



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ムネアカオオアリの耐凍性 II : アリの体内で最初に氷ができる場所
Author(s)	大山, 佳邦; OHYAMA, Yoshikuni; 朝比奈, 英三 他
Citation	低温科学. 生物篇, 27, 153-160
Issue Date	1970-02-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17761
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p153-160.pdf



ムネアカオオアリの耐凍性 II*

アリの体内で最初に氷ができる場所

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44年9月受理)

I. 緒言

昆虫の耐凍性の機構をしらべるに当たって、冷却された虫体の中で、まずどこから凍結が始まるかと云うことは、耐凍性昆虫の中に、水滴の過冷却能力から想像して異常なほど高い温度で過冷却がやぶれるものがあることを考えると、甚だ興味を引く問題である。

越冬期の昆虫において、その過冷却状態がやぶれ凍結が始まる温度、即ち過冷却点は同一種類では個体が異なってもかなり近い値を示す。また同一個体で凍結・融解したものを再凍結したときにも、二度目に得られた過冷却点は最初のそれときわめて近い値を示す¹⁾。これらの事実は凍結が虫体内の決まった場所で開始されるのではないかと云う考えを起こさせる。

Salt は摂食期と非摂食期の昆虫を用いて、その過冷却度を比較し、非摂食期の昆虫の方が容易に過冷却することを見出し、虫体内の凍結は食物と一緒に摂取した消化管内の異物が核となって開始されるのではないかと述べている^{2,3)}。彼は後に *Cephus cinctus* の越冬幼虫を用いて、多くのものが腹部7~9節で凍結が始まることを観察している。この腹部7~9節には後腸(hind gut)があり、この部分の消化管内で虫体の凍結が始まるのが実験的に確かめられた⁴⁾。また丹野(未発表)は異なった条件で凍結したポプラハバチの越冬幼虫の凍結切片を観察し、やはり消化管内で凍結が始まるのではないかと考えた。

越冬中のムネアカオオアリは先に丹野によって研究され⁶⁾、この成虫を人工的に植氷した場合にはその耐凍性はほとんどないが、0°Cで飼養されるとアリの過冷却能力は相当に高まることが明らかにされた。この場合、-10°Cにさらされたアリは少なくとも3日間はその体が軟いままでいることから過冷却状態であろうと推論されたのであった⁵⁾。しかしその後この昆虫の凍結過程を凍結曲線をとってしらべた結果、外見上虫体が軟いままである-10°Cにおいても体内に氷の生成があることが判明した⁶⁾。本文はこのようなアリの体の中の凍結がまず消化管の内部に起こり、さらに虫体はるかに低温まで冷されてから他の組織の凍結が起こると云う興味深い事実について報告する。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1013号

実験材料の採集に当たって大きな助力をあたえられた飯島一雄氏に厚くお礼申し上げる。

II. 材料と方法

1969年2月18~20日に釧路国，標茶町にて採集したムネアカオオアリ *Camponotus obscuripes* Mayr を材料として用いた。ミズナラの朽木の内部で越冬中のア리를営巣していた場所の木屑と共に実験室に持ち帰り，約2°Cの冷蔵庫に保存した。実験に用いたアリは2°Cに約20~60日間おいたものである。働きアリは十分な数の個体が得られたが，幼虫・女王・雄アリは多く得られなかったので，働きアリ以外はそれぞれ過冷却点の測定のみを使用した。

野外での越冬状態については別に報告したが⁶⁾，ミズナラ切株中の巣内の温度は日中-4~-6°Cを示し，このアリが営巣していた倒木の中心部の温度は最低-9°Cを記録した。

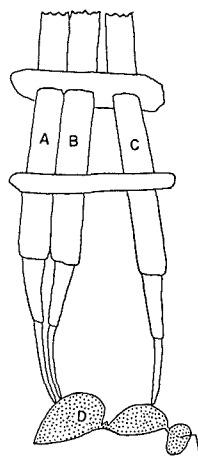
アリの過冷却点を測定するために各個体の凍結曲線を求めたが，同時に温度差測定による凍結曲線分析 (differential thermal analysis, 以下 DTA と記す) も行なった。第1図に凍結曲線と DTA 曲線とが同時に得られるように組合わせた熱電対先端を示す。熱電対の3本の先端が体表に接着するようにワセリンで虫体に固定した。また虫体を脱脂綿にくるんでセロファンテープをまき，綿と体表との間に熱電対先端を挿入した場合もあったが，この二つの方法の違いによる過冷却点の変化はみられなかった。このようにセットした虫体を3ないし4重にした透明なプラスチック製のビンの中に吊し，約-28°Cの冷却箱内で冷却した。このときの冷却速度は0°C付近で1~2°C/分であったが，この程度の冷却速度のふれによる過冷却点の変化はみられなかった。

虫体の凍結状態を知るため，凍結した虫体の断面を作って観察した。-20°Cの低温室内で安全カミソリの刃をつけた回転式マイクロトームを用い，アニリンで木製ブロックに固定した凍結虫体を切片を得る要領で削って適当な断面を出した⁷⁾。虫体の凍結は3つの異なった条件で行なったが，詳細は後に述べる。切り出した直後は表面にナイフ・マークがついていたり，断面の氷晶が乱反射して本来の氷の形がつかめないのので，約24時間-20°Cの低温室内に放置し，表面の氷が昇華した後に観察した。写真撮影はメディカル・ニコールを用い，倍率3×で行なった。

III. 結果と考察

凍結曲線及び DTA 曲線

幼虫・女王・雄アリ・働きアリで測定された過冷却点は第1表にまとめた。またその際得られた働きアリの凍結曲線と DTA 曲線を第2図に示した。第2図の曲線(1)はアリの体表の温度を直接測定したものであり，曲線(2)は熱電対先端を腹部と胸部の体表に着け，この二つの部分の温度差を記録したものである。ただしこの場合の目的は温度差の数値を求めることでは

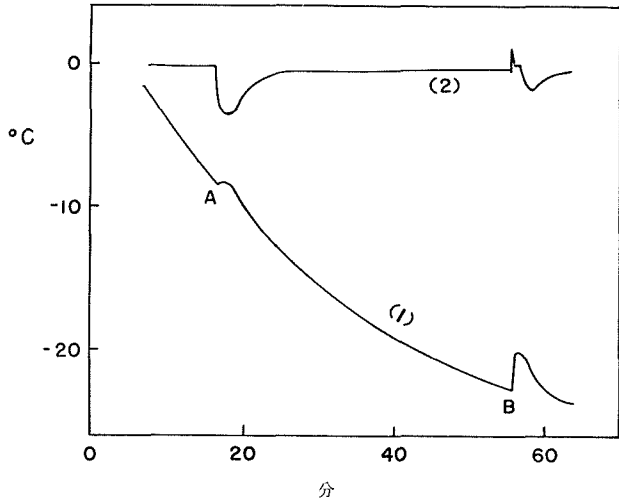


第1図 虫体の凍結曲線と DTA 曲線とを同時に得るために組合わせた熱電対先端 A, 凍結曲線用; BとC, DTA 曲線用; D, 虫体

第1表 ムネアカオオアリの過冷却点

	過冷却点 (°C)		冷却速度 (°C/分)	
	第1	第2		
幼虫				
1	-15.0		1.2	
2	-14.0			
3	-11.0			
4	-13.3			
女王				
1	-9.3	—	0.9	
2	-9.1	-18.6		
3	-8.9	-9.0		
4	-9.5	-23.7		
5	-10.0	-26.3		
雄アリ				
1	-9.1	—	0.9	
2	-9.5	-9.8		
3	-9.5	-9.5		
4	-9.6	-12.0		
5	-9.5	-15.7		
6	-10.1	-21.0		1.0
7	-9.1	-17.0		
8	-8.6	-9.7		
9	-8.9	-11.5		
10	-9.5	-9.9		
働きアリ				
1	-8.5	-19.6	0.9	
2	-8.0	-23.4		
3	-8.5	-22.4		
4	-8.5	-17.5		
5	-8.2	—		
6	-8.0	-10.3		0.8
7	-8.6	-23.3		
8	-8.9	-21.5		
9	-8.9	-25.6		
10	-8.5	-18.4		
	-8.5±0.3	-20.2±4.7*		

* 5を除く9例



第2図 働きアリの凍結曲線(1)とDTA曲線(2)
(第1表の7の個体)
A, 第1過冷却点; B, 第2過冷却点
曲線(2)で下側へのふれは腹部の凍結,
上側へのふれは胸部の凍結を示す

なく、凍結に伴う発熱がどちらの部分でより多く起こったかを知ることである。以下越冬中の本種の群のなかでは圧倒的に多数を占める働きアリの場合について主として述べよう。

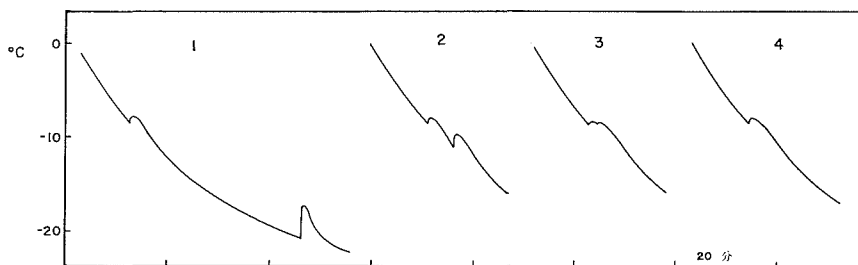
過冷却点は幼虫では1つしかみられなかったが、女王・雄アリ・働きアリではそれぞれ二つみられた(第2図, AとB)。このことは幼虫では一旦体内の過冷却が破れると一度に全体が凍結してしまうが、成虫ではそれぞれ体内の一部

に氷が形成されても何らかの防壁が存在して氷の生成はその一部に限定され、さらに過冷却度が増して始めて体全体が凍結することを示している。このことはまた次のようにして直接確かめられた。第1過冷却点(第2図, A)で体内の一部が凍結し、第2の凍結が起きていない個体の腹部をピンセットでつまむと、少なくとも腹部の後半は必ず軟いが、第2過冷却点(第2図, B)が現われた後では必ず腹部全体が硬化していた。第2図の曲線(2)もこの間の出来事をあらわしているが、これについては後に述べる。

このアリの凍結・融解後の生存、即ち耐凍性に関しては竹原・朝比奈⁸⁾及び丹野⁵⁾の報告があり、前者は冬期野外で採集されたものを2°Cの冷蔵庫に保存した材料、後者は野外で採ったものを室温に置いて一旦体内のグリセリンを消滅させ、これを0°Cに置いて再びグリセリンを作らせた材料であった。これらの実験は共に第2の凍結を起こすような凍結条件を虫体にあたえている。今回とはほぼ同じ条件の材料を用いた前者の実験では-10、-20°C、2時間の凍結で生存したものはなかったが、この場合は虫体に植氷しているため-10°Cの凍結でも第2の凍結が起きた状態となっていたと考えられる。今回の実験では第1過冷却点で体内の一部に氷

晶が形成されても、このアリを融解すると例外なく生存していた。 -10°C の冷却箱内でアリの凍結曲線をとると、第1過冷却点での凍結が起きてから15時間 -10°C 中で経過しても第2の凍結は起こらなかった。このように凍らせてあったアリを室温にもどして飼養すると正常に活動し、150日以上生存しているものもある。野外で測定した棲所の温度⁶⁾から判断して、このアリの巣内が第1過冷却点以下になる可能性は十分あり、また実験室に於ける冷却に比べてはるかにゆるやかな温度変化である野外の条件では、もっと高い温度で第1回目の過冷却が破れることもありうるだろう。従って第1過冷却点での凍結に対するこのアリの耐凍性は生態的に重要な意味があり、同時に自然状態ではこのアリが体表より植氷される可能性はきわめて少ないものと予想される。

越冬期の昆虫を用いた耐寒性や耐凍性に関する実験は幼虫や蛹の時期のものが主に扱われ、それらは一旦体内に氷が形成されると、それに続いて一度に体全体が凍結する 경우가ほとんどであった。このアリの場合、成虫ではあるが二つの過冷却点がみられ第1過冷却点は比較的変動が少ないが、第2過冷却点についてはかなりの変動があった。即ち第2過冷却点での凍結が第1過冷却点での凍結と同時に起きている第合(第1表、働きアリの5)から、第1と第2過冷却点との間に約 17°C の温度差がみられる場合(同じく9)までであった。このような変動は第2過冷却点での凍結を次のように理解することによって説明できる。第2過冷却点での凍結は第1過冷却点で生じた氷晶から防壁を通しての植氷によるものであるか、それとは独立して起こる自発凍結であるかと云う二つの解釈ができるが、恐らく前者であろう。と云うのは一旦第2過冷却点での凍結が起きるまで冷却した虫体を融かし、約2時間おいて再凍結した場合に、第1過冷却点はほぼ前回と同じ温度であるが、第2過冷却点は明らかに上昇する傾向がある。更に凍結一融解を繰返すと、ついに第1・第2過冷却点の一つのものとなり、一時に体全体が凍結した(第3図)。このことはそのアリの体内にある防壁、即ち第1過冷却点で生じた氷



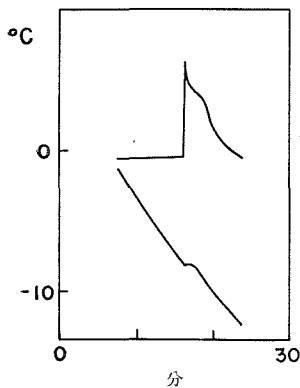
第3図 同一個体の繰り返し凍結・融解による第2過冷却点の変化
各曲線に付した数字は凍結の回数を示す

晶が体内の他の部分へ植氷することを防いでいた防壁が凍結・融解によってその効果を減少していったと考えられる。従って第1表の第2過冷却点の変動は個体毎に有する防壁の効果の違いによって生じたと思われる。第2過冷却点の平均値は第1表の働きアリの5を除く9例では $-20.2 \pm 4.7^{\circ}\text{C}$ となる。第1過冷却点は $-8.5 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ であるから、その差は 11.7°C となる。また乾いたペトリ皿に入れた10匹のアリを -10°C の冷却箱内に15時間以上おいたとき、腹部全体が硬化したものの、即ち第2過冷却点での凍結が起きたものはそのうち2匹であった。これ

らのことから考えて防壁はかなり安定なものと考えてよさそうである。この防壁が安定であることはアリが第1過冷却点で凍った場合に生存できる第1の要素と云えよう。

第2図の曲線(2)は熱電対先端を腹部と胸部に付けた場合のDTA曲線である。図の下側に向って生じる突出部は腹部での凍結、即ち腹部での潜熱の放出により胸部に付けた熱電対との間に温度差が生じた場合をあらわし、上側へのふれは腹部より胸部での発熱の方が大きいことを示すものである。従って第1過冷却点での凍結は腹部のみで起きているか、或いは少なくとも胸部で凍結するよりはるかに多量の水が腹部で凍結していることを示している。このことは今回測定した全てのアリで一致した結果であった。第2過冷却点での凍結は腹部と胸部とで共に起きている、DTA曲線は両方の発熱が互に打ち消し合っているため複雑になっている。この理由によりDTA曲線の型は各例でまちまちであった。同一個体で熱電対先端の位置を変えずに行なった再凍結のとき第2過冷却点が少し上昇したため同一のDTA曲線とはならないが、同じような特徴をもつ型が現われた(第4図)。従って第2過冷却点での凍結は各個体でそれぞれ異なった場所で開始されるかもしれないが、同一個体では第1過冷却点で生じた氷晶から決まった場所を通して植氷されるのではないかと考えられる。

第1過冷却点での凍結が主として腹部で開始されることがわかったので、熱電対先端を腹部の前・後端に付け、どちらが凍結開始点に近いかを確かめようとした。両方の接点は共に凍結に共う発熱を感じているが、凍結の開始を示す急速な発熱は必ず腹部前部に現われている(第5図)。しかし凍結の開始点について上の結果をそのまま採用することは危険である。と云うのは両接点間に凍結すべき水が一様に分布しているわけではなく、また熱の伝導に関しても凍結場所と両接点間で等しい条件にあったと云う保証もないからである。

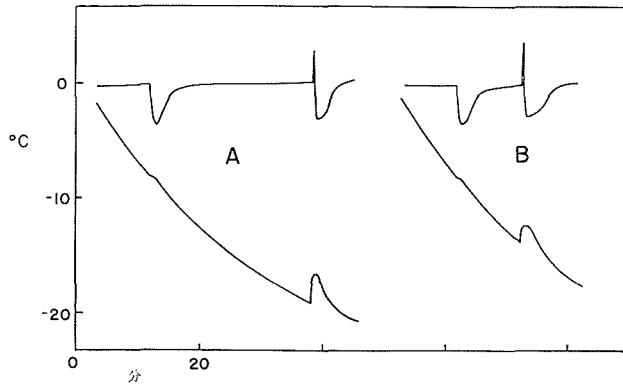


第5図 熱電対先端を腹部前・後端に付けた場合の第1過冷却点におけるDTA曲線(上)と凍結曲線(下)。上側へのふれは腹部前部、下側へのふれは後部の凍結を示す

第1過冷却点での凍結が主として腹部で開始されることがわかったので、熱電対先端を腹部の前・後端に付け、どちらが凍結開始点に近いかを確かめようとした。両方の接点は共に凍結に共う発熱を感じているが、凍結の開始を示す急速な発熱は必ず腹部前部に現われている(第5図)。しかし凍結の開始点について上の結果をそのまま採用することは危険である。と云うのは両接点間に凍結すべき水が一様に分布しているわけではなく、また熱の伝導に関しても凍結場所と両接点間で等しい条件にあったと云う保証もないからである。

凍結した虫体の断面の観察

第1過冷却点での凍結が虫体内のどの場所に行き、どの部分に限られているかを確かめるため、凍結した虫体の断面を切り出して観察した。虫体を凍結させるのに次の3種類の方法をとった。



第4図 同一個体で初凍結(A)と再凍結(B)とを行なった場合のDTA曲線

- a. 室温から直接液体窒素中へ入れ2時間おく。
- b. 室温から -30°C の低温室へ入れ2時間おく。
- c. 室温から -10°C の低温室へ入れたアリのうち、腹部の軟いもののみを液体窒素中へ入れて2時間おく。

これらのうち c の場合は -10°C に一晩おいて第1過冷却点で開始された凍結が平衡状態に近づくようにさせた。

以上の凍結条件で、a は急速凍結により体全体にきわめて微少な氷晶のみができ、虫体の断面は氷粒をはっきり認めにくいために未凍結の状態に近い形態がみられると思われる。b は第2過冷却点での凍結が起きたあとの状態をあらわすであろう。c の場合は第1過冷却点で生じた氷晶が体内の一部に局在し、他の部分は a の場合と同じ像が期待できる。

結果は図版1に示されている。1は切り出した直後の像である。これは a の凍結条件であるが、b や c の凍結条件でも切った直後はこのように断面にある氷が氷粒の大きさにかかわらず光って見えて区別できない。虫体を切ってから -20°C の低温室内に約24時間放置しておく、表面の水が昇華して組織内にある氷が微少結晶であるか大塊をなすものであるかの区別がつくようになる。このような処理後の写真を2, 3, 4に示す。2は a の凍結条件のもので1で輝いていた切口の氷は昇華して各組織に氷塊はみられない。3と4はそれぞれ b と c の凍結条件である。これらは共に嚙嚢中を占める大きな氷塊が輝いてみられる。4では第1過冷却点で生じた氷晶以外は2と同じはずであるから、この嚙嚢内の氷晶は第1過冷却点での凍結で形成されたと断定できる。同様に4で胃や食道にみられる氷も第1過冷却点で凍ったと考えられる。DTA 曲線の結果も加味して考えると、第1過冷却点での凍結は恐らく嚙嚢で凍結の開始があり、ほとんど遅れずに消化管内全体が凍結するものと考えられる。そして第1過冷却点付近で生じた氷晶は消化管の内腔に限られると思われる。今回の方法では消化管壁の細胞層に凍結が起きているか否かは不明である。しかし膜翅目昆虫の消化管には管壁の内側に非細胞性の膜があることが知られている⁹⁾。恐らくこのようなものが防壁となって第1回目の凍結で生じた氷晶は消化管の内腔に限られていると思われる。第1過冷却点付近で DTA 曲線が腹部のみの凍結のようにみえたのは胸部での食道内の凍結に比べて腹部でははるかに多量の水が嚙嚢や胃などで凍結したので曲線の上には現われなかったのであろう。

前述のように第2過冷却点付近での凍結は消化管内腔の水から他の組織への植氷によって起こされた体全体の凍結をあらわすと思われる。3をみると消化管以外の部分に氷が存在することはこの写真だけからでは確認できないが、さらに内部に焦点を合わせた別の写真等で認められた。そして3の胸部をみると他の凍結条件に比べて大きな変化を示している。b の凍結条件と a, c の条件とで、消化管以外の部分に起きている違いとしては、b の場合は細胞外凍結、a, c の場合は細胞内凍結であると考えられる。腹部でも同様に b の場合は細胞外凍結が起きているので、凍結状態の違いだけでは胸部の変化を説明できない。腹部と胸部の組織を比較すると、腹部では消化管以外はほとんど脂肪細胞であるが、胸部では最も筋組織が発達している。従って凍結時に胸部の内容形態が変化していることは細胞外凍結によって筋組織の配置が変り易いことを示している。また2と4で胸部の筋組織の形態が同じである事実は、第1過冷却点

で起こった凍結のみならば一晩 -10°C におかれていても、消化管以外の部分は過冷却状態のまま保たれていることを暗示している。

IV. 要 結

越冬中のムネアカオオアリの働きアリを用いて、昆虫の凍結過程を知る目的で凍結曲線をとって、同時に温度差測定による凍結曲線分析 (DTA) も行なった。このアリは二度にわたって虫体が凍結する。最初の凍結は約 -8.5°C で起こり、次に起こる凍結は虫体がさらに冷却されて -20°C 近くになって起きる。この後者の凍結開始温度、即ち第2過冷却点は個体によって変動が大きかった。このように二度にわたって虫体が凍結するのは最初の凍結によって生じた氷が効果的な防壁によって体内の一部に限定されるためと考えられる。DTA 曲線によると、最初の凍結の開始点は腹部にみられ、しかも腹部の前半部と思われる。第2過冷却点で起こる凍結はまだ凍っていない他の組織がほとんど同時に体内で凍ることを表わしている。

第1過冷却点での凍結で生じた氷が如何なる部分に限られ、何が防壁となっているかを知るために、凍結した虫体の断面を -20°C の低温室内で切り出した。3種類の方法で凍結した虫体の断面を観察した結果、最初の凍結は消化管内容物であり、2度目の凍結は残りの体組織であった。恐らく最初の凍結は嚙嚢で始まり、ほぼ同時に消化管全域が凍結する。このとき防壁となるものは管内の非細胞性の膜と考えられ、第2過冷却点で始まる凍結は、さらに冷却がすすんで、先に生じた氷晶から消化管壁を貫いて植氷されてまだ凍っていない他の体組織が凍結したことを表わすと考えられる。

なおこのアリを用いた以前の実験で耐凍性はみられなかったが、そのときは第2過冷却点での凍結がすでに起き、体組織の凍結が起きた状態であった。今回の実験で最初の凍結、即ち消化管内の凍結のみでは常温にもどせば完全に回復することがわかった。このことは本種の野外での耐寒性を説明する重要な事実である。

文 献

- 1) 丹野皓三・朝比奈英三 1964 ポプラハバチの耐凍性 I. 低温化学, 生物篇, **22**, 59-70.
- 2) Salt, R. W. 1953 The influence of food on cold hardiness of insects. *Can. Ent.*, **85**, 261-269.
- 3) Salt, R. W. 1958 Application of nucleation theory to the freezing of supercooled insects. *J. Insect Physiol.*, **2**, 178-188.
- 4) Salt, R. W. 1966 Factor influencing nucleation in supercooled insects. *Can. J. Zool.*, **44**, 117-133.
- 5) 丹野皓三 1962 ムネアカオオアリの耐凍性 I. 低温科学, 生物篇, **20**, 25-44.
- 6) 朝比奈英三・大山佳邦 1969 越冬昆虫の耐寒性 I. 低温科学, 生物篇, **27**, 143-152.
- 7) 朝比奈英三・丹野皓三 1967 アワノメイガの凍りかた. 低温科学, 生物篇, **25**, 105-111.
- 8) 竹原一郎・朝比奈英三 1960 昆虫の耐凍性とグリセリン. 低温科学, 生物篇, **18**, 57-66.
- 9) Pavlowsky, E. N. and Zarin, E. J. 1922 On the structure of the alimentary canal and its ferments in the bee (*Apis mellifera* L.). *Quart. J. Micr. Sci.*, **66**, 509-556.

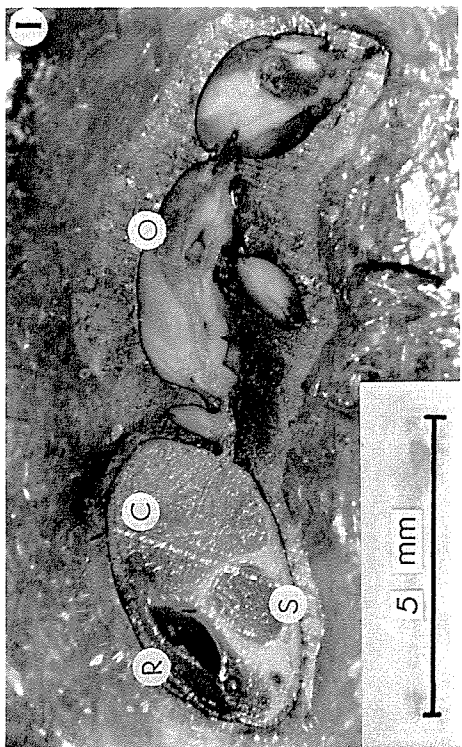
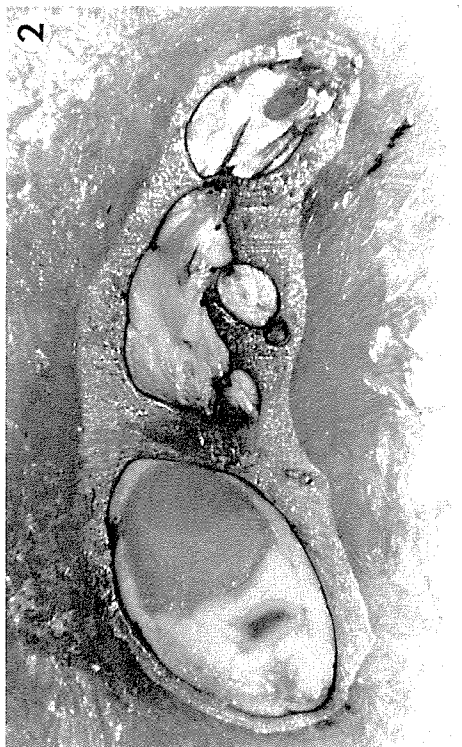
Summary

The freezing process of overwintering insects was investigated with workers of carpenter ant (*Camponotus obscuripes*) as material. Two supercooling points were observed on the freezing curve of this insect. In other words, a partial freezing occurred first in the insect, and the whole body froze after cooling to a certain low temperature. The 1st supercooling point was generally about -8.5°C . The 2nd, differing in individuals, was $-20.2 \pm 4.7^{\circ}\text{C}$. Differential thermal analysis, applied to a few parts of the insect body during freezing, indicated that ice first formed at the anterior part of abdomen. Longitudinal cut surface of the frozen insect was made in order to observe where ice crystals first forms. Judging from these observations the freezing process in the insect is assumed to be as follows. Ice crystals spontaneously form in the lumen of foregut, perhaps in crop, at the 1st supercooling point and rapidly develop only within alimentary canal. When the insect is cooled to the second supercooling point, the other body tissues remaining unfrozen freeze by ice seeding through the wall of alimentary canal. In the carpenter ant ice formation limited within alimentary canal can be tolerated, while the freezing of the whole body tissues is invariably fatal.

図 版 説 明

凍結している働きアリ 1 個体の縦断面。(3, 4 図のアリの腹部にある直線状の白斑は標本製作に使用したアニリンの針状結晶である)

1. 虫体を室温より直ちに液体窒素中に移した条件で断面を切り出した直後の像。断面にはナイフ・マークや氷晶が輝いて見え、凍結条件による状態の相違は認めにくい
O, 食道; C, 嚙嚢; S, 胃; R, 直腸
2. 上と同じ凍結条件, -20°C に 24 時間置いたもの。1. で切口に輝いていた氷晶は昇華して体組織は未凍の時のまま固定されたようにみえる
3. -30°C の低温室内で自発凍結後約 2 時間経過した材料。第 1, 第 2 の二段の凍結がすでに起きている材料である。この図では消化管のみに氷塊がみえるが、焦点を変えると胸部にも氷塊が認められる
4. -10°C の低温室内に約 15 時間置き、腹部の軟いものを液体窒素中に移した。第 1 段の凍結のみが起きている材料。3. と同様に消化管内に大きな氷塊が認められるが、他の部分は 2. と同様にみえる



低温科学生物篇 第 27 輯 訂正

頁	行		誤	正
11	英文タイトル	1	Freeze Drying	Freeze-Drying
15	下から	2	無糖	蔗糖
45	上から	6	<u>4</u>	<u>6</u>
64	下から	10	<u>4</u>	<u>6</u>
78	下から	16	林部	材部
110	下から	16	第 3 図	第 2 図
122	上から	2	Escherichia Coli	Escherichia coli
130	第 4 表		側芽	副芽
131	第 6 表		側芽	副芽
131	第 7 表		側芽	副芽
132	第 8 表		側芽	副芽
159	下から	7	Supercoold	Supercooled
159	下から	9	Supercoold	Supercooled
159	下から	11	低温化学	低温科学