

北太平洋の米国 200 海里内における
ギンダラ (*Anoplopoma fimbria*) の資源生物学的研究

2 0 2 1

藤原 俊司

目次

Abstract	1
緒言	3
第1章 アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラ耳石の二つの 年齢査定法による年齢の比較	8
1.1. 緒言	8
1.2. 材料と方法	9
1.3. 結果	11
1.3.1. 表面年齢と横断面年齢の差	11
1.3.2. 表面年齢と横断面年齢による年齢組成	12
1.3.3. 二方法の年齢の一致と差	12
1.4. 考察	14
第2章 アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラ耳石の2つの 年齢査定法による査定年齢差と耳石成長	18
2.1. 緒言	18
2.2. 材料と方法	18
2.3. 結果	18
2.3.1. 年齢差	19
2.3.2. 横断面年齢と尾又長の関係	19
2.3.3. 耳石計測値と尾又長の関係	19
2.3.4. 平均耳石計測値と横断面年齢の関係	19
2.4. 考察	30
第3章 北カリフォルニアのギンダラの査定年齢差への深度・成熟の影響	33
3.1. 緒言	33

3.2.	材料と方法	33
3.2.1.	標本採集	33
3.2.2.	年齢査定と耳石計測	34
3.3	結果	34
3.3.1.	成熟割合と尾又長／横断面年齢	35
3.3.2.	尾又長と横断面年齢	35
3.3.3.	査定年齢差と尾又長／横断面年齢	39
3.3.4.	尾又長に対する耳石計測値の関係	39
3.3.5.	横断面年齢に対する耳石計測値の関係	44
3.4.	考察	44
第4章	北カリフォルニアのギンダラの性比、産卵期、成熟体長・成熟年齢の検討	49
4.1.	緒言	49
4.2.	材料と方法	49
4.2.1.	データ収集	49
4.2.2.	データ解析	49
4.3.	結果	50
4.3.1.	漁獲水深に対する操業時間当たりの漁獲尾数	50
4.3.2.	深度別の未成魚と成魚の性比	50
4.3.3.	体長に対する性比	53
4.3.4.	産卵期	54
4.3.5.	50%成熟体長と成熟年齢	54
4.4.	考察	56
第5章	アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラ、北カリフォルニアにおけるギンダラの成長	58
5.1.	緒言	58

5.2. 材料と方法	58
5.3. 結果	59
5.4. 考察	62
第6章 アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアの ギンダラの耳石比の比較による系統群判別の可能性	64
6.1. 緒言	64
6.2. 材料と方法	64
6.3. 結果	65
6.4. 考察	65
第7章 総合考察	69
7.1 査定年齢の比較	69
7.2. 成長と成熟及び性比	71
7.3. 資源構造	73
7.4. 標本採集に関して	75
7.5. 国際管理機関の対象魚	75
要約	77
謝辞	79
引用文献	80

Abstract

The sablefish (*Anoplopoma fimbria*) inhabits the wide range of waters from California, Oregon, and Washington to the Gulf of Alaska, the Aleutian Islands and the Bering Sea on the west coast of the United States, and extends vertically from the surface to a depth of 1000 m or more. Biological information on age, growth, maturity, etc. is required for resource assessment, which is the basis of sablefish resource management recommendations.

In this study, the otoliths (sagittae) of sablefish of the Gulf of Alaska, the Aleutian Islands, the Bering Sea, and Northern California are determined from otolith surface aging method (a method of counting annuli formed on the posterior surface) and otolith cross-sectional aging method (a method of counting the annuli of ventral part of cross-section from external to internal otolith).

The oldest was 19 years from the surface and 56 years on the cross-section. The surface age and the section age agreed up to 6 years, and the section age was higher than the surface age after 7 years and older. Process of the surface aging method is much simple than that of the section aging, therefore the surface aging method is recommended for young sablefish showing with remarkable growth pattern of the otolith surface.

The age difference between the two aging methods is due to the difference in growth pattern between the otolith radius and the thickness. The increase in otolith radius in proportion to the increase in body length slows down as the body growth rate peaks after maturity, making it difficult to determine the age on otolith surface margin. On the other hand, otolith thickness increases with age regardless of body length. In other words, it was found that cross-sectional observation is effective to determine age throughout life history of sablefish.

Northern California sablefish were analyzed by depth using two age assessment methods. As a result, the difference between the aging methods increased as the water depth increased. This means that the proportion of mature individuals increases as they get deeper, and it is thought that sablefish move offshore into deeper waters with onset of sexual maturity.

Although it was not possible to verify the age in this study, it is recommended to observe the otolith section for long-lived fish such as sablefish with a lifespan of over 20-30 years. Surface aging is also recommended for young fish (mostly immature fish), which account for more than 50% of the age composition.

As a result of a study in Northern California, the male-female sex ratio of sablefish was 1: 1 for immature fish, but 1: 1.7 for adult fish, which was biased toward males. A result of estimating 50% mature length and age using the Logistic model showed that females were 53.5 cm and 5.0 years old, and males were 49.6 cm and 4.5 years old, and a peak of the spawning season was February.

Comparing the growth of sablefish in Northern California and the Alaskan waters including Gulf of Alaska, Aleutian Islands, and Bering Sea) using the von Bertalanffy growth curve, the latter had a larger maximum length (L_{∞}) than the former. Furthermore, when section age-otolith ratio (otolith radius / otolith thickness) relationships were compared among those areas, a statistical test detected difference in the growth of the otolith ratio. These observations suggest two different stocks between the Alaskan waters (north stock) and northern California (south stock) of Sablefish, and also suggest that otolith measurement values are an effective method to discriminate stock structure

緒言

ギンダラ(*Anaplopoma fimbria*)は、カサゴ目キンダラ科ギンダラ属に属し、1属1種である。分類上では、アイナメ科に近い魚である。英語で Sablefish あるいは Black cod と呼ばれ、黒っぽい体表の魚である。体長は1 m を越え、体重は13 kg を越える (Frimodt, 1995)。米国のギンダラの漁獲量は、1978 年から世界一で、また世界一の冷凍ギンダラ輸出国である (Munk, 2014)。米国にとって大きな経済効果を生み、底魚漁業にとって重要な魚種である (Haltuch et al., 2019)。

アリューシャン列島、ベーリング海、アラスカ湾を含むアラスカ水域、カナダ西岸、そして米国西岸のワシントン州、オレゴン州、カリフォルニア州に至る北東太平洋水域での、1950 年から 2017 年にかけての国別の漁獲量を示す(Fig. 1)。北東太平洋水域のギンダラは、日本を含む外国の漁業が先行した。

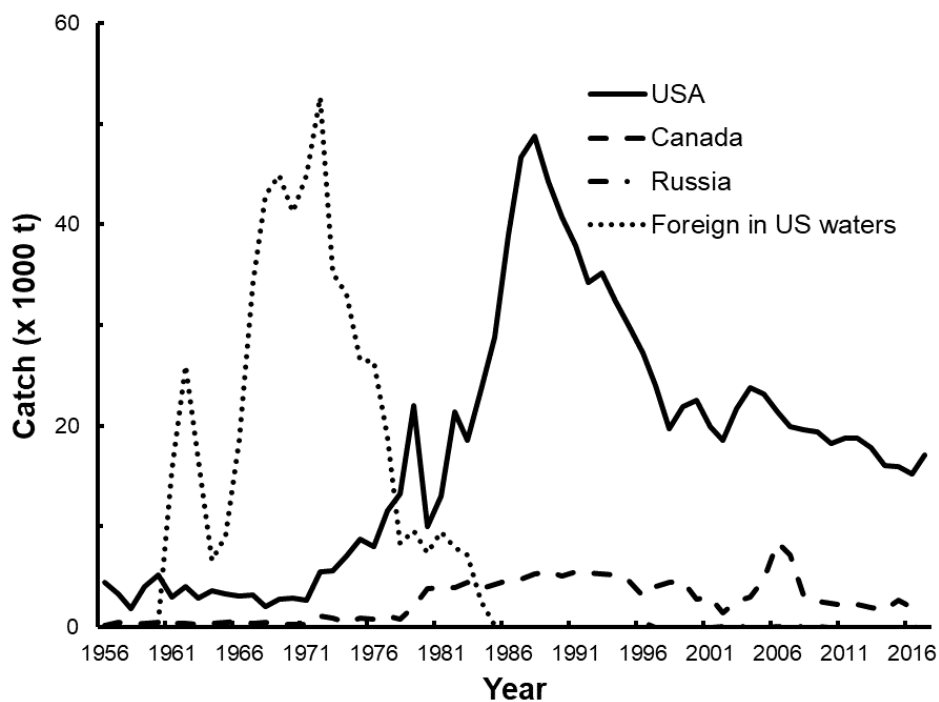


Fig. 1. Sablefish catch by area and by country from 1950 to 2017. Catch statistics from 1956 to 1984 are used McDevitt (1986) and from 1985 to 2017 are used from FAO (2017).

日本は1958年から、ソビエト連邦は1964年からベーリング海で漁業を開始した(McDevitt, 1986、FAO, 2017)。中でも1960年代から1980年代の始めまで、米国水域のベーリング海、アリューシャン列島、アラスカ湾を含むアラスカ海域で、日本のはえ縄と底曳トロール漁船の漁獲は顕著であった(Low et al., 1976)。1972年には、ベーリング海で12000トン、アリューシャン列島海域で3000トン、アラスカ湾で35500トン、合計5万トン近くを漁獲した(Sasaki, 1985)。

1976年に、米国は排他的経済水域(EEZ: Exclusive Economic Zone)を設定し、自国資源の漁業管理を目的とした漁業保存管理法 Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act (同法の提出者の名前をとり、マグナソン・ステーブンス法 (MSA) と呼ばれる) を制定した。米国のMSAの制定により、特にアラスカ海域における漁業管理の強化が進み、外国船の入漁に際し、対象魚種の調査あるいは入漁国の市場開放が義務付けられた (Rutecki et al., 2016)。日本は、入漁のため1979年から1994年まで、日米共同底はえ縄調査に協力したが、日本漁船の入漁は徐々に減っていき、1986年以降アラスカ海域から日本船は完全に撤退した(Sigler & Lunsford, 2001)。本研究で使ったアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラの耳石は、この日米共同底はえ縄調査で採集されたものである。

1976年の米国の200海里EEZの設定後、外国漁船の漁獲量は急激に減少し、1980年代後半から、はえ縄、籠、トロールを使った自国漁業の漁獲量が急増した(Sonu, 2014)。

米国は、MSAのもと、8つの漁業管理委員会(Fishery Management Councils)を設置し、科学的な根拠に基づく管理と乱獲の防止を義務付けた。米国の西海岸のカリフォルニア州からワシントン州では太平洋漁業管理委員会(Pacific Fishery Management Council)が、アラスカ湾からアリューシャン列島及びベーリング海のアラスカでは北太平洋漁業管理委員会(North Pacific Fishery Management Council)が設立された。以後、漁業管理計画(FMP: Fishery Management Plan)に従って、ギンダラを含む底魚を持続的に利用できるように漁業管理が進められてきた。2006年に、資源の悪化にともない、漁業管理委員会に科学統計部が設置され、科学者の発言を強め、厳しい漁獲量制限措置を取るようになった(Marino 2017)。その影

響で、2010年以降米国全体の漁獲量は、2万トン前後で推移している(FAO, 2017)。

ギンダラの分布は、ベーリング海、アリューシャン列島からアラスカ湾、カナダ西海岸を下り、米国の西海岸ワシントン州からカリフォルニア州、さらに南のメキシコのバハ・カリフォルニア州まで、大陸棚からその外縁の陸棚斜面に沿って広く生息する(Jordan & Gilbert, 1881; Kobayashi 1957; Hart, 1973; Parrish, 1973; McFarlane & Beamish, 1983a; Wolotira et al., 1993)。

ギンダラの産卵期は、米国およびカナダの西海岸では、冬場の1月から4月と報告されている(Mason et al. 1983; Fujiwara & Hankin, 1988b; Macewicz & Hunter, 1994; Moser et al., 1994)。ギンダラのゼロ歳魚は、表層に生息する(Kendall & Matarese, 1987; Doyle et al., 1994)。夏には沖合の浅瀬に移動し、1-2歳魚は底層生活に入る(Rutecki & Varosi, 1997a; 1997b)。3-4歳頃から水深200m以浅の沿岸の大陸棚上に生息し、徐々に漁獲されるようになる(McFarlane & Beamish, 1983b; McFarlane & Nagata, 1988; Wing, 1997)。成魚は、さらに200mを越え、沖合の陸棚斜面へ移動し、1200mを越える水深層に生息する(Miller & Lee, 1972; Low et al., 1976; Mason et al., 1983; Umeda et al., 1983; McFarlane & Saunders, 1997)。Kodolov (1976) は水深1900mまで、Beamish et al. (1980) は水深2740mに設置した籠でギンダラが漁獲されたことを報告し、より深い水深までの生息が確認されている。また沖合の海山にもギンダラは生息する(Maloney, 2004)。ギンダラは底層近くに生息し、岩場や砂地よりむしろ柔らかい粘土質の底質を好む(Alverson et al., 1964)。

ギンダラは、卵稚仔の採集のないベーリング海の北緯55度以北を除いて、広い分布域で産卵していると考えられている(Kimura et al, 1998)。

魚類の成長は、年齢情報と体長データをもとにモデル化した von Bertalanffy 成長式(von Bertalanffy, 1938)が一般的に用いられている。ギンダラにおいても、von Bertalanffy 成長式を用いて成長を記述した(Beamish & Chilton, 1982; Echave et al., 2012; Head et al., 2014)。Kimura et al. (1993) は、標識放流の採捕結果を使って von Bertalanffy 成長式を求めた。

ギンダラの資源構造を明らかにするために、標識放流(Kimura et al., 1998)、脊椎骨などの形質計数法(Phillips et al., 1954)、生化学的方法(Tuyuki & Roberts, 1969)、DNAの遺伝学的

方法(Tripp-Valdez et al., 2012; Jasonowicz et al., 2016)、寄生虫(Kabata et al., 1988; Whitaker & McFarlane, 1997)の研究が行われてきた。しかし、単一系群なのか複数系群なのか、明確な結果は得られていない。

ギンダラは、地理的に広い海域に分布し、大陸棚から沖合の大陸棚斜面にかけ幅広い水深層に生息し、成長に伴い表層から沖合の深所へ生息の場を移すため、その成長、産卵生態、系群について不明なことが多い。

科学的に漁業を管理するには、資源の動態を解析し、資源を評価することになるが、対象魚種の年齢情報を集めるのが研究の第一段階となる(岡村・市野川, 2015)。米国のアラスカ海域及び西海岸のギンダラの資源評価は、複雑なモデルが使われ、外部からの生物学的情報(雌の年齢に対する成熟関係、雌雄の年齢に対する体長及び年齢に対する体重)が必須である(Hanselman et al., 2019)。

年齢は、通常魚類の鱗(scale)、耳石(otolith)、鰓蓋骨(opercular bone)、脊椎骨(vertebra)、背鰭の棘(spine)などの硬組織を使って、個体の年齢査定を行っている(Vitale et al., 2019)。

ギンダラでは、これまで鱗や耳石表面を使い査定が行われてきた(Pruter, 1954; Kennedy & Pletcher, 1968; Sasaki et al., 1975; Maeda, 1982)。これらの報告では、鱗や耳石表面からの査定年齢は、最大でも 20 歳を越えることはなかった。1982 年、Beamish & Chiton (1982)によって耳石横断面からの年齢査定の結果、最大年齢を 45 歳と報告した。

これまで Beamish & Chiton (1982) や Kastle et al. (1994)によってギンダラの年齢について検証され、横断面年齢法を使って査定することが一般的となった。横断面年齢査定法によって、ギンダラはこれまで以上に長寿命の魚となった。しかしながら、耳石の観察部位によって生じる査定年齢の差がどの程度なのか、ギンダラの生物的特徴とどのよう関連するかは明らかにされていなかった。

本論文のデータのうち 1984 年に北カリフォルニア水域で収集されギンダラのデータは、既に発表されたデータである。1982 年から 1985 年にかけてアラスカ水域における日米共同底はえ縄調査で収集された耳石を使った査定年齢や耳石計測データの多くは未発表である。

ギンダラ漁業の盛んな米国とカナダでは、1980年代後半から新しい知見が加えられた。資源評価の基礎となる年齢・成長・産卵・系群に関して、これまで収集したデータを再解析し、これまでの知見と比較しながら検討することを本論文の目的とした。

第1章では、アラスカ水域（アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海）から収集された耳石を使い、表面年齢査定法と横断面年齢査定法の2つの方法による年齢差について論じた。第2章では、アラスカ水域の耳石を用い、2つの年齢査定法について、耳石計測値から、査定年齢の差を生じる要因を論じた。第3章では、北カリフォルニアの耳石を用いた2つの年齢査定法からの査定年齢の差について、耳石計測値、深度、成熟・未成熟のデータを合わせて検討した。第4章では、北カリフォルニア水域における性比、産卵期、成熟年齢と成熟体長について、第5章ではアラスカ水域と北カリフォルニアの成長について比較し、第6章ではアラスカ水域と北カリフォルニア水域の4海域の耳石計測値から系群について検討を加えた。

第1章 アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラの

二つの年齢査定法による年齢の比較

1.1. 緒言

魚の年齢は、硬組織（鱗、耳石、脊椎骨等）に出来る周期的な輪紋を手掛かりに査定を行っている。ギンダラの年齢査定は、1980年代までは鱗や耳石の表面を使い査定を行っていた（Pruter, 1954; Kennedy & Pletcher, 1968; Maeda & Hankin, 1983; Fujiwara, 1985; Sasaki 1985）。鱗や表面を使った年齢査定では、最高齢年齢が20歳を越えることはなかった。

Beamish & Chilton (1982)は、耳石横断面により年齢査定を行い、最高齢は45歳を記録した。標識放流するギンダラにオキシテトラサイクリン(OTC)を使って、再捕後のOTCマークが耳石横断面に現れ、放流から採捕までの年数とOTCマーク以後の輪紋数が一致し、輪紋が年輪であることを検証した。ギンダラは、鱗や耳石表面で査定された年齢よりずっと長寿命魚であることが明らかになった。Beamish & McFarlane (2000)は、横断面による年齢査定により、最高齢は100歳を越えると報告した。

米国では、ギンダラを含む底魚の年齢査定マニュアルを作成し、ギンダラの耳石横断面に形成された年輪の判読方法について詳しく論じた(Anderi, 2012)。ギンダラのような長寿命魚の全生活史を通じた年齢査定には、耳石横断面を観察することが一般的となり、耳石表面を使った年齢査定法はほとんど使われなくなった。

耳石表面の年齢査定は、横断面年齢査定に比べ査定手順が簡単で、成長の早い若齢魚で明確な年輪が形成され、判読は容易であることが報告されている(Fujiwara, 1985)。

本章では、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラの耳石を使い、耳石表面と横断面からの査定年齢がどのように異なるのか、2方法の査定結果を比較し、耳石表面による査定年齢の限界について検討した。

1.2. 材料と方法

本研究で使った耳石は、1982年から1985年にかけて実施された日米共同底はえ縄調査で採集されたものである。調査は、毎年7月から9月にかけて行われた。調査海域は、Fig.2に示すように、北太平洋のアラスカ湾の5海区 (South Eastern、Yakutat、Kodiak、Chirikof、Shumagin)、アリューシャン列島海域の2海区 (east Aleutian Islands、west Aleutian Islands)、それにベーリング海の4海区 (Region I から Region IV) に分けて実施された。各海域で、雌雄それぞれ、尾又長 (FL: Fork length) 1 cm ごとに最大10個体分の右側の耳石 (扁平石 sagitta) が採集され、70%エチルアルコールを入れたサンプル瓶に保管された。

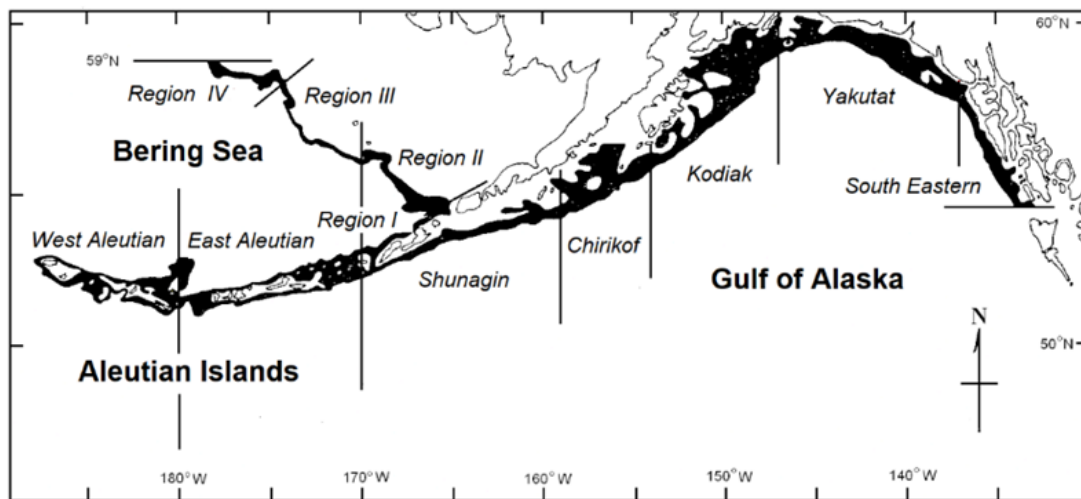


Fig. 2. Approximate sablefish collection area of northern Pacific Ocean is shown in darkened area indicating 100 and 1000 meter isobaths. This map is adopted from Sasaki (1985) and modified by author.

静岡にあった元遠洋水産研究所に保管された耳石標本を借り受け、東京大学海洋研究所の資源解析部門の実験室で、1985年から1988年にかけて年齢査定作業を行った。年齢査定は、雌雄別、1 cm刻みの体長別に10個ずつの耳石の入ったサンプル瓶から、5個の耳石を任意に抽出した。抽出した耳石は、Fig.3の耳石模式図にあるように、耳石の核から後端 (Posterior)部分の表面の年輪を読む「表面年齢査定法 (surface aging method)」と耳石の横断面

(Ventral 側の External から Internal 部分)を燃焼させて年輪を読む「切断燃焼横断面年齢査定法 (以後横断面年齢査定法とする) (section aging method)」の2方法を使って耳石の年齢査定を行った。耳石表面と横断面から査定された年齢をそれぞれ表面年齢 (surface age) 及び横断面年齢(section age)とした。「表面年齢査定法」と「横断面年齢査定法」の2つの年齢査定法は以下のようにして行った。

- a) 表面年齢査定法: 耳石は、70%エチルアルコールにつけ、数日後に年齢査定を行った。耳石を黒の背景の上に、水を入れたシャーレに置き、反射光を当て、倍率 14 倍から 60 倍の実体顕微鏡で後部表面の年輪を数えた (Maeda & Hankin, 1983)。表面法では、容易に判読可能な年輪の数のみ記録した。判読可能な部分に続く縁辺部にできる透明帯が広い場合は、その透明帯に年齢 α がある可能性あるとして、記録帳に付記した。

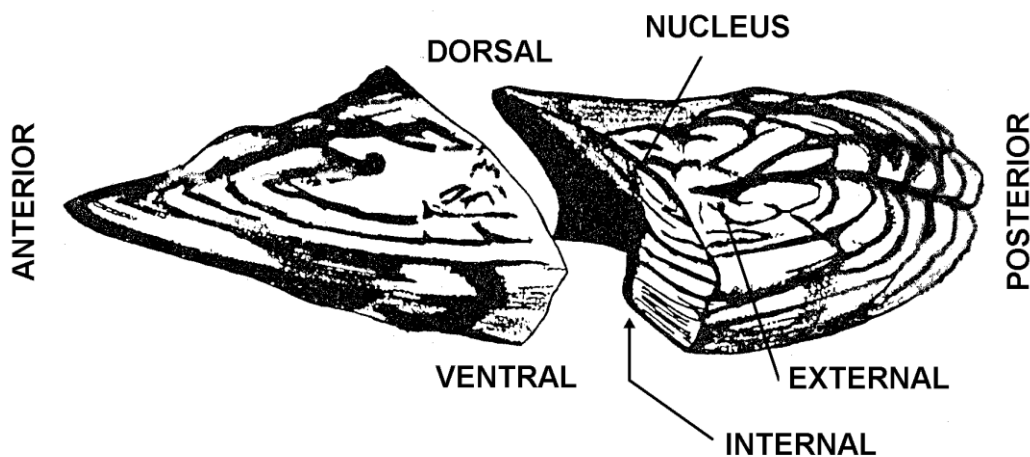


Fig. 3. Typical right side of otolith of sablefish showing structure and position used in age determination and measurements. Section annuli are counted in the interior ventral portion. This picture is adopted from Fujiwara (1985).

- b) 横断面年齢査定法: 切断・燃焼耳石を基にした年齢査定法は、カナダのバンクーバー島のナナエモにあるカナダ水産海洋省(Fisheries and Oceans Canada)の Pacific Biological

Station で使われている方法に準じた(Beamish & Chilton, 1982)。著者は、Pacific Biological Station の Aging Laboratory の Doris Chilton 室長 (当時) から横断面年齢査定方法の指導を受けた。まず、耳石の中心で折り、横断面をアルコールランプの火で焼いた。焼面を上向きに工作用粘土上に垂直に固定し、焼面に植物油を塗った後、反射光を使い、倍率 14 倍から 60 倍の実体顕微鏡で査定を行った。

1.3. 結果

Table 1 に、雌雄別・海域別・年別に年齢査定数(N)、尾又長範囲(FL Range)、最小と最大の表面年齢と横断面年齢を示す。Table 1 が示すように、合計 14666 個体分の年齢査定を行った結果、横断面年齢は、雌で 1-56 歳、雄で 1-52 歳の範囲であった。表面年齢は、雌で 1-19 歳、雄で 1-16 歳の範囲であった。最大横断面年齢は、表面年齢より高齢に査定された。

Table 1. Sample size(N), range of fork length (FL) in cm, range of section and surface age of sablefish by sex, using otoliths collected through US-Japan joint bottom longline survey in Gulf of Alaska, Aleutian Islands, and Bering Sea in northern Pacific Ocean from 1982 through 1985.

Area	Year	Female				Male			
		N	FL Range(cm)	Section	Surface	N	FL Range(cm)	Section	Surface
Gulf of Alaska	1982	1195	40-106	2-55	2-18	875	38-88	1-49	1-11
	1983	1152	39-99	2-51	2-17	836	40-82	1-46	1-11
	1984	942	43-99	3-42	2-12	738	41-80	2-32	2-11
	1985	1157	41-101	2-40	2-19	869	40-84	2-46	2-16
Aleutian Islands	1982	378	46-101	2-53	2-11	273	45-88	3-50	2-13
	1983	410	43-105	2-52	2-14	287	37-81	2-50	2-11
	1984	418	44-99	2-50	2-16	291	43-79	2-52	2-10
	1985	423	44-107	2-56	2-10	292	45-77	2-47	2-9
Bering Sea	1982	439	43-106	2-43	2-10	360	45-78	2-45	2-12
	1983	641	38-105	1-48	2-10	505	37-75	1-40	1-11
	1984	600	44-99	2-48	2-11	457	44-85	2-40	2-10
	1985	619	40-92	2-54	1-13	509	43-80	2-39	2-10
Total		8374	38-107	1-56	1-19	6292	37-88	1-52	1-16

1.3.1 表面年齢と横断面年齢の差

表面年齢と横断面年齢による査定年齢の差は、年によって大きな違いがなく、Fig. 4 に一例として 1984 年のアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海における横断面年齢と

表面年齢の差と横断面年齢の関係を示す。3 海域を含め、ほぼ雌雄ともに、横断面年齢の増加に伴い、年齢差は大きくなった。

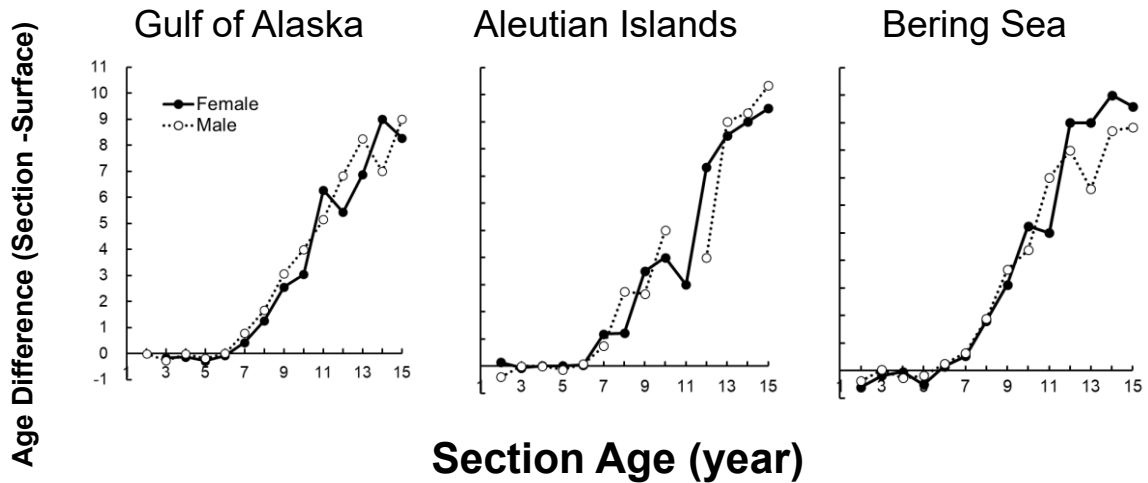


Fig. 4. An Example of Age difference (section age – surface age) along section age from Gulf of Alaska (left), Aleutian Islands (middle), and Bering Sea (right) in 1984.

1.3.2. 表面年齢と横断面年齢の年齢組成

表面年齢と横断面年齢による年齢組成は、査定年齢の差同様、年によって大きな違いはなく、Fig.5 に、一例として 1984 年の 3 海域の表面年齢と横断面年齢に対する年齢組成を示す。表面年齢では 5-6 歳が組成のピークとなり、横断面年齢組成では 4-5 歳がピークとなっていた。1984 年の表面年齢では、10 歳以上の出現数は少なかった。ベーリング海では、表面年齢組成に示したように、横断面年齢組成においても 10 歳以上の個体数が少なかった。アリューシャン列島海域の横断面年齢組成は、10 歳以上の高齢魚の割合が多かった。アラスカ湾の横断面年齢組成は、ベーリング海とアリューシャン列島海域の中間的な組成割合となっていた。

1.3.3. 二方法の年齢の一致と差

表面年齢と横断面年齢の差が ± 1 歳の範囲に入る場合、ここでは 2 方法による査定年齢が一致すると定義する。Table 2 に、雌雄別・年別・海域別に査定年齢が一致する割合(%)とそ

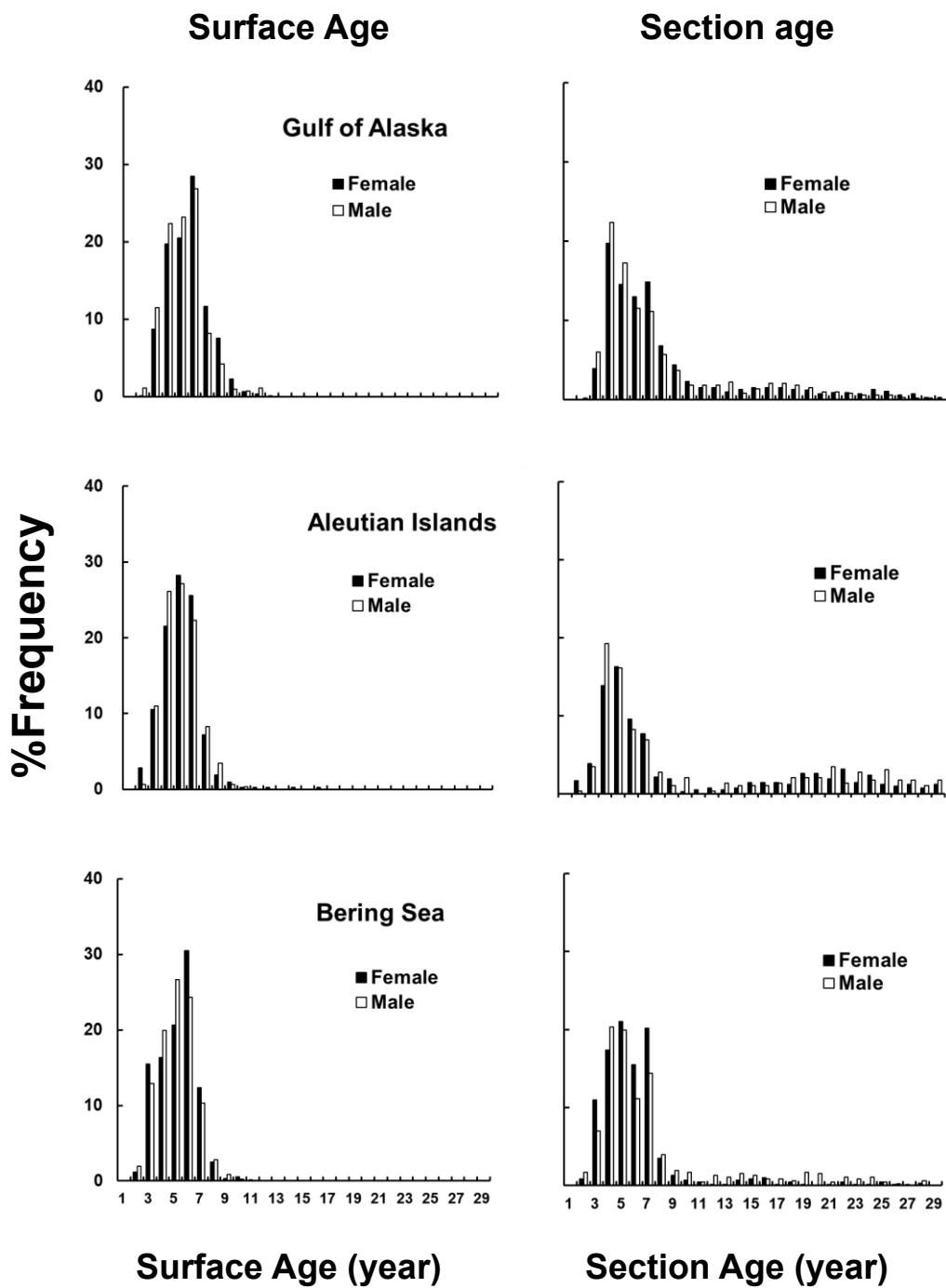


Fig. 5. An Example of Age composition based on surface age (left) and section age (right) from Gulf of Alaska (upper), Aleutian Islands (middle), and Bering Sea (lower) in 1984.

Table 2. Percent of agreement between surface age and section age within -1 and 1 years, using otolith collected in Gulf of Alaska (GOA), Aleutian Islands (AI), and Bering Sea from 1982 to 1985. Number of individuals is shown in the parenthesis.

Year	Female			Male		
	GOA	AI	BS	GOA	AI	BS
1982	53.1 (635)	34.9 (132)	72.4 (318)	57.7 (445)	34.4 (100)	70.3 (212)
1983	57.3 (660)	45.6 (187)	78.3 (502)	63.0 (500)	43.6 (129)	75.4 (362)
1984	64.1 (604)	49.0 (205)	77.3 (464)	63.4 (454)	48.5 (140)	69.0 (292)
1985	52.5 (608)	41.1 (174)	69.5 (430)	51.4 (455)	38.4 (131)	61.1 (303)
Total	56.4 (2507)	42.8 (698)	74.6 (1714)	55.9 (1854)	43.7 (500)	63.8 (1169)

の個体数を示す。Table 2 によると、雌雄ともベーリング海で一致割合が高く、それぞれ 75% と 64%となっていた。アラスカ湾、そしてアリューシャン列島と、一致率は小さくなった。アリューシャン列島で、雌は 43%、雄は 44%の一致割合であった。

横断面年齢に対する海域別・雌雄別に、1982 年から 1985 年の平均年齢一致割合を Fig. 6 に示す。アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の 3 海域の雌雄とも、2 つの年齢査定法で査定された年齢は、横断面年齢 6 歳までほぼ 100%一致していた。以後、7 歳から 12-13 歳にかけて急激に一致割合は減少した。6 歳以後、横断面年齢が表面年齢より大きく査定された。

年齢 6 歳まで一致する標本の表面年齢に対する平均尾又長及び横断面年齢に対する平均尾又長を Fig. 7 に図示する。3 海域の雌雄それぞれ、ほぼ同じような成長を示した。

本研究で、査定した耳石数を Table 1 に示した通り、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の 4 年間の合計査定数は、雌では 8374 個体、雄では 6292 個体であった。2 つの年齢査定法で査定された合計査定数の 6 歳までの積算年齢割合は、雌で 52%(4328 個体)、雄では 55%(3436 個体)となった。

1.4 考察

本研究では、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海で採集されたギンダラの耳石を用いて、表面年齢査定法と横断面年齢査定法の 2 つの方法で年齢を査定した。既に Beamish & Chiton (1982)は、標識放流結果とテトラサイクリン法を使い横断面の年齢を検証

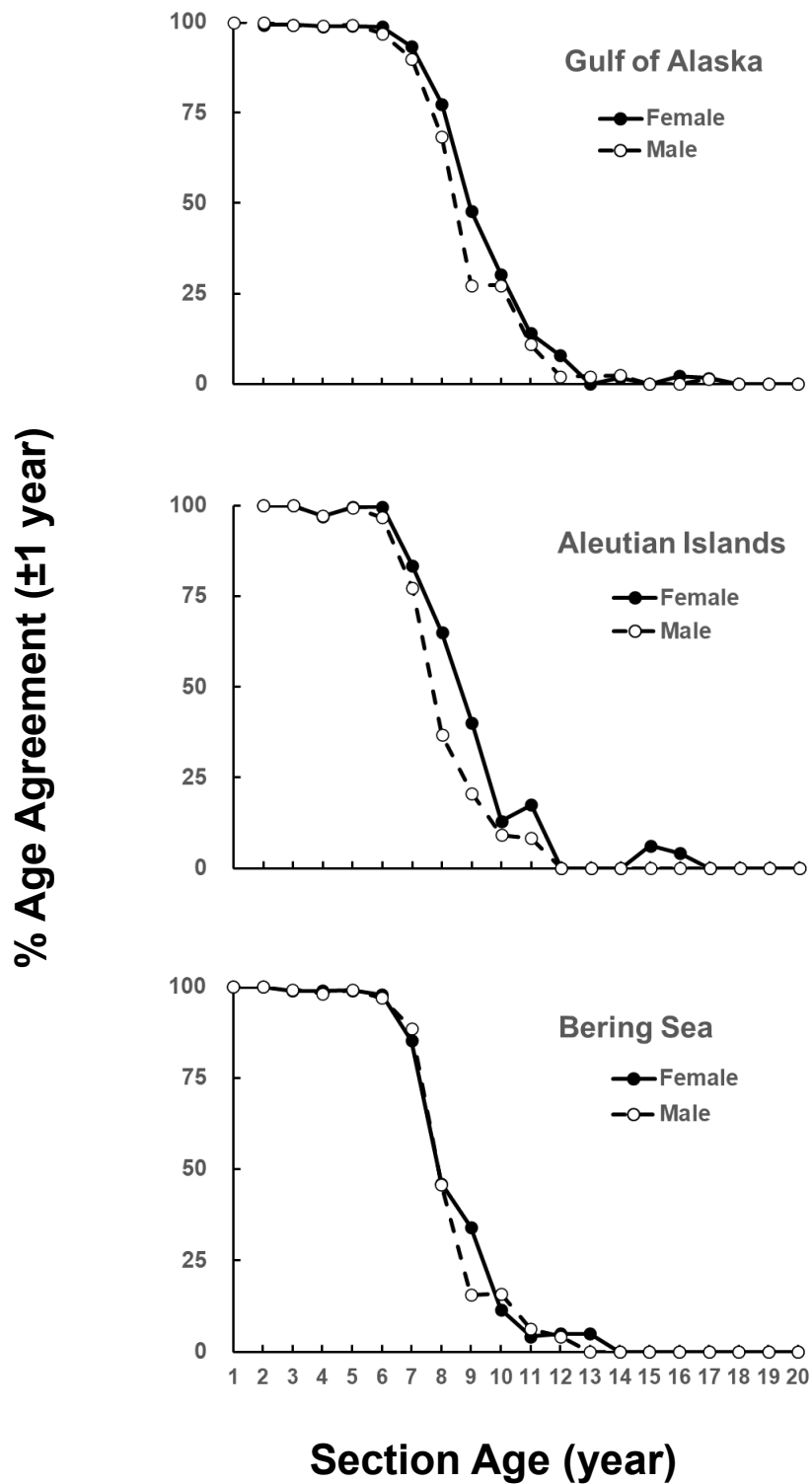


Fig. 6. Average percent of agreement between surface age and section age within -1 and 1 years at section age, using otolith collected in Gulf of Alaska (upper), Aleutian Islands (middle), and Bering Sea (lower) from 1982 to 1985.

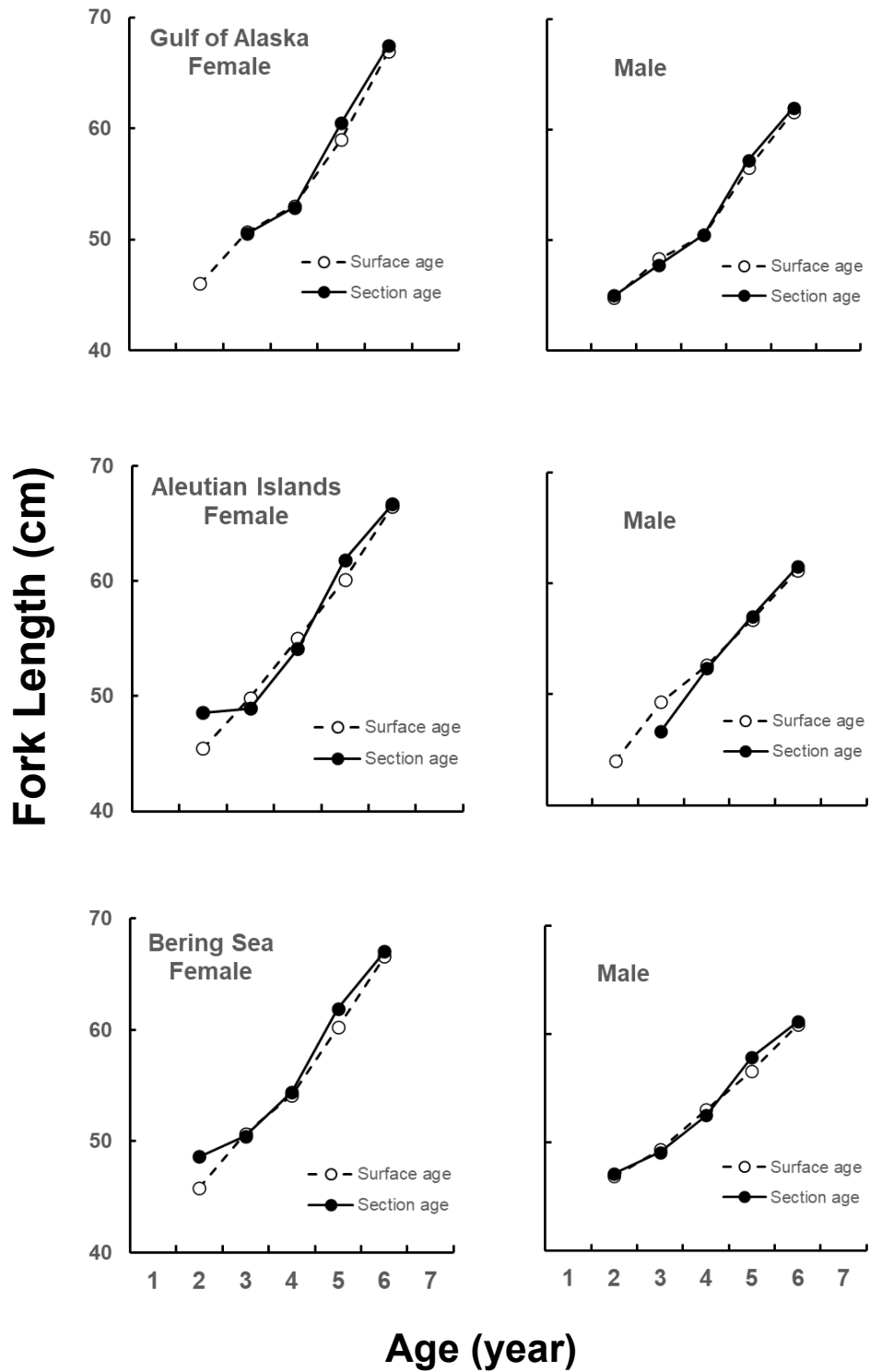


Fig. 7. An Example of comparison between surface age -fork length and section age and fork length relationships for female (left) and male (right) from Gulf of Alaska (upper), Aleutian Islands (middle), and Bering Sea (lower) in 1984.

した。さらに Kastle et al. (1994) は、耳石に含まれるラジウム (Ra-226) に対する鉛 (Pb-10) の比率を測定する放射線同位元素の放射測定 (Radiometric)法によって、ギンダラは長寿命魚であることを検証した。これらの研究によって、ギンダラは、耳石横断面による年齢査定法を使って年齢を査定することが一般的となった。米国におけるギンダラの年齢査定は横断面を観察することが基本となっている (Anderi, 2012)。米国の地域漁業管理委員会では、横断面年齢を使い資源評価をしている (Haltuch et al., 2019; Hanselman et al., 2019)。

本章では、2 つの方法で査定した年齢を比較し、ギンダラ耳石の表面年齢査定法の限界について検討した。表面年齢査定法は、横断面年齢査定法に比べて容易である。6 歳までの若齢魚に対して、2 方法による査定年齢がほぼ一致した。またそれぞれの年齢に対する成長もほぼ同じような成長を示した。また 6 歳以下の積算年齢組成割合は、雌雄ともに 50%を越えた。これらを考慮すると、ギンダラ的生活史全体を通じた年齢査定には誤差を伴うが、未成熟の若齢魚に対して表面年齢査定法を使うことは、有効であると言える。

第2章 アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラ耳石の 2つの年齢査定法による査定年齢差と耳石成長

2.1 緒言

前章では、1982年から1985年の4年間の日米共同底はえ縄調査で収集された、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のアラスカ海域におけるギンダラの耳石を使い、表面と横断面における年齢査定を行った。6歳を越える頃から、耳石横断面年齢に伴い、査定年齢が大きくなることが明らかになった。本章では、耳石半径と耳石厚の計測値を用いて、2方法の査定年齢の差の要因を検討した。

2.2 材料と方法

年齢査定に使った耳石標本、また耳石表面年齢査定法と耳石横断面年齢査定法については、第1章を参照。

耳石計測値として、耳石半径(Otolith radius)と耳石厚(Otolith thickness)について計測した。耳石核(nuclear)から後端(Posterior)部の最外縁辺部の計測値を耳石半径とした。耳石厚は、耳石を核の部分で切断し、耳石溝の腹側(Ventral)側の最縁辺部で一番厚い部分を計測した(Fig. 3)。計測は、実体顕微鏡の下で、計測倍率を14倍に固定し、接眼マイクロメーターで計測し、O.U. (Ocular Unit)で記録した。

手順として、まず耳石半径を計測し、耳石表面の年齢査定を行った。その後、耳石中心部を通る面で半分に折った後、横断面が見えるように工作用粘土上に垂直に立てて固定し、耳石厚を計測した。最後に、横断面の年輪査定を行った。

2.3 結果

本研究で使った雌雄別・海域別・年別に2方法で査定したギンダラ耳石数は、合計14666個体分であった。年齢査定数(N)、尾又長範囲(FL Range)、表面年齢(Surface age)と横断面年

齡(Section age) の最小と最大年齢は、Table 1 に示した通りである。

2.3.1. 年齢差

前章で、3つの海域別、雌雄別に横断面年齢と表面年齢の差はほぼ同様の傾向を示すことを報告し、Fig. 4 に 1984 年の年齢差の例を示した。6 歳までは 2 つの査定年齢の結果はほぼ一致したが、それ以後、査定年齢の差は横断面年齢の増加に伴い増加した。

2.3.2. 横断面年齢と尾又長の関係

ギンダラの横断面年齢と尾又長の関係を、海域ごとに年別・雌雄別に分けて Fig. 8 から Fig. 10 に図示する。Fig. 8 はアラスカ湾、Fig. 9 はアリューシャン列島、Fig. 10 はベーリング海における関係を示す。アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の 3 海域のギンダラの成長は、5 歳から 6 歳くらいまでは急速に成長し、10 歳ころ、雌は 80 cm FL 前後、雄は 65-70 cm FL から成長は鈍化していった。雌雄とも、10 歳以後の、大きな体長幅を持っていた。

2.3.3. 耳石計測値と尾又長の関係

Fig. 11 にアラスカ湾、Fig. 12 にアリューシャン列島、Fig. 13 にベーリング海の、1982 年から 1985 年の年別・雌雄別の尾又長と耳石半径の関係を示す。雌雄とも、海域によらず、経年的にも体長に対する耳石半径には大きな幅があり、体長の増加にともない直線的に成長していた。

ギンダラの尾又長－耳石厚の関係を、海域別に年別・雌雄別に分けて Fig. 14 から Fig. 16 に示す。体長に対する耳石半径の成長と異なり、雌で 75-85 cm FL、雄で 65-75 cm FL で耳石厚は増加し、指数関数的な成長であった。雌では 80 cm FL 前後から、雄は 65-70 cm FL 前後で成長は鈍化する一方、耳石厚は厚みを増していた。

2.3.4. 平均耳石計測値と横断面年齢の関係

Fig. 17 に、海域別、年別、雌雄別に平均耳石半径と横断面年齢の関係を示す。5 歳から 6 歳頃まで、急速に半径方向に成長するが、7 歳以降、成長は遅くなりった。耳石半径方向の成長は、Fig. 8 から Fig. 10 に示す年齢－体長関係に似た成長をし、全体的に、雌の耳石半径

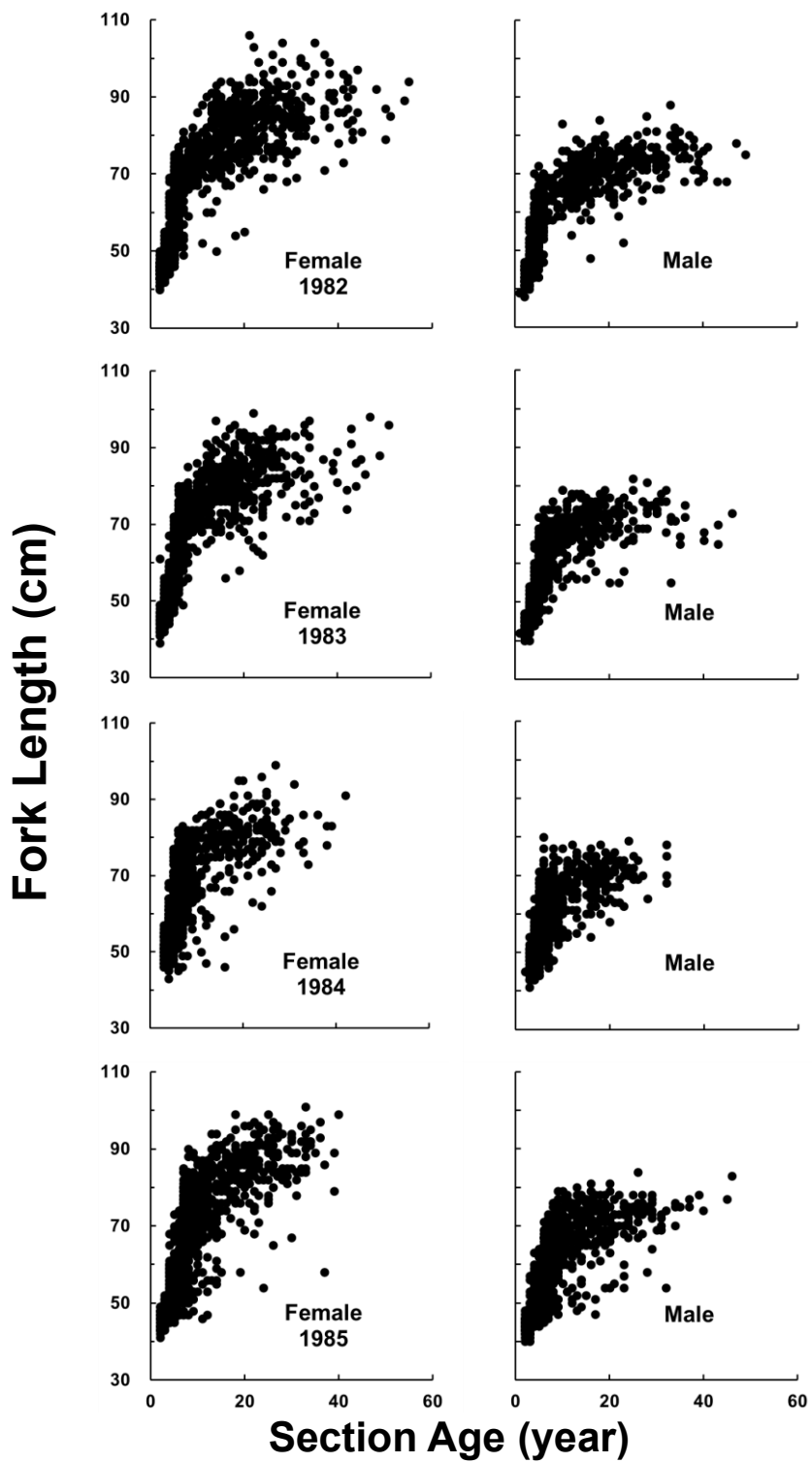


Fig. 8. Fork length-section age relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Gulf of Alaska from 1982(top) to 1985(bottom).

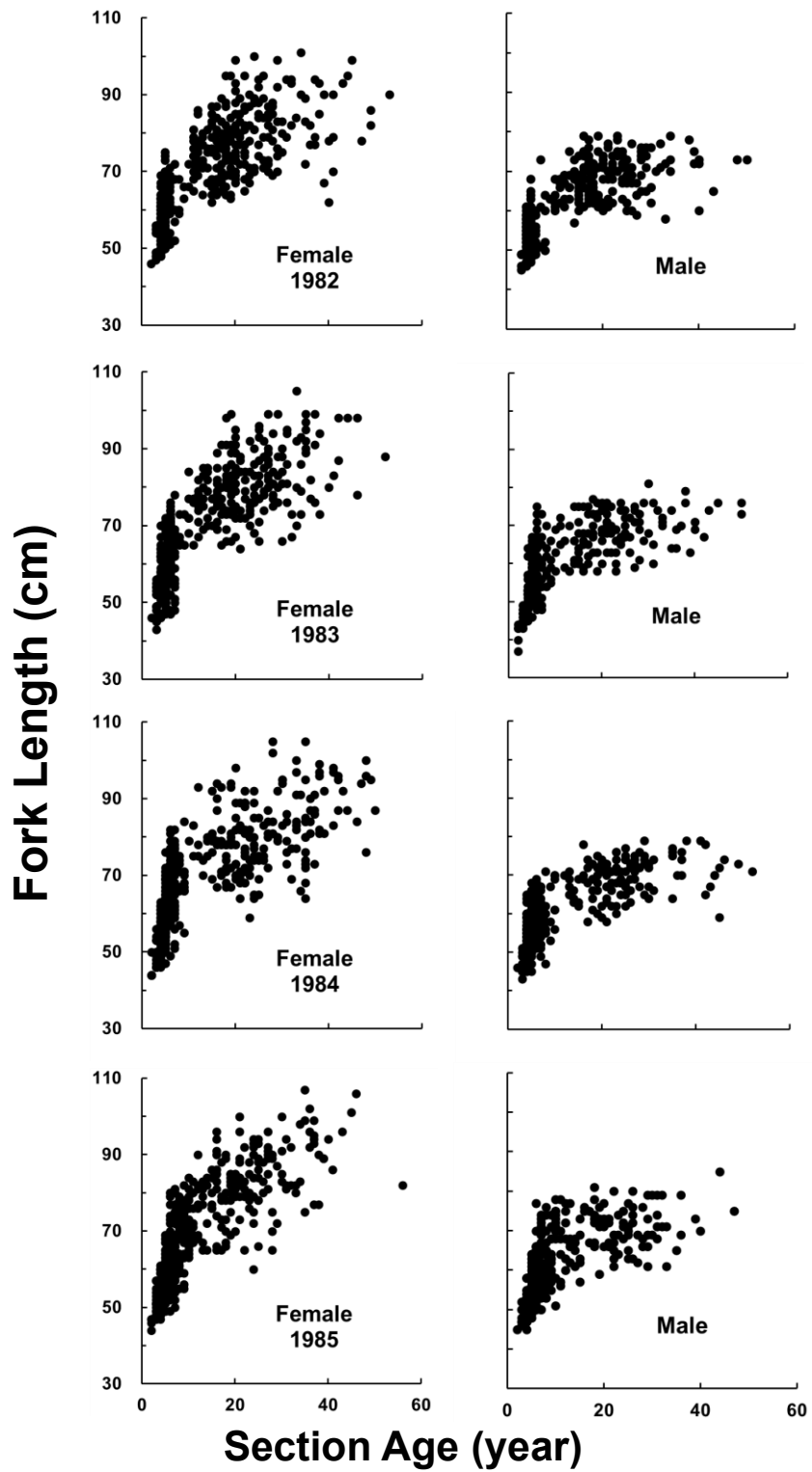


Fig. 9. Fork length-section age relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Aleutian Islands from 1982(top) to 1985(bottom).

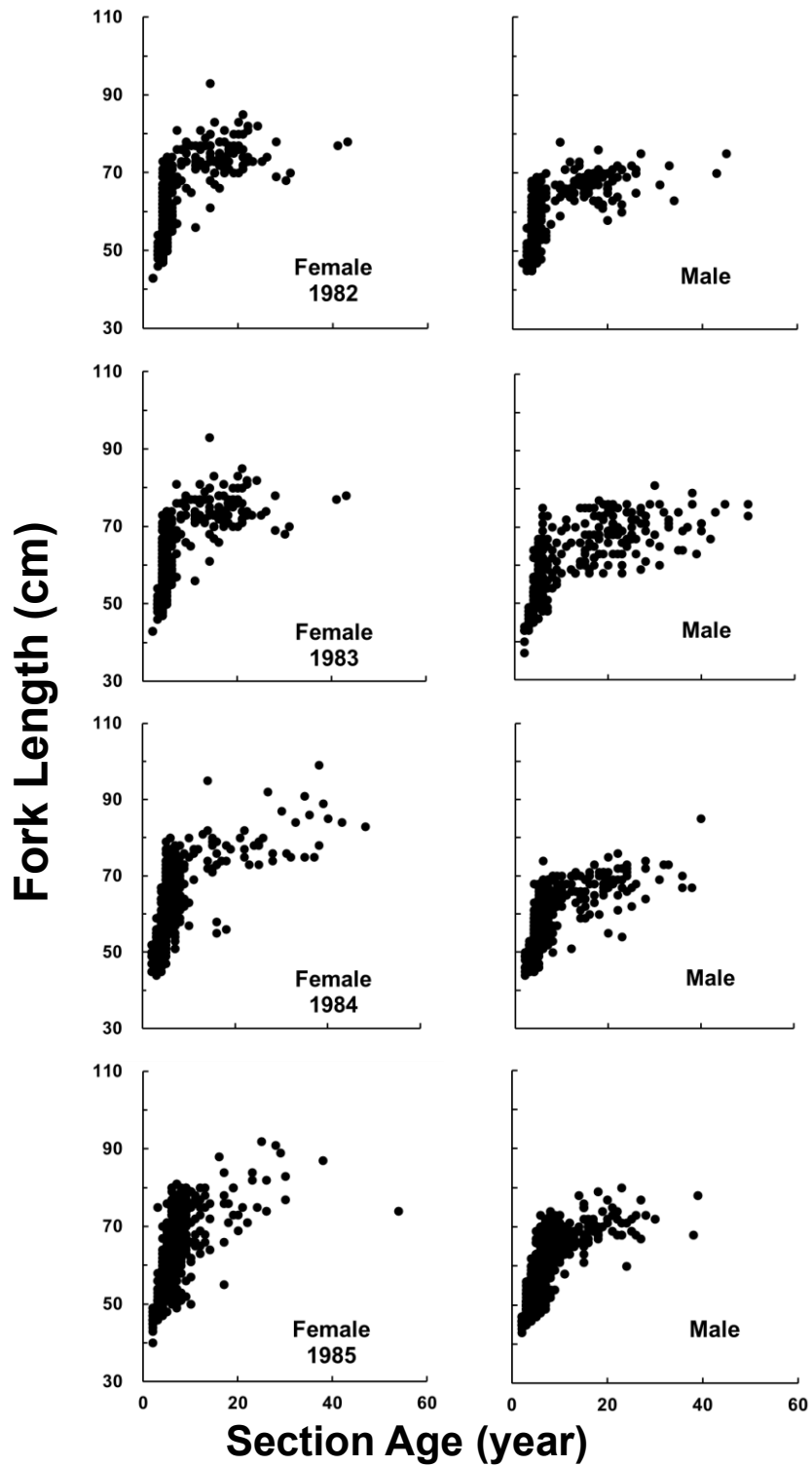


Fig. 10. Fork length-section age relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Bering Sea from 1982(top) to 1985(bottom).

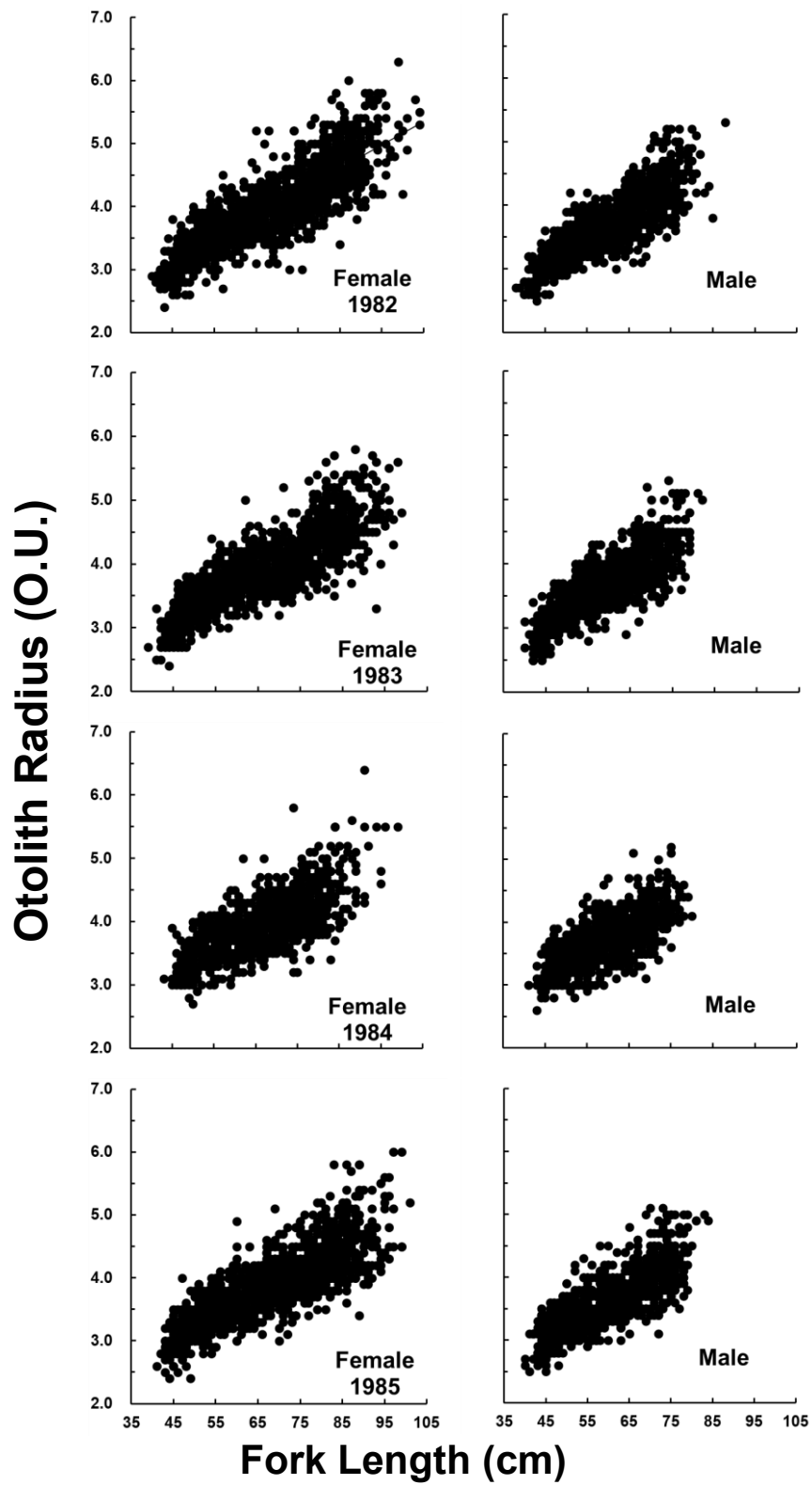


Fig. 11. Otolith radius-Fork length relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Gulf of Alaska from 1982 (top) to 1985(bottom).

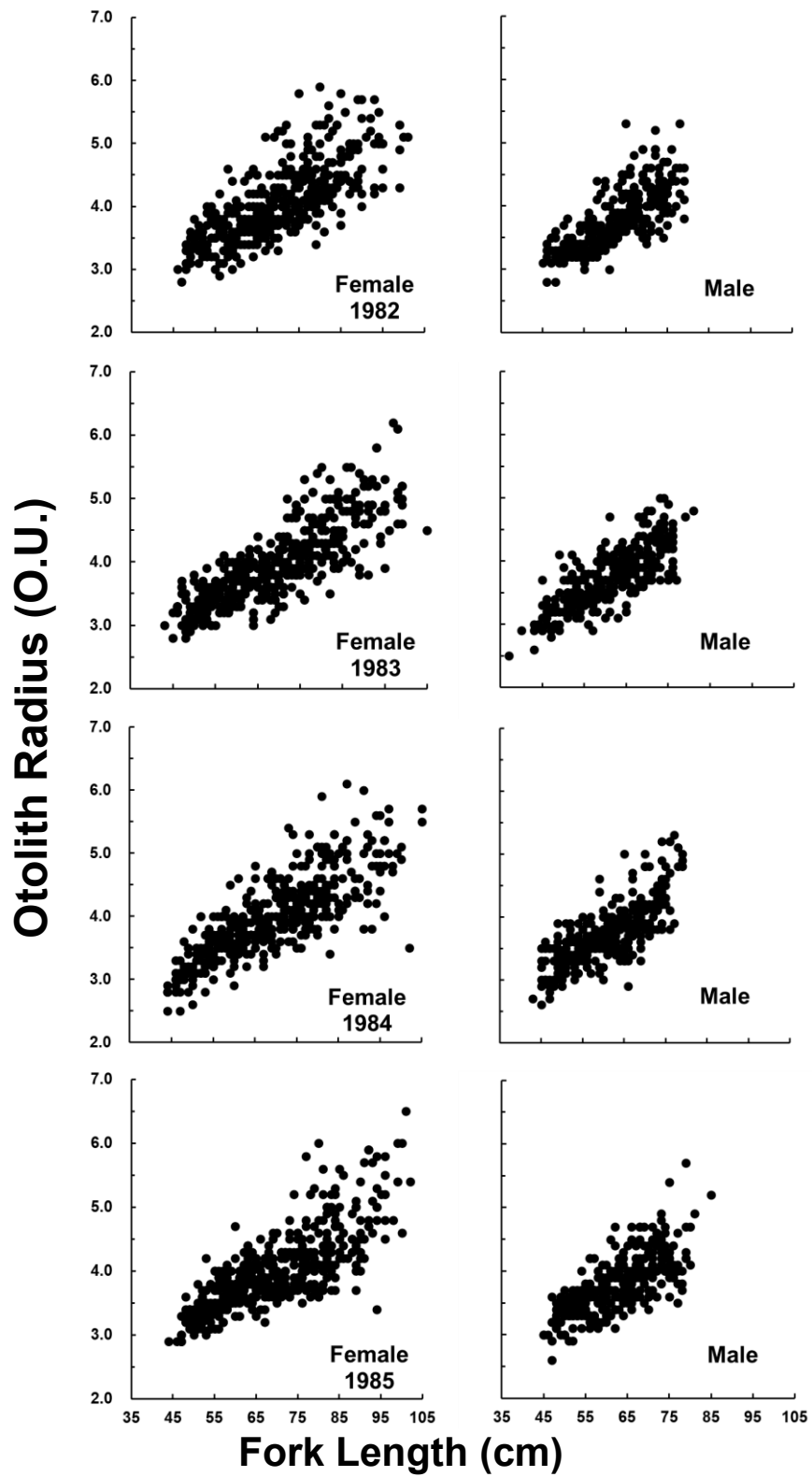


Fig. 12. Otolith radius-Fork length relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Gulf of Aleutian Islands from 1982(top) to 1985(bottom).

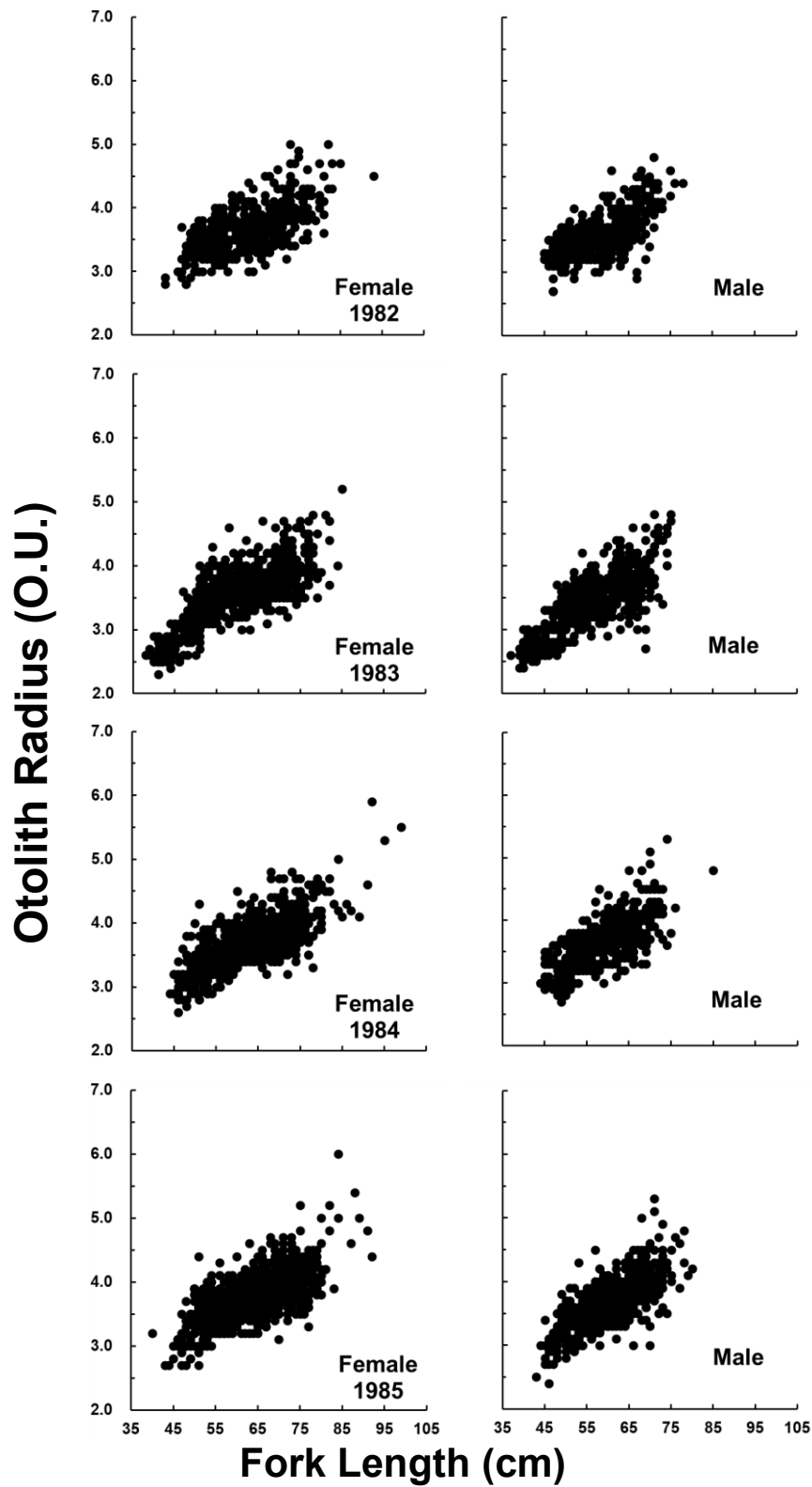


Fig. 13. Otolith radius-Fork length relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Being Sea from 1982(top) to 1985(bottom).

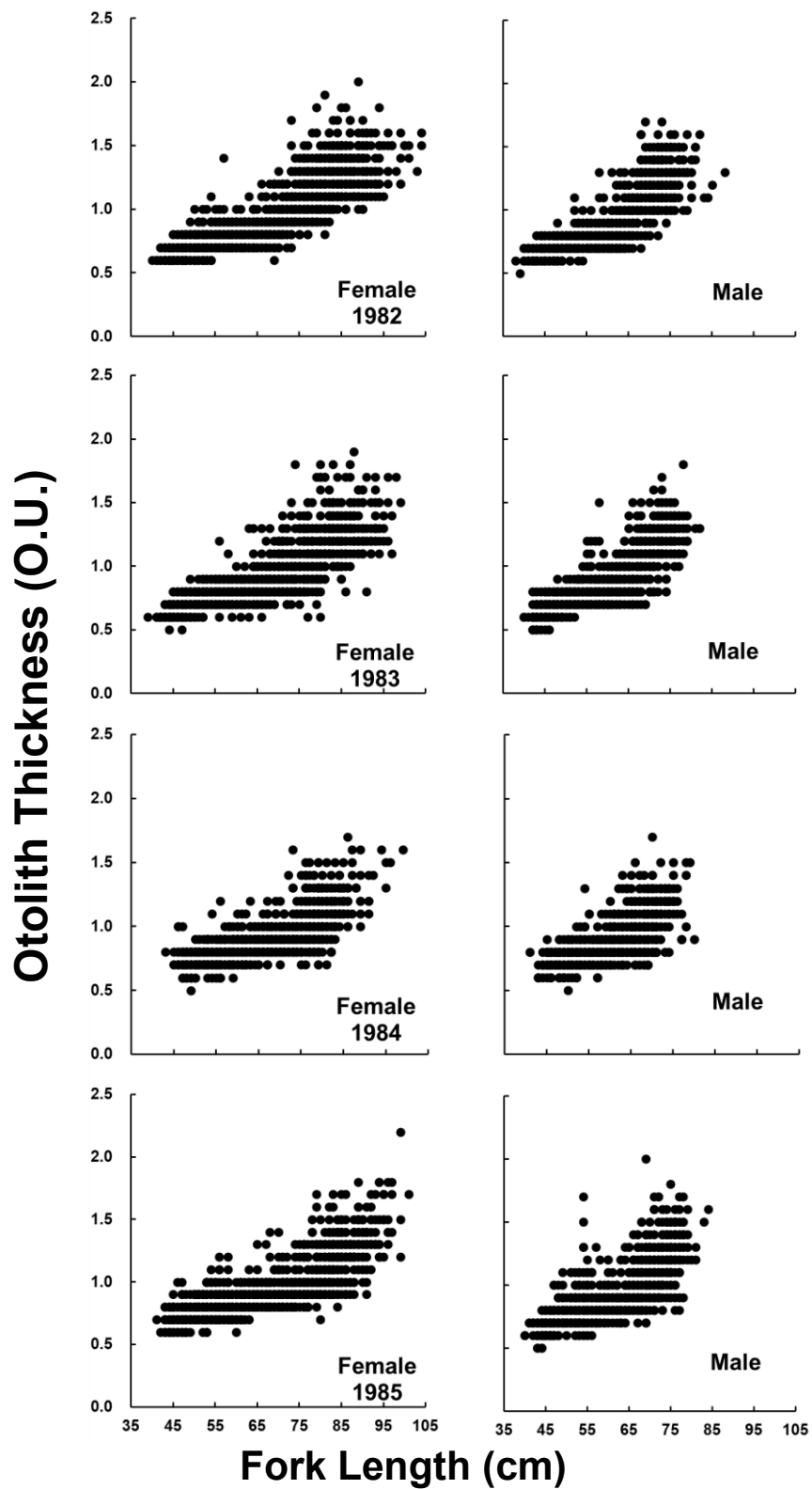


Fig. 14. Otolith thickness-Fork length relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Gulf of Alaska from 1982(top) to 1985(bottom).

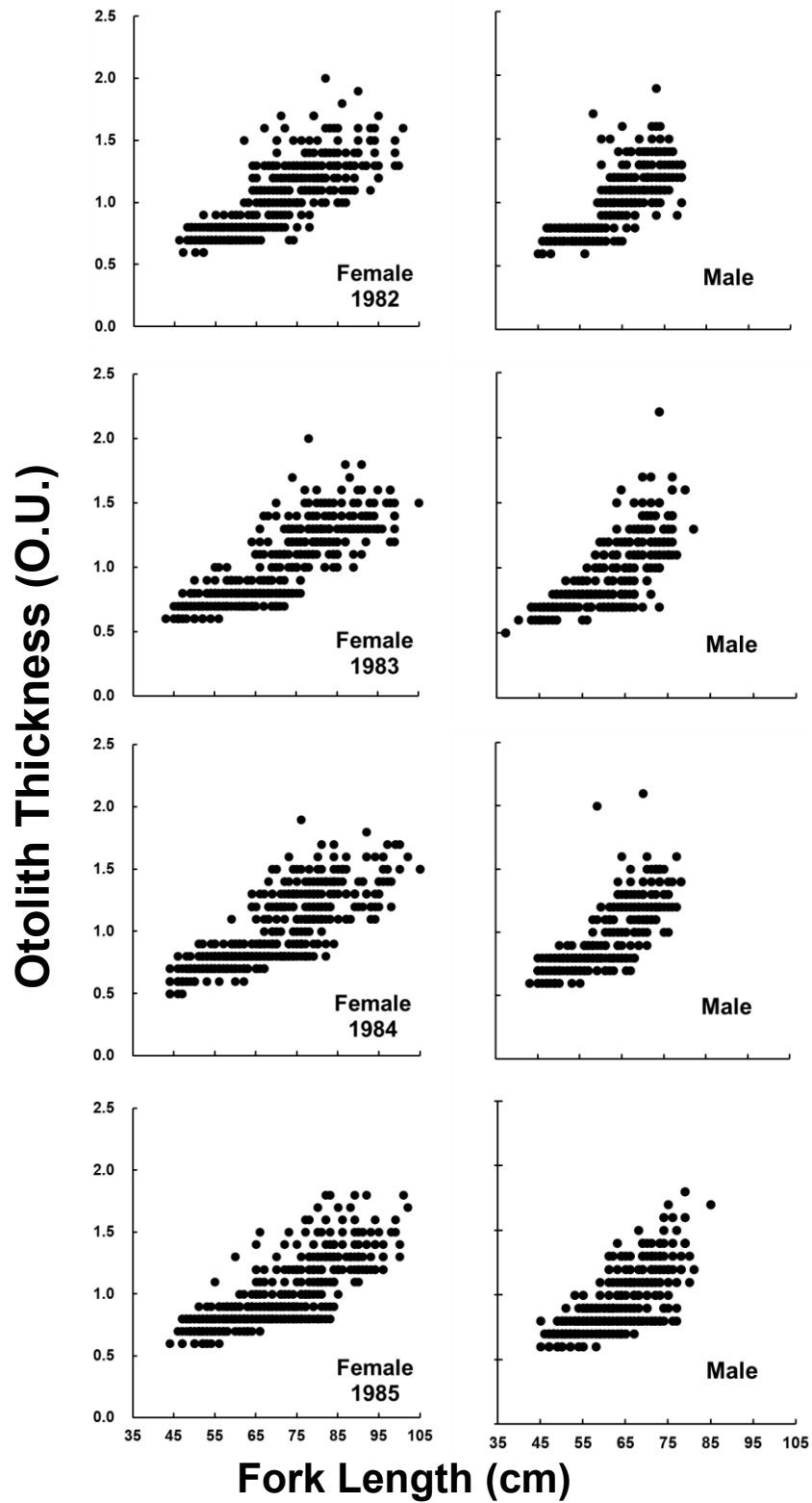


Fig. 15. Otolith thickness-Fork length relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Aleutian Islands from 1982(top) to 1985(bottom).

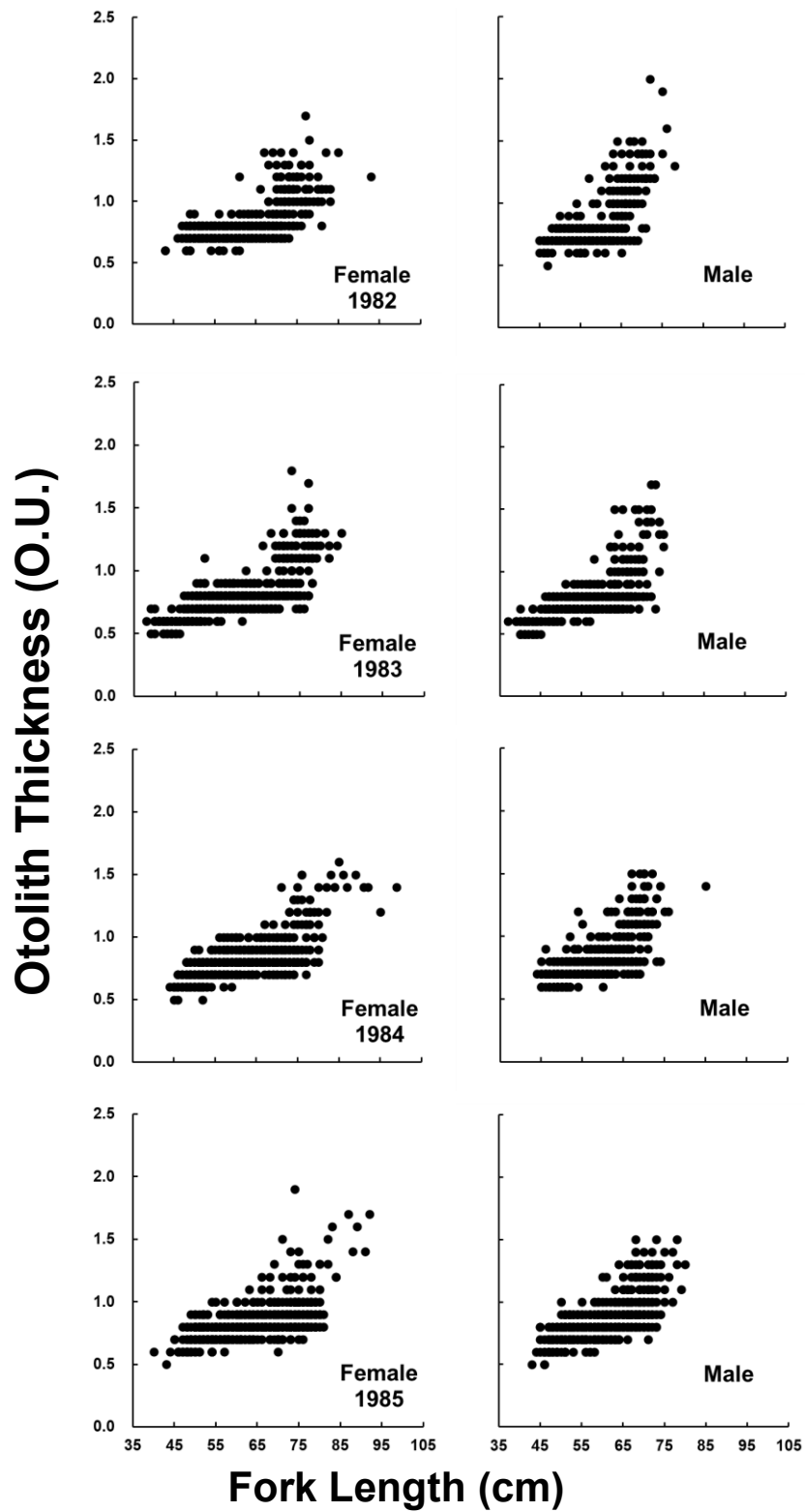


Fig. 16. Otolith thickness-Fork length relationships for female (left) and male (right) of sablefish, sample collected in Being Sea from 1982(top) to 1985(bottom).

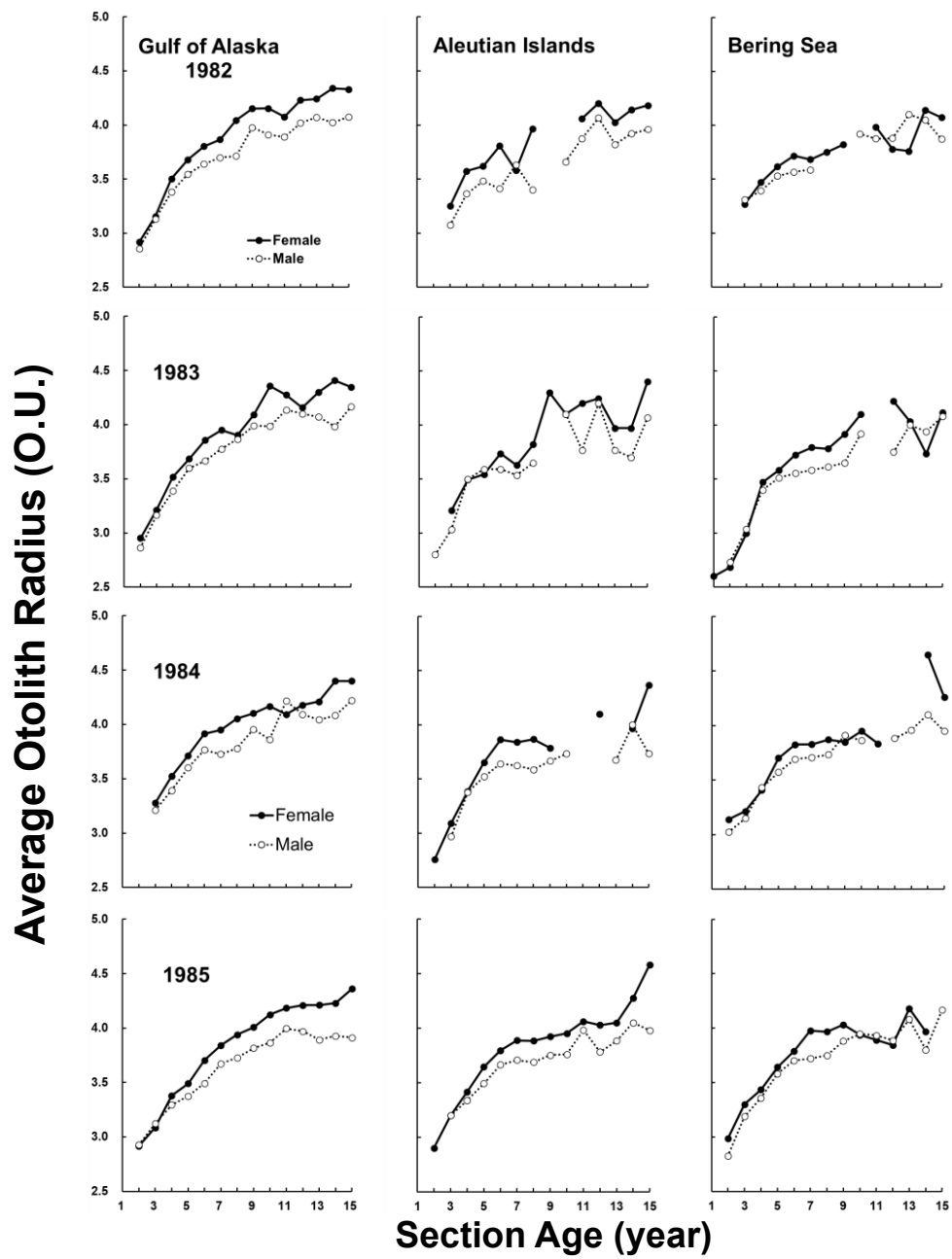


Fig. 17. Mean otolith radius and section age relationship for female and male sablefish, using otolith collected in Gulf of Alaska (left), Aleutian Islands (middle), and Bering Sea (right) in northern Pacific Ocean from 1982(top) to 1985(bottom).

方向の成長は、雄に比較し大きかった。

平均耳石半径と横断面年齢の関係同様に、Fig. 18 に年別、雌雄別に平均耳石厚と横断面年齢の関係を図示する。耳石厚は、標本採集年や海域によって変動はあるが、雌雄ともにはほぼ直線的な成長を示した。年齢 8-9 歳以降、平均耳石厚の変動は大きく、雄の耳石厚は雌に比べて厚くなっていった。

2.4. 考察

アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のギンダラ耳石の横断面年齢と表面年齢の差は、6 歳以後横断面年齢の増加に伴い、表面年齢との差は大きくなっていった。

1982 年から 1985 年の 3 海域からのサンプルから言えることは、横断面年齢 5-6 歳頃まで尾又長の成長は早いく、以後徐々に成長は鈍化していった (Figs. 8-10)。これまで報告されているギンダラの成長パターンと近似していた (Beamish & Chilton, 1982; Sigler et al., 1997; Head et al., 2014)。

耳石半径-尾又長は、直線関係を示す (Figs. 11-13)。Fig.17 に示すように、耳石半径方向の成長は、尾又長同様に 5-6 歳ごろから鈍化した。そのため、耳石半径方向への成長の鈍化は、表面年齢を査定する後端部外縁の年輪の判別を難した。一方耳石厚は、体成長の鈍化に関係なく、年齢の増加に従いほぼ直線的な成長をした (Fig. 18)。ギンダラの 2 つの年齢査定法による査定年齢の差は、耳石半径と耳石厚の成長の違いから生まれたと考えられる。

ギンダラの 2 つの年齢査定法による査定年齢の差は、アラスカ湾、ベーリング海、アリューシャン列島だけでなく、北カリフォルニアのギンダラにおいても同様の報告がある (Fujiwara & Hankin, 1988a)。ギンダラの耳石表面年齢査定法と横断面年齢査定法による査定年齢の差は、広い海域で共通している。

Beamish (1979) は、Pacific hake (*Merluccius productus*) について、表面年齢と横断面年齢の差について、耳石長軸方向と耳石厚の成長の違いから生じていると報告している。Mugiya (1974) は、ニジマス (*Salmo gairdnerii irideus*) の、Irie (1960) はシログチ (*Argyrosomus argentatus*) やス

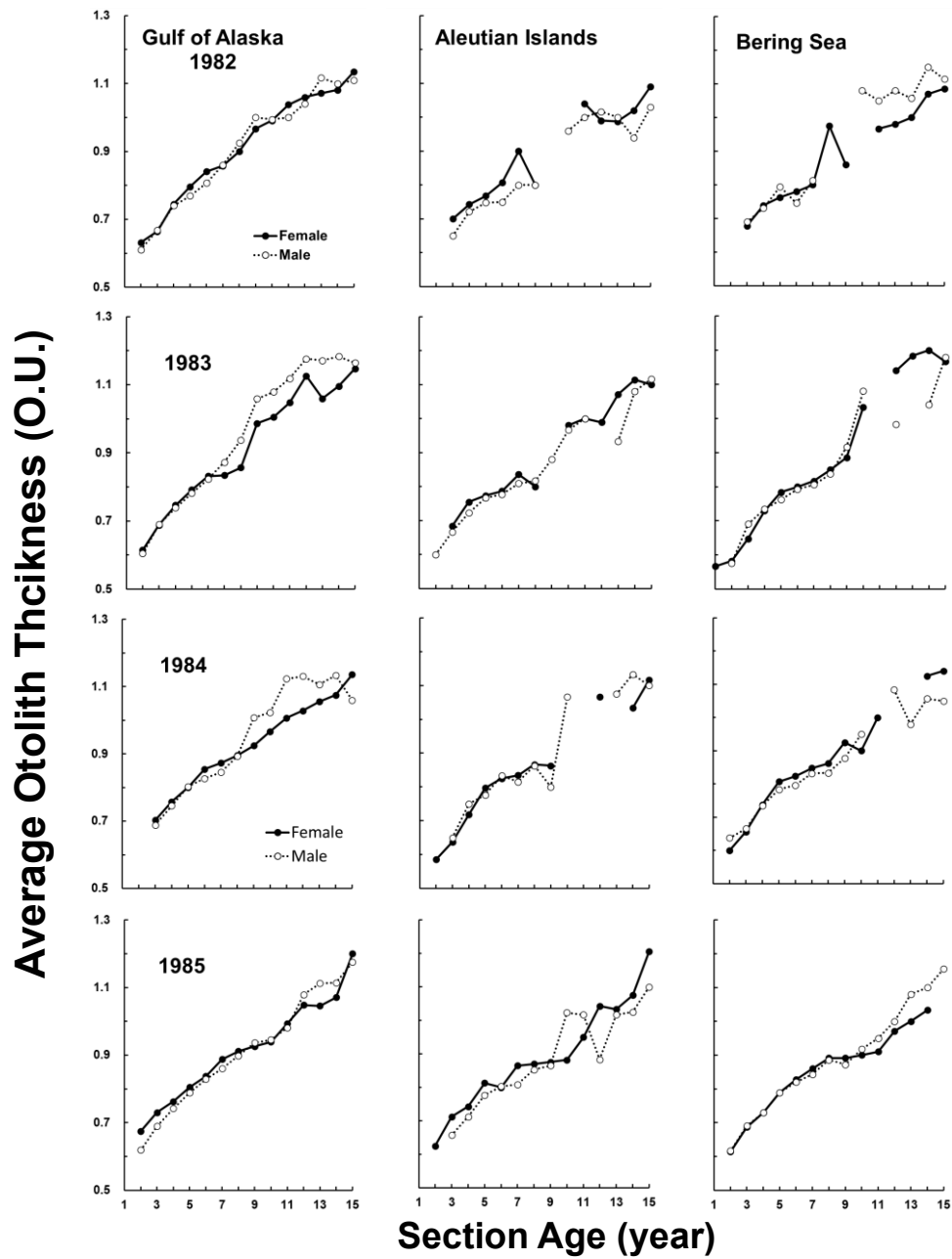


Fig. 18. Mean otolith thickness and section age relationship for female and male sablefish, using otolith collected in Gulf of Alaska (left), Aleutian Islands (middle), and Bering Sea (right) in northern Pacific Ocean from 1982(top) to 1985(bottom).

ズキ (*Lateolabrax japonicus*)の耳石成長について、耳石半径方向への成長は鈍化することを報告している。

このように耳石の成長の違いは、ギンダラのみならずその他の魚種についても、同様の報告がある。

年齢の検証や年齢査定を行うには、観察している輪紋が正しく周期的に現れているという検証(Validation)や査定された年齢の精度(Precision)について検討しなければならない(Beamish & Fournier, 1981; Beamish & McFarlane, 1983b; Campana, 2001)。本研究では、判読した輪紋が1年周期で形成される直接的な検証は出来なかった。耳石成長の観点からみると、生活史全体の年齢を査定するには、横断面による査定法は有効である。

ギンダラの2つの査定法による年齢差は大きくなるのは7歳以後である。Mason et al. (1983)は、カナダ水域のギンダラの50%成熟年齢を5歳前後と推定している。これらの結果から、体成長の減速は、性成熟の影響が考えられる。今後、2つの査定法による年齢差は、性成熟を含めて検討する必要がある。

第3章 北カリフォルニアのギンダラの査定年齢差への深度及び成熟の影響

3.1. 緒言

アラスカ湾、アリューシャン列島、及びベーリング海の底はえ縄によって漁獲されたギンダラの耳石を使った2つの年齢査定法（表面査定法と横断面年齢査定法）により査定された年齢の差そしてその要因について第1章と第2章で報告をした。6歳を越えると年齢差が大きくなる要因として、性成熟が耳石成長に影響を及ぼすことが示唆された。また、ギンダラは、年齢の増加とともに浅海から沖合の深所への移動が報告されている（Alverson, 1960; Beamish & McFarlane, 1983a; Umeda et al., 1983; Methot, 1994）。

本章では、北カリフォルニアのギンダラについて、成熟や深度情報を併せて、査定年齢の差の要因を検討した。

3.2. 材料と方法

3.2.1. 標本採集

北カリフォルニアのユーリカを母港とする、ギンダラを含む底魚を対象とする底曳トロール漁船に乗船し、データ収集を行った。魚探によって魚群を探索し、反射強度の強い海域で操業が行われた。北カリフォルニアのユーリカ沖合、39°50'-41°30' N の水域で操業が行われた（Fig. 19）。底引きトロールの操業毎の平均水深と位置を記録した。漁獲されたギンダラはデッキ上で、操業毎に系統抽出法により標本を抽出した。抽出したギンダラは、最初に尾又長を cm 単位で計測した。外観から雌雄判別が出来ないので、開腹し、Mason et al. (1983) に従って生殖腺から雌雄と熟度を判別し、未成魚(Immature)と成魚(Mature)に分けた。最後に1対の扁平石を採取し、サンプル瓶に保管し、カリフォルニア州立大学ハンボルト校の研究室に持ち帰った。1984年4月から8月にかけて収集されたデータは、漁獲水深ごとに暫定的に3水深層(Zone 1: ≤ 300 , Zone 2: ≤ 600 , Zone 3: ≤ 1100 m)に分け分析を進めた。

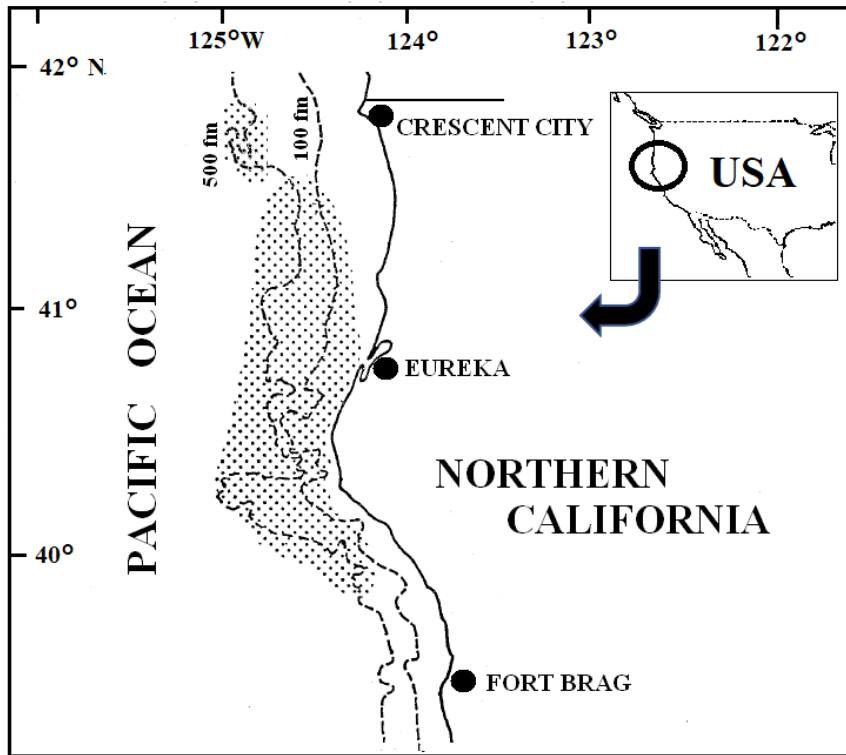


Fig. 19. Approximate sablefish sample collection area off northern California (shaded area). Dotted lines show 100 and 500 fathoms. One fathom is approximately 1.8 meter.

3.2.2. 年齢査定と耳石計測

第1章と第2章に記述した方法で、2方法による年齢査定と耳石計測(耳石半径と耳石厚)を行った。1984年4月から8月に採集されたギンダラの内、雌305個体、雄416個体の合計721個体分の耳石で、2つの年齢査定と耳石計測が可能となった。

3.3. 結果

解析は、耳石を採集した個体の漁獲深度、雌雄別の魚体長それに成熟情報を使い解析を行った。Table 3に雌雄別・水深層ごとに年齢査定数、尾又長範囲、耳石表面年齢と横断面年齢それぞれの平均年齢と範囲と標準偏差を示す。耳石表面からの査定年齢範囲は、雌で1-17歳、雄で1-16歳であった。横断面の査定年齢範囲は、雌で1-22歳、雄で1-25歳であっ

Table 3. Sample number, Size range, means ages, ranges of ages, and standard deviation of age assignments from Surface aging and Section aging by depth zone, using sablefish caught by bottom otter trawl vessels in northern California from April, 1984 to August 1984.

Sex	Depth Zone ¹	Sample No	Size Range(cm)	Surface Age			Section Age		
				Mean	Range	Standard Deviation	Mean	Range	Standard Deviation
Female	Zone 1	93	37-73	3.58	1-8	1.54	3.47	1-8	1.59
	Zone 2	143	40-90	5.37	2-15	2.56	6.06	2-22	3.81
	Zone 3	69	47-85	8.06	3-17	2.89	9.83	3-20	4.25
	All Zone	305	37-90	5.43	1-17	2.88	6.12	1-22	4.10
Male	Zone 1	64	38-66	3.50	1-10	1.83	3.42	1-11	2.06
	Zone 2	181	43-73	5.46	2-16	2.64	6.69	2-24	4.21
	Zone 3	171	45-73	6.78	3-13	2.32	8.49	3-25	3.75
	All Zone	416	38-73	5.70	1-16	2.64	6.89	1-25	4.16

た。水深層 Zone 1 で、雌雄ともに両査定法の年齢範囲の幅はほぼ同じであった。Zone 2 と Zone 3 では、年齢範囲の幅は大きくなった。最大尾又長では、Zone 1 より Zone 2 と Zone 3 で大きくなった。

3.3.1. 成熟割合と尾又長／横断面年齢

雌雄別・深度別に尾又長に対する成魚と未成魚の割合を、Fig. 20 に示す。これによると、雌雄とも深度の浅い Zone 1 から Zone 2、Zone 3 と深くなるにつれて、成魚の割合は増えた。雌雄ともに 60 cm を越えるギンダラでも未成魚が出現する。雌雄とも、尾又長が 45 cm 以上から徐々に成熟魚の割合が増えた。

Fig. 21 に、雌雄別・深度別に横断面年齢に対する成熟魚と未成熟魚の割合を示す。未成魚の頻度分布の最頻値は、雌は、Zone 1 で 2-3 歳、Zone 2 で 3 歳、Zone 3 で 4 歳で、雄は、Zones 1、2、3 の最頻値は 2、3、3 歳であった。成魚の Zone 1、2、3 の最頻値は、雌で 5、6、7 歳、雄で 7、6、10 歳であった。Zone 1 と Zone 2 で年齢が逆転しているところもあるが、未成魚・成魚ともに、深度につれて頻度分布の最頻値の年齢は高くなった。

3.3.2. 尾又長と横断面年齢

Fig. 22 に、雌雄別・水深別ごとに、未成魚・成魚を区して横断面年齢に対する尾又長との関係を示す。ギンダラは、雌雄ともに 5-6 歳ころまで急速に成長し、その後大きなばらつきを持って成長は鈍化していった。Zone 1 では、6-7 歳までの若齢魚の尾又長は、大部分の雌

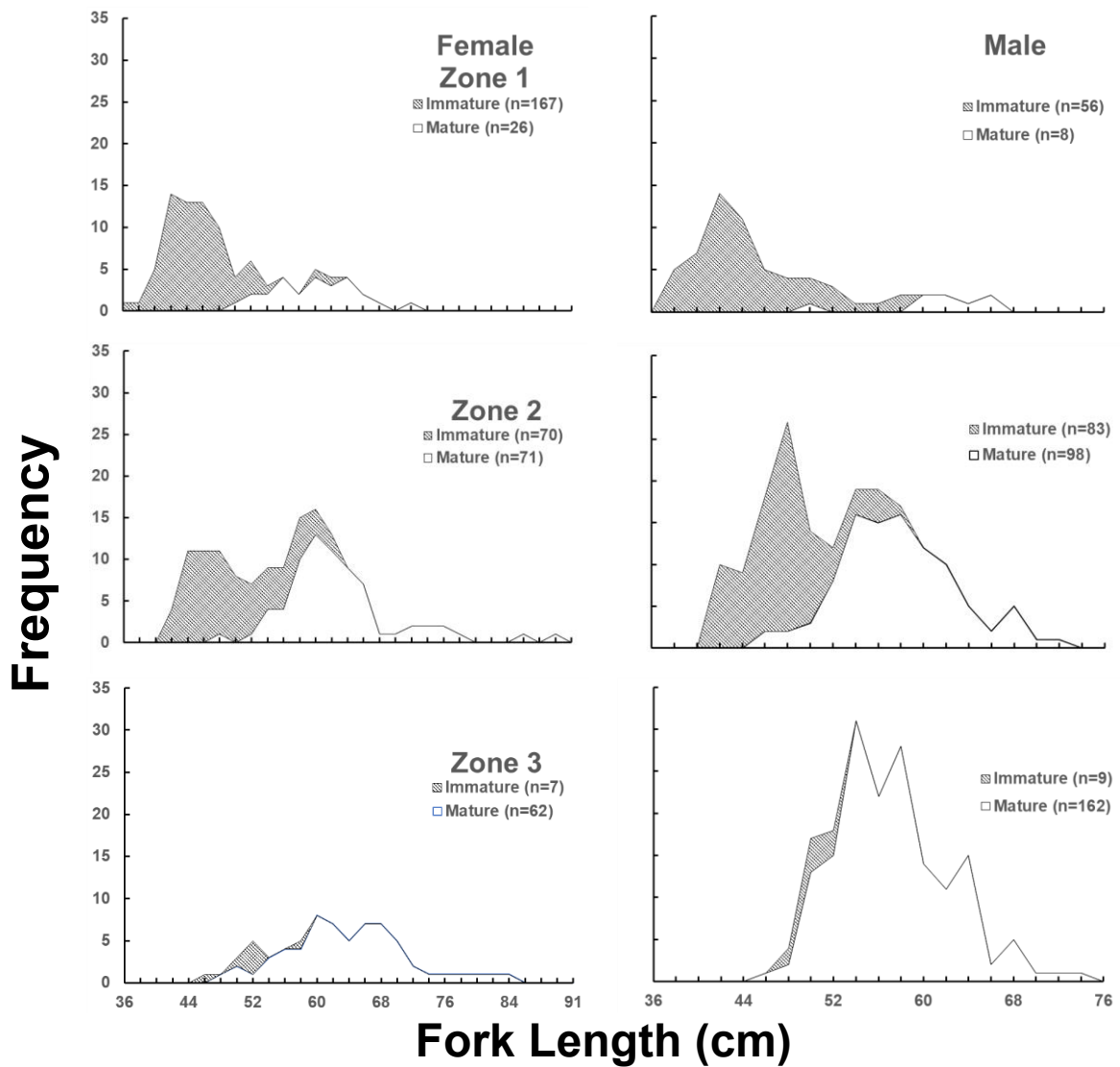


Fig. 20. Frequency of immature and mature sablefish for female (left) and male (right) against fork length from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Shaded area and open area indicate immature and mature fish with sample number in parentheses, respectively.

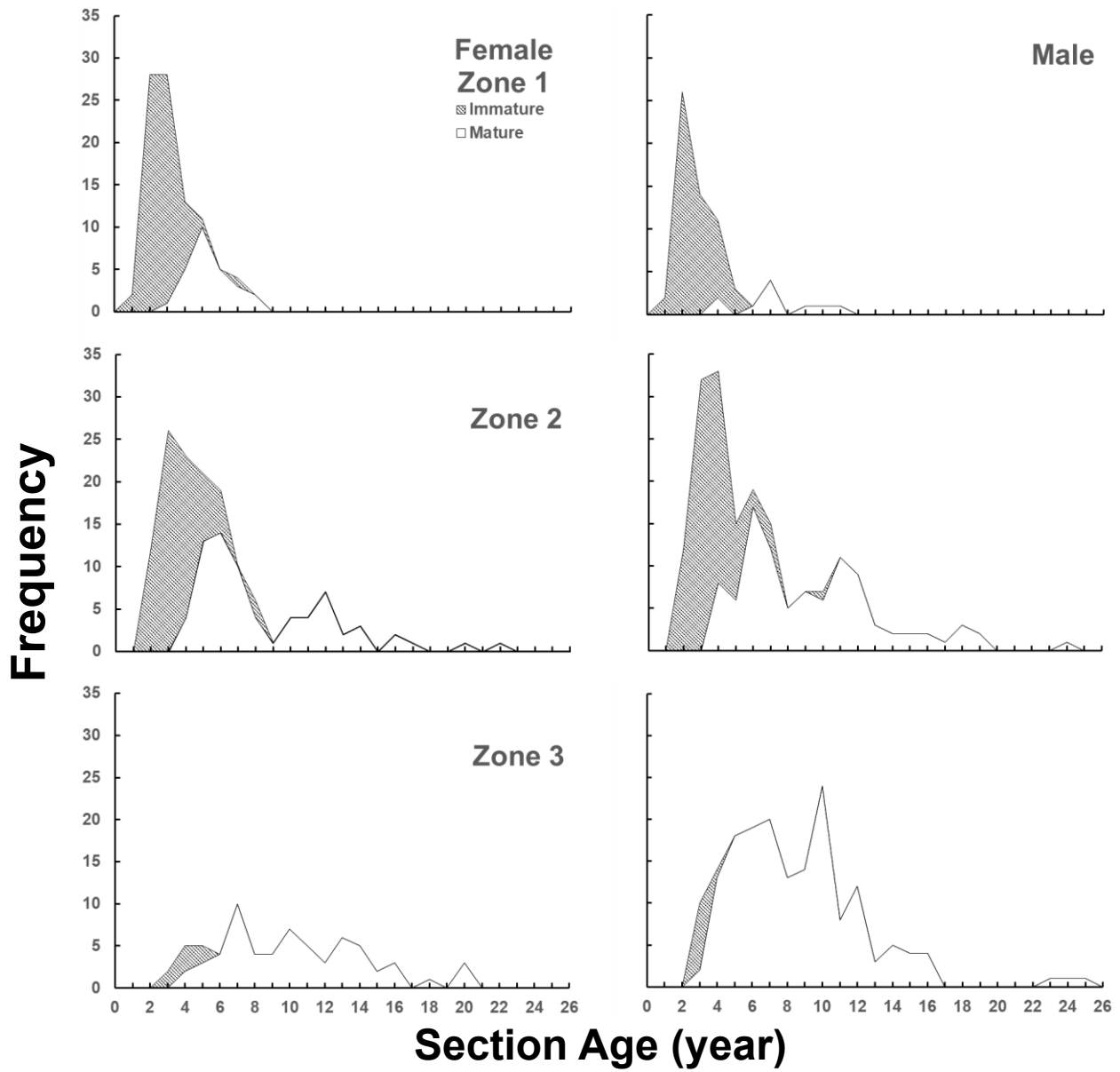


Fig. 21. Frequency of immature and mature sablefish for female (left) and male (right) against section age from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Shaded area and open area indicate immature and mature fish, respectively.

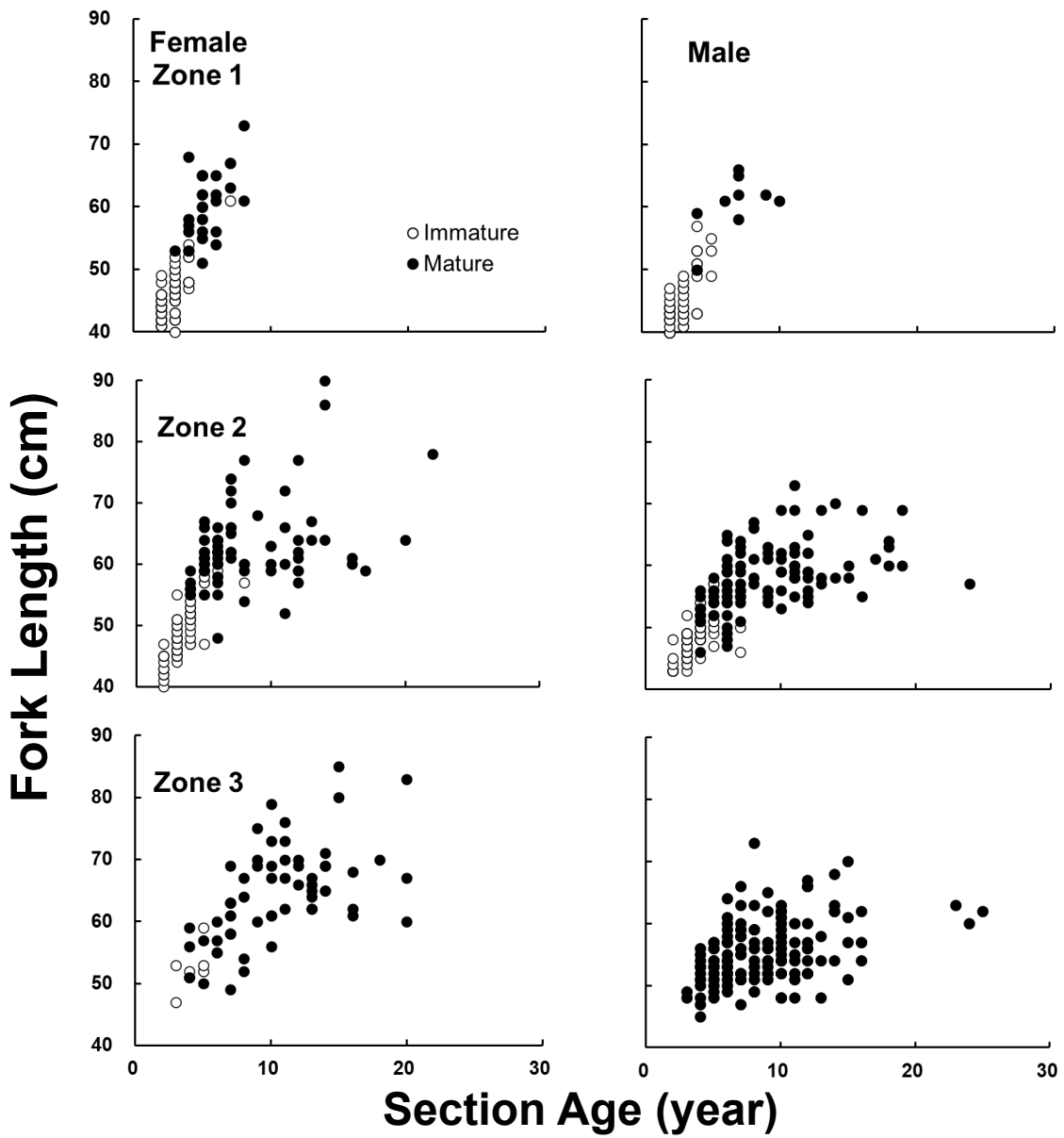


Fig. 22. Sablefish fork length-section age relationship for female (left) and male (right) from three depth zones, using sample collected in northern California from April to August, 1984. Open circle and closed circle indicate immature and mature fish, respectively.

で 70 cm、雄で 65 cm 程度まで直線的に増加した。Zones 2-3 になると、雌雄とも 7-8 歳頃にかけて、成長は鈍化した。Zone 1 に比べ、Zone 2 や Zone 3 の深い水深層で年齢に対応する体長の幅は大きくなった。

3.3.3. 査定年齢差と尾又長／横断面年齢

雌雄別・水深別ごとに、尾又長及び横断面年齢に対する未成魚・成魚を区別して、2 つの査定方法による年齢差を Figs. 23、24 に示す。

体長に対する査定年齢の差は、Zone 1 では、雌雄ともに体長 70 cm 前後まで、ほとんどの個体で ± 2 歳の幅に収まって、その差は小さかった。Zone 2 及び Zone 3 で、査定年齢の差は大きくなった。査定年齢の差は、雌で最大 11 歳、雄で 15 歳であった。雌雄とも、55 cm から 65 cm の中間的な体長において、査定年齢の差が大きくなった。特に成魚において、尾又長がさらに大きくなった時に、年齢差が大きくなるというわけではない。

Fig. 24 に、横断面年齢に対する査定年齢の差を示す。Zone 1 において、雌雄とも成魚・未成魚を含めて査定年齢の差は小さい。雌で 8 歳、雄で 10 歳まで、ほとんどの個体の年齢差が ± 2 歳の範囲に収まっていた。Zone 2 と Zone 3 で、成魚は横断面年齢の増加に伴い年齢差は大きくなっていった。

3.3.4. 尾又長に対する耳石計測値の関係

Fig. 25 に、雌雄別・深度別ごとに、未成魚・成魚を区別して尾又長と耳石半径との関係を示す。3 水深層において、雌雄とも未成魚から成魚にわたり体長とともに耳石半径は成長し、耳石半径は、体長の増大に従って直線的に増加した。

Fig. 26 に深度別・雌雄別に未成魚・成魚を区別して尾又長と耳石厚の関係を示す。Zone 1 で、尾又長の増大に伴い、耳石の厚さはゆるやかで、直線的な増加を示した。Zone 2 では、増加傾向にあったが、成魚の耳石厚のちらばりが大きかった。Zone 3 では、未成魚の割合が少なくなり、Zone 2 同様に耳石厚のちらばりは大きかった。

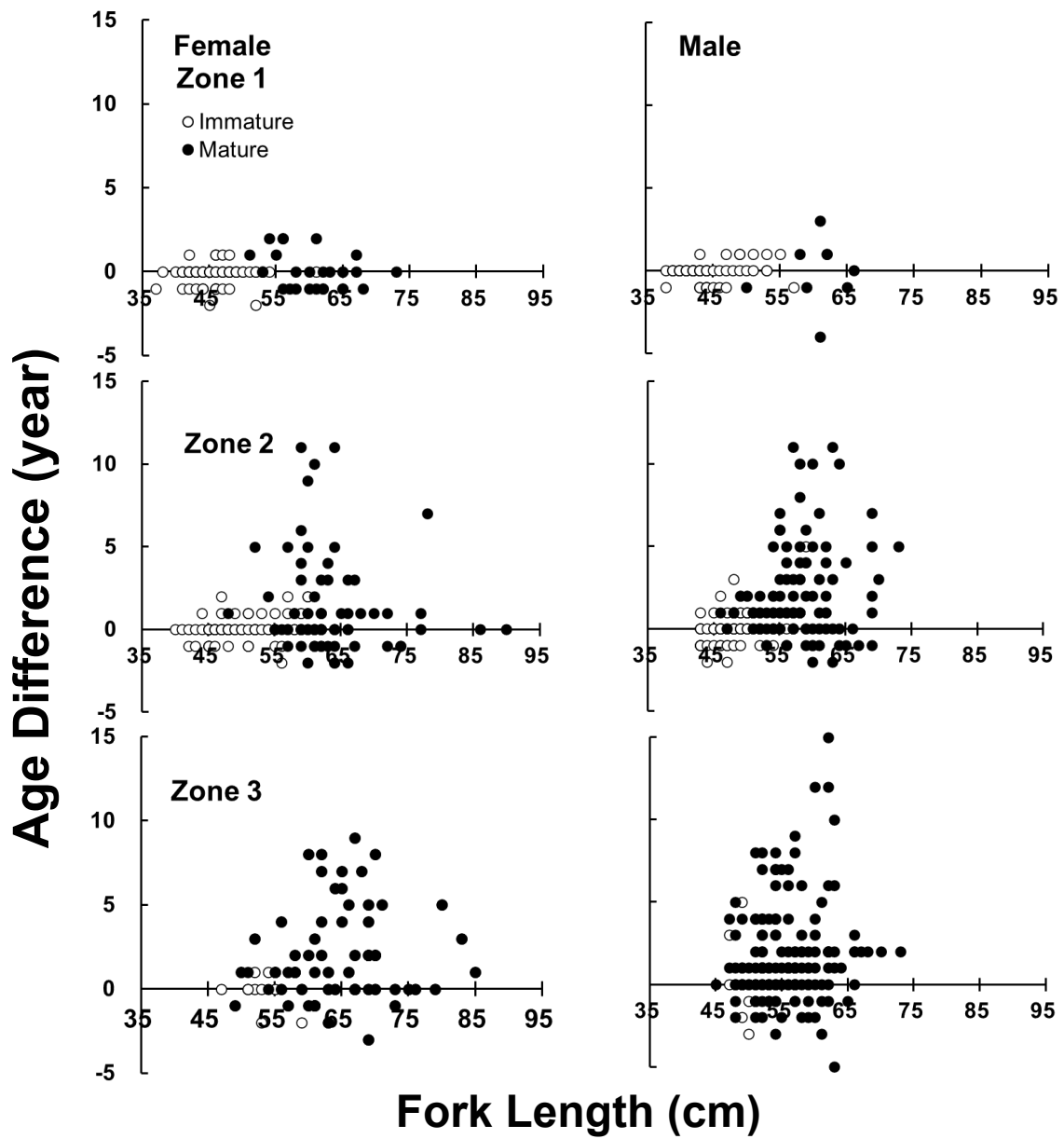


Fig. 23. Age difference between otolith section and surface age against fork length for female (left) and male (right) of sablefish from three depth zones, using sample collected in northern California from April to August, 1984. Open circle and closed circle indicate immature and mature fish, respectively.

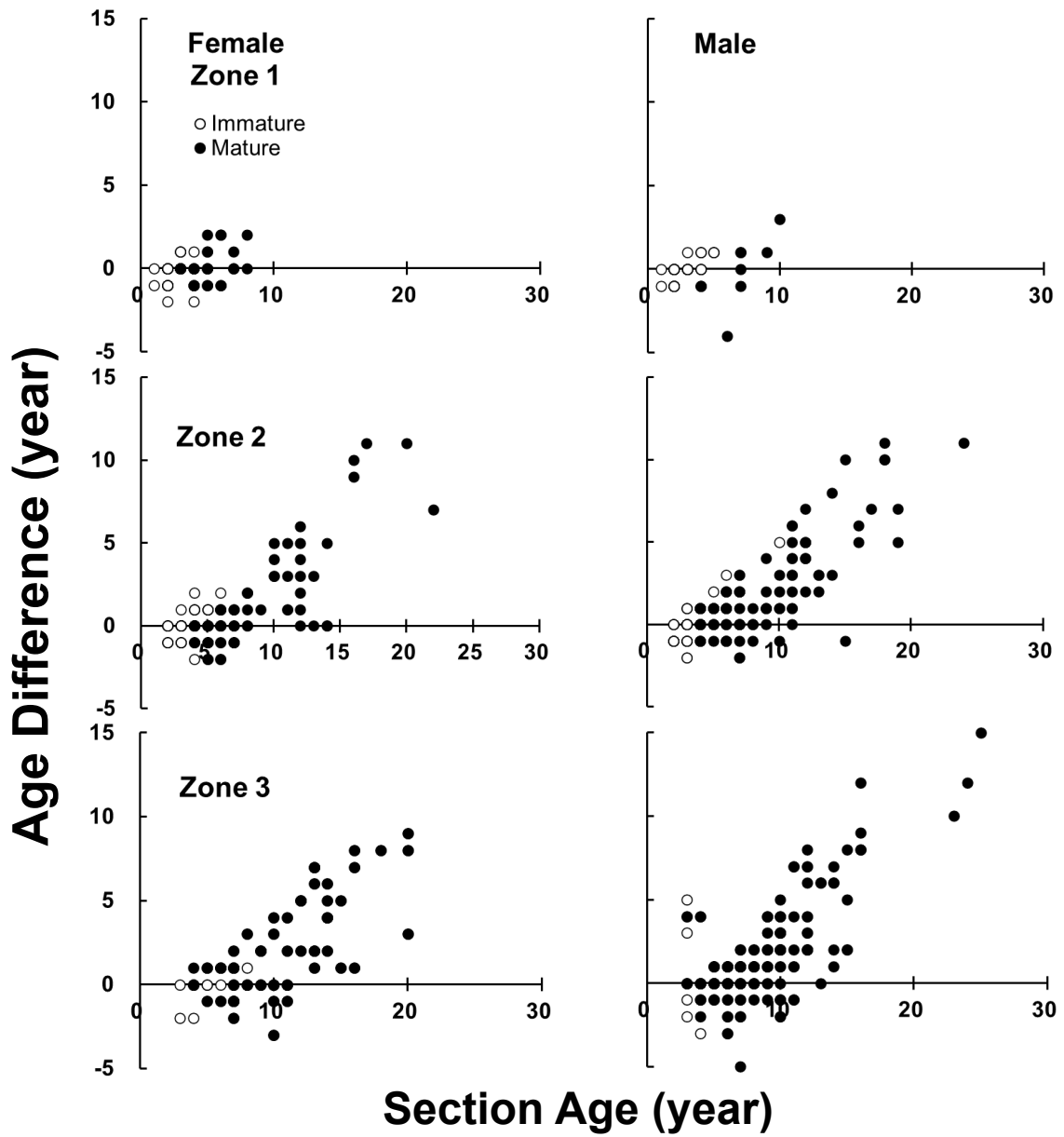


Fig. 24. Age difference between otolith section and surface age against section age for female (left) and male (right) of sablefish from three depth zones, using sample collected in northern California from April to August, 1984. Open circle and closed circle indicate immature fish and mature fish, respectively.

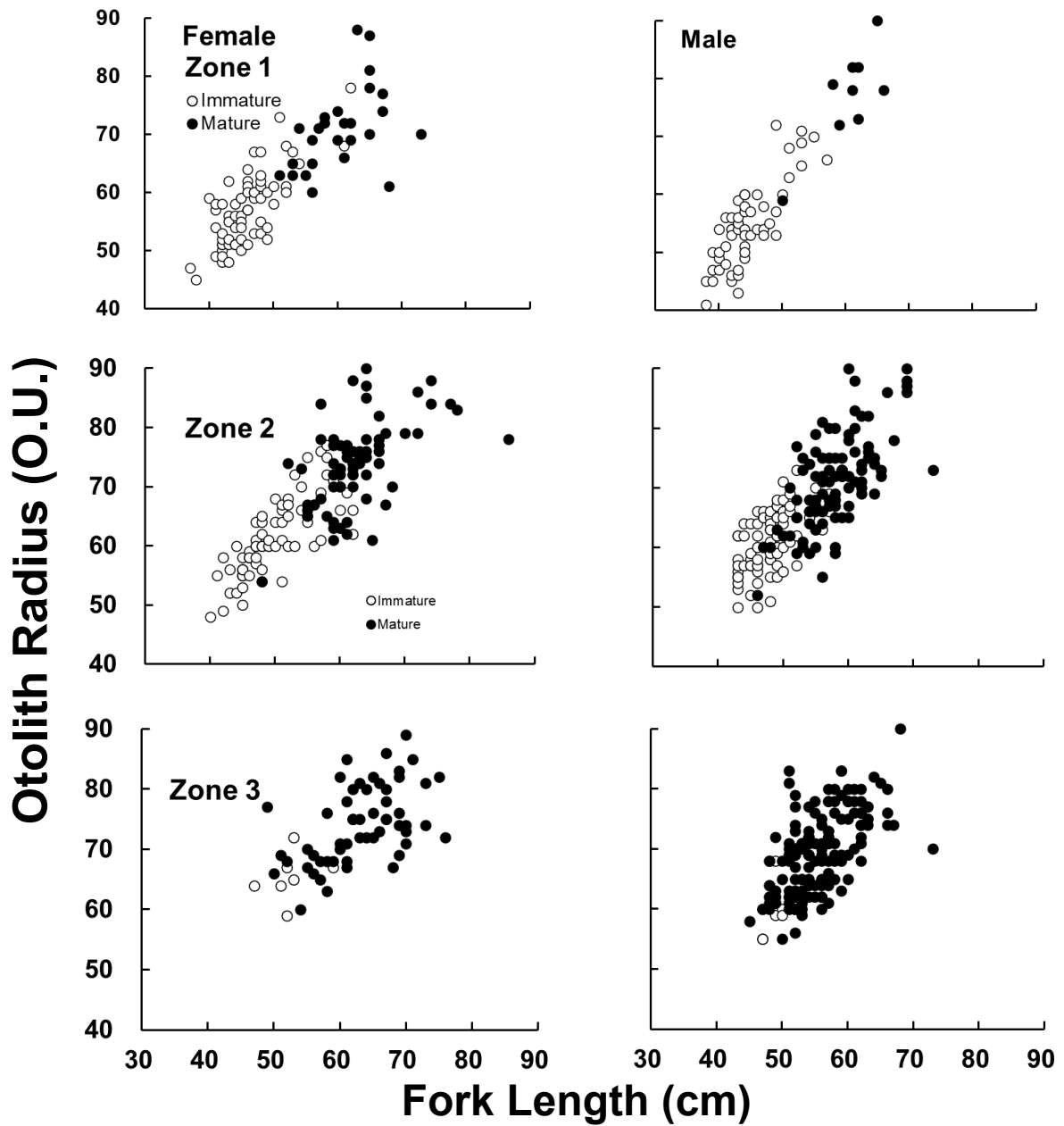


Fig. 25. Sablefish otolith radius-fork length relationship for female (left) and male (right) from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Open circle and closed circle indicate show immature fish and mature fish, respectively.

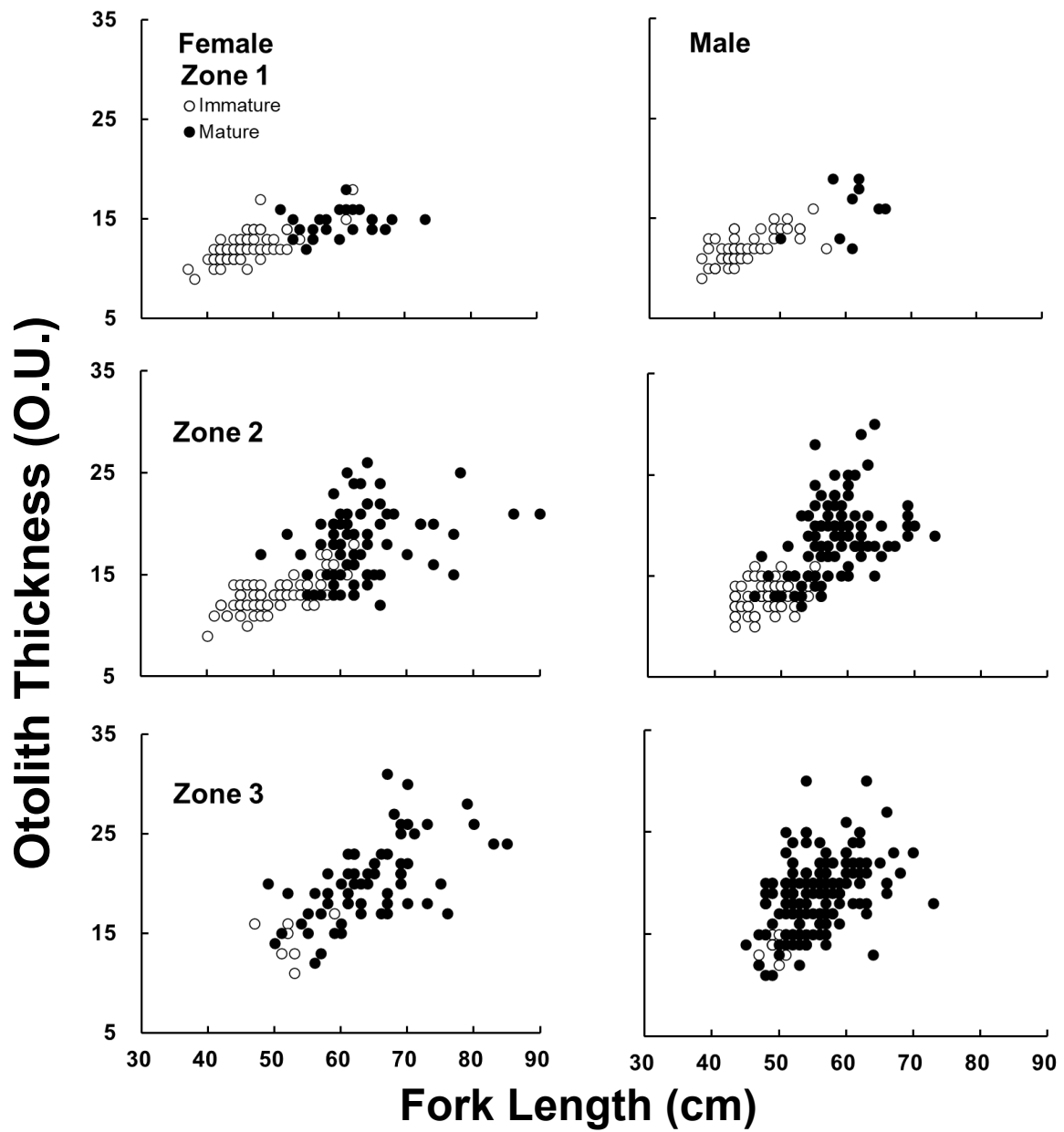


Fig. 26. Sablefish otolith thickness-fork length relationship for female (left) and male (right) from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Open circle and closed circle indicate immature fish and mature fish, respectively.

3.3.5. 横断面年齢に対する耳石計測値の関係

Fig. 27 に、深度別・雌雄別に横断面年齢に対する耳石半径の関係を未成魚・成魚を区別して示す。Zone 1 では、未成魚と成魚の耳石半径は、急激に大きくなった。一方、Zone 2 と Zone 3 の成魚は、5-6 歳以後ちらばりが大きく、年齢-体成長同様、成長は鈍化していった。

Fig. 28 に、雌雄別・深度別に横断面年齢に対する耳石厚を、未成魚・成魚を区別して示す。未成魚から成魚を含めて、横断面年齢の増加に伴い耳石厚は直線的に成長した。Zones 2-3 と深くなるに従い、相対的にちらばりは大きくなった。

Fig. 29 に、雌雄別々に、深度別の耳石比（耳石半径÷耳石厚）と横断面年齢の関係を示す。Zone1 で、7-8 歳と査定年齢範囲の幅は小さく、耳石比は増加する傾向にあった。すなわち、耳石半径は耳石厚と比べて成長割合が大きいことを示している。Zone2 では、5 歳まで耳石比は増加あるいは同じ値を保っていたが、その後急激に減少していった。Zone 3 においては、耳石比は直線的な減少となった。

3.4 考察

本章では、北カリフォルニア水域で操業する底引きトロール漁業で漁獲されたギンダラから耳石を採集した。採集された耳石を使い、表面年齢査定法と横断面年齢査定法を使った年齢査定の結果、アラスカ湾、ベーリング海、アリューシャン列島同様に、北カリフォルニアにおいても査定年齢に差が生じていた。

前章で、耳石半径と耳石厚の成長が異なることで、年齢差が出ることを明らかにした。耳石半径方向への成長は、尾又体長と比例関係にあり、体成長の鈍化に伴い、耳石半径方向への成長も鈍化していった。耳石厚は、体成長に関係なく成長した。その結果、横断面年齢と表面年齢の差は、横断面年齢の増加に伴い大きくなっていった。

これまで、ギンダラの沖合への深所移動は報告されている (Alverson, 1960; Beamish & McFarlane, 1983a; Umeda et al., 1983; Methot, 1994)。前章では、性成熟後、体成長が鈍化することが示唆された。本研究では、成熟情報を加え、深度別に査定年齢の差を検討した。

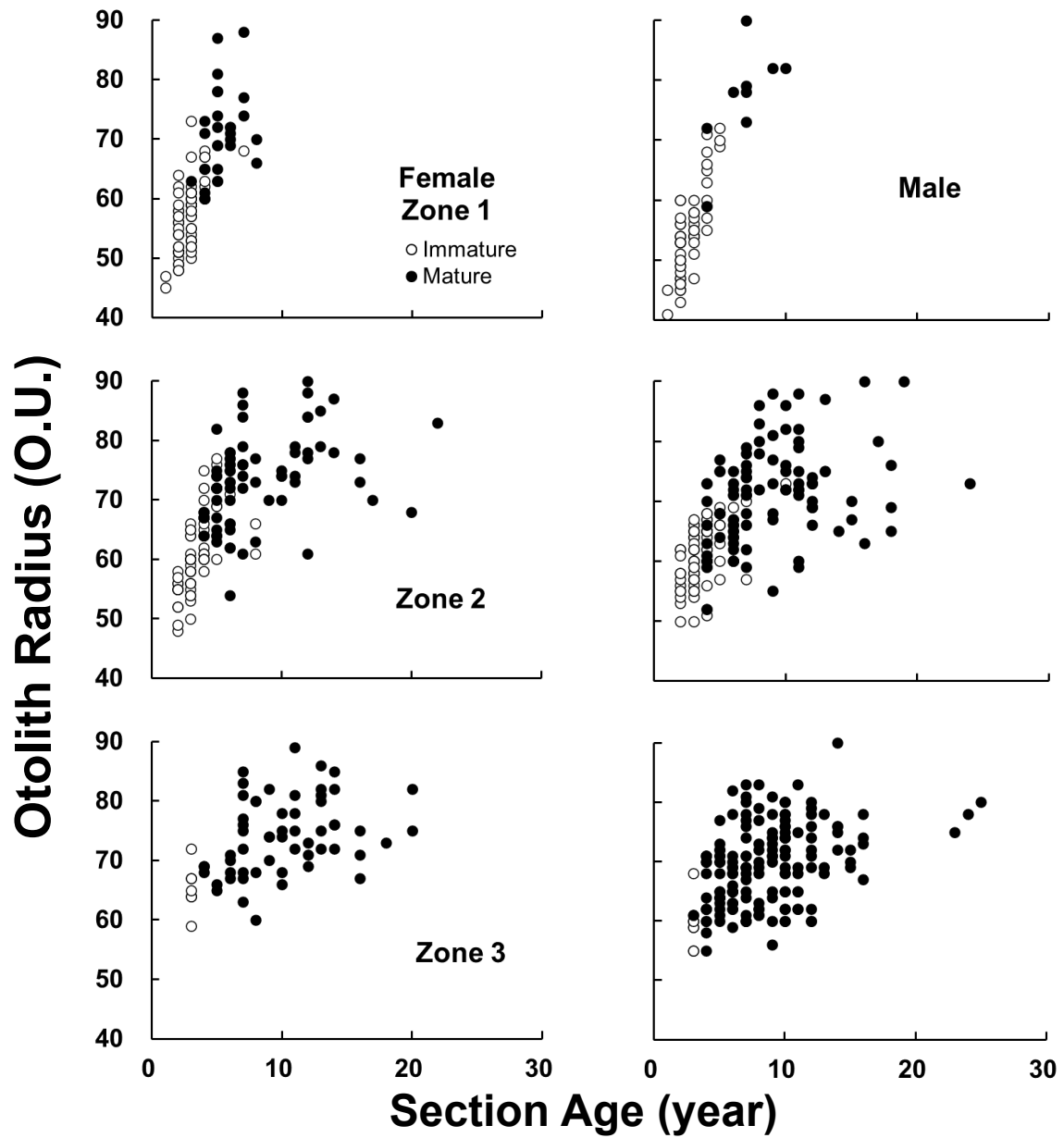


Fig. 27. Sablefish otolith radius-section age relationship for female (left) and male (right) from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Open circle and closed circle indicate immature fish and mature fish, respectively.

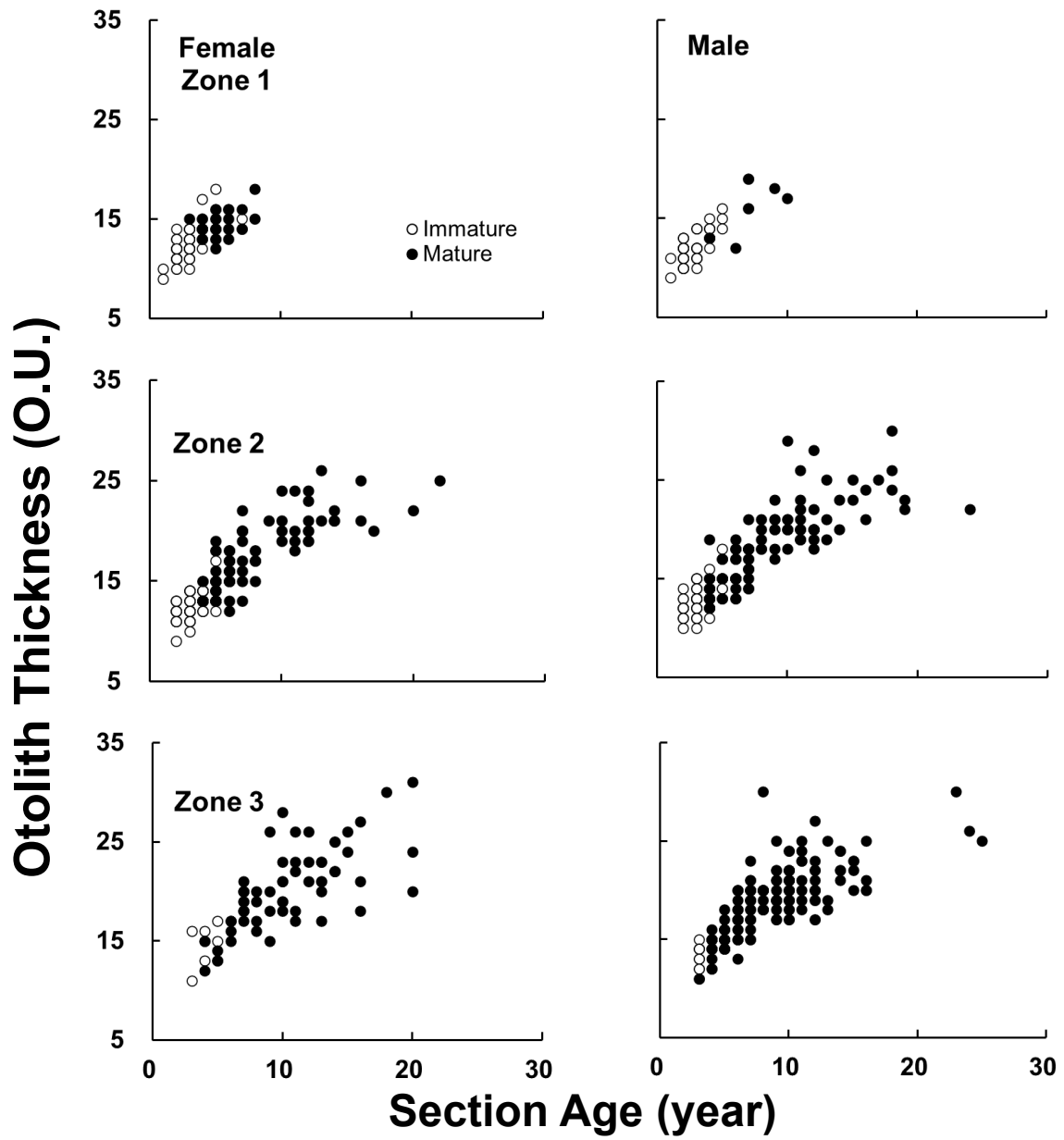


Fig. 28. Sablefish otolith thickness-section age relationship for female (left) and male (right) from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Open circle and closed circle indicate immature fish and mature fish, respectively.

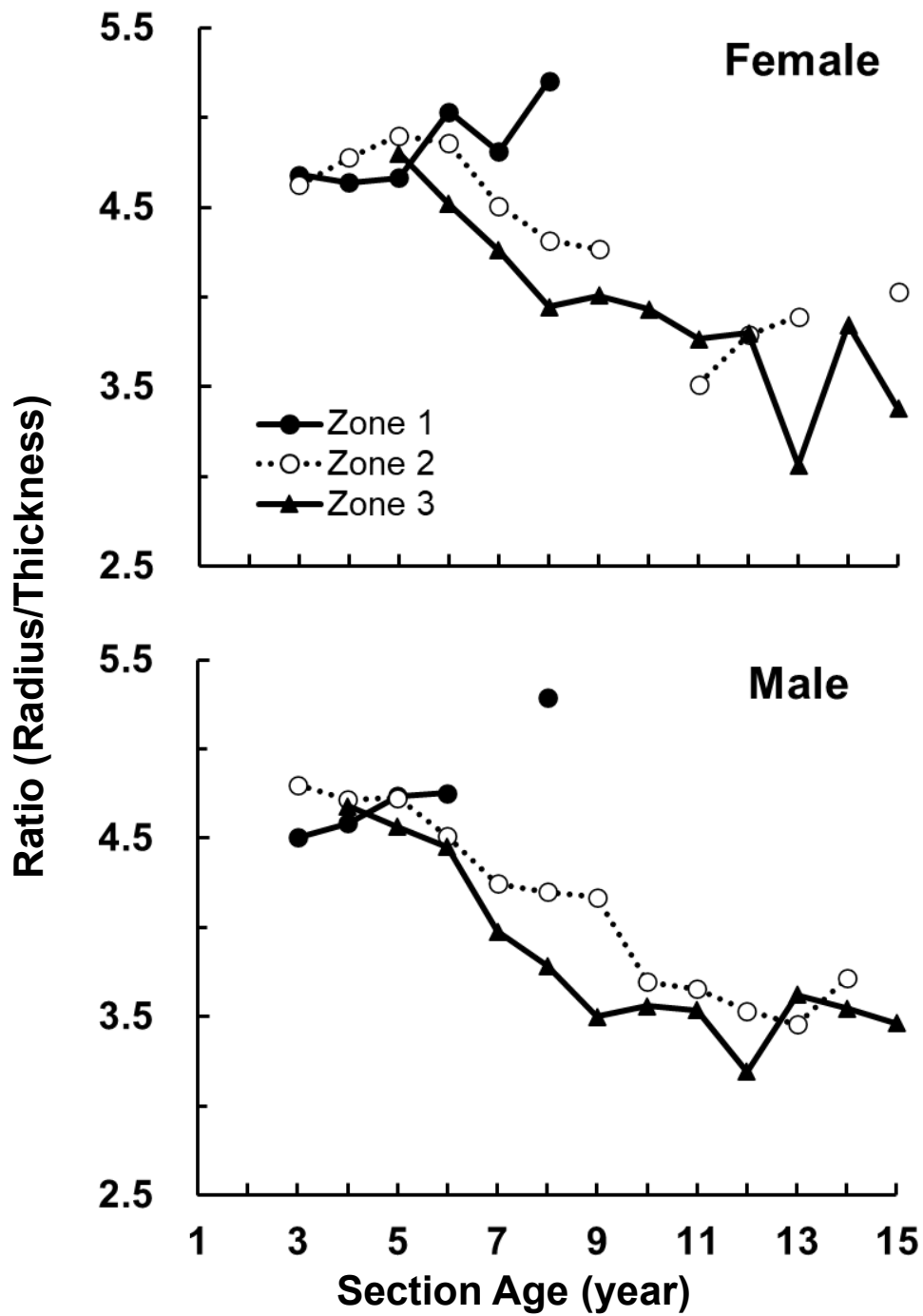


Fig. 29. Sablefish otolith ratio (Otolith radius/Otolith thickness) - section age relationship for female (a) and male (b) from three depth zones, using sample collected from northern California in 1984. Closed circle, open circle, and closed triangle indicate zone 1, zone 2 and zone 3, respectively.

Fig. 20とFig. 21に深度別の体長組成と年齢組成を示した。水深が深くなるにつれて、成魚の占める割合は多くなった。

Zone1で、雌は8歳まで、雄は11歳まで、比較的若齢のギンダラが出現した。Fig. 29の耳石比の増加は、尾又長の著しい増加に伴う耳石の成長が、耳石厚に比べ耳石半径方向の成長が著しかったことが反映され、表面年齢を判読し易く、横断面年齢との差は小さかった。

Zone 2、Zone 3と深くなると、成魚が増え、年齢範囲の幅が大きくなった。体成長は鈍化し、耳石半径の成長も鈍化していった。一方、耳石厚は、体成長の鈍化に関係なく、増加した(Fig. 26)。すなわち、深度が深くなり、成熟魚が多くなると、耳石厚の成長が著しくなり(Fig. 29の耳石比の成長の鈍化)、耳石半径と耳石厚の成長に影響し、査定年齢に差が生じたと考えられる。

第4章 北カリフォルニアのギンダラの性比、産卵期、成熟体長・成熟年齢の検討

4.1. 緒言

対象資源の生物特性である成熟・産卵に関する知見は、資源評価を行う上で重要である(田中, 1985)。本章では、1984年1月から8月に北カリフォルニアの底曳トロール漁船に乗船し、漁獲されたギンダラのデータから、性比、産卵期、成熟体長や成熟年齢について分析した結果を示す。

4.2 材料と方法

1984年1月から8月にかけて北カリフォルニアのユーリカを母港とする底曳トロール漁船に乗船し、漁獲されたギンダラのデータを収集した。操業水域は、Fig. 19で示したオレゴン州境の41°50'-39°50' Nで行われた。

4.2.1. データ収集

乗船時の全ての操業の平均操業水深と操業位置については、漁労長から聞き取りをし、記録した。1回の乗船は、1日から4日間であった。操業は、83 mから1033 mの水深で行われた。ギンダラ標本の抽出は、操業ごとに等間隔抽出法(Systematic sampling)に従った。標本抽出間隔は、現在の甲板上の尾数と次の網を揚げるまでの時間によって変えた。各操業の漁獲物の10%以上をカバー出来るようにした。

抽出したギンダラは、cm単位で尾又長を計測し、計測したギンダラは、開腹し、Mason et al. (1984)に従い、生殖腺から性別や成熟度を目視判別した。年齢査定のため、体長計測したギンダラから可能な限り1対の扁平石を摘出した。年齢は、第3章の4月から8月にかけて収集した耳石の横断面年齢査定の結果を用いた。

4.2.2. データ分析

分析は、水深層 (Zone 1: ≤ 300 m、Zone 2: $\leq < 601$ m、Zone 3: ≤ 1100 m) に分け進めた。月別、操業水深層別に成魚及び未成魚に分けた。成魚及び未成魚それぞれに雌の割合を計算

し、Zar (1974)に従って、雌の現れる確率 50%の帰無仮説について有意水準 5%で尤度比検定 (log-likelihood ratio test)をおこなった。

体長及び横断面年齢に対する雌の成熟割合は、以下のロジスティクモデル(Berkson, 1953)を当てはめた。

$$P(X) = 1/(1+EXP-(A+BX)) \quad (4.1)$$

ここでは、年齢あるいは尾又長を X とし、 $P(X)$ は尾又長及び年齢に対応した成熟割合である。Gundersen (1977)に従って logit transformation を使って、雌雄別にパラメーターを推定し、50%成熟体長と 50%成熟年齢を求めた。

4.3. 結果

1984 年 1 月から 8 月までの 12 回の航海中、7155 尾のギンダラが漁獲された。漁獲されたギンダラから 2781 尾の尾又長、性別、生殖腺の状態を観察した。4 月から 8 月に摘出した耳石 1579 個体のうち、721 個体分の耳石横断面を使い年齢査定を行った。水深層別に耳石採集数と査定数を Table 4 に示す。年齢査定結果は、Table 3 に示す通りである。

4.3.1. 漁獲水深に対する操業時間当たりの漁獲尾数

1984 年 1 月から 8 月にかけて乗船時に記録した操業深度における操業時間 (トロール網の投入時から網が水面を離れるまでの時間)と漁獲尾数をもとに、深度に対する 1 時間当たりのギンダラ漁獲尾数を示す(Fig. 30)。水深 1000 m を越える場合を除き、深度が深くなるに従って 1 時間当たりの漁獲尾数は多くなった。

4.3.2. 深度別の未成魚と成魚の性比

Table 5 に示すように、成魚の性比の尤度比検定の結果、月別・深度別の成魚の雌雄比に偏りがみられた。成魚の雌の占める割合は全体で 37%となり、雌の割合が少なかった。Zone 1 で採集された数は非常に少ないが、Zones 1-3 と深くなるに従い、雌の占める割合は 70%、43%、31%と減少し、Zone 3 の雄の成魚の割合は多かった。

Table 6 で、未成魚の性比を示す。尤度比検定の結果、全体を通じて性比 1:1 の結果とはな

Table 4. Number of male and female sablefish sampled, number of fish for which otoliths were removed, and number of fish for which otoliths were aged, by depth (m). Samples were obtained from commercial otter trawl vessels in northern California from January through August 1984.

Sex	Zone	Depth (m)	Total sampled	Otoliths removed	Otoliths aged
Female	1	≤ 300	177	177	93
	2	301-600	582	289	143
	3	601<	534	282	69
	1-3	Female Total	1233	688	305
Male	1	≤ 300	77	70	64
	2	301-600	425	239	181
	3	601<	1046	582	171
	1-3	Male Total	1548	891	416
Total			2781	1579	721

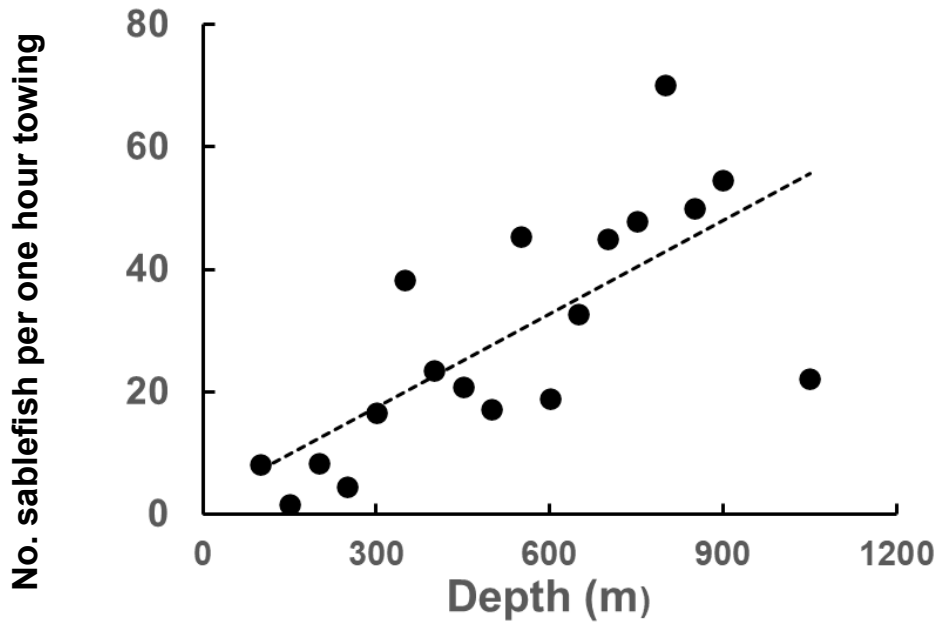


Fig. 30. Number of sablefish per one-hour towing from on-board trawl vessels in northern California from January to August 1984.

Table 5. Percentage of female sablefish among mature fish sampled by month and depth zone of capture. Numbers in parentheses indicate sample size. Asterisks denote log-likelihood ratio test results that rejected null hypothesis of 50% female proportion at the 5% significant level. Samples were collected by commercial otter trawl vessels in northern California from January through August 1984.

Depth (m)	Month of Capture								Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	
0 – 300 (Zone 1)	-	0 (0)	-	74* (31)	0 (0)	-	-	56 (9)	70* (40)
301- 600 (Zone 2)	79* (24)	67 (6)	72* (112)	39* (101)	52 (85)	-	27 (15)	0 (1)	43 (344)
601-1100 (Zone 3)	34* (342)	-	-	25* (353)	41 (82)	33* (343)	40 (23)	26* (136)	31* (1279)
Total	37* (366)	67 (6)	72* (112)	31* (485)	47 (167)	33* (343)	34 (38)	27* (146)	37* (1663)

Table 6. Percentage of female sablefish among immature fish sampled by month and depth zone of capture. Numbers in parentheses indicate sample size. Asterisks denote log-likelihood ratio test results that rejected null hypothesis of 50% female proportion at the 5% significant level. Samples were collected by commercial otter trawl vessels in northern California from January through August 1984.

Depth (m)	Month of Capture								Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	
0 – 300 (Zone 1)	-	0 (0)	-	56 (41)	0 (0)	-	-	58 (113)	58 (154)
301- 600 (Zone 2)	69* (167)	47 (55)	50 (154)	62* (162)	56 (59)	-	54 (26)	60 (40)	59* (663)
601-1100 (Zone 3)	46 (183)	-	-	43 (16)	64 (33)	26* (39)	62 (13)	41 (17)	46 (301)
Total	57* (350)	47 (55)	50 (154)	60* (219)	59 (92)	26* (39)	56 (39)	54 (170)	55* (1118)

らなかったが、1月から8月の標本15のうち12の場合において、雌雄の性比は1:1であった。

Table 5 と Table 6 の月別の未成魚と成魚の雌の割合を図示する(Fig. 31)。これによると、未成魚において、6月を除き、雌の割合がほぼ50%近くで変動し、性比はほぼ1:1であった。成魚において、2月から3月に限り性比は雌に偏り、その他の月は雄に偏っていた。

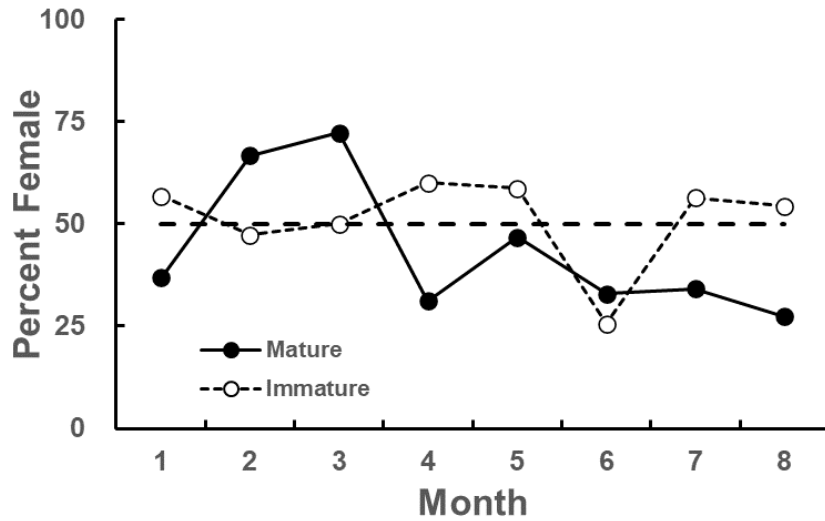


Fig. 31. Monthly percent female for matured and immature sablefish, using samples collected by commercial otter trawl vessels in northern California from January through August of 1984.

4.3.3. 体長に対する性比

漁獲されたギンダラの体長に対する雌の割合を Fig. 32 に示す。雌の比率は、体長に依存する。尾又長 56 cm 以下では、雄の割合が多く、60 cm を越えると雌の割合が増加する。70 cm FL 以上で 100% は雌となった。

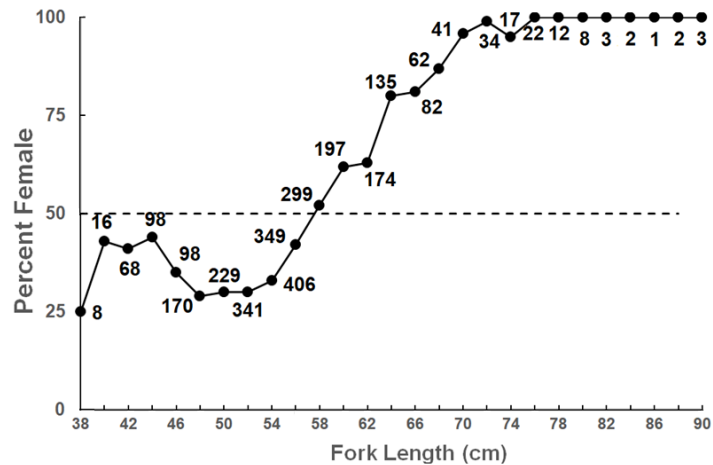


Fig. 32. Percent sablefish female as a function of fish fork length, using samples collected by commercial otter trawl vessels in northern California from January through August of 1984. Numbers next to data points indicate number fish examined for sex.

4.3.4. 産卵期

2月から5月にかけて、産卵後(spent)の雌の生殖腺は赤紫色で、全体が弛緩した様子をしていました。雌の産卵後の割合は、1月で5%、2月の標本では95%に増加し、その後5月まで産卵後の個体割合は高かった(Fig. 33)。

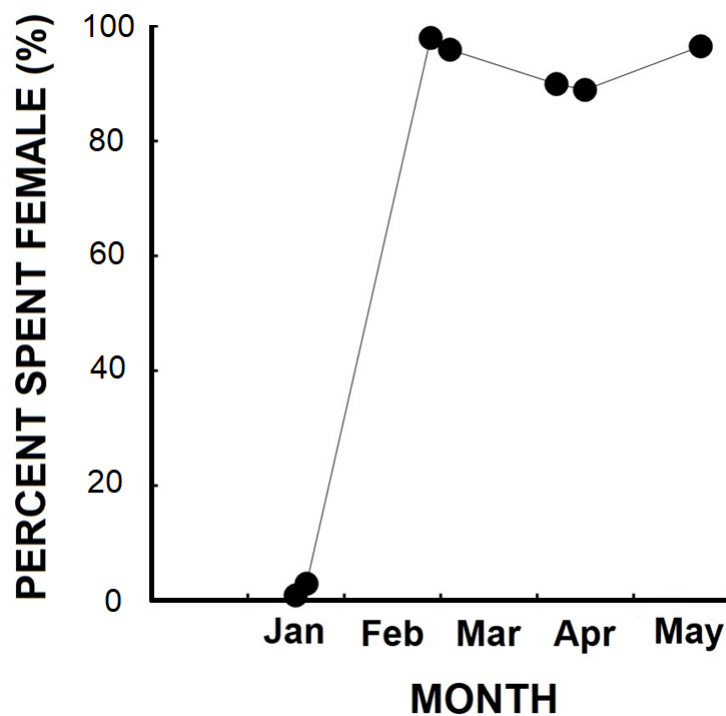


Fig. 33. Percent of examined sablefish female that were spent plotted against date of collection, using commercial otter trawl vessels in northern California from January through August of 1984.

4.3.5. 50%成熟体長と成熟年齢

尾又長及び横断面年齢に対する成熟割合に Logistic 成熟曲線を当てはめた結果を、Fig. 34 に示す。また、推定 50%成熟体長と 50%成熟年齢を Table 7 に示す。50%成熟体長と 50%成熟年齢が、それぞれ雌で 53.5 cm と 4.95 歳、雄で 49.6 cm と 4.45 歳であった。雌雄とも 50%成熟体長及び 50%成熟年齢は、雌が体長と年齢で、雄を上回っていた。

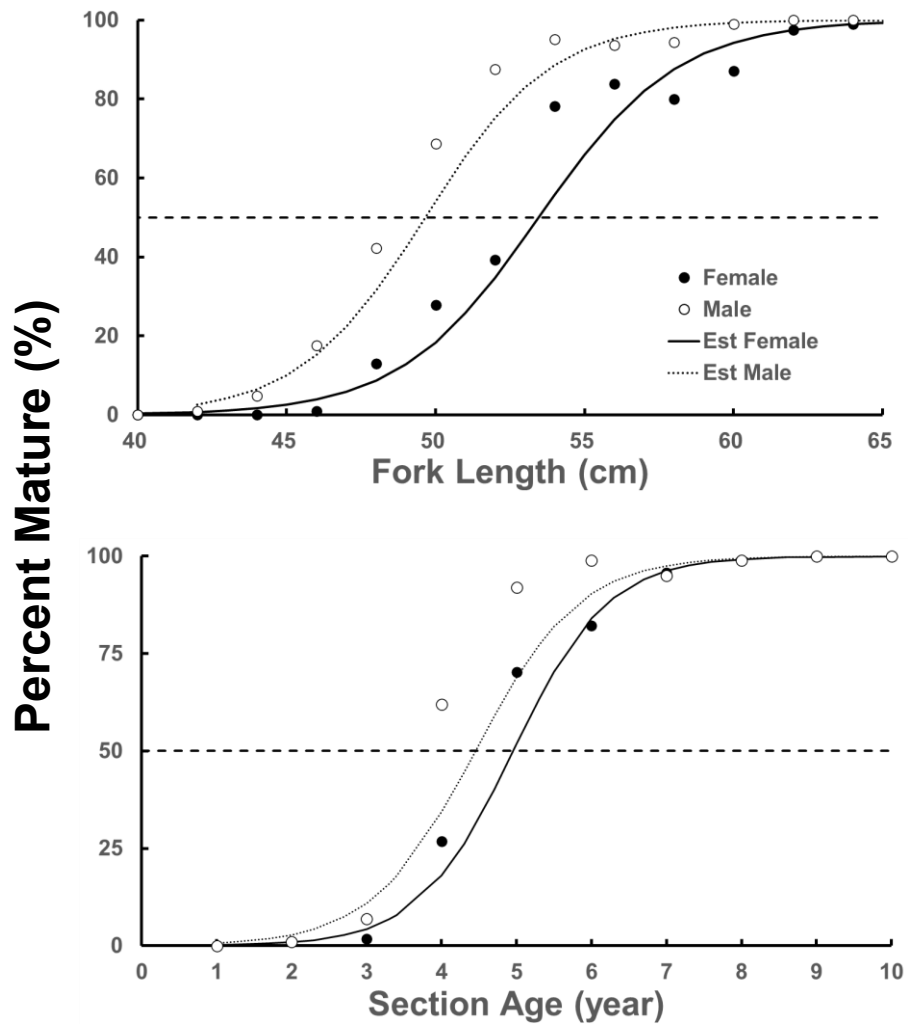


Fig. 34. Proportion mature versus fork length (above) and age (below) of sablefish, using samples collected by commercial otter trawl vessels from April through August, 1984 in northern California.

Table 7. Predicted size (FL) and age at 50% maturity for females and males sablefish, using logistic model*. Samples were collected from three depth zone in northern California from January through August 1984.

Sex	Size at 50% (cm)	Section Age at 50% (Year)
Females	53.5	4.95
Males	49.6	4.45

4.4. 考察

Phillips & Imamura (1954)は、カリフォルニア沿岸のギンダラの雌の生殖腺の観察から、産卵期は12月から4月、産卵ピークは1月から2月とした。Mason et al. (1983) は、カナダのブリティッシュ・コロンビア州のギンダラの産卵期は、1月から4月で、ピーク産卵期を1月から2月と報告した。雌の生殖腺の組織学的研究によると、米国西海岸沖のギンダラは、12月から3月にかけて産卵期間が長く、2月を産卵ピークとした (Guzmán et al., 2017)。本調査結果では、北カリフォルニアのギンダラの産卵期は1月後半から2月の後半にピークに達することが示唆され、カリフォルニアからカナダ水域のギンダラの産卵期は12月から4月ころまでで、1月から2月が産卵のピークと考えられる。

ギンダラの性比について、Mason et al. (1983)は、11月から3月における雌雄比は、3:1で、雌に偏っていた。Sasaki (1985)は、アラスカ海域の底はえ縄調査の結果では、雌雄比はほぼ1:1と報告した。一方、カリフォルニア海域のギンダラの性比は、雄に偏っていた (Haltuch et al., 2019)。本研究では、未成魚と成魚に分けて検討し、未成魚の性比は、ほぼ1:1であった。一方、成魚は、産卵期の2月と3月の雌雄比は2月で2:1、3月は2.6:1と雌の比率が高く、その他の月については、雄の割合が高かった。調査サンプル数が少なく、偏りはあるかもしれないが、産卵期における雌の割合が高かったことは、ギンダラの産卵行動に何らかの関係があると考えられる。産卵期の行動に関する今後の調査研究が必要である。

本研究の、成熟時の最小サイズは、雌雄ともに44 cm FL前後で、他の報告と一致していた (Maeda & Hankin, 1983; Sasaki, 1985)。

推定された雌の50%成熟体長は53.5 cm FLであった。Head et al. (2014) は、カリフォルニア州のCape Mendocinoからワシントン州にかけての水域では、雌の50%成熟体長は54.6 cm FL、Macewicz & Hunter (1994)はオレゴン州沿岸の雌の50%体長は54.8 cm FLと報告した。さらにParks & Shaw (1987)は、雌の50%成熟体長を55.3-56.3 cm FLと報告した。Mason et al. (1983)は、カナダ水域の雌の50%成熟体長は、1980年のサンプルでは58 cm FL、1981

年で62 cm FLと推定した。アラスカ湾とアリューシャン列島における雌の50%成熟体長は、65 cm FLであった(Sasaki, 1985)。カリフォルニア州からワシントン州のギンダラは、本研究を含め雌の50%成熟体長は54-56 cm FLの範囲であった。カナダ水域から北のアラスカ湾からアリューシャン列島にかけて雌の50%成熟体長は、米国のカリフォルニアからワシントン州に比べて、大きかった。

第5章 アラスカ湾、アリューシャン、ベーリング海、北カリフォルニアにおける ギンダラの成長

5.1. 緒言

魚類の成長を当てはめる理論式として、直線式、ロジスティック式、ゴンペルツ式などがある(田中, 1985)。理論式のなかで、von Bertalanffy(1938)は、成長のメカニズムを考慮した理論式を示した。von Bertalanffy 成長式は、Beverton & Holt (1957)の魚類の生活史モデルに導入された。データへの当てはめが良く、資源評価モデルへの組み込み容易なこともあり、von Bertalanffy 成長式が魚類の成長を記述するのに頻繁に用いられている(Ricker 1975)。

ギンダラにおいては、標識放流結果(Kennedy & Pletcher, 1968; Kimura et al., 1993)、鱗・耳石表面(Pruter, 1954; Maeda, 1982; Sasaki 1985)、耳石横断面 (Beamish & Chilton 1982; McFarlane & Beamish, 1983a; Echave et al., 2012) からの年齢と体長データを使って von Bertalanffy 成長式へ当てはめがされてきた。

本章では、1984 年のアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアの4 海域のギンダラの横断面年齢に対応する体長データを使って、von Bertalanffy 成長式を求めた。

5.2. 材料と方法

体長データ、耳石収集、そして横断面年齢査定法については、第1章と第3章で述べた通りである。1984 年のアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアの4海域の横断面年齢に対応する尾又長(FL)データを使い、von Bertalanffy 成長式を求めた。

von Bertalanffy 成長式は、

$$l_t = L_\infty (1 - e^{-K(x-t_0)}) \quad (5.1)$$

である。 l_t は、年齢 t の時の体長である。 L_∞ 、 K 、 t_0 は、パラメーターである。 L_∞ は、年齢 t が大きくなった時に極限に達する理論上の最大体長である。 K は、成長速度で、 K が大

きい時は初期の成長は早い、急速に成長は鈍化する。 t_0 は、 $l=0$ の時の、理論的な年齢である。

横断面年齢 20 歳までに対応する平均体長のデータを使った。von Bertalanffy 成長式の 3 つのパラメーターの推定手順は、Walford(1946)の定差図から L_∞ と K を求め、Walford の定差図で求めた L_∞ を使った Ricker Plot (Ricker 1975)により、 t_0 を求めた。これらの方法で推定された 3 つのパラメーターを初期値とし、Kimura(1980)の最尤法(likelihood method)によって微調整をし、 L_∞ 、 K 、 t_0 の最終的な推定値とした。

5.3. 結果

1984 年のギンダラの 4 海域の横断面年齢 30 歳までに対応する体長データを雌雄別に Fig. 35 に示す。アラスカ湾の成長を見ると、雌雄とも 7 歳から 8 歳ごろから鈍化した。その後雌で 65-90 cm FL、雄で 60-80 cm FL のちらばり幅があった。

1984 年のギンダラの雌雄別に 4 海域の年齢に対応する平均体長データに、1-20 歳の横断面年齢に対して von Bertalanffy 成長式を当てはめた。年齢に対応するデータ数が 3 以上ある場合の平均尾又長のみを使った。最尤法で推定した 3 つのパラメーターの値を Table 8 に示す。Fig. 36 に、年齢に対応する平均体長データと推定したパラメーターを使った von Bertalanffy 成長曲線を示す。

Table 8 に示すように、雌の L_∞ は、雄の L_∞ より大きい。雌の L_∞ は、アラスカ湾とアリューシャン列島では 80 cm FL を越え、ベーリング海では 74 cm FL と少し小さく推定された。雄の L_∞ についても同様の傾向がみられ、アラスカ湾とアリューシャン列島では 69 cm FL、ベーリング海では少し小さく 67 cm FL であった。北カリフォルニア水域では、 L_∞ は、雌で 67 cm FL、雄で 60 cm FL であった。北カリフォルニアの L_∞ は、アラスカ水域に比べ小さかった。

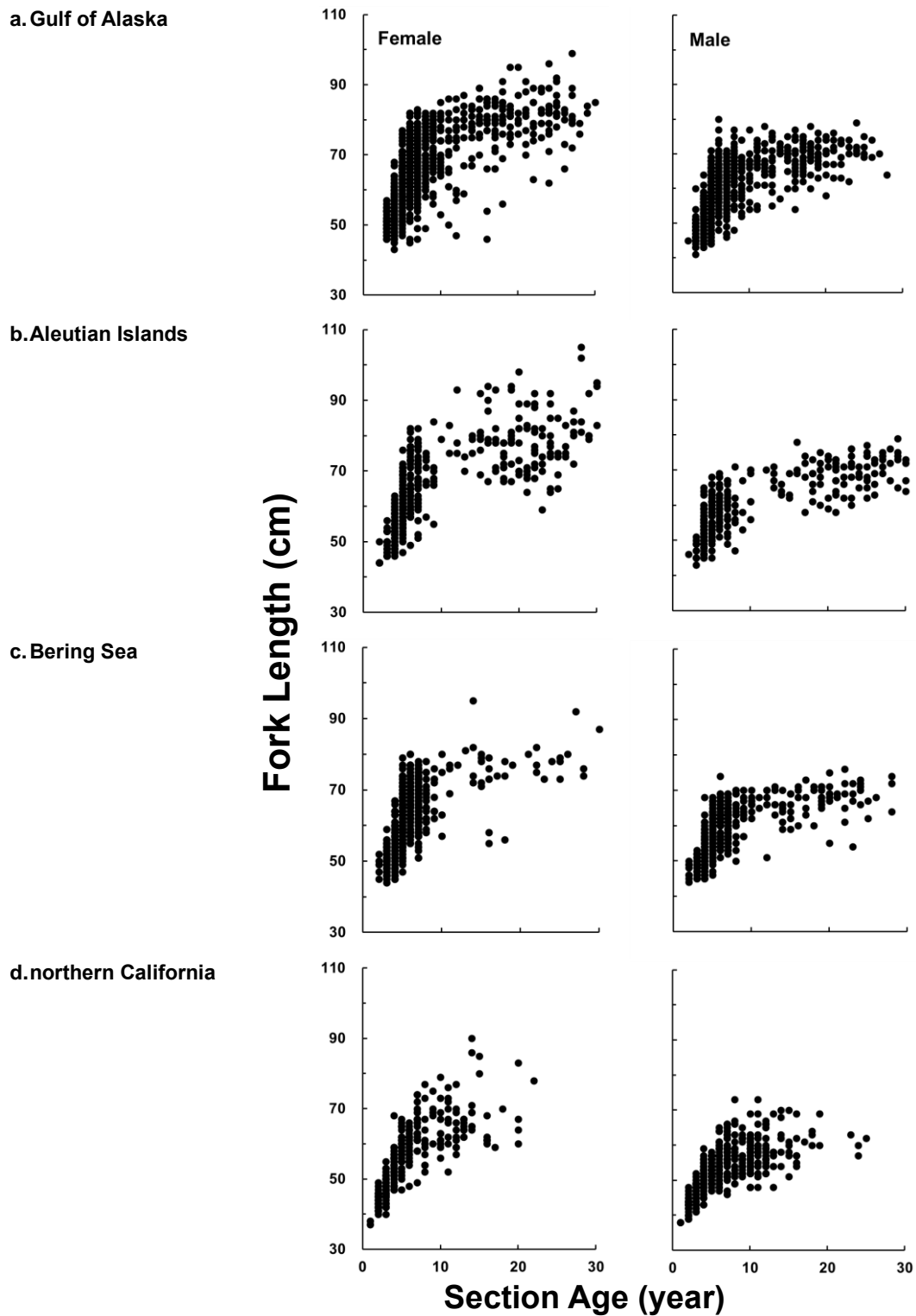


Fig. 35. Plots of length-at-age for female (left) and male (right) of sablefish from Gulf of Alaska(a), Aleutian Islands (b), Bering Sea (c) and Northern California (d) in 1984.

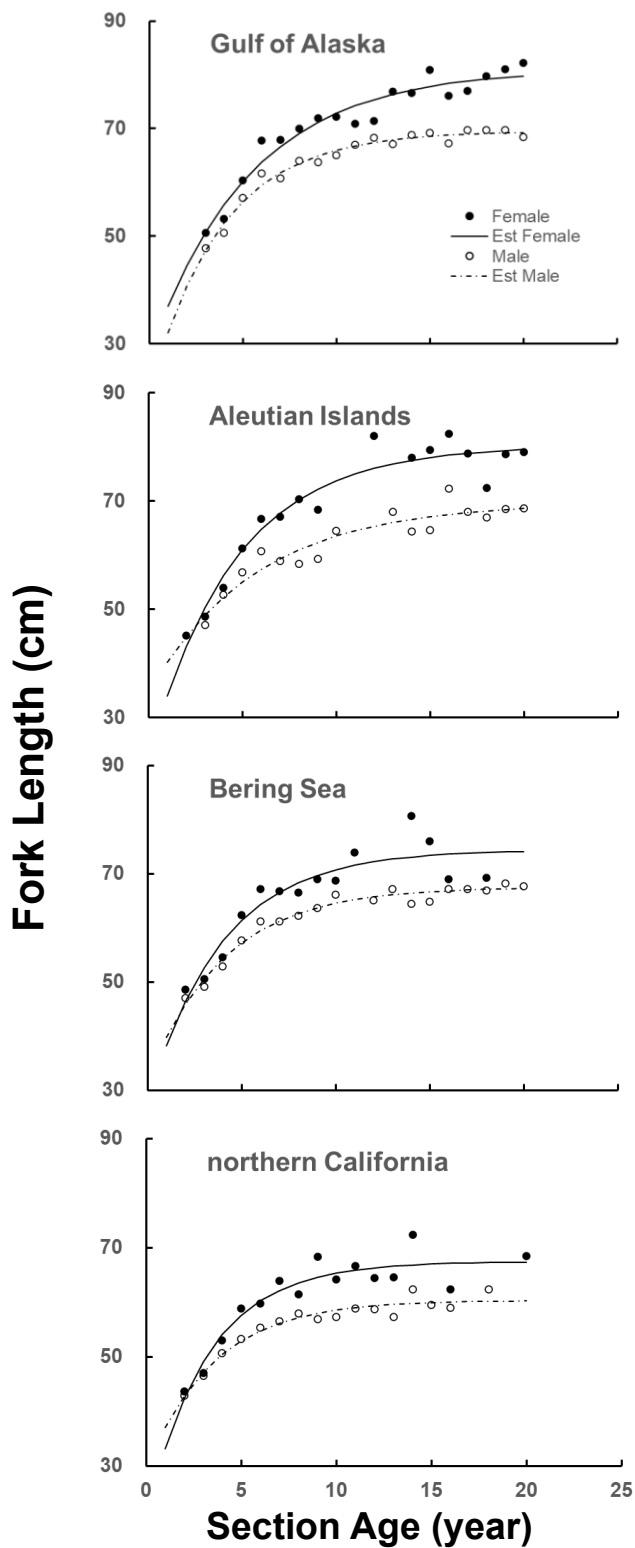


Fig. 36. Average length-at-age plots for female (left) and male (right) of sablefish from Gulf of Alaska (a), Aleutian Islands (b), Bering Sea (c) and northern California (d) in 1984 with estimated von Bertalanffy growth curves.

Table 8. Estimated parameters (L_{∞} , K , and t_0) of von Bertalanffy growth curve with aging sample number (n) for sablefish, using average length-at-age data in Gulf of Alaska, Aleutian Islands, Bering Sea, and Northern California in 1984. Estimated age range from 1 to 20 years. Number of data is used more than three data points at age.

Area	Female				Male			
	L_{∞}	K	t_0	N	L_{∞}	K	t_0	n
Gulf of Alaska	81.09	0.186	-2.286	942	69.53	0.262	-1.369	738
Aleutian Islands	80.25	0.218	-1.526	418	69.69	0.174	-3.930	291
Bering Sea	74.44	0.254	-1.842	600	67.57	0.247	-2.602	457
Northern California	67.44	0.312	-1.170	305	60.37	0.283	-2.358	416

5.4. 考察

アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアの4海域から収集された耳石の横断面年齢に対応する尾又長に、von Bertalanffy 成長式を当てはめた。Table 8 に示した通り、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の最大体長 L_{∞} は、北カリフォルニア水域の L_{∞} に比べ大きく推定された。Fig. 35 に見るように、年齢 10 歳頃から成長が減速し、体長のちらばりが大きかった。

Maeda (1982) が、北カリフォルニアのギンダラの耳石表面年齢に対応する体長を用い推定した von Bertalanffy 成長式の L_{∞} は、雌で 87 cm FL、雄で 72 cm FL であった。本研究では、耳石横断面年齢に対応した体長を用いて推定した L_{∞} は、雌で 67 cm FL、雄で 69 cm FL で、大きく食い違った推定値となった。Maeda (1982) は、大きな個体を含めて耳石表面を使った back-calculation を行った。Back-calculation をするとき、体長の大きい個体が影響し、計算体長を引き上げることになる。横断面で査定された小型の高齢魚を、表面年齢査定法では若齢魚として処理された結果も含まれる。このため、本研究の L_{∞} よりは大きく推定されたのではないかと推測する。

カリフォルニア州のギンダラの L_{∞} は、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のアラスカ水域のギンダラの L_{∞} に比べ小さかった。第 4 章で考察した、北カリフォルニアの 50% 成熟体長は、カナダ水域の報告結果よりも小さかった。水平的に広く生息するギンダラの成熟体長や成長の南北による違いについて、Head et al. (2014) は、海洋環境、漁獲圧、資源密度などに影響されているのではないかとしている。Begg & Walman (1999) は、一般的に、成長や再生産などの生活史の特徴は、系群判別の一つ指標として使われているとしている。成長や成熟体長の違いは、同じ系群内の地理的違いなのか、異なる系群によって起こる違いなのか、今後の研究を待つことになる。

第6章 アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアの

ギンダラの耳石比の比較による系統群判別の可能性

6.1. 緒言

これまで、ギンダラの資源構造を明確にするために、様々な方法が用いられてきた。ギンダラの標識放流—再捕の詳細な結果を基に、アラスカ系群(Alaska population) (ベーリング海、アリューシャン列島、アラスカ湾を経てカナダのバンクーバー島北部水域) と西岸系群(West coast population) (バンクーバーの南部水域から米国ワシントン州、オレゴン州、カリフォルニア州を経てメキシコのバハ・カリフォルニア州の水域) と大きく2系群に分けられることが示唆された (Kimura et al., 1998; Maloney & Sigler, 2008)。20世紀後半から、パソコンの解析ソフトの利用が容易になり、多様な耳石の形を計測し、容易に解析できる形態解析(Otolith shape analysis)の研究が進んだ。この形態解析は、魚種の資源構造を解明する研究に使われるようになった (Jonsdottir et al., 2002; Schulz-Mirbach et al., 2008; Stransky et al., 2008; Treinen-Crespo et al., 2012; Orlov & Afanasyev, 2013; Valentin et al., 2014)。本章では、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアで採集されたギンダラの耳石扁平石の半径と厚さの計測値が、系群判別の手がかりとなるのかどうかを検討した。

6.2. 材料と方法

アラスカ湾、アリューシャン、ベーリング海の耳石収集については第1章、北カリフォルニアの耳石収集については第3章に述べた通りである。耳石の横断面年齢査定法については、第1章に記述した。第2章に耳石半径と耳石厚の計測についてまとめた。東京大学海洋研究所資源解析部門においてアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の耳石横断面年齢査定と耳石計測を行った。北カリフォルニアの耳石横断面年齢査定と耳石計測は、カリフォルニア州立大学ハンボルト校において実施した。

海域別に比較するために、計測された耳石比 (耳石半径÷耳石厚) を使い、横断面年齢に

対応する耳石比の平均を計算した。年齢に対応するデータが3以上あるものについてのみ、平均耳石比を計算した。平均耳石比と横断面年齢に直線的関係があり、年齢2歳から20歳までの間で回帰直線を当てはめた。バートレットの分散均一性検定 (Bartlett's test of homogeneity of variance) と共分散分析(ANCOVA: analysis of covariance)の統計解析は、有意水準5%で行った (Snedecor & Cochran 1980)。

6.3. 結果

1984年にアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海で実施された日米共同底はえ縄調査で収集された雌のギンダラの耳石1960個体、1984年に北カリフォルニアの底引きトロール漁船から採集された雌の耳石305個体、合計2265個体分の横断面年齢査定を行ない、その尾又長範囲と査定年齢範囲をTable 9に示す。査定された横断面年齢は、1-50歳の範囲であった。北カリフォルニアの最大査定年齢は、22歳であった。

Fig. 37に4海域の横断面年齢と平均耳石比との関係を示す。耳石比は、年齢に伴い小さくなった。年齢と平均耳石比は直線関係にあり、回帰直線を当てはめた。その結果をTable 10に示す。4海域とも相関係数は0.9を越え、非常に高い相関関係があった。

4海域の回帰直線の分散の均一性を検討するためにBartlett's testを行った。その結果、分散が均一であるという帰無仮説は棄却された($\chi^2 = 9.227$, $df=3$)。4海域の6つの組み合わせについて、共分散分析の結果を示す(Table 11)。Table 11の結果が示すように、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の回帰直線には、有意な差が検出されなかった。一方、北カリフォルニアの回帰直線は、上記の3海域と有意な差があった。

6.4. 考察

漁業を管理するには、資源変動の単位である系群を明らかにしなければならない。ギンダラは、アリューシャン列島、ベーリング海からバハ・カリフォルニア州の北東太平洋に

Table 9. Sample sizes and ranges of fork length (cm) of sablefish age and otolith measurements, ranges of age assignments from the section aging methods for sablefish collected by bottom longline in the Gulf of Alaska, Aleutian Islands, and Bering Sea in 1984 and by bottom otter trawl in northern California in 1984.

Area	Female otolith ages and measurements		
	Sample Size	Length Range (cm)	Section age range (year)
Gulf of Alaska	942	43-99	3-42
Aleutian Islands	418	46-106	2-48
Bering Sea	600	44-99	2-50
Northern California	305	37-90	1-22
Total	2265	37-106	1-50

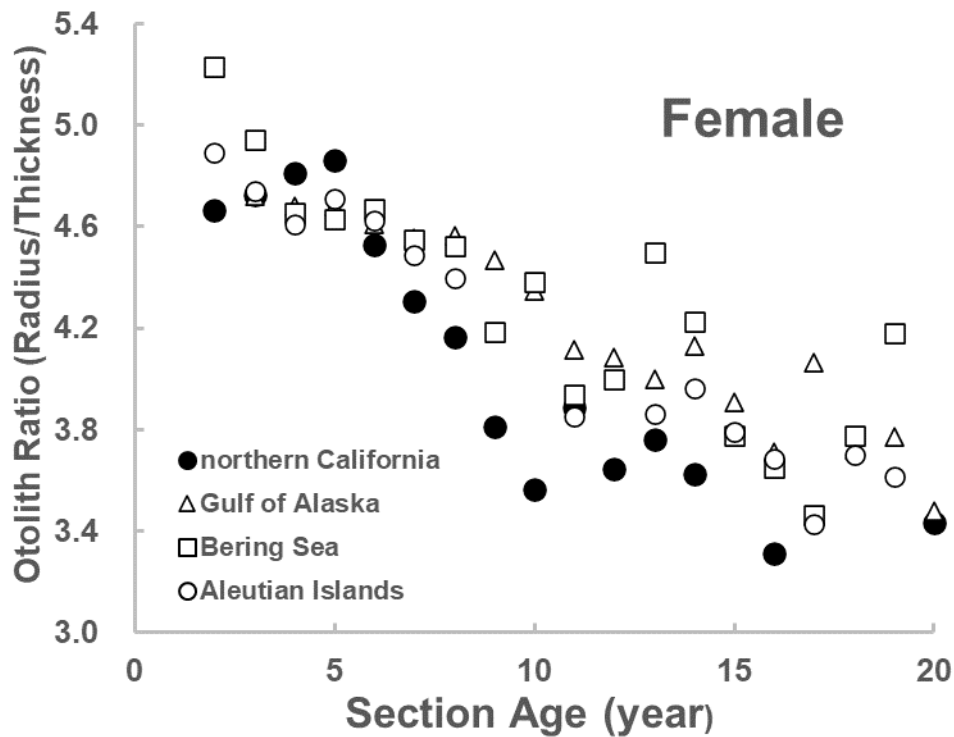


Fig. 37. Mean otolith ratio (otolith radius/otolith thickness)-age relationship of female sablefish, using otolith collected in Northern California, Gulf of Alaska, Bering Sea and Aleutian Islands in 1984.

Table 10. Slopes, intercepts, and correlation coefficients (r) for regression lines relating mean otolith ratio (radius/thickness) to section age for female sablefish, using otoliths collected in the Gulf of Alaska, Aleutian area, Bering Sea, and northern California in 1984.

Area	Female		
	Slope	Intercept	R
Gulf of Alaska	-0.070	5.010	-0.962
Bering Sea	-0.074	4.992	-0.912
Aleutian Islands	-0.077	4.992	-0.910
Northern California	-0.096	4.969	-0.909

Table 11. Summary of comparison of slope and intercepts of regression line for otolith ratio (otolith radius/otolith thickness) to section age for female sablefish, using otoliths collected in the Gulf of Alaska, Bering Sea, Aleutian Islands, and Northern California in 1984.

Hypothesis	Test	Slope			Intercept		
		Statistics	df	Result	statistics	df	Result
Northern California vs Gulf of Alaska	F	2.045	1, 29	Accept	20.907	1,31	Reject
Northern California vs Bering Sea	F	0.207	1,25	Accept	13.436	1,27	Reject
Northern California vs Aleutian Islands	F	0.934	1,27	Accept	14.251	1,29	Reject
Gulf of Alaska vs Bering Sea	F	1.176	1,28	Accept	0.077	1,30	Accept
Gulf of Alaska vs Aleutian Islands	F	0.627	1,30	Accept	1.323	1,32	Accept
Bering Sea vs Aleutian Islands	F	0.250	1,26	Accept	0.218	1,28	Accept

広く分布する(Sasaki 1985)。これまで、ギンダラの資源構造を明らかにするために、標識放流以外にも、形質計数法、生化学的方法、DNA の遺伝学的方法、寄生虫等の研究が行われた(Phillips et al., 1954; Tuyuki & Roberts, 1969; Whitaker & McFarlane, 1997; Tripp-Valdez et al., 2012; Jasonowicz et al., 2016)。単一系群か複数系群かの最終結論はでていない。

標識放流—再捕データを詳細に分析し、「アラスカ系群(Alaska population)」と「西岸系群(west-coast population)」の大きく 2 系群に分けられることが示唆された (Kimura et al., 1998; Maloney and Sigler, 2008)。米国では、カナダを挟む地理的環境から、アラスカ系群と西岸系群に分け、それぞれの漁業管理委員会でギンダラの資源評価を行っている(Johnson et al., 2016; Hanselman et al., 2019)。

近年、形態分析を簡単に利用できるようになり、耳石の複雑な形態分析に利用され、様々な魚種の系群判別に有効な方法として使われている。例えば、ニシマアジ、*Trachurus*

trachurus (Abuanza *et al.*, 2008)、タラ、*Gadus morhus* (Stransky *et al.*, 2008)、またカリフォルニアマイワシ、*Sardinops sagax* (Javor *et al.* 2011)の系群の検出に使われた。

本章では、ギンダラ雌の耳石比（耳石半径/耳石厚）と横断面年齢の関係を分析した結果、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のアラスカ海域と北カリフォルニア海域の南北で異なっていた。Kimura *et al.* (1998) や Maloney & Sigler (2008) が示唆するように、南北の混交が少ないとするならば、耳石成長の差は、系群の特徴を現していると考えられる。今後、ギンダラの耳石の形態分析を含めて、系群判別の研究を進め、資源評価の基本である系群を明らかにしていかなければならない。

第7章 総合考察

一般的には、資源評価を行ってから、漁業管理方策を提示する。資源評価には様々な資源動態モデルが使われている。1950年代に、資源評価モデルとして年齢情報を使わない余剰生産モデル(Schaefer, 1954)では、歴史的な漁獲量・努力量の統計から北太平洋のオヒョウの資源評価を行った。またヨーロッパの底魚を管理するために、Beverton & Holt (1957)は年齢情報を必要とする魚類の生活史をモデル化した。以後、電子計算機の発展に伴い、豊富な科学情報を基に複雑な資源評価モデルが使われている。米国の排他的経済水域(EEZ)のギンダラでは、性別を分け評価を行うアラスカ湾太平洋アラスカメヌケモデルを基礎とし、それを発展させた SS (Stock Synthesis) モデルを使い資源評価を行っている(Haltuch et al., 2019)。このモデルを動かすには、ギンダラの漁獲量・努力量の統計データは勿論のこと、年齢-体長関係、産卵生態に関する生物学的情報は、モデルに入力する情報として必須である。

7.1. 査定年齢の比較

本論文では、まずギンダラで使われている年齢査定法の検討を行った。ギンダラの表面年齢査定法と横断面年齢査定法による査定年齢を検討し、6歳までの若齢魚に関しては、2つの査定法による年齢差がほとんどなく、表面年齢査定法を使った年齢情報の有効性を示した。耳石計測値(耳石半径と耳石厚)から、年齢差が生じる要因を検討し、耳石半径と耳石厚の成長の違いにより、2方法による査定年齢に差が生じることを明らかにした。アラスカ水域(ベーリング海、アリューシャン列島、アラスカ湾)及び北カリフォルニア水域という地理的に広い水域において、耳石成長の違いにより年齢差が生じることが分かった。北カリフォルニアにおいて、査定年齢と耳石計測値・深度・成熟のデータを合わせて検討した結果、ギンダラの成熟に伴う深所移動が、耳石半径方向と耳石厚の異なる成長を増幅し、年齢差を大きくすることも明らかになった。

これまでの知見を総合すると、Beamish & Chilton (1982)が最初に報告したように、ギンダラでは耳石横断面を使って年齢査定をすることが推奨される。同報告では、オキシテトラサ

イクリン法を使い、標識放流後に採捕された耳石を観察し、耳石横断面に刻まれたオキシテトラサイクリン(OTC)のマーク以後の輪紋数と放流から再捕までの年数が一致することを確認し、耳石横断面の輪紋が1年に1輪形成されることを検証した。その結果、ギンダラは、鱗や耳石表面から査定された年齢では20歳を越えなかったが、40歳を越える長寿命魚であることが明らかになった。その後、Kastelle et al. (1994) は、耳石に含まれるラジウム(Ra-226)に対する鉛(Pb-210)の比率を測定する放射分析(Radiometric)法によって、Beamish & Chilton(1982)が報告した結果と同様に、ギンダラは長寿命魚であることを検証した。

年齢査定を行うには、観察している輪紋が正しく周期的に現れているという検証(Validation)や査定された年齢の精度(Precision)について検討しなければならない(Beamish & Fournier, 1981; Beamish & McFarlane, 1983b; Campana, 2001)。本論文では、判読した輪紋が1年周期で形成される直接的な検証は出来なかった。本研究の耳石成長の観点からすると、相対的に横断面による査定法は有効であると考ええる。

著者は、Doris Chilton より、横断面年齢査定法の指導を受けた。本研究の最高横断面年齢は、55歳であった。

多くの魚種で耳石横断面を使った年齢査定が行われている。Munk (2001) は、文献調査から北部太平洋に生息する48種の底魚の最高年齢情報の一覧表を作成し、耳石横断面を使った査定年齢は、20歳を越える魚種が多く、ギンダラを含めて100歳を越える魚種も報告されている。さらに、底魚だけではなく、メバチや太平洋クロマグロなどの浮魚に対しても、耳石横断面を使って年齢査定が行われている(Farley et al. 2006、Shimose & Ishihara 2015)。

年齢差を詳しく検討した結果、6歳までの若齢魚に関しては、耳石表面を使った査定も可能であることを示した。その理由は、1) 2つの査定法による年齢差がほとんどなく、2) 2つの査定年齢に対応するそれぞれの体長が、雌雄ともほぼ同じ傾向を示した。耳石表面を使う利点として、表面年齢査定は、横断面年齢査定準備に比べ簡易である上に、年齢6歳までの年齢組成に占める割合が50%を越える。その中に未成魚が占める割合は大きい。ギンダラは、外観から雌雄判別は難しく、開腹し、生殖腺を観察することで判別する。Mason

et al. (1983) に従えば、生殖腺の生殖腺の外観から、性別や成熟度を判断することは容易である。6歳以下の未成魚を対象に表面年齢査定法を使い、6歳を越える成熟個体には、手間のかかる横断面年齢査定法を使うことで、より効率的に、多くの個体の年齢査定を行うことが可能になるのではないかと考える。

7.2. 成長と成熟及び性比

アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアのギンダラについて von Bertalanffy 成長式のパラメーターを推定し、Table 8 に示す。本章の Table 12 にあるこれまでの推定結果も同様に、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の高緯度のギンダラの最大体長(L_{∞})は、低緯度の北カリフォルニアの L_{∞} より大きく推定されていた。

北カリフォルニアの雌の 50%成熟体長は、Table 7 の通り、53.5cm と推定された。本章の Table 13 に示すように、雌の 50%成熟体長は米国西海岸では 55 cm から 60 cm (Parks & Show, 1987; Hunter et al., 1989; Macewicz & Hunter, 1994; Head et al., 2014)、カナダ西海岸は 52 cm から 58 cm (Mason et al., 1983; McFarlane & Beamish, 1990)、アラスカ水域では 65-67 cm (Sasaki, 1985) と調査水域で異なる。カナダ以北の 50%成熟体長に比べて、北カリフォルニアの 50%成熟体長は小さく推定されている。

Head et al. (2014) は、ギンダラの成長や成熟に地域差があること報告し、この地域差は海洋条件、漁獲圧、資源密度、大型魚の拡散が反映された結果であると推測している。Sounders et al. (1997) は、特に緯度が高くなると生息水温は低くなり、餌の摂取率や成長効率に影響し、地域差が生じると考えている。

性比については、Table 4 と Table 5、そして Fig. 31 に示すように、未成魚では、月別にみても水深別にみても、雌雄比は 1:1 とみて差し支えない。成熟魚については、一定せず、調査期間を通じて、雌雄比は 1:1.7 と雄が卓越していた。

Table 12. Parameter estimates for von Bertalanffy growth curve from past studies of female sablefish by location and year.

Location	Year	L_{∞}	K	t_0	Citation
Gulf of Alaska (US)	1981-1993	75.0	0.263	-2.00	Echave et al. (2012)
Gulf of Alaska (US)	1996-2004	80.1	0.223	-1.92	Echave et al. (2012)
Gulf of Alaska (US)	1987-1991	86.7	0.106	-6.15	Kimura et al (1993)
West coast of Vancouver Islands (Canada)	1979-1980	81.4	0.249	-0.77	McFarlane & Beamish (1983a)
U.S. West Coast	1971-1993	61.0	0.499	-0.81	Kimura et al. (1993)
U.S. West Coast	2003-2008	63.7	0.365	-1.28	Head et al. (2014)

Table 13. Length 50% maturity of sablefish by locations and sampling period.

Locations	Year	L_{50} (cm)	Citation
US. Gulf of Alaska	Summer 1979-1981	65.0	Sasaki (1985)
U.S. Aleutian Islands	Summer 1979-1981	65.0	Sasaki (1985)
U.S. Bering Sea	Summer 1979-1981	67.0	Sasaki (1985)
Canada-British Columbia	Sep. to May 1979-1980, Dec 1981	58.3	Mason et al. (1983)
Canada-British Columbia	1982-1984	52.7	McFarlane & Beamish (1990)
U.S.-Washington and Oregon	1985	55.3	Parks & Show (1987)
U.S, Oregon	Nov.-Dec. 1988	54.8	Macewicz & Hunter (1994)
U.S. California	Oct. 1986	60.2	Hunter et al. (1989)

ギンダラの産卵期は、米国およびカナダの西海岸では、1月から4月が産卵期で、2月がピークにあたりと報告されている (Fujiwara & Hankin, 1988b; Macewicz & Hunter, 1994; Mason et al., 1983; Moser et al., 1994)。産卵水深は、250m 以深と報告されている (Shubnikov 1963; Kodolov 1968; Osada & Gaillet 1975; Hunter et al. 1989)。

Mason et al. (1983) は、1月の産卵期前の11月と12月にカナダ西海岸 Queen Charlotte Islands、Queen Charlotte Sound、Vancouver Islands の3海域における、雌の割合が64%、78%、81%で、雌が卓越していた。Mason et al. (1983)は、ギンダラの性比は、基本的には性比1:1

であるが、性比のかたよりは、標本採集に使った籠(trap)漁具よるもので、雌が摂食のための蝟集し、大型の雌がより多く漁獲されたためであると推測している。

本研究では11月及び12月のデータはないが、Fig. 31に見るように、産卵期の2月から3月の性比は雌に偏っており、その他の月では雄に偏っていた。伊豆諸島のキンメダイ(*Beryx splendens*) (秋元, 2005)や南アフリカのメルルーサ(*Merluccius capensis*) (Botha, 1986)で、産卵期に雌の性比が高くなるという報告がある。本調査では、標本の採集数が少ないうえ、1年を通じた調査結果ではないが、産卵期の繁殖行動に関係すると推測できる。

7.3. 資源構造

ギンダラは、広い海域に、幅広い鉛直的な生息域を有するため、北東太平洋海域において頻繁に標識放流実験が行われた魚種である(Kimura et al. 1998)。その結果は、Beamish & McFarlane(1983a, 1988)、Wespestad(1983)、Maloney & Heifetz(1997)等は、ギンダラはある海域にとどまり、複数の系群があることを示唆した。一方では、Bracken(1983)、Dark(1983)、Heifetz & Fujioka(1991)等は、広い海域を移動し単一系群であることを示唆した。

Table 14 に示すように、標識放流以外にも、形質計数法、生化学的方法、DNA の遺伝学的方法、寄生虫等の研究が行われてきた (Phillips et al., 1954; Tuyuki & Roberts, 1969; Whitaker & McFarlane, 1997; Tripp-Valdez et al., 2012; Jasonowicz et al., 2016;)。標識放流の結果同様に、北東太平洋のギンダラが、単一系群なのか複数系群なのか、明確な結果は得られていない。

Kimura et al. (1998) は、海洋環境と合わせて標識放流結果を精査し、アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海のアラスカ水域のギンダラは、一部はカナダを経て、ワシントン州からカリフォルニア州の米国西海岸に回遊するが、ほとんどはアラスカ水域内の回遊にとどまっていると報告している。同報告は、米国西海岸のギンダラについても、ア

Table 14. Previous stock structure studies on sablefish in northeast Pacific Ocean.

Citation	Area	Method	Result
Phillips et al. (1954)	Alaska-California	meristic (counts of annal rays, dorsal spines, dorsal rays, gill rakers, vertebrae counts)	multiple
Sasaki (1985)	northeast Pacific Ocean	meristic	single
Tuyuki & Roberts (1969)	Gulf of Alaska-Oregon	biochemical (Muscle protein polymorphism)	single
Jasonowicz et al. (2016)	west coast of US	genetic	single
Tripp-Valdez et al (2012)	the Bering Sea, Gulf of Alaska, offshore Oregon, and offshore the mid-Baja California Peninsula	geometric morphometrics (14 landmarks), mitochondrial DNA (fragment of COI gene), and nuclear DNA (four microsatellite loci)	mix results (multiple: allele frequencies of microsatellites, FST values, and single: mtDNA)
Kabata et al. (1988) Whitaker & McFarlane (1997)	west coast of Canada	parasite	inconclusive
Gao et al. (2004)	Washington and Oregon coast	otolith microchemistry	inconclusive
Low et al. (1976)	northeast Pacific Ocean	tagging	multiple
Wespestad et al. (1983), Bracken (1982)	northeast Pacific Ocean Gulf of Alaska	tagging	multiple single
Gharrett et al. (1983)	northeast Pacific Ocean	tagging	multiple
Dark (1983)	Washington-California	tagging	multiple
Sasaki (1985)	northeast Pacific Ocean	tagging	single
Kimura et al. (1998)	offshore northeast Pacific waters	tagging	two populations

ラスカ水域への回遊はあるものの、多くは米国西海岸内にとどまっていることを報告した。この結果に基づき、ベーリング海、アリューシャン列島、アラスカ湾を経てカナダのバンクーバー島北部水域までのギンダラを「アラスカ系群 (Alaska population)」、バンクーバーの南部水域から米国ワシントン州、オレゴン州、カリフォルニア州を経てメキシコのバハ・カリフォルニアにかけてのギンダラを「西岸系群 (west-coast population)」と、大きく 2 系群に分けられることを示唆した。

本研究の成長や 50%成熟体長、耳石成長の比較結果では、アラスカ水域と米国西海岸の水域との間に差がみられた。Kimura et al. (1998) が示唆するように、南北の混交が少ないとするならば、成長や 50%成熟体長、さらに耳石成長の差は、系群の特徴を現していると考えられる。

近年、耳石の複雑な形態分析が容易にできるようになり、様々な魚種の系群判別に利用さ

れている (Abuanza et al., 2008、Stransky et al., 2008)。今後、ギンダラにも耳石形態分析を使い、より詳細な分析を進めることを推奨する。

米国の水域について、未だ明らかな系群に関する結果が得られていないが、地勢的に、カナダを境にアラスカ水域と西海岸水域に分けられるので、「アラスカ系群」と「西岸系群」に分けてそれぞれの漁業管理委員会が資源評価を行い、漁業管理を進めている(Hanselman et al., 2017; Johnson et al., 2016)。

7.4. 標本採集に関して

ギンダラは 100 歳を越える報告がある(Beamish & McFarlane 2000)通り、10 歳を越える頃から、年齢に対する体長の分散が大きくなる。例えば、雌雄別にこのような高齢に達するギンダラの成長曲線を求める場合、年齢に対応するデータを集めるとなると、耳石標本を十分大きくしなければならない。また、ギンダラは、成熟に伴い深所移動をする。北カリフォルニアでは、未成魚の出現が浅い水深であるのに対して、成熟魚は深い水深で多くなる (Fig. 20 と Fig. 21)。Fig. 30 に示すように、底曳トロールの深度に対する 1 時間当たりの漁獲尾数は、深度が深くなるに従って増加する。このように深所移動を行い、その密度が変わるギンダラの標本採取にも注意を払う必要がある。

このように、ギンダラの標本採集にあたっては、生息水深による違いを注意しないと、正しい資源評価が出来ないと考える。

7.5. 国際漁業管理機関の対象魚

北太平洋漁業委員会 (NPFC: North Pacific Fisheries Commission) は、北太平洋の海洋生態系を保護しつつ、条約水域における漁業資源の長期的な保存及び持続可能な利用の確保を目的とする「北太平洋における公海の漁業資源の保存及び管理に関する条約」(北太平洋漁業資源保存条約) に基づいて設立された地域漁業管理機関である。北太平洋漁業資源保存条約は 2012 年 2 月 24 日に採択され、四カ国目の批准提出より 180 日後の 2015 年 7 月 19 日

に発効した。日本は、2013年7月16日に締結した。この条約の中に、クサカリツボダイ、キンメダなどに加え、ギンダラも含まれている。本研究は、将来のギンダラ資源を持続的に利用できる漁業管理に向けた調査研究の基礎となることを期待する。

要旨

ギンダラ(*Anoplopoma fimbria*)は、米国西海岸のカリフォルニア州からオレゴン州、ワシントン州を経てアラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海の広い水域に生息し、鉛直的にも表層から 1000 m 以深まで幅広い。ギンダラ資源管理提言の基礎となる資源評価のためには、年齢、成長、成熟、系群等の情報を必要とする。

本研究では、アラスカ水域(アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海)、北カリフォルニアのギンダラの耳石(扁平石)を、表面年齢査定法(半径方向の表面に形成された輪紋を数える方法)と横断面年齢査定法(横断面の輪紋を数える方法)の 2 方法で年齢査定を行った。

最高齢は、表面で 19 歳、横断面で 56 歳であった。表面年齢と横断面年齢は、6 歳まではほぼ一致するが、7 歳以上では横断面年齢の方がより大きく査定された。よって、表面年齢査定法は、生活史全体の年齢査定には使うことができないが、成長の早い若齢魚に対しては有効な査定法で、年齢査定の簡便性もあり、より多くの個体の年齢データの収集を可能とする。

二つの年齢査定法の年齢差は、年齢査定部位である耳石半径方向と耳石厚方向との成長の違いに起因する。耳石半径は、体長の増加に比例する。成熟後、耳石半径は、体成長率の鈍化に伴い減速し、縁辺部の年齢の判読を難しくする。一方、耳石厚では、体長に関係なく年齢に伴い増加する。すなわち、生活史全体を通じて年齢査定を行うには横断面の観察が有効であることが分かった。この耳石成長の違いによって生じる査定年齢の差は、アラスカ水域や北カリフォルニア水域に共通にみられる。

北カリフォルニアのギンダラを、深度と成熟情報を併せて査定年齢の差を検討した。浅い海域では、未成魚が多く、体成長に伴い、耳石半径方向への成長は著しく、耳石比(耳石半径/耳石厚)が増加し、査定年齢の差はほとんど生じなかった。深くなると、成魚の割合が増え、年齢に伴い体成長が鈍化し、耳石半径の成長も徐々に鈍化した。一方、耳石厚は、体成長に関係なく増加し、耳石比を減少させた。このため、深度が深くなり成魚が多くなると、査定年齢差がより大きくなったと考えられる。

本研究では、直接的な年齢の検証はできなかったが、寿命 20-30 年を越えるギンダラのような長寿魚については、耳石横断面の観察が推奨される。年齢組成で多くを占める若齢魚(多くは未成魚)については表面年齢査定は有効である。

北カリフォルニアでの研究結果、Logistic モデルを使い 50%成熟体長・年齢を推定した結果、それぞれ雌で 53.5 cm・5.0 歳、雄で 49.6 cm・4.5 歳で、カナダやアラスカ水域の 50%成熟体長に比べて小さかった。産卵盛期は 2 月であった。雌雄比は、未成魚で 1:1 であったが、成魚では 1:1.7 と雄に偏っていた。月別にみると 2 月から 3 月の成魚の性比は、雌に偏っており、その他の月では雄に偏っていた。このことは、ギンダラの産卵行動に何らかの関係があると考えられる。

アラスカ湾、アリューシャン列島、ベーリング海、北カリフォルニアの 4 海域のギンダラの成長をボンバートランフィ成長式で比較すると、アラスカ水域の 3 海域より北カリフォルニアの最大体長(L_{∞}) は小さかった。さらに、4 海域で、耳石比(耳石半径/耳石厚)と横断面年齢の関係を比較した。耳石比は、年齢に伴い、直線的に減少した。横断面年齢と耳石比の関係を回帰直線とし、共分散分析により、4 つの回帰直線を比較した。その結果、アラスカ湾・アリューシャン列島、ベーリング海では、統計的に有意な差がなく、これらの 3 海域と北カリフォルニアでは統計有意差が検出された。

米国の北太平洋水域のギンダラでは、アラスカと米国西海岸の南北の系統群に分けて資源評価が行われている。もしアラスカ水域と北カリフォルニア水域に南北の混交が少ないとすると、50%成熟体長、成長、そして耳石比の成長の違いは、南北の系群の違いとして考えられる。耳石形態解析は、様々な魚種の系群判別に使われており、ギンダラの系群判別の今後の研究手法となる可能性がある。

謝辞

高知大学海洋生物教育センター木下泉教授には、本研究に懇切なご指導を頂いた。ここに謝意を表す。本論文をまとめるにあたり、米国カリフォルニア州ハンボルト校の David G. Hankin 名誉教授には多大な有益な助言を頂いたことに深謝の意を表す。また、元東京大学海洋研究所の故田中昌一教授、故松宮義晴教授、故石井丈夫教授に心からの感謝を申しあげる。統計解析や成長モデルについて、広島工業大学の庄野宏教授の助言に感謝する。

北カリフォルニアのユーリカ Fishermen's Marketing Association の Mr. Peter Leipzig には、試料採取に協力頂いた。また元水産庁遠洋水産研究所の故佐々木喬博士には、アラスカ水域で採集された耳石標本の使用を許可して頂き、感謝の意を表す。

引用文献

- Abuanza, P., A.G. Murta, N. Campbell, R. Cimmaruta, Á.S. Comesaña, G. Dahle, M.T.G. Santamaría, L.S. Gordon, S.A. Iversen, K. Mackenzie, A. Magoulas, S. Mattiucci, J. Molloy, G. Nascetti, A.L. Pinto, R. Quintã, P. Ramos, A. Sanjuán, A.T. Santos, C. Stransky & C. Zimmermann. 2008. Stock identity of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the northeast Atlantic and Mediterranean Sea: integrating the results from different stock identification approaches, *Fish. Res.* 89:196–209.
- 秋元清治. 2005. 伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイの性比. *神水研研報* 10:83-86.
- Alverson, D.L. 1960. A study of annual and seasonal bathymetric catch patterns for commercially important ground fishes of the Pacific northwest coast of North America. *Pac. Mar. Fish. Comm. Bull.* 4:1-66.
- Alverson, D.L., A.T. Pruter & L.L. Ronholt. 1964. A study of demersal fishes and fisheries of the Northeastern Pacific Ocean. H. R. MacMillan lectures in Fisheries, the Univ. Brit. Col., Vancouver.
- Anderi, D. M. 2012. Sablefish (*Anoplopoma fimbria*). pp. 36-48 *In* M.E. Matta & D.K. Kimura (eds.), Age determination manual of the Alaska fisheries science center age and growth program., NOAA Professional Paper NMFS 13.
- Beamish, R.J. 1979. Differences in the age of Pacific hake (*Merluccius productus*) using whole otoliths and sections of otoliths. *J. Fish. Res. Board Can.* 36:141-151.
- Beamish, R.J. & D.E. Chiton. 1982. A preliminary evaluation of a method to determine the age of sablefish (*Anoplopoma fimbria*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39:277-287.
- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:982-983.
- Beamish, R.J., C. Houle & R. Scarsdale. 1980. A summary of sablefish tagging, and biological studies conducted during 1979 by the Pacific Biological Station. M.S. Rept. Canada Fish. Aquat. Sci. No. 1588.

- Beamish, R.J. & G.A. McFarlane. 1983a. Summary of results of the Canadian sablefish tagging program. pp. 147-183 *In* Proceedings of the Int. Sablefish Symposium. Alaska Sea Grant Report 83-8.
- Beamish, R.J. & G.A. McFarlane. 1983b. The forgotten requirement for age validation *In* fisheries biology. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112:735-743.
- Beamish, R.J. & G.A. McFarlane. 2000. Reevaluation of the interpretation of annuli from otoliths of a long-lived fish, *Anoplopoma fimbria*. *Fish. Res.* 46:105-111.
- Begga, G.A. & J.R. Waldman. 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research.* 43:35-44.
- Berkson, J. 1953. A statistically precise and relatively simple method of estimating the bioassay with quantal response, based on the logistic function. *J. Am. Stat. Assoc.* 48:565-599.
- Beaverton, R.J.H. & S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Min. Agric. Fish and Food. Fish. Invest. Ser. II, Vol. 19.*
- Botha, L. 1986. Reproduction, sex ratio, and rate of natural mortality of Cape hake *Merluccius capensis* CAST. And *M. paradoxus* FRANCE in the Cape of Good Hope area. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 4:23-35.
- Bracken, B.E. 1982. Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) migration. *In* the Gulf of Alaska based on Gulf-wide tag recoveries, 1973-1981. Inf. Lfit. No. 199, Alaska Dep. of Fish and Game, Juneau, AK.
- Campana S.E. 2001. Accuracy, precision, and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.* 59: 197-242.
- Dark, T.A. 1983. Movement of tagged sablefish released at abundance index sites off southeastern Alaska, Washington, Oregon, and California during 1978-1981. pp. 191-207 *In* Proceedings of the Int. Sablefish Symposium. Alaska Sea Grant Report 83-8.
- Doyle, M.J., W.C. Rugen & R.D. Brodeur. 1994. Neustonic ichthyoplankton in the western Gulf of Alaska during spring. *Fish. Bull.* 93:231-253.

- Echave, K.B., D.H. Hanselman, M.D. Adkison & M.F. Sigler. 2012. Interdecadal change in growth of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) in the northeast Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 110: 361–374.
- Farley, J.H., N.P. Clear, B. Leroy, T.L.O. Davis & G. McPherson. 2006. Age, growth and preliminary estimates of maturity of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Australian region. *Mar. Freshw. Res.* 57:713–724.
- FAO. 1985-2017. Annual report series. FAO yearbook, fishery statistics, catches and landings. Rome.
- Frimodt, C. 1995. Multilingual illustrated guide to the world's commercial cold water fish. Fishing News Books, Osney Mead, Oxford, England.
- Fujiwara, S. 1985. Comparison of two otolith aging methods for sablefish, *Anoplopoma fimbria*. M.S. thesis, Coll. Nat. Res., Humboldt St. Univ., Arcata, CA.
- Fujiwara, S. & D.G. Hankin. 1988a. Aging discrepancy related to asymmetrical otolith growth for sablefish *Anoplopoma fimbria* in northern California. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 54:27-31.
- Fujiwara, S. & D.G. Hankin. 1988b. Sex ratio, spawning period, and size and age at maturity of sablefish *Anoplopoma fimbria* off northern California. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 54:1333–1338.
- Gao, Y.W., S.H. Joner, R.A. Svec & K.L. Weinberg. 2004. Stable isotopic comparison in otoliths of juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*) from waters off the Washington and Oregon coast. *Fish. Res.* 68:351-360.
- Gharrett, A.J., M.A., Thomason & L.N. Wishard. 1982. Biochemical genetics of sablefish. NWAFC Report 82-5.
- Gunderson, D.R. 1977. Population biology of Pacific ocean perch, *Sebastes alutus*, stocks in the Washington-Queen Charlotte Sound region, and their response to fishing. *Fish. Bull.* 75:369-403.
- Guzmán, J.M, J.A. Luckenback, M.A. Middleton, K.C. Masee, C. Jensen, F.W. Goetz, A.J. Jasonowicz, and P. Swanson. 2017. Reproductive life history of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) from the U.S. Washington coast. *PLOS One* 12: 0184,413. doi:10.1371/journal.pone.0184413.
- Haltuch, M.A., K.F. Johnson, N. Tolimieri, M.S. Kapur & C.A. Castillo-Jordán. 2019. Status of the

- sablefish stock in U.S. waters in 2019. Pacific Fisheries Management Council, 7700 Ambassador Place NE, Suite 200, Portland, OR.
- Hanselman D.H., C.J. Rodgveller, K.H. Fenske, S.K. Shotwell, K.B. Echave, P.W. Malecha & C.R. Lunsford. 2019. Assessment of the Sablefish stock in Alaska. North Pacific Fishery Management Council, 605 W 4th Ave, Suite 306, Anchorage, AK 99501.
<https://www.fisheries.noaa.gov/resource/data/2019-assessment-sablefish-stock-alaska>.
- Hart, J.L. 1973. Pacific fishes of Canada. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 180:1–740.
- Head, M.A., A.A. Keller & M. Bradburn. 2014. Maturity and growth of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, along the U.S. West coast. Fish. Res. 159: 56-67.
- Heifetz, J. & J.T. Fujioka. 1991. Movement of dynamics of tagged sablefish in the northeastern Pacific Ocean. Fish. Res. 11:355-374.
- Hunter, J.R., B.J. Macewicz & C.A. Kimbrell. 1989. Fecundity and other aspects of the reproduction of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in central California waters. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 30, 61–72.
- Irie, T. 1960. The growth of the fish otolith. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ. 3: 202-221.
- Jasonowicz, A.W., F.W. Goetz, G.W. Goetz & K.M. Nichols. 2016. Love the one you're with: genomic evidence of panmixia in the sablefish (*Anoplopoma fimbria*). Can. J. Fish. Aquat. Sci.
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0012>
- Javor, B., N. Lo, and R. Vetter. 2011. Otolith morphometrics and population structure of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) along the west coast of North America. Fish. Bull. 109:402–415.
- Johnson, K.F., M.B. Rudd, M. Pons, C. Allen, Q. Lee, F. Hurtado-Ferrol, M.A. Haltuch & O.S. Hamel. 2016. Status of the U.S. sablefish resource in 2015. Portland, OR. Pacific Fisheries Management Council.
- Jonsdottir, O.D.B., A.K. Imsland, A.K. Danielsdottir & G. Marteinsdottir. 2002. Genetic heterogeneity and growth properties of different genotypes of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) at two spawning

- sites off south Iceland. Fish. Res. 55:37-47.
- Jordan, D.S. & C.H. Gilbert. 1881. Notes on the fishes of Pacific coast of the United States. Proc. the U.S. Nat. Mus. 4:54.
- Kabata, Z., G.A. McFarlane & D.J. Whitaker. 1988. Trematoda of sablefish, *Anoplopoma fimbria* (Pallas, 1811), as possible biological tags for stock identification. Can. J. Zool. 66:195-200.
- Kastelle, C.R., D.K. Kimura, A.E. Nevissi & D.R. Gunderson. 1994. Using Pb-210/Ra-226 disequilibria for sablefish, *Anoplopoma fimbria*, age validation. Fish. Bull. 92:292-301.
- Kendall, A.W. Jr. & A.C. Matarese. 1987. Biology of eggs, larvae, and epipelagic juveniles of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in relation to their potential use in management. Mar. Fish. Rev. 49:1-13
- Kennedy, W.A., and F.T. Pletcher. 1968. The 1964-1965 sablefish tagging study. Tech. Rept. Fish. Res. Board Ca. 74.
- Kimura, D. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. Fish. Bull. 77:765-776.
- Kimura, D.K., A.M. Shimada & S.A. Lowe. 1993. Estimating von Bertalanffy growth parameters of sablefish *Anoplopoma fimbria* and Pacific cod *Gadus macrocephalus* using tag-recapture data. Fish. Bull. 91: 271–280.
- Kimura, D.K., A.M. Shimada & F.R. Shaw. 1998. Stock structure and movement of tagged sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in offshore northeast Pacific waters and the effects of El Niño Southern Oscillation on migration and growth. Fish. Bull. 96:462–481.
- Kobayashi, K. 1957. Larvae and young of the sablefish, *Anoplopoma fimbria* (Pallas), from the sea near the Aleutian Islands. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 23:376-382.
- Kodolov, L.S. 1968. On the age analysis of the sablefish (ob opredelenii vozrasta ugal noi khoz ryby). Izv. Tikhookean Nauchna-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr. 61:238-242.
- Kodolov, L.S. 1976. Detailed of biology and distribution of blackcod (*Anoplopoma fimbria* pall.). Izv. Tikhookean Nauchna-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr. 100:19-42.
- Low, L.L., G.K. Tanaoka & H.H. Shippen. 1976. Sablefish of the Northeastern Pacific Ocean and

- Bering Sea. Northwest and Alaska fisheries center processed Rept.
- Macewicz, B.J. & J.R. Hunter. 1994. Fecundity of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, from Oregon coastal waters. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 35:160–174.
- Maeda, R. 1982. Aging of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, from otoliths and scales: an evaluation of readability, reliability, and derived growth patterns. M.S. thesis, Coll. Nat. Res., Humboldt St. Univ., Arcata, CA.
- Maeda, R. & D.G. Hankin. 1983. Age and growth of sablefish landed In Eureka, California: a comparison of conventional surface age assignments with sectioned otolith assignments. pp. 81-93 *In* Proceedings of the int. sablefish symposium. Alaska Sea Grant Report 83-8.
- Maloney, N.E. 2004. Sablefish, *Anoplopoma fimbria*, populations on Gulf of Alaska seamounts. Mar. Fish. Rev. 66:1-12.
- Maloney, N.E. & J. Heifetz. 1997. Movement of tagged sablefish released in the eastern Gulf of Alaska. pp. 115-121 *In* M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Maloney, N.E. & M.F. Sigler. 2008. Age-specific movement patterns of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) in Alaska. Fish. Bull. 106:305–316.
- Marino, J. 2017. Keeping more than one fish in the Sea: why the Magnuson-Stevens Act should be reauthorized. Uni. Mass. Law Review. 12:200-211.
- Mason, J.C., R.J. Beamish & G.A. McFarlane. 1983. Sexual maturity, fecundity, spawning, and early life history of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) off the Pacific coast of Canada. Can. J. Fish Aquat. Sci. 40:2126-2134.
- McDevitt, S.A. 1986. A summary of sablefish catches in the northeast Pacific Ocean, 1956-84. NOAA Technical Memorandum NMFS F/NWC-101.
- McFarlane, G.A. & R.J. Beamish. 1983a. Biology of adult sablefish (*Anoplopoma fimbria*) in waters

- off the west coast Canada. pp.59-80 *In* Proceedings of the int. sablefish symposium. Alaska Sea Grant Report 83-8.
- McFarlane, G.A. & R.J. Beamish. 1983b. Preliminary observations on the juvenile biology of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) in waters off the west coast of Canada. pp. 119-135 *In* Proceedings of the int. sablefish symposium. Alaska Sea Grant Report 83-8.
- McFarlane, G.A. & R.J. Beamish. 1990. Effect of an external tag on growth of sablefish (*Anoplopoma fimbria*), and consequences to mortality and age at maturity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47:1551-1557.
- McFarlane, G.A. & W.D. Nagata. 1988. Overview of sablefish mariculture and its potential for industry. pp. 105-120 *In* Proceedings of the 4th Alaska aquaculture conference, Sitka, Alaska. Alaska Sea Grant Rep. 88-4.
- McFarlane, G.A. & M.W. Saunders. 1997. Dispersion of juvenile sablefish, *Anoplopoma fimbria*, as indicated by tagging in Canadian waters. pp. 137-150 *In* M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Method, R. D. 1994. Assessment of the west coast sablefish stock in 1994. Appendix B in Pacific fishery management council. Status of the Pacific coast ground fishery through 1994 and recommended acceptable biological catches for 1995: stock assessment and fishery evaluation. Portland, Oregon.
- Miller, D.J. & R.N. Lee. 1972. Guide to the coastal fishes of California. *Cal. Fish and Game Bull.* 157.
- Moser, H.G., R.L. Charter, P.E. Smith, N.C.H. Lo, D.A. Ambrose, C.A. Meyer, E.M. Sand-knop & W. Watson. 1994. Early life history of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, off Washington, Oregon, and California, with application of biomass estimation. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 35: 144-159.
- Mugiya, Y. 1974. Calcium-45 behavior at the level of otolith organs of the rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 40: 457-463.

- Munk, K.M., 2001. Maximum ages of groundfishes in waters off Alaska and British Columbia and consideration of age determination. *Alaska Fish. Res. Bull.* 8:12-21.
- 岡村寛・市野川桃子. 2015. 水産資源学における統計モデリング. *統計数理* 64:39-57.
- Osada, E.K. & G.M. Gaillet. 1975. Trap caught sablefish in Monterey Bay, California. *Cal-Neva Wild. Transact.* 1975:56-73.
- Orlov, A.M. & P.K. Afanasyev. 2013. Otolith morphometrics as a tool for analysis of the population structure of Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae, Teleostei), *Amur. Zool. Zh.* 3:327–331.
- Parks, N.B. & F.R. Shaw. 1987. Changes in relative abundance and size composition of sablefish in coastal waters of Washington and Oregon, 1979-1985. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS F/NWC-124.
- Parrish, B.B. 1973. The California sablefish fishery for the period 1935-1969. *Calif. Fish Game* 59: 168-177.
- Phillips, J.B., C.H. Clothier & D.H. Fry Jr. 1954. A racial study of Pacific coast sablefish, *Anoplopoma fimbria*, based on meristic counts. *Pac. Mar. Fish. Comm. Bull.* 3:88-101.
- Phillips, J.B. & S. Imamura. 1954. The sablefish fishery in California. *Pac. Mar. Fish. Comm. Bull.* 3:3-37.
- Pruter, A.T. 1954. Age and growth of the Oregon sablefish, *Anoplopoma fimbria*. *Pac. Mar. Fish. Comm. Bull.* 3:121-128.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Fish Res. Board Can. Bull.* 191.
- Rutecki, T.L., C.J. Rodgveller & C.R. Lunsford. 2016. National marine fisheries service longline survey data report and survey history, 1990-2014. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC 324.
- Rutecki, T.L. & E.R. Varosi. 1997a. Migrations of juvenile sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in southeast Alaska. pp.123-130 *In* M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), *Proceedings of the international*

- symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Rutecki, T.L. & E.R. Varosi. 1997b. Distribution, age, and growth of juvenile sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in southeast Alaska. pp. 45-54 In M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Sasaki, T., L.L. Low & K.N. Thorson. 1975. Sablefish (*Anoplopoma fimbria*) resources of the Bering Sea and Northeastern Pacific Ocean. Int. North. Pac. Fish. Comm. Doc. Ser. No. 1917.
- Sasaki, T. 1985. Studies on the sablefish resources of the North Pacific Ocean. Bull Far Seas Fish. Res. Lab. 22.
- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of marine fisheries. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 1:27-56.
- Schulz-Mirbach, T., C. Stransky, J. Schlickeisen & B. Reichenbacher. 2008. Differences in otolith morphologies between surface- and cave-dwelling populations of *Poecilia mexicana* (Teleostei, Poeciliidae) reflect adaptations to life in an extreme habitat. Evol. Ecol. Res. 10:537–558.
- Shimose, T. & T. Ishihara. 2015. A manual for age determination of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. Bull. Fish. Res. Agen. 40:1-11.
- Shubnikov, D.A. 1963. Data on the biology of sablefish of the Bering Sea. Izv. Tikhookean, Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr. 50:271-279.
- Sigler, M.F., S.A. Lowe & C.R. Kastle. 1997. Area and depth differences in the age-length relationship of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in the Gulf of Alaska. pp. 55–63. In M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds.), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Sigler, M.F. & C.R. Lunsford. 2001. Effects of individual quotas on catching efficiency and spawning potential in the Alaska sablefish fishery. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58:1300-1312.

- Snedecor, G.W. & W.G. Cochran. 1980. Statistical Methods, seventh edition. Iowa State University Press.
- Sonu, S.C. 2014. Supply and market for sablefish in Japan. NOAA technical memorandum NMFS.
- Saunders, M.W., B.M. Leaman & G.A. McFarlane. 1997. Influence of ontogeny and fishing mortality on the interpretation of Sablefish, *Anoplopoma fimbria*, life history. Pp. 81-92 In M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Stransky, C., H. Baumann, S.E. Fevolden, A. Harbitz, H. Høie, H. Kejell, A. Salberg & T.H. Skarstein. 2008. Separation of Norwegian coastal cod and Northeast Arctic cod by outer otolith shape analysis, Fish. Res. 90:26–35.
- 田中昌一. 1985. 水産資源学総論. 新水産学全集 8, 恒星社恒星閣, 東京.
- Treinen-Crespo, C., H. Villegas-Hernandez, S. Guillen-Hernandez, M.A. Ruiz-Zarate & C. Gonzales-Salas. 2012. Otolith shape analysis as a tool for population discrimination of the white grunt (*Haemulon plumieri*) stock in the northern coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. Revista de Investigaciones Marinas y Costeras. 4:157–168.
- Tripp-Valdez, M.A., F.J. García-de-León, H. Espinosa-Pérez & G. Ruiz-Campos G. 2012. Population structure of sablefish *Anoplopoma fimbria* using genetic variability and geometric morphometric analysis. J. Appl. Ichthyol. 28:516–523.
- Tsuyuki, H. & E. Roberts. 1969. Muscle protein polymorphism of sablefish from the eastern Pacific Ocean. J. Fish. Res. Board Can. 26:2633-2641.
- Umeda, Y., M. Sample & R.G. Bakkala. 1983. Recruitment processes of sablefish in the eastern Bering sea. pp. 291-303 In Proceedings of the int. sablefish symposium. Alaska Sea Grant Report 83-8.
- Valentin, A.E., X. Peninc, J.P. Chanutb, D. Powerd & J.M. Sévignya. 2014. Combining microsatellites and geometric morphometrics for the study of redfish (*Sebastes* spp.) population structure in the northwest Atlantic, Fish. Res.154:102–119.

- Vitale, F., W.L. Clausen & N.G. Chonchúir. 2019. Handbook of fish age estimation protocols and validation methods. ICES Cooperative Research Report. 346.
- von Bertalanffy, L., 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth law: I). Human Bio. 10:181-213.
- Walford, L.A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. Biol. Bull. 90:141-147.
- Wespestad, V.G. 1983. Movement of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in the northeastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments (1971-1980). Fish. Bull. 81:415-420.
- Wespestad, V.G., K. Thorson & S. Mizroch. 1978. Movement of sablefish (*Anoplopoma fimbria*) In the northeastern Pacific Oceans as determined by tagging experiments (1971-1977). Processed Report Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, 2725 Montlake Blvd. E., Seattle, WA.
- Wespestad, V.G., K. Thorson & S. Mizroch. 1983. Movement of sablefish (*Anoplopoma fimbria*). pp. 445-450 In the northeastern Pacific Oceans as determined by tagging experiments (1971-1980). Fish. Bull. 81:445-450.
- Whitaker, D.J. & G.A. McFarlane. 1997. Identification of sablefish, *Anoplopoma fimbria* (Pallas, 1811), stocks from seamounts off the Canadian Pacific coast using parasites as biological tags. pp. 131-136 In M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Wing, B.L. 1997. Distribution of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, larvae in the Eastern Gulf of Alaska. pp. 13-26 In M.E. Wilkins & M.W. Saunders (eds), Proceedings of the international symposium on the biology and management of sablefish, *Anoplopoma fimbria*. NOAA Tech. Rep. NMFS 130.
- Wolotira, R.J.J., T.M. Sample, S.F. Noel & C.R. Iten. 1993. Geographic and bathymetric distributions for many commercially important fishes and shellfishes off the west coast of North America,

based on research survey and commercial catch data, 1912-1984. NOAA Tech. Memo. NMFS-
AFSC-6.

Zar, J.H. 1974. Biostatistical analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. N. J