

動物プランクトンの排泄窒素量と酸素消費量について

伊藤, 克彦
九州大学農学部

花岡, 資
九州大学農学部

<https://doi.org/10.15017/23076>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 26 (1/4), pp.185-190, 1972-03. 九州大学農学部
バージョン :
権利関係 :



動物プランクトンの排泄窒素量と酸素消費量について*

伊 藤 克 彦・花 岡 資

Studies on the nitrogen excretion and the oxygen consumption of zooplankton

Katsuhiko Itoh and Tasuku Hanaoka

緒 言

動物 plankton の排泄窒素についてその形態(Beers 1964, Corner & Newell 1967),排泄と水温との関係(Webb & Johannes 1967, Jawed 1969),またその季節変化(Conover & Corner 1968, Martin 1968, Butler *et al.* 1969)等について多くの研究がなされてきたが,結論は種々であり明確にされていない。

海洋の物質循環過程における動物 plankton の排泄窒素の役割を解明するには多くのむづかしい問題が含まれているが,本研究ではまず飢餓条件における動物 plankton の排泄窒素量と呼吸量とから基礎代謝量について検討しさらに動物体の維持に必要な餌生物量について言及した。

方 法

野外池より採集した *Sinocalanus tenellus* (Kikuchi) と室内で飼育した *Tigriopus japonicus* Mori を使い実験前最低 24 時間, MF (HA) 濾過水中に動物を維持した。水温は *Sinocalanus*, *Tigriopus* とも 12°C, 塩素量はそれぞれ 2.9% と 17.45% である。実験には 100 ml 酸素瓶を使い両種とも約 100~200 個体を収容して暗条件下に 24 時間放置した。実験開始時と終了時に溶存酸素, $\text{NH}_4\text{-N}$ および全窒素量を測定した。また飢餓状態下にある両種の $\text{C}\cdot\text{H}\cdot\text{N}$ 含有率を $\text{C}\cdot\text{H}\cdot\text{N}$ 分析器にて測定した。呼吸量の測定は Water bottle 法 (Marshall *et al.* 1935), 溶存酸素は Winkler 法 ($\text{N}/400 \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 液にて滴定), $\text{NH}_4\text{-N}$ は Phaenolhypochlorite 法 (Solórzano

1969), 全窒素は Microkjeldahl 法 (Strickland & Parsons 1968) に依った。全窒素量から $\text{NH}_4\text{-N}$ 量を差し引いた値を非 $\text{NH}_4\text{-N}$ 量とした。排泄窒素の定量には定量前 No. 5 A 東洋濾紙にて粒状物質を除いた。飢餓条件の設定は実験前 24 時間濾過水中に維持して後 24 時間実験に供したものを飢餓 0 日とし, 終了後瓶中の水を灌流してさらに 24 時間の実験を行なったものを飢餓 1 日とした。このような方法によって飢餓 0, 1, 2 …… 日の条件を作成した。

結果および考察

Sinocalanus の呼吸量および排泄窒素量は (Table 1) 飢餓の進行につれ減少傾向を示す (呼吸量: 47.2×10^{-4} から $19.0 \times 10^{-4} \mu\text{g ats./}\mu\text{g dry wt./day}$, 排泄窒素量: 4.17×10^{-4} から $3.44 \times 10^{-4} \mu\text{g ats./}\mu\text{g dry wt./day}$, 以下断りない場合単位は同じ)。排泄窒素はその全てが $\text{NH}_4\text{-N}$ で占められ非 $\text{NH}_4\text{-N}$ の排泄は認められなかった。動物体の $\text{C}\cdot\text{H}\cdot\text{N}$ 含有率はいずれも飢餓につれ著しい減少を示すが C/N 値はほぼ一定値を維持している。*Tigriopus* については (Table 2) 飢餓に伴ない呼吸量も (38.2×10^{-4} から 15.7×10^{-4}), 排泄窒素量も (4.91×10^{-4} から 3.81×10^{-4}) 少なくなるが, その減少の割合は *Sinocalanus* ほど著しくない。ここで注目されることは窒素排泄物の内容である。*Sinocalanus* の排泄窒素の全てが $\text{NH}_4\text{-N}$ であつたのに対して *Tigriopus* では $\text{NH}_4\text{-N}$ に加えて非 $\text{NH}_4\text{-N}$ の可成りの排泄があり, しかもその排泄の割合は飢餓につれ高くなることが認められた (0 日で全排泄窒素量の 20%, 6 日目で約 40%)。動物体

* 九州大学農学部水産学教室業績 Contributions from the Fisheries Laboratory, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

本研究は昭和 45 年度文部省特定研究費補助金で行なわれたものである。

Special project research supported by the Ministry of Education "Studies on the dynamic status of biosphere." This study was carried out as a part of JIBP Project.

Table 1. Changes of respiratory rate, excretory rate of nitrogen and C·H·N contents of *Sinocalanus tenellus* under the starvation.

Temperature 12°C

Starvation periods day	Respiratory rate μg ats/μg/day	Excretory rate of carbon* μg/μg/day	Excretory rate of NH ₄ -N μg ats/μg/day	O : N atomic ratio	C : N atomic ratio
0	0.00472	0.0254	0.000417	11.3	5.06
3	0.00250	0.0135	0.000297	8.4	3.77
5	0.00190	0.0102	0.000344	5.5	2.47
Percentages of dry weight of animal				C : N ratio	Dry weight/ animal μg
	carbon	hydrogen	nitrogen	ash	
0†	42.96	6.72	11.16	4.95	—
0	29.42	4.62	7.70	9.00	12.8
2	26.68	4.21	6.96	9.10	11.7
4	19.41	3.27	5.07	12.05	13.7
5‡	14.54	2.88	3.88	13.50	13.7
6	14.76	2.78	3.86	15.25	14.5

* R.Q.=0.9.

† Data analysed of non-starved animals.

‡ Data from other experiment.

Table 2. Changes of respiratory rate, excretory rate of nitrogen and C·H·N contents of *Tigriopus japonicus* under the starvation.

Temperature 12°C

Starvation periods day	Respiratory rate μg ats/μg/day	Excretory rate of carbon μg/μg/day	Excretory rate of nitrogen μg ats./μg/day			Non NH ₄ -N total N %	O : N atomic ratio	C : N atomic ratio
			total-N	NH ₄ -N	non NH ₄ -N			
0	0.00382	0.0206	0.000491	0.000381	0.000110	22.4	7.7	3.5
2	0.00274	0.0148	0.000436	0.000351	0.000085	19.5	6.3	2.8
6	0.00157	0.00847	0.000381	0.000206	0.000175	46.1	4.1	1.8
Percentages of dry weight of animal				C : N ratio		Dry weight/animal μg		
	carbon	hydrogen	nitrogen	ash				
0	43.38	6.50	10.71	7.05	4.05	4.75		
7	41.32	6.37	10.30	8.82	4.01	—		

の C·H·N 含有率は飢餓によつて減少するがその割合は *Sinocalanus* に比べて僅かであつた。*Sinocalanus* と *Tigriopus* の排泄窒素量 (N_{ET}), 呼吸量から求めた炭素排泄量 (C_{ET}), 体窒素量 (N_{CT}) および体炭素量 (C_{CT}) と飢餓日数 (T) との間には次のような関係がある。*Sinocalanus* の場合にはそれぞれ

$$N_{ET} = e^{-0.113T-5.146} \quad (1)$$

$$C_{ET} = e^{-0.194T-3.675} \quad (2)$$

$$N_{CT} = e^{-0.143T-2.388} \quad (3)$$

$$C_{CT} = e^{-0.145T-1.023} \quad (4)$$

また, *Tigriopus* の場合にはそれぞれ

$$N_{ET} = e^{-0.0436T-3.885} \quad (5)$$

$$C_{ET} = e^{-0.148T-3.885} \quad (6)$$

$$N_{CT} = e^{-0.0375T-2.237} \quad (7)$$

$$C_{CT} = e^{-0.00714T-0.835} \quad (8)$$

Table 1 と 2 に示したごとく 0 日において動物によつて排泄された炭素と窒素の比 (C_0/N_0 値) は *Sinocalanus* で 4.3, *Tigriopus* で 3 となり飢餓が進むにつれてこの比は小さくなっている。両種の C_0/N_0 値と動物体の炭素と窒素の比 (C_e/N_e 値) とを比べると C_0/N_0 値は C_e/N_e 値よりも小さく, また呼吸量と排泄窒素量との比 (O/N 値) は *Sinocalanus* では

* 呼吸量から消費炭素量を計算する場合, 炭水化合物代謝の際の R.Q 値 1 と蛋白質代謝の R.Q 値 0.8 (安楽 1963) の中間値 0.9 を使った。

0 日で 11.3, *Tigriopus* では 7.7 を示す。Redfield *et al.* (1963) は O/N 値が体内で代謝に利用されている物質の index として使われ、高分子の有機物の分解を考えると O/N 値は大体 17 になると報告している。また、Jawed (1969) は蛋白 (16% N, 45% C) が利用されると、この O/N 値はほぼ 8 になるといい *Neomysis rayii* で O/N 値 8.4~10.1 を得ている。従つて、両種の 0 日における O/N 値と C_0/N_0 値を比較すると *Sinocalanus* でそれぞれ 11.3 と 5.0, *Tigriopus* で 7.7 と 3.5 になり 0 日目以後は O/N, C_0/N_0 値とも減少しているの両種は 0 日においてすでに基礎代謝に近い状態を示していたものと考えられる。さらに体内の炭水化物の占める割合が蛋白質や脂肪に比べ非常に少ない (0~4.4%) といわれること (Raymont 1963) と植物 plankton の bloom 時には呼吸量が増すにも拘らず排泄窒素量が少なくなるという観察 (Martin 1968) 等から炭水化物代謝は存在するにしても短期間にすぎず、むしろ貯蔵脂肪による代謝が蛋白代謝に優先しておこることが想像されるが餌濃度による排泄窒素量の変化も報告されており (Corner *et al.* 1965, Butler *et al.* 1969) 餌条件と代謝との関係については未だ充分に解明されておらず今後さらに詳細な研究が必要である。いずれにせよ基礎代謝時には *Sinocalanus* は体窒素量の 7%, 体炭素量の 6.5% を、*Tigriopus* はそれぞれ 4.7% と 6.4% を 1 日に排泄することになる。これらの値

は Butler *et al.* (1969) や Corner *et al.* (1967) の *Calanus helgolandicus* にかんする値に近いものである。

窒素排泄物の内容については (Table 1 と 2) *Sinocalanus* の排泄窒素のほとんどが NH_4 -N であるのに対し *Tigriopus* では 0 日で約 20% が非 NH_4 -N として排泄されるがそれがどのような形をとっているか明らかではない。しかしこのような著しい相違は環境要因よりはむしろ両種のもつ代謝の特性に依存しているとも考えられる。その他の種について、採集直後に測定された *Acartia* sp. の排泄窒素の全てが NH_4 -N であつたが *Artemia* の成体は飢餓が進むにつれて非 NH_4 -N を排泄することが認められるし、*Sinocalanus* についても僅かながら (1% 以下) 認められることがある (未発表)。Cowey & Corner (1963) によれば *Calanus* の体窒素の 80% が amino N で占められているということから考えて *Artemia* の飢餓に伴う排泄非 NH_4 -N 量の増加傾向は正常な代謝の結果排泄されたものと考ええるよりはむしろ生理機能の変化によつて体内の amino N が体外に出されたものと考えられるだろう。従つて、排泄窒素の内容については動物自体のもつ食性、習性やその時々々の生理条件の相違によつて、ある場合には全排泄窒素のほとんどが NH_4 -N であつたり、可成りの amino N や urea が排泄されたりするのでこれらの点については調査される必要がある。

Table 3. Percentages of carbon and nitrogen in food organisms.

Food organisms	% of dry weight		C : N ratio	Remarks
	carbon	nitrogen		
<i>Coscinodiscus</i> sp.	15.85	2.72	5.83	Parsons <i>et al.</i> (1961)
<i>Chaetoceros</i> sp.	30.8	5.60	5.51	"
<i>Skeletonema costatum</i>	26.0	5.92	4.40	"
<i>Nitzschia</i> sp.	36.97	7.99	4.62	Nozawa (1971)
Diatom mixed	50	6	8.33	Sverdrup <i>et al.</i> (1942)
<i>Dunaliella</i> sp.	37.87	7.29	5.20	Nozawa (1971)
Bacteria	36.42	10.37	3.51	Hanaoka (unpublished)

Table 4. Daily zooplankton, *S. tenellus*, requirements for food organisms.

Food organisms	$N_{E0}=0.00583\mu\text{gN}/\mu\text{g/day}$			$C_{E0}=0.0254\mu\text{gC}/\mu\text{g/day}$		
	$\mu\text{g dry}/\mu\text{g}$	cells/ μg	cells/cope.	$\mu\text{g dry}/\mu\text{g}$	cells/ μg	cells/cope.
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0.715	380	50,000	0.532	282	37,200
<i>Chaetoceros</i> sp.	0.345	184	24,200	0.274	145	19,200
<i>Skeletonema costatum</i>	0.330	175	23,000	0.328	173	22,000
<i>Nitzschia</i> sp.	0.240	127	16,760	0.230	122	16,000
Diatom mixed	0.330	175	23,000	0.170	90	11,820
<i>Dunaliella</i> sp.	0.267	141	18,600	0.222	117	15,600
Bacteria	0.063	—	—	0.0775	—	—

Table 5. Daily zooplankton, *T. japonicus*, requirements for food organisms.

Food organisms	$N_{E0}=0.00686\mu\text{gN}/\mu\text{g/day}$			$C_{E0}=0.0206\mu\text{gC}/\mu\text{g/day}$		
	$\mu\text{g dry}/\mu\text{g}$	cells/ μg	cells/cope.	$\mu\text{g dry}/\mu\text{g}$	cells/ μg	cells/cope.
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0.840	445	2,110	0.432	230	1,090
<i>Chaetoceros</i> sp.	0.348	184	877	0.222	173	560
<i>Skeletonema costatum</i>	0.385	204	970	0.264	140	660
<i>Nitzschia</i> sp.	0.285	152	720	0.186	98	470
Diatom mixed	0.380	202	960	0.137	67	320
<i>Dunaliella</i> sp.	0.312	165	790	0.182	96	460
Bacteria	0.0732	—	—	0.063	—	—

式(1), (2), (5) および (6) の T 値が 0 の時の排泄窒素量 (N_{E0}) と排泄炭素量 (C_{E0}) とから *Sinocalanus* と *Tigriopus* が維持熱量源として珪藻類その他を利用した場合の必要餌生物量について試算した。試算の際、珪藻類と緑色鞭藻類の消化率を 30% (Conover 1962), bacteria の消化率を 90% と仮定した。また、珪藻の乾重量からの細胞数への換算には Fleming の plankton 当量表 (Sverdrup *et al.* 1942) を使った。餌生物の炭素と窒素の含有率は Table 3 に示した。必要餌生物量は次式に従って求めた。

$$\text{必要餌生物量} = \frac{\left(\frac{\text{動物 plankton の全排}}{\text{排泄窒素または炭素量}} \right)}{\left(\frac{\text{餌生物の窒素ま}}{\text{または炭素含有量}} \right) \times (\text{消化率})}$$

結果は Table 4 と 5 に示す。また、*Sinocalanus* について普通内湾に出現する植物 plankton 濃度を 10^4 cells/ml として (飯塚 1963) 濾水量を試算した。Table 中の炭素からの計算値と窒素からの値との相違は、餌生物の C/N 値と C_{E0}/N_{E0} 値との差の大きいものほど著しい。珪藻類を餌とした時、*Sinocalanus* は $2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ cells/animal/day を必要とし、その濾水量は 2~5 ml/animal/day となる。Marshall & Orr (1962) の *Skeletonema costatum* と *Calanus* を用いた実験結果等 ($2.2 \times 10^5 \sim 10^6$ cells/animal/day, 20~90 ml/animal/day) と比べると小さい値であるが、動物の大きさや植物 plankton 濃度の違いなどから直接比較することはできないにしても生長を見込めば、この計算必要餌生物量は可成り合理的なもののように思われる。

須山等 (1971) は *Daphnia carinata* を種々の濃度のパン酵母液で飼育し摂食量を求めている (水温 25°C)、著者等は *Daphnia pulex* (平均乾重量約 33 μg /尾, 水温 16°C) の窒素排泄量と R.Q. 値 0.9 と仮定した際の炭素排泄量を求めて (未発表) 前 2 種の場合と同様な処理によつて必要餌生物量を試算した。

ただし排泄窒素量と排泄炭素量とは共に測定値中の最大値を使用し (排泄窒素量: $13.2 \times 10^{-4} \mu\text{g ats}/\mu\text{g dry wt./day}$, 排泄炭素量: $4.56 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\mu\text{g dry wt./day}$)、酵母の窒素と炭素の含有率は花岡 (未発表) の bacteria の値を参考にした。その結果、排泄窒素と同炭素からの計算値はそれぞれ 6.8 μg と 4.5 $\mu\text{g}/\text{animal/day}$ となり須山等の求めた *D. carinata* の摂食量 (13~44 μg) に比べ窒素の場合が 1/2~1/6.5, 炭素の場合が 1/2.3~1/10 となる。実験水温の違いや生長を考慮すればこれらの値が必要餌生物量としてそれほど無理な値でもないようにも考えられるが今後さらにこの点について詳細な検討を進めたい。

摘 要

1. 海洋の物質循環過程において動物 plankton がもつ役割を量的に把握することを目的として飢餓条件下における動物 plankton の呼吸量と排泄窒素量を測定した。
2. 飢餓が進むにつれ *Sinocalanus* と *Tigriopus* の呼吸量も排泄窒素量も少なくなる。
3. *Sinocalanus* はその排泄窒素の全てを $\text{NH}_4\text{-N}$ で排泄するが *Tigriopus* は非 $\text{NH}_4\text{-N}$ を全体の 20~45% 排泄し飢餓が進むにつれその占める割合を増す。
4. 体窒素量および体炭素量も飢餓につれ減少するがその C/N 値はほぼ一定であった。
5. O/N 値から両種は 0 日ですでに基礎代謝に近い状態を示していたと考えられる。
6. 基礎代謝時の *Sinocalanus* の 1 日当りの排泄窒素と排泄炭素量は体窒素、体炭素量の 7% と 6.5%, *Tigriopus* で 4.7% と 6.4% であった。
7. 排泄窒素量と排泄炭素量および餌生物の C-N 含有率から両種の必要餌生物量を試算した。
8. *Sinocalanus* は珪藻類を $2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ cells/animal/day, *Tigriopus* は $3 \times 10^2 \sim 7 \times 10^2$ cells 必要とすることになる。

文 献

- 安楽正照 1963 橈脚類の食性について. 日プ連会報, 9: 10-35.
- Beers, J. R. 1964 Ammonia and inorganic phosphorus excretion by the planktonic Chaetognath, *Sagitta hispida* Conant. J. Cons. perm. inter. Explor. Mer, 29: 123-129.
- Butler, E. I., E. D. S. Corner and S. M. Marshall, F. R. S. 1969 On the nutrition and metabolism of zooplankton. VI. Feeding efficiency of *Calanus* in terms of nitrogen and phosphorus. J. mar. biol. Ass. U. K., 49: 977-1001.
- Corner, E. D. S. and B. S. Newell 1967 On the nutrition and metabolism of zooplankton. IV. The forms of nitrogen excreted by *Calanus*. J. mar. biol. Ass. U. K., 47: 113-120.
- Corner, E. D. S., C. B. Cowey and S. M. Marshall, F. R. S. 1965 On the nutrition and metabolism of zooplankton. III. Nitrogen excretion by *Calanus*. J. mar. biol. Ass. U. K., 45: 429-442.
- 1967 On the nutrition and metabolism of zooplankton. V. Feeding efficiency of *Calanus finmarchicus*. J. mar. biol. Ass. U. K., 47: 259-270.
- Conover, R. J. 1962 Metabolism and growth in *Calanus hyperboreus* in relation to its life cycle. Rapp. et Procés-Verb., 153: 190-197.
- Conover, R. J. and E. D. S. Corner 1968 Respiration and nitrogen excretion by some zooplankton in relation to their life cycle. J. mar. biol. Ass. U. K., 48: 49-75.
- Cowey, C. B. and E. D. S. Corner 1963 Amino acids and some other nitrogenous compounds in *Calanus finmarchicus*. J. mar. biol. Ass. U. K., 43: 485-493.
- 飯塚昭二 1963 植物 plankton 最高出現細胞数に関するアンケートとりまとめ. 日プ連会報, 9: 5-9.
- Jawed, M. 1969 Body nitrogen and nitrogenous excretion in *Neomysis rayii* Murdoch and *Euphausia pacifica* Hansen. Limnol. Oceanogr., 14: 748-754.
- Martin, J. H. 1968 Phytoplankton-zooplankton relationships in Narragansett Bay. III. Seasonal changes in zooplankton excretion rates in relation to phytoplankton abundance. Limnol. Oceanogr., 13: 63-71.
- Marshall, S. M., A. G. Nicholls and A. P. Orr 1935 On the biology of *Calanus finmarchicus*. Part VI. Oxygen consumption in relation to environmental conditions. J. mar. biol. Ass. U. K., 20: 1-28.
- Marshall, S. M. and A. P. Orr 1962 Food and feeding in copepods. Rapp. et Procés-Verb., 153: 92-98.
- 野沢治 1971 植物プランクトンの種および生育温度の相違による炭素並びに窒素含量の差異. 内海性海域における生物群集の生産の動態に関する研究. 昭和45年度研究業績報告, 59-61.
- Parsons, T. R., K. Stephens and J. D. H. Strickland 1961 On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. J. Fish. Res. Bd. Canada, 18: 1001-1016.
- Raymont, J. E. G. 1963 Plankton and productivity in the oceans. Pergamon press, Oxford. P. 660.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards 1963 The influence of organisms on the composition of sea water. In the Sea. vol. 2, pp. 26-77. Ed. M. N. Hill, New York.
- Solórzano, L. 1969 Determination of ammonia in natural waters by the Phenolhypochlorite method. Limnol. Oceanogr., 14: 799-801.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons 1968 A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167: pp. 143-151.
- 須山静子・須藤真平・宝月欣二 1971 *Daphnia carinata* の成長と摂食量に関する研究. 黒潮海域沿岸部の生物生産並びに物質循環に関する研究. 昭和45年度研究業績報告, p. 152.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming 1942 The oceans, their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, Tokyo.
- Webb, K. L. and R. E. Johannes 1967 Studies of the release of dissolved free amino acids by marine zooplankton. Limnol. Oceanogr., 12: 376-382.

Summary

Rates of respiration and nitrogen excretion of zooplankton, *Sinocalanus tenellus* (Kikuchi) and *Tigriopus japonicus* Mori, were measured for various starvation periods. The percentages of carbon, nitrogen and hydrogen present in animals have been also determined. All these rates decreased with starvation. Almost all excretory nitrogen

of *Sinocalanus* were in the form of $\text{NH}_4\text{-N}$, but *Tigriopus* excreted 20-45 % of total excretory nitrogen, as the form of non $\text{NH}_4\text{-N}$. The ratios of non $\text{NH}_4\text{-N}$ to the total nitrogen excreted became higher with starvation. Body nitrogen: body carbon ratios were nearly constant through the starved conditions (C: N ratio ca. 3.8 for *Sinocalanus*, ca. 4.0 for *Tigriopus*).

It is appeared that these animals have already been in the basic metabolic state at the 1st day of experiment, judging from the value of atomic ratio of respiratory rate to excretory rate of nitrogen (O: N ratio for *Sinocalanus* ca. 11.3, for *Tigriopus* ca. 7.7). *Sinocalanus* excreted daily 7 % and 6.5 %, *Tigriopus* 4.7 % and 6.4 % of body nitrogen and body carbon respectively in their basic metabolic state. The daily animal requirements for food organisms were estimated from the quantities of carbon and nitrogen excreted and those in the food organisms, resulting that *Sinocalanus* required $2 \times 10^4 - 5 \times 10^4$ diatom cells / animal / day and *Tigriopus* $3 \times 10^2 - 7 \times 10^2$.