



Title	過冷却状態の生物の運動
Author(s)	朝比奈, 英三; ASAHINA, Eizo
Citation	低温科学. 生物篇, 15, 45-50
Issue Date	1957-11-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17597
Type	departmental bulletin paper
File Information	15_p45-50.pdf



過冷却状態の生物の運動*

朝比奈 英三

(低温科学研究所 生物学部門)

(昭和32年6月受理)

I.

これまで生物の運動は殆んど 0°C より高温でのみおこるかのようにならされている²⁾。大部分の生物の体液の氷点は -2°C より高いのが常であるから、もし体内が凍りはじめれば 0°C からいくらか下らぬ温度でもこれは例外なく運動の停止を意味する。しかしよく知られているように、生物には過冷却しやすいものが多く、しかもこの状態はその過冷却度ははなはだ高くなるまではむしろ非常に安定しているらしい^{1), 5)}。このような場合に生物の運動に直接関係している生化学的な諸反応の速度が 0°C 付近で急減するとは考えにくい。そして実際にも厳冬期の野外で体温の低下にかかわらず運動している変温動物を見つけることは決して困難ではない。又イガイの鰓の繊毛が、少なくとも 0°C ではまだ運動を停止しないことは、既に Gray のデータ (1928, p. 76) から明らかであり³⁾、星・南雲等の最近の報告 (日本動物学会, 1956 年大会講演) によるとカキの場合もほぼ同様であるらしい。

本文ではこのように低温でも運動を続けている動物のいくつかの例を挙げ、又二枚貝の生体より切り出された鰓片の繊毛が過冷却状態でどの程度に長く運動を続けられるかという 2, 3 の事実を予察的に報告する。

尚、ここで本稿について有益な助言をいただいた北大触媒研究所の殿村助教授に感謝したい。

II.

越冬中の変温動物殊に節足動物の中には、或る程度の過冷却状態にあつてもうごけるものが少なくない。札幌附近で容易に得られるものの中では、ハナグモ・シャコグモ等の 2, 3 のクモ類や、クモガタガガンボ・フユジャク・クロカワゲラ類のような専ら晩秋～早春の間に羽化する昆虫は、いずれもこのような運動能力が相当にある。そこで次の 3 種の動物をそれぞれシャーレーに入れて -5°C 及び -10°C の恒温箱中におき、このままで何日位運動しているかをしらべた。用いた個体数はフユジャクが各容器中に 20 頭づつ、他のものはそれぞれ 5~10 頭づつである。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 381 号

ハナグモ	<i>Misumena tricuspidata</i> (Fabricius)
ホソスバフユシヤク	<i>Inurois membranaria</i> Christoph
クモガタガガンボ (ハネナシガガンボ・ニツボンユキガガンボ)	<i>Chionea nipponica</i> Alexander

ハナグモは -10°C では間もなくうごかなくなるが、 -5°C では少なくとも1カ月以上の間ピンセットでふれる程度の刺戟で歩行させることが出来た。ホソスバフユシヤクは野外では 0°C 内外の気温のときに、他にはつきりした輻射熱も感じられない夕闇の中で活潑に飛翔しているのをよく見かけるが、 -10°C ではごく短時間しか運動出来ない。しかし -5°C では2~3日間は歩行することが出来るし、7日後でも刺戟によつて脚をうごかす。羽化直後と思われる新鮮な個体では14日乃至18日間 -10°C におかれた後でも 10°C にあたためると飛翔能力を恢復する。クモガタガガンボは最冬期の雪上に発見出来る典型的な冬の虫であつて、低温での運動能力も使用した動物の中では一番たかく、 -10°C で2~3日間は動きまわっているし、この温度では15日後でも刺戟すると歩行出来た。しかし -20°C の気温にさらすと、多くは数時間で体の過冷却が破れて固く凍結し、少なくともこの条件では致命的であつた。

又自然状態では全く氷点下に冷される可能性のないものが、過冷却状態で運動する1例としてウニの幼生の場合を挙げよう。北海道沿岸のキタムラサキウニ *Strongirocentrotus nudus* は夏期水温がほぼ 15°C 位か又はそれ以上になるころ産卵するのが常であるが、この幼生は海水の氷点以下の水温でも繊毛運動による回転游泳を続けることが出来る。使つた幼生は原腸陥入を終つたばかりの時期のもので、比較的はやい速度(0°C より -7°C まで11分)で冷却された際は、 -7°C ではじめて繊毛運動を停止したが、 -3°C の恒常水温におかれたときは2時間半の後まで運動をつづけているものが多かつた。

又淡水貧毛類 *Aelosoma* は 10°C より毎時 5°C 位の速度で徐々に冷却されたとき、体の匍匐は 0.5°C 附近の温度で殆んど停止したが頭部の繊毛は -2.5°C で毎分130回位、 -5°C でも毎分80回の頻度でうつており、少なくとも -6.5°C までは明らかにうごいていた。

III.

次に下記3種の海産二枚貝の鰓片による観察の結果をのべる。

イタボガキ	<i>Ostrea denselamellosa</i> Lischke
ムラサキイガイ	<i>Mytilus edulis</i> Linné
ムラサキインコガイ	<i>Septifer virgatus</i> (Wiegmann)

これらは何れも北海道忍路の雪氷にさらされた浅い磯で冬期採集した。ムラサキイガイ等の潮線間にすむ各種の貝類は比較的高い耐凍性をもっているといわれているが⁴⁾、筆者の実験では -10°C の凍結状態で少なくとも7日以上たつと部分的の凍害がみとめられ、たとえば閉

* 勿論この程度の冷却では過冷却のままで凍らない。

殻筋は収縮能力を失なう。

今回使った材料は 2 mm 位の幅に切りとつた鰓板又はこれを注意ぶかくほぐして単一の鰓糸 (gill filament) にしたものである。このような鰓片は何れも 0°C では少なくとも 1 カ月以上は外見上異常ない繊毛運動をつづけていた。

方法： ホローグラス中に海水と鰓片及び適当な量の気泡*を入れてカバーグラスでおおい、これを 4 枚づつ更にシャーレーにおさめて -5°C 及び -10°C の恒温箱にそれぞれ入れる。使用グラスの数は各温度毎にそれぞれ 8 個である。この方法だと -5°C では過冷却状態が安定しているが、-10°C ではきわめて不安定でカキ以外はすべて失敗した**。このように処理した鰓片を毎日一定の時刻にとり出して -7°C 内外の低温室内で顕微鏡下に観察した。観察に要する時間は 1 グラス毎に 2 分間以内ですませる様につとめた。

又恒温におかず短時間内に温度を下げてゆく実験には特殊の顕微冷凍装置を使用し、鰓片を含む海水滴の温度を熱電対で測りながら大体 4°C/時の冷却速度で材料の過冷却がやぶれて凍結がはじまるまで繊毛運動の観察をつづけた。

結果： 過冷却状態での繊毛の活動能力は鰓の部位によつて異なりイガイとその近似種のムラサキインコガイでは laterofrontal cilia の運動継続期間は明らかに他の繊毛のそれよりも短かく -5°C でも 3~4 日後には殆んど停止する。従つて以下の繊毛運動の記述は主として frontal cilia を指標として観察した結果である。

過冷却状態で一旦繊毛運動を停止した鰓片でも短時日のうちに 0°C ~ -1°C におけば 3~10 分後には運動を再開するのが常であつた。しかしこの程度の恢復では、-10°C では間もなく、-5°C でも 10 分内外で再び運動を停止する。運動の恢復がほぼ最初の状態にまで達するのは後述する様に 10°C でも約 10 分間を要するらしい。又過冷却状態におく期間が長びくにつれ、繊毛細胞は鰓糸の skeletal tube からはなれるものがふえ*** (ことに laterofrontal cilia の場合にはなほだしい)、又鰓糸自身の崩壊が次第にひどくなる。従つて鰓片の活動期間はこのような原因からも限定される。

ムラサキイガイの鰓片を使つて連続的に温度を下げた場合は、まず -6°C ~ -8°C において繊毛運動の継時性 (metachronism) が失なわれるが、打数 (beating frequency) は 1~2 秒間に 1 回でかなり活潑にうつている。しかし温度の低下とともに打数はへり、-13°C ~ -14°C では 13~20 秒/beat となつた****。-15°C 以下の温度では鰓片を含む水滴を過冷却状態に保つのが殆んど不可能なためこれ以上運動を観察出来なかつたが、少なくとも -14°C までは明らかに繊毛運動の継続を認めた。

* 実験温度での鰓片の酸素消費に対して充分過量な気泡を入れる。

** 過冷却状態を安定させるためにグリセリンを加へる方法もあるが、これに有効な程度のグリセリン濃度では繊毛運動はいちじるしい影響をうける。

*** しかし脱落した各個の繊毛細胞の多くは過冷却状態で少くとも数時間は運動をつづけている。

**** この場合の毛のうごきは、一つの stroke の速さがおそくなること以上に各 stroke の時間的間隔がひらくようにみえる。

恒常低温の場合は、第1表に結果を概示した。

第1表 過冷却状態で鰓片の繊毛運動継続期間

	温 度 (°C)	期 間 (日)	恢復 possible の期間* (日)
イ タ ボ ガ キ	-5	12~15	22
	-10	4~5	12
ム ラ サ キ イ ガ イ	-5	21~24	35
	-10	2<***	—
ム ラ サ キ イ ン コ ガ イ	-5	9~13	29
	-10	1<***	—

* 冷却中のものを10°Cに温めて繊毛運動の再開が認められた最長冷却期間。

*** 凍結のため実験中止。

カキでは-5°Cにおかれて間もなく繊毛の打数は3~4秒/beatになるがこれは7~8日後まで変らないものが多い。繊毛運動の継時性は4~5日後までたもたれているものがあつた。12~15日で運動を停止するが、少なくとも22日後までは、一旦停止したものを10°Cまで温めると繊毛は再びうごき出した。このような場合10°Cで10分以上加温すると、再度-5°Cにおかれても更に5日間の運動を継続出来るものがあつた。-10°Cでは1日たつとすでに繊毛運動の継時性は乱れる。打数は1日乃至3日目には6~12秒/beat位になるが以後は停止するまで殆んど変らない。4~5日で継続的な運動を停止するが、少なくとも12日後まではあたためさえすれば繊毛は再びうごき出した。

イガイでは、-5°Cでは2秒/beat位の打数で相当長い間繊毛運動を続けるが、継時性はすでに2日後には乱れる。10日以上たつと打数は3~6秒/beatに低下し最長の場合24日後までつづいた。又一旦停止した繊毛が10°Cに温められた場合に再びうごきだせる最長の冷蔵期間は35日であつた。15~20日間の-5°C冷蔵後繊毛運動を停止した鰓片を10°Cで10分間加温すると、-5°Cに再びもどしても2秒/beat位の打数で更に4~5日間うごいていたものが数片あつた。-10°Cでは少なくとも最初の数時間は1.5秒/beat位の打数で繊毛が打っているが継時性は間もなく乱れる。

イガイの近似種であるムラサキインコガイでは、過冷却した鰓片の繊毛の運動状態もほとんどイガイと同様であつた。-5°Cでは13日以上うごいていたものはなかつたが、少なくとも29日後までは温めさえすれば再びうごき出した。尚0°Cにおいた場合は1~2秒/beatの打数で47日後までうごいている繊毛がかなり多数みとめられたが、これ以上は鰓糸の崩壊のために観察出来なかつた。

IV.

各種の陸棲変温動物のうち越冬期に体温が氷点以下に下るものでは、大部分が過冷却状態

で過している(朝比奈未発表)。このような状態のときに動物の運動が全く不可能になるとは想像しにくい、事実上これらの動物は自らうごくことはほとんどない。又この例外にあたる少数の昆虫等でも -5°C 程のわずかの過冷却度で短時日のうちに運動をやめるものが多い。しかしこれらは何れも刺戟を与えれば、比較的長期間低温にさらされていた後でも、過冷却状態のままに直ちにうごくことが出来る。従つてこれらの動物の場合は運動に直接関与する機構が、低温のため阻害されていると言うよりも、むしろこの運動を支配する刺戟伝達の機構が低温の影響を受けていると解釈出来る。クモガタガガンボのような -10°C でも歩いていられる動物は、恐らく温度の低下に対して比較的鈍感な刺戟伝達系をもっているのであろう。

二枚貝の鰓の繊毛運動のように比較的簡単な系でも、冷却開始後短期間に運動の継時性が失われることは、やはり上記のような刺戟伝達系が阻害されることを想像させる。しかし過冷却状態にあつても比較的活潑な運動が相当長期間継続している事実は、直接運動に関与している機構が少なくとも -5°C ~ -10°C ではそれ程阻害されないことを示すものであろう。

この程度の予察的データから、過冷却状態の繊毛運動の力源代謝に言及するのはいささか冒険に近いが、敢へてふれてみると、先ず常温で使用されている力源物質が低温でも使用可能な、しかし常時少量しか細胞中に保有されていない中間生成物(X)にまで変化する過程は、少なくとも 0°C ではわずかしか阻害されないと考えられる。しかし温度の低下にともない(X)の生成速度*は次第に減る。一方これに比べると繊毛をうごかすための(X)の消費は温度の低下による阻害がより少ないので、次第に生成量を上まわるようになり、(X)の保有量が或る点にまで減少したとき繊毛運動は停止するのであろう。一旦停止した繊毛が 0°C ~ -1°C の数分間の加温で短時間とはいえ過冷却のままの運動を再開出来ることは、(X)の生成速度はこの温度においても(X)の消費速度に勝ることを示すものである。又加温された鰓片の運動恢復の程度からみて、 10°C 10分間の加温は常温での(X)の常時保有量に達するのに恐らく充分な処理であらう。この場合鰓片の活動性が最初の過冷却開始の際ほど長期間つづかないことは、鰓糸の崩壊のような二次的原因によるものであろう。

摘 要

越冬期のクモや昆虫の中には過冷却状態でも或る程度運動をつづけているものがある。これらは運動を停止してから、更に長期間過冷却状態におかれても刺戟するとその温度で直ちに動くことが出来る。

イガイ・カキ等の二枚貝の切断された小鰓片は 0°C で1ヵ月以上、 -5°C で10数日乃至20数日、 -10°C でも数日間の繊毛運動を継続する。過冷却状態で運動を停止した鰓片の繊毛は、 0°C ~ -1°C に数分おきだけで少なくとも短時間の運動を再開する。 10°C 10分間の加温は繊毛運動の活動性をほとんど最初の状態にまで恢復させる。これらの結果から過冷却状態での繊

* このときの(X)の生成は必ずしも最初の力源物質から来るものばかりを考える必要はない。

毛運動の力源代謝について想像出来ることを簡単にのべた。

文 献

- 1) 青木 廉・篠崎寿太郎 1953 イラガ前蛹の過冷却について. 低温科学, **10**, 103.
- 2) Bělehrádek, J. 1935 *Temperature and Living Matter* (Berlin).
- 3) Gray, J. 1928 *Ciliary Movement* (Cambridge).
- 4) Kanwisher, J. W. 1955 *Freezing in Intertidal Animals*. Biol. Bull., **109**, 56.
- 5) 酒井 昭 1951 鮭卵の過冷却に就いて (I). 低温科学, **6**, 147.

Résumé

Many cold-blooded animals, especially those which are overwintering, are capable of maintaining their motility even at supercooled state. Some insects which emerge in cold season can walk without any external stimulus at least for a few days, and with stimulus for some ten days or more at -5°C to -10°C .

The ciliary beating on excised gills of *Mytilus* or oyster is maintained for 15 to 24 days and 4 to 6 days at -5°C and -10°C respectively. Although the metachronism of the ciliary movement has almost been lost in a few days in the case of gill filaments exposed to a temperature lower than -5°C , the beating frequency is nearly constant for some ten days. At 0°C the ciliary movement is essentially normal and is maintained for a month or more. Even after the cilia on gill filaments cease to beat at supercooled state, the beating usually regains its activity after a slight warming of several minutes at about 0°C . The rewarming of gill filaments for ten minutes at 10°C seems to cause entire recovery of ciliary activity.

It is therefore not unreasonable to suppose that at subzerotemperatures the whole of the substance supplying energy under ordinary condition has not been used up even when the cilia on excised gills cease to beat. Even at a supercooled state some immediate substance X in the cell may supply energy to the ciliary mechanism. However, processes which convert the ultimate reserve into the immediate substance X must be gradually inhibited at least at a temperature lower than -5°C . Under these conditions the amount of the substance X may decrease by slow degrees and the cilia will continue to beat until a sufficient reserve of X is no more maintained.