

No. 6

ISSN 0287-475X

December 1984

大阪府水産試験場研究報告

第 6 号

昭和 59 年 12 月

大阪府水産試験場

大阪府泉南郡岬町多奈川谷川 2926-1

イソゴカイの飼育生態と養殖に関する研究

吉 田 俊 一

目 次

緒 言	1
1. 材料と方法	2
2. 分布と形態	3
3. 生息場所の環境	8
4. 生活史	11
1) 卵と精子	11
2) 発 生	13
3) 成 長	13
4) 成 熟	15
5) 再 生	17
5. 産卵生態	19
1) 産卵期	19
2) 産卵条件	21
3) 産卵行動	23
4) 産卵数	24
6. 飼 育	25
1) 産卵親虫の採捕	25
2) 成熟促進と産卵誘発	26
3) 飼育の環境条件	29
4) 餌料と摂餌	41
5) 養殖密度と成長	45
7. 養 殖	48
1) 種苗養成	49
2) 成虫養成	51
3) 量産計画	51
要 約	54
文 献	57
SUMMARY	59

緒 言

イソゴカイ *Perinereis nuntia* (Grube) は環形動物門 Annelida、多毛綱 Polychaeta、遊在目 Errantia、ゴカイ科 Nereidae に属する底生生物で、同科のイトメ *Tylorrhynchus heterochaetus* (Quatrefages)、ゴカイ *Neanthes japonica* (Izuka) ジャムシ *N. virens* (Sars) ウチワゴカイ *Nectoneanthes oxypoda* (Marenzeller)、同目ナナテイスメ科 Onuphidae のスゴカイ *Diopatra sugokai* Izuka 及びイソメ科 Eunicidae のイワムシ *Morphysa sanguinea* (Montagu) などとともに重要な釣餌料となっている。とくに本種は我が国のほぼ全沿岸の干潟に分布し、採捕が容易なことから、釣漁業者及び遊漁者の間で重宝されてきた。このため地方名も多く、関東地方や中部地方ではスナイスメ、ジャリメ、近畿地方ではスナゴカイ、イシゴカイ、中国地方ではスナムシ、イシガラムシ、四国地方ではイソゴカイ、九州地方ではスナゴカイ、チザクと称されている。近年の遊漁者増加に伴い、本種を主とする釣餌料の需要が増加する反面、干潟における海岸防災施設の設置や埋立てによって漁場や生息場が消失し、1965年には釣餌料の不足が伝えられるようになった。このためアオゴカイ(仮称) *Perinereis vancaurica tetradentata* Imajima やイワムシなどが韓国から輸入され始め、輸入量は現在年間約1,000トンに及んでいる。アオゴカイはイソゴカイの代替品として用いられるが、釣獲効率が劣るため、イソゴカイの増養殖に大きな関心が寄せられるようになった。以上のような背景の下に筆者は1967年からイソゴカイの養殖技術に関する研究に着手した。

イソゴカイの生態に関する我が国での研究業績は、石川¹⁰⁾の釣餌料用多毛類に関する綜述書で底質や塩分が簡単に述べられ、香川¹³⁾が徳島市内の河口での生息塩分域について、尾鷲水試¹³⁻²⁰⁾は三重県下での生息場の底質と産卵期について、福岡・石田⁴⁾は飼育と生活史についてそれぞれ報告している。外国での業績として、台湾で高橋²⁹⁾が体節の再生について、チリで Hartman-Schröder⁶⁾が初期生活史と生息環境について、それぞれ報告している。筆者はイソゴカイ生息場の環境条件と屋内での飼育条件を調べ、生活史とくに産卵生態を明らかにし、養殖試験を行なった結果から、養殖技術の体系化を図り、産卵方法を検討した。本論文は既報告³¹⁻⁴¹⁾の結果を含めてイソゴカイの飼育生態と養殖について総合的に取纏めたものである。

この研究及び論文の取纏めに当たって、九州大学塚原博教授及び水産大学校松井魁名誉教授には終始御懇切な御指導を賜った。また、国立科学博物館今島実技官、東京水産大学宇野寛教授、徳島大学岡田克弘教授(故)、東海大学宮崎一老教授及び水産大学校高井徹教授には、本研究に当り適切な御助言あるいは貴重な文献の御贈恵を賜った。さらに元大阪府水産試験場渡辺道郎場長、漁業者角野幸太郎氏(故)及び学友奥村哲夫氏には研究上多大の御援助をいただいた。これらの方々の御芳情に対して心から御礼申上げる。

1. 材料と方法

分布と形態については、大阪湾の泉南海岸において、底質の異なる田尻(A)、樽井(B)、尾崎(C)、田山(D)及び谷川(E)を選び (Fig. 1)、各地区におけるイソゴカイの分布を確認し、形態とくに吻上の第V区小顎片の数と配列を調べた。生息場所の環境は、A、B、C及びDの各地区の地盤高が異なる各3定点、水試の前面海域であるE地区は地盤高もしくは底質の異なる8定点 (Fig. 2) を設け、各定点について地盤高を測定し底質は目視観察によって性状を調べた。E地区については底質の化学的性状をも調べた。また、各定点において、方形枠を用いて1㎡内のイソゴカイの生息個体数及び湿重量を求め、環境とイソゴカイ生息量との関係を検討した。

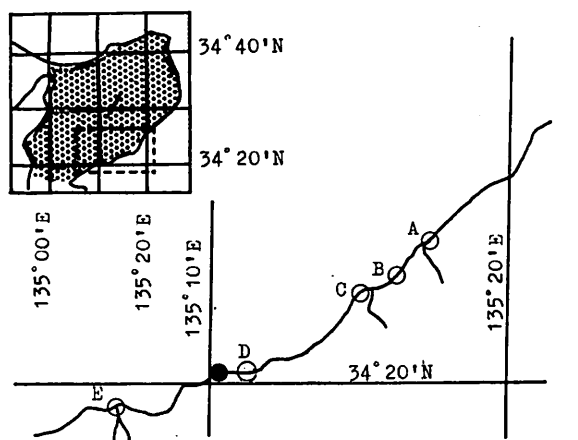


Fig. 1. Map of Sennan district of Osaka Bay showing research sites (A-E) for *Perinereis nuntia*. A, Tajiri; B, Tarui; C, Ozaki; D, Tayama; E, Tanigawa; ●, Tannowa Tidal Station. Dotted area, Osaka bay.

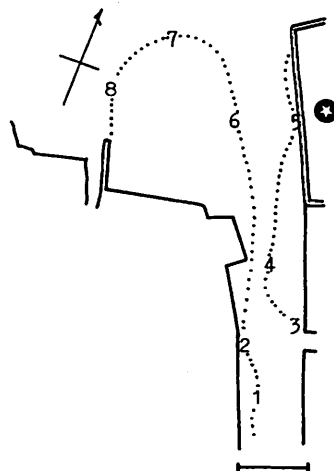


Fig. 2. Tanigawa research site (E), where eight stations were located for environmental research on *P. nuntia*. ⊕, Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station

生活史については、1967～1969年に虫体を採集し、実験水槽内で成熟して産卵型 (spawning form) となった虫体を用い、光を照射して放卵、受精させた後の受精卵及び自然に産出された受精卵をふ化させて成熟後産卵するまで飼育し、その間の受精、卵内発生、成長及び成熟を観察した。発育段階は体形、色彩及び行動などから、仔虫 (larva) : ふ化後卵黄吸収までの遊泳生活を行なう段階、稚

虫 (juvenile) : 底面をほふくするが営業しない段階、若虫 (young worm) : 営業生活に入るが体が透明な段階、成虫 (worm) : 営業生活を行ない、体が不透明で種としての体色となった虫体で、これまで通常型 (atokous form) と称されている段階、産卵虫 (spawning worm) : 産卵期に変形して底質から泳ぎ出した虫体で、これまで生殖型 (epitokous form) と称されていた段階に分けた。幼虫から成虫に到る体長の測定には、生時は体が伸縮するので、市販ホルマリン10倍液で固定後のものを用いた。

産卵生態は、成虫飼育水槽での産卵虫遊泳期を産卵期として飼育水温と産卵期との関係、昼夜の明暗や水深を変えた場合の産卵時間を検討し、産卵虫の体型や性比の調査及びスライドグラスを敷き詰めた産卵水槽へ、あらかじめ体重を0.1gまで測定した雌1個体と雄1~2個体を移し、産卵行動を観察し、スライドグラスに付着した卵数を数え、産卵終了後の雌の体重を測定して雌1個体の産卵数と卵重量を求めた。

飼育は、①親虫の採捕時期と飼育密度、②産卵調節と産卵誘発、③卵から成虫までの飼育環境条件、④ふ化後の餌料種類と投餌方法、⑤卵の収容密度及び投餌量などについての知見を得るため、二三の装置を用いて屋内で飼育実験を行なった。①は天然成虫の採捕時期や採捕後の無水蓄養時間及び飼育密度と産卵期までの生残率を、②は成虫の飼育水温を調節した場合の産卵期及び産卵水槽の水温を変化させたり、緩い水流を与えての産卵誘発法を、③は干出、水温、塩分、溶存酸素量、COD、底質粒度などに対する適応性を、④は数種の天然餌料、多獲性魚類及び養魚用配合飼料を与えて嗜好性、生残率、成長などを調べて飼育用餌料を、また摂餌行動を観察して投餌方法を、⑤は②③④で得た結果に基づいて箱飼い養殖試験を行ない、適正な卵収容密度と投餌量をそれぞれ検討した。

養殖は、生活史、産卵生態及び飼育などで得られた知見を総合してイソゴカイの全生涯を屋内で管理飼育する箱飼い養殖法と人工干潟養殖法及び若虫を自然干潟に放養して生産する自然干潟養殖法に分け、親虫の採捕と飼育、産卵とふ化、仔虫・稚虫の飼育、若虫の飼育及び餌虫(成虫)の飼育に区分して養殖方法を考案した。また、本研究で得られた生残率や餌料効率など養殖上の諸係数を基として1,000kg生産目標に対する養殖施設の規模、親虫や餌量の所要量などを検討した。

2. 分布と形態

イソゴカイの形態はGrubeが1857年に記載したのが最初のように、我が国のイソゴカイについては1879年にMallenzellerが最初に報告し、その後、多数の研究者が国内各地で採集した標本について報告している。Imajima⁷⁾は1972年に我が国のゴカイ類(科)の形態について再記載を行ない、その中で我が国にはFauvelが1932年に吻上の小顎片の数と配列から区分した変種の *vallaia* と *brevicirris* が分布していることを記述している。両者は区別することなく釣餌料として用いられ、分布や生態はほぼ類似しているようであるが、本研究では両変種の間で2、3の特徴が見出された。このため、本研究では両者を同時に示す場合はイソゴカイ (*P. nuntia*)、区別する場合はイシイソゴカイ (*P. nuntia* var. *vallata*) 及びスナイソゴカイ (*P. nuntia* var. *brevicirris*) と仮称することとした。

イソゴカイは他のゴカイ類と同様に、成虫と産卵虫とは著しく形態が異なる。成虫の形態は後部が細くなった紐状で、多数の環節といは足がみられ、環形動物門、多毛綱の典型的な特徴を具えて居る (Fig. 3)。色彩は背側が褐色、腹側が灰褐色を基調としているが、生息地の底質によって赤味が強いものと黒味が強いものがある。体長は50~80mmのものが多いが、本研究でえられた産卵成虫は158mmで、既往記録⁷⁾の1.5倍であった。

体は頭部、胴部及び尾部に分けられ、頭部は前口葉 (prostomium) と囲口節 (peristomium) よりなる。前口葉はほぼ三角形で、前端には1対の感触手 (tentacle) があり、その基部は離れている。前口葉の後部には2対の眼がある。囲口節には吻があり、Fig. 3. Creeping (atokous) form of *P. nuntia* var. *vallata*, dorsal view.



その先端は開口して消化管に通ずる。吻の基部、背側に乳状突起のついた1対の太い副感触手 (palp) があり、その先端は前口葉前端より突出している。また、囲口節には4対の細長い感触糸 (peristomial cirri) があり、最前側の1対は最も長く、後方に倒すと第7環節に達することが

本種の特徴とされている。吻は内側に巻込まれているが餌を摂るときには翻出する。翻出時の吻において、前半部は顎輪 (maxillary ring)、後半部は口輪 (oral ring) に分けられ、顎輪の先端にはキチン質で、内側に数個の鋸歯状突起のついた鎌状の大顎歯 (jaw) 1対が、顎輪と口輪にはキチン質の小顎片 (paragnath) がそれぞれついている。小顎片の形態や配列はゴカイ科を分類するうえの最も重要な形質で、便宜上8区に分けられている。イソゴカイの第1区 (顎輪背面中央) は1個または縦に2個、第2区 (第1区の両側) はそれぞれ斜めの3列に23~25個、第3区 (顎輪腹面中央) は横長の長方形に約30個、第4区 (第2区の両側) はそれぞれ長三角形に30~35個、第5区 (口輪背面中央) は0~6個 (詳細は後述)、第6区 (第

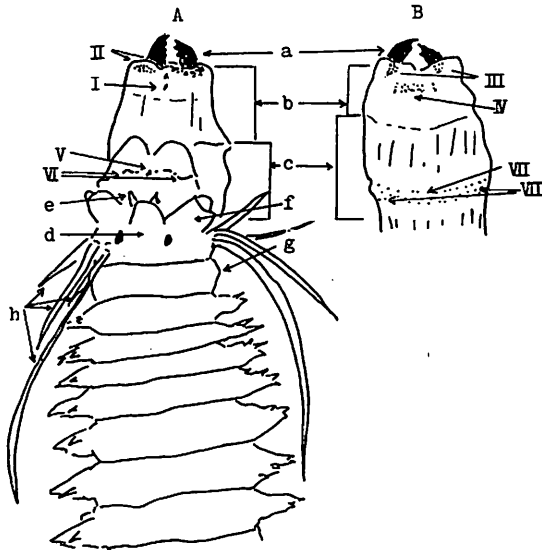


Fig. 4. Head of *P. nuntia* var. *vallata*. A, dorsal view; B, ventral view; a, jaw; b, maxillary ring; c, oral ring; d, prostomium; e, tentacle; f, palp; g, peristomium; h, peristomial cirri. I - VIII, areas of the paragnath.

V区(の両側)はそれぞれ横1列に6~8個、第Ⅶ区(口輪腹面中央)と第Ⅷ区(第Ⅷ区の両側)は連続して2~4列にそれぞれ配列されている。各小顎片の形態は第Ⅶ区だけが細長い屋根形と円錐形が混在するが、その他の区ではすべてが円錐形である。第Ⅶ区の小顎片の形状とその配列(横1列の線状配列)は本種分類上の最大の特徴である。(Fig. 4)。

成虫の胴部は相似した構造の体節からなり、各体節の両側にはいぼ足(parapodium)が出ている。体節数は成虫の体長に比例しており、前述の最大虫体では154体節が数えられた。いぼ足は最初の2体節が単枝形(uniramous)、それより後方は二枝形(biramous)である。単枝形いぼ足の背触系(dorsal cirri)と腹触系(ventral cirri)は足舌(ligule)よりも突出し、足舌の先端は3分し、各分岐の先端は丸味を帯び、中央の分岐には1本の足刺(aciculum)と剛毛束(setal lobe)がある。二枝形いぼ足は背足枝(notopodium)と腹足枝(neuropodium)に分けられ、背足枝には背触系が、腹足枝には腹触系が生ずる。背腹の触系は体前方の体節では足舌先端よりも突出するが、後方の体節のものほど短くなる傾向がみられる。背腹の足枝の足舌はそれぞれ2つに分かれ、体前方のものは先端が丸く、後方になるに従って尖っている。足刺は単枝形のものと同様に黒色で、背足枝と腹足枝に各1本が体腔内の斜走筋(oblique muscle)から出ている。背足刺(notopodial aciculum)の先端は背足枝の上下の足舌の分岐部の近くに、腹足刺(neuropodial aciculum)の先端は腹足枝の上足舌(superior ligule)の先端にそれぞれ達する。両足刺のいぼ足基部の近くに、それぞれの剛毛束があり、背足刺からは背剛毛(notopodial

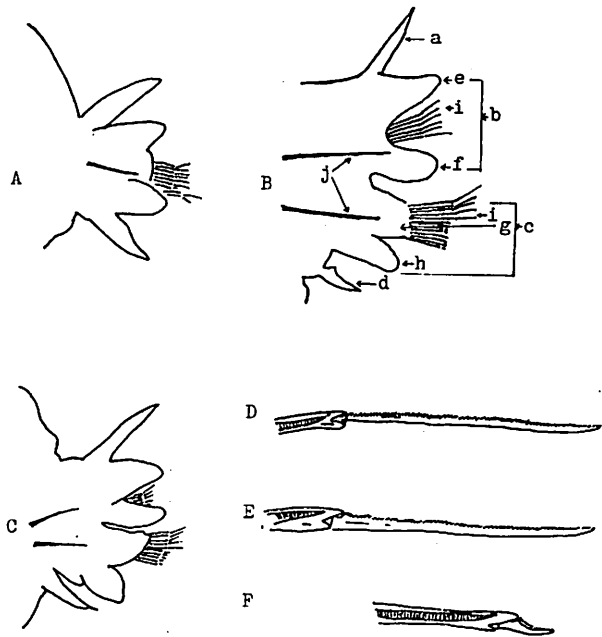


Fig. 5. Parapodia and setae of *P. nuntia* var. *vallata*. A, first parapodium; B, median parapodium; C, posterior parapodium D, homogomph spiniger seta; E, heterogomph spiniger seta; F, heterogomph falciger seta. a, dorsal cirri; b, notopodium; c, neuropodium; d, ventral cirri; e, superior ligule of notopodium; f, inferior ligule of the same; g, superior ligule of neuropodium; h, inferior ligule of the same; i, setae; j, aciculum.

背足刺からは背剛毛(notopodial

setae)が、腹足刺からは腹剛毛(neuropodial setae)が生ずる(Fig. 5-A,B,C)。剛毛は単枝形いぼ足、二枝形いぼ足ともすべてが複剛毛(compound seta)で、支持部(shaft)と刀状部(blade)からなる。剛毛の形態は支持部の先端(刀状部との接点)が相称な長剛毛(homogomph spiniger seta、以下a型と略記)、支持部の先端が非相称な長剛毛(heterogomph spiniger seta、以下b型と略記)と非相称な支持部の短剛毛(heterogomph falciger seta、以下c型と略記)の3種があり、単枝形いぼ足ではa型とc型、二枝形いぼ足の背足枝はa型のみ、腹足枝の上足刺から出る剛毛はa型とc型、下足刺からのものはb型とc型である。すべての剛毛は刀状部の刀刃側に櫛状に細かい針状突起物が密生している(Fig. 5-D,E,F)。

尾部は肛門の開口する尾肛節(pygidium)で1対の長い肛触手(anal cirri)がある(Fig. 6)。

イシイソゴカイとスナイソゴカイの識別は第V区の小顎片が前者は三角状に3個、後者は1個、第Ⅳ～Ⅷ区の小顎片は前者が交互に、後者は不規則にそれぞれ3列に配列されることで区別され、両者は同じ場所から同時に採集されることが報告⁷⁾されている。

Paik²³⁾は韓国産のイソゴカイの第V区は0～6個の小顎片が認められ、とくに3個の群には3通りの配列様式がみられること、また第Ⅳ～Ⅷ区の小顎片は2～4列に並び、第V区と第Ⅳ～Ⅷ区の小顎片数とその配列の組み合わせが19通りもあることから、前述の両者は*P. nuntia*の異名同種であると報告している。

大阪府の沿岸のうち自然海岸の残されている前述の5地区(Fig. 1)で、1969年11月にイソゴカイの分布調査を行なった結果、A、C、D、Eの各地区ではイソゴカイが認められたが、Bでは認められなかった。採集された成虫は1980年の7月まで、地区別に飼育して産卵させた結果、AとCの地区の成虫群とDとEの地区の成虫群では後述のように産卵様式及び卵の性質が異なり、A・C群は凝集性卵を、D・E群は分離性卵を産出した。産卵後の雌雄(産卵虫)について第V区の小顎片数とその配列様式を調べた結果、A・C群は総数122個体のうち、1個群が9個体(7%)、2個群が7個体(6%)、3個群が104個体(86%)、4個群は1個体(1%)と*brevicirris*の特徴を具えるものが大部分を、D・E群は総数259個体のうち1個群が252個体(97%)、2個群が0個体、3個群が7個体(3%)で*vallata*の特徴を具えるものが大部分を占めていた(Table 1)。小顎片の配列様式は2個群では3型、3個群では4型、そして4個群では1型がみられ、数及び配列とも韓国産種に近い結果が得られた。筆者が得た結果とImajimaの記載⁷⁾から、イソゴカイには産卵様式及び卵の性質が異なる2変種があり、第V区小顎片の数が分離性卵を産出する群は*vallata*の、凝集性卵を産出する群は*brevicirris*の特徴を具えるものが多いといえる。両者の分布について対象海域を大阪湾あるいは大阪府沿岸とした場合には同じ場所(海域)に生息しているといえるが、沿岸の小海域に限定した場合にはいずれか一方が生息していることになる。

産卵様式及び卵の性質からの2型について、今島⁸⁾は両者は形態的には相似しているが、生殖的には隔離されている姉妹種(sibling species)であると推察し、蛋白質の電気泳動像の比較、電子顕微

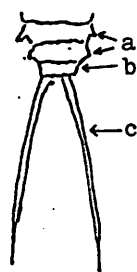


Fig. 6. Posterior end of *P. nuntia* var. *vallata*. a, Parapodium segments; b, pygidium; c, anal cirri.

Table 1. Local variation in the number and pattern of paragnaths in area V of *P. nuntia*, showing number of worms (percentage in parentheses) obtained from each research site.

No. of paragnaths	1	2	3	4
Pattern	.	:: .: .:	::
Research site ¹⁾				
A (Tajiri)	5 (8)	1 0 1(3)	0 52 1 1(87)	1(2)
B (Tarui)	—	— — —	— — — —	—
C (Ozaki)	4 (7)	2 1 1(8)	1 49 1 0(83)	1(2)
D (Tayama)	82 (94)	0 0 0(-)	0 5 0 0(6)	0(-)
E (Tanigawa)	170 (99)	0 0 0(-)	0 2 0 0(1)	0(-)
Total	261	7	111	2

1) See Fig. 1.

鏡による精子や卵の観察の必要性を主張している。筆者は後述の産卵行動において、D・E群では卵が産卵虫の遊泳部いぼ足の間隙から産出されるのに対し、A・C群では尾部末端から産出されることをみているので、今後は両者の腎口開口位置及び後者の粘液分泌器官の確認がなされるべきであると考え。本報告では卵の性質が異なる2群を採集地の底質からイシイソゴカイ（分離性卵産出群）とスナイソゴカイ（擬集性卵産出群）と称することとした。

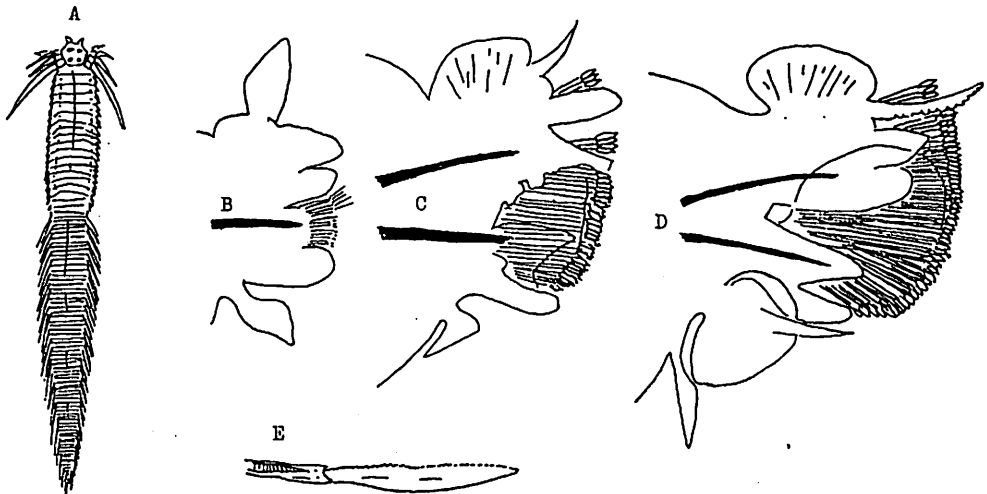


Fig. 7. Characteristic features of the spawning (epitokous) form of *P. nuntia* var. *vallata*. A, animal in dorsal view; B, parapodium of first segment in female; C, parapodium in natatorial (epitokal) region of the female; D, the same in the male; E, slightly heterogomph seta in natatorial region.

なお、我が国におけるイソゴカイは北海道南部から奄美大島に至る全海岸に分布し、世界的には韓国、中国、インド、アフリカ大陸、オーストラリア、ニュージーランド、チリの海岸で確認されている^{3),7)}。

産卵虫の形態は体の前部約1/5の体節がいぼ足をも含めてやや肥大し、成虫と同様のほふくに適した形態であるが、後部の体節はいぼ足をも含めて前後方向に圧縮され、遊泳に適した形態となる。本論文では産卵虫の体前部をほふく部 (creeping region、従来は pre-epitokal region)、体後部を遊泳部 (natatory region、従来は epitokal region) と記述する。産卵虫は遊泳部の体節が短縮するので、体長は成虫の約2/3となるが、体巾は約1.5倍となる。産卵虫の頭部は眼が大きくなり、囲口節の触糸は太くなる。遊泳部いぼ足の剛毛は数が増えるとともに、支持部が僅かに非相称で刀状部がかい状の遊泳剛毛となる。産卵虫は雄雌の相違が明瞭になり、雄は体色が乳紅色で、ほふく部いぼ足体節数は14~20 (平均 16.1 ± 0.90)、第1~6いぼ足の背腹の触糸がへら形 (成虫では細長い円錐形) となり、遊泳部いぼ足の背触糸下縁は1列に密生する小さい乳頭状の突起があり、腹触糸は三角形に近くなり、下足舌と腹触糸との間に1本の長い円錐形の突起が付いた扇状の付属葉が生ずる。雌の体色は淡緑色で、ほふく部のいぼ足体節数は17~23 (平均 19.4 ± 1.12)、第1~7いぼ足の背腹の触糸がへら状になり、遊泳部いぼ足の背触糸の下縁は平滑で腹触糸は耳たぶ状になる (Figs. 7~8)。以上の性徴はイシイソゴカイ、スナイソゴカイに共通してみられ、本研究で得られた産卵虫の体長は両者とも雄が12~50 mm、雌が15~65 mmで、総じて雌の方が大きい傾向がみられた。

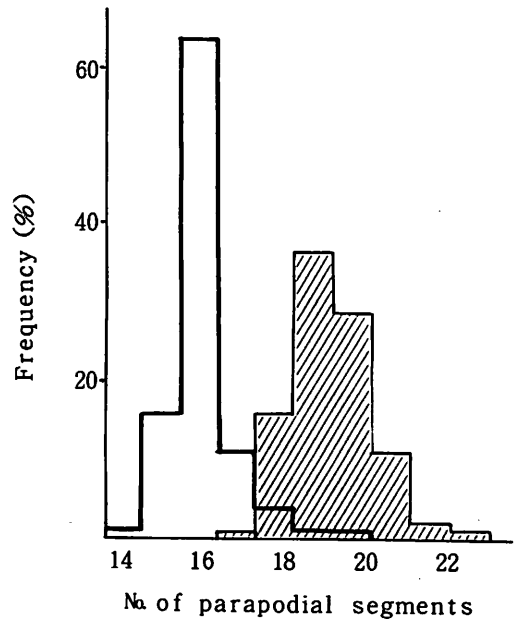


Fig. 8. Sexual differences in the number of parapodial segments of the creeping (pre-epitokal) region of *P. nuntia* var. *vallata*. White bar, males; striped bar, females. Total number of worms examined was 110 for both sexes.

3. 生息場所の環境

イソゴカイ生息場所における塩分や底質の概略については既に報告^{4),10)}されているが、飼育装置の作成に当たり、生息場の地盤高、底質の粒度組成、栄養度及び物理化学的性状を調べ、生息密度との関係を検討した。

地盤高はレベル測量で各地区 (Fig. 1) において定点間の相対地盤高を求め、淡輪検潮所潮位基準面 (OP - 44 cm, TP + 86 cm) からの高さで示した。生息量は調査枠 (1 m²) 内の地盤面下30 cmの範囲に生息するイソゴカイ成虫の個体数と重量を調べた。調査期間 (1967年4月25~27日)の月令は15.7~

17.2. 潮位は-7~162cmであった。

定点間の生息密度と地盤高との関係について、調査地点の地盤高は-1cmから156cmの間であるが、成虫の認められたのは33~112cmの間で、生息密度が100個体/m²以上の地盤高は51~106cmのところであった (Fig-9)。地盤高33~112cmの範囲でも成虫が全くみられない定点 (Sts. B-1, B-2)もあったが、これは後述のように地盤高以外の環境条件によるものと考えられる。泉南沿岸における最大潮位差は約170cmで、おおむね4~5月の昼間と12~1月の夜間が大潮の干潮時になる。このときのイソゴカイ生息地盤高の干出時間は5~11時間 (高密度生息地盤は6~9時間)である。この結果から、イソゴカイは湿潤した底質中で少なくとも約11時間は生存できると推察される。

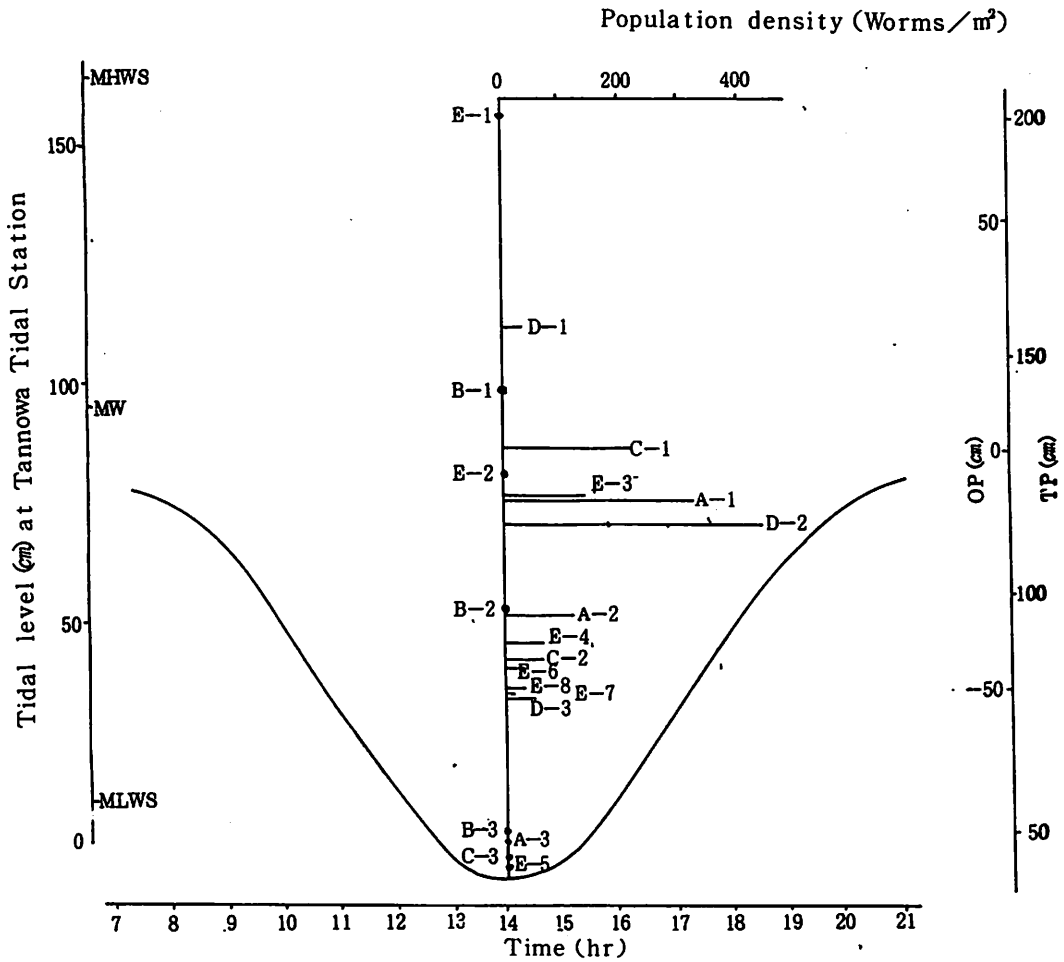


Fig. 9. population density of *P. nuntia* per station in relation to the tidal curve at Spring low water on April 26, 1967. Population density is positioned at the tidal level of each station, relative to the tidal level of Tannowa Tidal Station and Osaka Peil (OP) or Tokyo Peil (TP). A-1. station 1 of site A, etc., MHWE; mean spring high water; MLWS, mean spring low water; MW, mean tidal level.

底質は目視観察により、粒度、色彩、臭気、堆積有機物量を調べ、後3者についてはそれぞれ0~3の値で点数評価し、定点ごとに評価点数を集計して栄養段階を求めた (Table 2)。

Table 2. Classification of bottom sediments.

Characteristics Score	Color	Smell (H ₂ S)	Amounts of deposits
0	White	Odorless	Little
1	Light brown	Faint	Some
2	Dark brown	Rather sharp	Many
3	Black	Strong	Many with silt

Table 3. Population density of *P. nuntia* in relation to characteristics of the bottom sediments in Sennan district of Osaka Bay.

Station ¹⁾	Worms ²⁾		Bottom sediment					
	No./m ²	Weight	Surface ³⁾ Base ³⁾		Score ⁴⁾			
			Color	Smell	Deposit	Total		
A-1	319	28.6	C	SM	2	1	1	4
A-2	120	26.7	C	SM	3	2	2	7
A-3	0	—	C	SM	3	3	2	8
B-1	0	—	S	S	1	0	0	1
B-2	0	—	S	S	1	0	0	1
B-3	0	—	S	S	1	0	0	1
C-1	110	36.7	C	SM	3	3	2	8
C-2	63	13.3	C	SM	3	3	2	8
C-3	0	—	C	SM	3	3	2	8
D-1	27	12.4	C	S	1	0	1	2
D-2	40	3.0	C	SG	2	1	1	4
D-3	0	—	C	SG	2	1	1	4
E-1	0	—	S	S	1	0	1	2
E-2	122	40.6	C	SG	1	0	1	2
E-3	1436	135.8	C	SM	3	2	3	8
E-4	968	73.7	C	SG	3	1	2	6
E-5	0	—	C	SG	3	1	0	4
E-6	363	114.1	C	SG	3	1	1	5
E-7	22	4.6	C	SG	3	1	0	4
E-8	36	13.6	C	SG	3	1	1	5

1) See Fig. 1. A-1 denotes station 1 of research site A, Tajiri, etc.

2) *P. nuntia* var. *brevicirris*, starred; *P. nuntia* var. *vallata*, no star.

3) C, cobble or pebble; S, sand; SG, sandy gravel; SM, sandy mud.

4) See Table 2.

調査の結果、イソゴカイが認められた定点の地盤表面下約3~10 cmは直径10~150 mmの石でおおわれ、その下層は黒色の砂泥質、砂礫質もしくは礫質で、大部分の定点では枯死した海藻類の小片や木屑などの有機物が堆積し、硫化水素臭が感じられた。前述の生息地盤高の範囲内にもかかわらず成虫が全くみられなかった St. B-1 と St. B-2 は細砂でおおわれ、表面の砂粒は常に波浪で移動し、堆積物は皆無であった。栄養段階は生息地盤高範囲内では St. B-1 と St. B-2 が 1、その他の定点では 2~8 を示した (Table 3)。栄養段階と生息密度との間には僅かに正相関 (相関係数 0.40) がみられる。地区の全域が砂泥質の A 地区と C 地区ではスナイソゴカイが、おおむね砂質もしくは砂礫質での D 地区と E 地区ではイシイソゴカイが生息していたことは前述のとおりである。

E 地区の 5 定点 (Sts. E-2, E-3, E-4, E-7, E-8) は前述の目視調査の後に地盤表面の小石を除いて下層約 30 cm の間の底土を混合し、粒度組成はタイラーの分析フルィで、PH は間隙水を電気的測定法で、COD は過マンガン酸カリ法で、IL は電気炉で 2 時間強熱 (900℃) してそれぞれ測定した。

調査の結果、イシイソゴカイでは粒子径 0.1 mm 以下の底質が 37%、PH 6.6、COD 7.4 ppm IL 4.4% (いずれも St. E-3) のところにも生息している (Table 4)。

Table 4. Composition (%) as particle size and chemical properties, of sediments in five stations at Tanigawa research site (E).

Station	Particle size (mm)				Chemical property		
	Silt-0.10	0.10-0.50	0.50-2.38	2.38-5.00	PH	COD(ppm)	IL(%)
E-2	19.8	42.6	16.0	21.6	7.6	2.7	3.6
E-3	37.3	55.6	3.8	3.3	6.6	7.4	4.4
E-4	22.4	23.8	14.8	39.0	7.0	5.0	2.9
E-7	3.5	29.5	23.3	43.7	7.5	1.2	2.7
E-8	4.7	42.9	33.6	18.8	7.5	1.5	2.7

以上の調査結果から、イソゴカイの生息条件を考察すると、生息していたのは地盤表面が石でおおわれたところのみで、このような場所はイソゴカイの潜入する基質 (礫以下の粒子) の移動が少ないこと、石の間隙は微細な有機物が沈降堆積して餌料が豊富なためと考えられる。一方、St. E-3 での平均体重は最小で、過密による成長抑制の懸念がある。

4. 生活史

イソゴカイの生活史は Hartman-Schröder⁶⁾ や 福島・石田⁴⁾ が報告しているが、筆者はその再確認を行なうとともに、生育段階別の行動や再生及び成熟過程など養殖上必要と考えられる事項を調べた。

1) 卵と精子

天然成虫を飼育して得られたイシイソゴカイの産卵虫を空気中に露出し、それに強い照射光を当て、

その刺激で放出された卵及び精子を、また両者を合した後の経過を調べた。産出された卵の一部は実体顕微鏡の20倍の視野下に置かれた戸過海水（塩分32‰、水温23℃）5 mlの入った直径9cmの時計皿に移して観察した。この卵は背面像の概略を観察するためのもので、詳細な観察用には時計皿の卵の一部をスライドガラスに移して、顕微鏡の20×4～20×40倍の視野下で観察した。

イシイソゴカイの卵は個々に分離した状態で産出される淡緑色の扁平な球形で、中央に胚胞がみられる。海水中に移した場合、常に胚胞が背面になるようにして沈下する。卵径は約300 μm （270～290 μm ）、高さは100 μm 、胚胞腔の幅は約3 μm である。その表面は油粒で被われ、最大の油粒は直径3 μm である。胚胞の直径は80 μm 、厚さは8 μm である（Fig. 10-A）。精子はスライドガラスに塗抹し氯化ヨードで固定後、アリザリン液

で染色して顕微鏡の20×4～20×40倍の視野下で観察した。精子の全長は約70 μm 、頭部は直径8 μm の球形で、その中央には直径5 μm の核が、先端には短い円筒形の先体がそれぞれ認められる

（Fig. 10-B）。得られた卵と精子を時計皿の中で合し、直ちにスライドガラスに移して顕微鏡で観察すると、精子は卵の周辺に群がり、2～3分後には卵膜から寒天状物質が広がっていくのがみられる。10分後に寒天状物質は卵膜の周囲を巾約150 μm に取囲み、その周囲には受精に関与しなかった精子が群がっている。寒天状物質の巾が500 μm になった頃から卵は他物に付着するようになる。受精は媒精後直ちに行われ、受精卵での付着は媒精後10～20分の間認められるが、未受精卵でも産出後約30分経過した頃には寒天状物質の巾が約150 μm になって他物に付着する。この時間差は受精卵と未受精卵との区分に用いることができよう。寒天状物質は受精

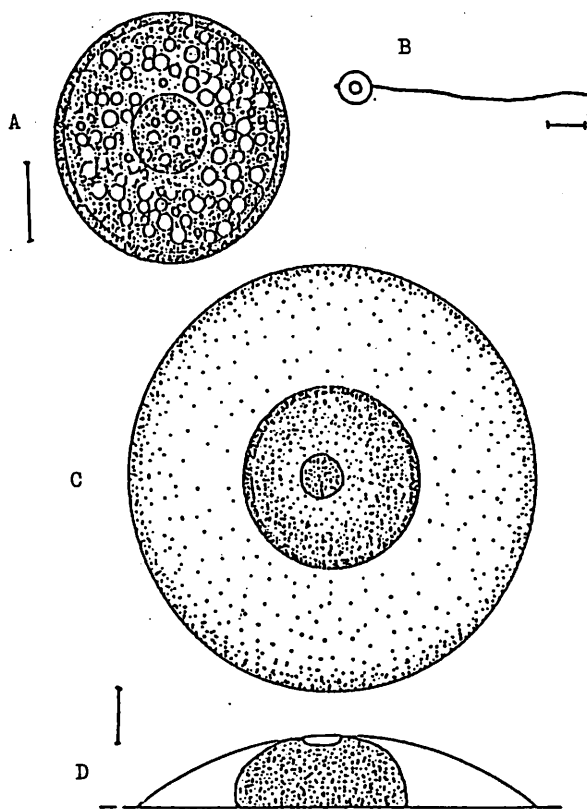


Fig. 10. Egg and spermatozoon of *P. nuntia* var. *vallata*. A, unfertilized egg; B, spermatozoon; C, newly fertilized egg; D, the same in vertical view. Scales for A, C, D, 100 μm ; scale for B, 10 μm .

後40分間は拡大し続け、最大巾は約350 μm になる。受精卵の側面像を観察するため、スライドガラス

(厚さ 0.8 mm)10 枚を重ね、その側面(切口)を上にして受精卵を移し、1枚のスライドガラスの側面に付着した卵を顕微鏡で観察した結果、卵黄は茶碗を伏せたような状態で、寒天状物質が卵黄をおおっている(Fig.10-C, D)。スナイソゴカイの卵は凝集卵として、精子と同様に粘液とともに放出される。卵径及び色彩は約 300 μ m で、淡緑色である。産出直後の卵塊は指の間から流れ出る状態であるが、約40分後には指でつまめる固さに凝固する。

2) 発 生

イシイソゴカイの卵は他物に付着する性質があることから、天然成虫を飼育して得られた雌雄の産卵虫1組を産卵槽(樹脂製、24 cm \times 13 cm \times 6 cm、沓化海水 2 l、スライドガラス1枚投入)の中で自然産卵させ、スライドガラスに付着した卵を海水約30mlの注がれた直径8.5 cmのシャーレに収容して室内(室温 20 ~ 24 $^{\circ}$ C)の台上に置き、毎日1回、全量の水を交換した。受精卵はシャーレごと実体顕微鏡で、またスライドガラスを取出して顕微鏡で観察した。

受精後5分で胚胞の上に放出された極体が見られる。15分で卵黄は萎縮して表面にしわがよってくるが、20 ~ 25分(萎縮後10 ~ 15分)で原形に戻る。受精後1時間で2細胞期、2時間で4細胞期、19時間で桑実期となる。約35時間目には極と赤道との間で胚の周囲約2/1を取巻いて線状褐色の眼点が、また赤道には前繊毛環が出現してトロコホア幼生となり卵膜内で旋回運動が見られる。その後、胚は伸長し、眼点は胚の約3/4を取囲む。受精後40時間で3対のいぼ足原基が生じ、時々胚のけいれんが見られる。約48時間でいぼ足の先端に剛毛が認められ、65時間では剛毛の数が増え、各剛毛は長くなる。眼点は前方の大きなそら豆状と後方の小さな円形の各1対に分かれる。70時間では前方の眼の外側に各1対の感触糸が、また尾部末端に肛触糸が見られ、ネクトキータの体型となる。この時点での繊毛環は後方の眼の直後と、各いぼ足の基部直後の合計4か所で体を取巻き、寒天状物質の中で仔虫が回転するのが見られる。この後、寒天状物質は柔らかくなるようで、仔虫は頭部もしくは尾部から脱出して遊泳する。以上は最もふ化時間の短い個体の例で、同じ雌から産出された卵でもふ化に約150時間を要する個体もあった(Fig.11)。

スナイソゴカイの受精卵は約20分後に卵黄の萎縮が見られ、凝固した卵塊は20時間後から柔らかくなり、3日目の卵は個々に分離して水底に沈下し、シャーレを揺ると卵は底で転がる状態となる。発生経過はイシイソゴカイと同様であるが、ふ化には96 ~ 180時間を要する。

3) 成 長

イシイソゴカイ、スナイソゴカイとも発生の観察に用いた卵からふ化したものを継続して飼育し、その後の成長と行動を調べた。

ふ化した仔虫は前述のとおり3対のいぼ足を具えたネクトキータ幼生で、体長は約0.4 mm、体巾は約0.2 mmである。体は透明で、体内の中央部に淡緑色の卵黄があり、その前方に淡褐色で1欠刻のある大顎歯が見られる(Fig.12)。ふ化後は2 ~ 3日に1対の割合で最後のいぼ足の後方に新たないぼ足が形成されてくる。この間、卵黄塊は徐々に縮小していく。ふ化後の6日間はいぼ足を体側に密着させ、繊毛を用いて遊泳するが、遊泳時間は日数経過とともに短くなり、水底でのほふく時間が長くなる。仔

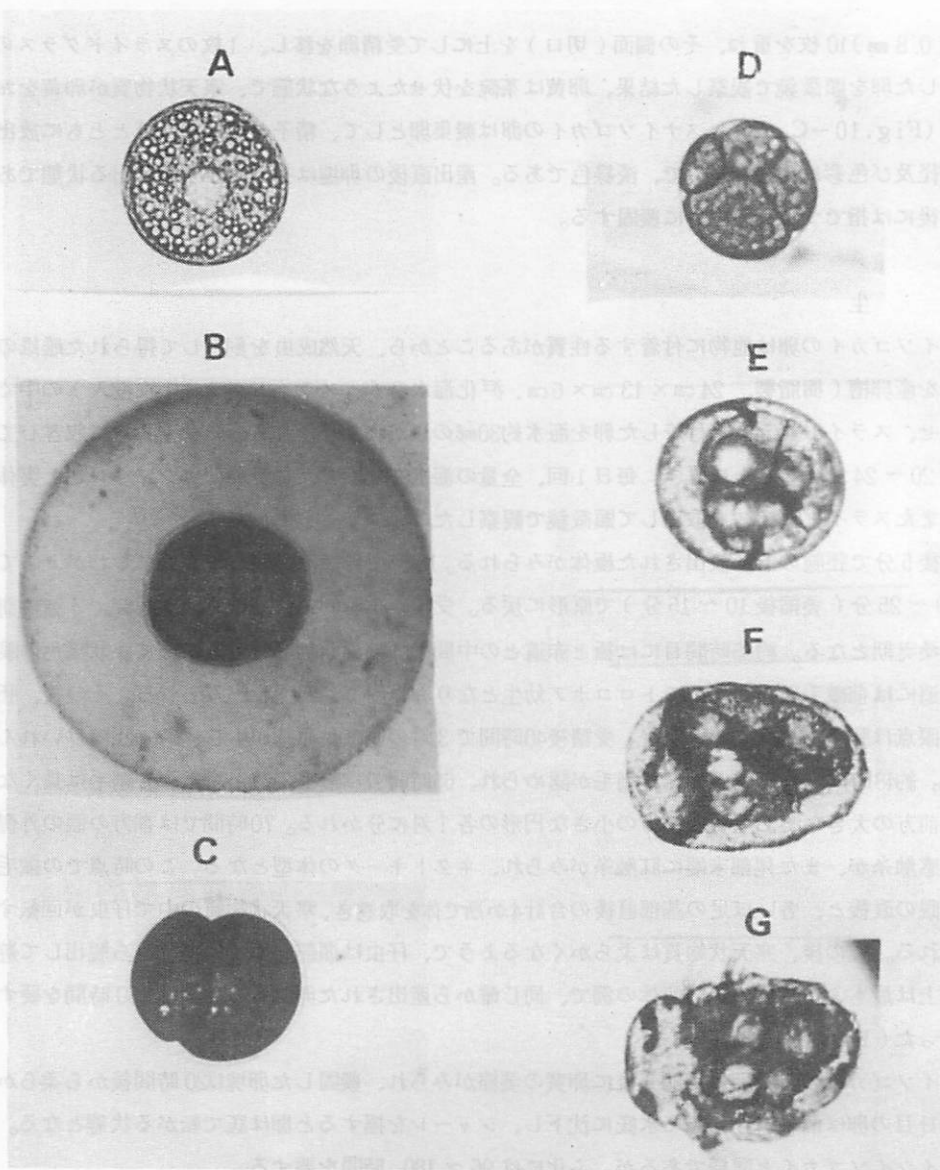


Fig. 11. Stages of egg development of *P. nuntia* var. *vallata* A, unfertilized egg; B, 15 minutes after fertilization (showing enlargement of jelly layer and shrinking of yolk); C, first cleavage, 1 hr; D, second cleavage, 2 hrs; E, trochophore stage in egg, 35 hrs; F, the same with bud of parapodia, 40 hrs; G, nectochaetous stage in egg, 70 hrs. A and C-G, the jelly layer omitted.

虫期には走光性がみられる。ふ化後6~7日目には第5いぼ足が完成し、体長は0.7mmの稚虫となる。卵黄塊は消失し、囀口触手は3対となり、繊毛はみられない。稚虫は時々いぼ足を体側に密着させ、体をふるわせて遊泳に移るときの動作を行なうが遊泳はできず、専らほふく行動を行なう。過半数が稚虫期となった時点(ふ化後7日目)で潜入基質としてスプーン半量の粗砂をシャーレ内の一部に敷き、ま

た球状菌に対する攻撃行動がみられたので餌料として海産クロレラ（後述）を与えた。第6いぼ足は8～10日目に完成し、体長は1.2mmとなり大顎歯には3欠刻がみられる。第5～6いぼ足期の稚虫の体色は半透明の淡黄色である。第8いぼ足の完成した稚虫（12～18日目）の体長は1.3mmで、大顎歯には4欠刻が、剛毛束には足刺が観察される。その後第10いぼ足期（16～20日目）には副感触手が、第15いぼ足期（体長2.5mm、22～27日目）には副感触手の先端に乳状突起が生じ、囲口触手は4対になるなど徐々に成虫の形態に近づく。稚虫（5～10いぼ足期）はシャーレ内のスライドガラスの下側や砂粒間隙に潜入するが、棲管は形成しない（Fig. 13）。第10～20いぼ足期

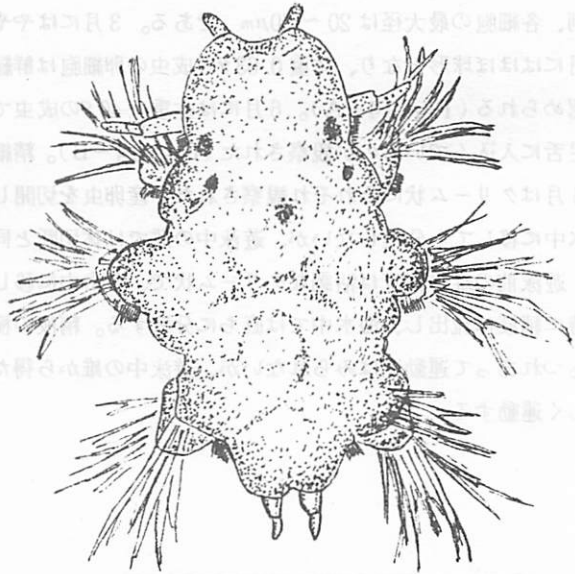


Fig. 12. Nectochaetous larva of *P. nuntia* var. *vallata*, newly hatched, 0.4 mm in length.

からは若虫となり、個体別に砂粒を粘液で綴った棲管を砂層の中にはほぼ垂直に形成し、その中で生活し始める。第20～25いぼ足期（体長3～4mm、30～35日）には頭部の感触手を始めとする付属器官は成虫と同様になるが、体色は淡黄赤色で半透明である。この後体色は成虫の色彩（とくに体前方の背側が暗色）になり、90日で70～90いぼ足（体長27mm）、140～150日で130～170いぼ足（体長50～60mm、体重0.30～0.35g）の釣餌に適した大きさに成長する。

4) 成 熟

イシイソゴカイの養殖成虫を10月、3月、5月及び6月の各初旬に20個体ずつ取上げて成熟状態を調べた。ゴカイ類の生殖細胞は体腔内の柔組織中にみられるので、生体を切断して柔組織をスライドガラスに塗抹して検鏡した。さらに、同群の産卵期（5月10日～7月6日）に、遊泳前と遊泳中の産卵個体についても同様の方法で生殖細胞を観察した。

実験の結果、成虫は10月に45%、3月に90%、5～6月にはすべての成虫に卵または精

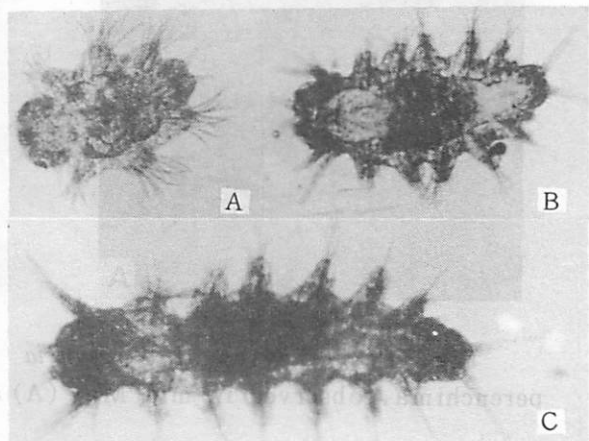


Fig. 13. larva and juveniles of *P. nuntia* var. *vallata*. A, 2 day larva, 0.4mm in length; B, 7 day juvenile, 0.7mm; C, 10 day juvenile, 1.2mm.

子が認められた。卵細胞は10月には体重0.22g以上の成虫で認められ、細胞は相互に癒着して形態は不規則、各細胞の最大径は20~60 μm である。3月にはやや球形に近ずき、最大径は70~120 μm となる。5月にはほぼ球形となり、体重0.63gの成虫の卵細胞は鮮緑色となり、最大卵径は150 μm で、卵核胞が認められる(Fig.14-A)。6月には体重0.40gの成虫でも卵細胞は鮮緑色で、細胞は個々に分離して足舌に入込んでいるのが観察された(Fig.14-B)。精細胞は10月には果粒状、3月には綿屑状、5~6月はクリーム状にそれぞれ観察された。産卵虫を切開した結果、遊泳前の雌では卵が相互に癒着し、海水中に移しても分離しないが、遊泳中の雌では体切断と同時に卵は流出し、海水中では直ちに分離する。遊泳前の雄の精液は粘調なクリーム状で、海水中に移しても溶解しないが、遊泳中の雄は体切断と同時に精液は流出し、海水中では直ちに分散する。精液の検鏡結果では遊泳前の雄から得た精子は互いにもつれあって運動性はみられないが、遊泳中の雄から得たものでは運動性がみられ、海水を加えると激しく運動する。

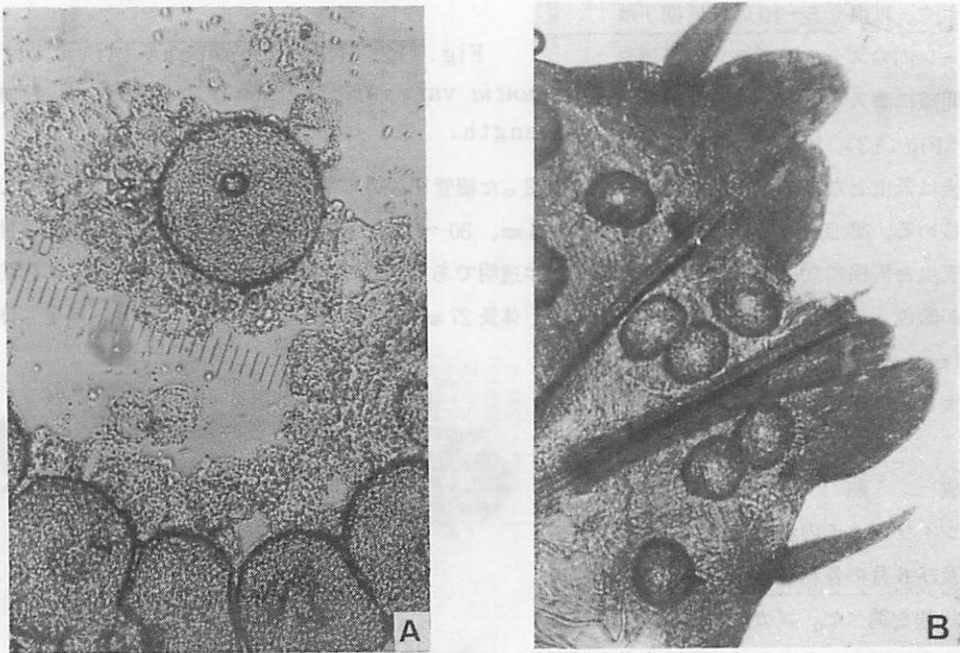


Fig. 14. Oocytes of *P. nuntia* var. *vallata*; in the coelom of perenchima, observed in mid May (A) and in the parapodia in June (B).

以上の結果から、イソゴカイは生後約4か月で生殖巣を顕微鏡で観察することによって性の識別ができる個体がみられ、5月には同様の方法ですべての個体の性識別が可能である。5~6月の観察から、生殖細胞は体腔内で形成され、柔組織中で発達し、その一部は足舌にまで入込むと推察され、イトメ¹¹⁾、

Neanthes diversicolor O. F. Müller¹⁾ 及びジャムジ²⁾と同様の経過を示すが、*Nereis grubei* (Kinberg)²⁶⁾のように足舌内では形成されない。産卵虫の観察からは、生殖細胞は産卵虫の遊泳によって放出可能な状態にまで成熟すると推察される。

5) 再 生

干潟で成虫を採集する場合に、体が切れたり、体の末端部が不完全な個体を採集することがある。このようなことから、体が切断された後の生残率と体節再生経過を調べるため体重 0.3 ~ 0.4 g のイシイソゴカイ 養殖成虫 60 個体を選び、頭部から体長の約 1/4、1/2、3/4 の位置で、眼科用ハサミを用いて切断した体片 (各 20 個体、40 体片) を清浄海水で洗浄後、細砂を約 2 cm の厚さに敷いた直径 10 cm 深さ 5 cm の円筒形樹脂製の循環式飼育容器 (水深: 砂上 1.5 cm、Fig. 15) に切断部位別に体片を收容した。体切断後は無投餌で 15 日間飼育し、最終日における切断部位別の頭部片と尾部片の生残率を求めた。15 日目の生死とくに尾部片の生死は解剖針を体片に触れたときの反応の有無により判定した。15 日目の生残体片は切断部位別に、頭部片、尾部片各 10 体片を限度として、さらに 15 日間、同様に飼育し、通算 30 日目の生残率を調べた。生残体片はホルマリン固定した後に、再生体節数を調べた。また、15 日目及び 30 日目の生残体片の切断部を詳細に観察するとともに、採集された成虫のうち再生過程にあると思われる虫体について再生経過を推測した。

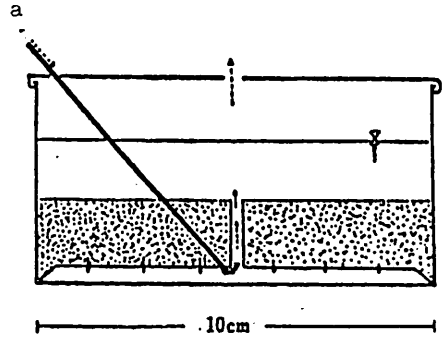


Fig. 15. Container used for experiments on segment regeneration and tolerance to salinity change of *P. nuntia* var. *vallata*. a, air supply.

実験の結果、体切断後 15 日目の生残率は頭部片 40 ~ 70% に対し、尾部片は 5 ~ 15% と前者の方が高率であった。頭部片における切断位置と生残率との関係は 1/4 及び 1/2 体片が 40 ~ 45% に対し、3/4 体片は 70% と高率を示した。尾部片では切断位置による顕著な差はみられない (Table 5)。30 日後の尾部片の生残は全くみられず、頭部片のみが生残した。切断位置と再生体節数との間には、1/4 と 1/2 の体片では約 40 体節 (37 ~ 41 体節) が再生されたが、3/4 体片の再生体節は 28 体節で、前 2 者と後者との間には僅かの差がみられた (Table 6)。

Table 5. Number of regenerated worms after 15 days rearing of *P. nuntia* var. *vallata*, amputated at three body positions. Survival rate (%) in parentheses.

Amputated position (anterior)	1/4	1/2	3/4	Total
No. of worms initially	20	20	20	60
No. surviving anterior	9(45)	8(40)	14(70)	31(52)
No. surviving posterior	2(10)	3(15)	1(5)	6(10)

Table 6. Survival rate and number of regenerated segments of amputated *P. nuntia* var. *vallata* reared for 15 days after the previous experiment given in Table 5.

Amputated position (anterior)	Anterior part			Posterior part
	Survival rate	No. of original segments	Regenerated segments from anterior part	Survival rate
1/4	2/9	26(+77) 23(+79)	39 37	0/2
1/2	2/8	46(+54) 45(+56)	38 41	0/3
3/4	1/10	66(+34)	28	0/1

Numerals in parentheses are posterior segments.

頭部片における尾部の再生経過について、尾部再生は切断部において消化管を除く体腔で縦走筋が隆起することから開始される。隆起部の末端から肛触糸が生じ、尾肛節が形成される。次いで再生した尾肛節の前部両側にいぼ足原基が生じ、最初の体節が再生される。この後の体節形成は健全な成虫と同様に尾肛節前部でなされ、再生初期の体節はいぼ足を含めて除去された体節に比較して小さく、日数経過とともに原体節の大きさに近づく。再生した体節の色彩は淡色である (Fig. 16)。

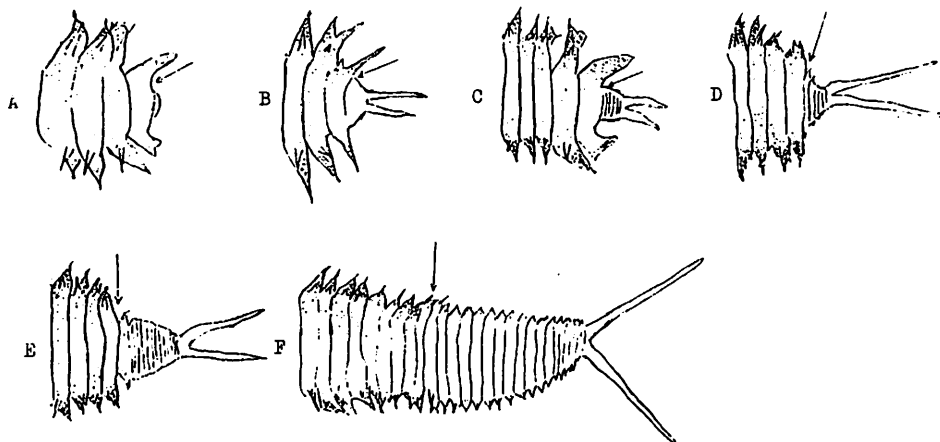


Fig. 16. Regeneration of *P. nuntia* var. *vallata*. A, swelling of longitudinal muscle of amputating surface (arrow); B, regenerated pygidium with anal cirri, under development; C, anal cirri, normally regenerated; D, a frontal segment of pygidium regenerated; E, several frontal segments of pygidium recognizable, but not fully developed; F, several frontal segments of pygidium regenerated to original size but with pale color.

本種の体節再生について、高橋²⁹⁾は頭部片のみを1年間飼育し、後端から5~20体節で切断したものに再生率は高く、前方から20体節くらいの位置で切断して再生した例は極めて稀であると報告しているが、本研究では前方から23~26体節の位置で切断した場合に10%の再生が認められた。ともあれ、採集時における体切断は多くの場合、前方から3/4くらいの位置でみられ、この場合は1か月後に約5%が生残すると推察され、生残率は切断後の生息環境によって変化すると考えられる。

5. 産 卵 生 態

ゴカイ類の産卵については産卵期には体形が変化して産卵型となり、雌雄は体表を透かしてみられる生殖細胞の色彩によって識別できること、ゴカイヤイトメの産卵には月令が関係していること^{11), 12)}などが知られている。イソゴカイについては産卵虫雌雄の色彩や三重県下における産卵期が報告¹⁸⁾されているだけであるので、飼育条件下における産卵期、性比、産卵条件及び産卵数について調べた。なお、産卵生態の観察に供した成虫の飼育方法は後述の飼育条件についての研究過程でとくに産卵生態観察用に考案したものである。飼育水槽には市販の樹脂製容器(60 cm × 40 cm × 15 cm)の1側面に水位調節装置を取り付け、槽内は底に27 cm × 15 cm × 2 cmのエアリフト式底層フィルターを置き、フィルターをおおように槽底から約7 cmの位置まで粗砂を入れ、塩分32‰以上の海水を0.5 ℓ/分注入した。このほか、エアリフト用に5 ℓ/分の空気を送り込んで飼育用水を流水式と循環式で使用できる装置である(Fig. 17)。飼育中は水深をおおむね砂上5 mmに保ち、12~4月の間は無投餌、5~11月の間は原則として1日1回、約2時間水流を止め、この間に1水槽当たり約3 gのウナギ用配合飼料を与えた。産卵期の夜間は水深を砂上5 cmとして海水は循環流のみとした。

1) 産 卵 期

産卵虫の遊泳がみられる時期を産卵期とした。産卵期はイシイソゴカイ天然成虫を飼育した場合(後述)には5月23日~8月31日の間であったが、この時の雌1個体の産出卵を飼育して、10月5日に取上げこ養殖成虫(養殖方法は後述)

1,537個体について、毎日の産卵虫の数を性別に記録した。産卵虫は夜間に遊泳するので、翌日の9時まで遊泳した個体について、体色によって性の識別を行ない、集計した結果は次のとおりである。

イシイソゴカイの産卵虫は4月15日~7月31日の間にみられ、5月10日までは

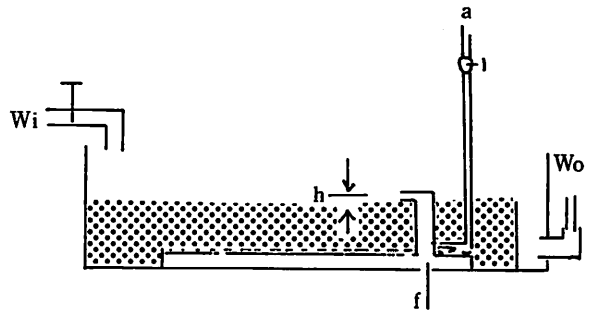


Fig. 17. Experimental apparatus used to observe the spawning behaviour of *P. nuntia* var. *vallata*. Plastic container, 60 × 40 × 15 cm. a, Air supply, 5 litres/min; f, bottom filter covered by coarse sand, h, water level, which is regulated from 5 cm depth by length of outflow stand pipe; Wi, seawater inflow, 0.5 litre/min; Wo, seawater outflow.

1日に1~3個体と少数で、また産卵虫の全くみられない日もあった。5月22日~6月14日の間は毎日4個体以上の遊泳がみられ、この間が産卵盛期と考えられる。飼育1,537個体から得られた産卵虫は684個体(44.5%)で、残余の虫体は飼育中の減耗と考えられる。684個体のうち雌は293個体(42.8%)で、雄の方が多い。毎日の性比は雄の少ないこともあり、産卵期の推移による傾向は認められない(Table 7)。スナイソゴカイは香川県小豆島産の天然成虫を10月5日に購入し、その964個体を飼育した結果、産卵期は4月20日~8月7日(盛期は5月28日~6月17日)、総産卵虫数は411個体(42.6%)、そのうち雌が214個体(52.1%)と雌の方が多かった。

結果において、産卵期はイシイソゴカイの養殖成虫とスナイソゴカイの天然成虫の産卵期がほぼ等しく、イシイソゴカイ天然成虫は前2者より約1か月遅れている。この現象は虫体の成育環境、とくに栄養(餌料)環境に起因していると考えられ。養殖イシイソゴカイと天然スナイソゴカイの成育環境が偶然にも一致したためと推察される。

Table 7. Number of swarming worms of *P. nuntia* var. *vallata* observed in laboratory. Total number of worms was 1,534 at the beginning of which 391 males and 293 females were swarming.

Month sex Day	April		May		June		July	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male
1					5	12	4	
2					12	21	2	3
3			1		22	20	2	
4			1		25	38	3	
5			1		7	16	4	6
6			2	1	10	24	2	1
7			1		12	25		1
8					16	11	1	
9					13	18		
10			1		20	24		
11			1	1	17	17		
12			2	2	4	2		
13			1	2	7	3		
14					3	1		
15	2	1	1	1				
16		1			1			
17		1						
18		1	1	1				
19	1	1						
20		2	3	8				
21			1	1			9	2
22		1	4	7	1	1		
23	1	1	2	7	1	2		
24			3	10				
25	1	1	2	11			3	4
26	1	1	3	3				
27		1	6				4	3
28		1	9	15			1	1
29	1	1	6	10	4	3		1
30	1	1	5	12	3	1		
31	-	-	6	15	-	-		

飼育個体数に対する産卵虫体数の比率は、イシイソゴカイとスナイソゴカイではほぼ同率を示したが、鹿児島県山川産のイシイソゴカイでも41.3%⁶⁾と類似の値が得られている。性比は養殖イシイソゴカイで雌が少なかったのに対し、天然スナイソゴカイでは雌が多く、また山川産イシイソゴカイでは雌が62%⁶⁾の値が得られている。この原因は前述のように雌の方が体が大きいことから、採捕成虫は大きいものが選ばれた結果と考えられる。とりもなおさず、養殖成虫を10月に再収容した場合にはその40%が採卵用親虫となり、そのうちの雌は約40%、すなわち総飼育数の16%を母虫とみなすことができる。

2) 産卵条件

イソゴカイは前述のように4月下旬から7月下旬の夜間に、産卵虫が遊泳して産卵することがわかった。この結果、産卵期の水温は15℃以上が必要で、産卵に強い光は負の要因となり、また遊泳のための水深が必要と推察される。これらの詳細を知るため、水温、光及び水深と産卵遊泳との関係を調べ、産卵条件を検討した。

供試材料はイシイソゴカイの養殖成虫で、3月2日から7月28日の間に、次の4実験区を設け、各区における産卵虫体数を記録した。A・低温区：3月2日から5月4日までの間、水温 $15.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ とした区で、成虫693個体(100♀)を供試した。飼育用水は恒温器を用いて循環使用し、7日毎に全水量の1/3を新鮮な海水と交換した(Fig.18-A)。B・高温区：全期間最低水温 $24.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の保持に努めた区で、成虫268個体(100♀)を供試した。水温調節は飼育水槽を加温水槽に浸けて間接加温し、飼育用水は7日毎にあらかじめ加温された新鮮な海水で全量を交換した(Fig.18-B)。C・光量逆転区：482個体(100♀)を収容した飼育水槽で、5月14日から6月17日の間、昼間(9~17時)は合板で日光を遮断し、夜間は水槽上10cmの位置から20WH昼光色蛍光灯を照射し、砂上で2,400 Luxとした。D・水深逆転区：461個体(100♀)を収容した水槽で、5月25日~6月10日の間、夜間は水深0cmで流水、昼間は水深5cmで止水とし、対照区を含む他の区とは昼夜の水深を逆にした。E・対照区：408個体(270♀)を2飼育水槽に分けて収容し、自然水温、自然光量で飼育した。実験中の水温は日変動が激しいので5日間ごとの移動平均を求め、A区及びB区とその他の区とを、光量はC区とその他の区とを、水深はD区とその他の区とそれぞれ対比させて産卵期及び産卵時間を検討した。さら

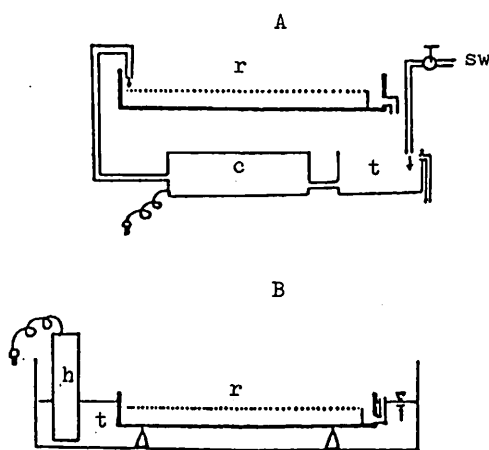


Fig. 18. Temperature control systems of experimental apparatus for *P. nuntia* var. *vallata*. A, cooling system; B, heating system; c, chiller; h, heater; r, aquarium, the same as Fig. 17; sw, seawater inflow; t, water bath or tank.

に月令と産卵日との関係は全5区の産卵虫遊泳日について検討した。

実験の結果、産卵期間の水温は低温区では20.0～28.0℃（5月10日～7月6日）の時期、高温区は水温24.5～27.0℃（4月15日～6月8日）の時期、対照（常温）区は水温17.7～28.0℃（5月10日～7月6日）の時期で、とくに水温18.4～23.8℃（5月20日～6月11日）の間が産卵盛期であった。すなわち産卵期は水温が17.7～28.0℃の時期である（Fig. 19）。光量との関係は、光量逆転区においても産卵虫の大部分が夜間の明時に遊泳したが、一部は昼間の暗時に遊泳した。昼間の産卵虫遊泳は明暗を自然状態に戻した6月11日以後も認められた。水深との関係は水深逆転区では0cmの夜間に産卵虫が底質から這い出していたが、昼間（5cm）は遊泳している個体は勿論、ほふくしている個体もみられなかった。月令との間には明瞭な関係は認められなかった。

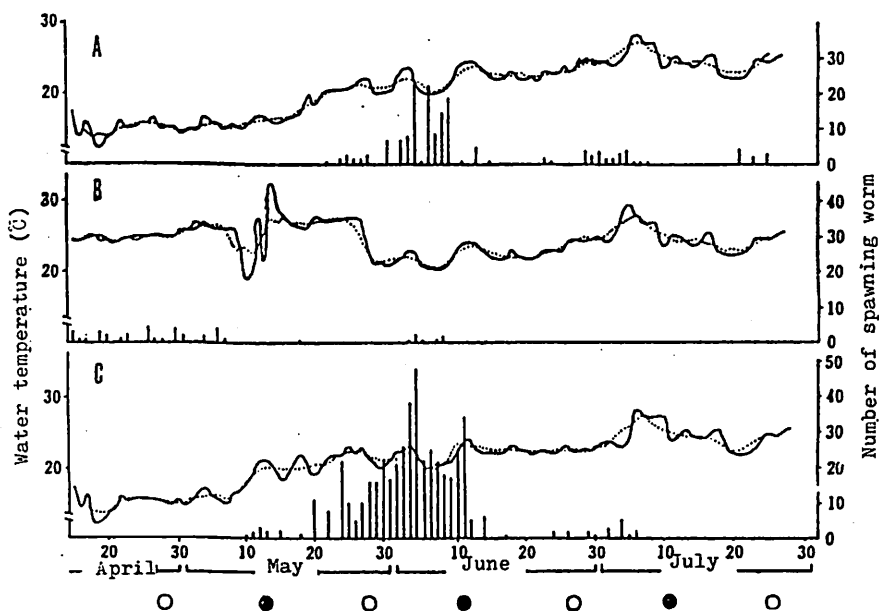


Fig. 19. Occurrence of spawning worms of *P. nuntia* var. *vallata* in temperature controlled aquarium from April to July. A, low temperature division containing 693 worms; B, high temperature division containing 268 worms; C, uncontrolled temperature division containing 1354 worms. Solid curve, water temperature at 10 a.m.; dotted curve, five day moving temperature average. Circles show moon phase; open, full moon; solid, new moon.

以上検討した4要因のうち産卵と最も深い関係があるのは水温で、移動平均水温が18～20℃に達した時期から開始され、20～24℃になった時に盛期となることがわかった。光量についての実験結果からは、産卵期になる前から昼夜の光量を逆転して飼育することによって採卵作業のうえで好都合な昼間

に産卵させる可能性が示唆される。水深については、産卵虫体の遊泳要因は水深よりも光量の方が強く作用するように思われる。月令について、屋外でのイソゴカイ飼育結果では新月を中心として産卵がみられると報告⁹⁾されているが、屋内飼育の本研究では明瞭な関係は認められなかった。天然におけるゴカイでも、潮汐流のない塩田では月令との関係は見られないと報告¹⁵⁾されている。

3) 産卵行動

産卵虫の遊泳時刻、泳ぎ出すときの行動、遊泳速度、卵精子放出時の動作などを、主として産卵要因の実験における対照区の産卵虫について調べ、一部は後述のガラス水槽での観察結果をも合せて記述する。遊泳時刻の調査は6月3日の日没1時間前から翌日の同時刻(18時)までの間、飼育室は点灯したまま、1時間間隔で遊泳している産卵虫を取上げ雌雄別に計数した。

産卵虫の遊泳開始は日没(19時07分)とほぼ同時に雄が、約3分後に雌がそれぞれ底質から泳ぎ出し、産卵虫は翌日の11時まで連続して泳ぎ出すのが見られた(Fig. 20)。産卵虫の遊泳数は日没後1~2時間の間と日出前2~1時間の間に集中してみられ、とくに日没後の1~2時間に泳ぎ出した個体が多かった。飼育水槽内で産卵虫に変形した雌雄は棲管上部で頭部を管口に向け、遊泳部を激しくふるわせている。産卵虫はこの状態で直ちに泳ぎ出す場合とほふく部いぼ足を用いて管口から這い出した後に遊泳する場合とがある。先に泳ぎ出した産卵虫が後から這い出した相手を見付けたときは体をすりよせて遊泳を促す(求愛行動1)。この後雌雄の産卵虫は水槽内を互いに前後して大きく遊泳する(求愛行動2)。

このときの虫体を大型シャーレ(直径15cm、深さ3cm)に移して遊泳速度を調べたところ、26.3 cm/秒(16m/分)であった。遊泳時の産卵虫はほふく部いぼ足を体側に密着させ、遊泳部のいぼ足を前部から順次後部に激しく運動させて前進する。産卵は前述の求愛行動1と2の後に行なわれ、その動作はイシイソゴカイとスナイソゴカイとで異なる。イシイソゴカイは最初に少量の放精がなされ、雌は放精された場所で直径5~7cmの小円を画いて横泳ぎに移り、体を小刻みにけいれんさせながら遊泳部後半のいぼ足の下足舌基部近くに開口する腎口

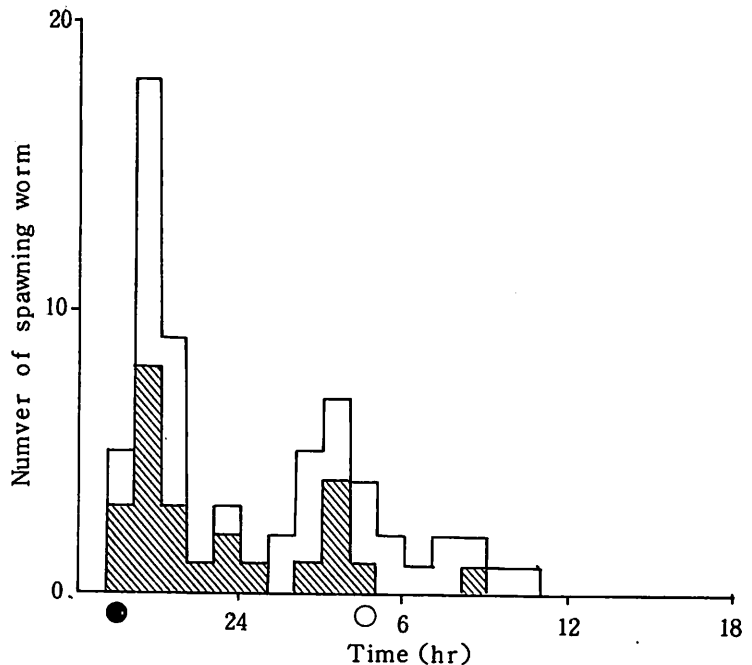


Fig. 20. Diurnal spawning cycle of *P. nuntia* var. *vallata* in the laboratory. Open bar, males; striped bar, females, solid circle, sunset; open circle, sunrise.

から卵を放出する。これに伴い雄も雌と同様の遊泳を行ないつつ大量の放精を行なう。最初の少量放精から放卵、大量放精に至る時間は約5秒である。放卵中にスポイトによる噴射流で卵を払取しても産卵は続けられる。産卵後の虫体の体色はあせ、とくにほふく部は半透明になり、雌は直ちにへい死する。雄は放精後も遊泳しているが、翌日の午前中にはへい死する。スナイソゴカイ産卵虫の雌雄は求愛行動1の後、多くの場合は先に雄が尾節末端から粘液とともに精液を分泌する。粘液内の精液は最初は濃い白煙状であるが、次第に粘液内に分散して両者の区別はできなくなる。この精液を含んだ粘液内に雌が体全部、もしくは尾部のみを入れて卵を尾部末端から粘液とともに放出する。卵粒は螺旋状に放出されるが、1~2分後には粘液内に均等に分散していく。雄の粘液分泌から産卵終了まで5~10分を要する。産卵は飼育水槽の隅で行われることが多く、通気用のパイプや水槽内で繁茂したスジアオノリ *Enteromorpha prolifera* (Müller) の葉体に卵塊が絡まっているのがみられた。産卵後の虫体は雌雄とも遊泳した後、再び卵塊や砂中に潜入してへい死しているのがみられた。

なお、イシイソゴカイとスナイソゴカイとの組み合わせでは求愛行動1はみられるが放卵や放精はみられず、翌朝には両者がへい死しているのが観察された。

4) 産卵数

イシイソゴカイの産卵数の計測には、23 cm × 13 cm × 5 cm の樹脂製水槽を作成し、その底に 76 mm × 26 mm のスライドガラス15枚を敷きつめ、海水約 1 ℓ を入れて産卵水槽とし、そのなかへ雌 1 個体と雄 2 個体の産卵虫を移し、放卵開始と同時に 5 ml 容駒込ピペットで卵を海水とともに吸排し、スライドガラスに卵を均等に分散させた。産卵終了後約 40 分経過した時点でスライドガラスを取上げ、各ガラスについて顕微鏡下で 10 視野 (1 視野 18.4 mm²) の卵数を数え、その平均値から各ガラスの卵数を推定し、それを集計して供試産卵虫の産卵数とした。各供試産卵虫は産卵の前後に体重を 1/100 g まで測定した。

産卵前の体重 (Wa g) と産卵数 (N 粒) 及び産卵後の体重 (Wb g) との間にはそれぞれ直線関係が成立し

$$N = (7.25 \times 10^4) W_a + 720 \dots\dots\dots ①$$

$$W_b = 0.443 W_a \dots\dots\dots ②$$

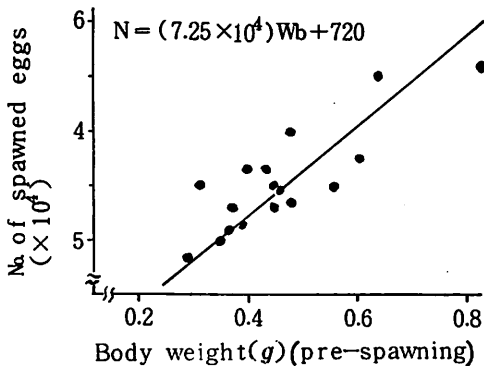


Fig. 21. Relationship between pre-spawning body weight and number of eggs spawned of *P. nuntia* var. *vallata*.

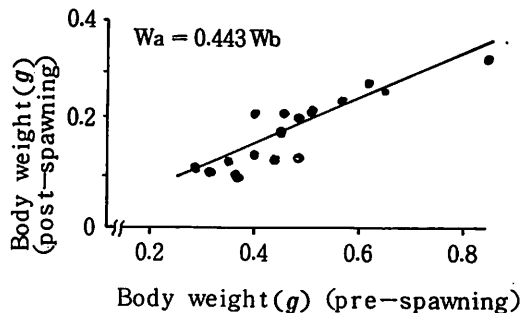


Fig. 22. Relationship between body weight of pre and post spawning *P. nuntia* var. *vallata*.

の式で示される (Figs. 21, 22)。産卵虫の多くは体重 0.3 ~ 0.5 g (体長約 40 ~ 50 mm) であることから、イシソゴカイ 1 個体の産卵数は 2.2 万 ~ 3.7 万粒 (平均 3 万粒) とみなすことができる。また、産卵後の体重は産卵前の 44.3 % となることから、1 個体の卵重量は産卵前体重の 55.7 % を占めている。スナイソゴカイの産卵虫も体重と卵径がイシソゴカイと同様であることから、産卵数も同程度と推察される。

6. 飼 育

イソゴカイが飼育可能な生物であることは既に報告⁴⁾されているが、養殖に当たって生残率の高い産卵用親虫の採捕時期や飼育密度、需要に応じて生産するための成熟促進とその群からの確実な採卵の方法、卵から成虫までの飼育環境と餌料など効率的な飼育を行なうための諸条件を調べ、得られた知見に基づき箱飼い養殖を行ない、その中で養殖密度や投餌量について実験した。

1) 産卵親虫の採捕

産卵親虫の確保に当たって、親虫 (成虫) の採捕時期、採捕後の経過時間及び飼育密度と生残率との関係を調べた。天然成虫の採捕時期についての実験は、谷川地区 (Fig. 1-E) で秋季 (11 月)、冬季 (2 月) 及び産卵期前 (3 月) に底質を小形の鍬で掘り起こし、体が切断したり、負傷しているものを除いて供試した。各時期に採捕された健全な成虫 (採捕時間約 2 時間) は順次少量の湿った砂礫を入れた容器に収容後、2 時間以内に各 100 個体を後述の飼育水槽 (Fig. 32. 60 cm × 40 cm × 15 cm、砂厚 7 cm) に収容し、1 日 1 回、17 時 ~ 9 時の間にウナギ用飼料を食べ残しのない程度に与えて、採捕時期の異なる各実験区とも 4 月 27 日まで飼育し、生残率を調べた。

採捕後の経過時間と生残率との関係は 3 月採捕群について、採捕後 2 時間区を対照として 10 時間 (採捕後 12 時間) 及び 22 時間 (採捕後 24 時間)、採捕容器にいれたまま約 7 °C の冷蔵庫内で経過した成虫を飼育槽に収容し、1 か月間飼育後の生残率を調べた。

飼育密度についての実験は、養殖成虫を最肥満期の 4 月に取上げ、そのうちの大型成虫 1,401 個体 (総重量 1,000 g) を選び、これを A 区 400 g (546 個体)、B 区 300 g (402 個体)、C 区 200 g (261 個体) 及び D 区 100 g (132 個体) の 4 区に分けて、前述の飼育水槽に収容して 1 か月の間、毎日砂上でへい死する数とその重量を調べて生残 (潜入) している成虫数とその重量を推測した。飼育 1 か月後に生残成虫を取上げて、その数と重量を調べた。実験中にみられた産卵虫は生残成虫とみなした。

採捕時期について実験した結果、生残率は 11 月採捕区が 98 %、2 月採捕区が 87 %、3 月採捕区が 81 % と産卵期に接近して採捕した区ほど生残率は低下している。

採捕後の時間経過と生残率との関係は、2 時間区の生残率 81 % に対して、12 時間区は 64 %、24 時間区は 56 % と当然のことながら採捕後の経過時間が長いほど生残率は低下する傾向がみられた (Table 8)。

飼育密度についての実験では、成虫の砂上へい死は各区とも当初の 7 日間に限ってみられ、その後はみられなかった (Fig. 23)。産卵虫は 4 月 26 日から砂上でほふくしたり、へい死しているのがみられ、その総数は 18 個体であった。毎日のへい死数の集計から推定された生残率は A 区が 53 % (288 個体、

Table 8. Survival rate (%) of *P. nuntia* var. *vallata* collected at three different seasons and for three different elapsed times after collection.

Rearing period	Nov.13-Apr.27.	Feb.2-Apr.27	Mar.27-Apr.27
Mean weight(g)	0.19	0.28	0.30
Elapsed time after collection	98	87	81
	not examined	not examined	64
	not examined	not examined	56

217 ♀)、B区67% (271 個体、201 ♀)、C区91% (237 個体、181 ♀)、D区89% (118 個体、90 ♀) を示し、取上数からの生残率はそれぞれ51% (279 個体、214 ♀)、63% (253 個体、199 ♀)、89% (233 個体、184 ♀)、89% (117 個体、92 ♀) で、推測生残率と実測生残率とは近似していた。収容密度別の生残率は、収容数の少ないC区とD区はともに約90%を示したが、400 個体 (300 ♀) 以上を収容したA区とB区

は収容後7日目に253~279 個体 (199~214 ♀) と総重量約200 ♀に落ちついた後はへい死がみられないことから、本飼育槽の収容数は270 個体 (約200 ♀)、従って飼育密度は1,125 個体/m²が好適であるといえる。

以上の3実験から、産卵親虫は秋季に採捕した成虫を、できるだけ短時間内に、1,125 個体/m²の密度で飼育水槽に収容し、産卵虫になるまで飼育するのが望ましいといえる。

2) 成熟促進と産卵誘発

釣餌料としてのイソゴカイの需要盛期は7~9月で、本種が卵から釣餌サイズに成長するには約5か月を要する (後述の養殖密度と成長の試験結果) ので、成熟を促進させて2~4月に産卵させる必要がある。成熟促進の方法として、前述の産卵条件の実験で、成虫を高温飼育した場合に産卵期が早くなったことに着目し、飼育用水を加温しての成熟促進と寒冷期に成熟した個体の産卵誘発法を検討した。

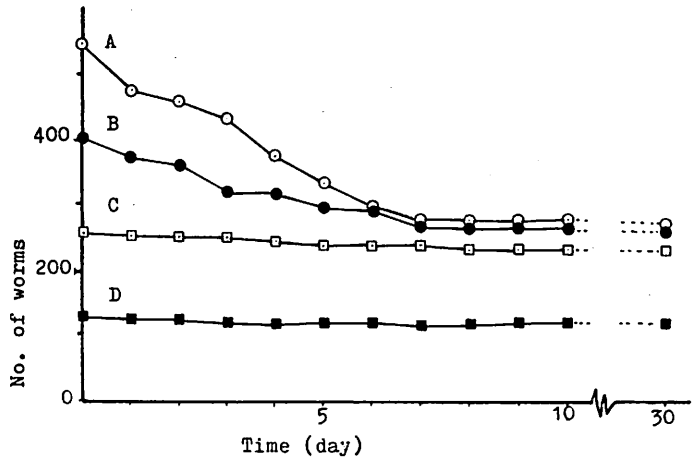


Fig. 23. Number of live parental worms of *P. nuntia* var. *vallata* for 30 days at different number of worms in the experimental apparatus, shown in Fig. 17. Initial total weights were 400 g (A), 300 g (B), 200 g (C) and 100 g (D)

成熟促進の実験は2月8日から加温飼育した第1実験と12月12日から加温飼育した第2実験の2回行なった。第1実験は通常の飼育室内に高温区(A)と対照区(B)を設け、両区の産卵期を調べた。両区には前年の6月21日にふ化したイシソゴカイ成虫各1,000個体を後述(Fig. 32)の飼育槽各4槽に分けて収容した。高温区は最低水温20℃を保持できるように100 WHのプレートヒータを底質内に埋設し、25℃に調節された温度調節器を経て通電した。実験期間中(2月8日~6月30日)の水深や水流は後述の飼育条件の実験結果に基づき、砂上水深は昼間0.5cm、夜間5cm、水流は10~12時と18~9時の間は止水とし、毎日10時にウナギ用飼料を食べ残しのない程度に与えた。各飼育槽で泳ぎ出した産卵虫の数は日別に記録した。実験中の水温は砂層中央に挿入した熱電対式記録温度計を用いて、30秒間隔で連続記録した。第2実験は前実験と同様の高温区(C)と対照区(D)のほか、ビニールハウス(5.4m×2.5m)内に高温区(E)と対照区(F)の4区を設け、前同様に各区1,000個体のイシソゴカイ養殖成虫(6月14日ふ化)を供試した。両高温区(C、E)には農業用温床線15mをアルミ枠(50cm×35cm×5cm)に巻きつけた

150 WHのヒータを用いた。実験中の飼育管理及び水温測定の方法は第1実験と同様である。

実験の結果、産卵期の最も早いのはE区、次いでC区、A区、F区、B区もしくはD区の順となって、早くから加温もしくは保温した区ほど産卵期が早い傾向がみられる。各区の産卵期の水温は15~27℃(5日間移動平均水温)である。このうちの電熱加温をしないB、D及びFの各区の産卵期の水温は16~21℃で、高温区(A、C、F)でこの水温は実験開始10日目以後から保持されているにもかかわらず、その盛期は概ね1か月半経過した後にみられる(Table 9, Fig. 24)。

以上の結果から、産卵は成熟後に環境水温が20℃近

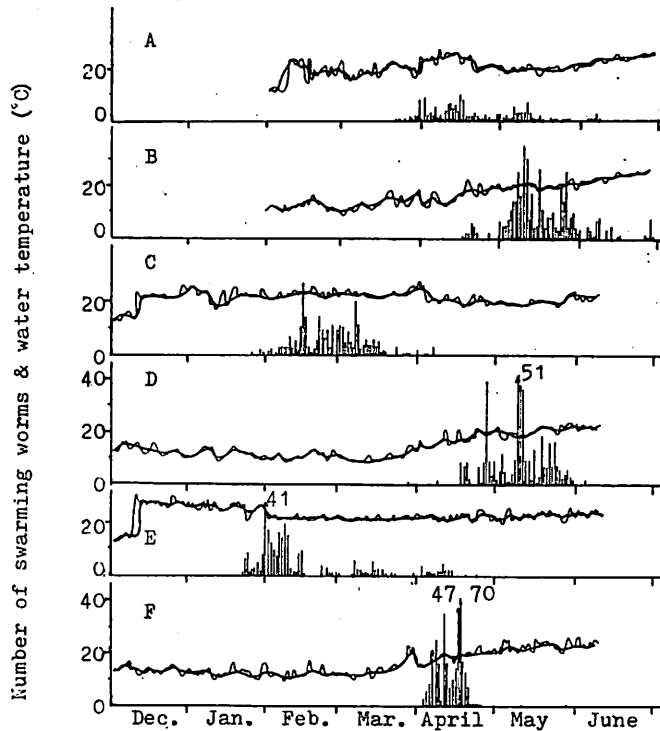


Fig. 24. Spawning of *P. nuntia* var. *vallata* induced by temperature control. A, C, E, water temperature controlled to high levels, B, D, F, water temperature not controlled; A-D, placed in experimental room; E, F, in hothouse. Vertical lines, number of swarming worms; fine curve, daily average temperature; thick curve, moving five average temperature.

Table 9. Spawning season and number of swarming worms of *P. nuntia* var. *vallata* at the temperature controlled conditions given in Fig.24. Initial number of worm was 1,000 in each experiment.

Experiment	A	B	C	D	E	F
Method Room Heater	Ordinary				Hothouse	
	Used	Not used	Used	Not used	Used	No used
Temperature (C)	18~32	10~32	22~34	6~34	28~38	-1~38
Spawning season	Mar.23~ Jul. 7	Apr.18~ Jul.30	Jan.27~ Apr. 7	Mar.29~ Jul. 5	Jan.23~ Apr.24	Mar.30~ Jul. 8
No. of swarmed worms	170	465	303	455	297	386

くになったときに行なわれ、成熟にはふ化後の積算温度が関係していると考え、積算水温、環境水温と産卵期との関係を検討した。積算水温の検討に当り、産卵期間が25~70日間と長期にわたるため、ふ化後各区の産卵虫遊泳総数が50%に到達した日までの日間平均水温のうち、最低摂餌水温（後述）の12℃以上を示す値を積算した。ふ化後の積算水温は産卵期の遅い常室の対照区（B、D）が約5,700℃日であったのに対し、他の4区は約5,500℃日で、200℃日の差がみられる（Table 10）。対照区の積算水温が5,500℃日になった時点（第1実験では4月6日、第2実験では3月29日）の水温は15~16℃で、200℃日の差は環境水温が20℃近くまで昇温する間の積算値と考えられる。以上の考察から、イシソゴカイはふ化後の日間平均水温のうち、最低摂餌水温の12℃以上の積算水温が約5,500℃日に達すると成熟はおおむね完了、その後の環境水温が20℃近くになると産卵遊泳を行なうと結論される。

Table 10. Effective cumulative temperature (EAT) over the period from hatching to spawning of *P. nuntia* var. *vallata*.

Experiment ¹⁾	Cumulative temperature (°C-day)		EAT for swarming
	From hatching until temperature control experiment	During temperature control experiment until median swarming day	
A	3,989°C-day	1,551°C-day (Apr.18, '72) ²⁾	5,540°C-day
B		1,709°C-day (May.15, '72)	5,698°C-day
C	3,654°C-day	1,907°C-day (Feb.27, '73)	5,561°C-day
D		2,122°C-day (May.11, '73)	5,776°C-day
E		1,807°C-day (Feb.12, '73)	5,461°C-day
F		1,841°C-day (Apr.16, '73)	5,495°C-day

1) See Table 9 and Fig.24.

2) Date in parentheses is the median swarming day.

なお、スナイソゴカイの成熟と産卵遊泳にもふ化後の積算水温がイシソゴカイと同様に関係していると推測されるが、今後の確認が望まれる。

産卵誘発について、5～6月に得られた産卵虫の雌雄はその時期の常温海水(19～23℃)を入れた産卵水槽内で1～5分間の求愛遊泳を行なった後に産卵することを述べたが、冬季の加温によって1～3月に得られた産卵虫の産卵用水にはその時期の常温海水(11～14℃)を用いた場合にはすべてが、高温飼育水槽の海水(21～24℃)を用いた場合でも多くの産卵虫が遊泳を中止して産卵することなくへい死するのが観察された。1～3月の産卵虫から確実に、しかも受精率の高い卵を得るための産卵誘発法として、成熟経過で述べたように遊泳が産卵の1要因になっていると考えられることから、産卵虫の遊泳促進に着目した。Reish²⁵⁾は*Nereis grubei* (Kinberg)の産卵誘発には産卵用水に数滴の70%アルコールを滴下するのが有効であると報告しているので、最初にこの方法を検討した。供試材料は前述のE区で得た産卵虫の3組(雌3個体、雄5個体)を実験時の自然水温(15～16℃)の海水1ℓを入れた産卵水槽(低温区)で、雌1個体と雄1～2個体の1組ずつについて求愛行動(遊泳)と生殖物質の放出を調べた。各組とも遊泳は10分以内に中止されたので産卵槽に70%アルコールを約0.3 ml滴下した。約5分間経過後も全供試虫は遊泳しないので、その1組(雌1×雄2)には10 ml駒込ピペットで海水を緩やかに給排し、その水流を各産卵虫に吹付けて虫体を浮上させた。水流噴射約5分後に雄の1個体が遊泳を開始した。この雌は約3分間遊泳したが、放精することなく沈下してへい死した。他の産卵虫もこの時点ではへい死していた。この結果から、水流噴射が遊泳促進にある程度有効であることがわかったので、以後の実験ではアルコール滴下は省略して水流噴射のみを行なうこととした。実験は前述の3組のほか、これと同じ水温条件の2組(低温区)の合計5組と、E区で得た他の10組を産卵水槽の水温が20～22℃の等温区5組と25～26℃の高温区5組に分け、各組について当初の10分間は無処置で、その後の5分間は前述のように水流噴射を与えて、個体別に遊泳と生殖物質の放出を調べ、放出がみられた区では卵の一部をスライドグラスに採り、約25分経過後の卵付着率を受精率とした。

実験の結果、低温区の残り2組(各雌1×雄1)のうち1組に、水流噴射後の遊泳に続いて放卵及び放精がみられたが、受精率は0%。他の1組の雌は遊泳せず、雄は遊泳と放精がみられた。等温区では供試13個体の産卵虫のうち水流噴射を必要としたのは3個体(雌2、雄1)で、雌の1個体は放卵せず、他の1個体は遊泳もしなかった。残余の3組では産卵がみられ、受精率は83～92%であった。高温区は雌の2組が水流噴射を必要としたが、遊泳後にいずれも放卵し、その受精率は89～98%であった(Table 11)。

以上の結果から、1～3月に得られたすべての産卵虫から受精率の高い卵を得るためには、産卵用水は親虫飼育槽の水温よりも約5℃高い海水を用い、遊泳が中止された場合には緩かな噴射流で体をあふって遊泳の端緒を与えるのが有効であることがわかった。

3) 飼育の環境条件

イソゴカイの生息場は既述のように、大潮時に5～11時間の干出がある砂質、もしくは砂礫質の干潟域である。そこでの水温や塩分などの日変動及び季節変動は大きく、干潟生物はこのような環境変動に対して適応性を有しているとされている。イソゴカイの養殖方法を開発するに当たり、主要な環境要因

Table 11. Spawning inducement for *P. nuntia* var. *vallata* under various treatment.

Experimental Division No.	Temperature(°C)		Mating worms									Fertilization rate(%)			
	Rearing container	Spawning box	No. of F. M.	Female			Male(№1)			Male(№2)					
				T ¹⁾	N ²⁾	S ³⁾	T ¹⁾	N ²⁾	S ³⁾	T ¹⁾	N ²⁾		S ³⁾		
Low temperature	1	21.4	15.1	1	2	a	-	-	a	-	-	a	-	-	-
	2	20.2	15.7	1	1	a	-	-	a	-	-	-	-	-	-
	3	21.8	15.2	1	2	ac	+	-	ac	-	-	ac	-	-	-
	4	22.4	15.1	1	1	c	+	+	c	+	+	-	-	-	0
	5	22.4	15.3	1	1	c	-	-	c	+	+	-	-	-	-
Iso temperature	1	20.2	20.2	1	2	c	+	-	+	+	+	+	+	-	-
	2	21.6	21.6	1	2		+	+	c	+	+	+	+	85	-
	3	20.8	20.8	1	1	c	-	-	+	+				-	-
	4	22.3	22.3	1	1		+	+	+	+				83	-
	5	21.4	21.4	1	2		+	+	+	+	+	+	+	92	-
High temperature	1	22.5	26.2	1	2	c	+	+	+	+	+	+	+	89	-
	2	21.6	25.8	1	2		+	+	+	+	+	+	+	96	-
	3	21.8	26.3	1	2	c	+	+	+	+	+	+	+	92	-
	4	20.8	25.1	1	2		+	+	+	+	+	+	+	98	-
	5	21.3	25.9	1	1		+	+	+	+	+	+	+	94	-

- 1) If the nuptial dance was not observed within 10 minutes after mating worms were transferred to spawning box, a, some drops of 70% alcohol were added to the box; C, slow current was set up by syringe, or ac, both treatments employed.
- 2) Nuptial dance observed (+) or not (-).
- 3) Eggs or spermatozoa shed (+) or not (-).

に対する適応範囲を知っておくことは極めて重要であると考え、原則として発育段階別に干出、水温、塩分、溶存酸素量、COD及び粒度組成についての適応性を調べた。

(1) 干出

イソゴカイは付着卵を産出するので、卵は干潮時に干潟にとり残され、直接露出もしくは湿った海藻類でおおわれて数時間を過ごすことが予想される。このような条件下でのふ化率及び仔虫の生存について、また潜入生活に移った虫体の周期的干出の必要性、さらに底質間隙の水分と虫体の活力について調べ、不測の事態における耐忍性を予察した。

干潟に取り残された卵のふ化についての実験はイシイソゴカイの卵が底質、とくに小石に付着して露出している場合(以下A)と小石に付着した卵が海藻類でおおわれている場合(以下B)を想定して次の実験を行なった。供試した卵はスライドガラスに付着させた受精後のイシイソゴカイ卵各800粒で、A区は直径8.5cmのシャーレの底に海水を含ませたる紙を敷いて湿った砂の代替とし、その上に卵が露出するようにスライドガラスを置き、B区はA区と同様にした卵の上に海水を含ませたる紙でおおって

海藻の代替とした。この2区の対照として同様のシャーレに海水（塩分約32‰）を5mmの深さまで入れて、その中に卵を収容した（C区）。各区ともガラス板で蓋をして、室内（室温20～23℃）の卓上に置き、毎日1回、実体顕微鏡で発生状況を観察し、ふ化仔虫数を調べた。

実験の結果、ふ化は各区とも受精後4日目から認められ、両区の仔虫は寒天状物質の間隙をほふくしているのが観察された。6日目のA区とB区のふ化率はC区よりやや劣るが大きな相違はみられず、既にふ化した仔虫にも異状は認められなかった（Table 12）。

Table 12. Difference in hatching rate (%) of *P. nuntia* var. *vallata* eggs held at three different moisture conditions. Number of eggs is 800 in each experiment.

Egg condition Elapsed times (days)	On wet bed	Covered with wet paper	In seawater
3	0(%)	0(%)	0(%)
4	24	22	31
5	65	71	80
Hatched larvae	normal	normal	normal

潜入生活をしている成虫における底質の周期的干出の必要性についての実験は本研究の最初に行なった飼育実験で、11月から試行錯誤的に飼育した。飼育水槽は透明な樹脂製水槽（30cm×60cm×45cm）の側面に内径20mmの水道用ソケットエルボを取りつけ、水槽内部には外径25mmの多孔塩ビパイプをソケットに差込んで集水管とした。排水管は水槽外側に出たソケットに外径25mmの塩ビパイプで作製した逆U字管または直管を差込んだ。前者はパイプの中央部約30cmを圧して、断面をO字形にしたもので、飼育床上の水深25cmで排水開始、-10cmで排水停止とする自動干満に用い、直管は長さ約30cmのパイプで、飼育床上25cmで常時満水にする場合に用いた。集水管の周囲は直径約5cmの小石で囲み、その上の8cmは虫体採捕地（Fig. 5、E）の底質（砂礫質）を敷き、0.6 l/分の戸過海水を注いだ（Fig. 25）。供試虫体は11月15日に採捕したイシイソゴカイ成虫100個体（総重

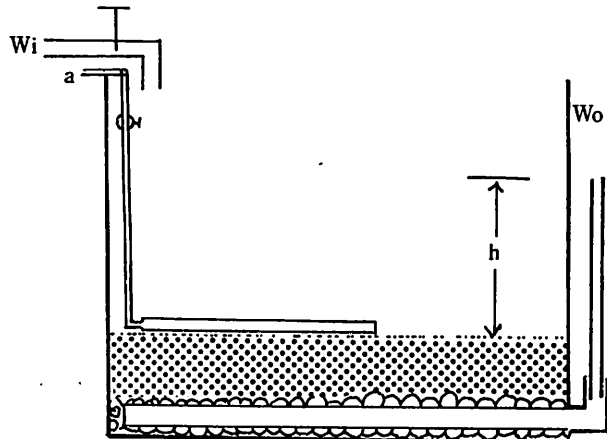


Fig. 25. Water level control system in the experimental aquarium for *P. nuntia* var. *vallata*. a, air supply; h, water level, which is periodically changed by siphon attached to drain pipe (Wo); Wi, seawater inflow.

量40g)で、室内に設置された前述の飼育水槽に採捕後1時間以内に収容した。成虫収容後、最初の19日間は自動干満、次の155日間(5月7日まで)は常時満水、その後の190日間(11月14日まで)は1日1回、約2時間の干出とし、干出直前に魚肉や養魚用の飼料を与えて飼育した。

実験の結果、常時満水飼育を中止した5月8日の時点で成虫の生存を、5月23日以後の夜間に産卵虫の遊泳を確認し、飼育1年目の11月15日には成虫727個体を得た。この結果から、少なくとも12~4月の約5か月間は飼育床の干出がなくてもよいことがわかった。

砂粒間隙の水分量と成虫の活力に関する実験は、直径10cm、深さ5.5cmの樹脂製密封容器5個に粗砂(粒径0.5~2.0mm)各200gと海水(塩分33‰)をそれぞれ10、20、30、40、50mlを設け、イシソゴカイの養殖成虫各10個体(総重量約4g)を砂中に埋めて密封し、20℃の恒温槽に4日間浸した。4日目に開封した時の成虫の状態や器壁をたたいての衝撃に対する反応及び23℃海水に移した後の運動性によって活力を調べた。このほか、低温の湿砂中における例として、粗砂200gに海水40ml区を加えた区をもう一つ設け、7℃に調整された冷蔵庫で6日間経過後の活力を前同様にして調べた。用いた粗砂100g当たりの空隙容量は24mlである。

実験の結果、20℃で水量40ml以上の区では、すべての成虫が体後部を砂上に出していたが、衝撃を与えると直ちに露出部を潜入させる逃避行動がみられた。水量30ml以下の区では水量の減少とともに砂上で体前部を露出している成虫が多くなり、また、衝撃に対する逃避反応は鈍くなる傾向がみられた。7℃の水量40mlの区では、6日目でも全成虫は砂中に潜入していた(Table 13)。全5区の成虫を23℃の海水中に移した場合、20℃の各区では直ちに、7℃の区は約1時間後にはふくし始めるのが観察された。

以上の実験から、成虫飼育時における底質の干出は不必要なようで、砂粒間隙に海水が充滿している状態では活力が良いといえるが、収容量が多くなった場合には呼吸面からの活力低下が予想される。低温条件では呼吸量減少のため長時間の活力維持が容易である。

Table 13. Behaviour of *P. nuntia* var. *vallata* in response to desiccation of the rearing substratum, based upon worm appearance after 4 or 6 days rearing at 20 or 7 °C, respectively.

Water volume(ml/200g sand)	10	20	30	40	50	40
Temperature (°C)			20.0			7.0
Period (days)			4			6
Worm appearance						
(1) Just after container opened						
Animal entirely exposed	7	5	3	—	—	—
Posterior body exposed	—	—	—	4	10	—
Burrowing in sand	3	5	7	6	—	10
(2) After container flipped						
Animal entirely exposed	7	5	3	—	—	—
Posterior body exposed	—	—	2	—	—	—
Burrowing in sand	3	5	5	10	10	10
No. of death worms	0	0	0	0	0	0

(2) 水 温

イソゴカイは12月頃から最低水温20℃以上で飼育した場合には寒冷期（1月下旬～4月上旬）に産卵することは既に述べたが、この卵のふ化や仔虫の最低飼育水温、成虫飼育における最高あるいは最低水温、また成虫の水温急変に対する適応性を調べた。

低水温中でのふ化は、前述の成熟促進の実験で1月23日に得られたイシイソゴカイ卵の各500粒を1枚のカバーガラス（18mm×18mm）に附着させ、各1枚を産卵用水と同じ海水（水温26℃、塩分32‰）各50mlを入れた100ml容ビーカに収容した。実験は卵1,000粒（カバーガラス2枚）を1組とし、前述の成熟促進第2実験の各区（C、D、E、F）の親虫飼育水槽の砂中にビーカの底部2cmを埋めて、それぞれA、B、C及びDの各区とした。残余の1組は実験室卓上に置いてE区とした。各区の卵は毎日1回とり出して実体顕微鏡で観察し、ふ化率を調べた。A、B、C及びDの各区の水温は熱電対式記録温度計で測定し、E区は最高最低寒暖計で測定した室温を水温とした。

実験の結果、ふ化はBとDの区で最も早く、3～4日目から始まり、6日目には94%以上の卵がふ化した。水温はB区が20.0～26.0℃、D区は20.0～

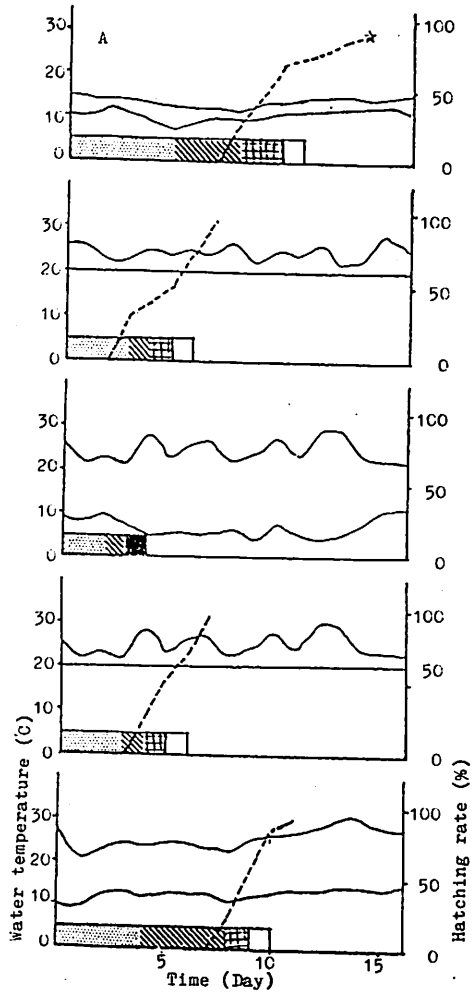


Fig. 26. Difference in the hatching rate of *P. nuntia* var. *vallata* in relation to water temperature. A, C, E, temperature not controlled with heater; B, D, controlled to higher temperatures; A, B, placed in experimental room; C, D, in hothouse; E, on the desk of laboratory, where temperature is not so high or low. Broken line, hatching rate; horizontal or wavy lines, daily maximum and minimum temperature. Blocks on base line, developmental stage of eggs; stippled, cleavage eggs; diagonal lines, trochophore in eggs; cross-hatched, trochophore in parapodial bud; white, hatching; black, death; ☆, 73% deformed larvae.

28.0℃であった。次いで、E区は9日目からふ化し始め、11日目には92%がふ化し、この間の水温は9.2～26.4℃であった。A区は9～15日の間にふ化し、15日目のふ化率は90%であったが、仔虫の73%は片側のいぼ足が2対のもの、片側のいぼ足の間隙が狭くて体がひきつれているもの、また眼が片側だけなどの奇形で、水温は7.0～15.4℃であった。C区では当初の3日間の卵発生は順調に進み、約70%の卵で発眼がみられたが、4日目に最低水温が5.2℃に低下した時点ですべての卵が黄ばんでへい死した。卵発生が順調に進んだ3日目までの水温は7.2～26.2℃であった(Fig. 26)。以上の結果から、ふ化には水温7℃以上が必要で、最適水温は20～26℃であるといえる。

仔虫から稚虫までの低水温に対する適応性の実験は2月18日に得た卵からふ化した仔虫4,000個体を用い、各1,000個体を前述のふ化条件の水温に関する4実験区と同様の飼育水槽に収容した。収容後7日目には、後述の初期飼料に関する研究結果から、各槽に海産クロレラ(2.0×10⁷細胞/ml)2ℓを与え、20日目に表層の砂約15gをかき集めて、砂中の稚虫の有無を実体顕微鏡で調べた。稚虫が発見されないときは死滅したと考え、その時点におけるふ化直後の仔虫を前同様に収容した。この操作は20日間隔で稚虫が確認されるまで繰返した。実験中はふ化条件の実験と同様、毎日の最高最低水温を測定した。

実験の結果、第1回の収容で稚虫が認められたのはB区とD区で、期間中の水温はそれぞれ18.0～28.4℃と18.0～28.2℃であった。A区とC区はともに水温が12.2℃以上で飼育された場合に稚虫が認められ、仔虫の生存や発育には11.5～12.2℃が必要であることがわかった(Table 14)。

Table 14. Growth of larvae of *P. nuntia* var. *vallata* under different temperature conditions.

Division	Larvae Released date	Youngs		Temperature ²⁾
		Confirmed date	Occurrence ¹⁾	
A	Jan. 28, '73	—	—	9.0—16.0
	Feb. 13, '73	—	—	8.7—10.1
	Mar. 5, '73	—	—	9.7—12.5
	Mar. 25, '73	—	—	11.5—17.8
	Apr. 14, '73	May. 3, '73	+	12.2—21.8
B	Jan. 28, '73	Feb. 16, '73	++	18.0—28.4
C	Jan. 30, '73	—	—	6.3—21.0
	Feb. 20, '73	—	—	7.3—21.8
	Mar. 12, '73	—	—	10.5—23.5
	Apr. 2, '73	Apr. 21, '73	+	12.2—32.2
D	Jan. 30, '73	Feb. 18, '73	++	18.0—28.2

1) —, absent; +, rare; ++, abundant.

2) Temperature range means of daily minimum and maximum temperatures over 20 days after larval release.

成虫の高水温や日間水温較差に対する適応性についてはビニールハウス内での飼育温度（熱電対式記録温度計を使用）を検討した。飼育中の最高水温は給水管が折損し、給水が中止された1973年8月1～7日の間にみられ、水温は45.3℃を示したが、給水再開と同時に投餌（ウナギ用飼料）すると旺盛な摂餌がみられ、45.3℃の水温になっても生存に支障がないことがわかった。日間水温較差の最大は1973年2月15日の-0.8～32.6℃（較差33.4℃）で、昼間（12.0～32.6℃）では摂餌するが、夜間（-0.8～12.0℃）には投餌しても摂餌しないことから摂餌最低水温は12℃と考えられる。

温度の急変については、水温25℃に馴致した成虫を、砂や海水なしで蓋つきシャーレに入れて約5℃で20時間貯蔵後、直ちに元の飼育水槽に移した場合、当初は静止しているが徐々にほふくして潜入し、約2時間後には潜入が完了する結果を得たことから、少なくとも5℃と20℃の間の温度急変に対しては支障がないといえる。

(3) 塩 分

干潮時に干潟にとり残された卵は降雨や河川水など淡水で希釈された低塩分海水に浸るので、その場合のふ化や仔虫の生存が、また底質内に潜入している成虫では低塩分海水の浸透による影響がそれぞれ憂慮される。塩分濃度に対する適応性を調べることは、上述の自然界での耐性を識るとともに、養殖上からは飼育用水の塩分条件をきめるためにも必要なことであるので、全成育段階について詳細にその適応性を調べた。

低塩分海中でのふ化についての実験は、海水（塩分32‰）を水道水で希釈して24‰、16‰、8‰に調整し、原海水区と水道水区を加えた5塩分區に受精卵を収容して27℃の室内で7日間のふ化率を調べた。供試水は各4mlを直径4cmのシャーレに注ぎ、受精卵は前同様のもの各100粒を用いた。

実験の結果、ふ化は32‰及び24‰海中では5日目から開始され、7日目にはそれぞれ95%と70%のふ化率を示したが、16‰以下の区では全くふ化しなかった（Table 15）。

Table 15. Hatching rate (%) of *P. nuntia* var. *vallata* eggs over a range of seawater dilutions at 24.3–27.0℃

Days Salinity (‰)	3	4	5	6	7
32	0	0	80	95	95
24	0	0	50	70	70
16	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

仔虫の低塩分海水に対する適応性についての実験は、ふ化後3日目のイシイソゴカイ仔虫各30個体を前同様の5区の塩分別シャーレに収容して2日間の生存率を調べた。実験開始48時間目には仮死状態（針で触れると反応する）がみられたが、全区ともへい死は認められないので、仮死仔虫を原海水（32‰）に移した後の回復率を調べた。仮死仔虫は24‰以下の各区でみられ、低塩分となるほど、また浸漬時間の経過とともに多くなったが、時間後の累積仮死仔虫の回復率は0‰の77%対し、8‰以上の各区

Table 16. Number of fainted and recovered larvae of *P. nuntia* var. *vallata* in diluted seawaters at 25.2–27.4 °C. Initial number of experimental worms is 30; all survived for 48 hours.

Salinity (‰)	Submerged time (hr)			Recovery after two hrs. transferred to original seawater
	12	24	48	
32	0	0	0	—
24	0	3	7	7
16	0	5	21	21
8	8	12	25	25
0	30	30	30	23

は 100% を示した (Table 16)。

成虫についての実験は 8 月 (高温期)、1 月 (低温期) 及び 3 月 (産卵期前) に行なった。塩分の調節は各時期の原海水もしくは原海水を 1/2 に煮沸濃縮した海水を水道水で希釈し、0 ~ 65‰ 海水とした。実験容器は直径 10 cm、深さ 5 cm の循環式飼育容器 (Fig. 15) で各塩分海水 200 ml とイシイソゴカイの養殖成虫各 10 個体を用いた。8 月の実験は低塩分海水のみについて、浸漬 48 時間と 120 時間の生存率と各時間経過後の区別総重量及び原海水に戻した後の総重量を調べた。

実験の結果、浸漬 48 時間後の生残率は 0‰ では全死、6.2‰ 以上の区では 100% で、浸漬 120 時間でも生残率は変わらなかった。48 時間浸漬後の総重量は原海水区では 88% になったが、その他の区では浸漬前より 28 ~ 81% 増重し、増重率は塩分低下につれて高くなる傾向がみられた。120 時間後の総重量は 48 時間後と同じか、またはそれより僅かに減少していた。原海水にもどして 24 時間後の総重量は浸漬前の重量に近い値を示した (Table 17)。

Table 17. Change in body weight (g) and survival rate (%) of *P. nuntia* var. *vallata* in diluted seawaters at 26.3–27.0 °C in August. Body weight shown as total weight of ten worms.

Salinity (‰)	0	6	12	18	24	32
Initial	3.26	2.38	1.47	2.69	1.73	3.03
2 days latter	—	4.32	2.36	3.46	2.21	2.68
5 days latter	—	4.26	2.35	3.46	2.20	2.65
1 day after rereturning to original seawater	—	2.41	1.50	2.73	1.74	2.60
Survival rate (%)	0	100	100	100	100	100

1 月の実験は塩分 0 ~ 65.0‰ について、浸漬 48 時間後の生存率と総重量を調べた後、原海水に戻して 2 時間後の総重量を測定した。この実験では各塩分海水に移した後、0‰ 区でもへい死はみられず、0 ~ 13.0‰ の 3 区では 12 ~ 19% の増重が、19.5‰ より高塩分の各区では原体重の 67 ~ 98% に減

少しした (Table 18)。

Table 18. Change in body weight (g) of *P. nuntia* var. *vallata* in different salinity conditions at 9.1–11.4°C in January.

Salinity(‰) Period	0	6.5	13.0	19.5	26.0	32.5 ¹⁾	39.0	45.5	52.0	58.5	65.0
Initial	3.91	4.08	4.62	4.60	5.02	3.91	3.60	3.79	4.02	3.73	3.08
2 days later	7.52	5.42	5.40	4.52	4.34	3.57	3.16	3.16	3.30	2.58	3.08
1 day after re- turn to original seawater	3.89	3.28	3.68	4.22	4.98	3.89	3.58	3.75	3.99	3.62	4.46
Survival rate(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

1) Natural seawater

3月の実験結果は塩分0～65.4‰の範囲で生存率のみを調べた。実験の結果、26.2‰以上の各区では100%の生存率を示したが、19.6%以下の各区では低塩分となるほど生存率は減少し、0‰区では0%となった (Table 19)。

Table 19. Survival rate (%) of *P. nuntia* var. *vallata* reared for three days under different salinity conditions at 13.1–17.7°C in March.

Salinity (‰)	0	6.4	13.1	19.6	26.2	32.7 ¹⁾	39.2	45.8	52.3	58.9	65.4
Survival rate(%)	0	70	80	90	100	100	100	100	100	100	100

1) Natural seawater.

以上の結果から、成虫の塩分に対する適応性は、馴致している海水の塩分よりも高塩分側では季節による変化はないと考えられるが、低塩分側では低温期に強く、次いで高温期、そして産卵期前は最も弱くなることがわかった。実験中の体重は、無投餌のため原海水に近い塩分区での減重はともかくとして、低塩分側での増重及び高塩分側での減重は浸透圧によるもので、とくに増重の極限は48時間以内に生じ (目視結果では約2時間)、その後の減重がみられないことから、本種は環境水の浸透圧に対して順応型の反応¹⁴⁾をするといえる。発育段階別の適応性を考察すると、卵では24‰でふ化率が低下し、仔虫は同じ濃度で仮死し始め、8月の成虫では6‰でもへい死0と成長に伴い適応性が強くなる結果が得られた。このような傾向は汽水域の非干出帯に生息するゴカイでも同様で、低塩分に対する適応性は6体節期に急激に強くなると報告¹³⁾されている。産卵期における適応力の低下についても、*Neanthes diversicolor* O. F. Müller では産卵期に当たる冬季の適応限界は夏季よりも狭いと報告²⁴⁾されている。産卵期の適応力低下は成熟による肥満に伴い体表の弾力が低下するためと推察される。

(4) 溶存酸素量

イソゴカイは他のゴカイ類と同様に、生息場が冠水しているときにはぜん動運動を行なって棲管内の

海水を交換し、体表皮とくにいぼ足の背足枝に分布している毛細管を通じてガス交換が行われ²⁷⁾、干出時（5～11時間）には酸素消費量を極度に減少させて適応すると考えられている。人工飼育では前述のように飼育床の周期的干出は不必要なようで、飼育床上の水深0 cmに近いときによく摂餌する（後述）ことから、常に床上5 mm以内の保水状態での成虫の行動と溶存酸素量との関係を調べ、飼育水槽の構造を考えるうえでの資料とした。実験に用いた水槽は24 cm×19 cm×20 cmのガラス水槽で、底に礫を厚さ2 cmに敷き、その上に2組の通気揚水装置（高さ8 cm）を置き、周囲を粗砂で埋めて飼育床とした。通気揚水装置は樹脂製漏斗（口径5 cm）の内側に球形エアストーンを取付け、これに0.2 l/分の空気を送り込んだ。揚水装置の底部には軟質塩ビパイプを差込んで排水用サイフォンとし、その他端は水槽外に置いた50 ml容ウインクラ瓶に導いた。飼育用水は海水（水温20～23℃、塩分30～35‰）を0.10～0.15 l/分注水した。水槽内の水位はウインクラ瓶の高さを調節して砂上0 cm近くになるようにした（Fig. 27）。この水槽内にイシソゴカイの養殖成虫100 g（311個体）を収容し、通気流水、通気止水、無通気流水、無通気止水で各24時間の無投餌飼育を行ない、水槽壁に接して営業した成虫の行動を観察した。行動に異状がみられた時点で採水し、ウインクラ瓶で溶存酸素量を測定した。通気止水など酸素補給法を変更する場合には、常に各2時間の通気流水を行なった後に次の補給法に移った。

実験の結果、各補給法とも溶存酸素量は当初4.7～4.9 ml/lで、12時間目までは異状がみられなかった。通気流水、無通気流水、通気止水ではこの後24時間目まで異状は認められず、最終時の溶存酸素量は4.3～4.9 ml/lであった。無通気止水の場合は15時間目に成虫は棲管の上部に移動し、ぜん動運動をするのがみられ、溶存酸素量は1.9 ml/lであった。ぜん動運動は1時間で停止され、成虫は体の前半分を底質上に露出し、溶存酸素量は1.7 ml/lに減少していた。24時間目にも同様の状態で、水槽壁をたたいても潜入せず、溶存酸素量は1.5 ml/lとなっていた。通気流水を再開後2分以内にすべての成虫は頭部を上にして、棲管の中層より下で静止していた（Table 20）。

以上の結果から、イソゴカイの飼育用水の溶存酸素量は2.0 ml/l以上が必要とされる。溶存酸素量の減少に伴うゴカイ類の行動について、ジャムシは2.0 ml/l以下でぜん動運動を開始、0.6 ml/lで

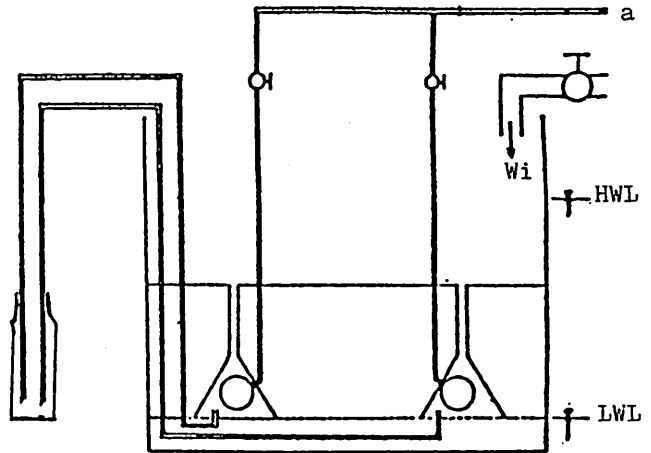


Fig. 27. Experimental aquarium used to estimate the oxygen tolerance of *P. nuntia* var. *vallata*. Glass aquarium, 24 × 19 × 20 cm a, air supply, 0.2 litre/min; HWL, highest water level, 8 cm above the surface of bottom sand; LWL, lowest water level, 10 cm below the surface of bottom sand; wi, water inflow, 0.15 litre/min.

停止すると報告²⁾されている。とりもなおさず、イソゴカイを保水状態で飼育するためには流水あるいは通気によって酸素補給を行なう必要がある。

Table 20. Behaviour of *P. nuntia* var. *vallata* under different dissolved oxygen (DO) conditions.

DO (ml/ℓ)	Behaviour of worms
4.9 - 2.1 (9.4-40 %)	Normal posture, resident in tube with head upright.
1.9 (37 %)	Beginning of irrigation behaviour.
1.7 - 1.5 (33-29 %)	Posterior of body emerged from tube.

(5) COD

イソゴカイを保水状態で飼育する場合、残餌や排せつ物によって底質が汚染され、砂粒間隙水のCODが生息場で測定された最高値(7.4ppm)よりも高くなることが予想されるので、通気循環式飼育水槽で投餌飼育を行ない、飼育用水のCODが高くなったときの適応性を調べた。実験にはイシイソゴカイの養殖成虫320個体(総重量400g)を透明な樹脂製水槽(25cm×20cm×22cm)の底に管部の先端を切り落とした樹脂製漏斗(口径8cm)と球型のアーストーンで作成した通気用水装置(通気量0.2ℓ/分)を置き、その周囲を細砂(粒径2mm以下)で埋めて飼育床とし、海水5ℓを入れた中に收容した(Fig. 28)。実験期間は242日間(11月16日～7月15日)で、期間中毎日1回、カタクチイワシの細肉約1gを与え、残餌の取上げは行わなかった。飼育用水は気泡が水面をおおい尽くした127日目(4月21日)、187日目(5月18日)及び217日目(6月24日)に底質内の間隙水のほぼ全量をサイフォンを使用して新鮮な海水と交換した。実験開始時の海水と第1回の廃棄海水はPH、COD及び三態の窒素を水質調査指針の方法で測定した。

実験の結果、成虫の行動に著しい異状がみられ始めたのは3か月後からで摂餌や逃避(潜入)の行動が緩慢になり、127日目には全く摂餌しなくなり、常に体後半部を砂上に露出し、水槽壁を叩いても潜入しない状態となった。新鮮な海水と交換後は直ちに正常に戻り、与えた新しい餌を活発に摂るのがみられた。第2回、第3回の換水直前の成虫はそれぞれ第1回換水直前と同様の状態がみられた。5月15日以後は産卵虫がみられ、総数5個体が遊泳した。実験終了

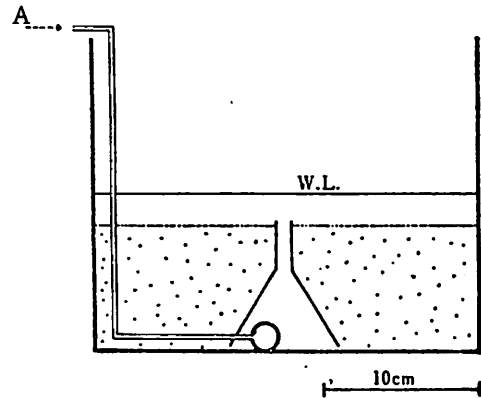


Fig. 28. Experimental recirculating aquarium used to establish the degree of water pollution caused by remnants of foods for *P. nuntia* var. *vallata*. A, air supply; W.L., water level.

日の生残数は産卵虫を含めて266個体で、生残率83%を示した。第1回廃棄水を分析した結果、PHは5、CODは51ppm、全窒素量は36ppmであった(Table 21)。第2回目、第3回目の廃棄水も気泡の被覆状態から、ほぼ同様の水質と推察される。この結果から、イソゴカイはCOD 50ppm、全窒素量36ppmまで適応し、適応限界は成虫の摂餌行動と気泡の被覆程度や消失時間など察知することができる。

Table 21. Changes of water quality due to decomposition of food in a recirculating rearing aquarium for *P. nuntia* var. *vallata*.

Date Water quality	Nov. 16, 1968 ¹⁾	Apr. 21, 1969 ²⁾
PH	7.9	5.1
Salinity (‰)	32.6	—
COD (ppm)	0.8	51.1
Ammonium - N (ppm)	0.5	31.5
Nitrite - N (ppm)	0.4	4.3
Nitrite - N (ppm)	0.2	0.4

1) Initial

2) Date of water exchange. Behavior of worms showed similar as DO 1.7-1.5 ml/l.

(6) 粒度組成

イソゴカイの生息場における底質の主成分は砂泥質から砂礫質にわたるが、常に泥から小石までの粒子が含まれている。飼育に当たっては単純な粒度組成の底質を用いるのが便利であると考え、小石、礫、砂による飼育の可能性を検討した。飼育水槽は透明な樹脂製の角形水槽(25 cm × 20 cm × 22 cm)に排水口を取り付けた表面流水式飼育装置で、底部8 cmにそれぞれ粒子径の異なる底質(小石5~15 mm、礫2~5 mm、砂2 mm以下)を敷き、0.15 l/分の海水(水温20~22 °C、塩分32 ‰)を流し、水深は底質表面上0 cmとした(Fig. 29)。この飼育水槽にイソゴカイの天然成虫(平均体重0.2 g)各30個体を収容し、その直後から潜行動、潜入完了時間を調べた。収容の翌日から隔日に1回、約5 gのウナギ用飼料を与えて飼育し、1か日目に底質を少量ずつホローバットに移して成虫を竹製ピンセットで取上げ、各区について体切断や体表皮の出血など負傷個体

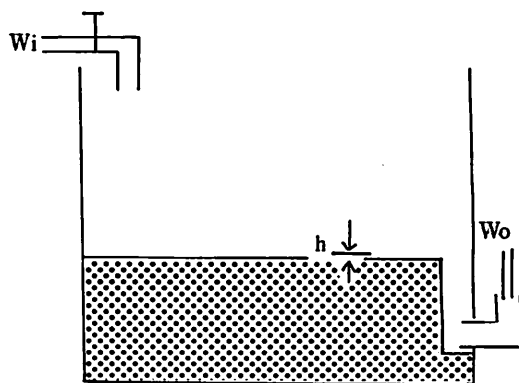


Fig. 29. Experimental aquarium used to establish the influence of particle size of substratum on *P. nuntia* var. *vallata* rearing. Plastic aquarium, 25 × 20 × 22 cm. h, water depth; Wi, water inflow; Wo, water outflow.

と健全個体の数を調べた。

各区に収容された成虫は直ちに潜入行動を開始し、小石区では底質の間隙に頭部を差し込んだ後、体の伸縮を繰り返しながら、いぼ足で体を前進させて小石の間隙沿いにほぼ垂直に潜入する。礫区と砂区では体の伸縮によって底質を周囲に押付けて潜入する。潜入所要時間は各区とも約30分以内で、底質粒子径による差はみられなかった。潜入後の成虫は各区とも頭部を底質表面に向けた正位で静止し、とくに砂区では棲管が形成され、棲管口が表面に開口しているのが観察された。飼育1か月後の生残率は各区とも100%であったが、取上げ後の負傷率は小石区63%、礫区47%、砂区7%、粒子径の小さいほど低かった (Table 22)。

Table 22. Number of injured worms of *P. nuntia* var. *vallata* reared in single substrata for 30 days. survival rate in 100 % every substratum.

Item	Substratum		
	Pebble	Gravel	Sand
Initial No. of worms	30	30	30
Injured worms at harvesting time	19	14	2

以上の実験において、潜入所要時間や生残率は同一であったが、取上げ後の負傷率からは砂区が最も好適と考えられる。負傷率は粒子径と取上げ方法が相互に影響すると考えられ、効率的で負傷率の低い取上げ方法を工夫すべきであろう。

4) 摂餌と餌料

ゴカイ類の食性について、ジャムシ⁵⁾、フツウゴカイ *Nereis pelagica* Linnaeus⁵⁾、*Nereis grubei* (Kinberg) は雑食性²⁶⁾、*Neanthes diversicolor* O.F. Müller はデトライタス食性^{2), 21)} などと報告されているが、イソゴカイについては魚肉のすり身やハマチ稚魚用ペレットをあたえての飼育⁴⁾が行われている。筆者は本研究における最初の飼育において、試行錯誤的にコノシロやカタクチワシの細肉及び2・3の養魚用配合飼料を与え、摂餌行動を詳細に観察した。その結果に基づいて摂餌の条件及び保存や調餌が容易で捕食率の高い成虫用及び稚虫用の餌料を探索し、それらの投餌方法を検討した。

(1) 成虫の摂餌行動

成虫の摂餌について、最初の天然成虫飼育では前述 (干出) のように、11月15日から5月6日までの間は無投餌、その後9月2日 (稚虫発見) までは冷蔵コノシロ (乾燥状態) や解凍カタクチワシ約200gを巾1cmに切って、10時と16時の2回、投餌後の水深を変化させて摂餌状態を調べた。

実験の結果、水位が砂上25cmで魚肉片を砂上に分散させて投餌したときに、成虫は砂表面の近くまで這い上がってくるが摂餌はみられない。投餌後の飼育用水の注排過程で水深が砂上±0.5cmになったときに多数の成虫が棲管から体前部を伸長して索餌するのが観察された。索餌は最長の感触手を砂上に這わせ、棲管口を中心として体の約4/5が伸長できる範囲で左右の副感触手で交互に砂面を叩くよ

うにして行われ、棲管口を離れて索餌することはない。体の伸長方向に餌が発見できないときは緩やかに、他の成虫と出会った場合は急速に体を縮小して棲管内に逃避した後、索餌を再開する。餌に近づいた成虫は内側に巻込まれている吻を翻出させて大顎歯で把握し、体を縮小させて餌を引き千切り、吻を巻込みながら棲管内に持込んでのみ下す。棲管の口径より大きく千切られた餌は管口を塞いでいるが、管内からの引き千切りが続けられる。

以上の結果から、イソゴカイの摂餌は最長の感触手と副感触手によって探知された匂いによって誘起され、水深が砂上0 cm近くのときに索餌行動が旺盛で、その範囲は棲管口を中心とする狭い範囲に限られるといえる。餌は大顎歯で捕捉されるが、吻の巻込みによって、餌は口腔内で小顎片で押え付けられたような状態となる (Fig. 30)。

(2) 成虫の餌料種類と嗜好性

餌料の嗜好性についての実験は、イシイソゴカイの天然成虫 373 個体 (100 g) を流水循環併用の飼育水槽 (Fig. 29、24 cm × 19 cm × 20 cm) に収容し、多産性魚類、養魚用配合飼料及び生息場の生物を与えて嗜好性を調べた。供試した動物性餌料のカタクチイワシは解凍後数時間経過、コノシロは -5℃ で約 2 か月保蔵、マアジは釣獲直後、アサリとカキは供試虫体の生息場で採捕したものである。配合飼料はウナギ成魚用とハマチ用の粉末飼料を粒径 5 mm にそれぞれ自家整形し、アユ用は粒径 2 mm のペレット、また海藻類はすべて供試虫体の生息場に漂着していたものである。各餌料は隔日に魚介類 (5 g)、配合飼料 (2 g)、海藻類 (8 g) の順で毎日餌料種類を変え、15 時に砂上水深 0 cm で止水とした後に投餌し、摂餌開始までの時間と翌朝 9 時における目測摂餌量から嗜好性を判断した。

実験の結果、嗜好性が最良の餌料はカタクチイワシ、コノシロ、カキの肉片とウナギ用飼料、良好の餌料はアサリ、ヒラアオノリとスサビノリ、比較的良好的餌料はマアジ、アユ用飼料とハマチ用飼料、比較的不良の餌料はワカメ、最も不良の餌料はイバラノリとオバクサであった (Table 23)。この結果から、臭気の強い魚介類や配合飼料が飼

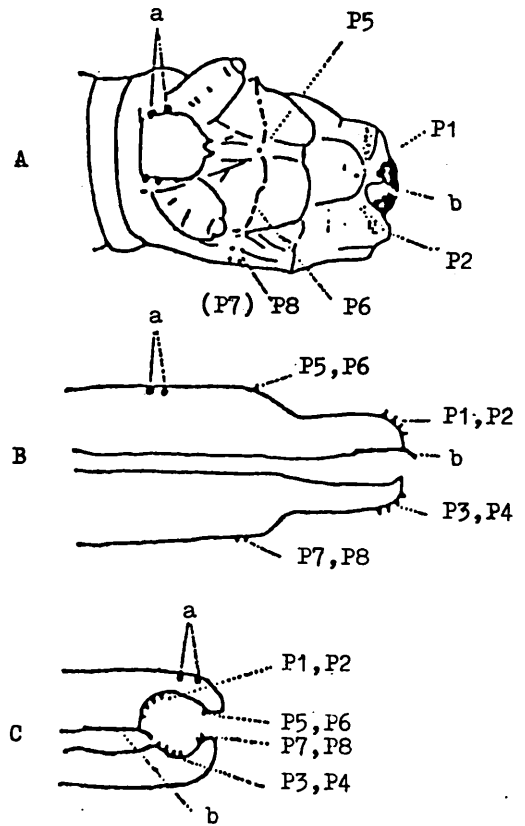


Fig. 30. Positions on the paragnath of *P. muntia* var. *vallata*. A, dorsal view of everted proboscis; B, schematics of longitudinal section of everted proboscis; C, the same for withdrawn proboscis. a, eye; b, jaw; P1–P8, areas of paragnath.

育用餌料に適し、とくにウナギ用餌料は保存性の面から勝れている。野外におけるイソゴカイの食性は肉食性に偏した雑食性で、生息地では漂着した魚介類の死体や柔らかい海藻類を食していると推察される。

Table 23. Food preference of adult worms of *P. nuntia* var. *vallata*.

Food items	Time to begin feeding	Amount of food taken(%)	Preference level ¹⁾
Defrozend anchovy	1 min.	100	5
Fresh jack mackerel	10 min~ 2 hrs.	75	3
Dried japanese gizzard shad	1 min.	100	5
Fresh shorthecked clam	1 min~10 min.	100	4
Fresh oyster	1 min.	100	5
"Hira-aonori" (<i>Monostrom ditidium</i>)	1 min~10 min.	100	4
"Wakame" (<i>Undaria pinnatifida</i>)	2 hrs~10 hrs.	30	2
"Susabi-nori" (<i>Porphyraezoensis</i>)	1 min~10 min.	100	4
"Ibara-nori" (<i>Hypnea chariodes</i>)	not feeding	0	1
"Oba-kusa" (<i>Pterocharadia capillaecea</i>)	not feeding	0	1
"Ayu" diet	10 min~ 2 hrs.	70	3
Anguilla diet (eel diet)	1 min.	100	5
"Hamachi" diet	10 min~ 2 hrs.	70	3

1) Preference behaviour lotting, 5, highest, 1, lowest.

(3) 成虫用餌料の大きさ

餌料の大きさは前実験において、アユ用餌料(粒径2mmのペレット)は棲管内に持込まれたことから、供試虫体(概略体長60mm)では、この大きさでよいが、若虫には大き過ぎると考えられる。成長に応じて餌料の粒子径を変えるのが理想であるが、投餌上の紛らわしさを逃れるため、成虫に粉末餌料を与えて捕食状態を調べた。実験は嗜好性の実験に用いた成虫をそのまま用い、同様の条件でウナギ用餌料を原形(粉末)のまま全砂上に散布した。砂上に体前半を出した成虫は吻を翻出させ、砂粒に付着した餌料を吻を巻込みながら第Ⅱ、第Ⅳ、第Ⅶ、第Ⅷの各区の小顎片で削り取るようにして捕食するのがみられた。

実験の結果から、粉末餌料は若虫、成虫とも捕食し、捕食時間が長いため、収容数(養殖では生残数)や成虫の大きさを確認するのに好都合である。また餌料の整形工程も省くことができるので養殖用餌料に適していると考えられる。

(4) 稚虫用餌料

稚虫の餌料について、球状菌に対する攻撃行動が、卵黄塊の消失した第5いぼ足期からみられたので、この時期から摂餌が開始されると考え、稚虫用餌料の検討を行なった。第1実験は直径8.5cmのシャーレ3個に第5いぼ足期の稚虫各50個体をろ過海水20mlとともに入れ、日光の照射しない室内(室温15~20℃)に置き、A区は海産クロレラ、B区は硅藻 *Skeletonema costatum* (Grev.) をそれぞれ

の培養液とともに各 2 ml、C区はパン用粒状イースト 5 mg を隔日に投与して25日間（ふ化後30日間）飼育し、その間の摂餌や生残数を調べた。実験中は通気や換水を行わず、砂の替りにスライドグラス各 1 枚を入れた。

実験の結果、飼育10日目の稚虫は、A区では消化管が緑色となって、クロレラの摂餌が認められたが、BとCの区では無色で摂餌は確認されなかった。稚虫は14日目に各区とも全数が、17日目にはA区のみで33個体がそれぞれ生残していた。A区では最終日にも3個体がスライドグラスの下側に潜入り、その体長は 6~12 mm であった (Table 24)。

実験の結果から、魚類種の種苗生産用クロレラがイソゴカイの稚虫用餌料としても好適であるが、その培養には施設や資材（水温、光量などの条件を満たした培養棟、培養水槽、海水ろ過機、培養基）が必要である。次に供試された餌料の大きさを検討すると、クロレラの細胞径は 3~10 μm、珪藻の細胞長は 18~35 μm、イーストの細胞長は 20~40 μm で、クロレラは最も小さい方に偏っている。魚類においても稚魚期の口径とそれらが摂餌する天然餌料の大きさとには密接な関係があり、群体となる餌料生物では細胞チェーンの長さを細分して与える必要があることが報告²⁸⁾されている。さらに、イソゴカイ稚虫の摂餌はほふくして行なわれるので、餌料は浮遊している必要はない。以上の考察に基づいて、クロレラ培養の省力化を目的とする代替餌料の探索試験（第2実験）を行なった。

第2実験は、培養した海産クロレラを対照区とし、市販の淡水クロレラの乾燥藻体（以下、乾燥クロレラと略記する。湿潤細胞径 3~10 μm）とウナギ用飼料（湿潤粒子径 7~12 μm）について、それぞれの生残率と成長（体節数）を比較した。投餌に先立ち、3種

Table 24. Survival of juveniles of *P. nuntia* var. *vallata* reared on three different foods.

Food	Culture days			
	10	14	17	30
Chlorella	50	50	33	3
<i>Skeletonema</i>	50	50	0	0
Yeast	50	50	0	0

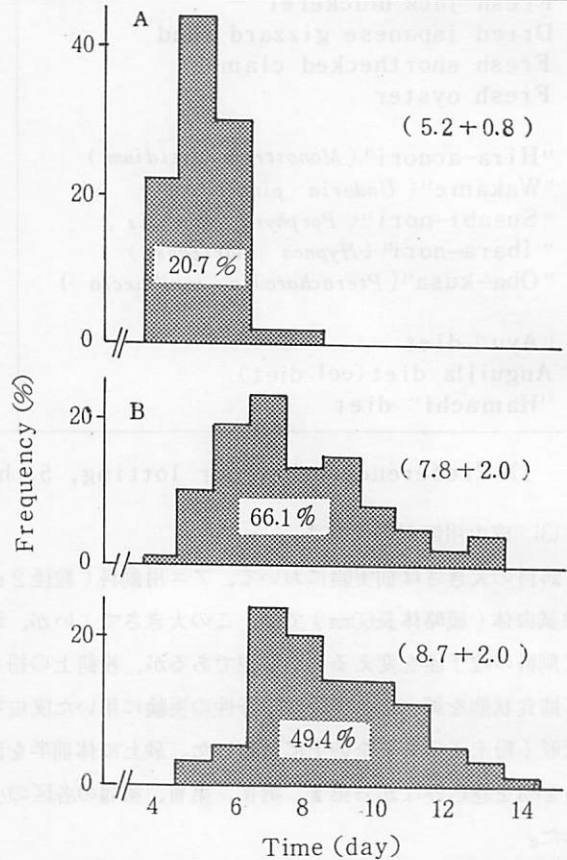


Fig. 31. Differences in the growth and survival rates of *P. nuntia* var. *vallata* juveniles on different foods for 15 days of rearing. A, marine chlorella, 1.8×10^7 cells/ml; B, dried freshwater Chlorella, 1.4 g/l; C, eel food (diet), 1.4 g/l. values in parentheses, number of parapodial segments after 15 days rearing; percentages, survival rate.

の餌料濃度を等しくするため、光電光度計で波長 $430\mu\text{m}$ のフィルターを用い、供試する海産クロレラ (1,800万細胞/ ml) と等吸光度 (0.49) の乾燥クロレラ懸濁液 (1.4 g/ℓ) を調整し、ウナギ用飼料は後者と等濃度とした。各飼料懸濁液はホモジナイザーで1,000回転/分、5分間の処理を行ない、餌料の細分化に努めた。供試虫体はイシイソゴカイの雌1個体より産出されたふ化後6日目のもの各50個体を直径8.5 cmのシャーレ9個に収容し、河化海水50 ml と洗浄した粗砂2 g を加え、前同様の室内(室温20~25 $^{\circ}\text{C}$)に置いた。稚虫の収容されたシャーレは各3個を1餌料区とし、各区はそれぞれの餌料液を隔日に1 ml ずつ与え、投餌開始後15日目の生残虫体について体節数を数えた。

実験の結果、生残率は乾燥クロレラ区が最も高く(66.1%)、成長はウナギ用飼料区が最良(8.7 \pm 2.0体節)を示し、海産クロレラ区は生残率及び成長ともに最低であった(Fig. 31)。この理由として、海産クロレラは群体が多く、1群の大きさが稚虫の摂餌粒径より大きいために餓死個体が多く、乾燥クロレラはホモジナイザーでの細切によって分離された細胞が摂餌され、またウナギ用飼料は粒子の細分化が不十分であったためと推察される。平均体節数からは動物性餌料の方が有効であるといえる。

なお、自然界での稚虫は底質表面で粒子径 $10\mu\text{m}$ 以下のデトリティスを食していると想像される。

若虫(とくに10~17いぼ足期)の摂餌行動は直径8.5 cmのシャーレに湿った粗砂を厚さ約3 mmに敷いた中に50個体を収容し、実体顕微鏡で観察しながらウナギ用飼料約0.2 g を砂上に散布してスポイトで海水を増減しつつ摂餌行動を調べた結果、成虫と同様に水表面と砂表面が等しくなったときに多数の若虫が摂餌するのがみられた。この摂餌行動と若虫の体長及び飢餓に対する抵抗性などを合せて考えると、特にこの時期の投餌に当たっては砂上の水深に留意する必要がある。

5) 養殖密度と成長

イソゴカイの飼育において、最も厳しい条件が要求されるのは成熟がほぼ完成したころから産卵・ふ化を経て若虫期までの間で、この間の飼育用水の塩分はおおむね32‰、水温はふ化には7 $^{\circ}\text{C}$ 以上、ふ化率の良い(95%以上)のは20~25 $^{\circ}\text{C}$ である。全生活史を通じて飼育用水はCOD50 ppm 以下、溶存酸素量2 ml/ℓ 以上、摂餌には水温12 $^{\circ}\text{C}$ 以上、水深はふ化から仔虫の間2~3 cm、その後は摂餌条件を満足させるために飼育床上0 cmの保水状態が必要とされる。飼育床はフルィによる取上げ法(後述)を採るために粒子径は0.2~2.0 mm、厚さは取上げる成虫の体長程度、飼料は稚虫には培養した海産クロレラもしくは乾燥クロレラとウナギ用飼料の等量懸濁液を、成虫にはウナギ用飼料をいずれも飼育槽の全面に散布して与えるのが良いことがわかった。この知見に基づき、卵から成虫まで同じ水槽を用いてイシイソゴカイの試験養殖を行ない、養殖密度や投餌回数(量)と成長との関係を調べた。養殖密度は前述のように水温20~25 $^{\circ}\text{C}$ では受精卵のほとんどがふ化することから、受精卵の数で調整した。

飼育水槽は市販の樹脂製容器(60 cm \times 40 cm \times 15 cm)を用い、前述の知見からふ化中の貯水(2~3 cm)とその後の保水及び摂餌の条件を満たすための水位調節管を取付け、砂の厚さは約7 cmでその中に溶存酸素補給のための棒状のエアーストン(長さ約30 cm)を埋めて2 ℓ /分の空気を渦流式送風機で送込み、COD保持のため海水を0.2 ℓ /分流した。この飼育水槽は5段の棚を有する架台に上段から順次排水口が交互になるように配列した。給水は飼育水槽の排水口の反対側に渡された塩ビの樋に海水を導き、樋にあげられた直径10 mmの穴から最上段の飼育水槽に注水し、第2段より下段の給水はそれぞれ上段の排

水を用い、最下段の排水を廃棄した (Fig. 32)。供試した卵は 4 月 13 日～5 月 10 日の間に雌 1 個体と雄 1～2 個体を 1 組とするイシイソゴカイ 6 組から得た受精卵で、各組の卵は半分に切ったスライドグラ

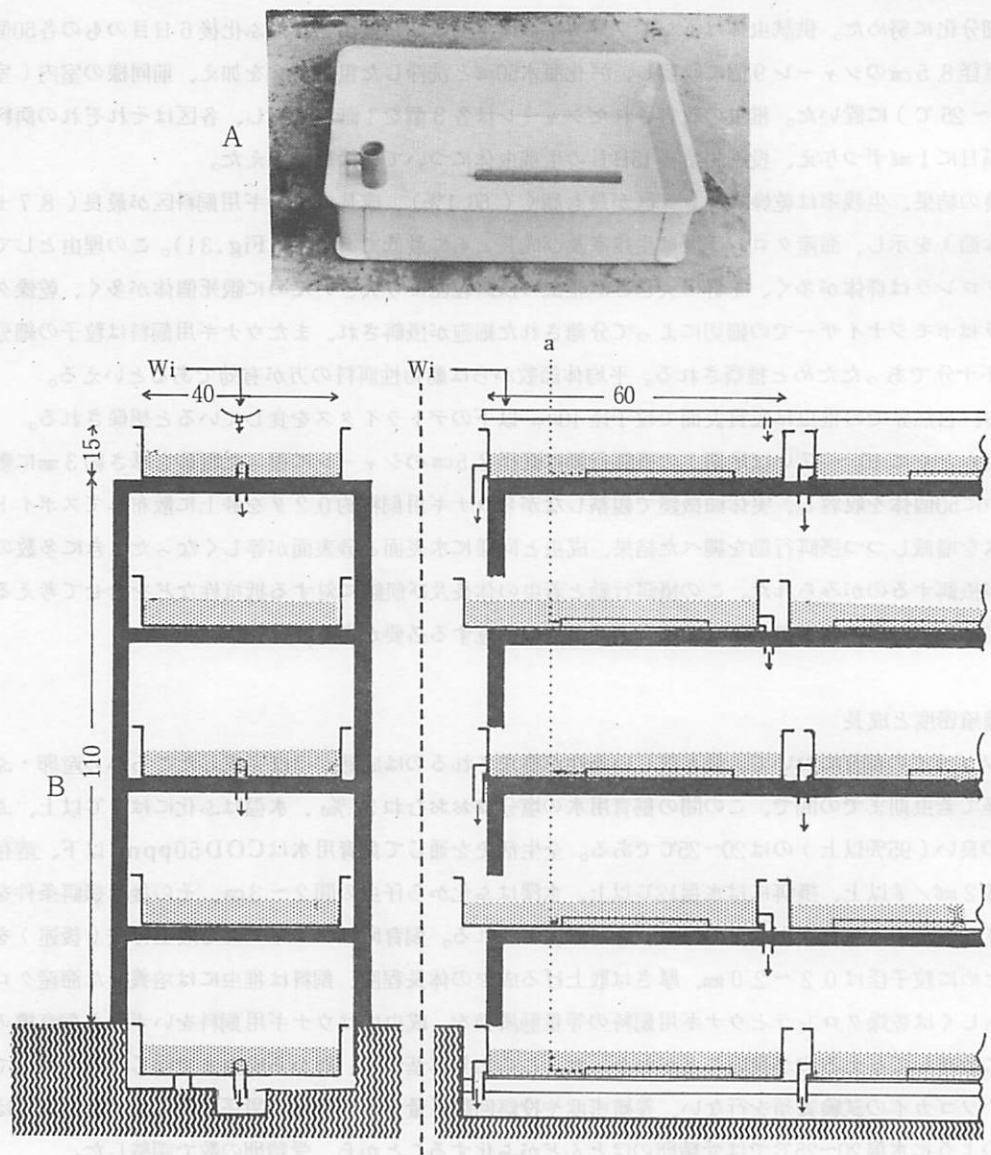


Fig. 32. A, container for mass-culture of *P. nuntia*, usually filled with coars sand to a depth of 7cm. B, commercial plant. a, air inflow, 2 litres/min/container; W_i , seawater inflow, 0.2 litre/min/file. Arrows, seawater inflow or outflow; dotted line, air pipe. Dimensions, cm.

ス(38mm×26mm)30枚にほぼ均等に付着させ、その16枚(約16,000粒)を組合せて、おおむね1,000粒、2,000粒、3,000粒、及び4,000粒の各区と2,000粒3区の計7区に分け各区の卵数を確認した後、2組ずつ架台の最上段、第2段及び第3段に配列された飼育水槽(合計42槽)に収容した。飼育水槽は卵収容後に水深を砂上約2cmとし、卵は毎日1回スライドグラスを取上げて実体顕微鏡(50倍)で発生進度を調べた。組別にふ化が完了した時点でスライドグラスを除き、ふ化時に500万~1,000万細胞/mlの海産クロレラを各水槽に2ℓ、その5日後に1ℓずつ与え、ふ化後16日目以後は水深を砂上0cm近くに保ち、投餌後の約2時間を除いて流水(0.2ℓ/分)とした。ふ化後16日目以後の餌料はウナギ用飼料を用い、卵数1,000粒、2,000粒、3,000粒、及び4,000粒の各区は1日2回(10時と14時)、各区の卵数や成長に応じて投餌し、主として卵の収容量と成長との関係を検討した。残余の2,000粒の3区は1日の投餌回数を1回(10時)、3回(10時、13時と16時)及び4回(10時、12時、14時と16時)に投餌し、上述の2,000粒-2回区(以下2,000-2区のように記す)とともに、主として投餌量と成長との関係を検討した。餌料はあらかじめ各区に3kgを準備(7容器)し、残った重量から区別の総投餌量を求めた。取上げは組別に150日間飼育後に、砂を目合3mmのフルイに移し海水槽の中でふるって成虫を選別し、その総重量と個体数を調べた。

実験の結果、ウナギ用飼料の投餌を開始して各45日目頃から、2,000-3区と2,000-4区では砂表面が黒くなり、取上げ時には2,000-2、2,000-3と2,000-4及び4,000-2の各区の砂は内部まで黒くなって、硫化水素臭が感じられた。飼育成績を主として6組の平均値について検討すると、1日に2回投餌した4区のうち、重量は2,000区が最高の209g、次いで3,000区と4,000区の約170gとなり、個体数は3,000区と4,000区の約850個体、次いで2,000区の680個体、体重は1,000と2,000区の約0.3g、4,000区の0.25gに対し、3,000区は最小の0.21gで、体重を除いては2,000区あるいは3,000区の成績が良いといえる。ここで最小の体重を示した3,000区の投餌量は4区の最少であったが、適正な投餌(後述)がなされた場合には体重約0.3gに成長すると考えられ、この飼育水槽の適正な収容卵数は約3,000粒、密度は1,250粒/m²と推定される。卵から約150日間飼育後の生残率は収容卵数の多くなるほど低下する傾向がみられるが、2,000区と3,000区では約30%である。1日の投餌回数(量)は約2,000粒の卵を収容した4区のうち、2回投餌区が重量、個体数及び体重とも最良で、1水槽当りの総投餌量は255gであった。餌料効率は卵数の異なる1日2回投餌の3区を加えて検討すると、最高は2,000-1区の89%で、最低は2,000-4区の13%である。前者での平均体重は0.28gと最も良く成長していたが、1水槽の取上げ重量はやや少ない(159g)ことから投餌不足が伺われる。後者では投餌過剰のために残餌が多く、これが飼育床を汚濁して飼育環境の悪化(とくにCODの上昇)を導き、摂餌不良、生残率の低下を招来したと考えられる。2,000-2区と3,000-2区は約80%で、とくに前者は重量、体重とも好成績であったことから、80%を目安に1日2回投餌するのが良いと考えられる。餌料効率約80%を示した2,000-2区と3,000-2区のうち、とくに後者について検討すると取上げた850個体(第4組)が平均体重0.3gに成長した場合の重量は255gで、この値は2,000-2区の第1組(278g)と第6組(245g)との間にあることから、この飼育水槽(飼育面積0.24m²)での生産量は約250g(1.04kg/m²)と推察され、また3,000粒収容した場合の総投餌量は餌料効率(80%)から312g(1.3kg/m²)である(Table 25)。

Table 25. Growth and survival of *P. muntia* var. *vallata* under different culture conditions. Fertilized eggs are first counted and stocked in each rearing container (Fig.32). For food, hatched larvae are given marine chlorella at a rate of 3 litres of 1 million cells/*ml* per container for 15 days and later worms are given eel food (diet) at rate listed below for 130 days.

Exp.	Predicted No. of eggs Feeding times per day	1000	2000	3000	4000	2000	2000	2000
		2	2	2	2	1	3	4
1	Actual No. of eggs	1200	2000	3000	4100	2000	2000	2000
	Harvested weight (g)	125	278	152	163	172	71	108
	Harvested No. of worms	445	896	1013	562	688	203	600
2	Actual No. of eggs	1400	1950	3000	4100	1950	2050	1950
	Harvested weight (g)	112	182	149	218	167	52	12
	Harvested No. of worms	329	758	710	1676	585	413	197
3	Actual No. of eggs	1400	2000	3000	4000	2000	2000	2000
	Harvested weight (g)	150	174	208	121	167	52	12
	Harvested No. of worms	357	600	1300	448	557	144	60
4	Actual No. of eggs	1000	2550	3100	4300	2400	2500	2600
	Harvested weight (g)	120	165	161	182	113	94	48
	Harvested No. of worms	571	550	847	479	419	348	126
5	Actual No. of eggs	1000	2400	3000	4200	2300	2120	2100
	Harvested weight (g)	125	211	216	194	187	50	75
	Harvested No. of worms	595	659	800	625	492	132	341
6	Actual No. of eggs	1000	2200	3000	4400	2100	2350	2100
	Harvested weight (g)	120	245	130	115	159	74	21
	Harvested No. of worms	375	612	433	1150	691	274	70
Mesn	No. of eggs	1167	2183	3017	4183	2125	2153	2125
	Amount of food (g)	213	255	200	277	178	362	417
	Harvested weight (g)	125	209	169	166	159	73	55
	Body weight (g)	0.28	0.31	0.20	0.20	0.28	0.24	0.23
	Survival rate (%)	32.8	31.1	28.2	19.6	26.9	11.6	10.9
	Food conversion (%)	58.8	82.1	84.7	59.8	89.3	19.7	13.1

7. 養 殖

イソゴカイの飼育条件を調べ、屋内で試験養殖を行なった結果、卵から親虫まで一つの水槽で飼育することが出来た。その飼育管理は容易で、餌料効率が良く、また卵から約5か月で釣餌用の大きさ(体重0.3g以上)に成長し、その後約4か月で成熟することがわかった。これらの知見に基づいて養

殖技術の体系化を図り、また成育段階別の生残率や餌料効率などから量産計画を立案した。養殖方法は親虫の採捕から稚虫までの種苗養成と親虫養成を含む釣餌用の成虫養成に分けて検討した。種苗養成法は本研究で採用した方法に準じて高密度での種苗(稚虫)生産方法を、成虫養成は稚虫を屋内(ビニールハウス)で投餌しての箱飼い養殖もしくは人工干潟養殖、また自然の干潟に放養しての生産方法が考えられ、これらの方法で1養殖期に1,000kg生産を目標とする施設規模及び親虫や餌料の確保量について検討した。

1) 種苗養成

①親虫の採捕と飼育：第1回養殖における産卵親虫は干潟で10~11月に採捕し、産卵虫の発見や産卵水槽への取上げなどの面から飼育水槽(Fig.32)1槽当たり各200g(約500個体)を収容し、産卵虫になるまで投餌飼育する。投餌は水温12℃以上の時期に1日1回、約2時間の止水時にウナギ用飼料を残餌のみられない程度(1飼育水槽当り約3g)を全飼育床上に散布して与える。成熟はふ化(おおむね6月上旬)した後の日平均水温の積算値が5,500℃日になった時点で完了するので、5月より早く産卵させるためには成熟促進法として飼育用水を20℃に保温し、採卵予定時期に所定の積算水温になるようにする。

なお、飼育用海水は全期間を通じて約32%以上の塩分を含んだものを用いる。(採捕後1か月の生残率：98%)。

②採卵：産卵は成熟後に水温が 23 ± 5 ℃に上昇する時期に行なわれるので、成熟後に水温を23℃とし、夜間は貯水(水深5cm)で止水とし、泳ぎ出た産卵虫の雌(淡緑色)1個体と雄(乳紅色)1~2個体を1組として各組を産卵水槽に移して産卵させる。産卵槽は22cm×14cm×6cmの水槽で、イシイソゴカイの採卵には水槽の内面をビニールフィルムでおおい、そのなかに親虫の飼育水温より3~5℃高い海水約1.5ℓを注ぐ。スナイソゴカイの場合には、目合い3~5mmの塩ビまたはサランで作った網筒(直径3cm、長さ5cm)を産卵水槽内に入れ、前同様の海水1.5ℓを注ぐ。両者とも産卵虫の遊泳がみられないときは5~10ml容の駒込ピペットで産卵槽内の海水を吸排して生ずる緩い噴射流を吹付けて遊泳を促す。産卵開始後はイシイソゴカイの場合のみ、前述の噴射流で卵を水槽の全底面に均等に分散させる。産出された卵は直ちに受精される。(採捕1か月後の親虫から産卵虫となる率：40%、雌の比率：43%、雌1個体の産卵数：約3万粒、受精率：約95%)。

③ふ化：イシイソゴカイの卵は産出約25分後に受精(付着)を確認し、雌1個体の卵(約3万粒)が付着したフィルムを、水温7~30℃、塩分約32%、水深2~3cmの海水を注いだ種苗水槽(60cm×40cm×5cm、粗砂の厚さ約2cm)に卵付着面を下にして水面に浮べてふ化させる。スナイソゴカイは前同様の海水1が入ったビーカーに産出40分後に雌1個体の卵が絡みついた網筒を収容して、緩く通気(50ml/分)しつつ、止水中でふ化させる。(ふ化率：95%、Fig.33)

④仔虫・稚虫の飼育：水温23~25℃でイシイソゴカイは3~6日、スナイソゴカイは4~8日でふ化し、その後の7日間(仔虫期)は摂餌することなく遊泳しているので止水で無投餌飼育を行なう。イシイソゴカイでは産出後10日目、スナイソゴカイでは11日目に稚虫となるので、稚虫期間中(10日間)の餌料として当初に1回だけ1種苗水槽当り0.25g(2.0g/m²)の乾燥クロレラとウナギ用飼料(1:1)

を海水とともにジューサーで均質細分化して与える。(生残率：約50%)

種苗養成法の概略を Fig. 33 に示した。

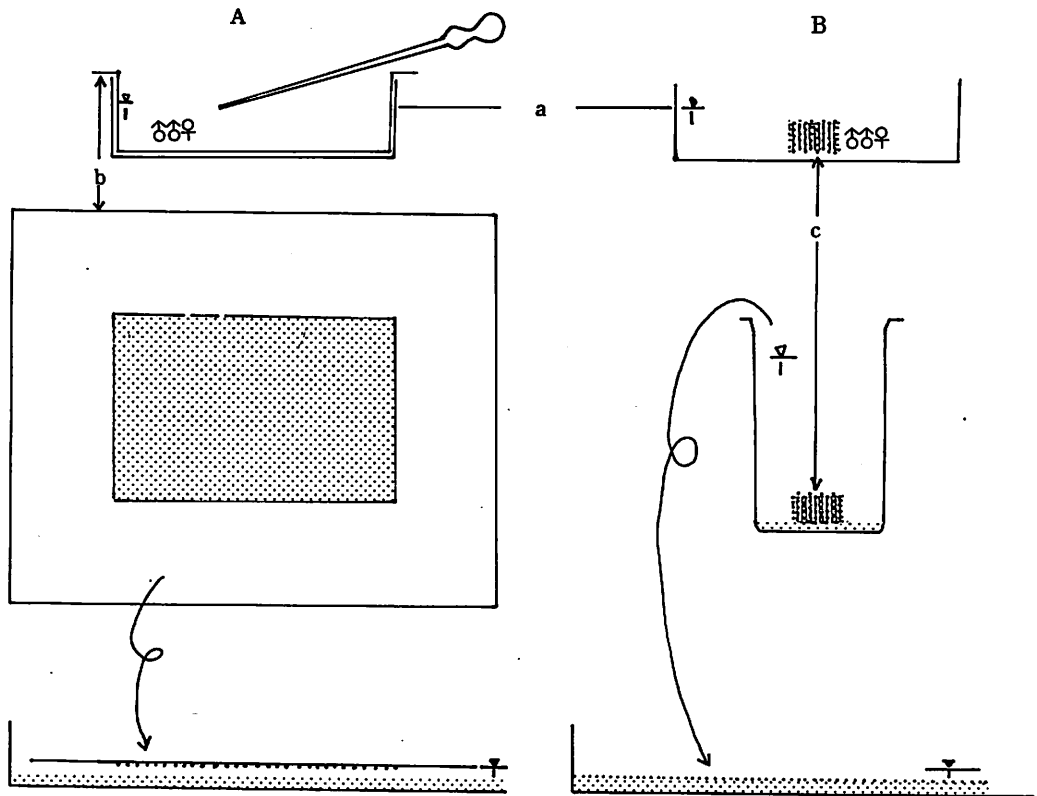


Fig. 33. Collection and hatching methods for eggs of *P. nuntia* var. *vallata* (A) and *P. nuntia* var. *brevicirris* (B). a, Spawning box, 22 × 14 × 6 cm; b, vinyl film, c, net cylinder.

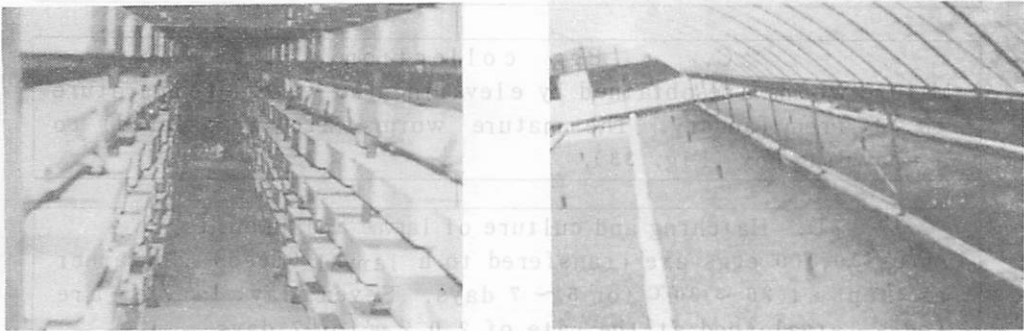
A, *P. nuntia* var. *vallata*; Spawning box, lined with thin vinyl film and filled with 1.5 litres of seawater (32‰, 25 ~ 28 °C) is stocked with one female and one or two males. Eggs are scattered over the bottom of vinyl film, immediately after spawning, with a slow current from a syringe. A vinyl film attached about 30,000 eggs at 25 ~ 30 minutes after spawning. For hatching, a sheet of vinyl film is transferred to a plastic seed (larval) container, 60 × 40 × 5 cm, sand of 1 cm, in thick, seawater (32‰, 25 ~ 28 °C) of 2 cm in depth. Eggs hatching out in 6 days.

B, *P. nuntia* var. *brevicirris*; The spawning box, and other conditions, are similar to those given A, with the exception of a cylinder made of plastic net as an egg collector. This cylinder, with an egg-mass, is transferred to a 1 litre beaker, filled with seawater. (32‰, 20 ~ 30 °C). Eggs, separated from the egg-mass 3 ~ 4 days after transformation, are transferred to a seed container. The eggs hatching out in 8 days.

2) 成虫養成

a. 箱飼い養殖：種苗水槽の稚虫（約13,500個体）を粗砂とともに10等分してその1単位を飼育水槽（Fig. 32）に移して、最初の10日間は1槽当たり1日1回約0.3gのウナギ用飼料を、その後は1日2回とし、餌の量は成長に応じて順次増加する。投餌は止水にした後に水槽内全面に散布して与え、投餌後の2時間以外は流水で飼育する。約130日間の飼育で体重0.3g程度に成長するので目合い3mmのフルイに砂を移して、海水中でふるって虫体を取上げる。（仔虫からの生残率：64%）。

養成された成虫は、この後成熟促進飼育することによって、約4か月後に成熟する。



A

B

Fig. 34. Commercial culture plants for *P. nuntia*. A, container culture method, Miyazaki Prefecture; B, artificial tidal beach culture method, Kagoshima Prefecture.

b. 人工干潟養殖：1種苗水槽の稚虫は砂とともに人工干潟 2.4 m^2 に放養する。人工干潟は深さ20cmで、礫を厚さ15cmに敷いたものである。最初の10日間のウナギ用飼料の投餌量は 1 m^2 当たり1日1回、1.25g、その後は1日2回とし、成長に応じて餌の量は増加する。投餌の方法は箱飼い養殖と同様である。取上げは礫を緩い水流で洗って、浮上った成虫をたも網で捕獲する。

c. 自然干潟養殖：生息場と同条件の干潟 2.4 m^2 に1種苗水槽の稚虫を放養する。投餌量は天然餌量の豊度によって加減する。取上げは底質を小形のくわで掘起して行なう。

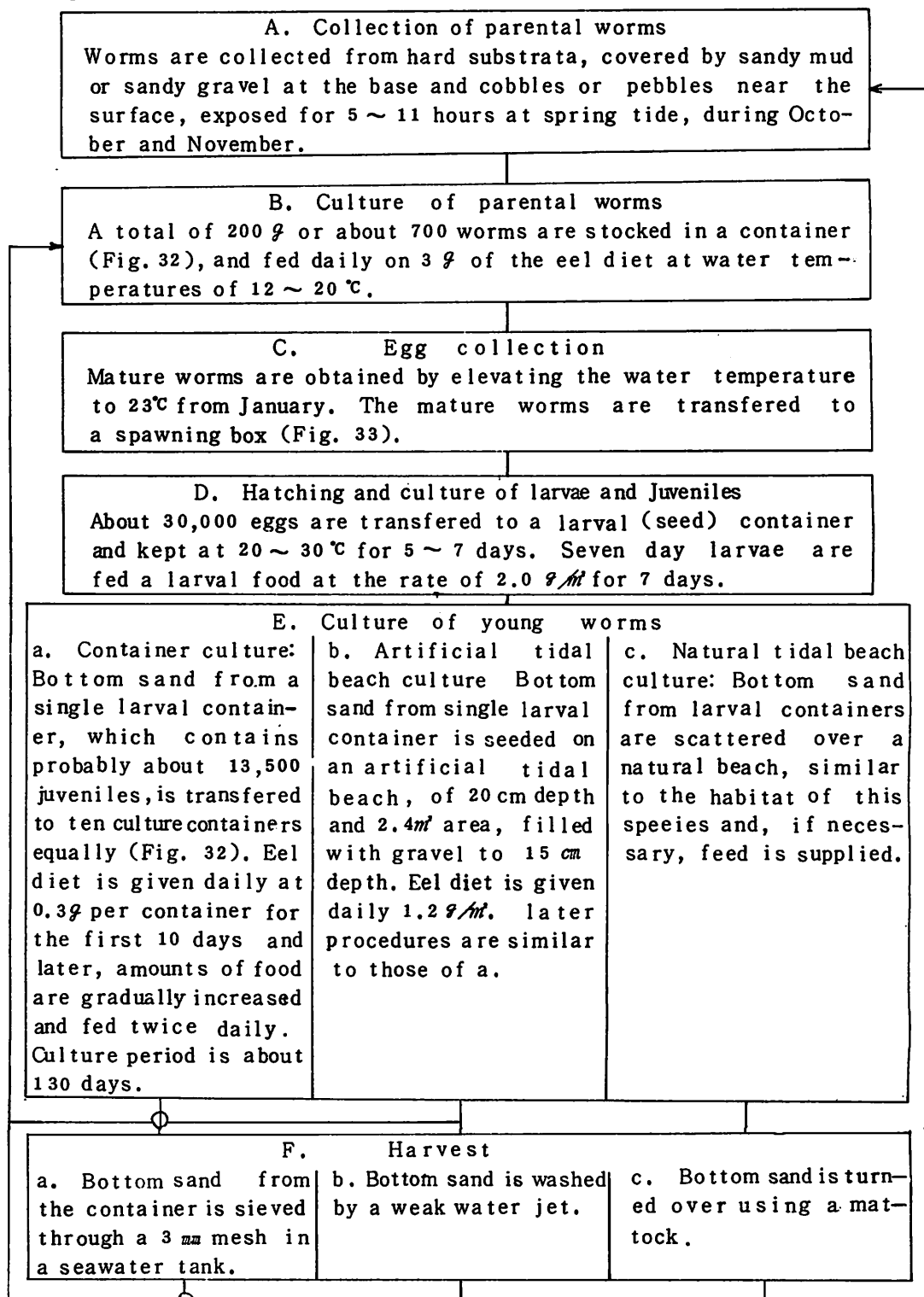
以上、aとbの成果は既に実用化され、とくに四国や九州で大規模に養殖されている（Fig. 34）。

親虫採捕から取上げまでの概略を Fig. 35 に示した。

2) 量産計画

イソゴカイ養殖において、1kg（3,000個体）の親虫を確保した場合に、餌料用成虫までの生育段階別の生物量を前述の各生残率、産卵虫となる比率（40%）、雌の比率（43%）、産卵数（30,000粒）、受精率（95%）、ふ化率（95%）及び産卵虫として泳ぎ出したもののうち産卵前に取上げて産卵槽内で

Fig. 35. Flow chart for mass-culture of *P. nuntia*.



産卵させることができたものの比率(70%)から、生産される餌虫は340万個体(約1,000 kg)である (Table 26)。

Table 26. Change in bio-mass given by *P. muntia* aquaculture.

Growth stage	Number, with total weight (♀) in parentheses	Rate	Source
Worms collected in Fall	3,300 (1,000)	0.98 ¹⁾	Table 21
Parental worms	3,200	0.40 ¹⁾	Table 7
Swarmed worms	1,300	0.43 ²⁾	Table 7
Females	560	0.70 ³⁾	-
Available spawners	390	30,000 ⁴⁾	Fig. 20
Spawned eggs	11,700,000	0.95 ⁵⁾	Table 11
Fertilized eggs	11,100,000	0.95 ⁶⁾	Table 12
Hatched larvae	10,500,000	0.50 ¹⁾	Fig. 30
Juveniles	5,300,000	0.64 ¹⁾	Table 25
Young	3,400,000 (1,000,000)		

1) Survival rate; 2) female ratio; 3) frequency of available spawners; 4) eggs spawned by a single female; 5) fertilization rate; 6) hatching rate.

餌料用成虫1,000 kgの生産に要する養殖資材について検討した結果、箱飼い養殖では親虫1 kgの他に、主な養殖資材として種苗水槽390槽、親虫及び成虫用水槽 (Fig. 32) 3,905槽、給水量は160ℓ/分、通気量は8,000ℓ/分、飼料はウナギ用飼料1,260 kgと乾燥クロレラ0.1 kgを必要とする。人工干潟養殖では親虫1 kg、親虫用水槽 (Fig. 32) 5槽、種苗用水槽390槽、成虫用人工干潟936 m²、給水量は3,130 ℓ/分、通気量(種苗用) 30 ℓ/分で、飼料の量は箱飼い養殖と同様である。自然干潟養殖では、親虫1 kg、親虫水槽5槽、種苗水槽390槽、給水量(親虫用)は0.2 ℓ/分、通気量は30ℓ/分で、飼料の量は干潟の餌量豊度によって異なる (Table 27)。

Table 27. Amounts of culture materials for yield of 1,000 kg bait worms (*Perinereis nuntia*).

Culture Materials	Seed culture ¹⁾	Bait worm culture		
		Container culture	Artificial tidal beach culture	Natural tidal beach culture
Parental worms (kg)	1 + 0	—	—	—
No. of container	5 + 390	3,900	—	—
Area of tidal beach (m ²)	—	—	936	936
Volume of seawater inflow (ℓ/min)	0.2 + 0	156	3,120	—
Volume of air inflow (m ³ /min)	0.01 + 0.02	7.8	—	—
Amount of foods Eel diet (kg)	0.4 + 0.1	1,250	1,250	—
Dried fresh-water Chlorella (kg)	0 + 0.1	—	—	—

1) Numerals means for parental worms rearing and larvae rearing.

要 約

釣餌料として重要なイソゴカイ *Perinereis nuntia* (Grube) の養殖を目的として、生態や生活史など基礎的研究を行ない、その知見に基づいて養殖方法の体系化を図り、量産計画を立案した。

1) 我が国のイソゴカイは形態的に *P. nuntia* var. *vallata* と *P. nuntia* var. *brevicirris* に分けられている。大阪湾のイソゴカイでは形態的相違は明瞭でなく、産卵生態に2型が認められ、分雌性卵を産出する群は前者の、凝集性卵を産出する群は後者の各特徴を備えたものが多く、それぞれの生息場の底質からイシイソゴカイとスナイソゴカイと称することとした。

2) イソゴカイの成虫は多毛類の典型的な特徴を具えているが、産卵期には産卵型に変形して底質から泳ぎ出す。産卵型の虫体は hetero nereis 型で、雌は緑色、雄は乳紅色になる。

3) イソゴカイの生息場は大潮時の5～11時間干出帯で、生息基盤の表面は栗石や小石でおおわれ、その下層や間隙は砂礫もしくは砂泥で、とくに泥率40%以下のところに多く生息する。

4) 卵はイシイソゴカイが沈性分離卵、スナイソゴカイは沈性凝集卵で、いずれも淡緑色の直径 300 μ m、高さ 100 μ m の扁平な球形である。精子は全長 70 μ m で、頭部には先体がある。

5) 水温 20～25℃でイシイソゴカイは3～7日の間に、スナイソゴカイは4～8日の間にいずれも3対のいぼ足をもつ仔虫(ネクトキータ幼生)としてふ化する。仔虫は約6日間遊泳生活を送り、この間

は体内に卵黄がみられ、摂餌はしない。稚虫（5～10いぼ足）になると底生生活に移るが、棲管は形成せずに底面ではふく生活をしている。約10日間の稚虫期の後に若虫期（10～25いぼ足）となり、棲管で生活するようになる。その後、体色は成虫に近ずき、ふ化後約150日で体重0.3g、約1年で成熟し、産卵後はへい死する。

6) イソゴカイは採捕時に体が切れることが多い。再生実験では尾部は再生するが、頭部は再生しない。切断された頭部側1/4でも尾節が再生され、尾節前縁から順次体節が生じてくる。

7) 産卵は夜間、とくに日没後1～3時間の間に泳ぎながら行われる。

8) 産卵期は4～8月（水温18～28℃）の間で、盛期は5月下旬（水温23℃前後）、性比（雌：雄）は1：1.3であった。

9) 産卵は求愛行動に続いて行われ、イシイソゴカイでは遊泳部2/3より後方のいぼ足の下部後側に開口する腎口から、スナイソゴカイは肛門部に開口する腎口から、卵や精子を放出する。

10) 産卵虫の体腔は卵や精子が充満し、とくに雌の卵重量は体重の56%にも達する。雌1個体の産卵数は平均約3万粒である。

11) 産卵用の親虫は、産卵期直前（3月）のものはへい死率が高いので、前年の秋季（10～11月）に採捕し、飼育水槽（60cm×40cm×15cm）に200g（約500個体）を収容して、産卵期まで投餌飼育するのが望ましい。

12) 産卵はふ化後の日間平均水温の積算値が5,500℃日以上になり、環境水温が18℃以上とくに23℃になったときに盛期となるので、水温によって産卵期が調節できる。

13) 泳ぎ出した産卵虫の産卵誘発には、飼育水槽の水温より3～5℃高い海水を入れた産卵水槽に移し、遊泳を中止した産卵虫にはスポイトの吸排による緩い噴射水流を吹付けて遊泳を促して産卵させる。

14) 成虫の飼育において、干潟のよりに底質の週期的な干満は不必要である。干出は数日間続いても生存に支障を与えない。卵が空気中に露出しても湿度が十分であればふ化率の低下やふ化した仔虫の生存に影響はみられない。

15) 飼育中の水温は、卵は7℃以下の水温を経過するとふ化せず、仔稚虫は12℃以下を経過した場合は生存に支障が認められるが、成虫では-0.8℃、45.3℃でも生存に支障はなく、摂餌は稚虫から成虫までの間、水温12℃以上で行なわれる。

16) 飼育用水の塩分は、卵や仔虫では24‰（80‰海水）でもふ化率の低下や仮死などの異状がみられ、成虫では8月と1月には0‰でもへい死しないが、3月（産卵期前）には20‰（60‰海水）以下でへい死する個体がみられる。高塩分側では65‰（2倍海水）でもへい死はみられない。低塩分海水中の生残個体は増重が、高塩分海水の中では減重が認められた。

17) 飼育用水の溶存酸素量は常に2ml/l以上を保持すべきで、1.9ml/lに低下すると棲管内でのせんだう運動が開始され、1.7ml/lでは体後部を砂上に出し、驚かせても逃避（潜入）をしなくなる。

18) 飼育中の海水CODの増加に対しては強い適応性を有し、51ppm（PH 5、全窒素36ppm）にもなると摂餌は認められず、体後部を砂上に露出した状態となる。

19) 飼育用底質の粒子径は15mm以下であれば、成育に支障はみられない。

20) 飼育用の餌料は、稚虫にはクロレラとウナギ用飼料との等量混合物を水中に分散して沈澱するよう

に、若虫と成虫にはウナギ用飼料を粉末のまま、止水で底砂上の水深0cmとした飼育槽の全面に散布して与えるべきである。

21) 試験養殖では、1飼育水槽当たり(60cm×40cm×15cm、底砂7cm)の中に3,000粒の卵を収容し、稚虫用に海産クロレラ(100万細胞/ml)3ℓと若虫以後の飼育用にウナギ用飼料を1日2回134日間(合計321♀)与えて飼育した場合に総重量250♀、約830個体が収穫できることがわかった。

22) 養殖過程を種苗養成と成虫養成に大別し、後者は箱飼い養殖、人工養殖及び自然干潟養殖の3養殖方法に体系化した。

23) 本研究で得られた諸資料から、餌料用成虫1,000kgの生産には親虫1kgを必要とするほか、種苗養成用資材として、親虫飼育水槽5槽、種苗水槽390槽、餌料のウナギ用飼料が4.1kg、乾燥クロレラが0.1kgを、成虫養成用資材として箱飼養殖い法では成虫飼育水槽3,900槽、人工干潟養殖法では養成干潟936m²、ウナギ用飼料がそれぞれ1,250kg、自然干潟養殖法では干潟面積936m²とウナギ用飼料0～1,250kgが必要である。

文 献

- 1) Dales, R. P., 1950: The reproduction and larval development of *Nereis diversicolor* O.F. Müller. J. Mar. Biol. Ass. Plymouth, (24) 321-360.
- 2) Dales, R. P., 1967: Annelids. Pp 200. Hutchinson Univ. Lib. London.
- 3) Day, J. H., 1967: A monograph on the polychaeta of southern Africa. Pt. I. Errantia. British Mus. (Nat. Hist.), Pp 458.
- 4) 福嶋 満・石田照夫, 1966: イソゴカイの飼育とその生活史. 水産増殖, 14(1), 51-56.
- 5) Goerke, H., 1971: Die Ernährungsweise der Nereis-Arten (Polychaeta Nereidae) der deutschen Küsten. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremeh. 13(1), 1-50.
- 6) Hartman-Schröder, G., 1962: Zur Kenntnis der Nereiden Chillies (Polychaeta, Errantia). Zool. Anz., 168, 412-427.
- 7) Imajima, M., 1972: Review of the annelid worms of the family Nereidae of Japan with description of five new species or subspecies. Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo, 15(1), 37-153.
- 8) 今林 実, 1981: 日本産多毛類の分類と生態(4). 海洋と生物, 3(1) 50-53.
- 9) 石田雅俊, 1967: イソゴカイに関する研究. 昭和48年度豊前水試研究業務報告, 79-91.
- 10) 石川久治, 1938: 釣餌虫利用の研究. Pp. 253, 釣餌料研究会, 福岡.
- 11) Izuka, A., 1903: Observations on the Japanese palolo, *Ceratocephale osawai* n. sp. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, 17(2), 1-37.
- 12) Izuka, A., 1906: On the breeding habit and development of *Nereis japonica* n. sp. Annot. Zool. Jap., 6(4), 295-305.
- 13) 香川義信, 1955: 汽水性ゴカイ *Nereis japonica* の成体及び幼生にたいする生存塩分域について. 徳島大学芸紀要(自然科学), 6, 1-16.
- 14) Kamemoto, F. I., 平野哲也(訳) 1973: 浸透圧調節-無脊椎動物. 海洋動物生理, 123-152. 海洋学講座8, 内田清一郎編, 東京大学出版会, 東京.
- 15) 勝谷邦夫ほか, 1972: 塩田内に発生するゴカイ *Neanthes japonica* (Izuka) に関する研究. 昭和46年度岡山水試事業報告, 34-46.
- 16) 前田耕作・塩満捷夫, 1972: 釣餌虫養殖試験. 昭和47年度鹿児島水試事業報告, 614-618.
- 17) 三重水試尾鷲分場, 1964: ゴカイ養殖試験. 昭和39年度三重水試尾鷲分場事業報告, 135-138.
- 18) 三重水試尾鷲分場, 1965: ゴカイ養殖試験. 昭和40年度三重水試尾鷲分場事業報告, 78-85.
- 19) 三重水試尾鷲分場, 1966: ゴカイ養殖試験. 昭和41年度三重水試尾鷲分場事業報告, 79-84.
- 20) 三重水試尾鷲分場, 1967: ゴカイ養殖試験. 昭和42年度三重水試尾鷲分場事業報告, 135-135.
- 21) Nagai, S. & Y. Nagai, 1981: Population change and growth of the marine Polychaetous annelid *Neanthes japonica* (Izuka) in a natural habit. Bull. Jap.

Soc. Sci. Fish., 47(8), 1023-1028.

- 22) 岡田克弘, 1952: 日本パロロの生殖群泳について. 実験生態学報, 2(2), 181-185.
- 23) Paike, E., 1975: Taxonomic evaluation of two varieties of *Perinereis nuntia*. Korean. Fish. Soc. 8(4), 242-244.
- 24) Prosser, C. L., 1965: Osmotic balance. Comparative animal physiology, 2nd ed. (ed. C. L. Prosser & F. A. Brown, Jr.) 6-56, Saunders, Phil.
- 25) Reish, D. J., 1953: Description of a new technique for rearing polychaetous annelids to sexual maturity. Science, 188, 363-364.
- 26) Reish, D. J., 1954: The life history and ecology of the polychaetous annelid *Nereis grubei* (Kinberg). Allan Hancock Found. Occas. Pap., 14, Pp74.
- 27) サウスワード, A. J., (時岡 隆・西村三郎訳) 1974: 海岸の生物. Pp205, 河出書房. 東京
- 28) 代田昭彦, 1970: 魚類稚子期の口徑に関する研究. 日水誌, 36(4), 353-368.
- 29) 高橋定衛, 1933: ゴカイ (*Nereis mictodonta*) に於ける再生体節の小観察. 博物学雑誌, 31(48),
- 30) Takahashi, S., 1933: On the variability of paragnathi in *Nereis mictodonta* Marenzeller (*Perinereis nuntia* var. *brevicruris* Grube). Annot. Zool. Jap. 14(2), 36-40.
- 31) 吉田俊一, 1970: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅰ. 水産増殖, 18(1), 1-7.
- 32) 吉田俊一, 1970: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅱ. 水産増殖, 18(1), 8-15.
- 33) 吉田俊一, 1972: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅲ. 水産増殖, 20(1), 19-25.
- 34) 吉田俊一, 1972: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅳ. 水産増殖, 20(1), 27-35.
- 35) 吉田俊一, 1973: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅴ. 水産増殖, 21(1), 14-16.
- 36) 吉田俊一, 1973: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅵ. 水産増殖, 21(2), 68-70.
- 37) 吉田俊一, 1973: イソゴカイの養殖に関する研究Ⅶ. 水産増殖, 21(3), 82-84.
- 38) 吉田俊一, 1976: イソゴカイの養殖における飼育密度と投餌量が収納に及ぼす影響について. 日水誌, 42(11), 1193-1198.
- 39) 吉田俊一, 1976: イソゴカイの成熟と産卵の促進. 日水誌, 42(11), 1199-1203.
- 40) 吉田俊一, 1982: 飼育条件下におけるイソゴカイの食性について. ベントス研究会誌, 23, 42-48.
- 41) 吉田俊一, 1982: イソゴカイの産卵様式と第Ⅴ区小顎片数, ベントス研究会誌, 23, 49-51.

SUMMARY

Studies on the Biology and Aquaculture of a Common Polychaete, *Perinereis nuntia* (Grube)

(Osaka Pref. Fish. Exp. Sta., Misaki, Osaka, Japan)

Shun-ichi YOSHIDA

The polychete *Perinereis nuntia* (Grube), is widely distributed on the shores of the Pacific Ocean and adjacent seas and is well known as the most useful fishing bait in Japan. Technical procedures for mass culture of this species were developed by the author from a life history study based on field observations at the Sennan district of Osaka Bay, as well as from detailed experimental rearing under laboratory conditions.

I Varietal differentiation and distribution

1) Two varieties of *P. nuntia* have been described from Japan; *P. nuntia* var. *vallata* and *P. nuntia* var. *brevicirris* (Imajima, 1972). They have been distinguished by differences in the number of paragnaths on the proboscis, especially on the area V.

The present material collected from the Sennan district cannot be clearly referred to either variety solely on the basis of these numerical differences. However, they can be separated into two types by spawning behaviour; one type spawns isolated eggs is distributed at the southern part of the research area, and the other spawns agglutinated eggs and is found mainly on the northern part. Most specimens of the first type can be referred to the variety *vallata* in possessing one paragnath on the proboscis area V while the second type resembles the variety *brevicirris*, having three paragnaths arranged in a triangle on the area V (Figs. 1-6, Table 1).

These two varieties are indistinguishable in other respects, except for the spawning behaviour and the quality of eggs mentioned above.

The variety *vallata* was mainly used for following experimental study.

2) The two varieties spawn just after development to hetero-nereis form. Sex is easily distinguished by coloration and morphology. In females the body is

pale green, and the dorsal and ventral cirri of first seven parapodia are modified; parapodia on the natatorial (epitokal) region bear the dorsal cirri with a smooth ventral margin, and the creeping (pre-epitocal) region is composed of 17-23 segments. In males the body is redish white in color, and the modification of the dorsal and ventral cirri appears on the first six parapodia; the natatorial parapodia bear the dorsal cirri with a row of tubercles on the ventral margin, and also bear a fan-shaped appendix with a long conical process between the lower ligule and the ventral cirri, and the creeping region is composed of 14-20 segments (Figs 7 and 8).

II Habitat

The species ususally occurs in the hard substrata exposed to air 5-11 hours at the spring tide. The substrata of the preferred habitat for the species consists of cobbles or pebbles at the surface, with a base of sand or sandy mud and especially accumulations of organic detritus. It has not been obtained from sites of wholly soft substrata (Fig. 9, Tables 2-4).

III Life history

1) The eggs has a depressed spherical form, 300 micron in diameter and 100 micron in height. The spermatozoon consists of a spherical head, with a cylindrical acrosome, 8 micrun in diameter and a long filiform tail, 52micron in length (Fig. 10).

2) The eggs of variety *vallata* hatch out as a nectochaetous larvae with three pairs of parapodia, from 3 to 6 days after spawning; those of *brevicirris* hatch out in the same larval form 4 to 8 days after spawning over the same water temperature range of 20-25 °C (Fig. 11).

3) The hatched larvae have greenish yolk and are planktonic for 6 days after hatching. Juveniles of 5-10 parapodial segments change to a benthic life and creep among the bottom sand particles. The young worm with 10-25 parapodial segments adopt a pale yellow body and commence to build tube burrows. They attain the commercial size for fishing bait, 0.3 g in body weight, five months after hatching; their color is similar to that of the adults. Most individuals probably mature in the next fall and die immediately after spawning (Figs. 12-14).

4) Laboratory experiments on the regeneration of body segments showed the following results. The anterior parts, including the head region, even when reduced to one-fourth of the total length, successfully regenerate the posterior part of body with the pygidium, but the posterior parts never regenerated the anterior segments, even with up to three-fourths of the total length intact (Figs. 15 and 16, Tables 5 and 6).

IV Spawning behaviour

1) Under laboratory rearing the spawning season was from April to August at water temperature of 18–28 °C; the peak of spawning occurred from late May to mid June, when the water temperature was about 23 °C. The ratio of males to females in swarming condition was 1 : 1.3 (Fig. 17, Table 7).

2) The spawning took place at night, mainly between 1–3 hours after sunset, representing the typical nuptial dance. No special relationship between spawning and lunality was present. The eggs and spermatozoa were shed from the posterior parapodium of the natatorial region in the variety *vallata*, while they were shed from the anus, with mucus, in the variety *brevicirris* (Figs. 18–20).

3) The coelom of the spawning individuals was filled with gonad. The difference of the body weight pre- and post-spawning showed that the number of eggs was significantly related to the female size and most females, 0.3–0.5 g in body weight, spawned about 30,000 eggs (Figs. 21 and 22).

V Laboratory rearing

1) To ensure a breeding stock of worms for aquaculture, it was essential to collect these worms from the field in the fall. The collected worms were immediately stocked in a container at a density of 1,125 individuals/m², or about 0.8 kg/m² (Fig. 23, Table 8).

2) The females spawned at water temperature of 23–25 °C after a total effective temperature of 5,500 °C-days from hatching (Fig. 24, Tables 9 and 10).

3) The results showed that maturity could be accelerated using heaters or a hot-house in the cold season. The swarming worms were kept in water 3–5 °C higher than the seasonal temperature and blown with a gentle current from a syringe to induce

the nuptial dance. These higher temperature and gentl blowing of the water were effective for inducement of spawning out of season (Table 11).

4) Periodical tidal change is not necessary for rearing of this species. Under moist conditions, when water was absent, the eggs hatched out normally and also the larvae showed the same survival rate as those treated normally. In wet sand the adults could survive for four days at 20 °C (Fig. 25, Tables 12 and 13).

5) Eggs hatched out normally in water at temperature higher than 7 °C and the larvae, Juveniles and young survived at 12 °C, or higher. The temperature tolerance range of adults was -0.8 °C to 45.3°C and they took food, usually, above 12 °C. They also tolerated transfer several times between 5 °C and 25 °C, at two hourly intervals (Fig. 26, Table 14).

6) Low salinity, lower than 24‰, influenced the hatching and survival rate of the larvae. However, from summer to winter the young and adults tolerated fresh-water, but the body swelled gradually in diluted sea-water and shrunk at higher concentrations. In fall, especially before the spawning season, the adults were apt to die at salinities lower than 25‰. (Tables 15-19).

7) The worms remained quiescent in the middle layer of the rearing substratum at dissolved oxygen (DO) levels exceeding 2.0 ml/l. They crept up and showed irrigating behaviour near the entrance of the tube at 1.7-1.9 ml/l of DO and, finally, emerged from the tube, leaving their head in it, at 1.5ml/l of DO (Fig 27, Table 20).

8) With increase in COD, to levels higher than 51 ppm in the rearing water, the worms showed the same behaviour as for low DO conditions(Fig. 28, Table 21).

9) Although the worms occurred in the field in substrata of mixtures of pebble, gravel, and mud, they were successfully kept in any one of these materials alone, except for mud, in the laboratory (Fig. 29, Table 22).

10) An artificial food for the cultured eel (eel diet) gave the best feeding results for adults and young. It was scattered over the substratum, with the water drawn down to a level just above the substratum. The food, which is cultured marie chlorella or dried fresh-water chlorella mixed in equal proportion to the eel diet, is the best of those tested for juveniles and this food, suspended in sea-water, was poured into the rearing container (Figs. 30 and 31, Tables 23 and 24).

11) The results of test cultureds showed that the maximum production was 830 worms, of about 250 g in weight, in a unit container; 3,000 eggs were introduced at the beginning and three litres of marine chlorella (1 million cells /ml) mixed with 321 g eel diet, were added twice a day for 134 days (Fig. 32, Table 25).

VI Mass-culture

1) Mass-culture of this species in containers and artificial or natural beach areas, has been established by the data from the above mentioned experiments. The culture apparatus of the container method and the artificial beach method are best located in a hothouse to obtain the juveniles reliably and to produce rapid growth. A suitable food for these two methods is the eel diet. In the natural beach method, the juveniles, obtained by artificial hatching, are released on a beach which is selected for similarity to the natural habitat of the species, and, if possible the eel diet should be employed, as food as in the former two methods (Figs. 33-35).

2) Mass-culture planing by these methods are studied which are amount of culture materials and others. Based on survival rate in each developmental stages and other culture coefficients, 1 kg in weight of parental worms yield are 1,000 kg of bait worms (Tables 26 and 27).

BULLETIN
OF THE
OSAKA PREFECTURAL
FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

CONTENTS OF No. 6

S. YOSHIDA: Studies on the biology and aquaculture of a
common polychaete, *Perinereis nuntia* (Grube).

OSAKA PREFECTURAL
FISHERIES EXPERIMENTAL STATION
MISAKI OSAKA Pref., JAPAN