

ハナサキガニと人々の生活を繋ぐ流れの解明

2005 年度成果報告書

目次

はじめに	3
------------	---

第1部 オホーツク海の流れとハナサキガニ浮遊幼生分散過程のシミュレーション

1. 背景	5
2. 目的	6
3. モデルの記述	6
4. 結果	7
4.1. ARGOS ブイとの比較	7
4.2. ハナサキガニ浮遊幼生の分散	11
5. 論議	14
6. 引用文献	16

第2部 モデル検証のためのドリフターによる調査手法の検討

1. 目的	17
2. ドリフター・データを選択した理由	17
3. データの探索	18
3.1. 海流瓶データ	18
3.2. ドリフター・データ	19
4. ドリフター調査手法の検討結果	20

終わりに	21
------------	----

はじめに

この報告書は、根室市ハナサキ・プログラムの一環として、水産海洋研究工房「親潮屋」が、2005年度に実施した研究成果である。

ハナサキガニは、わが国（の実効支配の範囲内）では根室半島周辺に分布し、根室半島の古名（[花咲半島]）あるいは茹で上がりの鮮やかな色に由来する、ハナサキという名前を持つ、根室の地域特産種である。根室市ハナサキ・プログラムは、このハナサキガニを主題に、その資源の維持増大、科学的知見の蓄積、味覚文化の深化と拡大、資源価値の向上と実現を図って、根室を千島一オホーツク海域の水産基地・味覚観光都市としての街づくりと日露共同での資源維持の増大への絆の形成を目指そうとする、研究プロジェクトである。

ハナサキガニ資源の現状は深刻である。根室半島周辺の漁業協同組合の種苗法流や許容漁獲量による資源管理の努力にもかかわらず資源水準は低迷を続け、しかも漁獲物のサイズは年々小型化していることが報告されている。その一方で、隣接する北方四島水域から合法・非合法を含む漁獲物が大量に輸入されるため、地元で獲れたカニは輸入ガニに量に圧されて十分な値が付かず、資源保護のインセンティブがもたらされない状況である。ロシアにとってもこのカニの密漁密輸は資源管理の大きな妨げとなっており、この海域の資源についての共同研究によって将来の資源保護の共同作業への展望を必要としている。このため、根室市は、ハナサキ・プログラムの中心的活動として、サハリン漁業海洋学研究所とハナサキガニについての共同研究に関する覚書を2004年に交わし、共同研究を開始した。

このような背景から成り立つハナサキ・プログラムは、以下のような課題構成を持っている：

- 漁業と資源の動態の解明に関する課題
 - サブテーマ 1-1 ハナサキガニの漁業実態とカニかごの漁獲性能の調査
 - サブテーマ 1-2 ハナサキガニ資源豊度の推定方法に関する研究
 - サブテーマ 1-3 ハナサキガニの漁獲変動に及ぼす環境変動の影響の研究
- 資源構造と資源生態に関する課題
 - サブテーマ 2-1 資源の遺伝的多様性と集団構造に関する研究
 - サブテーマ 2-2 ハナサキガニの生態に関する研究
 - サブテーマ 2-3 ハナサキガニ浮遊幼生の輸送分散に関する数値モデル研究
- 増養殖技術に関する課題
 - サブテーマ 3-1 ハナサキガニの種苗生産技術に関する研究
 - サブテーマ 3-2 ハナサキガニの中間育成技術に関する研究
 - サブテーマ 3-3 ハナサキガニの養成に関する研究
- 味覚品質課題
 - サブテーマ 4-1 ハナサキガニの鮮度・活度指標とその維持手法の開発
 - サブテーマ 4-2 ハナサキガニ味覚成分の地理的季節的変化の研究
 - サブテーマ 4-3 ハナサキガニのブランディング・システムに関する研究
- 資源回復方策と漁業システムの設計に関する課題
 - サブテーマ 5-1 ハナサキガニ資源回復諸方策の費用対効果の評価
 - サブテーマ 5-2 適正なハナサキガニ漁業のあり方に関する経済的研究
 - サブテーマ 5-3 ハナサキガニの資源及び漁業の動態モデルの開発

なお、これらの課題の内、サフニロとの共同研究の直接の対象は、「漁業と資源の動態の解明に関する課題」と「資源構造と資源生態に関する課題」の二つである。

この事業で進める研究課題は、サブテーマ 2-3「ハナサキガニ浮遊幼生の輸送分散に関する数値モデル研究」である。その目的は以下のとおりである：ハナサキガニは、根室半島周辺、カムチャツカ・サハリン・千島列島に分布し、海流が運ぶ浮遊幼生によってそれぞれの地域群は交流していると考えられている。同じ流れは、ゴミや有害物も運ぶため、ハナサキガニを共有する日露の沿岸住民は、この流れの功罪を併せて共有している。しかし、オホーツク海および千島列島の沿岸に接して流れる海流の実態については、十分な情報がない。この流れとそれによる輸送の実態を解明し、これによって連携している日露住民の生活と生産の連携と協力の絆としたい。

今年度の達成目標は、必要な要素を備えた原型モデルを構築すること絞り：

- ✓ オホーツク海－親潮海域の物理モデルを導入して、ハナサキガニ幼生の輸送分散の問題を調べるために不可欠の過程を再現できるように改良する；
 - ✓ ハナサキガニの幼生および成体の生活サイクルと環境との関係を整理し、海洋生態系モデルに生物要素として組み込む；
 - ✓ 物理モデルと海洋生態系－ハナサキガニ結合モデルを統合し、粒子追跡実験を行ってハナサキガニ浮遊幼生の輸送分散を調べる；
 - ✓ 既存のドリフター・データと比較して、モデルの達成度を検証する；
 - ✓ 日露両海域にまたがって展開することを想定した、ドリフター（海流ハガキなどによる）調査の手法を検討する；
- ことを目指した。

したがって、この報告書は；

- 1) オホーツク海の流れとハナサキガニ浮遊幼生分散過程のシミュレーション；
- 2) モデル検証のためのドリフターによる調査手法の検討結果；

の2部で構成する。

なお、ハナサキ・プログラムは5年計画の事業であるが、根室市がプログラムのNPO化を断念した経緯もあって、この研究に対する日本財団の助成は2005年の単年度で終わることになっている。このため、この報告書に記載する成果は、研究の第一年目の成果であることをお断りしておく。

平成18年3月7日

水産海洋研究工房「親潮屋」 代表 柏井 誠

第1部 オホーツク海の流れとハナサキガニ浮遊幼生分散過程のシミュレーション

柏井 誠(水産海洋研究工房「親潮屋」)、
森島秀太(水産海洋研究工房「親潮屋」・北海道大学水産学部)、
永田 豊(水産海洋研究工房「親潮屋」・海洋情報研究センター)、
岸 道郎(水産海洋研究工房「親潮屋」・北海道大学水産学部)、
奥西 武(北海道大学工学部)

1. 背景

ハナサキガニ (*Paralithodes brevipes*)は、沿岸の浅い岩礁域に棲むカニで、わが国では根室半島周辺に分布し、広くはオホーツク海周辺の国後・択捉島から歯舞・色丹島周辺海域、サハリン島、千島列島、カムチャツカ半島に渡って分布しているとされている。

ハナサキガニは雌雄一対で交尾し、産卵され受精した卵は、雌の腹肢に付着して保護されてノープリウス期・プリゾエア期を経て、ゾエア期幼生としてふ化する。ふ化した幼生は浮遊生活を送り、ゾエア(3期)とグローコテ期を経て、着底して稚ガニとなる。浮遊幼生の出現期はゾエアⅠ期が5月上旬から中旬、Ⅱ期が5月半ばから6月上旬、ゾエアⅢ期が5月下旬から6月中旬と考えられている。(鳥澤、1991)

池田らは、マイクロサテライトDNAマーカーの開発を行い、サハリン・南千島・根室半島沿岸のハナサキガニ集団の遺伝的多様性と集団構造について検討している。その研究結果によれば、根室半島沿岸の集団とサハリンの集団の間には遺伝的分化が存在するが、根室半島沿岸の集団と南千島の集団の間には遺伝的差異は認められず、同一の繁殖集団の可能性が高いことが明らかになっている。(Ikeda et al., 2005)

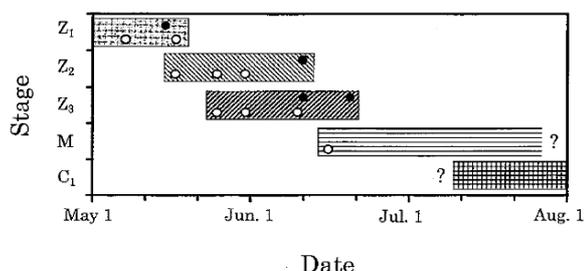


図1. ハナサキガニ成長経過の概念図(Torisawa et al., 1999)

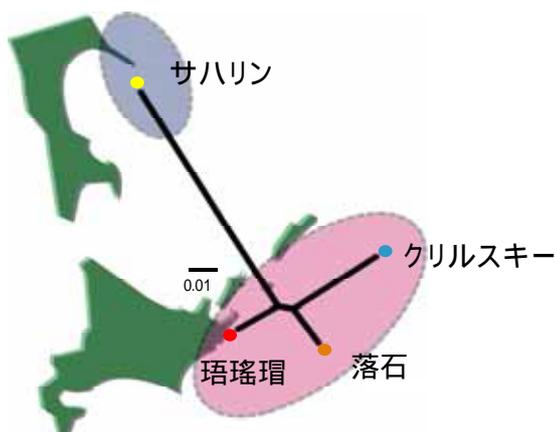


図2. ハナサキガニ標本集団間の遺伝的類縁関係 (Ikeda et al., 2005)

2. 目的

オホーツク海周辺の海流を再現し、ハナサキガニの浮遊幼生の輸送過程のシミュレーションを行なって、サハリンと根室半島沿岸との集団間で浮遊幼生の交換が無くその結果として遺伝的差異が生じるメカニズムを解明する。

3. モデルの記述

この研究で用いるモデルは二つのコンポーネントからできている；
Princeton Ocean Model (POM)を用いる。その特徴は；海洋モデルと粒子追跡モデルである。

3.1.1. 海洋モデル

海洋モデルとしてプリンストン海洋モデル(POM)を用いた。モデルでは、Mode・time・Splitting法を用い、順圧モードでは10秒、傾圧モードでは300秒の時間ステップで計算した。乱流モデルとして、水平的にはSmagorinskyモデルを、鉛直的にはMellor-Yamada 2.5レベルモデルを使っている。この研究においては、モデルは潮汐を含まず、また対馬暖流(宗谷暖流)と親潮の流量は与えていない。

3.1.2. 粒子追跡モデル

ハナサキガニ幼生の輸送過程を調べるために、海洋モデルの出力の流れのデータを用いた粒子追跡を行った。モデルは水平2次元のラグランジモデルを使って粒子追跡計算を行った。粒子の位置は、海洋モデルが与える格子点における流れを線形内挿して60秒ステップで、計算した。陸を教会に持つ格子内では岸に向かう流速成分はゼロにした。

3.1.3. モデルの格子

モデル領域は、東経127度～東経166度、北緯34度～北緯63度(図3)。解像度は、東西・南北とも1/6度グリッド。海底地形は、ETOPO5を基に作成。鉛直20層で、上層10層はデカルト座標(層厚はすべて2m)、下層10層はシグマ座標である。

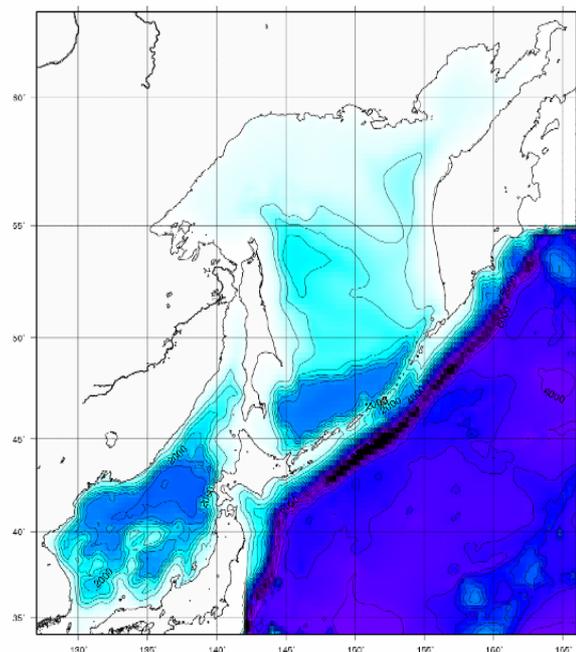


図3. モデル領域・地形図

3.1.4. モデルの初期化と駆動

まず1997年の4月から8ヶ月間、風を吹かせずにSST、SSSを変化させて計算し、その後1997年1月から1998年12月まで風を吹かせてスピニングアップを行い、1999年から2001年まで計算したデータを粒子追跡モデル用に出力した。

SST, SSS および海氷のデータは NCEP の月平均値を、海面風は NCEP/NCAR 再解析 1 データセットから日平均データを与え、1 ステップごとに变化させた。風の応力は、海氷がある場合も含め、次の式によった：

$$\tau_x = \rho_x C_d W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} (1 - IC/100)$$

ここで、 ρ は海水密度、 C_d は抵抗係数、 W は海面風速 (m/s)、 IC は海氷密接度(%)
抵抗係数の値は：

$$Cd=1.6 \times 10^{-3} \quad (W < 7 \text{ m/s}) ;$$

$$Cd=(0.3 \times W - 0.5) \times 10^{-3} \quad (7 \text{ m/s} \leq W \leq 10 \text{ m/s}) ;$$

$$Cd=2.5 \times 10^{-3} \quad (W > 10 \text{ m/s}).$$

境界条件は、POM の標準設定で行った：

$$H\bar{U} \pm c_e \eta = BC^2$$

$$c_e = \sqrt{gH}$$

$$BC = H \cdot UABE - c_e \eta_{IM+1}$$

H は水深、 η は水位、 $UABE$ は初期の境界に直交する流れである。

表1. 初期値および外力のデータソース

初期値	Temperature	World Ocean Atlas2001	4月の月平均+年平均
	Salinity	World Ocean Atlas2001	4月の月平均+年平均
外力	SST	NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn_Smith OIv2 monthly sst	月平均
	SSS	World Ocean Atlas2001	月平均
	Sea Ice	NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn_Smith OIv2 monthly Sea ice	月平均
	Wind	NCEP/NCAR Reanalysis 1:Surface Data	日平均

4. 結果

4.1. ARGOS ブイとの比較

モデルの目的は幼生の追跡なので、モデルの検証は、ラグランジ的な輸送特性、すなわちラグランジ的な輸送経路、着目領域でのラグランジ的平均速度と滞在時間に着目し、これらを現場データと粒子追跡モデルの結果について比較することを試みた。現場データとしては、北大低温研の大島助教授から提供を受けた ARGOS ブイのデータ (Ooshima et al., 2002) を用いた。

Ooshima ら(2002)は、オホーツク海西部の表層下の循環を調べるために、19 個のアルゴス・ブイを投入した。ブイの軌跡(図4)は、1000m以浅海底地形に捕捉されて、サハリン島の東に南流する強い海流、東サハリン海流の存在を示している。この東サハリン海流の輸送量は、4-9Sv であり、夏から冬に増加する傾向を示す。この海流は二つの軸を持っており、一つはサハリン島沿岸 50-150mを

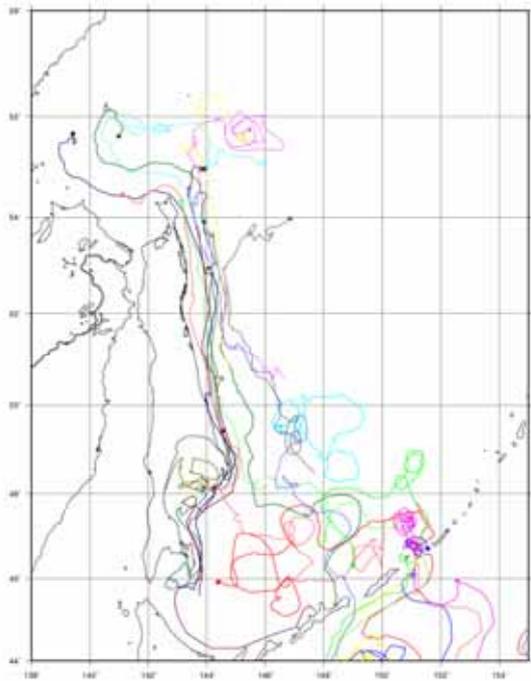


図4. ARGOS ブイの軌跡(Ooshima et al., 2002)

0.3-0.4 m/s の流速で流れ、もうひとつは水深 300-900m 付近の大陸斜面沿いに 0.2-0.3 m/s で流れ、テルペニア湾付近 (北緯 48° 付近) で東に向きを変える。ブイの軌跡は、千島海盆に多くの中期模渦が存在することを示している。ほとんどのブイはブッソール海峡から太平洋に流出している。

4.1.1. 総観的な流れの場の比較

モデルの流れの場(図5)と比較すると、モデルの流れには東サハリン海流の岸沿いの流軸しか認められず、沖側の軸は認められない。これは二つの流れの性格の違いのためであろう。千島海盆については、モデルの粒子の軌跡では明瞭な反時計回りの循環が見られるが、アルゴス・ブイの軌跡に見られる中規模渦は見られない。これは部分的にはモデルが潮汐と潮流を含まないからであろう。

4.1.2. 平均速度および平均滞在時間の比較

図6に示した五つの小領域について、平均速度および平均滞在時間を比較した。19個の粒子をアルゴス・ブイとの比較のために、Ooshima(2002)と同一の地点から放流し、海洋モデルの出力から求めた16m深の日平均流速を用いて、1999年10月から2000年1月まで追跡した。

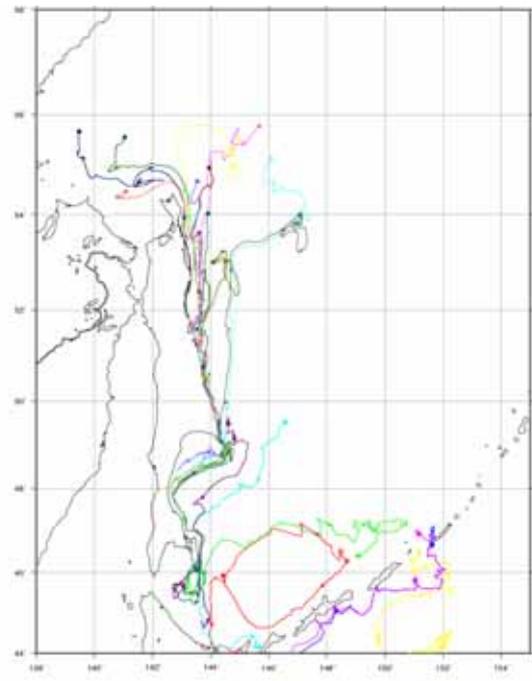


図5 . 粒子追跡モデルによる粒子の軌跡.

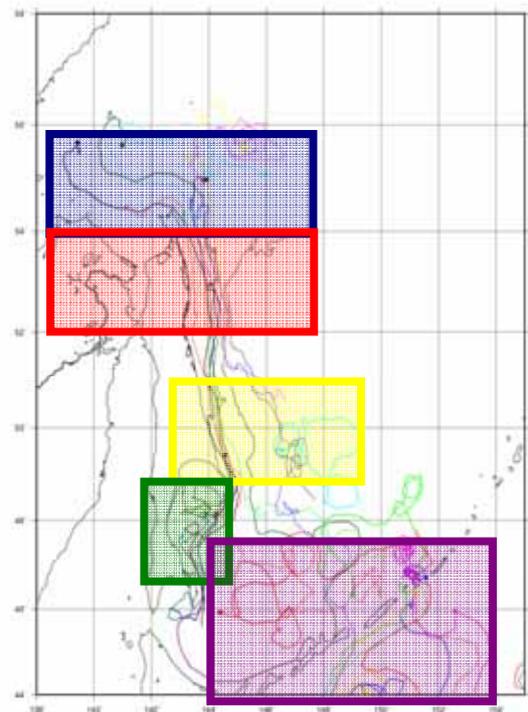


図6. 平均速度と平均滞留時間を比較するために選んだ小領域

4.1.2.1. 東サハリン海流 / 収束域

この領域の流速の頻度分布(図 7)は、アルゴス・ブイの平均流速は 5-10cm/s に最大頻度を持ち、それより早い流速に向かって次第に減少する傾向を示すが、40cm/s を超える流速も見られる。モデルの場合は、最大頻度は 0-5cm/s の範囲にある。

平均滞在時間(表2)については、アルゴス・ブイの方がモデル粒子よりも長い滞在時間を示している。これは平均流速の頻度分布の比較結果と矛盾している。アルゴス・ブイの平均滞在時間を長くしているのは、図 5 にピンクと空色で軌跡が示されてブイによるもので、それらはカシェバロフ堆の位置の周りを何周も巡回する軌跡を示している。これらの軌跡は、カシェバロフ堆の地形に捕捉された潮流の存在を示すものと思われる。

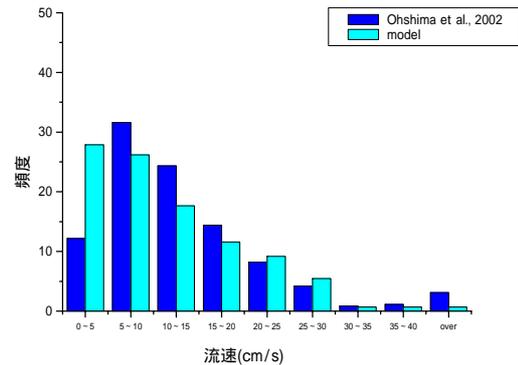


図 7. 流速頻度分布 / 東サハリン海流収束域

4.1.2.2. 東サハリン海流域 / 北部

この小領域では東サハリン海流が多くのブイを運んでいる。流れの方向は、アルゴス・ブイおよびモデル粒子ともに、南向きである。モデルではもっとも遅い速度レンジの頻度が卓越し、アルゴス・ブイでは最も速い流速レンジの頻度が卓越している。これらの極値を除けば、両者の頻度分布はほぼ一致している。(図8)

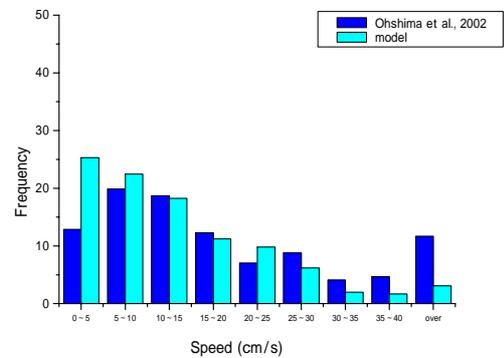


図 8. 流速頻度分布 / 東サハリン海流北部

流速の頻度分布と対応し、モデルに比べてアルゴス・ブイの平均流速は速く、滞在時間は短い。(表2)

4.1.2.3. 東サハリン海流域 / 中部

この小領域は、東サハリン海流が沖合流軸と沿岸流軸に別れる海域である。アルゴス・ブイの場合、高い頻度は流速 5-15cm/s 付近にある。(図9)

アルゴス・ブイの平均流速(表2)は、モデル粒子の約2倍であるが、滞在時間は約1.2倍である。これは、アルゴス・ブイのひとつ(空色の軌跡)が東サハリン海流に乗るまでに手間取ったためである。

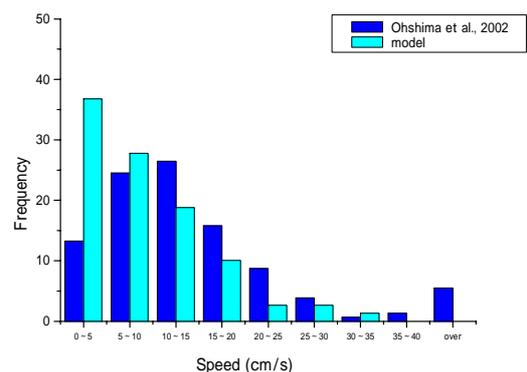


図 9. 流速頻度分布 / 東サハリン海流中部

4.1.2.4. 東サハリン海流域 / 南部

この小領域は、東サハリン海流が分岐したあとの沿岸流軸の海域に相当する。この小領域では、アルゴス・ブイの流速は 10-15cm/s に最高頻度を持ち、流速が 30cm/s より速いものが約 20% を占める。(図 10)

4.1.2.5. 千島海盆

この小領域では、アルゴス・ブイの軌跡は時計回りの中規模渦の存在を示し、モデル粒子の軌跡は反時計回りの海盆規模の循環を示している。これらの流れのパターンに対応して、ブイの流速頻度分布は平らであり、モデル粒子は 5-15cm/s に頻度のピークを示している。(図 11)

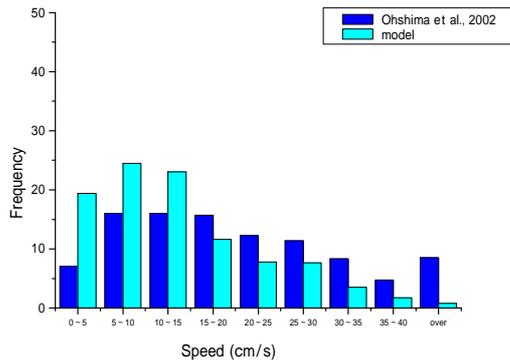


図 10. 流速頻度分布 / 東サハリン海流南部

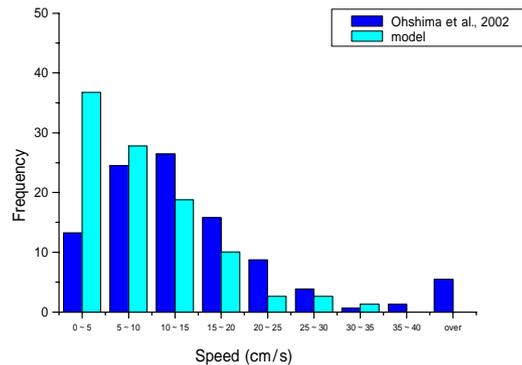


図 11. 流速頻度分布 / 千島海盆

表2. アルゴス・ブイとモデル粒子との平均速度と平均滞在時間の比較

AREA	Mean Speed (cm/s)		Staying Day (day)	
	ARGOS	MODEL	ARGOS	MODEL
Converge area of ESC	13.4(±10)	11.6(±9)	56.5	26.7
North of ESC	19.5(±16)	13.2(±10)	14.3	29.7
Central of ESC	14.9(±13)	8.7(±7)	23.8	29.1
South of ESC	18.5(±14)	9.7(±8)	27.8	33.6
Kuril Basin	21.1(±14)	13.1(±9)	77.1	89.9

4.1.3. 比較の結果

- ・ 冬季のオホーツク海西部の海流、特に東サハリン海流の流れはおおむね再現できている。
- ・ 東サハリン海流域ではモデルのブイの速度は遅い。これは岸近くでのアルゴリズムが悪いためと思われる、今後の課題である。
- ・ アルゴス・ブイの軌跡では北緯 50 度付近から東に向かう流れが起こっているが、モデルでは再現されていない。
- ・ アルゴス・ブイの軌跡では、千島海盆には時計回りの中規模渦が多数存在しているが、モデルでは千島海盆に海盆規模の反時計回りの循環が存在している（過去の知見でも反時計回り循環は存在）。これはモデルが潮汐を含まないため、中規模渦の形成機構である、潮汐による渦度の生成 (Nakamura et al., 2000)、あるいは強い潮汐混合による傾圧不安定 (Ooshima et al., 2005) が、再現されていないためと考えられる。
- ・ 親潮と宗谷暖流は、このモデルでは再現できていない。

4.2. ハナサキガニ浮遊幼生の分散

粒子は、産卵場所付近の浅瀬に格子あたり 40 個ずつ配置し、最初の 10 日間に順次流した。総個数 4280 個の粒子を 5 月～6 月にわたって、1999、2000、2001 の 3 年について、追跡した。放流地点は、サハリン島東岸および南千島沿岸の水深 50m 以浅の浅瀬である。流速データは、表層 20m の鉛直平均流速の日平均値を用いた。放流後 50 日以降 60 日までの間に浅瀬の格子上にいる粒子は着底させた。

4.2.1. サハリン起源の浮遊幼生の追跡

粒子の初期位置を図 12 に示す。2001 年について放流後 20 日後の位置を図 13 に、放流後 40 日の位置を図 14 に、放流後 60 日の位置を図 15 に示す。

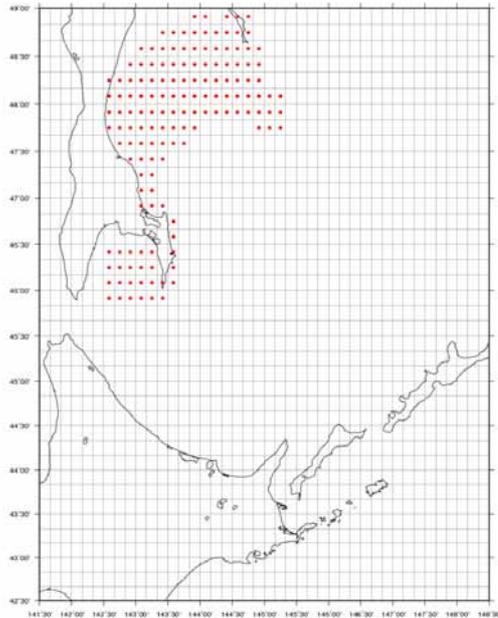


図12. サハリン起源粒子 / 初期位置

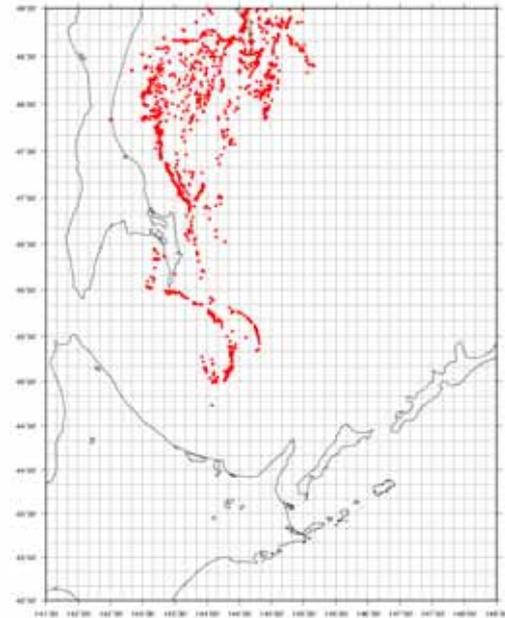


図13. サハリン起源粒子 / 放流後 20 日位置 (2001)

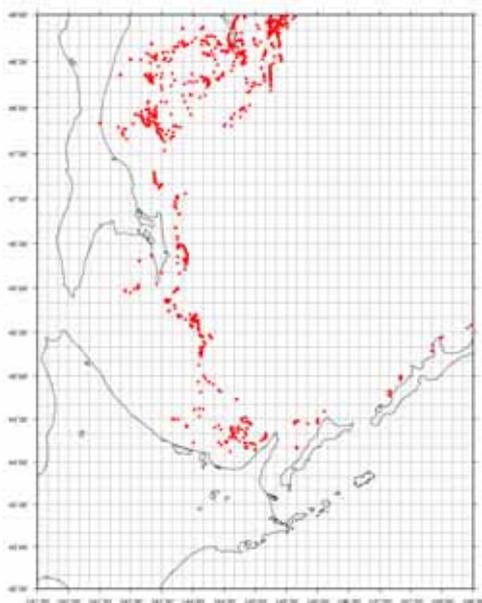


図14. サハリン起源粒子 / 放流後 40 日位置 (2002)

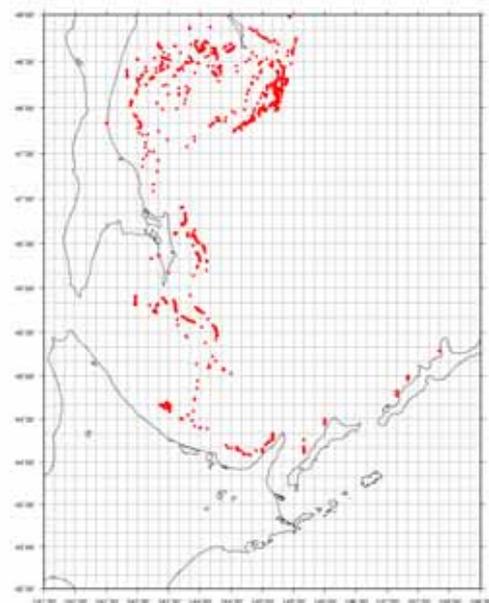


図15. サハリン起源粒子 / 放流後 60 日位置 (2002)

サハリン島東岸から放流された粒子のうち、サハリン東南部の粒子は、どの年も、放流20日後に南に移動を開始し、60日後には北海道および南千島の沿岸に着底した。この結果は池田ら(2005)によるDNA解析の結果と完全に矛盾している。

サハリンから北海道および南千島への輸送経路は主として海洋モデルの海盆規模の反時計回り循環によって形成されている。このモデルは宗谷暖流と親潮の再現には成功していない。

4.2.2. 根室 - 南千島起源の幼生の分散

モデルによる粒子追跡の結果を、2000年について放流10日後の粒子位置を図16に、放流40日後を図17に、そして2001年について、放流10日後および40日後の位置をそれぞれ図18と図19に示す。計算した3年全てにおいて、大部分の粒子は40日後には太平洋に流出した。特に、2000年には、ほとんど全ての粒子が流出し、根室-南千島海域にはほとんど残らなかった。

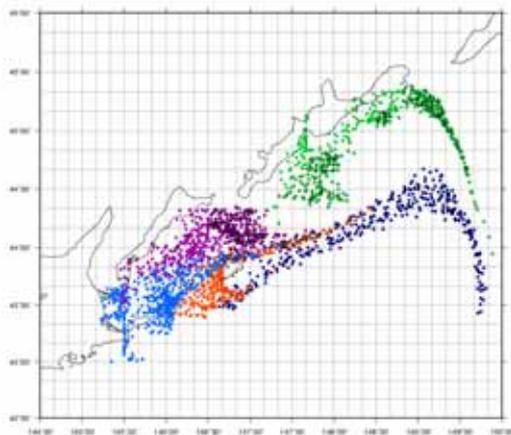


図 16. 根室 - 南千島海域起源粒子／放流10日後位置(2000年)

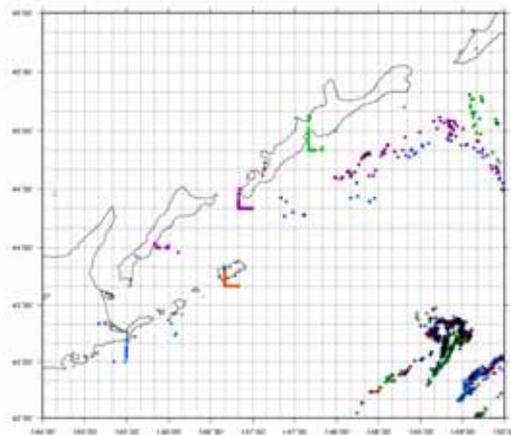


図 17. 根室 - 南千島海域起源粒子／放流40日後位置(2000年)

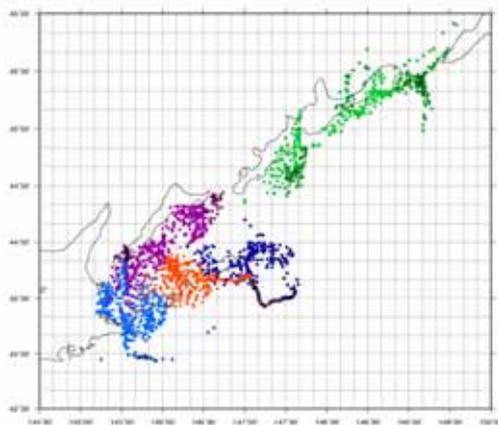


図 18. 根室 - 南千島海域起源粒子／放流10日後位置(2001年)

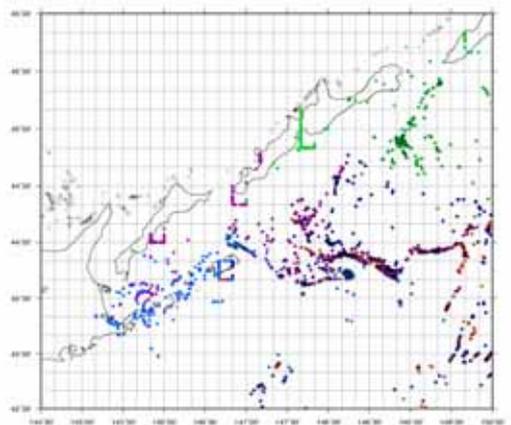


図 19. 根室 - 南千島海域起源粒子／放流40日後位置(2001年)

これは、シミュレーション期間において、**2000** 年は **2001** 年に比べて西風が強く(図 20,21)、表層の流れ(図 22,23)がその影響を強く受けたためである。根室半島周辺に着底した粒子は、国後島・色丹島・歯舞諸島および根室半島沿岸起源、すなわち根室 - 南千島海域起源であるが、択捉島からは到達していない。これは、根室 - 南千島海域は流れが弱くかつ変動するため混合と滞留がよいためであり、また択捉起源の幼生は太平洋に流出し易いからである。

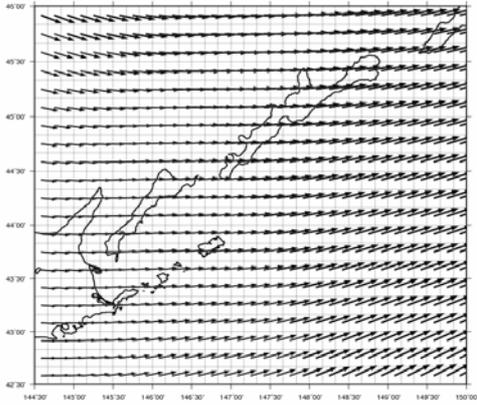


図 20. 2000 年の風

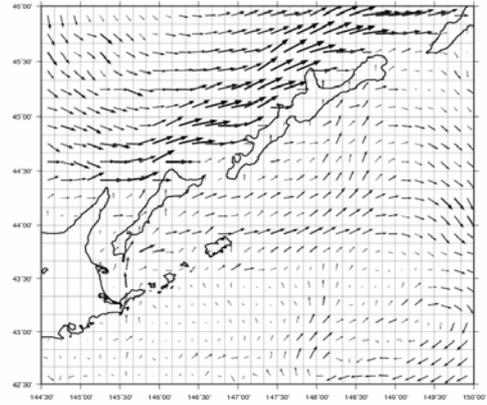


図 21. 2000 年の表面流

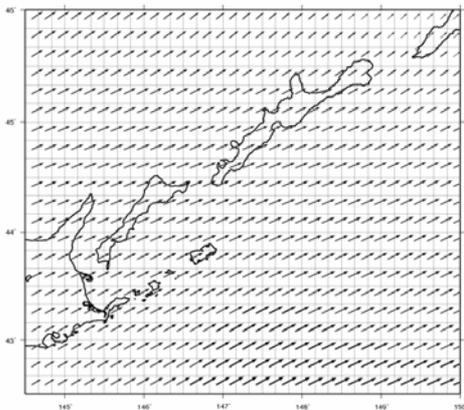


図 22. 2001 年の風

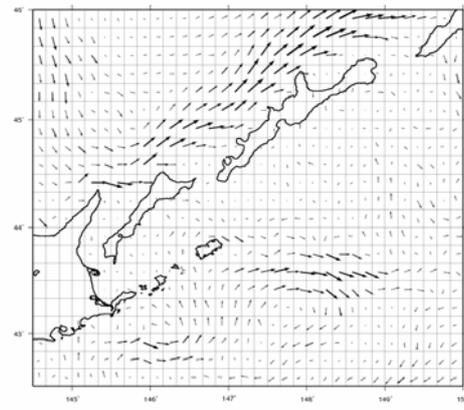


図 23. 2001 年の表面流

4.2.3. 粒子追跡の結果

- ・ サハリン付近の粒子は予想に反して、一部が北海道沿岸に運ばれた。これは ARGOS ブイとの比較時にもみられた海盆規模の循環に運ばれている。これは谷口らの DNA 解析の結果による遺伝的隔離の事実とは矛盾している。
- ・ 根室 - 南千島水域内の粒子は多くが太平洋に流出し、**2000** 年は特に顕著であった。
- ・ 根室 - 南千島水域内では流速が遅く、流れの方向も次々と変化するため各地の粒子がよくまざる。

5. 論議

ハナサキガニの「根室半島—四島水域」個体群とサハリン個体群との間に、遺伝的差異が存在するという事実は、これらの個体群の浮遊幼生が輸送分散される領域を、確実に隔離する機構が存在することを意味する。しかし、モデルによる実験では千島海盆の低気圧性循環により、サハリンからの粒子が根室半島—四島水域に到達しており、隔離機構は存在しない。モデルでは東サハリン海流は再現されていたが、千島海盆の流れが異なり、宗谷暖流も十分再現されていない。このことは、逆の意味で隔離機構について、ひとつの仮説；宗谷暖流が幼生の輸送を隔離している可能性、を示唆している。

Bobkov(1993)の南千島周辺海域の流れの模式図(図 28)によれば、北海道のオホーツク海沿岸から知床半島と国後島のオホーツク海側、さらには択捉島のオホーツク海側は、宗谷暖流の主流によって、東サハリン海流の流れから切り離されている。

したがって、宗谷暖流が、ハナサキガニの根室半島—四島水域個体群とサハリン個体群との、遺伝的隔離をもたらしている、という作業仮説が浮かび上がる。

もしハナサキガニの浮遊幼生が環境選択を行うとすれば、水塊の違いも重要な要素である。Bobkov(1993)は南千島周辺海域の水塊分布の模式図も示している(図 29)。これによれば、宗谷暖流水(Type I: 水温 14–17°C)が北海道沿岸から知床半島、そして国後島のオホーツク海側の 75m 深までを覆っており、東サハリン海流の水塊を含むオホーツク海表層水(Type II: 水温 8–14°C)はその外側の表層(0m)に限られている。オホーツク海表層水の下部(20m 以深)には非常に冷たい中冷水(Type III: 水温 1.0–2.2°C)が分布している。

したがって、ハナサキガニの浮遊幼生が、オホーツク海表層水の水温帯(水温 8–14°C)

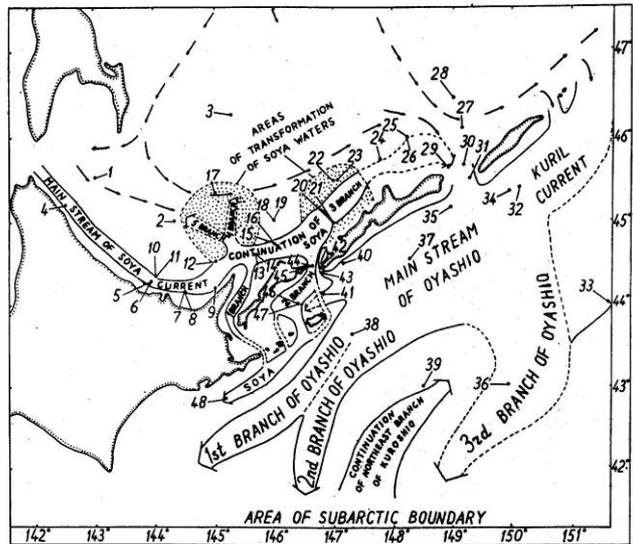


Fig.4 Schema of the circulation of the water masses in Southern Kuril Area (See Fig.5).

図 28. 南千島周辺海域の流れの模式図 (Bobkov, 1993).

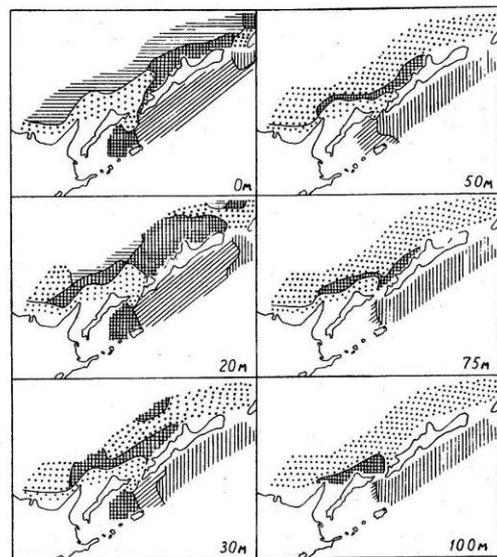


Fig.3 Horizontal distribution of the water masses around the Southern Kuril Islands (See Table 2).

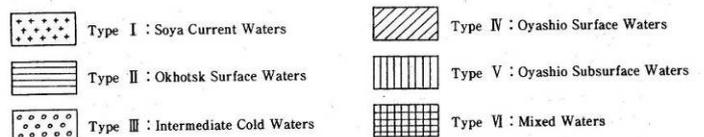


図 29. Bobkov(1993)の南千島周辺海域の水塊分布の模式図

を適水温とし、20m以浅の浅い岩礁域に着底するように能動的な環境選択をするものとするれば、宗谷暖流水の存在は、東サハリン海流の水塊から四島水域に到達することを、遮断することになるだろう。

今回はグローコテ期の行動を考慮していない。根室市水産研究所による飼育実験では、ゾエア期・グローコテ期とも21日であり、グローコテ期に着底場所を探索することがわかっている（Kittaka, 2003）が、グローコテがどのくらい自由に泳げるのか、どのような条件で着底場所を決めるのかなどは分かっていない。もし今回の設定より浮遊期間が短いのだとすれば、サハリン周辺起源の浮遊幼生が北海道沿岸にたどり着く可能性はさらに低くなると考えられる。

親潮と宗谷暖流は、このモデルでは十分再現できなかった。宗谷暖流は、サハリン起源の幼生が四島海域に到達することを妨げる主要な要因である可能性があり、その再現は、きわめて重要である。親潮は、オホーツク海全体の流れに影響するとともに、北方四島周辺の浮遊幼生の輸送に大きな影響を与えることが予想される。

ハナサキガニのサハリン系個体群から根室半島－四島海域に浮遊幼生が補給されないということは、サハリン沿岸を経由する（海面下に浮遊する）汚染物質も、この海域には到達しにくいことを意味する。

ハナサキガニの浮遊幼生がふ化する時期は、オホーツク海の流氷が融けて後退する時期であり、幼生が浮遊期を過ごすのはごく浅いオホーツク海表層水であり、その直下は生存を脅かす可能性のある冷たいオホーツク海中冷水が存在している。したがって、ハナサキガニ幼生の生活環境であるこれらの海洋構造とその出現は、流氷と冬から春への季節の節目に支配されており、気候変動の影響を受けて大きく変動する可能性を持っている。

根室半島－四島海域の個体群は、ハナサキガニの分布域の南限に位置する。しかも、宗谷暖流が北方のサハリン沿岸の個体群からの浮遊幼生の供給を遮断しているとすると、温暖化が根室半島－四島海域のハナサキガニ個体群に大いに影響することが懸念される。

これらの問題に答えるためには、以下の課題を解決してこの研究を発展させることが必要である。

1. 宗谷暖流と親潮が再現されるように境界条件を改良する。
2. ランダムウォークによる拡散項をいれる。
3. 地形をより現実的に改良する。
4. 三角水域周辺の部分モデルとオホーツク海全体のモデルとを結合し、流れの再現性を改善する。
5. モデルに潮汐を組み込み、meso-scale eddy と千島列島周辺の強い潮汐混合の再現を試みる。
6. 海岸線にいる粒子の挙動がより現実になくになるように改善する。
7. 水温場が再現性を確認し、水温に対する幼生の行動を考慮して、幼生の分散過程を調べる。
8. 粒子追跡モデルを三次元に変更し、幼生の鉛直移動を考慮する。
9. 低次生産系生態系モデルを組み込んで、ゾエア期幼生の摂餌と生き残り・成長の影響を調べる。

6. 引用文献

Bobkov, Andrew A. 1993: Umi to Sora, Vol.69, No.1, pp.41-52.

Kittaka, J., 2003: Biological and ecological characteristics of *Paralithodes brevipes* in coastal water of Nemuro. Proceedings of the 1st Hanasaki Program Workshop, Mar., 2003, Nemuro, Hokkaido.

Nakamura, T., T Awaji, T. Hatayama and T. Akimoto, 2000: Tidal exchange through the Kuril Straits, J. Phys. Oceanogr., 30, 1622-1644.

Ohshima, K.I., M. Wakatsuchi, Y. Fukamachi and G. Mizuta, 2002: Near-surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters. J. Geophys. Res., 107, 3195, doi: 10.1029/2001JC001005.

Ooshima, K.I., Y. Fukamachi, T. Mutoh and M. Wakatsuchi, 2005: A generation mechanism for mesoscale eddies in the Kuril Basin of the Okhotsk Sea: Baroclinic instability caused by enhanced tidal mixing. J. Oceanogr, Vol.61, pp.247-260.

Ikeda, M., H. Uyama and N. Taniguchi, 2005: Genetic diversity and population structure of Hanasaki crab: Aspects from DNA analyses. Proceedings of the 3rd Hanasaki Program Workshop, Mar. 2 – 5, 2005, Nemuro, Hokkaido.

Torisawa, M., S. Kohno, K. Sakamoto and I. Hakata, 1999: Growth in the early life stage of the spiny king crab, *Paralithodes brevipes*. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn. (55):161-167.

第2部 モデル検証のためのドリフターによる調査手法の検討

柏井 誠 (水産海洋研究工房「親潮屋」)

1. 目的

今年度の事業における達成目標に、次の二点を設定した：

- ✓ 既存のドリフター・データと比較して、モデルの達成度を検証する；
- ✓ 日露両海域にまたがって展開することを想定した、ドリフター（海流ハガキなどによる）調査の手法を検討する；

第一の目標は、モデルの完成度を検証するための現場データとしてドリフターのデータを使う選択をした上で、既存データの探索を行い入手することである。第二の目標は、利用可能なあるいは入手可能な既存データが存在しない場合には、ドリフターによる調査を実施するために、可能な手法を検討しておくことである。したがって、この報告もこの二つの点を目的とする。

2. ドリフター・データを選択した理由

既存の流速データとそれらがモデルの検証に使えるか否かを列挙すると；

- 1) 密度分布から求めた流れの場；流れがないと仮定した基準層に相対的な地衡流の場であって、仮定の置き方とその正しさに依存し、モデルを検証するための現場データとは言い難い。
- 2) 人工衛星の海面高度データから求めた流れの場；人工衛星の海面高度と密度データを使えば、原理的には絶対的な地衡流場が求められるはずであるが、ジオイドの高精度データが非公開のため、結果的には仮定依存的な流れの場しか与えられない。
- 3) GEK によって測定した航路に直交する流速分布；過去には精力的に測定されたが、現在ではごくまれにしか使われない。データの集積と整理も必ずしも十分でなく、利用可能性は低い。
- 4) 係留系によって測定した流速の時系列；系の傾きの補正など必要な場合があるが、精度は期待できる。しかし、ごく限られた地点での測定しかなく、モデルの広域的な流れの場を同時に検証するには不向きであり、再現しようとする海域の中心付近に係留データが存在すれば、変動する外力に対するモデルの応答を検証するには最適である。今回のモデリングは、限られた地点から放出される浮遊幼生の輸送経路がモデルで正しく再現され得るかを検証する必要があるため、係留系データは、検証のためには不向きである。
- 5) 船舶の偏流データから求めた広域の海流場；大洋規模の海流の流れを捉えるためには、有効であるが、時間的空間的に平均されているため、沿岸付近の流れを検証するためには、不十分である。
- 6) 海流瓶の放流・取得位置から推定した経路；海流瓶のデータから推定した漂流経路は、海面に束縛されている点を除けば、浮遊幼生の漂流経路と対比可能であり、放流点がほぼ同じデータが存在すれば極めて有効である。
- 7) ドリフターの軌跡データ；ドリフターの位置を人工衛星で捉えて追跡し、経路が実測されているため、海流瓶の推定経路と異なり、経路そのものがデータとして検証に利用できる。

以上の考察から、浮遊幼生の漂流経路を調べるためのモデルを検証するデータとしては、海流瓶のデータあるいはドリフターの軌跡データが有効であることが結論できる。

3. データの探索

3.1. 海流瓶データ

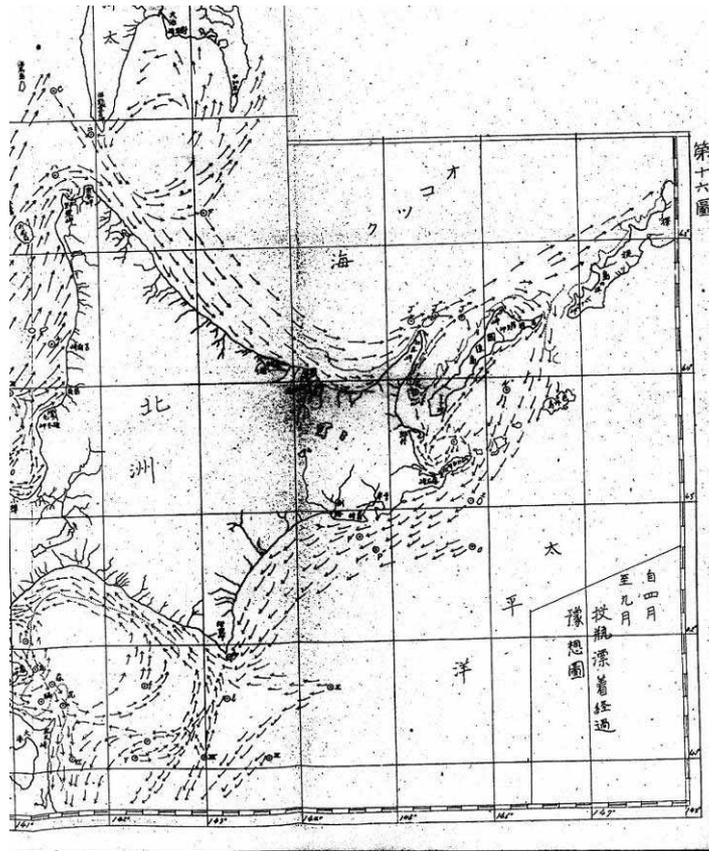
オホーツク海・カムチャツカ半島・千島・根室半島の周辺海域で利用可能な海流瓶データを探索した結果、今のところ以下の資料を得ている；

- 1) 梶山英二・倉上政幹・白井勝三郎・鈴木慶太 () : 明治 44 年度夏季本道東南海岸ノ調査 (其 2) (完)、北海道水産試験場 水産調査報告、 .
- 2) 梶山英二 () : 大正 2 年本道沿海ノ調査、北海道水産試験場 水産調査報告、 .
- 3) 梶山英二 () : 本道海洋気象観測報告 (大正 3 年度)、北海道水産試験場 水産調査報告、第 4 冊、pp. 1-75.
- 4) 梶山英二 () : 大正 3 年本道近海海洋調査、北海道水産試験場 水産調査報告、第 7 冊、pp. 1-109.
- 5) 梶山英二 () : 大正 4 年沿岸海洋気象観測、北海道水産試験場 水産調査報告、第 8 冊、pp. 1-14.
- 6) 熊田頭四郎 (編) (1922) : 「日本環海海流調査業績 自大正 2 年至同 6 年」、大阪毎日新聞社、pp.200.
- 7) 北海道水産試験場 (1936) : 海流瓶成績表 (自大正 10 年至大正 15 年)、北海道水産試験場 水産調査報告、第 38 冊付録.
- 8) 川名 武・中島由太郎 (1935) : 海流瓶成績 (自大正 10 年至大正 15 年)、北海道水産試験場 水産調査報告、第 38 冊、pp.103-108.
- 9) 中島由太郎 (1938) : 千島列島近海海況調査 (昭和 9 年)、北海道水産試験場 水産調査報告、第 43 冊、pp.95-123.

協力いただいた資料所蔵機関の好意でコピーをさせていただいたため、データ表部分のコピーを優先したことがある。このため、文献としての記載項目は完全ではない。

これらの資料の内容は、投入位置 (測線名・測点記番号)・投入日時・投入瓶数・取得場所 (: 国・郡・村・大字・地名 (海岸の場合) あるいは地名+方位+距離) (海上の場合)・取得年月日・取得時刻が記載された原データ表、これらを投入位置・投入日時ごとにその取得地域を示した総括表、投入・取得位置から漂流経路から推定した海流図などからなっている。

参考のために、資料 4) において梶山英二 () が示している「自 4 月至 9 月投瓶漂着経過想像図」を示す。これには、北海道の周りを時計回りに流れる、対馬暖流北上流—宗谷暖流—沿岸親潮の、流れが認められる。またサハリン島西側のモネロン島付近から投入された瓶が北海道オホーツク海沿岸に漂着することが示されており、大韓航空機事件の遺品の漂着が当然想定されて然るべきであったことが判る。国後島の南のいわゆる三角水域にも投入点があり、ハナサキガニ根室—南千島系群の幼生の輸送経路の検証データとして有効であることもみと取れる。



原データをモデルの検証などに使えるようにするためには、投入位置と取得場所を緯度・経度書き換える作業が必要である。しかし、組織的持続的な投入、取得率の高さを考えると、原データの価値は貴重であり、それを引き出すための作業は実行する価値が極めて高いものと言える。したがって、今年度の事業としては取り組めないが、別の機会に取り組むべき事業として考えたい。

3.2. ドリフター・データ

近年、ドリフターが多用されるようになり、オホーツク海でも放流されている。モデルによる粒子追跡の結果を検証するために、北海道大学低温科学研究所の大島慶一郎助教授から提供を受けたアルゴスブイ・データを使用した。

このブイは、ARGOS システムによる人工衛星追跡で位置データを取得するもので、WOCE の表面流速プログラム (SVP) が提言する仕様にしたがって設計され、Toyocom が製作したもの(Model C-2340)である。海面に浮かぶ浮力体は、グラスファイバー製の球形で、内部にアルゴス送信機と電池、海面水温を測定するサーミスタが収められている。抵抗体は、直径 0.94m 長さ 8.6m の穴あきの筒型で、中心部水深を 15m としている。各々のブイは平均毎日 20~30 回の衛星による位置決定がなされる。

放流地点は、大島らの調査目的が流氷の動きにあるためか、サハリン島北部海域に限られている。したがって、オホーツク海全体の流れを検証するためには、必ずしも十分ではないが、ハナサキガニのサハリン島系群の浮遊幼生の輸送モデルを検証するためには最適である。

4. ドリフター調査手法の検討結果

既存データが入手できない場合を踏まえて、採用可能なドリフター調査手法を検討した。

採用可能な手法が備えるべき条件は：

- ・ 大規模な設備投資、莫大な消耗品費や経費を必要としない；
- ・ ロシア水域から放流できる；
- ・ 海岸への漂着ごみにならない；
- ・ 海産生物に危害を与えない；

である。

これらを満たすドリフターとしては、海流瓶か海流ハガキしか考えられない。しかも海岸への漂着ごみにならないためには、時間が経過すると自然に還るものでなければならない。時間が経過すると自然に還るものとしては、生物分解性プラスチックの利用が考えられる。しかし、インターネットとメールによる探索の結果では、海中や海岸で生物分解する材質はほとんど開発が進んでいないし、一定の時間で分解する要求を満たすものはまだ存在しない。

一方、GPS を備えたアルゴス・ブイも生産・販売されて普及しつつあり、北太平洋におけるアルゴス・ブイ放流計画も進捗しているようである。したがって、本事業のようにエンドユーザー・レベルでの研究活動においては、これらの大規模プロジェクトで得られた既存データを有効活用するのが、最も適切な手法であるとの結論に達する。

終わりに

今年度 (2005 年度) 開催されたハナサキ・プログラム根室ワークショップで、東北大学大学院集団遺伝情報システム学分野の谷口順彦教授をはじめ池田 実・アソナ ハリワ・吉村友香理らのチームが実施した、ハナサキガニ資源の遺伝的多様性と集団構造に関する研究の、成果が報告された。

そのまとめを引用すると以下のとおりである：

mtDNA とマイクロサテライト DNA の分析結果ら、調べた海域のハナサキガニ集団の遺伝的多様性と集団構造は以下のように特徴付けられる。

- ① 根室・南千島におけるハナサキガニ集団は遺伝的に均質で高い遺伝的変異性を有しており、同一の資源単位としてみなすのが妥当と考えられる。
- ② サハリンの集団の遺伝的変異性は根室・南千島に比べて低く、mtDNA ではその低さが顕著である。どちらの分析においても根室・南千島の間に有意な遺伝的分化が検出されたことから、遺伝的には分断されていることが示唆され、資源的にも相互に独立した関係にあると考えられる。
- ③ カムチャツカ集団の遺伝的変異性は、サハリンほどではないが、根室・南千島に比べて低く、これらに間に微弱な遺伝的分化が生じている。分断が生じているかどうかを明らかにするためには、千島列島の集団を詳細に調査する必要がある。
- ④ どの集団間にも共通の mtDNA ハプロタイプが検出され、集団独自の系統枝を発達させている状態にはない。このことから、現在みられる遺伝的分化は、近い過去 (例えば最終氷期) に起こったサハリンやカムチャツカでの集団サイズの低下 (ボトルネック) とその後の隔離によってもたらされている可能性がある。このシナリオの妥当性を検討するためには、海流や気候の変遷を含んだオホーツク海沿岸の古地理に関する情報を収集する必要がある。

(「第4回ハナサキ・プログラム根室ワークショップ報告書」より)

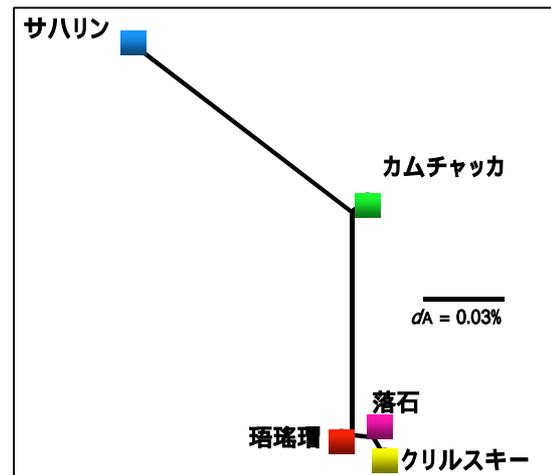


図4 . mtDNA 分析によるハナサキガニ 5 集団の遺伝的類縁関係

このように、浅い岩礁海岸を棲み場とするハナサキガニは、調査した範囲では、カムチャツカ半島南部東海岸、サハリン島東海岸、根室 - 南千島海域に、それぞれ相対的に独立した地域個体群が存在していることが明らかになった。このことは、資源管理対象の単位が明らかになったことを意味しており、それぞれの地域系群を賢く利用し保全していかなければならないことを示している。ハナサキガニの主要集荷港である根室として、責任ある漁業を育て持続的利用を保障する産業システムを形成するために、ロシアの漁業関係機関と効果的な連携を作り上げていくことが求められる。

また、これらの地域系群の生息域は、オホーツク海の北の入り口、オホーツク海の中央部、オホーツク海の南の出口と、それぞれ極めて特徴的な地理的位置にあり、物理環境の季節変化も生態系も大いに異なっている。このことは、親ガニの成熟・産卵などの生活史のタイミングや幼生の生活環境も大きく異なることが予想され、モデルによる浮遊幼生の産卵・輸送・生き残りなどの比較が重要になる。

また、ハナサキガニの味覚品質すなわち旬は、カニの生活年周期に深く関係することが予想されるので、これらの地域系群の生活年周期のモデルによる再現と比較は、ハナサキガニの価値を最大限に活かした利用、すなわち賞味文化の形成と平行した漁獲と出荷の設計に、大きなヒントを与えるものと考えられる。

このように、このささやかなモデリング研究は、切り開くことのできる豊かな可能性を持っている。したがって、今後もいろいろな人々の協力を得ながらこの研究を進めていく計画である。ご関心をもたれた方、参画してみたいと思われる方は、ぜひご連絡いただきたい。

水産海洋研究工房「親潮屋」

代表 柏井 誠

Email: Kashiwai@mua.biglobe.ne.jp

URL: http://www7a.biglobe.ne.jp/~Fisheries-Oceanography_OyashioYa/

根室市ハナサキ・プログラムについては；

根室市ハナサキ・プログラム事務局

根室市役所水産課内

Tel: 0153-23-6111

URL: http://www.marimo.or.jp/~n.city1/nemuro/jp/NEMURO/NEsosiki/B_suisan/suisan/hapuro/index/htm

謝辞

この研究事業は、競艇の交付金による日本財団の助成金を受けました。ここに深甚の謝意を表します。アルゴスブイ・データの使用を快諾いただいた北海道大学低温科学研究所大島慶一郎助教授に、深く感謝します。また、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所および北海道立釧路水産試験場には、図書閲覧・文献検索・文献コピーなどの便宜を図っていただき、研究を進める上で大きな支えとなりました。深く感謝します。