

琵琶湖産ビワマスの資源動態に関する一試論

田中秀具

An essay on the Population Dynamics of Biwa salmon,
Oncorhynchus masou rhodurus in Lake Biwa

Hidetomo Tanaka

キーワード：ビワマス、VPA、現存量、長期変動

ビワマス *Oncorhynchus masou rhodurus*¹⁾は琵琶湖固有のサケ科魚類であり、重要な水産資源である。故に、明治時代には既に、増殖事業として採卵・孵化放流が実施され、²⁾ これは手法や担い手を変えつつも、現在まで連綿として続けられている。しかしその放流効果や資源量などは、2000年代に入るまで数量的に評価されたことはなく、専ら漁獲量の増減を以てその代用とされてきた。

田中³⁾は2006～09年に標識放流再捕調査と漁獲魚、回帰親魚の年齢・体長の組成調査を行い、種苗放流の効果を検討するとともに、ビワマス資源の構造を表す成長・生残モデルを構築し、成長過程と生残過程のパラメータを推定した。現在、滋賀県水産試験場(以下、当场)ではこれを基にしてコホート解析(VPA)による資源量の推定を実施している。⁴⁾

本論ではこのVPAによる資源量推定を過去に遡り、ビワマス資源の長期変動を推測することを試みる。VPAは、年齢別漁獲尾数と漁獲統計を基に資源

量を推定する手法であり、2006年以降については既の実施中で、解析データも揃っている。しかし、それ以前については、漁獲統計はあるものの、年齢別漁獲尾数の基となる漁獲魚の年齢・サイズ組成の記録が、びわ湖生物資源調査団⁵⁾による1963、64年と田中他⁶⁾による1984、85年と極めて少ない。本論では、これら既知の漁獲魚の年齢・サイズ組成を手掛かりに、1963～2005年の年齢別漁獲尾数を推定(補完的に生成)し、これを2006年以降と連結して、1963～2019年のVPAによる資源量推定を行い、ビワマス資源の長期的な動態について検討する。

材料および方法

漁獲量の推移

琵琶湖におけるビワマスの漁獲量の推移を図1に示す。ビワマス資源の変動は2000年代に至るまでは、専らこの漁獲量の推移によって、次のように総

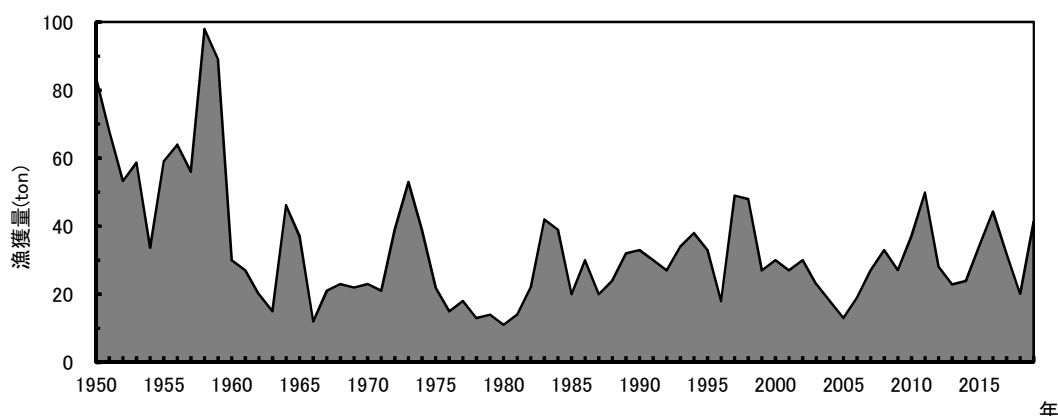


図1. ビワマス漁獲量の推移

※) 1950～55年は滋賀県統計書、1956～2009年は滋賀農林水産統計、
2010～19年は琵琶湖湖区漁業調整委員会調査資料による

括されてきた。

1950 年代の漁獲量は、1958 年の 98 トンを最多量として、年平均 68.9 トンで、資源は豊富であったが、1960 年に 30 トンに急減した後は 20～30 トン／年の漁獲量(1960～2019 年平均 28.0 トン)で、資源は低位安定状態にある。

本論の対象とする資源動態は、既存資料の存在する 1963 年以降であり、上述の漁獲量が急減した後の低位安定状態の時期に相当する。

VPA の方法

本論における資源量推定の方法は、離散モデルの VPA である。離散モデルであるから、年毎の漁獲死亡も自然死亡も毎年 1 回で計算することになるが、各年の生息尾数の推定時期はビワマスの主要漁期 6～9 月の前、概ね 5 月を想定しており、毎年の漁獲は主要漁期に一括で行われることを仮定したモデルである。この VPA の漁獲方程式は

$$N_{a+1,t+1} = (1 - D_a) \cdot N_{a,t} - C_{a,t} \quad (1)$$

である。ここで $N_{a,t}$ 、 $C_{a,t}$ は各々 t 年における a 歳魚の生息尾数、漁獲尾数、 D_a は a 歳魚の自然死亡率(成熟死亡を含む)である。また $N_{a,t}$ と $C_{a,t}$ の間には次式：

$$N_{a,t} = \frac{C_{a,t}}{E_{a,t}} \quad \text{あるいは} \quad E_{a,t} = \frac{C_{a,t}}{N_{a,t}} \quad (2)$$

の関係があり、 $E_{a,t}$ は t 年の a 歳魚の漁獲率である。

VPA の計算は、式(1)を変形した次式(3)による後退法で行い、その開始年は 2019 年である。

$$N_{a,t} = \frac{N_{a+1,t+1} + C_{a,t}}{1 - D_a} \quad (3)$$

すなわち、 $E_{4,2019}$ をターミナル E とし、式(2)、(3)を順に年を遡って、 $N_{a,t}$ と $E_{a,t}$ を計算により求める。なお、最高齢の漁獲率 $E_{5,t}$ は

$$E_{5,t} = E_{4,t} \quad (4)$$

としている。

個体数から重量への換算は、 $N_{a,t}$ に漁獲魚の年毎、年齢毎の平均体重(後出、「年齢別漁獲尾数、 $C_{a,t}$ 」の項参照、但し 0 歳魚は 2g/尾とする)を乗じ、年毎に合計して、その年の現存量としている。

なお、本論における「資源の語義」であるが、資源という語は漁獲対象部分、ビワマスで言えば概ね 2 歳以上の魚の数量(田中³⁾によれば 1 歳魚の約 7%、2 歳魚の約 86%および 3 歳魚以上全て)を指す場合もあるが、本論では個体群の全数量を指す。

VPA の計算には、式(2)、(3)に代入するパラメータ D_a と年齢別漁獲尾数 $C_{a,t}$ が必要である。

パラメータ、 D_a 生残過程のパラメータ D_a としては、田中³⁾による成長生残モデルの自然死亡率(成熟死亡を含む)を用いる。なお、田中³⁾は計算の連続性(厳密性)を重視したため、数値の小数点以下の桁止めは行っていないが、本論で VPA の実施にあたり、パラメータを小数点以下 3 桁としたために、田中³⁾の数値から若干変更している。これを表 1 に示す。

表1. 自然死亡率 D_a

年齢 a	自然死亡率 D_a
0歳	0.814
1歳	0.047
2歳	0.261
3歳	0.585
4歳	0.722
5歳	0.897

なお、表 1 の年齢毎の自然死亡率(成熟死亡を含む)設定の考え方は次項のとおりである。

自然死亡と成熟死亡 本論では成熟死亡を自然死亡に含めて次の様に考える。

$a=0$ の場合、ビワマスは少なくとも天然では 1 歳未満で成熟することはないので、 D_0 には成熟死亡は含まれない。0 歳の自然死亡率は、澤田⁷⁾による標識放流再捕試験を基にした田中³⁾の推定値である。

$a \geq 1$ の場合、年齢に応じた成熟死亡が生じる。未成魚期以降の自然死亡率は、一般にある程度低く安定した値となるとされ、VPA にも一定の値として組み込まれる。ビワマスの場合、1 歳以降の自然死亡要因は、親魚の年齢組成から類推される成熟死亡が主で、ビワマスは漁獲されなければ 6 歳までに成熟死亡すると思われる。成熟以外の自然死亡もあるだろうが、必然的な現象の成熟死亡に比べて、偶発的な自然死亡の割合は小さいと考えられる。成熟死亡は寿命ともいえるので、自然死亡も成熟に比例して変化すると考えてもよいのではなかろうか。また、ここでは年齢毎の成熟死亡率は、年毎に変化しないものとする。以上より、本論では、1 歳以降の死亡率 $D_1 \sim D_5$ は親魚の年齢組成から推測される成熟死亡率に一致させ、自然死亡も含むものとする。

年齢別漁獲尾数 $C_{a,t}$ 年齢別漁獲尾数を推定するには、漁獲魚の年齢・サイズ組成と漁獲量とが必要である。2006 年以降は現在まで漁獲魚の年齢・体長組成の調査を行い、漁獲量データを用いて毎年年齢別漁獲尾数を求めている。しかし 2005 年以前に関し

ては、漁獲量データはあるものの、漁獲魚の年齢・サイズ組成の記録は、1963、64 年と 1984、85 年の 4 ヶ年分があるにすぎない。田中³⁾はこれらを用いて年代別資源構造モデル(平衡モデル、以降年代別モデルという)を構築した。その年代別モデルの漁獲魚の平均体重と年齢組成を表 2 に示す。本論では滋賀農林水産統計(農林水産省、近畿農政局)と表 2 に示した年代別モデルの漁獲魚の年齢組成と年齢別平均体

表2. 年代別資源構造モデルの漁獲魚の年齢別体重と年齢組成

年齢 a+	年 代	平均体重(g/尾)			年齢組成		
		1960年代	1980年代	2000年代	1960年代	1980年代	2000年代
1		189	187	448	0.022	0.039	0.042
2		528	500	757	0.729	0.448	0.458
3		775	761	1112	0.233	0.416	0.382
4		1496	1125	1525	0.016	0.087	0.099
5		0	1603	2170	0.000	0.010	0.019

重を手掛かりに、1963～2005 年の年齢別漁獲尾数を求めた。すなわち年代モデルの年齢組成、年齢別平均体重を起点とし、その間を年単位で傾斜配置して補完的に生成した。具体的には 1960 年代モデルと 1980 年代モデルの間は 21 年(1980 年代モデルー 2000 年代モデル間は 23 年)あるので、年齢別頻度と年齢別平均体重各々について、両年代モデル間の差を 20(1980 年代モデルー 2000 年代モデル間は 22)で割った 1 年の変化分を 1965 年から(1980 年代モデルー 2000 年代モデル間は 1986 年から)順次加え(減じ)た。1960 年代モデルに 5 歳魚がいないため、1980 年代以前の 5 歳魚には 1980 年代モデルの平均体重を用いている。

こうした計算によって求めた 1963～2005 年と、調査によって求めた 2006～19 年の年齢別漁獲尾数

を一括して表 3 に示す。

VPA による推定結果の検証(1) 以上の準備の下で、VPA を実施すれば、1963～2019 年の資源量を計算することができる。しかし、2006 年以降が実際の調査データにより求めた年齢別漁獲尾数に基づく VPA であるのに対して、2005 年以前は前述のように生成した年齢別漁獲尾数による VPA である。1963～2005 年の VPA 推定結果は妥当なものであろうか？それを田中³⁾が示した 1960 年代、1980 年代、2000 年代の年代別モデルの資源規模・構造との比較によって検証する。

VPA によって推定された年毎の年齢別生息尾数のうち、各々の年代別モデルの直近の年、すなわち 1960 年代モデルの直近である 1963、64 年、1980 年代モデルの直近である 1984、85 年、および 2000 年代モデルの直近である 2006、07 年の年齢別生息尾数について、Bray-Curtis 指数⁸⁾による類似度を用いて、各年代モデルの年齢別生息尾数と比較し、VPA によって推定された年齢別生息尾数の各年代モデルとの類似性について検証する。なお、この指数は比較対象間の構成種(ここでは年齢)とその組成(ここでは年齢別個体数)の類似の程度を表す指数で、0～1 の値を取り、対象間のこの値が低い(0 に近い)ほど、類似度が高いことを示す性質を有する。

VPA による推定結果の検証の対照となる田中³⁾の年代別モデルの年齢別個体数を表 4 に示す。

また各年代モデルの年齢組成(1 歳以上)を図 2 に示す。表 4 の年代別モデルの生息尾数や図 2 の年齢組成に示すように、ビワマス資源は年代を追って増

表 3. 年齢別漁獲尾数

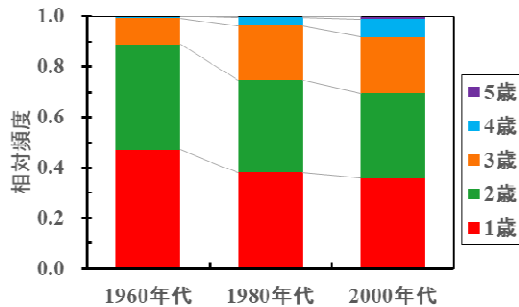
年齢\年	1963年	1964年	1965年	1966年	1967年	1968年	1969年	1970年	1971年	1972年	1973年	1974年	1975年	1976年	1977年	1978年	1979年	1980年	1981年
1歳	582	1640	1413	472	849	955	938	1006	941	1790	2490	1874	1081	753	923	680	747	599	777
2歳	19289	54330	44219	13960	23775	25337	23576	23972	21281	38417	50731	36263	19863	13145	15305	10719	11189	8516	10494
3歳	6165	17365	14976	5005	9014	10151	9974	10702	10021	19071	26541	19987	11532	8037	9854	7267	7989	6404	8313
4歳	423	1192	1210	461	924	1140	1211	1391	1383	2775	4051	3184	1910	1380	1747	1328	1501	1234	1641
5歳	0	0	30	19	50	73	87	108	115	242	368	299	185	137	177	137	157	131	177
合計	26459	74527	61848	19916	34613	37656	35786	37179	33741	62295	84181	61607	34571	23452	28005	20131	21583	16885	21401

年齢\年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
1歳	1244	2420	2383	1128	1729	1133	1336	1752	1778	1590	1409	1747	1924	1647	885	2377	2296	1274	1397
2歳	15955	29449	27508	13015	19906	13004	15299	20006	20243	18063	15962	19744	21682	18508	9926	26575	25611	14177	15506
3歳	13317	25911	25522	12075	18382	11953	13995	18215	18343	16290	14327	17636	19275	16374	8739	23284	22331	12301	13389
4歳	2688	5339	5363	2537	3900	2561	3028	3979	4045	3627	3221	4003	4417	3789	2041	5491	5317	2957	3249
5歳	293	588	596	282	449	306	374	507	531	490	448	572	648	570	314	866	857	487	547
全年齢	33497	63707	61372	29037	44366	28957	34032	44459	44940	40060	35367	43702	47946	40888	21905	58593	56412	31196	34088

年齢\年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
1歳	1241	1362	1031	797	569	570	666	2008	1539	2681	5201	5278	7787	5919	7278	10252	2571	3790	6751
2歳	13741	15037	11357	8758	6234	10606	10361	15792	14134	20778	20403	15181	15996	15962	24215	18613	13770	16762	28651
3歳	11807	12857	9663	7415	5252	7223	10506	11065	10654	13370	15294	10308	7203	7738	11550	14581	11665	4856	13669
4歳	2892	3179	2412	1868	1336	1459	3243	3631	2339	2883	6001	1964	1213	1487	1613	4888	3236	975	2462
5歳	497	557	431	340	248	283	480	898	301	460	1674	279	108	167	182	746	452	100	257
全年齢	30178	32992	24894	19178	13639	20141	25256	33394	28967	40172	48573	33010	32307	31273	44838	49080	31694	26483	51790

表4. 年代別モデルの年齢別生息尾数

年齢 a	生息尾数, N_a		
	1960年代	1980年代	2000年代
0	601328	791472	834000
1	111847	147214	155124
2	99768	141620	146747
3	24643	82989	96119
4	1725	13610	29989
5	0	1484	5248
合計	839311	1178389	1267227

図2. 年代別モデルの年齢組成
(尾数, 1歳以上)

加するとともに、高齢化することがわかる。各年代モデルの1歳以上の生息個体の平均年齢は、1960年代が1.65歳、1980年代が1.92歳、2000年代が2.04歳である。

なお、VPA 検証の対照となる年代別モデル間の Bray-Curtis 指数は、1960年代－1980年代間が 0.168、1960年代－2000年代間が 0.203、1980年代－2000年代間が 0.036 で、1960年代と他の2年代間は類似度が低く、1980年代－2000年代間は類似度が高いことを示している。

VPA による推定結果の検証(2) 2005年以前の VPA 推定結果は、既存の資料によりもう1つの検証が可能である。澤田⁷⁾はビワマスの種苗放流試験を

行い、「16.2%が漁連(著者注：滋賀県漁業協同組合連合会)の放流種苗で、残り 83.8%は発眼卵放流と天然産卵によるものと推定された」と述べている。この漁連の種苗放流数が 14.9 万尾であるから、澤田⁷⁾によれば 1996 年の春(5 月)の 0 歳魚は約 92 万尾であったことになる。本論の VPA による 1996 年の推定 0 歳魚尾数がこれとどの程度一致するかによって、VPA の結果のもう一つの検証とする。

結果および考察

VPA による推定結果とその検証

類似度による検証 VPA により推定された 1963～2019 年の年齢別の生息尾数($N_{a,t}$)を表 5 に示す。表 5 の年毎の生息尾数の内、1960 年代モデルの直近年である 1963 年、64 年、1980 年代モデルの直近年である 1984、85 年、2000 年代モデルの直近年である 2006、07 年の年齢別生息尾数を各年代モデルとともに表 6 に示す。各年代モデルを全年齢の総尾数と比較する(千尾単位)と、年代順に 839 千尾、1179 千尾、1268 千尾と増加する。そしてそれぞれの近接年の同尾数は 1963、64 年が 788 千尾、673 千尾、1984、85

表6. 年代別モデルと近接年の年齢別生息尾数

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	全年齢
1960モデル	601328	111847	99768	24643	1724	0	839310
1963年	524627	137773	98155	26205	1522	0	788282
1964年	387155	97581	130716	53248	4710	0	673410
1980モデル	791472	147382	141786	83128	14372	1030	1179170
1984年	809275	151017	149841	105905	26660	2963	1245661
1985年	869830	150525	141537	83224	18429	2048	1265593
2000モデル	834000	155302	146982	96258	30003	5261	1267806
2006年	1005545	155109	136167	103078	24178	4690	1428767
2007年	857964	187031	147249	90022	35554	5262	1323082

表5. 年齢別生息尾数

(単位：尾)

年齢・年	1963年	1964年	1965年	1966年	1967年	1968年	1969年	1970年	1971年	1972年	1973年	1974年	1975年	1976年	1977年	1978年	1979年	1980年	1981年
0歳	524627	387155	492270	529381	568303	674071	879511	1060678	946401	656965	481928	439383	424326	417941	470706	617627	877779	1093227	1040305
1歳	137773	97581	72011	91562	98465	105704	125377	163589	197286	176031	122195	89639	81725	78925	77737	87551	114879	163267	203340
2歳	98155	130716	91354	67213	86787	92988	99781	118547	154894	187073	165967	113962	83552	76803	74462	73160	82756	108732	154994
3歳	26205	53248	42269	23292	35711	40360	43381	50162	63634	93186	99830	71919	47955	41882	43612	39723	43347	49968	71837
4歳	1522	4710	4733	2566	4661	5806	6599	8029	10115	16387	19601	14888	9859	8369	9344	8245	9218	10000	14333
5歳	0	0	117	106	252	372	474	623	841	1429	1781	1398	955	831	947	851	964	1062	1546
全年齢	788282	673410	702754	714120	794179	919301	1155123	1401628	1373171	1131071	891302	731189	648372	624751	676808	827157	1128943	1426256	1486355

年齢・年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
0歳	858979	811921	809275	869830	966665	993111	974618	990090	1049769	1071805	1032863	1055408	1167365	1128695	954325	859466	819748	764123	689386
1歳	193497	159770	151017	150525	161788	179800	184719	181279	184157	195257	199356	192112	196306	217130	209937	177504	159861	152473	142127
2歳	193006	183158	149841	141537	142322	152455	170216	174701	171007	173723	184490	188577	181336	185156	205278	199185	166785	150051	144033
3歳	104047	126677	105905	83224	91581	85270	99660	110491	109098	106131	110319	120376	119614	112325	118322	141774	120623	97643	96711
4歳	21499	29862	26660	18429	22463	19624	23434	27364	26739	26933	27754	31455	32320	30365	30241	40365	35552	27727	28221
5歳	2344	3289	2963	2048	2586	2345	2894	3487	3628	3639	3860	4495	4742	4568	4652	6366	5730	4567	4751
全年齢	1373372	1314677	1245661	1265593	1387405	1432605	1455541	1487412	1545298	1577488	1558642	1592423	1701683	1678239	1522755	1424660	1308299	1196584	1105229

年齢・年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
0歳	629502	614040	838981	771397	833918	1005545	857964	635941	539561	522301	654378	839854	761467	562733	519904	759084	1116751	1991225	952717
1歳	128226	117087	114211	156050	143480	155109	187031	159581	118285	100358	97148	121714	156213	141633	104668	96702	141190	207716	370368
2歳	134050	120958	110222	107813	147919	136167	147249	177575	150073	111187	92961	87381	110716	141084	129057	92471	81905	131983	194163
3歳	90934	85322	74351	70097	70915	103078	90022	98456	115436	96770	61389	48295	49394	65823	88299	71158	49723	46758	80773
4歳	26746	25931	22552	21193	21675	24178	35554	26853	29794	37252	26790	10182	9734	13295	19579	25094	14950	8970	14549
5歳	4596	4543	4030	3857	4024	4690	5262	6641	3834	5944	7473	1446	867	1493	2209	3830	2088	920	1519
全年齢	1014054	967881	1164347	1130407	1221931	1428767	1323082	1105047	956983	873812	940139	1108872	1088391	926061	863716	1048339	1406607	2387572	1614089

年が 1246 千尾、1266 千尾、2006、07 年が 1429 千尾、1323 千尾で、各々近接の年代モデルの生息尾数と近い尾数であるようにも見えるが、どう評価すべきであろうか？また年齢別の組成は如何に評価できるのか？本論では、これらを Bray-Curtis 指数によって評価する。

1960、1980、2000 の各年代モデルと、各近接年間の Bray-Curtis 指数を求め、表 7 に示す。表 7 におい

表 7. Bray-Curtis 指数による類似度

	1960モデル	1963年	1964年	1980モデル	1984年	1985年	2000モデル	2006年
1963年	0.065							
1964年	0.192	0.165						
1980モデル	0.168	0.199	0.273					
1984年	0.195	0.225	0.298	0.027				
1985年	0.203	0.232	0.305	0.036	0.040			
2000モデル	0.203	0.233	0.306	0.036	0.019	0.029		
2006年	0.260	0.289	0.359	0.100	0.083	0.065	0.073	
2007年	0.224	0.253	0.325	0.058	0.045	0.031	0.026	0.078

てモデル間の指数は桃色のセル、モデルとその近接年との間の指数は黄色のセルで示す。

Bray-Curtis 指数は、各年代モデルと近接年との間(黄色)では、1964 年の 0.192 を除いて 0.026~0.065 である。また近接年間も 1963-1964 年間(0.165)を除くと 1984-1985 年間(0.040)、2006-2007 年間(0.078)とも同様に小数点以下 2 桁台の値で類似度は高い。一方、年代モデル間の指数(桃色)は 1980 年代-2000 年代間(0.036)を除くと小数点以下 1 桁の値(0.168、0.203)で、類似度は低い。1980 年代と 2000 年代とはモデル間も類似しており 1984、85 年と 2006、07 年も類似(小数点以下 2 桁台の低い値)しているため、この年代間では評価しにくい面はあるが、1960、1980、2000 のいずれの年代もモデルとその近接年との間では概ね類似度は高い。すなわち既存の資料を基にした年代別モデルとの齟齬はなく、本論の VPA による推定はこれらの年代を通じて妥当なものと評価できよう。

1996 年の 0 歳魚尾数による検証 澤田⁷⁾が標識放流再捕法によって推定した 1996 年 5 月時点の 0 歳魚尾数は約 92 万尾である。一方、本論の VPA により推定された 1996 年の 0 歳魚尾数は表 5 より 954325 尾(約 95 万尾)で、両者の差は約 3 万尾である。この約 0.5 年後の 1996 年秋時点の 0 歳魚尾数を澤田⁷⁾は 347652~446140 尾(95%信頼区間)と推定している。この推定精度から 5 月時点の 3 万尾の差は許容誤差範囲内とみることができる。つまり本論の VPA の推定結果は 1996 年の 0 歳魚尾数についても妥当なものと評価できよう。

のと評価できよう。

本論では 2019 年から後退法により VPA を実施し、1963 年まで芋蔓式に、機械的に計算を行い、推定した 1963 年以降の生息尾数の推移について、1960 年代(1963、64 年)、1980 年代(1984、85 年)、2000 年代(2006、07 年)の 3 ヶ所において年齢別生息尾数の検証を行った。加えて 1996 年においても 0 歳魚尾数で検証を行った。次項で示すように(図 3~5)、生息尾数は全期間を通じて決して単調に変化している訳ではない。それに対して、既存資料を基にした 4 ヶ所(1960、1980、2000 の各年代および 1996 年)での検証は何れも各時点での推定(年齢別生息尾数)の妥当性を示唆している。

また、2006 年以降の VPA の起点となる 2005 年の 0 歳魚尾数について、田中³⁾は標識放流再捕調査により 2005 年春時点の 0 歳魚尾数を 629 千尾(増殖事業種苗放流数)~913 千尾(95%信頼区間上限)と推定しているが、本論における推定値は 833918 尾(表 5)、約 834 千尾であり、この点でも矛盾はない。

以上の検証により、本論の VPA 推定結果は妥当なものとして以降の解析を進める。

個体数の推移

表 5 に示す 1963~2019 年の年齢別の推定生息尾数の推移を図 3 に示す。

生息尾数の変化過程 生息尾数の推移について図 3 をみると、全年齢の尾数は 1963 年の約 79 万尾から、変動を繰り返しながら増加し、1980 年代には平均約 139 万尾と高水準を維持する。1990 年代には更に増加して、1994 年に約 170 万尾に達する。2002 年にかけて減少(約 97 万尾)するが、以降は増減を繰り返しながら一定の水準を保つ(2000 年代平均約 114 万尾)。2010 年代前半には水準を下げる(2010~15 年

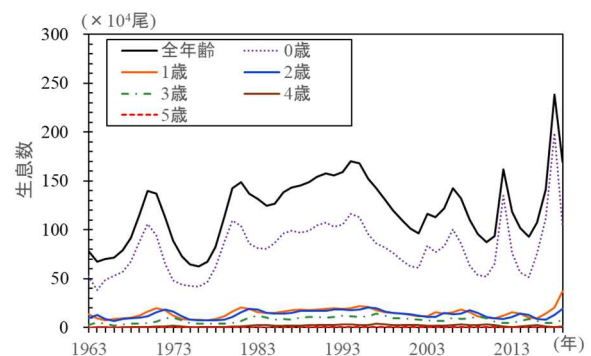


図 3. 年齢別生息尾数の推移

平均約 109 万尾)が、最近増加傾向に転じ、2018 年は、対象期間中最高の約 239 万尾と推定される。ただ、この全年齢の尾数は図 3 に明らかなように 0 歳魚の尾数に負うところが大きい。そこで漁獲対象とならない 0 歳魚と、ごく一部漁獲される 1 歳魚(本論 VPA では 1 歳魚の推定漁獲率は概ね 2%未満)の尾数の推移を図 4 に、漁獲の主体となる 2 歳魚以上の尾数の推移を図 5 に示す。図 4 に示すように 0 歳魚は、全年齢の尾数とほぼ同様の推移を示す。

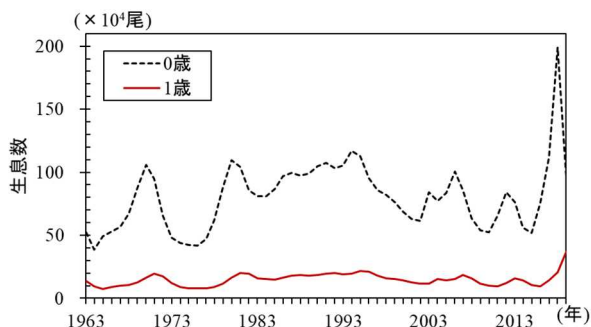


図 4. 0 歳、1 歳の生息尾数の推移

これに比べて 1 歳魚が示す 0 歳魚から 1 年遅れの増減は、0 歳魚より明らかに平坦な推移を示す。図 5 では 2 歳以上の尾数を図 4 とは縦軸のスケールを変えて表示している。年齢別の個体数の推移は、いずれの年齢も同様の傾向を示し、0 歳魚が増加(減少)すれば、年齢を重ねるに従い 1 年ずつ遅れて増加(減少)し、その変動は高齢ほど緩やかになる。

漁獲の主体となる 2 歳以上の個体数の推移について図 5 をみると、1963 年に約 126 千尾であったが、1970 年代には大きな変動はあるものの全体的には増加し、1980 年代には平均約 274 千尾と水準を上げ、1990 年代には更に増えて 1997 年まで平均約 339 千尾の高水準を保つが、その後 2004 年まで減少(1998～2004 平均約 256 千尾)、その後増加に転じ、本論の基となる田中³⁾の調査実施時期に相当する 2006～

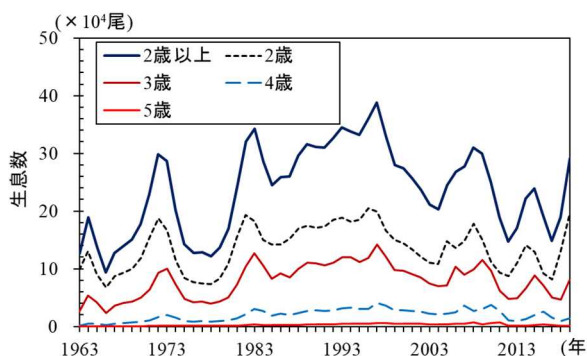


図 5. 2 歳以上の生息尾数の推移

10 年は平均約 281 千尾で比較的高水準を維持する。これ以降は 2012 年(約 147 千尾)を底として、2000 年代より少し低い水準で増減を繰り返す(2011～19 年平均約 220 千尾)。

以上のことから、個体数の動態については次の 2 点に総括することができる。

(1) ビワマスの個体群サイズが年級群単位で変化する傾向がみられ、年齢別の個体数の変動は 0 歳魚時点で生じ、それが高齢魚まで影響する傾向にある。すなわち 0 歳魚の発生が多いことで個体数の多い年級群、極端な場合には卓越年級群が現れることを示唆する。

(2) ビワマスの個体数は 1963 年以降、増加と減少を繰り返しながら、全体的には増加傾向を示すが、主な漁獲対象の 2 歳以上に着目して時期を分けみると、1960～70 年代：変動～増加期、1980～90 年代半ば：高水準期、1990 年代末～2000 年代前半：減少期、2000 年代後半：高水準期、2010 年代：やや水準低下の変動期ということができる。

現存量の推移

個体数を重量に置き換えた現存量の推移を年齢の区別をつけて図 6 に示す。図 6 をみると、現存量は基本的には個体数と同様の変化傾向(増減)を示すが、個体数の変化に比べて現存量は 1～2 年遅れての変動傾向と凹凸の少ない変動傾向を示す。これは個体数変動の主因である若齢魚が軽量であることや、複数年級の個体数とその加齢に伴う数の減少と体重増加との相殺などが関わるからであろう。現存量の推移を、年を追ってみると、1963 年には 102 トンであるが、1970 年を迎えるまでは変動はあるもののほぼ横ばい(1963～69 年平均 107 トン)である。1970 年代には 1972 年に 227 トン、1978 年に 97 トンと大き

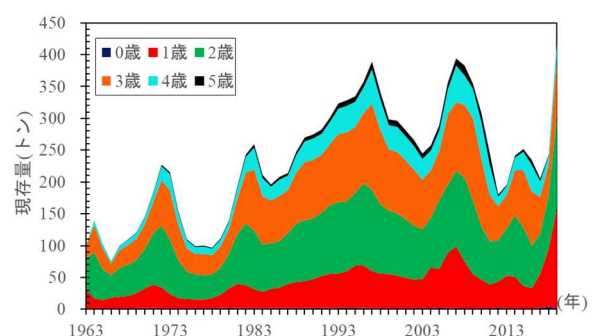


図 6. 現存量の推移(年齢別表示)

く変動する(1970年代平均144トン)。このうち1975年からの5年間は量的水準の低い時期が続く(5年の平均103トン)。その直後の1980年代前半に急増し、1980年代は平均218トン、1990年代は平均323トンと高い量的水準を維持し、1997年には389トンで、これまでの最大となる。これ以降2000年代前半は、2003年の245トンまで減少し、2000～05年の平均は272トンで、少し水準は下がるものの、本論の基となる調査時期を含む2000年代後半(2006～10年)は平均359トン(ピークは2007年の394トン)で、1963年以降で最も高水準の時期といえる。2011年以降は2012年の180トンと2019年の424トンの間を大きく変動するとともに、平均は247トンと、やや量的水準は低くなる。

ただし本論のVPA推定は後退法であり、現在も継続している。したがって2019年の直近数年の推定値は、前項の個体数の推移共々、2020年以降のデータ次第で変化しうる推定値である。

いずれにせよ本論の推定時点では、近年(2011年以降)はそれ以前の最高水準からは少し低下しているものの、1980年代後半(1988年247トン)以降の高い水準は維持していると評価できよう。

現存量の動態についてその概要を時期別に整理する。1963年～1970年代は、全体としては変動～微増期である。1975年からの5年に亘る低水準期を経て、1980年代以降は増加が顕著な水準上昇期、1990年代は高水準期と位置付けることができる。1990年代末～2000年代前半の減少期を挟んで、2000年代後半は再び高水準期となるが、2010年代にはやや水準が低下しての変動期とみることができる。

現存量と漁獲量

現存量と漁獲量の推移 現存量の推移を漁獲量の推移と比較するために、1963～2019年の両者の推移を併せて図7に示す。変化を明瞭にするために両者の縦軸スケールは変えて表示している。

年を追って両者の変化傾向をみると、現存量が変動しながらも1960年代から2000年代まで増加傾向を示すのに対して、漁獲量はほぼ横ばいである。2010年代に現存量の水準が低下しても、漁獲量の横ばい状態には変化がない。すなわち漁獲量と現存量の推移傾向には乖離がある。この乖離について検討する

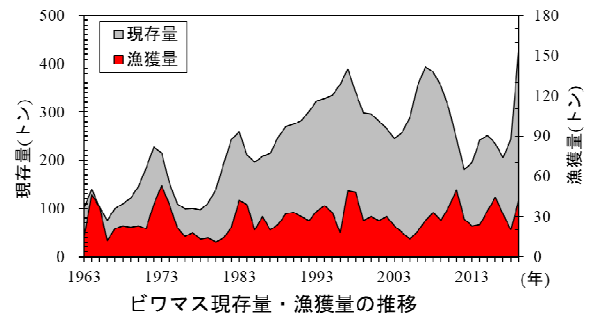


図7. 現存量と漁獲量の推移

前に、現存量と漁獲量の変化の凹凸について述べる。1963～2019年の漁獲量変動の特徴として、横ばい傾向の中に数年おきに突出して多い年が見られる。これは現存量の増加に因るのだろうか？漁獲量の突出した(40トン以上)年とその漁獲量(カッコ内)を列挙すると、1964年(46トン)、1973年(53トン)、1983年(42トン)、1997、'98年(49,48トン)、2011年(50トン)。2016年(44トン)、2019年(41トン)である。これらの年の現存量を各々の前後2年を含む5年間でみる(ただし1964年は前1年、後4年)。1964年はこの年の現存量(139トン)が最大である。1973年は前年(227トン)が当該年(215トン)よりやや多いが、この2年がこの前後5年のピークである。1983年は当該5年間のピークに相当する。1997、98年は49トン、48トンと2年連続で50トンに迫る漁獲量であるが、この時期はピーク(1997年)およびその直後に相当する。2011年は前後5年にピークはなく、前5年の現存量が平均359トンという高水準であるが、2011年は245トンで減少している。つまり漁獲量のピークは、現存量のピークの後に現れている。2016年は前年を現存量のピーク(252トン)とする前後3年の高い現存量期の最終年に相当し、漁獲量は現存量のピークを追う形ではあるが一致している。

以上のことから、数年おきにみられる漁獲量の突然増加の時期は、現存量の増加の時期と概ね一致するといえる。ただし現存量の比較的少なかった1980年代初め頃まではよく一致するが、それ以降の現存量の高水準期には、漁獲量のピークが現存量に遅れて現れる傾向がある。

一方、漁獲量の減少の場合は上記の増加の場合ほど明確な一致は見られない。これは漁獲量減少の凹みが増加の凸ほど明瞭ではないことと、全期間を通じて現存量は増加傾向で、一時的な現存量の減少には漁獲圧の上昇で対応できるものと推察される。

現存量と漁獲量との関係を図 8 に示す。両者の間には正の相関関係がみられる(相関係数, $r=0.40$)。しかし両者の関係を表す直線回帰の回帰係数は 0.0478 と低く、現存量が多くなっても、それに見合うほど漁獲量は増加しない。ビワマス需要の限界が漁獲量の上限に現れているのかもしれない。それは全期間を通じて変わっていないようにみえる。

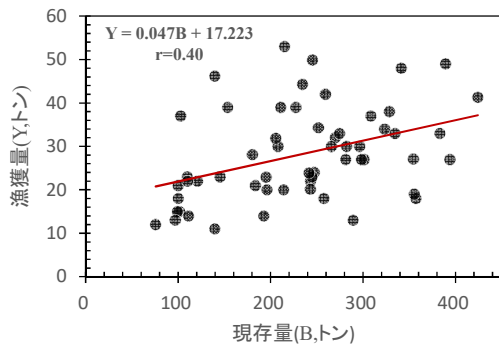


図 8. 現存量と漁獲量との関係

総括すると、現存量、漁獲量の推移と現存量-漁獲量関係は、漁獲量の変動を現存量の変動である程度は説明でき、数年代程度の範囲でなら漁獲量の増減から資源量(現存量)の増減を評価できるが、あくまでも限定的なものになることを示唆している。

現存量と漁獲量の乖離 先述のように(図 7)、漁獲量が横ばい傾向であるのに対して、現存量は全体的には増加傾向を示すという両者の推移の乖離について検討する。図 9 に年齢別に漁獲尾数($C_{a,t}$)を生息尾数($N_{a,t}$)で除して求めた漁獲率($E_{a,t}$)の推移を示す。本論 VPA の構造上【式(4)】、4 歳と 5 歳の漁獲率の推移は重なる。同図には主要漁獲対象である 2 歳以上の漁獲率の単純平均の推移を太い実線で示している。漁獲率は変動しながらも全体的には低下傾向にある。ただ 2010 年以降は僅かに上昇する傾向もみられる。なお、1 歳は資源加入開始年齢ではあるが、小型ゆ

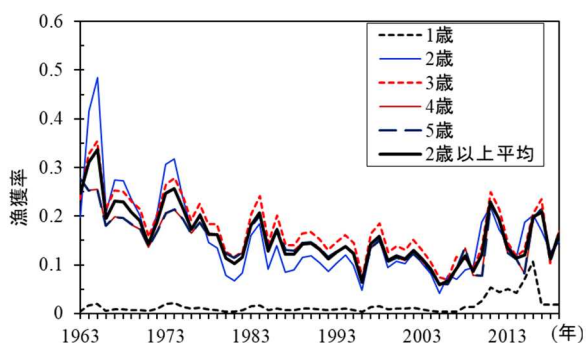


図 9. 年齢別の漁獲率の推移

えに(全長 25cm 未満は滋賀県漁業調整規則により採捕禁止)、漁獲率は低く、2 歳魚以上とは異なる推移を示す。しかし 2 歳魚以上が上昇する時には同調して多少上昇する傾向もみられる。1 歳魚の 2010 年以降の上昇は引き釣り(遊漁ではトローリング)が盛んに行われるようになったためであり、2018 年以降低下するのは、2017 年の琵琶湖海区漁業調整委員会指示の全長 30 cm 未満採捕禁止措置による。

琵琶湖漁業では、ビワマスはその殆どが刺網で漁獲されてきた。図 10 に琵琶湖における 1963~2018 年の刺網漁業経営体数の推移(滋賀農林水産統計および漁業センサス—いずれも農林水産省—による)を示す。近年引き釣りによる遊漁や漁業が参入しつ

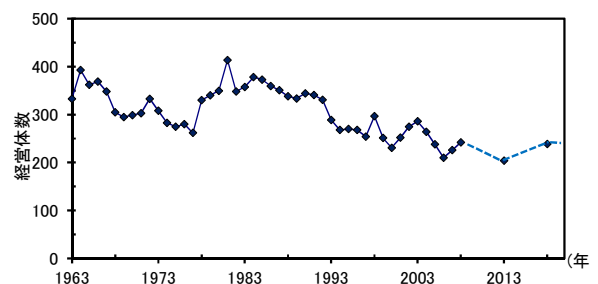


図 10. 刺網漁業経営体数の推移

※) データは滋賀農林水産統計より

つある⁹⁾が、これは 2009 年頃以降の限定的な事象であり、ここでは考慮しない(ただし、漁獲量、漁獲尾数や現存量の推定等には、当然のことながら引き釣りも含まれる)。また琵琶湖の刺網漁業は対象となる魚種に応じて荒目小糸網、細目小糸網、長小糸網、あるいは一枚網、三枚網などの区別があるが、同一経営体が対象魚種の漁期毎に使い分けしている場合が多く、ビワマス漁業経営体数を分離して抽出できないことや、近年の統計では区別されていないことから、ここでは全ての刺網漁業の統計を用いる。

さて、この図から刺網漁業経営体数は 1963 年に 333、1964 年には 393 であるが、以降減少し、1977 年には 262 経営体となる。1980 年代前半に一時増加(1980 年代平均は 360 経営体)するものの、1990 年代には再び減少し、2000 年には 231 経営体となる。その後は変動しながらも横ばい状態(2000 年代平均: 247 経営体)で、2013 年には 204、2018 年には 239 経営体に至る。以上のように刺網漁業経営体数は全期間を通じてみれば減少傾向ということができ、これは先に述べた漁獲率の低下傾向と概ね平行な推

移である。

刺網漁業経営体の推移を現存量の増減(図 7)と照合すると、現存量が増え始める 1980 年頃に刺網漁業経営体数も増加しており、この頃は現存量と経営体数の変化の傾向は一致している。ただしこの期間も漁獲量の増加傾向は伺われるものの、全期間の中では変動の範囲内ともとれる程度であり、この頃増えた刺網漁業経営体がビワマス漁業ではなかった可能性もある。刺網漁業経営体数は 1985 年以降継続的に減少傾向である。刺網漁業の特定の魚種への極端な偏りがなく、その経営体数の変化がビワマス漁業操業数の変化と乖離していないと仮定すると、経営体数が減少するのに、漁獲量が横ばい傾向という漁獲統計上の事実と、本論の VPA による現存量が増加して、漁獲率が低下するという推測とは、齟齬なく説明できよう。現存量が増加したのに、経営体数が減少し、漁獲率も低下して、漁獲量の横ばい傾向を招いたと推察できる。また先述のように漁獲量の横ばい傾向には、需要の動向も効いている可能性も示唆される。

年齢構成の動態

ここまで 1963～2019 年におけるビワマス個体群の数量の変化過程を概観してきた。本項ではこの期間の数量変化に伴う年齢構成の変化について述べる。

個体数の年齢組成 1963～2019 年の個体数の年齢組成の推移を図 11 に示す。個体数割合の大きい 0 歳魚を除いた 1 歳以上の年齢別個体数の組成の推移を図 12 に示す。

両図を見ると期間中には年齢組成の変動パターンに規則性、定向生などの一定の傾向があるようにはみえない。常に個体数組成の 1/2 以上を占める 0 歳魚の相対頻度を図 11 でみると、規則性のない変動はあるものの、期間を通じては変化していないようにみえる。また図 12 に示すように、1 歳以上の魚の頻度も変動に規則性はみられない。ただ 1 歳魚の頻度

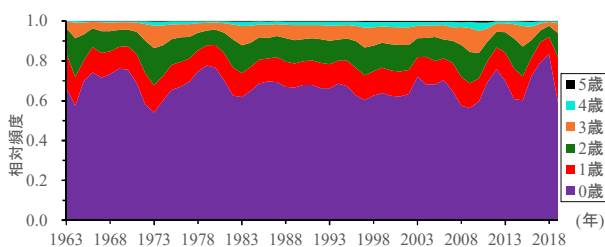


図 11. 年齢組成の推移(生息個体数(0～5 歳))

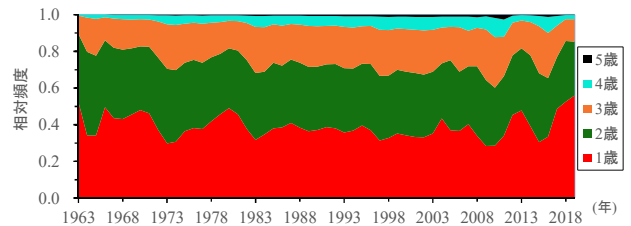


図 12. 年齢組成の推移(生息個体数(1～5 歳))

は 1963 年から 2000 年代まで、年を追って低下し、3 歳～5 歳魚の頻度が上昇する傾向がみられる。逆に 2010 年代には 1 歳魚が上昇、3～5 歳魚が低下している。

現存量の年齢組成 現存量の年齢組成の推移を図 13 に示す。重量の年齢別相対頻度は個体数と異なり、軽量の 0 歳魚の頻度は殆ど無視できる。また、漁獲率の低い 1 歳魚の頻度も、軽量故に相対的に低頻度となる。逆に高齢魚は個体数の割に相対的に頻度が高くなる。そういう意味で、重量で示した図 13 の年齢組成の推移は、漁獲物の組成に近い組成といえるかもしれない。現存量の場合も、個体数の場合と同じく、年齢組成は規則性のない変動をするようにみえる。しかし高齢魚の相対頻度の変化傾向は個

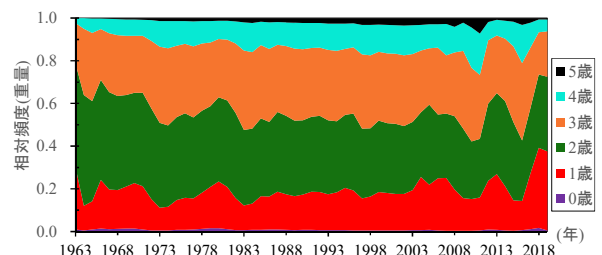


図 13. 年齢組成の推移(現存量)

体数よりも明瞭で、3 歳以上の高齢魚の頻度が年を追って高くなる傾向がみられる。ただしその傾向は 2010 年頃までであり、その後は変動が大きい、若齢魚(2 歳以下)の頻度が高まる傾向がみられる。

以上のように年齢組成の推移は、個体数でも現存量でも一定の傾向はみられるものの、変動が大きく、全体的な変化傾向は明瞭とはいえない。そこで各年齢別個体数の頻度の変化について線形回帰により、変動の凹凸を除去する。年齢毎の相対頻度の年に対する回帰直線を一括して図 14 に示す。なお、先述のように 2010 年代の年齢組成の変化過程にはそれまでとは異なる傾向がみられる。2011 年以前と以後に分けて、回帰直線を求めている。

図 14 を 2011 年以前についてみると、図 14 の年齢別直線の傾きは、0～2 歳では負、3～5 歳では正で

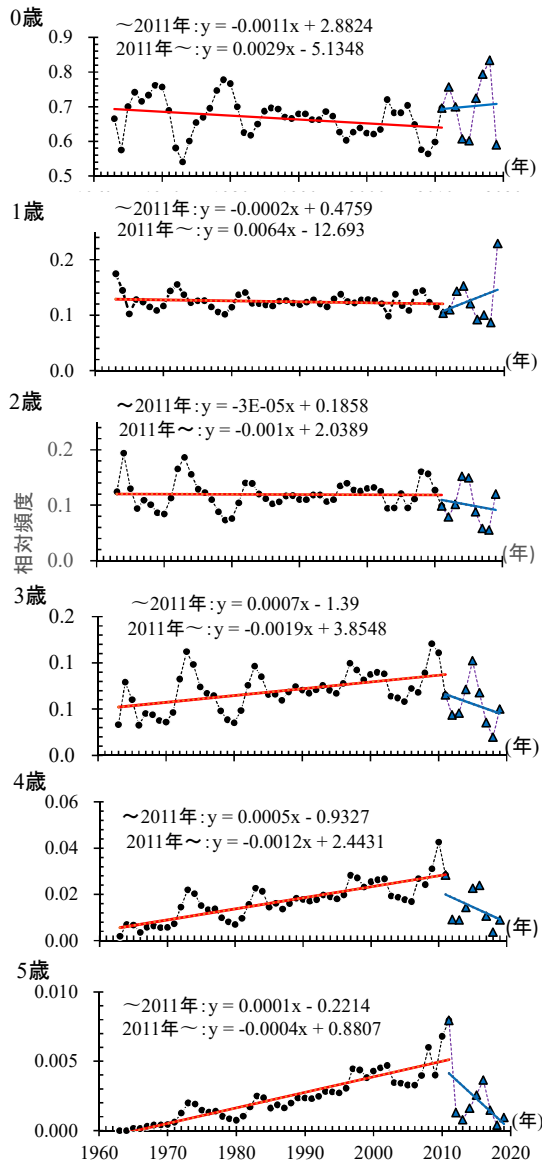


図 14. 個体数の年齢別相対頻度の変化

ある。ただ 2 歳魚の傾きは絶対値が小さく(≒0)、ほぼ変化なしとみなせる。つまり 1963 年から 2011 年にかけては全体的には高齢化が進んでいるといえる。一方 2011 年以降の直線の傾きは 0 歳と 1 歳が正、2 ~5 歳が負であると同時に、全年齢を通じて 2011 年以前より変動が大きいことは明らかである。すなわち 2011 年以降は変動が大きく明瞭ではないものの、2011 年以前とは逆に若齢化の傾向がみられる。

現存量と齢構造の関係

「現存量の推移」の項で述べたように、ビワマスの現存量は 1960 年代から 2000 年代にかけて増加傾向を示し、1990 年代末~2000 年代初めに一時低下するものの、2000 年代末まで概ね高水準を保つ。

一方、前項で述べたように、齢構造は 2011 年まで高齢化傾向がみられる。

ところが、2010 年代(2011 年以降)は現存量、齢構造とも、それまでとは異なる様相を呈し、現存量の量的水準が低下するとともに若齢化傾向がみられる。

現存量と齢構造の推移には何らかの関係があるのか？この項では、数量の変化と齢構造の変化との関係について検討する。

まず、年毎の現存量の推移の変化過程を図 15 に示す。1963~2011 年の現存量は大きく変動しながら

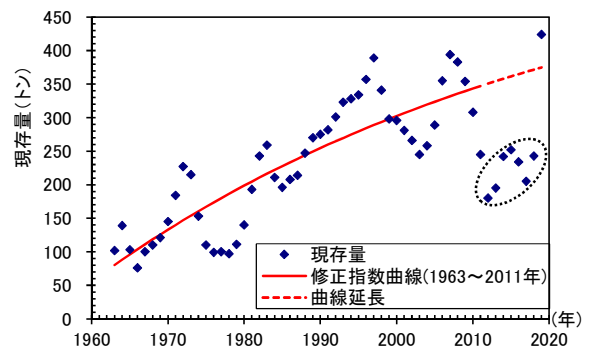


図 15. 現存量の推移(修正指数曲線)

も、増加傾向を示すが、その傾向は直線的ではなく、やや上に凸の曲線、すなわち極限值のある曲線的な変化とみることができる。ここでは修正指数曲線を適用する。最小二乗法により求まる修正指数曲線は次式(5)で表される。

$$B = 581.46 - 509.11e^{-0.016Year} \quad (5)$$

ここで、 B は年毎の現存量(トン)、 $Year$ は 1963 年を 1(年)としたときの年数で、2011 年が 49 である。なお、図中点線で囲ったプロットは 2012~19 年の現存量であり、2011 年までの修正指数曲線から外れて位置する。

次に、齢構造の変化を表す代表値として 1 歳以上の個体数の平均年齢を用いる。0 歳を除くのは、個体数の 1/2 以上を占めるほど個体数の多い 0 歳魚を除くことによって、齢構造の特徴を明瞭にし、代表値(平均年齢)を用いるのは、変化の表現を単純化するためである。1 歳魚以上の平均年齢の推移を図 16 に示す。図に示すように、1963~2011 年の平均年齢は年を追って大きく変動しながらも、大きくなる傾向を示すが、その傾向は現存量の場合と同じく、直線的ではなく、やや上に凸の曲線的な変化とみることができる。ここでは修正指数曲線を適用する。最小二乗法により求められた修正指数曲線は次式(6)

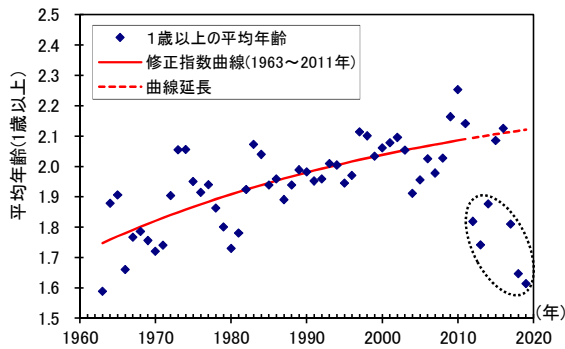


図 16. 平均年齢の推移

で表される。

$$Age = 2.30 - 0.56e^{-0.020Year} \quad (6)$$

ここで Age は平均年齢、 $Year$ は 1963 年を 1(年)としたときの年数で、2011 年が 49 である。なお、図中点線で囲ったプロットは 2012~19 年の現存量であり、2011 年までの修正指数曲線から外れて位置するが、2012 年以降であっても 2015、16 年のように、ほぼこの曲線上に位置する年もある。

以上のように現存量と平均年齢は 2011 年までもに修正指数曲線的に大きくなる。すなわち現存量の増加と高齢化が平行に推移する。また、図 15 の現存量でも図 16 の平均年齢でも、2012 年以降のプロットは、各々の 2011 年までの曲線から同様の方向に外れて位置する。すなわち 2012 年以降は 2011 年まで現存量の増加、高齢化傾向から、現存量の減少方向、若齢方向へ外れる。これは現存量、年齢の組み合わせでは 2011 年以前と同じといえる。

そこで 1963~2019 年の現存量と 1 歳以上の個体の平均年齢との関係を図 17 に示す。同図に 1963~2017 年の両者の関係に、最小二乗法によりあてはめた修正指数曲線を併記する。2018 年と 2019 年(図中◆印)はこの曲線から外れた位置にあり、曲線推定から除外している。また 2012 年以降のプロットには○印を重ねて表示している。先にも述べ、図に明らかなように、この両者の関係は 2011 年以前と 2012 年以降で異なるわけではなく、その関係を示す修正指数曲線は次式(7)で表される。

$$Age = 2.21 - 0.62e^{-0.004B} \quad (7)$$

ここで Age は平均年齢、 B は年毎の現存量(トン)である。2018 年と 2019 年が外れる、つまり現存量が多いのに若齢であるのは、2 年連続して出現した卓越群(2017、18 年の 0 歳魚が多い)の影響であろう。

以上のように、現存量が多くなると年齢構造は高齢

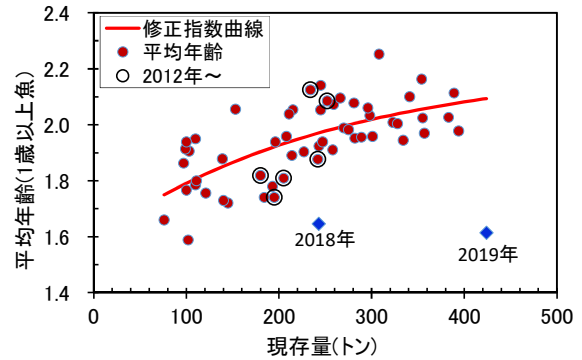


図 17. 現存量と平均年齢(1 歳以上魚)との関係

化するという関係がみられるが、その関係は直線的なものではなく、極限値の存在を示唆する【式(7)、2.21】関係にみえる。これは安定年齢分布の存在を伺わせる傾向かもしれない。ただこの関係はそれほど明瞭なものではなく、ばらつきは大きい。その原因としては、同じ現存量であっても増加傾向にある局面では若齢魚が多く、減少傾向にある局面では高齢魚が多いなど年齢構造に差異があることは容易に推察できよう。また先述の卓越群の出現に象徴される加入数の大きな変動もその一つであろう。

ビワマス資源の動態(総括)

資源動態の連続性 田中³⁾は 1960 年代、1980 年代、および 2000 年代の漁獲魚、成熟親魚の年齢組成を比較し、年齢構造は年代毎に異なると考えて、年代別に自然死亡率(成熟死亡率)を求めて、年代別にモデルを構築した。本論では 2000 年代モデルの自然死亡(成熟死亡)率の数値—これは他の 2 年代が各々 2 年の漁獲魚・親魚の年齢・サイズ組成調査に基づくのに対して、4 年以上に亘る標識放流再捕調査と漁獲魚・親魚の年齢・サイズ組成調査に基づく—を適用して、VPA を実施した。つまり 1963~2019 年の全期間に亘って共通の自然(成熟)死亡率を適用した。その結果、田中³⁾のいずれの年代別モデルとも、数量についても年齢構造についても、矛盾ない結果を得た。本論の VPA では、年代毎に異なるビワマスの資源構造(数量、年齢構造)が、連続的に変化する様子を合理的に捉えられたといえよう。

資源動態の機構 1963~2019 年の資源変動(現存量の推移)をその動態から期間別に次の 7 期に類型化することができる。①1960~70 年代前半：変動・増加期、②1970 年代後半：低水準期、③1980 年代前半：急増期、④1980 年代後半~90 年代：高水準期、

⑤2000 年代前半：水準低下期、⑥2000 年代後半：高水準期、⑦2010 年代：水準低下・不安定期。ここでは、水準は資源水準のことであり、具体的には各期間の平均現存量をいう。

期間毎にその機構と要因を考えてみる。①期は1960年に漁獲量が急減した後で、現存量も少なく若齢(1963、64年には5歳魚もいない)で、ビワマス資源はその維持すら懸念されるほどの低水準であったと思われる。滋賀県が滋賀県醒井養鱒試験場(現在の滋賀県醒井養鱒場)において、ビワマス親魚の人為的確保を目的に飼育研究を開始した^{10,11)}のもこの時期である。この期間の現存量の増減をみると(図6)、増えようとするベクトルではあるものの、漁獲率が比較的高い(図9)ために、順調に増えることができないようで、大きな変動をしつつの増加と解される。

②期は、1979年刊行の「淡水魚第5号」¹²⁾にビワマスの絶滅を懸念する記事が掲載されるほどの低水準であったようで、記事ではその原因として(1)琵琶湖の水質悪化(淡水赤潮を例に)、(2)産卵河川環境悪化(遡上河川の減少を例に)、および(3)環境悪化による餌料生物の減少を挙げ、さらに琵琶湖総合開発事業実施による水位低下の影響を懸念している。当時のビワマス漁獲量の激減(1973年の53トンから1976年の15トン)や増殖対策の種苗放流数の減少(1974年：129万尾→1978年：17.8万尾)―これ即ち回帰親魚の減少―などの現象がビワマス資源の存続すら危惧される状況にあったのであろう。

しかしこれに続く③期は、②期の危惧が杞憂であったかのように急増期となる。この時期は田中¹³⁾が1982～85年のアユ資源の急増について、「この時期は琵琶湖の富栄養化が進行した時期(1970年代後半～80年代)である。富栄養化の一側面である栄養塩の増加がアユ資源の増加にプラスに作用したのではなかろうか」と述べているが、ビワマスのこの期間の急増もこの餌生物としてのアユの急増も含めて富栄養化がもたらしたのではなかろうか。

したがって④期の高水準もアユ資源(田中¹³⁾)と同じく琵琶湖の富栄養状態のプラスの側面に支えられていたと思われる。また、漁業経営体の減少(図10)と、それに伴う漁獲圧低下(図9)もビワマス資源の高水準維持の一因かもしれない。

⑤期は、前後の期間に比べれば水準が低下した時期ではあるが、1963～2019年の全期間を通じてみ

れば高水準である。この期の水準低下の原因は明らかではないが、琵琶湖の水位が夏から秋にかけて異常に低下した1994年には、産卵河川の渇水により増殖事業のための天然親魚からの採卵数が24.5万粒と極端に少ない(1994年を除く1990年代平均採卵数は92.6万粒)他、1997～2001年の5年間は採卵数が平均76.9万粒で、それ以前も以降もほぼ常に上回る100万粒を下回っている。④期が高水準であるから、親魚量が突然不足するとは思われないが、産卵遡上河川の水量や通水状況等の降水状況も含めた環境が如何であったのか。産卵不足が連続して生じれば、それらの年級群サイズは小さくなり、以て資源水準は低下することになる。この期の水準低下は加入不足によるものと思われる。

⑥期は、1963年以降で最も資源量が高水準で、年齢構成も最も高齢(1歳以上魚平均年齢:2.09歳)な期間である。この期の種苗放流は、滋賀県が1980年代(第一次滋賀県栽培漁業基本計画)以来目標にしてきた、全長6cmの種苗を70万尾放流するという目標を、概ね達成も含めて、2004～12年の9年間連続で達成できた時期である。なお、この種苗放流は、秋季に天然親魚から採卵し、養成した稚魚を、春季に放流するもので、親魚の恣意的な選択操作はなく、受精～河川生活期前半の生残効率を高めるだけであるから、0歳魚個体数が多くなること以外は、本論の資源解析に大きな影響はないものと考えられる。

⑦期には資源水準が若干低下するが、特に2012年と2017年の2度に亘る大きな減少に注目すると、この2年はともにアユ資源の動向にも変化がみられた年である。2012年は3～6月に琵琶湖内のアユの肥満度が低下し、9～11月にはアユ産卵親魚が不足して、産卵数が極めて少なかった年であり、2017年はアユの生育不良、産卵親魚の不足が生じた年である。アユはビワマスの餌生物であるから、アユ資源の挙動がビワマス資源に影響することは十分考えられることである。

ビワマスの資源動態とアユ・琵琶湖環境 先に述べたように、1980年代の量的高水準や2012、17年のビワマス資源の減少とアユ資源の異常動態など、ビワマスとアユの資源動態の関係性(ビワマス資源が増加した時期にアユも増え、減少した年にアユ資源に異変が観察された)が示唆された。ビワマスの資源動態の機構・要因を探る目的で、田中¹³⁾が示した

琵琶湖産アユの資源動態との対比を行う。

田中¹³⁾は、アユの1974年級(年級:その年生まれ)～2016年級間の資源動態を量的水準に依拠して、6期に分け、アユ資源は、1974～81年級:低水準期、1982～85年級:水準上昇期、1986～93年級:高水準期、1994～98年級:水位低下による資源減少からの回復期、1999～2007年級:高水準期、2008～16年級:低水準期と推移すると述べている。

このアユ資源変動は1980年代初めの増加、1980年代～2000年代の量的高水準、その間に1990年代末～2004年の減少期が挟まれること、2010年代(アユでは2008年級以降)の量的低水準など、両種に共通の全期間に亘って、本論で示したビワマス資源の動態と同調している。

この同調性は、琵琶湖流入河川で産卵繁殖し、琵琶湖で生育するという共通点があり、かつアユはビワマスの餌生物でもあるから、当然のことかもしれない。しかし、1980年代～2000年代の高水準や2010年代の水準低下などは富栄養化や貧栄養状態^{14),15)}など琵琶湖の環境の変化を反映していると考えられる。その意味で全く異なる手法で解析したアユとビワマスという2種類の琵琶湖産魚類の量的変動が同調した推移を示すこと、そして2010年代のほぼ同じ時期から両種の量的水準が低下し、かつ短期間に2度も大きな変動(減少)を示すことは、両種資源を利用する立場から懸念されることであり、これら魚類からのメッセージを、琵琶湖を取り巻く環境の変化として、その有無も含めて、改めて捉えなおす必要があるのかもしれない。

摘 要

- 1) 2006～19年のビワマス資源のVPAを、後退法により過去へ遡って1963年まで拡張し、ビワマス資源の長期的な動態の推測を試みた。
- 2) そのために既存の資料と漁獲統計を基に、1963～2005年の年齢別漁獲尾数を推定した。
- 3) VPAにより推定された期間中の年毎の生息尾数、現存量は、年齢組成や個体数などの点で、既存の資料が示す生物資源学的知見との齟齬はなく、全期間に亘って漁業統計が示す漁獲量の変動とも合致し、数年おきにみられる漁獲量の急増は現存量の増加で依ることが示唆された。

4) 既存の文献で1960年代、1980年代、2000年代を比較すると、年代毎に資源構造(数量および年齢構造)は異なるが、本論のVPAでは、1963～2019年間の資源構造の連続的な変化を再現することができた。

5) 年齢構造を1歳以上の個体の平均年齢で表すと、現存量が多くなるほど平均年齢は高くなるが、それには上限の存在が伺われ、安定年齢分布の存在が示唆された。

6) 1960年代～70年代に量的に低水準であったビワマス資源は1980年代初めから急増し、その後1990年代末～2000年代前半に一時減少するものの、2000年代まで概ね高水準を維持する。しかし2010年代にはその水準がやや低下するという推移を示した。

文 献

- 1) 荒賀忠一(1985): サクラマス群の学名・和名について、日本産魚類大図鑑(益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝弥・吉野哲史 編), 38, 東海大学出版会, 東京。
- 2) 滋賀県水産試験場(1915): まず、琵琶湖水産調査報告, 3, 40-49。
- 3) 田中秀具(2011): 琵琶湖におけるビワマスの資源構造に関する研究、滋賀県水産試験場研究報告, 54, 7-61。
- 4) 田中秀具・亀甲武志 (2021): VPAによるビワマス現存量とその動態の推定、令和元年度滋賀県水産試験場事業報告, (印刷中)。
- 5) びわ湖生物資源調査団(1966): ビワマス、びわ湖生物資源調査団中間報告, 726-728。
- 6) 田中秀具・大江孝二・山中治(2007): 琵琶湖におけるビワマスの年齢・体長組成、滋賀県水産試験場研究報告, 52, 1-12。
- 7) 澤田宣雄(1997): ビワマスの種苗放流効果、平成8年度滋賀県醒井養鱒場業務報告, 39-40。
- 8) 土居秀幸・岡村寛(2011): 生物群集解析のための類似度とその応用: Rを使った類似度の算出、グラフ化、検定、日本生態学会誌, 61, 3-20。
- 9) 田中秀具(2017): ビワマス引縄釣りの資源への影響調査(2015年)、平成27年度滋賀県水産試験場事業報告, 18。

- 10) 田沢茂・鎌田淡紅郎(1970): 在来マス類増殖研究, 昭和 43 年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告, 11-19.
- 11) 田沢茂・鎌田淡紅郎(1971): 在来マス類増殖研究, 昭和 44 年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告, 11-22.
- 12) 財団法人淡水魚保護協会機関誌編集部(1979): 絶滅に向かうビワマス, 淡水魚, **5**, 126.
- 13) 田中秀具(2021): 琵琶湖産アユの資源動態に関する一試論, 滋賀県水産試験場研究報告,**57**, 1-17.
- 14) 大前信輔・前河孝志 他(2020): 琵琶湖定点定期観測(2008 年度), 滋賀県水産試験場研究報告, **56**, 145-185.
- 15) 大山明彦・大前信輔 他(2020): 琵琶湖定点定期観測(2009 年度), 滋賀県水産試験場研究報告, **56**, 187-233.