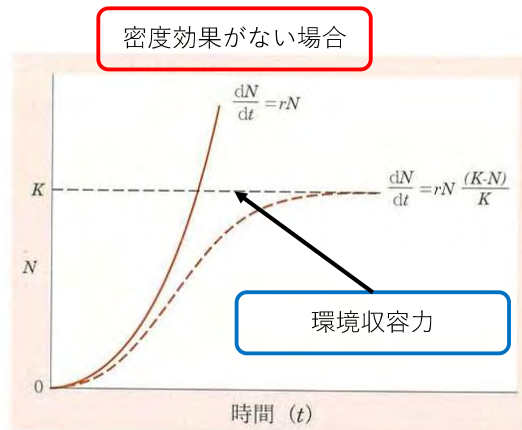
I 型は親による子の保護があるため、初期死亡率が低い

個体群動態の基礎

個体群成長モデル

密度効果がある場合

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$



Begon et al 1996

個体群動態の基礎

個体群成長モデル

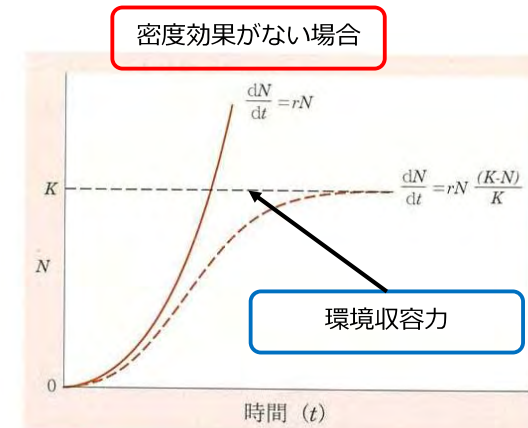
密度効果がない場合

$$N(t+1) = \lambda N(t)$$

λ : 個体群成長率

$\lambda > 1$ 増加

$\lambda < 1$ 減少



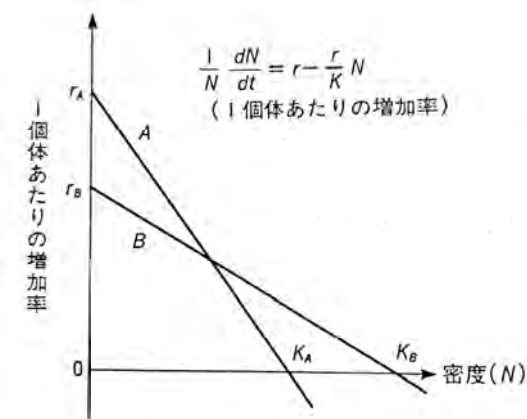
Begon et al 1996

$$\frac{dN}{dt} = rN \quad r \text{ は内的自然増加率}$$

個体群動態の基礎

内的自然増加率・・・密度による制約がない状況でのある種がもつ最大の増殖率。

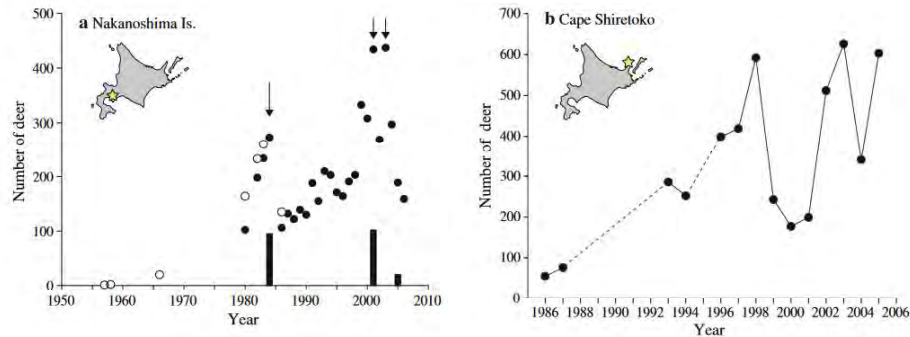
$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$



嶋田ほか (1992)

個体群動態の基礎

環境収容力の例：Kaji et al (2010)



講義の内容

- 個体群動態の基礎
- モニタリング手法の紹介
- モニタリングデータを用いた個体数推定

モニタリング

モニタリングとは

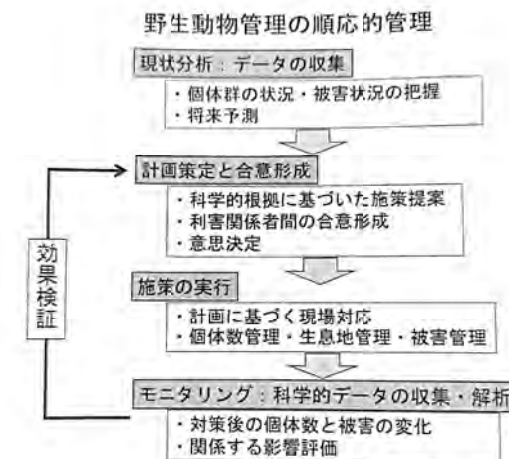
対象種の**個体群動態**、**生息環境**、**被害**の程度について科学的な手法で**継続的に実施**するものであり、野生動物管理の科学性と計画性を支える基盤である

モニタリングの目的

個体群の現状とその変化を把握し、保護管理における**効果検証**を行うことで、順応的管理のもと次の施策に反映させる。

モニタリング

モニタリングは、**PDCAサイクルに基づく個体群の順応的管理**には必要不可欠であり、モニタリングデータに基づき計画の進捗や達成状況を定期的に検討する必要がある。



モニタリング

生息動向モニタリング

直接観察調査・・・対象種の個体を直接観察し、ある面積における生息密度などを算出する方法（例：区画法、定点観測法、自動撮影カメラ）。

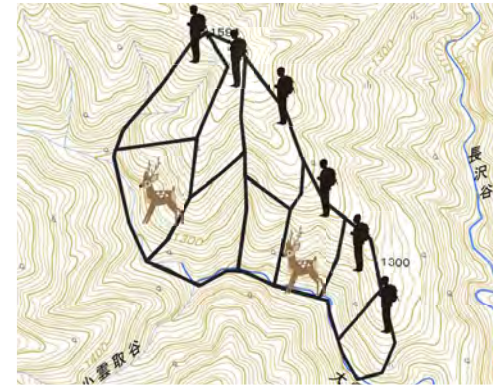
間接調査・・・糞や足跡など痕跡を調査し、生息密度の代表値としたり、動向を把握する方法（例：糞塊法、糞粒法）。

モニタリング手法の紹介

区画法

一定面積（例：1km²）を10等分し、その小区画を各1名が踏査し、発見した個体を記録する。

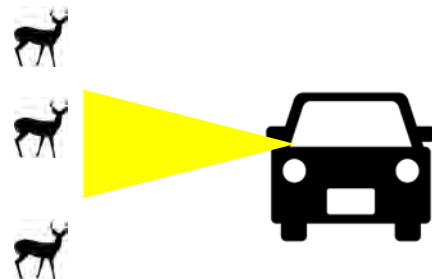
見落としや調査の時期などに結果が左右される



モニタリング手法の紹介

ライトセンサス

夜間の低くなった警戒心を利用し、かつライトで目が反射することを利用した調査方法。藪の中など見通し次第で、発見率が落ちることもある。



モニタリング手法の紹介

自動撮影カメラ

撮影された頻度から相対密度（撮影率）を算出する。近年は動画撮影を利用することで、REST法など絶対密度を算出することも可能となっている。



モニタリング手法の紹介

ドローン

カメラで人力での調査より短時間で調査できる。夜間でも、自動走行や赤外線カメラで調査が可能である。調査面積あたりの確認個体数から絶対密度が算出できる。林内での調査が難しいなど制約もある。



モニタリングの紹介

糞粒法

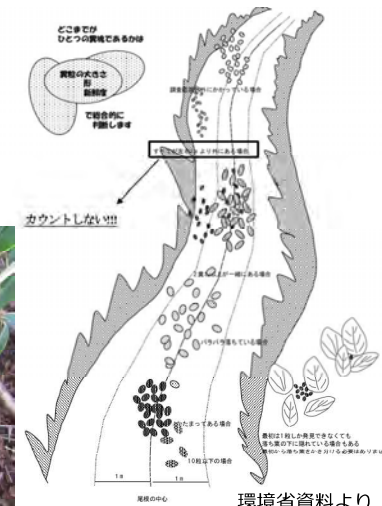
1m²のコドラート内の糞粒数から生息密度を算出する方法。1回のみ調査する方法と除去後に蓄積した糞数をカウントする方法がある。糞虫の影響を受けるなど注意が必要な点がある。



モニタリング手法の紹介

糞塊法

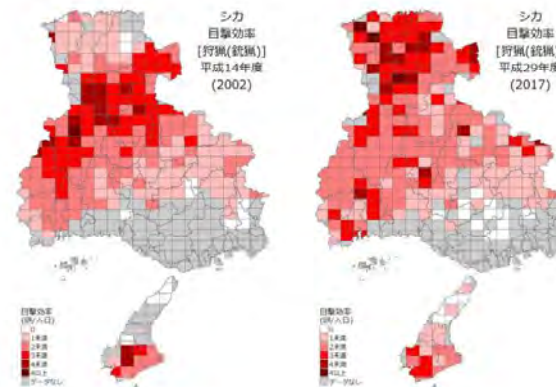
5kmなど一定距離の尾根上を歩き、発見された糞塊の数をカウントする方法。糞塊の見極めなど技術を要する



モニタリング手法の紹介

捕獲記録に基づくモニタリング

出猟日数あたりの捕獲数 (CPUE) や目撃数 (SPUE) として集計される。空間的に広域かつ大量のデータが集められるため、重要な方法である。



井上・高木 2019
兵庫ワイルドライフモノグラフ

モニタリングの紹介

痕跡調査（イノシシなど）
足跡や掘り起し跡などの痕跡を
単位距離当たりの痕跡数として
記録する手法



モニタリング手法の紹介

出没カレンダー調査

各群れのサイズや頭数、空間的な配置を対象地域の地域住民
にアンケートする手法。比較的安価に実施が可能

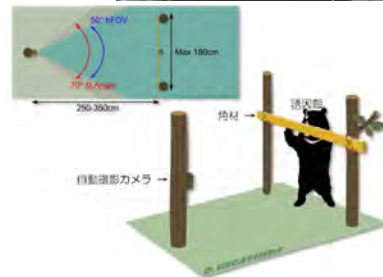


図Ⅲ・1・3 出没カレンダー調査により推定された群
れの分布（野生動物保護管理事務所, 2013）

環境省ニホンザルガイドラインより

モニタリング手法の紹介

ヘアトラップ、カメラトラップ
遺伝子や斑紋から個体識別を行い、標識再
捕獲法の原理を用いて生息密度や個体数を
算出する方法。クマ類で用いられることが
多い。



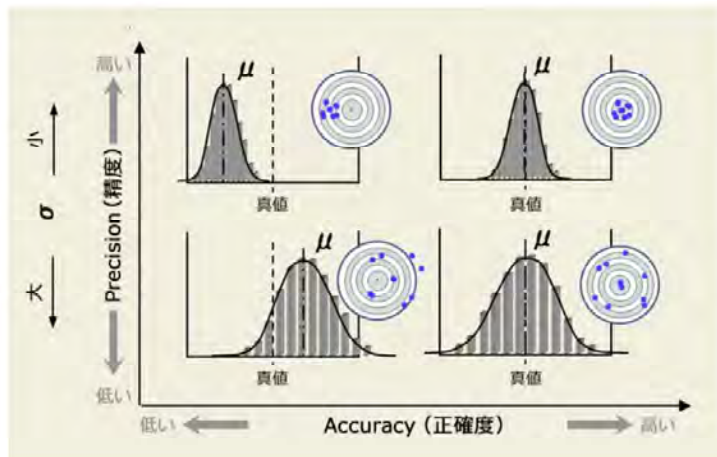
環境省・環境研究総合推進費(課題番号 S2-10)
クマ類の個体数推定法の開発に関する研究
カメラトラップ調査の手引きより

モニタリング実施の注意事項

- ▶モニタリングデータを実施する上で、**調査の空間単位**、**空間解像度**が重要。
- ▶例えば、対象区域内に複数の地域個体群が含まれる場合は、**個体群ごと**のモニタリングが必要。
- ▶個体群の中にも**生息密度や捕獲数の不均一性**があるため、**管理計画上のモニタリング単位**を個体群、**調査実施の空間解像度を5倍地域メッシュもしくは3次メッシュ**とすることが望ましい。
- ▶季節移動がある場合は**季節移動も考慮した時期**にモニタリングが実施できると望ましい

個体数推定

個体数推定は「正確度」と「精度」が重要

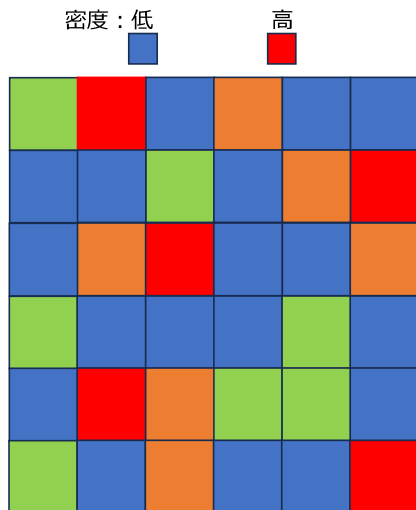


<https://www.hitachi-hightech.com/jp/ja/knowledge/semiconductor/room/manufacturing/accuracy-precision.html>

個体数推定

どのようにサンプリングするのがよいのか？

→ランダムなサンプリングが必要



➤調査対象地域全体からランダムに抽出

→偶然、密度が高い場所、低い場所など偏ったサンプリングになる可能性あり。

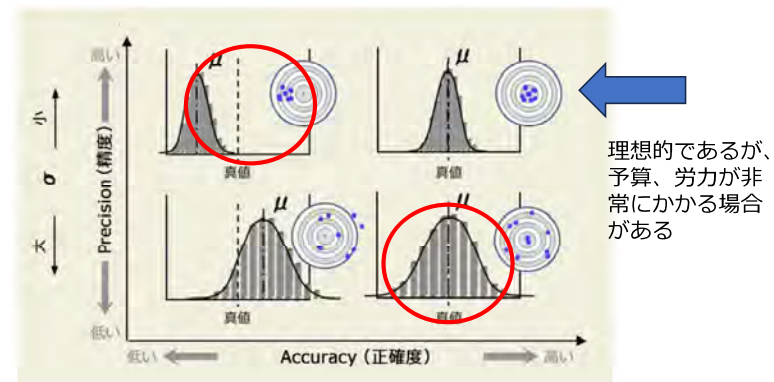
➤階層的にランダムに抽出

→密度勾配ごとにサンプリングすることで、生息密度段階ごとの傾向を把握できる

個体数推定

個体数推定の基本的な考え方

すべての個体数をカウントすることで個体数を算出する方法と個体数の一部をサンプルする方法。後者については、調査条件によって発見数が異なるなど様々な不確実性が伴う。

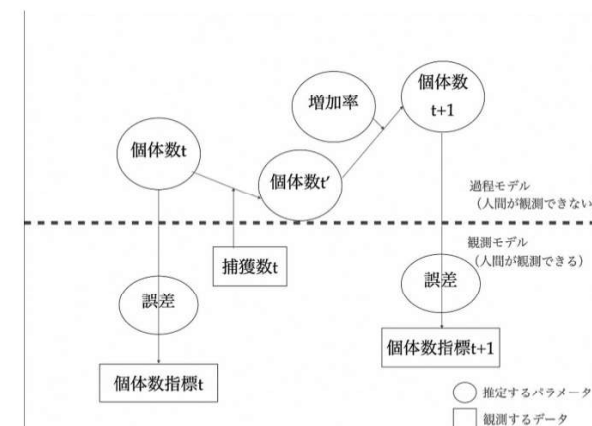


予算や継続性を考慮し、偏りが小さく精度が高い手法を選ぶことが重要

個体数推定

個体数推定手法（開放個体群）

ハーベストベースドモデルの考え方



個体数推定

ハーベストベースモデルの注意点

- **絶対密度**（例：区画法、REST法、標識再捕獲法など）が密度指標として含まれることが望ましい（Iijima et al 2013）
- CPUEやSPUEは**努力量が毎年変化**しないと適切な推定ができない（Fukasawa et al 2021）
- 5kmメッシュ単位のように**捕獲データとマッチした空間解像度**で推定することが望ましい（Ando et al 2023）
- 事前分布は、事前分布の影響を受けないよう**広い事前分布**を用いることが望ましい

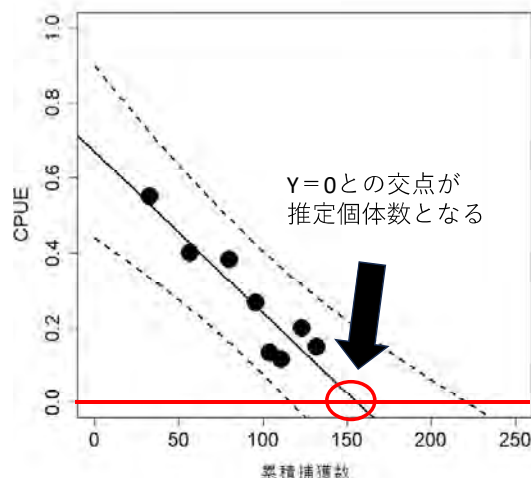
個体数推定

個体数推定手法（閉鎖個体群）

除去法

閉鎖空間から個体を除去していけばいずれ個体数は0になるという考え方から推定する手法

移出入のみならず調査期間中に出生による自然増加もないことが前提



個体数推定

個体数推定手法（閉鎖個体群）

推定の対象地している個体群が移出入がないと仮定できる場合（もしくは移出入が極めて少ない）に使用できる手法（例：島、柵で囲われた地域、短期間の間に複数回の調査を実施する場合）。

例）除去法

標識再捕獲法

個体数推定

個体数推定手法（閉鎖個体群）

標識再捕獲法

2回目の調査でそれまでの調査で捕獲した標識個体が含まれていた割合から個体数を推定する手法

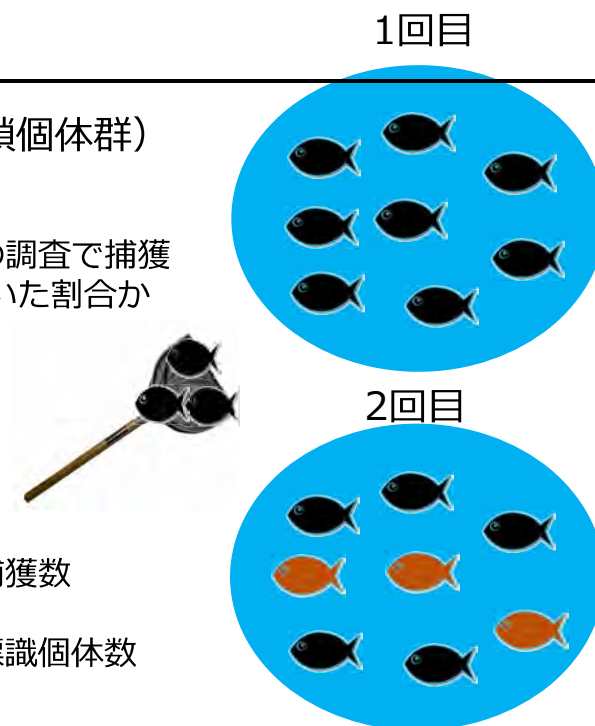
標識再捕獲法の式

$$N = M \times (n/x)$$

N：個体数 M：1回目の捕獲数

n：2回目の総捕獲数

x：2回目の捕獲数のうち標識個体数



モニタリング結果や個体数推定の解釈の注意点

どの時期（例：繁殖前後、季節移動の前後）のモニタリングしているのかが結果を解釈する上で重要

モニタリング手法や個体数推定は日々進歩している

→時として方法を変える勇氣も必要

例：全県一括での推定 → 5kmメッシュでの推定

捕獲に伴う対象種の移動 → モニタリング地点の変更

モニタリングデータの活用方法に合わせた手法の採用

→絶対密度が把握できる調査を実施（例：REST法）