魚の摂餌に関する生態学的研究—VI.

飽食量に影響する外的条件 (1).

石 渡 直 典

(1968 年 7 月 10 日受理)

Ecological Studies on the Feeding of Fishes—VI.

External Factors Affecting Satiation Amount (1).

Naonori ISHIWATA*

The satiation amount is standardized by the method described in the previous reports^{1~4)} and external factors affecting the satiation amount are examined. In the present investigation, the influence of the kind of food on the satiation amount is examined. The results obtained are summarized as follows:

The satiation amount of a school of fish varies with the kind of food given. The satiation amount with one kind of food can be increased further by feeding with more suitable food (Figs. 1, 2, and 3). In this study it is found that a highly preferred food has a high satiation amount.

前報^{1~4)}のように飽食量の基準を定めて、飽食量に影響する外的条件について調べた。本報では餌料の種類によつて飽食量がどのように変化するかを調べた結果を報告する。

実 験 1

実験方法 投餌してよく飼い慣らした後、数日間絶食させて、一定の飽食量が得られる状態にした魚群を2群に分け、その1群には、初めある種類の餌料(A)を飽食するまで十分に与え、他の1群には、初め別の種類の餌料(B)を飽食するまで与え、飽食後、再び前に与えた餌料(A)を飽食するまで与えて、各単位時間ごとの摂餌量の変化および餌付き状態を調べた。

結果 1・1 カワハギ(平均体長 14.5 cm, 平均体重 111.2 g) 各 12 尾を三崎臨海実験所付属水族館の予備槽(240×128 cm, 水深 40 cm)に放養し、新鮮なマサバ肉で飼い慣らして実験した結果(1958, 5月5日, 水温 16.7°C, 流量約 60 l/min., 餌料Aは新鮮なマガキ肉, 餌料Bは新鮮なマサバ肉の切片)は Table 1 および Fig. 1 に示すようになる。新鮮なマガキ肉を与えて、毎分の累積摂餌量の変化を求めると、初めは急激に増加し、以後、単位時間ごとの摂餌量は次第に低下して、20 分前後から累積摂餌量は一定になる。これに比べて新鮮なマサバ肉を与えたばあいには、マガキ肉のばあいよりも著しく低い値で累積摂餌量が一定に達してしまふ。しかし、後者のばあい一定に達した後に餌料をマガキ肉に替えると、再び摂餌を始め、累積摂餌量は上昇し、初めからマガキ肉を与えたばあいとほぼ同一の曲線をたどるようになる。

結果 1・2 ニジマス(平均体長 17.5 cm, 平均体重 115.1 g) 各 100 尾を静岡県富士養鱒場の実験池(7.5×1.2 m, 水深 30 cm)に放養し、配合飼料**で飼い慣らして実験した結果もカワハギのばあいと同様な現象が認められた。Fig. 2 にその結果(1962, 2月8日, 水温 10.2~10.3°C, 流量約 150 l/min., 餌料Aはニジマス卵, 餌料Bは配合飼料)を示す。ニジマス卵を与えて、5 分ごとの累積摂餌量を求めると、初めに

* 東京水産大学 (Tokyo Univ. Fish., Minato-ku, Tokyo, Japan).

** 素干アミ 34%, アジ 28%, 大麦ヌカ (大麦ヌカに等量の水を加えて練り蒸したもの) 38%。

(印刷費負担)

Table 1. Relationship between kind of food and satiation amount for filefish.

Time, min.	Mean amount consumed per fish, g	Mean accumulative amount consumed per fish, g	Kind of food	Feeding behavior	Mean amount consumed per fish, g	Mean accumulative amount consumed per fish, g	Kind of food	Feeding behavior
0~1	2.16		Oyster meat	Actively take food	1.58		Mackerel meat	Actively take food
1~2	1.28	3.44	"		0.50	2.08	"	
2~3	0.80	4.24	"		0.22	2.30	"	
3~4	0.24	4.48	"		0.08	2.38	"	Gradually do not take food
4~5	0.16	4.64	"		0.08	2.46	"	
5~6	0.20	4.84	"		0.05	2.51	"	Take and reject food
6~7	0.07	4.91	"	Gradually do not take food	0.03	2.54	"	Do not take food
7~8	0.04	4.95	"		1.78	4.32	Oyster meat	Actively take food
8~9	0.04	4.99	"		0.26	4.58	"	
9~10	0.03	5.02	"		0.22	4.80	"	
10~11	0.04	5.06	"		0.15	4.95	"	
11~12	0.06	5.12	"		0.08	5.03	"	Gradually do not take food
12~13	0.03	5.15	"		0.03	5.06	"	
13~14	0.03	5.18	"		0.09	5.15	"	
14~15	0.03	5.21	"		0.05	5.20	"	
15~16	0.01	5.22	"		0.03	5.23	"	
16~17	0.01	5.23	"		0.06	5.29	"	
17~18	0.02	5.25	"	Do not take food	0.05	5.34	"	
18~19	0	5.25	"		0.04	5.38	"	
19~20	0	5.25	"		0.03	5.41	"	Do not take food

Fig. 1. Relationship between kind of food and satiation amount for filefish.

Solid curve indicates change of amount of food consumed with time, when fish were fed to satiation on oyster meat (solid circles). Broken curves indicate change of amount of food consumed with time, when fish were fed to satiation on mackerel meat (solid triangles) and then fed to satiation on oyster meat.

曲線は急激に上昇し、以後、単位時間ごとの摂餌量は次第に低下して、120 分前後で一定になる。これに比べて配合飼料を与えたばあいには、ニジマス卵のばあいよりも著しく低い値で一定に達してしまう。しかし、一定に達した後に餌料をニジマス卵に替えると、再び摂餌を始め、累積摂餌曲線は上昇し、初めからニジマス卵を与えたばあいとほぼ同一の曲線をたどるようになる。

結果 1・3 マアジ (平均体長 11.7 cm, 平均体重 37.3 g) 各 20 尾を前記の予備槽に放養し、新鮮なマサバ肉で飼慣らして実験した結果も同様な現象が認められた。Fig. 3 にその結果 (1954, 11 月 15 日, 水温 17.6°C, 流量約 60 l/min., 餌料 A は新鮮なマサバ肉の切片, 餌料 B は 1 か月塩蔵し油揚げしたマサバ肉の切片) を示す。塩蔵したマサバ肉で飽食状態に達したマアジは、続いて新鮮なマサバ肉を与えると、再び摂餌して、初めから新鮮なマサバ肉で得られる飽食量に到達させることができる。

実 験 2

次に上記の現象を解析するため、カワハギとニジマスについて飽食量の高い餌料と低い餌料を与えて同時に自由に選択させる実験を行なった。

実験方法 飽食量の高い餌料と低い餌料を別別に与えてよく飼育した魚群について、両者を食べ残すほど十分に与え、同時に自由に選択させ、摂餌後、残餌を集めてろ紙上に拡げて水分をとつて秤量し、初めに与えた餌料から差し引くことによつて選択量を求めた。このばあい餌料そのものがかなり水を含み誤差を生ずるので、毎回対照を用いて修正した値を求めた。

結果 2・1 カワハギ (平均体長 16.0 cm, 平均体重 130.8 g) を漁獲後 10 尾ずつの 3 群に分け、前記の予備槽に放養し、その 1 群は直ちに実験を行ない、他

Fig. 2. Relationship between kind of food and saturation amount for rainbow trouts.

Solid curve indicates change of amount of food consumed with time, when fish were fed to satiation on rainbow trout eggs (solid circles). Broken curves indicate change of amount of food consumed with time, when fish were fed to satiation on compound feed (solid triangles) and then fed to satiation on rainbow trout eggs.

Fig. 3. Relationship between kind of food and saturation amount for jack mackerels.

Solid curve indicates change of amount of food consumed with time, when fish were fed to satiation on fresh mackerel meat (solid circles). Broken curves indicate change of amount of food consumed with time, when fish were fed to satiation on salted mackerel meat (solid triangles) and then fed to satiation on fresh mackerel meat.

の1群は新鮮なマガキ肉, 残りの1群は新鮮なマサバ肉を毎日1回飽食させて10日間飼育してから, マガキ肉, マサバ肉各100gを与えて, 同時に両者を飽食するまで自由に選択させた。

漁獲後, 1尾当たり平均飽食量の経日変化は Fig. 4 に示すようになる (1958, 5月13~23日, 水温 17.3~19.6°C, 流量約 60 l/min.)。マガキ肉で餌付けしたばあいには, 翌日餌に付き, 3日目に飽食量は一定に達する。これに比べてマサバ肉で餌付けしたばあいには, 翌日餌に付かず, 3日目に餌に付き始め, 5~6日目に飽食量はマガキ肉のばあいより著しく低い値で一定になる。

選択実験の結果 (1958, 5月25~27日, 水温 19.4~20.1°C, 流量 60 l/min. のばあい) は Table 2 に示すようになる。実験前の飼育条件にかかわらず, 3群ともマガキ肉を多量に選択し, その順位は2回目も3回目も変わらなかった。初めからマサバ肉で飼い慣らすことによつて, マサバ肉の選択量を幾分増すことができたが, 両者の選択量の順位を変えることはできなかった。実験1の結果では, マガキ肉の飽食量はマサバ肉の飽食量より高かつたが, この実験でもマガキ肉の選択量はマサバ肉の選択量より高い結果を得た。つまり, マガキ肉の方がマサバ肉よりカワハギの嗜好に適しており, このように選択量の高い餌料は飽食量も高いということが考えられる。

IVLEV⁵⁾ は, 水槽内のある種類の餌料の混合割合 (%) を p_i , 魚の摂餌量中のその餌料の混合割合 (%) を r_i とすると, 選択の度合を示す選択指数 E を表わすのに次式,

$$E = (r_i - p_i) / (r_i + p_i)$$

Table 2. Selective amount of oyster meat and mackerel meat for filefish.

Group	Exp. (Date)	Selective amount*		Water temp., °C
		Oyster meat, g	Mackerel meat, g	
Unacclimatized group	1 (May 14)	58.4	0	19.2
	2 (May 15)	66.6	0	18.8
	3 (May 16)	75.8	0	18.2
Group trained with oyster meat	1 (May 25)	68.0	9.3	19.4
	2 (May 26)	79.4	9.2	19.8
	3 (May 27)	83.7	0	20.1
Group trained with mackerel meat	1 (May 25)	87.1	25.6	19.4
	2 (May 26)	50.4	4.2	19.8
	3 (May 27)	70.6	1.9	20.1

* $A - \frac{C_0}{C_t} B$ [A : amount of food fed (100 g each); B : leftover amount of food (g); C_0 : control amount before experiment (100 g each); C_t : control amount after experiment (g)].

Fig. 4. Relationship between kind of food and satiation amount for filefish after liberation in the tank.

Solid circles indicate daily change of satiation amount, when fish were fed on oyster meat. Solid triangles indicate daily change of satiation amount, when fish were fed on mackerel meat.

を提案している。Table 2 の結果を使つて選択指数を計算すると、Table 3 が得られ、その値は3群ともマガキ肉の方がマサバ肉より高い。マサバ肉で飼ひ慣らすことによつて、マサバ肉の選択指数を幾分増すことができたが、やはりマガキ肉のそれより低い値を示している。

結果 2・2 ニジマス (平均体長 17.5 cm, 平均体重 117.0 g) を 15 尾ずつの 2 群に分け、前記の実験池に網生簀 (100×100 cm, 水深 30 cm) を設置して放養し、その 1 群はニジマス卵、他の 1 群は配合飼料を毎日 1 回飽食させて 16 日間飼育してから、ニジマス卵、配合飼料各 100 g を与え、同時に両者を 10 分間自由に選択させて選択量を求めた結果 (1962, 2 月 9~18 日, 水温 9.9~11.9°C, 流量 150 l/min. のばあい) は Table 4 に示すようになる。ニジマス卵を与えて飼育した群も、配合飼料を与えて飼育した群も、実験前の飼育条件にかかわらず、ニジマス卵を多量に選択し、その順位は 2 回目も、3 回目も、4 回目も変わらなかった。配合飼料で飼ひ慣らすことによつて、配合飼料の選択量を幾分増すことができたが、両者の選択量の順位はやはり変えることができなかった。実験 1 の結果では、ニジマス卵の飽食量は配合飼料の飽食量より高かつたが、この実験でもニジマス卵の選択量は配合飼料の選択量より高い結果を得た。ニジマスのばあいにもニジマス卵の方が配合飼料より嗜好に適しており、選択量の高い餌料の飽食量はやはり高いといふことができる。

Table 3. Selectivity indexes of oyster meat and mackerel meat for filefish.

Group	Exp. (Date)	Selectivity index	
		Oyster meat	Mackerel meat
Unacclimatized group	1 (May 14)	0.33	-1.00
	2 (May 15)	0.33	-1.00
	3 (May 16)	0.33	-1.00
Group trained with oyster meat	1 (May 25)	0.28	-0.61
	2 (May 26)	0.28	-0.66
	3 (May 27)	0.33	-1.00
Group trained with mackerel meat	1 (May 25)	0.21	-0.38
	2 (May 26)	0.30	-0.73
	3 (May 27)	0.32	-0.90

Table 4. Selective amount of rainbow trout eggs and compound feed for rainbow trouts.

Group	Exp. (Date)	Selective amount*		Water temp., °C
		Rainbow trout eggs, g	Compound feed, g	
Group trained with rainbow trout eggs	1 (Feb. 9)	28.7	20.0	11.1
	2 (Feb. 12)	34.3	21.7	11.8
	3 (Feb. 15)	47.3	21.2	9.9
	4 (Feb. 18)	57.5	26.7	11.6
Group trained with compound feed	1 (Feb. 9)	53.6	44.4	10.8
	2 (Feb. 12)	68.0	33.9	11.9
	3 (Feb. 15)	67.3	37.7	9.9
	4 (Feb. 18)	62.6	40.7	11.6

* $A - \frac{C_0}{C_t} B$ [A: amount of food fed (100 g each); B: leftover amount of food (g); C_0 : control amount before experiment (100 g each); C_t : control amount after experiment (g)].

Table 5. Selectivity indexes of rainbow trout eggs and compound feed for rainbow trouts.

Group	Exp. (Date)	Selectivity index	
		Rainbow trout eggs	Compound feed
Group trained with rainbow trout eggs	1 (Feb. 9)	0.08	-0.10
	2 (Feb. 12)	0.10	-0.13
	3 (Feb. 15)	0.16	-0.24
	4 (Feb. 18)	0.15	-0.22
Group trained with compound feed	1 (Feb. 9)	0.04	-0.05
	2 (Feb. 12)	0.14	-0.20
	3 (Feb. 15)	0.12	-0.16
	4 (Feb. 18)	0.10	-0.12

Table 4 の結果を使つて IVLEV の選択指数を計算すると、Table 5 が得られ、その値は2群ともニジマス卵の方が配合飼料より高い。配合飼料で飼ひ慣らすことによつて配合飼料の選択指数を幾分増すことができたが、やはりニジマス卵のそれより低い値を示している。

考 察

上記のように魚群の飽食量は餌料の種類によつて変わり、また、魚群がある種類の餌料で飽食状態に達したとき、他のよりよい餌料（結果として決定される）を与えると、その飽食量が高めることができる。このばあい飽食量の高い餌料と選択量の高い餌料の種類は一致する。言い換えると嗜好性の高い餌料ほど飽食量が高いといふことができるように考えられる。魚のこの問題に関する文献は見当たらないが、高等動物については、D. KATZ・R. KATZ⁶⁾によると、オナガザルおよびカツラザルに異なつた餌（バナナ、ブドウ、ニンジン、パン、クルミ、リンゴ、キャベツ）を単独に食べただけ食べさせると、飽食量は食物の種類によつて変わり、しかも、飽食量の順位と選択される食物の種類の順位は一致するという。上記の魚についての実験結果はこれと同様な現象と考えられる。「食欲」* は多分に心理的要素を含んだ用語であるが、以上の現象によつて、このような欲求が魚類にも存在することが具体化される。もし食欲という概念をこのばあいに適用すると、魚の食欲は餌料の種類によつて飽和点を異にし、それは飽食量に対応する。飽和点が低いばあいには魚は必ずしも満腹とならないで摂餌をやめる。このように食欲が部分的に飽和したばあいに飽和点の高い餌料を与えれば、魚はさらに摂餌して次の段階の飽食状態に達する。このようにして飽食量が極限量に達したとき、食欲は完全に飽和する。

魚の食欲についての参考文献は見いだすことができなかったが、高等動物については、その多くが心理学の分野に属するものであるが、かなり多くの論文が発表され、特に食欲の意義について論議が行なわれている。OSBORNE・MENDEL (1918), MITCHELL・MENDEL (1921), HARLOW (1932), HAUSMANN (1932, '33, '34), および RICHTER (1936, '37, '38, '39, '40) (以上シロネズミについて), EVVARD (1915) (ブタについて), DAVIS (1928, '33, '35, '37, '39) (幼児について) などは、これらの動物に脂肪、蛋白質、炭水化物、ミネラル、ビタミンなどの成分を1種ずつ含む種種の食物を自由に選択させるならば、その選択の結果は栄養要求と合致し、選択された飼料によつて飼育されたばあいの成長も良好であり、食欲は体内の生理的要求に対する良い導き役を果たすと主張している。これに対して WILDER (1937), YOUNG・WITTENBORN (1940), YOUNG (1928, '32, '33, '36, '38, '40) および KON (1931) (以上シロネズミについて), JUKES (1938)

* 食欲は食べたいという気持で、心理的狀態と考えられる。食欲は空腹でないときにも起こり、食物の味や匂いによる経験的感覚と関係があり、その構成において心理的要素をもっている。

(ヒョコについて)などは、これらの動物では食物に対する嗜好性が食物の選択の決定に重要な役割を果たしており、自由に食物を選ばしておくと、好きな食物ばかり食べ、それが必ずしも十分な栄養価をもたぬときには、死をもたらし結果にさえなり、食欲がいつでも体内の生理的要求に対する導き役を果たすと考えるのは間違いであると結論している (YOUNG⁷⁾)。この問題に関する両者の見解は一見相反しているようであるが、いずれもその一面のみを強調し過ぎるきらいがあり、実際にそのいずれのばあいも起こるのであろう。著者の魚の実験ではカワハギに新鮮なマガキ肉、マサバ肉あるいはニジマスにニジマス卵、配合飼料を与えて自由に選択させたのであるが、実験前の飼育条件にかかわらず、前者のばあいにはマガキ肉、後者のばあいにはニジマス卵を多量に選択した。実験前、マガキ肉あるいはニジマス卵で飼育し、それぞれの栄養素を十分に供給した群も、マガキ肉あるいはニジマス卵を多量に選択したのであるから、このばあいの食物の選択は、YOUNG らのいうように、食物のもつ嗜好性に依存するものと考えるのが適当であろう。しかしながら、マサバ肉あるいは配合飼料で飼育することにより、マサバ肉あるいは配合飼料の選択量が増加したことは、餌料に対する条件づけの問題であると考えられる。なお、ASCHKENASYによれば、動物は蛋白質、ビタミン、カルシウムなどを単独に食べているのではなく、これら各種の要素の複雑な混合物である食物をとっている。もしこれらの実験が純粋化した食物を用いてなされるとすると、必ずしも正常でない条件で試験されることになりかねない。実験室で調製したまずい食物あるいは飼料では、動物にとつて十分な意味をもつとはいえないから、このようなばあいにはそれはすでに目標に対する正当な意義を失つて、動物の行動に動機づけを与えることにならないといっている (MASSEYEFF⁸⁾)。特殊な餌料を使用する際にはこのような注意が必要なことは魚についても同様であろう。

終りに本研究に対してご指導、ご援助をいただいた東京大学大島泰雄名誉教授に厚く謝意を表する。

文 献

- 1) 石渡直典: 本誌, 34 (6), 495~497 (1968).
- 2) 石渡直典: 本誌, 34 (6), 498~502 (1968).
- 3) 石渡直典: 本誌, 34 (7), 604~607 (1968).
- 4) 石渡直典: 本誌, 34 (8), 691~694 (1968).
- 5) V. S. IVLEV: Experimental Ecology of the Feeding of Fishes. [Transl. from Russian by D. SCOTT] Yale Univ. Press, New Haven. 302 p. (1961).
- 6) D. KATZ and R. KATZ: *Proc. Zool. Soc. London*, 579~582 (1936).
- 7) P. T. YOUNG: *Psychol. Bull.*, 38 (3), 129~164 (1941).
- 8) R. MASSEYEFF: La Faim. Collection Que Sais-Je 719, Presses Univ. France, Paris. 128 P. (1956).