北海道えりも岬以東海域におけるマツカワ *Verasper moseri* の年齢と成長

敷島良也,^{1a} 高津哲也,^{2*} 高橋豊美,² 二宮正光,^{1b}
坂井伸司,^{3c} 一ノ瀬寛之,⁴ 森岡泰三,^{5d} 佐々木正義^{1,6}

(2012年3月17日受付, 2012年8月12日受理)

¹北海道大学大学院水産科学院, ²北海道大学大学院水産科学研究院, ³根室水産技術普及指導所,
⁴根室水産技術普及指導所標津支所, ⁵水産総合研究センター北海道区水産研究所厚岸栽培技術開発センター,
⁶地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部釧路水産試験場

Age and growth of barfin flounder *Verasper moseri* in the eastern coastal waters of
Cape Erimo, Hokkaido, Japan

YOSHIYA SHIKISHIMA,^{1a} TETSUYA TAKATSU,^{2*} TOYOMI TAKAHASHI,²
MASAMITSU NINOMIYA,^{1b} SHINJI SAKAI,^{3c} HIROYUKI ICHINOSE,⁴
TAIZO MORIOKA^{5d} AND MASAYOSHI SASAKI^{1,6}

¹Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041–8611, ²Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041–8611, ³Nemuro Fisheries Extension Office, Nemuro, Hokkaido 087–8588, ⁴Nemuro Fisheries Extension Office Shibetsu Branch, Shibetsu, Hokkaido 086–1634, ⁵Stock Enhancement Technology Section (Akkeshi Station), Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Akkeshi, Hokkaido 088–1108, ⁶Kushiro Fisheries Research Institute, Local Independent Administrative Agency, Hokkaido Research Organization, Kushiro, Hokkaido 085–0024, Japan

The age and growth pattern of barfin flounder *Verasper moseri* collected with gill nets, bottom set nets, and beam trawl nets in the eastern coastal waters of Cape Erimo, Hokkaido, Japan from April to December in 2007–2009 were examined. Numbers of individuals with an opaque edge on the blind side otolith increased in April–July but decreased in August–December. Age was determined by counting the outer margins of the transparent rings. Both males and females showed high growth rates in summer, but stagnated from November to May. Total lengths (in mm) and the ages of the fish (in years) in the catch were fitted to von Bertalanffy growth equations assuming a hatch date of April 1. Estimated equations were as follows: $TL_t = 854.3\{1 - \exp[-0.249(t - 0.021)]\}$ for females and $TL_t = 518.5\{1 - \exp[-0.512(t - 0.089)]\}$ for males. Compared to data in the literature for *V. moseri* from western waters, barfin flounder from the eastern waters of Cape Erimo exhibited faster growth. The summer water temperatures in the eastern waters ($\leq 20^\circ\text{C}$) may be more suitable for rapid growth of this species.

キーワード：季節変化, 耳石, 水温, 成長

マツカワ *Verasper moseri* は茨城県以北の太平洋岸, 日本海北部からタタール海峡, オホーツク海南部・千島列島に生息する¹⁾冷水性のカレイ科魚類である。北海道

では過去には本種を主たる漁獲対象とした刺網漁業が存在したが, 近年では刺網や定置網, 桁網などで混獲物として漁獲されている。北海道における本種の漁獲量は

* Tel : 81-138-40-8822. Fax : 81-138-40-8822. Email : takatsu@fish.hokudai.ac.jp

^a 現所属：あきる野市立増戸中学校 (Masuko Junior High School, Akiruno, Tokyo 190-0142, Japan)

^b 現所属：㈱シジシージャパン (CGC Japan Co. Ltd., Shinjuku, Tokyo 169-8531, Japan)

^c 現所属：網走水産技術普及指導所網走東部支所 (Abashiri Fisheries Extension Office East Abashiri Branch, Abashiri, Hokkaido 093-8585, Japan)

^d 現所属：水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所増養殖部屋島庁舎 (Stock Enhancement Technology Section (Yashima Station), National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, Takamatsu, Kagawa 761-0001, Japan)

「その他かれい類」にまとめて集計されてきたため不明であるが、1970年代に激減したと考えられており、未成魚や産卵前の成魚の乱獲が原因の一つと考えられている。²⁻⁴⁾ マツカワの雌は全長 80 cm、雄は 60 cm に達する大型魚であり、かつてはヒラメ *Paralichthys olivaceus* よりも高価で取引されていた高級魚であることに加え、⁴⁾ 成長も比較的速いことから、栽培漁業の対象種として 1982 年から日本栽培漁業協会厚岸事業所（現独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所生産環境部厚岸庁舎）において種苗生産技術の開発が進められ、1986 年になって種苗生産・放流が可能となった。⁵⁾ その結果、2008 年までマツカワの漁獲量は増加し続けている。⁶⁾ また 2006 年からは、毎年えりも岬よりも西側の海域（以下えりも以西海域、東側をえりも以東海域と表記）において 100 万個体規模の種苗が放流されており、以東海域でも約 20 万個体が放流されている。⁶⁾

近年のマツカワの生態については、食性、⁷⁾ 年齢形質としての耳石輪紋の有効性、⁸⁾ 放流後の移動、^{5,9)} 成熟体長¹⁰⁾ 等に関する知見があり、成長様式についてはえりも以西海域について報告がある。¹¹⁾ しかし、えりも以西海域に比べて低水温のえりも以東海域の年齢と成長に関する知見はこれまでに無く、マツカワを漁業資源として適正に管理・利用してゆくためには、成長パラメータを正確に推定する必要がある。そこで本研究では、えりも以東海域で採集したマツカワを用い、耳石による年齢形質の確認と成長特性を明らかにすることを目的とした。

試料および方法

試料 マツカワは 2007 年 7～12 月、2008 年 4～12 月、2009 年 4～12 月までの期間、えりも以東海域の大津、釧路、根室および標津で刺網と定置網、桁網で採集した（Fig. 1, Table 1）。1～3 月は港内が結氷して出港・出漁できなかったため、標本は得られなかった。標本測定時には、種苗放流する際に打ち込まれたスパゲッティ型タグ等の外部標識の有無を確認し、さらに無眼側胸鰭基部の黒色素の有無により、天然魚と種苗放流魚を判別した。標本は全長（mm）と標準体長（mm）を測定し、生殖腺の肉眼観察によって性を判別し、耳石を摘出した。

耳石の解析 有眼側耳石は輪紋が不明瞭なことが多かったため（Fig. 2a）、年齢査定には原則として無眼側耳石の長軸上で行った。耳石は、表面研磨することなく無処理のまま水に浸し、実体顕微鏡を用いて観察した。耳石縁辺部の透明・不透明を判別し、採集月別にその比率を求め、輪紋形成の周期性を確認した。輪紋数は、不透明帯が 12 月にはまだ形成されず、4～7 月に不透明帯を持つ個体が増加する（後述）。孵化時期は 3～4 月と推定されるため、透明帯外縁を年齢標示として計数し、4

Fig. 1 Open circles show the sampling locations in the eastern coastal waters of Cape Erimo, Hokkaido, Japan. Solid squares show the locations referred to water temperature in the text.

Table 1 List of *Verasper moseri* samples used in this study

Sampling month	Female		Male	
	<i>n</i>	Range of TL (mm)	<i>n</i>	Range of TL (mm)
July 2007	31	158–584	14	303–433
Aug.	31	197–433	18	298–430
Sep.	91	188–630	21	192–537
Oct.	53	223–614	21	233–440
Nov.	67	256–652	14	259–414
Dec.	8	302–434	7	365–471
Apr. 2008	1	262	2	298–303
May	31	245–603	7	233–319
June	7	272–566	9	280–396
Aug.	10	403–608	9	350–431
Sep.	22	391–650	10	235–468
Oct.	16	388–710	30	377–477
Nov.	3	591–624	—	—
Apr. 2009	2	478–520	1	408
May	14	350–600	6	352–419
June	19	292–557	23	285–409
Nov.	10	234–520	15	203–420
Total	416	158–710	207	192–537

TL: Total length of the fish.

月 1 日を年齢起算日に設定した。年齢査定の妥当性を検討するために、種苗放流する際に打ち込まれたスパゲッティ型タグ等の外部標識が残存していて年齢が確定している 1 歳魚 31 個体、2 歳魚 2 個体、3 歳魚 15 個体、4 歳魚 11 個体を用いて、表面観察法から推定した年齢と実年齢を比較した。また一般に、耳石の表面観察よりも横断面観察の方が年齢査定の誤りが生じにくいいため、¹²⁻¹⁵⁾ マツカワについても表面法で 1～4 歳と判定さ

Fig. 2 Photographs of the ocular side (a) and the blind side (b) otoliths from a female individual of *Verasper moseri* (504 mm TL) collected on 13 December 2007. (c) Cross-sectioned blind-side otolith from a male (470 mm TL) collected on 14 November 2007. Triangles denote annuli in the outer margin of transparent zone. The vertical broken line in (b) indicates a plane observed by cross-section. Scale bars: 1 mm.

れた雌雄各2個体ずつ計16個体の無眼側の耳石をエポキシ樹脂に包埋し、耐水サンドペーパーで短軸断面方向に両面から核付近まで研磨して薄片標本を作成し^{12,16)}実体顕微鏡を用いて年齢査定を行い、表面観察法と横断観察法によって得られた年齢と比較した。

数値解析 えりも以西海域との成長様式の比較のために、全長データを用いて成長解析を行った。また、全長を標準体長に換算する関係式も求めた。年齢は、年齢起算日から標本採集日までの日数を小数点以下の数値を含む年齢に変換して用いた。成長式は雌雄別に、最小二乗法によって年齢と採集時全長間の von Bertalanffy 式のパラメータを直接推定した。この推定には Microsoft Excel のソルバー機能を使用した。用いたマツカワ標本はすべて種苗放流された個体であり（後述）、北海道浜中町浜中湾で2006～2008年9月に平均全長80 mm ($n=383$) のマツカワ種苗を放流したため、成長式はその放流時の年齢0.42歳で全長80 mmを通るように、ソル

バー機能に含まれる制約条件にこれらの値を設定して推定した。なお、特定の採集漁具に限って成長式からの逸脱が大きいといった特徴はみられなかったため、採集漁具の区別は行わずに解析した。

標本数が比較的多く確保できた1.6～4.6歳の11月とその翌年5月の間、および2.1～3.1歳の5月とその同年7月の間で、雌雄毎、年齢群毎に平均全長を一元配置の分散分析で比較した。また、得られた成長式から計算される全長の海域間比較には、その年の成長量がほぼ達成される10月1日に相当する1.5歳から1歳毎に示した。

マツカワは主に15℃以上になることがない海域・水深に生息するが、それよりもやや高温な15～20℃において成長率が高く、7～11℃や22～25℃で低い¹⁷⁾したがって本種の成長に影響を及ぼす環境中の水温について、えりも以東海域と以西海域の間で比較するために、沿岸水温については日本海洋データセンター (http://www.jodc.go.jp/data/coastal/obs_data_index.html 2012年5月18日) が公開している2002～2009年の厚岸前浜橋突端水温（北海道大学北方生物圏フィールド科学センター水圏ステーション厚岸臨海実験所）および室蘭チャラツナイ浜水温（同室蘭臨海実験所）を参照し、11℃以下、11.1～20℃、20.1℃以上の日数の占める割合についてG検定を用いて海域間比較した。また両海域沖合の水温は、北海道立総合研究機構水産研究本部中央水産試験場資源管理部海洋環境グループ (<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kaiyou/Soktop.htm> 2012年1月9日) が公開している調査船による1988～2011年の各層水温を参照し、20℃を超えた年を数えた。

結 果

全長と標準体長の関係 採集された標本は、全個体とも無眼側胸鰭基部を中心として黒色色素が存在したため、種苗放流魚と判定された。今後、標準体長を用いた研究成果との比較を可能とするために、全長範囲、雌158～710 mm、雄192～537 mmにおいて、全長-標準体長間の関係式を求めた。式は以下ようになった。

$$\text{雌: } SL = -4.87 + 0.84 \cdot TL \quad (n=377, r^2=0.998, \text{傾き } p<0.001, \text{切片 } 0 \text{ との差 } p<0.001)$$

$$\text{雄: } SL = -0.50 + 0.83 \cdot TL \quad (n=206, r^2=0.995, \text{傾き } p<0.001, \text{切片 } 0 \text{ との差 } p<0.001)$$

ここでSLは標準体長 (mm)、TLは全長 (mm) である。

耳石輪紋の形成時期 無眼側耳石の表面観察において、不透明帯と透明帯が交互に輪紋状に形成されていた (Fig. 2b)。縁辺部が不透明帯である割合は、4～6月までは17～35%、7月には98%に上昇し、8月には91%であった。その後9月には27%に、10～12月には0～

Fig. 3 Monthly change in percentage occurrence of an opaque edge in the blind side otolith of *Verasper moseri*. The numeral above each point indicates the number of individuals analyzed.

2% まで低下した (Fig. 3)。

耳石輪紋の年周期性の確認 外部標識の認められた 59 個体中 57 個体が耳石表面観察による推定年齢と実年齢が一致し (一致率: 97%), 1 歳と 3 歳において 1 個体ずつ実年齢より 1 歳高齢に査定された。本研究では, これらの不一致の 2 個体の年齢は, 外部標識による実年齢を成長解析に用いた。

薄片標本による耳石横断面の観察からも, 不透明帯と透明帯が交互に形成されていた (Fig. 2c)。全 16 個体ともに, 薄片標本から得た年齢は表面観察法で得た年齢と一致した。

成長式 推定された von Bertalanffy 式の成長式は,

$$\text{雌: } TL_t = 854.3 \{1 - \exp[-0.249(t - 0.021)]\}$$

$$(n = 416, r^2 = 0.871, p < 0.001)$$

$$\text{雄: } TL_t = 518.5 \{1 - \exp[-0.512(t - 0.089)]\}$$

$$(n = 207, r^2 = 0.612, p < 0.001)$$

であり, t は年齢, TL_t は t 歳時の全長 (mm) である (Fig. 4)。雌雄差は 1.5 歳には小さいが, 4.5 歳では雌は雄より 110 mm 大きい (Table 2)。

吉田ら¹¹⁾は, えりも以西海域の成長式を推定するにあたって, 若齢期には成長の良い大型個体を偏って漁獲している可能性を排除するために, 2 歳以上のデータを用いて成長式を推定している。そこで本研究でも 2 歳以上のみで成長式を推定すると,

$$\text{雌: } TL_t = 1040.0 \{1 - \exp[-0.180(t + 0.027)]\}$$

$$(n = 251, r^2 = 0.805, p < 0.001)$$

$$\text{雄: } TL_t = 508.6 \{1 - \exp[-0.537(t - 0.098)]\}$$

$$(n = 179, r^2 = 0.421, p < 0.001)$$

であり, 雌雄差は 2.5 歳には小さいが, 4.5 歳では雌は

Fig. 4 von Bertalanffy growth curves obtained from all individuals (broken line) and ≥ 2 years old (solid line) for *Verasper moseri* caught in the eastern waters of Cape Erimo off Hokkaido Island. Open circles indicate total length at catch.

Table 2 Comparison of calculated total length (TL) of *Verasper moseri* between the eastern (E) and western (W) waters of Cape Erimo off Hokkaido Island

Age	Female			Male		
	TL (E, all)	TL (E, $\geq 2+$)	TL (W)	TL (E, all)	TL (E, $\geq 2+$)	TL (W)
1.5	263	—	—	267	—	—
2.5	393	381	349	368	369	342
3.5	495	490	462	428	427	414
4.5	574	580	551	464	461	467
5.5	636	656	621	—	—	—

Values were estimated from growth equations based on all individuals (all) and ≥ 2 years old ($\geq 2+$) in this study (E) and in Yoshida *et al.*¹¹⁾ (W).

雄より 119 mm 大きく (Fig. 4, Table 2), 2 歳未満のデータを含めた成長式と類似した傾向を示した。

11 月と翌年 5 月の採集時全長は, 雌の 11 月 2 歳魚と 5 月 3 歳魚の間で有意差がみられたが ($p = 0.004$), これ以外では全て有意差は認められなかった ($p > 0.06$, Table 3)。一方, 5 月と同年 7 月の全長間では, 標本サ

Table 3 Comparison of mean total length (TL) of *Verasper moseri* at catch between November and next May in the eastern waters of Cape Erimo off Hokkaido Island

Age in Nov.	Female			Male		
	TL in Nov.	TL in next May	<i>p</i> *	TL in Nov.	TL in next May	<i>p</i> *
1.6	299 ± 28 (53)	304 ± 27 (22)	0.47	283 ± 41 (19)	288 ± 51 (7)	0.82
2.6	366 ± 42 (13)	425 ± 32 (7)	0.004	379 ± 43 (10)	371 ± 39 (6)	0.74
3.6	516 ± 79 (8)	550 ± 80 (4)	0.51	—	—	—
4.6	612 ± 26 (5)	585 ± 9 (5)	0.061	—	—	—

Values are shown as mean ± standard deviation (*n*). *by one-way ANOVA.

Table 4 Comparison of mean total length (TL) of *Verasper moseri* at catch between May and July in the eastern waters of Cape Erimo off Hokkaido Island

Age in May	Female			Male		
	TL in May	TL in July	<i>p</i> *	TL in May	TL in July	<i>p</i> *
2.1	304 ± 27 (22)	356 ± 31 (14)	<0.001	288 ± 51 (7)	350 ± 27 (9)	0.007
3.1	425 ± 32 (7)	456 ± 49 (8)	0.17	371 ± 39 (6)	398 ± 34 (5)	0.26

Values are shown as mean ± standard deviation (*n*). *by one-way ANOVA.

イズの小さい3歳では有意差はみられなかったが(雌: $p=0.17$, 雄: $p=0.26$), 2歳では認められ(雌: $p<0.001$, 雄: $p=0.007$), 雌雄ともに増加していた(Table 4)。

考 察

耳石による年齢査定法の妥当性 本研究において観察したえりも以東海域のマツカワの耳石には, えりも以西海域⁸⁾と同様に, 年1本ずつ, 不透明帯と透明帯が交互に形成されていた。不透明帯の形成は少なくとも7月までにはほぼ完了し, その後は透明帯が形成され, 10~12月の耳石外縁はほぼすべての個体が透明帯を有していた(Fig. 3)。このように成長率が高い春季から夏季に不透明帯が, 成長率が低い秋季から冬季に透明帯が形成されたことは, 他の多くの異体類の結果と一致する。¹⁸⁾ 外部標識から判別できる実年齢と, 耳石輪紋から推定された年齢は97%と高い割合で一致し, 表面観察と横断面観察による年齢も検討した16個体すべてで一致した。このことから, 無眼側耳石の表面観察による輪紋を年齢形質とすること⁸⁾は, えりも以東海域においても妥当であろう。

成長率の季節変化 マツカワの採集時全長は6~10月, 特に6~7月に増大し, 11~5月にはほとんど変化しなかった。天然海域におけるマツカワの冬季の摂餌強度は不明だが, 飼育下では4~9月は摂餌が活発で, 10月以降は水温低下に伴って摂餌が低下する。¹⁹⁾ 雌の生殖腺重量は10月以降徐々に増加し, 産卵期にあたる4月に最高値を示す。¹⁹⁾ 雄の生殖腺重量は10月には低い4月12月に最高値を示し, その後緩やかに低下する。²⁰⁾ ま

た飼育下のマツカワの体重増加率は, 15°Cでは約1.3%/日あるが, 11°Cでは1.0%/日に低下し, 7°Cで0.3%/日まで落ち込む。¹⁷⁾ 従って放流後のマツカワにおいても, 冬季の低水温と, それに伴う摂餌強度の低下, 生殖腺の発達によって, 獲得エネルギーが成長にほとんど配分されないため, 成長が停滞するものと考えられる。

えりも以西海域との成長様式の相違 吉田ら¹¹⁾による北海道えりも以西太平洋沿岸の成長式と, 本研究で2歳以上のデータを用いて算出したえりも以東海域の成長式を, その年の成長量がほぼ決定する10月1日時点の全長で比較すると, 雌は2.5~5.5歳で以西に比べて以東で28~35 mm, 雄は2.5~4.5歳で-6~27 mm大型であり, 雄の高齢期を除いて差が大きかった(Table 2)。本種は主に15°C以上になることがない海域・水深に生息するが, それよりもやや高温な15~20°Cにおいて成長率が高く, 7~11°Cや22~25°Cで低い。¹⁷⁾ また, 本種は2歳の秋季以降は季節的な深浅移動をするが,³⁾ それ以前の若齢期は夏季にも相対的に高水温な沿岸にとどまり, 若齢個体の生息場所のひとつである北海道浜中湾の夏季の水深1 mおよび2 mの地点の水温もほとんど20°Cを超えることがない(二宮ら, 未発表)。2002~2009年における厚岸沿岸と室蘭沿岸の周年平均水温(日本海洋データセンター)はそれぞれ $8.4 \pm 6.4^\circ\text{C}$ (±標準偏差), $10.6 \pm 5.9^\circ\text{C}$ であり厚岸の方が低いが, 11~20°Cの日数割合は両地点間で有意に異ならず(G検定; $p=0.092$), 6月上旬~11月上旬前後の平均173日間であった。一方, 20°Cを超える日数割合は有意に異なり($p<0.001$), 厚岸では年平均4日間この水温を超え, 8年間のうち3年で20°Cを超えていたのに対し

て、室蘭では年平均 16 日間であり、8 年間のうち 7 年で 8 月上旬～9 月中旬に断続的に 20℃を超えていた。また、沖合についても以西海域では 7～8 月のデータが掲載されている 22 年間のうち 8 年で 20℃を超えていたが、以東海域で超えた記録はない (<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kaiyou/Soktop.htm> 2012 年 1 月 9 日)。つまりマツカワにとって成長に適する水温の日数にはえりも以東海域と以西海域の間で大きな差はないが、以西海域では急速な成長をとげる夏季に成長率が低下する 20℃を超えやすく、成長が停滞しやすいものと考えられる。なお雄では高齢化に伴い、両海域間の全長の差が小さくなる傾向が認められた。これは両海域のマツカワの移動範囲が成長とともに拡大し、^{5,21)} 交流が進むことと関連するのかもしれない。

今後は海域間の成長差を生じさせる要因をさらに検討するために、マツカワの摂餌強度や環境中の餌豊度を比較する必要がある。

謝 辞

本研究における調査とデータの提供に御協力をいただいた釧路水産試験場調査研究部職員の皆様に深く感謝いたします。また、本論文をまとめるにあたり、御意見を賜った担当編集委員ならびに査読者の方々、北海道大学大学院水産科学研究院中谷敏邦准教授、綿貫豊准教授、同資源生物学分野資源生産学教室の大学院生ならびに 4 年生諸氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- 中坊徹次. マツカワ. 「日本産魚類検索」(中坊徹次編) 東海大学出版会, 東京. 2000; 1373.
- 佐々木正義. 日高及び胆振太平洋海域のマツカワの漁業実態と生態について. 北水試だより 1997; **38**: 7-12.
- 松田泰平. マツカワ. 「漁業生物図鑑 新北のさかなたち」(上田吉幸・前田圭司・嶋田 宏・鷹見達也編) 北海道新聞社, 札幌. 2003; 242-245.
- 佐々木正義. 北海道におけるマツカワ漁業資源研究. 北海道立水産試験場技術資料 2005; **5**: 50-63.
- 吉田秀嗣, 高谷義幸, 松田泰平. 北海道から放流したマツカワ人工種苗の青森県から茨城県沖における再捕年齢, 時期および全長の特徴. 水産技術 2011; **3**: 121-126.
- 美坂 正, 萱場隆昭. マツカワ. 平成 20 年度事業報告書, 北海道立釧路水産試験場, 釧路. 2010; 192-200.
- 渡辺研一, 南 卓志. 北海道厚岸湾に放流されたマツカワ人工生産魚の食性. 日水誌 2003; **69**: 3-9.
- 高谷義幸, 松田泰平, 吉田秀嗣. マツカワ若齢魚の耳石輪紋の年齢形質としての有効性. 北水試研報 2004; **66**: 11-13.
- 高谷義幸, 吉田秀嗣, 松田泰平, 村上 修. 北海道えりも以西海域で放流したマツカワの加齢に伴う移動. 北水試研報 2009; **75**: 19-21.
- 吉田秀嗣, 高谷義幸, 松田泰平. 北海道えりも以西太平洋沿岸域における放流されたマツカワ人工種苗の産卵期と成熟年齢および成熟全長. 水産技術 2008; **1**: 49-54.
- 吉田秀嗣, 高谷義幸, 松田泰平. 北海道えりも以西太平洋沿岸域におけるマツカワ人工種苗の成長. 北水試研報 2007; **72**: 47-49.
- Beamish RJ. Differences in the age of Pacific hake (*Merluccius productus*) using whole otoliths and sections of otoliths. *J. Fish. Res. Board. Can.* 1979; **36**: 141-151.
- Yabuki K. Age determination of yanagimushigarei *Tanakius kitaharai* (Pleuronectidae) from otoliths in the Sea of Japan off Kyoto Prefecture. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1989; **55**: 1331-1338.
- Lee JH, Kodama K, Kume G, Oyama M, Katayama S, Takao Y, Horiguchi T. Comparison between surface-reading and cross-section methods using sagittal otolith for age determination of the marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae*. *Fish. Sci.* 2009; **75**: 379-385.
- Katayama S, Yamamoto M, Gorie S. Age compositions of flatfish stocks as determined by a new otolithometric method, its application in the estimation of growth, spawning potential and fisheries management. *J. Sea Res.* 2010; **64**: 451-456.
- 厚地 伸, 増田育司, 赤毛 宏, 伊折克生. 耳石横断薄層切片を用いた鹿児島県近海産ヒラメの年齢と成長. 日水誌 2004; **70**: 714-721.
- 安藤 忠. 地球温暖化にそなえて魚類の高温耐性を探る. 北の海から 2010; **9**: 3.
- 三原行雄. 北海道えりも以西太平洋海域に分布するソウハチの年齢と成長. 北水試研報 2002; **63**: 21-32.
- 萱場隆昭. マツカワの種苗生産に関する研究. 北水試研報 2005; **69**: 1-116.
- 萱場隆昭, 杉本 卓, 佐藤敦一, 尾崎雄一, 足立伸次, 高丸禮好, 山内皓平. 水温操作によるマツカワ雌雄の性成熟の同調. 北水試研報 2000; **58**: 9-16.
- 佐々木正義, 角田富男. 道東海域のマツカワ人工種苗の放流状況および再捕結果. 北水試だより 2003; **60**: 1-8.