

漁獲シミュレーションによる大阪湾における イカナゴ漁の最適解禁日推定

日下部敬之・保正 竜哉*

Estimation of the optimum opening day of the sand lance fishery in Osaka Bay using a simulation model

Takayuki Kusakabe and Tatsuya Hosho

イカナゴ *Ammodytes personatus* は瀬戸内海において12～1月に産卵し¹⁾、全長30～60mmに成長した稚魚が春季に機船船びき網で漁獲される。大阪湾での漁は例年2月から3月にかけて開始され、3月下旬～4月初旬までの約1ヶ月間続けられる。漁期は短いものの、本種はこの地域の海面漁業中で重要な位置を占めており、大阪府においては2003年の魚種別漁獲量で第5位となっている²⁾。イカナゴ漁業は、その年に新たに発生した稚魚を対象とするため、稚魚の資源尾数によって漁獲量が大きく左右され、変動が激しい²⁻¹¹⁾。そのため、現在大阪府と兵庫県の漁業者は一斉解禁日を設定し、資源尾数が少ないと予測される年には解禁日を遅らせて1尾あたりの体重増加を待つなど、資源尾数変動の影響を緩和して漁獲量の安定化を図るための操業管理を行っている。的確な操業管理を行い、漁業利益を上げるためには、経済的に最適な解禁日を水産研究サイドが科学的に明らかにし、漁業者に提示することが必要である。しかし、これまでのところ、本種の最適解禁日を資源尾数との関連で具体的に検討した例はない。そこで、本研究ではシミュレーションモデルを用いて、ある資源尾数の下での最適解禁日を明らかにしようとした。

材料と方法

対象海域

過去に筆者らは、イカナゴの資源管理モデルを作成し、資源管理方策の効果を検討した¹²⁻¹⁴⁾が、その際は管理の対象海域を瀬戸内海東部3海域（播磨灘、大阪湾、紀伊水道）とした。これは、この3海域のイカナゴが播磨灘東部を主な夏眠、産卵場とするひとまとまりの資源であると考えられる¹⁵⁾ためであるが、今回の対象海域は大阪湾のみとした。その理由は、操業と販売の実態が異なる広範囲の地域を対象とすると、経済的な最適解禁日というものが設定できないことと、今回シミュレーションの参考とした2003年をはじめとして、漁期中に播磨灘から大阪湾への新たな資源の添加が認められず、あらかじめ一定の初期資源尾数を大阪湾に与えれば、大阪湾単独でのシミュレーションでも漁獲による資源の減少過程を再現できると考えられる年が比較的多いためである。大阪湾では、大阪府と兵庫県の機船船びき網計204統が操業しているが、今回のシミュレーションでは、それらが解禁日に一斉に操業を開始し、同じ日に漁を終えるとした。

自然死亡係数の与え方

イカナゴの資源と漁業を数的に考慮する際には、自然死亡係数の推定が大きな課題となる¹⁶⁾が、今回は、以下のような考えに基づいて自然死亡係数を

与えた。

イカナゴのメス親魚の抱卵数は、体長90mm（満1歳）で4,600粒、120mm（満2歳）では12,400粒、140mm（満3歳）になると17,600粒程度である¹⁷⁾。親魚の年齢構成は年によって大きく異なるが、おおまかにメス1尾あたり平均1万粒の卵を産むとすると、その中から最低でも2尾は生き残って再生産を行わなければ、個体群は維持できないであろう（性比を1:1とする）。卵のふ化率と夏眠開始以後の生残率を100%と仮定し、ふ化を1月1日、夏眠開始を7月1日とすると、この期間中一定の割合で減少して10,000尾が2尾になるときの自然死亡係数は、1日あたり $M=4.7056315 \times 10^{-2}$ である（高め設定の M ；ケース1）。一方、生残率がこの10倍であるとすると、ある年の親魚量は、前年の10倍に増加することになる。この場合の自然死亡係数は、1日あたり $M=3.4334851 \times 10^{-2}$ である（低め設定の M ；ケース2）。実際の自然死亡係数は、ケース1と2の M の値の間、もしくはその周辺のどこかに存在する可能性が高いと考えられる。そこで、これら2つの M それぞれの下での最適解禁日を求め、得られた解を比較検討することにした。

想定年と計算方法

今回のシミュレーションにおける各パラメータは、2003年の漁期を参考として設定した。この年を想定対象としたのは、漁獲物の全長推移（図1）および標本船のcpueの変化（図2中の「実績値」の部分）から、漁期中に播磨灘から資源の添加がなかつ

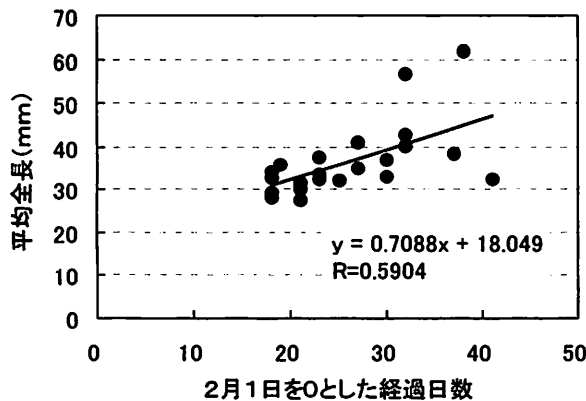


図1 2003年漁期のイカナゴ漁獲物全長推移

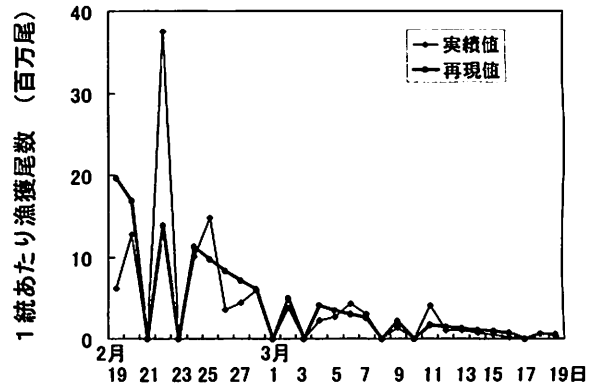


図2 標本船の日別cpue実績値とケース1による再現値

たとえられることと、解禁当初から漁獲量が少なく、初期資源尾数の少ない年のモデルとして有効であると考えたためである。実績値としては、大阪府中部の漁協に所属する標本漁船の漁獲データを使用した。

手順としては、まず、大阪府中部地区の漁協に所属する標本漁船の操業日誌により得られた2003年の漁獲尾数と漁獲重量の実績値と、シミュレーションによって計算されたそれらが一致するように、初期資源尾数 N_0 と漁獲能率 q の値を調整することを第1段階とした。漁獲シミュレーションはMS-DOS版N-88Basicで作成したプログラムで行った。そのアルゴリズムの概略は以下のとおりである。

- 1) 2月1日を解析期間のスタートとして初期資源尾数 N_0 を与え、解禁日前日までは自然死亡 M のみで資源を減少させていく。

$$N_t = N_0 \cdot e^{-Mt}$$

$$N_{t+1} = N_t \cdot e^{-M}$$

- 2) 解禁日以降は、漁獲能率 q と操業時間 X （204統のべ操業時間。1統あたりの操業時間は期間中一律に1日6時間とした）の積で表される漁獲係数 F と、その日当初の資源尾数 N_t から漁獲尾数 C_t を計算し、その後自然死亡係数 M を用いてその日の自然死亡分を減少させる。

$$C_t = N_t (1 - e^{-F}) \quad \text{ここで、} F = qX$$

$$N_{t+1} = (N_t \cdot e^{-F}) \cdot e^{-M}$$

- 3) 漁獲尾数は、漁獲物測定調査で得られた平均全長推移と、鶴田・大関¹⁸⁾による下記の全長-体重関係式を用いて漁獲重量に変換する。

$$W = L^{3.2803} \times 8.5492 \times 10^{-7}$$

ここで、 W : 体重 (g), L : 全長 (mm)

4) 翌日は再びその作業を繰り返す。なお、現実の操業は2月19日～3月19日の29日間で、期間中7日間の休漁があったため、シミュレーションによる実績値の再現計算においても同じ操業日と休漁日を与えた。

N_0 と q の値を変えながら、シミュレーションによる漁獲尾数と重量が実績値を再現するまで繰り返し計算を行って両者の解を探索的に求めた後、第2段階として、それらの N_0 と q を用い、解禁日を変えた場合の日別漁獲重量を計算した。現在実施されている操業管理では、平均全長30～35mmの範囲内で、資源が多いと見込まれる年は小さめの、資源が少なそうな年は大きめのサイズで解禁日を決めているが、ここでは、解禁日を動かした場合の変化の傾向を見やすくするため、その範囲よりも5mmずつ幅を広げ、解禁日の平均全長が25～40mmとなる範囲(2月11日～3月4日)で解禁日を変化させ、漁期中の漁獲重量の変化を調べた。解禁日を変化させた場合でも、終了日は3月19日に固定した。これは、魚群が播磨灘へと回帰する時期になれば、残存資源量の多少に関わらず大阪湾での漁は終わることが多いからである。シミュレーションのアルゴリズムは、実績値の再現の場合と同様としたが、休漁を日単位で入れると、その入れ方によって計算結果が大きく左右されてしまう。そのため、実際の操業では29日間のうち7日休漁して22日の操業であったものを、29日間毎日出漁することとし、そのかわりに1日の操業時間を短くして、漁期中の延べ操業時間が実績値と等しくなるようにした(6時間×22日÷29日=4.55時間)。

シミュレーションの第3段階として、漁獲重量から解禁日別の漁獲金額を算出した。標本船は漁獲したイカナゴを鮮魚販売用と加工用との2用途に販売しており、大阪府のほとんどの漁船も同様である。鮮魚販売用は加工用比べて単価が高いが、鮮魚販売用途の販売ルートに乗せるためには、荷受業者とあらかじめ1日の出荷量を取り決めておかなければ

ならず、いったん量を取り決めると出荷義務も生じるため、獲れたものを全て鮮魚販売用に振り向けられるわけではない。この標本船の過去2年間の鮮魚販売用途の出荷量は、1日あたり平均約750kg(25kg入りのかごで30かご)であり、聴取り調査によれば他の漁船もそれに近い量の場合が多かった。そこで、1日につき一定量までは鮮魚販売用に500円/kgで販売し、それを超えた漁獲量は加工用として250円/kgで販売するという単価設定を行った。鮮魚販売用に振り向けられる上限量は、1統1日あたり750kgとすべきところであるが、休漁日をなくして1日あたりの操業時間を減少させた関係上、同じ率で減少させて569kgとした。

結 果

高め設定の M の場合

ケース1の場合、 N_0 を92,561百万尾、 q を 8.700×10^{-5} とすると、1統あたりの漁獲尾数が121.57百万尾、漁獲重量は13,444kgとなり、ともに0.01%未満の誤差で実績値を再現することができた。図2に、漁期中のcpue(尾数)の実測値と再現値の推移を示す。つぎに、この N_0 と q を用いて、2月11日から3月4日まで解禁日を変化させたときの漁獲尾数と漁獲重量の変化を図3に示す。漁獲尾数は、解禁日を遅らせるに従って単純に減少していった。漁獲重量は、2月11日(全長30.1mm)解禁の場合の12,102kgから最初は解禁日を遅らせるにしたがって増加し、2月22日(全長32.9mm)解禁の場合の

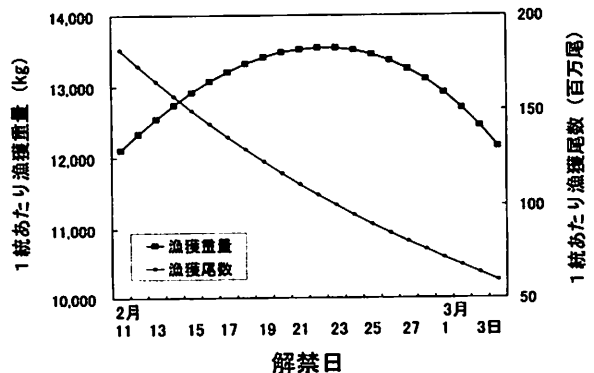


図3 ケース1による解禁日別の漁獲尾数と漁獲重量推定値

13,543kgをピークとして、その後減少した。3月4日（全長40.0mm）解禁では、2月11日解禁とほぼ同量の12,149kgとなった。解禁日別の漁獲金額は、漁獲重量と同様に山型の曲線を描いて変化したが、ピークが少し左に移動し、2月19日（全長30.8mm）解禁が最高額（6,213,308円）となった。2月11日解禁では5,911,551円、3月4日解禁では5,190,090円であった（図4）。

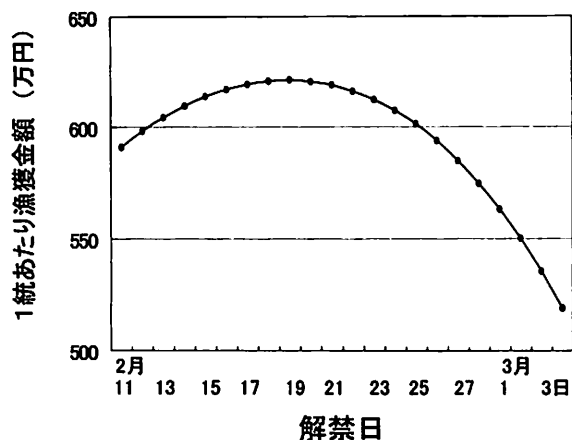


図4 ケース1による解禁日別の漁獲金額推定値

低め設定のMの場合

ケース2の場合、 N_0 を63,738百万尾、 q を 1.012×10^{-4} とすると、1統あたりの漁獲尾数が121.57百万尾、漁獲重量は13,443kgとなり、こちらも0.01%未満の誤差で実績値を再現できた。漁期中のcpue（尾数）の再現値推移は、ケース1の場合とほとんど差がなかったため、改めて図には示さない。つぎに、この N_0 と q を用いて、2月11日から3月4日まで解禁日を変化させたときの漁獲尾数と漁獲重量の変化を図5に示す。漁獲尾数は、ケース1の場合と同様、解禁日を遅らせるに従って単純に減少していった。漁獲重量は、ケース1の場合よりもピークが右にあり、全体に解禁日が遅めの方が漁獲重量が多い結果となった。2月11日解禁の場合の漁獲重量は10,880kg、最大値が2月28日（全長37.2mm）解禁の場合の14,643kgであり、3月4日（全長40.0mm）解禁では14,304kgであった。解禁日別の漁獲金額は、やはりケース1の場合と同様に、漁獲重量の曲線よりもピークが少し左に移動し、2月24日（全長34.4mm）解禁が最高額（6,352,290円）となっ

た。2月11日解禁では5,386,300円、3月4日解禁では5,805,444円であった（図6）。

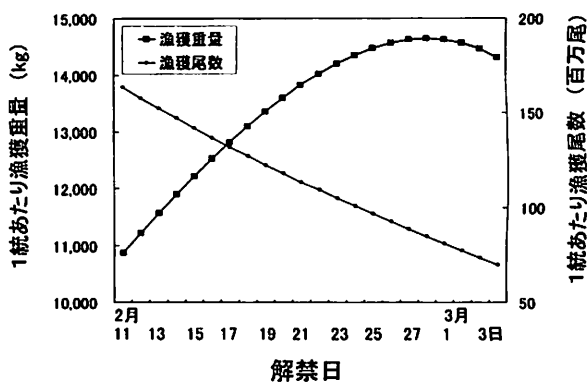


図5 ケース2による解禁日別の漁獲尾数と漁獲重量推定値

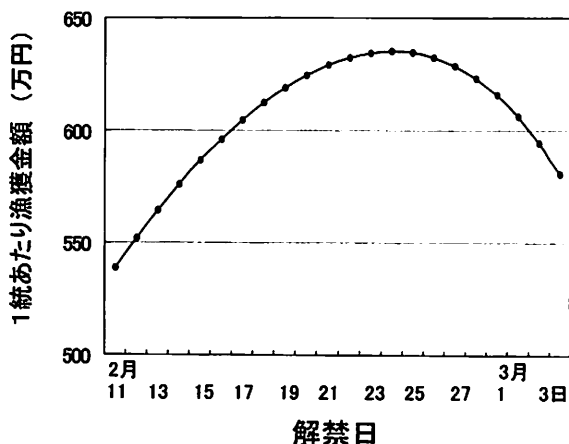


図6 ケース2による解禁日別の漁獲金額推定値

考 察

高めと低めの2通りのMを設定して漁獲の実績値（漁獲尾数、漁獲重量）を再現した結果、 q の推定値はケース1で 8.700×10^{-5} 、ケース2では 1.012×10^{-4} となった。両者においてMとFの相対的な大きさの比較を行うと、ケース1の場合、1日あたりMが 4.7056315×10^{-2} であるのに対してFは 1.0649×10^{-1} であり、FがMの2.3倍であった。ケース2では、Mの 3.4334851×10^{-2} に対してFは 1.23869×10^{-1} であり、FがMの3.6倍であった。どちらの場合もFがMに比べてかなり大きく、短期間に大きな漁獲圧力がかかる本種の漁業実態から考えて納得できる値であり、この値の比較からはどちらで用いたMの妥当性が高いかは判断できなかった。

た。一方、 N_0 の推定値はケース1では92,561百万尾、ケース2では63,738百万尾となった。過去に行ったイカナゴ資源尾数推定の結果¹⁰⁾では、 N_0 は瀬戸内海東部海域全体で120,500百万~253,185百万尾の範囲(1990~1995の6年間)であった。そのうちの程度の割合が大阪湾に存在するか直接には推定できないが、東部3海域全体の漁獲尾数の約41%が大阪湾で漁獲されている¹⁰⁾ことから、 N_0 の割合もそれとさほど大きく異ならないのではないかと考えられる。上述の東部海域全体の資源尾数の41%は、49,887百万~104,819百万尾(平均68,589百万尾)であり、両者ともその範囲内に入っている。しかし、2003年は農林統計による大阪府の漁獲量も過去10年間で最低であり²⁻¹¹⁾、標本船のcpueによっても、初期資源量は例年と比べて少なかったと推定される¹⁰⁾ことから、大阪湾の N_0 として92,561百万尾はやや大きすぎ、63,738百万尾の方が現実に近い可能性が高い。すなわち、実際の自然死亡係数はケース2で採用したMに近い値ではないかと考えられる。

解禁日別の漁獲金額は、ケース1では2月19日(全長30.8mm)解禁で、ケース2では2月24日(全長34.4mm)解禁で最高額となり、両者とも、現行の操業管理における解禁サイズである全長30~35mmの範囲内に入っていた。しかし、上述のように、Mや N_0 の真の値はケース2での推定値に近いところにあると考えられることから、最適解禁日もケース1の2月19日ではなく、ケース2での推定日である2月24日付近であった可能性が高いと思われる。

先に、現行の漁業管理では解禁サイズを全長30~35mmの範囲とし、資源量の多い年は小さめのサイズで、少ない年は大きめのサイズで解禁していると述べたが、今回のシミュレーションで、資源量の少ない年についてこれまでの管理方針の妥当性が示唆された。とはいえ、実際の2003年の解禁日である2月19日からの操業での漁獲金額も、ケース2での推定によれば約619万円で、最高額の約635万円と大きな差はない。現実の価格形成には、他海域の操業状況や前年漁獲物の在庫量など、今回のシミュレーションには盛り込めなかった要素も存在することを考え

合わせれば、適切な範囲内の解禁であったのではないかと考えられる。一方、資源量が多い年の最適解禁日については本報告では検討することはできなかったが、ケース1(N_0 がケース2の1.45倍)での最適解禁日がケース2より早かったことや、資源量が多い年に解禁日を遅らせれば1日あたりの漁獲重量が多くなり過ぎ、価格の下落を招くと考えられることから、資源の少ない年に比べて小さめのサイズでの、早めの解禁日が経済的に最適となるであろう。今後、再現の対象として適当な年を探してシミュレーションし、報告したいと考えている。

謝 辞

本研究を進めるにあたって標本データを提供してくださった、漁業日誌記帳者を始めとする漁業者の方々に厚くお礼を申し上げます。また、シミュレーションモデルの開発に際してご助言をいただいた、元大阪府立水産試験場長の安部恒之氏に深謝します。

文 献

- 1) 浜田尚雄(1985)我が国におけるイカナゴの資源と漁業(水産研究叢書36)。水産資源保護協会、82pp.
- 2) 農林水産省統計情報部(2005)平成15年漁業・養殖業生産統計年報、272pp.
- 3) 農林水産省統計情報部(1996)平成6年漁業・養殖業生産統計年報、292pp.
- 4) 農林水産省統計情報部(1997)平成7年漁業・養殖業生産統計年報、309pp.
- 5) 農林水産省統計情報部(1997)平成8年漁業・養殖業生産統計年報、325pp.
- 6) 農林水産省統計情報部(1999)平成9年漁業・養殖業生産統計年報、327pp.
- 7) 農林水産省統計情報部(2000)平成10年漁業・養殖業生産統計年報、327pp.
- 8) 農林水産省統計情報部(2001)平成11年漁業・養殖業生産統計年報、326pp.
- 9) 農林水産省統計情報部(2002)平成12年漁業・養殖業生産統計年報、324pp.

- 10) 農林水産省統計情報部 (2003) 平成13年漁業・養殖業生産統計年報, 354pp.
- 11) 農林水産省統計情報部 (2004) 平成14年漁業・養殖業生産統計年報, 363pp.
- 12) 日下部敬之・安部恒之 (1995) 11. 資源管理型漁業推進総合対策事業. I 広域回遊資源・天然資源調査 (イカナゴ). 平成5年度大阪水試事報, 71-74.
- 13) 日下部敬之 (1996) 12. 資源管理型漁業推進総合対策事業. I 広域回遊資源・天然資源調査 (イカナゴ). 平成6年度大阪水試事報, 78-82.
- 14) 日下部敬之 (1997) 13. 資源管理型漁業推進総合対策事業. I 広域回遊資源・天然資源調査 (イカナゴ). 平成7年度大阪水試事報, 80-84.
- 15) 大阪府・兵庫県 (1995) 天然資源調査(2)イカナゴ. 平成6年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書, 瀬戸内海東区資源管理型漁業推進協議会, 50-58.
- 16) 日下部敬之・保正竜哉・玉木哲也 (2004) 漁獲努力量でチューニングしたコホート解析による瀬戸内海東部3海域のイカナゴ *Ammodytes personatus* 当歳魚の資源尾数推定. 大阪水試研報, 15, 9-15.
- 17) 糸川貞之 (1979) 伊勢湾産イカナゴの資源研究 III (イカナゴの孕卵数について). 昭和52年度三重伊勢湾水試年報, 70-74.
- 18) 鶴田義成・大関芳沖 (1991) Ⅷ. 仙台湾におけるイカナゴの再生産力の評価. 東北海域におけるイカナゴの生態と資源, 水産庁東北区水産研究所, 77-82.
- 19) 日下部敬之 (2005) 10. 多元的な資源管理型漁業の推進事業 II. 管理魚種モニタリング調査 5. イカナゴ. 平成15年度大阪水試事報, 102-103.