ホタテガイの栄養生態——とくに食物収支について

富 士 昭

(北海道大学 水産学部)

Trophic ecology of a scallop, *Patinopecten jessoensis*, with special reference to its food budget

Akira FUJI

はじめに

ホタテガイは、もともと開放海域の水深40～70mの砂礫底に生活している寒海性の大型二枚貝であるが、近年、海の表層域に人為的に集約的に配置することで基礎生産でつくられる物質を効率的にホタテガイの体に転換させ、これを人間が回収しようとする、いわゆる「海面養殖」が急速に進められてきた。

このような目的で、海の表層域にホタテガイ個体群をつくり上げる際には、ある海域に大量のホタテガイを集約的に配置することが必要条件となるが、このように配置されたホタテガイが、なお正常な生物生産を維持しつづけることを保証するような論拠により、この集約化がなされてきたわけではない。したがって、ある場合には、この集約化が海域の環境がもっている種収容力 (*niche space*) をこえていることもあろうし、また、その逆の場合もありえよう。

沿岸海域を人間が利用するために生物集団を人為的に配置しなす時には、環境のもつ *niche space* の大きさを何らかの形で見積ることが必要となる。環境の種収容力は、種間の食物関係だけから構成されているわけではなく、沿岸生態系におけるエネルギー転換率に関連する多くの要素の組合わせとして存在しているのであろうが、通常の海洋条件下では食物供給とその消費の均衡ということが大きな要素となっていることは間違いないであろう。したがって、この方向から環境収容力を考えるのは、その見積りのための1つのアプローチとなろう。

海の表層域につくり上げられたホタテガイ個体群の食物供給は、自然個体群が微生物分解をうけながら沈降してくる懸濁態有機物 (POM) のみに食物を依存しているのとは異り、第1図に示すように、基礎生産、河川搬入、藻場からの供給、他海域との海水交流に起因するもの、さらに、これに動物の排泄物と擬糞 (両者を一括して *biodeposit* といっている) を加えた、比較的多量の POM にあおぐことができる。ただし、このような POM を食物としているのはホタテガイだけではなく植食動物プランクトンやホタテガイを集約化するための施設に着生するムラサキイガイも同じ食地位

にあるので、ホタテガイは、これらの濾過食者とは食物摂取では競合関係におかれていることになる。したがって、ホタテガイ個体群の食物収支を検討するには、おかれた海域における物質移動の経路にしたがって、収入側と支出側の各項の値を明らかにすることで進めてゆくほかないだろう。

ここでは、半閉鎖海域であるサロマ湖を物質移動の1つのBOXと考え、ここにつくられたホタテガイ個体群の食物収支を、上のような見方から検討した結果を示してみる。

Fig. 1. Scheme of POM budget in Lake Saroma.

サロマ湖でのPOMの移動

サロマ湖は、第2図に示すように、幅約200mの湖口部でオホーツク海と海水交流している水深15mほどの海域で、149.2km²の水面積をもつ。このうち、湖央の大部分の76.6km²がホタテガイの海面養殖のために利用されており、湖岸部はアマモ場となっている。

Fig. 2. Map of Lake Saroma showing isobath (A), scallop bed (B), and *Zostera* bed (C).

Table 1. Number of cultured scallops in Lake Saroma (June, 1975 - June, 1976).

Age-class	Number of individuals ($\times 10^3$)											
	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
III	894	23										
II	41661	41661	41652	36242	24802	13487	1386	1275	1189	1135	968	540
I	52521	52521	47413	44089	44079	44447	43833	43833	43833	43833	43833	43833
0				155399	384756	384756	384756	384756	384756	384756	384756	58550

1975年から1976年にかけてのホタテガイ個体群は、第1表に示すような大きさがあるが、大まかには 380×10^6 の0令個体、 44×10^6 の1令個体、 36×10^6 の2令個体から構成されているとみてよい。なお、ホタテガイと同じ食物を摂取しているムラサキイガイやホヤ類の施設への着生量は第2表のようである。

Table 2. Biomass (g D_t/m²) of sessile animals.

Animals	May	July	Oct.	Nov.	Mar.	May
Mussel	0.72	0.95	16.91	18.7b	4.3b	2.24
Ascidian	0.55	0.88	0.99	0.78	0.30	0.46

ホタテガイ個体群の生物生産諸量を、湖内に設定した4定点で1カ年にわたり実測した結果をもとにして、個体群としての摂食量、排泄量、擬糞量を算出したのが第3表であり、ムラサキイガイについての結果が第4表である。

Table 3. Amounts of food taken, faeces excreted and pseudofaeces excreted (mg C/m²/day) by scallops.

Duration	Food taken	Faeces excreted	Pseudofaeces excreted
June - Aug.	207.85	61.92	30.94
Aug. - Oct.	234.30	69.78	34.89
Oct. - Dec.	335.71	69.29	138.17
Dec. - Mar.	146.17	45.61	15.26
Mar. - June	146.17	45.61	15.26

Table 4. Amounts of food taken, faeces excreted and pseudofaeces excreted (mg C/m²/day) by mussels.

Duration	Food taken	Faeces excreted	Pseudofaeces excreted
June - Aug.	1.815	0.322	0.227
Aug. - Oct.	19.451	3.447	1.723
Oct. - Dec.	49.236	6.893	13.786
Dec. - Mar.	9.265	1.692	0.564
Mar. - June	7.000	1.287	0.426

もう1つの濾過食者である植食動物プランクトンの *Paracalanus parvus*, *Pseudocalanus minutus*, *Acartia* spp. の現存量は第5表で、Hargrave & Geen (1970) および Conover (1964, 1966) の結果にもとづいて、これら植食動物プランクトンの摂食量と排泄量を各時期ごとに平均値として示したのが第5表右欄の結果である。サロマ湖における濾過食者を中心とした物質移動のうち、支

出側の量は、第3表から第5表までに示してきた各濾過食者個体群の摂食量を合計した値としてあらわし得るわけで、例えば、6～8月では $323 \text{ mgC} / \text{m}^2 / \text{day}$ ということになる。ここで、同様に求められる *biodeposit* 量の $134 \text{ mgC} / \text{m}^2 / \text{day}$ の値は、物質移動からはそのまま収入側に組入れられる値である。

Table 5. Amounts of food taken and faeces excreted by the herbivorous zooplankton (*Pseudocalanus minutus*, *Paracalanus parvus*, and *Acartia* spp.).

Duration	Standing crop (ind./m ²)	Food taken (mg C/m ² /day)	Faeces excreted (mg C/m ² /day)
June - Aug.	16095	104.6	37.0
Aug. - Oct.	3720	24.2	8.5
Oct. - Dec.	14060	91.3	32.3
Dec. - Mar.	9410	61.1	21.6
Mar. - June	12860	104.6	37.0

それでは、これに対応している食物供給という収入側の値はどうであろうか。サロマ湖内とオホーツク海との間で湖口を経由する *POM* の収支が、まず、第1に考えられる。湖口部での流出入時における *POM* および懸濁態有機炭素 (*POC*) の収支結果は第6表が示すように有意差は認められない。湖口を経由する *POM* の流出量と流入量とは釣合っており、サロマ湖での *POM* の収支は考慮外においてよいということになる。

Table 6. *POC* budget at the mouth of Lake Saroma.

Depth (m)	Seston (mg/L)		<i>POC</i> (mg/m ²)	
	Flow in	Flow out	Flow in	Flow out
0	1.38	1.01 1.78	152.5	160.7
1	3.19		647.6	
2	3.22		515.9	
3	3.23	5.20 4.79	625.6	701.5
4	4.64		931.6	
5	1.88	4.52	328.8	504.2
Test	$F_{(0.05)} = 4.96$ $> F_0 = 1.22$		$F_{(0.05)} = 5.59$ $> F_0 = 0.28$	

サロマ湖には大小5つの河川が流入しているが、比較的流量の大きいのは湖東南岸に流入するサロマベツ川と湖西南岸に流入するバロー川である。ほぼ1週間ごとの流量と *POM* 量の観測から、これら両河川が搬入している *POM* を *POC* としてあらわしたのが第7表である。これがサロマ湖全水容積に拡散すると仮定すると、単位水面積当りの平均搬入量は第7表のようであり、各期間ごとの

平均搬入量をまとめると第8表の結果となり、夏期と冬期には少ない。

Table 7. Inflowing amounts of POC.

Month	Estuarine POC ($\times 10^5$ g C)			Inflowing amounts of POC (mg C/m ² /day)
	River Saromabetsu	River Baro	Total	
Jan.	17.40	17.33	34.73	0.74
Feb.	18.54	18.29	36.83	0.74
Mar.	19.24	17.29	36.53	0.77
Apr.	179.02	785.45	964.47	21.67
May	325.36	246.77	572.23	12.35
June	90.74	163.38	245.12	5.67
July	57.34	28.30	85.64	1.84
Aug.	133.04	649.42	782.46	16.90
Sept.	120.87	268.38	389.25	8.67
Oct.	104.86	275.19	380.05	8.19
Nov.	452.70	345.67	798.37	17.83
Dec.	31.05	151.53	183.58	3.95

Table 8. Inflowing amounts of POC in each duration.

Duration	Inflowing amounts of POC (mg C/m ² /day)
June - Aug.	3.75
Aug. - Oct.	12.78
Oct. - Dec.	13.01
Dec. - Mar.	1.86
Mar. - June	11.60

次に、最大の餌料供給源となる基礎生産を求めたのが第3図である。サロマ湖の基礎生産量は約 $500 \text{ g C} / \text{m}^2 / \text{yr}$ で、内湾としては他とはほぼ同じ水準にあるといえる。しかし、11月から2月までの値は著しく低率で、春季3、4月の1/20ほどにすぎない。

Fig. 3. Daily primary productivity in Lake Saroma.

以上に示してきた基礎生産と、これに由来する *biodeposit*、河川や藻場から供給される *POM* がサロマ湖における濾過食者に対する食物の収入側の値となる。そして、これがサロマ湖の *POM* を形

成しているわけである。

各時期ごとのPOM現存量の変化量は、上に示した収入側の量から濾過食者の摂食、懸濁の過程で微生物分解により減少する量および沈降という形で、この系から逸脱してゆく量が除かれた結果として示されているはずである。サロマ湖では、すでに示したように湖口を経由するPOMは考慮しなくてもよいので、物質収支関係は次式によって示される。

$$C = P + I + B - F - (D + S)$$

ここで、 $C = (C_2 - C_1) / t$ で、 C_1 および C_2 は t 日のへだたりにある初めと終りのPOC現存量、 P は基礎生産量、 I は流入したPOC、 B は濾過食者による *biodeposit* 量、 F は濾過食者により摂取されたPOC、 D はPOCの微生物分解量、 S は沈降によって失われるPOC量である。すなわち単位時間当りのPOCの変化量は、基礎生産と河川が搬入するPOCと *biodeposit* の加入から濾過食者による摂食と分解、沈降量を差引いた値に等しいこととなる。

POMの現存量をPOCの形で求めた結果が第9表で、前式により収支の諸量を求めたのが第10表である。この表中では、 I は河川と藻場からの供給量の合算値として、また、 B および F はムラサキイガイとホタテガイおよび植食動物プランクトンに由来する *biodeposit* 量と摂食量をそれぞれ合算した値として表示してある。

Table 9. Standing crop of POC in Lake Saroma.

Month	POC	
	g/m ²	g C/m ²
June	21.324	2.137
Aug.	29.811	2.909
Oct.	28.382	3.003
Dec.	49.396	2.144
Feb.	19.832	0.861
May	21.126	1.622

Table 10. POC budget (mg C/m²/day) in Lake Saroma.

Duration	P	I	B	F	(D + S)
June - Aug.	1224	144	131	315	1183
Aug. - Oct.	1928	13	119	277	1783
Oct. - Dec.	1032	13	260	476	830
Dec. - Mar.	146	2	85	216	16
Mar. - June	2639	12	100	258	2492
Entire year	1393	32	132	297	1262

そこで、POC収支を移動経路にしたがって、年平均、藻場からのPOC供給のある6～8月、POC供給の乏しい12～3月について取り上げてみると第4図のように模式的にあらわすことができ

る。ここで注目されるのは、濾過食者への餌料供給は、基礎生産に大きく依存しているが、冬期間にはその値が極めて低率であるということである。海の表層域にホタテガイを集約化したことは、基礎生産を効率的にホタテガイの体に転換させることであるから、その目的のためには餌料が乏しいことは極めて不適当なことに違いない。ここに、サロマ湖の環境のもつホタテガイ個体群を収容しうる可能量の1つの手がかりが示されていることとなる。

Fig. 4. POC flow (mg C/m²/day) in Lake Saroma.

In the figure of top right, each figure is those as follows:

P: Primary production, I₁: Inflow from river, I₂: Inflow from Zostera bed, F₁: Food taken by herbivorous zooplankton, F₂: Food taken by scallops, F₃: Food taken by mussels, B₁: Faeces excreted by zooplankton, B₂: Faeces excreted by scallops, B₃: Pseudofaeces excreted by scallops, B₄: Faeces excreted by mussels, B₅: Pseudofaeces excreted by mussels, S_s: POM, D: Decomposition, S: Sink.

サロマ湖の環境収容力

12～3月の期間の摂食量のうち、ホタテガイが正常な生物生産を営むのに必要な食物量は $146 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ である。この期間の食物収支は、 $85 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ の *biodeposit* が加わることで、ほぼ釣合っているという表現になっている。Uyenoら(1970)によると、アコヤガイの *biodeposit* の沈降速度は $6 \sim 8 \text{ m/day}$ であるとしている。この値がホタテガイにも適用できるとするならば $85 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ がそのまま濾過食者への食物供給量となりうるかは疑わしくなる。この時期のサロマ湖におけるホタテガイの垂下水深は、5 mから底面上3 mまでとされているから、大まかにみて *bio-*

deposit の $1/2$ は食物供給の側に入るが、残り $1/2$ は沈降という形でホタテガイやムラサキガイの摂食範囲外に逸脱するとみてよかろう。12～3月の食物供給量は、 $(146 + 2 + 43) = 191 \text{ mgC} / \text{m}^2 / \text{day}$ ということになり、 $216 \text{ mgC} / \text{m}^2 / \text{day}$ の支出を賄うことはできない。植食動物プランクトンやムラサキガイを全て人間管理のもとにおいて摂食量を調節することができない限り $(191 - 70) = 121 \text{ mgC} / \text{m}^2 / \text{day}$ が、ホタテガイ個体群へ配分しうる食物量となり、これが、ホタテガイに対する、この期間におけるサロマ湖のもつ収容力ということになる。

おわりに

サロマ湖のような半閉鎖的海域の示す *POM* の移動経過のなかで、濾過食者という一次消費者が引き抜いている物質量の推定は、より高次の消費者を対象とした場合に比べて比較的モデル化しやすい。しかし、半閉鎖的海域を対象にしたにしろ、食物収支の検討はやっと手をつけはじめた段階であり、より高い精度を必要とすることは当然である。そのためには、*POM* の沈降、堆積の時空間的変動や、堆積した *POM* の再浮上による物質移動の系内への再加入 (Tenore, 1977) など、沿岸海洋物理、化学的な分野をも加えた広範囲な知見の積重ねと総合化が残されている。これに関連して、沈降、堆積した *biodeposit* が環境収容力を規制する要因として対象動物の生物生産にどのようにつながりをもってくるのかは、底質および底生動物の物質循環にはたす役割の定量化を必要とすることになるし、このことは、自然個体群あるいは放流という形で海底につくられる個体群を対象とした食物収支については、一層複雑なモデル化が必要となることになるし、方法論的にも多くの課題を残しているのが現状と云えるだろう。

参考文献

- Conover, R. J. (1964): Food relations and nutrition of zooplankton. *Proc. Symposium Exp. Mar. Ecol., Occasional Pub.*, (2), 81-91.
- Conover, R. J. (1966): Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 11, 338-345.
- Hargrave, B. T. & Geen, G. H. (1970): Effects of copepod grazing on two natural phytoplankton populations. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 27, 1395-1403.
- Tenore, K. R. (1977): Food chain pathways in detrital feeding benthic communities: A review, with new observations on sediment resuspension and detrital recycling. p. 37-53.
In Coull, B. C. (ed.), *Ecology of Marine Benthos*. 467 p. Univ. South Carolina Press, South Carolina.
- Uyeno, F., Kawaguchi, N., Terada, N. and Okada, T. (1970): Decomposition, effluent and deposition of phytoplankton in an estuarine pearl oyster area. *Rep. Fac. Fish. Mie Pref. Univ.*, 7, 7-41.