

資料 琵琶湖産ビワマスの年齢-体長相関表

田中秀具

Age-Length-Key of Biwa salmon, *Oncorhynchus masou rhodulus* in Lake Biwa

Hidetomo Tanaka

キーワード：ビワマス、ALK、年齢組成、体長組成、VPA

ビワマス *Oncorhynchus masou rhodulus*¹⁾は琵琶湖漁業の重要水産資源である。滋賀県水産試験場(以下、当場)では、古く明治40年代には既に、標識放流と回収魚の調査を行っている²⁾。近年では2005年に標識放流を行い、2006~10年にそれに係る漁獲魚調査を行った³⁾。そしてこれを契機にコホート解析(VPA)による資源推定を試みている⁴⁾。VPAには年齢別漁獲尾数の推定が必須で、そのため2006年以降の漁獲魚の年齢、体長の調査を、ビワマス集荷の多い地域の市場やその他の集荷場で継続してきた。しかしビワマスの流通形態が、鮮魚集荷業者(以下、業者)による相対取引主体となったため、市場での調査機会はほぼ消失した。市場での調査とは異なり、業者の協力の下での調査は、調査時間の制約が厳しい上に、漁獲魚は既に業者所有の商品で、年齢査定用の採鱗は依頼し難い状況にある。採鱗せずに年齢別漁獲尾数を推定するには、体長組成を年齢組成に変換する年齢-体長相関表(ALK)が必要となる。

本稿では、当場が2018年からVPAに使用しているALKを提示し、その年齢組成推定の性能と、ALKを用いたVPAによる資源推定の妥当性を評価する。

材料および方法

漁獲魚のデータ ALKの作成に用いた漁獲魚の年齢と体長のデータは、2006~18年に収集した4995尾分で、2005年に標識放流し2006~10年に再捕された被鱗体長、年齢既知の個体と、2006~18年に行った漁獲魚調査で、被鱗体長の測定と同時に採鱗し、年齢査定できた個体から成る。以降、これらをまとめて漁獲魚標本という。なお、この漁獲魚標本によ

り作成したALKは、主要漁期である6~9月の年齢と体長を反映するものである。漁獲魚標本の収集年別内訳は、表1に示すように2006~12年が4085尾で81.8%を占める。これは2012年以前の漁獲魚調査では、調査した全個体の採鱗、年齢査定を行ったのに対し、2013年以降は調査個体の一部についての採鱗、年齢査定としたためである。漁獲魚標本の体長データを年齢別に整理して表2に示す。漁獲魚標本の年齢内訳は、2歳(46.4%)と3歳(34.2%)が多く、これらで80.6%を占め、4歳(8.8%)、5歳(1.6%)の高齢魚は併せて10.4%、若齢の1歳魚は9.0%である。

漁獲魚標本の年毎の年齢別平均体長と標準偏差の推移を図1に示す。同図から漁獲魚の年齢別平均体

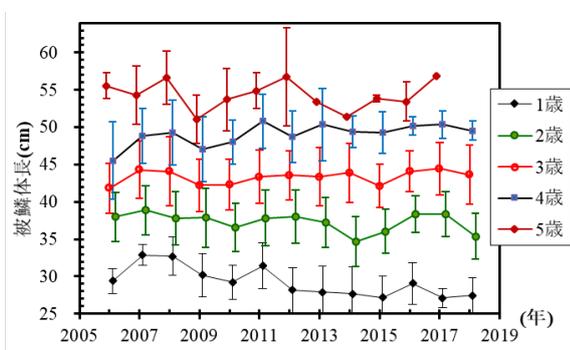
表1. ALK作成に用いた漁獲魚標本数

年	年齢査定漁獲魚数
2006	209
2007	529
2008	890
2009	606
2010	754
2011	549
2012	548
2013	129
2014	153
2015	266
2016	132
2017	120
2018	110
合計	4995

表2. ALK作成に供した漁獲魚標本の基本統計量

	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	全年齢
データ数(尾)	449	2319	1706	439	82	4995
平均値(cm)	29.9	37.5	43.2	48.9	54.5	40.1
標準偏差(cm)	3.5	3.6	3.8	4.0	3.7	6.3
最小値(cm)	20.9	26.2	33.3	37.5	45.8	20.9
最大値(cm)	36.8	51.9	57.1	62.9	64.6	64.6

長の変化に傾向性はなく、標準偏差もふまえて、年毎の年齢別体長分布は概ね一定と評価した。そして図2には2006~18年一括の漁獲魚標本による年齢別体長分布を示す。これは13年間の漁獲魚の年齢・



※) エラー・バーは標準偏差を表す。

図1. 漁獲魚標本の平均体長の推移

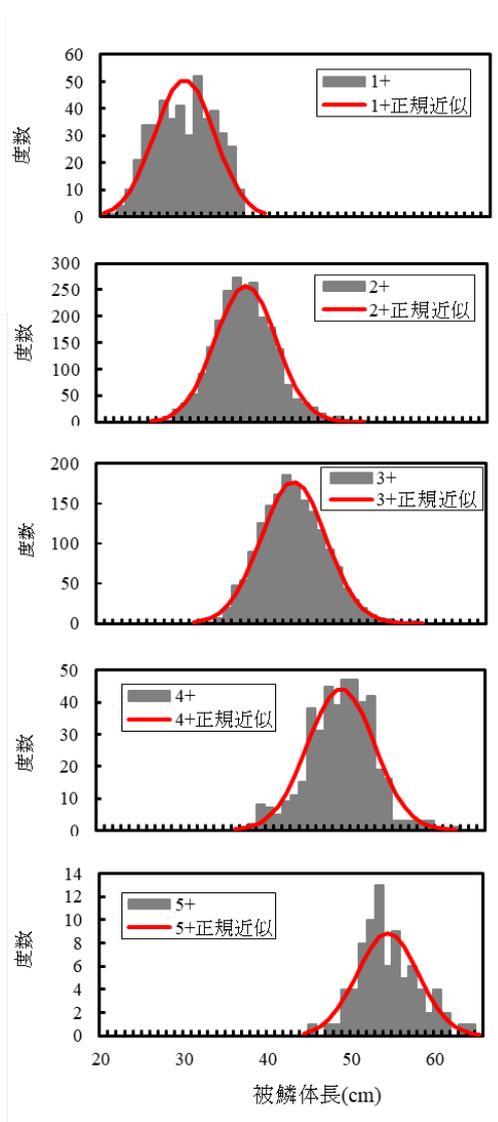


図2. 漁獲魚標本の年齢別体長組成

体長組成を反映していると思われる。同図には各年齢の平均体長と標準偏差の正規分布曲線を併記する(赤い実線)。同図から漁獲魚標本の年齢毎の体長分布は、正規分布で近似できることがわかる。ただし正規分布の範囲は $-\infty \sim +\infty$ であり、体長分布には年齢毎に体長範囲の制限がある。ALKの作成時には、漁獲魚標本の体長範囲端の補正を行った。

ALKの検証 ALK作成に供した漁獲魚標本にALKを適用して年齢組成を求め、これを理論値とし、元の年齢査定による年齢組成を観測値とする適合度の χ^2 検定を行い、ALKによる年齢組成の元の年齢組成との整合性を検証した。また、年齢査定標本による年齢別漁獲尾数を用いていた2006~12年のVPAによる資源推定と、同一標本にALKを適用した年齢別漁獲尾数を用いたVPAによる資源推定の結果を比較し、ALKを適用した場合のVPAの妥当性を検証した。

結果および考察

ALKの作成 図2の年齢別体長組成を複合した全漁獲魚標本の体長分布は図3上図のようになる。この体長分布の階級(1cm幅)の度数を1に標準化すると、図3下図のようになる。この体長階級別年齢頻度分布が、漁獲魚標本から作成されるALKの原型となる。図3下図を見ると年齢間の境界に凹凸

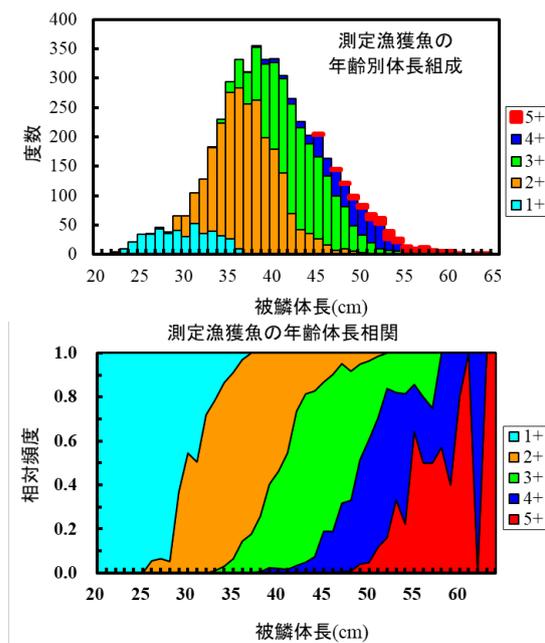


図3. 漁獲魚標本生データの全年齢の体長組成(上図)と年齢-体長相関図(下図)

があり、特に体長 54cm 以上の 3 歳-4 歳、4 歳-5 歳境界における隣接階級間の変動が激しいことがわかる。これは図 2 の 4 歳、5 歳の体長分布をみると、4 歳魚の 54cm 階級(54.0~54.9cm)より大きい各階級の度数が顕著に少ないこと、5 歳魚の 53cm 階級より大きい隣接階級間で度数の増減が繰り返されること等、近接階級間の変動が影響している。とはいえ、4 歳魚、5 歳魚における階級間の凹凸は、数尾以内での多寡により生じており、4~5 歳魚の標本数の少なさに起因する誤差である。このままでは隣接体長階級間の年齢頻度の凹凸が、適切な体長階級毎の年齢頻度分布を得られない原因となることは明らかである。そこで年齢毎の体長分布を正規近似し、図 2 の赤い実線と各階級値の交点を度数とする年齢毎の体長分布を作成し、全年齢を複合すると、漁獲魚の年齢・体長分布は、図 4 上図のようになる。この体長分布の各階級の度数を 1 に標準化し、体長範囲について補正すると、図 4 下図のようになる。この体長階級別

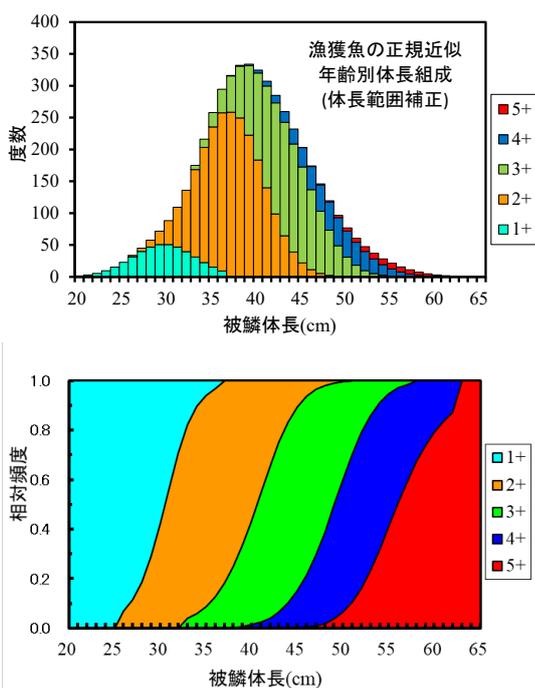


図 4. 正規近似した漁獲魚の体長組成(上図)と正規近似・範囲補正した ALK 図(下図)

年齢頻度分布が、漁獲魚の ALK 図である。またこれを各体長階級の年齢別頻度(百分率)を数表としたものが表 3 で、これが本稿で提示するビワマス漁獲魚の年齢-体長相関表(ALK)である。

作成した ALK を使えば、漁獲魚の体長測定データを ALK にあわせて 1cm 間隔の度数分布にすることで、年齢組成に変換できる。これに年間の採捕量

表 3. ビワマス漁獲魚(6~9 月)の ALK

体長(cm)	1+	2+	3+	4+	5+	和
20	100.0%					100.0%
21	100.0%					100.0%
22	100.0%					100.0%
23	100.0%					100.0%
24	100.0%					100.0%
25	100.0%					100.0%
26	93.3%	6.7%				100.0%
27	88.7%	11.3%				100.0%
28	81.4%	18.6%				100.0%
29	70.9%	29.1%				100.0%
30	57.4%	42.6%				100.0%
31	42.8%	57.2%				100.0%
32	29.2%	70.8%				100.0%
33	17.8%	78.3%	3.9%			100.0%
34	10.5%	83.6%	5.9%			100.0%
35	5.9%	85.4%	8.7%			100.0%
36	3.2%	84.2%	12.6%			100.0%
37		81.8%	18.0%	0.2%		100.0%
38		75.1%	24.5%	0.4%		100.0%
39		66.6%	32.7%	0.8%		100.0%
40		56.5%	42.1%	1.4%		100.0%
41		45.6%	52.0%	2.4%		100.0%
42		34.7%	61.3%	4.1%		100.0%
43		24.8%	68.6%	6.6%		100.0%
44		16.8%	73.1%	10.1%		100.0%
45		10.7%	74.3%	14.8%	0.2%	100.0%
46		6.4%	72.1%	21.0%	0.5%	100.0%
47		3.7%	66.9%	28.4%	1.0%	100.0%
48		2.0%	59.2%	36.9%	2.0%	100.0%
49		1.0%	49.8%	45.6%	3.6%	100.0%
50		0.5%	39.6%	53.6%	6.4%	100.0%
51		0.2%	29.7%	59.6%	10.5%	100.0%
52			21.0%	62.7%	16.2%	100.0%
53			14.0%	62.5%	23.5%	100.0%
54			8.9%	59.2%	31.9%	100.0%
55			5.3%	53.7%	41.0%	100.0%
56			3.1%	46.7%	50.2%	100.0%
57			1.7%	39.4%	58.9%	100.0%
58				32.7%	67.3%	100.0%
59				26.3%	73.7%	100.0%
60				20.9%	79.1%	100.0%
61				16.5%	83.5%	100.0%
62				12.9%	87.1%	100.0%
63					100.0%	100.0%
64					100.0%	100.0%
65					100.0%	100.0%

データが得られると、体長-体重関係を用いて年齢別漁獲尾数が求められる。こうして ALK による VPA が可能となる。

作成した ALK の性能について、次の 2 つの検証を行った。

適合度の χ^2 検定による ALK の検証 漁獲魚標本の年齢査定による年齢組成と、ALK を適用して体長組成から得た年齢組成との一致性を検証するため、ALK による年齢組成の度数を理論値とする適合度の χ^2 検定を行った。結果を表 4 に示す。 χ^2 値は、 $\chi^2_0 = 3.268 < \chi^2_{0.05,4} = 9.488$ で、両者が一致するという帰無仮説は危険率 5%で棄却されず、これによって

表 4. 漁獲魚標本の ALK による

年齢組成推定の検証(χ^2 検定) (単位:尾)						
	サイズ 1歳	サイズ 2歳	サイズ 3歳	サイズ 4歳	サイズ 5歳	コホ 合計
年齢査定	449	2319	1706	439	82	4995
ALK査定	427	2371	1668	445	84	4995
差	22	-52	38	-6	-2	0
差 ² /ALK査定	1.133	1.140	0.866	0.081	0.048	$\chi^2=3.268$

※) ALK による推定年齢組成の度数を理論値とする
適合度の χ^2 検定: $\chi^2_0 = 3.268 < \chi^2_{0.05,4} = 9.488$

ALK により体長組成から求めた年齢組成は、年齢査定による年齢組成と一致すると評価した。

資源推定による比較・検証 2006~12 年の VPA による個体数の推移を図 5 に示す。上が年齢査定による年齢別漁獲尾数から推定した VPA、下図が ALK による年齢別漁獲尾数から推定した VPA である。図 5 で両者を比較すると、年を追っての増減は年毎の年齢組成も含めて類似しており、一見では区別がつかないほどである。両者の違いをみるために、表 5 で両 VPA の推定個体数(全年齢)を比較する。両者の推定個体数が良く一致するのは 2008 年と 2012 年で、

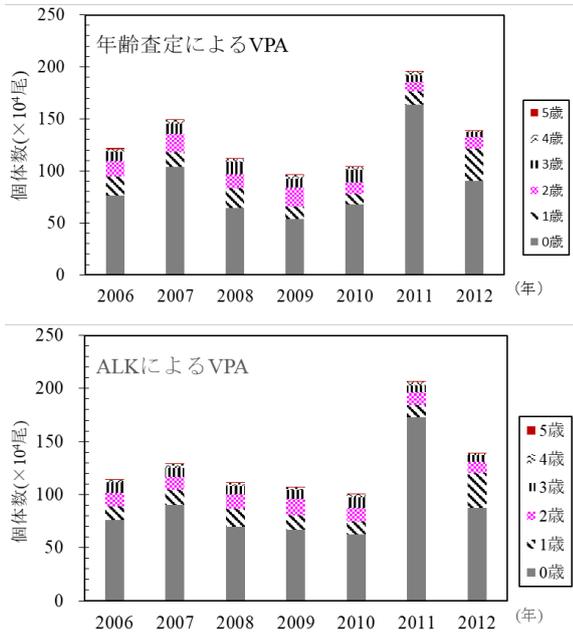


図 5. 年齢別漁獲尾数推定法と VPA(個体数)

年齢査定による VPA の推定個体数に対する差の比率は、各々 0.9%、0.1% である。一方両者の乖離が大きいのは、2006 年、2007 年、および 2009 年で、差の比率は順に 12.2%、13.5%、11.0% である。そして全期間を通じての差の比率は平均 6.7% である。また乖離は±両方向で、常にどちらかが多いという推定の偏りはない。

表 5. 推定法の違いによる個体数の違い

年	年齢査定法(尾)	ALK法(尾)	差(尾)	差(%)
2006	1218698	1146089	72609	12.2%
2007	1490773	1289814	200959	13.5%
2008	1123848	1113922	9925	0.9%
2009	964752	1070430	-105677	-11.0%
2010	1042190	1004320	37869	3.6%
2011	1953797	2063413	-109616	-5.6%
2012	1385400	1387452	-2053	-0.1%

図 5 の個体数の推移を、年毎の漁獲魚の年齢別平均体重を用いて重量(現存量)に変換したのが図 6 である。図 6 も図 5 と同じく年齢査定による VPA と ALK による VPA とは、その推移において年毎の年齢組成も含めて一見では区別し難いほど類似する。両者の違いをみるために、表 6 には両 VPA の推定現存量を数値で示す。両者が比較的良好一致するのは 2010~12 年で、年齢査定による VPA の現存量に対する差の比率は、順に 1.1%、6.2%、9.7% と、いずれも 10% 未満である。一方 2006~09 年は、差の比率が順に 12.2%、13.9%、16.7%、10.9% と乖離が大きい。

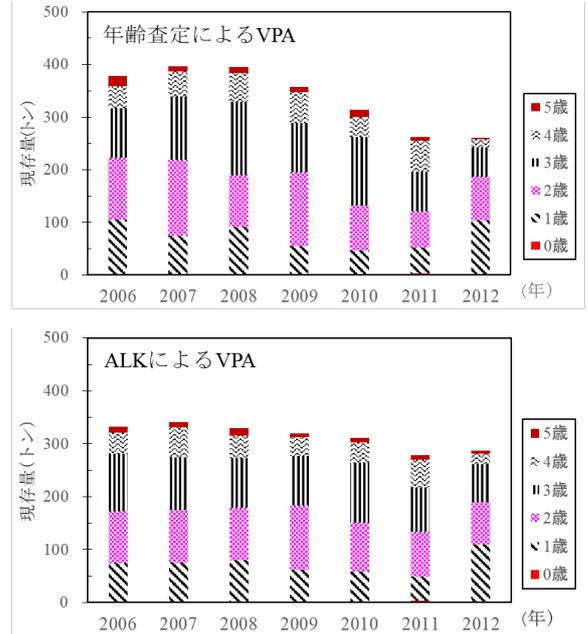


図 6. 年齢別漁獲尾数推定法と VPA(重量)

表 6. 推定法の違いによる現存量の違い

年	年齢査定法(トン)	ALK法(トン)	差(トン)	差(%)
2006	378	332	46	12.2%
2007	397	342	55	13.9%
2008	395	329	66	16.7%
2009	358	319	39	10.9%
2010	315	311	3	1.1%
2011	262	279	-16	-6.2%
2012	261	286	-25	-9.7%

そして全期間を通じての差の比率は、平均 10.1%である。また現存量も個体数と同様、乖離は±両方向であり、推定の偏りはない。

以上、同じデータを用いて年齢査定による VPA と、ALK による VPA を比較してきた。VPA による推定個体数と現存量は、推定期間を通じての推移においては両者類似するが、数値的にはよく一致する年があれば、乖離の見られる年もあった。両者の乖離の現れ方について検討する。図 7 には両手法による個体数と現存量の推移を示す。黒線が年齢査定による VPA、赤線が ALK による VPA である。図 7 から VPA の推定値(個体数、現存量)は、2010 年以降の乖離が小さいことが見て取れる。そして ALK による推定値は、年齢査定による推定値の大きい場合には小さく、逆の場合には大きくなる傾向がみられる。即ち ALK による VPA は年齢査定による VPA より、資源変動を緩慢に推定する傾向があるといえる。これは ALK が複数年(本研究の場合 13 年)の漁獲魚データから作成されることによって、年毎の漁獲魚ひいては年毎の資源の特徴が平準化されることによると思われる。

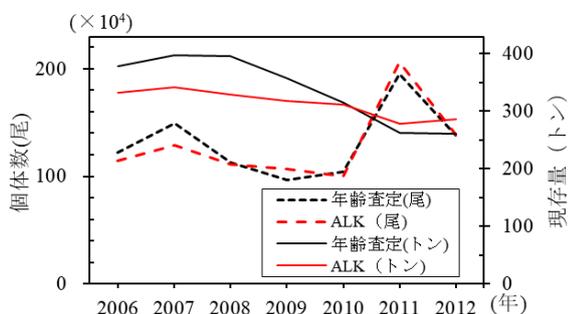


図 7. 推定法の違いと個体数と現存量の推移の違い

まとめ 本稿で提示・検討した ALK は、年齢査定による年齢組成を、体長組成から概ね再現できた。VPA の実施において、ALK を利用すると、漁獲魚調査における 1 尾あたり所要時間と手間が省ける分、調査個体数を増やして精度向上を図ることができる。反面、年齢査定を省くことで、個体毎の年齢情報が得られない他、年毎の漁獲魚ひいては資源の特徴が平準化され、資源推定では年変動が平準化される傾向がある。こういった特徴を承知の上で、ALK を使用する必要がある。

摘 要

- 1) 2006～18 年に収集した年齢既知の漁獲魚標本により、ビワマス漁獲魚の年齢-体長相関表(ALK)を作成した。
- 2) ALK の作成に供した年齢既知の漁獲魚標本について、その体長組成に ALK を適用し、年齢組成が再現できるか検証したところ、適合度の χ^2 検定により、危険率 5%で両者は一致すると評価された。
- 3) 年齢査定した漁獲魚標本で VPA を行っていた 2006～12 年について、同標本から ALK を使って求めた年齢別漁獲尾数によって VPA を行い、年齢査定による VPA と比較したところ、年毎の推定個体数では平均 6.7%、重量では平均 10.1%の乖離はあるものの、資源の推移傾向も含めて、両者は概ね一致した。
- 4) 乖離は資源の年変動を平準化する様に顕れた。ALK を使った VPA による資源推定は、年変動の凹凸が緩慢になる傾向がみられた。

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(1918)：放流事業の経過. 自明治 41 年度至大正 7 年度第 1 期魚苗放流事業経過及成績概要,3-4.
- 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(2020)：VPA によるビワマス現存量とその動態の推定,平成 30 年度滋賀県水産試験場事業報告,16.

