北水試研報　77，35－44（2010）
Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.

北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法

星野　昇*

Estimation method for age composition of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the Sea of Japan off the coast of Hokkaido.

Noboru HOSHINO*

Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) is an important species caught by bottom trawling or gill net fisheries off the coast of Hokkaido, Japan. In Hokkaido, although fishing surveys at principal fishing ports have been conducted since the 1990s, the age compositions of cod caught by fisheries have not been estimated because of difficulties in obtaining an adequate number of fish samples. In this paper, I propose a mathematical method to estimate the age composition of fisheries products based on the Age Length Key (ALK) method using small numbers of samples and evaluate the accuracy of the estimates by computer simulations. This method showed a higher accuracy than the general purpose ALK method based on observed dates. Increasing the number of data sets (i.e., number of samples) used in estimating age compositions improved the accuracy of estimates, but showed little change in the simulation scenarios with more than 50 data sets. These results suggest that it may be possible to estimate the past age compositions based on the dates of previous fisheries surveys using this method. The age/length compositions of cod landed at the fishing ports of Yoichi and Otaru during the 2008 fishing season were estimated by this method in the applied case studies.

キーワード：マダラ，age length key, 年齢組成，体長組成

まえがき

北海道においてマダラは重要な水産資源のひとつであり，1990年代前半には漁獲量が約７万トンに達したが，以降は著しく減少し近年は２～３万トンで推移している（Fig. 1）。とくに，日本海の漁獲量には回復の傾向がみられず，近年は約3,000トン前後で推移している。日本海のマダラ漁業は，沖合底びき網漁業と刺し網漁業による漁獲が大半を占め，稚内市，礼文町，小樽市，余市町，古平町，増毛町などが主な産地となっている。

北海道日本海で漁獲対象となるのは体長300～1,000㎜程度のサイズである。水揚げの際は，およそ500㎜以上の成魚を，船上において木製もしくは発泡スチロール製の箱に，「１尾入れ」，「２尾入れ」，「３尾入れ」というように，一箱の重量が一定目安（15㎏，８㎏などが一般的）となるよう，体サイズに応じて数尾単位で箱詰めした規格に仕分けて出荷する。多くの産地では１～６尾入れ程度であるが，10尾入れまで細分化している産地もあ

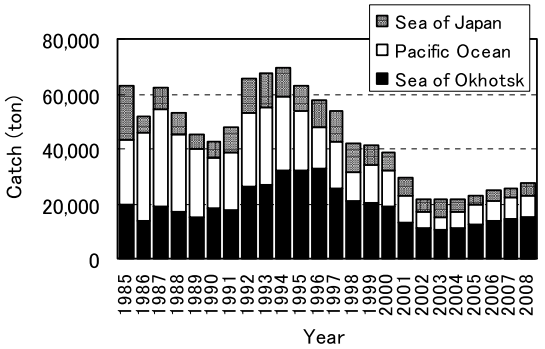

Fig.1 Annual catch of Pacific cod off the coast of Hokkaido (Statistics: Hokkaido suisangensei).

報文番号　A450（2009年12月９日受理）

*　北海道立中央水産試験場（Hokkaido Central Fisheries Experiment Station，Yoichi，Hokkaido 046-8555，Japan）

る。500㎜に満たない小型未成魚については，タンクなど大型容器でサイズ別に分けられることなく出荷されている。北海道立水産試験場では，マダラ漁獲物の体長・年齢組成などを把握するために，主要産地で冬季の盛漁期を中心に漁獲物標本の測定調査を行っている。

一般に，漁獲物の年齢組成を推定する場合Age Length Key法（ALK法）が用いられることが多い。ALK法は，一次標本として，可能な限り多数の漁獲物標本に対して体長測定を行い頑健な体長頻度分布を得て，二次標本として，一次標本の中から一部の少数標本を抽出して，年齢形質を用いて個体の年齢査定を行い，体長階級ごとの年齢頻度分布を一次標本である体長組成の各階級度数に乗じて年齢組成を得るという推定方法である[1-3]。体長測定のみなら調査現場において多数の処理が可能であるが，体長頻度分布の形状から推定される年齢組成の信頼性は必ずしも高くなく，一方，硬組織による年齢査定は直接的に個体年齢が得られる反面，標本の処理数が限られる。ALK法は両者の長短を補完し合う方法であり，水産資源研究の現場では広く用いられている[4-7]。ALK法では，十分な標本数に基づいて，体長組成とその体長範囲全体から二次標本である個体年齢のデータが得られる場合には，良好な推定値を得ることができる[3,8]。

北海道日本海の産地において，マダラ漁獲物の年齢組成をALK法によって推定する際には，大別して二つの問題点がある。市場に出荷された箱詰めの漁獲物は，一箱に通常１～６尾程度であるうえに，高価で魚体も大きいことから，１回の市場調査において得られる標本数は数十尾程度に限られる。そのため，第一の問題として，調査日の水揚げ状況によっては，必ずしも全体長範囲から標本を一様に得ることができず，水揚げの多い規格を中心とした標本となる場合や，個体年齢データが得られない体長階級が現れる場合などがあり，二次標本である体長階級ごとの年齢頻度分布が適切に得られない傾向がある。第二の問題として，一次標本としての体長組成を得る際，規格ごとに選別する前段階での測定は不可能であり，さらに水揚げ箱数で標本の体長データを引き伸ばしたとしても，標本抽出誤差に基づく著しい偏りが生じる場合が多い。これらのことから，日本海産マダラについては，漁獲物標本の体長測定や年齢査定は行われてきたが，漁獲物全体の年齢組成を推定するには至らず，必然的に漁獲物年齢組成の経年変化情報を基礎としたコホート解析などによる資源動態の研究には発展していない。

本稿では，これらの問題に対処するためのマダラ漁獲物の年齢組成推定方法を示した。

ALK法では，二次標本である体長階級ごとの年齢頻度分布を実測値（観測値）から直接求める場合が多いが，理論的には実測値に対し確率密度関数を適合させることでも推定が可能である。その場合は，必ずしもすべての体長階級にデータがなくとも推定が可能なので，マダラのようなケースに有効と考えられる。そこでまず，二次標本を推定するための簡便化した計算方法を示したうえで，これまでの調査で得られた実際のデータに適用するにあたっての正確度（accuracy）をコンピュータシミュレーションにより把握した。次に，2008年の冬季に小樽港と余市港に，それぞれ沖合底びき網漁業とたら刺し網漁業によって水揚げされた漁獲物について，出荷事情や調査データの蓄積状況などに応じた体長組成（一次標本）の推定方法を示し，上記の方法による二次標本情報と合わせ年齢組成を推定した。

材料と方法

１．Age Length Keyの推定

Fig.2-a)に例示するとおり,複数の年級群で構成される漁獲物の年齢・体長組成は,各年齢(年級)群の体長頻度分布が混合した分布となる。この複合分布を各体長階級の度数を１に標準化して示すとFig.2-b）のようになる[9]。この体長階級別年齢頻度分布（年齢－体長相関表）をAge Length Key （以下，ALK）と称する[1-3,8]。対象となる漁獲物について，体長のみを多数に測定しFig.2-a）の体長組成を得て，そのうち一部の標本の年齢査定結果からFig.2-b）のALKを求め，体長組成の各階級度数をALKで年齢比に分割し積算することで，年齢組成を推定するのが一般的なALK法である。この時，ALKを得るた

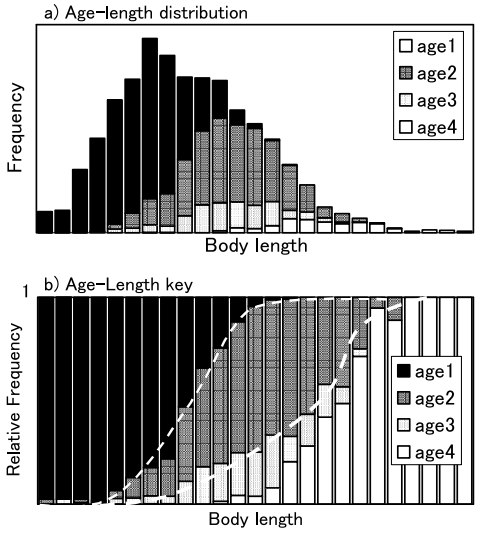

Fig.2 Concept image for estimation of age composition by the age length key method. Graph-a): Length frequency distribution by age group. Graph-b): Age Length Key (ALK).

めの年齢査定用標本の数が少ない，あるいは一部の体長範囲に標本が偏るといった状況があると，各体長階級の年齢データ数が少ない，もしくは無い，といった状況が生じ，体長階級ごとの年齢頻度分布が適切に得られなくなる。一方，Fig.2-b）の図中の白点線で示している各体長階級の年齢間の境界を通過する曲線は累積確率密度関数であるので，実測値から推定することが可能である。この場合では，必ずしもすべての体長階級にデータがなくとも，体長に対する連続関数の推定値として推定される。

Fig.2-b）の白点線は累積確率密度関数であり，各年齢 t 歳群の体長組成が平均値 μ_t，標準偏差 σ_t の正規分布に従うとして，1～K歳で構成される漁獲物のALKにおける，年齢 a と $a+1$ の境界線を，

$$G_a(x)=\frac{\sum_{t=a+1}^{K} n_t \cdot p[N(\mu_t,\sigma_t),x]}{\sum_{t=1}^{K} n_t \cdot p[N(\mu_t,\sigma_t),x]} \qquad (1)$$

とする。ここで，n_t は年齢 t の尾数，$p[N(\mu_t,\sigma_t),x]$ は年齢 t 歳群のうち体長が x である確率を表す。

（1）式の描く形状は，各年齢（年級）群の体長分布の形状と頻度によって定まる。Fig.3に，各年齢群（ここでは4個に設定する）の体長組成に正規分布を仮定し，それぞれの個体数と体長平均値・標準偏差を任意の範囲で無作為に変化させた場合の，（1）式の形状変化を図示した。（1）式自体は複数の確率分布で混成される複雑な関数であるが，その大凡の形状はシグモイド型の1に漸近する曲線であることに違いは生じていない。実用に際しては推定パラメータを少なくするため単純な関数に近似すべきであろう。ここでは簡単のため，（1）式をロジスティック曲線，すなわち，

$$P_t(x)=\frac{1}{1+\exp(q+r\cdot x)} \qquad (2)$$

で近似する。q，r は推定パラメータである。例えばFig.2-b）において，age 2 とage 3 との境界線として推定される（2）式は，体長xの個体がage 3 以上である確率を示す。体長 l の個体がage 1，age 2，age 3，age 4 である確率は，それぞれ，$1-P_2(l)$，$P_2(l)-P_3(l)$，$P_3(l)-P_4(l)$，$P_4(l)$ である。すなわち，すべての年齢tに対して $P_t(x)$ を推定すれば，ある体長の個体に対する年齢の確率分布が定まる。ここで，N個体（i=1～N）の体長 l_i-age t_i データがあるとき，（2）式を最尤推定する場合の尤度関数は二項確率の積算として，

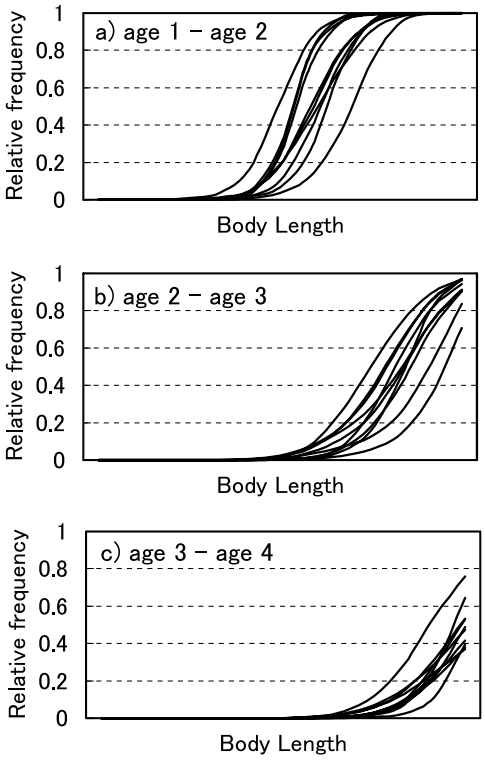

Fig.3 Sensitivity of ALK functions (i.e., border line between each age group) for various scenarios of population structure.

$$\prod_{i=1}^{N}\frac{Y_i!}{(Y_i-S_i)!S_i!}P_t(l_i)^{S_i}\left(1-P_t(l_i)\right)^{Y_i-S_i} \qquad (3)$$

となる（導出は例えば平松[10]）。ここで，$\boldsymbol{Y}$，$\boldsymbol{S}$は体長 l の個体の尾数とそのうち t 歳以上である尾数を示す。（3）式の最大対数尤度をとる推定パラメータ q，r を数値計算により求めると，（2）式が推定される。

2．正確度の検証　漁獲物の年齢－体長組成を表現する数値（本稿では正解値と称する）を計算機上に生成し，その中から“漁獲物標本”として擬似乱数によって抽出した数値に基づき，上記の方法でALKを推定し，その推定値と正解値との偏差を対比するというプロセスを一回の計算工程とした。抽出する標本数値の数とその抽出方法を違えた複数のサンプリングシナリオごとに，マダラで想定されうる様々な漁獲物の年齢－体長組成パターンを100通りシミュレーションし，ALK推定値が正解値に対しどのような偏差を示すか検証した。

2．1　漁獲物年齢ー体長組成の生成　実際の調査データに適用可能な方法であることを検証するには，北海道に分布するマダラの資源構造に即した漁獲物年齢－体長組成を生成する必要がある。一回の計算工程ごとに与える漁獲物年齢-体長組成の数値については，次のとおり生

成した。北海道で漁獲されるマダラは，耳石による年齢査定から２～８歳程度で，とくに箱入れ規格によって出荷されるのは３～６歳が主体であることが既知である。そこで，２～６歳の５年級で構成される状態を仮定し，各年齢の漁獲尾数を，

２歳：R[1,000-5,000]
３歳：R[1,000-5,000]exp(-0.5*1)
４歳：R[1,000-5,000]exp(-0.5*2)
５歳：R[1,000-5,000]exp(-0.7*3)
６歳：R[1,000-5,000]exp(-0.7*4)

として生成した。R[1,000-5,000]は1,000－5,000範囲から一様確率分布で発生させた１個の擬似乱数値を表す。さらに，各年齢の平均体長を既往知見[12]に基づき，470（２歳），620（３歳），720（４歳），790（５歳），833（６歳）とし，それぞれの平均体長に0.01を乗じた値を標準偏差とした場合の擬似正規乱数によって，各年齢の平均体長を設定した。その平均体長に0.08を乗じた値を標準偏差とする擬似正規乱数を，各年齢で生成した漁獲尾数分発生させることで，各年齢の漁獲尾数と年級群の成長傾向がその都度異なる年齢－体長組成のデータセットを生成させた。なお，２歳については，一部成長の遅い個体が成熟せず漁獲加入しない[11]ことから，ここでは便宜的に体長数値が500未満のものをデータセットから除外した。以上の設定によって生成される組成の平均的な分布形状はFig. 4に示すとおりであり，極端に歪な組成にはならず現実に想定されるような分布型となることを事前に確認した。

２．２　サンプリングシナリオ　これまでの漁獲物標本調査の尾数は，箱入規格のサイズについては，調査１回あたり20～80尾程度である。基本的には規格ごと１～３箱程度を目安にサンプリングを行っているので，漁獲物の体長範囲全体から標本が得られてはいるが，水揚げ状況によっては，主要な規格を中心にサンプリングできたものの，１尾入れ，２尾入れなどに相当する大型魚が十分に得られず，標本組成が漁獲物体長組成と相似するような抽出となる場合もある。これらの経緯を踏まえ，シミュレーションのサンプリングシナリオには二通り，すなわち，漁獲物の体長範囲全体から一様にサンプリングした場合と，ランダムサンプリングによって漁獲物体長組成と相似的な標本組成となる状況を想定した。一様サンプリングの場合は，体長範囲の幅で体長変量に対して一様の発生確率をもつ擬似乱数から標本数値を抽出した。抽出結果によっては，必ずしも全体長（階級）に標本数値が揃っていないようなパターンもあるという現実的な状況が織り込まれている。ALK計算のために抽出する標本数には，20，30，50，70尾の４通りの場合を設定した。Fig. 5に，これら二通りのサンプリングシナリオで得られる，体長階級ごとの平均サンプル数を，50サンプルの場合について，それぞれ示した。また，本方法で得られるALKの正確度が，実測値から直接計算される一般的なALKの値とどのような違いがあるのかを確認するために，対照試験として，標本数値が抜け落ちる体長階級がないよう一律に抽出されたデータセットから直接ALKを求める（階級幅50㎜）という作業を，同様のシミュレーション回数で行った。すなわち，対照試験を含め３通りのサンプリング方法のもとで４通りの標本抽出数を想定しており，計12通りのサンプリングシナリオに対し，それぞれに100通りの組成パターンに対するALKを計算した。

２．３　正解値と推定値の比較方法　推定されるALKの正確度を比較することが目的であるから，推定されたALKには正解値の体長組成を乗じて各年齢の漁獲尾数を算出し，それを正解値の各年齢漁獲尾数と対比することで，推定されたALKと正解値のALKの偏差を把握した。偏差を表すものとして，一回の計算工程ごとに，各年齢について，ｖ＝（正解値－推定値）／正解値として計算される値を用いた。例えば，この値が－0.5であれば，推定値は正解値に対して50％過大（1.5倍）に推定されたということである。ひとつのサンプリングシナリオに対し100個のｖ値を得ることになり，その頻度分布を解析した。

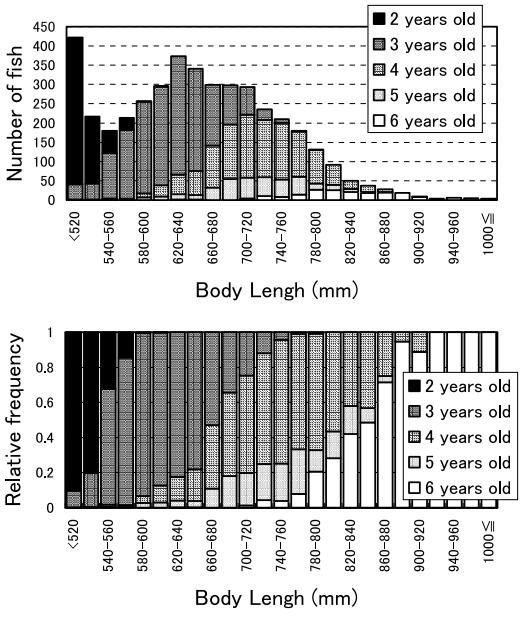

Fig.4 Age-length distributions of the catch- data set used to estimate ALK. Both figures are based on the mean values of 100 data sets.

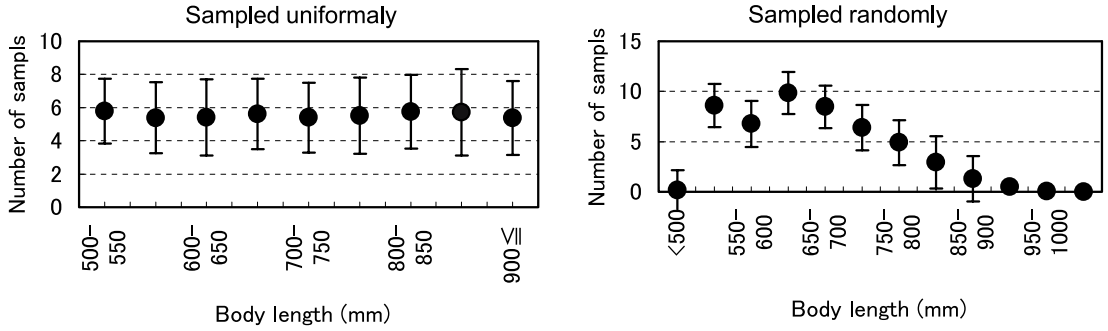

Fig.5 Mean number of samples in each range of body length given by two different sampling strategies. Vertical lines indicate standard deviation.

3．体長組成の推定と適用事例　以上はALKの推定方法であるが，これを年齢組成に引き伸ばすためには一次標本としての体長組成を推定することが必要となる。そこで，2008年冬季に日本海で漁獲され，小樽港および余市港に水揚げされたマダラ漁獲物の体長組成を，次のとおり，それぞれに異なる方法で推定し，上記の方法によって得たALKと合わせ漁獲物年齢組成を試算した。

小樽港の漁獲物組成については，2007年12月～2008年２月の盛漁期の組成として推定を試みた。出荷は木箱１～６尾入れ規格が主体となっており，各規格の箱数を荷受け伝票より集計した。一方，各規格に仕分けられる魚体の標本平均体長には1997年以降小型化や大型化といった傾向はとくにみられていない（Fig. 6）ので，1997～2008年までの規格ごとの測定体長データをプールしたデータベースから，規格ごとに箱数×入れ尾数分のデータを無作為抽出することで，ブートストラップ標本としての体長組成を得た。2008年１月12日の漁獲分から37尾を標本抽出し測定と耳石による年齢査定[12]を行い，当該の方法によりALKを得て，この体長データに乗じ積算することで年齢－体長組成を推定した。

余市港の漁獲物組成については，2008年１月23日に水揚げされた漁獲物を推定対象とした。余市港での出荷は発砲スチロール箱１～５尾入れが主体となっている。マダラはすべて箱詰めされた状態で荷下ろしされるので，市場において体長を測定することは不可能である。そこで，箱詰めされた状態のまま測定できる第一背鰭基底長と胸鰭長を，デジタルノギスによって0.1㎜単位で，すべての漁獲物について計測した。そのうち標本30尾をサンプリングし，基本測定および年齢査定の他，第一背鰭基底長と胸鰭長を測定したうえで，Fig.7に示す体長との関係式を得て，大型個体については胸鰭長から，それ以外の個体については第一背鰭基底長から体長データを推定した。そして，上記の方法によるALKと体長データを積算して年齢－体長組成を推定した。なお，いずれの産地においても，未成魚を主体とする“バラ”規格の漁獲はなかった。

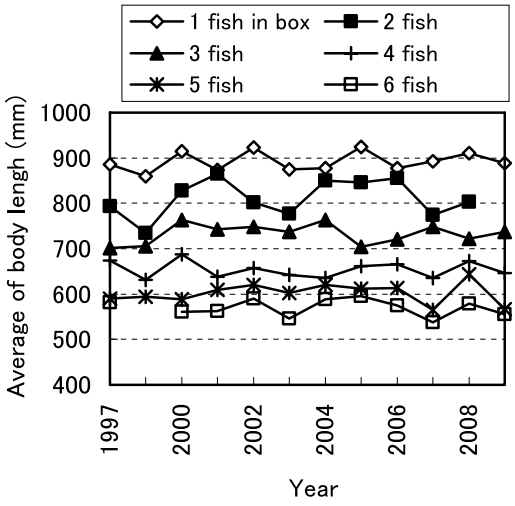

Fig.6 Change in the mean value of body length in each size class at the port of Otaru.

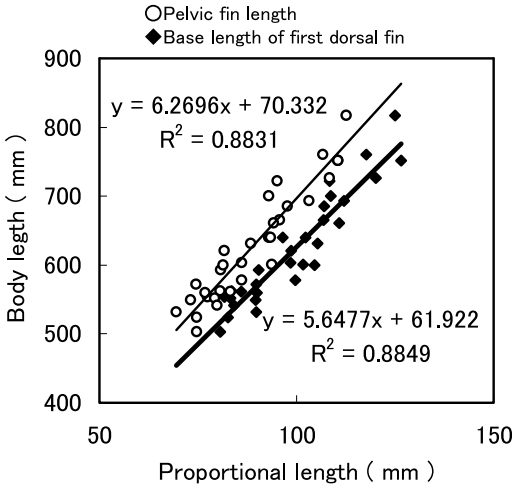

Fig.7 Relationships between body length and base length of the first dorsal fin and pectoral fin.

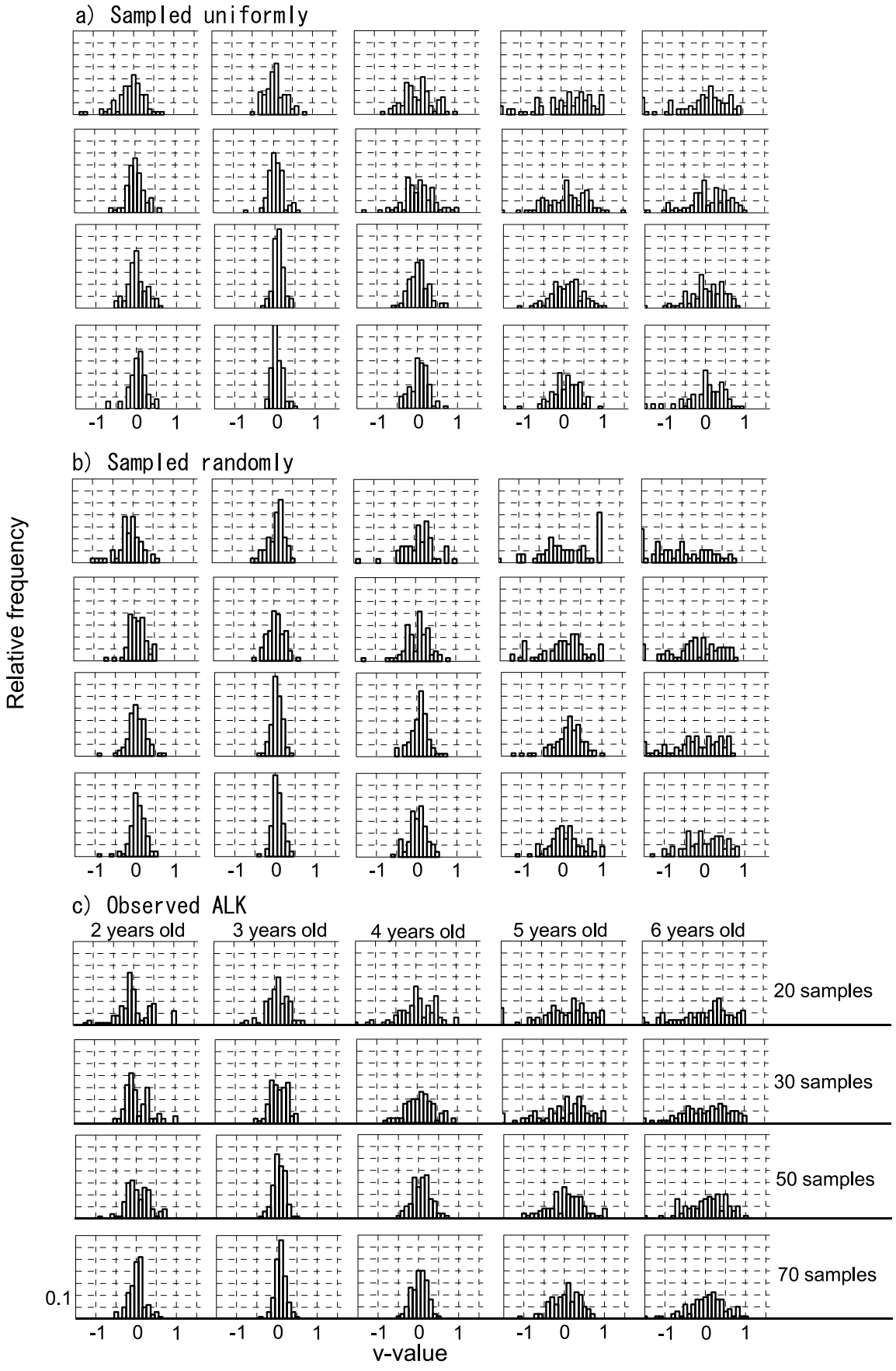

Fig.8 Relative frequency distributions in v-value for each sampling scenario of simulation.

結果

Fig. 8-a-c）に全シナリオによるシミュレーション結果を，ｖ値の頻度分布として示した。一様サンプリング，ランダムサンプリングのいずれのシナリオにおいても，２～４歳までは，20～70の標本数値すべての場合で，ｖ頻度のモードは-0.1～0.1の範囲にあり，推定されたALKが正解のALKに対して概ね不偏推定となっていることがわかる。５～６歳の推定結果については，ランダムサンプリングでばらつきが大きく，５歳推定値ではサンプル数が50以上の場合でｖ値が比較的小さくなり，０付近にモードが現れるようになるが，６歳については明瞭な改善は認められない。一方，対照として示した実測値ALKでは，２歳，６歳の推定結果でｖ最頻値やヒストグラム全体が偏る傾向があり，推定値が不偏推定量とはならなかった。結果の全体を概観すると３歳のヒストグラムの広がりは小さく，またサンプル数を増加させるほど広がりは小さくなり，正解値と推定値の差が小さくなっていることがわかる。推定値と正解値の偏差の程度を比較するために，Fig. 9に，ｖ値が－0.3～0.3と正解値に比較的近い範囲で推定された割合を相対頻度で示した。また，ｖ値のばらつきの程度を示すために，Fig. 10にｖ値の標準偏差を図示した。３歳の推定値に関しては，用いた標本数が20と少なくても70%以上が正解値の0.7～1.3倍の範囲で推定されている。サンプル数が多いほど頻度は高くなり，２～５歳については，サンプル数50で80％以上となっている。６歳については，Fig.8から明らかなように，ｖ＝１すなわち推定値が０となる場合から正解値の２倍の範囲で推定されるなどばらつきが大きい。ランダムサンプリングでは６歳の推定値は著しく正解値と乖離する傾向がみられた。サンプル数が多くなるとより正解値に近い値が推定されるようにはなるが，50以上ではさほど大きな変化がなくなり，ばらつきを示す標準偏差にも大きな変化がみられなくなる。ただし，６歳については，ランダムサンプリングで用いる標本数の増加による精度の改善は，Fig.9，Fig.10でそれぞれ顕著にみられた。適用事例として推定を試みた，小樽港および余市港の漁獲物年齢－体長組成をFig. 11，Fig. 12に示す。小樽港の漁獲物は３～５歳が主体であり，体長は700－750㎜にモードがあった。余市港では３，４歳が主体となっており体長は550－600㎜にモードがあった。両者の体長組成は大きく異なったが，各体長階級の年齢頻度は同傾向で推定された。

考察

本稿では，コンピュータシミュレーションにより，漁獲物年齢－体長組成と，そこから抽出した少数標本に基づいて確率密度関数として推定されるALKにより得られた年齢組成を比較することで，この方法によるマダラ漁獲物の年齢組成推定法としての妥当性を検討した。その結果，漁獲物標本が漁獲物の全体長範囲から満遍なく抽出されたような場合，もしくは漁獲物体長組成と相似的に標本が抽出された場合のいずれでも，ある程度の推定精度でALKを得ることが可能であることが分かった。実測値から直接算出するALKでは，必ずしもすべての体長階級に対して年齢データが得られるとは限らず，適用できない可能性があるのに対し，この方法であれば，体長階級に対して一律，一様に標本抽出されなくともALKを推定できた。実測値ＡＬＫと比べても正確度は劣らず，むしろ２歳，６歳の推定値は実測値ALKより正解値に近い値で推定される傾向があった。５，６歳については，推定値がしばしば正解値の０～２倍程度の範囲で乖離することが分かったが，これは，今回行ったシミュレーションで生成される漁獲物年齢組成が，５歳以上の漁獲尾数が比較的少なく設定される条件とした（Fig. 4）ことで，５歳以上および６歳以上の境界線を描く曲線の推定が不安定となりやすかったことが大きな要因となっている。５歳，６歳の漁獲尾数が比較的多いパターンでは，５歳，６歳の漁獲尾数も正解値の近傍で推定される傾向が明瞭であることから，実際の適用場面においても，５歳以上の出現率がある程度高い標本であれば，５歳以上の漁獲尾数も真値からさほど大きく隔たらずに推定される可能性が大きい。５歳以上あるいは６歳以上の出現率が著しく低い場合には，それぞれ，４歳以上，５歳以上のプラスグループとして集計したうえで，同様の方法で推定するのが妥当である。

これまで北海道立水産試験場により日本海産マダラについて行ってきた漁獲物調査では，基本的に１回あたり30尾以上の標本数があり，原則として全規格を対象に測定を行っている。年，時期によっては中型のサイズに標本組成が偏る，１尾入れの大型魚が得られていないといったこともあるが，そのような場合を含めても，基本的には，本稿で示した方法によってALKを得ることは妥当であると結論できる。したがって，今後の漁獲物調査においては，規格によらず，できるだけ漁獲物の体長範囲全体から満遍なく標本抽出することを意識して，50尾以上の標本採集を目標として進め，目標数に及ばなくとも本稿で示した方法でALKを得れば，現状で求められる程度の信頼性で年齢組成を得ることは十分に可能と考えられた。

ALK法による漁獲物年齢組成の推定精度については理

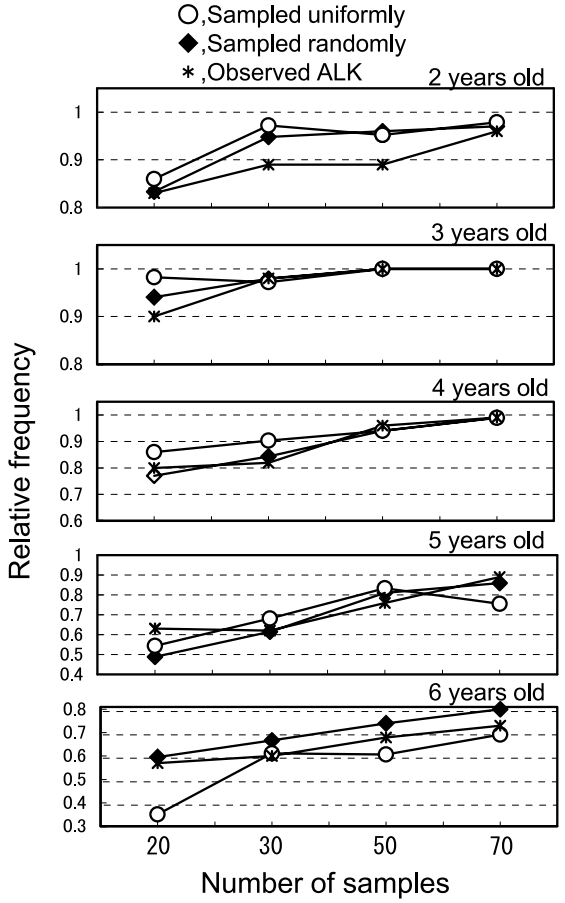

Fig.9 Change in the relative frequency of v-range(=-1.3～+1.3) for each sampling scenario.

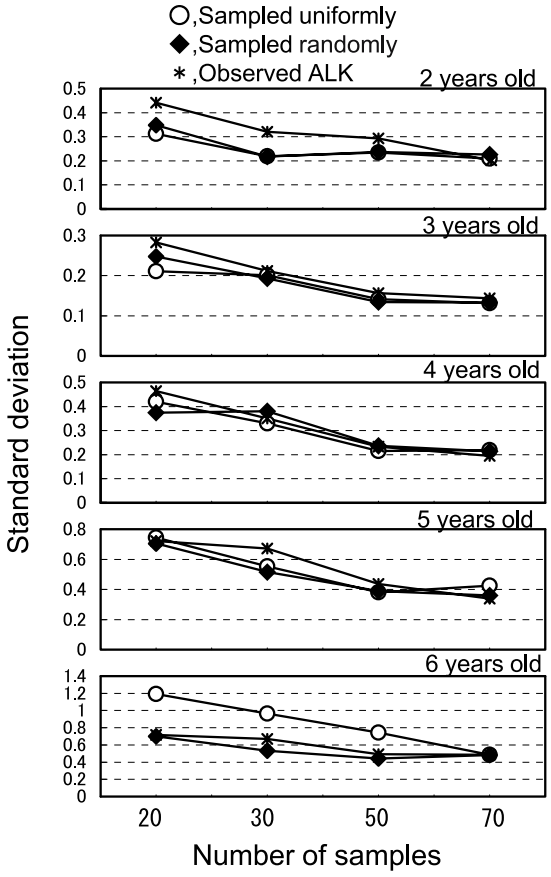

Fig.10 Change in the value of standard deviation for each sampling scenario.

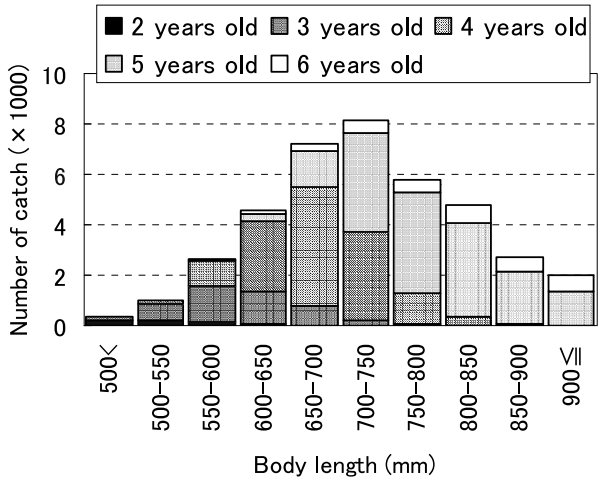

Fig.11 Estimated age/length distribution of Pacific cod landed at the port of Otaru in the 2008 fishing season.

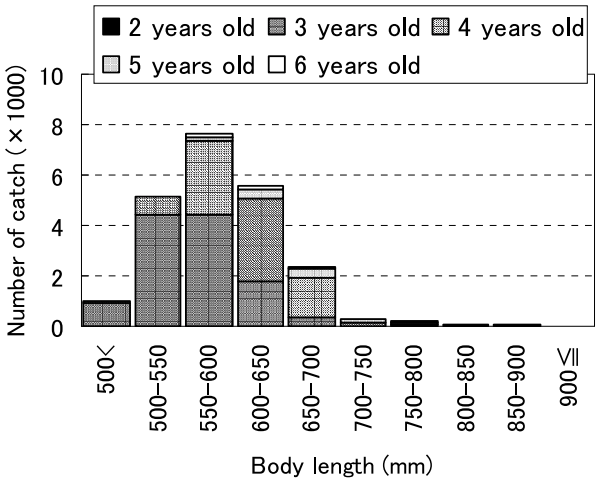

Fig.12 Estimated age/length distribution of Pacific cod landed at the port of Yoichi on February 15, 2008.

論的に整理されており[3,8,13,14]，当然，標本数が多いほど推定精度は高くなる。また，推定対象となる漁獲物組成を構成する年齢群の数が多いほど，頑健な推定値を得るためには多数の標本が必要となることも明らかである。北海道日本海産マダラのように３～５歳の３年齢群が主体で，２歳と６歳以上が低頻度で含まれるというような

組成であれば，ひとつの体長階級に対する年齢データが少なくても，その階級に含まれる可能性のある年齢数も多くはないため，数尾程度の実測値があれば真値に近い年齢構成比が得られる。さらに，本稿で示した方法を用いれば，推定対象の体長範囲に対して一律の頻度で年齢データが得られていない，すなわち，ある階級の年齢データが存在しない場合があっても，他階級の年齢データから連続関数として推定されるため，よい推定値が得られやすい。そのため，650㎜以下の範囲では，ひとつの体長階級に含まれる年齢が２歳か３歳，あるいは３歳か４歳といった二者択一的な分布を呈することから，４歳までの推定値が真値の近傍を捉える傾向が強くなる。700㎜以上になると，３個以上の年齢群で構成されることが多くなり，年齢間の成長差も比較的小さくなるうえに，４歳より５歳の尾数が多いといった複雑な構成も生じうることから，高齢になるにしたがって真値から外れて推定される傾向が強くなる。

本稿では，正解値の0.7～1.3倍の範囲を正確度の目安として示した（Fig.8）が，漁獲物年齢組成の推定値にどの程度の推定精度があれば妥当かということについて客観的な尺度はなく，その情報の用途に応じたものになる。資源研究では，推定された漁獲物年齢組成を基に年間の年齢別漁獲尾数を推定し，コホート解析やその応用によって，許容漁獲量など資源管理方策の目標数値として活用するといった，大きな社会的意義を持つ場合も多い。必然的に，高い推定精度をもつ数値が求められる背景が常にあり，そのための標本数や調査回数を増やす努力が求められることも多い。しかし，本稿で示したとおり，マダラの場合では，１回の調査の標本数が50尾以上では正確度が劇的に高まるようなことは期待できない。すなわち，経済的，労力的なコストをさらに費やして標本数を増加させても，推定結果の精度はさほど大きく改善されない可能性が大きい。ALK推定値自体の推定精度を高めることに限度がある以上は，推定精度を高めるために調査回数やサンプル数を大幅に増やす努力を講じることより，ALK推定値の誤差の程度を事前に検証し，その誤差が用途の中でどのような影響を及ぼすのかを事前に把握することの方が重要である。そのような観点から，近年はALK推定方法の違いによる系統誤差の比較[15]，ALKの誤差が資源動態や産卵親魚量の推定結果に及ぼす影響[16-17]などが，シミュレーションなどによって検証されている。

この方法で得られたALKから漁獲物年齢組成を推定するためには，一次標本としての体長組成が必要である。ALKが良好な推定値となっていても，体長組成推定値に著しい偏りなどがあれば，結果的に漁獲物年齢組成としての信頼性は下がる。マダラでは，前述のとおり水揚げ・出荷形態の特性上，直接，多数の漁獲物に対して体長を測定することが困難な事情があるため，現場の状況に応じた工夫が必要である。本稿では，二つの事例として，過去に測定した規格ごとの体長データと，推定対象期間の規格別水揚げ箱数データに基づくブートストラップ標本として体長組成を得る方法と，産地の荷捌き場において，箱詰め状態のままで，常に露出していて計測しやすい形質である第一背鰭基底長と胸鰭長を測定し，体長との関係式に基づいて体長に換算する方法を示した。いずれの方法もきわめて容易であるうえに，推定値に大きな誤差が生じるような可能性も少ないことから，十分な正確度で体長組成を得ることが可能と考えられ，状況に応じて使い分ければ，マダラ漁獲物の有効なモニタリング方法となろう。なお，小樽港の漁獲物は沖底漁業によって魚体のサイズに対し比較的無選択で漁獲されるのに対し，余市港はたら刺し網漁業による漁獲物であり，刺し網目合の選択性が作用するため著しく異なる体長組成となっていると考えられる。ただし，双方の漁場は基本的に同一で同じ資源が漁獲対象となっており，そのような状況下で，各体長階級の年齢比，すなわちALKが同じような配置傾向として推定されたことは，本稿による方法の有効性を支持する実例とも考えられる。

このようにして推定された代表産地・時期の漁獲物年齢組成から，さらに１年間の年齢別漁獲尾数を得ていくためには留意すべき点がある。ALKは，その漁獲日・海域における体長と年齢の関係であり，この単一のALKを基に，一定期間の漁獲統計を用いて推定された体長組成で引き伸ばす際，引き伸ばしの期間が長すぎると，期間中に資源構造としてのALKが変化することで，大きな誤差をもたらす可能性がある。マダラの場合は産卵期とその前後が漁期であるため，他魚種でよくみられるように漁場に加入する年齢に順位性があると，ALKは時期に応じて変化する可能性がある。また，成長が速い種のため産卵期間中にも明瞭な成長が認められるようであれば，やはり時期に応じたALKが存在する可能性が生じる。通常は，産卵期漁期の資源については，このような観点から数回の漁獲物調査を行うことが多いが，マダラの場合は，基本的に漁獲のピーク期（盛漁期）に合わせるように漁期１回の調査を実施している。時期に応じた年齢構成の変化や季節成長に関する研究はほとんど行われておらず，これらの懸念が年間の漁獲物組成を算出する際に，どのような影響を及ぼすかは現在のところ不明であり，次の課題としていきたい。

要約

日本海産マダラでは，一回の漁獲物調査で得られる標本数が他魚種と比べ著しく少なく，Age-Length key法などによって漁獲物の年齢組成を推定することができていない。そこで，ALKを少数標本から確率密度関数として推定する方法を示したうえで，これまでの調査データに適用することの妥当性を，シミュレーションによって検証した。ALK推定値は妥当な正確度で算出され，実測値に基づくALKよりいくつかの利点があった。用いる標本数を増やすと正確度は上がるが，50尾以上ではさほど改善しないことが示唆された。適用事例として沖底漁業と刺し網漁業で漁獲された漁獲物の年齢－体長組成の推定を試み，良好な結果を得た。

謝辞

漁獲物標本調査にご協力いただいた中央水試資源管理部諸氏に感謝いたします。なお，本研究で適用事例に用いたマダラ測定データの一部は，水産庁による我が国周辺水域資源調査推進委託事業費によって得られた。

文献

1）能勢幸雄，石井丈夫，清水　誠：“1．2．水産資源の組成”．水産資源学．東京，東京大学出版会，1988，8-21.
2）赤嶺達郎：“年齢別漁獲尾数”．資源評価体制確立推進事業報告書－資源解析手法教科書－．東京，日本水産資源保護協会，2000，52-54.
3）田中昌一：”4･4年齢組成”．水産資源学総論．東京，恒星社厚生閣，1986，171-180.
4）Lai，H.L.，Gunderson，D.R. and Low，L.L.：Age Determination of Pacific cod，*Gadus Macrocephalus*，using five ageing method. *Fish. Bull*. 85(4)，713-723（1987）
5）柳下直己，大木　繁，山崎　淳：若狭湾西部海域におけるヤナギムシガレイの年齢と成長および年齢組成．日水誌．71(2)，138-145（2005）
6）上田祐司，成松庸二，服部　努，伊藤正木，北川大二，富川なす美，松石　隆：ＶＰＡと着底トロール調査による資源量から推定された東北海域におけるマダラの漁獲効率．日水誌．72(2)，201-209（2006）
7）服部　努，成松庸二，伊藤正木，上田祐司，北川大二：東北海域におけるキチジの資源量と再生産成功率の経年変化．日水誌．72(3)，374-381（2006）
8）Tanaka, S.：Precision of age-composition of fish estimated by double sampling method using the length for stratification．*Bull.Jpn.Soc.Sci.Fish*. 19，657-670（1953）
9）Salthaug, A.：Dynamic age-length keys．*Fish.Bull*. 101(2)，451-456（2003）
10）平松一彦：“1．水産資源学における最尤法とＡＩＣの適用例”．水産資源解析と統計モデル．東京，恒星社厚生閣，1993，9-21
11）三宅博哉，中山信之：日本海武蔵堆海域におけるマダラの成熟体長と産卵期．北水試月報．44，209-216（1987）
12）服部　努，桜井泰憲，島崎健二：マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式．日水誌．58(7)，1203-1210（1992）
13）Lai, H.L.：Optimum allocation for estimating age composition using age-length key．*Fish．Bull*. 85(2)，179-185（1987）
14）Lai, H.L.：Optimal sampling design for using the age-length key to estimate age composition of a fish population．*Fish.Bull*. 91(2)，382-388（1993）
15）Hayes, D.B.：A statistical method for evaluating differences between age-length keys with application to Georges Bank haddock, *Melanogrammus aeglefinus*．*Fish.Bull*. 91，550-557（1993）
16）Goodyear，C.P.：Fish age determined from length: an evaluation of three methods using simulated red snappaer data．*Fish.Bull*. 95，39-46（1997）
17）Bertignac, M. and Pontual, H.：Consequences of bias in age estimation on assessment of the northern stock of European hake (*Merlussius merlussius*) and on management advice. *ICES J. Mar. Sci*. 64，981-988（2007）