

魚種（海域）：ケガニ（噴火湾海域）

担当水試：栽培水産試験場

要約表

評価年の基準 (2012年度)	資源評価方法	2012年度の 資源状態	2012～2013年度 の資源動向
2012年4月1日 ～2013年3月31日	資源量指数	中水準	減少

*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

けがにかご試験操業

・操業許可期間（2012年度）

6月20日～7月12日までの23日間

・隻数（2012年度）

許可枠76隻以内（操業隻数55隻）

・漁具

1隻300かご以内、目合3寸8分（11.5cm）以上

・漁場

主漁場は室蘭～伊達沖と豊浦～長万部沖に形成されるが、年によって森～八雲沖、湾中央付近にも漁場が形成される。噴火湾は渡島と胆振管内にまたがるため、管内毎に区切られた海域で操業を行っている。津軽暖流の影響を受けるため、年変動による漁場の偏りが大きい。

・漁獲物の特徴

漁獲物は脱皮後に回復したものや堅甲ガニ（脱皮間期の個体）である。近隣の胆振太平洋海域に比較して大型のものが多く傾向がある。また、許容漁獲量が設定されているため、小型ガニ（甲長8cm台前半）を海中還元するなどの漁獲量調整をする年が多い。

(2) 現在取り組まれている資源管理方策

- ・許容漁獲量制度により漁獲量を制限している。
- ・隻数制限（噴火湾76隻以内）、かご数制限（1隻300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、6～7月に23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 2～3 月に、1997 年度は 19 定点、1998 年度～1999 年度は 20 定点、2000 年度～2006 年度は 16 定点、2007 年度～2011 年度は 17 定点、2012 年度は 21 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 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**： 「噴火湾海域におけるけがにかご試験操業実施要領」に指定された調査区域のうち、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 以上の範囲に設定した。実際には、後の解析（ブロックリギング）で積分を容易にするため、1,109 ブロックに分割した。推定範囲の面積は、2,014.54 km² である。

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¹⁻³⁾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。本海域の場合、資源密度調査時期が年によっては雄の脱皮時期にあたるため、さらに脱皮前（堅甲）と脱皮後（軟甲）に分離して解析に用いた。

ウ. **密度換算**： かにカゴで漁獲された性別・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。

カゴによる漁獲量と資源密度の関係⁴⁾は、次式で示される。

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

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

S ：カゴの誘集面積である。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 5-(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⁵⁻⁷⁾、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 $n = 50$ 個のとき、誘集面積 S は、51,889.55 m² となる。

- エ. **資源密度推定：** ケガニは集中分布することが知られ⁸⁾、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⁹⁻¹¹⁾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 5-(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)¹²⁾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 5-(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 5-(4)を参照）。前述した資源量推定範囲を 1,109 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。また、本海域の調査時期である 3 月は、年によっては、脱皮期にあたるため、脱皮前（堅甲）と脱皮後（軟甲）個体に分離して計算を行い、堅甲個体は操業期間までには脱皮成長するものと仮定し、次の齢に入れて集計した。

- 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¹³⁾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 (3 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（3 月時点）、 \hat{N}_R は本年度の新規加入個体数（3 月時点）、 \hat{N}_{R+} は次年度新規加入個体数（3 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（3 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（3 月時点） N'_R 、次年度新規加入重量（3 月時点） N'_{R+} は、以下のとおり。

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

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

ただし、佐々木¹⁴⁾によると、軟甲個体は、堅甲個体に比べ 4.8~9.5%体重が少ないため、ここでは、表 1 の平均体重の 7%減で計算した。

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、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。

- キ. **漁期初めの資源量指数**： 漁期初めの資源量指数（6 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（3 月時点）の 3 か月先の予測なので 0.25 年分の生残率を掛けることで求めた。

$$N_{Index} = N'_{Index} \cdot e^{-\frac{3}{12}M}$$

同様に漁期初めの新規加入量指数は、第 14 齢群の 1/2 と第 15 齢群の 1/2 に 0.25 年分の生残率を掛けることで求めた。

$$N_{IndexR} = N'_{IndexR} \cdot e^{-\frac{3}{12}M}$$

- ク. **次年度の新規加入量指数**： 次年度の新規加入量指数（次年度 6 月時点）は、資源密度調査時（3 月時点）のデータから推定した次年度新規加入量指数（第 13 齢群の 1/2 と第 14 齢群の 1/2）の 15 か月先の予測なので、1.25 年分の生残率を掛けることで求めた。

$$N_{IndexR+} = N'_{IndexR+} \cdot e^{-\frac{15}{12}M}$$

- ケ. **移出入量指数**： 過去の調査結果から年によって急激な資源変動がみられ、この資源変動と新規加入量変動との相関が認められない。また、資源密度分布のモニタリングから、高密度域の移動が認められている。これらのことから、本海域で見られる急激な資源変動は、隣接海域への移出入の影響が示唆される。新規加入量の推定は、資源の将来予測と資源管理に重要であるが、本海域のように必ずしも新規加入量が資源変動に寄与していない場合、他の影響を考える必要があるため、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

漁獲量の推移を図2と表2に、許容漁獲量の推移を表2に示した。

当海域の漁獲量は1980年代前半に急増したが、違反行為が横行するようになり、乱獲状態に陥ることとなった。乱獲状態から資源を回復させる目的で1984年に禁漁措置を行い、その後漁獲量は急激に回復したようにみえたものの、1987年以降は急激に漁獲量が減少した。これらの問題を契機に当海域では、1990年～1991年まで再び禁漁措置を行い、その後1992年から許容漁獲量制度が導入された。許容漁獲量は、1992年度の228トンから1994年度の76トンまで大幅に減少し、1994年度以降は、60～111トンの範囲で推移している。

漁獲量を禁漁となった1984年度以降でみると、1986年度に過去最高の444トンを記録した後に減少し、1990、1991年度には再び禁漁となった。1992年度以降は許容漁獲量制度が導入されたため、導入前に比べて振れの小さい33～98トンで推移している。

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～2002年度までは、小銘柄がほぼ半数を占めていたが、2003年度以降は、小銘柄の割合が減少し、中以上の銘柄が増加している。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が、近年の漁期前に行っている資源密度調査結果とも一致している。

(2) 現在（評価年）までの資源状態

2006年度以降の資源密度調査による雄ケガニの年齢組成と甲長組成を図3～4に示した。組成図の縦軸は採集個体数となっているので、資源量の水準の指標となると考えられる。2006年度の組成は、第15齢にモードがあり、第13齢以下の小型個体の比率は少なく、採集個体数も多くなかった。ところが、2007年度には、第14齢をモードとし、第13齢～第15齢の比率が急激に高まるとともに採集個体数も2006年の5.6倍となった。これは湾外からの移入による変化と考えるのが妥当と思われる。2008年度もこの状態が続き、第15齢～第16齢の比率が高まった。2009年度には採集個体数が減少し、モードは第15齢に移行、第16齢以上の高齢群の割合が高くなった（以上図3）。2010度も同様に、年齢期のモードは第15齢にあり、第16齢以上の高齢群の割合が高かったが、急激に採集個体数が減少した。2011年度の年齢期のモードは第16齢に移行し、さらに高齢化が進み、採集個体数が2006年度とほぼ同様なレベルまで減少した。2012年度も2011年度と同様に新規加入群である第14齢がほとんどみられず、採集個体数も2011年のほぼ50%に減少した（以上図4）。

噴火湾海域の推定資源量指数（図5）は、1997年度から2000年度までは、ほぼ横ばいで推移していたが、2001年度と2002年度にやや増加し、その後2004年度までは減少したものの、2005年度から2006年度には微増した。ところが2007年度、2008年度は、資源量指

数が急増した。新規加入量指数（図 6）も同様な変化を示し、2007 年度、2008 年度に急増していることから、この変化は、新規加入量の急増によるものと推定される。しかし、2007 年度の次期加入量指数の予測値（2006 年度の第 13 齢および 14 齢群）は高いとはいえず（図 3, 6）、また、移入量が大きく正值に振れていること（図 7）から、大規模な移入による影響が示唆される。2009 年度以降の資源量指数は減少に転じ、2012 年度の資源量指数はほぼ 1997 年度並の 101 と、2006 年度以前のレベルまで減少した。これは 2009 年度以降の新規加入量の減少（図 3, 4, 6）と噴火湾外への移出（図 7）による影響と示唆される。

(3) 評価年の資源水準： 中水準

1997 年度から 2004 年度までの 8 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 ± 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、2012 年度の資源水準指数は、101 であることから、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： 減少

2007 年度や 2008 年度のような湾外からの移入による影響が示唆される場合には過小評価する傾向があるが、2013 年度漁期に予測される新規加入量指数は 1997 年度以降で最低であり（図 6）、近年小型個体の比率も非常に低い（図 4）ことから、2013 年度の資源動向は減少と判断した。

4. 文献

- 1) 佐々木潤、栗原康裕：ケガニの齢期判別法と成長。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)
- 14) 佐々木潤：3. 北海道周辺のケガニ. 大富潤・渡邊精一 (編), 水産学シリーズ138 エビ・カニ類の資源の多様性. 日本水産学会, pp. 31-44, (2003)

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いため、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 γ が距離のみの関数であるとき、

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

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 γ^o 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⁹⁻¹¹⁾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): $(\theta_0, \theta_1 \geq 0, \theta_2 > 0, \quad 1 \leq d \leq 3)$

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

(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 γ 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 (μ 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 λ 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 λ 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 ¹⁾ 佐々木 ²⁻³⁾ 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
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 ²⁾	
カニかごの誘集半径	40 m			西内 ⁵⁾	
自然死亡係数	0.21, 田中の方法(12歳を寿命とした)			田中 ⁸⁾	

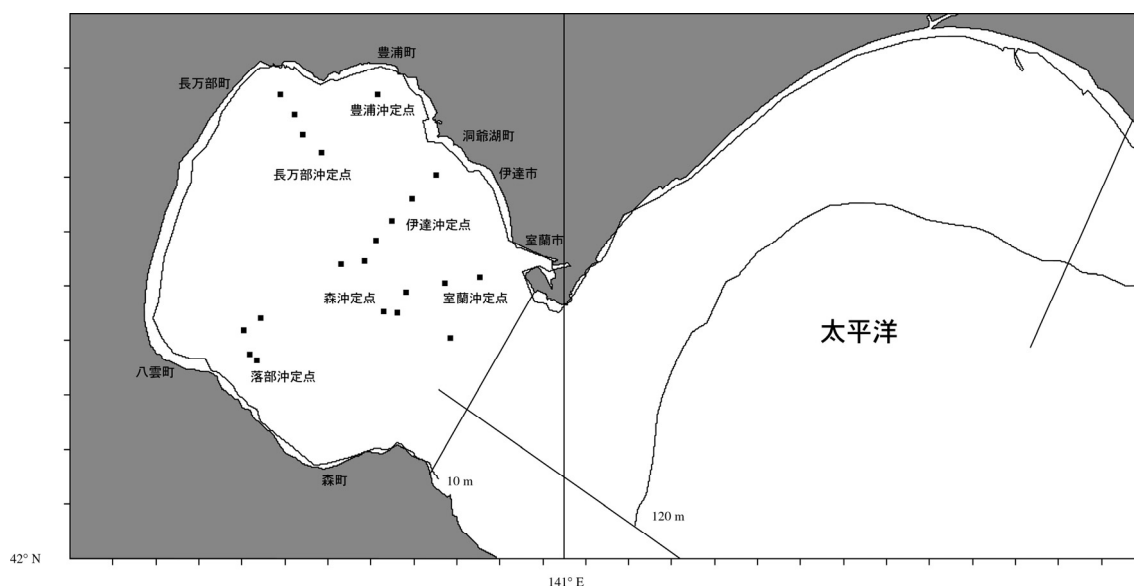


図 1 2012 年度の噴火湾海域におけるケガニ資源密度調査点と資源量推定範囲

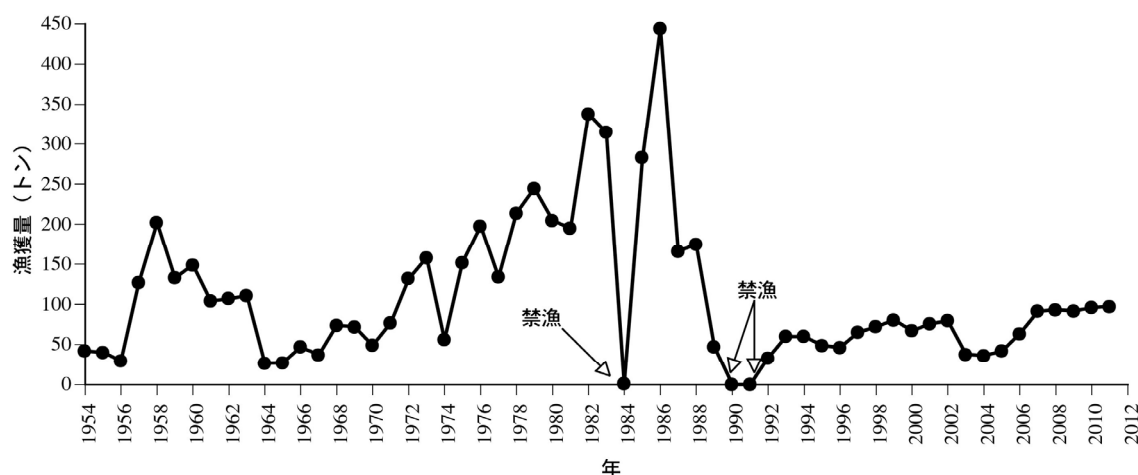


図2 噴火湾海域におけるケガニ漁獲量の経年変化

資料:北海道水産現勢(1954~1984年), 渡島・胆振総合振興局報告資料(1985年以降)
集計範囲(期間):砂原町~伊達市(1954~1984年), 砂原町~室蘭市の噴火湾内(1985年以降)

表2 噴火湾海域のケガニ漁獲量と許容漁獲量の経年変化

年度	噴火湾			実配分許容漁獲量*2 (トン)
	漁獲量(トン)*1			
	かにかご	刺し網	合計	
1985	263.0	20.0	283.0	
1986	416.0	28.0	444.0	
1987	143.0	23.0	166.0	
1988	144.0	31.0	175.0	
1989	38.0	9.0	47.0	
1990				禁漁
1991				禁漁
1992	33.0		33.0	228.0
1993	60.0		60.0	114.0
1994	60.0		60.0	76.0
1995	48.8		48.8	74.0
1996	46.2		46.2	63.0
1997	65.2		65.2	76.0
1998	72.4		72.4	74.0
1999	80.5		80.5	83.6
2000	67.3		67.3	83.6
2001	75.7		75.7	91.2
2002	79.9		79.9	111.0
2003	37.6		37.6	67.6
2004	36.0		36.0	60.0
2005	41.8		41.8	60.0
2006	63.5		63.5	80.0
2007	91.6		91.6	96.0
2008	93.2		93.2	97.9
2009	91.8		91.8	92.0
2010	96.0		96.0	96.9
2011	97.3		97.3	97.9
2012	73.6		73.6	76.0

*1 漁獲量は渡島・胆振総合振興局報告資料による。
漁獲量集計期間:4月~翌3月、噴火湾:砂原漁協~室蘭漁協(湾内)

*2 許容漁獲量は、かにかごを対象に1992年以降から設定した。
1999年度の許容漁獲量は当初76トンであったが、漁期中に変更した。

表3 噴火湾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	カタ
1997	57.6	40.6	1.9
1998	51.5	48.5	0.0
1999	45.7	51.6	2.7
2000	53.8	44.0	2.2
2001	44.6	51.7	3.6
2002	53.2	45.3	1.4
2003	18.6	77.6	3.8
2004	31.2	66.3	2.6
2005	38.7	58.5	2.9
2006	38.7	58.5	2.9
2007	38.7	58.5	2.9
2008	25.7	72.7	1.6
2009	25.7	69.7	4.6
2010	18.3	75.6	6.1
2011	16.9	71.9	11.1

表4 噴火湾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	特大	カタ
砂原	85>	≥80	95>	≥85	≥95		堅ガニ ≥80
森	85>	≥80	95>	≥85	≥95	≥110	
落部	90>	≥80	100>	≥90	≥100		堅ガニ ≥80
八雲町	90>	≥80	100>	≥90	≥100		堅ガニ ≥80
長万部	90>	≥80	100>	≥90	≥100		堅ガニ ≥80
いぶり噴火湾(豊浦)			90>	≥80	≥90		
いぶり噴火湾(虻田)			90>	≥80	≥90		
いぶり噴火湾(有珠)			90>	≥80	≥90		
いぶり噴火湾(伊達)			90>	≥80	100> ≥90	≥100	
室蘭	90>	≥80	100>	≥90	≥100		

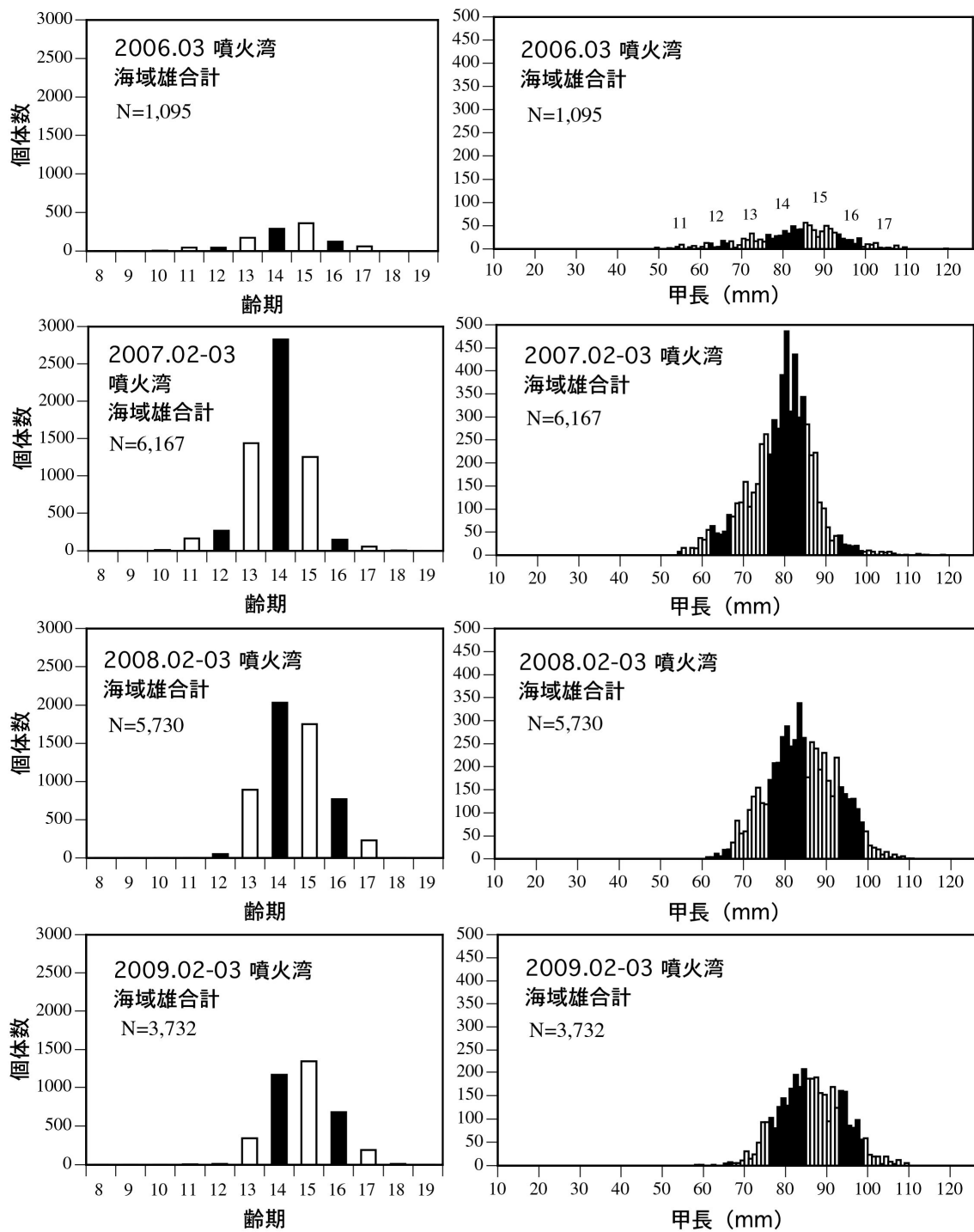


図3 噴火湾海域における資源密度調査時のケガニ雄の齢と甲長組成図
(2006年度～2009年度, 右上図の図中の数字は齢期を示す)

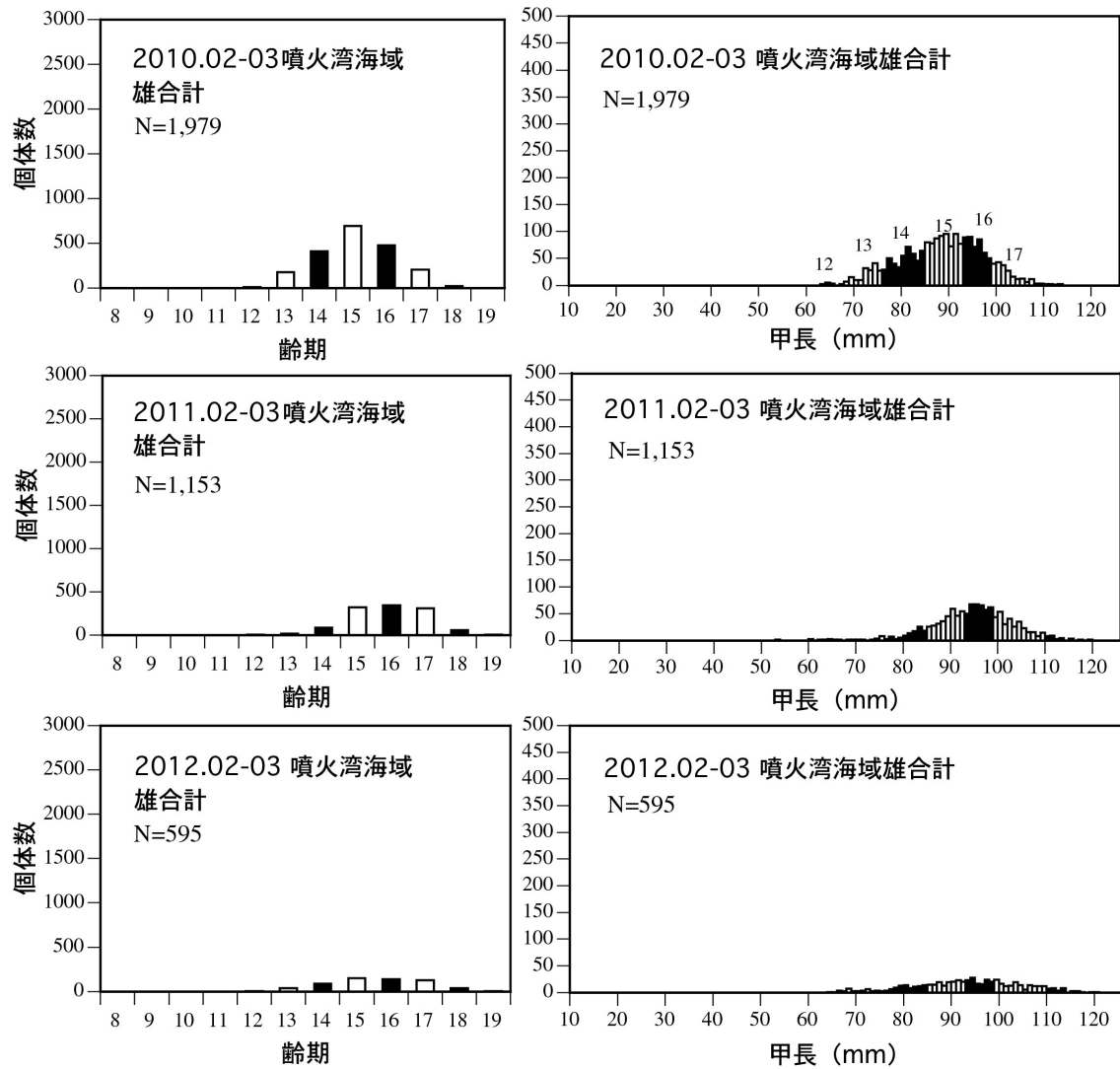


図4 噴火湾海域における資源密度調査時のケガニ雄の齢と甲長組成図
(2010年度～2012年度, 右上図の図中の数字は齢期を示す)

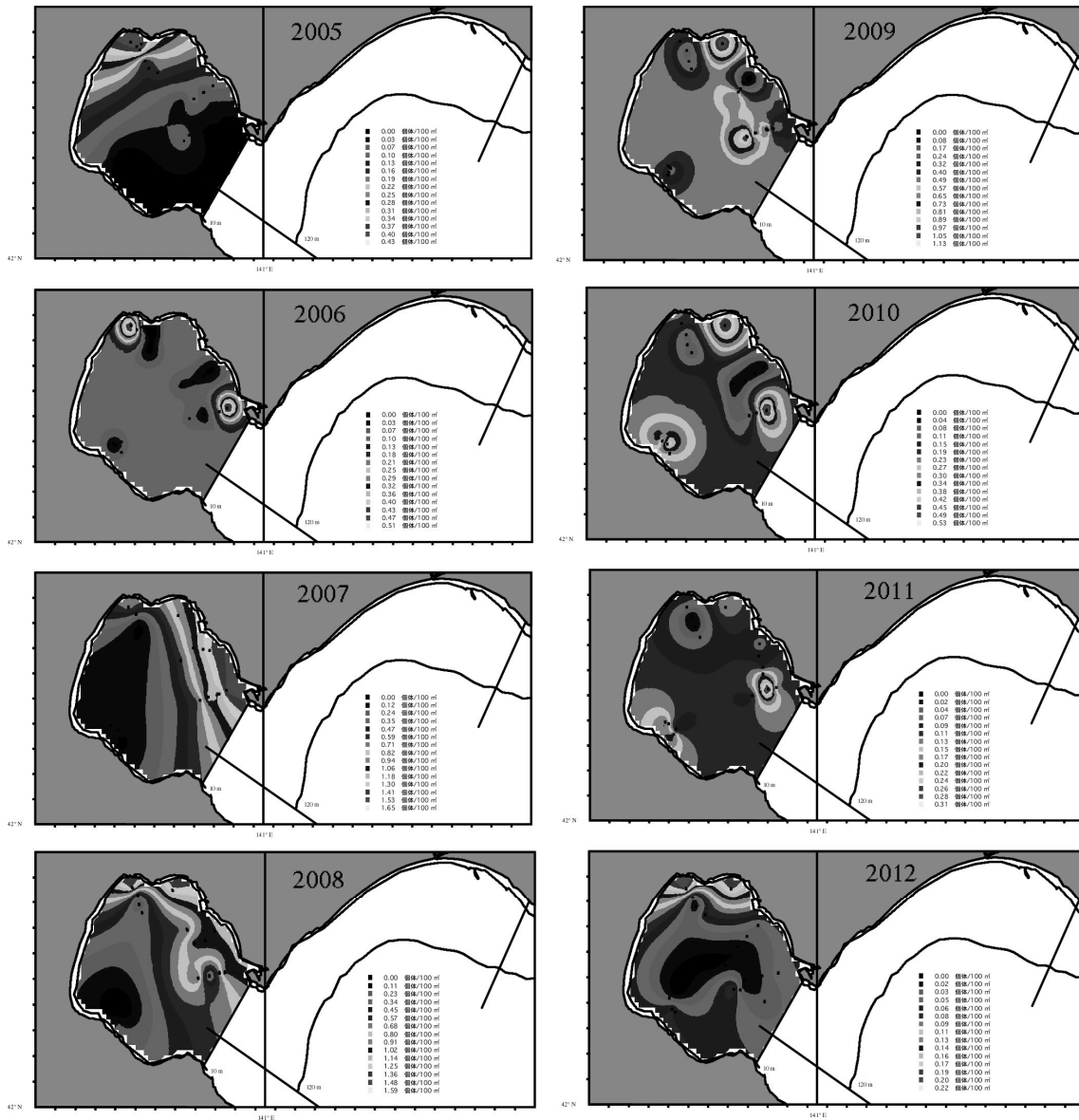


図5 噴火湾海域における資源密度調査時のケガニ雄の密度分布図
(2005~2012年度の通常クリギング結果：明るい色の部分が高密度)

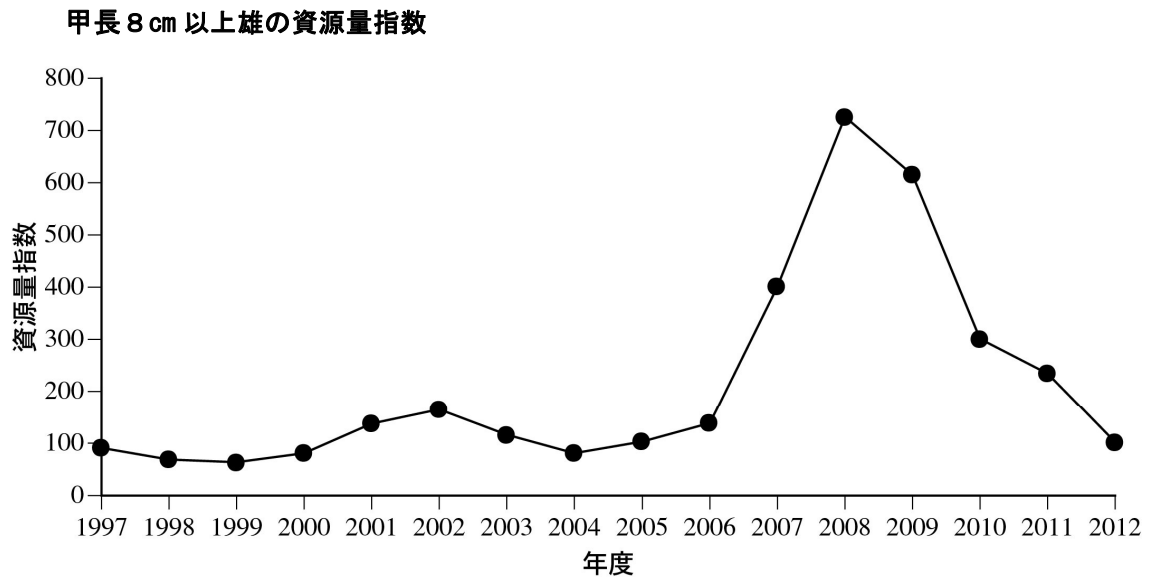


図 6 噴火湾海域における甲長 8 cm 以上雄の漁期初めの資源量指数の推移

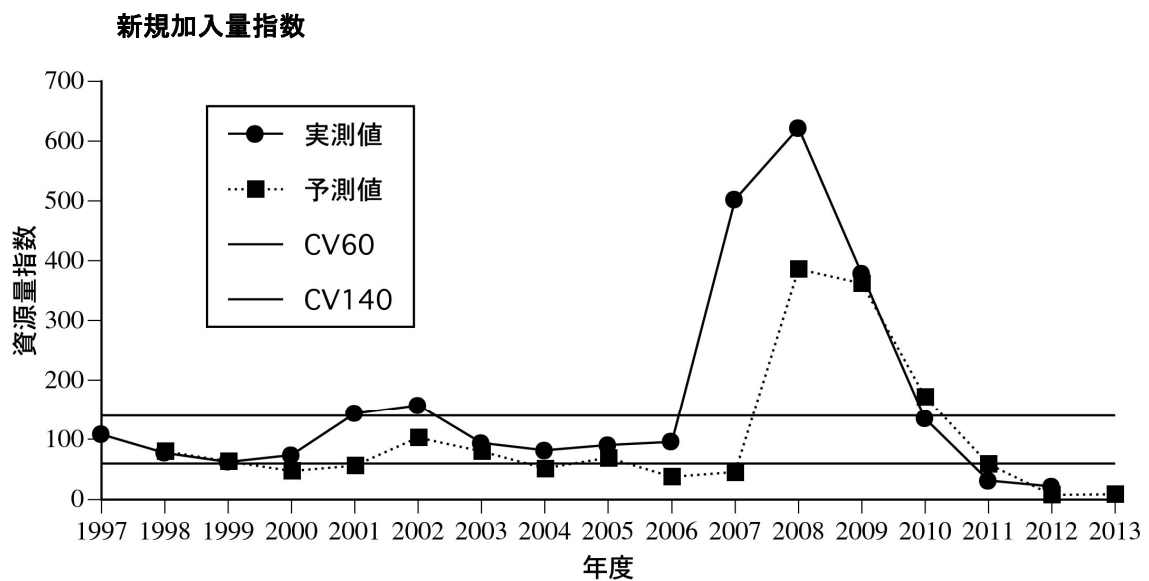


図 7 噴火湾海域における新規加入量指数（黒丸、実線）と次年度の新規加入量指数の予測値（四角、破線）の推移

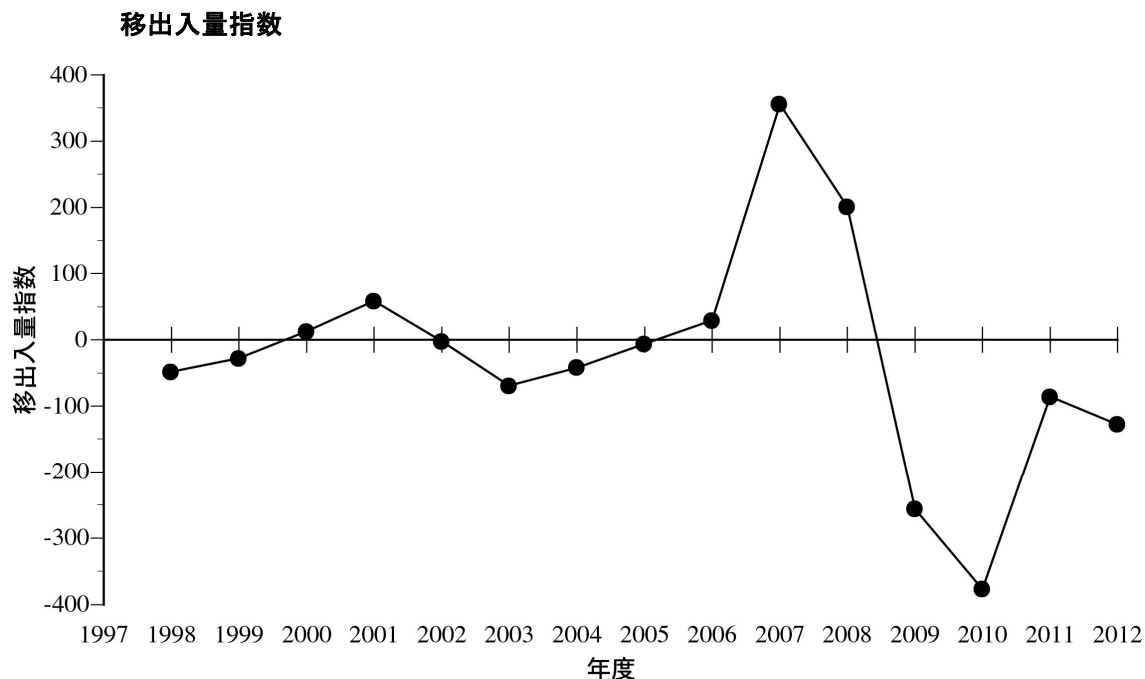


図 8 噴火湾海域における移出入量指数の推移（正值側への振れは移入，負値側への振れは移出）

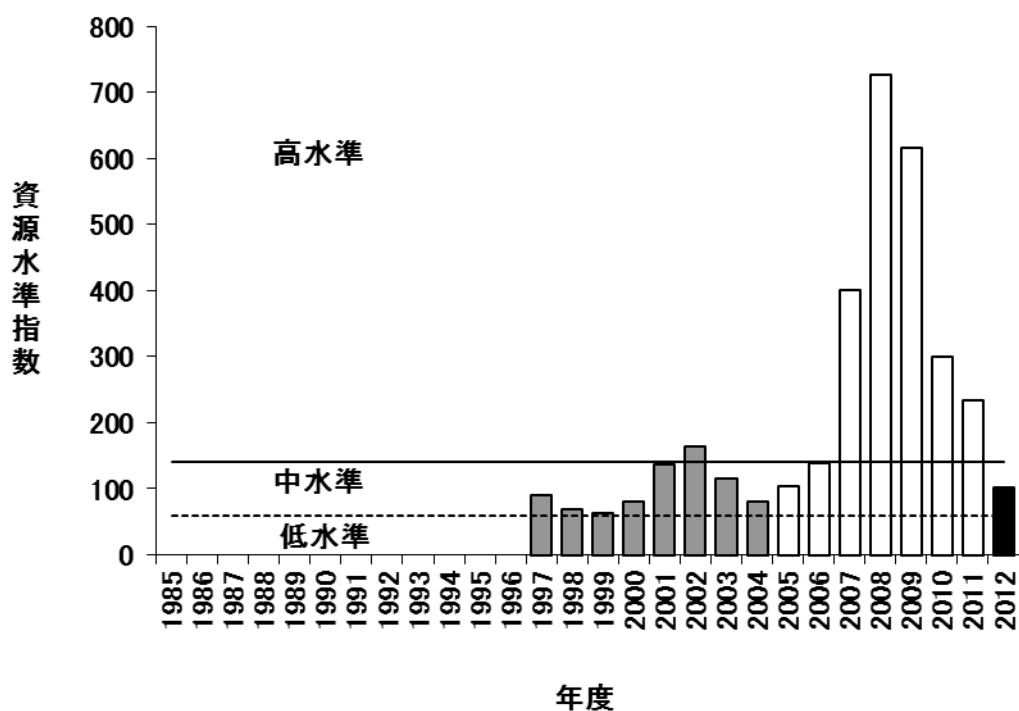


図 9 噴火湾海域におけるケガニの資源水準（資源状態を示す指標：資源量指数）

* 評価年は 2012 年度

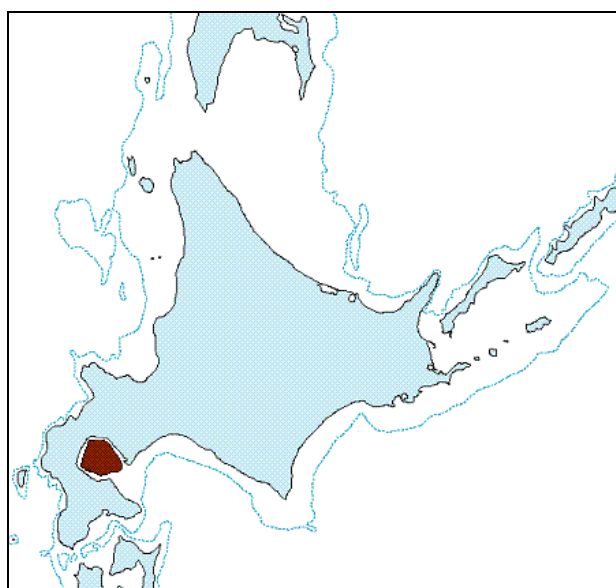
生態表 魚種名：ケガニ 海域名：噴火湾海域

図 ケガニ（噴火湾海域）の漁場図

1. 分布・回遊

オスの高密度域は静狩沖に形成される。また、オス・メスともに季節的な深浅移動を行い、1～5月は水深20～60m、9～10月は水深100～120mが主分布域となる。漁獲対象サイズのオスは大きな水平移動をしないが、胆振太平洋海域から噴火湾方向への小さい移動が見られる¹⁾。

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	
齢期	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²⁾，佐々木³⁾，佐々木⁴⁾を改変）

（オスの第9齢以降は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²⁻⁴⁾。
- ・メス：甲長42mm，2歳から成熟する個体がみられる²⁻⁴⁾。

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²⁻⁴⁾。

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・桑原康裕：ケガニの齢期判別と成長. 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)