

# VPA 及び簡易的な VPA による西湖のクニマス資源尾数の推定

青柳敏裕・小澤 諒・谷沢弘将・岡崎 巧・名倉 盾・加地弘一・三浦正之・芦澤晃彦・平塚 匡

2012 年以降当所では、西湖のヒメマス・クニマス混合資源（以下混合資源）の推定を介してクニマス資源を概算してきた<sup>1)</sup>。これはヒメマスに混じり少数採捕されるクニマスについて直接推定を行うことが困難なためである。手法は標準的な VPA ではないものの資源動向を概観するには十分と考えているが、これまで 7 年分の資源調査データが得られたことから標準的な VPA を試み比較した。

## 材料及び方法

### 坪井らの方法による推定

2015-2018 年にかけて、坪井ら<sup>1)</sup>に従い混合資源の推定を行った。全長-年齢相関は秋解禁直後に合計 2,3 日のビクのぞき調査と、解禁日の前後 1 週間に 2 日の試験釣獲を行い作成した（表 1）。総釣獲尾数 C は秋田県水産振興センターによる西湖釣宿へのアンケート調査結果<sup>2,4)</sup>（2018 年は未発表）から当該年秋及び翌春のヒメマス遊漁期の推定釣獲尾数を合算し、年齢組成に変換した（表 2）。全減少率 Z について年級間の減少率として求めるとともに、 $Z = \text{自然死亡係数}(M) + \text{漁獲係数}(F)$ とし、M は寿命を 2.5 で割り求め、 $F = Z - M$  で計算した。また、寿命を 4 歳から 7 歳まで想定することで F を変化させて信頼区間に代わる感度分析とした。混合資源尾数は  $N = C * Z / \{F[1 - \exp(-Z)]\}$ （エクセル計算式、以下同じ）により計算した。クニマス資源尾数は試験釣獲全標本中の比率で混合資源尾数を案分して計算した。

### 標準的な VPA

標準的な VPA（以下 VPA）は松石<sup>5)</sup>及び蘇ら<sup>6)</sup>を参考にした。解析には坪井ら<sup>1)</sup>が 2012-2014 年に収集したデータを加えた。試験釣獲標本の最高齢は 6 歳だったが、5,6 歳の釣獲状況がまちまちなため 5 歳以上をプラスグループ（5+）とし、最近年（Y）最高齢（A）の漁獲係数（ターミナル F:  $F_{5+,2018}$ ）には坪井らの方法で得られた 2018 年の寿命 6 歳の場合の漁獲係数を用いた。自然死亡係数 M は試験釣獲標本の最高齢 6 歳を 2.5 で割った値を用いた。

VPA の基本式として、y 年 a 歳の資源尾数 N は  $N_{a,y} = N_{a+1,y+1} * \exp(M) + C_{a,y} * \exp(M/2)$  を、y 年 a 歳の漁獲係数 F は  $F_{a,y} = \ln(N_{a,y} / N_{a+1,y+1}) - M$  を用いて年級毎に若齢へ遡り計算した。プラスグループ（5+）の資源尾数は  $N_{A+,Y} = 1 / [1 - \exp(-(F_{A+,Y} + M))] * (F_{A+,Y} + M) / F_{A+,Y} * C_{A+,Y}$  を、4 歳への遡り計算に使う 5 歳の資源尾数は  $N_{A-,Y} = (F_{A-,Y} + M) / F_{A-,Y} * C_{A-,Y}$  を用いて計算した。同じ年の 5+ と 4 歳とで漁獲係数が等しいと仮定し、近年のヒメマス遊漁方法に変化はないため 2018 年の各年齢の漁獲係数は過去 3 年の平均と仮定して、2018 年の 4 歳以下の資源尾数を  $N_{A-,Y} = C_{A-,Y} / (1 - \exp(-F_{A-,Y})) * \exp(M/2)$  で計算した。漁獲係数の 2 つの仮定を 2018 年の 5+ と 4 歳は同時に満たさないため、残差平方和  $(F_{5+,2018} - F_{4,2018})^2$  が最小となるようエクセルのソルバー機能で探索した。VPA により得られた年齢別の混合資源尾数に 2012-2018 年のクニマスの年齢別釣獲比率（表 3）を掛けてクニマス資源尾数を計算した。

### 推定結果の比較

坪井らの方法と VPA による推定値の当てはまり具合を検討するため、坪井らの方法による 2012-2014 年の推定値（1 歳以上、寿命 6 歳の場合）<sup>1)</sup>を加えて、目的変数を VPA、説明変数を坪井らの方法として単回帰分析を行った。

---

Aoyagi Toshihiro, Ozawa Ryo, Tanizawa Kosho, Okazaki Takumi, Nagura Jun, Kaji Koichi, Miura Masayuki, Ashizawa Akihiko, Hiratsuka Tadashi

表1 秋遊漁期における全長-年齢相関 (2015-2018年)

Creel survey	Total length (cm)	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	Total
	Frequency	0	78	1,120	119	16	0	1	1,334
2015									
Age-length key	Age								
	0								
	1		0.10	0.02					
	2		0.40	0.68	0.25				
	3		0.50	0.30	0.55				
	4			0.003	0.15	1			
	5				0.05			1	
Age distribution	Age								
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	8	23	0	0	0	0	31
	2	0	31	760	30	0	0	0	821
	3	0	39	333	65	0	0	0	437
	4	0	0	4	18	16	0	0	38
	5	0	0	0	6	0	0	1	7
	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	0	78	1,120	119	16	0	1	1,334
2016									
Creel survey	Total length (cm)	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	Total
	Frequency	0	166	889	113	24	1	0	1,193
2016									
Age-length key	Age								
	0								
	1		0.38	0.29					
	2		0.62	0.59	0.18				
	3			0.11	0.65				
	4			0.01	0.18				
	5					0.60	1.00		
	6					0.40			
Age distribution	Age								
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	63	260	0	0	0	0	323
	2	0	103	525	20	0	0	0	648
	3	0	0	99	73	0	0	0	172
	4	0	0	5	20	0	0	0	25
	5	0	0	0	0	14	1	0	15
	6	0	0	0	0	10	0	0	10
	total	0	166	889	113	24	1	0	1,193
2017									
Creel survey	Total length (cm)	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	Total
	Frequency	14	906	698	107	8	0	0	1,733
2017									
Age-length key	Age								
	0	1.00							
	1		0.28						
	2		0.67	0.56					
	3		0.05	0.37	0.36				
	4			0.07	0.48				
	5				0.16	1.00			
	6								
Age distribution	Age								
	0	14	0	0	0	0	0	0	14
	1	0	256	0	0	0	0	0	256
	2	0	604	389	0	0	0	0	993
	3	0	46	261	39	0	0	0	346
	4	0	0	48	51	0	0	0	99
	5	0	0	0	17	8	0	0	25
	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	14	906	698	107	8	0	0	1,733

表1 続き

Creel survey	Total length (cm)	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	Total
	Frequency	6	137	336	102	21	4	0	606

2018									
Age-length key	Age								
	0	1.00							
	1		0.91	0.02					
	2		0.09	0.38	0.05				
	3			0.57	0.51	0.08			
	4			0.024	0.38	0.69	0.50		
	5				0.05	0.23	0.50		
	6								

Age distribution	Age								Total
	0	6	0	0	0	0	0	0	6
	1	0	125	8	0	0	0	0	133
	2	0	12	127	5	0	0	0	144
	3	0	0	193	53	2	0	0	248
	4	0	0	8	39	14	0	0	61
	5	0	0	0	5	5	2	0	12
	6	0	0	0	0	0	2	0	2
	total	6	137	336	102	21	4	0	606

表2 推定総釣獲尾数

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	211	3,480	0	0	0	256	263
1	31,017	1,349	6,278	1,357	9,685	4,671	5,829
2	14,156	14,174	20,491	35,940	19,423	18,158	6,355
3	3,035	3,342	5,710	19,130	5,169	6,327	10,826
4	0	2,121	928	1,664	740	1,807	2,721
5+	0	226	564	306	749	459	618
total	48,419	24,691	33,971	58,397	35,766	31,678	26,613

表3 2012-2018年試験釣獲標本中のクニマスの年齢別比率

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.055	0	0	0	0	0	0
2	0.129	0	0.008	0.017	0.041	0.009	0.030
3	0	0.625	0.067	0.038	0.044	0.091	0.103
4	0	0.909	1.000	0.333	0.094	0.091	0.238
5+	0	0.500	1.000	0	0.222	0.250	0.167
全標本比	0.071	0.140	0.074	0.028	0.054	0.055	0.103

## 結果

坪井らの方法により計算された2015-2018年の混合資源尾数及びクニマスの資源尾数を表4に、VPAにより計算された2012-2018年の漁獲係数及び混合資源尾数を表5,6に、参考のため西湖漁協によるヒメマス放流尾数を表7に示す。また年齢別混合資源尾数とクニマスの年齢別釣獲比率から計算されたクニマスの推定資源尾数を表8に示す。

表4 坪井らの方法により推定された混合資源及びクニマスの資源尾数 (2015-2018)

Parameter	Life span of Kunimasu is assumed as				
	4 years	5 years	6 years	7 years	
2015					
$Z$	Total mortality coefficient	1.674	1.674	1.674	1.674
$M$	Natural mortality coefficient	0.625	0.500	0.417	0.357
$F$	Fishing mortality coefficient	1.049	1.174	1.257	1.316
$C$	Total catch number throughout angling season	58,397	58,397	58,397	58,397
$C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu and Himemasu	114,721	102,502	95,706	91,379
$m$	Ratio of number of Kunimasu in all samples	0.028	0.028	0.028	0.028
$m \cdot C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu	3,241	2,896	2,704	2,581
2016					
$Z$	Total mortality coefficient	1.316	1.316	1.316	1.316
$M$	Natural mortality coefficient	0.625	0.500	0.417	0.357
$F$	Fishing mortality coefficient	0.691	0.816	0.900	0.959
$C$	Total catch number throughout angling season	35,766	35,766	35,766	35,766
$C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu and Himemasu	93,058	78,807	71,506	67,069
$m$	Ratio of number of Kunimasu in all samples	0.054	0.054	0.054	0.054
$m \cdot C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu	5,041	4,269	3,873	3,633
2017					
$Z$	Total mortality coefficient	1.229	1.229	1.229	1.229
$M$	Natural mortality coefficient	0.625	0.500	0.417	0.357
$F$	Fishing mortality coefficient	0.604	0.729	0.812	0.871
$C$	Total catch number throughout angling season	31,678	31,678	31,678	31,678
$C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu and Himemasu	91,167	75,525	67,774	63,144
$m$	Ratio of number of Kunimasu in all samples	0.055	0.055	0.055	0.055
$m \cdot C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu	4,973	4,120	3,697	3,444
2018					
$Z$	Total mortality coefficient	1.508	1.508	1.508	1.508
$M$	Natural mortality coefficient	0.625	0.500	0.417	0.357
$F$	Fishing mortality coefficient	0.883	1.008	1.091	1.151
$C$	Total catch number throughout angling season	26,613	26,613	26,613	26,613
$C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu and Himemasu	58,368	51,131	47,226	44,784
$m$	Ratio of number of Kunimasu in all samples	0.103	0.103	0.103	0.103
$m \cdot C \cdot Z / (F \cdot (1 - \exp(-Z)))$	Estimated number of Kunimasu	6,009	5,263	4,862	4,610

ヒメマス, クニマスともに1歳以上の資源尾数の推定値.

表5 VPAにより推定された混合資源の漁獲係数

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0.002	0.027	0	0	0	0.004	0.001
1	0.518	0.017	0.079	0.023	0.144	0.244	0.137
2	0.976	0.635	0.488	1.251	0.704	0.579	0.844
3	0.495	0.897	0.782	2.218	0.785	0.702	1.235
4	0	1.138	0.947	0.743	0.654	1.000	1.091
5+	0	1.138	0.947	0.743	0.654	1.000	1.091

同じ年のプラスグループと4歳の漁獲係数は等しいと仮定

2018年の3歳以下の漁獲係数は過去3年の平均と仮定

表6 VPAにより推定された混合資源尾数

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	153,134	158,728	111,491	135,179	40,313	85,448	263,524
1	94,507	100,781	101,815	73,499	89,116	26,576	56,123
2	27,975	37,119	65,343	62,023	47,352	50,885	13,727
3	9,569	6,949	12,962	26,440	11,707	15,446	18,802
4	468	3,844	1,867	3,909	1,898	3,521	5,046
5+	—	391	1,091	696	1,865	858	1,097
total	285,653	307,811	294,570	301,746	192,250	182,734	358,318

表7 西湖漁協によるヒメマス放流尾数

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳稚魚(尾)	165,000	171,000	138,000	161,000	180,000	203,000	158,000
成魚(尾)	25,750	21,600	16,000	68,000	71,000	55,000	53,000

表8 VPAにより推定されたクニマスの資源尾数

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0	0	0	0	0	0	0
1	5,218	0	0	0	0	0	0
2	3,610	0	540	1,029	1,946	471	416
3	0	4,343	864	1,017	513	1,404	1,936
4	0	3,494	1,867	1,303	178	320	1,201
5+	0	196	1,091	0	414	215	183
total	8,828	8,033	4,363	3,349	3,052	2,410	3,736

同条件（1歳以上，寿命6歳の場合）で抽出したVPAと坪井らの方法による推定資源尾数を表9，図1,2に示す。両方法に対する回帰分析の結果，混合資源尾数の自由度修正済み決定係数-0.15，回帰のP値0.66，クニマス資源尾数の自由度修正済み決定係数0.86，回帰のP値0.002となり，混合資源尾数については両方法の当てはまりは悪く，クニマス資源尾数については当てはまりがよい結果となった。

表9 VPA及び坪井らの方法で推定された資源尾数（1歳以上，寿命6歳の場合）

	混合資源尾数		クニマス資源尾数	
	VPA	坪井らの方法	VPA	坪井らの方法
2012	132,519	110,130	8,828	7,863
2013	149,084	47,792	8,033	6,691
2014	183,079	61,710	4,363	4,537
2015	166,567	95,706	3,349	2,704
2016	151,937	71,506	3,052	3,575
2017	97,286	67,774	2,410	3,697
2018	94,795	47,226	3,736	4,862

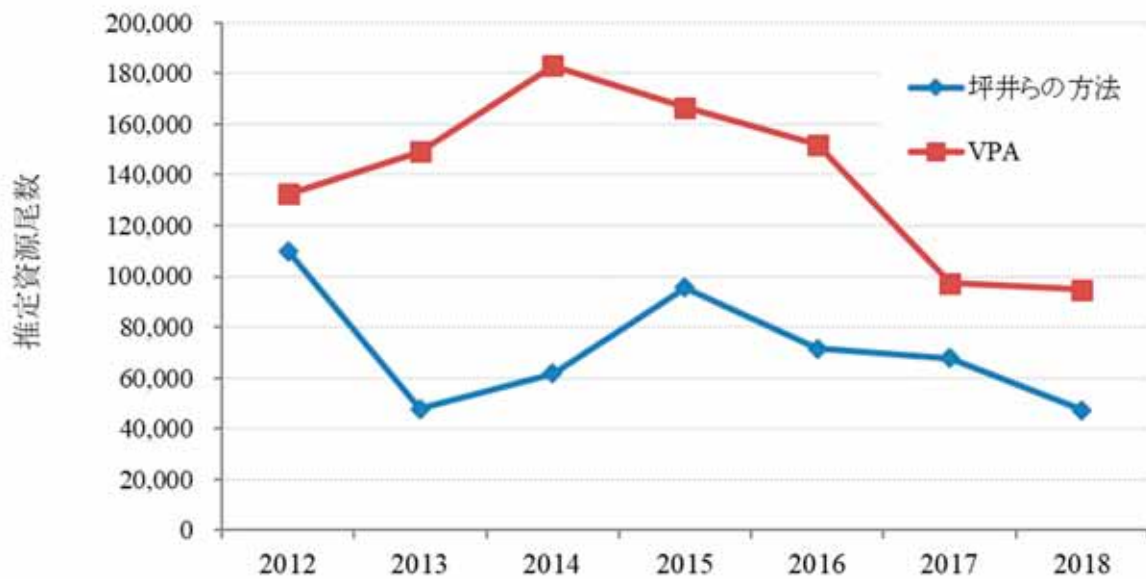


図1 VPA及び坪井らの方法によるヒメマス・クニマス混合資源尾数（1歳以上，寿命6歳の場合）

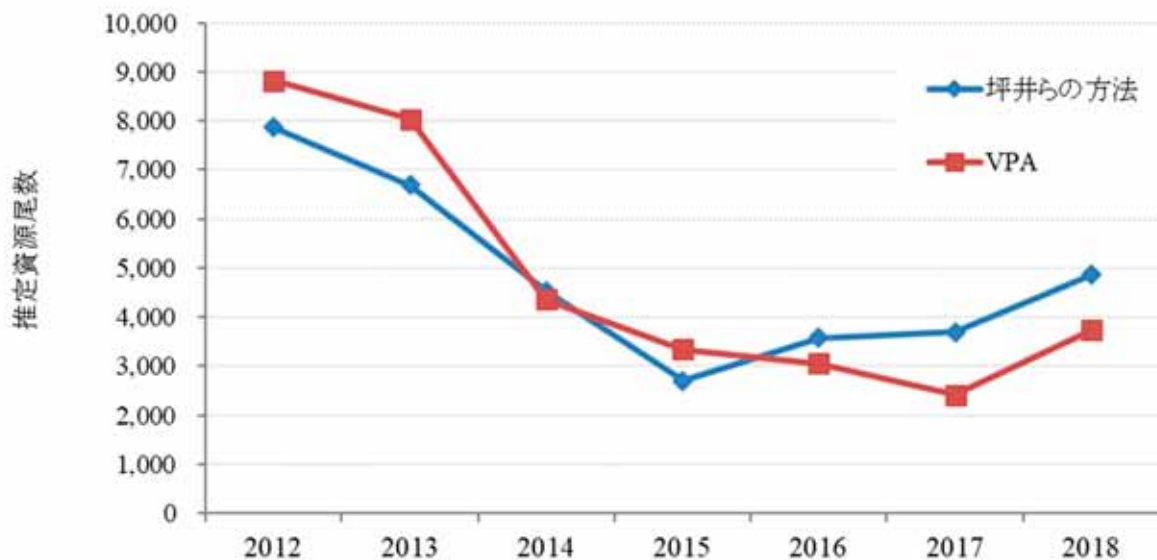


図2 VPA及び坪井らの方法によるクニマス資源尾数（1歳以上，寿命6歳の場合）

## 考察

坪井らの方法も年級間の減少率に基づき推定しておりVPAの1種とみなされるが、混合資源尾数を同じ条件（1歳以上，寿命6歳）で比較すると、標準的なVPAの方が全般に高い推定値となり資源の動向は2つの方法間で異なった（図1）。VPAは移入・逸散のある資源には利用が困難なことが欠点の一つとされるが<sup>9)</sup>、西湖では解禁前後などに不規則的な成魚放流が行われるため、年級別の若齢への遡り計算が過大となり、VPAによる推定値が過大となった可能性が考えられた。坪井らの方法では、当該年のみの年級間の減少率をもとに推定しているため、標準的なVPAより複数年にわたる成魚放流の影響を受けにくい可能性も考えられた。

一方でクニマスの資源尾数（1歳以上，寿命6歳）は両方法でよく近似し、いずれの推定方法によっても同様な増減の動向を示した。自然繁殖のみで放流がないクニマスの方がヒメマスより、推定の前提条件について逸脱の度合いが小さいと考えられた。いずれの推定方法でも、混合資源尾数をクニマスの比率で

案分することでクニマス資源尾数を推定できそうな結果となった。混合資源の推定尾数の信頼性について判断することは困難だが、クニマス資源の動向についてはこれまでどおり、坪井らの方法によることで評価し得るものと考えられた。

また、VPAによるクニマス資源尾数は年齢別推定数の合計だが、年齢別の推定数は年齢を重ねた翌年に増える矛盾が少なくなかった。高齢魚ほどクニマスの釣獲比率が高い傾向が伺われたことから、釣獲されるクニマスの比率が真の年齢組成を反映しておらず、釣獲比率から年齢別にクニマスの資源尾数を推定して年級群の動向を評価するのは難しいと考えられた。

ただしVPAによる推定では、年別年齢別の漁獲係数などの有用な情報も推定できる。今回の試算では、VPAによる混合資源の漁獲係数から3歳以上の成熟可能な年齢の魚の漁獲圧が高いこと、近年はヒメマス成魚放流の増加の影響もあるが、クニマスの年齢別比率から高齢魚に占めるクニマスの比率が減少している可能性も示唆された。これまで以上に親魚の保護についても考える必要があるのかもしれない。

西湖ではヒメマスの自然繁殖は確認されておらず、クニマスは自然繁殖のみで放流はない。混合資源の大部分は放流ヒメマスとみなしたため再生産関係は検討しなかった。しかし自然繁殖のみのクニマスについては再生産関係に関する評価も重要と考えられ、深層湖底で長期にわたり散発的な産卵が行われるクニマスについて、専門家による調査や助言を望みたい。

## 謝辞

秋田県水産振興センターの高田芳博主任研究員、八木澤優研究員はじめ職員の皆様には、毎年西湖のクニマス資源調査にご協力を頂いている。ここに記して厚くお礼申し上げます。

## 要約

- 1) 西湖のヒメマス・クニマスの混合資源尾数、クニマスの資源尾数を坪井らの推定方法及び標準的なVPAにより比較した。
- 2) 混合資源尾数の推定値はVPAの方が高い傾向を示し、ヒメマス成魚放流の影響により過大評価となった可能性が考えられた。
- 3) クニマス資源尾数の推定値は両方法間で当てはまりがよく、増減の動向も同様であった。クニマスの資源動向の評価については、簡易的ながら坪井らの方法によることで可能と思われた。

## 文献

- 1) 坪井潤一ら(2016)：西湖におけるクニマス資源量の概算。日本水産学会誌，82(6)，884-890。
- 2) 高田芳博・八木澤優(2016)：クニマス生態調査事業。平成27年度秋田県水産振興センター業務報告書，287-292。
- 3) 高田芳博・八木澤優(2017)：クニマス生態調査事業。平成28年度秋田県水産振興センター業務報告書，253-258。
- 4) 高田芳博・八木澤優(2018)：クニマス生態調査事業。平成29年度秋田県水産振興センター業務報告書，228-233。
- 5) 松石隆(2006)：VPAの概要と国内資源評価での適用例。水産資源管理談話会報，37，1-13。
- 6) 蘇宇ら(2015)：チューニングVPAを用いた洞爺湖産ヒメマスの資源評価。日本水産学会誌，81(3)，418-428。