

学 位 論 文 の 要 旨

専攻	黒潮圏総合科学専攻	ふりがな 氏 名	ふるき たかひろ 古木 隆寛	㊞
学位論文題目	Physiological study on temperature tolerance of the sea skater <i>Halobates germanus</i> 外洋棲センタウミアメンボの温度耐性についての生理学的研究			
<p>半翅目（カメムシ目）に分類されるアメンボ下目は陸水の他にも、外洋や沿岸といった海水など、種によって生息する場所が異なる。中でも <i>Halobates</i> 属（ウミアメンボ属）の内、センタウミメンボ <i>Halobates germanus</i>、コガタウミアメンボ <i>Halobates sericus</i>、ツヤウミアメンボ <i>Halobates micans</i> の 3 種は約 95 万種が記載されている昆虫において、唯一外洋での生息を可能にした昆虫である。このように昆虫が新たな環境での生存を可能にするには、その環境で生き延びるための耐性が必要である。外洋に生息するアメンボの耐性の特徴を明らかにすることは生物の分布拡大などのモデルケースとして大変意義深い。中でも、外洋、沿岸、陸水では経験する温度変動が大きく異なっており、それぞれの場所で生息する種は異なる温度耐性を持っていることが考えられる。本研究では、外洋の温暖で温度変動の少ない赤道域に生息するセンタウミアメンボ、アメンボ下目に分類され、温暖ではあるが温度変動の激しい沿岸に生息するケシウミアメンボ <i>Halovelis septentrionalis</i>、外洋種であるセンタウミアメンボと同系統で、温度変動は少ないが外洋や沿岸に比べて低温の陸水に生息するシマアメンボ <i>Metrocoris historio</i> の温度耐性の比較、また低温及び高温が耐性に与える影響を検証した。さらに、低温と高温ではアメンボにおいてどちらが大きなダメージを与えるのかを検証するために麻痺状態からの回復時間の計測も行った。</p> <p>外洋種のセンタウミアメンボは 2015 年 10-11 月にインドネシア、スマトラ沖南西 50km 定点にて採取を行い、採取場所の水温に近い 30±1℃で飼育した成虫個体の温度耐性の測定及び温度麻痺からの回復時間の測定のみを行い、2016 年 12 月にインドネシア定点にて採取したセンタウミアメンボにおいて低温耐性の測定および、低温・高温が耐性に及ぼす影響を検証した。沿岸種のケシウミアメンボは 2017 年 9 月、2018 年 9 月に沖縄県国頭郡今帰仁村の湧川にて採取を行い、採取場所の水温に近い 30℃で飼育した成虫個体にて温度耐性の測定および低温・高温が耐性に及ぼす影響、温度麻痺からの回復時間の測定を行った。また陸水種のシマアメンボは 2018 年に高知県春野町にある荒倉山の湧水からなる小川にて採取し、採取場所の水温に近い 20℃で飼育を行った後、温度耐性の測定および低温・高温が耐性に及ぼす影響、温度麻痺からの回復時間の測定を行った。</p> <p>温度耐性の測定方法としては、飼育水温と同じ温度に設定した恒温水槽にアメンボを移し、15 分に 1℃ずつ温度の低下または上昇を行い、アメンボが腹部着水などにより水面を滑走できなくなる状態を低温麻痺、高温麻痺とし、また麻痺に陥った温度を低温麻痺温度、高温麻痺温度とし、温度耐性の指標とした。低温・高温が耐性に及ぼす影響としては生息場所より低い温度、または高い温度に 10-12 時間曝した後、同上の方法で麻痺温度の測定を行った。なお昆虫において、温度暴露の後に高温耐性が強化されるという先行研究がほとんどないため、本研究では温度暴露後の低温耐性のみを測定した。センタウミアメンボは低温暴露のために 28℃、25℃に 10 時間、高温暴露のために 32.5℃に 12 時間、ケシウミアメンボは低温暴露のために 28℃、25℃、22℃に 10 時間、高温暴露のために 31℃、34℃に 10 時間曝し、シマアメンボは低温暴露のために 15℃、10℃に 10 時間、高温暴露のために 25℃、30℃に 10 時間曝した。温度麻痺からの回復時間測定に関しては低温麻痺、高温麻痺</p>				

状態に陥った個体を元の飼育温度に戻し、再び滑走し始めるまでの時間を測定した。

温度耐性の比較の結果として、2015 年採取のセントウミアメンボの平均低温耐性は 17.1℃、ケシウミアメンボの平均低温麻痺温度 11.9℃、シマアメンボの平均低温麻痺温度は 6.4℃であり、セントウミアメンボは他の 2 種と比較して有意に低温への耐性が低かった。このことはセントウミアメンボが外洋という年間を通して温暖で温度変動の少ない海域に生息しているため、高い低温耐性能力を持たない可能性が示唆される。しかし、計 7 回採取を行った内、大気振動であるマッデン＝ジュリアン振動が通過した後に採取したセントウミアメンボの低温耐性の能力は通過前よりも高かった。このことは大気振動による大雨が降り続くことで、海表面の温度が低下し、セントウミアメンボが短時間で順応し耐性を高める、いわゆる急速低温耐性強化を行っている可能性がある。ケシウミアメンボの採取時の水温は外洋と同じ 30℃前後であるが、外洋よりも大きな日内変動に曝されるため、セントウミアメンボよりも高い低温耐性を持つと考えられる。またシマアメンボの生息場所の水温は 20℃前後と低いため 3 種の中で最も高い低温耐性能力をもつと考えられる。また、セントウミアメンボの平均高温麻痺温度は 39.6℃、ケシウミアメンボは 42.9℃、シマアメンボは 34.6℃であった。先述の通り外洋種と沿岸種、陸水種の高温耐性も生息水温の日内変動に影響されていると考えられる。

前述の通り、セントウミアメンボは多雨による海水温低下の際に急速低温耐性強化を行っていることが示唆された。2016 年に採取したセントウミアメンボの温度暴露を行わない場合の平均低温麻痺温度は 16.5℃であったが、28℃、25℃の低温に 10 時間暴露した後は 14.0℃、14.1℃と、低温耐性能力が高くなった。ケシウミアメンボでは低温暴露による低温耐性の強化は認められなかった。シマアメンボにおいても低温暴露による低温耐性の強化は認められず、セントウミアメンボはわずかな水温の低下で、急速低温耐性強化を行っているという結果となった。これは季節的な温度変動は小さいものの、急な気象の変化による水温の低下が起こる外洋での生存において重要な役割を果たしていると考えられる。また今回、ケシウミアメンボ、シマアメンボが急速低温耐性強化を示さなかったが、設定した水温は両種ともに採取場所で経験する水温であり、さらに低い温度では急速低温耐性強化を示す可能性がある。

一方、外洋ではエルニーニョなどの異常気象により海水温度の上昇が起こることもある。しかし 32.5℃の高温に 2016 年採取のセントウミアメンボを 12 時間、暴露したところ麻痺の状態に陥り、耐性計測が不可能となった。そのため、30±1℃、28℃で滑走できる状態まで回復させた。しかし、回復している 24 時間で半数以上が死亡した。計測の結果、30±1℃、28℃で回復した個体の平均低温麻痺温度はそれぞれ 21.9℃、21.1℃であり、低温耐性能力が低下した。ケシウミアメンボも 34℃の高温に暴露した結果、低温耐性能力が低下し、シマアメンボにおいても 30℃の高温暴露で、低温耐性能力が低下した。以上のように、3 種ともに高温に曝されることで、その後の低温耐性能力が低下した。これは高温により受けたダメージの回復にエネルギーを使っていることが考えられる。また 3 種の中で暴露中に麻痺、死亡に至ったのはセントウミアメンボだけであり、セントウミアメンボは特に高温に弱い種である可能性がある。現在、エルニーニョによる海水温の上昇が起こる海域でのセントウミアメンボの分布は確認されていないが、今後海水温の上昇が生じれば、セントウミアメンボの生存に致命的な影響を与える恐れがある。

上記のことから、アメンボは低温暴露で耐性が低下しない一方で、高温暴露では低下した。このことから低温に比べて高温はアメンボの生存により不利となる可能性が考えられる。そこで、低温及び高温麻痺に陥った状態からの回復時間の計測を行ったところ、低温麻痺からの回復は麻痺温度に関わらず数秒以内で回復する個体が多いのに対し、高温麻痺からの回復は麻痺温度が高くなるに連れて回復に要する時間も長くなった。特にセントウミアメンボでは 40℃を越す高温で麻痺した

場合に 2 時間以上回復にかかる個体や、回復せずに死亡する個体も多く見られ、高温に著しく弱い種である可能性がある。

熱帯・亜熱帯の外洋に生息するセンタウミアメンボは急速低温耐性強化を行っており、この能力は外洋という温度環境で生息するのに重要な能力である可能性がある。しかし、緩やかな高温により致命的なダメージを受けることも分かった。短時間であれば 39.6℃まで耐えられるが、32.5℃が 12 時間続くことでダメージの蓄積が起これ、高温障害を引き起こされていたことから、センタウミアメンボにとっては、高温の継続が生存に影響すると示唆された。このような現象が昆虫に普遍であるのであれば、昆虫、特に熱帯・亜熱帯から北上する昆虫の生息域の推定、また害虫の駆除といった観点からも今後、重要となってくる可能性がある。昆虫が発育可能な時期は、これまで平均気温や最低気温を元に推定されることが多かった。しかし、最低気温に至るまでに昆虫が急速低温耐性強化を行っている場合、従来不可能とされた最低気温でも生存及び発育できる可能性がある。また高温に関しては今後温暖化などで、気温の上昇が起こった場合に死滅する昆虫も多く現れることが危惧される。害虫駆除の観点としては、施設害虫の駆除において、施設内を 40℃以上の高温に保つことで駆除を行う「蒸し込み」が行われているが、同時に収穫物への影響も生じる危険性から収穫後など、行う時期が限られていることがある。しかし、生息環境よりわずかに高い温度を持続することで、高温障害を引き起こすことが可能であるならば、時期に関わらず駆除を行える可能性がある。

(注) 和文 5,000 字又は英文 1,500 語程度でまとめること。(A 4 版 5～6 ページ, 図表掲載可)
学位論文題目は、英語の場合は、その和訳を併記すること。