



北海道渡島大沼集水域内にある農業用水路における アメリカザリガニ個体群の拡散と繁殖

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2018-02-19 キーワード: 作成者: 田中, 邦明, 上條, 貴史, 亀井, 雅代 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00006666

北海道渡島大沼集水域内にある農業用水路における アメリカザリガニ個体群の拡散と繁殖

田中 邦明・上條 貴史・亀井 雅代

北海道教育大学函館校地域教育専攻

The Distribution and Reproduction of American Crayfish Colony in an Irrigation Canal in the Watershed of Oshima Ohnuma in Hokkaido

TANAKA Kuniaki, KAMIJO Takafumi, KAMEI Masayo

Department of Science Education, Hakodate Campus, Hokkaido University of Education

ABSTRACT

This study was carried out to obtain the basic ecological information to control a colony of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in an irrigation canal in the watershed of Oshima Ohnuma, preserved wetland under the Ramsar Convention. If the crayfish will enter into Ohnuma ecosystem, an ecological competition would happen between the original shrimp species that are important for the fishery business. Not only fishery resources but also the recovering colonies of aquatic plants from the eutrophication problem may be destroyed in Ohnuma.

In this habitat, the crayfish were distributed from the welling point of the hot spring to the inflow point to a natural river even in the winter season. The major limiting factor of this colony was estimated to be the water temperature of less than 10°C. The colony has two spawning and nursery seasons in a year. The major breeding season was from August to November, and the minor season was from March to April in 2016. The crayfish population was composed of two cohort groups of body length frequency from June to October. The new younger cohort group added into the colony in November in 2016. Three different capture methods were compared in the total numbers of the captured individuals and body length. A handy net method recorded the biggest number of captured individuals with the widest range of body length. A shrimp basket trap method and crab basket trap method recorded nearly the same number of captured individuals, but the shrimp basket could trap the individuals of wider body length than the crab basket.

As the most effective control method of the crayfish colony in this habitat, simultaneous capture action using a handy net by a number of people is recommended in the shallow

water area in the breeding seasons. Continuous use of the shrimp basket trap seems to be effective in the canal areas, and the crab basket trap is appropriate to use in the pond area and culvert pits.

Moreover, there were some testimonies that an unspecified number of people have carried the crayfish out of this habitat. Continuous implementation of an environmental education program is necessary to introduce the ecological risks and impacts by alien species for the local community and students around this habitat.

1. 問題の所在

アメリカザリガニ *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (以下、本種と称する) は、日本生態学会によって侵略的外来種ワースト100にリストアップされており、環境省も「我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種リスト」¹⁾に掲載し、「逸出に十分注意を払い、放逐を厳に慎むべき」とその分布域拡大に注意を喚起している。

本種は、雑食性で汚濁水域にも生育し、幅広い水温に耐えることから、我が国では北海道から沖縄まで、全国の淡水域に広く分布し、水田の畦にトンネルを掘削して水位を調整させたり、稲の根を食い荒らしたりするなどの農業被害が報告されている。その他に、植物生態系では水草を摂食して景観や水質の悪化をもたらす可能性、動物生態系では在来種との餌や生息場所をめぐる競合、稚子捕食による圧迫、ザリガニカビ病を媒介して在来ザリガニ個体群を壊滅させる可能性があることなど、地域固有の生態系の攪乱の問題が危惧されている²⁾。

本種は昭和初期に我が国の鎌倉にウシガエルの餌として最初に移入されたと言われるが、学校教材としても取り扱われてきたことから、その分布域は日本全国に拡大しつつあり、寒冷地である北海道でも温泉施設や下水処理場などの温水供給源のある水系において分布が報告されている³⁾⁴⁾。

本研究の調査地である農業用水路は北海道渡島大沼の流域内にあり、渡島大沼は国定公園および国際ラムサール条約に登録された保護湿地である。大沼流域内には活火山、駒ヶ岳があり、その

山麓には多くの温泉が存在している。これらの温泉群のうち、大沼への最大の流入河川である宿野部川の支流、赤井川流域内には、本種の生息情報が入手された地点が2カ所存在する。一カ所はJR赤井川駅の北1.2kmにある森町営温泉「ちゃぶ林館」の温泉水排水路であり、もう一カ所はJR駒ヶ岳駅の東北東1kmに湧出し、婆々沼川に流入する「駒の湯温泉跡」下流の農業用水路である。前者については、2011年に実施した一次調査で在来種のニホンザリガニの生息は確認できたが、本種は確認できなかった。一方、後者の「駒の湯温泉跡」下流の農業用水路には成熟および未成熟の本種個体が多数生息していた。一次調査では農業用排水路と自然河川との合流地点でも本種の生息が確認された。

気候が温暖化傾向にある現在、寒冷地域における温暖性の外来種の分布域拡大が危惧されるころであるが、「駒の湯温泉跡」の本種生息地(以下、本生息地と称する)は、北海道のなかでも気候が温暖な渡島半島にあることから、水温が上昇する夏季に本種が自然河川を經由して下流にある渡島大沼に到達した場合、湖内には越冬に適した湧水地帯や食物となる水草類が豊富なため、将来において本種の一大繁殖地が形成される危険性をもつ。

現在、渡島大沼では湖水の富栄養化が改善途上にあり、内湾の水生植物群落も徐々に回復しつつある。このような中で、水草類を活発に摂食するアメリカザリガニが侵入した場合、回復途上にある水生植物生態系に悪影響を与える可能性が極めて大きい⁵⁾。さらに、渡島大沼ではヤマトヌマエビ、スジエビなどの小型甲殻類が貴重な水産資源

St.G) を経て、自然河川である婆々沼川 (St.H)、赤井川 (St.I) までの水系全体において、本種の分布の有無と生息密度、本種の生息制限要因になりそうな水温や植生などの環境条件を検討した。

2016年7月から2017年5月に二次調査を実施した。二次調査の目的は、最も効率的な本種の捕獲方法の検討と、本生息地における本種の繁殖時期と個体群サイズを推定することであった。そのため、とりわけ本種が高密度で生息し、越冬していると思われる温水源 (St.A) と下流の池、取水堰上流の小ダム池 (St.B) および暗渠マンホール (St.C) において、本種個体群の捕獲を試みた。

(4) 生息環境と生息密度の調査方法

①環境測定項目と測定方法

一次調査では、各定点観測地点の底質、植生を写真撮影で記録するとともに、水温、電気伝導度、pHをHORIBA社製のpH/COND METER D-54型で、溶存酸素濃度をYSI社製ProODO蛍光式DOメーターで現場測定した。

②本種の捕獲方法

一次調査では、温水源 (St.A) と水田脇の農業用排水路の上流 (St.D)、中流 (St.E)、下流 (St.F)、婆々沼川との合流地点 (St.G)、さらに自然河川の婆々沼川 (St.H) とその1 km下流の赤井川 (St.I) に至るまでの7地点で、2011年10月から12月までの水温が低下しつつある時期に、ほぼ2週間隔で4回捕獲調査を実施した。生息密度は1 m²方形区画内の坪狩法で測定し、水路に繁茂するオランダガラシ群落、石や流木の下、側壁の巣穴を中心に、手網 (Fig. 2-1) とタモ網 (Fig. 2-2) を使用して本種を捕獲した。

二次調査では、温水源 (St.A) とその下流の池および取水堰上流の面積40m²の小ダム池 (St.B) を中心に、2016年6月から2017年5月までの1年間にわたり、2週間から1ヶ月の間隔で14回、籠トラップと手網を併用して本種を捕獲した。籠トラップは2種類使用し、一方はメッシュサイズ5 mmの硬質ナイロン網製で口径20cmの円筒形のエビ籠 (Fig. 2-3) を2個、他方はメッシュサイズ12mmのナイロン網製のカニ籠 (Fig. 2-4)

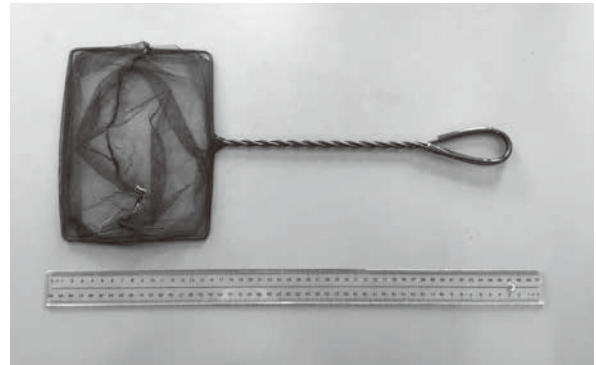


Fig. 2-1 Handy net



Fig. 2-2 Handle bar net

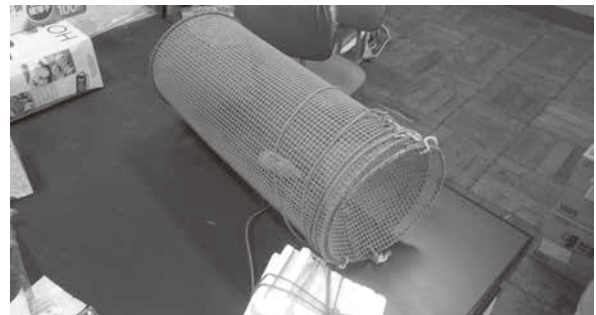


Fig. 2-3 Shrimp basket trap



Fig. 2-4 Crab basket trap

2個の合計4個であった。籠トラップには誘引餌料として市販の魚肉ソーセージを内部に仕掛け、トラップ全体が水中に没するよう設置し、流速の大きな場所では流されないよう、トラップの上に石を載せるなどして川底に固定した。

また、目視による手網、タモ網を用いた捕獲では、一定の面積の小ダム池（St.B）の全体において、上流側から下流側に向かって水底の石や流木、落ち葉や枯枝などの障害物を素手で取り除きながら、巣穴に潜伏している本種個体を探索して捕獲につとめた。また、1名の採集者の場合は連続して1時間、あるいは2名の採集者の場合は0.5時間の捕獲作業を実施することで、各調査回における手網による捕獲努力量を一定に保った。

③標本の保存法と個体の計測項目

捕獲した本種個体は、抱卵個体の一部を70%エタノール液浸標本として保存したほか、ほとんど全ての個体は計測作業を行なう直前まで-20℃で冷凍標本として保存した。計測は標本の解凍後直ちに行ない、捕獲日、性別、殻長、頭胸甲長、体重およびハサミの有無、脱皮の状態などの特徴を個体ごとに記録した。

(5) 本種の繁殖期の推定方法

①抱卵・稚仔個体による繁殖期の推定

本生息地における本種の繁殖期は、捕獲調査で繁殖活動中のメス個体が出現した時期から判定することができる。そのため、抱卵および抱稚仔メス個体が出現した場合は、通常の計測項目に加えて、保育卵数または稚仔数、卵や稚仔の発生状態も記録した。

②生殖腺指数による産卵期の推定方法

本種の本生息地における産卵期は、捕獲したメス個体の卵巣の大きさや成熟状態から推定することができる。そのため、捕獲したメス個体の冷凍標本を、解凍直後に熱湯中で約5分間煮沸して卵巣を十分に硬化させてから頭胸甲の解剖を行い、卵巣のみをピンセットで摘出して卵巣重量を計測し、体重に占める卵巣の重量百分率を計算した。この数値を卵巣の成熟度の指標として生殖腺指数（GSI）とし、この値の平均値が上昇して再び降下

に転じた時期から本種個体群の産卵期を推定した。

(6) 標識再放流捕獲法による個体群サイズと成長速度の推定方法

①個体識別マーキングと再放流による推定方法

取水堰上流の小ダム池（St.B）に生息する本種の個体群サイズ推定のため、2016年11月から12月にはほぼ2週間間隔で、捕獲した殻長30mm以上のすべての個体の頭胸甲部の背面に油性ペイントマーカー（三菱ペイントマーカーPX-20）で、色によって捕獲日を識別できるようにマーキングを施し、捕獲されたと同じ場所に放流した。マーキングと放流は3回、捕獲は4回実施し、再捕獲されたマーキング個体数とマーキング個体総数から再捕獲率を求め、ペーターセン法（Petersen 1896）によって小ダム池内の本種個体群サイズの推計を試みた。

②殻長組成による級群と成長速度の推定方法

2016年6月から12月までの8回の調査で捕獲した全個体の殻長と体重を雌雄別に測定し、殻長頻度分布をFAOが開発した資源解析ソフトFiSAT II⁶⁾のBhattacharya機能を用いてコホート解析することで、本生息地における本種の級群組成を求め、各コホートの平均値の月別変化から成長を読み取った。

4. 結果および考察

(1) 本種の本生息地への移入経緯

本生息地における本種の移入について、温泉湧出地点の地権者⁷⁾からその経緯を聞き取ったところによれば、周辺には元々、マンガンを産する温泉の自然湧出地があり、当地では1970年代にボーリング掘削した温泉源から28℃程度の温泉水を得て、「駒の湯温泉」の名称で旅館業を営み、敷地内に造成したコイ養殖池内に温泉排水を引き入れて、本種の養殖を試みていた。しかし、その後に泉源温度が低下して燃料代がかさむようになったため廃業し、本種個体群は現在まで駆除されることなく、半ば放置されたまま自然繁殖していたものであるとみなされる。

さらに、同地権者の証言では、地元の小学校教員と児童が許可を得て本種の採取に訪れた経緯があったと言う。また、本生息地に隣接する住民の証言によれば、かつては生物販売業者と思われる人物が、現在でも家族連れなどが、無許可で本生息地から本種を採取して持ち去る現場がしばしば目撃され、本種の流域外への持ち出しが頻繁に起こっている事実も確認された。

(2) 各調地点の底質や植生と本種の生息状況

本種は水生動物などによる捕食や天敵から逃れるために巣穴を用いるので、各定点調査地点の底質や植生を調査した。その結果 (Fig. 3)、本生息地の温泉源 (St.A) のすぐ下流には水深50cm程度の泥底の浅い池があり、アオミドロやスイレンなどの水生植物が繁茂し、水底には巣穴を縄張りとする成熟個体が多数観察された。取水堰上流の小ダム池 (St.B) では満水時には水深約50cmであったが、減水時には水深約15cmに浅くなり、砂礫質の水底に散在する石や流木の下に巣穴を形成して本種が多数生息していた。暗渠 (St.C) では流量調節弁のある2箇所のコンクリート製マンホールの1m方形開口部があり、水深70cm程度に掘り込んだピットが本種の溜まり場となっていた。農業用排水路は幅1.5m程度の明渠で、水路上流 (St.D) では流速が大きく、砂礫底で水路側壁に本種の巣穴がみられた。水路中流 (St.E) および水路下流 (St.F) では流速が遅く、砂質底にオランダガラシ群落が繁茂し、本種の小型個体が多数生息していた。合流地点 (St.G) は水深約30cmで、オランダガラシの大群落が繁茂している砂州が形成され、農業用排水路からの温泉水が婆々沼川に流れ込んでいた。婆々沼川 (St.H) は両岸がコンクリートブロックで護岸されているが、上流部は湿原の自然河川であり、流れは穏やかで水深約1mの砂泥底にヨシやスゲなどの水生植物が繁茂していた。赤井川橋下 (St.I) では直線化されたコンクリート護岸の河川となっており、河川内植生は岸辺の砂州上にわずかに見られるのみであった。

(3) 本生息地の物理化学的環境

①水温環境

2011年10月～12月の一次調査では調査地の最上流である温泉源から下流の合流地点まで (St.A～G)、さらに下流の婆々沼川 (St.H) と赤井川 (St.I) における水温を比較したところ (Fig. 4)、秋期の10月、11月では温泉源 (St.A) から合流地点 (St.G) までの全地点で水温は20℃程度に保たれており、気温が0℃近くまで低下した12月10日では下流の自然河川、婆々沼川 (St.H) では5℃まで水温が低下しているのに対して、温泉水が供給されている農業用排水路では上流 (St.D) から下流 (St.F) までどの地点においても水温17℃に保たれており、本種の生育と越冬に支障のない温度となっていた。

2016年7月から12月における二次調査では、取水堰上流 (St.B) の水温は8月12日に最高23.4℃、暗渠 (St.C) では11月22日に最低水温16.0℃を記し、全調査期間において本種の成長と繁殖が可能な16℃以上の範囲にあった (Fig. 5)。さらに上流の取水堰上流 (St.B) では調査期間中で最も気温が低かった11月22日でも水温が17.8℃あったことから、温泉源からの温水の供給量が多いため、温泉源から取水堰、暗渠とその下流の農業用排水路にいたるまで、本種の越冬場所としては好適な水温環境にあった。

②水質環境

2011年10月～12月の一次調査において、温泉源の水素イオン濃度 (pH) は6.84～6.97の中性で安定していた (Fig. 6)。2016年7月～12月の二次調査でも、農業用水路 (St.D～F) のpHは7.0～7.5の中性で、季節と場所による変化が少なく、むしろ自然河川の婆々沼川 (St.H) の方が大きく変化していた。

電気伝導度 (EC) では、2011年の一次調査において、温泉源では220 μ S/cmの最高値を記録したが、下流の用水路ではEC 200 μ S/cmと若干低下し、さらに下流の婆々沼川 (St.H) との合流地点 (St.G) では50 μ S/cmにまで低下し、ほぼ自然河川の水準となっていた (Fig. 7)。このように、



St.A: Hot spring point



St.B: Irrigation dam pond



St.C: Culvert pit



St.D: Upper drain canal



St.F: Lower drain canal



St.G: Inflow point



St.H: Babanumagawa



St.I: Akaigawa

Fig. 3 Landscape of the stations for this survey

駒の湯温泉の泉質はpHが中性で、イオン強度も高すぎず、本種の生息を制限するような水質環境要因は認められなかった。

一方、溶存酸素濃度（DO）では、2011年の一次調査において、10月23日の温泉源では0.6mg/ℓと、本種の生育に不向きな条件にあるが、農業用排水路上流（St.D）では6.8mg/ℓ、同下流（St.F）では7.8mg/ℓにまで上昇していた（Fig. 8）。なお、

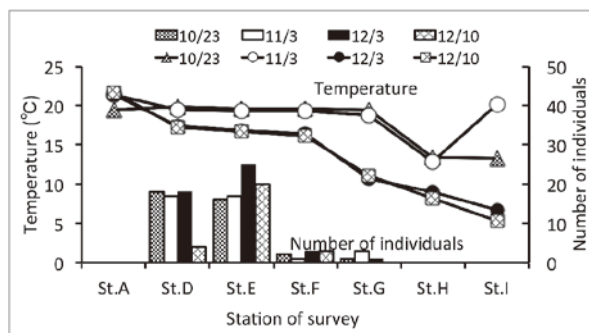


Fig. 4 Water temperature and the captured number of individuals of crayfish from autumn to winter in 2011

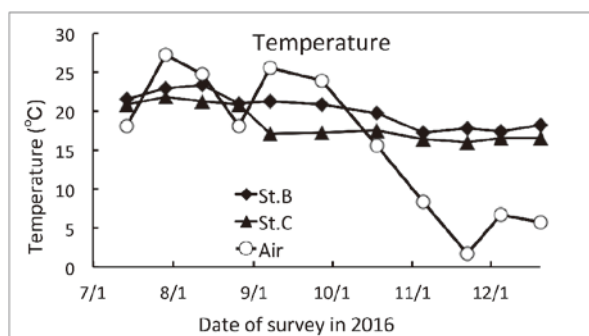


Fig. 5 Seasonal change of water temperature and air temperature from summer to winter in 2016

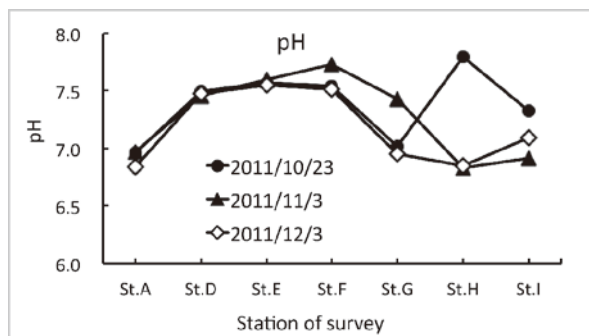


Fig. 6 pH of water at the stations in autumn in 2011

11月3日ではDOがHおよびI地点で低くなっており、婆沼川上流にある湿原からの流出水の影響によるものと思われるが、本種が生息不可能なほど低い濃度ではなかった。

(4) 駒の湯温泉における本種の成長と成熟

本生息地における本種個体群の成長と加入を把握するため、2016年6月～12月の二次調査で8回の捕獲調査において取水堰上流の小ダム池内で手網とエビ籠によってのみ捕獲された個体の殻長頻度分布とそのコホート解析の結果を比較した（Fig. 9）。

その結果、6～10月では平均殻長の異なる2つのコホートが見られたが、11月～12月では1つのコホートしか見られなかった。また、6月～8月までの温暖期には各コホートの平均殻長が増加していた。9月では大小二群のコホートともに平均殻長が減少したが、10月には再び上昇が見られた。寒冷期の11月、12月には平均殻長の大型コホートが消滅し、平均殻長40mm程度の小型コ

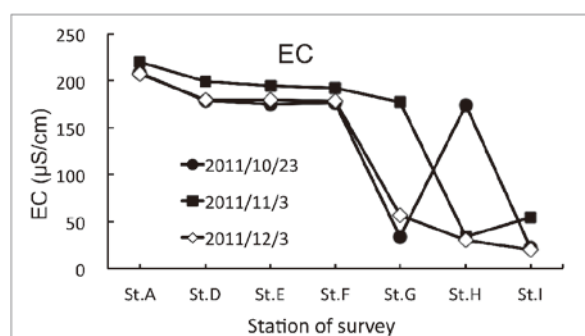


Fig. 7 Electro-conductivity of water at the stations in autumn in 2011

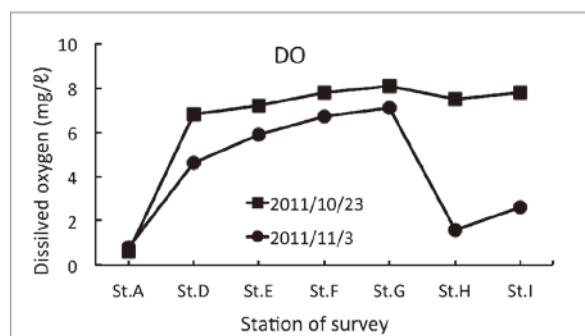


Fig. 8 Dissolved oxygen of water at the stations in autumn in 2011

ホートのみとなっていた (Table 1)。このような殻長のコホート組成の変化から、高水温期の6月～8月には未成熟個体が脱皮成長して60mm以上の成熟個体群に順次加入し、9月の繁殖期には成長が停滞し、10月～12月の低水温期には繁殖を終えた老齢個体が斃死する一方、11月からは若齢のコホートが新たに加入していったものと思われる。

また、捕獲個体の性比については、9月に殻長70～79mmの成熟♀個体のみが急減していた (Fig. 9)。本種は繁殖期に抱卵した♀個体が巣穴に潜伏する生態が知られているので、9月には抱卵♀が巣穴に入って活動が不活発化し、手網による捕獲を逃れたためと思われる。10月には♀個体の捕獲数が♂個体を上回るレベルにまで増加し、殻長モードは雌雄ともに70～79mmに現れていた。これは、成熟♀の多くが産卵と抱卵保育を終了して巣穴から出てきたためと思われる。11月には雌雄ともに大型の成熟個体が減少し、殻長30～59mmの小型の未成熟個体が出現していた。これは、繁殖を終えた大型個体が自然死亡する一方で、10月までは発見と捕獲を逃れていた幼若な個体が殻長30～59mmにまで成長し、捕獲可能な新たな級群を形成していたためと思われる。12月の殻長組成では60mm以上の成熟個体が春よりも少なく、多くは未成熟のまま越冬し、越冬中に成長して成熟する個体は個体群の一部と思われた。

(5) 本生息地における本種の繁殖期

本種の本生息地における繁殖期を推定するため、籠トラップおよび手網で捕獲されたすべての♀個体のうち、抱卵または抱稚♀個体のサイズと擁卵数を記録した (Table 2)。その結果、5月～7月までは抱卵♀個体はまったく出現しなかったが、8月～10月には抱卵♀が3個体出現し、最大で331個、最小でも107個の受精卵を保育していた。10月～11月にはすでに孵化した稚仔を保育している抱稚♀が3個体みられた。また、越冬末期の3月にも抱卵♀が1個体出現した。したがって、本生息地の本種の繁殖期は8月～11月までの秋期と越冬直後の3月の春期の二つの産卵期があるものと推定された。

また、月別に計測したメス個体の生殖腺指数のヒストグラム (Fig. 10) から、生殖腺指数が3%以上となる産卵直前の大卵径および中卵径の卵巣をもつ♀個体は7月、8月の夏期と、3月、4月の春期に出現していたことから、本生息地における本種の繁殖期は秋と春に年2回あると考えられる。

(6) 本種の推定個体群サイズ

2016年6月～12月の二次調査では、取水堰上流にある面積約40m²の小ダム池 (St.B) で4回の標識再捕獲法による調査の結果 (Table 3)、1回目捕獲では13個体すべてにマーキングして放流した。2回目では捕獲した22個体中に1回目マーキング個体を発見できなかったが、捕獲した22個体すべてにマーキングして再放流した。3回目では捕獲した35個体中に2回目マーキング個体が1個体含まれ、全個体に3回目マーキング処理をして再放流した。また、4回目では捕獲された53個体のうち3回目マーク個体が3個体含まれていた。

以上4回の標識再捕獲調査での再採捕率にもとづき、取水堰上流の小ダム池 (St.B) に生息する本種個体群サイズをPetersen法によって推定した結果、3回目の調査では1,225個体 (95%信頼区間: ±2,332)、4回目の調査では1,237個体 (95%信頼区間: ±1,330) となった。なお、5月から標識再捕獲調査の開始前までの期間に小ダム池内で駆除された450個体の捕獲数をこの推定値に加算すると、最大4,007～3,016個体と推定された。なお、この推計最大個体数は調査期間内における自然死亡や脱皮による標識の脱落、上流および下流からの個体の加入や移出がないと仮定した場合の推計であり、手網や籠トラップで捕獲されにくい殻長30mm未満の幼若個体は捕獲を逃れた可能性が高いため、小ダム池内には4,000以上の個体が生息していたものと推定された。また、推定個体数を4,000と仮定して面積40m²の小ダム池内での本種の生息密度を計算すると、約100個体/m²もの高密度となることから、この小ダム池は本種の生育、繁殖、越冬にとって極めて好適な環境にあるものと考えられる。さらに、2016年6月～12月

に小ダム池 (St.B) で捕獲除去できた個体数は合計519であったことから、人為的駆除の効果は全個体群の約13%程度にすぎないものと考えられる。したがって、本生息地における本種の制圧と駆除には、さらに効率的な捕獲方法の検討が必要と考えられる。

(7) 捕獲方法による捕獲効率の比較

本研究において採用した3種類の捕獲方法の有効性を比較するため、2016年6月から12月までの二次調査における11回の捕獲調査において取水堰上流の小ダム池内で、それぞれ3種の方法で捕獲された本種の個体数を比較した (Fig. 11)。

合計捕獲個体数では、手網法では1人で1個の手網を1時間使用する作業を11回実施することによって合計408個体が捕獲された。トラップ法では1人で1個あたり15分程度のトラップ回収、セット作業を11回実施することによって、誘引餌料入りのエビ籠1個では合計88個体、カニ籠トラップ法では誘引餌料入りのカニ籠1個で合計92個体が捕獲された。

各回の平均捕獲個体数の比較では、11回のいずれの調査でもトラップ法よりも手網法での個体数が有意に ($p < 0.01$) 多かった。また、トラップ法ではエビ籠とカニ籠の間に平均捕獲個体数の有意

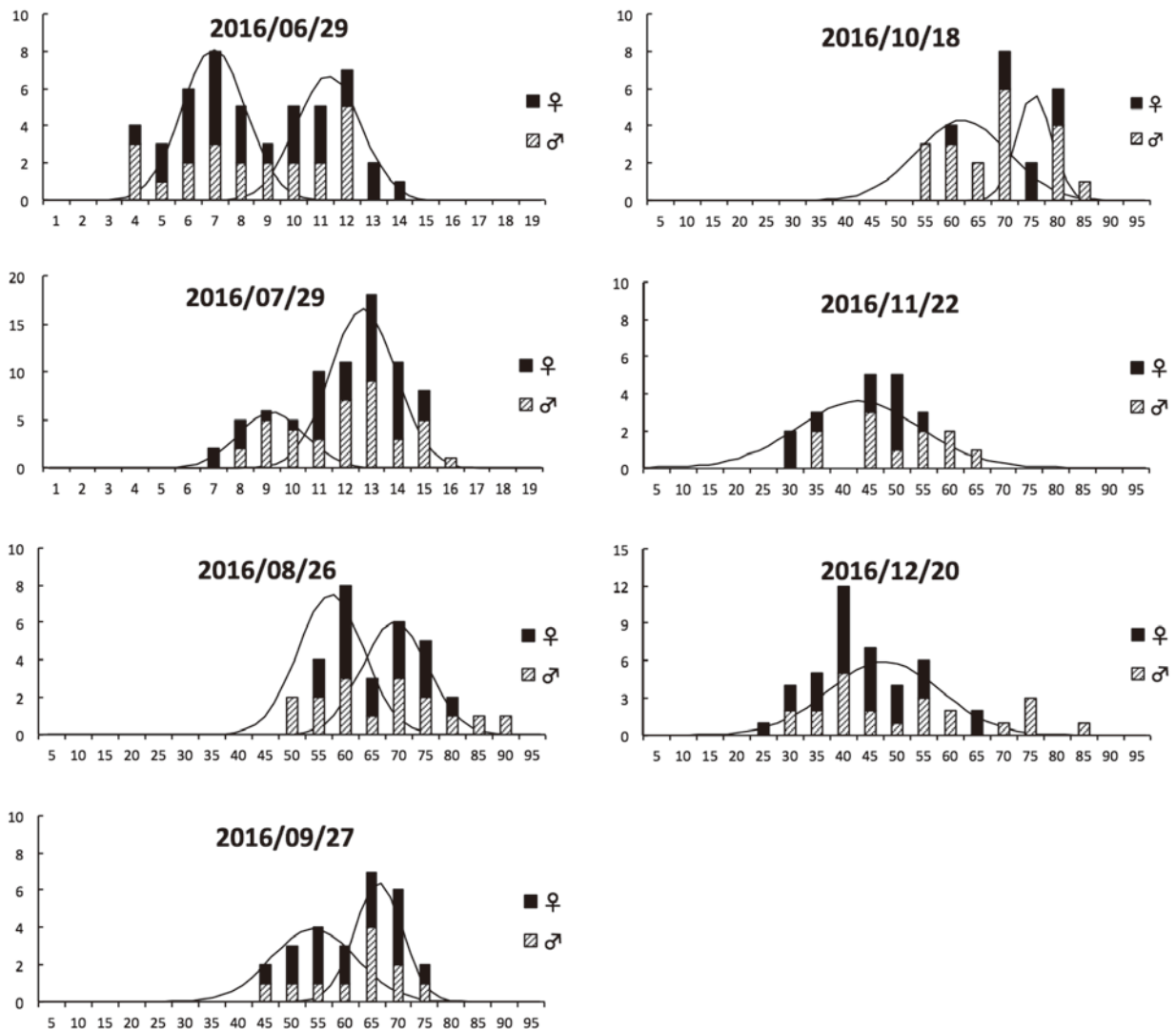


Fig. 9 Seasonal change of the body length frequency and cohort groups of the captured crayfish in 2016

Vertical axis: individual number.

Horizontal axis: each 10mm level of body length

Normal distribution curve: illustrated for each cohort group of which separate index (SI) is more than 1.990

Black bar: female individuals

Hatched bar: male individuals

差はみられなかったが、カニ籠では調査地である取水堰上流の小ダム池の水位が高い7月14日から9月7日まではエビ籠よりも合計捕獲個体数は多く、水位が低下した9月27日以降は捕獲個体数が少なかった。

作業時間1時間あたりの捕獲効率では、トラップ法は1個のトラップの捕獲個体の回収と誘引餌料のセットに1人で約15分の時間を要し、手網法での1人1時間の作業時間の4分の1で済むため、1時間あたりの捕獲数を4倍に換算して比較すると、これら3つの方法での1時間あたりの捕

獲効率は互いに有意差がなかった。

また、これら3種の方法で捕獲された個体の範囲と殻長組成について比較し (Fig. 12), それぞれの殻長による捕獲の選択性の有無について検討した。目視捕獲による手網法では捕獲個体の殻長の範囲は最低29mm, 最高94mmで3種の捕獲法のうち最も殻長の幅が広く、小型個体から大型個体まで漏れなく捕獲されており、未成熟個体と成熟個体の二つの級群を識別することができた。トラップによる捕獲では捕獲個体の殻長はエビ籠法が42~92mm (平均±標準偏差: 67.7±10.0mm),

Table 1 Analysis of each cohort groups of the body length in 2016

2016 date month/day	cohort 1				cohort 2			
	Mean	SD	n	SI	Mean	SD	n	SI
	mm	mm			mm	mm		
6/29	33.96	6.56	26	n.a.	57.44	6.63	21	2.510
7/29	45.28	6.75	22	n.a.	63.88	6.67	59	2.200
8/26	58.31	5.47	19	n.a.	72.14	5.45	16	2.090
9/27	54.45	8.49	16	n.a.	67.52	4.79	15	1.990
10/18	63.28	9.22	24	n.a.	77.50	3.52	6	2.040
11/22	42.29	12.31	24	n.a.	-	-	-	-
12/20	47.50	11.18	45	n.a.	-	-	-	-

Mean: mean of each cohort SD: standard deviation n: population SI: separation index

Table 2 Appearance of the breeding female

date	body length	cephalothorax length	body weight	egg number	development stage	captured method	captured station
y/m/d	mm	mm	g				
2016/8/26	68.4	34.4	10.0	331	egg	shrimp basket	St.C
2016/9/27	72.0	34.0	11.5	107	egg	shrimp basket	St.C
2016/10/18	72.2	36.1	9.8	140	larva	hand net	St.B
2016/10/18	80.0	38.0	13.4	269	egg	hand net	St.B
2016/11/5	55.4	25.8	3.6	211	larva	hand net	St.B
2016/11/5	51.5	23.0	2.7	73	larva	hand net	St.B
2017/3/20	-	-	13.9	-	egg	shrimp basket	St.A

Table 3 Marking survey in Petersen Method and the estimated number of individuals

date in 2016	marking time	interval days	captured number	re-captured marded	cumulative marked	estimated number	95% range	variance
month/day	i	d	n	m _i	M	N _i	±	V(N _i)
11/5	1st	-	13	-	-	-	-	-
11/22	2nd	17	22	0	13	-	-	-
12/5	3rd	13	35	1	35	1,225	2,332	1,416,100
12/20	4th	15	53	3	70	1,237	1,330	460,315

カニ籠法が48~90mm (平均±標準偏差: 72.7±10.3mm), 手網法では29.6~94.6mm (平均±標準偏差: 62.4±14.5mm) であり, トラップ法はいずれでも手網法に比べて殻長の上限は手網法と差はなかったが, 殻長の下限では手網法に比べて殻長40mm未満の小型個体は捕獲されていなかった。とくに捕獲個体の殻長平均値はエビ籠法ではカニ籠法に比べて有意に (p<0.01) 小さく, さら

に手網法はエビ籠法よりも有意に (p<0.01) 小さく, カニ籠法は大型個体の捕獲に最も優れ, エビ籠法に次いで手網法では最も小型の個体の捕獲に優れることがわかった。

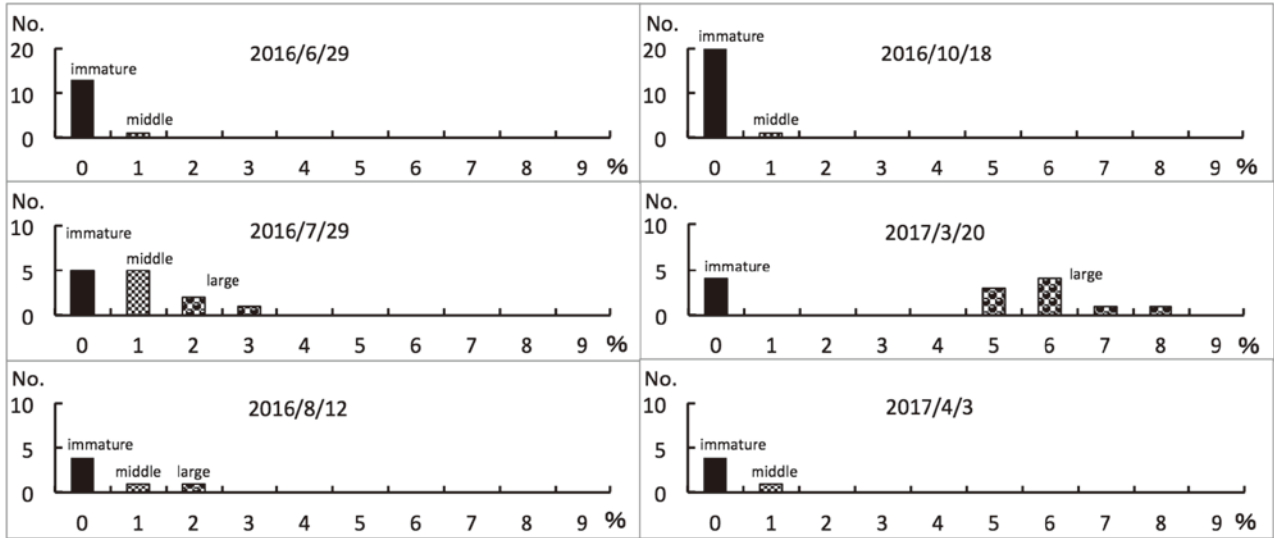


Fig. 10 Seasonal change of the ovary weight percent and egg size of the captured female

Vertical axis: individual number of crayfish
Horizontal axis: Gonad Somatic Index (GSI) in %

immature: no ovary or trace size ovary
middle: ovary with less than 1mm size of eggs
large: ovary with more than 1mm size of eggs

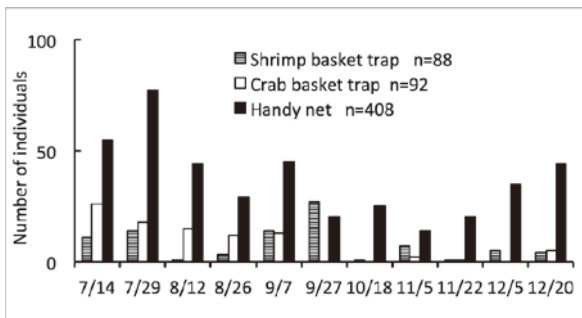


Fig. 11 Numbers of individuals captured at St.B by the three different catching methods

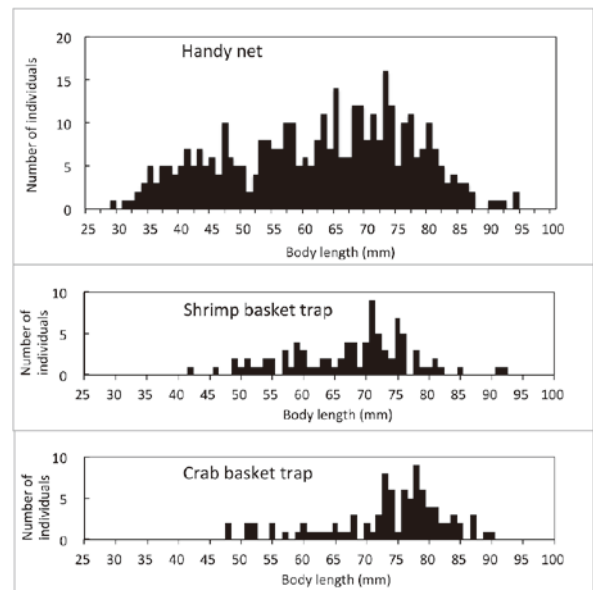


Fig. 12 Body length compositions of crayfish captured at ST.B by three different catching methods

5. 総合考察

(1) 駒の湯温泉における本種の越冬条件

本種は北米南部原産の温暖性種であり、一次、二次の水質環境調査の結果からみた本生息地における本種の越冬制限要因としては、温泉源(St.A)の溶存酸素濃度の低さ、冬季の水温低下と餌資源の不足の3要因が考えられる。

まず、溶存酸素濃度については(Fig. 8)、温泉源(St.A)では0.6mg/lの最低値を記録し、湧出直後の温泉水には酸素がほとんど含まれず嫌氣的であったが、流下するにしたがって溶存酸素濃度が上昇し、農業用排水路(St.D～St.F)ではほぼ飽和濃度に近い6～8mg/lの水準であった。温泉源直下の池にはアオミドロ、スイレンが、排水路にはオランダガラシ、スゲ類の水生植物が繁茂しており、これらの光合成や空気中からの酸素供給によって、溶存酸素濃度の不足は解消されており、本種の越冬制限要因として無視できるものと思われる。

冬季の餌資源については、晩秋に流域周辺の樹木から大量に落葉が供給されるとともに、温泉源直下のため池や農業用排水路には周年にわたってアオミドロ、スイレン、オランダガラシなどの水生植物が生育し(Fig. 3)、ガガンボ、ユスリカなどの水生昆虫の幼生のほか、カワニナ、メダカなどの小動物が手網やトラップで捕獲されることが多く、本種の餌となる水生動物も生息しているため、餌資源についても本種の越冬制限要因とはなっていないものと考えられる。

北海道のような寒冷地での最大の越冬制限要因は水温と思われた。本生息地全域の水温と本種の生息密度との関係(Fig. 4)では、2011年10月～12月の寒冷期における一次調査では最上流の温泉源(St.A)から最下流の自然河川の赤井川(St.I)までの7地点の水温と捕獲された本種個体数の比較では、農業用排水路と自然河川の婆々沼川との合流地点(St.G)では12月3日に水温10.7℃の条件でわずか1個体が捕獲されたが、水温10℃未満の婆々沼川(St.H)と赤井川(St.I)では本種は

捕獲されなかった。このことから、本生息地下流の自然河川では本種の越冬は極めて困難であり、水温が越冬制限要因になっているものと思われる。

したがって、本種は11月～12月の寒冷期においては、溶存酸素濃度の低い温泉源付近を除いて、18℃以上の水温が保たれた場所に移動して越冬を繰り返している可能性が示唆された。

(2) 本種の有効な駆除の方法と時期

本種のような外来種の拡散防止には、個体群サイズの徹底した縮小が求められる。本生息地は本種の生育に適当な温度と十分な湧出量をもつ温泉源の存在によって成立している。そのため、技術的に温泉源を遮断したり、流路を切替えたりすることで、冬季の水温を10℃以下に低下させて本種の成長、繁殖を抑制し、駆除する方法が考えられるが、温泉源にはかつてボーリング掘削した当時のバルブや鉄管などは残っておらず、技術的な泉源遮断は困難と思われる。また、現在は湧出した温泉水が下流域での水田耕作や育苗などに農業利用されていることから、社会的影響の観点からも泉源遮断は不可能である。したがって、本生息地からの本種の拡散を防止する対策としては、繁殖個体数の縮減による継続的な個体群制圧が現実的である。とりわけ、産卵前における成熟メス個体や繁殖期の抱卵メスおよび抱稚仔メス個体の除去が有効と思われる。

駆除の適期については、第一に水温が高く、行動が活発化する7月～11月の温暖期と秋季繁殖期が適当であると考えられる。第二に12月～3月の寒冷期と春季繁殖期の捕獲も有効と思われる。とりわけ1～3月の越冬期には生き残った成熟個体が水温のより高い場所を求めて温泉源直下の池に集中するため、トラップによる捕獲効率が高くなるものと予想される。誘引餌料を入れた籠トラップを池内の水温が最も高い地点に常設して越冬個体群を徹底的に駆逐することで、春季繁殖個体数を減らすことで、次年度の新規加入個体数の大幅な縮小が期待できる。

(3) 本生息地での本種の有効な捕獲法

これまで本種の捕獲法として、多様なトラップ

や籠を用いた方法が比較、検討されているが、メッシュサイズが比較的小さい円筒形のエビ籠の方が、メッシュサイズの大きなカニ籠よりも小型個体の捕獲に有効と報告されている⁸⁾。

本研究でもエビ籠とカニ籠の二種類の籠トラップ法による捕獲個体の殻長組成の比較から、エビ籠法では殻長42mmの小型個体まで捕獲されているのに対して、カニ籠では最小殻長が48mmであった。エビ籠のメッシュサイズは5mmに対して、カニ籠のメッシュサイズが12mmあり、殻長45mm未満の小型個体はカニ籠の網目を自由に通過していたと推定され、カニ籠トラップ法は小型の未成熟個体の捕獲には適していないものと結論される。

また、エビ籠ではカニ籠に比べて捕獲される個体の平均殻長が小さかった。その理由は、エビ籠に二ヶ所ある「落とし口」の口径にあったものと思われる。エビ籠では漏斗状の「落とし口」の口径を大きくしすぎると、一旦入った個体が脱出する可能性があるため、口径は35~40mmに調節してあったが、最大殻長に近い大型のハサミをもつ個体はエビ籠の「落とし口」を通できなかった可能性が考えられる。そのため、エビ籠トラップでは、「落とし口」の口径を最大殻長個体がやっと入れる大きさに調節することが求められる。

手網による捕獲法では、他の二種類のトラップ法に比べて大型から小型まで幅広いサイズの個体が捕獲されていたことから、目視では発見しにくい微小な幼若個体を除いて、サイズによる選択性はほぼ無視できるものと考えられた。また、手網法では三種類の捕獲方法のうちで最も多くの個体を捕獲することができた。とりわけ取水堰上流の小ダム池 (St.B) では減水期の水深15cm未満となった直後に最大捕獲数を記録しており、水底を目視しやすく水深が浅い場所では、手網の使用を妨げる落葉や小枝などの障害物や濁りを生ずる泥が多くないかぎり、大きな礫や流木の下に潜伏する個体を容易に発見でき、捕獲効率は極めて高くなる。このような場所では、人海戦術によって上流から下流に向かって一斉に手網捕獲を行うこと

で極めて効果的な本種の駆除が行えるものと考えられる。

以上のことから、本生息地に適したトラップ法としては、カニ籠とエビ籠それぞれの殻長選択性と使用環境適性を生かし、カニ籠は水深が大きく流速の小さな池のような場所で、エビ籠は水深が浅く流れが大きい水路のような場所で、手網は水深がとくに浅い場所で、これら三種類の捕獲法を組み合わせることで駆除を実施することが有効と思われる。

なお、トラップの誘引餌料としては、これまで練り餌、チーズかまぼこ、冷凍ザリガニなどの比較研究が行われ、練り餌が有効と報告されているが⁸⁾、本研究では魚肉ソーセージのみを誘引餌料に使用した。魚肉ソーセージは安価で保存性に優れるうえ、トラップ内の餌籠への装着も容易で、温暖期に水中に放置しても、摂食を受けない限り、2週間以上固形を保って誘引効果を発揮していた。

最後に、本研究は本生息地における本種個体群の自然拡散を防止するための有効な駆除方法の確立のために行われたものであるが、北海道における先行研究⁹⁾では、外来種ザリガニの拡散要因として、ペットとして飼育されていた個体の人為的放逐が大きく関与している可能性が示唆されている。

また、本生息地周辺の住民や地権者の証言からも、不特定の個人が本生息地から本種を無許可で持ち出している事実が確認されたことから、今後は本生息地の周辺住民、学校の児童生徒を対象にした外来種に関する環境教育が不可欠である。とりわけ、本種の観察や捕獲と駆除作業への参加活動を含む実践的な環境教育プログラムを実施して、本種の生態系攪乱の可能性とその悪影響に関する情報の普及啓発¹⁰⁾を行いながら、本種の人為拡散の防止にもつとめることが肝要であると思われる。

謝 辞

本研究は民有地内で行われた野外研究であり、

駒の湯温泉の泉源と下流の池および小ダム池については当地の地権者である伏見勉氏から、また取水堰と農業用水路を保有し管理している農業者の小原氏から、敷地内への定期的な立ち入り調査とトラップや手網を使用した本種の捕獲について許諾を得て実施した。本研究の意義を十分に理解し、快くご許可をいただいた両氏のご厚意に深く感謝の意を表す。

また、本研究における一次調査は著者の一人である亀井雅代による北海道教育大学函館校環境科学専攻、田中研究室での平成23年度卒業研究「渡島・大沼流域における外来種の侵入について～アメリカザリガニの分布」として実施され、二次調査は同じく著者の一人である上條貴史による平成28年度卒業研究「北海道森町赤井川支流婆々沼川の温水湧出地に生息するアメリカザリガニ個体群の駆除」として実施されたものである。また、田中邦明は本種の採取、標本の保管、メス個体の成熟判定と産卵期推定のデータの解析と論文の執筆を担当した。

本研究の成果の一部は平成24年9月30日に釧路市の北海道教育大学釧路校で開催された平成24年度日本理科教育学会北海道支部会で「渡島地域における外来種の分布と教育による拡散防止～アメリカザリガニの分布調査とザリガニ教室の実施」(田中邦明・亀井雅代・角地北斗)、平成28年度3月5日札幌市の北海道教育大学札幌サテライトで開催された日本環境教育学会北海道支部会で「北海道森町の駒の湯温泉跡におけるアメリカザリガニ駆除の試み」(上條貴史・田中邦明)として口頭発表したものである。会場での意見や議論を本研究の考察で参考にさせていただいた。参加の両学会員に感謝する。

また、本研究は科学研究費補助金、基盤研究(C)課題番号22500839「持続可能な未来のための教育における社会参加アプローチの有効性」および、基盤研究(C)課題番号25350226「持続可能な未来のための教育における協同的社会参加と形成的評価モデルの有効性」の支援を得て実施したものであることを記す。

引用文献

- 1) 環境省自然環境局, 日本の外来種対策, <http://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/list.html>, 最終アクセス日: 2017年11月30日
- 2) 荻部治紀 (2010), 本当はこわいアメリカザリガニ, 科学通信, Vol.80 No.6, pp. 577-579.
- 3) 斎藤和範 (1996), 北海道におけるザリガニ類の分布とその現状, 北方林業, 48(4), pp. 77-81.
- 4) 前田有里・吉田剛司 (2012), 札幌市内の創生川本支流・安春川・屯田川・東屯田川におけるアメリカザリガニ*Procambarus clarkii*の生息域調査と下水処理水の影響, 札幌市豊平川さけ科学館研究報告 (2011), 札幌市公園緑化協会, 2012年3月.
- 5) 山崎幸司・酒井憲司・中村伸也・大葛巖・中村彰吾 (2010), 印旛沼における沈水植物再生のための移植手法開発に関する研究, 河川環境総合研究所報告17, pp. 1-10.
- 6) FAO, FiSAT II, <http://www.fao.org/fishery/topic/16072/en>, 最終アクセス日: 2017年11月30日
- 7) 現在, 本生息地は2名の地権者の所有地内にあり, 温泉源は北斗市に在住の伏見氏, もう1名は流域内で農業を営む小原氏であり, いずれも本研究の調査に先立って敷地内への立ち入りと本種の捕獲について許諾を得た。
- 8) 白石里佳・牛実悠奈・中田和義 (2015), 外来種アメリカザリガニの駆除に用いる籠と使用餌, 応用生態工学 18(2), pp. 115-125.
- 9) 中田和義・川内和博・木川田敏晴・山崎広平・田中邦明 (2006), 外来種ウチダザリガニに対する児童と大人の認識, 生物教育, 46(4), pp. 174-183.
- 10) 田中一典 (2012), サリガニを通じた環境教育と外来種問題への普及啓発, 日本甲殻類学会Symposium Report, Cancer 21, pp. 103-105.

(田中 邦明 函館校教授)

(上條 貴史 函館校元学生)

(亀井 雅代 函館校元学生)