

琉球列島産ハマダイの資源管理方法の検討 (アオダイ等資源回復推進調査, 生物情報収集調査)

海老沢明彦*, 平手康市, 山田真之

Predictions for the Stock Management Effects in *Etelith coruscans* Fishery Yielded off the Ryukyu Islands

Akihiko EBISAWA*, Kouichi HIRATE and Saneyuki YAMADA

ハマダイの資源管理の効果を予測するため,いくつかの前提を置いた上でハマダイ仮想資源の漁業に対する反応を調べた. その結果自然死亡係数の推定誤差は資源量を推定する上で比較的敏感なパラメーターであること, また僅かの漁獲圧でもハマダイの資源水準を適切と判断される範囲に保つことは非常に困難であることが判った. 資源管理の方法としては漁獲圧力を削減すること, および小型魚を保護することは大きな効果が認められると予測された.

資源回復計画対象種であるマチ類4種の中で, ハマダイではその年齢別漁獲尾数(海老沢他, 2009a)を基に, 年齢別資源尾数, および資源量が推定された(海老沢他, 2009b). それによると, ハマダイの主な漁場である東西大九曾根から与那国島周辺域にかけての海域における2008年のハマダイ推定資源量は約130tで, 加入量は過去5年間44,000—130,000尾の範囲内で変動している. それらの推定で用いられた自然死亡係数を基に計算した, 50,000尾毎年加入した場合での漁業の全く行われていない状況下での資源量(初期資源量)は, 約4,400tと推定されている. 現在の資源重量はこの初期資源量の3%まで減少していることになる. 魚の産卵数は魚体重に比例するため, この3%への資源重量の減少率は産出卵数の減少率とも基本的に一致する. このように極めて産出卵数の減少した資源にも関わらず, 一定の加入量が確認されたことは, 本種の資源管理方法の選択上にも考慮されるべき点である. しかしその減少率も比較的大雑把に推定された自然死亡係数と寿命に基づいた計算値である. そこで加入尾数, 自然死亡係数等の推定誤差によってハマダイ資源の漁業に対する反応がどのような変化するのかを前もって明らかにしておくこと, またその上でより効果的な管理方法を探索して, 実際の漁業に展開することは意義深いものと考えられる. そこで毎年一定の加入があると仮定した上で, 自然死亡係数, 漁獲死亡係数を変化させた場合の, 漁獲量および資源重量の変化をシミュレートした. さらに体長制限, 漁獲努力量制限の効果を判定し, より効果的な資源管理方法を提案した.

材料および方法

(1) ハマダイ資源の初期資源量と漁業に対する資源変化の予測

ハマダイのバータランフィ어의成長式の3定数および体長—体重関係の係数は表1を用いた. 自然死亡係数Mは海老沢他(2009b)で用いた4歳以上の値0.042, その2倍と1/2のそれぞれ0.083と0.021を同じく4歳以上にあてはめた. 田中(1960)の方法ではこの3者の自然死亡係数から逆算した寿命はそれぞれ60歳, 30歳, および120歳となる. 1—3歳では海老沢他(2009b)と同じ値, すなわち1歳0.33, 2歳0.16, 3歳0.083とした.

海老沢他(2009b)による5年間の加入尾数は43,000—131,000尾の範囲内であったが, 43,000尾は最近年の推定値であり, その推定精度は低い. 比較的推定精度の高い期間の推定値が66,000—131,000尾であったが, この66,000尾の加入もそれ以前の加入尾数と比較して大きな値であった. そこで66,000尾を中心に2倍と1/2倍のそれぞれ130,000尾と33,000尾の3段階の値を用いた. 自然死亡係数Mの値に関わらず, 年齢別資源尾数は60歳まで計算した.

漁獲死亡係数Fに対する漁獲尾数は一般的な漁獲の方程式 $C_n = F / (F + M) \cdot N_n \cdot (1 - e^{-(F+M)})$, $N_{n+1} = N_n \cdot e^{-(F+M)}$ とした(但し N_n は有る年級群の n 年の資源尾数, N_{n+1} はその年級群の1年後の資源尾数, C_n はその年級群の n 年の漁獲尾数, F は漁獲死亡係数, M は自然死亡係数). 初期資源量の計算では, この式で $F=0$ として

*Email: ebisawaa@pref.okinawa.lg.jp, 本所

表1 シミュレーションに用いたシートの抜粋

		成長式の3定数		N1	33,000	(33,000, 66,000, 130,000)	Year	2,009				
				F	0.30	(0-0.4)	F	0.30				
		体長-体重関係		Biomass	3,114,146		Biomass	2,311,297				
				Catch	789,735		Catch	585,763				
		年齢別自然死亡係数		最初の年		1年後						
M4-		(0.021, 0.042, 0.083)										
				N	Cn	B(kg)	Cb(kg)	N	Cn	B(kg)	Cb(kg)	
		FL	BW	PF	adju stor							
1	14.1	0.06	0.023	1	33,000	196	1,885.9	11.2	33,000	196	1,885.9	11.2
2	25.3	0.31	0.465	1	23,724	2,861	7,241.8	873.2	23,559	2,841	7,191.3	867.1
3	34.7	0.75	1	1	20,217	5,039	15,239.7	3,798.2	17,584	4,382	13,254.9	3,303.5
4	42.6	1.35	1	1	18,606	4,728	25,188.2	6,399.8	13,784	3,502	18,659.9	4,741.1
5	49.2	2.04	1	1	17,841	4,533	36,483.4	9,269.7	13,217	3,358	27,027.6	6,867.2
6	54.8	2.77	1	1	17,107	4,347	47,459.9	12,058.6	12,673	3,220	35,159.2	8,933.3
7	59.4	3.50	1	1	16,404	4,168	57,431.6	14,592.3	12,152	3,088	42,546.4	10,810.2
8	63.3	4.20	1	1	15,729	3,996	66,021.9	16,774.9	11,652	2,961	48,910.2	12,427.1
9	66.5	4.85	1	1	15,082	3,832	73,082.1	18,568.7	11,173	2,839	54,140.6	13,756.1
10	69.2	5.44	1	1	14,462	3,674	78,616.8	19,975.0	10,714	2,722	58,240.7	14,797.8
11	71.5	5.97	1	1	13,867	3,523	82,723.3	21,018.4	10,273	2,610	61,282.9	15,570.8
12	73.4	6.43	1	1	13,297	3,378	85,549.0	21,736.3	9,850	2,503	63,376.3	16,102.7
13	75.0	6.84	1	1	12,750	3,239	87,262.2	22,171.6	9,445	2,400	64,645.4	16,425.1
14	76.4	7.20	1	1	12,225	3,106	88,032.6	22,367.4	9,057	2,301	65,216.2	16,570.2
15	77.5	7.51	1	1	11,722	2,978	88,021.1	22,364.4	8,684	2,206	65,207.6	16,568.0
16	78.4	7.77	1	1	11,240	2,856	87,373.2	22,199.8	8,327	2,116	64,727.6	16,446.0
17	79.2	8.00	1	1	10,778	2,738	86,217.0	21,906.1	7,985	2,029	63,871.1	16,228.4
18	79.9	8.19	1	1	10,335	2,626	84,662.7	21,511.1	7,656	1,945	62,719.7	15,935.8
19	80.4	8.36	1	1	9,910	2,518	82,803.4	21,038.7	7,341	1,865	61,342.3	15,585.9
20	80.9	8.49	1	1	9,502	2,414	80,716.9	20,508.6	7,039	1,789	59,796.6	15,193.1
21	81.3	8.61	1	1	9,111	2,315	78,467.2	19,937.0	6,750	1,715	58,130.0	14,769.7
22	81.6	8.71	1	1	8,736	2,220	76,106.7	19,337.2	6,472	1,644	56,381.2	14,325.4
23	81.9	8.80	1	1	8,377	2,128	73,677.5	18,720.0	6,206	1,577	54,581.6	13,868.1
24	82.1	8.87	1	1	8,033	2,041	71,213.6	18,094.0	5,951	1,512	52,756.3	13,404.4
25	82.3	8.92	1	1	7,702	1,957	68,741.8	17,465.9	5,706	1,450	50,925.2	12,939.1
26	82.5	8.97	1	1	7,385	1,876	66,283.2	16,841.3	5,471	1,390	49,103.8	12,476.3
27	82.6	9.02	1	1	7,082	1,799	63,854.1	16,224.1	5,246	1,333	47,304.3	12,019.1
28	82.7	9.05	1	1	6,790	1,725	61,467.2	15,617.6	5,030	1,278	45,536.0	11,569.8
29	82.8	9.08	1	1	6,511	1,654	59,131.9	15,024.3	4,824	1,226	43,806.0	11,130.2
30	82.9	9.11	1	1	6,243	1,586	56,854.9	14,445.7	4,625	1,175	42,119.2	10,701.7
31	83.0	9.13	1	1	5,987	1,521	54,641.3	13,883.3	4,435	1,127	40,479.3	10,285.0
32	83.0	9.14	1	1	5,740	1,458	52,494.4	13,337.8	4,253	1,080	38,888.8	9,880.9
33	83.1	9.16	1	1	5,504	1,399	50,416.0	12,809.7	4,078	1,036	37,349.1	9,489.7
34	83.1	9.17	1	1	5,278	1,341	48,407.4	12,299.4	3,910	993	35,861.1	9,111.6
35	83.1	9.18	1	1	5,061	1,286	46,468.6	11,806.8	3,749	953	34,424.8	8,746.7
36	83.2	9.19	1	1	4,853	1,233	44,599.3	11,331.8	3,595	913	33,040.0	8,394.8
37	83.2	9.20	1	1	4,653	1,182	42,798.7	10,874.3	3,447	876	31,706.0	8,055.9
38	83.2	9.20	1	1	4,462	1,134	41,065.5	10,433.9	3,305	840	30,422.0	7,729.6
39	83.2	9.21	1	1	4,278	1,087	39,398.2	10,010.3	3,169	805	29,186.9	7,415.8
40	83.2	9.21	1	1	4,102	1,042	37,795.3	9,603.0	3,039	772	27,999.4	7,114.1
41	83.2	9.22	1	1	3,933	999	36,254.8	9,211.6	2,914	740	26,858.2	6,824.2
42	83.3	9.22	1	1	3,772	958	34,774.9	8,835.6	2,794	710	25,761.9	6,545.6
43	83.3	9.22	1	1	3,617	919	33,353.7	8,474.5	2,679	681	24,709.1	6,278.1
44	83.3	9.22	1	1	3,468	881	31,989.2	8,127.8	2,569	653	23,698.2	6,021.2
45	83.3	9.23	1	1	3,325	845	30,679.3	7,795.0	2,463	626	22,727.8	5,774.7
46	83.3	9.23	1	1	3,188	810	29,422.2	7,475.6	2,362	600	21,796.5	5,538.1
47	83.3	9.23	1	1	3,057	777	28,215.8	7,169.1	2,265	575	20,902.8	5,311.0
48	83.3	9.23	1	1	2,931	745	27,058.4	6,875.0	2,172	552	20,045.3	5,093.1
49	83.3	9.23	1	1	2,811	714	25,947.9	6,592.9	2,082	529	19,222.7	4,884.1
50	83.3	9.23	1	1	2,695	685	24,882.6	6,322.2	1,997	507	18,433.5	4,683.6
51	83.3	9.23	1	1	2,584	657	23,860.8	6,062.6	1,915	486	17,676.5	4,491.2
52	83.3	9.23	1	1	2,478	630	22,880.6	5,813.5	1,836	466	16,950.4	4,306.8
53	83.3	9.23	1	1	2,376	604	21,940.6	5,574.7	1,760	447	16,254.0	4,129.8
54	83.3	9.23	1	1	2,278	579	21,038.9	5,345.6	1,688	429	15,586.0	3,960.1
55	83.3	9.23	1	1	2,185	555	20,174.3	5,125.9	1,619	411	14,945.5	3,797.4
56	83.3	9.23	1	1	2,095	532	19,345.0	4,915.2	1,552	394	14,331.1	3,641.3
57	83.3	9.23	1	1	2,009	510	18,549.8	4,713.1	1,488	378	13,742.0	3,491.6
58	83.3	9.23	1	1	1,926	489	17,787.2	4,519.4	1,427	363	13,177.1	3,348.0
59	83.3	9.23	1	1	1,847	469	17,055.9	4,333.6	1,368	348	12,635.3	3,210.4
60	83.3	9.23	1	1	1,771	450	16,354.6	4,155.4	1,312	333	12,115.8	3,078.4
					3,114,146	789,735			2,311,297	585,763		

全ての年齢別資源尾数を計算し、その資源尾数と各年齢の期間中間の体重から年齢別資源重量を計算し、全年齢で合計した。年齢別の F には表 1 の調整値として PF, 変数として adjustor が掛けられている。若齢魚には漁獲死亡係数の全ては加わることはないことから、海老沢他 (2009b) での VPA 解析で得られた 1, 2 歳魚の高齢魚に対する F の割合の平均値を PF とした。Adjustor は体長制限など資源管理手法を検討する場合に変化させる変数で、ここでは全ての年齢で 1 を示してある。

表 1 の“最初の年”の N は漁期初めの資源尾数で M だけが原因で減耗している個体数である。“最初の年”の各年齢群に年齢別の M と F がかかりその年の漁獲尾数 C_n と“1年後”の資源尾数 N_{n+1} が計算される。N1 には毎年設定した数が加入する。自然死亡係数 M と加入尾数 N1 の組み合わせによる初期資源量の推定、および自然死亡係数 M と漁獲死亡係数 F の組み合わせにおける初期資源からの減少の割合は、定常状態の計算で可能であることから、1 歳年上の資源尾数を $N_{n+1} = N_n \cdot e^{-(F+M)}$ の式で順次計算した。

定常状態でない、資源変化の状況については、毎年の加入尾数を 66,000 尾、漁獲死亡係数は $F=0.1, 0.2$, および 0.4 の 3 段階を用いた。表 1 には“最初の年”と“1年後”の 2 年分だけの例示であるが約 30 年分の計算をした。

(2) 加入尾数の変化に基づく資源量の変化, 資源管理の方法, および効果の予測

加入尾数の変化による資源量の変化と管理方法の検討についてのシミュレーションは、海老沢他 (2009b) で得られている年齢別資源尾数の 2008 年の値を最初の年の年齢組成として用いた。毎年の加入尾数を 43,000 尾、66,000 尾、80,000 尾、および 130,000 尾として、それぞれの場合での現行の漁獲努力量 F (2008 年の漁獲量が約 65t を満たすのは $F=0.95$ のとき) がそのまま継続した場合の資源量と漁獲量の変化を計算した。

次に加入尾数が毎年 43,000 尾で、管理方法として(1) 漁獲努力量 F の 2 割削減、(2) 体長制限として 1 歳と 2 歳魚を禁漁とした場合 (表 1 の adjustor の 1-2 歳を 0 にする) の、それぞれを組み合わせた場合の資源量と漁獲量の変化を計算した。自然死亡係数 M は 4 歳以上を 0.042 とし、1-3 歳も前述の計算と同じ値とした。資源尾数の計算は前述の非定常状態の計算と同様であるが、予測期間を 6 年間の 2014 年までとした。

結果と考察

(1) 加入尾数 (N1), 自然死亡係数 (M) と初期資源重量の関係 (定常状態)

表2 加入量(N1), 自然死亡係数(M)と初期資源量(t)の関係

N1	M		
	0.021	0.042	0.083
33,000	4,770	2,897	1,388
66,000	9,540	5,795	2,776
130,000	18,791	11,414	5,467

同じ M では N1 と初期資源重量の関係はほぼ比例関係であった (表 2)。反対に同じ N1 に対しては M と初期資源重量は半比例の関係であった。M と N1 の中心の値である 0.042 と 66,000 尾がそれぞれが相補的に変化する場合、すなわち (N1, M) が (33,000 尾, 0.021), あるいは (130,000 尾, 0.083) では初期資源の推定値は大きくは異ならないが、相乗的に変化する場合 (130,000 尾, 0.021) あるいは (33,000 尾, 0.083) ではそれぞれ 4 倍と 1/4 に変化した。すなわち加入尾数も自然死亡係数も、その推定誤差は初期資源量の推定に大きな影響を与える数値であることが分かった。しかし初期資源量の最も小さい推定値でも約 1,400t と、現在のハマダイ推定資源量約 130t (海老沢ほか, 2009b) の 10 倍以上であった。

(2) F の変化と初期資源からの減少率, および M との関係 (定常状態)

初期資源からの減少率は $F=0.05, F=0.1, F=0.15$ のときに、M が 0.021 の場合でそれぞれ約 30%, 約 15%, および 10%以下まで減少した。M=0.042 の場合でそれぞれ 37%, 20%, 12%まで、M=0.083 の場合でそれぞれ 50%, 30%, 20%まで減少した (図 1)。すなわち初期資源からの減少率は、M の増大につれて緩慢となった。

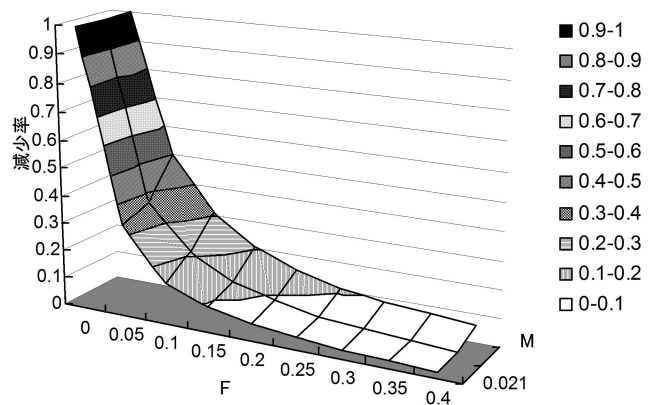


図1 自然死亡係数Mと漁獲死亡係数Fの組合わせと初期資源からの減少率の関係 (定常状態)

しかし $M=0.083$ の場合でも極めて小さな F ($F=0.15$) で 20% までの減少してしまうことから、本種の親魚量を資源管理上理想的とされる初期資源の 30~50% (土居, 1975) に維持するのは本質的に不可能であると思われる。

(3) 漁獲による資源変化の状況 (非定常状態)

初期資源に漁獲圧が加わると、その漁獲圧の大きさにより多少の速さの相違はあるものの、それぞれ極めて急激に資源量は減少する (図 2)。特に初期の資源減少は M の大小にかかわらず急激で、いずれの M でも初期資源から 50% への減少は、 $F=0.4$ の場合は 2 年後、 $F=0.2$ では 4 年後、 $F=0.1$ では 8 年後であった。30% への減少も $M=0.083$ の場合を除き M の値と無関係で、 $F=0.2$ の場合に 7 年後、 $F=0.4$ の場合に 3 年後であった。 $M=0.083$ で $F=0.1$ の場合、すなわち F が M より僅かに大きい程度の漁獲の場合に限り減少率は 30% 近辺で安定する。このようにハマダイは小さい自然死亡係数が原因で、僅かな漁獲圧でも資源は急激に減少すること、また従来の“初期資源に対する望ましい資源量水準の確保”は全く不可能であることが判った。

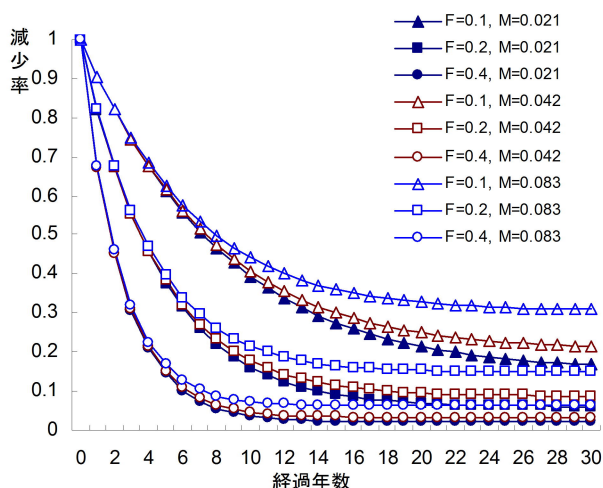


図2 初期資源に漁獲が加わった時の資源量変化

(4) 加入尾数の変化による資源量の変化 (非定常状態)

毎年の加入が 80,000 尾の場合、資源量は約 92t で平衡状態となり (図 3a), その時の漁獲量は現在の約 65t から大きく減少した約 42t となる (図 3b)。加入が 66,000 尾の場合、資源量も漁獲量も平衡状態にはならず徐々に減少し、2014 年にそれぞれ 77t と 35t となる。加入が 43,000 尾の場合も同様で、2014 年に資源量は約 54t と現在の半以下に、漁獲量も約 25t と現在の 40% まで減少してしまう。一方加入が 130,000 尾の場合、資源量は 2010 年からは増大を始め、2014 年には約 140t となる。漁獲量も 2010 年から増大を始め、2014 年には現在と同じ約 65t となると予測される。しかし 130,000 尾の加入

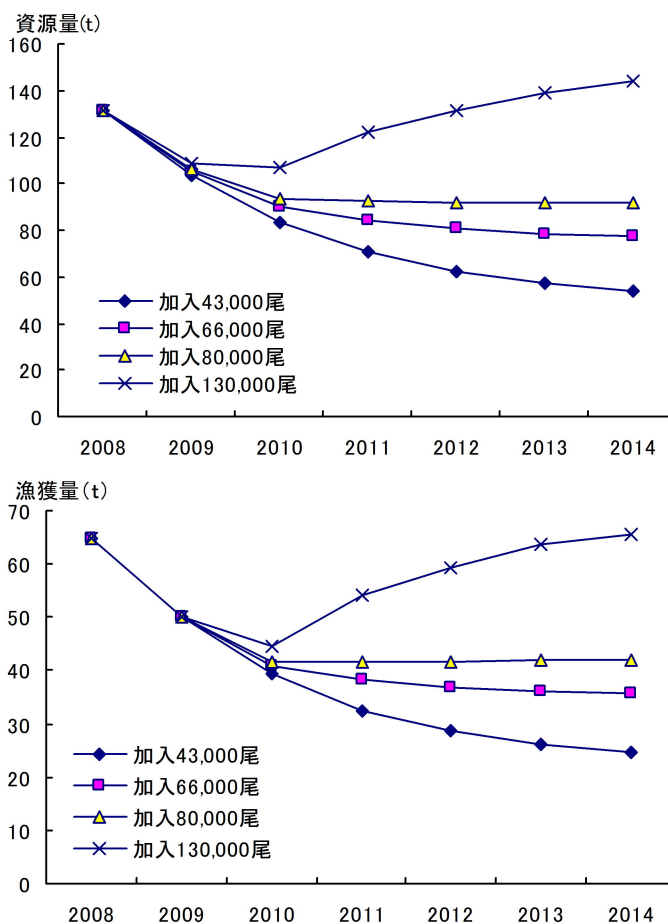


図3 現行の漁獲圧 ($F=0.95$) で加入尾数が毎年 43,000 — 130,000 尾の範囲で変化した時の資源量と漁獲量の変化の予測

は、過去 5 年間の加入尾数の最大値であり (海老沢ほか, 2009b), この値が毎年継続することは考えられない。66,000 尾の加入でも、それ以前の 3 年間の加入尾数よりは大きいと判断されている (海老沢ほか, 2009a)。従って以下で加入尾数を 43,000 尾として管理方法の効果を検討することは、比較的現実に近い予測になると推察される。

(5) 資源管理の方法と効果予測 (非定常状態)

F を 2 割削減した場合の資源量は、2014 年には約 73t と現行の F で予測される 54t よりも約 40% 大きい状態となる (図 4a)。その場合の漁獲量は、2014 年には約 29t で、現行の F で予測される 25t より僅かに大きい水準に留まる (図 4b)。一方 F を現行のまま 1—2 歳魚を禁漁とした場合の資源量は、2014 年には約 70t と F を 2 割削減した場合とほぼ同水準となる。漁獲量も約 30t と F を 2 割削減した場合と同水準となる。1—2 歳魚の禁漁は、漁獲量の減少が、 F を 2 割削減した場合と比較して著しく少ないのが特徴である。 F を 2 割削減した上で 1—2 歳魚を禁漁にすると、資源量は 2014 年には約 90t と現行の F で予測される資源量より 70% 大きい水準となる。その時の漁獲量は約 35t で、現行の F の時より

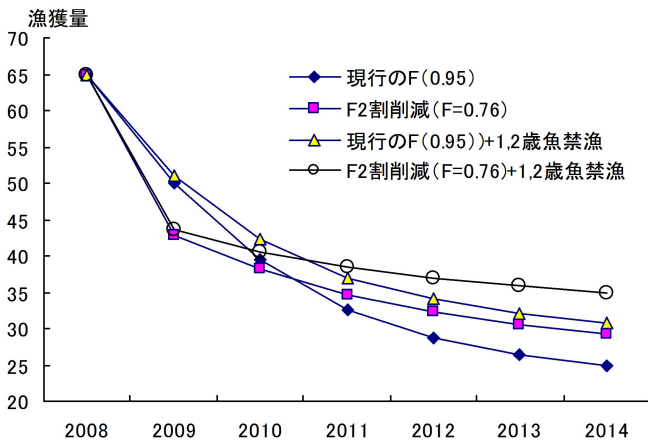
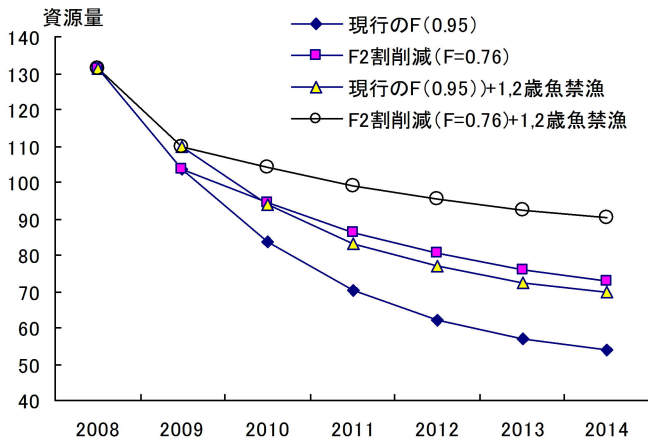


図4 加入は43,000尾で一定として、漁獲努力量を現行(0.95)から2割削減した場合(0.76)と、それぞれに1—2歳魚を禁漁した場合の資源量と漁獲量の変化の予測

40%大きい水準となる。この90tの資源量は毎年の加入が80,000尾の時と同水準である。

今後特別大きな加入が続くようなことがない限り、本種の漁獲量は減少していくことが予測されるなかで、その減少幅を最小にするためには、漁獲努力量の削減、あるいは小型魚の禁漁などを積極的に進めていく必要がある。資源の管理に伴う漁獲量の減少を少なくするには、小型魚の禁漁が効果的であると予測された。これは成長の早い若齢期の保護が本種の資源管理を行う上で効果的であるうえに、小型魚を漁獲しなくても、漁獲量の減少に影響が小さいことを示している。一方資源量がある目標水準に維持するためには、漁獲努力量の削減も重要な方法である。

本種の分布水深は200m以深であり、釣獲後の再放流は非常に困難である。そのため体長制限を行う場合、その実施方法を具体的にどのように行うのか、漁業者を交えた論議が必要となる。

文献

土居長之, 1975: 水産資源力学入門, 日本水産資源保護協会

海老沢明彦, 平手康市, 山田真之, 2009a: 沖縄県海域で漁獲されたハマダイの年齢別漁獲尾数の推移, 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 70, 15-19.

海老沢明彦, 平手康市, 山田真之, 2009b: VPAによる琉球列島海域産ハマダイの資源量推定, 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 70, 20-22.

田中昌一, 1960: 水産生物のPopulation Dynamicsと漁業資源管理. 東海区水研報, 28, 5-200.