二枚貝類の保全に向けたナルトビエイ (*Aetobatus flagellum*) 個体群モデルの開発と効果的な駆除方法の検討

横山 佳裕^{*,†} 森川 太郎^{*} 藤井 暁彦^{*}
内田 唯史^{*} 中西 弘^{**}

Development of a Population Model and Study of an Effective Extermination Method for *Aetobatus flagellum* for the Conservation of Bivalves

Yoshihiro YOKOYAMA^{*,†}, Tarou MORIKAWA^{*}, Akihiko FUJII^{*},
Tadashi UCHIDA^{*} and Hiroshi NAKANISHI^{**}

^{*} Kyushu Environmental Evaluation Association, 1-10-1 Matsukadai, Higashiku, Fukuoka 813-0004, Japan

^{**} Emeritus Professor of Yamaguchi University, 987-18 Higashisue, Ube, Yamaguchi 759-0206, Japan

Abstract

We developed a population model considering the biological characteristics of *Aetobatus flagellum*, for the conservation of bivalves and the reduction of ecological damage to Ariake Bay. On the basis of the numerical model developed, we studied an effective method of *A. flagellum* extermination and calculated the impact of carrying it out in the bay to reduce predation damage to bivalves. The populations of *A. flagellum* calculated using the model were in agreement with those observed by field study. The calculation result of current *A. flagellum* extermination projects being performed from June to October revealed that more than 40% of the damaged bivalves were reduced as compared with the amount when extermination had not been performed. In addition, our model revealed that the reduction in the population of damaged bivalves could be more effective if the extermination is carried out in the northern head area of Ariake Bay, within Fukuoka and Saga Prefectures, during the spawning season in June and July.

Keywords: *Aetobatus flagellum*; Population model; Conservation of bivalves; Extermination method; Ariake Bay

1. はじめに

近年、干潟の有用水産物である二枚貝類の生産量が減少している。特に、アサリの減少は全国各地でみられており、その低下が著しい^{1,2)}。この二枚貝類の減少要因には、過剰な漁獲圧、干潟の消失や貧酸素水塊の発生、底質環境の変化等の生息環境の変化に加え、有明海や瀬戸内海ではナルトビエイによる捕食圧もあげられている^{2,3)}。そのため、これらの海域では、漁獲資源となる貝類の保全対策として、生息環境の改善に加え、二枚貝類を捕食するナルトビエイの駆除が行われている^{4~7)}。

二枚貝類の保全は、漁業資源の保全・回復の観点だけでなく、水質・底質中の懸濁態有機物のろ過作用や漁獲による栄養物質の取り上げ等、水質・底質環境の保全に対しても重要である。実際に有明海では、二枚貝類の減少による植物プランクトンの捕食圧の減少が、赤潮発生の増加や貧酸素水塊の発生等の要因の一つにあげられている^{3,8)}。そのため、有明海においても、二枚貝類資源量の維持や回復、保全は、水環境の保全の重要な対策の

一つといえる。

これまで有明海では、ナルトビエイの分布や来遊個体数、生態特性等の調査・研究は行われているが^{9~18)}、ナルトビエイの駆除に対する効果の試算や効率的な駆除時期や場所の検討は行われていない。他海域においても、アサリに関する資源管理モデルを用いた資源回復等が解析されており^{19~21)}等、これら検討の中にはナルトビエイ等による食害影響も考慮した解析が行われているが、ナルトビエイの生活史を踏まえた効果的な駆除方法については検討されていない。

また、魚類に関する資源管理モデルはこれまでも開発されているものの、その多くが統計モデルによるものであり、対象種は漁獲対象種に限られており^{22~24)}等、ナルトビエイのような駆除を対象としたモデルの開発や効果的な駆除方法については検討されていないのが現状である。

そこで本研究では、二枚貝類の保全に向けた検討として、有明海を対象に、二枚貝類に食害影響を与えるナルトビエイの個体群モデルを開発し、現状の駆除事業の効

* (一財)九州環境管理協会 〒813-0004 福岡市東区松香台 1-10-1

** 山口大学名誉教授 〒759-0206 山口県宇部市東須恵 987-18

† 連絡先: yokoyama@keea.or.jp

果を試算するとともに、駆除を行う時期や場所等、更なる効果的な駆除方法について検討した。

2. 検討方法

2.1 ナルトビエイ個体群モデルの概要

2.1.1 ナルトビエイの生活史とナルトビエイ個体群のモデル化

ナルトビエイは、出産期前の春季から夏季にかけて有明海へ来遊した後、秋季まで有明海で生活し、冬季には有明海の外へ移動する^{13,14)}。有明海への来遊時期と有明海への移動時期については、駆除個体数が5月から増え、11月にはほぼナルトビエイが捕獲されなくなる状況、及び駆除個体数と湾内の水温分布との関係より、来遊時期は水温が16～20℃となる5月頃、有明海の外への移動時期は20℃を下回る10月頃といわれている¹⁴⁾。有明海への回遊時期には有明海湾奥部や熊本県沿岸部を浅瀬を移動しながら、餌となる貝類を詮索し食しており、特にアサリ、サルボウ、タイラギ等の二枚貝類への嗜好性が強く、二枚貝類が高密度で成育しているアサリ漁場等はナルトビエイの格好の餌場となり、食害影響を及ぼしている⁶⁾。また、ナルトビエイの移動生態は不明であるが、有明海沿岸4県（福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県）の県境を越えて移動しており⁷⁾、有明海を広く利用している。そのため、有明海へ来遊する時期に、有明海沿岸4県（福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県）において、貝類の保全対策としてナルトビエイの駆除が実施されている^{4～6)}。また本種は雌の寿命が19歳、雄が9歳と^{6,11)}、沿岸の魚類の中では比較的長寿で、胎生後平均約7年かけて成熟し、夏季に出産するといわれている^{6,16)}。夏季の出産について、ナルトビエイは河口部近くで交尾・出産を行うことが知られており¹⁵⁾、出産時期が近づくと、サイズが大きい雌の成魚が筑後川等の河口部に集まりやすい¹⁴⁾。また、産仔後も有明海の外への移動後の栄養を蓄えるため、活発に採餌しており¹⁰⁾、有明海の湾奥部や熊本県沖の浅瀬等に広く分布している¹⁴⁾。この分布特性は、ナルトビエイの駆除の実績値にも現れており、2009年における月別・県別のナルトビエイ駆除量と操業数（船の隻数）、1操業あたりの駆除量（CPUE; Catch per unit effort）²⁵⁾をみると（表1）、湾奥部に位置する福岡県・佐賀県では駆除期間を通じて有明海4県で捕獲されたナルトビエイの半分以上が駆除されている中で、産仔前の6、7月には産仔のために河口部近くに集まるため、特に多くのナルトビエイが湾奥部の河口部近くで駆除されている。加えて、9、10月にはナルトビエイが有明海に広く分布するため捕獲しにくく、9、10月のCPUEは8月以前と比べて低い傾向にある。

さらに前述のとおり、雌と雄で寿命や、年齢に対する体盤幅・重量が異なっている^{6,11,12,15)}。

これらナルトビエイの季節変動や雌雄での寿命や年齢に対する体盤幅の違いを踏まえて、本研究では有明海内外での回遊時期や産仔・駆除等による雌雄別の個体数の増減を表現できるように、雌雄別、年齢別のナルトビエイの個体数を月毎に計算できる個体群モデルを開発することとした。なお、計算範囲は有明海全域とし、ナルトビエイの移動範囲が広いことに加え、県境を越えて有明海の各沿岸部地先へ移動する特性⁷⁾をモデル化すること

は難しく、有明海湾奥部、熊本県沿岸部等の地先毎に計算しても再現性の確証を得られないことから、計算範囲を区分けせずに1つの計算ブロックとしてモデル計算を行うこととした。

2.1.2 基礎式

ナルトビエイの個体数、現存量は、(1)、(2)式にそれぞれ示す基礎式に基づき、雌雄別、年齢別に求めた。なお、ナルトビエイの個体数や現存量を計算する時間間隔は、来遊時期の季節変化等を表現するために1カ月とした。

また、ナルトビエイによる貝類食害量は、(3)式に示すとおり、現存量に単位重量あたりの1カ月の捕食量を乗じて積算した。

$$N_{i,x}^n = N_{i,x}^{n-1} + g_N \times N_{i,x-1}^{n-1} - g_N \times N_{i,x}^{n-1} - k_{i,x} \times N_{i,x}^{n-1} + S_{i,x}^n - C_{i,x}^n \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$W_{i,x}^n = N_{i,x}^n \times w_{i,x} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$D^n = \sum_{i=1}^2 \sum_{x=0}^{x_{\max,i}} W_{i,x}^n \times R \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 $N_{i,x}^n$: n 月における x 歳の雌($i=1$)と雄($i=2$)のナルトビエイの個体数(個体)、 g_N : 加齢速度(歳・month⁻¹)、 $k_{i,x}$: 自然死亡速度(month⁻¹)、 $S_{i,x}^n$: 1カ月あたりの産仔に伴う加入速度(個体・month⁻¹)、 $C_{i,x}^n$: 1カ月あたりの駆除速度(個体・month⁻¹)、 $W_{i,x}^n$: 現存量(g)、 $w_{i,x}$: 1個体あたりの重量(g・個体⁻¹)、 D^n : 貝類食害量(g)、 $x_{\max,i}$: 寿命(歳)、 R : 1カ月あたり・単位重量あたりの貝類捕食速度(g・g⁻¹・month⁻¹)である。

(1)式の左辺は当月の年齢別・雌雄別個体数、右辺第1項は前月の個体数であり、右辺第2項から第6項までにおいて、前月から当月までの年齢別・雌雄別にみた加入、死亡、駆除等による個体数の増減を表現している。右辺第2項及び第3項は加齢(成長)に伴う個体数の増減、第4項は自然死による個体数の減少、第5項は産仔に伴う仔エイの加入、第6項は駆除による個体数の減少を表現する項である。

表1 月別・県別のナルトビエイ駆除量、操業数、ならびに1操業あたりの駆除量²¹⁾

項目	月					合計
県	6	7	8	9	10	
(A) ナルトビエイ駆除量 (t)						
福岡	42.3	77.6	19.1	16.6	3.8	159.4
佐賀	13.5	44.2	12.7	34.1	17.0	121.4
長崎	1.6	0.2	10.2	1.4	1.2	14.5
熊本	5.7	4.7	11.2	17.4	9.1	48.1
合計	63.1	126.7	53.2	69.5	31.1	343.4
(B) 操業数 (-)						
福岡	86	113	49	127	47	422
佐賀	79	128	92	122	109	530
長崎	5	12	56	48	44	165
熊本	55	55	49	59	48	266
合計	225	308	246	356	248	1,383
1操業あたりの駆除量 (CPUE=(A)／(B) : kg)						
福岡	492	687	390	131	81	378
佐賀	171	345	138	280	156	229
長崎	320	17	182	29	27	88
熊本	104	85	229	295	190	181
平均	280	411	216	195	125	248

2.1.3 計算条件

ナルトビエイは、5月頃に有明海へ来遊し、10月頃に有明海の外へと移動し始める¹⁴⁾。そのため、本モデルでは、ナルトビエイは5月に全個体が有明海への来遊し、5月から10月までの6カ月間は有明海を回遊し、11月に全個体が有明海の外へ移動するとした。この有明海への来遊時期の個体数変動には、自然死による減少に加え、駆除による取り上げを、有明海の外へ移動したその他の時期には、自然死による減少のみを考慮した。また、貝類の食害は、有明海への来遊時期のみ生じるものとした。

加齢速度 g_n は、 $1/12$ (歳・month⁻¹) とした。

産仔に伴う加入速度 $S_{i,x}^n$ は、1カ月あたりの産仔数を表す(4)、(5)式より設定した¹⁶⁾。産仔する月は8月とした¹⁶⁾。

$$S_{i,x}^n = \frac{1}{2} \sum_{m=7}^{x_{\max,i}} [(0.35 \times m + 0.18) \times N_{1,m}^{n-1}] \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$(x=0 \text{ かつ } n=8)$$

$$S_{i,x}^n = 0 \quad (x > 0 \text{ もしくは } n \neq 8) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、(4)式の右辺の最初に乗じている $1/2$ は、産仔数の半分が雌雄それぞれに加入するとした設定値であり、これは有明海において捕獲したナルトビエイを解剖した結果、仔エイの雌雄比が1:1であったこと¹⁶⁾に基づいて設定したものである。

駆除速度 $C_{i,x}^n$ は(6)式に示すように、ナルトビエイ現存量に依存すると仮定し、前月のナルトビエイ現存量に駆除率を乗じ、1個体あたりの重量で除すことにより求めた。

$$C_{i,x}^n = \frac{C_r \times W_{i,x}^{n-1}}{w_{i,x}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 C_r ：1カ月あたりの駆除率 (month⁻¹) である。有明海において2009年に実施した標識放流調査等から得られたナルトビエイの捕獲個体数や標識の有無等をもとに、簡易資源評価法 (DOIRAP 法) により推定された来遊期間中のナルトビエイの総量は重量ベースで約2000tといわれており¹⁷⁾、同年の駆除実績量は5月から10月までの5カ月間の総量で400tである⁹⁾。1カ月あたりの駆除量は $80 \text{ t} \cdot \text{month}^{-1}$ であるから、ナルトビエイの総量が来遊期間を通じて一定と仮定すると、1カ月あたりの駆除率は 0.04 month^{-1} となる。表1に示したとおり、CPUEは各月で異なっており、モデルに与える係数 C_r は、月別に設定することが望ましいが、DOIRAP法等の資源量推定法では月別の来遊推定量を求めることができない。このため、月別の駆除率を求めることは困難であることから、本モデルでは係数 C_r は月に依らず一定値を与えることとした。本モデルにおける C_r の設定値は、年齢別・雌雄別に大きさ・重量が異なるナルトビエイを計算していることから、駆除率 C_r は上記 0.04 month^{-1} を参考に、計算により得られた5カ月間でのナルトビエイ総駆除量と同期間中の総駆除量の実績値 (400t)⁹⁾ が一致するように、 0.038 month^{-1} とした。

寿命 $x_{\max,i}$ は、雌が19歳、雄が9歳とした^{6,11)}。

1個体あたりの重量 $w_{i,x}$ は、(7)式に示す体盤幅と重量

の関係式¹⁶⁾より設定した。この体盤幅は、有明海において捕獲されたナルトビエイの体盤幅と重量を測定し、関係式を求めたものである¹⁶⁾。体盤幅は、(8)、(9)式に示す年齢と体盤幅の関係式⁹⁾に基づき、雌雄別、年齢別に設定した。

$$w_{i,x} = 2.1 \times 10^{-5} \times L_{i,x}^3 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$L_{i,x} = 152.7[1 - \exp\{-0.111(x+2.10)\}] (i=1) \quad \dots\dots(8)$$

$$L_{i,x} = 131.8[1 - \exp\{-0.133(x+2.09)\}] (i=2) \quad \dots\dots(9)$$

ここで、 $L_{i,x}$ ：ナルトビエイの体盤幅 (m) である。

自然死亡速度 $k_{i,x}$ は、有明海における現地調査結果に基づき雌雄別、年齢別に求められた生残率より換算した死亡速度¹⁶⁾を基に設定した。設定した死亡速度 $k_{i,x}$ は、0歳が雌雄ともに 0.076 month^{-1} 、1歳の雌雄ともに 0.05 month^{-1} 、2歳以上の雌が 0.01 month^{-1} 、2～5歳の雄が 0.01 month^{-1} 、6歳以上の雄が 0.04 month^{-1} である。なお、駆除等の外的圧力がない場合の生物の個体群密度は、まず時間の経過とともに増加し続けた後、徐々に増加が鈍り始め、最終的に一定となる²⁶⁾。これはナルトビエイについても同様と考えられるため、駆除がない場合におけるナルトビエイの個体数の季節変動を繰り返し計算し、ナルトビエイの個体数の年変動が時間の経過とともに一定となることを確かめた。

1カ月あたり・単位重量あたりの貝類捕食速度 R は、雌雄別・年齢別に異なることが想定されるが、雌雄、齢ごとの捕食量を求めるために必要な現地調査データがないため、有明海において捕獲されたナルトビエイの重量と胃内容物の重量 (殻付き湿重量に換算) を測定して得られた単位重量あたりの捕食量の平均値⁵⁾を月あたりに換算した値 $0.30 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{month}^{-1}$ を全ての年齢に対して一律で雌雄ともに与えた。

2.2 駆除事業の効果と効率的な駆除方法の検討

表2に示すナルトビエイの駆除の時期が異なるケースA～Cについて、駆除努力を変えて複数計算し、駆除努力や駆除時期の違いによるナルトビエイ駆除量や貝類食害量の増減を予測した。3つのケースのうち、ケースAは現在の駆除期間であり、ケースB、Cは駆除期間を産仔前と後にそれぞれ変えた場合に、貝類食害量などの程度変動するかをみるために設定したケースである。なお、同じ駆除努力でもケースAの C_r の値とケースB、Cの値では異なっている。これは、年間を通じて実施する駆除努力量を同じとするために、(10)式に示すと

表2 各ケースの駆除期間と現状の駆除努力に対する駆除努力の増加比、ならびに増加比に対応する駆除率 C_r の設定値

ケース名：駆除期間	C_r (month ⁻¹)					
	0	1/3	1/2	1	2	3
現状の駆除努力からの増加比						
ケースA：6～10月	0.000	0.013	0.019	0.038	0.076	0.014
ケースB：6, 7月	0.000	0.032	0.048	0.095	0.190	0.285
ケースC：9, 10月	0.000	0.032	0.048	0.095	0.190	0.285

注1) 表中の C_r は(6)式に示した1カ月あたりの駆除率である。

注2) 灰色のセルは、現状の駆除方法で設定した値である。

図1 現地調査より求めた5～11月における来遊推定個体数²³⁾と個体群モデルにより求めた同期間中の総来遊個体数の比較

おり、駆除期間の差（ケース A:5 カ月間、ケース B, C: 2 カ月間）を補正したためである。

$$\begin{aligned} \text{ケース B, C の } C_r &= 0.038 \times 5/2 \\ &= 0.095 \text{ (month}^{-1}\text{)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(10)$$

駆除によりナルトビエイが捕獲され、個体数が減少すると、産仔個体数も減少する。さらに、この産まれたナルトビエイが成長し、成魚となるまでの間にも、その一部は駆除により捕獲されるため、産仔個体数はさらに減少する。したがって、一定の駆除努力を与えた上で計算期間を長くするほど、ナルトビエイの個体数は減少し、貝類食害量も減少するため、貝類食害量低減の効果はより大きくなる。一方、一定の努力量で駆除し続け、十分にナルトビエイの個体数が低減された時には、現状と同じ駆除努力をするとは考えにくい。このことから、貝類食害量低減の効果が過大とならず、ナルトビエイに対して同じ駆除努力をし続けると仮定される期間を計算期間とした。具体的には、雌を駆除することで産まれるはずであった仔エイが減り、その仔エイが減ったことでさらに次に産まれる仔エイが減るまでの最短期間とし、計算開始初年度に産まれたナルトビエイが成長し、産仔できる年齢となる期間の7年間とした。

予測した駆除量と食害量との関係やナルトビエイの分布の季節変化から、駆除の効果が高い時期を考察し、駆除の実績も加味して駆除に適した場所を抽出した。

3. 結果と考察

3.1 ナルトビエイ個体群モデルの検証結果

年齢別・雌雄別の個体数について、現地調査に基づき推定した5～11月における総来遊個体数¹⁷⁾（以下、「来遊推定数」）と個体群モデルを用いて計算した同期間中の来遊個体数との関係を図1及び表3に示す。なお、比較に使用した来遊推定数は、「2.1.3 計算条件」に示した来遊期間中のナルトビエイの総量と同様に、現地において2009年に実施した標識放流調査等の結果をもとに、DOIRAP法により求められた値である¹⁷⁾。DOIRAP法により求められる個体数は有明海への来遊期間中（5～10月）のナルトビエイの総個体数であり、産仔等に伴う月々の個体数の変動を求めることができないため、検証にあ

表3 現地調査より求めた来遊推定個体数²³⁾と個体群モデルにより求めた来遊個体数の比較

年齢	現地調査より推定した総来遊個体数 (個体)		モデルより求めた総来遊個体数 (個体)	
	雌	雄	雌	雄
0	83,000	83,000	78,075	78,508
1	41,500	41,500	30,673	50,909
2	23,965	23,965	14,512	26,115
3	15,577	15,577	6,482	20,515
4	10,125	10,125	6,315	17,018
5	6,581	6,581	6,479	11,092
6	4,278	4,278	7,187	6,881
7	11,925	2,957	7,640	2,506
8	8,823	1,123	7,680	1,004
9	6,529	427	7,345	402
10	4,832	-	5,887	-
11	3,575	-	4,716	-
12	2,646	-	3,777	-
13	1,958	-	3,033	-
14	1,449	-	2,125	-
15	1,072	-	1,488	-
16	793	-	1,043	-
17	587	-	730	-
18	434	-	511	-
19	321	-	358	-

たっては、個体群モデルより求めた5～10月の平均来遊個体数とDOIRAP法により求めた来遊推定数を比較した。

モデルを用いて計算した個体数と現地調査より求めた来遊推定数を比較すると、モデルにより求めた1～6歳の雄の個体数が来遊推定数より多く、2～7歳の雌の個体数ではモデルにより求めた値が来遊推定数より少なくなっているが、図1に示したモデルを用いて計算した個体数と現地調査より求めた来遊推定数の関係をみると、傾きは1に近く、相関係数も0.98（決定係数 $R^2=0.958$ ）と高いことから、雌雄別・年齢別の個体数を表現できていると考えられる。また、雌雄別・年齢別の来遊個体数の合計値では、計算値と来遊推定数との差は1割以内と小さい。これらのことから、本モデルで構築したナルトビエイ個体群モデルを用いて計算した来遊個体数は、現地調査より得られた来遊推定数を再現できていると考えられる。

また、月ごとに変動する駆除率 C_r の定式化やモデルに使用した係数及び検証に使用した来遊推定数の精緻化等、ナルトビエイ個体群モデルの精緻化にあたっては課題が残るものの、有明海で現状実施している調査・駆除の状況を全体として表現する目的においては、本モデルはナルトビエイの個体数変動を表現できているものと考えられる。

3.2 現状の駆除方法による貝類食害量低減の効果の検証

表2に示した3ケースのうち、現在の駆除事業の実施期間に対応するケースAについて、駆除努力の増加比と7年間のナルトビエイ駆除量、貝類食害量の年平均値との関係を図2に示す。ここで、図2の横軸に示している現状の駆除努力に対する駆除努力の増加比は、表2に示した駆除率を変動させる(駆除努力を増減させる)割合を意味している。

図2をみると、現状の駆除方法を実施した時の年間での総貝類食害量は約 3.0×10^3 t であり、駆除を行わない場合の総食害量約 5.5×10^3 t と比べると、貝類食害量を40%程度低減できていると試算された。本モデルを用いて試算した現状の駆除実施下における食害量は、有明海の貝類漁獲量(2004年～2008年における年平均値で約 1.5×10^4 t)²⁷⁾の約20%の量であり、ナルトビエイによる食害が有明海における現在の貝類の生産に少なからず影響を与えていることがわかる。また、現在の駆除事業による食害対策は、貝類の生産に一定の効果を与えていると考えられる。

また、駆除努力を現状の2倍にしても、駆除量は現状の駆除量に対して約20%の増加、貝類食害量は現状の貝類食害量に対して約40%の低減にとどまる。すなわち、現状以上の駆除努力を投じると、貝類食害量は低減し、二枚貝類の保全に対する効果は高くなるものの、駆除努力量を2倍とした増加に見合うほどには、ナルトビエイの駆除量の増加や貝類食害量の低減は生じない。同じ駆除期間のもとで駆除努力を増やすことは、駆除を行う船の隻数や1日あたりの駆除時間を増やす等、駆除に投じる費用を増やすことを意味する。二枚貝類の保全及び資源の回復に向けた目標とすべき貝類食害量の低減量の試算が課題として挙げられるものの、現在、有明海で実施しているナルトビエイの駆除事業は、駆除努力量(駆除に投じる費用)あたりの貝類食害量の低減量に対しては、効果的に行われていると考えられる。

3.3 食害量低減の効果が高い駆除時期と場所の選定

表2に示したような駆除時期が異なる3ケースについて、駆除努力と7年間のナルトビエイ駆除量、貝類食害量の年平均値との関係を図3に示す。

図3をみると、ケースA～Cのいずれの駆除時期においても、現状の駆除努力量以上に駆除を行っても、駆除努力に対する駆除量の増加量や貝類食害量の低減量は

図2 現状の駆除努力に対する駆除努力の増加比と年間の総貝類食害量、年間のナルトビエイ総駆除量(いずれも計算期間(7年間)の平均値)の関係

小さくなることわかる。3つのケース間を比較すると、現状と同じ駆除期間(6～10月)であるケースAと比べて、産仔前の6、7月に駆除するケースBでは、1年あたりの駆除努力が同じでもナルトビエイ駆除量はケースAに対して2～9%少なくなり、貝類食害量は5～31%少なくなる。逆に、産仔後の9、10月に駆除するケースCでは、ケースAと比べて駆除量は2～8%多くなり、貝類食害量は2～13%多くなる。これは、ケースBのように産仔前に駆除すると、産まれるナルトビエイの数が現状より少なくなることで、ナルトビエイの現存量が減るため、1年あたりの駆除努力が同じでも駆除量は少なくなり、貝類食害量も減らすことができるためである。逆に、ケースCでは、産仔前に駆除しない分だけ、産まれるナルトビエイも増えるため、同じ駆除努力を投じたとしてもナルトビエイ駆除量や貝類食害量は増加する。このように、ナルトビエイの駆除を行う場合、同じ駆除努力でも産仔前後で駆除の効果が異なり、産仔前の6、7月に駆除を行うと駆除の効果がより高まる。

表1に示した月別・県別のナルトビエイ駆除量と操業数(船の隻数)、CPUE²⁵⁾をみると、「2.1.1 ナルトビエイの生活史とナルトビエイ個体群のモデル化」で述べたとおり、ナルトビエイは河口部近くで交尾・出産を行うため¹⁵⁾、出産時期が近づくと、サイズが大きい雌の成魚が筑後川等の河口部に集まり¹⁴⁾、産仔前の6、7月は湾奥部に位置する福岡県と佐賀県で特に多くが駆除されている。

したがって、現状よりも効果が高いと試算された産仔前(6、7月)の駆除にあたっては、当該時期にナルトビエイが多く分布する有明海湾奥部の福岡県・佐賀県海域で駆除を行うことが最も適当であると考えられる。

また、表1に示したCPUEをみると、網目の大きさ¹⁸⁾や捕獲の方法等が各県で異なるため、単純には比較できないものの、CPUEは、有明海湾奥部の福岡県・佐賀県海域が熊本県や長崎県と比べて高い。このため、産仔前の6、7月には、有明海湾奥部に位置する福岡県と佐賀県の海域で駆除を行うと、駆除に要する操業数を減らす等、

図3 駆除期間の違いによる現状の駆除努力に対する駆除努力の増加比と(a)年間のナルトビエイ総駆除量、(b)総貝類食害量(いずれも計算期間(7年間)の平均値)の関係

少ない努力量でより効果的に駆除できると考えられる。

以上のことから、ナルトビエイの駆除を行い貝類食害量を低減させるには、産仔前の6、7月に有明海湾奥部の福岡県・佐賀県海域において、駆除を行う方法が最も効果的であると考えられる。

今回の検討はナルトビエイの駆除による貝類食害量低減の効果を試算したものである。一方、有明海において、現在までにナルトビエイが増加した原因として、エイの捕食者であるサメ類を漁獲により減少させ、海域の生態系を壊したことも一因といわれており、駆除によるナルトビエイの減少は、生態系の更なる破壊に繋がるとの懸念もある^{6, 11, 28)}。そのため、有明海の生態系を壊さないようにナルトビエイなどの自然動態をモニタリングしつつ、貝類食害量の低減対策として、防護網の設置や杭打ち等³⁾、駆除以外の方法も組み合わせる必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、二枚貝類の保全に向けて、有明海において食害影響を与えるナルトビエイの個体群モデルを開発し、そのモデルを用いて、現状の駆除事業の効果試算や、効率的な駆除方法の検討を試みた。

この結果、ナルトビエイの捕食による貝類食害量は、貝類漁獲量とほぼ同じ量であり、ナルトビエイによる食害が有明海の貝類の生産に少なからず影響を与えていることがわかった。また、現在、有明海において6～10月に実施されているナルトビエイの駆除は、駆除を行わない場合と比べて、貝類食害量を40%程度低減できると試算された。

産仔前の6、7月に駆除を行うと、貝類食害量低減の効果は、6～10月に実施している現在の駆除方法と比べて高くなり、この時期に、有明海湾奥部の福岡県・佐賀県海域で駆除を行うと、効果がさらに高まることを示すことができた。

ナルトビエイ個体群モデルについては、モデルに使用した係数及び検証に使用した来遊推定数の精緻化等が、二枚貝類の保全に向けては貝類資源量の回復の程度の定量化が今後の課題である。

謝 辞

本研究にあたって、農林水産省九州農政局の関係各位より資料の提供を頂いた。ここに記し、深甚の感謝を表します。

(原稿受付 2013年9月19日)

(原稿受理 2014年2月27日)

参 考 文 献

- 1) 水産庁(2008) 干潟生産力改善のためのガイドライン, http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/pdf/sub75a.pdf (2013年8月時点)。
- 2) アサリ資源全国協議会企画会議, 水産庁増殖推進部, 独立行政法人水産総合研究センター(2009) 提言 国産アサリの復活に向けて(平成21年3月改訂), <http://www.jfa.maff.go.jp/j/koho/pr/pamph/pdf/asari.pdf> (2013年8月時点)。
- 3) 環境省 有明海・八代海総合評価委員会(2006) 有明海・八代海総合調査評価委員会 報告書, <http://www.env.go.jp/council/20ari-yatsu/rep061221/index.html> (2013年8月時点)。
- 4) 熊本県水産研究センター(2007) 熊本県アサリ資源管理マニュアルⅡーアサリを安定的に漁獲するためにー, <http://www.suiken.pref.kumamoto.jp/manual/asari/asari2.htm> (2013年8月時点)。
- 5) 吉田幹英, 金澤孝弘(2009) 有明海福岡県海域におけるナルトビエイの駆除状況, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, **9**, 163-169.
- 6) 山口敦子(2009) 有明海が育むサメ・エイ類, 「干潟の海に生きる魚たち 有明海の豊かさ」と危機」(田北徹, 山口敦子, 日本魚類学会自然保護委員会編集), pp.33-64, 東海大学出版会, 神奈川。
- 7) 福田祐一, 銭谷弘(2009) 豊前海中津地先におけるナルトビエイの駆除とその効果, 大分県農林水産研究センター水産試験場調査研究報告, **2**, 5-9.
- 8) 中嶋雅孝, 横山佳裕, 内田唯史, 中野拓治, 中西弘(2005) 有明海における冬季のノリ及び赤潮プランクトンの増殖特性, 水環境学会誌, **28**, 339-345.
- 9) 山口敦子(2003) 有明海のエイ類についてー二枚貝類の食害に関してー, 月刊海洋, **35**, 241-245.
- 10) 川原逸朗, 伊藤史郎, 山口敦子(2004) 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, **22**, 29-33.
- 11) Yamaguchi, A., Kawahara, I. and Ito, S. (2005) Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyushu, Japan, *Environ. Biol. Fish.*, **74**, 229-238.
- 12) Yamaguchi, A. and Kume, G. (2009) Reproductive biology of the fanray, *Platyrrhina sinensis* (Batoidea : Platyrrhinidae) in Ariake Bay, Japan, *Ichthyol. Res.*, **56**, 133-139.
- 13) 山口敦子, 古満啓介, 田北徹(2009) 有明海の魚類相, 「干潟の海に生きる魚たち 有明海の豊かさ」と危機」(田北徹, 山口敦子, 日本魚類学会自然保護委員会編集), pp.15-32, 東海大学出版会, 神奈川。
- 14) 藤井曉彦, 山口敦子, 中田英昭, 原武史, 谷津明彦, 床次武富(2009) 有明海におけるナルトビエイの分布特性, 2009年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, p.99.
- 15) 城内智行, 山口敦子, 中田英昭, 原武史, 谷津明彦, 床次武富(2009) 有明海におけるナルトビエイの来遊量の推定, 2009年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, p.36.
- 16) 藤井曉彦, 山口敦子, 中田英昭, 原武史, 西村明, 岩永豊(2010) ナルトビエイの産仔数と生残率の推定, 2010年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, p.30.
- 17) 城内智行, 山口敦子, 中田英昭, 原武史, 西村明, 岩永豊(2010) 有明海におけるナルトビエイの二枚貝摂餌量の推定, 2010年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, p.31.
- 18) 宇野潔, 城内智行, 山口敦子, 中田英昭, 原武史, 西村明, 山口信司(2012) 刺網の目合とナルトビエイの捕獲サイズの関係, 2012年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, p.68.
- 19) 藤井曉彦, 関根雅彦, 尾添紗由美, 萩原淳子, 角野浩二(2011) 山口湾自然再生事業におけるアサリ保全策の効果検証と管理モデルによる資源回復策の検討, 水環境学会誌, **34** (A), 143-152.
- 20) 東博紀, 花町優次, 樋渡武彦, 水野知巳, 村上正吾, 木幡邦男, 越川海, 水落元之(2010) 数値シミュレーションによる伊勢湾のアサリ資源量の減少要因に関する考察, 水工学論文集, **54**, 1597-1602.
- 21) 花町優次, 東博紀, 樋渡武彦, 水野知巳, 村上正吾, 木幡邦男(2010) 成長モデルを用いた伊勢湾伊勢地区におけるアサリ資源量の変動要因の考察, 水工学論文集, **54**, 1603-1608.
- 22) 小畑泰弘, 滝本鮎子, 岩本明雄, 北田修一(2007) 資源管理計画のためのシミュレーションモデル: 瀬戸内海東部海域のサワラを例として, 水産学会誌, **73**, 43-50.
- 23) 奥西武(2012) 浮魚の成長モデルによる資源変動機構の理解へのアプローチ, 水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 38-39.
- 24) 奥西武, 安部大介, 伊藤進一(2013) マイワシ資源変動機構の理解への数値モデルの試み, 2013年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 287.
- 25) 九州農政局北部土地改良調査管理事務所(2010) 平成21年度国営干拓事業ナルトビエイ標識放流調査委託事業 報告書, 福岡。
- 26) 日本生態学会(2003) 生態学事典(巖佐庸, 松本忠夫, 菊沢喜八郎編集), pp.570-571, 共立出版, 東京。
- 27) (公社)日本水産資源保護協会環境情報センター(2013) 漁種別漁獲量(第52次～第56次), <http://ay.fish-jfrca.jp/ariake/db/index.asp> (2013年8月時点)。

- 28) Myers, R. A., Baum, J. K., Shepherd, T. D., Powers, S. P. and Peterson, C. H. (2007) Cascading Effects of the Loss of Apex

Predatory Sharks from a Coastal Ocean, *Science*, **315**, 1846-1850.

[論文要旨]

二枚貝類の保全に向けた検討として、有明海等において食害影響を与えているナルトビエイの生態特性を組み込んだ個体群モデルを開発し、有明海で実施されているナルトビエイの駆除による貝類食害量低減の効果を試算した。さらに、食害量低減に効果が高い駆除時期・場所を検討した。その結果、ナルトビエイの生態特性等を考慮した個体群モデルにより計算した来遊期間中の総個体数は、現地調査に基づき推定された総来遊個体数と一致していた。現在、有明海において6～10月に実施されているナルトビエイの駆除は、駆除を行わない場合と比べて、貝類食害量を40%程度低減できていると個体群モデルによる結果から試算された。また、産仔前の6、7月に駆除を行うことにより、貝類食害量低減の効果が高くなることがわかった。さらに、この時期に有明海湾奥部に位置する福岡県・佐賀県海域で駆除を行うと、さらに効果が高まると考えられた。

キーワード：ナルトビエイ；個体群モデル；二枚貝類保全；駆除方法；有明海