



Title	溶液の凍結 III : Glucose 加血漿中の氷晶と再結晶
Author(s)	根井, 外喜男; NEI, Tokio
Citation	低温科学. 生物篇, 23, 163-172
Issue Date	1965-12-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17706">https://hdl.handle.net/2115/17706</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	23_p163-172.pdf



## 溶 液 の 凍 結 III\*

Glucose 加血漿中の氷晶と再結晶

根 井 外 喜 男

(低温科学研究所 医学部門)

(昭和 38 年 7 月 7 日 受理)

### I. 緒 言

既に第 1 報<sup>1)</sup>の緒言に於いて述べたように、本シリーズの 3 篇の論文は、American Foundation for Biological Research に於いて著者が行なった実験結果の報告であつて、同研究所に於いてこれまでに行なわれてきた血液成分の再結晶に関する研究の一環をなすものであり、且つ血液の低温保存に際し保護物質といわれる glucose の作用機序を解明したいということを目的としている。また従来不可能とされていた血球の凍結乾燥を成就させるために何らかの手がかりを得たいということも考慮されていたのである。

そこで、本実験材料の組成である血漿及び glucose の凍結及び再結晶の pattern を明らかにするために、対照としてそれら単独のものについて検討され、その結果は既に第 1 報及び第 2 報<sup>2)</sup>に述べられた。

### II. 方 法

実験装置並びに方法は第 1 報と全く同一であるから省略する。

試料は牛血漿に 5%, 10%, 20% になるよう glucose を加えたものである。凍結は  $-50^{\circ}\text{C}$  及び  $-150^{\circ}\text{C}$  で行なった。

### III. 結 果

#### 総 括

glucose 単独の場合とほぼ同様で、glucose 濃度が増し、凍結温度が低くなるほど、完全結晶への阻害が強くなり、evanescent spherulite のような不完全結晶に近づく。再結晶過程も大体似ているが、glucose 単独のものよりやや高いところでおきるように思われる。

#### 1. 5% glucose 加血漿

##### A. $-50^{\circ}\text{C}$ での凍結

##### 1) 凍結の pattern

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第 651 号

crystallization unit から放射状に走る羽毛状或いは花卉状の pattern で、すべて irregular dendrite である。5% glucose でみられた堅い感じの羊歯状のものは見当たらない。center 付近の花弁状各片の間及び unit の周辺部に粒子状のものの散在するのがみえる。定型的な periodicity のみられることが多い。

## 2) 加温による再結晶

-30°C になると偏光ではまだあまり変化はみとめられないのに、普通光ならはつきりした変化がみられる。即ち花卉状各片の輪郭が明瞭になり、特に periodicity の C-zone 以外の A, B, D-zone が暗くなる。更に温度が上ると、視野全体として rough な感じになり、opacity も増す。この頃には initial pattern は殆んどわからなくなる。更に進むと、全体として微粒子が現われ、それが次第に成長し大きくなって、-10°C では明らかな氷晶を形成する。偏光ではまだ最初の periodicity の名残りがうかがわれる。

### B. -150°C での凍結

#### 1) 凍結の pattern

菊花状の irregular dendrite であるが、-50°C 凍結のものよりすべて小さい。花卉状各片の間及び crystallization unit の周辺部に粒子様のものが散在している。この粒子様のものも含めて unit の内部構造は、普通光ではあまりよくみえない。

#### 2) 加温による再結晶

-30°C で、各 unit の border line から次第に center に向って暗くなり始めることが普通光でよくわかる。この暗くなる部分は大体最初に粒子状のものがあつたところで、次第に拡大増加するようである。-25°C 乃至 -20°C で全体として暗黒化し、偏光でももはや initial pattern をみとめ難くなる。やがて視野一面に微粒子が現われ、-10°C では各粒子は成長増大し明らかな個々の氷晶となる。

## 2. 10% glucose 加血漿

### A. -50°C での凍結

#### 1) 凍結の pattern

5% のものにほぼ似たような花模様の irregular dendrite である。periodicity もよくみとめるが、粒子様のものはない。

#### 2) 加温による再結晶

再結晶の経過もほぼ 5% の場合と同様である。-30°C くらいで、普通光での initial pattern の contrast の増加、全体としての opacity の増加、粗造化がみられ、更に温度が上ると、initial pattern が失なわれ、opacity が最大に達した後は漸次透明化し、微粒子が見え始める。最後に個々の氷晶にまで発達する。

### B. -150°C での凍結

#### 1) 凍結の pattern

-50°C 凍結のものよりかなり小さな crystallization unit である。放射状の細い筋からなり、irregular dendrite と coarse spherulite との中間くらいの形態である。

## 2) 加温による再結晶

これまで述べたものとは同様の経過を辿る。即ち  $-30^{\circ}\text{C}$  で普通光による pattern の明瞭化, その後の opacity の増加, 粗造化, initial pattern の消失, 更に再び透明化, 氷晶の発達に進む各段階は多少低い温度で進行するように思われる。

## 3. 20% glucose 加血漿

A.  $-50^{\circ}\text{C}$  での凍結

## 1) 凍結の pattern

多くのものは coarse spherulite で, 偏光では Maltese cross を示し, 放射状に走る条線がよくみえる。普通光では border line が僅かにみえる程度で, あとの構造は殆んどわからない。

## 2) 加温による再結晶

$-40^{\circ}\text{C}$  で普通光でも border line ははっきり見え,  $-35^{\circ}\text{C}$  で条線がみえ, 多少 opacity を増す。 $-30^{\circ}\text{C}$  で opacity は最大に達し, 粗造化, initial pattern 及び Maltese cross の消失があり, やがて次の氷晶発達の段階に移行する。

B.  $-150^{\circ}\text{C}$  での凍結

## 1) 凍結の pattern

すべてが evanescent spherulite で, 普通光では僅かに border line がうかがわれる程度で, 他に何もみえないが, 偏光では Maltese cross を呈する。20% glucose の場合と同様,  $20\sim 50\mu$  及び  $100\sim 200\mu$  の size の 2 つの group から成ることが目につく。

## 2) 加温による再結晶

$-35^{\circ}\text{C}$  で, 偏光でも opacity が増し, 普通光では border line が明瞭になり, 個々の crystallization unit の center から暗くなり, それが次第に拡大する。更に温度が上ると, 視野全体が暗く且つ rough になり, Maltese cross もぼけてくる。やがて opacity が最大になり, それを過ぎると再び透明化し始め, 微粒子がみえ出して, 次第に成長発達する。

## IV. 全篇の総括と考察

既に述べたように 3 篇に亘る本実験は, 血漿に種々の濃度の glucose を加えた場合, それを凍結するとどのような pattern を画くか, またそれらを加温した場合にどのような変化, つまり再結晶をおこすかを検討することを目的として行なわれた。

そのために, 血漿或いは glucose のそれぞれ単独のものが, 本実験の対照として吟味されたわけで, これら各試料間の相互関係を比較検討することが必要であるが, 本実験のように形態的な観察を行なったものでは, 表現が極めて定性的であるから, 数値を似て示すような定量的比較は困難である。しかも, その形態的变化が一定の形式と経過をとるものであれば, 比較は割合に容易であるが, 本実験の観察結果では, その変化が条件によって異なり, 一連の変化が経時的にうつり変り, 且つ互に overlap するものであるから, 一層定量的な比較が困難である。しかし, これらの点を考慮しつつ可能な範囲で総括を試みたい。

### 1. 凍結による氷晶の pattern

既に Luyet<sup>3,4)</sup> が述べているように、冷却による試料の凍結の姿は、試料中に含まれる物質の性状と凍結の条件によって大きく左右される。特に氷晶は、溶質濃度が増し、冷却速度が増すほど、完全結晶を作ることに対する障害が大きくなり、それだけ、より不完全な結晶を作る方向に向うようになる。本実験で得られた結果のうちから具体的な実例をあげれば、血漿も 5% glucose 溶液もともに似たような irregular dendrite を作るが、glucose の濃度が増すに従い、coarse spherulite から更に evanescent spherulite と次第に不完全結晶に近づく。血漿と glucose との混合物に於いても同様で、glucose 濃度の増加とともに、pattern も変って行く。血漿と 5% glucose 溶液との間にも、微細な点で多少の pattern の相違はある。

### 2. 再結晶過程

以上のような種々の凍結像を示すものを、次第に温度を上げていくと、それぞれの像に応じた変化が、かなりの温度範囲に亘っているいろいろな形で現われる。

**A.** 血漿と 5% glucose 溶液は initial pattern はかなり似ているが、再結晶現象の現われる温度が相当異なる。前者は  $-15^{\circ}\text{C}$  付近で漸くおこり始めるのに、後者は  $-30^{\circ}\text{C}$  の低温で既に変化がおきているのである。

**B.** Luyet はさきに opacity を基準にして、種々の物質の recrystallization temperature を測定し、2 M glucose では  $-40.6^{\circ}\text{C}$  であると報告した<sup>9)</sup>。また recrystallization temperature は物質の分子量によってきまり、その濃度には余り左右されないと述べているが、本実験で観察された形態的变化からみる限りでは、glucose の濃度が増し、また凍結温度が低くなるほど、換言すれば、不完全結晶に近いものほど、再結晶過程は低温度でおこるように見えた。これは、変化の起り始める時の温度や最大 opacity を示す時の温度などを目やすにして比較した場合のことである。

**C.** 血漿に glucose を加えたものでは、それぞれ単独のものの中間にあるというよりも、むしろ glucose 単独のものに近い温度や形態的变化を示す。

**D.** 温度上昇によっておきる再結晶という現象については、Luyet はこれを 2つの段階に分けて考えている。即ち第1の irruptive recrystallization は、不完全結晶から完全結晶への変化、つまり分子構造の変化で、これは比較的狭い温度範囲で急激におこるものと考えられた。第2の migratory recrystallization は、完全結晶と考えられる氷晶（主として hexagonal form から成る）がより大きく成長する過程で、これは比較的広い温度範囲で行なわれるものとされた。

具体的に本実験でみられる現象としては、例えば、20% glucose 溶液の  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結でできた evanescent spherulite は、加温過程の  $-45^{\circ}\text{C}$  乃至  $-40^{\circ}\text{C}$  で irruptive recrystallization が始まるものと思われる。温度が高くなるに従って opacity が増し Maltese cross が失なわれることは、evanescent spherulite が hexagonal form に、換言すれば不完全結晶が完全結晶に移行しようとする過程を示すものと思われる。opacity が最大に達すると、次に顕微鏡下で確認できるような氷晶の生成発達の段階に移る。これが migratory recrystallization であると考

えられる。この兩段階の移行点をはつきりと規定することは困難である。

以上のような経過は coarse spherulite でも、ほぼ同様にみとめられるが, irregular dendrite 即ち完全結晶に近い形になるほど, opacity の増加もあまり著明でなく, irruptive recrystallization と考えられる過程が不明瞭になってくる。むしろ比較的早い時期から微粒子ができ, それが成長して大きな氷晶になるものなどは, 始めから migratory recrystallization に入るのであろうか。特に同じ irregular dendrite でも血漿単独の場合などは, irruptive recrystallization と考えられる過程は殆んどみられず, しかも微粒子の出現も途中で再び消失する形なので, 結局 initial pattern の個々の column の分断という現象だけが主な変化ということになる。このようなものも migratory recrystallization の範囲に入れるべきであろうか。

要するに, くりかえし述べる通り, 再結晶過程は最初の凍結の pattern によっていろいろの経過を辿る。

E. 種々の試料の再結晶過程を相互に比較することは, それぞれ質的に異なった過程をとることが多いので, 定量的には困難であるが, 変化の最初に現われる温度などを基準にして比較することは必ずしも不可能ではあるまい。その意味で, いま一度, 試料の種類, 濃度, 凍結の pattern などの点から再検討してみた。その結果は第1表及び図版 IX, X, XI に示された通りである。

第1表 各試料の加温過程に於ける初期変化出現状況 (-150°C 凍結)

試料	20% glucose		10% glucose		5% glucose		
	単独	血漿加	単独	血漿加	単独	血漿加	
凍結の pattern	evanescent spherulite	evanescent spherulite	intermediate type	intermediate type	irregular dendrite	irregular dendrite	
-30°C	2 min	かなり暗	やや暗	線条みえる	変化なし	変化なし	
	5	一層暗	かなり暗	コントラスト低下	線条みえる	変化なし	変化なし
	10			粗造化	コントラスト低下	微細構造明確化	変化なし
-40°C	2	やや暗	変化なし				
	5	かなり暗	やや暗				

この結果からみれば, 同じ凍結条件では, glucose 濃度の高いものほど, 変化の現われ方が早い。また同じ濃度では, 血漿が加わったものの方が少し遅いようである。しかし血漿単独のものに比較すれば, 問題にならないくらい glucose そのものに近い。逆にいえば, 血漿は glucose を加えることにより, その再結晶過程に大きな影響をうけるといことができる。

また同じ glucose 濃度でも凍結温度が違うために凍結の pattern が違う時に, 加温による再結晶過程に差ができるかどうかを吟味してみると, 不完全結晶に近い程, 初期変化の現われる温度が低いか, 或いは短時間に現われるように思われる。しかし実際にはその差は殆んど確認できぬくらいに小さいようである。

一方, glucose 濃度が違えば, 同じような凍結の pattern を示していても (例えば 20% の -50°C 凍結と 10% の -150°C 凍結の場合), 濃度の高い方が変化は早く現われるようである。

今のところはまだ、溶質の濃度の差と凍結の pattern の違いのどちらがより強く再結晶過程に影響するかは確証がない。

**F. evanescent spherulite** に比較して、**coarse spherulite** 或いは **irregular dendrite** では、再結晶過程の opacity の増加の程度は次第に弱くなる。それにしても、それぞれの全過程のうちで opacity の最大になる点がある筈である。顕微鏡による形態の所見だけでそれを知るとは困難であるが、露出計で全視野の明るさを経時的に測定したところによると、opacity 最大を示す温度は、試料の条件によって多少異なるらしく、結局前記初期変化の現われる温度と平行して、完全結晶に近い pattern を示すものほど高温側にずれるようである。

なお、Luyet は opacity の最大に達する温度を測定して、例えば 2 M glucose では  $-40.6^{\circ}\text{C}$  と報告している。本実験で  $-35^{\circ}\text{C}$  或いは  $-30^{\circ}\text{C}$  で opacity が最大に達すると記載したところがあるが、これは両実験の glucose 濃度が違うばかりでなく、加温の方法や観察の方法の異なることによるものであろう。

**G. migratory recrystallization** の過程で成長発達する氷晶の最大値は、この migratory recrystallization と融解とのそれぞれのおこる温度や時間のかね合いで定まるものと思われるが、一般に濃度が低いものほど、そして特に血漿などが大きいように思われる。これは溶質の濃度差に基づく融点の差によるのか、凍結の pattern の差による再結晶過程の差、特に initial pattern の各 column が直接分割する時の大きさの差によるのかは明らかでない。

本実験の結果、試料自身並びに凍結の条件によって、完全結晶から不完全結晶に亘る種々の段階の氷晶ができること、しかもその凍結の pattern が、血漿では  $-15^{\circ}\text{C}$  くらい、glucose では  $-30^{\circ}\text{C}$  乃至  $-40^{\circ}\text{C}$  で、再結晶変化をすることが認められたわけで、これらの事実からも glucose 加血漿又は glucose 加血液の凍結或いは凍結乾燥を試みる場合に、凍結の温度その他にいろいろと注意を要することがわかる。

## 摘 要

1. 前2報と同様の方法で、glucose 加血漿の凍結標本を観察すると、glucose 濃度、凍結温度に応じて irregular dendrite から evanescent spherulite までのいろいろな段階の氷晶がみとめられた。

2. これらの試料の再結晶過程は glucose 溶液単独のものにかなり似た所見を呈した。

3. 血漿、glucose 溶液それぞれ単独、及び glucose 加血漿の3者を比較してみると、血漿は、凍結の pattern が完全結晶に比較的近い irregular dendrite であり、再結晶変化がほぼ  $-150^{\circ}\text{C}$  でおこるが、これに glucose が加わると、ほぼ glucose 単独溶液に近い凍結の pattern を示し、再結晶変化も  $-30^{\circ}\text{C}$  ~  $-40^{\circ}\text{C}$  で起る。即ち glucose 加血漿は血漿と glucose 溶液の間というよりもむしろ glucose 溶液に近い性質を示す。

本論文を終るに当って短期間ながら筆者に American Foundation for Biological Research

(Madison, Wisconsin, U.S.A.) において研究に従事することをみとめ、特に本実験の遂行に多大の示唆を賜わった所長 Dr. B. Luyet の厚意に深甚の謝意を表する。また種々助力を惜しまれなかった Dr. G. Rapatz を始め Drs. P. M. Gehenio, L. Menz and A. P. MacKenzie その他所員一同に心から感謝する。

なお本題に関しては、Luyet と共著で英文で発表される筈であるが、特に邦文による本論文の発表が承認された。

### 文 献

- 1) 根井外喜男 1965 溶液の凍結. I. 血漿中の氷晶と再結晶. 低温科学, 生物篇, **23**, 149-156.
- 2) 根井外喜男 1965 溶液の凍結. II. glucose 溶液中の氷晶と再結晶. 低温科学, 生物篇, **23**, 157-162.
- 3) Luyet, B. 1959 On the mechanism of growth of ice crystals in aqueous solutions and on the effect of rapid cooling in hindering crystallization. *In* Recent Research in Freezing and Drying. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 3-22.
- 4) Luyet, B. 1960 On various phase transitions occurring in aqueous solutions at low temperatures. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **85**, 549-569.
- 5) Luyet, B. 1939 The devitrification temperatures of solutions of a carbohydrate series. *J. Phys. Chem.*, **43**, 881-885.

### Summary

Mixtures of bovine plasma and 5%, 10% and 20% glucose, placed between two cover glasses, were rapidly frozen by abrupt immersion in alcohol or isopentane cooled to  $-50^{\circ}$  or  $-150^{\circ}\text{C}$ , respectively, and rewarmed to predetermined temperatures between  $-50^{\circ}\text{C}$  and the melting point. Microscopic study both of patterns of ice formed in the initial freezing and of the recrystallization process, taking place upon rewarming, has been made. Five %, 10% and 20% glucose solutions alone and plasma, chosen as control materials, were compared to mixtures of plasma and glucose.

Patterns of ice formation in the initial freezing exhibited irregular dendrites in the specimen with 5% glucose, frozen at  $-50^{\circ}\text{C}$ , and evanescent spherulites in that with 20% glucose, frozen at  $-150^{\circ}\text{C}$ . As intermediate patterns between those conditions, various kinds of configuration of irregular dendrites and spherulites were observed, corresponding to the concentration of glucose and the cooling temperature.

The process of recrystallization upon rewarming showed different changes depending on the initial patterns; as the temperature was raised, irregular dendrites underwent slight changes in opacity and growth of characterized ice particles, i. e., dominantly migratory recrystallization, but, evanescent spherulites underwent definite changes in opacity, followed by growth of ice particles, i. e., definitely identified irruptive and migratory recrystallization. Irregular dendrites in plasma showed maximum opacity at about  $-15^{\circ}\text{C}$ , those in 5% glucose solution at about  $-30^{\circ}\text{C}$  and evanescent spherulites in 20% glucose solution at about  $-40^{\circ}\text{C}$ . Opacity in irregular dendrites was very weak as compared to that in spherulites. Dendrites or spherulites in mixtures of plasma and 5%, 10% or 20% glucose

showed maximum opacity at temperatures by few degrees higher than those in respective glucose solutions.

In conclusion, plasma is extremely affected by the addition of glucose. Therefore, it can be said that glucose plays a dominant role in mixtures of plasma and glucose. Patterns of ice formation in the initial freezing depend upon the concentration of glucose and the cooling temperature. The recrystallization process upon rewarming takes place in different forms, depending upon the initial patterns.

図版説明

記載についての一般的な事項は第1報と同じである

図版 I

試料 I-1 5% glucose 加血漿,  $-50^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ , 花模様の crystallization unit の center から延びた羽毛様 pattern に periodicity がみとめられる。center に僅か周辺に多くの粒子状のものがみられる

図版 II

試料 II-1 5% glucose 加血漿,  $-50^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$   
 II-2 同上  $-25^{\circ}\text{C}$ , 全体としてやや opacity 増し, 粗造となる  
 II-3 同上  $-10^{\circ}\text{C}$ , 個々の氷晶がよくみえる。periodicity がまだ残っている

図版 III

試料 III-1 5% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結,  $-50^{\circ}\text{C}$  対照。菊花模様の花卉状各片の間に粒子様のものが散在している  
 III-2, 3 同上  $-30^{\circ}\text{C}$ , 5分及び  $-30^{\circ}\text{C}$ , 10分。偏光では余り変化はみとめられないが, 普通光では花卉状各片の輪郭及び粒子様のものが明瞭になる

図版 IV

試料 IV-1 10% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。菊花状の irregular dendrite と coarse spherulite の中間の pattern  
 IV-2 同上  $-30^{\circ}\text{C}$ , opacity 増す  
 IV-3 同上  $-20^{\circ}\text{C}$ , opacity 極値をやや越す。initial pattern は殆んど失われる

図版 V

試料 IV-4 同上  $-15^{\circ}\text{C}$ , 全体に微粒子がみえ, やや透明になる  
 IV-5, 6 同上  $-10^{\circ}\text{C}$  及び  $-5^{\circ}\text{C}$ 。氷晶は次第に成長増大し, やがて融解が始まる

図版 VI

試料 V-1 20% glucose 加血漿,  $-50^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。coarse spherulite で, Maltese cross がみられる  
 V-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 普通光で border line 及び内部微細構造がみえてくる  
 V-3 同上  $-30^{\circ}\text{C}$ , 全体に粗造になり Maltese cross も弱くなる

図版 VII

試料 VI-1 20% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ , きれいな Maltese cross がみられる。大小2つのグループから成る  
 VI-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 2分。全体に opacity 増し, 各 crystallization unit の center 及び border line 暗くなる。Maltese cross 消え始める

図版 VIII

試料 VI-3 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 5分。その程度を増す  
 VI-4 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 10分。全体として pattern 不明瞭となり粗造となる

## 図版 IX, X, XI

各種試料を同一温度で比較した場合で、いずれも  $-150^{\circ}\text{C}$  で凍結。上段 (1) は  $-50^{\circ}\text{C}$  で  
の対照、下段 (2) は  $-35^{\circ}\text{C}$  まで加温したものである

## 図版 IX

試料 VII-1 20% glucose 液,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。evanescent spherulite

VII-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 2分。かなり opacity 増し, Maltese cross 不鮮明となる

試料 VIII-1 20% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。evanescent spherulite

VIII-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 2分。僅かに暗くなる

## 図版 X

試料 IX-1 10% glucose 液,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。intermediate type

IX-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 5分。pattern 不鮮明となる

試料 X-1 10% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。intermediate type。右側は試  
料の周辺部に近く, coarse spherulite が多い

X-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 5分。intermediate type のものは殆んど変わらないが, 周辺の coarse  
spherulite のものは暗くなる

## 図版 XI

試料 XI-1 5% glucose 液,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。irregular dendrite

XI-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 10分, 僅かにコントラスト増す

試料 XII-1 5% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結, 対照  $-50^{\circ}\text{C}$ 。irregular dendrite

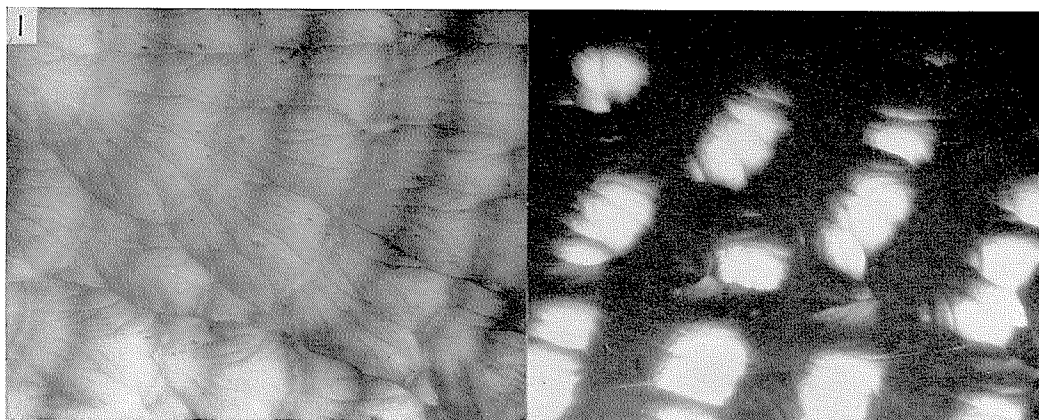
XII-2 同上  $-35^{\circ}\text{C}$ , 10分。対照と殆んど変わりなし

試料 I. 5% glucose 加血漿,  $-50^{\circ}\text{C}$  凍結

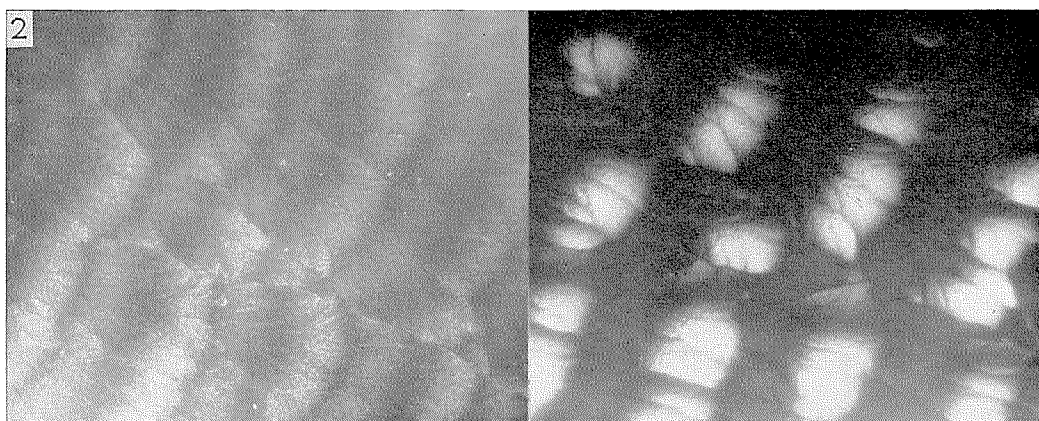


試料 II. 5% glucose 加血漿,  $-50^{\circ}\text{C}$  凍結

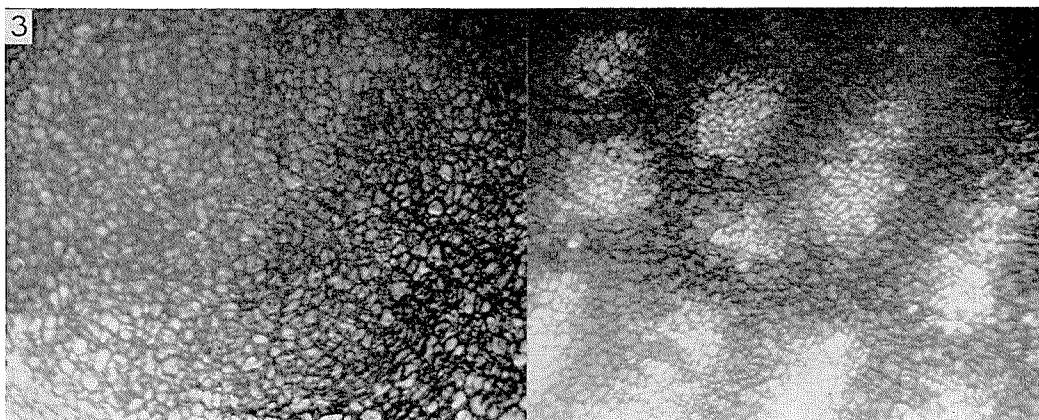
$-50^{\circ}\text{C}$



$-25^{\circ}\text{C}$

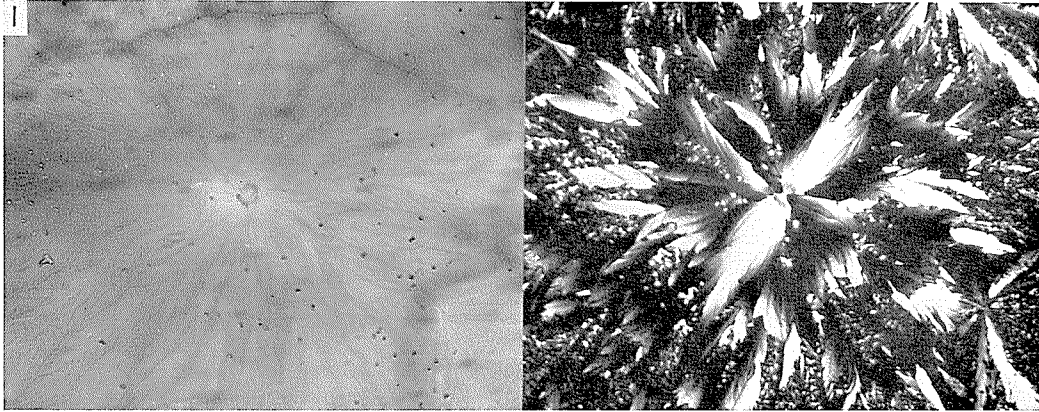


$-10^{\circ}\text{C}$

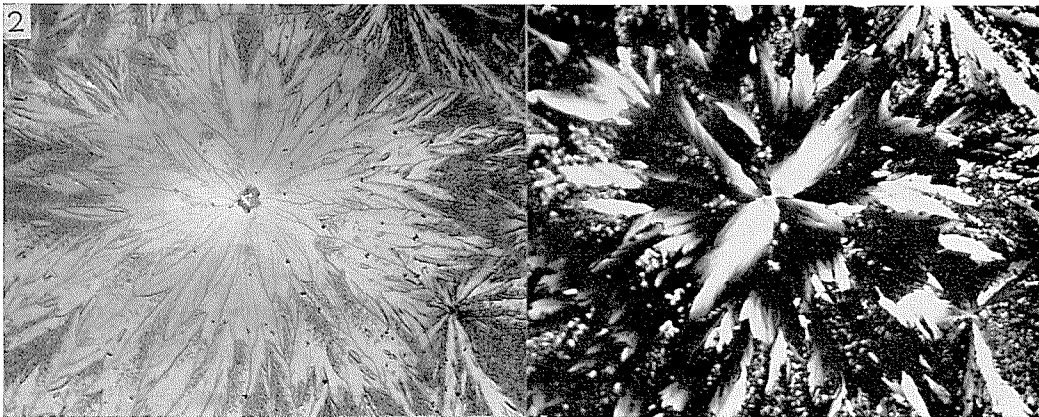


試料 III. 5% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結

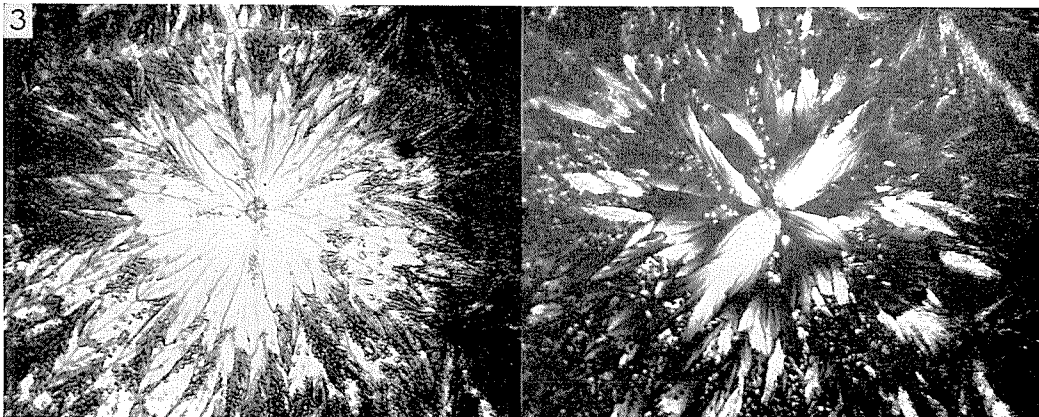
$-50^{\circ}\text{C}$



$-30^{\circ}\text{C}$ , 5 min

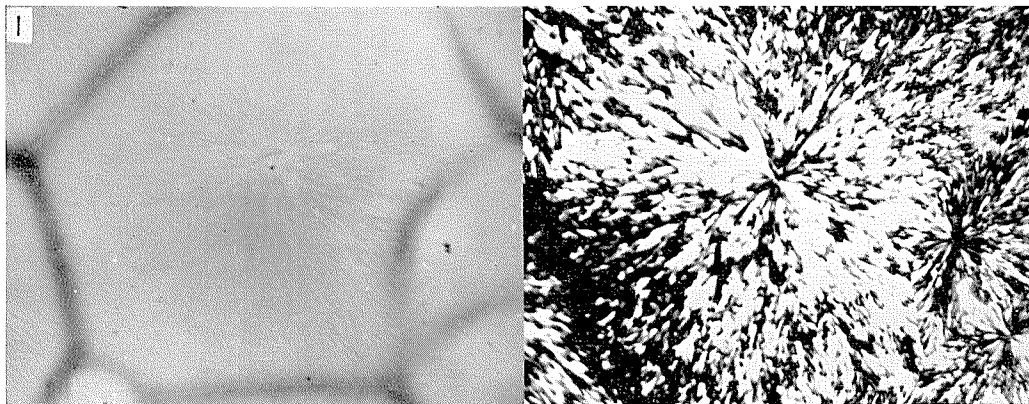


$-30^{\circ}\text{C}$ , 10 min

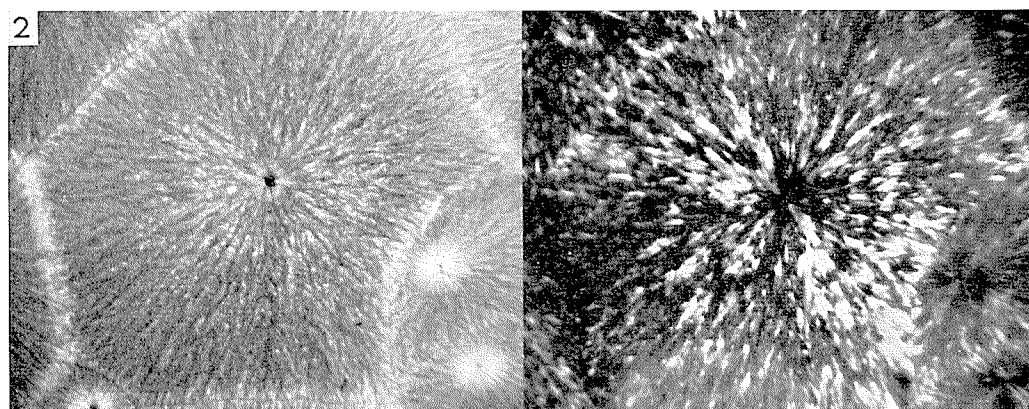


試料 IV. 10% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結

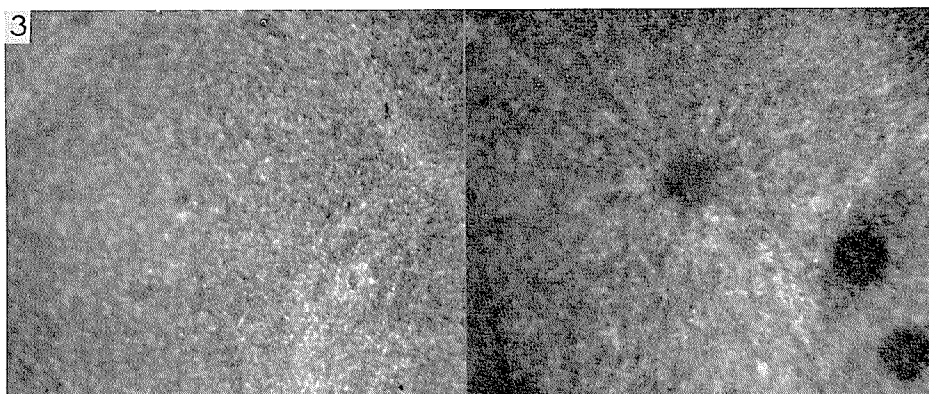
$-50^{\circ}\text{C}$



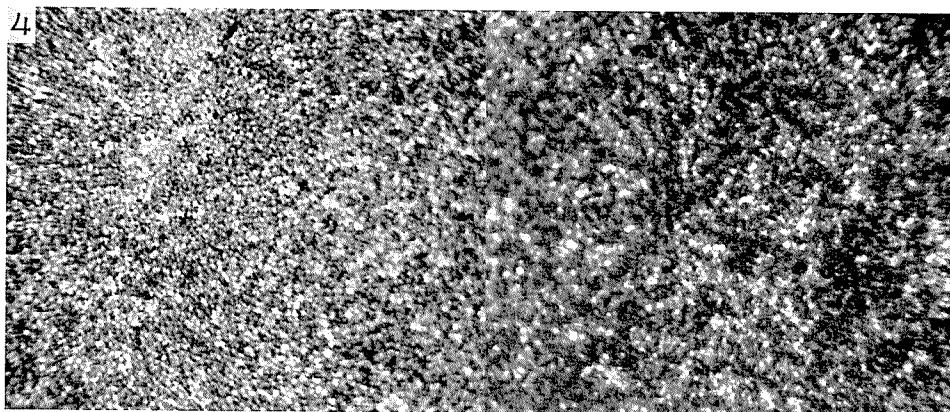
$-30^{\circ}\text{C}$



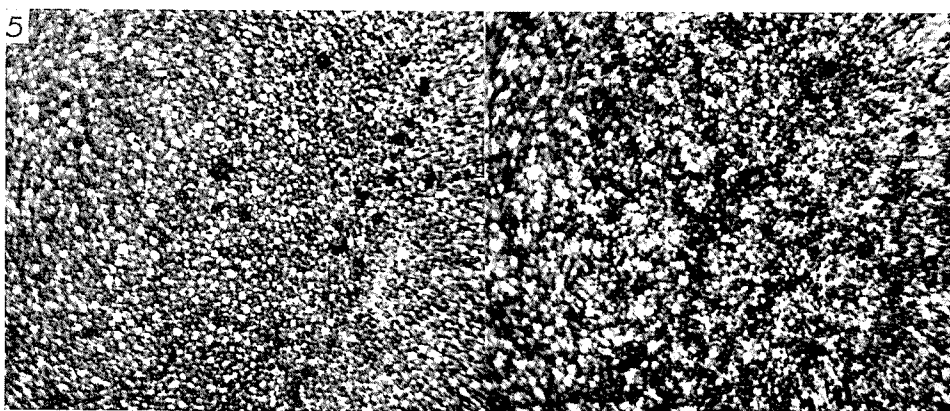
$-20^{\circ}\text{C}$



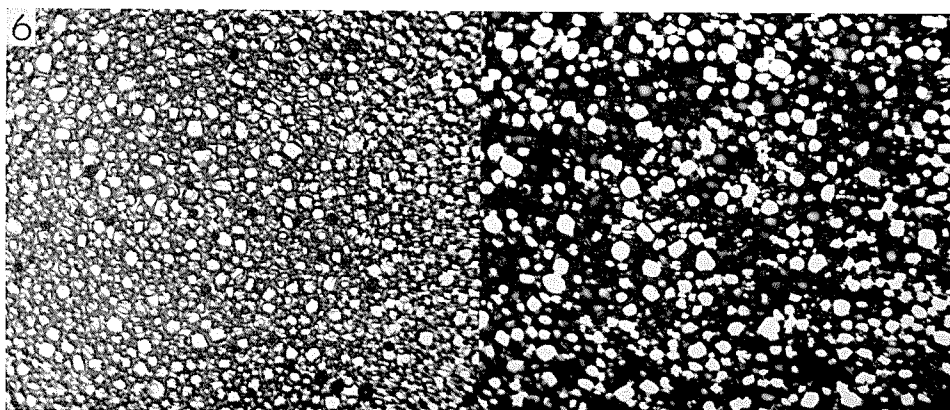
-15°C



-10°C

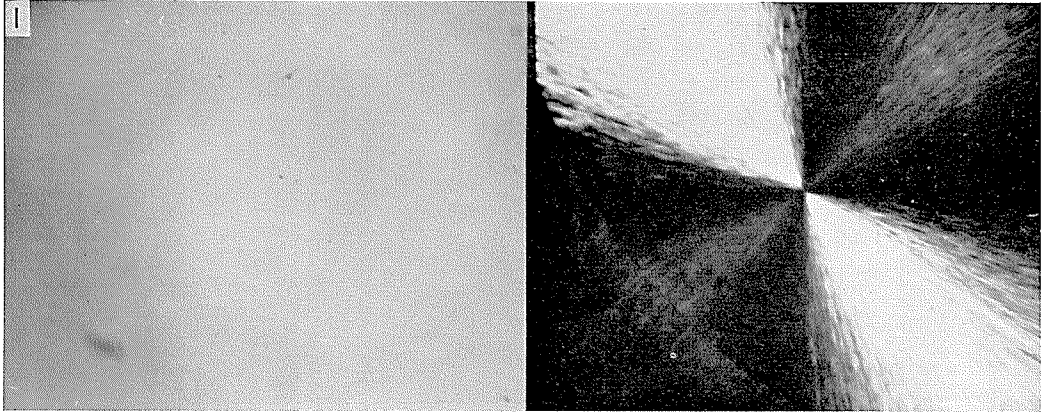


-5°C

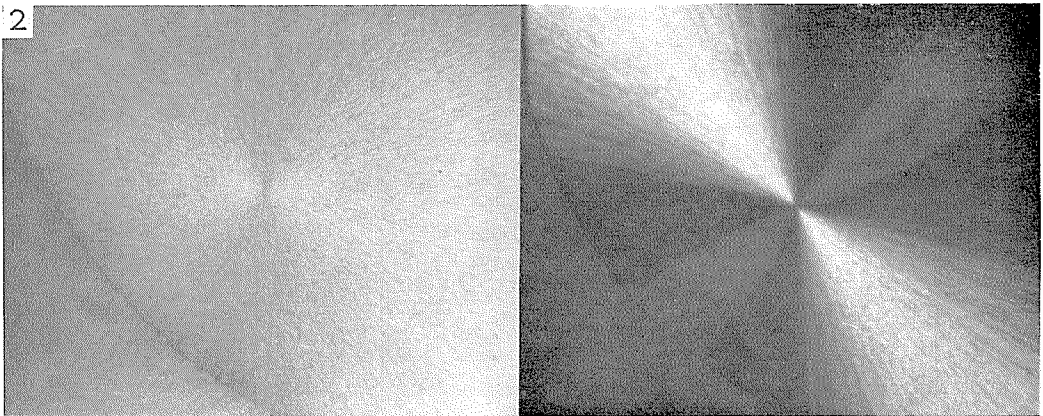


試料 V. 20% glucose 加血漿,  $-50^{\circ}\text{C}$  凍結

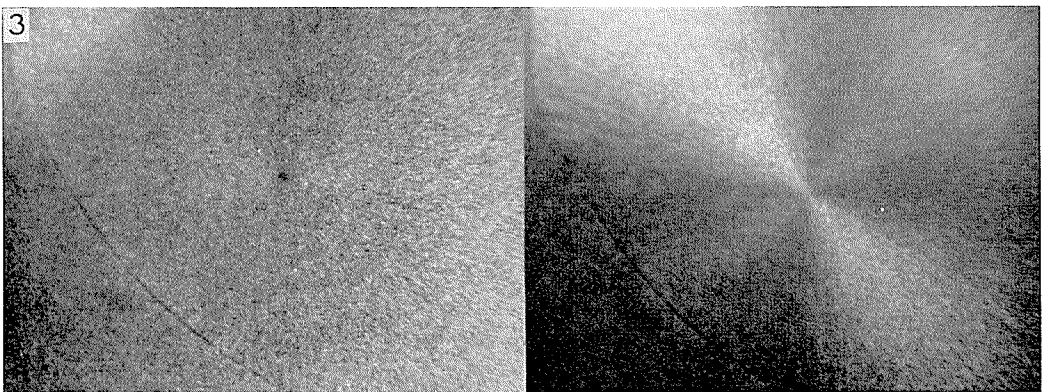
$-50^{\circ}\text{C}$



$-35^{\circ}\text{C}$

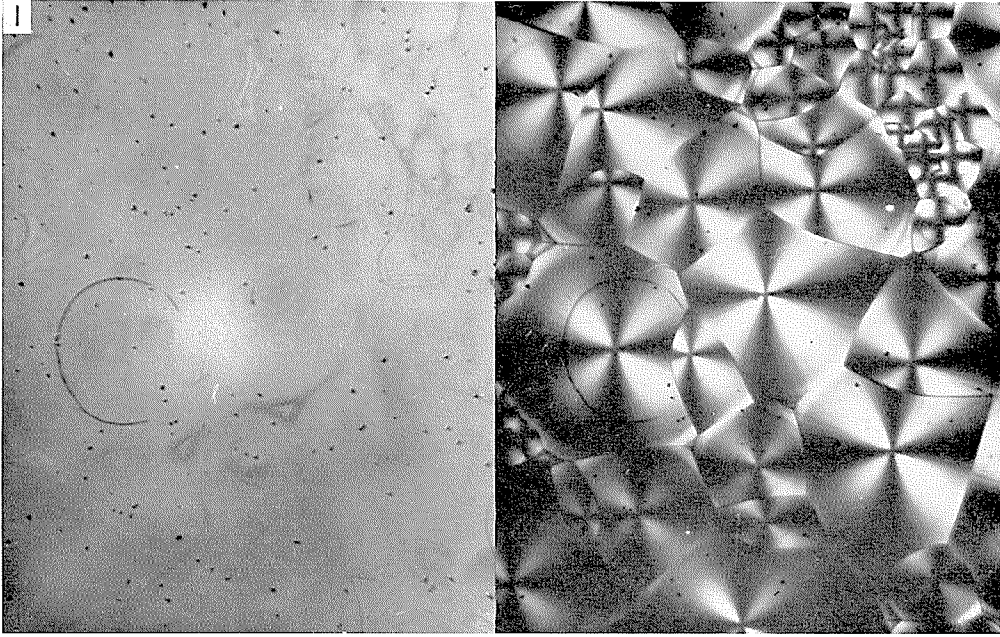


$-30^{\circ}\text{C}$

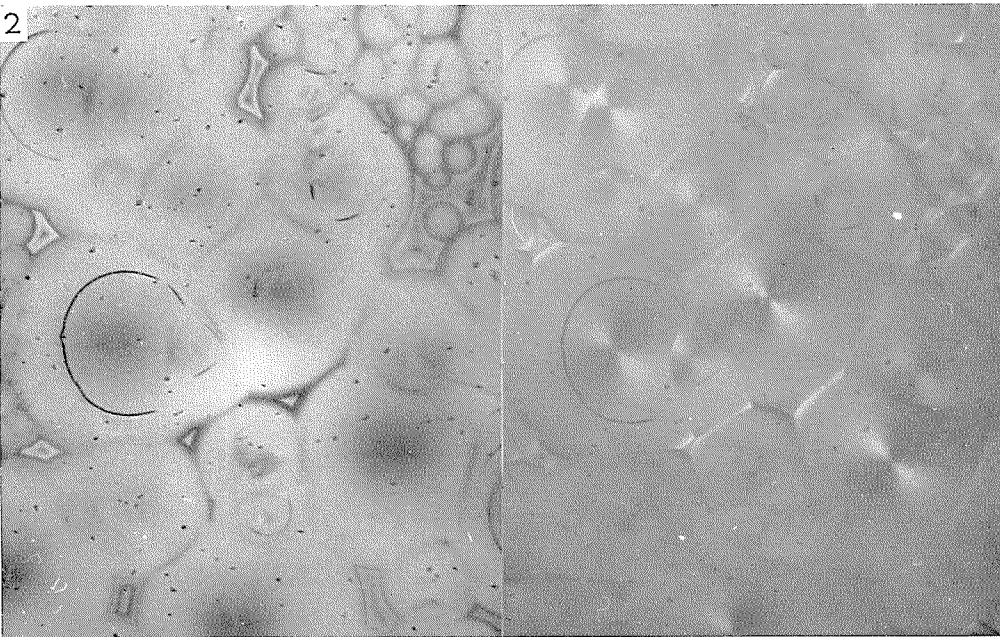


試料 VI. 20% glucose 加血漿,  $-150^{\circ}\text{C}$  凍結

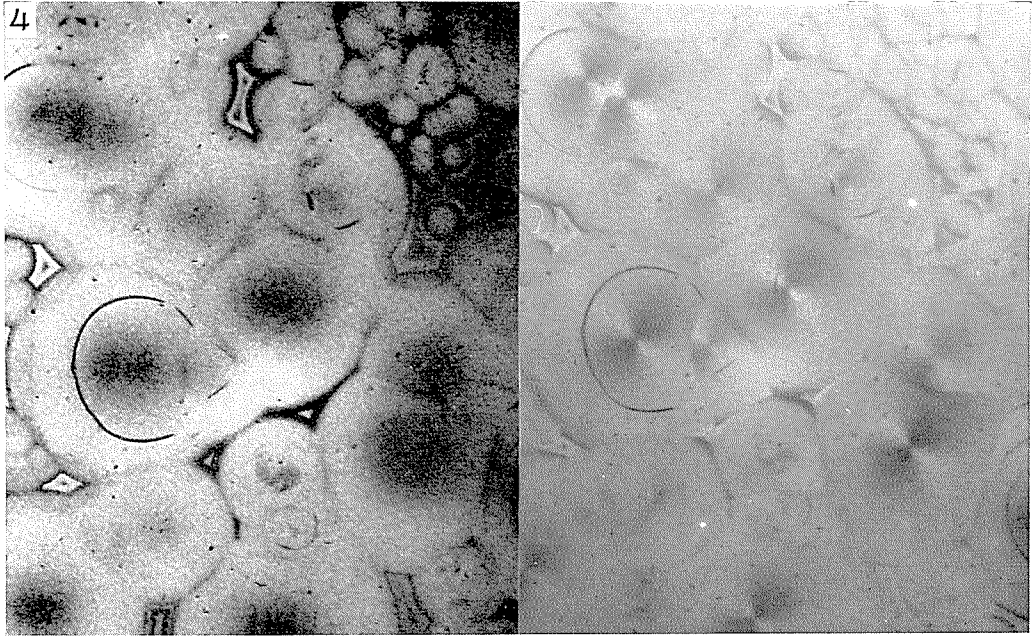
$-50^{\circ}\text{C}$



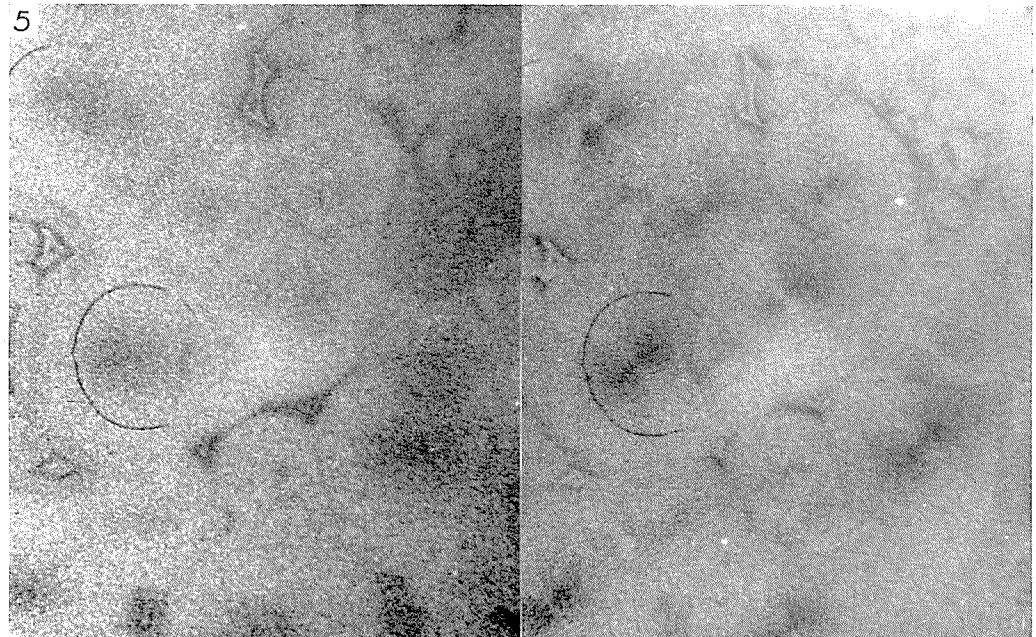
$-35^{\circ}\text{C}$ , 2 min



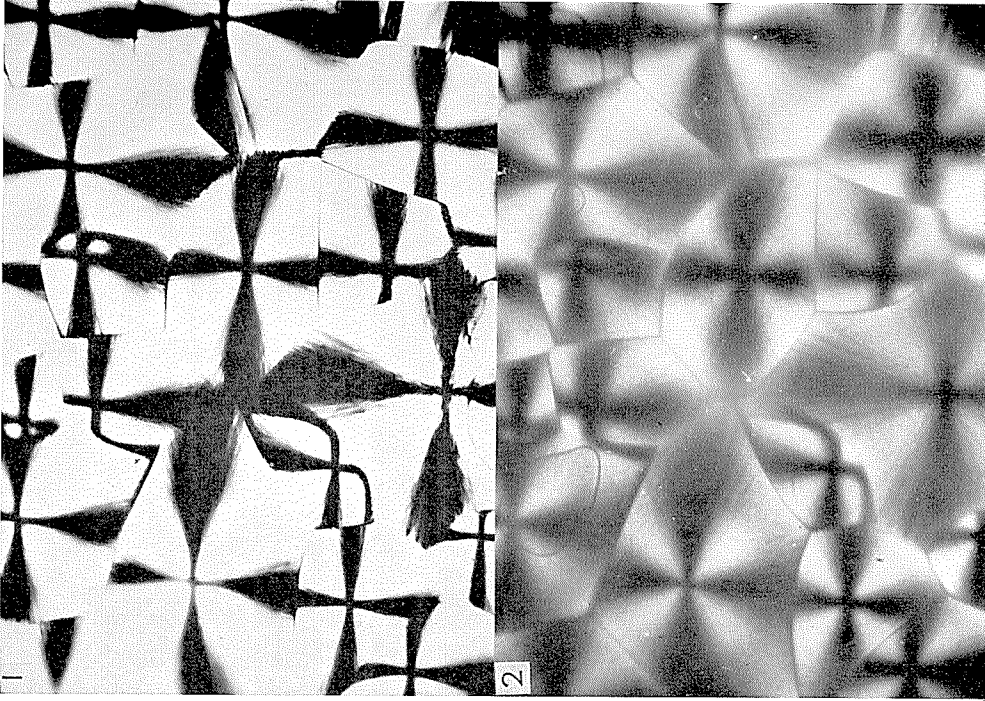
-35°C, 5 min



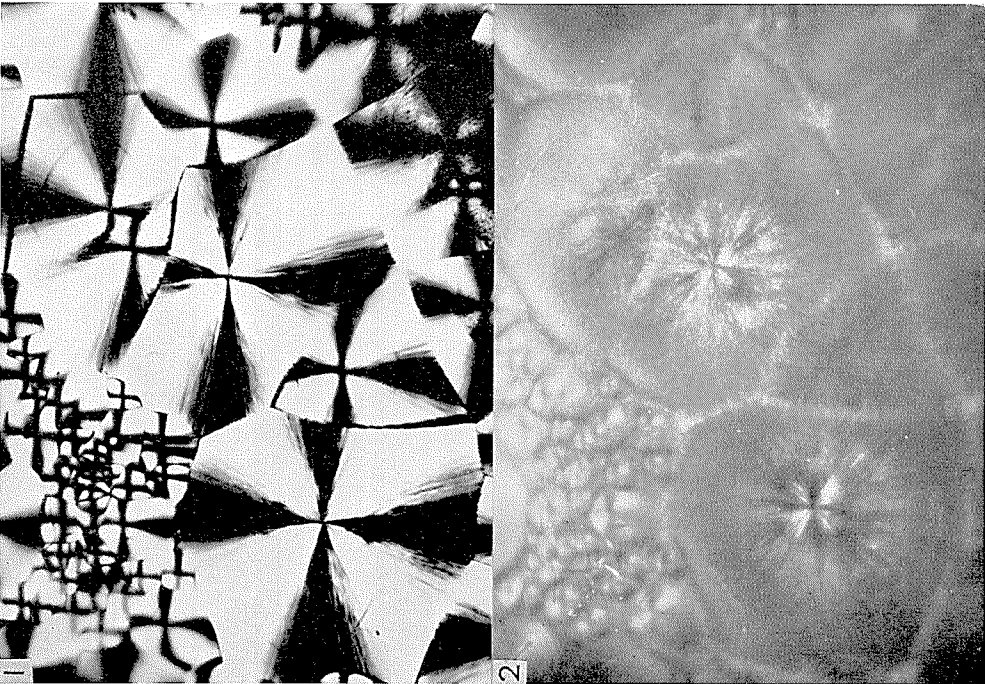
-35°C, 10 min



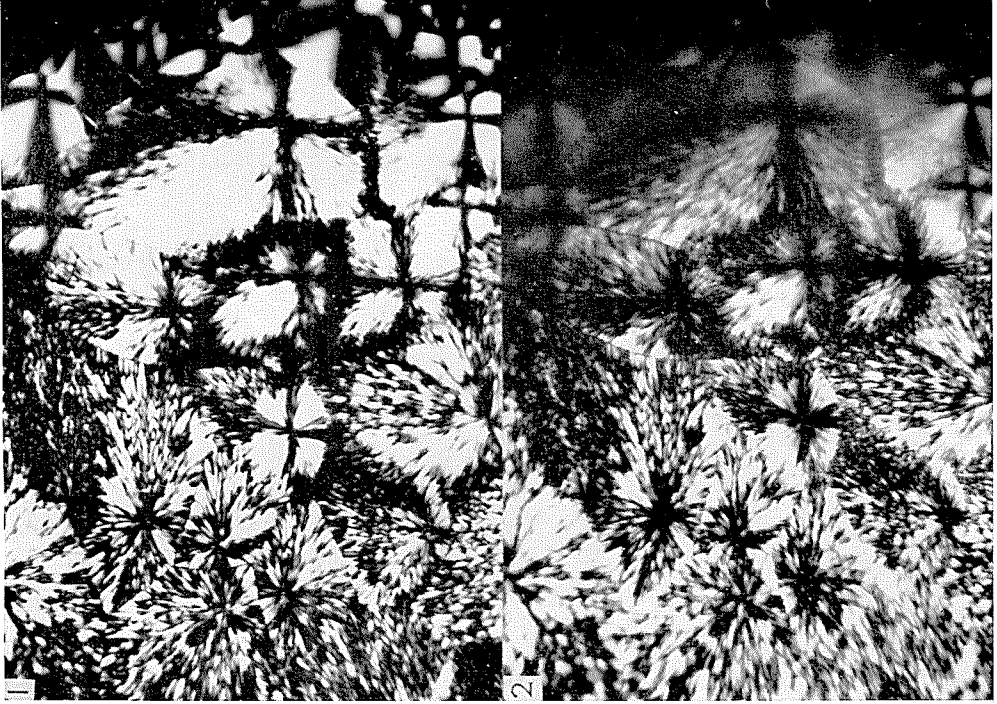
試料 VIII. 20% glucose 加血漿



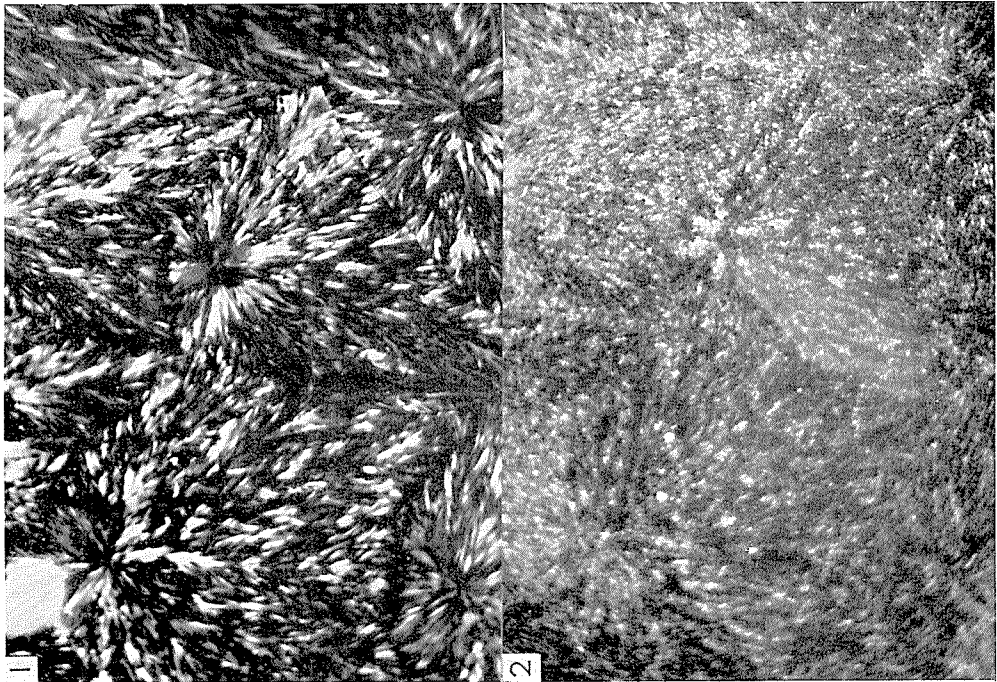
試料 VII. 20% glucose



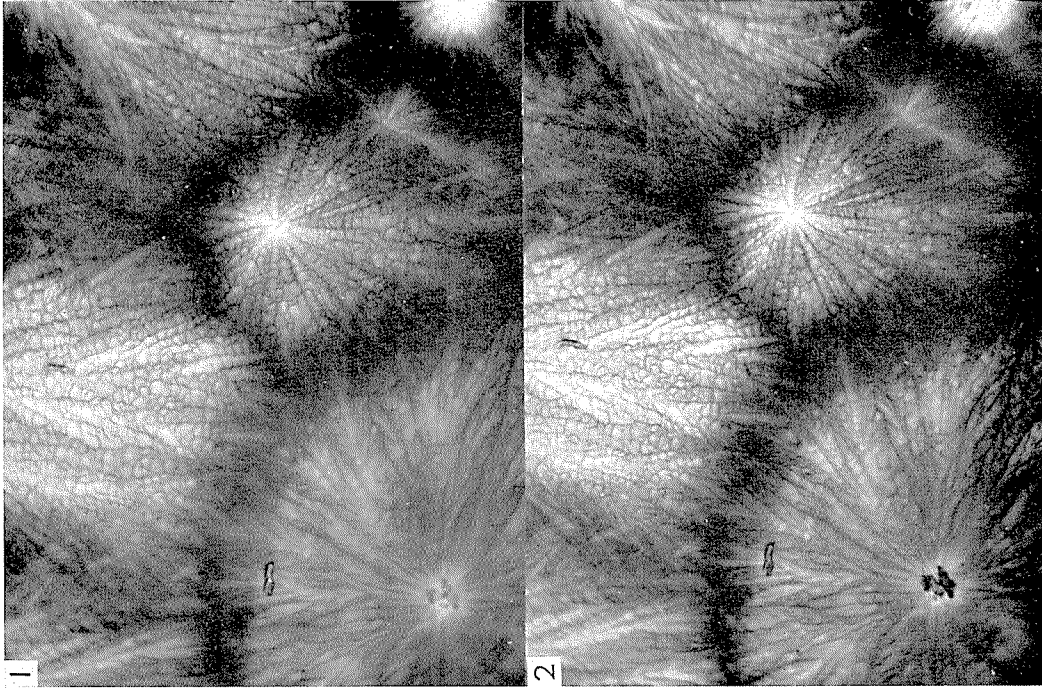
試料 X. 10% glucose 加血漿



試料 IX. 10% glucose



試料 XII. 5% glucose 加血漿



試料 XI. 5% glucose

