

赤城山の山頂に出現する一時的な湖沼「血の池」における ヤマヒゲナガケンミジンコ (*Acanthodiaptomus pacificus*) の生態について

平野 有里* 安原 正也** 李 盛源**
岩崎 望** 船生 泰寛*** 霜田 奈積****

キーワード：淡水性カイアシ類, 赤城山, 一時的な湖沼, 生活環

1. はじめに

群馬県赤城山の山頂部の標高1450 m付近に位置する「血の池」(図1; 湖面積約0.008 km²)は, 初夏から秋にかけて一時的に湖水が出現する湖沼, すなわち“Seasonal lake”として知られている. この血の池では湖水が消滅する期間があるため魚類は生息できず, その生態系は主にプランクトンから構成されている. その優占種となるのが, ヤマヒゲナガケンミジンコ (*Acanthodiaptomus pacificus*) (図2: メス, 成体)である. 湖水が出現した際に赤色を呈する*A. pacificus*が大発生し, 湖沼が赤く見えることから「血の池」と呼ばれている. *A. pacificus*はカイアシ亜綱カラヌス目ディアプトムス科に属し(川村, 1973), 日本, 千島列島, サハリン島, カムチャッカ, シベリアに分布する(FADA, 2010). また, *A. pacificus*は冷水性であるため,

血の池のような標高の高い場所に存在する湖沼でも多く確認されている(門田, 1971).

橈脚類は底生性あるいは寄生性に至るまで多様な生活形態を持つ分類群であり, その体長は数ミリ程度の微小な甲殻類である(伴, 1998). その生活環は一般に卵から孵化した後VI期のノープリウス幼生期とV期のコペポダイト幼生期を経て成体となる(伴, 1998). *A. pacificus*の成長速度は生活の短縮を行った場合でも卵から成体まで約4か月かかること(門田, 1971)や, 卵の胚形成が済んでいれば14日間でほぼ全ての個体がコペポダイト幼生にまで成長する(Taylor *et al.*, 1990)ことなどが報告されている.

しかし, これらの従来の研究の多くは, 年間を通して湖水が存在する湖沼を対象としたものであり, 「血の池」のような一時的に湖水が出現する湖沼における*A. pacificus*の生態についての研究例はほとんどない

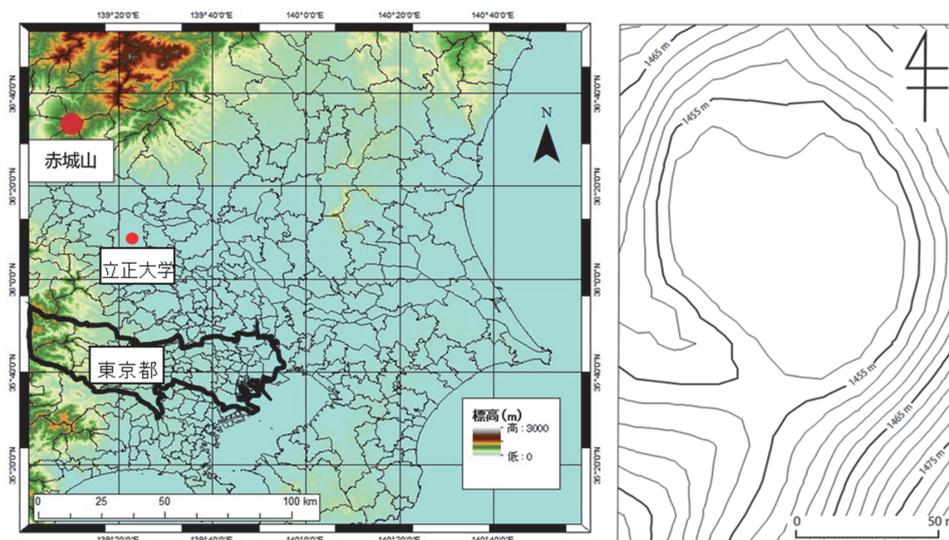


図1 赤城山(群馬県前橋市; 左図)とその山頂部の標高1450 m付近に位置する血の池の地形図

* 立正大学地球環境科学部環境システム学科(学)
** 立正大学地球環境科学部環境システム学科
*** 立正大学大学院地球科学研究科
**** 株式会社ベルク



図2 *A. pacificus*(メス)(2018年10月16日「血の池」で採取)

のが現状である。そのため、生息に水を必要とする*A. pacificus*の血の池のような環境下での生態は未解明な部分が多い。そこで、本研究では湖水の出現から消滅に至る湖水位の変動、さらに、湖水の水質といった水文学的な現象を考慮しながら、赤城山「血の池」に生息する*A. pacificus*の生活環を中心としたその生態を明らかにすることを目的とした。

2. 調査場所と方法

2.1 調査場所

山頂部に「血の池」が位置する赤城山は、群馬県前橋市に位置し、黒檜山、駒ヶ岳、地藏岳、長七郎山、小地藏岳、鍋割山、荒山、鈴ヶ岳といった複数の峰を合わせた一つの火山体の総称である。「血の池」(図3)はこれ

らの峰のうち、地藏岳(標高1674 m)と長七郎山(標高1579 m)の境にある勾配約11度の斜面に囲まれた、標高1450 m程度の平らな低地(旧火口の窪地)にできる一時的な湖沼である(早川, 1999)(北緯36° 32' 08.5", 東経139° 10' 53.8")。

赤城山の麓にある群馬県前橋市の年間降水量は1989年から2018年の過去30年間の平均値で1250.6 mmである(気象庁HP)。これは日本の年間降水量1800 mmに比べて非常に少なく、2018年の月別降水量(気象庁HP)から計算すると、年間降水量の約80%が5月～9月中にもたらされている。「血の池」の湖水の出現と消滅もこのような年間降水量の季節分布に左右され、例年おおよそ初夏から秋ごろにかけて湖水が出現し、その他の時期は干上がった草地となっている。その一例として、2015年から2017年における降水量と湖水出現の関係および湖水出現後の湖水位の変動を図4に示す(船生ほか, 2018)。湖水位のピークは降水終了後から約15～20時間後であり、ピーク到達後は湖水位が急激に低下している(船生ほか, 2018)。

2018年の年間降水量は1246.5 mm(気象庁HP)であり、2018年においては10月1日0:00から10月19日10:00の期間にのみ湖水が認められた(図5; 船生・河野, 2020に加筆・修正)。その最大湖水深は98 cm(10月3日5:00)、また調査を実施した2018年10月16日時点における最大湖水深は37 cm(湖心; 地点A)であった。



図3 「血の池」の状況(上:2018年10月16日撮影, 下:2018年10月19日撮影)

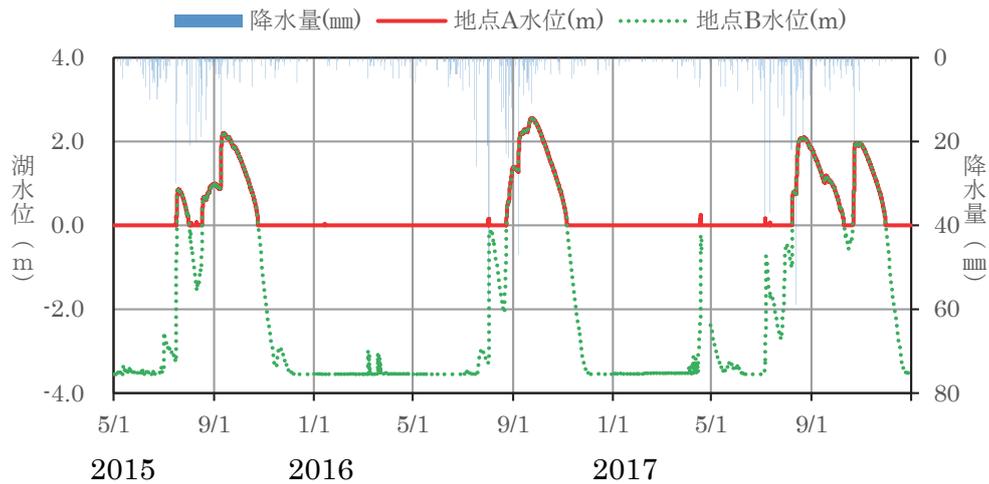


図4 2015年5月1日～2017年12月31日間の日降水量と「血の池」の湖水位（船生ほか，2018）

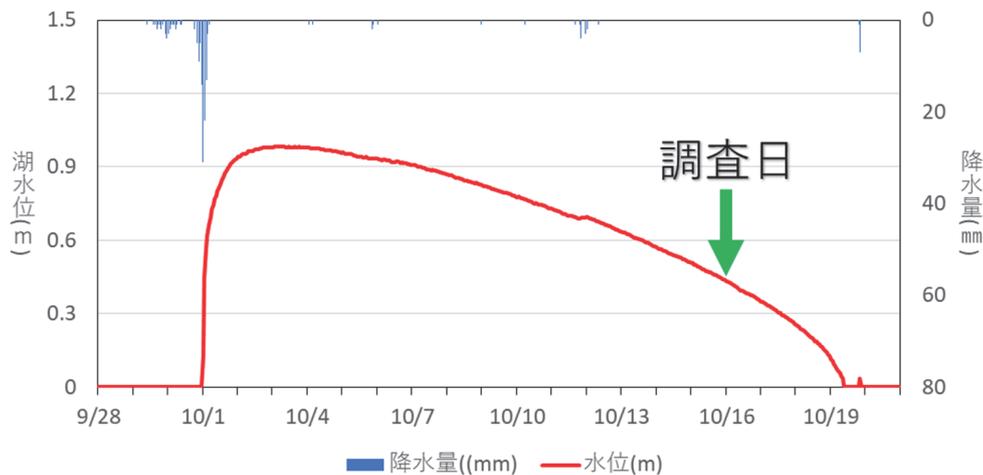


図5 2018年9月28日～10月20日間の日降水量と「血の池」（湖心の地点A（図6））における湖水位のハイドログラフ（船生・河野，2020に加筆・修正）

2.2 調査方法

現地調査は2014年は7月29日，8月5日，8月20日，9月23日および2018年10月16日に実施した。2018年の調査地点を図6に示す。*A. pacificus*の個体サンプル採取は13地点で実施し，湖心である地点No. 7以外の地点では1深度（湖水深10 cm層）のみから採取を行った。湖心である地点No. 7（最大湖水深37 cm）においては5深度（湖水深5 cm，12.5 cm，20 cm，25 cm，30 cmの各層）から採取を行った。この結果，合計で17サンプルが得られた。

*A. pacificus*の個体サンプル採取方法は，各地点において，湖水深10 cm層から1 Lの湖水をポリプロピレン製容器にて採取した。その後，採取した個体サンプルを実験室に持ち帰り，プランクトンネット（32 μ mメッシュ）で濾過した。ただし，地点No. 7においては，ビニール

製のホースをスタッフ（長さ1 m）に巻き付け，ホースの先端を所定の深度にセットしたのち，ベリスタポンプ（GEO-pump-CFC-a，(株)地球科学研究所製）を用いて湖水4 Lを汲み上げ，現地にてプランクトンネット（32 μ mメッシュ）で濾過した（図7）。

プランクトンネットで濾過をした*A. pacificus*は5%のホルマリンにて固定した後，個体数のカウント，ステージの判別，雌雄比の算出を行った。なお，ステージの判別は17サンプルから無作為に抽出した452個体のみについて実施した。また，同個体数452個体を雌雄の判別が可能となるコペポダイトV期以上のステージの中から抽出し，雌雄の判別を第1触角の形状の違い（雌は左右対称であり，雄は片側が変形し非対称である）から行った。

また，現地調査の際に，個体採取地点（地点No. 7においては5深度）ごとに湖水温（サーミスタ温度計；

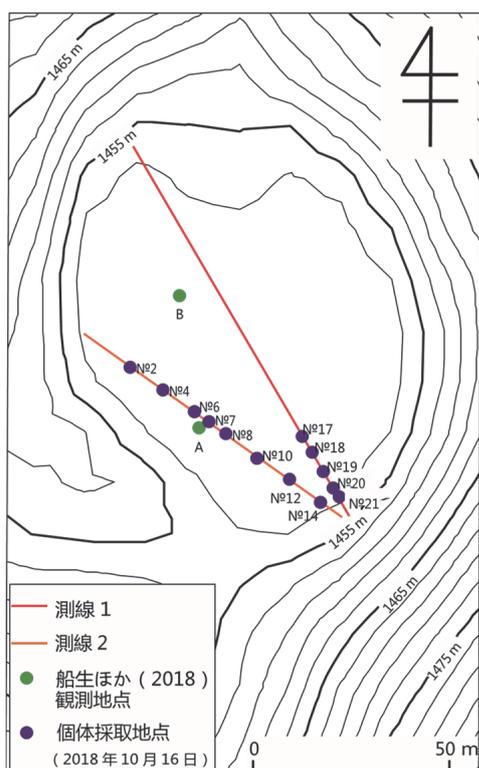


図6 個体 (*A. pacificus*) サンプルング地点 (2018年10月16日)



図7 「血の池」における *A. pacificus* の個体サンプルングの様子 (地点No.7; 2018年10月16日) 地点No.7においてはベリスタポンプ (GEO-pump-CFC-a, 株式会社地球科学研究所製) を用いて合計5深度から深度別の個体採取を行った。

D717, 立山科学工業製), 電位伝導度 (EC) (汎用電気伝導率用セル; 9382-10D, 堀場エステック製), pH (ガラス電極式水素イオン濃度指示計; D-54, 堀場エステック製), 溶存酸素濃度 (DO) および飽和度 (蛍光式溶存酸素計; HQ30d, HACH社製) の測定を行った。

2014年は7月29日, 8月5日, 8月20日, 9月23日に *A. pacificus* の個体サンプルングを行った。各調査日の

最大湖水深は2014年7月29日, 8月5日, 8月20日は最大湖水深約100 cm, 9月23日は最大湖水深約20 cmである。その採取方法は口径25 cmのプランクトンネット (0.25 mmメッシュ) で湖水深0 cmおよび50 cmの2層にて1~5 mの距離を個体数が十分に採取できるまで繰り返し曳いた後でポリプロピレン製容器に入れて5%のホルマリンで固定した。これを湖水深50 cmごとに行っている。それらのサンプルを分割機に40 mLずつ入れ、攪拌させながら4分割 (個体数が多い場合には16分割) した。分割したサンプルをプランクトン計数版 (MPC-200) にのせ実体顕微鏡で *A. pacificus* の個体数カウント、雌雄の判別を第1触角の形状の違い (雌は左右対称であり、雄は片側が変形し非対称である) から行った。

3. 結果および考察

3.1 湖水の水質

2018年10月16日に個体採取を行った各地点、各深度にて測定した湖水温、EC、pH、DOおよびその飽和度を表1に示す。湖水温は7.9~11.1 °C、ECは1.58~2.00 mS/m、pHは6.4~8.0、DOおよびその飽和度はそれぞれ4.8~7.7 mg/L、49~78%の範囲であった。これらの平均値は、それぞれ9.6°C、1.70 mS/m、6.83、6.18 mg/L、64.2%となる。ECは1.70 mS/mと非常に低く、過去の赤城山における降水のECが0.23~7.70 mS/mであること (環境省, 2010)、さらに周辺の土地利用などを考慮すると、他の人為的な汚染源などはなく、湖水の主な起源は降水であると考えられる。

また、地点No. 7における測定項目の平均湖水温は10.8°C、ECは1.65 mS/m、pHは6.70、DOは6.86 mg/L、DO飽和度は73.3%となった。それらの値の範囲は、湖水温は9.8~11.1°C、ECは1.58~1.73 mS/m、pHは6.48~6.83、DOは6.02~7.24 mg/L、DO飽和度は62.5~77.9%であった。それぞれの測定項目において大きな差はなく、垂直方向にほぼ均質な水質であると言える。

3.2 *A. pacificus* の成長速度

2018年10月16日には、13地点 (各1深度) および地点No. 7 (5深度) の合わせて17サンプルから合計7919個体 (平均: 247個体/L) の *A. pacificus* を採取することができた。この17サンプルから無作為に452個体を抽出し、*A. pacificus* の成長ステージを算出した。 *A. pacificus* の成長ステージとその割合を図8に示す。図8から、コペポダイト幼生が全体の97%を占め、その中でもコペポダ

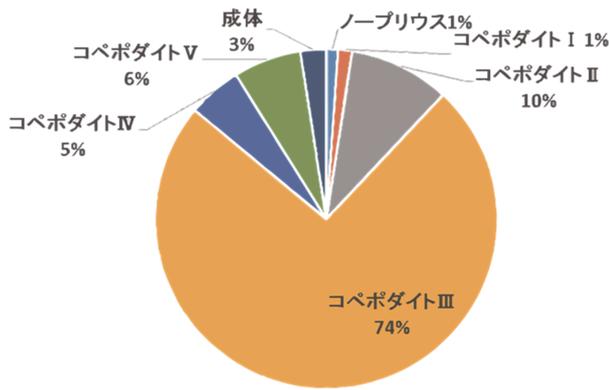


図8 2018年10月16日における*A. pacificus*の各ステージの個体の割合（無作為に抽出した452個体から成長ステージを判別した結果）

イト幼生Ⅲ期が74%を占めることが明らかとなった。一方、ノープリウス幼生や成体はそれぞれ1%、2%と非常に低い割合であった。

上記のとおり、「血の池」に湖水が出現したのは2018年10月1日である。したがって、血の池における*A. pacificus*は2018年10月1日から10月16日までの約2週間で孵化および成長をして、ほとんどの個体が10月16日にはコペポダイト幼生Ⅲ期（図8）となったことになる。

3.1で既述したようにECは過去の赤城山で測定された降水の値の範囲内であり、*A. pacificus*の成長に影響を与えるとは考えにくい。また、pHは中性付近（弱酸性から弱アルカリ）の値を示し、また十分な溶存酸素量を有していることから、pHとDOは*A. pacificus*の成長速度の制限要因ではないものと考えられる。一方、冷水性として知られている*A. pacificus*は、湖水温によって生息および成長速度が大きく制限されると考えられる。特に、*A. pacificus*の発生における最適温度は10℃付近と推定され、10℃以下および20℃以上では発生速度が著しく遅れることが報告されている（門田, 1971）。また、*A. pacificus*の卵は10℃以下で耐寒に入り、約150日間の休眠期間があり、20℃以上では耐熱に入り28℃では約110日間の休眠期間がある（門田, 1971）ことから*A. pacificus*の卵は休眠卵であることが考えられる。2018年10月16日における「血の池」の湖水温の平均値は前述の通り10℃前後（9.6℃）であった。すなわち、門田（1971）に従えば、2018年10月1日から10月16日まで間の「血の池」の湖水温は*A. pacificus*の発生および成長に適していたものと考えられる。さらに、門田（1971）では*A. pacificus*の卵の発眼率は1か月目で26.3%、孵化率は0%、2か月目では発眼率は36.3%、孵化率は3%であったことを報告している。このように*A. pacificus*

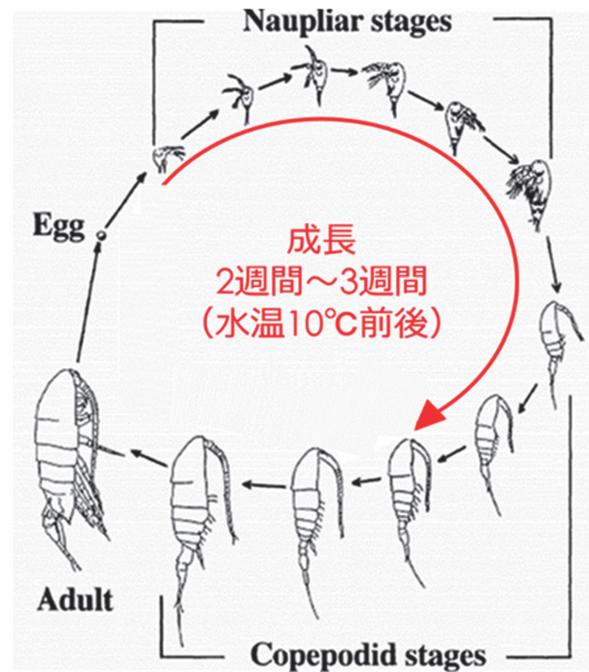


図9 *A. pacificus*の成長速度（水温10℃前後の場合）（伴, 1998に加筆）

の発眼および孵化には数か月の期間が必要であるとする、「血の池」では抱卵個体が発見されなかった2018年10月16日の調査の数日後の2018年10月19日に湖水が消滅していることから、2018年には*A. pacificus*の2世代目は出現していないことが考えられる。この結果、湖水が出現した2018年10月1日から休眠卵の孵化および急速な成長が始まり、10月16日までの約2週間の間にほとんどの*A. pacificus*の個体がコペポダイト幼生Ⅲ期まで成長したと推測される（図9）。

3.3 *A. pacificus*の空間分布

13地点、17サンプルから合計7919個体の*A. pacificus*が採取された。平均密度は約248個体/Lであった。各地点における個体密度は107~240個体/Lであり、その平均値は182個体/Lであった（図10）。また、測線ごとの平均値は測線1では約155個体/L、測線2では約200個体/Lであった。図10のとおり個体密度が200個体/Lを超える地点は測線2（岸辺に近い測線）上に多い結果となった。ただし、以下に述べるように「血の池」における層別に採取した*A. pacificus*の分布は湖水深10 cm層よりも深い層で密度が高くなる傾向を示した。そのため、湖水深10 cm層のみの採取を行った地点においては密度を過小評価している可能性がある。

地点No. 7（湖心）における*A. pacificus*の個体密度と深度の関係（2018年10月16日9~11時）を図11に示す。

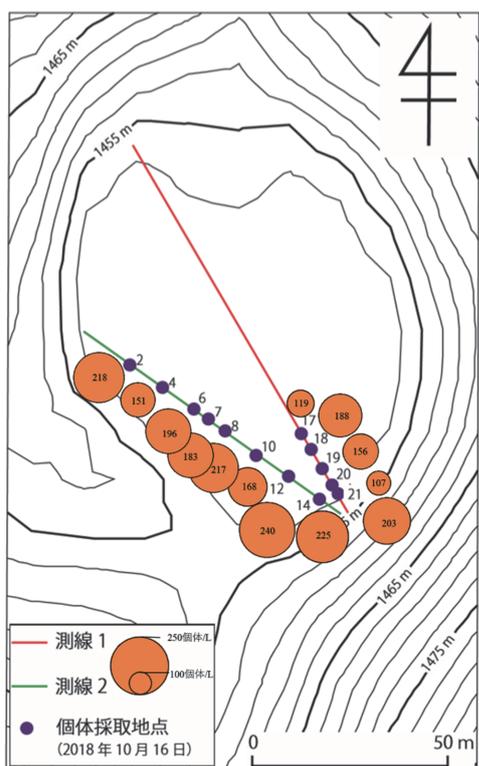


図10 水深10 cm地点における個体密度 (地点No.7のみ水深12.5 cm) (2018年10月16日)

*A. pacificus*の個体密度は湖水深5 cm層で162個体/Lであったが、湖水深が増すにつれて個体密度が増加し、湖水深30 cm層では584個体/Lにまで増加した。2014年7月29日、8月5日、8月20日の湖水深50 cmごとの採取では、7月29日の湖水深0 cm層で約100個体/L、50 cm

層で約250個体/L、8月5日では湖水深0 cm層で約100個体/L、100 cm層で約1000個体/L、8月20日では湖水深0 cm層で約4000個体/L、50 cm層で約8000個体/Lであった。よって2018年と同様に湖水深が深くなるにつれて密度が増す傾向がみられた。以上のことから、個体は深層に多く、その密度の垂直分布は湖水深度と密接な関係性があることが明らかとなった。3.1で述べたように血の池での垂直方向の水質はほぼ均質である。そのため、上記のように深層で密度が高く表層で低くなるのか、现阶段で原因は不明である。今後、ノープリウス幼生や抱卵した個体などの分布と分けて分布の変動および原因を検討していく必要がある。

また、各地点における個体密度とDOおよび個体密度とDO飽和度の間にはそれぞれ決定係数 (R^2) 0.4程度と弱いながらも正の相関が認められた (表1, 図10, 図12)。つまり、*A. pacificus*はDOやDO飽和度の高い地点により多く分布することが示唆される。一方、その他の現地測定項目である湖水温、pH、ECと個体密度の間には、決定係数0.03~0.15と相関は認められなかった。

3.4 *A. pacificus*の性比

2018年10月16日に採取した個体のうち、コベロダイト幼生V期および成体から452個体を無作為に抽出して雌雄を判別した。その結果を表2に示す。表2から雌が394個体 (約87%)、雄が58個体 (約13%)と、雌が圧倒的に優勢であることが明らかとなった。また、2014年

表1 現地測定結果 (2018年10月16日)

地点	湖水深 (cm)	個体採取深度 (cm)	湖水温 (°C)	EC (mS/m)	pH	DO (mg/L)	DO飽和度 (%)
No. 2	15	10	9.4	1.68	6.72	6.06	61.7
No. 4	36	10	9.4	1.63	6.52	5.93	60.8
No. 6	30	10	9.7	1.57	6.50	5.76	59.8
No. 7	37	5	11.1	1.62	6.73	7.13	76.6
		12.5	9.8	1.58	6.48	6.02	62.5
		20	11.1	1.73	6.74	7.24	77.9
		30	11.0	1.69	6.83	7.06	76.3
No. 8	31	10	9.8	1.66	6.51	6.19	64.3
No. 10	26	10	9.2	1.59	6.48	7.27	74.9
No. 12	14	10	9.0	1.68	6.80	7.62	78.0
No. 14	18	10	9.0	1.71	6.64	6.46	65.8
No. 17	17	10	7.9	1.97	7.53	5.39	54.2
No. 18	21	10	9.3	1.91	7.97	5.03	52.0
No. 19	26	10	9.5	1.74	7.33	4.83	50.1
No. 20	30	10	9.5	1.69	6.73	4.76	49.1
No. 21	11	10	8.6	1.69	6.74	6.20	63.3

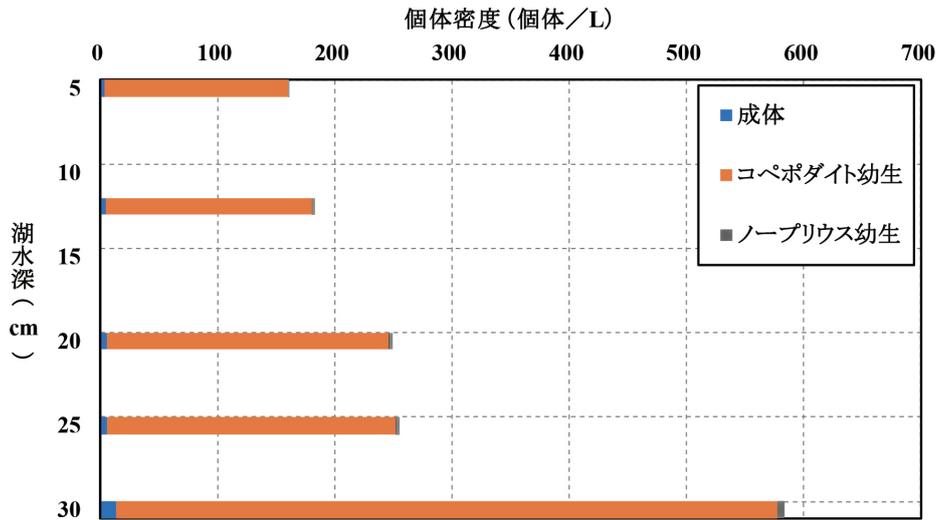


図11 地点No.7 (図7) で採取した *A. pacificus*の深度分布と成長ステージ (2018年10月16日)

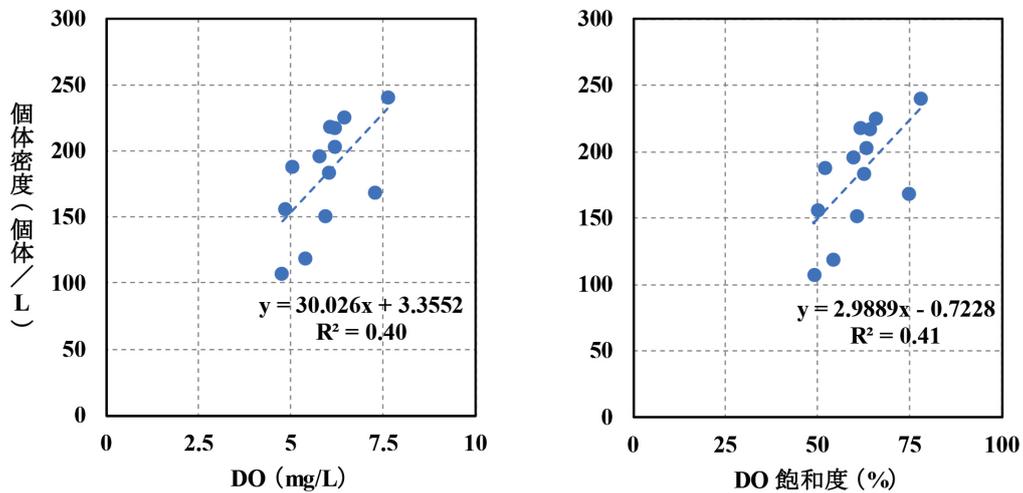


図12 水深10 cm地点 (地点No.7のみ水深12.5 cm地点) における個体密度とDO (上図) ならびにDO飽和度 (下図) の相関 (2018年10月16日)

表2 *A. pacificus*の性比 (2018年10月16日)

調査日	雌個体数	雄個体数	合計個体数	雌割合 (%)	雄割合 (%)
2018.10.16	394	58	452	87.2	12.8

7月29日, 8月5日, 8月20日の性比はいずれも雌が約90%, 雄が約10%と2018年と同様に雌が優勢である結果であった。しかし, 2014年9月23日の性比は雌が75%, 雄が25%とその他の調査日に比べ, 雄が多い結果であった。

牧野 (2007) によると, *A. pacificus*は単為生殖をおこなわず, 両性生殖で世代を重ねている。また, 大塚 (2004) によると, Diaptomidaeの上科である Diaptomoideaから進化したカラヌス目の動物プランク

トンは, 受精嚢を有するため, 交尾回数を減らす方向に進化することが報告されている。*A. pacificus*はこの Diaptomidaeの一種であるため, 性比に偏りがみられることが考えられる。今回および2014年の結果では「血の池」の*A. pacificus*においては性比に著しい雌への偏りが観察された (表2)。また, 門田 (1971) では白駒池にて雌が約82%と「血の池」と同様に雌が優勢であることを報告している。生存が厳しい環境下では雄が複数の雌と交尾を行い, 子孫を残そうとするため雌が優勢と

なることが報告されている (Kato *et al.*, 2011). よって, *A. pacificus* の生存にとって厳しい環境下であった「血の池」や門田 (1971) の白駒池では性比が偏ったと考えられる.

4. まとめ

血の池の生態系において優占種は *A. pacificus* である. 本研究の結果, *A. pacificus* は, 湖水温が10℃程度の環境条件下では2週間程度で卵からコペポダイト幼生中期まで成長することが明らかになった. 今後, 異なる湖水温条件下における生息および成長速度を検討する予定である. また, *A. pacificus* の個体密度の垂直分布は湖水深度と密接な関係があり, 深い所に多く, 反対に浅い所には少ないことが明らかになった. *A. pacificus* の空間 (水平) 分布については, DOやDO飽和度の高い地点に多いことが示唆された. さらに, *A. pacificus* の性比に雌への偏りがあることも明らかとなった. 今後, 異なる時期や環境条件下でも *A. pacificus* の性比を算出し, 血の池における性比の割合の変動およびその原因についても考察する必要がある.

謝辞

本研究を実施するにあたり, 現地調査にご協力頂いた立正大学地球環境科学部環境システム学科の宮川隼一氏に心から御礼申し上げます.

参考文献

伴 修平 (1998): 橈脚類の休眠. 海の研究, 7-1, 21-34.
R-M.Barthelemy, C.Cuoc, D.Defaye, M.Bruet and J.Mazza (1998): Female genital structures in several families of Centropagoidea (Copepoda: Calanoida). The Royal Society, 353, 721-736.

FADA (2010): Crustacea-Copepoda checklist.
<http://fada.biodiversity.be/CheckLists/Crustacea-Copepoda.pdf> (2020年1月10日閲覧)
船生泰寛, 河野 忠 (2020): 一時湖沼の水位変動特性—赤城山山頂火口湖「血の池」の事例—. 地球環境研究, 22, 103-110.
船生泰寛, 河野 忠, 李 盛源, 住田達哉, 牧野雅彦 (2018): 出現と消失を繰り返す赤城山火口湖“血の池”の構造調査と水位変動特性. 物理探査学会, 第139回学術講演会予稿集, 195-198.
早川由紀夫 (1999): 赤城山は活火山か?, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集As012.
門田定美 (1971): 高山湖沼における主要甲殻類プランクトンの生態に関する研究. 陸水学雑誌, 32-3, 47-84.
Kato, Y., Kobayashi, K., Watanabe, H. and Iguchi, T. (2011): Environmental sex determination in the branchiopod crustacean *Daphnia magna*: deep conservation of a doublesex gene in the sex-determining pathway. PLoS Genetics, 7 (3), DOI: 10.1371/journal.pgen.1001345
川村多實二 (1973): 日本淡水生物学. 株式会社図鑑の北隆館, 760 p.
牧野 渡 (2007): ヒゲナガケンミジンコの個体群遺伝構造と移動分散. 日本生態学会全国大会ESJ54講演要旨P2-073.
大塚 攻 (2004): 動物プランクトンの進化. 日本プランクトン学会報, 512, 125-131.
B.E.Taylor, D.L.mahoney, and G.A.Wyngaard (1990): Hatching of *Diaptomus stagnalis* eggs from a temporary pond after a prolonged dry period, Archiv fur Hydrobiologie, 117, 271-278.
気象庁: 「過去の気象データ検索」. https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly_sl.php?prec_no=42&block_no=47624&year=2018&month=7&day=18&view= (2019年11月25日閲覧)
環境省 (2010): 「平成22年度酸性雨調査結果について」. <https://www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/h22/03.pdf> (2019年12月10日閲覧)

Hydroecological study on freshwater copepod in Chino-ike (‘Bloody lake’), a seasonal lake on the top of Mt. Akagi, central Japan

HIRANO Yuri*, YASUHARA Masaya**, LEE Seongwon**
IWASAKI Nozomu**, FUNYU Yasuhiro***, SHIMOTA Natsumi****

* Undergraduate student, Faculty of Geo-Environmental Science, Risscho University

** Faculty of Geo-Environmental Science, Risscho University

*** Graduate School of Geo-Environmental Science, Risscho University

**** Belc Co., Ltd.

Abstract:

Chino-ike, located on the top of Mt. Akagi at an elevation of ca. 1450 m, is known as a seasonal lake in which water only appears from early summer to late autumn. Because of being a seasonal lake, no fish exists there and its ecosystem is mainly composed of plankton. The representative species of plankton in Chino-ike is *Acanthodiptomus pacificus*. Chino-ike is also called “Blood lake” because its water surface used to turn red due to an outbreak of *A. pacificus*. This study aims to clarify the ecosystem in Chino-ike with special emphasis on the life cycle of *A. pacificus*.

The survey was conducted in July, August and September 2014 and in October 2018. Plankton samples were collected from 1 points (2 samples in total with different depths) in 2014 and from 13 points (17 samples in total with different depths) in 2018. The number of plankton in a given volume of lake water was counted in the laboratory.

On 16 October 2018, most of the collected *A. pacificus* were copepodite larvae. From Kadota (1971), it takes at least four months for *A. pacificus* to develop from an egg to a copepodite larva. The growth of *A. pacificus*, however, was found to be much faster in Chino-ike. Under water temperature of about 10°C, *A. pacificus* grew to a copepodite larva in 2 weeks after hatching.

In 2014 and 2018, *A. pacificus* inhabited deeper depths in the lake with a maximum population density of 583.6 individuals per litre at 30 cm depth in the center of the lake (16 October 2018). For both periods of time, the ratio between the number of females and males of *A. pacificus* was found to be 80% of females and 20% of males.

Key words: freshwater copepod, Mt. Akagi, seasonal lake, life cycle

