HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	夏のムネアカオオアリの凍結過程
Author(s)	大山, 佳邦; OHYAMA, Yoshikuni; 朝比奈, 英三 他
Citation	低温科學. 生物篇, 28, 95-99
Issue Date	1971-01-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17776
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p95-99.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Yoshikuni OHYAMA and Éizo ASAHINA 1970 Freezing Process of the Carpenter Ant in Summer Stage as Indicated by Freezing Curve of the Insect. *Low Temperature Science, Ser.* ***B, 28.***

夏のムネアカオオアリの凍結過程*

大山佳邦
(北海道大学大学院理学研究科)

朝比奈英三
(低温科学研究所)

(昭和45年9月受理)

I.

われわれは前報[1]に於いて，越冬中のムネアカオオアリの凍結過程を調べた。それによるとアリの体には2度に分けて凍結が起り，最初の凍結は消化管内の，2度目の凍結は体組織の凍結であることがわかった。2度目の凍結は最初の凍結で生じた消化管内の氷晶から植氷されて起るものと考えた。最初の凍結の開始温度（第1過冷却点）と2度目の凍結の開始温度（第2過冷却点）との温度差は大きいときには約17°C，平均値の差でも10°C以上であった。また消化管内に氷晶ができても，体組織は −10°C の空気中で15時間ぐらいは過冷却状態を保っていた。水分が多く，また水の移動がおこり易いと考えられる生体で，この様に氷晶の成長を防ぐ有効な防壁が存在するとすれば非常に面白い問題である。われわれはその防壁に相当するものとして，前腸と後腸では外胚葉性のクチクラ層，中腸では囲食膜 (Peritrophic membrane) を考えた。もとよりこれらの膜も前腸のクチクラ層を除き，囲食膜も後腸のクチクラ層も水の移動に対しては何ら障害とはならないことが知られている[2]。そのためわれわれは越冬中のアリと夏の活動中のアリとで，これらの構造ないしは機能に何らかの変化があり，その変化が氷晶の成長に対する防壁として異なった効果を示すのではないかと考え，夏の活動中のアリの凍結曲線を取り，越冬中のアリのそれと比較してみた。

前回と同様，材料としてムネアカオオアリ (*Camponotos obscuripes*) の働きアリを用いた。野外で活動しているアリは北大構内の林で採集した。また実験室内で飼養したアリは北大の苫小牧演習林で4月に未だ越冬場所から出ていない時期に採集した。これを約1月間2°C の冷蔵庫中に保存したのち，湿った砂の中で蜂蜜や昆虫を与え室温で飼養した。

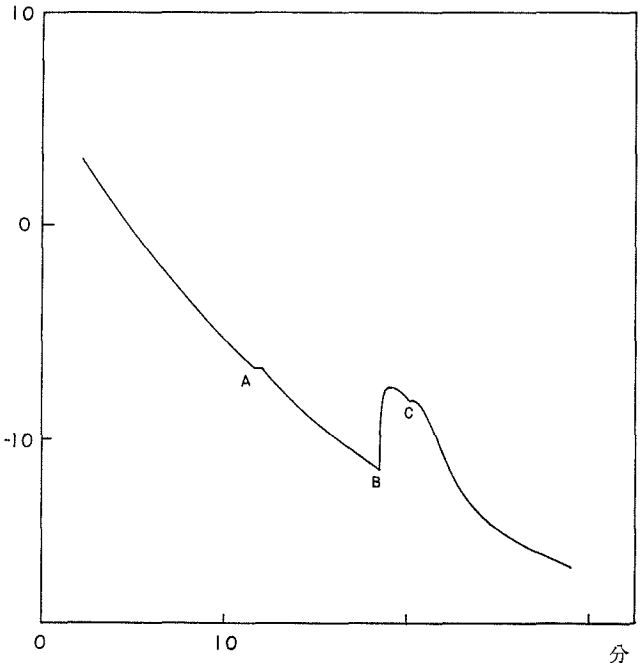
過冷却点の測定方法は前報[1]と同じである。また同時に温度差測定による凍結曲線分析を行なったこともあるが，これも前報と同じ方法である。

II.

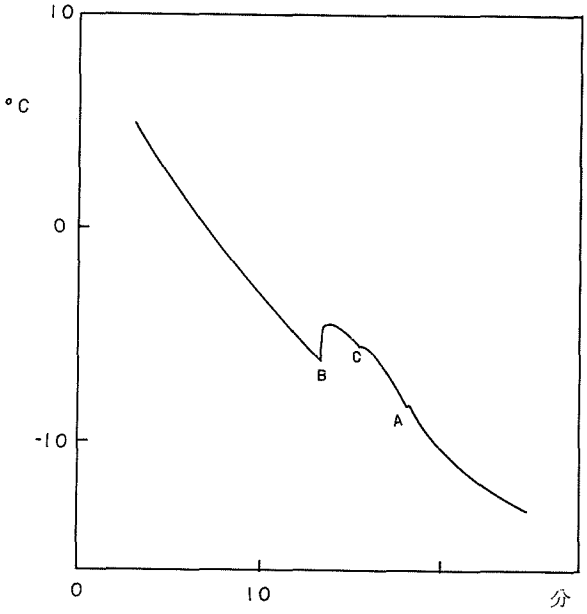
8月に北大構内で採集したアリを直ちに実験室に持ち帰り，凍結曲線を取った（第1, 2図)。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1123号

越冬中のアリ(以下冬のアリと記す)は2度に分けて虫体が凍結したが[1]，第1，2図をみると夏のアリは3回に分けて虫体が凍結していることを示している。凍結曲線分析の結果からみて，Aに於ける凍結は冬のアリの消化管内で起り，Bに於ける凍結は同じアリの体組織の凍結に相応するものであることがわかった。Cに於ける凍結も凍結曲線分析から冬のアリの消化管内の凍結と同じ特徴をもっていた。C点に於ける凍結開始は冬のアリにはみられなかったもので，夏のアリの凍結に特有のものである。以下AとCはそれぞれ消化管内の別々の一部の凍結開始点，Bは体組織の凍結の開始点と考えて先に進むことにする。またCの凍結は常にBの凍結に付随してあらわれるので，以下しばらくはAとBについて述べる。



第 1 図



第 2 図

第1図は消化管内→体組織の順に，第2図ではその逆に体組織→消化管内の順に虫体が凍結していることになる。冬のアリの凍結では常に第1図の型であったが，夏のアリでは第1図の型が約65%，第2図の型が約35%みられた。室温で飼養したアリの凍結曲線は夏に野外で採集したアリの凍結曲線と同じものが得られた。また室温で飼養し，約20日間絶食したアリで第1図のような凍結曲線を示したもののうち約40%のものは凍結曲線上にC点が認められなくなった。第2図の凍結様式を示すものでは夏のアリや室温で飼養し絶食していないアリでは最初にあらわれる過冷却点Bが−6°〜−7°Cであったが，絶食したアリでは過冷却点Bが−10°C以下に低下し，凍結曲線上に過冷却

第1表 様々な条件下でのアリの過冷却点 (°C)

	第1過冷却点	第2過冷却点	第1, 第2過冷却点の温度差
I (越冬中のアリ)	−8.5±0.3	−19.8±4.3	11.2±4.4
II (夏の活動期)	−6.5±1.1	−10.5±2.4	4.0±2.0
III (室温で飼養)	−7.0±0.8	−11.0±2.8	4.0±3.0
IV (飼養—絶食)	−8.5±0.8	−13.9±3.7	5.4±3.7

第1過冷却点として第1図に示した凍結曲線上のAを，第2過冷却点としてはBを取った
冬のアリ以外は第1図の型の凍結曲線のみを取った

点Aが認められなくなった。

次に凍結曲線上にあらわれた過冷却点の温度を比較してみる。第1表は(I)冬のアリ・(II)夏のアリ・(III)室温で飼養したアリ・(IV)室温で飼養し，約20日間絶食したアリの過冷却点を示している。ただし冬のアリと比較するため第1図の型で凍結するもののみを取り，過冷却点としてAとBのみの温度を掲げた。冬のアリと夏のアリとでは全ての数値に有意の差が認められる。即ち第1過冷却点Aは夏のアリの方が冬のアリより約2°C高い温度にあり，第2過冷却点Bもやはり約9°C高い温度にある。両過冷却点間の差は冬のアリで11.2°C，夏のアリで4°Cと大きなひらきがある。夏のアリと室温で飼養したアリとで第1表中の数値にみられる差は有意のものとは認められないし，凍結曲線の型も考慮に入れると両者は凍結の過程に於いて区別できないと考えられる。ここで問題となるのは第2過冷却点Bの性格である。前報に於いてわれわれは同一個体の繰返し凍結によりB点が上昇し，ついにはAと同一のピークとしてあらわれることから，Aで生じた氷晶から体組織が植氷されて凍結すると考えた[1]。しかし夏のアリの場合，第2図の型で凍結するものが約35%ある。少なくともこれらのBの凍結は自発凍結である。これからすると第1図の型の凍結でもBでの凍結の開始はAの凍結で生じた氷晶から植氷されたとばかりは考えられず，むしろ自発凍結の可能性もある。そうだとすると第1表のIとIIを比較して直ちに夏のアリが冬のアリに比べて最初に消化管内に生じた氷晶から体組織への植氷に対する防壁の効果が薄れたと結論することはできなくなる。次に室温で飼養し，約20日間絶食したアリの過冷却点を他の条件のアリの過冷却点と比較してみると，第1過冷却点は冬のアリのそれと差はなくなるが，活動しているアリ(II・III)と比べると有意の差がある。他方第2過冷却点をみると，冬のアリとははっきり差が認められる。また活動中のアリに比べて幾分低下しているように見えるが有意な差ではない。即ち活動中のアリを絶食させることによって消化管内の過冷却点を冬のアリのそれにまで下げることができる。

先に述べた様に夏のアリの凍結曲線には冬のアリでは見られなかった体組織→消化管内の順で凍結することを暗示するものが約35%ある。虫体各部の凍結する順序によって消化管内の凍結開始

第2表 消化管内の凍結開始温度 (°C)

	凍結順序	
	消化管内→体組織	体組織→消化管内
夏のアリ	6.5±1.1	8.0±0.5
冬のアリ	8.5±0.3	10.4±0.7

夏のアリでは消化管の凍結として，凍結曲線上のAを取った

温度は第2表のようになる。ただし冬のアリは足を切り取り，その傷口から植氷して体組織を先に凍結させた。体組織が先に凍結したときの消化管内の凍結開始温度は夏のアリで15°C，冬のアリで1.9°Cそれぞれ消化管内が先に凍結するときより低下している。体組織が凍結し，次に消化管内が凍結するまで平均して夏のアリで5.4分，冬のアリで6.2分要している。この間に消化管内容物がどの程度脱水されるか不明であるが，ある程度脱水されれば消化管内にある氷核形成物[3] (nucleator) の量は同じであっても凍結開始温度は低下するのではないかと思われる。この様に考えると夏冬共に消化管内（夏のアリの場合はA点で始まる凍結）の凍結は自発凍結が起る可能性がある。夏のアリでみられるCでの凍結は常にBで始まる凍結に付随して起るので，Bでの凍結で生じた氷晶から植氷されて凍結が開始されるのではないかと考えられる。他方冬のアリの凍結した虫体の断面を観察して，消化管内は一時に前腸から後腸まで凍結することがわかっている[1]。第2図の型の凍結で，C点は冬のアリならばA点まで低下して一致したと考えられるので（夏のアリでA点が上昇しC点と一致しない理由は後に述べる），Cで始まって凍結する部分の消化管内と体組織との間にある植氷に対する防壁は夏のアリでその効果が薄れていると考えられる。

第1，2図のAとCは消化管内の別々の部分の凍結開始を示すものらしいと述べた。それぞれがどの部分に相当するかを考察してみよう。始めに消化管内が一度に凍結しないで2つの部分に分かれる理由を考えてみる。アリの前腸は食道・嗉嚢・前胃と続き，前胃の末端に嗉嚢の内容物が中腸（胃）に流入しない様に一種の弁で閉じられている。さらにその後に中腸・後腸と続く，この弁によって消化管内が2つの部分に分けられて凍結し，凍結曲線上にAとCとがあらわれるものと思われる。と云うのは絶食したアリで凍結曲線上にCが認められなくなる傾向や，KCNガス中に20分ないしそれ以上置いて動けなくなったアリの凍結曲線には必ずCが認められなくなることである。KCNガス中に置かれたアリはこの弁を閉じていた筋肉の働きが低下し，また絶食したアリでも巣に持ち帰る食物を嗉嚢内につめ込んでいない状態ではやはりこの筋内の作用が低下し一度に消化管内が凍結したと考えられる。冬のアリでCが認められなかったのも，長期間摂食していないのでこの筋肉の作用が低下していても不思議でない。しかしKCNガス処理や絶食したアリではこのAからCにかけて連続的に起きた消化管内の凍結の次におこるBで始まる凍結は，第1，2図のBとCほど接近して起きないことをみると，Cで始まって凍結する部分の植氷に対する防壁は植氷する方向によってその効果に差がある，つまり体組織→消化管の場合は防凍効果が低く，その逆の場合は高いと考えられる。

次にAとCとが消化管内の前腸と中・後腸のどちらの部分の凍結開始点であるかを考えてみる。先に夏のアリではCで凍結の始まる部分で防壁の効果が薄れていると述べた。消化管の各部の機能から考えて中腸や後腸の防壁でその様な変化が起きている可能性がある。嗉嚢内の方が中・後腸内よりはるかに多量の氷核形成物があると考えられるから最初に嗉嚢内で氷核が形成されたと思われる（第1図）。しかし前胃の弁によって中腸には凍結は進行せず，先に体組織が自発凍結する。体組織中にできた氷晶は防凍効果の薄い防壁を通して消化管中に植氷し，間もなく中・後腸内に凍結が起る。第2図の凍結順序を考えると，嗉嚢内で凍結が起る温度（−6.5°C）より高い温度（−5.7°C）で最初に体組織が自発凍結し，これに植氷されて前の場合

と同様中・後腸が凍結する。そして最後に前胃・末端の弁と前胃・嗉嚢内にある冬のアリとあまり効果の変わっていないと思われる防壁によって限られた嗉嚢内の凍結が起る。以上の様な想定からAは嗉嚢内の，Cは中・後腸内の凍結開始点をあらわしているのではないかと推論する。

文　　献

1) 大山佳邦・朝比奈英三 1969 ムネアカオオアリの耐凍性 II. 低温科学，生物篇，**27**，153–160.
2) Wigglesworth, V. B. 1965 The Principle of Insect Physiology, 6th edn. Methuen & Co. London, 741 pp.
3) Salt, R. W. 1958 Application of nucleation theory to the freezing of supercooled insects. *J. Insect Physiol.* **2**, 178–188.