論　文

魚群の経済分析

名　部　井　一　良

目　次

要　旨

誰でもが自由に参入できるような漁業について，経済学的な視点からは次のような結果が得られる。漁業では利潤を最大にするような生産量を維持することは困難である。それは，利潤が発生する限り参入が生じるためである。この参入が利潤の消滅と漁業資源の消滅の双方をもたらす原因であるので，参入に制約を設けることが望ましい。あるいは，直接的な参入規制ではなく，漁獲者の最適選択に任せるのであれば，彼らをして正確にその資源の価値を認識させなければならない。たとえ，個々の漁獲者にとってそのような資源価値の測定は困難であるとしても課税政策という方法で，認識させることは可能である。

キーワード

再生可能資源　維持可能生産量　オープンアクセス均衡　最適制御問題　シャドウ・プライス

はじめに

生態系は再生可能な資源として私たちの廻りに存在している。これに分類される主なものを挙げれば，魚類，ほ乳類，牧草地や河川などの種々の資源がある。本論で議論されるのは海洋に生息する魚群である。この資源に対する要求は世界人口の増加にともない，タンパク質の供給源を多様化させざるをえない現代においてより増大しつつあり，過剰な操業も指摘されてきている[1)]。

本来，再生可能な資源の適切な利用は，このような資源が毎年々々繁殖で生み出した利子所得というべきものの範囲内でなされるべきである。しかしながら，魚群のような資源は過剰に収穫されやすく，それ自体が減少するか，あるいは消滅するといった結果がもたらされる。本論では，魚群が最適に利用されない理由を明らかにしたうえで，最適利用のための条件を求めることにする。

I 増殖関数

魚群のような再生可能資源の考察に関しては，図1で描かれる増殖関数 $h(x)$ が用いられる。この関数は魚群の規模に対応した単位時間当たり（例えば1年）の再生産量（増殖）の大きさを反映して上に凸の形をしている。なお，この単位期間あたりの再生産量を持続可能生産量 (sustainable yield) という。

$$h(x) = \dot{x} \qquad h'' < 0 \tag{1}$$

ここで，x は魚群の規模あるいは個体数，および $\dot{x} = dx/dt$ である。

$$h(0) = h(K) = 0 \tag{2}$$

(2) 式は関数 $h(x)$ に2つの定常点（すなわち, $x = 0$ および $x = K$）があることを示している。これらの定常点を生物学的均衡点とよぶ。

この関数が上に凸状であるということは次の意味をもつ。まず，低位の定常点 $x = 0$ ではこの魚群は消滅している。しかし，僅かでも魚群に個体数が存在するならば，海洋にはこの群れが繁殖するのに十分な食糧があるから，魚群規模が大きくなる[2)]。すると，維持可能生産量も増加する。これは増殖関数 $h(x)$ の右上がりの領域で表される。しかしながら，食糧という制約があるため，その増殖量は逓減的であり，最大持続可能生産量 (maximum sustainable yield：*MSY*) がその上限となる。

魚群は *MSY* に到達した後は食糧という制約が一層厳しい制約となってくるので，増殖量は逓減的に減少していき，いずれ高位の定常点 K に到達する。これは増殖関数 $h(x)$ の右下がりの領域で表される。

定常点 K では，新たに生まれてくる個体数と死亡する個体数が丁度一致するため維持可能生産量がゼロとなる。このとき，魚群は最大規模となる。

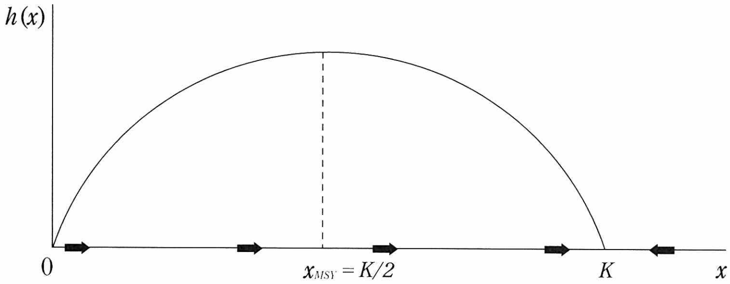
なお，定常点Kよりも右側の領域では，食糧の存在に比べて，魚群の規模が大き過ぎるため，生まれてくる個体数よりも死亡する個体数が多くなり，この点を越えて，魚群規模は大きくなることはできない。したがって，一時的に，魚群規模がKを超えることがあったとしても，結局的には，Kに復帰する。この魚群規模の天井を環境容量 (carrying capacity) とよぶ。

以上の結果を次のようにまとめることができる。まず，この魚群に僅かでも個体が存在するときには，高位の定常点である最大魚群規模に向かって成長する。しかし，この水準を超えることはできない。それゆえ，低位の定常点は不安定的であり，高位の定常点は安定的である。この関係が図１の矢印によって示されている。

この増殖関数を (3) 式で表す。

$$h(x) = (K-x)x \qquad \frac{d^2h(x)}{dx^2} = -2 < 0 \tag{3}$$

図１　増殖関数



Ⅱ　漁獲努力と魚群の規模

1　魚穫量と魚群の規模

漁獲者が操業行為を行わない限り，魚群は最大規模を保持している。そこで，初期の魚群規模を最大規模として，操業が魚群規模に及ぼす影響を考察する。まず，漁獲量が魚群規模に関係なく一定であるという仮定の下で，漁獲量と魚群規模の関係を表しているのが図２である。

図２では，３つの漁獲量水準$y_i (i = 1, 2, 3)$が示されている。

$$y_1 < y_2 < y_3$$

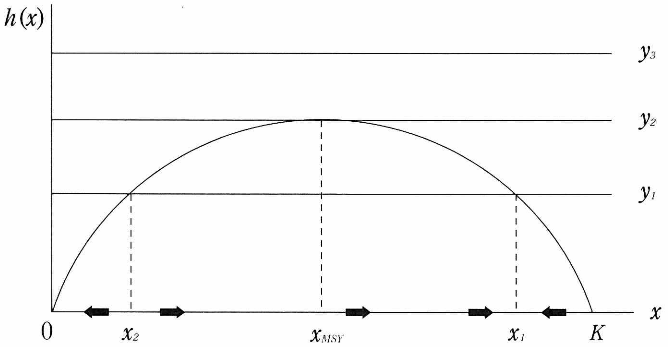
まず，魚群の規模が一定に留まるような状態を均衡漁獲量と定義する。

$$h(x) = y \tag{4}$$

この定義の下では，漁穫量がy_1であるとき，２つの均衡点をもつ[3)]。

漁穫量がy_2のときには，均衡漁獲量は最大維持可能生産量においてのみ成立する。また，漁獲量がy_3であれば，それは魚群のいかなる規模に対応する維持可能生産量よりも上回っているため，この魚群は縮小し続け，消滅にいたる。これは乱獲のケースである[4)]。

図２　漁獲量と魚群の規模



２　漁獲関数

前項では漁獲量を一定と仮定したが，本項ではそれを魚群規模の関数とする。

$$y = \theta Ex \tag{5}$$

ここで，θは漁業技術の効率性，Eは漁獲努力である[5)]。なお，技術の効率性は一定とする。したがって，この漁獲関数は漁獲努力について，限界生産物が一定であり，かつ平均生産物と一致すると仮定されている。

漁獲関数と維持可能生産量が一致するとき，

$$(K - x)x = \theta Ex \tag{6}$$

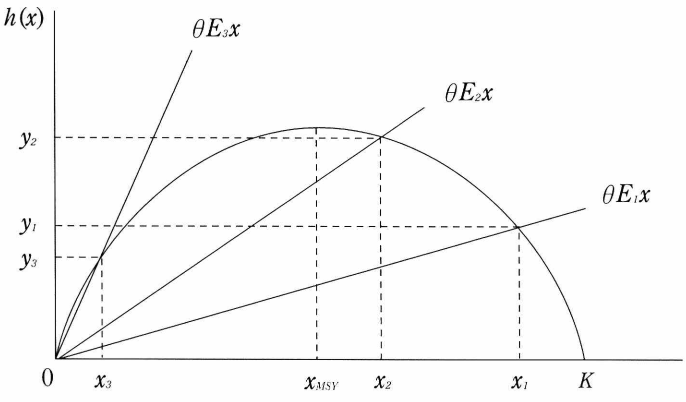
が成立するから，

$$x = K - \theta E \tag{7}$$

を得る。すなわち，漁獲努力が大きくなるほど，魚群の規模は小さくなる。

漁獲関数 (7) 式を図１に書き込むと，任意の漁獲努力において，魚群の均衡値をもたらす維持可能生産量を知ることができる。

図３　収穫努力と魚群規模の均衡



たとえば，収穫努力E_1のもとでは，均衡漁獲量はy_1であり，均衡魚群はx_1である。漁獲努力がE_1のまま保持されれば，魚群はx_1で保存されるから，毎年y_1の漁獲量が期待される。

ところが，漁獲努力がE_2に増大すると，魚群そのものを食いつぶすことになるので，その規模はx_2まで縮小する。この規模のもとでは，餌が豊富になるといった環境改善がもたらされるので，維持可能生産量が増加する。

しかしながら，より漁獲努力が増大されると (E_3)，今度は魚群規模と維持可能生産量の両方が減少することになり，さらに漁獲努力がなされると，この魚群はやがて消滅することになる。

上記のような関係が漁獲努力の関数として表された漁獲関数 (8) 式の基本にある。具体的には，この漁獲関数は (7) 式および (5) 式から得られる。

$$y = \theta E(K - \theta E) \tag{8}$$

Ⅲ　静学的アプローチ[6)]

1　総収入，総費用および利潤

いま，収穫された魚の単位当たりの価格を一定額pであるとすると[7)]，任意の魚群規模を一定に保つような均衡漁獲量のもとでの総漁獲収入Rは，

$$R = py \tag{9}$$

となり，図４の上に凸の２次曲線で表される。

また，漁獲努力単位当たりの平均費用かつ限界費用を定数cであるとすると，総費用Cは

$$C = cE \tag{10}$$

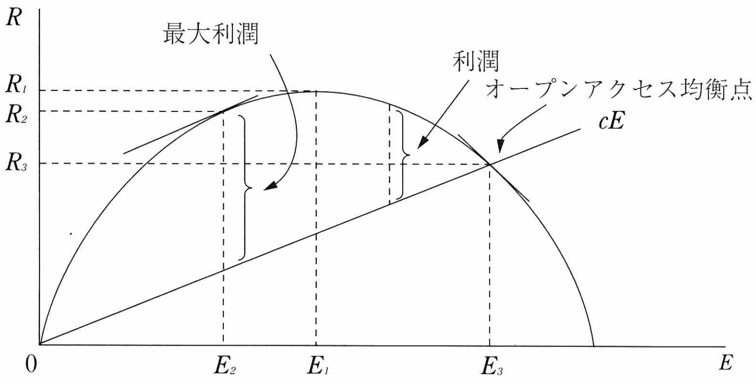
で表される。この総費用は図４における右上がりの直線で示される。

(9) 式 (10) 式より，利潤πは

$$\pi = R - C \tag{11}$$

であるから，総収入曲線と総費用曲線の差が利潤の大きさを表す。

図４　総収入，総費用および利潤



2　ゼロ費用のケース

漁獲費用がゼロのケースは非現実的であるが，他のケースの結果と比較するときの基準を与える。このケースは費用に関係なく漁獲量を選択することができることを意味するから，収穫関数は横軸に平行な直線で表される。よって，図4において，選択される最大利潤は $R_1(= pMSY)$ であり，これに対応する漁獲努力は E_1 である。このときの均衡魚群規模は図3の x_{MSY} である。

3　有費用のケース

このケースにおける利潤最大化の条件は，一般的なミクロ経済理論より求めることができる。

$$\pi'(E_2) = 0 \quad \text{のもとで，} \quad R'(E_2) = c \tag{12}$$

このケースでは，図4に描かれているように，限界収入が限界費用と一致する漁獲努力 E_2 のもとで，利潤が最大になる。

この結論は費用ゼロのケースと比較するとユニークな結果が得られる。すなわち，最大持続可能生産量まで漁獲穫努力を増大させて操業することは効率的な操業とはいえず，むしろそれよりも小さい漁獲努力で，より大きな利潤を得ることができる。ということである。また，このときの均衡魚群規模は，たとえば，図3の x_2 といえる。

4　オープンアクセス均衡

しかしながら，(12) 式で表される漁獲努力水準では，過剰利潤が存在している。このとき，海洋漁業のような操業域に垣根もなく，新たな参入者を排除できないような産業には，この過剰利潤を狙って参入が行われる。このような参入は漁獲努力を増加させるため，徐々に利潤が減少していく。結局的に，参入は E_3 まで進み，そのとき参入は止まり，利潤はゼロとなる。この状態をオープンアクセス均衡とよぶ。

このオープンアクセス均衡点では，限界収入＜限界費用であるがゆえに，この水準の漁獲努力は過剰であり，非効率であるという結果が得られる。このような結果は魚群がオープンアクセス資源であるという性質に決定的に依存している[8)]。それゆえ，経済的な効率性を実現するためには，魚群に対するアクセスの程度を管理権および所有権のような経済外的な要因でコントロールすることが必要である。

加えて，オープンアクセス均衡には生物学的には次の危険が生じる。

(1)　オープンアクセス均衡点に到達するまでには既に大きな漁獲努力 E_3 が投入されているので，この魚群を消滅させる危険がある。たとえば，魚群規模は図3における x_3 である。

(2)　オープンアクセス均衡点の位置は平均費用の大きさに依存する。それゆえ，費用を引き下げる要因はオープンアクセス均衡点をより小さい魚群規模のもとで成立させることになる。たとえば，漁業に対する政府の補助金などがその例である。

Ⅳ　動学的アプローチ[9)]

1　ゼロ費用のケース

漁獲費用がゼロのケースの静学的な最適解は

$E = E_1$　のもとで，$R = R_1$　および　$x = K/2 = x_{MSY}$

を実現することであった。本節では，これまでに得られた静学的結果を動学分析によって検証する。

まず，状態変数をxとし，最大化される目的関数を利潤関数とする。ただし，利潤は一定の割引率ρで割り引かれるものとする。唯一の制御変数はyである。したがって，解くべき最適制御問題は次のとおりである。

$\dot{x} = h(x) - y$

$x(0) = x_0$ のもとで，

$\int_0^{\infty} pye^{-\rho t}dt$　を最大化せよ

この問題の経常値ハミルトニアン$\tilde{H}$は

$$\tilde{H} = py + \tilde{\lambda}[h(x) - y] \tag{13}$$

である。このハミルトニアンの最大化の条件より，

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial y} = p - \tilde{\lambda} = 0 \tag{14}$$

$$p = \tilde{\lambda} \tag{15}$$

となる。次に，共役状態変数の運動方程式は

$$\dot{\tilde{\lambda}} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial x} + \tilde{\lambda}\rho = \tilde{\lambda}(\rho - h') \tag{16}$$

である。最後に，状態変数の運動方程式は次式となる。

$$\dot{x} = \frac{\partial \tilde{H}}{\partial \tilde{\lambda}} = h(x) - y \tag{17}$$

この問題の解は (16) 式と (17) 式からなる連立微分方程式を解くことによって得られるが，これらの方程式は非線形であるために一般解を求めることは難しい。しかし，この体系は自律系の方程式となっているので，位相図を用いることによって定常解とこの体系の時間経路を知ることができる。まず，位相図を描くために，２本の境界曲線を求める。

$$\dot{\tilde{\lambda}} = 0 \text{曲線} \qquad \rho = h' \quad \text{あるいは} \quad x = \frac{K - \rho}{2} \tag{18}$$

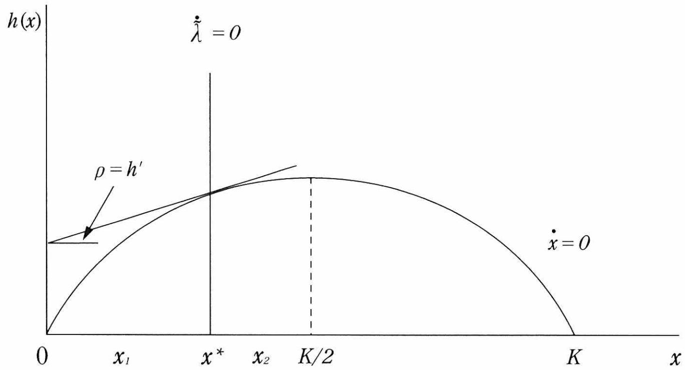
$$\dot{x} = 0 \text{曲線} \qquad y = h(x) \tag{19}$$

この体系の最適解をx^*とすると，体系はこの解へ自動的に収束しないため，最適解が満たされるのは初期値が偶然にx^*であるときのみである[10)]。最適な漁獲を実現しようとすれば，もし

初期値が$x_1 < x^*$である場合には，選択すべき最善の行為は魚群規模がx^*規模まで成長するのを待つことである。また，逆の状態$x^* < x_2$であるときには，魚群規模がx^*に減少するまで漁獲努力を急いで増加させ，速やかにその規模を縮小させることである。いずれのケースでも，x^*に到達した後には，毎年々々 $h(x^*)$ の漁獲を行えば最大の利潤が得られることになる。

なお，前節の「ゼロ費用のケース」の結果との比較でいえば，割引率を考慮した動学分析の場合には，たとえ同じケースであったとしても，利潤を最大化する魚群規模は静学分析の結果よりも小さくなる ($x^* = (K-\rho)/2 < K/2$)。また，その差異は割引率の大きさに依存する。

図５　ゼロ費用ケースの最適解



２　有費用のケースの均衡

前項と同様，状態変数はx，最大化されるのは利潤関数である。ただし，制御変数はEに変わる。

$$\dot{x} = h(x) - y$$

$x(0) = x_0$のもとで

$\int_0^\infty (py - cE)e^{-\rho t}dt$　を最大化せよ

ここで，漁獲関数を漁獲努力に対して一般的な生産関数と同じ性質をもつ非線形関数とする。

$$y = f(E) \qquad f' > 0 \text{および} \quad f'' < 0 \tag{20}$$

この問題の経常値ハミルトニアン$\tilde{H}$は

$$\tilde{H} = pf(E) - cE + \tilde{\lambda}[h(x) - f(E)] \tag{21}$$

である。このハミルトニアンの最大化の条件より，

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial E} = pf' - c - \tilde{\lambda} f' = 0$$

$$(p - \tilde{\lambda})f' = c \tag{22}$$

となる。次に，共役状態変数の運動方程式は

$$\dot{\tilde{\lambda}} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial x} + \tilde{\lambda}\rho = \tilde{\lambda}(\rho - h') \tag{23}$$

であり，状態変数の運動方程式は次式となる。

$$\dot{x}=\frac{\partial\tilde{H}}{\partial\tilde{\lambda}}=h-f \tag{24}$$

次に，位相図に描く境界曲線を求めると，まず，

$\dot{\tilde{\lambda}}=0$ 曲線　　$\rho=h'$

が得られる[11)]。次に，$\dot{x}=0$曲線を$x\tilde{\lambda}$平面に描くために，(22) 式からEと$\tilde{\lambda}$の関係を求める。この式をf'について解くと，

$$f'=\frac{c}{p-\tilde{\lambda}} \tag{25}$$

を得る。(25) 式より，漁獲努力の限界生産物f'が増加するときは，魚群のシャドウ・プライス$\tilde{\lambda}$が増加する。また，f'が増加するのは，漁獲努力Eが減少するときであるから，漁獲努力と魚群のシャドウ・プライスは逆の方向に変化することがわかる。よって，

$$E=g(\tilde{\lambda})\qquad g'<0 \tag{26}$$

を得る。これと (20) 式より，漁獲関数は

$$y=f[g(\tilde{\lambda})]=f(\tilde{\lambda})\qquad f_{\tilde{\lambda}}=f'\cdot g'<0 \tag{27}$$

となる。なお，(24) 式より，

$\dot{x}=0$曲線　　$h-f=0$

であるから，この境界曲線の傾きは

$$\frac{\partial\tilde{\lambda}}{\partial x}=\frac{h'}{f_{\tilde{\lambda}}}$$

で表されるが，その符号はh'によって決まってくる。すなわち，

$x<K/2$　において，$h'>0$　であるから，$\partial\tilde{\lambda}/\partial x<0$

$x=K/2$　において，$h'=0$　であるから，$\partial\tilde{\lambda}/\partial x=0$

$K/2<x$　において，$h'<0$　であるから，$\partial\tilde{\lambda}/\partial x>0$

となる。以上をもとにして，$\dot{x}=0$曲線を描くことができる。

また，位相線の通時的な動きは，

$$\frac{\partial\dot{\tilde{\lambda}}}{\partial x}=-\tilde{\lambda}h''>0 \tag{28}$$

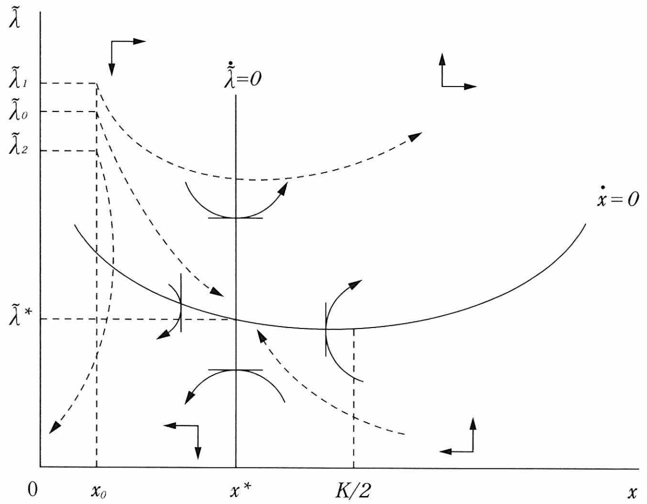
$$\frac{\partial\dot{x}}{\partial\tilde{\lambda}}=-f_{\tilde{\lambda}}>0 \tag{29}$$

である。この結果が図中にベクトルとして書き込まれている。ベクトルの方向から明らかなように，この体系の時間経路は鞍点経路となる。

この体系の定常解は $(x^*,\tilde{\lambda}^*)$ である。たとえば，可能な初期値の候補が $(x_0,\tilde{\lambda}_0)$，$(x_0,\tilde{\lambda}_1)$，$(x_0,\tilde{\lambda}_2)$ であるとする。このうち，$(x_0,\tilde{\lambda}_0)$ は定常解へ収束する安定経路に乗っている。一方，魚

群のシャドウ・プライスが$\tilde{\lambda}_0$よりも高い$\tilde{\lambda}_1$であるとき，漁獲努力は必要以上に小さいから，この魚群がいずれ生物学的均衡点Kに向かって成長していく経路に乗る。この経路は初期値$(x_0, \tilde{\lambda}_1)$を始点とするU字型の位相線で示されている。他方，シャドウ・プライスが$\tilde{\lambda}_2$であるときには，過剰な漁獲努力によって，この魚群が消滅する経路に乗る。これより，当局者はシャドウ・プライス$\tilde{\lambda}_0$を漁獲者をして正確に予想させるか，あるいはその値を如何に認識させるかが重要な問題となる。

図6　有費用ケースの最適解



3　オープンアクセス均衡

利潤が存在する限り，新規の参入が起こり，漁獲努力がますます増大する。いずれ，利潤が消滅し，このような参入と漁獲努力の増加がなくなったときに成立する均衡がオープンアクセス均衡であった。この均衡への時間経路は次のような連立微分方程式の体系で表現することができる。

$$\dot{E}=\phi(R-C) \qquad \phi>0 \tag{30}$$

$$\dot{x}=h(x)-y \tag{31}$$

ここで，ϕは利潤が存在するときに参入が生じる速度を表す。また，漁獲関数は(5)式であるとする。これら，2本の方程式を整理すると，

$$\dot{E}=\phi(p\theta x-c)E \tag{32}$$

$$\dot{x}=(K-x-\theta E)x \tag{33}$$

を得る。もちろん，この体系も非線形であるから位相図を用いる。それぞれの境界曲線は

$$\dot{E}=0 \quad \text{の曲線} \qquad x=\frac{c}{p\theta} \tag{34}$$

$$\dot{x}=0 \quad \text{の曲線} \qquad E=\frac{K}{\theta}-\frac{1}{\theta}x \tag{35}$$

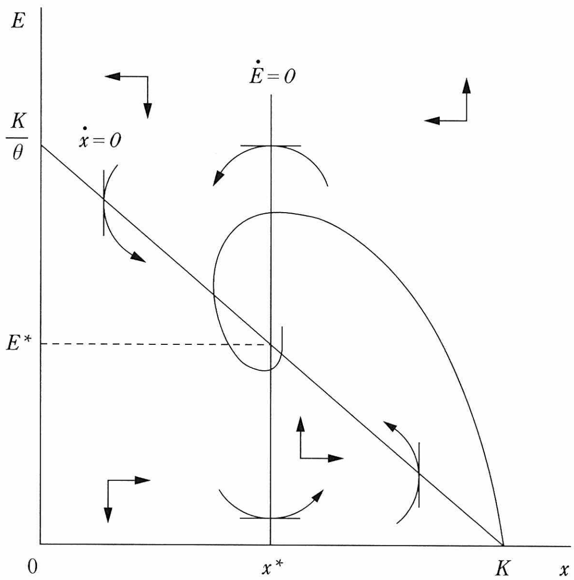
である。また，位相線の通時的な動きは，

$$\frac{\partial \dot{E}}{\partial x}=\phi p\theta E>0 \tag{36}$$

$$\frac{\partial \dot{x}}{\partial E}=-\theta x<0 \tag{37}$$

で与えられる。図７は (36) 式と (37) 式から得られるベクトルがこの体系の時間経路が反時計回りの焦点的収束経路であることを示している。[12] また，(36) 式は，$\dot{E}=0$曲線の右の領域では利潤が発生し漁獲努力が増加するが，左の領域では逆となることを示している。それゆえ，この魚群に対する操業は参入と退出を繰り返しながら，いずれオープンアクセス均衡に到達することになる。

図７　オープンアクセス均衡への時間経路



結びに代えて

本論では，再生可能資源の代表である魚群についての経済分析を静学および動学の２つの側面からアプローチしてきた。それらの結果を要約して，本論の結びとする。

まず，再生可能資源は維持可能生産量の範囲内で利用する限り再生可能なのであって，それが満たされない場合には枯渇資源となる。しかし，枯渇を防ぐために，いたずらに魚群規模を大きく保てばよいという訳でもなかった。利潤を最大にする維持可能生産量もたらす魚群規模を選択することが，経済的にも資源の保全にとっても望ましい選択である。ここに，経済学的

な選択の問題がある。

静学分析では，限界費用と限界収入が一致するような漁獲努力を選択することが利潤を最大にし，かつ資源の保全も保証された。ただし，このときの維持可能生産量は最大値より低くなる。ところが，魚群のような誰でもが自由に参入できるような資源の場合には，超過利潤が存在する限り，常に参入が生じるため，結果的には利潤ゼロの状態がもたらされる。また，このような漁獲努力のもとでの均衡は魚群の消滅を引き起こす危険がある。これゆえに，オープンアクセス均衡は最適な状態とはいえなかった。

したがって，漁業資源の最適な利用という観点からはこの魚群に対し，管理権や所有権を付与し，参入の制限を図る必要がある。現在，世界で行われている排他的経済水域の設定はこの理由において，正当化されるものである。

動学的な分析では，最適解が必ず達成されることが保証されず，最適解に到達する時間経路に乗るためには，政策的な管理が必要とされた。ゼロ費用のケースでは，それの限界増殖と割引率が一致する魚群規模のもとで，維持可能生産量を漁獲することが最適であることが示された。しかし，それを実現するためには，魚群の規模に応じて漁獲をコントロールしなければならなかった。これは管理者がいてはじめて可能であるという意味から，先の静学的な結論を補強するものである。また，有費用のケースでは，漁獲者に魚群のシャドウ・プライスを正しく認識させることが最適化を実現するための条件であった。しかし，このシャドウ・プライスの測定は個々の漁獲者にとっては困難である[13)]。したがって，管理者がこのシャドウ・プライスを計算し，それと等しいだけの税を課すことによって[14)]，漁獲者にシャドウ・プライス（魚群の潜在価値）を認識させ，かつ，漁獲活動を最適経路へ乗せることが必要とされる。これは魚群資源の異時間的に最適な資源配分を可能にすることになる。

注

1）再生可能資源の過剰利用の実態は，L.R.Brown., *Eco-Economy*, W.W.Norton & Company, New york,2001（福岡克也監訳『エコ・エコノミー』家の光協会，2002年，第３章）で詳細に報告されている。

2）実際，魚のような生物種にはこれよりも個体数が減ってしまえば，その群れのなかでもはや繁殖ができなくなるような臨界最小規模 (critical minimum size) が存在する。この水準（例えば$x = x_c$）を明示的に考慮すると図１の増殖関数$h(x)$は$x>0$の領域で低位定常点と高位定常点の２点で交わる上に凸状の形になる。この場合，乱獲による魚群の消滅は本論で議論されるよりも，より早期に起こりうることになる。しかし，分析の簡単化のため，臨界最小規模は原点と一致するとみなす。

3）何らかの理由により，y_1のもとで，この魚群規模がx_2より下回ればそのままこの魚群は消滅する。また，x_2より上回れば，均衡点x_1まで増加し，その水準で定常状態均衡がもたらされる。この理由により，x_2は不安定均衡点であり，x_1は安定均衡点である。

4）田中昌一『水産資源を語る』恒星社厚生閣，2001年，p.21，参照。

5）漁獲には，労働投入，漁船，網，エネルギーなどさまざまな資源が必要とされる。このような資源を漁獲努力とよぶ。この，漁獲努力はそれらの資源で総合的に測られる。

6）本節で展開される静学分析は，R.K. Turner, D.Peace and I.Bateman, *Environmental Economics : An Elementary Introduction,* Johns Hopkins University Press, Bultimore, 1993, pp.205-220（大沼あゆみ訳『環境経済学入門』東洋経済新報社，2001年，211-228ページ）およびR.Shone, *Economic Dynamics:Phase*

Diagrams and their Economic Application, 2nd, Cambrigde Univrsity Press, Cambrige, 2002, pp.644-650に多くを負っている。

7）これは，分析の対象となっている魚群が存在する生育海域以外にも，同種の魚群が多数存在する場合や，操業にあたっての代替種が多数存在するようなケースに当てはまる。時政勗『枯渇資源の経済分析』牧野書店，1993年，162ページ参照。

8）誰もが所有していない資源をオープンアクセス資源とよぶ。本論で議論されている魚群などの海洋資源の他には河川や地下水帯あるいは大気などもそのような資源の例である。このような資源は誰もが実際に所有していないために，資源の収穫や利用あるいは汚染物質の排出を制限しようとするインセンティヴが働かず，乱獲や過剰使用が生ずる。R.K.Turner, D.Peace and I.Bateman, op.cit., p.209（大沼，前掲書，216ページ）参照。

9）本節は N.Hanly, J F. Shocren and B.White, Environmental Economics : In Theory and Practice, 2nd, Palgrave Macmillan, New York, 2007, p272-283, R.Shone, op.cit., pp.650-72, および時政，前掲書，160-166ページに多くを負っている。

10) (18) 式と (19) 式から求められる定常解を使って，(16) 式と (17) 式から導出されたヤコビアンを評価する。

$$\text{定常解}\quad (\tilde{\lambda}^*, x^*) = \left(p, \frac{K-\rho}{2}\right) \qquad J_E = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \dot{\tilde{\lambda}}}{\partial \tilde{\lambda}} & \dfrac{\partial \dot{\tilde{\lambda}}}{\partial x} \\ \dfrac{\partial \dot{x}}{\partial \tilde{\lambda}} & \dfrac{\partial \dot{x}}{\partial x} \end{bmatrix}_{(\tilde{\lambda}^*, x^*)} = \begin{bmatrix} 0 & 2p \\ 0 & \rho \end{bmatrix}$$

$$trJ_E = \rho > 0 \quad \text{および} \quad |J_E| = 0$$

この結果から，この体系は不安定であることが分かる。

11) 漁獲関数が $y = f(E, x)$ $f_E > 0, f_x > 0$ であり，費用関数が $C = C(E)$ $C' > 0$ であるとき，$\dot{\tilde{\lambda}}=0$ 曲線は $\rho = h' + \dfrac{C' f_x}{p f_E - C'}$ となる。このとき，$p f_E - C' = \tilde{\lambda} f_E > 0$ であるから，均衡魚群規模は本節で得られる結果よりも大きくなる。本論は位相図を描くために諸関数を簡単にしている。

12) (32) 式と (33) 式からヤコビアンを導出し，定常解を使って評価する。

$$\text{定常解}\quad (E^*, x^*) = \left(\frac{p\theta K - c}{p\theta^2}, \frac{c}{p\theta}\right) \qquad J_E = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \dot{E}}{\partial E} & \dfrac{\partial \dot{E}}{\partial x} \\ \dfrac{\partial \dot{x}}{\partial E} & \dfrac{\partial \dot{x}}{\partial x} \end{bmatrix}_{(E^*, x^*)} = \begin{bmatrix} 0 & \dfrac{\phi}{\theta}(p\theta K - c) \\ -\dfrac{c}{p} & -\dfrac{c}{p\theta} \end{bmatrix}$$

$$trJ_E = -\frac{c}{p\theta} < 0 \quad \text{および} \quad |J_E| = \frac{c\phi}{p\theta}(p\theta K - c) > 0$$

この結果と本文中のベクトルの方向から，反時計回りの安定的な時間経路と結論づけられる。

13) 乱獲の場合は漁獲努力が非常に高く，それの限界生産物が負 ($f' < 0$) であるような場合である。このとき，魚を市場で売却したときの価値から魚群のシャドウ・プライス（潜在価値）を引いた価値もまた負 ($p - \tilde{\lambda} < 0$) になっている。漁業者が$\tilde{\lambda}$を正しく評価できさえすれば，乱獲は起こらないだろう。

14) (22) 式において，$f' > 0$ であるから，$p - \tilde{\lambda} > 0$ および $c > 0$ である。これは，漁獲努力の限界生産に関して，漁獲努力１単位から得られる限界価値生産物がそれの限界費用と一致しなければならないという，通常の限界条件を示している。当局者が （t は税金）となるように課税すれば，漁獲者はみずからシャドウ・プライスを計算することなく，それを認識させられる。

参考文献

R.K Turner, D.Peace and I.Bateman, *Environmental Economics : An Elementary Introduction*, Johns Hopkins, 1993（大沼あゆみ訳『環境経済学入門』東洋経済新報社，2001年）.

L.R.Brown., *Eco-Economy*, W.W.Norton & Company, New york,2001（福岡克也監訳『エコ・エコノミー』家の光協会，2002年）

N.Hanly, J F.Shocren and B.White, *Environmental Economics : In Theory and Practice*, 2nd, Palgrave Macmillan,

New York, 2007
R.Shone, Economic *Dynamics:Phase Diagrams and their Economic Application*, 2nd, Cambrigde, 2002
P.Nijkamp, *Theory and Application of Environmental Economics*, North-Holland, Amsterdam, 1977（藤岡明房・萩原清子・金沢哲雄監訳『環境経済学の理論と応用』勁草出版サービスセンター1985年）
田中昌一『水産資源を語る』恒星社厚生閣，2001年
時政　勗『枯渇資源の経済分析』牧野書店，1993年