

# 資源管理研修会

中央水産研究所 資源管理研究センター

市野川桃子

赤嶺達郎

西嶋翔太

# 研修会の流れ

6月6日（火）

① 統計の基礎（最小二乗法と成長式推定）（赤嶺） 13:10-14:10

② MSYの概念と資源管理の目的（市野川） 14:20-15:20

③ 水産資源解析の概要（市野川） 15:30-16:30

質疑応答など 16:30-17:00

6月7日（水）

④ デルリー法を用いた資源量推定手法（西嶋） 9:30-10:30

⑤ 混合正規分布モデルを用いた年齢分解（赤嶺） 10:40-11:40

質疑応答など 11:40-12:00

## ②MSYの概念と資源管理の目的

- 個体群動態ってなに？
- 魚を持続的に，効率的に漁獲する方法：MSYの今昔

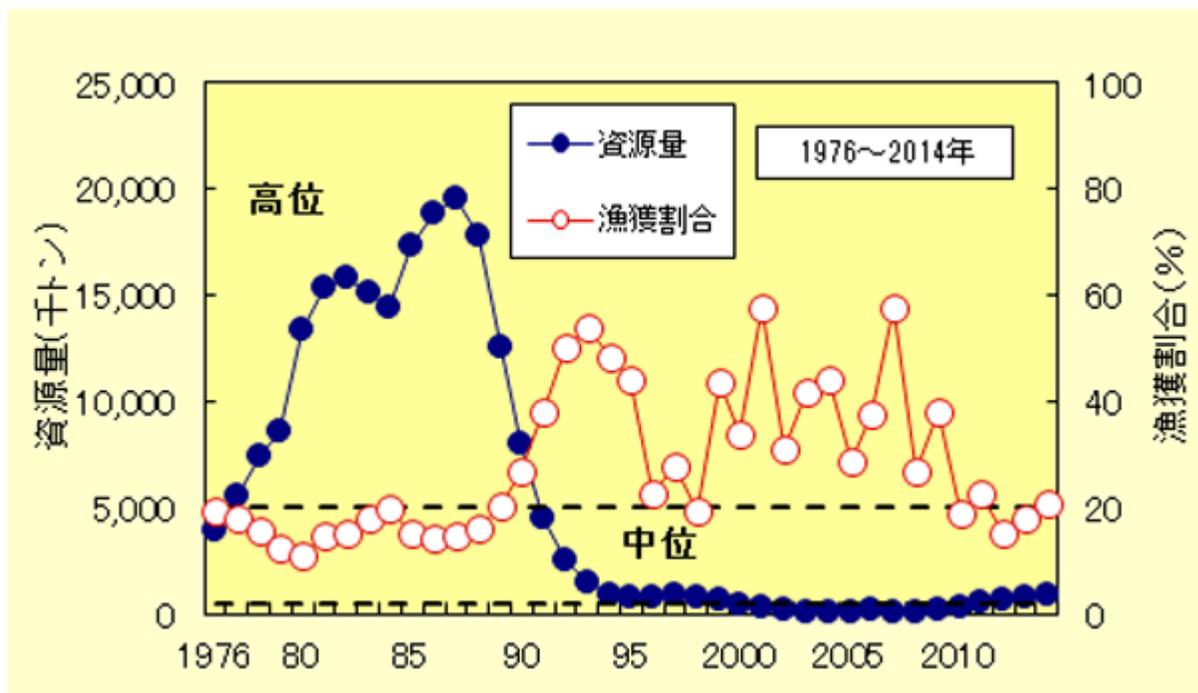
## ②MSYの概念と資源管理の目的

- **個体群動態ってなに？**
- 魚を持続的に，効率的に漁獲する方法：MSYの今昔

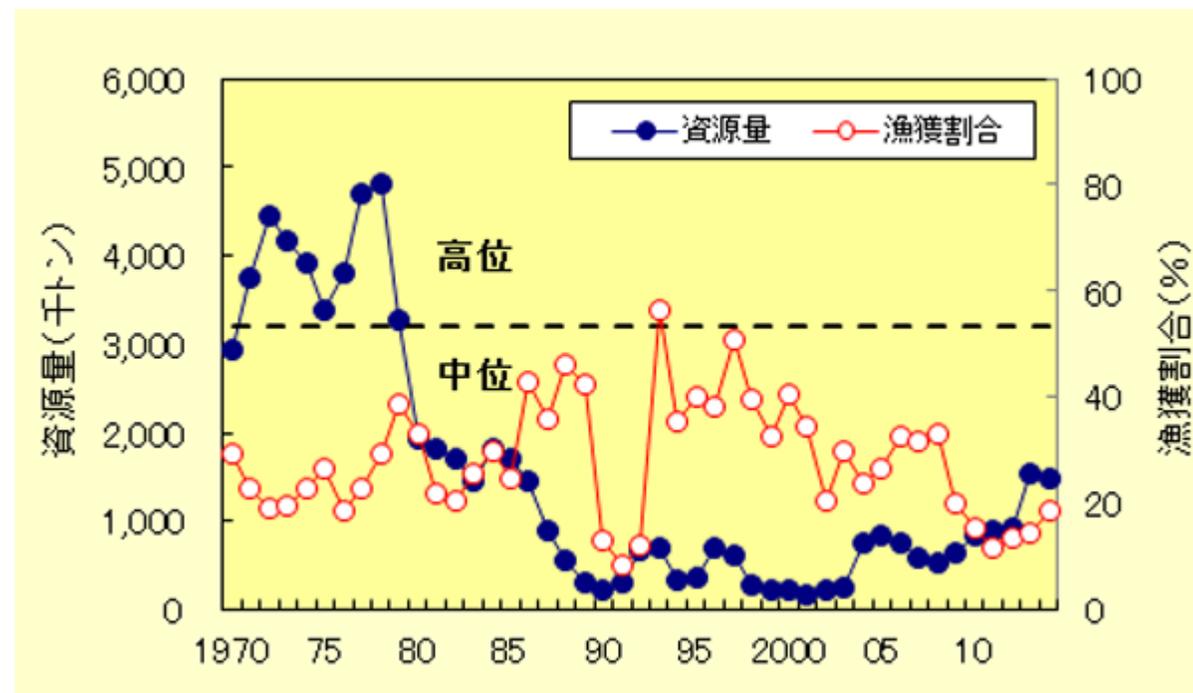
# 個体群動態とは？

- 個体数や生物量（biomass）の時空間的な変動

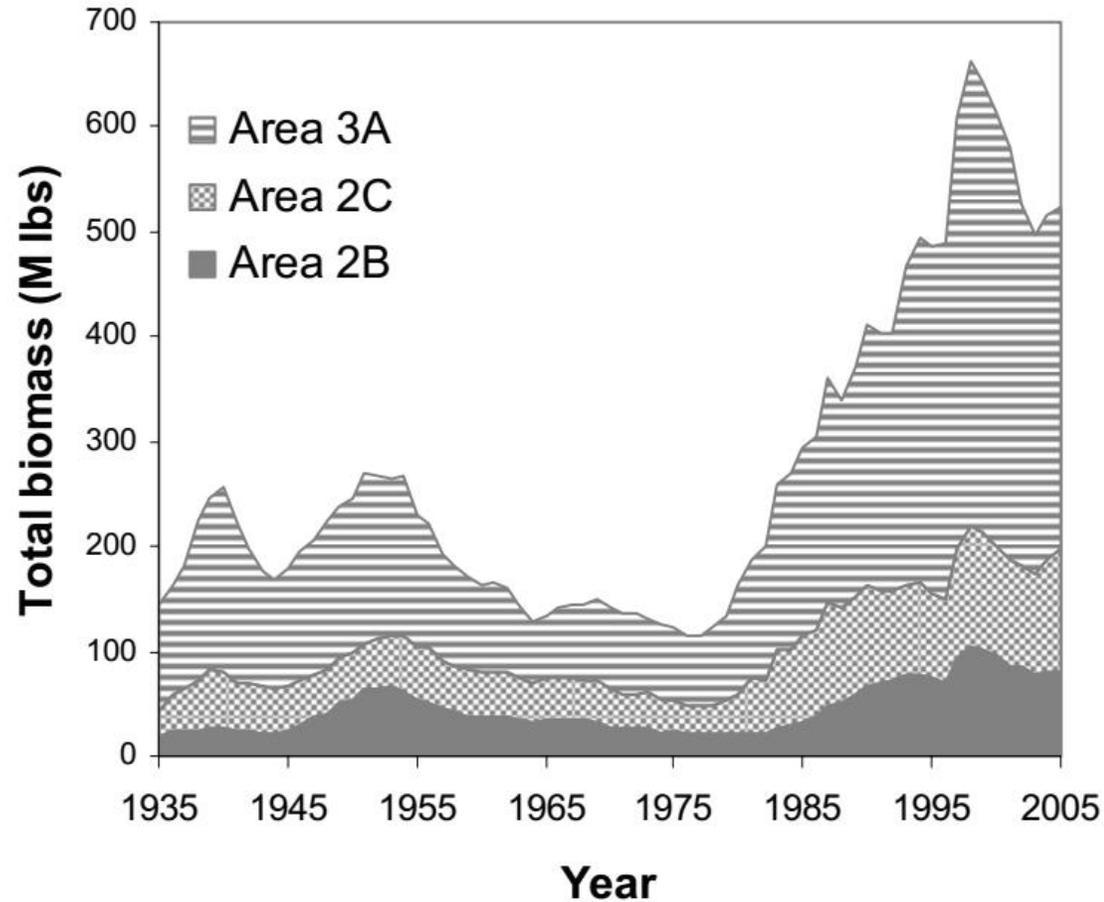
マイワシ太平洋系群



マサバ太平洋系群



# 太平洋オヒョウ



**Figure 21. Trend in total biomass (age 10+) of halibut for IPHC Regulatory areas 2B, 2C and 3A.**

# 大西洋クロマグロ

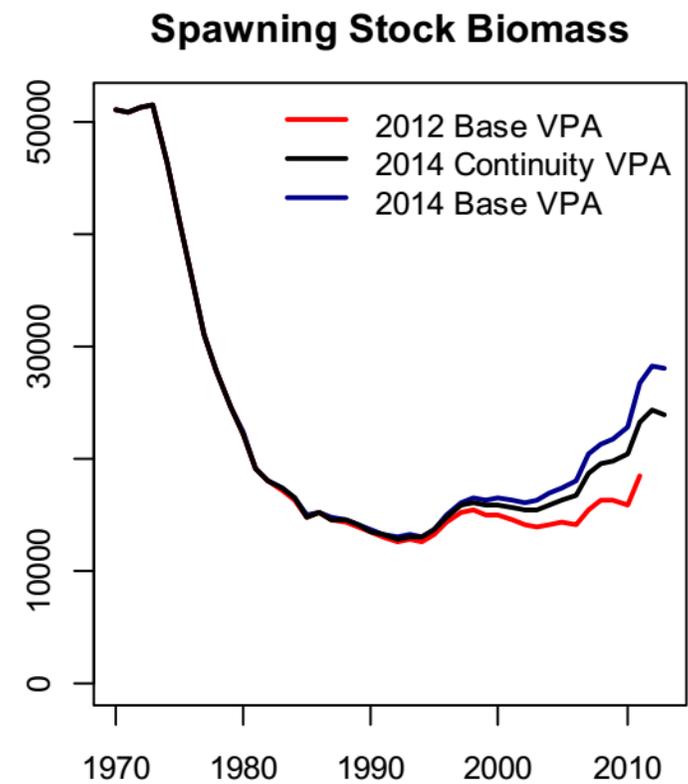
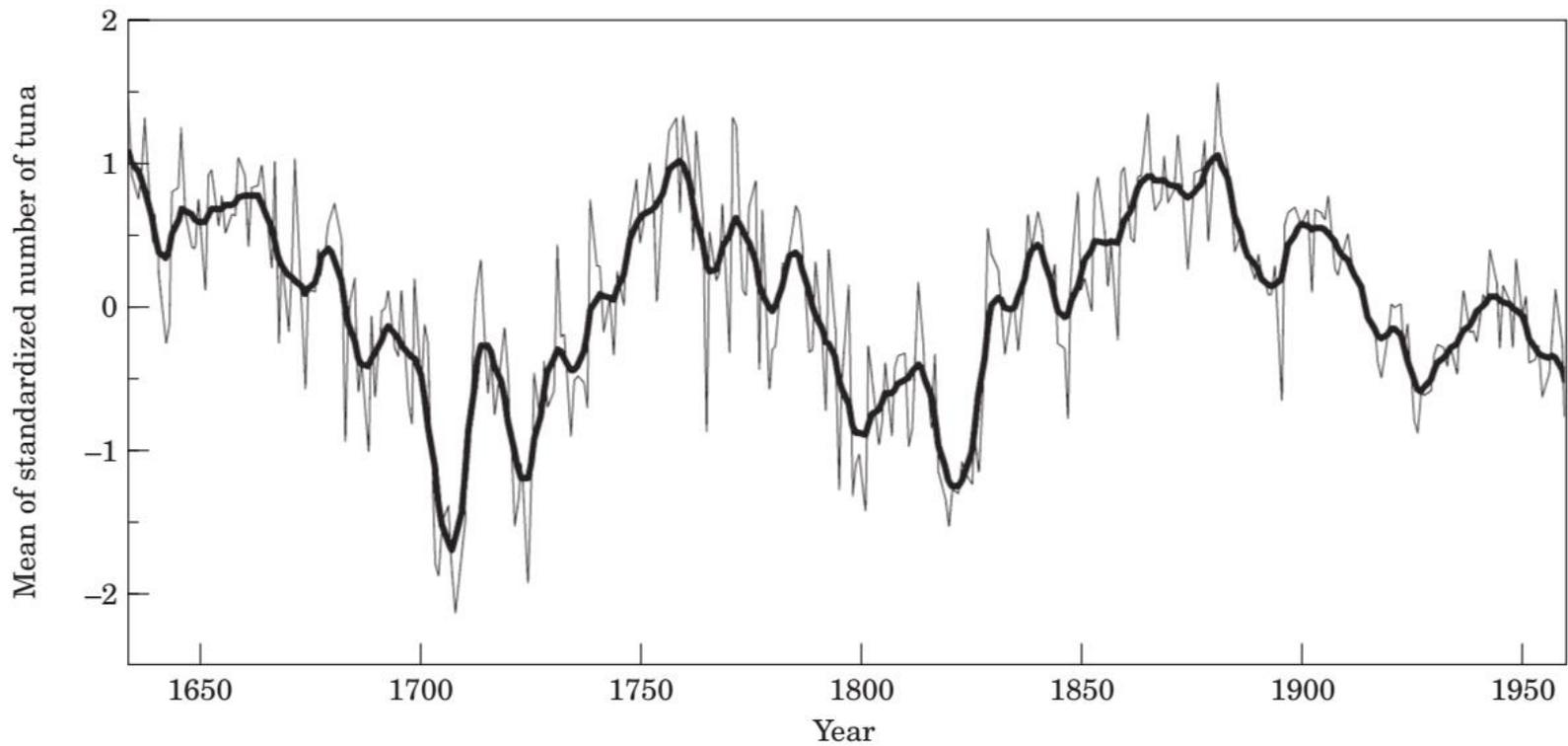
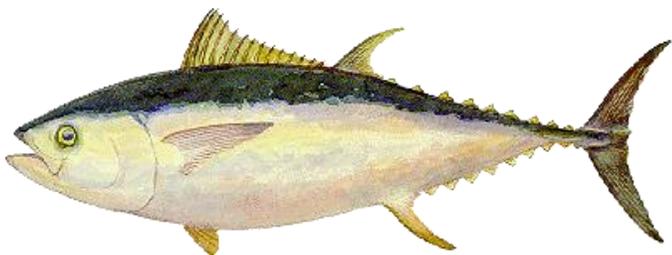
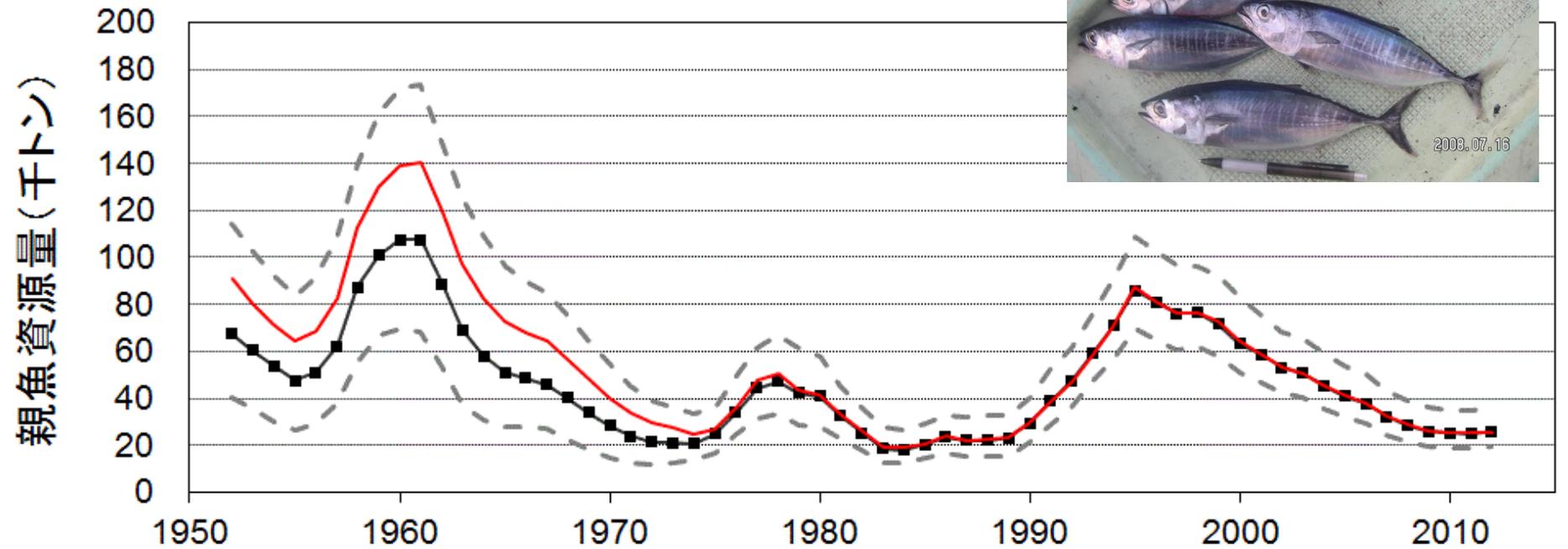


Figure 8. Synthetic series (thin line) computed as mean of the standardized values of the different time-series. The trend (bold line), estimated by Eigen Vector Filtering (see the text), constitutes an index of long-term fluctuations in abundance.



<http://www.iccat.org/en/assess.htm>

# 太平洋クロマグロ



国際水産資源の現況 (H27度版) より [http://kokushi.fra.go.jp/H27/H27\\_04.html](http://kokushi.fra.go.jp/H27/H27_04.html)

# 個体群はなぜ変動するのか？

- 環境による影響  
(レジームシフト, 水温変化・黒潮暖流の経路など)
- 人間による影響 (漁獲)

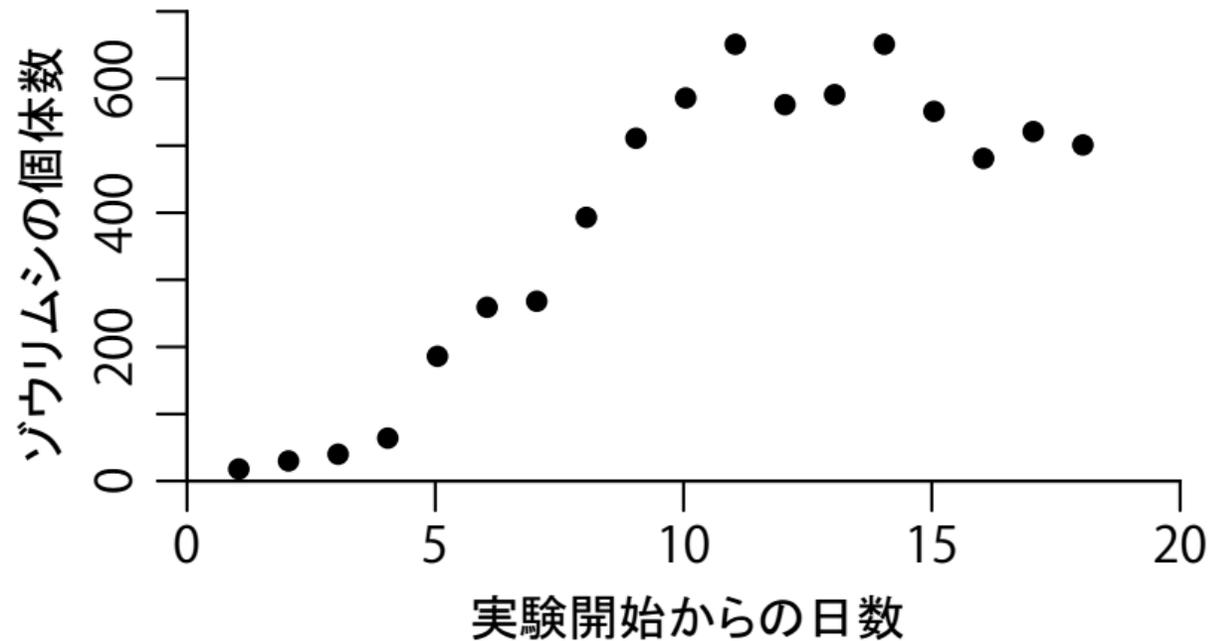
→ 水産資源について,

- ① 個体群の変動パターンを記述し
- ② 変動要因を明らかにし
- ③ より良い利用を考える

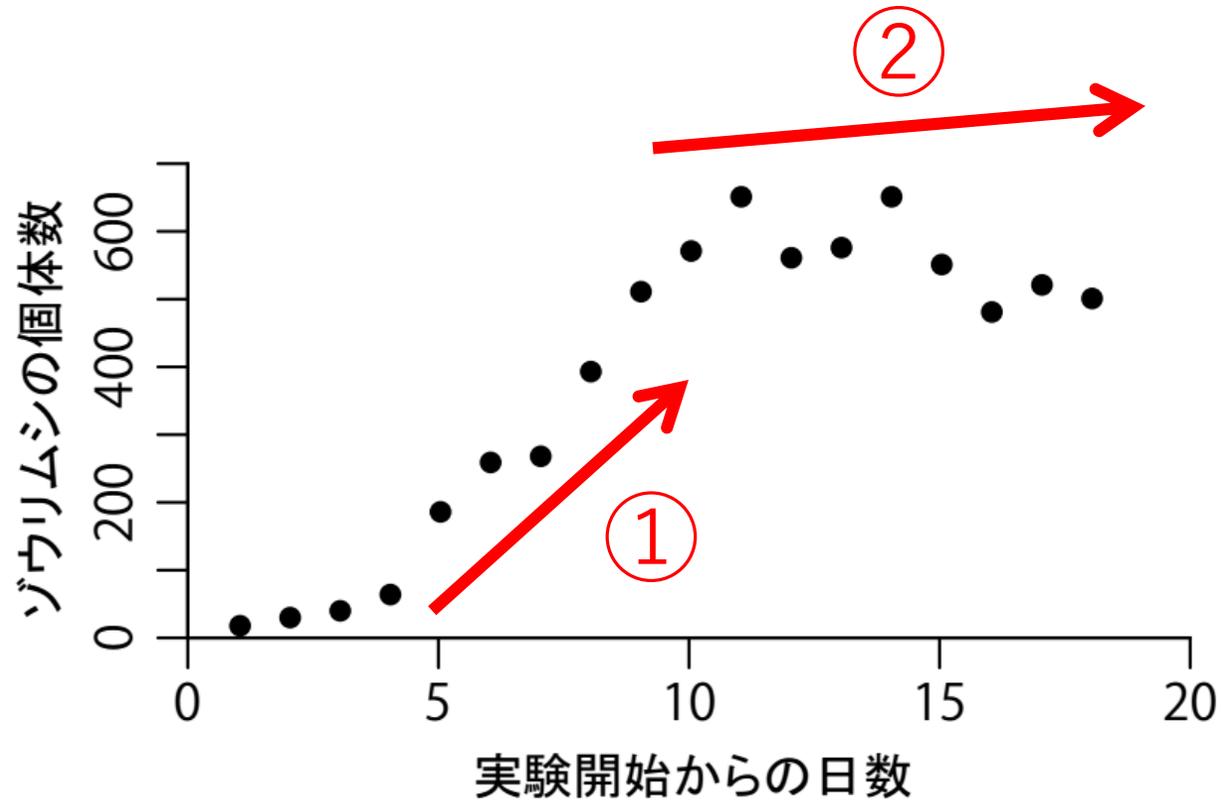
水産資源学

# 個体群動態モデルの単純な例

- 1930年代の実験（ジョージ・ガウゼ）
- シャーレの中にゾウリムシを入れ，どのように増えるかを観察

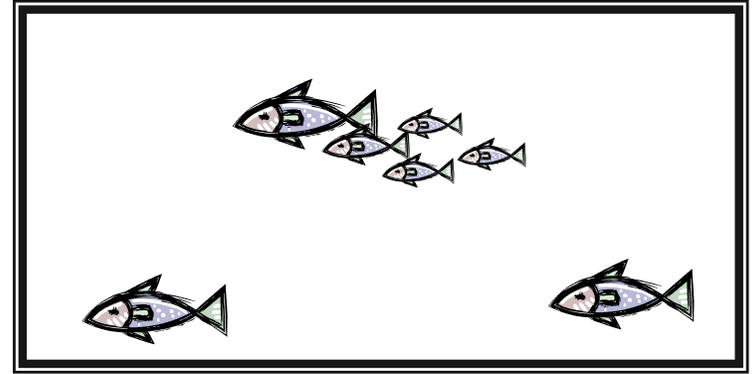
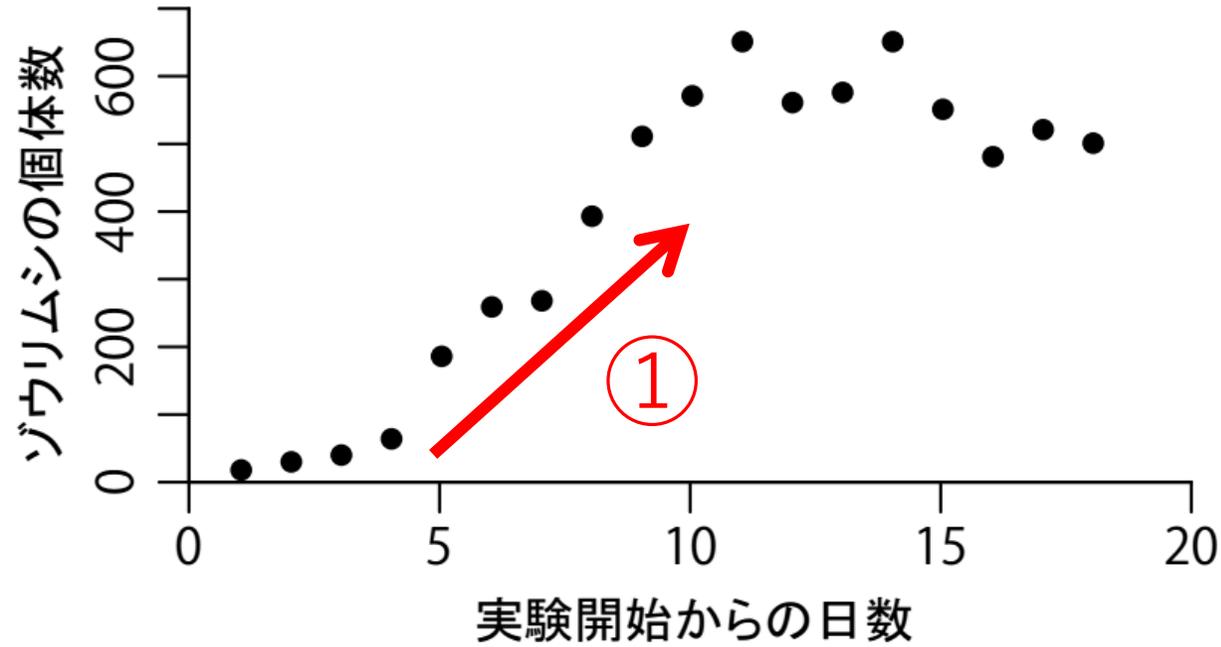


どのような特徴があるか？How?



- ① 最初は勢いよく増加する
- ② ある程度時間がたつと、それ以上増えなくなる

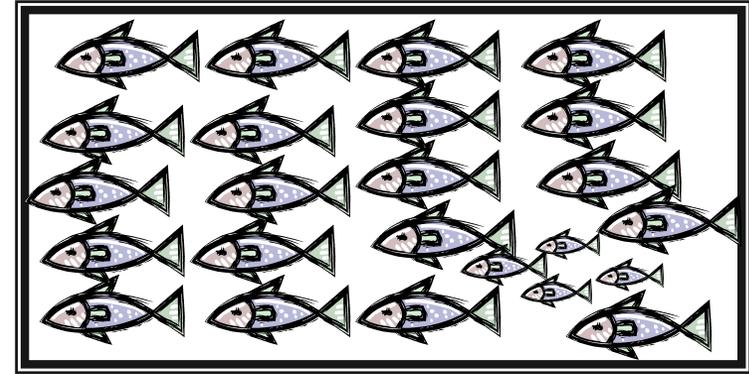
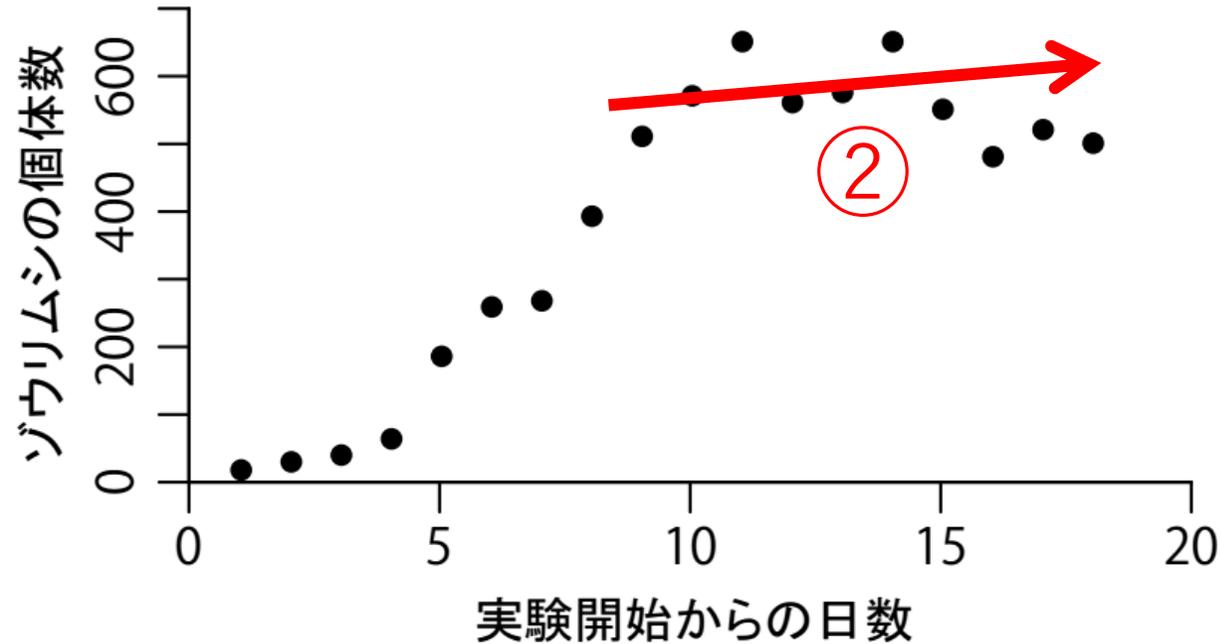
なぜそのように変化するのか？ Why?



① スペースや餌が十分にあり， のびのびと増えられる

増加分 > 自然死亡分

なぜそのように変化するのか？ Why?



② スペースや餌が足りなくなり，死亡個体が増え，増加率と釣り合う

$$\text{増加分} = \text{自然死亡分}$$

# 増加率と密度の関係 (Logistic/production model)

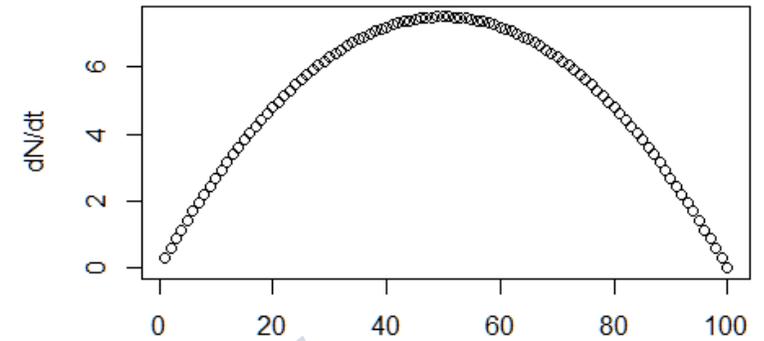
単位時間あたりの  
個体数（量）の増分

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

単位時間 = 1年  
とすると

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right)$$

t+1年の個体数 = t年の個体数 + 増分



- Nが非常に小さい場合,  $dN/dt=r$
- NがKに近くなると,  $dN/dt=0$



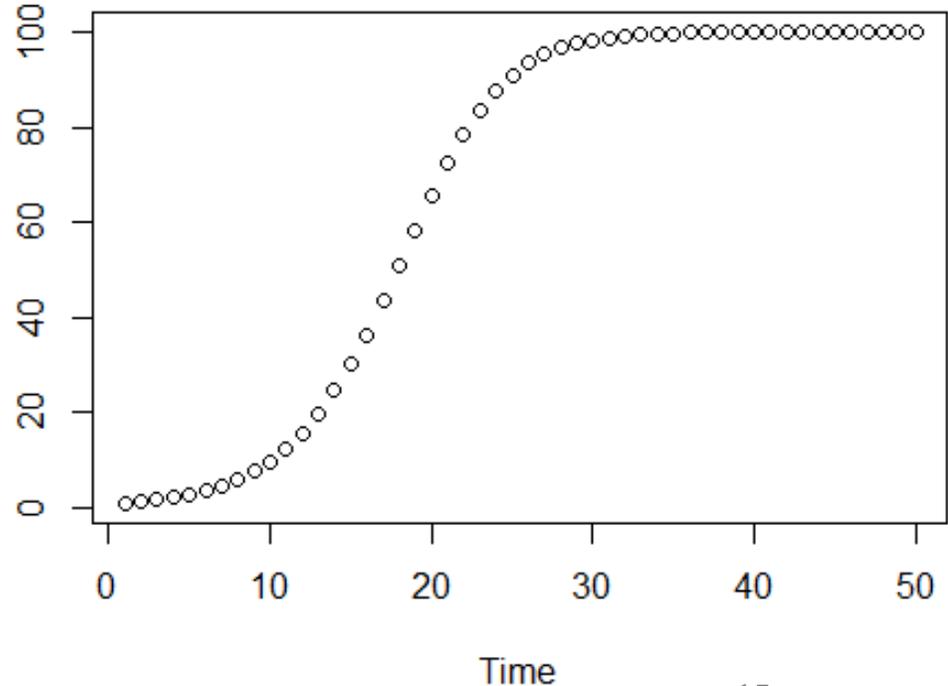
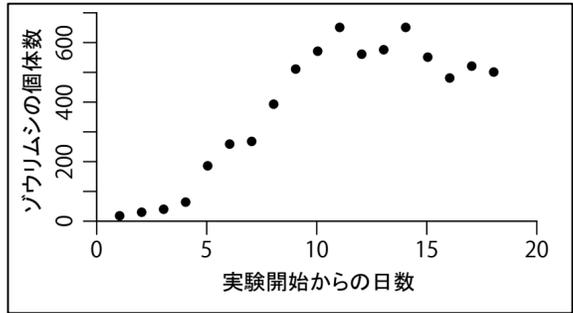
# R: プロダクションモデルのプロット

```
r <- 0.3; K <- 100;  
N <- numeric() # 空のベクトル  
N[1] <- 1 # 1年めは1匹からスタート
```

```
for(t in 1:49) N[t+1] <- N[t] + r*N[t]*(1-N[t]/K)
```

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right)$$

```
plot(N,xlab="Time",ylab="N")
```





# R: 初期値を変えてみる

```
r <- 0.3
```

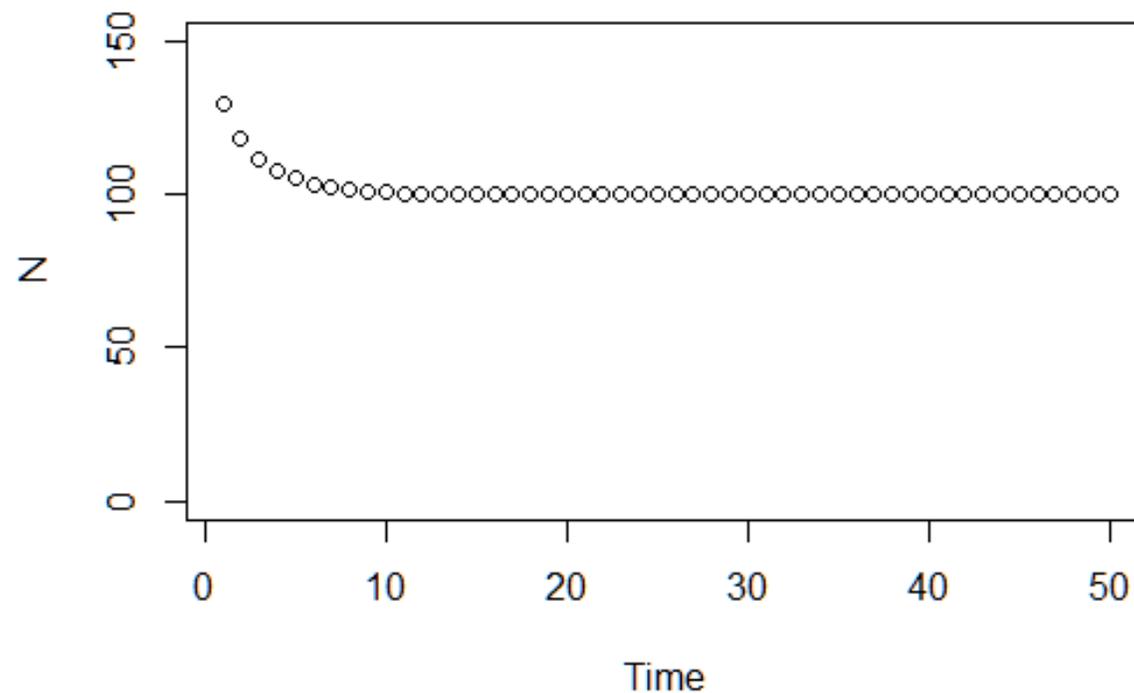
```
K <- 100
```

```
N2 <- numeric()
```

```
N2[1] <- 130 # 初期値を130に変更
```

```
for(t in 1:49) N2[t+1] <- N2[t] +  
                r*N2[t]*(1-N2[t]/K)
```

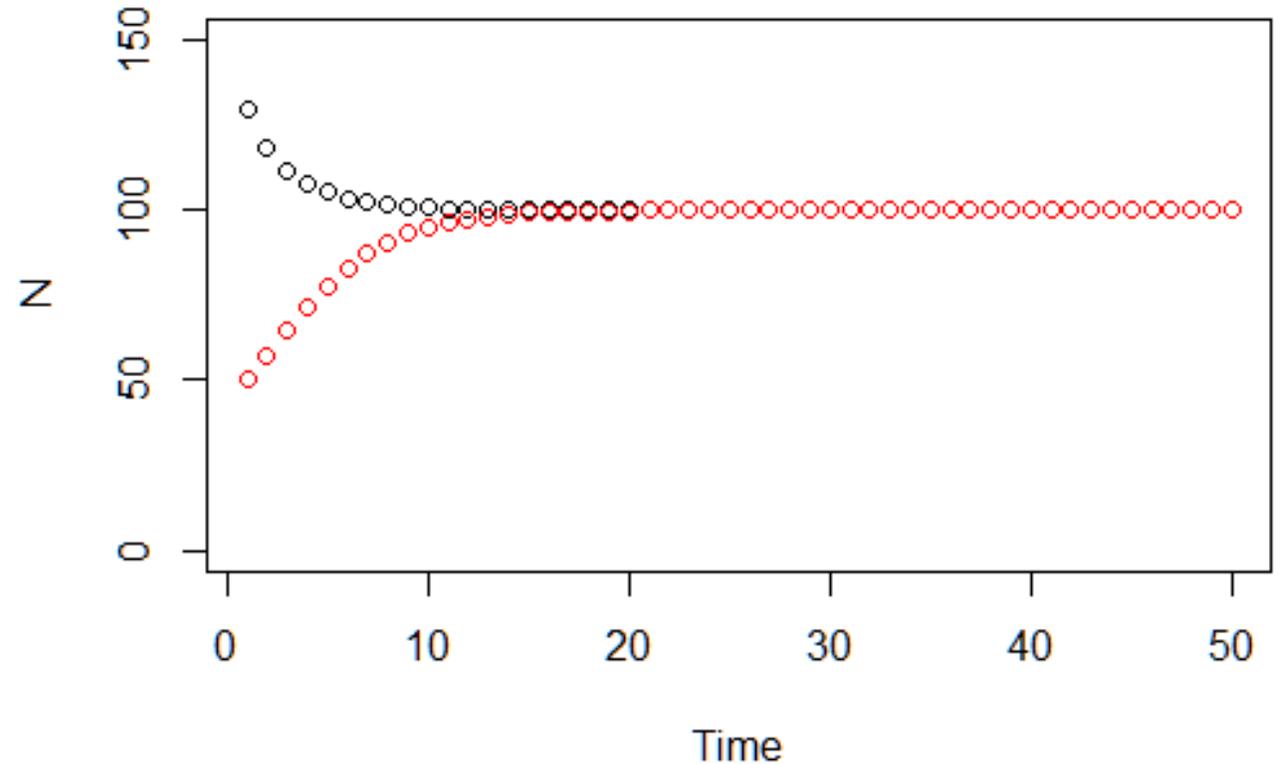
```
plot(N2,xlab="Time",ylab="N",  
      ylim=c(0,150),type="b")
```





# R: 重ね書き

```
plot(N,xlab="Time",ylab="N",  
      ylim=c(0,150))  
points(N2,col=2,type="b")
```



どの個体数からはじめてもK  
(100) で平衡状態に達する



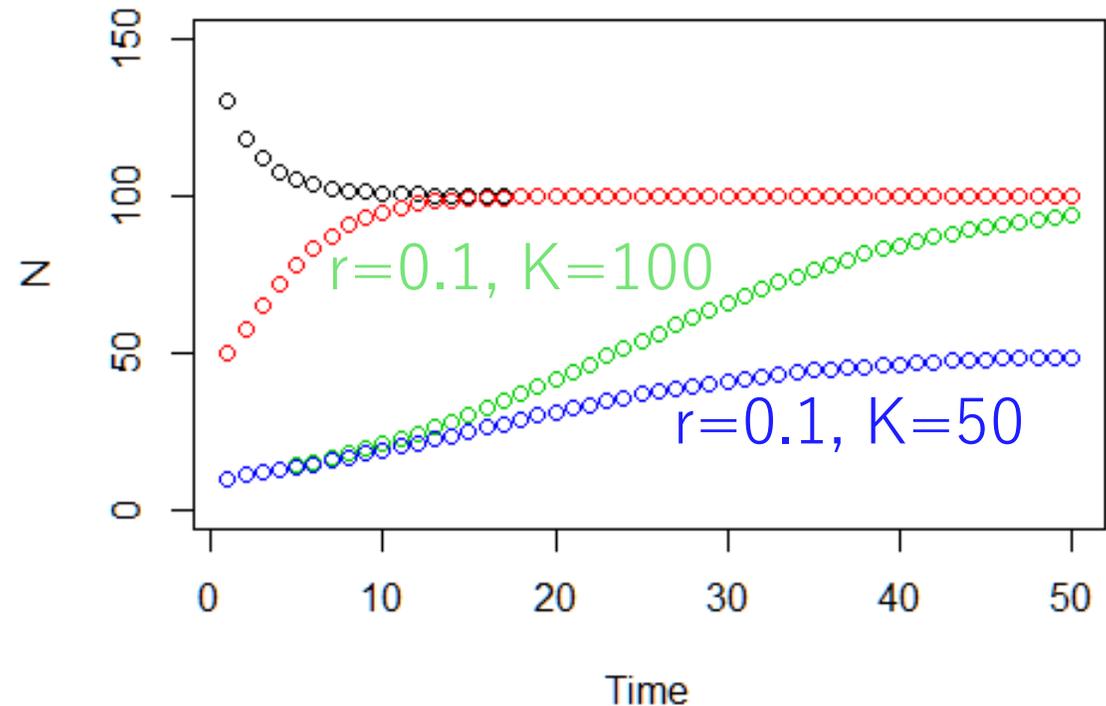
# R: 他のパラメータも変える

$r \leftarrow 0.1$

```
N3 <- numeric(); N3[1] <- 10  
for(t in 1:49) N3[t+1] <- N3[t] +  
  r*N3[t]*(1-N3[t]/K)  
points(N3,col=3,type="b")
```

$K \leftarrow 50$

```
N4 <- numeric(); N4[1] <- 10  
for(t in 1:49) N3[t+1] <- N3[t] +  
  r*N3[t]*(1-N3[t]/K)  
points(N4,col=4,type="b")
```



$r$  は個体群の変化のスピード,  $K$  は資源量の大きさを決めるパラメータ

## ②MSYの概念と資源管理の目的

- 個体群動態ってなに？
- **魚を持続的に，効率的に漁獲する方法：MSYの今昔**

プロダクションモデルに「漁獲」を加える

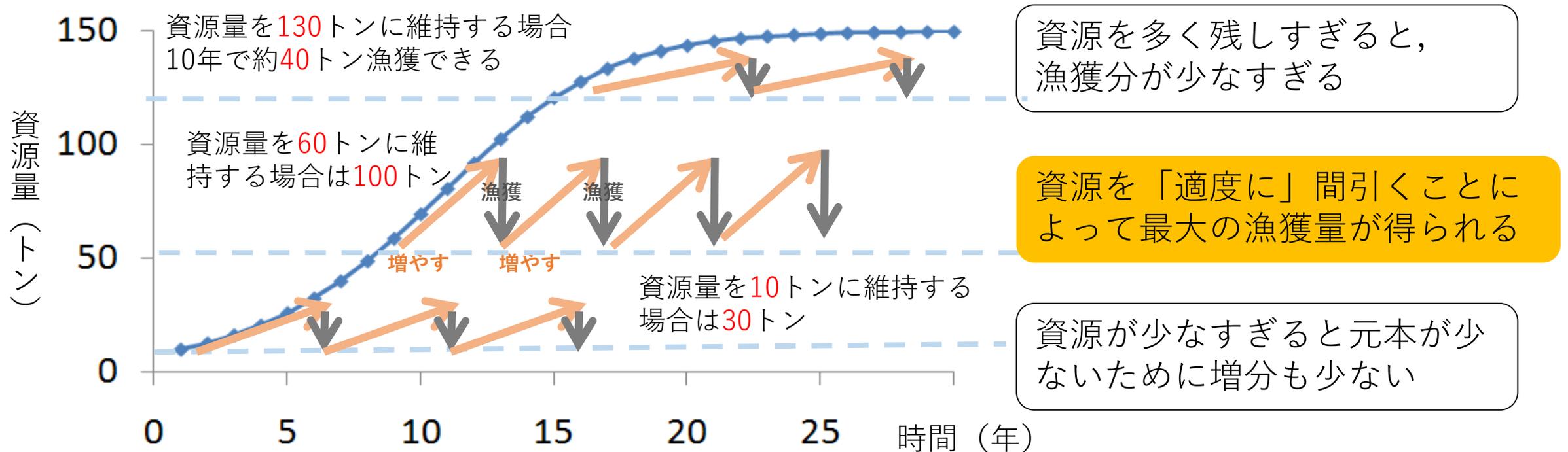
$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left(1 - \frac{N_t}{K}\right) - C_t$$

t時間の個体数 = t-1時間の個体数 + 増分 - 漁獲分

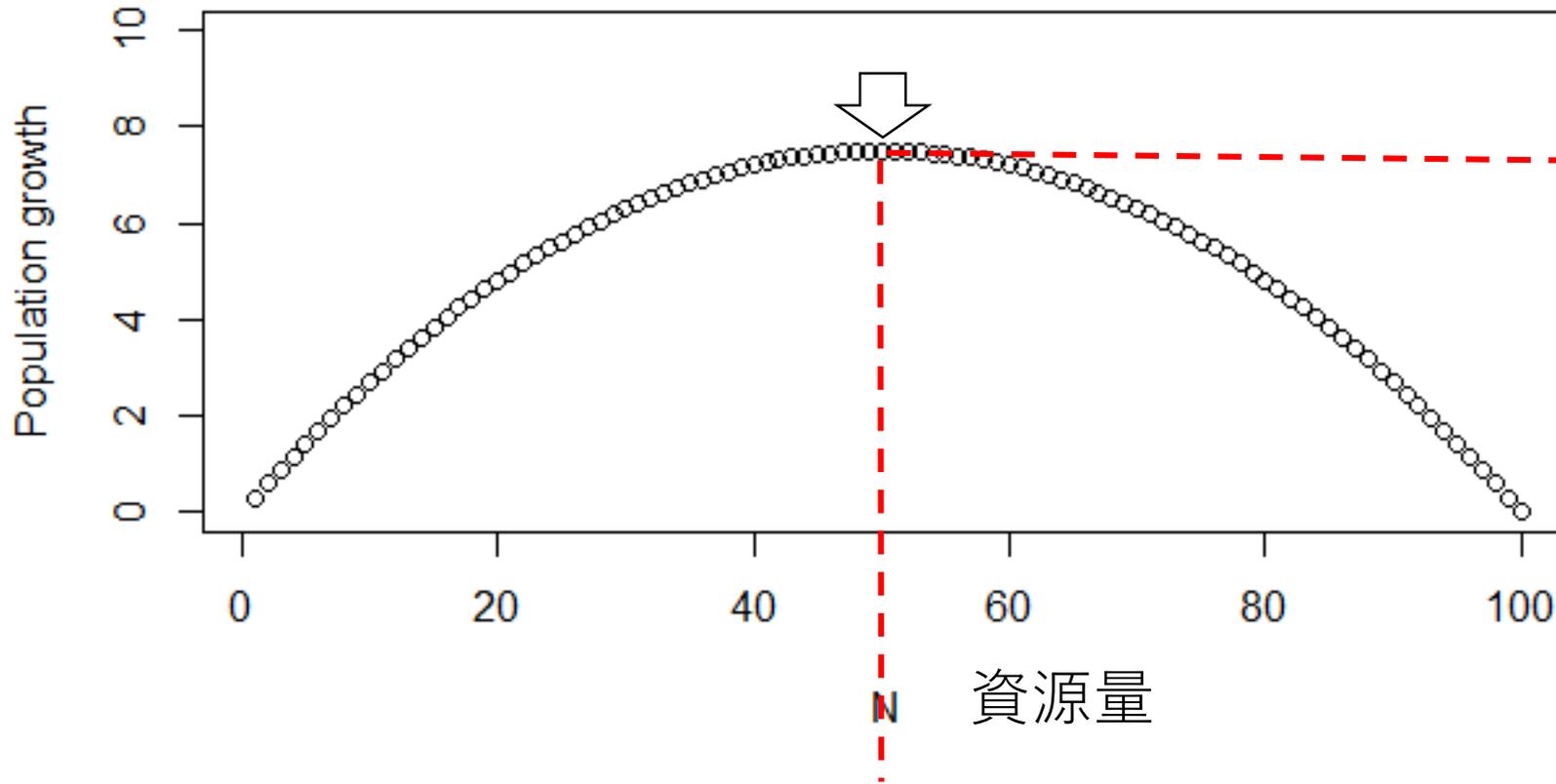
増えた分だけ漁獲( $rN_t \left(1 - \frac{N_t}{K}\right) = C_t$ )すれば、  
資源を減らさずに漁獲できる = 持続生産量

# 最大持続生産量とは？

- 個体数を一定に保ちながら（平衡状態）持続的に漁獲できる最大の漁獲量



個体群の成長量



最大持続生産量  
 $MSY=rK/4$

MSYを達成するときの資源量  
 $B_{MSY}=K/2$

MSYを達成するときの漁獲率  
 $F_{MSY}=r/2$

# MSYとは？

- 獲りすぎても残しすぎてもダメ。
- その中間に「**最適な**」ポイントがあることを

**単純な個体群動態理論**によって説明

「理論的な最適ポイント」があるために、関係者間での合意が得られやすい

専門家でない漁業管理者 (fisheries manager) や漁業者にも理解しやすい

漁業資源管理における基本的な管理目的として確立  
(1950～1970年代)

# 国連海洋法条約の中のMSY (article 61) (1994)

## Conservation of the living resources (生物資源の保護)

1. 自国のEEZ内の生物資源に対して許容漁獲量を設定する
2. 科学的情報にもとづいて、乱獲状態にならないように適切な方法で生物資源を管理する
3. それらの管理方策は、漁獲される種の個体群が**MSYを達成するようなレベルに資源量を維持すること**のように設定する。そのときには、さまざまな要因も同時に考慮する。

# 日本と国連海洋法条約（1996年批准）

## 漁獲許容量の設定

- 1997年より，マイワシ・マアジ・マサバ・ゴマサバ・スケトウダラ・ズワイガニ・スルメイカ（1998~）に対してTotal Allowable Catch (TAC)を設定

乱獲状態にならないように管理・MSYを達成する資源量を維持

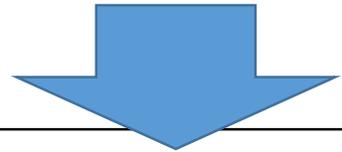
### ABC算定ルール

MSY は理念的には「その資源にとっての現状の生物的、非生物的環境条件のもとで持続的に達成できる最大の漁獲量」と解釈されるが、現時点における科学的知見等の実態からすると、MSYを「適切と考えられる管理規則による資源管理を継続することで得られる漁獲量」ととらえるのが实际的であり、ここではその管理規則となる「ABC算定のための基本規則」を提案する。

→ MSYに関しては、なんかあいまいな表現に...

# 古典的MSY

漁獲方式	MSY（一定漁獲量）でずっと漁獲
MSY計算の条件	平衡状態・加入変動なし
個体群動態モデル	年齢構成を考慮しないプロダクションモデル



データから推定されたMSYで漁獲しつづけた結果、多くの資源で乱獲状態に。一方で、もともと乱獲状態の資源ではMSYまで漁獲を下げられなかった。

→ MSYへの批判が高まり、一時、MSYが廃れる(Larkin 1997)

Larkin, P.A. (1977) An epitaph for the concept of maximum sustained yield. *Transactions of the american fisheries society* **106**, 1–11.



古典的なMSYをもとに漁獲した場合，何がおこるか？Rでシミュレーションしてみる

- プロダクションモデルを使った単純な個体群動態のシミュレーションをする
- for文を使ってランダムな加入変動を繰り返しシミュレーションし、絶滅確率を計算する
- 条件を変えて結果を比較する
  - 漁獲量・漁獲率、ランダム誤差、漁獲量一定or漁獲率一定  $d$ 、

# 加入変動なし & 一定量 (5トン) の漁獲

```
r <- 0.3; K <- 100;
```

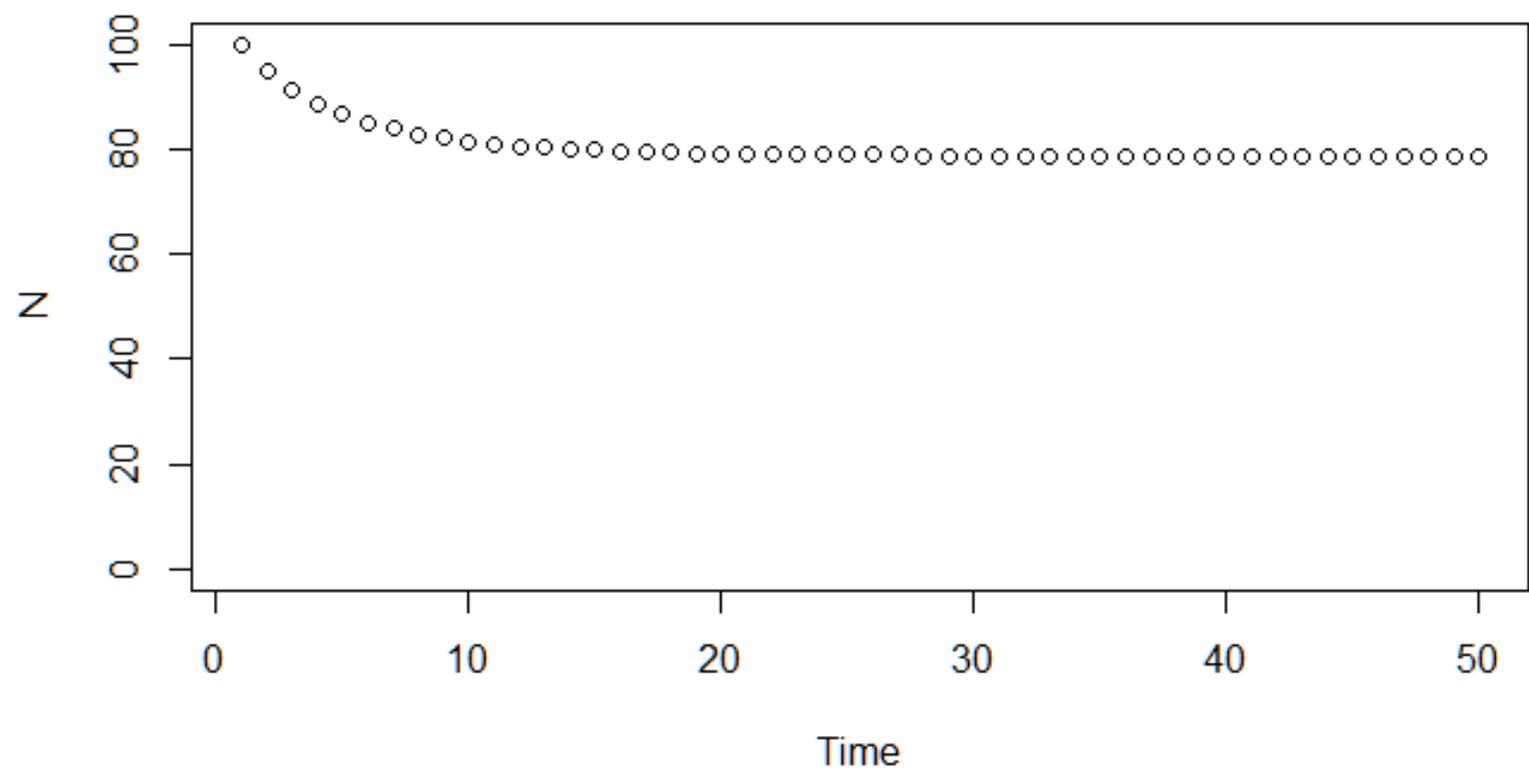
```
N <- numeric() # 空のベクトル
```

```
N[1] <- K # 1年めはK(環境収容量)からスタート
```

```
C <- 5 # 毎年5トン漁獲
```

```
for(t in 1:49) N[t+1] <- N[t] + r*N[t]*(1-N[t]/K)-C
```

```
plot(N,xlab="Time",ylab="N", ylim=c(0,max(N)))
```



漁獲量を5トンから7.5トン(MSY)に増やす

```
r <- 0.3; K <- 100;
```

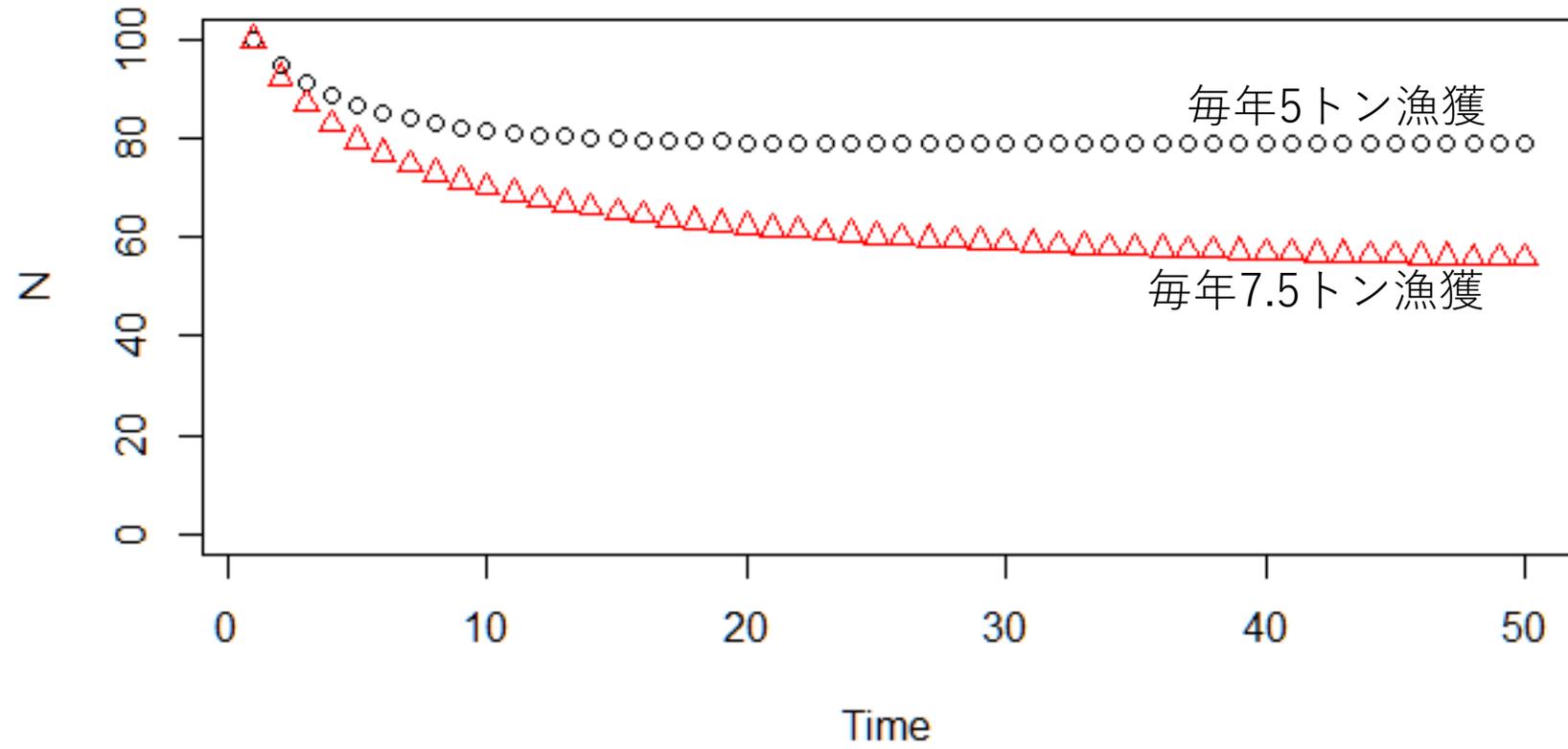
```
N2 <- numeric() # 空のベクトル
```

```
N2[1] <- K # 1年めはK(環境収容量)からスタート
```

```
C <- 7.5 # 毎年7.5トン漁獲
```

```
for(t in 1:49) N2[t+1] <- N2[t] + r*N2[t]*(1-N2[t]/K)-C
```

```
points(N2,col=2, pch=2)
```



さらに9トンまで増やす

```
r <- 0.3; K <- 100;
```

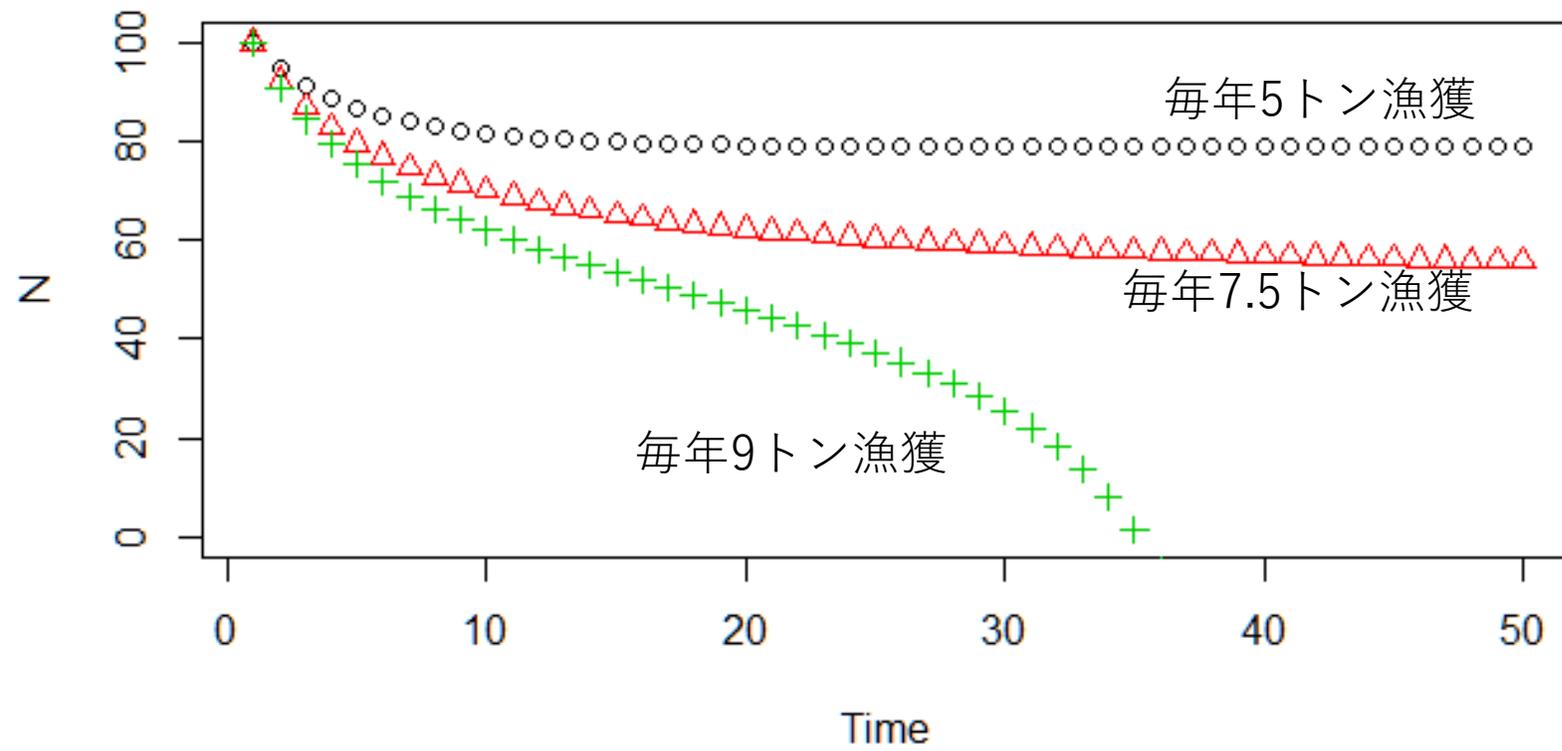
```
N3 <- numeric() # 空のベクトル
```

```
N3[1] <- K # 1年めはK(環境収容量)からスタート
```

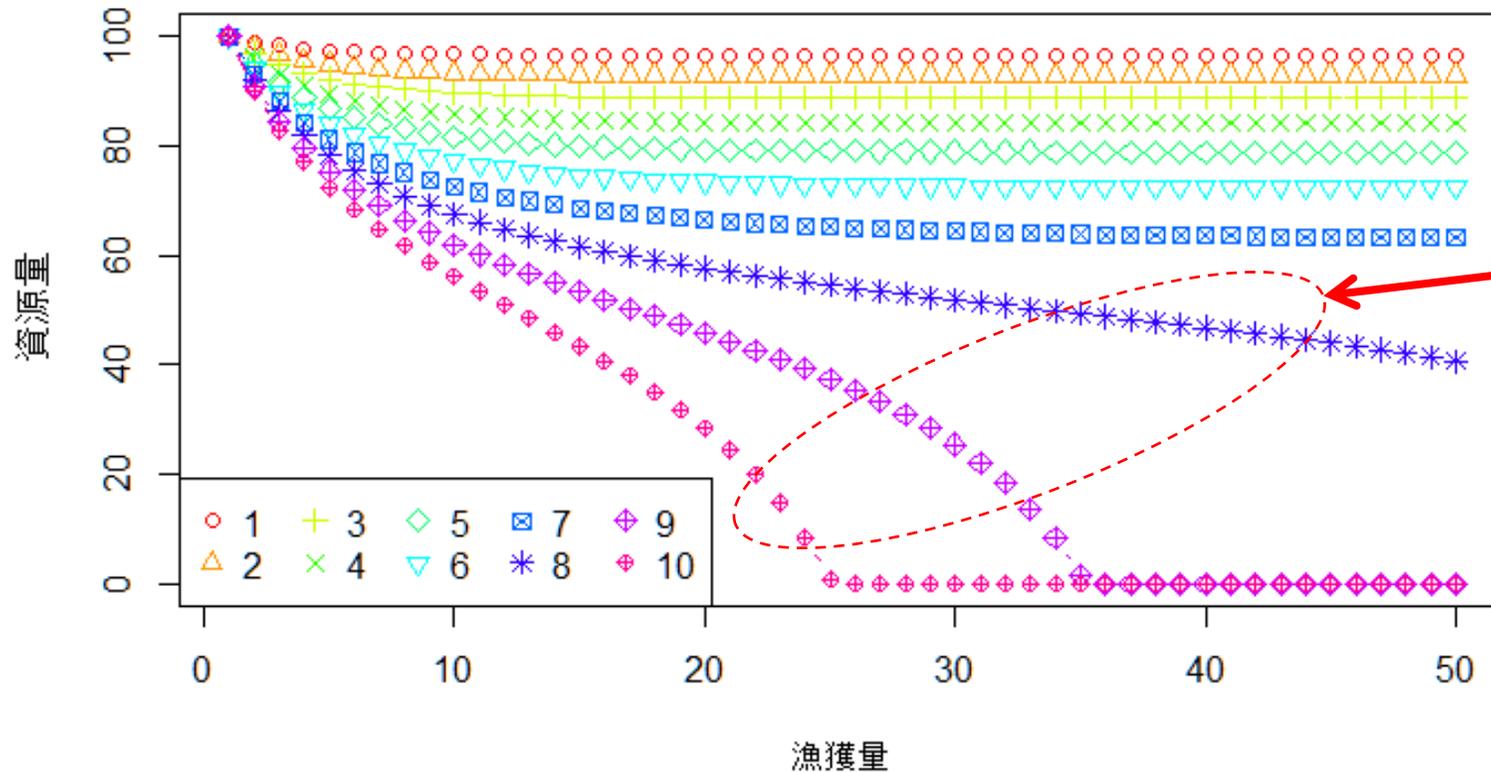
```
C <- 9 # 毎年9トン漁獲
```

```
for(t in 1:49) N3[t+1] <- N3[t] + r*N3[t]*(1-N3[t]/K)-C
```

```
points(N3,col=3,pch=3)
```



# 漁獲量を1から10まで段階的に増やした場合



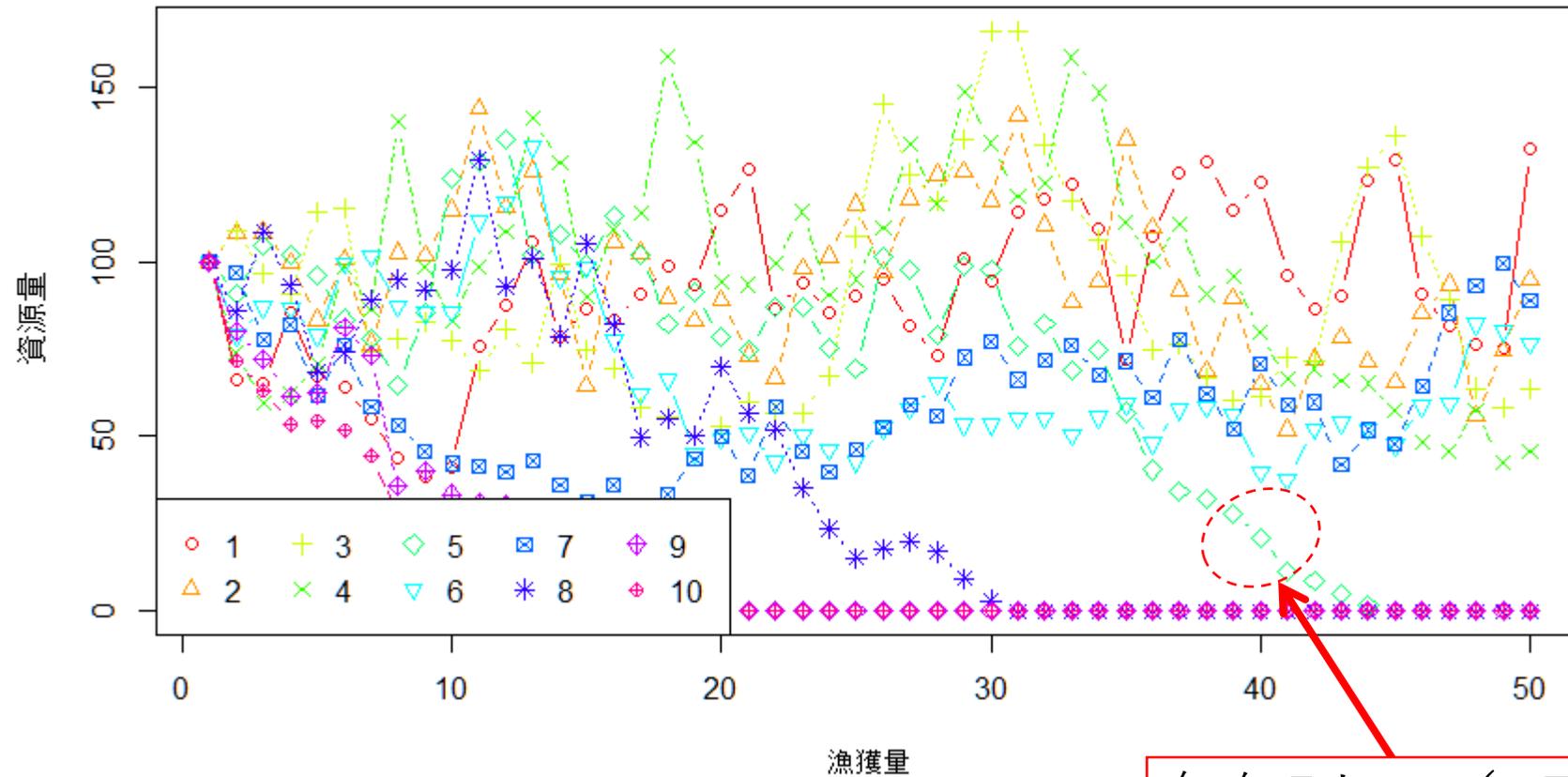
年間の漁獲量が8トン以上になると、やがて資源量はゼロになる

- MSYまでは持続的に漁獲できるが、少しでも越すと資源量はやがてゼロに  
→ **MSY**は持続的に漁獲できる**最大の漁獲量**ではあるが、それを超えると絶滅してしまう「**絶滅への閾値**」でもある

では、毎年の漁獲 $<MSY$ とすれば安全か？

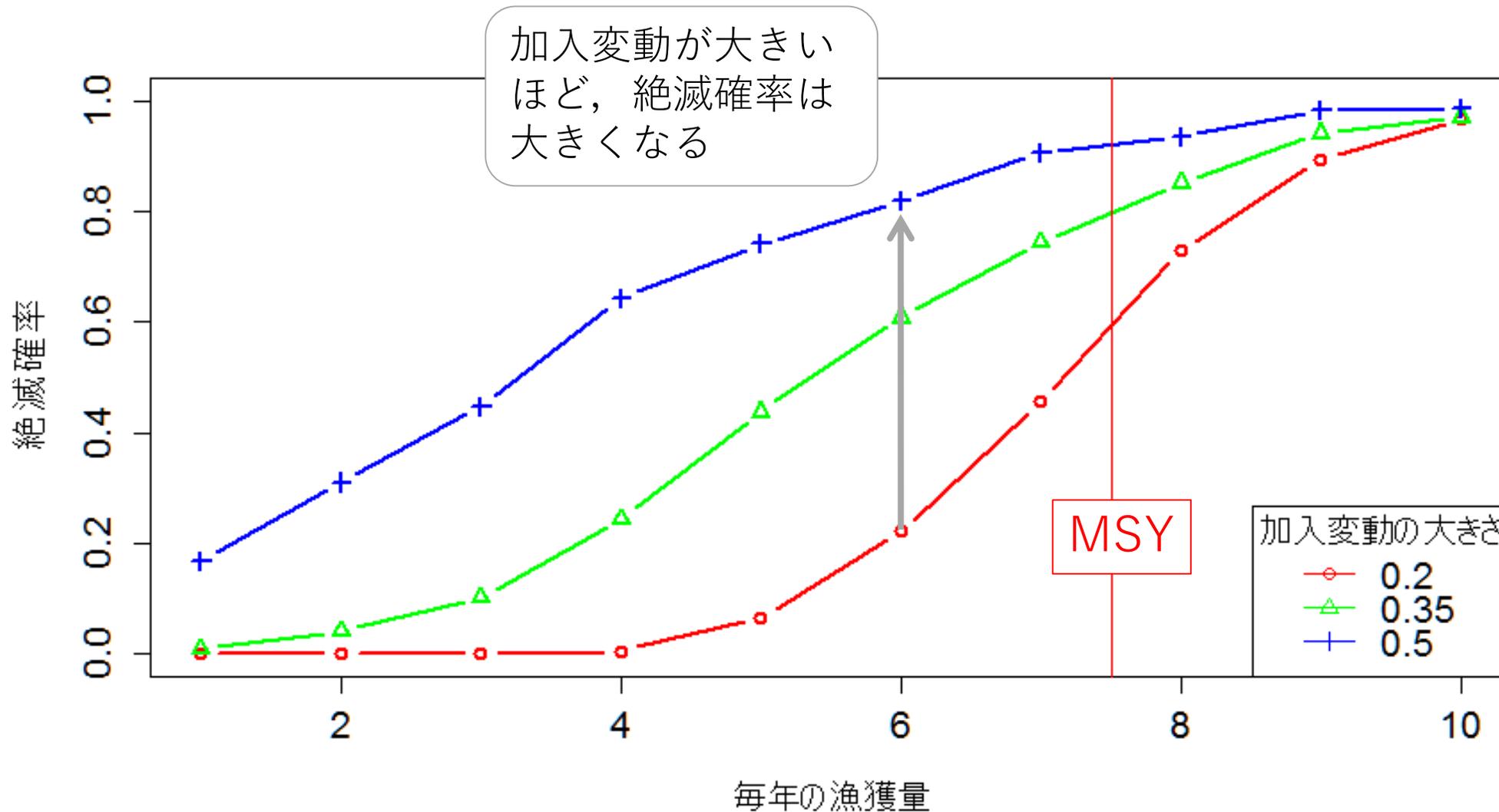
- $MSY$ の推定値は本当に正しい？
  - ほんのすこしでも過大推定していたら絶滅
- 環境の影響による加入変動
  - たまたま環境が悪くて、加入量が少ない年もある

# ランダムな加入変動を導入 (CV=0.2)



毎年5トン (<7.5) の漁獲量でも、絶滅することがある

# 50年後の絶滅確率と漁獲量



では、毎年の漁獲 $<$ MSYとすれば安全か？

- MSYの推定値は本当に正しい？
  - ほんのすこしでも過大推定していたら絶滅
- 環境の影響による加入変動
  - たまたま環境が悪くて、加入量が少ない年もある

MSY推定が正しいとしても、加入変動があれば毎年漁獲量 $<$ MSYとしても(かなり高い確率で)絶滅する

**古典的MSY (MSYでの一定漁獲) の否定**

では、どうすればいい？

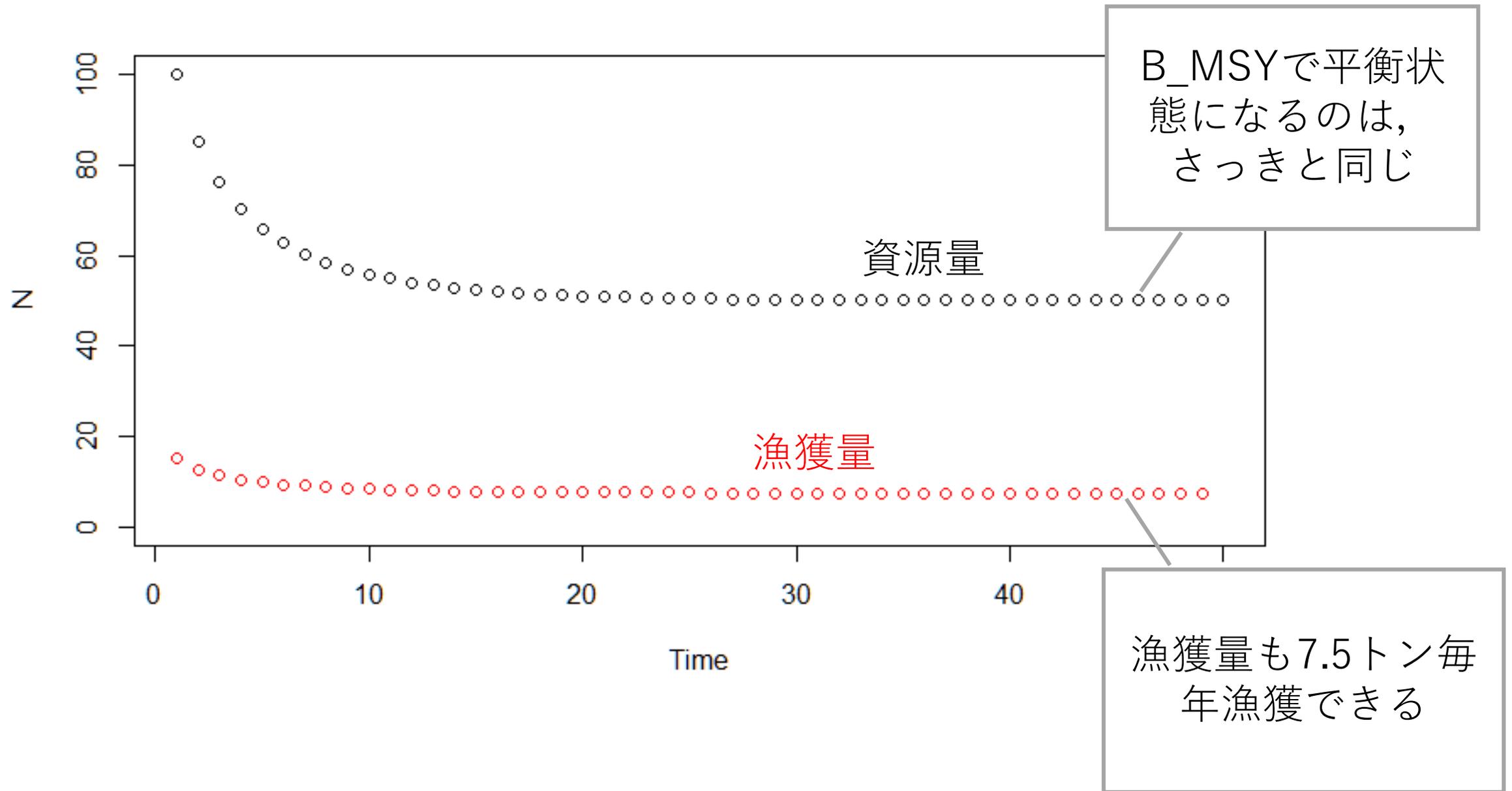
- 資源の変動に応じて漁獲量も増減させればいいのか？
- MSYではなく、 $F_{MSY}$  (MSYを達成するときの漁獲率)で漁獲してみる

# 加入変動なし & 一定率 ( $0.15 = F_{MSY}$ ) の漁獲

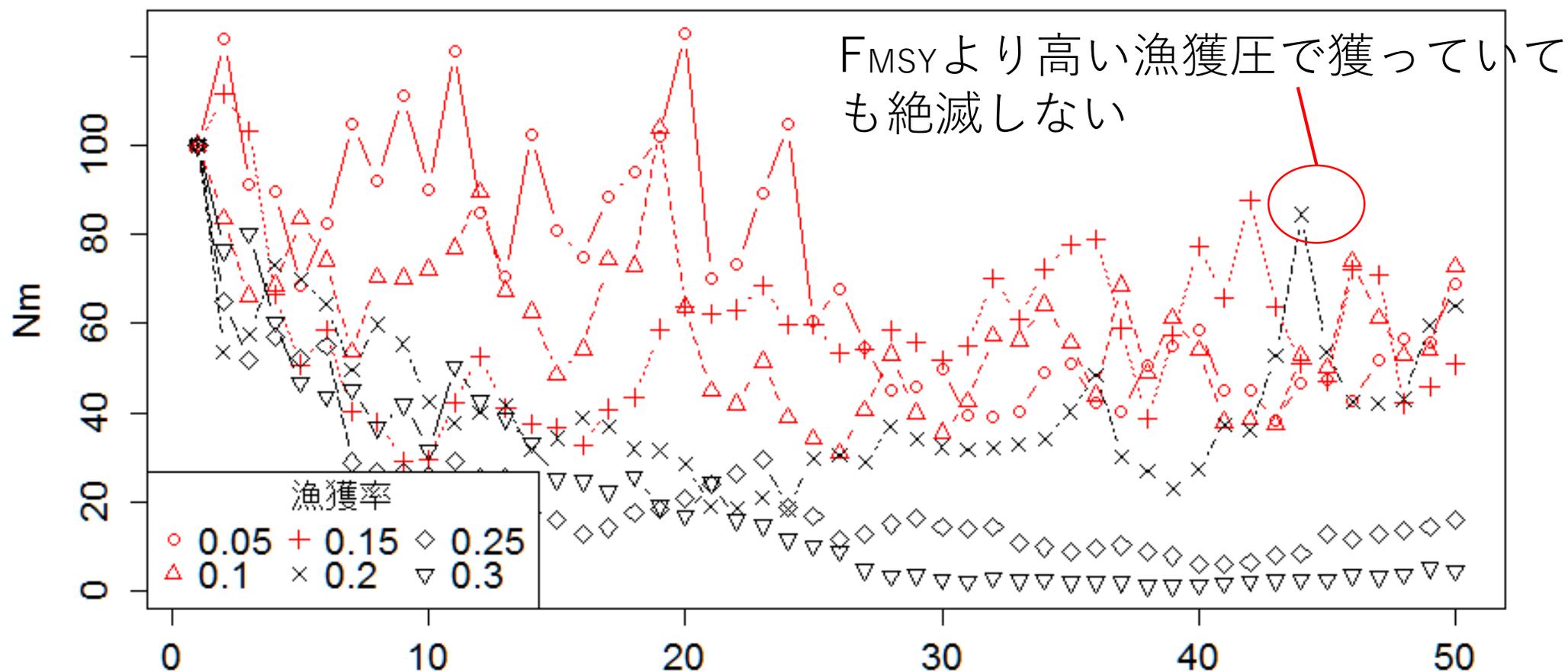
```
r <- 0.3; K <- 100; N <- C <- numeric() # 空のベクトル  
N[1] <- K # 1年めはK(環境収容量)からスタート  
F <- 0.15 # 毎年資源の15%を漁獲
```

```
for(t in 1:49){  
  C[t] <- N[t] * F  
  N[t+1] <- N[t] + r*N[t]*(1-N[t]/K)-C[t]  
}
```

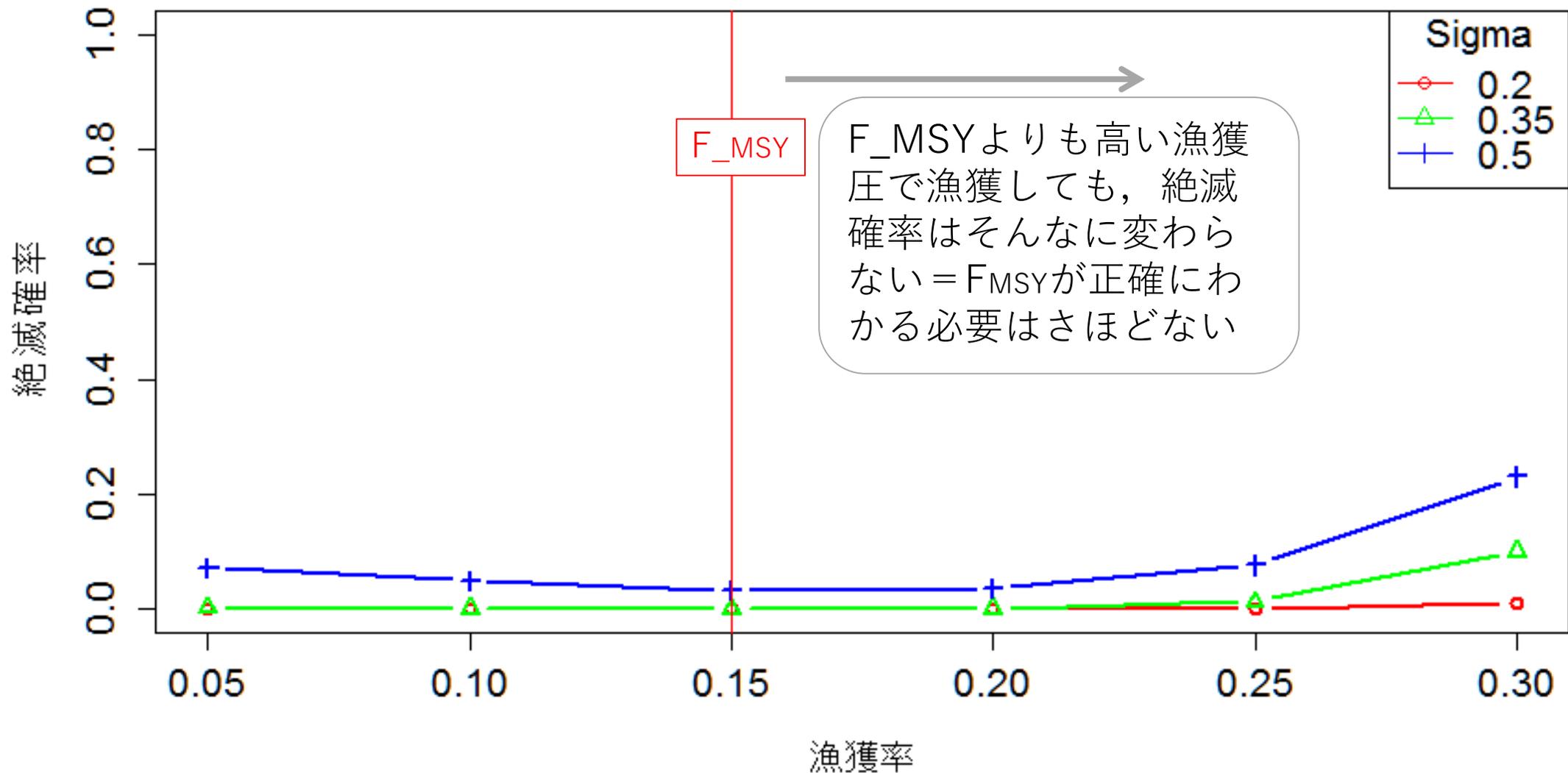
```
plot(N,xlab="Time",ylab="N", ylim=c(0,max(N)))  
points(C, col=2)
```



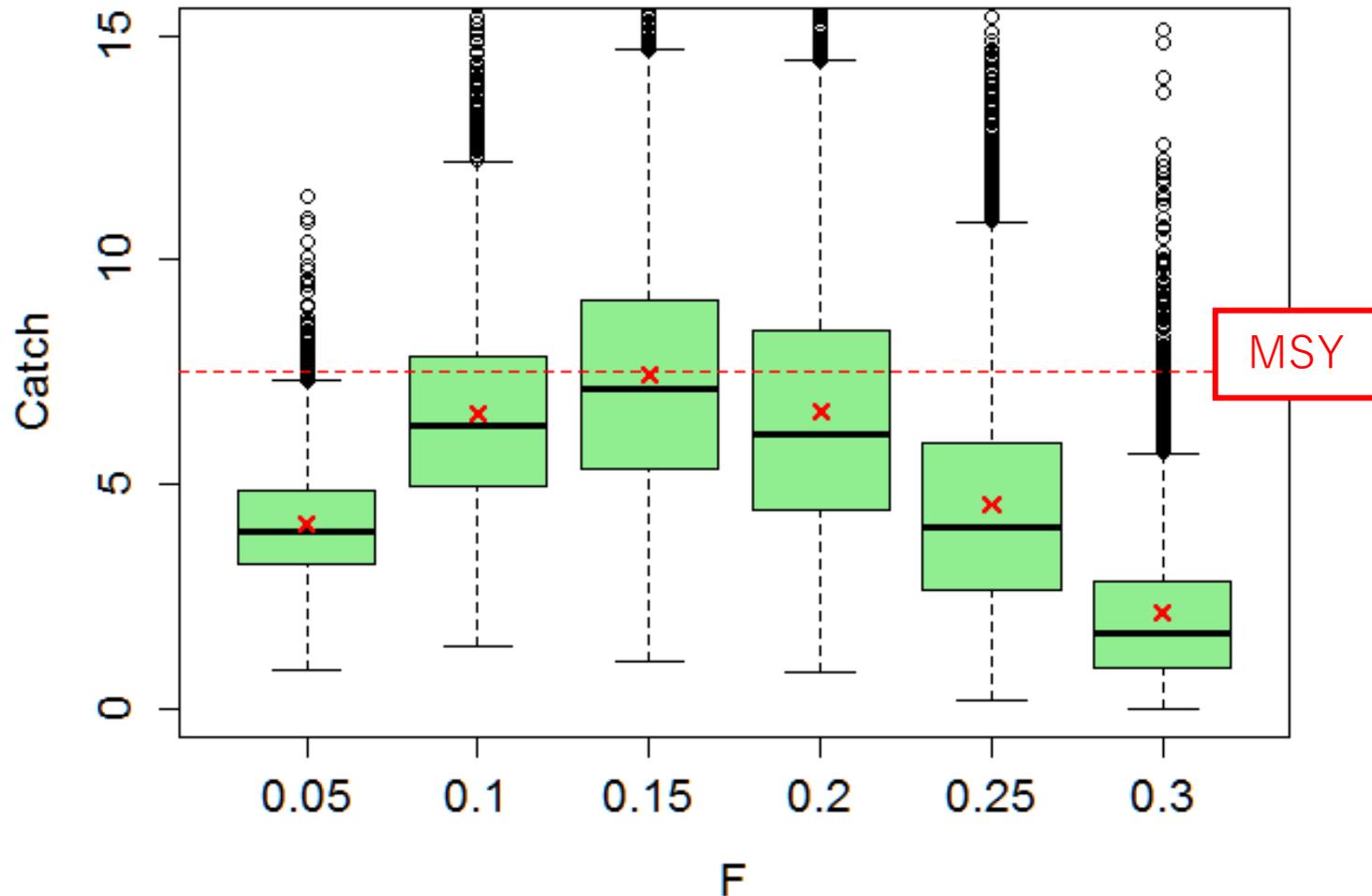
加入変動 (CV=0.2) があるもとで  
さまざまなF(0.05~0.3)でシミュレーションした結果



# 50年後の絶滅確率



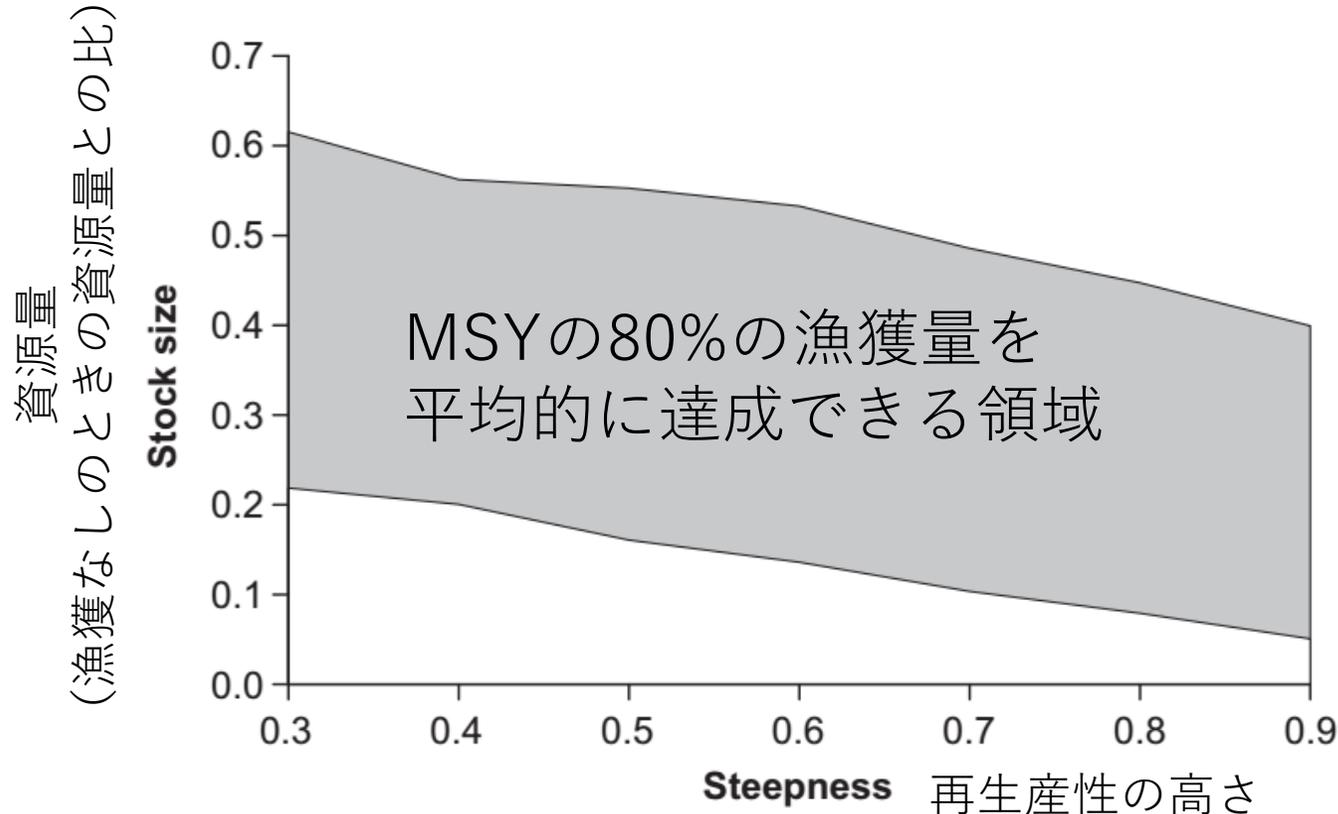
# 50年後の漁獲量 (CV=0.2のとき)



- 毎年の漁獲量の変動は大きい
- $F_{MSY}$ で平均漁獲量は最大に
- $F=0.1\sim 0.2$ の範囲で達成できる平均漁獲量はほぼ同じ
  - ✓  $F=0.1$ のとき6.6トン
  - ✓  $F=0.15$ のとき7.4トン
  - ✓  $F=7.1$ のとき6.7トン

**Pretty Good Yield**  
(いい感じの漁獲量)  
(Hilborn 2010)

# Pretty Good Yield



厳密なMSYを達成するのは難しいが、  
「なかなか良い感じの漁獲量  
(PGY)」を得るための資源レベルの  
範囲はけっこう広い

**Fig. 3.** The region of PGY plotted versus steepness and stock size.

- Hilborn, R. (2010). Pretty Good Yield and exploited fishes. *Marine Policy*, 34(1), 193–196.

# 今のMSY

## 漁獲方式

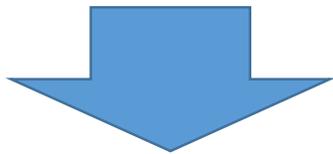
$F_{MSY}$ 以下の漁獲率で一定率の漁獲

## MSY計算の条件

加入変動を考慮して $F_{MSY}$ で漁獲したときの平均的な漁獲量をMSY (またはMAY, Maximum Average Yield)とする

## 個体群動態モデル

プロダクションモデルに限らず、密度依存の再生産関係を仮定した年齢構成モデルなど、資源評価で用いられているモデル何でも



MSYは最近 (2000年台~) になって、新たな役割を持って復活

Mace, P. M. (2001). A new role for MSY in single-species and ecosystem approaches to fisheries stock assessment and management. *Fish and Fisheries*, 2, 2–32.

# ICESもMSYを採用

The hesitant emergence of maximum sustainable yield (MSY) in fisheries policies in Europe Marine Policy 36 (2012) 473–480

Benoit Mesnil<sup>1</sup>

- ⊗ 長年MSY嫌いだったが国際的な風潮に負けて導入
- ⊗ Many objections against the reference points associated with MSY, ... , are well-founded but controversies among experts, ..., just provide the opportune climate for politicians to delay actions in the direction of reduced fishing impacts on fish stocks and marine ecosystems.

専門家同士のもめごとは管理の実施を遅らす格好の口実を与えるだけだ

# 認証制度とMSY



## Marine Stewardship Council

持続可能な漁業で獲られた認証水産物

日本語

ご寄付について ログイン

サイトを検索

検索

ホーム MSCについて 認証漁業について 認証取得に向けて ニュースルーム 関連資料 供給企業の検索

現在位置: ホーム

### MSCのエコラベル使用について



- › 認証サプライヤー
- › MSC認証エコラベル

### 持続可能な漁業



- › 持続可能な漁業
- › MSC認証漁業

### 楽しく調理し、いただきましょう！



- › サステイナブルな魚
- › サステイナブルシーフード料理レシピ

### 最新のニュース

MSC環境インパクト報告書2017発表：国連の持続可能な開発目標（SDGs）の達成における漁業認証の重要性を指摘

2017年06月01日

### MSC日本事務所ブログ



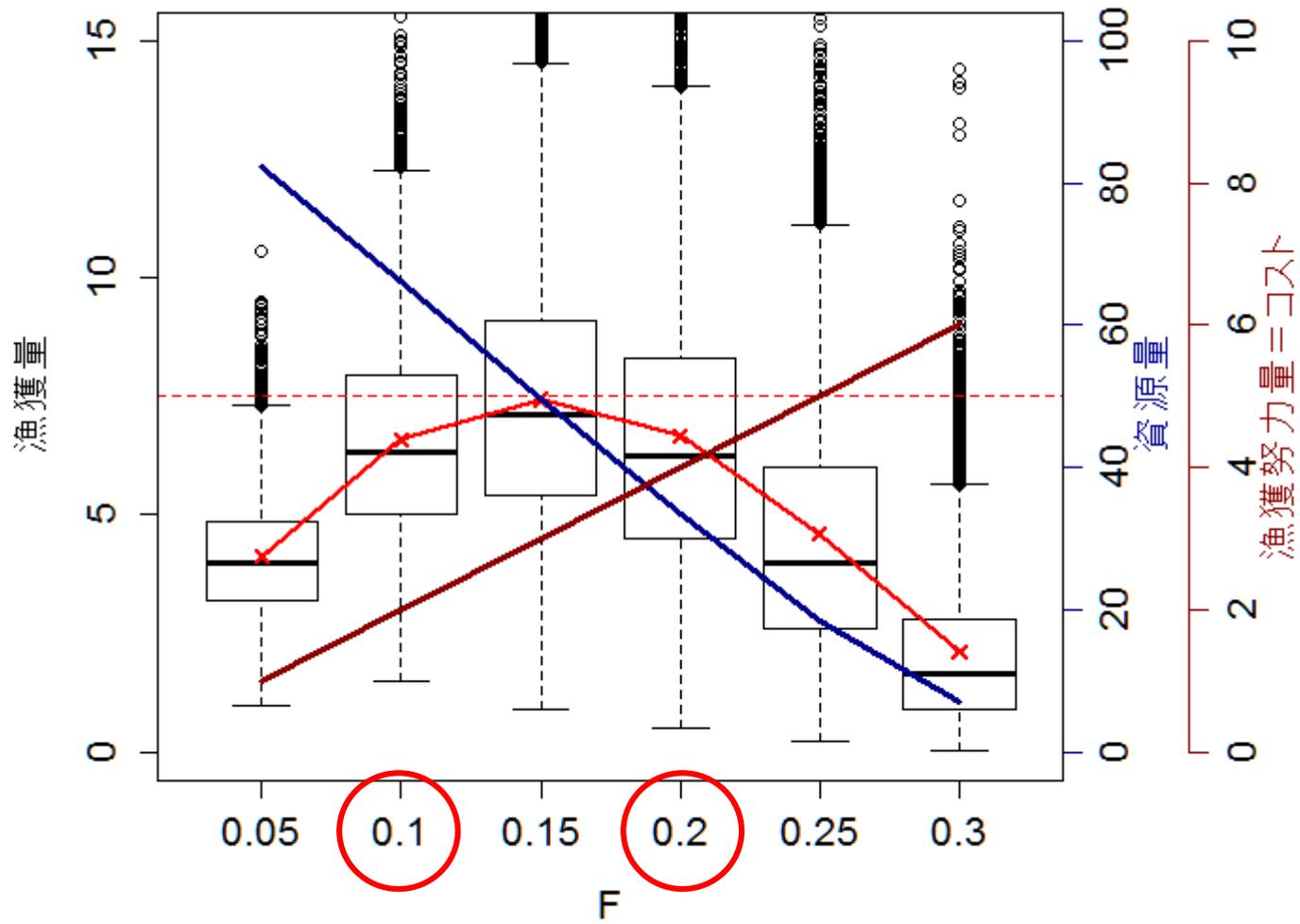
MSCの日本でのさまざまな活動やイベント、世界での認証関連のニュースについて、日本事務所ス

### ニュース・ピックアップ

・3月15日発表の「MSCは漁業認証とCoC認証についてのステークホルダーからのコメントを募集中」に関するお問い合わせやコメントは、下記にご連絡ください。

電話：03-5623-2845

# さらに進んだ考え方 (Maximum Economic Yields, MEY)



- ほぼおなじ平均漁獲量を達成するF(=0.1と0.2)で比較
  - 資源量は2倍違う
  - 努力量あたりの漁獲量も、F=0.3のときに比べて、F=0.3のときは2倍になるので、同じ漁獲量を達成するときの操業コスト (= 漁獲努力量) は半分に
  - 操業コストまで考えると、Fは小さく、資源量を大きく保ったほうが得

# まとめ

- MSYというと，以前は唯一の・現実的でない仮定・不確実性高い，というイメージ

→ 今は，もっと広い意味で使われている

加入変動や非平衡状態（つまり，現実的な設定）を考慮したとき，漁獲量の平均が最大になるような資源量，そのときの漁獲率，を目指す

→ 資源管理の第一の目的として世界的に利用