３　再生可能資源の分析

（１）自然資本とコモンズ

（２）成長関数と捕獲関数

（３）オープン･アクセスのモデル

（４）結託のモデル

（５）現在価値最大化の一般的展開

（６）再生可能資源の管理政策

注：Jon M. Conrad, RESOURCE ECONOMICS によるところが多い。

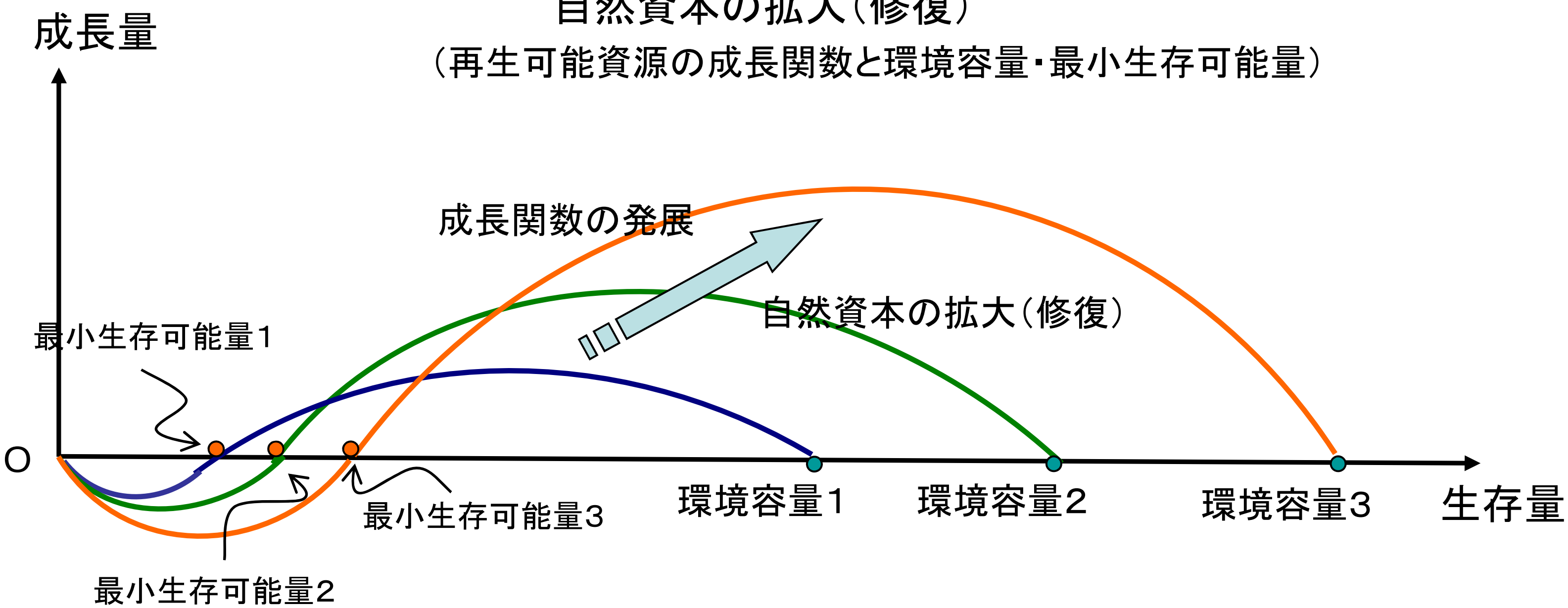
（1） 自然資本とコモンズ

1. 自然資本

自然資本 : 社会的共通資本（社会資本、自然資本、制度資本からなる）のうち、自然の恩恵に基づくものをいう。「環境容量」や「最小生存可能量」は、自然資本の指標となる。豊かな自然資本の存在は、再生可能資源を豊かならしめ、人間が持続的な活動をする源泉となる。

自然資本の拡大（修復）

（再生可能資源の成長関数と環境容量・最小生存可能量）



注：自然資本はコモンズ財ということができる

2．コモンズ

コモンズ：

① 環境資源（自然資本）を共同で管理し利用する組織主体とその制度
② その目的は、外部性や将来費用を内部化して、組織主体にとって適正な環境資源（自然資本）の利用を促すこと

ハーディンによる「コモンズの悲劇」（1968，ギャレット・ハーディン）：

明確な所有権のないイギリスの放牧地（コモンズ）を対象に、それを利用する牛飼いたちが合理的に行動する限り、自分たちの家畜をできるだけ多く放牧地に放ち続けてしまうため、放牧地は再生不可能な不毛の土地になってしまうというもの

《「コモンズの悲劇」のゲーム論的説明 》

Ⅰの戦略＼Ⅱの戦略		牛飼いⅡ 少	牛飼いⅡ 多
牛飼いⅠ	少	5，5	-1，8
牛飼いⅠ	多	8，-1	0，0

ナッシュ均衡

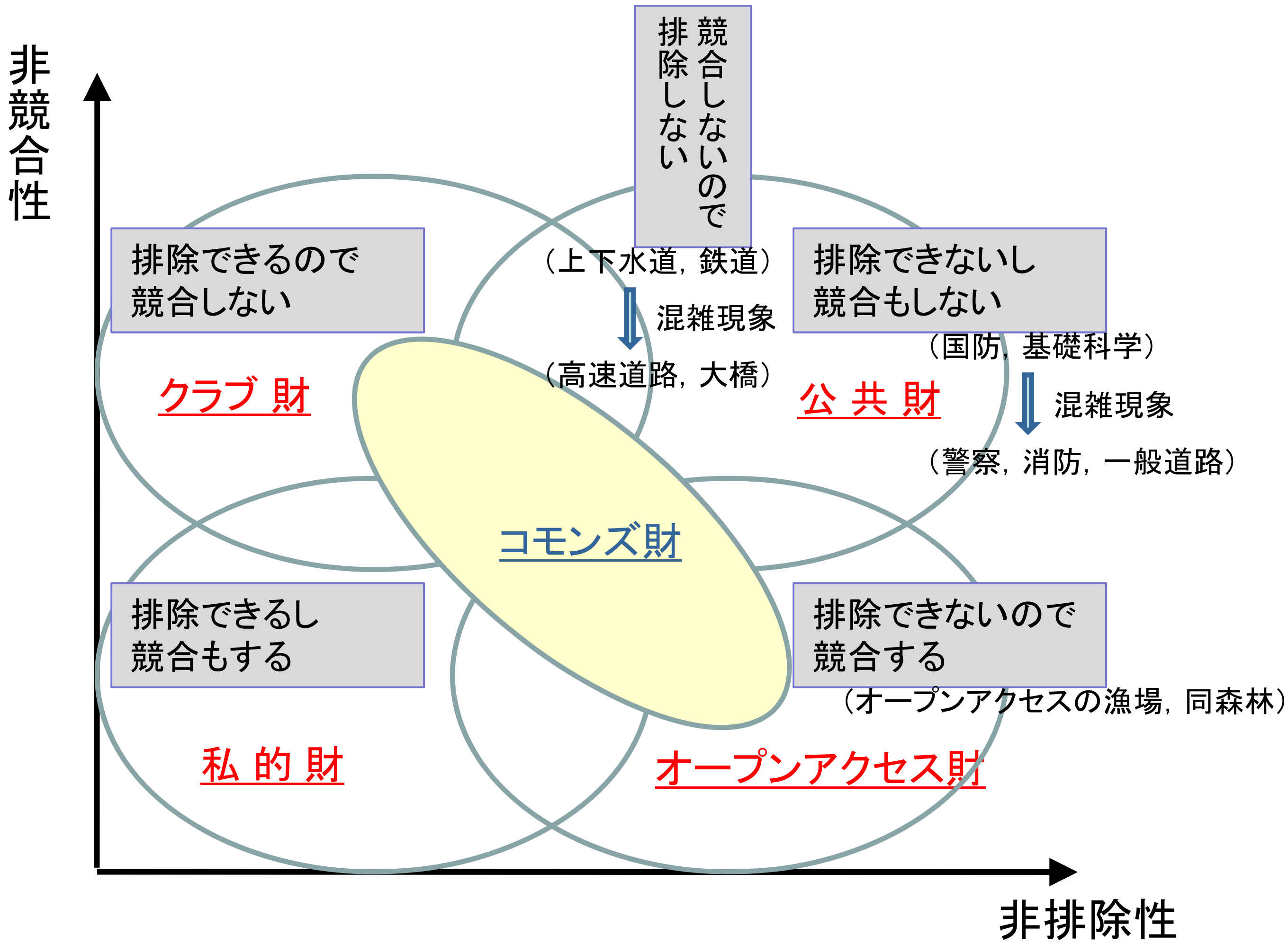
牛飼いⅠ：多く放牧

牛飼いⅡ：多く放牧

囚人のジレンマ：別々に収監されている2人の囚人は、ともに自白する行動をとり、パレート非効率なナッシュ均衡に至ってしまうことを示すゲームのこと。

注：自然資本はコモンズ財ということができる

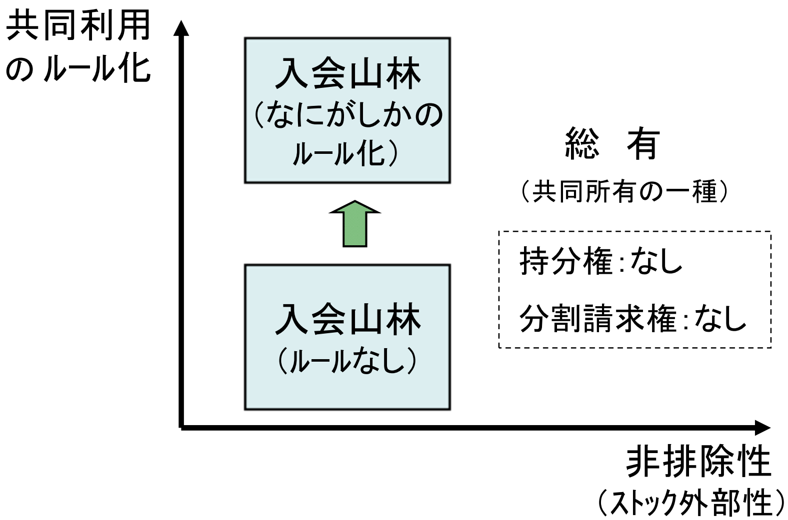
3．コモンズ財の位置

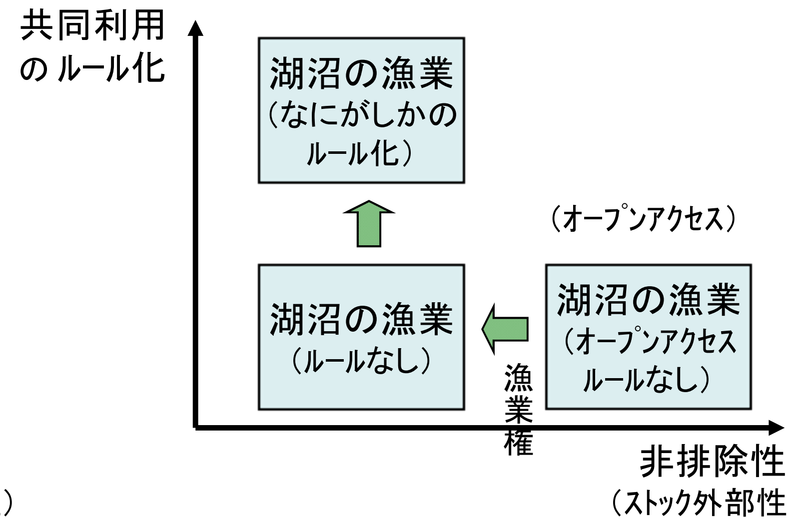


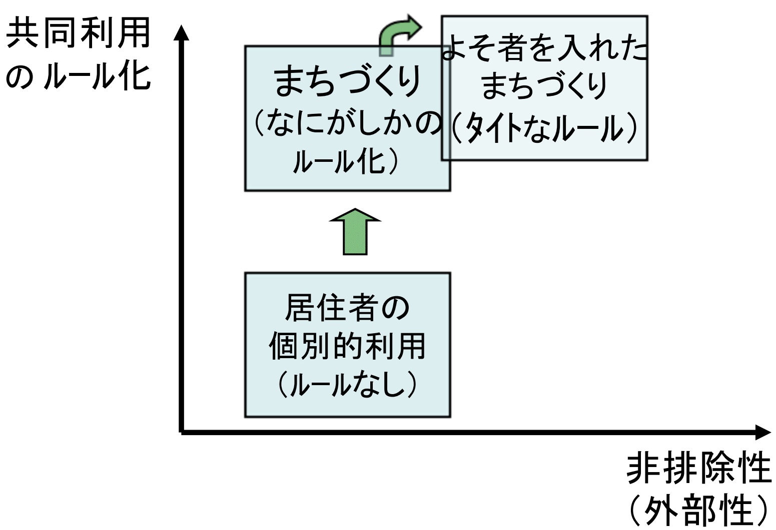
非排除性：　当該財の提供に当たって、利用の対価を支払わない者を排除できない性質

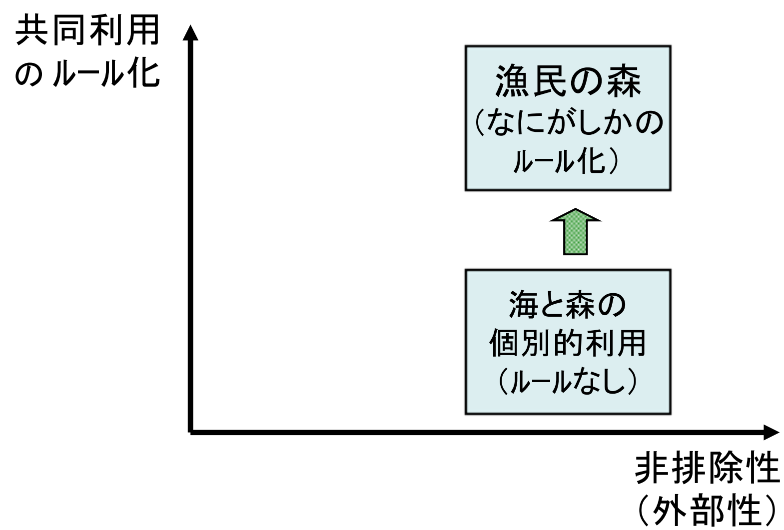
非競合性：　当該財の利用に当たって、利用の競合が生じない性質

4．コモンズの考え方の応用例









（2） 成長関数と捕獲関数

1．成長関数

1） 成長関数のタイプ

$$X_{t+1} = X_t + F(X_t)$$ （成長方程式）

$$F(X_t) = rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$ …………（1）

（ロジスティック成長関数）

$$F(X_t) = X_t\left\{e^{r\left(1-\frac{X_t}{K}\right)} - 1\right\}$$ …………（2）

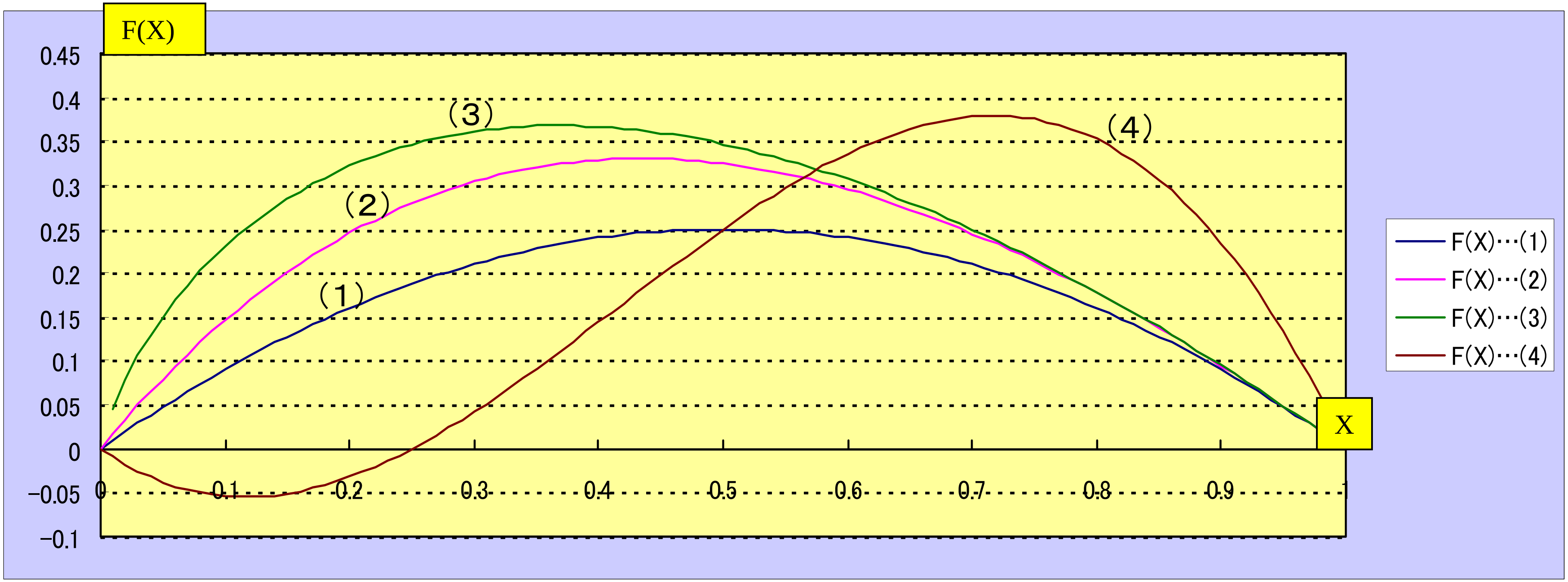
$$F(X_t) = rX_t \ln\left(\frac{K}{X_t}\right)$$ …………（3）

$$F(X_t) = rX_t\left(\frac{X_t}{K_0} - 1\right)\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$ …………（4）

X t ： t 期生存量 F（X t）：t 期成長量 （成長関数）

r：成長係数　　K：環境容量　　K_0：最小生存可能量

2） 成長関数（１）～（４）の図示



注：ｒ＝１，　Ｋ＝１，　Ｋo＝0.25　の場合で、X_t＝X，F（X_t）＝F（X）として図示

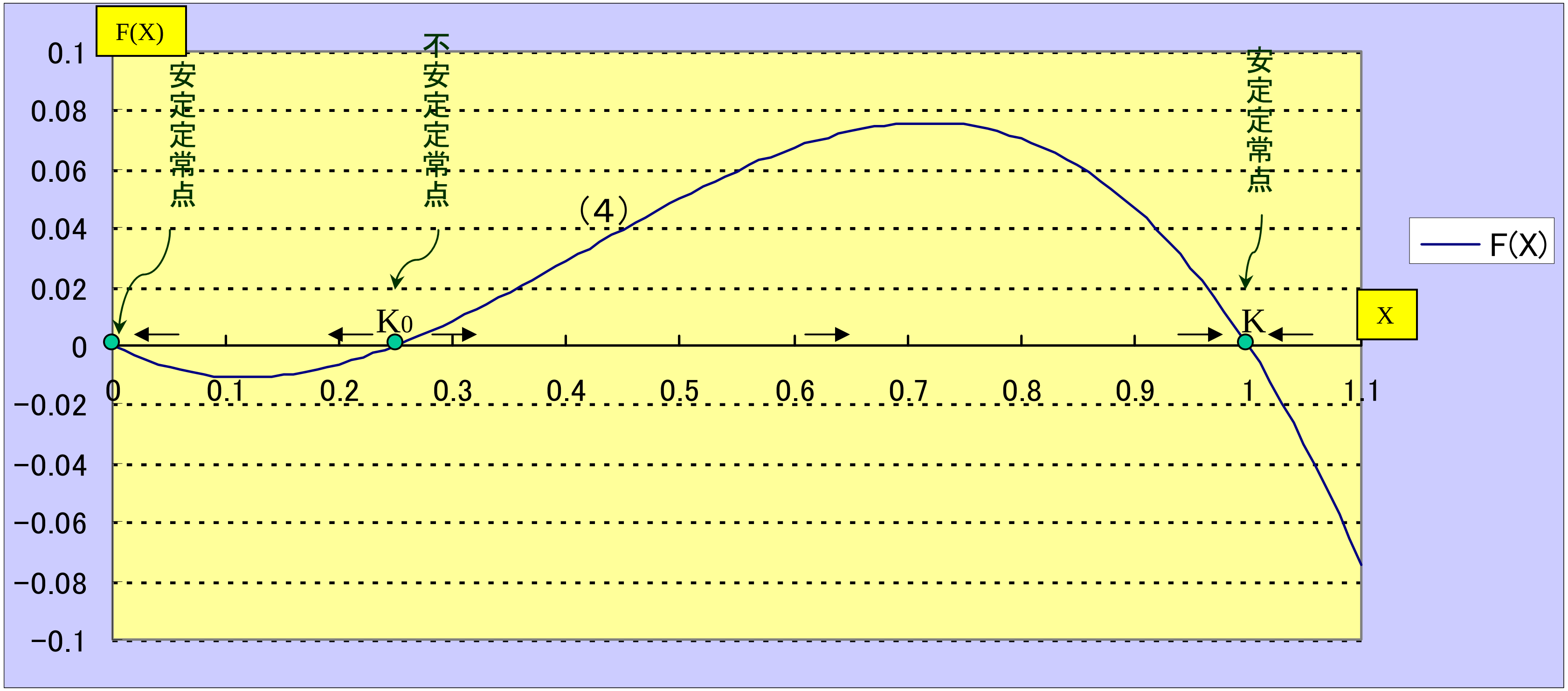
（１）　$F\left(X_t\right)=rX_t\left(1-\frac{X_t}{K}\right)$

（３）　$F\left(X_t\right)=rX_t\ln\left(\frac{K}{X_t}\right)$

（２）　$F\left(X_t\right)=X_t\left\{e^{r\left(1-\frac{X_t}{K}\right)}-1\right\}$

（４）　$F\left(X_t\right)=rX_t\left(\frac{X_t}{K_0}-1\right)\left(1-\frac{X_t}{K}\right)$

3） 成長関数と定常点（成長関数（4）の場合）



注：　r＝0.2，　K＝1，　K_0＝0.25　の場合で、X_t＝X，F（X_t）＝F（X）として図示

K：環境容量（environmental carrying capacity）

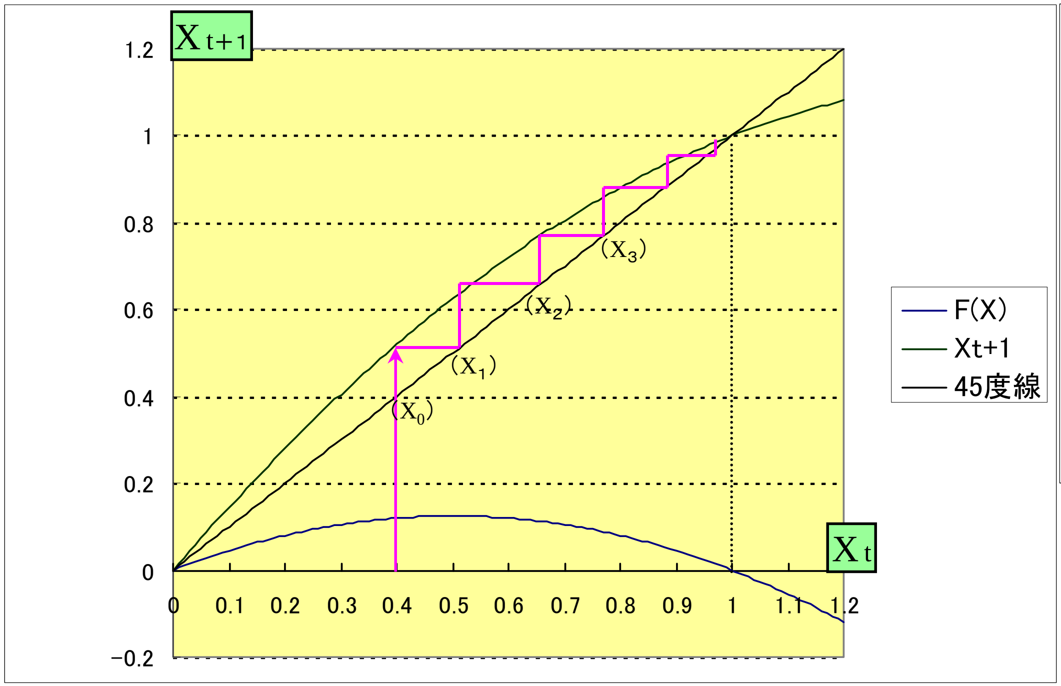
K_0：最小生存可能量（minimum viable population size）

（4）の成長関数　$F\left(X_t\right)=rX_t\left(\frac{X_t}{K_0}-1\right)\left(1-\frac{X_t}{K}\right)$

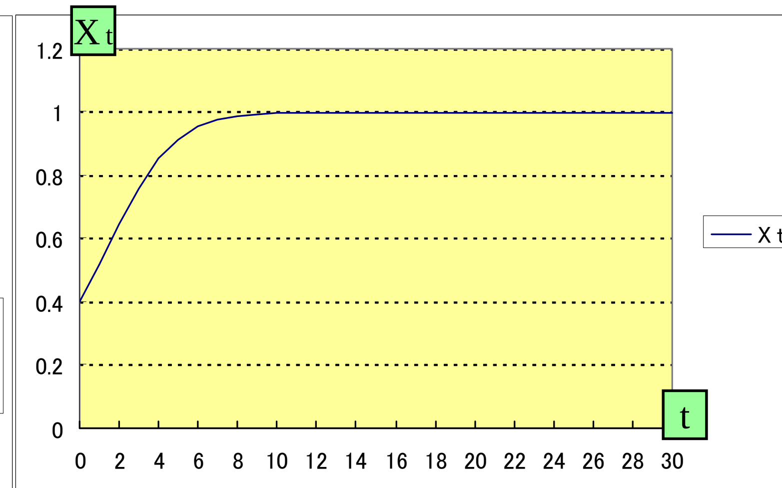
4） Xt と Xt+1 の動き（ロジスティック成長関数の場合）

◆ X_0＝0.4， r＝0.5， K＝1 のとき

《 X t と X t+1 の動き 》



《 t と X t の動き 》



$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

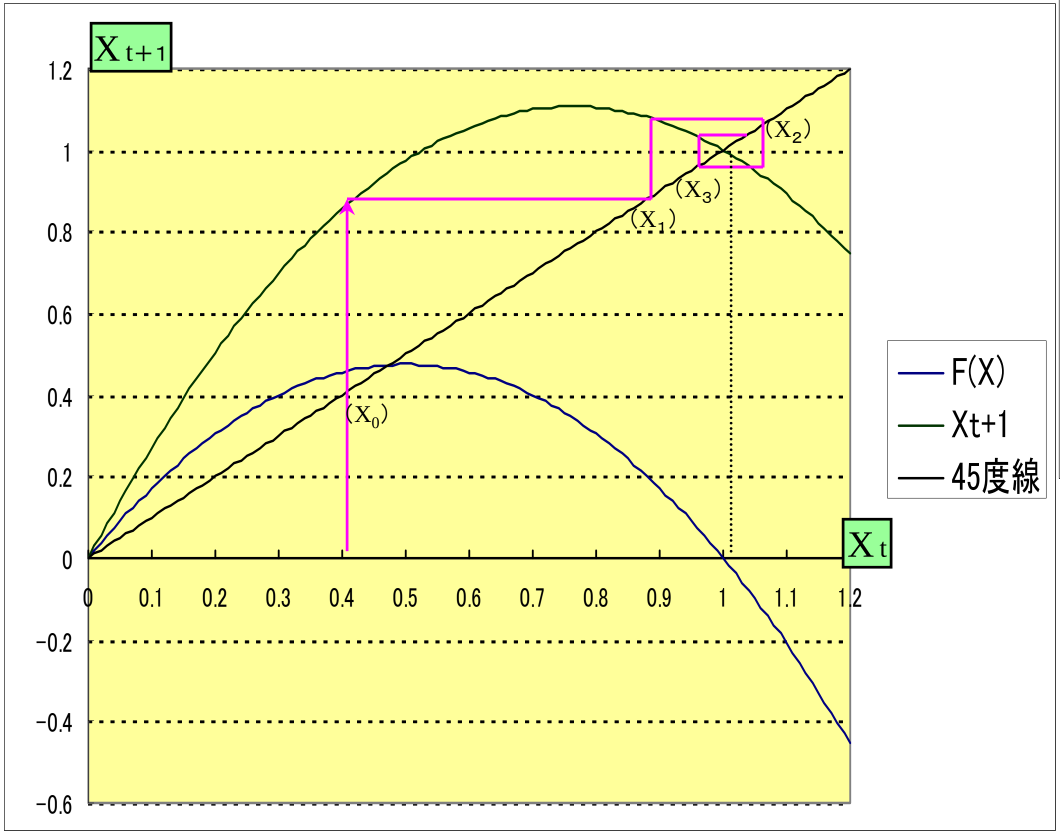
として 横軸は t 、縦軸は X t

$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

として 横軸は X t 、縦軸は X t+1

◆ X_0＝0.4， r＝1.9， K＝1 のとき

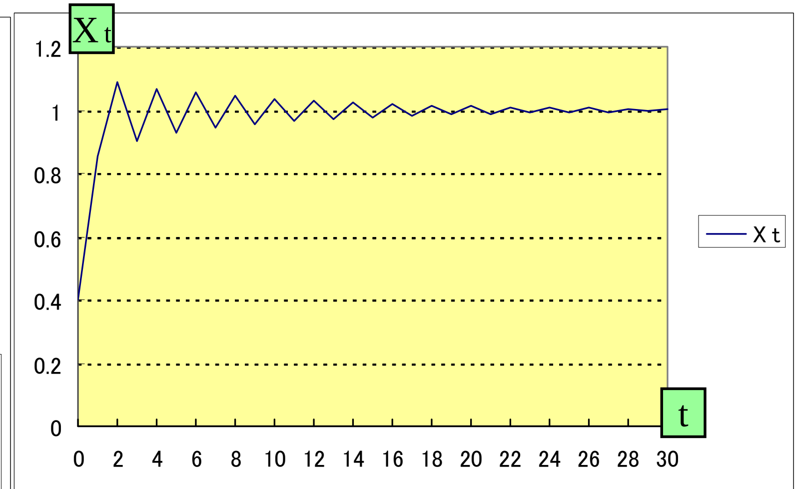
《 X t と X t+1 の動き 》



$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

として 横軸は X t 、縦軸は X t+1

《 t と X t の動き 》

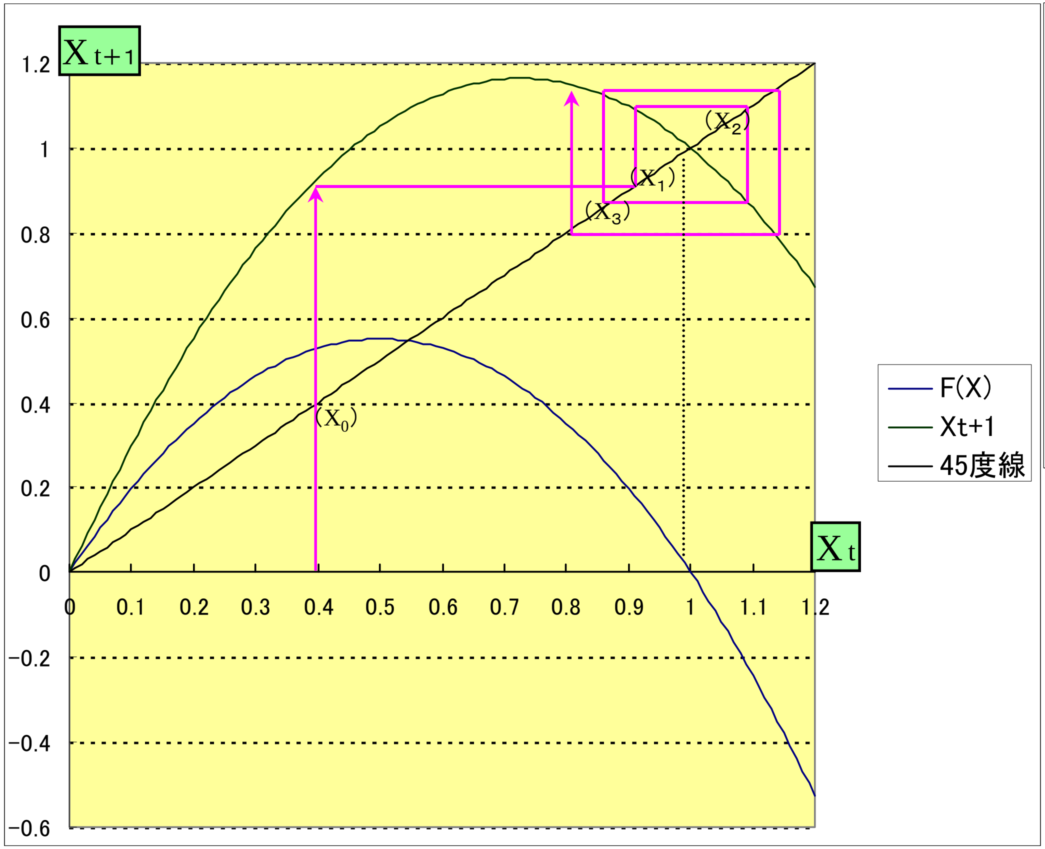


$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

として 横軸は t 、縦軸は X t

◆ $X_0 = 0.4$， $r = 2.2$， $K = 1$ のとき

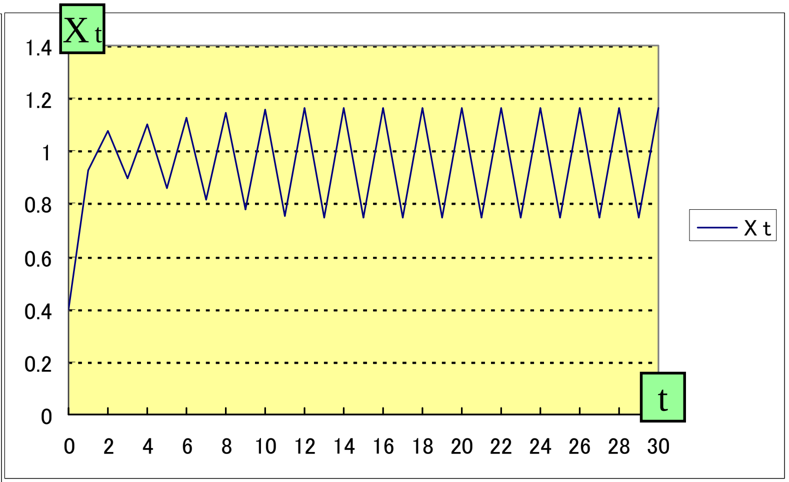
《 X t と X t+1 の動き 》



$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

として 横軸は X t 、縦軸は X t+1

《 t と X t の動き 》

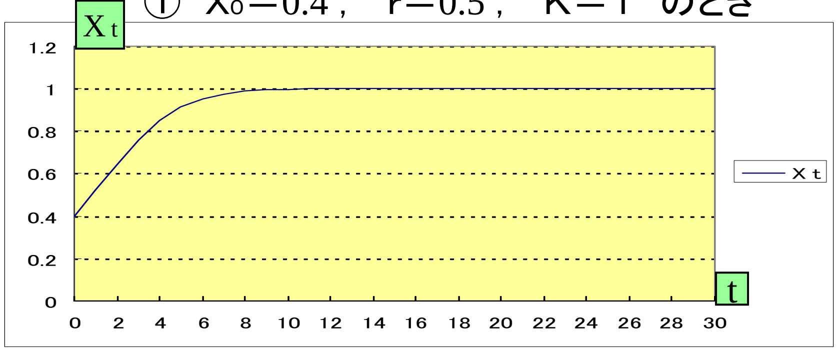


$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

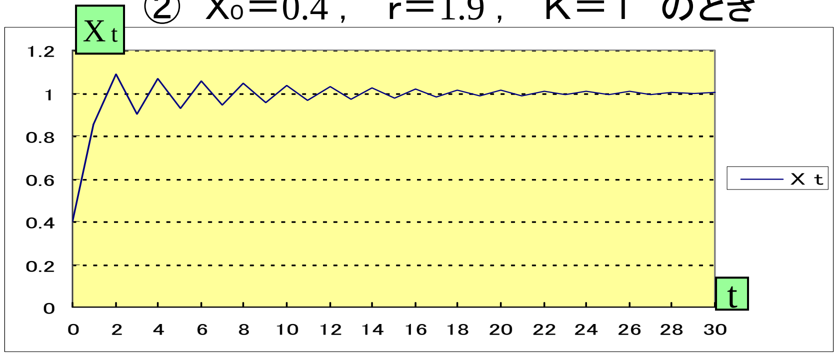
として 横軸は t 、縦軸は X t

5）t と Xt の動き（ロジスティック成長関数の場合）

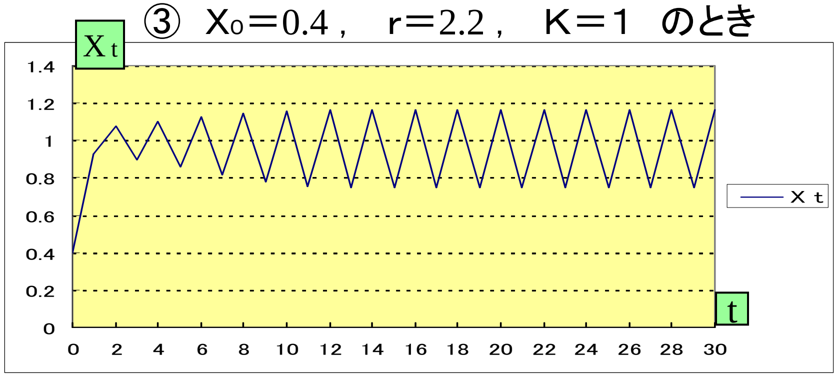
① X_0＝0.4， r＝0.5， K＝1 のとき



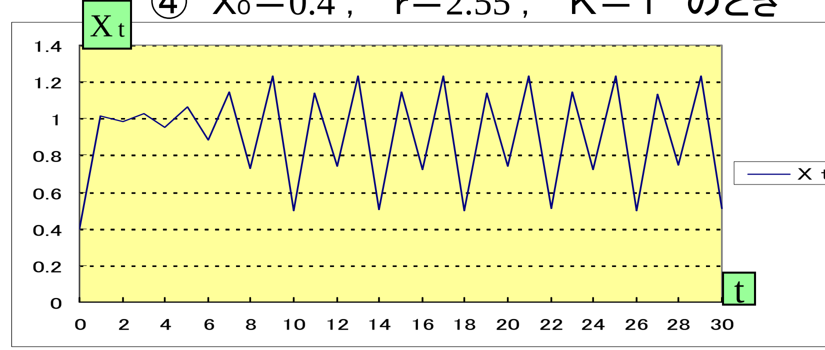
② X_0＝0.4， r＝1.9， K＝1 のとき



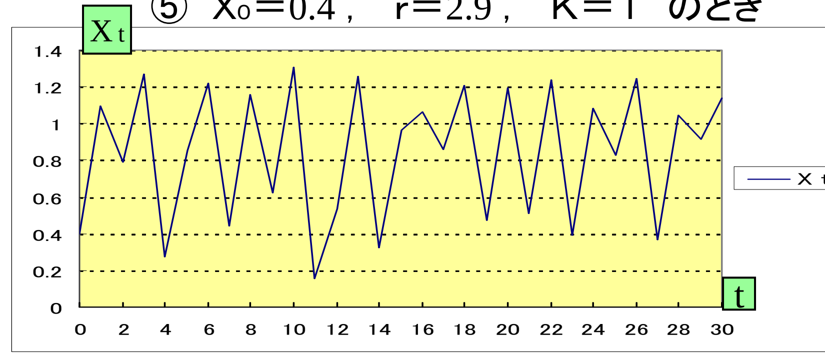
③ X_0＝0.4， r＝2.2， K＝1 のとき



④ X_0＝0.4， r＝2.55， K＝1 のとき



⑤ X_0＝0.4， r＝2.9， K＝1 のとき



$$X_{t+1} = X_t + rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

として 横軸は t 、縦軸は X t

0<r<2 なら安定的、r>2 なら循環かカオス

すなわち、r = 2 が臨界値

2. 捕獲関数

1） 努力量捕獲関数の導出

$$X_{t+1} = X_t + F(X_t) - Y_t$$ 状態方程式

$$F(X_t) = rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$ 成長関数＝ロジスティック成長関数
（r：成長係数（ r > 0 ） K: 環境容量）

$$Y_t = H(X_t, E_t) = qX_tE_t$$ 捕獲関数=CPUE捕獲関数 “catch-per-unit-effort”
（q：捕獲係数（ q > 0 ））

定常状態だと、 $X_{t+1} = X_t$ だから

$$\underbrace{F(X)}_{\text{成長量}} = rX\left(1 - \frac{X}{K}\right) = \underbrace{Y}_{\text{捕獲量}} = qXE$$

よって、 $X = X(E) = K\left(1 - \frac{q}{r}E\right)$

また、 $Y = qX(E)E = Y(E) = qKE\left(1 - \frac{q}{r}E\right)$ ⇐ 努力量捕獲関数

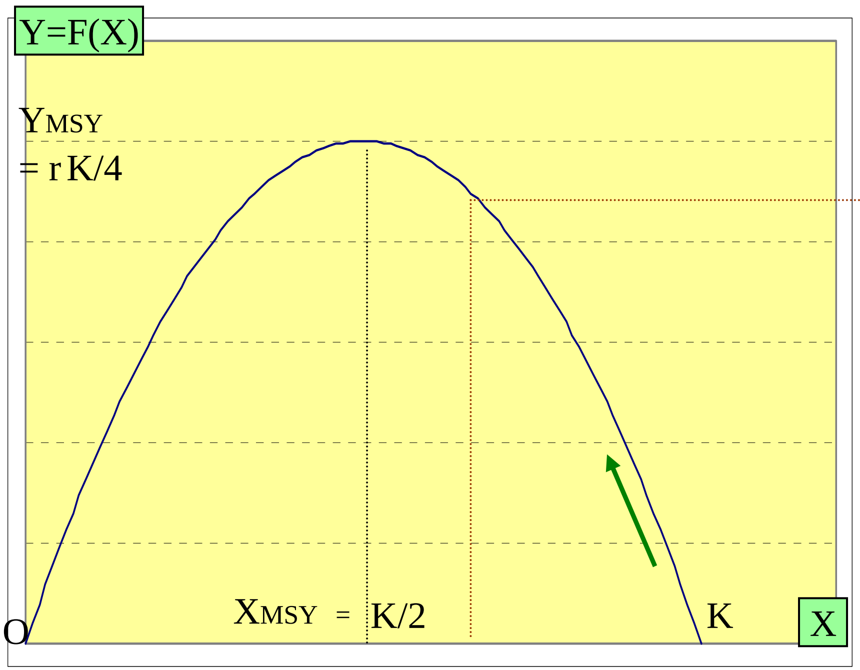
X t ： t 期生存量
Y t ： t 期捕獲量
F（X t）: t 期成長量（成長関数）
E t ： t 期努力量

2） 生存量捕獲関数と努力量捕獲関数

◆ 生存量捕獲関数（定常状態）

＜ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用＞

$$Y = F(X) = rX\left(1-\frac{X}{K}\right)$$

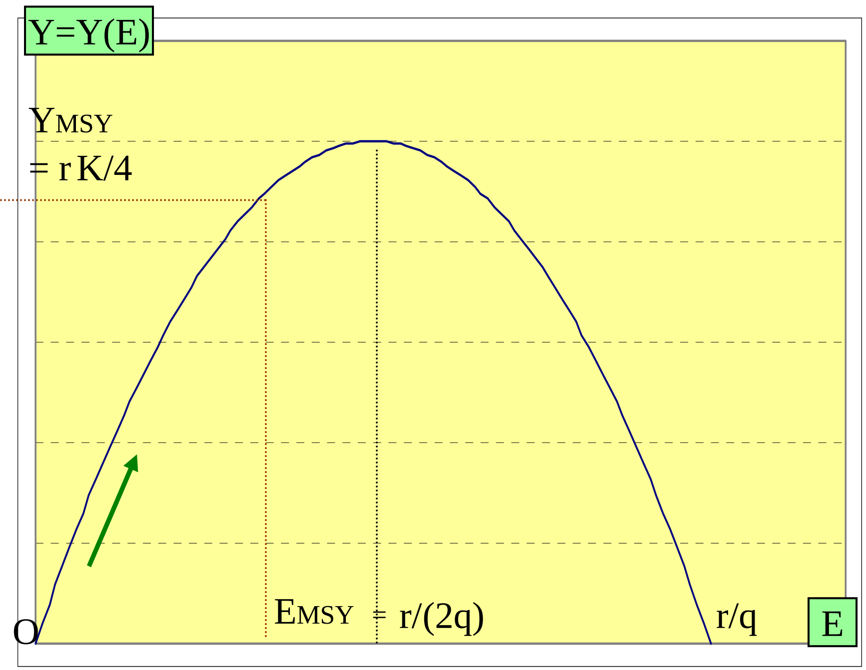


《定常状態における X とY の関係》

◆ 努力量捕獲関数（定常状態）

＜ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用＞

$$Y = Y(E) = qKE\left(1-\frac{q}{r}E\right)$$



《定常状態における E とY の関係》

MSY：maximum sustainable yield（最大持続可能生産量）

（3）オープン･アクセスのモデル

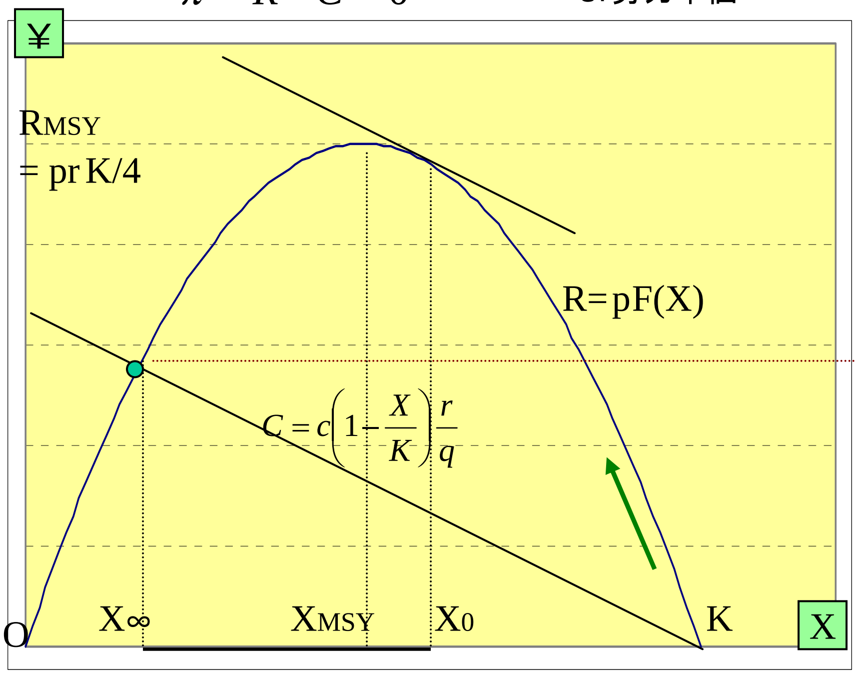
1．　オープン･アクセスの静学モデル

◆　生存量捕獲関数で図示（定常状態）
＜ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用＞

$$\begin{cases} R = pY = pF(X) = prX\left(1-\dfrac{X}{K}\right) \\ C = c\left(1-\dfrac{X}{K}\right)\dfrac{r}{q} \end{cases}$$

$$\pi = R - C = 0$$

p：Yの価格
c：努力単価



$X_\infty = c/(pq)$　　$X_{MSY} = K/2$

$X_0 = (1/2)\{c/(pq)+K\}$

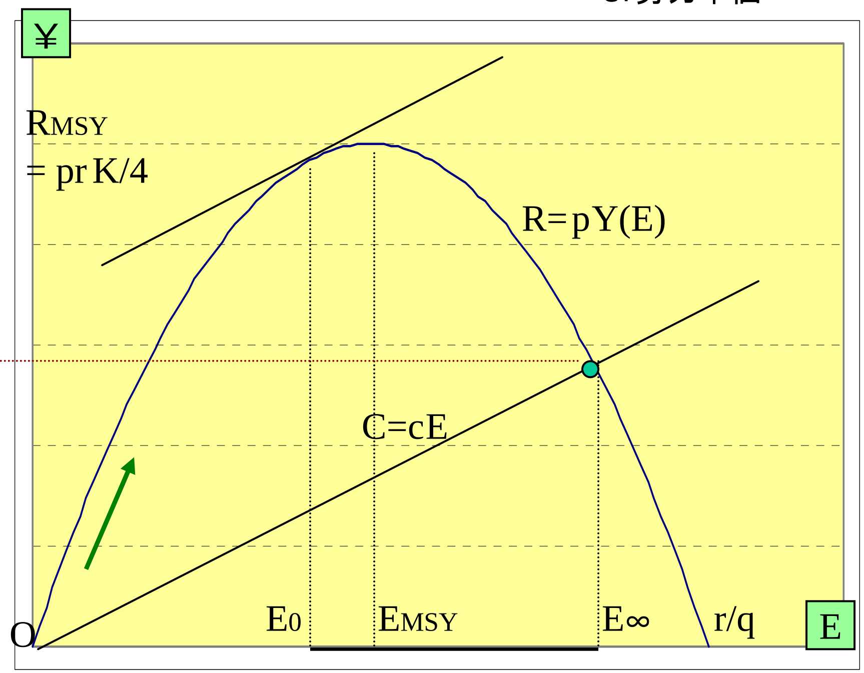
《定常状態における X と R,C の関係》

◆　努力量捕獲関数で図示（定常状態）
＜ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用＞

$$\begin{cases} R = pY = pY(E) = pqKE\left(1-\dfrac{q}{r}E\right) \\ C = cE \end{cases}$$

$$\pi = R - C = 0$$

p：Yの価格
c：努力単価



$E_0 = \{r/(2pq^2K)\}(pqK-c)$　　$E_{MSY} = r/(2q)$

$E_\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK-c)$

《定常状態における E と R,C の関係》

2．　オープン・アクセスの動学モデル

$$\begin{cases} X_{t+1} = X_t + F(X_t) - Y_t \\ E_{t+1} = E_t + \eta(pY_t - cE_t) \end{cases}$$

状態方程式

努力調整方程式

η：調整係数($\eta > 0$)

p : Y の価格($p > 0$)

c : 努力単価($c > 0$)

ただし

$$F(X_t) = rX_t\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$$

ロジスティック成長関数

r: 成長係数($r > 0$)　K: 環境容量

$$Y_t = H(X_t, E_t) = qX_tE_t$$

CPUE捕獲関数

q：捕獲係数($q > 0$)

よって

$$\begin{cases} X_{t+1} = \left\{1 + r\left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - qE_t\right\}X_t \\ E_{t+1} = \{1 + \eta(pqX_t - c)\}E_t \end{cases}$$

定常状態だと　$X_{t+1} = X_t, E_{t+1} = E_t$　だから

$$\begin{cases} X_\infty = c/(pq) \\ E_\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK - c) \end{cases}$$

X t ： t 期生存量

Y t ： t 期捕獲量

F(X t) : t 期成長量（成長関数）

E t ： t 期努力量

◆ オープン･アクセス　モデルのシミュレーション（その１）

$$\begin{cases} X_{t+1} = \left\{1 + r\left(1 - \dfrac{X_t}{K}\right) - qE_t\right\} X_t \\ E_{t+1} = \left\{1 + \eta\left(pqX_t - c\right)\right\} E_t \end{cases}$$

ここで、パラメーターと初期値を
次のように設定

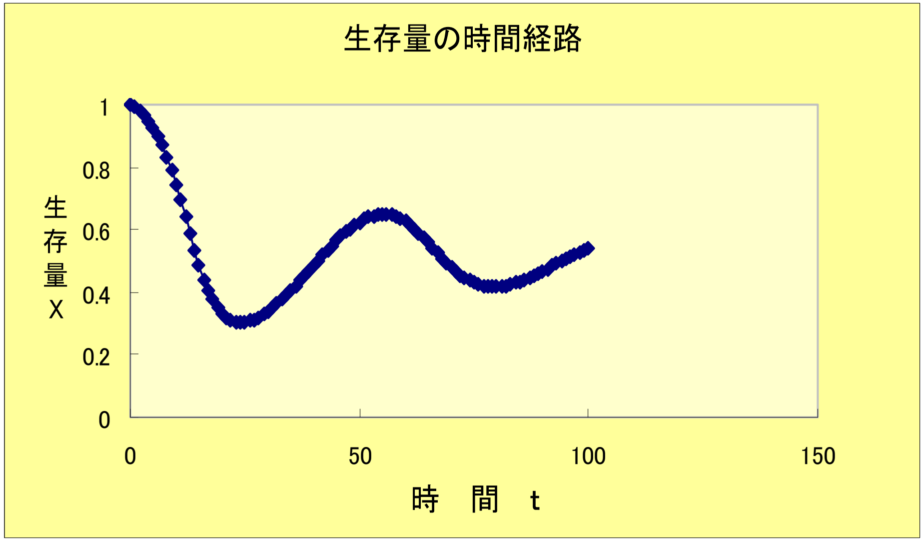
$c=1$, $\eta=0.3$, $K=1$, $p=200$, $q=0.01$, $r=0.1$
$X_0=1$, $E_0=1$

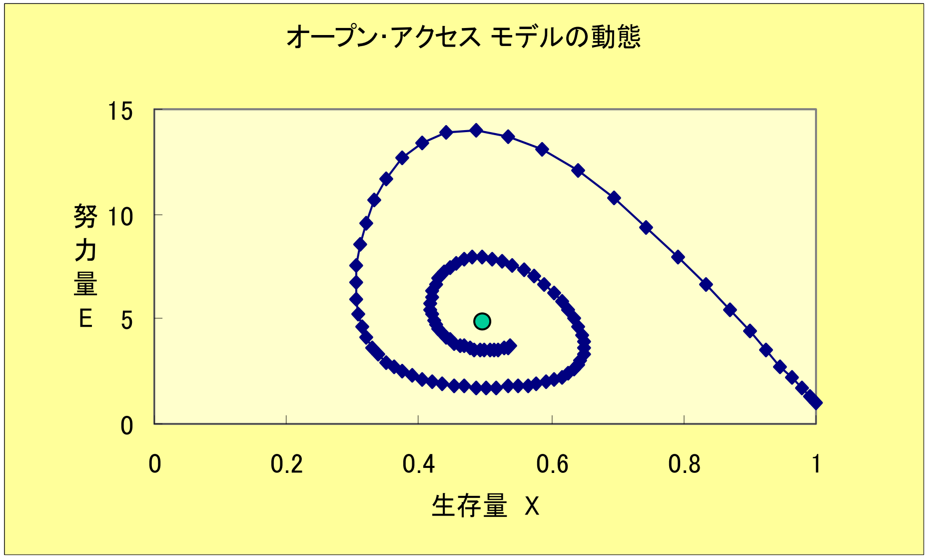
そして、$t = 0, \cdots\cdots, 100$　として
シミュレートする

➡ 螺旋状に収束

定常状態だと $X_{t+1} = X_t, E_{t+1} = E_t$ だから

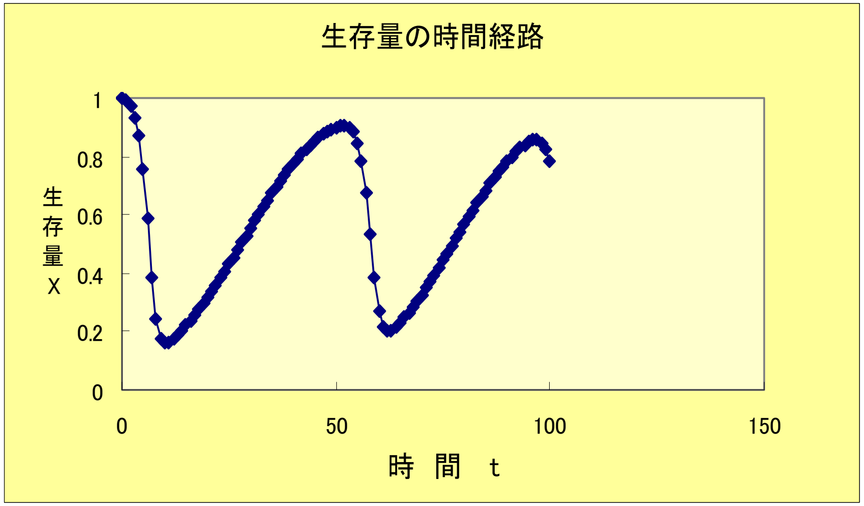
$$\begin{cases} X_\infty = c/(pq) = 0.5 \\ E_\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK-c) = 5 \end{cases}$$

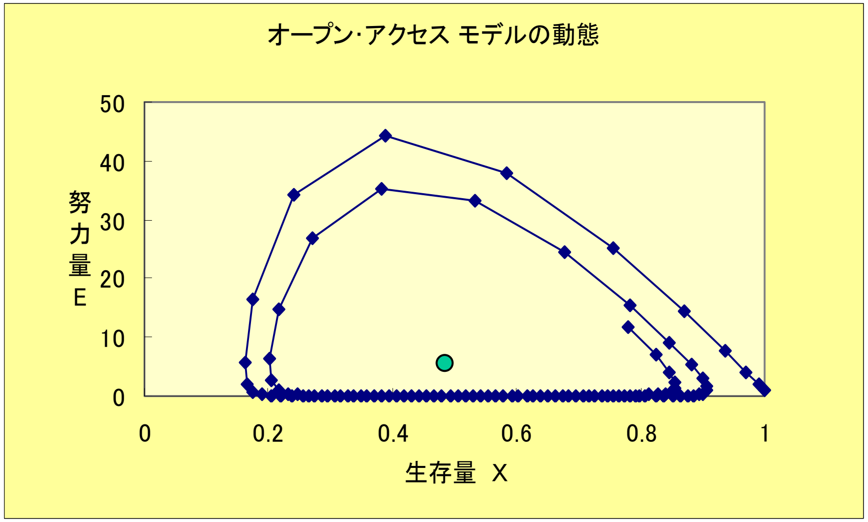




◆ オープン･アクセス　モデルのシミュレーション（その２）

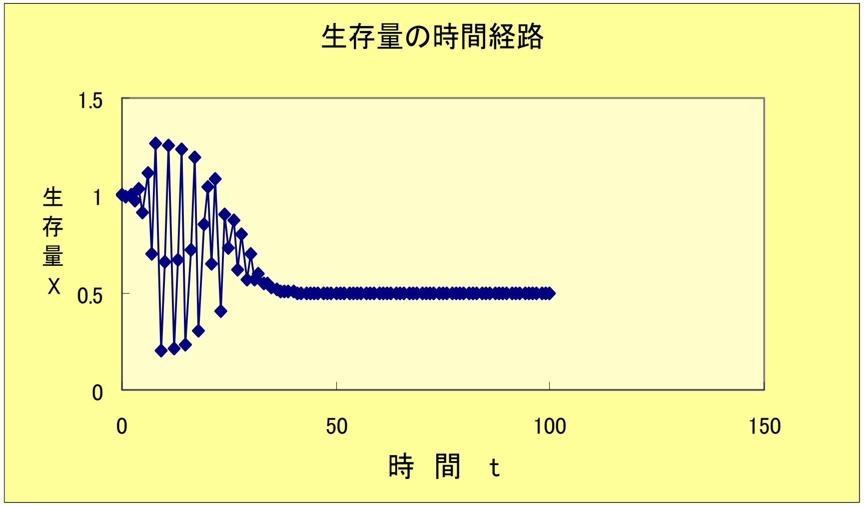
$\eta = 1$ のとき

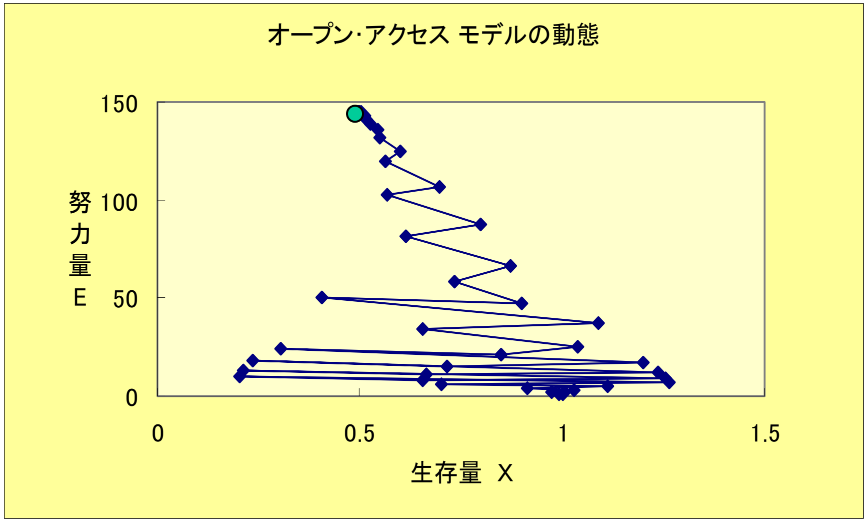




$X\infty = c/(pq) = 0.5$　$E\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK-c) = 5$
は、周回運動の焦点

r = 2.9 のとき





$X\infty = c/(pq) = 0.5$　$E\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK-c) = 145$
は、収束点

（4）結託のモデル

1.　結託の静学モデル（静学的レント最大化モデル）

◆　生存量捕獲関数で図示（定常状態）

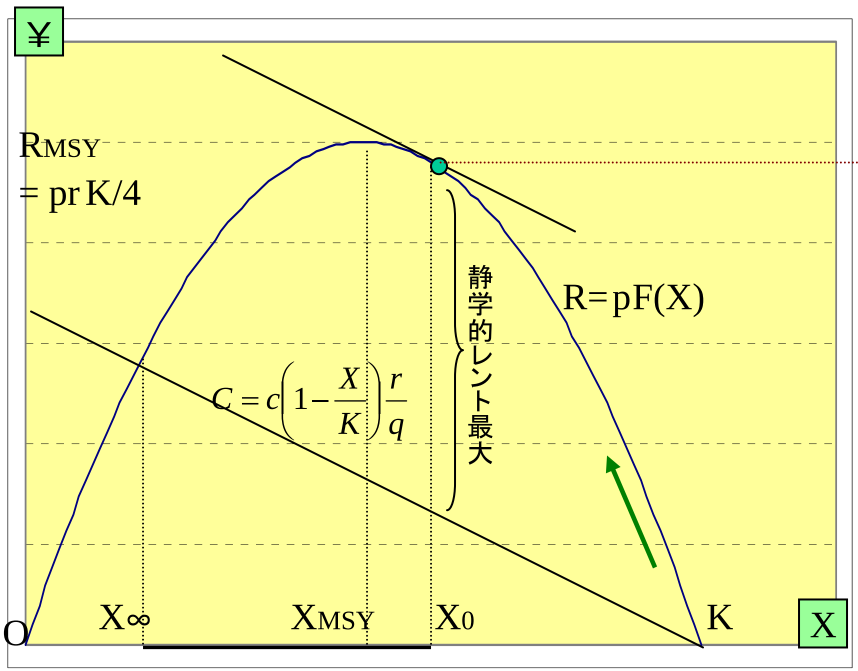
＜ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用＞

$$\begin{cases} R = pY = pF(X) = prX\left(1-\dfrac{X}{K}\right) \\ C = c\left(1-\dfrac{X}{K}\right)\dfrac{r}{q} \end{cases}$$

p：Yの価格

c：努力単価

$$\mathrm{Max} \rightarrow \quad \pi = R - C$$



$X_\infty = c/(pq)$　　$X_{MSY} = K/2$

$X_0 = (1/2)\{c/(pq)+K\}$

《定常状態における X と R,C の関係》

◆　努力量捕獲関数で図示（定常状態）

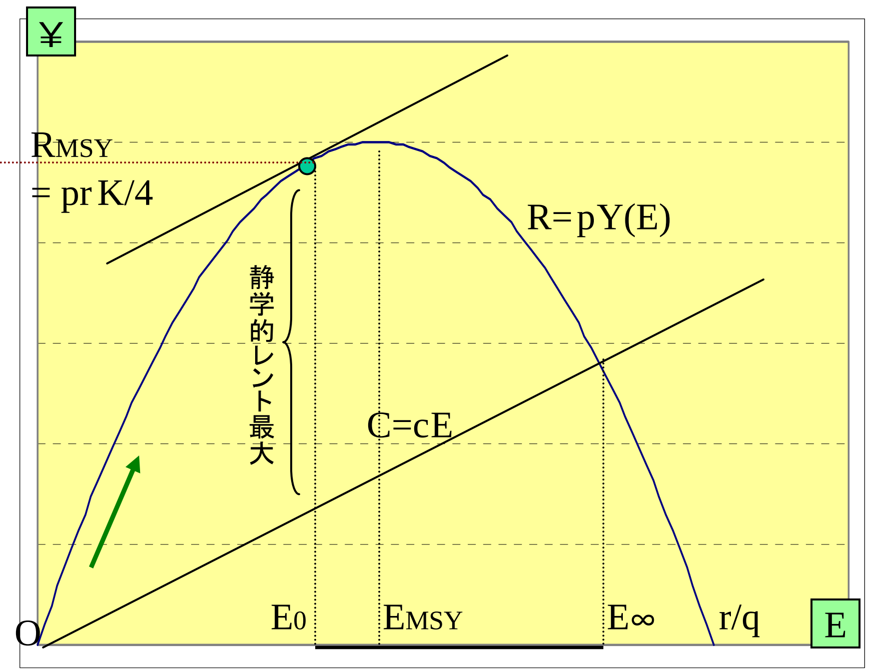
＜ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用＞

$$\begin{cases} R = pY = pY(E) = pqKE\left(1-\dfrac{q}{r}E\right) \\ C = cE \end{cases}$$

p：Yの価格

c：努力単価

$$\mathrm{Max} \rightarrow \quad \pi = R - C$$



$E_0 = \{r/(2pq^2K)\}(pqK-c)$　　$E_{MSY} = r/(2q)$

$E_\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK-c)$

《定常状態における E と R,C の関係》

2．　結託の動学モデル（現在価値最大化モデル）

1）　現在価値

$$A_0$$

$$A_1 = A_0(1+r)$$

$$A_2 = A_1(1+r) = A_0(1+r)^2$$

$$A_3 = A_2(1+r) = A_0(1+r)^3$$

・・・・・

$$A_n = A_{n-1}(1+r) = A_0(1+r)^n$$

$$\rho = \frac{1}{1+r}$$

ρ：割引因子　r：割引率

$$\therefore\ A_0 = \frac{A_n}{(1+r)^n} = \rho^n A_n$$

n 期に An の価値を持つものの現在価値 A_0 は、割引率を r として、上式のように表される。

2）現在価値の最大化

$$\underset{Y_t}{Max} \to \sum_{t=0}^{\infty} \rho^t \pi(X_t, Y_t)$$

$$s.t. \quad X_{t+1} - X_t = F(X_t) - Y_t$$

$$X_0 = A(>0): \text{初期値}$$

$$\rho = \frac{1}{1+\delta}$$

ρ :割引因子　δ :割引率

ラグランジュ関数

$$L = \sum_{t=0}^{\infty} \rho^t \{\pi(X_t, Y_t) + \rho\lambda_{t+1}[X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1}]\}$$

一階の条件

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L}{\partial Y_t} = \rho^t \left(\dfrac{\partial \pi}{\partial Y_t} - \rho\lambda_{t+1} \right) = 0 \\ \dfrac{\partial L}{\partial X_t} = \rho^t \left\{ \dfrac{\partial \pi}{\partial X_t} + \rho\lambda_{t+1}[1 + F'(X_t)] \right\} - \rho^t \lambda_t = 0 \\ \dfrac{\partial L}{\partial(\rho\lambda_{t+1})} = \rho^t [X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1}] = 0 \end{cases}$$

π（X t,Y t）： t 期純便益

X t ： t 期生存量

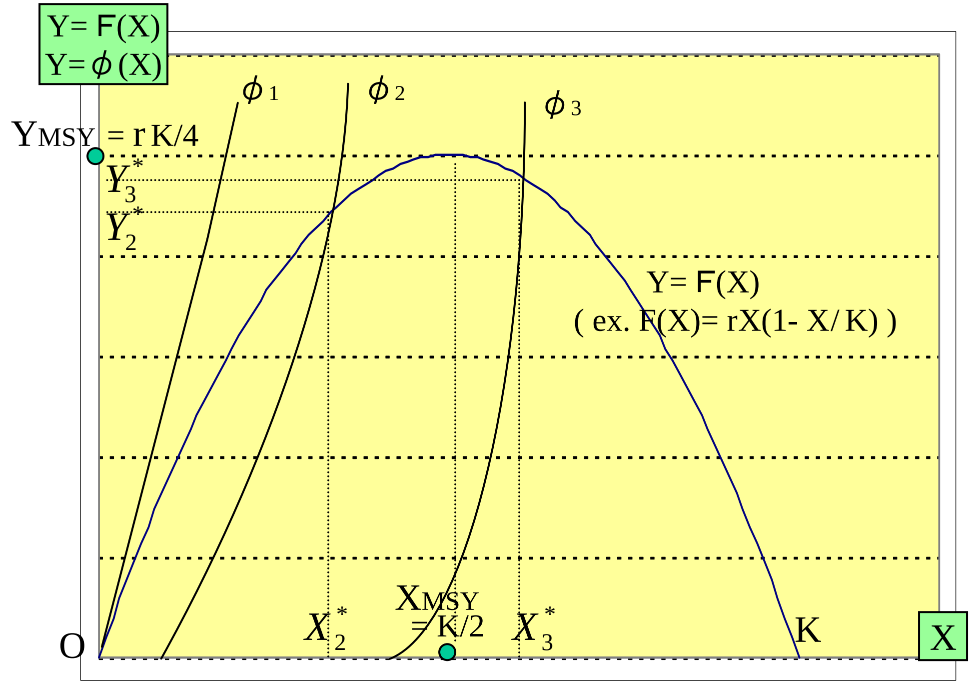
Y t ： t 期捕獲量

F（X t）： t 期成長量（成長関数）

λ t ： t 期ｼｬﾄﾞｰﾌﾟﾗｲｽ（t 期におけるXの追加的増分の限界価値）

一階の条件を整理して

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \pi}{\partial Y_t} = \rho \lambda_{t+1} \\ \lambda_t = \dfrac{\partial \pi}{\partial X_t} + \rho \lambda_{t+1}\left[1 + F'(X_t)\right] \\ X_{t+1} = X_t + F(X_t) - Y_t \end{cases}$$



定常状態だと

$$X_{t+1} = X_t = X, Y_{t+1} = Y_t = Y,$$
$$\lambda_{t+1} = \lambda_t = \lambda$$

よって

$$\begin{cases} \rho \lambda = \dfrac{\partial \pi}{\partial Y} \\ \rho \lambda\left[1 + F'(X) - (1+\delta)\right] = -\dfrac{\partial \pi}{\partial X} \\ Y = F(X) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \underbrace{F'(X)}_{\text{限界純増殖率}} + \underbrace{\frac{\left(\frac{\partial \pi}{\partial X}\right)}{\left(\frac{\partial \pi}{\partial Y}\right)}}_{\text{限界ストック効果}} = \underbrace{\delta}_{\text{割引率}}$$

限界純増殖率 ＋ 限界ストック効果：資源の内部収益率

再生可能資源の基本方程式

$$\Downarrow$$

$$\boxed{Y = F(X)}$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{Y = \phi(X)}$$

注:限界ストック効果(≧0)が大きければ、F'(X) は小さくてよい(マイナスでもよい)。すなわちΦは右シフトする。

3） ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数で価格受容者の場合

$$
\begin{cases}
F(X_t) = rX_t\left(1 - \dfrac{X_t}{K}\right) \\
Y_t = H(X_t, E_t) = qX_tE_t \\
C_t = cE_t
\end{cases}
$$

ロジスティック成長関数
r：成長係数（ r > 0 ） K: 環境容量

CPUE捕獲関数
q：捕獲係数（ q > 0 ）

費用関数
c：努力単価（ c > 0 ）

π（X t,Y t）： t 期純便益

X t ： t 期生存量

Y t ： t 期捕獲量

F（X t）: t 期成長量
（成長関数）

E t ： t 期努力量

C t ： t 期費用

p ： 価格

よって

$$\pi(X_t, Y_t) = pY_t - C_t = \left(p - \frac{c}{qX_t}\right)Y_t$$

故に

$$
\left.
\begin{aligned}
&\begin{cases}
\dfrac{\partial \pi}{\partial X_t} = \dfrac{c}{qX_t^2}Y_t \\
\dfrac{\partial \pi}{\partial Y_t} = p - \dfrac{c}{qX_t}
\end{cases} \\
&\left\{ F'(X_t) = r\left(1 - \dfrac{2X_t}{K}\right) \right.
\end{aligned}
\right\}
$$

$X_t = X, Y_t = Y$ として
「再生可能資源の基本方程式」
に代入（定常状態）

再生可能資源の基本方程式に代入すると次式が導かれる。

$$r\left(1-\frac{2X}{K}\right)+\frac{cY}{X\left(pqX-c\right)}=\delta$$

これをY に関して解くと

■ $$Y=\phi\left(X\right)=\frac{1}{c}\left\{X\left(pqX-c\right)\left[\delta-r\left(1-\frac{2X}{K}\right)\right]\right\}$$

X軸と０，c/(pq), (K/(2r))(r-δ) で交わる。

また

■ $$Y=F\left(X\right)=rX\left(1-\frac{X}{K}\right)$$

X軸と０，K で交わる。

したがって $Y=\phi\left(X\right)=F\left(X\right)$ より、定常状態における次の最適解が導出できる。

$$\begin{cases} X^{*}=\dfrac{K}{4}\left\{\left(\dfrac{c}{pqK}+1-\dfrac{\delta}{r}\right)+\sqrt{\left(\dfrac{c}{pqK}+1-\dfrac{\delta}{r}\right)^{2}+\dfrac{8c\delta}{pqKr}}\right\} \\ Y^{*}=rX^{*}\left(1-\dfrac{X^{*}}{K}\right) \end{cases}$$

このとき

$$E^{*}=\frac{Y^{*}}{qX^{*}}\quad,\quad\lambda^{*}=\left(1+\delta\right)\left(p-\frac{c}{qX^{*}}\right)$$

が成立する。

書き直すと

$$\begin{cases} X^* = \dfrac{K}{4}\left\{\left(\dfrac{c}{pqK}+1-\dfrac{\delta}{r}\right)+\sqrt{\left(\dfrac{c}{pqK}+1-\dfrac{\delta}{r}\right)^2+\dfrac{8c\delta}{pqKr}}\right\} \\ Y^* = rX^*\left(1-\dfrac{X^*}{K}\right) \\ E^* = \dfrac{Y^*}{qX^*} \\ \lambda^* = (1+\delta)\left(p-\dfrac{c}{qX^*}\right) \end{cases}$$

X* の水準については　r, K, c ↑ ⇒ X^* ↑

p, q, δ ↑ ⇒ X^* ↓

このとき、次の不等式が成立

$$\begin{cases} X_\infty < X^* < X_0 \\ E_0 < E^* < E_\infty \end{cases}$$

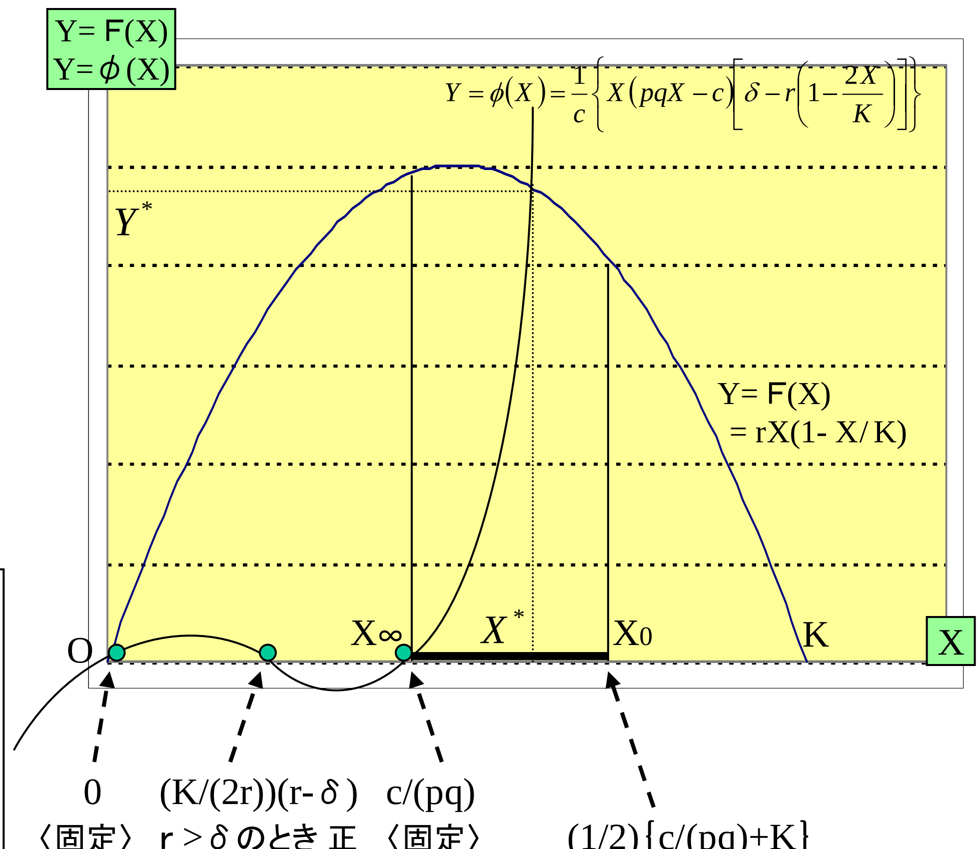
すなわち下の □ 内が成立

$\delta \to 0:$

$X^* \to X_0, Y^* \to Y_0, E^* \to E_0$

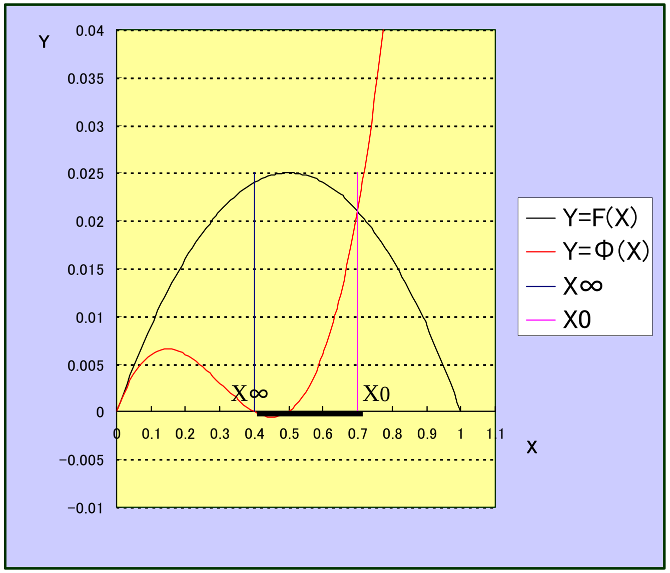
$\delta \to \infty:$

$X^* \to X_\infty, Y^* \to Y_\infty, E^* \to E_\infty$

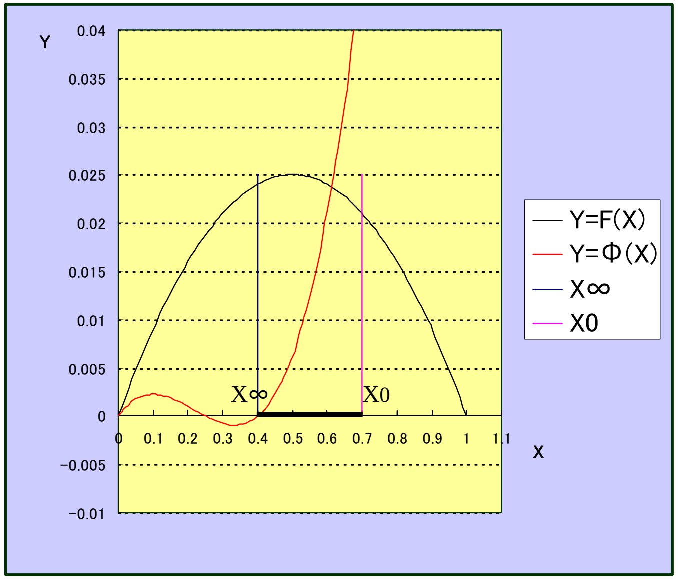


◆ r = 0.1, K=1, q = 0.01, p = 250, c = 1 で

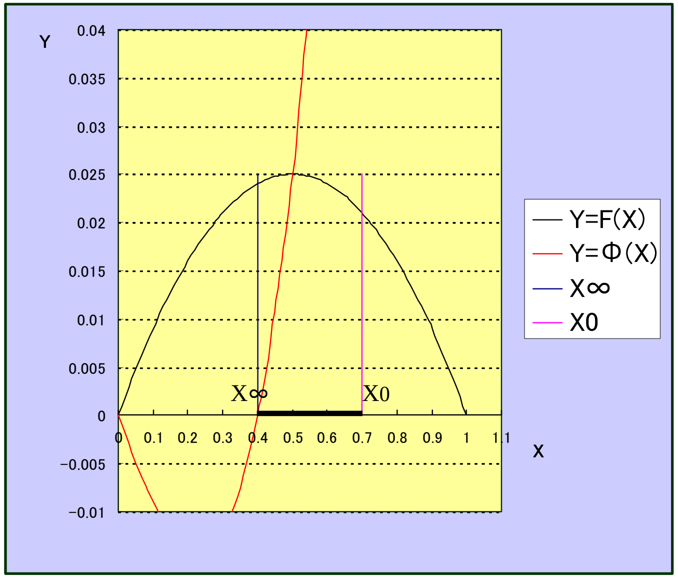
δ = 0（r > δ）のとき



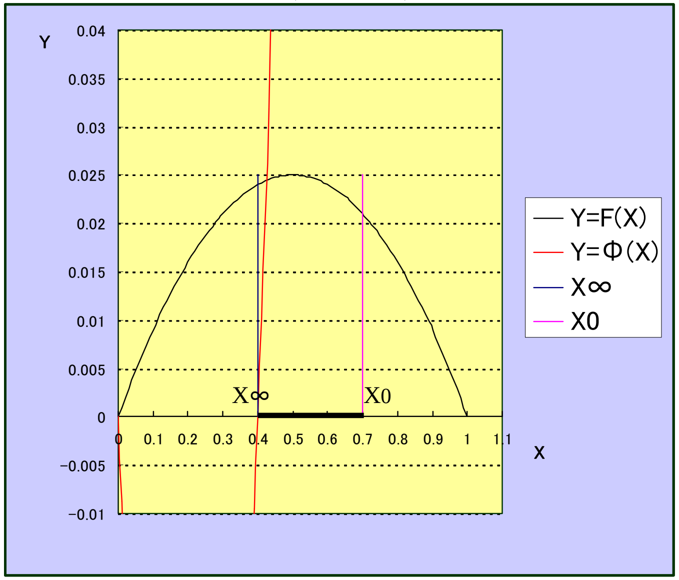
δ = 0.05（r > δ）のとき



δ = 0.2（r < δ）のとき



δ =1.0（r < δ）のとき



（5）現在価値最大化の一般的展開

$$\underset{Y_t}{Max} \rightarrow \sum_{t=0}^{T} \rho^t \pi(X_t, Y_t)$$

$$s.t.\ X_{t+1} - X_t = F(X_t) - Y_t$$

$$X_0 = A(>0)\text{: 初期値,}\quad \lambda_{T+1} = B(\geq 0)\text{: 終端条件}$$

$$\rho = \frac{1}{1+\delta}$$

ρ :割引因子　δ :割引率

ラグランジュ関数

$$L = \sum_{t=0}^{T} \rho^t \{\pi(X_t, Y_t) + \rho\lambda_{t+1}[X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1}]\}$$

一階の条件

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L}{\partial Y_t} = \rho^t \left(\dfrac{\partial \pi}{\partial Y_t} - \rho\lambda_{t+1} \right) = 0 \\ \dfrac{\partial L}{\partial X_t} = \rho^t \left\{ \dfrac{\partial \pi}{\partial X_t} + \rho\lambda_{t+1}[1 + F'(X_t)] \right\} - \rho^t \lambda_t = 0 \\ \dfrac{\partial L}{\partial(\rho\lambda_{t+1})} = \rho^t [X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1}] = 0 \end{cases}$$

π（X t,Y t）： t 期純便益

X t ： t 期生存量

Y t ： t 期捕獲量

F（X t）： t 期成長量（成長関数）

λ t ： t 期ｼｬﾄﾞｰﾌﾟﾗｲｽ（t 期におけるXの追加的増分の限界価値）

式の数と未知数の数

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L}{\partial Y_t} = \rho^t \left(\dfrac{\partial \pi}{\partial Y_t} - \rho \lambda_{t+1} \right) = 0 & \text{式の数（T＋１個）} \\ \dfrac{\partial L}{\partial X_t} = \rho^t \left\{ \dfrac{\partial \pi}{\partial X_t} + \rho \lambda_{t+1} \left[1 + F'(X_t) \right] \right\} - \rho^t \lambda_t = 0 & \text{式の数（T＋１個）} \\ \dfrac{\partial L}{\partial (\rho \lambda_{t+1})} = \rho^t \left[X_t + F(X_t) - Y_t - X_{t+1} \right] = 0 & \text{式の数（T＋１個）} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_0 = A(>0) : \text{初期値} & \text{式の数（１個）} \\ \lambda_{T+1} = B(\geq 0) : \text{終端条件} & \text{式の数（１個）} \end{cases}$$

式の数
（3T＋5 個）

未知数	個　数	
Yt	t ＝ 0, ・・・・・・・,T	T＋１個
Xt	t ＝ 0, ・・・・・・・,T+1	T＋2個
λ t	t ＝ 0, ・・・・・・・,T+1	T＋2個
計	未知数の数	3T＋5 個

一階の条件（整理済み）の経済学的意味

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \pi}{\partial Y_t} = \rho \lambda_{t+1} & \cdots\cdots ① \\ \lambda_t = \dfrac{\partial \pi}{\partial X_t} + \rho \lambda_{t+1}\left[1 + F'(X_t)\right] & \cdots\cdots ② \\ X_{t+1} = X_t + F(X_t) - Y_t & \cdots\cdots ③ \end{cases}$$

$$\rho = \frac{1}{1+\delta}$$

ρ :割引因子　δ :割引率

①式の意味

t 期において捕獲資源追加１単位から得られる追加純便益

＝ 捕獲しないときの t+1 期におけるその追加１単位の追加価値（ λ_{t+1}）を t 期の価値として割引いた値

ここで、右辺は機会費用で、将来費用ないしは使用費用とよばれる。オープン･アクセスの静学モデルは $\rho = 0$ （ $\delta = \infty$）に、また結託の静学モデルあるいは静学的レント最大化モデルは $\rho = 1$ （ $\delta = 0$ ）に相当する。

②式の意味

t 期において捕獲前資源追加１単位から得られる追加価値

＝ 捕獲しないでおいたときに t 期にその追加１単位がもたらす追加純便益と、捕獲しないでおいたときに t+1 期にその追加１単位がもたらす追加価値（ $\lambda_{t+1}[1+F'(X_t)]$ ）を t 期の価値として割引いた値、の２つの値を足した値

（6） 再生可能資源の管理政策

1． 伝統的管理政策

① 捕獲期の設定 ： 禁漁期

禁漁期は種のライフサイクルの重要な段階で設定される。E∞ より小さな E に導くことが期待されるが、効果はうすいと思われる。

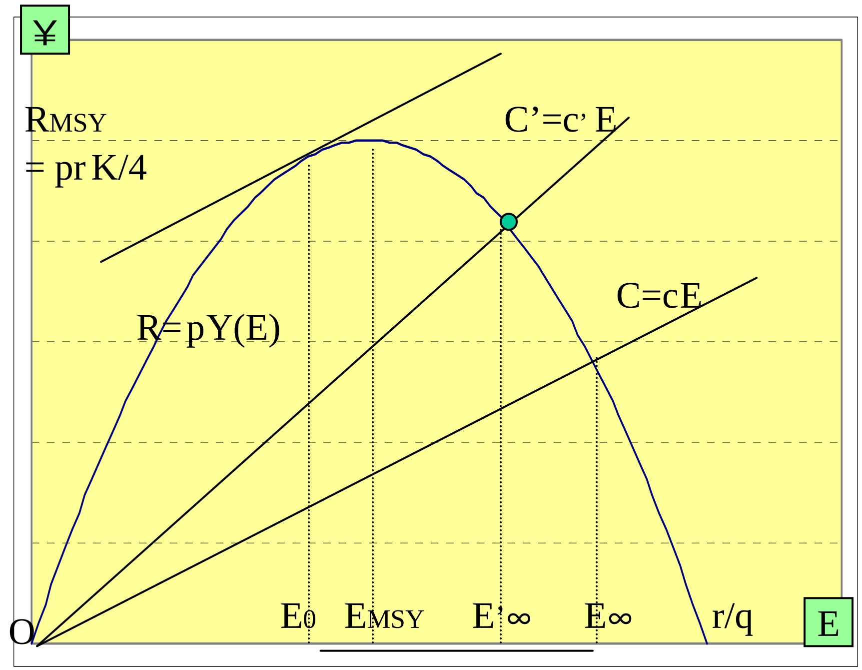
② 装備の制限 ： 漁獲網目の拡大

漁獲網目の拡大は努力単価を c から c’へと高めることになる。確かに、E∞は E’∞へと小さくなるが、オープ・アクセス静学モデルの根本的な問題は解決されない。

③ 捕獲許可量の設定 ： 漁獲量許可

漁獲量許可は、漁獲シーズンを決めて漁獲許可総量に達するまでの漁獲を許す。その結果、大量の漁獲物が同時期に市場に出回ることになり価格の低落を招く。

ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用
＜努力量捕獲関数で図示（定常状態）＞



$E_0 = \{r/(2pq^2K)\}(pqK-c)$

$E_{MSY} = r/(2q)$

$E_\infty = \{r/(pq^2K)\}(pqK-c)$

$Y(E) = qKE\left(1 - \frac{q}{r}E\right)$

$C = cE$

④ 参入の制限 ： 漁船許可制

参入制限は、漁獲歴のある漁船すべてに漁船許可を付与せざるをえない。しかし、その場合、問題解決にはならない。もし、参入制限に成功したとしても、それは初めだけで、漁船の装備を拡充させたりして、事態はしだいに悪化していく。

２．望ましい管理政策

望ましい管理政策は、個々の捕獲者の意思決定計算に「将来費用」の概念を導入することである。その点からすると、伝統的管理政策は、いずれも将来費用的発想がないので、解決にはつながらない。

① 捕獲課税（水揚げ税）

税率（捕獲量１単位当たり税額）を τ（>0）とすると、税引価格は $p-\tau$ となる。

$$\pi(X_t, Y_t) = pY_t - C_t = pY_t - C(X_t, Y_t)$$ と表示できるから

$$\frac{\partial \pi}{\partial Y_t} = p - \frac{\partial C}{\partial Y_t} = \rho\lambda_{t+1}$$ ← 一階の条件から

したがって $\tau_t = \rho\lambda_{t+1}$ を満たすように管理者が税率を設定すれば、捕獲者は $p - \tau_t = \dfrac{\partial C}{\partial Y_t}$ となるような Y_t を選び、意思決定に将来費用概念が加味されることになる。

注：要素課税

税率（努力量１単位当たり税額）を α（>0）とすると、努力単価は c から c+α になる。ロジスティック成長関数・CPUE捕獲関数を前提にすれば、$\alpha_t = c\rho\lambda_{t+1}/(p-\rho\lambda_{t+1})$ を満たすように税率を設定できれば、捕獲者の意思決定に将来費用概念が加味されることになる。

② 譲渡可能な個別割当制度

総捕獲割当量と個別捕獲割当量を決め、かつ個別割当量を譲渡可能にする。こうすれば、将来費用概念が加味された望ましい市場が形成される。

◆ 捕獲課税および要素課税の図示

ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用

捕獲課税

$$\begin{cases} R_\tau = (p-\tau^*)Y = (p-\tau^*)F(X) = (p-\tau^*)rX\left(1-\dfrac{X}{K}\right) \\ C = c\left(1-\dfrac{X}{K}\right)\dfrac{r}{q} \end{cases}$$

$\pi = R_\tau - C = 0$ より

$$X^* = c/\left\{\left(p-\rho\lambda^*\right)q\right\} \quad \cdots\cdots①$$

（ただし $\tau^* = \rho\lambda^*$ ）

要素課税

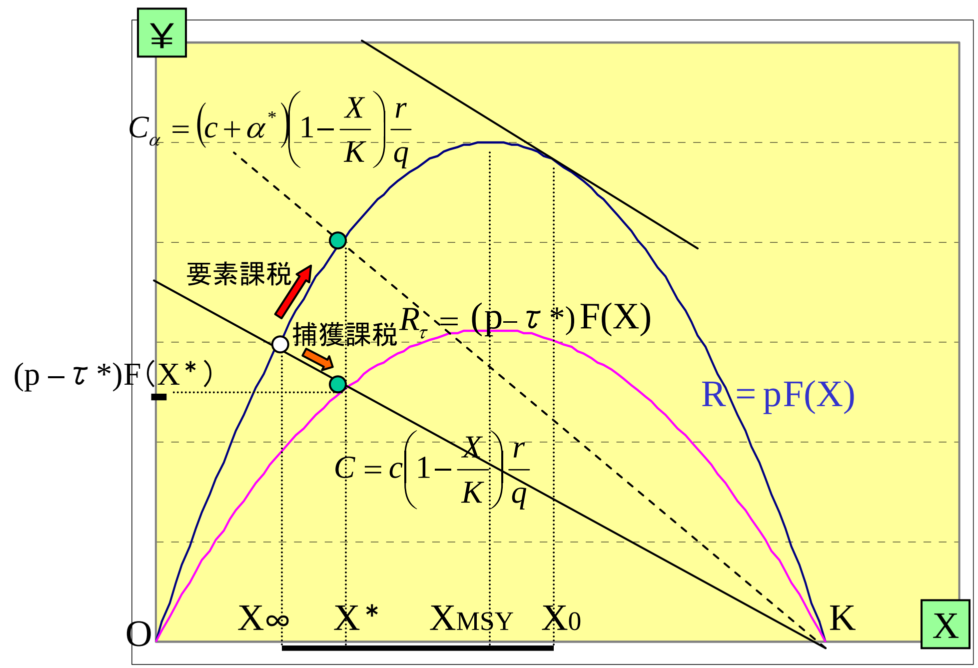
$$\begin{cases} R = pY = pF(X) = prX\left(1-\dfrac{X}{K}\right) \\ C_\alpha = (c+\alpha^*)\left(1-\dfrac{X}{K}\right)\dfrac{r}{q} \end{cases}$$

$\pi = R - C_\alpha = 0$ より

$$X^* = (c+\alpha^*)/(pq) \quad \cdots\cdots②$$

①②より　$\alpha^* = c\rho\lambda^*/\left(p-\rho\lambda^*\right)$

ロジスティック成長関数、CPUE捕獲関数を使用
＜生存量捕獲関数で図示（定常状態）＞



$X_\infty = c/(pq)$　　$X_{MSY} = K/2$

$X_0 = (1/2)\{c/(pq)+K\}$

$$X^* = c/\left\{\left(p-\rho\lambda^*\right)q\right\} = (c+\alpha^*)/(pq)$$