

# 福山港富栄養域におけるスピオ科多毛類Polydora cornuta の着底と生残に及ぼす貧酸素水の影響

誌名	日本水産学会誌
ISSN	00215392
巻/号	675
掲載ページ	p. 814-820
発行年月	2001年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 福山港富栄養域におけるスピオ科多毛類 *Polydora cornuta* の 着底と生残に及ぼす貧酸素水の影響

山田 寛,<sup>1\*</sup> 今林博道,<sup>2</sup> 高田 詔民<sup>1</sup>

(2000年10月10日受付, 2001年3月6日受理)

<sup>1</sup>日本総合科学, <sup>2</sup>広島大学生物生産学部

Effect of Oxygen-Deficient Water on the Settlement and Survival of Spionid Polychaete  
*Polydora cornuta* on the Organically Enriched Bottom in Fukuyama Harbor, Japan

Hiroshi Yamada,<sup>1\*</sup> Hiromichi Imabayashi,<sup>2</sup> Norimi Takata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nippon Total Science, Inc., Hiroshima 721-0957, <sup>2</sup>Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Hiroshima 739-8528, Japan

Effects of oxygen deficient water on the settlement and survival of the spionid polychaete *Polydora cornuta* were investigated, based on benthos and plankton samples obtained at 5 stations in Fukuyama Harbor, between April 1998 to March 1999. Low oxygen saturation was observed in the bottom layer during the period from late spring to autumn. Anoxic water occurred at the eutrophic inner part of the harbor in summer. Both benthic individuals and pelagic larvae distributed mainly at the inner part, and showed a different seasonal change: the former was present from January to June, but the latter appeared throughout the year. In summer, the benthic individuals disappeared, and the center of larval distribution migrated from the inner to the central parts. Thus the death of benthic individuals and the escape of pelagic larvae were due mainly to oxygen saturation lower than 50% and 10%, respectively.

キーワード: 多毛類, *Polydora cornuta*, 浮遊幼生, 着底, 生残, 富栄養化, 貧酸素水

*Polydora cornuta* は、主に河口沿岸域の砂泥底に棲管を作って生息する体長 30 mm に満たない小型のスピオ科多毛類で、北アメリカ、ヨーロッパ等の世界各地の温暖な浅海域に分布している。<sup>1,2</sup> 日本では、瀬戸内海の富栄養化した港湾の泥質底で卓越していたとする唯一の報告例<sup>3</sup>がある。本種の異名である北アメリカ産 *P. ligni* については、底生期には野外での環境要因との関わりから、日和見的な個体群動態<sup>4,5</sup>や汚濁指標生物の特徴の一つである貧酸素に対する強い耐性<sup>6</sup>が指摘され、また浮遊期には飼育による幼生の形態<sup>7</sup>と成長<sup>8</sup>が判明しているが、野外での分布については不明である。また、本種のように富栄養海域に生息する底生動物群集は、夏季に底層での貧酸素水塊の消長によって大きな個体群変動が生じており、<sup>9-11</sup> その要因の一つとして浮遊幼生の加入・着底量が影響されるような底質環境が、多毛類ではスピオ科<sup>12</sup>やイトゴカイ科<sup>13</sup>の汚濁指標種について明

らかにされている。

本研究では、野外における *P. cornuta* の個体群動態の特性を明らかにするため、浮遊から底生への変態・着底期を中心に、それらの生残過程に及ぼす海底の環境要因、特に貧酸素水の影響を検討したので、報告する。

## 材料と方法

**調査海域** 瀬戸内海中央部の備後灘に位置する広島県福山港(面積: 3.97 km<sup>2</sup>)は、奥部が封じ込まれた半閉鎖性海域であり、奥行き(10 km)の割には間口(1 km)が狭いため、特に海水の交換が悪く、富栄養化が顕著である。年間の平均干満差は、2.6 m である。

野外調査は、1998年4月~1999年3月の間、港奥部から港口部にかけて設定した5定点(Stns. 1~5)(Fig. 1)において、毎月1回、計12回、実施した。

**採取・測定法** 5定点で、調査船(総トン数: 2トン)

を用いて、*P. cornuta* の底生個体、浮遊幼生、底質の採取および水質の測定を行った。

底生個体は、スミス・マッキンタイヤ型採泥器（採泥面積：0.05 m<sup>2</sup>）を用いて3回採取した底泥より、目合

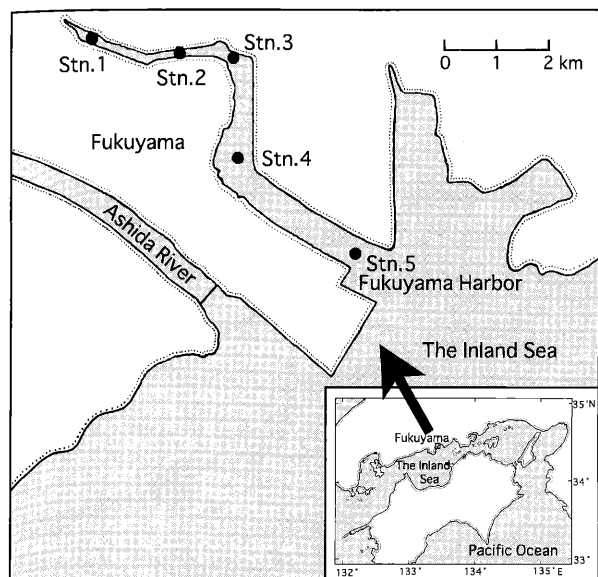


Fig. 1. Map showing the location of sampling stations in Fukuyama Harbor.

い1 mm の篩で選別し、直ちに5%ホルマリン海水で固定した。種を同定した後、個体数の計数と体長を測定した。

浮遊幼生は、北原式定量プランクトンネット（目合：100 μm）を用いて、海底上0.5 mから海面まで鉛直引きにより採取した。5%ホルマリン海水で固定した標本について、浮遊幼生の同定と密度を計測した。浮遊幼生の同定は、*P. ligni* 幼生の形態記載<sup>7)</sup>および*P. cornuta* 幼生の飼育下の発育段階<sup>14)</sup>を基準に行った。

水質は、多項目水質計（TOA製、WQC-20A）により、現場で溶存酸素量および塩分を測定した。測定層は、表層（海面下0.5 m）、中層（水深×1/2）、底層（海底上0.5 m）の3層とした。

底質は、上記のスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて採取し、表層泥をよく混合したものを、直ちに凍結した。分析室において解凍し、強熱減量（IL）、化学的酸素要求量（COD）および酸揮発性硫化物量（AVS）の測定は、底質調査方法<sup>15)</sup>に従い、全炭素量（T-C）についてはCHN分析計（EC INSTRUMENTS製、EA-1110）で行った。

## 結果

### 環境要因 福山港の5定点における水質および底質

Table 1. Annual mean values of environmental factors in Fukuyama Harbor

		Stn. 1	Stn. 2	Stn. 3	Stn. 4	Stn. 5	
Water	Depth (m)	4.4	4.5	8.2	10.8	17.7	
	Salinity (psu)	Surface layer*1	25.7 (20.7~31.4)	25.3 (21.0~29.5)	25.7 (19.5~29.9)	27.4 (22.0~31.2)	28.1 (25.6~31.2)
		Middle layer*2	28.1 (25.6~31.8)	28.2 (25.4~31.3)	29.1 (27.2~31.0)	29.5 (27.5~31.7)	29.7 (26.4~31.8)
		Bottom layer*3	28.9 (26.9~31.8)	29.2 (27.1~31.9)	29.7 (27.8~31.8)	30.0 (28.0~32.1)	30.2 (28.4~32.7)
	Oxygen Saturation (%)	Surface layer*1	45.2 (2.0~128.1)	77.4 (25.2~158.2)	97.1 (28.4~222.5)	112.3 (63.1~205.1)	102.2 (70.2~140.8)
		Middle layer*2	27.9 (1.2~92.4)	52.1 (13.0~101.7)	63.3 (20.3~99.3)	82.4 (52.8~109.1)	86.5 (58.6~112.4)
		Bottom layer*3	34.8 (0.0~93.6)	52.8 (3.8~100.0)	60.6 (10.1~97.9)	63.5 (7.4~100.2)	74.2 (21.0~116.9)
	Sediment	Temperature (°C)	18.7 (11.5~27.4)	18.3 (10.4~27.2)	18.1 (10.5~27.2)	17.8 (11.2~26.4)	17.7 (10.5~26.5)
		Ignition loss (%)	12.8 (11.1~14.3)	10.6 (8.3~12.6)	8.0 (6.2~9.4)	7.9 (6.2~10.0)	9.6 (6.4~10.7)
COD (mg/g dry weight)		39.8 (29.2~46.3)	30.8 (20.2~39.4)	11.0 (6.8~17.4)	14.5 (7.2~24.2)	16.4 (10.1~26.4)	
Acid volatile sulphide (mg/g dry weight)		2.86 (2.25~3.61)	1.95 (1.28~3.52)	0.33 (0.07~1.52)	0.60 (0.19~1.01)	0.69 (0.28~1.18)	
Total carbon (mg/g dry weight)		38.2 (27.0~45.0)	32.0 (19.0~44.0)	18.6 (11.0~51.0)	15.4 (5.5~29.0)	17.0 (10.1~26.0)	
Mud content (%)		93	83	95	96	98	

Numerals in parentheses indicate minimum and maximum values.

\*1 0.5 m under surface.

\*2 layer of half depth.

\*3 0.5 m above bottom.

の環境要因(年平均値)を, Table 1 に示した。

福山港の水深は, 港奥部から港口部にかけて深くなっており, 港奥部の Stn. 1 で 4.4 m, 港口部の Stn. 5 で 17.7 m を示した。塩分は, 底層で 28.9~30.2 psu の範囲にあり, Stn. 1 寄りでは低くなっていた。底層の酸素飽和度も, Stn. 1 寄りでは低いが, その範囲は 34.8~74.2% と定点間で大きな相違がみられた。特に, Stn. 1 においては無酸素化する時期があり, また中層(27.9%)も底層(34.8%)と同様に, 低かった。

底質については, IL が 7.9~12.8%, COD が 11.0~39.8 mg/g 乾泥, AVS が 0.33~2.86 mg/g 乾泥, T-C が 15.4~38.2 mg/g 乾泥の範囲にあり, いずれも Stn. 1 で堆積有機物が多かった。含泥率(83~98%)および泥温(17.7~18.7°C)は, 定点間で大きな相違を示さなかった。季節変化についてみると, IL, COD, T-C では各定点ともほぼ一定であった。しかし, AVS では Stn. 1 のみで季節変化が認められ, 4月に 3.41 mg/g 乾泥と高かったが5月には 2.64 mg/g 乾泥と急激に低下した。8月(2.38 mg/g 乾泥)まで徐々に低下した後, 増加に転じ1月には 3.61 mg/g 乾泥と最高値を示した。

酸素飽和度の鉛直分布(Fig. 2)をみると, 底層ほど溶存酸素量が低下する傾向にあった。1998年4月に飽和度20%以下の貧酸素水が港奥部の表層で観測され, 5月には全層に広がり, また徐々に港口部へと拡大しており, 8月には Stn. 5 近辺まで及んだ。特に Stn. 1 では, 6~10月の間, 底層が0~2.5%とほぼ無酸素状態にあった。9月以降は, 港口部から貧酸素状態は解消し

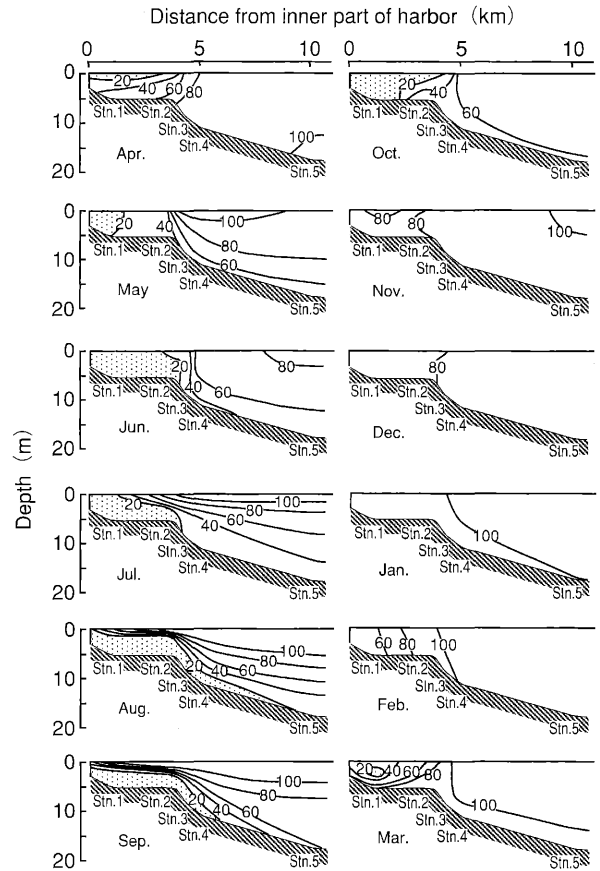


Fig. 2. Seasonal change in vertical distribution of oxygen saturation (%) in Fukuyama Harbor, from April 1998 to March 1999. Dotted area denote oxygen saturation below 20%.

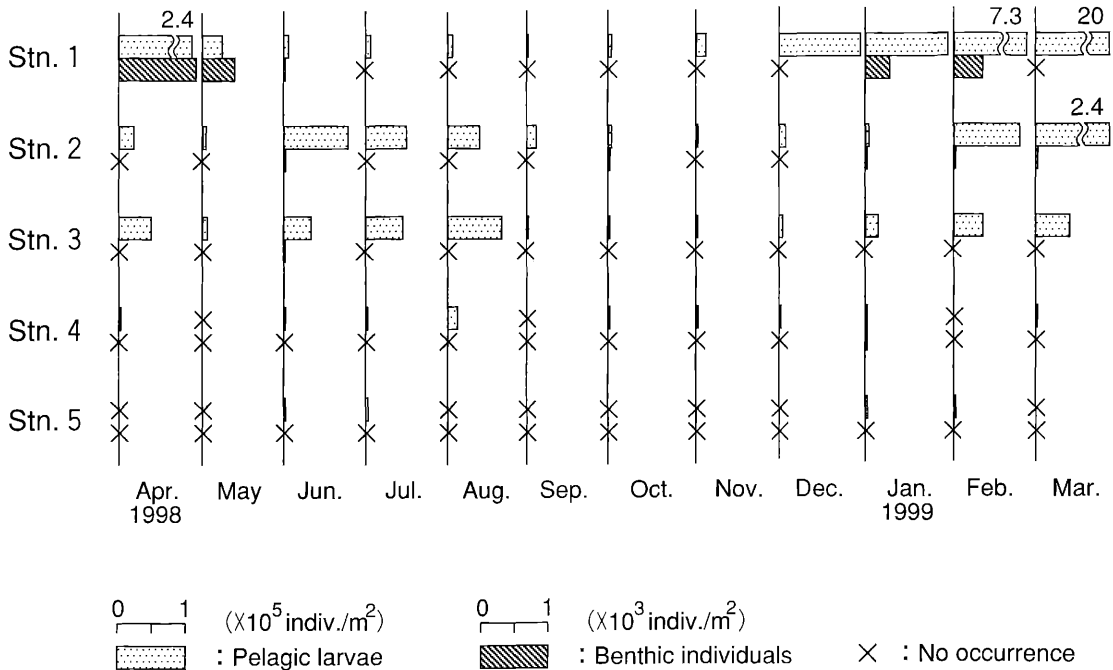


Fig. 3. Seasonal change in density of pelagic larvae and benthic individuals of *Polydora cornuta* in Fukuyama Harbor.

はじめ、11月以降は奥部でも60%を超えた。1999年3月のStn. 1では、中層で20%以下の貧酸素水が形成され、底層(酸素飽和度:60%以上)より低くなっていた。このように表層ほど酸素飽和度が低いといった逆転現象は、4月でもみられた。

**底生個体の出現状況** 5定点における底生個体の出現状況をFig. 3に示した。底生個体は、Stn. 1にほぼ限定して出現し、最高密度は1998年4月の $1.1 \times 10^3$  indiv./m<sup>2</sup>であった。5月には、 $5.0 \times 10^2$  indiv./m<sup>2</sup>と底層の貧酸素化とともに減少し、7月から12月まで出現しなかった。その後、底層の貧酸素状態の解消に伴い、1999年1月に $3.5 \times 10^2$  indiv./m<sup>2</sup>、2月に $4.0 \times 10^2$  indiv./m<sup>2</sup>と増加したが、3月は姿を消した。このよう

に、底生個体の出現時期は、冬～春季に限定していた。

**浮遊幼生の出現状況** 5定点における浮遊幼生の出現状況をFig. 3に示した。浮遊幼生は、底生個体とは対照的に全域で出現し、特にStns. 1～3に集中していた。出現時期も9～11月に減少するものの周年にわたった。しかし、春～秋季の浮遊幼生量の推移は、分布の中心であるStns. 1～3の間で異なっていた。Stn. 1では、1998年4月の高密度( $2.4 \times 10^5$  indiv./m<sup>2</sup>)から減少して、6～10月には $2.2 \sim 7.1 \times 10^3$  indiv./m<sup>2</sup>と低密度であったが、11月以降は増加に転じた。これとは対照的に、Stn. 2では、5月に低密度( $5.9 \times 10^3$  indiv./m<sup>2</sup>)であったものが、6～8月の夏季には比較的高密度( $5.8 \sim 9.5 \times 10^4$  indiv./m<sup>2</sup>)に達したが、9月以降は再び、

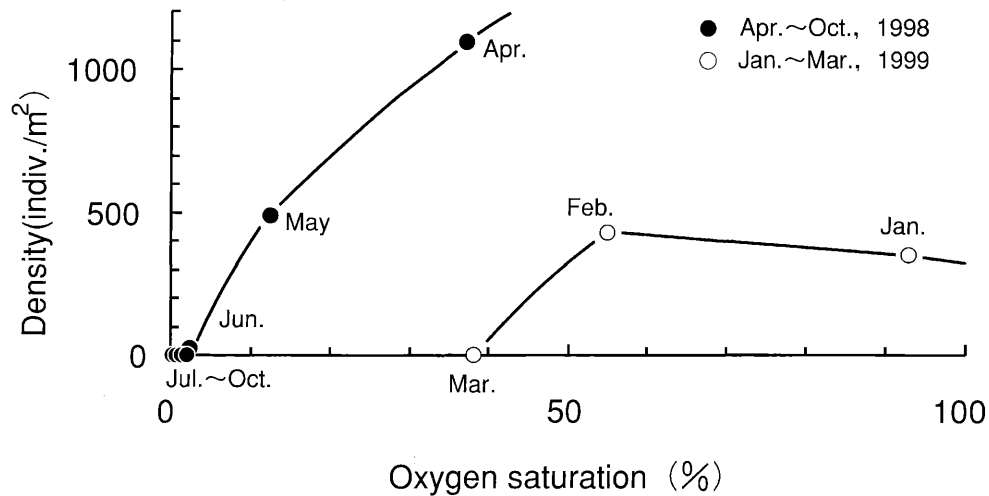


Fig. 4. Changes in density of benthic individuals of *Polydora cornuta* at Stn. 1, with decreasing oxygen in Fukuyama Harbor. Oxygen saturation was the mean of middle and bottom layers.

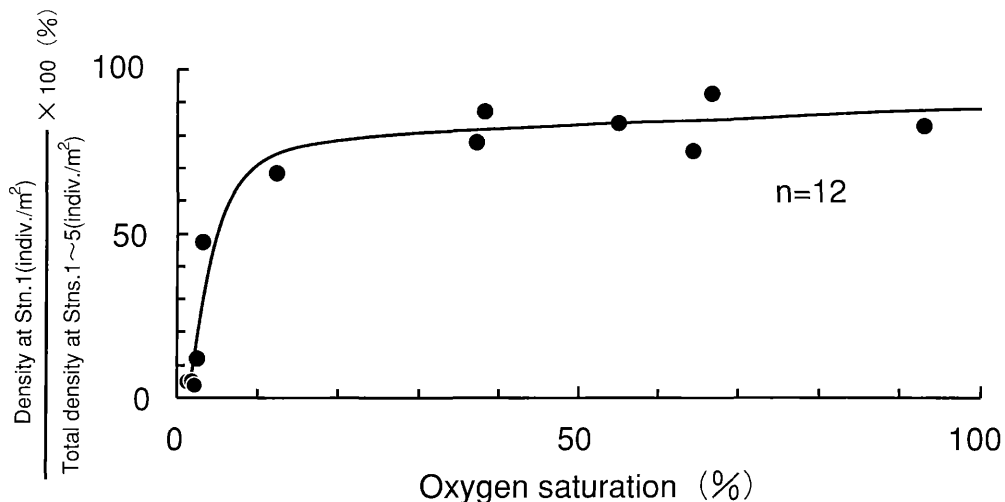


Fig. 5. Dominancy of pelagic larvae of *Polydora cornuta* at Stn. 1, in relation to mean oxygen saturation of middle and bottom layers in Fukuyama Harbor.

著しく低下した。Stn. 3でも, Stn. 2と同様に夏季に密度が上昇したが, 最高密度はStn. 2より約2カ月遅れの8月 ( $8.1 \times 10^4$  indiv./m<sup>2</sup>) にみられた。

このように, 浮遊幼生は, Stn. 1では底生個体が生存する冬~春季に, Stns. 2, 3では夏季に高くなった。

**貧酸素耐性** Stn. 1において, 海水の酸素飽和度が経時的に減少傾向にあった1998年4~10月および1999年1~3月について, 月別に酸素飽和度と底生個体密度との関係を, Fig. 4に示した。酸素飽和度については, 本研究によって中層水が底層に移動する現象(前述)が見られたため, 中層以深の平均値とした。Fig. 4によると, 両時期とも酸素飽和度50%以下で密度が低下しており, 底生個体の減少率は, 酸素飽和度10%当たり約300 indiv./m<sup>2</sup>であった。

浮遊幼生の分布の中心であるStn. 1において, 酸素飽和度と蝸集率との関係を, Fig. 5に示した。酸素飽和度は, 表層が調査時期, 特に夏季の赤潮状態によって局所的にバラツキが大きかったため, 中層以深の平均値とし, また, 蝸集率とは, 調査域における浮遊幼生密度の偏り度合で代表させた。Fig. 5によると, 浮遊幼生はStn. 1にはほぼ周年集まっているが, 酸素飽和度10%以下の6~10月になると, 沖合の定点に移動していた。

## 考 察

**底生個体の生息環境** 堆積物食である*P. cornuta*<sup>16,17)</sup>の好適な生育場は, 福山港奥部の泥質底であるStn. 1に限定されていた。本定点の底質をみると, AVS (2.86 mg/g 乾泥)をはじめ, 堆積有機物量を示すIL (12.8%), COD (39.8 mg/g 乾泥), T-C (38.2 mg/g 乾泥)はいずれも高く, 吉田<sup>18)</sup>および水産資源保護協会<sup>19)</sup>に従うと, 腐水域あるいは汚染泥域に相当していた。しかし, 隣接するStn. 2においても, Stn. 1とはほぼ同じ富栄養化レベルにあることから, 底質環境要因だけで*P. cornuta*の生育が規定されているとはいえない。なお, 本種の異名である北アメリカ産*P. ligni*についても, 汚染域に偏在するが, 本研究で測定した底質の物理・化学要因は提示されていない。<sup>4,5)</sup>

このように著しく富栄養化された底質環境が, *P. cornuta*の生息を可能にしていたが, その密度変化は, 底層の貧酸素水の発生によって大きく影響されていた。酸素成層期の夏季から冬季でみられた6カ月間の無生物状態は, 海底直上を広く覆った6~10月の無酸素水によって生じたものである。一方, 成層初期の春季(3月)にみられた一時的な底生個体の死亡も, 調査時に中層で観測された貧酸素水(20%以下)の影響によるものと考えられる。このような貧酸素水の中層への上昇は, 4月にも観測され, Stn. 1のように水深(4.4 m)の割には干満差(年平均: 2.6 m)が大きいこと, また港奥部

が封じ込まれているといった地形的要因が重なって, 周期的に生じやすいことが知られている。

有毒性のAVSの季節変化をみると, 底生個体の減少・死滅期である5~8月に低く(2.38~2.64 mg/g 乾泥), 底生個体の回復期である1月に最高値(3.61 mg/g 乾泥)を示していた。このことから, AVS濃度は酸素飽和度より底生個体の生残に与える影響は少ないと考えられる。

**浮遊幼生の着底過程** 細長い半閉鎖水域である福山港における*P. cornuta*の分布をみると, 底生期にStn. 1に偏在するのに対して, 浮遊期には港口部ほど少ないが, 全域で出現していた。内湾の泥質底に生息する北アメリカ産*P. ligni*についても, 浮遊期はより広範囲の分散を示している。<sup>5)</sup>このような両生活期での分布範囲の違いは, 貧酸素化の進行に対する応答の相違となっており, 移動性がほとんどない底生個体では, より高い酸素飽和度(50%)で死亡するといった形であらわれており, この死亡レベルは富栄養海域での大型底生動物全般に通じるものである。<sup>9,10,20,21)</sup>水塊とともに移動する浮遊幼生では, より低い酸素飽和度(10%)まで分布していることから, わずかな酸素を効率よく利用できる呼吸機能を持つことが推察される。Yokoyama<sup>12)</sup>によると, 本種と同じスピオ科である*Paraprionospio* sp. type Aの浮遊期において, 野外での貧酸素水への蝸集現象を報告している。このように, 浮遊期での強い貧酸素耐性が, その広い分散を支えているものと推察される。

浮遊幼生の出現期間をみると, 福山港においては周年であり, 頻繁に消滅を繰り返す底生個体とは対照的である。しかし, その密度や分布は酸素レベルによって季節的に変動していた。酸素減少期の浮遊幼生の挙動を月別にみると, 5月は本種の着底場であるStn. 1で密度のピークがみられたが, 6, 7月はStn. 2, 8月はStn. 3と港中央部へ漸次移動していた。この間, 港中央部において浮遊幼生が減少, すなわち着底あるいは死亡することなく, また沖合域に分布を広げることもなかった。このような浮遊幼生の挙動からすると, 浮遊幼生は無酸素状態を忌避して, より酸素飽和度が高い場所(10%以上)で生残していると考えられる。浮遊幼生の忌避行動は, 前述したようなStn. 1での大きな干満差に伴う沖合方向の水塊移動によってもたらされたものである。その後の9月には, 浮遊幼生の大半は死滅することから, 着底の猶予期間は3カ月間におよぶと推定された。このような環境悪化での着底の猶予は, 富栄養化海域での優占種である二枚貝のシズクガイ幼生でも報告されている。<sup>22)</sup>着底の猶予期間内に無酸素状態が解消すれば, 潮汐により再びStn. 1へ移動し着底加入が行われる可能性がある。このように, *P. cornuta*にとって, 浮遊幼生

の忌避行動は単なる受動的な移動ではなく、積極的な生残戦略であるといえる。

酸素回復期についてみると、全域で著しく減少していた浮遊幼生は、Stn. 1において、11月からの無酸素状態の解消（飽和度：60%以上）に伴って12月に急増した。底生個体は、1カ月遅れて姿を見せていた。高盛ら（未発表）の底生期の体長組成解析によると、年間の最小個体（体長：8.3 mm）は1月に出現したこと、および *P. ligni* の飼育下の浮遊期間が12月の水温14°Cで19~39日間であること<sup>5,8)</sup>から、11~12月に産卵・ふ化した浮遊幼生が1月の底生個体の出現につながったに違いない。このように、*P. cornuta* では、周囲（Stn. 2）の残存成体が貧酸素化の解消に対していち早く応答し、産卵・ふ化行動を示し、順次、着底・加入したものと推察される。

以上述べた *P. cornuta* の浮遊期での多様な挙動、すなわち1)広い分散能力、2)忌避能力、および3)速い増殖能力は、日和見的生物の生態学的特性に合致し、また、いずれも貧酸素水の消長によってもたらされたことが判明した。

日和見的特徴として、上記の3つ以外に、種間競争に弱いことが指摘されている。<sup>4)</sup>これを本種浮遊幼生の着底時で検討すると、Stns. 2, 3では、スピオ科の2種 *Prionospio pulchra* や *Paraprionospio* sp. type A の底生個体が周年卓越しているため、<sup>23)</sup>浮遊幼生が高密度で出現する夏季や冬季でさえ、着底が阻害されたものと考えられる。Stn. 1での着底を支える生理機能の1つが、本研究で明らかにされた貧酸素耐性（酸素飽和度：10%）であり、その特性は、Stn. 1で本種と混生する *Capitella* sp.<sup>23)</sup>に特有な嫌気代謝機能<sup>24)</sup>に類似したものと言えよう。

*P. cornuta* は、環境悪化の著しい時期を、底生個体と比べて貧酸素耐性や移動性が大きい浮遊幼生で過ごし、また着底を猶予して、環境が回復するとたちまち増殖・着底することは、個体群の維持・生残には有効な戦略である。今後は、有機汚濁域での浮遊幼生の着底に伴う生残過程と貧酸素耐性との関係を、発育段階ごとに明らかにする必要がある。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、試料の採取と分析に御協力頂いた株式会社日本総合科学の皆様、とりわけ幼生同定の御指導と有益な助言を頂いた梁棟氏、論文とりまとめの際にご協力頂いた岡田典恵氏に深く感謝致します。また、試料採取及び底生個体同定の労をとられた広島大学生物生産学部動物生態学研究室の高盛真吾氏に感謝します。

## 文 献

- 1) Blake JA. Revision of the genus *Polydora* from the east coast of North America (Polychaeta, Spionidae). *Smithson. Contr. Zool.* 1971; **75**: 1-32.
- 2) Blake JA. Family Spionidae Grube, 1850. In: Blake JA, Hilbig B, Scott PH (eds) *Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel*, Vol. 6 The Annelida Part 3-Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. Santa Barbara Museum of Natural History, Santa Barbara, 1996; 169-171.
- 3) 高田詔民, 山田 寛, 高橋弘幸, 田口智子, 今林博道. 富栄養化の著しい福山港における底生動物と海底環境. 1996年度第10回日本ベントス学会大会講演要旨, 1996; 43.
- 4) Grassle JF, Grassle JP. Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.* 1974; **32**: 253-284.
- 5) Levin LA. Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: community structure and response to disturbance. *Ecology* 1984; **65**: 1185-1200.
- 6) Rice SA, Simon JL. Intraspecific variation in the pollution indicator polychaete *Polydora ligni* (Spionidae). *Ophelia* 1980; **19**: 79-115.
- 7) Blake JA. Reproduction and larval development of *Polydora* from Northern New England (Polychaeta: Spionidae). *Ophelia* 1969; **7**: 1-63.
- 8) Anger K, Anger V, Hagmeier E. Laboratory studies on larval growth of *Polydora ligni*, *Polydora ciliata*, and *Pygospio elegans* (Polychaeta, Spionidae). *Helgolander Meeresunters* 1986; **40**: 377-395.
- 9) 今林博道. 底生動物群集に及ぼす貧酸素水塊の影響. 日水誌 1983; **49**: 7-15.
- 10) 今林博道. 富栄養海域における底生動物群集と貧酸素水塊の相互作用. 沿岸海洋研究ノート 1989; **26**: 119-128.
- 11) Kikuchi T. Macrobenthic succession in the organically polluted waters, and ecological characteristics of some pollution indicator species. In: Mauchline J, Nemoto T (eds) *Marine Biology, its accomplishment and future prospect*. Hokusensha, Tokyo, 1991, 145-163.
- 12) Yokoyama H. Ecological studies on the pollution-indicator species of the spionid polychaete. PhD Thesis, Kyoto University, Kyoto, 1991.
- 13) Tsutsumi H, Kikuchi T. Study of the life history of *Capitella capitata* (Polychaeta: Capitellidae) in Amakusa, South Japan including a comparison with other geographical regions. *Marine Biology* 1984; **80**: 315-321.
- 14) 梁 棟, 山田 寛, 岡田典恵, 高田詔民. 飼育条件下における多毛類 *Polydora* cf. *cornuta* の成長. 1999年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 1999; 250.
- 15) 環境庁水質保全局. 底質調査方法 (昭和63年9月). 東京, 1985; 2-65.
- 16) Fauchald K, Jumars PA. The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 1979; **17**: 193-284.
- 17) Dauer DM, Maybury CA, Ewing RM. Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake Bay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1981; **54**: 21-38.
- 18) 吉田陽一. 低次生産段階における生物生産の変化. 「水圏の富栄養化と水産増殖」(日本水産学会編)恒星社厚生閣, 東京, 1973; 92-103.

- 19) 日本水産資源保護協会. 水産用水基準 (1995年版). 日本水産資源保護協会, 東京, 1995, 66-68.
- 20) Reish DJ. Effect of pollution abatement in Los Angeles harbour. *Mar. Pollut. Bull.* 1971; **2**: 71-74.
- 21) Rosenberg R. Benthic macrofaunal dynamics, production, and dispersion in an oxygen-deficient estuary of west Sweden. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1977; **26**: 107-133.
- 22) 今林博道. 貧酸素化富栄養海域におけるシズクガイの着底過程. 月刊海洋 1991; **23**: 656-662.
- 23) 山田 寛, 高盛真吾, 岡田典恵, 今林博道. 貧酸素化港湾域における優占多毛類の着底と生残. 平成 11 年度日本水産学会中国・四国支部大会要旨集. 1999.
- 24) 堤 裕昭, 井上貴子. 約 20 年間にわたる魚類養殖漁業による大量の有機物が堆積した内湾域の海底環境と底生生物群集の特徴. 日本ベントス学会誌 1996; **50**: 39-49.