オホーツク海のズワイガニ漁獲物の 令期組成について

菅 野 泰 次

(1974 年 12 月 23 日受理)

On the Method of Estimation of Age Composition of Male Tanner Crabs in the Okhotsk Sea

Yasuji KANNO*

To examine the method of estimation of age composition of the tanner crab, *Chionoecetes opilio*, the frequency distribution of the carapace width was analyzed, basing on an assumption that the variation of the carapace of a single moulting age is subject to a normal distribution.

In samples collected in the south Saghalien area in 1971, the frequency distribution of the carapace width ranged from 80 mm to 140 mm or more these were divided into 5 basic size groups to represent successive moulting ages, the mean for each group being 85 mm, 98 mm, 112 mm, 124 mm and 134 mm and the standard deviations of 3.3~5.6 mm.

Application of the 5 normal distributions described as the formula $F(x) = \sum a_i \phi_i(x)$ to the commercial catch caught in east Saghalien area in 1970 showed high conformity between observed and calculated frequencies.

From the above results, it seems that a method for the estimation of age composition is available for practical use, when adequate estimates of growth in relation to moulting age can be obtained with accuracy in the future by experimental studies.

Growth of the carapace width regarding moulting ages fits the logistic equation,
 $L_t = 152 / (1 + e^{2.81 - 0.009t})$.

オホーツク海のズワイガニ漁業は、既に過去の漁業となつたタラバガニ漁業がほぼ潰滅した 1950 年代に始められたものである。この海域のズワイガニに関する資源生物学的な知見は土門等,¹⁻³⁾ 高橋,⁴⁾ 菅野⁵⁾ によつて若干報告されてはいるが、年令組成の解析は、ズワイガニが年令形質をもたないためにまだ手がつけられていない。

伊藤⁶⁾, 今,⁷⁾ 小林,⁸⁾ SHINODA⁹⁾ は山陰地方のズワイガニの令期を研究し、体長組成に表われるモードの位置からそれぞれの令期と体長との関係を求めたが、高令群では体長の重複する部分が大きいため分離が困難で、必ずしも報告結果が一致していない。またオホーツク海の漁獲物の甲幅組成を描いても、その分布型は年度や漁獲地点によつて矩形的分布、多峰型あるいは左右に歪んだ単峰分布を示すなど一定せず、単純に令期を決定し難いところがある。

分布型がこのような不規則かつ多様な型を示すのは、これらが要素となるいくつかの基礎的分布から構成され、種々の割合で合成されているためであると考えられる。本報告はこの考えに基づき、甲幅 80 mm 以上のズワイガニ漁獲物の甲幅組成に 5 つの正規分布を仮定し、これらから合成される分布が一般の漁獲物の分布と適合するかどうかを調べ、年令組成解析への手がかりを得ようとした。

* 北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station, Abashiri, Japan)

本文に入るに先立ち、甲幅長の測定資料の使用を許された網走水産試験場黒島和夫氏、および原稿の校閲を賜った浜井生三博士に対して深く感謝申し上げる。

方 法

いま単一年令群の体長分布が正規分布をするものと仮定して、いくつかの年令群が混合する場合を考える。それらは混合の比率と個体変異の大きさによつて、さまざまな割合で重なり合うから、そのヒストグラムは結果の Fig. 2 に見るような波状曲線を形づくるであろう。この正規型体長群の混合組成の累積百分率を正規確率紙に描くと、組成により特異な曲線を形づくるから HARDING,¹⁰⁾ CASSIE¹¹⁾ の方法に従つて適切に分割することにより、もとの要素となる正規分布を分離することが出来る。この時の正規分布のパラメーターである平均値 μ と標準偏差 σ は正規確率紙上の直線を読むことにより求められる。このようにして、それぞれの正規分布の平均値と標準偏差が知られると、混合組成におけるある体長階級 (x) の度数は下式 (1) により決定されるから、逆に観察される実度数 $F(x)$ を知ることで、要素となる正規分布の大きさ a_i を算出することが出来る。

$$F(x) = \sum a_i \phi_i(x) \quad (1)^{12)}$$

ここで $F(x)$ は体長階級 (x) に含まれる度数、 a_i は i 年令群の個体数、 $\phi_i(x)$ は i 年令群の個体の体長階級 (x) における確率密度関数である。

確率紙を用いて求められた体長組成と (1) 式から計算された体長組成は、ともに理論度数と観察実度数を χ^2 -法により検定して、想定された理論の適合の良さを調べることが出来る。

材 料

用いた材料は 1971 年 5~9 月に、樺太中知床岬沖の水深約 200 m のズワイガニ漁場で漁獲され、筆者によつて測定された資料と、この解析結果を応用した第 2 の資料からなる。第 2 の資料は 1970 年 4~9 月に樺太東岸の北緯 45~51 度の大陸棚上で漁獲されたもので、解析は緯度別に分離して取り扱われている。また扱われた材料はすべて雄ガニで漁具は籠網である。漁獲物からの標本抽出は無作為抽出を原則としたが、第 2 の資料の中には大小の型別に分けられた後の標本も若干含まれている。

結 果

要素となる 5 つの正規体長群の分離 1971 年に測定した 7 個のサンプルの甲幅頻度分布を Fig. 1 に示す。サンプルによつて分布図に表われるモードの位置はそれぞれ異なるが、近接するものを統合すると、全体をつらぬくモードの位置はおおよそ 85~87 mm, 95~100 mm, 110~113 mm, 123~124 mm, 130~137 mm の 5 つと見ることが出来る。

上述の 7 個のサンプルを合計した甲幅頻度分布を Fig. 2 に示す。測定誤差および読みとりのくせによる偏りを除くために、3 点移動平均を用いてある。1070 個体の分布からは多峰型、それも 4 峰を見ることが出来る。この分布の累積度数を求め、そのパーセンテージを正規確率紙に描くと Fig. 3 の曲線となる。これを CASSIE の方法に従つて屈曲点を境に 5 つの部分に分け、それぞれの部分に正規分布を仮定すると、平行する 5 本の直線に分離される (Fig. 3)。それぞれの直線の平均値と標準偏差を図から読みとると

Fig. 1. Frequency distribution of carapace width of 7 samples of tanner crab caught by crab trap fishing boats on south Saghalien area in 1971.

Fig. 2. Comparison of total frequency distribution (above) in which 7 samples shown in Fig. 1 were combined together, with theoretical frequency distribution by using normal probability graph method (below).

Fig. 3. Cumulative percentage frequency distribution in carapace width of 1070 tanner crabs caught on south Saghalien area in 1971.

Table 1. Estimated means and standard deviations of 5 length groups extracted from normal probability graph

Length group (a_i)	Mean (mm)	Standard deviation (mm) (σ)
1	85	3.3
2	98	4.8
3	112	5.6
4	124	4.7
5	134	4.3

Table 1 となる。すなわち平均値は 85, 98, 112, 124, 134 mm にあり、標準偏差は 3.3~5.6 mm の間にある。85 mm に平均値をもつ第 1 群の σ の値が他に較べて小さいが、これは 80 mm 以下の個体を計算から除外したためと、小さい個体ほど漁獲時に選択的に投棄される率が高いことによる。確率紙によつて分けられたそれぞれの体長群の大きさから、5 つの正規分布の度数を求め、それを合成して χ^2 -検定により観察度数との適合度を調べると、 $\chi^2=28.59$ [d. f. = 39, ($P > 0.75$)] となり、良い適合を示すことが認められた。

要素となる正規分布の一般漁獲物甲幅組成への応用 1970 年の漁獲物から抽出された 2,404 個体の甲幅頻度分布を漁場別 (緯度別) に描くと Fig. 4 となる (この場合にも 3 点移動平均をとつた)。相隣る体長群のオーバーラップの程度が大きく、しかも中位の度数が高いために、それぞれの分布は単峰を形成し、いくつかの体長群から構成されているかを着取することは難しい。この各甲幅に占める度数は、前述した 5 つの体長群が正規型確率密度関数 $\phi(x)$ に従う分布をすると仮定し、それぞれの甲幅に対する 5 体長群の $\phi(x)$ と、

各体長群の実度数 $F(x)$ とから、5つの要素体長群のそれぞれの個体数 (a_i) を次の連立方程式を解くこと
 によつて求めた (Table 2)。

$$\phi_{11}a_1 + \phi_{21}a_2 + \phi_{31}a_3 + \phi_{41}a_4 + \phi_{51}a_5 - F_1 = 0$$

$$\phi_{12}a_1 + \phi_{22}a_2 + \phi_{32}a_3 + \phi_{42}a_4 + \phi_{52}a_5 - F_2 = 0$$

$$\phi_{13}a_1 + \phi_{23}a_2 + \phi_{33}a_3 + \phi_{43}a_4 + \phi_{53}a_5 - F_3 = 0$$

$$\phi_{14}a_1 + \phi_{24}a_2 + \phi_{34}a_3 + \phi_{44}a_4 + \phi_{54}a_5 - F_4 = 0$$

$$\phi_{15}a_1 + \phi_{25}a_2 + \phi_{35}a_3 + \phi_{45}a_4 + \phi_{55}a_5 - F_5 = 0$$

計算は密度関数 ϕ_{ij} を要素とする5次の行列式を解いて求めた。この時の σ の値はすべて 5 mm とし、
 甲幅範囲は計算の簡単のために 80~92 mm, 93~105 mm, 106~118 mm, 119~129 mm, 130 mm 以上の
 5区分とした (Table 3)。

Fig. 4. Frequency distribution of carapace width in the tanner crab caught by commercial fishing on east Saghalien area, divided into 3 latitudinal ranges, in 1970.

Table 2. Individual numbers $F(x)$ observed in 5 carapace width intervals, in which 1971 year's sample caught in south Saghalien is used for analysis of probability graph method and 1970 year's samples caught in east Saghalien are applied to the formula $F(x) = \sum a_i \phi_i(x)$

Sample/ $F(x)$	80~92	93~105	106~118	119~129	130~	Total
1971	102	280	361	261	66	1070
1970 { 45°~46°N	22	188	479	372	134	1195
49°~50°N	7	105	453	253	56	874
50°~51°N	2	51	174	90	18	335

求められた体長群の個体数 a_i から計算甲幅度数を求め、観察甲幅度数との適合度の検定結果を Table 4 に示した。結果はすべてのサンプルに良い適合を示すとはいえないことを示している。ここで計算甲幅度数を図示し、観察度数との偏差を甲幅ごとに検討して、 σ の値を 6 mm に修正して計算すると、ほぼ満足すべき結果の得られることが分つた (Table 5~6)。 σ の値の修正が、仮定されたパラメーターの実際値との隔たりを意味するものか、単なる測定 of 精度を、あるいは体長群の年度的・地域の変異を示すものかを今明らかにすることは出来ないが、適切な値の推定によつて、高い適合度を得ることができれば、後に論議される精度の範囲内で、令期組成を推定する実用性を示唆していると考えられよう。

Table 3. Numerical composition of 5 length groups calculated by using the formula $F(x) = \sum a_i \phi_i(x)$

Sample/ a_i	1	2	3	4	5	Total
1971	59	315	379	314	3	1070
1970 { 45°~46°N	0	171	542	429	62	1204
49°~50°N	0	51	565	254	6	876
50°~51°N	0	35	217	87	0	339

Table 4. χ^2 test of goodness of fit between observed frequency distribution and calculated one by using the formula $F(x) = \sum a_i \phi_i(x)$, assuming 5 mm standard deviation for 5 means of each group

Sample	χ^2	d. f	p
1971	45.68	37	>0.10
1970 { 45°~46°N	38.82	35	>0.25
49°~50°N	29.19	24	>0.20
50°~51°N	11.25	20	>0.90

考 察

1 年令群の体長組成を正規分布と見做して年令群を分離した研究はいくつかある。岡¹³⁾はキダイについて 1 年令群の体長分布が正規分布を描くことの理論的な根拠を述べ、また田中^{14,15)} 青山¹⁶⁾ 木下¹⁷⁾ 須田¹⁸⁾ 浜井・石戸¹⁹⁾ は体長組成に正規分布を仮定して年令群を分離し、その有効性を論議した。筆者の研究では Fig. 2 に示したサンプルにおいて 5 つの甲幅群が分離され、理論度数と観察度数との良い適合が得られた。ここで分離された甲幅群が真の令期群を示すかどうかについて疑点が残るので分離された各々の甲幅群の体長差の原因を考えれば、それは脱皮回数の違いに基づく成長差を示すか、あるいは同じ脱皮回数でも成長度に違いがあることに帰着する。後者はさらに、生理的に異つた成長度を示す異質な群の混合と、棲息環境を異にするための成長度の違いに分離できようが、隣り合う体長群のモードの間隔が 10~15 mm、つまり同令期の変異と見るには大きすぎることに併せ、この間隔が 5 つの体長群を通じてほぼ一定であることを考えるならば、後者つまり成長度の違いを原因と見ることは無理があり、令期の違いに基づく体長差と考えてよいと思われる。

この値を他の研究によつて推測された値と較べるために、データを HIATT の定差図にのせ、式を計算すると $I_{n+1} = 0.916 I_n + 21.007$ となる。この式の I_n の係数の値は相隣る令期における体長の増加分の比 ($\Delta I_{n+1} / \Delta I_n$) を示す。この値は伊藤⁹⁾ および今ら⁷⁾ によつて計算された値 (伊藤: 0.848, 今ら: 0.67) よりもやや大きく、高令のカニの脱皮成長が筆者の得た結果の方が高いことを示している。けれどもここに用いられた値は三者ともに、体長組成のモードの位置からの推定値によつているので、実成長度との誤差については標識放流試験あるいは飼育試験による実験的なデータによつて確認する必要がある。

Table 5. Comparison of observed frequencies with theoretical ones calculated by the formula $F(x) = \sum a_i \phi_i(x)$, when the fixed 5 means and 6 mm standard deviations were given. Samples were caught in east Saghalien in 1970

Carapace width	45° ~ 46°N		49° ~ 50°N		50° ~ 51°N	
	observed	calculated	observed	calculated	observed	calculated
82						
3	0	0				
4	0	0				
5	1	1				
6	2	2	0	1		
7	3	2	0	1		
8	3	2	1	1	0	1
9	3	4	1	2	0	1
90	3	5	1	2	0	1
1	3	5	1	2	1	1
2	4	7	3	3	1	2
3	4	8	3	3	1	2
4	8	9	3	4	1	2
5	7	11	2	5	2	3
6	10	12	3	6	3	3
7	10	12	3	6	4	3
8	12	14	3	7	2	4
9	12	15	4	8	3	4
100	13	15	7	9	2	4
1	17	17	9	11	5	5
2	19	17	10	11	5	5
3	24	19	16	14	7	6
4	24	21	20	16	7	7
5	27	22	22	18	9	7
6	27	25	22	22	12	9
7	32	28	28	25	11	10
8	30	29	32	27	12	11
9	32	33	34	32	13	12
110	32	36	31	34	13	13
1	38	36	32	34	15	13
2	35	39	36	37	13	14
3	36	40	40	38	14	15
4	39	38	43	36	17	14
5	45	41	43	38	16	14
6	44	41	41	37	14	14
7	46	37	37	32	12	12
8	43	38	34	33	12	12
9	45	38	34	31	14	12
120	43	35	31	28	12	10
1	43	37	27	28	11	10
2	38	37	22	27	10	10
3	36	33	26	23	7	8
4	34	34	25	24	6	8
5	32	32	23	21	5	7
6	28	30	18	19	7	7
7	27	29	17	18	7	6
8	25	28	16	17	6	6

Table 5. Continued

Carapace width	45°~46°N		49°~50°N		50°~51°N	
	observed	calculated	observed	calculated	observed	calculated
9	21	24	14	14	5	5
130	19	22	12	12	3	4
1	18	21	9	11	2	4
2	18	17	7	9	1	3
3	15	16	7	8	2	3
4	12	14	7	6	3	2
5	11	11	6	5	3	1
6	10	10	4	4	2	1
7	10	9	1	3	1	1
8	6	7	1	2	1	1
9	4	6	1	2	0	1
140	3	5	1	1		
1	2	4	0	1		
2	2	3	0	1		
3	1	2				
4	0	2				
5	0	1				
6	1	1				
7	1	1				
8	1	0				
9						

Table 6. χ^2 test of goodness of fit between observed frequency distribution and theoretical frequency distribution calculated by the formula $F(x) = \sum a_i \phi_i(x)$, assuming the standard deviation to be the same 6 mm for 5 means of each group

Sample	χ^2	d. f	p
1971	27.40	39	>0.90
1970 { 45°~46°N	25.02	32	>0.75
49°~50°N	24.87	26	>0.50
50°~51°N	9.91	19	>0.95

次に令期と成長との関係を知るために、脱皮間隔を単位時間 (Δt) とした際の比成長率 $(l_{n+1} - l_n / l_n \cdot \Delta t)$ の変化を Fig. 5 に示した。図には 4~10 令のデータについては伊藤⁹⁾ の推定値をとり、これに連なるものとして 11 令以降の推定値に筆者の結果をあてた。比成長率の変化は体長に比例して減少する一次式で表わされ、ロジスチックの曲線 ($l_t = K / (1 + e^{a-rt})$) がよく適合することを示している。この図から K と r の値を求め、甲幅 9.5 mm (4 令) を初期値とした際の a の値を $a = \log_e (K/l_0 - 1)$ によつて定めると曲線式は $l_t = 152 / (1 + e^{2.81 - 0.309t})$ となる。この式から第 5 令期以後の甲幅を計算し観察値と比較するとほぼ一致することが認められる (Table 7, Fig. 6)。SHINODA⁹⁾ は甲幅 42 mm 以上の令期と成長との関係を、伊藤⁹⁾ は第 10 令 (甲幅 60 mm) 以降の令期と成長との関係を、それぞれ VON BERTALANFFY の成長式にのせて計算している。しかし今ら⁷⁾ および伊藤⁹⁾ によつて導かれた HIATT の定差図によれば、若令期と高令期では成長が異なり、雄では甲幅 60 mm を境に l_n の係数が前期では 1 より大、後期では 1 より小を示すことが知られている。このことは、生涯の令期と成長との関係を BERTALANFFY の成長式のみで表現することが不可能なことを意味しており、この点で、令期と成長との関係式ではロジスチックの式の利点が見られる。こ

ここに扱った脱皮ごとの成長ではなく、1年を単位とした年令と成長に関する式を求める場合には、どちらの成長式がより適合するかまだ明らかでなく、今後の研究で検討されなければならない。

Fig. 5. Relation between specific growth rate $\left(\frac{l_{n+1} - l_n}{l_n}\right)$ and l_{n+1} in the tanner crab, l_n being the carapace width in moulting age n .

Fig. 6. Growth curve calculated by the logistic equation. Points show observed data.

Table 7. Comparison of carapace width calculated by the logistic equation with those observed

Moult age	Carapace width	
	Calculated	Observed
4	(9.5)	9~10
5	13.7	13~14
6	19.6	19~20
7	27.5	27~28
8	37.6	37~38
9	49.9	47~48
10	64.1	63~64
11	79.2	85
12	93.9	98
13	107.5	112
14	114.8	124
15	128.1	134

Ito (1970)

Table 8. Percentage of estimated errors basing on aberration from real value as to the mean and the standard deviation of a normal distribution

Standard deviation (mm)	Aberration from mean (mm)			
	1	2	3	4
4	9.9	19.8	29.7	39.6
5	7.9	15.8	23.7	31.6
6	6.7	13.4	20.1	26.8
7	5.6	11.2	16.8	22.4

Percentage of error	Aberration from $\sigma=5$			
	-2	-1	+1	+2
Percentage of error	24.0	19.6	17.6	32.0

ズワイガニの単一令期群の体長組成が正規分布に近似できるものと見なして、パラメーターの推定値が実際値から外れた時の、推定される令期組成の精度を比較してみた。誤差(率)を実度数に対する誤差度数の割合と考えて、パラメーターの推定値が実際値からある隔たりをもつた時に導入される組成の誤差を、 μ と σ の実際値が推定値から外れた時の、同大の面積をもつ正規分布のずれとして計算した (Table 8)。表から、平均値 μ では推定値から 1 mm ずれるに従って約 6~10% の誤差が導入され、標準偏差では $\sigma=5$ から 1 mm ずれると 18~20% の誤差が導入されることが知られる。さらに 2 mm ずれると標準偏差だけで 24~32% の誤差となり、平均値の誤差と合わせると、實際上実用に耐えないものになる。仮に 70~80% の精度をめやすと考えるならば、パラメーターの推定値の絶対誤差は μ と σ とともに、1 mm までに限るべきであろう。

要 約

1971 年に南樺太海域で漁獲されたズワイガニ 1070 尾の測定値を解析して、80~140 mm 余の間に含まれる甲幅頻度分布が 5 つの正規型分布からなることを知った。この 5 つの正規分布を 1970 年の漁獲物測定資料に応用して、計算甲幅組成と実測甲幅組成の適合度を調べると、若干のパラメーターの修正により良い適合を示すことが知られた。この結果から、実験による令期と体長との精度の高い推定値を得る研究を通して、漁獲物についての令期組成を推定する実用性が考察された。なお 5 つの正規分布を連続する令期の甲幅組成とすると、既存のデータを総合した令期に対する甲幅の成長曲線はロジスティック曲線に適合すると推定された。

文 献

- 1) 土門 隆・鈴木春彦：北水試月報，**21**，211-216 (1964)。
- 2) 土門 隆：同誌，**23**，230-242 (1966)。
- 3) 土門 隆：ズワイガニ調査報告書，北水研・北海道ズワイガニ漁協組，1970，pp. 1~80。
- 4) 高橋 忠：北水試月報，**26**，898-915 (1969)。
- 5) 菅野泰次：北水試報告，(14)，17-30 (1972)。
- 6) 伊藤勝千代：日本研報，(22)，81-116 (1970)。
- 7) 今 攸・丹羽正一・山川文男：本誌，**34**，138-142 (1968)。
- 8) 小林敏男：ズワイガニ調査報告書第 1 報，兵庫県水試，1966，pp. 1-68。
- 9) M. SHINODA: This Bull., **34**，185-190, (1968)。
- 10) J. P. HARDING: J. Marine Biol. Ass. U. K., **28**，141-153, (1949)。
- 11) R. M. CASSIE: Australian Jour. Marine Freshwater Res., **5**，513-522, (1954)。
- 12) 山中一郎：日本研業績集，(1)，109-117 (1954)。
- 13) 岡 正雄：長崎大産水産紀要，**2**，8-25 (1954)。
- 14) 田中昌一：東海水研報，(13)，35-50 (1956)。
- 15) 田中昌一：同誌，(14)，1-13 (1956)。
- 16) 青山恒雄：本誌，**20**，677-680 (1954)。
- 17) 木下哲一郎：北大水産彙報，**20**，25-35 (1969)。
- 18) 須田 明：本誌，**20**，460-468 (1954)。
- 19) 浜井生三・石戸芳男：東北水研報，(11)，1-37 (1958)。