

県産クルマエビの種苗生産・養殖技術高度化試験 ークルマエビの夏季飼育・出荷技術の開発ー

鹿熊信一郎・荒井政年・*白樫美来

*沖縄県海洋深層水研究所非常勤職員

1. 目的

活クルマエビの価格は、国内生産量第 1 位の沖縄県からの出荷が減る夏季に高くなる。東京中央卸売市場におけるクルマエビの価格は、2018 年に築地市場が豊洲に移転する前の 4 年間 (2014~2017 年) の国内物月別平均単価では、6 月~8 月は 9528 円/kg で、それ以外の月の平均単価 6672 円より 2856 円高く、約 1.4 倍の価格だった。

沖縄では夏季は高水温となるため、出荷サイズのエビの飼育・出荷は困難である。このため、海洋深層水を使って水温をコントロールし、夏季にクルマエビを飼育・出荷する試験を久米島漁業協同組合 (漁協) と共同で実施する。

2. 材料および方法

1) エビの搬入と飼育

2019 年 6 月 12 日、13 日に久米島漁協養殖場からクルマエビ 1180 尾、920 尾、計 2100 尾を研究所に運び、水産実用化棟の 50 トン水槽 1、水槽 2、水槽 3 にそれぞれ 700 尾ずつ収容した。前年度までは出荷用の 1kg 箱に入れた状態で運んだが、ストレスを軽減するため、今年度は 300L の桶に約 12°C の深層水を入れ、それに収容して運んだ。

水温は、深層水を使い 20-22°C に調整した。色あげ操作の効果を調べるため、水槽 1 は遮光・通常餌、水槽 2 は遮光・色あげ餌、水槽 3 は遮光なし・ケイ藻・色あげ餌の条件で飼育した。各水槽の照度もロガーで測定した。

2) 7 月 29 日輸送試験

クルマエビ約 20kg を、約 12°C の海洋深層水を入れた 300L の桶に移し、漁協養殖場に運んだ。選別・箱詰め作業場の気温は、空調により 13.2°C に下げた。水槽の水温は 12.3°C だった。選別は、まずサイズ別に 4 段階に分け、それをさらに大中小の 3 段階に分け、計 12 のグループを作る。そこから 1kg のエビを取り出すが、1kg に足りないときは、近いサイズグループのエビを加える。水槽 1 は 3kg、水槽 2 も 3kg、水槽 3 は 6kg を箱詰めした。残ったエビは研究所の水槽に戻した。

保冷剤は、1kg 箱内に 75g を 1 つ、8kg の外箱の上下に 200g を 2 つずつ入れた。保冷剤の使用量は表 1 のとおり。水槽 1 と水槽 2 は、8kg の箱の上下に厚さ 15mm の発泡断熱板を入れ、箱の外側を (有) パッケージランド社の断熱シート (厚さ 2mm のアルミシート) で包んだ。漁協は 7 月中旬までエビの出荷を行っていたが、断熱板も断熱シートも使用せず、外箱の 1 番下に空の 1kg 箱を入れて出荷していた。このため、水槽 3 はこの方法を使った。

1kg 箱内部 (エビと接触状態)、8kg 箱内部と外部にオンセット社のペンダント型温度ロガー「Hobo UA-002」をセットした。

クルマエビを収容した箱は、OAS 航空により久米島から那覇、羽田へ空輸した。箱はその後築地市場へ搬入され、翌日のせりの前の一部のエビは検品され、あがり (死亡) の数が確認された。あがりの数、せり値はその日のうちに

漁協へ FAX された。

3) 7月31日輸送試験

7月29日と同様の方法で、水槽1のエビを3kg、水槽2のエビも3kg、水槽3のエビを4kg箱詰めした。保冷剤は1kg箱内に75gを1つ、水槽1水槽2の8kg箱の上下に200gのものを2つずつ入れた。水槽3の6kgの箱上は、箱が小さめであるため200gのものを1つにした(表1)。発泡断熱板と断熱シートの使用方法は7月29日と同様。1kg箱内部、6kg、8kg箱内部と外部に温度ロガーをセットした。

4) 8月5日輸送試験

エビ約8kgを漁協養殖場に輸送した。エビの数が少なかったため、水槽1、水槽2、水槽3をあわせ、7kgを箱詰めした。このうち、1番サイズの小さい箱は出荷せず、選別外のエビとあわせて約2kgを残した。6個の1kg箱は、8kgの外箱に2列3段で収容した。

過去2回の輸送試験で1kg箱内の温度がやや高かったため、1kg箱内の保冷剤は75gのものを1つから2つに増やした。8kg箱内の上下には200gのものを2つずつ入れた。1kg箱内部、8kg箱内部と外部に温度ロガーをセットした。8kgの箱の上下に厚さ15mmの発泡断熱板を入れ、箱の外側を断熱シートで包んだ。

表1 令和元年度保冷剤の使用量

日付	1kg箱内	外箱kg	外箱上	外箱下
7月29日	75g1つ	8kg	200g2つ	200g2つ
7月31日	75g1つ	8kg	200g2つ	200g2つ
7月31日	75g1つ	6kg	200g1つ	200g2つ
8月5日	75g2つ	8kg	200g2つ	200g2つ

3. 結果

1) 飼育と死亡の状況

図1に、水槽1と2の日間エビ死亡数を示した。水槽3はケイ藻をわかしたため、死亡を確認することが困難だった。

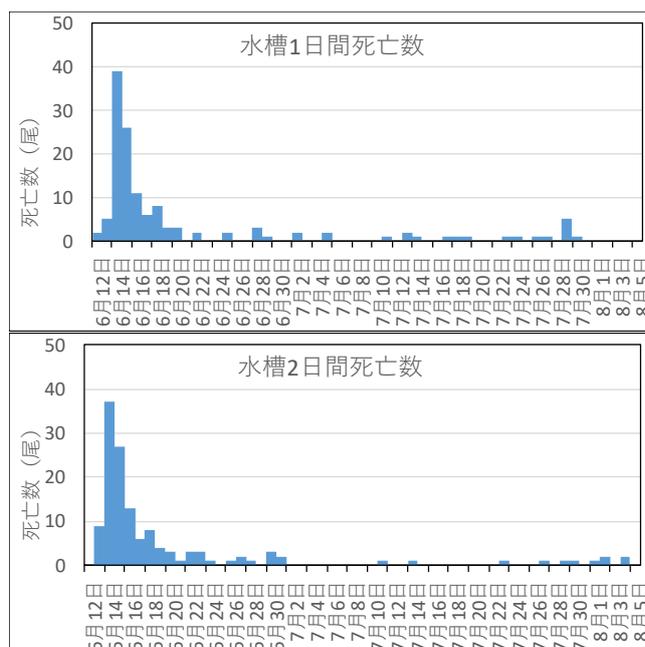


図1 飼育中のエビの日間死亡数

搬入2日後からエビの死亡が目立つようになり、それが1週間ほど続いた。その後安定し、死亡は少なくなった。輸送試験を実施した際、サイズが揃わず出荷しないで漁協養殖場から研究所に戻した(つまり、往復の輸送を行った)エビは、ほとんど死ななかった。このため、搬入直後のエビの死亡は、輸送前に高水温(30℃程度)での飼育でエビが弱っていたこととともに、いきなり低水温(20-22℃)の水槽に移したことが原因と考えられる。

前年度は搬入直後の10日間に、水槽1は1033尾中252尾(24%)、水槽2は1033尾中238尾(23%)死亡したのに対し、今年度は搬入直後の10日間に、水槽1は700尾中103尾(15%)、水槽2は700尾中108尾(15%)死亡したため、輸送方法の変更は、弱ったエビの輸送中のストレス軽減に役立ったと考えられる。

今年度は、55日間の飼育で水槽1は搬入が700、出荷は368(53%)、確認できた死亡は132(19%)、確認できなかった死亡は37(5%)、残は想定163(23%)だった。水槽2は搬入が700、出荷は367(52%)、確認できた死亡は135

(19%)、確認できなかった死亡は 35 (5%)、残は 163 (23%) だった。水槽 3 は搬入が 700、出荷は 486 (69%)、確認できた死亡は 96 (14%)、確認できなかった死亡は 89 (13%)、残は 29 (4%) だった。全体の歩留まりは、2100 搬入して 1221 出荷し、355 残ったので 75% となった。前年度は、83 日間の飼育で全体の歩留まりは 24% だったので、今年度は大幅に改善した。前年度は、最終的に水槽の海水を抜いた際、底にヘドロがたまり悪臭があったが、今年度は、水槽 1、水槽 2 はそのようなことはなかった。水槽 3 はやや悪臭があった。飼育中の水質は全般に改善されていたものと思われる。

2) 水槽 3 の底質と水質

水槽 3 は海水がケイ藻で濁っていたため、通常は死エビを回収できなかった。水槽 1、水槽 2 は輸送直後に比較的多くのエビが死亡したので、搬入 6 日後の 6 月 18 日に水槽 3 の水位を下げて確認した。82 尾死亡を確認したが、これ以外にも腐ってしまったエビも多くあったと考えられる。2~3 カ所で底質がヘドロ化して黒くなっていたため、その底質は除去した。底付近の水質も悪化したようで、照度計を縛っていたたこ糸がボロボロになっていた。6 月 24 日、7 月 10 日も水位を下げ掃除を行った。その際、底質を攪拌するとともに、一部の砂を新しいものと交換した。

飼育期間中の水槽 3 の水質は、水槽 1、水槽 2 よりも悪かったと想定されるが、出荷時の水槽 3 のエビの活力は、前年度よりよかった。ただし、水槽 1、水槽 2 と比べると、やや活力が弱かった可能性がある。箱詰めの際、水槽 1、水槽 2 はあばれて外へ飛び出すエビが多かったが、水槽 3 ではそのようなことはなかった。

3) 7 月 29 日輸送試験

図 2 に 7 月 29 日輸送の箱内外の温度推移を示した。灰色の太い線は外箱外の温度、黒の太

い線は外箱内の温度を示す。

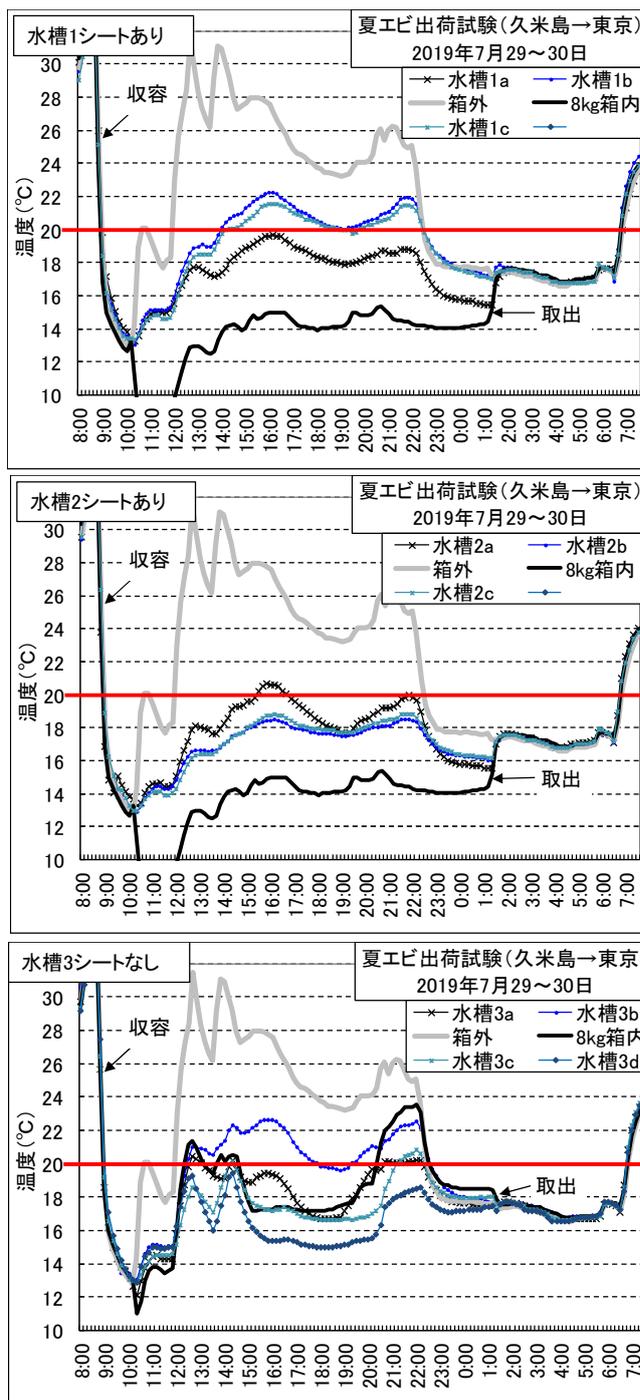


図 2 7 月 29-30 日箱内外温度推移

箱外の温度 (外気温) は大きく変動している。15:30 頃までは高い気温の場所に置かれていたものと考えられる。その後、23°C 程度、26°C 程度の場所に移され、22:00 頃約 17°C の保冷室に移されたものと考えられる。

水槽 1 水槽 2 の 8kg 箱内の温度は、11:00 頃

まで急に下がっている (8°Cまで)。8kg 箱内上の 200g 保冷剤 2 つは、動かないようにテープで固定し、その間に温度ロガーをテープで固定した。その後、温度は上昇し 14°C程度で安定した。全般に 1kg 箱内の温度よりも低く推移した。発泡断熱板、断熱シートの効果と考えられる。水槽 3 の 8kg 箱内の温度は、1kg 箱内の温度と同様に推移したが、20:00 頃から保冷室に移されるまで急激に上昇した。発泡断熱板、断熱シートを使わなかったことが影響していると考えられる。

マーカー付きの細い線は 1kg 箱内の温度で、水槽 1 と水槽 2 は、水槽 1 の b と c が一時 20°C を超え 22°C程度になった時間帯もあったが、おおむね良好な状態だったと考えられる。水槽 3 は、b だけ 20°C を超える時間帯が長かったが、他は 20°C 以下で推移した。

これまで、1kg 箱間の温度差 (最大 10°C) が課題の一つにあげられていたが、今回、最大温度差は、水槽 1 水槽 2 は約 2°C、水槽 3 は 6°C だった。

研究所の水槽の違い (色あげ操作の違い) によるクルマエビの色の差は、はっきりしなかった。水槽 1~3 のすべてが赤っぽい色で、よい状態と思われた。漁協養殖場の場長の見解も同じだった。

東京の市場への連絡が不十分で、水槽 1 水槽 2 の検品は行われなかった。水槽 3 は、41 尾中 2 尾 (5%) のあがりでよい状態だった。エビの状態と 1kg 箱内の温度推移から判断して、水槽 1 水槽 2 のあがりも同程度かこれより少なかったものと考えられる。価格は、1kg37-38 尾サイズ (1 尾約 27g) が 5000 円/kg、40 尾サイズ (1 尾約 25g) が 5500 円、41 尾サイズ (1 尾約 24g) が 5700 円、44-46 尾サイズ (1 尾約 22g) が 5500 円だった。全体の平均価格は 5425 円だった。

研究所に隣接し、同じように海洋深層水を利

用してエビを飼育・出荷している沖縄県車海老漁業協同組合 (車海老漁協) が出荷したものは、35-49 尾サイズ (1 尾平均 24g) が平均 7933 円だった。海洋深層水を利用できない石垣島の養殖場から出荷したものは、50-59 尾サイズ (1 尾平均 18g) が 2500 円/kg だった。出荷試験の価格が車海老漁協より低かった理由の一つに、久米島漁協が 7 月 18 日まで、高水温で飼育し状態のあまりよくないエビを出荷していたことが考えられる (過去の実績が価格を決める要因の一つになるため)。

4) 7 月 31 日輸送試験

図 3 に 7 月 31 日輸送の箱内外の温度推移を示した。箱外の温度 (外気温) は、7 月 29 日と同様に大きく変動している。23:00 頃約 17°C の保冷室に移されたものと考えられる。

水槽 1 水槽 2 の 8kg 箱内の温度は、10:30 頃まで急に下がっている (9°Cまで)。その後、温度は穏やかに上昇し、15:30 頃から 15~17°C で小さく変動した。全般に 1kg 箱内の温度と同程度か低く推移した。発泡断熱板と断熱シートの効果と考えられる。水槽 3 の 6kg 箱内の温度は、12:00 頃から 20°C を超え、01:00 頃まで高い温度が続いた。外箱内上の 200g 保冷剤を 1 つにしたことも影響している可能性があるが、発泡断熱板、断熱シートを使わなかったことが影響していると考えられる。

水槽 1 と水槽 2 の 1kg 箱内の温度は、大部分の時間 20°C 以下に抑えられていた。水槽 3 は、a と b が長時間 20°C を超えていた。1kg 箱間の最大温度差は、水槽 1 が約 4°C、水槽 2 は約 6°C、水槽 3 は約 5°C だった。

検品の結果、水槽 1 水槽 2、水槽 3 とも、44 尾中 1 尾 (2%) のあがりでよい状態だった。水槽 3 の箱は、a と b が長時間 20°C を超えていたが、あがりは少なかった。ただし、検品は 4 箱のうち 1 つだけである。

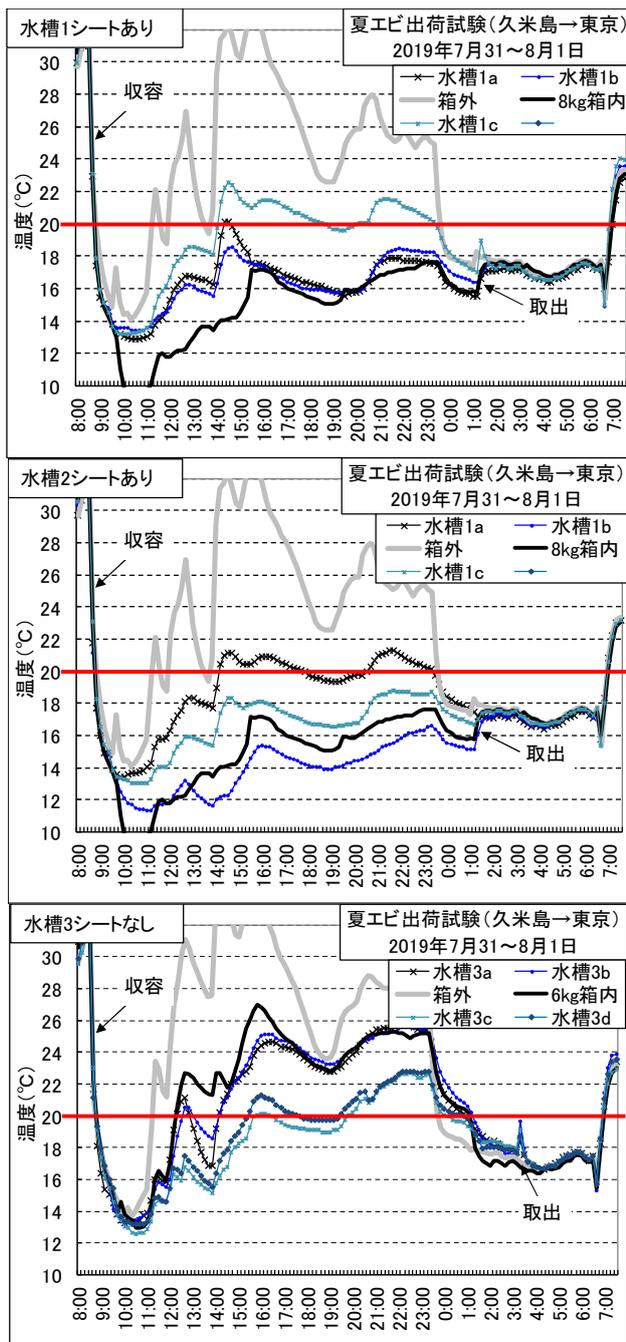


図3 7月31日-8月1日箱内外温度推移

価格は、1kg35-37尾サイズ(1尾約28g)が8000円/kg、40-42尾サイズ(1尾約24g)が7500円、44尾サイズ(1尾約23g)が7000円、50尾サイズ(1尾約20g)が5500円だった。全体の平均価格は7250円だった。車海老漁協は出荷しなかったが、沖縄の他の地区から出荷されたものの2倍近い価格だった。

5) 8月5日輸送試験

図4に8月5日輸送の箱内外の温度推移を示した。箱外の温度(外気温)は、7月29日、31日と同様に大きく変動している。22:00頃約17°Cの保冷室に移されたものと考えられる。

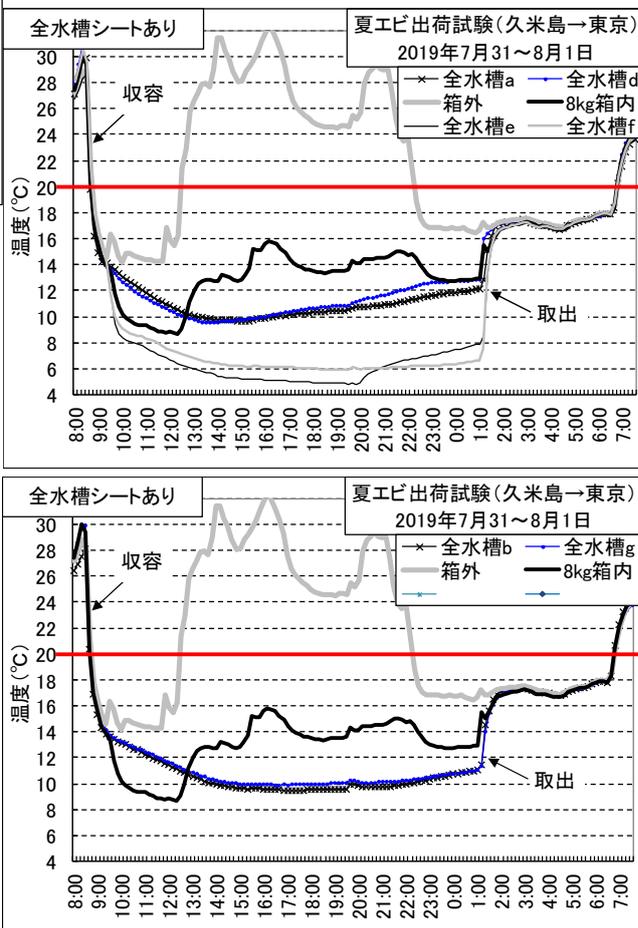


図4 8月5-6日箱内外温度推移

8kg箱内の温度は、10:00頃まで急に下がっている。その後、外気温の影響を受けながらも12~16°Cで小さく変動した。発泡断熱板、断熱シートの効果と考えられる。全般に1kg箱内の温度より高く推移した。

1kg箱内の温度は、今回、外箱内の位置も判別できるようにした。全水槽eとfは外箱の1番下の段で、aとdは外箱の1番上の段である。fは6°C、eは5°C以下まで温度が下がった。aとdは10~12°Cで安定していた。外箱内の200g保冷剤は、下は発泡断熱板の上(内側)、上も発泡断熱板の上(外側)に設置していた。

この内側と外側の違いが e・f と a・d の温度差の原因だろう。b と g は中段で、上の段の a と d 同様に 10~11℃で安定していた。1kg 箱間の最大温度差は約 5℃だった。

あがり率は 42 尾中 4 尾 (10%) で多かった。価格は、1kg35-43 尾サイズ (1 尾平均 26g) が 5000 円/kg だった。あがりが多かった原因は、冷やしすぎと考えられる。

6) 水槽内の照度

色あげ操作によるエビの色の違いは明瞭でなかったが、図 5 に、ペンダントロガー UA-002 を用い、10 分間隔で測定した照度の一例を示す (6 月 28 日~7 月 6 日)。

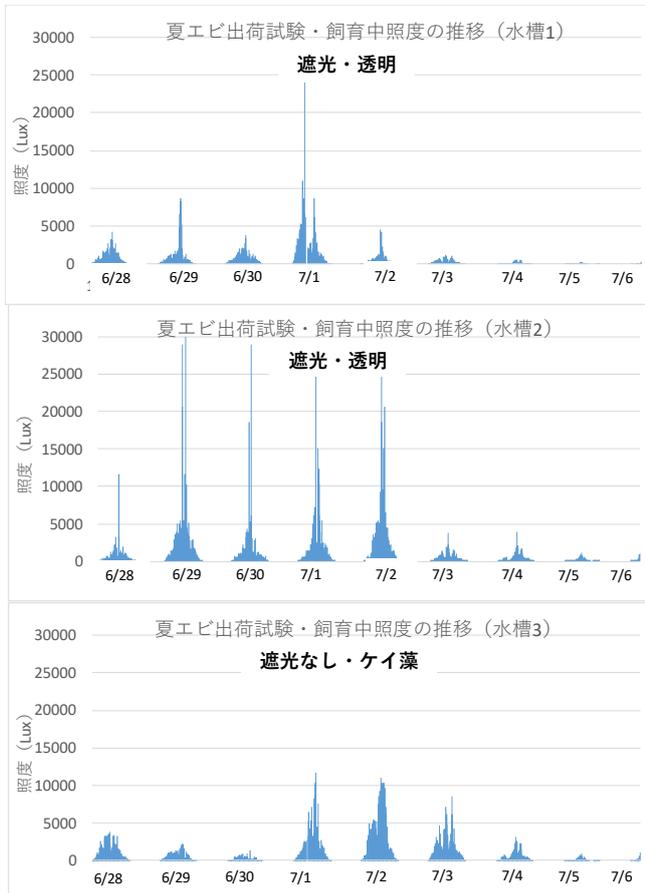


図 5 各水槽の照度の推移 (8/21~8/29)

前年度、水槽 1 は水槽 2 より強い照度で推移したが、今年度は同等か水槽 2 がやや強かった。理由は不明である。水槽 3 はケイ藻が維持され、水槽 1、水槽 2 と同等の遮光効果があったものと考えられる。

4. 考察

1) あがり率と価格

築地市場が豊洲に移転した後、クルマエビの価格は下がった。移転前の 2015-2017 年の年平均価格は 7548 円/kg だった。移転後の 2019 年は 5672 円で 1876 円 (25%) 下がった。

表 2 に、豊洲市場における久米島漁協の出荷と本出荷試験のクルマエビあがり率、平均価格を示した。期間は、気温・水温が上がってきた 2019 年 7 月 11 日から漁協の出荷終了日の 7 月 18 日まで、出荷試験を行った翌日の 7 月 30 日、8 月 1 日、8 月 6 日である。漁協出荷は、常温で飼育したエビを断熱板・断熱シートなしで輸送したものである。

表 2 豊洲市場でのあがり率と平均価格

	漁協出荷 7/11-7/18	出荷試験 7月30日	出荷試験 8月1日	出荷試験 8月6日
検品尾数	300	41	44	42
あがり	37	2	1	4
あがり率	12%	5%	2%	10%
平均価格	3,283	5,425	7,250	5,000

7 月 11~18 日の期間では、漁協出荷のエビのあがり率は 12% と高く、平均単価は 3283 円/kg だった。7 月 30 日、8 月 1 日の出荷試験のあがり率は 5%、2% と低く、価格も 5425 円、7250 円と高かった。

表 3 に、予備試験を含め 4 年間で 11 回実施した出荷試験の概要を示した。

表 3 出荷試験の概要

試験期間	平成28~令和1年度(4年間)	
試験回数	11回(外箱15、エビ収容箱67)	
断熱材	有10外箱	無5外箱
温度管理	ほぼ成功*	ほぼ失敗
死亡率	7%(0-21%)	22%(3-38%)
平均価格	5,838円/kg	3,944円/kg

*温度管理の成功は箱内が概ね20℃以内

温度管理の状況、死亡率、価格はばらついたが、断熱材を使用したときは温度管理にほぼ成功し、死亡率は平均 7%、平均価格は 5833 円/kg だった。断熱材を使用しなかったときは温度管理にほぼ失敗し、死亡率は平均 22%、平均価格は 3944 円/kg だった。

2) 冷やす限界

これまで、どの程度まで冷やしたらエビのあがりが増えるのか、情報はなかった。平成 29 年度に、発泡断熱板と断熱シートを使い、1kg の箱に 120g の保冷剤を 1 つ入れたとき、1 つの箱は 6℃まで冷えた。このときのあがりは 0 だった。しかし、このときの 4 つの 1kg 箱間の最大温度差は 5℃以上あり、検品したのは 1 箱のみである。11℃までしか冷えなかった箱を検品した可能性がある。逆に、今年度、7 月 31 日に発泡断熱板と断熱シートを使わないで輸送したもののあがりは 1 尾だったが、長時間 20℃を超えていた箱が 4 箱のうち 2 箱あった（最大温度差は 5℃）。より低い温度で推移した箱を検品した可能性がある。

絶対値としての 1kg 箱内温度の最低限界はわからないものの、8 月 5 日輸送の箱の 5℃は冷やしすぎであり、発泡断熱板と断熱シートを使う場合は、1kg 箱内の 75g 保冷剤は 1 つにするべきである。

3) 外箱内上側の保冷剤の位置

今年度、冷やしすぎ等を考慮し、外箱内上側の 200g 保冷剤は発泡断熱板の上（外側）に設置したが、保冷効果を高めるため、断熱板の下（内側）に設置することを基本とする。今年度、発泡断熱板を使わず 200g 保冷剤を 1kg 箱の上に直接載せて輸送した 2 回では、1kg 箱内の最低温度は 12℃と 13℃だった。

4) 1kg 箱間の温度差

同じ外箱内の 1kg 箱間の温度差は、最大 10℃あったものが 5℃程度に小さくなったものの、

依然として課題である。この温度差は、各箱の温度推移の分析から、1kg 箱内の 75g 保冷剤と温度計の距離や外部からの熱の影響よりも、200g 保冷剤と 1kg 箱の距離が大きく影響していると考えられる。

このため、この温度差を小さくするには、200g 保冷剤 4 個の代わりに、100g 保冷剤を多数使用し、1kg 箱の格段の間に入れる方法が考えられる。たとえば、1kg 箱 8 つを輸送する場合、外箱内上下と格段の間に 100g 保冷剤を 2 個ずつ、計 10 個入れる（保冷剤を小さくすると溶けやすくなるため、保冷剤の量は少し多くする必要がある）。

5) 東京市場の保冷室

発泡断熱板と断熱シートにより軽減できるが、東京に着いてからの外気温の影響は大きい。今年度から豊洲市場に移り、22:00～23:00 頃、約 17℃の保冷室にエビの入った箱が置かれるようになったことは、温度管理上の大きな改善である。平成 30 年度、29 年度は、22:00～01:00 頃に約 20℃の保冷室に移されていた。平成 28 年度は、28～30℃の部屋に置かれた場合と、短時間、10℃以下の部屋に置かれた場合があった。

6) 保冷の方法（技術指針）

基本的に、今年度で確立された方法を基準にすればよいと考えられる。1kg 箱内は 75g 保冷剤 1 つ、6kg・8kg 外箱内は 200g 保冷剤を上下に 2 つずつ、10kg 外箱の場合は中段に 200g 保冷剤を 1 つ追加、発泡断熱板と断熱シートを使う。外気温、一時保管場所などの状況に応じて、外箱内の保冷剤の量を微調整する。

久米島漁協が今後も 7 月以降にエビを出荷する場合、この保冷法を基準にするべきだと考えられる。また、最近、12 月に出荷を集中させるのではなく、価格の高くなる 7 月まで飼育を続ける養殖場も出てきた。このため、この保冷法は全県に普及可能である。

久米島漁協が 7 月の出荷で発泡断熱板と断熱シートを使わなかった理由は、断熱シートで包むのに手間がかかることと、コスト(特に断熱シート)の問題のようである。しかし、断熱シートメーカーの見積書によれば、135×54cm の断熱シートを 500 枚注文したときの単価は 0.05 円/cm²、10kg 箱の表面積は 9300 cm²、シートの重なりを 2 割とすると 11200 cm² 必要なので、1 箱あたり 560 円のコストになる。発泡断熱板は 1 枚 70 円なので合計 700 円のコスト増となる。発泡断熱板を使うと既存の 10kg 箱には 8kg しか収容できない。8kg 出荷する場合、この保冷法によりエビの単価が 88 円/kg 上がれば、このコスト増をカバーできる。

また、水温が 30℃近い養殖池から、いきなり 12℃の選別水槽にエビを移すのは負担が大きいと考えられる。中間に 20℃程度の水槽に入れる 2 段階の冷却法も検討する。ヤイトハタの水無輸送では、この 2 段階の冷却法を使った結果、輸送の成績が改善した²⁾。

5. 今後の課題

- 1) 久米島漁協や車海老漁協から要請があった場合、クルマエビの夏季出荷の際に輸送中の温度を測定して、輸送方法を改善することを検討する。
- 2) 出荷技術に関しては、全県への普及を図る(令和 2 年度普及に移す技術(普及)に「温度管理による養殖クルマエビの夏季出荷技術」として掲載された)。

6. 要約

- 1) 高価格となる夏季に、深層水を使ってクルマエビを飼育・出荷する試験を実施した。
- 2) 漁協養殖場から研究所への輸送方法を改善した結果、搬入直後のエビの死亡は減った。全体をとおした飼育では、歩留まりが前年度

より大幅に改善した。

- 3) 7 月 29 日、31 日の出荷試験では、あがりは少なく、価格も高かった。8 月 5 日の出荷試験ではあがりが多かった。原因は冷やしすぎと考えられる。
- 4) 餌や光の調整による色あげ操作の効果は、はっきりしなかった。
- 5) 今年度で、クルマエビの夏季飼育・出荷技術はほぼ確立できたと考えられる。出荷技術については、全県に普及できると考えられる。

7. 謝辞

本出荷試験を実施するにあたり、沖縄県車海老漁業協同組合の松本源太氏から多くの助言をいただいた。ここに深謝する。

7. 参考文献

- 1) 鹿熊信一郎・荒井政年・稲荷陽子・向山豊(2020): 県産クルマエビの種苗生産・養殖技術高度化試験—クルマエビの夏季飼育・出荷技術の開発—。沖縄県海洋深層水研究所研究業務報告, 19, 4-8.
- 1) 鹿熊信一郎(2013): ヤイトハタの生産流通対策(沖縄本島中南部地区)。平成 24 年度水産業改良普及事業活動実績報告書, 96-100.