

自然光下における水中の明るさとクロアワビの 夜間行動との関係*

森川由隆**・小池康之***・森永勤**

Relationship between underwater natural light intensities and behaviour of the disc abalone *Haliotis (Nordotis) discus* during the night*

Yoshitaka MORIKAWA**, Yasuyuki KOIKE***
and Tsutomu MORINAGA**

Abstract: Visual observations of each abalone coming in and out of a shelter in an outdoor water tank and consecutive measurements of brightness on the water surface were carried out around the clock for 18 days. The abalones started their activities after the sunset. When most abalones came out of the shelter, the light intensities in the water were less than $1 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$. The number of abalones showing their creeping and staying behavior changed with brightness in water, and under the moonlit conditions more than $1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$, decreased in comparison with those under the moonless less than the abovementioned value. For example, considering this decreased rate from a viewpoint of the total of a crept distance made by each abalone, the former was about 38% of the latter. It can be concluded that during the moonlit night brightness in water have an effect on the creeping and staying behavior of disc abalones.

1. はじめに

アワビ類はトロコフォア期には正の走光性を有し(猪野, 1957; 矢野・小川, 1977), 成長して着底すると負の走光性を示す。着底後は昼間は岩陰などに固着し, 夜間に行動する(酒井, 1962; 小池等, 1970)。夜間における行動は, 闇夜と月夜の場合ではかなり異なることが漁師の間で言われている。

筆者等は, このような夜行性生物の夜間における行動は, 暗い中でのわずかな明るさの違いによって影響されるとの観点にたち, 光がクロアワビの行動に及ぼす影響

に関する研究に着手した。まず, (1) 光環境とクロアワビの行動との関係を把握し, 次に(2) 活動を開始する明るさの閾値および(3) 行動に影響を及ぼす光スペクトル等について調べる必要があると考えた。

従来, アワビ類についてのこの分野の研究は非常に少なく, わずかに宇野(1976)および林(1988)がある。宇野は室内水槽における行動観察から, クロアワビの夜間行動は電灯の点灯で中止, 消灯で開始することを明らかにした。林は, クロアワビ稚貝の夜間活動の経時変化を調べ, 日没後行動を開始する水中照度は, およそ0.5 lx以下であることを報告した。しかし, 水中の明るさと行動との関係については, 定量的に検討されておらず, 行動を開始する光強度の正確な値も不明である。

本報は, 自然光下における水中の明るさとクロアワビの夜間行動との関係を定量的に把握する目的で, 外房総で採取した個体を用い, 水槽内に設置したシェルターからの出入と行動の観察, および水面上の明るさの連続測定より, (1) 水中の明るさの経時変化と出現個体数と

* 1993年10月5日受理 Received October 5, 1993

** 東京水産大学海洋生産学科

Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo, 108 Japan

*** 東京水産大学坂田実験実習場

Banda Marine Laboratory of Tokyo University of Fisheries, Tateyama, Chiba, 294-03 Japan

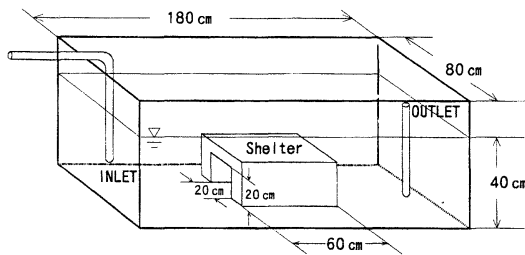


Fig. 1. Sketch of experimental water tank.

の関係、(2) シェルターから出現するときの水中の明るさ、および(3) 水中の明るさの相違が夜間行動へ及ぼす影響を調べた。

2. 方法および材料

実験は、1992年5月25日から6月2日(月齢22.4日~1日)までの闇夜の9日間と、5月12日から6月20日(月齢9.4日~19日)までの月夜の9日間に行った。実験水槽は縦180cm、横80cm、高さ70cmのFRP製で、人工的な光の影響を受けない場所に設置した。水槽内には水深40cmの高さまで濾過海水を満した。シェルターにはコンクリート製のU字溝(60×20×20cm)を用い、水槽の底面中央部に設置した(Fig. 1)。また実験期間中、水槽底面の4隅に褐藻類アラメ *Eisenia bicyclis* を固定し、餌料に供した。

クロアワビは、館山市伊戸地先および外房の千葉大学理学部付属海洋生態系研究センター小湊実験場の、各保護水面においてスクーバ潜水により採取した。10個体(殻長97.6~119.5mm)を水槽内で数ヶ月間放養し、採取時のストレスを解消した。

行動観察は、日出時から日没時までを昼間、日没時から日出時までを夜間として次のように行った。昼間は4時間毎に、夜間は日没時を起点として10分毎に、シェルター外にいるクロアワビの位置と基本動作(摂餌、匍匐、静止の3種類)の区別を目視した。特に夜間観察においては微弱な赤色光を用い、行動への影響を極力少なくするように配慮した。同時に、水面の明るさを光量子計(International Light Co. Ltd., IL 1700; 測定感度範囲, $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^4 \mu E/m^2/sec$; 測定波長域, 400~700nm)で昼夜測定した。水槽底の明るさは、日中に測定した海水の照度の消散係数より算出した。さらに、餌料であるアラメの湿重量を毎日計測した。なお、実験期間中の水温は17.5~20.6°Cであった。

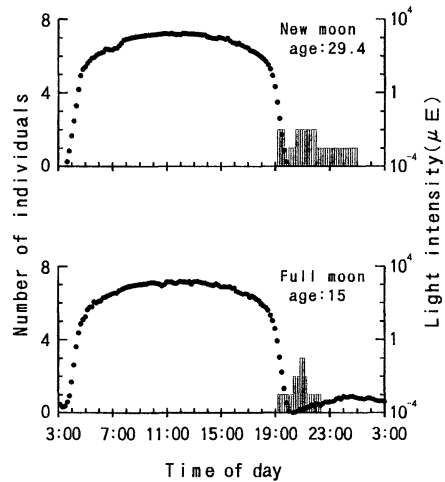


Fig. 2. Relations between underwater light intensities and the number of abalones remained outside the shelter and passage of hours. Black dots and shaded bars represents light intensities and number of individuals, respectively.

3. 結果

3-1. 水中の明るさの経時変化と出現個体数の関係

月齢29.4日(闇夜)および月齢15日(月夜)において、1日の水中の明るさの経時変化およびシェルターの外にいたクロアワビの個体数をFig. 2に示した。

水中における昼間の明るさは、晴天日では日出から日没まで、太陽高度の変化に従い変動した。太陽の正中時はおよそ $1.6 \sim 1.8 \times 10^3 \mu E/m^2/sec$ になり、積算値では約 $36 \sim 41 E/m^2/daytime$ であった。曇天および雨天では、積算値は晴天時のそれぞれ51~75%、17~33%であった。

一方夜間の明るさは、闇夜では日没時で $1.5 \sim 4.2 \mu E/m^2/sec$ 、その後30分以降では $1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$ 以下となった。また月夜では、月齢、月の高度、天候等により変わるが、晴天日の日没後30分以降においても $1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$ 以上であった。測定期間中、月夜の明るさの極大値は、満月時(Fig. 2の下段)で $1.1 \times 10^3 \mu E/m^2/sec$ であり、満月時を過ぎると急激に減少し、半月時は満月時の10%程度であった。したがって、闇夜と月夜と区分する明るさの境界値は、光量子計 $1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$ といえる。

クロアワビは、昼間にはシェルターから全く出現せず、日没後から薄明時以前までの夜間に活動した。この夜間活動は、全観察期間を通して連日認められた。シェルター外に出現した個体数は、観察日により変動したが、最も

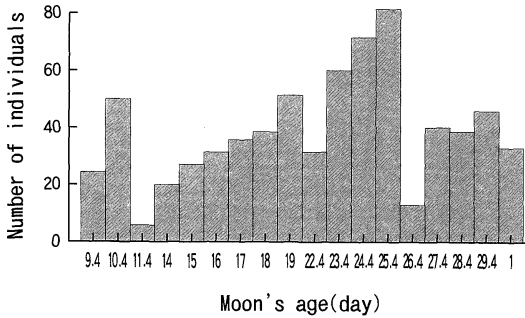


Fig. 3. Relation between moon's age and the daily integrating number of abalones remained outside the shelter.

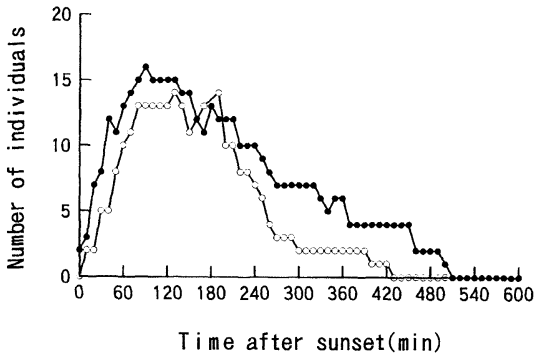


Fig. 4. Integrating number of abalones appeared out of the shelter during moonless and moonlit night. Closed and open circles indicate moonless and moonlit night, respectively.

多く出現した日で4個体, 最も少ない日で1個体, 全観察期間(18日間)の平均では, 1日あたり2.8個体であった。

夜間の明るさは, 前述のように月齢により大きく変わる。明るさの割合を示す指標として月齢を用い, 月齢とシェルター外にいた個体の1日の積算数(10分間毎に計数した延べ個体数)との関係を Fig. 3 に示した。

月齢と積算個体数との間には, 明確な関係は認められなかった。しかし, これを闇夜および月夜に大別すると, 1日あたりの平均個体数は闇夜で46個体/日, 月夜で31個体/日となり, 闇夜の方が月夜より少し多かった。この関係を, 時系列で闇夜および月夜について示すと Fig. 4 のようであった。

クロアビは日没後60分から120分で出現のピークを迎え, 180分以降から次第に減少し, 夜明けとなる

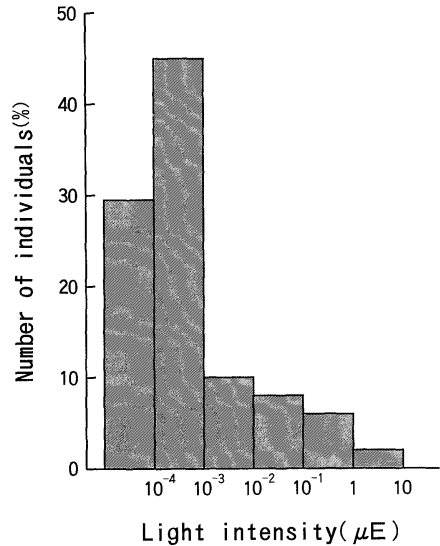


Fig. 5. Relation between underwater light intensities and the number of abalones coming out the shelter.

540分までには全ての個体がシェルターに戻るという傾向を示した。この傾向は闇夜と月夜でも同様であった。また, 出現のピーク時における個体数は, 闇夜と月夜で著しい差は認められなかったが, 240分以降では月夜の個体数がほぼ半数となり, 明らかに少なくなった。

3-2. シェルターから出現するときの水中の明るさ

クロアビが日没後シェルターから最初に出現するときの水中の明るさと個体数との関係を Fig. 5 に示した。

水中の明るさ $1 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$ を境にして, 個体数に大幅な差異が認められた。すなわち, 全出現個体に対して, $1 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$ 以上で出現した個体は25.5%であったのに対し, それ未満では74.5%であった。このことから, 大半の個体がシェルターから出現した水中の明るさは, 光量子量 $1 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$ 以下といえる。

昼間におけるシェルター内のクロアビの固着場所は, ほぼ中央部に集中していた。従って, 個体が感知している明るさは, さらに低下すると考えられる。Fig. 6 は, シェルター内の明るさの分布を示した。

シェルター内の光量子量は, シェルターの奥側へ進むにつれて急激に減少し, 中央部では開口部の0.23%であった。このことから, クロアビの出現した明るさが $1 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$ 以下であるとすると, シェルター内で感知している明るさは, その約1/300倍, $3.6 \times$

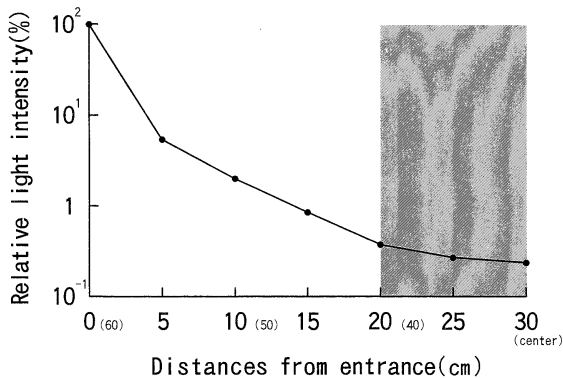


Fig. 6. Distribution of light intensities in the shelter. Shaded area indicates normal dwelling position of abalones.

$10^{-6} \mu E/m^2/sec$ 以下と概算された。

3-3. 水中の明るさの相違が夜間行動へ及ぼす影響

夜間の行動観察から、シェルターの外に出たクロアワビの動作は、匍匐、摂餌および静止の3種類から成ることから、これらの組み合わせにより行動パターンを5つに大別した。すなわち、シェルターより出て餌場に直行し、摂餌終了後直ちにシェルターに戻る摂餌型（I型）、シェルターから出た後に匍匐し、摂餌を行わずシェルターに戻る匍匐型（II型）、摂餌の前後に匍匐行動がみられる匍匐摂餌型（III型）、シェルターから出た後、一定場所に静止し、その後直ちにシェルターに戻る静止型（IV型）、静止の前後に匍匐および静止と匍匐が混在する匍匐静止型（V型）であった。これら行動パターンを、全観察期間の全出現個体に対して分類した結果、摂餌型、匍匐型、匍匐摂餌型、静止型、匍匐静止型はそれぞれ13、13、16、5、5個体であった。

水中の明るさの相違が、行動へ及ぼす影響を詳細に知るため、前述の行動パターンを闇夜および月夜別に分類し、その頻度分布をFig. 7に示した。

闇夜から月夜へと水中の明るさが増大すると、摂餌型（I）を除く4つの型で個体数が減少した。特に匍匐型（II）を示した個体の減少は著しく、半分以下になった。また、静止型を示した個体の減少も大きく、闇夜では4個体のみであったが月夜では1個体であった。一方、摂餌型（I）は明るさの増大により個体数は4から9個体に増加した。

闇夜から月夜への水中の明るさの増大による個体数の増減を、より定量的に把握するため、匍匐行動に関しては匍匐型（II）、匍匐摂餌型（III）、および匍匐静止型

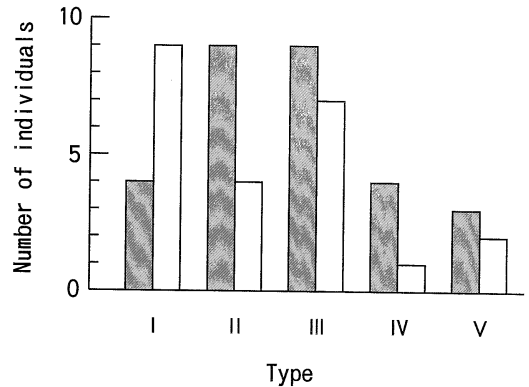


Fig. 7 Integrated number of abalones in relation to moonless and moonlit night classified into five type counted throughout the entire experimental period. Shaded and white bars indicate moonless and moonlit night, respectively.

Table 1. Total values of creeping distance, feeding rate and resting time throughout the entire experimental period.

	Moonless	Moonlit
Creeping (m)	44.4	27.5
Feeding (g)	20.9	28.0
Resting (min.)	1530	260

（V）の各個体の移動距離、摂餌行動に関しては摂餌型（I）および匍匐摂餌型（III）の全摂餌量、静止行動に関しては静止型（IV）および匍匐静止型（V）の各個体の静止時間をそれぞれ闇夜および月夜別に調べ、Table 1にまとめた。その結果、移動距離の総計は闇夜では44.4m、月夜では27.5mとなり、移動距離の減少量は約38%であった。また、全静止時間の総計は闇夜が1530分、月夜が260分であり、その減少量は83%になった。一方、摂餌量の総計は闇夜が20.9g、月夜が27.9gとなり、その増大量は34%であった。さらに、これらの量を匍匐距離および静止時間に関しては個体あたりの平均値の差、摂餌量に関しては1日あたりの平均値の差で検定した。その結果、それぞれ有意水準5%においても差はみられなかった。このことから、闇夜と月夜での匍匐距離および静止時間の減少は個体差によるものではなく、個体数の差によることが示唆された。

以上のことから、闇夜から月夜への水中の明るさの増大は、クロアワビの匍匐および静止行動に影響を及ぼすことがわかった。

4. 考察

水中の明るさとクロアワビの夜間行動との関係について検討を行った。クロアワビの日周活動に関して、林 (1988) は、稚貝の活動に時間的な特徴が見られ、昼間は全く活動せず、日没後暗くなると活動を開始し、3～5時間後にピークに達し、その後夜明けで明るくなると活動を停止することを報告した。この活動の傾向は、筆者等の観察結果とよく一致した。しかし、林の結果と比較し、シェルター外に出た個体の数は全個体のおよそ30%と少なく、観察日によりかなり変動した。小池等 (1970) は現場での潜水観察から、ナシロアワビのように大型の個体は定着性が強まること、山川 (1989) はクロアワビの行動は殻長や季節によって変化することをそれぞれ報告した。このことから、出現個体数の差や変動は稚貝と成貝による行動生態の変化や、観察時期の差異に起因すると推察される。

闇夜と月夜では、出現個体数の時間的な特徴に相違は認められないが、日没後240分以降でシェルター外に滞在する個体数に違いがあった (Fig. 4)。すなわち、月夜での個体数が闇夜の半数以下であった。この原因は、月夜では日没後60分から300分にかけての時間帯でシェルターに戻る個体が増加したことによると考えられる。これは前述の時間帯と月が出る時刻帯とがよく一致していることから、月明りがクロアワビの行動に影響を及ぼしていることを示唆するものである。

クロアワビが活動を開始するとき、すなわちシェルターから出現するときの水中の明るさを測定した。その結果、クロアワビが日没後シェルターから出現するときの水中の明るさは光量子量 $1 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$ 以下であった。水中の明るさは、従来 lx 単位で計測されてきた。林はクロアワビ稚貝が、日没後、行動を開始する水中照度は $0.5lx$ 以下であることを報告した。このように、行動開始時の夜間の水中光量は極めて微少で、正確な値は把握されていない。光量子量と視感度補正したエネルギー量すなわち照度 (lx) とを直接比較することは理論的にできない。しかし、自然光においては、照度 (lx) は光量子量の約50倍に該当することが経験則^{*}として知られている。この関係を適用すると、上記の $0.5lx$ に相当する光量子量は $1 \times 10^{-2} \mu E/m^2/sec$ となり、著者等の値と比較して10倍大きいといえる。

闇夜から月夜に移ると、水中の明るさが $1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$ 以上に増大し、個体の行動様式に変化が

みられた。特に、匍匐型系および静止型系を示す個体の減少が著しかった。この個体数の増減の関係は匍匐距離、静止時間のそれぞれの総計量においても同様であった。宇野 (1976) は夜間の行動観察から、クロアワビは匍匐行動中に点灯すると静止し、消灯後再び匍匐を開始する現象を報告した。これは水中の明るさの増大がクロアワビの匍匐行動を抑制するという結果を支持するものであるといえる。また、摂餌型を示す個体は逆に増加し、摂餌の総計量も同様に増えた。しかし、匍匐行動が光の影響により抑制されると、当然、摂餌の機会も少なくなり、摂餌量も減少する。この点については更に検討する必要があると考えられる。

最後に、実際の海域において、クロアワビの夜間行動が月明かりによって影響されるかを検討した。

月齢15日の満月の場合 (Fig. 2 の下段)、実測した水面上の光量子量の極大値は $1.2 \times 10^{-3} \mu E/m^2/sec$ であった。ここで、房総半島沿岸海域の光学的水系を JERLOV (1976) の沿岸1型とし、岡見 (1978) の光学的水系別における光量子量と深度との関係から、行動に影響を及ぼすと考えられる水中の明るさ ($1 \times 10^{-4} \mu E/m^2/sec$ 以上) に相当する深度を概算した。その結果、深度は約13m以浅に見積られた。この深度は猪野 (1957) が報告したクロアワビが主に生息する水深2～12mより大きいことから、月明かりによる水中の明るさが個体の夜間行動に影響を及ぼしていると考えられる。

謝辞

本論文を取り纏めるにあたり、この研究の端緒を与えられ終始変わらぬ御討議と御鞭撻を賜った前東京水産大学教授、現水産大学校長、松生 治博士に謹んで深謝の意を表す。本論文の御校閲ならび御教示を賜った東京水産大学助教授山川 紘博士、三重大学助教授小池隆博士に心より感謝の意を表す。実験に御助力をいただいた東京水産大学坂田実験実習場技官、伊東順一、益子正和および石川尚仙諸氏に心から感謝申し上げる。実験材料の特別採捕において御協力いただいた館山市伊戸漁民組合、および千葉大学理学部付属海洋生態系研究センター小湊実験場の皆様は厚く御礼申し上げます。

文献

- 林 育夫 (1988): 種苗クロアワビ (*Haliotis discus discus*) 稚貝の住み場要求、日周期活動および捕食動物。貝類学雑誌, 47, 104-120.
- 猪野 峻 (1957): 邦産アワビ属の増殖に関する生物学

* LI-COR inc./LI-COR ltd.: Instruction Manual, 7-8

- 的研究. 東海区水研報, 5, 1-102.
- JERLOV, N.G. (1976): Marine Optics. Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, 127-150.
- 小池康之, 宇野 寛, 山川 紘, 辻ヶ堂 諦 (1970): ナシロアワビの生態学的研究. うみ, 8, 229-234.
- 岡見 登 (1978): 海洋における光環境「太陽エネルギーの生物・化学的利用」(柴田和雄, 今村 昌, 池上明 編), 第一版, 学会出版センター, 東京, p. 75-84.
- 酒井誠一 (1962): エゾアワビの生態学的研究-I. 食性に関する実験的研究. 日水誌, 28, 776-779.
- 宇野 寛 (1976): アワビ類の生態と放流の問題点. 「種苗の放流効果-アワビ・クルマエビ・マダイ」. 水産学シリーズ12 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, p. 39-57.
- 山川 紘 (1989): アワビ類の生態に関する研究. 東京大学博士学位論文, 108 pp.
- 矢野 勲, 小川良徳 (1977): マダカアワビ浮遊幼生の鉛直分布に与える光, 水温および水圧の影響. 東海区水研報, 91, 19-27.