魚のビタミン A の消耗と蓄積の機巧 (その 2)*

山村 弥 六 郎

(1961 年 10 月 23 日受理)

STUDIES ON THE MECHANISM OF CONSUMPTION
AND ACCUMULATION
OF VITAMIN A IN FISH (Part II)

Yarokurō YAMAMURA**

An erroneous operation in integrating $\int_{1-\lambda}^{\lambda^3} d\lambda$ of Formula 2 of the previous paper (Vol. 26 No. 5, p. 498 of this bulletin) being pointed out by GENSYŌ, Formula 3,

$\frac{A}{kl_{\infty}^3} = \left[\lambda + \frac{1}{2}\lambda^2 + \frac{1}{3}\lambda^3 \right]_{.5}^{\lambda}$ was now replaced by $\frac{A}{kl_{\infty}^3} = \ln \frac{1}{1-\lambda} - \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^3}{3}$.

While the former corresponds to a linear relation, the latter is a relation representable as a curve as shown in Fig. 1.

In this paper it is verified that the theory already presented in Formula 1 of the first paper can be well supported by the data from actual measurements as shown in Figs. 2 & 3.

Hence we have the following relation between the vitamin A contents of fishes, A , and the ratio of the body-length, λ

$$A = kl_{\infty}^3 \left[\ln \frac{1}{1-\lambda} - \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^3}{3} \right] \dots\dots\dots (3')$$

where l_{∞} means the maximum body-length of the species, $\lambda = l/l_{\infty}$, and k is a constant.

This paper deals also with the value of k of several kinds of fishes, calculated from Formula 3 and Fig. 2 and tabulated in Table 1. The values of k for a definite species (e.g. ABURAGAREI*) are independent of fishing ground, season and depth, those calculated from the formulae and Fig. 3 being presented in Table 2.

* *Athresthes evermanni* JORDAN & STARKS

本題目について本誌 26 巻 5 号 (1960)¹⁾ に発表したところ、源生氏²⁾ より 498 頁の (2) 式 $\int \frac{\lambda^n}{1-\lambda} d\lambda$ の積分を多項式に展開する仕方を著者が間違えていることを指摘せられたので、ここに訂正し、併せてその後の発展経緯について述べる。

すなわち、前論文 (3) 式に $\frac{A}{kl_{\infty}^3} = \left[\lambda + \frac{1}{2}\lambda^2 + \frac{1}{3}\lambda^3 \right]_{.5}^{\lambda}$ なる式を提出したのは誤りであることを認めたので、改めて $\frac{A}{kl_{\infty}^3} = \ln \frac{1}{1-\lambda} - \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^3}{3}$ なる関係を採用した。この関係は Fig. 1 に示すような曲線で示すことができる。

そこで今回は、最初の仮定、すなわち上記前報の (1) 式で定義される A をそのまま用いたこの度の訂正式が、肝臓内ビタミン A の含量 A 、および体長 l の実測値の間に、成り立つものかどうかを吟味した。

* 東北海区水産研究所業績 第 180 号

** 東北海区水産研究所 (Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory, Shiogama, Miyagi, Japan)

(註) 表題は「魚のビタミン A の消耗と蓄積の機巧」に統一する。前報では「機巧」が抜けている。

Fig. 1. The curve of $\int \frac{\lambda^3}{1-\lambda} d\lambda$.

で表わされ、ここで $n=3$ とすると、

$$\begin{aligned} A &= A_0 + k l_{\infty}^3 \int_{\lambda_0}^{\lambda} \frac{\lambda^3}{1-\lambda} d\lambda \\ &= A_0 + k l_{\infty}^3 \left[\ln \frac{1-\lambda_0}{1-\lambda} - (\lambda-\lambda_0) - \frac{\lambda^2-\lambda_0^2}{2} - \frac{\lambda^3-\lambda_0^3}{3} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

簡単のために $A_0 = 0$, $\lambda_0 = 0$ とすると、

$$A = k l_{\infty}^3 \left[\ln \frac{1}{1-\lambda} - \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^3}{3} \right] \quad (3')$$

となる。

いま、ビタミンAの原料魚種になつている数種の魚について (3') 式が適合するかどうかを検討する。すなわち、メヌケ、サメガレイ、ババガレイ、キチジ、マダラ、スケソウダラ、アブラザメ、アブラガレイなどの肝・内臓中の V・A 量を測定し、1尾当たりの総 A 量を mg で表わす。一方、各魚種についての最大体長 l_{∞} を推定して $\lambda = \frac{l}{l_{\infty}}$ から λ を求め、A と λ の関係をプロットすると Fig. 2 の通りとなる。

これに (3') 式から計算した理論値を表わす曲線 (Fig. 1) を、縦軸の V・A 量のスケールを適当に伸縮させながら対比させると、実測値がかなりよく理論値の曲線に沿うて分布するように思われる (Fig. 2 の点線)。もちろん、これらの点は漁場、深度、季節などを区別していないので、ごくおおまかなものであるが、だいたいにおいて (3') 式は満足され、したがって、最初の仮設 (498 頁の (1) 式) を導いた考え方に大きな誤りはないといえる。

なお、同一の魚種 (例、アブラガレイ、前報に同じ) について漁場、深度、時期などを区別した場合について検討すると Fig. 3 のごとく、かなりよい理論と実測との適合性が認められる。

Fig. 2 と (3') から k の値を計算すると、

(例、アブラガレイの場合：

$$A = k 70^3 \left[\ln \frac{1}{1-\lambda} - \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^3}{3} \right] \quad \text{において、}$$

$$A = 1000 \text{ とすれば、} \quad 1000 = k \times 343000 \times 1.0 \quad \therefore k = \frac{1000}{343000} = 0.0029$$

いま、498 頁 17 行目からもう一度反復することにして、

$$\frac{dA}{dl} = \frac{\alpha f - \frac{\gamma}{\beta} (\alpha - \alpha')}{\varepsilon} \frac{l^n}{l_{\infty} - l}$$

において、 α , α' , β , γ , f , ε を定数とみなして、

$$k = \frac{\alpha f - \frac{\gamma}{\beta} (\alpha - \alpha')}{\varepsilon}$$

とおき、また $\frac{l}{l_{\infty}} = \lambda$ において、

$$\frac{dA}{d\lambda} = k l_{\infty}^n \frac{\lambda^n}{1-\lambda}$$

とする。

ここで $\lambda=0.5$ で成熟体長に達すると明言せず、上式で表わされる関係は、ある体長 $l_0 = \lambda_0 l_{\infty}$ に達してから後の過程において成立するものとし、 λ_0 においての A の値を A_0 とすると、 $\lambda \geq \lambda_0$ においての A は

$$A = A_0 + k l_{\infty}^n \int_{\lambda_0}^{\lambda} \frac{\lambda^n}{1-\lambda} d\lambda$$

Fig. 2. The relation between total-vitamin A contents per an individual of fish and the ratio of body-length (λ) for several kinds of fishes.

In the figure ●...♀, ○...♂, △...sex unknown.

---x--- Theoretical curve

Fig. 3. The relation between total-vitamin A contents per an individual of fish and the ratio of body-length (λ) of the ABURAGAREI, *Athresthes evermanni* as caught at different fishing grounds and different depth in different seasons.

In the figure ●..... ♀, ○..... ♂

---x--- Theoretical curve

Table 1. The value of k of the vitamin A resource fishes.

Name of fishes	Value of k	Fishing ground
ABURAGAREI, <i>Athresthes evermanni</i>	0.0029	TOHOKU & HOKKAIDO
ABURAZAME, <i>Squalus suckleyi</i>	0.00275	TOHOKU
" "	0.0015	"
MENUKE, <i>Sebastes spp.</i>	0.0016	"
MADARA, <i>Gadus macrocephalus</i>	0.0014	SOYA North
" "	0.0010	" East
SUKESÖDARA, <i>Theragra chalcogramma</i>	0.0008	YOICHI
KICHIJI, <i>Sebastes macrochir</i>	0.00074	TOHOKU
SAMEGAREI, <i>Clidoderma asperrimum</i>	0.00008	"
BABAGAREI, <i>Microstomus achne</i>	0.00001	"

Table 1 のようになる。

この k の値は、その魚種のビタミン A 蓄積能率の目安となるであろう。

そこで、 k の値の高低のできる理由について考えて見るに、

$$k \equiv \frac{\alpha f - \frac{\gamma}{\beta} (\alpha - \alpha')}{\varepsilon}$$

において、 α は摂餌率、 α' は生理的最小摂餌率、 f は餌の A 濃度、 γ は A の消耗係数、 β は体重増加係数、 ε は生長速度係数で、それぞれの魚種によつて特有の値をもつことが考えられるが、このうち α と f とはその魚種固有の値というよりはむしろその魚の棲息する場所の餌についての量および A 濃度に支配されることのほうが大きからう。このことを考慮しながら、だいたいにおいて Table 1 から、魚種別にみて、アブラガレイ、メヌケ、マダラなどは V・A 蓄積能率の高い魚種で、スケソウダラ、キチジは中等度の魚種、サメガレイ、ババガレイなどは V・A 蓄積能率の低い魚種ということができよう。

このことは、アブラガレイ、アブラザメ、メヌケ、マダラなどは大型になるにしたがつて A 濃度の高い餌料（魚類・甲殻類・軟体類の大型のもの）を食し、スケソウダラ、キチジなどは甲殻類や小型魚類のような中位の A 濃度の餌料を摂り、サメガレイ、ババガレイなどはクモヒトデのような A 濃度の低い餌料を好食する³⁾ ことから首肯されよう。

同一魚種において k の値が漁場、時期、深度などによりどう変わるかは、アブラガレイの例について示す通りである (Table 2)。

Table 2. k value of the ABURAGAREI.

	Fishing ground	Season	Depth of catch	k
1	KUSHIRO	July-Aug	—	0.0029
2	"	December	400m	0.0029
3	ERIMO	May	700m	0.0029
4	TOMAKOMAI	December	400m	0.0029
5	ESAN	February	400m	0.00365
6	"	December	600~800m	0.0029
7	TOMARI	"	250m	0.0029
8	KINKAZAN	"	300~400m	0.0023
9	ESAN	"	700~950m	0.0024
10	"	Jan., Mar., Apr.	400m	0.0029
11	HACHINOHE	September	750~840m	0.0029
12	ERIMO	December	—	0.0029

これによつてみると、アブラガレイの k 値は漁場、時期、深度などによつてはあまり変わりがなく、そのモードはほぼ 0.0029 (12 例中 9 例) にある。

すなわち、その範囲 (東北海区の一部を含む北海道太平洋岸) のアブラガレイはおそらく同一の洄游系に属し、深淺移動や水平移動による混合が行なわれるためであろう。金華山 (12 月) の k 値がやや低いので北海道寄りと東北海区南部とでは洄游系が異なるかとも考えられるが、同じ漁場の恵山 (2 月) と (12 月) とでも K 値が異なることを見合わせると、現在のデータからはなんともいえない。おそらく sampling effect によるものであろう。ただし、アブラザメのような雌 ($l_{\infty}=110$ cm) と雄 ($l_{\infty}=90$ cm) で最大体長を異にするような魚種では、当然雌雄による k 値の差は有意なものであろう (Table 1)。

また、Fig. 2 と Fig. 3 を通覧して魚類のビタミン A の蓄積は、その魚種の最大体長のおおよそ半分に達したころから、目立つた増加を示すことがわかる。換言すれば、ビタミン A の増加しはじめる体長はだいたいにおいて最大体長の $1/2$ —すなわち最小成熟年令—と考えられる。

終りに臨み、本論文にご教示を賜わつた東京水産大学名誉教授田内森三郎博士、前論文中の誤まりをご指摘、かつご助言を頂いた東海区水産研究所源生一太郎所長ならびに本研究に対し終始ご鞭撻を頂いた東北海区水産研究所長木村喜之助博士に厚くお礼を申し上げる。

文 献

- 1) 山村弥六郎：魚のビタミン A の消耗と蓄積について、本誌，26，496～499 (1960)。
- 2) 源生一太郎：私信による。
- 3) 東北海区水産研究所八戸支所：東北海区の底魚 (東北水研叢書 6)，昭和 31 年。