

## 籠中で飼育したマナマコの個体別成長とばらつき

田園大樹<sup>\*1</sup>, 合田浩朗<sup>2</sup>, 中島幹二<sup>3</sup>, 佐藤 一<sup>3</sup>, 永田淳人<sup>4</sup>, 本前伸一<sup>5</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構稚内水産試験場, <sup>2</sup>北海道立総合研究機構釧路水産試験場, <sup>3</sup>北海道立総合研究機構中央水産試験場, <sup>4</sup>北海道水産林務部水産局水産振興課, <sup>5</sup>渡島地区水産技術普及指導所

Individual growth and variance of Japanese sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) reared in closed cages.

DAIKI TAZONO<sup>\*1</sup>, HIROO GODA<sup>2</sup>, KANJI NAKAJIMA<sup>3</sup>, HAJIMU SATO<sup>3</sup>, NAOTO NAGATA<sup>4</sup>  
and SHINICHI MOTOMAE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Wakkanai, Hokkaido 097-0001*,

<sup>2</sup> Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Kushiro, Hokkaido 085-0024*,

<sup>3</sup> Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 046-8555*,

<sup>4</sup> Fisheries Promotion Division, Fisheries Bureau, Hokkaido Government Department of Forestry and Fisheries, *Sapporo, Hokkaido 060-8588*,

<sup>5</sup> Oshima Fisheries Technical Guidance Office, Hokkaido Government Oshima General Subprefectural Bureau, *Hakodate, Hokkaido 041-8558, Japan*

The cause of variance in the individual growth of Japanese sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) was investigated by rearing individuals in closed cages. Two groups of sea cucumbers were used: a group of small individuals each weighing approximately 30 g, and a group of large individuals each weighing approximately 160 g. Each individual was kept in a separate rearing cage. The rearing cages were submerged along the breakwater in Esandomari fishing port. The mass of the sea cucumbers was recorded every month, and ambient water temperature was also recorded.

Overall, the specific growth rate (SGR) of the sea cucumbers was found to be negatively correlated with ambient temperature. The mass variance of the small group was significant, which may be attributed to the fluctuation of threshold temperature for aestivation. In the small group, seasonal SGR patterns of low-growth individuals were different from the patterns of high-growth individuals. This difference was another cause of variance. The mass variance of the large group, however, was not significant, as the threshold temperature for aestivation was not fluctuated in the test period. Diet was also considered one of the important factors leading to growth variance.

キーワード：マナマコ, 成長, 個体差

マナマコ *Apostichopus japonicus* は、北西太平洋沿岸の浅海域に分布し、日本では北海道から種子島まで広くみられる普通種である (Mitsukuri, 1912)。

日本や韓国では生のまま食用とされ、また、中国では古くから乾燥品が高級食材として取引されている (赤嶺, 2003)。近年、中国における乾燥なまこ需要の増加から、輸出向けに日本での漁獲量、生産額も増加しており (渋谷・葛西, 2011)、沿岸資源としての重要性が増してき

ている。現在、日本では北海道など各地でマナマコの種苗放流が行われており、2013年には全国で約600万個体の人工種苗が放流されている (水産総合研究センター, 2015)。また、中国では海水を導入した池を利用した給餌養殖が行われており、2002年には年間約5,800 t以上の乾燥製品が生産されている (Chen, 2004)。

このため、日本や中国では、マナマコの増養殖に向けた生理・生態について研究が行われてきた。崔 (1963) は、

本州中部においてマナモコの生息環境や餌料, 成長などの基礎生態を中心に多くの知見を得ている。また, Mitsukuri (1903) は, マナモコの特徴的な生態の一つとして夏季に活動が停滞する夏眠をすることを明らかにしている。この夏眠の影響により, マナモコは夏季に重量が減少することがわかっている (崔, 1963; 滝口ら, 1990)。

一方で, 滝口ら (1990) は, 防波堤のコンクリートブロックに放流した約0.3 mmのマナモコについて, 放流後2年で50–323 g, 2年7か月後には68–680 gと個体間には大きな成長差が生じたことを報告している。また, Chen (2003) は, 比較的生息環境が均質とみられる養殖池内であっても, 早春に導入した種苗について, 半年後に1.7–13 g, 2年半後に65–225 gと成長には大きく差が出たことを報告している。Yamana *et al.* (2008) は, マナモコの種苗について, 多くの個体が緩やかに成長し, ごく少数の個体が早く成長し, また一部の個体はマイナス成長することを報告している。

マナモコの成長には大きな個体差が生じることがわかっているが, 実際に個体ごとに飼育してその過程を捉えた研究事例はない。マナモコでは成長や生理状態に温度が大きく影響することがわかっているが (Li *et al.*, 2002; Dong and Dong, 2006; Dong *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2006), 水温の季節的な変動の中で各個体がいかにして高成長, 低成長となるのか, その過程を捉えることはマナモコの成長を理解する上で重要な知見となる。

本研究では, 成長段階が異なるとみられる湿重量約30 gと約160 gのマナモコについて, 漁港内に設置した着底籠に1個体ずつ収容し, 湿重量の推移を追った。また, 連続記録式水温計により周囲の水温について記録を行い, 天然に近い環境下で個体別の成長を追跡し, 成長に個体差が生じる要因について検討を行った。

## 材料と方法

稚内市ノシャップ岬にある恵山泊漁港内において, 2009年10月から2012年10月にかけて計2回, 湿重量の推移の追跡試験を行った (Fig. 1)。

マナモコは北海道北部宗谷周辺海域で採集し, 稚内水産試験場内の水槽で1週間以上馴致飼育したものを試験に用いた。使用したマナモコの大きさは小型区として平均約30 gの個体を19個体 (以下, 小型区), および大型区として平均約160 gの個体を12個体 (以下, 大型区) を使用し, 一部期間並行して試験を行った (Table 1)。試験には, エビ類の籠漁業に用いられる5 mm目の採集用のえび籠 (以下, 単に籠とする) の上部の入口にトリ

カルネットで開閉可能な蓋をして用いた (Fig. 2)。この籠を網で繋ぎ, 漁港内の石積み部分 (水深約3 m付近) に, 着底するように設置した (Fig. 3)。籠の底面は網地であり, 石積み部にも隙間があることから籠中の堆積物は多くないとみられるが, 沖側にはシルト上の底質が拡がっており, 一部は流下して籠内のマナモコの餌料となったとみられる。また籠を構成する枠や網地には藻類や珪藻類とみられる茶褐色の物質が大量の付着していたことから, 籠中のマナモコはこれらも餌料として利用できたものとみられる。できるだけ天然に近い摂餌環境での成長をみるため, 人工的な給餌は行わなかった。

馴致後, 籠に収容する前に湿重量を測定し, 重量が重かったものから順に小型区ではa, b, c..., 大型区ではA, B, C...の識別名を与えた。設置した籠にはそれぞれの

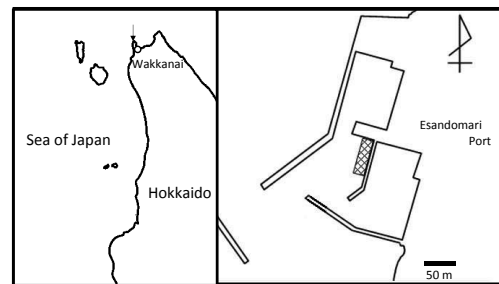


Fig. 1 Location of the rearing cages in Esandomari port. The black arrow indicates the location of Esandomari port. The mesh square indicates the area where cages were submerged.

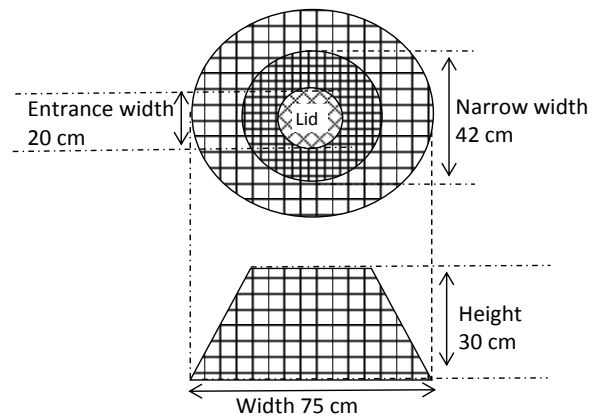


Fig. 2 Diagram of the cage used for the experiments. The cage is a shrimp fishing cage with a removable lid made of plastic mesh. The open size of strand is 5 mm.

Table 1 Summary of cage culture experiment.

Experimental period	Number of cages	Sea cucumbers /cages	Size of sea cucumbers used (Maximum size–Minimum size, Average $\pm$ SD)
Small group 2009/10/13~ 2011/10/14	19	1	55.9–14.9 g, 29.68 $\pm$ 11.77 g
Large group 2011/3/24~ 2012/10/18	12	1	199.1–124.9 g, 157.21 $\pm$ 20.47 g

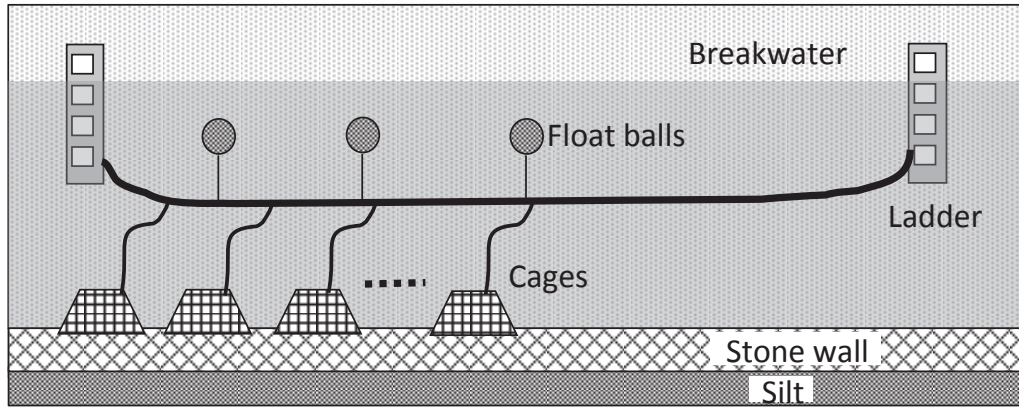


Fig.3 Schema of experimental cages. Each cage was connected to a thin rope, and each thin rope was connected to a thick rope that was suspended by float balls. The end of the thick rope was fixed to the ladders of the breakwater. The cages were attached to the stone walls of the breakwater at approximately 3 m of depth. The sediment around the breakwater is silt.

マナマコと個体識別ができるようにプラスチック製の番号札を付けた。以降1カ月に1回、海中から籠を引き揚げ、マナマコ1個体ずつの湿重量を測定した。籠から取り出したマナマコは、一度海水を満たしたポリバケツに移し、現地に持ち込んだ電子天秤で揚水後すぐ重量を測定するようにし、保水量の減少がなるべく少なくなるよう留意した。測定後は、速やかに籠に収容し、海中へ戻した。環境水温は2010年の9月（小型区の試験途中）より、最も陸よりの籠に連続記録式水温計を設置して1時間ごとの水温を記録した。

試験終了後、各個体における各測定期間（前月の測定日から当月の測定日までの期間。以下、測定した2つの月の英字表記の頭文字を-で結び○-○期と表記する。Ex.2009/10/13から2009年の11/14ならば2009年のO-N期）について、Xia *et al.* (2012) を参考に、下式によりSGR (Specific growth rate) を算出した。

$$\text{SGR } \% \text{ day}^{-1} = 100 (\ln W_n - \ln W_{n-1}) / t$$

ただし、 $W_n$ は測定したある月のマナマコの湿重量、 $W_{n-1}$ は前月の同一個体の湿重量、 $t$ は前月の測定日から当月の測定日までの経過日数とした。

また、成長成績を判断する目安として下式によりMGR (Maximum growth rate) を算出し、試験期間中に示したMGRが大きいものを成長成績が良好な個体とした。

$$\text{MGR} = W_m / W_s$$

ただし、 $W_s$ は試験開始時のマナマコの湿重量、 $W_m$ は試験期間中で最もMGRの値が大きくなる月の湿重量とした。

環境水温は、測定期間中の連続記録式水温計の記録値を平均し、本値を各測定期間の水温として用いた。

各測定時における各個体の湿重量の等分散性について、小型区はバートレット検定、大型区はルビーン検定を行

った。また、各区のSGRと各期間の水温との相関関係についてスピアマンの順位相関係数検定を行った。

## 結果

小型区は2009年10月から24カ月間、大型区は途中2ヶ月分の欠測（2012年の1月、2月）があったものの2011年3月から19カ月間継続的に個体別のマナマコの湿重量推移を追うことができた (Fig.4, Fig.5)。試験開始から終了まで籠中での生存が確認できた個体は、小型区で19個体中16個体（生残率84%）、大型区では12個体中9個体（生残率75%）であった。大型区、小型区とも湿重量は5月から8月ごろにかけて個体差が大きくなったが、9月や2月には個体差が小さくなった (Fig.4, Fig.5)。また、一部の成長不良とみられる個体を除けば、試験開始時における湿重量の順位はその後もおおむね変わらず (Fig.4, Fig.5)、サイズに関わらずマナマコの湿重量は同調的に増減した。

SGRの値は、小型区、大型区ともM-A期からM-J期ごろにかけて正の値を示し、J-J期からA-S期にかけて負の値を示した (Fig.6, Fig.7)。各期の水温と個体別のSGRの関係をみると、小型区では1℃から5℃付近で高い値を示し、20℃を超えるとほとんどの期間で負の値となったが、値の個体差は大きかった (Fig.8)。大型区は欠測により厳冬のデータがないが、1℃前後で値が最も大きくなり、12℃前後で0前後となり、20℃を超えると多くの期間について負の値を示した (Fig.9)。

小型区におけるMGRは、個体qが5.25と最も高い値を示し、以下個体r, k, j, bと続いた (Table 2)。一方、個体a, n, h, mは、1.00-2.71と低い値を示した (Table 2)。特に個体a、および個体nについては試験期間中に湿重量

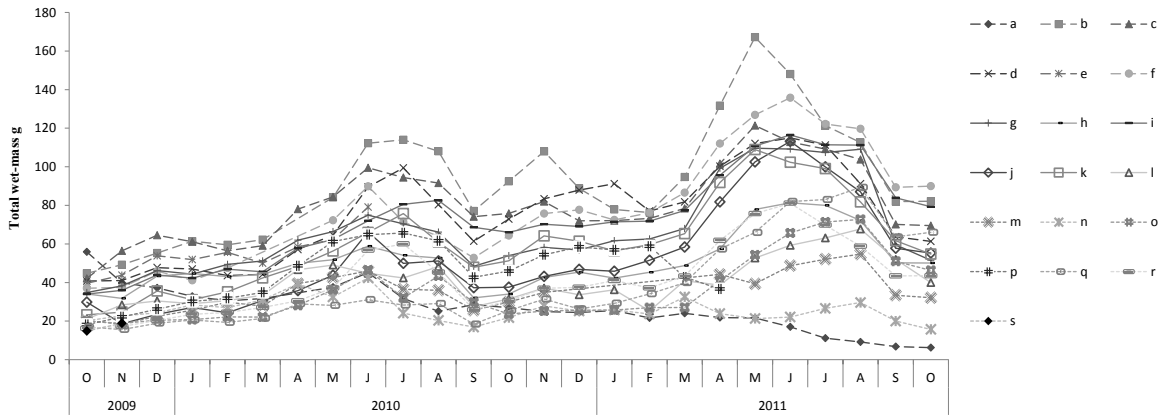


Fig.4 Seasonal total wet-mass gain of each sea cucumber in the small group. Each individual was allocated a letter from a to s at the start of the experiment, in order of decreasing mass.

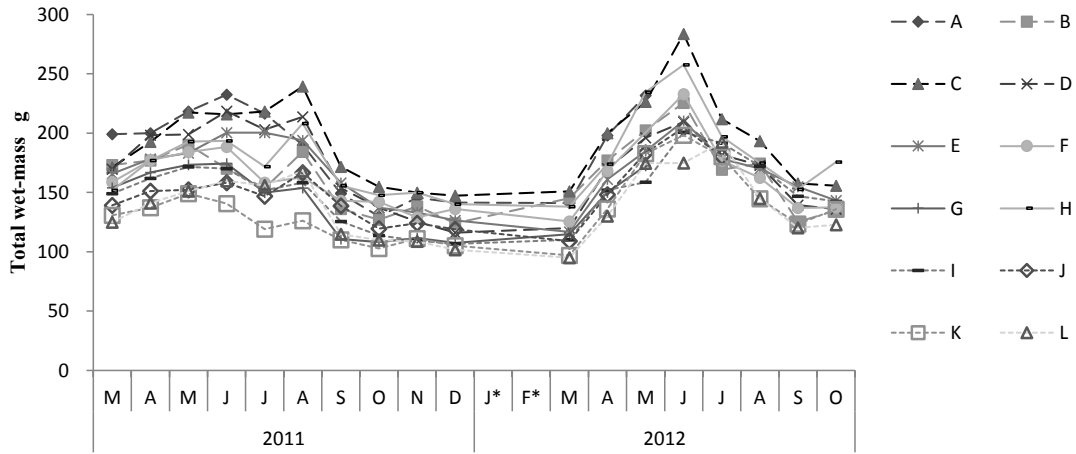


Fig.5 Seasonal total wet-mass gain of each sea cucumber in the large group. Each individual was allocated a letter from A to L at the start of the experiment, in order of decreasing mass. \* indicates the month with no data.

が漸減する傾向がみられており (Fig. 4), 成長不良とみられた。大型区については, 個体Hが1.70で最も高い値を示したが, 小型区と比べると値が低く, また個体差も小さかった (Table 2)。

小型区においてMGRの値が高かった5個体 (個体q, r, k, j, b) について, SGRと水温の関係をみると, いずれの個体も各期間でおおむね一致したSGRを示しており (Fig.10), SGRの季節的なパターンが推定された (Fig.11)。一方, 成長不良とみられた個体a, nについては, 各期のSGRの値が推定されたパターンから外れていた (Fig.11, Fig.12, Fig.13)。

小型区については等分散とは認められなかったが (Bartlett test for homogeneity of variance,  $P<0.001$ ), 大型区については等分散性が認められた (Leven's test for homogeneity of variance,  $P=0.11$ )。小型区, 大型区とも, SGRと水温との間に有意な負の相関関係がみられた (Table 3)。

Table 2 Maximum growth rate (MGR) and total wet-mass at the experiment start of each sea cucumbers in the small and large groups. Individual “e” and “s” were excluded.

Order	Small group			Large group		
	Individual name	MGR	Wet-mass g	Individual name	MGR	Wet-mass g
1	q	5.25	17.0	H	1.70	151.8
2	r	5.01	16.2	C	1.66	171.1
3	k	4.69	23.2	L	1.54	124.9
4	j	3.80	29.8	K	1.52	130.7
5	b	3.73	44.8	J	1.47	139.1
6	f	3.67	37.0	F	1.47	158.7
7	o	3.64	20.0	I	1.35	149.0
8	p	3.61	18.2	B	1.30	173.0
9	i	3.43	34.0	D	1.29	169.6
10	l	3.21	21.1	E	1.27	165.7
11	g	3.15	34.8	A	1.17	199.1
12	c	2.88	42.1	G	1.13	153.8
13	d	2.82	40.8			
14	m	2.71	20.2			
15	h	2.38	34.1			
16	n	2.10	20.2			
17	a	1.00	55.9			

考察

本試験において、小型区ではM-A期からM-J期、およびO-N期にかけてSGRが正の値を示した (Fig. 6)。マナマコが野外の養殖池で高成長を示す時期は、3月から7月、および10月から12月とされている (Chang *et al.*, 2004)。本試験では漁港内という閉鎖的な海域で試験を行っており、小型区が成長を示した時期は養殖池での知見とおおむね一致した。一方、大型区では小型区同様にM-A期の周辺では正の値を示したが、O-N期にはほとんど変化がみられなかった (Fig. 7)。このことから、大型区では

籠内の飼育環境により成長が制限された可能性がある。小型区、大型区ともSGRは水温と有意な負の相関を示しており (Table 3)、本試験条件下ではマナマコの湿重量変化はおおむね水温依存的であった。

Table 3 Spearman's rank correlation coefficient for ambient water temperature and SGR. *r<sub>s</sub>* is the value of Spearman's rank correlation coefficient. \*\*indicates a significant correlation coefficient with *p* < 0.01.

Small group	Large group
<i>r<sub>s</sub></i>	<i>r<sub>s</sub></i>
-0.47**	-0.63**

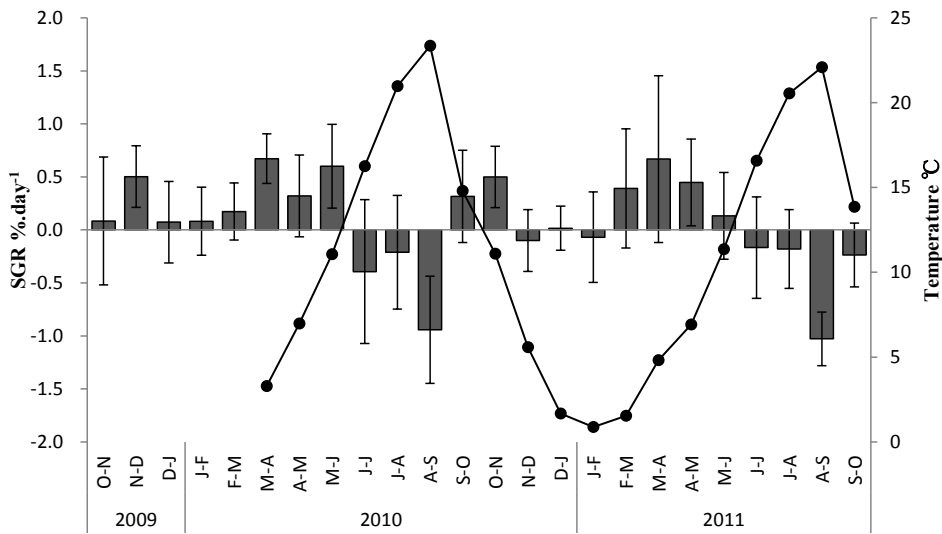


Fig.6 Seasonal SGR of the small group (each bar indicates the average SGR of an individuals with the vertical solid line indicating  $\pm$ SD) and ambient water temperature (line graph. Dots indicates the average temperature of each period).

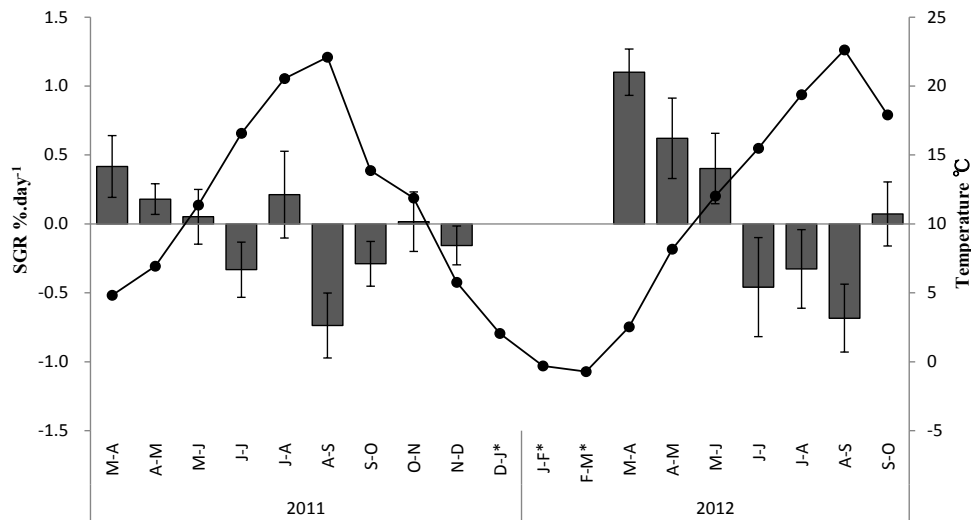


Fig.7 Seasonal SGR of large the group (each bar indicates the average SGR of an individuals, with the vertical solid line indicating  $\pm$ SD) and ambient water temperature (line graph. Dots indicates the average temperature of each period). \*indicates a month with no data.



各期間のSGRと水温の関係をみると、小型区では概ね1℃から5℃付近をピークとして最もSGRの値が大きくなっており、20℃以上では多くの期間で負の値となっていることがわかる (Fig.8)。大型区では1℃付近をピークとして最もSGRの値が大きくなり、22℃以上ではすべての個体で負の値を示している (Fig.9)。マナマコは周囲の水温が20-24.5℃以上になると温度依存的に夏眠に至ると考えられており (崔, 1963; Sui, 1989; Liu *et al.*, 1996; Li *et al.*, 1996), 摂餌の停止と活動の鈍化に加え、消化管の委縮が起こることが知られている (崔, 1963)。中島・合田 (2015) は内臓重量と腸長の季節変動から北海道北部における夏眠の可能性を指摘しており、20℃以上でSGRが負の値となった要因は夏眠に依るものである可能性がある。

また、小型区では2℃以下の期間について、多くの個体でSGRが0前後となっている (Fig.8)。Hu *et al.* (2011) は屋外の養殖池において、30 g以上のマナマコが1℃以下の水温で摂餌を停止し、冬眠するとしており、籠中のマナマコについても低水温の期間に摂餌が停止する冬眠が起こり、成長が停滞した可能性がある。

小型区におけるSGRと水温の関係をみると、個体、期間によって示す値が大きくばらついている (Fig.8)。マナマコが夏眠に至る温度は、25-85 gでは24.1℃、86-160 gでは22.9℃、160 g以上では21.8℃と体重によって異なるとされ、25 g以下では夏眠に至らないことが報告されている (Li *et al.*, 1996)。小型区の初期重量は14.9-55.9 gであるが、ほとんどの個体は試験期間中に成長し、25 g, 86 g, 160 gの夏眠に至る温度が変化する体重を経てい

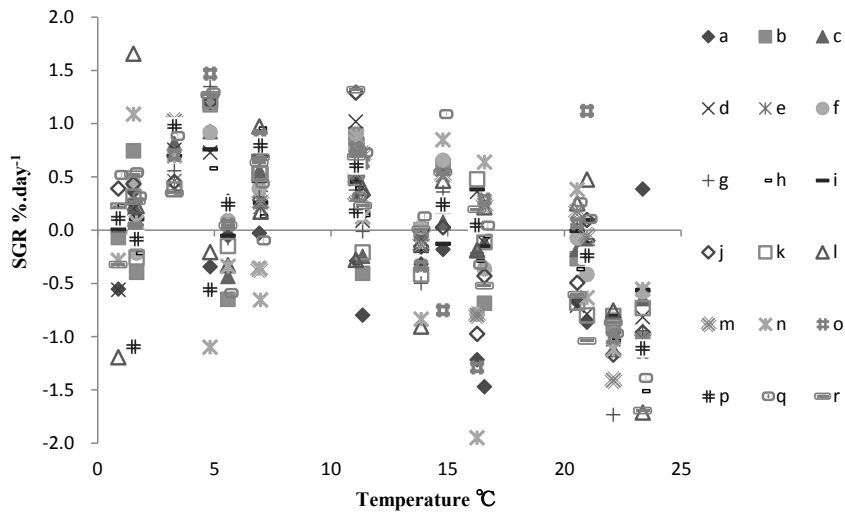


Fig.8 Correlation between ambient water temperature and SGR of every sea cucumber in the small group, with letters allocated at the start of the experiment in order of decreasing mass. Individual “s” was excluded.

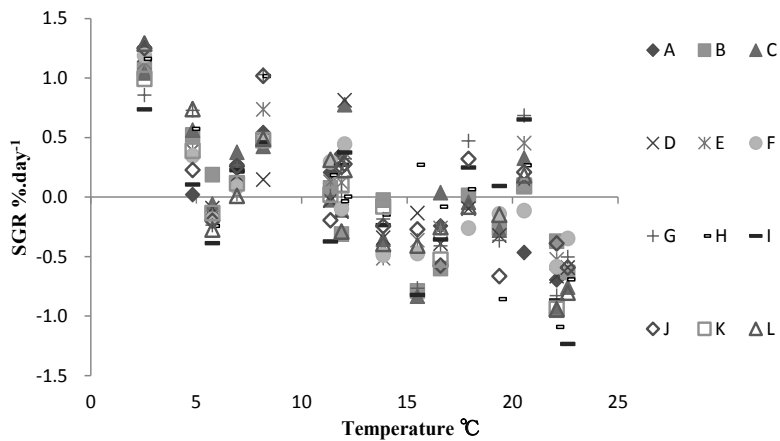


Fig.9 Correlation between ambient water temperature and SGR of every sea cucumber in the large group, with letters allocated at the start of the experiment in order of decreasing mass.

る (Fig. 4)。小型区における各年の湿重量のピークをみると、2010年では6-8月、2011年では5-8月の間で個体、時期によって異なっており (Fig. 4)、小型区では各個体、期間によって夏眠に至る温度が異なっていたことが示唆される。夏眠に至る温度が異なっていたことで、特に5-8月ごろには既に夏眠してSGRがマイナスとなる個体と成長を続ける個体が混在し、その結果、夏眠の導入時期を中心にSGRのばらつきが大きくなったと考えられる。

一方、小型区では水温が15℃以下の夏眠と関係のない期間でもSGRのばらつきは大きかった (Fig. 8)。中島・合田 (2015) は、さまざまなサイズのマナマコについて、体壁重量に対する内臓、および消化管長の割合から、9月に消化管が消失し、3カ月後の12月には回復していることを指摘している。夏眠に至る温度が体サイズによって異なることから (Li *et al*, 1996)、摂餌の停止から消

化管が回復に至る時期についても体サイズごとにずれが生じていると考えられる。このため、同一の水温帯の期間でも、回復後の個体と回復前の個体が混在し、小型区については夏眠と関係の無い期間も含め、総じてSGRにばらつきが生じたものと考えられた。

大型区については、各期間における各個体の湿重量に等分散性が認められており、小型区に比べるとばらつきが少なかった (Fig. 5)。また、欠測期間があるため小型区と一様な比較はできないが、おおむね温度依存的な傾向を示している (Fig. 9)。大型区は試験開始時の湿重量が $157.2 \pm 20.47$  gであり、試験期間中における夏眠に至るまでの湿重量のピークはほぼすべての個体で6月になっている (Fig. 5)。160 g以上のマナマコでは夏眠温度が21.8℃とされており (Li *et al*, 1996)、試験期間中の成長に伴う各個体の夏眠にいたる温度の変化はほとんど

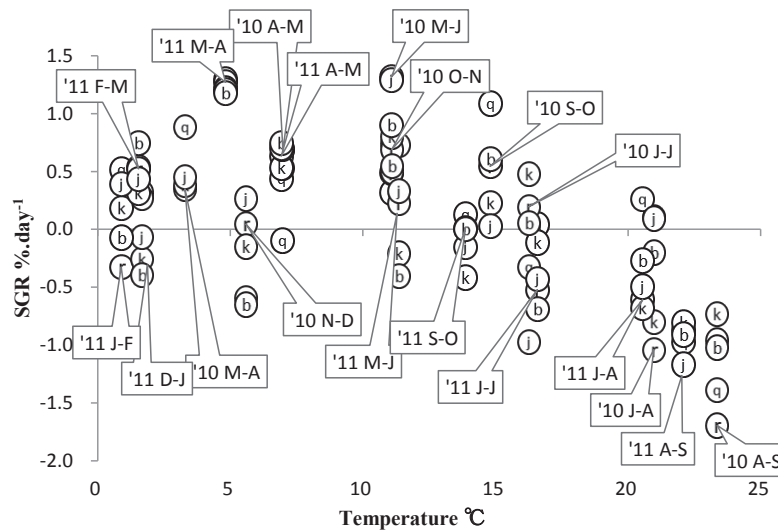


Fig. 10 Pattern of correlation between ambient water temperature and SGR of five individuals (“q”, “r”, “k”, “j”, and “b”) from the small group. These individuals showed high maximum growth rate (MGR).

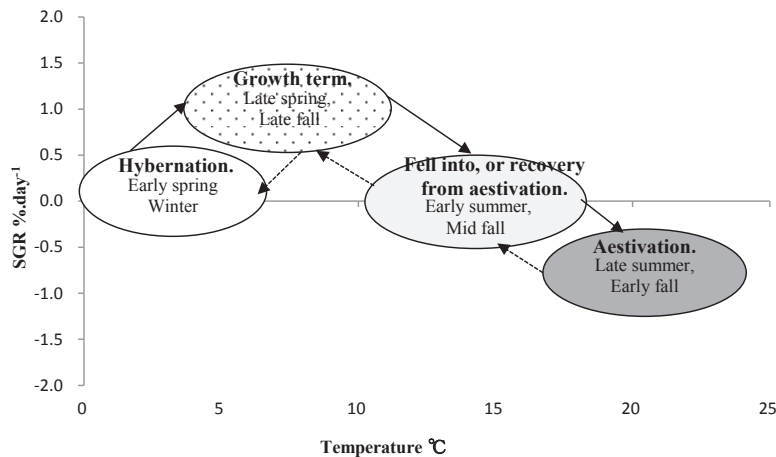


Fig. 11 Schema of the correlation between ambient water temperature and SGR shown in Figure 10.

なかったと考えられる。このため、成長期の期間や、回復に要する期間に大きな個体差が生じず、小型区に比べると各個体ともMGRの値も低いため (Table 2), 総じてばらつきが少なかったと考えられる。

小型区においてMGRの値が高かった個体q, r, k, j, bの5個体について、SGRと水温との関係を見ると、各時期でおおむね一致した値を示していた (Fig. 10)。個体q, r, k, j, bは、試験開始時の湿重量がそれぞれ17.0, 16.2, 23.2, 29.8, 44.8 gであり (Table 2), 必ずしも開始時のサイズが近いわけではないが、いずれの期間もほとんどの個体が近似したSGRの値を示しており、個体サイズに依らず季節ごとに示すSGRの値はおおむね一致するものとみられた。これらの個体が示した各期間のSGRの値とマナマコの成長パターンを加味すると、年間のSGRのパ

ターンが推定される (Fig. 11)。5個体のSGRは、特に成長期にはほとんど同じ値を示している一方、夏眠に至る時期、夏眠から回復する時期には、やはりややばらつきがあり (Fig. 10), この点からも夏眠に至る温度には個体差があったことが推定される。

一方、成長不良とみられた個体a, および個体nのSGRはこのパターンとは一致しなかった (Fig. 12, Fig. 13)。両個体とも試験期間中に湿重量の漸減傾向がみられているが (Fig. 4), SGRについては試験の序盤、終盤にかかわらず正の値を示している期間もあり、それぞれの個体が生理的に成長できない状態であったとは考えにくい。このことから、マナマコが良好に成長するためには、春の成長期→夏眠期→晩秋の成長期→冬眠期という季節的な周期から逸脱せず、一定のパターンを維持しながら成

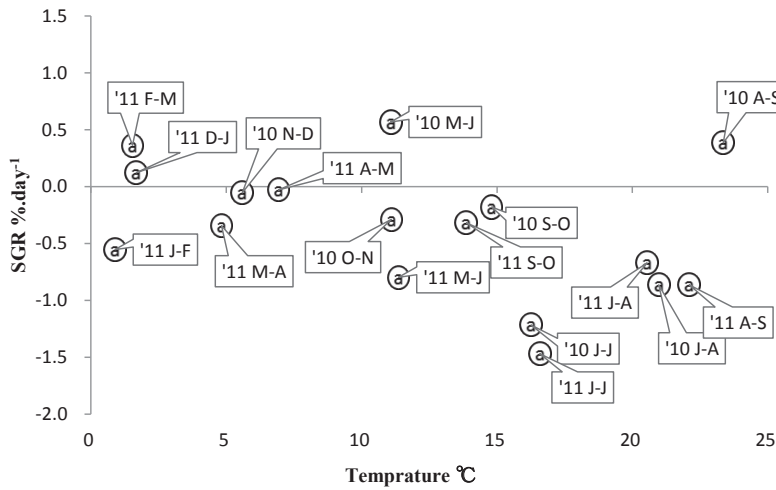


Fig. 12 Pattern of correlation between ambient water temperature and SGR of individual “a” from the small group. Individual “a” showed abnormal growth patterns.

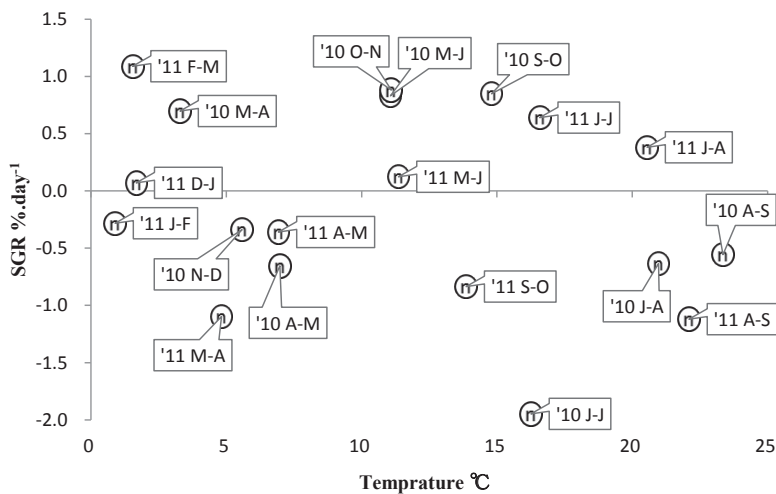


Fig. 13 Pattern of correlation between ambient water temperature and SGR of individual “n” from the small group. Individual “n” showed abnormal growth patterns.



長することが重要である可能性がある。パターンから逸脱した個体は、成長成績が劣る一方、時期によってはプラスのSGRを示すことから、これらの個体の挙動も成長のばらつきとして認識されるものと考えられる。

本試験では、天然に近い環境でのマナマコの湿重量推移を追跡するため、漁港中に籠を設置する手法を用いた。このため、マナマコは籠により移動が制限されており、天然環境や養殖池で粗放的に飼育されたような条件とは異なっている。

籠に収容されたことによってマナマコがおかれた特殊な状況として餌料環境が考えられる。マナマコをはじめとした堆積物食性のナマコ類は、細菌類、プロトゾア、珪藻類、植物性、動物性のデトライタスなどの有機物を餌として利用している（崔, 1963; Yingst, 1976; Moriarty, 1982）。マナマコは*Holothuria nigra*（クロナマコ属の一種）や*Labidoplax digitata*（ウチワイカリナマコ属の一種）のような不選択制のDeposit-feederとされ、消化管は生息場所周辺の底質と同様なもので満たされていることが確認されている（Hunt, 1925; 木下・田中, 1939）。本試験では籠を漁港の石積み部分に着底させており、さらに底面は網地であったことからマナマコが摂餌可能な堆積物は、天然海域や養殖池と比べると少なかった可能性が高い。また、隣接して垂下した籠であっても、籠の着底箇所が石積みの平面部分か隙間の部分か、あるいは水流の当たりなどによって、それぞれの籠ごとに餌料環境は異なると考えられる。Flankboner and Cameron (1985) は、マナマコと同じシカクナマコ科のCalifornia sea cucumber *Parastichopus californicus* について、季節的な内臓の委縮、吐出を引き起こす要因として餌の利用性が、日長や栄養状態以上に重要であることを示唆している。また、An *et al.* (2007) は、高水温下で成長が低下する要因として、代謝に使われるエネルギーの増加と、餌料から得られるエネルギーの不足が主要な要因であることを指摘している。また、Yamana *et al.* (2008) は、マナマコの種苗について、成長差が生じる要因は摂餌状態の差に起因するとしており、給餌方法の改善によって成長差が改善したことを示している。このことから、餌のあたりによっては、同一のサイズでも夏眠の状態に差が生じ、個体間の成長に更なるばらつきを生じさせている可能性がある。

飼育密度について、崔 (1963) は、10から70 g程度のマナマコについて、養殖池での適性放養量の一つの規準として5,000 cm<sup>2</sup>当たり1個体かそれ以下という値を示している。本試験で用いた籠の底面積は約5,000 cm<sup>2</sup>であり (Fig.2), 1 m以上の間隔をあけて設置した各籠に1個体ずつ収容したことから、小型区の試験開始時については、

飼育密度は直接的に影響しなかったと考えられる。しかし、小型区の試験終盤や大型区については、崔 (1963) が想定している10から70 gという大きさを超えており、適正な飼育密度であったかは不明である。また、餌料不足の可能性が示唆される環境から、物理的に移動できないようにしたことで、餌料探索のためマナマコに籠内での不要な移動をさせている可能性もあり、本試験の成長成績はあくまでも籠内での結果であることに留意すべきである。

これらのことから、マナマコの成長に個体差が生じる要因として、成長に伴って各個体の夏眠に至る温度が変化することと、餌のあたりという2点が主要因として考えられる。湿重量160 g以下のマナマコについては、成長に伴って夏眠に至る温度が低くなるために、開始時が数10 gの湿重量差であっても、夏眠とその前後の成長期にかけて個体差が大きくなると考えられた。一方、160 gを超えると夏眠に至る温度に変化が生じないことから、個体間の成長差は稚ナマコから160 g前後に達するまでに特に大きく認められると考えられた。また、堆積物食性であることから均一な餌あたり環境を実現すること自体が難しく、たとえ同一サイズであっても夏眠の状態にはさらに個体差が生じていると考えられ、個体間の成長パターンのずれが常態化し、結果的にマナマコの成長には大きな個体差が生じると考えられた。

本試験では、同一個体の成長を継続的に観察するため非侵襲的に測定できるマナマコ全体の湿重量を指標として成長を追った。このため、マナマコの水分含量や腸管内容物重量の影響は考慮しておらず、マナマコの成長を解明する上では侵襲的手法による検討も必要である。成長期に生じた個体差は夏眠による減重のあとに縮まっていることから、成長期の増重は可逆的とも考えられ、体壁成分等の分析を実施することで、更なる知見が得られる可能性がある。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、籠の設置、回収からマナマコの重量測定まで惜しみないご協力をいただいた、松岡秀行参事をはじめとした稚内漁業協同組合の皆様へ深く感謝いたします。また、すべての試験を通じて計画の立案から実施まで、助言とご協力をいただいた稚内市建設産業部水産商工課水産グループと、宗谷地区水産技術普及指導所のみなさまに深く感謝いたします。

## 引用文献

- An, Z., Dong, Y., Dong, S. Temperature effect on growth-ration relationships of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) *Aquaculture* 2007; 272; 644-648.
- 赤嶺 淳. 干ナマコ市場の個別性 海域アジア史再構築の可能性. 岸上伸啓編「海洋資源の利用と管理に関する人類学的研究」. 国立民族学博物館調査報告 2003;46:265-297.
- Chang, Y., Yu C., Song X. Pond culture of sea cucumbers, *Apostichopus japonicus*, in Dalian. In: A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. Hamel, A. Mercier (eds). *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management. FAO fish tech pep.* 463 FAO Roma Italy 2004; 269-272.
- Chen, J. Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China *Beche-de-mer Inf. 18 Bull* 2003; 18-23.
- Chen, J. Present status and prospects of sea cucumber industry in China. In: A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. Hamel, A. Mercier (eds). *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management. FAO fish tech pep.* 463 FAO Roma Italy 2004; 25-38.
- Dong, Y., Dong, S. Growth and oxygen consumption of the juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) at constant and fluctuating water temperatures. *Aquac. Res.* 2006; 37; 1327-1333.
- Dong, Y., Dong, S., Tian, X., Wang, F., Zhang, M., Effect of diel temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body consumption in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. *Aquaculture*. 2006; 255; 514-521.
- Fankboner, P., Cameron, J. Seasonal atrophy of the visceral organs in a sea cucumber. *Can. J. Zool.* 1985; 63: 2888-2892.
- Hu, F., Gao, X., Wang, Z., Li, M., Zhou, W., Ma, D., Li, S., Zhang, Y. Studies on dormancy rule of *Apostichopus japonicus*. *Fishery Modernization* 2011; 38: 37-40 (in Chinese with English abstract).
- Hunt, O. The food of the bottom fauna of the Plymouth fishing grounds. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 1925; 13: 560-599.
- 木下虎一郎, 田中正午. 北海道ナマコ *Stichopus japonicus* Selenka の食餌について. *水産研究誌* 1939;34:1-4.
- Li, F., Liu, Y., Song, B., Sun, H., Gu, B., Zhang, X. Study on aestivating habit of sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka; the factors relating to aestivation. *J. Fish. Sci. China* 1996; 3: 49-57 (in Chinese with English abstract).
- Li, B., Yang, H., Zhang, X., Zhou, Y., Zhang, C. Effect of temperature on respiration and excretion of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Limnol. ET Oceanogr. Sin.* 2002; 33: 182-187.
- Liu, Y., Li, F., Song, B., Sun, H., Zhang, X., Gu, B. Study on aestivating habit of sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka: ecological characteristics of aestivation. *J. Fish. Sci. China* 1996; 3: 41-48 (in Chinese with English abstract).
- Mitsukuri K. Notes on the habits and life-history of *Stichopus japonicus* Selenka. *日本動物学彙報* 1903; 5: 1-21.
- Mitsukuri K. Studies on actinopodous Holothurioidae. *J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo* 1912; 29: 1-284.
- Moriarty, D. Feeding of *Hothuria atra* and *Stichopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the Great Barrier Reef. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 1982; 33: 255-263.
- 中島幹二, 合田浩朗. 北海道北部宗谷周辺海域に棲息するマナコの重量と消化管の季節変動. *北海道水産試験場研究報告* 2015;87:71-79.
- 崔相. 「なまこの研究」海文堂, 東京. 1963;127-158.
- 渋谷長生, 葛西由佳. ナマコ輸出拡大に伴うナマコ産地・加工業者の対応と課題～青森県陸奥湾を中心として～. *弘前大学農学生命科学部学術報告* 2011;13:39-59.
- Sui, X. The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Oceanol.Limnol.Sin.*1989; 20: 314-321 (in Chinese with English abstract).
- 水産総合研究センター. 平成25年度 栽培漁業・海面種苗の生産・入手・放流実績(全国)~総括編・動向編. 2015;93.
- 滝口克己, 藤本敏昭, 神蘭真人. マナコ人工種苗の大量放流による漁場形成に関する研究 I. *福岡県豊前水試研報* 1990;3:53-62.
- Xia, S., Zhao, P., Chen, K., Li, Y., Liu, S., Zhang, L., Yang, H. Feeding preference of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) on various sea weed diets.

- Aquaculture* 2012; 344, 205–209.
- Yamana, Y., Hamano T., Niiyama H., Godhima, S. Feeding characteristics of juvenile Japanese sea cucumber *Apostichopus japonica* (Stichopodidae) in a nursery culture tank. *Journal of National Fishery University* 2008; 57: 9–20.
- Yang, H., Zhou, Y., Zhang, T., Yuan, X., Li, X., Liu, Y., Zhang, F., Metabolic characteristics of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) during aestivation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2006; 330; 505–510.
- Yingst, J. The utilization of organic matter in shallow marine sediments by an epidenthic deposit feeding holothurian. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1976; 23: 55–69.