

魚の摂餌量と増重量の関係I

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
巻/号	373
掲載ページ	p. 169-175
発行年月	1971年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波事務所
Tsukuba Office, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat



魚の摂餌量と増重量の関係—I.

日摂餌量が最大になる投餌回数*

河野秀雄・能勢幸雄

(1970年9月4日受理)

Relationship between the Amount of Food Taken and
Growth in Fishes—I.

Frequency of Feeding for a Maximum Daily Ration

Hideo KONO and Yukio NOSE**

When fishes are fed daily, the frequency of feeding which maximize the daily ration was examined in six species of fishes, namely, jack mackerel, *Trachurus japonicus*, goby, *Chasmichthys gulosus*, rockfish, *Sebastes inermis*, *yakataisaki*, *Therapon jarbua*, rainbow trout, *Salmo gairdnerii irideus*, and goldfish, *Carassius auratus*. The fishes were fed from 1 to 12 times a day for 10 days, seeing that at each feeding the fish reached satiation, and the daily rations were recorded. The results obtained are summarized as follows:

The following relationship appeared to exist between the frequency of feeding per day (T) and the daily rate of feeding (f);

$$f = C(1 - e^{-mT})$$

where C is the maximum daily rate of feeding and m is a constant which represents the rate of approach of the daily rate of feeding to its maximum. The value of m is determined by the ratio of the satiation amount at one feeding a day to the maximum daily ration.

The daily ration seemed to be nearly maximized with 2 feedings for goby and *yakataisaki*, with 3 for rockfish and rainbow trout, with 4 for jack mackerel, and with 12 for goldfish (Fig. 1).

魚の摂餌量と増重量の関係は魚の生産のしくみを明らかにする上で重要である。したがって、これまでこの点に関して、飼育実験の結果にもとづいた多くの報告がある^{1~26)}。

この一連の研究では、数種の海水魚および淡水魚を飼育して、それぞれ摂餌量のできるだけ広い範囲について摂餌量と増重量の関係を明らかにしようとした。そのためにまず、必要な二三の条件について吟味し、その条件の下で摂餌量と増重量の関係を調べた。そして、さらに、この関係が魚の生長段階、外的条件、あるいは飼育期間の長さによつてどのように変化するかを明らかにしようとした。

この報告では、6種の海水魚および淡水魚について、毎日投餌する場合、1日に何回投餌すれば日摂餌量が最大になるかを明らかにしようとした。

この研究の実施にあたり、終始懇篤な指導を与えられた東京大学檜山義夫名誉教授に深く感謝の意を表すると同時に、有益な助言を与えられた東京大学安田富士郎博士、清水 誠博士、実験に際し便宜を与えられた東京大学三崎臨海実験所長木下治雄教授、静岡県富士養鱒場長下田雄四郎氏、東京水産大学野村 稔教授

* 本報告は東京大学に提出した河野秀雄の博士学位論文の一部である。

** 東京大学農学部水産学科 (Dept. of Fisheries, Fac. of Agriculture, Tokyo Univ., Bunkyo-ku, Tokyo, Japan)

に深く謝意を表したい。

材料と方法

投餌してよく飼いなした魚群を流水（キンギョでは循環ろ過）水槽数個に 20 個体（メバルでは 50 個体）ずつ収容し，1 昼夜（ニジマスでは 2 昼夜）絶食させてから個体ごとに体重を測定した。翌日から水槽

Table 1. Species of fish examined, frequency and time of feeding and other experimental conditions.

Species of fish	Exp. No.	Feeding		Exp. tank (length×width×depth, cm ³)	Kind of food
		Frequency per day	Time*		
Jack mackerel	1-1	(1/5)**	(2)	Concrete tank (240×128×40)	Anchovy larva (fresh)
	1-2	1	(5)		
	1-3	3	(7)		
	1-4	6	(9)		
	1-5	12	(11)		
Goby	2-1	(1/5)**	(2)	Plastic tank (50×35×10)	Jack mackerel meat (fresh)
	2-2	(1/2)**	(3)		
	2-3	1	(5)		
	2-4	3	(7)		
	2-5	6	(9)		
	2-6	12	(11)		
Rockfish	3-1	(1/2)**	(3)	Plastic tank (50×35×20)	Anchovy larva (fresh)
	3-2	1	(5)		
	3-3	3	(7)		
	3-4	5	(8)		
	3-5	8	(10)		
<i>Yakataisaki</i>	4-1	1	(5)	Plastic tank (50×35×10)	Marlin ovary (fresh)
	4-2	2	(6)		
	4-3	3	(7)		
	4-4	5	(8)		
	4-5	8	(10)		
Rainbow trout	5-1	(1/10)**	(1)	Concrete tank (295×52×38)	Anchovy larva (fresh)
	5-2	(1/5)**	(2)		
	5-3	(1/2)**	(4)		
	5-4	1	(5)		
	5-5	2	(6)		
	5-6	3	(7)		
	5-7	6	(9)		
	5-8	12	(11)		
Goldfish	6-1	(1/2)**	(4)	Glass tank (60×30×25)	Tubifex (alive)
	6-2	1	(5)		
	6-3	3	(7)		
	6-4	5	(8)		
	6-5	6	(9)		
	6-6	12	(11)		
	6-7	∞***	—		

* (1): 1200 in the 5th day. (2): 1200 in the 3 and 8th days. (3): 1200 in the 2, 4, 6, 8, and 10th days. (4): 1200 in the 1, 3, 5, 7, and 9th days. (5): 1200. (6): every 12 hours from 0600 to 1800. (7): every 6 hours from 0600 to 1800. (8): every 3 hours from 0600 to 1800. (9): every 2 hours from 0600 to 1600. (10): every 2 hours from 0400 to 1800. (11): every 2 hours from 0000 to 2200.

** 1/10, 1/5, and 1/2 represent once in 10, 5, and 2 days respectively.

*** Fishes were fed in excess of their consumption throughout the experiment.

ごとに1日の投餌回数を変えて(補足的に1日1回以下の実験も行なつた)10日間飼育し、毎日の摂餌量を記録した。終わりに、実験開始の場合と同時間絶食させてから個体ごとに体重を測定した。

投餌はキンギョ(無胃魚)では狩谷²⁷⁾に、キンギョ以外(有胃魚)では石渡²⁸⁾にならつて、毎回、魚群が

Table 2. Daily ration per fish in gram.

Species of fish	Exp. No.	Day									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jack mackerel	1-1	—	—	4.46	—	—	—	—	7.06	—	—
	1-2	2.33	2.03	2.07	3.37	3.58	3.94	4.35	3.51	4.06	5.32
	1-3	4.24	2.14	2.19	4.50	6.18	7.67	6.90	7.13	7.06	5.76
	1-4	5.75	7.94	6.19	4.84	5.29	5.38	7.28	4.81	4.21	3.96
	1-5	8.61	7.39	5.23	6.75	6.62	7.14	8.90	5.25	4.16	5.45
	W.T.*	19.4	19.9	19.3	19.2	19.6	19.4	19.1	19.4	18.8	17.4
Goby	2-1	—	—	0.303	—	—	—	—	0.341	—	—
	2-2	—	0.246	—	0.334	—	0.304	—	0.350	—	0.208
	2-3	0.274	0.070	0.089	0.139	0.129	0.172	0.103	0.145	0.204	0.088
	2-4	0.442	0.245	0.105	0.178	0.201	0.201	0.164	0.193	0.065	0.273
	2-5	0.556	0.139	0.138	0.206	0.206	0.164	0.213	0.213	0.065	0.287
	2-6	0.496	0.145	0.135	0.276	0.179	0.212	0.267	0.197	0.149	0.257
W.T.*	19.7	20.1	19.8	19.7	19.9	19.7	19.4	19.8	19.5	17.8	
Rockfish	3-1	—	1.08	—	1.21	—	1.51	—	1.41	—	1.40
	3-2	1.15	1.27	1.34	1.24	1.28	1.12	1.00	1.13	1.16	1.02
	3-3	2.00	2.17	1.65	1.60	1.36	1.93	1.42	1.74	1.48	1.46
	3-4	2.23	2.06	1.53	1.14	1.30	1.73	1.43	1.51	1.50	1.31
	3-5	2.42	1.97	1.45	1.17	1.43	1.51	1.46	1.49	1.80	1.70
W.T.*	24.0	24.4	24.9	25.1	25.6	26.1	25.6	25.6	26.2	26.2	
Yakataisaki	4-1	0.044	0.028	0.031	0.038	0.036	0.045	0.048	0.042	0.054	0.050
	4-2	0.067	0.041	0.047	0.050	0.059	0.048	0.062	0.063	0.051	0.050
	4-3	0.063	0.045	0.049	0.047	0.060	0.055	0.059	0.056	0.059	0.047
	4-4	0.066	0.050	0.047	0.051	0.049	0.049	0.060	0.059	0.045	0.047
	4-5	0.071	0.045	0.041	0.050	0.052	0.059	0.059	0.055	0.057	0.058
W.T.*	16.8	16.4	16.5	16.7	16.4	16.2	16.6	16.9	17.3	18.0	
Rainbow trout	5-1	—	—	—	—	1.04	—	—	—	—	—
	5-2	—	—	0.70	—	—	—	—	0.89	—	—
	5-3	0.82	—	0.84	—	0.81	—	1.07	—	0.91	—
	5-4	0.69	0.59	0.70	0.82	0.83	0.95	0.85	0.89	0.98	1.03
	5-5	0.99	0.75	0.76	0.80	0.76	0.58	1.02	1.27	0.97	1.29
	5-6	0.97	0.97	0.66	0.64	1.11	0.80	1.20	1.29	1.00	1.31
	5-7	1.33	1.05	1.02	1.18	0.96	0.93	1.02	1.46	1.08	1.61
	5-8	1.39	1.08	1.01	1.02	0.79	0.91	1.26	1.27	1.31	1.54
W.T.*	12.5	12.7	12.5	12.4	12.4	12.4	12.7	12.5	12.7	12.5	
Goldfish	6-1	0.34	—	0.48	—	0.36	—	0.26	—	0.32	—
	6-2	0.33	0.37	0.42	0.34	0.44	0.29	0.26	0.23	0.33	0.30
	6-3	0.81	1.06	0.98	1.06	1.12	1.18	1.18	1.05	1.30	1.19
	6-4	0.91	1.22	1.24	1.56	1.34	1.28	1.38	1.13	1.30	1.30
	6-5	0.83	1.63	1.65	1.74	2.30	1.73	1.95	2.00	1.73	2.21
	6-6	1.54	2.35	2.77	2.55	3.25	2.73	3.24	2.17	2.42	2.75
	6-7	1.49	2.18	2.38	2.67	2.49	2.17	2.08	1.54	2.02	2.05
W.T.*	25.4	25.8	25.6	25.4	26.1	25.7	25.2	25.2	25.3	25.5	

* Mean water temperature, °C.

飽食する*まで行ない、一定容器中の投餌開始前と終了後の餌の重量の差を摂餌量とした。

実験に用いた魚種、投餌回数とその時刻、およびその他の実験条件は Table 1 に示したとおりである。なお、水温は毎日午前 0 時、6 時、正午、午後 6 時にそれぞれ測定した。

結 果

これらの実験の結果、1尾当たり日摂餌量は Table 2 に示すようになった。どの実験でも日摂餌量には日間変動がある。特に、第 1 日目の日摂餌量が多い傾向が見られ、また、マアジおよびニジマスの 1 日 1 回投餌の日摂餌量は日がたつにつれて増大する傾向が見られる。平均水温 (Table 2) は毎日ほぼ一定であり、これと日摂餌量の間には関連が見られない。

次に、Table 2 に示した結果から、実験ごとに日摂餌率 (日摂餌量の体重に対する割合) を計算すると Table 3 に示したようになる。どの魚種でも日摂餌率は始め投餌回数とともに増加するが、ある回数に達するともう増加しないことがわかる (Fig. 1)。

石渡²⁴⁾は、毎日投餌する場合、1日の投餌回数 (T) と日摂餌率 (f) の間には、

Table 3. Body weight, ration and daily rate of feeding.

Species of fish	Items	Frequency of feeding per day										
		(1/10)	(1/5)	(1/2)	1	2	3	5	6	8	12	∞
Jack mackerel	W_0		42.85		42.76		42.81		42.80		42.82	
	W_t		43.56		47.00		49.43		49.56		51.13	
	F	—	1.15	—	3.45	—	5.38	—	5.56	—	6.55	—
	f		0.027		0.077		0.117		0.120		0.139	
Goby	W_0		3.585	3.569	3.567		3.571		3.593		3.582	
	W_t		3.633	4.033	3.888		4.285		4.369		4.405	
	F	—	0.064	0.144	0.141	—	0.206	—	0.218	—	0.231	—
	f		0.018	0.038	0.038		0.053		0.055		0.058	
Rockfish	W_0			13.60	13.62		13.57	13.63		13.60		
	W_t			14.24	15.00		15.96	15.58		15.75		
	F	—	—	0.66	1.17	—	1.68	1.57	—	1.64	—	—
	f			0.047	0.082		0.114	0.108		0.112		
Yakata-isaki	W_0				0.598	0.601	0.604	0.599		0.602		
	W_t				0.660	0.715	0.706	0.697		0.714		
	F	—	—	—	0.041	0.054	0.054	0.052	—	0.055	—	—
	f				0.066	0.082	0.082	0.080		0.083		
Rainbow trout	W_0	7.89	7.94	7.90	7.91	7.93	7.91		7.89		7.88	
	W_t	7.58	7.78	8.72	10.39	10.62	10.99		11.27		11.32	
	F	0.10	0.16	0.44	0.83	0.92	0.99	—	1.16	—	1.16	—
	f	0.013	0.020	0.053	0.091	0.099	0.105		0.121		0.121	
Goldfish	W_0			4.91	4.88		4.91	4.91	4.89		4.92	4.95
	W_t			4.75	5.01		6.84	6.98	7.98		9.46	8.09
	F	—	—	0.18	0.33	—	1.09	1.27	1.78	—	2.58	2.11
	f			0.036	0.067		0.186	0.213	0.276		0.358	0.323

W_0 : initial mean body weight (g).

W_t : final mean body weight (g).

F : ration per fish per day (g).

f : daily rate of feeding, $F/((W_0 + W_t)/2)$.

* 石渡²⁸⁾は飽食するという用語を 1 回の投餌で食べることでなくなるまで食べるという行為、飽食量という用語を 1 回の連続投餌によって魚群が飽食するに要する摂餌量と規定している。この研究では、これらの用語をこの場合と同じ意味に用いる。

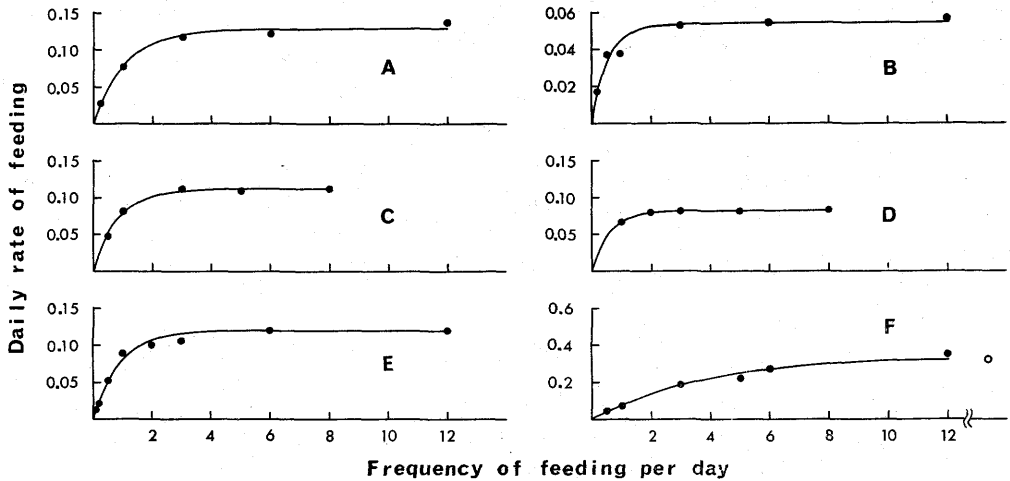


Fig. 1. Relationship between frequency of feeding per day and daily rate of feeding.

A: jack mackerel, B: goby, C: rockfish, D: yakataisaki, E: rainbow trout, F: goldfish.

Open circle: fish fed in excess of their consumption.

$$f = C(1 - e^{-mT}) \quad (1)$$

の関係が成り立つことを認めている。ただし、 C は定数 (日摂餌率の極限值)、 m も定数である。ここでは、この C を最大日摂餌率と呼ぶ。また、 m は日摂餌率とその最大値に近づく速さを表わしている。(1) 式を先に得た結果に当てはめるため、DEMING²⁹⁾ の方法を用いると、次のようになる。

$$\text{マアジ: } f = 0.129(1 - e^{-0.9017T})$$

$$\text{ドロメ: } f = 0.054(1 - e^{-1.8157T})$$

$$\text{メバル: } f = 0.112(1 - e^{-1.2247T})$$

$$\text{ヤカタイサキ: } f = 0.082(1 - e^{-1.6607T})$$

$$\text{ニジマス: } f = 0.120(1 - e^{-1.1007T})$$

$$\text{キンギョ: } f = 0.335(1 - e^{-0.2667T})$$

計算曲線は実験値によく適合している (Fig. 1)。

いま、1日1回投餌 ($T = 1$) の飽食量を R 、体重を W とすると、 $f = R/W$ であるから、(1) 式から、

$$m = -\log\left(1 - \frac{R}{CW}\right) \quad (2)$$

が得られる。(2) 式から、 m は1日1回投餌の飽食量の最大日摂餌量に対する割合によって決まる、“食いおき係数” とでも呼ぶべき定数であることがわかる。

(1) 式から、各魚種について、日摂餌率とその最大値の 95% になる投餌回数を求めると、マアジでは 3.3 回、ドロメでは 1.7 回、メバルでは 2.4 回、ヤカタイサキでは 1.8 回、ニジマスでは 2.7 回、キンギョでは 11.3 回となる。したがって、日摂餌量はドロメ、ヤカタイサキでは 2 回、メバル、ニジマスでは 3 回、マアジでは 4 回、キンギョでは 12 回の投餌でほぼ最大になると考えてさしつかえない。

考 察

第1日目の日摂餌量が多い傾向が見られるのは、前日に絶食しているためと考えられる。また、マアジおよびニジマスの1日1回投餌の日摂餌量が増大する傾向が見られるのは、実験期間中の魚の生長によるものと考えられる。しかし、その他の場合やその他の魚種で、生長の速やかな場合にはこのような傾向が見られない。それは生長による日摂餌量が増大が摂餌前歴の効果 (ある期間に多量に餌をとると、それに続く期間の摂餌量が低下する。この点については続報で述べる。) によつてうち消されたためであろう。

石渡²⁴⁾ はニジマスで $C = 0.0672$ 、 $m = 1.0850$ を得た (平均体重: 5.8g, 平均水温: 11.8°C, 餌: 配合飼

料)。著者らの結果は $C = 0.120$, $m = 1.100$ である (平均体重 7.9 g, 平均水温: 12.5°C, 餌: カタクチイワシのシラス)。魚の大きさや水温はやや異なるが, m の値はほぼ一致している。この結果から見て餌の種類の違いは m にはほとんど影響しないと考えられる。また, C の値には差があるが, これは魚の大きさ, 水温の違いから見て餌の種類の違いが最も効いていると思われる。

さきに石渡³⁰⁾は有胃魚のカワハギ, マフグ, ブリおよびニジマスについて, 日摂餌量は 2~3 回の投餌でほぼ最大になるという結果を得ている。また, 原田⁴⁸⁾がブリについて得た結果から見ると, 日摂餌量は 2 回の投餌でほぼ最大になると考えられる。著者らが有胃魚について得た結果では, 日摂餌量はドロメ, ヤカタイサキでは 2 回, メバル, ニジマスでは 3 回, マアジでは 4 回の投餌でほぼ最大になる。魚種は異なるが, これらの結果はすべてほとんど一致している。一方, 狩谷³¹⁾がコイについて, 堀田³²⁾がサンマについて得た結果から見ると, これらの無胃魚では, 日摂餌量をその最大値に近づけるためには有胃魚の場合よりも多回の投餌が必要であろうと考えられる。著者らの得た結果では, 無胃魚のキンギョでは 12 回の投餌が必要である。このように無胃魚で多回の投餌が必要であるということ, いいかえれば食いおき係数が小さいということ, これらの魚が消化管の構造上, 餌を貯える能力が小さい (狩谷³¹⁾) ためであろう。

要 約

魚に毎日投餌する場合, 1 日に何回飽食させれば日摂餌量が最大になるかを調べた。

- 1) 1 日の投餌回数 (T) と日摂餌率 (f) の間には, 先に報告されたように,

$$f = C(1 - e^{-mT})$$

の関係が成り立つことを認めた。ただし, C は最大日摂餌率。そして, m は 1 日 1 回投餌の飽食量の最大日摂餌量に対する割合で決まる定数であることを明らかにし, これを“食いおき係数”と名づけた。

- 2) 日摂餌量はドロメ, ヤカタイサキでは 2 回, メバル, ニジマスでは 3 回, マアジでは 4 回, キンギョでは 12 回の投餌でほぼ最大になる。

文 献

- 1) B. DAWES: *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **17**, 103~147 (1930).
- 2) B. DAWES: *ibid.*, **17**, 877~947 (1931).
- 3) F. T. K. PENTELOW: *J. Exp. Biol.*, **16**, 446~473 (1939).
- 4) M. E. BROWN: *ibid.*, **22**, 130~144 (1946).
- 5) M. HATANAKA and M. TAKAHASHI: *Tohoku J. Agr. Res.*, **7**, 51~57 (1956).
- 6) M. HATANAKA, M. KOSAKA, and Y. SATO: *ibid.*, **7**, 151~162 (1956).
- 7) M. HATANAKA, M. KOSAKA, and Y. SATO: *ibid.*, **7**, 163~174 (1956).
- 8) M. HATANAKA, K. SEKINO, M. TAKAHASHI, and T. ICHIMURA: *ibid.*, **7**, 351~368 (1957).
- 9) M. HATANAKA and G. MURAKAWA: *ibid.*, **9**, 69~79 (1958).
- 10) 高橋正雄・畑中正吉: 本誌, **24**, 449~455 (1958).
- 11) M. HATANAKA and M. TAKAHASHI: *Tohoku J. Agr. Res.*, **11**, 83~100 (1960).
- 12) M. TAKAHASHI and M. HATANAKA: *ibid.*, **11**, 161~170 (1960).
- 13) 畑中正吉・飯塚景記: 本誌, **28**, 305~313 (1962).
- 14) 畑中正吉・関野清成: 本誌, **28**, 949~954 (1962).
- 15) 水産庁調査研究部研究第 2 課: 昭和 37 年度マス養殖技術研究試験結果報告書 (1963).
- 16) P. M. C. DAVIES: *Comp. Biochem. Physiol.*, **12**, 67~79 (1964).
- 17) G. E. DAVIS and C. E. WARREN: *J. Wildl. Mgmt.*, **29**, 846~871 (1965).
- 18) 原田輝雄: 近畿大学水産研究所報告, **1**, 1~275 (1966).
- 19) J. E. PALOHEIMO and L. M. DICKIE: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **23**, 1209~1248 (1966).
- 20) H. KAWANABE: *Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Series B*, **33**, 157~162 (1967).
- 21) T. J. PANDIAN: *Mar. Biol.*, **1**, 107~109 (1967).
- 22) 鈴木智之: 日水研報告, **17**, 33~43 (1967).
- 23) 石渡直典・河野秀雄: 水産増殖, **16**, 47~52 (1968).

- 24) 石渡直典：本誌，35，985~990 (1969).
- 25) 石渡直典：本誌，35，1049~1054 (1969).
- 26) 吉田陽一：本誌，36，160~164 (1970).
- 27) 狩谷貞二：水産増殖，7，29~36 (1960).
- 28) 石渡直典：本誌，34，495~497 (1968).
- 29) W. E. DEMING：推計学によるデータのまとめ方，森口繁一訳，198 pp.，岩波書店，東京 (1965).
- 30) 石渡直典：本誌，35，979~984 (1969).
- 31) 狩谷貞二：水産増殖，4，1~8 (1956).
- 32) 堀田秀之：東北水研報告，11，47~64 (1958).