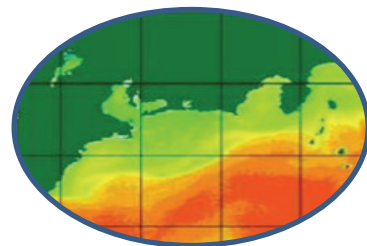


第2節 クルマエビの卵巣成熟と生息域の環境

Section 2

水藤 勝喜



甲殻類の成熟・産卵に関与する外部環境要因は、水温、塩分濃度、水素イオン濃度および光周期などが知られており、このうち温帯域に生息するクルマエビの卵巣成熟は、水温と光周期の影響を強く受ける可能性が指摘されている¹⁾。クルマエビは眼柄処理を施すことなく飼育下で成熟・産卵させることが容易でないため、外部環境と卵巣成熟との関係を明らかにするには、生息域の観測、調査が必要不可欠である。

クルマエビの栽培漁業では、夏場の高成長や年内の漁獲が期待できる早い時期に放流する種苗が重要視されており（第3章第1節参照）、親エビが漁獲され始める頃にその年、第1回目の採卵を計画する種苗生産機関が多い（第5章第3節参照）。しかし、クルマエビの卵巣が成熟する時期は年によって異なるため、入手した親エビの成熟状態が必ずしも十分でない早期の採卵は不安定となり、親エビが産卵する割合や得られたふ化幼生数は、産卵盛期の採卵よりも総じて低い値となっている^{2,3)}。早期採卵の失敗は、放流計画や同じ施設で飼育する他魚種の生産に影響するばかりでなく、親エビが高価で再利用できないために被る経済的な損失も大きい。このため、事前に親エビの産地となる海域の卵巣の成熟状況を把握し、早期採卵の安定化を図ることは重要な課題となっている。

本節は西部遠州灘（図3-1-1参照）で当所が実施した水温観測の実例と水温からクルマエビ卵巣の成熟を予測する試みを紹介する。

1. 西部遠州灘における越冬後の卵巣成熟と海況

前節で概説したように西部遠州灘に生息する成体雌エビは、12月から翌年1月にかけて休止していた卵黄形成を2月に再開する。2月の水温は一年で最も低く、前後の月と大きく変わらない（図3-2-1）。このため、卵黄形成の再開は水温ではなく光周期に促されて毎年2月に始まると推測している。

しかし、その後に卵黄形成が進んで成熟した個体がみられるようになる時期は、年によって大きく異なっている。2005年にGSIが10%を越える個体が出現したのは、3月中旬頃であったが、2003年はそれよりも一ヶ月近く

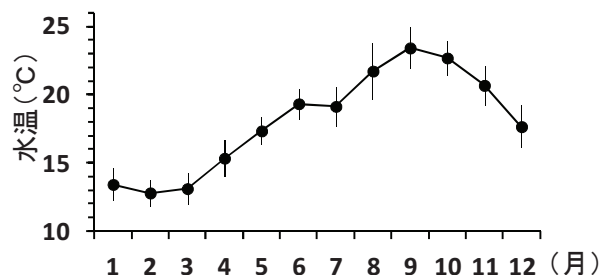


図3-2-1 クルマエビ生息域（西部遠州灘）における水温の時期的変化（沿岸定線観測値）¹⁰⁾

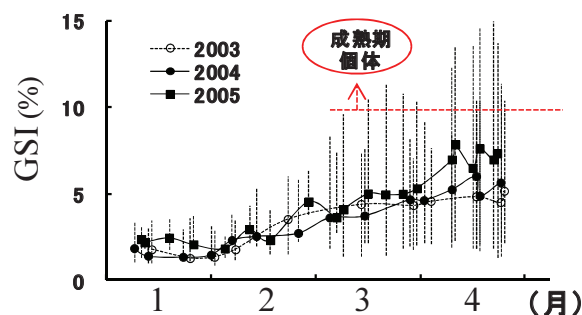


図3-2-2 西部遠州灘における雌クルマエビGSIの時期的変化
赤線から上は成熟期個体を示す

遅い4月中旬頃であった（図3-2-2）。GSIが10%を超える雌エビの殆どは、卵母細胞に表層胞の形成された成熟期の個体であり⁴⁾、これらは入手してから一兩日中の産卵が期待できるため、採卵用の親エビとしては極めて有用である^{5,6)}。また、過去に愛知県栽培漁業センターが西部遠州灘で漁獲された親エビを用いて実施した採卵の記録では、1992年4月7日からの採卵で2日間のうちに60%以上の親エビが産卵した⁷⁾のに対して、1996年4月30日からの採卵では、期間を5日間に延長しても、予定数の受精卵が得られず、早期の生産を断念している⁸⁾。これらの採卵は何れも親エビの自発的な産卵を待つ方法で実施したため、両年の成熟期個体の出現時期には一ヶ月以上の差があったと推測される。以上のように、長日化に促されて2月に卵黄形成を再開した個体が成熟するまで期間は、年によって大きく異なることから、この間の卵巣発達には、年による変化のない光周期よりも海

況や気象により変動する水温の影響を強く受けていると考えられる。よって、西部遠州灘の親エビを利用した早期採卵を効率化するには、2月から4月にかけての水温と卵巣成熟との関係を調べ、成熟期個体の出現率が高くなる時期を予測する必要がある。

西部遠州灘の海況は、沖合を東流する黒潮と伊勢・三河湾から流入する内湾系水の影響を受けて、数日間程度の短いタイムスケールで変動することが知られている⁹⁾。また、暖海性のクルマエビは卵黄形成の進行が早く、最も水温の低い時期に起きる越冬初回の産卵でさえ、早い年であれば卵黄形成の再開から一ヶ月程度で産卵に至っている。このような西部遠州灘の海況とクルマエビ卵巣の発達する速度を考慮すれば、水温観測は少なくとも数日間に一度の間隔で連続的に実施する必要がある。

2. クルマエビ生息域の水温観測

以下にはクルマエビの生息する海域の水温を調べるために、当所がこれまでに実施した方法を紹介する。

2-1. 沿岸定線観測

クルマエビの主要な産卵場となる灘や外洋に近い海域の代表的な観測は、水産庁の委託を受けて各都道府県の水産試験場が実施する沿岸定線観測である。愛知県水産試験場を例にみると、観測定点は三河湾に4点、遠州灘に19点が設けられ、各々で国際標準層の水温と塩分濃度がCTDにより観測されている¹⁰⁾。クルマエビが生息する水深20～50 mの海域にも4定点(A1, A2, A9, A13)¹⁰⁾が設けられており、その底層水温(図3-2-1)は、現在入手しうる最も正確な値である。しかし、沿岸定線観測は月に一度しか実施されないため、前述した海況と卵巣成熟の変化には対応できず、この観測だけで成熟状況を予測することはできない。1964年から蓄積された沿岸定線観測のデータは、他の方法で観測した水温の検証や海況変動の予測に利用している。

2-2. 人工衛星による水温観測

沿岸定線観測では限界のある観測点の連続性や即時性を補完する手段としては、人工衛星によるリモートセンシングが有効であり、水産の分野では回遊魚の漁場探査¹¹⁾や水産資源の生態調査¹²⁾などに広く利用されている。アメリカ海洋大気庁が管理する気象衛星(NOAA)に搭載された改良型超高分解能放射計(AVHRR)は、海面水温(SST)を観測する代表的なセンサーである¹³⁾。AVHRRの空間分解能は軌道直下で約1.1 kmであり¹⁴⁾、定点間の距離が20 km以上の沿岸定点観測に比べ格段に高い。そして、一日に2回上空を通過する衛星から送信されたデータは、受信機関による補正・変換等の

処理を経て直ちに配信されるため、対象海域が雲に被われていない限り、比較的高い頻度、かつ準リアルタイムで観測値を得ることができる。配信の具体例としては、三重県水産研究がNOAAから直接受信したAVHRRのデータをSST画像に処理してインターネット上に提供している(<http://www.mpstpc.pref.mie.lg.jp/SUI/kaikyo/movie/movie.htm>)。この画像により、親エビ漁場の細かな水温分布を準リアルタイムで知ることができる。なお、AVHRRによるSSTは一般に画像として配信(図3-2-3)されるため、詳細な解析には数値に変換できるバイナリデータを入手する必要がある。後述する水温と卵巣成熟の関係についての解析では、(社)漁業情報サービスセンター(JAFIC)から提供された、AVHRRのSSTデータ(E海域、1日間合成)を処理して対象海域の平均値(以下、AVHRR-SST)を算出している。

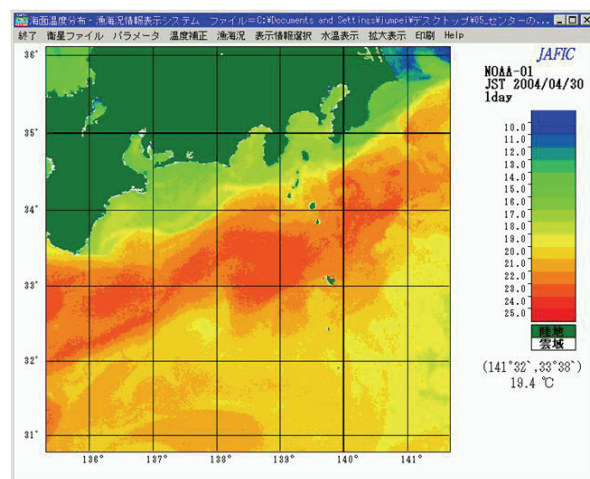


図3-2-3 NOAA-AVHRRによるSSTデジタル画像
(JAFIC提供)

衛星による水温観測は、連続性や即時性に加え広域性にも優れているが、クルマエビの生息する海底の水温を直接観測することはできない。AVHRR-SSTを用いたクルマエビ類の調査では、カリフォルニア湾でブラウンシュリンプ *Farfantepenaeus californiensis* の産卵期やサイズごとの卵巣成熟を調べた例¹⁵⁾がある。この他にクルマエビの繁殖生態調査に表層下1 mの水温が用いられた報告⁴⁾もあるが、何れも生殖年周期の調査を目的とした比較的長期間の観測である。一ヶ月程度で完熟に至るクルマエビ卵巣の成熟状況を推定するには、より正確な水温が必要であり、AVHRR-SSTと底層水温との差を検証しておく必要がある。

遠州灘における水温の鉛直方向の時間的変化をまとめた報告¹⁶⁾によれば、対象海域付近(この文献ではst 5と表記)の2～3月は対流期とされ、鉛直混合が最も激しい時期に相当する。実際に対象海域に設定した沿岸定線観測の4定点について2～4月における表層と底層の

水温を比較しても大きな差は認められなかった。また、AVHRR など可視・赤外放射計は、海面のごく表層（表皮水温）を測定するため、夏季の日中に限っては沿岸定線観測の表層水温よりも高い値を示すことがある。この点についても 2～4 月の観測であれば問題ないと判断されたため、後述する解析には AVHRR - SST をクルマエビの生息域における水温として扱った。

2-3. 漁具に取り付けた水温計測器による観測

月に一度の沿岸定線観測でしか得られない底層水温を補完する手段として、小型底びき網に水温計測器を取り付けて、クルマエビのサンプリングと同時に水温観測を行う方法がある。この観測に用いた温度計測ロガー（Onset 社、StowAway TidbiT）は、小型軽量（直径 40×30 mm、厚さ 16 mm、重さ 18 g）で樹脂に被われており（図 3-2-4）、水深 300 m までの観測に耐える。ロガーには寿命（通算稼働時間）5 年のバッテリーとメモリーが内蔵されており、1 回の起動で 32,520 回（1 分間隔の測定で 22 日間）の測定ができる。あらかじめ測定誤差とタイムコンスタントすなわち実際の水温が記録に反映されるまでの時間差を確認したロガーを、起動させた状態で衝撃吸収性のあるナイロンネットなどで包み、ステンレス製の容器に梱包（図 3-2-4）して金具で小型底びき網に取り付ける（図 3-2-5）。この際には、入網の正確な位置、曳網速度、航跡および漁獲サンプルの仕分けについての記録を漁業者に依頼しておく。なお、現在のところこの方法により水温計測器の脱落、漁網およびロガーの損傷は起きていない。

図 3-2-6 には 2005 年 4 月 17 日から 18 日にかけて実施した調査における、水温記録（観測間隔 1 分）の一部を示した。操業前に船上の漁具に取り付けられた状態のロガーは、外気温の 20℃前後を示している（図 3-2-6, A）。漁業者の聞き取りとほぼ同時刻の 16:19 からロガーの記録した値は、急激に低下（図 3-2-6, B）し、16℃



図 3-2-4 小型水温計測器

左：ステンレス製の収納容器、右：水温ロガー（Onset 社、StowAway TidbiT）

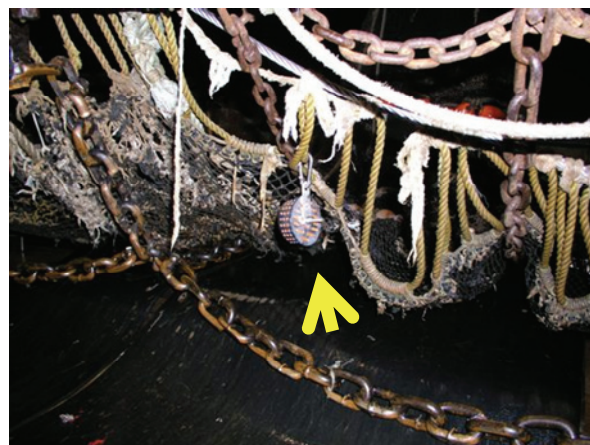


図 3-2-5 小型底びき網（改良備前網）に取り付けた小型水温計測器（矢印）

前後で安定した。以後、32 分間続いたこの値が 1 回目に操業した漁場の底層水温である（図 3-2-6, C）。1 回目の操業が終わり、漁具が引き上げられるとロガーの値は 8 分間程度低下した後、再び 16℃前後で安定し、2 回目の操業が確認される。その後の記録からこの夜の漁は、

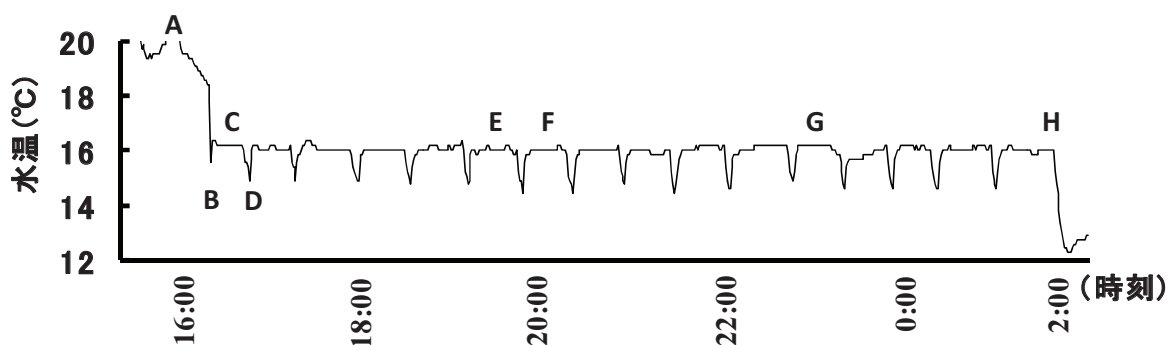


図 3-2-6 漁具に取り付けた水温ロガーの記録

A, 操業前の外気温を示す B, 第 1 回操業開始を示す C, 第 1 回操業中を示す D, 第 1 回操業を終え漁獲物の回収中を示す E, 第 6 回目の操業を示す F, 第 7 回目の操業を示す G, 第 12 回目の操業を示す H, 操業終了を示す

30 分間程度の曳網をした後に漁具を引き上げ、8 分間程度で漁獲物を甲板に収容（図 3-2-6, D）して次の入網をするという作業が、翌日の 2 : 01 までに（図 3-2-6, H）16 回行われたことが読み取れる。

上記の漁でクルマエビが漁獲され始めたのは、日没後の 19 : 18 から始めた第 6 回目以降の作業（図 3-2-6, E）であり、特に 7 回目（図 3-2-6, F）と 12 回目（図 3-2-6, G）の漁獲量が多かった。何れの漁場も水温はほぼ同様であったが、7 回目と 12 回目を比較すると 12 回目の方が漁場は 15 m 程度深かった。また、12 回目に漁獲された雌エビは 7 回目よりも有意に大きく、卵巣の発達も進んでいた。この結果から、水深帯の棲み分けと春先の卵巣成熟には、雌エビの大きさや年級も影響している可能性が示された。

上記の他にもこの調査で得られたロガーの記録、曳網の航跡および標本を併せて解析することで、漁場、漁獲時刻および水温と漁獲量、サイズ、雌雄比および卵巣成熟状況との関係など多くの知見が収集できると考えている。

3. 成熟期個体の出現予測

生物の発育と温度との関係を表す指標として広く知られる有効積算温度は、ある一定の発育段階を通過するには一定量の有効な温度が必要との概念である¹⁷⁾。栽培漁業の対象種では、多くの種で受精卵や稚仔魚の発生段階と有効積算水温との関係が示されている。卵巣発達に有効な水温を積算する場合には、成熟有効積算水温とも呼ばれ¹⁸⁾、一般には下記の関係式で表される。

$$Yn = \sum_{i=1}^n (t_i - \theta)$$

ここで Yn は卵黄形成の開始から n 日までの成熟有効積算水温（℃・日）、 θ は成熟の臨界水温すなわち卵黄形成が起きる最低水温、 t_i は n 日までの日々の水温（ただし $t_i - \theta$ が 0 を下回る場合は加算しない）である。

前述のように越冬後の卵黄形成は、毎年 2 月に再開されるため、この検討では 2 月 1 日を起点として成熟有効積算水温を算出した。また、クルマエビにおける卵巣成熟の臨界水温は明らかにされていないが、すくなくとも発育、成長の起こる温度以上でなければ卵黄形成は進行しないという観点から、発育、成長の限界水温として知られる 12℃¹⁹⁾ を θ に用いた。水温には AVHRR - SST を用いて上記の関係式で各成熟状況調査までの成熟有効積算水温を算出し（図 3-2-7）、成熟期個体の出現率との関係をみた。

図 3-2-8 には、1997～2006 年に実施した合計 64 回の調査で得られた、成熟期個体の出現率と成熟有効積算水

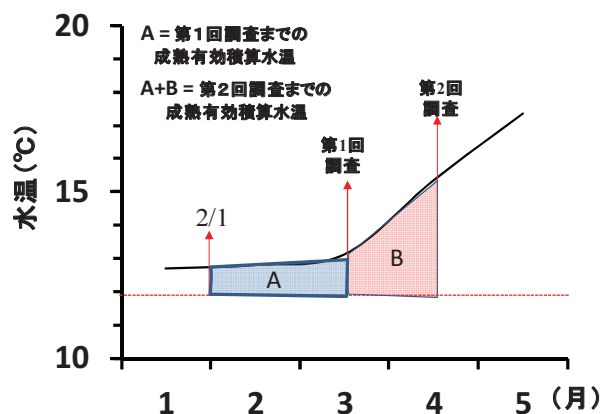


図 3-2-7 成熟有効積算水温の算出方法

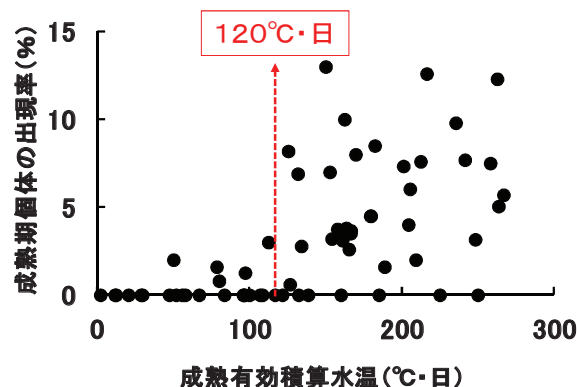


図 3-2-8 成熟有効積算水温と成熟期個体出現率との関係
赤線は成熟有効積算水温が 120℃・日を示す

温の関係を示した。西部遠州灘で各年最初に成熟期個体が比較的高い割合で出現したのは、2 月 1 日からの成熟有効積算水温が概ね 120℃・日に達した時期であった。この値が西部遠州灘のクルマエビが産卵期に入る時期やこの海域の親エビを利用した早期採卵が効率的となる時期の目安になるとみている。なお、クルマエビの成熟・産卵は、外部環境の他に個体の大きさや年級の影響も受ける（第 3 章第 1 節参照）ことから、今後はサイズ別に水温と卵巣成熟との関係を調べ、成熟状況の予測精度を向上する取り組みを行っていく。

（水藤 勝喜）

文 献

- 1) 金沢昭夫. 6. 甲殻類. 水産学シリーズ 41「魚類の成熟・産卵の制御」（日本水産学会編）恒星社厚生閣、東京. 1982; 80-89.
- 2) 加治俊二. 種苗生産に用いるクルマエビ親エビの入手、採卵状況（平成 7-9 年度）. 日本栽培漁業協会研究資料 1998; 74: 1-9.
- 3) 水藤勝喜. 愛知県一色産クルマエビ種苗生産用親エビについて - II, 採卵の効率化に関する検討.

- 栽培技研 1996; **24**: 75-81.
- 4) Ohtomi J, Tashiro T, Atsuchi S, Kohno N. Comparison of spatiotemporal patterns in reproduction of the kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus* between two regions having different geographic conditions in Kyushu, southern Japan. *Fish. Sci.* 2003; **69**: 505-519.
 - 5) 水藤勝喜, 荒川哲也, 伊藤英之進. 生検法による種苗生産用親エビの成熟度観察. 栽培技研 1996; **25**: 27-35.
 - 6) 宮島義和, 松本淳. 人工養成クルマエビを用いた生検法による採卵用親エビの成熟度判別と効率的な採卵方法. 栽培技研 1996; **25**: 37-40.
 - 7) 深谷昭登司, 水藤勝喜, 鯉江秀亮. 5 クルマエビ種苗生産. 平成4年度業務報告, 愛知県栽培漁業協会, 田原. 1993; 26-29.
 - 8) 伊藤英之進, 水藤勝喜, 荒川哲也. 5 クルマエビ種苗生産. 平成8年度業務報告, 愛知県栽培漁業協会, 田原. 1997; 25-27.
 - 9) 木村伸吾, 杉本隆成. 遠州灘沿岸域における短期漁海況変動. 水産海洋研究 1988; **52**: 221-228.
 - 10) 愛知県水産試験場. 漁況海況予報調査結果報告書, 3. 海洋観測結果表, (1) 沿岸定線調査結果 (三河湾及び渥美外海). 愛知県水産試験場, 蒲郡. 2001 ~ 2012.
 - 11) 黒山忠明, 齋藤誠一, 二平 章. リモートセンシングを用いた鹿島灘におけるシラス来遊水準の変動要因解析. 平成17年水産海洋学会講演要旨集 2005; p73.
 - 12) 永島宏. NOAA-SST でみるイカナゴ稚仔魚期の仙台湾の海況. 宮城県水研報 2002; **2**: 33-44.
 - 13) 川村宏. 衛星海洋観測概論 (シンポジウム: 沿岸海域の衛星海洋学). 沿岸海洋研究 2001; **39**: 3-8.
 - 14) 町村尚, 堀口郁夫, 谷宏, 吉田龍哉. 気象衛星 NOAA/AVHRR による気温推定に関する研究. 北大農学部邦文紀要 1987; **15**: 321-330.
 - 15) Aragón-Noriega EA, Alcántara-Razo E. Influence of sea surface temperature on reproductive period and size at maturity of brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 2005; **146**: 373-379.
 - 16) 船越茂雄, 柳橋茂昭, 岩瀬重元. 三河湾ならびに渥美外海の平均的の海況. 水産海洋研究 1979; **34**: 115-127.
 - 17) 塚本勝己. 9.5. 外的要因. 「水族繁殖学」(隆島史夫, 羽生功編) 緑書房, 東京. 1989 水族繁殖学; 265-276.
 - 18) 浮 永久, 菊池省吾. 5. 貝類. 水産学シリーズ41「魚介類の成熟・産卵の制御」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1982; 64-79.
 - 19) 倉田 博. 第1編. クルマエビ栽培漁業の基礎知識, さいばい叢書 No.1 (クルマエビ栽培漁業の手引き). 日本栽培漁業協会, 東京. 1986; 1-33.