

魚種（海域）：ケガニ（日高海域）

担当水試：栽培水産試験場

#### 要約表

評価年の基準 (2011年度)	資源評価方法	2011年度の 資源状態	2011～2012年度 の資源動向
2011年4月1日 ～2012年3月31日	資源量指数	中水準	横ばい

\*生態については、別紙資料「生態表」を参照のこと。

### 1. 漁業

#### (1) 漁業の概要

##### ・漁業種類

けがにかご漁業

##### ・操業許可期間（2011年度）

日高西部海域（日高町（旧門別町）～様似町）：1月21日～3月25日の64日間（2004年度から全漁協統一）

日高東部海域（えりも町）：12月5日～2月22日の80日間

##### ・隻数（2011年度）

日高西部海域 許可隻数 37隻以内

日高東部海域 許可隻数 26隻以内

##### ・漁具

1隻 300かご以内（日高西部海域）、700かご以内（日高東部海域）

目合 3寸8分（11.5cm）以上

##### ・漁場

漁協ごとまたは支所ごとに区切られた海域内で操業している。

##### ・漁獲物の特徴

堅甲ガニ（脱皮間期の個体）中心の漁獲を行っている。また、許容漁獲量が設定されているため、小型ガニ（甲長8cm台）を海中還元するなどの漁獲量調整をする場合が多い。

#### (2) 現在取り組まれている資源管理方策

- ・許容漁獲量制により漁獲量を制限している。
- ・隻数制限（日高西部海域 37隻以内、日高東部海域 26隻以内）。
- ・かご数制限（日高西部海域：1隻 300個以内、日高東部海域：1隻 700個以内）。
- ・かにかご以外での漁獲の禁止、かにかごの目合いは3寸8分（11.5cm）以上。
- ・甲長8cm未満の雄と全ての雌の漁獲禁止。
- ・操業許可期間は、日高西部海域が1月下旬～3月下旬の64日間、日高東部海域が12～2

月の 80 日間。

・2012 年度に「北海道ケガニ ABC 算定のために基本規則」が策定され、これに従って許容漁獲量の基になる ABC（生物学的許容漁獲量）を算出している。

## 2. 評価方法とデータ

### ・使用したデータ

漁期前の 6 月に、1996 年度は 20 定点、1997 年度～1998 年度は 22 定点、1999 年度～2003 年度は 27 定点、2004 年度～2006 年度は 39 定点、2007 年度以降は 56 定点（図 1）で実施した資源密度調査時に、ケガニ調査用かご（2～2.5 寸目合）によって、各点 40 または 50 かごで漁獲された調査点別齢期別個体数を用いた。調査時に漁獲されたケガニは、定点別に計数し、雌雄別に 100 個体を上限として甲長、頭胸甲の硬度等を測定した。

### ・評価方法

解析に使用した固定パラメータのみを表 1 に記載した。資源状態の評価は、後述する項目イ～オについては、使用した固定パラメータの不確実性から、今後の研究の進展によって変更が有り得るため、項目カに示す方法で指数化したものを用いて行った。

ア. **資源量の推定範囲**： 「かにかご漁業（けがに）の許可等に関する取扱方針（日高振興局管内西部沖合海域）」と「同（日高振興局管内東部沖合海域）」に指定された操業区域のうち、過去の調査結果と資源密度調査点、およびケガニの生態を考慮して水深 10m から 120m の範囲に設定した。後の解析（ブロッククリギング）で積分を容易にするため、全海域を 816 ブロックに分割した。日高海域の資源推定範囲の面積は、2,838.26 k m<sup>2</sup> となる。

イ. **齢期別漁獲個体数**： 本海域のケガニの成長と生殖周期は、道東太平洋での推定結果<sup>1-3)</sup>と同様と判断されたため、この甲長齢期区分を用いて、齢に分解した（マハラノビス距離による判別）。ただし、近年の資源増大にともない、高齢の個体が増加したため、雄について第 18 齢以上の成長に関するパラメータを新たに推定し、改正した。これによって、推定資源量などの絶対値が多少変更されたが、トレンドには変化はみられなかった。

ウ. **密度換算**： かにかごで漁獲された性別・齢別・脱皮の有無別個体数を密度換算するために、以下のモデルを用いた。

かごによる漁獲量と資源密度の関係<sup>4)</sup>は、次式で示される。

$$C_{(D)} = f \cdot N \cdot S$$

ただし、 $C_{(D)}$ ：かご間隔  $D$  で設置した漁獲量、 $f$ ：かごの漁獲効率、 $N$ ：資源密度、

$S$ ：かごの誘集面積である。いま  $f=1$  と仮定すると、

$$N = \frac{C(D)}{S}$$

となり、カゴの誘集面積（付録(1)を参照）が求められれば、資源密度が求められる。

ケガニカゴの誘集半径については、調査研究が中断しており、今後さらに調査研究を進める必要があるが、浸漬時間1日で約40 mという試算がされており<sup>5-7)</sup>、これを用いた。パラメータが、誘集半径  $r=40$  m, カゴ間隔  $D=12$  m ( $D'=6$  m), カゴ数  $n=40$  個のとき、誘集面積  $S$  は、42,325.67 m<sup>2</sup>; 誘集半径  $r=40$  m, カゴ間隔  $D=12$  m ( $D'=6$  m), カゴ数  $n=50$  個のとき、誘集面積  $S$  は、51,889.55 m<sup>2</sup> となる。

- エ. **資源個体数推定**： ケガニは集中分布することが知られ<sup>8)</sup>、面積密度法では推定が困難になることが想定されるため、クリギング法<sup>9-11)</sup>によって個体密度を推定した。数値計算は網走水試調査研究部の栗原康裕が開発した、Windows™ 上で動作するコンピュータ・プログラム CMS4 for Windows95/98/Me/XP version 1.04.26.00 の使用承諾を得て、これを用いて行った。データの経験セミバリオグラムへの当てはめについては、経験的に当てはまりが良いとされる、指数型モデルと球型モデルの2つのモデルにデータを適用し、通常最小2乗基準によりパラメータの推定を行った（付録(2)を参照）。

モデル選択には通常、情報量規準AICが用いられるが、AICはその導出に漸近理論を使っているため、標本数無限を仮定している。そのため、標本数が数十程度の少数ではその仮定が成り立たず、パラメータ数を過大に評価するなどの偏りが生ずる。ここで使用したデータセットは、数が比較的少ないことから、AICを有限修正した情報量規準c-AIC(2次のAIC)<sup>12)</sup>を用いて、c-AICの小さいモデルを選択した。c-AICとは、漸近理論を使わない不偏推定量であり、誤差項が正規分布の一般化線形モデルを仮定している（付録(3)を参照）。

クリギングの方法には、平均値が一定と仮定した通常クリギングとトレンドを考慮した普遍クリギングがあるが、ここでは、通常クリギングを用いた。個体密度推定のためには、通常ブロッククリギングを行った（付録(4)を参照）。前述した資源量推定範囲を816ブロックに分割し、各ブロックの平均密度を予測した。

クリギングに用いたデータは、資源密度調査において、定点毎にカニかごで採集されたケガニの性別、齢別に分離した密度データである。ただし、漁具の選択性を考慮して、齢別での解析においては第13齢以上のものを対象とした。

- オ. **自然死亡係数**： 本海域に出現した最高齢の第19齢(12歳)を寿命とした田中の方法<sup>13)</sup>により年間の自然死亡係数  $M$  を0.21とした。新たな知見が得られるまではこの値を採用する。
- カ. **資源個体数・資源重量とその指数化**： 資源密度調査時(6月時点)の推定個体

数は、前述したブロッククリギングによる齢別の各ブロックの推定平均密度に各ブロックの面積を掛けることにより求めた。漁獲対象（8cm 以上雄）となる齢は、第 14 齢の 50%（平均甲長が 80.5mm であることから、正規分布の確率密度関数の性質からほぼ 50%）と第 15 齢以上である。本年度の新規加入量は、第 14 齢の 50%と第 15 齢の 50%である。同様に次年度に新規加入対象となるのは、第 13 齢の 50%と第 14 齢の 50%（加入時は第 15 齢）となる。すなわち、

$$\hat{N} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_{14,j} \cdot d_{14,j} + \sum_{i=15}^{19} \sum_{j=1}^n a_{i,j} \cdot d_{i,j}$$

$$\hat{N}_R = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_{14,j} \cdot d_{14,j} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_{15,j} \cdot d_{15,j}$$

$$\hat{N}_{R+} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_{13,j} \cdot d_{13,j} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_{14,j} \cdot d_{14,j}$$

ただし、 $\hat{N}$  は推定資源個体数（6 月時点）、 $\hat{N}_R$  は本年度の新規加入個体数（6 月時点）、 $\hat{N}_{R+}$  は次年度新規加入個体数（6 月時点）、 $a_{i,j}$  は第  $i$  齢の分布する  $j$  番目のブロックの面積、 $d_{i,j}$  は第  $i$  齢の分布する  $j$  番目のブロックの平均密度である。

推定資源個体数を重量換算するためには、資源密度調査時のデータから推定した漁獲対象である各齢の推定個体数に表 1 に示した各齢の平均体重を掛けることで求めた。すなわち、

$$N' = \frac{1}{2} n_{14} \cdot w_{14} + \sum_{i=15}^{19} n_i \cdot w_i$$

$N'$  は資源重量（6 月時点）、 $n_i$  は第  $i$  齢の推定個体数、 $w_i$  は第  $i$  齢の平均体重である。同様に新規加入重量（6 月時点） $N'_R$ 、次年度新規加入重量（6 月時点） $N'_{R+}$  は、以下のとおり。

$$N'_R = \frac{1}{2} n_{14} \cdot w_{14} + \frac{1}{2} n_{15} \cdot w_{15}$$

$$N'_{R+} = \frac{1}{2} n_{13} \cdot w_{13} + \frac{1}{2} n_{14} \cdot w_{14}$$

なお、固定パラメータの不確実性から将来の変更が有り得ることを考慮して、以下の資源状態の評価は、資源重量を指数化した資源量指数  $N'_{Index}$ 、新規加入重量を指数化した新規加入量指数  $N'_{IndexR}$ 、次年度新規加入重量を指数化した次年度新規加入量指数  $N'_{IndexR+}$  で行う。指数化は、1996 年度から 2004 年度までの平均を 100 として、各年を標準化した。標準化の方法は、本会議で資源水準を求めるデフォルトの方法と同じである。

- キ. **漁期初めの資源量指数**： 漁期初めの資源量指数は（12月時点）は、資源密度調査時のデータから推定した資源量指数（6月時点）の6か月先の予測なので0.50年分の生残率を掛けることで求めた。

$$N_{Index} = N'_{Index} \cdot e^{-\frac{6}{12}M}$$

同様に漁期初めの新規加入量は、第14齢群の1/2と第15齢群の1/2に0.50年分の生残率を掛けることで求めた。

$$N_{IndexR} = N'_{IndexR} \cdot e^{-\frac{6}{12}M}$$

- ク. **次年度新規加入量指数**： 次年度の新規加入量指数（次年度12月時点）は、資源密度調査時（6月時点）のデータから推定した前年度新規加入対象資源量（第13齢群の1/2と第14齢群の1/2）の18か月先の予測なので、1.50年分の生残率を掛けることで求めた。

$$N_{IndexR+} = N'_{IndexR+} \cdot e^{-\frac{18}{12}M}$$

- ケ. **移出入量指数**： 近接する胆振太平洋海域において、日高海域からの移入が示唆されたため、本海域においても、噴火湾・胆振太平洋海域と同様の方法で、移出入量を算出した。移出入量は、過去の齢別個体数データを用いて、単年度毎に漁獲式  $N_{i,y} = N_{i+1,y+1}e^M + C_{i,y}e^M$  の前進計算によって予測値を求め、それと実測値

との差とした。ただし、 $N_{i,y}$  は  $y$  年漁期における  $i$  齢の資源個体数、 $C_{i,y}$  は、 $y$  年漁期における  $i$  齢の漁獲個体数。齢別漁獲個体数は、銘柄別漁獲重量の平均比率をもとに漁期中に測定した銘柄別甲長組成から算出した。齢別漁獲個体数は、漁協によって、銘柄区分が異なるため（表4）、1996年度から2004年度までに漁期中に各漁協で測定した漁獲物データを基に、各漁協の銘柄別齢組成を求め、各漁協の銘柄別漁獲量をこれに掛け、それを各齢の平均体重で割ることによって求めた。

指数化は、1997年度から2004年度までの平均を100として、各年を標準化した。標準化の方法は、本会議で資源水準を求めるデフォルトの方法と同じである。

### 3. 資源評価

#### (1) 漁獲量および努力量の推移

**漁獲量の推移**：日高海域における漁獲量の推移を海域別に図2（1954年以降、暦年集計）と表2（1985年度以降、年度集計）に、許容漁獲量の推移を表2に示した。

暦年集計の漁獲量（図2）をみると、1978年以前は乱高下を繰り返していたことがわか

る。1958年には440トン（西部海域375トン，東部海域65トン）を記録したが，それ以降は激減し，1965年の83トン（西部海域73トン，東部海域10トン），1966年の93トン（西部海域91トン，東部海域2トン：過去最低）まで減少した。しかし，1967年～1975年までに徐々に増加し，1976年には601トン（西部海域402トン，東部海域199トン）と急増，1977年には620トン（西部海域444トン，東部海域199トン）と過去最高値を記録した。その後は減少の一途をたどり，1979年～1985年は100～200トンの漁獲が続いた。1986年以前は，西部海域の漁獲量が東部海域のそれを上回っていたが，それ以降は逆転し，今に至っている。その理由は不明である。

年度集計の漁獲量の推移（表2）をみると，1985年度の201トン（西部海域113トン，東部海域89トン）以降，2000年度までは低位横ばい傾向が続いていたが，2001年度以降は増加傾向となった。西部海域では1993年度から，東部海域では1990年度から許容漁獲量制度が導入された。西部海域の許容漁獲量は，1993～1996年度に36～41トン，1997～2000年度に23～33トン，2001～2011年度に51～90トンに設定された。東部海域の許容漁獲量は，1990年度に69トン，1991～1993年度に39～43トン，1994～2000年度に65～80トン，2001～2011年度に128～210トンに設定された。本海域の漁獲は，堅ガニ中心であるため，漁期が脱皮期前の東部海域では，設定された許容漁獲量をほぼ100%漁獲しているが，漁期が脱皮期にかかる西部海域では，年によって漁獲が困難なことがあると考えられる。

表3に1997年度以降の漁獲量の銘柄別割合を示した。銘柄別甲長区分については表4を参照。漁獲量の銘柄別割合は，1997年度～2005年度までは，小銘柄が半数以上を占める場合がみられるが，2006年度以降は，小銘柄の割合が減少し，大銘柄主体の漁獲となっている。これは漁業の概要で記載したように，漁獲量調整によるためと考えられる。

## (2) 現在（評価年）までの資源状態

2009年度～2011年度資源密度調査による雄ケガニの齢組成と甲長組成（図3～図4）を示した。組成図の縦軸は採集個体数である。日高西部海域（図3）では2009年度以降，第15齢以上の大型個体が多く，2011年度においても小型個体の増加はみられなかった。また，採集個体数も減少傾向にある。一方，日高東部海域（図4）は2009年度までは，小型個体が少ない組成を示していたが，2010年度には一変して第12齢以下が多い，小型個体中心の組成になった。2011年度には，大型個体が大幅に減少し，第14齢以下の小型個体中心の組成を示した。また，第10齢群が突出していることが注目される。

日高海域の推定資源量指数の推移を図5に，漁期初めの新規加入量指数と次年度漁期の新規加入量指数の予測値の変化を図6に示した。これらをみると，資源量指数は1996年度から2000年度まで，低位で横ばいであったが，2001年度には2000年度の約3倍，2006年度には約5倍に急増した（図5）。この原因は，2001年度以降，毎年比較的大きな新規加入が続いたためと考えられる（図6）。2001年度～2009年度は，資源量指数が高位で推移

していたが、2010年度以降は減少傾向を示し、2011年度は急激に資源量指数が減少し、前年のほぼ4割に低下した(図5)。この原因もまた、2009年度以降の新規加入の急激な減少による影響が大きいと考えられる(図6)。

図7に移出入量を示した。これをみると2001～2002年度に大規模な移入、2003年度、2008年度、2010～2011年度に大規模な移出が示唆されるため、日高海域においても、噴火湾・胆振太平洋海域と同様に、移出入があると想定される。

### (3) 評価年の資源水準：中水準

1996年度から2004年度までの9年間の推定資源量指数の平均を100として、各年を標準化し、 $100 \pm 40$ の範囲を中水準、その上下を高水準、低水準とした。その結果、2011年度の資源水準指数は、89であることから、資源水準は中水準と判断された(図8)。本年度から資源水準の判断基準となる過去20年の対象年が1990～2009年度に更新されるが、本海域においては、前年までの資源水準区分を資源管理の目標値等に利用しており、漁業者意識にも深く浸透している。よって、これを変更することは施策上好ましくないため、前年と同様の基準を用いることにする。

### (4) 今後の資源動向：横ばい

図6に示したように、2012年度漁期に予測される新規加入量指数は、2000年度漁期と同程度の低水準であることと、2011年度の資源量指数を基に前進計算して、2012年度の甲長8cm以上雄の資源量指数を算出すると、全く漁獲がない場合でも、前年度より減少すると予測される。しかし、過去の予測加入量指数はほぼ過小評価となっているため、2012年度の新規加入量指数は中水準となる可能性が高いため、2012年度の資源動向は、横ばいと判断した。

また、2011年度調査(図4)で加入前の小型個体が急増したことから、今後これらが順調に加入すれば資源状態は好転すると期待されるが、加入するまでには数年を要すると考えられるため、今後の動向を注視する必要がある。

## 参考

資源としては日高海域で一つであるが、実際の漁業は「西部海域」と「東部海域」の2海域に分離して操業されている。よってここでは「西部海域」と「東部海域」における漁獲量にもとづく評価を別途以下に記載する。図として「西部海域」と「東部海域」の漁獲量実績をそれぞれ付図1と付図2に示す。

## 魚種 ケガニ（日高西部・東部海域）

評価年の基準 (2011年度)	資源評価方法	2011年度の 資源状態	2011～2012年度 の資源動向
4月1日 ～3月31日	漁獲量	日高西部：高水準 日高東部：高水準	日高西部：横ばい 日高東部：横ばい

## 4. 文献

- 1) 佐々木潤, 栗原康裕：ケガニの齡期判別法と成長. 北水試研報. 55, 29-67 (1999)
- 2) 佐々木潤：道東太平洋におけるケガニの生殖周期. 北水試研報. 55, 1-27 (1999)
- 3) 佐々木潤：ケガニの水産生物学的研究—最新の研究から；成長モデルの紹介—. 月刊海洋/号外. 26, 223-229 (2001)
- 4) 平山信夫：3-4 かが漁業の漁業管理. 日本水産学会編, 水産学シリーズ 36 かが 漁業, pp. 120-139, 恒星社厚生閣 (1981)
- 5) 西内修一：ケガニ資源密度調査. 北海道立網走水産試験場事業報告書, (1988).
- 6) 西内修一：ケガニ資源密度調査. 北海道立網走水産試験場事業報告書, (1989).
- 7) 西内修一：ケガニ資源密度調査. 北海道立網走水産試験場事業報告書, (1990).
- 8) 佐々木潤:1.8.2 ケガニ稚ガニ調査. 北海道立網走水産試験場事業報告書, pp. 67-120, (1998).
- 9) Wackernagel, H.: Multivariate Geostatistics. Springer. (1995) (地球統計学研究委員会 訳編/青木謙治 監訳：地球統計学. 森北出版 (2003))
- 10) 間瀬茂・武田純：空間データモデリング-空間統計学の応用. データサイエンス・シリーズ 7. 共立出版, (2001)
- 11) Isaaks, E.H. & R.M. Srivastava: An Introduction to Applied Geostatistics. 561 pp., Oxford University Press, New York, (1989)
- 12) Sugiura, N.: Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections. Communications in Statistics - Theory and Methods, 7(1), 13-26 (1978)
- 13) 田中昌一：水産生物の Population dynamics と漁業資源管理. 東海水研報 28, 1-200, (1960)



## 付録：各種計算方法の詳細

### (1) カゴの誘集面積の計算方法について

カゴの誘集面積は、時間の関数となり、拡散方程式を用いるべきことや、流れによって真円にならないのは事実であるが、実用に適さないため単純化した。

いま、カゴ数  $n$  でカゴの中心が等間隔  $D$  で直線上に並んでいる漁具を想定する。このとき、カゴの中心から餌のにおいが一様に拡散すると仮定すると、においの領域は真円となる。この領域に存在するカニのすべてがカゴに入ると仮定すると、この領域が漁具の誘集面積となり、その半径を  $r$  (誘集半径) とする。通常、複数個のカゴを設置した漁具では、誘集半径がカゴ間隔より大きい場合、円が複数重なった関数曲線となり、誘集面積はこの関数曲線内の面積となる。よって中心が直線上に等間隔  $D$  で並ぶ、 $n$  個の円で作られる関数曲線内の面積  $S$  は以下のとおり示される。

$$S = (n-1) \left\{ 2D' \sqrt{r^2 - D'^2} + r^2 \left( \pi - 2 \cos^{-1} \frac{D'}{r} \right) \right\} + \pi r^2$$

$$= (n-1) \times 2S_u + \pi r^2$$

$$\text{ただし, } D' = \min\left(\frac{D}{2}, r\right), \quad 0 \leq D' \leq r,$$

$$S_u = D' \sqrt{r^2 - D'^2} + \frac{1}{2} r^2 \left( \pi - 2 \cos^{-1} \frac{D'}{r} \right)$$

### (2) データのセミバリオグラムへの当てはめについて

セミバリオグラム  $\gamma$  が距離のみの関数であるとき、

$$\gamma(\mathbf{h}) = \gamma^\circ(\|\mathbf{h}\|)$$

と表現できる。ただし、 $\gamma(\mathbf{h}) = \|\mathbf{h}\|$  はバリオグラムであり、 $\|\mathbf{h}\|$  はベクトル  $\mathbf{h}$  の長さを表す。さらに  $\gamma^\circ$  は広義単調増加関数とする。バリオグラムについては文献<sup>9-11)</sup>を参照のこと。ここで、モデルパラメータ  $\boldsymbol{\theta} = [\theta_0, \theta_1, \theta_2]$ 、次元を  $d$  とすると、下記のとおりである。

指数型モデル(exponential model):  $(\theta_0, \theta_1 \geq 0, \theta_2 > 0, d \geq 1)$

$$\gamma(\mathbf{h}; \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} \theta_0 + \theta_1 [1 - \exp(-\|\mathbf{h}\|/\theta_2)], & \|\mathbf{h}\| > 0 \\ 0, & \|\mathbf{h}\| = 0 \end{cases}$$

球型モデル(spherical model):  $(\theta_0, \theta_1 \geq 0, \theta_2 > 0, 1 \leq d \leq 3)$

$$\gamma(\mathbf{h}; \boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} \theta_0 + \theta_1 \left( \frac{3}{2} \|\mathbf{h}\| / \theta_2 - \frac{1}{2} \left[ \|\mathbf{h}\| / \theta_2 \right]^3 \right), & 0 < \|\mathbf{h}\| \leq \theta_2 \\ \theta_0 + \theta_1, & \|\mathbf{h}\| > \theta_2 \\ 0, & \|\mathbf{h}\| = 0 \end{cases}$$

### (3) AIC を有限修正した情報量規準 c-AIC について

$$c\text{-AIC} = -2 \ln L + \frac{2kn}{n-k-1} = \text{AIC} + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}$$

ただし、 $n$  はサンプル数、 $L$  は最大尤度、 $k$  は自由パラメータ数である。 $n$  が大きくなるにしたがい、c-AIC は AIC へと収束してゆく。また、 $n$  が少なくなくても  $k/n$  が大きい (1 に比べ十分に小さくない) 場合にも、一致性が成立せず、AIC は過大にパラメータ数を見積もるが、この場合にも c-AIC は正しい結果を出すことが知られている。

### (4) 通常クリギングと通常ブロッククリギングについて

いま確率場  $Z$  は本質的定常で、セミバリオグラム  $\gamma$  をもつとすると、位置  $\mathbf{s}_0$  における値  $Z(\mathbf{s}_0)$  の最良線形不偏予測を通常クリギングとよぶ。線形予測量は、適当な重み

$\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_n]'$  を用いて、

$$\hat{Z}(\mathbf{s}_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(\mathbf{s}_i) = \mathbf{w}'\mathbf{Z} \quad (1)$$

となる。ただし、不偏性条件  $\mathbf{E}\left\{\left[\hat{Z}(\mathbf{s}_0) - Z(\mathbf{s}_0)\right]^2\right\} = -\mathbf{w}'\mathbf{1}\mu = \mu$  から、 $\mathbf{w}'\mathbf{1} = 1$  である ( $\mu$  は確率場の平均値、 $\mathbf{1}$  は 1 を  $n$  個並べたベクトル)。次に、ある領域  $B \subset D$  における平均量  $Z(\mathbf{B}) := \int_B Z(\mathbf{s}) d\mathbf{s} / |B|$  ( $|B|$  は  $B$  の  $d$  次元体積) の予測を考える。

$$\gamma(B, B) = \frac{1}{|B|^2} \iint_{B \times B} \gamma(\mathbf{u} - \mathbf{v}) d\mathbf{u} d\mathbf{v},$$

$$\gamma(\mathbf{s}, B) = \frac{1}{|B|} \int_B \gamma(\mathbf{s} - \mathbf{u}) d\mathbf{u}$$

と定義すると、 $Z$  が本質的定常性をもつときの領域平均  $Z(\mathbf{B})$  の最良線形不偏予測をブロッククリギングとよぶ。予測量の導出は(1)式のとおり。平均 2 乗予測誤差は、

$$\sigma^2(B) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \gamma(\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j) + 2 \sum_{i=1}^n w_i \gamma(\mathbf{s}_i, B) - \gamma(B, B)$$

となる。ここで、条件付き極値問題を解くための定石であるラグランジュ法を用いるため

に，ラグランジュ乗数  $\lambda$  を導入して，最小化すべき目的関数を

$$\phi(\mathbf{w}, \lambda) = -\mathbf{w}'\Gamma\mathbf{w} + 2\mathbf{w}'\gamma_0 - 2\lambda(\mathbf{w}'\mathbf{1} - 1)$$

とし， $\mathbf{w}$  と  $\lambda$  に関する偏微分により正規方程式

$$\begin{bmatrix} \Gamma & \mathbf{1} \\ \mathbf{1}' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{w} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_B \\ 1 \end{bmatrix}$$

を得る。ここで， $\gamma_B = [\gamma(\mathbf{s}_1, B), \dots, \gamma(\mathbf{s}_n, B)]'$  である。この連立方程式を解くことにより，

予測の重みは

$$\mathbf{w} = \Gamma^{-1}\gamma_B + \left( \frac{1 - \mathbf{1}'\Gamma^{-1}\gamma_B}{\mathbf{1}'\Gamma^{-1}\mathbf{1}} \right) \Gamma^{-1}\mathbf{1}$$

となることから，平均 2 乗予測誤差は，下記のとおりとなる。

$$\sigma^2(B) = \gamma_B'\Gamma^{-1}\gamma_B - \frac{(\gamma_B'\Gamma^{-1}\mathbf{1} - 1)^2}{\mathbf{1}'\Gamma^{-1}\mathbf{1}} - \gamma(B, B)$$

表1 解析に使用した固定パラメータと計算方法

項目	値または計算方法			備考
齢-甲長-年齢関係(雄)	齢	甲長範囲(mm)	推定年齢	佐々木, 栗原 <sup>1)</sup> 佐々木 <sup>2-3)</sup> 佐々木(未発表)
	13	66.8-76.1	5.7	
	14	76.1-84.3	6.7	
	15	84.3-92.6	7.7	
	16	92.6-98.3	8.7	
	17	98.3-107.2	9.7	
	18	107.2-113.7	10.7	
	19	113.7-125.2	11.7	
混合正規分布の分離, 甲長範囲はマハラノビス距離による判別				
齢-体重関係(雄)	齢	平均体重(g)	標準偏差	佐々木, 栗原 <sup>1)</sup> 佐々木 <sup>2-3)</sup> 佐々木(未発表)
	13	207.7	31.1	
	14	317.4	40.2	
	15	414.3	52.8	
	16	540.3	39.5	
	17	658.7	117.8	
	18	828.5	136.6	
	19	1031.9	229.3	
混合正規分布の分離				
脱皮周期(雄)	1年			佐々木 <sup>2)</sup>
カニかごの誘集半径	40 m			西内 <sup>5)</sup>
自然死亡係数	0.21, 田中の方法(12歳を寿命とした)			田中 <sup>8)</sup>

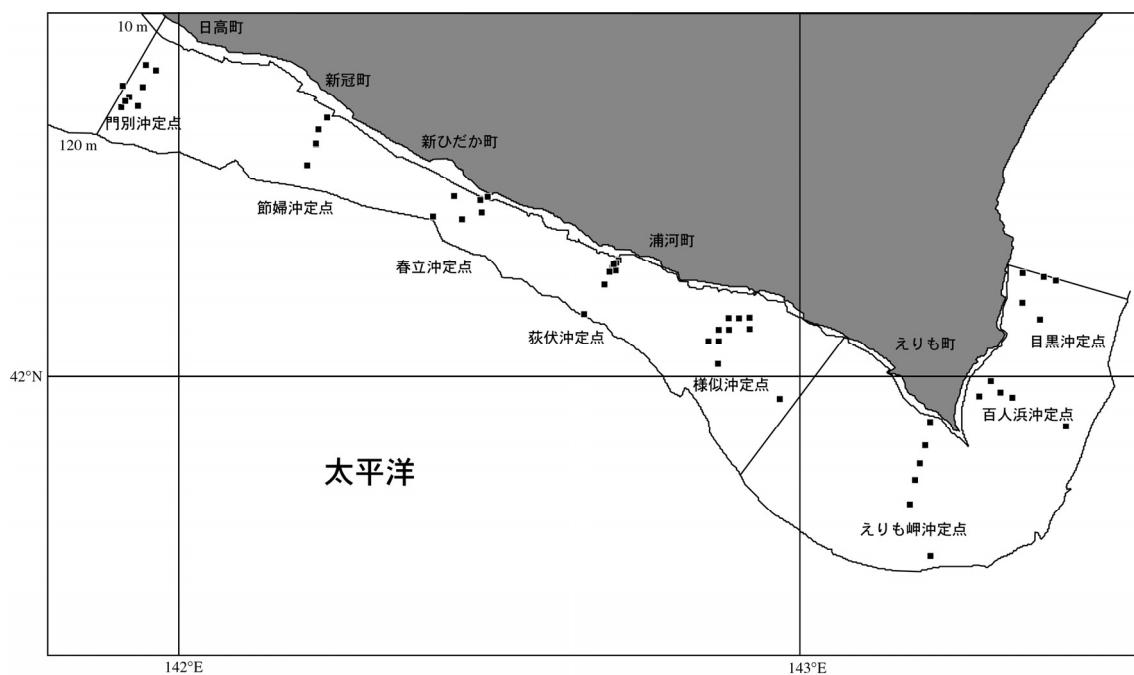


図1 2011年度の日高海域におけるケガニ資源密度調査点と資源量推定範囲

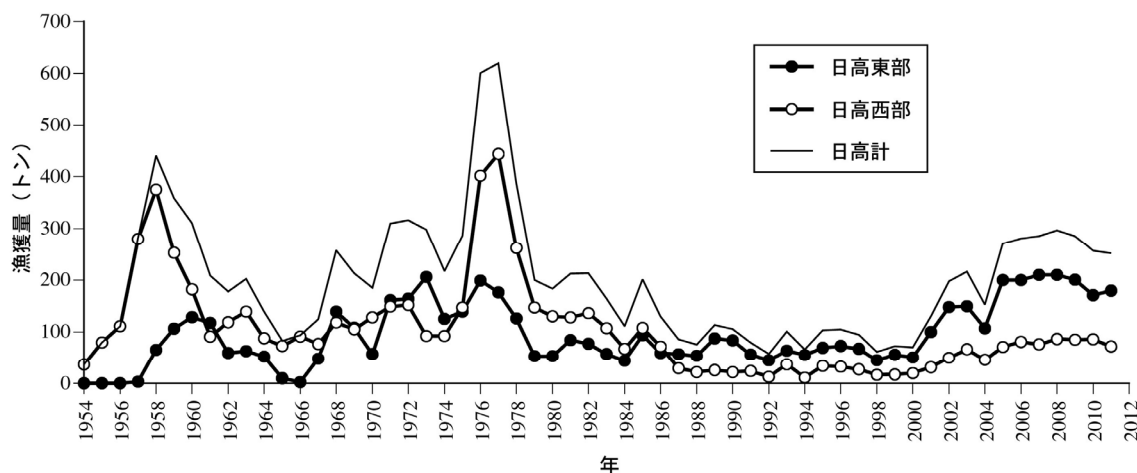


図2 日高西部・東部海域におけるケガニ漁獲量の経年変化

資料：北海道水産現勢（1954～1994年），日高振興局報告資料（1995年以降）

集計範囲：日高西部は日高町（旧門別町）～様似，日高東部はえりも町

表2 日高西部・東部海域のケガニ漁獲量と許容漁獲量の経年変化

年度	日高西部*1			実配分許容漁獲量*3 (トン)	日高東部*1			日高計 漁獲量 (トン)
	漁獲量(トン)*2		合計		漁獲量(トン)*2		合計	
	かにかご	その他			かにかご	その他		
1985	49.0	63.5	112.5		22.7	66.1	88.8	201.3
1986	20.0	15.1	35.1		29.7	34.8	64.4	99.6
1987	22.7	9.6	32.4		36.2	18.7	54.9	87.3
1988	21.7	3.8	25.5		70.7	4.4	75.1	100.6
1989	20.4	3.9	24.2		69.1	9.9	79.1	103.3
1990	20.9	1.4	22.3		52.7	25.6	78.3	100.6
1991	11.1	2.9	14.0		20.6	22.0	42.6	56.6
1992	34.8	1.5	36.3		28.8	21.7	50.5	86.9
1993	11.9	2.2	14.1	39.6	39.0	26.8	65.8	79.9
1994	33.9		33.9	40.8	64.8		64.8	98.8
1995	32.1		32.1	36.3	80.0		80.0	112.1
1996	27.0		27.0	36.3	76.1		76.1	103.1
1997	16.4		16.4	23.8	49.2		49.2	65.5
1998	17.0		17.0	25.0	47.5		47.5	64.6
1999	19.6		19.6	27.0	54.4		54.4	74.0
2000	31.1		31.1	33.0	58.1		58.1	89.2
2001	49.6		49.6	53.0	127.7		127.7	177.3
2002	66.4		66.4	68.0	155.3		155.3	221.7
2003	45.8		45.8	51.0	152.1		152.1	197.8
2004	56.5		56.5	59.0	116.4		116.4	172.9
2005	70.8		70.8	90.0	200.0		200.0	270.8
2006	80.7		80.7	81.8	200.0		200.0	280.7
2007	75.9		75.9	81.8	210.0		210.0	285.9
2008	86.3		86.3	90.0	210.0		210.0	296.3
2009	84.9		84.9	90.0	200.5		200.5	285.4
2010	85.7		85.7	90.0	170.7		170.7	256.4
2011	71.9		71.9	82.0	179.5		179.5	251.4

\*1 日高西部：日高町（旧門別町）～様似町，日高東部：えりも町

\*2 漁獲量データ：1992年度以降のかにかご漁獲量は日高振興局報告資料，それ以外は北海道水産現勢による。漁獲量の集計期間：4～3月

\*3 許容漁獲量制は，かにかごを対象に日高西部で1993年度から，日高東部で1990年度から設定した。

1995年度の東部の許容漁獲量は当初72.4トンであったが，漁期中に80トンに変更した。

2010年度の許容漁獲量は，日高西部が当初48トン，日高東部が当初98トンであったが，漁期中に変更した。

2002年度の日高東部の許容漁獲量は，当初157トンであったが，漁期中に171トンに変更した。

2003年度の許容漁獲量は，日高西部が当初38トン，日高東部が当初148トンであったが，漁期中に変更した。

表 3 日高海域のケガニ漁獲量の銘柄別割合の経年変化

年度/銘柄(%)	小	中以上
1997	43.9	56.1
1998	57.3	42.7
1999	52.4	47.6
2000	63.3	36.7
2001	43.0	57.0
2002	41.4	58.6
2003	41.7	58.3
2004	56.6	43.4
2005	61.6	38.4
2006	20.6	79.4
2007	30.9	69.1
2008	36.4	63.6
2009	21.7	78.3
2010	33.3	66.7
2011	28.8	71.2

表 4 日高海域の漁協におけるケガニの銘柄別甲長区分 (mm)

漁協/銘柄		小	中	大・中	大
日高西部海域	ひだか(門別町)	83> $\geq$ 80	95> $\geq$ 83		$\geq$ 95
	ひだか(新冠)	92> $\geq$ 80	102> $\geq$ 92		$\geq$ 102
	ひだか(静内)	90> $\geq$ 80	100> $\geq$ 90		$\geq$ 100
	ひだか(三石)	90> $\geq$ 80	100> $\geq$ 90		$\geq$ 100
	日高中央(荻伏)	90> $\geq$ 80		$\geq$ 90	
	日高中央(蒲河)	90> $\geq$ 80		$\geq$ 90	
	日高中央(様似)	90> $\geq$ 80		$\geq$ 90	
	えりも(冬島)	90> $\geq$ 80			$\geq$ 90
日高東部海域	えりも(えりも町)	90> $\geq$ 80			$\geq$ 90
	えりも(庶野)	90> $\geq$ 80			$\geq$ 90

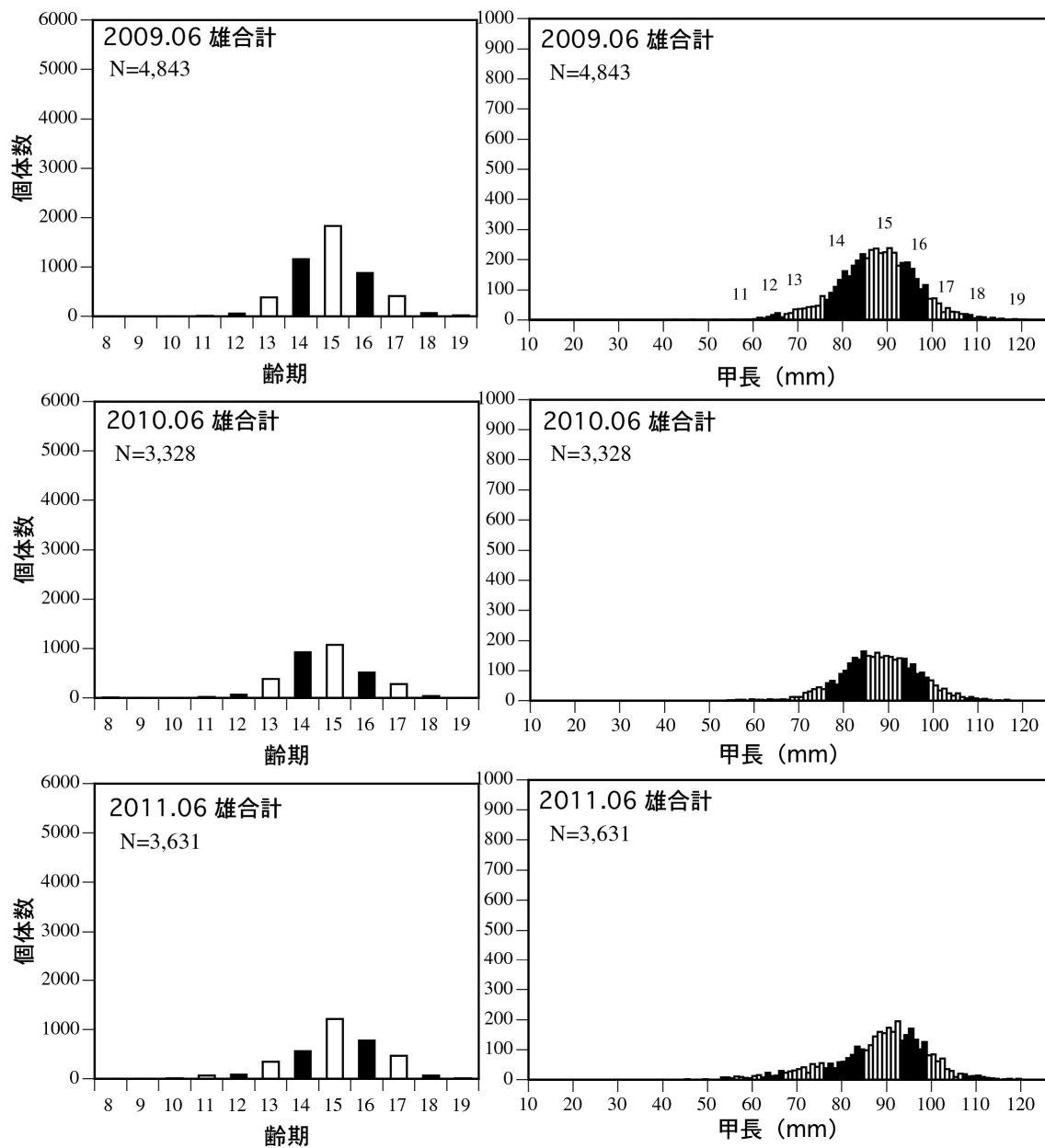


図3 日高西部海域における資源密度調査時のケガニ雄の齢と甲長組成図（右上図の図中の数字は齢期を示す）

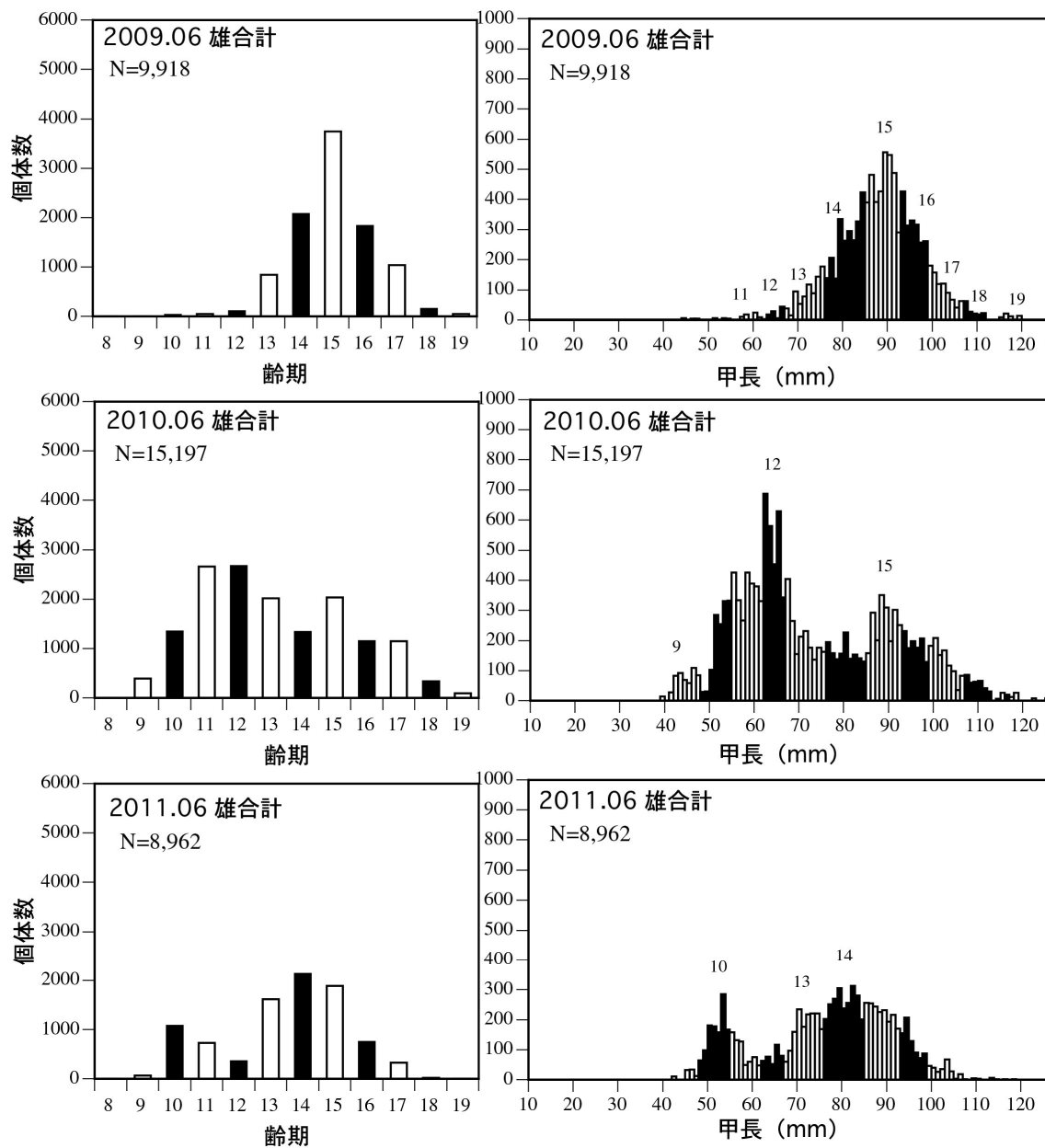


図4 日高東部海域における資源密度調査時のケガニ雄の齢と甲長組成図（右上図の図中の数字は齢期を示す）



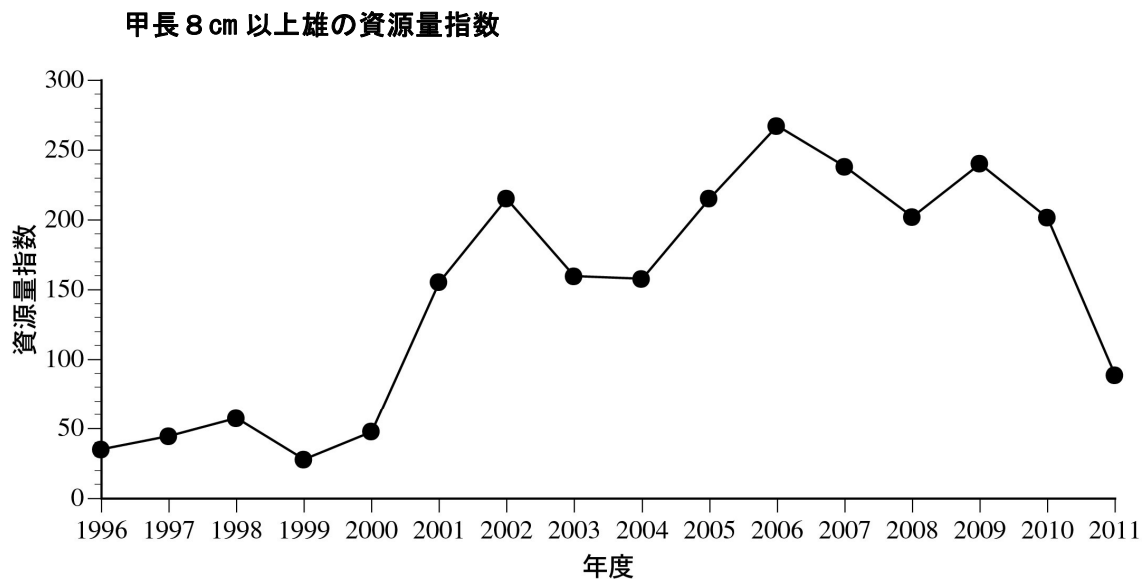


図5 日高海域における甲長 8 cm 以上雄の漁期初めの資源量指数の推移

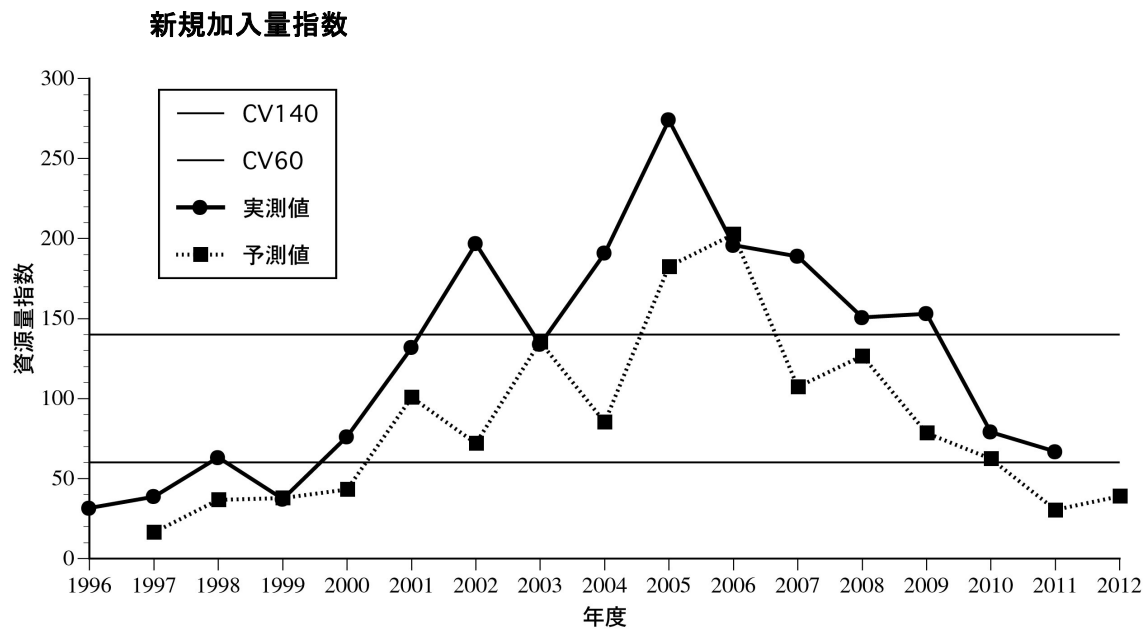


図6 日高海域における新規加入量指数（黒丸，実線）と次年度の新規加入量指数の予測値（四角，破線）の推移

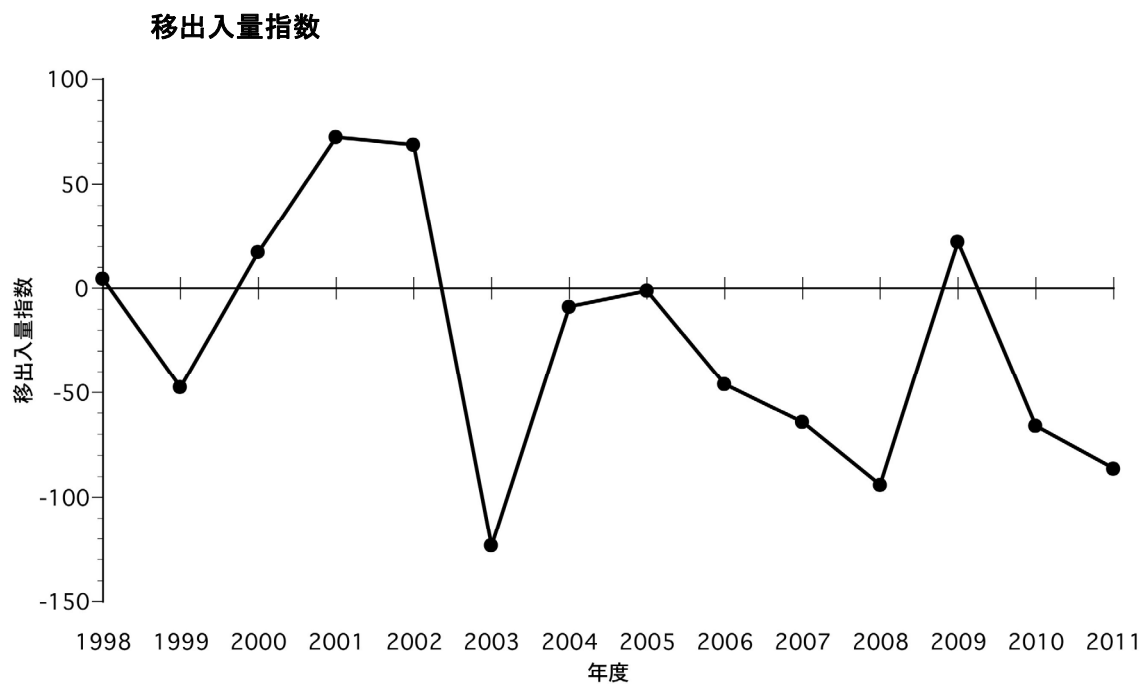


図7 日高海域における移出量指数の推移（正值側へ振れは移入，負値側への振れは移出）

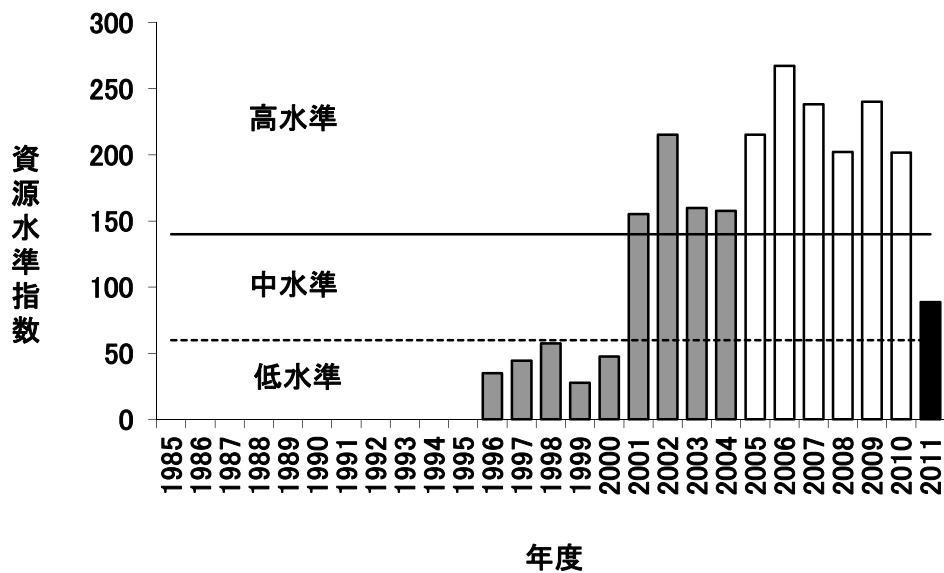
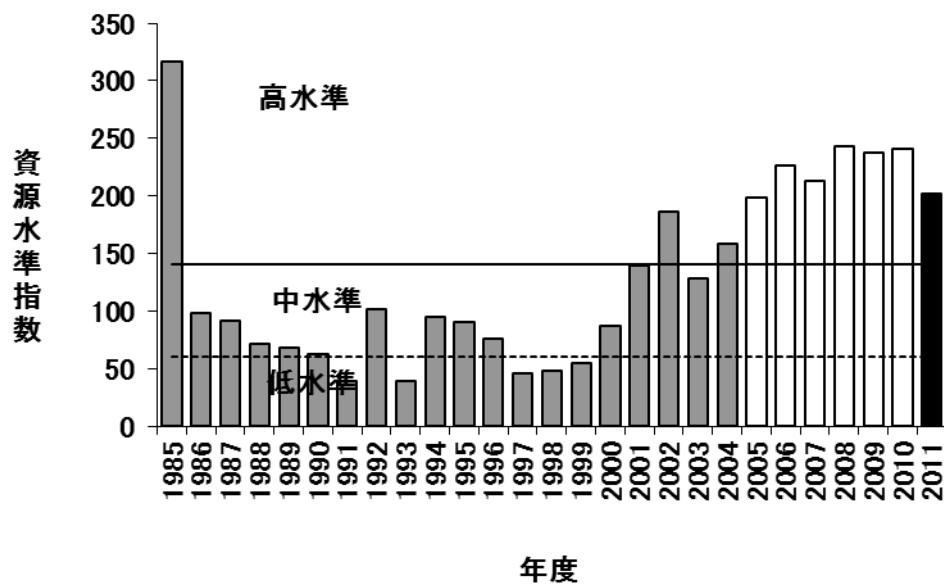
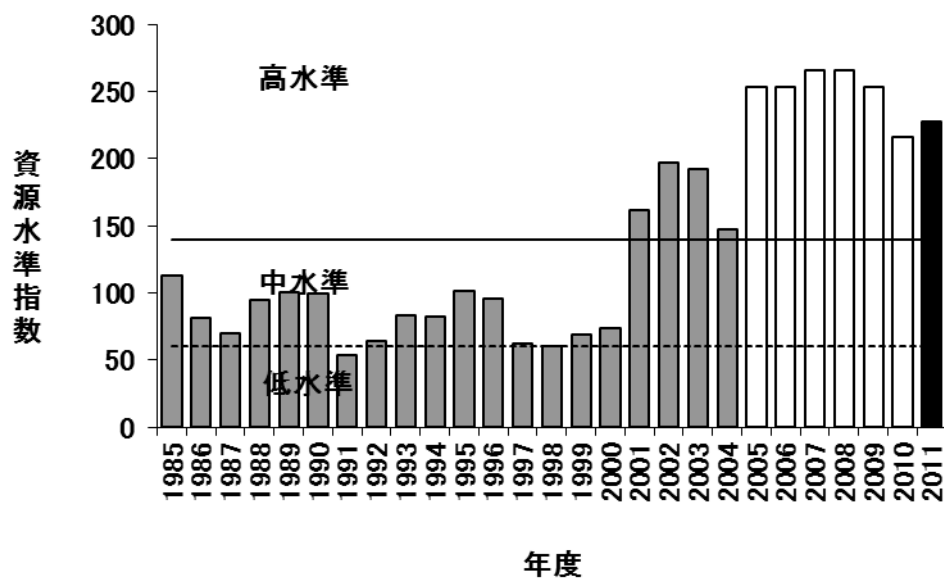


図8 日高海域におけるケガニの資源水準（資源状態を示す指標：資源量指数）



付図1 日高西部海域におけるケガニの資源水準 (資源状態を示す指標：漁獲量)



付図2 日高東部海域におけるケガニの資源水準 (資源状態を示す指標：漁獲量)

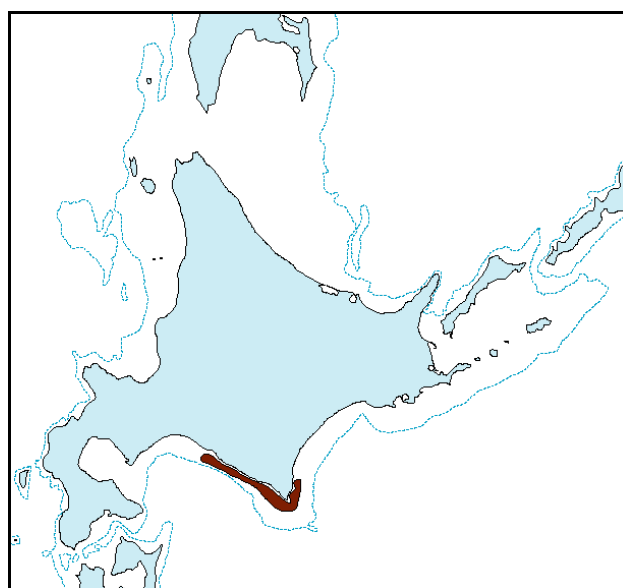
生態表 魚種名：ケガニ 海域名：日高海域

図 ケガニ（日高海域）の漁場図

## 1. 分布・回遊

オス・メスともに季節的な深淺移動を行い，1～5月は水深20～60m，9～10月は水深100～120mが主分布となる。漁獲対象サイズのオスは大きな水平移動をしない<sup>1)</sup>。

## 2. 年齢・成長（加齢の基準日：4月1日）

年齢	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳	7歳	8歳	9歳	10歳	11歳	12歳	
齡期	第8	第9	第10	第11	第12	第13	第14	第15	第16	第17	第18	第19	
甲長(cm)	オス	35	44	51	57	65	71	81	89	95	104	110	120
	メス	34	42	48	54	59	63	67	71	76	83		
体重(g)	オス	25	40	68	102	155	208	317	414	540	659	829	1,032
	メス			59	87	108	138	167	200	245	320		

（佐々木・栗原<sup>2)</sup>，佐々木<sup>3)</sup>，佐々木<sup>4)</sup>を改変）

（オスの第9齡以降は1年に1回脱皮すると仮定，メスの成熟後の年齢は特定できない。）

## 3. 成熟年齢・成熟体長

- ・オス：甲長44mm，2歳から成熟する個体がみられる<sup>2-4)</sup>。
- ・メス：甲長42mm，2歳から成熟する個体がみられる<sup>2-4)</sup>。

## 4. 産卵期・産卵場

- ・産卵期：7～8月と11～4月の2群がある。幼生ふ化期は3～4月である。
- ・産卵場：資源調査の結果によるとデータ抱卵個体は噴火湾奥部に多い。
- ・産卵生態：メスは産卵後，受精卵を自分の腹肢に付着させ，幼生ふ化まで移動・保護する。交尾から産卵までに半年以上かかるため，魚類のような産卵場という概念はあまり意味がない。メスの脱皮タイミングにあわせて，交尾および産卵が2～3年に1回行われる<sup>2-4)</sup>。

## 5. その他

なし

## 6. 文献

- 1) 三原栄次・佐々木正義：標識放流試験からみた道南太平洋の成体ケガニの移動. 北水試研報. 55, 123-130 (1999)
- 2) 佐々木潤・榎原康裕：ケガニの齡期判別と成長. 北水試研報. 55, 29-67 (1999)
- 3) 佐々木潤：道東太平洋におけるケガニの生殖周期. 北水試研報. 55, 1-27 (1999)
- 4) 佐々木潤：ケガニの水産生物学的研究 -最新の研究から；成長モデルの紹介-. 月刊海洋号外総特集「甲殻類」10章 水産有用種の最近の研究. 海洋出版株式会社, 東京. 223-229 (2001)