



水生昆虫食：河川底生動物の食料としての可能性

加藤 元海^{1,2}・見並 由梨²・井上 光也²

¹ 高知大学大学院黒潮圏科学部門・² 高知大学理学部

Future prospects for aquatic insects as human food resources

Motomi Genkai-Kato^{1,2}, Yuri Minami² and Mitsuya Inoue²

¹Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University,

²Faculty of Science, Kochi University

要旨：地球上における急激な人口増加に伴う食料問題の対策の1つとして、栄養価や生産コストの面から昆虫を利用することが有益であるとの報告書を2013年に国連食糧農業機関がまとめた。現在食べられているのはほとんどが陸生昆虫で、水生昆虫は少ない。しかし、水生昆虫の一部はザザムシや孫太郎虫として日本では食用とされてきた。本研究では、比較的大型で採集しやすい水生昆虫であるヘビトンボ、ヒゲナガカワトビケラ、大型カワゲラを対象に食用昆虫としての可能性を探るため、水生昆虫の生物量や収穫のしやすさを河川において現地調査し、加えて水生昆虫食に対する意識調査を行なった。底生動物の生物量は0.1から7.5 g/m²の範囲で、うち食用昆虫の割合は平均で63%だった。また、生物量と捕獲努力量との間には正の相関がみられた。大型の水生昆虫を効率的に採集するには、降水や水生昆虫の生活史を考慮すると冬から初春に行なうのが適切であろう。昆虫食に対する意識では、見た目への抵抗感に関する記述が多くみられた。しかし、水生昆虫を食べる前より実際に食べた後の方が肯定的な意見が増えた。水生昆虫食の普及には、見た目の工夫を施し、抵抗感を打ち消す広報や教育によって、今後、水生昆虫が食材として受け入れられる可能性はあると結論付けた。

キーワード：食料、昆虫食、水生昆虫、捕獲努力量、河川

Abstract: Insects as food will become an important issue in the 21st century due to population growth and global food insecurity. Most insects eaten currently by humans are terrestrial species. Some aquatic insect species are consumed in Japan, such as stoneflies, caddisflies, and dobsonflies. This study assessed the potential of aquatic insects in streams as food resources for humans using field and questionnaire surveys. Field surveys were conducted to estimate the abundance of large-bodied aquatic insects, such as dobsonfly (*Protoparce grandis*) and caddisfly (*Stenopsyche* spp.) larvae and stonefly nymphs (Perlidae). The biomass of the benthic invertebrate communities was 0.1–7.5 g/m² in dry weight, and the proportion of large-bodied insects to the total benthic invertebrates averaged 63%. The catch per unit effort (CPUE) of large-bodied aquatic insects was correlated positively with the biomass of benthic invertebrates. Considering the life histories of these insects and climate, large-bodied, edible aquatic insects could be collected efficiently from winter to early spring. Questionnaire surveys revealed a degree of distaste for the consumption of insects, or entomophagy, because of the appearance of insects. However, some people changed their negative attitude toward entomophagy after tasting cooked insects. We concluded that aquatic insects could be accepted as food items if their appearance on the plate is altered and that greater media communication and educational programs are needed to raise public awareness of the valuable roles that insects play in human life.

Keywords: Aquatic insect, edible insect, entomophagy, food resource, river, CPUE

2014年8月8日受付、2015年5月12日受理

¹e-mail: genkai@kochi-u.ac.jp

はじめに

人間はあらゆる動物の中で最も雑食性の動物で、何でも胃袋の中に収める習性がある（篠永・林 2006）。しかし、地球上では急激に人口増加が起こっており、それにもなって食料不足が懸念されている。国連食糧農業機関は、2013 年に報告書「食用としての昆虫：食料安全保障のための未来の資源」を発表した（FAO. Edible insects: Future prospects for food and feed security. <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm>, 2014 年 1 月 21 日確認）。報告書では、昆虫はタンパク質や脂肪、ビタミン、食物繊維、鉄分や亜鉛などが豊富で、健康的な食用資源であると高く評価している。さらに、昆虫は少ない資源でより大きく育てられる利点も言及している。例えばコオロギ 1 kg を得るには 1.7 kg の飼料を必要とするのに対して（Collavo et al. 2005）、家畜の場合、1 kg の鶏肉、豚肉、牛肉を得るのにそれぞれ 2.5 kg、5 kg、8 kg の飼料を必要とする（Smil 2002）。

国連食糧農業機関の報告によると、現在世界ではアジアやアフリカを中心に 20 億人以上が虫を食べており、種類の内訳はカブトムシなどの甲虫（31%）、イモムシ（18%）、ハチやアリ（14%）、バッタやコオロギ（13%）など 1900 種以上が食用とされている（<http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm>, 2014 年 1 月 21 日確認）。日本でも昔から昆虫は食べられており、江戸時代の書物にイナゴを食べていた記載がある（内山 2012）。大正 8 年（1919 年）に昆虫学者の三宅恒方博士によってまとめられた報告書「食用及薬用昆虫に関する調査」によると、長野県は最多の 17 種、山口県は 12 種、山梨県は 10 種、山形県と愛媛県は 8 種など、全国 41 都道府県で何らかの昆虫が食されていた（内山 2012）。食用とされていたのは多い順にハチ類 14 種、ガ類 11 種、バッタ類 10 種、甲虫類 8 種など計 55 種にのぼる。現在でも長野県、岐阜県、愛知県、宮崎県などで食べられており、昔からの食文化、所得水準、地理的条件などに起因しているのかもしれない。特に長野県では四季を通じてイナゴやハチの佃煮がスーパーに並び、駅前の土産物店ではカイコの蛹、カイコガ（カイコの成虫）、そしてザザムシなどが販売されている（内山 2012）。ザザムシとは川に生息する水生昆虫の総称で、カワゲラやトビケラなどの幼虫である（野中 2008）。ヘビトンボは「孫太郎虫」とも呼ばれ、乳児の夜泣きやかんしゃくなど疳の虫に対する薬として利用されてきた（三橋 2012）。

食用とされる昆虫は、ハチの幼虫やイナゴなどの陸生

昆虫が中心で、ザザムシやヘビトンボなどの水生昆虫は比較的少なく、昆虫食に関する文献においてもわずかに水生昆虫食のことが割かれているだけである（篠永・林 2006；野中 2008；三橋 2012；内山 2012）。日本での急激な人口増加に伴う食料不足は考えにくい、海外における食料不足の克服を検討する上での参考に、本研究では日本の伝統的な食文化である昆虫食を、新たに水生昆虫を食材として食文化の継承と普及を考える一時近接として位置付ける。

材料と方法

調査地

底生動物の採集は 2013 年 7 月 30 日から 12 月 19 日にかけて、高知県を流れる鏡川 7 地点（高知市）、仁淀川 10 地点（いの町、仁淀川町）、四万十川 1 地点（津野町）、新莊川 2 地点（須崎市）の上流から中流にかけて計 20 地点で行なった。採集の際、水温は棒温度計を用いて測定した。

食用として対象とする水生昆虫

昆虫類を食用とするには、食べやすさから大型の個体であることと、調達しやすさから密度が高い必要がある。高知県内の河川で予備調査を行ない、ここではヘビトンボ（*Protohermes grandis*）、ヒゲナガカワトビケラ（*Stenopsyche* spp.）、大型カワゲラ（オオヤマカワゲラ *Oyamia lugubris*、トウゴウカワゲラ *Togoperla limbata*、カミムラカワゲラ *Kamimuria tibialis*、クラカケカワゲラ *Paragnetina tinctipennis*）、ヤゴ（*Odonata*）を食用の水生昆虫とした（図 1）。ヘビトンボは 3 cm、ヒゲナガカワトビケラは 2 cm、大型カワゲラは 1.5 cm 以上の個体を食用の目安とした。調理法は、昆虫を水溶き薄力粉に浸し 180℃のサラダ油で揚げた（図 1）。魚類と甲殻類（エビやカニ）は、既に食用とされているため、本研究では対象生物から除外した。

底生動物の密度推定

河川で採集される底生動物のうち、食べることができる大型の水生昆虫が占める割合を調べるため定量採集を行なった。調査地点は日付順に以下の通り。S1：鏡川本流（2013 年 7 月 26 日、緯度 N33°37'41"、経度 E133°30'48"、標高 134 m）、S2：仁淀川中追溪谷（7 月 30 日、N33°36'20"、E133°22'21"、143 m）、S3：土居川（8 月 3 日、N33°36'31"、E133°10'24"、150 m）、S4：鏡川本流（8 月 8 日、

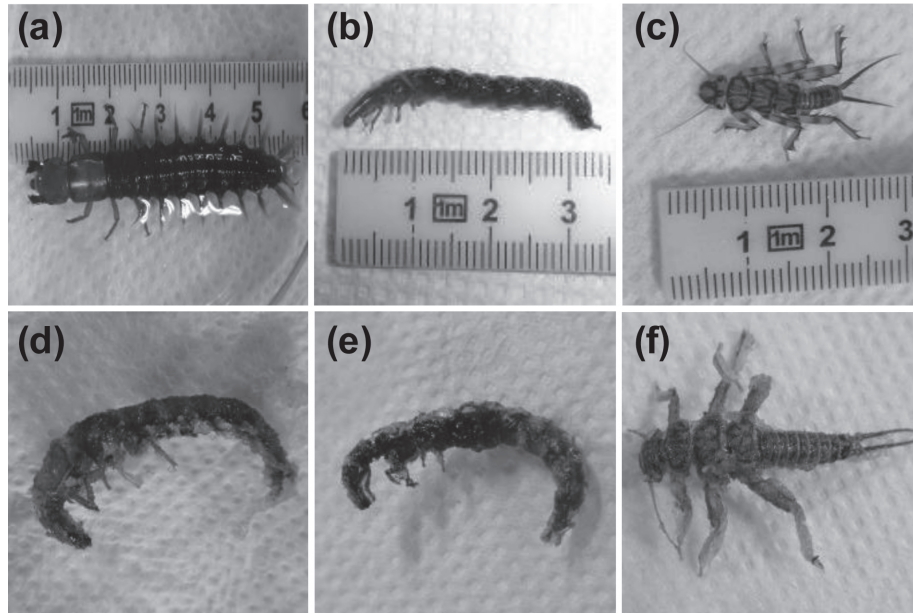


図1. 食用として対象とした水生昆虫。生きた状態のヘビトンボ幼虫 (a)、ヒゲナガカワトビケラ幼虫 (b)、カワゲラ幼虫 (c)。から揚げにされた状態のヘビトンボ幼虫 (d)、ヒゲナガカワトビケラ幼虫 (e)、カワゲラ幼虫 (f)。

N33°35'47"、E133°28'01"、32 m)、S5：上八川と小川川の合流点 (10月18日、N33°37'31"、E133°17'56"、66 m)、S6：鏡川本流 (10月30日、N33°36'26"、E133°26'44"、85 m)、S7：鏡川本流 (10月30日、N33°36'09"、E133°27'50"、54 m)、S8：四万十川本流 (10月31日、N33°24'57"、E133°05'22"、418 m)、S9：新庄川本流 (10月31日、N33°26'45"、E133°11'07"、73 m)、S10：新庄川本流 (10月31日、N33°23'56"、E133°13'52"、18 m)、S11：仁淀川本流 (11月8日、N33°34'38"、E133°21'25"、20 m)、S12：仁淀川本流 (11月8日、N33°32'54"、E133°24'59"、24 m)、S13：上八川と小川川の合流点 (11月15日、N33°37'32"、E133°17'57"、54 m)、S14：上八川 (11月15日、N33°36'36"、E133°17'52"、107 m)、S15：上八川 (11月15日、N33°35'25"、E133°18'18"、66 m)、S16：中追溪谷 (11月22日、N33°36'21"、E133°22'23"、125 m)、S17：勝賀瀬川 (11月22日、N33°37'03"、E133°22'20"、178 m)、S18：鏡川本流 (12月12日、N33°37'20"、E133°29'51"、82 m)、S19：鏡川本流 (12月13日、N33°38'05"、E133°31'14"、154 m)、S20：鏡川本流 (12月19日、N33°38'05"、E133°31'14"、154 m)。

底生動物稚魚すくい網 (IS40-1W、1-mm mesh、Hoga) を川底に置き、すくい網の底辺を一辺とする 40 cm × 40 cm の面積に収まる上流側の石を網に入れ、川の流れを利用して石ごと底生動物を採集した (加藤・野崎 2014)。

採集は各地点 6 回または 3 回行ない、採集した底生動物は 70% エタノールで固定した。採集した底生動物は後日室内において、原色川虫図鑑 (丸山・高井 2000)、日本産水生昆虫 (川合・谷田 2005) を用いて分類を行なった。分類した底生動物は湿重量を電子てんびん (CP224S、Sartorius) で測定した。底生動物の乾燥重量については、60℃で 24 時間乾燥させたのち、前述の電子てんびんを用いて測定した。本研究で採集を行なった河川の底生動物相については、鏡川では大西・加藤 (2013)、四万十川では江口ほか (2014)、新庄川では佐藤・加藤 (2013)、仁淀川では井上ほか (2015) に詳しく記載されている。

捕獲努力量

人の食料資源として、河川で採れる水生昆虫の調達可能性を調べるために捕獲努力量 (CPUE: Catch Per Unit Effort) を測定した。捕獲には定量採集で用いたすくい網を使用し、各地点で 1 人 15 分間、食用昆虫のみを採集した。捕獲努力量の測定は各地点で 3 回以上行ない、その平均値を用いた。採集した食用昆虫は、研究室に持ち帰りすぐに捕獲者ごとの採集個体数と湿重量を分類群ごとに測定した。

意識調査

昆虫食に対する一般的な認識や見解を調査するため、

2013年11月29日と12月20日に河川で採集した水生昆虫（ヘビトンボ、ヒゲナガカワトビケラ、大型カワゲラ）を実際に食べてもらい、野崎（2013）を参考に水生昆虫を食べる前と食べた後の2回に分けて記名式質問紙調査を行なった。水生昆虫は質問紙調査当日の午前もしくは前日の午後に採集し、調理直前まで地下水（井戸水）をかけ流しにした虫かごの中で生かしたまま保存した。食前の質問紙調査は、調理する前に行ない、調査対象者には調理に使う水生昆虫を一切見せない状況で記入してもらった。調理は午後4時から6時までの間に行ない、調理後30分以内にヘビトンボ、ヒゲナガカワトビケラ、大型カワゲラの各1匹を食べてもらい、食後の質問紙調査に記入してもらった。調査対象者は2日間合わせて、大学生40名（女性19名、男性21名）と社会人7名（女性1名、男性6名）であった。対象者は有志を募って集まってもらったため粗品など報酬のないグループ調査で、対象者のほとんど（43名）は筆者らが所属する高知大学理学部生物科学コースの学生と教員で、その他の4人についても自然科学系の学部にも所属する学生もしくは卒業した社会人であった。質問紙の配布と回収は1名で行なった。質問の内容は以下のとおりである。

1. ヘビトンボ、ヒゲナガカワトビケラ、大型カワゲラのうち、見た目と味について順位をつけてください。
2. あなたは水生昆虫をどのくらいの頻度で食べてもかまわないですか。次の中から1つ選択してください。A. 日常的に食べてもかまわない、B. 何かの席で振る舞われたら食べる、C. 自分の最も苦手な食べ物よりは食べられる、D. 自分の最も苦手な食べ物よりも食べたくない。
3. ヘビトンボ、ヒゲナガカワトビケラ、大型カワゲラの見た目や味の感想を記述してください。
4. これまでに昆虫を食べた経験はありますか。
5. これまでに昆虫を食べたことがある場合、どのようなものでしたか。
6. 以前食べた昆虫は、今回食べたものとどちらが美味しいと感じますか。
7. 「昆虫食」と聞いて何を思い浮かべますか。
8. その他意見や感想を自由に記述してください。

食前には質問事項2のみを行ない、食後には質問事項2を含む全ての質問を行なった。記名式で質問紙調査を行なったのは、比較的自由形式で回答してもらう項目が多いため、記入内容が不明瞭な場合に調査後に記載内容

の確認を取りやすいことと、結果を考察する際に対象者の背景（出身地や学歴など）を後から追加で説明要因として取り入れることができるためである。

結 果

調査地点の水温は8.0℃（12月12日、地点S18）から26.8℃（8月8日、S4）の範囲だった。単位面積当たりの底生動物の生物量は、調査地点によって大きく異なり、乾燥重量で0.1から7.5 g/m²の範囲であった（図2）。全底生動物に対する食用昆虫の割合の平均は65%（標準偏差30、 $n = 75$ ）であり、中央値は78%であった。また、底生動物の密度が3 g/m²以上だった地点では、ヒゲナガカワトビケラが多く採集された（図2）。底生動物の密度と食用昆虫の捕獲努力量との間には、正の相関がみられた（図3）。

質問紙を用いた意識調査では質問項目1に関して、1位には3点、2位に2点、3位に1点をつけて得点化したものを図4に示す。見た目では大型カワゲラ、ヒゲナガカワトビケラ、ヘビトンボの順に得点が高く、味では同じく大型カワゲラの得点が最も高かったがヘビトンボとヒゲナガカワトビケラとの得点は同程度であった（図4a）。性別で分けてみると、男性は見た目では全体で集計した傾向と同じであったが、味に関しては3種類の間で大きな違いはなかった（図4b）。女性では、見た目と味の両方で、特に大型カワゲラを好む傾向があった（図4c）。ただ、見た目と味に関して、3種類の昆虫で第1位の得票数でみると、男性の味については、ヘビトンボが最も多かった（図4d）。女性の場合、大型カワゲラの得票数が最も多かったが、ヘビトンボはヒゲナガカワトビケラの得票数よりも多かった（図4e）。

質問事項2に関しては、食前と比べ食後の方が昆虫食頻度のより高い選択肢を選ぶ人の割合が増えた（図5a）。性別で分けてみた場合、男性は全員、食後には比較的高い頻度で食べてもかまわないというAもしくはBの選択肢を選んでいった（図5b）。女性については、食前は日常的に食べてもよいという選択肢Aを選ぶ人はいなかったが食後にはAを選ぶ人が現れるとともに拒絶を表すDを選択する人が減った（図5c）。食前と食後で選んだ選択肢を各個人でみた場合、食前に比べて食後に選択した昆虫食頻度が同じであるか高くなる人はいたが、食後により低い昆虫食頻度を選択した人はいなかった。食前に比べて食後に昆虫食頻度が高くなったのは、男性で19%であったのに対して、女性では55%であった。対象者の

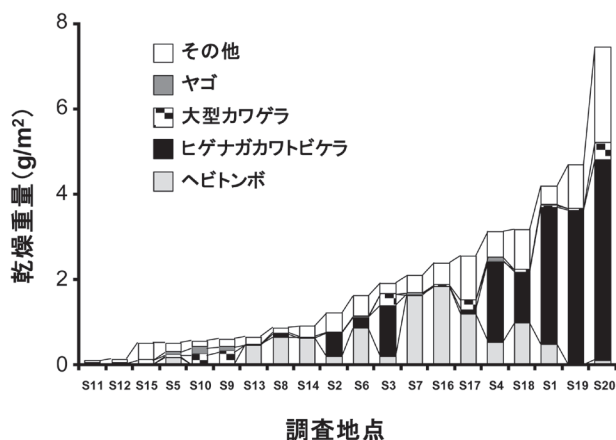


図2. 各調査地点における底生無脊椎動物（サワガニを除く）の生物量。

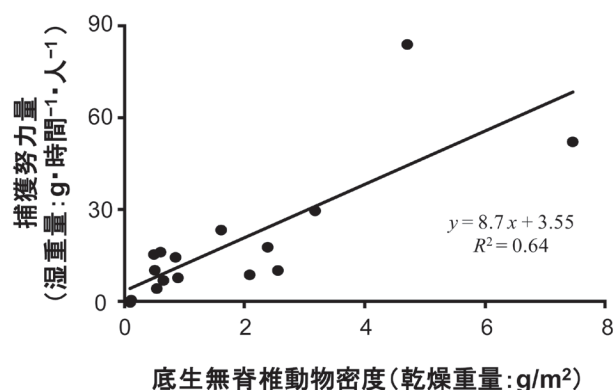


図3. 底生無脊椎動物の密度(x)と捕獲努力量(CPUE, y)との関係。

40%は以前に昆虫を食べた経験があった。経験者は、食前には拒絶のDを選択する人はおらず、食後には全員が比較的高い頻度で食べてもよいというAもしくはBを選んでいった(図5d)。未経験者では、食後には日常的に食べてもかまわないというAが増え、選択肢Dを選ぶ人が減っていた(図5e)。

質問項目3に関して、大型カワゲラに対しては「香ばしい」「天かすの味」という回答が特徴的で、肯定的な意見としては「カワゲラなら毎日食べられる」、否定的な意見としては「味がよくわからない」「油の味しかしない」等の回答が得られた。ヒゲナガカワトビケラに対しては、「海苔のような味」という回答が特徴的で、肯定的な意見としては「味がしっかりしていた」「鮎のうかに似ている」、否定的な意見としては「味がわかりにくい」「においが強い」等の回答が得られた。ヘビトンボに対しては、「味や食感がエビに似ている」といった内容の回答が多く、肯定的な意見として「食べごたえがある」、否定的な意見

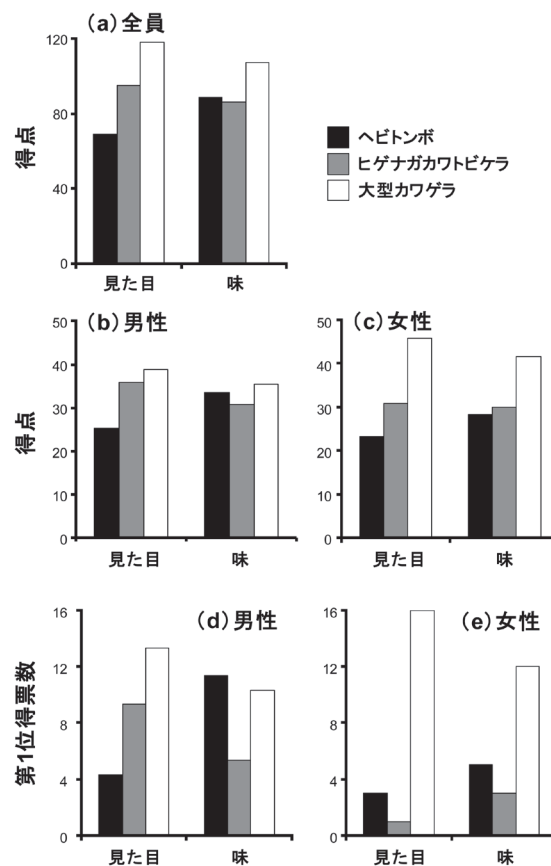


図4. ヘビトンボ、ヒゲナガカワトビケラ、大型カワゲラを食べることに対する、見た目と味に関する意識調査の結果（男性27人、女性20人、合計47人）。各水生昆虫の得点：47人全員の結果（a）、男性27人の結果（b）、女性20人の結果（c）。各水生昆虫の第1位となった得票数：男性27人の結果（d）、女性20人の結果（e）。

としては「見た目に抵抗を感じる」「後味が泥臭い」等の回答が得られた。3種類全てにおいて「エビに似た味」という感想はあったが、ヘビトンボに対して特に多かった。

質問項目4と5に関して、昆虫を食べた経験のある回答者はイナゴの佃煮やハチの子を食べた人が多く、次いで大学の実習で水生昆虫の唐揚げを食べた人が多かった。その他、少数意見ではトノサマバッタやセミの幼虫等が挙げられた。

昆虫食から思い浮かぶことさらにに関する質問項目7では、「イナゴの佃煮」「ハチの子」といった回答が圧倒的に多かった。他に「長野」「東北」「内陸の県」など日本の土地を指す回答や「アジアやアフリカ諸国の市場」「先住民や部族」など発展途上国で食べられているという印象の回答が挙げられた。

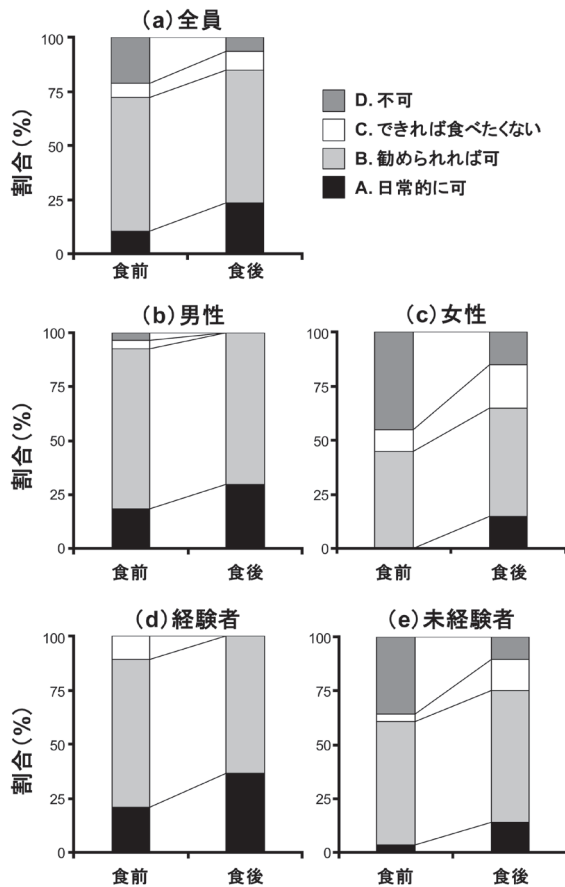


図 5. 実際に水生昆虫を食べる前と食べた後での昆虫食に対する意識の比較。(a) 47 人全員の結果。(b) 男性 27 人の結果。(c) 女性 20 人の結果。(d) 以前に昆虫を食べたことがある昆虫食経験者 19 人の結果。(e) 以前に昆虫を食べたことがない昆虫食未経験者 28 人の結果。

質問項目 8 では、「見た目をわからないようにした方が良い」「食べたなら想像した以上においしかった」「粉状にしたら抵抗なく食べられる」等、見た目に言及する意見が多かった。また調理法に関しては佃煮の提案が多く、その他に、ふりかけ、野菜炒め、酢豚、エビチリ等の回答もみられた。

考 察

食用昆虫の味について、3 種類とも「エビに似た味」という感想が多かったのは、昆虫の体がエビなど甲殻類の殻を構成するキチン質で覆われていたのが原因と考える (三橋 2012)。ヒゲナガカワトビケラについては「海苔のような味」やアユの内臓の塩辛である「うるか」という感想が挙げられたが、ヘビトンボや大型カワゲラは

肉食であるのに対して (川合・谷田 2005; Miyasaka and Genkai-Kato 2009)、ヒゲナガカワトビケラは付着藻類を餌としているからであろう (川合・谷田 2005)。ヒゲナガカワトビケラについて、味の順位付けで 1 位と 3 位の両方に海苔の味がするとの感想をもった人がいたことから、人によって好みが分かれる味といえる。大型カワゲラについて、昆虫自体の味よりも「天かすの味」や「油の味」といった感想が多く挙げられたのは、ヘビトンボやヒゲナガカワトビケラに比べ 1 個体の大きさが小さかったためと考えられる。

大型カワゲラは味と見た目ともに最も高得点ではあったが、味に関して第 1 位にしているにも関わらず「味が分からなかった」と回答している人もいたことから、昆虫そのものの味が評価されていたわけではない。見た目に関しては、ヘビトンボに否定的な感想が多かったのに対し、大型カワゲラには否定的な感想はなかったことから、他の昆虫と比べれば妥協できるという理由で大型カワゲラが高い点数になったと考えられる。女性は男性に比べ食前、食後ともに昆虫食に対し否定的な選択肢を選んだ割合が多く、見た目と味の評価で大型カワゲラの点数が顕著に高かった。意識調査に協力してくれた対象者は、昆虫食そのものに対して抵抗感をもっていと推測される。

ヘビトンボは、見た目に関して批判的な意見が多いが、味に関してはヒゲナガカワトビケラよりも高い点数であった。見た目と味の得点を比較すると、味の方で点数が高くなっているのはヘビトンボのみであった。味に関する第 1 位の得票数は、男性の場合、ヘビトンボが最も高い。これらのことから、ヘビトンボは見た目に比べ味は好まれていたことが分かる。ヘビトンボは見た目を工夫することで食材として受け入れられる可能性がある。

水生昆虫をどの頻度で食べてもかまわないかの質問について、女性や昆虫食未経験者は特に、食前の回答では昆虫食に対して否定的な選択肢を選ぶ割合が多かったが、食後の回答で肯定的な選択肢へ変更した人の多さが目立った。女性に関しては、半数以上がより肯定的な選択肢へ変更していた。本研究では、質問紙による意識調査の対象となった回答者は、全員が河川や昆虫に対する意識が高い自然科学系で有志を募って集まったことから、水生昆虫を食べるということに対する抵抗感は過小評価だった可能性はある。現在でも長野県、岐阜県、愛知県、宮崎県などでは昆虫食が行なわれているが (内山 2012)、回答者 47 人のうち長野県出身者はおらず、愛知県と宮崎県出身者がそれぞれ 1 人ずつしかいなかったことから、

出身地による回答の偏りはなかったであろう。今後、水生昆虫食に関する意識調査を行なうにあたっては、有志を募るのではなく意識調査に参加したくない人の割合も分かるような方法を取り、対象者を自然科学系に偏らず人文社会系の人も同数程度含めて行なうことが改善点として挙げられる。

国連食糧農業機関は、昆虫食の普及には抵抗感を打ち消す広報や教育の必要性を今後の課題として挙げている (FAO <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm>, 2014 年 1 月 21 日確認)。欧米では以前、魚などを生食する習慣はなかったが、現在では寿司や刺身などの日本食が浸透し、2013 年 12 月に国連教育科学文化機関から和食が無形文化遺産登録されている (UNESCO <http://www.unesco.org/culture/ich/en/news/Seventeen-new-elements-inscribed-on-the-lists-of-the-Convention-00072>, 2014 年 1 月 27 日確認)。昆虫が食材として身近でないため食べることに対する抵抗感があるが、魚の生食が欧米に広まったように、昆虫が特別な食べ物ではなく見た目を工夫してスーパーなどで市販されるようになれば、今後食材として受け入れられる可能性はある。

底生動物の密度と捕獲努力量の関係から、底生動物密度が乾燥重量で $x \text{ g/m}^2$ の河川では、1 人で 1 時間採集を行なうと湿重量で $8.7x + 3.55 \text{ g}$ の食用昆虫が採れると推測される。例えば、底生動物密度が 2 g/m^2 の河川では 21 g 、密度が 6 g/m^2 の河川では 55.8 g の食用水生昆虫が 1 人 1 時間当たり採れることになる。日本人の食事摂取基準によると、1 日のタンパク質の推定平均必要量は成人男性で 50 g 、成人女性で 40 g である (<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2009/05/s0529-4.html>, 2014 年 1 月 14 日確認)。イナゴとトノサマバッタのタンパク質含有量はそれぞれ湿重量の 25.1% と 13.7% である (内山 2012)。イナゴとトノサマバッタの平均値から水生昆虫類のタンパク含有量を湿重量の 20% と仮定すると、1 日当たりのタンパク質の推定平均必要量を水生昆虫のみで満たすためには男性で 250 g 、女性で 200 g を摂取する必要がある。これらの食用水生昆虫を採集するのに必要な捕獲努力量 (単位: 人×時間) は、底生動物密度が 2 g/m^2 の河川では男性で 11.9 (女性 10.5)、密度が 6 g/m^2 では男性で 4.5 (女性 3.9) と計算される。水生昆虫を効率よく採集するには、水生昆虫密度の高い時期や場所に絞って採集することが重要である。

底生動物の密度が地点によって異なったのは、羽化期など水生昆虫の生活史がその一因と考えられる。また、2013 年は高知県に大型の台風が 9 月と 10 月に 2 回接近

しており (気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, 2014 年 1 月 21 日確認)、大雨の影響で増水したことで攪乱が起こり台風通過後の水生昆虫の密度は低かった。食用とした水生昆虫は春に羽化の始まるものが多く、ヘビトンボの羽化期は初夏から夏、ヒゲナガカワトビケラは春から秋、大型カワゲラは種により若干異なるが早いもので 4 月から始まる (丸山・高井 2000; 川合・谷田 2005)。水生昆虫を食用とするには羽化する直前の終齢幼虫を採集するのが好ましく、台風による洪水の可能性を合わせて考えると、冬から初春にかけて捕獲を行なうのが適切であろう。三橋 (2012) によると、実際に長野県得天竜川漁業協同組合は天竜川の管轄域での商業的な水生昆虫の捕獲を 12 月から 2 月に制限している。越冬中の水生昆虫はほとんど餌を食べないので臭みがなく、しかも脂肪などの栄養を十分に蓄えていることから時期的に最も美味であることも理由となっている。しかし、食用のために特定の昆虫が多量に採集し続けられると、その昆虫の個体群が減少することが起こりうる。実際に、天竜川のザザムシは職業的な採集人が現れて大量に採られるようになってから、生息数が激減して一時は絶滅の危機に瀕した (三橋 2012)。

現在の日本においては急激な人口の増加は考えにくい。ため、成人が 1 日に摂取すべきタンパク質の量を河川から採集された水生昆虫のみで補うことになる必要性はかなり低い。人間が摂取するタンパク質の一部を水生昆虫に依存するようになった場合、天竜川での例のように特定の水生昆虫の個体数が減少して生態系が変化する可能性がある。大型カワゲラやヘビトンボは肉食性であることから、これらの昆虫が人為的に採集されれば、捕食圧の低下によりカゲロウなどの植食性の水生昆虫が繁茂するかもしれない。ヒゲナガカワトビケラは石や礫の間に分泌糸で網を作り流下物や藻類を捕獲する造網型のトビケラであるため、ヒゲナガカワトビケラが優占する河川では、石の上を滑るように移動する匍匐型のカゲロウ類にとっては棲みづらくなる (津田 1962)。そのため、ヒゲナガカワトビケラが人為的に採集されても、空間をめぐる競争が緩和されることによりカゲロウ類が繁茂する可能性が高い。カゲロウ類の多くは石の表面の付着藻類を主に摂食する植食者であるため、大型カワゲラやヘビトンボ、およびヒゲナガカワトビケラが人為的に採集されれば、河川は付着藻類の乏しい生態系に変化してしまう可能性が考えられる。

Millennium Ecosystem Assessment (2005) によると、過去 50 年間にわたって生態系を改変する最も重要な直接的要

因として、河川を含む淡水生態系では、流域の変更や外来種、そして栄養塩負荷による汚染だとされている。一方、海洋生態系では漁獲であると指摘されている。海洋における漁業活動は、漁獲対象魚種の減少のみならず、非漁獲対象魚種の混獲や生息域の破壊、食物網の攪乱など様々な影響を生態系に与えている（勝川 2015）。そのため、水生昆虫食が一般に広まった場合、海洋生態系と同様に河川生態系においても水生昆虫の採集が新たに生態系を改変する決定的な要因となりうる。以下に、水生昆虫食に関して人間が河川生態系に新たに関与することについて、今後考慮すべき論点を幾つか挙げておく。第1点目として、個体群の維持や持続的な再生産、および乱獲を回避するための考慮を行なう必要がある。ザザムシの個体群が一時的に絶滅の危機に瀕した長野県得天竜川では、半世紀以上昔から漁業協同組合が発行する最終許可証（鑑札）を持った人だけが冬季にのみ採集を許可され、今では個体群が回復している（三橋 2012）。このような天竜川における採集時期と人を制限する取り組みは、食用昆虫を保全する実践例として参考となる。第2点目は、空間構造のある地域個体群の資源開発を行なう場合、個体の移動率やメタ個体群構造、遺伝的多様性の減少について考慮すべきであろう。採集を行なう場所が局所個体群のソースとなっているかシンクとなっているのかを見極め、採集活動がソースとシンクそれぞれの場所に与える影響を評価する必要がある。体サイズや体型などの形質の多くは多かれ少なかれ遺伝的に決定されており、漁獲や採集による人為選択によって採られやすい形質をもつ個体の頻度は少なくなりやすいことから（森田 2015）、遺伝的多様性の維持に注意を払う必要もあろう。第3点目に、水生昆虫が日常的な食材となった場合に、食料としての安全性や、人間が地球に与えている負荷が緩和されるのかといった点が挙げられる。安全性に関しては、他の多くの食品と同様に十分加熱して食べる必要があるが、FAOの報告書によると、昆虫は生物学的に人間と非常な差異があり、昆虫の疾病が人間に感染する可能性は非常に低い。地球に与える人為的な負荷の指標の1つとして生態フットプリントが挙げられるが、これは人間1人が消費するすべての物質をそれぞれ耕作地、牧草地、森林、海洋、市街地、化石燃料（CO₂ 吸収のための植生面積）から得るために必要な土地面積として換算して合計したものである（酒井 2007）。これまで日本において河川からの食料供給はこれまでほとんど考慮されてこなかったことから、水生昆虫食が生態フットプリントを小さくすることに貢献できる可能性がある。その他の点と

して、多くの海洋資源と同様に水生昆虫の養殖を行なうかどうかや、養殖を行なった場合に溪流釣りや農業用水など他の河川利用との競合の可能性、養殖場から河川の上流や下流に対する生態学的な影響なども考慮する必要がある。陸生の昆虫では、最も伝統があって大量に生産されているのがカイコガ（養蚕）であるが、人工的に全生活環を管理できないが自然物などを利用して食用昆虫を発生させる半養殖という方法もありハチ類に応用されている（三橋 2012）。一方で、水生昆虫では養殖されているという報告はこれまでのところない。変温動物のエネルギー必要量は恒温動物に比べて15分の1程度であることから、生産効率の視点からも昆虫など変温動物を食料として利用することはもっと評価されてもいいのかもしれない（本川 2011）。いずれにせよ人間による天然資源の利用は様々な生態系で多くの乱獲と生息地の破壊を招いた歴史があり（森田・池田 2015）、同じ轍を踏まないために水生昆虫を食料として開拓するには、同じく水域の生態系であり古くから試行錯誤が行なわれてきた海洋における資源管理での取り組みを参考にして河川生態系の保全を図ることが重要となるであろう。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、アンケートにご協力していただいた皆様に感謝いたします。編集担当者と査読者の方々からは本原稿に対して有益な助言をいただきました。

引 用 文 献

- Collavo A, Glew RH, Huang YS, Chuang LT, Bosse R, Paoletti MG (2005) House cricket small-scale farming. In: Paoletti MG (ed), *Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails*, 519-544. Science Publishers, New Hampshire
- 江口 葉月, 石田 一馬, 井上 光也, 加藤 元海 (2014) 四万十川上流域における河川環境と底生生物. 黒潮圏科学, 7:123-131
- 井上 光也, 小原 直子, 加藤 元海 (2015) 仁淀川源流域における河川環境と底生動物. 黒潮圏科学, 8:118-125
- 加藤 元海, 野崎 健太郎 (2014) 水生昆虫・貝類・甲殻類. (日本陸水学会東海支部会 編) 身近な水の環境科学：実習・測定編, 54-55, 朝倉書店, 東京
- 勝川 俊雄 (2015) 野生生物資源の管理と持続的利用. (日本生態学会 編) 人間活動と生態系, 213-230, 共立出版, 東京
- 川合 禎次, 谷田 一三 (2005) 日本産水生昆虫 科・属・種へ

- の検索. 東海大学出版会, 神奈川
- 丸山 博紀, 高井 幹生 (2000) 原色川虫図鑑. 全国農村教育協会, 東京
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC
- 三橋 淳 (2012) 昆虫食古今東西. オーム社, 東京
- Miyasaka H, Genkai-Kato M (2009) Shift between carnivory and omnivory in stream stonefly predators. *Ecological Research*, 24:11-19
- 森田 健太郎 (2015) 漁業の特性と生物の適応. (日本生態学会 編) 人間活動と生態系, 149-166, 共立出版, 東京
- 森田 健太郎, 池田 浩明 (2015) 人間活動と生態系. 共立出版, 東京
- 本川 達雄 (2011) 生物学的文明論. 新潮社, 東京
- 野中 健一 (2008) 昆虫食先進国ニッポン. 亜紀書房, 東京
- 野崎 健太郎 (2013) 河川実習を通じた人間関係への気づき—自然体験学習が大学生に及ぼす影響—. (渡邊 毅 編著) 人間関係の諸問題, 101-114. 中部日本教育文化会, 名古屋
- 大西 由希子, 加藤 元海 (2013) 鏡川上流域における河川環境と底生生物. *黒潮圏科学*, 6:208-216
- 酒井 暁子 (2007) なぜ生態系を守るのか. (浦野 紘平, 松田 裕之 編) 生態環境リスクマネジメントの基礎, 1-16, オーム社, 東京
- 佐藤 大紀, 加藤 元海 (2013) 高知県新荘川においてニホンカワウソの存続に影響を与えた要因. *黒潮圏科学*, 6:218-228
- 篠永 哲, 林 晃史 (2006) 虫の味. 八坂書房, 東京
- Smil V (2002) Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30:305-311
- 津田 松苗 (1962) 水生昆虫学. 北隆館, 東京
- 内山 昭一 (2012) 昆虫食入門. 平凡社, 東京

