

VPA-01(2020)

# Frasyrを用いたVPA:概要編

- VPAの原理の説明
- VPAの種類の紹介



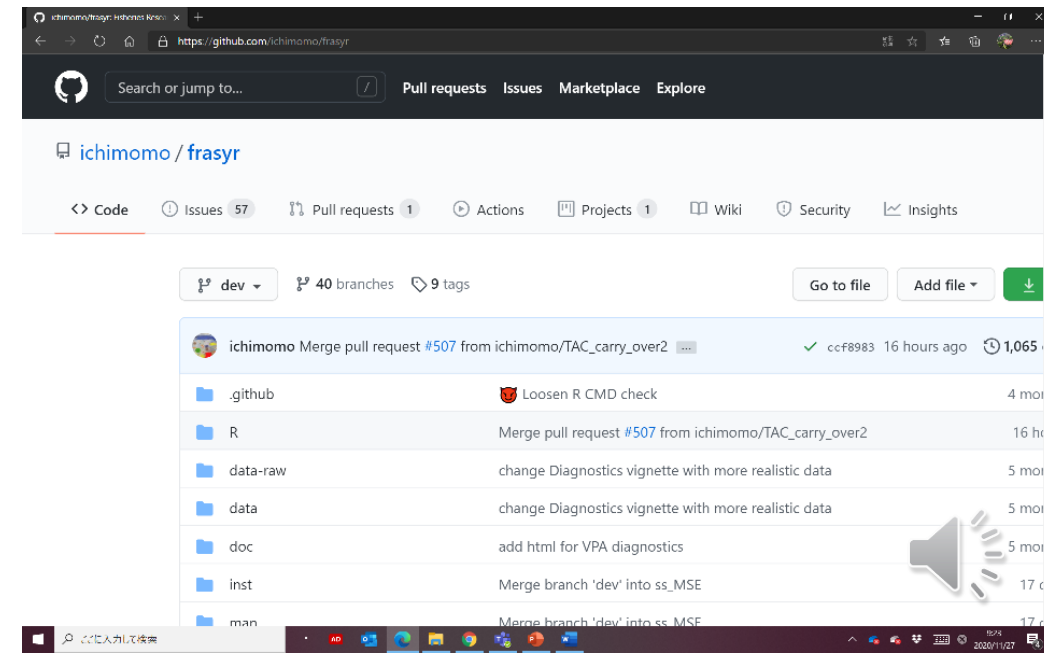
動画作成者 漁業情報解析部 宮川光代  
(mmiyagawa@affrc.go.jp)

# Frasyrとは

- Fisheries Research Agency (FRA) provides the method for calculating sustainable yield (SR) with Rの略
- 水研機構の旧：資源管理 G，新：資源解析 G のメンバーが中心となって開発
- VPAを用いた資源量推定と，その推定結果をもとにして最大持続生産量 (MSY)を基礎とした目標管理基準値を計算するためのRのパッケージ (MSYや目標管理基準値に関しては動画：Base-01, Base-02, Base-03を参照)
- <https://github.com/ichimomo/frasyr> からダウンロード可能

※Githubやインストールの仕方などの詳細は上記HPもしくは  
動画：Tool-01, Tool-02, Tool-03を参照

- 開発途中であり，様々な要望に応じて更新される

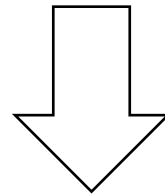


# VPAとは

- Virtual Population Analysisの略
- 日本語ではコホート解析
- 年齢別漁獲尾数の値から，後進法（後述）などを用いて，年齢別資源尾数を計算する

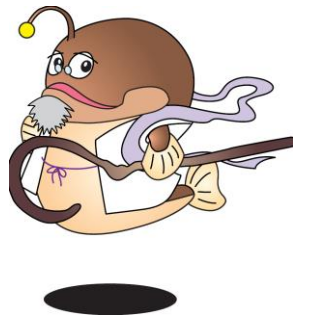
VPAにおける大事な仮定：

年齢別漁獲尾数にはエラー（誤差）はない



漁獲量から，どのように年齢別漁獲尾数へと換算されたのかのプロセスや仮定が大事

仮定を忘れては  
ならぬぞ！



# VPAの原理の説明

- 必要なデータ：年別年齢別漁獲尾数

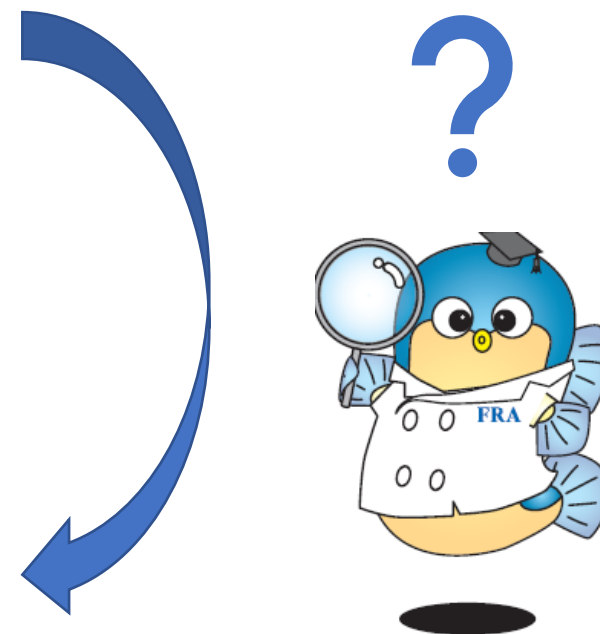
例) 1991年～2000年までの年齢別漁獲尾数

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	200	217	268	219	166	249	188	130	80	77
1歳	129	121	163	159	154	96	144	91	62	37
2歳	72	71	82	85	98	77	48	61	39	26
3歳	27	33	39	34	41	37	29	15	21	14

- 知りたいこと：年別年齢別資源尾数

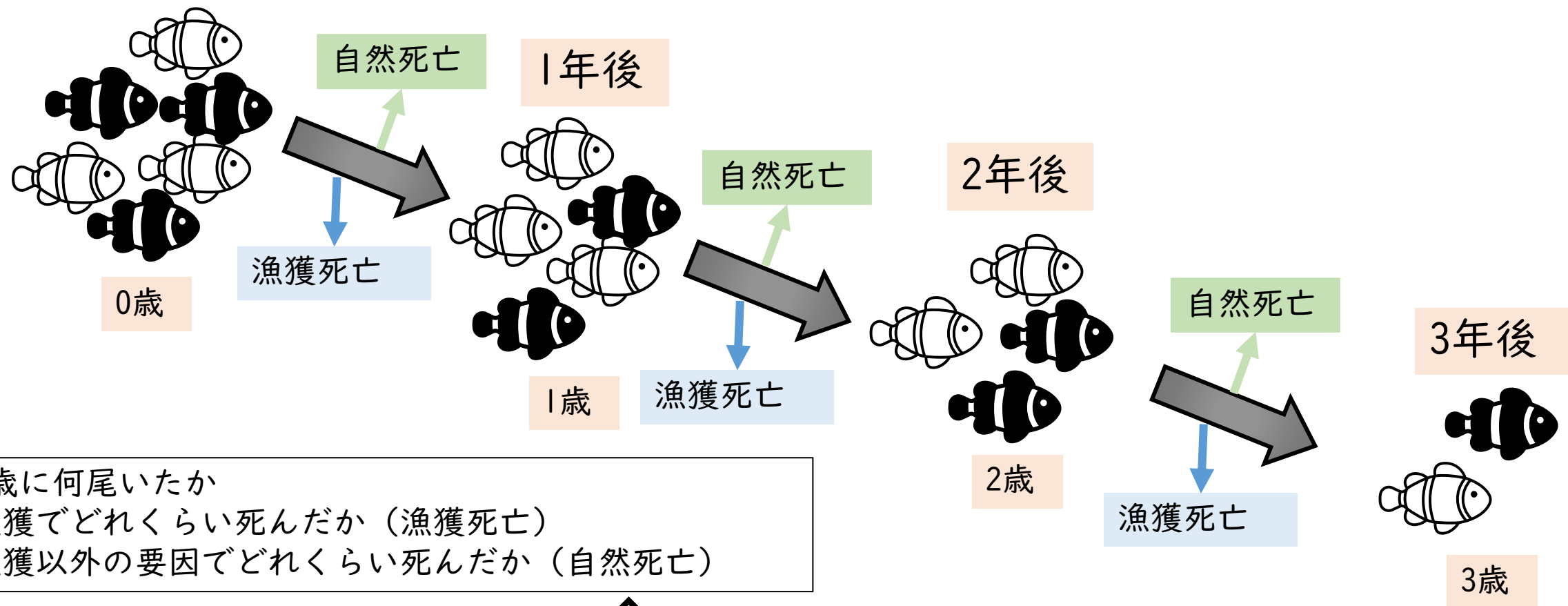
例) 1991年～2000年までの年齢別資源尾数

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
1歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
2歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
3歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?



# VPAの原理の説明（前進法）

- 魚の一生を単純化すると…（寿命は3年とすると…）

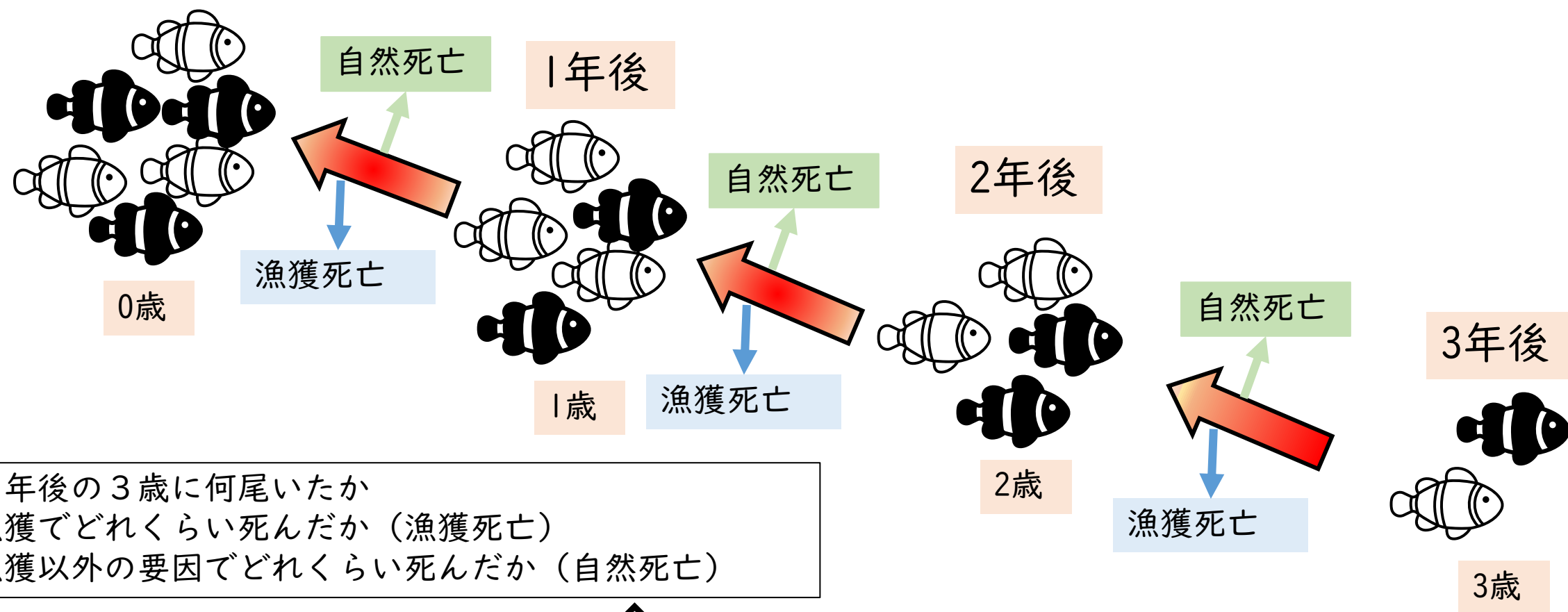


1. 0歳に何尾いたか
2. 漁獲でどれくらい死んだか（漁獲死亡）
3. 漁獲以外の要因でどれくらい死んだか（自然死亡）

この3つの情報さえ分かれば、芋づる式に1, 2, 3歳まで生き残った数が分かる

# VPAの原理の説明（後進法）

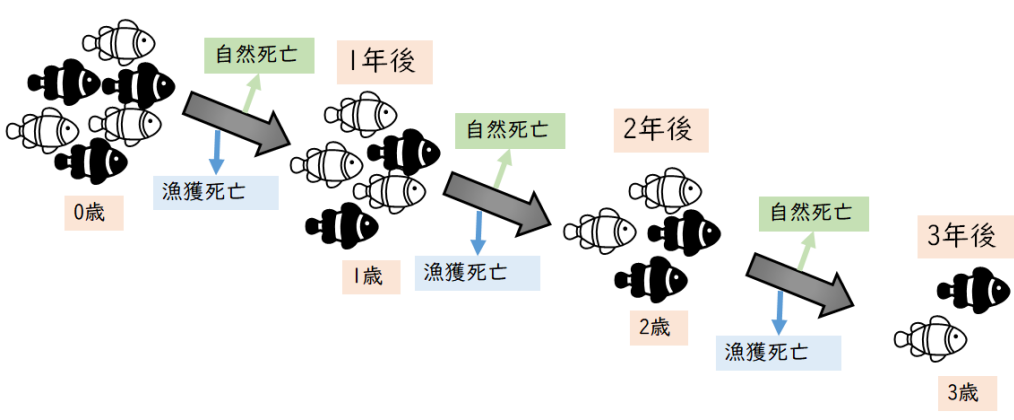
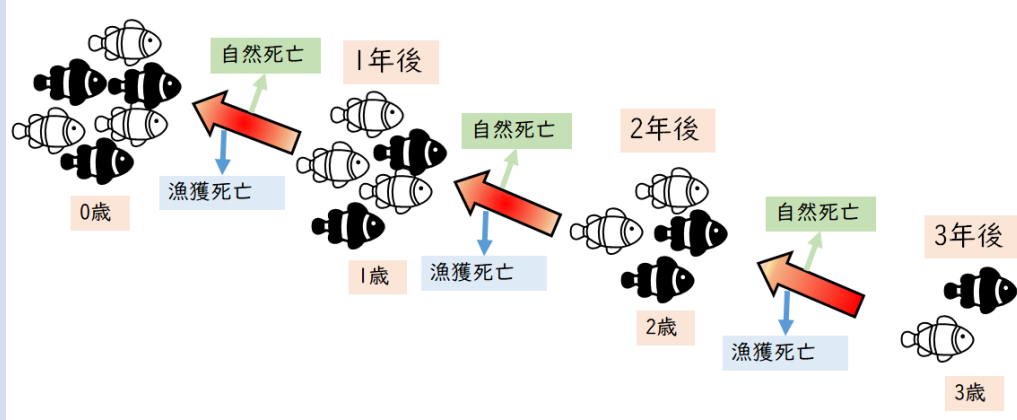
- 逆にたどると...

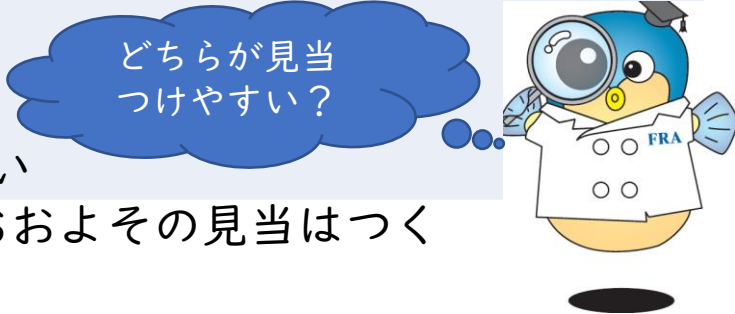


1. 3年後の3歳に何尾いたか
2. 漁獲でどれくらい死んだか（漁獲死亡）
3. 漁獲以外の要因でどれくらい死んだか（自然死亡）

この3つの情報さえ分かれば、芋づる式に0, 1, 2歳のときの数が分かる

# VPAの原理の説明（まとめ）

	前進法	後進法
		
必要な情報	<ul style="list-style-type: none"><li>1. 漁獲死亡 <b>ある</b></li><li>2. 自然死亡 <b>なければ仮定</b></li><li>3. 0歳に何尾いたか</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>1. 漁獲死亡 <b>ある</b></li><li>2. 自然死亡 <b>なければ仮定</b></li><li>3. 3歳に何尾いたか</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• 3年前の0歳の数よりも、現在の3歳の数のほうがおよその見当がつけやすい</li><li>• 寿命が10年の魚だったら、10年前の0歳の数よりは、現在の10歳の数のほうがおよその見当はつく</li></ul>		
<p>↓</p> <p>後進法を採用 ← <b>これがVPAの考え方の基礎</b></p>		



# VPAの原理の説明

実際には、最終年最高年齢の資源尾数を与えるよりは、漁獲係数（漁獲を死亡原因とした資源量の減少率の大きさを表す係数）を仮定する場合が多い

## 最初の問題に戻ると：

	必要なデータ	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
0歳											?
1歳											?
2歳		例) 1991年～2000年までの年齢別漁獲尾数									?
3歳											?

上の表の色あり部分（最高齢＋最終年の漁獲係数）＋自然死亡係数＋漁獲尾数が分かれば、下表のように手づる式に年別年齢別資源尾数が計算できる！

[illegible]



# VPAの原理の説明

色掛け部分の最高齢最終年の漁獲係数（ターミナルFと呼ぶ）はどのようにもとめるのか？

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳										？
1歳										？
2歳										？
3歳	？	？	？	？	？	？	？	？	？	？

➡ もっともらしい値を仮定する（この辺り，勘と経験と思いつきの良さが必要！）（平松, 1999）

多くの場合は，

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳										？
1歳										？
2歳	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ	↕ 同じ
3歳										

➡ よって，最近年の漁獲係数のみを仮定すればよい **Fの仮定 I**

# VPAの原理の説明

最近年の年齢別漁獲係数は，過去×年の漁獲係数の平均に等しいと仮定を置く

Fの仮定2

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳							←	平均 →	=	?
1歳							←	平均 →	=	?
2歳							←	平均 →	=	?
3歳										↑ 同じ ↓

これらを満たすような最近年最高齢の漁獲係数を探索してもとめ，  
年別年齢別資源尾数を芋づる式に計算

→ このような最もベーシックな方法を『**チューニングなしVPA**』と呼ぶ

随分，色々な仮定  
を置いているなあ

...



→ ターミナルFの計算方法は他にもいくつかある

# 漁獲係数一定 と 選択率一定の違い

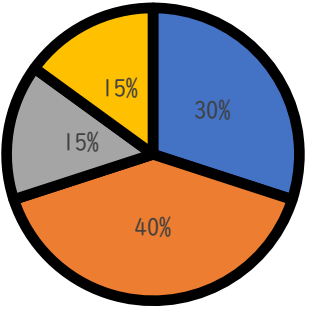
最近年の年齢別漁獲係数は，過去X年の漁獲係数の平均に等しいと仮定を置く

		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳							←	平均 →	=	?
1歳							←	平均 →	=	?
2歳							←	平均 →	=	?
3歳										↑ ↓ 同じ

漁獲係数が等しい：  
つまり資源の大小に関らず**漁獲の強さは同じ**

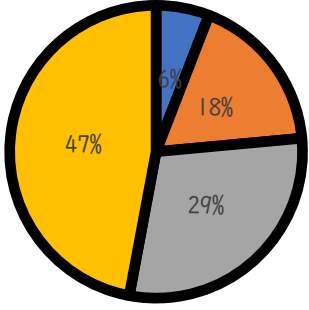
選択率が等しい：  
年齢ごとの漁獲割合は変わらないけど，資源の大小によって**漁獲の強さを変えられる**

資源大の時の漁獲の強さ



■0歳 ■1歳 ■2歳 ■3歳

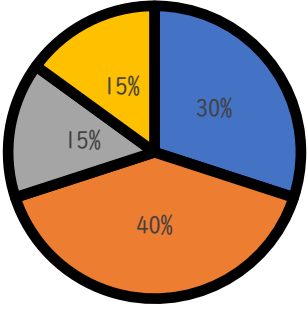
資源小の時の漁獲の強さ



■0歳 ■1歳 ■2歳 ■3歳

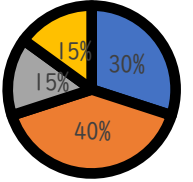
漁業に変化がない場合には妥当だが，努力量などの変化があれば問題

資源大の時の漁獲の強さ



■0歳 ■1歳 ■2歳 ■3歳

資源小の時の漁獲の強さ



■0歳 ■1歳 ■2歳 ■3歳

選択率などの変化があれば問題

# ターミナルFの様々な計算方法

1. ターミナルFは過去X年の漁獲係数の平均に等しいと仮定

- チューニングなしVPA

2. ターミナルFは過去X年の選択率の平均に等しいと仮定

- 二段階法

- ① 一度チューニングなしVPAを行う
- ② その後、年別年齢別選択率を計算する
- ③ ターミナルFは過去X年の選択率の平均に等しいとして再度ターミナルFを推定する

- 選択率更新法

選択率一定の仮定を最初からおいて中で繰り返し計算でターミナルFをもとめる

3. ターミナルFを年齢別に全て推定する

今回の講習では扱わない(次年度以降)

- 全F推定法

- リッジVPA法 (レトロスペクティブバイアスが小さくなるように、尤度へのペナルティーの相対的な貢献度を選び、ターミナルFを推定する。通常全F推定法のために用いられるが、選択率更新法でも適用可能)

年齢別漁獲尾数以外に資源量指標値や努力量の情報が得られている場合に、これらを利用してターミナルFを推定

チューニングVPA

# チューニングVPAとは

観察された資源量指標値(I)と，モデルから推定される資源尾数(N)の結果を合わせるように調整しながら，資源量を推定する方法

これによって，チューニングなしVPAで仮定していた「最終年のFとそれ以前のFの平均は同じ」という強い仮定を除ける

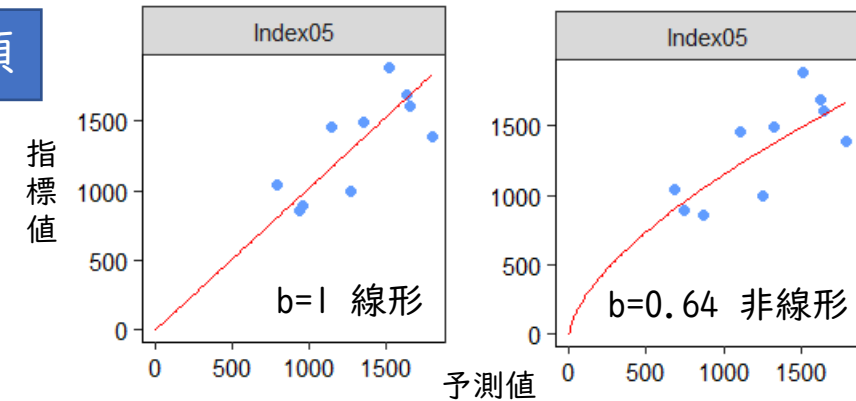
非線形の項

あるターミナルFの下でVPAから計算される資源尾数

$$\log(I) = \log(q \cdot N^b) + \varepsilon$$

資源量指標値

比例定数



誤差項は平均0，分散 $\sigma^2$ の正規分布に従う  
 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

↓  
 $\varepsilon = \log(I) - \log(q \cdot N^b)$   
資源量指標値と資源量予測値の  
対数残差が正規分布に従う

※frasyrの中では，標準的に対数をとって計算している

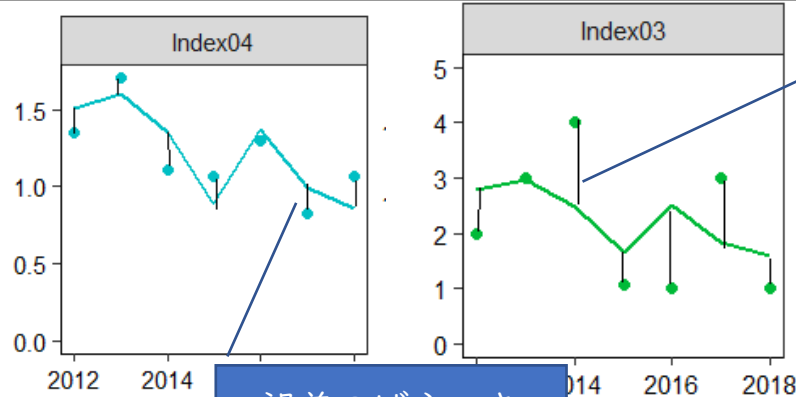
- ✓  $N$ は資源尾数だけでなく，資源量や親魚量，1～3歳の合計の資源量など，色々適用することが出来る
- ✓ 比例定数 $q$ は基本は推定するが，外部から固定値を与えることも可能
- ✓ 非線形の項 $b$ も1（つまり線形の関係）と固定したり，外部から与えることも出来るし，推定させることも可能

# パラメータの推定方法について：最小二乗法か最尤法か

最小二乗法  $\sum_y (\log I_y - \log(q \cdot N_y^b))^2$  ←の目的関数を最小にするようにターミナルFを決める

最尤法  $\log(\sigma) + \frac{1}{2} \log(2\pi) + \sum_y \frac{[\log I_y - \log(q \cdot N_y^b)]^2}{2\sigma^2}$  ←の負の対数尤度を最小にするようにターミナルFを決める

FrasyrによるVPAを実施する上での最小二乗法と最尤法の大きな違いは、  
資源量指標値の分散パラメータを指標値ごとに推定するか否か

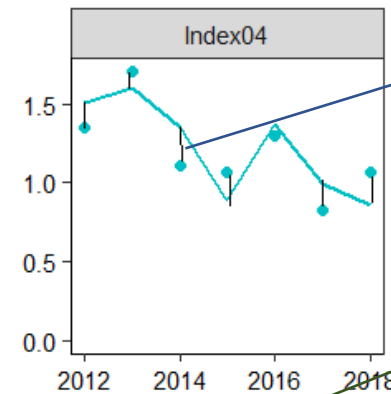


誤差のばらつき  
(分散)が小さい

誤差のばらつき  
(分散)が大きい

指標値が複数

指標値が一つ



誤差は平均0, 分散 $\sigma^2$   
の正規分布に従う

よって、誤差のばらつきが  
指標によって大きく違う場  
合などは、当てはまりの悪  
い指標に最小二乗法は結果  
がひっぱられやすいという  
欠点がある

両者の結果は変わる

両者の結果は同じ

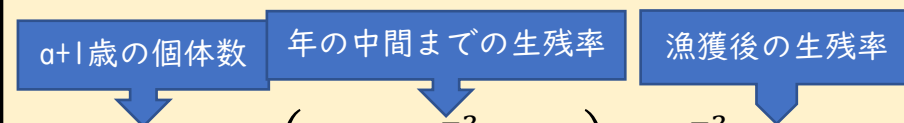
(理由)

- 最小二乗法では、全ての資源量指標値の分散（重み）は等しいと仮定
- 最尤法では、**それぞれの資源量指標値の分散**（ $\sigma^2$ ）が推定され、それぞれの資源量指標値の信頼性に関する重みとして尤度の中で機能している

# 魚の動態を数式で表すと… (2通りの方法)

## 1. Popeの近似式

漁期が決まっているような場合に対応 (ここでは年の途中でパルス的な漁業があると仮定)



$$N_{a+1} = \left( N_a \times e^{\frac{-2}{M}} - c_a \right) \times e^{\frac{-2}{M}}$$

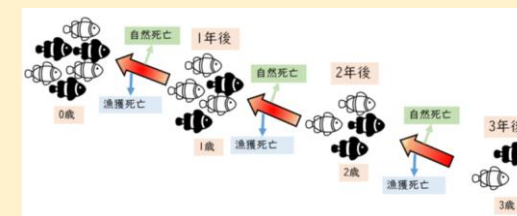
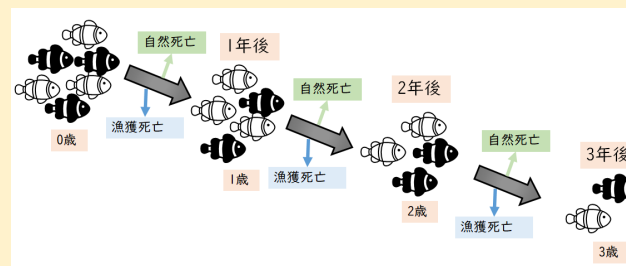


α歳の年の中間の個体数

$$C_a = N_a \times e^{\frac{-2}{M}} \times (1 - e^{-F_a})$$

α歳の漁獲尾数

漁獲による死亡率



式変形

$$N_a = N_{a+1} \times e^{M_a} + c_a \times e^{\frac{M_a}{2}}$$

式変形

解析的にFが解ける

$$F_a = -\ln \left( 1 - \frac{c_a \times e^{\frac{-2}{M}}}{N_a} \right)$$

## 2. Baranovの方程式

1年を通じて漁獲係数が一定であるような漁業に対応

$$N_{a+1} = N_a \times e^{-(F_a+M)}$$

$$C_a = \frac{F_a}{(F_a + M)} \times N_a \times (1 - e^{-(F_a+M)})$$

漁獲死亡割合

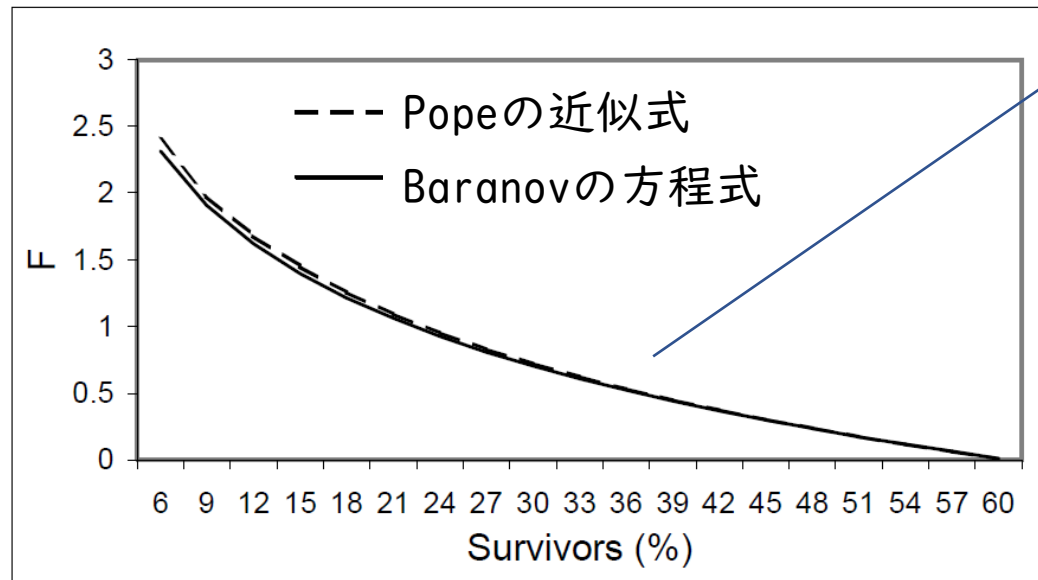
解析的にFが解けない

Fについて解くには繰り返し計算が必要  
Frasyrでは石岡・岸田(1985)の方法を採用

石岡清英・岸田 達 (1985) コホート解析に用いる漁獲方程式の解法とその精度の検討. 南西水研報, 19, 111-120.



# Popeの近似式かBaranovの方程式か



Popeの式は近似式であり，Baranovの方程式を用いた場合のほうが正確ではあるが，  
**推定値はPopeの近似式でもほぼ変わらない**

<http://www.fao.org/3/x9026e/x9026e00.htm>

Figure 4.2 A comparison between Pope's cohort approximation and the exact solution to the Baranov equation ( $M = 0.5$ ).

多くの場合，Popeの近似式で実用上は充分（平松1999）  
計算も平易である



# プラスグループについて

## 1. プラスグループとは？

- 十分高齡まで漁獲物の年齡分解が出来ない場合に、ある年齡以上をひとまとめにしたグループのこと
- プラスグループを考えた場合の高齡での資源尾数は、次に示すような式になる
- プラスグループが資源全体あるいは親魚資源量に占める割合が無視できないような場合には、プラスグループにおけるターミナルFの仮定に結果が強く依存することになり、**可能な限り年齡分解しておくこと**が望ましい

### 最高齡(A)プラスグループ(A+)と最高齡—1歳の資源尾数の式

#### Popeの近似式

$$N_{A-1,y} = \frac{C_{A-1,y}}{C_{A+,y} + C_{A-1,y}} \cdot N_{A+,y+1} \cdot e^M + C_{A-1,y} \cdot e^{\frac{1}{2}M}$$

$$N_{A+,y} = \frac{C_{A+,y}}{C_{A+,y} + C_{A-1,y}} \cdot N_{A+,y+1} \cdot e^M + C_{A+,y} \cdot e^{\frac{1}{2}M}$$

$$F_a = -\ln\left(1 - \frac{c_a \times e^{\frac{-2}{M}}}{N_a}\right)$$

#### Baranovの方程式

$$N_{A-1,y} = \frac{F_{A+,y} + M}{F_{A+,y}} \cdot C_{A+,y}$$

$$N_{A+,y} = \frac{F_{A+,y} + M}{F_{A+,y}} \cdot C_{A+,y} \cdot \frac{1}{1 - e^{-(F_{A+,y} + M)}}$$

Fの繰り返し計算には平松の方法(2001)を採用

平松一彦(2001) VPA (Virtual Population Analysis). 「平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—」 社団法人 日本水産資源保護協会, 104-128.

以上で、Frasyrを用いたVPA，概要編（動画VPA-01）の解説は終わりです

引き続き，チューニングなしVPA実践編（動画VPA-02）をご覧ください。

