

第1章 クルマエビ類種苗生産の歴史

第1節 クルマエビ種苗生産の歴史

Section 1

1. クルマエビの分類と分布・生活史

クルマエビは甲殻十脚目 (Decapoda), 根鰓亜目 (Dendrobranchiata), クルマエビ上科 (Penaeoidea), クルマエビ科 (Penaeidae), クルマエビ属 (*Marsupenaeus*) に属する大型エビで日本を代表する水産上重要なエビである。クルマエビに限らず, クルマエビ科には世界各地で重要な水産資源となっている種類が多く含まれる (表 1-1-1)。特にクルマエビ近縁種には大型のエビが多く, 漁業と養殖業で重要な種類である。クルマエビ類の養殖は中国と東南アジアを中心に急速に発展しており, この 10 年間で世界全体の養殖量が 3.3 倍に拡大し, 2009 年には 340 万トン以上 (1.4 兆円以上, FAO) に達した。

クルマエビの分類は 1997 年に Pérez Farfante と Kensley が発表したクルマエビ科の分類体系¹⁾により大きく変わった。それ以前は, クルマエビは *Penaeus* 属に属し, *Penaeus* 属には 6 亜属, 28 種が属していた。Pérez Farfante と Kensley はそれまでのクルマエビ科の分類体系を形態的特徴の相違をもとに整理し直し, 以前は亜属として取り扱われていたものを属に格上げした。その結果, *Penaeus* 属は, *Penaeus*, *Farfantepenaeus*, *Fenneropenaeus*, *Litopenaeus*, *Marsupenaeus*, *Melicertus* の 6 属に細分され, クルマエビは *Marsupenaeus* 属に 1 属 1 種として位置づけられた (表 1-1-1)。近年発表される多くの文献では, この新しい分類体系に従った種名を用いるようになっている。

一方, これに対する反論が 2007 年に報告された。新しい分類体系はエビ産業界に混乱を引き起こしていることや, DNA 配列情報を用いた種間の遺伝的相違の解析結果をもとに, 従前と同じ *Penaeus* 属 1 属とする方が妥当であるとする論文が国際的な学術誌である *Aquaculture* 誌に発表された²⁾。その報告を受けて, *Aquaculture* 誌では, 今後の同誌への投稿においてクルマエビ類の種名を記載する際に, *Penaeus* (*Fenneropenaeus*) *chinensis* のようにすることを基本とし, 新しい分類体系を支持する場合でも *Fenneropenaeus chinensis* (also called *Penaeus chinensis*) とするよう求めた³⁾。この後, *Aquaculture* 誌では, 新旧のクルマエビ類の学名が混在する状況になった。しかし, ここ 2~3 年



(独)水産総合研究センター撮影

奥村 卓二

は新しいクルマエビ類の学名が用いられるようになっていく。他の学術誌でも新しい学名が主に使われており, 新しい分類体系が定着してきたといえる。

旧 *Penaeus* 属の 6 属 (以下, クルマエビ類) の特徴を表 1-1-2 にまとめた⁴⁻⁶⁾。*Litopenaeus* 属と *Fenneropenaeus* 属は潜砂せず, 濁水中に生息し, 主に熱帯域に分布しているが, *Penaeus* 属, *Farfantepenaeus* 属, *Melicertus* 属, *Marsupenaeus* 属と進むにつれ, より北方へ進出し, 潜砂習性が強まり, 乾燥耐性も強くなる。また, 雌の腹面にある, 雄から精莢を受け取る雌性交接器の形態は, *Litopenaeus* 属だけが開放型で, 雄が殻の固い雌と交尾して精莢を雌の腹面に付着させる。それに対して, *Fenneropenaeus* 属, *Penaeus* 属, *Farfantepenaeus* 属, *Melicertus* 属, *Marsupenaeus* 属の雌性交接器は精莢を入れる部位が袋状になっている閉鎖型で, 特に *Marsupenaeus* 属は円筒状に発達しているため円筒型 (融合型) とも呼ばれる。雄は脱皮直後で殻が柔らかい雌と交尾し, 雌性交接器内に精莢を入れる。さらに栄養面に関しては, タンパク質要求度は *Litopenaeus vannamei* が 25~30% で, ウシエビが 40%, クルマエビが 60% 程度とされている⁴⁾。以上の特徴から, *Litopenaeus* 属から *Marsupenaeus* 属へと分化が進み, クルマエビが最も北方に進出し, 潜砂習性, 乾燥耐性, 動物食性が強く, 雌性交接器が複雑化した最も分化が進んだ種であると考えられている。

クルマエビはインド洋 (インド, 東アフリカ諸国, 南アフリカ), 地中海東部から紅海 (イスラエル, トルコ, エジプト), 太平洋西岸域 (東アジア, 東南アジア, オーストラリア北部) と広く分布している。日本はクルマエビ分布の北限域にあたり, 太平洋側では松島湾, 日本海側では陸奥湾が北限とされている。琉球列島には天然のクルマエビは分布しない。日本と東シナ海, 南シナ海, 台湾海峡でクルマエビのミトコンドリア DNA の塩基配列を比較した結果によると, 日本のクルマエビは他と異なる地域集団を構成しているようである⁷⁾。

さらに最近になって, クルマエビが一種ではなく二種に分けられる可能性が報告された⁸⁾。その報告によると, クルマエビには頭胸甲の紋様から 2 つのタイプ (I 型及び II 型) に区別することができ, この 2 つのタイプは

表 1-1-1 クルマエビ科 (Penaeidae) の主な属と種

(上段が旧クルマエビ属, 下段がその他の属)

属	種	英名	和名*
<i>Farfantepenaeus</i>			
	<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	Northern brown shrimp	ブラウンシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus brasiliensis</i>	Red spotted shrimp	ピンクスポットドシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus brevirostri</i>	Crystal shrimp	クリスタルシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	Yellowleg shrimp	イエローレッグシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus duorarum</i>	Northern pink shrimp	ピンクシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus notialis</i>	Southern pink shrimp	サウザンピンクシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus paulensis</i>	Sao Paulo shrimp	サンパウロシュリンプ
	<i>Farfantepenaeus subtilis</i>	Southern brown shrimp	サウザンブラウンシュリンプ
<i>Fenneropenaeus</i> (コウライエビ属)			
	<i>Fenneropenaeus chinensis</i>	Chinese shrimp	タイショウエビ、コウライエビ
	<i>Fenneropenaeus indicus</i>	Indian white prawn	インドエビ
	<i>Fenneropenaeus merguensis</i>	Banana prawn	テンジククルマエビ
	<i>Fenneropenaeus penicillatus</i>	Redtail prawn	アカオエビ
	<i>Fenneropenaeus silasi</i>		
<i>Litopenaeus</i>			
	<i>Litopenaeus occidentalis</i>	Western white shrimp	ウエスタンホワイトシュリンプ
	<i>Litopenaeus schmitti</i>	Southern white shrimp	サウザンホワイトシュリンプ
	<i>Litopenaeus setiferus</i>	Northern white shrimp	ホワイトシュリンプ
	<i>Litopenaeus stylirostris</i>	Blue shrimp	ブルーシュリンプ
	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Whiteleg shrimp	バナメイシュリンプ
<i>Marsupenaeus</i> (クルマエビ属)			
	<i>Marsupenaeus japonicus</i>	Kuruma prawn	クルマエビ
<i>Melicertus</i> (フトミゾエビ属)			
	<i>Melicertus canaliculatus</i>	Tiger shrimp	ミナミクルマエビ
	<i>Melicertus kerathurus</i>	Triple-grooved shrimp	アフリカクルマエビ
	<i>Melicertus latisulcatus</i>	Western king prawn	フトミゾエビ
	<i>Melicertus longistylus</i>	Red-spotted prawn	レッドスポテッドブラウン
	<i>Melicertus marginatus</i>	Aloha prawn	テラオクルマエビ
	<i>Melicertus plebejus</i>	Eastern king prawn	イースタンキングブラウン
<i>Penaeus</i> (ウシエビ属)			
	<i>Penaeus esculentus</i>	Brown tiger prawn	コモンタイガーブラウン
	<i>Penaeus monodon</i>	Giant tiger prawn	ウシエビ
	<i>Penaeus semisulcatus</i>	Green tiger prawn	クマエビ
<i>Atypopenaeus</i> (マイマイエビ属)			
<i>Metapenaeus</i> (ヨシエビ属)			
	<i>Metapenaeus ensis</i>	Greasyback shrimp	ヨシエビ
	<i>Metapenaeus joyneri</i>	Shiba shrimp	シバエビ
	<i>Metapenaeus moyebi</i>	Moyebi prawn	モエビ
<i>Metapenaeopsis</i> (アカエビ属)			
	<i>Metapenaeopsis acclivis</i>	Tora velvet shrimp	トラエビ
	<i>Metapenaeopsis barbata</i>	Whiskered velvet shrimp	アカエビ
	<i>Metapenaeopsis dalei</i>	Kishi velvet shrimp	キシエビ
	<i>Metapenaeopsis lamellata</i>	Humpback prawn	ホッコクエビ
	<i>Metapenaeopsis lata</i>	Broad velvet shrimp	シロエビ
<i>Parapenaeus</i> (サケエビ属)			
	<i>Parapenaeus fissurus</i>	Neptune rose shrimp	サケエビ
<i>Parapenaeopsis</i> (スバスベエビ属)			
	<i>Parapenaeopsis tenella</i>	Smooth shelled prawn	スバスベエビ
<i>Penaeopsis</i> (ベニガラエビ属)			
<i>Trachypenaeopsis</i> (サルエビ・モドキ属)			
<i>Trachysalambria</i> (サルエビ属)			
	<i>Trachysalambria curvirostris</i>	Southern rough shrimp	サルエビ

* 必ずしも標準和名が与えられていないため、一般的な呼び名、英名の仮名表示を含む
青色は日本に生息する種類

表 1-1-2 クルマエビ類の分布、形態的・生態的特徴 (倉田・茂野⁴⁾, 林⁵⁾, 本尾⁶⁾ を改変)

属	分布		形態的特徴			生態的特徴					
	海域	気候	雌性交接器	額角側溝	肝隆起	日周活動	潜砂習性	底質	濁度	乾燥耐性	交尾行動
<i>Litopenaeus</i>	大西洋・東太平洋	熱帯	開放型	短い	あり	昼夜	なし	軟泥	濁水	弱	雌の脱皮に依存せず
<i>Femmeropenaeus</i>	インド・西太平洋	熱帯 (一部亜熱帯)	閉鎖型	短い	なし	昼夜	なし	軟泥	濁水	弱	脱皮直後の殻が柔らかい雌と交尾
<i>Penaeus</i>	インド・西太平洋	熱帯 (一部亜熱帯)	閉鎖型	短い	あり	夜行	あり (不完全)	砂泥	清水	やや強	脱皮直後の殻が柔らかい雌と交尾
<i>Farfantepenaeus</i>	大西洋・東太平洋	熱帯・亜熱帯 (一部温帯)	閉鎖型	長い	あり	夜行	あり	砂泥	清澄水	強	脱皮直後の殻が柔らかい雌と交尾
<i>Melicertus</i>	インド・西太平洋	熱帯・亜熱帯 (一部温帯)	閉鎖型	長い	あり	夜行	あり	砂泥	清澄水	強	脱皮直後の殻が柔らかい雌と交尾
<i>Marsupenaeus</i>	インド・西太平洋	熱帯-温帯	円筒型	長い	あり	夜行	あり	砂泥	清澄水	最強	脱皮直後の殻が柔らかい雌と交尾

他の形態的な形質からは区別できない。日本、香港、シンガポールの天然エビの形態及び遺伝子多型を解析し、日本には I 型、シンガポールには II 型、香港には両者が分布し、I 型と II 型の間には明瞭な遺伝組成の違いが見られた。I 型と II 型の両方が生息する香港において、両者間で交配していないと推測されることから、両者は別種レベルまで分化していると報告している。以上をまとめると、クルマエビは地中海からインド洋、太平洋西部と世界中に広く分布し、日本は分布域の東端にあたり、異なる遺伝的集団を構成しているようである。

クルマエビの生活史を過去の総説^{6,9,10)}を参考に概説すると次のようである(表 1-1-3)。産卵直前の成熟した雌が主に水深 20~100 m の灘海域で漁獲されることから、産卵は主に灘海域で行われると考えられている。交尾は産卵より前に雌が脱皮直後の殻が柔らかい状態で行われるため、産卵に雄は関与しない。海水中に直接生み出された受精卵は、13~14 時間でふ化してノープリウス幼生になる。産卵が夜間に行われるため、ふ化は日中になる。ノープリウス期は栄養を卵黄に頼っているが、ゾエア期から珪藻などの植物餌料をとるようになり、発育するにしたがって動物餌料をとるようになる。ノープリウス期、ゾエア期、ミスシス期、ポストラーバ期の浮遊生活期では、昼間は深く、夜間は表層の日周鉛直移動を繰り返しているらしい。そして、海流に乗りながら産卵場の沖合から底生生活を始める干潟へと移動する。底生生活が近づいた幼生は、塩分変化に反応して上げ潮時に浮上して潮に乗って岸に近づき、下げ潮時に海底に沈んでその場にとどまることで少しずつ岸に近づくと考えられている。底生生活を始める体長は 9~15 mm で、底生生活に移行すると日周鉛直移動の習性がなくなり潜砂習性と正の走流性が高まるため干潟に定着する。定着後、成長にともない、生息場の中心が次第に沖合へと移っていく。体長 120 mm 前後に成長すると急速に生息場を広げる傾向がある。交尾して雌が交尾栓を持ち始める時期と重なる。雄で第一腹肢の雄性交接器 (petasma) が発達して左右結合するのが体長 90 mm、雌が交尾して交

尾栓を持ち始めるのが体長 110 mm とされている。また、性的に成熟する最小形は報告により異なるが、およそ雄が体長 100 mm、雌が体長 120 mm とされている。沖合へ移動する過程で成熟が進み、性的に成熟して産卵に至る。産卵期は海域により異なるが、およそ 4 月から 10 月になる。その間に、雄は複数の雌と交尾し、雌は複数回産卵する。寿命は約 3 年と考えられている。

2. 採卵・種苗生産技術の歴史と現況

2-1. 採卵・種苗生産技術の開発

クルマエビの採卵・種苗生産は、1934 年に藤永元作が熊本県千束島においてクルマエビを実験的に産卵させ、孵化した幼生をミスシス期まで飼育することに成功したことにより始まった。藤永はその後、山口県秋穂町(あいおちょう)において研究を継続し、採卵・種苗生産に関する技術を開発してクルマエビ種苗生産の基礎を作った。藤永らの研究開発については、いくつかの成書に記されている^{9,11-13)}。藤永らによる成果は、好適な産卵条件や初期餌料の探索、屋外水槽における大量飼育手法の開発、さらには交尾生態、受精、卵発生に関する研究など、基礎的な研究から応用技術まで多岐に渡る。種苗生産技術が、極めて多様かつ複合的な技術的、学問的要素のうえに成り立っていることがうかがえる。また、日本において発達したクルマエビの種苗生産技術が、パイオニア達によって海外へと技術移転され、現在のアジア地域を中心としたクルマエビ類養殖の発展へと結びついた。

藤永は 1959 年に太平洋養魚株式会社(後、くるまえばい養殖株式会社に社名変更)を設立し、種苗生産技術を利用してクルマエビの養殖に取り組み始めた。翌 1960 年から香川県高松にある廃止塩田を利用してクルマエビ養殖を事業レベルで実施するようになった。1963 年から他の事業者もクルマエビ養殖に参入するようになり、1966 年までに 12 事業者が種苗生産技術を利用してクルマエビ養殖事業に取り組むようになった¹⁴⁾。こうして藤永らが開発した採卵・種苗生産技術は、日本のクルマ

表 1-1-3 クルマエビの発育段階^{6, 9, 10)} *

発育段階	生息域	体長 (mm)	日数 ¹¹⁾ *	特徴
産卵	灘海域 20-100 m			
受精卵・胚	産卵場で浮遊	0.24	0.6	
ノープリウス		0.3-0.5	2-3	ふ化幼生, 6亜期
ゾエア	灘海域から沿岸へ 浮遊生活	0.9-2.3	4-8	複眼・頭胸甲発達, 3亜期
ミス		3-5	3-6	5対の歩脚, 3亜期
ポストラーバ		6-9		遊泳肢発達, 3-5亜期
稚仔	干潟	7-25		鰓と口部付属肢の完成, 底生生活へ移行, 夜行性
若年	干潟～潟	♂ 25-90 ♀ 25-110		体型・縞模様完成
亜成体	潟～灘	♂ 90-100 ♀ 110-125		二次性徴, 性成熟開始, 沖合へ移動
成体	灘～外海	♂ 100-220 ♀ 125-262		性成熟完了, 産卵

* 文献を元に記述。各数値は水温などの影響で大きく変動するため目安。
幼生の名称は慣例に従った。

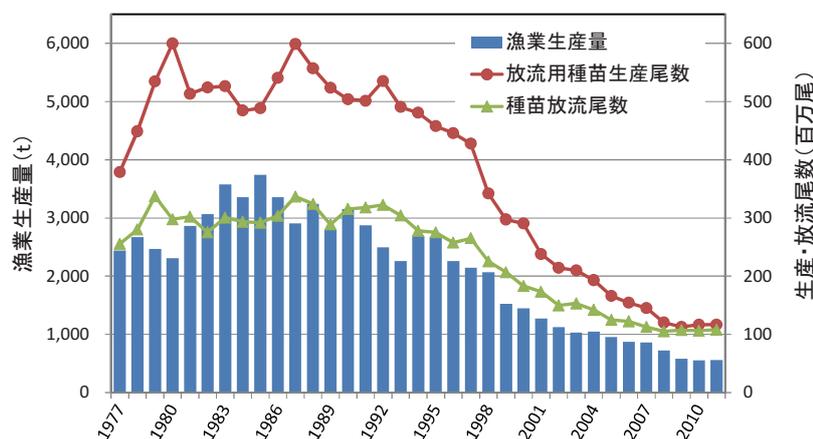


図 1-1-1 クルマエビの種苗生産・放流尾数と漁業生産量の経年変化

エビ養殖の発展につながった。

また、放流用の種苗生産は、1964 年度から国主導の技術開発事業として（社）瀬戸内海栽培漁業協会（後に日本栽培漁業協会）の屋島、伯方島、上浦の 3 事業場で始まった。事業を実施する中で初期餌料などの改良が進み、さらに 1966 年度には志布志事業場に 2500 トンの大型水槽が整備され、1975 年度には志布志事業場だけで 1 億尾以上の種苗が生産されるようになった。こうして大量種苗生産の体制が整った¹⁵⁾。このような放流用種苗生産の技術開発と並行して種苗生産事業は県に普及され、1983 年では 25 府県が種苗生産を実施した。クルマエビは日本の栽培漁業の先鞭でもあり、クルマエビの種苗を大量生産するシステムを構築していく過程で開発された技術は、栽培対象の様々な魚介類を生産、放流していく際に基礎技術として利用された。

2-2. 近年の種苗生産・放流及び漁業生産の状況

クルマエビ種苗の用途は放流用と養殖用に大別される。現在、放流用種苗は主に都道府県などが運営主体になっている公的な種苗生産機関で生産され、養殖用種苗は主に漁協、民間の種苗業者、養殖業者によって生産されている。クルマエビの種苗生産量は、水産庁の依頼により（独）水産総合研究センター、（社）全国豊かな海づくり協会、旧日本栽培漁業協会が調査し、「栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績（全国）」として毎年報告されている。この統計をもとに種苗生産の動向を紹介する。

放流用種苗生産 全国の放流用クルマエビ種苗生産尾数（年あたり）は、1980 年の 6 億尾をピークに 1979～1992 年の間毎年 5～6 億尾の高位にあった（図 1-1-1）。1992 年以降は減少し、2009～2011 年は 1.1 億尾台にな

っている。放流用種苗を生産した都道府県数を見ると、約6億尾生産した1987年は29府県であったのに対し、2011年は18府県に減少している（図1-1-2）。特に日本海側に種苗生産を中止した県が多い。大型種苗を放流した方が放流効果が高くなることから、生産する種苗をより長期間飼育して大型化する傾向が強まったために生産尾数が減った側面もあるが、生産尾数がピーク時の5分の1になった主な要因は、生産機関が減ったことと各機関の生産規模が小さくなったことである。

次に、全国の種苗放流尾数を見ると、1987年の3.37億尾をピークに、1979～1993年の間はほぼ3億尾台であった（図1-1-1）。1992年以降は減少し、2008～2011年は1億尾近くになっている。種苗放流した都道府県も、1987年は33府県であったのに対し、2011年は24府県に減少している（図1-1-2）。全国の種苗放流尾数がピーク時の3分の1になっている要因は、生産尾数の減少と同様に、放流する府県が減ったことと放流する府県の放流規模が小さくなったことである。

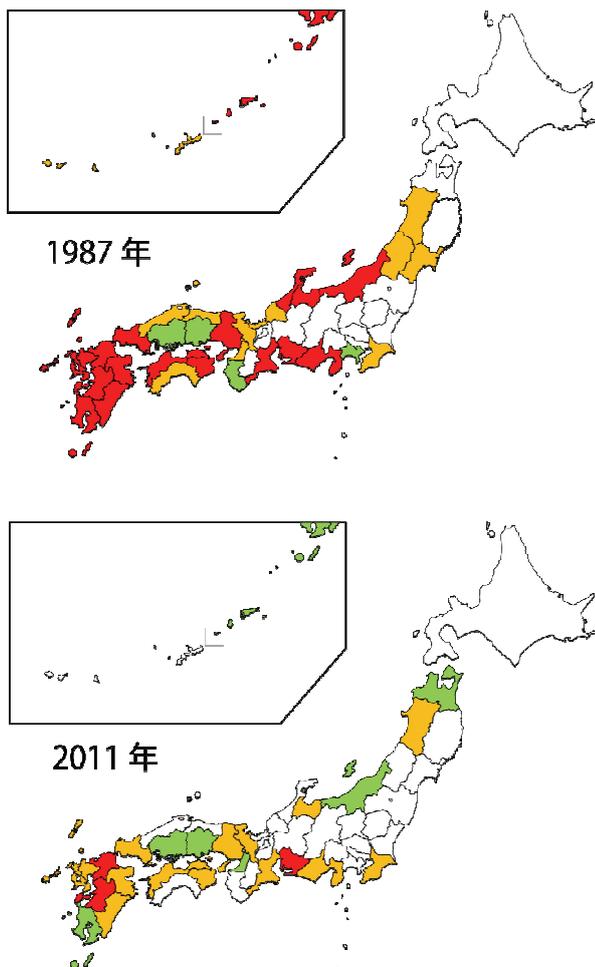


図1-1-2 クルマエビ種苗を生産・放流する県の推移
赤：1000万尾/年以上の種苗生産と放流をした県。
橙：1000万尾/年未満の種苗生産と放流をした県。
緑：種苗生産せず放流だけした県。

このようにクルマエビ種苗の生産尾数と放流尾数が減少してきた背景として、種苗放流事業に経済的視点の導入が進められていることが大きい。栽培漁業発展期の1970年代と1980年代においては、国策として事業が推進され、種苗放流対象種の拡大と放流量の増大が進んだ。その後、特にバブル崩壊以降、税収が減少する中で、種苗放流事業にそれまで以上に経済的な説明責任が求められるようになった。各自治体において、栽培対象種の産業規模、費用対効果、技術の民間への移転といった点などが検討され、種苗生産対象種の整理が進められている。クルマエビ放流事業が日本海エリアで縮小しているのは、これらの地域におけるクルマエビ漁業の規模が小さいことが一番の理由と考えられる。

漁業生産量と種苗放流 全国のクルマエビ漁業生産量（漁業・養殖業生産統計年報、農林水産省統計部）は、1985年の3,741トン进行ピークに、1981～1991年の間は3千トン前後の高位であった（図1-1-1）。しかし、1990年以降は徐々に減少し、2009～2011年は500トン台とピーク時の七分の一にまで落ち込んでいる。

漁業生産量の減少と種苗放流尾数の減少を比較すると両者はよく似ており（図1-1-1）、種苗放流尾数の減少が漁業生産量の減少につながったかのような印象を受ける。しかし、漁業生産量減少の原因を推測するには、それぞれの海域において、放流尾数や放流サイズ、放流手法、漁業の実態、さらにはクルマエビ資源に影響を及ぼす可能性のある種々の環境条件などを考慮する必要がある。有明海では、1998年から2001年までの4年間、福岡、佐賀、熊本、長崎4県が共同して、体長40mm前後の大型種苗を毎年約100万尾放流し、クルマエビの漁獲と放流種苗の再捕の状況を調べる大規模調査が実施された¹⁶⁾。毎年相当数の大型種苗を放流したにもかかわらず、漁獲尾数は大幅に減少し、2001年は1998年の6分の1以下になった。放流したエビの回収率も、当初の9%前後から年々低くなり1.4～2%になった。これらの結果から、この時期の有明海では、放流尾数以外の要因によって漁獲量や放流したエビの回収率が大きく減少したと考えられる。浜崎・北田¹⁷⁾は、放流効果が高いと考えられる大型種苗の放流数が増加しているにもかかわらず漁獲量が減少していること、また放流尾数が減少する1990年代後半より前の1980年代半ばから漁獲量減少の兆候が見えることから、漁獲量の減少は種苗放流とは無関係であると考察している。さらに、1980年代後半から小型底曳網と刺網の出漁日数が減少して漁獲努力量が減っているため、漁獲量減少の原因は乱獲ではなく、生息環境の問題が原因であろうと推察している。生息場を共有するその他エビ類やアサリなどの漁獲量も減少していることも、生息環境に共通の問題があることを示唆す

る。

全国の漁業生産量は全国種苗放流尾数と強い相関を示すが、海区ごとに比較すると相関しない場合がある。太平洋中区の愛知県、静岡県、三重県のクルマエビ漁業生産量と種苗放流尾数を1987～2011年の間で比較すると(図1-1-3)、漁業生産量は1988年から大きく減少し、2009～2011年は100トン弱と低迷している。しかし、放流尾数は2000年以降、2千万尾前後を維持しており、漁業生産量の減少と一致しない。浜崎・北田¹⁷⁾が考察するように、太平洋中区でも漁業生産量が減少した主要因は種苗放流の減少以外にあると考えられる。

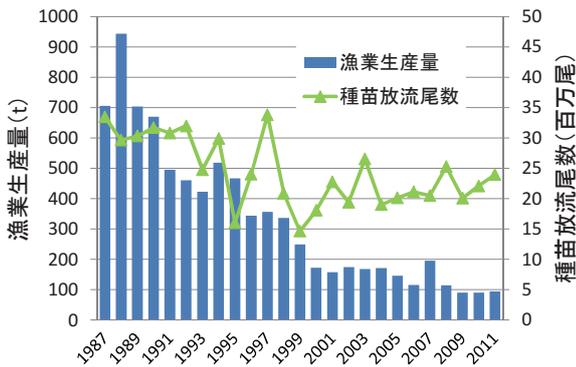


図1-1-3 愛知県，静岡県，三重県のクルマエビの種苗放流尾数と漁業生産量の経年変化

養殖生産量と養殖用種苗生産 先に述べたように、クルマエビ種苗は放流用に加えて養殖用にも生産されている。クルマエビ養殖生産量は、1988年に3,020トンのピークに達するまで徐々に増加し、その後減少した(図1-1-4)。1990年代にウイルス性疾患(クルマエビウイルス血症, Penaeid Acute Viremia, PAV, 海外においてはホワイトスポットシンドロームと呼ばれている)が流行して養殖に大きな被害を与えたため、養殖生産量は1994年に1,500トン近くまで落ち込んだ。その後2000トン台まで回復したが、再び減少に転じ2007～2011年は1,600トン前後になっている。近年の主な生産県は沖縄県、鹿児島県、熊本県で、これら3県で全国養殖生産量の三分の二以上を占める。養殖生産が減少した原因として、ウイルス性疾患の被害に加え、バブル崩壊による日本経済の落ち込みで需要が減ったことが挙げられる。減少したとはいえ養殖生産量は1,600トン前後を維持している。漁業生産の落ち込みが激しいため、国内クルマエビ供給量の約四分の三が養殖生産となっている。

1,600トンの養殖生産をするためには数億尾の種苗生産が必要であり、放流用種苗を超える尾数が養殖用に生産されていると考えられる。養殖用に種苗生産しているのは、主に民間の種苗業者と養殖業者、及び漁協で、公的種苗生産機関も一部養殖用に種苗を供給している。

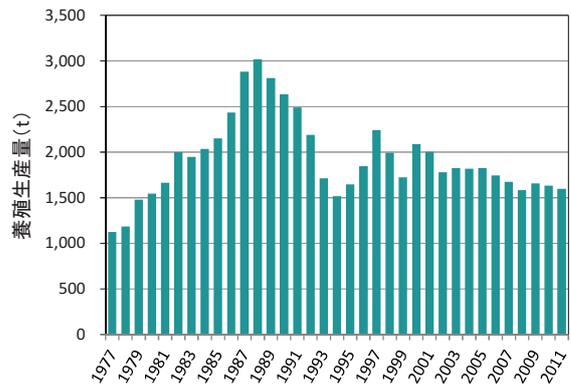


図1-1-4 クルマエビの養殖生産量の経年変化

3. 人為催熟の歴史

藤永らによって開発された種苗生産技術では、天然の漁獲クルマエビの中から交尾済みで(交尾栓の有無で判別可能、ほとんどの雌が交尾栓を持っている)卵巣が大きく発達した雌エビを選び、採卵水槽に入れて昇温刺激を与えて産卵させて採卵する。雌クルマエビは雄から交尾により受け取った精莖を体内(受精嚢内)に保存して産卵に使うため、採卵に雄エビは必要なく交尾済みの雌エビだけでできる。

しかし、天然の成熟エビに頼る方法では、天然資源が減少すると産卵間近の成熟雌親エビを確保できなくなり、必要な時期に必要な量の種苗を安定して生産することが困難になる。親エビ不足の問題は、日本から台湾を経て東南アジアに広がったウシエビなどのクルマエビ類養殖の現場で深刻になった。そのため、眼柄を除去すると成熟が進む現象¹⁸⁾を利用して、親エビの眼柄を片側だけ除去して成熟を進め、産卵させる技術が開発された¹⁹⁻²¹⁾。この技術により、それまで採卵に用いられなかった、卵巣が発達していない雌エビからも採卵できるようになり、親エビ不足が緩和された。現在では、クルマエビ類養殖の採卵・種苗生産の現場に不可欠の技術となっている。

日本でも、(社)瀬戸内海栽培漁業協会が種苗生産技術の開発に取り組み始めた当初から親エビ不足が問題になることが認識され、その対応が検討された。1976年に屋島事業場で眼柄除去によるクルマエビの成熟・産卵誘発試験が実施され、それ以降、主に百島実験地(1978年開所、後の(社)日本栽培漁業協会百島事業場、現(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所海産無脊椎動物研究センター)で素掘り池での親エビ養成試験と眼柄除去による人為催熟試験とが実施された。その成果の一部は、催熟用飼餌料、眼柄処理法及び産卵同調化技術として第4章で紹介されている。

クルマエビ漁業生産量が1990年以降減少し続けたことにより、成熟した産卵間近の親エビを必要量確保する

ことが難しくなり、計画通りに採卵できず、種苗生産を始められないケースもでてきた。しかし、日本国内のクルマエビ種苗生産では眼柄除去による人為催熟技術は普及せず、養殖用種苗生産などで利用されるにとどまっていた。特に県の種苗生産機関として片眼柄除去による人為催熟法を事業レベルで実施していたのは、2002年から導入した佐賀県玄海栽培漁業協会と1993年から導入した秋田県栽培漁業協会だけであった。親エビ不足に苦労しながらも成熟した雌エビをなんとか確保できていたこと、試験的に実施した催熟試験の結果が必ずしも良好でなかったことなどが、多くの公的種苗生産機関が人為催熟を導入しなかった原因と推測される。

ところが、2012年に全国のクルマエビ種苗生産機関16機関中、12機関が片眼柄除去による人為催熟技術を用いて事業レベルで採卵を行い、急に人為催熟技術が普及した。クルマエビ種苗生産50年の歴史上画期的なことであり、公的種苗生産機関にとって「催熟元年」ともいえる年である。親エビの漁獲不調が続いたため、親エビを入手できなくて計画通りに種苗生産ができない状況がより深刻になったこと、佐賀県玄海栽培漁業協会や愛知県水産業振興基金など先進的に人為催熟に取り組んだ種苗生産機関で人為催熟が順調だったこと、(独)水産総合研究センター(旧日本栽培業協会)、大学や先進的に取り組んだ種苗生産機関による催熟技術の紹介が進んだことが普及の要因と考えられる。2013年も、引き続き多くの生産機関(15機関中10機関)が眼柄除去による人為催熟技術により採卵を実施した。日本の放流用種苗生産の現場でも人為催熟技術が普及・定着してきており、親エビの入手難で種苗生産の計画が狂う事態は少なくなっている。今後、人為催熟の経験を積み、技術が改良・洗練されていくことで、親エビの負担を最小限にとどめて催熟したり、その年の親エビの状況に応じて、従来法による自然産卵と眼柄除去法による人為催熟の適した方を的確に選択したりすることができるようになるだろう。

本書の第4章と第6章に、(独)水産総合研究センターと愛知県水産業振興基金が実施している人為催熟技術が紹介されている。

4. 放流効果

4-1. 標識法

種苗生産と放流が継続実施される中で放流事業の経済効果が重視されるようになり、放流種苗の回収率を調べるために標識放流が行われるようになった。クルマエビの場合、脱皮して成長するため体表につける標識は脱皮時に脱落してしまい、当初は良い標識がなかった。コーデッド・ワイヤー・タグや金線を筋中に埋め込む方法が開発され^{2,2,2,3)}、脱落の問題が軽減されて標識に利用されるようになった。さらに、尾肢を切除すると再生時に色素異常が生じて個体識別が可能になることが発見され、尾肢切除法として利用されるようになった^{2,4)}。尾肢切除法は漁獲物を購入しなくても市場調査で尾肢の色素異常を確認できるため、標識法の主流となった。放流種苗を直接標識する方法の特徴を表1-1-4にまとめた。しかし、尾肢切除法も他の直接標識法と同様に放流種苗に負担をかけるため、標識種苗の生残が悪くなる問題点がある。また、切除法が左右の2種類しかないため、3種類以上の放流法を標識で区別して比較することができない。こうした点を解決する方法として、DNAマーカーを利用して親子判別をすることにより放流種苗を判定するDNAマーカー法が開発された^{2,5,2,6)}。DNAマーカー法は、分析に費用と時間がかかるが、放流種苗を直接標識しないので種苗に与える負担はなく、標識の脱落・誤認の危険性も低く、複数の放流群を区別して比較することができる(表1-1-5)。2005年からクルマエビの放流効果調査に使われ始め^{2,7)}、その後普及が進み、周防灘海域、瀬戸内海東部海域、有明海、伊勢湾などでDNAマーカーによる放流効果調査が行われるようになった。

表 1-1-4 クルマエビ標識法の比較

標識法	利点	問題点
リボntag	発見されやすい	脱落しやすい エビへの負担大 大型のみ標識可
コーデッド・ワイヤー・タグ 金線標識	体長30mmから標識可 検出が明確	エビへの負担が大 打ち込む技術必要 外見でわからない 検体の購入が必要 ステンレス製は食品衛生上の問題 軟X線装置または専用検出器が必要
尾肢切除	体長30mmから標識可 切除作業だけで費用が少ない 漁獲物を購入せず市場で判定可能 調査尾数を多くできる	長期間はやや困難 色素異常の判別に経験が必要

表 1-1-5 クルマエビ標識法としての DNA マーカーと尾肢切除法の比較

比較項目	DNAマーカー	尾肢切除法
コスト	高い	低い
稚エビへの負担	無	大
標識期間	寿命まで	数ヶ月
標識尾数	大量	手作業のため数十万尾
調査尾数	数千尾	数万尾以上
目視で判別	不可	可
判定の明確さ	誤認少ない 機械的に判定	誤認あり 色素異常判別に経験必要
調査検体の購入	必要	不必要
標識サイズ	サイズ問わない	体長30mm以上
分析機器	シーケンサーなど必要	不必要
標識群の数	多数可	左右の二組のみ
標識判定時間	分析に数ヶ月	その場で判定

DNA マーカー法について簡単に紹介する。クルマエビの親子判別には、ミトコンドリア DNA マーカーとマイクロサテライト DNA マーカーが使われる。

ミトコンドリア DNA マーカーでは、細胞小器官のミトコンドリアが持つ DNA の塩基配列を利用して個体間の遺伝的差異を検出する。ミトコンドリア DNA の調節領域には高頻度に変異がある領域が知られており、この領域を PCR（ポリメラーゼ連鎖反応）で増幅して直接塩基配列を読むか、PCR 産物を DNA 切断酵素で処理してできる DNA 断片のパターンを電気泳動で解析して塩基配列の類似性を比較する。ミトコンドリアは母側からのみ遺伝するため、母親を判別することになる。

マイクロサテライト DNA マーカーでは、マイクロサテライトと呼ばれる核 DNA に含まれる数塩基の繰り返し配列を利用して個体間の遺伝的差異を検出する。繰り返し配列は、例えば CACACACA のように通常 2 から 4 塩基程度の単位で、数回から多くて 100 回程度繰り返される。このような繰り返し配列が核 DNA に高頻度で存在し、その繰り返しパターンや繰り返し回数が種間や種内で多型を示すため種の同定や親子判別に利用される。核 DNA は父親と母親から遺伝するため、両親の判定が可能である。検出は、まずマイクロサテライトの近傍に設計したプライマーを使ってマイクロサテライト配列を PCR で増幅し、得られた PCR 産物を電気泳動装置や DNA オートシーケンサー（DNA 塩基配列自動解析装置）で解析して繰り返し回数の多型を判定する。複数のマイクロサテライトを使うことで判定の精度を向上させる。

実際にクルマエビの放流効果を調べる際には、ミトコンドリア DNA マーカーとマイクロサテライト DNA マーカーを組み合わせる。検体には、種苗生産に使

われた親エビと漁獲されたエビの両方を用いる。まず一次スクリーニングとして、ミトコンドリア DNA マーカーで親エビと漁獲エビに共通する配列の有無を調べて親子判定をする。次に、親子の可能性のある検体についてマイクロサテライト DNA マーカーで繰り返し回数の多型を調べ、親子判定をする。マイクロサテライト DNA マーカーは両親の判定に利用できるが、エビの親子判定では母親の判定だけが行われる。親エビと親子関係にあると判定された漁獲エビを放流種苗由来として混入率と回収率を求める。

4-2. 放流効果調査

1995～2002 年の間に、京都府丹後海、長崎県伊万里湾、福岡県加布里湾、有明海、瀬戸内海東部で行われた 40 事例の放流効果調査が、浜崎・北田¹⁷⁾によってまとめられている。標識法としてコーデッド・ワイヤー・タグと尾肢切除法が使われている。40 事例の回収率は 0.0 から 22.1%の間にあった。8%以上の高い事例が 4 例あったが、1%以下の低い事例が 14 例あった。浜崎・北田は、放流に要する経費と放流個体の漁獲金額から損益分岐回収率を試算して実際の回収率と比較している。多くの調査事例で回収率が損益分岐回収率を下回っており、放流事業が経済的に厳しい状況にあると推測している。しかし、回収率が高い事例もあるため、海域及び放流法によっては放流事業が経済的に成立する可能性があるとしている。そして、回収率を上げるためには放流直後の減耗を回避することが重要であり、適した放流時期と種苗サイズ、及び放流時の囲い網による馴致の有効性を検討すべきとしている。

浜崎・北田によってまとめられた事例は、標識法にコ

ーデッド・ワイヤー・タグと尾肢切除法が使われており、標識種苗の生残率が低い可能性があること、標識脱落と誤認の危険性があること、ある程度大きい種苗しか標識できず標識種苗と放流種苗のサイズが異なる場合があること、複数の放流群を比較することが難しいことなどの問題点がある。こうした問題点を解消するために、2005年以降標識法としてDNAマーカー法が使われるようになった。そして、実施された放流調査の結果が一部公表されている。ここでは、大分県佐伯湾²⁷⁾、瀬戸内海東部²⁸⁾、佐賀県有明海²⁹⁾の3例を紹介する(表1-1-6)。

大分県佐伯湾の事例はDNAマーカー法で行われた最初の放流効果調査である。大型種苗(平均体長49.8mm)を放流した後、放流から4ヶ月の回収期間に575検体を採取して分析し、51尾が放流種苗と判定された。漁獲物中に放流種苗と判定された個体が混じる混入率は8.87%であった。放流後4ヶ月の期間であるが、漁獲物に占める放流種苗の割合が高いことがわかる。

瀬戸内海東部海域の事例では、2009年放流の回収率が1.57%、2010年放流が4.89%だった。クルマエビの平均単価を6,000円/kg、種苗代を10円/尾として費用対効果を算出した結果、2009年は効果が費用を下回ったが、2010年は費用を上回る効果があったとしている。

佐賀県有明海の事例では、DNAマーカーの利点を利用して毎年3群作って放流することで、種苗サイズ、放流時期、放流時刻について放流効果を比較している。2010年の調査では、6月に体長50.7mmと31.1mmの種苗を放流して比較した結果、大型種苗の回収率が小型種苗の3.3倍であった。また、体長約30mmの種苗を6月と8月に放流して比較した結果、回収率は変わらなかったが、6月放流群の方が大きく成長して漁獲サイズが大きかったため6月放流群の回収重量は8月放流群の1.4倍であった。2011年の調査では、6月に体長50.2mmと33.1mmの種苗を放流して比較した結果、大型種苗の回収率が小型種苗の3倍であり、2010年とほぼ同じ結果であった。また、体長約30mmの種苗を昼と夜に放流して比較した結果、夜放流(21:00-21:30)の回

収率は昼放流(16:45-18:40)の9倍であった。また、3群の放流種苗全体の混入率が48%に達する時期もあり、放流種苗が漁獲物に占める割合が高いことがわかった。以上の結果から、小型種苗より大型種苗、昼放流より夜放流の方が高い回収率が期待でき、8月より6月に放流した方が漁獲重量が大きくなることが期待できるとしている。ただし、大型種苗は種苗代が高くなるため、費用対効果の向上につながるかは今後検討が必要としている。

佐賀県有明の事例で見られるように、DNAマーカーを利用することで、複数の放流法を比較してその海域に適した放流法を検討することが可能になった。また、放流種苗の混入率が高く、漁獲物のかかなりの割合が放流事業に支えられていることがわかった。今後、放流試験結果が蓄積されていけば、各海域に合わせて放流法を最適化することが可能になり放流効果の向上が期待できる。しかし、DNAマーカーの利用にあたって最大の問題は高い分析費用であろう。分析の費用と手間のため、分析検体数を多くすることができない。数百個体を分析しても、そこに含まれる放流種苗は数十尾程度で、混入率が低いと数尾になってしまう。検出個体数が少ないと誤差が大きくなる。この点を改善するために、分析費用と手間を格段に減らせる革新的な分析技術の開発が望まれる。

4-3. 放流事業の経済性の向上

浜崎・北田¹⁷⁾がまとめたように多くの放流事業は経済的に厳しい状況にあると考えられる。放流事業を経済的に成立させるためには、放流効果の向上と放流コストの低減が必要である。農林水産省が定めた「水産動物の種苗の生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本方針」にも方策がまとめられている。

放流効果を向上させるためには、まず放流した種苗が漁獲される回収率を高くすることである。そのためには、前の項で説明したように放流法を比較することで現在の沿岸環境に適した放流法を明らかにしていく必要がある。

また、浜崎・北田¹⁷⁾が考察するように、近年クルマエビの漁業生産量が大きく減少した主な原因は乱獲では

表1-1-6 DNAマーカーによるクルマエビ放流効果調査の実例

調査海域	放流年月日	放流地先	平均体長(mm)	放流尾数(万尾)	回収期間	混入率	回収率	文献
大分県佐伯湾	2005/7-8月	佐伯湾番匠川河口	49.8	19.6	2005/7-11	8.87% ^a		27)
瀬戸内海東部	2009/8/7-25	香川県高松・東讃	43.8-51.4	182	2009/10-2011/8	1.95% ^a	1.57%	28)
	2010/7/20-8/3	香川県高松・東讃	53.2-56.6	102	2010/8-2011/8		4.89%	
	2010/6/13-21	佐賀県早津江川沖	50.7	137.9	2010/7-10	15.3% ^b	0.59%	
佐賀県有明海	2010/5/30-6/5	佐賀県早津江川沖	31.1	137.0	2010/7-10	4.7% ^b	0.18%	29)
	2010/8/9-12	佐賀県早津江川沖	30.4	100.2	2010/7-10	7.4% ^b	0.18%	
	2011/6/14-17昼	佐賀県早津江川沖	50.2	144.6	2011/6-11	21.4% ^b	0.24%	
	2011/5/30-6/2昼	佐賀県早津江川沖	33.1	136.2	2011/6-11	8.1% ^b	0.08%	
	2011/6/20-21夜	佐賀県早津江川沖	31.1	100.1	2011/6-11	27.6% ^b	0.73%	

a. 回収期間全体の平均値

b. 半月毎の集計の最高値

空欄は文献に記載がなかった項目

なく、生息環境の悪化にあると考えられる。稚エビが着底して成長する干潟、成長した稚エビが移動していく湾内、成熟して産卵する灘海域の環境のどこに問題があるかを明らかにして、改善する方策をたてる必要がある。

こうした取り組みにより、放流種苗の生残を高めて、放流種苗が親エビとなって資源の再生産に寄与する「資源造成型栽培漁業」を推進する必要がある。

さらに、放流の費用対効果を向上させるためには、回収率を上げる努力とともに費用を減らす努力も必要になる。クルマエビ種苗生産の経費の半分以上は人件費である。残りは、光熱費、施設費、親エビ代、飼餌料費、消耗品費などである。これらの経費を精査して費用を低減する必要がある。

クルマエビの種苗生産では、親エビの購入費用が全体の生産コストに占める割合が他魚種より比較的高い。これは、クルマエビが元来単価の高い水産物であることに加え、種苗生産用の親エビに通常の市場価格よりも高い値段が設定されていること、購入した親エビが必ずしも産卵しないため多くの親エビを準備する必要があること、毎年毎回採卵するたびに新しい親エビを購入しなくてはならないことなどが原因である。本書で解説する親エビ催熟技術は、採卵の早期化と安定化だけでなく、これまで採卵に使えなかった成熟が進んでいない雌エビも採卵に使えるようにすることで購入した親エビの利用率を高めことにも役立つ。その結果、親エビ購入費用を節約して種苗生産のコスト低減につながることを期待できる。

5. 種苗放流事業と遺伝的多様性

資源増殖を目指して天然海域に人工種苗を放流すれば、当然のことながら生態系に対して何らかの影響を与えざるをえない。その影響が、例えば放流海域に生息する他の生物種や同じ種の天然地域群の絶滅、または病原体を潜在的に持つ種苗の放流による伝染病の拡散であれば、生態系への影響が大きすぎて受け入れられない。しかし、どの程度の影響なら許容される範囲なのかという問いに答えるのは難しい。放流自体を認めない絶対的な環境保護派の考え方から、一定の利益を生むかぎりはある程度は環境に人為的な影響を与えてもしかたないとする考え方もあり、科学的に線引きすることは難しい。しかし、近年では、社会一般に環境保護の意識の高まっており、種苗放流の生態系への影響評価や生態系保全のための対策が極めて重要になっている。

生態系全体への影響を調べることは難しいが、遺伝子解析技術の進歩にともない、個体群の遺伝的な多様性について詳細に解析することが可能となってきた。そうした背景もあって、近年遺伝的多様性の重要性が言われるようになった。遺伝的多様性が高いと、種内の遺伝子型

にさまざまな変異が含まれ、環境が変化しても適応していくことが可能である。しかし、遺伝的多様性が低くなると、環境が変化したときにその変化に対応できる遺伝子を持たず絶滅につながる危険性がある。したがって、天然集団の遺伝的多様性を保っていくことが必要である。栽培漁業においても、天然集団の遺伝的多様性を攪乱しないように配慮して種苗放流をすることが求められ、農林水産省が定めた「水産動物の種苗の生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本方針」に記されている。

種苗放流が遺伝的多様性に及ぼす悪影響として、次の二つの可能性が考えられる。放流する海域の地域集団と異なる遺伝的特徴をもつ種苗を放流して遺伝集団を攪乱してしまうことと、遺伝的に均一な種苗を放流して遺伝的多様性を下げってしまうことである。

これまでに遺伝的集団構造を調べた報告によると、遠州灘、瀬戸内海西部、有明海、八代海のクルマエビに明瞭な遺伝的な違いは認められず^{2 5)}、福井県小浜、山口県下関、宮崎県日向灘、愛媛県伊予灘、鹿児島県東町沖のクルマエビにも明瞭な遺伝的な違いは認められなかった^{3 0)}。しかし、研究例が少なく、クルマエビの国内における遺伝的な集団構成の全容を明らかにするためには、さらに広範な地域間での多数の解析が必要である。クルマエビは大回遊をする性質はなく一定の海域内で生活していると考えられる。したがって十分な科学的裏付けがなされるまでは、全く離れた海域から親エビを調達して種苗生産に用いることは避けた方がよいと考えられる。

種苗放流が遺伝的多様性を下げる可能性を示唆した報告例がある。遠州灘、瀬戸内海西部、有明海、八代海のクルマエビの遺伝的な関係を調べた報告^{2 5)}によると、有明海と八代海では、自然交配集団を想定した場合に比べて、高い類縁関係をもつ個体が有意に多く含まれ、放流による影響が示唆されている。また、福井県小浜、山口県下関、宮崎県日向灘、愛媛県伊予灘、鹿児島県東町沖のクルマエビを比較した報告^{3 0)}によると、山口県下関集団は他と顕著に異なる遺伝的な組成を持ち、放流による影響の可能性が指摘されている。天然集団の遺伝的多様性に影響しないためには、できる限り遺伝的多様性の高い種苗を生産できるように、天然由来の親エビを採卵に使い、継代した親エビを使わない必要がある。

放流用と養殖用の種苗では求められる遺伝的特性が全く異なる。放流用種苗には高い遺伝的多様性を持つことが求められるが、養殖用種苗では成長が良い、病気に強い、美味しいといった特性が好まれ、遺伝的にそうした特性を持つように継代飼育して育種することが可能である。実際にバナメイエビなどでは抗病性を持つ種苗が作られている。放流用と養殖用では、求められる遺伝的特性が異なるため、放流用には一代限りの天然親を使うが、養殖用には継代して優れた形質を持つ親を使うなど、適



した種苗生産の方法も違う。

現在のクルマエビの地域集団の構成を遺伝的な手法を用いて明らかにすることは技術的には可能となってきた。しかしながら大規模なクルマエビ放流事業がされるようになって既に 40 年以上経過している。今から振り返って、この間に放流による人為的な資源添加がクルマエビの遺伝的な集団構造に与えた影響を詳細に明らかにすることは難しい。また、現在の解析技術、調査のレベルでは、種苗放流の生態系全体への影響まで評価することも困難である。現在実施しておくべきこととしては、現状のクルマエビの遺伝的な集団構造を解明し、常に自然の状態をモニタリングしながら、変化の程度に応じて柔軟に対応できる体制を取れるようにすることだろう。

6. クルマエビ類の防疫体制

疾病の発生はクルマエビ種苗生産にとって深刻な阻害要因となる。過去においてバキュロウイルス性中腸腺白濁症やピブリオ病などが問題となったが、近年最も重大な疾病となっているのは、国内で 1993 年（平成 5 年）に初めて発生したクルマエビウイルス血症（PAV）である。PAV は最初に九州のクルマエビ養殖場にて発生し甚大な被害を与え、引き続いて種苗生産施設においても発生して大きな問題となった。PAV は天然海域にも広がり、現在も種苗生産と養殖の現場で発症して被害をだしている。その防除対策については、第 6 章第 4 節に詳しく解説されている。PAV は、中国由来のクルマエビ種苗によって病原体ウイルス（Penaeid Rod-shaped DNA Virus, PRDV あるいは White Spot Syndrome Virus, WSSV）が国内の養殖場に持ち込まれて広まったと考えられている^{31,32)}。PAV 以外にも、海外から種苗の輸入などにより持ち込まれて国内水産業に深刻な被害をもたらした疾病としては、1990 年のマダイイリドウイルス病、2003 年のコイヘルペス病がある。このような被害を繰り返さないために、現在とられている防疫体制について本項で解説する。

PAV による深刻な被害発生をきっかけに、1996 年に水産資源保護法の一部改正により水産種苗の輸入防疫体制が創設された。続いて、コイヘルペス病による甚大な被害により、2005 年に水産資源保護法及び持続的養殖生産確保法の一部が改正され、輸入防疫体制が強化された。その結果、クルマエビ類については、表 1-1-7 に示した 5 種類の疾病が輸入防疫対象となり、クルマエビ属のエビ類の稚エビを輸入する際は、輸出国の政府機関による無病検査証明書を添付して農林水産大臣に輸入許可を受けることが必要になった。さらに、国内に輸入後も一定期間（タウラ症候群のおそれがあるものについては 20 日、それ以外のものについては 10 日）隔離施設で飼

表 1-1-7 水産資源保護法で定められた輸入防疫対象疾病

水産動物	輸入防疫対象疾病
こい	コイ春ウイルス血症 コイヘルペスウイルス病
きんぎよその他のふな属魚類 はくれん こくれん そうぎよ あおうお	コイ春ウイルス血症
さけ科魚類の発眼卵 さけ科魚類の稚魚	ウイルス性出血性敗血症 流行性造血器壊死症 ピシリケッチア症 レッドマウス病
くろまえば属のえび類の稚えび	バキュロウイルス・ペナエイによる感染症 モノドン型バキュロウイルスによる感染症 イエローヘッド病 伝染性皮下造血器壊死症 タウラ症候群

育管理して発症しないことを確認することが求められるようになった。PAV については、2005 年の法律改正時点で、既に国内に定着した状態と認定されたため対象疾病から外された。

この輸入防疫体制は厳しく、実際に大臣の許可を得て輸入されるクルマエビ類種苗は少数にとどまっていると考えられる。表 1-1-8 に示したように、日本国内ではまだ発症例がないが、海外のエビ養殖場で大きな被害を出している感染症が数多くある^{33,34)}。これらが国内未侵入していることは、輸入防疫体制の効果と考えられる。PAV のような海外侵入疾病による甚大な被害を繰り返さないために、輸入防疫を確実に機能させて侵入を阻止しなければならない。クルマエビ類の種苗を輸入する場合は法律に従って無病証明をつけて大臣の輸入許可をとり、輸入後も隔離管理をすることは当然であるが、できるだけ種苗の輸入を避けて海外から感染症を導入する危険性を少しでも排除することが必要である。また、法律は稚エビを対象としているが、親エビを輸入する場合も、海外から感染症を持ち込む危険性があるため、稚エビに対する規制と同様に無病検査証明をとって輸入後も隔離管理して発症しないことを確認することが必須である。そして、できるだけ親エビを輸入しなくて済むようにする対策をとる必要がある。現在、バナメイエビなど新しいクルマエビ類を国内で養殖しようとする試みがあるが、海外から種苗や親エビを輸入せず、国内で親エビを養成して種苗を供給できる体制を早く確立する必要がある。

一方、国内防疫体制は持続的養殖生産確保法により規定されている。この法律に基づき、国内における発生が確認されておらず、又は国内の一部のみに発生している養殖水産動物の伝染性疾病であって、まん延した場合に養殖水産動物に重大な損害を与えるおそれがあるものを特定疾病として農林水産省令で定めている。特定疾病には表 1-1-7 に示された輸入防疫対象と同じ疾病が指定されている。くろまえば属のえび類に対しては、バキュロウイルス・ペナエイによる感染症、モノドン型バク

表 1-1-8 世界のクルマエビ類養殖に大きな被害をもたらしている疾病

病名	略称	病原体	宿主	発生地	特徴
多核体バキュロウイルス症		バキュロウイルス科 バキュロウイルスベナエイ PvSNPV (DNA virus)	多種のエビ類 幼生～稚エビで発症	ハワイ 南北アメリカ諸国	中腸腺の白濁
多核体バキュロウイルス症		バキュロウイルス科 モノドン型バキュロウイルス PemoNPV (DNA virus)	多種のエビ類 ポストラーバで最も発症	アジア・インド洋水域 太平洋諸国 南北アメリカ諸国 中近東 アフリカ、地中海	摂餌量減少 成長不良
イエローヘッド病	YHD	ロニウイルス科 オカウイルス属 YHV (RNA virus)	多種のエビ類 稚エビに多い	東南アジア インド 中国・台湾	頭胸甲の薄黄色化 鰓、肝臓の薄黄色化
伝染性皮下造血管壊死症	IHHN	パルボウイルス科 IHHNV (DNA virus)	多種のエビ類 幼生、稚エビに多い	アメリカ メキシコ、中南米 カリブ海諸国 太平洋諸国 アジア	表皮に白、黄褐色の斑点
タウラ症候群	TS	ディシストロウイルス科 TSV (RNA virus)	クルマエビ類 稚エビで発症	アメリカ メキシコ～パルー 中国・台湾 東南アジア諸国	殻の軟弱化 尾肢、腹肢の赤変 上皮のメラニン沈着
伝染性筋肉壊死症	IMN	トテイウイルス科 IMNV (RNA virus)	パナメイエビ ポストラーバ～稚エビ	ブラジル インドネシア	筋肉の白色化
壊死性肝臓炎	NHP	真正細菌 NHPバクテリア	クルマエビ類	南北アメリカ エリトリア	殻の軟弱化 鰓の黒化 腹肢端部の黒化 体表面への藻類等の付着 上皮のびらん
早期死亡症候群 (急性肝臓壊死症)	EMS/ AHPND	一部の症例で腸炎ビブリオ	パナメイエビ 稚エビ	中国 東南アジア	肝臓壊死症 100%近い死亡率

ユロウイルスによる感染症、イエローヘッド病、伝染性皮下造血管壊死症、タウラ症候群の5種類である。養殖業者等には疾病の予防と早期発見が求められている。養殖魚介類に異常を発見したときは、すぐに都道府県の漁業指導機関に通知して検査を受ける。特定疾病と診断されるか疑われたときは都道府県に発生を届け出る。特定疾病と診断された場合は、まん延防止のために立入検査、移動の制限または禁止、処分、及び消毒などが行われる。クルマエビ類ではまだ特定疾病が発生していないが、コイヘルペスウイルス病が発生したときには霞ヶ浦で養殖されているコイの全量処分が行われた。

こうした輸入・国内防疫体制は養殖業を営むものにとって厳しいものかもしれない。しかし、海外では新しい疾病が発生して大きな被害がでているのが現状である。2009年に中国で初めて報告された早期死亡症候群（急性肝臓壊死症，EMS/AHPND）は東南アジアに広がり、2013年には太平洋を渡ってメキシコでも発生した。この疾病は死亡率がほぼ100%で、一部の国でクルマエビ類養殖業に深刻な被害を与えている。その影響もあってパナメイエビの2013年末の国際価格は2012年の約2倍になり、日本のマーケットにも大きな影響を及ぼしている。2013年後半には輸入エビの高騰がマスコミでも話題になった。原因となる病原体は不明であったが、2013

年7月に Lightner 教授の研究グループにより一部の症例の病原体が腸炎ビブリオであることが報告された^{3,5)}。さらに、2014年1月に東京海洋大の近藤准教授らによって病原菌のゲノムが解読され、病原菌に特徴的な遺伝子群を利用した検査法の開発が可能になった（<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20140109/>）。早期死亡症候群は国内未侵入だが、万が一侵入してクルマエビに感染したら、PAVに匹敵する被害をもたらす可能性がある。このように海外のエビ養殖場では次々と新しい疾病が問題になっている。そうした疾病を国内に侵入させない、PAVを繰り返さない、ということクルマエビ類の種苗生産と養殖の関係者は肝に銘じる必要があるだろう。

(奥村卓二)

文 献

- 1) Pérez Farfante I, Kensley B. Penaeoid and sergestoid shrimps and prawns of the world (keys and diagnoses for the families and genera). *Muséum National d'Histoire Naturelle* 1997; **175**: 1-233.
- 2) Flegel TW. The right to refuse revision in the genus *Penaeus*. *Aquaculture* 2007; **264**: 2-8.

- 3) Alderman DJ, Costa-Pierce BA, Donaldson EM, Hulata G, Wilson RP. Use of the generic name *Penaeus*. *Aquaculture* 2007; **264**: 1.
- 4) 倉田 博, 茂野邦彦. クルマエビ資源培養技術の進歩. FAO 水産増殖国際会議論文集 1976; **1**: 1-36.
- 5) 林 健一. 日本産エビ類の分類と生態 (1) クルマエビ科-クルマエビ属①. 海洋と生物 1981; **3**: 368-371.
- 6) 本尾 洋. I. 生態・成熟 1. クルマエビ属. 「水産学シリーズ 71 エビ・カニ類の種苗生産」(平野礼次郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 1988; 9-27.
- 7) Tzeng TD, Yeh SY, Hui CF. Population genetic structure of the kuruma prawn (*Penaeus japonicus*) in East Asia inferred from mitochondrial DNA sequences. *ICES J. Mar. Sci.* 2004; **61**: 913-920.
- 8) Tsoi KH, Wang ZY, Chu KH. Genetic divergence between two morphologically similar varieties of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus*. *Mar. Biol.* 2005; **147**: 367-379.
- 9) 倉田 博. クルマエビ栽培漁業の基礎知識. 「さいばい叢書 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.
- 10) 倉田 博. クルマエビ属の生活史. 海洋科学 1973; **5**: 164-171.
- 11) Hudinaga M. Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* Bate. *Japan J. Zool.* 1942; **10**: 305-393.
- 12) 橋高二郎. クルマエビの養殖. 「浅海完全養殖」(今井丈夫監修, 猪野峻, 黒木宗尚, 藤永元作, 山本護太郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 1971; 344-408.
- 13) 廖一久. III. 幼生飼育 7. クルマエビ属. 「水産学シリーズ 71 エビ・カニ類の種苗生産」(平野礼次郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 1988; 92-118.
- 14) 瀬戸口勇. くるまえび養殖. 「鹿児島県水産技術のあゆみ」鹿児島県. 2000; 671-676.
- 15) 加治俊二, 今泉圭之輔. 「栽培漁業技術シリーズ No.9 クルマエビ種苗生産技術-(社)日本栽培漁業協会志布志事業場での取り組み-」日本栽培漁業協会, 東京. 2003.
- 16) 森川晃, 伊藤史郎, 山口忠則, 金澤孝弘, 内川純一, 皆川恵, 北田修一. 有明海におけるクルマエビの放流効果. 栽培技研 2003; **30**: 61-73.
- 17) 浜崎活幸, 北田修一. クルマエビの放流効果-現状と課題-. 栽培技研 2005; **33**: 27-43.
- 18) Panouse JB. Influence de l'ablation du péduncule oculaire sur la croissance de l'ovaire chez l crevette *Leander seratus*. *C. R. Acad. Sci. Paris* 1943; **217**: 553-555 (in French).
- 19) Arnstein DR, Beard TW. Induced maturation of the prawn *Penaeus orientalis* Kishinouye in the laboratory by means of eyestalk removal. *Aquaculture* 1975; **5**: 411-412
- 20) Santiago Jr AC. Successful spawning of cultured *Penaeus monodon* Fabricius after eyestalk ablation. *Aquaculture* 1977; **11**: 185-196
- 21) Halder DD. Induced maturation and breeding of *Penaeus monodon* Fabricius under brackish water pond conditions by eyestalk ablation. *Aquaculture* 1978; **15**: 171-174
- 22) Kneib RT, Huggler. Tag placement, mark retention, survival and growth of juvenile white shrimp (*Litopenaeus setiferus* Pérez Farfante, 1969) injected with coded wire tags. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2001; **266**: 109-120.
- 23) 浜野米一, 高垣裕, 有山啓之. ワタリガニ, クルマエビの標識法に関する研究 (第2報) 色素注射法および金線埋め込み法によるクルマエビの標識. 大阪府立公衆衛生研究所研究報告 食品衛生編 1990; **21**: 109-112.
- 24) 宮嶋俊明, 豊田幸詞, 浜中雄一, 小牧博信. クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性について. 栽培技研 1996; **25**: 41-46.
- 25) Sugaya T, Ikeda M, Taniguchi N. Relatedness structure estimated by microsatellites DNA and mitochondrial DNA polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphisms analyses in the wild population of kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 793-802.
- 26) 菅谷琢磨. クルマエビの放流効果調査への DNA マーカーの応用. 豊かな海 2007; **12**: 18-20.
- 27) 菅谷琢磨. 研究ホットライン第 185 回クルマエビの放流効果調査への DNA マーカーの応用. 月刊養殖 2007; **2007.10**: 82-85.
- 28) 山本昌幸. 瀬戸内海東部における遺伝マーカーを利用したクルマエビの放流効果について. 豊かな海 2012; **27**: 18-21.
- 29) 佃政則, 大隈斉, 菅谷琢磨. 佐賀県有明海海域における DNA マーカーを用いたクルマエビ種苗の放流効果. 佐有水研報 2013; **26**: 49-55.
- 30) 高木基裕, 木下文子, 茂木寛子, 成島真由美, 米加田徹, 伊丹利明. DNA マーカーによるクルマエビ集団の遺伝的差異. 平成 19 年度日本水産学会大



会講演要旨集 2007; 102.

- 31) 中野平二, 川邊博, 梅沢敏, 桃山和夫, 平岡三登里, 井上潔, 大迫典久. 1993年に西日本で発生した養殖クルマエビの大量死: 発生状況および感染実験. 魚病研究 1994; **29**: 141-148.
- 32) 井上潔, 三輪理, 大迫典久, 中野平二, 木村武志, 桃山和夫, 平岡三登里. 1993年に西日本で発生した養殖クルマエビの大量死: 電顕観察による原因ウイルスの検出, 魚病研究 1994; **29**: 149-158.
- 33) 大迫典久. クルマエビ類の新しい疾病. 海洋と生物 2007; **171**: 341-347.
- 34) 日本水産資源保護協会. 特定疾病診断マニュアル. 日本水産資源保護協会, 東京. 2000; 61-100.
- 35) Tran L, Nunan L, Redman RM, Mohny LL, Pantoja CR, Fitzsimmons K, Lightner DV. Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Dis. Aqua. Org.* 2013; **105**: 45-55.

