

肉眼観察による北海道沿岸域におけるマナマコの成熟サイズと海域間差の検討

高柳志朗*¹, 美坂 正

¹北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Variation in the maturity size of the Japanese sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, by macroscopic observation, in the coastal waters of Hokkaido, Japan

SHIRO TAKAYANAGI*¹ AND TADASHI MISAKA¹

¹ Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kushiro, Hokkaido 085-0024, Japan

Variation in the maturity size of the Japanese sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) collected in the coastal waters around Hokkaido, Japan, was assessed. From 2006 to 2009, 2,978 specimens were collected during June and August from 10 localities and examined by macroscopic observation. Differences are found in maturity curves and 50% maturity size (body wall weight) in the different coastal waters. Based on generalized linear mixed model (GLMM) analysis using the obtained maturity for each individual as a response variable, the optimal model divided the 3 coastal waters into the Sea of Japan (including the Tsugaru Strait), the Sea of Okhotsk and the waters of the Nemuro Strait and the Pacific Ocean (Hidaka area). The estimated 50% maturity body wall weight was 97.5 g, 76.1 g, and 64.1 g for each area, respectively.

キーワード：殻重量, 成熟サイズ, 肉眼観察, 北海道, マナマコ

マナマコ *Apostichopus japonicus* は、北海道から九州までの各地に分布し、潮間帯から水深40mまでの砂礫底や岩礁上に生息する (Mitsukuri, 1912)。本種は日本周辺海域における重要な沿岸資源であり、北海道では主に桁曳き網で漁獲され、このほかに潜水器による採取やタモ取りなども行われている。日本全体の漁獲量は1万トン程度であり、都道府県別には北海道、青森県、山口県の順に多い。北海道漁業現勢および北海道水産現勢によれば、北海道におけるマナマコの漁獲量は、1956年以降、323トン (1964年) から2,835トン (2007年) の間で変動しており、近年は2003年に2,090トンに達するなど、急増している (Fig.1)。2011年の北海道内のマナマコ漁獲量を振興局別に見ると、宗谷管内で最も多く、次いで渡島、留萌の順となっている。マナマコ漁業がある中で漁獲量が最も少ない根室管内でも27トンの漁獲があり、全国レベルで見ると各振興局の生産量は決して少なくない。また、近年の単価高騰により、生産金額 (2011年) は全道で105億円を超えるなど、マナマコを対象とした漁業が行われているいずれの海域においても、これまで以上に重要な漁業資源になっている。なお、十勝および釧路管内では、マ

ナマコ漁業はない。

近年の漁獲量増大は、中国における急激な需要増に伴う価格上昇を背景として (廣田, 2011), 漁獲努力量が増大したことによってもたらされたと考えられる (例えば、五嶋, 2012など)。このような漁獲圧の高まりは資源減少をもたらす可能性があることから、特に近年になって漁獲量が急増した海域では、資源状況を正確に把握し、具体的な資源管理方策を実行することが資源の持続的利用を図る上で急務である。

水産資源を維持管理する方法の一つとして、小型個体を保護し、大きく成長してから漁獲する方法があり、繁殖保護の観点から成熟サイズを基準にすることもある (例えば、久保・吉原, 1957など)。北海道日本海沿岸で近年漁獲量が多くなっている石狩湾系ニシンでは、刺し網目合い拡大を導入した未成熟個体を保護するための方策が実施され、一定の効果があることが示されている (山口ら, 2010)。

北海道各地ではマナマコの重さや長さなど、大きさに対する漁獲規制が自主的に設定されている場合が多い。マナマコの成熟サイズについては、生物学的最小形とし

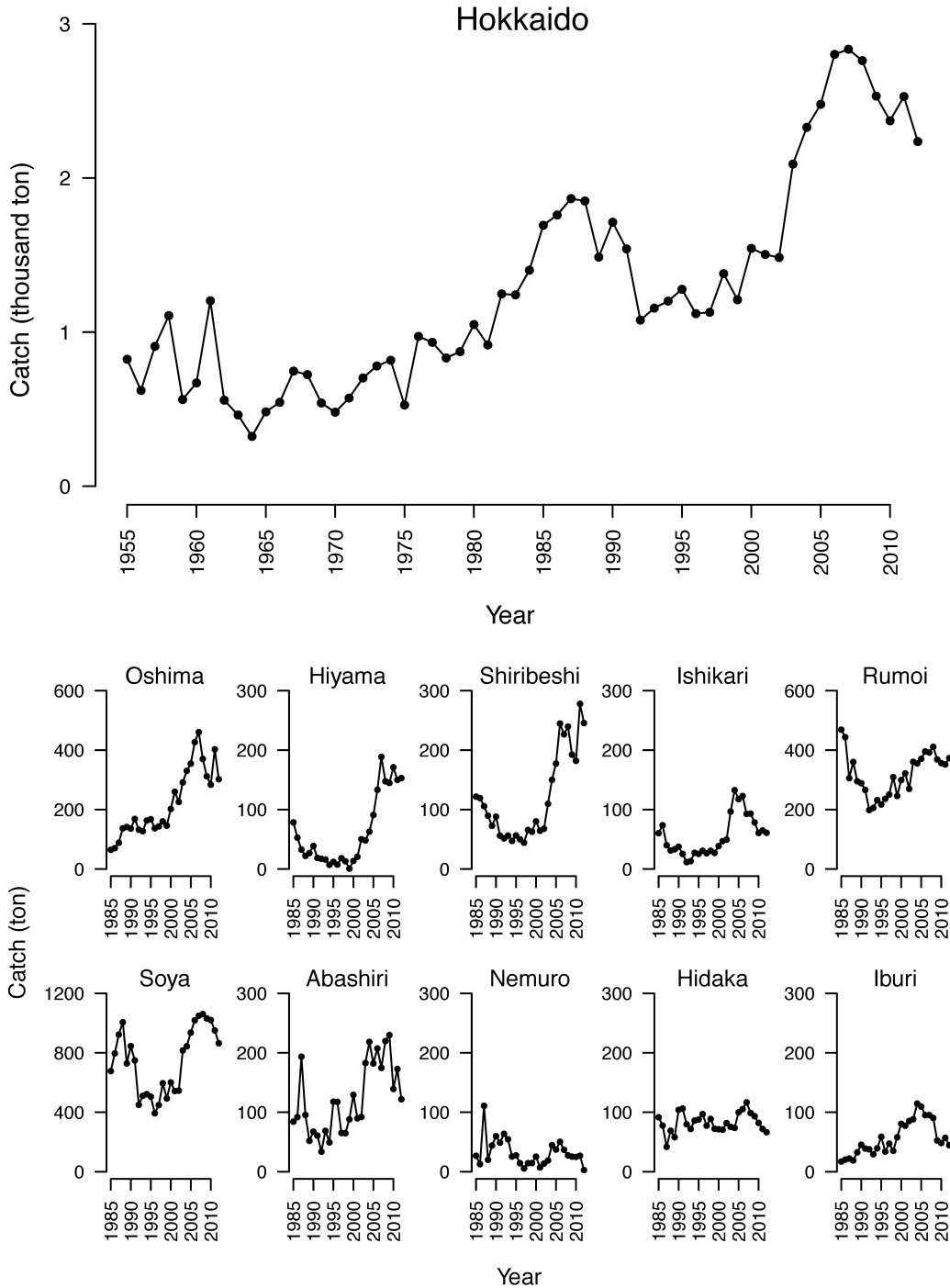


Fig.1 Annual catches of Japanese sea cucumber in Hokkaido and its 10 subprefectures.
Data source, Hokkaido Fishery Statistics (Hokkaido Gyogyo Gensei and Hokkaido Suisan Gensei).

て愛知県三河湾 (崔, 1963), 青森県陸奥湾 (桐原, 2009) や山形県における成熟開始サイズ (鈴木, 2013), また50%成熟殻重量として北海道宗谷湾 (栗原・清河, 1995) の報告があるが, 広く分布する北海道周辺海域を対象とした研究はこれまで実施されていない。

このため, 漁獲規制サイズが必ずしも成長や成熟サイズなどの科学的根拠による最適漁獲サイズとして導入されているわけではない。加えて, 各漁業協同組合ではそ

れぞれ異なる規制サイズが設定されているが, 成熟サイズの海域による差違についての知見がないため, 各地で設定されている規制サイズが資源管理方策上妥当なものかどうか, 現時点では検討することができない。

そこで, 北海道におけるマナモコの成熟サイズとその海域間差について, これまでに沿岸各地において成熟サイズを把握するために実施された生物測定データを用い, 検討を行った。

材料および方法

生物測定および成熟判定 本稿で用いたマナマコの生物測定データは、2006～2009年に北海道沿岸、北斗市茂辺地、奥尻町稲穂～勘太浜、積丹町、余市町、苫前町、利尻町沓形、稚内市宗谷湾、雄武町、標津町および新ひだか町の10カ所 (Fig.2) において、桁網または潜水によって採集された標本から得られたものである (Table 1)。なお、産卵時期に関する既存の報告 (栗原, 1991) に基づき、6月中旬から8月下旬までの期間に採集された標本の測定・観察結果を使用した。

標本は概ね100個体を上限として、体重、殻重量および生殖腺重量を電子天秤により0.1g単位で測定した。体重を測定する際には、体表の付着物等を取り除き、ペーパータオルなどで水分を拭き取った。また、高谷・川真田 (1996) に従い、生殖腺の肉眼観察により、成長期から成熟期と判定された個体を成熟、未熟期と判定された個体を未成熟と判定した。本研究では高谷・川真田 (1996) が対象とした体重150g以上の個体とは異なり、それより小さな個体を多く用いたため、肉眼観察による雌雄判定は困難な場合が多かった。そのため、本稿では雌雄判定データを使用しないこととして、以降の解析は雌雄込みで行った。

各標本採集地における体サイズ-成熟関係の推定 10カ所の採集地 (Table 1) における体サイズと成熟割合の関係を一般化線形モデル (GLM: Generalized Linear Model) により推定した。体サイズとしては比較的簡便で計測誤差の少ないとされる殻重量 (崔, 1963) を用い、さらに

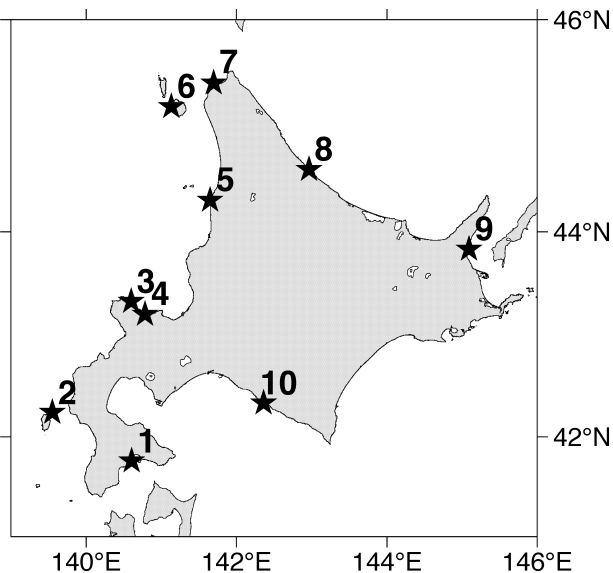


Fig.2 Locations sampled for Japanese sea cucumber specimens.

1. Hokuto Moheji; 2. Inaho and Kantahama, Okushiri;
3. Shakotan; 4. Yoichi; 5. Tomamae; 6. Kutsugata, Rishiri;
7. Soya-Bay, Wakkanai; 8. Oumu, 9. Shibetsu; 10. Shizunai, Shinhidaka.

体重は体長の3乗に比例すること (Yamane and Hamano, 2006) から、解析には殻重量の3乗根 (以下、体サイズ指数とする) を用いた。解析には統計解析環境R version 3.0.2 (R Core Team, 2013) の関数glm()を使用した。GLMでは、応答変数が二項分布に従うことを仮定し、連結関数はロジット関数とした (ロジスティック回帰)。応答変数には個体別に判定した成熟・未成熟の2値データを、説明変数には各個体の体サイズ指数を使用した (式1)。

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (1)$$

ここで、 p は成熟割合、 x は体サイズ指数、 β_0 、 β_1 はパラメータである。

得られたモデルにより各標本採集地における50%成熟殻重量を推定した。

体サイズ-成熟関係における海域差の検討 まず、体サイズと成熟割合の関係における採集地間の差を検討した。10カ所の採集地から任意の2カ所を抽出し、総当たりで45組のデータセットを作成した。これらの各データセットについて、式1のとおり採集地を説明変数としないモデルを帰無仮説、式1に採集地をカテゴリ変数として追加したモデルを対立仮説として、尤度比検定を行った。有意水準は0.05とした。

次に、式1に海域区分をカテゴリ変数として追加したモデル (式2) を用いて、一般化線形混合モデル (GLMM: Generalized Linear Mixed Model) によるロジスティック回帰分析を行った。解析には統計解析環境RのパッケージglmmMLに含まれる関数glmmML()を使用した (Broström and Holmberg, 2011; 久保・粕谷, 2006)。

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + r \quad (2)$$

ここで、 p は成熟割合、 x_1 は体サイズ指数、 x_2 は海域区分、 β_0 、 β_1 、 β_2 はパラメータである。 r は混合モデルにおけるランダム効果で、同日に同所で採取された標本群 (34群) を指定した。

海域区分には、採集地で区分せずひとまとめた場合 (海域区分変数なし)、10カ所の採集地に区分した場合、尤度比検定の結果に基づいて採集地グループをまとめた場合の3つのモデルについて、各海域区分を説明変数として赤池情報量規準 (AIC) により比較した。

成熟体サイズの推定 GLMMによりAIC最小モデルが得られた海域区分毎に、式2の説明変数から海域区分を除いたモデルを用いて、50%成熟殻重量を推定し、10,000回ブートストラップにより95%信頼区間を求めた。

また、漁業現場等では体重を基準に漁獲サイズを決めている場合がほとんどであることから、殻重量よりも誤差は大きくなると考えられるが、殻重量の代わりに体重

Table 1 Locality, sampling date, sampling method, number of individuals, total body weight, and body wall weight of Japanese sea cucumbers used by this study.

Locality	Sampling date	Method	Number of individuals	Weight (g)	Body wall weight (g)
Hokuto Moheji	2 July 2008	Diving	49	29 - 616	19 - 281
	8 Aug. 2008	Diving	50	46 - 522	32 - 246
	31 July 2009	Diving	80	77 - 514	45 - 238
	26 Aug. 2009	Diving	70	120 - 436	78 - 224
Inaho and Kantahama, Okushiri	7 July 2008	Diving	100	43 - 295	29 - 182
	4 Aug. 2008	Diving	100	22 - 224	14 - 136
	8 July 2009	Diving	100	40 - 338	28 - 191
	3 Aug. 2009	Diving	100	64 - 246	41 - 133
Shakotan	10 Aug. 2009	dredge net	59	78 - 466	56 - 226
Yoichi	9 July 2008	dredge net	99	41 - 471	25 - 248
	24 July 2008	dredge net	100	46 - 473	28 - 246
	7 July 2009	dredge net	99	50 - 310	25 - 162
Tomamae	8 July 2008	dredge net	101	61 - 169	46 - 109
	22 July 2008	dredge net	100	32 - 170	20 - 84
	13 July 2009	dredge net	106	29 - 236	16 - 139
	24 July 2009	dredge net	110	50 - 220	31 - 154
Kutugata, Rishiri	14 July 2008	Diving	50	30 - 376	27 - 227
	16 July 2008	Diving	47	73 - 505	60 - 268
	28 July 2008	Diving	12	91 - 585	86 - 206
	29 July 2008	Diving	44	60 - 367	36 - 301
Soya-Bay, Wakkanai	21 June 2006	dredge net	179	63 - 317	52 - 189
Oumu	31 July 2007	dredge net	106	42 - 277	28 - 166
	20 June 2008	dredge net	100	32 - 423	20 - 173
	18 July 2008	dredge net	105	33 - 331	20 - 219
	18 June 2009	dredge net	95	73 - 472	40 - 191
	22 July 2009	dredge net	98	35 - 244	19 - 108
Shibetsu	28 June 2008	dredge net	55	15 - 604	10 - 258
	6 Aug. 2008	dredge net	90	23 - 437	14 - 217
	15 July 2009	dredge net	98	25 - 625	16 - 375
	5 Aug. 2009	dredge net	97	37 - 570	27 - 279
Shizunai, Shinhidaka	16 June 2008	Diving	101	23 - 352	16 - 234
	1 July 2008	Diving	84	43 - 386	29 - 276
	18 June 2009	Diving	94	32 - 345	22 - 194
	7 July 2009	Diving	100	41 - 296	27 - 198

を用いた場合についても、同様の推定を行った。
標本採集海域における水温の検討 水温が成熟体サイズに与える影響を検討するため、特に生息環境としての海水温との関係を検討するため、本稿で使用した標本の採集海域における水温を比較した。生息環境を知るためには標本採集地において長期間にわたる水温データを用いることが重要である。しかし、標本採集地で長期間、継続的に観測された水温データは存在しないため、北海道栽培漁業振興公社が旬別に取りまとめている「北海道沿岸漁場海況観測取りまとめ」から、採集地に近い水温観

測地点のデータを抽出し、月別に整理した。各水温データは、標本採集地と水温観測地点の所在する総合振興局（または振興局）名で整理した。海域名-標本採集地-水温観測地点の対応は次のとおりである：渡島-北斗市-知内、檜山-奥尻町-奥尻と後志-積丹、余市町-余市、留萌-苫前町-羽幌、宗谷-稚内市宗谷湾と利尻町-杓形、オホーツク-雄武町-紋別、根室-標津町-羅臼、日高-新ひだか町-えりも。なお、これらの観測地において、欠測データがある年月を除き、同年同旬に共通に存在する水温データのみを使用した。用いたデータセッ

トは、1987～2011年の23年間、月別に43～59個、全体で585個であった。

結果

各採集地における殻重量組成および成熟状況 各採集地で得られたマナマコ標本の殻重量組成を未成熟・成熟個体に分けてFig.3に示す。標本は調査1回あたり概ね100個体を上限として、主に全重量40～200g前後の個体を採集することとしたため、Fig.3に示された殻重量組成は各採集地における母集団の組成を必ずしも反映していると

はいえない。しかし、積丹町を除き、100個体以上の標本が得られていること、また成熟を開始する殻重量階級付近の標本数も少なくとも20個体以上得られていることから、成熟サイズの検討に支障はないものと判断した。

北斗市茂辺地では殻重量範囲19～281gであり、成熟個体は殻重量60g台で出現し、100g台で半数が成熟個体を占め、200gですべての個体が成熟していた。奥尻町では殻重量範囲14～191gであり、成熟個体は50g台で出現し、100g台以上で半数が成熟個体を占め、160gですべての個体が成熟していた。積丹町では殻重量範囲55～226gであ

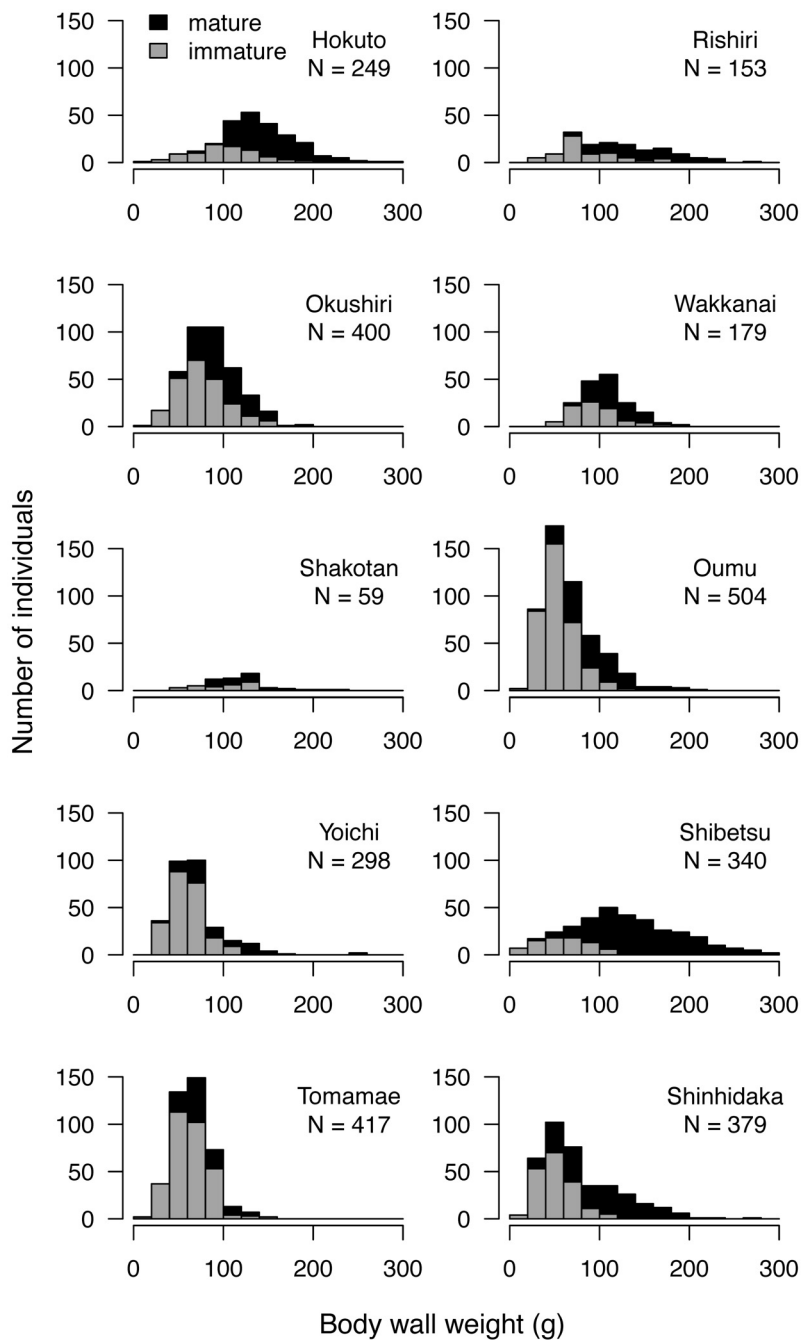


Fig.3 Body wall weight frequency distribution of Japanese sea cucumbers collected from the 10 localities.

り, 成熟個体は80g台で出現し, 120g台以上で半数が成熟個体を占め, 140gですべての個体が成熟していた。余市町では殻重量範囲25~248gであり, 成熟個体は30g台で出現し, 100g台以上で半数が成熟個体を占め, 130gですべての個体が成熟していた。苫前町では殻重量範囲16~154gであり, 成熟個体は40g台で出現し, 100g台以上で半数が成熟個体を占め, 140gですべての個体が成熟していた。利尻町杓形では殻重量範囲27~301gであり, 成熟個体は60g台で出現し, 110g台以上で半数が成熟個体を占め, 230gですべての個体が成熟していた。稚内市では殻重量範囲52~186gであり, 成熟個体は60g台で出現し, 90g台以上で半数が成熟個体を占め, 180gですべての個体が成熟していた。雄武町では殻重量範囲19~219

gであり, 成熟個体は20g台で出現し, 70g台以上で半数が成熟個体を占め, 130gですべての個体が成熟していた。標津町では殻重量範囲10~375gであり, 成熟個体は20g台で出現し, 70g台以上で半数が成熟個体を占め, 120gですべての個体が成熟していた。新ひだか町では殻重量範囲16~276gであり, 成熟個体は20g台で出現し, 70g台以上で半数が成熟個体を占め, 120gですべての個体が成熟していた。

各採集地における体サイズ-成熟関係の推定 50%成熟殻重量には採集地による違いが見られ (Table 2, Fig.4), 北斗市, 積丹町, 苫前町および利尻町では100g台, 奥尻町, 余市町および稚内市では90g台, 雄武町で80g台, 標津町および新ひだか町では70g台以下であった。

体サイズ-成熟関係における海域間差の検討 体サイズと成熟割合の関係における採集地間の差を検討した結果, 地理的な位置とある程度の対応があった (Table 3)。北斗市から稚内市にかけての採集地間では, 北斗市と余市町の組み合わせにのみ有意差があり, それ以外の組み合わせでは帰無仮説を棄却できなかった。雄武町は, すべての採集地との組み合わせで有意差があった。標津町と新ひだか町は, 両者の組み合わせでは帰無仮説を棄却できなかったが, 他の採集地との組み合わせでは有意差があった。これらのことから, 体サイズ-成熟関係における海域間差の検討には, 北斗市, 奥尻町, 積丹町, 余市町, 苫前町, 利尻町杓形および稚内市から構成される海域, 雄武町海域, そして標津町と新ひだか町から構成される海域の3区分を用いることが妥当であると判断された。

海域区分変数を入れないモデル (model 1), 10カ所の採集地を海域区分変数としたモデル (model 2), 尤度比検定の結果に基づいて, (北斗市&奥尻町&積丹町&余市町&苫前町&利尻町杓形&稚内市), (雄武町), (標津町&新

Table 2 Parameter (β_0 , β_1) and 50% mature body wall weight (SM50) of the size and maturity relationship model (logistic regression) estimated for each locality using GLM.

Locality	β_0	β_1	SM ₅₀ (g)
Hokuto	-16.36	3.42	109.0
Okushiri	-8.70	1.91	94.4
Shakotan	-11.15	2.36	105.9
Yoichi	-11.47	2.51	96.0
Tomamae	-8.04	1.70	106.5
Rishiri	-11.17	2.35	107.1
Wakkanai	-12.18	2.63	98.8
Oumu	-13.91	3.22	80.7
Shibetsu	-12.13	2.93	70.6
Shinhidaka	-9.15	2.27	65.3

Table 3 Likelihood ratio test results indicating differences among localities with respect to the body size and maturity relationship model (p value).

Locality	Hokuto	Okushiri	Shakotan	Yoichi	Tomamae	Rishiri	Wakkanai	Oumu	Shibetsu
Okushiri	0.075	—							
Shakotan	0.884	0.302	—						
Yoichi	0.041	0.244	0.325	—					
Tomamae	0.274	0.148	0.985	0.739	—				
Rishiri	0.932	0.073	0.906	0.186	0.484	—			
Wakkanai	0.120	0.478	0.394	0.627	0.735	0.232	—		
Oumu	0.000*	0.026	0.000*	0.008	0.012	0.000*	0.000*	—	
Shibetsu	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.015	—
Shinhidaka	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.469

*: < 0.001

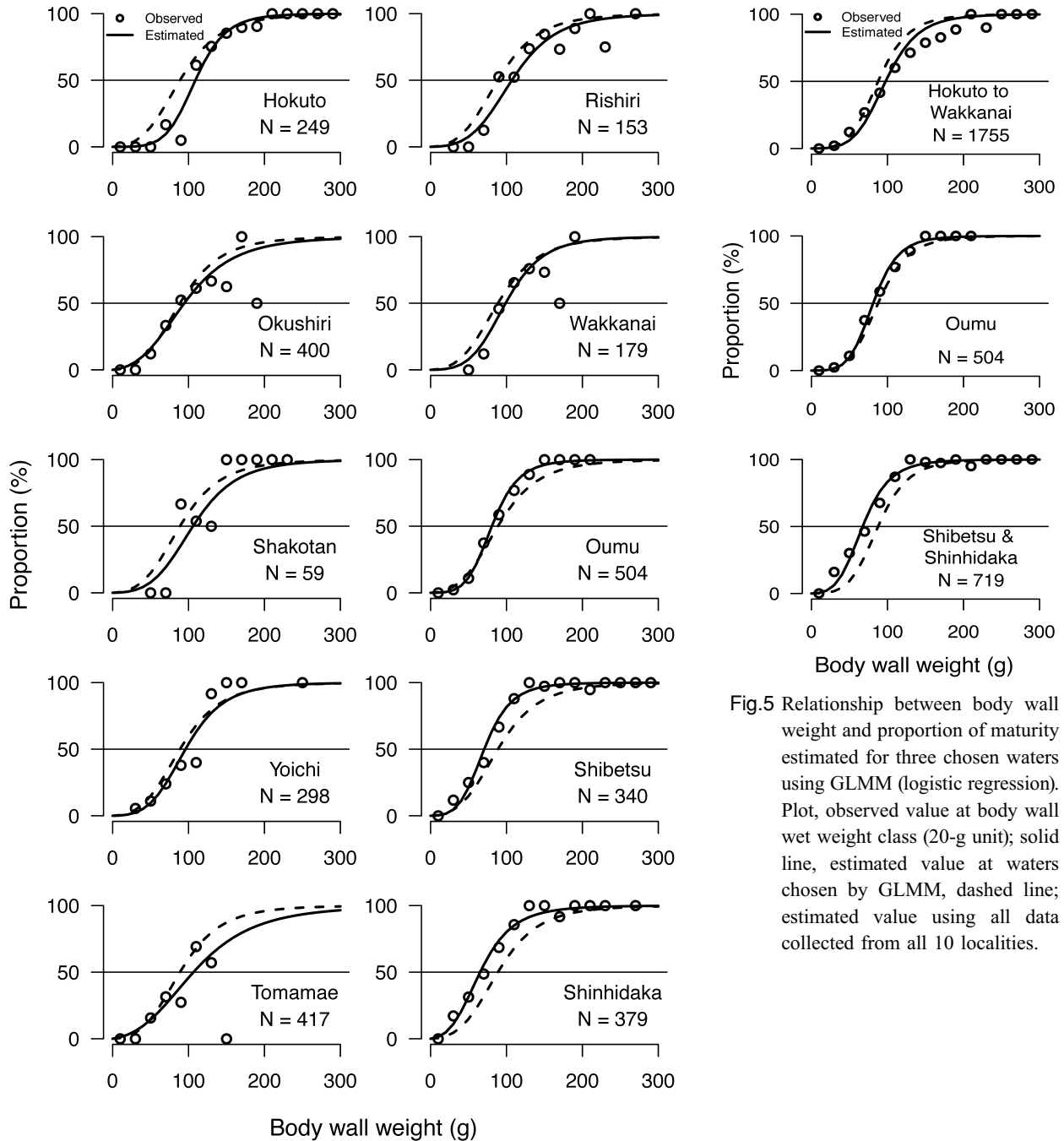


Fig.4 Relationship between body wall wet weight and the proportion of maturity estimated for each locality using a GLM (logistic regression).

Plot, observed value for each body wall wet-weight class (20-g unit); solid line, estimated value at each locality; dashed line, estimated value using all data collected from all 10 localities combined.

Fig.5 Relationship between body wall weight and proportion of maturity estimated for three chosen waters using GLMM (logistic regression). Plot, observed value at body wall wet weight class (20-g unit); solid line, estimated value at waters chosen by GLMM, dashed line; estimated value using all data collected from all 10 localities.

ひだか町の3区分を海域区分変数としたモデル (model 3) について、GLMMによるAICを比較した結果、model 3のAICが最小となった (Table 4)。

成熟体サイズの推定 GLMMにより3海域毎に体サイズと成熟割合の関係を推定し、50%成熟殻重量及び50%成熟体重を算出した (Table 5, Fig.5)。50%成熟殻重量は、北斗市～稚内市では97.5g (95%信頼区間：94.5～100.5g)，

雄武町では81.2g (76.9～86.2g)，標津町&新ひだか町では67.4g (63.2～71.6g)であった。また、50%成熟体重は、北斗市～稚内市では161.2g (95%信頼区間：155.9～166.8g)，雄武町では146.8g (137.5～158.8g)，標津町・新ひだか町では104.7g (97.9～111.4g)であった。

標本採集海域における水温の検討 AIC最小モデル (model 3) において成熟サイズの海域間差が認められたことにつ

いて, 月別水温から検討した (Fig.6)。

3つに区分された海域, すなわち渡島 (水温観測地: 知内) ~ 宗谷 (水温観測地: 杓形), オホーツク (水温観測地: 紋別) および根室 (水温観測地: 羅臼)・日高 (水温観測地: えりも) に分けて, 季節ごとの水温の特徴を以下に示す。オホーツクと根室・日高は, 渡島~宗谷に比べ, 冬季 (12~3月) の水温が低かった。ただし, 渡島~宗谷の各観測地間でも相当大きな水温差がみられ, 特に留萌で低水温傾向が認められた。また, 昇温期である4月では根室, オホーツク, 日高の順に低く, 渡島~宗谷の観測地間の水温差は小さかった。5月では4月とやや異なり, 根室, 日高, オホーツクの順に低く, また, これら3ヶ所では, 渡島~宗谷との水温差は冬季より小さかった。オホーツクでは5月以降の水温上昇が大きく, それまで高かった宗谷 (杓形) の水温とほぼ同じ値を示した。8~9月までの各地の水温変化 (昇温) 傾向はほぼ同じであり, 水温の高低の逆転は基本的には認められない。10

月以降の下降期では, オホーツクで大きい低下がみられ, また根室と日高海域ではほぼ同じ値を示していた。また, 根室と日高では各月の水温には少なからず差は認められるが, 年間を通した水温の変化傾向はおおむね一致していた。

以上のことから, 成熟サイズでみられた海域区分 (標本採集地) を海水温からの特徴との対応付けをすると成熟サイズの最も大きい渡島~宗谷 (北斗市&奥尻町&積丹町&余市町&苫前町&利尻町杓形&稚内市) では, 他の2つの海域区分に比べ高水温傾向であった。また, 比較的成熟サイズの小さいオホーツク (雄武町) と根室・日高 (標津町&新ひだか町) では低水温傾向が認められた。さらに, 成熟サイズがより小さい根室・日高では, 夏季 (5~8および9月) の水温は冬季に低水温であったオホーツクに比べ低かった。

Table 4 Division of the coastal waters using GLMM and the AIC of each model.

No.	GLMM structure (combination of waters)	Number of waters	AIC
1	(Hokuto & Okushiri & Shakotan & Yoichi & Tomamae & Rishiri & Wakkanai & Oumu & Shibetsu & Shinhidaka)	1	2659.8
2	Hokuto, Okushiri, Shakotan, Yoichi, Rishiri, Tomamae Wakkanai, Oumu, Shibetsu, Shinhidaka	10	2661.7
3	(Hokuto & Okushiri & Shakotan & Yoichi & Tomamae & Rishiri & Wakkanai), (Oumu) , (Shibetsu & Shinhidaka)	3	2651.0

Table 5 Parameter (β_0 , β_1) and 50% maturity size (body wall weight, SM50) in the size and maturity relationship model (logistic regression) estimated for the 3 coastal waters using GLMM.

a: body wall weight, b: total wet weight.

a: body wall weight

Combination of waters	β_0	β_1	SM ₅₀ (g)	SM ₅₀ 95% confidence interval
Hokuto - Wakkanai	-13.75	2.99	97.5	94.7 - 100.5
Oumu	-14.89	3.44	81.2	76.9 - 86.2
Shibetsu & Shinhidaka	-11.46	2.82	67.4	63.2 - 71.6

b. total wet weight

Combination of waters	β_0	β_1	SM ₅₀ (g)	SM ₅₀ 95% confidence interval
Hokuto - Wakkanai	-12.20	2.24	161.2	155.9 - 166.8
Oumu	-13.30	2.52	146.8	137.5 - 158.8
Shibetsu & Shinhidaka	-11.01	2.33	104.7	97.9 - 111.4

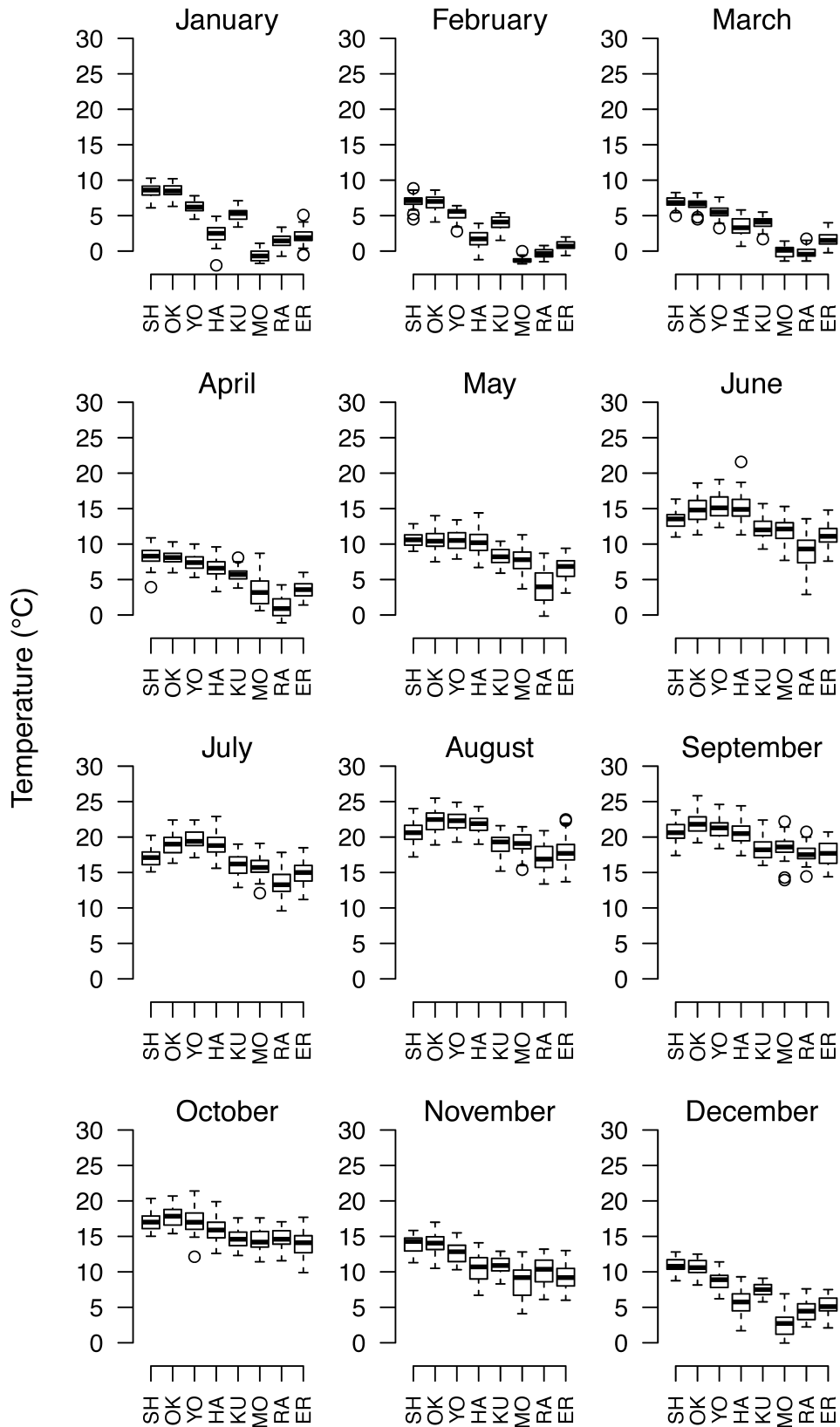


Fig.6 Monthly variation in sea water temperature at 8 stations along the Hokkaido coast, expressed by Tukey's box-and-whisker plots. Rectangle, interquartile range; center line, median; bar, maximum minimum range, except for abnormal values; open circles, abnormal values. Observation stations: SH, Shiriuchi; OK, Okushiri; YO, Yoichi; HA, Haboro; KU, Kutsugata; MO, Monbetsu; RA, Rausu; ER, Erimo.

考 察

殻重量と成熟の関係 本研究では、北海道各地におけるマナマコの成熟サイズおよびその成熟サイズの海域間差を検討することを目的としたため、体サイズおよび海域区分を一般化線形混合モデルの固定効果とし、同一海域区分における採集日の異なる標本群はランダム効果として扱った。このため、成長や成熟の進行に伴う体サイズの変化や体サイズによる産卵期の違いが存在する場合には、成熟サイズの推定値に採集時期が影響している可能性がある。また、生息環境の年変化によって成熟サイズが変化することも考えられる。

マナマコの成熟サイズに関連しては、これまで、生物学的最小形として殻重量58~60g(崔, 1963),あるいは陸奥湾での雌雄別(それぞれ体重130gと87g)の報告(桐原, 2009)がある。また、山形県においては「外殻重量(開腹し、内臓を全て取り除いた重量)が100g前後から成熟がはじまり、150g以上のものは概ね成熟へ向かう」との調査結果がある(鈴木, 2013)。北海道周辺海域では、宗谷湾で行った生殖巣形成の有無から判断した最小成熟個体は41.8g, 50%成熟重量53.1gであった(栗原・清河, 1995)が、殻重量か体重かを明示していないものの、数値から判断すると殻重量と推察される。本研究で得られた稚内市の50%成熟殻重量は98.8g, また北斗市~稚内市の海域区分で推定された場合には97.5g, 95%信頼区間は94.7~100.5gであり、栗原・清河(1995)の結果より大きかった。栗原・清河(1995)との差違は、扱った標本の初期成長や成熟進行過程から産卵期までの年による成長の違い,あるいは観察方法の違いなどが原因となっている可能性がある。

今回の成熟サイズの検討は、簡易的な肉眼観察に基づくものであり、また雌雄を区別して行っていないことから、今後は、生殖腺の組織観察による成熟度判定等の導入によって詳細な分析が必要である。

海域間差の要因 結果で述べたように、区分された3海域の成熟サイズと生息域として代表させた海域の沿岸水温の関係には対応関係が認められることから、両者には関連があることが示唆される。ただし、本研究ではいくつかの標本採集地では水温観測データが存在しなかったため、標本採集地での成熟サイズと水温との直接の関係を調べることはできなかった。

また、生息水温と成長の関係は本州での断片的な知見(濱野ら, 1989)があるのみで、関連することが示唆された生息水温が成熟サイズの大小にどのように影響するのか、これまで北海道では全く知られていない。

このように、水温と成長・成熟に関する知見は限られていることから、今後、飼育実験などにより、詳しい分

析が求められる。その際には、今回十分には明らかに出来なかった、水温の季節変化などの海域特性との関連性について、詳しく検討する必要がある。

マナマコの成熟サイズが海域間で異なることに関して、系群あるいは成熟年齢の違いに起因する可能性がある。北海道内にはmtDNAやmsDNAで判別できる系群は確認できなかったこと(酒井・菅野, 2013)から、系群については、少なくとも現在の知見では成熟サイズの海域間差の要因であると考えすることはできない。また、成熟年齢に関しては、これまで年齢形質がみつかっていなかったため、年齢査定が行われていないのが現状である。しかし、最近年齢形質が発見されたことから(吉村・中島, 2009)、その技術を用いた成果が期待される。成熟年齢は水産資源の管理方策を検討する際に最も重要な情報の一つであることから、今後その解明が望まれる。

成熟サイズを漁獲規制サイズの基準とする場合の留意点

まず対象海域とその適用範囲について考える。本研究により、採集地によって成熟と体サイズの関係(成熟曲線)には違いがあること、また一般化線形混合モデルGLMMによって、3つの採集地区分、すなわち“北斗市~稚内市”、“雄武町”、“標津町&新ひだか町”を代表とする海域では、それぞれの成熟曲線や成熟サイズを採用することが妥当であると判断された。

このことは、成熟サイズを基準とした漁獲サイズ規制を行う場合は、各海域の成熟サイズに対応した漁獲規制サイズを採用することが重要であることを意味する。2011年の北海道全体のマナマコ漁獲量2,568トンのうち約77%を占めるほどの大きな生産海域(北海道水産現勢による)である津軽海峡と北海道日本海海域において、同一の成熟サイズで表せる可能性が示唆されたことは重要であり、この海域の範囲内での漁獲規制サイズ検討の際に、注意深く考慮すべき事項である。

一方で、オホーツク海や根室海峡、さらには噴火湾を含めりも以西海域において、今回の研究結果を直ちに導入することは危険である。また、本研究において実施された採集地点と他の地点の間に存在するマナマコ漁場への導入も同様である。今後、標本採集地を増やして、海域区分を詳細に検討できるような調査が必要である。

次に、現在各地で取り組まれている漁獲サイズの規制と資源管理の面から検討を行う。これまでの指導所や漁業協同組合等への聞き取り調査から、各地区あるいは漁業協同組合では漁獲規制サイズ(体重)は100gを中心として、一部130gや150gに設定されているが、中には漁法により、100gより小さいサイズとなっている場合もみられる。本研究により、50%成熟体重は、北斗市~稚内市では161g, 雄武町では147g, 標津町・新ひだか町では105

gであった。

このように、現状の漁獲規制サイズは多くの地区あるいは漁業協同組合において50%成熟体重を下回っていると考えられ、成熟サイズの視点でみた場合、各地で行われている漁獲サイズ規制には、まだ改善の余地があると考えられる。特に、本研究で50%成熟体重が最も大きい161gと推定された海域では、資源の悪化が懸念される場合、漁獲量や漁獲努力量の制限などの資源管理措置を含めて、サイズ規制についても早急な検討が必要である。

さらに、成熟サイズと成長や漁期との関連についても検討を加える。留萌や宗谷管内など日本海を中心とするナマコを多獲する海域においては、桁曳き漁業による漁獲が大きい割合を占め、その漁期は6月中旬～8月に設定されている場合が多い。本研究では、産卵盛期に入る前の時期である7～8月を中心に、各海域の産卵期に合わせて、調査時期を設定した。産卵期とマナマコ漁業の漁期が重なる海域では、漁獲サイズ規制を見直す際に本研究結果の成熟サイズは、ほぼそのまま、検討に資することが可能である。しかし、産卵期以外に漁期を設定している場合、漁期が産卵期の前であれば、その間に成長を把握する必要がある。例えば3～4月に漁期が設定され、産卵期が7～8月である場合、その間に成長（増重）が見込まれるので、その成長（増重）分を規制サイズに組み込む必要がある。また、産卵期以降秋から冬にかけて漁期が設定されている場合は、翌年産卵期までの成長量を加味する必要がある。いずれの場合も産卵期の成熟サイズより小さい値を設定しない限り、サイズ規制は資源管理上有効に働くと考えられるが、いずれにしろ、現在知見がほとんどないマナマコの詳しい季節的成長や成長にかかわる要因を知ることが不可欠である。

謝 辞

本研究は、北海道が進める「マナマコ資源増大推進事業」の中で、「資源管理対策事業」として平成19～21年度に実施された調査結果を中心に、一部水産技術普及指導所や稚内水産試験場が実施・取得した結果をとりまとめたものである。調査に参加した北海道水産試験場資源管理部および資源増殖部門の研究者、北海道水産林務部資源管理課および水産技術普及指導所の方々には多大なる支援と協力を頂いた。特に、「マナマコ資源増大推進事業」に参画し、あるいは指導普及活動として取り組み、各地において標本採集および生物測定を行った、後志北部、奥尻、渡島中部、胆振、日高静内支所、根室標津支所、網走西部、稚内、利尻および留萌北部の各地区水産技術普及指導所に勤務されていたの方々には、この上ないほどの協力を頂いたことに対し、心から感謝を申し上げる。

文 献

- Broström G, Holmberg H. Generalized linear models with clustered data: Fixed and random effects models. *Computational Statistics and Data Analysis* 2011; 55: 3123–3134.
- 五嶋聖治. 第2章生態. 「ナマコ学 —生物・産業・文化— (高橋明義・奥村誠一共編)」。成山堂書店, 東京. 2012; 19–34.
- 濱野龍夫, 網尾勝, 林健一. 潮間帯および人工藻礁域におけるマナマコ個体群の動態. *水産増殖* 1989; 37: 179–186.
- 廣田将仁. ナマコ流通の動態と供給体制の対応に関する考察. *漁業経済研究* 2011; 55: 129–147.
- 桐原慎二. 海鼠の生態と資源管理—2. 青森県水産総合センター増養殖研究所だより 2009; 114: 8–10.
- 木下虎一郎, 渋谷三五郎, 海鼠産卵期調査総括. 北海道産海鼠の産卵期から見た禁漁規制に就いて. *北水試旬報* 1939; 430: 1–6.
- 栗原康裕, 清河進. IV. マナマコ人工種苗生産の確立. 平成元年度稚内水産試験場事業報告書 1990; 168–171.
- 栗原康裕. マナマコの話. 産卵期調査から資源管理まで. *北水試だより* 1991; 14: 1–7.
- 栗原康裕, 清河進. IV. プラザ関連調査研究事業. 1. マナマコ産卵期確認調査. 平成2年度稚内水産試験場事業報告書 1991; 243–245.
- 栗原康裕, 清河進. 3. マナマコ資源管理技術開発試験. 平成5年度稚内水産試験場事業報告書 1994; 219–228.
- 栗原康裕, 清河進. 3. マナマコ資源管理技術開発試験. 平成6年度稚内水産試験場事業報告書 1995; 192–200.
- 小林雅行. 仙法志沖に於けるナマコ産卵期調査結果について. *利尻島の水産だより* 2002; 93: 12.
- 久保伊津男, 吉原友吉. 「水産資源学」共立出版, 東京. 1957.
- 久保拓弥, 粕谷英一. 「個体差」の統計モデリング. *日本生態学会誌* 2006; 56: 181–190.
- 丸邦義. 根室支庁管内のナマコの産卵期と禁漁期の改正. *試験研究は今* 1997; 314: 1–2.
- Mitsukuri, K. Studies on *Actionpodous* Holothurioidae. *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo* 1912; 2: 1–284.
- 岡本健太郎, 山本潤, 佐藤朱美, 峰寛明, 田保知佳. 直漁港周辺に生息するマナマコの成長式推定の試み. *日本水産工学会学術講演会講演論文集* 2008; 20: 235–236.
- 崔相. 「なまこの研究—マナマコの形態・生態・増殖—」海文堂, 東京. 1963.

- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. 2013.
- 酒井勇一, 菅野愛美. マナマコ放流用種苗生産指針 (2013年). 北海道立総合研究機構栽培水産試験場・東北大学大学院農学研究科.
<http://www.fishexp.hro.or.jp/cont/saibai/section/saibai/hg40a700000005li-att/namakoshishin.pdf> (2013.12.09)
- 鈴木裕之. マナマコの産卵期と成熟サイズ
<http://www.pref.yamagata.jp/ou/norinsuisan/147010/images/seika/22seika/2010kensuishi01.pdf> (2013.12.09)
- 高柳志朗, 前田圭司, 佐野稔, 本前伸一. エビかごを用いた海中飼育によるマナマコ成長試験. 北水試だより 2010 ; 80 : 11-15.
- 高谷義幸, 川真田憲治. マナマコの生殖巣発達段階の簡易判定基準. 北水試研報 1996 ; 49 : 23-26.
- Tanaka, Y. Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 1958; 9 (1): 29-36.
- 山口幹人, 瀧谷明朗, 山口宏史, 三宅博哉, 高柳志朗. 石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および資源管理効果の試算. 北水試研報 2010 ; 77 : 21-27.
- Yamane y, Hamano T. New size measurement for the Japanese sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Stichopodidae) estimated from the body length and body breadth. *Fishery Science* 2006; 72: 585-589.
- 吉村圭三, 中島幹二. 北海道産マナマコの石灰環断面に現れる成長線の形成時期及び年齢との関係. 平成21年度日本水産学会秋季大会講演要旨集 2009 ; 102.