



Title	細胞と超低温
Author(s)	青木, 廉
Citation	低温科学, 2, 263-269
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17422
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_p263-269.pdf



細胞と超低温

青木 廉*

I

液體空氣あるひは液體水素等で極端な低温まで冷されても死なない生物が、氷點より僅か低い温度（たとへば -10° とか -20°C ）でかへつて死んで了ふといふ一見矛盾してゐるやうな事實がある。^{**} 勿論このやうなことは生物一般に通用するものではなく、現在ではある限られた生物群についてのみ知られてゐるにすぎない。この事實に對して適當な解釋は未だ下されてゐないのである。近年新しい見地から極端な低温の生物に及ぼす影響が數人の人々によつて研究されてゐる。彼等の研究の結果から、極端な低温必ずしも致死적ではないといふことが、ある程度具體的に説明されるやうに思はれるので、その概略を紹介してみたい。

一般に變温的生物の活動は外圍温度の支配を非常に受けるもので、温度が低下するにつれ次第に活動性は低下して遂には死んで了ふことは古くからよく知られてゐる。この致死温度には生物の種類、その生棲する環境温度等によつて甚しい差がみられる。温暖、高温地方に棲む生物の致死温度は概して高く、 0°C まで下らぬうちに死んで了ふものがたくさんある。他の一群の生物においては細胞が完全に氷に閉ぢこめられて了ふか、或は細胞内部が凍結してから始めて死が到來する。ところが凍結する前に細胞は多かれ少なかれ過冷却の状態になるものであるが、このやうな生物について今迄知られてゐる例をみると、冷される場合、もし過冷却の破れる前、即ち凍結する前に再び氷點以上に暖められると一時停止してゐた生命活動は再び開始してくる。いひかへると唯温度が氷點以下に下つただけでは死なないが、組織、細胞が凍結すれば大部分の生物は死んで了ふのである。^{***} この凍結による死の機轉については色々説明が與へられてはゐるがその具體的事實について現在吾々は殆ど知らない。とにかく、このやうな一群の生物について今迄明らかになされてゐることを綜合してみると、低温によつて死ぬ場合は直接にしろ間接にしろ凍結といふことに結びついてゐる場合が多く、それらの場合には低温自身といふものは死の一次的原因ではないらしく思はれる。此の考へ方を押しすすめて行くと、氷さへ細胞の内外に生じなければ如何なる低温に曝されても、それだけでは細胞は死なないといふことになる。

* 低温科學研究所。

** Turner の梅毒スピロヘーターに關する實驗は既に緒方(1)によつて科學(第14卷第8號)に紹介されてゐる。

*** たとへ組織等が凍つても凍る程度又生じた氷の結晶の大小等で必ずしも死なないものもある。

II

生物の凍結の場合直接關係あるものは水である。さて水を凍らせないで氷點以下の溫度に永い時間保つことができるであらうか？ 現在唯一の可能性は硝子化 (Verglasung, Vitrification) といふことであらう。Tammannによると結晶核の生成及び結晶の成長は物質によつて異なるが、それぞれ固有の溫度範圍においてのみ可能であり、過冷却の度が急激に此の溫度範圍以下になると結晶核は生じないし、又よしんば結晶核がいくら出來たとしても、その成長速度が極端に小さいので結局結晶は出來ず、そのまゝ不定型の固體になつて了ふ。此の状態を硝子状態といふのである。硝子状態における分子の配列状態は恐らく溶液そのまゝで、殆ど變らないといはれてゐる。水もこの例にもれないが、唯氷點附近で生ずる結晶核の数の多いことと、その成長速度が非常に速いことのために、硝子化するには氷の生ずる溫度範圍を非常な速さで通過せしめねばならぬ。その上、水は比熱が大きいので急速に溫度を必要程度まで降下せしめることが技術的に益々困難になる。然し Luyet⁽³⁾ は水の硝子化に成功したと報告してゐる。この硝子化の試みは又炭水化物の水溶液、フォルムアルデヒド、エチレングリコール、グリセロール等についてもなされてゐるが、生物と比較する上に一番關係のあるものは親水性膠質液とゼリーの硝子化であらう。親水性膠質として現在迄取りあげられてゐるのは主にゲラチンである (Luyet; Barnes & Matthews)⁽⁷⁾。溶液なりゼリーが硝子化されたかは、冷却後透過光線で見ると、それ等のものが白く不透明になつてゐるか否かで容易に判定出來るといふ (Luyet)。即ち氷の微細結晶が生じてゐれば白く不透明に見え、結晶がない時には透明である。又 Barnes & Matthews は X 線廻折の變化を目安にしてゼリーの硝子化をみてゐるが、その結果から Luyet の可視的變化による判定の正しいことを裏書してゐる。Luyet のゲラチンについて行つた實驗結果は大體次の通りである。厚さ 0.15 mm, 面積 1 cm² の蓋ガラス上に暖かい 5% ゲラチンを流すと約 0.2 mm 以内の厚さのゲラチン膜が張りつく。これを急に液體空氣中に沈める。すると液體空氣中では、ゲラチンは透明で、そのまゝ長く置いても變らない。室温に取り出した後も約 10 秒間位は透明であるが、やがて周圍から白く不透明になつて、それは波狀に中心に向つてすゝむ。即ちゲラチンは液體空氣中及び室温に出してから約 10 秒間位は硝子化されてゐたのである。ゲラチン膜がこれより少し厚くなると微細な氷が生ずるとみえ未處理のものに比べてやゝ不透明になる。とにかくやうに硝子化されたゲラチンは固體狀で強い力を加へると碎ける。ところがゲラチンの濃度が稀くなるにつれ、次第に硝子化され難くなるもので、たとへば 30% ゲラチンでは塗抹程度の厚さにしなければ成功せず、又 10% のものでは塗抹の厚さ 10 μ の處は凍結して了ふ。又一方ゲラチン中における氷の成長速度は純水の場合^{*}に比べて非常に遅いものである。Callow⁽⁸⁾ の

測定によると過冷却のゲラチン (-3°C に過冷却, pH 4.75) 中における水の成長速度は 1% で 1000 cm/時, 2% で 710 cm/時, 2.5% で 7 cm/時 となつてゐる。即ちゲラチン濃度が高まると急に氷の成長は遅くなる。彼の第 3 圖から 10% ゲラチン中の成長速度を求めると 1 秒間に 4 μ 位になる。結晶の大きさが透過する波長の程度になると、光の通過を阻害するので白く不透明になつてくるのであるから、10% ゲラチン中で氷の結晶がこの程度までなるには、大ざつばにいつて約 10 分の數秒を要することになる。従つて 10% ゲラチンの硝子化の條件として凍結温度範圍を、少くともこの時間以内に通過することが必要である。又 Moran⁽⁹⁾ はゲラチン濃度が約 65% 以上になると液體空氣に曝されても、亦此の場合冷却速度がさほど大きくなくとも、中に氷が生じないと報告してゐる。これ等のことから考へると親水性膠質においては、含水量の大小が硝子化の難易に密接な關係を有することは明らかである。このやうな硝子状態にあるものは結晶温度範圍において特に不安定であるから、元に戻す場合も結晶温度範圍を結晶核が生じないうちに、又結晶が殆ど成長出来ないやうな短時間内に通過しなければ、温度上昇の途中で凍結が起る。たとへば 50% ゲラチンの場合、液體空氣中で硝子化したものを約 -78°C にしても凍結しないが、それを室溫に曝すとやや暫くたつて凍結する。 -35°C の水銀槽中に放置してから室溫中に出した場合は、2 秒後に凍結する。この温度が -15°C までは室溫に曝されてから凍結の起るまでに、明らかである時間を認めることが出来るが、 -15°C 以上の時には空氣中に取出した時には既に凍結してゐる。この實驗から 50% ゲラチンでは、硝子状態の破れる温度は大體 -15°C 附近と考へられる。

III

前節に述べた條件が満足されれば、即ち氷の結晶核が生ずる温度範圍及び結晶の成長速度の大きい温度範圍を結晶が生ずるに要する時間よりも短時間に通過して了ふことができれば生細胞も亦硝子状態になる可能性はある筈である。そして硝子状態になつた細胞原形質の構造は生きてゐる時と殆ど變らないか、又變つたとしても其の程度は極めて少ないものと想像される。特に水分子の原形質内における配置状態といふ點に關しては、凍結する場合と比較して雲泥の差がある。とにかく、硝子化が起れば細胞内に氷の結晶が生じないのであるから、前に述べた考へ方で行くと、細胞は致命的の影響を蒙らないことになる。このやうな豫想の下にいるいろいろの生物について硝子化の試みがなされたが、多くのものでは失敗に終つてゐる。その原因の大半は冷却速度の不十分といふ點にあるらしく思はれる。冷却速度を大きくするには體積の小さいもの程有效なのはいふまでもない。さういふ意味で現在材料として用ひられてゐるのは主として單細胞か植物の表

* 純水中での氷の成長速度は 1800 cm/時である (Callow)。

皮層又は薄い葉等である。現在まで試みられてゐるもの内、*Euglena*, *Amoeba*, *Paramecium*, 蛙及び鼠の精子, 筋肉細胞, タマネギの表皮細胞等は急激に低温で處理した後, 急に暖めても皆死んで了つてゐる (Luyet⁽¹⁰⁾)。唯ミズゴケの葉 (Luyet & Gehenio⁽¹¹⁾) と酵母 (*Saccharomyces Cerevisiae*, Goetz & Goetz⁽¹²⁾⁽¹³⁾) については成功してゐる。此等の實驗を紹介しよう。

ミズゴケの葉を直接液體空氣中に入れて急冷却し, 30 秒後に取出して暖める。徐々に暖める場合は室温に放置し, 急激に暖める時には 20°C の水に直接入れて行ふ。暖めた後の細胞の生死は, 10% の NaCl 溶液中での原形質分離の可否によつて判定してゐる。前に述べたゲラチンの例からみると, 硝子化に對して含水量の大小は非常に大きな條件になるので, 特に其の點に考慮を拂ひ, 豫めいろいろの濃度の硫酸を入れた除濕器中に 12 時間 (溫度 30°C) 以上放置し, 含水量を調節してから實驗に供してゐる。この實驗では硝子状態から元に戻ることを如何を目安としてゐるのであるが, 暖め方の遅い場合は, 其の途中で氷の生ずる可能性は大きくなり, 従つて死細胞の割合は當然大きくなるのが豫期される。その結果を纏めたのが第 1 表である。

第 1 表 (Luyet & Gehenio '38)

含水量 (%)	暖め方	
	急 速	緩 徐
65 又はそれ以上	全細胞生存	全細胞死滅
65~30	〃	一部の細胞は生存。含水量の減少するにつれて死細胞の割合は増加。
30 以下	〃	全細胞生存

結果は豫想通り含水量の高い場合は, 暖め方が徐々に凍結の起る可能性の一番ある場合に全部が死んでゐる。含水量の非常に低いものは暖め方如何に拘らず死ぬものはないが, Moran の實⁽⁹⁾験から考へると, 恐らく凍結しないといった特殊の状態にあつたためであらう。

次に Goetz & Goetz の酵母について行つた實驗は次のやうなものである。酵母をリンガー液中に懸濁し (濃度は 1 cc 中に約 10^9 個位である), その浮游液を白金線の輪に薄膜として, 豫め液體空氣で冷してあるイソペンタン中に速に入れ急冷却する。又暖め方は室温のエーテル中にそのまますばやく移して行ふ。其の後, 載物硝子にとり, メチレンブルーで分染後撮影して, その寫眞で染まつた細胞を數へる。比較的遅い速度, 0.1 秒に約 1°C 位の速度で數分間冷した場合の死亡率は 75% 位であるが 0.1 秒間に 10^3 — 10^4 度程度の速さで冷すと死亡率は第 2 表にあるやうに 10% 位に低下してくる。この結果からみても冷却速度が如何に大きな條件となつてゐるかは明瞭である。又冷却速度が等しく, 而も最終溫度が硝子化の臨界溫度以下であるならば, 其の溫度に曝露する時間は殆ど細胞に影響を及ぼさない。たとへば試験管に入れた 5 cc の酵母

第2表 (Goetz & Goetz '38 a)*

曝露時間 (分)	寫眞上の總細胞 數 (N)	染まつた細胞 數 (D)	$\delta = D/N \times 100$	$\delta' = \delta - \delta_0$ (%)
0	639	7	$1.1 = \delta_0^{**}$	
約 2	2232	194	8.7	7.6
約 2	1071	141	13.1	12.0
平均				9.8

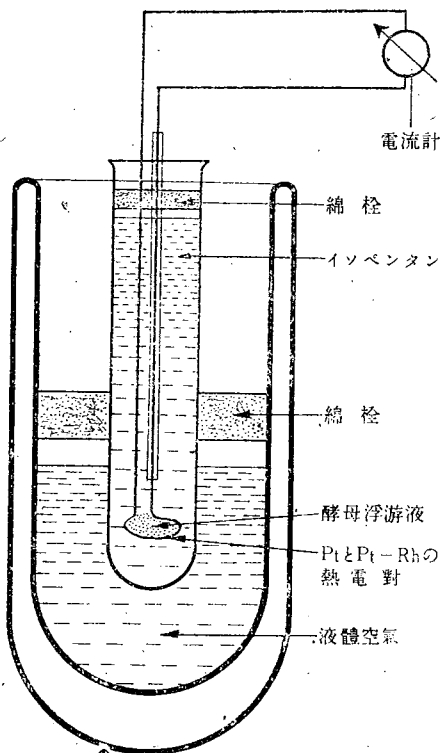
* 冷却温度は $-150 \sim -180^\circ\text{C}$.

** 低温に曝露する前の死亡率.

第3表 (Goetz & Goetz '38 a)*

液體空気に曝した時間 (分)	5	17	60	120	210	1080	6000
死亡率 (%)	31.8	32.4	30.5	28.9	28.5	33.9	32.4

* 第2表に比較して死亡率の高いのは浮游液の量が多いので冷却速度が小さくなつたためである.



第 1 圖

浮游液を急に液體空気でいろいろの時間 -185°C まで冷し、暖め方を等しくした場合の死亡率は第3表のやうに大體等しい。また冷却温度が硝子化の臨界温度以下の範囲では温度の高低は問題にならない。たとへば酵母浮游液 1cc を硝子管に封じて急に液體空気で冷した後、すばやく液體水素に移し、そのまゝ4時間放置した後、再び液體空気に戻し24時間経つてから急に暖める。このやうな操作をした場合の死亡率は46%、又液體空気で冷した時は48%と略等しい値が得られてゐる。次に急激に冷却した酵母を異なる温度で暖めてみる。それには⁽¹³⁾第1圖のやうに細いPtとPt-Rh又は銅とコンスタンタンの針金で作つた電熱對の先を輪にして、そこに酵母浮游液を張り、液體空気で冷してあるイソペンタン中に急に入れて冷却する。この場合イソペンタンの上方は暖まつてゐて下方からのみ冷されてゐるので對流は起らない。完全に冷却した後、輪を上方にづらせて所要の温度の處に30分間止めた後、

急に室温まで暖めてから、分染して染まつた細胞を数へる。その結果の一例を第4表に示した。

第4表 (Goetz & Goetz '38 b)

暖める温度(°C)	- 140	- 58	- 23	- 5
死亡率 (%)	1?*	32.5	54.3	97.6

* 別の系列の實驗では -110~-130°C で死亡率は0となつてゐる。

即ち死亡率は硝子化を戻す温度が高くなる程大きくなつてゐる。此の事實から凍結させないで硝子状態から元に戻すにも、漠然とはしてゐるがある限界温度範囲が存在することが判る。

以上例に挙げた結果をみると冷却速度と加温速度とが充分大きい時には、活動状態にある細胞も非常に低温に堪へ得るものである。これ等の實驗では細胞が硝子化されたといふことについて、直接的證明はないが、細胞の死亡率の非常に低い結果を得た場合の條件は、含水量の割合多いゲラチンゼリーを硝子化するのに、又凍結させないで元に戻すのに充分であることから考へると、極端に冷された時は細胞の大部分は硝子化された、即ち細胞は凍結しなかつたものと考へられる。従つて細胞内に氷さへ生じなければ、このような一群の細胞にとつて非常なる低温でも低温自身は致命的影響を及ぼすものではないといふ豫想はある程度正しいといふことができよう。

IV

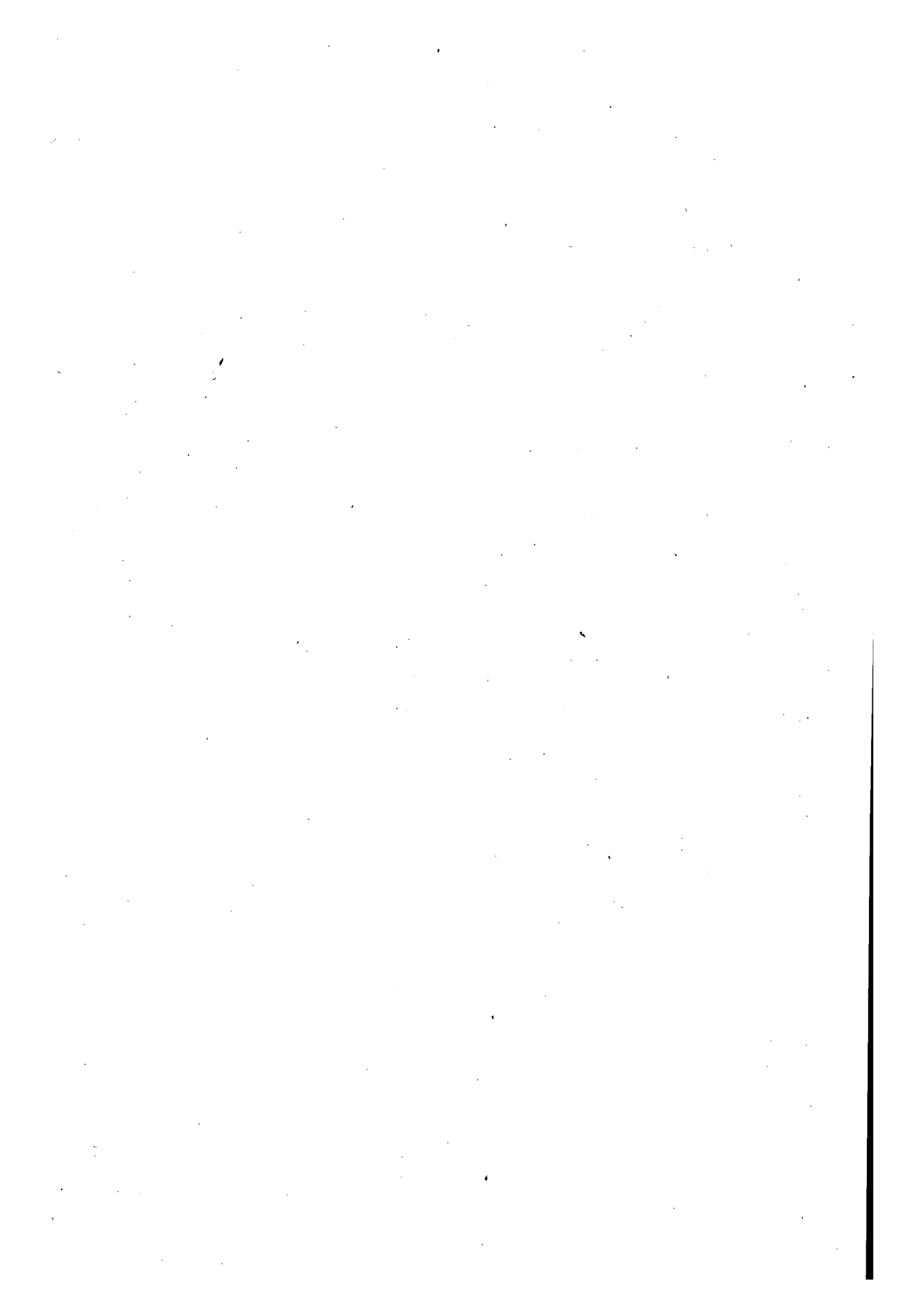
特殊な条件下にある細胞、即ち乾燥してゐる種子、細菌、孢子等は耐寒性が非常に強く液體空気が勿論のこと、ずつと温度の低い液體水素、液體ヘリウムの中に入れられてさへ死ななかつたといふことは、今迄かなり報告されてゐる。然し大部分冷却速度、加温速度等についての具體的の記載が無いために直接比較は出來ないが、極端に耐寒性が強い場合には概して含水量が低い。前に述べたことと考へ合はせると非常に硝子化され易い状態、あるひは凍らない状態になつてゐるとも考へられるので、超低温に堪へ得たことは一概に皆硝子化によるものであるとは勿論斷定できない。然し Turner のスピロヘーターやピルスの場合等はある程度硝子化が起つてゐたのではないかと想像される。

とにかく實際問題として緒方のいふやうに微生物の系統保存又は實驗材料保存といふ意味で特に細菌學等においては有利な手段であるに違ひない。生物は非常に水分が多い。一般に生命活動が活潑に行はれてゐるもの程含水量が高いものである。従つて大型になるにつれて固型炭酸の温度位までにはさへ、瞬間的とでもいふ程急速に冷却することは中々むづかしいことである。然しこの問題が技術的にある程度解決されて、硝子化の研究がもつと進めば、將來原形質の構造の研究、

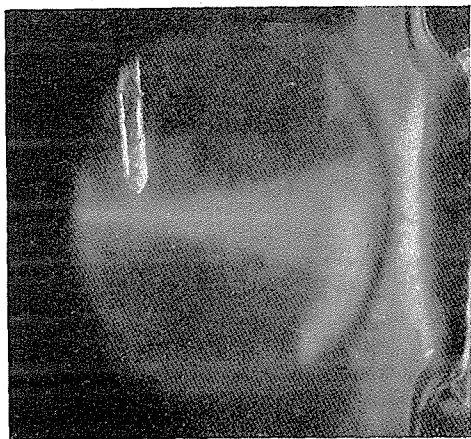
特に原形質内における水の動行等を探るのに硝子化は一つの手懸りを提供してくれさうであるし、その他、又いろいろの意味で利用の途も多いことであらう。

文 獻

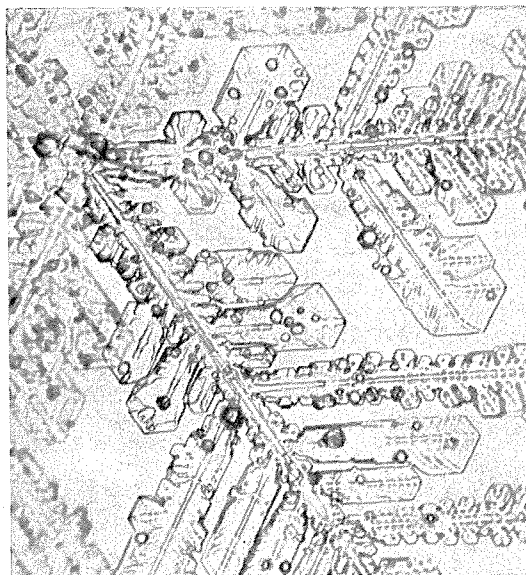
- (1) 緒方富雄 昭 19, 低温と保存と乾燥. 科學, 14, 272.
TURNER, T. B. 1938. The preservation of virulent *Treponema pallidum* and *Treponema Pertense* in the frozen state, with a note on the preservation of filtrable viruses. Jour. Exp. Med., 67, 61.
—— & N. L. BRAYTON 1939. Factors influencing the survival of spirochetes in the frozen state. 同誌, 70, 639.
- (2) 坂村 徹 昭. 18. 植物生理學. 96—98.
BEELEHRÁDEK, J. 1935. Temperature and living matter. 123—128.
- (3) LUYET, B. J. 1939. Vitrification of water. Phys. Rev., 56, 1244.
- (4) —— 1939. The devitrification temperatures of solutions of a carbohydrate series. Jour. Phys. Chem., 43, 881.
- (5) —— 1941. The vitreous state of matter and the devitrification temperatures. Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry. 420.
- (6) —— 1937. The vitrification of organic colloids and of protoplasm. Biodynamica, No. 29.
- (7) BARNES, W. H. & F. W. MATTHEWS 1939. A note on the diffraction of x-rays by vitrified and frozen gelatin gels. 同誌, No. 49.
- (8) CALLOW, E. H. 1925. The velocity of ice crystallization through supercooled gelatin gels. Proc. Roy. Soc. London, A, 108, 307.
- (9) MORAN, T. 1926. The freezing of gelatin gel. 同誌, 112, 30.
- (10) LUYET, B. J. 1941. The resistance of living matter to very low temperatures. Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry. 425.
- (11) —— & P. M. GEHENIO 1938. The survival of moss vitrified in liquid air and its relation to water content. Biodynamica, No. 42.
- (12) GOETZ, A. & S. S. GOETZ 1938. Vitrification and crystallization of protophyta at low temperatures. Proc. Amer. Philos. Soc., 79, 361.
—— & —— 1938. Das Verglasen einzelliger Organismen. Naturwiss., 26, 427.
- (13) —— & —— 1938. Death by devitrification in yeast cells. Biodynamica, No. 43.



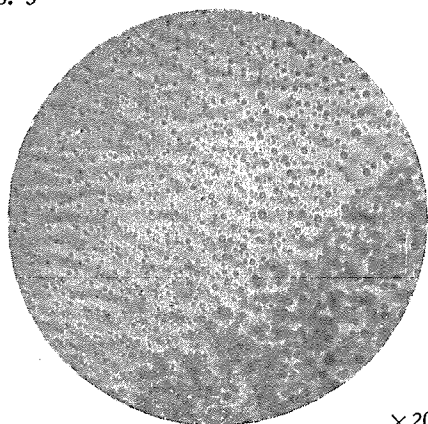
No. 1



No. 2

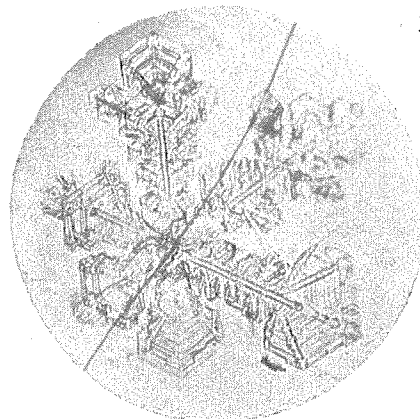


No. 3



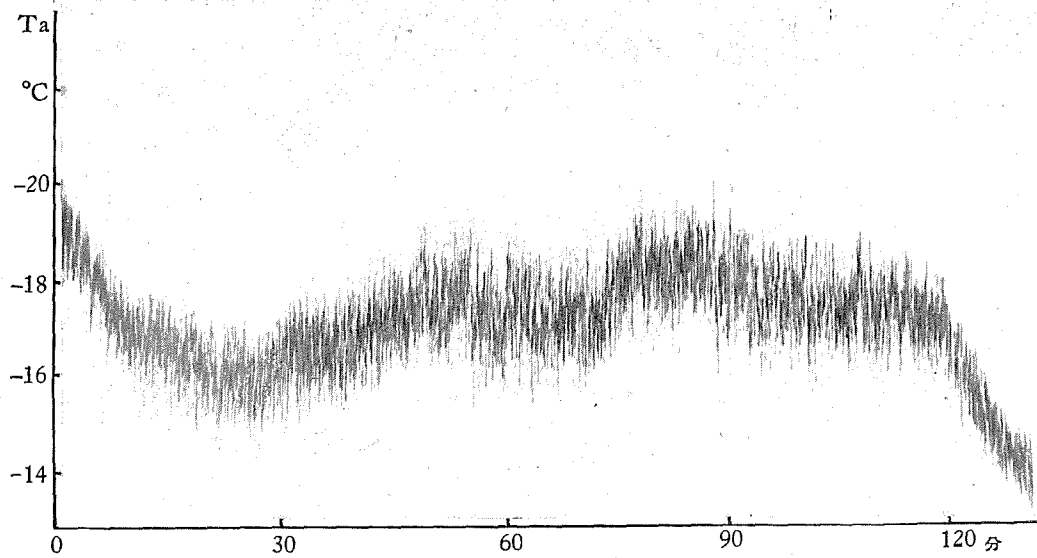
×200

No. 4

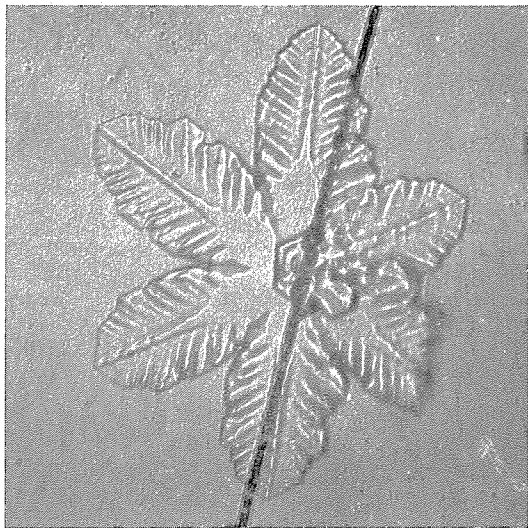


×64

No. 5

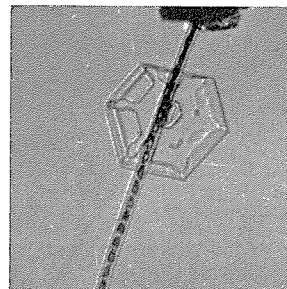


No. 6



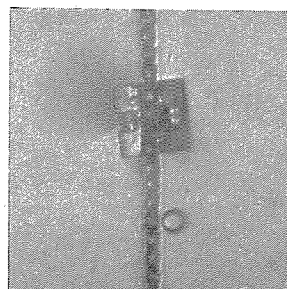
直徑 0.38mm

No. 7



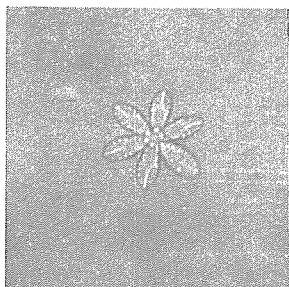
直徑 0.10mm

No. 8



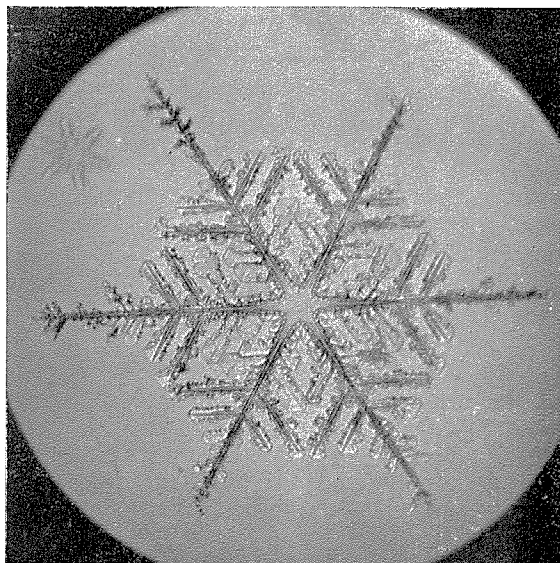
高サ 0.06mm

No. 9



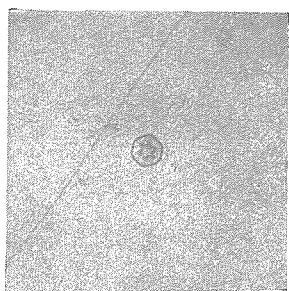
直徑 0.53mm

No. 11



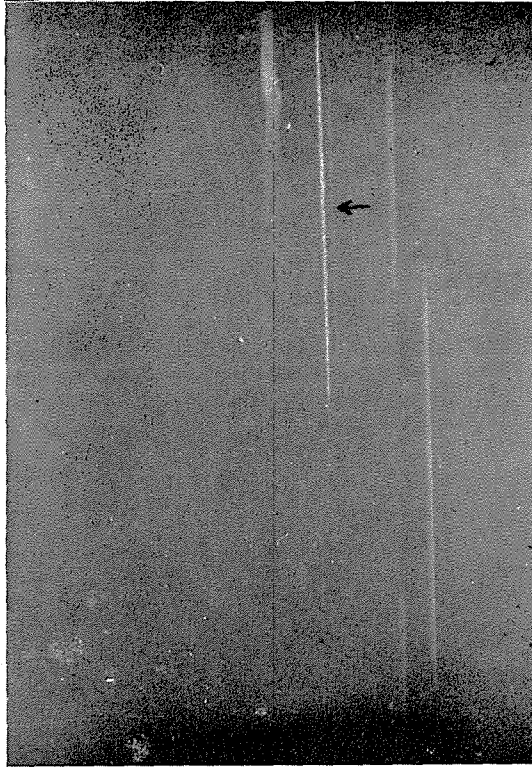
大結晶 5.6mm, 小結晶 0.9mm

No. 10



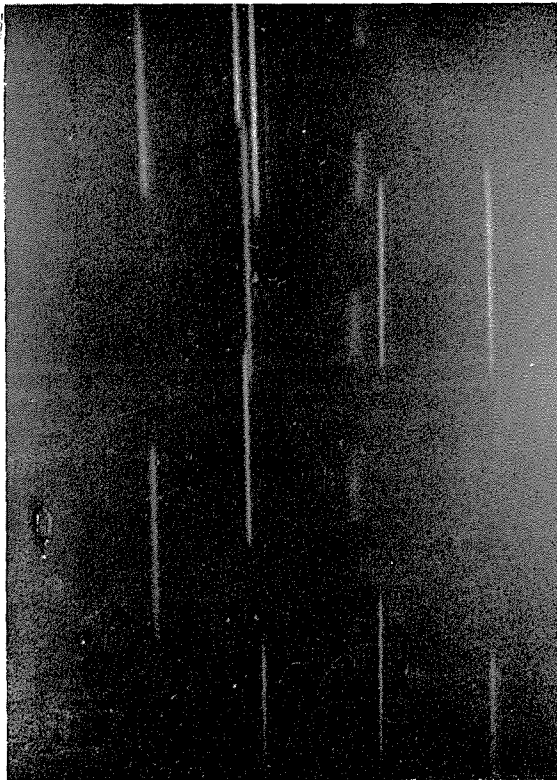
直徑 0.06mm

No. 12



×13.8

No. 13



×13.8

No. 14



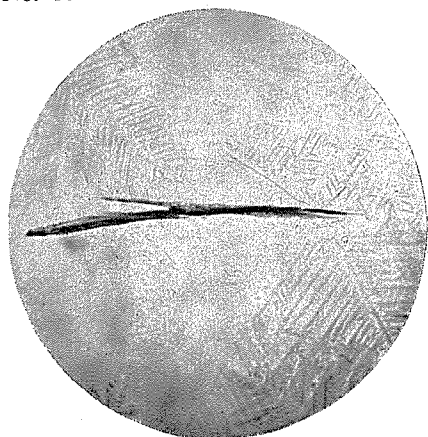
×10(室溫-20°C)

No. 15



×10(室溫-20°C)

No. 16



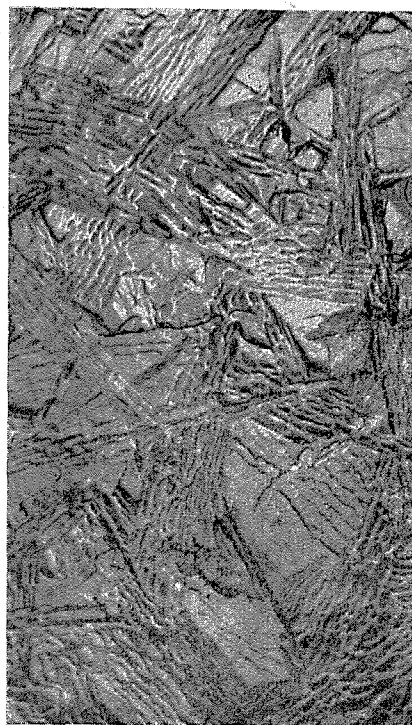
×10(室溫-12°C)

No. 17



×1.0(室溫-20°C)

No. 18



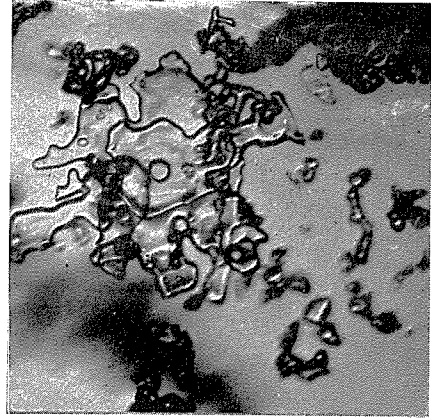
×1.0(室溫-20°C)

No. 19



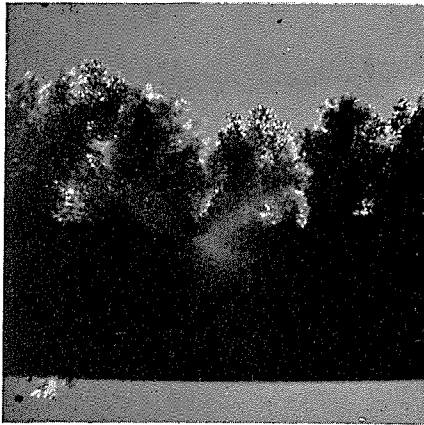
樹霜 ×19.5

No. 20



樹氷 ×27

No. 21



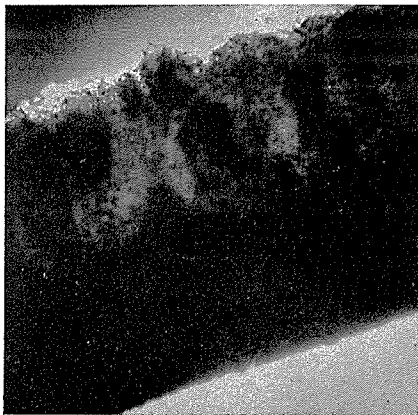
粗霧氷 ×19.5

No. 22



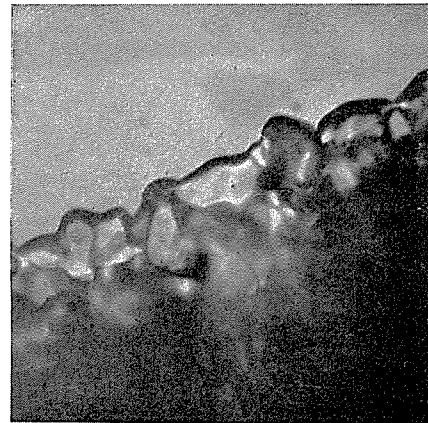
粗霧氷先端 ×132

No. 23



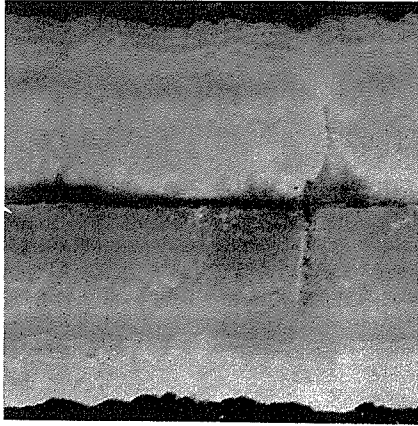
密霧氷 ×19.5

No. 24



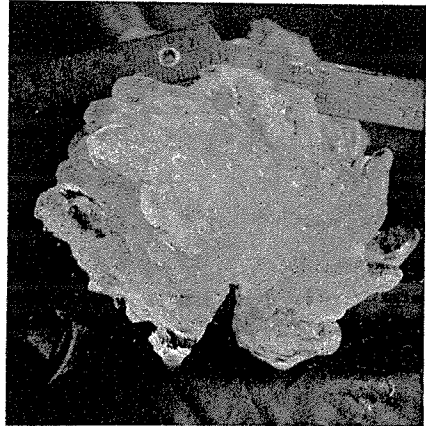
密霧氷先端 ×132

No. 25



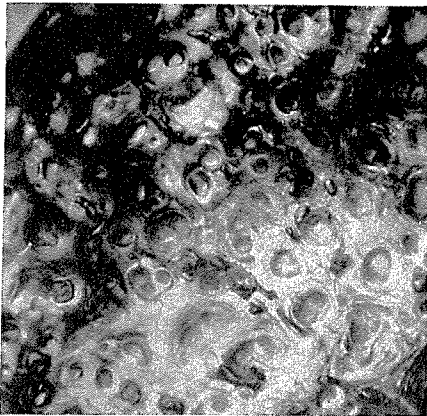
粗水断面 $\times 2/5$

No. 26



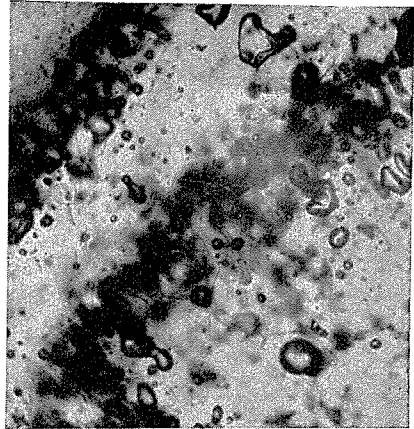
雨水断面 $\times 1/2.5$

No. 27



粗水着表面 $\times 27$

No. 28



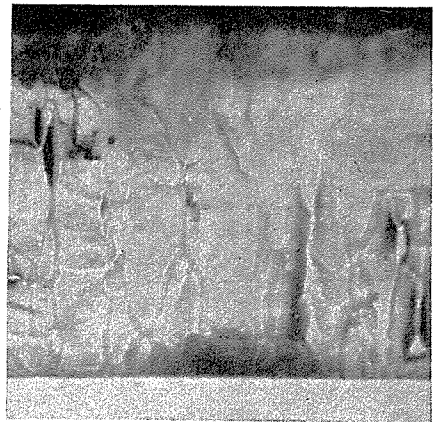
粗水断面縞 $\times 27$

No. 29



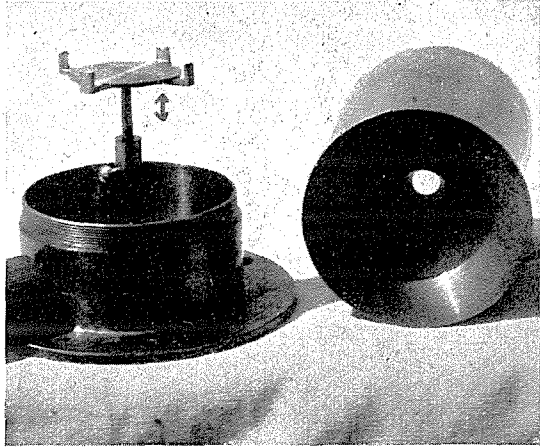
雨水着水表面 $\times 19.5$

No. 30



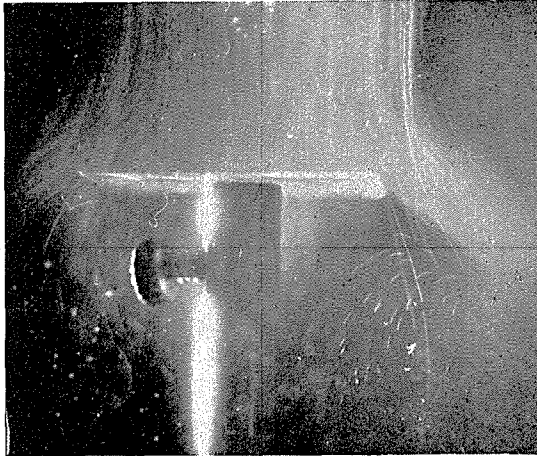
雨水縦断面 $\times 19.5$

No. 31



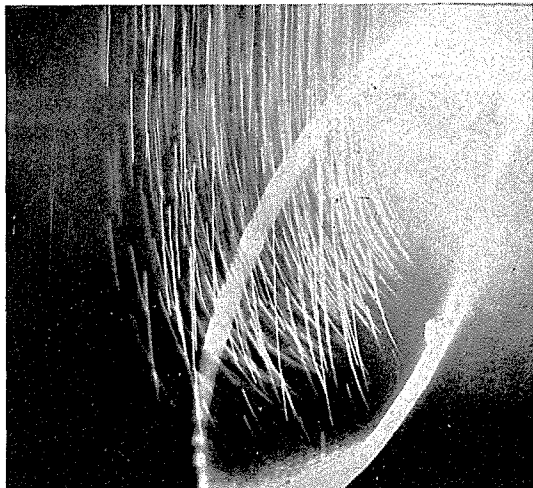
×0.72

No. 32



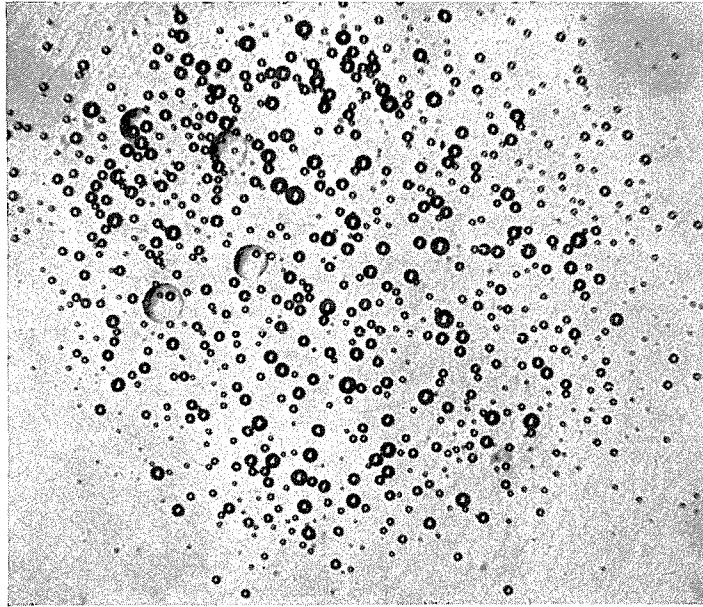
×2.0

No. 33



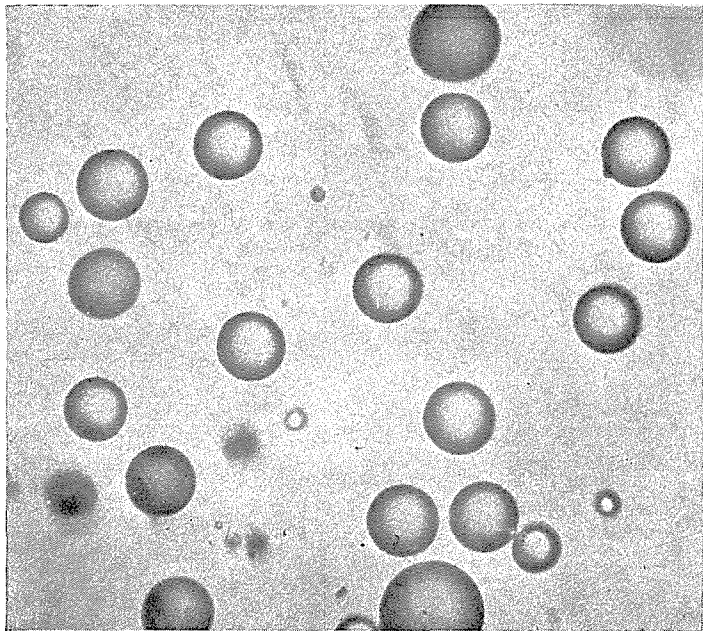
×1.9

No. 34



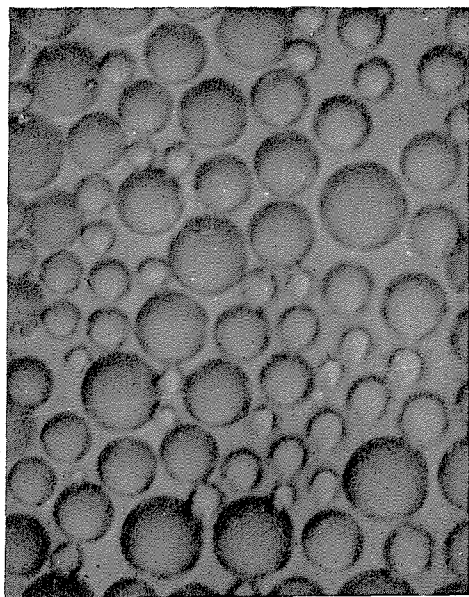
×51

No. 35



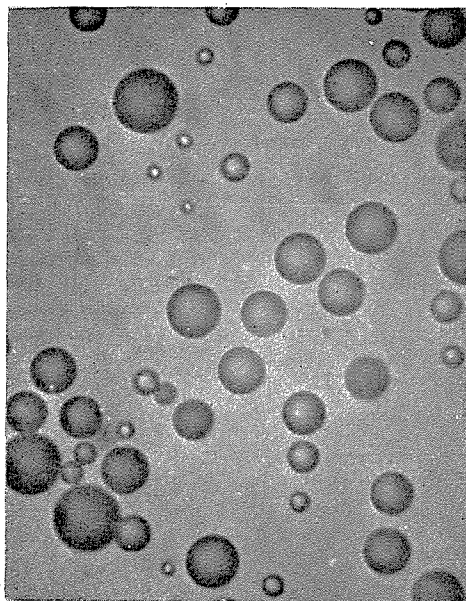
×258

No. 36



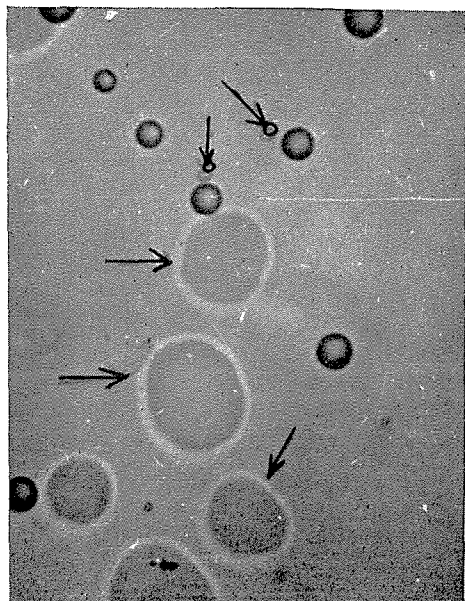
×246

No. 37



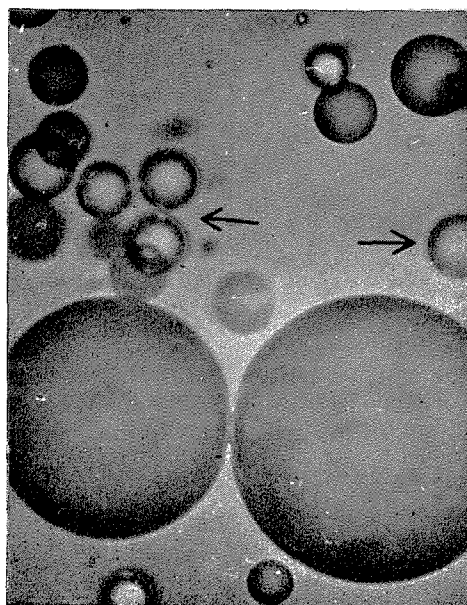
×245

No. 38



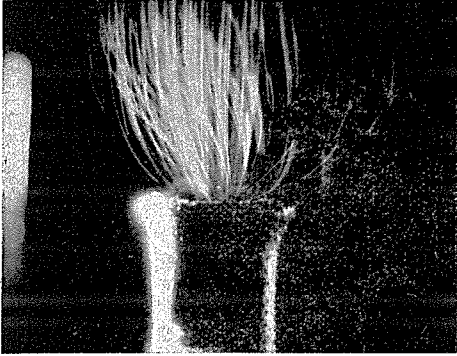
×246

No. 39



×246

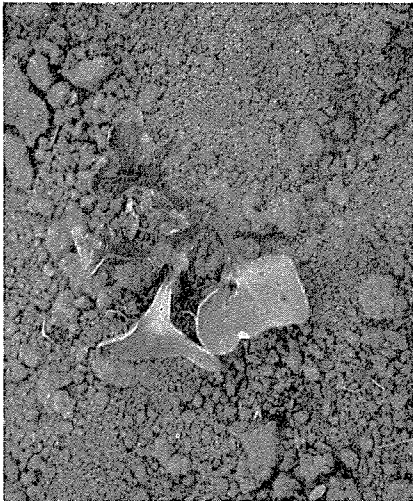
No. 40



No. 41



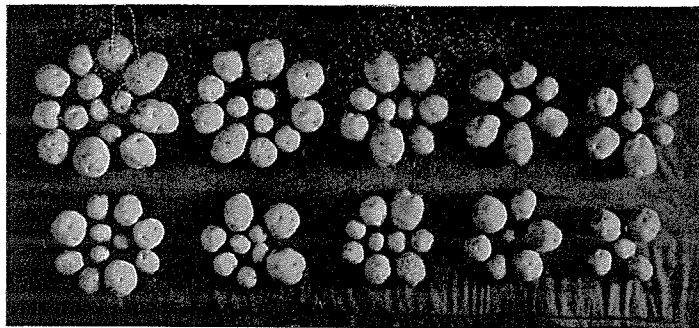
No. 42



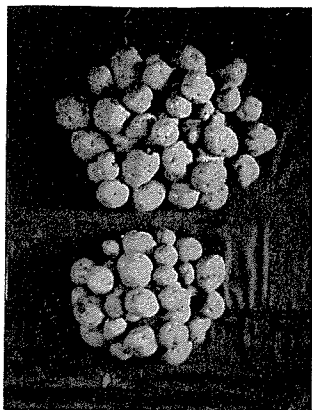
No. 43



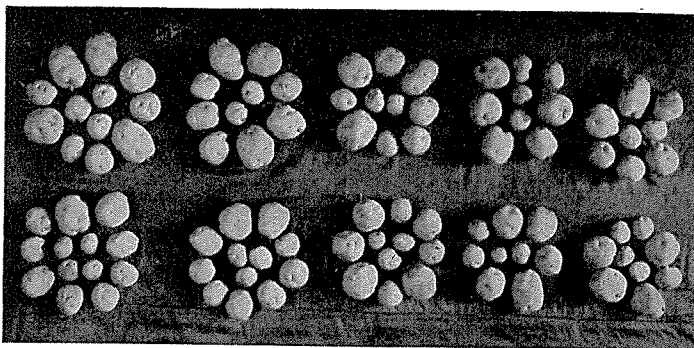
No. 44



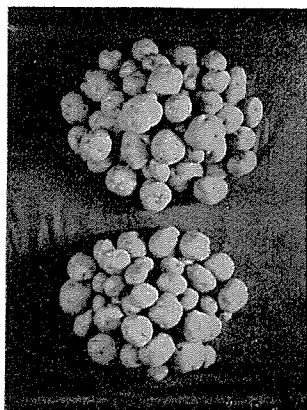
No. 45



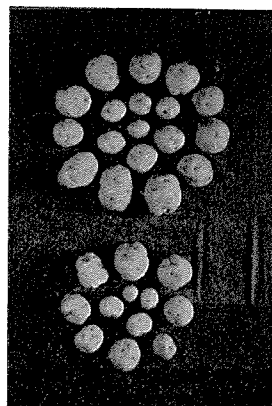
No. 46



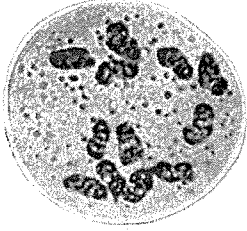
No. 47



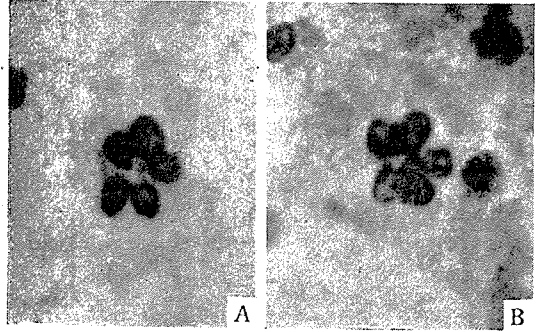
No. 48



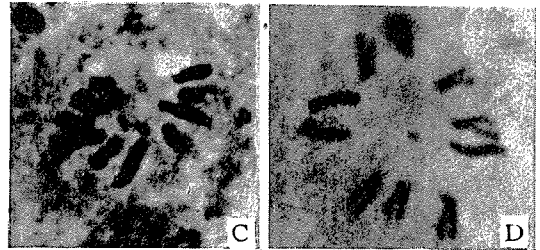
No. 49



No. 50



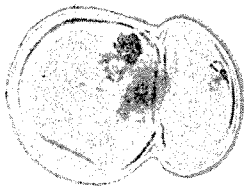
No. 51



No. 53

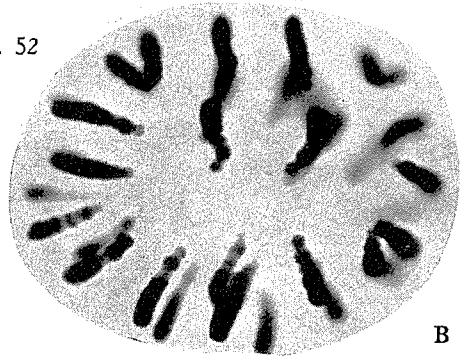


A

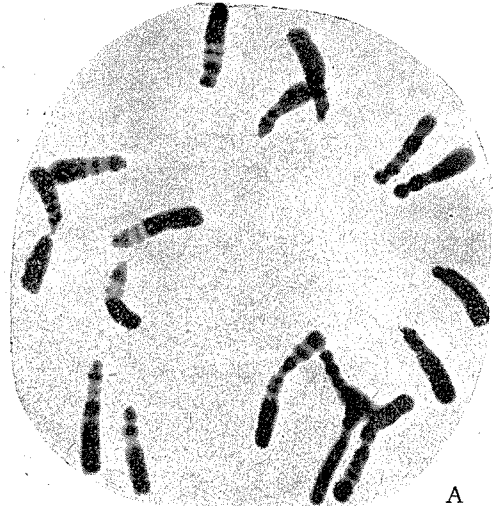


B

No. 52

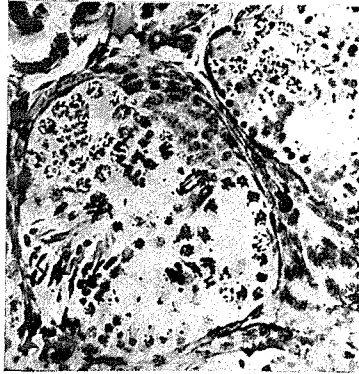


B

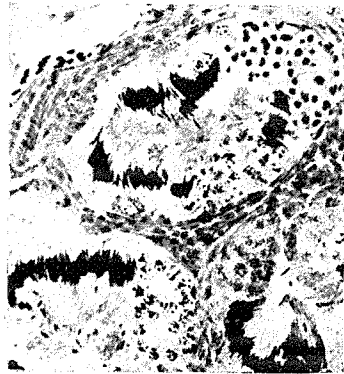


A

No. 54



A



B

No. 55



A

B

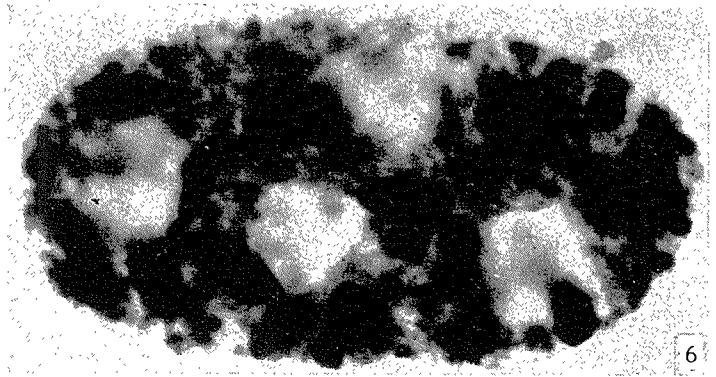
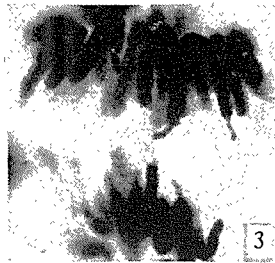
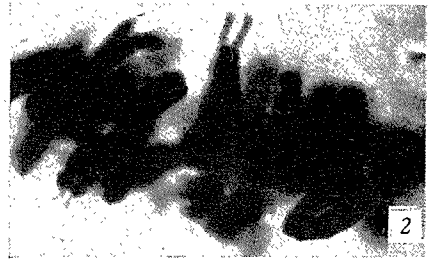
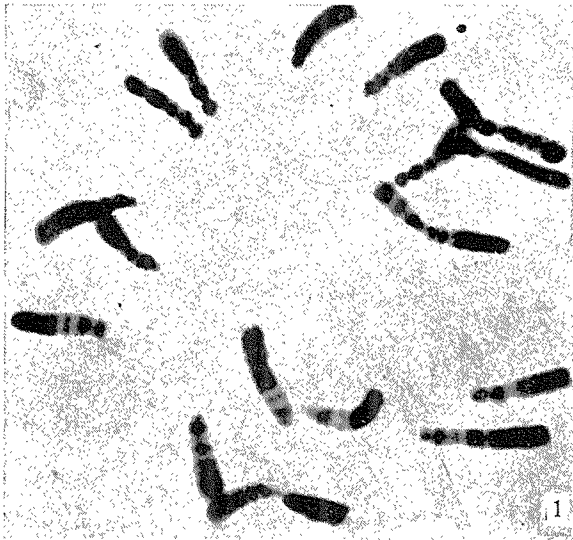


写真 1-6 低温に対する染色体の特殊反応

低 温 科 学 第 二 輯 (第 一 刷) 正 誤 表

(頁)	(行)	(誤)	(正)	(頁)	(行)	(誤)	(正)
目次	20	福島	福富	90	13	写真 12	写真No.30
3	12	α	αd	94	28	" 7	" No.25
6	第6圖	5 cm	0.5 cm	99	16	示すと	みると
"	20	$\frac{3}{\text{kg/cm}}$	$\frac{3}{\text{kg/cm}^2}$	"	"	写真No.1の如く	トル
24	22	相對温度	相對湿度	"	22,23	写真1に見られる	トル
26	第1表の5	<105	>105	100	2	写真と同様に	トル
27	4	写真 2	写真No.2	101	27,28	写真No.2に示す様に	トル
"	10	" 1	" No.1	101,102	30,1	写真に示す如く	トル
"	14	" 3	" No.3	102	13	第1表及び写真No.2を	第1表を
"	19	F	下	108	26	写真 1	写真No.31
"	30	写真 4,5	写真No.4,5	"	29	" 4	" No.34
28	4	T_c	T_a	"	29	" 4	" No.34
"	5	T_c	T_a	109	3	" 4	" No.34
"	23	写真 6,7,8	写真No.6,7,8	"	"	" 5	" No.35
"	29	" 8	" No.8	"	"	" 2	" No.32
29	2	" 9,10,11	" No.9,10,11	112	3	" 3	" No.33
34	10	鐵線があるが	鐵線であるが	113	17	" 6	" No.36
59	第13圖	---細土含有量	---細土含有量	"	18	" 7	" No.37
"	"	-x-粘土含有量	-x-粘土含有量	"	29	" 8	" No.38
70	24	b c	b : c	115	27	" 9	" No.39
71	3	写真No.1	写真No.12	116	4	" 9	" No.39
"	3	" No.2	" No.22,13	120	13	$1.0 \times 10^{-7} V$	$1.0 \times 10^{-2} V$
"	16	" No.1	" No.21,12	121	7	30cm	130cm
74	6	第2圖(A)	" No.14	128	14	3m	4.8m
"	"	" (B)	" No.15	136	第1表の1	左右對線	左右對稱
"	"	" (C)	" No.16	142	1	打點式によつて	自記的に
"	8	写真 (A)	" No.14	159	6	Ag	Aq
"	10	写真 (B)	" No.15	164	25	$\Delta t'g > t_w$	$\Delta t'g > \Delta t_w$
"	18	" (C)	" No.16	166	27	0.001N	0.001/N
"	20	" (A)	" No.14	171	3	9桁	6桁
75	9	第4圖(D)及(E)	" No.17, No.18	"	16	$\frac{T_l}{T_a} Vt$	$\frac{T_l}{T_t} Vt$
"	11	写真 (D)	" No.17	172	2	$R-I = \frac{e}{e_{sat}} 100$	$RH = \frac{e}{e_{sat}} 100$
"	12	" (E)	" No.18	"	22	a), b)	写真No.40, No.41
77	脚註3	Seron	Screen	174	第3表	相對温度	相對湿度
80	11	$\int_0^\infty \varphi(r) d^2(r) pr$	$\int_0^\infty \varphi(r) p^2(r) dr$	180	6	$B_{nap} s$	B_{napus}
88	10	写真 1	写真No.19	181	2	<i>Faphanobras-</i> <i>sica</i>	<i>Raphanobras-</i> <i>sica</i>
"	20	" 2	" No.20	182	4	<i>Horde m</i>	<i>Hordecum</i>
89	1	" 3	" No.21	183	13	<i>nap s</i>	<i>napus</i>
"	3	" 4	" No.22	244	19	單位生殖	單爲生殖
"	12	" 5	" No.23	248	15,16	温度氏はでも	湿度でも
"	"	" 6	" No.24	"	16	尙松島	尙松島氏は
"	14	" 4	" No.22	252	13	Schwarkinowa	Schwarnikow
"	22	" 7	" No.25	257	6	写真1-5	写真No.56の1-5
"	27	" 8	" No.26	259	8	写真4-5	写真No.56の4-5
"	28	" 9	" No.27	260	6	" 6	" No.56の6
90	3	" 12	" No.30				
"	10	" 8	" No.26				
"	11	" 11	" No.29				
"	12	" 9	" No.27				