

スルメイカの生殖腺発達についての統計学的考察*

安 達 二 朗**

Statistical Studies on the Gonad Growth of the Japanese
Common Squid, *Todarodes pacificus* STEENSTRUP

Jiro ADACHI

Abstract

In order to elucidate the gonad growth of female and male Japanese common squid, the relationship of gonad weight to body weight was studied using the data on squid caught in the southwestern area of the Japan Sea in May, June, July, November and December, 1955 and January 1956. The following results were obtained.

1. The relationships between gonad weight and body weight of the squids sampled were found to be shown by the following linear equations.

O. W = 0.021(B. W - 50.5) immature females

O. W = 0.033(B. W - 200.0) + 5.785 mature females

T. W = 0.038(B. W - 54.3) immature males

T. W = 0.021(B. W - 150.0) + 6.684 mature males

where O. W is ovary weight in g.

T. W is testis weight in g.

B. W is body weight in g.

200.0 is the minimum body weight of mature females in g.

150.0 is the minimum body weight of mature males in g.

2. From these equations it is estimated that the mean weight of squids whose gonads begin to grow are 50.5 g and 54.3 g for females and males respectively, and the mean ovary weight and testis weight of squids of 200.0 g (female) and 150.0 g (male) are 5.8 g and 6.7 g respectively.
3. It is statistically possible that the regression lines for females and males in immaturity and maturity are crossing at the maturing body weight of 200.0 g for females and of 150.0 g for males.
4. It is estimated that the age of sexual maturation for males is earlier than that for females by about a month.

スルメイカの体成長と生殖腺の発達の特徴として、雌雄による成長差が認められ全般に雌が大型であること、雄性先熟であること（浜部, 1965; 新谷, 1967; 名角, 1967; 通山ほか, 1972）があげられる。しかしながら、これらはすべて観察結果によるものである。また成熟に関しては、雄の成熟に達する時期が雌に比較してどの程度

早いのか具体性に乏しく、またその原因についてもまったく触れられていない。ここでは未熟および成熟個体の体重と生殖腺重量との関係から、雌雄の体成長に伴う生殖腺の発達の相違について検討したので報告する。

1. 資料と方法

この報告に用いた基本資料は浜部（1958）によった。これは1953年から1957年にわたり、隠岐島浦郷周辺において、主としてイカ定置、ブリ定置に入網したスルメ

* 1981年11月24日受理

** 島根県水産試験場 (Shimane Prefectural Fisheries Experimental Station, Hamada, Shimane 697, Japan)

イカを測定した記録である。隠岐島では周年にわたり、未熟および成熟スルメイカが同時に出現するが、ここでは冬生まれ群を検討の対象とした。すなわち、解析に使用したデータは、1955年5~7月に採集された未熟個体82尾、11~12月および1956年1月に採集された成熟個体(産卵群)182尾の体重(胃内容物除去)と生殖腺の測定値である。また、この測定記録は熟度について、雌は未熟、成熟、完熟の3段階、雄は未熟、成熟の2段階に区分して記載してある。冬生まれ群の雌雄別外套長の成長式および体重と外套長との関係式については、通山ほか(1972)を引用した。

体重(B. W)と生殖腺重量(G. W)の関係については、魚体がある大きさに達してから生殖腺の発達が始まり、それ以後、ほぼ体重に比例して生殖腺重量が増加すると仮定して、雌雄とも、

$$\text{未熟について } G. W = a(B. W - B. W_0)$$

a, B. W₀……定数

$$\text{成熟について } G. W - b = a'(B. W - B. W_m)$$

$$G. W = a'(B. W - B. W_m) + b$$

a', B. W_m, b……定数

(体重 B. W_m(g)で初めて成熟に達し、その時の生殖腺重量が b(g)である)

という直線式で表わし、その有意性を検定した。成熟個体については、雌雄別に生殖腺重量の算術平均、標準偏差、母平均の信頼区間を計算した。また雄性先熟の有無を検討するため、各月齢における体重の成長率とその最大成長時期を通山ほか(1972)の成長式にもとづき、次の(1)、(2)式から計算した。

$$W_t = W_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)})^n$$

$$dW/dt = W_\infty \cdot K \cdot n \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)})^{n-1} \cdot e^{-k(t-t_0)}$$

……(1)

$$d^2W/dt^2 = W_\infty \cdot K^2 \cdot n \cdot e^{-k(t-t_0)} \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)})^{n-2} \cdot (ne^{-k(t-t_0)} - 1)$$

$$t_{max} = t_0 - 1/K \ln 1/n$$

……(2)

dW/dt は時間 t における体重の増加率を示し、それが最大になる時間 t_{max} は $d^2W/dt^2 = 0$ として、 t について解いたものである。ここで、 $n > 1$ の時(2)式が成立する。

2. 結果と考察

2-1. 未熟期における体重と生殖腺重量の関係

雌雄の未熟期における体重(B. W)と生殖腺重量(O. W

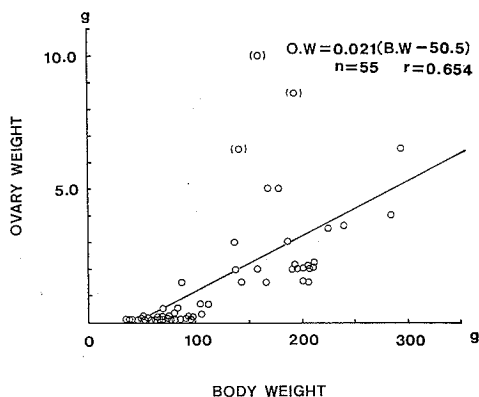


Fig. 1. Relation of ovary weight to body weight in immature females.

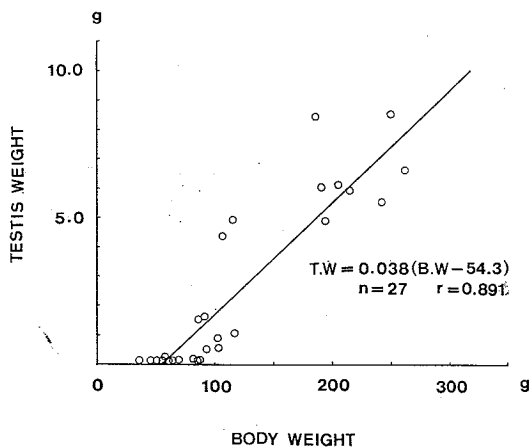


Fig. 2. Relation of testis weight to body weight in immature males.

および T. W) の関係をそれぞれ Figs. 1, 2 に示した。体重が増加するにしたがって生殖腺重量も増加するという関係がうかがわれる。雌雄とも生殖腺重量のばらつきは大きい、最小自乗法によって、それぞれ次のような回帰式を求めた。(ただし、単位は g である。)

$$O. W = 0.021 (B. W - 50.5)$$

$$T. W = 0.038 (B. W - 54.3)$$

また、これらの回帰式が有意であるかどうかを検定したものが Tables 1, 2 の分散分析表である。

体重に対する卵巣重量の回帰については、分散比が 39.554、体重に対する精巣重量の回帰では 96.230 ともにきわめて有意である。すなわち、スルメイカの未熟期における雌雄において、体重と生殖腺重量の関係を

スルメイカの生殖腺発達についての統計学的考察

Table 1 Analysis of variance table of the regression of ovary weight on body weight.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F value
Regression	1	117.635	117.635	39.554**
Residuals	53	157.601	2.974	
Total	54	275.236		

** Significant at the level of 1%

Table 2 Analysis of variance table of the regression of testis weight on body weight.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F value
Regression	1	187.072	187.072	96.230**
Residuals	25	48.591	1.944	
Total	26	235.663		

** Significant at the level of 1%

G. W = a(B. W - B. W₀) という一回帰式で表わすことに意味があると判断される。この回帰式の定数 B. W₀ は回帰直線と横軸との交点で、B. W = B. W₀ の時、G. W = 0 となり、B. W > B. W₀ の時、回帰式は成立する。また定数 B. W₀ の生物学的意味は生殖腺の発達が始まる時の平均体重である。したがって、体重に対する生殖腺重量の回帰式における定数 50.5 は卵巣の発達が始まる時の体重で、一般にはほぼ 50.5 g を中心としたあたりから卵巣の発達が始まると考えられる。同様に体重に対する精巣重量の回帰式における定数 54.3 は精巣の発達が始まる時の平均体重を示し、一般には 54.3 g を中心としたあたりから精巣の発達が始まると考えることができる。

次に回帰係数をみると、雌が 0.021、雄は 0.038 で見かけ上、雄の回帰係数が大きい。この回帰係数は生殖腺重量の体重に占める割合を示すが、雌雄の回帰係数に有意の差があるのかどうかを t 検定すると

$$t(a) = 19.335^{**} > t(78, 0.01) = 2.658$$

となり、きわめて有意な差が認められる。すなわち雄の回帰係数は雌のそれよりも大きいと判断される。もし、スルメイカが同じ体重で、かつ、同じ生殖腺重量で成熟に達するものならば、雌よりも雄の成熟の早いことを示すことになる。しかしスルメイカでは成熟する時の体重も生殖腺重量も雌雄同じであるとは限らないし、また、そのような知見も得られていないので、これが必ずしも

雄性先熟の説明とはならないであろう。また雄性先熟という現象は、生涯において雌よりも早い時期に、体の大部分の成長を終えることを意味していると考えられるので、回帰係数の差が雄性先熟を立証しているとは考えられない。

2-2. 成熟期における体重と生殖腺重量の関係

Figs. 3, 4 に成熟期における雌雄の体重と生殖腺重量の関係を示した。未熟期と同じく、体重の増加にしたがって、生殖腺重量も増加する傾向がみられる。生殖腺重量のばらつきは未熟期よりも小さいが、卵巣重量のばらつきが大きいことが特徴的である。これは未熟期の雌雄と同様に、生殖腺発達の個体差が現われているものと推察され、具体的には後述する卵巣重量組成 (Fig. 5) によって示される。

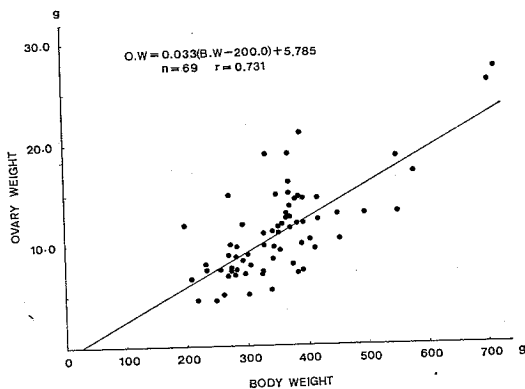


Fig. 3. Relation of ovary weight to body weight in mature females.

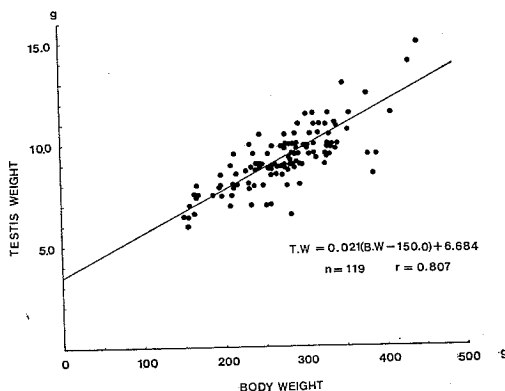


Fig. 4. Relation of testis weight to body weight in mature males.

仮定にしたがって、雌雄における回帰式を計算し次式を得た。この場合、成熟に達した時の体重（生物学的最小形）を表わす定数 $B \cdot W_m$ の値としては Figs. 3, 4 における雌雄の体重最小値 200.0(g), 150.0(g)を用いた。

$$O. W = 0.033 (B \cdot W - 200.0) + 5.785$$

$$T. W = 0.021 (B \cdot W - 150.0) + 6.684$$

これらの回帰の有意性を検定したのが Tables 3, 4 の分散分析表である。検定結果はともにきわめて有意で、体重と生殖腺重量の関係を前述の

$$G. W = a'(B \cdot W - B \cdot W_m) + b$$

という一次式で示すことに意味があると判断される。ここで回帰定数 b は性成熟時の平均生殖腺重量であり、当てはめられた回帰式から推定できる。したがって、この研究に用いた標本においては、最も成長の早いもので雌は体重 200 g で成熟し、その時の平均卵巣重量は 5.785 g, 雄は体重 150 g で成熟に達し、その時の平均精巣重量は 6.684 g と推定された。名角 (1967) は日本海スルメイカの測定記録から雌雄の成熟の目安として卵巣重量が 5~6 g, 精巣重量は 6~7 g と報告しているのでこれらの推定値は成熟を示す生殖腺重量値として、ほぼ妥当なものと考えられる。

次に回帰係数をみると、雌が 0.033, 雄が 0.021 で見かけ上雌の回帰係数が大きくなっている。この差を検定すると、

Table 3 Analysis of variance table of the regression of ovary weight on body weight.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F value
Regression	1	782.552	782.552	76.676**
Residuals	67	638.779	10.206	
Total	68	1,466.351		

** Significant at the level of 1%

Table 4 Analysis of variance table of the regression of testis weight on body weight.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F value
Regression	1	183.325	183.325	218.504**
Residuals	117	98.137	0.839	
Total	118	281.462		

** Significant at the level of 1%

$$t(a') = 30.657^{**} > t(184, 0.01) = 2.61$$

となり、きわめて有意な差が認められる。すなわち成熟期では、未熟期とは逆に雌の回帰係数が大きいと結論づけられる。これは成熟に達してからは、体重の増加に対して、精巣よりも卵巣の増重の割合が大きいことを示しており、雌は産卵可能な完熟期に達するまで、体の成長よりも卵巣の発達にエネルギーを注ぐことを示唆している。一方、雄は交接可能な成熟状態に達してから死亡するまでの間、その発達は卵巣よりもゆるやかなことを示しているが、これはエネルギーを精巣の発達ばかりでなく、交接行動にも注ぐためと推察される。しかし、交接活動の最も旺盛になる時期は清水・浜部 (1970) の測定結果から判断して、精巣がある一定の重量以上に達してからであろう。

次に雌雄における未熟期と成熟期の回帰係数に差があるかどうかを t 検定すると、

$$t(\ominus) = 35.864^{**} > t(142, 0.01) = 2.615$$

$$t(\oplus) = 15.698^{**} > t(120, 0.01) = 2.617$$

となり、ともにきわめて有意な差が認められる。すなわち、雌の未熟期の回帰係数の値は成熟期のそれよりも小さく、雄はその逆であると判断される。

次に雌雄の未熟期、成熟期における2つの回帰直線が体重 $B \cdot W_m$ の時、交わる可能性があるかどうかを統計的に予測したのが Table 5 である。回帰分析では、 $B \cdot W$ はデータで得られた値に固定し、 $G \cdot W$ の分布だけを考えるので、未熟期と成熟期の回帰式において、 $B \cdot W = B \cdot W_m$ とした時の $G \cdot W$ の信頼区間が重なるならば、2つの回帰直線は体重 $B \cdot W_m$ で交わる可能性があるといえる。Table 5 によると、雌雄いずれも信頼区間が重なっているため、雌雄のいずれについても未熟期と成熟期の回帰直線は体重 $B \cdot W_m$ で交わる可能性が

Table 5 Calculated gonad weight and its confidence interval at sexual maturity.

	Body weight at sexual maturity (g)	Equations used	Calculated gonad weight (g)	Confidence interval (g)
Female	200.0	for immature	3.140	6.075~0.205
	200.0	for mature	5.785	11.158~0.412
Male	150.0	for immature	3.638	5.538~1.736
	150.0	for mature	6.684	8.145~5.223

あると判断される。このことは、実際には体重 B, W_m を境として、未熟期、成熟期の回帰直線の傾きが変わる可能性のあることを示していると考えられる。

2-3. 成熟生殖腺の重量組成

Figs. 5, 6 にそれぞれ成熟期の卵巣重量と精巣重量の度数分布を示した。各図の中に、算術平均、母平均の信頼区間、標準偏差を示してあるが、卵巣重量の分布は範囲が広く、ばらつきの大きいことが特徴である。これは卵巣の発達における個体差が現われているものと推察され、未熟期から共通している現象である。精巣重量の分布は卵巣重量よりもばらつきが小さく、分布の型も単峰型である。しかし、両分布とも右に尾をひく分布型で、大まかにみれば共通している。

これらの分布を代表する数値として、一般には算術平均、中央値、モード、幾何平均、調和平均がよく用いられる。しかし、平均はなるべく容易に計算され、それ自

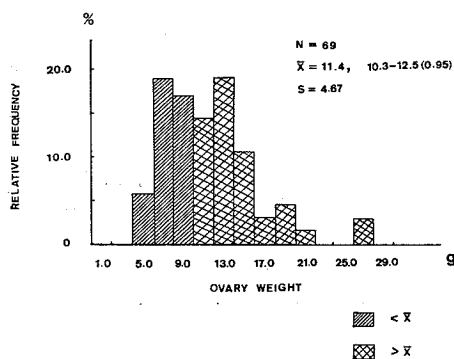


Fig. 5. Frequency distribution of ovary weight in maturity.

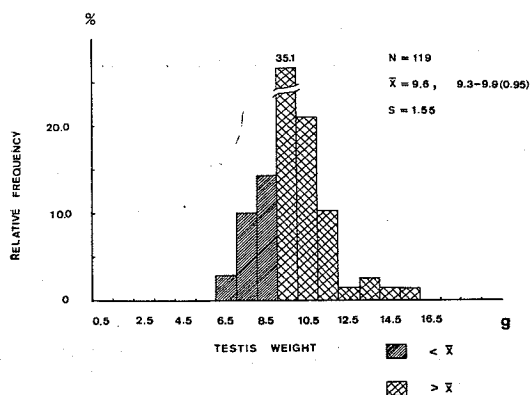


Fig. 6. Frequency distribution of testis weight in maturity.

身もまた簡単に取扱われるものが望まれるので、この場合は算術平均を分布の代表値として用いた。この分布の代表値は統計的な意味と同時に、卵巣重量の分布の場合は生物学的な意味を持っていると考えられる。すなわち成熟状態の記載 (浜部, 1958) によると、算術平均 (\bar{x}) 以上のものに、完熟と表示されたものが多く、 \bar{x} 以下のものは単に成熟と表示されており、 \bar{x} は完熟の目安となる。精巣については完熟という表現がなく、成熟とだけ記載されているため、説明ができないが、先述したように、精巣がある一定重量以上に達してから、雄の交接行動がより活発になると仮定するならば、 \bar{x} 以上の重量を雄と同様に、完熟とみなしてもさしつかえなからう。このような意味から \bar{x} を成熟代表値と仮称し、以後の検討に用いた。

この項までの検討結果から、スルメイカの生涯を通しての生殖腺の発達の要素、すなわち、生殖腺の発達開始および成熟時の体重、また完熟時の生殖腺重量が推定された。したがって、これらを雌雄の体重成長曲線に対応させるならば、体重の成長に伴う生殖腺の発達の相違を検討することが可能である。

2-4. 体重の成長に伴う生殖腺の発達

スルメイカ雌雄の外殻長の成長式および外殻長と体重の関係式 (通山ほか, 1972) から各月齢の外殻長に対する体重を、また体重と生殖腺重量との回帰式から生殖腺重量を推定し、それぞれを Figs. 7, 8 に図示した。た

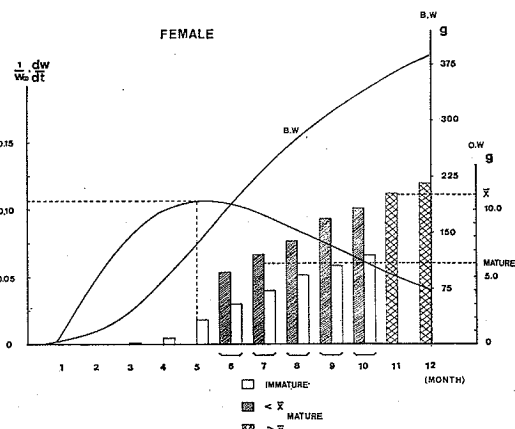


Fig. 7. Growth curve of body weight, growth rate and growth in ovary.

Growth curve is given as,

$$W_t = 469.2(1 - e^{-0.2379(t-0.5506)})^{2.8675}$$

converted from TOHRIYAMA *et al.* (1972).

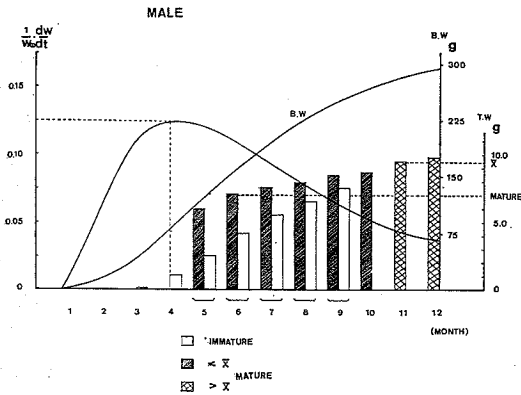


Fig. 8. Growth curve of body weight, growth rate and growth in testis.

Growth curve is given as,

$$W_t = 334.4(1 - e^{-0.2786(t - 0.6878)})^{2.7651}$$

converted from TOHRIYAMA *et al.* (1972).

だし通山ほか (1972) の式は南西海域のスルメイカについて推定されたものなので、日本海のスルメイカとは各式のパラメータ K , t_0 , n が異なると考えられる。しかし成長のパターンは両海域とも同じであると仮定して検討した。この図において、生殖腺重量を示す柱状グラフのうち、白地のは未熟期の回帰式から、それ以外は成熟期の回帰式から計算したものである。また $1/W_{\infty} \cdot dW/dt$ は (1) 式から計算した各月齢における体重の相対成長率を示し、体重の成長に対して、成長率がどのように変化するかをみたものである。

Fig. 7 から卵巣の発達を推定すると、卵巣の発達開始は発生後3ヶ月、成熟期に達するのが7ヶ月、成熟代表値(\bar{x})に達するのが11ヶ月である。体重の最大成長時期は5ヶ月にあり、その2ヶ月後に成熟し、成熟に達した後、4ヶ月間で成熟代表値に達する。また Fig. 8 から精巣は発生後3ヶ月で発達を開始し、6ヶ月で成熟、11ヶ月で成熟代表値に達する。体重の最大成長時期は4ヶ月にあり、その2ヶ月後に成熟し、成熟後5ヶ月間で成熟代表値に達することが推定される。

これらの推定のうち、雌雄に共通していることは、生殖腺の発達開始時期と成熟代表値に達する時期が同じであること、体重の最大成長時期の2ヶ月後に成熟に達することである。一方、雌雄によって異なっていることは、成熟時期と体重の最大成長時期が、いずれも雄が1ヶ月早いこと、また生殖腺の発達開始から成熟に達するまでの時間は、雄が1ヶ月間短く、成熟した後、成熟代表値に達するまでの時間は、逆に雌が1ヶ月間短いこと

である。この雌雄の時間の長短は体重に対する生殖腺重量の直線回帰における傾斜の差で説明される。すなわち、未熟期の卵巣の発達速度は成熟期よりも遅く、逆に未熟期の精巣の発達速度は成熟期よりも早いことを示していると考えられ、雌の場合は成熟した後、完全に達するまでの時間が早くなり、雄の場合は生殖腺の発達が始まった後、成熟に達するまでの時間が相対的に早くなることを示しているものと考えられる。

以上のことから雄の成熟が雌に比較して1ヶ月早いことが推定された。これは、ILES (1974) が North Sea の herring について、成熟期に先だって体成長率の最大になる時期があると述べていることから考えて、スルメイカの体重の最大成長時期が、雄の方が雌よりも1ヶ月早いことと関係しているのかもしれない。いずれにしても、スルメイカ雌雄の持つ独特の生殖腺発達パターンと生活史を示すものと考えられる。

3. 要 約

スルメイカの体重と生殖腺重量の関係から雌雄の生殖腺の発達について検討した。得られた結果は次のように要約される。

1) 体重(B. W)と生殖腺重量(O. W, T. W)の関係は直線回帰し、その関係式は使用した標本において

雌は 未熟期について

$$O. W = 0.021 (B. W - 50.5)$$

成熟期について

$$O. W = 0.033 (B. W - 200.0) + 5.785$$

雄は 未熟期について

$$T. W = 0.038 (B. W - 54.3)$$

成熟期について

$$T. W = 0.021 (B. W - 150.0) + 6.684$$

と表わされた。

2) これらの回帰式から生殖腺の発達開始平均体重は、雌が 50.5 g, 雄は 54.3 g と推定された。生物学的最小形は雌が 200 g, 雄は 150 g で、その時の平均生殖腺重量は卵巣が 5.785 g, 精巣は 6.684 g と推定された。

3) 雌雄の未熟期と成熟期の回帰直線は、体重がそれぞれ 200.0 g および 150.0 g で交わる可能性のあることが推定された。

4) 雄の成熟時期は雌よりも、ほぼ1ヶ月早いことが推定された。

スルメイカの生殖腺発達についての統計学的考察

終りに本報告を御校閲下さった、北海道大学教授鈴木恒由博士、この研究に終始御指導いただいた島根県水産試験場長児島俊平博士、同海洋資源科長山崎繁氏、また資料の整理に御協力いただいた谷野一江氏に心から感謝する。

文 献

- 新谷久男 (1967) スルメイカの資源。日本水産資源保護協会, 1-57.
- 浜部基次 (1958) 隠岐島におけるスルメイカの計測調査。島根県水産試験場事業報告。昭和29~31年度, 183-235.
- 浜部基次 (1965) 日本海産スルメイカの発生と生態に関する研究 (京都大学学位請求論文)。

ILES, T.D. (1974) The tactics and strategy of growth in fishes. *in* Sea Fisheries Research (ed. Harden JONES, F.R.), Elek Science, London, 331-345.

名角辰郎 (1967) スルメイカの南下機構に関する共同調査報告。日本海沖合と兵庫県沿岸の秋スルメイカについての 2, 3 の考察。島根県ほ5か水試, 72-95.

清水虎雄, 浜部基次 (1970) 日本海産スルメイカの生物精密測定資料集-II, 東水研研究資料集, 6, 1-429.

通山正弘, 花岡藤雄, 工藤晋二, 浅見忠彦, 浜部基次 (1972) スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究。南西海域におけるスルメイカの系統群, 農林水産技術会議事務局, 154-167.