

西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関 する研究

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 水産総合研究センター
	公開日: 2024-10-02
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 田邉, 智唯
	メールアドレス:
	所属: 遠洋水産研究所
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010775
	This work is licensed under a Creative Commons

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



博士号論文

西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関する研究

田邊 智唯*

Studies on the early life ecology of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the tropical western-north Pacific.

Toshiyuki TANABE*

Abstract The objective of this study is to provide new information on the early life ecology of skipjack tuna. It is necessary to clarify the recruitment process of the skipjack tuna population and to establish a basis for stock management in the western Pacific.

In order to collect large number of juvenile skipjack tuna, a new sampling protocol and associated gear were developed. The midwater trawl net TANSYU had a estimated mouth opening of $20m \times 20m$, 72m total length, 1000 - 57mm mesh size at the body, 8mm mesh size at the codend, and 5 knots maximum towing speed. A total of 497 tows was conducted in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E), from October to December during the years 1992 - 1996, resulting in the collection of 6724 skipjack, 6 - 172mm standard length (SL), and 0 - 1163 individuals (inds)/1 hr tow. These results indicate the establishment of a new sampling method for capturing much larger numbers of juvenile skipjack tuna than was possible using the sampling gear of previous studies. In addition, samples of 1373 other tunas, 8 - 140mm SL, 0 - 128 inds/ 1 hr tow, were collected. These results verify that the TANSYU is an effective sampling gear for juveniles of not only skipjack tuna but also of other tunas and large oceanic fishes.

Juvenile skipjack tuna are widely distributed in the north equatorial current area (NEC), the north equatorial counter current area (NECC), and the boundary area of these two currents. Vertically, juvenile skipjack tuna appeared mainly from the lower portion of the mixed layer to the upper portion of the thermocline. The abundance indices, frequency of occurrence (%) and density (inds/1 hr tow) were calculated as 61% and 17inds/1 hr tow at the NECC, 35% and 6 inds/1 hr tow at the boundary, and 32% and 15 inds/1 hr tow at the NEC. The distributional pattern of juvenile skipjack tuna was different by year. The characteristics of the horizontal distribution of juvenile skipjack were as follows. During 1992 and 1994, juvenile skipjack tuna were relatively abundant in the southern area but poor in the northern area. During 1995, high concentrations of juveniles in the eastern area appeared. During 1993 and 1996, wider distributions with no clear differences between localities were observed. Young skipjack were collected only from the NECC at night, and were distributed mainly in the lower portion of the mixed layer.

The vertical distribution of skipjack changed with growth stages. For daytime in the NECC, larvae at the metamorphosis stage of around 10mm SL are distributed through depths of 0 - 200m, and juveniles after metamorphosis of 10 - 40mm SL are distributed through depths of 0 - 220m. Juveniles of 50 - 60mm SL are distributed through depths of 60 - 140m. Juveniles of 70 - 80mm SL are concentrated at about 90m depth. The vertical distribution of juvenile skipjack is related to the vertical temperature profile, with a shallower thermocline corresponding to a shallower

²⁰⁰²年3月13日受理 (Accepted on March 13, 2002)

水産総合研究センター業績 A 第16号 (Contribution No.A 16 from Fisheries Research Agency)

^{*} 遠洋水産研究所 〒424-8633 静岡県清水市折戸5-7-1 (National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1, Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8633, Japan)

田邊

distribution of juveniles and a deeper thermocline resulting in a deeper distribution of juveniles. The vertical distribution of juvenile skipjack is also related to the distribution of other organisms sampled. This result indicates that juvenile skipjack are preferentially distributed in the abundant layers of other organisms collected by the midwater trawl net.

In contrast, other juvenile tuna, *Thunnus spp.* including yellowfin tuna *Thunnus albacares* and bigeye tuna *Thunnus obesus* are mainly distributed in the mixed layer shallower than about 80m depth in the NECC, indicating a clear difference with juvenile skipjack. The physical charasteristics of distribution area of juvenile skipjack is mainly from 20 to 29°C temperature and from 33 6 to 35 5PSU salinity. Those of other juvenile tuna ranged from 26 to 29°C temperature and from 33 6 to 33 7PSU salinity. These results indicate that skipjack and other tuna juveniles have habitat segregation in the pelagic ocean of the tropical western Pacific.

The stomach contents of skipjack and other tuna juveniles collected from the NEC and NECC areas were analyzed. The importance of each organism as a prey of skipjack or other tuna juveniles was evaluated by the index of relative importance of prey taxa(IRI). The IRI of fish larvae for juvenile skipjack was remarkably high, 14107 in the NEC and 10852 in the NECC. These data indicate that fish larvae are the principal diet of juvenile skipjack. In the NEC, Euphausiacea(IRI = 162), Amphipoda(92), and Copepoda(03)appeared. In the NECC, Copepoda (IRI = 158 A), Cephalopoda (66 8), Euphausuiacea (24 8), and others including Saggitoidea, Isopoda, and fish eggs (11 6), and Amphipoda (2.1) appeared. Unidentified organisms comprised the second-highest score of the IRI, 214 A in the NEC and 346 5 in the NECC. These organisms were consisted mainly of digested fish larvae.

Diel periodicity of feeding activities of juvenile skipjack was studied, based on the temporal change in the stomach content index (SCI) stomach fullness, and digestion index. The percentage of empty stomachs was 100% at 22 - 02 hours, 80% at 02 - 06 hours, and decreased rapidly after sunrise, reaching the minimum score of 5 3% at 14 - 18 hours (before sunset). In contrast, the percentage of full stomachs reached the maximum score of 60 5% at 14 - 18 hours, and decreased to 0% from 22 to 06 hours. The SCI and digestion index also indicated the maximum score at 14 - 18 hours in contrast with the minimum score at before sunrise. Therefore, juvenile skipjack are actively feeding during daytime from morning to sunset, but they do not feed at night.

The stomach contents of other juvenile tuna were characterized by extremely high scores of fish larvae with no clear difference between the NEC and NECC; the only occurrences of other prey organisms were Euphausiacea and Cephalopoda. These data show that other tuna are stronger piscivourous feeders than skipjack during the juvenile stage. Feeding activities of other juvenile tuna occur during daytime, similar to skipjack juvenile.

In order to clarify the growth of skipjack during the early life stages, daily otolith increments were analyzed. Samples from skipjack larvae and juveniles were collected during 1994 to 1997. The otolith measurement system (Ratoc System Engineering Inc., Tokyo) was used for counts of growth increments and measurements of increment width. Daily growth increments were validated by marginal increment analysis for juvenile skipjack.

Growth rate from larva to juvenile stages of skipjack was studied using the relationship between body length and the number of daily increments of 548 individuals (3 3 to 57 7mm SL). In 15 samples from 1996 and 1997 (3 3 to 7 8mm SL), daily growth rate was slow, 0 55mm/day at 3 to 9 days old. In 285 samples from 1994 (9 to 24 days old), daily growth rate rapidly increased to 3 3mm/day, and for 248 samples from 1995 (9 to 29 days old) growth was 2 5mm/day. The estimated length at 30 days after hatching was about 60mm SL. After metamorphosis from larva to juvenile at 10 to 12 days after hatching, a period of extremely rapid growth with large individual variation was observed. Juvenile skipjack growth rates depend on hatching year and

西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関する研究

nursery area. The analyses of distance from core to margin at each otolith increment show that a larger individual had a faster growth period after 5 days after hatching. A rapid growth in the early life stage enables the utilization of larger prey organisms, resulting in increased survival rates in the nursery ground that are nutritionally poor. Consequently, these characteristics play an important role in maintaining the population level of skipjack in the pelagic ocean of the tropical western Pacific.

E 次 第1章 研究史 幼稚仔魚の採集法 直接採集法による採集例 間接採集法による採集例 研究史から見た幼稚仔魚採集法の課題 生活史初期における分布 卵から仔魚期における分布 稚魚期から幼魚期における分布 摂餌生態 各成長段階における食性と摂餌行動 捕食者と共食い現象 初期成長 カツオの年齢と成長 初期成長 発育段階の区分 第2章 新たな幼稚魚採集法の確立 材料および方法 採集漁具の検討 カツオ幼稚魚採集用中層トロールの 設計概念と仕様 調査海域,時期および調査船 採集方法 標本の取り扱い 結 果 TANSYU-1,2型中層トロールの曳網特性 TANSYU-2型中層トロールによる

カツオ幼稚魚の採集結果 カツオ・マグロ類以外の採集生物 中層トロール網以外の漁具による採集結果 考 察

第3章 稚魚期から幼魚期にかけての分布生態
 材料および方法
 調査時期,調査海域および調査船
 採集方法
 海洋物理環境要因

実験室での標本処理とデータ解析 稚魚期と幼魚期の発育段階区分 結 果 物理環境要因による海域区分 カツオ幼稚魚の水平・鉛直分布 マグロ属幼稚魚の水平・鉛直分布 その他の採集生物の生物量と カツオ・マグロ類稚魚の出現状況 考 灳 西部太平洋の熱帯外洋域における カツオ稚魚および幼魚の分布 幼稚魚の分布と海洋環境要因との関係 カツオと熱帯性マグロ類の分布の違い 熱帯外洋域における カツオ幼稚魚の分布と生態戦略 第4章 摂餌生態 材料および方法 供試魚の採集方法 餌生物としての魚類仔魚の採集方法 胃内容物の分析方法 食性と摂餌行動の分析方法 結 果 カツオ稚魚の摂餌生態 マグロ属稚魚の摂餌生態 カツオの餌としての魚類仔魚の分布 考 察 第5章 初期成長 材料および方法 カツオ仔稚魚標本の採集と保存 耳石の摘出と輪紋観察のための前処理 耳石日輪の計測と解析 結 果 耳石および輪紋の形態変化 輪紋形成周期の検証 耳石日輪解析による仔稚魚期の成長 老 梥 西部太平洋熱帯海域における

カツオの初期成長様式

要

	田	邉		
カツオの初期成長と生残戦略			謝	辞
約			引用文	献

第1章 研究史

カツオ Katsuwonus pelamis は,高度回遊性魚類の 1種として知られ,全世界の大洋の低緯度海域から中 緯度海域に至る広大な外洋表層域を生活圏としてい る。西部太平洋では,本種はおよそ45 N から45 S にわたって出現し(Matsumoto et al. 1984), 低緯度 海域(20 S~20 N)を再生産場,中緯度海域(北半 球では30~42 N)を索餌場として,南北方向を中心 とした大規模な季節回遊を行う。そのため,中緯度海 域ではカツオの来遊とともに漁獲が始まり,本種に対 する漁業もその回遊生態を利用する形で発達してき た。本種が大規模な群を形成して来遊する日本列島周 辺では、古くから竿釣りや曳き縄を中心として漁獲さ れ 近年ではまき網による漁獲も目立つようになった。 一方,低緯度海域では,日本をはじめとして韓国,ア メリカ合衆国などの遠洋漁業国だけでなく,多数の沿 岸漁業国が主要な漁獲対象種の1つとしている。西部 太平洋熱帯海域における年間総漁獲量は,1970年代か ら1990年代にかけて増加の一途をたどり,1997年の総 漁獲量は約80万トンに達している(FAO 1999)。し たがって,本種の西部太平洋における国際的な漁業資 源としての重要性は、1980年代以降ますます高くなっ ており,本種の生態解明は,高度回遊性魚類の生態解 明という学術的な意味だけでなく,国際的な資源管理 の基礎を築くという面からの意義も大きい。

本種の生物学的研究は,漁業の発達とともに1950年 代から西部太平洋および東部太平洋に於いて, 仔魚及 び成魚を中心として活発に進められてきた(川崎 1965, Matsumoto et al. 1984)。しかしながら,カツ オ資源の生物学的な特性を把握するために不可欠であ る本種の生活史については,充分に解明されていると は言い難い。とりわけ稚魚期から幼魚期にかけての生 態学的知見は,仔魚期や成魚期に比較して明らかに乏 しい。カツオがこの時期にどこでどのような生活をし ているのか,といった詳しい知見はほとんど得られて いない。稚魚期,幼魚期の分布や摂餌,成長,移動に 関しては断片的な知見から推察が行われているのみで あった。本研究を行うに至った直接の端緒は,このよ うなカツオの初期生態研究における知見の欠如であ る。本章では,カツオの初期生態を中心としたこれま での研究史をまとめることにより,本研究の背景と意 義を明らかにすることを目的とした。

幼稚仔魚の採集法

漁業からの情報が得られない幼魚期以前のカツオを 採集するために,これまでに用いられてきた方法は, 大きく分けて2通りに分類することができる。一方は, 稚魚ネットやボンゴネットなど開口部が円形をしたり ングネット類, IKMT をはじめ一般にリングネット 類よりも大型で高速曳網が可能なトロールネット類, 開口部フレームに環境センサーと開閉装置を搭載し多 層連続採集を可能とした MOCNESS などにより対象 生物を直接採集する方法(ここでは直接採集法と称す る)である。もう一方は,カツオ・マグロ類のように 遊泳能力が高く,直接採集法では採集が困難な生物に 対し,それらの捕食者をはえ縄などの漁具により採集 し,その胃内容物から対象生物を収集する方法(ここ では間接採集法と称する)である。直接採集法では, 分布,移動,成長など対象生物に関する貴重な情報が 得られるため、ほとんどの海洋生物の生態調査に対し て用いられてきた。これに対して,間接採集法では, 対象生物の捕食者を媒体とする点で得られる情報に制 約があるが,漁業関係者からの協力を得られるならば 広範な海域とあらゆる時期の標本収集が可能になるな ど,直接採集法に比べてコストや労力などが低くて済 む利点がある。これまでの研究では,直接採集法では 主に仔稚魚期のカツオを,間接採集法では主に稚魚期 から幼魚期のカツオを採集するといったように,両者 の特性に応じた使い分けがなされてきた。本節では、 それぞれの採集法を用いてなされてきた過去の研究例 をまとめて紹介するとともに,それらの結果によって 明らかになったカツオの幼稚仔採集における課題につ いて述べる。

直接採集法による採集例

矢部(1955)によれば,太平洋におけるカツオ仔稚魚の採集に関する報告は,岸上鎌吉が大正末期から昭和 初期にかけてプランクトンネットにより体長3-6mm の後期仔魚6個体を採取したのがはじまりとされてい る(岸上 1926)。その後1940年代後半から1950年代 にかけて,日本とアメリカ合衆国の研究者により,多 数の採集結果が報告された。この時代に直接採集法と して用いられた漁具は,開口部直径(以下口径と称す

る)1mのプランクトンネットが中心であった。Wade (1951)は1947年から1949年にフィリピン周辺海域で 季節的なサンプリングを行い,全長4-9㎜のカツオ 仔魚154個体を得た。矢部(1955)は,本邦南岸,マ リアナおよびカロリン東方沖において全長5-9mmの カツオ仔魚10個体を, Matsumoto (1958) は中・東部 太平洋低緯度海域(15 % - 25 %),180 - 120 ₩)にお いて, 全長2-20mmのカツオ仔稚魚476個体を, いず れも口径1mのプランクトンネットにより採集した。 その後も Strasburg (1960) をはじめとして, プラン クトンネットは広く仔魚採集に使用され,主として仔 魚期の分布に関する知見の蓄積に貢献した。西川ら (1985)は, 口径1.4mまたは2mの稚魚ネットを使用 し,1956年から1981年までの長期にわたり太平洋,大 西洋,インド洋の低緯度から中緯度におよぶ広範な海 域でのカツオ・マグロ類仔稚魚採集を行い,魚種別, 季節別の出現状況を分布図にまとめて示した。

トロールネット類でのカツオ仔稚魚採集は,1960年 代から行われており、これまで4つの報告がなされて いる。Matsumoto(1961)は開口部面積111.7mの British Colombia midwater trawl (Barraclough and Johnson 1956)を用いて中央太平洋でサンプリング を行い,尾叉長6-53mmのカツオ仔稚魚33個体を, King and Iversen(1962)は A種類のネット(6フィー ト型ビームトロール,6フィートおよび10フィート型 IKMT, 1m型リングネット)を使用し,中央太平洋で 18-60mmのカツオ・マグロ類稚魚6個体を採集した。 Higgins(1970)はハワイ諸島沖においてAnchovy No 2 Cobb Pelagic Trawl (開口部幅12m,高さ8mのト ロール網)を使用し,昼夜2水深帯での層別採集を行 った。その結果,体長7-47mmのカツオ仔稚魚578個 体とともにキハダ Thunnus albacares, メバチ Thunnus obesus など多数のマグロ類仔稚魚を採集するこ とに成功した。また,宅野・上柳(1978)は,全長22.5m のトロール網を使用してマリアナ沖からパプアニュー ギニア東沖にかけてサンプリングを行い,カツオ仔稚 魚20個体(体長8-31mm)を採集している。トロール ネット類は,一般にリングネット類よりも大型である ため, 曳網のための設備も大規模となり操作時の手間 も多くかかることになるが、その反面でリングネット 類よりも大型の標本を多く採集することが可能であ る。

近年では,カツオ・マグロ類仔魚の分布生態を明ら かにする目的で,口径70cm型ボンゴネット(Davis *et al*. 1990)や1 m型 MOCNESS(Boehlert and Mundy 1994)による採集例も報告されている。これらの方法 により採集されたカツオ・マグロ類は,いずれも体長 8 mm以下の仔魚が大部分を占めていた。また, Davis et al.(1989)は,70cm型リングネットと2m型稚魚 ネットにおけるマグロ類仔魚に対する採集特性の違い を検証し,使用するネットと曳網方法により採集結果 が異なることを示した。飯塚ら(1989)は,浮き刺網 を用いて西部太平洋低緯度海域でカツオ幼魚の採集を 試み3年間の調査を通じて体長12-29cmのカツオ幼魚 49個体を採集した。

以上のような種々のネット類による能動的な採集活 動とは別に, 仔稚魚のすう光性を利用した集魚灯採集 の例もある。ハワイ周辺では、1950年代より集魚灯で カツオ仔稚魚を集め,小型の敷き網類で採集する方法 が用いられてきた。Shimada(1951)は、フェニック ス諸島周辺で採集を試み,体長20-48mmのカツオ稚魚 6個体を,またThorrold (1993)は,Light trapと 呼ばれる採集装置を海中に設置し,オーストラリア北 東沿岸のグレートバリアリーフにおいて,体長12-32 mmのマグロ属稚魚34個体を採集している。森(1972) によれば,これ以前にも集魚灯を使って採集を試みた 例がいくつかあるが,いずれもカツオ仔稚魚の生態的 な特性を検討するために充分な標本数が得られなかっ たことから,効果的な採集とは見なされていない。結 論としてカツオ幼稚魚の直接採集法としては,開口部 面積が100m以上の大型トロールネットが現在のとこ ろ最も有効な手段ということができる。

間接採集法による採集例

カツオ・マグロ類とカジキ類は,古くからカツオ幼 稚魚の捕食者であることが知られ,直接採集法による 捕獲が難しい稚魚期以降のカツオに対する効果的な採 集法の1つとして,これらの胃内容物または吐出物か ら標本を収集することが1940年代後半以降行われてき た。Eckles (1949) は, ハワイ周辺海域でのマグロ漁 場開発調査において漁獲されたカツオ成魚の胃内容物 より全長183mmのカツオ幼魚1個体を,吐出物より全 長113 - 118mmのカツオ幼魚6個体を,堀田(1953)は, 薩南海域で漁獲されたカツオの胃内容物および吐出物 より、体長3-18cmのカツオ幼稚魚60個体を得ている。 須田(1953)は,小笠原諸島周辺からミクロネシア周 辺で漁獲されたマグロ・カジキ類の胃内容物からカツ オ幼稚魚を収集し,形態観察だけでなく季節的,海域 的な出現状況および体長組成についても考察した。こ のように,間接採集法により広範な海域と時期にわた る収集を行い,本種の初期生態研究に応用した例は他 にもみられる。Yoshida (1971) は, 中央太平洋の八 ワイ周辺および南緯側低緯度海域 (5-32 S,179 E - 135 W)においてカジキ類の胃内容物からカツオ幼 稚魚1742個体を採集し,海域的・季節的な出現状況と 体長組成から,この海域におけるカツオの成長と産卵 について考察した。さらに森(1972)は,太平洋だけ でなく大西洋とインド洋をも含めた広範な大洋からマ グロ・カジキ類の胃内容物を収集し,その中から合計 5851個体のカツオを得て解析することにより,各成長 段階別の地理的分布を示すとともに,季節別・海域別 相対密度から太平洋におけるカツオの産卵・発生につ いて考察した。飯塚ら(1989)は,中西部太平洋低緯 度海域において竿釣りで漁獲されたカツオの吐出物を 中心に幼稚魚を収集し,カツオの共食い現象について も考察している。

吐出物による幼稚魚採集は,一般に目的とする標本 が捕食されてからの経過時間が短いため,胃内容物か らの採集に比べて鮮度が高く原形に近い標本を得るこ とができる。しかしながら,これらの間接採集法では, カツオ幼稚魚の採集量が捕食者に対する努力量と捕食 者の摂餌量に強く影響を受ける点で採集結果を定量的 に論じることは困難である。

研究史から見た幼稚仔魚採集法の課題

本節では、採集方法による区分に基づいてカツオの 初期生活史段階を対象とした採集例を紹介したが、こ れらの報告からカツオの採集法における課題について ここで言及する。落合・田中(1998)によれば,カツ オは全長12mm前後から稚魚期に入る。これまで用いら れてきたネット類での採集結果では, 稚魚期に分類さ れる標本はごく一部であり,ほぼすべての調査におい て体長3-8mmの後期仔魚が標本の主体を占めてい た。カツオ稚魚が採集されなかったことについて,多 くの研究者がネットからの逃避行動に原因があると考 えた。その根拠として, Davis et al. (1990)は, カ ツオとミナミマグロ Thunnus maccoyii 仔魚の採集個 体数と体長組成が夜間と昼間において異なること,す なわち夜間の方が昼間より採集量が多く体長も大きい ことを挙げている。つまり, 仔稚魚の体長とネットに 対する反応距離によって彼らの逃避効率は決定される ため,昼間はより視覚の発達した大きな個体ほどネッ トが近づいてくるのを早く感知し,より高速で捕獲か ら逃れることができると考えられた。このことから, 彼らはカツオ・マグロ類仔魚の定量採集を行うための 曳網方法として,夜間に海面から表層混合層の下端ま での傾斜曳きが有効であると結論づけた。Higgins (1970)は, 曳網時間帯及び水深別のカツオ仔稚魚採 集結果から,彼らが昼夜の鉛直移動を行って未明には 表層で分布密度が高くなることを示し,より多くのカ ツオ仔稚魚を採集しようとすれば夜明け前から早朝に かけて表層で曳網を行うことが有効であると述べてい る。

これまでの研究結果から, 稚魚期以降のカツオを採

集するためには,彼らの遊泳能力,あるいは漁具に対 する逃避能力をいかに上回ることができるかが最も重 要な点であると考えられる。カツオ・マグロ類は,魚 類の中でも最も遊泳能力の発達した仲間とされ(Magnuson 1978),成長とともに遊泳速度は著しく増大 すると考えられる。したがって,彼らの分布,密度や 移動などの生態に関する定量的調査を目的とするなら ば,遊泳中のカツオを採集することができる漁具を開 発する必要がある。これまでの漁具で採集可能なカツ オ・マグロ類の体長は,いずれもごく狭い範囲の仔魚 に限られており,既存の方法によって稚魚期から幼魚 期における生態調査を実施することは困難である。本 研究では,このような背景からまず第1にカツオ幼稚 魚の新たな採集法の確立を目指したが,その結果につ いては第2章で詳しく述べる。

生活史初期における分布

カツオは外洋表層域という広大な場において大規模 な回遊をしながら生活史を送っている。その移動範囲 は,成長に伴う遊泳能力の発達とともに低緯度域から 中緯度域へと拡大し,マグロ類の中でも最大の分布域 を占めている。本種の初期生活史の場となるのは,周 年高水温が保たれ比較的経年変動も少ない熱帯海域で ある。本節では,カツオが初期生活史の各段階におい てどのような分布を示すのか,という点に着目してこ れまでの知見を整理した。

卵から仔魚期における分布

カツオの卵は形態的に他のマグロ属と区別ができな いために,本種の産卵生態について詳しいことは解っ ていない。しかしながら,これまで広範な海域で行わ れた仔稚魚の分布調査の結果から(Matsumoto *et al*. 1984,西川ら 1985,上柳 1969),本種は熱帯から亜 熱帯にかけての広大な海域を産卵場として利用し,膨 大な数の浮遊卵を産むと考えられている(Hunter *et al*. 1986)。西部太平洋でのカツオの産卵域は 35°N か ら24°S に及び,主産卵域での表面水温は28 から 30 とされる(永沼 1979)。

太平洋におけるカツオ仔魚の分布範囲はきわめて広 く,赤道を挟んだ低緯度海域を中心として中緯度海域 にまで達し,マグロ類の中では最大の出現範囲を示す ことが知られている(西川ら 1985)。ただし,西部 と東部での分布域の違いは顕著で,西部太平洋では北 は日本列島南岸沿いから房総半島沖35 N 付近まで, 南はオーストラリア南東部沖37 S 付近まで出現する が,東部太平洋では15 N から5 S の低緯度海域に 限定される(Matsumoto *et al.* 1984)。カツオ仔魚の 出現する海域での表面水温は主に25 以上とされ,こ の水温帯が南北方向に広く分布する西部太平洋では, 東部太平洋に比べてカツオ仔魚の出現範囲が南北によ り広くなっている(Matsumoto et al. 1984, 上柳 1969)。 カツオ仔魚の分布範囲は、季節的に南北方向に移動し, 北半球の夏季には35 N 付近まで出現するが,冬季に は22 N 付近が北限となる(上柳 1969)。したがって, カツオ仔魚は赤道を中心とした低緯度海域ほど年間の 出現期間が長く、高緯度になるほど出現期間が短くな る傾向があり、日本近海やオーストラリア南東沖では、 それぞれの海域の夏季にのみカツオ仔魚の出現が認め られる。Wade(1951)は,1947年10月から1949年11月 にフィリピン周辺海域で季節別仔稚魚採集を行った結 果から、この海域でのカツオをはじめとしたマグロ類 の産卵盛期は12月から2月にあると述べている。 Nakamura and Matsumoto (1967)は, 中央太平洋の 南緯側赤道域にあるマーケサス諸島周辺での仔魚採集 を行い 6-10月のデータ不足はあるものの南半球の夏 にあたる1 - 4月にカツオ仔魚の出現量が多かったと 報告している。

また,低緯度海域でのカツオ仔魚の分布密度には, 東西間で違いがあることが報告されている。上柳 (1969)は 0-10 Nの北半球側赤道域において,東 部から西部太平洋にかけて西方ほどカツオ仔魚の採集 個体数が多く出現率も高い傾向にあることを示した。 Matsumoto(1975)は,南半球側も含めて10 S-20 N の低緯度域でのカツオ仔魚の採集結果をまとめ,単位 曳網あたりの採集個体数は中央部の160 E-140 W で 最も多いことを示した。これらの報告によれば,太平 洋におけるカツオ仔魚の主分布域は,140 W 以西の赤 道を中心とした中・西部低緯度海域であると考えられ る。

一方,カツオ仔魚の鉛直分布についても,これまで に幾つかの研究結果が報告されている。Strasburg (1960)は,ハワイ周辺からマーケサス諸島周辺に至 る中部太平洋低緯度海域において,海面近くから水深 200mの範囲内で5層に分けて昼夜別にカツオ・マグ ロ類仔魚採集を行った。それによると,カツオ仔魚が 最も多く出現したのは0-60m層で,70m以深での採 集量はそれ以浅に比べて明らかに少なかった。また、 海面近くでは昼間はあまり採集されなかったが夜間に は採集量が顕著に多くなったことから,カツオ仔魚が 夜になると表面近くへ浮上する日周鉛直移動を行って いると考えられた。Higgins (1970) もハワイ周辺で 2層(20m付近と100m付近)での朝・昼・夜の時間 帯別採集を行い、カツオ仔稚魚の採集量が夜間には浅 い層に多く昼間には深い層で多かったことから、カツ オ仔稚魚の日周鉛直移動を支持した。彼は水深帯によ

って採集されたカツオ仔稚魚の体長組成が異なること にも着目し,カツオが生活史のごく初期段階には水温 躍層よりも浅い水深に分布するが,成長に伴ってより 深い水深帯にも分布するようになると考えた。カツオ 仔魚の鉛直分布については,上柳(1969)も昼夜での 水深帯別出現状況において Strasburg(1960)や Higgins(1970)と同様の結果を得ており,昼間は0-2m, 20-30m,40-50mと水深とともに採集量が増大する 一方 夜間には0-2mでも多くの仔魚が採集された。

また,仔魚期におけるカツオの鉛直分布の特徴とし て,同じ高度回遊性魚類に属するキハダ,メバチ,ビ ンナガ Thunnus alalunga, ミナミマグロといったマ グロ属仔魚が昼間海面近くのごく浅い水深帯(20m以 浅)に多く出現するのに対し,カツオは海面付近には 出現せず,20mから60mのやや深い水深帯に多く分布 することが報告されており(Boehlert and Mundy 1994, Davis et al. 1990, Strasburg 1960, 上柳 1969), 近縁種間で生息する水深を棲み分けていることが解 る。Boehlert and Mundy (1994)の調査における水 温・塩分の鉛直分布をみると,カツオ仔魚の分布水深 での水温範囲は22.0-27 2℃ 塩分範囲は34.7-35.3‰ であった。Strasburg (1960) によれば, カツオ仔魚 は水温18 5℃以下でも採集された例があり,その出現 最低水温は15.6℃であると推定した。これまでの結果 から,カツオ仔魚は,主として表層混合層内に分布し, この厚さによりカツオ仔魚の分布水深が決まるものと 考えられる。

さらに,島嶼部や珊瑚礁周辺などの沿岸域における カツオ・マグロ類仔魚の分布についても幾つかの研究 例がある。カツオ・マグロ類の多くの種は,生活史の 大半の期間を外洋表層域で過ごすと考えられ,産卵域 も沿岸性の魚種に比べると広大な海域に及ぶため,そ れまでカツオ・マグロ類仔稚魚の分布調査もいわゆる 外洋域が対象であった。Miller(1979)は,ハワイの マウイ,オアフ,カウアイ島の沿岸(距岸2km以内) で1972年5-6月に仔稚魚採集を行い,キハダ仔魚 の高密度分布について報告した。Leis et al .(1991) は,1989年1-2月に中部太平洋仏領ポリネシアにお いて, 珊瑚礁からわずか100 - 200m沖で仔魚採集を行 い,過去に中部太平洋の外洋域で行われたカツオ・マ グロ類仔魚の採集結果と比較した。それによると,カ ツオをはじめキハダ,ビンナガ,ソウダガツオ類にお いてそれまでの報告よりも高密度に分布していただけ でなく,得られた仔魚の多くが体長2.6-3.5mmであっ たことから,これらの種が珊瑚礁周辺で産卵している ものと推定した。一方, Boehlert and Mundy (1994) は,ハワイのオアフ島の東側と西側で合計6定点(距 岸18-278km)での仔稚魚採集を行った結果として,

田邊

東西定線ともカツオ仔魚の採集量が岸側から沖側の調 査点に向かって増加する傾向を示した。これらの結果 は,カツオ親魚が外洋表層域を中心に,熱帯域では珊 瑚礁周辺の比較的水深の浅い沿岸域でも産卵活動を行 っていることを示している。

稚魚期から幼魚期における分布

前節でも述べたように, 稚魚期から幼魚期にかけて のカツオの採集例は乏しいため,この時期の分布をは じめ,後述する食性や成長などの生態的知見は,仔魚 や成魚に比べて少なく断片的である。この時期の分布 域については,はえ縄漁業により漁獲された大型のマ グロ・カジキ類の胃内容物からの出現状況をもとに推 定された例がある。Yoshida (1971) は, 中央太平洋 におけるカツオ幼稚魚の分布について,カジキ類の胃 容物としての出現状況に基づいて考察し,赤道付近か ら南半球での幼稚魚の分布域はそれまでに報告されて いる仔魚の分布域にほぼ一致するものと推定した。北 半球における分布についても,ハワイ周辺での出現状 況と Higgins (1967)の報告から,南半球と同様に幼 稚魚の分布は仔魚期とほぼ同様と考えた。彼は季節的 な相対密度の変化についても検討し,ハワイ周辺では 8月に明瞭なピークを認め,南半球側(10-20 S)で は11-2月に相対密度が高いことを示した。日本では, 赤道域から南北40度以上に及ぶ広大な海域でのマグロ はえ縄漁業の操業範囲を利用して,太平洋におけるカ ツオ幼稚魚の地理的分布についての研究がなされた (森 1972)。それによると,体長15cm未満のカツオ幼 稚魚は西部から中部太平洋の赤道付近0-10 N を中 心として、北半球側では薩南、小笠原、ハワイ西方海 域からも出現しており, Yoshida (1971) と同様に幼 稚魚の分布域が仔魚のものと類似していると報告し た。西部太平洋の低緯度海域では,他の海域よりも分 布密度が高く,夏季と冬季の季節的な違いは認められ なかった。彼はまた,カツオの成長に伴う分布域の拡 大についても考察し, 稚魚期には仔魚期とほぼ同じ海 域に分布するが,幼魚期のある段階(体長15cmから35 cmの間)に達すると表面水温24℃以下の低水温海域に も出現するようになると推定した。飯塚ら(1989)は, 竿釣りによって漁獲されたカツオの吐出物や浮き刺網 による採集物としてのカツオ幼稚魚の出現状況から, 西部太平洋熱帯域の広い範囲にわたって幼稚魚が分布 することを示した。ところで,日本近海におけるカツ オ未成魚の北上期の漁場表面水温がおおよそ20℃以上 (二平 1996)であることから推察すると,表面水温 から見た稚魚期から幼魚期におけるカツオの分布範囲 は,仔魚期(25℃以上)と未成魚期(20℃以上)の間 にあるものと考えられるが,詳しくは今後の調査を待

たざるを得ない。

一方, 稚魚期から幼魚期の鉛直分布については, 前 節で述べた如く直接採集法により調べた例がないため ほとんどわかっていない。仔魚期の分布水深は主とし て20 - 60mであり, 成魚では水深273mまで出現した 例があることから(Dizon *et al*. 1978), 水平分布と 同様に成長に伴う遊泳能力の発達とともに分布水深も より深い範囲に及ぶと考えられるが, 現段階ではいず れも推測の域を出ない。

摂 餌 生 態

カツオは外洋表層域の食物連鎖において,最も高次 に位置する捕食者の1つに挙げられ,これまでの研究 でも外洋表層域の高次捕食者としての観点から,食性 や摂餌行動について多くの報告がなされている(Matsumoto et al. 1984)。また,カツオがどこで何をどの ようにして食べているのか,といった摂餌生態を調べ ることは,前節で述べた分布および後節で述べる成長 と密接に関わってくる重要な問題であり,これらを結 びつけるいわば鍵的な役割をもつ知見と考えられる。 本節では,これまでになされた研究をもとに生活史の 各段階での摂餌生態について総括するとともに,高次 捕食者であるカツオ・マグロ類の食性における特徴の 1つとしてしばしば指摘される共食い現象についても 紹介する。

各成長段階における食性と摂餌行動

カツオの摂餌生態についても、分布や成長と同様に 未成魚や成魚に関する報告は多数見られるが,初期生 活史段階の知見は乏しい。仔魚期の摂餌生態について は,魚谷ら(1981), Young and Davis (1990)の報 告があり, 仔魚期から稚魚期のものでは青木(1999), 西川(1975)の報告が見られるのみである。魚谷ら (1981)は,インド洋でのミナミマグロの主産卵場と して知られるオーストラリア北西沖で,口径2mの稚 魚ネットにより採集されたカツオとマグロ属4種(ビ ンナガ,キハダ,メバチ,ミナミマグロ)およびソウ ダガツオ属仔魚の消化管内容物を調べ,それぞれの食 性の違いを明らかにした。これら仔魚は体長3-8mm の個体が全体の80%以上を占めていたが,カツオとマ グロ属では消化管内容物組成に明らかな違いが認めら れた。カツオとソウダガツオ属仔魚は主として尾虫類 と枝角類の Evadne 属を食べていたのに対し,マグロ 属4種はカイアシ類の Corycaeus 属を中心に摂餌し ていた。また それぞれの消化管内容物の体長を測定し たところ,マグロ類は体長021-080mmの餌生物が主 体だったのに対し,カツオとソウダガツオ類は0 81mm

以上の餌生物を多く捕食していた。南西諸島周辺で採 集されたクロマグロ Thunnus thynnus 仔魚の食性を 調べた魚谷ら(1990)によれば,本種仔魚の胃内容物 は、全長5mm以下ではカイアシ類のノープリウス幼生、 全長 5 mm以上では Corycaeus 属が主体であり, 北西 オーストラリア沖のビンナガ,キハダ,メバチ,ミナ ミマグロと類似していた。これらのことから、彼らは マグロ属5種がいずれも仔魚期において小型カイアシ 類を主要な餌生物として利用するものと考えた。 Young and Davis (1990) もオーストラリア北西沖で カツオ・マグロ類仔稚魚を採集し,カツオ,ビンナガ, ミナミマグロの摂餌生態について報告した。彼らの調 べた標本も, ほとんどが体長3-85mmの後期仔魚で あった。消化管から出現した主な餌生物は,カツオが 尾虫類と魚類仔魚であったのに対し,マグロ属2種で はカイアシ類のノープリウス幼生や Corycaeus 属お よび Farranula 属が多かった。 彼らの結果によると, 体長5 5mm以上のカツオ仔魚では既に魚食性が目立ち 始めているのに対し,ミナミマグロでは体長8mm台以 降で魚食性が認められた。カツオ仔魚の魚食性の発現 時期が他のマグロ属仔魚より早いことは,前述の魚谷 ら(1981)の報告からも推察される。このことについ て, Tanaka et al .(1996)は仔魚期から稚魚期への成 長過程において,消化器官が成魚型に移行する時期が カツオの方がマグロ属より早いことを示した。西川 (1975)によれば,カツオの後期仔魚から稚魚期への 移行にともなう消化器官の形態変化として、腹腔の後 方への拡大とそれにともなう胃盲嚢,腸管の伸長が起 こる。それとともに,カツオの食性においても魚類仔 魚の出現率が著しく高くなり,より大型の餌生物を捕 食するように変化する。青木(1999)は,マリアナ諸 島からカロリン諸島周辺にかけて採集された仔稚魚の 胃内容物調査を行い, 仔魚期から稚魚期にかけての各 部の相対成長と餌生物との関係について調べ,口部の 発達,いわゆる巨顎化(代田 1970,1978)と幽門垂 の伸長が仔魚期における魚食性の発現に対応している ことを示した。また,カツオ稚魚の餌生物としては魚 類仔魚を中心として甲殻類と頭足類が出現し,魚類以 外の胃内容物組成はカツオ稚魚の分布域によって変化 していた。

カツオ・マグロ類仔稚魚の摂餌活動の日周性につい ては,カツオ(西川 1975),ビンナガ,ミナミマグロ (Young and Davis 1990),キハダ(上柳ら 1973), クロマグロ(魚谷ら 1990),およびソウダガツオ類 (Strasburg 1959)での空胃率や胃内容物量の日周変 化が報告されている。これらの結果をまとめると,カ ツオ・マグロ類の仔稚魚は,昼間摂餌活動を行い,夜 間には摂餌しない視覚捕食者であることが解る。

一方,未成魚や成魚の摂餌生態については,太平洋 を中心として数多くの報告がなされている (Alverson 1963, Batts 1972, Dragovich 1970, 1971, Dragovich and Potthoff 1972, 堀田・小川 1955, 飯塚ら 1989, Nakamura 1965, Roger 1994, Waldron and King 1963)。Matsumoto et al (1984)は,カツオの食性に 関する既存の知見を整理した結果、カツオの餌生物と して80科以上の魚類と11目の無脊椎動物が出現したと 報告している。これらを総合すると,魚類,甲殻類, 軟体類がカツオにとっての主要餌生物である。これら の餌生物のうち,多くの海域において魚類の出現率が もっとも高い傾向にあったが,海域によっては甲殻類 または頭足類の出現率がもっとも高く,カツオの餌生 物組成が棲息海域によって異なることをうかがわせて いる。また,カツオ成魚の餌生物としての魚類に対す る依存度は,キハダやメバチなど他のマグロ類に比べ て低いとされている(落合・田中 1998)。成魚の摂 餌時刻については,朝と夕方に活発に行われるとされ (Dragovich 1971, Nakamura 1965, Waldron and King 1963),夜間には摂餌しない。このような朝夕の摂餌 活動のピークは,餌生物となる小型魚類や動物プラン クトンがカツオの遊泳層である表層近くに浮上する日 周鉛直移動に関係していると考えられている (Nakamura 1965)。カツオの摂餌量と消化時間について水 槽実験により研究した Magnuson (1969) によれば, 尾叉長39 - 50cm,水温23 3 - 25 .7℃の条件下での1回 あたりの最大摂餌量は体重の7%,1日あたりでは体重 の15%で,消化速度については,給餌から12時間後に は胃内の餌は消化され空胃になった。

捕食者と共食い現象

カツオの捕食者としては,カツオ自身による共食い をはじめ,同じ高度回遊性魚類に属するマグロ類,カ ジキ類がよく知られており(青木 1999, Dragovich 1970, 1971, Dragovich and Potthoff 1972, Eckles 1949, 堀田 1953,堀田・小川 1955,飯塚ら 1989,King and Ikehara 1956, 岸上 1926, Marr 1948, Matsumoto 1961, 森 1972, Nakamura 1965, 須田 1953, Yoshida 1971), この他にもウシサワラ Scomberomorus sinensis, カマスサワラ Acanthocybium solandri, サメ類,海鳥類などが挙げられる(Matsumoto et al. 1984)。森(1972)によれば,マグロ類5種とカジキ 類10種により捕食されたカツオの体長範囲は3cmから 70cm以上に及んでいたが,量的に最も多く捕食されて いたのは体長6-20cmの幼稚魚であった。他の報告に おいても,捕食されるカツオの多くは体長20cm以下の 幼稚魚であり,この時期のカツオがマグロ類やカジキ 類にとって捕食されやすい大きさであるとともに,分

布域が重なることによって彼らの餌としての役割を果 たしていることになる。体長30cm以上のカツオになる と大型のカジキ類などによる捕食以外あまり胃内容物 として出現しなくなるため, 被食による減耗は少ない と考えられる。また,カツオにおいて大型個体による 小型個体への共食いが比較的よく起こる現象であるこ とは、本種の生活史における生態的な意義だけでなく, カツオ資源全体の維持を考える上で興味深い(飯塚ら 1989)。カツオ幼稚魚の共食いによる被食量について は,成魚と幼稚魚それぞれの魚群の時空間的な重なり 具合,つまり両者の遭遇確率がどれだけあり,さらに 他の餌生物量との関係も影響すると推察される。これ までの報告の中で最も高い出現率を示した例として は,胃内容物を調べた成魚603個体中24-44%もの個 体が幼稚魚を捕食していたという例がある(Nakamura 1965)。しかしながら,幼稚魚の共食いによる減耗が 全死亡率のどれだけの割合を占め,資源への加入量に どれだけの影響を与えるか,といった定量的な研究を 行った例は報告されていない。一方で共食いに於いて は,餌料の捕食者への転換効率が著しく高いことも, 貧栄養海域におけるカツオの摂餌戦略の1つとして注 目に値する。現在までの知見で言えることは、本種の 主要な産卵場である中西部太平洋低緯度海域では常に 発生時期の異なる(体長組成を異にする)群が幾つも 存在し、それらがしばしば遭遇することにより種内で の捕食・被食関係が成り立っているという事実のみで ある。

初期成長

カツオの成長については,これまでに耳石をはじめ とした年齢形質法(相川 1937,相川・加藤 1938, Batts 1972, Chi and Yang 1973, Sosa-Nishizaki et al. 1989, Radtke 1983, Shabotiniets 1968, Uchiyama and Struhsaker 1981, Wild et al. 1995, Wild and Foreman 1980) や標識放流・再捕法 (Bayliff 1988, Joseph and Calkins 1969, Josse et al. 1979, Sibert et al. 1983),体長組成法(Chi and Yang 1973, Joseph and Calkins 1969,川崎 1965,二平 1996,田中 1989, Yao 1981, 横田ら 1961, Yoshida 1971) によ り多くの報告がなされている。Matsumoto et al (1984) は,これらの報告を海域と解析手法により整理し,そ れぞれの成長式による年齢と体長との対応表にまとめ て示した。しかしながら,これまでの報告のほとんど は,主に未成魚期から成魚期における成長を解析する ことにより生活史全体の成長式を導き出しており,初 期生活史段階における成長を明らかにした例はほとん ど見られない。したがって,本節では生活史全体を通

してのカツオの成長に関するこれまでの研究例を中心 に総括するとともに,稚魚期までの初期成長について も言及する。

カツオの年齢と成長

カツオの成長についての最初の報告は,相川(1937) による脊椎骨での年齢査定に基づくものと考えられ る。彼は沖縄周辺から伊豆・小笠原海域,さらに東北 沖に至る本邦太平洋側各海域から採集したカツオ(体 長30-80cm)の脊椎骨から年輪を読み取り,これらを もとに年齢と体長との関係を求めた。それによると, 満1歳時の体長は26cm,満2才で34cm,満3才で43cm, 満4才で54cmに成長すると考えられた。相川・加藤 (1938)は,パラオ海域で採集されたカツオについて も同様な方法で年齢査定を行い,満4才までの成長に ついては日本近海の群とほぼ同じ成長をするものと推 定した。1960年代から1980年代にかけて,カツオの年 齢と成長に関する研究は数多く報告されている。横田 ら(1961)は,捕食者の胃内容物から出現したカツオ 幼魚の地理的,季節的出現状況と体長組成から,日本 近海に来遊するカツオが西部太平洋の低緯度海域(ス ルー海から薩南)で11月から5月に発生したものと推 定した。それとともに,枕崎をはじめとして各漁港に 水揚げされた漁獲物の体長組成データを加えてカツオ の年齢と成長について検討した結果,満1歳時の体長 は37cm,満4才では73-76cmと相川の報告よりもかな り速い成長を示した。川崎(1965)も日本周辺に来遊 するカツオの体長組成と須田(1953)のマグロ・カジ キ類の胃内容物としてのカツオ幼稚魚の出現状況をも とに,年齢と体長との関係を調べた。その結果,夏を 基準として,1歳で15cm,2歳で45cm,3歳で63cm,4歳 で73cm,5歳で77cmに達するものと推定した。体長組 成法によるカツオの成長に関する報告は,日本ではそ の後も Yao (1981) が川崎 (1965) と同じく日本周辺 4海域(南西諸島周辺,伊豆・小笠原海域,五島列島 周辺,東北海域)で漁獲されたカツオの体長組成を解 析することにより,日本近海に来遊するカツオの成長 式を推定した。田中(1989)は,海外まき網漁業の漁 獲物から月別の体長組成を整理し、そのモードの追跡 によって西部太平洋熱帯海域(いわゆる南方海域)に おけるカツオの年齢と成長との関係を推定した。満1 歳および満4歳での体長は, Yao (1981) によれば26 cmと68cm,田中(1989)によれば27cmと62cmであった。 東部太平洋のカツオについては, Joseph and Calkins (1969)が,中部太平洋ハワイ周辺では Yoshida(1971) がそれぞれ体長組成法による成長の推定を行った (Matsumoto et al. 1984)。近年では,二平(1996) が東北海域への来遊群について5つの体長グループを

想定し,標識放流・再捕結果と長年にわたる体長モードの追跡から,各グループの移動と成長について考察した。

一方,年齢形質法による成長解析では,前述の相川 (1937),相川・加藤(1938)の脊椎骨を用いた年齢査 定以降, 耳石日輪 Uchiyama and Struhsaker 1981, Wild and Foreman 1980, Wild et al. 1995)や第2 背鰭棘 (Sosa-Nishizaki et al. 1989)を用いた成長 推定が行われた。Uchiyama and Struhsaker (1981) は,カツオの耳石(扁平石)から日輪の計測を行い, 中部太平洋と東部太平洋における成長を von Bertalanffyの成長式に当てはめた。彼は尾叉長3-80cm での成長速度について, 27cmまでは1.6mm d⁻¹27-71 Acmの間は0 8mm d⁻¹, 71 A - 80 3cmの間は0 3mm d⁻¹と推定し, 東部太平洋では中部太平洋よりも成長 速度が遅いと考えた。彼らの示した中部太平洋でのカ ツオの成長は,これまでのすべての手法を含めた報告 の中で最も速く,満1歳で44cm,満2歳で68cm,満3 歳で83cm 満4歳では91cmに達する。Wild et al (1995) は,東部太平洋でのカツオの成長について,テトラサ イクリンを使った耳石標識・放流と再捕時の体長測定・ 輪紋計測から輪紋形成周期を調べた。Uchiyama and Struhsaker (1981) は, ハワイでの飼育実験によりカ ツオの耳石に日周輪が形成されると報告したのに対 し, Wild et al .(1995)では輪紋数と放流期間(日数) が1対1で対応しない傾向が示された。その原因とし て,彼らは光学顕微鏡下での輪紋の見えにくさによる 計測誤差,生殖活動に伴う輪紋形成の停滞,耳石の観 察部位による影響があったのではないかと考えた。

さらに,標識放流・再捕法によって,放流期間中の 成長速度をもとに成長式を推定したハワイ近海 (Joseph and Calkins 1969), 東部太平洋 (Bayliff 1988),中·西部太平洋低緯度海域(Josse et al. 1979, Sibert et al. 1983)の報告がある。この方法では, 標識装着による魚体への影響を考慮する必要があるも のの,放流時と再捕時の体長差により放流期間中の成 長を直接知ることができる点で他の方法にはない長所 がある。ただし,この方法でも標識を装着できる魚体 の大きさがある程度以上でなければならず,現状では 体長30cm未満の魚体に標識をつけることは技術的にか なり難しい。上述の研究例においても,標識を装着し た魚体の大きさはほとんどが体長40cm以上の未成魚か ら成魚に属するものであった。Joseph and Calkins (1969)は 438個体分の標識放流・再捕データの解析 から, 2 通りの von Bertalanffy 型成長式を導き出し た。それによると満1歳時の体長は31cmまたは41cm,4歳 時では70cmまたは73cmであった。Bayliff(1988)も同 様にして von Bertalanffy 型の成長式を求め, 東部太

平洋でのカツオの成長について K 値を0.658, 極限体 長を88.5cmと推定し, 放流時体長43 - 57cm, 標識放流 期間30 - 90日の361個体から計算した成長速度は0.6mm d⁻¹であった。

以上のように,これまでのカツオの成長に関する報 告をまとめてみると,それぞれの成長式でかなり差が あることがわかるが、これらは大きく分けて日本側(西 部太平洋)とアメリカ側(中・東部太平洋)の2通り の成長に集約される。すなわち,満1歳時で30cm以下 の遅い成長(日本)なのか,あるいは40cm以上に達す る速い成長(アメリカ)なのかという点である。これ らの成長差を棲息海域の違いによって説明するには, あまりにも差が大きすぎるように思われる。このこと について,落合・田中(1998)は,成長解析に用いた それぞれの手法の違いがもたらしたものではないかと 考えた。これまでの報告をまとめてみると、年齢形質 法の中でも耳石日輪解析法では年齢を小さく見積もる 傾向がある一方,脊椎骨や背鰭棘では年齢を大きく見 積もる傾向が認められる。Josse et al (1979)は,こ れまでの成長解析手法の中でもっとも信頼性が高いの は標識放流・再捕法であり、2番目に信頼性が高いの は耳石日輪解析法であると述べている。これらの結果 を考慮すると,カツオは遅くとも満3年で成熟して産 卵を開始し,その前段階として日本近海をはじめとし た中緯度海域に索餌回遊して急速な成長を遂げる時期 は満1歳または2歳である。したがって,カツオの成 長についてはとくに初期成長を含む若齢期の成長速度 を明らかにすることが重要である。

初期成長

上述の如くカツオの成長については多くの報告がみ られる一方,本種の初期成長に関する報告は,これま でわずかに3例が見られるのみである。Radtke(1983) は、ハワイ沿岸で漁獲されたカツオ成魚から得た受精 卵をふ化させ,5日間仔魚の飼育を行うことにより扁 平石の輪紋観察を行った。それによると,カツオのふ 化仔魚の全長は平均3.35mmで,その後の5日間にわた り扁平石に1日1本ずつの日周輪が形成されることを 確認した。カツオでは,後期仔魚期以降の飼育による 成長の解明については,残念ながらこれまでに研究さ れた例がみられない。上柳ら(1974)も人工授精卵か らカツオのふ化飼育を試み,卵内発生とふ化後の仔魚 の形態変化について記載したが,ふ化後5日目で飼育 試験を終えている。幼稚魚期の成長について言及した 2例は、いずれも胃内容物として得られた標本の耳石 日輪解析法 (Uchiyama and Struhsaker 1981) また は体長組成法 (Yoshida 1971) によりハワイ周辺海 域での成長を推定したものである。耳石日輪解析法に

よる成長解析結果では,日輪計測した体長20cm未満の 幼稚魚標本が11個体と少ない点に注意が必要ではある が,ふ化後3ヶ月で体長14cmに達し,満1年では44cm になるものと推定された。一方,体長組成法では,ふ 化後1ヶ月で体長9cmになり,その後の11ヶ月間では 月2cmの速度で成長し,その結果満1年での体長は31 cmに達すると推定した。ただし5年間にわたって体長 組成モードを解析した結果から,満1才までの1ヶ月 あたりの成長速度は12-2cmと年による違いが見ら れた。

以上のように,カツオの初期成長についてはきわめ て知見が少なく,1980年代後半以降は報告がない。本 種の初期成長に関する知見が不足していることの要因 としては,本種は現在までの技術では飼育が困難であ り,親魚の養成および採卵からのふ化飼育による実験 的な検討ができなかったことに加え,第2節で述べた 如く天然域での広大な産卵場と長期にわたる産卵期間 によりあらゆる体長の魚群が至る所で同時に存在し, 特定の発生群の移動・回遊および成長といった生活史 を追跡することが難しいことが挙げられる。このよう な現状を考慮して,本研究では近年多くの魚種で取り 入れられている耳石日輪解析法を使ってカツオの日齢 査定を行い,初期成長を明らかにすることを試みた(第 5章)。

発育段階の区分

本研究で取り扱うカツオは,幾つかの発育段階の個 体を含んでおり,以後の混乱を避けるためにこれまで の知見に基づいてここで定義付けを行うこととする。 本研究の対象としたカツオの大きさは,主として体長 10mm前後から200mmまでである。落合・田中(1998)に よれば,カツオは全長12mm前後で背鰭と臀鰭の鰭条数 が定数に達し, 稚魚期に入るとされている。稚魚期の 終わりおよび幼魚期の始まりについては,森(1972) は満1歳に達する体長として,それまでの研究者が示 した満1歳時の体長のうちで最も小さい15cmを境界と した。一方,青木(1999)によればカツオの鰓耙数は 体長100mmを越えると定数に達するとしており,カツ オの特徴である紡錘型の体型と背部の色を含めて形態 学的に判断すると幼魚期の始まりは体長100mm前後と するのが適切と考えられる。したがって,本研究では カツオの発育段階について, 仔魚, 稚魚については岩 井(1988)の魚類の発育段階区分をもとに,幼魚につ いては形態および生態学的特徴をもとに以下のように 区分した。

前期仔魚:ふ化後から卵黄吸収が終わるまでの段階 後期仔魚:卵黄吸収後から各鰭の条数が定数に達す るまでの段階

- 稚魚:鰭条数が定数に達し,体側背部の暗色化と腹 部の銀白色化,第1背鰭,第2背鰭,小離鰭 の形状など,体の各部の特徴が発現初期にあ る段階
- 幼魚:鰓耙数が定数に達し,全ての鰭の形状,尾鰭 隆起縁を備えた尾柄部など体の各部の特徴が 発現するとともに,紡錘型の体型など種の形 態的特徴が現れてくる。成長が盛んで,遊泳 能力の発達とともに行動範囲を拡大していく 段階

先にも述べたように,カツオの初期生態研究は標本 採集の困難性からこれまで仔魚期までを対象とした研 究がほとんどで,稚魚期以降についての知見は極めて 乏しく,このことが発育段階の定義付けに関しても曖 昧なままになっている原因と考えられる。本研究では, 上述の根拠に従って,体長10mm前後までを仔魚,体長 100mmまでを稚魚,体長100mm以上を幼魚として区分す ることとする。

第2章 新たな幼稚魚採集法の確立

カツオは,外洋表層域での長距離回遊を行うための 卓越した遊泳能力を備えており,その発達は生まれて から成長とともに急激に進行する。本種の遊泳能力の 高さは、紡錘型の体型をはじめとして、隆起縁の発達 した強靱な尾柄部,遊泳時の海水抵抗を低下させるた めに退化した魚鱗及び収納可能な第1背鰭を見ても伺 い知ることができる(岩井 1985)。カツオ漁業では, 本種の遊泳行動を巧みに利用することで漁獲量の増加 に結びつけようとする工夫がなされてきた。そのため、 漁獲対象となった生活史段階以降のカツオの生態研究 においては、漁業からの漁獲情報が有効な手段となる。 これに対して,漁獲対象となる前の生活史段階,特に 稚魚期から幼魚期においては,漁業によって発達して きた漁獲技術をそのまま使用して採集することが困難 なだけでなく,一般の卵・仔魚期の生態研究で広く普 及している小型ネット類でもほとんど不可能であっ た。稚魚期から幼魚期のカツオは,最も自然死亡率の 高い卵から仔魚期の初期減耗を乗り越え、急速に遊泳 能力を発達させながら外洋での行動範囲を拡大してい くものと考えられる。

一方, 稚魚期から幼魚期におけるカツオの生態を明 らかにすることは, このあとに起こる漁業資源への加 入のメカニズムや日本近海への来遊時期と来遊量予測 のための基礎知見といった水産資源学的見地から重要 な意味を持つ。そのためには, これまで不可能とされ てきたカツオ幼稚魚に対する効果的な採集方法を確立 することが必要不可欠の条件となる。本研究では,ま ず現在利用することができる漁具の中から,どれがカ ツオ幼稚魚の採集において最も効果的であるか検討 し,ついでその漁具を用いてカツオ幼稚魚採集法の開 発に取り組んだ。また、この採集法の確立により、カ ツオのみならずマグロ類やサケ・マス類など他の外洋 性大型浮魚類の幼稚魚採集にも道が開かれるものと考 えた。1992年から5年間にわたり西部太平洋熱帯海域 を調査海域として、カツオ幼稚魚採集用中層トロール 網 TANSYU による採集を行った結果,これまでの採 集法では得られなかった体長範囲のカツオを1時間曳 網あたり1000個体単位で採集することが可能になっ た。この採集法の開発により,これまで知見の乏しか ったカツオの稚魚期から幼魚期にかけての生態研究 は,新たな展開方向を見出すことができたと考える。 以下にその概要を記す。

材料および方法

採集漁具の検討

1991年度当初からカツオ幼稚魚の新たな採集法を確 立するために,どの漁具が最もカツオ幼稚魚の採集に 有効であるか,という点から研究を開始した。現在の 漁具は多種多様で,それぞれ対象生物を捕らえるため の工夫がなされて進歩してきたが,本研究で候補とし たのは,カツオ漁業で広く使用されている釣り漁具類 やまき網,浮き刺網のほか,マアジやスケトウダラ漁 業で使われる中層トロール網,過去のカツオ稚魚採集 で用いられた集魚灯と敷き網であった。信頼性の高い 採集結果の得られる漁具を用いることは,本研究の主 目的であるカツオ幼稚魚の生態解明にとっての根本的 な課題であるが,研究史で述べたようにこの時期の知 見は著しく不足しているため,漁具設計の基礎情報と して必要な対象魚の分布や遊泳行動については、カツ オだけでなくマグロ類やマアジ,マイワシなどの小型 浮魚類の生態に関する知見(落合・田中 1998)と漁 業関係者からの聞き取り調査結果も参考にした。各漁 具の漁獲特性についても,漁業関係者や漁具・漁法の 専門家からの聞き取り調査に基づいて,それぞれの特 徴を把握しながらカツオ幼稚魚に対して効果的な採集 漁具になり得るかどうか検討した。

まず釣り漁具について,現在カツオ漁業では竿釣り と曳き縄が全国的に広く用いられているが,沖縄から 静岡県にかけての黒潮流路沿いの海域で夏季を中心と して出現しこれら漁業で散発的に漁獲されるカツオ幼 魚の大きさは,最も小さいものでも体長20cm以上であ る(沖縄水試,高知水試,和歌山水試,静岡水試 私 信)。したがって,本研究の採集対象とした体長20cm

以下のカツオに対しては,現在一般的に用いられてい るカツオ釣り漁具の利用は困難であると判断した。つ いでまき網については,現在低緯度海域を中心として 操業する海外まき網漁船で漁獲されるカツオの体長は 主として30㎝以上で、30㎝以下の幼魚が漁獲されるこ とは少ない(田中 1989)。まき網により幼魚を採集 するには,一般の漁船で用いられているよりもかなり 網目を小さくする必要が生じるとともに,対象とする 幼稚魚が表層である程度の群を形成していてその分布 位置が確認できなければ操業することが困難である。 大型竿釣り船の乗組員の中には,低緯度海域において カツオ幼魚が群をなして遊泳するのを見たことがある と証言する者もいたが,記録として残された情報がな いため,幼魚群が一般的に昼間ごく表層を遊泳してい るかどうか現在の知見では不明である。また浮き刺網 についても,漁業で漁獲されるカツオは大型魚である とともに,東北区水産研究所により行われた1984-1986年のカツオ幼魚調査においても,充分な採集結果 が得られていない(飯塚 1985,永沼・浅野 1987)。 浮き刺網は,海面付近に漂流させて使用するため漁獲 可能な深度は海面からせいぜい15m 程度であるが, 研究史で述べたようにカツオの初期生活史段階におけ る分布水深はこれよりも深い(Higgins 1970)。これ らのことから,浮き刺網についてもカツオ幼稚魚の効 果的な採集は難しいと判断した。集魚灯採集について も,これまでの例では有効な採集法となっていないと ともに,根本的な問題としてカツオに集光性があると する報告はないことが挙げられる。

これらに対し, 中層トロールの利点としては, 表層 から中層に至るまであらゆる水深層で採集活動を行う ことができ,カツオ幼稚魚の遊泳能力を上回る漁獲性 能があれば他の漁具よりも有効な採集法に成り得ると 考えられた。研究史で述べた如く過去に用いられた中 層トロール網では,いずれもカツオ幼稚魚の効果的な 採集には至らなかったが (Higgins 1970, King and Iversen 1962, Matsumoto 1961, 宅野・上柳 1978), その原因としてこれらの網は規模が小さく彼らの遊泳 能力を上回っていなかったことが考えられる。したが って,カツオ幼稚魚の遊泳能力を把握し,これを上回 る採集能力を備えた大型中層トロール網を開発するこ とができれば,カツオ幼稚魚の効率的な採集が可能に なると考えられる。以上の検討結果を踏まえて,本研 究では大規模な中層トロール網を用いて,カツオ幼稚 魚の新たな採集法を開発することを目指した。

カツオ幼稚魚採集用中層トロールの設計概念と仕様

カツオ幼稚魚の効果的な採集方法を確立するため に,新たに中層トロール網 TANSYUの設計,製作に



Fig. 2-1a. A shematic diagram of the midwater trawl net TANSYU-1 that was developed for collecting juvenile and young skipjack.

取り組んだ。TANSYUの設計にあたっては,カツオ 幼稚魚の高度な遊泳能力に対処することを念頭に据 え,大規模な開口部と高速曳網が可能であることを最 も基本的な設計概念とした。TANSYUが採集対象と したカツオ幼稚魚の体長範囲は,研究史で述べたこれ までの漁具では効果的な採集ができなかった10-200mmとした。網の設計と調査時の運用に関する事前 情報として,西海区水産研究所の漁業調査船陽光丸で 使用されている中層トロール網 Yoko-2型によるマイ ワシ親魚の資源量調査(Takeshita *et al*. 1988)と,海 洋水産資源開発センターが実施した大型トロール船に よるチリ沖でのマアジ資源調査(海洋水産資源開発セ ンター 1989)を参考にした。

本研究で使用する網の大きさや目合,調査時の曳網 速度などの仕様については,1992年度からの調査航海 で使用した調査船のワープウィンチの曳網能力と船尾 部甲板の広さを考慮しながら,TANSYU-1型の設計 図を作成した(図2-1a)。カツオ・マグロ類の遊泳 速度に関する Magnuson(1978)の報告を参考にして, 本研究での採集目標であるカツオの最大体長(200mm) における瞬間的最大遊泳速度を約4ノットと想定した 結果,TANSYU-1型の最大曳網速度はこれを十分に 上回る5ノットとして設計した。開口部の大きさは採 集量の多寡に関係すると考えられるが,投・揚網時の取 り扱いを考慮して高さおよび幅を約20mに設定した。



Fig. 2-1b. A shematic diagram of the improved midwater trawl net TANSYU-2.

これらの条件に基づいて設計したところ,TANSYU-1型の全長は66.6m,ヘッドロープとグランドロープ の長さはそれぞれ38.6mとなった。身網部分の目合は, 袖網および1段目が2000mmで最後部7段目の57mmまで 段階的に小さくした。コッドエンド部は,全長13.6m, 目合60mmとした。身網7段目とコッドエンド部には, 小型稚魚の網目からの逸出を防止するために目合30mm と15mmの内張り網を取り付けた。網の構成素材となる トワインの直径は1.91-5.06mmで,各トワインの原糸 はすべて太さ380デニールのポリエチレン製とした。

以上がカツオ幼稚魚採集用中層トロール網 TANSYU -1型本体(主漁具)の仕様であるが,これを曳網する ための副漁具類として,袖網の先端からの曳索にあた るペンネント類,網口を水平方向に開かせるための開 口板(オッターボード),開口板をワープから切り離 すためのハンドロープが必要であり,これらを調査船 からの曳索であるワープに取り付けて使用した。オッ ターボードの大きさは縦1.7m×横2.8mで,但州丸が 他の調査で使用しているものをそのまま転用した。 1993年には,改良を加えた TANSYU-2型(図2-1b) を製作した。

TANSYU-1型の製作にあたっては,事前に株式会 社ニチモウ下関営業所(山口県下関市)において模型 を使った水槽実験を実施し,曳網時の網形や漁具抵抗 を観測した。

調査海域,時期および調査船

1992年度より5年間の予定で,毎年10月中旬から12 月上旬にかけて中層トロールを主体としたカツオ幼稚 魚の採集航海を実施し,新たな採集法の確立を目指し た。調査海域の選定にあたっては,第1に北半球の秋 冬期においてカツオ幼稚魚が高密度に生息すると考え られる海域であること,第2にカツオ幼稚魚の採集活 動が自由に行える海域であること,第3に予定された 航海日数の範囲内においてできる限り多くの調査日数 を確保するために日本から遠すぎないこと、を条件と した。第1の点については,研究史で述べたように低 緯度海域ほどカツオ仔稚魚の年間を通じての出現期間 が長いことから,赤道近くの熱帯域では幼稚魚も周年 にわたって生息すると考えられることと(森 1972), 太平洋におけるカツオ仔稚魚の分布密度の東西間での 偏りから,西部ほど幼稚魚も多く生息すると考えられ ることにより(上柳 1969),西部太平洋熱帯海域が 本研究の調査海域として適当であると判断した。第2 の点については,カツオ仔稚魚の分布域がきわめて広 大な海域にわたることから(西川ら 1985),日本の 200海里経済水域および公海域だけでは幼稚魚の分布 を把握することは困難であり,他国の200海里経済水 域への入域が必要と考えられた。そこで,当該海域の 国際機関である South Pacific Commission (南太平 洋委員会,略称 SPC)の協力のもとで入域申請を行 ったところ,パラオ共和国およびミクロネシア連邦共 和国より入域許可を与えられた。第3の点については, 上記2点を満たす海域において問題とはならないと判 断した。以上の点を考慮に入れて検討した結果,図2 2に示す調査海域が本研究の対象となった。

調査船については,大規模な中層トロール網を曳網 することができる設備を有することを第1条件として 検討した結果,兵庫県立香住高等学校の漁業実習船但 州丸(444トン)を調査船とすることとなり,但州丸 が代船建造となる1994年度以降には山口県立水産高等 学校の青海丸(403トン)により調査を実施すること とした。

採集方法

1) 中層トロール

最初の2年間の調査(1992年度および1993年度)で は、まずカツオ幼稚魚がどこでどのように生息してい るのか把握するために、できる限り広い範囲で採集を 行うよう曳網計画を立てた。調査海域の海洋物理学的 環境の特徴として、北赤道海流と北赤道反流が南北に 位置し、北赤道海流は東から西に向かい、北赤道反流



Fig. 2-2. The sampling area (0 - 20 N, 130 - 160 \times).

は西から東に向かって流れている。これらの海流ごと にカツオ幼稚魚の分布と海洋環境との関係を明らかに するために,観測定線は南北方向を基本として設定し た。観測定線上を航行しながら,魚群探知機とソナー によるカツオ幼稚魚の探索を行って魚群に対して中層 トロールを投網するとともに,発見できなかった場合 に備えて定時的に200m以浅での1時間水平曳きを行 うこととした。本研究では,中層トロールの曳網時間 を投網開始後トロール網開口部が所定の水深層に達し た時刻からワープの巻き上げを始める揚網開始時刻ま での間と定義し,原則として1回の曳網時間を1時間 とした。曳網時における網口の水深と高さは,漁網監 視装置(Furuno FNR-200)により常時観測し,目的 の深度を維持することとした。

Higgins (1970) の報告から, 遊泳能力の高いカツ オ幼稚魚を捕獲するには彼らの視覚が機能する昼間よ りも夜間の方が有利と考えられたため, 曳網は夜間を 中心に行うこととしたが,日周的な採集データを得る 目的で昼間の曳網も実施した。曳網水深については, 研究史で述べた如くカツオ幼稚魚の生息水深層に関す る知見が全くないため, 仔魚と成魚の分布水深に関す る知見から推測し(Dizon et al. 1978, Strasburg 1960, 上柳 1969),基本的には表層から水深200mの範囲内 に生息するものと仮定した。したがって, TANSYU 型中層トロールの網口の高さにより,基本的な曳網水 深層は0-200mの間の10層となった。目的とする曳 網水深にトロール網を位置させるには,主としてワー プの長さを調節することで対応した。また, 曳網速度 の違いによるトロール網の漁獲特性を調べるために、 速度を変えての曳網試験も行い採集データを分析し た。

2)その他の漁具

中層トロール網以外の漁具については,浮き刺網, 曳き縄および釣り竿と擬似針,たも網を用意し,中層 トロールの補完的な採集活動としての使用を考えた。 このうち曳き縄は航走中に使用できるため,夜明け後 から昼までの調査点間の移動中に随時使用することと した。釣り具類はカツオが漂流物の下に付く性質を考 慮して,航走中に海面上の流れ物を探索し,魚探反応 により魚群の存在を確認した場合に随時停船して漁獲 を試みることとした。たも網は夜間停船して海洋観測 を行う際に,調査船の近くに遊泳してきたカツオ幼稚 魚がいた場合に捕獲を試みることとした。浮き刺網は 前回東北区水産研究所が実施したカツオ幼魚調査で使 用したものを用意し(飯塚 1985,永沼・浅野 1987), 中層トロールの補完的な漁具として夜間停船中に場合 によっては使用することとした。

標本の取り扱い

中層トロールの揚網後コッドエンド部から取り出し たサンプルは,まず全体の湿重量を測定し,つづいて 各動物群へのソーティングを行った。採集物中のカツ オ・マグロ類を取り出して80%アルコールに保存した 後,八ダカイワシ類,カタクチイワシ類などの魚類, 甲殻類,頭足類,その他に分類し10%ホルマリン固定 または冷凍保存した。カツオ・マグロ類については全 標本を保存して持ち帰ったが,その他の動物群のうち, カタクチイワシ科のタイワンアイノコ,オキアミ目, 十脚目などについては,個体数が著しく多く採集され た場合(約1kg以上)は,総量を測定した後,1部を無 作為抽出して持ち帰った。

カツオについては、実験室においてMatsumoto *et al.* (1984)に従って実体顕微鏡下で外部形態観察により 種の査定を行った。マグロ類についても形態観察を行 ったが,現在の知見では幼稚魚の外部形態の違いによ る種査定ができないため,一部の個体をミトコンドリ ア DNA の制限酵素切断型によるマグロ属の種判別法 (Chow and Inoue 1993)により査定した。その他の 採集標本についても可能な限りの分類を行った。カツ オおよびマグロ属の標本については,さらに計測可能 なもののみ体長と体重の測定を行った。

結 果

TANSYU-1,-2型中層トロールの曳網特性

TANSYU-1型を使用した1992年の調査では,調査 海域内3-10 N,137-155 Eにおいて合計108回の曳 網を実施した。調査船但州丸のワープ長と曳網水深と



Fig. 2-3. Relationship between the warp length and the towing depth of the midwater trawl net TANSYU -1 (top) and TANSYU-2 (bottom).

の間には,高い正の相関が得られ(図2-3),ワー プ長の調節によって TANSYU-1型を目的とした水深 で曳網することができた。曳網開始後における水深の 微調整は,漁網監視装置からの信号によりヘッドロー プ水深を確認しながら,調査船の可変ピッチプロペラ による船速の微調節により所定の水深層を維持した。 各曳網水深層における TANSYU-1型の平均曳網速度 および平均網口高は, それぞれ43-49/ットおよび 20 2 - 21 2mであり,設計時に期待した数値が得られ た(表2-1)。袖網間隔については,ワープの船尾 ギヤロースおよびその2m後方における両舷間隔から 計算により推定したところ,表層0-20mでの平均値 10.7m(範囲9-15m)から最深部120-200mでの平 均値23 9m(範囲14-36m)まで,水深とともに網口 が水平方向に広くなる傾向が認められた。これはワー プの伸長によって,開口板が海水抵抗を受けて水平方 向に拡がる力を増大させることに起因する。したがっ て,TANSYU-1型の網口形状は,表層近くでは鉛直 方向に楕円形となり 60 - 120mではほぼ円形, これよ り深い水深では水平方向に楕円形を呈するものと推定 された。

TANSYU-1型による漁獲物湿重量を曳網速度別に みると35-45ノットでの1時間曳網あたり漁獲量 (kg)が多く,それ以下及び以上では明らかに少ない 傾向が認められた(図2-4)。これらの結果を見る 限り,TANSYU-1型の漁獲効率を最大にするための

 Table 2-1. Comparison of characteristics of the towing performances between the midwater trawl nets TANSYU 1 and TANSYU 2

TANSYU-1

Depth (m)	No. of tow	Opening (m)	Warp length (m)	Speed (knot)	Sample (g/1 hr tow)
0 - 20	9	20 2	58 .9	49	745 <i>A</i>
20 - 40	18	21 2	85 .D	4 4	1014 5
40 - 60	22	20 5	140 .7	43	1466 .7
60 - 80	23	20.6	205 .9	4 4	4223 <i>A</i>
80 - 120	24	20 2	276 D	4 4	10566 .6
120 - 200	10	20 3	442 ⁽	48	4978 3

TANSYU-2

Depth (m)	No. of tow	Opening (m)	Warp length (m)	Speed (knot)	Sample (g/1 hr tow)
0 - 20	5	20 .0	49 D	48	2662 D
20 - 40	13	19 5	114 2	49	2390 8
40 - 60	18	19 <i>A</i>	169 2	4.7	4229 4
60 - 80	15	18 .6	228 .7	4 5	19486 D
80 - 120	40	18 .1	317 4	4.6	8951 5
120 - 200	28	18 .1	459 3	4.6	3103 2



Fig. 2-4. Average wet weight of the total samples collected at various towing speeds of the midwater trawl net. Thick bars indicate average wet weight of total samples; thin bars indicate the standard deviations.

曳網速度が45ノット前後にある。曳網水深別の1時 間曳網あたり漁獲量では80-120mで最大を示し,こ れに次いで120-200mで多く0-20mで最も少なかっ た(表2-1)。中層トロールの網口形状は漁獲効率 に影響を及ぼすと考えられ,真円に近いほど漁獲効率 が高いとされる(西牟田ら 1990)。TANSYU-1型に おける各曳網水深での網口形状と平均漁獲量を比較す ると,漁獲量が最大となった80-120mでは網口形状 もほぼ円形に近かったと考えられる。しかしながら, 漁獲量は漁獲効率よりもむしろ各曳網水深における生 物の現存量を反映すると考えられるため,各水深層に 均一に分布する生物種を対象とした漁獲試験を行わな い限り,水深別に漁獲効率を求めることは困難である。

1993年の調査では、後述する TANSYU-1型による カツオ幼稚魚の採集結果を受けて、より効果的な採集 漁具とするための改良を加え、TANSYU-2型とした (図2-1b)。TANSYU-1型からの改良点は、袖網及 び身網1段目の網目を2000mmから1000mmに交換したこ と、コッド部を5m延長したこと、コッドエンド内張 りの網目を15mmから8mmに交換したことである。これ らの改良は、主として小型のカツオ稚魚の網目からの 逸出を減少させることとコッドエンド部における水流 をよりスムーズにすることが目的であった。TANSYU-2 80



Fig. 2-5. The sampling locations () for the midwater trawl net TANSYU in October to December 1992 - 1996.

型の漁具抵抗は,この改良に伴い1型に比べて約20% 増加したが,各曳網水深における平均曳網速度にはほ とんど影響が認められなかった(表2 - 1)。これに 対して,平均網口高は1型に比べて2型の方が小さく, その差は曳網水深が深くなるほど大きくなる傾向が認 められた。曳網速度別の1時間曳網あたり漁獲量は,1 型よりも遅い4ノットで最大となる明瞭なピークが認 められた。曳網水深別の平均漁獲量では,80m以深で は1615 - 1875gの減少が見られたもののそれ以浅の4 層では大きく増加しており,1型よりも網目を小さくした網口部とコッドエンド部内張りの網目を細くして延長した効果により小型の漁獲物の逸出量が減少したためと推測された。

1993年の調査結果により, TANSYU-2型のカツオ 幼稚魚採集用漁具としての有効性を確認できたた め,1994年以降の調査では TANSYU-2型を使用するこ ととした。

TANSYU-2型中層トロールによるカツオ幼稚魚の採 集結果

1992年から1996年までの5年間の調査を通じて497 回の中層トロール曳網を行い(図2-5),合計6724 個体のカツオ幼稚魚とともに1373個体のマグロ属幼稚 魚を採集した(表2-2)。カツオ幼稚魚の水平およ び鉛直分布については第3章で詳しく述べるため,本 章では調査海域内での出現状況と体長組成を中心に記 述する。カツオ幼稚魚が採集された海域は,調査海域 内の1-20 % ,135-157 ℃と広範囲にわたり,曳網 を行った海域のほぼ全体に及んでいた。カツオ幼稚魚 の出現した水深範囲も0-240mと広く,彼らが本研 究対象海域内において水平・鉛直的に広大な範囲に生 息していることが解った(表2-3)。曳網水深層別 にカツオ幼稚魚の採集結果を比較すると A0-80m層

Veens Devie de	N. C. C. C.	Occurren	Occurrence (%)		Total specimens		No.inds/1 hr tow	
Tears	Perious	NO. OF LOW	SKJ	SKJ THS SKJ	THS	SKJ	THS	
1992	10 21 - 11 23	108	40.7	14 .8	324	356	0. E	33
1993	10 28 - 12 .05	121	51 2	30.6	1232	255	10 2	2 .1
1994	11 .01 - 12 .07	98	58 2	37 &	1662	463	17 .0	4.7
1995	10 29 - 12 .07	75	46.7	26.7	2928	135	39 .0	18
1996	10 29 - 12 09	95	42 .1	21 .1	578	164	6 .1	1.7
Total		497	47 9	26 2	6724	1373	13 5	28

Table 2-2. Sampling results of skipjack (SKJ) and other tunas (THS) by years using the midwater trawl net TANSYU in the tropical western Pacific (0 - 20 %, 130 - 160 °E) during October to December 1992 - 1996.

 Table 2-3.
 Results of the sampling skipjack tuna by depth stratum using the midwater trawl net TANSYU based on the 1992 - 1996 cruises.

Depth (m)	No. of tow	Occurrence (%)	No. Inds/1 hor tow (%)	Mean SL ± < SD (mm) (range)
0 - 40	76	30.3	58(126)	21 3 ± 8 3 (10 9 - 70 7)
40 - 80	163	58 3	20 2 (44 .1)	20.6±13.0(7.1-171.6)
80 - 120	148	51 <i>A</i>	15 .6 (34 .1)	28 7±13 5 (5 5 - 152 4)
120 - 200	93	43 .O	38(84)	23.6±95(94-1245)
200 - 300	16	18 <i>B</i>	04(08)	303±153(11.7-47.6)

では出現率(幼稚魚が採集された曳網回数/総曳網回数×100)が60%近くを示し 80-120m層でも50%を 越えていた。これらの水深層では,1時間曳網あたり採 集個体数も202および156個体と他の水深層に比べて 顕著に高く,カツオ幼稚魚が主として40-120mに生 息しているものと考えられた。

各年別にカツオ幼稚魚の採集状況を比較すると,年 によってかなり採集結果が異なっている(表2-2)。 総曳網回数は最多の1993年と最少の1995年の間に1.6 倍の差があるため,カツオ幼稚魚の総採集個体数を経 年的に比較することはできないが,単位努力量あたり の出現率と1時間曳網あたり採集個体数の年変化を比 較することは可能と考えられる。カツオ幼稚魚の出現 率は 40.7 - 58 2%の範囲にあってどの年においても 高く比較的変動幅が小さいのに対し、1時間曳網あたり 採集個体数では年変化が大きく,最小の1992年と最大 の1995年では13倍もの差が認められた。マグロ属幼稚 魚の出現率は14.8-37.8%の範囲にあり,カツオと比 較すると変動幅が大きくどの年においてもカツオより 低い値を示した。しかしながら,マグロ属幼稚魚の出 現率の経年変化は、カツオのそれと一致し1992年に最 小,1995年に最大値を示した。マグロ属幼稚魚の1時 間曳網あたり採集個体数は,1.7-4.7個体とカツオに 比べて変動幅が小さく低い値で推移した。出現率は幼 稚魚が採集される確率, すなわち幼稚魚と中層トロー ル網の遭遇確率を反映する数値であるため,彼らの分 布範囲の広がりを示す指数であるのに対し、1時間曳網 あたり採集個体数は幼稚魚の生息域における分布密度 を反映する指数であると考えられる。この点から判断 する限り,西部太平洋熱帯域におけるカツオ幼稚魚の 分布範囲は外洋表層(0-240m,主として0-200m 深)全体に及ぶほどの広がりをもち,分布密度は近縁 の熱帯性マグロ属よりかなり高いものと見なされた。

5年間に採集したカツオ幼稚魚の体長範囲は55-171 6mmと幅広く,生活史段階では後期仔魚から幼魚 に属し,当初の採集目的とした体長範囲10-200mmに 近かった。年ごとにカツオの体長組成を比較すると, 各年の体長範囲(平均±標準偏差)は,1992年が152 - 159.1mm(338±20.1mm),1993年8.1-1488mm(234 ±145mm),1994年7.1-1716mm(257±18.7mm),1995 年55-574mm(217±4.7mm),1996年9.1-69.7mm (242±11.0mm)で,体長モードは1993年,1994年,1996 年には10-19mmクラスにあり,1992年と1995年には20 - 29mmクラスにあった(図2-6a)。各年とも体長範 囲10-50mmの小型稚魚が占める割合が896-99.2%と 高かったのに対し,体長100mm以上の幼魚の割合は0 - 2.3%ときわめて低かった。水深別にカツオの体長 を比較すると,体長範囲が最も広かったのは40-80m

層,次いで80-120m層,120-200m層の順で,いずれ も後期仔魚から幼魚に至る標本が得られたのに対 し 40m以浅と200m以深では標本の体長範囲が狭く, 採集された標本は全て稚魚であった。マグロ属幼稚魚 の体長組成も年による若干の違いは見られるものの, 基本的にはカツオの体長組成と類似していた(図2-6b)。各年の体長範囲(平均±標準偏差)は,1992年 が15 3 - 103 .1mm (30 .1 ± 6 .9mm) ,1993年8 .0 - 139 .8mm (22.6±17.7mm),1994年9.9-137.5mm(28.0±11.3mm), 1995年9.1 - 57.4mm(27.1 ± 11.8mm),1996年13.3 - 58.4 mm (24 5 ± 8 6mm) で,体長モードは1993年と1995年 が10 - 19mmクラス,1992年,1994年,1996年が20 - 29mm クラスにあった。マグロ属でもカツオと同様に体長範 囲10-50mmの小型稚魚が占める割合が94.9-99.4%と 顕著に高く,これとは対照的に体長100mm以上の幼魚 の割合は0-2.1%と低かった。幼稚魚の平均体長は, カツオ,マグロ属とも TANSYU-1型で採集した1992 年には30mmを越えていたが,改良した2型を使用した 1993年以降はすべて20mm台であった。

カツオ幼稚魚の採集結果を5年分まとめて昼間(6) 時から18時まで)と夜間(18時から6時まで)で比較 した。昼間は合計220回(全体の443%)の曳網を行 った結果 4258個体(63 3%)が採集され,1時間曳網 あたり採集個体数は19.4個体,出現率は50.9%であっ た。夜間には合計277回(全体の55.7%)の曳網によ り 2466個体 (36.7%) が採集され ,1時間曳網あたり 採集個体数は8.9個体,出現率は45.5%で,昼間に比 べると出現率ではあまり差がなかったものの1時間曳 網あたり採集個体数では昼間の約半分(46%)と少な かった。体長組成をみると,体長モードは昼夜とも10 - 19mmクラスで一致していたが,体長範囲(平均±標 準偏差)は昼間が55-818mm(22.7±95mm)に対し て夜間が8.1-171.6mm(26.0±18.5mm)で,体長100mm 以上の幼魚は夜間においてのみ採集された(図2-7)。カツオ幼稚魚が1回の曳網で採集された個体数 を7クラス(0,10個体未満,50個体未満,100個体未 満,500個体未満,1000個体未満,1000個体以上)にわ けて頻度分布を作成したところ,昼夜とも個体数が多 くなるほど頻度が低くなる傾向が認められた(図2-8)。カツオ幼稚魚が全く採集されなかった曳網点は 昼が49.1%, 夜間が54.5%で,1個体以上の採集があっ た曳網点の割合はほぼ同じであった。昼間には1曳網 で500個体以上の採集が2回あり,その時の採集個体 数は760および1163個体であったが,夜間の1曳網で の採集個体数は最大でも349個体にとどまった。

時間帯別にカツオ幼稚魚の採集結果を比較してみる と 6-10時は曳網回数が最少で採集個体数は最多であ ったため1時間曳網あたり採集個体数では113.0個体



Fig. 2-6a. Length-frequency distribution of *Katsuwonus pelamis* collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. TANSYU-1 was used at 1992 ; TANSYU-2 was used from 1993 to 1996 cruises.

と他の時間帯に比べて著しく多かった(図2-9)。 このあとの朝10時から深夜2時の1時間曳網あたり採 集個体数は7.6-11.0個体と時間帯による差が小さか ったが,深夜から夜明けにあたる2-6時には1.2個 体と顕著に低かった。時間帯別の出現率では2-6時 が21.7%と最も低い値を示したが,その他の時間帯で は46.5-54.0%であった。

曳網速度別にカツオ幼稚魚の採集結果を比較する



Fig. 2-6b. Length-frequency distribution of *Thunnus* spp. collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. TANSYU-1 was used at 1992 ; TANSYU-2 was used from 1993 to 1996 cruises.

と,昼間は曳網速度が最も速い5-55ノットで最大の採集結果が得られたが,これとは対照的に夜間は曳 網速度が遅いほど採集個体数が多くなる傾向が認めら れた(図2-10)。しかしながら,出現率と曳網速度 との関係では昼夜の違いが不明瞭であり,昼間には55 ノットと35ノットで最大値72.7%を示し,夜間には 55ノットで最大(66.7%)となった。3ノットでは, 昼夜ともに採集することは出来なかった。

田邊



Fig. 2-7. Length-frequency distribution of *Katsuwonus pelamis* for daytime (top) and night (bottom) specimens collected by the TANSYU-2 in the tropical western Pacific from October to December 1993 - 1996.

カツオ・マグロ類以外の採集生物

TANSYU-2型を使用して採集したカツオ・マグロ 属幼稚魚以外の生物のうち,1993年の標本については 無作為抽出により一部を取り出し,可能な限り種査定 を試みた。ハダカイワシ類については東京大学海洋研 究所,それ以外の魚類については千葉県立中央博物館, 頭足類については国立科学博物館において同定がなさ れた。各年における1時間曳網あたりの平均総漁獲量 は,昼間が1.6-6.8kg,夜間が4.8-9.4kgであった。 昼間はカタクチイワシ科のタイワンアイノコなどパッ チ状の群集を形成する表層性魚類が採集された場合に は,100kg以上の漁獲が見られることもあったが,それ 以外の漁獲量は1.kg以下の場合が多かった。夜間はハ ダカイワシ科魚類を中心として,オキアミ類,エビ類, 頭足類など,日周鉛直移動性の動物群が中心となった。

中層トロール網以外の漁具による採集結果

1992年の航海において,調査開始後の早い段階から 中層トロール網により目的としたカツオ幼稚魚が採集 可能であると判断されたため,中層トロール網を用い て新たなカツオ幼稚魚採集法の確立を目指すことと



Fig. 2-8. Frequency distributions of number of skipjack tuna for daytime (top) and night (bottom) specimens collected by 1-hour tow of the midwater trawl net in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996.

し、これ以外の漁具による幼稚魚採集は行わなかった。 ただし、曳き縄については午前6時から11時までの航 走時に使用し、採集されたカツオ・マグロ類の胃内容 物としてのカツオ幼稚魚の出現状況を調べた。5年間 の調査を通じて、カツオ90個体(尾叉長32.0-76.0cm)、 キハダ120個体(尾叉長25.6-58.6cm)、メバチ15個体 (尾叉長39.0-49.6cm)が採集され、このうちカツオ 幼稚魚を捕食していたのは、カツオ2個体とキハダ1 個体だけであった。

考察

パラオ・ミクロネシア周辺の西部太平洋熱帯海域に おいて5年間の採集活動の結果,TANSYU型中層ト ロールがカツオ稚魚に対してはこれまでの採集法より も有効であると判断された。ここでは本研究を通して 得られたカツオ幼稚魚の採集法に関する新たな知見の 意義について考察するとともに,この分野において解 決しなければならない課題が残されている点について も言及する。

TANSYU型中層トロールによって採集されたカツ オの大きさは55-171 6mmSLであり本種の生活史 段階では後期仔魚から幼魚期に相当し,研究史で述べ た既存の採集法では得られなかった広い範囲をカバー している。特に体長10mmを越えて仔魚期から稚魚期に 移行した後のカツオは,これまでに用いられた小口径



Fig. 2-9. Diel change in frequency of occurrence () and number of specimens collected by 1-hour tow of the TANSYU-2 () for skipjack tuna in the tropical western Pacific from October to December 1993 - 1996. Depths of the sampling were conducted in 0 - 300m.

のネット類ではごくまれに採集される程度であった が,TANSYU型中層トロールでは5年間で採集され たカツオ6724個体のうち,99%の個体が体長10mm以上 であり,これまでの採集具による採集結果との違いが 明確に示された。TANSYU型中層トロールでの1回 の曳網によるカツオの最大採集数は1163個体と多く, カツオの初期生活史における分布や成長を明らかにす るために充分な採集量を得ることができた。これまで に用いられたトロールネット類と比較した TANSYU 型中層トロールの特徴は,口径が大きいことと曳網速 度が速いことであり,これらが高度な遊泳力を備えた カツオに対して当初の想定通り効果的に作用したもの と推定された。

本研究で得られたカツオ幼稚魚の採集データを解析 することにより,彼らの生態的な特性を知ることがで きる目途がつき,第3章以降に述べる幼稚魚の分布, 摂餌 成長といった生態学的研究の進展に結びついた。 曳網速度別に昼間と夜間の採集結果を解析した結果か ら,カツオ幼稚魚の効果的な採集を行うためには昼間 は曳網速度を5-55ノット程度の高速にし,夜間は これよりも遅い3-35ノット程度に調節する必要が あることがわかった。これはカツオ幼稚魚における昼 夜別の行動の違いにより解釈される。すなわち,昼間 は彼らの視覚が作用して活発に遊泳行動あるいは成群 行動を行うため,採集するためにはできるだけ曳網速 度も速くする必要がある。一方,視覚の働かない夜間 には彼らの行動も鈍るため, 曳網速度を遅くしても採 集することができたと考えられる。曳網時刻別にカツ オ幼稚魚の採集結果を解析した結果によると、1曳網で 500個体以上の採集があった2点はいずれも7-8時 台の早朝であり、これとは対照的に深夜~夜明け前後 の2-6時にはもっとも採集量が少なかった。Higgins



Fig. 2-10. Change in frequency of occurrence () and number of specimens of skipjack tuna collected by 1-hour tow () at various towing speeds of the TANSYU-2 for daytime (top) and night (bottom) in the tropical western Pacific from October to December 1993 - 1996.

(1970)は,効率的なカツオ稚魚採集のためには夜明 け前から早朝にかけて表層での曳網を行うことを提唱 したが,本研究結果では夜明け前と早朝における採集 結果は大きく異なっていた。これは Higgins (1970) が用いた中層トロール網は本研究の TANSYU 型ト ロールに比べて規模が小さく,両者の採集特性の違い に起因すると考えられる。カツオ幼稚魚の分布生態に 関してはこのあと第3章で詳しく述べるが,時間帯ご との採集結果から,カツオ幼稚魚に日周的な行動パ ターンが存在するものと考えられる。すなわち,視覚 の作用する夜明け後にはカツオ幼稚魚は強い成群性を 発揮して摂餌など活発に行動するため, TANSYU 型 中層トロールが幼稚魚の群に遭遇した場合には数100 個体以上の採集結果が得られる。これに対して,日没 後の視覚が働かない夜間には成群性が弱くなることに より個体間の距離が大きくなるため,カツオ幼稚魚の 採集個体数も少なくなることが考えられる。深夜から 夜明け前にあたる2-6時には,カツオ幼稚魚の成群 性が最も弱くなり,その結果採集個体数が最低となっ たと考えられる。カツオ幼稚魚の水深別の採集結果を

田邊

みると,最も多くの幼稚魚が出現したのは40-120m であり,彼らの生息水深がこの層を中心としているこ とをうかがわせた。この層は本研究海域において昼夜 鉛直移動を行うハダカイワシ類などの魚類,オキアミ 類・十脚目甲殻類,頭足類を中心とした生物量が最も 多い水深層と一致しており,熱帯域の外洋表層域にお ける生態系を考える上でも興味深い。

これらカツオの初期生態研究法上の新知見ととも に,今後の研究発展を期する上での課題として,定量 性に関する知見を中心として今回の採集結果を検討し てみたい。定量採集を行う上で最も問題となるのが, 対象生物の漁具からの逃避と逸出であり,遊泳能力の 高い生物ほどこの問題は深刻である。しかしながら, 逃避率や逸出率を正確に算定することは困難であるた め,昼夜における採集結果の比較などから推察するし かないのが現状である。1時間曳網あたりのカツオ幼 稚魚の採集個体数を頻度分布で表してみると,昼夜と も採集個体数の少ないクラスほど頻度は高い(図2-8)。仮にカツオの逃避能力が TANSYU の採集結果 に影響を及ぼしていたとすれば , 昼間より夜間の採集 個体数が多くなり, 夜間には採集個体数が多いクラス の頻度が高くなることが予想される。しかしながら, 本研究結果から見る限り, TANSYUの採集能力は少 なくとも稚魚期のカツオの逃避能力を上回っていたと 判断され、この頻度分布はカツオの分布を定性的に反 映した結果であると推察される。一方, TANSYUの 網目は最前部が1000mmと大きく,前方の網目では小型 魚の逸出が起こっていた可能性があるが,この割合に ついては本研究結果からは推定することができない。 網目の荒い部分では,昼間には対象魚に対する視覚的 脅し、いわゆる駆集効果により魚を網内に追い込むが, 夜間は見えないので網目からの逸出率が高くなること も推察される。このような逸出率は, 曳網速度を速め れば高くなることが予想され,これは夜間の採集効率 が高速(5ノット以上)になると低くなるという本結 果をよく説明する。網目からの逸出率を推定するため には,身網よりも目合いの小さいポケット網を身網の 外側に取り付け(手島ら 1993), そこへの入網状況 から推定する方法が考えられるが,カツオのように遊 泳力の高い魚種では遊泳行動を充分に把握しておく必 要があり,今後の幼稚魚の行動学的な研究の進展が望 まれる。また,体長組成の昼夜比較によって示された ように, 稚魚においては逃避の問題はないと見られる が,体長100mmを超える幼魚においては,夜間にしか 採集されなかったことおよび採集個体数が少なかった ことにより,網口からの逃避の問題が残されていると 考えられる。この問題の解決策の1つとして、より大 型の中層トロール網を用いることも考えられるが,水

産庁漁業調査船開洋丸によって1998年春季に行われた 開口部直径約60mの中層トロール網を用いた採集試験 では,体長100-300mmのカツオ幼魚は採集できなかっ た(田邉ら 未発表)。幼魚期の採集法が確立されれ ば,本研究で確立された稚魚期,既存の小型ネット類 が使用できる仔魚期,漁業による採集結果が利用でき る未成魚・成魚期,と生活史の全段階にわたって有効 な採集法が確立されることになる。

採集法の確立とは,単に捕獲対象とする海洋生物に 対してどの漁具を用いるかという点だけでなく,その 漁具を調査海域においてどのようなサンプリング計画 のもとで運用するか、という点もあわせて検討されな ければならない。前者は漁具の種類と仕様の選定を意 味し,後者としては調査海域と時期,調査点の配置, 曳網時刻, 曳網水深と速度をそれぞれどのように設計 するかが重要である。本研究で得られた結果から,西 部太平洋熱帯海域はカツオの産卵から幼魚期にわたる 初期生態研究の場として適切と考えられるが,調査時 期については今後10-12月とは異なった時期にも採集 を行い、カツオ幼稚魚の季節別出現状況を明らかにす る必要がある。TANSYU を使用した場合の曳網時刻 については, 稚魚に対しては昼夜での逃避率の差を考 慮する必要はないが,幼魚では大きく影響を受けるた め夜間に曳網を行う必要がある。また,曳網速度と水 深については,昼間は対水速度5ノット,夜間は4ノ ットを基本とし,水深40-120mを中心とした多層曳 きが有効であると考えられる。

第3章 稚魚期から幼魚期にかけての分布生態

カツオは熱帯の外洋域を産卵場として生活史初期を この海域で過ごす。太平洋では東部よりも西部におい て分布密度が高いことから(上柳 1969),太平洋で のカツオ資源の主要な再生産場は西部熱帯外洋域と考 えられている(田邉ら 1998)。熱帯域では周年にわ たり北東および南東貿易風が卓越し,これらをエネル ギー源とする北赤道海流および南赤道海流が高温の表 層水を西側に集積するため,通常年では東部よりも西 部の広範な海域での水温が高い。そのため,西部太平 洋ではカツオ仔魚の出現する表面水温25℃以上の海域 が35 N まで広がり, 仔魚の水平分布も東部太平洋か ら西部太平洋にかけて南北方向に広くなっている。西 部太平洋熱帯海域では,カツオ仔稚魚が周年にわたっ て出現することから(西川ら 1985), いくつかの親 魚群が広大な海域を移動しながら連続的に産卵活動を 行っていると推定される (Hunter et al. 1986, 永沼

1979)。熱帯外洋域では,水温・塩分,海流などの 物理環境と餌生物プランクトンを初めとした生物環境 の季節変動が比較的少なく,このことがカツオの周年 にわたる再生産活動にとって有利な条件となってい る。本種は周年高水温が維持されるこの海域の環境特 性に適応することにより,外洋生態系の中で高次捕食 者としての地位を確立し,低緯度から中緯度までの広 大な海域に生活圏を拡大することができたと考えられ る。

カツオの成長段階ごとの水平・鉛直分布特性を調べ ることは、本種がいつ、どこで、どのような生活をし ているのか,という最も基本的な生態を明らかにする ことにつながる知見である。高度回遊性のカツオの稚 魚期から幼魚期は, 仔魚期を終えて鰭や骨格の発達と ともに遊泳能力を急速に増大させることにより,行動 範囲を拡大していく段階にあると考えられる。カツオ にとって生活史の中で稚魚期から幼魚期が生態学的に どのように位置づけられるかという点を明らかにする ために,この時期の分布生態を詳しく調べる必要があ る。第1章の研究史で詳しく述べたように, 稚魚期へ の移行期前後から幼魚期にかけての分布生態について は、断片的な知見しか明らかにされておらず、彼らが どこでどのような生活をしているのかはほとんど不明 である。その原因として、カツオ幼稚魚のもつ卓越し た遊泳能力により採集が困難であったことが挙げられ る。

本研究では,新たに確立された中層トロール網によ るカツオ幼稚魚採集法を利用することにより,1992年 から主要な生息海域とみられる西部太平洋熱帯外洋域 において大規模なカツオ幼稚魚分布調査を実施し,本 種の稚魚期から幼魚期における水平的,鉛直的な分布 特性を調べた。西部太平洋熱帯海域は,研究史で述べ たようにカツオ仔魚の分布密度(上柳 1969,西川ら 1985)やマグロ・カジキ類の胃内容物としてのカツオ 幼稚魚の出現量(森 1972)が東部太平洋に比べてい ずれも大きいことが知られており,年間を通じて絶え ず再生産が行われ幼稚魚が成育しているものとみられ ることから,本種の稚魚期から幼魚期にかけての分布 生態に関する研究海域として最も適した海域であると 判断した。

材料および方法

調査時期,調査海域および調査船

1992年から1996年までの5年間にわたり,毎年10月 下旬から12月中旬にかけて52-53日間の調査航海を, パラオ諸島の東沖からポナペ島西沖までのミクロネシ ア周辺海域(0-20 N,130-160 E,第2章図2-2参照)内のパラオ共和国およびミクロネシア連邦共 和国200海里経済水域と公海域において実施した。 調査船として1992 - 1993年には兵庫県立香住高等学校の漁業実習船但州丸(444トン)を,1994 - 1996年には山口県立水産高等学校の漁業実習船青海丸(403トン)を使用した。両調査船とも2層甲板式の船尾トロール船であり,大規模な中層トロール網を曳網することが可能であった。

採集方法

本研究の調査航海では,TANSYU型中層トロール 網を使用してカツオ幼稚魚の採集を行い,稚魚期から 幼魚期にかけての分布生態に関する情報を収集した。 TANSYU型中層トロール網は,第2章で記載したよ うに遊泳能力の優れたカツオ幼稚魚の大量採集を目的 として開発された高速曳網型の大規模中層トロール網 であり,その開口部直径は高さ,幅ともに約20m,全 長71.6mで,最大曳網速度は5ノットである(Tanabe and Niu 1998)。コッドエンドの内側には,小型稚魚の 網目からの脱落を防ぐ目的で目合い8mm,長さ8.6m の内張り網を取り付けた。

TANSYU 型中層トロールの曳網は, 各年グアム島 の西側で1次航海,東側で2次航海を行い,それぞれ に7-14の調査定点を設けた(第2章図2-5参照)。 採集を昼夜別に行うことにより、カツオ幼稚魚の日周 的な鉛直移動を調べた。曳網水深は0-300mの範囲 内で,原則として20mごとに各層1時間の水平曳きを 実施し、幼稚魚の水平分布と鉛直分布に関する知見を 収集した。中層トロールには開口部の開閉装置はない が,投網時および揚網時にはオッターボードの展開力 が作用しないため網口は閉じた状態になり,サンプリ ング時における浅層での入網によるコンタミネーショ ンはほとんど問題にならないと考えられる(Watanabe et al. 1999)。曳網中における開口部の水深と高さは, 身網1段目に取り付けた漁網監視装置(Furuno FNR - 200)により常時観察しながら目的の網深度を維持 するよう操船した。

揚網後,コッドエンド内張り網後端より全採集生物 を計量用容器中に取り出し,全体の湿重量を計測した。 その後直ちにソーティングを行い,カツオとマグロ属 幼稚魚を取り出して80%アルコール中に保存するとと もに,その他の採集生物についてもハダカイワシ類, カタクチイワシ類などの魚類,甲殻類,頭足類,その 他の大まかな動物群に選別し,10%ホルマリン固定ま たは冷凍保存した。

海洋物理環境要因

本研究海域内では,北側に北赤道海流,南側に北赤 道反流という2つの海流系が東西方向に発達し,年間 を通じて高水温が維持される海洋物理環境を特徴付け



Longitude (°E)

Fig. 3-1a. Distribution of the current direction and speed in the depths of 0m (top left), 10m (top right), 50m (bottom left), and 100m (bottom right) observed by an ADCP at the R/V *Omi Maru* 1995 cruise.

ている。カツオ幼稚魚がこのような海洋環境とどのように関わりながら生活しているのかを調べるために, 水温,塩分および流向・流速の観測を実施した。水温 と塩分の観測にはメモリー式 CTD (Seabird electronics SBE-19)を使用し,中層トロール網の投網開始位 置で原則として1日1測点において海面付近から水深 1000mまでの観測を行った。流向と流速の観測には潮 流計(Furuno CI-30)を使用し,水深10m,50m,100m の3層について各観測定線上において航走中2分ごと に観測した。また,気象庁気候・海洋気象部発行の海 洋月報を資料として用いることにより,同一時期にお ける本研究海域での海洋観測データを補足した(気象 庁気候・海洋気象部 1995,1996)。

実験室での標本処理とデータ解析

調査航海終了後,実験室において Matsumoto et al. (1984)に従って実体顕微鏡下で外部形態の観察によ リカツオ幼稚魚の種査定を行い,デジタルノギスを使 って体長を0.1mm単位で,電子天秤を使って体重を0.01 g単位で測定した。マグロ属の幼稚魚については外部 形態では属レベルまでしか査定できないため,一部の 個体についてミトコンドリア DNA による種判別を行い(Chow and Inoue 1993), カツオと同様に体長・
 体重測定を行った。

稚魚期と幼魚期の発育段階区分

カツオの初期生活史における発育段階区分について は,第1章で詳しく述べたように稚魚を鰭条数が定数 に達し体の各部の特徴が発現初期にある段階,幼魚を 鰓耙数が定数に達して体の各部の特徴が発現・完成し, 種の形態的特徴が現れる段階と定義した。

結 果

物理環境要因による海域区分

ADCPにより観測された表面 水深10m 50m ,100m での流向・流速は,観測点を起点とするベクトルの向きと長さによってそれぞれ示した(図3-1a,b)。 各点における水深別のデータを比較してみると,流速は表面から50mまでほぼ一定で100mではこれらより も遅くなる傾向が認められたものの,流向には水深による違いはなかった。本研究海域に存在する主要な海



Fig. 3-1b. Distribution of the current direction and speed in the depths of 0m (top left), 10m (top right), 50m (bottom left), and 100m (bottom right) observed by an ADCP at the R/V *Omi Maru* 1996 cruise.





Fig. 3-2. Distribution of surface currents during late November 1995 (top) and 1996 (bottom) in the tropical-subtropical western Pacific (Referred from Japan Meteorological Agency 1995, 1996)

流は,北側の北赤道海流(西向き)と南側の北赤道反 流(東向き)であった。北赤道海流は1995年には155 - 150 ℃にかけて11 - 16 ∿を西進, 143 - 140 ℃で 北西と西に向かう流れが見られ,137 °E 付近では西向 きの流れとともに一部南西に向かう流れが観測され た。1996年には157 - 155 °E 付近で10 - 13 °N を北西 に向かい,152 °E付近で14-15 °Nを西進,150-142 ℃ 付近にかけて西南西に向かって12 № まで南下 した後,141 E 以西では北西に向かう流れの他,一部 は南西に向かう流れに分岐していたものと推定され た。これに対し,北赤道反流は1995年には136-141 % にかけて3-6 Nを東進,150 E付近で4-7 N を北東に向かった後155 E 付近で東向き, 157 E 付 近で再び北東に向かって流れていた。1996年には135 - 140 °E にかけて4 - 7 °N を一部は北東方向に蛇行 しながら東進,150 °E 付近で再び北東向きの流れが見 られ,155 E-158 E では4-7 N を東向きに流れ ていた。これらの結果をまとめると,北赤道海流,北 赤道反流ともに南北方向に蛇行する海域が見られるも のの,基本的には北赤道海流は10-16 N を西向きに



Fig. 3-3. Horizontal distribution of temperature(top)and salinity level (bottom) at 100m depth in the nursery ground of skipjack tuna. Data was based on

流れ,北赤道反流は3 - 7 № を東向きに流れていた と考えられる。今回観測された流速の最大値は,北赤 道海流が毎秒85cm,北赤道反流が毎秒140cmであった。 気象庁海洋月報1995年11月および1996年11月に掲載さ れた北西太平洋海流図でも北赤道海流と北赤道反流の おおよその位置を知ることができ,本研究による観測 結果と同様に両海流とも小規模な蛇行をともないなが ら北赤道海流は西向き,北赤道反流は東向きに流れて いた(図3 - 2)。

CTD casts in October to December 1995.

1995年の緯度・経度1度ごとのCTD 観測による水 温・塩分データをもとに,100m深での等温線・等塩分 線図を作成した(図3-3)。5-10 N では,水温 21-23℃の低水温域が存在し,その北側および南側に 向かうほど高水温域になっていた。塩分でも5-10 N では34.6PSU と最も低い濃度を示し,その北側およ び南側の海域に向かって高塩分になっていた。気象庁 海洋月報の1995年11月および1996年11月の100m深水 温分布によれば(図3-4),1995年には6-10 N,130



Fig. 3-4. Horizontal distribution of temperature at 100m depth in November 1995 (top) and 1996 (bottom) in the tropical-subtropical western Pacific. (Referred from Japan Meteorological Agency 1995, 1996)

- 140 ℃を中心として21 - 23℃の低水温域が存在し, その北側と南側は25 - 27℃の高水温域であった。1996 年には7 N,130 ℃および10 N,153 ℃付近にそれ ぞれ20℃と22℃の低水温域が見られ,それらの周辺海 域は25 - 29℃の高水温域であった。

1995年の137 E および155 E の観測定線での水温と 塩分の鉛直断面を作成すると,海洋物理的特徴が南北 方向で海域ごとに異なることが明らかになった(図3 - 5 a, b)。水温鉛直断面では, 17 - 18 N および3 -4 №を中心にその南北の海域は高水温帯が100 - 120m 深まで入り込んでいたが,これとは対照的に6-9 № を中心に低水温帯が表層に向かって100m深付近まで 張り出していた。北赤道海流と北赤道反流の流路とな っている海域では,表面から水深100mにかけて28℃ 以上と高温の表層混合層が形成され,その下側に水温 躍層が発達していた。7 - 8 № を中心とした海域は 北赤道海流と北赤道反流の境界に位置し, 下層からの 湧昇によってもたらされた低水温域が100 - 200m層に 存在するため,水温躍層が顕著に現れていた。塩分鉛 直断面では,どの海域も下層に向かって高塩分になる 傾向が認められたが 7 - 10 N を中心に最も塩分濃度



Fig. 3-5a. Vertical distribution of temperature (top) and salinity level (bottom) along 137 °E cruise track based on CTD casts in October to December 1995.



Fig. 3-5b. Vertical distribution of temperature (top) and salinity level (bottom) along 155 °E cruise track based on CTD casts in October to December 1995.

の低い海域が存在した。塩分濃度35 0を超える高塩分 層は,12 - 20 N では水深100 - 200mに,3 - 4 N で は水深130 - 200m(137 E)または50 - 140m(155 E) にそれぞれが観測され,155 E ラインでは5 - 6 N に顕著な塩分フロントが見られた。

本研究海域の栄養塩類の分布については,平成3年 度開洋丸第1次調査航海による海洋大循環並びにアカ



Fig. 3-6. Vertical distribution of NO₃-N, PO₄-P, and SiO₂-Si levels along 160 E cruise track based on the research cruise of R/V Kaiyo Maru in November 1991. (Referred from Kaiyo Maru 1992)

イカ調査速報の資料を参照した(図3-6)。 硝酸態 窒素,リン酸塩リン,珪酸態珪素の南北方向での鉛直 分布は,水深50m以浅の表層高水温域での活発な生物 活動を通じての栄養塩類の消費による栄養塩枯渇を示 しているが,6-9 N では湧昇によって栄養塩類を 多く含む下層水が上層に向かって張り出している。こ の海域では南北の海域よりも栄養が豊富なため,クロ ロフィル a 値も相対的に高くなっていた。

調査海域は、以上のような物理化学的環境要因の分

西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関する研究

 Table 3-1.
 Occurrences and densities of skipjack tuna at daytime and night by sampling areas during

 October to December 1992 - 1996.

Daytime (0600 - 1800)

Areas ^{*1}	No of tow^{*2}	Occurr	ence	No. inds/1 hr to	No. inds/1 hr tow(mean ± SD)		
	NO. OI TOW	Juvenile	Young	Juvenile	Young		
NEC	69	37.7	Q 0	21 3±103 8	0.0		
Boundary	50	40 .0	0.0	67±212	0.0		
NECC	101	65 <i>A</i>	Ω Ο	24 3 ± 86 2	0.0		

*1NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

*2Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

Night (1800 - 0600)

Areas ^{*1}	No. of tow ^{*2}	Occurr	ence	No. inds/1 hr tov	No. inds/1 hr tow(mean \pm SD)		
		Juvenile	Young	Juvenile	Young		
NEC	68	26 5	0.0	75±428	Q 0		
Boundary	70	31 .4	0.0	5.1±24.5	Q. O		
NECC	139	58.3	a . 8	11 3±34 3	02±08		
NECC	139	58.3	a . 8	11 3±34 3	02±08		

*1NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

*2Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

布構造に従って,10-20 N を中心とする北赤道海流 域,7-10 N 付近の境界域 0-7 N を中心とする北 赤道反流域に区分できる。

カツオ幼稚魚の水平・鉛直分布

1)カツオ稚魚および幼魚の水平分布

物理・化学環境要因により区分した海域別のカツオ の分布量を,出現率と1時間曳網あたり採集個体数を 用いて稚魚と幼魚それぞれについて昼夜別に比較した (表3-1)。5年間での中層トロールの合計曳網回数 497回のうち,北赤道海流域では全体の28%,境界域 では24%,北赤道反流域では48%の曳網を行った。採 集されたカツオ稚魚は,合計6699個体であった。

ここで,出現率によって分布域の広がりを,1時間曳 網あたり採集個体数によって分布密度を海域ごとに比 較する。稚魚の出現率は,昼夜ともに北赤道海流域, 境界域,北赤道反流域の順,すなわち北から南に向か って高くなった。北赤道反流域での稚魚の出現率は, 北赤道海流域の1.7倍(昼間)および2.2倍(夜間), 境界域の1.6倍(昼間)および1.9倍(夜間)であった。 全ての海域において,稚魚の出現率が夜間よりも昼間 の方が高く,昼夜の差は北赤道海流域(11.2%),境 界域(8.6%),北赤道反流域(7.1%)の順に大きか った。1時間曳網あたり採集個体数では,昼夜ともに 北赤道反流域,北赤道海流域,境界域の順に高い値を 示した。昼間は,北赤道反流域では境界域に比べて明 らかに高く(p<0.05),北赤道海流域に比べても高 かった。夜間には,全ての海域での1時間曳網あたり 採集個体数が昼間よりも低かった。境界域での昼夜の 差はわずかであったが,北赤道海流域と北赤道反流域 では夜間の採集個体数が顕著に低下した(p<0.05)。 北赤道海流域で採集されたカツオ稚魚1986個体のう ち,全体の77%にあたる1532個体が1995年に1調査点 (11 N,154-155 E)での4曳網で採集された。1回 の曳網でのカツオ稚魚採集個体数の変動幅は,昼夜お よび海域によらず大きかった。一方,幼魚は1992年か ら1994年に合計25個体が採集されたが,1995年以降は 採集されず,全個体が夜間に北赤道反流域から採集さ れた。幼魚の北赤道反流域における出現率は,同海域 における稚魚の出現率の7分の1で,1時間曳網あたり 採集個体数では57分の1であった。

調査年別のカツオ稚魚および幼魚の水平分布を,緯 度・経度1度ごとの1時間曳網あたり採集個体数によ って示した(図3-7a,b,c,d,e,f)。中層トロー ルの曳網位置は,経年的に北側に拡大していったが, これは第1章の研究史で述べたようにこれまでカツオ の稚魚期から幼魚期にかけての採集法が確立されてい なかったために,この時期の分布に関する知見がほと んどなく,当初10 N 以南を10-12月期のカツオ幼稚 魚分布域と想定していたためである。1995年および 1996年の調査によって,カツオ稚魚が北赤道海流の北 側および亜熱帯収斂線の南側にあたる20 N 付近にも



Fig. 3-7a. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1992. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

分布していることが確認され, 稚魚期におけるカツオ の分布域の広がりが本研究海域のほぼ全体に及ぶこと が明らかになった。稚魚の水平分布の特徴は,年によ って異なっていた。1992年の分布図では,南北方向で 見るとカツオ稚魚は6 № 以南に多く分布し,7 № 以 北では採集されなかった点が多い。稚魚が10-49個体 採集された点は7 № 以南に限られ 5点のうちの4点 が3-6 N, 141-143 Eの海域にあった。東西方向 で見ると 稚魚は139 - 143 Eと151 - 153 Eに多く ,147 - 149 °E で少なかった。幼魚は, 6 °N と3 °N の合計 4点で出現した。1993年の稚魚では,南北および東西 方向で海域的な偏りが少なく,調査海域内の広範囲に 及ぶ分布を示した。8 N150 E と11 N137 E の2点 で50 - 99個体,8 N140 E では100 - 499個体と他の点 よりも高密度な分布が見られた。幼魚は2-5 №の 合計3点に分布していた。1994年には, 稚魚は北から 南に向かって分布密度が高くなる傾向が見られた。こ



Fig. 3-7b. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1993. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

の傾向は,特に最も東側の調査定線154-157°Eにお いて顕著であった。幼魚の分布は,2 № 4° № 6 № で1点ずつ見られた。1995年の稚魚の分布では,南北 方向よりも東西方向での水平分布の違いが顕著に現れ た。150 E 以西では50個体以上の分布密度を示す点は 出現しなかったが、154 - 155 °E では100 - 499個体が1 点,500個体以上が2点と高密度な分布域が見られた。 1996年の稚魚の分布では, 20 № でも稚魚が出現し, 海域的な分布の偏りは比較的少なかった。これらの結 果から,西部太平洋の熱帯外洋域での10-12月期にお けるカツオ稚魚の分布は,基本的には分布密度の高い 海域が常に同じ場所に存在するわけではなく,年によ って変動することが明らかになった。幼魚は,基本的 には6 № 以南の北赤道反流域を主な分布域とする が, 稚魚期の分布から見て成長とともに北赤道海流域 や境界域から北赤道反流域に移動してくる可能性も考 えられる。





2)カツオ稚魚および幼魚の鉛直分布

各海域におけるカツオの稚魚期から幼魚期にかけて の成長と分布水深との関係を調べるために,各個体の 体長と採集された水深を昼夜別にプロットした(図3 - 8 a, b, c, d)。北赤道反流域では昼夜ともに採集 されたカツオの標本数が最も多く,体長と分布水深と の関係が明瞭に示されている。すなわち,稚魚への移 行期に当たる体長10mm前後では,昼夜ともに海面近く から水深200mまでの幅広い鉛直分布を示したが,体 長が大きくなるにつれてごく少数の例外を除いて分布 水深範囲が狭くなる傾向が見られた。特に昼間ではそ の傾向が明瞭に示され,体長10 - 40mmでは表層付近か ら水深220mまで出現したが,体長50 - 60mmでは60 -140m,70 - 80mmでは90m付近に集中していった。夜間 には昼間よりも分布水深が分散する傾向にあり,海面 に近い水深40m以浅でも稚魚が多く出現するようにな



Fig. 3-7d. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1995. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

る。体長100mm以上の幼魚については,第2章で述べ たように中層トロール網からの逃避による影響によっ て夜間にしか採集されなかったため,昼間の分布水深 については本研究では明らかにできなかったが,少な くとも夜間には水深50m付近を中心とした40-100m に生息していることが明らかになった。北赤道海流域 では,昼間は体長10-20mmの分布水深は表層付近から 170mまでであったが、体長30-40mmになると50-130m に狭まった。夜間には,昼間に比べて分布水深が分散 して体長との関係が不明瞭であった。境界域での鉛直 分布は,北赤道反流域と北赤道海流域に比べて浅く, 昼間は170m以浅,夜間は130m以浅に限られた。昼間 は,体長10-20mmでは30-170mに分布していたが, 体長30 - 50mmでは30 - 90m 体長50 - 80mmでは80 - 90m に分布した。夜間には,体長10-30mmでは30-130m に,体長30-60mmでは50-100m,体長60-70mmでは 90m付近に分布していた。

Ð



130°E 135°E 140°E 145°E 150°E 155°E 160°E Longitude

Fig. 3-7e. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1996. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

各海域におけるカツオ稚魚の鉛直分布と水温の鉛直 分布との関係を調べるために,水深0-200mの範囲 内において20m層ごとにカツオの1時間曳網あたり採 集個体数と平均水温を比較した(図3-9)。北赤道 海流域と北赤道反流域では,高水温の表層混合層が深 くまで達していて水温躍層が始まる水深が70-110m であったのに対し,境界域では表層混合層が薄く水温 躍層の始まりが50m付近と浅かった。カツオ稚魚の鉛 直分布は,表層混合層の厚い北赤道海流域と北赤道反 流域では鉛直分布密度の最大値が,それぞれ60-80m と80 - 100mに存在したのに対し, 表層混合層の薄い 境界域では40-60mに最大値が見られた。これらの結 果は,表層混合層の厚さおよび水温躍層の始まる水深 とカツオ稚魚の鉛直分布がよく対応していることを表 している。すなわち, 稚魚期のカツオは, 表層混合層 の下部から水温躍層の上部にあたる水深層を中心とし て生活しているものと解釈できる。幼魚については,



Fig. 3-7f. Horizontal distribution of juvenile(top)and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

採集標本数が限られていて夜間の鉛直分布データしか 得られなかったが 40-80mを中心に分布していた。

3)水温・塩分とカツオ幼稚魚の分布との関係

カツオ稚魚および幼魚の分布を水温別,塩分濃度別 に1時間曳網あたり採集個体数によって分布密度を示 すと,図3-10および図3-11のようになった。カツ オ稚魚は水温11-30℃の範囲から出現したが,1時間曳 網あたり採集個体数が10個体を超えたのは20℃23℃, 27℃および28℃であったことから,カツオ稚魚にとっ て最も好適な生息水温は20-29℃の範囲にあると見ら れる。一方,カツオ稚魚は塩分濃度では33.6-35 5PSU と広い範囲にわたって出現し,1時間曳網あたり採集個 体数10個体以上は33.6-33 9PSU,34.6-34 7PSU,35.2 -35 3PSU であった。これらの結果から,カツオ稚 魚は水温と塩分の両方の物理環境に対して幅広い適応 力を備えていると判断できる。幼魚は,水温18-29℃,







Fig. 3-8a. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the north equatorial current (NEC) area from October to December 1992 -1996.

塩分34 4 - 35 .7PSU に分布し, ピークは28℃と35 .6 - 35 .7PSU に見られた。

マグロ属幼稚魚の水平・鉛直分布

1)マグロ属稚魚および幼魚の水平分布

物理環境要因によって区分した海域別のマグロ属幼 稚魚の水平分布を,出現率と1時間曳網あたり採集個 体数により比較した(表3-2)。5年間で採集され たマグロ属稚魚の合計は1366個体で,カツオ稚魚採集 個体数の20%であった。稚魚の出現率は,昼夜ともに 北赤道海流域,境界域,北赤道反流域の順に北から南 に向かって高くなった。北赤道反流域での稚魚の出現 率は,昼間には北赤道海流域の33倍,境界域の1.4倍 で,夜間には北赤道海流域の22倍,境界域の19倍高 かった。マグロ属稚魚の出現率は,全ての海域におい て昼間より夜間の方が高く,昼夜の差は北赤道反流域 (19.7%),北赤道海流域(14.9%),境界域(3.4%) の順に大きかった。 稚魚の1時間曳網あたり採集個体 数でも,出現率と同様に南側の海域ほど高くなる傾向 を示した。北赤道反流域での稚魚の1時間曳網あたり 採集個体数は,昼間には北赤道海流域の145倍(p< 0.05),境界域の2.4倍(p<0.05)で,夜間には北赤





Fig. 3-8b. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the boundary area between the north equatorial current and the north equatorial counter current from October to December 1992 - 1996.

道海流域の39倍(p<0.05),境界域の3.3倍(p<0.05) であった。全ての海域での1時間曳網あたり採集個体 数で、夜間よりも昼間の方が有意に大きかった(p<0.05)。 出現率,1時間曳網あたり採集個体数ともに顕著な南高 北低型の水平分布となっており,本研究海域内ではマ グロ属稚魚は南へ行くほど分布量が多いことが分かっ た。これらの結果から,マグロ属稚魚の水平分布は明 らかに海域間で異なっており,少なくとも10-12月に は北赤道反流域が最も重要な分布域となっていること が示唆された。

一方,マグロ属幼魚もカツオ幼魚と同様に1992年か ら1994年までの3年間に採集され,採集個体数は境界 域での4個体と北赤道反流域での3個体,合計7個体 であった。境界域と北赤道反流域におけるマグロ属幼 魚の出現率,1時間曳網あたり採集個体数は同海域の稚 魚と比較すると顕著に低く,この傾向はカツオの稚魚 と幼魚での関係と同様である。マグロ属幼魚でも夜間 にしか採集されなかったことから,成長に伴う遊泳能 力の発達により昼間は漁具から逃避していた可能性が 高い。

マグロ属稚魚および幼魚の水平分布を ,年別に緯度・

田邊



Fig. 3-8c. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the north equatorial counter current (NECC) area from October to December 1992 - 1996.



 Table 3-2.
 Occurrences and densities of other tuna at daytime and night by sampling areas during October to December 1992 - 1996.

	Daytime	(0600	-	1800)
--	---------	---	------	---	------	---

Areas ^{*1}	No of tow^{*2}	Occurr	rence	No. inds/1 hr tow(mean \pm SD)		
	NO. OF IOW	Juvenile	Young	Juvenile	Young	
NEC	69	11.6	0.0	0.4 ± 1.6	0.0	
Boundary	50	28.0	0.0	2.4 ± 8.6	0.0	
NECC	101	38.6	0.0	5.8 ± 16.1	0.0	

*1NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

 *2 Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

Areas ^{*1}	No. of tow ^{*2}	Occurr	ence	No. inds/1 hr t	No. inds/1 hr tow(mean \pm SD)		
	INO. OI LOW	Juvenile	Young	Juvenile	Young		
NEC	68	26 5	0.0	0.1 ± 0.4	0.0		
Boundary	70	31 .4	0.0	12±54	0.06±0.48		
NECC	139	58.3	6.8	39±165	0.02±0.15		

Night (1800 - 0600)

^{*1}NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

*2Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.



Fig. 3-9. Relationship between vertical distribution of juvenile skipjack () and mean temperature of each depth () in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current(NECC) areas from October to December 1992 - 1996. Broken lines indicate the estimated maximum depth of the thermocline.



Fig. 3-10. Distribution of density for juvenile (top) and young (bottom) skipjack by temperature of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E) from October to December 1992 - 1996.





Fig. 3-12a. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1992. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

経度1度ごとの1時間曳網あたり採集個体数によって 示した (図3-12a, b, c, d, e, f)。 調査海域内で の稚魚の分布は、年によって異なる特徴を示した。1992 年には西南海域に多く 3 N141 - 143 E で最も分布密 度が高かったが、147 - 155 E の東側海域では, 稚魚の 分布域は1点(6 №151 °E)を除いて出現しなかった。 幼魚の分布域は,3 №141 12 に見られた。1993年の稚 魚の分布は,東西方向および南北方向での海域的な偏 りが少なく、調査海域内で広範囲に拡がっていた。分 布密度では、4 N144 Eと4 N155 Eの10-49個体 が最大で 50個体以上の点は出現しなかった。幼魚の 分布域は,東側海域の4 N152 E と7 N152 E の2 点であった。1994年には, 稚魚の分布域は南北方向で の違いが顕著に見られ,10 № 以北に少なく,9 № 以 南の海域で多かった。幼魚の分布は,3 N155 Eの1 点だけであった。1995年の稚魚の分布は、東西方向での 密度の違いが顕著に現れた。最も東側の153 - 155 E に



Fig. 3-12b. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1993. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

は多く分布し,136 - 141 E では散発的な分布を示し た。1996年の稚魚の分布域は,東西および南北での違 いが明瞭ではなく,全体の海域にわたって密度50個体 未満の低い点が散在した。各年における海域的な分布 パターンは,カツオ稚魚とマグロ属稚魚との間で類似 していた。

2)マグロ属稚魚および幼魚の鉛直分布

海域ごとのマグロ属幼稚魚の体長と分布水深との関係を昼夜別にプロットした(図3-13a,b,c,d)。 最も採集個体数の多かった北赤道反流域では,稚魚は 昼夜とも100m以浅に多かったが,成長に伴って分布 水深が変化する傾向が見られた。体長10-30mmの稚魚 は,昼間は表層付近から水深220m付近まで,夜間に は表層付近から190mまで分布していた。体長40-60mm になると昼間は30-90mまで 夜間は表層付近から110m までの分布となった。昼間に比べて夜間の方が標本の

田邉



Fig. 3-12c. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1994. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree are area calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

体長範囲が広く,成長に伴う分布水深の変化がより明 瞭に現れている。幼魚のデータは少ないが,夜間10 m 50m,70mでそれぞれ1個体が出現した。境界域で は,全ての体長範囲の個体が昼間は110m以浅,夜間 は90m以浅に分布し,北赤道反流域よりも分布水深が 浅かった。幼魚は,全ての個体が夜間50m付近に分布 していた。北赤道海流域では最もデータ数が少なかっ たため,体長と分布水深との関係を読みとることが困 難であった。

各海域におけるマグロ属稚魚の20m層ごとの1時間 曳網あたり採集個体数と平均水温を比較した(図3-14)。マグロ属稚魚の鉛直分布の中心は,北赤道反流 域では0-20m層と40-60m層,境界域では40-60m 層にあり,北赤道海流域では20-40m層が最も多かっ た。これら3海域での鉛直分布密度の最大値は,マグ ロ属稚魚では表層混合層の厚さおよび水温躍層の深さ と対応せず,どの海域でも分布密度の高い層は60m以 浅に存在した。しかしながら,北赤道海流域や北赤道



Fig. 3-12d. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1995. Abundances of other tuna() at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

反流域に比べて水温躍層の浅い境界域では,120m以深からは稚魚が出現しなかったのに対し,北赤道海流域と北赤道反流域では120-200mでも稚魚が出現したことから,水温の高い海域ではマグロ属稚魚もより深い層まで分布できることが明らかになった。

3)水温・塩分との関係

図3-15,16にマグロ属稚魚および幼魚の分布密度 を水温別,塩分濃度別に1時間曳網あたり採集個体数 として示した。稚魚では水温12-30℃の範囲に出現し たが26℃以上に多く分布し,水温が高くなるほど分 布密度も高くなった。25℃以下では分布密度が低く, 稚魚が高水温性で温度の高い環境を好んで分布してい ることが分かる。これとは対照的に,塩分濃度では低 塩分ほど稚魚の分布密度が高くなる傾向が見られ,塩 分濃度33.6-33.7PSU で最も分布密度が高く,これよ りも塩分濃度が高くなると分布密度が低下し,35 4PSU 以上では出現しなかった。これらの結果は,マグロ属



Fig. 3-12e. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1996. Abundances of other tuna() at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

稚魚が高水温・低塩分である熱帯の表層近くを主な分 布域としていることを表しており,カツオ稚魚が水温・ 塩分に対して幅広い分布を示した点とは対照的で,両 者の水温・塩分に対する指向性の違いは注目に値する。 マグロ属幼魚は,水温27 - 29℃塩分濃度34 A - 34 5PSU に分布していた。

その他の採集生物の生物量とカツオ・マグロ類稚魚の 出現状況

カツオ稚魚の水平・鉛直分布と中層トロールによっ て採集された全ての生物の生物量水平・鉛直分布との 関係を調べる目的で,海域別1時間曳網あたり採集湿 重量(図3-17),緯度・経度1度ごとの1時間曳網 あたり採集湿重量(図3-18),水深別1時間曳網あ たり採集湿重量(図3-19)を示した。中層トロール によって採集されたカツオ・マグロ類以外の生物は, 昼間はカタクチイワシ科,二ザダイ科,アジ科を中心 とした魚類が多く,夜間には八ダカイワシ科,ヨコエ



Fig. 3-12f. Horizontal distribution of other juvenile(top)and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

ソ科,クロタチカマス科を中心とした魚類に加え,ト ビイカ類を中心としたイカ類,オキアミ類を中心とし た甲殻類が多かった。海域別の全生物量(バイオマス) を比較した結果、北赤道反流域と境界域では生物量が 多く,北赤道海流域ではこれらの海域の50%と少なか った(図3-17)。緯度・経度1度ごとのバイオマス の水平分布においても、1時間曳網あたり採集湿重量5 -9 9kgおよび10kg以上の点は,北赤道反流域から境 界域に含まれる2-7 N に多かった(図3-18)。 一方,1時間曳網あたり採集湿重量0.1kg未満および0.1 -0.9kgの点は,9 N 以北に多く出現した。バイオマ スの鉛直分布を見ると,昼間は北赤道海流域と境界域 では40-80mに,北赤道反流域では80-120mにおい て分布密度が最も高く, 夜間には北赤道反流域と境界 域では80-120mに,北赤道海流域では80-120mと120 - 200mにピークを示した(図3-19)。各水深層での カツオ稚魚の分布密度とバイオマスとの関係を調べた ところ,昼間のカツオの鉛直分布とバイオマスの鉛直



Fig. 3-13a. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the north equatorial current (NEC) area from October to December 1992 - 1996.

分布の間には高い相関が得られ,夜間にも決定係数は 高くないものの一次直線的な関係が見られたことによ り,カツオは生物量の多い水深に分布していることが 分かった(図3-20)。これに対して,各水深層での マグロ属稚魚の分布密度とバイオマスの鉛直分布との 関係では相関が低く,マグロ属の鉛直分布はバイオマ スの鉛直分布とは異なっていた(図3-21)。

考 察

西部太平洋の熱帯外洋域におけるカツオ稚魚および幼 魚の分布

5年間の調査結果をもとにカツオ幼稚魚の水平分布 を調べた結果により,パラオ・ミクロネシア周辺の西 部太平洋熱帯海域では,少なくとも10-12月期にはカ ツオ稚魚がほぼ全域にわたって出現したことから,カ ツオが稚魚期においてこの海域全体を生息域として利 用しているものと推定された。稚魚ネットによって採 集されたカツオ仔魚の季節別分布によれば(西川ら 1985),仔魚期におけるカツオの分布は西部太平洋熱 帯海域全体に広がっており,本種の産卵場の広さを示





Fig. 3-13b. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the boundary area between the north equatorial current and the north equatorial counter current from October to December 1992 - 1996.

すとともに,本研究により新たに幼稚魚の分布に関す る知見が得られたことにより,ふ化後から仔魚期,稚 魚期を経て幼魚期に至るまでの生活史段階をこの海域 で過ごしていることが明らかになった。これまでの知 見では、マグロ・カジキ類の胃内容物としてのカツオ 幼稚魚の出現状況や断片的な採集結果をもとにカツオ の稚魚期から幼魚期にかけての分布が推測されていた が(森 1972),本研究結果によってこれらが実際に 確認された。西部太平洋熱帯海域内で生まれたカツオ は,幼魚期までをここで過ごした後,どの段階で大規 模な魚群を形成し中緯度方向への回遊行動を初めるの であろうか。このことはカツオの生態研究としてだけ でなく、資源学的側面からも加入にいたる生物過程を 明らかにする上で重要である。本研究結果から資源へ の加入機構を明らかにすることは困難であるが,カツ オの稚魚期から幼魚期にかけての分布生態を詳しく調 べることにより,生態学的側面からの一助に成り得る と考えられる。

幼稚魚の分布と海洋環境要因との関係

本研究の対象となった海域を物理的に分類すると北

田邊



Fig. 3-13c. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the north equatorial counter current (NECC) area from October to December 1992 - 1996.





Fig. 3-14. Relationship between vertical distribution of other juvenile tuna () and mean temperature of each depth () in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996. Broken lines indicate the estimated maximum depth of the thermocline.





Fig. 3-15. Distribution of density for other juvenile (top) and young (bottom) tuna by temperature of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E) from October to December 1992 - 1996.



Fig. 3-17. Distribution of density for total samples collected by the midwater trawl net in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996.

赤道海流域,北赤道反流域,これらの境界域に分けら れる。それぞれの特徴は,北赤道海流域と北赤道反流 域では表層混合層が水深80-100mに達し水温躍層の 始まる水深が深かったことと,塩分濃度も水深40-80 m以深では相対的に高かったのに対し,境界域では赤



Salinity (PSU)

Fig. 3-16. Distribution of density for other juvenile (top) and young (bottom) tuna by salinity level of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E) from October to December 1992 - 1996.



Fig. 3-18. Horizontal distribution of total samples collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E) from October to December 1992 - 1996. Abundances () at each 1×1 degree area are calculated by total wet weight of samples divided by number of tows.

道湧昇の影響により表層混合層が40-60mまでと浅い 上に塩分濃度も相対的に低かったことから,北赤道海 流域と北赤道反流域では高水温・高塩分,境界域では 田邊



Fig. 3-19. Vertical distribution of total samples collected by the midwater trawl net for daytime () and night () in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996.



Fig. 3-20. Relationship for vertical distributions between juvenile skipjack and total samples collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E) from October to December 1992 - 1996.

低水温・低塩分と特徴付けられた。それぞれの海域は, カツオの稚魚期から幼魚期にかけての生息場所として どのような意味をもつのであろうか。本研究結果から 見る限り,カツオの幼稚魚は西部太平洋熱帯域全体に





広がるほどの広大な分布域を示すものの,出現率と1 曳網当たり採集個体数を海域間で比較した結果から, 分布密度は北赤道反流域で最も高いと考えられた。こ のことはカツオ幼稚魚だけでなく近縁のマグロ属幼稚

104

魚を含めて生物量全体の分布密度にも当てはまること から,赤道より北側の熱帯外洋表層域内では北赤道反 流域と境界域で生物生産力が高く,温帯域に比べて貧 栄養とされる熱帯域内においても海域によって相対的 な生物生産力が違うことが示唆された。北赤道反流域 は,高水温・高塩分・富栄養の環境条件がカツオ稚魚 の分布にとって有利に働くため,他の海域に比べて多 くの稚魚群が生息していたと考えられる。北赤道海流 域も高水温・高塩分であるが,栄養塩類が北赤道反流 域よりも少ないためにカツオ稚魚の餌生物が乏しいこ とから (Reid Jr. 1962), 境界域に近い南縁海域では 高密度の稚魚群が分布する場合もあるが,全体として は北赤道反流域よりも不利な環境条件にあってカツオ 稚魚の分布は散発的である。境界域では湧昇流による 下層からの栄養供給という有利な環境条件を備える一 方,水温躍層の上層への張り出しによって他の海域と 比較して低水温という不利な環境条件も併せもつた め,カツオ稚魚の分布にとってあまり好適な環境とは 言えず,分布域が限られている上に分布密度も低いと 考えられる。

幼魚は稚魚に比べて遊泳能力がより発達した段階に あるため,積極的に好適な分布域を選択するとすれば 物理・餌生物環境面で有利な北赤道海反流域でのみ幼 魚が採集されたことは理解できる。しかしながら,稚 魚は北赤道海流域や境界域にも分布しており,幼魚が これらの海域に分布していなかった点については,稚 魚期から幼魚期への成長に伴って北赤道反流域に移動 したか,これらの海域にも分布するが北赤道反流域に 比べて分布密度が低いために採集されなかった可能性 がある。いずれにせよ,カツオの幼魚期における分布 量は,北赤道海流域や境界域に比べて北赤道反流域の 方が多いと考えられる。

カツオ幼稚魚を中心とした生物の鉛直分布と水温・ 塩分の鉛直分布との関係から,表層混合層の下部から 水温躍層上部がカツオにとって最も分布密度が高い層 であり,マグロ属を除く他の生物全体にとってもこの 水深層で生物量が多かった。このことは鉛直分布にお いても水深層によって分布密度が違うこと, すなわち カツオにとって生活しやすい分布水深が存在している ことを示しているとともに,カツオが他の魚類や頭足 類,甲殻類とも鉛直的に同じ分布層で生活しているこ とを示している。カツオ幼稚魚と餌生物の分布との関 係については第4章の摂餌生態において詳しく述べる が,カツオの鉛直分布も餌となる生物の分布層と関連 していることが推察できる。この水深層では, 湧昇に よる下層からの栄養塩類の供給を受けるため,植物プ ランクトンから始まる食物連鎖を通じて相対的に生物 量が多くなっていると考えられる。一方,表層混合層 の上部では,最も高水温で栄養塩類の消費が激しく栄 養枯渇状態となるため,カツオ稚魚にとっても好適な 生息環境にはないと考えられる。水温躍層の下部では, 下層ほど栄養塩類は豊富であるが水温が低すぎるため に,カツオにとって不適な生息環境である。

カツオと熱帯性マグロ類の分布の違い

カツオの分布域の広さはマグロ類の中でも最大規模 を誇るとともに、漁獲量から推定される資源量もマグ ロ類の中では最大と考えられる。このことは,本研究 によって明らかになったカツオとマグロ属の幼稚魚に おける分布域と海洋環境との関係からも説明すること ができる。すなわち,カツオ幼稚魚の分布域における 水温・塩分範囲はマグロ属に比べて幅広く,カツオの 方がマグロ属よりも温度と塩分の両方の物理環境に対 してより広く対応できることが示されたことにより, カツオは稚魚期から広い環境適応力を備え,マグロ属 よりも広い海域で生活することが可能となったと考え られる。海洋環境に対してより広い範囲で適応できる ことは、分布域を拡大する上で有利と考えられ、カツ オが他のマグロ類に比べて分布域が広く,個体数を増 大させることにつながったのではないだろうか。海面 に近い0-40m層では,下層から供給された栄養塩類 が強い日射と高水温での活発な生物活動を通じて急速 に消費されるため,貧栄養な熱帯外洋表層域の中でも 最も栄養条件の劣悪な環境にある。カツオと同じ高度 回遊性魚類に属するマグロ属の稚魚が, あえてこのよ うな厳しい条件の水深層を中心として生活しているこ とは,彼らの生態を明らかにしていく上で特筆すべき 点である。マグロ属がなぜカツオよりも浅い水深層で 生活しているのかという点については明らかにされて いないが, 仔魚期においてもこれと同じ鉛直分布関係 があることが報告されており,カツオとマグロ属との 初期生活史における分布生態の違いを示している。カ ツオでは生活史初期において鰾が消失するが,キハダ やメバチでは鰾が成魚期でも確認できることから,鰾 の有無による比重の違いが関与しているのかもしれな *د*۱.

熱帯外洋域におけるカツオ幼稚魚の分布と生態戦略

カツオの分布水深と体長との関係から, 稚魚期から 幼魚期にかけての体成長に伴う遊泳能力の発達によ り,生息域を積極的に選択しながら生活していること が示唆された。魚類の中でも卓越した遊泳能力を備え るカツオは, 稚魚期から幼魚期にかけて遊泳能力を急 速に発達させることにより, 餌生物の捕食と捕食者か らの逃避という2つの行動において有利となり, 個々 の生き残る確率を高くすることができると考えられ る。第2章でも述べたように,体長100mでを越えて幼 魚期に入ったカツオを捕獲することは,曳網速度5ノ ットの高速型大規模中層トロール網を使用しても決し て容易ではなく,このことはカツオ幼魚の逃避能力が いかに高いものであるかを端的に表している。カツオ はこのように高い遊泳力を持つことにより,大規模な 魚群を形成しながら幼魚期から未成魚期にかけて回遊 行動を開始し,親潮と黒潮が混合する三陸沖漁場のよ うな餌の豊富な中緯度海域を目指して,数千キロにも 及ぶ長距離を北上移動してくるのであろう。カツオの 生活史における高度な遊泳能力の獲得は,貧栄養とさ れる熱帯の外洋域から富栄養な日本近海域への索餌回 遊を可能とし,その結果西部太平洋では南北40度にも 及ぶ分布域の拡大に成功したと考えられる。

カツオの親魚が西部太平洋熱帯域の外洋表層域を主 要な産卵場として利用し, 仔魚期から幼魚期にかけて この海域で生活することは,本種の生態においてどの ような意義があるのだろうか。本研究で得られた海洋 観測結果から,熱帯の外洋表層域は高水温であるとと もに海流の流れも単純で,海洋環境としては比較的季 節変動が小さく、年間を通じての安定性が高いと考え られる。環境変動が小さいことは,カツオの幼稚魚が 一定の海洋環境の中で生活できることを意味し, 摂餌 の面からも餌生物の安定供給をもたらすことにより, 初期成長や生き残りにとっても有利に作用すると考え られる。摂餌生態と初期成長についてはこの後の第4 章と第5章で詳しく述べるが,カツオの稚魚期から幼 魚期にかけての分布生態における特性は,種としての 生き残り戦略を考える上でも重要である。カツオが周 年安定的な環境である低緯度域を産卵場とし,餌の豊 富な中緯度域を索餌場として,強力な遊泳能力をもと にこの海域間を回遊しながら生活していることは,生 活史の各段階において巧みに海洋環境を利用する適応 能力を身につけることができた結果と考えられる。

第4章 摂餌生態

魚類の初期生活史研究において摂餌生態を明らかに することは,種としての生活史戦略を理解する上で重 要である。摂餌生態は,第3章で明らかになった分布 生態と密接に関連しているとともに,第5章で記述す る初期成長様式の決定要因としても重要である。摂餌 生態を明らかにすることにより,カツオの初期生活史 における生き残り戦略を浮き彫りにし,資源への加入 機構を解明するための鍵を得ることができると考えら れる。

第3章で記述したように,カツオ稚魚は西部太平洋 の熱帯外洋域では水深40-120mの表層混合層下部か

ら水温躍層上部を中心に分布しており,この層は TANSYU 型中層トロールによって採集された総生物 量が最も多い水深と一致していた。このことは,カツ オ稚魚が餌生物だけでなく捕食者とも鉛直的な分布域 が重なることを意味する。この海域の物理環境は,北 東貿易風,東西方向での単純な海流系,高温の表層水 によって特徴付けられ,これらの季節的・経年的変動 幅が比較的少ないことにより,生息域としては常に安 定した環境条件が保証されている。しかしながら,強 い日射を背景とした高水温下での活発な生物生産活動 により栄養塩類の消費が激しいため,特に表層では栄 養塩が枯渇状態となっている。このような生息環境の 中で,カツオはどのように適応し,どのような初期生 活史を送っているのだろうか。食性や摂餌行動などの 摂餌生態からのアプローチは,この課題への答えを導 き出す有効な手段に成り得ると考えられる。

研究史に述べた如く,カツオの摂餌生態に関する研 究の多くは仔魚期または成魚期の報告に限られてお り,稚魚期の摂餌生態についてはわずかの報告しかな されていない。本種の食性の特徴として,近縁種のビ ンナガやミナミマグロよりも魚食性の発現時期が早い こと,仔魚期から稚魚期にかけて餌生物としての魚類 仔魚への依存度が高くなることが報告されているのみ である(西川 1975,Young and Davis 1990)。本 章では,カツオ稚魚の摂餌生態を明らかにするために, 西部太平洋の熱帯外洋域で採集した標本を用いて胃内 容物分析を行った。この分析結果から,カツオ稚魚の 胃内容物として出現した各餌生物の相対的重要度を明 らかにした。また,カツオ稚魚の摂餌行動の日周変化 についても知見を得た。

材料および方法

供試魚の採集方法

胃内容物分析のための供試魚は,1994年10月下旬か ら12月上旬に西部太平洋熱帯海域(0-15 %,130-160 Ҽ)において TANSYU-2型中層トロール網を用 いて採集した(図2-1b)。中層トロールの曳網は, グアム島の西側海域で13定点,東側海域で14定点,合 計27調査点で行った(図4-1)。曳網は原則として 昼夜2回ずつ,合計1日4回,水深40-60m層と80-100m層で1時間の水平曳きを行った。曳網速度は, 対水速度4-5ノットに設定した。網口の深度と開き 具合は,身網1段目に取り付けた漁網監視装置(Furuno FNR-200)を使って曳網中常時観察し,目的の 網深度を維持するよう操船した。揚網後にはコッドエ ンド内張り網の後端から全採集生物を計量容器中に取 り出し,直ちに湿重量を計測した。次いでソーティン



Fig. 4-1. The sampling locations of the TANSYU-2 () with cruise tracks of R/V *Omi Maru* for the stomach content analysis of juvenile skipjack.

グによってカツオとマグロ属幼稚魚を取り出し,80% アルコールに保存するとともに,これら以外の採集物 についてもハダカイワシ類,カタクチイワシ類などの 魚類,オキアミ類などの甲殻類,トビイカ類などの頭 足類,その他の大まかな動物群に分類し,10%ホルマ リン固定または冷凍保存した。

カツオの正確な種査定は,Matsumoto *et al* (1984) を参照し航海終了後に実体顕微鏡下で外部形態を観察 しながら行った。マグロ属幼稚魚については外部形態 では属レベルまでしか査定できないため,本研究では マグロ属 *Thunnus spp*.として扱った。ミトコンドリ ア DNA による種判別の結果では,これらのマグロ属 稚魚は主としてキハダとメバチによって構成されてお り(供試魚全体の95%),わずかにビンナガが含まれ ていた(同2.1%)。

本研究の対象海域は,CTD による水温と塩分濃度 の観測結果と ADCP による流向・流速の観測結果に 基づいて,北赤道海流域(NEC)と北赤道反流域 (NECC)の2海域に区分した。

餌生物としての魚類仔魚の採集方法

カツオ・マグロ類仔魚およびその他の魚類仔魚の採 集を目的として,口径2m型稚魚ネットを用いて,水 深50mまでの傾斜曳きを行った。稚魚ネットの曳網点 は,TANSYU-2型中層トロールと同じ調査点とした。 曳網は1日1回,夜間に曳網速度2ノットで行った。 身網の側長は6m,目合いは前部3分の2が1.7mm, 後部3分の1が0.5mmであった。採集物は5%ホルマ リンで固定し,航海終了後に魚類仔魚を選別した後, 実体顕微鏡下でカツオ・マグロ類の種査定,計数とそ の他魚類の計数を行った。カツオ・マグロ類の種査定 は,沖山(1993)に掲載された外部形態の特徴を参考 にして行った。



Fig. 4-2. Length-frequency distribution of skipjack (top) and other tuna (bottom) juveniles that were collected by the TANSYU-2 from October to December 1994 and were used for the stomach content analysis.

胃内容物の分析方法

カツオ588個体とマグロ属322個体を供試魚として, 胃内容物分析を行った。カツオの体長は8.5-66.8mm, 体重は10-3420mgであった。マグロ属の体長は9.8-55.3mm,体重は10-2580mgであった(図4-2)。供 試魚の採集時刻,採集位置,水深,各調査点での標本 数および体長範囲を表4-1abにまとめて示した。

カツオ・マグロ属稚魚の胃内容物分析は,次の手順 で行った。まずデジタルノギスを使って標準体長(吻 の先端から脊椎骨末端までの長さ)を0.1mm単位で測 定した後,電子天秤を使って体重を0.1mg単位で測定 した。次いで実体顕微鏡下で消化管を摘出した後,胃 を切開し全胃内容物をスライドグラス上に取り出し た。胃内容物は,全体の湿重量を測定した後,可能な レベルの動物群まで分類し,動物群ごとに個体数の計 数と湿重量の測定を行った。胃内容物の充満度と消化 度は,Young and Davis(1990)の基準を参考にして 評価した。

すなわち,胃内容物の充満度は5段階(1:空胃2: ごく少量の胃内容物が存在し,胃の外形は非常に細く, 内壁には大きなヒダが存在する状態,3:胃内には少 量の内容物が充満,胃の外形はやや丸みを帯び,内壁 には小さなヒダが残っている状態,4:胃内にはかな

	U Z in the tro	pical western Pacific during O	clober to Decembe	er 1994.	
Station No.	Time	Locations	Depth	No. of	Size
		(lat., long.)	(m)	specimens	(mm SL)
94101-1	12:45	15 O1N ,135 O0E	40 - 60	2	8.7 - 14.4
94101-2	14:15	14 S7N ,135 OOE	80 - 100	1	20 &
94102-2	04:15	12 S7N ,135 30E	80 - 100	5	11 .6 - 25 .4
94104-1	13:05	09 O1N ,136 30E	40 - 60	23	24 5 - 39 6
94104-2	14:35	09 04N ,136 30E	80 - 100	37	21 2 - 46 8
94105-2	14:55	06 56N ,137 00E	80 - 100	3	58 .6 - 66 .8
94106-1	13:25	04 59N ,137 30E	40 - 60	7	16 5 - 24 4
94106-2	14:55	04 57N ,137 30E	80 - 100	100	16 .1 - 55 .2
94106-3	19:42	04 59N ,137 30E	40 - 60	5	19 .0 - 30 .0
94110-1	13:25	06 59N ,140 59E	40 - 60	18	13 2 - 27 9
94110-2	14:48	06 \$7N ,140 \$8E	80 - 100	13	12 2 - 33 8
94110-3	19:35	07 O1N ,141 O0E	40 - 60	10	16 .1 - 24 .5
94202-1	12:25	11 OON ,147 30E	40 - 60	43	92-186
94207-1	13:25	03 00N ,152 30E	40 - 60	26	10 5 - 16 3
94208-1	12:25	03 00N ,155 00E	40 - 60	77	85-175
94208-2	18:25	03 00N ,155 01E	40 - 60	5	10 .6 - 16 .1
94208-3	00:35	03 00N ,155 00E	40 - 60	51	9.1 - 16.4
94208-4	06:25	03 00N ,155 00E	40 - 60	105	88-258
94210-3	19:35	07 00N ,157 00E	40 - 60	9	32 .6 - 54 .7
94210-4	21:00	07 00N ,156 S7E	80 - 100	42	34 .7 - 49 .6
94214-2	14:50	14 S7N ,154 S6E	80 - 100	3	89-125
94214-4	21:05	14 \$7N ,154 \$5E	80 - 100	3	12 3 - 18 .7

 Table 4-1a.
 Characteristics of juvenile skipjack tuna used for stomach content analysis collected by the midwater trawl net TANSYU 2 in the tropical western Pacific during October to December 1994.

りの内容物が充満,胃の外形も膨らみヒダがほぼ伸び きっている状態,5:胃が内容物で満たされ,胃壁が 非常に薄くなっているため,内容物の一部分が外側か ら確認できる状態)とし,消化度は3段階(1:高次 レベルの査定も不可能な状態,ペースト状2:脚,鰭 が分解,高次レベルの査定可能3:ほぼ原形を留めた 状態,種レベルの査定可能)に区分した。

食性と摂餌行動の分析方法

胃内容物中における各餌生物の相対的な地位を評価 するために,動物群ごとの出現個体数,湿重量,出現 頻度のデータを使って,Pinkas *et al* (1971)の方法に より相対的重要度指数(IRI)を計算した。この指数 は 稚魚の胃の中に見られるさまざまな餌生物を評価・ 比較するには,簡便で有効な方法である。IRI は次の 式により求めた。

IRIi = (%Ni + %Wi) × %Fi

ここで,%Ni は全餌生物に占める餌生物 i の個体数 パーセント,%Wi は全餌生物に占める餌生物 i の重 量パーセント,そして%Fi は供試胃袋100個体当たり の餌生物 i の出現率を表わす。この指数を用いること により,カツオ・マグロ属稚魚の各餌生物の相対的重 要度を評価し,北赤道海流域と北赤道反流域間での比 較を行った。

カツオ・マグロ属稚魚の摂餌行動の日周性を明らか にするために,胃内容物の充満度と消化度,胃内容物

 Table 4-1b.
 Characteristics of other juvenile tuna used for stomach content analysis collected by the midwater trawl net TANSYU-2 in the tropical western Pacific during October to December 1994.

Station No.	Time	Locations	Depth	No. of	Size
94104-1	13:05	09 01N ,136 30E	40 - 60	55	11 5 - 37 9
94105-1	13:30	06 59N ,137 00E	40 - 60	1	32 2
94105-2	14:55	06 56N ,137 00E	80 - 100	1	55 3
94105-4	21:10	06 57N ,137 00E	80 - 100	1	54 .7
94106-1	13:25	04 59N ,137 30E	40 - 60	15	17 .1 - 43 .5
94106-2	14:55	04 57N ,137 30E	80 - 100	2	22 4 - 35 2
94106-3	19:42	04 59N ,137 30E	40 - 60	34	19 5 - 35 2
94107-3	19:40	02 59N ,138 00E	40 - 60	1	53 .1
94108-2	18:30	02 59N ,140 00E	80 - 100	2	33 8 - 36 4
94110-1	13:25	06 59N ,140 59E	40 - 60	93	12 .1 - 33 .6
94110-2	14:48	06 57N ,140 58E	80 - 100	5	16 5 - 22 3
94110-3	19:35	07 O1N ,141 O0E	40 - 60	1	18 .7
94111-1	13:40	09 O1N ,141 O0E	40 - 60	1	14 .4
94202-1	12:25	11 OON ,147 OOE	40 - 60	3	23 9 - 24 0
94202-4	06:25	11 OON ,147 29E	40 - 60	1	21 9
94204-3	19:35	06 59N ,147 20E	40 - 60	1	13 5
94205-1	13:20	05 00N ,148 41E	40 - 60	1	21 5
94205-4	21:10	05 00N ,148 37E	80 - 100	1	22 .1
94207-1	13:25	03 OON ,152 30E	40 - 60	21	11 9 - 24 4
94207-2	14:45	03 00N ,152 27E	80 - 100	1	14 .O
94207-3	19:40	03 OON ,152 30E	40 - 60	3	14 .7 - 19 .7
94208-1	12:25	03 00N ,155 00E	40 - 60	1	21.3
94208-2	18:25	03 OON ,155 O1E	40 - 60	4	13 .6 - 26 .5
94208-3	00:35	03 OON ,155 OOE	40 - 60	3	16 .6 - 28 .D
94208-4	06:25	03 00N ,155 00E	40 - 60	11	98-268
94209-1	13:25	05 00N ,156 00E	40 - 60	1	19 9
94209-3	19:40	05 01N ,156 00E	40 - 60	6	19 3 - 26 .7
94209-4	21:05	05 05N ,156 00E	80 - 100	1	22 2
94210-1	13:25	07 OON ,157 OOE	40 - 60	10	17 3 - 47 5
94210-3	19:35	07 OON ,157 OOE	40 - 60	37	28 4 - 53 9
94210-4	21:00	07 00N ,156 57E	80 - 100	1	39.9
94211-3	19:35	09 OON ,157 20E	40 - 60	3	35 .0 - 45 .7
94211-4	21:00	08 57N ,157 97E	80 - 100	1	32 4

重量指数(SCI)の経時変化を調べた。胃内容物重量 指数(SCI)は次の式により求めた。

SCI(%)= SCW/BW × 100

ここで, SCW は全胃内容物の湿重量 (mg), BW は
 魚体の湿重量 (mg) を表わす。

また,稚魚の摂餌量を把握する目的で,体長と SCI との関係をプロットし体成長に伴う胃内容物重量の変 化を調べた。

結 果

カツオ稚魚の摂餌生態

1)胃内容物組成

カツオ稚魚の胃内容物として出現した動物群は,魚 類仔魚,オキアミ類,カイアシ類,端脚類,頭足類で あった。これら以外にヤムシ類,等脚類および魚卵が わずかに認められ,これらはその他の動物群としてま とめて扱った。消化によりどの動物群にも分類できな い胃内容物は 種類不明消化物としてまとめて扱った。

胃内容物の中で最も優占的に出現した動物群は魚類 仔魚であり,全供試魚の784%が捕食していた。魚類 仔魚の胃内容物全動物群に占める個体数パーセント (%N)は73.8%を示し,重量パーセント(%W)は 82 8%と出現率(%F), %Nよりもさらに高い値を 示した。したがって,空胃個体を除いたカツオ稚魚全 個体を使って計算した魚類仔魚の IRI は12273となっ た(図4-3)。カツオ稚魚1個体当たりの捕食量は, 個体数で1-11個体(平均2.4個体)湿重量では02-83.8mg (平均12 8mg)であった。カツオ稚魚の胃内容物中に みられた魚類仔魚は,ほとんどの場合部分的あるいは 全体的に消化作用を受けていたため(消化度2または 1), 科レベルまでの同定ができなかった。しかしな がら、しばしばカタクチイワシ科の仔魚が認められ、 クロタチカマス科の仔魚も少数確認できた。また,カ ツオ・マグロ属仔魚も胃内容物として出現しており, 同じ分布域内で稚魚が仔魚を共食いしていることが確 認された。カツオ稚魚の胃内容物中におけるカツオ・ マグロ属仔魚の出現率は38%で,カタクチイワシ科 は18.4%, クロタチカマス科は2.2%であった。魚類 仔魚は全体の78.6%が単独で出現したが,7%はオキ アミ類と 1.1%はカイアシ類と 2.2%は端脚類と 3.2% は頭足類と 2.7%はその他動物群とともに捕食されて いた。また,魚類仔魚とオキアミ類に加え,端脚類ま たはその他動物群の3種類の動物群を捕食していたカ ツオ稚魚は,魚類仔魚捕食者全体の22%であった。 魚類仔魚以外の動物群の%F, %N および%W は,



Fig. 4-3. The index of relative importance for each food item (IRI) that was calculated by percentage composition of major food items by number, wet weight, and frequency of occurrence in the stomach contents of juvenile skipjack. The area of each rectangle shows an IRI. A, fish larvae; B, Cephalopoda; C, Euphausiacea; D, Copepoda; E, Amphipoda; F, other prey taxa; G, unidentified prey.

いずれも22%以下と魚類仔魚に比べて低かった。オキ アミ類を捕食していたのは供試魚全体の102%で,捕 食量は1 - 5個体(平均12個体)0.04 - 9.1mg(平均 19mg) であった。オキアミ類の%N は4.8%,%W では1.6%であった。カイアシ類の%Fは5.9%,%N は7.8%,%Wでは1.3%であった。端脚類では,%F が2 5%, %N が1 3%, %W が0 3%であった。頭足 類では,%Fが25%,%Nが1.7%,%Wが9.6%で あった。その他動物群では,%Fが23%,%Nが 13%, %W が04%であった。種類不明消化物は%F で21.6%と魚類仔魚に次いで高い値を示したものの, %N は9.7%, %W は4%と低かった。これらの結果 から,カツオ稚魚の胃内容物を順位付けると,%Fで は魚類仔魚,種類不明消化物,オキアミ類,カイアシ 類,端脚類と頭足類,その他動物群の順になった。% Nでは,魚類仔魚,種類不明消化物,カイアシ類, オキアミ類,端脚類とその他動物群,頭足類の順であ った。%Wでは,魚類仔魚,頭足類,種類不明消化 物,オキアミ類,カイアシ類,その他動物群,端脚類 の順であった。さらに, IRI によってカツオ稚魚の胃 内容物を評価すると,第1位の魚類仔魚が12273と圧

1								
	NEC area				NECC area			
	%F	%N	%W	IRI	%F	%N	%W	IRI
Fish larvae	78 9	84 .1	94.7	14107 3	77 <i>A</i>	62 &	77 <i>A</i>	10851 5
Euphausiacea	16.7	65	32	162 .0	62	3 .1	0.9	24 8
Copepoda	1.1	0.3	0.0	03	8.9	15 <i>.</i> 9	19	158 <i>A</i>
Amphipoda	4 4	13	8 0	92	1.4	14	0.1	2 .1
Cephalopoda	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	2 4	13 .9	66 8
Others	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	2.8	a . 0	11 .6
Unidentified	23 3	7.8	14	214 .4	20 5	11.7	52	346 5

 Table 4-2.
 Main prey taxa of juvenile skipjack tuna in the north equatorial current (NEC) and the north equatorial counter current (NECC) areas.

%F: frequency of occurrence of each food item in the total number of stomachs examined; %N: percentage of number of each food item to the total number of all food items identified; %W: percentage of wet weight of each food item to the total wet weight of all food items identified; IRI: index of relative importance of each prey item; (%N+%W)×%F.

倒的に多く,次は種類不明消化物(295.7),オキアミ類(65.5),カイアシ類(54.2),頭足類(27.4),端 脚類(4.1),その他動物群(3.7)の順であった。

2)胃内容物の海域間比較

各調査点での胃内容物組成データをもとに,北赤道 海流域と北赤道反流域におけるカツオ稚魚の食性を, %F,%N,%W,IRIにより比較した(表4-2)。 魚類仔魚は,北赤道海流域,北赤道反流域とも,%W で94.7%,77.4%と全動物群の中で最も高い割合を占 めた。%Fおよび%Nでも,魚類仔魚は北赤道海流 域で78.9%および84.1%,北赤道反流域で77.4%およ び62.8%と,全動物群の中で最も高い出現率を示した。 したがって,北赤道海流域と北赤道反流域におけるカ ツオ稚魚の最も重要な餌は魚類仔魚であることが明ら かになった。北赤道反流域では,頭足類が%Wで 13.9%を占めたが,北赤道海流域では出現しなかった。

その他の動物群も,北赤道反流域では%W で0.6% 含まれていたが,北赤道海流域では出現しなかった。 オキアミ類は,北赤道海流域では IRI で162.0と魚類 仔魚,種類不明消化物に次いで3番目に高い値を示し たが,北赤道反流域では24.8と低く5番目にランクさ れた。一方,カイアシ類は,北赤道反流域では IRI で158.4と魚類仔魚,種類不明消化物に次いで3番目 に高い値を示したが,北赤道海流域では0.3と低かっ た。端脚類の IRI は,北赤道海流域で9.2,北赤道反 流域で2.1であった。種類不明消化物の IRI は,北赤 道海流域で214.4,北赤道反流域で346.5であった。

これらの結果から,北赤道反流域では餌が多様な分だけ,魚類仔魚の餌生物としての重要性が北赤道海流域よりも低くなっているが(IRI で北赤道海流域の 14107 3に対し,北赤道反流域では10851 5),カツオ 稚魚にとっては,どちらの海域においても魚類仔魚が 餌生物として圧倒的に重要であることには変わりない ことが明らかになった。

3) 摂餌活動の日周性

カツオ稚魚の胃内容物充満度の経時変化を図4-4 に示した。空胃個体(f1)の割合は22-2時には 100%2-6時には80%を占めたが,日の出後6-10 時には285%まで急速に減少した。10-14時には26% になった後,日没に向かう14-18時にはさらに減少を 続けて最小値53%を示した。18-22時にも74%と 低い値であった。これとは対照的に,胃内容物充満個 体(f5)の割合は,14-18時に最大値606%を示した。



Time of day

Fig. 4-4. Diel changes in the stomach fullness of juvenile skipjack collected in the tropical western Pacific from October to December 1994. Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosas remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosas become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosas are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucosas are completely disappeared, and a thin stomach wall.



Fig. 4-5. Diel changes in mean values of the stomach content index (SCI), stomach fullness. and digestion index for juvenile skipjack. SCI(%)=SCW/BW×100; SCW, stomach content weight(mg); BW, wet body weight(mg). Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosas remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosas become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosas are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucasas are completely disappeared, and a thin stomach wall. Digestion index is defined as 1, shape of prey deformed, unidentifiable to higher taxa; 2, shape of prey preserved, but a part of appendages or capapace are separated, identifiable to higher taxa; 3, fresh prey, not digested.

日の出後の6 - 10時には26%,10 - 14時には21.7%で あった。日没後の18 - 22時には,f5は急速に減少し て8.8%となり,これに変わって空胃に近いf2の割 合がこの時刻では最大値の52.9%を占め,f1と合わ せると全体の60%が空胃またはほぼ空胃の状態にあっ た。

次に,胃内容物充満度,胃内容物重量指数(SCI), 胃内容物消化度の平均値をそれぞれ求め,これら指数 の経時変化を図4 - 5に示した。充満度指数は,深夜 22 - 2時に1 0の最低値を示し,夜明けに向かう2 -6時にはわずかに上昇して1 2となった。日の出を迎 えた後の6 - 10時,10 - 14時には急速に増大して2 8程 度となり,日没に近づいていく14 - 18時に最大値4.1 を示した。その後は22 - 2時に向かって急速に低下し た。SCIでは22 - 2時および2 - 6時に最小値0を 示した後 6 - 10時および10 - 14時にはそれぞれ2.1お よび1 6となり,14 - 18時には最大値4 0を示した。一 方,消化度指数では,充満度指数やSCIと比較して 数値の変動幅が小さかったが22 - 2時および2 - 6 時に最小値,14 - 18時に最大値を持つ日周変化が認め られた。

以上の結果から,カツオの稚魚期における摂餌活動 は,早朝から夕方にかけての明るい時間帯に行われて おり,基本的には夜間は摂餌しないものと推定した。 したがって,カツオ稚魚は典型的な視覚捕食者である



Fig. 4-6. Weight percentage of stomach contents to body weight for skipjack juvenile. SCI (%) = SCW/BW × 100; SCW, wet weight of stomach content (mg); BW, wet body weight (mg).

と言える。

4)成長に伴う摂餌量の変化

稚魚期におけるカツオの摂餌量を明らかにするため に,体長とSCIとの関係を図4-6に示した。SCI の体長別最大値,つまりこれをその体長時での最大摂 餌量と見なすと,10-30mmSLで10-18%に達して ピークを示した。30mm以上に成長するとSCIは漸減 し 50-70mmSLで5%前後に落ち着く。

マグロ属稚魚の摂餌生態

1)胃内容物組成

マグロ属稚魚の胃内容物として出現した動物群は, 魚類仔魚を主体としてオキアミ類と頭足類のみが出現 し,カツオ稚魚で見られたカイアシ類,端脚類,ヤム シ類,等脚類,魚卵は出現しなかった。マグロ属稚魚 でも,消化によってどの動物群にも分類できない胃内 容物が出現したため,これらを一括して種類不明消化 物として取り扱った。

魚類仔魚は,マグロ属稚魚の80%(%F)が捕食し ており,%Nでは全胃内容物中912%,%Wでは最 も高い962%を占めた。したがって,魚類仔魚のIRI は15041となり,マグロ属稚魚にとっては全胃内容物 の中で圧倒的に重要であることが明らかになった(図 4-7)。マグロ属稚魚1個体当たりの魚類仔魚の捕食 量は,1-14個体(平均26個体),湿重量0.1-60.7mg (平均88mg)であった。マグロ属稚魚の胃内容物中に みられた魚類仔魚は,ほとんどの場合部分的あるいは 全体的に消化作用を受けていたため(消化度2または 1),科レベルまでの同定ができなかった。未消化の 魚類仔魚の中には,カタクチイワシ科の仔魚のほか, カツオ・マグロ属作魚,クロタチカマス科の仔魚が出 現し,マグロ属稚魚でも仔魚に対する共食いが起こっ ていた。カツオ・マグロ属仔魚の出現率は62%で,



Fig. 4-7. The index of relative importance for each food item(IRI)that was calculated by percentage composition of major food items by number, wet weight, and frequency of occurrence in the stomach contents of other juvenile tuna. The area of each rectangle shows an IRI. A, fish larvae; B, Cephalopoda; C, Euphausiacea; D, Copepoda; E, Amphipoda; F, other prey taxa; G, unidentified prey.

カタクチイワシ科仔魚は7%,クロタチカマス科仔魚は1.6%であった。

オキアミ類と頭足類の%F,%N,%W は魚類仔魚 に比べて低く,いずれも2%以下を示した。IRIでは, オキアミ類は20,頭足類は25であった。オキアミ類 の捕食量は全て1個体で,湿重量では13-25mg(平 均2 Omg)であった。頭足類の捕食量は,1 - 2 個体(平 均1 5個体),湿重量4 A - 5 2mg(平均4 8mg)であっ た。種類不明消化物の%F は14 9%で,%N と%W はそれぞれ6 8% 2 5%, IRI は138 9であった。

以上の結果により,マグロ属稚魚の食性は比較的単 純で,魚類仔魚に偏って摂餌していることが明らかに なった。

2)胃内容物の海域間比較

北赤道海流域と北赤道反流域におけるマグロ属稚魚 の食性を,%F,%N,%W,IRIにより比較し,表 4-3に示した。北赤道海流域で採集したマグロ属稚 魚の胃内容物組成は魚類仔魚,オキアミ類,頭足類, 種類不明消化物であったが,北赤道反流域では魚類仔 魚と頭足類,種類不明消化物であった。魚類仔魚の% Wは,北赤道海流域では92.6%,北赤道反流域では 97.7%に達した。魚類仔魚は,北赤道海流域では%N で90.5%,%Fで75%を示し,北赤道反流域では%N で90.5%,%Fで84.7%を示した。したがって,魚類 仔魚の出現率は,%Wで評価した場合には海域によ らず90%以上と圧倒的に重要な餌となっていることが 明らかになった。これら結果から IRI を計算すると, 北赤道海流域では13733,北赤道反流域では16135とな った。

オキアミ類は,北赤道海流域では出現率が15-39%で IRI が125となったが,北赤道反流域では出 現しなかった。頭足類は,北赤道海流域では出現率が 05-13%で IRI が23となり,北赤道反流域では出 現率が06-12%で IRI が22であった。種類不明消 化物は,北赤道海流域では44-184%出現し,IRI は219となった。北赤道反流域での出現率は17-118%と低かったため,IRIでは909と北赤道海流域 の半分以下となった。

- 1								
	NEC area				NECC area			
	%F	%N	%W	IRI	%F	%N	%W	IRI
Fish larvae	75.0	90 5	92 .6	13732 5	84.7	92 &	97.7	16135 <i>A</i>
Euphausiacea	3.9	15	1.7	12 5	0.0	0.0	0.0	Q 0
Copepoda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Q 0
Amphipoda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Q 0
Cephalopoda	13	05	13	23	12	12	6. 0	22
Others	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Q 0
Unidentified	18 .4	75	44	219 .0	11 .8	0.6	1.7	90.9

 Table 4-3.
 Main prey taxa of other juvenile tuna in the north equatorial current (NEC) and the north equatorial counter current (NECC) areas.

%F : frequency of occurrence of each food item in the total number of stomachs examined ; %N : percentage of number of each food item to the total number of all food items identified ; %W : percentage of wet weight of each food item to the total wet weight of all food items identified ; IRI : index of relative importance of each prey item ; (%N+%W)×%F.



- Time of day
- Fig. 4-8. Diel changes in the stomach fullness of other juvenile tuna collected in the tropical western Pacific from October to December 1994. Fullness of stomach contents is defined as f1, empty ; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosas remain large ; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosas become small ; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosas are almost disappeared ; f5, a stomach contains full contents, pliuca mucosas are completely disappeared, and a thin stomach wall.

これらの結果から,マグロ属稚魚は北赤道海流域と 北赤道反流域のいずれの海域でももっぱら魚類仔魚を 捕食し,その他の餌生物はあまり利用していなかった 点から,カツオよりもさらに魚食性が強いことが明ら かである。

3) 摂餌活動の日周性

マグロ属稚魚の胃内容物充満度の経時変化を図4-8に示した。空胃個体(f1)は22-2時に最も多く, 全体の66.7%を占めた。この時間には,残り33.3%の 個体もほぼ空胃状態(f2)にあった。空胃の割合は, 日の出後の6-10時に45.5%,10-14時に36.4%,14-18時に33.3%へと減少し続け,18-22時には14.6%で 最小値となった。一方,充満胃個体(f5)の割合は22 -2時および6-10時には0%,10-14時に13.9%と なり,14-18時に最大値50%に達した。その後,18-22 時には28.1%に減少した。

胃内容物充満度の平均値(充満度指数),胃内容物 重量指数(SCI),胃内容物消化度の平均値(消化度 指数)について,経時変化を図4-9に示した。充満 度指数では22-2時に最低値13を示したが,夜明け 後の6-10時に23,10-14時に25へと増加を続 け,14-18時には最大値33を示した。日没後の18-22 時には3.1に減少し,さらに22-2時にかけても減少 を続けた。SCIでは,10-14時,14-18時,18-22時に 1.7%を示し,これらの時間帯の前後,6-10時と22-2時には0%であった。消化度指数では,6-10時に14



Fig. 4-9. Diel changes in mean values of the stomach content index (SCI), stomach fullness, and digestion index for other juvenile tuna. SCI(%)= SCW/BW × 100 ; SCW, stomach content weight(mg); BW, wet body weight(mg). Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosas remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosas become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosas are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucosas are completely disappeared, and a thin stomach wall. Digestion index is defined as 1, shape of prey deformed, unidentifiable to higher taxa; 2, shape of prey preserved, but a part of appendages or capapace are separated, identifiable to higher taxa; 3, fresh prey, not digested.

を示し,10-14時に12,14-18時に1へとゆるやかな 減少を続け,その後18-22時および22-2時には変化 しなかった。

以上の結果から,マグロ属稚魚の摂餌活動は,早朝 から夕方にかけての昼間に行われ,基本的には夜間は 摂餌しないものと推定された。したがって,マグロ属 稚魚もカツオと同様に典型的な視覚捕食者と見られ る。

4)成長に伴う摂餌量の変化

マグロ属稚魚の体長と SCI との関係を図4 - 10に 示した。体長10mmから20mmの間では, SCI の最大値 が5%から13%まで増大し,ピークとなった。その後, 体長30mm前後では7%に低下し,さらに体長55mmでは 2%程度にまで低下した。

カツオの餌としての魚類仔魚の分布

カツオとマグロ属稚魚にとって IRI から評価した 主要な餌である魚類仔魚の各調査点での採集量を,北 赤道海流域と北赤道反流域に分けて表4-4に示し た。北赤道海流域では合計11点で調査した。各仔魚の 採集量は,カツオが3調査点で1-3個体,キハダが 1調査点で2個体,マグロ属の1種が1調査点で3個 体採集され,その他の魚類は10調査点で3-78個体が

田邊



Fig. 4-10. Weight percentage of stomach contents to body weight for other juvenile tuna. SCI (%) = SCW/BW × 100; SCW, wet weight of stomach content (mg); BW, wet body weight (mg).

採集された。それぞれの平均採集個体数(総採集個体 数/総調査点数)は,カツオ06,キハダ02,マグロ 属の1種0.3,その他魚類23.1であった。これに対し, 北赤道反流域では合計13点で調査した。各仔魚の採集 量は,カツオが6調査点で1-11個体,キハダが1調 査点で2個体,マグロ属の1種が2調査点で1個体ず つ採集され,その他の魚類は全調査点で3-98個体が 採集された。それぞれの平均採集個体数は,カツオ17, キハダ02,マグロ属の1種02,その他魚類518であ った。

考 察

胃内容物として出現した各餌生物を相対的重要度指 数 (IRI, Pinkas et al. 1971) により評価した結果, 西部太平洋熱帯海域におけるカツオ稚魚の餌生物とし て最も卓越していたのは,魚類仔魚であることが明ら かとなった。オキアミ類,カイアシ類,端脚類および 頭足類もカツオ稚魚の胃内容物として出現したが,こ れらの相対的重要度は,北赤道海流域と北赤道反流域 間で異なっていた。青木(1999)によれば,マリアナ 諸島沖海域からカロリン諸島周辺で採集されたカツオ 稚魚の胃内容物中に出現した主な餌生物は、魚類仔魚, カイアシ類,オキアミ類,頭足類であり,これら餌生 物を重要度指数により評価し,最も優占的な餌生物は 魚類仔魚であると結論づけた。彼はまた,カロリン諸 島沖とマリアナ諸島沖で採集されたカツオ稚魚の胃内 容物組成を比較し,カロリン諸島沖ではカイアシ類, オキアミ類, 頭足類など多様な胃内容物組成を示した が,マリアナ諸島沖ではこれらが出現しなかったこと を報告した。マリアナ諸島沖は北赤道海流域に相当し, カロリン諸島沖は北赤道反流域に相当するが,北赤道 反流域の胃内容物組成が北赤道海流域に比べて多様で ある点は,本研究結果と一致している。したがって,

カツオ稚魚は魚食性を基本としながらも,生息域の生 物環境に応じてさまざまな種類の餌生物を利用しなが ら生活しているものと考えられた。

カツオとマグロ属稚魚の胃内容物組成の違いから, 稚魚期における魚類仔魚に対する依存度は,マグロ属 稚魚の方がカツオよりも高いことが示された。カツオ 成魚にとっての主要な餌生物は,魚類,甲殻類および 頭足類であるが(Alverson 1963,Dragovich 1970, Dragovich and Potthoff 1972,堀田・小川 1955, Nakamura 1965,Roger 1994),キハダやメバチなど マグロ属の成魚では,魚類に対する依存度がカツオよ りも高いとされている(落合・田中 1998)。これら の結果は,カツオと他のマグロ類における摂餌選択性 の違いが稚魚期と成魚期で共通していることを示すと ともに,種としての食性の違いを表している。

カツオ稚魚の摂餌活動は,朝から夕方にかけての日 中に行われていた。本種の仔魚と成魚も日中に摂餌す ることが知られており,これらを総合すると本種の摂 餌活動が全ての生活史段階に共通して日中に行われる と考えられた。すなわち,本種は一生を通じて視覚捕 食者であると見なすことができる。一方,マグロ属稚 魚は昼間摂餌活動をしていたものの,メバチの成魚で は日中だけでなく夜間にも摂餌することが知られてお り(渡辺 1958),本種の摂餌時刻は生活史段階に応 じて変化する可能性がある。キハダを初めとした他の マグロ属では夜間に摂餌するという報告はないため, 現段階では夜間の摂餌活動はメバチに特有の行動と考 えられる。

本章で得られた稚魚期の食性と既存の仔魚期の知見 を総合すると、主要な餌生物の種類は、カツオの初期 生活史の中で成長段階によって変化するものと考えら れる。仔魚期の主要な餌生物は,尾虫類を中心とした 小型の動物プランクトンである(魚谷ら1981, Young and Davis 1990)。カツオ仔魚は成長による消化器官の 発達にともなって,魚食性への依存度を増していくこ とが知られている(西川 1975, Tanaka et al. 1996)。 耳石(扁平石)の日輪観察によるカツオ仔稚魚の成長 解析結果によれば,本種は稚魚期に入ると成長速度が 著しく速くなる(第5章参照)。このような急激な成 長は, 稚魚期における魚食性の発現によりもたらされ るとの解釈が可能ではないだろうか。カツオ稚魚の胃 内容物中に見られたカイアシ類は,他の動物群に比べ て個体のサイズが小さいため,これによって胃内を満 たすには他の動物群よりも多くの個体数を捕食する必 要がある。これに対して,魚類仔魚は個体サイズが大 きく,他の動物群よりも少数で胃内を満たすことがで き,摂餌回数が少なくて済む点で効率的である。カツ オ稚魚の主要な生息場である熱帯域は,一般に温帯域

 Table 4-4.
 Collections of fish larvae as preys of skipjack and other tuna juveniles using by larval net in the tropical western Pacific during October to December 1994.

 North equatorial current area

Station No. Time		Locations		No.of larvae				
	Time	(lat., long)	Skipjack	Yellowfin	Thunnus sp.	Others		
94103	19:21	11 OON ,136 OOE	0	0	0	0		
94110	19:17	7 OON ,141 OOE	2	0	3	78		
94111	19:20	9 OIN ,141 O2E	2	0	0	42		
94112	0:24	11 OON ,141 O1E	0	0	0	3		
94113	19:21	13 20N ,141 01E	0	0	0	27		
94201	19:22	13 00N ,149 01E	3	0	0	19		
94202	0:19	11 OON ,147 30E	0	0	0	52		
94211	19:20	9 °00N ,157 °20E	0	0	0	6		
94212	19:21	11 OON ,156 30E	0	0	0	2		
94213	19:21	13 00N ,155 50E	0	0	0	4		
94214	19:24	15 00N ,155 00E	0	2	0	21		
Total			7	2	3	254		
Mean			a 0	0 2	03	23 .1		

North equatorial counter current area

Station	Time	Locations		No.of larvae				
Station	Time	(lat., long.)	Skipjack	Yellowfin	Thunnus sp.	Others		
94105	19:19	7 OON ,137 OOE	1	2	0	20		
94106	19:20	5 00N ,137 30E	0	0	0	33		
94107	19:21	3 OON ,138 OOE	0	0	0	61		
94108	0:21	3 00N ,140 00E	0	0	1	74		
94109	19:20	5 00N ,141 00E	0	0	0	3		
94203	19:18	9 OON ,146 OOE	11	0	0	43		
94204	19:18	7 00N ,147 20E	4	0	0	81		
94205	19:19	5 00N ,148 40E	0	0	0	38		
94206	19:19	3 00N ,150 00E	2	0	0	98		
94207	19:23	3 OON ,152 30E	2	0	0	91		
94208	0:19	3 00N ,155 00E	0	0	0	36		
94209	19:24	5 00N ,156 00E	2	0	0	85		
94210	19:18	7 OON ,157 OOE	0	0	1	10		
Total			22	2	2	673		
Mean			1.7	02	02	51 &		

に比較して貧栄養であることから,餌生物量は温帯域 より熱帯域の方が相対的に少ないと考えられる。この ような環境下でより速く成長することは,生態系内で 弱い立場にある仔稚魚期をできる限り速く通過し,生 残率を高くする上でも重要な戦略であると考えられ る。

第3章で詳しく記述したように,西部太平洋熱帯域 では,カツオ稚魚は NEC 海域から NECC 海域にか けて広範に分布していたのに対し,マグロ属稚魚は南 側の NECC 海域を中心に分布していた (田邉ら 1998)。鉛直分布では,カツオ稚魚が水深40-120m層 を中心に出現したのに対し,マグロ属稚魚の分布の中 心は0-80m層であり,カツオよりも浅かった。ここ で重要な点は,このようなカツオとマグロ属稚魚の分 布生態の相違と本研究結果から得られたカツオ・マグ ロ属稚魚の食性の相違との関係である。1つの仮説と して,カツオ稚魚はマグロ属稚魚よりも水平的,鉛直 的により広い範囲に分布することにより,より多様な 餌生物を利用することが可能になったことが考えられ る。より多くの種類の餌生物を利用できることの利点 として,初期生活史の中での生残率を高くすることが 期待できる。両者の分布と食性における相違は, 仔魚 期においても見られることから(Boehlert and Mundy 1994, Davis et al. 1990, 魚谷ら 1981, Young and Davis 1990), 熱帯の外洋表層域においてカツオとマ グロ属の仔稚魚が生態上の棲み分けを行っているもの と考えられる。

カツオ・マグロ類では,しばしば仔稚魚に対する共 食い現象が起こることが知られている(青木 1999, Dragovich 1970, Dragovich and Potthoff 1972, 堀田 1953,飯塚ら 1989, King and Ikehara 1956, 森 1972, Nakamura 1965, 須田 1953, Yoshida 1971)。本研 究においても,カツオ・マグロ属稚魚とも胃内容物中 にこれらの仔魚が認められた。本研究の対象とした西 部太平洋熱帯海域では,カツオ・マグロ属仔魚の胃内 容物からの出現率は38-62%であった。中部熱帯 太平洋では 24 - 44%と高い出現率が報告されており (Nakamura 1965), これは他の報告における出現率よ りもかなり高い。これらの知見から,カツオ・マグロ 類では,主要な再生産の場である熱帯外洋域において, 成魚が幼魚を,幼魚が稚魚を,稚魚が仔魚を捕食する 共食い現象が, 至る所で日常的に起こっていると推定 できる。このような共食いによる食物連鎖は,カツオ・ マグロ類にとってどのような生態的意味をもつのであ ろうか。飯塚ら(1989)はカツオの共食い現象につい て,大型個体の成長と発育を支えることにより,カツ オ資源全体の安定に貢献するという考えを示した。環 境条件の季節変化が比較的少ない熱帯域では,周年に

わたりカツオ仔稚魚が出現することから,熱帯の外洋 表層域では,さまざまな大きさ(生活史段階)のカツ オが同じ分布域に同時に生息することが推測できる。 減耗率の高い初期生活史段階では,比較的餌生物の少 ない熱帯外洋域において,カツオの最も重要な餌であ る魚類を自ら供給することにより,個体の生き残りと 成長を助け,資源への加入量を安定化させる意義があ るのではないだろうか。本種がここでの初期生活史を どのように過ごすかにより,その後の資源への加入量 が左右されると考えられる。したがって,これらの基 本的な生物過程を把握することが,資源の加入機構を 明らかにする上で重要である。

第5章 初期成長

魚類の生活史において,卵からふ化後の仔魚期,さ らに稚魚期へと移行していくいわゆる初期生活史段階 は,一般に最も激しく減耗し,急激に個体数が減少す る時期にあたる。一方,その中で生き残った個体の内 部においては、生活していくための様々な器官形成や 機能発達が進行しながら、外部では個々を取り巻く生 態系内での激しい生存競争が繰り広げられる。外洋表 層域の生態系内において,高次捕食者の1種に数えら れるカツオといえども,初期生活史段階では魚食性魚 類をはじめとした多くの捕食者に捕食され高い減耗率 を示す。したがって,この仔稚魚期をいかなる成長様 式で乗り切るかによって,種としての生き残り戦略が 特徴づけられると考えられる。カツオは主として熱帯 の外洋表層域を初期生活史の場として利用しているこ とが確認されているが(田邉ら 1998), 周年高水温 が維持され環境変動も少ない一方で温帯域に比べて貧 栄養とされるこの海域で,どのような成長様式と生き 残り戦略を展開し,資源への加入量を確保しながら個 体群を維持し続けてきたのであろうか。本種の産卵は 長期間連続的に行われ、1個体当たりの産卵数は体重4 kgの雌で1産卵期に3000万粒と推定されている (Hunter et al. 1986)。西部太平洋における成熟魚の 出現海域は 熱帯から亜熱帯にかけての外洋域であり, 北半球の夏季(4-9月)には35 N から15 S の広 大な海域に拡がる(永沼 1979)。このような雌1個 体の産卵量の多さと産卵場の広さ,さらに産卵期の長 さから,資源全体としての産卵量の膨大さを伺い知る ことができる。このような本種の産卵特性は,初期生 活史において一定の個体数を残すための重要な生残戦 略であろうと推察される。一方,本種の後期仔魚にお ける形態的特徴として,体の大きさに比較して巨大な 頭部が挙げられ,大きな目と口裂が成長過程において

田邊

Table 5-1. Characteristics of skipjack tuna used for otolith increment analysis.

Years	Periods	Vesssls	Locations	Nets	No. of samples	Size (mm SL)
1994	11 .01 - 12 .07	Omi	0 - 15 N ,130 - 160 E	TANSYU-2	397	8 .6 - 114 .1
1995	10 29 - 12 .07	Omi	0 - 20 N ,130 - 160 E	TANSYU-2	399	8.6 - 57.7
1996	11 .10 - 12 .01	Wakataka	0 - 20 N ,130 - 160 E	MOCNESS	3	34-53
1997	4 20 - 6 .01	Shin-riasu	0 - 35 N ,130 - 150 E	bongo net	12	33-76

比較的早期に発現する魚食性を形態面から支持すると 考えられる (落合・田中 1998, Tanaka et al. 1996)。 近年魚類の成長研究において,耳石の日輪を用いた 日齢解析がさかんに行われるようになり,初期成長様 式の解明が進むとともに資源動態研究への応用がなさ れている (Jenkins and Davis 1990, Meekan and Fortier 1996, Watanabe and Kuroki 1997, Watanabe et al. 1997)。とりわけ初期の成長と生残過程を明ら かにすることは,資源への加入量変動機構を解明する ための鍵になるといった認識も高まりつつある(渡邊 1997)。一方,カツオについては研究史で述べたよう に初期成長に関する知見がごく限られたものしかな く,初期の成長様式や生残過程はほとんど不明とされ てきた。本研究の第3章および第4章では,カツオが 初期生活史においてどのような分布の特徴をもち,ど のように摂餌活動を行っているかといった熱帯外洋表 層域での生活様式を示したが、仔稚魚の成長様式はこ れらの生態と密接に関連しているものと考えられる。 本章では,耳石日輪を用いて西部太平洋熱帯域におけ るカツオの仔魚期から稚魚期にかけての成長過程を明 らかにすることにより,その生残戦略について考察し た。

材料および方法

カツオ仔稚魚標本の採集と保存

仔魚:耳石日輪観察のためのカツオ仔魚標本は,1996 年11-12月に水産庁東北区水産研究所の漁業調査船若 鷹丸(692トン)による西部太平洋熱帯域におけるカ ツオ幼魚の生息環境調査,1997年4-6月に岩手県立 宮古水産高等学校の漁業実習船新りあす丸(471トン) による日本周辺及び南方水域におけるカツオ資源構造 調査において採集した。カツオ仔魚の採集には,若鷹 丸では開口部面積1㎡型の MOCNESS(網目合330,m) を使用し,新りあす丸では口径70cm型ボンゴネット(網 目合335,m)を使用した。MOCNESS は西部太平洋熱 帯海域(0-20 N,130-160 E)において水深0-200 mで6層の層別採集を行い,ボンゴネットは本州南岸 沖~グアム・パラオ周辺海域(0-35 N,130-150 E) において水深20-30m層で20分間の水平曳きを行っ た。それぞれのネットにより採集した標本は,80%ア ルコール中に保存して持ち帰り,実験室において種の 同定を行ってカツオ仔魚を取り出した。カツオ仔魚は, 実体顕微鏡下で外部形態の観察により沖山(1993)に 従って査定し,1996年に採集された3個体(体長3 4 -5 3mm)と1997年に採集された12個体(体長3 3 - 7.6 mm)を耳石日輪の観察に使用した。

稚魚:耳石日輪観察のためのカツオ稚魚標本 は,1994年および1995年10-12月に山口県立水産高等 学校の漁業実習船青海丸(403トン)による西部太平 洋熱帯水域におけるカツオ樹油の分布調査において TANSYU2 型中層トロール網により採集した。本研究で使用した カツオ稚魚並びに仔魚標本の採集データの概要を表5 - 1 に示す。これらの標本は,採集後ただちに船上で 80%アルコール中に保存し,後述する耳石日輪観察の ための処理を行うまで実験室内に常温で保管した。 1994年の調査では 0 - 15 N, 130 - 160 Eの海域内に 設定した27定点において昼夜にわたり水深40 - 60m層 または80-100m層での1時間水平曳きを行った。合 計98回の中層トロール曳網によって得られた1662個体 のカツオのうち、8 定点15回の曳網によって採集され た397個体(体長8.6-114.1mm)を耳石日輪解析用の 標本として使用した。1995年の調査では,0-20 №,130 - 160 °E の海域内に設定した20定点において,昼夜に わたり水深0-200mでの1時間水平曳きによる20m ごとの層別採集を行った。合計75回の曳網によって得 られた2928個体のカツオのうち 5定点9回の曳網によ って採集された399個体(体長8.6-57.7mm)を用いて 耳石日輪解析を行った。カツオ仔稚魚の標本が採集さ れた位置を図5-1に,体長組成を図5-2にそれぞ れ示した。

耳石の摘出と輪紋観察のための前処理

1)仔魚

耳石日輪観察のためのカツオ仔魚は,万能投影機を 使って拡大した画面上で標準体長(standard length, SL)を0.1mm単位で測定した。実体顕微鏡下で,柄付 き針を用いて左右の扁平石を摘出した。取り出した扁



Fig. 5-1. The sampling locations for the otolith daily increment analysis of skipjack tuna collected during the 1994 Omi Maru (), 1995 Omi Maru (), 1996 Wakataka Maru (), and 1997 Shinriasu Maru () cruises.

平石は,蒸留水中で付着した体組織を取り除いてから 乾燥させ,エナメル樹脂でスライドグラス上に固定し た。これを光学顕微鏡下で透過光により対物レンズ100 倍で観察した。

2) 稚魚

肉眼で吻端と下尾骨の後端を確認しながら,ノギスを 使って0.1mm単位で標準体長を測定した後,頭部を鰓 蓋後縁付近から切り取った。ついで頭部を体軸を含む 突状面を通るよう左右2等分に切開し,実体顕微鏡下 で左右の扁平石を取り出した。これらの扁平石は,蒸 留水中で付着した魚体組織を取り除いてから乾燥さ せ,市販のマイクロプレートに収納して常温で保管し た。

稚魚の耳石は、市販のラッピングフィルム(139/m)を用いて扁平面(sagittal plane)の両側を研磨してから輪紋を観察することとした。スライドグラス上でエナメル樹脂とエナメル薄め液との混合液を作って体表側の面が上を向くように扁平石を包埋し、最低2日間以上常温で放置して硬化させた。ついでこのスライドグラスを実体顕微鏡のステージ上に置き、包埋された扁平石の上からラッピングフィルムをあて、凸部が削りとられて扁平面が平らになるまで研磨した。片面の研磨が終わった扁平石は、エナメル薄め液を使ってエナメル樹脂を溶解させ、裏返して体軸側の面が上を向くようにし、外側面と同様に処理して研磨した。光学顕微鏡で核から縁辺までの輪紋が観察できる状態になるまで研磨した後、これに上からエナメル樹脂を被せて研磨面を保護し、輪紋観察を行った。



Fig. 5-2. Length-frequency distribution of skipjack tuna for the otolith daily increment analysis. The specimens were collected from October to December 1994 and 1995, from November to December 1996, and from April to June 1997 in the tropical western Pacific (0 - 20 N, 130 - 160 E)

1)輪紋の観察および計測

上述の前処理を終えた扁平石は,耳石日輪計測シス テム(ラトックシステムエンジニアリング ARP/W) を使って輪紋の観察と計測を行った。本システムは, 光学顕微鏡(オリンパス BX60)とCCDカメラ, モニター,パソコン,計測ソフトによって構成されて いる。計測にあたっては,光学顕微鏡からの観察像が カメラを通してモニター上に写しだされ,計測者は接 眼レンズとモニター上の両方で日輪の位置を確認しな がら,画面上で耳石の中心(核)に中心点を入力した 後,中心から縁辺に向かって計測線を引いた。次いで 核から縁辺に向かって1本ずつ日輪を読みとり,各日 輪の外縁に計測点を入力した。この作業により各個体 の日輪数と各輪紋間隔が磁気ファイルとして保存され る。研磨しても輪紋の計測が不可能と判断された個体 については,計測作業から除外した。

仔魚の扁平石では,外形がほぼ円形をしているため 計測方向は固定せず,最も輪紋の見えやすい部分に計 測線を設定し,対物レンズ100倍で計測した。これに 対し稚魚の扁平石では,通常核から後方側の postrostrum 方向に向かって最も輪紋のよく見える部分で計 測線を設定し,各日輪の位置を確認しながら対物レン ズ50倍で計測作業を行い,読みにくい場合には対物レ ンズを100倍に変更して詳しく観察した。仔稚魚とも に扁平石の核から縁辺までの最長距離を測定し,耳石 半径として記録した。

稚魚期における日輪形成の確認:カツオの仔魚期に おける耳石日輪の形成については,Radtke(1983)の 報告があり,本研究ではこれを参照しながら日輪の観 察と計測を行った。しかしながら,稚魚期における耳 石日輪の形成についてはこれまで確認されていなかっ たため,本研究で使用した稚魚から得られた輪紋計測 データを用いて,輪紋形成周期の確認を行った。供試



Fig. 5-3a. The light microscopic photographs of the saggital otolith for larval skipjack. The standard length of the specimens is 3 4mm (left) and 7 5mm (right). The shape of the otolith is a round at first stage but changes to an oval in a short time and the rostrum appeared in the frontal side.

魚としては,上述の1995年青海丸調査航海で採集した カツオ稚魚のうち A定点7曳網で得られた採集時刻の 異なる稚魚122個体(体長129-398mm)を使用した。 これら稚魚の扁平石は,縁辺部が最後まで明瞭に観察 できる個体のみを使用した。各個体の縁辺成長率(C) を求めるために,以下に示す式を用いた(Gartner, Jr. 1991)。

 $C=W_n/[(W_{n-1}+W_{n-2})/2] \times 100$

ここで,Wⁿは一番外側にある輪紋,いわゆる最外輪 紋の幅(μ^m),Wⁿ⁻¹およびWⁿ⁻²は最外輪紋の内側1 本目および2本目のすでに完成された輪紋の幅(μ^m) を示し,Cの値が100%に達すると縁辺部の新しい輪 紋が完成したことを意味する。各個体について求めた Cを縦軸に,その個体が採集された時刻を横軸とし てプロットし,縁辺成長率の経時変化を調べることに より輪紋形成に日周性があるかどうか確認した。

2) 成長解析

輪紋数および輪紋間隔データの解析に基づいて,西 部太平洋熱帯海域でのカツオの仔魚期から稚魚期にか けての成長過程を明らかにした。各個体の日輪数およ び輪紋間隔データを比較することにより,個体レベル での成長過程を調べるとともに,同じ調査点で採集さ れた群の中での成長差や生息海域間での成長差,年の 違いによる成長差の有無について検討した。

結 果

耳石および輪紋の形態変化 1)耳石の外部形態 仔魚期における扁平石の外観は,多少の個体差が見 られるものの総じて円形またはそれに近い形状をして いた。カツオ仔魚(33-76mm SL)の扁平石では, 小型の個体ほど歪みの少ない真円形に近かった。この 時期の扁平石は厚みが薄く,色はほぼ無色で光の透過 率も高かった(図5-3a)。

仔魚期の終わりから稚魚への移行直前にある個体 (8.6-9.4mm SL)の扁平石では,体軸に対して前後方 向の成長速度が上下方向の成長速度を上回るようにな るため,楕円形を呈するようになった。前方の下側で は rostrum と通称される突出部が出現し始めていた。

稚魚期への移行を終えた個体の扁平石(13.7mm SL) では, rostrumの伸長とともに rostrumの上側に antirostrum と通称される小規模の突出が出現した。体表 側の扁平面では,中央部が隆起する丘型あるいは山型 となったのに対し,体軸側の扁平面では,中央部が陥 没し,体軸の前後方向に sulcus と通称される深い溝 状構造が形成された。この溝は,通常扁平石の前方か ら後方まで縦断していたが,中央部では円形をしてい る場合も見られた。溝の深さは中央部で深く,前方と 後方で浅い場合が一般的であった。扁平石内部には, 多くの個体で亀裂構造が複数認められ,これらが輪紋 観察の障害となった。これら亀裂構造の形状や数は個 体によって異なっており、その成因について外観から 推測することは難しいが,おそらくは扁平石の形成過 程において個体内部で起こった生理的要因などにより 生じたものと推定される。標準体長33.7mmの扁平石で は,全体に厚みを増して外形に凹凸が目立つようにな り,この凹凸は成長とともに大きくなった(図5-3 b)。Rostrum の長さは全体の3分の1に達して二等 辺三角形型を呈するとともに,体表方向に反り返るよ うな形状になった。標準体長50mm以上になると,扁平



Fig. 5-3b. The light microscopic photographs of the saggital otolith for juvenile skipjack at 33.7mm SL. Irregularities on the surface of the otolith increase with growth.



Fig. 5-4. The light microscopic photographs with the otolith measurement system for juvenile skipjack at 29 8mm SL. The increment width increases from the core to the margin. Number of the daily increments observed in the specimen is 15.

石の外形は全体的に丸みがなくなり,前方には rostrum と antirostrum の尖った構造を持つ長方形に近い 形状になった(図5-3c)。縁辺部では,外側に向か って沈着した成分が複雑に連なって張り出す構造が目 立つようになった。

2)輪紋の形状

カツオ仔稚魚の扁平石の輪紋は,基本的には以下のように観察できた。扁平石の中心部に黒く見える核が存在し,その外側から縁辺に向かって連続的に輪紋が形成されていた(図5-4)。個々の輪紋は,透過光で明るく見える成長層と呼ばれる部分と,暗く見える不連続層と呼ばれる部分によって構成され,これらが交



Fig. 5-3c. The light microscopic photographs of the saggital otolith for juvenile skipjack at 51 8mm SL. The shape of the otolith become to be complicated and to be extended along rostrumpostrostrum axis.



Fig. 5-5. The distance from the core to the margin for the saggital otolith of juvenile skipjack.

互に外側に向かって規則的に配列している。一般に成 長層はカルシウムを豊富に含む層であるのに対し,不 連続層はタンパク質などの基質が豊富で相対的にカル シウム含有量が少ない層である(麦谷 1988)。

仔魚の扁平石では,光学顕微鏡で下側から透過光を 当てることにより中心部の核と日輪を容易に観察する ことができた。この時期には日輪もほぼ真円状で,耳 石日輪計測システムによる輪紋数の計数も容易に行う ことができた。1996年と1997年に採集した標準体長33 -7.6mmのカツオ仔魚15個体の日輪数は3 - 9本で, 輪紋間隔は2 - 4 /mと狭かった。体長10mm以上になる と輪紋形状も前後方向に長い楕円状となり,一般に第 5 - 6番目の日輪以降の輪紋間隔は外側に向かって5 から15/mまでと次第に拡大していった。標準体長15 -35mmのカツオでは,輪紋間隔は外側に向かってさらに 広くなり,第10日輪以降の輪紋間隔は15 - 40/mとなっ た(図5 - 5)。この時期の輪紋の一般的な特徴は, 不連続層の幅が広く,成長層と同じぐらいか場合によ



Fig. 5-6. Diel change in the index of completion (C) of the marginal increment of the saggital otolith for juvenile skipjack. ($Y \otimes = Wn \{ (W_{n-1} + W_{n-2})/2 \} \times 100;$ Wn, width of the marginal increment; W_{n-1} , width of the previous complete increment that exists inside of the marginal one; W_{n-2} , width of the previous complete increment that exists inside of the W_{n-1}.

っては成長層よりも広い個体も見られた。各日輪の間 には,扁平石の成長が速くなるにつれほぼすべての個 体において複数の subdaily ring と考えられる微細な 輪紋が認められ,その数は一般に第6-10日輪では2 -3本,第10日輪以降では5-8本であった。カツオ の扁平石は成長に伴って立体的で複雑な形状を呈する ようになるため,大型個体ほど輪紋観察は難しくなっ た。

輪紋形成周期の検証

縁辺成長の解析に用いたカツオ稚魚が採集された時 刻は,朝7時台と8時台,午後1時台と2時台,夜8 時台と10時台であった。供試魚の輪紋数は12-16本で あった。

カツオ稚魚での縁辺成長の経時変化を観察したとこ ろ(図5-6),一般に早朝から夕方にかけて成長層 の形成が進行し, 夕方から夜間には不連続層が形成さ れる明瞭な傾向が認められた。これらが1対となって, 縁辺部に新たな日輪が完成する。といっても各時間帯 における縁辺成長率の個体差はいずれも大きく,個体 によって日輪形成の進行速度にはかなりのばらつきが 存在した。夜8時に採集された稚魚のうちの1個体と 夜10時30分に採集された稚魚の2個体,合計3個体に ついては,最外輪紋が完成したあと,さらに新しい日 輪の形成が始まった段階にあると判断したため,縁辺 成長率の平均値を計算する際にはこれらの数値を除外 した。また,個体によっては縁辺成長率が計算上100% を超える数値(101.0-110.6)を示す個体が10個体あ ったが,これらはすでに完成している輪紋の幅(縁辺 成長率の計算に用いた最外輪紋の内側1番目と2番目

の輪紋幅の平均値)よりも最外輪紋の幅が広くなって いたために起こった現象である。

朝7時台に採集されたカツオ稚魚21個体の縁辺成長 率は,183-74.7%(平均41.0%),8時台の19個体で は24.1-70.8%(平均45.3%)で,この時間帯に採集 された多くの個体の縁辺成長率が50%に達しておら ず,成長層の形成が進行途中にあった。午後1時台の 10個体では 52.4 - 107.0% (平均73.3%) 2時台の14 個体では53.6-92.4%(平均76.8%)で,これらの時 間帯にはすべての個体の縁辺成長率が50%を越え,平 均値ではすでに最外輪紋形成の4分の3が完了した状 態にあった。夜8時台では8時に採集された11個体の 縁辺成長率が54.7-98.1%(平均80.4%)&時45分に 採集された19個体では 49.7 - 110.6%(平均82.9%) に達した。さらに,夜10時30分に採集された28個体で の縁辺成長率は58.0-109.8%, 平均86.8%に達し, 多くの個体で最外輪紋の完成に近い状態にあることを 表していた。

耳石日輪解析による仔稚魚期の成長

1) 耳石半径と体長との関係

カツオ仔稚魚の扁平石の耳石半径と標準体長との関 係をプロットし,これに1次回帰直線を当てはめて図 5-7に示した。1994年の仔稚魚230個体のデータで は,回帰式の傾きが0.12で,決定係数0.97の高い相関 関係が得られた。1995年の仔稚魚246個体のデータで も決定係数が0.96と高い相関関係が得られ,回帰式の 傾きは0.13であった。1994年と1995年の回帰直線の傾 きには有意差は認められなかった。1996年と1997年の 仔魚については,データ数が少ないために15個体分を まとめて1つの回帰式に当てはめた結果,決定係数は 0.86と高い相関関係が得られ,傾きは0.08であった。

2)日齢,ふ化日

1994年採集の仔稚魚397個体の中から285個体につい て,1995年採集の仔稚魚399個体の中から248個体につ いて,日輪計数データを得ることができた。1996年お よび1997年採集の仔魚については,供試した3個体お よび12個体全てについてそれぞれ日輪数を計測した。 1994年と1995年採集の仔稚魚について,日輪計数個体 の体長組成を図5 - 8に示す。日輪計測魚の体長範囲 は,1994年8 6 - 49 .6mm ,1995年8 6 - 57 .7mm ,1996年3 4 - 5 .3mm ,1997年3 3 - 7 .6mmであった。1994年の計測魚 では,標準体長10 - 15mmが全体の58%を占めていた が,1995年の計測魚では標準体長15 - 20mmが全体の 32 .3%と最も多かった。

調査魚の日齢組成を図5 - 9 に示す。Radtke(1983) によれば,カツオの仔魚ではふ化した翌日に第1輪が

田邊



Fig. 5-7. Relationship between standard length of skipjack tuna and the sagittal radius.

形成される。したがって,日輪数はそのまま日齢に置 き換えることができる。各年の日齢範囲は,1994年9 -24日,1995年9-29日,1996年6-8日,1997年3-9日であった。1994年には日齢12日に,1995年では日 齢14日にモードがあり,それぞれ全体の21.7%および 30 2%を占めていた。

1994年および1995年採集の仔稚魚について,日齢か ら逆算してふ化日を求め,ふ化日組成を求めた(図5 -10)。1994年のふ化日は10月23日から11月23日まで の32日間で,最も多かったのは11月18日の14 3%であ った。1995年のふ化日は10月19日から11月22日までの 35日間で,最も多かったのは11月11日と12日のそれぞ れ14.1%であった。これらの結果は,1ヶ月の間にカツ オの産卵・ふ化にいくつかのピークのあることを示し ている。1994年と1995年の両方の年に規模の異なる4 回のピークがそれぞれあったことが読みとれる。 3)体長と日齢との関係





Fig. 5-8. Length-frequency distribution of skipjack tuna that were collected in November to December 1994 (top) and 1995 (bottom) and were used for the otolith increment analysis.



Fig. 5-9. Frequency distribution of age (days after hatching) estimated by the daily increment analysis for skipjack tuna.



Fig. 5-10. Frequency distribution of the birthday estimated by the daily increment analysis for skipjack tuna.

5 N ,155 E

11 °N ,155 °E

95206

95208

1994年11 - 12月に採集した仔稚魚と1995年11 - 12月 に採集した仔稚魚について,採集位置ごとに標本数と 標準体長,日齢とそこから逆算して求めたふ化日を表 5 - 2 に示した。各調査点の日齢データ数は,1994年 の仔稚魚について7調査点で1 - 142個体,1995年の仔 稚魚については5調査点で14 - 112個体と,調査点に よってデータ数が異なっているが,これは調査点によ る採集標本数の違いを反映しているためである。日齢 データが得られた標本の体長範囲も調査点ごとに異な っている。

カツオ仔稚魚の日齢と体長との関係を採集位置ごと にプロットし,それぞれに対して1次回帰直線を当て はめた結果を図5-11aおよび図5-11bに示した。 1994年11-12月に採集した仔稚魚のうち,調査点94108 については標本数が1個体であるためこの図には含め なかった。同一日齢での各個体の標準体長を比較する と,どの調査点でも大きな個体差が見られた。1994年 の仔稚魚では,St94110の17日齢の個体間で159mmの 体長差が観察された。以下同様に,St94202の13日齢 で6.1mm,St94207の13日齢で5.6mm,St94208の14日齢

Table 5-2. Composition of size, age, and birthday for skipjack tuna estimated by the daily increment analysis. 1994 years

1554 years					
Stations	Locations	No. of samples	Size(mean) (mm SL)	Age(mean) (days old)	Birthday(collected) (month. day)
94108	3 N ,140 E	1	24 .0	15	10 25(11 .09)
94110	7 N ,141 E	35	12 2 - 33 & 19 .1)	10 - 17(14 2)	10 25 - 11 .01(11 .11)
94202	11 N ,147 30E	34	92-18£(13.0)	9 - 15(12 .4)	11 .08 - 11 .14(11 .23)
94207	3 N ,152 30E	23	102-163(130)	12 - 15(13 .6)	11 .14 - 11 .17(11 .29)
94208	3 N ,155 E	142	8 .6 - 25 .8(13 .2)	9 - 17(12.0)	11 .14 - 22(11 .30 - 12 .01)
94210	7 N ,157 E	46	32.6-49.6(41.9)	16 - 24(19.5)	11 .09 - 11 .17(12 .03)
94214	15 N ,155 E	5	8 9 - 18 .7(12 .7)	14 - 17(16 .0)	11 20 - 11 23(12 .07)
1995 year					
Stations	Locations	No. of samples	Size(mean) (mm SL)	Age(mean) (days old)	Birthday(collected) (month. day)
95105	6 N ,137 20E	14	18.6-27.3(22.3)	12 - 16(14 .9)	10 .19 - 10 .23(11 .04)
95204	3 N ,150 E	29	31 3 - 57 .7(47 3)	18 - 29(24 .1)	10 25 - 11 .05(11 .23)
95205	2 N ,154 E	112	13 3 - 42 3(23 3)	12 - 17(13,8)	11 .08 - 11 .14(11 .25 - 26)

8.6-31.2(19.2)

12.9-34.4(18.6)

30

63

9 - 14(12.7)

11 - 16(13.7)

11 .13 - 11 .18(11 .27)

11 .17 - 11 .22(12 .03 - 04)



Fig. 5-11a. Relationship between standard length and number of increments of sagittal otolith by sampling locations for skipjack tuna in November to December 1994.

で8 .6mm 、St94210の18日齢で16 .1mm 、St94214の17日齢で 6 .2mm ,1995年の仔稚魚では、St95105の15日齢で8 .7mm , St95204の22日齢で18 .6mm ,St95205の15日齢で20 .7mm , St95206の14日齢で9 .9mm ,St95208の15日齢で17 .1mmで あった。各調査点での回帰直線の傾き,つまり成長速 度は、1994年には0 .06 - 2 .23、1995年には0 .47 - 3 .84で 調査点によって異なっていた。これらの結果から,カ ツオの仔稚魚の成長は、個体間でも、年および海域に よっても大きな差があることが明らかとなった。

日齢と標準体長との関係を用いて、カツオの仔魚期 から稚魚期における成長過程を明らかにする。稚魚期 への移行期前後から標準体長50mm台までの成長につい ては1994年と1995年の仔稚魚から得られた日齢データ から,仔魚期については1996年と1997年の仔魚から得 られた日齢データを使用した。図5-12にそれぞれの データをプロットし、1次回帰直線を使って仔稚魚の成 長を推定した。ただし,仔魚については標本数が少な かったために、1996年と1997年のデータを合わせて扱 った。カツオ仔魚の成長は,標準体長33-78mm(3 - 9日齢)では1日平均0.55mm程度の緩やかなもので あることがわかる。一方,ふ化後10-12日で稚魚へ移 行し、その後の成長は仔魚期よりも速く、1994年のデー タでは1日平均3 3mm (24日齢で標準体長52mm),1995 年のデータでは1日平均2 5mm(29日齢で標準体長59mm) となった。このことから, 稚魚期に入ってからのカツ オが1日に2-3mmの急速な成長を遂げることが明ら かになった。1994年の回帰直線の傾きは,1995年より





も明らかに大きかった (p<0.05)。

耳石の成長と体成長に直線関係があることから(図 5-7),扁平石の各日輪の中心からの距離を調べる ことにより,個体の体成長を推定した。図5-13に16 日齢で体長の異なる3個体を使って,個体ごとの成長 過程の違いを追跡した。3個体中成長速度の最も速い 個体では5日齢の段階ですでに他の個体よりも成長が 良くなっていたと見られ,最も成長の遅い個体との差 は,その後16日齢まで拡がっていった。一方2番目に 成長の良かった個体では,10日齢までは最も成長の遅 かった個体と成長差が見られなかったが,11日齢以降 成長速度が速くなり,最も成長の遅い個体との差が拡 がっていったと考えられた。

考 察

西部太平洋熱帯海域におけるカツオの初期成長様式

カツオの仔稚魚期における成長については,第1章 で述べた如くこれまでに報告例がほとんどなかった。 ところが,近年魚類の耳石に形成される日輪を読みと ることにより(Panella 1971),日齢単位で成長過程 を追跡し,それぞれの種における成長様式を解明する ことが可能になった。そこで,カツオの初期成長研究 においても耳石日輪の解析法を取り入れることによ り,パラオ・ミクロネシア周辺の熱帯外洋表層域に生 息するカツオの仔魚期から稚魚期にかけての成長様式 を明らかにした。本研究結果によるカツオの初期成長



126



は,10日齢前後までの仔魚期には1日05mm程度で緩や かに進行していくが,10-12日齢で稚魚期への移行を 終えた後は1日2-3mmもの急激な成長を示し,ふ化 後1ヶ月での体長は60mm前後に到達するものと推定さ れた。本種の初期成長の特徴として,その速さととも に同じ海域に生息する個体間でも,稚魚期への移行後 の成長に顕著な個体差が生じることが明らかになっ た。

同じ調査点で採集された稚魚群の日齢査定からふ化 日を逆算推定した結果,それぞれの調査点内で4-12 日の違いがあることがわかり,同じ海域に分布するカ ツオ稚魚がふ化日の異なる個体の集まりによって構成 されることが示された。また,各年のふ化日組成から は本研究海域におけるカツオ仔魚の長期間にわたるふ 化が確認され,これまで仔稚魚の季節別出現状況(西 川ら 1985)や成熟魚の分布(永沼 1979)から推定 されていた西部太平洋熱帯域における本種の長期間に



Fig. 5-13. Distance from the core to the margin for the saggital otolith of skipjack juvenile at 16 days old. Data of three individuals from November - December 1994 samples were shown. No.13001, 33 .1mm SL; No.13108, 21 3mm SL; No 25201, 10 9mm SL.

わたる連続的な産卵活動が,耳石日輪解析法を用いた 本研究結果によっても支持された。

サバ科魚類の初期成長は一般に他の浮魚類に比べて 著しく速いことが知られており,サワラでは最初の 1ヶ月間で100mmに達した例もある(福永ら 1982)。 このようなカツオとその近縁種にみられる短期間での 急激な成長は,後期仔魚期から発現する巨大な口と鋭 い歯,大きな眼などの形態的な発達とともに,魚体内 部における消化器系の発達と密接に関係していると考 えられている(Tanaka et al. 1996)。カツオにおける 魚食性の発現は、マグロ類の中でも比較的早く(Young and Davis 1990), 胃盲嚢や幽門垂などの消化器系の 発達も他のマグロ類より早い時期に完成するものと考 えられている(西川 1979)。カツオは生活史の早い 段階から外部形態と内部器官が魚食性に適合した状態 になることで, 効率よく大型の餌生物を捕食すること が可能となる。本研究の第4章で明らかになったよう に, 稚魚期においても生息海域に関係なく最も優占的 な餌生物が魚類仔魚であることから,魚食性が稚魚期 以降の急激な成長を支えているものと考えられる。一 方,本研究の第3章では稚魚期の鉛直分布に関して水 深40 - 120m層を中心に生息していることを明らかに したが,この水深層は他の層に比べて動物プランクト ンやマイクロネクトンの生物量も多いことから,カツ オ稚魚が餌生物を捕食する上でも有利になると考えら れる。このことは同時にカツオ稚魚の捕食者との遭遇 確率を増すことにもつながるが,彼らの捕食者の種類 はごく少数の魚食性魚類に限られるため, 餌生物を得 るというプラス面の方が捕食者からの攻撃というマイ ナス面より大きな意味をもつと推察される。したがっ て,本種が食性の面からだけでなく稚魚期における鉛 直分布の面からも,初期の急速な成長を可能にするよ うな特性をもっているものと考えられる。

田邊

カツオの初期成長と生残戦略

カツオが初期生活史において主な生息域とし,成長 の場として利用している熱帯の外洋表層域は,温帯域 に比べて季節的な環境変動幅が小さいため,周年にわ たり比較的安定した生息環境が保たれている反面,栄 養条件としては温帯域よりも乏しいため全体的に餌生 物量が少ない。本研究で明らかにされたカツオの初期 成長様式,水平・鉛直分布特性や摂餌生態に関する知 見から,このような環境条件をカツオがどのように利 用し,個体の生き残りを目指しながら,その結果とし て資源の維持を保ってきたかという点について考え る。

ふ化後最初の1ヶ月で体長60mm前後に達する初期成 長の速さは,餌の乏しい熱帯の外洋表層域において魚 類仔魚を主食することで支えられている。生活史上最 も生活能力が弱く減耗の激しい時期をできる限り短い 期間で通過し, 稚魚期, 幼魚期へと生活史段階を進め ている。魚食性を中心とするカツオにとって,サイズ が大きい個体ほど生態系内での食物連鎖における地位 を高め,より高次の捕食者として位置することにつな がる。一方,本研究結果において稚魚期の成長には顕 著な個体差が生じることが示されたが,このことは共 食いを引き起こす原因にもなると考えられる。本研究 の第4章でも示したように,カツオの初期生活史にお ける共食いは一般的に見られる現象であり,熱帯域で の周年にわたる連続的な再生産活動があらゆるサイズ の仔稚魚を共存させており,それらの間での共食いを 可能にしている。成長の遅い個体にとってはこのよう な環境は生き残りに不利と見られるが,一方で成長の 速い個体に共食いされることで他者の成長と生残を支 えることにもつながると考えられる。

生き残りに成功した個体は成長に伴う遊泳能力の発 達によって移動範囲を拡大させることが可能になり, やがて近くに生息していた個体が集まった結果,至る 所で生活単位としての魚群を形成するようになる。ふ 化日の異なる個体によって構成された各魚群は,ある 程度の成長を遂げると餌生物の豊富な温帯域を目指し て回遊行動を起こすようになり,やがて日本近海への 来遊群が形成されていくと考えられる。このようなカ ツオの生活史戦略は現在のところまだ仮説の段階であ るが,今後幼魚や成魚を含めた耳石日輪の解析を行っ て,初期の成長と生き残り過程を調べることにより検 証可能と考えられる。これらを明らかにすることによ り,西部太平洋熱帯域を対象としたカツオ資源への加 入機構を解明することができると考えられる。 カツオは全世界の熱帯から温帯にかけての広大な外 洋表層域に分布しており,日本をはじめ世界各地のま き網,竿釣り漁業によって広く漁獲される水産上重要 な魚種である。しかしながら,漁業資源に加入する以 前の生態に関しては、仔魚期の知見が若干あるものの, 稚魚期から幼魚期における生態はほとんど未知のまま である。

本研究は,西部太平洋におけるカツオ資源の加入機構を解明し,資源管理の基礎を築くために,稚魚・幼 魚期の生態学的知見を得ることを目的として行った。

1.幼稚魚採集法の開発

カツオ幼稚魚を採集するために,TANSYU型中層 トロールと呼称される網口20×20m,全長72m,目合 1000~57mm(コッドエンド部13.6mの目合8mm),最大 曳網速度5ノットの採集漁具を設計・製作した。これ を用いて1992年から5年間,10月下旬から12月中旬に 西部北太平洋熱帯域(0~20 N,130~160 E)で調査 航海を行い 497回の曳網で6724個体(1回の採集個体 数0~1163個体,体長6~172mm)のカツオ幼稚魚の 採集に成功した。これにより,これまで不可能であっ たカツオ幼稚魚の大量採集法を初めて確立した。

TANSYU 型中層トロールによれば,海面付近から 水深300mまで音響機器により常時曳網水深をモニ ターしつつ層別採集が可能であり,これまでの漁具に はない優れた採集能力を備えることが明らかになっ た。また,マグロ属幼稚魚の採集結果(体長8~140 mm,1時間当たり採集個体数0~128個体)から,TAN-SYU 型中層トロールはカツオだけでなくマグロ類, サケ・マス類など他の外洋性大型浮魚類の幼稚魚採集 にも有効であることが示された。

2.採集結果の概要

各年のカツオ幼稚魚の総採集回数当たり出現率は41 ~58%と高く,比較的年変動が小さかったが,1時間 曳網当たり平均採集個体数では3~39個体と年変動が 大きかった。曳網水深0~300mのうち 40~80m層と 80~120m層で全体の44%および34%がそれぞれ採集 され,他の層(0~40m,120~200m,200~300m)で の採集個体数は1~13%と少なかった。曳網時刻別の 1時間曳網当たり平均採集個体数では,日出後の06~ 10時の113個体が圧倒的に多く,10~14時,14~18時,18 ~22時,22~02時には8~11個体で最も少なかった。時 刻別出現率でも,02~06時は22%で最も低かったが, 他の時間帯では昼間47~54%,夜間は47~48%で昼夜 による差はなかった。曳網速度別の採集効率は,昼間 は最も速い55/ットでの採集量が最も多かったが,

127

約

要

夜間には45ノットで最大となった。

3.分布様式と環境要因

カツオ幼稚魚採集時の水温・塩分と流向・流速の鉛 直観測データの解析から,幼稚魚分布域の物理環境要 因を明らかにし,研究海域を北赤道海流域,境界域, 北赤道反流域に区分した。中層トロールでの採集デー タからカツオの出現率,分布密度を海域別に求め,海 洋物理学的環境要因との関係を調べた。

カツオ稚魚は北赤道海流域と北赤道反流域およびそ れらの境界域に広く分布し,表層混合層下部から水温 躍層上部を中心に生息していることを明らかにした。 1 稚魚の海域別の総採集回数当たり出現率と1時間曳網 当たり平均採集個体数は,北赤道反流域でそれぞれ 61%,17個体と最も高く,境界域で35%,6個体,北赤 道海流域で32%,15個体であった。稚魚の水平分布様 式は年によって異なり,1992年と1994年は南高北低 型,1995年は東偏型,1993年と1996年は海域的な偏りの 少ない広範囲型の分布であった。幼魚は北赤道反流域 のみで採集され,表層混合層下部を中心に分布した。 カツオの鉛直分布は,成長とともに変化し,北赤道反 流域の昼間のデータによれば, 稚魚への移行期の体長 10mm前後では0~200m,移行後の体長10~40mmの個 体も0~220mに分布した。しかし,体長50~60mmに 成長すると60~140m,さらに70~80mmになると90m 前後の層に集中分布するようになった。稚魚の鉛直分 布は海域の水温鉛直構造によく対応しており,水温躍 層の浅い海域ではカツオの分布水深も浅くなり、深い 海域では深くなった。中層トロールによる全採集生物 の水深別分布密度とカツオ稚魚の鉛直分布密度はよく 対応しており、カツオ稚魚が他の生物の生物量が多い 水深を中心に生息していることが分かった。一方,近 縁のマグロ属稚魚(キハダ,メバチ)は主に北赤道反 流域の表層混合層(水深80m以浅)に分布し,カツオ とは明らかに分布深度が異なっていた。カツオ稚魚の 分布域は、主として水温20~29℃ 塩分33.6~35 5PSU であったのに対し、マグロ属稚魚は水温26~29℃、塩 分33.6~33.7PSU と高水温・低塩分域に分布してい たことから,熱帯の外洋表層域においてこれら近縁種 の稚魚の棲み分けが行われていることが明らかとなっ た。

4. 食性と摂餌行動の日周性

北赤道海流域と北赤道反流域で採集したカツオ稚魚 とマグロ属稚魚の胃内容物を分析し,各餌動物群の出 現率(重量%,個体数%,頻度%)から相対的重要度 指数[IRI=(重量%+個体数%)×頻度%]を計算す ることにより,それぞれの餌としての重要性を評価し た。魚類仔魚の IRI は北赤道海流域で14107,北赤道 反流域で10852と圧倒的に高い値を示し,カツオ稚魚 の基本的な餌は魚類仔魚であることを明らかにした。 両海域の種類不明消化物の IRI は魚類仔魚についで 2番目に高く,それぞれ214 Aと346 5であったが,実 体顕微鏡下での観察によりこれらの多くは消化の進ん だ魚類仔魚であることが分かった。このほか,北赤道 海流域ではオキアミ類(IRI=162),端脚類(92), カイアシ類(03)が出現し,北赤道反流域ではカイ アシ類(IRI=158 A),頭足類(66 8),オキアミ類 (24.8),ヤムシ類・等脚類・魚吼(11.6),端脚類(2.1) が出現したことから,北赤道反流域の方が多様な餌生 物を捕食していることが明らかとなったが,これらの 餌料生物としての価値は低かった。

胃内容物重量指数,充満度,消化度の経時変化から, カツオ稚魚の摂餌活動の日周性を調べた。空胃個体の 割合は 22~02時には100% 02~06時には80%を占め たが,日出後急速に減少し,日没前の14~18時に5.3% で最小となった。これとは対照的に,充満個体の割合 は14~18時に最大値60.6%を示し 22時以降06時まで 0%を示した。胃内容物重量指数および消化度指数も 14~18時に最大値を示し,日出前に最小値となった。 したがって、カツオ稚魚は朝から夕方にかけて摂餌活 動を行い,夜間には摂餌を行わない典型的な視覚捕食 者であることが分かった。一方,マグロ属稚魚の餌生 物は海域によらず魚類仔魚の出現率が圧倒的に高く, その他はオキアミ類と頭足類がわずかに出現しただけ で,カツオよりも魚食性が強いことが明らかになった。 マグロ属稚魚の摂餌活動はカツオ同様に昼間に行わ れ,視覚捕食を行っていると考えられた。

5.初期の成長様式と生き残り戦略

カツオの初期成長を明らかにする目的で,1994年~ 1997年に採集した仔稚魚の耳石を用いて,光学顕微鏡 と画像計測の可能な耳石日輪計測システムにより耳石 輪紋の計測を行い,縁辺成長率の経時変化により,稚 魚期における耳石の輪紋が1日1本できる日輪である ことを証明した。

仔稚魚548個体(体長3 3~57.7mm)の耳石日輪を用 いて,日輪数と体長との関係を求め,仔魚期から稚魚 期における成長速度を調べた。1996年と1997年の体長 3 3~7 8mmの仔魚15個体(3~9日齢)では055mm/日 の緩やかな成長を示した。1994年の仔稚魚285個体(9 ~24日齢)では33mm/日,1995年の仔稚魚248個体(9 ~29日齢)では35mm/日と急速な成長を示し,ふ化後 1ヶ月で体長60mm前後に成長することが明らかとなっ た。カツオ仔魚は,ふ化後10~12日で稚魚期に移行し 急速に成長速度を速めるとともに,この時期から成長 に顕著な個体差が現れ始めた。また稚魚期の成長は, 年および海域によっても大きな差があることが明らか になった。耳石日輪の中心からの距離を解析し,初期 成長のよかった個体はふ化後5日目以降に成長速度が 急速に速くなることが分かった。初期生活史における 急速な成長は,餌サイズの大型化を保証し,餌条件の 不利な熱帯の外洋表層域での生残率を高め,個体群の 維持にとって重要な意味をもつと考えられた。

謝 辞

本論文の執筆に際し,懇切丁寧な御指導と御鞭撻を いただいた東京大学海洋研究所の川口弘一教授に心か ら感謝申し上げる。東京大学海洋研究所の杉本隆成教 授,渡邊良朗教授,河村知彦助教授,東京大学農学部 の青木一郎教授には,審査員として有益な助言を与え ていただいた。本研究の計画と実施にあたり,東北区 水産研究所資源管理部浮魚資源第2研究室(当時)の 元室長永沼璋氏をはじめ,渡辺洋博士,小倉未基博士, 浅野政宏氏,高橋未緒氏には様々な面から暖かい御支 援をいただいた。遠洋水産研究所浮魚資源部の西川康 夫博士にはカツオ仔稚魚の種査定を,張成年博士には マグロ属稚魚の種査定をお願いし,東北区水産研究所 海洋環境部(当時)の清水勇吾氏には CTD および ADCP データの解析をしていただいた。遠洋水産研 究所の長澤和也博士には,研究の遂行と論文の執筆に あたり多くのご教示をいただいた。ここに記して深く 感謝申し上げる。

兵庫県立香住高等学校の漁業実習船但州丸の丹生孝 道船長と乗組員の方々,山口県立水産高等学校の漁業 実習船青海丸の安河内隆船長(当時),中島照久船長 と乗組員各位には,カツオ幼稚魚の採集をはじめとし た調査活動を技術面で支えていただいた。ミクロネシ ア連邦共和国政府,パラオ共和国政府の関係各位には, 自国200カイリ経済水域内での調査活動に対し充分な 理解とご協力を賜った。水産庁資源課国際資源班(当 時)各位には,カツオ幼稚魚調査の実施を物心両面か らご支援いただいた。これらの方々に対して,心から お礼申し上げる。

引用文献

- 相川広秋(1937)カツヲ群の一考察.日水誌.6,13-21. 相川広秋・加藤益夫(1937)魚類の年齢査定(予報1). 日水誌.7,13-21.
- AlversonF. G. (1963) The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 7, 295 - 396.

- 青木光義(1999)カツオ仔稚魚の食性.東海大海洋研研 報.20,173-185.
- Barraclough , W. E., Johnson , W. W., (1956) A new midwater trawl for herring. Fish. Res. Bd. Canada Bull. 104, 1 - 25.
- Batts, B. S. (1972) Food habits of the skipjack tuna, Katsuwonus pelamis, in the north Carolina waters. Chesapeake Sci. 13, 193 - 200.
- Batts, B. S. (1972) Age and growth of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus), in north Carolina waters. Chesapeake Sci. 13, 237 - 244.
- Bayliff, W. H. (1988) Growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin, *Thunnus albacares*, tunas in the eastern Pacific ocean, as estimated from tagging data. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 19, 311 385.
- Boehlert, G. W., Mundy, B. C. (1994) Vertical and onshoreoffshore distributional patterns of tuna larvae in relation to physical habitat features. Mar. Ecol. Prog. Ser. 107, 1 - 13.
- Chi, K. S., Yang ,R. T. (1973) Age and growth of skipjack tuna in the waters around the southern part of Taiwan. Acta Oceanogr. Taiwan. 3, 199 - 221.
- Chow, S., Inoue, S. (1993) Intra-and interspecific restriction fragment length polymorphism in mitochondrial genes of *Thunnus* tuna species. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. 30, 207 - 225.
- Davis, T. L. O., Jenkins, G. P., Young, J. W(1990) Diel patterns of vertical distribution in larvae of southern bluefin *Thunnus maccoyii*, and other tuna in the East Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 59, 63 - 74.
- Davis, T. L. O., Jenkins, G. P., Yukinawa, M., Nishikawa, Y.(1989)Tuna larvae abundance: comparative estimates from concurrent Japanese and Australian sampling programs. Fish. Bull. 87, 976 - 981.
- Dizon, A. E., Brill, R. W., Yuen, H. S. H (1978) Correlations between environment, physiology, and activity and the effects on thermoregulation in skipjack tuna. The physiological ecology of tunas. Academic Press. 233 -259.
- Dragovich, A. (1970) The food of skipjack and yellowfin tunas in the Atlantic Ocean. Fish. Bull. 68, 445 - 460.
- Dragovich, A.(1971)Food of skipjack tuna in the Caribbean Sea and adjacent oceanic waters. FAO Fish. Rep. 71, 27 - 40.
- Dragovich, A., Potthoff, T.(1972)Comparative study of food of skipjack and yellowfin tunas off the coast of west Africa. Fish. Bull. 70, 1087 - 1110.
- Eckles, H. H(1949) Observations on juvenile oceanic skipjack (*Katsuwonus pelamis*) from Hawaiian waters and sierra mackerel (*Scomberomorus sierra*) from the eastern Pacific. Fish. Bull. 51, 245 - 250.
- Food and Agriculture Organization (1999) FAO yearbook, fishery statistics, catches and landings. 84, 321 323.
- 福永辰広・石橋矩久・三橋直人(1982)サワラの採卵およ

び種苗生産.栽培技研.11,29-48.

- Gartner Jr., J. V. (1991) Life histories of three species of lanternfishes (Pisces : Myctophidae) from eastern Gulf of Mexico. Mar. Biol. 111, 11 20.
- Higgins, B. E(1970) Juvenile tunas collected by midwater trawling in Hawaiian waters, July-September 1967. Trans. Amer. Fish. Soc. 99, 60 - 69.
- Higgins, B. E. (1967) The distribution of juveniles of four species of tunas in the Pacific Ocean. Proc. Indo-Pacific Fish. Counc. 12th Sess. Sect. 2. 79 - 99.
- 堀田秀之(1953)薩南海域の幼魚の分布について.東北水 研研報.2,19-21.
- 堀田秀之・小川 達(1955)海区別カツオの食餌組成につ いて.東北水研研報.4,62-82.
- Hunter, J. R., Macewicz, B. J., Sibert, J. R. (1986) The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. Fish. Bull. 84, 895 - 903.
- 飯塚景記(1985)昭和59年度調査船照洋丸第2次航海報告 書.ミクロネシア南部海域におけるカツオ幼魚,未成 魚の分布調査.水産庁研究部.1-91.
- 飯塚景記・浅野政宏・永沼 璋(1989)南方カツオ(Katsuwonus pelamis LINNAEUS)の食性とカツオ幼魚の
 出現状況.東北水研研報.51,107-116.
- 岩井 保(1985)体形と遊泳様式.水産脊椎動物2.魚類.新水産学全集4.恒星社厚生閣.27-41.
- 岩井 保(1988)仔稚魚と変態.水産脊椎動物2.魚類. 新水産学全集4.恒星社厚生閣.229-243.
- Jenkins, G. P., Davis, T. L. O. (1990) Age, growth rate, and growth trajectory determined from otolith microstructure of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 63, 93 - 104.
- Joseph, J., Calkins, T. P(1969) Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 13, 1 - 273.
- Josse, E., Le Guen, J. C., Kearney, R. E., Lewis, A. D., Smith, B. R., Marec, L., Tomlinson, P. K(1979) Growth of skipjack. South Pac. Comm. Occas. Pap., 11, 1 - 83.
- 海洋水産資源開発センター(1989)昭和62年度遠洋底びき 網新漁場開発調査報告書.1 - 50.
- 川崎健(1965)カツオの生態と資源.1.分類および分布,生態論.水産研究叢書8-1.日本水産資源保護協会.1-48.
- 川崎 健(1965)カツオの生態と資源.2.資源論 漁況論. 水産研究叢書8-2.日本水産資源保護協会.1-108.
- King, J. E., Ikehara, I. I. (1956) Comparative study of food of bigeye and yellowfin tuna in the central Pacific. Fish. Bull. 57, 61 - 85.
- King, J. E., Iversen, R. T. B(1962) Midwater trawling for forage organisms in the central Pacific. Fish. Bull. 62, 271 - 321.
- 岸上謙吉(1926)大正14年に於ける叉骨類(シビ・カツオ) 研究の概要.水産学会報.4,125-137.
- 気象庁海洋気象部(1995)気象庁海洋月報.35,7-11.

- 気象庁気候・海洋気象部(1996)気象庁海洋月報 . 47,3 - 16.
- Leis, J. M., Trnski, T., Harmelin-Vivien, M., Renon, J. -P., Dufour, V., El Moudni, M. K., Galzin, R(1991) High concentrations of tuna larvae (Pisces : Scombridae) in near-reef waters of French Polynesia (Society and Tuamotu islands) Bull. Mar. Sci. 48, 150 - 158.
- Magnuson, J. J. (1969) Digestion and food consumption by skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) Trans. Amer. Fish. Soc. 98, 379 - 392.
- Magnuson, J. J. (1978) Locomotion by scombrid fishes: hydromechanics, morphology, and behavior. Fish Physiology 7 Locomotion. Academic press. 239 - 313.
- Marr, J. C(1948) Observations on the spawning of oceanic skipjack (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) in the northern Marshall Islands. Fish. Bull. 51, 201 - 206.
- Matsumoto, W. M. (1958) Description and distribution of larvae of four species of tuna in central Pacific waters. Fish. Bull. 58, 31 - 72.
- Matsumoto, W. M. (1961) Collection and description of juvenile tunas from the central Pacific. Deep Sea Res. 8, 279 - 285.
- Matsumoto, W. M. (1975) Discription, relative abundance, and movement of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific ocean based on Japanese longline catches, 1964 - 67. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF 695, 1 - 30.
- Matsumoto, W. M., Skillman, R. A., Dizon, A. E. (1984) Synopsis of biological data on NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 451, 1 - 92.
- Meekan, M. G., Fortier, L. (1996) Selection for fast growth during the larval life of Atlantic cod *Gadus morhua* on the Scotian Shelf. Mar. Ecol. Prog. Ser. 137, 25 - 37.
- Miller, J. M. (1979) Nearshore abundance of tuna (Pisces : Scombridae) larvae in the Hawaiian islands. Bull. Mar. Sci. 29, 19 - 26.
- 森慶一郎(1972)マグロ延縄により漁獲されたマグロ・カ ジキ類の胃内容物として出現する数種のサパ型魚類の 幼・稚魚の地理的分布と相対密度 - I.カツオ.遠洋 水研報.6,111-157.
- 麦谷泰雄(1988)魚類耳石の日周形成リズム.水産動物の 日周活動.水産学シリーズ69.恒星社厚生閣.35-46.
- 永沼 璋(1979)西部太平洋におけるカツオの産卵活動に ついて.東北水研研報.40,1-13.
- 永沼 璋・浅野政宏(1987)昭和60・61年度調査船照洋丸 航海報告書.マリアナ西部海域におけるカツオ幼魚の 分布調査,ソロモン東部海域におけるカツオ幼魚の分 布調査.水産庁研究部.1-164.
- Nakamura, E. L(1965) Food and feeding habits of skipjack tuna (*Katsuwonus palamis*) from the Marquesas and Tuamotu Islands. Trans. Am. Fish. Soc. 94, 236 -242.
- Nakamura, E. L. Matsumoto, W. M. (1967) Distribution of larval tunas in Marquesan waters. Fish. Bull. 66, 1 12.

- 二平 章(1996)潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生
 態および生理に関する研究 東北水研研報.58,137-233.
- 西川康夫(1975)カツオ仔稚魚の胃盲嚢の発達と摂餌状態. 遠洋水研報.12,221-236.
- 西川康夫・本間 操・上柳昭治・木川昭二(1985) 遠洋性 サバ型魚類稚仔の分布,1956-1981年. 遠洋水産研究 所.S. Series 12,1-99.
- 西牟田力雄・大洋漁業株式会社・泰東製鋼株式会社(1990) NEAFC 水域における中層性アカウオを対象とした中 層トロール網について(深海丸).JAMARC. 37,48 - 57.
- 落合 明・田中 克(1998)カツオ類.新版魚類学(下) 改訂版.恒星社厚生閣.856-883.
- 沖山宗雄(1993)日本産稚魚図鑑.東海大学出版会.609 - 624.
- Panella, G. (1971) Fish otolith : daily growth layers and periodical patterns. Science. 173, 1124 1127.
- Pinkas, L., Oliphant, M. S., Iverson, I. L. K. (1971) Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Fish Bulletin. 152, 1 - 139.
- Radtke, R. L. (1983) Otolith formation and increment deposition in laboratory-reared skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, larvae. NOAA Tech. Rep. NMFS 8, 99 - 103.
- Reid Jr, J. L. (1962) On circulation, phosphate-phosphorous content, and zooplankton volumes in the upper part of the Pacific Ocean. Limnology and Oceanography. 7, 287 - 306.
- Roger, C. (1994) Relationships among yellowfin and skipjack tuna, their prey-fish and plankton in the tropical western Indian Ocean. Fish. Oceanogr. 3, 133 - 141.
- Shabotiniets, E. I.(1968) Age determination of Indian Ocean tunas. Tr. VNIRO. 64, Tr. AzcherNIRO 28, 374 376.
- Shimada, B. M.(1951) Juvenile oceanic skipjack from the Phoenix Islands. Fish. Bull. 52, 129 131.
- Sibert, J. R., Kearney, R. E., Lawson, T. A. (1983) Variation in growth increments tagged skipjack (*Katsuwonus pelamis*) South Pac. Comm. Tuna and Billfish Assess. Prog. Tech. Rep. 10, 1 43.
- 代田昭彦(1970)魚類稚仔魚期の口径に関する研究.日水 誌.36,353-367.
- 代田昭彦(1978)魚類稚仔魚期の口径に関する研究.2. 上顎長の魚種による特性.日水誌.44,1171-1177.
- Sosa-Nishizaki, O., Shimizu, M., Nose, Y. (1989) The potential use of the second dorsal fin rays of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* as an aging character. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 1559 - 1564.
- Strasburg, D. W. (1959) An instance of natural mass mortality of larval frigate mackerel in the Hawaiian islands. J. Cons. Int. Explor. Mer. 24, 255 - 263.
- Strasburg, D. W. (1960) Estimates of larval tuna abundance in the central Pacific. Fish. Bull. 60, 231 - 255.
- 須田 明(1953)マグロ・カジキ類の胃内容物中にみられ るカツオ若年魚.日水誌.19,319-327.
- Takeshita, K., Ogawa, N., Mitani, T., Hamada, R., Inui, E.,

Kubota, K. (1988) Acoustic survey of spawning sardine, *Sardinops melanosticta* in the coastal waters of west Japan. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 66, 101 - 117.

- 宅野秀明・上柳昭治(1978)西部太平洋における中層稚魚 トロール網による幼・稚魚調査結果.遠洋水産研究所 浮魚資源部.1-55.
- Tanabe, T., Niu, K(1998) Sampling juvenile skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and other tunas, *Thunnus spp.*, using midwater trawls in the tropical western Pacific. Fish. Bull. 96, 641 - 646.
- 田邉智唯・小倉未基・高橋未緒・渡辺 洋(1998) 中層ト ロール網採集によるパラオ・ミクロネシア周辺海域に おけるカツオ・マグロ類稚魚の出現状況.東北水研研 報.60,15-22.
- Tanaka, M., Kaji, T., Nakamura, Y., Takahashi, Y. (1996) Developmental strategy of scombrid larvae : High growth potential related to food habits and precocious digestive system development. Survival strategies in early life stages of marine resources. A. A. Balkema. 125 - 139.
- 田中 有(1989)南方海域における海外まき網漁業の漁獲
 量とカツオの年齢組成の経年変化.東北水研研報.51,
 89-106.
- 手島和之・藤石昭生・久保田勝彦・井上 悟・永松公明・ 阿部 寧・築山一雄・竹下貢二(1993)調査用中層ト ロール網(Yoko-2型改)の曳網特性.西水研研報.71,9 -16.
- Thorrold, S. R. (1993) Post-larval and juvenile scombrids captured in light traps : preliminary results from the central great barrier reef lagoon. Bull. Mar. Sci. 52, 631 - 641.
- Uchiyama, J. H., 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. 79, 151 - 162.
- 上柳昭治(1969)インド・太平洋におけるマグロ類仔稚魚 の分布 - ビンナガ産卵域の推定を中心とした検討.遠 洋水研報.2,177-256.
- 上柳昭治・森慶一郎・西川康夫・須田 明(1973)マグロ 類養殖技術開発試験報告 .1970年4月~1973年3月. 遠洋水研 S. Series 8.1 - 165.
- 上柳昭治・西川康夫・松岡玳良(1973)カツオの人工ふ化 と仔魚の形態.遠洋水研報.10,179-188.
- 魚谷逸朗・松崎加奈恵・牧野祐子・野田聖無・稲村 修・ 堀川 貢(1981)北西オーストラリア海域産マグロ・ カツオ類稚仔の食性.日水誌.47,1165-1172.
- 魚谷逸朗・斉藤 勉・平沼勝男・西川康夫(1990) 北西大 西洋産クロマグロ Thunnus thynnus 仔魚の食性.日水 誌.56,713-717.
- Wade, C. B. (1951) Larvae of tuna and tuna-like fishes from Philippine waters. Fish. Bull. 51, 445 - 485.
- Wardron, K. D., King, J. E. (1963) Food of skipjack in the central Pacific. FAO Fish. Rep. 6, 1431 - 1457.
- Watanabe, H., Moku, M., Kawaguchi, K., Ishimaru, K.,

Ohno, A(1999) Diel vertical migration of myctophid fishes (Family Myctophidae) in the transitional waters of the western North Pacific. Fish. Oceanogr. 8, 115 - 127.

- 渡辺久也(1958)西部太平洋赤道海域におけるキハダとメ バチの食餌組成について.南海水研報.7,72-81.
- 渡邊良朗(1997)年齢形質の有効性検討.水産動物の成長 解析.水産学シリーズ115.恒星社厚生閣.17-27.
- Watanabe, Y., Oozeki, Y., Kitagawa, D. (1997) Larval parameters determining preschooling juvenile production of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwestern Pacific. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54, 1067 1076.
- Watanabe, Y., Kuroki, T. (1997) Asymptotic growth trajectories of larval sardine (*Sardinops melanostictus*) in the coastal waters off western Japan. Mar. Biol. 127, 369 - 378.
- Wild, A., Wexler, J. B., Foreman, T. J(1995) Extended studies of increment deposition rates in otoliths of yellowfin and skipjack tunas. Bull. Mar. Sci. 57, 555 -

562.

田邊

- Wild, A., Foreman, T. J. (1980) The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 18: 421 - 482.
- 矢部 博(1955)西部太平洋における稚魚の研究 1.カツ オの後期仔魚.日水誌.20,1054-1059.
- Yao, M(1981) Growth of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab. 43, 71 82.
- 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二(1961)南海 水研研報.14,1-239.
- Yoshida, H(1971) The early life history of skipjack tuna, Katsuwonus pelamis, in the Pacific Ocean. Fish. Bull. 69, 545 - 554.
- Young, J. W., Davis, T. L. O. (1990) Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces : Scombridae) in the eastern Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 61, 17 - 29.

132