

氏 名 (本籍)	あゆ かい てん し 鮎 貝 天 志
学位の種類	農 学 博 士
学位記番号	農 博 第 347 号
学位授与年月日	昭和 61 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専攻	東北大学大学院農学研究科 (博士課程) 水産学専攻
学位論文題目	Feeding Elasticity of a Planktonic Marine Copepod <i>Acartia clausi</i> (Copepoda: Calanoida) 海産橈脚類 <i>Acartia clausi</i> (Copepoda: Calanoida) の摂食の順応性に関する研究
論文審査委員 (主 査)	教授 西 沢 敏 教授 野 村 正 助教授 藤 尾 芳 久

論文内容要旨

I 序 論

植食性のコペポーダは、海洋の植物プランクトンの主要な摂食者であるが、コペポーダの摂食生態にかかわる過去の多くの実験が示すように、天然の植物プランクトン濃度は一般に低く、コペポーダは、通常、その呼吸に費やすエネルギーに充たない程度の植物プランクトンしか摂食できない状況にあるものと考えられる。一方、野外実験のいくつかは、天然のコペポーダの成長が予想外に速いこと、かつ、その現存量が相対的に高いことを示している。もし、上述の論点が全体として正しいものとするれば、コペポーダは、植物プランクトンを十分に摂食もせず成長し、一次生産を高次の食段階に効率的に転送するという、一見整合性に乏しい概観が生まれ、その再検討が進められている。

植食性のコペポーダが、厳密に言えば雑食性であることは古くより知られてきたが、近年、Landry (1981) は、コペポーダの雑食性が、その餌となる植物プランクトンの“慢性的不足”を部分的に解消する可能性があるとして論じた。この研究は、内湾域の植食者として重要とされるコペポーダ、*Acartia clausi*の食性の順応性、もしくは可変性 (elasticity) について、実験的に検討したものである。

II 方 法

*A. clausi*の餌環境を知るため、宮城県女川湾に設けた1定点(水深27m)において、1983年1月から11月まで約2週間毎、合計20回の野外観測を行なった。海水は、海表面から2.5m毎、合計10-11層より、揚水量 65 l min^{-1} のポンプを用いて汲み上げ、水温・塩分の測定その他、Strickland and Parsons (1972) に記載される常法による栄養塩、クロロフィル、及び粒状有機炭素の定量、動物プランクトンの計数に供した。

一方、*A. clausi*の摂食は、室内実験系において、天然の海中懸濁粒子、培養植物プランクトン、ポリスチレン製のビーズ ($15.7 \mu\text{m}$)、有鐘繊毛虫 (*Helicostomella fusiformis* と *Favella taraiakensis*)、*A. clausi*の幼体、及びその糞粒を餌とし、多くの場合、その糞放出量を摂食量の目安として調べた。

III 結果・考察

1. 女川湾のセストンの概況

植物プランクトンのクロロフィル現存量は夏に小さく、その主体は $10\mu\text{m}$ 以下のナノプランクトンであった。カーボン・クロロフィル比は夏に高く、植物炭素の全粒状有機炭素に占める割合が小さく、非生物粒子がセストン全体に占める割合が大きいくことを示した。一方、繊毛虫の個体数は、7～8月に最大となった。*A. clausi*は、女川湾に周年出現したが、その個体数は夏に多く、カラヌス目の橈脚類の50%以上を占めた。

2. 天然懸濁粒子に対する摂食

A. clausi の体炭素当りの摂食量と餌濃度の関係は、2本の交差する直線によって、“rectilinear model”として表わすことができた (Fig.1)。 *A. clausi* の摂食量が飽和する餌濃度、所謂“critical concentration”は、クロロフィル濃度で表わした場合、 $0.6\sim 1.7\mu\text{g l}^{-1}$ の範囲にあった (Table 1)。コペポダの摂食活性が、一般に、水温、体サイズ、餌粒子のサイズに対応して変化することは良く知られているが、更に、今回の実験結果は、非生物粒子の存在が、*A. clausi*の植物プランクトンに対する摂食に、阻害的な影響を与えうることを示唆した。つまり、10～11月の実験結果にみられる、直線の傾斜の減少は、全粒子中に占める非生物粒子の割合の増加によると考えられた。

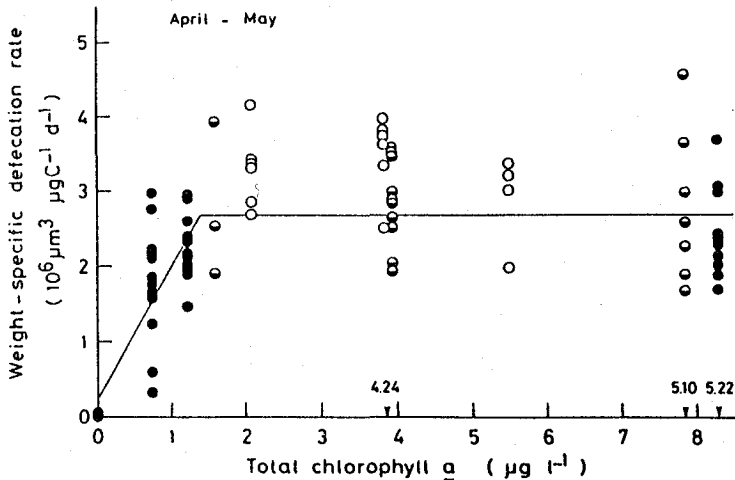


Fig. 1. Relationship between the total chlorophyll *a* concentration and the weight-specific defecation rate of female *Acartia clausi*. The chlorophyll *a* concentration in the ambient seawater was denoted by an arrow and the others were obtained by serial dilutions for respective samples, expressed by different symbols.

Table 1. Parameters of rectilinear equations describing the relationships between the daily weight-specific rate of defecation by female *Acartia clausi* and the concentration of available food particles: The latter was expressed as the total chlorophyll *a* concentration, the microplankton (> 10 μm) chlorophyll *a* concentration or the concentration of particulate organic carbon, separately.

Date	5/10,5/22	6/20	6/26	8/28,9/03	10/24	11/14	11/22
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	9.5	13.0	12.7	19.5	17.1	14.5	13.6
D_0 ($10^6 \mu\text{m}^3 \mu\text{gC}^{-1} \text{d}^{-1}$)	0.261	0.058	0.062	0.195	0.009	0.004	0.035
D_{max} ($10^6 \mu\text{m}^3 \mu\text{gC}^{-1} \text{d}^{-1}$) (\pm 95% CL)	2.681 (0.269)	3.042 (0.410)	4.937 (0.407)	7.416 (0.457)	-	-	-
Total Chl. <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)							
Slope (\pm 95% CL)	1.748 (0.513)	3.807 (1.189)	7.908 (2.527)	4.223 (0.944)	1.115 (0.225)	0.659 (0.146)	0.437 (0.233)
Critical Concn. ($\mu\text{g l}^{-1}$)	1.384	0.784	0.616	1.710	-	-	-
> 10 μm Chl. <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)							
Slope (\pm 95% CL)	2.564 (0.756)	7.813 (2.418)	10.400 (3.313)	35.270 (10.390)	3.472 (0.700)	1.633 (0.360)	1.952 (1.064)
POC ($\mu\text{gC l}^{-1}$)							
Slope (\pm 95% CL)	0.0240 (0.0071)	0.0338 (0.0106)	0.0929 (0.0296)	0.0480 (0.0109)	0.0062 (0.0013)	0.0031 (0.0007)	0.0014 (0.0008)

3. 摂食に対する非生物粒子の影響

Table 2 は、培養植物プランクトンを単独、もしくはビーズと混合し、*A. clausi* に与えた実験の結果をまとめたものである。ここで、ビーズに対する濾水速度は、ビーズの濃度が細胞濃度の数倍高くとも、細胞に対する濾水速度より、1桁以上小さいことがわかる。*Dunaliella tertiolecta* (6.6 μm) 及び *Thalassiosira decipiens* (12.8 μm) に対する濾水速度は、ビーズを加えることにより減少したが、*Thalassiosira nordenskioldii* (14.7 μm) に対する濾水速度は減少しなかった。一般に、コペポダが、個々の植物細胞を認識できる場合とできない場合とで、その摂食様式は異なるものと考えられるので (Price *et al.* 1983)、仮に *A. clausi* が、同様の摂食様式の選択を行うとするなら、ビーズの影響の有無は、次のような仮説により説明される。

- i) 個々の植物細胞の認識が可能な場合、1個の細胞は、“少量の水”と共に口部に運ばれる。その際、ビーズがその“少量の水”に含まれる確率は低く、ビーズは細胞に対する摂食に何ら影響を及ぼさない。
- ii) 個々の植物細胞の認識が不可能な場合、すべての粒子は一旦口部に集められる。そして、充分量の細胞が集まる以前に、ビーズが多数集まった場合、所謂“post-capture rejection”により、ビーズ及び細胞は口部から除かれ、従って、細胞に対する摂食速度は減少する。

Table 2. Filtering rates of female *Acartia clausi* feeding on three species of algae, *Dunaliella tertiolecta*, *Thalassiosira decipiens* and *Thalassiosira nordenskioldii*, separately and in mixture with polystyrene beads.

Algal species	Volumetric percentage of beads (%)	n	Filtering rate	
			on cells (ml indiv ⁻¹ d ⁻¹)	on beads (ml indiv ⁻¹ d ⁻¹)
<i>Dunaliella</i>	0	20	9.2 ± 0.5	
<i>tertiolecta</i>	528	20	5.9 ± 0.6	0.42 ± 0.15
	1053	20	5.4 ± 0.6	0.23 ± 0.07
<i>Thalassiosira decipiens</i>	0	58	23.9 ± 1.0	
	42	24	22.2 ± 1.4	0.48 ± 0.10
	77	40	19.4 ± 1.6	0.69 ± 0.21
	200	24	18.9 ± 1.8	0.47 ± 0.11
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	514	31	17.6 ± 1.7	0.34 ± 0.07
	0	24	16.3 ± 1.2	
	117	21	17.1 ± 1.0	0.17 ± 0.04
	250	22	16.8 ± 0.9	0.16 ± 0.05
	456	21	17.5 ± 1.3	0.14 ± 0.04

4. 微小動物プランクトンに対する捕食

有鐘織毛虫、*H. fusiformis* 及び *F. taraikaensis* は、夏期女川湾に多く分布するが、*A. clausi* は、この2種の有鐘織毛虫を活発に捕食し、特に大型の *F. taraikaensis* に対する濾水速度 (Table 3) は、培養植物プランクトン3種に対する濾水速度 (Table 2) と比較し、極めて大きかった。*A. clausi* のその幼体に対する捕食は、あまり活発ではなかった (Table 4)。しかし、植物細胞及びビーズの存在が、幼体に対する捕食に影響しないことから、コペポーダの幼体が、*A. clausi* の重要な餌生物である可能性は残る。

Table 3. Average tintinnid concentration, filtering rate and ingestion rate of female *Acartia clausi* feeding on two species of tintinnids, *Helicostomella fusiformis* and *Favella taraikaensis*, separately. The ingestion rate was determined directly from the increases in number of the loricae in fecal pellets and the empty loricae free in seawater and indirectly from the change in the concentration of loricae containing a tintinnid during 8 - 25 h incubations following Frost's equation.

Date	Ambient chl. <i>a</i> concn. (µg l ⁻¹)	Critical chl. <i>a</i> concn. (µg l ⁻¹)	Average tintinnid concn. (no ml ⁻¹)	Filtering rate (ml indiv ⁻¹ d ⁻¹)	Ingestion rate	
					Indirect method (no indiv ⁻¹ d ⁻¹)	Direct method (no indiv ⁻¹ d ⁻¹)
<i>Helicostomella fusiformis</i>						
6/20	1.11	0.784	1.26 ± 0.04	11.2 ± 6.7	13.4 ± 7.2	11.5 ± 3.7
6/26	3.86	0.616	7.52 ± 0.13	7.4 ± 3.3	52.5 ± 22.7	69.2 ± 8.5
			1.43 ± 0.04	11.4 ± 4.5	15.3 ± 5.9	23.2 ± 5.8
			0.77 ± 0.03	12.5 ± 7.6	8.8 ± 5.1	11.6 ± 5.4
8/28	2.23	1.710	1.84 ± 0.07	21.5 ± 9.8	36.9 ± 15.6	54.0 ± 13.2
9/03	23.91	1.710	2.78 ± 0.09	14.9 ± 8.6	38.5 ± 25.5	45.1 ± 20.9
<i>Favella taraikaensis</i>						
7/29	1.04	-	0.30 ± 0.01	47.3 ± 14.8	14.0 ± 3.9	9.9 ± 2.4

Table 4. Average concentrations and filtering rates of female *Acartia clausi* feeding on *A. clausi* nauplii and *Thalassiosira decipiens* cells singly (Treatment-1) or in mixture (Treatment-2). *Dunaliella tertiolecta* cells (Treatment-3) or beads (Treatment-4) was further added to the mixture as an additional food source.

	Treatment-1	Treatment-2	Treatment-3	Treatment-4
	nauplii			
Average concn. (indiv. ml ⁻¹)	2.07 ± 0.03	2.04 ± 0.04	2.02 ± 0.03	2.03 ± 0.05
Filtering rate (ml indiv ⁻¹ d ⁻¹)	5.96 ± 1.59	4.85 ± 2.21	6.77 ± 1.48	6.02 ± 1.74
	<i>Thalassiosira decipiens</i>			
Average concn. (cells ml ⁻¹)	-	958 ± 13	974 ± 14	1015 ± 16
Filtering rate (ml indiv ⁻¹ d ⁻¹)	-	28.1 ± 2.6	25.8 ± 2.9	16.5 ± 3.2

5. 糞粒に対する摂食

*A. clausi*は、その幼体の糞粒を活発に摂食し、その濾水速度は、*T. decipiens* に対する濾水速度の約2倍に達した (Table 5)。コペポーダの幼体が、成体と比較し、小型の植物プランクトンも有効に摂食でき、しかも、その critical concentration が低いことは良く知られている。また、今回の研究において、ビーズは、植物細胞に対する幼体の摂食に影響しなかった。以上の事実から推察し、コペポーダの幼体は、成体と比較し、餌料制限を受けにくく、従って、その糞粒が成体の重要な餌となる可能性は高い。

Table 5. Volume and average concentration of fecal pellets used and filtering rate of female *Acartia clausi* feeding on the fecal pellets.

	Fecal pellet volume (μm^3)	Average concn. (no ml ⁻¹)	Filtering rate (ml indiv ⁻¹ d ⁻¹)
Mean	1.74 x 10 ⁴	5.29	50.3
95% CL	0.27 x 10 ⁴	0.10	11.5
n	100	33	33

IV 結 語

植物プランクトン、特にマイクロプランクトンと称される一群が、*A. clausi* の餌として最も重要であることは、*A. clausi* の鉛直分布の季節的な推移から判断し、明らかである。しかし、植物プランクトン現存量が小さく、ナノプランクトンが優占し、しかも、非生物粒子がセストンの大部分を占めるという状況のもと、微小動物プランクトン及びその糞粒が、*A. clausi* の主要な餌となる可能性は高いと考えられる。

Harris (1959) は、夏の Long Island Sound において、動物プランクトン（主に *A. clausi* と *A. tonsa*）が、植物プランクトン以外のセストン（デトライタス及びバクテリア）を摂食し、植物プランクトンの窒素要求の77%に相当するアンモニアを水中に放出すると報告し、植物・動物プランクトンの関係が、共生的であると述べた。今回の研究結果は、彼の結論と符合するところが大きく、仮に、ナノプランクトンが微小動物プランクトンによる高い摂食圧に曝されているとすれば、旧来、植食者として重要と考えられて来た、*A. clausi* 等のコペポダが、植物プランクトン群集の安定に、そして、海洋低次生産層の安定に対し、大きく寄与する可能性を示唆する。

V 引 用 文 献

- Harris, E. 1959. The nitrogen cycle in Long Island Sound. Bull. Bingham Oceanogr. Coll., 17: 31 - 65.
- Landry, M. R. 1981. Switching between herbivory and carnivory by the planktonic marine copepod Calanus pacificus. Mar. Biol., 65: 77 - 82.
- Price, H. J., G.-A. Paffenhöfer, and J. R. Strickler. 1983. Modes of cell capture in calanoid copepods. Limnol. Oceanogr., 28: 116 - 123.
- Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can., Bull., 167: 310 pp.

審 査 結 果 の 要 旨

橈脚類の摂食生態には未知の部分が多く残されているが、近年になってその基本的摂食行動は旧来想定されてきたような濾過活動ではなく個々の餌を選択的に取捨識別する積極的な捕食活動であることが明らかになって来た。本論文の著者は橈脚類のうち沿岸に多産する *Acartia clausi* の雌成体の培養飼育実験を行って、この餌選択の積極性を実証したものである。培養藻類とポリスチレンビーズの混合物を実験動物に供し、藻類に対する摂食がビーズの存在によって阻碍される程度を、両者の存在比を変化させながら測定することによって明らかにしたものである。その結果、ビーズの粒径が藻類のそれと大差ない場合には、ビーズの存在比を藻類の十倍程度に高めても、藻類に対する摂食率は低下することがないこと、ビーズの粒径が藻類のそれより大きくなるに従って、或いは藻類の粒径が小さくなるにつれて、ビーズの阻碍作用が現れるようになり、藻類の摂食率は低下することを発見した。これらの結果は上記の近年の知見を飼育実験サイドから確認したものである。著者はさらに *A. clausi* が、微小動物プランクトン、幼体の放出する糞粒、さらに幼体そのものに対しても積極的摂食活動を行なうことを確認し、同種の多様な栄養補給活動と天然条件下での生存可能性の関係に論及している。

論文審査員一同はこの論文を評価して農学博士の学位を授与するに値するものと認定した。