

令和 5（2023）年度マチ類（奄美諸島・沖縄諸島・先島諸島） の資源評価 コホート解析による資源計算について

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

下瀬 環

1. 背景

マチ類は、いずれの種も寿命が 30 年以上と長いため、年齢組成を高精度で推定することが困難であり、資源評価のための詳細なデータを取り始めてからの年も浅い。そのため、コホート解析による資源計算結果の不確実性が大きく、資源評価には用いられていない。しかし、短期的には水揚げ物の尾叉長組成が得られており、成長式も各種で報告されていることから、予備的に資源計算を実施している。

2. 方法

鹿児島県と沖縄県の漁獲量・年齢組成・資源量指標値を用いて、チューニング VPA により、マチ類 4 種の資源量を計算した。アオダイとハマダイでは 2004～2022 年、ヒメダイとオオヒメでは 2008～2022 年のデータを計算に用いた。用いたデータについて以下に記す。

漁獲量：両県が集計したマチ類 4 種の水揚げ量を用いた。両県の数値における重複分は可能な限り差し引いたが、部分的に重複が残っている可能性がある。

年齢組成：両県が主要漁港で直接計測または推定した尾叉長組成を足し合わせ、Uehara et al. (2020) の成長曲線を用いて切断法により年齢組成に変換したものを用いた。今後、精度の高い Age-length key を作成するか、成長の個体差を考慮した年齢組成変換を適用する必要がある。

資源量指標値：沖縄県が算出した、八重山漁協所属船の CPUE（1 隻 1 航海当たり水揚げ量）を用いた。八重山漁協の数値を使っているのは、使えるデータ期間が長く、1 回の水揚げに関わる操業日数がデータ期間を通して安定しているためである。ただし、操業海域が、資源評価の対象としている海域全体の南に偏っているため、全体の資源動向を正確に反映していない可能性がある。

計算にあたり、尾叉長（FL、cm）－体重（BW、g）の換算は Uehara et al. (2018) に従い、以下の式を用いた。

- ・アオダイ $BW=0.0159 \times FL^{3.06}$
- ・ハマダイ $BW=0.0220 \times FL^{2.93}$
- ・ヒメダイ $BW=0.0093 \times FL^{3.19}$
- ・オオヒメ $BW=0.0239 \times FL^{2.92}$

自然死亡係数 M は、田内・田中の式（田中 1960）に従い、 $M=2.5/\text{寿命}$ により求めた。Uehara et al. (2020) で観察された雌雄合わせた最高年齢（アオダイ 59 歳、ハマダイ 55 歳、ヒメダイ 38 歳、オオヒメ 35 歳）を各種の寿命とし、自然死亡係数をアオダイで $M=0.042$ 、ハマダイで $M=0.045$ 、ヒメダイで $M=0.066$ 、オオヒメで $M=0.071$ に設定した。大型高齢に

なるハマダイでは、小型若齢時における自然死亡率は、より高いと考えられるため、3 歳から 1 歳まで年齢が若くなるにつれて自然死亡係数を 2 倍ずつ増加させた(海老沢ほか 2009)。すなわち、1 歳で $M=0.364$ 、2 歳で $M=0.182$ 、3 歳で $M=0.091$ 、4 歳以上で $M=0.045$ とした。

マチ類は 4 種とも、0 歳魚の漁獲が 1%未満と少ないため、加入年齢を 1 歳とし、資源量は 1 歳魚以降について求めた。

(1) 資源尾数の計算

年齢別資源尾数は生残の式 (1、2) および漁獲方程式 (3) に基づくコホート解析により計算した。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y}e^{(-F_{a,y}-M)} \quad (1)$$

$$N_{a,y+1} = N_{a,y}e^{(-F_{a,y}-M)} + N_{a,y}e^{(-F_{a,y}-M)} \quad (2)$$

$$C_{a,y} = N_{a,y} \frac{F_{a,y}}{F_{a,y}+M} (1 - e^{(-F_{a,y}-M)}) \quad (3)$$

(N は資源尾数、C は漁獲尾数、a は年齢、y は年)

F の計算は石岡・岸田 (1985) の反復式を用い、プラスグループの資源尾数は平松 (2000) に従った。最高齢の F_a は、 F_{a-1} とほぼ等しくなるように探索的に求め、最近年の F は過去 3 年間の平均値とした。ただし、ハマダイの最近年の F は過去 5 年間 (2018～2022 年) の平均値とした。

(2) チューニング VPA

資源尾数を計算した後、八重山漁協所属船の CPUE を用いて最近年の F を以下の式のようにチューニングした。各年齢の F は、最近年の年齢別選択率が過去 3 年 (2020～2022 年) の平均であるとして計算した。

$$\text{最小} \sum_{y=2004}^{2022} \{\ln(q \cdot B_y) - \ln(CPUE_y)\}^2 \quad \text{アオダイ、ハマダイ}$$

$$\text{最小} \sum_{y=2008}^{2022} \{\ln(q \cdot B_y) - \ln(CPUE_y)\}^2 \quad \text{ヒメダイ、オオヒメ}$$

$$q = \left(\frac{\prod_{y=2004}^{2022} (CPUE_y)}{\prod_{y=2004}^{2022} B_y} \right)^{\frac{1}{19}} \quad \text{アオダイ、ハマダイ}$$

$$q = \left(\frac{\prod_{y=2008}^{2022} (CPUE_y)}{\prod_{y=2008}^{2022} B_y} \right)^{\frac{1}{15}} \quad \text{ヒメダイ、オオヒメ}$$

ここで B は資源量、CPUE は八重山漁協所属船の CPUE を示す。

(3) 資源と漁獲の関係

年齢別選択率を一定として、2022 年の平均 F を基準に、F を変化させた場合の加入量あたりの親魚量 (SPR) および加入量あたりの漁獲量 (YPR) を計算し、 F_{current} (2022 年の平均)、 F_{max} 、 $F_{30\% \text{SPR}}$ 、 $F_{0.1}$ を求めた。

3. 結果

1) アオダイ

漁獲の中心は、2004～2011年に2～6歳魚であったが、2012～2014年には3～6歳魚になり、2015年以降には4～6歳魚になった。

1歳以上の資源量は、2004年の2,218トンから減少し、2022年には1,285トンになった。漁獲割合は、2004～2022年の期間中、16～22%であった。親魚量は、2004～2016年に、742～871トンで推移していたが、その後減少し、2022年は453トンであった。加入尾数（1歳）は、2004年の75.9万尾から減少を続け、2022年は20.6万尾であった。再生産成功率は、2004年以降2013年まで減少し、2018～2020年に一時上昇したが、以降再び減少した。

$F_{current}$ ($F=0.19$) は、 F_{max} (0.08)、 $F_{30\%SPR}$ (0.05)、 $F_{0.1}$ (0.04) より高い値を示した。

2) ハマダイ

漁獲の中心は、2～3歳であったが、2006年以降は4歳魚も多く、2011年以降は5歳魚も多く漁獲されていた。

1歳以上の資源量は、2004年の530トンから増加して、2009年以降は800トン以上になり、2022年は1,030トンであった。親魚量は、2004～2007年に減少したが、その後上昇し、2015年以降はほぼ横ばいである。加入尾数（1歳）は、年による変動が大きく、2019年が最少の27.7万尾、2022年が最多の64.7万尾であった。再生産成功率は、2004年から2007年に上昇し、その後2015年まで減少した。2019年以降は再び上昇している。

$F_{current}$ ($F=0.28$) は、 F_{max} (0.07)、 $F_{30\%SPR}$ (0.05)、 $F_{0.1}$ (0.05) のいずれよりもかなり高い値を示した。

3) ヒメダイ

漁獲の中心は、2008～2010年には3～6歳魚、2011年以降には4～7歳魚が多かった。

1歳以上の資源量は、2008年の1,003トンから減少し、2014年以降は700トン前後で推移したが、2020年以降再び減少している。漁獲割合は、2008年の21%から2018年の11%まで減少し、その後上昇したが2021年に再び減少した。親魚量は、2008年の680トンから減少し、2014年以降500トン前後で推移していたが、2020年以降再び減少している。加入尾数（1歳）は、2008年に47.1万尾から減少を続け、2022年は5.1万尾であった。再生産成功率は、2008～2016年にはおおむね横ばいで推移していたが、2017年以降大きく減少した。

$F_{current}$ ($F=0.10$) は、 F_{max} (0.10) と同程度、 $F_{30\%SPR}$ (0.07)、 $F_{0.1}$ (0.06) よりも高い値を示した。

4) オオヒメ

漁獲の中心は年によってばらついたが、概ね2～7歳魚が多かった。

1歳以上の資源量は、2008～2022年に343～419トンで概ね横ばいで推移した。漁獲割合は、短期的な増減を繰り返している。親魚量は、2008～2020年に225～300トンで概ね横ば

いで推移した。加入尾数（1 歳）は、2008～2018 年にかけておおむね横ばいで推移し、2019 年以降増加した。再生産成功率は、2008～2017 年にかけておおむね横ばいで推移し、2018 年以降上昇した。

$F_{current}$ ($F=0.25$) は、 F_{max} (0.09)、 $F_{30\%SPR}$ (0.08)、 $F_{0.1}$ (0.05) のいずれよりも高い値を示した。

4. 引用文献

海老沢明彦・平手康市・山田真之 (2009) VPA による琉球列島海域産ハマダイの資源量推定.

平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 70, 20-22.

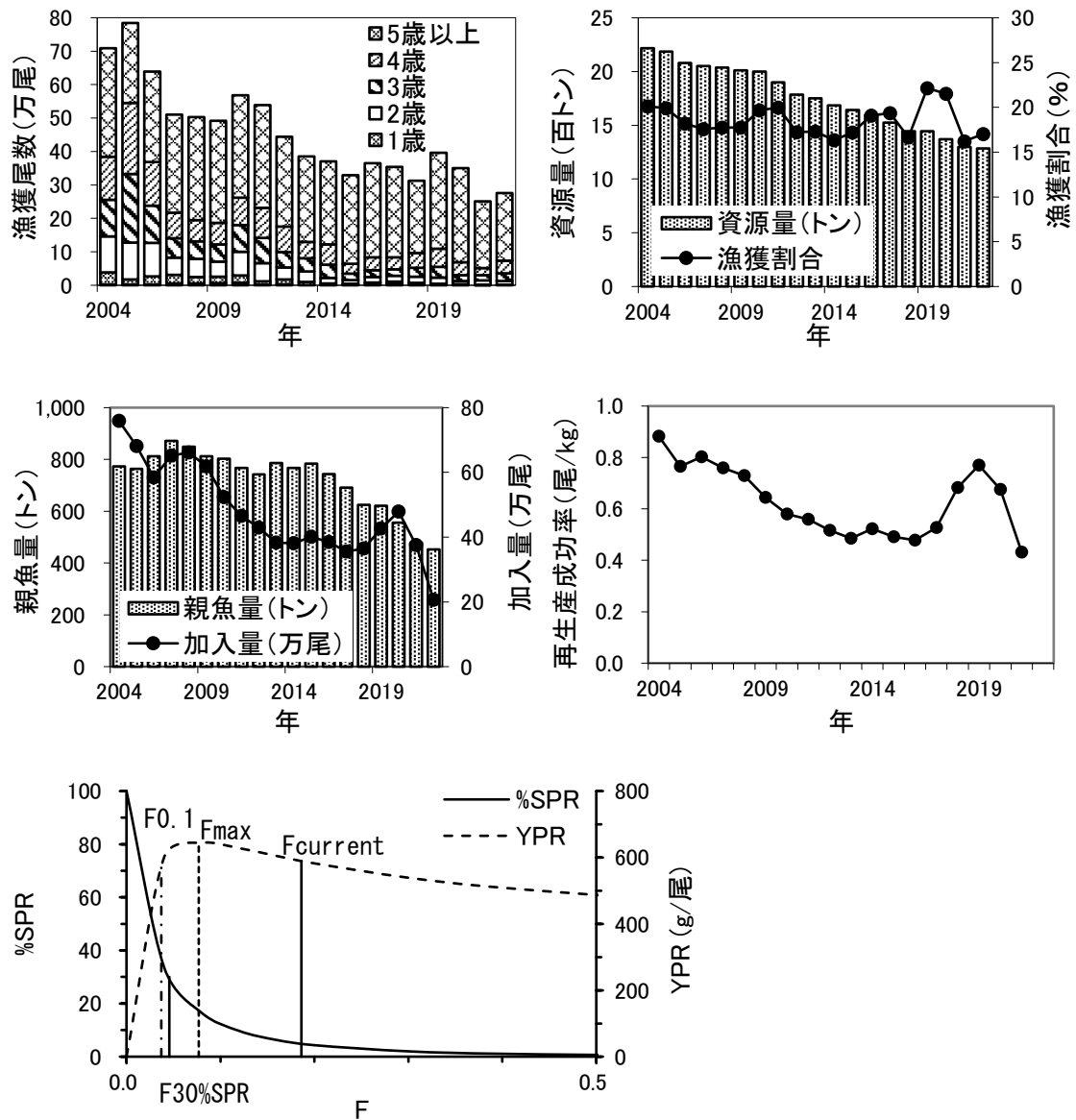
平松一彦 (2001) 3. VPA (Virtual Population Analysis). 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—, 日本水産資源保護協会, 104-128.

石岡清英・岸田 達 (1985) コホート解析に用いる漁獲方程式の解法とその精度の検討. 南西水研報, 19, 111-120.

田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, 28, 1-200.

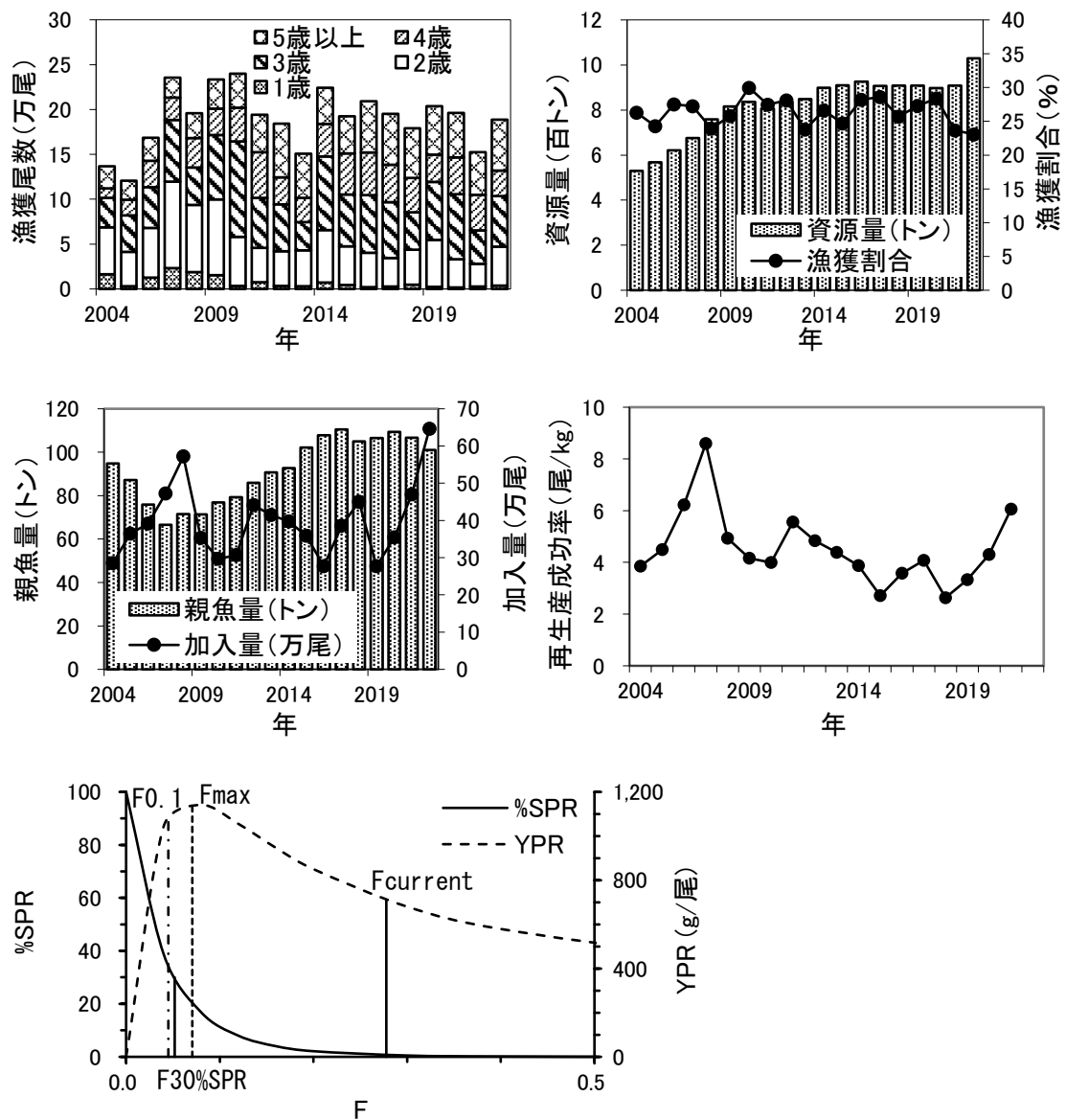
Uehara, M., Ebisawa and A., Ohta, I. (2018) Reproductive traits of deep-sea snappers (Lutjanidae): Implication for Okinawan bottomfish fisheries management. Reg. Stud. Mar. Sci., 17, 112-126.

Uehara, M., Ebisawa, A. and Ohta, I. (2020) Comparative age-specific demography of four commercially important deep-water snappers: implication for fishery management of a long-lived lutjanid. J. Fish. Biol., 97, 121-136.



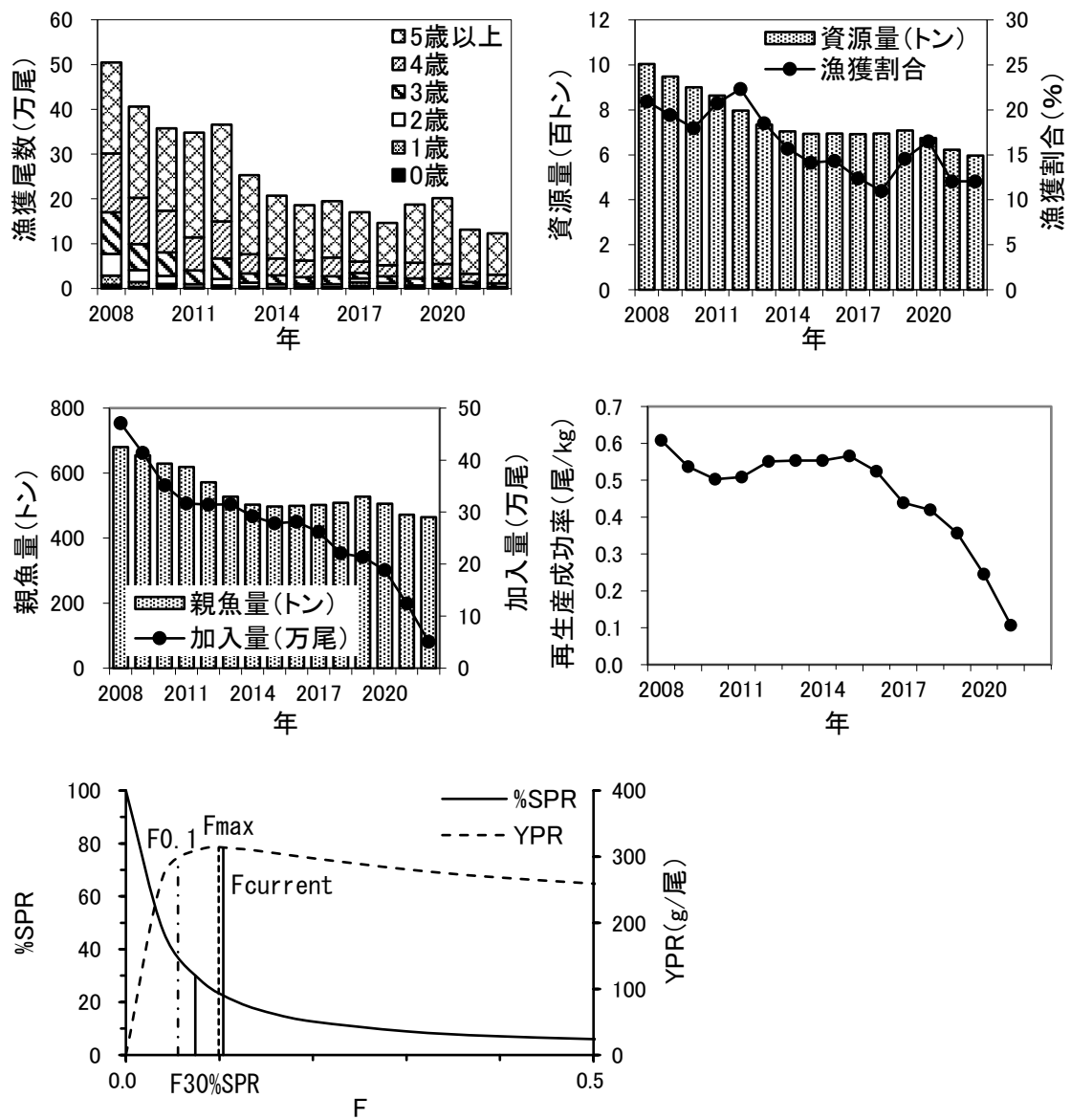
チューニング VPA によるアオダイの資源計算結果

年齢別漁獲尾数（上段左）、資源量と漁獲割合（上段右）、親魚量と加入尾数（中段左）、再生産成功率（中段右）、SPR と YPR（下段）



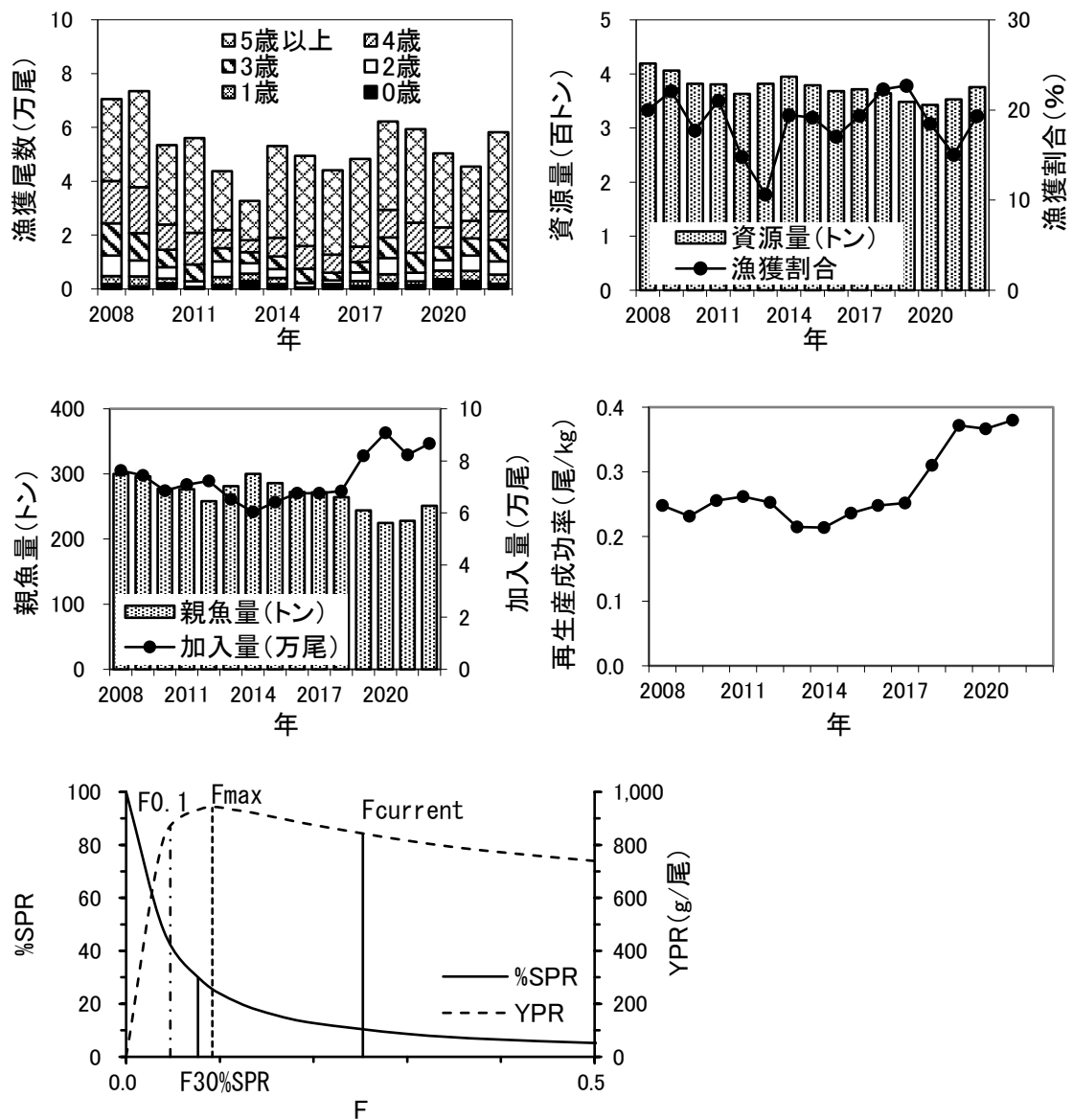
チューニング VPA によるハマダイの資源計算結果

年齢別漁獲尾数（上段左）、資源量と漁獲割合（上段右）、親魚量と加入尾数（中段左）、再生産成功率（中段右）、SPR と YPR（下段）



チューニング VPA によるヒメダイの資源計算結果

年齢別漁獲尾数（上段左）、資源量と漁獲割合（上段右）、親魚量と加入尾数（中段左）、再生産成功率（中段右）、SPR と YPR（下段）



チューニング VPA によるオオヒメの資源計算結果

年齢別漁獲尾数（上段左）、資源量と漁獲割合（上段右）、親魚量と加入尾数（中段左）、再生産成功率（中段右）、SPR と YPR（下段）

アオダイの年齢別漁獲尾数（単位：千尾）

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	37	16	25	26	19	19	22	10	15	9	5	3	7	7	6	4	3	2	1
2 歳	107	110	101	52	54	45	71	54	35	32	16	12	16	18	19	18	9	13	11
3 歳	109	205	111	58	53	51	79	75	46	39	39	19	20	20	27	32	18	16	23
4 歳	129	212	131	77	63	64	82	90	76	49	61	30	39	36	44	54	39	21	37
5 歳	116	126	118	83	85	82	86	86	89	56	70	44	58	54	55	70	63	38	51
6 歳	76	50	70	69	75	73	69	79	71	56	72	64	62	63	52	65	70	50	52
7 歳	27	13	21	27	29	31	28	32	27	26	27	32	29	29	23	30	32	25	22
8 歳	22	9	15	23	25	26	24	25	22	22	21	30	27	25	19	26	27	21	19
9 歳以上	85	42	47	91	93	94	100	85	60	96	58	95	105	99	66	97	89	66	59

アオダイの年齢別資源重量（単位：トン）

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	175	156	137	148	150	139	119	108	98	89	85	90	88	80	83	98	108	89	48
2 歳	273	233	210	175	198	201	188	160	143	130	121	121	124	119	110	114	135	151	120
3 歳	316	299	237	220	198	224	233	206	175	164	151	141	144	150	142	130	134	162	183
4 歳	276	316	247	224	230	207	238	235	205	183	174	157	157	160	167	154	138	149	185
5 歳	213	238	236	205	213	229	201	226	217	191	182	165	164	158	163	167	145	136	160
6 歳	184	157	181	183	174	181	201	167	195	183	177	158	156	145	140	146	140	119	127
7 歳	104	137	131	139	142	125	134	161	115	152	152	131	117	117	104	108	104	92	87
8 歳	107	83	131	116	120	121	102	114	138	95	135	133	107	95	95	87	85	78	73
9 歳以上	571	567	571	639	612	585	582	523	501	565	510	547	540	501	442	442	381	322	302

ハマダイの年齢別漁獲尾数（単位：千尾）

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	16	3	13	23	19	15	3	8	3	3	7	4	2	3	5	3	2	3	4
2 歳	52	38	55	97	75	85	55	38	39	40	58	43	39	32	39	52	31	25	43
3 歳	33	40	45	69	42	72	106	56	52	32	82	58	64	62	42	65	73	37	56
4 歳	11	18	29	25	33	30	37	51	30	27	36	46	48	42	38	31	41	40	28
5 歳	8	7	13	12	13	17	16	24	30	18	16	21	31	25	26	22	17	22	28
6 歳	5	3	4	5	6	7	9	8	15	13	9	7	11	13	12	12	11	8	13
7 歳	4	3	2	2	4	4	5	4	6	8	7	4	5	7	8	8	8	6	6
8 歳	2	2	1	1	1	1	2	2	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3
9 歳	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
10 歳	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11 歳	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12 歳	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
13 歳	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
14 歳	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
15 歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19 歳以上	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

ハマダイの年齢別資源重量（単位：トン）

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	74	93	96	108	141	89	69	75	108	110	100	89	73	93	113	73	84	113	164
2 歳	88	88	113	125	142	180	118	96	103	143	139	132	123	96	126	152	98	119	159
3 歳	70	90	97	123	105	149	191	118	106	111	172	149	150	137	106	147	170	107	144
4 歳	41	60	77	78	96	95	124	143	96	88	113	144	138	131	116	95	129	149	102
5 歳	35	37	53	56	63	74	79	105	109	77	74	92	117	105	106	91	77	106	134
6 歳	34	28	32	40	44	53	58	64	83	71	57	58	72	81	78	77	66	60	86
7 歳	28	26	24	26	35	37	44	45	55	59	51	44	49	56	62	61	59	48	49
8 歳	22	21	20	21	24	28	30	34	39	43	41	36	36	39	41	47	45	41	37
9 歳	19	17	17	17	20	21	25	25	30	33	33	33	29	30	32	33	36	34	34
10 歳	16	14	13	13	16	17	19	20	21	24	26	27	26	23	23	26	25	27	27
11 歳	15	13	11	11	12	14	16	16	18	18	20	23	23	22	19	20	22	20	22
12 歳	13	12	11	9	9	10	12	13	13	15	15	18	19	19	17	16	17	17	16
13 歳	11	11	9	8	8	8	9	10	11	10	13	13	15	16	14	15	14	13	13
14 歳	9	9	8	6	7	6	7	7	9	9	8	11	11	12	12	11	12	10	9
15 歳	6	7	6	5	6	6	5	5	6	7	7	7	10	9	8	9	9	9	6
16 歳	7	5	5	5	5	5	5	4	5	5	6	6	6	9	7	7	8	8	7
17 歳	6	6	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	7	6	6	7	6
18 歳	5	5	4	2	4	4	3	3	4	3	3	4	5	5	4	6	5	5	5
19 歳以上	29	26	23	19	18	17	17	17	17	18	17	19	19	20	20	18	21	21	19

ヒメダイの年齢別漁獲尾数（単位：千尾）

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	21	11	4	2	5	3	2	2	2	8	3	1	3	1	1
2 歳	48	26	17	7	15	9	7	6	7	9	7	5	5	4	2
3 歳	93	59	53	31	45	20	20	16	18	12	15	16	13	9	8
4 歳	131	103	93	74	83	43	38	37	41	26	25	34	32	18	19
5 歳	58	52	51	49	47	28	24	23	26	19	15	21	22	13	12
6 歳	46	45	43	50	47	34	26	23	25	21	16	22	26	15	14
7 歳	35	35	32	42	38	31	24	20	22	19	15	21	24	15	14
8 歳	24	26	22	32	29	25	20	17	17	15	13	18	21	15	13
9 歳以上	40	46	37	60	55	58	47	41	36	36	35	48	53	40	39

ヒメダイの年齢別資源重量（単位：トン）

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	85	75	64	57	57	57	53	50	51	47	40	39	34	23	9
2 歳	121	100	91	79	71	69	70	65	62	62	57	49	47	41	28
3 歳	154	133	113	104	92	81	81	82	77	72	73	67	58	56	49
4 歳	165	146	134	114	110	91	88	88	91	84	81	80	72	63	63
5 歳	125	125	116	106	93	85	81	79	80	81	80	78	73	65	60
6 歳	102	102	105	96	87	74	74	72	71	71	75	77	71	65	61
7 歳	74	81	81	86	73	65	59	63	63	61	62	69	68	60	59
8 歳	55	56	63	65	64	53	49	47	53	52	51	55	59	56	53
9 歳以上	120	129	132	156	152	160	149	146	146	164	176	194	193	195	214

オオヒメの年齢別漁獲尾数（単位：千尾）

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	3	4	2	1	3	3	2	0	1	2	3	1	3	4	3
2 歳	8	6	4	2	6	4	3	2	1	3	6	3	4	6	5
3 歳	12	10	7	6	5	4	5	5	3	4	8	7	5	6	8
4 歳	16	17	9	12	7	4	7	8	7	6	10	11	7	6	11
5 歳	9	11	8	8	5	3	6	7	8	5	7	9	6	4	7
6 歳	7	9	7	8	6	3	7	7	8	6	7	8	6	4	6
7 歳	5	6	5	6	3	2	6	7	6	6	6	6	5	4	5
8 歳	3	4	3	4	2	2	5	4	4	5	4	4	3	2	3
9 歳以上	7	6	6	9	6	5	11	8	6	10	9	8	7	5	7

オオヒメの年齢別資源重量（単位：トン）

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1 歳	37	36	33	34	35	31	29	31	32	32	33	39	43	39	42
2 歳	46	43	41	39	41	40	36	35	37	39	38	38	47	51	45
3 歳	57	49	47	47	45	45	46	42	40	44	45	42	43	53	57
4 歳	63	55	47	49	49	48	49	49	44	44	48	45	42	46	57
5 歳	52	52	41	41	40	46	49	46	45	40	42	41	37	38	44
6 歳	43	44	40	33	33	36	45	44	40	37	36	35	32	31	34
7 歳	33	35	33	32	23	26	34	38	35	31	30	28	24	24	26
8 歳	21	26	26	26	23	20	24	26	28	26	21	22	19	17	19
9 歳以上	68	68	73	80	75	90	83	69	67	78	72	60	56	54	52