

八重山海域におけるナミハタの資源評価と産卵場保護区の効果

太田 格*, 秋田雄一, 上原匡人, 海老沢明彦

Stock assessment of the white-streaked grouper *Epinephelus ongus* in the Yaeyama Islands: implication of restoring effect by conservation of spawning aggregations.

Itaru OHTA*, Yuichi AKITA, Masato UEHARA, Akihiko EBISAWA

1989年～2012年の漁獲動向と仮想個体群解析 (Virtual Population Analysis: VPA) を用いて、八重山海域におけるナミハタの資源状態を評価した結果、低位・減少傾向であると判断され、資源の回復のためには大幅な漁獲量の低減が必要であることが分かった。また、将来予測の結果、現行のヨナラ水道産卵場保護区による資源の回復効果は限定的であるが、再生産成功指数 (RPS) が保護区設定により20%増加するならば、資源の減少傾向を抑えられることが分かった。資源量・漁獲量の将来予測結果から、産卵期2か月を全面禁漁 (現在の漁獲量を40%削減) にした場合、資源量を増大できる確率が高く、また10年間の累積漁獲量は、管理をしなかった場合と同等であることから、ナミハタの資源回復のためには、産卵期2か月を全面禁漁とする管理策が望ましいと考えられた。

目 的

ナミハタ *Epinephelus ongus* は最大全長 40cm のハタ科の小型種で、八重山諸島サンゴ礁域において特に重要な漁獲対象種であるが (太田, 2008b), 過去 20 年間で漁獲量は半減し、資源状態の悪化が懸念されている (太田・海老沢, 2009)。

これまでの研究により、本種は八重山海域の少なくとも 4 か所の水路部において (太田・名波, 2009), 4～6 月に、産卵集団 (Spawning aggregation) を形成し、その集団ピーク及び産卵は、顕著な月周期性を示すこと、産卵集団は 2～3 週間程度継続するが、その集団量は産卵数日前に急増し、産卵開始とともに急激に減少することなどが分かった (太田・海老沢, 2009a ; Nanami et al., 2013c)。さらに、各年の産卵集団には、頻度 (1 回または 2 回) と開始時期 (4 月または 5 月) の異なる 3 つの形成パターンがあり、そのパターンは産卵期前の水温によって予測できることが明らかとなった (太田・海老沢, 2009a)。

この顕著な季節性・月周期性に伴う産卵集団は、漁業者の間で経験的に知られており、これまでも集中して漁獲されてきた。この産卵期の漁獲は年間漁獲量の約 40% に達し、資源状態の悪化に大きく影響していると考えられた (太田・海老沢, 2009b)。このような状況の下、八重山漁協の漁業者は、本種の資源管理策に関する研究機関からの提案を受け、自主管理として、産卵集団ピーク期にあたる下弦前後の 5 日間、主要産卵場を全面禁漁とする保護区に設定することを決め

た。この保護区は 2010 年から始められたが、最多で 2 回の産卵集団に確実に対応するために、2011 年では 5 日間×2 回、2012 年では 7 日間×2 回に拡充された。

本研究では、これまでに得られたナミハタの生態と漁獲の情報から、仮想個体群解析 (Virtual Population Analysis: VPA) を用いて八重山海域における本種の資源量を推定し、資源の現状を評価した。また、主要産卵場を保護区に設定することによる漁獲量削減効果を推定し、この短期間の保護区による資源回復の効果を検証した。

材料及び方法

1) 解析に用いたデータ

資源量の推定に利用した漁獲統計及び漁獲物の尾叉長組成のデータを表 1 に示す。漁獲量の集計は、海老沢 (2006b) に、また CPUE 算出のための集計は、海老沢 (2005 : Mean2 に該当) の方法に従い、1989 年～2012 年の八重山海域におけるナミハタの漁獲量、漁獲努力量 (延べ水揚げ隻数) を集計し、CPUE (漁獲量/延べ水揚げ隻数) を算出した。八重山漁協市場において、ナミハタは「さっこーみーばい」の名称で扱われているが、1989 年～1998 年までは、「めばる」のセリ名称で扱われていた可能性が高い (太田ら, 2007)。よって、長期の漁獲変動傾向を把握するために、1989 年～2012 年の漁獲量・CPUE には「めばる」を加えたものとした。「めばる」は、近年ではハクテンハタなど漁獲量の少ないハタ類にあてられているセ

* Email: ootaitar@pref.okinawa.lg.jp 本所

表1. 資源量推定: 利用したデータセット, パラメータ及び計算式

1 対象種	ナミハタ <i>Epinephelus ongus</i> (ハタ科)
2 対象海域	八重山諸島
3 漁獲統計情報	2003年～2012年 県内下記市場 漁獲量, 漁獲努力量(延べ水揚げ隻数) 八重山及び県漁連のうち対象海域からの水揚げ分 (八重山漁協経由の二重集計は補正済み)
4 漁獲尾叉長組成	県内下記市場 尾叉長の実測データ 2003年～2012年 県漁連, 2005年～2012年八重山
5 年度・期間	5月～翌年4月までを年度とする 2003年～2012年
6 成長式	von Bertalanffy growth function: $L_t = 34.4\{1 - \exp[-0.187(t + 0.975)]\}$
7 年齢別漁獲尾数	漁獲尾叉長組成から, 繰り返し法(真子・松宮, 1977)により推定
8 寿命 λ	最高齢 (Mapleston et al., 2009; Ohta et al, 2013) $\lambda = 30, 25, 20$
9 自然死亡係数 M	寿命を用いたHoenig(1983)の推定式により $M = \exp\{1.46 + (1.01 - \ln\lambda)\} \quad (M = 0.139, 0.167, 0.209)$
10 資源尾数 N	1) y 年(2003年～2011年)、 a 歳(0歳～19歳) の資源尾数: Popeの近似式 (Pope, 1972) $N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right)$
	2) 2003年～2011年 最高齢(20歳)及び 最近年(2012年) 3歳～19歳の資源尾数 $N_{a,y} = \frac{C_{a,y}}{1 - \exp(-F_{a,y})} \exp\left(\frac{M}{2}\right)$
	3) 最近年(2012年) 0歳～2歳の資源尾数: 過去5年間(2003年～2007年)の平均 $N_{a,2012} = \frac{1}{5} \sum_{y=2003}^{2007} N_{a,y}$
11 漁獲死亡係数 F	1) 2003年～2011年 0歳～15歳 の漁獲死亡係数 $F_{a,y} = \ln\left\{\frac{N_{a,y}}{N_{a+1,y+1}}\right\} - M$
	2) 2003年～2012年 高齢(16歳～20歳)の漁獲死亡係数 $F_{16\sim 20,y} = F_{15,y}$
	3) 最近年(2012年) 0歳～14歳の漁獲死亡係数 (資源量指数でチューニングする場合) $F_{a,2012} = \frac{F_{a,2009} + F_{a,2010} + F_{a,2011}}{F_{15,2009} + F_{15,2010} + F_{15,2011}} F_{15,2012}$
	4) 最近年・(2012年・15歳)の漁獲死亡係数(ターミナル $F: F_t$) (資源量指数でチューニングする場合) 2006年～2012年のCPUEでチューニング: 式(9)を最小にする F_t をMS Excel Solverで探索 $\sum_{y=2006}^{2012} (I_y - qN_y)^2$
	I は資源量指数: CPUE, q は比例係数 $q = \frac{\sum I_y N_y}{\sum N_y^2}$
	5) 最近年(2012年) 0歳～14歳の漁獲死亡係数 (チューニングなし) $F_{a,2012} = \frac{F_{a,2009} + F_{a,2010} + F_{a,2011}}{3}$
	6) 最近年・(2012年・15歳)の漁獲死亡係数(ターミナル $F: F_t$) (チューニングなし) 式(12)を満たす F_t をMS Excel Solverで探索 $\frac{F_{14,2012}}{F_{15,2012}} = 1$
12 資源量 B (t)	y 年の資源重量, w_a は a 歳の重量(kg) (表2) $B_y = 10^{-3} \sum_{a=0}^{20} N_{a,y} w_a$

リ名称で（太田・工藤，2007），2005年～2012年の「めばる＋さっこーみーばい」に占める「めばる」の割合は4%～24%（平均17%）であり，ナミハタの漁獲傾向を大きく反映すると考えられた。一方，2003年～2012年の資源量推定には，「さっこーみーばい」だけの漁獲量・努力量を用いた。

年齢別漁獲尾数は，2003年～2012年に泊市場及び八重山漁協市場で原則週2回，全数測定した漁獲体長組成を基に，繰返し法（真子・松宮，1977）を用いて，20歳までの年齢組成変換し，漁獲量によって引き伸ばして推定した（表3）。

これまでの研究により，八重山海域における本種の成長（表1，式(1)），年齢別の体重，成熟率，性比等の生物学的な特性が明らかになっている（表2）（Ohta et al, 2013）。耳石輪紋による年齢査定の結果，最高齢は20歳であった。また，本種は雌から雄へ性転換するため，年齢とともに雌の割合が減少する（表2）。VPAで用いる自然死亡係数(M)は，寿命に基づく経験式を用いることが多い。八重山海域では最高齢20歳であったが，グレートバリアリーフでは30歳が報告されていることから（Maplestone et al, 2009），寿命20歳，25歳，30歳を仮定し，Hoenig（1983）に従い，式(2)から計算した3水準の M （ $M=0.209$ ， $M=0.167$ ， $M=0.139$ ）を仮定した。

表2. ナミハタの各年齢時の生物学的特性

年齢	尾叉長(cm)	体重(kg)	雌の割合	成熟率
0	8.3	0.01	1.00	0.00
1	12.7	0.04	0.99	0.00
2	16.4	0.08	0.98	0.00
3	19.4	0.12	0.96	0.39
4	22.0	0.18	0.91	0.77
5	24.1	0.23	0.82	0.94
6	25.8	0.29	0.66	0.99
7	27.3	0.34	0.46	1.00
8	28.5	0.38	0.28	1.00
9	29.5	0.42	0.14	1.00
10	30.3	0.46	0.07	1.00
11	31.0	0.49	0.03	1.00
12	31.6	0.52	0.01	1.00
13	32.0	0.54	0.01	1.00
14	32.4	0.56	0.00	1.00
15	32.8	0.58	0.00	1.00
16	33.0	0.59	0.00	1.00
17	33.3	0.60	0.00	1.00
18	33.4	0.61	0.00	1.00
19	33.6	0.62	0.00	1.00
20	33.7	0.63	0.00	1.00

2) 資源量の推定

2003年～2012年の資源量を，VPA（Virtual Population Analysis）（平松，2001）により推定した（表1，3）。資源尾数は，基本的にはPopeの近似式(式(3))を用いて計算し，最高齢，最近年などについては式(4) (5)を用いて計算した。自然死亡係数 M は，式(6)で計算し，16歳以上を15歳と同じと仮定し(式(7))，2012年の15歳をターミナル F (F_t)とした。CPUEによってチューニングする場合は式(8)を用いて，式(9)を最小にするような F_t の値をMS Excel Solverを用いて探索的に求めた。また，チューニングしない場合は，式(11)を用いて，

式(12)を満たすように F_t を調整した。資源量 B_t は式(13)によって計算した。

3) 資源評価

現在の資源量の水準については，資源量の推定値が2003年以降の短い期間しか得られていないので，1989年以降の漁獲量及びCPUEの最大値と最小値を3等分し，それぞれ「上位」，「中位」，「下位」の3段階の資源量水準とした。資源量の変動傾向については，漁獲量，CPUE及び資源量推定値の変動傾向をみて，総合的に判断した。

また，産卵場保護区が始まる前の2009年の年齢別の漁獲選択率（6歳魚 F に対する各年齢の F の比率）と本種の生物特性（表2， $M=0.167$ ，漁獲開始年齢4歳）を基に，加入量あたりの漁獲量（YPR）及び加入量あたりの親魚量（SPR）を求めた（松宮，1996）。また，YPRを最大にする漁獲死亡係数 $F_{\max}$ を求め，成長乱獲の指標とした。さらに，%SPR（漁業がない時($F=0$)のSPRと漁業がある時のSPRの比)を求め，現状の F ($F_{\text{current}}=F_{2009}$)に対する加入乱獲の指標とした。

4) 再生産関係

資源動態を把握，予測する上で，再生産関係（親魚量と加入量の関係）は極めて重要である。しかし，これには通常，長期間にわたる資源量推定値が必要であるため，本研究では後述する資源量の将来予測に用いるために暫定的な再生産関係を下記の通り求めた（表4）。

VPAの性質上，近年・若齢魚ほど推定精度は低いので，2009年以前の資源尾数を確定値とし，0歳魚資源尾数を加入量とした。また，3歳以下はほとんど漁獲されていないので，仮定した M と2003年～2009年の資源尾数推定値を基に，式(3)により後進計算し，1999年まで遡り，0歳魚資源尾数を算出した。次に，VPAによる資源量推定値のない1999年～2002年の親魚量を，2003年～2009年の平均漁獲率（式(16)）及び資源量と親魚量（式(14)）の関係式（直線回帰式）を基に，漁獲量から推定した。こうして得られた1999年～2009年の11年分の親魚量(SSB_t)及び加入量($R_t=N_{t,y}$)のデータから，再生産成功指数（RPS：式(17)）を求めるとともに，Beverton-Holtの再生産式（式(18)）を仮定し，MS Excel Solverでそのパラメータを求めた。また，11年間の平均RPSに対する各年のRPSの割合（ RPS_{ratio} ）を求めた。

5) 産卵場保護区による漁獲量の削減効果の推定

八重山海域において，ナミハタの産卵集群形成および産卵には明瞭な月周期性があり，例年，月周期暦（新年最初の新月をLCM1月1日とする）のLCM4月23日（下弦）をピークに産卵集群が形成され，それに伴い産卵群が集中的に漁獲されていたことが分かっている（太田・海老沢，2009a）。この情報を基に，2010年から，産卵集群形成がピークとなるLCM4月23日前後5日間を禁漁とする保護区を，産卵集群の規模が最も大きいとされるヨナラ水道南側（面積約3.3km²）を設

定することになった。

表3. VPAによって推定された年齢別の漁獲尾数, 資源尾数及び漁獲死亡係数 (M=0.167, チューニングあり)

漁獲尾数	Age	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0
	2	0	4	3	4	4	3	3	3	3	2
	3	324	78	17	47	4	3	40	3	14	20
	4	7603	4384	3060	3402	1999	665	1860	1395	1552	1673
	5	13917	10108	8040	8270	8675	3927	5363	4675	5229	4811
	6	12446	10167	6803	8355	9404	7300	5724	5192	6256	4954
	7	9200	7717	4625	6342	6719	7847	5270	4873	5537	4199
	8	5759	4707	3019	4269	4315	5983	4362	4118	4008	3166
	9	3017	2384	1867	2654	2657	3666	3076	2945	2418	2056
	10	1379	1082	1098	1570	1592	1994	1886	1804	1286	1176
	11	588	477	632	915	942	1037	1066	1002	648	626
	12	248	217	366	541	561	543	588	537	327	327
	13	108	105	218	330	341	295	328	290	171	173
	14	50	54	136	208	215	169	188	163	95	95
	15	25	30	89	134	141	102	111	97	55	55
	16	14	18	61	86	97	66	67	61	33	32
	17	8	11	43	55	69	45	40	41	20	19
	18	5	6	32	32	52	33	23	29	12	11
	19	3	4	25	16	41	25	11	21	6	6
	20	2	4	20	4	33	20	3	17	3	2
	Total	54696	41557	30157	37239	37860	33724	30009	27265	27673	23405
資源尾数	Age	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	0	92429	91086	92578	94636	104141	120726	127613	104968	97229	94974
	1	97687	78231	77094	78356	80099	88144	102181	108010	88843	82293
	2	95519	82681	66213	65248	66316	67794	74603	86484	91418	75195
	3	84637	80845	69976	56039	55222	56125	57377	63140	73196	77372
	4	73977	71337	68354	59210	47387	46735	47501	48526	53438	61939
	5	60506	55618	56346	55039	46984	38269	38945	38492	39789	43802
	6	42639	38408	37775	40294	38976	31786	28777	28028	28279	28865
	7	27255	24639	23155	25713	26417	24337	20187	19090	18946	18179
	8	15845	14604	13754	15343	15929	16178	13379	12237	11674	10941
	9	8516	8113	8030	8864	9058	9513	8188	7310	6568	6194
	10	4438	4433	4674	5079	5060	5222	4679	4101	3478	3335
	11	2361	2487	2757	2945	2854	2818	2585	2225	1812	1760
	12	1343	1458	1666	1752	1651	1549	1431	1207	961	937
	13	865	909	1034	1074	985	881	811	670	528	513
	14	476	632	673	675	605	520	475	385	300	289
	15	398	357	485	444	380	315	285	229	176	167
	16	279	314	274	329	253	192	172	139	105	98
	17	75	224	249	176	199	125	102	84	61	58
	18	163	56	180	171	99	104	64	49	34	34
	19	61	133	42	122	115	36	58	34	15	18
	20	38	49	109	12	89	60	8	39	9	7
	Total	609507	556613	525417	511522	502819	511429	529420	525449	516859	506971
漁獲死亡係数	Age	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3	0.004	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	4	0.118	0.069	0.050	0.064	0.047	0.016	0.043	0.032	0.032	0.030
	5	0.288	0.220	0.169	0.178	0.224	0.118	0.162	0.142	0.154	0.127
	6	0.382	0.339	0.218	0.255	0.304	0.287	0.244	0.225	0.275	0.206
	7	0.457	0.416	0.245	0.312	0.324	0.432	0.334	0.325	0.382	0.289
	8	0.503	0.431	0.273	0.360	0.349	0.514	0.438	0.455	0.467	0.378
	9	0.486	0.385	0.291	0.394	0.384	0.543	0.525	0.576	0.511	0.448
	10	0.412	0.308	0.295	0.410	0.419	0.536	0.576	0.650	0.514	0.483
	11	0.315	0.234	0.286	0.412	0.445	0.511	0.595	0.673	0.492	0.489
	12	0.224	0.176	0.273	0.409	0.461	0.480	0.592	0.660	0.462	0.476
	13	0.146	0.134	0.261	0.407	0.472	0.451	0.579	0.636	0.435	0.458
	14	0.122	0.098	0.248	0.407	0.487	0.435	0.564	0.617	0.419	0.444
	15	0.071	0.096	0.222	0.396	0.516	0.437	0.552	0.617	0.413	0.439
	16	0.071	0.096	0.222	0.396	0.516	0.437	0.552	0.617	0.413	0.439
	17	0.071	0.096	0.222	0.396	0.516	0.437	0.552	0.617	0.413	0.439
	18	0.071	0.096	0.222	0.396	0.516	0.437	0.552	0.617	0.413	0.439
	19	0.071	0.096	0.222	0.396	0.516	0.437	0.552	0.617	0.413	0.439
	20	0.071	0.096	0.222	0.396	0.516	0.437	0.552	0.617	0.413	0.439
漁獲量(t)		15.9	12.4	9.2	11.7	12.1	11.7	10.1	9.3	9.0	7.6
資源量(t)		85.6	79.5	76.0	75.2	71.2	67.0	64.1	63.6	64.3	65.1
漁獲率		0.186	0.156	0.121	0.156	0.170	0.175	0.157	0.146	0.140	0.116

表4. 再生産関係・将来予測: 計算式, シナリオ

1 親魚量 SSB (t)	y年の資源重量, w_a はa歳の重量(kg), rm_a はa歳の成熟率 (表2)	
		$SSB_y = 10^{-3} \sum_{a=0}^{20} N_{a,y} w_a r m_a \quad (14)$
2 漁獲率 E	1) y年の漁獲率, y年の資源量 B_y に対する漁獲量 Y_y の比.	$E_y = \frac{Y_y}{B_y} \quad (15)$
	2) 2003年～2009年の平均漁獲率	$E_{ave2003\sim2009} = \frac{1}{7} \sum_{y=2003}^{2009} E_y \quad (16)$
3 再生産成功指数 RPS	y年の再生産成功指数, y年の加入量 R_y はy年の0歳魚資源尾数 $N_{0,y}$ とする	$RPS_y = \frac{R_y}{SSB_y} \quad (17)$
4 再生産関係	Beverton-Holtの再生産式, R は加入量, α, β は定数	$R = \frac{\alpha}{(\beta + 1/SSB)} \quad (18)$
5 資源尾数 N	2010年～2019年 1歳～20歳 の資源尾数: 生残の式	$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(F_{a,y} + M) \quad (19)$
6 加入尾数 R ($N_{0,y}$)	2010年～2019年 0歳 の資源尾数:	$R_y = \frac{\alpha}{(\beta + 1/SSB_y)} RPS_{ratio} \delta \quad (\delta = 1.0, 1.1, 1.2, 1.3) \quad (20)$
	RPS_{ratio} は1999年～2009年の各年のRPSを平均RPSで除したもの. これらの過去の $RPS_{ratio}(n=11)$ を, 将来の加入尾数計算にランダムに選択して用いた. RPSの増加係数 δ はシナリオに応じて調整	
7 漁獲死亡係数 F	①2010年～2019年 0歳～20歳の漁獲係数: 過去3年間(2007年～2009年)の平均値にシナリオに応じた漁獲削減係数 γ をかけて, F を算出	
		$F_{a,y} = \frac{1}{3} (F_{a,2007} + F_{a,2008} + F_{a,2009}) \gamma \quad (\gamma = 0.1, 0.2, \dots, 1.0) \quad (21)$
8 漁獲尾数 C	2010年～2019年 0歳～20歳 の漁獲尾数: 漁獲方程式	$C_{a,y} = \frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M} N_{a+1,y+1} \{ \exp(F_{a,y} + M) - 1 \} \quad (22)$
9 漁獲量 Y (t)	y年の漁獲重量, w_a はa歳の重量(kg) (表2)	$Y_y = 10^{-3} \sum_{a=0}^{20} C_{a,y} w_a \quad (23)$
10 シミュレーション	1) 自然死亡係数, 管理策による F 削減係数, 再生産成功指数の仮定によるシナリオ ① 寿命 $\lambda = 30, 25, 20$ を想定して, 式(2)より3つの M を仮定 ($M=0.139, 0.167, 0.209$) ② 2010年～2019年の F を0%, 10%...100%削減する管理策 (削減係数 $\gamma = 0, 0.1, \dots, 1.0$) ③ 2010年～2019年のRPSが0%, 10%, 20%, 30%向上すると仮定 (RPS増加係数 $\delta = 1.0, 1.1, 1.2, 1.3$) 2) 上記のシナリオの各組み合わせにおいて, それぞれ1000回シミュレート	

この産卵場保護区による直接的な資源管理の効果として、①産卵親魚に対する漁獲圧の削減、②産卵群保護による産卵量、受精率の増加等の再生産成功指数の増加が期待できると考えられる。漁獲圧の削減効果については、太田・海老沢(2009b)に基づき以下のように推定した。

八重山海域における過去 20 年間の産卵期のナミハタの漁獲量は年間漁獲量の 30%~40%でほぼ一定であり、顕著な月周期パターンがあることから、この期間の月周期暦の各日の過去 20 年間の平均漁獲割合を算出し、設定した禁漁期間中の漁獲割合が、八重山全海域を禁漁にした場合に期待できる漁獲量削減率となると考えた。次に、産卵期のナミハタについて、八重山海域での漁獲量に占めるヨナラ水道での漁獲量の割合(海域カバー率)を漁業者の情報を基に 80%と仮定した。よって、当保護区の漁獲量削減効果は、禁漁期間に設定した月周期暦の平均漁獲割合と海域カバー率の積で表せると考えられた(太田・海老沢, 2009b)。

ナミハタの産卵集群形成は、水温変動に影響を受け、年 1 回の場合と 2 回の場合がある(太田・海老沢, 2009a)。年 2 回の場合にも対応できるよう、保護区設定期間は 2010 年の開始以降、徐々に延長され、2011 年には LCM4 月及び LCM5 月の下弦前後 5 日間+5 日間=計 10 日間、2012 年以降は両月下弦前後 7 日間+7 日間=14 日間となった。前述の年間の漁獲量削減効果は、2010 年の 5 日間で 7%、2012 年での 14 日間で 13%と推定された。同様に、産卵期 2 か月を全海域禁漁にした場合、約 30%~40%と推定された。

6) 管理策に応じた資源量の将来予測

現行の保護区を含む程度の異なる管理策の効果を評価するために、保護区が始まる前の 2009 年の年齢別資源尾数(チューニング VPA の結果)を初期値として、以下のシナリオに従い F 及び RPS を調整し、前進計算によるシミュレーションを行って、2010 年~2019 年までの将来 10 年間の資源量及び漁獲量を推定した(表 4)。

保護区の期間・海域範囲の設定に応じて、資源量がどのように変化するかを調べるために、各年の F に漁獲削減係数 γ を乗じ、また産卵群の保護による再生産成功指数の増加を仮定し、各年の RPS にその増加係数 δ を乗じることで、これらの程度に応じた将来の資源量をシミュレートした(表 4)。加入量の将来予測は、再生産式に過去(1999 年~2009 年)の RPS_{ratio} をランダムにリサンプルし、乗じたものとした(式(20))。シナリオは 1) 自然死亡係数 M ($M=0.209$, $M=0.167$, $M=0.139$)、2) F 削減係数 γ ($\gamma=0$, 0.1 , 0.2 ... 1.0)、3) RPS 増加係数 δ ($\delta=0$, 0.1 , 0.2 , 0.3) の異なる組み合わせを仮定し、各 1000 回のシミュレーションを実施した。

結果

1) 漁獲および資源の状況

1989 年以降、漁獲量は 1997 年と 2004 年頃に減・増が認められたが、全体的には減少傾向であり、1995 年の 26.5t をピークに、2012 年には 8.6t となり、ピーク時の 32%に減少した(図 1)。

CPUE は、1997 年頃までやや傾きが大きい方が、全体として漸減傾向であり、1989 年の 6.56kg/日をピークに、2012 年には 2.65kg/日となり、ピーク時の 40%に減少した。漁獲量、CPUE それぞれ、最大値と最小値の間を 3 等分した値を、資源水準の基準とすると、2012 年の資源水準は低位であると考えられた(図 1)。

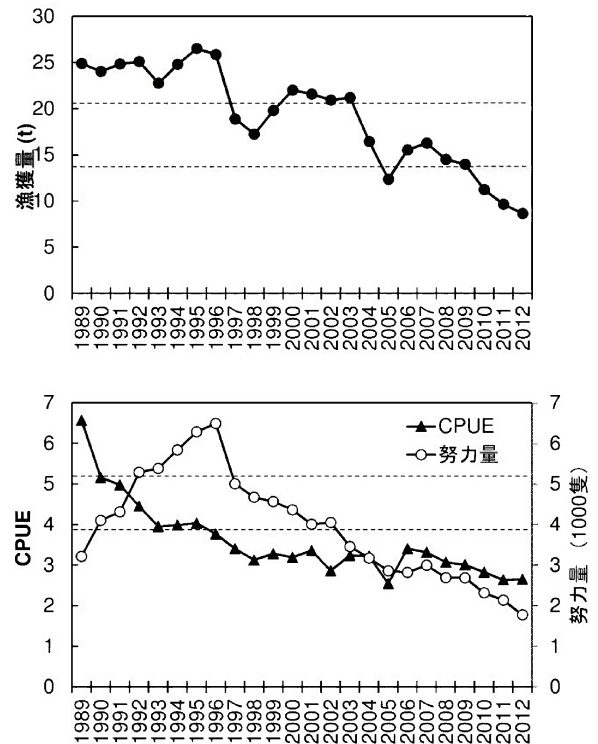


図 1. ナミハタの漁獲量、努力量、CPUE の推移

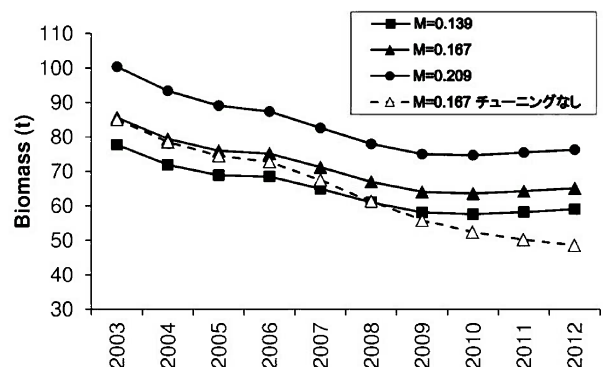


図 2. M の仮定及びチューニングの有無による推定資源量の変化(2003 年~2012 年)

2003 年~2012 年のチューニング VPA による資源量推定値は、自然死亡係数 M の違いに関わらず同様な減少傾向を示したが、 M が大きいほど資源量推定値が大きくなった(図 2)。2012 年の資源量は、 $M=0.139$ で 59t, $M=0.167$ で 65t(表 3), $M=0.209$ で 76t であった。 $M=0.167$ を仮定した場合、資源量は 85~65t に漸減し、チューニングなしの VPA で(63~34t)に比べ、CPUE の変動傾向を反映し、減少傾向がゆるやかとな

った (図2)。

これらの結果から、八重山海域におけるナミハタの資源状態は低位・減少傾向であると考えられた。保護区が始まる前の2009年の年齢別漁獲選択率から、SPR及びYPRを求め、漁獲圧について評価した結果、2009年の F (F_{current}) は、 F_{max} を下回り、成長乱獲ではないが、 $F_{30\%SPR}$ (%SPR=30%を実現する F)と同程度であり、加入乱獲の状態にあると考えられた (図3)。 F_{current} を $F_{40\%SPR}$ に引き下げると、現状の漁獲圧を0.62倍する必要があることが分かった。

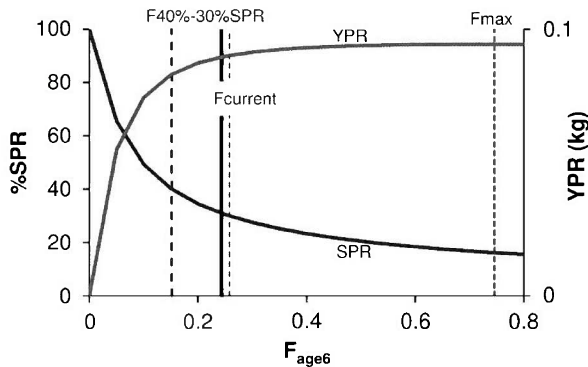


図3. 漁獲死亡係数 F とYPR及び%SPRの関係

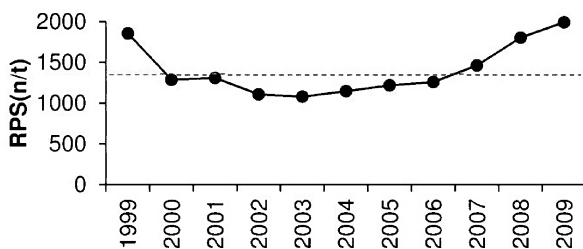


図4. 1999年～2009年までの再生産成功指数RPS

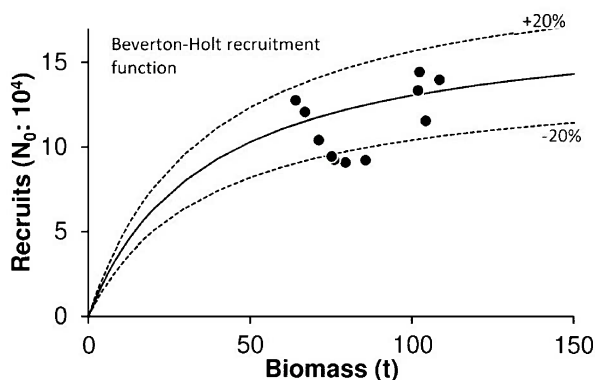


図5. 親魚量と加入量の関係

($M=0.167$, Beverton-Holtの再生産式を仮定)

2) 再生産関係

1999年～2009年のRPSは1079尾/t～1991尾/t(平均1411±324尾/t)で、 RPS_{ratio} は0.76～1.41となり、平均から24%～41%のばらつきがあった (図4)。

1999年～2009年の11年分の親魚量と加入量のデータから、Beverton-Holtの再生産式のパラメータ α 、 β を、3つの M の仮定(0.209, 0.167, 0.139)のもと算出した。 $M=0.167$ を仮定した場合、再生産式関係は図5のようになり、加入量は2012年水準の資源量の時、約1.14万尾、2003年水準の時、1.25万尾となる関係式となった。

3) 資源量の将来予測

M の仮定が異なる場合、2010年～2019年の10年間の資源量予測値は、2009年までの資源量推定値と同様に、 M が大きいほど大きく推定されたが、変動傾向はほぼ同じであった (図6)。漁獲圧を現状(2007年～2009年の平均値)のまま維持していた場合(漁獲削減係数 $\gamma=1$)、減少傾向は継続し、2019年には2009年の資源量から約30%減少した。漁獲圧を現状から40%削減した場合($\gamma=0.6$, $F_{40\%SPR}$ とほぼ同じ)、資源量はほぼ横ばいとなった。一方、10年間全面禁漁にした場合($\gamma=0$)、資源量は急速に増大していくが、 M の仮定が小さいほど、わずかに増加率が高くなった。

$M=0.167$ を仮定し、漁獲削減係数 γ とRPS増加係数 δ を変化させた2010年～2019年の資源量推定値(中央値)を図7に示す。前述したように、RPSが増加しない場合($\delta=1.0$)、漁獲削減率が40%($\gamma=0.6$)以下では、資源の減少傾向は継続した。RPSが増加するにつれて、資源量予測値は増加していき、現行の保護区($\gamma=0.9$)を継続した場合の資源量予測値は、RPSが20%増加する($\delta=1.2$)時にはほぼ横ばい、RPSが30%増加する($\delta=1.3$)時にやや向上きとなった。現行の保護区の継続によって、資源量が5年前(2005年：～2009年までに16%減少した)の水準に回復する確率(1000回シミュレート%)は、 $\delta=1.3$ 未満では0%であり、 $\delta=1.3$ の時、2016年以降0.2%～1.6%となったが、将来10年間以内での資源の回復確率は非常に低かった (図8)。

産卵期間中を全面禁漁にした場合($\gamma=0.6$)では、RPS増加率の程度に応じて、資源量推定値は横ばいから増加傾向に転じた。5年前の水準に回復する確率は、 $\delta=1.0$ の時、2015年以降0.1%～0.5%、 $\delta=1.1$ の時、2014年以降0.6%～6.7%に増加、 $\delta=1.2$ の時、2013年以降1.2%～45.3%、 $\delta=1.3$ の時、2013年以降5.7%～85.4%となった。

一方、2010年～2019年の漁獲量予測値は、 F の削減シナリオに応じて図9のようになった。 $M=0.167$ 、RPS増加率 $\delta=1.0$ を仮定した場合、10年間の累積漁獲量は、 F 削減による減少と資源量増加に伴う増加により相殺され、50%までの F の削減($\gamma>0.5$)であれば、現状の漁獲($\gamma=1$)を続けた場合とほとんど変わらなかった (図10)。

考察

本研究の結果から、2009年時点での資源状態は、低位・減少傾向であり、資源の回復のためには大幅な漁獲量の低減が必要ことが分かった。また、将来予測の結果、現行の産卵場保護区 (F 削減係数 $\gamma=0.9$) による資源の回復効果は限定的であるが、RPS が保護区設定により 20%増加すれば、資源の減少傾向を抑えられることが分かった。

ヨナラ水道のナミハタ産卵場のうち、産卵群が集中するエリア (コアサイト) では (太田・名波, 2009), 2012 年の産卵ピーク日頃の生息密度が、2008 年の保護区設定前に比べ、約 9 倍多くなった (Nanami et al., 2013c)。本種の産卵は、産卵期の下弦に始まり、数日間の短期間に集中すると考えられており (太田・海老沢, 2009a), この産卵ピークを保護することで、産卵量の大幅な増加は十分期待できる。しかし、ナミハタは枝状ミドリイシを着底場所や幼魚期の生息環境として選択的に利用するため、ミドリイシの減少が個体群に負の影響を引き起こす可能性が示唆されており (Nanami et

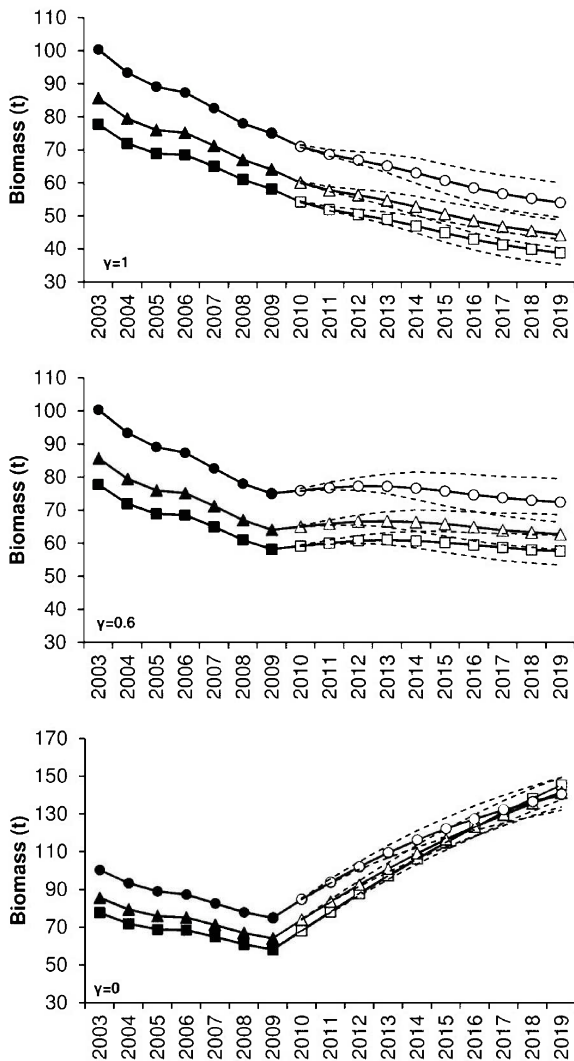


図 6. M の仮定による資源量の推定値 (2003 年～2009 年) 及び将来予測値 (2010 年～2019 年) の変化

$M=0.209$ (●), $M=0.167$ (▲), $M=0.139$ (■). 点線は 10%及び 90%パーセンタイル. 現状維持 ($\gamma=1$), 漁獲量 40%削減 ($\gamma=0.6$), 全面禁漁 ($\gamma=0$) の時の予測値.

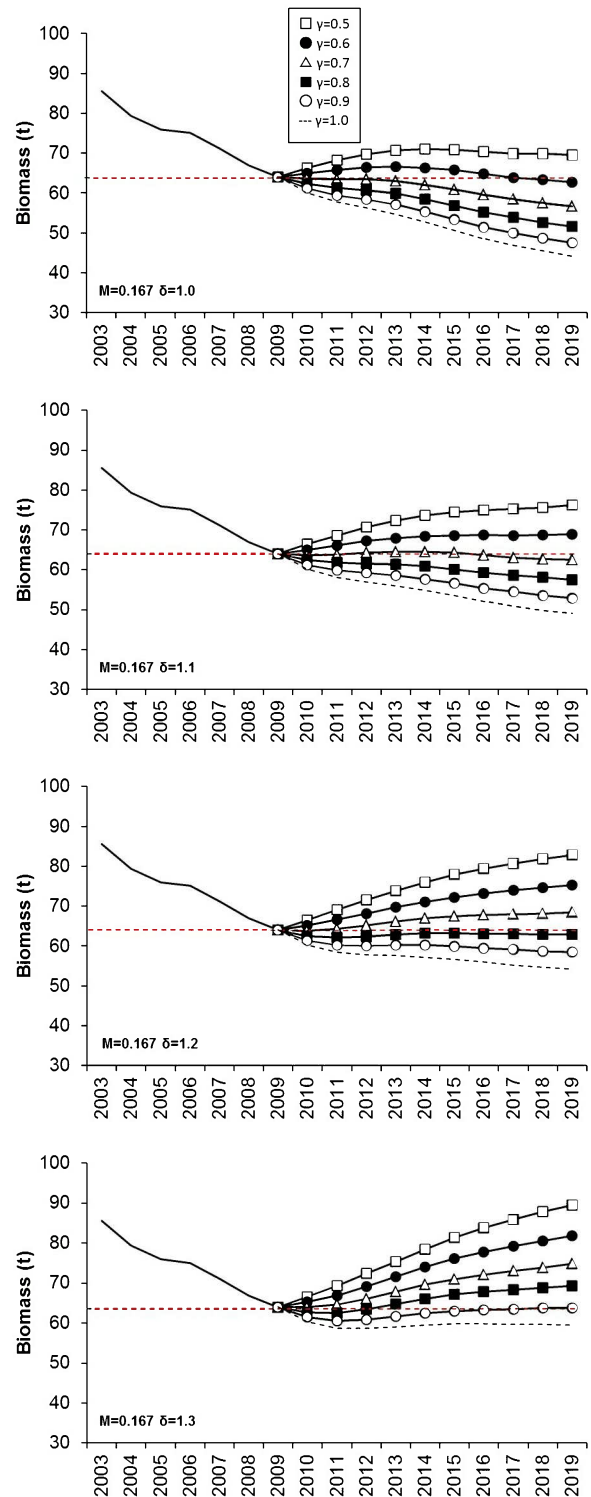


図 7. 管理策及び RPS の増加に応じた資源量の将来予測

$M=0.167$, 漁獲削減係数 ($\gamma=0.5, 0.6 \cdots 1.0$), RPS 増加率 ($\delta=1.0 \cdots 1.3$) を仮定.

al., 2013a), サンゴ礁環境の保全も合わせて進めていかなければならない。

ハタ類の産卵集群形成では、オスが先に産卵場に集まることが知られ (Rhodes & Sadovy, 2002), ナミハタも同様であることが示唆されている (太田・海老沢, 2009a; Nanami et al., 2013c)。ナミハタの産卵集群形成は産卵開始日の 2～

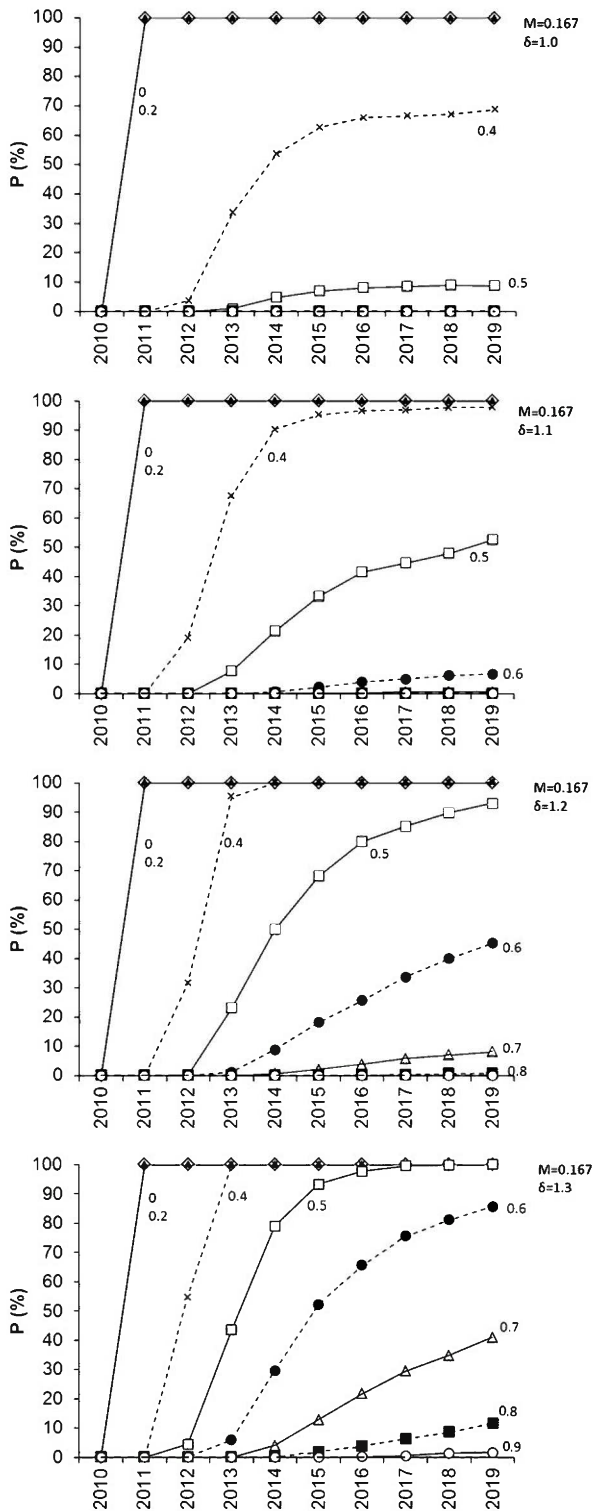


図8. 管理策及びRPSの増加に応じた資源量の回復確率
資源量が5年前(2005年:76t)の水準に回復する確率 $M=0.167$,
漁獲削減係数(図中の数字: $\gamma=0\cdots1.0$), RPS 増加率 ($\delta=1.0\cdots1.3$) を仮定.

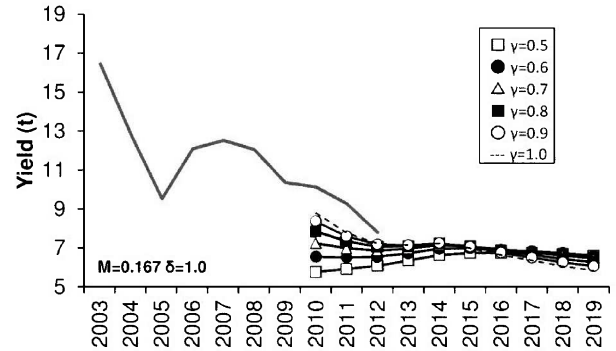


図9. 管理策に応じた漁獲量の将来予測

$M=0.167$, 漁獲削減係数 ($\gamma=0.5, 0.6\cdots1.0$), RPS 増加率 ($\delta=1.0$) を仮定.

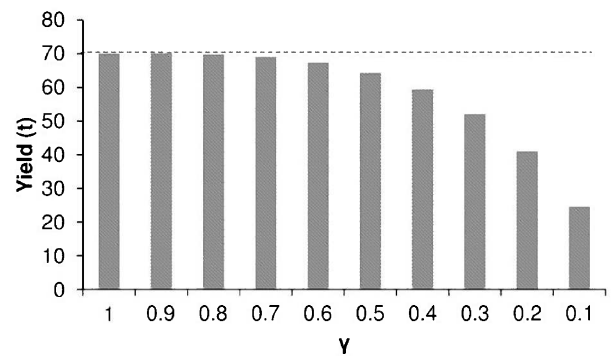


図10. 管理策に応じた10年間の累積漁獲量(2010年~2019年). $M=0.167$, 漁獲削減係数 ($\gamma=0\cdots1.0$), RPS 増加率 ($\delta=1.0$) を仮定.

3週間前に始まるので(太田・海老沢, 2009a), 現行の保護区の設定期間ではオスを十分に保護できない。資源量・漁獲量の将来予測結果から, 産卵期2か月を全面禁漁(現在の漁獲圧を40%削減)にした場合, 資源量を増大できる確率が高く, また10年間の累積漁獲量は, 管理をしなかった場合と同等であることから, ナミハタの資源回復のためには, 産卵期2か月を全面禁漁にする管理策が望ましいと考えられた。産卵期2か月の全面禁漁であれば, ヨナラ水道以外の産卵場においても, 雌雄ともに産卵群を保護できる利点がある。本研究ではいくつかの重要なパラメータの仮定において, 十分な情報が得られていない。最も重要なものは再生産関係である。一般に, 再生産関係を見る場合, 新規加入量は, 産出卵数または雌親魚量の関数として表すが, 本研究では雌雄合わせた親魚量を用いた。雌性先熟の性転換種では, 相対的に大型の雄への漁獲圧が高まる傾向があり, 雄の資源量の減少は, 産卵時の受精率の低下を引き起こすことなど繁殖成功を低下させることが示唆されている(Sadovy de Mitcheson & Erisman, 2012)。また, モデルを使った実験では, 雄の資源量の低下による受精率への影響が不明な場合, 雌雄合わせた親魚量を用いるほうがよいとされている(Brooks et al.,

2008)。ナミハタは、ペア産卵することが知られており (Nanami et al., 2013b), 雄の減少は、産卵量や受精率を低下させる可能性がある。また、性転換種では、社会構造によって性転換がコントロールされていると考えられており (Shapiro, 1987), 資源量が増加 (または減少) したときに、性転換のタイミングと年齢別の性比が変化する可能性がある。そのため、現在の年齢別性比を固定し、雌親だけを再生産関係の関数に用いて加入量を推定すると、資源が増加し、高齡魚の割合が増えた場合は過少に、その反対では、過大に推定してしまうことになる。本研究では雌雄合わせた親魚量を用いて、暫定的に再生産式を求めたが、これは親魚量の増加に伴い、極めて緩やかに加入量が増加する保守的な関係式となっているので、資源量の推定値は過小評価になっているかもしれない。いずれにしても、今後の状況をモニタリングして情報を集積していく必要がある。

文 献

- Brooks EN, Shertzer KW, Gedamke T, Vaughan DS, 2008: Stock assessment of protogynous fish: evaluating measures of spawning biomass used to estimate biological reference points. *Fish Bull*, 106, 12-23.
- 海老沢明彦, 2005: 八重山海域におけるスジアラ等潜水器漁業主要漁獲対象種の資源動向 (資源管理型漁業推進調査). 平成15 年度沖縄県水産試験場事業報告書. 102-132.
- 海老沢明彦, 2006a: 八重山海域の漁獲物の市場別取扱量 (電灯潜りの資源管理型漁業推進調査-I). 平成16 年度沖縄県水産試験場事業報告書. 83-87.
- 海老沢明彦, 2006b: 八重山海域の漁獲量の修正 (電灯潜りの資源管理型漁業推進調査-II). 平成16 年度沖縄県水産試験場事業報告書. 88-94.
- 平松和彦, 2001: VPA (Virtual Population Analysis). 平成12 年度資源評価体制確立推進事業報告書, 資源解析手法教科書. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京, p104-128.
- Hoenig M, 1983: Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fish Bull*, 81, 893-903.
- 真子渺, 松宮義晴, 1977: 銘柄組成による年齢組成推定法. 西海区水産研究所研究報告. 50, 1-8.
- Mapleston A, Currey LM, Williams AJ, Pears R, Simpfendorfer CA, Penny AL, Tobin A, Welch D, 2009: Comparative biology of key inter-reefal serranid species on the Great Barrier Reef. Project Milestone Report to the Marine and Tropical Science Research Facility. Reef and Rainforest Research Center Limited, Cairns (55pp.).
- 松宮義晴, 1996: 水産資源学概論. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京, pp77.
- Nanami A, Sato T, Takebe T, Teruya K, Soyano K, 2013a: Microhabitat association in white-streaked grouper *Epinephelus ongus*: importance of *Acropora* spp. *Mar Biology* 160: 1511-1517.
- Nanami A, Sato T, Ohta I, Akita Y, Suzuki N, 2013b: Preliminary observations of spawning behavior of white-streaked grouper (*Epinephelus ongus*) in an Okinawan coral reef. *Ichthyological Research* 60: 380-385.
- Nanami A, Kawabata Y, Sato T, Yamaguchi T, Kawabe R, Soyano K, 2013c: Spawning migration and returning behavior of white-streaked grouper *Epinephelus ongus* determined by acoustic telemetry. *Marine Biology DOI* 10.1007/s00227-013-2369-3.
- 太田格, 工藤利洋, 海老沢明彦, 2007: 八重山海域の沿岸性魚類資源の現状. 平成17 年度沖縄県水産試験場事業報告書. 165-175.
- 太田 格, 工藤利洋, 2007: 八重山海域における主要沿岸性魚類の種別漁獲量の推定. 平成17 年度沖縄県水産試験場事業報告書. 176-180.
- 太田格, 2008a: 八重山海域における主要沿岸性魚類の漁獲状況 (八重山海域資源管理型漁業推進調査). 平成18 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書. 189-196.
- 太田 格, 2008b: 八重山海域における主要沿岸性魚類の漁獲状況 II (八重山海域資源管理型漁業推進調査). 平成19 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書. 95-102.
- 太田格, 海老沢明彦, 2009a: ナミハタの産卵集群形成と月周期および水温との関係 (八重山海域資源管理型漁業推進調査). 平成20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書. 70, 28-35.
- 太田格, 名波敦, 2009: ナミハタの産卵場での分布状況 (八重山海域資源管理型漁業推進調査). 平成20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書. 70, 36-79.
- 太田格, 海老沢明彦, 2009b: ナミハタ産卵期の禁漁区, 禁漁期設定による漁獲量削減効果の推定 (八重山海域資源管理型漁業推進調査). 平成20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書. 70, 40-44.
- Ohta I, Ebisawa E, Nanami A, Akita Y, and Uehara M, 2013: Demography and reproductive biology of the white-streaked grouper *Epinephelus ongus*: estimation of the effect of restoring stock by conservation of spawning aggregation associated with consistent lunar cycle in the Yaeyama Islands, Okinawa. Abstract of 9th Indo-Pacific Fish Conference. Okinawa, Japan. 104.
- Rhodes K. L., Sadovy Y., 2002: Temporal and spatial trends in spawning aggregations of camouflage grouper, *Epinephelus polyphekadion*, in Pohnpei, Micronesia. *Environmental Biology of Fishes* 63: 27-39.
- Sadovy de Mitcheson Y, Erisman B, 2012: Fishery and biological implications of fishing aggregations, and the social and economic importance of aggregating fishes. In: Sadovy de Mitcheson Y, Colin PL (eds), Reef fish

spawning aggregations: biology, research and management,
Fish and Fisheries Series 35, Springer, pp225-284.
Shapiro DY, 1987: Reproduction in grouper. In: Plovina

JJ, Ralston S (eds), Tropical snappers and groupers:
biology and fisheries management, Westview Press,
pp295-327.