

ベラ科魚類4種の運動活動リズム

西 源 二 郎

424 清水市折戸3-20-1 東海大学海洋研究所

Locomotor Activity Rhythm in Four Wrasse Species under Varying Light Conditions

Genjirou Nishi

Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 3-20-1, Orido, Shimizu 424, Japan

Under controlled laboratory conditions, the locomotor activity rhythms of four species of wrasses (*Suezichthys gracilis*, *Thalassoma cupido*, *Labroides dimidiatus* and *Cirrhitabrus temminckii*) were individually examined using an actograph with infra-red photo-electric switches in a dark room at temperatures of 21.3–24.3°C, for 7 to 14 days. The locomotor activity of *S. gracilis* occurred mostly during the light period under a light-dark cycle regimen (LD 12:12; 06:00–18:00 light, 18:00–06:00 dark). The locomotor activity commenced at the beginning of the light period and continued until a little before the beginning of dark period. The diel activity rhythm of this species synchronizes with LD. Under constant illumination (LL) this species shows distinct free-running activity rhythms varying in length from 23 hrs. 39 min. to 23 hrs. 47 min. Therefore, *S. gracilis* appears to have a circadian rhythm under LL. However, in constant darkness (DD), the activity of this species was greatly suppressed. All the fish showed no activity rhythms in DD conditions. After DD, the fish showed the diel activity rhythm with the resumption of LD, but this activity began shortly after the beginning of light period. The fish required several days to synchronize with the activity in the light period. Therefore, *S. gracilis* appeared to continue the circadian rhythm under DD. In *T. cupido*, the locomotor activity commenced somewhat earlier than the beginning of the light period and continued until the beginning of the dark period under LD. The diel activity rhythm of this species synchronizes with LD. Under LL, four of the five specimens of this species tested showed free-running activity rhythms for the first 5 days or longer varying in length from 22 hrs. 54 min. to 23 hrs. 39 min. Although the activity of this species was suppressed under DD, two of five fish showed free-running activity rhythms throughout the experimental period. The lengths of such free-running periods were from 23 hrs. 38 min. to 23 hrs. 50 min. under DD. Therefore, it was ascertained that *T. cupido* has a circadian rhythm. In *L. dimidiatus*, the locomotor activity rhythm under LD resembled that observed in *T. cupido*. The diel activity rhythm of this species synchronizes with LD. Under LL, four of seven of this species showed free-running activity rhythms throughout the experimental period. The lengths of such free-running periods were from 23 hrs. 07 min. to 25 hrs. 48 min. Although the activity of this species was suppressed under DD, three of five fish showed free-running activity rhythms throughout the experimental period. The lengths of such free-running periods were from 23 hrs. 36 min. to 23 hrs. 41 min. under DD. Therefore, it was ascertained that *L. dimidiatus* has a circadian rhythm. Almost all locomotor activity of *C. temminckii* occurred during the light period under LD. The diel activity rhythm of this species coincides with LD. Under LL, two of four of this species showed free-running activity rhythms throughout the experimental period. The lengths of such free-running periods were from 23 hrs. 32 min. to 23 hrs. 45 min. Although the activity of this species was suppressed under DD, one of the four fish showed free-running activity rhythms throughout the experimental period. The length of the free-running period was 23 hrs. 21 min. under DD. Therefore, *C. temminckii* appeared to have a circadian rhythm. According to field observations, *S. gracilis* burrows and lies in the sandy bottom while *T. cupido*, *L. dimidiatus*, and *C. temminckii* hide and rest in spaces among piles of boulders or in crevices of rocks during the night. It seems that the differences in nocturnal behavior among the four species of wrasses mentioned above are closely related to the intensity of endogenous factors in their locomotor activity rhythms.

ベラ科魚類は昼行性の明瞭な日周活動を示すことが知られている (Hobson, 1965; Collette and Talbot, 1972; 中園・塚原, 1972; 益田ほか, 1984; Helfman, 1986) が、この明瞭な日周活動が、内因性の活動リズムであるのかどうかについて時間生物学的な観点から検討された報告は未だ少数である (Casimir, 1971; Schwassmann, 1971; 横沢, 1982; 西, 1989)。筆者は、駿河湾産のベラ科魚類の活動リズムについて研究を進め、前報ではホンベラ *Halichoeres tenuispinis* (Günther) とオハグロベラ *Pteragogus flagellifera* (Valenciennes) の活動リズムの相違および夜間休息習性の相違との関連について追究した (西, 1989)。すなわち、夜間砂に潜る休息習性をもつホンベラに、強い内因性の活動リズムが認められるのに対して、夜間砂に潜らず岩陰などに身を寄せて休息するオハグロベラでは、内因性の活動リズムが認められず、両種の活動リズムの内因性の有無に相違があるのは、夜間休息場所の遮光性の違いと関連があるのでないかと指摘した (西, 1989)。本報告では、新たに夜間休息習性に相違の見られる 4 種のベラ類を研究対象として、運動活動における概日リズムの有無について実験的に追究し、前報の 2 種と比較しつつ夜間の休息習性との関連についても検討を加えてみた。

材料および方法

実験対象としたのはイトベラ *Suezichthys gracilis* (Steindachner), ニシキベラ *Thalassoma cupido* (Temminck et Schlegel), ホンソメワケベラ *Labroides dimidiatus* (Valenciennes), イトヒキベラ *Cirrhilabrus temminckii* Bleeker の 4 種で、いずれも本州中部以南の沿岸で比較的普通に見られるものであり、これらの夜間休息習性については、イトベラは夜間および昼間でも危険を感じると砂中に潜り、ニシキベラは砂中には潜らず、ホンソメワケベラは岩やサンゴの隙間にあって粘液性の膜で体を包んで眠ることが知られている (益田ほか, 1984)。ただし、イトヒキベラの夜間休息習性についてはとくに記述した報文が見当たらない。著者自身の潜水観察では、イトベラは夜間砂中に潜り翌朝同じ場所から出てくること、ニシキベラは海底では転石の重なる隙間の奥深くに入って休息すること、ホンソメワケベラは海底では岩の下の砂に潜って休息すること、イトヒキベラは海底では転石の隙間にあって休息することなどを確認している (西、未発表)。

実験に用いた個体の数と大きさはイトベラ 13 尾 (全長 65–115 mm), ニシキベラ 14 尾 (全長 67–117 mm), ホ

ンソメワケベラ 16 尾 (全長 55–83 mm), イトヒキベラ 12 尾 (全長 59–70 mm) で、うちホンソメワケベラの 6 尾はフィリピン産であるが、他はすべて駿河湾内で潜水採集された。これらの個体を東海大学海洋科学博物館の予備水槽 (60×30×30 cm) で、水温 20–27°C, 自然光周条件または後述の明暗サイクル (LD) 下で 0.5–6 カ月間にわたり馴致飼育を行い、実験に先立って実験水槽において LD 下で 1–2 週間予備飼育を行った。

実験方法は前報 (西, 1989) とほぼ同様である。すなわち、実験水槽 (ガラス水槽 60×30×30 cm または、40×25×30 cm) の底面に珪砂を約 10 cm の厚さに敷き、中央に握りこぶし大の石 2–5 個を組み合わせて設置した。実験中の水温範囲は 21.3–24.3°C、初期の照度は水槽の水面直上で 500–1,500 lux (1 実験中は一定)、暗期は暗黒とし、暗期と初期の切替えはタイムスイッチで瞬時に行った。実験区は光周期を明暗サイクル (LD、初期は 06:18 時、暗期は 18:06 時の LD 12:12) だけの LD 区、恒明 (LL) の前後に LD を組合せた LL 区、および恒暗 (DD) の前後に LD を組合せた DD 区の 3 区とし (Table 1), 光電スイッチ式アクトグラフを用いて魚の活動を記録した。実験は 1980 年 5 月–1989 年 5 月に行い、

Table 1. Summary of the experimental conditions of activity rhythm for four species of wrasses.
LD, 12 h light-12h dark cycle; LL, constant light;
DD, constant dark.

Species	Regimen	Photoperiod and term (days)			Exp. No.			
<i>Suezichthys gracilis</i>								
	LD	LD	7		4			
	LL	LD	3	LL	7	LD	3	4
	DD	LD	3	DD	7	LD	4	5
<i>Thalassoma cupido</i>								
	LD	LD	7		4			
	LL	LD	3	LL	7	LD	3	5
	DD	LD	3	DD	7	LD	3	2
		LD	3	DD	7	LD	4	3
<i>Labroides dimidiatus</i>								
	LD	LD	7		4			
	LL	LD	3	LL	7	LD	3	4
		LD	3	LL	8	LD	2	3
	DD	LD	3	DD	7	LD	3	5
<i>Cirrhilabrus temminckii</i>								
	LD	LD	7		4			
	LL	LD	3	LL	8	LD	3	3
		LD	3	LL	8	LD	2	1
	DD	LD	3	DD	7	LD	3	2
		LD	3	DD	7	LD	4	2



Fig. 1. Record of locomotor activity in *Suezichthys gracilis* kept in LD 12:12 (LD). Activity occurred mostly during the light period. Activity is indicated by the vertical marks drawn on the horizontal bars, which indicate light (open area) and dark (solid area) periods.

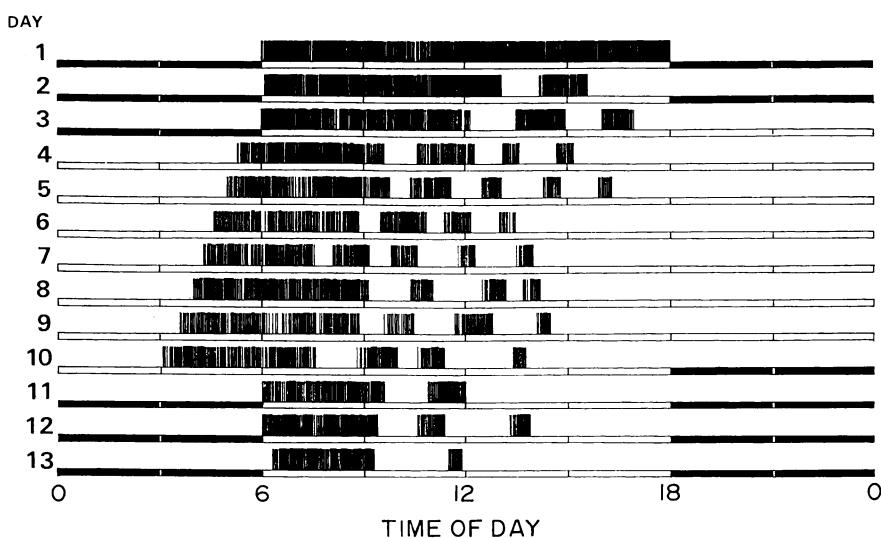


Fig. 2. Record of locomotor activity in *Suezichthys gracilis* kept in LD and in constant illumination (LL). The fish showed a distinct free-running rhythm in LL.

実験対象魚は各実験ごとに1尾とし、実験期間中（7-14日）は無給餌とした。

結 果

イトベラの活動リズム 実験は、LD 区4回、LL 区4回、DD 区で5回行った。活動リズムの有無に関しては各実験区でそれぞれにほぼ同一結果が得られたので、代表的な各1例を図示し、その結果を中心に説明する。

1) LD 区：この実験区におけるイトベラの日周活動は、前報（西、1989）のホンベラと同じく、活動期と休止期に明瞭に区別できた。活動期の開始は毎日点灯とほぼ同一時刻であった。活動期の終了（すなわち休止期の開始）は消灯以前にあるのが（Fig. 1）2例、消灯とほぼ

同一時刻であるのが2例であった。すなわち、LD 下のイトベラは明期で活動し暗期にはほとんど完全に休止する光周期に同調した明瞭な日周活動リズムを示す結果が得られた。

2) LL 区：1実験例を Fig. 2 に示す。光周期を LD から LL に変えても、イトベラは約1日に1回の活動期と休止期を示し、明瞭な活動リズムを持続する結果が得られた。しかし、LL 下における活動期の開始時刻は1日目に41分前進し、その後も毎日規則的に前進し、1日の平均前進時間は約21分、LL 7日目には同1日目に比べて126分前進した。一方、活動期の終了時刻にも前進傾向が認められた。LL 終了後に設定した LD 下においても活動リズムの継続が認められたが、暗期では活動せず、活動期の開始時刻は1日目から後退し、点灯とほぼ

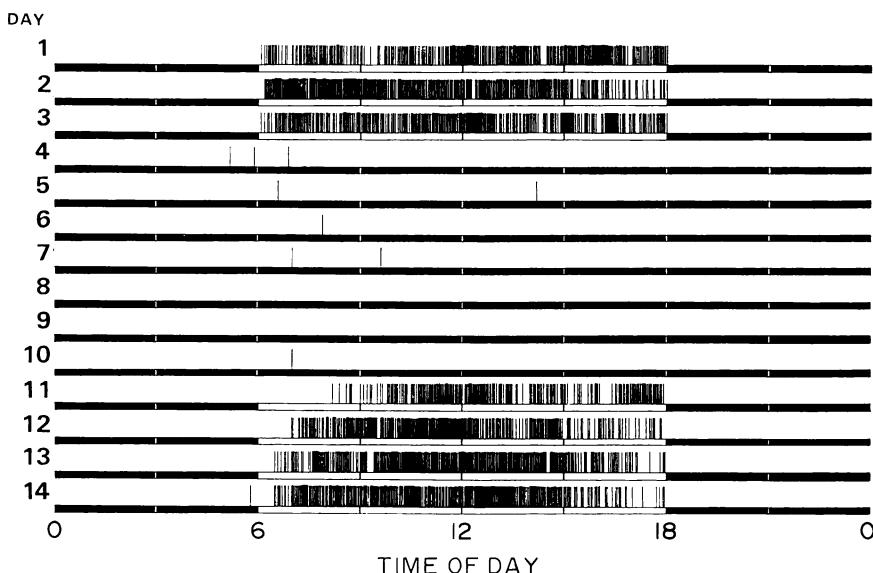


Fig. 3. Record of locomotor activity in *Suezichthys gracilis* kept in LD and in constant darkness (DD). Activity was greatly suppressed under DD. After DD, the fish showed a diel activity rhythm with the resumption of LD, but this activity began shortly after the start of the light period. The fish required several days to synchronize with the activity in the light period.

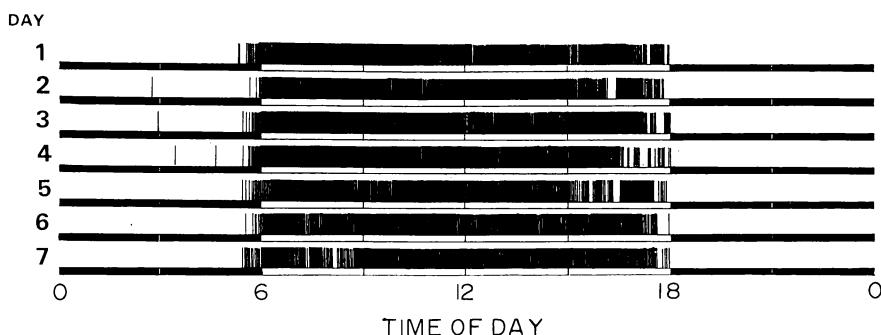


Fig. 4. Record of locomotor activity in *Thalassoma cupido* kept in LD. The activity commenced somewhat earlier than the start of the light period and continued until the start of the dark period.

同時刻になった。この区の他の3例におけるLL下における活動期の開始時刻の1日の平均前進時間は、各13分、15分、18分であった。

3) DD区: 1実験例をFig. 3に示す。イトベラはDD下ではほとんど活動しなくなり、活動期がなくなったものとみなされた。これを再びLDにすると、活動期の出現とともに活動リズムが現れたが、活動期の開始時刻は点灯から133分遅れており、その後、毎日徐々に前進した。活動期の終了時刻は消灯とほぼ同時刻であった。DD区の他の4例においても、DD下でイトベラはほとんど活動せず活動期は認められなかった。DD終了後のLD1日目の活動期の開始時刻は他の4例においても点

灯時刻より遅れており、点灯後各24分、32分、120分、140分であった。

ニシキベラの活動リズム 実験は、LD区4回、LL区5回、DD区で5回行った。

1) LD区: 全4実験を通じてほぼ同一結果が得られたが、代表的な1例をFig. 4に示す。LD下におけるニシキベラの日周活動は、活動期と休止期に区別することができる。活動期の開始時刻は各実験ごとに毎日ほぼ一定しており、点灯時刻と一致する実験例と、点灯前(暗期中)である実験例(Fig. 4)とがあった。活動期の終了時刻にも前述の開始時刻におけるのと似た傾向が見られ、消灯時刻と一致する場合と、消灯前(明期中)であ

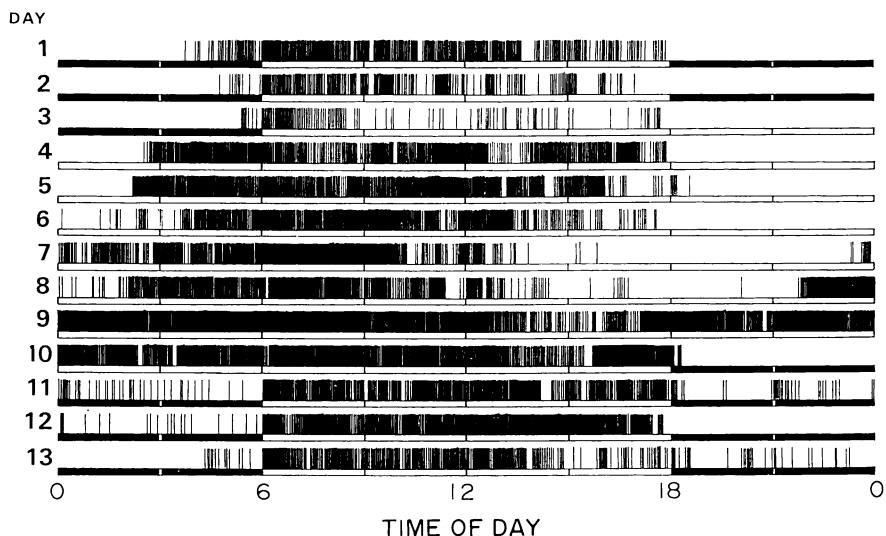


Fig. 5. Record of locomotor activity in *Thalassoma cupido* kept in LD and in LL. The fish showed a free-running rhythm for the first 5 days in LL.

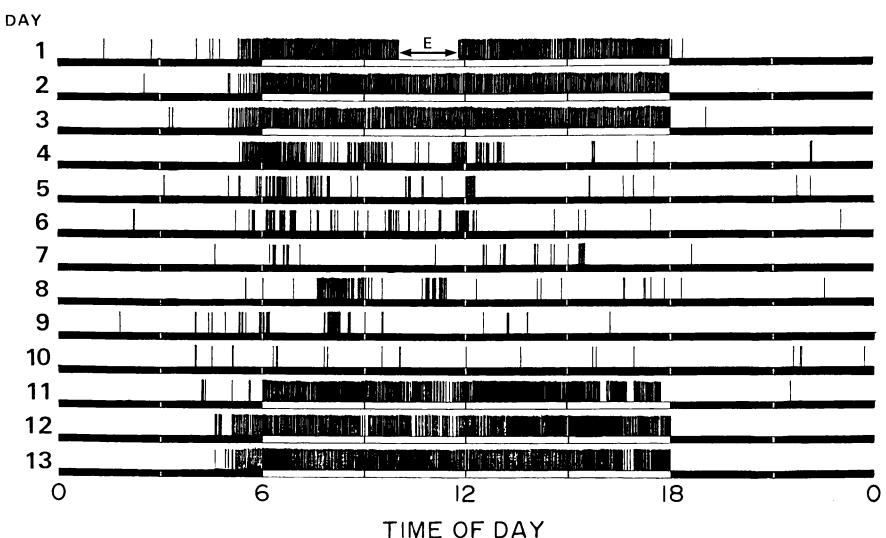


Fig. 6. Record of locomotor activity in *Thalassoma cupido* kept in LD and in DD. Although the activity was suppressed under DD, the fish showed a free-running rhythm. E, error.

る場合があった。すなわち、LD 下におけるニシキベラは光周期に同調した明瞭な活動リズムを示したが、活動が必ずしも明期中に限られることではなく、暗期中にも活動することが認められた。

2) LL 区: 5 実験のうち、LL にしてもその終了まで活動リズムが継続したのが 2 例、途中まで継続したのが 2 例あり、1 日目から活動リズムが消失したのは 1 例であった。LL の途中まで活動リズムが継続した 1 実験例を Fig. 5 に示す。この実験では、光周期を LD から LL

に変えた当初は、約 1 日に 1 回活動期と休止期を示し活動リズムを持続した。しかし、活動期の開始時刻には顕著な前進傾向があり、終了時刻にもわずかな前進傾向が認められ、したがって活動期の長さは日を追って延長し、LL 6 日目からは 1 日中連続するようになり、活動リズムが消失した。その後の LD 下においても活動は 1 日中継続したが、暗期における活動は強く抑制され、明期の活動状態と明らかに区別することが可能であり、活動リズムが認められた。LL 5 日目まで継続した活動リズ

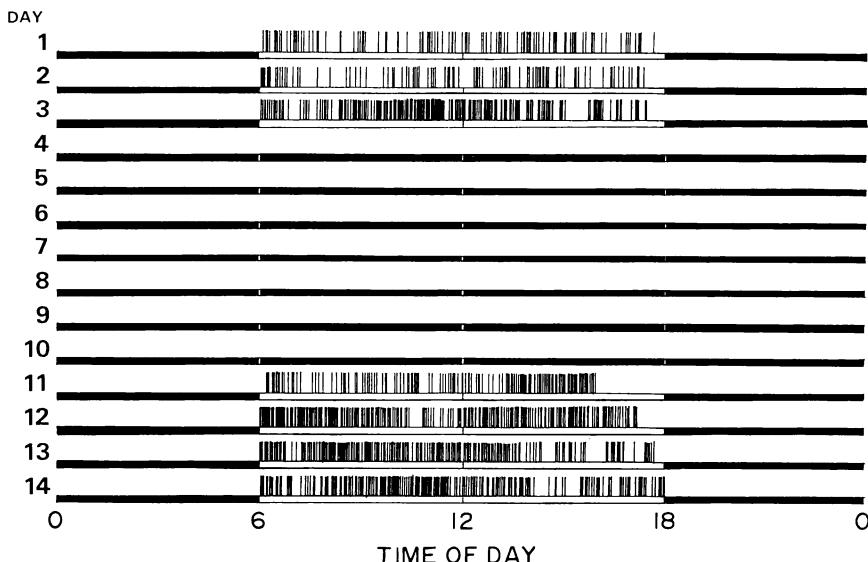


Fig. 7. Record of locomotor activity in *Thalassoma cupido* kept in LD and in DD. The activity was greatly suppressed under DD. After DD, the fish showed a diel activity rhythm with the resumption of LD, but the activity stopped before the beginning of the dark period. The fish required several days to synchronize with the light period.

ムの平均前進時間は 54 分であった。ほぼ同様な結果となった LL 区の他の 1 例では、LL 4 日目まで活動リズムが継続し、活動期開始時刻の 1 日の平均前進時間は 21 分であった。活動リズムが LL 終了まで継続した 2 例においても、活動期の開始が前進する傾向は同様であり、活動期が徐々に延長した。活動期開始時刻の 1 日の平均前進時間は、それぞれ 50 分と 66 分であった。

3) DD 区: 全 5 実験において、ニシキベラの活動は DD 下で明らかに抑制されたが、5 例のうち 2 例では抑制が比較的弱くて、DD 終了まで活動リズムが継続した。抑制が強くて 1 日目から活動が消失したのは 3 例であった。活動リズムが継続した 1 実験例を Fig. 6 に示す。光周期を LD から DD に変えると、活動は大幅に減少したが、約 1 日に各 1 回の活動期と休止期がある活動リズムは継続した。活動期の開始時間は毎日前進する傾向にあり、DD 7 日目には同 1 日目に比べて 68 分前進した。再び LD に戻すと、明期に活動が活発になった。活動期の開始は毎日徐々に後退し、すぐには DD にする前の LD 下での位相に戻ることはなかった。活動リズムが継続した他の 1 例でもほぼ同様の結果となり、活動期開始時刻の 1 日の平均前進時間は 22 分であった。

DD で活動がなくなった 1 実験例を Fig. 7 に示す。光周期を LD から DD に変えると、1 日目から活動が消失し、活動リズムが見られなくなった。DD から再び LD

に戻すと、点灯直後に活動を開始し、明らかに活動期が復活した。活動期の開始時刻は直ちに点灯時刻に一致したが、終了時刻は DD にする前の LD 下での位相よりも大幅に前進した。その後、終了時刻は毎日徐々に後退し、もとの位相に戻った。

ホンソメワケベラの活動リズム 実験は、LD 区で 4 回、LL 区で 7 回、DD 区で 5 回行った。

1) LD 区: 全 4 実験を通じてほぼ同様な結果が得られたが、代表的な 1 例を Fig. 8 に示す。LD 下におけるホンソメワケベラの日周活動は、ニシキベラの日周活動とほぼ同様で、光周期に同調した明瞭な活動リズムを示し、活動が明期中に限られることはなかった。

2) LL 区: 7 実験のうち、LL にしてもその終了まで活動リズムが継続したのが 4 例、1 日目から活動リズムが消失したのは 3 例であった。LL 終了まで活動リズムが継続した 1 実験例を Fig. 9 に示す。この実験では光周期を LD から LL に変えても、ホンソメワケベラは約 1 日に 1 回活動期と休止期を示し、活動リズムが持続した。活動期の開始時刻はほぼ毎日徐々に前進し、1 日の平均前進時間は 7 分であった。その後の LD 下において、活動期と休止期の区別は明らかで、活動リズムは継続し、活動期の開始時刻は点灯時刻にただちに一致した。ほぼ同様な結果となった LL 区の他の 3 例の内の 1 例で、活動期の開始時刻が前進する傾向が見られ、活動

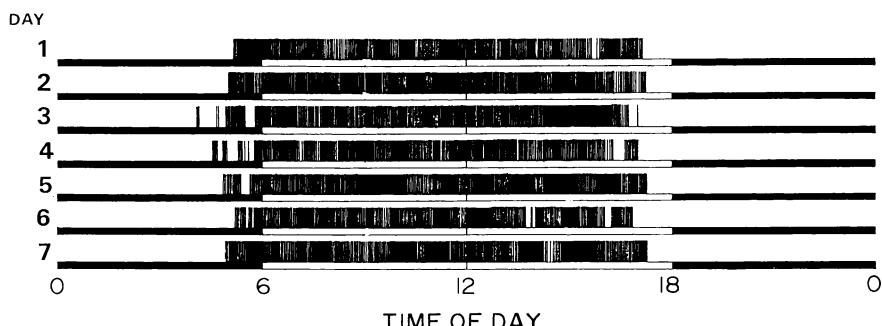


Fig. 8. Record of locomotor activity in *Labroides dimidiatus* kept in LD 12:12. Activity commenced just prior to the beginning of the light period and continued until just prior to the beginning of the dark period.

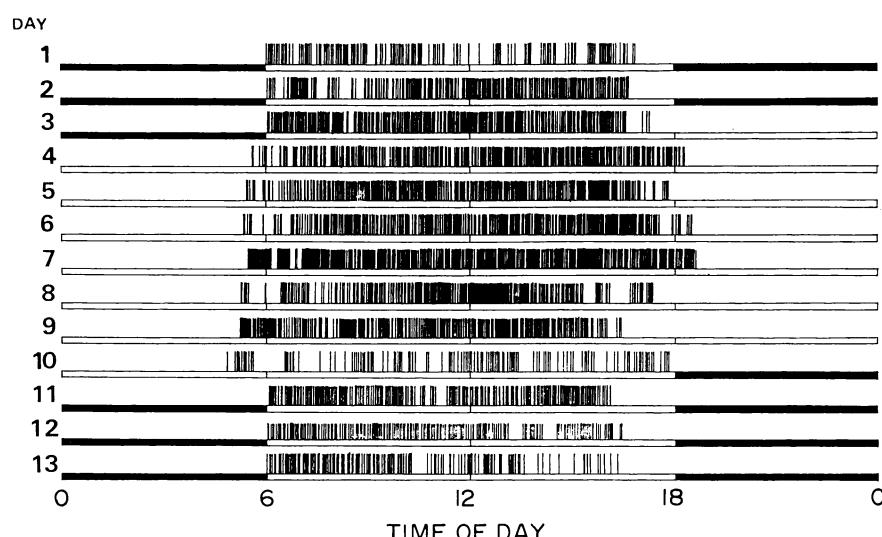


Fig. 9. Record of locomotor activity in *Labroides dimidiatus* kept in LD and in LL. The fish showed a free-running rhythm in LL.

期開始の1日の平均前進時間は53分、残る2例では後退し、平均後退時間は11分と108分であった。LL1日目から活動リズムが消失した3例の内の1実験例をFig. 10に示す。LLにするとホンソメワケベラは、ほとんど1日中活動するようになり、活動リズムは消失した。その後のLD下では、消灯後に休止期が現れ活動リズムを再開した。他の2例においても同様の結果であった。

3) DD区：全5実験においてDD下で活動が強く抑制されたが、うち3例では強い抑制を受けながらも、DD終了まで活動リズムが継続し、2例で1日目から活動が消失した。DD終了まで活動リズムが継続した1実験例をFig. 11に示す。光周期をLDからDDに変えると、約1日に1回活動期と休止期のある活動リズムは継続したが、活動期は大幅に短縮した。活動期の開始時刻は毎日前進する傾向にあり、DD7日目には総計で167

分前進した。再びLDに戻すと、明期に活動が活発になった。しかし、前進していた活動期の開始は毎日徐々に後退したが、3日後までは以前の位相に戻らなかつた。活動リズムが継続した他の2例でもほぼ同様の結果となり、DD下における活動期開始の1日の平均前進時間は、それぞれ19分と22分であった。DDで活動がなくなった2例を再びLDにおくと、点灯後しばらくして活動を開始し、明期にはほぼ一致した活動期が復活した。

イトヒキベラの活動リズム 実験は、LD区、LL区、DD区でそれぞれ4回行った。

1) LD区：全4実験を通じてほぼ同様な結果が得られたので、代表的な1例をFig. 12に示す。LD下におけるイトヒキベラの日周活動は、活動期と休止期に区別することができ、活動期は毎日点灯とほぼ同時刻に始まり、消灯時刻付近で終了した。LD下のイトヒキベラは、

西：ベラの活動リズム

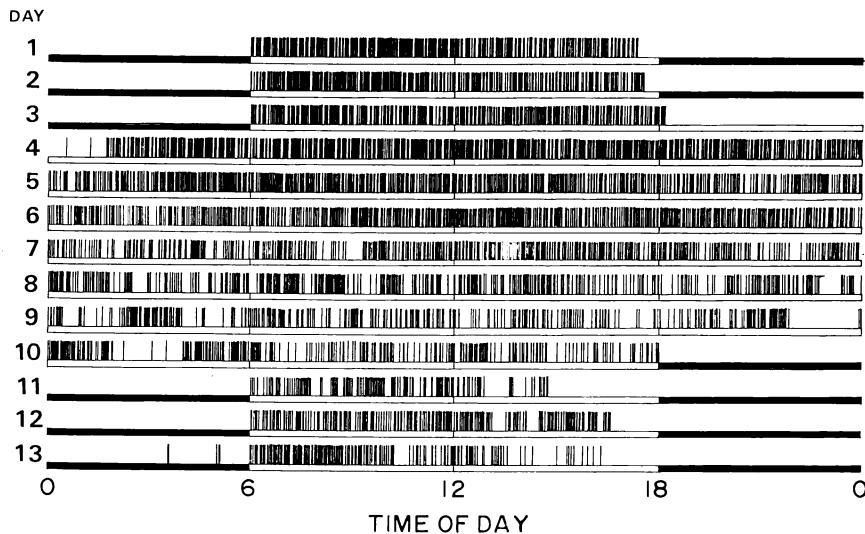


Fig. 10. Record of locomotor activity in *Labroides dimidiatus* kept in LD and in LL. The fish showed continuous activity through LL.

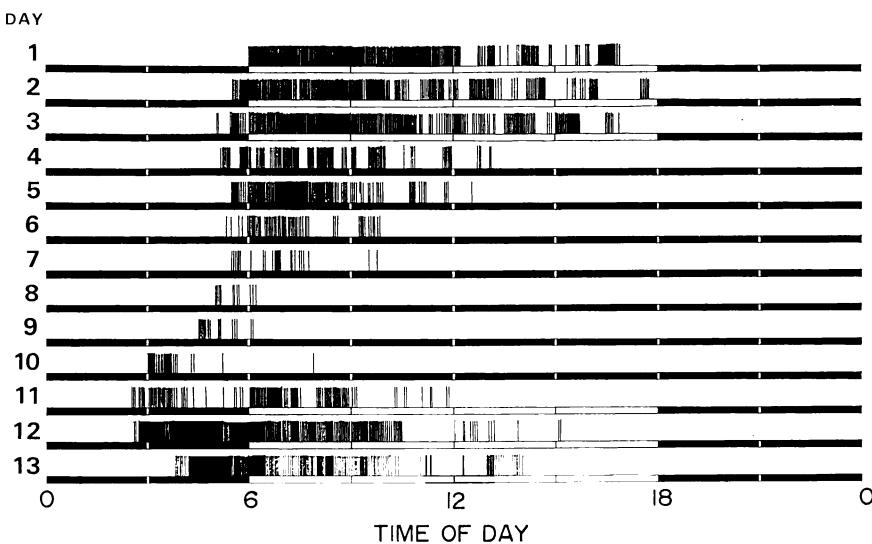


Fig. 11 Record of locomotor activity in *Labroides dimidiatus* kept in LD and in DD. Although activity was suppressed under DD, the fish showed a free-running rhythm.

活動が明期に限られており、暗期でも活動のみられたニシキベラ、ホンソメワケベラと相違がみられ、その日周活動は光周期に一致した活動リズムであった。

2) LL 区: 4 実験のうち、LL の終了まで活動リズムが継続したのが 2 例あり、LL の 1 日目から活動リズムが消失したのが 2 例であった。LL 終了まで活動リズムを継続した 1 実験例を Fig. 13 に示す。この実験で光周期を LD から LL に変えると、イトヒキベラはその活動

期を大幅に延長したが、約 1 日に 1 回の活動期と休止期を示す活動リズムを持続した。活動期の開始時刻はほぼ毎日前進し、1 日の平均前進時間は 15 分であった。その後の LD 下において、活動期と休止期の区別は明らかで、活動リズムは継続し、活動期の開始時刻は 1 日目から点灯時刻に一致した。ほぼ同様な結果となった LL 区の他の 1 例でも、活動期の開始時刻が前進する傾向が見られ、活動期開始の 1 日の平均前進時間は 28 分であっ

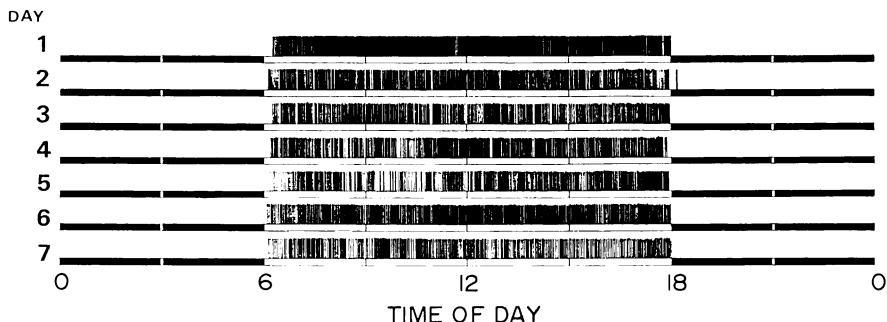


Fig. 12. Record of locomotor activity in *Cirrhilabrus temminckii* kept in LD. Almost all the activity occurred during the light period.

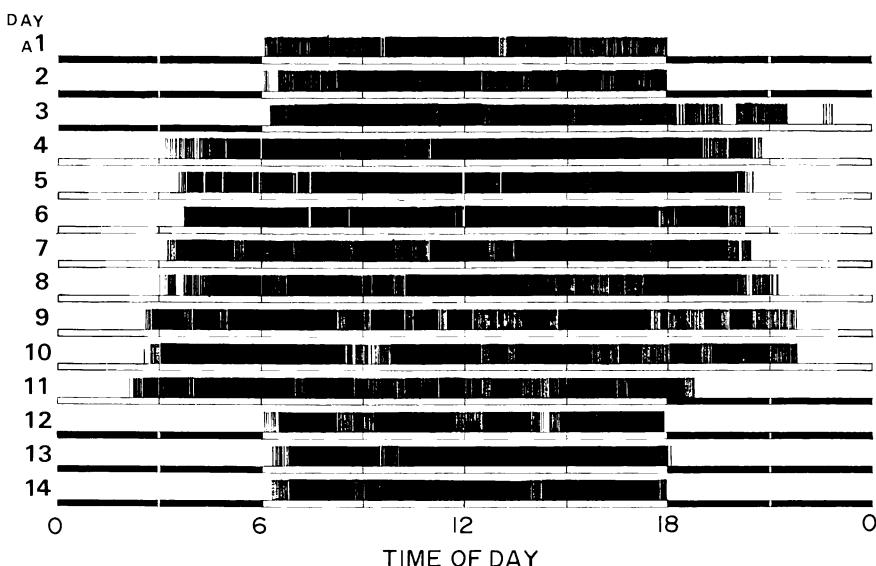


Fig. 13. Record of locomotor activity in *Cirrhilabrus temminckii* kept in LD and in LL. The fish showed a free-running rhythm in LL.

た。LL 1日目から活動リズムが消失した2例では、LL にするとイトヒキベラは、ほとんど1日中活動するようになり、活動リズムが消失した。その後のLD下では、消灯後に休止期が現れた。

3) DD区: 全4実験において、DD下で活動が強く抑制され、うち1例では強い抑制を受けながらもDD終了まで活動リズムが継続したが、3例でDD1日目から活動が消失した。DD終了まで活動リズムが継続した1実験例をFig. 14に示す。光周期をLDからDDに変えると、日を追って活動は低下したが、散発的な活動がLDの明期に相当する時間帯に毎日みられ、不明瞭ながら活動期が存在し、活動リズムは継続した。活動期の開始時刻に規則性は見られず、毎日大きく変化した。活動期の

終了時刻は毎日前進する傾向にあり、DD7日目には270分前進した。これを再びLDにおくと、点灯直後から活動が活発になり、明期とほぼ一致した活動期が復活した。DDで活動がなくなった3例では、再びLDにおくと点灯直後に活動を開始し、明期と一致した活動期が復活した。

論 議

本研究の対象となった4種のベラ類は、DD下のイトベラを除き、LL・DD両条件下で少なくとも1実験において活動リズムを継続させた。これら自由継続リズムの周期の長さは活動期の開始時刻を基準とすると、イトベ

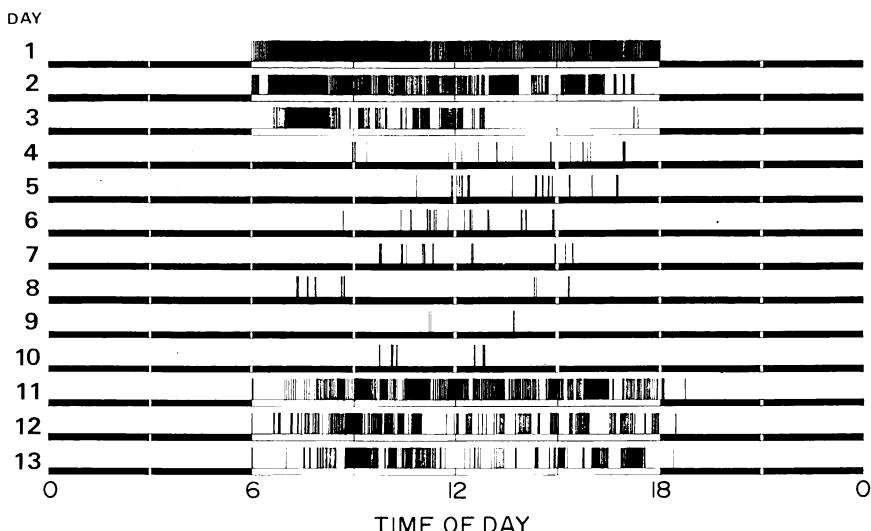


Fig. 14. Record of locomotor activity in *Cirrhilabrus temminckii* kept in LD and in DD. Although the activity was suppressed under DD, the fish showed a free-running rhythm.

ラの LL 下で平均 23 時間 43 分、ニシキベラの LL 下で平均 23 時間 12 分、DD 下で平均 23 時間 44 分、ホンソメワケベラの LL 下で平均 24 時間 15 分、DD 下で平均 23 時間 38 分、イトヒキベラの LL 下で平均 23 時間 39 分、DD 下で 23 時間 21 分であって、いずれも 24 時間からずれている。したがって、これらの自由継続リズムは概日リズムとみなされる。

LL 下と DD 下の概日リズムの周期の長さを比べてみると、ニシキベラでは DD 下より LL 下の方が短い。これは前報（西、1989）のホンベラと同様、昼行性動物の概日リズムの周期は DD 下より LL 下で短く、夜行性動物では逆になるとした「Aschoff (1960) の法則」に適合する。この様な例として、Lissman and Schwassmann (1965) の *Gymnorhamphichthys hypostomus*, Eriksson and Van Veen (1980) の *Ictalurus nebulosus*, Kavaliers (1980) の *Fundulus heteroclitus* などが挙げられる。一方、ホンソメワケベラとイトヒキベラの概日リズムの周期の長さは、LL 下より DD 下の方が短く、「Aschoff の法則」には適合しない。この様な魚類の例では、Godin (1981) のカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* の幼魚、Tabata et al. (1989) のナマズ *Silurus asotus* などがある。

イトベラでは、前報のホンベラおよびオハグロベラと同様、各実験区で複数回行った実験でそれぞれ同じ結果が得られた。これに対してニシキベラ、ホンソメワケベラ、イトヒキベラでは、LL と DD 両区において、同一種でも活動リズムの継続した例と、消失した例の両方があ

り、被験個体によって異なる結果が得られた。同一種で活動リズムの継続性に相違が現れるのは魚類ではむしろ普通であるとされ (Tabata et al., 1989), Richardson and McCleave (1974) の大西洋サケ *Salmo salar* の幼魚、西 (1980) のササハゼ *Eleotriodes wardi* とダテハゼ *Amblyeleotris japonica*, Eriksson and Van Veen (1980) の *Ictalurus nebulosus*, Godin (1981) のカラフトマスの幼魚などで知られている。

イトベラは、LL 下で明瞭な活動リズムを継続させたが、DD 下でほとんど活動が現れず、DD から LD にもどすと活動リズムが復活した。しかし、1 日目の活動期の開始時刻は点灯時刻よりも大きく遅れ、毎日徐々に前進し、2-4 日目に点灯時刻に一致した。この結果は、前報のホンベラの DD 区で見られた現象（西、1989）と同様で、自由継続した活動リズムが新しく与えられた光周期に同調するときにみられる移行期（千葉、1975）と考えられる。すなわち、DD 下のイトベラは暗状態によって活動が抑制されて活動リズムが見られなくなったが、その基本となる生物リズムは継続し、かつその位相が毎日徐々に後退していく、再び LD になって生物リズムと結び付いた活動期が復活すると、活動期の開始時刻が元の位相より大きく遅れることになったと考えられる。DD 下で活動がほとんど現れなかったニシキベラの 3 例でも、再び LD にすると移行期がみられた。この様な新しく与えられた光周期に同調する過程で移行期が出現する例は、Lissmann and Schwassmann (1965) の *Gymno-*

rhamphichthys hypostomus, Nelson and Johnson (1970) の *Heterodontus francisci* について報告されており、いずれも内因性の強い明瞭な活動リズムを持つ魚種である。

ホンソメワケベラの2例、およびイトヒキベラの3例でも、DD下で活動がほとんど現れなかった。しかし、これらの実験においてはいずれもその後のLD下の活動リズムに移行期は認められなかった。これについては、田畠(1988)がナマズの概日リズムに関する実験では、恒常条件下の後のLD下の活動リズムに移行期は認められなかったという結果から、日周行動の成因に概日リズムの関与が比較的少ないと示唆している。すなわち、本報のホンソメワケベラとイトヒキベラについても同様のことが考えられた。

生物リズムの基本となる生物時計は、真核生物以上の生物で広く備わっている(千葉, 1975)とされ、硬骨魚類のベラ類にも当然広く見出されるはずである。しかし、恒常条件下における活動リズムの継続性、すなわち活動リズムの内因性の強さはベラ科魚類の種類によって異なることが確かめられた。これは、運動活動と生物時計との結び付きの強さが、魚種によって異なるためと考えられる。本報の4種に、前報のホンベラとオハグロベラを加えた6種につき、運動活動と生物時計との結び付きの強さをみると、LL, DD両区の全ての実験で活動リズムが継続したホンベラで最も強く、DD下で活動は抑制されたが生物リズムは継続していたイトベラにこれに次いで強い結合が認められる。これら2種に、LLとDD両区の一部の実験で活動リズムが継続したニシキベラ、ホンソメワケベラ、イトヒキベラの3種が続く。それら3種の内、LD区の実験でLDと同調した活動リズムを示し、内因性の存在を示唆したニシキベラとホンソメワケベラがイトヒキベラよりもやや強いと考えられる。そして、運動活動と生物時計との結び付きが最も弱いと考えられるのがLL・DD両区のすべての実験で活動リズムが継続しなかったオハグロベラであった。

次にこれら6種の夜間休息場所の遮光性の強さと、上述の運動活動と生物時計の結び付きの強さとの関連を検討してみる。上記6種の夜間休息場所は種によって相違し、それぞれの場所の遮光性の強さが相違することも明らかである。遮光性の最も強い場所に休息するのが夜間砂中に潜るホンベラとイトベラ、次いでニシキベラとホンソメワケベラである。イトヒキベラは砂に潜ることが少なく、オハグロベラは全く砂に潜らない。これらの休息場所の遮光性の強弱は、運動活動と生物時計の結び付きの強弱と一致する。今福(1978)は、概日リズムの適応機能を論じて、体内時計の役割が顕著なのは、昼夜の変

化のある外界で活動し、洞穴や砂中のような外界から離れた所で休息する動物の場合である、と指摘している。すなわち、砂に潜らない習性的ベラよりも、砂に潜る習性的ベラで運動活動と生物時計の結び付きが強かった結果は、この概日リズムの適応機能を具体的に示す一例と考えられる。

一方、これら6種のベラ類の活動は、暗状態による抑制も受けていることが明らかである。その程度を比べてみると、少なくとも実験条件下では、オハグロベラとイトベラが最も強い活動抑制を受け、イトヒキベラがこれに次ぎ、暗条件でも活動の継続がみられたニシキベラ、ホンソメワケベラは活動抑制が比較的弱く、ホンベラは暗状態による活動抑制の最も弱い種であると判断された。このことから、ベラ類のLL・DD両条件下における活動リズムの継続性に種間の相違がみられたのは、種間の運動活動と生物時計との結び付きの強弱と、暗状態による活動抑制の強弱との相互関係によって決まるものと理解される。

謝 辞

本研究に対して、終始有益な助言を与えられ、本論文を校閲された東海大学海洋研究所教授鈴木克美博士に深謝する。供試魚の採集と実験について援助を受けた東海大学海洋科学博物館学芸員阿部秀直氏、同舟尾 隆氏、活動記録装置製作について援助を受けた同佐藤 猛氏、同石橋忠信氏はじめ同館学芸員の諸氏にお礼申し上げる。本研究費用の一部は東海大学海洋研究所研究費から援助を受けた。本研究は東海大学海洋科学博物館研究業績 No. 108 である。

引 用 文 献

- Aschoff, J. 1960. Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., 25: 11-28.
- Casimir, M. J. 1971. Zur Morphologie, Histochemie, Tagesperiodik und Biologie der Operculardruse bei Labriden und Scariden (Pisces). Mar. Biol., 8: 126-146.
- 千葉喜彦. 1975. 生物時計. 岩波書店、東京, 244 pp.
- Collette, B. B. and F. H. Talbot. 1972. Activity patterns of coral reef fishes with emphasis on nocturnal-diurnal changeover. Nat. Hist. Mus. Los Angeles Cty., Sci. Bull., 14: 98-124.
- Eriksson, L. -O. and T. Van Veen. 1980. Circadian rhythms in the brown bullhead, *Ictalurus nebulosus* (Teleostei). Evidence for an endogenous rhythm in feeding, locomotor, and reaction time behaviour. Can. J. Zool., 58: 1899-1907.

- Godin, J.-G. J. 1981. Circadian rhythm of swimming activity in juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Mar. Biol.*, 64: 341-349.
- Helfman, G. S. 1986. Fish behaviour by day, night and twilight. Pages 366-387 in T. J. Pitcher, ed. *The behaviour of teleost fishes*. Croom Helm, London.
- Hobson, E. S. 1965. Diurnal-nocturnal activity of some inshore fishes in the Gulf of California. *Copeia*, 1965(3): 291-302.
- 今福道夫. 1978. 概日リズムの適応機能. 佐々木 隆・千葉喜彦 編. 時間生物学, pp. 48-65. 朝倉書店, 東京.
- 樺沢 洋. 1982. 人為環境下におけるキュウセン (*Halichoeres poecilopterus*) の活動型. 京急油壺マリンパーク年報, 11: 46-51.
- Kavaliers, M. 1980. Social groupings and circadian activity of the killi fish, *Fundulus heteroclitus*. *Biol. Bull.*, 158: 69-76.
- Lissmann, H. W. and H. O. Schwassmann. 1965. Activity rhythm of an electric fish, *Gymnorhamphichthys hypostomus* Ellis. *Z. Vergl. Physiol.*, 51: 153-171.
- 益田 一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝弥・吉野哲夫編. 1984. 日本産魚類大図鑑 (和文解説および図版). 東海大学出版会, 東京, 448 pp., 370 pls.
- 中園明信・塙原 博. 1972. ホンベラ *Halichoeres tenuispinnis* (Günther) の日周活動、帰巣性、行動圈について. 九州大学農学部学芸雑誌, 26(1/4): 583-593.
- Nelson, D. R. and R. H. Johnson. 1970. Diel activity rhythms in the nocturnal, bottom dwelling sharks, *Heterodontus francisci* and *Cephaloscyllium ventriosum*. *Copeia*, 1970(4): 732-739.
- 西 源二郎. 1980. ササハゼ *Eleotriodes wardi* とダテハゼ *Amblyeleotris japonica* の活動リズム. 東海大学海洋研究所資料, (2): 69-87.
- 西 源二郎. 1989. ホンベラとオハグロベラの運動活動リズム. 魚類学雑誌, 36(3): 350-356.
- Richardson, N. E. and J. D. McCleave. 1974. Locomotor activity rhythms of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in various light conditions. *Biol. Bull.*, 147: 422-432.
- Schwassmann, H. O. 1971. Biological rhythms. Pages 371-428 in W. S. Hoar and D. J. Randall, eds. *Fish physiology*, VI. Academic Press, London.
- 田畠満生. 1988. 魚類の日周行動と概日リズム. 羽生 功・田畠 満生編. 水産動物の日周活動, pp. 79-100. 恒星社厚生閣, 東京.
- Tabata, M., M. Minh-Nyo, H. Niwa and M. Oguri. 1989. Circadian rhythm of locomotor activity in a teleost, *Silurus asotus*. *Zool. Sci.*, 6(2): 367-375.

(Received December 6, 1989; accepted February 2, 1990)