

数理モデルを用いた筑前海糸島地域におけるコウイカ移動生態

佐野 二郎
(研究部)

Move ecology of *Sepia esculenta* in the Chikuzen sea Itoshima ground point using the mathematical model

Jiro SANO
(Research Department)

コウイカは単年生のイカであり、2～5月に海底や沈木、海藻などに産卵する。この習性を利用したいかかごは東京湾以南の沿岸域で広く行われており、筑前海海域では地区により異なるものの2～7月が操業時期となっている。筑前海は遠浅の海域でありコウイカの生息分布域は広い。そのため、今回検討を行った糸島地区では図1に示すとおり操業区域はごく沿岸部から小呂島周辺までとかなり広範囲である。いかかご漁業は主幹漁業として2そうごち網、1そうごち網、きす流し刺し網等を営む漁業者がその休漁期にあたる2～4月に操業を行っている。いかかご漁業は他の漁業種と比較して収益が大きいことから従事漁業者は多く、特に糸島地区は他地区に比べいかかご漁業への依存度が高い。漁場は沿岸域と沖合域の2つに大きく分けられ、更に沿岸域はごく沿岸の地組、沖合10km付近の中組に、沖合域は沖合20km周辺の沖組と更に沖合の番外にそれぞれ分けられている。漁期前にはそれぞれの場所で操業する漁業者が割り当てられており、操業期間を通じて操業場所の変更は見られない。沖合域では2そうごち網やたい1そうごち網等比較的大型の漁船が割り当てられ、いかかごの好不漁に関係なく他種漁業操業準備のため比較的早く終漁する。一方、沿岸域は5トン未満のきす流し刺し網やきす1そうごち網等比較的小型漁船が操業を行っており、漁獲が見込める間は操業を行っている。

コウイカは単年生でありその産卵親魚を漁獲対象としているいかかご漁業の特性上、安定した生産を継続していくためには、CHR(漁獲率一定方策)¹⁾やCCS(漁獲量一定方策)¹⁾といった管理ではなく一定の産卵親魚を残すCES(資源量一定方策)¹⁾が望ましい。その手法としていかかご漁業ではDeLury法による残存資源量の推定が可能であることから²⁾、残すべき産卵親魚量を決めるとCPUE(単位漁獲努力量あたり漁獲量)を

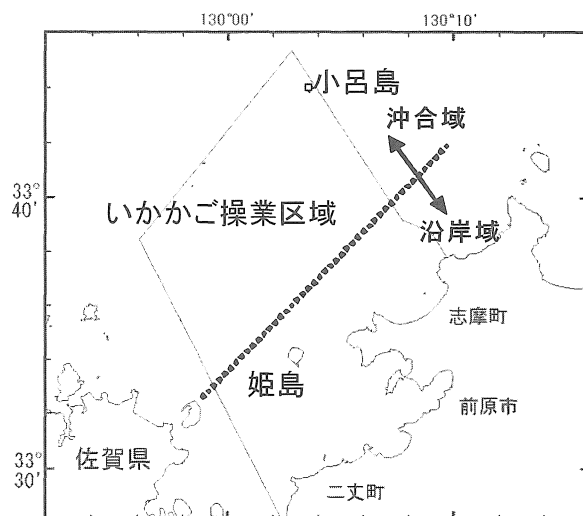


図1 糸島地域におけるいかかご漁場

指標としてモニタリングすることにより適正な終了時期を決定することが可能である。しかしこれは操業範囲内において操業範囲や資源の分布に偏りがない場合において有効であり、操業範囲内で資源の移動や操業時期の偏り等があるとCPUEのみのモニタリングでは資源を過大評価し乱獲に陥る危険性が考えられる。

コウイカは一般的に産卵期になると沿岸に回遊してくると言われているが、他のイカ類のように標識放流等により移動生態について明らかにされたことはない。

今回は、除去法による数理モデルを用い、移動の有無やその割合について検証を行い、今後のコウイカ資源管理手法策定に資することを目的とした。

方 法

糸島地域におけるいかかご漁業主要漁協である船越漁

協と糸島漁協野北支所の水揚げ仕切り書電算入力データ（以下「仕切り書データ」と略）を用い、操業日毎の出漁隻数、漁獲量の集計を行った。集計は沖合操業者、沿岸操業者を分類可能であった2003年、'04年の2カ年について行い、沖合操業者、沿岸操業者別に集計を行った。またあわせて沖合、沿岸別の使用カゴ数の聞き取りを行った。

これらのデータを用い、全操業日における漁獲量 C_t が起こる確率を最も高くする資源量 N_t 、漁具能率 q の推定を行った。推定は2項分布の正規分布近似モデルを用い、最尤法による推定を行った。推定にはマイクロソフトエクセル（以下「MS・Excel」と略）により演算式を入力したシートを作成し、MS・Excelアドインツールソルバー（以下「ソルバー」と略）を起動させて行った。推定についての考え方は次の通りである。

それぞれのエリアで資源量 N_t から C_t が取り上げられる確率を p_t としたとき、漁場に $N_t - C_t$ が残る確率密度関数 Q_t は2項分布の確率となる。資源量は十分大きい値であるため2項分布は正規分布に近似可能であり資源量 N_t から C_t が取り上げられる確率密度関数を次式による正規分布で表した³⁾。

$$Q_t = 1 / ((2\pi N_t p_t (1 - p_t))^{0.5}) \times \exp - ((C_t - N_t p_t)^2 / 2N_t p_t (1 - p_t))$$

N_t …… 漁獲開始 t 日後の資源量

N_0 …… 初期資源量

C_t …… 漁獲開始 t 日の日漁獲量

p_t …… N_t から C_t が漁獲される確率

t …… 漁獲開始からの経過日数

いかかご漁具の能率を q 、 t 期における漁獲努力量を X_t としたとき $p_t = 1 - q X_t$ で表される。 $q X_t$ が十分に小さいときは $p_t \approx q X_t$ となるため、実際の演算式中の p_t には $q X_t$ を代入した。

次に漁期中の尤度は沖合、沿岸それぞれの操業日毎の確率密度の積を乗じたものとなる。

$$L = \prod_{t=0}^n Q_t(\text{沖}) \times \prod_{t=0}^n Q_t(\text{沿})$$

尤度は演算式のなかに大数が含まれており、MS・Excelシート上の尤度入力セルはオーバーフローを起こし演算が中断する可能性が非常に高い。そのため、目的関数を尤度の対数値とすることにより演算式を積から和の形に変形しこの問題に対処することとした。

$$\ln(L) = \ln(L(\text{沖})) + \ln(L(\text{沿}))$$

$\ln(L(\text{沖}))$ …… 沖合域の対数尤度

$$\ln(L(\text{沖})) = -0.5 \left\{ \sum_{t=0}^n (C_t(\text{沖}) - N_t(\text{沖}) q X_t(\text{沖}))^2 \right.$$

$$\left. / (N_t(\text{沖}) q X_t(\text{沖}) (1 - q X_t(\text{沖}))) \right\}$$

$$+ \sum_{t=0}^n \{ 2\pi N_t(\text{沖}) q X_t(\text{沖}) (1 - q X_t(\text{沖})) \}$$

$X_t(\text{沖})$ …… 沖合域の漁獲努力量

$\ln(L(\text{沿}))$ …… 沿岸域の対数尤度

$$\ln(L(\text{沿})) = -0.5 \left\{ \sum_{t=0}^n (C_t(\text{沿}) - N_t(\text{沿}) q X_t(\text{沿}))^2 \right.$$

$$\left. / (N_t(\text{沿}) q X_t(\text{沿}) (1 - q X_t(\text{沿}))) \right\}$$

$$+ \sum_{t=0}^n \{ 2\pi N_t(\text{沿}) q X_t(\text{沿}) (1 - q X_t(\text{沿})) \}$$

$X_t(\text{沿})$ …… 沿岸域の漁獲努力量

資源量を決める因子として、いかかご漁業の操業期間が2～4月の短期間に集中しておりかつ漁獲サイズが外套背長15cm以上と大型であることから自然死亡を考慮せず漁獲と移動の2つに限定した。論理式は、沖合から沿岸への移動の場合、移動拡散は漁獲開始後の日数 t の1次式で表す次式を設定した⁴⁾。

$$N_t(\text{沖}) = N_0(\text{沖}) - \sum_{x=1}^{t-1} C_x(\text{沖}) - m(t-1)$$

$$N_t(\text{沿}) = N_0(\text{沿}) - \sum_{x=1}^{t-1} C_x(\text{沿}) + m(t-1)$$

$N_t(\text{沖})$ …… 漁獲開始 t 日後の沖合の資源量

$N_t(\text{沿})$ …… 漁獲開始 t 日後の沿岸の資源量

$N_0(\text{沖})$ …… 沖合の初期資源量

$N_0(\text{沿})$ …… 沿岸の初期資源量

$C_x(\text{沖})$ …… 操業日別の沖合漁獲量

$C_x(\text{沿})$ …… 操業日別の沿岸漁獲量

m …… 沖合から沿岸への日間移動量

次に沿岸から沖合に移動を考えた論理式として次式を設定し、解探索を行い、それぞれで収束した適正解や初期資源量、漁具能率の値の比較を行った。

$$N_t(\text{沖}) = N_0(\text{沖}) - \sum_{x=1}^{t-1} C_x(\text{沖}) + m(t-1)$$

$$N_t(\text{沿}) = N_0(\text{沿}) - \sum_{x=1}^{t-1} C_x(\text{沿}) - m(t-1)$$

適正解探索は精度をソルバーの標準値である 10^{-5} 、反復回数を100回に設定し、ニュートン法により行った。ソルバーによる解探索は3回行い、それぞれ異なる初期値から実施した。

結 果

表1 沖合から沿岸に移動するパターンの論理式で推定した初期資源量 (N₀), 日間移動量 (m)

年	初期資源量(kg)		N ₀	日間移動量(kg/day)	m/N(沖) ₀	m/N(沿) ₀	m/N ₀
	N(沖) ₀	N(沿) ₀		m			
2003	92,927	96,606	189,533	185	0.20%	0.19%	0.10%
2004	85,105	98,895	184,000	145	0.17%	0.15%	0.08%

表2 沿岸から沖合に移動するパターンの論理式で推定した初期資源量 (N₀), 日間移動量 (m)

年	初期資源量(kg)		N ₀	日間移動量(kg/day)	m/N(沖) ₀	m/N(沿) ₀	m/N ₀
	N(沖) ₀	N(沿) ₀		m			
2003	92,927	96,606	189,533	-185	0.20%	0.19%	0.10%
2004	85,105	98,895	184,000	-145	0.17%	0.15%	0.08%

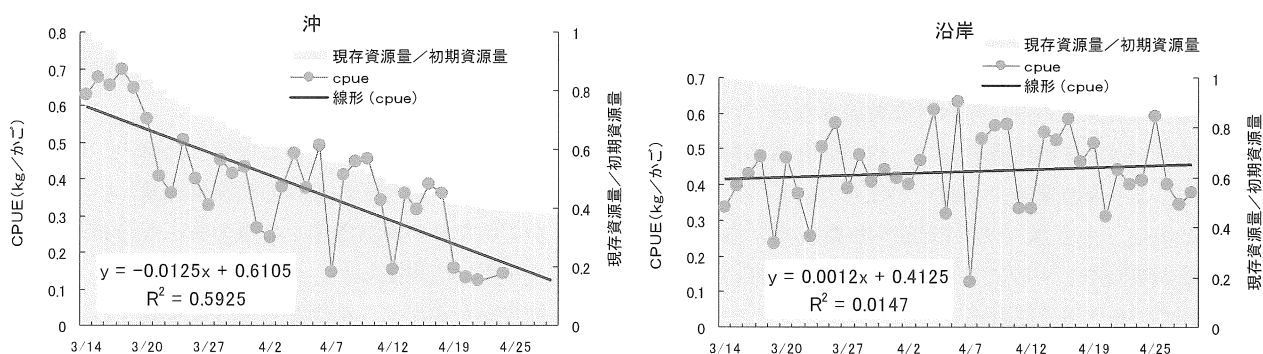


図2 2003年漁期中の現存資源量とCPUEの推移

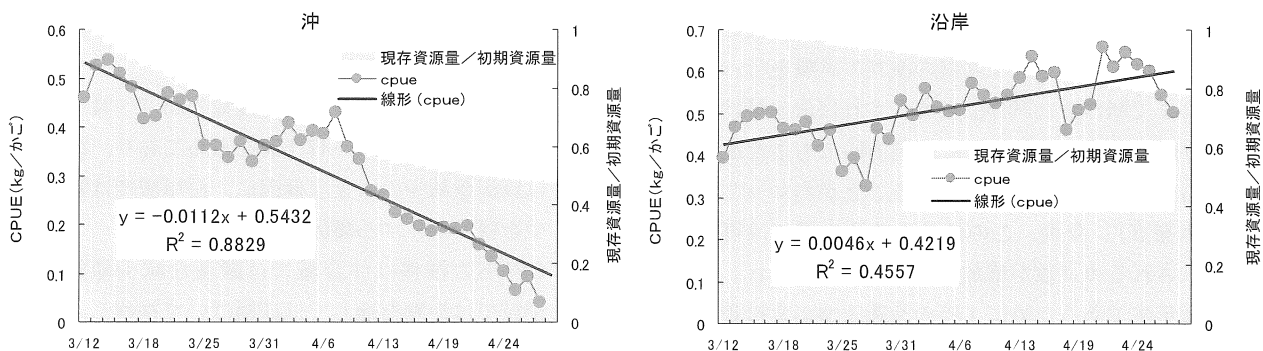


図3 2004年漁期中の現存資源量とCPUEの推移

'03年, '04年の沖合域, 沿岸域それぞれの初期資源量と日間移動量を表1, 表2に示した。沖合から沿岸への移動を考えた場合には日間移動量の値は正の値に, 沿岸から沖合への移動を考えた場合には負の数となった。また'03年, '04年ともそれぞれのパターンの初期資源量, 漁具能率は同一解に収束し, 日間移動量の解の絶対値は同じであった。

日間移動量は沖合域の資源量の0.17~0.20%, 全体資源量の0.08~0.1%であった。

図2, 3に'03年, '04年それぞれにおけるいかかご1かごあたりのCPUEと初期資源量に対する現存資源量

の比(以下「資源割合」と略)の推移を示した。'03年, '04年とも沖合の資源割合は顕著な減少傾向を示し, CPUEについても明らかな減少傾向が見られる。それに対し沿岸では資源割合の減少率は小さく, CPUEも横ばい若しくは若干の増加傾向を示した。

考 察

表1, 表2に示した通り, 沖合域, 沿岸域それぞれの資源量を求める論理式を入れ替えて計算を実施しても沖

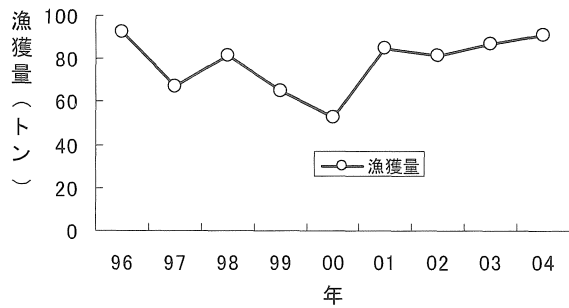


図4 いかかごによるコウイカ漁獲量

合から沿岸への移動が認められた。

日間移動量は漁獲量に比べ少ないものの、漁期中における総移動量は沖合域の漁獲量の25.7～31.7%であり沖合域資源量の減少の大きな要因となっている。逆に沿岸域では沿岸漁獲量の32.1～47.8%を占め移動による加入により資源量減少を緩やかなものにしていく。そのことから、沖合域でのCPUEが漁期後半に向けて顕著な減少傾向を示すのに対し、沿岸域では横ばいのまま推移していると考えられる。

近年、いかかご漁業は漁具材料である柴の入手不足や価格高騰、労働力不足による柴取り付け作業負担の増から漁獲努力量はかつてにくらべ減少している反面、図4に示すとおり漁獲量はやや増加傾向にある。よって糸島地区におけるコウイカの資源量は中位、増加傾向と言える。現在、柴に替わる人工素材の漁具の試験を行っており、これまで制作した試作品を導入すれば取り付け作業負担を1/10に軽減するとともに、経済的にもまた漁具能率的にも柴以上の効果が期待されることがわかっている（佐野未発表）。今後、この漁具の普及次第では再び漁場に投入されるカゴ数が増加することも考えられ、コウイカが単年生であるために1年の漁獲圧増が直接資源水準に影響し、その低下とともにいかかご漁業の生産減少につながる恐れがある。このような事態を防ぐためには適切なCES管理が必要であるが、今回明らかにした産卵期におけるコウイカの移動生態を考慮するとCPUEのモニタリングでは不十分であり、RPS（残存資源量と次年度資源量との関係）から漁期前に資源量を推定することと漁期中に漁獲量をモニタリングすることにより求められる残存資源量を適切に把握していくことが必要と考えられる。

今後は資源量推定とその検証により精度の高いRPSを明らかにすることにより漁期前に精度の高い資源量予測を行うとともに、資源の持続的利用に必要な残存資源量を差し引くことにより求めたその年の漁獲可能量を算定し、漁期前に行政機関及び漁業者への提言を行ってい

きたい。

要 約

- 1) 糸島地域をモデルとし、今後除去法を用いた精度の高い資源量推定を行うために必要なコウイカの移動生態を明らかにすることを目的とした。
- 2) 糸島地域におけるいかかご主要2漁協の水揚げ仕切り書電算処理データを沖合域、沿岸域それぞれで作業日別操業者数、漁獲量を集計した。
- 3) 沖合から沿岸に移動すると仮定し、その日間移動量、沿岸、沖合それぞれの初期資源量、いかかご1かごあたりの漁具能率を2項分布正規分布近似モデルを用いて推定した。
- 4) 沿岸から沖合に移動すると仮定した時の、日間移動量、沿岸、沖合それぞれの初期資源量、いかかご1かごあたりの漁具能率を2項分布正規分布近似モデルを用いて推定した。
- 5) 沖合から沿岸に、沿岸から沖合に移動するパターン双方とも推定された初期資源量、漁具能率は同一解となり、日間移動量は沖合から沿岸へのパターンで正、沿岸から沖合へのパターンで負になりその絶対値は一致した。
- 6) 日間移動量は沖合推定資源量の0.17～0.20%、全体資源量の0.08～0.10%であった。
- 7) 漁期中の移動量は沖合域漁獲量の25.7～31.7%、沿岸域漁獲量の32.1～47.8%を占めており、沖合域では資源量減少の大きな要因に、沿岸域では資源量減少を緩やかにする要因となっていた。
- 8) CPUEの推移は沖合域では顕著な減少傾向を、沿岸域では漁期を通じてほぼ横ばいで推移し、それぞれの現存資源量の推移と類似していた。

文 献

- 1) 日本水産資源保護協会：資源評価体制確立推進事業報告書－資源解析手法教科書－，235-245 (2001)
- 2) 伊藤輝昭，秋元聡：糸島地区におけるコウイカ資源量の推定，福岡水技研報第13号，65-69 (2001)
- 3) 平松一彦：最尤法による水産資源の統計学的研究－パラメータ推定とモデル選択－，遠洋水研研報，29，57-104 (1992)
- 4) 小島博，石橋喜美子：徳島県海部郡産クロアワビの資源特性値の推定，東海水研報第118号，11-20 (1985)