

深海性短尾類ユノハナガニ（仮称）の歩行活動 リズム解明の試み

谷島 恵美*1 橋本 惇*2 藤倉 克則*2 藤原 義弘*2
ジェームス・C・ハント*2

海形海山、水曜海山および日光海山の水深 430m から 1,400 m に分布する熱水噴出孔生物群集で採集された未記載のユノハナガニ科短尾類の歩行活動リズムを明らかにするため、大気圧下で実験を行った。このカニの歩行活動は明暗サイクルに同調し、暗期に集中して活動する傾向が認められたが、恒暗条件下で特別な日周歩行活動リズムは認められなかった。そこで、眼柄を切開し明暗サイクル条件下で同様な実験を繰り返したところ、明暗サイクルに同調するリズムは消失した。この結果は、ユノハナガニが深海という光が微弱な環境に生息し、複眼が消失しているにもかかわらず、眼柄部もしくは眼柄下部に光受容器を備え、光を同調因子として認識していることを示唆するものである。

キーワード：ユノハナガニ、歩行活動、日周リズム、熱水噴出孔生物群集、小笠原

A Trial to Elucidate Locomotory Activity Patterns in a Deep-sea Crab (Family : Bythograeidae)

Megumi TANISHIMA*3 Jun HASHIMOTO*4 Katsunori FUJIKURA*4
Yoshihiro FUJIWARA*4 James C. HUNT*4

The locomotory activities of undescribed bythograeid crabs collected from hydrothermal vent communities were examined under atmospheric pressure. Specimens were collected from the Kaikata, Suiyo and Nikko Seamounts between 430m and 1,400m and tested individually. The locomotory activity pattern of the crabs synchronized with the light-dark cycle, and the activity was highest during the dark period of an imposed light-dark cycle. However, no specific diel pattern was found under constant darkness. Therefore, we operated to impair vision within the eyestalks. After the operation, no clear diel pattern was exhibited. This result suggests that bythograeid crabs have light receptors on the eyestalks or proximal to the eyestalks and can use light for diel synchrony although they do not have compound eyes and inhabit a low-light environment.

* 1 東邦大学理学部

* 2 海洋科学技術センター-深海研究部

* 3 Faculty of Science, Toho University

* 4 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

ユノハナガニ科短尾類 (Family: Bythograeidae) は熱水噴出孔生物群集に生息する典型的な生物の1つとして知られ (Hessler and Lonsdale, 1991; Tunnicliffe, 1991; Lutz and Kennish, 1993; Desbruyères *et al.*, 1994), メガロバ期では大きな複眼を持つが、匍匐幼生になると複眼が退化し、消失してしまうことが知られている (Williams, 1980)。日本周辺においてもユノハナガニ科短尾類は、小笠原海域の海形海山、水曜海山、木曜海山、北部マリアナの日光海山および沖縄トラフの南奄西海丘の水深 430m から 1,400m の熱水噴出域から報告されている (橋本ほか, 1988; 橋本, 1992; 橋本・藤倉, 1992; Hashimoto *et al.*, 1995)。そして、日本周辺のユノハナガニ科短尾類の内、海形海山、水曜海山および日光海山で採集された個体は、同種で未記載のユノハナガニ (仮称) であると考えられており (国立科学博物館武田正倫博士, 私信), 大気圧下での飼育が 4 年以上にわたり継続されている。

小笠原海域の熱水噴出孔生物群集については、1988 年以降、潜水調査船「しんかい 2000」による潜航調査が繰り返されている。潜航調査の際、鯖などの餌をユノハナガニの生息場所に持ち込みその集積状況を観察したが、同一の餌に対する反応や活動が、場所・時間・流れなどにより明らかに異なり、ユノハナガニが何らかのリズムを有する可能性が推定された。

甲殻類や魚類を中心とする浅海産動物の中には、概日や潮汐、半月周、月周、概年リズムを備えていることが知られているが (Naylor, 1958; Williams and Naylor, 1969; 千葉, 1975; Taylor and Naylor, 1977; 大岡ほか, 1984; 西, 1990; 西, 1991; 西・阿部, 1990; 西ほか, 1994), 水深 200m 以深に生息する深海産動物ではリズムに関する研究はほとんど知られていない。一般的に深海は、浅海に比べ安定な環境であり、潮汐、天候、季節による水温変化は小さく、光の影響も受けにくいと考えられる。「しんかい 2000」によるユノハナガニの観察結果を踏まえ、水深 430m から 1,400m の深海に生息するユノハナガニは、リズムを持つのか。また、リズムをもつとしたらどのような環境因子と同調しているかを明らかにすることを目的として、歩行活動リズムを調べる実験を試みた。ここでは、実験の結果得られたユノハナガニのリズムに関する若干の知見について報告する。

2. 材料と方法

本研究で使用したユノハナガニは、小笠原の水曜海山 (28°34.30'N, 140°38.60'E, 水深約 1,370m), 海形海山 (26°42.50'N, 141°04.50'E, 水深 435m) および日光海山 (23°04.64'N, 142°19.79'E, 水深 459m) において潜水調査船「しんかい 2000」および「しんかい 6500」により採集されたものであり (図 1), 水曜海山と海形海山の個体は約 12°C, 日光海山のものは約 15°C に温度保持された水槽で、2 年以上にわたり恒暗・大気圧下飼育を継続していたものである (表 1)。

ユノハナガニの歩行活動リズムを調べるための実験装置は、西 (1990) に倣い製作した。内径 282mm, 高さ 458 mm のアクリル製の円筒型水槽の底部には円滑な歩行活動ができるよう滑り防止テープ (日東電工, BO-127) を貼りつけた。波長 880nm の赤外線ビームが水槽中央で交差するように光電子センサー (竹中電子工業, GT1NS) を 5 組水槽に取り付け、ユノハナガニの活動に伴い、赤外線ビームが遮断されると光電スイッチが ON となるようにセットし、その電気的信号をペンレコーダー

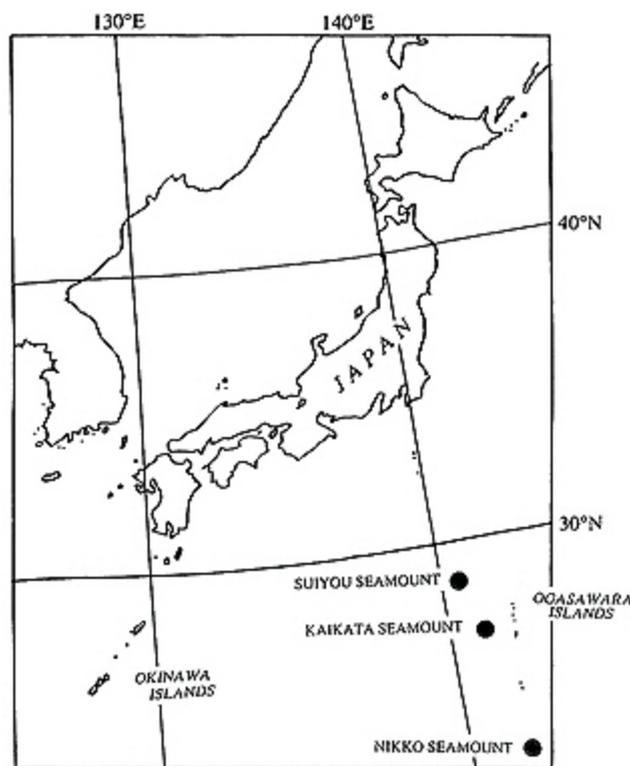


図 1 採集場所

Fig. 1 Location of sampling sites.

表 1 本研究に使用したユノハナガニと実験条件

Table 1 Source of the materials and condition of the experiments under the present study.

採集場所	個体番号	採集日	水深(m)	甲長(mm)	甲幅(mm)	実験期間(日)	光条件	水温(°C)	実験結果
水曜海山	♀5	92.07.11	1377	22.9	33.7	8	DD	12	図4-a
						11	DD		
						20	LD(150 lux)		
						16	LD(15 lux)		
	♀2	93.07.06	1369	23.1	35.1	7	DD	12	図3-a
						8	DD		
						13	LD(15 lux)		
						13	LD(150 lux)		
	♀3	93.07.06	1369	16.6	23.8	13	DD	12	図4-b
						11	DD		
						20	LD(150 lux)		
						16	LD(15 lux)		
♀4	93.07.06	1369	18	26.2	11	DD	12	図3-b	
					8	DD			
					13	LD(15 lux)			
					13	LD(150 lux)			
日光海山	♂2	92.09.19	459	24	36.8	11	DD	15	図4-c
	♀9	92.09.19	459	25.5	38	7	DD		
						11	DD		
海形海山	♀15	92.07.23	488	16.9	25.1	13	LD(150 lux)	12	図4-d
	♀13	93.07.05	435	16.4	24.3	11	DD		
	♀11 (眼柄切開)	93.07.05	435	23.6	34.9	13	LD(150 lux)		

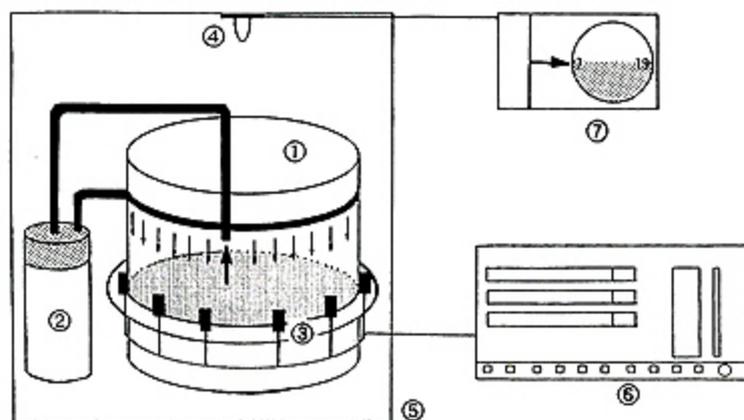


図 2 実験システムの概念図 (矢印は円筒型水槽内の海水の流れを示す)。①円筒型水槽、②濾過装置、③光電子センサー、④タングステンランプ、⑤低温恒温器、⑥ペンレコーダー、⑦タイムスイッチ

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental system. (Allows indication of the water flow in the cylindrical tank). ①cylindrical tank, ②filter, ③photo sensors, ④tungsten lamp, ⑤incubator, ⑥recorder, ⑦interval timer.

(NEC 三菱, オムニライト 8M36) で記録した。また、円筒型水槽と海水濾過装置 (Tetra, エーハイム外部式フィルター 2213) を、飼育水温に保持した低温恒温器 (YAMATO, 81N) に入れて実験を行うこととした。更に、海水濾過装置による水槽内の流れの影響を抑えるため、吸水口を水槽底面上約 15cm に位置するように取り付け、且つ、濾過された海水は、直径約 2mm の穴を 2

cm おきに空けたビニールパイプを通り、水槽内壁面を伝って流れるようにした。照明にはタングステンランプ (東西電気, 24V, 10W) を用い、照度はスライダック (松永製作所, SP-245) で調節した。そして、照明の ON-OFF はタイムスイッチ (松下電気, TE331P) で瞬時に行えるようにした。図 2 に実験装置の概念図を示す。

歩行活動リズム実験は、1995 年 6 月から 1996 年 1 月

にかけて、明期 12 時間—暗期 12 時間の明暗サイクル条件下 (LD) および 暗期だけを連続させた恒暗条件下 (DD) で行い、ユノハナガニを飼育水温に保持した各水槽に 1 個体ずつ入れ、実験期間中は無給餌とした。明暗サイクル条件下の実験の周期は 07~19 時を明期、19~07 時を暗期 (LD12:12) とし、明期照度は 150lux と 15 lux として行った。また、実験途中で 24 時間の暗期をはさんで、明暗サイクルを逆転させた。実験期間は、明暗サイクル条件では 13~20 日間、恒暗条件では 7~13 日間とした。海形海山で採集した 1 個体については、光受容器の部位確認のため眼柄を切開し、切開後 5 日間通常の飼育を行った後、明期照度 150lux の明暗サイクル条件 (12L:12D) にて実験を行った。また、実験期間中の低温恒温器の冷却用コンプレッサーの振動等人為的外因刺激によるユノハナガニの活動への影響を確認するため、実験は 2 セットの実験装置を 1 台の低温恒温器に入れて行った (写真 1)。歩行活動リズムの判定は、記録に基づき目視により行ったが、判定が困難な場合は 20 分毎の活動の有無について t-検定により解析した。

3. 結 果

(1) 明暗サイクル条件下における歩行活動リズム

日周期活動の有無を調べるため、明暗サイクル条件下における実験を 11 個体について行った (表 1)。図 3 に水曜海山の 2 個体、海形海山の 1 個体について行った明暗サイクル条件下における歩行活動リズムの記録を示す。休止期のユノハナガニは、水槽内面に接しており、活動期は水槽内面に沿って歩行していることが多い。図 3-a の記録は、明記照度 150lux、図 3-b は 15lux であるが、どちらの場合も、実験開始後約 1 日は頻繁に活動し、徐々に安定している。その後、暗期を中心とした時間帯に活動量の増加が見られ、明暗周期を逆転させた後や、逆転させる間の 24 時間暗期でもこの傾向は認められる。しかし、暗期活動パターンは、15lux より 150lux での実験結果の方が明瞭である。得られた全個体のデータは、若干の個体差があるものの同様な傾向を示し、雌雄やサイズなどによる活動パターンの違いも認められない。ユノハナガニの光受容器の部位確認のため、眼柄基部を切開し、明期照度 150lux の明暗サイクル条件にて実験を行った個体は、図 3-c から分かるように、実験開始後約 1 日は頻繁な歩行活動が見られるが、その後徐々に安定している。しかし、眼柄切開個体は、眼柄未切開の個体の場合と異なり、明瞭な暗期活動型のリズムを確認できない。

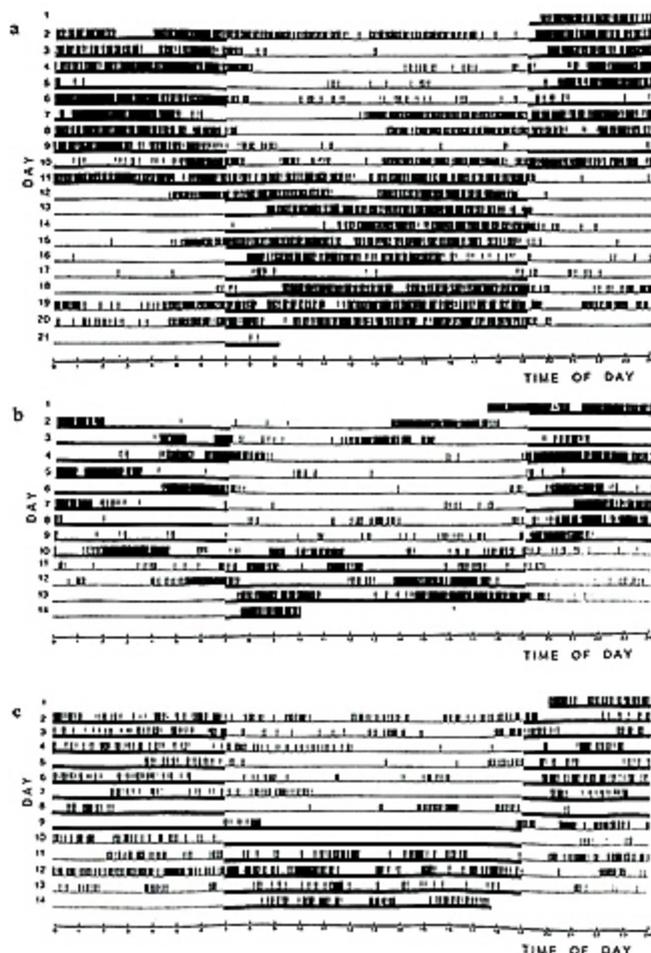


図 3 明暗サイクル条件下 (07:00~19:00 明期・19:00~07:00 暗期) におけるユノハナガニの歩行活動。a: 11 日目に明暗サイクルを逆転 (眼柄未切開個体・明期照度 150lux), b: 10 日目に明暗サイクルを逆転 (眼柄未切開個体・明期照度 15lux), c: 9 日目に明暗サイクルを逆転 (眼柄切開個体・明期照度 150lux)

Fig. 3 Locomotor activity of the bythograeid crabs under light-dark cycle conditions (07:00-19:00 light, 19:00-07:00 dark). a: light-dark cycle was reversed on the 11th day (intact specimen collected from the Suiyo Seamount, illumination: 150 lux), b: light-dark cycle was reversed on the 10th day (intact specimen collected from the Suiyo Seamount, illumination: 15 lux), c: light-dark cycle was reversed on the 9th day (visually impaired specimen collected from the Kaikata Seamount, illumination: 150lux).

(2) 恒暗条件下における歩行活動リズム

恒暗条件下におけるユノハナガニの歩行活動実験は、12 個体について行った (表 1)。図 4 に水曜海山の 2 個体 (a, b)、日光海山の 1 個体 (c)、海形海山の 1 個体 (d) について行った恒暗条件下での実験記録を示す。恒暗条件下におけるユノハナガニは、明暗サイクル条件下の場

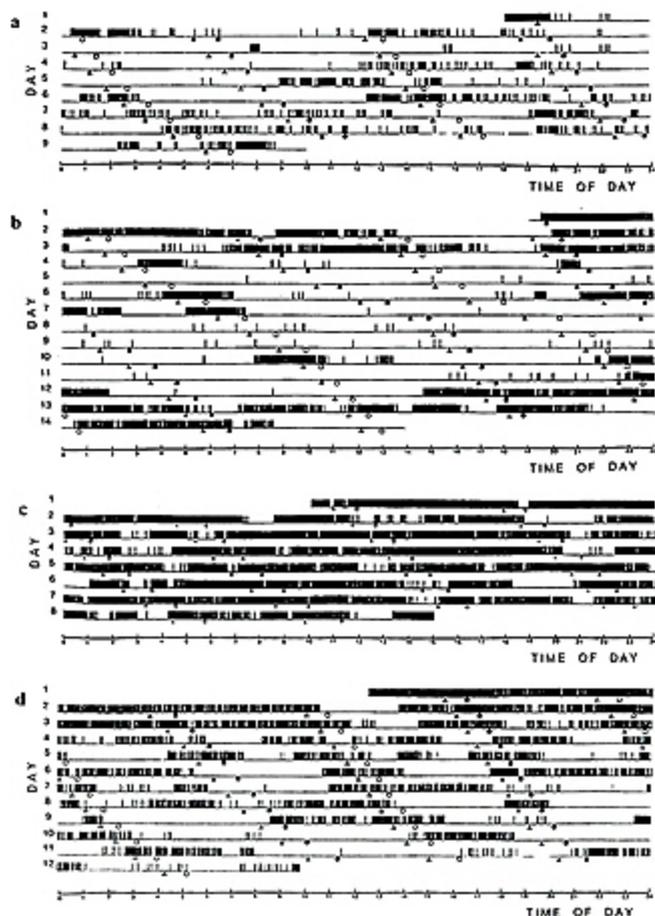


図4 恒暗条件下におけるユノハナガニの歩行活動。ユノハナガニの歩行活動は恒暗条件下では認められないが、採集場所による活動時間および活動頻度は明らかに異なる。△：横須賀の干潮時刻，▲：横須賀の満潮時刻，○：小笠原の干潮時刻，●：小笠原の満潮時刻

Fig. 4 Locomotor activity of the bythograeid crabs under constant darkness. No specific diel pattern, including tide synchrony, was found under constant darkness. However, clear differences in period and frequency of activity among sampling sites were recognized. △: low tide at Yokosuka, ▲: high tide at Yokosuka, ○: low tide at Ogasawara, ●: high tide at Ogasawara.

合と同様、休止期は水槽内面に接するように静止し、活動期は水槽内面に沿って歩行している場合が多い。全個体とも、実験開始後約9~20時間は頻りに活動し、徐々に安定している。しかし、各個体とも活動期と静止期との区別はつけにくく、一定な規則性は認められない。図4の白三角および黒三角は、各々、ユノハナガニの大気圧下飼育を行っている神奈川県横須賀の干潮時刻、満潮時刻を、白丸および黒丸は採集場所に近い小笠原の干潮時刻、満潮時刻を示すが、いずれも潮汐周期との同調も認められない。しかし、採集場所の異なる4個体の活動

期および活動頻度を比較すると、水曜海山・海形海山の個体に比べ、日光海山の個体の活動期は長く活動が頻繁である傾向が認められる。水曜海山の2個体は1日の大半は休止し、1993年に採集した個体では実験5, 8, 9日目には全く活動が見られず、海形海山の個体は活動と休止がほぼ半日ずつである。これに対して、日光海山の個体は、1日のうち3~6時間しか静止せず、ほとんど活動している。

4. 考 察

明暗サイクル条件下によるユノハナガニの歩行活動リズム実験では、活動は暗期に集中しており、明暗サイクルを逆転した場合もその傾向は持続し、明期照度が150 luxと高い場合(図3-a)の方が15 luxと低い場合(図3-b)より明瞭な暗記活動パターンを示している。しかし、自由継続リズムは認められていない。光受容器の部位確認のため、明期照度150 luxの明暗サイクル条件下において眼柄損傷実験を行った結果(図3-c)、眼柄切開個体は明瞭な暗期活動パターンが消滅した。この結果を20分毎の活動の有無についてt検定解析を行ったところ、眼柄未切開の個体の危険率は0.001未満であるのに対し、眼柄切開個体の場合は0.4164と高い値を示した。これらの結果は、ユノハナガニが複眼を消失し、深海という光が微弱な環境に生息しているにも係わらず、眼柄基部もしくは眼柄下部に光受容器を持ち、光を同調因子として認識していることを意味する。

浅海性短尾類の歩行活動や生理学的現象には、恒常条件下において潮汐周期と同調するものがあることが知られている(三枝, 1987)。そこで、ユノハナガニの光に同調した歩行活動リズムが、内因性のものであるかどうかを調べるために恒暗条件下での実験を行った。その結果、ユノハナガニの歩行活動はランダムであり、自由継続リズムは認められなかった。浅海性の短尾類に同調因子を与えず長時間飼育すると周期性が失われてしまうとの報告がある(三枝, 1995)。本研究に使用したユノハナガニは恒暗条件下で2~3年にわたる大気圧下飼育を行ったため、本来持つ体内時計が消失した可能性も残される。

今回の実験では、ユノハナガニの内因性リズムは確認できなかったが、日光海山から採集したユノハナガニの活動時間が、水曜海山および海形海山の個体に比べ長く、活動頻度も多いことは明らかである(図4)。日光海山の個体と水曜海山の個体の大気圧下飼育期間の差は2か月であり、飼育期間の違いによる活動の差が生じると

は考えにくい。また、実験期間中の低温恒温器の冷却用コンプレッサーの振動等人為的外因刺激によるユノハナガニの活動への影響は、同一低温恒温器内に2セットの水槽を設置した実験で2個体の同時期の反応は認められておらず無視できるものと思われる。ユノハナガニの生息場所の照度データはないが、明暗サイクル条件下の結果を考え合わせると、生息場所の照度、透明度など物理的環境要因が、採集場所による活動時間や活動頻度の違いに影響を及ぼしている可能性も考えられる。

今回の実験では外的要因である光サイクルに同調した活動リズムが強い傾向は認められたが、生物時計と結び付いた内因性リズムは認められなかった。今後、採集直後の個体について実験を行うと共に光受容器の組織学的研究、生息場所の照度・波長の計測、水温の違いによる活動変化、人工的高圧環境下での実験を含むユノハナガニのリズムに関する研究を継続する予定である。

謝 辞

本研究を実施するに際し、ご助言を賜った東海大学海洋博物館の西源二郎博士に厚く御礼申し上げます。また、ユノハナガニの採集に際し、協力を惜しまれなかった調査船「なつしま」の船長および乗組員の方々、潜水調査船「しんかい2000」の段野洲興司令ほかオペレーションチームの方々並びにユノハナガニの飼育や実験に協力頂いた海洋科学技術センターの中村宏子・佐々木陽子両氏に併せて感謝の意を表します。

引用文献

千葉喜彦 (1975) : 生物時計—サーカディアン・リズムの機構。岩波書店, 244 pp.

Desbruyères, D., A. Alayse-Danet, S. Ohta and the scientific parties of BIOLAU and STARMER cruise (1994) : Deep-sea hydrothermal communities in Southwestern Pacific back-arc basins (the North-Fiji and Lau Basins); Composition, microdistribution and food web. *Marine Geology*, **116**, 227-242.

橋本 惇 (1992) : 日本周辺の熱水噴出孔・冷水湧出帯生物群集。月刊海洋, **124** (12), 724-730.

橋本 惇・仲 二郎・溝澤巨彦・堀田 宏 (1988) : 小笠原父島西方、海形カルデラ中央火口丘周辺における熱水噴出孔生物群集。1988年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p. 300.

橋本 惇・藤倉克則 (1992) : 水曜海山・木曜海山・日

光海山における熱水噴出孔生物群集。第9回しんかいシンポジウム予稿集, 48-51.

Hashimoto, J., S. Ohta, K. Fujikura and T. Miura (1995) : Microdistribution pattern and biogeography of the hydrothermal vent communities of the Minami-Ensei Knoll in the Mid-Okinawa Trough, Western Pacific. *Deep-Sea Research*, **42** (4), 577-598.

Hessler, R.R. and P.F. Lonsdale (1991) : Biogeography of Mariana Trough hydrothermal vent communities. *Deep-Sea Research*, **38**, 185-199.

Lutz, R.A. and M.J. Kennish (1993) : Ecology of deep-sea hydrothermal vent communities : A review. *Reviews of Geophysics*, **31** (3), 211-356.

Naylor, E. (1958) : Tidal and diurnal rhythms of locomotor activity in *Carcinus maenas* (L.). *Journal of Experimental Biology*, **35**, 602-610.

西源二郎 (1990) : ベラ科魚類4種の運動活動リズム。魚類学雑誌, **37** (2), 170-181.

西源二郎 (1991) : イトベラの潜砂習性と運動活動リズム。魚類学雑誌, **37** (4), 402-409.

西源二郎・阿部秀直 (1990) : ホンベラ (*Halichoeres tenuispinnis*) の潜砂習性と運動活動リズム。東海大学紀要海洋学部, **31**, 69-75.

西源二郎・柴垣和弘・野口文隆・福井 篤 (1994) : チゴガニの自然環境下と実験条件下における歩行活動リズム。平成6年度日本水産学会春期大会講演要旨集, p. 84.

大岡貞子・樺沢 洋・木下清一郎 (1984) : スクウナギの日周期活動。遺伝, **38** (6), 48-54.

三枝誠行 (1987) : 潮の干満と同期した生物のリズム。海洋と生物, **9** (1), 22-27.

三枝誠行 (1995) : 潮汐リズムの位相発現に関するいくつかの話題<続>。海洋と生物, **17** (1), 69-76.

Taylor A.C. and E. Naylor (1977) : Entrainment of the locomotor rhythm of *Carcinus* by cycles of salinity change. *Journal of Experimental Biology*, **57**, 273-277.

Tunnicliffe, V. (1991) : The biology of hydrothermal vents : ecology and evolution. *Oceanographic Marine Biology Annual review*, **29**, 319-407.

Williams, A.B. (1980) : A New Crab Family from the vicinity of submarine thermal vents on the Galapagos Rift (CRUSTACEA : DECAPODA :

BRACHYURA). Proc. Biol. Soc. Wash., 93 (2), 443-472.

Williams, B.G. and E. Naylor (1969) : Synchronization of the locomotor tidal rhythm of *Carcinus*. Journal of Experimental Biology, 51, 715-725.

(原稿受理 : 1996 年 7 月 12 日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載



写真 1 低温恒温器にセットした 2 組の実験装置

Photo 1 Two sets of the experimental apparatuses for this study in the incubator.