

## 魚類耳石の成長線の形成周期について

高橋 正志\*

### 1. はじめに

現生および化石魚類耳石の成長線に関する研究は多数あるが (Irie, 1960; Pannella, 1971, 1980; 堀田, 1972; 麦谷, 1972, 1982; Brothers *et al.*, 1976; Mugiya *et al.*, 1981; Tanaka *et al.*, 1981; Townsend and Graham, 1981; Uchiyama and Struhsaker, 1981; 高橋, 1982, 1983, 1985, 1989; Takahashi, 1993), いまだ成長線の時間的周期や成因など不明な点も多い。魚類耳石の成長線は, それらの形成周期から, (1)年輪 (seasonal zones), (2)隔週輪 (fortnightly rings), (3)日周輪 (daily increments), (4)その他の成長線に大別されるので, 本論ではそれらについて概括し, 今後の課題について考察してみたい。

### 2. 年輪について

淡水魚および浅海魚の耳石の縦断研磨標本を偏光顕微鏡により低倍率で観察すると, 明るくみえる透明帯 (fast-growth zone) と暗くみえる不透明帯 (slow-growth zone) が, *Tanakius kitaharai* の耳石ではおよそ600 $\mu$ m 間隔で交互に配列する带状構造が観察さ

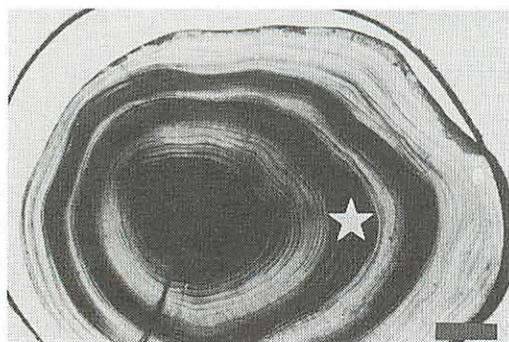


Fig. 1 Polarizing micrograph of the seasonal zones on the ground section of the sagitta otolith in recent *Tanakius kitaharai*. Asterisk indicates a slow-growth zone. Scale bar = 500 $\mu$ m.

れる (Fig. 1)。ただし, 黒背影・落射光線のもとでは, 透明帯は暗く, 不透明帯は明るくみえる。透明帯は不透明帯よりも幅が広い。Irie (1960) は, 透明帯は夏~秋に, 不透明帯は冬~春に形成されると報告した。その後, 水産資源の捕獲魚の年齢査定に耳石の透明帯と不透明帯が応用されているが (堀田, 1972; Townsend and Graham, 1981; Uchiyama and Struhsaker, 1981), Irie (1960) の予測と応用例の間に矛盾は生じていないようである。

高橋 (1983) は, 鮮新世の淡水魚および浅海魚の耳石化石の縦断研磨標本で透明帯と不透明帯を観察し, 化石魚の孵化季節および死亡時の年齢と季節の推定が可能であることを示した。

現生の深海魚では, 耳石のほぼ全体が不透明帯で構成され, 年齢査定が困難であるが, 逆に, 耳石化石の成長線における透明帯の有無から, 化石魚が浅海性か深海性かの区別が可能である (高橋, 1983)。

### 3. 隔週輪について

魚類耳石の縦断研磨標本を偏光顕微鏡により高倍率で観察すると, あとに述べるところの, 1~4 $\mu$ m の間隔でみられる, 薄明層 (thin light band) と薄暗層 (thin dark band) の1対からなる最小単位の成長線 (日周輪) が観察される。これより大きな単位として, この最小単位の日周輪を約9対含む石灰化度の高い, 幅の広い層と, 日周輪を数対含む石灰化度の低い, 幅の狭い層の互層からなる成長線が観察される (Fig. 2)。これは, 隔週輪または潮汐輪 (tidal bands) と呼ばれている (Pannella, 1980)。この命名は, 1対の透明帯と不透明帯 (年輪) の中に26本前後の隔週輪がみられるので, この形成周期が, 1対の大潮時期と小潮時期をあわせた14日間であると考えたためである。なお, 大潮と小潮の周期は, 満月から次の満月までの28日間が基本であるので, 強弱の2本の隔週輪をあわせて月輪 (lunar patterns) と呼ぶ場合もある (Pannella, 1980)。

Pannella *et al.* (1968) は, シャコガイ (*Tridacna*

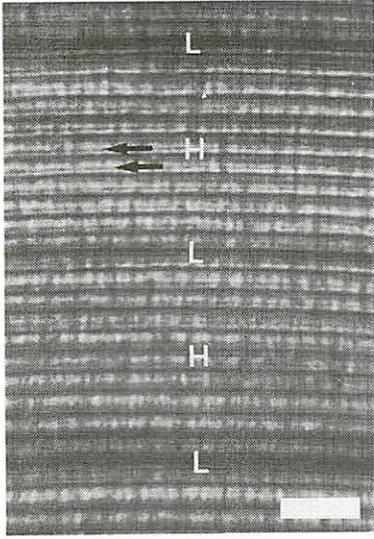


Fig. 2 Polarizing micrograph of the thin growth bands (daily increments) on the ground section of the sagitta otolith in recent *Arctoscopus japonicus*. H : highly calcified thin growth bands. L : low calcified thin growth bands (fortnightly ring). Arrows indicate obscure thin dark bands (subdaily patterns) existing within thin light bands. Scale bar = 20 $\mu$ m.

*squamosa*) などの殻の縦断面で同様な隔週輪を観察し、石灰化度が低い隔週輪が小潮時期に、それらの間の石灰化度が高い9対前後の最小単位の成長線が大潮時期に形成される、と推定した。これに対して、高橋ら(1989)は、飼育中に蛍光性のアリザリンコンプレクソンで5回生体染色した5種の魚類の耳石の成長線を観察した結果から、Pannella *et al.* (1968)とは逆に、石灰化度が低い隔週輪が、新月と満月を中心にした大潮時期に、それらの間の石灰化度が高い9対前後の最小単位の成長線が小潮時期に形成される、と報告した。

#### 4. 日周輪について

Pannella (1971)は、魚類耳石の1対の透明帯と不透明帯(年輪)の中に、1~4 $\mu$ mの間隔をおいた1対の薄明層と薄暗層で構成される最小単位の成長線が約360本あるという観察結果から、これらの最小単位の成長線が1日周期の成長線であると推定し、日周輪と命名した。

一方、Evans (1972)は、ザルガイ *Clinocardium nuttalli* の殻の同様な最小単位の成長線の形成周期が

1日周期ではなく、厳密には、24時間50分周期であると報告した。その根拠として、次の2点をあげている。第一には、最小単位の成長線は1日周期の成長線であり、14対前後の間隔において観察される数対の石灰化度の低い成長線を14日間周期の隔週輪、と従来考えられてきたが、隔週輪の中の最小単位の成長線の数を厳密に数えると半日分(半対分)だけ少ない。したがって、薄明層と薄暗層を昼と夜の成長線と考えると、2週間ごとにそれらの関係が逆転しなければならなくなる。しかし、薄明層と薄暗層を満潮時と干潮時の成長線と考えると、これらの観察結果を合理的に説明できる。第二には、薄明層と薄暗層からなる最小単位の成長線を観察すると、薄明層の中には、さらに不明瞭な薄暗層(半日輪 subdaily patterns と呼ぶ: Pannella, 1980)が挟まれており、これを1日に2組生じる潮汐のうちの、ひきの小さいほうの干潮時の成長線とし、薄暗層そのものはひきの大きいほうの成長線と考えると、これらの観察結果を合理的に説明できる、と述べている。ただし、Evans (1972)は、ザルガイの殻の場合は潮間帯に生息しているための特殊例であり、他の水生生物の硬組織の最小単位の成長線の形成周期は依然として24時間であると考えていた。

その後、高橋(1983)は、魚類耳石の成長線においても、ザルガイの殻の成長線と同様に、石灰化度が高く、幅の広い9対前後の最小単位の成長線におけるそれぞれの薄明層中に不明瞭な薄暗層(半日輪)が存在することを示した。さらに、1対の薄明層と薄暗層で構成される最小単位の成長線の幅の変化が、ザルガイの殻の成長線と同様に、潮汐の潮位の周期的変化とほぼ一致する点から、ザルガイだけでなく、魚類耳石の最小単位の成長線の形成周期も、厳密には、1日ではなく、潮汐の周期、すなわち24時間50分である、と推定した。

また、Wells (1963)は、化石サンゴの成長線の観察結果から、1年の日数がカンブリア紀から現在にむかうにしたがって減少してきたと推定したが、鮮新世の魚類耳石化石における2本の隔週輪の間に含まれる最小単位の成長線の数は現生魚類のものよりも少し多く、Wells (1963)の仮説を支持している(Takahashi, 1993)。

#### 5. その他の成長線について

魚類耳石の中心部付近には、きわめて石灰化度の低い数対の最小単位の成長線が存在し、これより内部の最小単位の成長線の幅は外側のものよりも広く、約2倍になる。このとくに石灰化度の低い成長線は、耳石の形成初期のものであるという点から、孵化時の成長線と考えられている。Takahashi (1993)は、鮮新世

の魚類耳石化石でもこの孵化時の成長線を観察している。また、この孵化時の成長線から、孵化時の季節の査定が可能である。

隔週輪とは別に、不規則的な間隔で石灰化度が低く、幅の狭い数対の最小単位の成長線が観察される場合があるが、これは魚類自身の内的な原因、例えば病的な原因などに起因するものと考えられる。

## 6. 総括と今後の課題

魚類耳石にみられる成長線のうちで、年輪と孵化時の成長線についてはすべての研究者の意見が一致しているが、隔週輪の形成時期と日周輪の形成周期については意見が対立している。この問題を解決するためには、高橋ら(1989)が用いたような、飼育中の魚類の耳石に蛍光物質などを生体染色した耳石の成長線を観察する方法が最良と思われる。ただし、高橋ら(1989)も述べているように、現時点では蛍光線と最小単位の成長線を同時に観察することが困難であるなど、観察方法に問題があるので、今後は観察方法を改良して、すべての研究者が納得できる明瞭な組織像が得られるようにしなければならない。

## 文 献

- Brothers, E.B., Mathews, C.F. and Lasker, R. (1976) Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes. *Mar. Fish. Serv. Fish. Bull.*, 74(1), 1-8.
- Evans, J.W. (1972) Tidal growth increments in the cockle *Clinocardium nuttalli*. *Science*, 176, 416-417.
- 堀田秀之(1972) マアジ・サンマの年齢査定の実態。硬組織形成機構研究グループ会報, 8, 3-7.
- Irie, T. (1960) The growth of the fish otolith. *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.*, 3, 203-221.
- 麦谷泰雄(1972) 魚類耳石の透明帯・不透明帯の性状とその実験的形成。硬組織形成機構研究グループ会報, 8, 23-27.
- Mugiya, Y., Watabe, N., Yamada, J., Dean, J. M., Dunkelberger, D.G. and Shimizu, M. (1981) Diurnal rhythm in otolith formation in the goldfish *Carassius auratus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 68A, 659-662.
- 麦谷泰雄(1982) 魚類耳石の日周輪。海洋と生物, 18, 10-13.
- Pannella, G., MacClintock, C. and Thompson, M.N. (1968) Paleontological evidence of variations in length of synodic month since late Cambrian. *Science*, 162, 792-796.
- Pannella, G. (1971) Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, 173, 1124-1127.
- Pannella, G. (1980) Growth patterns in fish sagittae. In Rhoads, D.C. and Lutz, R.A. eds. *Skeletal Growth of Aquatic Organisms*, Plenum Press, New York, pp. 519-560.
- 高橋正志(1982) 魚類耳石化石に保存されていた日周輪。海洋と生物, 21, 308-309.
- 高橋正志(1983) 現生および化石魚類耳石の成長線について。地球科学, 37(1), 1-7.
- 高橋正志(1985) 無顎類・軟骨魚類・硬骨魚類・両生類の耳石の組織構造の走査電顕による比較, 脊椎動物の耳石の進化および退化過程に関する一考察。地団研専報, 30, 5-17.
- 高橋正志・望岡典隆・神田 猛(1989) 生体染色法による魚類耳石の成長線の観察。化石研究会会誌, 22(1), 19.
- Takahashi, M. (1993) Histological studies on growth increments preserved in fossil fish otoliths. In Kobayashi, I., Mutvei, H. and Sahni, A. eds. *Structure, Formation and Evolution of Fossil Hard Tissues*, Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 123-129.
- Tanaka, K., Mugiya, Y. and Yamada, J. (1981) Effects of photoperiod and feeding on daily growth patterns in otoliths of juvenile *Tilapia nilotica*. *Fish. Bull. U.S.*, 79, 459-466.
- Townsend, D.W. and Graham, J.J. (1981) Growth and age structure of larval Atlantic herring, *Clupea harengus harengus*, in the Sheepscot River estuary, Maine, as determined by daily growth increments in otoliths. *Fish. Bull. U.S.*, 79, 123-130.
- Uchiyama, J.H. and Struhsaker, P. (1981) Age and growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increments of sagittae. *Fish. Bull. U.S.*, 79, 151-162.
- Wells, J.W. (1963) Coral growth and geochronometry. *Nature (London)*, 197, 948-950.

(1994年4月28日受理)

## 要 旨

魚類耳石にみられる成長線（年輪，隔週輪，日周輪，その他の成長線）について概括し，今後の課題について考察した。

魚類耳石の透明帯と不透明帯で構成される年輪から，現生と化石魚類の孵化季節および死亡時の年齢と季節の推定が可能である。深海魚の耳石の成長線では，透明帯がみられないので，成長線のパターンから化石魚が浅海性か深海性かの区別が可能である。

魚類耳石の，1～4  $\mu\text{m}$ の間隔において，1対の明るくみえる薄明層と暗くみえる薄暗層で構成される最小単位の成長線の形成周期について，Pannella (1971, 1980) は1日であると報告したが，高橋 (1983, 1993) は24時間50分であると報告した。

石灰化度が高い9対前後の最小単位の成長線にはさまれて，ほぼ等間隔において石灰化度の低い隔週輪がみられるが，それらの形成時期について，Pannella (1980) は，隔週輪が14日間の潮汐周期のうちの小潮時期に，それらの間の石灰化度の高い9対前後の最小単位の成長線が大潮時期に形成されると報告したが，高橋ら (1989) は，その逆であると報告した。

今後，日周輪の形成周期と隔週輪の形成時期を明らかにするためには，蛍光物質などで生体染色した魚類耳石の成長線の観察方法を改良する必要がある。

## Abstract

In this paper it is summarized on the growth lines (seasonal zones, fortnightly rings, daily increments and other growth lines) in fish otoliths and discussed on the future subject.

It is possible to determine the season of hatching, age and season of death on the recent and fossil fishes, and to presume whether a fossil fish lived in shallow sea or in deep sea from the pattern of the seasonal zones on their otoliths.

Pannella (1971, 1980) reported that a pair of thin growth bands, 1 to 4  $\mu\text{m}$  wide, consisting of a thin light band and a thin dark band in ground sections of recent fish otoliths was a daily increment. However, Takahashi (1983, 1993) reported that it was not a daily increment but one with an average period of 24 hours and 50 minutes.

Pannella (1980) reported that the low calcified fortnightly rings had been formed at the neap tide and highly calcified thin growth bands had been done at the spring tide. However, Takahashi *et al.* (1989) reported that they were inverse.

## ◆本の紹介◆

井尻正二・小寺春人著 (1994)

新 人体の矛盾

237頁，1900円，築地書館

旧著「人体の矛盾」は，100冊を越える井尻さんの著書の中でも評者の最も好きな本のひとつである。解剖学にしても生理学にしても，およそ人体の形態や機能を扱う本ではとかく合理的な側面ばかりが列挙されてきた。そこに時間の観点を導入したことで，人体の成り立ちに目を開かれたのである。

本書はこの旧著の思想を受け継いでいるが，本題からやや外れる古生物学・人類学・考古学関係の章を思いきって削除し，解剖学関係をさらに充実させて体裁，内容とも面目を一新している。比較解剖学上の名所と

もいえる「耳」と，ヒトを特徴づける「脳」を追加したのがそれである。

また，旧著になく興味深い囲み記事が「人体こぼれ話」である。これは共著者の小寺さんのオリジナルで，日頃，解剖実習室を離れても自らの体で人体解剖を思索している氏ならではののおもしろ話である。この7話を読むだけで，名著の改訂に畏友小寺さんが選ばれたのが理解できる気がする。

難しい注文かも知れないが，ひとこと旧著以来の希望を述べさせていただくと，人体が歴史を異にする各器官の寄せ集めである，という観点到留まらず，器官どうしの間や各器官のなかで，表題にある「矛盾」が実際にどのように現われているのか，過去に現われたのか，を知りたいと思う。

(犬塚則久)