魚礁に纏絡した逸失底刺網によるゴーストフィッシング 死亡数と魚の蝟集に対する影響

仲島 淑子, 松岡 達郎*

(2004年3月11日受付, 2004年11月15日受理)

鹿児島大学水産学部

Ghost-fishing mortality and fish aggregation by lost bottom-gillnet
tangled around fish aggregation device

TOSHIKO NAKASHIMA AND TATSURO MATSUOKA*

Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima 890-0056, Japan

Two small experimental fish aggregation devices (FAD) of the same design were deployed separately from each other on a sandy seabed. One FAD was tangled with a bottom gillnet and the other left intact. Fishes enmeshed on the tangled gillnet and those aggregated around two FADs were monitored for the period of 1,149 days since entanglement of the gillnet. The observable days for enmeshed fish of each species were investigated independently. A model was created according to the binomial distribution based on the probability of observing one enmeshed fish. With this model, the ghost-fishing mortality was estimated from the number of observed fish enmeshed on the tangled gillnet. Mainly crimson sea bream, *Erynnis japonica*, and threadsail filefish, *Stephanolepis cirrhifer*, were enmeshed. There was no clear declining trend in ghost fishing during the experimental period. The ghost-fishing mortality per year by the tangled gillnet was estimated as 191 fish. The number of all fish aggregated around the gillnet-tangled FAD was greater than that around the control FAD, however, the numbers of aggregated individuals of the ghost-fished species were not significantly different between the two FADs. It was hypothesized that the lack of a difference was due to ghost-fishing of those fishes aggregated by the gillnet-tangled FAD.

キーワード：ゴーストフィッシング, 逸失漁具, 刺網, 死亡, 二項分布モデル, 人工魚礁, 蝟集

さまざまな理由から漁業者の管理下を離れた逸失漁具がもたらす負の影響として、魚類、¹⁻⁴⁾ 海産哺乳類、⁴⁻⁸⁾ さんご⁴⁾などの損傷や死亡、海洋環境の悪化^{4,9,10)}が挙げられる。網漁具の動物への罹網²⁻⁸⁾やかご漁具内での動物の非平常行動などが動物の死亡¹⁾を、非分解性の材料を用いた漁具の海底への蓄積などが海洋環境の悪化^{4,9,10)}を誘発するとして問題視されてきた。これらのうち、特に水産動物の死亡を引き起こす現象をゴーストフィッシングといい、¹⁾ 水産資源の持続的利用のために漁業分野での解決すべき問題の一つとされている。¹¹⁾

現在では、ゴーストフィッシングはかごと刺網で起こりやすいことが知られているが、ゴーストフィッシングに関する研究はまずかご漁業を対象に発展した。^{1,12-28)} 漁業者からの聞き取り調査、¹²⁻¹⁴⁾ スキューバ潜水¹⁵⁾やサ

イドスキャンソナーなど^{16,17)}による逸失かご漁具の分布調査から漁場内の逸失かご数が、逸失状態を模したかご漁具の操業実験、^{14,18-21)} ゴーストフィッシングの実態観察^{1,22-28)}から入りかご動物の脱出割合や死亡数が推定された。多くの研究で、ゴーストフィッシングによる死亡は水産資源に対して重大な影響を与える可能性があると結論された。^{1,13,14,20,21,25)} かご漁具への脱出口の取り付け^{19,20,23,25)}や、かごの一部への分解性の材料の使用^{21,24,25)}といった、ゴーストフィッシング防止対策についての実用的な研究も行われるまでになっている。

一方、刺網漁業では刺網漁場での ROV などによる調査、^{29,30)} スキューバ潜水による模擬逸失網のゴーストフィッシングの実態観察研究^{29,31-34)}が数例あるのみである。後者のおもな研究例と言える Kaiser *et al.*,³²⁾ Erzini *et al.*,³³⁾ 仲島、松岡³⁴⁾は、海底に残置した網による 1 日

あたりの罹網数の経過日数に伴う減少を調べ、ゴーストフィッシング能力低下を示す実験式と逸失刺網1反の総罹網数を推定した。これらの研究では、ゴーストフィッシング能力低下のおもな要因として、網高さの減少による有効面積の低下や付着物の増加による視認性の増加を挙げている。しかし、松岡らは過去にスキューバ潜水による漁場調査中に、人工魚礁（以下、魚礁と呼ぶ）に纏絡し破損した逸失刺網による、イセエビのゴーストフィッシングを観察したことがあった（未発表）。この纏絡網は、藻類や泥などの付着物により視認性が高い状態で、その網地の一部はすでに破網していたが、三次元的に展張した状態で残っていた部分が漁獲能力を維持していた。このことは魚礁に纏絡、逸失した刺網によるゴーストフィッシングは、平坦な海底に残された場合と異なることを示唆していると考えた。水産資源動物を集めるための魚礁³⁵⁾で逸失し、纏絡によって網目が展開したままの状態の刺網が、長期間漁獲能力を維持したままとなるならば、水産資源を集めて死亡させるという現象が発生している可能性もある。これが真であれば、通常海域でゴーストフィッシングが発生するよりも水産資源に与える影響は重大であるといえる。しかし、これまでに魚礁などに網が纏絡した場合の逸失網のゴーストフィッシングは研究されていない。本研究では、魚礁に纏絡した刺網によるゴーストフィッシングの定量的評価を行うとともに纏絡刺網が魚の蛸集に与える影響を調べることにした。

材料と方法

魚礁に刺網を纏絡させ、纏絡刺網による罹網魚と刺網纏絡魚礁への蛸集魚を長期間にわたって潜水観察する現場実験を行った。一方、魚が罹網後に水中で残存する日数を調べる実験を行い、罹網魚が目撃される確率を求めた。その確率を基にした二項分布モデルを考案し、纏絡刺網に罹網した魚の目撃数からゴーストフィッシング死亡数を推定した。蛸集魚の潜水観察と漁獲試験から、魚礁への魚の蛸集に対する纏絡刺網の影響を評価した。

供試網と供試魚礁 ナイロンモノフィラメント製、網糸太さ4号で、目合い67 mm, 81 mm, 90 mmの網地を組み合わせた網長さ16 m、網丈2.3 mで、1 mごとに余剰浮力50 gの浮子1個を取り付け、150 g/mの鉛入り沈子網を用いた底刺網を供試網とした。網長さは、下記の供試魚礁の大きさに合わせて決定したものである。

断面が1辺150 mmの正方形であるポリプロピレン製角材を組み合わせた、1辺が1.5 mの中空立方体1個に、固定用土嚢（空中重量合計50 kg）8袋を固縛し、これを平面的に4個組み合わせたものを1基とした小型の魚礁を供試魚礁とした。1999年6月30日から7月2日に、予備潜水調査からほぼ同じ海底条件であることが

Fig. 1 Site of experiment on ghost-fishing mortality and fish aggregation by lost gillnet tangled around FAD.

既知であった水深約23 mの鹿児島湾内の砂場海底に、魚礁2基を互いに約250 m離して設置した（Fig. 1）。同年7月12日に一方の魚礁の側面を供試網で囲い、魚礁に刺網が纏絡した状態を模し（以下、刺網纏絡魚礁と呼ぶ）、他方はそのままとした（以下、コントロール魚礁と呼ぶ）。なお、魚礁設置にあたり、鹿児島市漁業協同組合の同意および鹿児島港湾事務所の許可を得た。

1999年7月12日を実験開始日とし、2002年9月3日までの1,149日間、およそ2箇月の間隔を置きつつ、ゴーストフィッシング罹網魚（以下、罹網魚とする）と蛸集魚の潜水観察と、採集用底刺網による漁獲試験を行った。

罹網魚と蛸集魚の潜水観察 纏絡刺網による罹網魚の種と尾数を記録した。基本的に連続した2日間の潜水観察を1回のサンプリングとし、19回のサンプリングを行った。2日間の種ごとの罹網尾数の平均値をサンプリング1回の日撃数とし、天候の悪化などにより2日間のうち1日のみ観察した場合は、記録した尾数をそのまま用いた。

罹網魚のサンプリングと同じ日に、各魚礁の内部と魚礁枠からの距離が2 m以内のごく近傍に蛸集した魚の種ごとの尾数を目視記録した。蛸集魚の尾数は、個体数が10尾未満の魚種では1尾単位で、10尾以上では数に応じて10, 50, 100尾単位で記録した。サンプリング1回の種ごとの観察尾数の取り扱い方法は、罹網魚の場合と同様とした。

蛸集魚の漁獲試験 上記のサンプリングと同じ日に、魚礁枠からの距離が2 mから15 mの範囲を魚礁周辺部とし、採集用底刺網を用いて魚礁周辺部にいる魚の漁獲試験を行った。採集用底刺網には、ナイロンモノフィラメント製、網糸太さを1.5号から4号の3段階に、目合いを23 mmから99 mmの範囲でできるだけ一定の割合で13段階に変化させた網地を、それぞれ1 mの仕立

て上がり幅としたものをランダムに組み合わせ、両端に幅 2 m の捨て網を付けた、網丈 2.1 m の弱選択性の底刺網を用いた。浮子網と沈子網の構成は供試網と同様とした。

連続した 2 日のうちの 1 日目に、採集用底刺網の一端を魚礁に、他端を土嚢に固縛して水中で展張し、2 日目にそれを水中で回収した。供試魚礁周辺部に魚が蟄集していることを確認するために、同湾内の、両魚礁とほぼ同じ水深で、両魚礁から 200 m 以上離れた、決められた水域（以下、コントロール水域と呼ぶ）に採集用底刺網を船上から投揚網し漁獲試験を行った。3 ヶ所での漁獲試験は同じ日に行い、浸漬時間ができるだけ同じになるようにした。

罹網魚の残存日数 2002 年 9 月 5 日から 2003 年 2 月 28 日まで仲島、松岡³⁴⁾と同一の実験場所に刺網 1 反を放置し、個々の罹網魚の罹網から死体消失までが観察できる日数を調べた。ここでの供試網には仲島、松岡³⁴⁾と同様のナイロンモノフィラメント製、網糸太さ 4 号、60 mm から 99 mm の異なる目合いの網地を組み合わせた網丈 2.3 m、仕立てあがり長さ 72 m の網を用いた。最長 18 日間、最短 2 日間、平均 7 日間の 6 組の連続観察を行った。日ごとに 3 色の標識 (US-25 mm, 日本パノック社製) を順に用いることとし、罹網魚を観察した最初の日に標識を取り付けてそのまま残置し、同色の標識を次に打つ日まで観察できた場合には、新たに標識を取り付けた。標識の色と本数、罹網した場所を記録し、個体を識別した魚の罹網を最初に観察した日から、その個体を最後に観察した日までの日数を観察日数とした。全種および種ごとの観察日数の平均値を、罹網した後にそれぞれの種の魚が水中で目撃可能な状態で残存する日数（以下、残存日数）とみなした。この方法では、罹網日と死体消失日が完全に把握できた個体と、その片方または両方の情報を欠くものの両者が含まれている。以下では、前者を完全観察個体、後者を不完全観察個体と呼ぶ。

纏絡刺網のゴーストフィッシング死亡数の推定 以下の確率モデルを考案し、実験期間中の纏絡刺網への罹網魚の目撃数と総罹網数の関係を求めた。その関係を基に纏絡刺網による年間死亡数を推定した。

罹網後の残存日数が d 日である魚 1 尾が、実験期間 T 日中のある日に罹網した場合を考える。 T 日中の罹網確率は一定であるとする。平均観察間隔を Δt 日とすると、この罹網個体が T 日中のいずれかの観察日に目撃される確率 p は (1) 式である。本研究では、纏絡刺網による罹網魚の観察間隔が、残存日数よりも十分に長かったため、同一個体の重複目撃の可能性は考慮しなかった。

$$p = d / \Delta t \quad (1)$$

n 尾の個体が罹網したとき、そのうちの r 尾 ($r=0, 1, 2, 3, \dots, n$) が目撃される確率 p_r は (2) 式のように二項分布で表せる。ここで $B(n, p)_r$ は、パラメータが r の時の二項分布 $B(n, p)$ とする。

$$\begin{aligned} p_0 &= {}_nC_0 \cdot (1-p) \\ p_1 &= {}_nC_1 \cdot p \cdot (1-p)^{n-1} \\ &\dots\dots \\ p_r &= {}_nC_r \cdot p^r \cdot (1-p)^{n-r} = B(n, p)_r \\ &\dots\dots \\ p_{n-1} &= {}_nC_{n-1} \cdot p^{(n-1)} \cdot (1-p) \\ p_n &= {}_nC_n \cdot p^n \end{aligned} \quad (2)$$

したがって、 n 尾中の r 尾 ($r=0, 1, 2, 3, \dots, n$) が目撃される場合それぞれの目撃数の期待値 N_r は (3) 式のように表すことができる。

$$N_r = r \cdot p_r = r \cdot B(n, p)_r \quad (3)$$

総目撃数 N は N_r の和に等しいので、(4) 式のように表すことができる。

$$N = \sum_{r=0}^n N_r = \sum_{r=0}^n r \cdot B(n, p)_r \quad (4)$$

以上の関係をもとに、罹網後残存日数 d と平均観察間隔 Δt 日から、総目撃数 N と総罹網数 n の関係式を求めることができる。これにサンプリング 19 回での目撃数を代入し、総罹網数を求めた。罹網魚は最終的にはすべて死亡したとみなし、総罹網数を纏絡刺網による死亡数であると推定した。

結 果

ゴーストフィッシング罹網と纏絡刺網の状態 ゴーストフィッシングは実験期間中に減少する傾向は見られなかった (Fig. 2)。網設置後 1 年以内では網地が縦方向に展張し網目が正常に展開している部分での罹網がおもに発生した (Fig. 3-A, B)。その後は、網地が魚礁枠の側面に接している部分 (Fig. 3-C) でも罹網が発生した。

網設置後約 1 ヶ月で網に付着生物が付き始めたが、その量は少なく、魚礁枠より上の部分は浮子の浮力により網地が立っている状態であった。約半年後には、付着

Fig. 2 Number of observed fish enmeshed by gillnet tangled around FAD.

Fig. 3 Ghost fishing by gillnet tangled around FAD and conditions of tangled net: (A) *Evynnis japonica* enmeshed on fouled net (331 days), (B) *Stephanolepis cirrhifer* enmeshed near broken part of webbing (357 days), (C) unidentified fish enmeshed on net portion in contact with FAD frame (835 days), (D) Sparidae enmeshed on slack net webbing (955 days), (E) highly visible net due to heavy fouling of twine after long period of immersion (1011 days) and (F) fish bone on seabed near tangled net (284 days).

物の増加などにより浮子の余剰浮力はなくなり、網地上部は魚礁枠の天井面と魚礁枠の角の部分に絡み、下方にたるんだ状態となった (Fig. 3-D)。憩潮時には、網地は重なって海底に着底していた。約1年後には、さらに付着物が増加し、部分的に破網も発生した (Fig. 3-

B)。2年が経過したところには、網長さの約1/4で浮子網と網地が分かれ、網地は魚礁側面の約3/4のみを覆っていた。3年が経過したところには、網糸と網糸の空隙が付着物で完全に覆われている部分も生じ (Fig. 3-E)、網糸が視認できないほどになった。

Table 1 Fishes observed in and in vicinity of FADs and fishes sampled by gillnets around FADs and in control water.

Fish name	Scientific name	Observation		Catch by sampring gillnet		
		Gillnet-tangled FAD	Control FAD	Gillnet-tangled FAD	Control FAD	Control water
Threadsail filefish	<i>Stephanolepis cirrifer</i> *	62	55	1	3	
Groupers	<i>Epinephelus</i> spp.*	22	20			
Scarbreast tuskfish	<i>Choerodon azurio</i> *	6	9		1	
Red sea breams	<i>Pagrus</i> spp.*	1	1	7	10	
Humbacked scorpionfish	<i>Scorpaenopsis diabolus</i> *	2	3		1	1
Rajidae	Skate*		1			
Cardinal fishes	<i>Apogon</i> spp.	26077	43	19		
Yellowfin horse mackerel	<i>Tranchurus japonicus</i>	331	3	3		
Sea basses	<i>Pseudanthias</i> spp.	95	241			
Lined silvervelly	<i>Gerres</i> spp.	258	68	1		
Striped catfish eel	<i>Plotosus lineatus</i>	21	105			
Other fish (41 spp.)		198	220	42	33	4
Total		27069	765	73	48	5

* shows species enmeshed on gillnet tangled around FAD.

魚類計 6 種 22 尾と種不明 5 尾、計 27 尾のゴーストフィッシング罾網を目撃した。纏絡刺網周辺の海底で魚骨片が観察された場合もあったが (Fig. 3-F), 種とその個体数が不明であったため資料には含めなかった。おもな魚種はカワハギ *Stephanolepis cirrifer* (8 尾), チダイ *Evynnis japonica* とマダイ *Pagrus major* を含むタイ類 (7 尾) であった。

カワハギの 75% が棘に網糸が絡んだ絡み機能による罾網で (Fig. 3-B), タイ類は、尾部のみが確認できた 1 尾を除き、すべてが刺し機能による罾網であった (Fig. 3-A)。

魚礁内部・近傍部の蛸集魚に対する纏絡刺網の影響サンプリング 19 回のうち、天候の悪化などによりコントロール魚礁では 2 回の欠測があった。

刺網纏絡魚礁では計 36 種約 27,000 尾、コントロール魚礁では計 34 種約 770 尾を魚礁内部・近傍部で観察した (Table 1)。前者では、テンジクダイ属の数種 *Apogon* spp. が観察尾数の大部分を占め (刺網纏絡魚礁での観察尾数の 96%), 次いでマアジ *Tranchurus japonicus* (1.2%), クロサギ *Gerres oyena* (0.95%), ナガハナダイ属の数種 *Pseudanthias* spp. (0.35%) が優占種であった。後者での優占種はナガハナダイ属の数種 (コントロール魚礁での観察尾数の 32%), ゴンズイ *Plotosus lineatus* (14%), クロサギ (8.9%), カワハギ (7.2%) であった。

両魚礁での同一日サンプリング 17 回での、魚種ごとの観察尾数を、Wilcoxon の符号順位検定法を用いて比較した結果、両者に有意差がなかったので ($P=0.75 > 0.05$), 両魚礁内部・近傍部に蛸集した魚の種構成に差はなかったと判断した。

Fig. 4 Comparison between numbers of observed fish aggregated in and in vicinity of gillnet-tangled FAD and control FAD.

刺網纏絡魚礁の全種の観察尾数は、夏・秋に増加し冬・春に減少するという変動はあったが、実験期間を通じて徐々に増加した (Fig. 4)。この増加の大部分はテンジクダイ類の増加によるものであった。コントロール魚礁ではほぼ変化がなかった。両魚礁でのサンプリングごとの合計観察尾数を Mann-Whitney の U -検定を用いて比較した結果では有意差があり、魚は刺網纏絡魚礁に多く蛸集していたと判断した ($P=1.5 \cdot 10^{-5} < 0.05$)。

観察した魚を供試網に罾網し得る大きさか否かにより 2 群に分けた。罾網する可能性はないと考えたテンジクダイ類, ナガハナダイ類などの小型の種を小型魚種群, 罾網する可能性があると考えたアジ類, クロサギ類, カワハギ類などの比較的大型の種を大型魚種群とした。小型魚種群の観察尾数の増加は上記の全魚種の結果とほぼ同様の傾向を示した (Fig. 5)。大型魚種群の観察尾数は、刺網纏絡魚礁では約 500 日まで、コントロール魚

Fig. 5 Comparison between numbers of observed fish aggregated in and in vicinity of gillnet-tangled FAD and control FAD for two fish groups: The upper graph shows the group of small fishes with a lower possibility of becoming enmeshed by the tangled net, and the below, the group of large fishes with a higher possibility of becoming enmeshed by the tangled net.

礁では約700日までほぼ一定であったが、その後増加した (Fig. 5)。両魚礁の間で、小型魚種群、大型魚種群のサンプリングごとの観察尾数をそれぞれ Mann-Whitney の U -検定を用いて比較した結果、両魚種群とともに有意差があり ($P=6.1 \cdot 10^{-6} < 0.05$, $P=0.039 < 0.05$)、刺網纏絡魚礁での蛸集が多かった。

大型魚種のうち、纏絡刺網によるゴーストフィッシングが観察された種とその近縁種であるカワハギ類、タイ類、ハタ類、イラ類、カサゴ類、ガンギエイ科の1種 *Rajidae* を本実験でのゴーストフィッシング種とした。両魚礁でのゴーストフィッシング種の観察尾数の変化はほぼ同様の傾向を示した (Fig. 6)。両魚礁でのゴーストフィッシング種のサンプリングごとの観察尾数を、 t -検定を用いて比較した結果、有意差はなかった ($P=0.57 > 0.05$)。

以上の結果は、魚の大小にかかわらず、刺網纏絡魚礁の内部・近傍部では、コントロール魚礁に比べてより多くの魚が蛸集していたが、ゴーストフィッシング種のみ注目した場合には両魚礁で差がなかったとまとめることができる。

魚礁周辺部の蛸集魚に対する纏絡刺網の影響 刺網纏

Fig. 6 Comparison between numbers of observed fish of which ghost-fishing was confirmed in and in vicinity of gillnet-tangled FAD and control FAD.

絡魚礁では18回、コントロール魚礁では17回、コントロール水域では7回の漁獲試験を行った。漁獲試験の回数が異なるのは、天候の悪化などにより上記のサンプリング19回と同じ時に漁獲試験を行うことができない場合があったためである。

刺網纏絡魚礁では計23種73尾、コントロール魚礁では計20種48尾、コントロール水域では計3種5尾が漁獲された。三者での漁獲試験日ごとの漁獲尾数を、Kruskal-Wallis の検定を用いて比較した結果、三者に有意差があった ($P=0.045 < 0.05$)。刺網纏絡魚礁とコントロール魚礁では有意差がなく ($P=0.22 > 0.05$)、刺網纏絡魚礁とコントロール魚礁ではコントロール水域よりも多く漁獲されていた ($P=0.0062 < 0.05$, $P=0.032 < 0.05$)。

両魚礁での漁獲試験日が同一であった17回で、各魚礁での魚種ごとの合計漁獲尾数を Wilcoxon の符号順位検定法を用いて比較した結果、両者に有意差がなかった ($P=0.81 > 0.05$)、両魚礁周辺部に蛸集した魚の種構成に差はなかったと判断した。

上記のことから、両魚礁周辺部にはコントロール水域と比較してより多くの魚が蛸集していたが、両魚礁周辺部の蛸集魚の種構成と数には差はなかったとみなした。纏絡刺網の影響は魚礁から遠くに及ぶものではないと考えた。

罹網魚の残存日数 罹網魚の残存日数を調べる実験で24種327尾が観察され、このうち完全観察個体は21種157尾であった (Table 2)。なお、罹網魚の肉が捕食されたり腐敗し骨片のみが残っている場合には、死体消失とみなした。おもな魚種はカワハギ (158尾)、ネズミゴチ *Repomucenus richardsonii* (53尾)、カサゴ *Sebastes marmoratus* (27尾) であった。全種と、5尾以上の記録が得られた8種で、観察した全個体と完全観察個体から得た残存日数を比較したところ、全種と4種では、全個体から得られた値のほうが大きかった。完

Table 2 Observable days for enmeshed fish of species

Species	All observation		Complete observation		Incomplete observation	
	Number of specimen	Average of observable days	Number of specimen	Average of observable days	Number of specimen	Average of observable days
<i>S. cirrhifer</i>	158	3.1	50	2.3	108	3.5
<i>Repomucenus richardsonii</i>	53	1.8	29	1.9	24	1.6
<i>Sebastiscus marmoratus</i>	27	3.0	16	2.9	11	3.1
<i>Thamnaconus modestus</i>	23	2.5	16	2.7	7	2.1
<i>Girella punctata</i>	11	1.8	3	1.3	8	2.0
<i>Decapterus</i> sp.	10	2.4	10	2.4		
<i>Pseudolabrus japonicus</i>	9	2.2	8	1.9	1	5.0
<i>Pagrus major</i>	8	2.5	6	2.5	2	2.5
All species	327	2.7	157	2.4	170	3.1

Complete observation is referred to as both days of enmesh and disappearance were confirmed and incomplete observation, either/both enmesh or/and disappearance was/were not confirmed.

Fig. 7 Observable days for enmeshed fish and their numbers of specimens in experiment: One bar stands for complete observation which means that both days of enmesh and disappearance were confirmed and the other bar means incomplete observation, either/both enmesh or/and disappearance was/were not confirmed.

全観察個体のみを用いた場合には、死体消失日を把握できなかった、観察日数の長い個体を除外することになったために (Fig. 7), 得られた値が小さくなったと考えた。以下の分析では、全個体から得られた値を採用することとした。

全種の残存日数は2.7日で、纏絡刺網によるゴーストフィッシングが発生した種であるカワハギ、マダイ、サツマカサゴ *Scorpaenopsis diabolus* ではそれぞれ3.1日、2.5日、3.2日であった。ただし、サツマカサゴには、その近縁種であるカサゴも含めて得られた値を用いた。これら3種以外は種ごとの残存日数が得られなかった。

纏絡刺網のゴーストフィッシングによる年間死亡数の推定 罹網魚の残存日数と纏絡刺網による罹網魚を調べた実験の平均観察間隔60.5日から、この実験期間中の全種の罹網魚の目撃数 N_a と同じ期間中の総罹網数 n_{ea}

Table 3 Estimated number of ghost-fishing mortality by gillnet tangled around FAD

Species	Observed enmeshed individual	Probability to observe one enmeshed-fish	Estimated ghost-fishing mortality per year
Pagrinae	7	0.0413	54
<i>S. cirrhifer</i>	8	0.0514	49
<i>S. diabolus</i>	3	0.0525	18
Others (3spp.)	4	0.0448	28
All species*	27	0.0448	191

* included unidentified species.

は(5)式の関係であると推定できた。

$$n_{ea} = 22.3N_a \quad (5)$$

同様に、タイ類、カワハギ、サツマカサゴの種別目撃数(それぞれ順に N_r , N_f , N_s) とそれぞれの種別総罹網数 n_{er} , n_{ef} , n_{es} の関係は(6)式で表すことができた。

$$\begin{aligned} n_{er} &= 24.2N_r \\ n_{ef} &= 19.5N_f \\ n_{es} &= 19.1N_s \end{aligned} \quad (6)$$

上記の3種以外には(5)式を代用した。

種不明魚を含めた全種および種ごとの目撃数と(5), (6)式から、それぞれの総罹網数を推定した。纏絡刺網によるゴーストフィッシングは実験期間中に減少傾向が見られなかったため、実験期間中総罹網数から年間罹網数を求めた。本論では罹網した魚類は最終的にすべて死亡したと考え、罹網数はゴーストフィッシングによる死亡数とみなした。全種、タイ類、カワハギ、サツマカサゴの年間死亡数は191尾、54尾、49尾、18尾で、その他3種は全種の死亡数の1割以下であった (Table 3)。

考 察

本研究では、ある罹網個体1尾を目撃する確率 p を基にした二項分布 $B(n, p)$ モデルによって、目撃した個体数と実験期間中の総罹網数の関係を表すことができると考えた。既往研究のKaiser *et al.*,³²⁾ Erzini *et al.*,³³⁾ 仲島, 松岡³⁴⁾では、いずれも1日あたりの罹網数の減少を基に得られた近似式から供試網1反による罹網数を推定した。本研究でも、1日あたりの罹網数を調べる目的で連続2日間の観察を行ったが、近似式を計算するための十分な資料が得られなかった。そこで、罹網魚の残存日数と罹網魚の目撃数のみから罹網数を直接推定するという手法を用いた。一方、纏絡刺網によるゴーストフィッシングに減少傾向が見られなかったため、上記の既往研究のような供試網のゴーストフィッシング能力継続期間中の罹網数ではなく年単位での罹網数を求めた。

本研究の方法を、仲島, 松岡³⁴⁾の資料のうち、実験開始後からゴーストフィッシング能力の継続期間である142日までにもっとも近い日数までの資料に適用し、継続期間中の総罹網数を推定した。ただし、本研究のモデルの前提条件である $\Delta t > d$ を満たすために、仲島, 松岡³⁴⁾での連日観察が行われた場合にはその初日の資料のみを用いた。その結果、全種の総罹網数は732尾と推定でき、仲島, 松岡³⁴⁾で推定した455尾の約1.6倍であった。下記の通り、仲島, 松岡³⁴⁾で扱った例ではゴーストフィッシング罹網数は時間とともに減少していく傾向にあったことを考慮すると、上の値はこれに起因する誤差の範囲内であり、両者の結果はほぼ同程度の値を示していると判断した。同様に初期罹網魚種群、長期罹網魚種群の総罹網数を求めると、仲島, 松岡³⁴⁾でのそれぞれ、9.0倍、1.4倍であった。初期罹網魚種群のみに9.0倍もの差が現れたのは、この魚種群の魚に対するゴーストフィッシング能力が急速に低下し、総罹網数に対して初期の罹網数が占める割合が大きかったためであると考えた。実験期間中の罹網確率が一定という条件のもとに作られている上記のモデルでは、ゴーストフィッシング能力が急激に低下する場合には、これに要する時間に比べて観察間隔が長すぎれば罹網数推定値が過大になる。このことに留意すれば、罹網魚の残存日数を調べ本研究のモデルを用いることで、観察1日ごとの目撃数から総罹網数を推定できる。本研究の手法は、2日連続観察の繰り返しを要するこれまでの手法に比べて合理的である。

不完全観察個体と完全観察個体の残存日数を比較すると、不完全観察個体が1尾以下であった2種を除いた6種のうち5種で、不完全観察個体から得た値は完全観察の値の95%信頼区間内であったが値自体は大きく、残りの1種のカワハギでは95%信頼区間を越えて大き

かった。不完全観察個体は、連続観察をさらに継続していれば観察日数が大きくなった可能性のある個体を含んでおり、本研究で得られた残存日数は罹網魚の本来の残存日数より短い可能性がある。つまり、残存日数と平均観察間隔を基にした、罹網魚の目撃される確率 p が過小である可能性がある。このことは、推定した総罹網数 n がこの誤差の範囲内で過大である可能性があることを意味する。しかし、カワハギ類とカサゴ類以外の種では種ごとの観察日数のばらつきは小さかったので、全個体から得られた値は本来の残存日数からそれほど離れていないと考える。残存日数については(6)式の定数は、種によるサイズや、海底から罹網位置までの距離による捕食生物や腐食性生物の蝸集の程度の差などの影響を受けたり、季節的に変化する可能性もあるが、本研究では深く考察できる資料は得られなかった。

刺網纏絡魚礁にはコントロール魚礁よりも多くの魚が蝸集していたが、ゴーストフィッシング種の観察尾数では有意差がなかった。この原因として、(1)纏絡刺網はゴーストフィッシング種の蝸集にのみ影響を与えなかった、(2)ゴーストフィッシング種の蝸集は増加したが、ゴーストフィッシングが発生し死亡する個体が多いため魚の数が減少し、結果的に両魚礁で差が現れなかったという二つの仮説を考えた。ゴーストフィッシング種に肉食性の魚であるハタ類などや纏絡網の付着物の啄みが観察できたカワハギなどの魚種が含まれることを考えると、これらの種にとって、コントロール魚礁よりも刺網纏絡魚礁のほうが好餌場となっている可能性が高い。餌生物の少ないコントロール魚礁よりも、刺網纏絡魚礁にゴーストフィッシング種の魚も多く集まる可能性があると考え、この魚種群の観察尾数のみに有意差がなかったのは、上記(2)が原因であろうと考えた。漁獲試験の結果から、周辺海域の平場の砂場海底よりも魚礁周辺での資源密度が高いことは明らかであり、このような場所で漁具を逸失した場合には、ゴーストフィッシングがより重篤に発生する可能性を示唆している。

観察された肉食性の蝸集魚などが、魚礁内部・近傍部で、小型の蝸集魚などを摂餌しているか否かを調べるために胃内容物を調べたが、オオモンハタからネズッポ属の1種 *Repomucenus* sp. と種不明の魚類が、カサゴから甲幅1 cm 未満のカニ類が確認できたのみであった。肉食性の蝸集魚などが小型の蝸集魚などを摂餌していることを証明し、刺網纏絡魚礁にどの魚も多く蝸集している可能性があるという仮説を支持する結果を得ることを試みたが、見るべき結果は得られなかった。刺網纏絡魚礁では、カサゴがハゼ類を摂餌しようとした行動やカワハギなどが纏絡網の付着物を啄んでいる行動が観察できたことから、刺網纏絡魚礁を摂餌の場としていることは確かではあるが、上記の仮説を証明することは困難であ

った。

魚礁に纏絡した刺網のゴーストフィッシングは, Kaiser *et al.*,³²⁾ Erzini *et al.*,³³⁾ 仲島, 松岡³⁴⁾の研究結果と異なり, 約3年間で減少傾向が見られなかった。特に, 仲島, 松岡³⁴⁾では, タイ類に対するゴーストフィッシングは短期間で急速に減少し, 初期の約2箇月間のみに発生したが, 本研究では2年を経過してもなお発生した。魚礁のような三次元的な物体に刺網が纏絡した場合のゴーストフィッシングは, 網目が継続して展開しやすいことや魚礁の集魚効果により, 平坦な海底に残された刺網によるゴーストフィッシングに比べて大きく異なる現象である可能性がある。

魚礁に纏絡した網によって魚礁の集魚効果は増加するが, 一部の魚に対してゴーストフィッシングが発生することと, 逸失網が三次元的な構造を維持している場合にはゴーストフィッシングが長期間継続しやすいことから, 今後の網漁具によるゴーストフィッシングの研究では, 逸失が発生した海底の環境と逸失時の網形状を大きな要因として考慮する必要がある。

魚礁周辺では刺網を含む多漁業種の同時操業が行われやすいことや, 突起物のある複雑な海底環境であることから, 漁具の逸失が発生する可能性が高い。

今後, 魚礁の形状や使用漁具の違いなどによる逸失漁具数の差などの実態を調べることで, 漁具の逸失やゴーストフィッシングを考慮に入れた魚礁の設計を行うとともに, ゴーストフィッシングが発生する可能性が高い魚礁では操業方法などの適切な管理が必要であろう。

謝 辞

本研究の分析にあたり助言を頂いた鹿児島大学水産学部安楽和彦助教授, 四宮明彦助教授, Miguel Federico Vazquez Archdale 講師, 本研究の調査にあたりご協力を頂いた鹿児島大学水産学部漁業基礎工学講座学生, 磯野哲也, 故井上琢也, 久野哲生, 池田怜史, 西谷紀彦, 池田真丈, 佐々木壮, 榎田輝, 田中ふうま, 牧野智行, 川添美紀, 壺岐あかね, 副島久美, ハヶ代光祐, 大川文秀, 渡邊賢二の各氏, 本研究の出発点である人工魚礁周辺の逸失漁具によるゴーストフィッシングの現場調査を行った旧漁法学講座(現漁業基礎工学講座)学生の坂田道郎氏, 供試魚礁設置にご助力を頂きました豊田合成九州株式会社河辺広之部長, 当時南星丸船長吉永圭輔, 南星丸乗組員村田幸男, 折田修, 村下徳盛, 折田三昭, 益盛文三の各氏, 供試魚礁を提供して頂きました長崎大学水産学部西ノ首英之教授, 豊田合成九州株式会社に心から感謝致します。

文 献

- 1) 松岡達郎. 東町水域における逸失かごとゴーストフィッシング. *Mini Rev. Date File Fish. Res.* 1999; **8**: 64–69.
- 2) Degange AR, Newby TC. Mortality of seabirds and fish in a lost salmon driftnet. *Mar. Pollut. Bull.* 1980; **11**: 322–323.
- 3) Gerrodette T, Choy BK, Hiruki LM. An experimental study of derelict gillnet fragments in the central Pacific Ocean. In: Shomura RS, Godfrey ML (eds) *Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris 2–7 April 1989 Honolulu Hawaii*. U. S. Dep. Commer, Hawaii Honolulu. 1990; 600–614.
- 4) Donohue MJ, Boland RC, Sramek CM, Antonelis GA. Derelict fishing gear in the Northwestern Hawaiian Islands: diving surveys and debris removal in 1999 confirm threat to coral reef ecosystems. *Mar. Pollut. Bull.* 2001; **42**: 1301–1312.
- 5) Stewart BS, Yochem PK. Entanglement of pinnipeds in synthetic debris and fishing net and line fragments at San Nicolas and San Miguel Island, California, 1978–1986. *Mar. Pollut. Bull.* 1987; **18**: 336–339.
- 6) Arnould JPY, Croxall JP. Trends in entanglement of Antarctic fur seals (*Arctocephalus gazella*) in man-made debris at South Georgia. *Mar. Pollut. Bull.* 1995; **30**: 707–712.
- 7) Hanni KD, Pyle P. Entanglement of pinnipeds in synthetic materials at South-east Farallon Island, California, 1976–1998. *Mar. Pollut. Bull.* 2000; **40**: 1076–1081.
- 8) Henderson JR. A pre- and post-MARPOL Annex V summary of Hawaiian monk seal entanglements and marine debris accumulation in the northwestern Hawaiian Islands, 1982–1998. *Mar. Pollut. Bull.* 2001; **42**: 584–589.
- 9) Galgani F, Souplet A, Cadiou Y. Accumulation of debris on the deep floor off the French Mediterranean coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1996; **142**: 225–234.
- 10) Slip DJ, Burton HR IV. Accumulation of fishing debris, plastic litter, and other artifacts, on Heard and Macquarie Islands in the southern ocean. *Environ. Conser.* 1991; **18**: 249–254.
- 11) Anon. *Code of conduct for responsible fisheries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy. 1995.
- 12) Smolowits RJ. Trap design and ghost fishing: an overview. *Mar. Fish. Rev.* 1978; **40**: 2–8.
- 13) Smolowits RJ. Trap design and ghost fishing: discussion. *Mar. Fish. Rev.* 1978; **40**: 59–67.
- 14) Guillory V. Ghost fishing by Blue crab traps. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1993; **13**: 459–466.
- 15) Matsuoka T, Osako T, Miyagi M. Underwater observation and assessment on ghost fishing by lost fish-traps. In: Zhou Y, Zhou H, Yao C, Lu Y, Hu F, Chui H, Din F (eds) *Proceedings of the Forth Asian Fisheries Forum Beijing 16–20 October 1995*. Asian Fisheries Society, Beijing, China. 1995; 179–183.
- 16) Sutherland DL, Beardsley GL, Jones RS. Results of a survey of the south-Florida fish-trap fishing grounds using a manned submersible. *Northeast Gulf Sci.* 1983; **6**: 179–183.
- 17) Stevens BG, Vining I, Byersdorfer S, Donaldson W. Ghost fishing by Tanner crab (*Chionoecetes bairdi*) pots off Kodiak, Alaska: pot density and catch per trap as determined from sidescan sonar and pot recovery data. *Fish. Bull.* 2000; **98**: 389–399.
- 18) High WL, Worlund DD. Escape of king crab, *Paralithodes camtschatica*, from derelict pots. NOAA Technical Report
- 1) 松岡達郎. 東町水域における逸失かごとゴーストフィッ

- NMFS SSRF-734, U. S. Department Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Seattle. 1979; 1-11.
- 19) Muir WD, Durkin JT, Coley TC, McCabe GT Jr. Escape of captured Dungeness crabs from commercial crab pots in the Columbia River estuary. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1984; **4**: 552-555.
- 20) Scarsbrook JR, McFarlane GA, Shaw W. Effectiveness of experimental escape mechanisms in sablefish traps. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1988; **8**: 158-161.
- 21) Kimker A. Tanner crab survival in closed pots. *Alaska Fish. Res. Bull.* 1994; **1**: 179-183.
- 22) Sheldon WW. Trap contributions to losses in the American lobster fishery. *Fish. Bull.* 1975; **73**: 449-451.
- 23) High WL. Escape of Dungeness crabs from pots. *Mar. Fish. Rev.* 1976; **38**: 19-23.
- 24) Blott AJ. A preliminary study of timed release mechanisms for lobster traps. *Mar. Fish. Rev.* 1978; **40**: 44-49.
- 25) Pecci KJ, Cooper RA, Newell CD, Clifford RA, Smolowitz RJ. Ghost fishing of vented and unvented lobster, *Homarus americanus*, traps. *Mar. Fish. Rev.* 1978; **40**: 9-43.
- 26) Breen PA. Mortality of Dungeness crabs caused by lost traps in the Fraser River estuary, British Columbia. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1987; **7**: 429-435.
- 27) Parrish FA, Kazama TK. Evaluation of ghost fishing in the Hawaiian lobster fishery. *Fish. Bull.* 1992; **90**: 720-725.
- 28) Bullimore BA, Newman PB, Kaiser MJ, Gilbert SE, Lock KM. A study of catches in a fleet of "ghost-fishing" pots. *Fish. Bull.* 2001; **99**: 247-253.
- 29) Carr HA, Amaral EH, Hulbert AW, Cooper R. Underwater survey of simulated lost demersal and lost commercial gill nets off New England. In: Shomura RS, Yoshida HO (eds) *Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris 26-29 November 1984 Honolulu Hawaii*. U. S. Dep. Commer, Hawaii Honolulu. 1985; 438-447.
- 30) Carr HA, Cooper RA. Manned submersible and ROV assessment of ghost fishing gillnets in the gulf of Maine. In: *Proceedings Ocean '87, the Ocean—an International Workplace*. Halifax, NS. 1987; 622-624.
- 31) Carr HA, Blott AJ, Caruso PG. A study of ghost gillnets in the inshore waters of southern New England. *Proceeding of Marine Technology Society '92 Conference*. Marine Technology Society, Washington D. C. 1992; 361-366.
- 32) Kaiser MJ, Bullimore B, Newman P, Lock K, Gilbert S. Catches in 'ghost fishing' set nets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1996; **145**: 11-16.
- 33) Erzini K, Monteiro CC, Ribeiro J, Santos MN, Gasper M, Monteiro P. An experimental study of gill net and trammel net 'ghost fishing' off the Algarve (southern Portugal). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1997; **158**: 257-265.
- 34) 仲島淑子, 松岡達郎. 逸失底刺網のゴーストフィッシング能力の経時的変化と死亡数. 日水誌 2004; **70**: 728-737.
- 35) 著者不明. 人工魚礁漁場の定義. 「沿岸漁場整備開発事業人工魚礁漁場造成計画指針平成 12 年度版」社団法人全国沿岸漁業振興開発協会, 東京. 2000; 5.