数理解析研究所講究録
第1937巻 2015年 96-100

最適な漁船数配分問題に関する考察

東京海洋大学・海洋科学部・生物資源学科　岩田繁英 (Shigehide IWATA)
Department of Mathematical Sciences, Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology

概要

漁業の目的は利益を上げることにある. 漁獲物の売却益は漁獲量に魚価を乗じて決定され利益は漁獲物の売却益からコストを引いたものである. 魚価の決定機構は複雑で対象となる魚種や漁法により異なると考えられる. その中で漁業者は利益を最適化するために複数漁場を移動する. 複数隻の漁船がある場合にはどのように漁船を配分すれば利益が最大化されるであろうか. 本稿では簡単のため 2 つの漁場配分する最適な漁船数を求める条件を漁業者の利益を私的便益、社会的便益を最適化する目的の下で検討した. 本稿では特に関数形を決めずに一般的な条件を求め今後の方向性について考察する.

1 導入

漁業における最大の目的は利益をあげることである. 漁獲物の価格は主には漁獲物の量、質により決まり、漁獲物の量は資源量または来遊してくる資源量に依存して決まると考えるのが基本である. 更に、漁獲物の質は漁法・魚の処理方法や漁獲量に依存して決まる. 漁業者はこのような価格決定メカニズムの元で漁業を行い、利益を得ている. 利益がすべて自分の収入となる場合には、漁業者自身の利益 (私的便益) を最大化する意識が漁業者に働くであろう. また、プール性のように利益をいったん回収し漁業者に再配分する場合であれば、全体の利益 (社会的便益) を最大化するような意識が漁業者に働くであろう. そこで本稿ではモデルを魚価を決定する関数、資源動態を表現する関数、漁獲割合を決定する関数を決めたモデルを構築した. その上で、私的便益、社会的便益を最大化する最適な漁船配分数を計算することを目的とした. しかし、価格や資源動態は魚種毎に異なるため、本稿では最適な漁船配分数が決定する条件を求めた. 最終的に求めた条件だけでは現実に対応しきれない面も多いと考えられるため各関数の問題点を含め考察とする.

〒606-8502 東京都港区港南4－5－7

2 モデル

簡単のために 2 漁場を考える. 総漁船数は N として各漁場に x_i $(i=1,2)$ 隻を配分すると仮定する、故に $N=x_1+x_2$ となる. 各漁場に y_i だけの資源量が存在するとした場合に、各漁場で一隻あたり $F_i(y_i)$ 尾だけ漁獲があるものとする. また漁船数が増えたときに漁船同士の "競争" が起こることが予想される. そこで、一隻あたりが資源尾数の中でどれぐらいの尾数を漁獲できるチャンスがあるか (以下では漁獲可能割合と表現する.) を示す関数として $E_i(x_i)$ を定義する. この時、漁場 i における総漁獲尾数は $F_i(y_i)E_i(x_i)x_i$ となる. 各漁場での漁獲物の単価が $W_i(x_1,x_2)$ であるとする (実際には $x_1+x_2=N$ の制約から x_1 の関数となる) と各漁場における一隻あたりの純利益は $W_i(x_1,x_2)F_i(y_i)E_i(x_i)$ として計算できる. 実際には漁場まで行くための燃料代、船体の維持費用等々のコストがかかる、簡単のために本稿ではこれらを C として計算する. そうすると各漁場の純利益 b_i は $W_i(x_1,x_2)F_i(y_i)E_i(x_i)-C$ として計算され、すべての漁場の純利益 B は $b_1x_1+b_2x_2$ となる.

一隻あたりの漁獲尾数 $F_i(y_i)$ は, $\frac{dF_i}{d_{y_i}}>0$ を満たすものとする. 各漁場に存在する資源尾数 y_i が増加すれば漁獲尾数 $F_i(y_i)$ も増加するという直感的な仮定である.

漁船数の増加に対する "競争" の効果はどのようなものであろうか. これは漁獲効率、最終的には漁獲可能割合に影響する. 一般にはそれらの効果を含めると次の条件をもつ関数が考えられる；

$$\begin{cases} dE_i(x_i)/dx_i>0 & x_i<\bar{x}_i \text{のとき}, \\ dE_i(x_i)/dx_i=0 & x_i=\bar{x}_i \text{のとき}, \\ dE_i(x_i)/dx_i<0 & x_i>\bar{x}_i \text{のとき}. \end{cases} \tag{1}$$

この条件下であれば $\bar{x}_i$ の値に応じて関数が単調増加または単調減少であるかを調整できる. もし $\bar{x}_i=N$ であれば x_i は $\sum_{i=1}^{2}x_i<N$ の制約があるために常に増加傾向を示し、$\bar{x}_i=0$ であれば常に減少傾向にある状態を表現することができる. 現実的な意味付けは、魚群の発見効率が低く漁船数が増えれば増えるほど漁獲しやすくなる場合は $E_i(x_i)$ は漁船の増加に伴い増加傾向となるであろう. 一方、探索効率よりも漁船間の競争が激しくなれば漁獲可能割合は減少傾向になると考えられる.

2.1 便益の最大化

どのように漁船数を配分すれば "便益" を最大化できるであろうか. 本稿では 2 タイプの便益;1. 私的便益, 2. 社会的便益を定義する. 私的便益は各漁船の便益を最大化すること

を目的とした最適化方法で社会的便益はすべての漁船の総利益を最大化する方法と定義する．詳細は次項の通りである．

2.1.1 私的便益

各漁船が個々の漁獲尾数を最大化するように最適化することを考える．このとき，各漁船は自身の漁船の漁獲尾数が最大化するように漁場を動くであろう．漁船は漁場 1 での漁獲尾数が多ければそのままとどまるだろうし、少なければ漁場 2 に移動するだろう．それぞれの漁船が同様の行為を行い平衡状態となったときには各漁場の一隻あたりの漁獲尾数 b_i が等しい状態が成立すると考えられる;

$$b_1 = b_2. \tag{2}$$

この状態が私的便益を最適化した状態である．いわゆる理想自由分布が成立している状態である．この方程式を x_i について解くと私的便益を最適化した際の漁船数 $\hat{x}_i$ が求まる．

2.1.2 社会的便益

私的便益では個々の便益を最適化する漁船数 x_i を求めたが今度は漁船全体の便益を最大化する配分方法を定義する．社会的便益は全体の便益 B を最大化する漁船数 $\tilde{x}_i$ を求めることを目的とする．そこで全体の便益 B を最大化する x_i について解く．具体的には B_i を微分し極値を求めることで実現する．ここで $N = x_1 + x_2$ であることから $x_2 = N - x_1$ として x_1 を変数として持つ B に関して下記の方程式を解けば社会的便益を最大化する漁船数 $\tilde{x}_1$ が求まる,

$$\frac{dB}{dx_1} = 0. \tag{3}$$

3 解析

私的便益は (2) の解を考えればよいので次の方程式を解く,

$$b_1 = b_2 \tag{4}$$

$$W_1(x_1, N - x_1)E_1(x_1)F_1(y_1) - C = W_2(x_1, N - x_1)E_2(N - x_1)F_2(y_1) - C$$

$$\frac{W_1(x_1, N - x_1)E_1(x_1)}{W_2(x_1, N - x_1)E_2(N - x_1)} = \frac{F_2(y_2)}{F_1(y_1)}. \tag{5}$$

この結果から、(5) について中間値の定理を利用すると

$$\frac{W_1(0, N)E_1(0)}{W_2(0, N)E_2(N)} \leqslant \frac{F_2(y_2)}{F_1(y_1)} \leqslant \frac{W_1(N, 0)E_1(N)}{W_2(N, 0)E_2(0)}. \tag{6}$$

この条件の下で私的便益を追及するときに最適な漁場 1 に配分される漁船数 $\bar{x}_1$ が少なくとも一つ存在することがわかる.

一方、社会的便益は (3) を満たす最適な漁場 1 に配分される漁船数 $\tilde{x}_1$ を計算すればよい. これも社会的便益で行った場合と同様に中間値の定理を求めると下記の条件で最適な漁船数 $\tilde{x}_1$ が計算できる,

$$-\frac{W_1'(0,N)E_1(0)+W_1(0,N)E_1'(0)}{W_2'(0,N)E_2(0)+W_2(0,N)E_2'(0)} \leqslant \frac{F_2(y_2)}{F_1(y_1)} \leqslant -\frac{W_1'(N,0)E_1(N)+W_1(N,0)E_1'(N)}{W_2'(N,0)E_2(N)+W_2(N,0)E_2'(N)}. \tag{7}$$

以上の条件の下で最適な漁船数を導くことができる.

4 考察

私的便益と社会的便益で異なる点は漁獲可能な最大量の比 $F_2(y_2)/F_1(y_1)$ と比べる指標が $W_2(x1,x2)E_2(y_2)$ に対する $W_1(x1,x2)E_1(y_2)$ なのか ($x_1 = 0$ と $x_1 = N$ の時) なのか $-dW_2(x1,x2)E_2(y_2)/dx_1$ に対する $dW_1(x1,x2)E_1(y_2)/dx_1$ なのか ($x_1 = 0$ と $x_1 = N$ の時) ということである. 私的便益であれば (魚価) × (漁獲可能割合) となっているので単位漁獲尾数あたりの単価の減衰の大きさの比になっている. 一方、社会的便益では (魚価) × (漁獲可能割合) の x_1 の増加に対する増加速度の比をとっていることになる. 社会的便益で重要なのは増分であり絶対量よりも増分の大きい方ことが重要視されている最適化であるといえる. また, 私的便益が成立する場合でも社会的便益では成立しない場合が起こりうる. それは $0 < x_1 < N$ に対して $dW_i(x_1, N-x_1)/dx_1 < 0$, $dW_i(x_1, N-x_1)/dx_1 < 0$ ($i = 1,2$) である場合, 不等式 (7) を挟む数値は負になり最適な漁船配分数はなくどちらかに集中した方がよいということになる. しかし, 私的便益の場合は特にそのようなことが起こる心配はない. その点が大きな違いであるといえる.

本稿では一般的な形式で最適な漁船数が計算できる条件を提示したが真に重要な点は価格の仮定や漁獲割合の仮定によってどのように漁船配分が変わってくるかについて検討する事である. ちなみに本稿において W_i を定数, $E_i = 1 - x_i$ という形式にした場合には, このモデルは厳佐 [1] の提案した餌探索モデルと同値になる.

最後にこれからの発展を考察する. 漁獲割合は資源状態や魚群の分布に依存して関数形が変化するものと考えられる. 本文中でも記したが漁船数が多ければ発見確率が高まるような魚種や漁法では漁獲効率は高まるであろう. しかし、誰でも簡単に発見できる状況であり “競争”圧が高まると一隻当たりの漁獲割合は減少するだろう. このように、漁獲割合がどのような要因によって決まるかについて検討し関数の形を工夫する事が今後の課題と

なる.

次に，価格関数 $W_i(x_1, x_2)$ について考察する. 本稿では単価は漁獲量にだけ依存しているという仮定を置いているが在庫や輸入量など様々な要因に依存して決定される. 更に, これらの要因が複雑に絡み合い現実にどのようなメカニズムで価格が決定されるかは明確ではない. その意味で W_i はパラメトリックには把握できない可能性もある. その中で, より単純なケースとして今回仮定したものが漁獲量に依存するという仮定である. その意味でこの関数には不確実性や変動を加えて予測不可能な状態にどのような戦略をとるのがベストかという検討が必要になるのではないかと考えている。

以上のように本稿では一般的な関数を用いて最適な漁船配分数を検討したが現実からは離れている議論をしていると感じる. 以上から今後は具体的な関数を考えどこまで一般化できるか挑戦する方向性とより現実に近づけた関数形を考える二つの方向性で発展させていきたいと考えている.

参考文献

[1] 巌佐庸，数理生物学入門：生物社会のダイナミックスを探る, 共立出版, 1998.