

植放流事業（1984～1986年，鳥取県）が行われているが，浮遊幼生期の移送・分散が広域に及ぶと予想される上，成体（商品サイズ）に達するまでの期間が約10年を要することから，現時点では未だその事業効果を期待することはできない．本研究における飼育実験では，天然の生息域における温度条件より高い水温で，産卵・孵出から成体までの育成が行われ，孵出から11齡期までの所要期間を，自然水域で推定されているそれのおよそ1/2～1/4にまで短縮することができた（第2章第2節）．このことから，種苗育成の飼育水温を適切に高めること，また種苗の移植放流は水深の浅い場所を選んで水温条件を高めることにより，それぞれ種苗の育成期間や再生産サイクルを短縮し得る可能性が充分にあることが示唆され，これらは資源の増殖対策として経済的観点からも極めて有効な手段であると考えられる．

第4節 論 議

隠岐島周辺海域のズワイガニは，漁獲努力量の増大にもかかわらず，漁獲の実体は量的にも質的にも低下していることから（図34～37），その資源が減少傾向にあることは否定できない．とくに総漁獲量の減少にともない，これを補う目的で雌が選択的に漁獲される傾向がみられることは，再生産に及ぼす影響が大きいと考えられ，注目すべき事実である．資源保護については，省令による取締規則のほか漁獲量についての自主規制が行われている．漁獲された規制銘柄を再度海中に戻した場合の生残率は，空中露出時の温度と時間によって決まり，水圧の変化は直接的な死亡原因とならないことが示唆された．またミスガニは，甲殻の硬い個体に比べて空中露出に対する死亡率が高く，とくに高温時期に脱皮後間もない初産卵群が混獲されることは，避けなければならない．本種の生物特性から検討すると，第3節に述べたような，再生産の阻害要因を排除するための方策が考えられる．

総 括 論 議

本研究は，ズワイガニの資源保護および増殖に関する基礎的資料として必要な生物学的情報を得る目的で，沖合底曳網の標本船による操業記録（表4），および試験船による周年的な採集資料をもとに，隠岐島周辺海域における本種の成熟と産卵を中心に，発育段階および季節による分布や移動等に関する研究を行った．しかし，市場からの標本入手はズワイガニ漁期（1～3月）に限られる上，定期的な標本採集も，本種の生息域が200m以深の海底であることから容易でないため，得られた結果にはなお種々の疑点が残された．そこで，これらの疑点を解明するため，さらに飼育による観察を試み，産卵・孵出の様態を知ると共に，幼生から成体までの一貫した育成に初めて成功した．この飼育結果と天然における採集結果とをあわせ，既往の知見と異なる点や新たな知見を得ることができた．すなわち，成熟と産卵，産卵周期，および生涯の産卵回数，さらに成長・成熟に及ぼす水温の影響等が明らかとなり，本種の増殖特性をかなり解明することができた．

先ず，隠岐島周辺海域における浮遊幼生の分布は，3～7月に水温12～19℃の範囲の海域で出現がみられ（表2，図3），ゾエアからメガロパへと発育段階が進むに従い，分布水深も表層から中，下層へと移行する傾向がみられ，水温17℃以上では採集数が少なくなることから，

幼生の分布を規制する主たる要因は水温であることが推察された。幼生が海水流動により移送、拡散される可能性は充分考えられるところであるが、隠岐島周辺海域では定常的に冷水域および冷水渦流が発生するのでこの海域に滞留する幼生も多いと思われる。しかし、産卵、孵出時期、ならびに水温には年変動があることから、幼生の分布域や出現時期は年によってかなり大きく変動するであろう。したがって、メガロパ幼生が1齢期稚ガニとなって底生生活に移る時期や生息場所も同様に年変動のあることが類推され、その時期や場所を特定することはできない。なお、浮遊幼生の分布については、採集ネットの深海所定層の水平曳が困難である上、ベニズワイガニ幼生との識別が難しいことから、採集結果を定量的または定性的に扱うことには問題が残されている。

同海域における底生生活期の分布は、着底以後発育段階が進むに従い、400m以深から200～250mの浅い水深帯へ順次移動し、甲幅40～65mm（8～10齢期）の未成年体はこの水深帯に集中的に分布する傾向がみられた（図6，7-1，7-2）。その後成体に達した雌の分布様式は集中性が強く、この水深帯で生殖行動を行うものと推察された（表6，8，図6，7-1，7-2，）。一方、成体に達した雄は、再度深い水深帯へ移動し、300m以深に分散的な分布様式をとるようになり、雌成体の分布様式とは明らかに異なる（図5，6）。雌雄成体はこのように分布様式が異なるので、経産卵個体の産卵時には雌雄の遭遇する機会が少ないと考えられ、経産卵には交尾を必要としない可能性が想定された。

本種の産卵は、これまで冬～春季のみ行われるものとみられていたが（松浦1934，伊藤1963），初回の産卵と2回目以降の経産卵では約6ヶ月の差があることが、本研究における生殖腺熟度指数（以下，MIという）の月別変化から認められた（表9，図15）。また外仔卵の胚発生についても両者の間に6ヶ月の差があり、産卵周期は初回～第2回が1.5年，第2回以降は1年であることが認められた。飼育実験により、雌は10齢期で卵巣の発達が始まり、約12ヶ月後の7～9月に、脱皮して成体（11齢期）に達した直後に交尾して初回の産卵を行い（図12，13，15）。さらに2回目以降の経産卵は1～3月に脱皮や交尾をとまわずに毎年繰り返し行われることが明らかにされた（図15，17，19）。このように初産卵と経産卵の時期が異なることは、伊藤（1967）と今・本間（1970）によっても支持された。一方、外仔卵の色調には、生殖腺熟度指数の増大と同様に季節的な変化が認められ（表10，図20），卵巣の成熟と胚発生は同調していることが示唆された。このことから、産卵後の抱卵期間は、卵巣の成熟に要する期間と同様に初産卵では18ヶ月，経産卵では12ヶ月となることが認められた。このように、初産卵と経産卵における卵巣の成熟や胚発生の速度にみられる6ヶ月の時間的な差は、両者の生息域の温度条件等には殆ど差がないことから、脱皮現象などの内因的な要因に起因するものと考えられる。初産卵における胚発生を経時的に明らかにするためには、今のところ未成年体からの飼育による初産卵の確認が必要であり、供試材料の効率的育成方法が問題として残されている。

天然における雌雄の分布様式から、経産卵は交尾をとまわずに行われる可能性のあることを推測したが、飼育実験においても交尾をとまわずに産卵が4回重ねられることを観察し、さらに貯精嚢内の精子の性状からも、経産卵では必ずしも交尾を必要としないと考えられた。

また、生涯に行われる産卵回数は5回前後であることが推察された(図25)。

雌は成体(11齡期)に達するまで6.5年(伊藤1970)、または9.5年(今1980)を要することが推定されているが、その期間は平均約3°Cの飼育では約4.1年に、8°Cでは約3.1年にそれぞれ短縮された。一方、甲幅は天然のものにくらべて前者では1齡期、後者では2齡期分小型化され(表17, 18)、さらに後者においては成体に達するのに1齡期多く要し、12齡期への脱皮直後に初産卵が行われた。このように高水温で飼育されたものほど小型化し、成長よりも変態が促進されるという結果が得られたが、雌の生物学的最小形に地理的な差がみられることは(図14)、生息域の水温によっては、それらが甲幅モードから推定されている年齢より若齢である可能性も想定される。

本種の資源保護および増殖については、雌の漁獲規制を強調する必要性があり、雌の成体、未成体の分布様式が雄と異なることから雌の漁獲規制を行うことは技術的に可能であると考えられる。規制銘柄の雌成体を漁獲後再放流した場合の活力回復は、温度条件と空中露出時間および甲殻の硬さで決定され、生息域の水温と漁獲時の船上の気温との差が12°C以内であれば、脱皮後の軟殻状態にある初産卵群を除き、漁獲後の再放流は再生産に有効な手段として期待できることが実証された(表20)。さらに積極的な増殖方法として、栽培的な手法が考えられるが、種苗育成の飼育水温を適切に高めて育成期間を短縮すること、また、移植放流場所や保護区域の水深を浅くすることなどによりそれらの温度条件を適切に高めることができれば、再生産周期を短縮することの可能性は充分あることが示唆された。

要 旨

ズワイガニ *Chionoecetes opilio* は日本海西南海域における重要な漁業資源であるが、近年その漁獲量は最高時(1963年, 5280t)の1/10程度(1987年, 462t)となり、漁船規模の増大にもかかわらず総漁獲量の減少とともに漁獲物の小型化や低品質銘柄の占める割合が高まり、資源量の著しい低下が認められている。このため、資源の動向に対する関心が高まり、資源回復の対策が緊急の課題となっている。

本研究は、このような背景からズワイガニ資源の保護と増殖を図り、その漁業を安定させるための基礎的な知見を得ることを目的として行った。先ず、主要な漁場である隠岐島周辺海域において、沖合底曳網漁船による操業記録(1967~1970年)、および試験船による周年的な採集調査(1964~1971年)の資料をもとに、本種の分布、移動ならびに成熟、産卵などについての生態学的研究を行なった上、抱卵個体を蓄養してその孵出幼生から成体に至るまでの5年間に及ぶ飼育実験に初めて成功し、本種の脱皮、成長の過程や産卵様式などを解明し、漁場調査で推定された知見を検証した(1974~1987年)。さらに、以上の知見による本種の生物学的特性に基づき、その資源管理と増殖について検討した。本研究の成果を要約すると以下の通りである。

1. 隠岐島周辺海域における生態について

分布と移動 浮遊幼生のゾエアⅠ期、ゾエアⅡ期およびメガロパ期の個体はそれぞれ主とし

て3～4月, 4～6月, 4～7月の期間に出現し, それらの多くは水深200m～400mの海域(水温:10～17℃)に多く出現した。底生生活に移った個体では, 発育が進むに従い, 400m以深から浅い水深帯へ移動し, 雌雄未成体(甲幅:20mm以上)および雌成体は水深200～250mに沿った陸棚域, 雄成体は水深300m以深の陸棚域において, それぞれ分布密度が高く, 雌成体, 雄成体は水深300mを境に生息域を異にしていることが認められた。また, 雌雄未成体および雌成体は集中的な密度分布を示すのに対し, 雄成体は広域的な, また分散的な分布を示していた。しかし, これら底生生活期の生息域の水温はほぼ共通しており, 5℃以下で周年殆ど変化せず, 全般に1～3℃の区域の分布密度が高かった。雌成体の移動について標識放流により調査した結果, 直線距離で10km以内の移動のものが75%, 水深差20m以内のものが85%を示し, 移動範囲は比較的狭いと考えられた。また, それぞれの生活域における雌雄の生息比は, 甲幅65mm以下の未成体では生息場所や季節に関係なくほぼ1:1であるのに対して, 成体では水深300mを境に性比は大きく偏り, 雌雄の生活域は垂直的に異なることが認められた。この結果, 雌雄の分布様式の違いから生殖行動や交尾生態についても特異性が推察された。

成熟と産卵 各地における雌成体の大きさを平均甲幅で示すと, 大和堆-64.8mm, 隠岐島周域-74.9mm, 韓国東岸沖-75.8mm, 東ベーリング海-58.2mmであり, また, 生物学的最小形はそれぞれ52, 54, 67, 43mmが記録され, 地理的な差がみられた。隠岐島周辺域における雌の生殖腺熟度指数および甲殻硬度の月別変化を調査した結果, 7～9月に, 未成体としての最終令期に達すると卵巣が発達し始め, 1年後の翌年7～9月に, 成熟すると共に最終脱皮を行って成体となり, 直ちに初回の産卵を行い, 抱卵するものであると認められた。

また, 雌成体は周年抱卵状態にあり, かつ, その外仔卵の胚発生の進行の季節的变化からみて, 外仔卵から幼生が孵出すると直ちに次回の産卵・抱卵を行うものであり, 幼生の孵出とそれに続く次回の産卵は毎年1～3月にのみ行われるものであることが認められた。従って, 第2回以降の産卵における抱卵期間は約12ヶ月であると認められ, これは既往の知見と一致するものであるが, 初回産卵に限り, その抱卵期間は約18ヶ月であると推定された。即ち, 初回の産卵と2回目以降の産卵とは産卵時期および卵の胚発生速度が明らかに異なると考えられた。脱皮と産卵の関係は, 甲殻硬度と生殖腺熟度指数の月別変化から, 初回の産卵は脱皮直後に行われるが, 2回目以降の産卵は脱皮をとまわらないことが認められた。生涯に行われる産卵回数は, 標識放流の結果少なくとも5回は行われることが推測された。1尾当たり1回の抱卵数は $20.3 \sim 131.1 \times 10^3$ 粒で, 抱卵数 Y と甲幅 x の関係は, $Y = 2006x - 82,102$ ($r = 0.551$, $x:62 \sim 86$ mmの範囲)が得られた。

2. 飼育条件下における生態について

胚発生 2回目以降の産卵で産出された外仔卵の胚発生は, 平均水温3.9℃において, 産出されてから47日後に原口形成域の出現, 96日後に胚盤形成, 128日後に顎脚原基の出現, 195日後に複眼に色素胞出現, 248日後に顎脚に色素胞出現, 299日後に孵出し, 孵出までの積算水温は $1156.3^\circ\text{C} \cdot \text{日}$ であった。

孵出幼生の成長 水温 10°C および 15°C において, 幼生各期の経過に要する期間は, ゴエア I

期がそれぞれ20日, 16日, ゴエアⅡ期が21日, 15日, メガロパ期が22日, 18日を示し, これらを通算した幼生期間における積算温度は $669^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ (10°C) \sim $664^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ (15°C) であった。

稚ガニの成長 メガロパ幼生から変態して底生生活に移った1齡期稚ガニを, 3°C 区 ($2.3\sim 5.2^{\circ}\text{C}$) および 8°C 区 ($7.0\sim 10.2^{\circ}\text{C}$) の水槽において飼育した。その結果, 10齡期に達するまでに要する日数は, 前者では1,121日, 後者では555日となり, 積算温度はそれぞれ $3,429^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$, $4,659^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ となった。また, これらの場合, 各齡期とその齡期の経過までの積算日数との関係は, 第2次性徴の未出現・出現期に当たる第4, 5齡期の間に変曲点をもつ回帰直線で表された。

1~10齡期における脱皮ごとの甲幅の平均成長率は, 3°C 区では37.2%, 8°C 区では32.9%を示し, 各脱皮時の成長量をHIATTの定差図から求めると, 3°C 区の場合 $L_{n+1} = 1.396L_n - 0.180$, 8°C 区の場合 $L_{n+1} = 1.265L_n + 0.408$ [L_{n+1} : $n+1$ 齡期の甲幅(mm), L_n : n 齡期の甲幅(mm)] の式で表された。これらの成長を天然のそれに比べると, 1齡期から10齡期になるまでに要する期間は, 3°C では約1/2に, 8°C 区では約1/4に短縮されたが, 10齡期における甲幅は, 3°C 区のものではほぼ1齡期分, 8°C 区のものではほぼ2齡期分, それぞれ小型化した。

脱皮は多くの場合夜間に行われたが, その2~3日前から甲殻の褪色や摂餌行動の不活発化がみられることで予察できる。脱皮の開始(甲殻の後縁部の開口)から終了(歩脚の脱出)までに要する時間は, 例えば, 3°C 区において雌の9齡期から10齡期への脱皮の場合, 約7時間であった。この時の時間的な経過は, 6時間40分まで脱皮は極めてゆるやかに進行したが, その後は急速に進行し, 鋏脚および歩脚が脱出に要した時間は12分間に過ぎなかった。この時の脱皮による成長率は43.4%であった。また脱皮による歩脚等の再生については, 8°C 区において雄個体の6齡期から7齡期への脱皮の際に観察した例では, 欠損していた右第1~4歩脚, 左鋏脚と第2歩脚の再生が行われた。再生された部位は正常部位に比べてやや小さく, 再生された右第3歩脚の長節の長さは正常な左第3歩脚のその約0.6倍, 左鋏脚のそれは右鋏脚の0.8倍の長さであった。

産卵行動, 産卵周期 初回の産卵においては, その7~10日前から雌(10齡期)・雄(11齡期)が継続的に対面行動をとるようになり, 雌が11齡期への脱皮を行ったのち, 1日以内に交尾し, その直後に産卵が行われた(8~12月)。2回目以降の産卵は改めて脱皮や交尾を経ることなく行われ, その多くは, 外仔卵からの幼生の孵出後10日以内に産卵した。 3°C 区の場合, 初回の産卵は8月に行われ, 第2回の産卵は翌々年の2月(初回の産卵後18ヶ月)に, 外仔卵から幼生の孵出後12日目に行われた。さらに, 第3回の産卵はその翌年の2月(第2回産卵後12ヶ月)に行われた。また, 別に抱卵雌のみを 3°C 前後で飼育した結果, 毎年1~3月に幼生の孵出および産卵が行われ, 個体としての最多産卵回数は5回(5年)に及んだ(産卵回数は標識放流の結果から推測された5, 6回と一致する)。これらから, 産卵周期は初回~第2回が1.5年, 第2回以降は1年であり, 交尾は初回産卵の直前に行われるのみであり, その後の産卵においては雌の持つ貯精囊の精子により受精卵が産出されることが確認された。

受精の過程は, 交尾によって雌の貯精囊内に移された精包は, 産卵時にその一部が裂開し,

放出された個々の精子が受精に使われるものと推論され、精包の機能が精子の長期保存を可能にしているものと考えられる。

3. 資源の管理と増殖の方策について

近年における本種の漁獲量、漁業実体の推移を解析した上、これまでに得られた本種の生態学的知見に基づき、漁獲規制の方法および栽培手法による増殖方法など、漁業資源の培養と保護の方策について論じた。

謝 辞

本論文を取り纏めるに当たり、終始懇切な指導と原稿の御校閲を頂いた広島大学笠原正五郎教授、同黒倉寿助教授に厚く御礼申し上げます。また有益な御助言と御校閲を頂いた広島大学遠部卓教授、同角田俊平教授、同高橋正雄教授、同今林博道助教授に感謝の意を表す。さらに実験に御協力下さった元広島大学院生安部亨氏に謝意を表す。

この研究を始めるに当たり、常に励ましと御助言を賜った元広島大学教授故村上豊先生に心から御礼申し上げます。

本研究の遂行に際し、便宜を計って下さった鳥取県水産試験場元場長井村幸二、同山本勲、同兜金幸男および鳥取県栽培漁業試験場前場長佐竹嘉泰の各氏に深謝の意を表するとともに、採集、市場調査、飼育等に協力して下さいました鳥取県水産試験場、鳥取県栽培漁業試験場および財団法人鳥取県栽培漁業協会の職員、試験船乗組員の方々に感謝する。また、標本船調査に御協力頂いた鳥取県沖合底曳網漁船乗組員の方々に深く感謝する。

なお、本研究の一部は水産庁指定調査研究事業費で行われた。記して謝意を表す。

引 用 文 献

- ADAMS A. E. (1979): The life history of the snow crab, *Chionoecetes opilio*: a literature review. ALASKA Sea Grant Rep. No. 78-13, 1-141.
- ADAMS, A. E. (1982): The mating behavior of *Chionoecetes bairdi*. Proc. Inter. Sympo. Genus *Chionoecetes*. ANCHORAGE, ALASKA, 1982. ALASKA Sea Grant Rep. No. 82-10, 233-271.
- ADAMS, A. E. and A. J. PAUL, (1983): Male parent size, Sperm storage and egg production in the *Chionoecetes bairdi* (Decapoda Majidae). Inter. J. Invert. 6, 181-187.
- BENINGER, P. G., R. W. ELNER, T. P. FOYLE, and P. H. ODENSE (1988): Functional anatomy of the male reproductive system and the female spermatheca in the snow crab *Chionoecetes opilio* (O. FABRICIUS) (Decapoda: Majidae) and a hypothesis for fertilization. J. Crustacen Biol., 8 (3), 322-332.
- BROWN, G. G. (1966): Ultrastructural studies of sperm morphology and sperm-egg interaction in the Decapoda *Callinectes sapidus*. J. Ultrastruct. Res., No. 14, 425-440.

- 深滝 弘 (1969):日本海におけるズワイガニ属浮遊期幼生の出現と分布。日本海区水産研究所研究報告, (21), 35-54.
- 福井県水産試験場・兵庫県水産試験場・鳥取県水産試験場 (1972):底魚資源調査報告書, 日本海西南海域におけるズワイガニの生態とその漁業 (昭和42~46指定調査研究), 1-66.
- GOUDEAU, M.(1982):Fertilization in a crab- I, early events in the ovary, and cytological aspects of the acrosome reaction and gamete contacts. Tissue and Cell, 14 (1), 97-111.
- 平本紀久雄・佐藤俊輔 (1970):房総沖・相模湾のイバラガニモドキ (*Lithodes aequispina* BENEDICT) 調査。日本生態学会誌, 20 (5), 165-170.
- HINSCH, G. W.(1971):Penetration of the oocyte envelope by spermatozoa in the spider crab. J. Ultrastruct. Res., No. 35, 86-97.
- 伊藤勝千代 (1956):日本海の底魚漁業とその資源。重要魚族の漁業生物学的研究 (ズワイガニの項)。日本海区水産研究所研究報告, (4), 293-305.
- 伊藤勝千代 (1957):ズワイガニ *Chionoecetes opilio* の腹及び脚長節の相対成長とその段階について。日本海区水産研究所報告, (3), 117-130.
- 伊藤勝千代 (1963):ズワイガニの卵の熟度についての2, 3の考察。日本海区水産研究所研究報告, (11), 56-76.
- 伊藤勝千代 (1967):日本海におけるズワイガニの生態に関する研究, I. 初産卵時期と初産群から経産群への添加過程について。日本海区水産研究所研究報告, (17), 67-84.
- 伊藤勝千代 (1968):日本海におけるズワイガニの生態に関する研究, II. 稚蟹期の形態およびその分布について。日本海区水産研究所研究報告, (19), 43-50.
- 伊藤勝千代 (1968):ズワイガニの孵出についての観察。日本海区水産研究所研究報告, (20), 91-93.
- 伊藤勝千代 (1970):日本海におけるズワイガニの生態に関する研究, III. 甲幅組成および甲殻硬度の季節変化から推測される年令と成長について。日本海区水産研究所研究報告, (22), 81-116.
- 伊藤勝千代・池原宏二 (1971):佐渡近海におけるズワイガニ属浮遊幼生の出現と分布に関する二, 三の考察。日本海区水産研究所研究報告, (23), 83-100.
- 伊藤勝千代 (1976):日本海におけるベニズワイガニの成熟と産卵, とくに産卵周期について。日本海区水産研究所研究報告, (27), 1-74.
- 伊藤勝千代 (1984):日本海におけるズワイガニの生態に関する研究, IV. 新潟県沿岸における着底初期の稚ガニの分布と生態について。日本海区水産研究所研究報告, (34), 19-41.
- 伊東祐方・笠原昭吾・池原宏二 (1967):1964・1965両年春季の能登~山陰海域における魚卵・稚仔の分布と環境。水産資源の分布・消長に及ぼす冷水塊の影響に関する研究報告書, 日本海区水産研究所, 13-35.
- 井上正昭 (1978):イセエビフィロゾマの飼育に関する研究-I. 形態について。日本水産学会誌, 44 (5), 457-475.

- 井上正昭(1979):イセエビフィロゾマの移送とその起源についての一考察。水産土木, 16(1), 77-78.
- 石川県水産試験場(1982):昭和56年研究開発促進事業カニ類増殖技術開発試験研究報告(ズワイガニ放流適地調査)。石川水試資料第123号, 1-42.
- 菅野泰次(1972):オホーツク海におけるズワイガニ(*Chionoecetes opilo*)の比成長とその漁場群間の差異。北海道立水産試験場報告, (14), 17-30.
- 菅野泰次(1987):オホーツク海サハリン南部海域に分布する雌ズワイガニの繁殖生態について。日本水産学会誌, 53(5), 733-738.
- 菊地泰二(1983):海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史-XI。幼生期および定着初期における死亡。海洋と生物, 5(6), 432-437.
- 倉田 博(1960):甲殻類の脱皮時における長さの増大について, 北海道区水産研究所研究報告, (22), 1-48.
- 倉田 博(1963):若いトラバガニにおける歩脚の脱皮と回復について。北海道区水産研究所研究報告, (26), 75-80.
- 倉田 博(1963):北海道十脚甲殻類の幼生期-2。クモガニ科ピサ垂科2種。北海道区水産研究所研究報告, (27), 25-31.
- 桑谷幸正・和久井卓哉・中西 孝(1971):ズワイガニの幼生および稚カニに関する研究I。プロトゾエア幼生について。北海道区水産研究所研究報告, (37), 32-40.
- 小池利通・平山和博・金子正信(1984):クルマエビ(*Penaeus japonicus*)幼生の変態速度と歩留りに及ぼす水温の影響について。昭和57新潟県栽培漁業センター業務報告書, (7), 101-107.
- 小林啓二・山崎廉三(1963):かご網漁業試験調査第1報。鳥取県水産試験場研究報告, 38-(1), 22-33.
- 小林啓二・山崎廉三・中野麟一・沢 一夫(1963):カニ底刺網漁業試験調査。鳥取県水産試験場研究報告, 38-(1), 34-38.
- 小林啓二(1965):昭和39ズワイガニ調査報告書。鳥取県水産試験場, 1-33.
- 小林啓二(1967):ズワイガニ調査。昭和40鳥取県水産試験場事業報告, 16-19.
- 小林啓二(1970):ズワイガニ調査(昭和41, 42年度)。鳥取県水産試験場報告, (5), 1-39.
- 小林啓二(1983):水槽飼育におけるズワイガニの産卵・ふ化と, 幼生から成体までの育成経過について。栽培技研, 12(1), 35-45.
- 小林啓二・三木教立・山本栄一・谷口朝宏(1985):ズワイガニの産卵と成長に関する研究(昭和59指定調査研究)。鳥取県栽培漁業試験場, 1-12.
- 小林啓二・三木教立・山本栄一・谷口朝宏(1986):ズワイガニの産卵と成長に関する研究(昭和60指定調査研究)。鳥取県栽培漁業試験場, 1-11.
- 小林啓二・三木教立・山本栄一・谷口朝宏(1987):ズワイガニ増殖試験。昭和61鳥取県栽培漁業試験場事業報告書, (5), 61-65.

- 小林啓二 (1989):ズワイガニの成長に及ぼす水温の影響。水産増殖, 37 (1), 35-41.
- 小林 裕・山口裕一郎 (1978):大和堆ズワイガニ*Chionoecetes opilio*の生態と分布。日本水産学会誌, 44 (10), 1079-1086.
- 今 攸 (1967):ズワイガニに関する漁業生物学的研究-I。プレゾエア幼生について。日本水産学会誌, 33 (8), 726-730.
- 今 攸・丹羽正一・山川文男 (1968):ズワイガニに関する漁業生物学的研究-II。甲幅組成から推定した脱皮回数。日本水産学会誌, 34 (2), 138-142.
- 今 攸・難波高志 (1968):周年飼育によるズワイガニの生態観察。水産増殖, 16 (3), 137-143.
- 今 攸 (1969):ズワイガニに関する漁業生物学的研究-III。水深別にみた分布密度と甲幅組成。日本水産学会誌, 35 (7), 624-628.
- 今 攸・本間義治 (1970):海産無脊椎動物の生殖腺の成熟に関する研究-III。ズワイガニの卵巣にみられる季節的变化。日本水産学会誌, 36 (10), 1021-1027.
- 今 攸・本間義治 (1970):海産無脊椎動物の生殖腺の成熟に関する研究-IV。ズワイガニの精巣にみられる季節的变化。日本水産学会誌, 36 (10), 1028-1033.
- 今 攸 (1970):ズワイガニに関する漁業生物学的研究-IV。飼育によるふ化幼生の浮遊期間の推定。日本水産学会誌, 36 (3), 219-224.
- 今 攸 (1973):ズワイガニに関する漁業生物学的研究-V。浮遊幼生に及ぼす塩分濃度の影響。日本水産学会誌, 39 (9), 945-950.
- 今 攸 (1974):ズワイガニに関する漁業生物学的研究-VI。卵巣内卵数および抱卵数。日本水産学会誌, 40 (5), 465-469.
- 今 攸 (1976):ズワイガニの漁業生物学的研究-VII。胚期発生過程における外部形態の変化。水産増殖, 23 (3), 103-110.
- KON, T. (1979): Ecological studies on larvae of the crabs belonging to the genus *Chionoecetes*- I. The influence of starvation on the survival and growth of the Zuwai crab. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 45 (1), 7-9.
- 今 攸 (1980):ズワイガニ*Chionoecetes opilio*(O. FABRICIUS)の生活史に関する研究。新潟大学理学部附属佐渡臨海実験所特別報告, 第2集, 1-64.
- 松浦義雄 (1934):ズワイガニの生態に就きて。動物学雑誌, 46 (551), 411-420.
- 松浦修平・竹下貢二・藤田 轟・川崎正和 (1971):カムチャツカ西岸沖における雌タラバガニの産卵および増殖力に関する研究-I。卵巣卵と腹肢付着卵の観察。遠洋水産研究所研究報告, (5), 147-160.
- 松浦修平・竹下貢二・藤田 轟・川崎正和 (1972):カムチャツカ西岸沖における雌タラバガニの産卵および増殖力に関する研究-II。卵巣卵と腹肢付着卵の計数にもとづく増殖力の検討。遠洋水産研究所研究報告, (6), 169-190.
- 松田泰嗣・兼田 厚 (1974):ズワイガニ幼生の飼育における成長について。兵庫県水産試験場報告, (14), 33-36.

- 松田泰嗣 (1983): 飼育によるズワイガニの産卵生態について. 兵庫県水産試験場報告, (21), 21-26.
- 松本 勉・小林啓二・谷口朝宏・三木教立 (1988): ズワイガニ増殖試験・昭和62鳥取県栽培漁業試験場事業報告書, (6), 62-67.
- 丸山久俊 (1933): たらばがに調査. 水産試験場報告, (4), 1-152.
- 三橋正基・宇藤 均 (1987): 積丹半島沖合海域におけるズワイガニの生態について. 昭和62日本水産学会秋季大会講演要旨集, 39.
- 南沢 篤 (1955): 若狭湾に於けるズワイガニの生殖時期と移動について. 福井県水産試験場昭和30事業報告書, 127-134.
- 本尾 洋・皆川哲夫・永田房雄 (1972): ズワイガニ幼生の飼育条件に関する基礎試験. 石川県増殖試験場研究報告, (2), 7-13.
- MOTOH, H. (1973): Laboratory-reared zoeae and megalopa of zuwai crab from the Sea of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 39 (12), 1223-1230.
- 中島輝彦 (1984): ガザミのふ化について - 外仔卵ふ化時における親ガニの行動. 栽培技研, 13 (2), 29-34.
- 中西 孝 (1987): タラバガニの飼育条件に関する研究. 日本海区水産研究所研究報告, (37), 57-161.
- 丹羽和美・倉田 博 (1964): 成体タラバガニにおける歩脚の脱落と回復について. 北海道区水産研究所研究報告, (28), 51-55.
- 尾形哲男 (1974): 日本海のズワイガニ資源. 水産研究叢書, 26, 61pp., 日本水産資源保護協会, 東京.
- 大島信夫 (1938): 瀬戸内海ガザミ調査. 水産試験場報告, (9), 141-212.
- PAUL, A. J. (1982): Mating frequency and sperm storage as factors affecting egg production in multiparous *Chionoecetes bairdi*. Proc. Inter. Sympo. Genus *Chionoecetes*. ANCHORAGE, ALASKA, 1982. ALASKA Sea Grant Rep. No. 82-10, 273-281.
- PAUL, A. J. (1984): Mating frequency and viability of stored sperm in the Tanner crab *Chionoecetes bairdi*. (Decapoda Majidae). *J. Crustacean Biol.*, 4 (3), 375-381.
- PEREYRA, W. T. (1966): The bathymetric and seasonal distribution, and reproduction of adult Tanner crabs, *Chionoecetes tanneri* RATHBUN (Brachyura: Majidae), off the northern Oregon coast. *Deep-sea Res.*, 13, 1185-1205.
- 佐藤 栄 (1958): タラバガニの発育並びに漁業生物学的研究. 北海道区水産研究所研究報告, (17), 1-102.
- 佐野 茂 (1980): 山陰沖の底魚漁場とその資源, 3. ズワイガニの分布. 鳥取県水産試験場報告, (21), 29-34.
- 佐野 茂・川口哲夫・永井浩爾 (1986): 隠岐諸島北西近海域におけるズワイガニの標識放流結果, 分布と移動. 日本海ブロック試験研究集録, (7), 日本海区水産研究所, 79-94.

- 酒井 恒 (1976):日本産蟹類. 773pp., 講談社, 東京.
- 山洞 仁 (1965):昭和39ズワイガニ調査報告. 昭和40山形県水産試験場資料 I, 1-52.
- 山洞 仁 (1968):ズワイガニとベニズワイガニの幼生の識別について. 日本海区水産研究所連絡ニュース, (210), 2-3.
- 山洞 仁 (1969):ズワイガニおよびベニズワイガニ幼生の浮遊期間について. 昭和43山形県水産試験場資料 II, 1-18.
- 山洞 仁 (1971):若いズワイガニの脱皮現象. 昭和43山形県水産試験場事業報告, 259-263.
- 山洞 仁 (1972):ズワイガニの生態, 特に幼生期育成と環境. 水産海洋研究会報, (20), 81-83.
- 山洞 仁 (1973):若令ズワイガニの飼育試験. 昭和45山形県水産試験場事業報告, 33-37.
- 稚野季雄 (1964):動物系統分類学 7 (上), 節足動物 (I) 総説・甲殻類. 312pp., 中山書店, 東京.
- SINODA, M. (1968): Studies on the fishery of Zuwai crab in the Japan Sea, (1) The growth. *Nippon Suisan Gakkaisi*, 34 (3), 185-190.
- SINODA, M. (1970): Non-frustrative predation of Zuwai crab in Southwest Japan Sea. (A Doctor's Thesis, Kyoto Univ.), 1-137.
- 水産庁 (1958):対馬暖流開発調査報告書, 第1輯 (漁況・海況篇), 1-539.
- 鈴木康仁 (1982):稚ガニの飼育について. 昭和56開発促進事業カニ類増殖技術試験研究報告書 (ズワイガニ種苗生産), 福井県水産試験場, 1-26.
- SEIKAI, T., J. B. TANANGONAN and M. TANAKA (1986): Temperature influence on larval growth and metamorphosis of the Japanese Flounder *Palalichthys olivaceus* in the laboratory. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 52 (6), 977-982.
- 田辺順一・鈴木康仁 (1982):昭和52~56研究開発促進事業カニ類増殖開発試験研究報告書 (ズワイガニ放流適地調査) 総括. 福井県水産試験場報告昭和57, (3), 1-35.
- 武田正倫 (1975):日本海の海洋生物-魚類と甲殻類を中心として. 自然科学と博物館, 42 (2), 80-84.
- 竹内 勇 (1969):北海道北東部および東部海域におけるオオクリガニおよびズワイガニ幼生の分布について (1958). 北海道区水産研究所研究報告, (35), 20-43.
- 竹下貢二・松浦修平 (1980):ズワイガニの交尾と産卵について. 水産庁, 1-5.
- 谷野保夫・伊藤勝千代 (1968):日本海におけるズワイガニの標識放流について-I. 標識方法に関する検討. 日本海区水産研究所研究報告, (19), 35-41.
- 鳥取県水産試験場 (1933):ズワイガニ船上蒸煮試験. 昭和6鳥取県水産試験場事業報告, 24-31.
- 鳥取県水産試験場 (1935):蟹標識放流. 昭和10鳥取県水産試験場事業報告書, 46-47.
- WATSON, J. (1970): Maturity, mating and egg laying in the spider crab, *Chionoecetes opilio*. *J. Fish. Bd. Canada*, 27, 1607-1616.
- WATSON, J. (1972): Mating behavior in the spider crab, *Chionoecetes opilio*. *J.*

Fish. Res. Bd. Canada, 29, 447-449.

和田洋蔵・傍島直樹・宗清正廣・桑原昭彦(1983):京都府沖合海域におけるズワイガニの生態に関する研究-I.カゴ網試験操業結果からみたズワイガニの分布と移動.京都府海洋センター研報,(7),29-34.

八塚 剛(1957):カニBRACHYURAのゾエア幼生について(人工飼育と発達成長).水産学集成,571-590.東京大学出版,東京.

八塚 剛(1962):カニ類とくにタイワンガザミ *Neptunus pelagicus* LINNAEUS の幼生の人工飼育に関する研究.高知大学宇佐臨海実験所研究報告,9(1),1-88.

山崎廉三・小林啓二・西山勇二(1969):沿岸漁海況予報調査(昭和41年度).鳥取県水産試験場報告,(2),1-11.

山本正義・菅野泰次(1970):沖合漁業資源および漁場調査研究,カニ類資源調査.北海道網走水産試験場事業報告,昭和45年度,27-28.

山本達雄・西田輝己・野沢正俊(1979):カニ類増殖技術開発試験報告書(ズワイガニ放流適地調査).昭和53研究開発促進事業,鳥取県水産試験場,1-21.

山本達雄・西田輝己・野沢正俊(1980):カニ類増殖技術開発試験報告書(ズワイガニ放流適地調査).昭和54研究開発促進事業,鳥取県水産試験場,1-24.

山本達雄・西田輝己・野沢正俊(1981):カニ類増殖技術開発試験報告書(ズワイガニ放流適地調査).昭和55研究開発促進事業,鳥取県水産試験場,1-21.

吉田 裕(1941):北鮮産有用蟹類の生殖について-II.水産研究誌,36(7),116-123.

吉田 裕(1951):有用カニ類の雌雄の間に見られる大きさの相違とその原因について.日本水産学会誌,16(12),90-92.

吉原三隆・柿本 皓・刀襦敏彦(1968):ズワイガニの蓄養と治力試験.昭和40年新潟県水産試験場事業報告,205-210.

Summary

"Zuwai crab" (*Chionoecetes opilio*) is an important fisheries resources in south-west area of the Japan Sea. In recent years, however, annual catch of the crab has been reduced by 1/10 of the catch recorded at the time of rich haul, indicating considerable reduction in the amount of its resources. Consequently, a countermeasure for the recovery of the resources became a subject to be solved immediately.

This study was performed with the object of obtaining basic information which can be applied to the increase in the resources of Zuwai crab and its stable fisheries. As the first step, ecological investigation was performed on this species, such as distribution, migration, habitat segregation, maturation and oviposition, at a sea around Okinoshima Island, which is a main fishing ground. After that, we have succeeded for the first time in completing a five-year-period experiment on the rearing of a newly hatched larva into adult, which revealed the process of ecdysis and growth and the mode of oviposition of this species. These findings were used for the verification of information estimated from the result of investigation at the fishing ground. Based on the biological characteristics of this species confirmed by these findings, discussion was made on the measure for its propagation and resource-control. The following summarizes the achievement of this study.

1. Ecology of the crab in a sea area around Okinoshima Island

1) Distribution and migration

Individuals of planktonic larvae at their stages of first zoea, second zoea and megalopa emerged mainly within a period between March and April, April and June and April and July, respectively, with a high frequency of emergence at the depth of 200~400m (temperature, 10~18°C.) Among individuals who entered into the stage of benthonic life, immature females and males (carapace width, over 20mm) and female adults showed a high distribution density on a continental slope at the depth of 200~250m, while male adults were distributed densely on the slope at the depth of 300m over, which indicated a habitat segregation between female and male adults. In addition, distribution of immature individuals and female adults was concentrated within a limited area, while that of male adults was scattered over a wide area. Temperature of the habitation area for benthonic-stage individuals was below 5°C, hardly changing throughout the year, and the distribution density was high especially at certain area where the temperature was 1~3°C. When migration of female adults was investigated by means of tagged fish liberation, 75% of the tested individuals were found to be moving about within 10km in a beeline and 85%

of them within 20m in depth, showing that their migration range was relatively narrow. Difference in the catch in number during the daytime and night indicated that both female and male adults were nocturnal.

2) Maturation and oviposition

Investigation on the size of female adults at each area showed geographical differences. Mean carapace width and biological minimum size (shown in parenthesis) at each area were Yamato bank, 64.8mm (52mm); around Okinoshima, 74.9mm (54mm); eastern offshore of Korea, 75.8mm (67mm); and the eastern Bering Sea, 58.2mm (43mm). When monthly changes in the maturation index of the sexual gland and hardness of the carapace of females were investigated at the area around Okinoshima, it was confirmed that development of the sexual gland started as they reached last instar of immature stage from July to September, and one year after that (July-September) as they came to maturity, they grew into adults performing the final ecdysis and started immediately the first oviposition and brooding of eggs.

In addition, it was found that the female adult was brooding eggs on its abdomen throughout the year, because, in view of the seasonal changes in the progress of embryogeny in the eggs, the gravid female seemed to start next oviposition as soon as the larvae were out of the fertilized eggs and released in the water. It was confirmed also that such a process of the hatching and release of larvae and the following oviposition is performed only from January to March in every year. Consequently, duration of the egg-brooding at the first time of oviposition was estimated to be about 18 month, though those after the second oviposition were found to be about 12 months which coincided with general knowledge. In other words, it was thought that the first oviposition was clearly different from the second and following ovipositions in terms of the time of oviposition and the rate of embryogeny in the eggs.

2. Ecology under rearing conditions

1) Embryogeny

At a mean temperature of 3.9°C, blastopore-forming region was observed 47 days after oviposition, scutellum was formed after 96 days, maxilliped base appeared after 128 days, chromatophore was formed in the compound eye after 195 days, chromatophore was formed in the maxilliped after 248 days and then the larva emerged from the egg and went in the water after 299 days. Accumulated temperature from the oviposition to hatching was 1,156.3°C · day.

2) Growth of hatched larva

The duration required for the development of each larval stage at 10°C and 15°C was 20 and 16 days for first zoea stage, 21 and 15 days for second zoea stage and 22 and 18 days for megalopa stage, respectively. Accumulated temperatures throughout these stages were 669°C · day (10°C) and 644°C · day (15°C).

3) Growth of juvenile crab

Juvenile crabs at the stage of 1st instar, who have just entered into benthonic life after metamorphosis from megalopa larvae, were reared in 3°C water tank (2.3~5.3°C) and 8°C tank (7.0~10.2°C). As the result, the duration required for their growth into 10th instar stage was found to be 1,121 days (accumulated temperature, 3,429°C · day) in the 3°C tank and 555 days (accumulated temperature, 4,659°C · day) in the 8°C tank. In this case, relationship between each instar stage and accumulated days required to pass over the stage was expressed as a regression line having an inflection point between 4th and 5th instar stages, which coincided with the stage of the appearance of the secondary sexual character.

Mean growth rate of carapace widths increased by ecdyses during the period from 1st to 10th instar stage was 37.2% in the 3°C water tank and 32.9% in the 8°C tank. Quantity of the growth at each ecdysis, obtained from the HIATT'finite difference table, was able to be expressed as follows (L_{n+1} , carapace width at the stage of $n+1$ instar; L_n , carapace width at the stage of n instar) $L_{n+1} = 1.396 L_n - 0.180$ (3°C tank) and $L_{n+1} = 1.265 L_n + 0.408$ (8°C tank). When the growth of these reared juvenile crabs was compared with that of natural juveniles, the duration from 1st to 10th instar stage was found to be reduced by about 1/2 in the 3°C tank and 1/4 in the 8°C tank, but the size of carapace width at the stage of 10th instar in the 3°C tank was almost the same as that of natural 9th instar and the size in the 8°C tank was close to that of natural 8th instar.

Although the ecdysis is performed mostly at night, it can be predicted, because decolorization of carapace and inactivation of feeding behavior occur in 2~3 days prior to the ecdysis. In the case of ecdysis from 9th to 10th instar stages in females in the 3°C tank, duration from the commencement of ecdysis (opening of bottom-edge of carapace) to its completion (extrication of legs) was about 7 hours.

4) Ovipositional behavior and cycle

In the case of the first oviposition, continuous confronting behavior was observed between female (10th instar stage) and male (11th instar stage) indiv-

iduals 7 ~10 days before the oviposition, copulation was performed within a day just after the female's ecdysis into 11th instar stage and oviposition was performed immediately after the copulation (August-December). In and after second ovipositions, the female performed oviposition with no ecdysis or copulation, and most of the ovipositions were performed within 10 days after hatching of larvae from the brooding eggs and their release in the water. In the 3 °C tank, the first oviposition was performed in August, the second in February two years later (18 months after the first one) after 12 days of the larva's hatching and release and the third in February one more year later (12 months after the second). In addition, when only gravid females were reared at around 3 °C, hatching of larvae and their release in the water and subsequent oviposition were observed every year from January to March, and the maximum number of ovipositions by one individual reached 5 (for 5 years). On the basis of these results, it was confirmed that the oviposition cycle was 1.5 year during the first and second times and one year after that, copulation was made only once just before the first oviposition and, in the subsequent oviposition, fertilized eggs were produced with the aid of spermatozoa formed in a seminal receptacle in the gravid female.

3. Measures for the increase in the resources and their control

Plans for the culturing of the fisheries resources and their control were discussed, by analysing the catch of this species and actual stage of progress in the fisheries in recent years and based on the ecological information on this species so far obtained.