

貝桁網によるチョウセンハマグリの足部損傷について

山崎慎太郎,^{1*} 日向野純也,² 渡部俊広¹

(2001年7月26日受付, 2002年1月10日受理)

¹水産総合研究センター水産工学研究所, ²水産総合研究センター養殖研究所Foot damages of the clam *Meretrix lamarckii* caused by clam dredgingSHINTARO YAMASAKI,^{1*} JUNYA HIGANO² AND TOSHIHIRO WATANABE¹¹National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Hasaki, Ibaraki 314-0421,²National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Nansei, Mie, 516-0193, Japan

Mechanisms of foot damage occurrence in the clam *Meretrix lamarckii* were studied to improve the quality of clams caught by clam dredging. The damaged clams were classified into two groups: clam with severed foot (cut clams) and clam with partly severed foot. The rate of foot damage increased with increasing water temperature and the rate of cut clams increased with increasing towing speed. Closing of valves by adductor muscle in response to tactile stimuli did not cause the foot damage. It is suggested that the foot was cut when the shell of the clam was pressed against the teeth of the dredge and sand, with its foot outside the shell. At the temperature of 25 °C, clams dug faster and deeper into sand than at 10°C. Therefore, the vigorous burrowing activity of clams and burrowing deeper at higher water temperature may cause the higher rate of cut clams. The towing speed should be kept as slow as possible to reduce the rate of cut clams.

キーワード：貝桁網, チョウセンハマグリ, 二枚貝, 潜砂深度

茨城県の鹿島灘ではチョウセンハマグリ *Meretrix lamarckii*, ウバガイ *Pseudocardium sachalinensis* 等の二枚貝が貝桁網で漁獲され, 沿岸漁業の重要な資源として利用されている。なかでもチョウセンハマグリは, この数年間減少傾向にあるものの年間 700 トン以上の水揚量が続いており, 漁家の重要な収入源となっている。貝桁網の曳網方法は, 1960 年代後半に曳網を巻く曳寄方式から船の推進力を利用して片舷 1 丁ずつ計 2 丁を同時に曳網する現在の曳廻方式に転換された。¹⁾ しかし, 曳廻方式の導入以降, 足部が殻で挟まれ, 切断される「舌食い」と呼ばれる貝が多く発生するようになった。舌食いの貝は蓄養時の死亡率が高く, 商品価値が下がる。また, 貝桁網に遭遇後, 漁獲されずに海底に残った舌食いの貝は, 足部の欠損により活力と潜砂能力が低下するために生残率が低くなると推定される。

二枚貝の舌食いの発生率は種,²⁾ サイズ³⁾ により異なる。また, その発生率は貝桁網の刃・爪の深さ^{4,5)} および曳網速力^{5,6)} により変化することが報告されている。鹿島灘のチョウセンハマグリやウバガイについては, 調

査用貝桁網を用いた試験において足部損傷の発生率が夏季に高くなることが報告されている。⁵⁾ しかし, 舌食いの発生条件や発生機構についてはほとんど把握されていない。

本研究では, チョウセンハマグリの舌食いの発生を低減するために, 漁獲物の舌食いの発生率と, 貝桁網の曳網速力および水温との関係を調べた。そしてチョウセンハマグリの潜砂深度と行動から, 舌食いの発生機構について検討した。

方 法

貝桁網 調査に使用したチョウセンハマグリ用貝桁網を Fig. 1 に示す。この貝桁網は鹿島灘で一般に用いられている。爪の本数 48 本, 爪の直径 12 mm, 爪の間隙 26 mm, 爪の先端から滑走面までの垂直距離 (爪の深さ) 13.6 cm である。操業時は 2 丁の貝桁網を長さ 90 m の曳網により平均速力 120~220 m/h で曳網する。

鹿島灘におけるチョウセンハマグリを対象とした貝桁網漁業では, 大洗地区, 鹿島地区, 波崎地区の漁船が順

* Tel : 81-479-44-5951. Fax : 81-479-44-1875. Email : marimo@affrc.go.jp

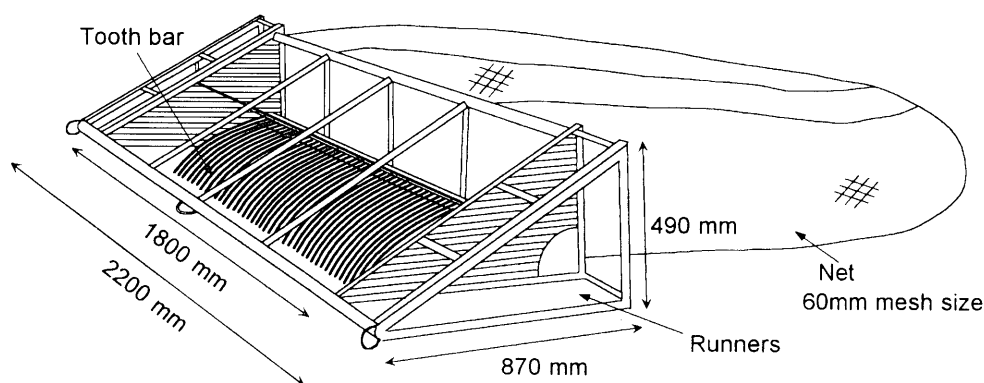


Fig. 1. Clam dredge for *Meretrix lamarckii* in Kashimanada, Japan. A tooth bar 12 mm in diameter is fitted to the dredge. Tooth spacing is 26 mm. Distance between the top of teeth and runners (tooth depth) is 136 mm.

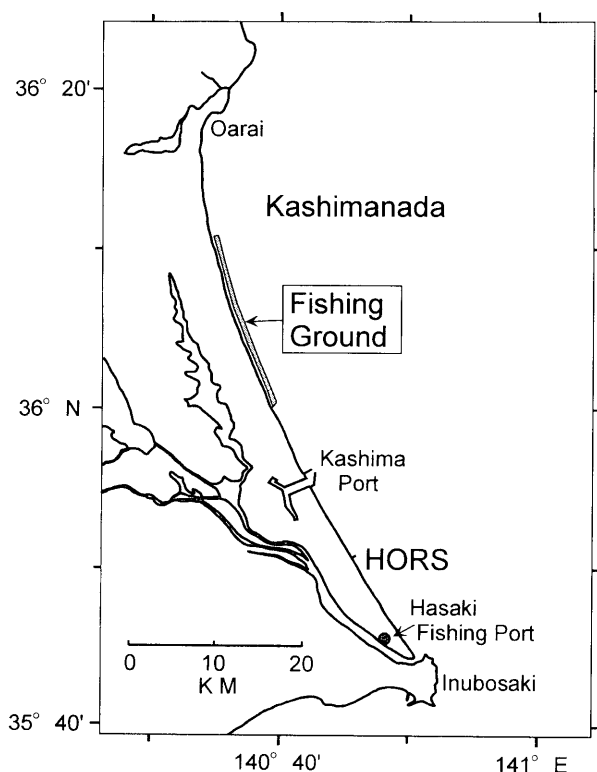


Fig. 2. Fishing ground of the clam *Meretrix lamarckii* in Kashimanada. Water temperature was measured at HORS.

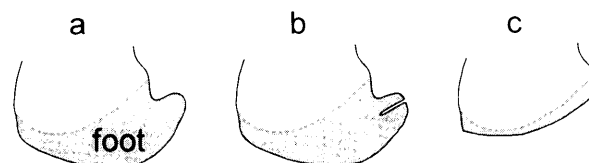


Fig. 3. Classification of the foot of *Meretrix lamarckii* caught by clam dredger. a: normal foot, b: partly severed foot, c: severed foot. Each foot shows the contracted state.

傷の状態を操業日ごとに調べた。なお、1997年12月以前（11月を除く）の操業では、対象とする貝が1998年以降に比べ小さかったので、現在用いられている貝桁網よりも爪が浅く（11 cm）、爪の間隔が狭い（21 mm）ものを使用していた。

操業日ごとに約50個体を無作為抽出して標本とし、殻長の測定後、殻を剥いて足部の状態を観察した。足部の状態を正常（Fig. 3a）、部分的な裂傷（Fig. 3b、以下傷と呼ぶ）と欠損（Fig. 3c、以下舌食いと呼ぶ）に分類し、標本に占めるそれぞれの割合（以下発生率と呼ぶ）を求めた。また、正常、舌食い、傷の個体数がそれぞれともに10個以上あった場合について、正常と傷、および正常と舌食いの個体間における平均殻長の違いをt検定により調べた。

また、漁場から最も近い観測点であり、チョウセンハマグリの生息水深帯の水温を常時観測している港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設の観測栈橋⁷⁾中央部（水深約3 m）の操業時刻における計測値が漁場の水温を代表できると考え、足部損傷と水温との関係を調べた。そして現在用いられている貝桁網が使用された1997年11月および1998年以降の操業日について、足部損傷の発生率と水温との相関をKendallの順位相関係数⁸⁾を用いて調べた。

1998年10月から1999年9月にかけて2隻の標本船

番に Fig. 2 に示す鹿島灘北部の水深3~5 mの漁場で周年操業を行っている。操業日における曳網回数は1回で、曳網時間は1999年9月までは60分間と定められており、同年10月以降は100分間となっている。

水温、殻長と足部損傷 1997年6月から1999年9月にかけて、Fig. 1 に示した貝桁網を使用する特定の2隻の漁船（総トン数4.9トン、500馬力 以下標本船と呼ぶ）によって漁獲されたチョウセンハマグリの足部損

Table 1. Outlines of examinations

Objective	Operation	Month	No. tow	Tow duration (min)	No. Sample (indiv./haul)	Dredge specifications		
						No. teeth	Tooth spacing (mm)	Tooth depth (mm)
Foot damages and water temperature	Commercial	Jun. '97-Sep. '99	27	60	50	48	26	136
Seasonal variation in towing speed	Commercial	Oct. '98-Sep. '99	9	60	50	48	26	136
Foot damages and towing speed	Experimental	Jul. '98-Sep. '98	14	8-15	100	45	26	152

に計9回乗船して漁船の曳網速力を測定した。曳網速力は、DGPSを用いて記録した漁船の位置から10分間隔で算出し、曳網開始時と終了時の漁船の位置、および曳網時間から平均曳網速力を求めた。水温および平均曳網速力と足部損傷の発生率との間に正の相関があるかを前述の順位相関係数を用いて調べた。

曳網速力と足部損傷 1998年7月, 8月, 9月に各1回, 曳網速力を操業ごとに変えた試験をFig. 2に示す漁場で行い, 曳網速力と足部損傷との関係を調べた。曳網速力は, 前述の方法により漁船の移動距離と曳網時間から求めた。漁獲されたチョウセンハマグリを操業ごとに1丁当たり50個体ずつ計100個体, 無作為抽出し, 標本の足部損傷の発生率を求めた。平均曳網速力と足部損傷との相関の検定には前述の順位相関係数を用いた。操業時の水温には, 上記と同じく観測浅橋における計測値を用いた。漁獲物調査, および曳網速力と足部損傷の調査の概要をTable 1にまとめて示す。

潜砂反応時間および潜砂深度 潜砂行動や潜砂状態の水温による差異がチョウセンハマグリの足部損傷の発生に及ぼす影響を検討するために, 貝を砂面上に引き上げてから底質への潜入行動を開始するまでの時間(潜砂反応時間), 潜砂深度と水温(10°C, 25°C)との関係を水槽実験により調べた。実験には鹿島灘北部の漁場で2000年9月に貝桁網で漁獲されたチョウセンハマグリ(殻長77.9~88.9 mm)を用いた。水温24°Cの漁場で漁獲されたチョウセンハマグリを, 波崎町の砂浜海岸で採取した砂を敷いた水温20°Cの水槽に2~3週間馴致した。その後, 潜砂位置の特定と砂中からの引き上げのために貝の両殻にナイロン製の糸(直径0.6 mm)を接着した(Fig. 4)。2基の300 L水槽(大水槽)の底面に, 砂を敷いた40 L水槽(小水槽)を2基ずつ設置し, 小水槽が水没するように大水槽に海水を満たした。そして糸を接着した貝を各小水槽に10個体ずつ, すなわち各大水槽に20個体ずつ計40個体を収容した。大水槽は実験終了時まで200 lxの恒明状態にした。収容時の水槽内の水温は22°C, 塩分3.2%で, 小水槽の砂の厚さは20 cmであった。大水槽の一方を鹿島灘沿岸の水温の下限に相当する10°Cに, 他方をその上限に相当する25°Cに設定した。水温調整は, 飼育水温から10°Cへは5日

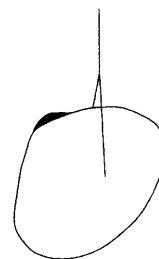


Fig. 4. The position of the thread that bonded the shells together.

間かけて段階的に行い, 25°Cへは約1時間で完了した。調温完了時から4日後に潜砂反応時間を計測した。

チョウセンハマグリの潜砂行動は, 1)底質を詮索する行動, 2)底質への潜入行動, 3)底質内での定位行動の3つの主な行動から成り立っている。⁹⁾本研究では, 潜砂反応時間を, 貝に接着した糸で静かに貝を引き上げ, 殻の半分を砂面上に露出させてから底質への潜入行動を開始するまでの時間とした。殻周囲の砂面に, 潜砂に伴う水の噴流が認められた時をもって, 潜入行動の開始とした。次に, この計測の24時間後にこれらの個体の潜砂深度を定規で測定した。潜砂深度は殻の上端から砂面までの最短距離とした。測定時に潜砂していなかった個体と殻が砂面上に露出していた個体は, 測定の対象から除いた。また, 実験後に足部の状態を観察し, 損傷があった個体は測定記録から除外した。潜砂深度および潜砂反応時間の水温による差を, 連の数による検定¹⁰⁾により調べた。

接触刺激に対する反応 チョウセンハマグリの舌食いの発生原因として, 貝が貝桁網の爪と砂とにより殻が圧迫された状態で爪による接触刺激に反応し, 足部を伸張したまま閉殻筋を収縮することが考えられる。この現象が起こる可能性を推定するために, 水槽内で潜砂していない貝の外套膜, 足部, 水管, 潜砂状態の貝の水管に直径2 mm, 全長75 mmの針で接触刺激を与えて, 貝の反応を観察した。次に糸を接着した貝を潜砂させて, 貝を糸によって引き上げ, 一方の殻に両手の親指を, 他方の殻に両手の人差し指と中指を当てて, 足部が伸張した状態の貝の殻に圧力を加えた。その状態で貝を水槽から

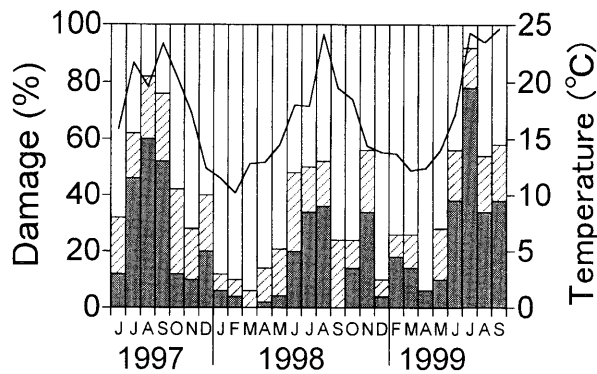


Fig. 5. The foot damage rate of *Meretrix lamarkii* caught by clam dredger. A solid line shows water temperature when the clams were caught. ■: severed foot, ▨: partly severed foot, □: normal foot.

取り出し、外套膜と足部を前記の針で刺激して反応を観察した。観察は殻長 81 mm~91 mm のチョウセンハマグリ 8 個体について行った。水槽の水温は 21°C であった。また、足部を伸張した貝の殻に両手で圧力を加えることにより舌食が発生するか観察した。

結 果

殻長、水温と足部損傷 舌食、傷の発生率と漁獲時の水温との関係を Fig. 5 に示す。舌食の発生率は 0~80% の間で大きく変動し、水温の高い時期に高く、水温の低い時期に低かった。水温と舌食の発生率の間には正の相関が認められた ($p < 0.01$)。傷の発生率は 0~30% の間で変動し、舌食と同様に水温の高い時期に高く、水温の低い時期に低かった。水温と傷の発生率の間には舌食と同じく正の相関が認められた ($p < 0.01$)。足部損傷は舌食、傷ともに足部の先端を中心に生じた。舌食の損傷程度は、足部の先端がわずかに欠けた個体から足部の大部分を失い内臓が露出した個体まで、さまざまであった。足部の切断面は殻の腹縁に沿っていた。また、傷のあった多くの個体は Fig. 3b に示したように足部の先端から内臓に向かって裂けており、裂け目の周辺には足部を殻で挟んだ跡はなかった。足部の正常な個体、舌食の個体、傷の個体の平均殻長を Table 2 に示す。足部の正常な個体と舌食、傷の個体の間には 1997 年 12 月の調査を除き殻長に差がなかった。

実操業における曳網速力と経過時間の関係を Fig. 6 に示す。曳網速力は時間の経過とともに減少し、曳網開始直後から 10 分間では 180~290 m/h、曳網開始直後から 50~60 分間では 110~220 m/h であった。平均曳網速力と舌食および傷の関係を Fig. 7 に、水温と舌食および傷の関係を Fig. 8 に示す。これらの関係のうち、水温と舌食との間にのみ正の相関 ($p < 0.05$)

Table 2. Shell length (SL) of *Meretrix lamarkii* classified by foot condition

	Normal Foot		Severed foot		Partly severed foot	
	SL** (mm)	No.	SL (mm)	No.	SL (mm)	No.
Sep. '97	75.5 ± 3.3	12	73.3 ± 4.8	26	72.1 ± 5.2	12
Dec. '97	76.1 ± 4.2	30	80.3 ± 4.0*	10	79.2 ± 4.4*	10
Jun. '98	79.0 ± 4.9	26	79.5 ± 5.2	10	80.7 ± 4.1	14
Nov. '98	79.7 ± 3.1	22	78.8 ± 3.4	17	80.7 ± 4.0	11
Aug. '99	83.1 ± 3.4	23	83.1 ± 3.1	17	83.5 ± 2.9	10
Sep. '99	83.6 ± 3.8	21	85.0 ± 3.3	19	84.6 ± 3.5	10

* significant difference ($p < 0.05$) compared to normal foot

** Mean ± S.D.

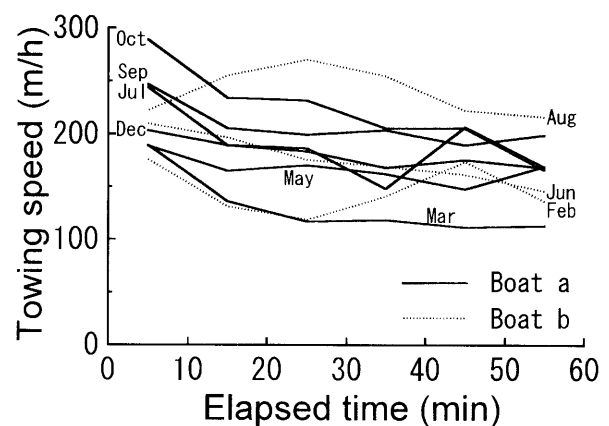


Fig. 6. Relationships between commercially operated towing speed and elapsed time of the two clam dredgers which caught *Meretrix lamarkii*.

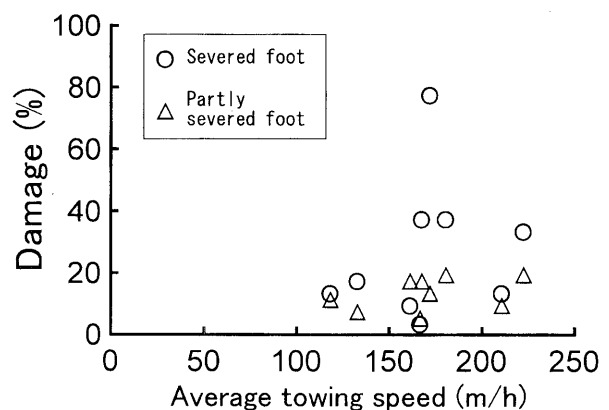


Fig. 7. Relationships between commercially operated average towing speed and the rate of severed and partly severed feet.

が認められた。平均曳網速力と舌食および傷との相関、水温と傷との相関は有意ではなかった。

曳網速力と足部損傷 試験操業における曳網速力と舌食の発生率との関係を Fig. 9 に、傷の発生率との関

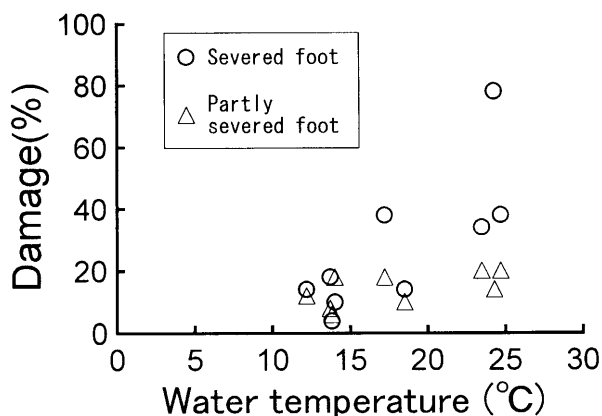


Fig. 8. Relationships between water temperature and the rate of severed and partly severed feet. Each foot damage rate corresponds to the data shown in Fig. 7.

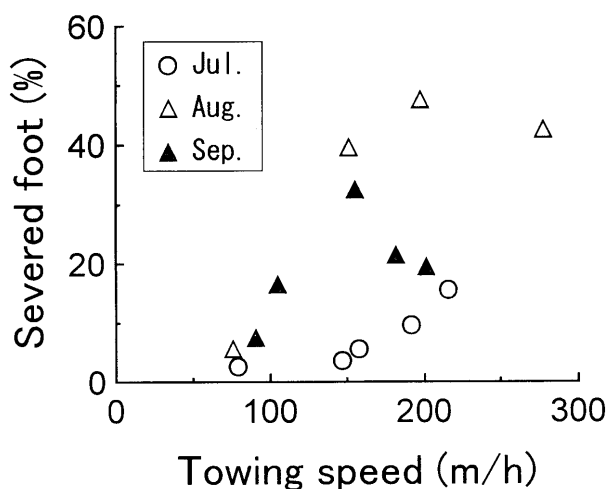


Fig. 9. Relationships between experimentally operated towing speed and the rate of severed foot.

係を Fig. 10 に示す。曳網速力と舌食いの間には、7 月に行った試験において正の相関 ($p < 0.01$) が認められた。各試験日とも舌食いの発生率は曳網速力が最も小さい 100 m/h 以下の操業において最も低く、いずれも 10% 以下であった。一方、曳網速力と傷との相関はいずれの試験日も有意ではなかった。曳網時の水温は 7 月が 20°C, 8 月が 22°C, 9 月が 23°C であった。

潜砂反応時間および潜砂深度 水温 10°C では 13 個体, 25°C では 15 個体を測定した。殻に接着した糸による砂中からの引き上げに対し、全ての個体で水温に関係なく潜砂行動が観察された。水温 10°C と 25°C におけるチョウセンハマグリ平均潜砂反応時間と平均潜砂深度を Table 3 に示す。水温 25°C では全ての個体で 10°C より潜砂反応時間が短かく、潜砂行動が活発であった。平均潜砂反応時間は水温 10°C で 15.3 秒, 25°C では 5.6

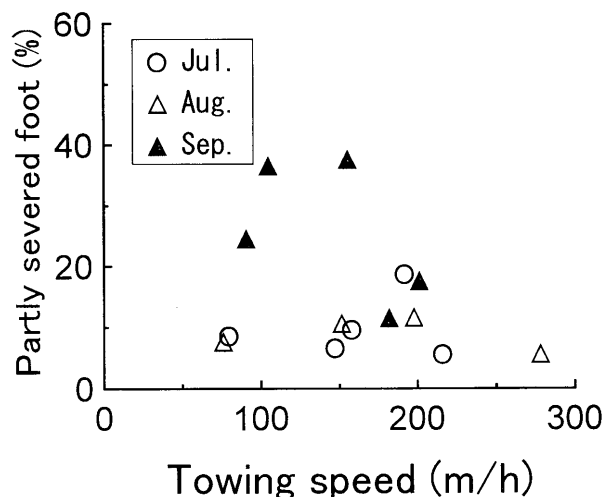


Fig. 10. Relationships between experimentally operated towing speed and the rate of partly severed foot.

Table 3. Reaction time for burrowing and burrowing depth of *Meretrix lamarckii*

Water temperature	No. of individuals	Average time	Average depth (D)	D/Average shell length
10°C	13	15.3 s	13 mm	0.16
25°C	15	5.6 s*	21 mm**	0.26

* All individuals at 10°C were faster than any individuals at 25°C.

** significant difference ($p < 0.05$) compared to 10°C.

秒であった。また、平均潜砂深度は水温 10°C で 13 mm, 25°C では 21 mm であった。水温 25°C での潜砂深度は 10°C に比べ有意に大きかった ($p < 0.05$)。

接触刺激に対する反応 針による接触刺激に対して、貝の閉殻筋の収縮は全ての個体で足部の収縮や引き込みと常に同時に観察された。潜砂している貝を砂中から引き上げると全ての個体で足部の収縮と引き込みが観察され、殻を急速に強く圧迫した場合にのみ足部の収縮と引き込みが停止した。この状態においては、針による接触刺激に対する閉殻筋の自発的な収縮は認められなかった。さらに殻を加圧すると足部の切断が観察された。潜砂している貝の水管を針で軽く刺激すると全ての個体で水管の閉鎖と収縮、引き込みが観察され、さらに針による刺激を繰り返し与えると閉殻した。

考 察

チョウセンハマグリ漁獲物調査では、舌食いの発生率、傷の発生率と水温との間に、ともに正の相関が認められた。この結果は、水温の高い夏季に足部損傷の発生率が高くなる傾向があると述べた海老沢、安藤⁵⁾の報告と一致する。漁獲物調査の標本船の曳網速力を年間を通して調べた結果、曳網速力と舌食いおよび傷の発生率と

の相関は認められず、水温と舌食いの発生率との間にも正の相関があった。したがって、チョウセンハマグリ足部の損傷の季節変動は、水温による行動や生態の変化に起因すると考える。

二枚貝の舌食いは、足部を伸張した状態で閉殻することによって足部が切断される現象である。¹¹⁾ この状態での閉殻については、物理的要因と生物側の要因が考えられる。前者では貝桁網の爪と砂とによる殻への圧迫に伴う強制的な閉殻、後者では貝桁網に反応し、貝が足部を伸張したまま閉殻筋を収縮させる自発的な閉殻が考えられ、そのいずれかにより足部が切断されると推測される。チョウセンハマグリでは通常、足部の収縮や引き込みと閉殻筋の収縮が同時に生ずる。足部を伸張している個体の殻を圧迫し、足部の収縮と引き込みが停止した状態においては、閉殻筋の自発的な収縮は観察されなかった。足部の切断は殻を強く圧迫した場合にのみ観察された。

したがって、チョウセンハマグリは物理的要因により舌食いを生じ、足部の伸張した状態で爪と砂によって殻が圧迫されて足部が切断すると考える。曳網速力を変えて行った試験においては、舌食いについては曳網速力の増大にともない発生率が高くなった。この原因は、曳網速力の増大によって、貝桁網に遭遇した貝に作用する圧力が増大するためであると考えた。また、傷については足部の裂けた箇所の基部周辺には殻で挟んだ跡は認められず、裂けた方向も舌食いと異なり、腹縁に沿っていなかったもので、足部が爪と接触して生ずると推定した。

爪の深さの異なる貝桁網（9 cm, 18 cm）の比較試験では、爪の浅い9 cmの方が足部損傷の発生率が高くなったことから、⁵⁾ 同一の深さの爪に対しては潜砂深度の大きい方が足部損傷の発生率が高くなると推定される。したがって、より深く潜砂する殻長の大きい個体は、足部損傷の発生率が高いと考えられる。⁴⁾ しかし、足部の正常な個体と舌食い、傷の個体の間には6回の調査中1回を除き殻長に対する差は生じなかった。漁獲された貝の殻長の範囲が狭かったために、殻長の差が現れなかったものと考えられる。

水温25℃の平均潜砂深度は10℃に比べ大きかった。前述のように潜砂深度の大きい方が足部損傷の発生率が高くなると推定されるため、水温の高い時期における潜砂深度の増大が足部損傷の発生率を高くしている一因と考える。また、水温25℃では全ての個体で10℃より潜砂反応時間が短かく、潜砂行動が活発であった。こうした活発な潜砂行動も、水温の高い時期における足部損傷の増大と密接な関係があると考えられる。

水温が20℃以上の時に曳網速力を変えて行った試験では、曳網速力100 m/h以下で舌食いの発生率が10%未満となっていることから、曳網速力を100 m/h以下

に抑えることが舌食いの発生を防ぐ目安になると考えられる。

以前の操業方法である曳寄方式や、ウバガイ、¹²⁾ バカガイ、アサリ等の漁獲に用いられている噴射式桁網の導入は舌食いの発生低減に効果があると考えられる。しかし、それらの導入には設備投資や漁撈作業の煩雑さの面に問題を生じる。新たな設備投資をせずに舌食いの発生を抑えるには、できる限り曳網速力を抑えて操業することが現実的かつ最も有効な方法である。

謝 辞

調査に御協力いただいた波崎共栄漁業協同組合の小浜勤組合長、竹中賢氏、鹿島灘漁業協同組合の浅野次男組合長、関澤平八郎参事、内野康弘氏をはじめ両組合の組合員、職員各位、観測データを提供いただいた独立行政法人港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設の皆様に深く感謝いたします。また、本論文の校閲を賜った北海道大学大学院教授梨本勝昭博士、科学技術振興事業団特別研究員崔漸珍博士に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 茨城県水産試験場. 茨城県の漁具漁法（海面漁業編），1969；86-87.
- 2) Michael KP, Olsen GP, Hvid BT, Cranfield HJ. Design and performance of two hydraulic subtidal clam dredges in New Zealand. *New Zealand Fish. Tech. Rep.* 1990; **21**: 1-16.
- 3) Meyer TL, Cooper RA, Pecci KJ. The performance and environmental effects of a hydraulic clam dredge. *Mar. Fish. Rev.* 1981; **43**(9): 14-22.
- 4) Smolowitz RJ, Nulk VE. The design of an electrohydraulic dredge for clam surveys. *Mar. Fish. Rev.* 1982; **44**(4): 1-18.
- 5) 海老沢良忠，安藤隆二．貝桁網の曳網速度と二枚貝の損傷発生率について．茨城水試研報 1999; **37**: 15-21.
- 6) 福島県水産試験場．福島県沿岸域海域別調査事業報告書．福島水試調査研究資料 1986; **208**: 174-191.
- 7) 加藤一正，柳嶋慎一，村上裕幸，末次広児．汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み．港湾技術研究所報告 1987; **26**(2): 63-96.
- 8) 石居 進．生物統計学入門，第1版，培風館，東京．1975; 74-212.
- 9) 日向野純也，安永善暢．砂泥性着底基質の解明Ⅱ—チョウセンハマグリ，コタマガイの潜砂行動に関する基礎的研究—．水工研技報水産土木 1986; **7**: 41-52.
- 10) 応用統計ハンドブック編集委員会編．応用統計ハンドブック，第8版，養賢堂，東京．1995; 12-90.
- 11) Murawski SA, Serchuk, FM. Mechanized shellfish harvesting and its management: the offshore clam fishery of the eastern United States. In: Caddy JF (ed) Marine invertebrate fisheries: their assessment and management, John Wiley & Sons, New York. 1989; 479-506.
- 12) 梨本勝昭，小島隆人，平石智徳．ウバガイ噴射式桁網のつめ角度について．日水誌 1988; **54**: 959-964.