

京都府立海洋センター研究論文

第 4 号

平成 6 年 5 月

SPECIAL REPORT No. 4

Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science

May 1994

ズワイガニの生態特性にもとづく
資源管理に関する研究

山 崎 淳

Studies on Stock Management of
Snow Crab *Chionoecetes opilio* Based on Biology

by

Atsushi YAMASAKI

研究論文集 第4号 平成6年5月
京都府立海洋センター

SPECIAL REPORT No. 4, 1994 May
KYOTO INSTITUTE OF OCEANIC AND FISHERY SCIENCE
Odasyukuno, Miyazu City, Kyoto 626 Japan

目 次

Abstract	1
序	4
謝 辞	4
第1章 ズワイガニ漁業の概要	5
1-1 日本海西部海域におけるズワイガニ漁業	5
1-1-1 ズワイガニ漁業規制と漁獲量の経年変化	5
1-2 京都府沖合における底曳網漁業	6
第2章 ズワイガニの漁業生物学的研究	7
2-1 研究の背景と目的	7
2-2 雄の最終脱皮と成長過程	7
2-2-1 雄の最終脱皮に関する研究	8
2-2-2 脱皮・成長過程の生態的特徴	10
2-2-3 考 察	14
2-3 雌雄の水深別分布状況と高密度な分布域の形状	15
2-3-1 京都府沖合における雌雄の水深別分布状況	15
2-3-2 高密度な分布域の形状	17
2-3-3 考 察	22
2-4 産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状と交尾行動	23
2-4-1 初産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状	23
2-4-2 経産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状	28
2-4-3 考 察	33
第3章 ズワイガニの資源特性	33
3-1 研究の背景と目的	33
3-2 標識放流結果からみた雌の資源特性	33
3-2-1 雌の漁獲状況および資源特性値の推定	34
3-2-2 考 察	37
3-3 最終脱皮が存在する場合の生残率の推定方法	37
3-3-1 脱皮・成長モデルに関するパラメータの推定	38
3-3-2 最終脱皮個体の生残率の考え方	39

第4章 底曳網漁業がズワイガニ資源におよぼす影響	40
4-1 研究の背景と目的	40
4-2 底曳網によるズワイガニ投棄の実態	41
4-2-1 漁期別の投棄実態	41
4-2-2 季節別の投棄直後の生残率推定	42
4-3 投棄されることによる資源の減耗	44
4-3-1 資源の減耗状況の試算	44
第5章 生態特性と漁業実態からみた漁業のあり方に関する考察	46
5-1 再生産を保障するための提言	46
5-2 投棄による資源減耗を軽減するための提言	47
要 約	48
文 献	50

Studies on Stock Management of Snow Crab *Chionoecetes opilio* Based on Biology

Atsushi YAMASAKI

Abstract

Snow crabs *Chionoecetes opilio* caught by Danish seiners are important and of great economical value to fisheries in the western Japan Sea. Since 1970 the Japanese Fishery Management Agency of the western Japan Sea has enforced the fishing season of the crab, the carapace size, and the maximum amount of catch per trip. These regulations were enforced to allow mating, breeding, and molting to proceed. However, the sum of catches of male and female crabs landed in the western Japan Sea has decreased. That is, it is probable that these regulations have not function well for the management of the Danish seine fishery.

This study contributes to a scheme for the appropriate management of crab stocks and proposes a profitable method based on fishery biological surveys.

1. Fishery of snow crabs in the western Japan Sea

The fishing season by Danish seine is restricted from 6 November to 20 March for male crabs with hardshells, from 21 December to 20 March for male crabs with softshells and from 6 November to 13 January for female crabs, respectively. The excluded crabs are males less than 90 mm in carapace width, immature and mature females carrying orange-colored eggs. The maximum amount of catch per trip is restricted for males with softshells and for female crabs.

The annual catch of snow crabs in the western Japan Sea was around 10,000 tons from 1964 to 1971. The catch from 1972 to 1975 decreased sharply, decreasing 1,500 tons in 1990. On the other hand, since 1971 the annual yield shows an upward or stable trend from 6,500 to 7,000 million yen, because of the rise in unit price per a kilogram as scarcity value due to decreasing catches.

2. Fishery biology of snow crabs

The terminal molt of male crabs was studied using 1,638 male crabs with a carapace width larger than 60 mm caught by Danish seine, trap and beam trawl in the sea off Kyoto Prefecture from August 1989 to October 1990. For estimation of molting stages of male crabs, the second maxilla was taken, and the carapace width and chela height of each individual was measured.

In examination of the relationship between carapace width and chela height, male crabs were divided into two groups, those with a relatively large chela height (large-clawed crabs), and those with a relatively small chela height (small-clawed crabs). In the small-clawed crabs, intermolt, premolt and postmolt stages were mainly observed from February to May, from June to September, and from September to October, respectively. On the other hand, almost all the large-clawed crabs were at the intermolt stage throughout the year, and the postmolt stage was observed from September to October. These results indicate that small-clawed crabs continue to molt once a year, whereas large-clawed crabs have already undergone the terminal molt.

Male crabs with a carapace width of more than 60 mm were divided into four molting stages, with a mean carapace width of 67.4 mm, 91.2 mm, 111.1 mm and 130.2 mm. The molting stage with the largest mean width (130.2 mm) consisted only of terminal molting crabs. The three molting stages with smaller mean widths of 67.4 mm, 91.2 mm and 111.1 mm, however, had two different groups comprising terminal molting crabs and non-terminal molting crabs.

Both types of male crabs in terms of shell hardness, that is hard-shell "*Tate-gani*" and soft-shell "*Mizu-gani*" are caught by commercial fishing. The legal-sized males consist of three molting stages, 91.2 mm, 111.1 mm and 130.2 mm in mean carapace width. "*Tate-gani*" are more than one year old after the terminal molt, while "*Mizu-gani*" are just after the molt terminally or non-terminally.

Bathymetric and horizontal distribution patterns of male and female crabs, and sampling surveys were carried out by traps from 242 to 244 m depth in the sea off Kyoto Prefecture in May 1990 (spring), from 236 to 250 m depth in October 1986, 1988 and July 1990 (summer-autumn; primary spawning season) and from 268 to 270 m depth in November, December 1992 and March 1993 (winter; secondary spawning season), respectively.

In spring, a distinct difference in horizontal distribution was noted between male and female crabs, while samplings were made at the same contour in depth. Estimates of the dispersion of unit patchiness for mature males ranged from 100 to 200 m within a large schooling dispersion (600–1,500 m). Mature female crabs might disperse rather densely ranging from 100 to 300 m within a large patchy aggregation dispersing over 1,500 m, with immature females ranging from 100 to 300 m within a large dispersion (400–900 m). It is suggested that growth and/or maturation of the crab may influence the horizontal distribution pattern, as well as seasonal aggregation.

In the primary spawning season, two groups of female crabs, categorized as primiparous females just before and after the first mating and multiparous ones more than a year after mating, tended to form patchy aggregations, mostly separated by the bathymetric boundary of 243 m depth. That is, the former was distributed in a shallower area than 243 m and the latter in a deeper one. These distribution patterns followed two patchy aggregations of males: one with small carapace for the primiparous females and the other with a large carapace for multiparous females, respectively. The distribution pattern of primiparous females concurred with the large scale patchiness of males in non-terminal molt with small carapace width. It is suggested that small males can mate with primiparous females in areas shallower than around 250 m depth.

In the secondary spawning season, the males with hardshells which were one or more years old after terminal molt and multiparous females with fully matured eggs (black) seemed to aggregate patchily to the same area. Males in this shoal belonged to the largest molting class with about 130 mm in carapace width. It seems that these males would possibly mate with the multiparous females in winter. On the other hand, both males with softshells (regardless of terminal molt) and primiparous females were distributed separately from hard-shell males and multiparous females, respectively.

3. Population parameters of adult female and male crabs

In order to estimate population parameters of adult female crabs, in the sea off Kyoto Prefecture, 1,953 tagged crabs were liberated in February, March, June and November 1986. Most of the tagged crabs were caught just after the start of the fishing season, and mainly during the first 5-day period from the start the average recapture rate was 27.1%, but 5.8% the second 5-day period, equivalent to 32.9% during the two periods. The average recapture rate in all was 40.9% from 6 November 1986 to 31 January 1987. From the results of the above tagging experiments, four population parameters were estimated as follows:

Natural mortality coefficient M 0.0002 (day^{-1})

Fishing mortality coefficient F 0.0117 (day^{-1})

Fishing rate E 61.14%

Tag diminishing coefficient L 0.0010 (day^{-1})

The fishing mortality coefficient is extremely high, compared with the natural mortality coefficient.

Survival rates per year after terminal molting and between two successive molting stages of male crabs were estimated using 3,247 individuals collected by trap and Danish seine in the sea off Kyoto Prefecture from March 1989 to November 1990. According to the percentage of occurrence of the terminal molting crab in four molting stages at periods of soft and hard-shell crabs, it was estimated that the survival rates of males was 0.35–0.43 (year^{-1}) and 0.58–0.71 (year^{-1}), respectively.

4. Consequence of decreasing crab stocks owing to Danish seiners' exploitation

With regard to unusable crabs appearing in catches by Danish seine, irrational exploitation was emphasized in view of biological points, mainly bycatches illegally fished during crab fishing months (November–March) and off-fishing months (April–May and September–October). There appeared to be a lot of illegal crab fishing by commercial Danish seiners, catching illegal sized males of less than 90 mm in carapace width, immature females and adult females carrying orange-colored eggs. In ordinary operations by commercial fishing, these crabs were discarded at sea as trash together with other unedible animals. The

survival ratio of crabs just after being discarded was estimated at 0.71–1.00 in winter, 0.87–0.99 in spring and 0–0.15 in autumn, respectively. It is doubtful, however, that the crabs would eventually be recruited at an acceptable size.

Based on the proposed mathematical model and population parameters of crab resources such as fishing area, swept area of Danish seine, efficiency of gear and survival ratio just after being discarded, it was estimated that 40–65% of crabs in number decreased as a result of exploitation from 220 to 400 m depth from April to May and September to March, when seiners mainly fished *Hippoglossoides dubius*. Decrease in snow crab catches may be due mainly to this exploitation.

5. General view of management of snow crab stocks

This study proposes two measures for the management of snow crab stocks, the first being the preservation of crab reproduction in order to increase the stock and the second being bycatches as trash. For both measures, it is suggested that crab sanctuaries in suitable fishing grounds are successful. The method of establishing the sanctuary and distribution patterns of crab aggregation discussed in this study will contribute to this.

序

ズワイガニ *Chionoecetes opilio* はグリーンランド西岸、ベーリング海、アラスカ沿岸、北大西洋カナダ沿岸、オホーツク海、日本海および犬吠埼以北の太平洋沿岸などに広く分布する。本種を漁獲している国は、日本、アメリカ、カナダおよびロシアなどである。日本の一部の地域を除く全ての国では、本種はかご漁業により雄だけが漁獲されている。一方、我国においては、底曳網漁業により雌雄が漁獲の対象となっている。世界的にみても我国のズワイガニ漁業は、底曳網により漁獲していること、また、雌資源をも利用している点で特殊である。しかし、このような漁業の特殊性が今日の資源悪化に拍車をかけている。

日本海西部海域においてズワイガニは主に沖合底曳網および小型底曳網で漁獲されている。底曳網漁業に占めるズワイガニの割合は、漁獲量では全体の約5%に過ぎないが、漁獲金額では全体の約30%を占め、底曳網漁業の最重要資源である。一方、ズワイガニ漁獲量は1960年代前半をピークに減少傾向にあり、近年では最盛時の10%程度しか期待できないほどに落ち込んでいる。これは資源の再生産を大幅にこえる過剰な漁獲圧が加えられていることに原因がある。1960年代半ばから資源保護を目的とした法令による規制および関係漁業者の自主的な漁業規制が行われてきた。その内容は、漁期の設定、採捕禁止個体の設定および1航海当たりの漁獲量の制限などである。しかし、このような漁業規制が行われているにもかかわらず、漁獲量は依然減少傾向にあることから、現行の規制はズワイガニの生態や漁業の実態に適合しておらず、必ずしも十分には機能していないものと考えられる。したがって、ズワイガニの資源生態および漁業の実態に適した新たな資源管理方策の検討が急務となっている。

日本海における本種の生態については多くの知見が蓄積されているが、ズワイガニ漁業に関する実態や問題点などを含めて総合的に研究した、いわゆる漁業生物学的な報告例は少ない。筆者は、日本海西部の京都府沖合海域において、ズワイガニの漁業生物学的な研究を行い（山崎, 1988, 1990; 山崎ほか, 1985, 1990, 1991, 1992, 1993a, 1993b; 山崎・桑原, 1991a, 1991b, 1992, 1993; YAMASAKI *et al.*, 1989; YAMASAKI and KUWAHARA, 1989), 新たな生物学的な特性や底曳網によるズワイガニ漁業の現状および問題点を明らかにし、ズワイガニ漁業の資源管理のあり方について検討した。

本研究は、次の5章からなっている。第1章では、日本海西部海域におけるズワイガニ漁業の概要および京都府沖合海域での底曳網漁業の概要について整理した。第2章で

は、商品価値が高く漁獲圧が強く加わりやすい雄ガニの脱皮・成長に関する新たな知見およびカニの分布特性に関する研究結果について述べた。第3章では生態的特性にもとづいて、雌雄の資源特性を推定し、第4章では底曳網漁業がズワイガニ資源におよぼす影響のうち、とくに操業中に混獲される採捕禁止個体の投棄の実態やこのことによる資源の減耗について試算した。そして、投棄による減耗を軽減するための方策をはじめとした、現在の漁業実態とカニの生態特性からみた資源管理のあり方についての検討を結論とした。本論文は、京都大学の審査学位論文に加筆したものである。

謝 辞

本研究をまとめるにあたって、御指導、御助言と原稿の御校閲を賜った京都大学農学部水産学科教授 坂本 亘博士に厚く感謝の意を表したい。

さらに、本研究のとりまとめに際し、有益な御助言をいただくとともに、原稿の校閲をいただいた京都大学農学部水産学科教授 中原紘之博士、同教授 田中克博士に厚くお礼申し上げる。

本研究をすすめるにあたり、標本の採集や標識放流の再捕報告および操業日誌の記帳などに多大の御協力をいただいた京都府機船底曳網漁業連合会の各位、兵庫県豊岡市津居山港漁業協同組合の各位および同所属の底曳網漁船の船首各位にお礼申し上げます。また、甲幅測定や漁獲統計の整理に御協力いただいた京都府漁業協同組合連合会舞鶴本所、宮津支所、間人出張所および網野出張所の各位にお礼申し上げます。

本研究をとりまとめる機会を与えていただくとともに、懇切な御指導と御鞭撻をいただいた京都府立海洋センター 所長 篠田正俊博士に心から感謝します。また、本研究をすすめるにあたり、常に適切な御指導、御助言と温かい励ましをいただいた同センター海洋調査部長 桑原昭彦博士に心からお礼申し上げます。本研究の遂行にあたり御協力と御便宜を計っていただいた同センター海洋調査部の各位に感謝します。さらに、本研究の標本の採集に関して海上での困難な作業に御尽力いただくとともに、温かい励ましをいただいた京都府立海洋センター所属の「平安丸」並びに「みさき」の船員各位に心から感謝します。

最後に、本研究の一部は水産庁補助事業の資源管理型漁業推進総合対策事業により行われた。ここに記して感謝の意を表する。

第1章 ズワイガニ漁業の概要

1-1 日本海西部海域におけるズワイガニ漁業

1-1-1 ズワイガニ漁業規制と漁獲量の経年変化

現在のズワイガニ漁業については、「ずわいがに漁業等の取締りに関する省令」および富山県から鳥根県までの1府6県の関係漁業者で構成されている日本海特別委員会による「日本海ずわいがに採捕に関する協定書」(全国底曳網漁業連合会, 1992)により規制が行われている。規制の内容は、①漁期の設定、②採捕禁止個体の設定、③1航海当たり漁獲量の制限の3項目である。Table 1に1991年の具体的な規制内容を整理した。

漁期は、雄は“たてガニ”(hard shell)と“水ガニ”(soft shell)の2銘柄が漁獲されるが、前者が11月6日から翌年3月20日、後者が12月21日から翌年3月20日まで、雌は11月6日から翌年1月13日までと設定されている。採捕が禁止されているのは、雄では“たてガニ”および“水ガニ”ともに甲幅90mm未満である。また、雌では腹部纏絡卵を有しない未成熟な個体と腹部纏絡卵は有するが、その卵が未発眼でオレンジ色もしくは赤色を呈している個体の採捕が禁止されている。漁獲量の制限については、1航海当たりの航海時間の長短にもとづいて“水ガニ”と雌に限り規制されている。

日本海西部海域における1964年以降のズワイガニの年別漁獲量を Fig. 1 に示した。ズワイガニ全体の漁獲量は、1971年頃までは10,000トン前後を保っていたが、1972年から1975年にかけて急激に減少し、以降1980年代前半まで3,000トン前後で推移した。それ以降は減少傾向を続けて

おり、1990年には1,500トン前後となっている。10,000トン前後で推移していた1971年までの銘柄別の漁獲状況をみると、最も商品価値が高い“たてガニ”は年とともに著しい減少傾向にあったのに対し、“水ガニ”と雌は増加傾向にあった。すなわち、この期間に10,000トン前後の漁獲量を維持していたのは、“たてガニ”よりも価値が低く、それまであまり漁獲していなかった“水ガニ”や雌に依存していたためであった。しかし、このような傾向も1970年をピークに、それ以降では全ての銘柄で減少傾向に転じ、漁獲量全体としても著しい減少を示す結果となっている。

一方、漁獲金額は漁獲量の減少にもかかわらず、希少価

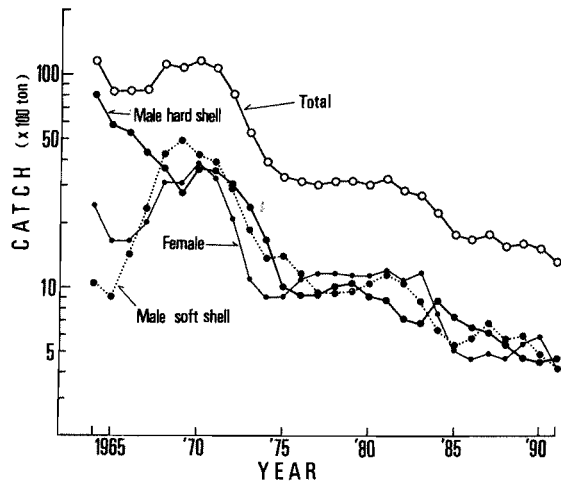


Fig. 1. Annual catch of snow crab *Chionoecetes opilio* caught by Danish seine in the western Japan Sea.

Table 1. Regulation of snow crab fishing by Danish seine in the western Japan Sea in 1991.

Management item	Contents
Fishing season	Male hard shell ; 6 Nov. - 20 Mar. soft shell ; 21 Dec. - 20 Mar. Female ; 6 Nov. - 13 Jan.
Prohibited crabs	Male ; male crab of less than 90 mm in carapace width Female ; immature female and adult female with carrying orange colored eggs
Maximum amount of catch per trip	Female <24 hrs./trip ; 14 boxes 24-48 hrs./trip ; 23 boxes >48 hrs./trip ; 54 boxes Male (soft shell) <24 hrs./trip ; 15 boxes 24-48 hrs./trip ; 30 boxes >48 hrs./trip ; 70 boxes (15 kg/box)

値や近年のゲルメブームなどにより単価が上がってきていることから、むしろ増加の傾向にあり、近年では65~70億円程度で推移している。

1-2 京都府沖合における底曳網漁業

京都府内の底曳網漁船は15トン未満の小型底曳網が主体である。1992年現在では、小型底曳網漁船20隻、20トン未満の沖合底曳網漁船1隻の計21隻が稼働している。操業は

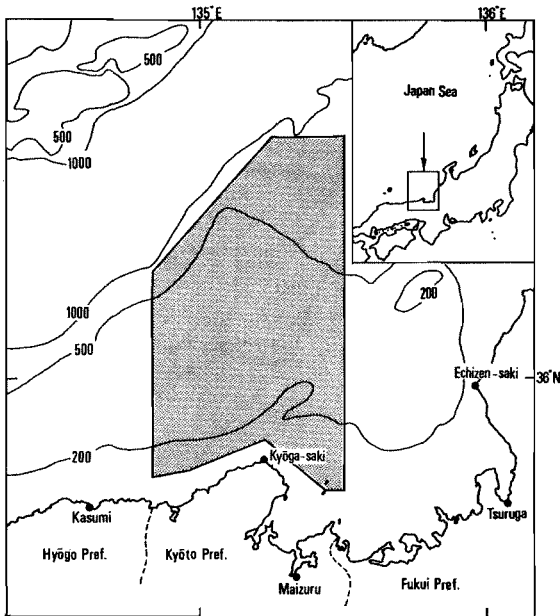


Fig. 2. Fishing ground for Danish seine in the sea off Kyoto Prefecture. Thin lines indicate isobath in meter.

日帰りもしくは1日泊りで行われており、前者の場合には約5回から10回、後者の場合には約12回から20回の曳網が行われる。出漁日数は、1980年から1991年までは延べ2,648~3,107日で推移しており、若干の年変動がみられている。1隻の1出漁日当たり漁獲量は、1980年から1983年までは0.63~0.73トンであったが、1984年から1991年までは0.32~0.45トンであり、減少傾向がみられている。

京都府沖合海域における底曳網の漁場は、Fig. 2に示したように隣接する兵庫県および福井県との両府県境と沿岸側は水深約100m、沖合側は水深約900mで囲まれた海域に形成されている。漁期は1年のうち6月から8月の3カ月を除く9カ月間である。年間の操業形態は、ズワイガニの漁期に当たる11月から3月の冬漁期、4月から5月の春漁期および9月から10月の秋漁期と概ね3漁期に類別することができる。各漁期における水深別にみた漁場の利用状況はFig. 3のようにまとめられる。なお、京都府沖合海域では府内の底曳網漁船に加え、兵庫県および福井県所属の底曳網漁船の一部が入合いで操業を行っている。

冬漁期（11月から3月） この期間には、ズワイガニを対象にした操業が水深約230~350mの海域で行われる。この期間の後半には、ズワイガニの密度の低下にともない、採算に見合うだけのカニの漁獲量が期待できず、水深200m前後でハタハタ *Arctoscopus japonicus* や水深150m前後でソウハチ *Cleisthenes pinetorum herzensteini*、ニギス *Glossanodon semifasciatus* およびタイ類 Sparidaeなどを対象とした操業が行われる。また、期間の前半であっても気象条件が悪く沖合まで出漁できないときは、水深200m以浅で操業が行われることが多いようである。

春漁期（4月から5月） この期間には、水深約200mを境にして、それよりも深所ではアカガレイ *Hippogloss-*

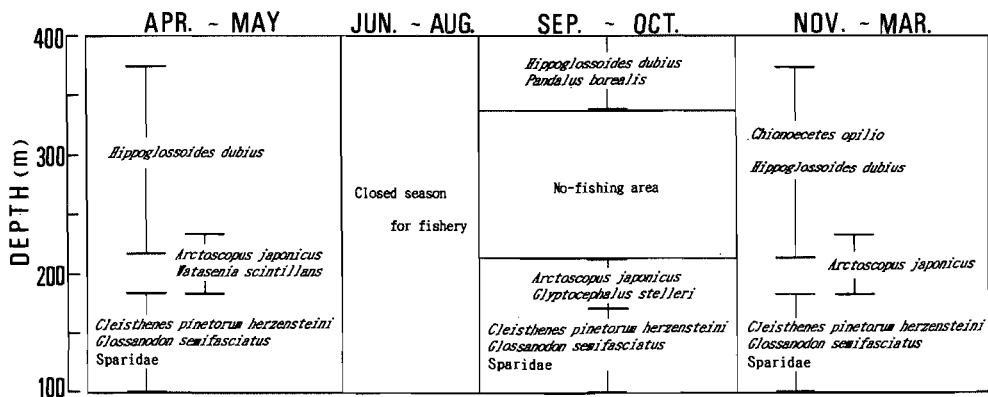


Fig. 3. Seasonal shift of fishing ground indicating with depth and species of fish caught by Danish seine in each season.

soides dubius, 浅所ではソウハチ, ニギスおよびタイ類などを対象にした操業が行われている。また, 水深 200 m 前後ではハタハタおよびホタルイカ *Watasenia scintillans* を対象に操業が行われている。当期間における全漁獲金額の約 25% がアカガレイで占められ, 本種は春漁期の重要資源となっている。したがって, 操業頻度としては水深約 200 m 以深で高くなる傾向がみられる。

秋漁期 (9 月から 10 月) この期間, 水深 330 m 以深でアカガレイおよびホッコクアカエビ *Pandalus borealis*, 水深 180~220 m 付近でハタハタおよびヒレグロ *Glyptocephalus stelleri*, 水深 180 m 以浅でニギス, ソウハチおよびタイ類を対象に操業が行われている。なお, 当期間においては, ズワイガニ資源の保護を目的として, 関係漁業者の自主規制により水深 200~330 m の海域は操業禁止区域に設定されている。

ズワイガニの生息域は概ね水深 200~400 m といわれている (尾形, 1974)。したがって, カニを対象とした操業はもちろんであるが, 4 月から 5 月および 9 月から 10 月のアカガレイやホッコクアカエビを対象とした操業の際にもズワイガニが混獲され, 規制により水揚げできないので投棄されている。この点については, 第 4 章で詳しく述べる。

第 2 章 ズワイガニの漁業生物学的研究

2-1 研究の背景と目的

資源管理を検討するためには, 本種の生物特性を明らかにしておく必要がある。日本海における本種の生物特性については, 雌雄の脱皮・成長や成熟・産卵生態および分布・移動などに関する研究が蓄積されている。雄ガニの脱皮・成長については, 底生生活の初期である稚ガニ期は水

槽飼育などにより, 脱皮齢期や平均甲幅が報告されている。しかし, それ以降では脱皮間隔も長くなり長期的な飼育が困難であることなどから, 試験操業により得られた甲幅組成をもとに齢期群のモード分析が行われているが, これまでに統一された結果は得られていない。また, 分布についても水深帯の違いなどによる巨視的なスケールでの調査事例が大部分であり, 雌雄の高密度な分布域の構造などについては全く報告されていない。そこで, 本章ではこれまでの生態調査の中であまり明確にされていない, 上記の未解決の部分进行明らかにするために行った。本章は, 1) 雄の最終脱皮と成長過程との関係, 2) 雌雄の水深別分布状況とかご縄調査結果からみた高密度な分布域の形状, そして, 3) 産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状と交尾行動の 3 節よりなる。

2-2 雄の最終脱皮と成長過程

日本海におけるズワイガニの脱皮や成長に関する研究は従来から行われており, 雌の場合には成熟すると生涯の最終脱皮 (terminal molt) を行い, それ以上成長しない (吉田, 1951; 伊藤・小林, 1967) のに対し, 雄は死亡するまで脱皮を繰り返し成長を続けるとされている (SINODA, 1968; 伊藤, 1970; 管野, 1975; 今, 1980)。しかし, 近年カナダ北大西洋沿岸のセントローレンス湾での調査結果で, 雄も雌と同様に最終脱皮をすることが示唆された (CONAN and COMEAU, 1986)。この報告によると, 最終脱皮を終えた個体では, 甲幅に対して鉗脚が相対的に大きく, 逆に最終脱皮を終えていない個体では, 相対的に鉗脚が小さい。

日本海における過去の研究でも, 雄の甲幅と鉗脚の相対成長は報告されている (伊藤, 1957)。これによると, 両

Table 2. Sampling data of male crabs.

Date	Fishing gear	Depth (m)	Numbers	Carapace width range (mm)
24 Aug. 1989	Trap	273	55	66-142
19, 22 Sep.	Trap	272	93	73-152
13 Oct.	Trap	245	74	63-134
19, 22 Feb. 1990	Danish seine	245	149	67-120
5 Mar.	Danish seine	235	97	88-115
24 May	Trap	273	138	59-111
14, 19 Jun.	Trap	272	255	68-152
25, 27 Jul.	Trap	273	125	59-152
21, 31 Aug.	Trap	243	41	65-140
10, 11, 24 Sep.	Danish seine, Beam trawl	230-275	93	58-125
3, 4, 11, 15, 16 Oct.	Trap, Danish seine	243-350	518	58-140

者の関係は相対比の異なる2つの群に区別することができ、相対比の大きな群は甲幅の大きな群に多いことが分かっている。さらに標識放流の結果から、1年以上の間1回も脱皮を行っていない事例が多くみられている(YAMASAKI *et al.*, 1989)。これらの調査結果は、日本海における雄の場合にも北大西洋海域と同様に、最終脱皮が存在する可能性を示唆している。

2-2-1 雄の最終脱皮に関する研究

2-2-1-1 材料および方法

1989年8月から1990年10月までに京都府沖合の水深約230~350 m域において、カニかご、底曳網および桁曳網で採捕された合計1,638個体の雄を材料とした。Table 2にその詳細を整理した。採捕された雄についてはノギスを使用して、最大甲幅と右側の鉗脚高を0.1 mm単位で計測した。測定に用いた鉗脚の部位はFig. 4に示した。測定方法は、CONAN and COMEAU (1986)にしたがった。右

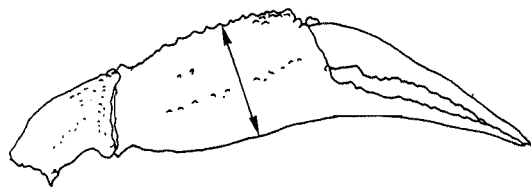


Fig. 4. A portion used for the measurement indicative a chela height.

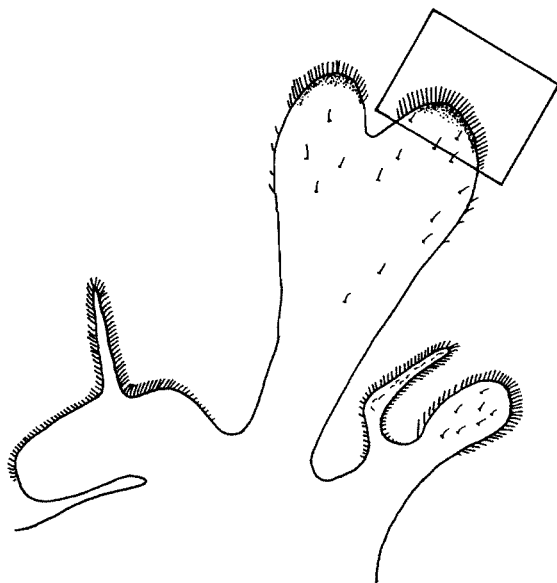


Fig. 5. Basipodite of 2nd maxilla of *C. opilio*. The portion inside the square was used for determining molting stages.

側の鉗脚が欠損もしくは再生により明らかに正常ではない個体は、この計測から除かれた。さらに、雄の脱皮ステージを検討するために、全ての個体から第2小顎(2nd maxilla)を採集した。第2小顎は採集直後に観察する場合を除いて、3%海水ホルマリン溶液に入れ保存された。脱皮ステージの観察は、第2小顎の基節(basipodite)の縁辺部分の新旧の表皮(epidermis)および剛毛(seta)の形成もしくは分離の程度を中心に光学顕微鏡により行われた。第2小顎の観察部位をFig. 5に示した。

2-2-1-2 甲幅と鉗脚高の相対成長

1989年8月から1990年10月までに採捕された雄の甲幅と鉗脚高の関係を、対数値によりFig. 6に示した。甲幅70 mm以下では甲幅に対して相対的に鉗脚高の低い個体、また、甲幅120 mm以上では高い個体のみで構成されていた。甲幅70~120 mmでは相対的に鉗脚高の低いものと高いものの2集団が認められた。この結果は、伊藤(1957)が示した甲幅と鉗脚長との相対成長の関係とほぼ同様である。

上述の2集団は次の判別関数式により、統計的に区別することができる。

$$Y = -16.5221 \ln CW + 14.5003 \ln CH + 33.8949$$

ここで、 CW は甲幅(mm)、 CH は鉗脚高(mm)であり、この結果は計算値 Y が -0.01123 よりも小さければ鉗脚高の低い個体に、大きければ鉗脚高の高い個体に区別することができることを示している。合計1,638個体の雄は

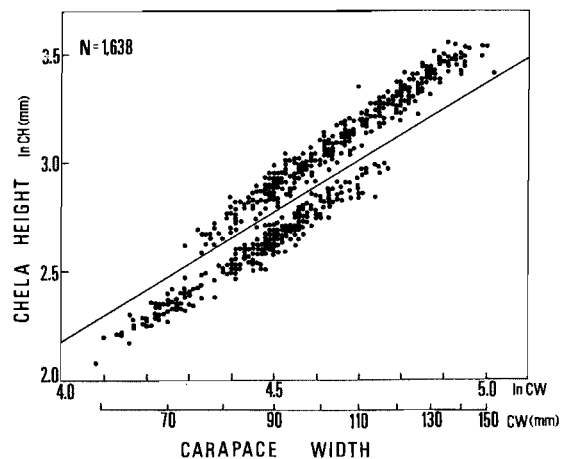


Fig. 6. Relationship between chela height and carapace width in the natural logarithm for the male snow crab. The results are separated into two clusters with a linear line; $Y = -16.5221 \ln CW + 14.5003 \ln CH + 33.8949$.

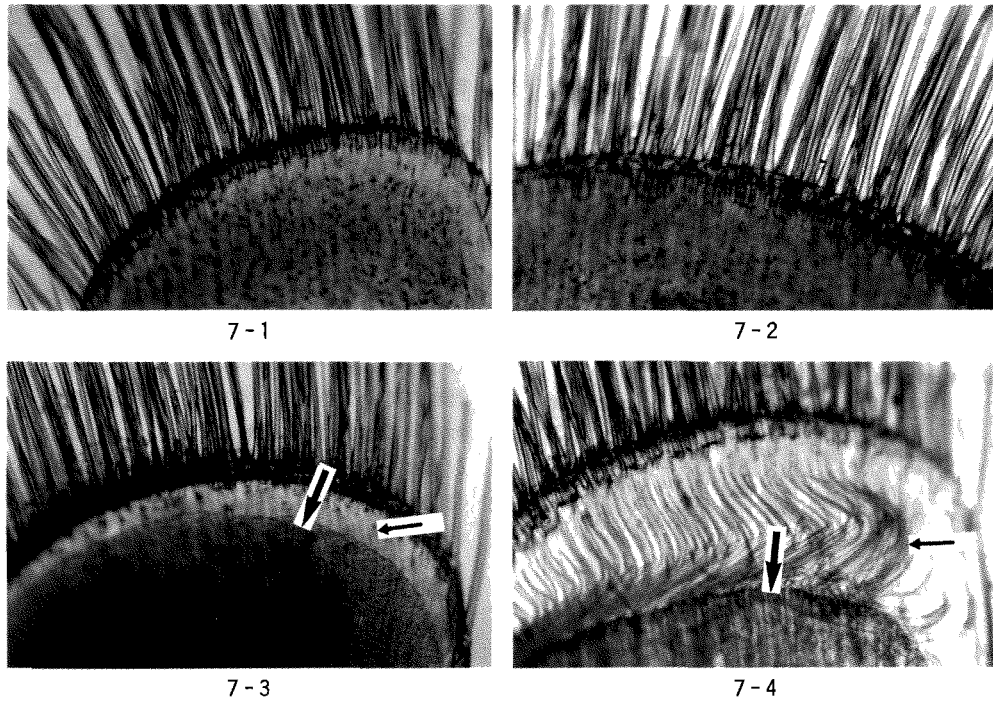


Fig. 7. Photographs of basipodite of 2nd maxilla showing molting stages. 1, P₀-stage: postmolt period; 2, I_n-stage: intermolt period; 3, P_I-stage: premolt period-I; 4, P_{II}-stage: premolt period-II. Large and small arrows indicate the new epidermis and seta of the basipodite.

鉗脚高の低いもの890個体，高いもの748個体に分けられた。以下，第2小顎の観察結果は，相対的に鉗脚高の高い集団と低い集団に区分けして検討した。

2-2-1-3 脱皮ステージと最終脱皮

第2小顎の基節の先端部分を観察した結果，postmoltおよび intermolt period はそれぞれ1つのステージ，pre-molt period は2つのステージの合計4つの特徴的なステージに区分けすることができた。そのステージとは次の4つである。

P₀ステージ (postmolt period, Fig. 7-1); 基節の縁辺部分の厚さは薄くて非常に柔らかく，白色もしくは乳白色を呈している。また，このような第2小顎を有する個体の甲殻は非常に柔らかく，脱皮して間もない状態であった。

I_nステージ (intermolt period, Fig. 7-2); 基節の縁辺部分は厚さが増し硬く，茶黒色を呈している。縁辺部分の内側には新しい基節の表皮や剛毛は全く形成されていない。また，甲殻の状態は P₀ステージと異なり硬い。

P_Iステージ (pre-molt period, Fig. 7-3); 基節の縁辺部分の厚さや色は I_nステージと同様であるが，縁辺部分の内側には新しい基節の表皮や剛毛が形成されている (Fig. 7-3の矢印)。しかし，古い基節の表皮と新しいそれとの

間隔は狭く，両者は完全には分離していない。また，甲殻の状態は I_nステージと同様に硬い。

P_{II}ステージ (pre-molt period, Fig. 7-4); 古い基節の内側に形成されている新しい基節の表皮および剛毛は，古い基節の表皮，剛毛から完全に分離している (Fig. 7-4の矢印)。また，このような第2小顎を有する個体は，伊藤 (1957) が指摘した脱皮直前の“フタカワ”の状態であった。

ここに示した第2小顎による脱皮ステージ区分は基本的には MORIYASU and MALLETT (1986) にしたがった。それによれば，pre-molt period は新しい基節の表皮および剛毛の分離度合いにより，合計5つのステージ (D₀, D₁', D₁", D₁'', D₃₋₄) に分けられているが，実際には各々の区分が困難であったので，本研究では P_I, P_{II} の2つのステージのみに区分した。すなわち，上述したように新しい基節の表皮および剛毛が古いそれらから完全に分離し，MORIYASU and MALLETT (1986) が指摘した脱皮直前と考えられた D₃₋₄ ステージを P_{II} ステージに，残りの D₀~D₁' の4つのステージを P_I ステージとした。

次に，Fig. 6 に示した甲幅に対して相対的に鉗脚高の高い個体の集団と低い個体の集団の，1989年8月から1990年

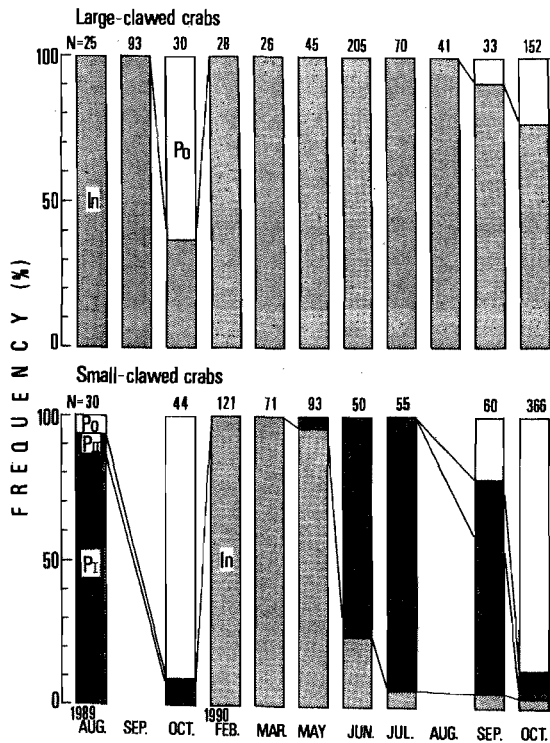


Fig. 8. Monthly change of four molting stages in small-clawed and large-clawed male crabs showing in percentage. Po, postmolt stage; In, intermolt stage; P_I, premolt stage-I; P_{II}, premolt stage-II.

10月までの各脱皮ステージの月別出現割合を Fig. 8 に示した。月別の各ステージの出現状況の主な傾向は、両集団とも調査を実施した2カ年ともほぼ同様であった。

相対的に鉗脚高の低い集団では、脱皮の準備に入った期間である P_I ステージの出現は5月からみられ (4.3%), その出現割合は7月から8月まで順次高くなる傾向を示した (76.0~94.5%)。さらに、8月から10月には P_{II} ステージの出現がみられ、その出現割合は9月に最も高かった (20.0%)。また、8月から10月には P_{II} ステージの出現とともに P_o ステージの出現もみられ、その出現割合はとくに10月に高かった (87.2~90.9%)。2月から5月には I_n ステージの出現が卓越した (95.7~100%)。

以上のように、甲幅約 60 mm 以上の相対的に鉗脚高の低い個体では、とくに9月に脱皮直前の P_{II} ステージが、続いて10月には脱皮直後の P_o ステージが多く出現したことから、およそ9月から10月頃に脱皮を行うものと考えられる。ここで推定した脱皮時期は、これまで報告されている時期 (伊藤, 1970) とほぼ一致した。さらに、今回は11

月から1月の資料が欠損したが、脱皮の前後と思われる7月から10月においては、調査を実施した相対的に鉗脚高の低い集団のほとんど全ての個体 (94.5~100%) は、脱皮前 (P_I, P_{II} ステージ) ないし脱皮後 (P_o ステージ) であったことから、この集団の個体は1年に1度脱皮を行うものと考えられた。

一方、相対的に鉗脚高の高い集団では、9月から10月には P_o ステージが出現したが (9.1~63.3%), これ以外の月では全て I_n ステージのみの出現であった。すなわち、相対的に鉗脚高の高い個体では、周年脱皮前のステージ (P_I, P_{II} ステージ) が全くみられず、脱皮を行う準備が行われていなかったことから、この集団の個体は脱皮を行わないことが明らかとなった。つまり、北大西洋海域のセントローレンス湾で CONAN and COMEAU (1986) が指摘した雄の最終脱皮の存在が、日本海西部海域のズワイガニにおいても確認された。

2-2-2 脱皮・成長過程の生態的特徴

2-2-2-1 材料および方法

1989年3月から1990年11月までに京都府沖合の水深 220~350 m 域において、カニかごおよび底曳網で採捕された合計3,247個体の雄を材料とした。採捕された雄は、甲幅と鉗脚高の測定が行われた。計測部位および方法については、前項と同様であった。測定された雄は前項の判別関数式により、最終脱皮を終えた個体 (以下、最終脱皮個体と呼ぶ) と終えていない個体 (以下、未最終脱皮個体と呼ぶ) とに区分けされた。

甲幅組成にみられるいくつかの齢期の頻度分布が正規分布すると仮定し、CLASSIE 法および TAYLOR 法をプログラム化した方法 (堤・田中, 1988) により、各齢期の平均甲幅と標準偏差が推定された。

2-2-2-2 齢期群分離の試み

1989年3月から1990年11月までに採捕された雄を最終脱皮個体と未最終脱皮個体とに区分けして、両者の甲幅組成を Fig. 9 に示した。甲幅 70 mm 未満では1個体を除いた全てが未最終脱皮個体であり、甲幅 130 mm 以上では全てが最終脱皮個体であった。甲幅 70 mm から 130 mm の範囲には、両方の個体が含まれていた。甲幅組成の1階級毎に占める両者の割合は、甲幅 100 mm 未満では未最終脱皮個体が卓越し (70.6~99.7%), 甲幅 100 mm 以上では最終脱皮個体が卓越した (56.9~100%)。甲幅 80~90 mm と 90~100 mm の階級を除けば、最終脱皮個体の割合は甲幅が大きくなるほど高い (Table 3)。

最終脱皮個体と未最終脱皮個体とでモードの位置に違いがみられなかったことから、Fig. 9 に示された両集団をま

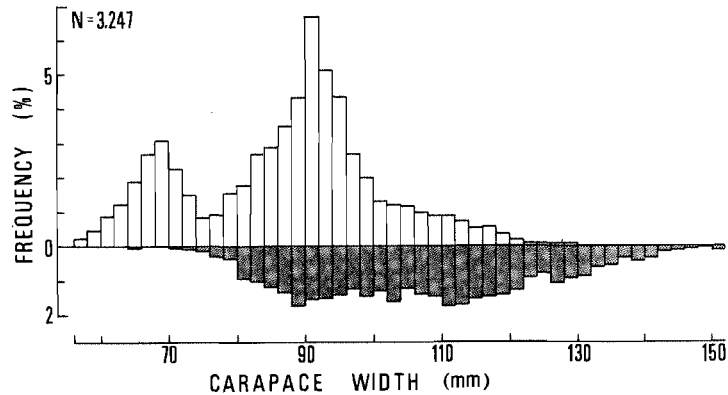


Fig. 9. Frequency distribution of carapace width in male crabs, which were classified into two groups using a linear line shown in Fig. 6. White and black columns indicate small-clawed and large-clawed crabs, respectively.

Table 3. Percentages of large-clawed and small-clawed crabs classified into each carapace width range.

Carapace width range (mm)	Large-clawed crab (%)	Small-clawed crab (%)
60 - 69	0.3	99.7
70 - 79	11.8	88.2
80 - 89	29.4	70.6
90 - 99	25.9	74.1
100 - 109	56.9	43.1
110 - 119	73.6	26.4
120 - 129	95.1	4.9
130 -	100.0	0

とめて、この中にみられる齢期群の分離を試みた。その結果、甲幅約 60 mm 以上の雄ガニの甲幅組成の中には4つの齢期がみられ、それぞれの平均甲幅と標準偏差は 67.4 mm ± 4.8 mm, 91.2 mm ± 5.9 mm, 111.1 mm ± 6.1 mm および 130.2 mm ± 6.2 mm であった。この結果を、Table 4 と Fig. 10 に示した。本調査では甲幅 130 mm 以上の個

Table 4. Mean carapace width, standard deviations and percentage occurrences of four molting stage groups, A, B, C and D.

Molting stage group	Mean size (mm)	S.D. (mm)	Percentage occurrence (%)
A	67.4	4.8	17.0
B	91.2	5.9	52.3
C	111.1	6.1	22.3
D	130.2	6.2	7.5

体は全て最終脱皮を終えていたことから (Table 3), 平均甲幅 130.2 mm の齢期は最も大きい齢期と考えられた。以下、本研究では上述の4つの齢期をA, B, C, D群とする。分離された各齢期の組成全体に占める割合はA群が17.0%, B群が52.3%, C群が22.3%およびD群が7.5%であった (Table 4)。

2-2-2-3 脱皮成長率からみた齢期群分離の妥当性の検討

本研究で推定された脱皮齢期数や平均甲幅を日本海西部海域での従来の報告 (SINODA, 1968; 伊藤, 1970; 今, 1980) と比較し、Table 5 に整理した。従来の報告によると、甲幅 60 mm 以上の組成の中には少なくとも8つ以上の齢期が存在し、本研究の結果より4齢期以上多いことが推定されている。そこで、脱皮成長率 (%) $\{(L_{n+1} - L_n) / L_n \times 100\}$ を本研究の結果と従来の報告を比較することにより、甲幅 60 mm 以上の齢期数を検討した。ここで、 L_n とは n 齢期の平均甲幅、 L_{n+1} とは $n+1$ 齢期の平均甲幅である。当調査結果において、甲幅約 100 mm を境にして小さい方では未最終脱皮個体が、大きい方では最終脱皮個体が卓越していたことから (Table 3), 脱皮成長率は甲幅 100 mm を境として比較を試みた。本研究では脱皮成長率はA群 (67.4 mm) からB群 (91.2 mm) で34.5%, B群からC群 (111.1 mm) で21.8%, C群からD群 (130.2 mm) で17.1%であり、甲幅 100 mm 以上の齢期においても脱皮成長率は20%に近い値であった。伊藤 (1970) と今 (1980) は甲幅 100 mm 未満における脱皮成長率は12.8~30.5%, 甲幅 100 mm 以上におけるそれは3.1~10.5%とした。甲幅 100 mm 未満では従来の知見と本研究の結果には、それほど大きな違いはみられなかったが、甲幅 100 mm 以上では大きく異なった。なお、SINODA (1986) の脱皮成長率は甲幅 80 mm 程度から10%以下とな

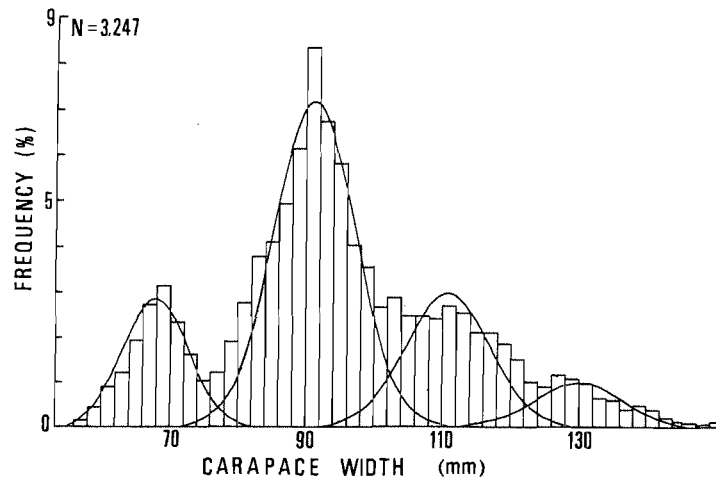


Fig. 10. Carapace width composition of male crabs caught by crab trap and Danish seine, with fitted normal curves to distribution in each molting stage group.

Table 5. Comparison of molting stage group and mean carapace width more than 60 mm carapace width arranged by three researchers in western Japan Sea.

Number of molting stage group	Mean carapace width (mm)		
	SINODA (1968)	Ito (1970)	KON (1980)
1	60.6	63.6	65.2
2	72.2	83.0	80.0
3	80.5	97.8	93.4
4	88.6	110.3	105.6
5	95.1	121.0	116.7
6	101.5	130.0	126.8
7	108.0	137.7	135.9
8	113.0	144.2	144.2
9	118.0	149.7	
10	123.0	154.4	
11	126.1		
12	129.5		
13	132.9		
14	136.0		
15	138.1		
⋮	⋮	⋮	⋮

り、全体的に非常に低い値である。これは、調査期間中の甲幅組成に出現した全てのモードを齢期と推定したことや、甲幅約 100 mm 以上では退行性等比成長を行うと仮定したことなどによると指摘されており (伊藤, 1970; 尾形, 1974), 問題が残されている。

標識放流および水槽飼育での実測値から脱皮成長率が計

算されているので、これらの事例を整理し前述の結果と比較する。ベーリング海およびカナダ北大西洋での標識放流から計算された脱皮成長率は、甲幅 100 mm 未満で 13.0~35.1% (5 個体) であり、甲幅 100 mm 以上では 6.4, 8.6% と小さい例もみられているが、この 2 例を除けば 12.9~22.0% (6 個体) と比較的大きい値が報告されている (McBRIDE, 1982; TAYLOR, 1982)。TAYLOR and HOENIG (1990) は、カナダ北大西洋において甲幅 80~110 mm の範囲での脱皮成長率は 10.6~13.0% であると報告した。北大西洋産ズワイガニの水槽飼育結果において、MORIYASU *et al.* (1987) は甲幅 100 mm 未満での脱皮成長率は 11.4~27.4% (18 個体)、甲幅 100 mm 以上では 8.0% と 1 個体だけ小さい値がみられているが、他は 13.3~17.4% (4 個体) と報告した。また、MILLER and WATSON (1976) は、甲幅 60 mm から 101 mm までの間の脱皮成長率は 18.4% で一定とした。筆者の水槽飼育では、甲幅 103.0 mm の個体が 1 回の脱皮で甲幅 125.3 mm になり、脱皮成長率 21.7% が得られている (山崎, 未発表)。

以上述べたように、未最終脱皮個体が卓越した甲幅 100 mm 未満での脱皮成長率は、SINODA (1968) の例を除けば齢期分離による値と標識放流や水槽飼育による実測値がほぼ同様の値を示した。しかし、最終脱皮個体が卓越した甲幅 100 mm 以上においては、本研究の結果と実測値はほぼ同じ値であったが、SINODA (1968)、伊藤 (1970) および今 (1980) の値と計算値とは大きく異なっていた。脱皮成長率から判断する限り、ここに推定した各齢期の平均甲幅は妥当であったと考えられる。逆に、甲幅 60 mm 以上に 8 つ以上の齢期が存在するとみなすのは、必ずしも妥当とは考えられない。本研究で得られた甲幅組成には、最終

脱皮個体と未最終脱皮個体の間で齢期のモードが異なる傾向はみられなかったが (Fig. 9), 北大西洋産ズワイガニを調べた MORIYASU *et al.* (1987) によれば, 最終脱皮 (terminal molt) と未最終脱皮 (normal molt) とでは脱皮成長率が異なるとし, 同じ齢期でも最終脱皮の方が未最終脱皮より脱皮成長率が低いと報告されている。従来の報告で甲幅 100 mm 以上の齢期数が 8 つ, もしくはそれ以上分離されたのは, 同一齢期の最終脱皮個体と未最終脱皮個体のモードのズレを別の齢期と判断したためと考えられる。この傾向は, とくに最終脱皮個体が卓越する甲幅 100 mm 以上で顕著である。

2-2-2-4 脱皮・成長モデル

雄の脱皮・成長モデルを作成するため, 上述した最終脱皮の存在や齢期分離などの結果を整理すると以下のようなになる。甲幅 60 mm 以上の個体には, 甲幅に対して相対的に鉗脚高の高い最終脱皮個体と鉗脚高の低い未最終脱皮個体が存在している。未最終脱皮個体は 1 年に 1 回 9 月から 10 月頃に脱皮を行うのに対し, 最終脱皮個体は脱皮を行うことはない。また, 甲幅組成の中には 4 つの齢期 (A~D 群) がみられ, それぞれの平均甲幅は 67.4 mm, 91.2

mm, 111.1 mm および 130.2 mm である。最終脱皮が存在することから, A~D 群にみられる未最終脱皮個体は単一年級群で構成されるが, 最終脱皮個体は複数年級群により構成される。ただし, 最も大きい D 群は最終脱皮個体だけで構成される。

以上整理したことをもとにして, 雄の脱皮・成長パターンを模式的に示すと Fig. 11 のようになる。筆者らの京都府沖合海域における雄標識放流の結果では, 放流から再捕までの期間が最も長かったのは 1,144 日であり, 4 年以上経過した事例は全くみられなかったことから (山崎, 未発表), 最終脱皮を終えた後の寿命は 4 年と考えられる。

次に, 底曳網で漁獲される雄には, 前章で述べたように“たてガニ”と“水ガニ”があるが, この両者の生物学的な違いを検討した。水揚市場で測定された“たてガニ”と“水ガニ”の甲幅と鉗脚高の関係を Fig. 12 に示した。この図から, “たてガニ”は全てが最終脱皮個体であり, “水ガニ”は最終脱皮個体と未最終脱皮個体が混在することが明らかとなった。第 2 小類から推定された両者の脱皮ステージは, “たてガニ”は全て I_n ステージ (Fig. 7-2), “水ガニ”は全て P_0 ステージ (Fig. 7-1) であった。上述

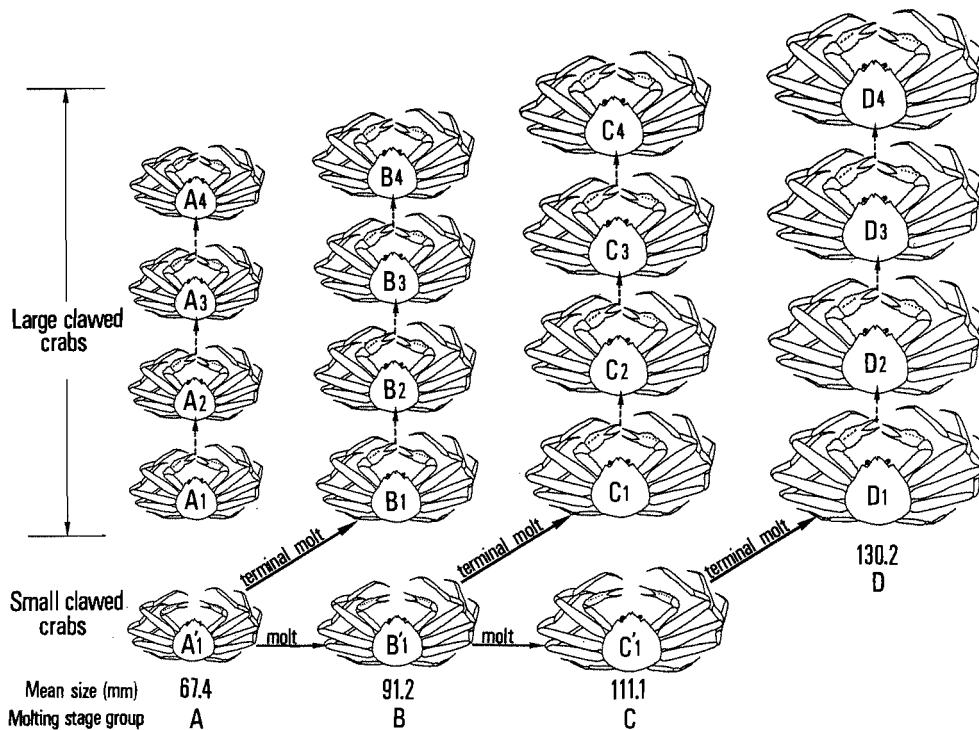


Fig. 11. A model of the molting pattern of male crab. Large and small arrows indicate terminal and normal (non-terminal) molting, respectively. Broken arrows indicate non-molting.

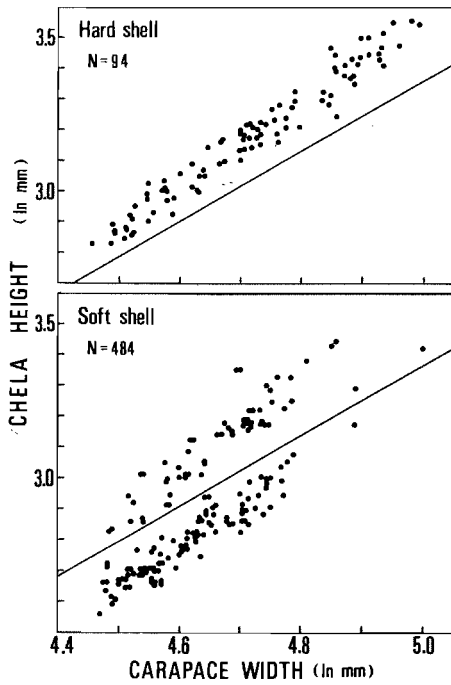


Fig. 12. Relationship between chela height and carapace width of two categories, hard and soft shell male crabs caught by commercial fishing.

したように、雄は1年に1回9月から10月頃に脱皮を行うこと、また、ズワイガニの漁期は脱皮盛期の直後に当たる11月上旬から始まることから、“たてガニ”とは最終脱皮を終えてから少なくとも1年以上経過した個体であり、“水ガニ”とは最終脱皮および未最終脱皮個体を問わず、

脱皮を行って間もない、少なくとも1年以内の個体であることが明らかとなった。雄の漁獲サイズは甲幅 90 mm 以上であるので、“たてガニ”として漁獲されるのは、Fig. 11 の B₂~B₄, C₂~C₄ および D₂~D₄, “水ガニ”として漁獲されるのは、B₁' と B₁, C₁' と C₁ および D₁' である。“水ガニ”の中の最終脱皮個体は次の年の漁期には“たてガニ”となるが、未最終脱皮個体は次の年の漁期も“水ガニ”で漁獲されると言える。

2-2-3 考察

TEISSIER (1935) はクモガニ科の一種である *Maja squinado* の雄ガニについて、成熟に達すると鉗脚の相対的なサイズが未成熟期に比べ大きくなることを指摘した。また、このような雄の成熟と鉗脚の相対成長の関係はズワイガニ (CONAN and COMEAU, 1986; WATSON, 1970) やオオズワイガニ *C. bairdi* (BROWN and POWELL, 1972) でも報告されている。したがって、雄の最終脱皮と性成熟とは密接な関係にあるといえよう。一般に甲殻類では中枢神経系から生殖刺激ホルモンが分泌されると、雄は輸精管の末端にある雄性腺または造雄腺が発達して雄性ホルモンを分泌し、このホルモンの作用により鉗脚が発達して、相対的に鉗脚のサイズが大きくなる (大澤, 1984)。本種の雄もこのような作用により鉗脚の二次的な成長を行うものと思われる。

雄の成熟サイズは、上述したように甲幅と鉗脚の相対成長に不連続性が認められることを根拠に推定されている。すなわち、最終脱皮個体は成熟、未最終脱皮個体は未成熟であると指摘されている (CONAN and COMEAU, 1986)。また、甲幅と鉗脚の相対成長からみた雄の最小成熟サイズ

Table 6. Estimated minimum carapace width on maturity of male based on carapace width and chela size, and maximum carapace width measured.

Area	Carapace width on maturity (mm)	Maximum carapace width (mm)
Sea off Kyoto Pref.	65	150
Yamato-tai (Japan Sea)* ¹	55	143
Sea off Fukushima Pref.* ¹	70	145
Okhotsk Sea* ²	55	145
Central Bering Sea* ²	50	140
Sea off Pribilof Is. (Bering Sea)* ²	55	140
East of St. Matthew Is. (Bering Sea)* ²	40	75
Sea off Unimak Is. (Bering Sea)* ²	65	145
Bonne Bay (Newfoundland Canada)* ³	51	132
South west Gulf of St. Lawrence (Canada)* ⁴	60	120

*¹ YAMASAKI and KUWAHARA (1993), *² FUJITA *et al.* (1988), *³ COMEAU *et al.* (1991), *⁴ CONAN and COMEAU (1986).

は、海域によりかなり異なっている。海域によって異なる最小成熟サイズを Table 6 に示した。とくに、日本海でも大陸棚の縁辺部に当たる京都府沖合とほぼ中央に位置する大和堆海域とでは、前者では約 70 mm であるのに対し、後者では約 50 mm であり、約 20 mm の差が認められている (山崎・桑原, 1993)。藤田ほか (1988) は成熟サイズの最小個体の大きさが海域により異なるのは、カニが生息する海底の水温に起因しており、水温が高いところでは最小甲幅は大きく、低いところでは小さくなる可能性を指摘した。しかし、京都府沖合と大和堆海域の 5 月から 7 月 (1991 年から 1992 年) の海底水温は、それぞれ 0.50~1.20°C (水深 228~325 m), 0.67~1.30°C (水深 306~355 m) であること (山崎・桑原, 1993)、また、日本海の水深 300 m 以深の水温は、日本海固有水の影響によりほとんど変動しない (福岡, 1962; 谷岡, 1962) ことから、日本海の両海域の海底水温は周年同じと考えられる。さらに、京都府沖合と福島県沖合での最小甲幅は同じであったが (山崎・桑原, 1993)、後者の 5 月から 7 月 (1991 年) の海底 (水深 400 m) 水温は 3.64~4.60°C (石田, 1991) であり、両海域の海底水温にはかなりの違いがみられている。以上のことから、海域間の最小甲幅の変異は、単に生息域の水温の違いだけでは説明できず、他の要因が影響している可能性が強いと考えられる。

最終脱皮を終える齢期は、雌の場合には初産卵前の脱皮が最終脱皮に当たり、その齢期には個体による変異はなく、第 11 齢期とされている (吉田, 1951; 伊藤・小林, 1967)。一方、雄では Fig. 9 から明らかなように、最終脱皮個体が出現する甲幅範囲は約 70~150 mm とかなり広い。この範囲内の個体が同一齢期であるとは考えにくく、雄が最終脱皮を迎える齢期は個体により異なるものと考えられる。現在のズワイガニ漁業では漁獲規制サイズが取り決められており、甲幅 90 mm 未満は採捕が禁止されている。しかし、漁獲サイズに満たない甲幅 80 mm から 90 mm 未満の階級においても、最終脱皮を終えている個体の割合は約 30% に達する (Table 3)。これらの個体はそれ以上甲幅が大きくなることから、漁獲対象サイズには加入しない。現在の漁獲規制サイズは、雄は死亡しない限り脱皮を続けるとの成長様式をもとに設定されている。しかし、本研究において、実際には最終脱皮が存在し、その成長様式は従来の報告 (SINODA, 1968; 伊藤, 1970; 管野, 1975; 今, 1980) とかなり異なることが明らかにされた。したがって、今後ズワイガニ資源の管理を検討する場合には、この最終脱皮の存在を考慮した方式を導入する必要がある。

2-3 雌雄の水深別分布状況と高密度な分布域の形状

資源管理のひとつの方策として、底曳網の禁漁区の設定が考えられる。具体的にどの海域にどの程度の規模を設定するのかを検討するには、本種の生態特性、とくに分布状況や高密度な分布域の形状などを調べておく必要がある。日本海におけるズワイガニの底生生活期の分布については、底曳網による水深別の試験操業結果などにより多くの報告がなされている (小林, 1966; 今, 1969; SINODA, 1970; 伊藤, 1970; 福井水試, 1971 など)。しかし、同じ水深帯における分布様式の研究は皆無である。本節では、まず始めに京都府沖合における雌雄の分布状況を水深別に検討した。次に、カニかごによる調査結果をもとに、同じ水深帯での雌雄の高密度な分布域の形状を検討した。また、高密度な分布域の形状は、海底地形が異なる日本海中央部の大和堆海域との比較も行った。

2-3-1 京都府沖合における雌雄の水深別分布状況

2-3-1-1 材料および方法

ズワイガニの水深別の分布状況を調べるために、桁曳網の調査が行われた。調査は 1985 年 8 月 20 日から 23 日と 27 日から 28 日、同年 10 月 31 日から 11 月 1 日および 11 月 21 日から 22 日に水深 220~290 m 域で行われた。調査海域を Fig. 13 に示した。調査は等深線に沿って、船速約 2 ノットで 30 分間曳網された。本研究に使用された桁曳網は、桁の幅が 8 m、高さが 1.5 m であり、袋網の網目は 3 cm であった (内野ほか, 1982)。採捕されたズワイガニは、実

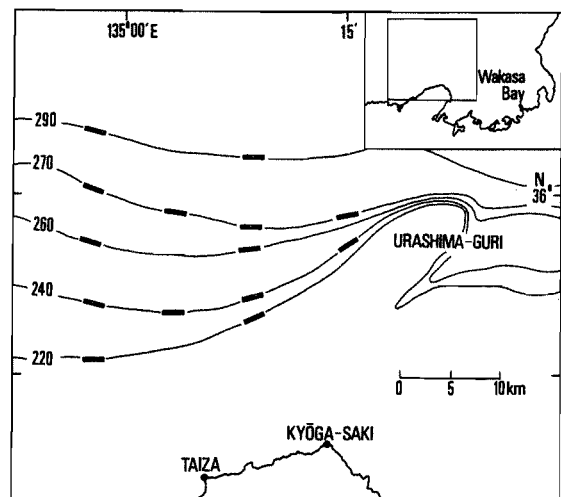


Fig. 13. Map of the survey area of beam trawl in the sea off Kyoto Prefecture. Solid and thin lines indicate experimental zone and isobath.

験室で雌雄別の個体数計測と甲幅の測定が行われた。雌は、伊藤（1957）にしたがい腹部總絡卵を有する成体と有しない未成体とに識別された。

成熟段階別に雌雄の分布状況を調べるために、成熟過程の異なる3つの段階に便宜的に区分けした。雄では、甲幅10~40mmを稚ガニ(juvenile)、甲幅50~80mmを若齡ガニ(young)、そして漁獲の対象となる甲幅90mm以上を親ガニ(adult)とした。雌では、甲幅10~40mmを稚ガニ、甲幅50mm以上の未成体を若齡ガニ、そして成体を親ガニとした。さらに、雌親ガニでは初産卵からの経過時間の長短により2つの群に区分された。すなわち、初産卵直後もしくは初産卵後間もないため甲殻が柔らかい個体を初産卵雌、初産卵後1年以上経過した甲殻の硬い個体を経産卵雌と定義した。

2-3-1-2 成熟段階別の分布状況

8月と10月および11月の調査では採捕結果に違いがなかったため、全調査で採捕された個体をまとめて、水深別の一曳網当たり採捕個体数の割合をFig. 14に示した。稚ガニは、全ての調査水深帯で出現しており、とくに特定的水深帯に偏って採捕される傾向はみられなかった。若齡ガニでは、雌雄とも水深240m域でとくに多く採捕された。稚ガニおよび若齡ガニでは、雌雄により採捕される水深帯の違いはみられなかった。親ガニでは、雄は水深270m以深、雌は水深240m域でとくに多く、雌雄で多く採捕された水深帯が異なった。この結果は、成熟した雌雄は、水深275m付近を境にして浅所では雌、深所では雄が卓越して分布するとして従来の報告(今, 1969; SINODA, 1970; 伊藤, 1970)とほぼ一致した。

経産卵雌と初産卵雌の水深別の一曳網当たり採捕個体数をTable 7に示した。経産卵雌は水深220mと270m以

Table 7. Catch in average number per haul of primiparous and multiparous females by beam trawl from 220 m to 290 m depths in August, October and November 1985.

Depth	Primiparous	Multiparous
220 m	1.0	0
240 m	2.2	9.0
260 m	1.0	1.5
270 m	3.1	0.3
290 m	1.0	0.8

深では少なく(0~0.8個体)、水深240m域ではとくに多く(9.0個体)、特定的水深帯に偏って分布する傾向がみられた。一方、初産卵雌は全て的水深帯で採捕されたことから(1.0~3.1個体)、経産卵雌のように特定的水深帯に偏って分布するのではなく、比較的広域に分布する。今(1969)は、若狭湾沖合で底曳網調査を行い初産卵前後の雌の採捕状況から、初産卵にともなう生殖行為は水深225m域で行われることを指摘した。さらに、水深225mで生殖行為を果たした雄(甲幅85mm未満)は、甲幅90mm以上になるまでには水深275~400m域に移動し、水深225m域には戻らないことから、再び生殖行為には関与しない。本項の初産卵雌とは、上述のとおり初産卵直後もしくは間もない甲殻の柔らかい個体である。本調査の結果は、初産卵にともなう生殖行為は、特定的水深帯で行われるのではなく、比較的広域で行われることを示唆している。水深270m以深では甲幅90mm以上の雄が卓越したこと、また、京都府沖合の水深270m域では、甲幅約120mmの最終脱皮雄による初産卵前の交尾前行動が観察されている(山崎, 1990)ことから、甲幅90mm以上の

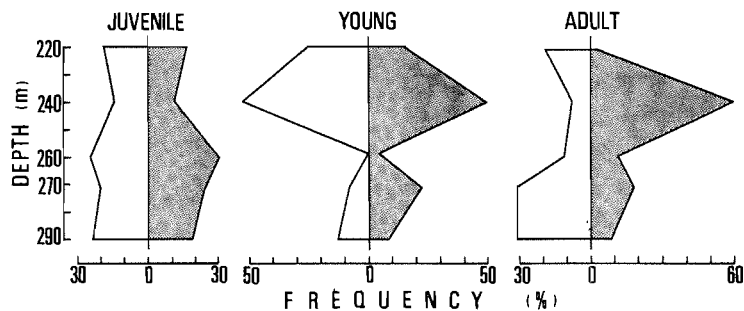


Fig. 14. Bathymetric distribution of juvenile, young and adult crabs from 220 m to 290 m depths. Open and closed areas indicate male and female, respectively. Juvenile, less than 40 mm carapace width male and female crabs; Young, immature females more than 50 mm carapace width and 50-80 mm carapace width of males; Adult, mature females and more than 90 mm carapace width of males.

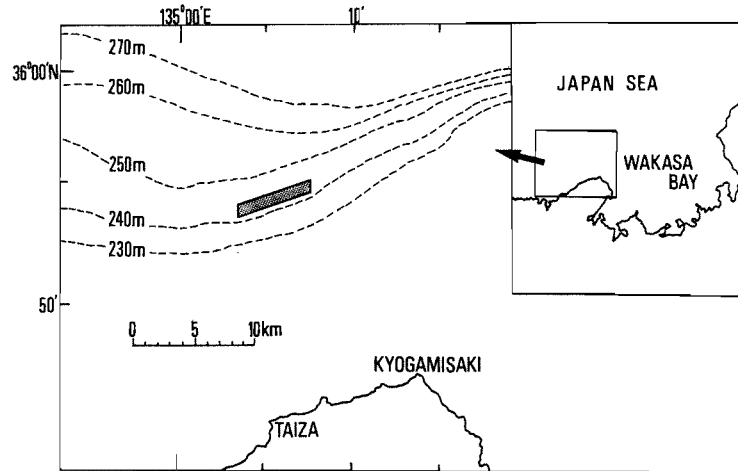


Fig. 15. Experimental fishing area by crab trap in spring in the sea off Kyoto Prefecture.

雄でも、主に水深 270 m 以深で生殖行為に関与すると考えられた。

2-3-2 高密度な分布域の形状

本項では、カニかご調査の結果から、同じ水深帯でのカニの分布状況、とくに高密度な分布域の形状を検討した。また、日本海でも大陸棚の縁辺部に当り、海底斜面がゆるやかで軟泥に覆われている京都府沖合海域と、斜面が比較的急で岩礁や礫などが点在する大和堆海域の、海底地形が異なる両海域での高密度な分布域の形成状況の違いについても検討した。

2-3-2-1 材料および方法

カニかご調査 京都府沖合海域でのかご調査は、1990年5月17日から18日、21日から22日および23日から24日に Fig. 15 に示した水深 242~244 m の海域で行われた。調査は、100 m 間隔に50個のかごを取り付けた5,000 m の幹繩をほぼ等深線上に東西方向に投入して行われた。かごは西から順に投入された。かごの沈漬時間は各調査とも約8時間であった。本調査で使用されたカニかごの大きさは、底面と入口の直径が130 cm, 42 cm, 高さが43 cmで、かごの網目は3 cmであった。かごの中には、カニを誘引するための餌として、体長約30 cmの冷凍サバを5~6尾吊り下げた。なお、21日から22日の調査結果においては、1~7かご目まではズワイガニはもとより、他のエビや貝類などの採捕が全くなかった。これは、何らかの物理的な影響でかごが海底に正常に設置されていなかったためと考えられたので、7個のかごの資料は解析から除いた。

大和堆海域での調査は、1991年5月22日から23日、6月25日から26日、1992年5月13日から14日および7月8日に水深290~349 m域でそれぞれ2回、合計8回行われた。

調査海域を Fig. 16 に示した。1回の調査では上述の場合と同じように、100 m 間隔に50かごを取り付けた幹繩が使用された。ただし、投縄方向は調査により異なった。採捕されたカニは、かご毎に雌雄別採捕個体の計数が行われた。雌の場合には、成体と未成年とに区分けされた。

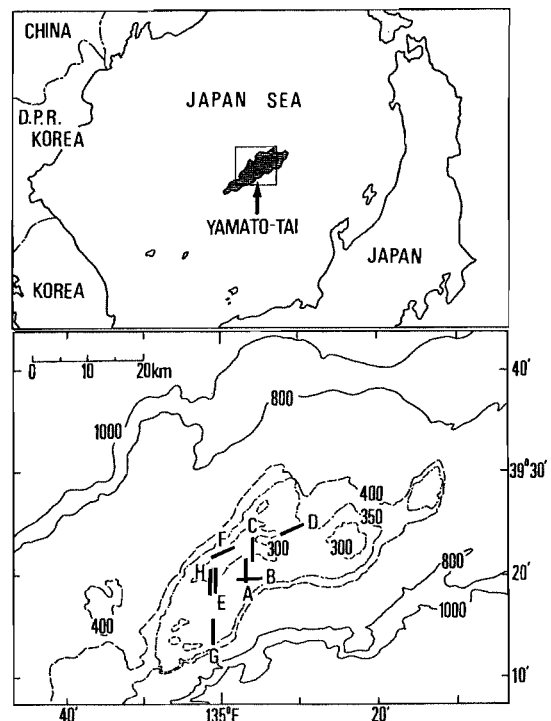


Fig. 16. Experimental fishing area by crab trap in the Yamato-tai. A to H indicate eight experimental fishing sites.

Table 8. Catch in numbers and rate of male, adult and immature female crabs by crab trap in three experiments.

Date	No. of male crab	No. of adult female crab	No. of immature female crab	Total no. of female crab	Total no. of crab
May 17-18 1990	211 (25.2%)	466	161	627 (74.8%)	838
21-22	188 (30.2%)	319	115	434 (69.8%)	622
22-23	147 (26.0%)	277	141	418 (74.0%)	565
Total	546 (27.0%)	1,062	417	1,479 (73.0%)	2,025

高密度な分布域の大きさの推定 約5,000 mにおよぶかご幹繩が、ズワイガニの分布する範囲を横切るように海底に設置されたものとする。一つ一つのかごの採集個体数は、沈漬時間内に移動しうる空間域のカニの密度を示し、採集効率が等しいかごを連続して設置すれば、その距離だけ幹繩が分布域を横切ったことになる。そこで、一かご毎の採捕個体数に注目して、幹繩が横切った高密度な分布域の範囲とその大きさを推定した。全体のかごによる採捕個体数の平均値を求め、その値よりも隣接する4かごの移動平均の採捕個体数が上にある部分を広い高密度な分布域と定義した。さらに、この分布域において、一かごの採捕個体数が上述した4かごの移動平均より高い部分をせまいより高密度な分布域とした。以下、本節では広い高密度な分布域を集団、その中に存在するせまいより高密度な分布域を小集団と呼ぶ。

雌雄の集団が出現する地域的な対応関係を検討した。例えば、雄の集団の範囲の何割が雌の集団と接していたかの計算を行った。本節では、この割合を雄の雌に対する重なり度合いと呼ぶ。

2-3-2-2 京都府沖合海域での採捕状況および高密度な分布域の形状

Table 8 にズワイガニの採捕結果を整理した。3回の調査で雄は546個体、雌は1,479個体が採捕され、採捕されたカニの性比は雌に偏っていた。雌の中では成体が1,062個体、未成体が417個体で、成体が未成体の約2.5倍多かった。この傾向は3回の調査結果に共通して認められた。全調査の一かご当たり平均採捕個体数は、雄が3.8個体、成体雌が7.4個体、そして未成体雌が2.9個体であった。

各調査における一かご毎の採捕個体数を雄、成体雌および未成体雌に分けて整理した。雄の採捕状況を Fig. 17 に

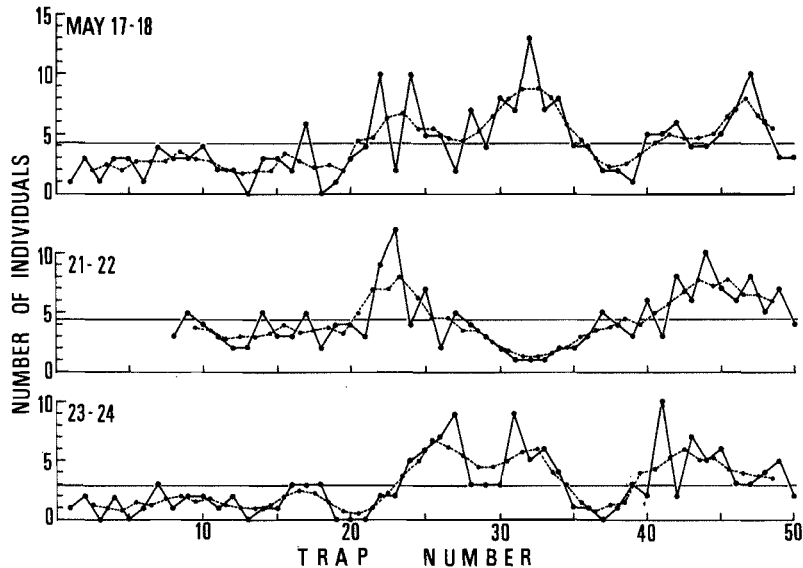


Fig. 17. Fluctuations in the individual number of male crab trapped on 17-18, 21-22 and 23-24 May 1990. Solid, level and broken lines indicate number of crab in order of trap, the mean number of crab per trap and the moving average value of four traps, respectively.

示す。かご番号は西側からの順番とした。5月17日から18日の調査では、全体の採捕個体数の平均値は4.2個体であった。この平均値よりも4かごの移動平均の値が上であったのは、20~35かご目と40かご目以降であった。21日から22日の調査では、平均値は4.4個体で、移動平均値がこれを上回ったのは20~25かご目と40かご目以降であっ

た。23日から24日の調査では、平均値は2.9個体で、移動平均値がこれを上回ったのは23~35かご目と39かご目以降であった。

成体雌の採捕状況を Fig. 18 に示す。17日から18日の調査では、平均値は9.4個体であり、移動平均の値がこれよりも上であったのは、10かご目までと11~25かご目であっ

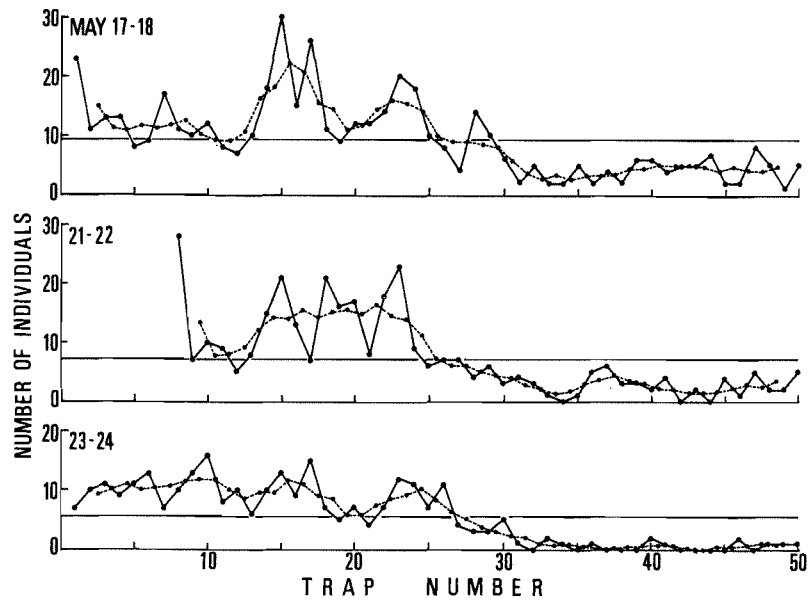


Fig. 18. Fluctuations in the individual number of adult female crab trapped on 17-18, 21-22 and 23-24 May 1990. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

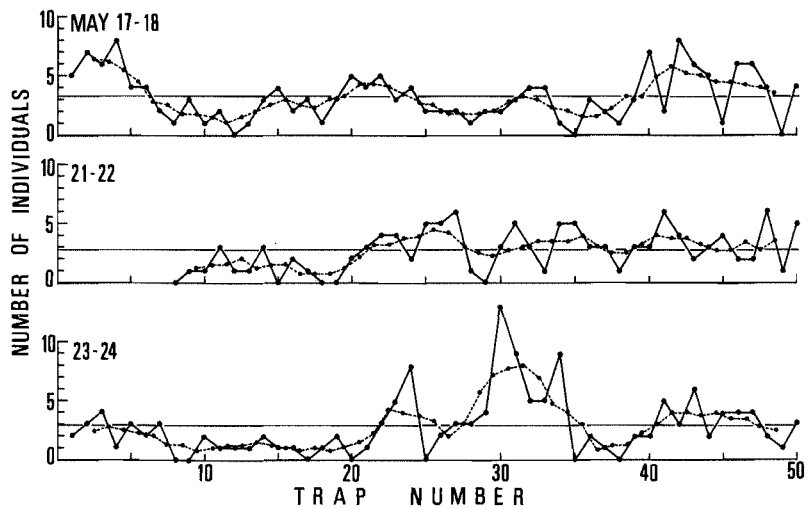


Fig. 19. Fluctuations in the individual number of immature female crab trapped on 17-18, 21-22 and 23-24 May 1990. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

た。21日から22日の調査では、平均値は7.5個体であり、移動平均値がこれを上回ったのは25かご目までであった。23日から24日の調査では、平均値は5.5個体であり、移動平均値がこれを上回ったのは26かご目までであった。

未成体雌の採捕状況を Fig. 19 に示す。17日から18日の調査では、全体の平均値は3.2個体であり、移動平均値がこの値よりも上であったのは、5かご目まで、19～23かご目および40かご目以降であった。21日から22日の調査では、平均値は2.7個体であり、移動平均値がこれを上回ったのは22～27かご目、32～37かご目および39～44かご目であった。23日から24日の調査では、平均値は2.8個体であり、移動平均値がこれを上回ったのは22～25かご目、27～35かご目および40～47かご目であった。

雄、成体雌および未成体雌のそれぞれの集団と小集団の大きさは Table 9 のようにまとめられた。雄では、集団の大きさは約 600～1,500 m で、平均 1,083 m であった。小集団は集団の中に少ないもので2つ、多いもので6つが存在し、その大きさは約 100～200 m で、平均 126 m であった。成体雌の集団は、雄のそれよりも大きい約 1,400 m と約 2,600 m 以上のものがみられた。小集団は集団の中

に少ないもので3つ、多いもので9つ以上みられており、その大きさは約 100～300 m で、平均 138 m であった。未成体雌では、集団の大きさは約 400～900 m、平均 588 m で、雄や成体雌に比べ小さい。小集団は集団の中に少ないもので1つ、多いもので3つが存在し、その大きさは約 100～300 m、平均 144 m であった。

雄、成体雌および未成体雌の集団の地域的な対応関係を検討する。雄の成体雌に対する重なり度合いは、13～33% (平均22%) であった。雄の未成体雌に対するそれは、12～44% (平均25%) であった。また、成体雌の未成体雌に対する重なり度合いは、12～35% (平均21%) であった。これは、同じ水深帯でもわずか 5,000 m の範囲の中で、雄、成体雌および未成体雌は、それほど重複しないことを示している。このような分布は、少なくとも5月17日から24日までの1週間以上は継続していたと考えられた。

一かご毎の採捕個体数の変動係数(偏差²/平均値)は成体雌が4.18～6.42と高く、次いで雄が1.38～2.09、未成体雌が1.13～2.41であった。すなわち、成体雌は集団内とその周辺との密度差が大きいことを意味し、逆に、雄と未成体雌は密度差が小さいことを意味する。

Table 9. Estimated distances of large and small scale patch dispersions of male, adult and immature female crabs, basing on catch fluctuations in order of trap.

	Large scale patch		Small scale patch	
	Range (m)	Average (m)	Range (m)	Average (m)
Male	600-1,500	1,083	100-200	126
Adult female	1,400, 2,600-		100-300	138
Immature female	400- 900	588	100-300	144

Table 10. Depth of survey area, numbers of male and female crabs caught by crab trap in eight experiments in Yamato-tai.

Date	Depth (m)	Station*	Male	Female		Total
				Adult	Immature	
22 May 1991	303-312	A	517	3,095	15	3,627
23 May	308-332	B	517	1,715	12	2,244
25 Jun.	291-306	C	1,005	3,862	25	4,892
26 Jun.	310-336	D	546	366	4	916
13 May 1992	296-314	E	1,543	2,914	14	4,471
14 May	290-301	F	1,321	2,897	16	4,234
7 Jul.	320-349	G	137	9	9	155
8 Jul.	296-315	H	718	4,353	9	5,080
Total			6,304	19,211	104	25,619

* See Fig. 16 for explanation.

2-3-2-3 大和堆海域での採捕状況および高密度な分布域の形状

Table 10 に採捕結果を整理した。8回の調査で合計25,619個体のズワイガニが採捕され、このうち雌が19,315個体(75.4%)、雄が6,304個体(24.6%)であり、雌が優占した。雌の中では成体が全体の75%を占め、未成年は全体のわずか1%以下(104個体)であった。以上の採捕個体数の雌雄比を水深別に整理すると、調査水深帯が約320m以深では雄が雌よりも多く、水深約320m以浅では雌が雄よりも多かった。

調査が行われた海域の海底地形は、魚探反応から次の特徴的な3つのタイプに類別することができた。すなわち、①海底斜面が比較的なだらかな平坦地、②礫質もしくは低い岩盤域となだらかな平坦地とが広がる海域、③全体的にはなだらかな平坦地が広がるが、所々に高さ5m程度の岩礁が点在する海域であった。以上の3つのタイプ毎に成体雌と雄の採捕状況を整理し、Fig. 20~22に示した。

①成体雌は水深308~312mまでで全体の平均値(34.3個体)を、雄は水深314~332mまでで全体の平均値(10.3個体)を上回り、水深314m付近を境にして両者が

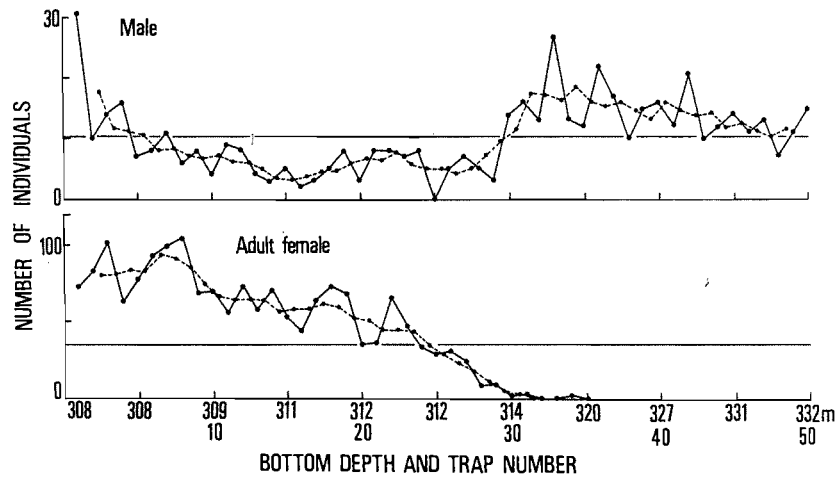


Fig. 20. Fluctuations in the individual number of male and adult female crabs trapped on 23 May 1991. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

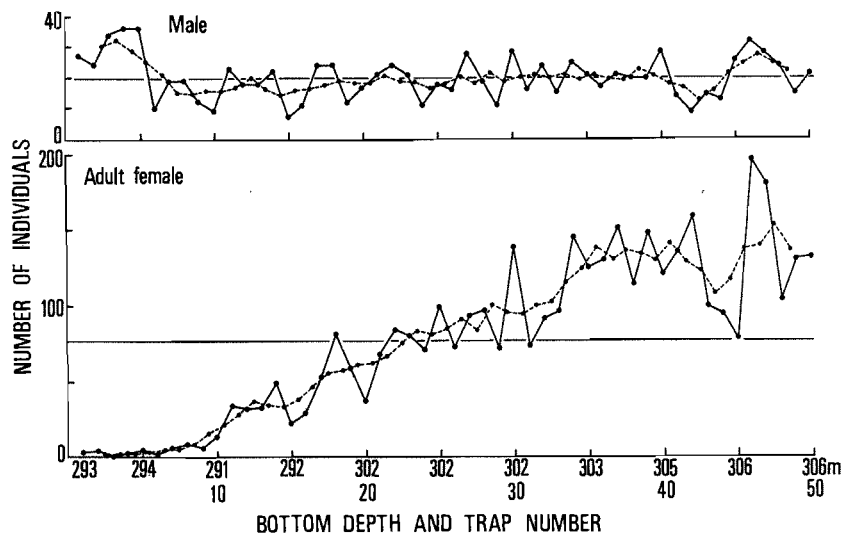


Fig. 21. Fluctuations in the individual number of male and adult female crabs trapped on 25 June 1991. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

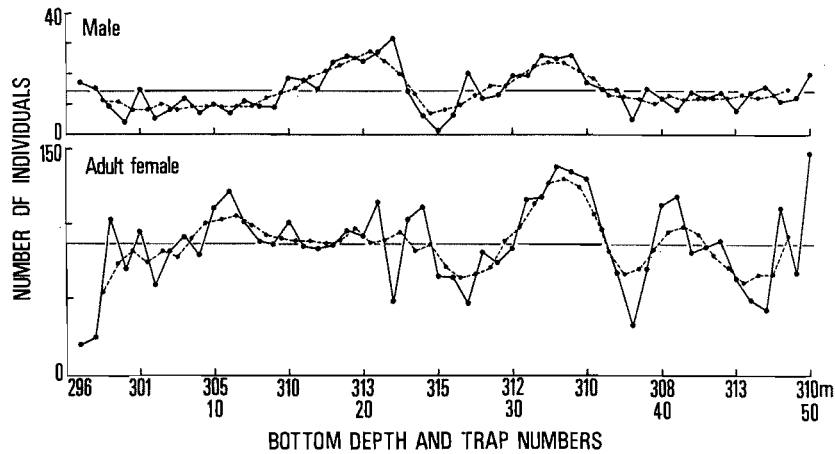


Fig. 22. Fluctuations in the individual number of male and adult female crabs trapped on 8 July 1992. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

Table 11. Estimated distances of large and small scale patch dispersions male and female crabs, basing on catch fluctuations in order of trap.

	Large scale patch		Small scale patch	
	Range (m)	Average (m)	Range (m)	Average (m)
Adult female	400-2,000 2,200-	950	100-300	148
Male	400-2,000	1,000	100-300	151

明瞭に生息域を異にする傾向がみられた (Fig. 20)。なお、海底は水深 308~314 m 付近までは斜面のゆるやかな平坦地、水深 314 m 以深はやや斜面が急な状態であった。

② 成体雌は水深 302~306 m までで全体の平均値 (77.2 個体) を上回っていた。雄は成体雌のような偏った分布を示さず、全体的に平均値 (20.1 個体) に近い個体数で推移しており、比較的均一に分布していた (Fig. 21)。なお、海底は水深 302 m 以浅では礫質もしくは低い岩盤域であり、水深 302 m 以深では斜面のなだらかな平坦地であった。

③ 成体雌および雄ともに水深帯の違いによる偏った分布はみられなかった (Fig. 22)。なお、1~5 かご目、25 かご目、35~40 かご目および 45~50 かご目付近に高さ 5 m 程度の岩礁が点在していた。

以上のことから、成体雌は水深約 320 m 以浅の海底が比較的なだらかなところに主として分布するが、同水深帯であっても礫質もしくは岩盤域にはあまり分布しないことが明らかとなった。雄では、成体雌のような水深や海底地形の違いによる偏った分布はとくにみられなかった。なお、他の 5 回の調査についても、概ね以上の 3 つのタイプ

のいずれかに区分けすることができた。

成体雌および雄の集団と小集団の大きさを推定し、Table 11 に示した。なお、Table 11 に示した数値は Fig. 20~22 に示した結果だけではなく、他の 5 回の調査結果で得られた値も含めて推定されたものである。成体雌では、集団の大きさは 400~2,000 m (平均 950 m) のものと 2,200 m 以上のものがみられた。小集団の大きさは約 100~300 m で、平均 148 m であった。雄については、集団の大きさは約 400~2,000 m、平均 1,000 m であり、小集団の大きさは成体雌と同様に約 100~300 m、平均 151 m であった。

2-3-3 考 察

一般にズワイガニは成熟すると、雌雄により分布する水深帯が異なるといわれている (小林, 1966; 今, 1969; SINODA, 1970; 伊藤, 1970; 福井水試, 1971 など)。京都府沖合海域における桁曳網調査結果についても、このような傾向が明瞭に認められた (Fig. 14)。さらに本調査の結果は、雌雄によるかごへの入網度合いに差がないとすれば、雌雄は同じ水深帯 (水深 240 m) においても生息域

を異にすることを示している (Fig. 17~19)。しかも、5,000 m 以内と比較的狭い海域内においても、そのような分布の異なりは認められた。

ここで、集団の大きさや構造に考察を加える。京都府沖合海域においては、雄は約 600~1,500 m の比較的大きな集団を形成し、この中にはより密度の高い約 100~200 m のいくつかの小集団がみられた (Fig. 17)。成体雌は雄よりも大きい約 1,500 m 以上の集団を形成し、さらにこの中にはより密度の高い約 100~300 m の小集団がいくつか存在した (Fig. 18)。未成年雌では全体的に集団は小さく (約 400~900 m)、集団内の密度は周辺と比べてもそれほど高くはなかった (Fig. 19)。このように、雌であっても成体と未成年とでは集団の大きさや密度には相違がみられた。すなわち、雄と成体雌の場合にはほぼ同一水深帯の水平的な広がりの中で、比較的大きなスケールでのパッチ状分布と、その大きなスケール内に小さいスケールでのパッチ状分布が存在した。このように当海域におけるズワイガニは、スケールの異なるパッチが重層した分布または群構造を形成しているものと考えられた。未成年雌については比較的小さいパッチによって分布を形成している可能性が示唆された。

一方、大和堆海域における雄と成体雌の集団の大きさは、京都府沖合の場合と同じように約 2,000 m もしくはそれ以上のスケールのものもみられたが、1,000 m 未満のかなり小さなスケールの集団が卓越していた。このように比較的スケールの小さい集団がみられたところの海底地形は、凹凸が激しく、かなり険しい岩礁の存在で特徴づけられた。また、かごの一部が変形したり破損することも多く、そのような明らかに岩礁の上に乗っていたと判断されるかごの採捕個体数は、その前後のかごに比べると極端に少なかった。逆に、2,000 m 以上の集団がみられたところの海底は、起伏のないなだらかな状態であった。すなわち、海底のなだらかなところには大きい集団、岩礁などが点在するところには小さい集団が形成されるというように、集団の大きさは海底の地形に大きく左右されるものと考えられた。このような分布パターンは、大陸棚の縁辺部に当たり海底斜面がゆるやかで軟泥に覆われているような京都府沖合海域の場合と異なり、岩礁などが点在する海域に対応した特性と考えられた。

小林・山口 (1978) は大和堆海域でかごの調査を行い、群の大きさは約 200~400 m と推定した。このときの調査範囲は約 700 m と狭いので、それ以上の大きな群は、例え存在していたとしても、把握できなかったと判断される。したがって、小林・山口 (1978) が推定した群れの大きさは、ここに述べた高密度な小集団に相当するものと考

えられる。

本節では春季に行われたかご調査の結果から、京都府沖合海域における雌雄の高密度な分布域の形状を調べ、上述したように同じ水深においても雌雄が別れてパッチを形成することが明らかとなった。このようなパッチの形状が、産卵期などの生態的に特徴のある時期にどのようなになっているのかを調べることにより、パッチの形成状況からみた産卵生態や交尾行動が推察できると思われた。この点については、次節で検討する。

2-4 産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状と交尾行動

日本海西部海域での初産卵時期は8月から11月頃、2回目以降の産卵である経産卵期は2月から3月頃であることから (伊藤, 1963, 1967; 今・本間, 1970; 山崎ほか, 1985など)、初産卵期の後期および経産卵期の盛期はズワイガニ漁期と重複する。一般的な資源管理の概念として、産卵や交尾などの再生産に直接関与する時期の資源生物を保護することは重要なことである。したがって、交尾や産卵時期を明らかにするとともに、この時期の分布様式を明らかにする必要がある。本種の交尾や産卵行動については、水槽飼育の観察結果などから共通した知見が得られている (WATSON, 1970, 1972; 藤田・竹下, 1980; 竹下・松浦, 1980; 小林, 1983; MATSUURA and TAKESHITA, 1987) が、分布特性などに関する研究は皆無に等しい。そこで、本節では初産卵期および経産卵期に行われたかご調査の結果から、雌雄の高密度な分布域の形状とそれからみた交尾行動について検討した。

2-4-1 初産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状

2-4-1-1 材料および方法

本種の交尾、産卵過程について簡単に整理する。雌は8月から11月頃に最終脱皮を行い、その直後に交尾、産卵を行う。産卵された受精卵は雌の腹肢の内肢および外肢の剛毛に付着し、ふ化するまでの間纏絡される。卵がふ化する時期は、初産卵が行われた翌々年の2月から3月頃である。ふ化が終了した後、雌は間もなく次の産卵を行い、再び腹部に纏絡卵を有するようになる。この纏絡卵がふ化する時期は、産卵の翌年の2月から3月頃である。初産卵と2回目以降の産卵からふ化するまでの期間は、前者と後者とは異なっている。

初産卵期の分布状況や交尾行動を調べるために、当期間の後期と前期に当たる秋季と夏季にかご調査が行われた。秋季のかご調査は、1986年10月31日から11月1日、1988年10月17日から18日に2回行われた。1986年10月31日から11

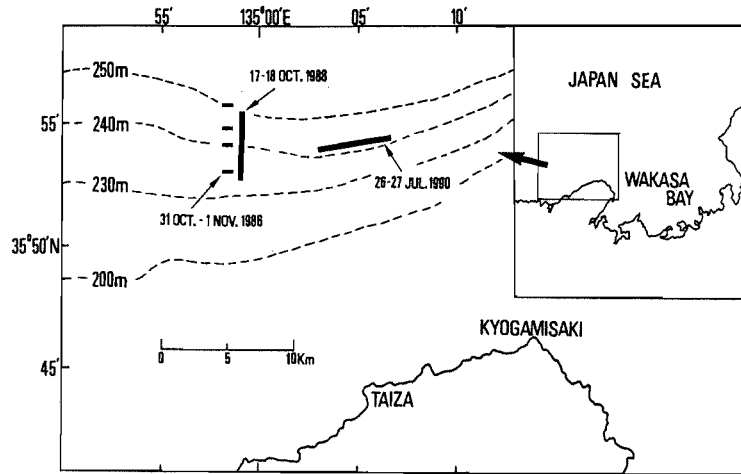


Fig. 23. Experimental fishing area by crab traps in the sea off Kyoto Prefecture.

月1日の調査では、水深235m、240m、245mおよび250m域で等深線に沿って、50m間隔に12かご取り付けられた幹縄が各1連投縄された。1988年10月17日から18日では、100m間隔に47かご取り付けられた幹縄が、水深236~250m域で等深線に対して垂直方向に1連投縄された。夏季のかご調査は、1990年7月26日から27日に1回行われた。この調査では、100m間隔に50かご取り付けられた幹縄が水深243mの等深線に沿って1連投縄された。各調査海域をFig. 23に示した。本調査で使用されたかごや沈漬時間は前述と同様であった。

採捕されたカニは、かご毎に雄、初めての交尾を行う直前または行って間もない雌と初めての交尾を行ってから少なくとも1年もしくはそれ以上経過した雌とを分けて、個体数の計測と甲幅の測定が行われた。以下、雌については便宜的に前者を初産卵雌、後者を経産卵雌と呼び、最初の交尾・産卵からの経過時間の違いにより2つに大別された。1990年7月の調査では雄の甲幅と鉗脚高の計測が行われ、最終脱皮個体と未最終脱皮個体の2群に分けられた。鉗脚高の測定部位と方法等については、前述と同様であった。

2-4-1-2 秋季および夏季の分布状況と集団の大きさ

1986年10月31日から11月1日の調査で採捕された雄、初産卵雌および経産卵雌の個体数を水深別にTable 12に示した。雄は水深235m域で最も多い130個体が採捕され、240~250m域ではそれぞれ30個体前後採捕された。初産卵雌は水深235m域で63個体、240m域で88個体と多く採捕され、245mと250m域ではわずか1個体しか採捕されなかった。一方、経産卵雌は水深245m域で372個体、250m域で165個体と多く採捕され、水深235mと

Table 12. Catches in number of male, primiparous and multiparous females trapped from each of the survey area from 31 October to 1 November 1986.

Depth (m)	Male	Primiparous female	Multiparous female
235	130	63	0
240	30	88	0
245	34	1	372
250	27	0	165

240m域では全く採捕されなかった。

1988年10月17日から18日の調査における雄、初産卵雌および経産卵雌の採捕状況をFig. 24に示した。雄では全体の平均値は5.8個体で、4かごの移動平均値がこの値を上回ったのは主に水深239m以浅(11かご目付近まで)であった。初産卵雌では平均値は10.9個体で、移動平均値がこれを上回ったのは水深239m以浅(12かご目付近まで)であった。水深243m以深(20かご目付近以降)での採捕は極端に減少した。経産卵雌では平均値は22.8個体で、移動平均値がこれを上回ったのは水深244m以深(25かご目付近以降)であった。水深243m以浅での採捕は皆無であった。以上の2回の調査結果から、雌は水深243~244m付近を境にして、浅所には初産卵雌、深所には経産卵雌が卓越して分布することが明らかとなった。前述の桁曳網の調査結果では、経産卵雌は水深240m域で最も多く採捕された(Table 7)。これは、調査水深帯の間隔が10m以上であったことから、上述のようなより細かい分布状況については把握することが困難である。

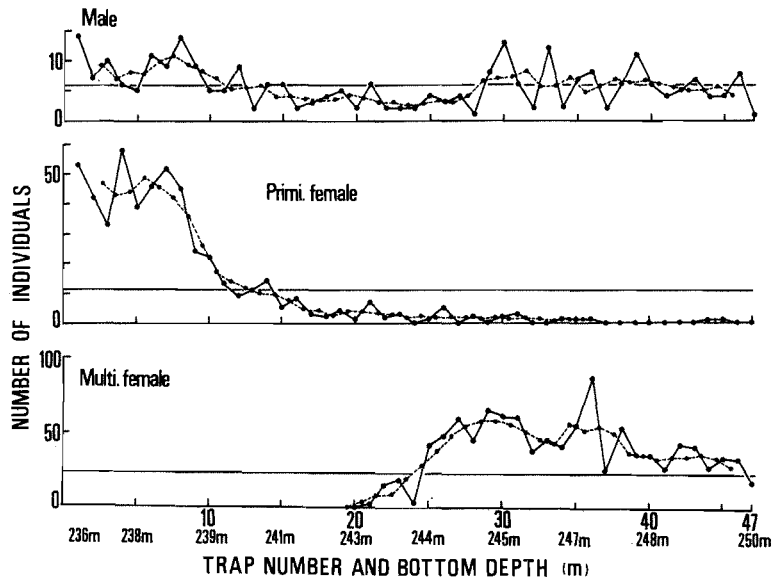


Fig. 24. Fluctuations in the individual number of male, primiparous and multiparous females trapped on 17-18 October 1988. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

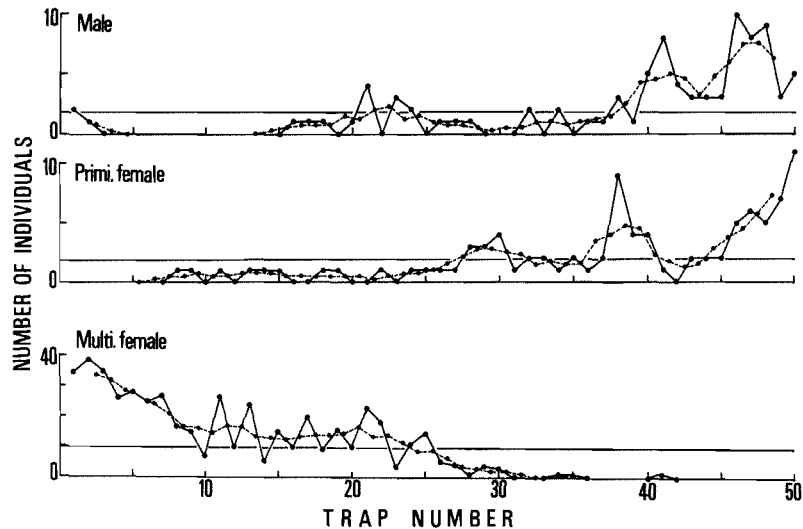


Fig. 25. Fluctuations in the individual number of male, primiparous and multiparous females trapped on 26-27 July 1990. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

1990年7月26日から27日の調査における雄、初産卵雌および経産卵雌の採捕状況を Fig. 25 に示した。かご番号は西側からの順番とした。雄では平均値は1.8個体で、移動平均値がこれを上回ったのは主に38かご目付近以降であった。初産卵雌では平均値は1.9個体で、移動平均値がこれを上回ったのは主に35から40かご目付近と44かご目以降で

あった。一方、経産卵雌では平均値は9.8個体で、移動平均値がこれを上回ったのは24かご目付近までであった。30かご目以降では極端に採捕が少なかった。

初産卵期における雌雄の集団と小集団の大きさを Table 13 に示した。雄では、約 400 m と 1,100 m 以上の集団を形成していた。この中には約 100~300 m、平均 143 m の

Table 13. Estimated distances of large and small scale patch dispersions of male, primiparous and multiparous females, basing on catch fluctuatoins in order of trap.

	Bathymetric distribution		Horizontal distribution		Average
	Large-scale patch (m)	Small-scale patch (m)	Large-scale patch (m)	Small-scale patch (m)	Small-scale patch (m)
Male	400 -	100 - 200	1,100 -	100 - 300	143
Primiparous female	1,000 -	100 - 200	500 -	100 - 200	140
Multiparous female	2,100 -	100 - 300	2,200 -	100 - 200	155

より高密度な小集団が少ないもので1つ、多いもので3つみられた。初産卵雌では、約 500 m と 1,000 m 以上の集団を形成し、その中には約 100 ~ 200 m, 平均 140 m の小集団が1~2つ認められた。経産卵雌では、約 2,100 m 以上の集団がみられ、この中には約 100 ~ 300 m, 平均 155 m の小集団が5~7つ認められた。

雄、初産卵雌および経産卵雌の集団の地域的な対応関係を検討する。雄の初産卵雌に対する重なり度合いは、初産卵雌が多かった水深 245 m 以浅では73%で、同じ水深でも春季(平均25%)に比べ約3倍高かった。水深 245 m 以深では0%であった。雄の経産卵雌に対する重なり度合いおよび初産卵雌の経産卵雌に対するそれは、全ての事例で0%であった。

2-4-1-3 雄の甲幅組成

当時期に雄と初産卵雌の集団が同一海域に形成されたことは、交尾行動と密接な関係にあると考えられた。そこで、この交尾行動に関わる雄の組成を調べるために、各調査で採捕された雄の甲幅組成を整理する。1986年10月31日から11月1日の調査で採捕された雄の甲幅組成を水深別に Fig. 26 に示した。平均甲幅は、235 m 域では 54.8 mm, 240 m 域では 81.7 mm, 245 m 域では 112.2 mm そして 250 m 域では 120.5 mm であり、水深が深いほど大きい傾向がみられた。初産卵雌が多く採捕された水深 235 ~ 240 m 域では甲幅 100 mm 未満、経産卵雌が多く採捕された水深 245 ~ 250 m 域では甲幅 100 mm 以上の個体が卓越したことが明らかとなった。1988年10月17日から18日の調査では、水深 241 m 以浅で雄と初産卵雌の集団が同じ海域に形成されていた (Fig. 24)。この海域で採捕された雄とそれよりも深いところで採捕された雄の甲幅組成を Fig. 27 に示した。水深 241 m 以浅では甲幅 50 ~ 135 mm がみられ、平均甲幅は 88.4 mm であった。水深 244 m 以深では甲幅 70 ~ 135 mm がみられ、平均甲幅は 101.1 mm であった。すなわち、初産卵雌の集団と同一海域に集団を形成していた雄は、周囲に比べ小型の個体が主体であること

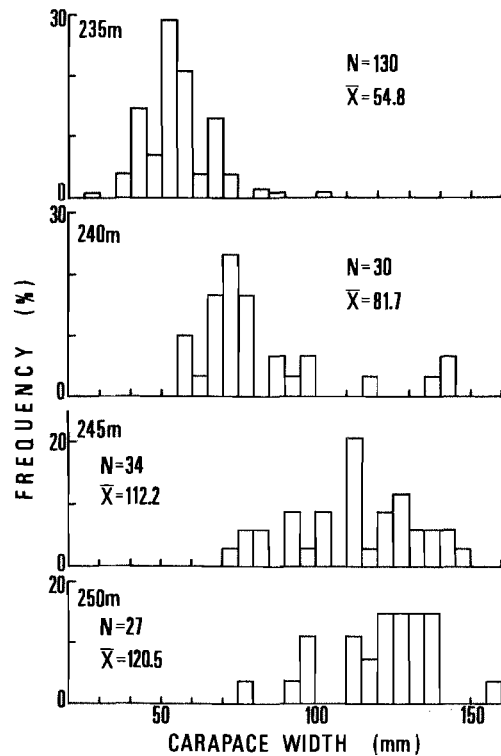


Fig. 26. Frequency distributions of carapace width of males trapped from each of survey stations from 31 October to 1 November 1986.

が分かった。

1990年7月26日から27日の調査では、38かご目付近以降で雄と初産卵雌の集団が出現していた (Fig. 25)。38かご目以降で採捕された雄の甲幅組成を最終脱皮個体と未最終脱皮個体に分けて Fig. 28 に示した。ここでは甲幅 50 mm から 120 mm のものが採捕された。その主体は甲幅 65 ~ 70 mm で、100 mm 以上の個体はわずか8%と少なく、平均甲幅は 71.6 mm であった。また、全体の約90%のものが未最終脱皮個体であった。

2-4-1-4 論 議

日本海における本種雌雄の分布状況は、水深約 275 m を境に浅所では雌、深所では雄が卓越し、成熟した雌雄は水深帯の違いにより分布域を異にする(今, 1969; SINODA, 1970; 伊藤, 1970)。これらの報告では、底曳網の操業を水深 10~50 m 間隔に行い、その採捕状況から雌雄の分布状況を述べた。したがって、分布はかなり巨視的なスケールでのみ論じられている。本調査では、雌雄の分布状況は水深 275 m 以浅でも特徴的な現象がみられた。すなわち、1988年10月17日から18日の調査では、雌は水深 243~244 m を境に浅所では初産卵個体、深所では経産卵個体が卓越した (Fig. 24)。このことから、水深 275 m 以浅で全ての雌が卓越するのではなく、生態的特性の異なる雌がわずかな水深の違いにより分布域を異にしていることが明らかとなった。雄では、同水深を境に浅所では甲幅の小さい個体、深所では大きい個体が多くみられ (Fig. 27)、水深帯の違いにより甲幅の大きさが異なる。このような雌雄の分布特性は、1986年10月31日から11月1日の調査でもみられたことから、偶発的な現象ではなく初産卵期にみられる普遍的な現象と考えられた。

初産卵期における雌雄の分布状況では、春季と比較する

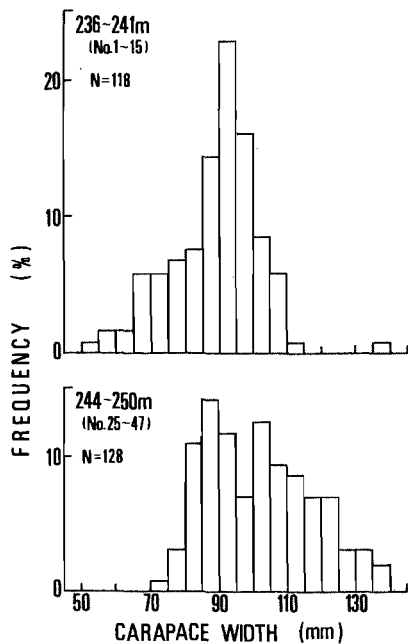


Fig. 27. Frequency distributions of carapace width of males caught by the 1st to 15th individual trap numbers at depths of 236-241 m and the 25th to 47th numbers at depths of 244-250 m on 17-18 October 1988.

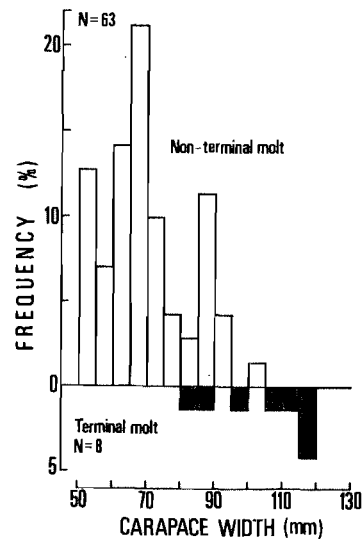


Fig. 28. Frequency distributions of carapace width of non-terminal and terminal molt of males caught by the 38th to 50th individual trap numbers on 26-27 July 1990. Broken and open columns indicate terminal and non-terminal molt males, respectively.

と雄と経産卵雌、初産卵雌と経産卵雌の集団の重なり度合いがより低かったこと、そして水深約 245 m 以浅で雄と初産卵雌の集団の重なり度合いが高かったことが特徴的であった。そこで、後者の分布特性を初産卵にともなう交尾行動と関連付けて若干の論議を行う。

1990年7月の水深 243 m 域での調査結果では、初産卵雌の集団と同一海域に出現した雄の集団は、甲幅 65~70 mm の未最終脱皮個体で主に構成されていたことが明らかとなった。従来水槽内での交尾観察および精巢や精管の組織学的な観察結果から、雄では甲幅 50~60 mm 以上であれば最終脱皮および未最終脱皮個体にかかわらず、初産卵前の交尾は可能である(今・本間, 1970; WATSON, 1970; 小林, 1983; CONAN and COMEAU, 1986; CONAN et al., 1988)。したがって、水深 243 m 域では上述した小型の未最終脱皮雄が初産卵前の交尾に参加したと推察される。CONAN and COMEAU (1986) は、同一水槽に最終脱皮個体と未最終脱皮個体および始めての交尾を行う前の雌と一緒に収容して交尾行動を観察した。その結果、未最終脱皮個体は最終脱皮個体に威嚇され、水槽の隅に追いやられ、雌と交尾したのは最終脱皮個体だけであったと報告した。この結果は、交尾能力あるいは交尾成功率は最終脱皮個体と未最終脱皮個体とは異なり、前者は後者に比べ相対的に高いことを示唆している。大型の雄が小型の雄よりも交尾成功率が高いことは、クモガニ科の *Inachus phalan-*

gium (DIESEL, 1986), イソワタリガニ *Carcinus maenas* (BERRILL and ARSENAULT, 1982) やイソオウギガニ類 *Menippe spp.* (WILBER, 1989) などでも知られている。水深 250 m 以浅で行われた本調査では、小型と大型の雄は比較的明瞭に分布域を異にしていた (Fig. 26, 27)。すなわち、この海域では小型で未最終脱皮個体は大型の最終脱皮個体と分布域を異にすることによって、雌をめぐる競争を少なくし、初産卵前の交尾に参加することを可能にしているのかもしれない。

2-4-2 経産卵期における雌雄の高密度な分布域の形状

2-4-2-1 材料および方法

かご調査は1992年11月24日から25日、12月9日から10日および1993年3月9日から10日に合計3回行われた。調査海域は Fig. 29 に示したように、底曳網の禁漁区の南寄りに当たる水深 268~270 m 域であった。調査は 100 m 間隔に 50かご取り付けた幹縄が、等深線に沿って東西方向に投縄された。

採捕されたカニは、かご毎に雌雄の採捕個体数の計測と甲幅の測定が行われた。雄では鉗脚高の計測も行われ、最終脱皮個体と未最終脱皮個体とに区別された。最終脱皮個体では柔らかい甲殻をもつ個体と、硬い甲殻をもつ個体とが存在した。これは、前者は脱皮後間もない個体、後者は最終脱皮から約1年以上経過した個体と判断され、両者は最終脱皮後の経過時間の長短により区別された。未最終脱皮個体は、柔らかい甲殻をもつものばかりであった。以下、本項では硬い甲殻をもつ最終脱皮個体を成熟雄、柔らかい甲殻の最終脱皮個体と未最終脱皮個体を合わせて未成熟雄と呼ぶ。

成体雌では、腹部纏絡卵の発生状況と生殖腺の発育状況から成熟的に特徴のある2段階に区別された。すなわち、発眼した纏絡卵を有する個体と纏絡卵がふ化し2回目以降の産卵を行い未発眼な纏絡卵を有する個体を経産卵雌、そして初産卵から1年以内のもので未発眼な纏絡卵を有する個体を初産卵雌として区別された。纏絡卵が未発眼な経産卵と初産卵の区別は、前者は時期的に産卵直後に当たるため卵巣が白色もしくは乳白色を呈しているのに対し、後者はある程度時間が経過しているため鮮やかなオレンジ色を呈していることから容易に行われた。なお、初産卵雌であっても卵巣が乳白色を呈した個体もみられたが、この場合では初産卵後あまり時間が経過しておらず甲殻が柔らかかったことから、経産卵雌との区別は容易であった。本項の経産卵雌および初産卵雌とは、前項の経産卵雌と初産卵雌にそれぞれ由来する。

2-4-2-2 ズワイガニの採捕状況

各調査で採捕されたズワイガニの個体数を Table 14 に示した。3回の調査で採捕された個体数は成熟雄が568個体 (76~249個体)、未成熟雄が433個体 (45~254個体)、経産卵雌が1,124個体 (188~684個体) および初産卵雌が174個体 (5~161個体) であった。なお、3月の調査では、未成熟雄のうち2個体が鉗脚欠損のため、最終脱皮、未最終脱皮個体の識別ができなかった。調査毎の採捕個体数は、成熟雄では3月の調査で減少し、経産卵雌では順次減少した。一方、未成熟雄は順次増加し、初産卵雌では3月の調査で増加した。未成熟雄のうち最終脱皮個体の割合は、11月および12月には80%前後であったが、3月には45%に低下した。

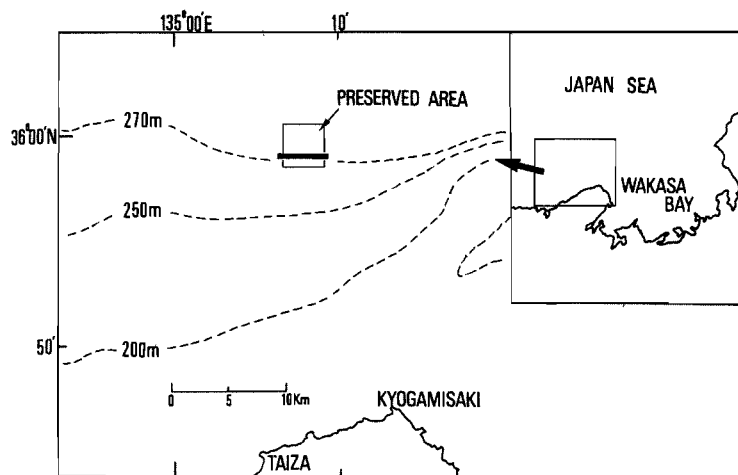


Fig. 29. Experimental fishing area by crab traps in the sea off Kyoto Prefecture. Solid indicate experimental zone.

Table 14. Catches in number of terminal molt male with hard shell and terminal or non-terminal molt males with soft shell, multiparous and primiparous females trapped at each survey.

Date	Male		Female	
	Hard shell	Soft shell	Multiparous	Primiparous
24-25 Nov. 1992	243	45 (35 : 10)*	684	8
9-10 Dec.	249	134 (110 : 24)	252	5
9-10 Mar. 1993	76	254 (114 : 138)	188	161
Total	568	433 (259 : 172)	1,124	174

* (Terminal molt : Non-terminal molt)

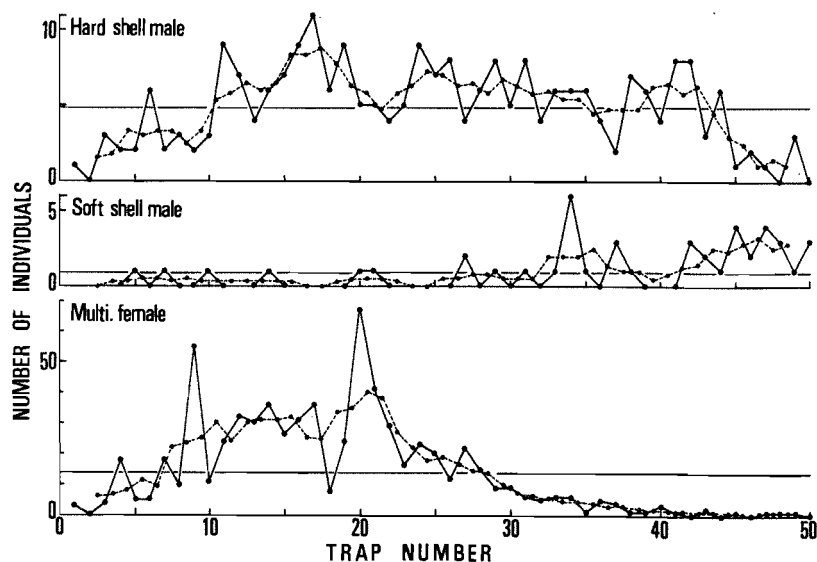


Fig. 30. Fluctuations in the individual number of terminal molt with hard shell, terminal or non-terminal molt males with soft shell and multiparous female trapped on 24-25 November 1992. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

1992年11月24日から25日の調査における成熟雄、未成熟雄および経産卵雌の1かご毎の採捕個体数を Fig. 30 に示した。かご番号は西側からの順番とした。成熟雄では、全体の採捕個体数の平均値は4.9個体であった。この平均値よりも4かごの移動平均値が上回ったのは、11~21かご目、22~35かご目および38~43かご目付近であった。未成熟雄では、平均値は0.9個体で、この値よりも移動平均値が上回ったのは、32~38かご目付近および41かご目付近以降であった。経産卵雌では、平均値は13.7個体であり、この値よりも移動平均値が上にあったのは、7~28かご目付近のところであった。

1992年12月9日から10日の調査における成熟雄、未成熟雄および経産卵雌の1かご毎の採捕個体数を Fig. 31 に示

した。成熟雄では、全体の採捕個体数の平均値は5.0個体であり、この値よりも移動平均値が上回ったのは、10~27かご目および38~43かご目付近であった。未成熟雄では、全体の平均値は2.7個体で、移動平均値がこれを上回ったのは24かご目付近以降のところであった。経産卵雌では、全体の平均値は5.0個体で、この値よりも移動平均値が上にあったのは、7~24かご目付近であった。

1993年3月9日から10日の調査における成熟雄、未成熟雄、経産卵雌および初産卵雌の1かご毎の採捕個体数を Fig. 32 に示した。成熟雄では、全体の平均値は1.5個体であり、この値よりも移動平均値が上回ったのは、7~26かご目付近のところであった。未成熟雄では、平均値は5.1個体で、この値よりも移動平均値が上にあったのは、15~

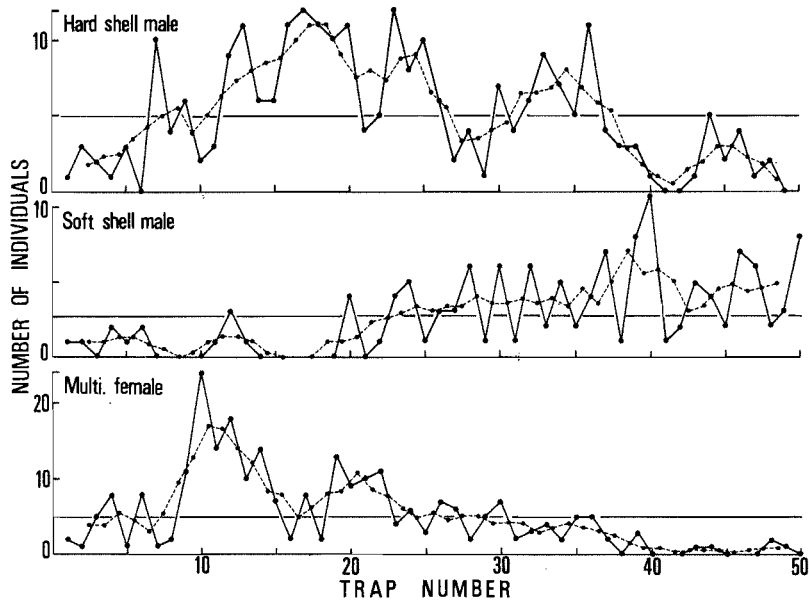


Fig. 31. Fluctuations in the individual number of terminal molt with hard shell, terminal or non-terminal molt males with soft shell and multiparous female trapped on 9-10 December 1992. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

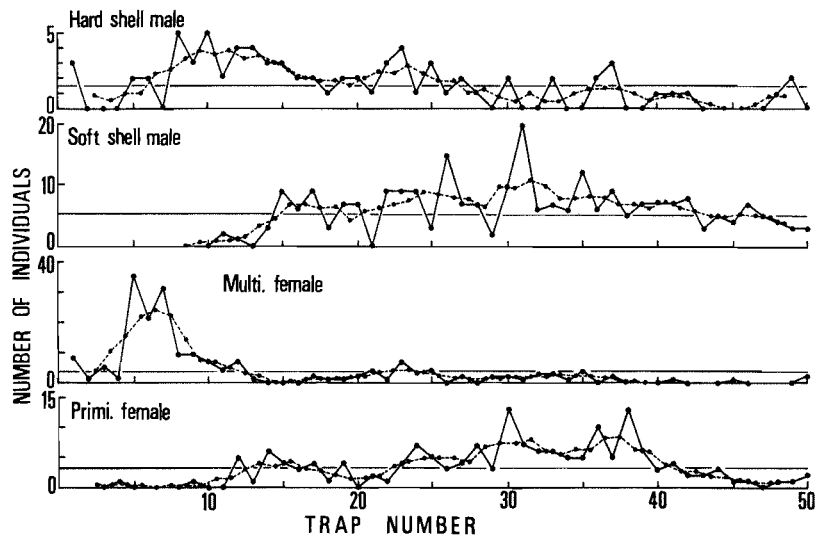


Fig. 32. Fluctuations in the individual number of terminal molt with hard shell, terminal or non-terminal molt males with soft shell, multiparous and primiparous females trapped on 9-10 March 1993. Solid, level and broken lines indicate the same as in Fig. 17.

19かご目および20-42かご目付近のところであった。経産卵雌では、平均値は3.8個体で、移動平均値がこれを上回ったのは、2-12かご目付近であった。初産卵雌では、平均値は3.2個体で、移動平均値がこれよりも上にあった

のは、13-16かご目および22-41かご目付近のところであった。

2-4-2-3 雌雄の集団と小集団の大きさおよび分布状況
成熟雄、未成熟雄、経産卵雌および初産卵雌のそれぞれ

Table 15. Estimated distances of large and small scale patch dispersions of terminal molt male with hard shell and terminal or non-terminal molt males with soft shell, multiparous and primiparous females, basing on catch fluctuations in order of trap.

	Large-scale patch		Small-scale patch	
	Range (m)	Mean (m)	Range (m)	Mean (m)
Hard shell male	500 - 1,900	1,167	100 - 300	157
Soft shell male	400 - 2,200 2,600 -	1,067	100 - 200	127
Multiparous female	1,000 - 2,100	1,600	100 - 200	192
Primiparous female	300 - 1,900	1,100	100 - 200	117

の集団と小集団の大きさは Table 15 のようにまとめられた。成熟雄では、集団の大きさは約 500~1,900 m で、平均は 1,167 m であった。小集団は集団の中に少ないもので 2 つ、多いもので 5 つが認められ、その大きさは約 100~300 m、平均は 157 m であった。未成熟雄では、集団の大きさは約 400~2,200 m のものと、2,600 m 以上のものがみられ、前者の平均は 1,067 m であった。小集団は集団内に少ないもので 2 つ、多いもので 9 つが存在しており、その大きさは約 100~200 m、平均は 127 m であった。経産卵雌では、集団の大きさは約 1,000~2,100 m、その平均は 1,600 m であった。小集団は集団内に少ないもので 3 つ、多いもので 7 つが存在し、その大きさは約 100~200 m、平均 192 m であった。初産卵雌では、集団の大きさは約 300~1,900 m、平均 1,100 m であった。小集団は集団内に 1~5 つが存在し、その大きさは約 100~200 m、平均 117 m であった。

次に、経産卵期における成熟雄、未成熟雄、経産卵雌および初産卵雌の集団の地域的な重なり度合いを調べた。経産卵雌の成熟雄に対する重なり度合いは、11月が76%、12月が82%、そして3月が50%であり、11月から12月にかけて高くなり、3月には低下した。未成熟雄の成熟雄に対するそれは33~38% (平均35%) であった。両者の重なり度合いは、順次高くなっていった。経産卵雌の未成熟雄に対する重なり度合いおよび経産卵雌の初産卵雌に対するそれは、いずれも 0% であった。

以上のことから、春季および夏季から秋季には、雄と経産卵雌の重なり度合いは平均13% (0~33%) と低かったが、冬季とくに11、12月では平均79%で約6倍高かったことが明らかとなった。雌でも経産卵個体と初産卵個体とは、春季から秋季と同様に同じ水深帯でも明瞭に生息域を異にしていた。また、雄についても成熟個体と未成熟個体とでは、雌のような明瞭な傾向ではないが、両者はそれほど重複せず分布することが示唆された。

2-4-2-4 成熟雄と未成熟雄の甲幅組成

成熟雄および未成熟雄の大きさを調べるために、成熟雄が卓越した1992年11月と12月、そして未成熟雄が卓越した1993年3月の調査で採捕された雄の甲幅組成を Fig. 33, 34 に示した。未成熟雄については最終脱皮個体と未最終脱皮個体とを区分けした。1992年11月と12月では、成熟雄は甲幅 75~150 mm の個体が採捕され、平均甲幅は 122 mm であった。未成熟雄では甲幅 75~140 mm の個体が見られ、平均甲幅は 109 mm であった。未成熟雄のうち最終脱皮個体の平均甲幅は 110 mm、未最終脱皮個体のそれは 105 mm であった。1993年3月では、成熟雄は甲幅

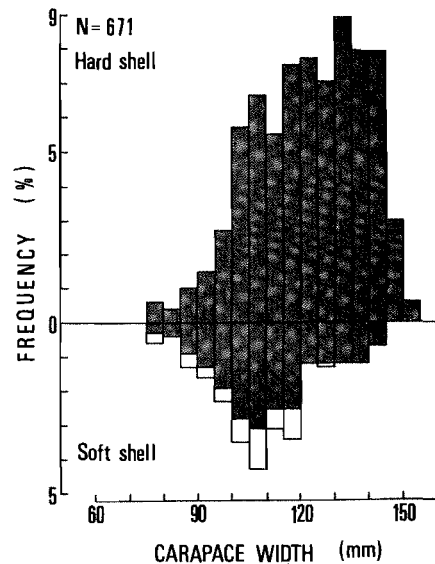


Fig. 33. Frequency distributions of carapace width of terminal molt with hard shell and terminal or non-terminal molt males with soft shell on 24-25 November and 9-10 December 1992. Broken and open columns indicate terminal and non-terminal molt males, respectively.

80~150 mm の個体が採捕され、平均甲幅は 123 mm であった。この結果は、上述した11月および12月の結果と類似していた。未成熟雄では甲幅 65~135 mm の個体のみられ、平均甲幅は 102 mm であった。このうち最終脱皮個体の平均甲幅は 106 mm、未最終脱皮個体のそれは 99 mm であった。

以上のことから、本調査で採捕された成熟雄では、平均甲幅 122~123 mm の大型個体であることが明らかとなった。未成熟雄の中の最終脱皮個体の平均甲幅は、成熟雄のそれに比べ 12~17 mm 小さい。

2-4-2-5 論 議

本種雌は初産卵前の交尾で得られた精子を体内にある受精嚢 (seminal receptacle) に貯蔵するため、生涯に1回の交尾で数回の産卵の際に受精が可能であるといわれてきた (WATSON, 1972)。しかし、近年では経産卵前にも交尾が行われることが、カナダ北大西洋海域で報告されている (TAYLOR *et al.*, 1985; CONAN and COMEAU, 1986; HOOPER, 1986; MORIYASU *et al.*, 1987; CONAN *et al.*, 1988; ENNIS *et al.*, 1988; COMEAU and CONAN, 1992)。当海域では腹部纏絡卵のふ化、交尾そして経産卵は、春季に水深 10~30 m の浅所に移動 (breeding migration) して行われることから、これらの一連の行動はスキューバダイビングによって観察されている。その結果、経産卵前の交尾には最終脱皮を終了した形態的成熟雄 (morphometrically mature male) だけが参加することが明らかにされている。本調査で成熟雄と経産卵雌の集団の重なり度合いが高かったのは、経産卵前の交尾行動にともなうものと考えられた。

CONAN and COMEAU (1986) は経産卵期にスキューバダイビングによって交尾行動を観察したところ、その海域には小型の最終脱皮個体および未最終脱皮個体はみられず、大型の最終脱皮個体だけが交尾を行っていたことを報告した。また、大型雄同志が雌をめぐってかなり激しい争いを行うことも観察されている。本研究においても Fig. 33, 34 に示したように、成熟雄の集団を構成していたのは主に甲幅 130 mm 前後にモードをもつ群、すなわち前述した最も大きい齢期群に当たり、この結果は直接目視観察された報告 (CONAN and COMEAU, 1986) と一致するものであった。また、成熟雄が多く採捕されたところでは未成熟雄の採捕が少なくなっていたが、これは交尾に参加できないと考えられる未成熟雄が成熟雄に雌をめぐって攻撃されないように、成熟雄との遭遇の機会を少なくするために生息域を異にしているものと思われる。

成熟雄と経産卵雌の集団の重なり度合いが、時間経過とともにどのように変化するかを検討する。11月および12月ではその傾向が比較的顕著であったが (Fig. 30, 31), 3

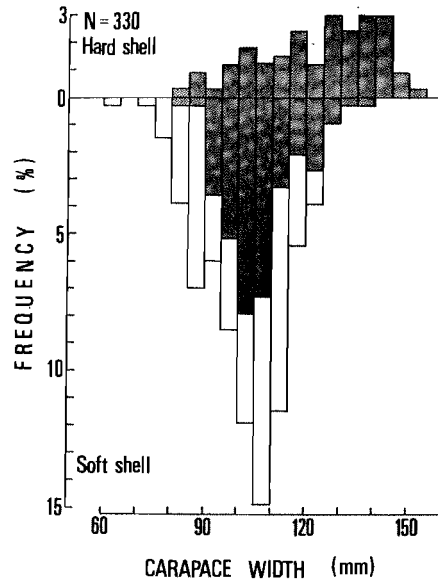


Fig. 34. Frequency distributions of carapace width of terminal molt with hard shell and terminal or non-terminal molt males with soft shell on 9-10 March 1993. Broken and open columns indicate the same as in Fig. 33.

月になると経産卵雌の密度の低下にともない集団の大きさが縮小し、それほど顕著にはみられなくなった (Fig. 32)。これは、日本海西部海域の経産卵期の盛期が2月から3月であること (伊藤, 1963, 1967; 今・本間, 1970; 山崎ほか, 1985)、交尾は産卵の直前に行われること (TAYLOR *et al.*, 1985; CONAN and COMEAU, 1986) から、3月の調査では交尾の最中にありカニかごでは採捕されなかったため、あるいは交尾が終了し他海域に分散したための2つの要因が考えられる。このいずれの要因によるのかは本調査からは断定できないが、禁漁区内で標識放流されたカニの再捕状況や周辺での底曳網によるカニの漁獲状況などを整理することにより、詳細な検討が可能となろう。また、3月には成熟雄と経産卵雌のみかけ上の密度低下にともない、未成熟雄と初産卵雌の密度が高くなり、集団の大きさも拡大する傾向がみられた。この傾向についても、上述したデータを整理することにより、成熟雄と経産卵雌の集団の動きと関連付けて検討する必要があると考える。

本項では冬季に行われたかご調査の結果から、経産卵前の雌雄の分布特性について検討し、経産卵前の交尾行動についての論議を行った。カナダセントローレンス湾では経産卵前の交尾行動が比較的浅所で行われることから、スキューバダイビングにより直接観察することができるが、日本海西部海域では水深 200 m 以深の深所であるた

めその方法は不可能である。今後は、雌の受精嚢内の精子数などを計数 (ADAMS and PAUL, 1983; PAUL, 1984; PAUL and ADAMS, 1984) するなどして、雌の複数回の交尾や交尾行動のより詳細な検討を行う必要があると考える。

2-4-3 考 察

初産卵および経産卵の産卵期においても、雌雄は周辺とは密度が異なる集団を形成して分布することが明らかとなった。交尾、産卵時期とは異なる春季では、雌雄の集団は同じ水深帯でも別な海域に形成された。交尾、産卵期に当たる夏季から冬季には、雌雄の集団の形成状況に特徴的な現象が認められた。初産卵時期では小型の未最終脱皮雄と初産卵雌の集団、経産卵期では大型の最終脱皮雄と経産卵雌の集団の重なり度合いが、とくに高くなる傾向がみられた。このように、交尾や産卵が行われる時期には、雌雄の集団は同一海域に集まり、これらがひとつの集団を形成した。これは、当期間だけにみられた現象であったことから、初産卵および経産卵前の交尾行動にともなうものと考えられた。一方、雌でも初産卵個体と経産卵個体は、同じ水深帯でも明瞭に分布域を異にした。同様の傾向は、経産卵期の経産卵雌と未成熟雌でも認められた。

産卵期における集団の大きさは、雄と初産卵雌では約500~2,000 m、経産卵雌では約1,000~2,000 mもしくはそれ以上の規模であった。小集団の大きさは、雌雄とも約100~300 mであった。ほぼ同一場所および時間に底曳網の操業が行われた場合でも、一曳網当たりのズワイガニ漁獲個体数に大きな相違が認められることがある。その要因としては、底曳網の掃過範囲とカニの集団の範囲との相対的な位置に密接に関係していると考えられる。すなわち、掃過範囲が集団の範囲と重複した場合には漁獲個体数は多く、逆に重複しない場合には少ない。

一般的な資源管理の概念として、交尾や産卵などの再生産の過程にある資源生物を保護することは重要である。本種の場合では、とくに初産卵期および経産卵期がその時期に当たる。上述したように、このような時期には再生産に直接関与する雌雄が、ひとつの集団を形成する。カニの集団は、初産卵期である1988年10月および1990年7月の調査結果から、等深線に対して水平および垂直方向に広がっていることが分かる。ここで、カニの集団を単純に直径1,000~2,000 mの円形と仮定すると、その面積は約0.8~3.1 km² (平均約1.8 km²) となる。一方、底曳網の掃過面積は1.756 km² (山崎ほか, 1990) であるから、両者の面積はほぼ同程度である。底曳網の間引きから再生産に関与するカニの保護を考える場合には、ひとつの集団の範囲は、効率的に保護することができる最小単位 (規模) と

考える。

第3章 ズワイガニの資源特性

3-1 研究の背景と目的

資源管理を検討するには生態特性を明らかにするとともに、資源特性を明らかにすることも重要である。第1章で述べたように、日本海西部海域で漁獲されるズワイガニは、“たてガニ”、“水ガニ”および雌ガニの3銘柄に大別される。最も商品価値が高いのは“たてガニ”であるが、底曳網により漁獲された“たてガニ”の平均甲幅は、1960年代半ばから1970年にかけて小さくなる傾向を示している (SINODA and KOBAYASHI, 1982)。近年では資源の悪化にともない“たてガニ”だけでは思うような漁獲が期待できず、“水ガニ”や雌ガニに対する漁獲努力量も増加している。このような状況にあるにもかかわらず、当海域における本種の資源特性に関する研究はない。本章では、第2章で明らかにされた本種の雄の最終脱皮や成長率などをもとに、これまであまり報告されていなかった本種の資源特性について検討した。本章は、1) 標識放流結果からみた雌の資源特性、2) 最終脱皮が存在する場合の雄の生残率の推定方法の2節よりなる。

3-2 標識放流結果からみた雌の資源特性

本種の雌の産卵生態は、日本海 (伊藤, 1963, 1967; 今・本間, 1970; 今, 1980; 山崎ほか, 1985など)、オホーツク海 (管野, 1987) およびカナダ北大西洋海域 (WATSON, 1970, 1972; HOOPER, 1986など) などで多くの報告がある。一方、資源特性に関する研究は、雌の漁獲量がズワイガニ全体の約30~40%を占めている日本海においても SINODA and KOBAYASHI (1968) の報告しかない。雌の漁獲は我国だけにみられる状態であるから (WATSON, 1969; DONALDSON and HICKS, 1977; SINODA and KOBAYASHI, 1982)、雌に対する現行規制が資源の有効維持対策としてどの程度の効果があるのかを、資源学的に他の海域と比較検討することは難しい。しかし、成体雌の分布特性や現在のズワイガニ漁業とりわけ雌を対象とした操業実態から、現行規制の効果あるいは問題点については論じることができる。

本節では、雌の漁獲状況を整理するとともに、カニの禁漁期中に標識放流された雌の再捕データを使って、漁獲の対象となっている成体雌の自然死亡係数および漁獲死亡係数の推定を行い、雌資源に対する現在の漁業の問題点について検討した。

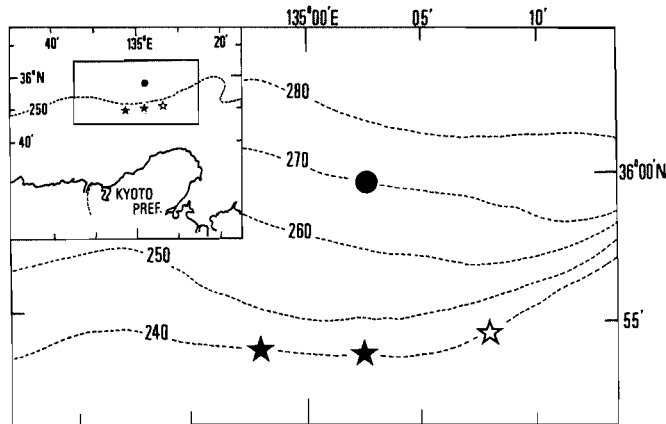


Fig. 35. Liberation sites of tagged adult females in the sea off Kyoto Prefecture. Closed asterisks, 11 February and 1 December 1986; Open asterisk, 27 March 1986; Closed circle, 10 June 1986.

3-2-1 雌の漁獲状況および資源特性値の推定

3-2-1-1 材料および方法

漁獲統計資料 1986年11月6日から1987年1月31日までの漁期中に京都府沖合で漁獲された雌の個体数を日別に把握するために、各水揚げ市場の仕切り伝票を調べた。漁獲量を整理した水揚げ市場は京都府内の舞鶴、宮津、間人および網野市場、兵庫県の津居山港、香住町市場の6市場であった。漁獲量は多くの場合個体数で記載されていたが、重量で記載されている場合には、成体雌の1個体の平均重量186g(山崎, 未発表)から個体数を算出した。

また、同漁期における漁場内の雌の一曳網当たり漁獲個体数(以下、CPUEと呼ぶ)の空間分布を調べるために、京都府内の底曳網漁船の操業日誌を整理した。整理に供した操業日誌は標本船8隻のもので、府沖合全体での操業状況が把握できるように標本船を抽出した。

標識放流 標識放流は雌の禁漁期である1986年2月11日に492個体、3月27日に317個体、6月10日に247個体および11月1日に537個体の合計1,593個体の成体雌を用いて行われた。Fig. 35に各放流群の放流位置を示した。放流されたカニは初産卵すなわち最終脱皮から少なくとも数カ月が経過しており、甲殻硬度が高いものであった。以下、本章ではこのような雌を経産卵雌と呼ぶ。放流に供したカニは京都府沖合でカニかごにより採捕されたもので、船上で甲幅が計測されたのち標識票が装着された。本研究で使用された標識票は直径15mm、厚さ0.5mmのアトキンス型タグで、装着方法は原則として第3歩脚の基部にナイロン製電線結束ファスナーで装着された。放流は1m×1m×1mのステンレス製のかごを使って、ワイヤーでかごを海底近くまで降ろし行われた。

ズワイガニの禁漁期であっても、カニの生息域で他の魚種を対象にした操業が行われた場合、カニが混獲され海中投棄される実態がみられているが(石川県ほか, 1989, 1990, 1991; 山崎ほか, 1991)、放流が行われた1986年の禁漁期にはカニの生息域での操業はほとんど行われなかった。

3-2-1-2 雌の漁獲状況

1986年11月6日から1987年1月31日までの雌の漁獲個体数を便宜的に5日間毎にとりまとめFig. 36に示した。すなわち、解禁日直後の5日間を第1期、次の5日間を第2

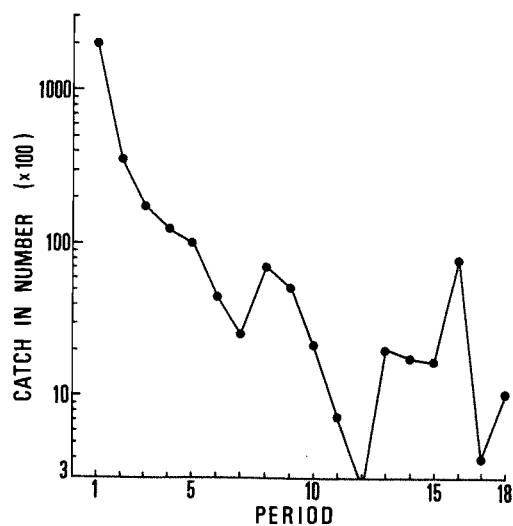


Fig. 36. Number of female caught by Danish seine in each 5-day period from 6 November 1986 to 31 January 1987.

期とした。雌の漁獲は解禁直後の5日間に集中しており、第1期だけで漁期全体の約65%に当たる20万個体、さらに第2期までに約75%に当たる23.4万個体が漁獲されていた。その後、各期間の漁獲個体数は1万個体未満で推移した。第12期の漁獲は0となっていたが、これは年末年始による休漁のためであった。

次に、同漁期の雌のCPUEを1マイル四方の小海区ごとに求め、月別にFig. 37に示した。この図から、11月ではCPUEが250以上の海域は、東経135°以西の水深240~250m域でみられ、同海域が重要な雌の漁場となっていることが明らかとなった。解禁直後の第1, 2期の漁獲は、大部分がこの漁場での操業によるものであった。一方、東経135°以东では高いCPUEを示す海域が若干出現した

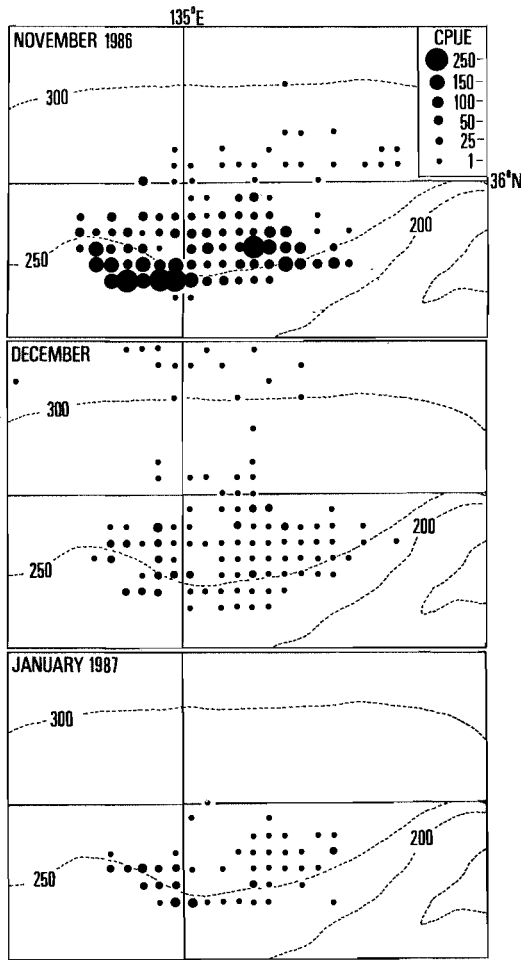


Fig. 37. Catch in number of female per haul in each mile² in the sea off Kyoto Prefecture as indicated by fishermen's log records from November 1986 to January 1987.

が、以西に比べると全体的には低かった。12月以降では、CPUEは東経135°以西の海域であっても極端に低下し、CPUEが100以上の海域は全くみられなかった。

漁獲の対象となる雌は、発眼した腹部總絡卵を有する成体であり、特定海域に集中して分布することが報告されている(山崎ほか, 1985)。上述したように、解禁直後は雌を対象にした操業がその海域で頻繁に行われ、短期間に努力量が集中してほぼ獲りつくすことが明らかとなった。

3-2-1-3 標識ガニの再捕状況

各放流群の再捕個体数と再捕率をTable 16に示した。各放流群の再捕率は35.98~48.60%で、放流から再捕が始まる解禁日までの期間が最も長い2月放流群が最も低く、逆にその期間が最も短い11月放流群のそれは最も高かった。各放流群の再捕は解禁日から始まり、Fig. 36に示した第1期に漁期中の再捕個体数の60~70%が、さらに第2期までに75~85%が再捕されており、上述した雌の漁獲状況と同じように解禁直後に集中的に再捕された。再捕時の腹部總絡卵は、全ての個体で発眼していた。

Table 16. Number of recapture and recapture rate of the tagged females in each liberated group.

Date	Number of liberation	Number of recapture	Recapture rate (%)
11 Feb. 1986	492	177	35.98
27 Mar.	317	119	37.54
10 Jun.	247	102	41.30
1 Nov.	537	261	48.60

次に、各放流群の再捕された場所をFig. 38に示した。各放流群の再捕場所は、3月および6月放流群では1個体づつ鳥取県沖合にみられたが、大部分は京都府沖合の東経135°付近の水深240~250m域であった。この海域は、Fig. 37で述べた雌の主漁場と一致していた。

3-2-1-4 自然死亡係数 M 、漁獲率 E 、漁獲死亡係数 F の推定

中島(1986)はクルマエビを例にとり、漁獲がないときに放流された群が、放流から時間 T 後に漁獲率 E で集中的に再捕される場合の、漁獲がないときの逸散を含む自然死亡係数 M を推定する数学的モデルを示した。前述したように、本研究でも放流は禁漁期間中に行われ、その再捕は解禁直後に集中していたので、この方法を使って資源特性値の推定を行う。

禁漁期間中に放流された個体数 N_0 が、放流日から集中的に再捕される解禁日までの期間 T 後における放流群の生残個体数 N は、禁漁期間中の自然死亡係数 M' を一定とす

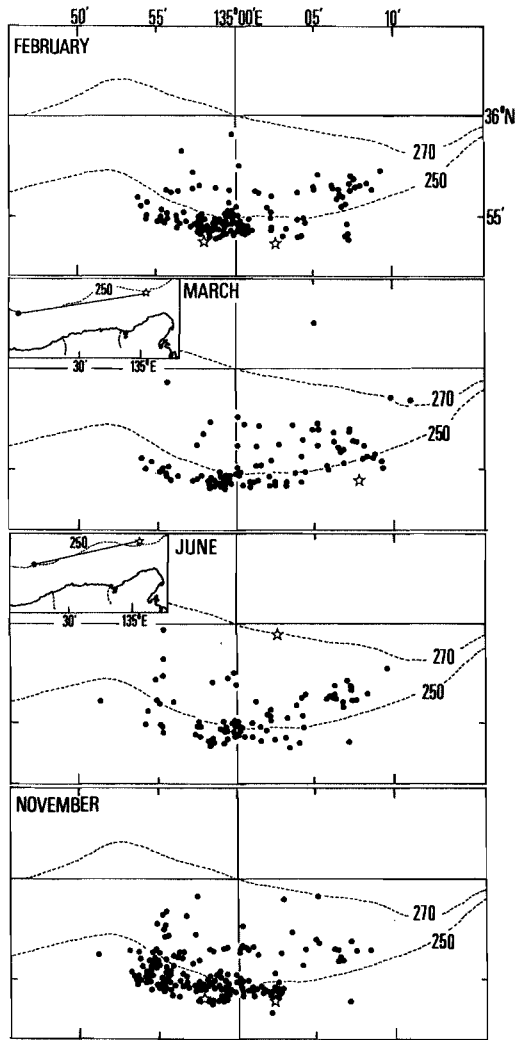


Fig. 38. Geographical distribution of recaptured female in each liberated groups. Solid circles and asterisks indicate recapture and liberation sites, respectively.

と,

$$N = N_0 \cdot S_0 \cdot \exp(-MT) \quad (1)$$

と表される。ただし、 S_0 は放流直後の短期間の生残率である。再捕は解禁直後に集中的に行われることから、漁獲率を E 、再捕個体数を C 、標識ガニの発見率と報告率との積を α とすると、再捕率 R は次のように表される。

$$R = C/N_0 = E \cdot \alpha \cdot S_0 \cdot \exp(-MT) \quad (2)$$

(2) 式は、時間 T に対する $\ln R$ のプロットは傾き MT $= 0$ で $\ln E\alpha S_0$ の直線となることを示す。Table 16 の再捕

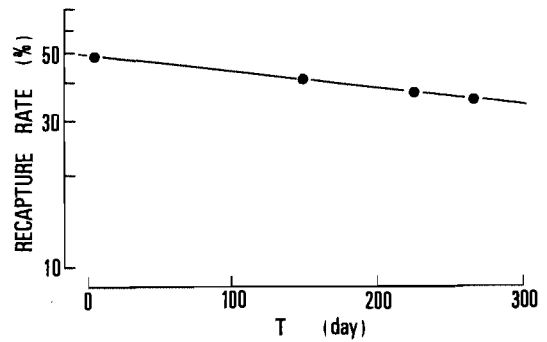


Fig. 39. Recapture rates in logarithm plotted against the mean recapture time in day (T).

率をもとにプロットすると Fig. 39 のようになり、回帰直線は、

$$\ln R = 3.8899 - 0.0012T \quad (r=0.9995) \quad (3)$$

で表され、 $M' = 0.0012$ (day^{-1})、 $E\alpha = 48.91\%$ を与える。ただし、 M' は逸散や標識の脱落などを含む自然死亡係数である。

ここで、 S_0 の値は放流直前の標識ガニの活力が良好であり、且つ活力のない個体については放流に供しなかったことから、 $S_0 = 1$ と判断できる。一方、 α の値については検討を要する。すなわち、底曳網漁船は所属漁協単位に船団を組み操業を行うため、船団内での各船の操業位置および漁獲量には、平均するとそれほど大きな差は生じない。しかし、再捕報告の件数は、同じ船団の中でも約20%の漁船が未報告もしくは極端に少なくなっていた。このような実態から、 $\alpha = 0.8$ と判断するのが妥当と考えた。したがって、 $E = 48.94/0.8 = 61.14\%$ と推定された。

次に、休漁期間中の M' と E が与えられたので、 M' が漁期中も休漁期中と等しいものとするれば、次式から漁期中の F (day^{-1}) が近似的に求まる。

$$E = \frac{F}{M' + F} \cdot (1 - \exp(-M'F)U) \quad (4)$$

ただし、 U は漁期の期間を意味する。ここでは $U = 87$ (day) であるから、 $F = 0.0117$ (day^{-1}) と近似的に求まり、漁期中の漁獲死亡係数は $F = 1.0179$ と推定された。

3-2-1-5 標識減耗係数 L の推定

標識再捕のデータから自然死亡係数を推定する場合、それには標識票の脱落などのいわゆる標識減耗が含まれていることに留意しなければならない。したがって、先に推定した M' から L を差引くことにより、逸散を含んだ自然死亡が検討できる。

能勢 (1961) は東京湾のマハゼ標識放流の結果をもと

に、時間 T に対する各期間の標識率の逆数（無標識個体数/標識個体数）の対数の回帰関係から L を推定する方法を次式により与えた。

$$\ln\left(\frac{n_T}{m_T}\right) = \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) \cdot \left(1 + \frac{L}{2}\right) + L(T-1) \quad (5)$$

ただし、 n_T は T 期の漁獲個体数、 m_T は T 期の標識再捕個体数、そして β は標識率である。ここで、各放流群の再捕個体数をひとまとめにし、漁期を便宜的に30日間づつの3期間に分け、それぞれの期間の再捕個体数、漁獲個体数および標識率の逆数を求め Table 17 に示した。Table 17 の数値をもとに、(5) 式の回帰直線は

$$\ln\left(\frac{n_T}{m_T}\right) = 6.1537 + 0.0291(T-1) \quad (r=0.9997) \quad (6)$$

となり、 $L=0.0291$ (30 day^{-1}) が与えられる。したがって、1日当たりの L は 0.0010 (day^{-1}) と推定され、先に推定された M' から L を差引くと成体雌の逸散を含む自然死亡係数 (M) が推定でき、 $M=0.0002$ (day^{-1}) が与えられた。

Table 17. Number of tagged females all together liberated groups, catch in number of the females by Danish seine and reciprocal of tagged rate in each 30-day.

Period (T)	Number of recapture (m_T)	Number of catch (n_T)	Reciprocal of tagged rate (n_T/m_T)
1	593	279,115	470.68
2	35	16,938	483.94
3	31	15,465	498.87

3-2-2 考 察

ズワイガニの自然死亡は、脱皮後ある程度の時間が経過し甲殻硬度が高くなった個体の場合では、今回推定されたように極めて低い値と推察される。最終脱皮を終え甲殻硬度の高い個体の自然死亡は、休漁期中と漁期中とは等しいと考えられるので、成体雌の年間の自然死亡係数は 0.0730 (year^{-1}) と計算される。休漁期中に他の魚種を対象にした操業中に混獲され、海中投棄されなければ、甲殻硬度の高い成体雌の自然死亡は、府外への逸散を含めてもごくわずかであると判明した。

本研究で推定されたパラメータをもとに経産卵雌の生残率 S_f (year^{-1}) を計算すると、全減耗係数 $Z=M+F=1.0909$ となり、 $S_f=0.34$ が得られる。SINODA and KOBAYASI (1968) は兵庫県沖合で得られた成体雌（第11齢期）と未成体雌（第10齢期）の個体数の比から、1963年から1966年までの初産卵雌を含めた成体雌の生残率を $0.23\sim$

0.32 (year^{-1}) と推定した。1963年から1966年と1986年とでは経産卵雌の自然死亡は同じと考えられるが、漁獲による死亡は近年の漁船規模の大型化や努力量の増大などから、後者が前者よりも相対的に高いと考えられる。しかし、生残率は1986年の方が1963年から1966年よりも高い。これは、SINODA and KOBAYASI (1968) では漁獲されることによる減耗に加え、未成体から成体に脱皮したときの減耗などを含んでいるためと考えられる。このことは、経産卵雌の自然死亡はわずかであるが、未成体から成体へ加入する際、あるいは加入してから甲殻硬度が高くなるまでの期間の減耗が高いことを示唆している。

次に、経産卵雌の漁期始めの初期資源のうちどの程度の資源が再生産、すなわち幼生のふ化に成功したのかを試算した。日本海西部海域では腹部總絡卵のふ化の盛期は2月から3月頃（小林, 1965; 伊藤, 1967; 今・本間, 1970; 山崎ほか, 1985）であるから、ここでは計算上便宜的に3月1日をふ化日とする。11月5日の解禁前日からふ化日までの期間の全減耗係数は $Z=114M+F=1.0407$ と計算され、解禁前日の経産卵雌の約35% (e^{-Z}) が再生産を行っているとして試算された。この値が、資源生物学的に本種の再生産にとって適性なものかどうかは現在のところ判断しがたいが、経年的に漁獲量が減少している今日においては、少なくとも資源維持のための良好な再生産が行われているとは思われない。経産卵雌が特定海域へ集中分布するという生物特性およびその海域での集中操業による資源の間引きの実態から考えると、現行の未成熟な雌の採捕禁止や漁期の設定は、再生産の確保という本来の目的を必ずしも果たしているとは考え難い。

3-3 最終脱皮が存在する場合の雄の生残率の推定方法

日本海西部海域では本種の雄は商品価値が最も高く、漁獲努力量が高くなっているにもかかわらず、資源特性についての研究は無い。一般的に資源特性のひとつである生残率の推定は、体長組成のデータをもとに隣り合うモード群の個体数の比から行われることが多く、資源特性を検討するには体長組成に関するデータは貴重な情報となる。雄ズワイガニについても試験操業や水揚げ市場での甲幅測定から、比較的容易に体長（甲幅）組成に関する情報を収集することが可能である。しかし、第2章で述べたように雄にも最終脱皮が存在し、最終脱皮を終える年齢が個体により異なる。そのため、単一齢期であっても複数年級群により構成されているので、単純なモード群の出現割合からは生残率は推定できない。そこで、本節では甲幅組成に関する情報をもとに、最終脱皮が存在する場合の雄の生残率の推定方法を検討し、この方法によりこれまで報告されてい

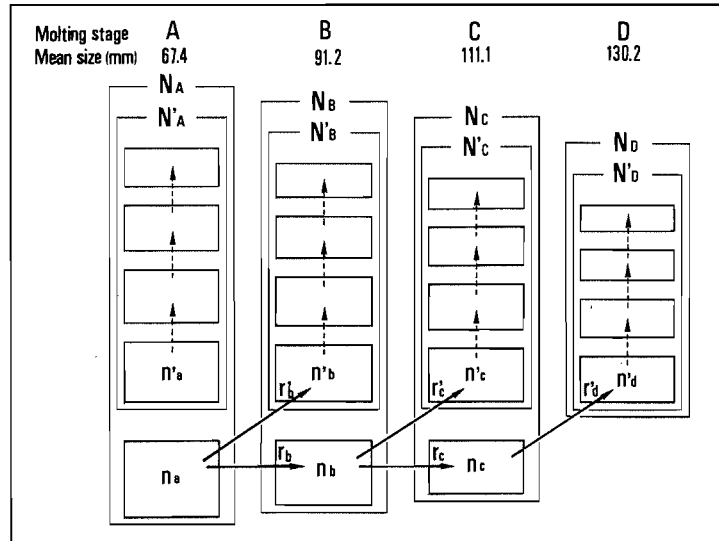


Fig. 40. A model of the molting pattern of male for estimation of survival rate. Solid and broken arrows indicate molting and non-molting, respectively. N_A-N_D : total numbers of large clawed and small clawed males in each molting stage group, $N'_A-N'_D$: total numbers of large clawed males in each molting stage group, $n'_a-n'_d$: numbers of large clawed males within one year after terminal molting in each molting stage group, n_a-n_d : numbers of small clawed males in each molting stage group, $r'_b/r_b=n'_b/n_b$ and $r'_c/r_c=n'_c/n_c$.

かった“たてガニ”と“水ガニ”の生残率について試算した。

3-3-1 脱皮・成長モデルに関するパラメータの推定

雄の脱皮・成長モデル (Fig. 11) の齢期別の最終脱皮および未最終脱皮個体数などのパラメータを推定するため、Fig. 40 のようにそれぞれの個体数を記号化した。すなわち、 N_A-N_D は A~D 群の各齢期に属する全ての個体数であり、 $N'_A-N'_D$ は A~D 群に属する最終脱皮個体数 (複数年級群)、 n_a-n_c は A~C 群に属する未最終脱皮個体数 (単一年級群) である。 $N'_A-N'_D$ の中にみられる $n'_a-n'_d$ とは、最終脱皮を終え A~D 群に加入して 1 年以内の単一年級群の個体数である。また、A 群から B 群に加入した際の脱皮が、最終脱皮となった個体とならなかった個体との比率をそれぞれ r'_b, r_b とし、B 群から C 群の場合については、同様に r'_c, r_c とした。 n' と n とはとくに漁獲のされ易さに違いがみられないことから、両者の年間の生残率は等しいものと考えられるので、 $r'/r=n'/n$ の関係式が成り立つ。

以上の各個体数に関するパラメータを推定するために、第 2 章で用いた 1989 年 3 月から 1990 年 11 月までにカニかごおよび底曳網で採捕された合計 3,247 個体の雄を材料とした。齢期毎の最終脱皮個体 (N') と未最終脱皮個体 (n) の

Table 18. Percentage occurrence of accumulated numbers of crabs after terminal molt (N') and non-terminal molt (n), also just after terminal molt (r') and normal molt (r) in four molting stage groups.

Molting stage group	Mean size (mm)	N' (%)	n (%)	r' (%)	r (%)
A	67.4	4.2	95.8	1.4	98.6
B	91.2	29.5	70.5	17.3	82.7
C	111.1	64.1	35.9	40.8	59.2
D	130.2	99.1	0.9	85.5	14.5

割合を計算し Table 18 に示した。齢期別の最終脱皮個体の割合は A 群が 4.2%、B 群が 29.5%、C 群が 64.1% そして D 群が 99.1% であり、大きい齢期で高くなる傾向がみられた。また、脱皮直後で甲殻の柔らかい個体のみを抽出して、各齢期の r' と r の割合を計算し Table 18 に示した。齢期毎の r' は A 群が 1.4%、B 群が 17.3%、C 群が 40.8% そして D 群が 85.5% であり、 N' の出現割合と同様に大きい齢期ほど高くなる傾向が認められた。なお、D 群は最も大きい齢期であるにもかかわらず、 N' と r' が 100% とならなかった。これは、平均甲幅と標準偏差 (Table 4) から求めた「齢期-甲幅キー」により齢期毎の

個体数を計算したため、また、とくに r' が低かったのは解析に使用したデータの中に甲幅 120 mm 以上の大型の個体が少なかったためと考えられた。

3-3-2 最終脱皮個体の生残率の考え方

ひとつの齢期の中に複数年級群が存在する場合には、単にその齢期の個体数をもとにして生残率を推定するのは不可能である。SINODA and KOBAYASI (1968) はすでに最終脱皮の存在が確認されていた本種の雌を例に、ひとつの齢期の中に複数年級群が累積されている場合の、最終脱皮を終えた個体群の生残率の推定方法を報告した。この方法では、最終脱皮後の年間の生残率は等しいと仮定した。雄では、最終脱皮後の各年級群の生息域がとくに異なることもないことから、漁獲のされ易さも同じと判断される。最終脱皮後約 1 年経過した個体の自然死亡係数は、雌の場合では前述したように 0.07 (year⁻¹) と極めて小さい。雄でも同様に極めて小さい数値と考えられる。このことから、雄の最終脱皮後 1 年以降の生残率は等しいと仮定し、雄の最終脱皮を終えた個体の個体数および生残率の考え方を SINODA and KOBAYASI (1968) の方法を応用することにより検討した。

各齢期の中の最終脱皮を終えた複数年級群で構成されている N' の個体数は、SINODA and KOBAYASI (1968) の方法により次式で与えられる。

$$N' = n' \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m} \quad (7)$$

ただし、 Δt は最終脱皮を終えてからの寿命 (年)、 λ は最終脱皮を終えてから時間とともに変化する定数で、次元は時間の逆数である。ここでは、最終脱皮後 1 年以降の生残率はすべて等しいと仮定するので、 $\lambda = 1$ である。 S_m は最終脱皮個体の生残率 (year⁻¹) である。(7) 式の N' と n' は Fig. 40 の $N_A \sim N_D$ 、 $n'_a \sim n'_d$ をそれぞれ意味する。

ここで、B 群と C 群の個体数を例にして、C 群の最終脱皮個体の S_m の考え方について検討する。C 群全体の個体数 N_C は、

$$N_C = N'_C + n_c = n'_c \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m} + n_c \quad (8)$$

と表せる。B 群全体の個体数 N_B は、

$$N_B = N'_B + n_b = n_b \cdot \left(1 + \frac{N'_B}{n_b}\right) \quad (9)$$

と表すことができるから、B 群と C 群の個体数の比 (N_C/N_B) は、 N'_B/n_b を R_b とすると次式のようにになる。

$$\frac{N_C}{N_B} = \frac{1}{n_b \cdot (1 + R_b)} \cdot \left(n_c + n'_c \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m}\right) \quad (10)$$

ここで、(10) 式の n_c 、 n'_c とは B 群の n_b が脱皮した個体である。いま、B 群から C 群へ加入してから 1 年以内の

生残率を P (year⁻¹) とすると、 n_c 、 n'_c はそれぞれ $n_b \cdot r_c \cdot P$ 、 $n_b \cdot r'_c \cdot P$ と表せる。したがって、(10) 式は

$$\frac{N_C}{N_B} = \frac{P}{1 + R_b} \cdot \left(r_c + r'_c \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m}\right) \quad (11)$$

と書き換えられる。ただし、この場合の P とは脱皮による自然死亡減耗、底曳網に混獲され投棄されることによる減耗および“水ガニ”として漁獲される減耗を差し引いたパラメータである。以上は B 群と C 群を例にしたが、他の齢期の場合にも同様の方法が適応できる。しかし、C 群と D 群の場合では、D 群は最終脱皮個体のみで構成されているため次式のように表すことができる。

$$\frac{N_D}{N_C} = \frac{P}{1 + R_c} \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m} \quad (12)$$

また、各齢期の最終脱皮個体の個体数 (N') で S_m を表す場合には、B 群と C 群を例にすると次式のようにになる。

$$\frac{N'_C}{N'_B} = \frac{P}{R_b} \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m} \quad (13)$$

(13) 式は各齢期の最終脱皮個体数で表されるため、D 群を含め全ての齢期で適応することができる。

(11)、(12) 式の $R(N'/n)$ は、Table 18 の数値から容易に求まる。 Δt は、第 2 章で述べたように 4 年とする。 R_b と R_c を求めて、 N_C/N_B 、 N_D/N_C と P および S_m の関係を Fig. 41、42 に示した。ここで、 S_m と P の相対的な関係について検討する。最終脱皮後 1 年以内と 1 年以降の個体の

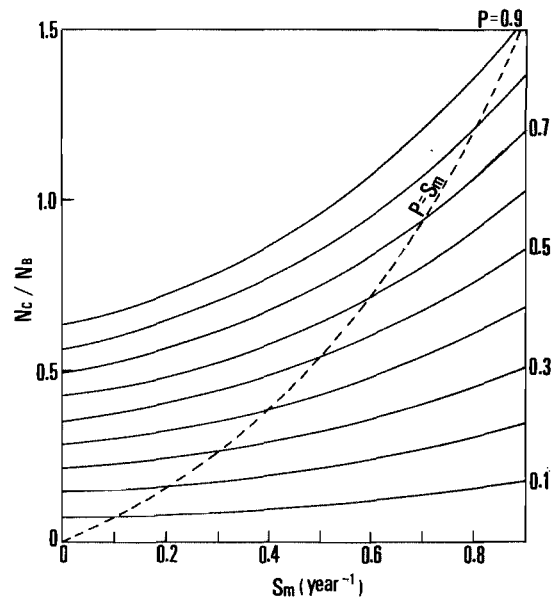


Fig. 41. Relationship between N_C/N_B and S_m at $P=0.1-0.9$ (year⁻¹) in the crabs after terminal molt of molting stage group C.

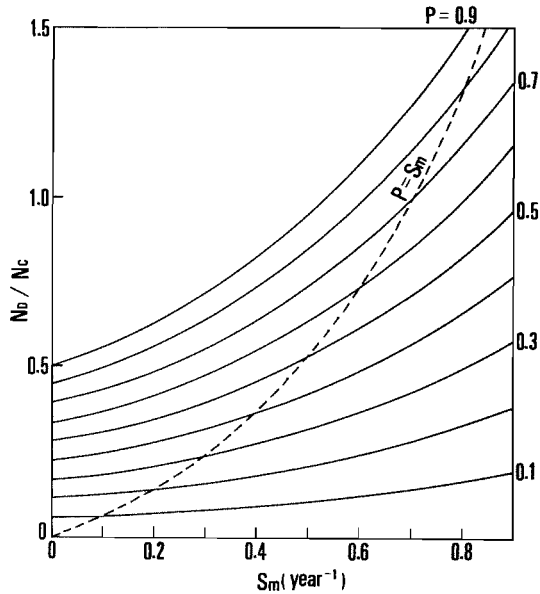


Fig. 42. Relationship between N_D/N_C and S_m at $P=0.1-0.9$ (year^{-1}) in the crabs after terminal molt of molting stage group D.

自然死亡は、後者は極めて小さいが、前者は脱皮にともなう減耗が加わるため、前者が後者よりも相対的に大きい。漁獲による減耗は、近年ズワイガニ全体の漁獲量の減少にともなう“水ガニ”に対する漁獲圧も強くなっていることから、最終脱皮後1年以上と1年以下の個体とはほぼ等しいと考えられる。以上のことから、 P は S_m に比べ相対的に低い($P < S_m$)と考えられた。 N_C/N_B および N_D/N_C は0.42, 0.34と計算されるので(Table 4), C群とD群の P はそれぞれ0.43, 0.35以下と推測された。

各年齢の S_m は、最終脱皮個体と未最終脱皮個体の割合 $R(N'/n)$ とその年齢期に加入した直後の単一年級群における最終脱皮個体と未最終脱皮個体の割合(r'/r)で次のように表すことができる。

$$R = \frac{r'}{r} \cdot \frac{1 - S_m^{\lambda \cdot \Delta t}}{1 - S_m} \quad (14)$$

Fig. 43に(14)式の R と r'/r および S_m の関係を示した。この図から、B群とC群の S_m は近似的に求まり、それぞれ0.58, 0.71と推測された。すなわち、最終脱皮を終えて1年以上経過した個体の生残率は、1年以内の個体に比べかなり高いものと思われた。この生残率と雌の最終脱皮後1年以下の生残率は、雌が0.35であったことから、雄は雌よりも高い。これは、雌はとくに漁期中に特定海域に集中分布するため漁獲され易いのに対し、雄は雌のような集中分布は示さないためと考えられた。

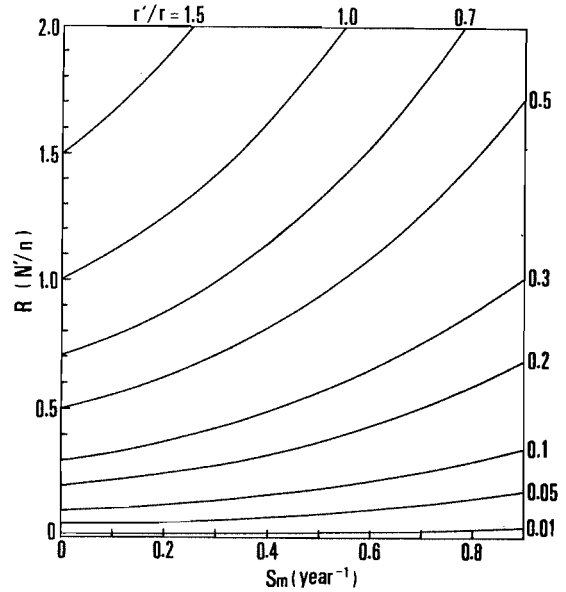


Fig. 43. Relationship between $R(N'/n)$ and S_m at $r'/r=0.01-1.5$.

本研究では加入量は一定と仮定し、1989年から1990年の甲幅組成と各年齢期に存在する最終脱皮個体および未最終脱皮個体の割合から生残率を推定した。これは、近年の日本海西部海域における漁獲量が低位安定期にあることから、漁獲変動が少ないと考えられたので、現実と大きな矛盾は生じていないと思われる。今後は漁獲変動が大きくなり、加入量も一定とは仮定できないような状態も生じるであろう。このような場合には、雄の最終脱皮後の Δt は4年と考えられたことから、甲殻の硬い個体と柔らかい個体の甲幅と鉗脚高の測定資料を少なくとも4年分蓄積する。これらの数値から、各年齢の r'/r や N'/n が計算でき、さらに各年齢群の個体群の大きさを標準化することができ、生残率は(11)~(14)式から推定することができる。

第4章 底曳網漁業がズワイガニ資源に およぼす影響

4-1 研究の背景と目的

底曳網漁業ではその漁具特性により、特定の魚種もしくは特定の大きさのものだけを選択的に漁獲することが困難である。したがって、通常底曳網の操業では、様々な魚種および大きさのものが入網し、その中から水揚げの対象となるものだけが選別され、残りはその場で投棄される。これまで、多くの海域や魚種で投棄されることによる資源の減耗が問題にされている(JEAN, 1963; 北沢・大阿久,

Table 19. Average number of trashed crabs per haul of Danish seine in the sea off Kyoto Prefecture from September 1988 to May 1990.

Period	Depth (m)			
	220	230	240	250
1988 Spt. - Oct.	216 102 (26 : 76)*			
Nov. - Mar.		418 364 (41 : 326)	101 374 (247 : 127)	28 174 (116 : 58)
1989 Apr. - May		777 896 (9 : 889)	205 550 (354 : 196)	68 182 (106 : 76)
Sep. - Oct.	318 273 (175 : 98)			
Nov. - Mar.		669 645 (54 : 591)	92 429 (307 : 122)	46 88 (36 : 52)
1990 Apr. - May		244 150 (2 : 148)	796 736 (134 : 602)	85 295 (283 : 37)

Period	Depth (m)		
	260	270	300
1988 Spt. - Oct.			
Nov. - Mar.	100 304 (160 : 144)	26 266 (186 : 80)	
1989 Apr. - May	112 240 (140 : 100)		
Sep. - Oct.			103 22 (11 : 11)
Nov. - Mar.	18 50 (37 : 13)	80 235 (159 : 76)	
1990 Apr. - May			

* Male Female (adult: immature)

1982 ; 日下部ほか, 1990 ; 森, 1984 ; 東海, 1993 ; 山崎ほか, 1991 ; 横松, 1984など)。第1章で述べたように, ズワイガニが生息する水深帯では, 他の魚種を対象にした操業が行われており, カニの投棄されることによる資源の減耗が危惧される。しかし, 日本海西部海域ではズワイガニは底曳網漁業の最重要資源であるにもかかわらず, 投棄の実態についてはほとんど調べられていない。本章では, 京都府沖合海域において, 操業中に投棄されているズワイガニの実態を明らかにするとともに, 投棄直後のカニの生残率を推定し, それに基づき投棄されることによる資源の減耗状況を検討する。

4-2 底曳網によるズワイガニ投棄の実態

4-2-1 漁期別の投棄実態

4-2-1-1 調査方法

調査は1988年9月から1990年5月までに合計30回行われた。調査方法は底曳網漁船に乗船もしくは漁業者に一曳網分の投棄されるカニの全数を持ち帰ってもらい, いずれの場合にも個体数の計測と全個体について甲幅測定が行われた。調査が実施されたのは春漁期では主にアカガレイ, 秋漁期ではヒレグロ (水深 220 m 域) およびアカガレイ, ホッコクアカエビ (水深 300 m 以深), 冬漁期ではズワイガニをそれぞれ漁獲の対象とした操業であった。

4-2-1-2 投棄されているカニの大きさと同量

Table 19 にズワイガニの漁期別水深別の一曳網当たり平均投棄個体数を示した。一曳網当たり平均投棄個体数は

雌雄合わせると68~1,673個体で, 時期や水深により異なった。とくに投棄個体数が多かったのは, 4月から5月および11月から3月の水深 230~240 m の海域であった (394~1,673個体)。

投棄されたカニの雌雄別の甲幅組成を漁期毎に Fig. 44, 45 に示した。雄では甲幅約 30 mm 以上が揚網後海中に投棄されており, 全体的には甲幅 50 mm, 70 mm および 90 mm 前後にモードをもつ3つの齢期が目立った (Fig. 44)。雄の漁獲サイズが甲幅 90 mm 以上であること, 50~70 mm 前後の個体では大部分が最終脱皮を終えていない (Table 3) こと, また, 60 mm 以上の雄の脱皮頻度が1年に1回であることから, 70 mm モードの齢期は1年後, 50 mm モードの齢期は2年後には漁獲サイズに加入する個体群であると推定された。カニの漁期中に甲幅 90 mm 以上の個体が投棄されていたが, これは脱皮直後で全く商品価値のないもの, もしくは“水ガニ”として漁獲されるだけの甲殻硬度であっても, “水ガニ”の解禁前で水揚げできないためであった。雌では, 雄と同じように甲幅約 30 mm 以上が投棄されており, 全体的には甲幅 50 mm, 70 mm 前後にモードをもつ未成体と 80 mm 前後にモードをもつ成体の3つの齢期が目立った (Fig. 45)。成体の大部分は, 未発眼の腹部總絡卵を有する個体であった。雌の漁獲の対象となるのは, 発眼した總絡卵を有する個体であるので, 成体は1年後, 70 mm 前後にモードをもつ未成体は2年後には漁獲の対象に加入する個体群であると推定された。

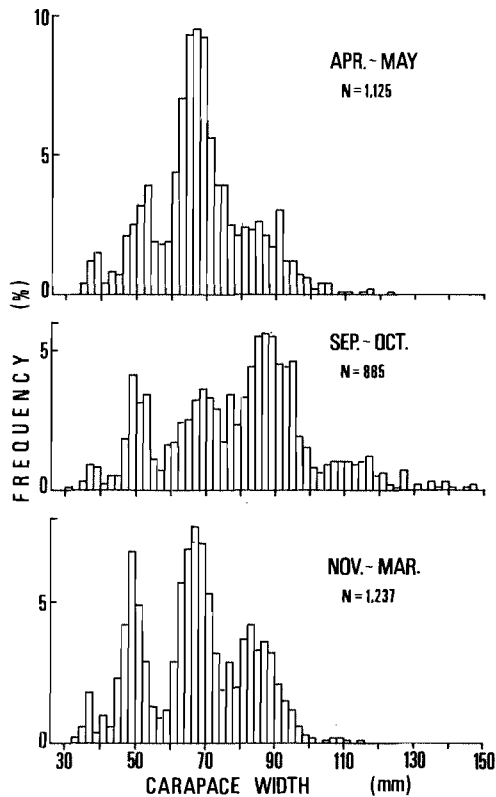


Fig. 44. Carapace width compositions of trash male crab in each fishing season.

以上のことから、水深 220 m 以深で操業が行われた場合には、カニ漁期の如何を問わずズワイガニが混獲され、海中投棄されていることが明らかとなった。また、投棄されているカニの主体は、雌雄とも漁獲サイズに満たない個体であり、これらの多くは 1~2 年後には漁獲の対象となる

齢期であることが分かった。

4-2-2 季節別の投棄直後の生残率推定

4-2-2-1 材料および方法

調査は、1989年3月、4月、5月、10月、12月および

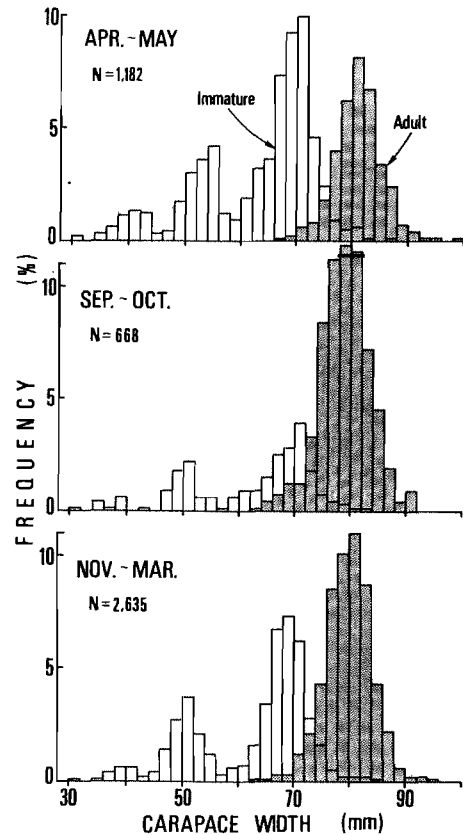


Fig. 45. Carapace width compositions of trash female crabs in each fishing season.

Table 20. Number of individuals and carapace width (C.W.) range of male, adult and immature females used in the experiment.

Date	Male		Female			
	Number	C.W. range (mm)	Adult		Immature	
			Number	C.W. range (mm)	Number	C.W. range (mm)
3 Mar. 1989	150	33 - 87	7	73 - 81	137	35 - 74
13 Apr.	57	61 - 134	73	66 - 90	44	59 - 80
25 May	130	43 - 108	23	71 - 95	118	47 - 77
26 Oct.	93	42 - 146	102	71 - 91	67	53 - 79
5 Dec.	24	27 - 110	37	70 - 87	13	37 - 75
14 Mar. 1990	109	36 - 98	44	74 - 95	119	34 - 78

Table 21. Atmospheric temperature, water temperature and salinity in each experiment.

Date	Time	Depth (m)	Atmospheric temp. (°C)	Water temp. (°C)		Salinity (‰)	
				Surface	Bottom	Surface	Bottom
9 Mar. 1989	12:52	238	5.5	12.0	1.1	34.5	34.0
13 Apr.	13:03	240	13.2	15.1	3.6	34.5	34.1
25 May	15:40	235	17.6	17.5	1.3	34.6	34.1
26 Oct.	21:20	200	21.5	21.4	3.1	33.5	34.1
5 Dec.	15:10	274	14.0	16.8	1.9	33.6	34.1
14 Mar. 1990	14:20	235	11.6	13.2	1.7	33.9	34.1

1990年3月に水深235~274m域で計6回行われた。調査方法は次のとおりであった。底曳網漁船により採捕されたズワイガニは、採捕から約20分以内には海上で調査船(平安丸228トン)に受けとられ、直ちにカニかごに入れられた後、再び海底に戻された。かごの沈漬時間は約6時間で、その後船上に回収してカニの生死を判定した。判定方法は、カニの顎脚や触角などの動きの有無を観察し、全く動かない個体は死亡と判断した。なお、1かご当たりの収納個体数は約30~50個体とし、収納は個体間の緩衝を配慮して、雌雄別且つ大型と小型個体が同一のかごには入らないように行った。Table 20に各調査に供した雄、成体および未成体雌の個体数と甲幅範囲を示した。

調査時には、ニールブラウン製のCTDにより表層から海底までの水温および塩分が連続して測定された。測定結果をTable 21に整理した。

4-2-2-2 投棄直後の生残率の推定

調査毎の雄、成体および未成体雌の投棄直後の生残率をTable 22に示した。生残率は、3月、4月、5月および12月では、3月の成体雌の事例(0.71)を除けば0.87~1.0と高く、10月には0~0.15と極端に低かった。全体的には3月から10月にかけて低くなり、12月には再び高くなる傾向がみられた。1989年3月の成体雌の生残率は、同月の雄

および未成体雌のそれよりも低かった。このときの成体雌には脱皮後で甲殻の柔らかい個体が約30%と多く、死亡個体の大部分はこのような個体であった。また、10月では調査に供したカニの大部分が脱皮直後の状態であり、かごに収容する時点ですでに死亡していた。さらに、脱皮直後の個体は、例え生残していても海中投棄された後は海面を漂い、沈下する様子を示さなかったことから、いずれは死亡するものと考えられた。なお、同じ時期のカニの大きさの違いによる生残率の差はとくにみられなかった。投棄直後の生残率と調査時の気温および水温・塩分の関係についてみると、生残率は表面水温および気温が高い時期には低く、低い時期には高くなっており、表面水温や気温の影響を受けていることが分かった。海底水温や塩分は、前者が1.1~3.6°C、後者が33.5~34.6‰で若干の変動がみられたが、この変動と生残率の変動とは直接関係していなかった。以上の調査結果は、従来の結果(小林, 1965: 小林, 1966: 吉原・柿元, 1963: 柿元・刀禰, 1964)とはほぼ同様であった。

本研究ではカニの生残率は、底曳網で採捕されたカニをかごに入れ、かごを人為的に海底まで降ろし、再度船上に回収し生死の判断を行い推定した。一方、通常の底曳網の操業形態は、船上に漁獲物が揚げられた後、次の操業の準備としてロープや漁網が投入される。そして、水揚げの対象となる魚種の選別が行われ、水揚げの対象とならないカニは最後に他のゴミと一緒に投棄される。この一連の作業は平均30分で行われている。投棄されてから海底に到達するまでの時間は、かごに入れて人為的に行った場合と何も使わない通常の投棄とでは、前者が後者よりも相対的に短いと考えられる。したがって、船上に揚げられてから投棄されて海底に到達するまでの時間は、本研究と通常の操業とでは異なり、前者が後者よりも短い。さらに、底曳網により船上に揚げられたカニは、水揚げされる漁獲物に比べ粗雑に扱われることが多い。また、操業準備中や漁獲物の選別中に物の下敷きになったり、踏みつぶされたりするこ

Table 22. Survival ratio of just after discarded of male, mature and immature females.

Date	Male	Female	
		Mature	Immature
3 Mar. 1989	0.99	0.71	1.00
13 Apr.	0.95	0.99	0.95
25 May	0.87	0.87	0.97
26 Oct.	0	0.03	0.15
5 Dbf.	1.00	1.00	1.00
14 Mar. 1990	0.92	0.96	0.98

ともしばしばみられる。このようなことから、通常の操業時の投棄直後の生残率は、本研究で推定されたそれよりもさらに低いと考えられる。今回推定された生残率は、通常の操業の中で、漁業者が極力早く丁寧に放流した場合の値に近いものと推察される。

4-3 投棄されることによる資源の減耗

底曳網の操業中にはカニ漁期の如何を問わず、大小のカニが混獲され海中に投棄されている実態が明らかとなった。また、投棄直後のカニの生残率は時期によってはかなり低く、投棄されることによる資源の減耗が危惧される。ここでは、投棄されることによる資源の減耗を試算した。

4-3-1 資源の減耗状況の試算

4-3-1-1 試算方法および試算に用いたパラメータ

資源減耗の試算方法 底曳網に入網し投棄されたカニのうち、生残った個体は再び入網し投棄される可能性がある。ここでは、このことを考慮して資源の減耗状況を漁期毎に試算した。いま、底曳網の一回の操業で死亡するカニの個体数 (Q_1) は、漁場内 (漁場面積: G) の初期資源個体数を N_i とすると、次のように計算できる。

$$Q_1 = N_i \cdot G^{-1} \cdot s \cdot k \cdot (1 - \exp(-F')) \quad (1)$$

ここで、 s は一曳網当たりの掃過面積、 k は漁獲効率である。また、 F' は一曳網当たりの減耗係数であり、 $(1 - \exp(-F'))$ とは一曳網当たりの投棄されたカニの死亡率を意味する。(1) 式における死亡個体数 Q_1 は、初期資源個体数に対して最初の操業を行ったときに生じるものである。したがって、 z 回目における死亡個体数 (Q_z) は、 $G^{-1} \cdot s \cdot k \cdot (1 - \exp(-F'))$ を X とすると、

$$Q_z = N_i \cdot \left\{ X - (z-1)X^2 + \frac{(z-1)(z-2)}{2}X^3 - \dots - (-1)^z \cdot \frac{(z-1)(z-2)\dots(z-(z-1))}{(z-1)!} X^z \right\} \quad (2)$$

と表わせる。したがって、ある時期に z 回の操業が行われたときの z 回目までの全死亡個体数 ($\sum_{i=1}^z Q_i$) は、

$$\sum_{i=1}^z Q_i = N_i \cdot \left\{ zX - \frac{z(z-1)}{2}X^2 + \frac{z(z-1)(z-2)}{6}X^3 - \dots - (-1)^z \cdot \frac{(z-1)(z-2)\dots(z-(z-1))}{(z-1)!} X^z \right\} \quad (3)$$

となる。また、 z 回の操業が行われた後の初期資源個体数に対する生残率 S_z は、次式で与えられる。

$$S_z = \left[N_i - N_i \cdot \left\{ zX - \frac{z(z-1)}{2}X^2 + \frac{z(z-1)(z-2)}{6}X^3 - \dots - (-1)^z \cdot \frac{(z-1)(z-2)\dots(z-(z-1))}{(z-1)!} X^z \right\} \right] / N_i \quad (4)$$

Table 23. Area of fishing ground for Danish seine from 200 m to 400 m depths in the sea off Kyoto Prefecture.

Range of depths (m)	Area (km ²)
200-220	109.8
220-230	48.0
230-240	82.3
240-250	96.0
250-260	123.5
260-270	147.5
270-280	140.6
280-290	126.9
290-300	150.9
300-350	672.3
350-400	247.0
Total	1,944.8

ただし、この場合には逸散や自然死亡による資源の減耗は考慮していない。また、逸散や自然死亡が無視できるだけの短期間に集中的に z 回の操業を行った後の S_z は次のような式で近似的に表すことができる。

$$S_z = \{N_i - N_i \cdot G^{-1} \cdot s \cdot k \cdot (1 - \exp(-F' \cdot z))\} / N_i \quad (5)$$

試算に用いたパラメータ 京都府沖合における水深 200 ~ 400 m 域の漁場面積を Table 23 に整理した。底曳網の一操業の掃過面積 (s) は、1,756 km² (山崎ほか, 1990)、漁獲効率 (k) は 0.29 (SINODA, 1968b) とした。

京都府沖合域での努力量を推定するために、1989年4月から1990年3月までの標本船の操業日誌を整理した。各漁船が操業する漁場は、所属する漁協単位で船団を組み同一海域であることが多いことから、各漁協を代表する標本船のデータをもとにして全体のひきのばしを行った。Table 24 にその結果を示した。以下、1989年4月から1990年3月までのデータを使って試算した。

4-3-1-2 漁期別の投棄による資源減耗の試算

冬漁期 (11月から3月) の減耗 ズワイガニを対象とした操業は、水深約 230~350 m 域で行われている。この水深帯で囲まれた漁場面積 (G) は 1,540 km² である (Table 23)。したがって、(4) 式の投棄直後の生残率、操業回数 (z) および z 回の操業が行われた後の生残率 (S_z) は Fig. 46 のように表せる。1989年11月から1990年3月までに当漁場で行われた操業回数は約 8,000 回であった (Table 24)。一方、この期間の投棄直後の生残率は甲殻の硬い個体ではほぼ 1.00 であったが、脱皮直後の個体はほと

Table 24. Number of hauls of Danish seine in the sea off Kyoto Prefecture by fishermen's log records.

Date	Depth (m)										
	200-220	220	230	240	250	260	270	280	290	300-400	400-
Apr. 1989	439	138	145	140	112	69	60	0	0	0	0
May	297	166	233	151	262	233	109	71	33	13	0
Apr. - May	736	304	378	291	374	302	169	71	33	13	0
Sep.	4	11	2	0	0	0	0	0	0	18	702
Oct.	50	91	30	4	0	0	0	2	0	181	486
Sep. - Oct.	54	102	32	4	0	0	0	2	0	199	1,188
Nov.	0	3	152	619	565	1,261	501	49	6	53	0
Dec.	9	17	110	235	381	540	664	303	88	70	0
Jan. 1990	195	22	41	122	261	201	29	6	17	9	0
Feb.	328	65	49	138	305	237	142	112	51	36	0
Mar.	130	54	137	160	278	88	29	7	0	0	0
Nov. - Mar.	662	161	489	1,274	1,790	2,327	1,365	477	162	168	0

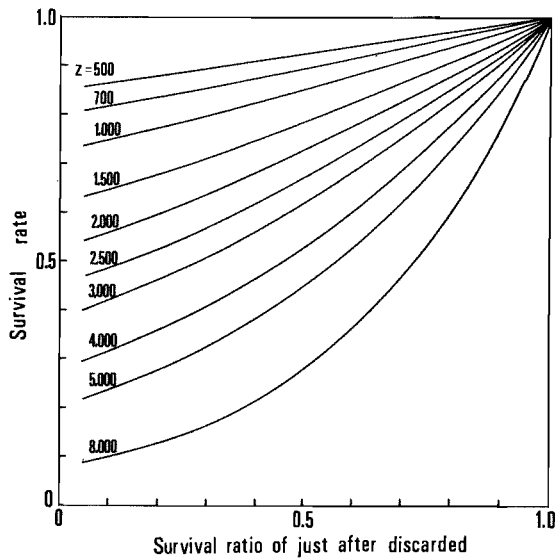


Fig. 46. Relationship between survival rate (fishing season period⁻¹) and survival ratio just after discarded, under conditions after from 500 to 8,000 operations of Danish seine in the fishing ground from 230 m to 350 m depths (1,540 km²).

んど全てが死亡していた。この期間に入網するカニは平均的にみると、全体の約10%が脱皮直後の個体であったこと、また、上述したように船上でのカニの取扱い方などから、投棄直後の生残率はここでは0.85~0.90として試算する。以上の条件をもとに、生残率 (S_2) は0.68~0.77と試算され、11月から3月までに約8,000回の操業が行われ、

海中投棄されることにより漁期始めの初期資源の23~32%が減耗していると推定された。

春漁期(4月から5月)の減耗 この期間は、アカガレイを対象にした操業でズワイガニが入網し投棄される。アカガレイを対象とした操業は中でも水深220~260 m域で多く行われており、漁場面積 (G) は約500 km²である

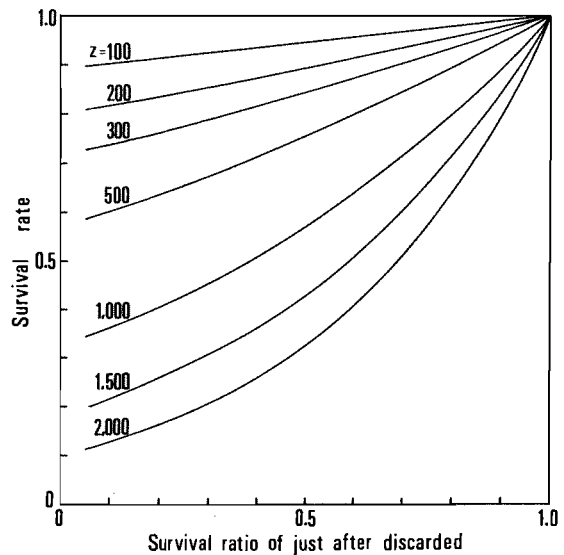


Fig. 47. Relationship between survival rate (fishing season period⁻¹) and survival ratio just after discarded, under conditions after from 100 to 2,000 operations of Danish seine in the fishing grounds from 220 m to 260 m depths and from 330 m to 400 m depths (500 km²).

(Table 23)。したがって、(4) 式の関係は Fig. 47 のように表せる。当期間の水深 220~260 m 域での操業回数 (x) は、約1,600回であった (Table 24)。また、投棄直後の生残率は、雄が0.90、成体および未成体雌が0.96であったが、この場合も多少過大評価をしている可能性が強いため、ここでは0.80~0.90として試算する。Fig. 47 から、この期間の生残率 (S_2) は0.70~0.83と試算され、4月から5月にアカガレイを対象とした操業により、17~30%の資源が減耗していると推測された。

秋漁期 (9月から10月)の減耗 9月1日からズワイガニ漁解禁前日までの期間は、漁業者の自主規制により、水深 200~330 m 域での操業が禁止されている。したがって、当期間で問題なのは、水深 330 m 以深でのアカガレイおよびホッコクアカエビを対象とした操業である。アカガレイを対象とした操業は水深約 900 m にまでおよび、ズワイガニが混獲されるのは、標本船の操業日誌から水深 400 m までと判断された。水深 330~400 m 域の漁場面積は、4月から5月の場合とほぼ同じである。したがって、(4) 式の関係は Fig. 47 と同様である。一方、操業回数は約150回と他の漁期に比べ少なかった。投棄直後の生残率は雄が0、成体雌が0.03、そして未成体雌が0.15と全体的に極めて低くなっていたが (Table 22)、これも全体的には過大評価と考えられるので、ここでは0~0.10として試算する。Fig. 47 から、生残率 (S_2) は0.84~0.86と試算され、9月から10月にアカガレイおよびホッコクアカエビを対象とした操業により、約15%の資源が減耗していると推測された。

以上述べた各漁期中の減耗状況から、年間の生残率 (S_2) は0.40~0.55と試算された。すなわち、年間の投棄による減耗は、単純に試算すると初期資源の45~60%におよぶものと推定された。ここでは、底曳網による資源の間引き率は一定と仮定し、漁場面積、努力量および投棄直後のカニの生残率をもとに、投棄による資源の減耗を試算した。第2章で述べたように、カニは均一に分布するのではなく、スケールや密度の異なるパッチを作って分布する。また、パッチを構成する性比やカニの大きさは、わずかな水深帯などの違いにより異なる (山崎ほか, 1993b)。したがって、資源の減耗をより正確に論議するには、カニの分布状況を時期や水深帯および水平的な広がりも考慮して試算されることが望まれる。

第5章 生態特性と漁業実態からみた 漁業のあり方に関する考察

ズワイガニ資源管理の方策を、これまで明らかにした生

態特性および漁業実態から総合的に検討した。本章では、資源管理がとくに必要と考えられる再生産を保障するための方策と、投棄による資源の減耗を軽減するための方策の2点について考察を行った。

5-1 再生産を保障するための提言

第3章で述べたように、カニ漁期解禁直前の経産卵雌資源のうち約35%しか再生産に寄与していないことが明らかにされた。本節では、経産卵雌を保護して再生産を確保するという観点から、資源管理のあり方について検討する。現時点で考えられる経産卵雌を保護する方策は、①雌の全面漁獲禁止、②漁期の短縮、③禁漁区の設定の3項目が考えられ、以下これらについて、成体雌の資源生物学的特性および漁業の実態をもとに考察する。

雌の全面漁獲禁止 ズワイガニの中でも雌は、特定の海域に集中して分布する傾向がある (山崎ほか, 1985)。そのため、雌の一曳網当たり漁獲量は漁期の前半には比較的多く、雌はいわゆる「漁獲しやすい」銘柄となっている (福井県水試ほか, 1972)。京都府のように15トン未満の小型底曳網が主体の経営体では、一経営体当たりの全漁獲金額に占める雌の割合は、高いところで約20%、低いところでも約10%におよんでいる。漁業経営を無視し、資源生物学的な立場だけから漁業規制を強制するのは非現実的であり、雌の全面的な漁獲禁止の実行は現状の漁業形態からかなり困難と考える。

一方、ズワイガニの雄だけの漁獲が許可されているカナダセントローレンス湾では、雌を保護しているにもかかわらず、漁獲量は経年的に減少している (RIVARD *et al.*, 1988)。同じ傾向は、日本海のベニズワイガニ *C. japonicus* 漁業でもみられている (富山県水試ほか, 1988)。これらのことは、雌の漁獲を禁止しただけでは、資源の増大には思うような効果が期待できないことを示唆している。したがって、当漁業規制が資源の回復にどの程度効果があるのかを、今後さらに検討する必要があると考える。

漁期の短縮 雌に対する漁獲努力量を軽減するためのひとつの方法には、現在設定されている漁期をさらに短縮することがある。雌に対する間引きは解禁直後の短期間に集中するため、大幅な漁期短縮策を講じなければ有効な対策にはならない。例え、雌の漁期だけを短縮しても、“たてガニ”や“水ガニ”を対象とした操業が行われれば、雌が混獲され十分な効果は期待できない。上述した雌の全面漁獲禁止の規制についても、仮に実行されても同じように混獲による減耗が生じる。

禁漁区の設定 田中 (1960) は禁漁区の理論として、ある時期に魚群が特定の小海域に、とくに濃密に群がるよう

なときの資源管理について、次のように述べた。もしその小海域に漁業が集中すれば、同じ操業回数でも漁業の強さは著しく高くなる。このことは、魚群に対して極めて重大な影響を与える可能性があるため、この海域もしくはその一部を禁漁区にすることが望ましいとした。上述したように、経産卵雌は特定の海域に集中するような分布様式をもち(山崎ほか, 1985), さらに底曳網の操業もその海域に集中した。再生産をある程度確保するには、経産卵雌が集中して分布する海域の一部を操業禁止区域に設定することが、最も効率的な方策と考える。

ここでは、十分な再生産を確保するために経産卵雌だけの保護を考えてきた。しかし、初産卵前の1回の交尾だけでは、その後の産卵での受精率が低下し、正常なふ化が行われないことがオオズワイガニで報告されている(PAUL, 1984)。ズワイガニでは経産卵前の交尾が確認されていることから(TAYLOR *et al.*, 1985; CONAN and COMEAU, 1986; CONAN *et al.*, 1988; HOOPER, 1986; MORIYASU *et al.*, 1987; ENNIS *et al.*, 1988; COMEAU and CONAN, 1992), 十分な再生産を確保するには経産卵雌の保護とともに、交尾の過程についても積極的に保護する必要があると考える。日本海西部海域における経産卵期は2月から3月である(伊藤, 1963, 1967; 今・本間, 1970; 山崎ほか, 1985)。交尾が行われる時期はカニ漁期と重複するため、とくにその保護が必要となる。この時期には、交尾のため経産卵雌と成熟雄のバッチとが同一海域に集群する傾向がみられる(山崎ほか, 1993b)。そのため、時期を限って禁漁区を設定することで、経産卵雌の保護を行い、分布密度を増加させることにより、交尾の機会を増すことが可能である。

5-2 投棄による資源減耗を軽減するための提言

底曳網によるズワイガニ漁業には、ズワイガニ資源の保護を目的として漁期や採捕禁止個体の設定などの漁業規制が実施されている(Table 1)。しかし、実際の底曳網漁業の操業実態をみると、冬漁期(11月から3月)、春漁期(4月から5月)および秋漁期(9月から10月)を問わず、ズワイガニが息息する水深帯で操業が行われれば、大小のカニが混獲される。それらはゴミと一緒に海中投棄されており、これにより初期資源の約50%が減耗していることを前章で指摘した。すなわち、現行の漁期および採捕禁止個体の規制では、資源を保護する上で必ずしも十分には機能していない。今日の資源悪化を引き起こした原因としては、乱獲とともに、未利用のまま投棄される資源の減耗も大きな原因と判断される。資源を回復させるためには、投棄による減耗を極力軽減することは極めて重要と考えられる。そのため、Fig. 46, 47 に示したように混獲した

未利用カニ資源の再放流を行い、その生残率を引き上げるか、努力量を削減することが考えられる。

未利用資源の再放流による生残率の引き上げ 混獲後投棄されるカニの生残率を引き上げるには、少なくとも船上に揚げられてから投棄されるまでの時間を短縮すること、そして極力丁寧に取り扱った上で投棄することである。すなわち、ゴミとして“投棄”するのではなく、有効な資源として利用できるように“再放流”するという意識が、関係漁業者には必要となる。以下、本節では再放流と呼ぶ。再放流直後の生残率は、水温や気温の高低に左右されるため、季節により異なる。例えば、水温や気温が低い冬季では、脱皮後間もない個体を除けば、生残率は1.0もしくはそれに近い値であった。また、漁期中(11月から3月)に漁獲されたカニは、トロ箱に砕氷と一緒に入れられ、出荷されるまでの間船倉に保管される。この場合、漁獲から出荷までに数時間が経過しているにもかかわらず、ほぼ100%が生き残っている。このことは、冬季においてはカニの取扱いを丁寧に行えば、多少再放流までの時間を要したとしても、資源の大きな損害にはならないことを示している。

一方、水温や気温が高い初夏から秋季にかけては、丁寧な取扱いに加え船上での時間をできる限り短縮する必要がある。通常底曳網の操業では、カニが船上に揚げられてから再放流されるまでの時間は、その間に次の操業準備、ロープ・漁網の投入そして漁獲物の選別などの一連の作業が行われるため、最低20~30分程度である。積極的に迅速かつ丁寧な再放流を行うことは、乗組員の人手不足により、現在のところ極めて困難な状況にあると考えられる。また、秋季には脱皮直後の個体の出現割合がとくに高い。このような個体は入網時に他の漁獲物の圧力により甲殻が割れたり、鉗脚や歩脚が破損して、船上に揚げられたときには大部分が死亡している。したがって、初夏から秋季にかけては、再放流個体の生残率を引き上げることは、かなり厳しい。

努力量の削減 再放流直後の生残率の引き上げが困難な場合には、努力量の削減が行われなければならない。努力量をどの程度削減すれば良いのかは、再放流直後の生残率および一曳網当たりの再放流個体数の違いにより検討する必要がある。とくに再放流直後の生残率が低かったり、一曳網当たりの再放流個体数が多い時期には、大幅な努力量削減が必要となる。9月から10月のように脱皮直後の個体の出現頻度が高く、表面水温や気温が高く再放流直後の生残率が極めて低い時期には、ズワイガニが息息する海域での操業は全面的に禁止されるべきである。この時期には、雄では甲幅90mm以上の個体の占める割合が他の時期に

要 約

比べ高い (Fig. 44)。ズワイガニ漁は11月上旬から始まるが、漁期を前にして漁獲の対象となる資源に大きな損害がおよぶことは、資源の有効利用の面からは“不合理的な混獲”である。それは、ズワイガニ漁獲量の減少を引起す直接的な原因にもつながる。現在、京都府沖合海域では資源保護を目的として関係漁業者の自主的な規制により、9月1日からカニの解禁前日までの期間、水深200~330 m域での操業は一切禁止されている。この自主規制は、この時期のズワイガニ資源の減耗を解消する点で十分に評価される内容である。

4月から5月の場合について考察する。当期間での一曳網当たり再放流個体数は水深帯により多少異なったが、全体的に多かった水深230~240 m域での平均個体数は雌雄合わせると約1,000個体であった (Table 19)。再放流直後の生残率は、平均的には約0.90と高い値を示した (Table 22)。しかし、当期間の死亡個体数を概略的に計算すると、一曳網当たり死亡数が約100個体であるから、これに当水深帯での操業回数 (約700曳網) をかけると約70,000個体となる。再放流直後の生残率は多少過大評価されている可能性があるため、実際にはこれ以上の死亡が起こっている。京都府沖合海域で府内の漁船による“たてガニ”と“水ガニ”の推定漁獲個体数は、1989年から1992年で約82,000~131,000個体であった (山崎ほか, 1993a)。4月から5月の投棄による死亡個体数は、漁期中に漁獲される雄の個体数にほぼ匹敵する。特定海域にとくに濃密に分布し、その海域で集中的な漁獲圧が加えられる場合、その海域を禁漁区に設定することが、資源管理を行う上で最も有効な方法と考えられる。4月から5月のように、再放流直後の生残率が比較的高くても、カニが多く分布する海域で操業が頻繁に行われるようなら、その海域での操業は禁止にすることが必要である。

投棄による資源の減耗を軽減するためには、再放流直後の生残率が高く、しかも再放流個体数が少なれば大きな問題は生じない。再放流直後の生残率が極めて低かったり、再放流個体数が非常に多い場合には、特定の海域を禁漁区に設定することが、最も有効的な措置と考えられた。

ズワイガニ資源を底曳網漁業で安定的に利用していくための資源管理の方策としては、“禁漁区の設定”が最も有効であると考えられる。とくに、適性な再生産量を維持する目的や、未利用資源の投棄による資源減耗を防ぐのに有効である。禁漁区の最適な空間規模、時期については、カニの生態特性とくに再生産過程、分布構造などと漁業実態から検討されなければならないと考える。

本研究では、底曳網漁業の最重要資源であるズワイガニの脱皮・成長や分布特性などの生物学的特性やこれまで報告のなかった資源学的特性を明らかにするとともに、現在のズワイガニ漁業の問題点を解明した。その結果をもとにして、資源の保護と健全な管理を行うための方策を検討した。これらの結果の要約は次のとおりである。

1 ズワイガニ漁業の概要

(1) 日本海西部海域の底曳網によるズワイガニ漁業には、資源の保護を目的として漁期や漁獲禁止個体の設定および1航海当たり漁獲量の制限などの規制が課せられている。一方、漁獲量は1964年以降1971年までは10,000トン前後を保っていたが、1972年から1975年にかけて急減し、以降1980年代前半まで3,000トン前後で推移した。それ以降も減少傾向を続けており、1990年には1,500トン前後となった。このような漁獲量の著しい減少傾向が続いていることから、現在設定されている漁業規制は資源保護には有効に機能していないことが示唆された。

(2) 京都府沖合海域の底曳網漁場は、水深約100~900 mの範囲に形成されており、対象とする魚種により操業される水深帯が異なっている。ズワイガニが生息する水深約200~400 mの水深帯では、冬漁期 (11月から3月) はズワイガニ、春漁期 (4月から5月) はアカガレイ、そして秋漁期 (9月から10月) はアカガレイおよびホッコクアカエビを対象とした操業が行われている。

2 ズワイガニの漁業生物学的研究

(1) 本種雄の第2小顎 (2nd maxilla) の基節 (basipodite) の縁辺部の新旧の表皮 (epidermis) および剛毛 (seta) の形成状況をもとに脱皮ステージを決定した。そして、甲幅60 mm以上の雄の脱皮ステージの月別出現状況を調べた。雄の脱皮・成長は、従来は死亡するまで脱皮をとまなう成長を続けるとされていたが、雄にも雌と同じように最終脱皮が存在することが明らかとなった。最終脱皮を終えた雄は甲幅に対して鉗脚高が相対的に高く、終えていない雄は甲幅に対して鉗脚高が相対的に低い。甲幅60 mm以上の雄の脱皮は1年に1回、9月から10月頃に行われる。最終脱皮後の寿命は4年と考えられた。

(2) 雄の甲幅と鉗脚高の相対成長から、甲幅別の最終脱皮個体の割合を調べた。その割合は、甲幅60~100 mmでは0.3~29.4%と低かったが、甲幅100 mm以上では56.9%以上になり、甲幅130 mm以上では100%であった。甲幅60 mm以上では4つの齢期が存在し、これらの

平均甲幅は 67.4 mm, 91.2 mm, 111.1 mm および 130.2 mm と推定された。従来の報告では、甲幅 60 mm 以上には 8 つ以上の齢期が存在するとされている。しかし、最終脱皮の存在、従来の水槽飼育や標識放流結果から計算された脱皮成長率をもとにすると、本研究の齢期群分離の妥当性が推察された。

(3) 漁獲される雄は、“たてガニ” (hard shell) と“水ガニ” (soft shell) の 2 つの銘柄に区分けされている。“たてガニ”として漁獲されるのは、最終脱皮を終えて少なくとも約 1 年以上経過した個体だけである。一方、“水ガニ”には脱皮後少なくとも 1 年以内の最終脱皮個体と未最終脱皮個体とが混在していることが判明した。

(4) 1985 年 8 月, 10 月および 11 月に京都府沖合の水深 220~290 m 域で桁曳網調査を行い、雌雄の分布状況を調べた。甲幅 10~40 mm の雌雄は、特定の水深帯に偏って分布する傾向は示さない。甲幅 50~80 mm の雄および甲幅 50 mm 以上の未成年雌は、水深 240 m 域に多く分布した。甲幅 90 mm 以上の雄は水深 270 m 以深に多く、成体雌は水深 240 m 域にとくに多く分布した。成熟した雌雄は、水深の違いにより生息域を異にした。この結果は従来の知見と一致した。

(5) 1990 年 5 月に京都府沖合の水深約 240 m 域でカニかごを使った調査を行い、雌雄の分布特性を検討した。雌雄は、同じ水深帯においても水平的な広がりの中で分布域を異にしていた。雌でも成体と未成年雌では分布域を異にした。この傾向は、5,000 m 以内のせまい範囲内でも認められた。ズワイガニは密度や大きさの異なるパッチを形成して分布する。ひとつのスケールの大きいパッチ状分布の中には、さらに密度の高い小さいスケールのパッチ状分布がいくつか認められた。雄では、スケールの大きいパッチの平均は 1,083 m, 小さいパッチの平均は 126 m であった。成体雌では大きいパッチは約 1,400 m もしくは 2,600 m 以上、小さいパッチの平均は 138 m, 未成年雌ではそれぞれ 588 m, 144 m であった。パッチ内とその周辺に密度差を一かごの採捕個体数の変動係数 (偏差²/平均値) で調べたところ、成体雌では高く、雄と未成年雌では低かった。

(6) 1986 年 10 月から 11 月, 1988 年 10 月および 1990 年 7 月に水深 235~250 m 域でカニかご調査を行い、初産卵期の雌雄の分布特性を検討した。雌は水深 243~244 m を境に浅所では初産卵個体、深所では経産卵個体が卓越し、両者はわずかな水深の違いで分布域を異にした。雄は、同水深を境に浅所では甲幅の小さい個体、深所では大きい個体が卓越した。当期間には、雄と初産卵雌のパッチが同一海域に形成された。これは、初産卵前の交尾行動にともなうも

のと考えられた。水深 250 m 以浅では、初産卵前の交尾には甲幅 65~70 mm の未最終脱皮雄が参加すると推察された。雄は、約 400 m および 1,100 m 以上のスケールの大きいパッチの中に、平均 143 m のスケールの小さいパッチをいくつか形成した。初産卵雌では、スケールの大きいパッチは約 500 m もしくは 1,000 m 以上、小さいパッチの平均は 140 m であった。経産卵雌ではそれぞれ約 2,100 m 以上, 155 m であった。

(7) 1992 年 11 月, 12 月および 1993 年 3 月に水深約 270 m 域でカニかご調査を行い、経産卵期の雌雄の分布特性を検討した。経産卵雌と初産卵雌は、同じ水深帯でも水平的な広がりの中で明瞭に生息域を異にした。雄では、最終脱皮を終えて 1 年以上経過した甲殻の硬い個体と脱皮後間もない甲殻の柔らかい個体とは、生息域を異にする傾向がみられた。大型の最終脱皮雄と経産卵雌のパッチが同一海域に形成されており、これは経産卵前の交尾行動によるものと考えられた。甲殻の硬い雄は、平均 1,167 m のスケールの大きいパッチを形成し、その中には平均 157 m のスケールの小さいパッチを形成した。甲殻の柔らかい雄では、スケールの大きいパッチは平均 1,067 m および 2,600 m 以上で、スケールの小さいパッチは平均 127 m であった。経産卵雌および初産卵雌では、それぞれ 1,600 m, 192 m および 1,100 m, 117 m であった。

3 ズワイガニの資源特性

(1) 雌の漁期である 1986 年 11 月 6 日から 1987 年 1 月 31 日までの漁獲状況を整理した。雌の漁獲は解禁直後の 5 日間で漁期中の約 65%, 10 日間までには約 75% が漁獲されており、解禁直後の短期間に漁獲が集中していることが明らかとなった。雌の主漁場は、水深 240~250 m の特定海域であった。

(2) 1986 年の休漁期中に標識放流された成体雌の漁期中の再捕結果から、自然死亡係数は $0.073 \text{ (year}^{-1}\text{)}$ と推定された。最終脱皮を終え甲殻硬度が高い個体の自然死亡は、府外への逸散を含めてもごくわずかなものであった。漁獲死亡係数は $1.0179 \text{ (year}^{-1}\text{)}$ と推定された。これらの資源特性値をもとに、漁期前の雌資源のうち幼生のふ化に成功し再生産を行ったのは、全体の約 35% と推測された。現在の漁業では再生産が行われる前の短期間に集中して雌を漁獲していることから、雌に対する現行の漁期および漁獲禁止個体の設定などの規制は、資源保護にとっては必ずしも十分には機能していないと考えられた。

(3) 最終脱皮が存在し、ひとつの齢期に複数年級群が蓄積されている場合の、雄の最終脱皮後の生残率の推定方法について検討した。生残率を推定するための特性値とし

て、甲幅 60 mm 以上の 4 つの齢期群の最終脱皮個体の出現割合を、1989年 3 月から 1990年 11 月までの資料で調べた。その結果、最終脱皮個体の割合は、平均甲幅 67.4 mm 群が 4.2%、91.2 mm 群が 29.5%、111.1 mm 群が 64.1%、そして 130.2 mm 群が 99.1% であった。各齢期に加入して 1 年以内の単一年級群の最終脱皮個体の割合は、それぞれ 1.4%、17.3%、40.8% および 85.5% であった。齢期別の最終脱皮個体の割合は、大きい齢期ほど高かった。

(4) 平均甲幅 91.2 mm および 111.1 mm 群の最終脱皮後 1 年以上経過した個体の生残率は、それぞれ 0.58、0.71 (year^{-1}) と推定された。この値は雌のそれよりも高い。これは、雄は雌のように特定海域に集中分布する特性をもたないために、漁獲死亡が少ないためと考えられた。平均甲幅 111.1 mm および 130.2 mm 群の最終脱皮後 1 年以内の生残率は、それぞれ 0.43、0.35 (year^{-1}) と推定された。同一齢期の生残率は、最終脱皮後 1 年以上経過した個体が 1 年以内の個体に比べて高いことが分かった。

4 底曳網漁業がズワイガニ資源におよぼす影響

(1) 底曳網で混獲され海中投棄されているズワイガニの漁期別水深別の平均個体数を調査した。一曳網当たり平均投棄個体数は、多いときには雌雄で約 1,500 個体、少ないときでも約 100 個体と多かった。とくに、春漁期と冬漁期の水深 230~240 m 域で多かった。投棄されているカニは、雄では甲幅 50 mm、70 mm および 90 mm 前後にモードをもつ齢期群、雌では甲幅 50 mm、70 mm 前後にモードをもつ未成体群と甲幅 80 mm 前後にモードをもつ成体群が主体であった。これらは、1~2 年後には漁獲の対象になる齢期群と推定した。

(2) 投棄された直後のカニの生残率は、12 月から 3 月では 0.71~1.0、4 月から 5 月では 0.87~0.99 と高いが、10 月では 0~0.15 と極端に低い。この生残率は海面水温および気温の高低、脱皮後の経過時間の長短により異なった。すなわち、生残率は海面水温や気温が高いときには低く、水温・気温が低いときには高い。脱皮直後で甲殻硬度の低い個体の生残率は極めて低い。

(3) 漁場面積、底曳網の掃過面積、漁獲効率、努力量および投棄直後の生残率などの特性値をもとに、1989年 4 月から 1990年 3 月までの海中投棄による資源の減耗を検討した。その結果、春漁期には初期資源の 17~30%、秋漁期には 15%、そして冬漁期には 23~32% が減耗していると試算された。年間の減耗率は、初期資源の 45~60% にもおよぶと推定された。このような投棄による減耗が今日の資源悪化のひとつの大きな原因と考えた。

5 生態特性と漁業実態からみた漁業のあり方に関する考察

(1) 本研究で明らかにした生態特性と漁業実態から、ズワイガニ資源の管理方策として再生産を保障することと投棄による資源減耗を軽減することを考えた。再生産を保障するための方法には、雌の漁獲を全面的に禁止すること、現在の漁期をさらに短縮すること、そして禁漁区を設定することの 3 つが考えられた。一方、投棄による資源減耗を軽減するための方法としては、未利用資源を再放流することにより生残率を高めること、漁獲努力量を削減することの 2 つが考えられた。それには、禁漁区の設定が最も効果的であることを提案した。禁漁区の最適な空間規模や時期は、本種の生態特性とくに再生産過程、分布構造などと漁業実態から検討する必要がある。

文 献

- ADAMS, A.E. and PAUL, A.J.. 1983. Male parent size, sperm storage and egg production in the crab *Chionoecetes bairdi* (Decapoda, Majidae). *Int. J. Invert. Reprod.*, **6**: 181-187.
- BERRILL, M. and ARSENAULT, M.. 1982. Mating behavior of the green shore crab *Carcinus maenas*. *Bull. Mar. Sci.*, **32**: 632-638.
- BROWN, R.B. and POWELL, G.C.. 1972. Size at maturity in the male Alaska tanner crab, *Chionoecetes bairdi*, as determined by chela allometry, reproductive tract weights, and size of precopulatory males. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **29**: 423-427.
- COMEAU, M., CONAN, G.Y., ROBICHAUD, G. and JONES, A.. 1991. Life history patterns and population fluctuations of snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the fjord of Bonne Bay on the west coast of Newfoundland, Canada from 1983 to 1990. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences, No. 1817: 73 pp.
- COMEAU, M. and CONAN, G.Y.. 1992. Morphometry and gonad maturity of male snow crab, *Chionoecetes opilio*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**: 2460-2468.
- CONAN, G.Y. and COMEAU, M.. 1986. Functional maturity and terminal molt of male snow crab, *Chionoecetes opilio*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **43**(9): 1710-1719.
- CONAN, G.Y., MORIYASU, M., COMEAU, M., MALLET, P.,

- CORMIER, R., CHIASSON, Y. and CHIASSON, H.. 1988. Growth and maturity of snow crab (*Chionoecetes opilio*). *Proc. Int. Workshop Snow Crab Biology*, No. 2005 : 45-59.
- DIESEL, R.. 1986. Optimal mate searching strategy in the symbiotic spider crab *Inachus phalangium* (Decapoda). *Ethology*, **72** : 311-328.
- DONALDSON, W.E. and HICKS, D.M.. 1977. Technical report to industry on the Kodiak crab population surveys results, life history, information and history of the fishery for tanner crab. Alaska Dept. Fish Game, 168 pp.
- ENNIS, G.P., HOOPER, R.G. and TAYLOR, D.M.. 1988. Functional maturity in small male snow crab (*Chionoecetes opilio*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **45** : 2106-2109.
- 藤田 轟・竹下貢二・松浦修平. 1988. ズワイガニ2種の鋏の相対成長と性成熟. 甲殻類の研究, **17** : 7-13.
- 福井県水産試験場. 1971. ズワイガニの漁業生物学的研究. 福井水試報告, **64** : 120 pp.
- 福井県・兵庫県・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, 66 pp.
- 福岡二郎. 1962. 日本海の海況の特性. 太平洋と比較して. 日本海洋学会誌, **20** : 180-188.
- HOOPER, R.G.. 1986. A spring breeding migration of the snow crab (*Chionoecetes opilio*) into shallow water in Newfoundland. *Crustaceana*, **50** : 257-264.
- 石田敏則. 1991. 海洋観測表 (資料). 福島県水産試験場.
- 石川・福井・京都・兵庫・鳥取・島根・山口県. 1989. 昭和63年度日本海西ブロック広域型資源培養管理推進事業報告書, 76 pp.
- 石川・福井・京都・兵庫・鳥取・島根・山口県. 1990. 平成元年度日本海西ブロック広域型資源培養管理推進事業報告書, 88 pp.
- 石川・福井・京都・兵庫・鳥取・島根・山口県. 1991. 平成2年度日本海西ブロック広域型資源培養管理推進事業報告書, 53 pp.
- 伊藤勝千代. 1957. ズワイガニの腹および脚長節の相対成長とその段階について. 日水研年報, **3** : 117-129.
- 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. 日水研研報, **11** : 1-12.
- 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. 日水研研報, **17** : 67-84.
- 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—II. 甲幅組成および甲殻硬度の季節変化から推定される年令と成長について. 日水研研報, **22** : 81-116.
- 伊藤勝千代・小林敏男. 1967. ズワイガニの成体雌がさらに脱皮すると思われる特異な標本について. 日水研研報, **18** : 127-128.
- JEAN, Y.. 1963. Discards of fish at sea by Northern New Brunswick draggers. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **20** (2) : 497-524.
- 柿元 皓・刀禰敏彦. 1966. ズワイガニ調査. 昭和39年度新潟県水産試験場事業報告 : 82-99.
- 菅野泰次. 1975. オホーツク海のズワイガニ漁獲物の令期組成について. 日水誌, **41** (4) : 403-411.
- 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. 日水誌, **53** (5) : 733-738.
- 北沢博夫・大阿久俊郎. 1982. 若狭湾における小型底びき網漁業の投棄魚について. 日水誌, **48** (8) : 1089-1093.
- 小林啓二. 1965. ズワイガニ調査報告書. 鳥取水試, 33 pp.
- 小林啓二. 1983. 水槽飼育によるズワイガニの産卵・ふ化と, 幼生から成体までの飼育過程について. 栽培技研, **12** (1) : 35-45.
- 小林敏男. 1966. ズワイガニ調査報告書. 兵庫水試, 67 pp.
- 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. 日水誌, **34** (2) : 138-142.
- 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. 日水誌, **35** (7) : 624-628.
- 今 攸・本間義治. 1970a. 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. 日水誌, **36** (10) : 1021-1027.
- 今 攸・本間義治. 1970b. 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. 日水誌, **36** (10) : 1028-1033.
- 今 攸. 1980. ズワイガニ *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) の生活史に関する研究. 新潟大学理学部付属佐渡臨海実験所特別報告, 第2集 : 1-64.
- 日下部敬之・辻野耕實・安部恒之. 1990. 大阪湾における小型底びき網投棄物の実態について. 第22回南西海区ブロック内海漁業研究会報告, 74-81.

- MATSUURA, S. and TAKESHITA, K.. 1987. Interspecific mating and egg laying in tanner crab, *Chionoecetes bairdi* × *C. opilio* (Abstr.). XVI Pacific Science Congress, 164.
- MCBRIDE, J.. 1982. Tanner crab development and tagging experiments 1978-1982. *Proc. Int. Symp. Genus Chionoecetes*. Alaska Sea Grant No. 82-10: 383-403.
- MILLER, R.J. and WATSON, A.. 1976. Growth per molt and limb regeneration in the spider crab, *Chionoecetes opilio*. *J. Fish. Res. Board. Can.*, **33**: 1644-1649.
- 森由基彦. 1984. 小型機船底曳網漁船の投棄魚について— I. 投棄の実態について. 大分水試研報, **11**: 62-67.
- MORIYASU, M. and MALLET, P.. 1986. Reading molt stages of the snow crab *Chionoecetes opilio* by observation of morphogenesis of setae on the maxilla. *J. Crust. Biol.*, **6**(4): 709-718.
- MORIYASU, M., CONAN, G.Y., MALLET, P., CHIASSON, Y. and LACROIX, H.. 1987. Growth at molt, molting season and mating of snow crab (*Chionoecetes opilio*) in relation to functional and morphometric maturity. *Int. Coun. Explo. Sea*, CM 1987 K: 22: 1-14.
- 中島博司. 1986. 標識実験からみたクルマエビの越冬期中の自然死亡. 日水誌, **52**(10): 1759-1764.
- 能勢幸雄. 1961. 標識率法による東京湾北部のマハゼ資源量の推定. 日水誌, **27**(8): 793-800.
- 尾形哲男. 1974. 日本海のズワイガニ資源. 水産研究叢書, **26**, 61 pp. 日本水産資源保護協会, 東京.
- 大澤一爽. 1984. 甲殻類の実験. 共立出版, 東京: 43-45.
- PAUL, A.J.. 1984. Mating frequency and viability of stored sperm in the tanner crab *Chionoecetes bairdi* (Decapoda, Majidae). *J. Crust. Biol.*, **4**(3): 375-381.
- PAUL, A.J. and ADAMS, A.E.. 1984. Breeding and fertile period for female *Chionoecetes bairdi* (Decapoda, Majidae). *J. Crust. Biol.*, **4**(4): 589-594.
- RIVARD, D., MCKONE, W.D. and ELNER, R.W.. 1988. Resource prospects for Canada's Atlantic fisheries, 1989-1993. 212-223.
- SINODA, M.. 1968a. Studies on the fishery of zuwai crab in the Japan Sea-I. The growth. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **34**(3): 185-190.
- SINODA, M.. 1968b. Studies on the fishery of zuwai crab in the Japan Sea-II. Rate of exploitation and efficiency of seining operation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **34**(5): 391-394.
- SINODA, M. and KOBAYASHI, T.. 1968. Studies on the fishery of zuwai crab in the Japan Sea-IV. Survival rate of female crab. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **34**(8): 257-264.
- SINODA, M., SANO, Y., KATO, Y. and KANDA, K.. 1969. Studies on the fishery of zuwai crab in the Japan Sea-V. On the estimation of swept area of Danish Seine. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **35**(7): 648-652.
- SINODA, M.. 1970. Non-frustrative predation of zuwai crab in southwest Japan Sea. Doctoral thesis, Kyoto university, 1-137.
- SINODA, M.. 1982. Fisheries for the genus *Chionoecetes* in the southwest Japan Sea. *Proc. Int. Symp. Genus Chionoecetes*. Alaska Sea Grant No. 82-10: 21-39.
- SINODA, M. and KOBAYASHI, T.. 1982. Some effects of long-term exploitation of *Chionoecetes opilio* stock in the southwest Japan Sea. *Proc. Int. Symp. Genus Chionoecetes*. Alaska Sea Grant No. 82-10: 421-441.
- 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, 1-7.
- 田中昌一. 1960. 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東水研研報, **28**: 1-200.
- 谷岡克己. 1962. 日本海の高況 (II). 日本海にみられる冷水域・暖水域及び交かん水について. 海と空, **38**: 115-128.
- TAYLOR, D.M.. 1982. A recent development in tagging studies on snow crab, *Chionoecetes opilio* in Newfoundland-retention of tag through ecdysis. *Proc. Int. Symp. Genus Chionoecetes*. Alaska Sea Grant No. 82-10: 405-417.
- TAYLOR, D.M., HOOPER, R.G. and ENNIS, G.P.. 1985. Biological aspects of the spring breeding migration of snow crab, *Chionoecetes opilio*, in Bonne Bay, Newfoundland (Canada). *Fish. Bull.*, **83**(10): 707-711.
- TAYLOR, D.M. and HOENING, J.M.. 1990. Growth per molt of male snow crab, *Chionoecetes opilio* from Conception and Bonavista Bays, Newfoundland. *Fish. Bull.*, **88**: 753-760.
- TEISSIER, G.. 1935. Croissance des variants sexelles chez *Maja squinado*. *Trav. Sta. Biol. Roscoff*, **13**: 93-130.
- 東海 正. 1993. 瀬戸内海における小型底びき網漁業の資源管理. 投棄魚問題と網目規制. 南西水研研報,

- 26 : 31-106.
- 富山県・島根県・鳥取県水産試験場. 1988. ベニズワイの資源と生態に関する研究報告書. 日本海産重要カニ類の資源と生態に関する研究, 1-108.
- 堤 裕昭・田中雅生. 1988. 体長頻度分布データからの世代解析. 資源解析プログラム集. 東海区水産研究所, 189-207.
- 内野 憲・清野精次・傍島直樹. 1982. 若狭湾経ヶ岬以西沿岸域の底生動物相. 京都海洋センター研報, 6 : 25-43.
- WATSON, J. and SIMPSON, S.L.. 1969. The queen crab industry in Atlantic provinces. Project report No. 28, Industrial development branch, fisheries survice, department of fisheries and forestry, Ottawa.
- WATSON, J.. 1970. Maturity, mating, and egg laying in the spider crab, *Chionoecetes opilio*. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 27 : 1607-1616.
- WATSON, J.. 1972. Mating behavior in the spider crab, *Chionoecetes opilio*. *J. Fish. Bd. Canada*, 29 : 447-449.
- WILBER, D.H.. 1989. The influence of sexual selection and predation on the mating and postcopulatory guarding behavior of stone crabs (Xanthidae, *Menippe*). *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 24 : 445-451.
- 山崎 淳. 1988. 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—Ⅳ. 標識放流結果から推定した成体雌ガニの資源特性. 京都海洋センター研報, 11 : 35-42.
- 山崎 淳. 1990. 「しんかい2000」による京都府沖合の保護区内におけるズワイガニ *Chionoecetes opilio* の生態観察. 海洋科学技術センター研報, 6 : 335-340.
- 山崎 淳・生田哲郎・西広富男・内野 憲. 1985. 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—Ⅲ. 成熟・産卵にともなう雌ガニの分布. 京都海洋センター研報, 9 : 17-22.
- 山崎 淳・桑原昭彦・浜中雄一・傍島直樹. 1990. 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—Ⅴ. 底曳網とカニカゴの漁具特性に関する一考察. 京都海洋センター研報, 13 : 35-40.
- 山崎 淳・桑原昭彦・浜中雄一・傍島直樹. 1991. 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—Ⅵ. 底曳網操業中にみられる投棄されるズワイガニの実態. 京都海洋センター研報, 14 : 32-38.
- 山崎 淳・桑原昭彦・船田秀之助・戸嶋 孝・藤田眞吾・内野 憲. 1993a. 雄ズワイガニの甲幅組成からみた年級の消長に関する予報的研究. 京都海洋センター研報, 16 : 1-9.
- 山崎 淳・桑原昭彦・船田秀之助・戸嶋 孝・藤田眞吾・内野 憲. 1993b. カニかご調査から推定した経産卵期前のズワイガニの分布特性. 京都海洋センター研報, 16 : 10-17.
- 山崎 淳・桑原昭彦. 1991a. カニカゴ操業結果からみたズワイガニの分布と甲幅組成. 日水誌, 57(3) : 439-446.
- 山崎 淳・桑原昭彦. 1991b. 日本海における雄ズワイガニの最終脱皮について. 日水誌, 57(10) : 1839-1844.
- 山崎 淳・篠田正俊・桑原昭彦. 1992. 雄ズワイガニの最終脱皮後の生残率推定について. 日水誌, 58(2) : 181-186.
- 山崎 淳・桑原昭彦. 1992. ズワイガニの初産卵期における分布状況. 日水誌, 58(9) : 1647-1652.
- 山崎 淳・桑原昭彦. 1993. 大和堆におけるズワイガニの分布と最終脱皮サイズ. 日水誌, 59(12) : 1977-1983.
- YAMASAKI, A. and KUWAHARA, A.. 1989. Preserved area to effect recovery of overfished zuwai crab stocks off Kyoto Prefecture. *Proc. Int. Symp. King and Tanner crabs*. Alaska Sea Grant No. 90-04 : 575-585.
- YAMASAKI, A., SINODA, M. and KUWAHARA, A.. 1989. A method for estimating survival rate of male zuwai crab (*Chionoecetes opilio*) in the western Japan Sea. *Proc. Int. Symp. King and Tanner crabs*. Alaska Sea Grant No. 90-04 : 365-376.
- 横松芳治. 1984. 大分県豊前海域における小型底びき網漁業によって投棄される生物の種組成. 第16回南西海区ブロック内海漁業研究会報告書, 9-29.
- 吉原三隆・柿元 皓. 1966. ズワイガニ調査. 昭和38年度新潟県水産試験場事業報告, 93-124.
- 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其の原因に就いて. 日水誌, 16(12) : 90-92.
- 全国底曳網漁業連合会. 1992. 平成3年度日本海ズワイガニ漁獲結果総まとめ資料. 1-27.