

飼育実験によるヌマチチブおよびテナガエビの生存上限水温の推定

外山太郎・高濱優太・根本隆夫

Estimation of maximum survival water temperature of *Tridentiger brevispinis* and *Macrobrachium nipponense*

Taichiro TOYAMA, Yuta TAKAHAMA and Takao NEMOTO

キーワード：ゴロ、ハゼ、エビ、川エビ、霞ヶ浦、北浦、不漁問題、温度耐性

目 的

近年、北浦ではワカサギ *Hypomesus nipponensis* をはじめとする複数の種において不漁が続いており、特にハゼ類およびえび類では、2019年および2020年に漁獲量が1t未満あるいは漁獲の事実がない状態にまで減少した(表1)。不漁の原因は定かではないが、夏季の高水温傾向がその要因の一つとなっている可能性が考えられている。事実、北浦の中南部に位置する独立行政法人水資源機構の釜谷沖観測所における表層水温の毎時観測データによると、30℃以上の高水温が2015年および2019年で300回以上、2020年では400回以上も出現した(図1)。また、9月分のデータを含まないため過小評価の可能性がある2018年においても、30℃以上の高水温が300回近く出現している。夏季における高水温は、霞ヶ浦でワカサギのへい死を招くことが報告されており(根本・根本, 2011)、その他の種に対しても同様の影響を及ぼすことが懸念される。しかし、ワカサギでは生存可能な上限水温について知られているのに対し(熊丸, 2003; 根本・根本, 2011)、ハゼ類およびえび類においてそのような知見はない。そこで本研究では、霞ヶ浦・北浦で漁獲されるハゼ類およびえび類それぞれの主な構成種であるヌマチチブ *Tridentiger brevispinis* およびテナガエビ *Macrobrachium nipponense* について、飼育実験によって生存可能な上限水温を推定し、近年の夏季の高水温環境がこれら2種のへい死を招いた可能性について検証することを目的とした。

表1 北浦におけるわかさぎ、ハゼ類およびえび類の漁獲量(t)。「0」は1tに満たない漁獲を、「-」は事実のないことを表す。[出典：政府統計の総合窓口(e-Stat) (<https://www.e-stat.go.jp/>)]

年	わかさぎ	ハゼ類	えび類
2011	27	5	4
2012	35	7	4
2013	41	5	5
2014	43	4	5
2015	26	4	4
2016	18	1	8
2017	9	4	7
2018	6	4	9
2019	1	0	0
2020	1	-	0

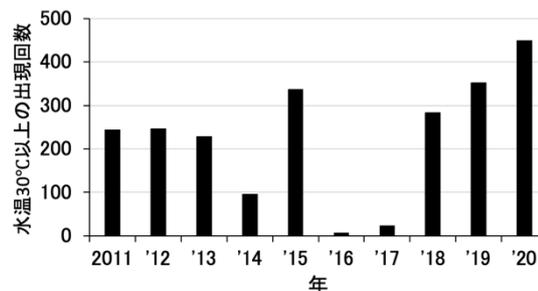


図1 釜谷沖観測所の表層水温の毎時観測データにおける、水温30℃以上の出現回数(2018年は欠測により9月分のデータを含まない)。

材料と方法

(1) 供試個体の採集

ヌマチチブ供試個体は、2021年11月30日の15時から16時にかけて、行方市玉造甲地先の霞ヶ浦湖岸において、ヨシ帯の根元を蹴りさで網へと追い込み採集した。採集時の水温は13.3°Cだった。テナガエビ供試個体は、2021年12月7日の15時に、茨城県水産試験場内水面支場の棧橋からあらかじめ湖底に沈めておいたプラスチック製トラップを引き上げ採集した。棧橋は行方市玉造甲地先の湖岸から沖へ向かって設置されており、トラップは湖岸から約100 m、水深約4.5 mに沈めた。採集時の底層水温は11.0°Cだった。両種とも、体表や体型に異常がない個体をそれぞれ20尾ずつ選別し、以降の実験に使用した。

(2) 飼育水槽の設置

飼育には60×36×30 cmのガラス水槽を用い、井水を約45 L満たした。井水は水槽上部から1時間当たり1 L程度を滴下し、かけ流しとした。曝気は水槽内2か所で行った。昇温にはサーモスタット付き500 Wのヒーターを用い、水温の不均衡をなくすため、ヒーター部と排水パイプ、温度センサー部とヒーター部のそれぞれは遠ざけて設置した。両種とも同種間で争うため、単独飼育用に容積1 Lの透明なプラスチック製広口ボトル(口の直径71 mm)を10尾分ずつ用意し、隠れ家となる小石を入れて水槽に沈めた。飼育水の循環不足による酸欠や水質悪化を防ぐため、ボトル上部は目合い約1 mmの網で覆い、側面には供試個体が出られない大きさの穴を複数個あけた。実験水槽は同様の条件で4個用意した(以降、ハゼ実験区、ハゼ対照区、エビ実験区、エビ対照区と呼ぶ)。

(3) 馴致および昇温実験

両種の供試個体は採集後、直ちに茨城県水産試験場内水面支場内の実験室に持ち帰った。水槽内の水温は約16°Cで、採集場所と水温差があったため、約30分かけて供試個体を入れた容器内を水槽内と同温まで上げてから、各ボトルに1尾ずつ、それぞれの水槽に計10尾ずつ収容した。昇温実験開始時の水温を25°Cとするため、収容後は6日間かけて徐々に25°Cまで昇温させた。その後3日間25°Cで一定に保ち、馴致期間とした。給餌は毎日9時に行い、生きたイトミミズ類を残餌が出ないように適量与えた。収容から馴致期間にかけては、呼吸や行動、外見上の異常は認められず、また両種ともに全個体が収容翌日から餌をよく食べた。昇温実験開始前に測定した平均体重は、ハゼ対照

区および実験区でそれぞれ0.36 g・0.37 g、エビ対照区および実験区でそれぞれ0.62 g・0.64 gで、2種とも両区の間で有意な差はなかった(Student's t-test, N.S.)。

昇温実験時の水温設定の時系列変化を図2に示した。馴致後、ハゼおよびエビ対照区では、実験終了まで水温を25°Cで一定に保った。ハゼおよびエビ実験区では、昇温開始から最初の4日間は24時間ごとに2°Cずつ昇温させた。ハゼ実験区では4日目から10日目までの7日間を、エビ実験区では4日目から8日目までの5日間を33°Cで一定に保った。その後、24時間ごとに2°Cずつの昇温を再開し、供試個体が全てへい死した時点で実験終了とした。

昇温実験中も毎日9時に給餌を行い、実験区では同時に昇温操作も行った。生存状況の確認は毎日9時の給餌・昇温の際(昇温から24時間後)および15時(昇温から6時間後)に行い、へい死個体は水槽から摘出した。

昇温実験中、実験区では温度の上昇とともに溶存酸素濃度(以降、DO濃度と呼ぶ)が低下することが予想されたため、昇温操作から3時間後の毎日正午にDO濃度を測定し、致命的な値まで低下していないかどうかを確認した。測定には東亜ディーケーケー社製DO濃度計HQ30dを用いた。

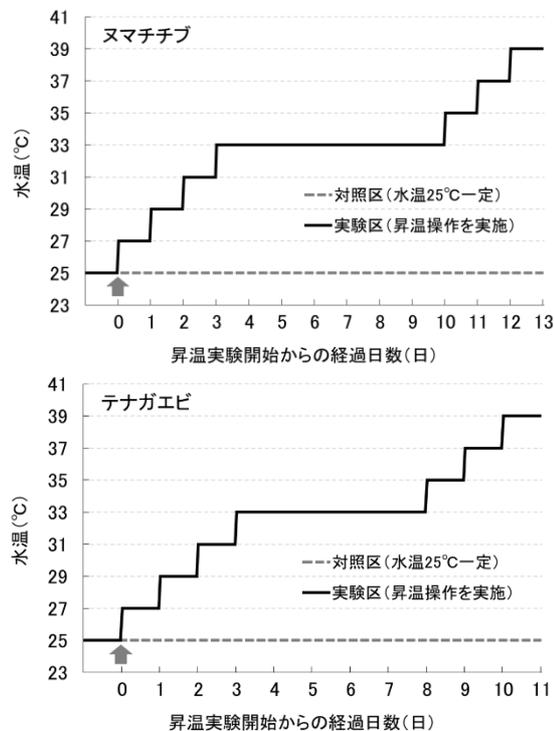


図2 対照区および実験区における水温設定の時系列変化(上:ヌマチチブ;下:テナガエビ)。矢印は馴致期間の終了(=昇温実験の開始)時点を示す。

結 果

(1) ヌマチチブの昇温実験結果

ハゼ実験区では、昇温実験開始から水温を 35℃に昇温して 24 時間後の確認までは全ての個体が生存していた。この期間中は、水温が上昇するほど鰓の動きが速くなっていくのが確認されたが、期間を通して餌をよく食べ、その他の異常は見られなかった。水温を 37℃に昇温したところ、6 時間後の確認では全ての個体が生存し、呼吸が速いこと以外に異常は見られなかったが、24 時間後には 5 尾のへい死を確認した。同時点で生存していた残りの 5 尾は、鰓の動きがそれ以前に比べてさらに速いことに加え、餌に気づくまでの時間が長く、摂餌の挙動が緩慢だったが、餌は食べた。39℃に昇温したところ、昇温 6 時間後に残りの 5 尾全てのへい死を確認した。一方、25℃一定に保ったハゼ対照区では全個体が生存し、期間を通して異常は認められず、餌をよく食べた。昇温実験中、ハゼ実験区の DO 濃度は 6.5～8.8 mg/L、対照区は 7.0～9.5 mg/L で推移した。

(2) テナガエビの昇温実験結果

エビ実験区では、昇温実験開始から水温を 37℃に昇温して 24 時間後の確認までは全ての個体が生存していた。この期間中は、水温が上昇するほどボトル内の動きが活発になり、期間を通して餌をよく食べ、その他の異常は見られなかった。水温を 39℃に昇温したところ、昇温直後は全ての個体が活発に動き回っていたが、6 時間後には 5 尾のへい死を確認した。同時点で生存していた残りの 5 尾は、泳ぎ回らずボトルの底で静止しており、体の中心部の透明度が低く白濁していた。その後、39℃に昇温して 24 時間後には、残りの 5 尾全てのへい死を確認した。一方、25℃一定に保ったエビ対照区では全個体が生存し、期間を通して異常は認められず、餌をよく食べた。昇温実験中、エビ実験区の DO 濃度は 6.7～8.4 mg/L、対照区は 7.1～8.7 mg/L で推移した。

考 察

本研究では、飼育水槽の水温を徐々に上げ、ヌマチチブおよびテナガエビの生存可能な上限水温の推定を試みた。魚類の温度耐性を議論するにあたっては、客観的な評価方法としてダードロフの方法（農林水産省、1965）等により半数致死温度を求めることが一般的である。本研究では両種とも初めてへい死を確認した時点で既に半数が死亡していたため、半数致死温度

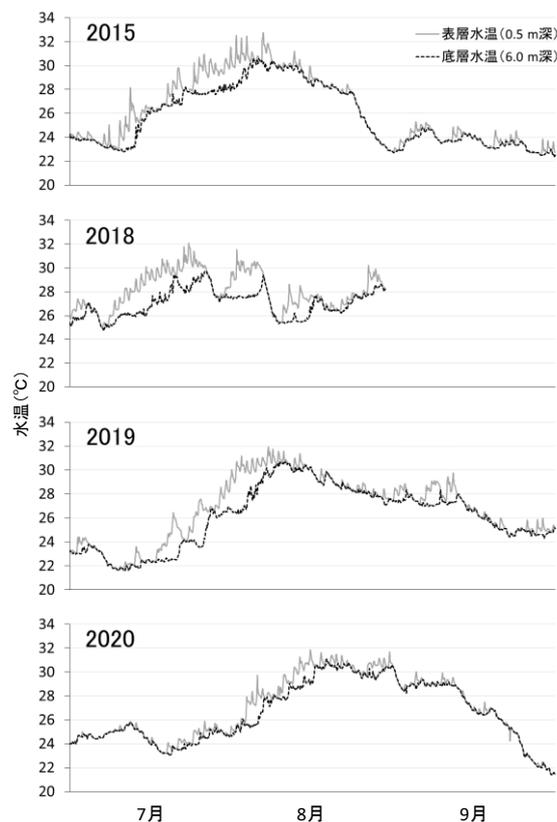


図3 釜谷沖観測所における2015年、2018年、2019年および2020年の夏季の表層および底層水温の毎時観測結果（2018年の9月は欠測）。異常値の除去のため前後1時間、つまり3区間の移動平均値とした。

を求めることができなかったが、少なくとも本研究の条件において初めてへい死が確認される温度および全部がへい死する温度は、ヌマチチブでそれぞれ37℃および39℃、テナガエビでは両方39℃であることが明らかとなった。同じく近年の北浦において不漁であるワカサギでは、飼育実験により求められた半数致死温度が29.1℃とされていることを考慮すると（根本・根本、2011）、ワカサギに比べてヌマチチブおよびテナガエビの方が生存可能な上限温度が高いと考えられた。なお、本研究では水温上昇によるDO濃度低下がへい死を招いた可能性を検証するため、昇温実験中にDO濃度を毎日1回測定した。その結果、最低DO濃度はハゼ実験区で6.5 mg/L、エビ実験区は6.7 mg/Lであり、極端な低下は認められなかった。ヌマチチブに近縁なチチブ *T. obscurus* では、1時間での半数致死DO濃度（1hr-LC₅₀）が水温25℃で0.35 mg/L、30℃で0.5 mg/Lと他魚種に比べて貧酸素耐性が高いとされ（上月ら、2017）、テナガエビでは一定時間以上曝されるとへい死の危険が高まるDO濃度が2.0 mg/L未満であるこ

とが知られている(富永, 2008)。これらの知見は本研究と温度や曝露期間等の条件が異なるため単純に比較はできないが, ハゼ・エビ実験区それぞれの最低 DO 濃度は, 先行知見で示された近縁種および同種における致死的な DO 濃度よりも大幅に高いことから, 昇温実験中の DO 濃度は十分で, へい死の主要原因は貧酸素ではないと推測された。

直近 10 年で水温 30 度以上の出現回数の多かった 2015 年, 2018 年, 2019 年および 2020 年の夏季の, 釜谷沖観測所における表層水温の毎時観測結果を図 3 に示した。底層では, 2015 年, 2019 年および 2020 年において 30°C 以上が続いた期間が数日あるが, 2018 年においては水温 30°C 以上が一度も出現しなかった。一方, 表層では底層よりも水温が高く, 各年とも水温 30°C 以上が数日続いた期間があり, 中でも 2015 年においては, わずかながら水温 32°C 以上も出現した。しかし表層および底層の両方で 33°C 以上となったことは一度もなく, 32°C を超える水温も極めて稀である。本研究では, 段階的に昇温し, 水温 33°C となったところでヌマチチブは 7 日間, テナガエビは 5 日間飼育したところ, 全ての個体が生存し, その期間中は餌食い等に異常が見られなかった。さらに, その後も昇温を続けても直ちにはへい死せず, ヌマチチブでは 37°C, テナガエビでは 39°C に至るまではへい死しないことが確認された。これらのことから, 近年の北浦における夏季の高水温は両種にとって致死的ではなく, 資源量に影響を及ぼすほど大規模なへい死を招いた可能性は低いと推測された。

本研究ではへい死の可能性という, 高水温によって発生する短期的な影響について検討した。しかし, 高水温が水産動物に与える影響は短期的なものだけではなく, 長期に渡って続いた場合にはへい死までは起こらなくとも, 成長の阻害や, それに伴った翌年の産卵数の減少を招く可能性もある。今後, これら 2 種の不漁と高水温の関係を究明するためには, 成長や再生産といった長期的な視点に立った更なる検証が必要だと考えられる。

謝 辞

本報告を執筆するにあたり, 飼育実験にご協力いただいた茨城県水産試験場内水面支場増養殖部の丹羽晋太郎氏および大塚久美子氏, 釜谷沖観測所の水温データをご提供いただいた独立行政法人水資源機構利根川下流総合管理所の金山明広氏に厚くお礼を

申し上げる。

要 約

近年の北浦において顕著な不漁が続くヌマチチブおよびテナガエビについて, 飼育実験により生息上限水温を推定し, 夏季の高水温環境が両種のへい死を招いた可能性を検証した。飼育実験の結果, へい死が確認される温度および全部がへい死する温度は, ヌマチチブでそれぞれ 37°C および 39°C, テナガエビでは両方 39°C だった。また, 水温 33°C でヌマチチブは 7 日間, テナガエビは 5 日間飼育すると全ての個体が問題なく生存したが, 近年特に高水温傾向だった年の北浦において, 33°C 以上の水温は一度も出現せず, 32°C 以上も極めて稀であった。これらのことから, 近年の高水温が大規模なへい死を招いた可能性は低いと推測された。しかし, 高水温が長期的に続いた場合には成長の阻害や, それに伴う翌年の産卵数の減少を招く可能性もあるため, 不漁と高水温の関係を究明するためには, 成長や再生産といった長期的な視点に立った更なる検証が必要だと考えられた。

文 献

- 上月康則・平川 倫・竹山佳奈・松重摩耶・西上広貴・岩見和樹・山中亮一・宮本一之 (2017) 酸素・塩分勾配水槽を用いたチブの貧酸素応答に関する実験的研究. 土木学会論文集 B3 (海洋開発); 73 : 1_839-844.
- 熊丸敦郎 (2003) 霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動要因について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 ; 38 : 1-18.
- 根本 孝・根本隆夫 (2011) 2010 年夏季の霞ヶ浦におけるワカサギのへい死の発生とワカサギの生存可能な上限水温の推定. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 44 : 7-11.
- 農林水産省 (1965) 魚類に対する毒性試験法, 昭和 40 年 11 月 25 日付け 40 農政 B 第 2735 号農政局長通達.
- 富永 敦 (2008) 親テナガエビが生存可能な溶存酸素濃度. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 41 : 15-23.