



Title	昆虫の凍結開始（予報）
Author(s)	青木, 廉; AOKI, Kiyoshi
Citation	低温科学. 生物篇, 13, 51-57
Issue Date	1955-12-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17578">https://hdl.handle.net/2115/17578</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_p51-57.pdf



## 昆虫の凍結開始 (豫報)\* \*\*

青 木 廉

(低温科学研究所 生物学部門)

(昭和30年10月 受理)

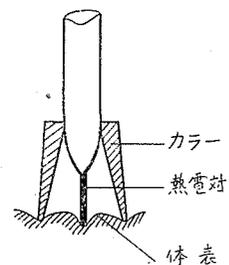
### I

耐寒性の昆虫は冬期間非常に凍りにくい、即ち氷点以下の低い温度まで過冷却状態を保ち得る能力を持っているものである。たとえばイラガ前蛹の過冷却の破れる温度は2月(1953)には $-25.2 \pm 2.38^{\circ}\text{C}$ まで下る。そして一度凍結が始まるとそれは急激であり短時間内に体内に多量の氷が生ずるが、イラムシでは凍結状態そのものは相当長期間にわたつても致命的障害を与えない<sup>1)</sup>。かつその凍結の主体は血液であることも判つた<sup>2)</sup>。昆虫類がこのように低い温度まで過冷却される機構を明らかにするための一つの手がかりとしても、どうして過冷却が破れるのか、過冷却を破る要因は是非知りたいところである。

一般に昆虫は含水量の多いとき、または体表面が水で濡れているばあいには過冷却の程度は低い、すなわち凍り易くなることは今までもよく認められていた<sup>3)</sup>。一方水の過冷却状態は不安定で種々の要因ですぐに凍結が始まるものであるが、これら要因の内もつとも確実に且つ容易に過冷却が破れるのは氷の結晶との接触である。この意味で過冷却状態の昆虫が氷に接触するか或は体表に附着していた水が凍れば、虫体の過冷却もたやすく破れ凍結するであろうという考え方は不自然ではない。この間の関係を確めるために2,3の実験を行つた。

### II

材料はイラガ (*Monema flavescens*) の前蛹で秋に野外より採取したマユを金網籠に入れ北向の軒下にかけておき、実験のつど用いた。虫体の温度の測定法は前報<sup>1)</sup>と同様である。一部の実験には熱電対の先にアクリル樹脂のカラー(第1図)をつけ、体表面に直角に押しつけて測つたばあいもある。この方法で測つた値は口部陥入に熱電対の先端を挿入する方法によるものより低目に出る。また熱電対の両脚を体表面の各所にあて、凍結の始まる特定の場所の有無をも調べた。冷却速度は $0^{\circ}\text{C}$ のと



第1図

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第298号

\*\* 文部省科学研究費による。

ところで5.0~8.0°C/分であるが、この程度の振れは過冷却点にほとんど影響を及ぼさない。各個体ごとに凍結曲線を取り温度の急上昇する点を過冷却点(過冷却の破れる点)とし、その温度をとつた。

### III

凍結曲線をとるばあいには虫体を保護試験管の中央に吊り下げ、そのまま寒剤の中につける。この冷却の間に管の中の水蒸気が過冷却している虫体の表面に凝結し、それがまず凍りそのために虫体が inoculate され凍結の始まる可能性は全くないとはいえないが、この実験条件の下ではほとんどこのようなチャンスがないことを次の事実が示している。試験管の内面に蒸溜水を充分含ませた濾紙を張り、底の方にも蒸溜水を入れておき、その中に虫を吊げる。すなわち湿度の高い空気中におかれたことになる。そのまま冷し凍結曲線をとつたところ、過冷却点は $-27^{\circ}\text{C}$ ~ $-22^{\circ}\text{C}$ の間にあつて、乾いた試験管中で得られた値と変らない。すなわち空気中の湿度の多少は過冷却されている虫体の inoculation には直接関係はないといえる。

湿度の高い中での凍結後、虫体の表面は短かい霜の針状結晶で蔽われていた。この霜がいつ生じたかは不明であるが、虫体の体表温度が $-20^{\circ}\text{C}$ 以下になるまで完全に生じなかつたとは考えられない。したがつて霜が体表面に生じてもお虫体は過冷却状態を保つていたにちがない。すると単に氷に接したのみでは虫体の過冷却は必しも破れるとは限らないことになる。次の簡単な観察がよくこの間のことを示している。虫体を試験管に入れ、熱電対(カラー附)を接触させたまま冷す(冷却速度は $4^{\circ}\text{C}/\text{分}$ ~ $6.8^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の間)。このばあいは虫体表面の約半分はガラスに直接接触していることになる。(1)このばあいの過冷却点を標準として、(2)少量の水を入れたばあい(虫体の下面を蔽う程度)、(3) $-15^{\circ}\text{C}$ 以下に冷した氷の細片又は霜の上に虫体をのせたばあい、(4)平滑な表面のとけて氷の上にのせたばあい、について各々過冷却点を測定した(第1表)。表の3の霜及び氷の細片は予め $-15^{\circ}\text{C}$ 以下に冷してあるため表面が乾いている

第 1 表

番 号	虫体の接する面	過 冷 却 点	備 考
1	乾いたガラス	$-18.0^{\circ}\text{C}$	
2	水	$-5.9^{\circ}\text{C}$	
3	{ 霜 氷 の 細 片	$-17.4^{\circ}\text{C}$ $-17.6^{\circ}\text{C}$	氷の温度は $-15^{\circ}\text{C}$ 以下
4	平滑な氷板	$-7.2^{\circ}\text{C}$	氷の温度は $0^{\circ}\text{C}$

のに対し、4の氷の面はとけて水の膜に包まれている。したがつて体表は1と3では乾いた面に、2と4では水と直接接触していることになる。過冷却点は1と3では殆んど同じで低く、これに対し2と4は割合近い値で前2者より $10^{\circ}\text{C}$ も高い。すなわち氷に接していると過冷却は確に破れ易くなる。しかし3のばあいは、氷片の凸出している部分のみが直接虫体に接しているの

で\*, 氷に接触している体表面積は4のばあい比べて遙に少ないことも見逃せない一つの条件である。氷に接しているばあいは氷が先に凍るため生じた氷と体表面との接触は最も密であり, その上このばあいは氷との接触面積も4よりなお大きい。したしたがって2, 3, 4を比較すると, どの場合も氷に直接接するのであるが, その接触面積と接触の粗密に差があるということになる。結核虫体表面が直接氷と接触していると過冷却は破れ易くなるものではあるが, 氷との接触面積及びその粗密程度が大きな条件となつてゐることは明らかである。

これらの点を悉しく確める目的で, 氷と体表との接触を密にするために小水滴あるいは水を充分含ませた濾紙の薄片を体表につけ過冷却点はどう変わるかを調べた。まづ熱電対を口部陥入部に挿入し約 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の冷却速度で $-18^{\circ}\text{C}$ 位まで冷し, その時得られた凍結曲線を対照とする。つぎに虫体を室温(約 $20^{\circ}\text{C}$ )で1時間以上融かし表面に凝結した水分を充分拭いとり乾かした後, 体表の所要のところに水の水滴, あるいは水を含ませた濾紙片( $2\text{mm}^2$ と $3\text{mm}^2$ )を貼り, 前同様に凍結曲線をとる。即ち同一個体について一つ一つ対照曲線をとつたことになるが, この第1回の凍結曲線が対照として用いられることは既に確められている<sup>2), 7)</sup>。濾紙片を貼る実験を主としたのは体表と水の接触面積をできるだけ一定にするためである。得られた結果は第2表にまとめてあるが, 表から一見明らかなことは如何なる型であれ, 体表面に水が

第 2 表

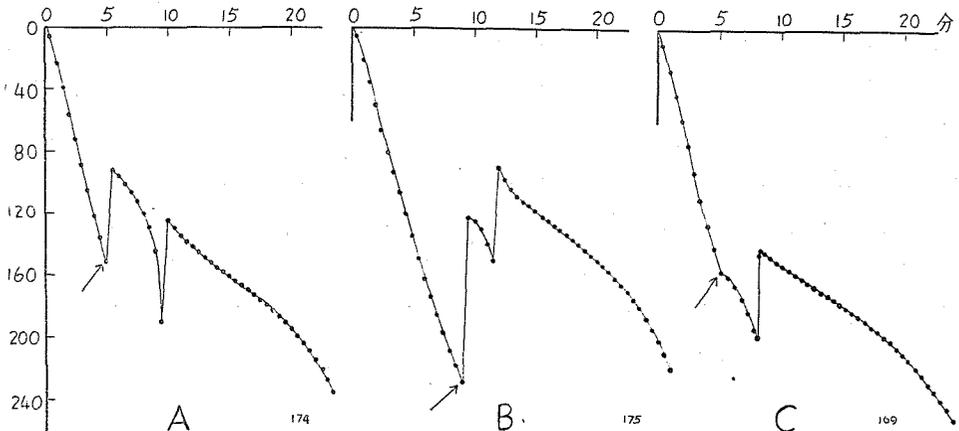
個体数	体表につけた水	つけた場所	過 冷 却 点	
			対 照 ( $^{\circ}\text{C}$ )	実 験 ( $^{\circ}\text{C}$ )
6	水の水滴	脊 面	$-20.2\pm 2.16$	$-11.6\pm 7.01$
10	濾紙片 $2\text{mm}^2\times 1$	”	$-20.9\pm 3.85$	$-11.7\pm 3.41$
13	” ”	腹 面	$-20.7\pm 2.72$	$-11.3\pm 2.56$
5	” ”	側 面	$-19.2\pm 1.41$	$-13.0\pm 3.91$
5	” $3\text{mm}^2\times 2$	脊 面	$-19.5\pm 5.96$	$- 8.7\pm 1.55$
5	” ”	腹 面	$-23.1\pm 3.85$	$-10.9\pm 1.33$

ついていると過冷却点は高くなる, すなわち体表が乾いているときに比べてかなり高い温度で凍り始めることである。これらの実験において体表につけている水が凍ると, 直ちにそれに引続いて虫体の過冷却が破れるものでないことは水滴をつけたばあいによく現われている(第2図)。第2図Aは口部陥入部のすぐ腹側のところに水滴をつけたばあいのもので, 熱電対に近いために水滴の凍結がはつきり現われている。水滴の凍結が完了してから\*\*なお $7^{\circ}\text{C}$ 以上も温

\* 霜の温度が $-15^{\circ}\text{C}$ 以下に冷えているとはいえ,  $+20^{\circ}\text{C}$ 近い虫体に乗せられたばあい, 虫体に直接接触した氷の角は一時融ける。しかし外部より絶えずかなりの速度で冷されているので融解はあまり進まぬうちに, また凍ってしまうので, たとえその部分では密に氷に接触していても, 平滑な氷にのせたばあいより接触面積は遙に小さい。

\*\* 水滴の凍結で一時温度が上昇しきつてから1分半位たつと温度の下降速度は冷却曲線より急に大きくなる。これは熱電対が水滴に近いために, その凍結による放出潜熱が敏感に感ずるためであり, 水が凍る間, つまり矢印以後熱電対のところの温度は上昇しているが, それより離れている部分の体温はどんどん冷却されているので, 潜熱の放出が止まると水のついていた附近の温度もその時の体温まで急に冷えるためと考えられる。

度が下つてから初めて虫体の過冷却が破れている。多くのばあいには、この例のように虫体の過冷却点は水滴のそれよりも低いのであるが、第2図Bのように逆に虫体の過冷却の方が高い温度で破れる例も少数あつた。濾紙のばあいは水滴に比べて水の量の少ないことのため、濾紙の水分の凍結ははつきり現われることは少なく、ただ口部近くに貼つたばあいのみ折曲り点として現われてくる。第2図CはちょうどAのばあいと同じ場所に濾紙片をつけたもので、その位置が少し口部附近から離れるか、又は脊面のときには凍結曲線上ではほとんど識別され



第2圖 イラが前蛹の凍結曲線

A, B—体表面に水滴をつけたばあい。 C—水を含む濾紙をつけたばあい。

矢印は体表面につけた水の過冷却の破れた点。縦軸は検流計の読み、数の多い程温度は低くなる。

ない。濾紙のばあいも凍結が連続的に虫体に進行しないことは水滴のときと同様である。体表に水滴ををつけたばあい過冷却の破れた温度の平均は $-9.2^{\circ}\text{C}$ 、濾紙のばあい、はつきりと認められたものの平均は $-7.6^{\circ}\text{C}$ であつた。

体壁の構造からみて脊と腹とではかなりの差があるにもかかわらず、水との接触により inoculate されることについては明瞭な差は認められなかつた。脊腹共に濾紙片はだいたい正中線上に貼つたのであるが、その位置はほとんど影響を及ぼさない。側面に貼つたときが、過冷却は最も破れにくいような結果が得られてはいるものの、側面では inoculate されにくいと断言するには現在のところ根拠が不充分である。要するに水滴、濾紙片両方の実験及び体表各部に熱電対の両脚をつけた実験を通じ、特に氷によつて inoculate され易い特定の場所、または自動的に過冷却の破れ易い場所は以上の実体範囲内では見出すことはできなかつた。

次に氷に接する体表の面積の問題である。2 mm<sup>2</sup>の濾紙片1枚のときと3 mm<sup>2</sup>のもの3枚のときとでは面積の比は4:27、すなわち約7倍近くになつている。脊面に貼つたばあいを比較すると1枚のときは $9.2^{\circ}\text{C}$ 、3枚のときは $10.8^{\circ}\text{C}$ 、腹面のばあいはそれぞれ $9.4^{\circ}\text{C}$ 、 $12.2^{\circ}\text{C}$ だけ対照より過冷却点は上昇している。数字の上では氷との接触面積が増すと過冷却の破れる温度は確に高くなつているが、この量的関係はなお検討を要する。というのは体表面は非常に

よく水をはちく上に平担ではなく、その上濾紙への水の含ませ方も完全には一様でないために水との接着面積と紙の面積とは必しも等しいとはいきれないからである。

以上の実験から、とにかく体表面が直接水に密着すると過冷却は高い温度で破れる、すなわち氷による体表からの inoculation の可能のこと及び氷との接着面積の大きい程 inoculation されるチャンスは増大するらしいことが判つた。

イラガ前蛹の体表面はよく水をはちき、体壁は水を非常に通しにくい、全く通さないわけではないことは第3表に示す通りである。第3表の体重は20個体の平均で、虫は金網上に並

第 3 表

月 日	2-3 (mg)	2-19 (mg)	3-25 (mg)	4-11 (mg)
マユに入つたまま	382±105	382±105	378±105	385±105
マユから出したもの	258±39.5	255±40.4	183±44.8	143±45.1

べ北側の雪のかからぬ軒下に吊しておいたものである。この体重の減少は主として水を失つたことによるもので体表面を通して逃げたものと考えられる。そうだとすれば乾燥されるかあるいは水で濡らされることによつて体壁内に何等かの水分の移動なり状態の変化があるわけで、それが過冷却に如何なる影響を及ぼすかが問題となる。そこで虫体を(1)周囲及び上下に五酸化燐を入れてあるデシケーター中で43時間乾燥させたばあい、(2)底に水を入れ周囲及び上面に水で濡した濾紙を張つたデシケーター中に43時間放置したばあい、及び(3)45時間水道水中に沈めておいたばあい、これらの処理で過冷却点がどう変わるかを調べてみた。凍結曲線をとる前に虫体表面を乾かすことはいうまでもない。

第 4 表

処 理	過 冷 却 点 (°C)	処理後の体重増減 (%)
対 照*	-23.7±0.88	
乾 燥	-23.5±2.10	+0.7±0.04
飽 和 水 蒸 気	-20.7±2.10	0
水 漬	-20.1±3.46	+2.5±1.6

\* 対照と実験とは別の個体である。

第4表の結果の通り乾燥は過冷却点に全く影響を及ぼさないが、飽和水蒸気及び水に予めさらされたものでは過冷却点が対称より少し高くなつている。水に漬けられた個体では僅かではあるが、例外なしに体重が増加しているのに水蒸気にさらされたものでは全く増減がない。それにもかかわらず、この両者においてのみ共に過冷却が対称より高い温度で破れる傾向のあることからみると、体表面かあるいは体壁内に過冷却の破れ易くなるような何等かの条件が処理時間の間に起つた可能性が考えられる。二化蠅虫の吸水及び水分蒸散について小泉の興味あ

る報告<sup>4)</sup>があるが、それによると冬の間は水分を吸収しないが蒸散は起る。そして此等の水分の移動は体表面の lipid によつて左右されているという。実験条件は二化螟のぼあいとは異なるが、イラムシではちょうど逆で吸水はするが、蒸散は極端に遅い。イラムシのぼあいも体内外の水分の移動にはリポイド層がやはり関与していることは当然考えられる。イラムシの水漬けのぼあい、はつきりしたものではないが、体重の増加が大きい程、すなわち吸水度が高い程、過冷却の破れ易い傾向が認められる。一方水蒸気中におかれたものでは全く体重の増減がないにもかかわらず、水漬けのものと同じようにいくらか過冷却は破れ易くなつている。この二つの事実は一見むじゆんしているように見える。しかし前に述べたように、体表面に附着している水の凍結により inoculation の起ることを併せ考えると、この間にも一連の関係があるように思われる。

### 摘 要

イラガ (*Monema flavescens*) の前蛹について体表面より氷による inoculation が可能か否かを調べた。体表に小水滴あるいは水を充分含ませた濾紙片 (2 mm<sup>2</sup> 又は 3 mm<sup>2</sup>) を附着させたぼあいは体表面の乾いているときに比べ、過冷却は 10°C 位高い温度で破れる。確に過冷却状態の虫は体表を通して氷により inoculate されるが、氷と体表との接着の粗密が重要な条件であり、また接着面積も関係があるらしい。予め水蒸気なり、水に接触させた後は過冷却が破れ易くなる傾向があるが、体表面を相当強く乾燥しても過冷却が破れにくくなるということはない。

### 文 献

- 1) 青木廉・篠崎寿太郎 1953 イラガ前蛹の過冷却点について. 低温科学, **10**, 103.
- 2) ———— 1953 イラガ前蛹の過冷却に及ぼす冷却速度の影響について. 低温科学, **10**, 109.
- 3) Asahina, E., K. Aoki & J. Shinozaki 1954 The freezing process of frost-hardy caterpillars. Bull. Entomol. Res., **45**, 329.
- 4) 小泉清明 1951 二化螟虫の越冬覚醒における含水量及び体表リピッドの関係. 応用動雑, **16**, 3-4号, 1.
- 5) Miyazaki, J. & K. Koidsumi 1952 The role of epicuticular lipid in the water economy of a rice-borer during the hibernation period. Annot. Zool. Jap., **25**, 388.
- 6) Salt, R. W. 1936 Studies on the freezing process in insects. Univ. Minnesota Agr. Exp. Stat. Tech. Bull., **116**, 3.  
——— 1953 The influence of food on cold hardiness of insects. Canad. Entomol., **85**, 261.
- 7) 篠崎寿太郎 1954 イラガ前蛹の凍結. 低温科学, 生物篇, **12**, 71.

**Résumé**

The stability of supercooling state of prepupae of slug moth (*Monema flavescens*) was examined.

When the prepupae are cooled on whose body surface has been put a small water droplet or a small piece of filterpaper well soaked with water, they freeze at higher temperatures than the control ones with dried body surface. Thus the prepupae having been supercooled can be inoculated with small ice crystal being in contact with body surface. In this case, however, the degree of the contact with ice crystal and the area of the body surface being in contact with ice crystal are important factors for inoculation.

Seemingly some treatments, viz., drying in air, immersing in water and keeping in saturated water vapour, do not exert an apparent influence upon the stability of the supercooling of the prepupae.