

## イセエビが感知し得る昼間照度の下限值

小池 隆\*・林 浩司\*・永田 豊\*

### Minimum downward irradiance recognized by Japanese spiny lobster

Takashi KOIKE, Kooji HAYASHI, and Yutaka NAGATA

#### Abstract

The Japanese spiny lobster (*Panurilus japonicus*) shows nocturnal habit. The diurnal brightness variation was reproduced in our experimental tanks by setting a 12-hour bright period (daytime) and a 12-hour dark period (nighttime), alternatively. The lobster was kept and habituated on the condition of the  $3.3 \times 10^2$  lx daytime brightness and of the 0 lx nighttime brightness for several days prior to each experimental run. Then, the daytime brightness was lowered to the following levels (0 lx,  $6.8 \times 10^{-6}$  lx,  $2.3 \times 10^{-5}$  lx,  $5.2 \times 10^{-3}$  lx,  $3.5 \times 10^{-2}$  lx). The lobster sustains its diurnal variation pattern even after the change of the daytime brightness. However, if the daytime brightness is lowered than some critical value, the variation period tends to be shortened and the period of diurnal activity variation becomes significantly shorter than 24 hours. Such phase shift of the activity variation does not occur when the daytime brightness values remain higher than this critical value, so the variation pattern of spiny lobsters can be said to completely correspond to that of the brightness change. By using this nature, we determined this critical brightness value was about  $2.3 \times 10^{-6}$  lx.

#### 1. はじめに

イセエビ (*Panurilus japonicus*) の行動や活動性についてはいくつかの研究例がみられる。久保 (1962, 久保・石渡, 1964) は、イセエビが夜間刺網に罹網する時刻を調べ、薄明・薄暮時に罹網数が増加することを示した。TAKAGI *et al.*, (1975) はイセエビの月別漁獲変動と漁獲努力量あるいはイセエビの活動性との関連について報告した。余座ら (1977) はイセエビの刺網による漁獲量が月齢と関係し朔から望に向かって減少すると報告した。また、井上 (1964) はイセエビの摂餌量に関し、蓄養水温の対数値と摂餌量の間には比例関係があり、さらに摂餌量は満月時に減少することを示した。McLEESE and Wilder (1958) は、アメリカカンボスターの活動性は水温と密接な関係があり、底層水温と漁獲効率指数、活動性と漁獲効率指数の間にはそれぞれ指数関係があることを示した。YAMAKAWA *et al.* (1994) はイセエビの資源評価モ

デルに、水温・太陰月周期 (月明り)・波浪などの環境要因による刺網の漁具能率の変化を導入した。刺網やカゴ網漁業にもとずく資源評価においては、イセエビの行動や活動性の知見が不可欠で重要なものとなると報告している。このように、イセエビは夜行性動物 (SUTCLIFFE, 1956; 岩井・林, 1990; MACDIARMID *et al.*, 1991; LIPCIUS and COBB, 1994) であるから、夜間の微少な照度変化に敏感に反応していると考えられる。

小池ら (1993, 1995, 1996) は一連の研究で、イセエビの活動性と照度との関係について室内実験し、昼間照度が  $3.3 \times 10^2$  lx の場合、イセエビは夜間照度が  $1.8 \times 10^{-4}$  lx 未満の時には活発な夜間行動をするが、夜間照度がこの値以上になると行動が著しく不活発となることを示した。そして月による夜間照度の増加がイセエビの行動を抑制し、漁獲量の減少の一因となり得ると考えた。しかし、昼間照度に関しては、昼間が  $3.5 \times 10^{-3}$  lx で夜間 0 lx の場合と、昼間が  $3.3 \times 10^2$  lx で夜間 0 lx の場合とで日周行動に相違が認められないことが示されただけである。

1995年11月10日受理

\* 三重大学生物資源学部 Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihama, Tsu, Mie 514, Japan

本研究では、夜間照度を0 lxに固定して、種々の昼間照度のもとでイセエビの日周行動の変化を観察し、イセエビが感知し得る昼間照度の下限値を検討した結果を報告する。

## 2. 実験方法

実験は、英虞湾内にある三重大学附属水産実験所の屋内水槽で行った。実験装置をFig. 1に示した。水槽は二重に遮光された暗室に3個設置した。それぞれの水槽内に長さ40cm幅30cm深さ30cmのカゴを入れ、この中に1尾のイセエビを放養した。カゴは3本の糸で吊し、そのうちの1本を電子天秤(A&D社製 EW A/B-300B)の測定部に結び、その張力を連続測定した。得られた信号はパソコン(NEC PC-9801F)に入力・記録し、イセエビの行動特性の計算に用いた。水槽の海水は実験所地先の5m層から汲み上げ、毎分3lの割合で交換した。給水は水槽の底面近くから行い、排水は表面と底面近くの2箇所から行った。光源には白熱電球(40W)を用い、床面に設置して間接光のみ

が水槽水面に到達するよう工夫した。水槽の水面中央部の下方向照度を測定し(International Light INC 100/Y/L30; Minolta T-1M)、この値で水中照度を代表させるが、水槽が浅く海水の透明度も良かったため高々10%程度の誤差である(KOIKE *et al.*, 1995)。照度は、減光フィルター(HOYA製 OPTICAL GLASS透過率13.0%, 5.0%, 1.0%, 0.3%)を光源の前に取り付けることによって調節した。タイマー(東芝製 TWM-101)によって6時に点灯し、18時に消灯することにより、それぞれ一定照度の昼間(6時~18時)と夜間(18時~6時)を水槽内に再現させた。夜間照度は、すべての実験を通して0 lxとした。

糸の張力は9秒間の平均値を計算して15秒毎に記録し、解析に用いた。これは3個の水槽からの信号入力について若干の途絶えが生じることから、パソコンによる計算処理のために、その前後の信号を除いた9秒間を解析対象とした。ある時点の張力の測定値についてその前値との差が2g以上となった場合、イセエビが有意の行動をしたとみなした。1時間毎に行動頻度を計数し、その数をイセエビの活動度の指標とした。有意な行動の基準とした2gの差は、体重250gのイセエビが(水中重量約25g)カゴの中で長軸方向に約3.2cm移動した場合に相当する。これらの装置や実験方法は前報(KOIKE *et al.*, 1995)と同様である。

実験を行った昼間と夜間の照度を、他の実験条件とともにTable 1に示した。ここでは、昼間照度 $3.3 \times 10^2$  lxの場合を標準状態とし、他の実験結果と比較検討した。昼間照度は、実験1で0 lx、実験2で $6.8 \times 10^{-8}$  lx、実験3で $2.3 \times 10^{-5}$  lx、実験4で $5.2 \times 10^{-3}$  lx、実験5で $3.5 \times 10^{-2}$  lxとした(Table 1)。実験1から実験3は、標準状態でイセエビを1週間馴致した後に行った。実験4と実験5では馴致期間は設けなかった。

使用したイセエビは、志摩半島・和具沖の水深が10

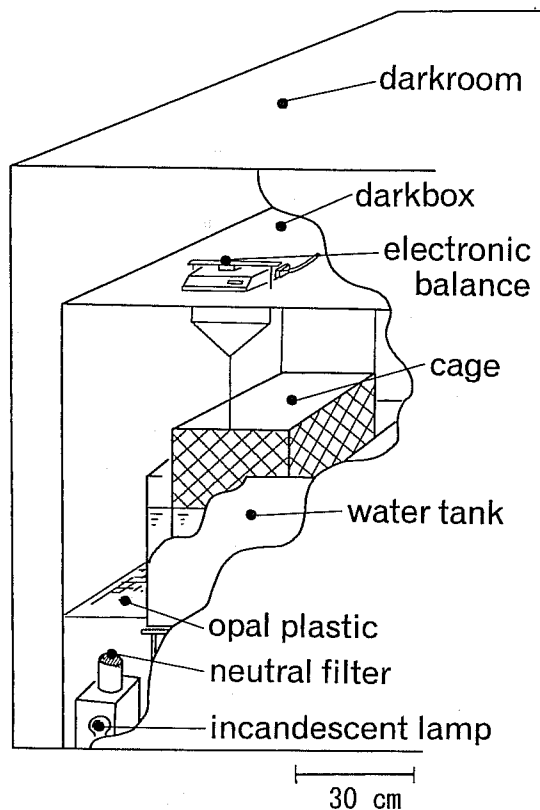


Fig. 1. Schematic view of the experimental apparatus.

Table 1. Experimental conditions of each run.

Run No.	Brightness N/D (lx)	Water temp. (°C)	Date
1	0 / 0	19.0-22.4	May 28-July 2 1993
2	0 / $6.8 \times 10^{-8}$	21.7-22.5	July 3-July 25 1993
3	0 / $2.3 \times 10^{-5}$	19.6-23.7	Sep. 21-Oct. 31 1993
4	0 / $5.2 \times 10^{-3}$	22.5-27.8	July 1-July 15 1990
5	0 / $3.5 \times 10^{-2}$	23.1-26.0	June 17-June 30 1990

\* N:nighttime

D:daytime

m以浅の沿岸域で捕獲されたもので、頭胸甲長7.0～8.5cm、重さ250～300gの雄のみを選んで実験に供した。イセエビの活動度は水温等の外部条件によって変化するが、われわれの経験では、同一条件のもとでのイセエビの活動度は、実験水槽内で1年以上飼育された後でも、最初に水槽に入れられた時とほとんど変化が認められない。今回の実験では、実験1から実験3までは同一イセエビを用いた。実験4と実験5はそれぞれ別のイセエビを用いた。イセエビの活動度の個体差についてはさらに検討を加える予定ではあるが、イセエビの大きさを揃え、あらかじめ不活発な個体を除外したこともあり、本実験結果には個体差に関する大きな影響はないと考えられる。

飼育時の餌は、生きたムラサキイガイ (*Mytilus*

*edulis*) の殻の一部にキズをつけて1週間に1度150～250g与えた (GRIFFITHS, 1980, KOIKE *et al.*, 1995)。給餌は昼間行い、できるかぎりランダムな時刻となるよう心がけた。この給餌量においては、生きたムラサキイガイが給餌3日後まで残っていることはあったが、給餌1週間後には全て食べられていた。また、給餌時には水温の計測も併せて行った。

### 3. 馴致期間におけるイセエビの日周行動

行動頻度を指標としたイセエビの日周行動を Figs. 2～4に示す。番号に○印を付した日が標準状態のもとでの実験結果である。Fig. 2は実験1 (1993年5月2日から7月2日)、Fig. 3は実験2 (1993年7月3日から7月25日)、Fig. 4は実験3 (1993年9月21日か

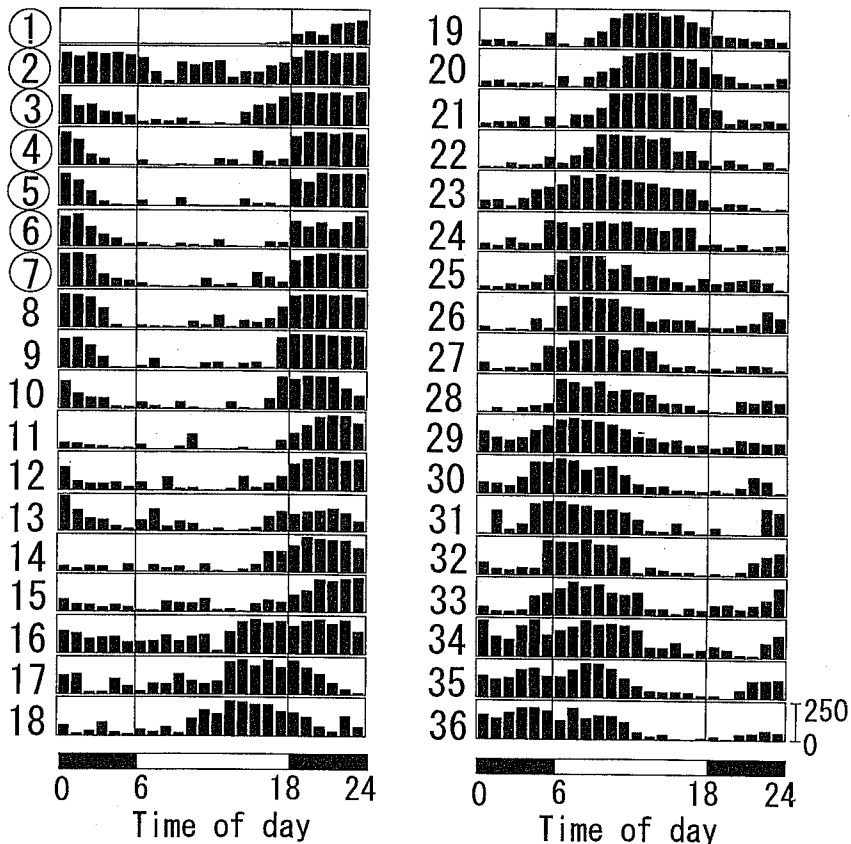


Fig. 2. Daily variation of the diurnal activity of the lobster in run 1. The activity frequencies per hour are plotted on the ordinate, and its scale is shown at the bottom of the right corner. The change of the daytime period are plotted on the abscissa. The nighttime is shown by black horizontal bars and the daytime by white bars. The numerals attached on the left side of each figure show the day number, and those in circles indicate that they are in the habituation period.

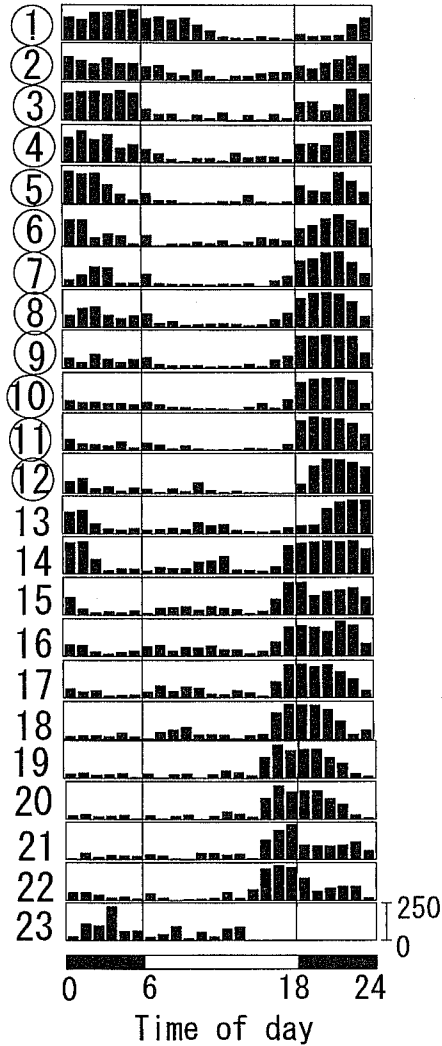


Fig. 3. The same as in Fig. 2, except for run 2.

ら10月31日), の結果を示す。実験1の開始から7日間と実験2の開始から12日間は、標準状態のもとでの馴致期間である。実験3の場合、イセエビは約1カ月間標準状態のもとで飼育されていた後継続して行われたが、標準状態の最後の7日間だけを図示した。

馴致期間の日周行動のパターンには、最初の2、3日間は乱れが認められ、イセエビが新しい環境に馴れるまで若干の時間を必要とするようである。しかし、その後イセエビの行動には、照度変化の位相と一致した明確な日周行動が現れ、行動が不活発な昼間期と活発な夜間期が出現する。

行動が不活発から活発へ変わる移行時刻は、消灯時

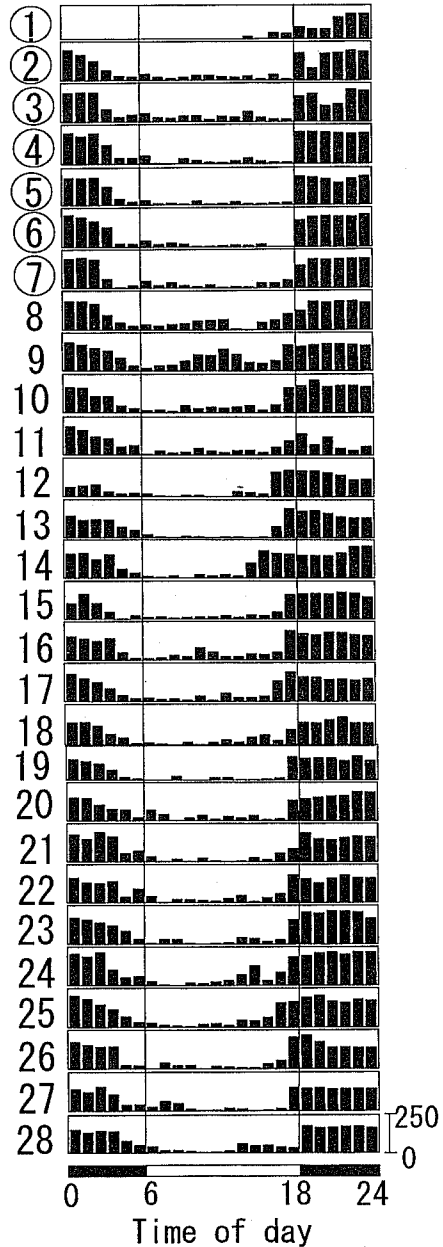


Fig. 4. The same as in Fig. 2, except for run 3.

刻(18時)と完全に一致する。逆に、行動が活発から不活発へ変わる移行時刻は、必ずしも点灯時刻(6時)と一致するとは限らない。実験1から実験3のイセエビは、点灯時刻より2~3時間前に行動を停止する傾向がみられた。実験4と実験5のイセエビは点灯後しばらく行動し続ける傾向があった。このように、行動

が活発から不活発へ変わる移行時刻についてはイセエビの個体によって異なる結果が得られた。

Table 2の左側に、馴致期間の昼と夜を分けて計算した平均行動頻度と標準偏差を示した。夜間の平均行動頻度は昼間よりはるかに高い。しかし、同一イセエビでも平均行動頻度は実験毎に若干変化する。

イセエビの日周行動の周期性を検討するため、各実験の馴致期間をペリオドグラム法(和田, 1983; TABATA, 1992; CHATTERTON and WILLIAMS, 1994)で解析し、Table 2の各項のカッコ内に示した。いずれの実験の馴致期間においても、イセエビの日周行動の周期は24.0時間であった。

また、実験に対する水温の影響を精査した。水温を測定した日のイセエビの行動頻度を24時間合計し、その積算値と水温との関係を Fig. 5に示した。同図には、以前に実施した実験の結果や、イセエビが標準状態と同じように明確な日周行動を示した実験4および実験5の結果も併示している。24時間積算行動頻度は、水温と明確な直線関係が見られ、実験した水温範囲内で、水温の上昇にともなって直線的に減少している。両者の関係式は $F=9569-301 \times T$ が得られた。ここでFは24時間積算行動頻度、Tは水温(°C)である。冬

季にイセエビの行動は一般に不活発になるため、この関係はそのままより低温域には適用できない。本実験範囲内ではイセエビの行動頻度には個体差よりも水温がより大きな影響を与えていることが示唆された。個体差については更に検討を加える予定であるが、Fig. 5の結果は少なくともわれわれの実験結果が個体差による影響をあまり受けていないことを支持している。

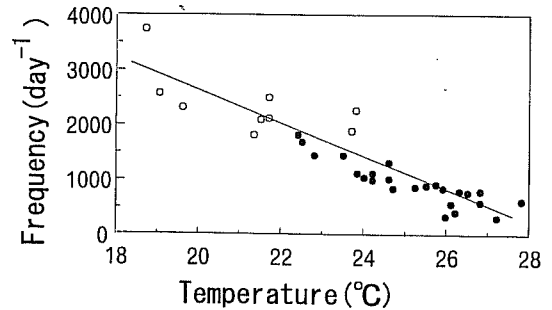


Fig. 5. Relation between the water temperature (°C) and the accumulated activity frequency per day. The straight line in the figure is obtained by the least square method. Data points shown by white circles are obtained in the present experiments, and those by black circles in the previous

Table 2. Activity frequencies per hour for nighttime (N) and for daytime (D) for each habituation period and for each sub-period of one week length. The last sub-period in each run may be shorter than one week, and 4 days (\*) or 6 days (\*\*). The standard deviations are also shown. The variation periods (in hour) obtained by the periodogram analysis are shown in parentheses. The brightness conditions are reproduced in the left side

Run No.	Brightness (lx)	habituation	first week	second week	third week	fourth week
1	N 0	155.0±25.2	128.5±27.8	81.8±38.9	45.1± 6.9	91.1±11.9
	D 0	38.2±32.3 (24.0)	37.4±7.8 (24.0)	129.5±37.2 (22.8)	144.7±14.3 (23.6)	111.2±14.6 (23.8)
2	N 0	119.5±9.8	104.7±25.9	49.3± 7.3 *		
	D 6.8×10 <sup>-4</sup>	25.7±5.4 (24.0)	58.3± 9.9 (23.4)	53.2±20.4 * (23.8) *		
3	N 0	136.4±30.9	127.3±21.0	128.0±10.1	145.7±16.0	
	D 2.3×10 <sup>-5</sup>	19.8± 7.2 (24.0)	46.6±16.1 (23.8)	34.1± 9.2 (24.2)	37.6± 8.8 (24.0)	
4	N 0		86.8± 9.7	66.8±11.0		
	D 5.2×10 <sup>-3</sup>		19.5±10.8 (24.0)	12.6± 2.4 (24.0)		
5	N 0		62.4±13.4	81.2±13.5 **		
	D 3.5×10 <sup>-2</sup>		14.7± 4.8 (24.0)	9.4± 1.3 ** (24.0) **		

#### 4. 恒暗状態におかれたイセエビの日周行動

実験1 (Fig. 2) では標準状態の馴致期間後、8日目から昼間照度を0 lxとしてイセエビの日周行動を検討した (○印を付してない8日から36日目)。また、昼夜別に平均行動頻度を求め Fig. 6aに図示した (ここでは恒暗状態とした後でも、標準状態と同様に便宜上6時から18時を昼間と呼び、18時から翌朝6時を夜間とした)。さらに、実験期間を1週間毎に区切り、おのおのの昼夜別に平均行動頻度と標準偏差をTable 2 (実験1) に示した。ただし、各実験の終了時に、1週間に満たない場合もある。

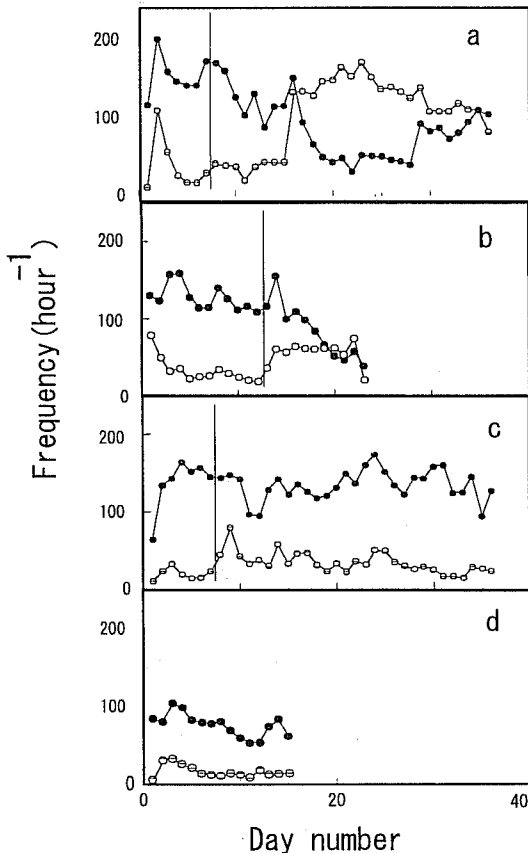


Fig. 6. Temporal changes of the lobster activity frequencies per hour averaged over nighttime (black circles) and over daytime (white circles) for each day: a is for run 1, b for run 2, c for run 3, and d for run 4, respectively. The day numbers are plotted on the abscissa. The left side of the vertical line indicates the habituation period.

恒暗状態後の最初の2, 3日間のイセエビの日周行動は、馴致期間と全く同じパターンを示す。その後、日数の経過とともに、行動が不活発から活発へ変わる移行時刻は早くなっていく。この移行時刻のずれとともに昼間の行動頻度が高くなり逆に夜間のそれが低下していく。16日目以後は昼夜の行動頻度は逆転して、元の昼間の行動頻度が高くなり夜間が低くなっている。18日後には、行動が活発な時間は元の昼間に相当する6時から18時となり、馴致期間の昼夜の変化と全く逆位相となる。21日後になると、移行時間のずれは不明確となり日周行動の周期は24時間に復帰するようになる。しかし、日周行動パターンそのものも乱れ始め、行動の活発な時間が長くなり不活発な時間が短くなる傾向が認められる。また、行動が活発となるピークが1日に2回現れるようなことも起こる (Fig. 2の32日目と33日目)。

ペリオドグラム法によって得られた1週間毎の日周行動の周期をTable 2に併示した。実験1の最初の1週間は、位相の変化が見られず周期は24.0時間である。第2週目の周期は22.8時間となり、著しく短縮している。第3・第4週における周期は23.6および23.8時間となる。移行時刻のずれは続くが、ずれ方の速度は小さくなる傾向を示す。この後、再び周期が24時間に戻るかどうかは、現在までの実験結果のみからは不明である。

恒暗状態ないしはそれに近い状態に、環境を変化させた場合の日周行動の周期の変化については、TABATA (1992) のナマズ (*Silurus asotus*) についての事例があり、周期が短縮する場合とともに延長する場合も報告されている。また、CHATTERTON and WILLIAMS (1994) はカニの一種 (New Zealand cancrid crab *Cancer novaezlandiae*) について、日周行動の周期のずれ方には著しい個体差のあることを示唆している。他の動物の日周行動パターンとの比較検討を、個体差の問題とともに今後精査する必要がある。

#### 5. 感知可能な昼間照度の下限値

前章と同様にイセエビを標準状態で飼育した後、昼間照度をある一定値に減じた場合のイセエビの日周行動を観察した。設定された昼間照度の値がイセエビの感知し得る照度の下限値より低くなると、イセエビの日周行動は恒暗状態に転じた場合と類似したものになると考えられる。

実験2 (Fig. 3, Fig. 6b) では、13日目から昼間照度を $6.8 \times 10^{-8} \text{ lx}$ に減じてイセエビの行動を観察した。昼間照度の変更後2, 3日間の日周行動には若干の乱れが認められるが、イセエビの行動が不活発から活発へ変わる移行時刻のずれは明確ではない。しかし、14日後からはこの移行時刻の前方へのずれが明確に現れる。馴致期間および実験1と同様に求めた平均行動頻度や日周行動の周期などをTable 2に示した。照度の日周変化の位相と、行動頻度の変化の位相とのあいだのずれを反映して、実験日数の経過とともに夜間行動頻度が減少し、昼間行動頻度が増大する (Table 2)。ペリオドグラムによって計算した1週間毎の日周行動の周期は、昼間照度を変更後の第1週で23.4時間、第2週で23.8時間であり、周期は明らかに短くなっている。この状態は、実験1の恒暗状態と非常に類似しており、昼間照度 $6.8 \times 10^{-8} \text{ lx}$ をイセエビは感知し得ないと判断された。

実験3 (Fig. 4, Fig. 6c) では、8日目から昼間照度を $2.3 \times 10^{-5} \text{ lx}$ に減少させた。昼間照度を変更後の2, 3日間のイセエビの日周行動には実験2と同様に

若干の乱れが認められ、特に8日目と9日目には昼間にも比較的高い行動頻度が観察された。12日から14日目には、イセエビの行動が不活発から活発へ変わる移行時刻のずれが認められ、明から暗への照度変化の時刻と比べ早くなる。しかし、この移行時刻は15日目には元に戻り17時 (照度変化の1時間前) となる。移行時刻の前進は、16日から18日目に再びみられるが、19, 20日目には再び17時へ戻る。このようにイセエビの行動が不活発から活発へ変わる移行時刻は、日によってばらつく傾向が認められる。ペリオドグラムによって計算した、1週間毎の日周行動の周期 (Table 2) は、昼間照度の変更後、第1週で23.8時間、第2週で24.2時間、第3週で24.0時間と、照度変化の周期 (24.0時間) のまわりにばらつく傾向が認められる。以上から、イセエビは $2.3 \times 10^{-5} \text{ lx}$ の昼間照度を混乱があるにせよかろうじて昼間の明るさとして感知し得ると判断された。

実験4 (Fig. 6d, Fig. 7) と実験5 (Fig. 8) は、昼間照度をそれぞれ $5.2 \times 10^{-3} \text{ lx}$ と $3.5 \times 10^{-2} \text{ lx}$ とし、馴致期間を設定しなかった。イセエビの日周行動には、初めの2, 3日間に混乱が認められるが、行動が不活発から活発へ変わる移行時刻は常に消灯と同時刻 (18

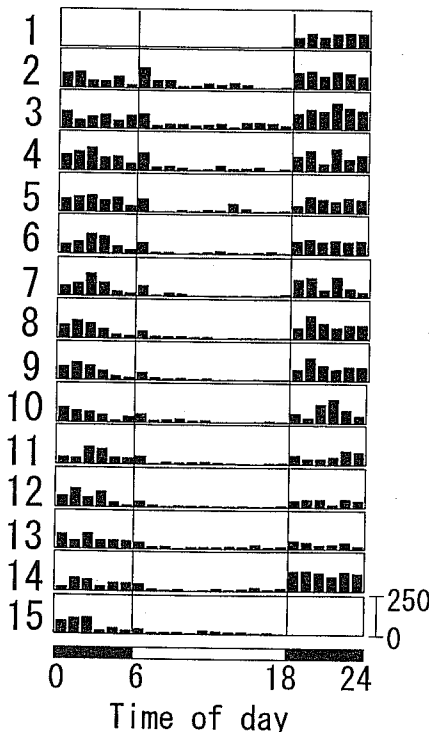


Fig. 7. The same as in Fig. 2 except for run 4. No habituation period is set in this run.

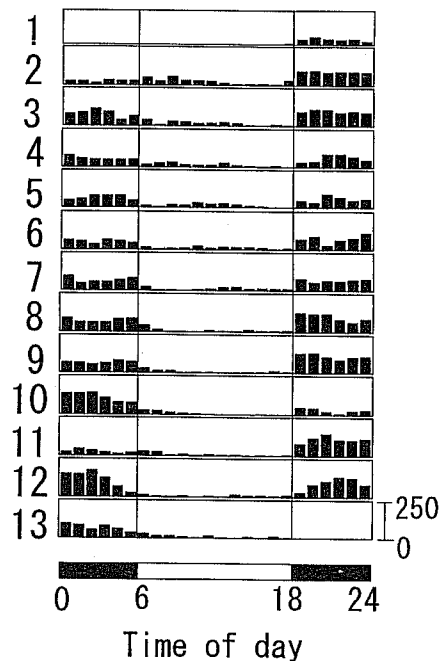


Fig. 8. The same as in Fig. 2 except for run 5. No habituation period is set in this run.

時)である。これらの昼間照度のもとでイセエビの日周行動は、標準状態(馴致期間)の場合と一致している(Table 2)。したがって、これらの昼間照度をイセエビは感知し得ると判断された。

上記より、イセエビが感知し得る昼間照度の下限値は $2.3 \times 10^{-5} lx$ 付近にあると判断することができる。KOIKE *et al.* (1996)で報告したようにイセエビの夜間行動の活発・不活発を分ける夜間照度の境界値は $1.8 \times 10^{-4} lx$ である。今回ここで得られた、イセエビが感知し得る昼間照度の下限値は、上記の値と比較して約 $1/8$ である。この両値の差については、イセエビの行動の個体差を含めてさらに詳細に検討する必要がある。カブトガニ(*Limulus*)では夜間の光に対する感度が昼間と比較して約10倍高いとの報告もあり(POWER and BARLOW, 1985), 今回の結果は既往の知見と矛盾しない。また、ARCHIGA and ATKINSON (1975)は、エビの一種*Nepherops norvenicus*が感知し得る照度は $10^{-3} lx$ であると報告しており、今回得られたイセエビが感知し得る昼間照度の下限値とほぼ一致している。

## 6. まとめ

標準的な日周明暗変化のもとでイセエビを馴致した後、昼間の照度をあらかじめ設定された4種類の値に減じて日周行動の変化を観察し、イセエビが感知し得る昼間照度の下限値を求めた。今回の実験では夜間照度は $0 lx$ に固定した。

昼間照度が $0 lx$ (実験1)および $6.8 \times 10^{-3} lx$ (実験2)の場合、イセエビの日周行動の位相は、日数の経過とともに照度の日周変化の位相からずれていく傾向を示し、日周行動の周期は24時間よりも明確に短くなる。日周行動が明暗変化に支配されないことから、イセエビはこの昼間照度を感知できないと判断された。

昼間照度が $2.3 \times 10^{-5} lx$ (実験3)の場合、イセエビの日周行動パターンには複雑な乱れが生じ、しばしば、日周行動の位相が照度の日周変化より前方へずれることがある。しかし、日数の経過とともにこのずれは無くなり両者は同じ位相に復帰する。イセエビはこの昼間照度をかなりの混乱をとまなないながらろうじて感知していると判断された。

昼間照度が $5.2 \times 10^{-3} lx$ (実験4)および $3.5 \times 10^{-2} lx$ (実験5)の場合には、イセエビの日周行動の位相は照度の日周変化の位相と一致する。イセエビの行動が完全に明暗によって左右されており、イセエビはこれ

らの昼間照度を十分感知していると判断された。

以上より、イセエビが感知し得る昼間照度の下限値は $2.3 \times 10^{-5} lx$ 付近にあることが結論付けられる。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、実験にご協力いただいた三重大学付属水産実験所の方々に厚くお礼申しあげる。また、内容および表現について貴重なご指摘をいただいた匿名の校閲者に深く感謝する。この研究の費用の一部は、平成7年度文部省科学研究費補助金と財団法人覚真振興財団の研究助成金によったことを付記する。

## 文 献

- ARECHIGA H., and R. J. A. ATKINSON (1975) The eye and some effects of light on locomotor activity in *Nepherops norvegicus*. *Mar. Biol.*, **32**, 63-76.
- CHATTERTON T. D., and B. G. WILLIAMS (1994) Activity patterns of the New Zealand cancrivore crab *Cancer novaezelandiae* (Jacquinot) in the field and laboratory. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **178**, 261-274.
- GRIFFITHS C. L., and J. L. SEIDERER (1980) Rock lobsters and Mussels-limitation and preferences in a predator-prey interaction. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **44**, 95-109.
- 岩井 保, 林 勇夫 (1990) イセエビ下目。「基礎水産動物学」恒星社厚生閣, 東京, 157-159.
- 井上正昭 (1964) 蓄養中におけるイセエビの摂餌量について. 日水誌, **30**, 407-412.
- 小池 隆, 吉見恭子, 永田 豊 (1996) イセエビの活動を抑制する夜間照度の閾値. 日水誌, **62**, (印刷中)
- KOIKE T., Y. MORIKAWA, and M. MAEGAWA (1995) Underwater brightness in nighttime and behaviors of Japanese spiny lobsters. *La mer*, **33**, 37-46.
- 小池 隆, 森川由隆, 前川行幸, 森永 勤 (1993) イセエビの夜間行動におよぼす水中の明るさの影響. 日水誌, **59**, 1689-1694.
- 久保伊津男 (1962) イセエビ漁獲の時間的变化にみられる双峯性について. 日水誌, **28**, 322-325.
- 久保伊津男・石渡直典 (1964) イセエビの活動性と水中照度との関係について. 日水誌, **30**, 884-888.
- LIPCIUS R. N., and J. S. COBB (1994) Ecology and fishery biology of spiny lobsters. In *Spiny Lobster Management*, ed. by B. F. Phillips, J. S. Cobb, and J. Kittaka, Blackwell Scientific Publications, Oxford., 1-30.
- MACDIARMID A. B., B. HICKEY, and R. A. MALLER (1991) Daily movement patterns of the spiny lobster *Jasus edwardsii* (Hutton) on a shallow reef in northern New Zealand. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **147**, 185-205.
- MACLEESE D. W., and D. G. WILDER (1958) The activity and catchability of the lobster (*Homarus americanus*) in relation to temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **15**, 1345-1354.



- POWERS M. K., and R. B. BARLOW, JR (1985) Behavioral correlations of circadian rhythms in the *Limulus* visual system. *Biol. Bull.*, **169**, 578-591.
- SUTCLIFFER W. H. (1956) Effect of light intensity on the activity of the Bermuda spiny lobster *Panulirus argus*. *Ecology*, **37**, 200-201.
- TABATA M., M. MINH-NYO, and M. OGURI (1991) The role of the eyes and the pineal organ in the circadian rhythmicity in catfish *Silurus asotus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 607-612.
- TABATA M., (1992) Photoreceptor organs and circadian locomotor activity in fishes. In *Rhythms in Fishes*, ed. M. A. Ali, Plenum Publishing Co. New York, 223-234.
- TAKAGI K., K. MIZUGUCHI, and A. OHNO (1975) Biological features of the trend shown in the monthly catches by spiny lobster fishery in Uchiura Bay, Chiba Prefecture, *La mer*, **13**, 20-24.
- YAMAKAWA T., Y. MATSUMIYA, M. NISHIMURA, and S. OHNISHI (1994) Expanded DeLury's method with variable catchability and its application to catch-effort data from lobster gillnet fishery, *Fisheries Science*, **60**, 59-63.
- 余座和征, 野村浩三, 宮本秀明 (1977) 底刺網への罾網状態から見たイセエビとサザエの生態について. *日水誌*, **43**, 1269-1272.
- 和田勝 (1983) ベリオドグラム. 実用プログラム集, 石居進・河野晴也・若林克己・和田勝・窪川かおる著, 培風館, 208-214.