曳航式深海用ビデオカメラを用いたキチジの生息密度推定法

渡部 俊 広,^{1*} 渡 辺 一 俊,¹ 北 川 大 二²

(2002 年 7 月 22 日 受付, 2003 年 2 月 28 日 受理)

¹独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所,²独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所Method of estimating the population density of kichiji rockfish *Sebastolobus macrochir*
using a deep-sea video monitoring system on a towed sledgeTOSHIHIRO WATANABE,¹ KAZUTOSHI WATANABE¹ AND DAIJI KITAGAWA²¹National Research Institute of Fisheries Engineering, Ebikai, Hasaki, Kashima, Ibaraki 314-0421, ²Tohoku
National Fisheries Research Institute, Hachinohe, Aomori, 031-0841, Japan

A deep-sea video monitoring system on a towed sledge (DVMSTS) was used in Tohoku waters (Pacific coastal of northern Japan) at depths ranging from 440 to 700 meters to estimate the population density of kichiji rockfish *Sebastolobus macrochir*. Thirty observations were completed at 24 survey sites in daytime during May and July in 2001. A seafloor area of 86,160 m² was surveyed, and 253 kichiji rockfish were observed. These fish stayed on the seafloor as solitary individuals. Most fish showed no behavioral response to the DVMSTS. Population densities ranged from 0 to 11 fish/1,000 m² (mean, 2.9 fish/1,000 m²). The method of estimating the population density of kichiji rockfish using DVMSTS is effective for stock assessment.

キーワード：曳航式深海用ビデオカメラ, キチジ, 生息密度

キチジ *Sebastolobus macrochir* は、市場価値が高いため、東北と北海道の太平洋域とオホーツク海における沖合底曳網漁業の重要な対象種になっている。しかし、その資源状態は、過剰な漁獲によって極めて低い水準になっている。¹⁻⁴⁾ この資源を今後も持続して利用していくには、資源量を的確に推定して、その資源水準に応じた適切な管理を行う必要がある。⁴⁾

キチジは映像による種の判別が容易であり、曳航式深海 TV システム（海底から離して曳航され、曳航体に搭載した深海用テレビカメラの映像を船上で観察できる）からの逃避がほとんどなかったことから、光学的手法を用いた調査の有効性が報告されている。⁵⁾ しかし、「しんかい 2000」や曳航式深海 TV システムを用いた調査は、専用の母船が必要であり、⁵⁾ 運行期間や運行時間に制約が多いため、資源調査に適した調査方法とは言い難い。そこで、ズワイガニ類の生息密度を推定するために開発した曳航式深海用ビデオカメラ⁶⁾を用いて、キチジの生息密度を推定した。

方 法

第三開洋丸（総トン数 474 ton）を用いて、曳航式深海用ビデオカメラによるキチジの分布観察を 2001 年 5 月 27 日から 6 月 6 日の日中に行った。観察は、金華山から小名浜沖の水深約 440 m～700 m の海域に 24 箇所の調査点をもうけて、合計 30 回行った（Fig. 1, Table 1）。本調査で用いた曳航式深海用ビデオカメラは、渡部・廣瀬⁶⁾ がズワイガニの生息密度を推定するために用いたものと同一である。ただし、曳航法が異なり、トロールワープ（直径 22 mm）と曳航式深海用ビデオカメラのそり型曳航台を約 400 m のポリプロピレン製クロスロープ（直径 30 mm, 比重 0.91）で繋いだ。そして、トロールワープを水深とほぼ同じ長さ繰り出して、そり型曳航台を極力 1 ノット前後になるように曳航した（実際には天候状態や海水の流れによって曳航速度は変化する。Table 1）。1 回の曳航における撮影時間は、水中ライトの点灯時間が、バッテリーの容量で制約されることから 55 分間とした。調査船の魚群探知機（シム

* Tel : 81-479-44-5951. Fax : 81-479-44-1875. Email : toshihiro@affrc.go.jp

Fig. 1. Map showing the survey sites off Tohoku.

ラッド社製 EK-500) を用いて、曳航水深を測定した。また、調査船の位置は、DGPS (古野電気社製 GP-35) で測定した。本装置を海中へ投入する直前に、水中ビデオカメラと水中ライトのタイマーを作動させ、調査船の速度と針路が一定になる投入 30 分後に撮影を開始した。キチジの分布密度 (1,000 m² 当たりの観察個体数) は、渡部・廣瀬⁶⁾と同様に曳航式深海用ビデオカメラの観察面積とキチジの観察個体数から算出した。

本研究で用いた曳航式深海用ビデオカメラは、北川ら⁵⁾が用いた曳航式深海 TV システムより高い音圧の摩擦音や海底面に対する強い振動が、海底と接触しているそり部から発生して、キチジの行動に影響を与える可能性があると考えた。このため、曳航式深海用ビデオカメラの接近に対するキチジの行動について検討した。すなわち、観察されたキチジを本装置が直前に接近するまでほぼ静止した状態で観察された個体 (無反応個体) と本装置の接近に対して移動した個体 (反応個体) に分けて

Table 1. Density of kichiji rockfish and towing characteristics of the deep-sea video monitoring system on a towed sledge

St. no.	Date of observation (in 2001)		Start time	Survey site				Towing speed (kn)	Bottom depth (m)	Observed distance (m)	Observed area (m ²)	Number of kichiji	No response No movement	Response Movement	Density of kichiji (Number/ 1000 m ²)
				Latitude (N)		Longitude (E)									
				deg.	min.	deg.	min.								
1	May	27	13:51	38	14.861	142	6.108	1.0	440	1800	2990	3	2	1	1
2	May	28	8:25	37	59.967	142	4.183	1.0	440	1850	3070	5	5	0	2
2	June	6	13:58	37	59.704	142	4.001	1.0	440	1840	3050	2	1	1	1
3	May	29	13:09	37	59.841	142	6.017	0.9	550	1710	2840	3	3	0	1
3	June	6	12:02	37	59.958	142	6.100	1.1	550	1990	3300	8	8	0	2
4	May	29	8:30	38	1.306	142	8.489	0.9	670	1740	2890	7	6	1	2
4	June	6	10:05	38	1.363	142	8.513	1.1	670	2060	3420	4	3	1	1
5	May	29	10:50	37	59.394	142	8.741	0.9	690	1650	2740	5	5	0	2
6	May	28	10:45	37	52.861	142	4.893	0.7	600	1380	2290	15	11	4	6.6
6	June	6	7:23	37	53.058	142	4.872	0.9	600	1740	2890	21	13	8	7.3
7	May	28	13:33	37	44.783	141	56.725	0.8	450	1530	2540	9	9	0	4
8	May	30	8:28	37	44.324	142	6.903	0.9	600	1650	2740	3	3	0	1
9	June	1	15:10	37	43.839	142	11.318	1.0	700	1840	3050	1	0	1	0.3
10	May	30	13:23	37	37.613	142	6.878	0.7	560	1260	2090	5	5	0	2
10	June	5	17:25	37	37.626	142	6.861	0.8	550	1540	2560	3	3	0	1
11	June	1	12:06	37	31.876	142	12.872	0.8	690	1540	2560	1	1	0	0.4
12	June	1	9:30	37	28.782	142	2.891	0.9	590	1730	2870	8	8	0	3
13	June	1	7:22	37	31.781	141	58.335	1.0	500	1820	3020	14	12	2	4.6
14	June	2	7:24	37	24.167	141	55.752	0.8	550	1480	2460	5	5	0	2
15	June	2	9:32	37	20.866	141	53.315	1.0	560	1770	2940	13	10	3	4.4
16	June	3	15:15	37	14.106	141	51.882	0.9	580	1640	2720	12	11	1	4.4
17	June	2	14:01	37	14.094	141	50.157	0.8	530	1480	2460	9	8	1	4
18	June	2	12:02	37	14.378	141	48.743	0.9	480	1700	2820	17	12	5	6.0
19	June	5	7:26	36	58.783	141	44.274	0.8	680	1390	2310	0	0	0	0
20	June	3	9:40	36	57.974	141	35.482	1.2	440	2150	3570	17	11	6	4.8
21	June	3	7:22	36	52.185	141	29.864	1.0	450	1820	3020	25	18	7	8.3
21	June	5	10:33	36	52.250	141	29.999	0.8	450	1520	2520	27	16	11	11
22	June	4	15:15	36	51.222	141	35.698	0.8	650	1420	2360	0	0	0	0
23	June	4	11:40	36	39.832	141	26.058	1.7	640	3090	5130	6	3	3	1
24	June	4	7:23	36	38.013	141	21.120	1.0	550	1770	2940	5	4	1	2
Total										51900	86160	253	196	57	2.94*

* Mean density of Kichiji (Number/1000 m²)

計数した。また、曳航式深海用ビデオカメラの曳航速力によって、キチジに接近する速さが変わるので、曳航速力別にキチジの観察個体数に対する反応個体数の割合を求めた。そして、両者の関係を散布図にまとめ相関係数を用いて相関関係があるかどうか調べた。⁷⁾

結 果

各調査点における海底は、St-20を除いて平坦であり底質は軟泥で、生物の巣孔と推定される小孔や窪みが数多く観察された。観察されたキチジは、全て単独で海底に着底しており、映像による種の判別が容易であった

Fig. 2. Example of the video image recorded with the deep-sea video monitoring system on a towed sledge. Seventy-seven percent of Kichiji rockfish *Sebastolobus macrochir* did not respond to the towed sledge. Of the remaining 23 percent, almost all the fish demonstrated avoidance just before the towed sledge came close to them.

Fig. 3. Relationship between towing speed of the deep-sea video monitoring system on a towed sledge and the proportion of responding individuals. The proportion of responding individuals was obtained by dividing the number of responded individuals by the total number of Kichiji rockfish observed by the towing speed.

(Fig. 2)。24箇所の調査点における曳航式深海用ビデオカメラによるキチジの分布観察から、延べ1,650分の映像記録を得た。総観察距離は延べ51,900 m, 総観察面積は86,160 m², キチジの観察個体数は合計253個体であった。24箇所のそれぞれの調査点における曳航月日, 曳航位置, 曳航速度, 観察面積, 観察されたキチジの個体数, 分布密度などをTable 1に示した。ただし, 観察個体数が10個体未満の調査点では有効数字が1桁となるため, 分布密度も1桁で表示した。調査点毎の観察面積は2,090 m²から5,130 m²であった。それぞれの調査点における観察個体数は0~27個体であった。キチジの分布密度の範囲は0~11個体/1,000 m², 平均分布密度は2.94個体/1,000 m²であった。

観察された合計253個体のキチジのうち, 無反応個体は合計196個体 (Fig. 2), 反応個体は合計57個体であった。これらの反応個体はいずれも本装置が直前に迫った時に移動し, ほとんどが本装置のそりが通過する直前にいた。本装置の曳航速力とキチジの観察個体数に対する反応個体数の割合をFig. 3に示した。この両者の間には正の相関関係 (相関係数0.76, $p < 0.05$) があった。

考 察

現在漁業研究で一般に用いられている光学機器による水中観察では, 夜間や深海のように光のない環境下では照明が必要となる。^{8,9)} 照明が観察対象生物の行動に与える影響が少ないと考えられる時, 照明を用いた水中観察が有効な手法として利用できる。⁶⁾ 曳航式深海用ビデオカメラも照明を用いているので, 最初に照明がキチジの行動に影響を与えているかどうか検討する。

照明装置を装備したROVに対するキチジ類 *Sebastolobus* spp. の行動については, Adamsら¹⁰⁾の報告がある。それによると, 合計193個体のキチジ類を観察して, ROVに対して2個体が弱い誘因行動, 173個体が無反応, 8個体が弱い逃避行動, 10個体が強い逃避行動を示した。¹⁰⁾ ROVの接近に対して, 反応したキチジ類は全観察個体数の10%と少なかった。ROVを海底から離して観察したので, 曳航式深海用ビデオカメラにみられるそり部から発生する振動や摩擦音は無い。したがって, ROVの照明と駆動部分から発生する音に対する反応と考える。また, 北川ら⁵⁾が行った曳航式深海TVシステムによるキチジの観察では, 曳航式深海TVシステムを海底から一定の高さに保つ (観察幅を一定に保つため) ために吊り下げたチェーンや錘が, キチジのそばに着底した場合にキチジが逃避する行動が観察された。しかし, 多くの場合は, 曳航式深海TVシステムがキチジの上を通過しても静止したままであった。⁵⁾ 「しんかい2000」による観察でも1 m以内に接近して

も、逃避するキチジは観察されなかったことが報告されている。⁵⁾したがって、照明や ROV などの駆動部分から発生する音に対して反応するキチジは少ないと考えられる。

本研究では、曳航式深海用ビデオカメラの接近に反応した個体は全観察個体数の 23% と、Adams ら¹⁰⁾の観察結果より高かった (χ^2 検定 $p < 0.01$)。この結果は、曳航式深海用ビデオカメラが海底に着底して曳航されるため、そり部から発生する振動や摩擦音によって威嚇されるキチジが多かったためと考える。しかしながら、これらの反応個体はいずれも本装置が直前に迫った時に反応し、ほとんどが本装置のそりが通過する直前にいた個体であった。つまり、本装置がキチジの直前に接近するまで、ほぼ全てのキチジは静止していた。また、既往の報告からも、^{5,10)} 照明に対して反応するキチジは少なかったため、曳航式深海用ビデオカメラの観察範囲内にいたキチジをほぼ全て観察できたと考えた。したがって、Table 1 で示したキチジの分布密度は生息密度を表す。

次に、本装置を用いてキチジの生息密度を推定する際、その精度を向上するために必要な問題点について検討する。本研究で観察を行った 24 箇所の調査点のうち 17 箇所の調査点で、観察個体数が 10 個体未満のため生息密度の有効数字は 1 桁となり、精度の低い推定値であった。例えば、St. 3 や St. 4 では 2 回行った観察結果を積算すれば、観察個体数が 10 個体以上になり、有効数字を 2 桁にすることができる。したがって、生息密度の低い調査点では観察面積を増加し、すなわち観察回数を増加することによって、観察個体数を増やし、生息密度の推定精度を上げる必要がある。⁶⁾ ただし、キチジは成長とともに移動する¹¹⁾ため分布が変化するので、繰り返して観察を行う場合は、最初の観察から次の観察を行うまでの時間間隔をなるべくあけないようにする必要がある。

最後に本装置の適切な曳航速力について検討する。本装置の曳航速力の増加とともに、キチジの観察個体数に対する反応個体数の割合が増加した。曳航速力が 1 ノット以下では、観察個体数に対する反応個体数の割合は 20% から 25% の範囲内にあり比較的安定していた。しかし、1 ノットより速くなると反応個体数の割合は 10% から 50% と変動が大きくなり、本装置の接近に対して反応する個体の割合が大きくなった。したがって、本装置を用いてキチジを観察する時は、曳航速力を 1 ノット以下にすることが望ましい。

以上述べたように本研究では、曳航式深海用ビデオカメラを用いたキチジの分布観察から生息密度を推定できることを確認した。また、本装置の利便性についてはすでに報告した。^{6,12)}したがって、本装置を用いてキチジの定量的調査を行うには、本装置の特性について十分考

慮して、生息密度の推定精度を上げる必要がある。⁶⁾

現在、キチジの資源量推定は調査用トロール網の漁獲から推定されている。^{13,14)} 資源量の推定精度を上げるために、今後曳航式深海用ビデオカメラによる調査と調査用トロール網による調査を同時に行い、この結果を比較してキチジに対する資源調査用トロール網の採集効率を検討する予定である。

謝 辞

本研究に御協力頂いた漁業調査船第三開洋丸田畑松一船長、はじめ乗組員各位に厚く御礼申し上げます。また、水産総合研究センター研究推進部と水産庁増殖推進部漁場資源課の関係各位に厚く感謝申し上げます。本研究は、水産庁の我が国周辺水域漁業資源調査等推進対策委託事業の一環として行った。

文 献

- 1) 渡辺安廣. 48 キチジ. 漁業生物図鑑「北のさかなたち」(長澤和也, 鳥澤 雅編) 北日本海洋センター, 札幌. 1991; 158-159.
- 2) 水産庁. 平成 12 年度 漁業白書. 農林統計協会, 東京. 2001; 57-60.
- 3) 北川大二. 日本の希少な野生水生物に関する基礎資料 (I), 16. キチジ. 水産庁, 東京. 1994; 262-230.
- 4) 夏目雅史, 北田修一, 國廣靖史, 木下貴裕. 標識放流に基づくオホーツク海南部におけるキチジの資源量推定. 日水誌 2001; **67**: 821-828.
- 5) 北川大二, 橋本 惇, 上野康弘, 石田享一, 岩切潤. 三陸沖深海域におけるキチジの分布特性. 第 1 回「しんかい 2000」シンポジウム報告書, 海洋科学技術センター, 神奈川. 1985; 107-117.
- 6) 渡部俊広, 廣瀬太郎. 曳航式深海用ビデオカメラによるズワイガニの生息密度の推定. 日水誌 2001; **67**: 640-646.
- 7) 石井 進. 生物統計学入門. 培風館, 東京. 1992; 240-243.
- 8) Walsh SJ, Hickey WM. Behavioural reactions of demersal fish to bottom trawls at various light conditions. ICES mar.Sci.Symp. 1993; **196**: 68-76.
- 9) Inoue Y, Matsushita Y, Arimoto T. The reaction behaviour of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in a deep/low-temperature trawl fishing ground. ICES mar. Sci. Symp. 1993; **196**: 77-79.
- 10) Adams PB, Butler JL, Baxter CH, Laidig TE, Dahlin KA, Wakefield WW. Population estimates of Pacific coast groundfishes from video transects and swept-area trawls. *Fish. Bull.* 1995; **93**: 446-455.
- 11) 木下貴裕, 國廣靖志, 多部田修. 標識放流に基づくオホーツク海南部におけるキチジの回遊. 日水誌 1999; **65**: 73-77.
- 12) 渡部俊広, 山崎慎太郎. 曳航式深海用ビデオカメラによるベニズワイガニの分布観察. 日水誌 1999; **65**: 503-504.
- 13) 北川大二, 服部 努. 調査船による底魚の資源評価とモニタリング. 水産海洋研究, 1998; **62**: 32-36.
- 14) 服部 努, 北川大二, 齊藤憲治, 遠藤広光, 田中利幸. 若鷹丸による底魚類資源調査の概要 面積一密度法を用いた資源量推定. 東北底魚研究, 1996; **16**: 56-67.