魚類の成長構造解析に関する研究 I

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者名	浜田,篤信 位田,俊臣 津田,勉 狩谷,貞二
発行元	日本水産學會
巻/号	41巻2号
掲載ページ	p. 147-154
発行年月	1975年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 41 (2) 147-154 (1975)

魚類の成長構造解析に関する研究—I
コイの最大成長*1

浜田篤信・位田俊臣・津田 勉・狩谷貞二

(1974 年 10 月 26 日受理)

Studies on the Growth Structure of Fishes—I
Maximum Growth of Carp

Atsunobu HAMADA*2, Toshiomi IDA*2, Tsutomu TSDA2*, and Teiji KARIYA*3

Usually animal growth is considered in terms of the difference between assimilation and dissimilation of body substances. Both metabolism and catabolism are assumed to be in proportion to surface and weight of body respectively. In the present paper, the total loss of energy is represented by gross efficiency of conversion, i. e. gain of body weight is given by a product of food intake and gross efficiency. Experiment carp were reared with sufficient food supply of *Limnodrilus* at 25±1°C. The amount of food intake and gain of body weight during certain periods were mersured.

The results obtained are as follows.

1. The amount of food intake (r) and gross efficiency of conversion (C) in relation to body weight (W) are given by the following equations.

$$r=K_r W^{2/3}, \quad C_r=K_c/W^{0.07}$$

2. Therefore maximum growth may be expressed by

$$dW/dt=r\cdot C_r=K_r\cdot K_c\cdot W^{3/5}, \quad W=\{2/5(K_r\cdot K_c\cdot t+5/2\ W_0^{2/5})\}^{5/2}.$$

Substituting $K_r=1.094$, $K_c=0.331$ and $W_0=0$ into this equation, we have

$$W=7.93\times10^{-3}\cdot t^{5/2}. \ (24-30°C).$$

for the maximum growth of carp. Considering temperature (T), we have

$$W=(2/5\ K_r'\cdot K_c\cdot t)^{5/2}\ e^{0.258T}. \ (16-23°C).$$

3. These equations are applicable for carp weighing 1 to 1000 g when food intake is sufficient.

従来，成長構造は同化と異化の差としてとらえられて来た。すなわち，魚類では同化な体重の 2/3 乗に，異化は体重に比例するものとして成長式が導かれている[1]が，同化・異化について実験的に検討された例は少なく，成長構造が充分に解析されて来たとはいえない。最近，吉田[2]は，この考え方を実験的に検討した結果を報告している。しかし，異化作用によるエネルギー損失は複雑で正確な測定は容易でない。そこで，本報告ではエネルギー損失の総量を餌料の転換効率を通じてとらえる。したがつて成長は同化と異化の差ではなく，摂餌量と餌料の転換効率の積としてとらえられる。ここでは，実験によつて求められるものは，一定期間の摂餌量と増重量であつて，これらから間接的に転換効率が算出される。転換効率は，増重/摂餌量

*1 1969 年日本水産学会秋季大会で講演発表

*2 茨城県内水面水産試験場 (Freshwater Fish. Exp. St., Tamatsukuri, Ibaraki, Japan)

*3 東北大学農学部水産生物学教室 (Lab. of Fish. Biol., Fac. of Agr., the Univ. of Touhoku, Tsutsumidouri, Sendai, Japan)

によつて与えられるものであり，標準代射量，運動量，特異動的作用による損失，さらには摂餌中に水中に逸散する損失等あらゆる損失の結果として生じるものである。勿論，転換効率の構造については，さらに明らかにしていかなければならないが，本報告では，まず第一段階として，このような巨視的な方法ではじめる。

次に問題となるのは飼育条件である。環境条件を一定に保つことは比較的容易であるが，飼育条件については問題がある。時間の経過にともなつて，魚自身の要求が変化していくからである。ここでは，適正な条件下で充分なエネルギー摂取を行なつた場合の成長を最大成長と定義する。第1報では，飼育が比較的容易であるコイ *Cyprinus carpio* をとりあげた。

実 験 方 法

飼育にあたつては，魚が自由に摂餌することができるように，水槽中に餌料を 24 時間放置した。餌料としては，このような状態でも変化することのないイトミミズ *Limnodrilus* を選んだ[3]。摂餌は投与量から 24 時間後に回収した量を差しひいた値で，これを日間摂餌量とよぶことにする。水槽は 30×45×30 cm のもので，溶存酸素量が 4 ml/*l* 以下に低下しないように注水し，一尾ずつ飼育した。水温は 24～26°C に保ち，水槽は昼夜連続で 40 W 螢光灯で照射した。

実験結果および考察

日間摂餌量　従来の摂餌に関する研究は1回の投餌による摂餌，とくに飽食量に関するものが多いようである。食欲や嗜好性を問題とする場合には，飽食量を指標とすることが多く，また飽食量から間接的に日間摂餌量が求められることもあつた。[4,5] 養殖漁場で魚群の行動を観察しながら投餌を行ない，投餌量を日間摂餌量とする場合もあるが，摂餌時間が制限されたり，水中に逸散する量が不明であり正確な値とはいえない。このような理由から，前述の方法によつて日間摂餌を直接測定した。結果は Table 1 に示した。このときの魚体重は摂餌後 6～12 時間後に測定したものである。魚体重 (W) と日間摂餌量 (r) を両対数紙上に図示したのが Fig. 1 である。日間摂餌量と体重の間には，$r=1.11W^{0.653}$ の関係がある。すなわち，摂餌量は，ほぼ体表面，体重の 2/3 乗に比例するものと見ることができる。いま，K_r を摂餌係数とすれば，

$$r=K_rW^{2/3} \qquad (1)$$

とおくことができる。Table 1 の結果にもとづいて K_r を算出してみると，0.7～1.5 の範囲にあり，平均値は 1.094 であつた。

Table 1. The daily amount of food intake in relation to body weight of the ffsh fed with *Limnodrilus*

Body weight (g)	Food intake (g)	K_r
1.1	0.94	0.885
1.9	1.50	0.956
3.2	2.56	1.180
4.2	3.09	1.185
5.9	2.74	0.839
7.8	5.81	1.475
8.5	3.4	0.817
8.8	6.8	1.590
9.2	5.3	1.205
9.6	3.4	0.754
17.2	7.3	1.029
29.3	9.0	0.944
82.6	27.9	1.460
124.0	26.5	1.070
169.6	35.1	1.138
213.0	32.4	0.914
Average		1.094

転換効率　5～10 日のごく短期間，イトミミズを充分与えて，各水槽の魚毎に，とりあげ時の体重 (W_t) と初めの体重 (W_0) の差，すなわち増重量を測定し，これをその間の総摂餌量 (Σr) で除したもの $(W_t-W_0)/\Sigma r$ を転換効率として Table 2 に示した。ここで体重を $(W_0+W_t)/2$ で代表させて両者の関係を図示したのが Fig. 2 であり，その関係は，

$$C_r=0.331/W^{0.07} \qquad (2)$$

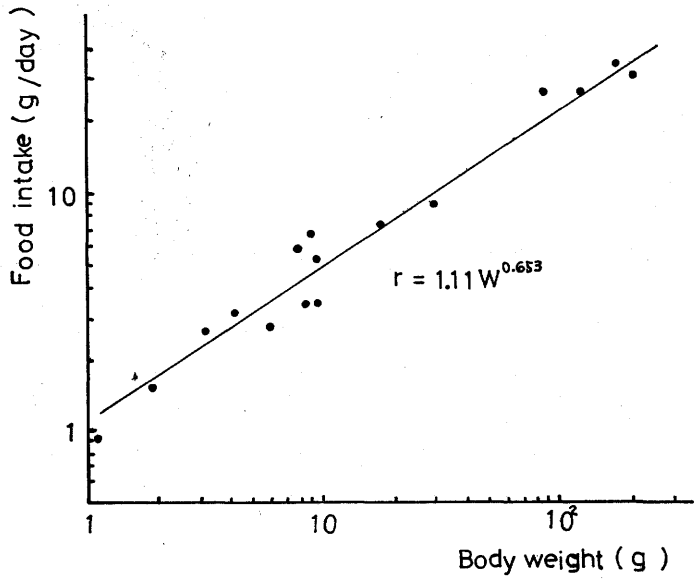

Fig. 1. The amount of food intake in relation to body weight of the fish fed with *Limnodrilus*

Table 2. Gross efficiency of conversion in relation to body weight of the fish fed with *Limnodrilus*

W_0 (g)	W_t (g)	$(W_0+W_t)/2$ (g)	Σr (g)	$(W_t-W_0)/\Sigma r)$
0.30	0.99	0.64	2.04	0.339
1.5	4.5	3.0	10.2	0.294
9.5	19.6	14.6	39.3	0.257
19.6	33.1	26.4	55.6	0.242
33.1	48.4	40.8	64.7	0.237
48.4	82.6	65.5	141.3	0.243
82.6	170.4	147.8	220.1	0.210

W_0: Initial body weight. W_t: Final body weight.
Σr: Total food intake during the reaing period.

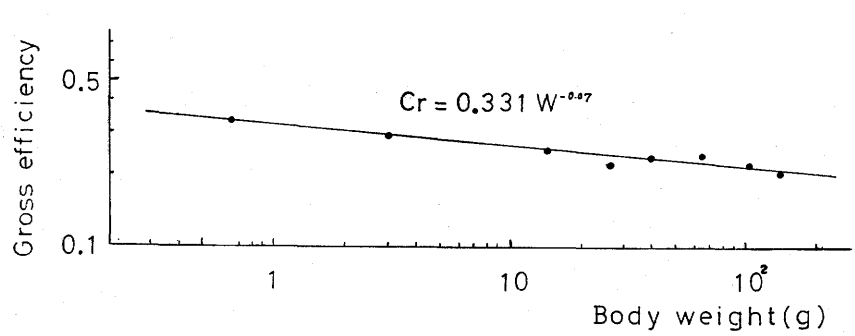

Fig. 2. Gross efficiency of conversion in relation to body weight of the fish fed with *Limnodrilus*.

となる。すなわち，転換効率 C_r は $1/W^{0.07}$ に比例する。比例定数は，0.331 で，これを転換効率係数とよび K_r で表わすものとすると，(2) 式は一般に

$$C_r = K_c / W^{0.07} \tag{3}$$

と書くことができ，イトミミズを 25°C で充分摂餌した場合に $K_c = 0.331$ となるものと考えられる。

成長　すでに述べたように，本報告では成長構構造を日間摂餌量と転換効率の積という形でとらえようとし，この2要因を実験的に求めて来た。したがつて，イトミミズを充分摂取した場合の成長は，次のように表すことができる。

$$\frac{dW}{dt} = r \cdot Cr \tag{4}$$

(4) 式に (1) および (3) 式を代入すると，$dW/dt = K_r \cdot K_c \cdot W^{0.597}$ となるが，簡単のために，

$$\frac{dW}{dt} = K_r \cdot K_c \cdot W^{3/5} \tag{5}$$

Table 3. Weight growth of *Cyprinus carpio*. Four series of experiments were carried out under several conditions

No.	Δt (Days)	W_0 (g)	W_t (g)	$K_r \cdot K_c$	t (Days)	
1	5	0.002	0.029	0.111	1.88	Wild carp fed with *Limnodrilus*.
	5	0.029	0.179	0.049	8.08	
	5	0.179	0.989	0.252	4.91	
	5	0.989	2.78	0.263	9.50	
	5	2.78	5.6	0.232	16.14	
	5	5.6	14	0.440	11.32	
	5	14	33	0.293	24.0	
2	7	9.5	19.6	0.317	19.4	Culture carp fed with *Limnodrilus*.
	7	19.6	33.1	0.269	30.6	
	7	33.1	48.4	0.229	44.3	
	7	48.4	82.6	0.405	29.1	
	7	82.6	124	0.368	36.1	
	7	124	170	0.371	46.2	
	7	170	213	0.287	74.3	
3	19	38	138	0.384	28.2	Culture carp reared in 200 m² pond.
	45	138	576	0.305	58.5	
	33	576	1138	0.303	106	
	27	1138	1300	0.008	138	
4	7	7.75	17.51	0.336	16.9	By KARIYA and AKIBA
	7	17.51	29.31	0.290	26.9	
	7	29.31	47.91	0.294	32.6	
	7	47.91	78.9	0.374	31.5	
	8	78.9	120	0.356	38.1	
	12	120	180	0.228	69.3	
	14	180	240	0.173	114.7	
	15	240	300	0.134	166.0	

Δt: Rearing days. t: Days after hatching out.

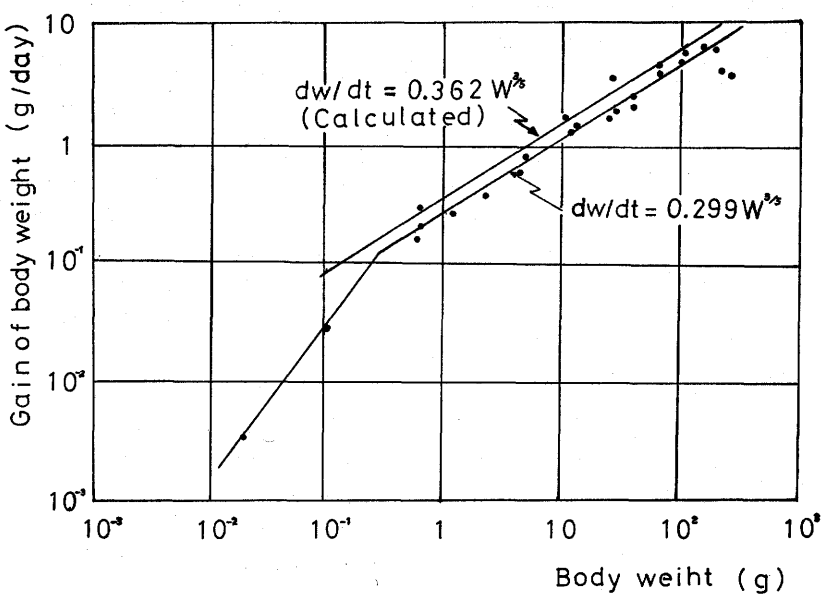

Fig. 3. Relation between gain of body weight and body weight of the fish fed with *Limnodrilus* sufficiently.

とし，積分すると

$$W=\left\{\frac{2}{5}\left(K_r\cdot K_c\cdot t+\frac{5}{2}W_0^{2/5}\right)\right\}^{5/2} \tag{6}$$

を得る。本式は，勿論，適用範囲が限定され成熟後や初期の段階では問題があるものと考えられるが，成長の記録を整理し，比較検討を簡単にするために次のように考えることにする。すなわち，魚が孵化した段階では，$W_0=0$ とみなすことができるから，(6) 式は便宜的に

$$W=\left(\frac{2}{5}K_r\cdot K_c\cdot t\right)^{5/2} \tag{7}$$

と表わすことができる。ただし，この場合には，t は飼育日数ではなく，常に孵化からの日数に相当することになる。ここで，(7) 式に実験で求めた $K_r=1.094$, $K_c=0.331$ を代入すると，コイの最大成長として，

$$W=7.93\times10^{-8}\cdot t^{5/2} \tag{8}$$

が得られる。

実際にコイの成長を整理する方法としては，次の2つの方法がある。

第1の方法は，初めの体重 (W_0) から終りの体重 (W_t) に達する時間が短く，W_0 と W_t にあまり差がない場合である。簡単に体重と日間増重量 $\{W_t-W_0)/\Delta t\}$ を両対数上に図示する方法である。ここで，Δt は飼育日数である。成長は $dW/dt=K_r\cdot K_c\cdot W^{3/5}$ の微分型として求められる。ここで，$K_r\cdot K_c$ を日間増重係数とよぶことにする。

第2の方法は成長曲線として求める方法である。この場合には，まず t を求める。いま，W_0 から出発して，Δt 日後に W_t に達したとすれば，(6) 式の t を Δt, W を W_t とすると

$$K_r\cdot K_c=\frac{2/5(W_t^{2/5}-W_0^{2/5})}{\Delta t} \tag{9}$$

となるから W_0, W_t および Δt を代入して $K_r\cdot K_c$ を求める。次に (7) 式に $K_r\cdot K_c$ をよび $W=W_0$ を代入して t を算出する。ここで両対数紙上に，t に対して W_0, $t+\Delta t$ に対して W_t を図示すれば，5/2 の勾配をもつた成長曲線が得られる。Table 3 は，この方法にしたがつて，4組の飼育結果を整理したものであ

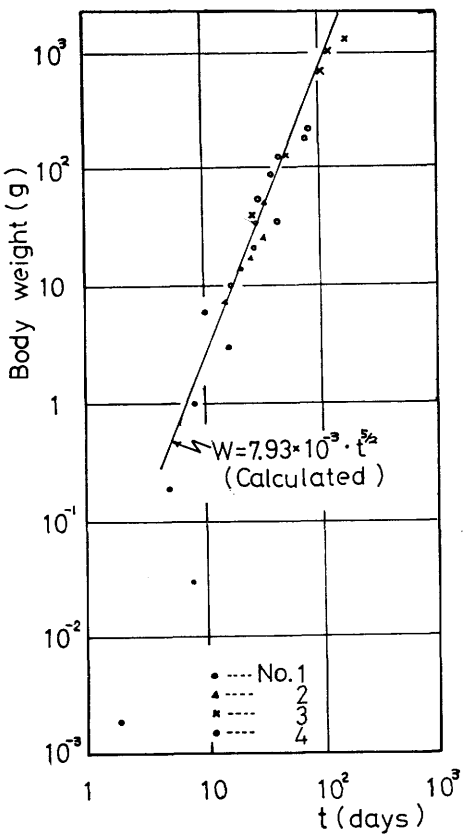

Fig. 4. Maximal growth curve with indication of observational values. Straight line is calculated value.

る。すなわち，孵化より 33 g までミジンコ *Daphnia* とイトミミズで飼育した養成ゴイ，9.5 g から 213 g までイトミミズで飼育した養成ゴイ，ユスリカ幼虫 *Tendipes*, イサザアミ *Neomysis* 等の天然餌料が豊富に存在する 200 m² の養殖池に養成ゴイ 2 尾を放養した例および狩谷によつて報告されている[6] ものである。まず，Table 3 の $(W_0+W_t)/2$ と $(W_t-W_0)\Delta t$ を図示したのが Fig. 3 である。$K_r \cdot K_c$ の値は (1) および (2) 式から $1.094\times0.331=0.362$ と推定される。日間増重量は実測値は，1 g 以上では $W^{3/5}$ に比例して増加しているが，$K_r \cdot K_c$ の値は，0.134～0.440 の範囲にあり，0.362 にくらべると平均値が 0.299 とやや低目となつている。1 g 以下についてみると推定値と実測値の間に大きな差がみとめられ，ここで採用して来た方法が 1 g 以下には適用できないことを示している。また成長曲線として示したのが Fig. 4 である。38 g から 1138 g までは比較的推定値と一致しているが，それ以上では成長は低下する。したがつて，この成長式は 1～1000 g の範囲で適用できるものと考えられる。

水温と成長の関係　水温と代謝の関係については多くの研究があるが，水温と成長の関係については，わずかに井上の報告[7] がみられるだけである。本報告は成長を摂餌量と転換効率の積というかたちでとらえて来た。したがつて，水温と成長の関係を求めるに当つても，これら 2 要因について実験的検討を行ない求めることにする。

16～30°C で 5～10 日間飼育し，増重およびその間

Table 4. The effect of temperature on the growth of carp

T (C°)	Δt (Days)	W_0 (g)	W_t (g)	Σr (g)	K_r	K_c	$K_r \cdot K_c$
16	7	3.23	5.66	10.74	0.575	0.251	0.114
18	10	7.90	13.05	21.78	0.613	0.277	0.127
20	5	6.48	10.71	15.05	0.761	0.326	0.235
22	7	7.07	12.91	37.07	1.155	0.185	0.214
24	7	4.15	9.22	29.41	1.215	0.306	0.372
25	5	17.51	27.93	42.26	1.063	0.306	0.326
26	5	13.86	22.00	42.26	0.577	0.492	0.286
28	5	5.17	8.75	19.89	1.103	0.205	0.206
30	5	6.51	11.71	24.37	1.123	0.168	0.188
30	5	8.78	19.21	48.20	1.703	0.260	0.443

T: Temperature.

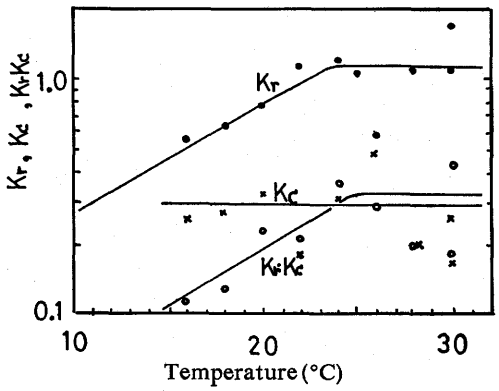

Fig. 5. The effect of temperature on growth. Values ol K_r(●), K_c(×) and $K_r \cdot K_c$(○) are plotted against temperature.

の総摂餌量(Σr) を測定し，摂餌係数(K_r) および転換効率係数(K_c) を算出した (Table 4)。ここで K_r および K_c は，次の方法で求めた。(1) および (7) 式より，

$$K_r = \frac{\Sigma r}{\left(\frac{2}{5} K_r \cdot K_c\right)^{5/3} \cdot \int_t^{t+\Delta t} t^{5/3} dt} \qquad (10)$$

が得られる。(9) 式から $K_r \cdot K_c$ が算出されるから，Σr が測定してあれば K_r が求められる。

次に K_c である。Σr を摂餌して W_0 から W_t に達した場合，Σr は転換効率の逆数，すなわち，増肉係数 ($1/C_r = W^{0.07}/K_c$)，$W = W_0$，W_t および $1/C_r = 0$ によつて囲まれた面積に相当するから，

$$\Sigma r = \frac{1}{K_c} \int_{W_0}^{W_t} W^{0.07} dW \qquad (11)$$

となり，K_c が算出される。実験結果から，K_r, K_c および $K_r \cdot K_c$ を算出し図示したのが Fig. 5 である。これによれば，摂餌は水温によつて影響をうけ，16～23°C の間では水温の上昇にともなつて急増する。両者の関係は，$K_r = K_r' \, e^{0.103T}$ で与えられる。K_r' は 0°C における見かけ上の摂餌量で実験結果から求めると，$K_r' = 0.078$ となる。水温が 24°C 以上では一定となる。これに対し，K_c の値は水温の変動とは無関係にほぼ一定の値を示すようである。したがつて，日間増重量は 16～23°C では，$e^{0.103T}$ に比例して増加するが，それ以上では一定となる。これらの結果から，水温を考慮した式は，16～23°C では $K_r = K_r' \, e^{0.103T}$ とおいて

$$W = \left(\frac{2}{5} K_r' \cdot K_c\right)^{5/2} \cdot e^{0.258T} \cdot t^{5/2} \qquad (12)$$

となり，24～30°C では，(7) 又は (8) 式で与えられる。

要　　約

コイにイトミミズを与え，日間摂餌量および増重量を測定し成長式を導いた。

1) 成長構造を摂餌量と転換効率の積としてとらえた。

2) 日間摂餌量(r) は，体重(W) の 2/3 乗に比例し，25°C では，

$$r = 1.094 W^{2/3}$$

で与えられるる。

3) 転換効率(C_r) は成長とともに低下し，25°C では，

$$C_r = 0.331 / W^{0.07}$$

で与えられる。

4) 日間増重量(dW/dt) は，

$$\frac{dW}{dt} = K_r \cdot K_c \cdot W^{3/5}$$

で与えられる。したがつて，コイの最大成長は，25°C で

$$W = \left(\frac{2}{5} K_r \cdot K_c \cdot t\right)^{5/2} = 7.93 \times 10^{-3} \cdot t^{5/2}$$

となる。

5) 水温(T) を考慮した場合には，16～23°C で

$$W=\left(\frac{2}{5}K_r'\cdot K_c\cdot t\right)^{5/2}\cdot e^{0.258T}$$

となる。

文　　献

1) L. VON BERTALANFFY: *Nature*, **163**, 156-158 (1949).
2) 吉田陽一：本誌，**36**，156-164 (1970).
3) 狩谷貞二：水産増殖，**4**，1-8 (1956).
4) 狩谷貞二：同誌，**7**，29-36 (1960).
5) 石渡直典：本誌，**35**，979-984 (1969).
6) 狩谷貞二：水産増殖，臨時増刊号，**6**，(1966).
7) 井上裕雄・田中啓陽：本誌，**32**，558～564 (1966).