

2013 年台風第 18 号による洪水が 滋賀県の水田における大型鰓脚類の分布に及ぼした影響

The effects of flood disaster caused by 2013 Typhoon Man-yi
on the distribution of large branchiopods of rice paddies
in Shiga Prefecture, Japan

関西大学 社会安全学部

山 川 栄 樹

Faculty of Societal Safety Sciences,
Kansai University

Eiki YAMAKAWA

琵琶湖博物館 はしかけ

田んぼの生きもの調査グループ

“Hashikake” System,
Lake Biwa Museum

Rice Field Organisms Research Group

SUMMARY

In September 2013, Typhoon Man-yi (known as Typhoon No.18 in Japan) brought heavy rainfall in Shiga Prefecture, Japan, and caused fluvial flood along the Kamogawa River basin in Takashima city and the Daidogawa River basin in Koka city. In particular, the right bank of Kamogawa River was collapsed in the town of Miyano in Takashima city and the flood water inundated a large number of rice paddies which provide habitats for various aquatic organisms.

In 2015 and 2016, distributional surveys of the large branchiopod crustaceans of rice paddies in the inundated area were conducted and compared with the results before the flood. *Branchinella kugenumaensis* (Ishikawa) and *Eulimnadia* sp. were found at the rice paddies near the collapsed point of Kamogawa River, and *Caenestheriella gifuensis* (Ishikawa) was found in the inundated area of Kamogawa flooding. On the other hand, *C. gifuensis* was widely distributed along the Daidogawa River basin in Koka city, and *B. kugenumaensis*, *Leptestheria kawachiensis* (Ueno) and *Eulimnadia* sp. expanded their habitats in the inundated area of Daidogawa flooding. Species co-occurrence, occurrence relative to paddy soils and the types of irrigation and drainage systems are also discussed.

Key Words

Branchiopoda, distribution range, flood, Typhoon Man-yi

1. はじめに

地球温暖化の進行に伴って異常気象の頻度や強度が増すなか、環境攪乱に対する生態系の回復力を見極める研究が重要度を増している。洪水の前線で河床に付着する藻類の量や、それを餌にする底生動物、水生昆虫の数を比較する研究は古くから行われており^[1,2,3]、洪水攪乱が水辺の生態系を構成する生物群集の構造にさまざまな影響を与えることが明らかになっている。実際、攪乱のない安定した環境が続くと成長の遅い大型の種が優占し、攪乱の強度や頻度が高い厳しい環境では成長が早く短期間で繁殖できる小型の種が優占すること^[4]や、適度な攪乱がある場合に生物集団の多様性が最も高くなること^[5]が確かめられている。

2013年9月16日午前8時頃に愛知県豊橋市付近に上陸した台風第18号は、滋賀県に記録的大雨をもたらした。15日午前0時からの48時間降水量は、高島市朽木平良で492.5 mm、甲賀市信楽町牧で9月の月降水量平年値の197.1%に相当する332.0 mmを記録し、15日午前5時5分から11時30分までの5時間余りにわたって豊郷町を除く滋賀県全域に運用後初めての大雨特別警報が発令された^[6]。この大雨により、

16日午前5時頃、高島市宮野で鴨川右岸が破堤し、宮野、鴨、勝野および安曇川町下小川地区において住宅の浸水、水田の流出や埋没、浸水の被害が発生した^[7]。また、甲賀市信楽町長野、勅旨、牧、黄瀬地区においても、信楽川と大戸川の水が溢れ、流域の多くの住宅や水田が浸水している^[8]。水田には、5000種以上の生きものが生息しているといわれている^[9]。洪水が発生したのは9月中旬で、稲刈りを控えて水が抜かれている水田も多かった。しかし、大型農業機械を押し流すほどの勢いがあったと言われる洪水は、土の中や表面に生息する生物やその卵を押し流し、水田に生息する生物集団に大きな影響を与えたと予想される。

本論文で分析の対象とする大型鰓脚類は、ミジンコ類とともに節足動物門（Arthropoda）甲殻亜門（Crustacea）鰓脚綱（Branchiopoda）に属する生物であり、日本には表1に示す12種が生息している。日本で最初に記録された大型鰓脚類はホウネンエビとミスジヒメカイエビであり、いずれも1892年に藤沢市鵜沼の海岸で一時的に発生した水たまりから発見された^[10]。同じ頃に岐阜市近郊からカイエビが、東京都台東区のレンコンを栽培する水田からタマカイエビが、さらに、日光市赤沼の池からムスジヒメカ

表1 日本国内に生息する大型鰓脚類

目 order	科 family	和名	学名 Scientific name			
			種名 species		命名者	発表年
			属名 genus	種小名 specific epithet		
Anostraca	Chirocephalidae	キタホウネンエビ	Eubbranchipus	uchidai	Kikuchi,	1957
	Thamnocephalidae	ホウネンエビ	Branchinella	kugenumaensis	Ishikawa,	1895
Notostraca	Triopsidae	アジアカブトエビ	Triops	granarius	Lucas,	1864
		アメリカカブトエビ	Triops	longicaudatus	LeConte,	1846
		ヨーロッパカブトエビ	Triops	cancriformis	Bosc,	1801
Spinicaudata	Cyziciidae	カイエビ	Caenestheriella	gifuensis	Ishikawa,	1895
	Leptestheriidae	トゲカイエビ	Leptestheria	kawachiensis	Ueno,	1927
	Limnadiidae	ヤマトウスヒメカイエビ	Limnadia	nipponica	Ishikawa,	1895
		ミスジヒメカイエビ	Eulimnadia	braueriana	Ishikawa,	1895
		ヒメカイエビ属の1種 (未同定)	Eulimnadia	packardiana	Ishikawa,	1895
Laevicaudata	Lynceidae	タマカイエビ	Lynceus	sp.	Ida,	1985
				biiformis	Ishikawa,	1895

イエビとヤマトウスヒメカイエビが相次いで発見された^[10]。1925年には、寝屋川市木屋の水田でトゲカイエビが初めて記録された^[11]。ハウネンエビは関東以西の水田に広く分布するが、1956年に小樽市銭函の海岸で、雪融け水による一時的な水たまりからキタハウネンエビが発見された^[12]。一方、日本のカブトエビ類はいずれも外来種と考えられるが、1916年に香川県観音寺市でアメリカカブトエビが^[13]、また、1948年に山形県酒田市でヨーロッパカブトエビが初めて記録された^[14]。これらのカブトエビ類は日本では雌だけか雌雄同体であるが、1966年になって沼津市で雌雄が共存するアジアカブトエビが初めて確認され^[15]、日本に3種のカブトエビがいることが明らかになった^[16]。

体長が20~35 mmになるカブトエビ類は、水田の雑草を防除する効果があるとされ^[17]、分類学的、生態学的に詳しく研究されている^[18]。また、体長15~20 mmのハウネンエビも、大発生すると豊作になるという言い伝えにより稲作農家には比較的によく知られている。蓮池^[19]は学校教材としての利用を目標に、ハウネンエビの孵化条件を生態学的に研究している。一方、殻の長さが5~15 mm程度のカイエビ類は、稲作農家の間でも認知度は低い。楠見^[20]はその形態的特徴や生態系サービスについて、また、Olesenら^[21,22,23]はその幼生の発達段階ごとの形態を分類学的に研究している。なお、ヒメカイエビ属の分類は、今も未確定である。ミスジヒメカイエビは3~4本の成長線をもち、ムスジヒメカイエビは6本の成長線をもつ^[24]とされるが、これらを同種とする説もある^[25]。また、群馬県前橋市からは、未同定の1種も報告されている^[26]。そこで、本論文では「ヒメカイエビ属の1種」として記述し、4.3節において採集したサンプルの同定を試みることにする。

現在の日本では、キタハウネンエビとヤマト

ウスヒメカイエビを除くすべての大型鰓脚類が水田を生息場所としている。大型鰓脚類が我々の前に姿を現すのは1年に1度だけであり、ヒメカイエビ属は水入れから2週間程度、他の種も田植から数週間程度の間急速に成長し、中干しまでに産卵して姿を消す。卵が孵化するには、水・温度・光が一定の条件を満たすことが必要であり、卵を含む土壌が秋耕や冬起こしによってよく乾燥し、春の日差しで十分に温められれば、水入れ後の代掻きによって水面に浮かび上がった卵が孵化する^[19]。休耕等によりこれらの条件が満たされなければ、大型鰓脚類の卵は、暑さ寒さや乾燥に耐え、場合によっては何年でも土の中で休眠すると言われている^[27]。

出現期間が非常に短い大型鰓脚類の分布を広域調査するには、地域に居住する市民の力が不可欠である。滋賀県立琵琶湖博物館には、市民が身近な地域で調査した結果を定期的に博物館に報告するフィールドレポート制度と、市民グループが博物館と協力して自主的に活動を企画・運営するはしかけ制度がある。フィールドレポートによる1999~2000年の調査で、滋賀県の水田には、ヒメカイエビ属の1種と、ハウネンエビ、アジアカブトエビ、アメリカカブトエビ、カイエビ、トゲカイエビ、タマカイエビが生息していることが確認された^[28]。とくに、ヒメカイエビ属の1種は、大津市南部の琵琶湖西岸から瀬田川右岸の住宅地に残る圃場整備の行われていない水田を主な生息地とすることがわかったため、宅地化の進行で絶滅が危惧されるとして滋賀県の「希少種」に指定された^[29]。

生物集団の個体群動態を決定づける要因には、出生、死滅、移入、移出の4つがある。2001年にはしかけ制度により結成された田んぼの生きもの調査グループでは、大型鰓脚類の出生(卵からの孵化)に影響すると考えられる水田土壌や冬季湛水の状況、移出入に影響すると考えら

れる灌漑様式に注目しながら、滋賀県の水田における大型鰓脚類の分布とその変化に関する調査研究を進めている。2004年までの調査で、アジアカブトエビは石山寺附近の2筆でしか確認されていなかったが、2010年に当時小学校2年生だった同グループのメンバが、瀬田川より東では初めて、大津市大江地区でアジアカブトエビを発見した^[30]。その後の調査で、この地区に点在する水田は用排水兼用方式であるため、同じ溜池を水源とする水路網を介してアジアカブトエビが広がった可能性があること、もともと生息していたアメリカカブトエビとの間で生息地の競合がおきていることが確認された^[31]。さらに、近江八幡市と長浜市の調査で、冬季の土壌含水率が低い水田ほどカイエビの生息率が高いことも明らかになっている^[32]。

本論文では、滋賀県高島市の鴨川流域と甲賀市の信楽川、大戸川流域の水田を対象に、2013年9月の台風第18号による洪水が大型鰓脚類の分布に与えた影響を分析する。大型鰓脚類の生活史は人間による水田稲作の過程と密接に関係しているため、洪水直後に調査しても休眠卵が土壤に埋もれているだけで生息状況を確認することはできない。そこで、災害復旧工事が完了し、稲作が再開された2015年と2016年に両地域で詳細な調査を実施した。両地域とも、多くの水田で圃場整備により用排水が分離され、平時に灌漑用水を介して大型鰓脚類が移出入する可能性は非常に低い。さらに、高島市の鴨川流域には、大型鰓脚類の卵の孵化には不利な排水不良の強グライ土の水田が多く存在する。一方、甲賀市の信楽川、大戸川流域には、孵化に有利な低地土の乾田が広がっているなど、水田土壌の性質には大きな違いがある。そこで、両地域で洪水前に実施した調査結果や、洪水の被害がなかった地域における調査結果を詳細に比較検討することにより、洪水によって大型鰓脚類の

卵の移入が起きたのか、さらに、それが生息状況の変化につながったのかを、灌漑様式や水田土壌の性質と関連づけて分析・考察する。

2. 調査地と方法

琵琶湖博物館はしかけ田んぼの生きもの調査グループ（担当職員：Mark J. Grygier 首席総括学芸員、鈴木隆仁学芸技師）では、滋賀県における大型鰓脚類の分布を明らかにすることを目的に、2001年より滋賀県全域で毎年水田の調査を行っている。調査の形態には、各メンバが身近な地域で行う個人調査と、メンバ全員をいくつかのチームに分けてツアーを組み、比較的広い地域を網羅的に調査する合同調査の2種類がある。グループに新たに参加したメンバには、琵琶湖博物館が作成したマニュアルにしたがって、担当学芸員が大型鰓脚類の調査と同定の方法、および、水田の構造に関する講習を実施し、メンバ間で調査・分析の精度に差が出ないようにしている。

高島市の鴨川は、図1に示すように、琵琶湖の西に連なる比良山地の北麓に位置する畑地区と鹿ヶ瀬地区に源を発し、山間の黒谷、高島地区を経て下流の広大な水田域を涵養している。2000年6月3日に武曾横山、野田、宮野、鴨、永田地区においてフィールドレポートの合同調査が実施されたが、大型鰓脚類は全く見つからなかった^[28]。その後の田んぼの生きもの調査グ



図1 高島市鴨川流域の大字名
(網掛けは山林, ★印は破堤地点, 斜線部は浸水域)

ループのメンバによる個人調査において、高島地区の2筆でヒメカイエビ属の1種が、扨戸地区と音羽地区の山沿いにある4地点5筆でホウネンエビが、また、勝野地区の琵琶湖岸近くの2地点4筆でもホウネンエビが確認されたが、鴨川下流右岸に広がる水田域では大型鰓脚類が全く発見されなかった。そこで、2013年6月5日に、鹿ヶ瀬地区から黒谷、高島、扨戸地区を通り、宮野地区の南西隅と音羽地区を経てJR近江高島駅へ至る15.8 kmを徒歩で辿る個人調査を山川が実施し、鴨川右岸に並行する道路沿いにある313筆の水田を一つひとつ調査した。

図1には、2013年9月の台風第18号による大雨に伴う鴨川の破堤地点と浸水域も示している。この洪水で被害を受けた水田の半数程度で稲作が再開された2015年6月7日に、高島市全域で合同調査を実施し、鴨川流域では高島、扨戸、勝野、安曇川町下小川地区の86筆を調査した。2016年にはほぼすべての水田で稲作が再開されたため、5月27日、6月3日、10日、11日の4日間をかけて鴨川の破堤により浸水した地域の西半分にあたる宮野、鴨、永田、勝野地区の水田682筆を、山川が個人調査した。これに先立つ5月19日には、高島地区の7筆において、2001~2004年に記録されたヒメカイエビ属の1

種を確認する個人調査も実施している。

一方、図2に示す甲賀市信楽町は、滋賀県の南西端に位置する高原地域で、信楽川、大戸川、およびその支流沿いの標高300 m前後の地域に水田が広がっている。この地域では、2000年に牧と神山地区の各1筆でカイエビが、2002年に神山地区の3筆でカイエビとタマカイエビが確認されただけで、大型鰓脚類の空白域になっていた。そこで、2012年5月28日と6月5日に、山川がこの地域の89筆を個人調査した。2013年5月26日には、甲賀地域合同調査において勅旨地区の7筆を再調査している。2013年9月に台風第18号による洪水が発生したことをうけて、2015年5月30日と2016年5月28日に、田んぼの生きもの調査グループの延べ14人と琵琶湖博物館の学芸員3人が5チームに分かれて合同調査を実施し、283筆を調査した。なお、2016年5月4日から21日まで、ヒメカイエビ属の種を特定するために、山川が牧地区の4筆において幼生の発生から産卵までを追跡する定点観測を行っている。また、2016年6月1日には、複数種の同時出現を確認するため、勅旨地区の2筆において山川が再調査を行った。

大型鰓脚類は、水田の四隅や水の流入口、流出口の近くに集まりやすい傾向があるため、調査は農業機械を出入りさせるためのスロープや、畔から水田を観察する方法で行った。ある農家が全く同じように耕作する水田群において、大型鰓脚類が多数発生する水田と全く発生しない水田群が隣接していることも少なくない。そこで、3次メッシュ^[33]ごとに1地点以上選択した調査地点のそれぞれにおいて4筆以上、可能であれば10筆程度の水田について大型鰓脚類の生息有無を確認した。大型鰓脚類が見つければ、種ごとに最低1個体を採集し、あらかじめ連番を振っておいた標本瓶に水田ごとに入れ、70%エタノールで固定した。また、後日同じ水田を



図2 甲賀市信楽町の大字名 (網掛けは山林)

再度確認できるようにGPS装置を用いて緯度、経度を測定し、採集した日時、天気、気温、水温とともに標本瓶ごとに作成した調査票に記録した。さらに、水が透明であるか濁っているか、泥の色や粒子の大きさ、藻の発生状況や藁屑などの有機物の量、大型鰓脚類の捕食者となり得るカイミジンコ、水生昆虫など他の生物の有無も観察し、調査票に記録した。大型鰓脚類が見つけれなかった場合は、地割れなど一時的に干上がった痕跡がないか、農薬が散布された様子がないかを注意深く観察した。耕作している農家の人に会うことができれば、水入れや田植の時期、農薬の使用状況、さまざまな生きものの生息状況等について聞き取りを行った。

アルコール固定して持ち帰った標本は、実体顕微鏡下で種の同定を行った。カイエビとトゲカイエビは、殻の形状や交尾時の遊泳方法で概ね識別できるが、最終的な同定は、トゲカイエビのみに存在する頭部の小さなトゲを確認することによって行う。高島市の鴨川流域や甲賀市の信楽川、大戸川流域では見つからなかったが、大津市の大江、月輪地区に生息しているアジアカブトエビとアメリカカブトエビは、尾節背面にあるトゲの形状を実体顕微鏡で確認して同定を行う。本研究で採集した標本は、分類に関する専門知識をもった琵琶湖博物館の学芸員の指導のもと、2人以上のメンバで種の同定を行った。なお、ヒメカイエビ属の標本については、実体顕微鏡下で写真撮影を行い、成長線の本数を数えるとともに、卵をもっている標本については、これを取り出して卵の形状を顕微鏡で確認することにより種の同定を行った。

同定結果を記載した調査票には年度ごと、採集した水田ごと、採集した種ごとに3階層の一連番号を付し、記載されたデータをExcelデータベースに入力した。アルコール固定した標本も、この3階層の一連番号ごとに作成した標本

瓶に整理し直した。整理が済んだ調査票と標本瓶は、琵琶湖博物館に保管されている。

近年の圃場整備事業では、水田ごとの水管理を容易にするために、地下に埋設した送水管からバルブ操作で各水田に水を入れる管水路方式や、水田の一方の短辺に用水路を、もう一方の短辺に排水路を設ける用排水分離方式が採用されることが多い。これらの灌漑様式をとる水田群では、遊泳力の大きくない大型鰓脚類が自力で他の水田へ移動する可能性はほとんどない。しかし、田越灌漑が行われている場合や、上流にある水田の排水を下流の水田で用水として再利用する用排水兼用方式の水田群では、灌漑用水を介して移出入が起きる可能性がある。そこで、間断灌水が実施されて水の出入りが確認しやすい夏季に各水田を再訪し、田越灌漑の有無、用排水の方式を調査した。具体的には、2016年8月14日と16日に甲賀市信楽町の水田について、また、8月24日と26日に高島市鴨川流域の水田について灌漑様式の現地調査を行った。

さらに、国立研究開発法人農業環境技術研究所の土壌情報閲覧システムで公開されている農耕地の土壌図を用いて、調査した水田の土性と土壌群^[34]を確認した。2017年1月2日と6日には甲賀市の信楽川、大戸川流域の水田を、また、2月4日に高島市の鴨川流域の水田を再訪し、冬季湛水の状況の調査も実施している。

3. 結果

この節では、高島市の鴨川流域と、甲賀市の信楽川、大戸川流域のそれぞれについて、2013年台風第18号による洪水の発生前後に実施した大型鰓脚類の分布調査の結果を述べる。また、各調査地点の灌漑様式と土壌分類を示し、用排水の方式や土壌の性質により、大型鰓脚類の生息状況に違いがあるかどうかを明らかにする。

3.1 高島市の鴨川流域

2013年6月までに高島市の鴨川流域において546筆の水田を調査したが、大型鰓脚類の生息を確認できたのは2.9%にあたる16筆だけであった。これほど低い生息率では、面積1km²の3次メッシュごとに複数の地点を選択して調査しても、実際に大型鰓脚類の生息する水田が調査地点から漏れてしまう可能性が非常に高い。そこで、2016年の個人調査では、2013年9月の台風第18号による洪水で浸水した地域の西半分が存在するすべての水田を一つひとつ調査した。2015年の合同調査で調査した筆も加えると、洪水後に調査した水田は775筆に上るが、大型鰓

脚類が確認されたのは、3.2%にあたる25筆だけであった。大型鰓脚類の生息を確認できた水田の数を種ごとに集計した結果を表2に示す。以下の各表において、記号Br, Ca, Le, Eu, Lyはそれぞれホウネンエビ, カイエビ, トゲカイエビ, ヒメカイエビ属の1種, タマカイエビを表している。また、2013年以前および2015年以降の調査地点と、種ごとの分布を図3に示す。図3において、黒四角はその地点で当該種

表2 高島市鴨川流域の生息状況

調査年	Br	Ca	Le	Eu	Ly	調査筆数	いない	いる
2013年以前	12	2	0	2	0	546	530	16
2015年以後	13	6	0	6	0	775	750	25

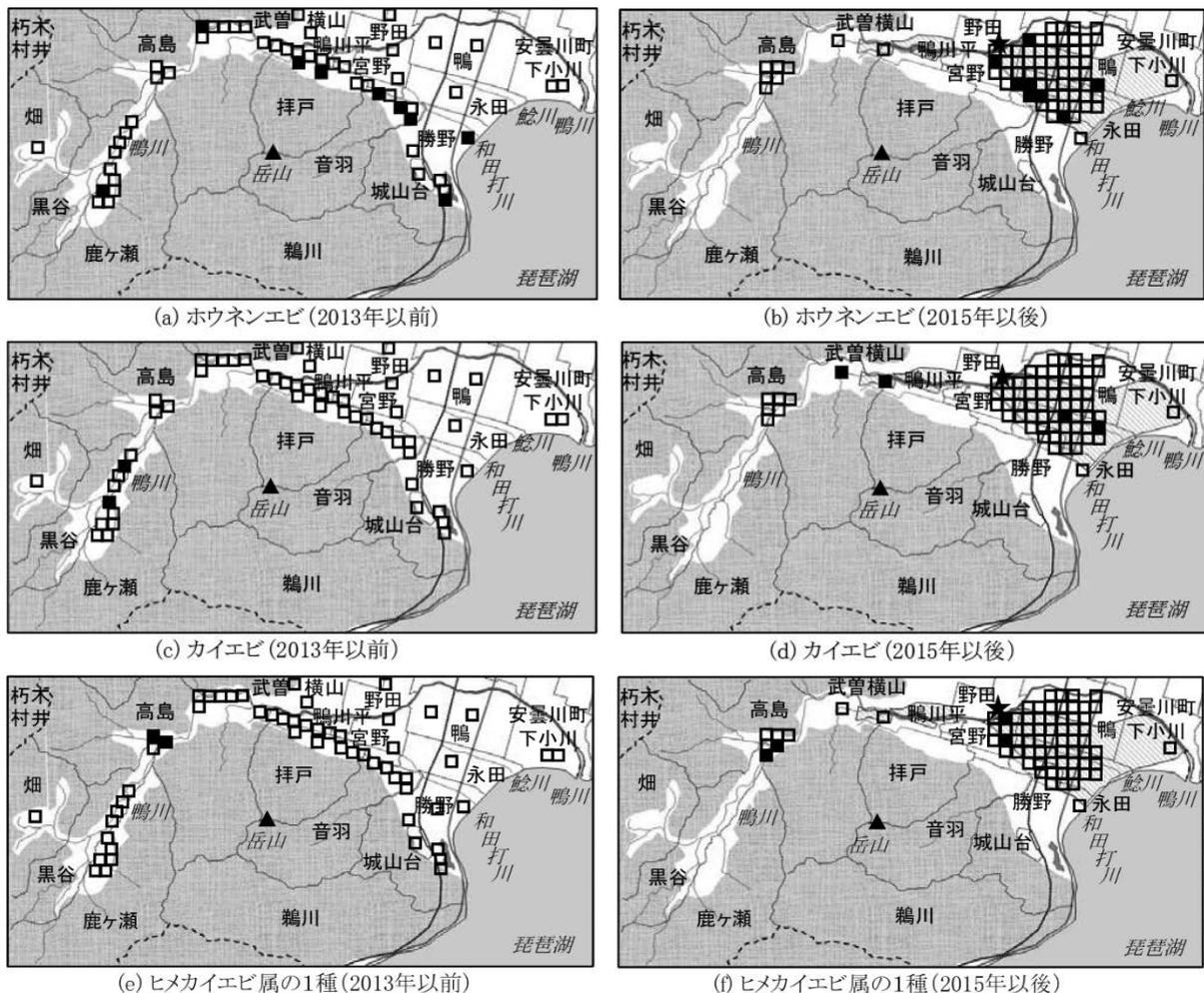


図3 高島市鴨川流域における大型鰓脚類の分布の変化 (■: 生息している, □: 生息していない)

の生息が確認できたことを表し、白四角はその地点で当該種の生息が確認できなかったことを表している。図3のうち、2015年以降の分布を表す(b), (d), (f)には、2013年9月の台風第18号に伴う大雨による鴨川破堤地点を★印で、また、浸水域を斜線で示している。

2013年以前の調査と2015年以降の調査のいずれにおいても、確認できた種はハウネンエビ、カイエビ、ヒメカイエビ属の1種の計3種であり、トゲカイエビ、タマカイエビ、カブトエビ類は確認できなかった。また、各水田において確認できた大型鰓脚類はたかだか1種であり、1筆に2種以上の同時出現は確認されなかった。

最も多くの地点で確認されたのはハウネンエビである。2013年以前の調査では、鴨川上流部の鹿ヶ瀬地区に広がる棚田群の中央付近の1筆、鴨川が蛇谷ヶ峰と岳山に挟まれた地峡部を抜けて湖岸の平野に出てすぐの所の右岸堤防沿いにある高島地区の1筆、そして、拝戸、音羽、勝野地区の平野部にある計10筆でハウネンエビが確認された。図3(a)からもわかるように、高島地区から琵琶湖岸までの鴨川右岸に広がる水田域の南西の縁、拝戸、音羽、勝野地区の山沿いにハウネンエビが確認された水田が点々と分布している。一方、2013年以前の調査でカイエビが確認されたのは、鹿ヶ瀬地区に広がる棚田群の最も下の1筆と、黒谷地区の鴨川右岸に帯状に連なる水田のうちの1筆の計2筆のみであった。ヒメカイエビ属の1種も、2013年以前には鴨川が滝谷、蛇谷と合流する高島地区の山間にある2筆で確認されただけである。

2015年以降の調査でも、最も多く確認されたのはハウネンエビである。とくに、2013年以前の調査では全くその生息が確認されなかった和田打川より北側の宮野、鴨、永田、勝野地区の13筆でハウネンエビが確認された。しかも、図3(b)からわかるように、宮野、鴨地区の各1

筆はいずれも破堤地点から200 m前後しか離れていない水田である。また、浸水域中央に位置する鯰川左岸の1筆を除き、永田、勝野地区でハウネンエビが確認された10筆は、いずれも浸水域の南の縁に位置している。

2013年以前の調査では、高島地区より東の鴨川右岸に広がる水田地域においてはカイエビとヒメカイエビ属の1種を全く確認できていなかった。しかし、2015年の合同調査において、この水田域の西端、大谷川が鴨川に合流する少し手前の高島地区にある連続する3筆でカイエビを確認した。また、拝戸地区の西端にある鴨川右岸沿いの1筆でも、カイエビを確認している。図3(d)に示すように、この1筆は2013年9月の台風第18号に伴う大雨により鴨川から溢れた水で浸水した地域にある。2016年の個人調査では、鴨川破堤による浸水域のほぼ中央にあたる永田地区の鯰川右岸の2筆でもカイエビを確認した。図3の(c)と(d)を比較するとわかるように、拝戸地区と西近江路沿いの永田地区では洪水の前後で同じ水田群を調査しており、この地区でのカイエビは初記録である。

さらに、2016年の山川による個人調査では、破堤地点の東150 mにある水田1筆を含む宮野地区の2筆でヒメカイエビ属の1種を初めて確認した。なお、2001年から2004年にかけて毎年ヒメカイエビ属の1種の発生が確認された高島地区の調査地点では、2016年にも4筆でヒメカイエビ属の1種を確認している。

高島市の鴨川流域の各調査地点における灌漑様式をプロットした地図を図4に示す。図4からわかるように、棚田が広がる山間部の畑、鹿ヶ瀬地区は、限りある水を有効に利用するために用排水兼用方式の水田が大半である。一方、高島地区より下流の平野部は集落内にある一部の水田を除いて用排水分離方式であり、随所に設置されたポンプで地下の送水管から用水路に

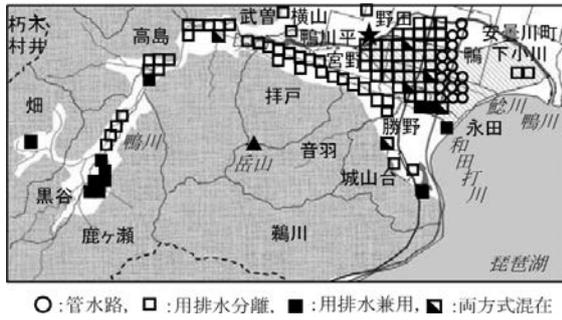


図4 高島市鴨川流域における灌漑様式の分布

汲み上げられた豊かな灌漑用水が、圃場整備された水田を潤している。また、西近江路から東の鴨、永田地区は管水路方式であり、畦に設置されたバルブを回すと、地下に埋設された送水管から灌漑用水が直接水田へ供給される。

2013年以前の調査において、ホウネンエビは12筆で確認されているが、そのうち、鹿ヶ瀬地区の1筆と、勝野地区の2地点4筆が用排水兼用方式、高島地区の1筆と拝戸、音羽地区のそれぞれ3筆が用排水分離方式の水田である。また、カイエビとヒメカイエビはいずれも、用排水兼用方式の水田1筆と用排水分離方式の水田1筆で確認されている。一方、2015年以降の調査地点は、大部分が用排水分離方式または管水路方式であることもあって、ホウネンエビが確認された13筆のうち、用排水兼用方式の水田は永田地区の1筆と勝野地区の1地点3筆だけであり、破堤地点近くの宮野、鴨地区の各1筆と、浸水域周縁にある永田地区の4地点6筆は用排水分離方式、浸水域の中央部にある永田地区の1筆は管水路方式の水田である。また、ヒメカイエビ属の1種が確認された地点のうち、高島地区の2筆は上流の水田の排水が水路を通じて下流の水田に用水として流入する用排水兼用方式であるが、高島地区のもう2筆と、鴨川の破堤地点に近い宮野地区の2筆は、いずれも用排水分離方式である。一方、カイエビが確認され

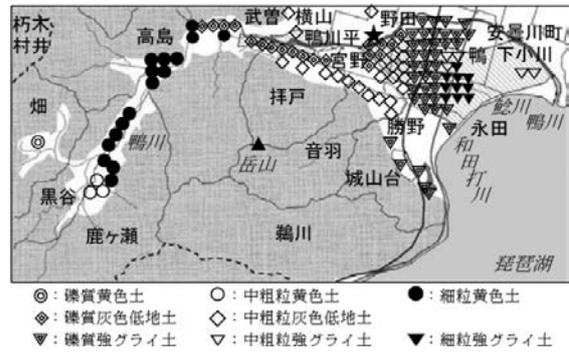


図5 高島市鴨川流域における水田土壌の分布

た高島地区の大谷川沿いの3筆のうちの2筆と永田地区の西近江路沿いの1筆では田越灌漑が行われているが、2013年9月の台風第18号に伴う浸水域に含まれる拝戸地区の1筆は用排水分離方式、西近江路より東にある永田地区の1筆は管水路方式である。このように、高島市の鴨川流域では、灌漑様式と大型鰓脚類の生息状況の間に明確な関係は見いだせなかった。

高島市の鴨川流域について、各調査地点の土壌分類をプロットした地図を図5に示す。また、表3は、この地域における大型鰓脚類の生息状況を土壌統群ごとに集計し直した結果である。表3の各セルにおいて、斜線の左側の数字は少なくとも1種の大型鰓脚類が確認できた水田の数、右側の数字は調査筆数である。図5からわかるように、鹿ヶ瀬、黒谷、高島など鴨川上流の山間地には、黄色土の水田が広がっている。また、拝戸、宮野など中流域の水田は排水の良好な礫質または中粗粒灰色低地土であり、表3からわかるように、洪水後の調査で破堤地点に近い宮野、鴨の4筆を含めて合計7筆の水田か

表3 高島市鴨川流域の土壌統群ごとの調査筆数と生息筆数

2013年以前	礫質	中粗粒	細粒	2015年以後	礫質	中粗粒	細粒
黄色土	0/15	1/52	5/139	黄色土	—	—	4/34
褐色低地土	—	—	—	褐色低地土	—	—	—
灰色低地土	0/122	6/121	—	灰色低地土	7/127	7/111	—
グライ土	—	—	—	グライ土	—	—	—
強グライ土	4/69	—	0/28	強グライ土	5/380	0/65	2/58

ら新たに大型鰓脚類が見つかった。一方、洪水で浸水した琵琶湖に近い平野部は強グライ土の水田である。とくに、鯉川流域には排水の悪い細粒強グライ土の水田が広がっているが、2016年の調査では、そのうちの2筆で新たに大型鰓脚類が見つかった。一般に、大型鰓脚類は卵で休眠する冬季によく乾燥する水田に多く発生するといわれている^[20,32]。これら2筆の細粒強グライ土の水田に大型鰓脚類が定着するのか、今後も慎重に見守っていく必要がある。

3.2 甲賀市の信楽川、大戸川流域

甲賀市の信楽川、大戸川流域では2013年6月までに101筆の水田を調査し、28.7%にあたる29筆で大型鰓脚類の生息を確認した。洪水後の2015年と2016年には、2013年までの調査地を再訪するとともに、交通アクセスの関係でそれまで調査ができていなかった地域にも範囲を拡大して283筆の水田を調査し、68.2%にあたる193筆で大型鰓脚類の生息を確認した。2013年以前および2015年以降の調査地点と、種ごとの分布を次頁の図6に示す。図6においても、黒四角はその地点で当該種の生息が確認できたことを表し、白四角はその地点で当該種の生息が確認できなかったことを表す。

ハウネンエビは、2013年以前の調査では西地区の1地点と勅旨地区の中部から牧地区の中部にかけての大戸川流域で確認されただけであったが、2015年以降の調査では長野地区や勅旨地区の南部、牧地区の北部でも生息が確認され、西地区から牧地区までの信楽川、大戸川流域全体に分布が広がった。しかし、大戸川上流の神山地区においては、2013年以前と2015年以降のいずれも生息が確認できなかった。また、トゲカイエビは、2013年以前の調査では牧地区の1筆で確認されただけであったが、2015年以降の調査では、勅旨地区の中部や、新たに調査し

た黄瀬地区でも生息が確認され、勅旨地区の中部から下流の大戸川流域全体に分布が広がった。さらに、ヒメカイエビ属の1種も、2013年以前の調査では勅旨地区の1筆で確認されただけであったが、2015年以降の調査では長野地区の北部、勅旨、牧、黄瀬地区の大戸川流域に点々と生息地があることが確認された。

一方、カイエビとタマカイエビは、いずれも2013年以前の調査で西、長野地区の信楽川流域と神山、長野、勅旨、牧地区の大戸川流域に生息地があることが確認されている。2015年以降の調査でも同じ地区で確認されたほか、カイエビは新たに調査した宮町地区と黄瀬地区で、タマカイエビは黄瀬地区と柞原地区で確認された。なお、これまでのいずれの調査においても、カブトエビ類の生息は確認できなかった。

2013年以前の調査と2015年以降の調査で、大型鰓脚類の生息を確認できた水田の数と比率を種ごとに集計した結果を表4に示す。以下の各表において、比率欄の上段は少なくとも1種の大型鰓脚類の生息が確認された水田の総数に対する比率、下段は調査筆の総数に対する比率である。表4より、2015年以降の調査で大型鰓脚類が確認された水田の比率は、2013年以前の調査の約2.4倍にあたる68.2%に達している。また、種ごとに見ると、とくに、ハウネンエビ、トゲカイエビ、ヒメカイエビ属の1種の増加が著しい。一方、大型鰓脚類が生息する水田の50%余りにカイエビがいるという傾向は大きく変化していない。また、全調査筆のなかでタマカイエビが生息する水田の比率も、10%余りで大

表4 甲賀市信楽川、大戸川流域の生息状況

調査年	種ごとの生息筆数					調査筆数	同時出現種数ごとの筆数					
	Br	Ca	Le	Eu	Ly		0	1	2	3	4	5
2013以前	10	16	1	1	12	101	72	19	9	1	0	0
	34.5	55.2	3.4	3.4	41.4	比率	65.5	31.0	3.4	0.0	0.0	
	9.9	15.8	1.0	1.0	11.9	(%)	71.3		28.7			
2015以後	102	101	31	20	36	283	90	113	66	12	1	1
	52.8	52.3	16.1	10.4	18.7	比率	58.5	34.2	6.2	0.5	0.5	
	36.0	35.7	11.0	7.1	12.7	(%)	31.8		68.2			

大きく変化していないことがわかる。

表4の右半分には、複数種の大型鰓脚類が同時出現した水田の数も示している。たとえば、右から3列目、2行目に3と書かれた列の数字

は、3種の大型鰓脚類が同時出現していることを確認できた水田が何筆あるかを表している。なお、右から6列目、2行目にある0と書かれた列の数字は、大型鰓脚類が確認できなかった

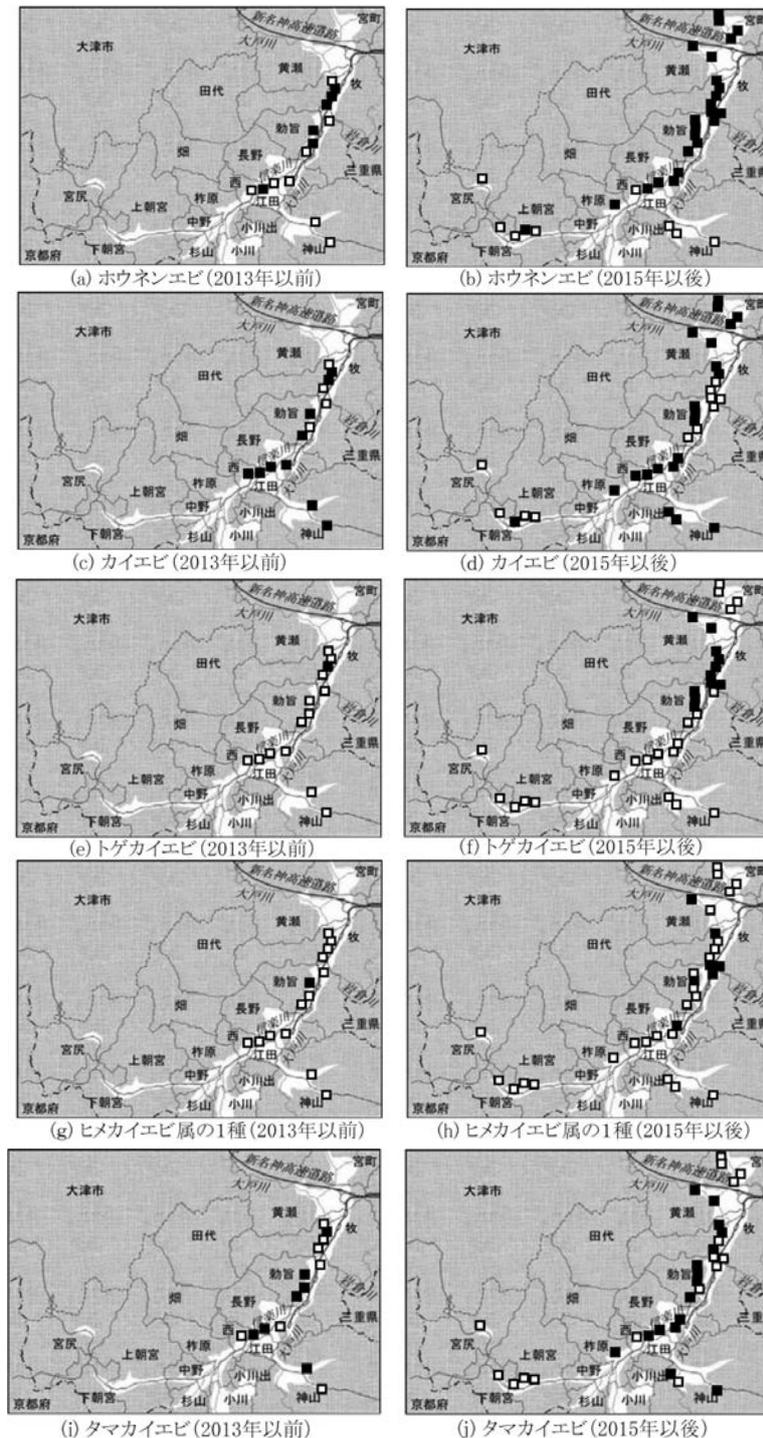
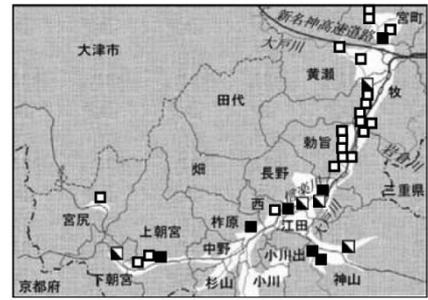


図6 甲賀市信楽町における大型鰓脚類の分布の変化 (■：生息している, □：生息していない)

水田の数である。2013年以前の調査では、2012年6月5日の山川による個人調査において西地区の1筆でハウネンエビ、カイエビ、タマカイエビの3種同時出現を確認したが、1筆に4種以上の同時出現は確認できなかった。2015年以降の調査では、西地区のほかに2013年の台風第18号による洪水の被害を受けた黄瀬、牧、勅旨、長野地区の計12筆で3種同時出現を確認している。2015年5月30日の合同調査では、黄瀬地区の1筆でハウネンエビ、カイエビ、ヒメカイエビ属の1種、タマカイエビの4種同時出現が確認された。さらに、2016年6月1日の山川による個人調査において、勅旨地区の1筆でハウネンエビ、カイエビ、トゲカイエビ、ヒメカイエビ属の1種、タマカイエビの5種同時出現を確認している。これまでの滋賀県内の調査で5種同時出現の記録は他に3件あるが、いずれもアメリカカブトエビが含まれている。カブトエビ類を除く5種が同時に確認されたのは、今回が初めてである。5種が同時出現した水田は、勅旨地区の大戸川左岸に広がる40筆の水田群のなかで最も堤防寄りにある水田の1つで、2012年にはカイエビとタマカイエビの2種同時出現を確認していた。なお、この水田の西隣の水田では2012年にヒメカイエビ属の1種が大量発生しており、そのさらに西側の2筆でハウネンエビの生息を確認している。しかし、2013年以前にこの地区の水田においてトゲカイエビの生息は確認されていなかった。

甲賀市信楽町の各調査地点における灌漑様式をプロットした地図を図7に示す。図7より、長野地区より上流の大戸川流域と信楽川流域の水田の多くは、用排水が分離されていないか、田越灌漑を行っているのに対して、2013年の台風第18号による洪水で浸水被害をうけた黄瀬、牧、勅旨地区の水田は、大部分が用排水分離方式であることがわかる。



□ :用排水分離 ■ :用排水兼用 ▲ :両方式混在

図7 甲賀市信楽町における灌漑様式の分布

甲賀市の信楽川、大戸川流域における大型鰓脚類の生息状況を灌漑様式ごとに集計し直した結果を表5に示す。用排水兼用方式の水田群では、上流側の水田からの排水が下流側の水田に用水として流れ込むことによって成体や卵の移出入が起きやすいため、大型鰓脚類が生息する水田の割合が高くなることが予想される。実際、表5からわかるように、2013年以前は用排水分離方式の水田の22%余りの筆で大型鰓脚類の生息が確認できたのに対して、用排水兼用方式の水田では約2倍の45%程度の筆で大型鰓脚類が確認されている。ところが、2015年以降の調査では、どちらの方式の水田においても60%を越える筆で大型鰓脚類が確認されている。この結果は洪水による浸水に伴う土砂の流入により、普段は移出入が起きにくい用排水分離方式の水田にも大型鰓脚類が移入したことを示唆していると考えられる。

表5 甲賀市信楽川、大戸川流域の灌漑方式別生息状況

調査年	灌漑方式	種ごとの生息筆数					調査筆数	同時出現種数ごとの筆数					
		Br	Ca	Le	Eu	Ly		0	1	2	3	4	5
2013 以前	分離	6	7	1	1	7	72	56	10	6	0	0	0
		37.5	43.8	6.3	6.3	43.8	比率	62.5	37.5	0.0	0.0	0.0	
	8.3	9.7	1.4	1.4	9.7	(%)	77.8	22.2					
	4	9	0	0	5	29	16	9	3	1	0	0	
兼用	30.8	69.2	0.0	0.0	38.5	比率	69.2	23.1	7.7	0.0	0.0		
	13.8	31.0	0.0	0.0	17.2	(%)	55.2	44.8					
2015 以後	分離	86	48	30	16	21	189	57	77	44	9	1	1
		65.2	36.4	22.7	12.1	15.9	比率	58.3	33.3	6.8	0.8	0.8	
	45.5	25.4	15.9	8.5	11.1	(%)	30.2	69.8					
	16	53	1	4	15	94	33	36	22	3	0	0	
兼用	26.2	86.9	1.6	6.6	24.6	比率	59.0	36.1	4.9	0.0	0.0		
	17.0	56.4	1.1	4.3	16.0	(%)	35.1	64.9					



図8 甲賀市信楽町における水田土壌の分布

表5を種ごとに見ると、2013年以前、2015年以降ともに用排水兼用方式の水田ではトゲカイエビがほとんど確認できなかったのに対して、2015年以降には用排水分離方式の水田でトゲカイエビが多数確認されたことがわかる。また、2012年の調査において1筆のみで確認されたヒメカイエビ属の1種も、2015年以降は用排水分離方式の水田を中心に多く確認されている。一方、ハウネンエビは、2013年以前の調査ではいずれの灌漑様式の水田においても生息が確認できているが、2015年以降の調査ではとくに用排水分離方式の水田で多数確認された。なお、1筆の水田に同時出現する種の数については、灌漑様式による顕著な差は認められない。

甲賀市の信楽川、大戸川流域について、各調査地点の土壌分類をプロットした地図を図8に示す。また、表6は、この地域における大型鰓脚類の生息状況を土壌統群ごとに集計し直した結果である。図8からわかるように、信楽川、大戸川流域には、細粒灰色低地土または細粒褐色低地土の水田が広がっている。また、表6からわかるように、2015年以降の調査では低地土に分類される各土壌統群の水田において大型鰓脚類の分布が拡大しているが、とくに、細粒灰色低地土の水田で新たに発見された例が多い。低地土は細粒でも排水が良く、冬季はよく乾燥

表6 甲賀市信楽川、大戸川流域の土壌統群ごとの調査筆数と生息筆数

2013年以前	澁質	中粗粒	細粒	2015年以後	澁質	中粗粒	細粒
黄色土	—	—	—	黄色土	—	—	—
褐色低地土	2/ 8	—	11/ 27	褐色低地土	15/ 23	—	20/ 29
灰色低地土	—	4/ 12	10/ 42	灰色低地土	0/ 5	14/ 19	120/ 166
グライ土	—	1/ 8	—	グライ土	—	3/ 11	—
強グライ土	—	1/ 4	—	強グライ土	—	21/ 30	—

するため、大型鰓脚類の生息には適している。とくに、細かい泥質の粒子は、夜間に水温が下がると土に潜って保温を図るカイエビ類の生息に適しているものと考えられる。

4. 考察

この節では、高島市の鴨川流域および甲賀市の信楽川、大戸川流域において洪水前後に実施した大型鰓脚類の分布に関する調査の結果がもつ意味を、他の地域あるいは他の期間における大型鰓脚類の分布に関する調査結果との比較に基づいて考察する。また、複数の種が同一の筆に同時出現する水田が多く確認された信楽川、大戸川流域について、同時出現の状況を滋賀県全域における過去の調査結果と比較しながらより詳しく分析する。最後に、今回の調査で採集したヒメカイエビ属の1種の標本について、成長線と卵の形状から種の同定を試みる。

4.1 洪水前後における分布の変化

3.1節において述べたように、高島市の鴨川流域で2016年6月に実施した調査において、2013年9月の台風第18号による洪水の浸水域に含まれるいくつかの水田でカイエビとヒメカイエビ属の1種が初めて記録された。カイエビは、卵の移入が起きても十分な量のエッグバンクが構成されないと分布域が広がらないと言われている^[35]。この地域の灌漑様式の特徴から、平時に用排水路を介して移出入するとは考えられないため、初記録されたカイエビは大規模な土砂の移動等により外部から移入したと推察さ

れる。しかし、洪水前後の調査結果を比較しても、調査地域全体において大型鰓脚類が確認できた水田の割合に有意な差は見られなかった。

高島市の鴨川流域は滋賀県北部に位置し、冬に雨や雪が多い日本海側気候を示す。しかも、この地域の雪は水分の多い暖地性の雪^[36]であり、降っては融けるというプロセスを繰り返す。昭和30年式図式で編集された国土地理院の地形図において、イネ、ハスなどを栽培する既耕地は乾田、水田、沼田の3区分で記載されているが、灰色低地土の宮野地区は冬季に水がない乾田、強グライ土の鴨、永田地区は冬季に水がある水田、安曇川町下小川地区の一部は泥が深い沼田に区分されている^[37]。実際、鴨、永田地区の水田では、秋耕や冬起こしを行っても降水や積雪で畝がすぐに崩れ、図9に示すように水田全体が水につかってしまう。第1節で述べたように、大型鰓脚類の卵の孵化には冬の土壤の乾燥が必要であるため、仮に洪水やその復旧工事に伴う土砂の搬入などにより大型鰓脚類の卵が移入したとしても孵化には至らず、生息率に大きな変化が生じなかったと考えられる。

一方、3.2節において述べたように、甲賀市の信楽川、大戸川流域では、2013年9月の台風第18号による洪水後の調査において68.2%もの水田で大型鰓脚類の生息が確認された。2015年と2016年の合同調査では、滋賀県内における調査の空白域を埋める目的で、2012年の山川による個人調査よりも範囲を広げて調査を行った。



図9 全面湛水した高島市鴨川流域の冬の水田 (高島市鴨地区で2017年2月4日撮影)

この節では、洪水による影響を分析するために、洪水前後の調査結果から共通する調査地点のデータのみを抽出して比較検討を行う。

表4と表5から、2012年の調査と2015、2016年の調査で共通する牧、勅旨、長野、西地区の12地点84筆のデータを抽出して集計し直した結果を表7に示す。表7の合計欄からわかるように、同じ調査地点に限ってみても、大型鰓脚類が確認された水田の比率は、2012年の調査では29.8%であったのに対して、2015、2016年の調査では約2.3倍の67.9%に上昇している。表7の結果をもとに甲賀市の信楽川、大戸川流域の全水田における大型鰓脚類の生息率を信頼度95%で区間推定すると、2012年は20.0~39.5%、2015、2016年は57.9~77.8%になるから、洪水の前後で有意な差があると言える。種ごとに見ると、ホウネンエビ、トゲカイエビ、ヒメカイエビ属の1種の増加が著しい。

表7には、灌漑様式別の生息状況も示している。洪水前の2012年の調査では、灌漑用水を介した移出入が起きやすいと考えられる用排水兼用方式の水田の生息率が、用排水分離方式の水田の生息率のちょうど2倍の47.6%になっている。洪水後の2015、2016年の調査においても、用排水兼用方式の水田の生息率の方が高い

表7 甲賀市信楽川、大戸川流域の生息状況 (同一調査地点抽出)

調査年	灌漑方式	種ごとの生息筆数					調査筆数	同時出現種数ごとの筆数					
		Br	Ca	Le	Eu	Ly		0	1	2	3	4	5
2012	分離	6	7	1	1	6	63	48	9	6	0	0	0
		40.0	46.7	6.7	6.7	40.0	比率	60.0	40.0	0.0	0.0	0.0	
	9.5	11.1	1.6	1.6	9.5	(%)	76.2	23.8					
	4	6	0	0	5	21	11	6	3	1	0	0	
	40.0	60.0	0.0	0.0	50.0	比率	60.0	30.0	10.0	0.0	0.0		
	19.0	28.6	0.0	0.0	23.8	(%)	52.4	47.6					
兼用	10	13	1	1	11	84	59	15	9	1	0	0	
	40.0	52.0	4.0	4.0	44.0	比率	60.0	36.0	4.0	0.0	0.0		
11.9	15.5	1.2	1.2	13.1	(%)	70.2	29.8						
合計	29	11	7	4	12	63	22	24	14	2	0	1	
	70.7	26.8	17.1	9.8	29.3	比率	58.5	34.1	4.9	0.0	2.4		
46.0	17.5	11.1	6.3	19.0	(%)	34.9	65.1						
2015	分離	7	12	1	3	7	21	5	4	10	2	0	0
		43.8	75.0	6.3	18.8	43.8	比率	25.0	62.5	12.5	0.0	0.0	
33.3	57.1	4.8	14.3	33.3	(%)	23.8	76.2						
兼用	36	23	8	7	19	84	27	28	24	4	0	1	
	63.2	40.4	14.0	12.3	33.3	比率	49.1	42.1	7.0	0.0	1.8		
42.9	27.4	9.5	8.3	22.6	(%)	32.1	67.9						

ことに変わりはないが、平常時に移出入の発生する可能性が低い用排水分離方式の水田の生息率も洪水前の2.7倍を越える65.1%に達し、用排水兼用方式の水田の生息率との差が大幅に縮まっている。なお、洪水後に2種以上の大型鰓脚類が同時出現する水田の比率は、用排水兼用方式の水田の方が高くなっている。

つぎに、このような生息率の変化が滋賀県他の地域、他の期間では観測されていないことを示す。高島市の鴨川流域や甲賀市の信楽川、大戸川流域で洪水が発生した2013年9月の前と後の双方で大型鰓脚類の分布調査を行った地域として、大津市の大江、月輪地区がある。この地域は琵琶湖岸から1~2 km程度しか離れていないが、鴨川が破堤した高島市宮野地区より高い標高100~125 mの丘陵上にあり、2013年9月の台風第18号に伴う大雨によっても浸水することはなかった。第1節でも述べたように、この地域にはアジアカブトエビとアメリカカブトエビが共存しており、その競合関係を明らかにするために、田んぼの生きもの調査グループが2011年より毎年合同調査を実施している。

この地域の大型鰓脚類の生息状況を、2012年と2013年、2014年と2015年に分けて集計した結果を表8に示す。表8において、記号 Br, Ca, Le, Euの意味は表2, 4, 5, 7と同じであるが、Tg, Tlはそれぞれアジアカブトエビ、アメリカカブトエビを表す。調査は大津市大江一丁目~六丁目、月輪二丁目と三丁目に点々と残るほぼすべての水田を対象に実施しているが、宅地開発が急速に進んでいるため、調査できる水田の数は年々減少している。しかし、表8からわかるように、調査した水田のなかで少なくとも1種の大型鰓脚類が確認された筆の比率は2013年以前、2014年以降ともに60%前後ではほとんど変化していない。ただし、種ごとに見ると、ハウネンエビとカイエビが減少し、アメリ

表8 大津市大江、月輪地区の生息状況

調査年	種ごとの生息筆数						調査筆数	同時出現種数ごとの筆数				
	Br	Tg	Tl	Ca	Le	Eu		0	1	2	3	4
2012	39	31	32	8	20	0	160	65	66	24	4	1
2013	41.1	32.6	33.7	8.4	21.1	0.0	比率	69.5	25.3	4.2	1.1	
	24.4	19.4	20.0	5.0	12.5	0.0	(%)	40.6	59.4			
2014	30	34	40	0	25	1	138	54	46	30	8	0
2015	35.7	40.5	47.6	0.0	29.8	1.2	比率	54.8	35.7	9.5	0.0	
	21.7	24.6	29.0	0.0	18.1	0.7	(%)	39.1	60.9			

表9 長浜市姉川、草野川流域の生息状況

調査年	種ごとの生息筆数						調査筆数	同時出現種数ごとの筆数				
	Br	Tg	Tl	Ca	Le	Eu		0	1	2	3	4
2009	11	0	0	12	0	0	51	31	17	3	0	0
	55.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	比率	85.0	15.0	0.0	0.0	
	21.6	0.0	0.0	23.5	0.0	0.0	(%)	60.8	39.2			
2013	8	0	0	14	0	1	50	32	13	5	0	0
	44.4	0.0	0.0	77.8	0.0	5.6	比率	72.2	27.8	0.0	0.0	
	16.0	0.0	0.0	28.0	0.0	2.0	(%)	64.0	36.0			

カカブトエビとトゲカイエビが増加している。

他の期間に大型鰓脚類の分布を継続的に調査した地域として、長浜市南部地区（合併前の長浜市、虎姫町と、びわ町および湖北町の東部、浅井町の南部）がある。この地域のうち、JR長浜駅より南の長浜市南部と、長浜駅より北、北陸自動車道より西の湖岸沿いの地域には湿田や半湿田が広がっており^[38]、大型鰓脚類はほとんど生息していない。しかし、北東部の姉川、草野川の流域には低地土の乾田が広がっており、冬季には積雪は多いものの、ハウネンエビとカイエビの生息地が点在している。田んぼの生きもの調査グループでは、冬季の土壤水分と大型鰓脚類の生息状況の関係を分析するために、この地域全体に1~2 km間隔で設定した調査地点のそれぞれにおいて、冬季の土壤含水率と大型鰓脚類の種ごとの生息数を2009年から2013年までの5年間にわたって継続的に調査した。この地域のうち、大型鰓脚類の生息地が存在する北緯35度23~27分、東経136度15~20分の範囲における2009年と2013年の調査結果を表9に示す。表9からわかるように、ハウネンエビの生息率がやや減少しカイエビの生息率が少し

増加するなど、種によって増減にばらつきはあるが、大型鰓脚類全体の生息率は40%を少し下回る程度でほとんど変化していない。

このように、滋賀県内の他の地域や他の期間において大型鰓脚類の生息率に大きな変化は観測されていないことから、甲賀市の信楽川、大戸川流域において2013年の台風第18号による洪水の前後に観測された大型鰓脚類の生息率の増加は特異なものであると言える。

田んぼの生きもの調査グループでは、上に述べた大津市の大江、月輪地区や長浜市南部地区以外にも、大型鰓脚類の広域的な分布を明らかにするための合同調査を実施している。これまでに合同調査を実施した地域と調査筆数、大型鰓脚類を確認した水田の数およびその割合を集計した結果を表10に示す。表10より、大型鰓脚類の生息率は地域によって大きな差があることがわかる。また、表8、9、10より、甲賀市の信楽川、大戸川流域において2015年と2016年の調査で記録した67.9%という生息率は、滋賀県内他地域における生息率と比較してもかなり高い値であることがわかる。

甲賀市の信楽川、大戸川流域に広がる低地土の水田は、冬季によく乾燥する乾田であり^[39]、大型鰓脚類の生息には非常に適している。圃場整備により用排水が分離されたため、平時に灌漑用水を介して大型鰓脚類が移出入することはなく、これまで分布はそれほど広がらなかった。しかし、2013年9月の台風第18号に伴う洪水移入した大型鰓脚類の卵が低地土の乾田によく定着し、67.9%という高い生息率の発現につな

表10 合同調査実施地域の生息状況

地域	年	調査	生息	比率(%)
近江八幡市、野洲市、竜王町	2007	680	329	48.4
東近江市(旧八日市市、愛東町、湖東町、蒲生町)	2014	210	81	38.6
彦根市、多賀町、愛荘町	2014	246	52	21.1
甲賀市(水口町、甲南町、甲賀町)	2014	248	42	16.9
湖西北部(高島市の鴨川以北、旧西浅井町)	2015	433	8	1.8

がったものと考えられる。

4.2 複数種の同時出現

3.2節の表4に示すように、甲賀市の信楽川、大戸川流域では、2015年以降に調査した水田の40%以上で1筆に2種以上の大型鰓脚類が確認された。フィールドレポーターおよび田んぼの生きもの調査グループが2000~2014年の合同調査または個人調査において滋賀県内各地で採集したサンプルを、同時出現種数ごとに集計した結果を表11に示す。表11より、滋賀県におけるカブトエビ類を除く大型鰓脚類の同時出現数の平均値は1.4である。一方、表4より、甲賀市の信楽川、大戸川流域における大型鰓脚類の同時出現数の平均値は、2013年以前の調査では滋賀県全域の平均値と同じ1.4であるが、2015年以降の調査では1.6に上昇している。

大型鰓脚類が生息する水田のなかで1種のみが確認された水田の比率、2種同時出現が確認された水田の比率、…、5種同時出現が確認さ

表11 同時出現を確認したサンプル数
(カブトエビ類を除く)

調査年	同時出現種数				計
	1	2	3	4	
2000	159	43	5	0	207
2001	126	58	12	0	196
2002	125	48	10	1	184
2003	34	16	3	0	53
2004	91	52	8	0	151
2005	65	28	7	0	100
2006	19	18	1	1	39
2007	24	12	0	0	36
2008	13	3	3	0	19
2009	59	12	4	0	75
2010	15	5	0	0	20
2011	54	24	2	0	80
2012	94	34	6	0	134
2013	57	15	2	0	74
2014	74	15	4	0	93
合計	1009	383	67	2	1461
比率(%)	69.1	26.2	4.6	0.1	

れた水田の比率の組を、同時出現種数の分布と定義する。甲賀市の信楽川、大戸川流域における2013年以前の同時出現種数の分布と2015年以降の同時出現種数の分布に対して2標本コルモゴルフ・スミルノフ検定を行うと、P値は0.999になった。よって、2013年以前の同時出現種数の分布と2015年以降における同時出現数の分布には差があるとは言えないことがわかる。一方、甲賀市の信楽川、大戸川流域における2015年以降の同時出現数の分布と滋賀県全域における2000～2014年の同時出現数の分布に対して2標本コルモゴルフ・スミルノフ検定を行うと、P値は0.0269になった。これは、甲賀市の信楽川、大戸川流域における2015年以降の同時出現数の分布が、滋賀県全域における2000～2014年の分布とは異なると結論づけても、それが誤りである確率は高々2.69%であることを意味している。したがって、この地域の水田にはもともと滋賀県の平均的な水田よりも複数種の大型鰓脚類が共存しやすい環境的要因が備わっており、2013年9月の台風第18号による洪水で移入した大型鰓脚類の卵が定着して分布が拡大するとともに、複数種が同時出現する水田も多数現れたと考えられる。

種 j が確認された水田の数を n_j 、種 k が確認された水田の数を n_k 、種 j と k の双方が確認された水田の数を m_{jk} とするとき、式

$$I_{jk} = \frac{2m_{jk}}{n_j + n_k} \quad (j \neq k)$$

により定義される値 I_{jk} を Fager's index of affinity という^[40]。Fager 指数 I_{jk} は、種 j (k) が生息する水田のなかで種 k (j) も同時に生息している筆が平均的にどの程度の割合で存在するかを表している。2013年以前と2015年以降のそれぞれについて、2種の組合せごとに同時出現が確認された水田の数と Fager 指数を計算した結果を表12に示す。表12において、行と

表12 同時出現が確認できた筆数（下三角）と Fager 指数（上三角）

(a) 2013年以前						(b) 2015年以降					
	Br	Ca	Le	Eu	Ly		Br	Ca	Le	Eu	Ly
Br	10	0.08	0.18	-	0.27	Br	102	0.32	0.26	0.26	0.22
Ca	1	16	-	-	0.36	Ca	32	101	0.08	0.03	0.31
Le	1	0	1	-	-	Le	17	5	37	0.16	0.09
Eu	0	0	0	1	-	Eu	16	2	4	20	0.11
Ly	3	5	0	0	12	Ly	15	21	3	3	36

列が同じ種の欄は、その種が確認できた水田の総筆数である。表12(b)においてハウネンエビ(Br)が関係する Fager 指数の和が1を越えているのは、ハウネンエビを含む3種以上の大型鰓脚類の同時出現を確認した水田が多数存在するためである。表12より、タマカイエビがハウネンエビやカイエビと同時出現しやすいこと、カイエビがトゲカイエビやヒメカイエビ属の1種と同時出現しにくいことは洪水の前後で変化していないが、ハウネンエビとカイエビが同時出現する割合は大幅に増えていることがわかる。

甲賀市の信楽川、大戸川流域における2015年以降の調査（以下「信楽町の調査」という）において、どの種とどの種の同時出現が何筆の水田で確認されたかを集計した結果を表13に示す。表13において、各行は同時出現が確認された種の組合せパターンの1つひとつに対応し、最も左の列に書かれた数字は同時に出現した種の数、偶数番目の列に書かれた数字はそのパターンが確認された水田の数を、数字が書かれた列の1行目の記号はそのパターンを構成する種を表している。なお、種数欄が1の行は、対応する種が単独で出現したパターンである。それぞれの種の比率欄は、当該種が単独または他の種とともに確認されたすべての筆のなかで、そのパターンの同時出現が確認された筆の割合を表す。ハウネンエビ、カイエビ、トゲカイエビ、ヒメカイエビ属の1種、タマカイエビの5種のうち3種が同時出現するパターンは10通り

表 13 甲賀市信楽町における同時出現の状況
(2015~2016年)

種数	Br		Ca		Le		Eu		Ly	
	筆	比率(%)	筆	比率(%)	筆	比率(%)	筆	比率(%)	筆	比率(%)
5	1	1.0	1	1.0	1	3.2	1	5.0	1	2.8
4	1	1.0	1	1.0			1	5.0	1	2.8
3	3	2.9	3	3.0	3	9.7				
3	5	4.9	5	5.0					5	13.9
3	2	2.0			2	6.5	2	10.0		
3	1	1.0			1	3.2			1	2.8
3	1	1.0					1	5.0	1	2.8
2	22	21.6	22	21.8						
2	10	9.8			10	32.3				
2	11	10.8					11	55.0		
2	6	5.9							6	16.7
2			1	1.0	1	3.2				
2			14	13.9					14	38.9
2					1	3.2	1	5.0		
2					1	3.2			1	2.8
1	39	38.2								
1			54	53.5						
1					11	35.5				
1							3	15.0		
1									6	16.7
計	102		101		31		20		36	

あるが、信楽町の調査では5パターンが確認された。そのうち、最もよく表れたパターンはハウネンエビ、カイエビ、タマカイエビの組合せである。2種が同時出現するパターンも10通りあるが、ハウネンエビとカイエビの組合せが最も多く確認され、カイエビとヒメカイエビ属の1種、ヒメカイエビ属の1種とタマカイエビの組合せは確認されなかった。さらに、カイエビは単独で出現するケースが多かったが、タマカイエビが単独で出現するケースは少なかった。この傾向は、フィールドレポートによる1999~2000年の滋賀県全域における調査（以下「滋賀県全域の調査」という）の結果^[28]と類似している。ただし、滋賀県全域の調査においてカイエビが単独で出現する割合は72.0%に達したが、信楽町の調査では53.5%にとどまっている。また、滋賀県全域の調査では、タマカイエビが単独で出現しない場合はカイエビと同時出現するケースが大半であり、カイエビがない限りハウネンエビと同時出現することはないとされていたが、信楽町の調査では、タマカイエビがカイエビと同時出現する割合が低下し、ハウネンエ

ビとタマカイエビがカイエビなしに同時出現する水田も6筆確認されている。さらに、滋賀県全域の調査では、ヒメカイエビ属の1種が単独で出現しない場合は、少なくともハウネンエビが必ず同時出現し、トゲカイエビやタマカイエビとだけ同時出現することはないとされていたが、信楽町の調査では、ヒメカイエビ属の1種とトゲカイエビのみの2種同時出現を確認した水田が1筆あった。

同時出現を統計的に分析するために、信楽町の調査結果について、任意の2種の組合せに対するファイ係数を計算し、その結果をもとに当該2種の生息状況は独立であるという帰無仮説をカイ2乗検定した結果を表14にまとめる。ファイ係数の値は、正で値が大きければ同時出現する傾向が強く、負で値が小さければ一方だけで出現する傾向が強いことを意味する。一方、ファイ係数の値が0に近ければ、2種の生息状況の間に関連性は弱いことになる。表14より、ハウネンエビはトゲカイエビやヒメカイエビ属の1種と同時出現する傾向があり、カイエビはタマカイエビと同時出現する傾向があることがわかる。一方、カイエビとトゲカイエビ、カイエビとヒメカイエビ属の1種のファイ係数は、いずれも負で有意になっている。これは、カイエビが単独で出現する傾向が強いことによるものと考えられる。滋賀県全域の調査に対する分析結果^[28]でもほぼ同様の傾向が表れているが、表14に示す信楽町の調査結果では、ハウネンエビとヒメカイエビ属の1種のファイ係数が滋賀県全域の調査結果に比べて非常に高くなっている。

表 14 種間のファイ係数と独立性の検定結果
(** : P<0.01, * : P<0.05)

	Ca	Le	Eu	Ly
Br	-0.07	0.14 *	0.25 **	0.04
Ca		-0.14 *	-0.15 *	0.18 **
Le			0.08	-0.03
Bu				0.02

る。実際、滋賀県全域の調査では、調査した722筆の水田のうちでヒメカイエビ属の1種が確認されたのは2.6%の19筆だけであり、その約半数の9筆でハウネンエビと同時出現していた。一方、信楽町の調査では調査した283筆の7.1%にあたる20筆でヒメカイエビ属の1種が確認され、その80%の16筆でハウネンエビと同時出現している。水田においてヒメカイエビ属の1種を観察できるのは水入れから2週間程度しかないため、1999年から2000年のフィールドレポートによる調査では見落とされていた可能性もあると推察されるが、小型で生育期間の短いヒメカイエビ属の1種は洪水攪乱に適応しやすいと考えられるため、水温が上がれば非常に早く成長するハウネンエビとともに、信楽町の水田で分布を広げたものと考えられる。

4.3 ヒメカイエビ属の種の同定

カイエビ類は脱皮を繰り返して成長し、その痕跡が殻の表面に成長線として残る。ミスジヒメカイエビあるいはムスジヒメカイエビという和名は、成体における成長線の本数をイメージさせるものであるが、成長の段階や生育環境によって成長線の本数には個体差がある^[20]。しかし、卵や幼生の形は種によって固有であるため、卵を保持しているヒメカイエビ属の1種を採集した場合には、卵の形状を実体顕微鏡で確認することにより、種の同定を行った。

高島市高島地区で採集したヒメカイエビ属の1種の成長線と卵の画像を図10に示す。この個体は5本の成長線をもつが、卵はカップケーキ型であり、ミスジヒメカイエビと同定できる。また、甲賀市牧地区で採集したヒメカイエビ属の1種の成長線と卵の画像を図11に示す。4本の成長線をもつこの個体も、卵がカップケーキ型であることから、ミスジヒメカイエビと同定できる。2016年の調査において、高島市の鴨川

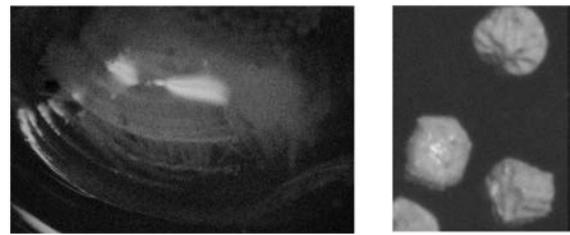


図10 高島市高島地区で採取したヒメカイエビ属の1種の成長線と卵

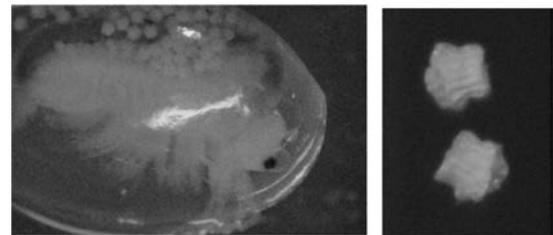


図11 甲賀市牧地区で採取したヒメカイエビ属の1種の成長線と卵

流域と甲賀市の信楽川、大戸川流域で採取したすべてのサンプルについて卵の形状を確認したが、いずれもカップケーキ型であったため、ミスジヒメカイエビと同定した。

5. おわりに

本論文では、2013年9月に襲来した台風第18号に伴う大雨により洪水が発生した滋賀県高島市の鴨川流域と甲賀市の信楽川、大戸川流域において、水田に生息する大型鰓脚類の分布にどのような変化が生じたかを現地調査し、それぞれの地域における灌漑様式や土壌分類、冬季湛水の状況を考慮してその結果を分析した。

高島市の鴨川流域では、破堤地点周辺や洪水の浸水域にある水田において、洪水後にカイエビやヒメカイエビ属の1種がはじめて記録されたものの、洪水の前後で大型鰓脚類の生息率に有意な差は認められなかった。管水路灌漑が行われる細粒強グライ土の水田でカイエビが初めて記録されたことから洪水などによる大規模な土砂移動による移入があったと想像するに難く

はないが、冬季にも水があるこの地域の水田では、一時的水域を本来の生息地とする大型鰓脚類は分布を拡大できなかつたと考えられる。

一方、甲賀市の信楽川、大戸川流域の水田では、2013年の洪水を境に、小型で生息期間が非常に短いヒメカイエビ属の1種や、水温が高ければ急速に成長するホウネンエビなどが分布を広げ、滋賀県の他地域や他の期間には例を見ないほど大型鰓脚類の生息率が上昇していることが確認された。この地域の水田も、用排水が分離されて平常時には移出入が起きにくいいため、これまで大型鰓脚類の生息率はあまり高くなかった。しかし、大型鰓脚類の卵の孵化に適した冬季によく乾燥する低地土の水田が広がっているため、洪水による土砂移動で移入した大型鰓脚類が定着し、分布の拡大や同時出現種数の増加として発現したものと考えられる。

第1節でも述べたように、大型鰓脚類の休眠卵が孵化するには、水、温度、光の3つが同時に一定の条件を満たすことが必要である。灌漑用水の豊かな高島市の鴨川流域では、4月上旬に水入れを始めるが、田植は5月中旬以降に行われることが多い。この農法は、水田に生息する魚や多くの水生昆虫にとっては好適であるが、水入れ時に十分な温度がなく、温度が上昇した頃には捕食者となる生物が成長しているため、大型鰓脚類の生息には不利である。一方、甲賀市の信楽川、大戸川流域では、日差しが高くなり、気温も十分に上昇した5月上旬から順次水入れが始まり、水入れ完了後すぐに田植が行われる。そのため、代掻きで浮き上がった休眠卵は、捕食者の心配もなく順調に孵化成長できる。近年では、水資源の有効利用や濁水が琵琶湖に流出するのを防ぐため、農業排水をため池に汲み上げて再利用する試みも行われている。大型鰓脚類は、稲作に伴う農作業の過程に適応して水田に生息しているため、農法の違いが生

息率に影響を及ぼすことも少なくない。大型鰓脚類の分布が今後どのように変化していくか、注意深く見守っていく必要があると考えられる。

謝辞

大型鰓脚類の種の同定について丁寧にご指導いただいた琵琶湖博物館上席総括学芸員の Mark J. Grygier 博士と同特別研究員の楠岡泰博士に感謝の意を表す。また、有益なコメントをいただいた2名の査読者にも感謝申し上げる。

参考文献

- [1] 津田松苗, 小松典 (1964). 伊勢湾台風4年後の吉野川の水生昆虫群集 日本生態学会誌 14 pp. 43-49.
- [2] 横内洋文 (1982). 洪水後における河川生物の回復状況の調査結果について 四国総合研究所研究期報 40 pp. 119-129.
- [3] 三崎貴弘, 土屋十園 (2010). 利根川上流域の流況変動が底生動物群集に及ぼす影響 水文・水資源学会誌 23 pp. 323-338.
- [4] 平林公男 (2002). 千曲川中流域におけるユスリカ科成虫の出現パターンと洪水の及ぼす影響 日本生態学会誌 52 pp. 281-285.
- [5] Townsend, C.R. and Scarsbrook, M.R. (1997). *The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams.* Limnology and Oceanography 42, pp. 938-949.
- [6] 気象庁 (2014). 災害時気象速報;平成25年台風第18号による9月15日から17日にかけての大雨, 暴風及び突風 災害時自然現象報告書 2014年第1号.
- [7] 高島市 (2014). 高島市豪雨災害の記録: 台風18号襲来(平成25年9月15日16日) 高島市政策部総合防災局.
- [8] 今井恵之助 (2013). 台風18号による被害について(甲賀市信楽町長野地区) 滋賀県第7回流域治水シンポジウム.
- [9] 桐谷圭治 (2010). 田んぼの生きもの全種リスト, 改訂版 農と自然の研究所, 生物多様性農業支援センター.
- [10] Ishikawa, C. (1895). *Phyllopod Crustacea of Japan*, Zoological Magazine 7, pp. 7-12, 13-21 and 98-102.

- [11] Ueno, M. (1926). *The freshwater Branchiopoda of Japan I*. Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, series B vol. II, pp. 259-311. with plates XXI-XXXI.
- [12] Kikuchi, H. (1957). *Occurrence of new fairy shrimp, Chirocephalopsis uchidai sp. nov., from Hokkaido, Japan (Chirocephalidae, Anostraca)*, Journal of the faculty of science, Hokkaido university series V I. Zoology 13, pp. 59-62.
- [13] 谷津直秀 (1916). 日本の「エーパス」 動物学雑誌 28 p. 152.
- [14] 阿部囊 (1951). 水田生物の生態學的研究 I. 庄内地方に於けるカブトエビ *Apus aequalis* PACKARD の生態について 山形大學紀要 (自然科学) 3 pp. 311-318.
- [15] 秋田正人 (1966). 本邦産カブトエビ *Triops longicaudatus* (LeConte) の生活史 I. 分布と性徴ならびに生殖 動物学雑誌 75 pp. 178-182.
- [16] Akita, M. (1976). *Classification of Japanese tadpole shrimps*, Zoological Magazine 85, pp. 237-247.
- [17] 片山寛之, 植木邦和, 曾我実, 松本啓志 (1974). 水田雑草の生物学的制御におけるカブトエビの除草効果に関する研究 第1報 アジアカブトエビの除草効果についての野外実験 雑草研究 17 pp. 55-59.
- [18] 秋田正人 (2000). カブトエビのすべて: 生きている化石「トリオプス」 八坂書房.
- [19] 蓮池宏一 (1993). ホウネンエビの生理生態学的研究—孵化条件を中心にして— 兵庫教育大学大学院修士論文.
- [20] 楠見久 (1961). 化石カイエビ類の研究—特に現生カイエビ類を考慮して— 広島大学地学研究報告 7 pp. 1-88, with plates I-IX.
- [21] Olesen, J. and Grygier, M.J. (2003). *Larval development of Japanese 'conchostracans': part 1, larval development of Eulimnadia braueriana (Crustacea, Branchiopoda, Spinicaudata, Limnadiidae) compared to that of other limnadiids*, Acta Zoologica 84, pp. 41-61.
- [22] Olesen, J. and Grygier, M.J. (2004). *Larval development of Japanese 'conchostracans': part 2, larval development of Caenestheriella gifuensis (Crustacea, Branchiopoda, Spinicaudata, Cyzicidae), with notes on homologies and evolution of certain naupliar appendages within the Branchiopoda*, Arthropod Structure and Development 33, pp. 453-469.
- [23] Olesen, J., Fritsch, M. and Grygier, M.J. (2013). *Larval development of Japanese "conchostracans": part 3, larval development of Lynceus biformis (Crustacea, Branchiopoda, Laevicaudata) based on scanning electron microscopy and fluorescence microscopy*, Journal of Morphology 274, pp. 229-242.
- [24] 上野益三 (1937). 鰓脚目, 岡田彌一郎, 内田亨, 江崎悌三編 日本動物分類 第九卷: 節足動物門, 第一編: 甲殻綱, 第一號 三省堂.
- [25] 長縄秀俊 (2001). 現世の「大型鰓脚類」の分類 陸水学雑誌 62 pp. 75-86.
- [26] 井田宏一 (1985). 群馬県のホウネンエビ・カブトエビ・カイエビ類 群馬県動物誌 pp. 457-460.
- [27] グライガー, マーク J (2011). カイエビ類と水田の関係. 滋賀県立琵琶湖博物館編, 生命の湖 琵琶湖をさぐる 文一総合出版 pp. 88-89.
- [28] Grygier, M. J., Kusuoka, Y., Ida, M. and Lake Biwa Museum Field Reporters (2002). *Distributional survey of large branchiopods of rice paddies in Shiga Prefecture, Japan: a Lake Biwa Museum project based on lay amateur participation*. Hydrobiologia 486, pp. 133-146.
- [29] Grygier, M.J., 西野麻知子 (2016). ヒメカイエビ属の一種. 滋賀県生きもの総合調査委員会編, 滋賀県で大切にすべき野生生物 滋賀県レッドデータブック2015年版 サンライズ出版 p. 628.
- [30] 田んぼの生きもの調査グループ (2016). 2種類のカブトエビいる滋賀の田に 柁永一宏編集 滋賀県立琵琶湖博物館第24回企画展示「開館20周年記念 びわ博カルタ 見る知る楽しむ新発見」展示図録 pp. 8-9.
- [31] Grygier, M.J., 前田雅子, 楠岡泰, 田んぼの生きもの調査グループ (2012). 滋賀県のアジアカブトエビの現状について 日本甲殻類学会大会講演要旨集 p. 56.

- [32] Maeda, M., Kusuoka, Y., Grygier, M. J., Ohtsuka, T. and the Lake Biwa Museum Hashikake Rice Field Organisms Research Group (2012). *An important factor limiting the distribution of large branchiopods in Shiga Prefecture, Japan: moisture content of rice paddy soil in winter*. In: Rice Paddy Working Group, Ramsar Network Japan ed., Report for Ramsar COP11 on Good Practices for Enhancing Biodiversity in Rice Paddy Ecosystem in Japan Korea and Other Asian Countries. Ministry of the Environment of Japan, 20 b-3-6.
- [33] 環境庁 (1997). 都道府県別メッシュマップ 25: 滋賀県 環境庁自然保護局計画課自然環境調査室.
- [34] 農耕地土壌分類委員会 (1995). 農耕地土壌分類 第3次改訂版 農林水産省農業技術研究所.
- [35] 吉岡翼 (2016). 新潟県の水田における大型鰓脚類の分布 富山市科学博物館研究報告 40 pp. 37-44.
- [36] 伏見硯二 (1983). 琵琶湖の雪; 暖地積雪の構造 滋賀県琵琶湖研究所所報 2 pp. 79-117.
- [37] 国土地理院 (1958). 大溝; 二万五千分之一尺 国土地理院 2.5 万地形図 96-13-3-4.
- [38] 湖北農業管理センター (2002). 湖北の水田土壌マップ 滋賀県湖北地域農業改良普及センター.
- [39] 滋賀県甲賀農業農村振興事務所 (2014). 甲賀地域の土壌マップ 滋賀県甲賀農業農村振興事務所農産普及課.
- [40] Gottwald, R. and Eder, E. (1999). "Co-occurrence"- ein Beitrag zur Synökologie der Groß-Branchiopoden. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 101B, pp. 465-473.

(原稿受付日: 2016年11月15日)

(掲載決定日: 2017年2月24日)