

## やむしのデトリタス化\*

永沢祥子\*\*・根本敬久\*\*

### The decay of chaetognaths

Sachiko NAGASAWA\*\* and Takahisa NEMOTO\*\*

**Abstract:** This study presents the decay of chaetognath carcasses in the laboratory, their sinking rate as well as an estimate of decaying chaetognaths in Suruga and Tokyo Bays. Two media were used for the experimental disintegration of dead chaetognaths: filtered seawater (series A) and sediment with seawater (series B). Since chaetognath corpses in series B disintegrated during careful transfer by pipette it was impossible to measure the body length and record the morphological change after the third day (at most) of death. The body length of chaetognaths decreased after death, whereas their body width increased. Decrease in length was distinct after the first day of death in both series. The length gradually decreased by the 7th day and then remained half the body length at the time of death in the chaetognaths of series A.

Scanning electron micrographs of bacteria attached to chaetognath carcasses provided the following results, although no attempt was made to classify the bacteria. 1) Bacterial colonization occurred in unhealthy chaetognaths before their death. 2) Body tissues of chaetognaths became fibrous or reticulate after the first day of death. 3) Wavy bacteria sometimes covered rod-shaped bacteria after the 4th day of death, suggesting a change in bacterial flora. 4) After the 7th day of death the outline of bacteria became obscure and they appeared buried. 5) Bacteria began decreasing on the 21st day. 6) Pieces of chaetognath head remnants remained on the 35th day at 10-18°C in the laboratory. 7) Bacteria attached to carcasses in series B were not numerous.

The estimated sinking rate of chaetognath carcasses which came down horizontally was 4.1mm/sec. If dead chaetognaths sink with this speed in Tokyo Bay, carcasses reach the sea bottom within an hour, since the bay has a depth of approximately 13m.

Data on head-damaged or abnormal specimens of chaetognaths obtained from Suruga or Tokyo Bay made it possible to estimate the proportion of decaying chaetognaths, which account for roughly 10% of the chaetognath population in both bays.

#### 1. はじめに

東京湾の湾内部の近底層には生きたプランクトンは少なく、珪藻の殻、動物プランクトンの糞塊、かいあし類やその他の甲殻類の脱皮殻、正体不明の細片、ごみなどが多く見られる (NAGASAWA and MARUMO, 1984)。一方、動物プランクトンの死骸やそれらしい物が水中からプランクトンネットで採集されることはまれである。

WHEELER (1967) は Rhode Island と Puerto Rico の間の 7 測点で 2000~4000 m の深さからカラヌス目かいあし類の生存個体をしのぐ多数の死骸を採集した。NAGASAWA (in press) は体がふしくれだち、ぐにゃぐにゃした異常なやむしを東京湾から採集した。これらの異常な個体の筋肉内に細菌が侵襲していること、異常な個体は正常な個体に比べて摂餌活動が著しく低いことを明らかにした。異常なやむしは採集時にはまだ生きていたとはいえ、おそかれ早かれ死にいたる個体であると推定された。

生きたプランクトンとその無生物化したデトリタスに関する研究はそれぞれ単独に行なわれてきた。その両者

\* 1985年1月22日受理 Received January 22, 1985

\*\* 東京大学海洋研究所

〒164 東京都中野区南台 1-15-1

Ocean Research Institute, University of Tokyo,  
1-15-1 Minamidai, Nakano-ku, Tokyo, 164 Japan

Table 1. Methods used for the investigation of decay of dead chaetognaths (*Sagitta crassa*)

Series	A	B
No. of <i>Sagitta</i> used	57	26
Media	Filtered seawater	Sediment+Seawater
Daily observations	Morphological change	Morphological change
Maximum (days) of daily observations	35	4
Daily measurement	Body length	Body length
Maximum (days) of daily measurement	22	3
Observations by SEM	After 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 21, 28 and 35 day of death	After 1 and 4 day of death

をつなぐプランクトンの分解過程はこれまで少数の研究しか行なわれていない。実験室でかいあし類 *Calanus finmarchicus* (GUNNERUS) (HARDING, 1973), 植物プランクトン *Chlorella* sp. (FUKAMI *et al.*, 1981), *Skeletonema costatum* (GREV.) CLEVE (FUKAMI, in press a, b), かいあし類 *Tigriopus japonicus* MORI (FUKAMI, in press a, b) の分解について研究が行なわれたのみである。細菌の感染はかいあし類の外骨格から始まり、ついで口から内部へと進行した (HARDING, 1973)。さらに彼は温度が分解速度に大きく影響することから、亜熱帯域ではかいあし類は死後1日、温帯の沿岸域では死後6日を過ぎると分解してしまいもはやその死骸をネッ

トで採集することは不可能であると結論した。FUKAMI (in press a, b) は動物植物プランクトンの分解過程における有機物の変化、細菌相の変化と細菌の従属栄養活性の変化を追究している。

海洋においては、やむしはその生物量がかいあし類について大きく、かいあし類を摂餌する重要な肉食者である。野外における死んだやむしの存在やその分解過程は知られていない。本研究では東京湾に卓越する *Sagitta crassa* (NAGASAWA and MARUMO, 1984) を NAGASAWA (1984) の方法で飼育し、死んだやむしを2つのシリーズにわけ室温 10-18°C で形態、体長の変化を観察し (Table 1), また走査電子顕微鏡 (SEM) 観察や、

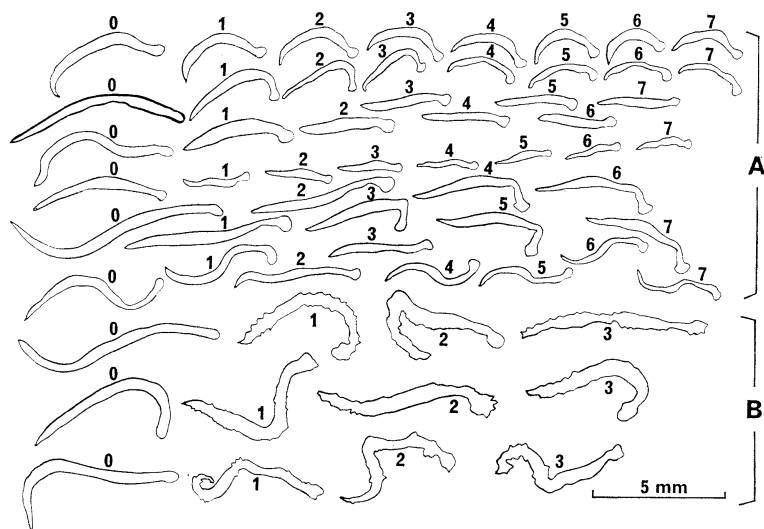


Fig. 1. Change of shape in chaetognaths (*Sagitta crassa*) which were just dead (0), after the 1st (1), 2nd (2), 3rd (3), 4th (4), 5th (5), 6th (6) and 7th (7) day of death. A and B represent two series which are referred to Table 1. Chaetognath carcasses in series B present an irregular outline due to the attachment of sediment.

その沈降速度の測定も行なった。さらにやむしの死骸が東京湾のどこにどのような状態で存在しうるかについて検討し、また野外においてデトリタスになるやむしの見積りを行なった。

## 2. 死んだやむしの形状および体長の変化

死んだ直後から7日間にわたるやむしの形状の変化をシリーズA, Bについて観察した例を Fig. 1 に示した。

死んだやむしの体はゆるやかにわん曲している。死後、体長は縮小するのに対し、体は太くなる傾向があった。シリーズBのやむしは砂泥の付着により、体の輪郭は複雑な凹凸を示した。腐食した軟らかい体に砂泥が付着しているため、スポイトで扱っても体は壊れやすかった。多くの場合、死後4日で体の切断が生じた。したがってやむしの形状はシリーズAのように長期間維持されなかった。

死んだやむしの体長の変化をシリーズA, Bについて

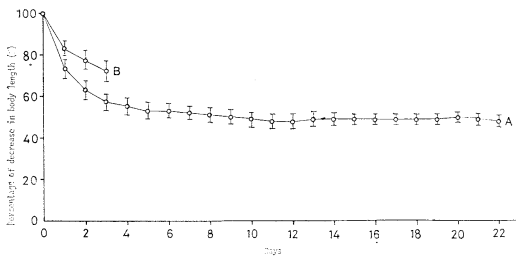


Fig. 2. Change of body length in chaetognath carcasses. Bars show standard deviation. A and B represent two series.

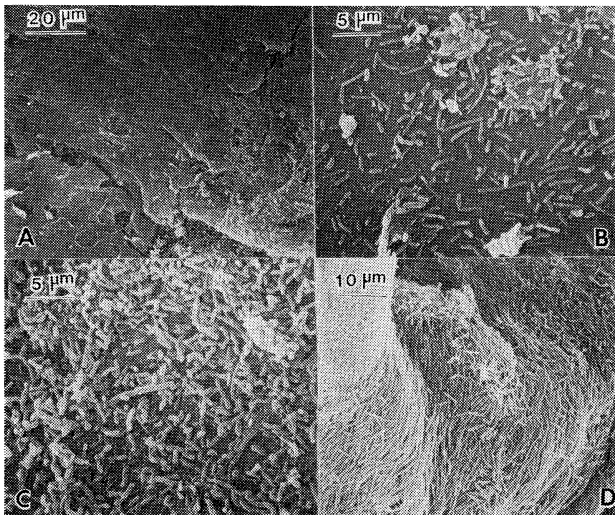


Fig. 3. Scanning electron micrographs of bacterial colonization of unhealthy chaetognaths (*S. crassa*) in series A. (A) The transparent and opaque parts correspond to the absence and presence of bacteria. (B) Bacteria are dispersed on the body of an unhealthy specimen. (C) Large numbers of bacteria cover the body of an unhealthy chaetognath. (D) Heavy concentration of bacteria dissimilar to (C) is found on another specimen.

Fig. 2 に示した。体長の減少は A, B ともに死後1日目に著しかった。A では7日まで体長は徐々に減り、死亡時の体長の約半分になり、この状態が継続した。B ではA に比べ体長の減少率は小さかった。

## 3. 死んだやむしの SEM による観察

飼育中やむしは弱ってくると体の一部とくに頭部か尾部が不透明になり、時間とともに不透明な部分が広がってくる。体の不透明と透明の部分は細菌の有無と明瞭に対応していた (Fig. 3A)。このように死ぬ前から細菌がやむしに付着することがしばしば起った。あるやむしには細菌はまばらに (Fig. 3B)、別のやむしには細菌が濃密に重なりあって (Fig. 3C, D) 付着していた。駿河湾から採集されたやむし *Sagitta nageae* の標本の中にも細菌におおわれた部分とそうでない部分の境界が明瞭に認められる個体が見出された (NAGASAWA *et al.*, 1984)。これは生きながらに細菌に感染しているやむしが野外にも存在することを示している。

細菌が付着している生きていた個体は SEM 用試料を作成する過程で切断されなかった。しかし死んだやむしは腐ってとろけるような状態になる。死体を固定したのち脱水処理を行なう過程で体が細分され、やむしの形をとどめなくなる。SEM で観察した細片は脱水中にとけないでかつ紛失せずに残った部分であり、死後の日数がますますつれ頭部が多く残った。

### 1) シリーズA

死後1日のやむしに付着する細菌の様子を Fig. 4 に示した。細菌がやむしの体にもりあがるように密集して

付着している。いずれの細菌もその輪郭は鮮明である。一方、やむしの体は繊維状にくずれかかっている。

死後3、4日のやむしに付着する細菌の様子を Fig. 5 に示した。やむしの体表の変化が明瞭である。やむしの体は繊維状あるいは網目状を呈してくずれている。小さい桿菌の上に波状を呈する大きな細菌が付着している個体もある。細菌の形は鮮明である。

死後5、7、10日のやむしに付着する細菌の様子を Fig. 6 に示した。小さい桿菌は埋もれた状態で不明瞭なのに対し、長く波状を呈する細菌は鮮明で多数が重なりあっている。これは細菌相の変化を示すものと思われる。動物プランクトンの分解過程における細菌相の変化

は FUKAMI (in press b) によって始めて示された。*T. japonicus* の分解においては *Vibrio* がまず卓越するが、死後3～6日までに消失し、*Vibrio* に代って死後6日以降 *Pseudomonas-Alcaligenes* と *Acinetobacter-Moraxella* が卓越した。

7日以降細菌はやむしの体に付着しているというより埋もれた状態で不明瞭であった。細菌数の減少は認められなかった。

死後14、21日のやむしにおける細菌の様子を Fig. 7 に示した。個々の細菌の輪郭は不鮮明である。細菌の塊は凹凸が顕著である。14日では細菌はすきまなく密集して付着しているが、21日にはその数は減少した。

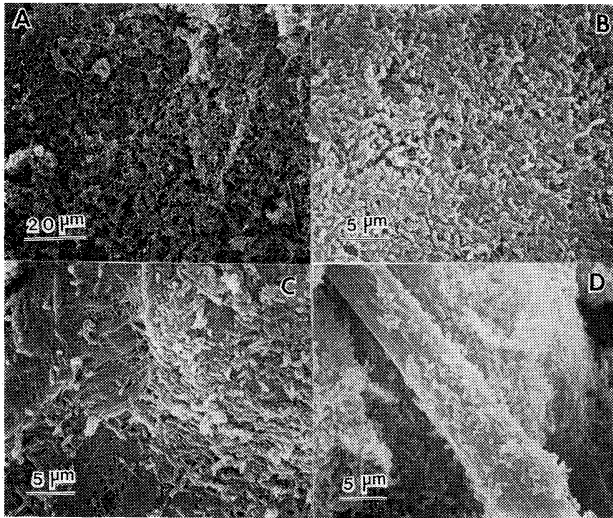


Fig. 4. Scanning electron micrographs of chaetognaths which swarmed with large numbers of bacteria after the first day of death in series A. (A) A large number of bacteria cover the body. (B) Higher magnification of bacterial colonization. (C) Body tissues of a chaetognath become fibrous. (D) Bacterial colonization occurs on the hook.

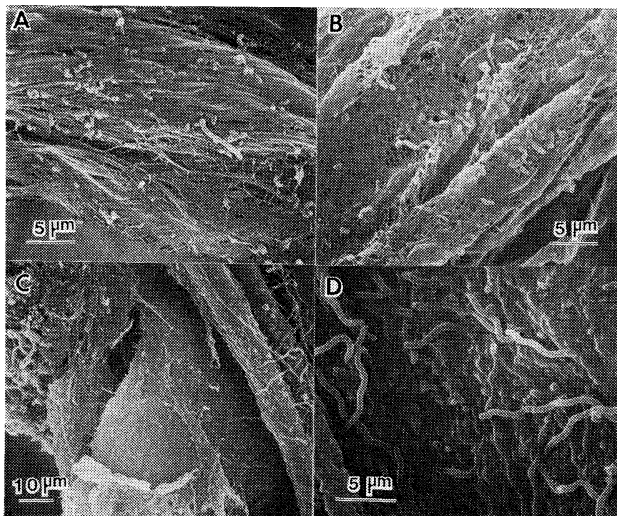


Fig. 5. Scanning electron micrographs of bacterial attachment to chaetognath carcasses in series A after the 3rd (A, B) and 4th (C, D) day of death. Body tissues become fibrous or reticulate (A, B). Large wavy bacteria which are dominant cover those which are rod-shaped (C, D).

死後28日のやむしにおける細菌の様子を Fig. 8 に示した。ざらざらした外観を呈し、細菌は埋もれており、形は不鮮明で数も少ない。

## 2) シリーズ B

死後1日のやむしに付着する細菌の様子を Fig. 9 に示した。砂泥中の珪藻の殻や正体不明の細片が多く、細菌は少ししか付着していない。これは砂泥中の原生動物が細菌を捕食するためかもしれない。死後4日では細菌はほとんど付着していなかった。

以上のことから、シリーズAでは細菌はやむしの生前から死後2週間にわたり多数存在したが、3~4週間たつと減ることがわかった。ただし、細菌はやむしの死後

1週間で埋もれた状態で形が不鮮明になった。一方、やむしの体ははじめ繊維状、網目状を呈し、のちにざらざらし、ごつごつした外観を呈し細菌の塊となった。シリーズBでは細菌は死後4日で消失した。やむしの体は水中よりも砂泥中で容易にバラバラになる傾向があった。しかし砂泥中は嫌氣的になりやすいので、やむしの分解が砂泥中でより速やかに進むとは考えにくい。

## 4. 死んだやむしの沈降速度

正常なやむしの体はまっすぐであるが、弱ってくると体全体はゆるやかに曲り、さらに死んだやむしはさまざまな形状を示す (Fig. 10)。死んだやむしが食塩水 (水

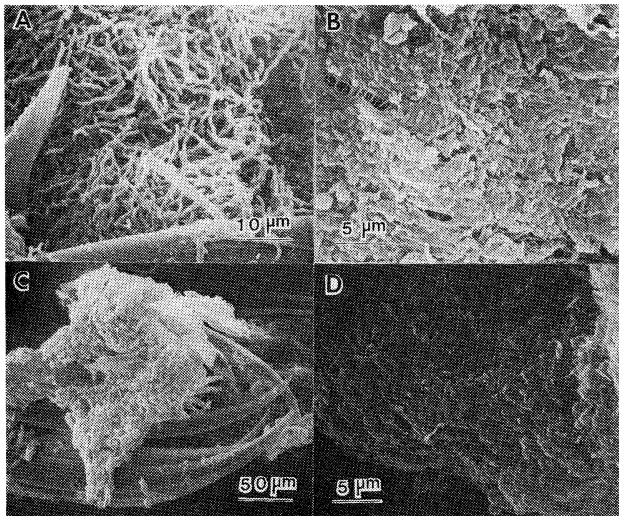


Fig. 6. Scanning electron micrographs of bacteria attached to chaetognath carcasses in series A after the 5th (A), 7th (B) and 10th (C, D) day of death. (A) Large numbers of wavy bacteria are seen on the rod-shaped ones which cover the head. (B) Wavy bacteria appear on the rod-shaped bacteria whose shape is not clear. (C) Mass of bacteria is attached to the head of chaetognath. (D) A large number of bacteria are buried and the outline of their shape is obscure.

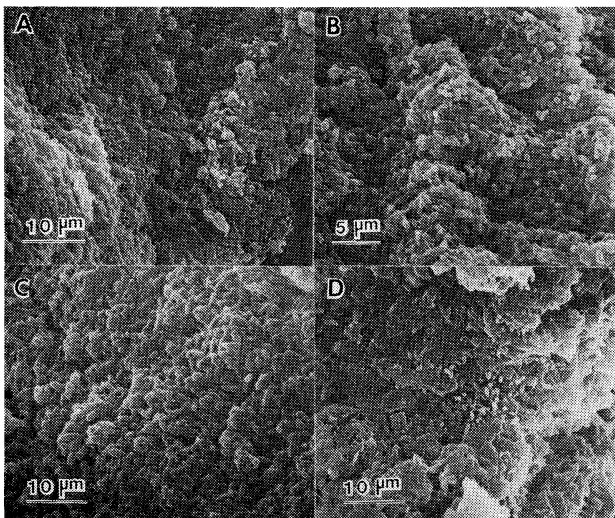


Fig. 7. Scanning electron micrographs of bacteria attached to the chaetognath carcasses in series A after the 14th (A, B, C) and 21st (D) day of death. An embedded mass of bacteria of obscure shape covers the carcasses, but bacteria decrease on the 21st day.

温 19.5°C, 比重 1.029) を沈降する速度を測定したときに, やむしが落下した状態を Fig. 10 に示した。やむしはほぼ水平, 二重に折れ重なって水平あるいは鉛直の 3 つの方法で落下した。まれに途中で水平から鉛直に, 鉛直から水平に方向を変えて落下することもあった。3 種類の落下様式が発生する頻度およびその沈降速度を Table 2 に示した。死んだやむしが鉛直に落下することは少なく, 大部分が水平に落下した。平均の沈降速度は頻度の高い水平の場合 4.1 mm/秒であった。したがって 1 時間には約 15 m 落下することになる。この値を野外にあてはめると東京湾奥部 (水深約 13 m) ではやむしは死後 1 時間たらずで海底に到達することになる。そう

なるとやむしのデトリタス化はシリーズ B に近い状態が進むものと考えることが妥当である。

死んだやむしは 1 日に 354~414 m 落下すると計算された (Table 2)。APSTEIN (1910) は数種類の動物プランクトンの沈降速度を調べ, やむし類の沈降速度は 435 m/日 であると報告している。したがってこれは死体の速度とほぼ同じである。

## 5. やむしの崩壊とデトリタス化の見積り

NAGASAWA *et al.* (1984) は頭の一部が欠損する異常なやむしを駿河湾から採集し, このような損傷個体は多数の細菌に攻撃されているものの, 採集時に生きてい

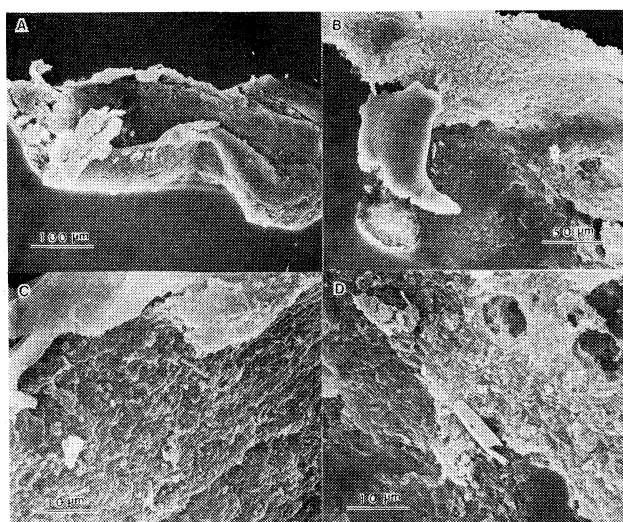


Fig. 8. Scanning electron micrographs of carcass pieces (A, B) and embedded bacteria (C, D) in series A after the 28th day of death. Pieces of carcasses present a rough appearance due to their degradation process.

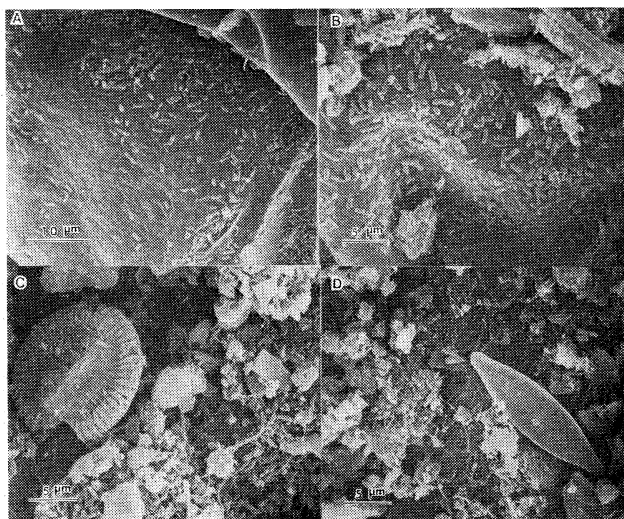


Fig. 9. Scanning electron micrographs of bacteria attached to chaetognath carcasses in series B after the first day of death. A small number of bacteria are attached (A, B), whereas diatom frustules and other pieces are abundant together with an even fewer number of bacteria (C, D). Body tissues of chaetognath carcass become fibrous (D).

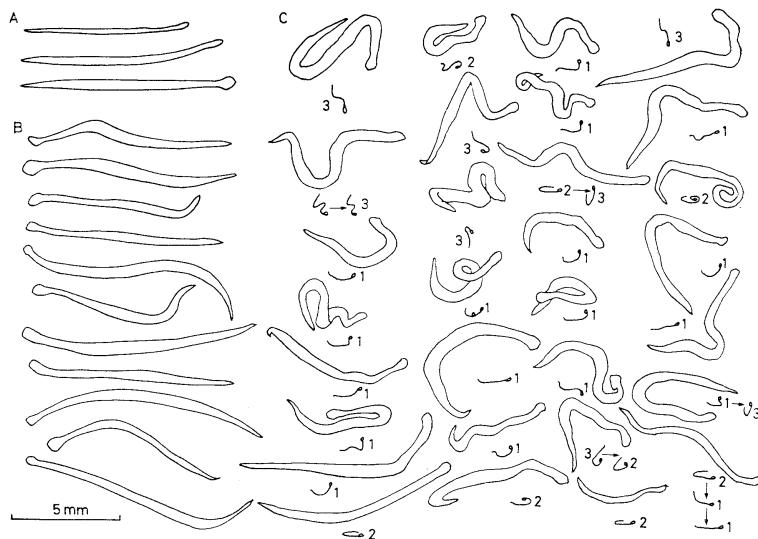


Fig. 10. Diagram showing shapes of healthy (A), unhealthy (B) and dead (C) specimens of chaetognaths. C shows how some chaetognath carcasses came down; three types of sinking such as horizontal, folded and horizontal, and vertical. Occasionally the type of sinking changed on the way (2 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 3, 2 $\rightarrow$ 1).

Table 2. Frequency of three types of sinking and mean sinking rate of chaetognath carcasses

Type of sinking	No. of observations	Frequency (%)	Mean speed of sinking			
			mm/sec( $\pm$ SD)	cm/min	m/h	m/day
1. Horizontal	87	70.7	4.1 $\pm$ 0.9	24.6	14.8	354
2. Folded, horizontal	27	22.0	4.7 $\pm$ 0.9	28.2	16.9	406
3. Vertical	9	7.3	4.8 $\pm$ 0.9	28.8	17.3	414
Total	123	100.0				

た証拠があることを報告した。また頭が欠損するやむしは 25 m 以浅に多く、全体の10%を占めた。これらのやむしは生きながらに細菌に侵され、体が崩壊しつつあり、早晩死に至る個体である。NAGASAWA *et al* (1984) によれば、このような過程を経てデトリタス化するやむしは個体群全体の少なくとも 2~13%である。

NAGASAWA (in press) はぶかっこうな異常なやむしを東京湾からしばしば採集し、それらの体表や体の内部に細菌が付着していることを示した。異常なやむしが全体に占める割合は1979年7月には平均で約12%、1982年6月には平均で約4%であった。これらの値は駿河湾における損傷個体がやむし群集に占める値の範囲と一致する。生存中から細菌が侵襲している異常なやむしは損傷

活動や生殖活動を営んでいるが、正常な個体に比べ、それらの活動は明らかに低下しており (NAGASAWA, in press) 死がまちがい個体であると考えられる。

駿河湾、東京湾におけるやむしの損傷個体または異常なやむしの出現に関する以上の資料に基づいて、次のことが推定される。やむし全体の約10%は生存中に細菌の侵襲をうけ、やがて死亡し、さらに細菌による分解をうけてデトリタス化が進む。

ところで、死んだやむしの沈降速度の測定からやむしは死後1時間たらずで海底に達することが推定された。海底に達した死体は底生生物に捕食されるかもしれないが、一部は捕食されずにデトリタス化が進むものと思われる。やむしの頭部はキチン質の部分が多く、他の部分

に比べて分解が遅く、実験室では35日を経ても残っていた。したがって、やむしの死骸が海底でバラバラになっても頭部は見分けやすい形で残る可能性がある。沿岸海域の海底近くにはやむしの頭部が珪藻の殻、甲殻類の脱皮殻、動物の糞塊とともに存在すると考えられる。今後、これを実証するための調査を実施すること、やむしの分解に関与する細菌の種の同定、分解過程における細菌相の変化など微生物学的な側面の研究を行なうことが必要である。

#### 文 献

- APSTEIN, C. (1910): Hat ein Organismus in der Tiefe gelebt, in der er gefischt ist? Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr., **3**, 17-33.
- FUKAMI, K., U. SIMIDU and N. TAGA (1981): Fluctuation of the communities of heterotrophic bacteria during the decomposition process of phytoplankton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **55**, 171-184.
- FUKAMI, K., U. SIMIDU and N. TAGA (a): Microbial decomposition of phyto- and zooplankton in seawater I. Changes in the organic matter. Mar. Ecol. (in press)
- FUKAMI, K., U. SIMIDU and N. TAGA (b): Microbial decomposition of phyto- and zooplankton in seawater II. Changes in the bacterial community. Mar. Ecol. (in press)
- HARDING, G. C. (1973): Decomposition of marine copepods. Limnol. Oceanogr., **18**, 670-673.
- NAGASAWA, S. (1984): Laboratory feeding and egg production in the chaetognath *Sagitta crassa* TOKIOKA. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **76**, 51-65.
- NAGASAWA, S.: Ecological significance of deformed chaetognaths associated with bacteria. Bull. Mar. Sci. (in press)
- NAGASAWA, S. and R. MARUMO (1984): Feeding habits and copulation of the chaetognath *Sagitta crassa*. La mer, **22**, 8-14.
- NAGASAWA, S. and R. MARUMO (1984): The zooplankton community and its abundance in the inner and outer parts of Tokyo Bay. La mer., **22**, 277-286.
- NAGASAWA, S., U. SIMIDU and T. NEMOTO (1984): Bacterial invasion of chaetognaths under laboratory and natural conditions. J. Oceanogr. Soc. Japan, **40**, 327-333.
- WHEELER, E. H. JR. (1967): Copepod detritus in the deep sea. Limnol. Oceanogr., **12**, 697-702.