

730-362



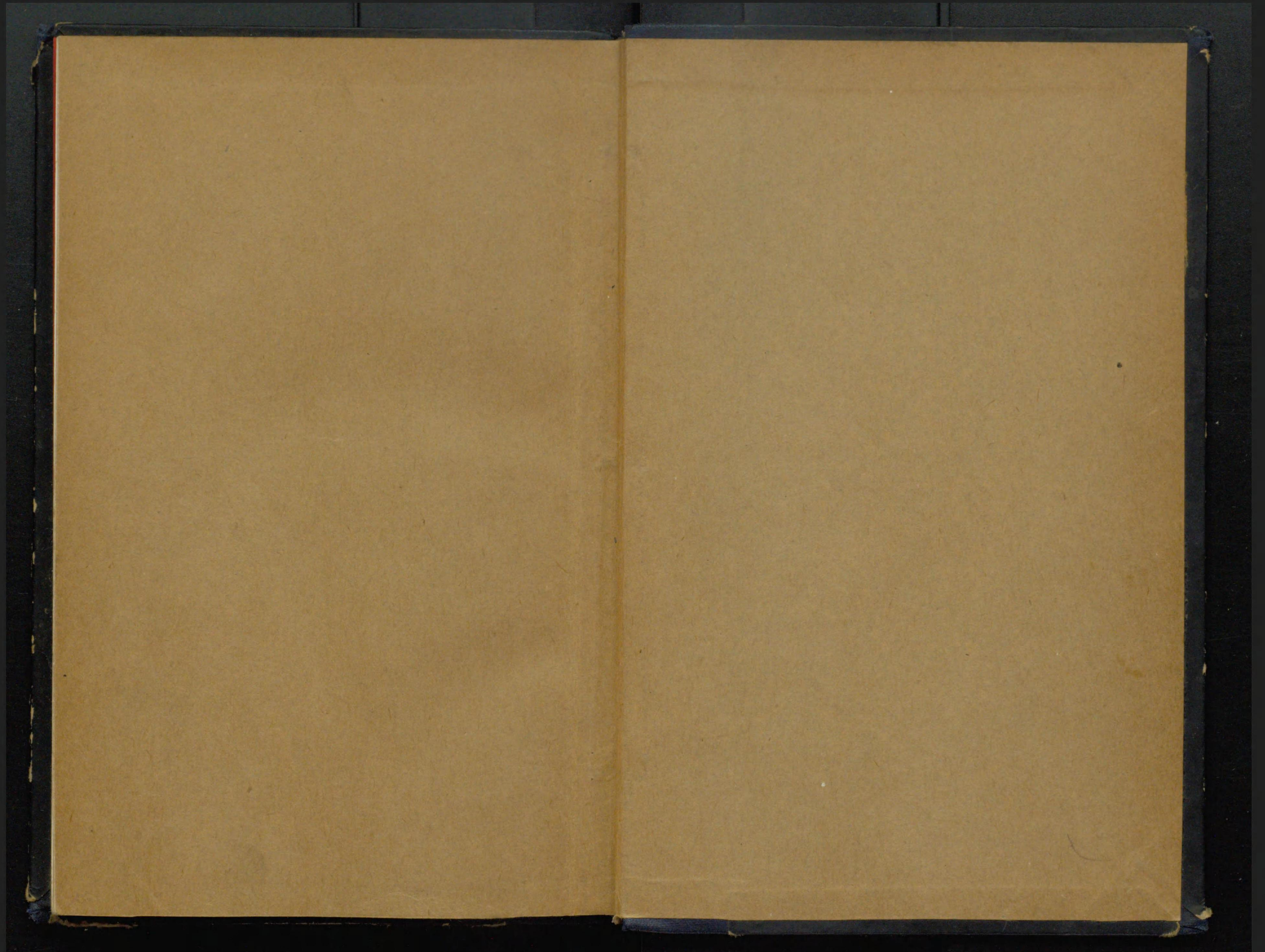
1200501589372

730
2

本 故 事
クレンジ
P157
~P160

口
複
写

730



I-3N79

著郎吉字谷中

730
362

雪



書新波岩

8

192



著郎吉字谷中

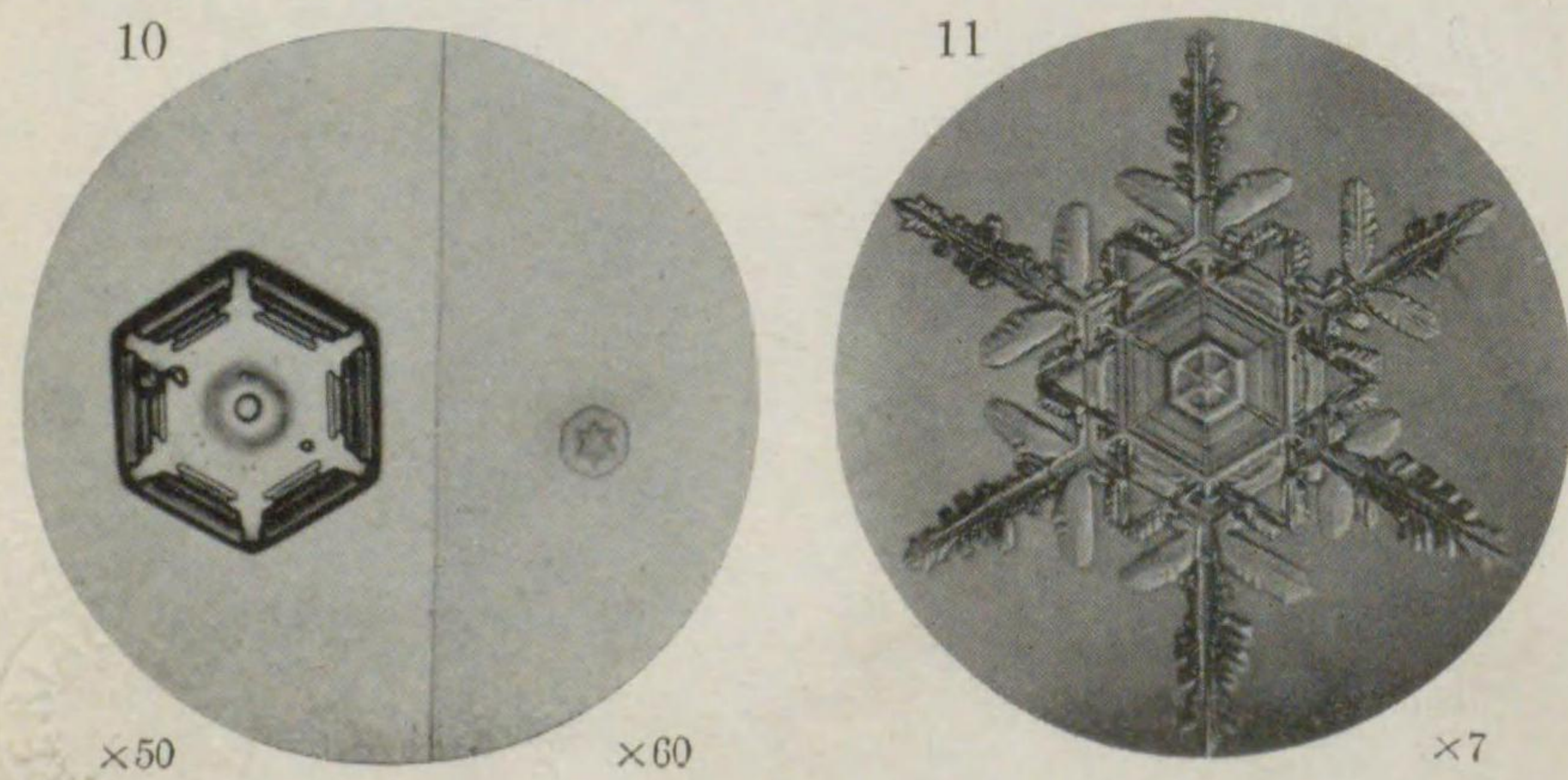
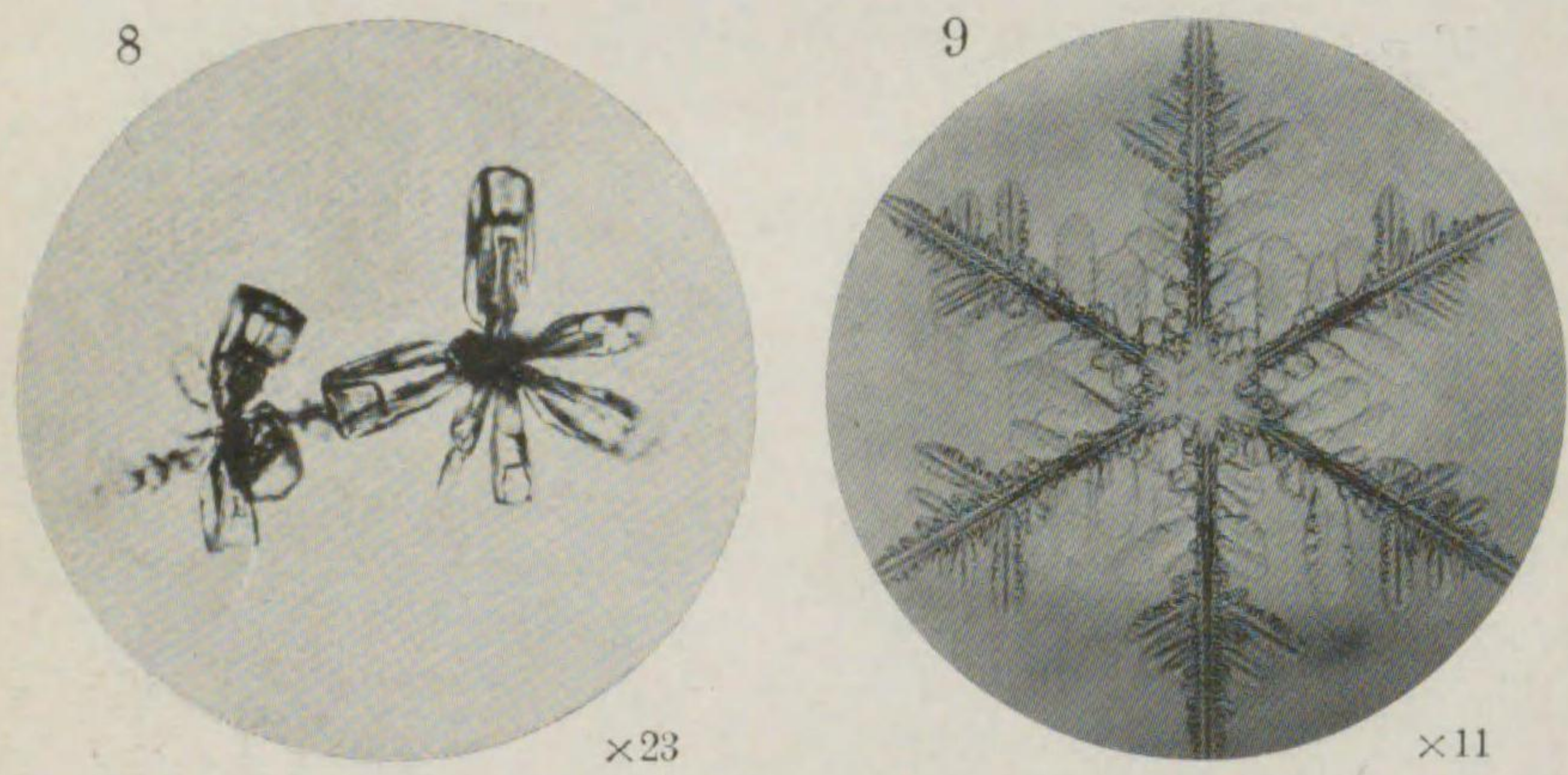
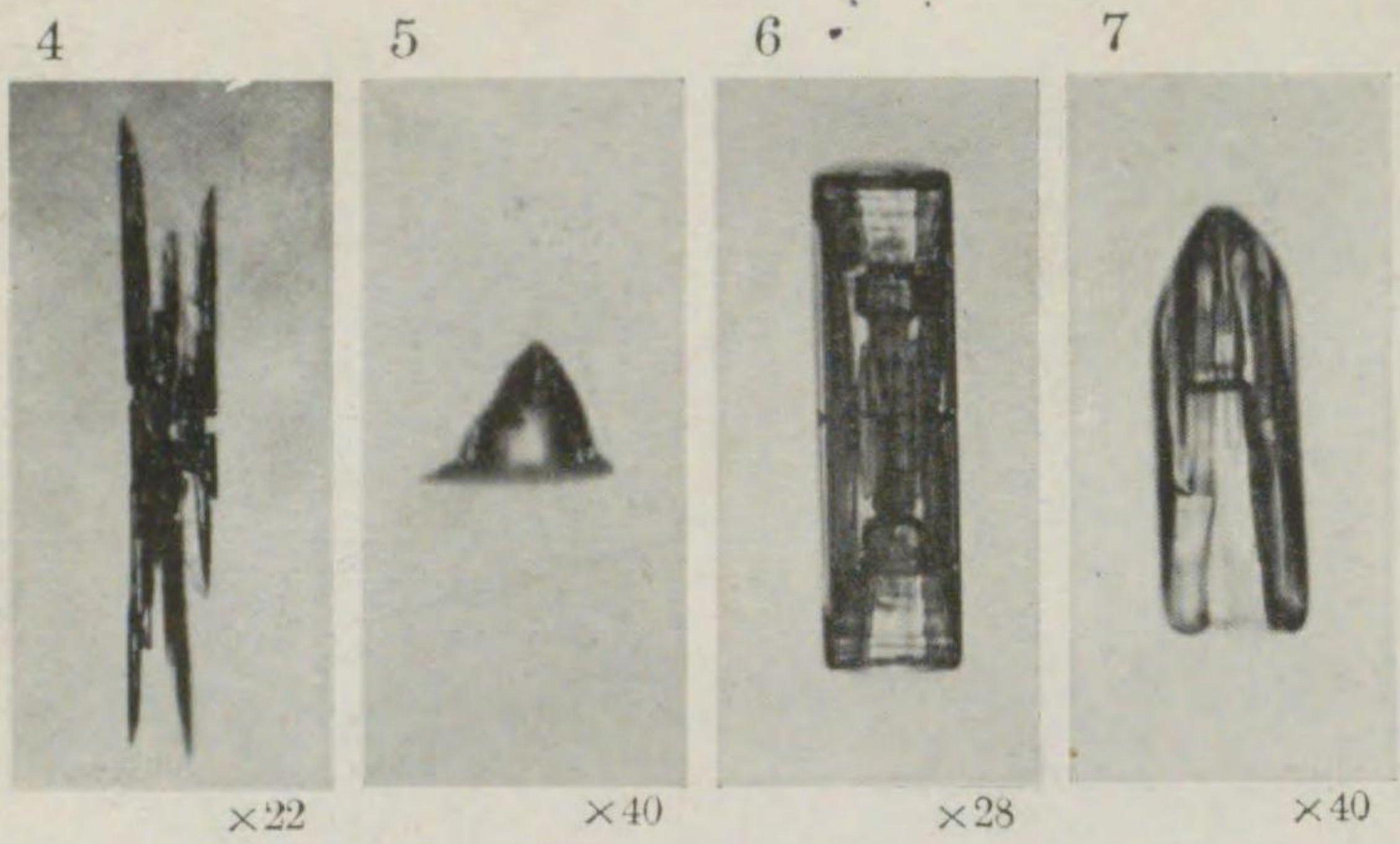
雪

書新波岩

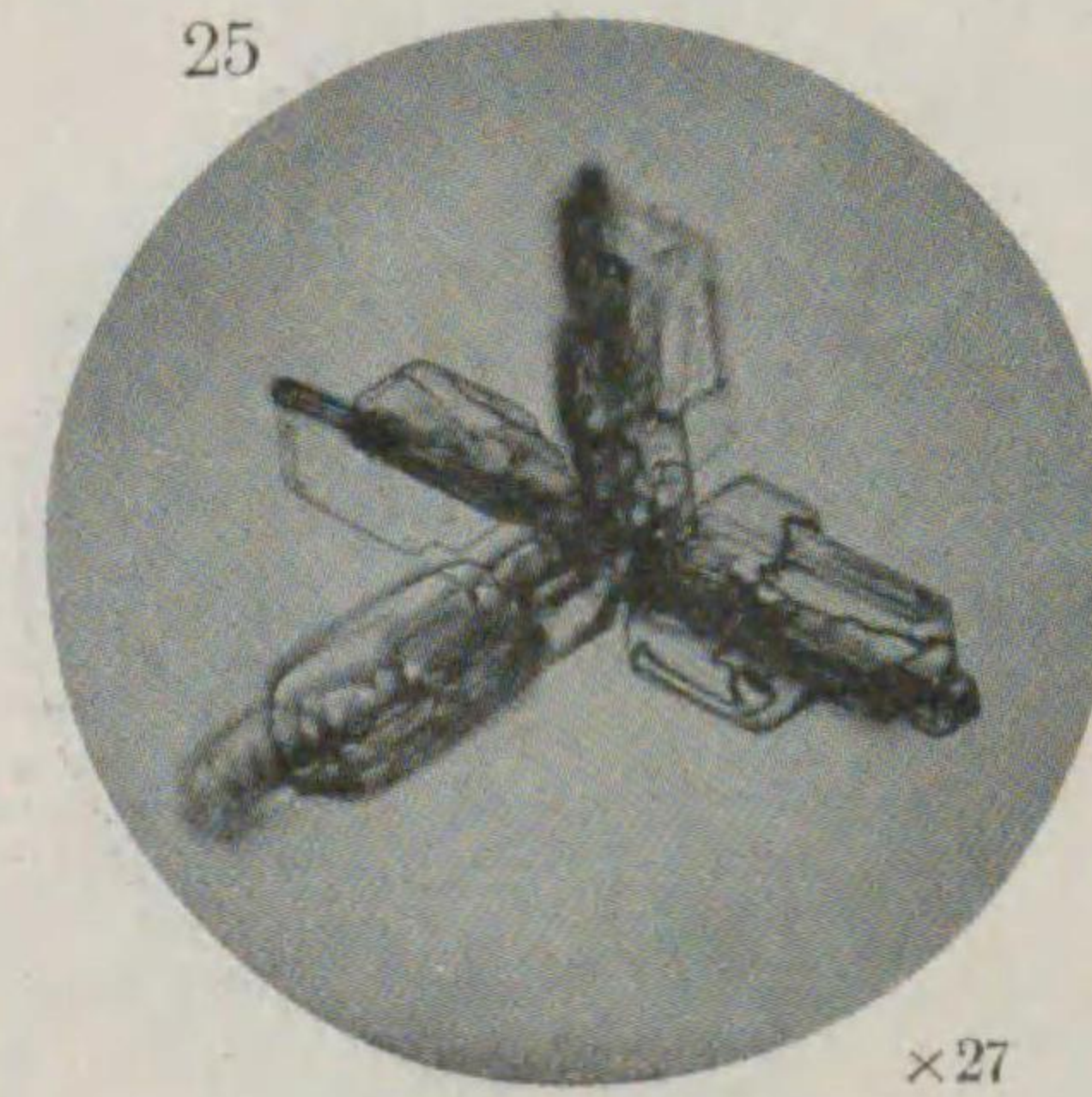
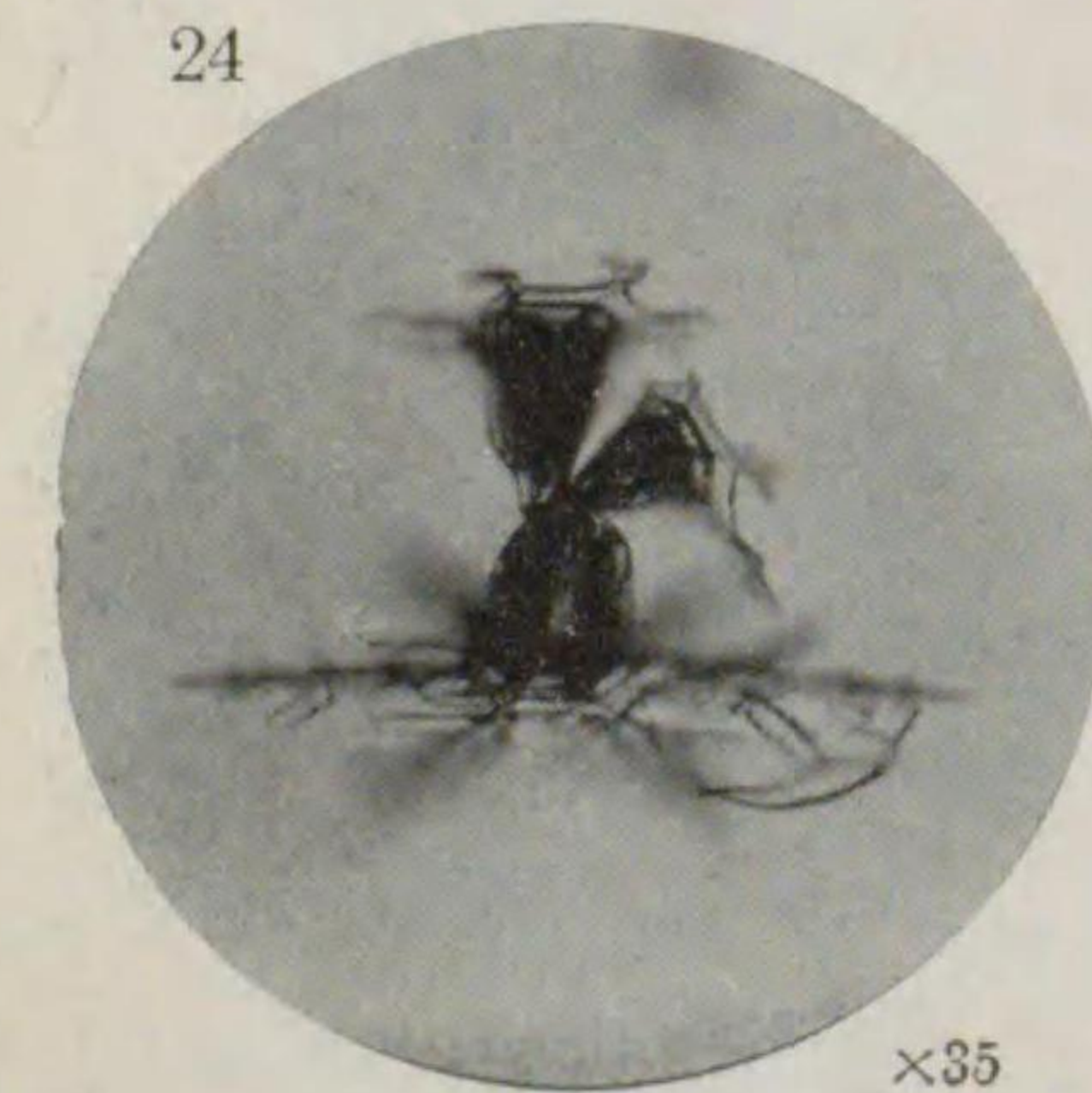
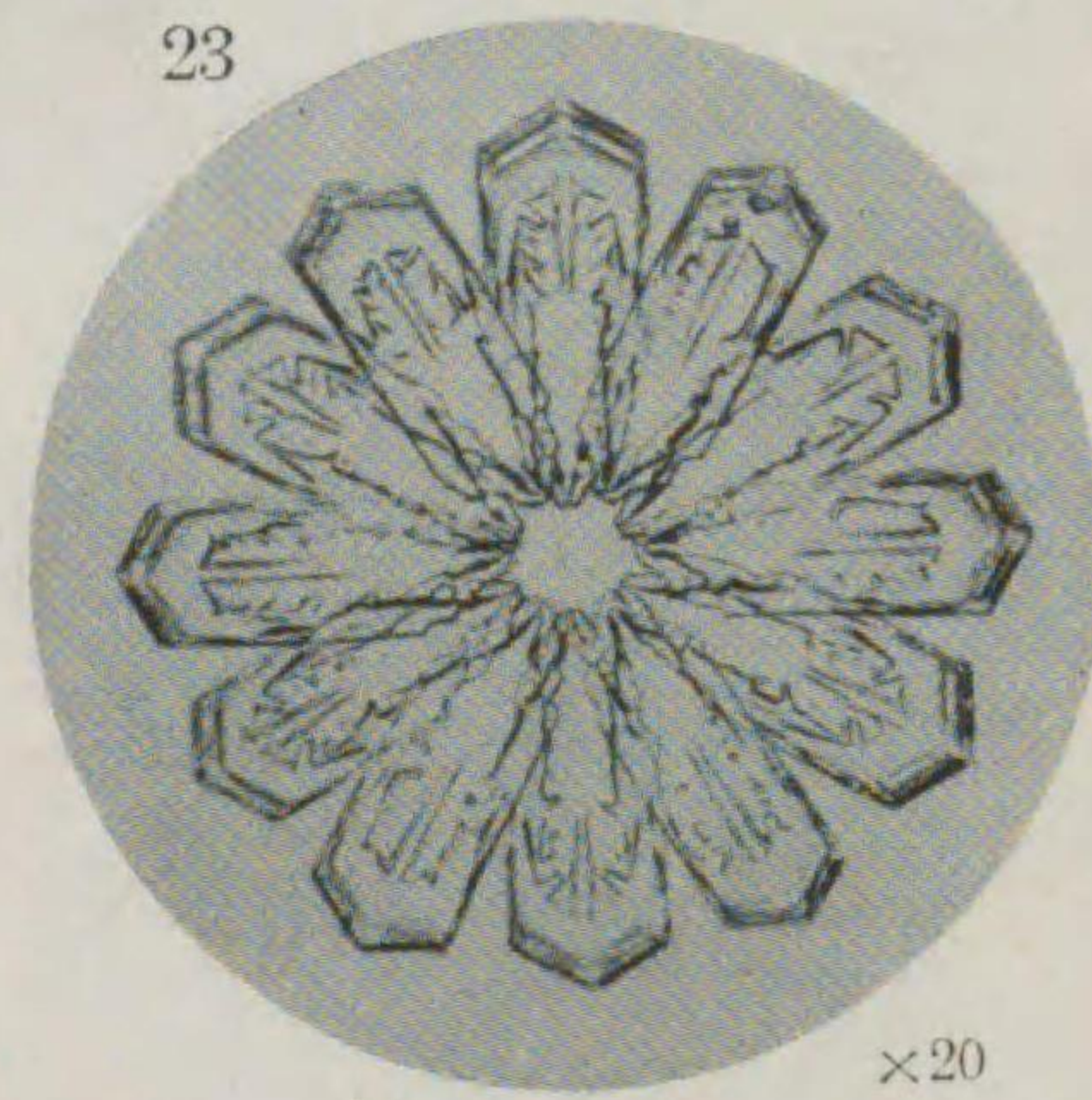
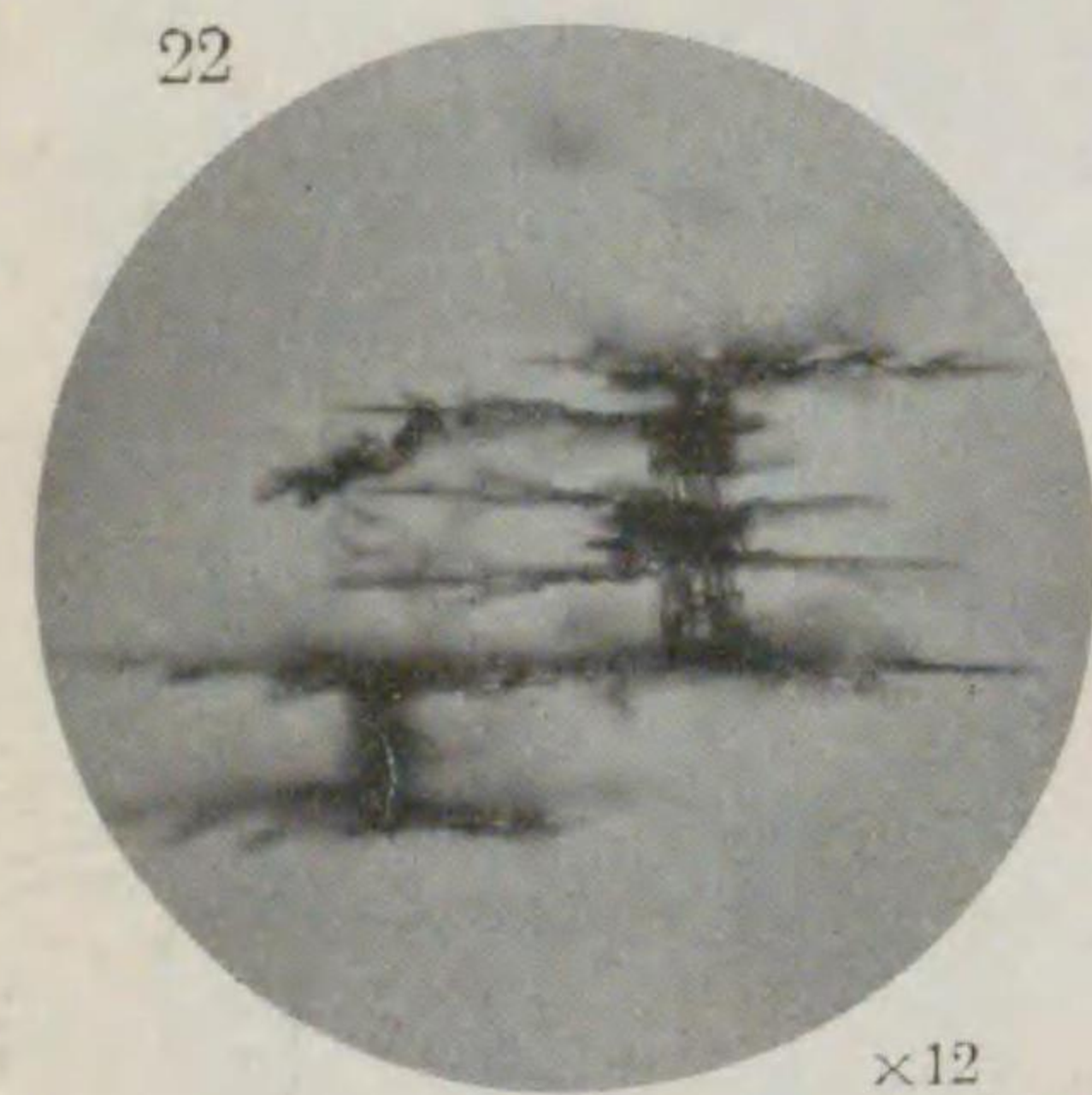
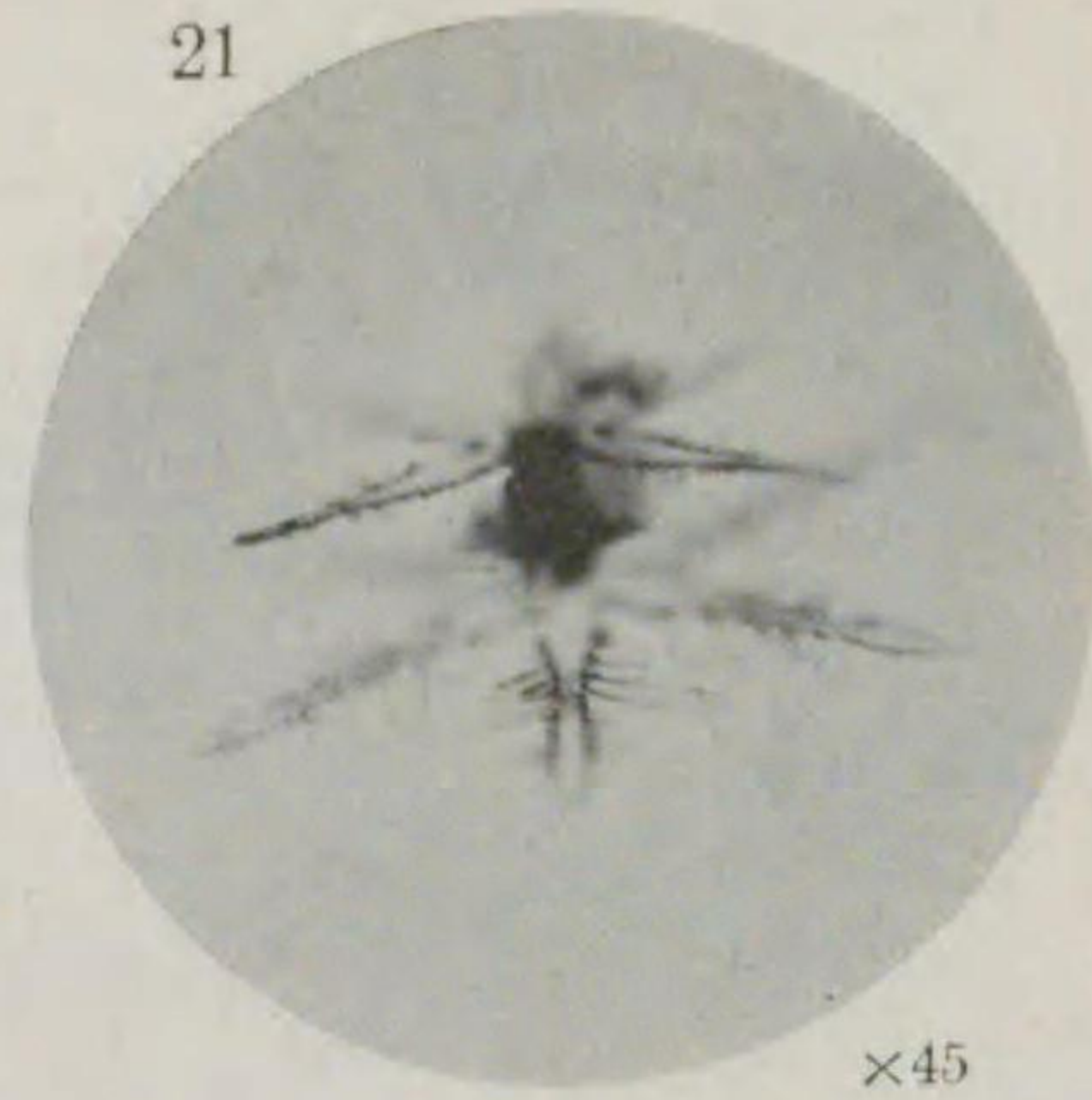
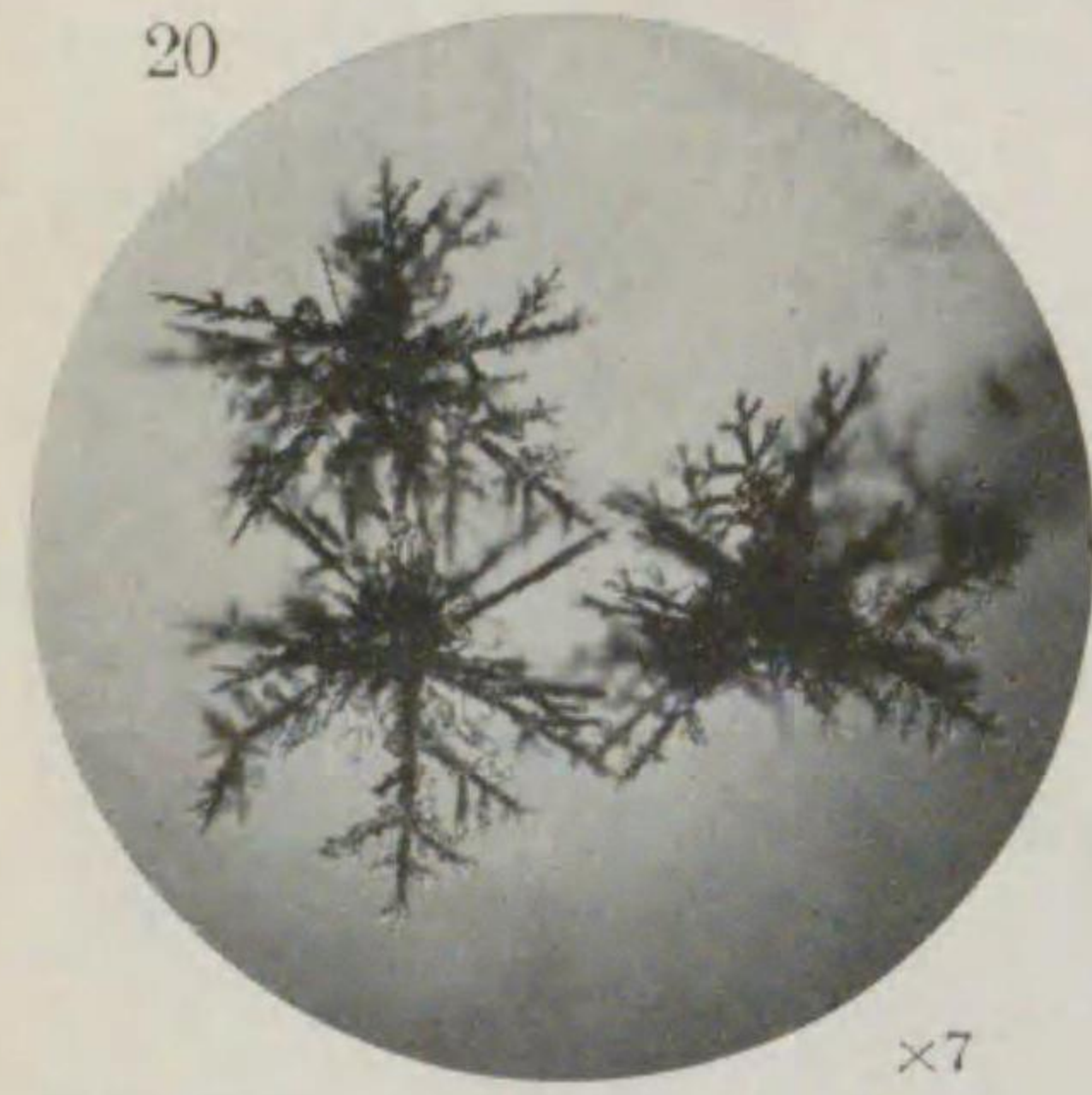
8



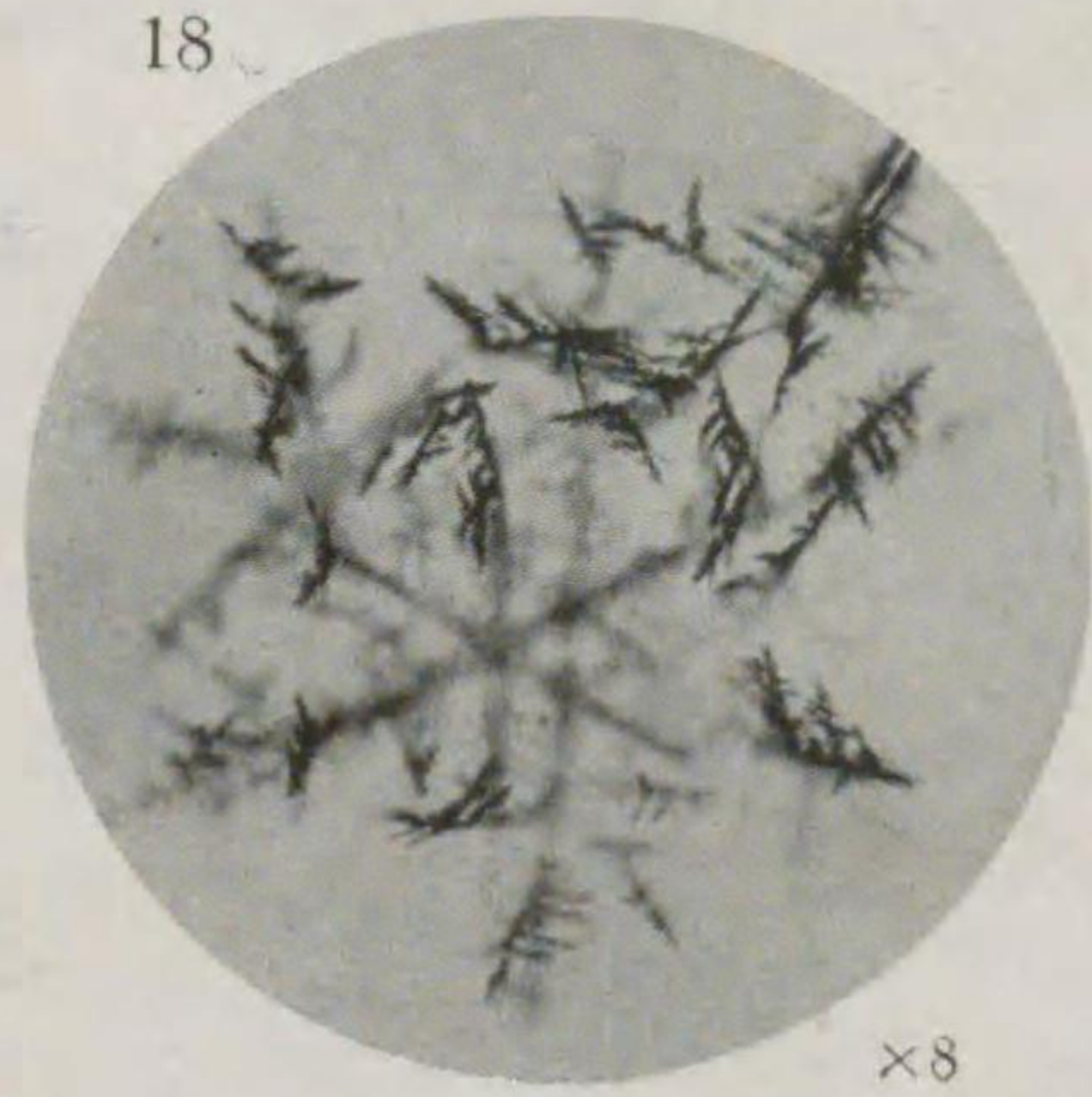
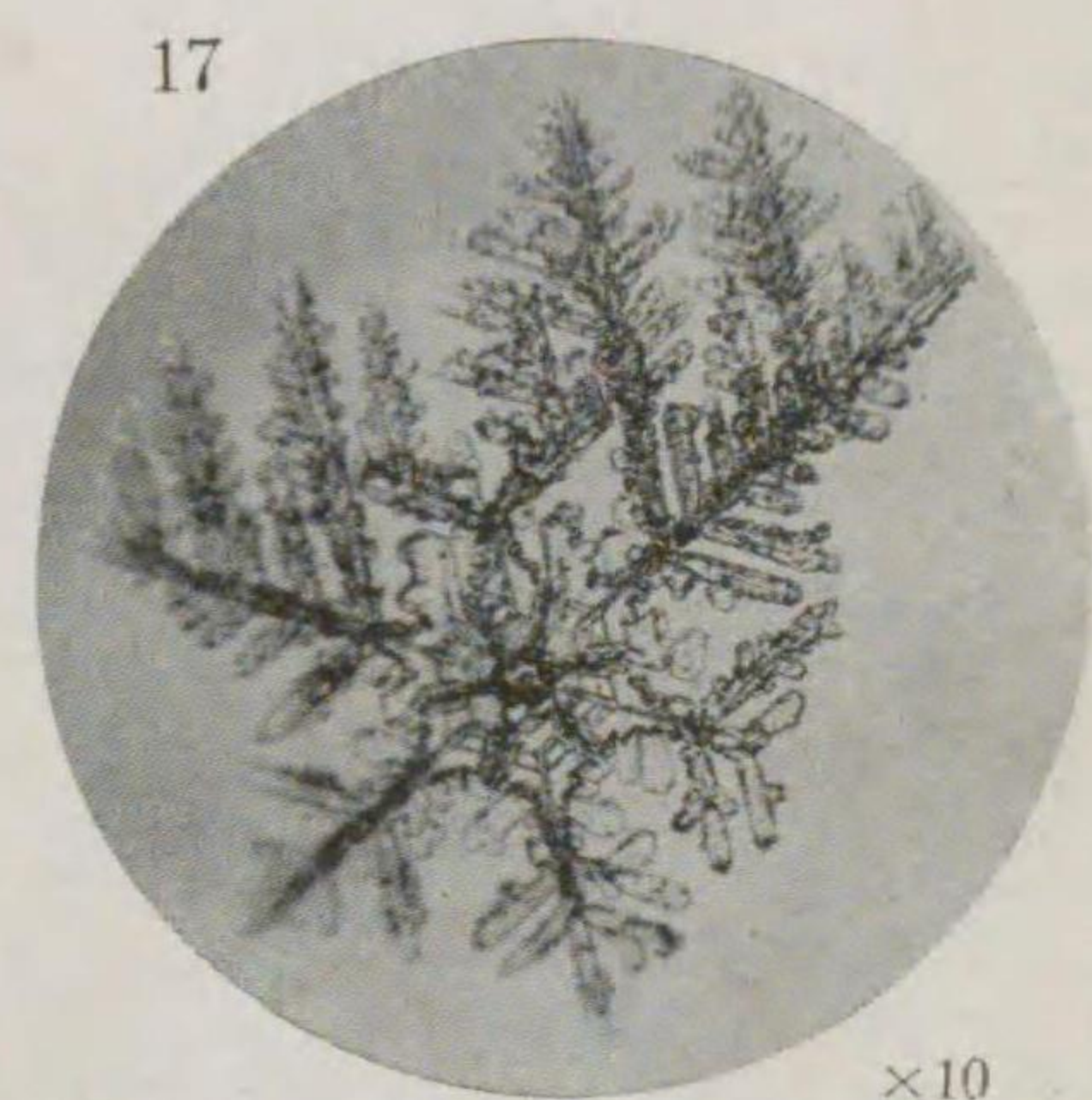
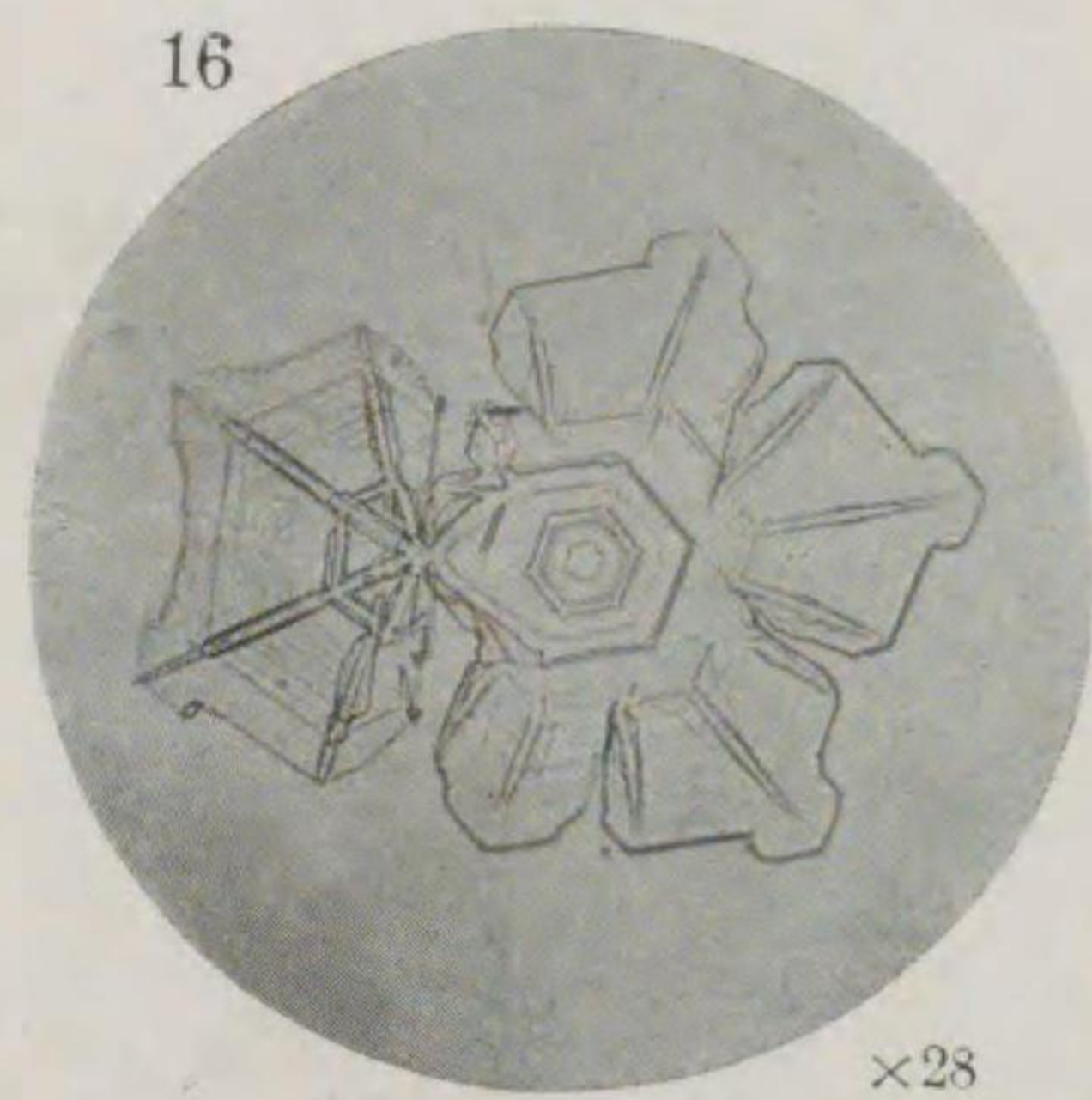
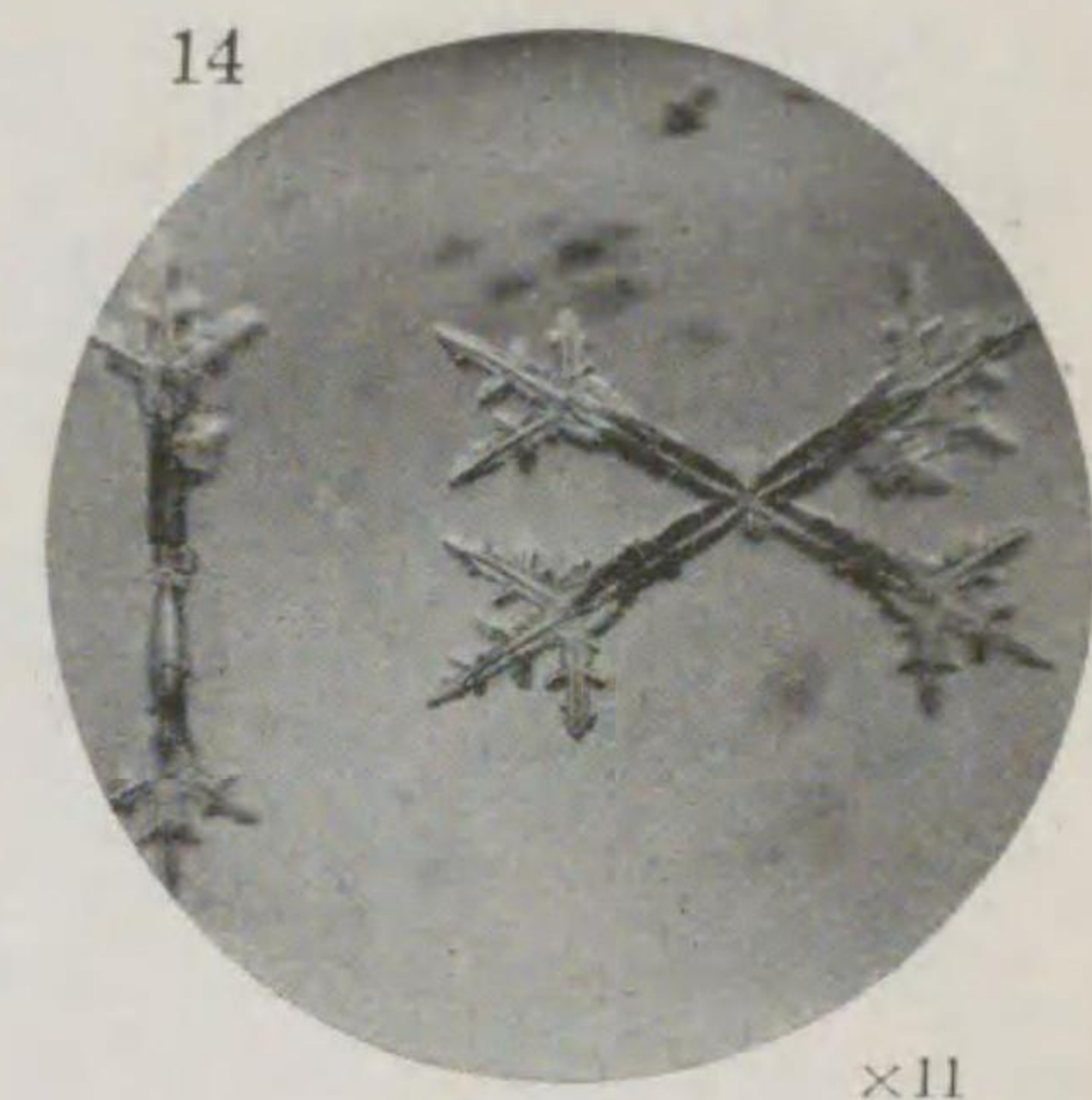
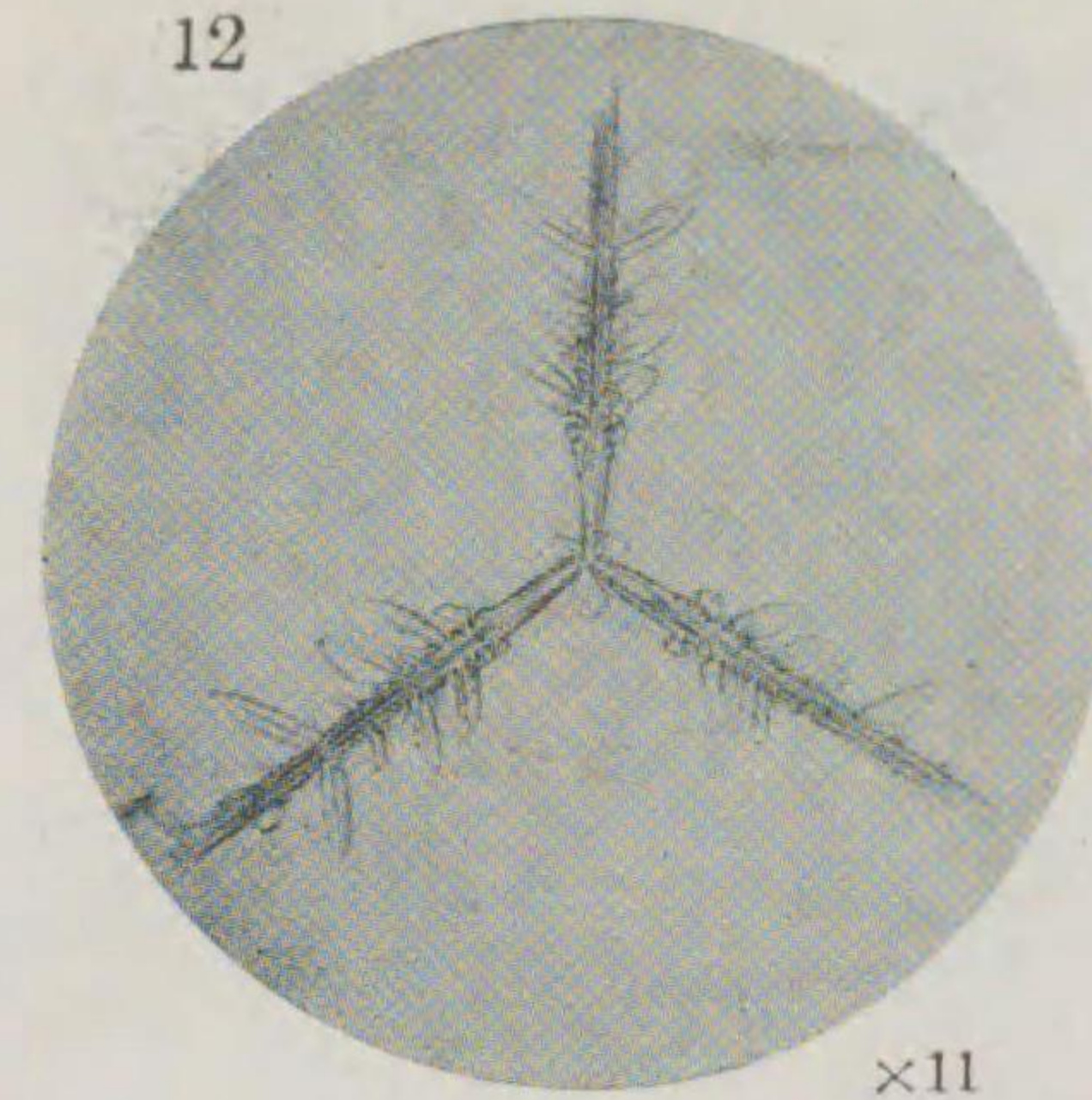
第一圖版



第三圖版

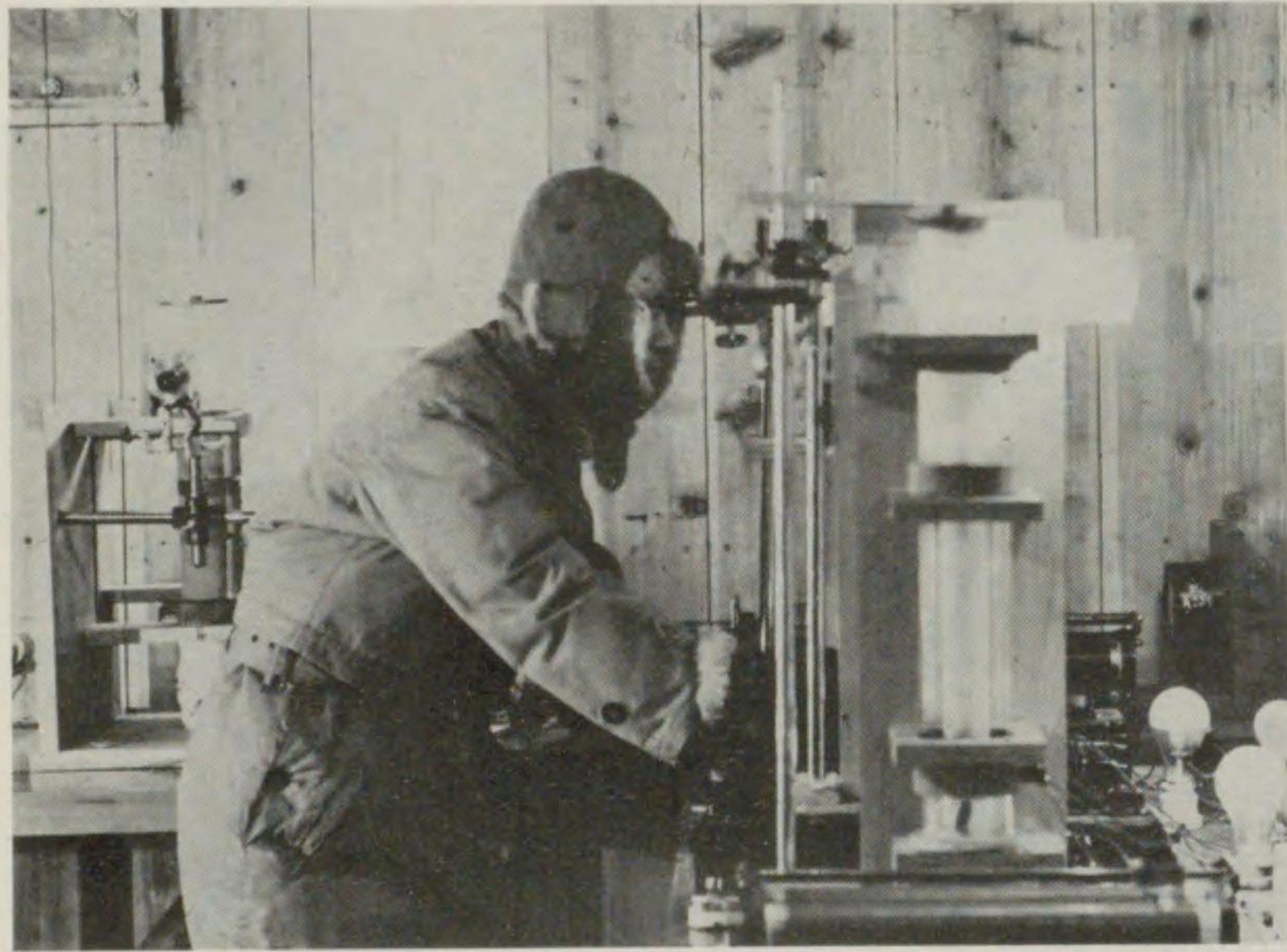


第二圖版

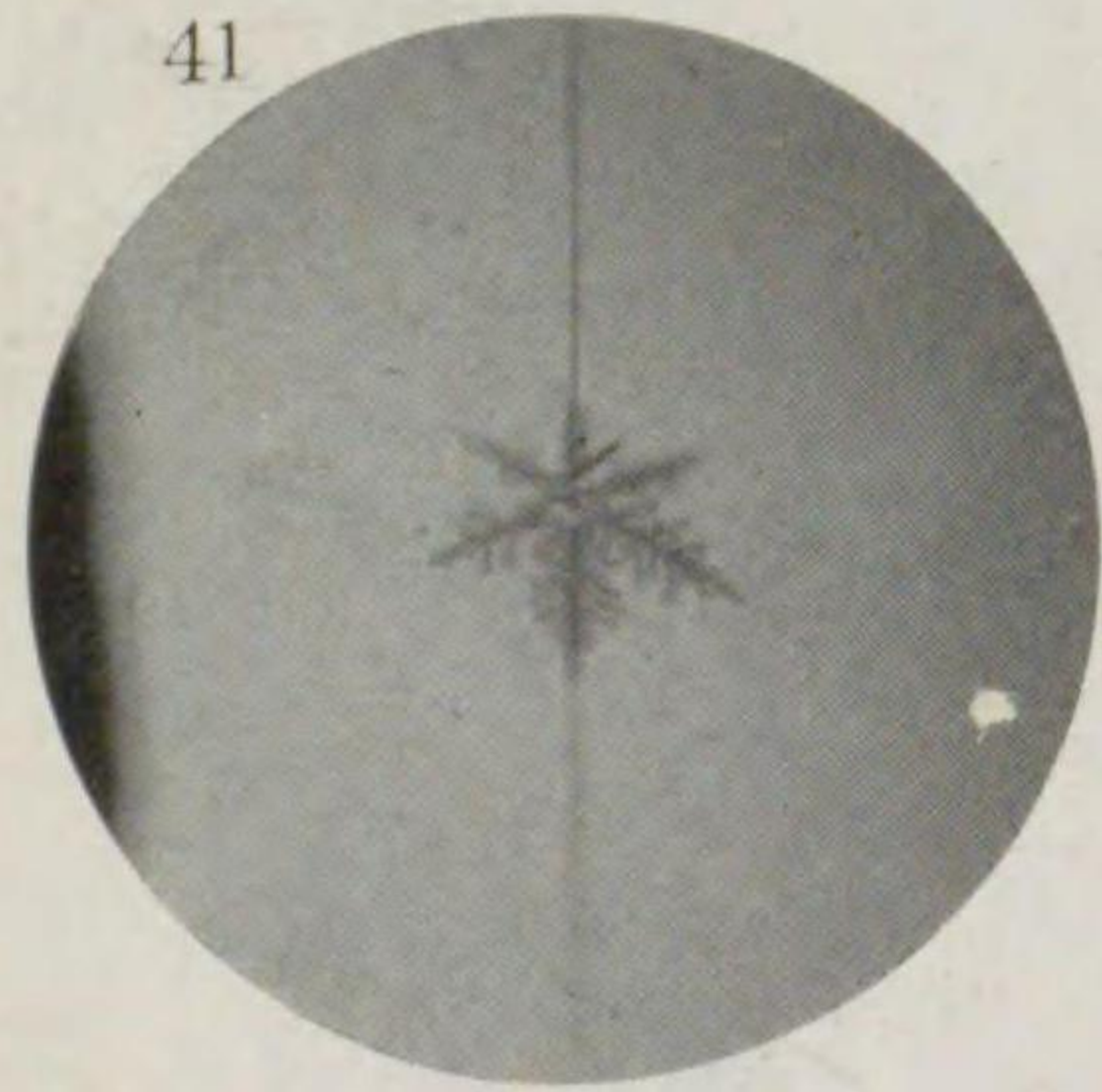


第五圖版

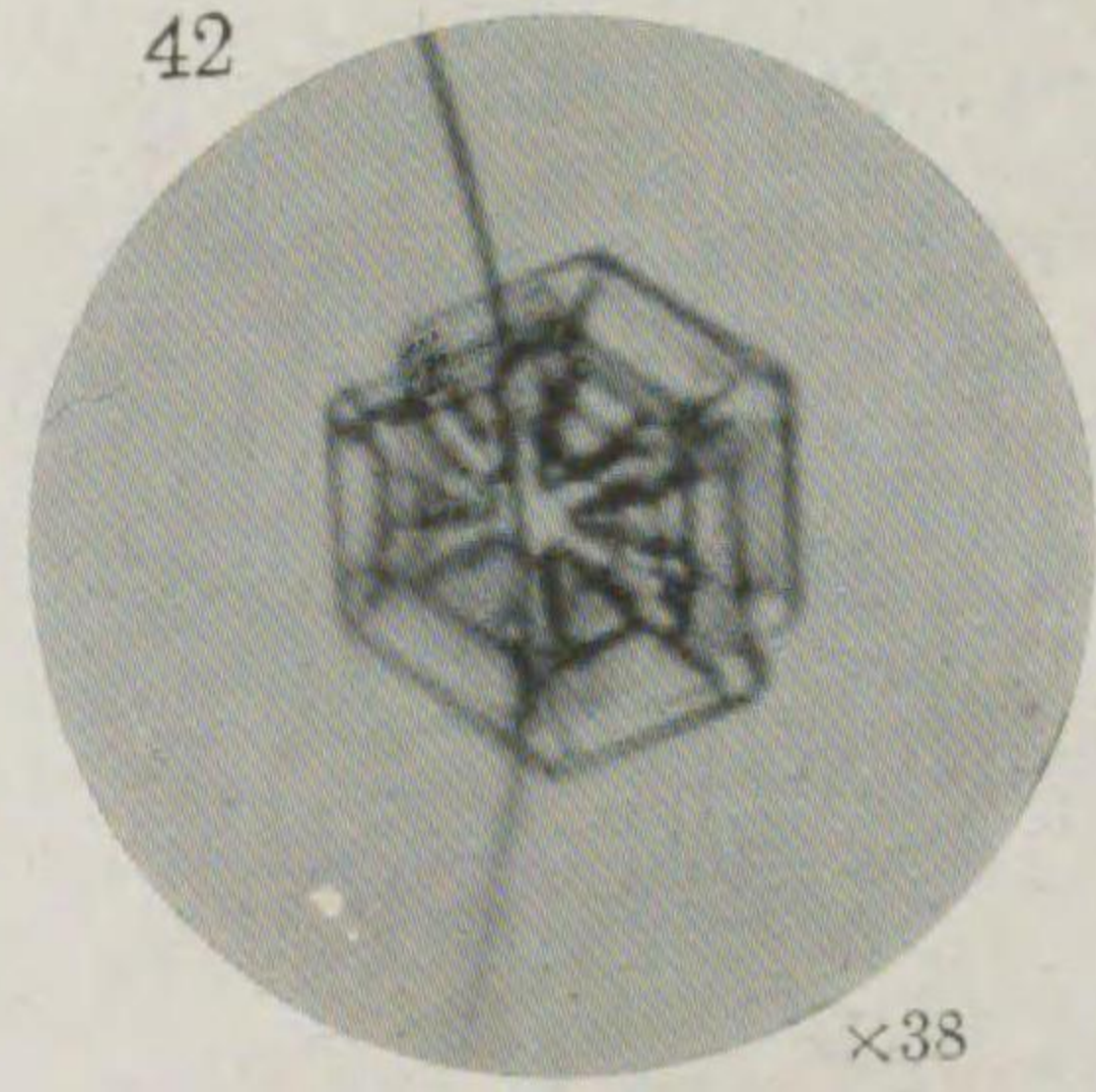
36



41

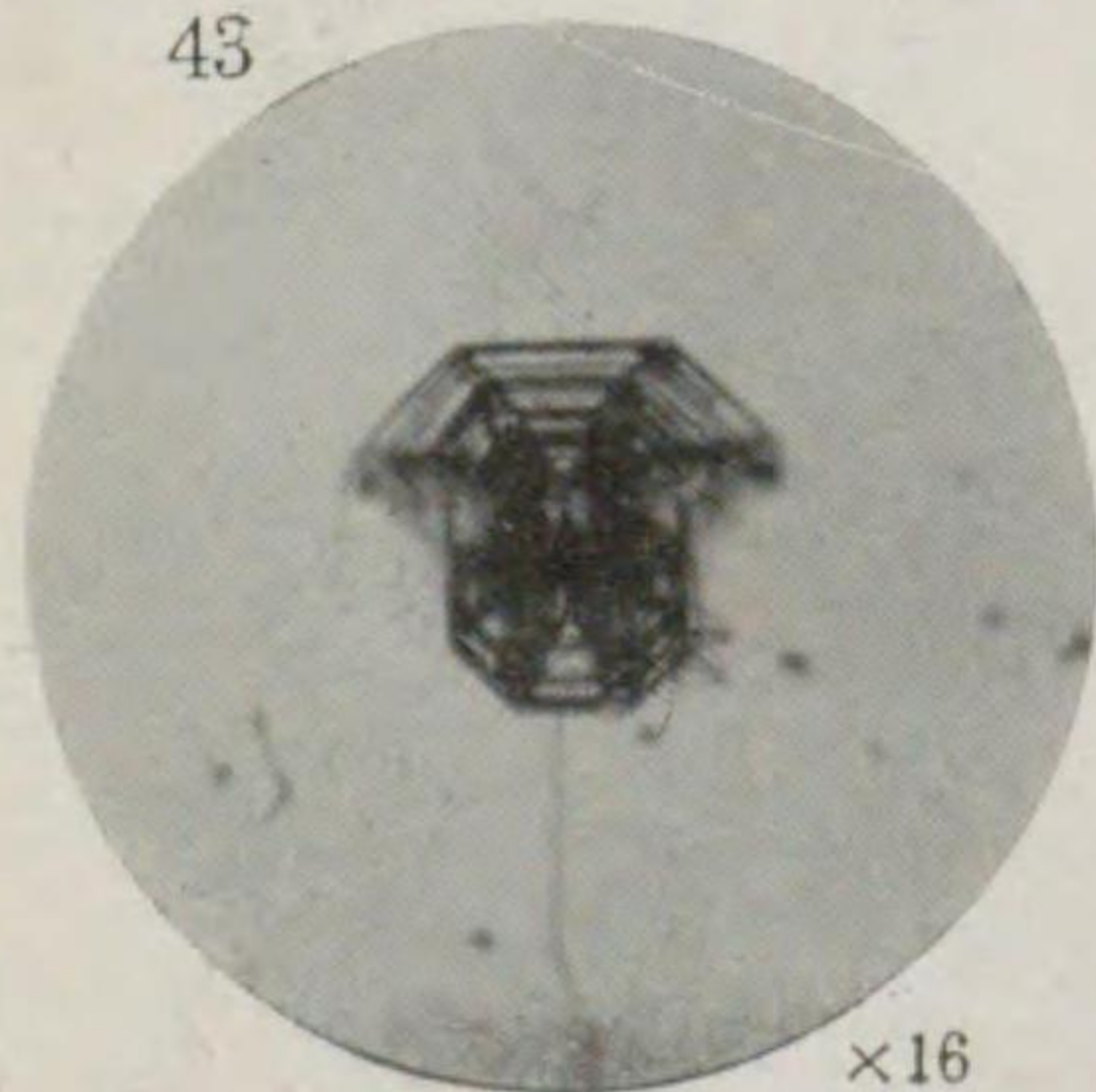


42



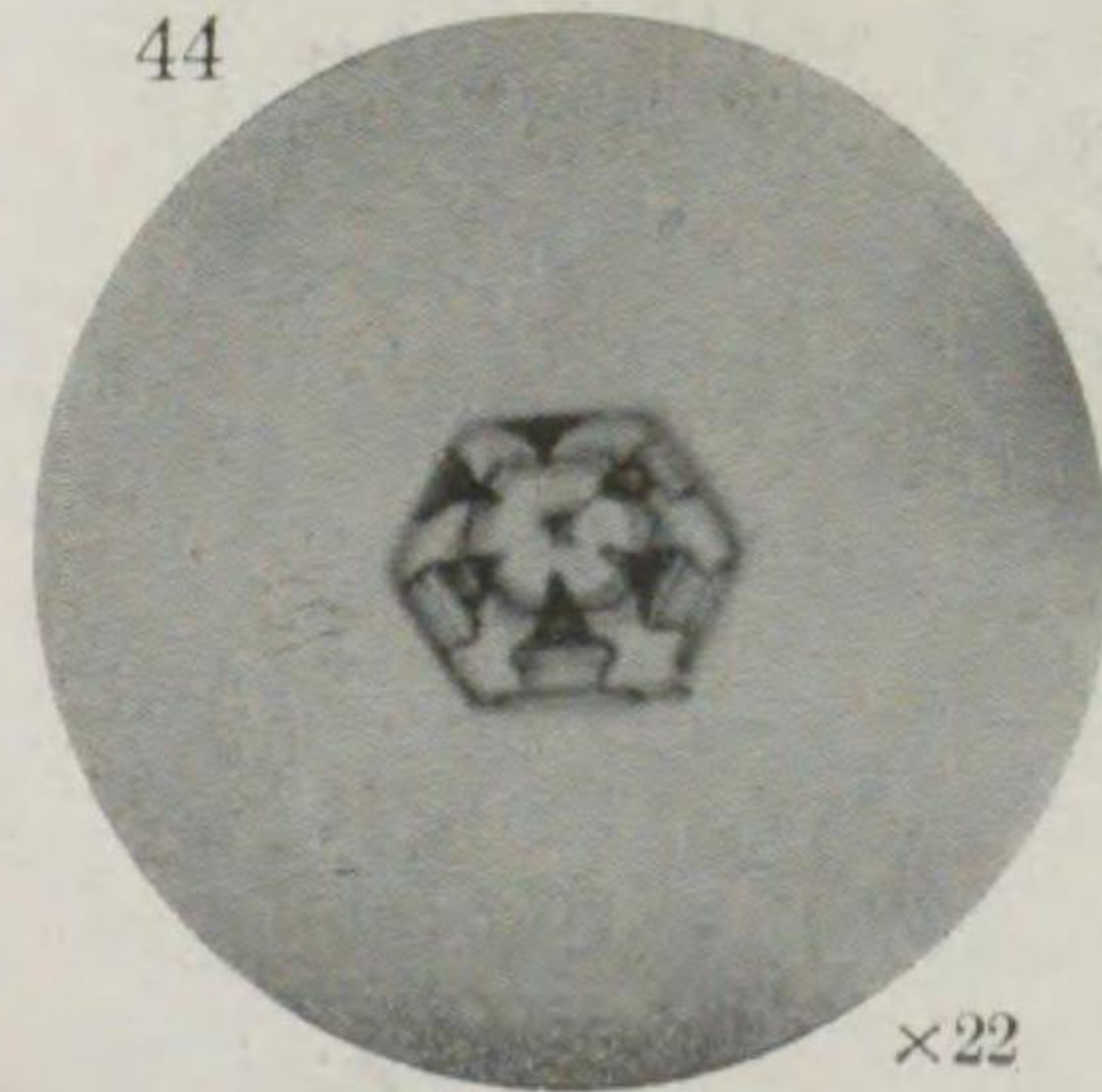
×38

43



×16

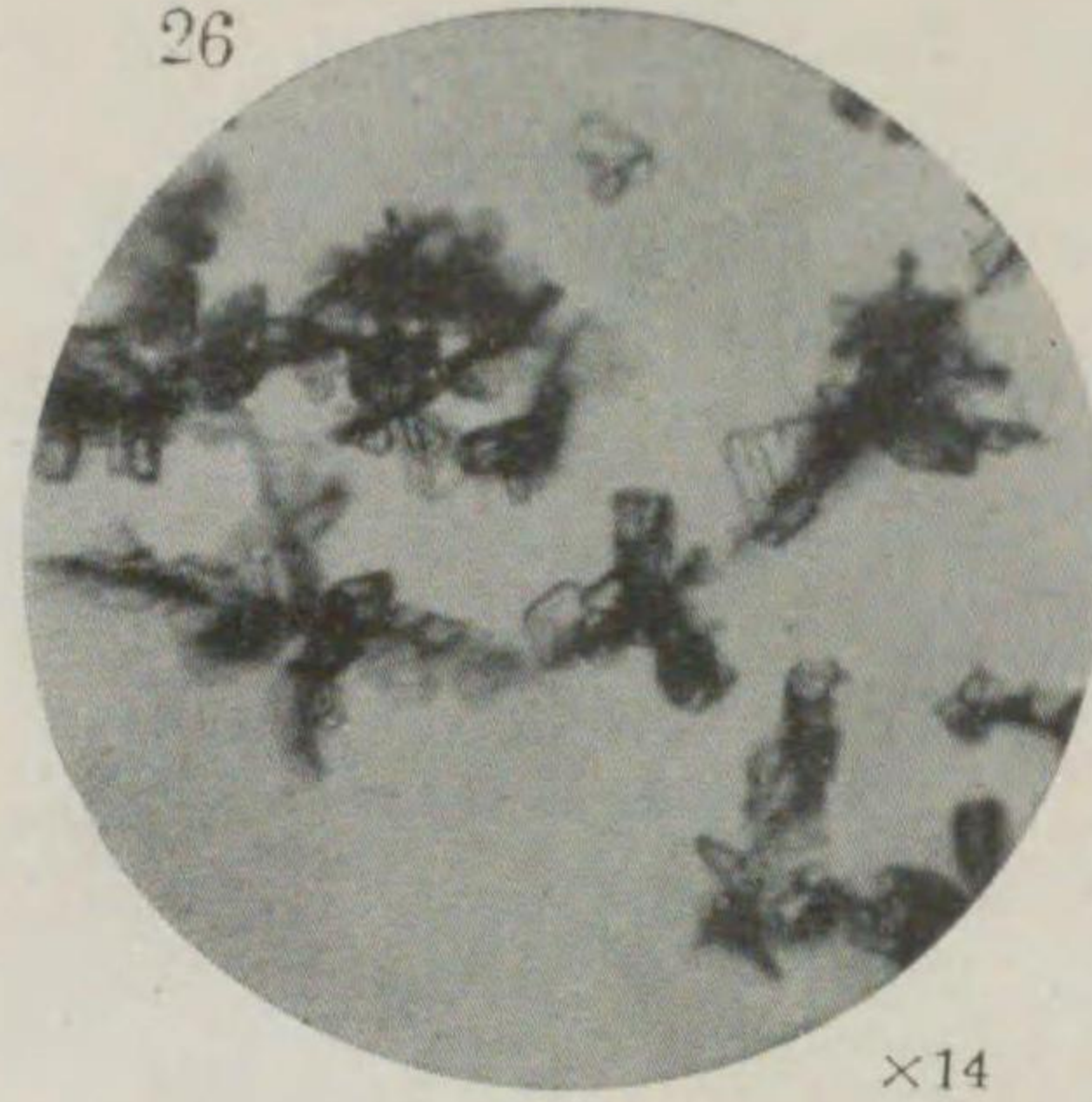
44



×22

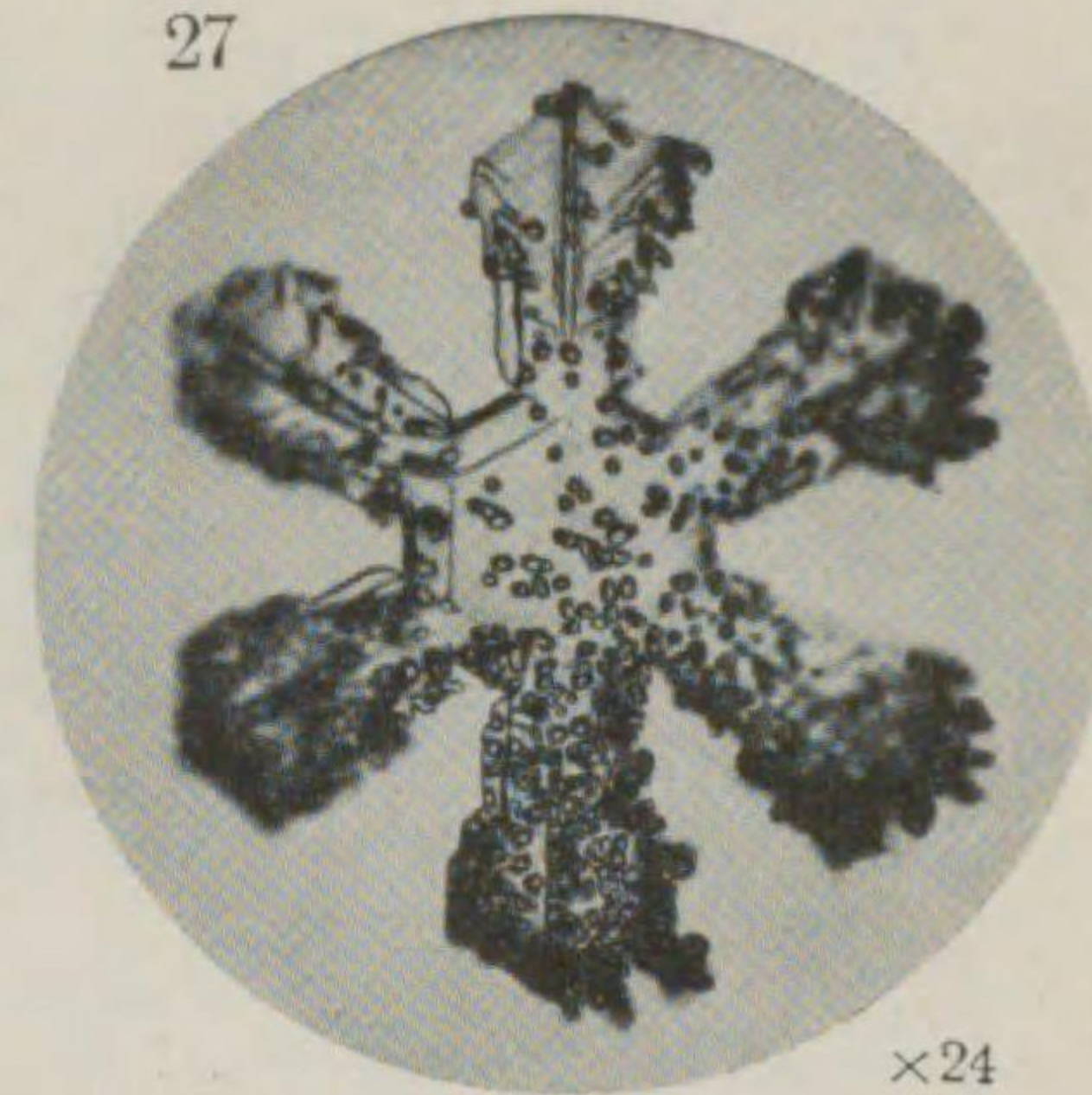
第四圖版

26



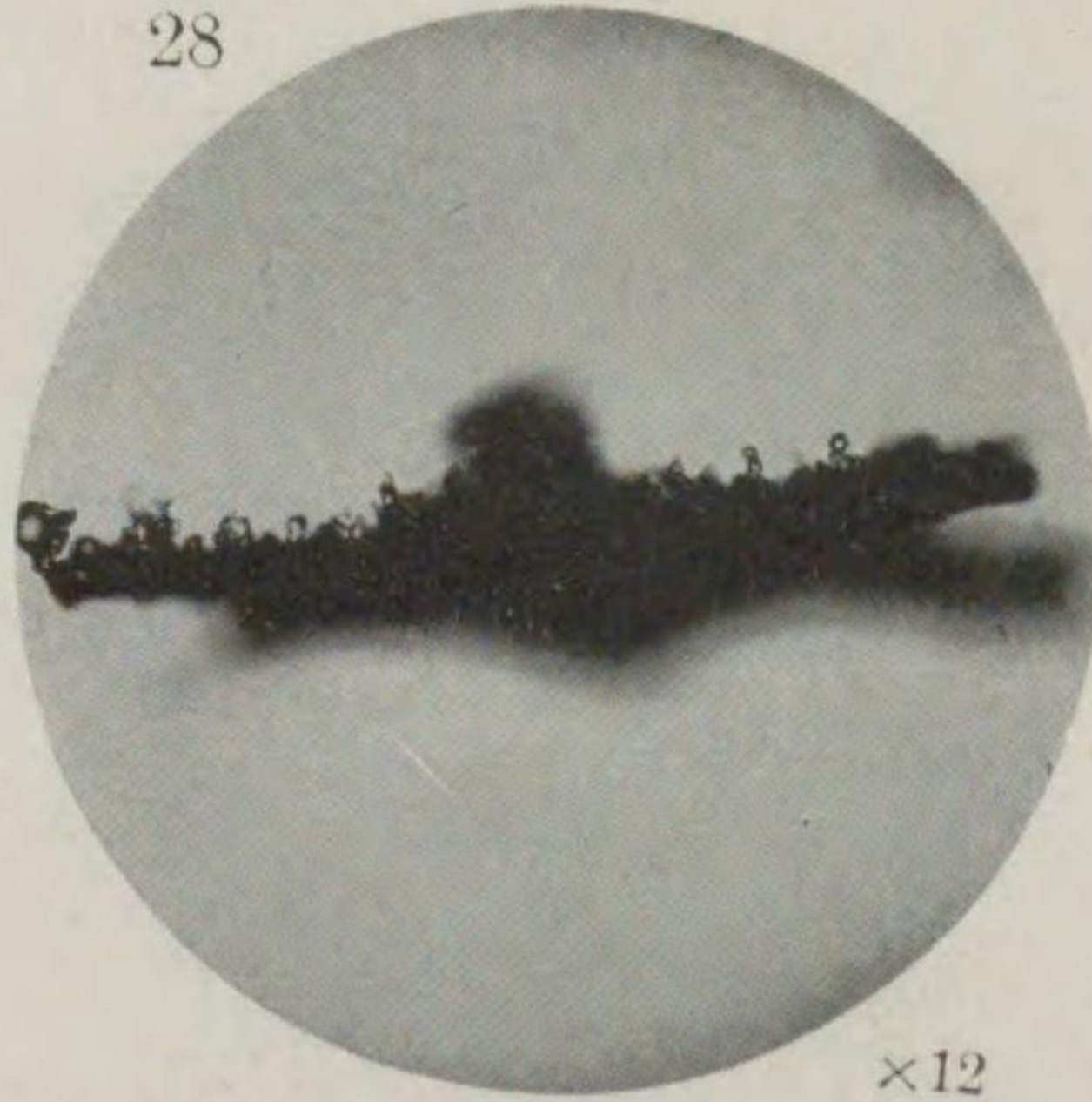
×14

27



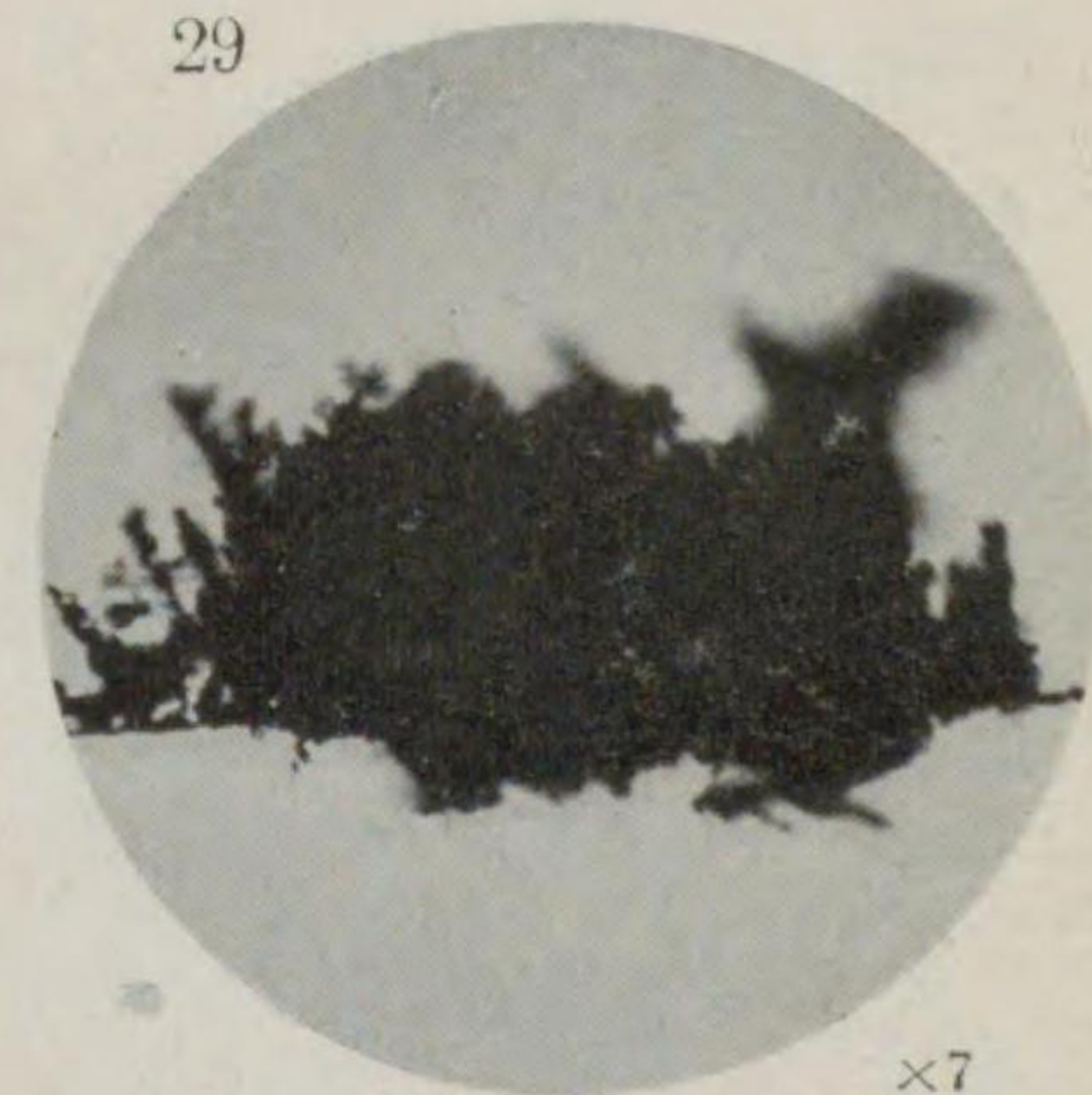
×24

28



×12

29



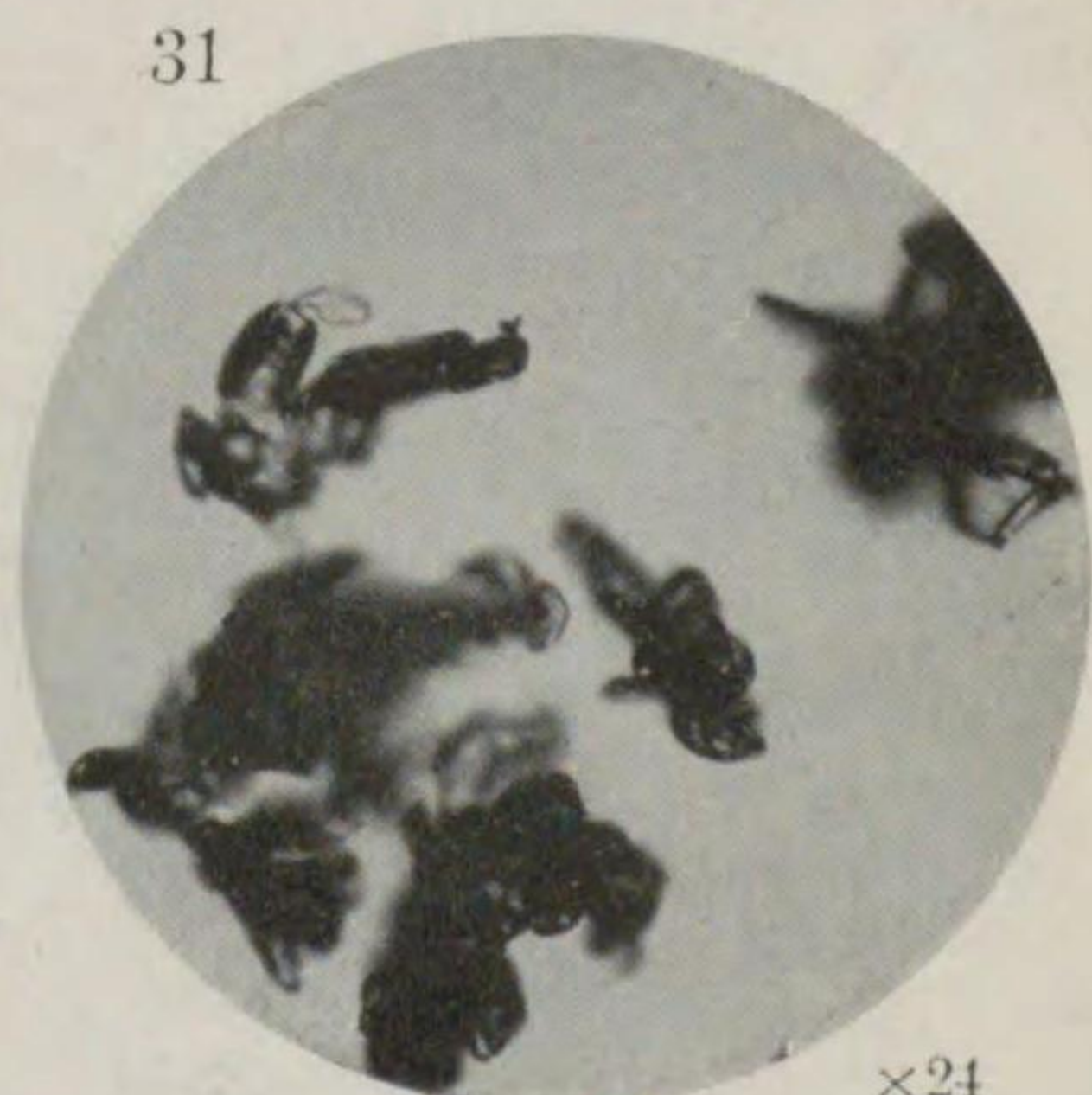
×7

30



×7

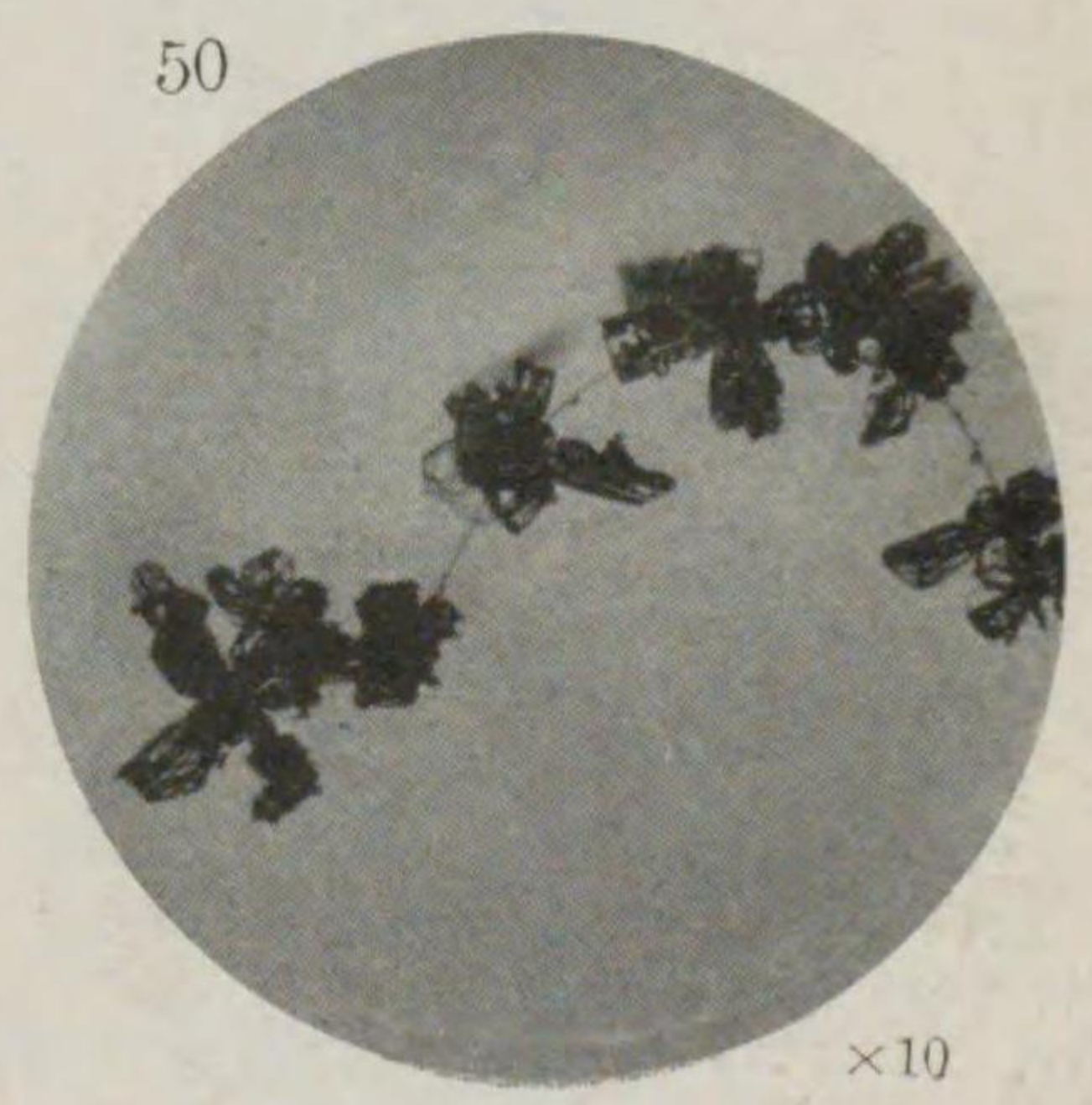
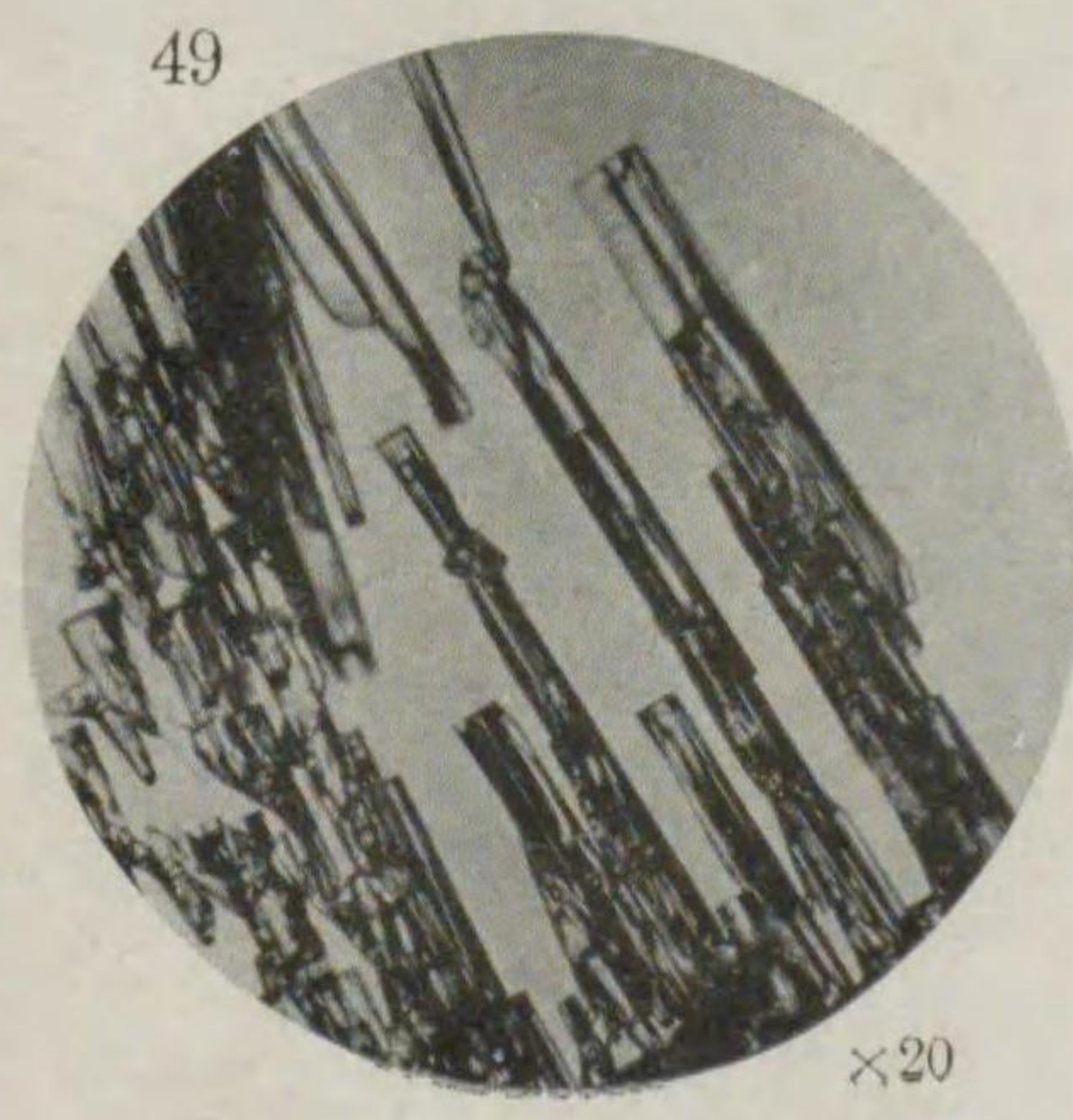
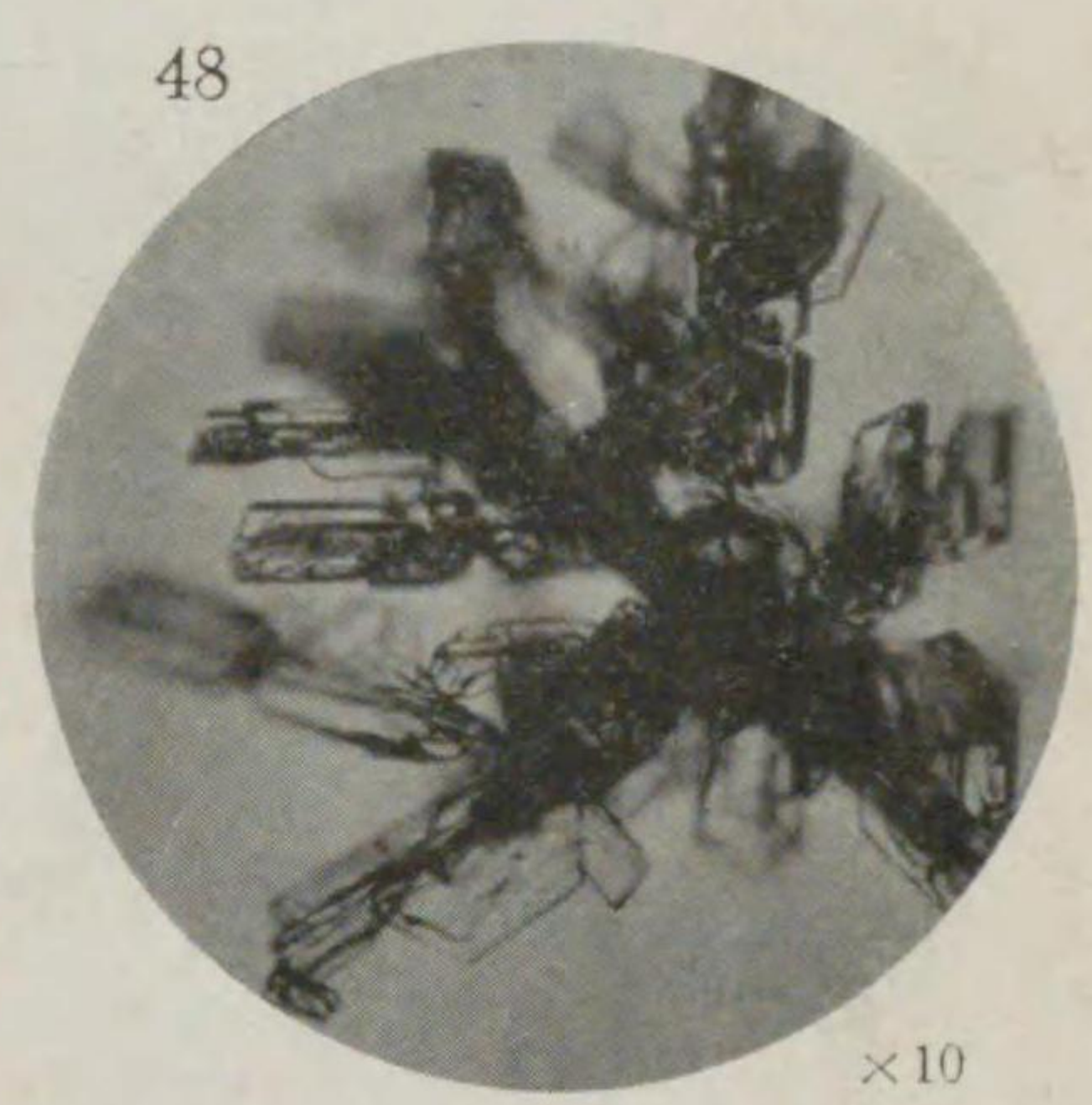
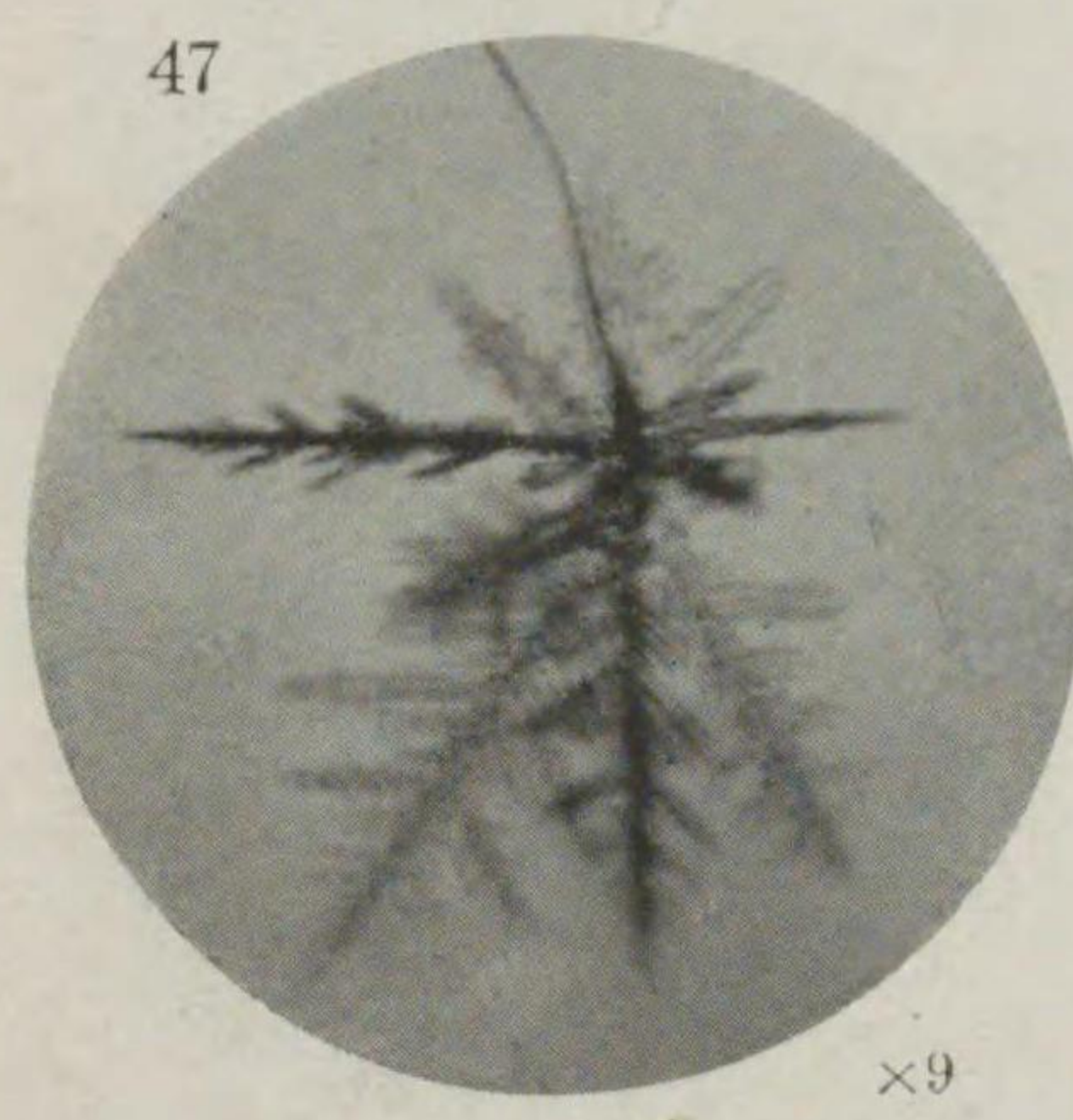
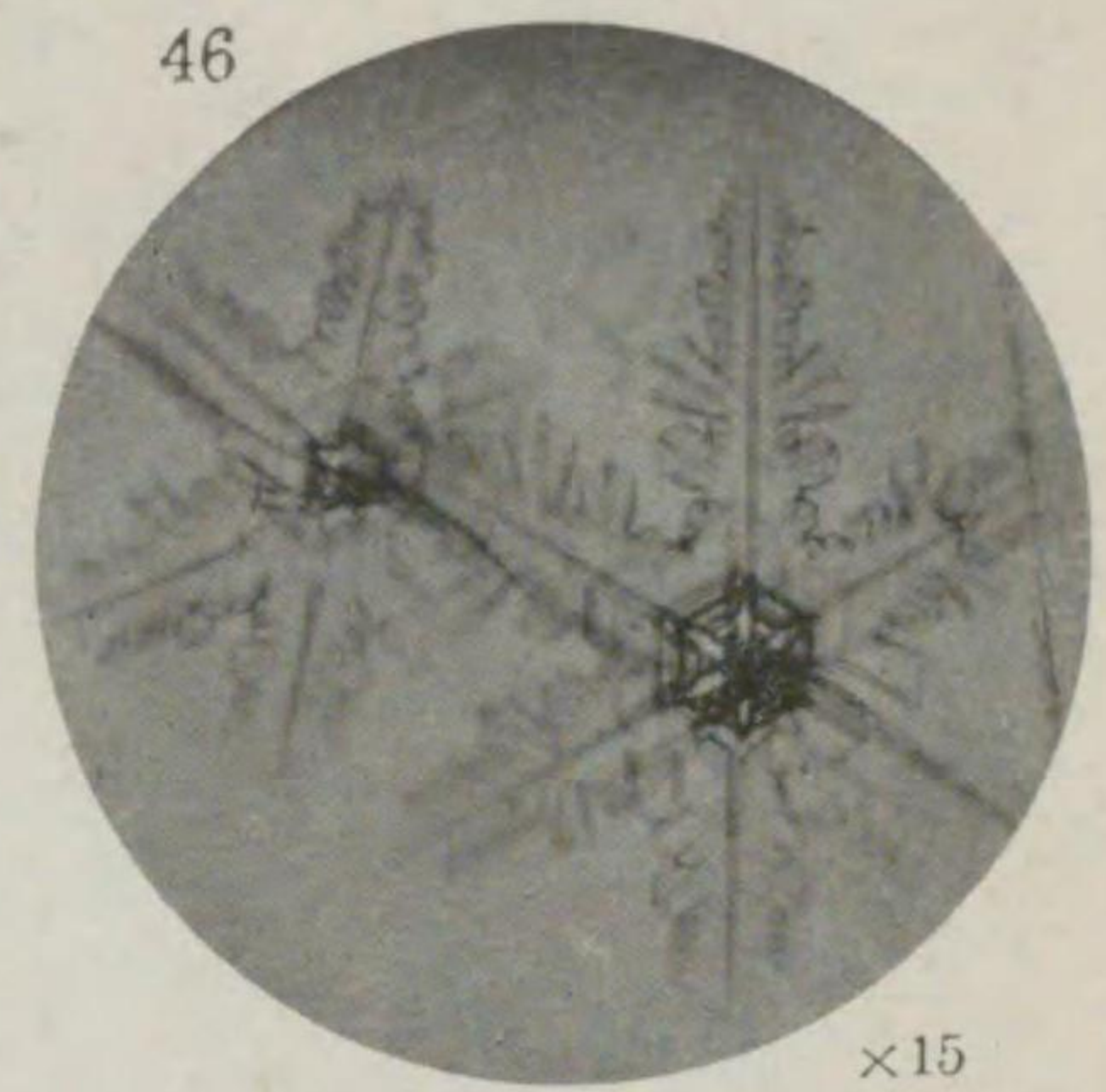
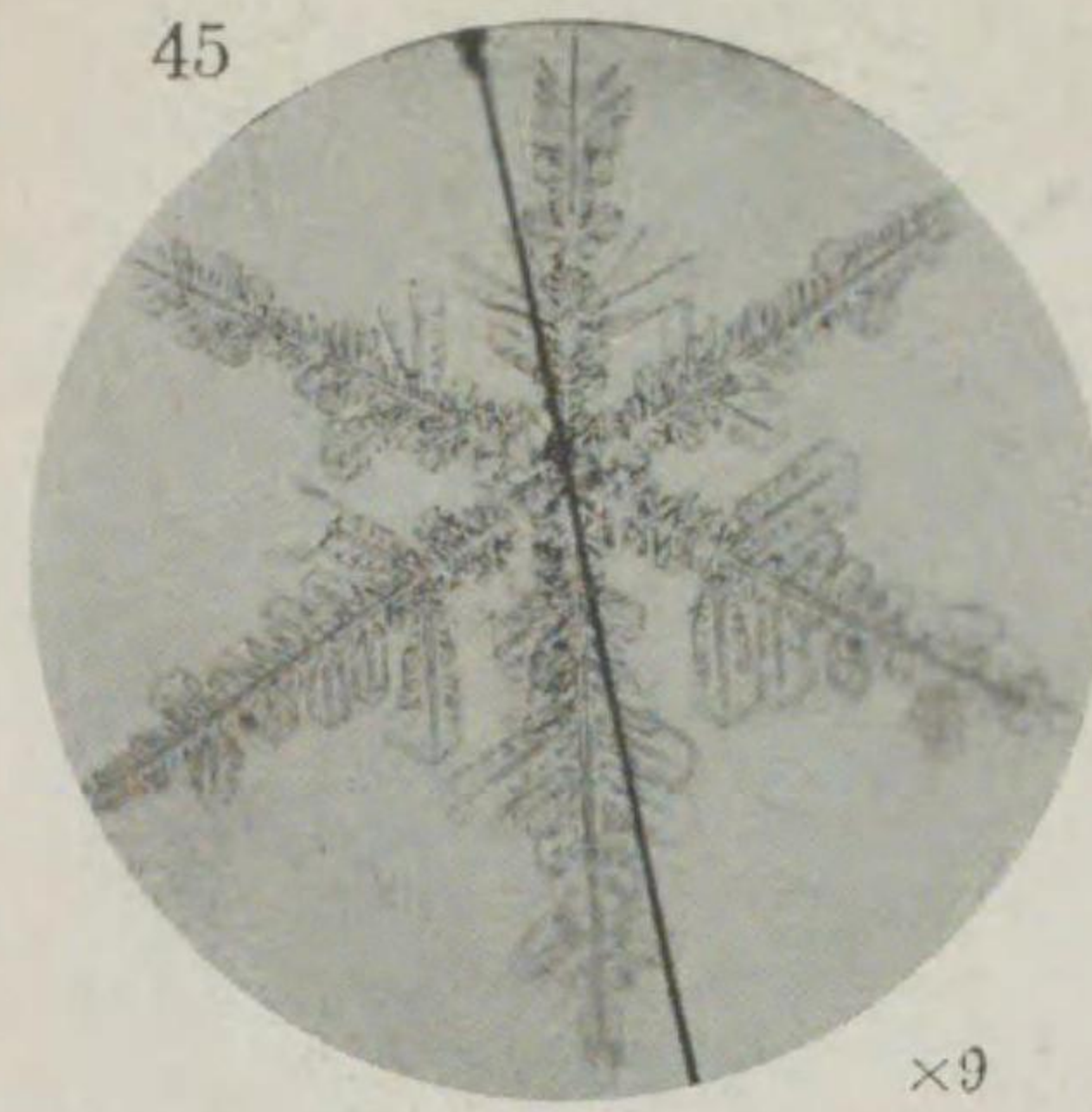
31



×24

730
362

第六圖版



序

此の本は雪の結晶について私が北海道で行つた研究の経過及びその結果をなるべく分り易く書いたものである。勿論専門の學者の人に讀んで貰ふつもりは毛頭無いので、只自然の色々な現象について正當な理解を持ちたいと思つて居られる人々に、少しでも自然現象に對する興味を喚起する機縁になれば有難いと思つて書いたものである。雪と云つても問題の範圍が廣いので、その中で私が主として調べたのは、雪の結晶についてである。随つて雪に關する色々な問題、例へば雪崩とか、スキーと雪との關係とかいふ風な話は此の本の中には出て來ない。主な話は此の本の第三話、「北海道に於ける雪の研究の話」及び第四話、「雪を作る話」の中に收められて居るのであるが、自然科学に對して別に關係のない讀者の爲に第二話を挿入した。さういふ人々の爲に此の本を書いたので、雪は水蒸氣が凍つたものであるといふやうな分り切つたことまで説明したのである。

北海道に於ける研究の外に、この數年來、私は新庄に在る農林省の積雪地方農村經濟調

査所の仕事に少し許り関係が出来て、其處で雪害の實狀を見聞して居る中に、雪と人生との間の深い交渉に驚かされたのである。そして色々氣の付いたことを第一話「雪と人生」の中に述べることにした。併し此の方は結晶の話とちがつて私の本當の専門ではないので、大抵は受賣りの話である。

此の本を書く前に實は、色々な雑誌や新聞に雪の話の時々書いたので、それ等の記事の一部が重複して此の本の中へ出て来て居ることがある點を御斷りする。本當の所は此の本を作るに當つて、小林勇氏が大變力瘤を入れてくれて、私の前の雪の記事の中から適當なものを取り出してくれたり、それから色々な雪の舊い文獻とか新しい雪國生活の記録とかを持ち出してくれたりしたので、本書の一部は小林氏との共著と云つてよい位色々助力を惜しまれなかつたのである。茲に銘記してその厚意に深く感謝する次第である。

昭和十三年七月

著者

目次

第一 雪と人生	一
第二 「雪の結晶」雑話	二
第三 北海道に於ける雪の研究の話	七
第四 雪を作る話	二六

第一 雪と人生

千七百七十年正月七日越後の國鹽澤に生れた鈴木牧之が天保年間に著した『北越雪譜』は、雪に関する考察と雪國の生活とを書いた書物として有名であり、且つ日本ではこの種の文獻が殆ど無い點で珍重されてゐるものであるが、暖國の人には想像もつかぬ事柄が描かれてゐる。

「左傳に平地尺に盈みを大雪と爲すと見えたるは其國暖地なればなり。唐の韓愈が雪を豊年の嘉瑞といひしも暖國の論なり。されど唐土もろこしにも寒國は八月雪降事ふる五雜俎に見えたり。暖國の雪一尺以下ならば山川村里立地たちどころに銀世界をなし、雪の飄々た翩々たたるを觀て花に諭へ玉

と雪とに比べ、勝望美景を愛し、酒食音律の樂を添へ、畫に寫し詞につらねて、稱翫するは和漢古今の通例なれども、是雪の淺き國の樂みなり。我越後のごとく年毎に幾丈の雪を視ば何

の樂き事かあらん。雪の爲に力を盡し財を費し千辛万苦する事、下に説く所を視ておもひはかるべし。』

といふやうなことが首はじめの方に書いてある。

雪の降らぬ地に生活してゐる者に向つて、雪の災害を説き知らせることは至難のことであらう。

我國に於いても漸く四五年前から農林省に、「積雪地方農村經濟調査所」といふ機關が山形縣新庄に設けられ、其處の委囑で優秀な學徒が集つて眞摯な研究が始められた。私も雪に關する研究をしてゐる關係上、この「調査所」を度々訪れ、いつも雪に苦しめられる人の生活を見て、その災害の恐るべき姿を見るので、まづこの「調査所」を機縁として知つたことをこゝに述べて見度い。しかる後に、この書の中心をなすところの雪の物理學的研究の方へ進むこととする。

二

雪の人間に與へる損害は色々數へることが出來よう。そのうち計算にのらぬものは今此處には擧げないとして、物質的な損害のみを數へるに止めるがそれも容易な量ではない。

我國の一年間の雪の損害は、鐵道の損害を除いても猶大雪の年には一億二三千萬圓に上つて居り、比較的雪の少い年でも猶六七千萬圓の巨額に達してゐる。これは雪から蒙る直接の損害であつて、不利益的損害を除いた數字なのである。不利益的損害といふのは數字によつて現すことの出來ないものである。例へば東北地方の幼兒の死亡率が、世界一の未開民族として知られてゐるタスマニヤ島の蠻族に較べて、殆ど同程度であるといふやうなものである。この原因を追及したならば、「雪のために」蒙つてゐる影響が、意外に主要な役割を占めてゐるといふやうな結果が出て來るのではなからうかと思はれる。

我國で大雪に苦しめられるのは、誰でも知つてゐるやうに裏日本であつて、新潟、富山、石川、山形、長野などを初めとして、北海道、青森、秋田、岩手などに及んで居る。このやうに何故裏日本に雪が多く降るかといふことは、今日もはや人々の常識となつてゐるところであるが、一口にこれを説明すれば、冬期北半球では西北の風が吹く。特にこの傾向は上層では強いのであつて、隨つて、シベリヤから冷い風が日本へ向つて吹いて來るのである。シベリヤと日本との間には、日本海があるので、この風はその水蒸氣を運び、そ

れが日本の中央を縦走する山脈にあたつて、そのうちの水蒸氣を雪にして落ちてゆくのである。

この時期は大體一月から二月にかけてであつて、換言すると、冬期の季節風の最も旺盛な時期に、裏日本に大雪が降るのである。雪が降り出し、地上に根雪を見るのは、北海道では十一月末に始まり、奥羽地方では十二月末からであるが、大雪は一月頃にならぬと降らない。積雪量の最も多い地域は新潟と富山の兩縣で、石川縣の山間部、山形縣の山寄りの土地などが之に亞ぐのである。更に局部的に言へば、新潟縣では、高田、關山、田口、小千谷邊に、富山縣では蘆峯寺、黒部峽谷等である。之等の場所の積雪は一丈乃至三丈にも及ぶものがあるから、暖地の者には想像も及ばぬ凄じいものであるといはねばならない。これは私が今年（昭和十三年）越後の一農村で偶々目撃したことである。その村の役場に私達がゐると、たま／＼小學校の校長が來て、學校の屋根の雪を又下ろさなくてはいいよ危くなつたと申出て、役場の人々と協議を始めたが、役場にはそんな金は勿論もうないと言つてゐる。しかし學校の建物は雪の重みでミシ／＼鳴つてゐるので、捨てて置くことは出来ない。結局子供達の生命にはかへられぬといふことになつて、その一回の雪下ろ

しの費用八百餘圓が支出される相談になつた。

屋根の雪を下ろすのにこのやうな費用を要するといふことは、大雪の降る地方の様子を知らぬ人には想像し難いことであらう。

三

この話は現代のことであるが、昔はどうであつたかといふことも、考へて見る必要がある。その一例として『北越雪譜』から雪下ろしについて引用して見ることにしよう。

「雪を拂ふは落花をはらふに對して風雅の一ツとし、和漢の吟咏あまた見えたれども、かゝる大雪をはらふは風雅の狀にあらず。初雪の積りたるをそのままにおけば、再び下る雪を添へて一丈にあまる事もあれば、一度降ば一度掃ふ雪淺ければのちふるをまつ。是を里言に雪掘といふ。土を掘がごとくするゆゑに斯いふなり。掘ざれば家の用路を塞ぎ人家を埋て人の出べき處もなく、力強家も幾万斤の雪の重量に推碎んをおそるゆゑ、家として雪を掘ざるはなし。掘るには木にて作りたる鋤を用ふ、里言にこすきといふ、則木鋤なり。（中略）掘たる雪は空地の、人に妨なき處へ山のごとく積上る、これを里言に掘揚といふ。大家は家夫を盡し

て力たらざれば掘夫を傭ひ、幾十人の力を併て一時に掘盡す。事を急に爲すは掘る内にも大雪下れば立地に推く人力におよばざるゆゑなり。右は大家の事をいふ、小家の貧しきは掘夫をやとふべきも費あれば男女をいはず一家雪をほる。吾里にかぎらず雪ふかき處は皆然なり。此雪いくばくの力をつひやし、いくばくの錢を費し、終日ほりたる跡へその夜大雪降り夜明て見れば元のごとし。かゝる時は主人はさらなり、下人も頭を低て歎息をつくのみなり。大抵雪ふるごとに掘ゆゑに、里言に一番掘二番掘といふ。」

恐らくかゝる状態が何百年の昔から今日に至る迄續けられてゐるのであらう。そして今日東北の窮乏甚しき地方に於いて、「子供の生命には代へられぬ」といふ言葉となつて現れ、その貧しい財政の中から多額の雪下ろしの費用が支出されてゐるのである。

雪を屋根から下ろす状態は、牧之翁ののべた如く、初めは屋根から地上に下ろすのであるが、一夜に五尺六尺といふ降雪を見ることが稀でないのであるから、家屋の傍の空地、道路は忽ち下ろされた雪を以て高くなり、やがては家根の高さ以上に達し、一々それを運び上げなければならぬのであるから、その労力は馬鹿々々しい程大變なものである。かゝる費用は凡て不生産的な労力の消費であつて、絶えずかういふ仕事に力を盡さなくてはな

らぬことを考へただけでも、東北一道十縣の住民の生活が豊かにならず、文化的の恩恵に浴すことのおそいのも當然であることを考へねばなるまい。

屋根の雪は前述の如く、一々屋根より高くなつたところへ運び上げるのであるから、第一回の雪下ろしに百圓の費用を要したとするならば、第二回はもつと多く、第三回は第二回よりも更に多くなるのは當然である。かくて「人命に代へ難く」と諦めて、貧しい財政の中から支出された前記の八百圓は、丁度第三回目の雪下ろしの時のことであつた。

四

結城哀草果氏はその著『村里生活記』の中に、東北農民の生活を描いてゐる。この著者の居村は、山形縣であつて、雪の被害も多いであらうが、こゝには「冬の農家」といふ文章から一節を引用しよう。冬の間この地方の農民は主として藁仕事に日を過すらしいのであるが、氏はそれを丹念に調査して、その材料費、労働時間などの數字をかゝげた後、「右は僕の村の農家が冬の副業に筵を織つたり繩を綯つたりして働く勞賃が、幾らになるかを調べて見たのである。それによると一人の男が、一日八時間から九時間以上休みなく働い

た勞賃が、僅に九錢から拾壹錢強にしか當らぬが、これは嘘のやうであつて事實である。汗を絞つて働く一時間の勞賃が、たつた一錢一厘強にしかならぬことを知つたならば、誰しもがその勞賃のあまりに僅少なのに驚くであらう。それをさまで百姓達は痛感せず働いてゐるのは、春から秋にかけて一家總がかりで汗を流して、秋に收穫した米を食ひ、稻から取つた藁を原料としてゐるからである。つまり百姓だちは筵を織つたり、繩を綯つたりしながら、秋に收穫した米と藁とを、冬の間食潰してしまふのである。かくて年々農家の身上が傾き、それが農村の敗亡となつて現れるのである。」更に「同じ時代の都のをとめ達が、明るい電燈の下で、はなやかに骨牌かるたを切つてをることも知らず、……農村の娘だちは、掌から血を流して毎日藁を打つてをるのだ。

さればといつて

稻春つばきけばか戦かる我が手を今宵もか殿の稚子わかごが取りて嘆かむ（萬葉集卷十四、東歌）

の古代の娘のやうに、今日の農村の娘だちには可愛がつて呉れる若い殿子もゐないのである。」と述べて居る。

かくの如く農民の勞力から得られる賃銀は甚しく少いのであるが、その窮乏の村民から集めた金で村の財政をまかなふ村役場の役人が、小學校の雪下ろしに多額の金を支出することを嘆くのは、實に當然のことと言はねばならない。何百年の昔、否東北に人間の住み始めてからこの方、かゝる嘆きが年毎に繰返されてゐることを人々は銘記しなければならぬ。

いふ迄もなく、雪國の人々は、その環境に適應した生活様式を永い間に整へて居る。しかしそれらは何等科學的研究を基礎としてゐない。たゞ經驗によつてあみ出された對策であるから、進歩は遅く、しかも自然の猛威に對しては全く消極的な防禦に止まらざるを得ないのである。

五

「積雪地方農村經濟調査所」に於いては、この屋根の雪下ろしといふことに就いても研究を行つてゐる。こゝにその一例を擧げて見れば、讀者はその思ひつきの簡単なことに驚かれるであらう。昭和十二年頃から、屋根の雪下ろしに就いて一つの試みをした。それは、屋根から樋をつけて、その中に雪を入れて下へ下らせるのである。樋は斜に遠く迄やつて

おき、その樋の内側に蠟をひいておくのである。蠟といつてもスキーに使ふやうな上等の品である必要はないので、蠟燭に用ふる蠟の粗悪なもので十分なのである。この簡単な装置のために、雪を屋根より高く運び上げるといふ困難が一掃されてしまふのである。

また越後のある村で永く校長をしてゐた人が、雪下ろしのいらぬ屋根を考案した。それは勾配の急なトタン葺の屋根を作り、そして下に人間が住んでゐれば、下の暖気で屋根の雪がiri落ち、そのiri落ちた雪は丁度下にある池の中へ落ちるといふ工合になつてゐるのである。この思ひつきをとり入れて、今和次郎氏が調査所の依頼で、實際の家を建て農村の人を住ませて實驗をすゝめて居る。例へば、冬期の文字通りの雪に埋れた生活からのがれる爲に、二階住居とし、一階は倉庫にあて又一部に馬も住ませ、二階の一部は家内工業の仕事場に當てるといふ工合にしてゐるのであるが、成績は頗る見るべきものがある。

實際に農村の人に生活をしてみて貰つてからまだ一年を経過して居ないので、改良すべき點の十分な検討は済んで居ないが、それでもかういふ「實驗」をして見なくては分らないことが幾つも知られた。例へば、雪國生活の衛生の問題で一番問題になるのは圍爐裏である。生木のいぶる室内の煙の中の生活は何とかして止めなければならぬ。この家屋では

初めは圍爐裏を用ひないで、炭火を用ひるやうに計企された。そしてその爲から生ずる經濟上の負擔は、衛生費の節約、家内工業による収益などで補ひ得ないかといふ點を實驗して見た。併し雨の多い東北の農村で、しかも雨の中でも絶えず労働をしなくてはならない人々にとつては、圍爐裏端での食事といふことが、衣服の乾燥の上に絶対に必要なことが分り、随つて煙突をつけた圍爐裏の實用化が新しい問題となつたのである。

街の中の雪を片づけるために、流雪溝を作つてゐるところもあるが、これも見るべき成績を擧げてゐる。流雪溝といふのは、街の大通の兩側に幅三尺位の溝を作り、冬は必要でない灌溉用の水を流し入れてこの中へ雪を投込む。流れてゐる河水は、内地にあつては如何なる時も凍らぬのが普通であるから、この溝へ入れた雪は忽ち溶けて流れてしまふのである。若し屋根の雪を樋でこの溝へ下ろすならば、一層世話のないことになるわけである。流雪溝のある大通りは三月になれば、土埃が立つやうに乾いて春光が和かに輝いてゐるのに、ひとたび同じ街の裏の方へ廻つて見ると、雪は屋根の高さまで積まれ、人々は徳川時代さながらに雪の穴居生活の状態をしてゐるのである。越後の町でこの流雪溝が考へ出されたのは今から十年位前のことで、何處の誰が發明者であるかは不明であるが、かくれた

る無名の科學的精神の所持者として感謝さるべき人があつたのであらう。三月の末になると、流雪溝のある町へは、近村の子供達が「べ」とを見に」來るさうである。

六

屋根の雪下ろしの次に雪の被害を被る著しいものとしては、果樹の枝折れを擧げることが出来る。その一例をとれば、山形縣地方の名産櫻桃の樹枝が、ある種の雪のために全滅することがある。若しこの種の雪の降ることを豫報出來たなら、栽培者は全力を盡して被害の豫防をすることが出来るであらう。またアメリカなどに於いて既に行はれてゐる方法を採用入れ、我國の農村に用ひ得るやうに材料などの改良を行つたならば、この被害を殆ど一掃し得る筈である。アメリカでは樹枝の分れ目に細い鐵の棒を捻ぢ込み、その兩端を止めて置くのである。かくすれば若し降雪があつて、枝に雪の重量がかゝつても、枝は割けない。樹が生長して行けば、その鐵棒は木の中に喰ひ込みそのまま残るのであるが、樹には何の障りも無い。我國で若し鐵を使用する事が困難であるなら、竹或は木などを使用し、樹の故障の生ぜぬやうに研究すればよい筈である。十年辛苦栽培の果樹を一夜にして全滅させ、尙かつそれを不可抗力として諦めてゐなければならぬやうに、現在の農村の人々は教育されて來たのである。

かくの如く樹木を痛める雪は濕り氣のある粘着力の多い雪といふことは分つてゐるのであるが、今直ちに、これを春先に必ず降るとか、如何なる氣象状態の時に降るなど早急に斷定するわけにはゆかないのである。凡ては今後の根本的研究にまたなければならぬ。

七

次には雪中の交通運搬に關する被害といふ事實がある。雪中の交通といへば、今は鐵道にはラッセル車もあり、ロータリ車もあり、人間の交通のためにはスキーもあり、山の中から木材を運ぶためには橇もある。そしてそれらは各、昔に較べては研究され改良されてゐるのであるが、まだくそれら殆ど手がついた計りと言はなければならぬ。

鐵道の雪による損害といふものは、一年にどの位あるか。この數字は、前記一億二三千萬圓といふ中からは除いてあることを記した。我々は冬になると新聞に、「裏日本一帯の吹雪、各列車立往生、ラッセル車出動」などの文字を度々見るのである。表日本に晴天が

續き、のどかな気分で朝の新聞を手にする都會人には、これらの記事は何か自分に縁のない遠いところのことのやうに思はれるのであるが、鐵道省にとつては年毎にやられる雪の猛威は恐るべきものであつて、數字に現れる損害も一年百萬圓から二百萬圓の多額にのぼつてゐる。人々は新聞記事によつて、ラッセル車が出動すれば、忽ち雪ははね飛ばされ、汽車は悠々と雪原を通つてゐるやうに想像し勝ちであるが、事實は中々さう簡單なことではない。除雪車を救援の爲の除雪車が出されることも珍しくはない。こゝにも科學者が根本的に解決に乗り出すべき澤山の問題が藏されてゐるのである。率直に言へば、まづ第一に鐵道省の人々の眞面目な考慮がなくてはならないと思はれる。何萬圓といふ多額の金を出して、アメリカの最新式除雪車を購ひ入れ、日本へ持つて來た時、或る場合にはそれが「立往生」を餘儀なくされるのも當然の成り行きであると考へられる。アメリカで立派に役立つからと言つて、そのまゝそれが雪質の全然違ふ日本で立派に役立つなどと考へるのが既に最初の錯誤であらう。アメリカへ支拂ふラッセル車一臺の購入費を投げ出して、日本に降る雪の性質を根本的に研究したならば、日本のために眞に役立つ除雪車は必ず出来るに違ひない。鐵道のみに限らず、あらゆる部門でかゝる哀しむべき事實が數多く行はれてゐることであらう。

鐵道の被害といへば、除雪の外に凍上の問題がある。北海道などでは此の凍上が著しい損害を與へるのであつて、それは冬期地下數尺の深さ迄凍つた場合、鐵道の線路が持ち上げられることを指すのである。その上り方が又一様と限らず、或る場所では著しい凍上が見られるのに、すぐその隣りの地點では餘り持ち上げられないことが多い。そのやうな場合線路には凹凸が出来て危険な状態になる。特に春になつて凍土がとけ始めると、持ち上げられた線路の下に空隙が出来て、列車の運行が非常に危険になるので、氷がとけるにつれて砂利を枕木の下に入れてやる必要がある。その費用も著しいものである。特に同じことを永久的に毎春やるといふ點を考へて見る必要がある。この問題なども科學的に考へて見れば、必ず何かの對策が講ぜられる筈であるが、未だに當路の人々がこの問題を徹底的に研究したといふ話はきいたことがない。

凍上の起つて居る場所を掘つて見ると、地下數寸又は數尺の所に厚い透明な氷の板が出来て居るさうである。普段さういふ水の層があるわけではないから、その氷の層は凍結につれて氷が土から分離して析出し、その下の土へ更に水が供給され、その水が又凍結して氷

層に附加されるといふ風にして、厚い氷の板が出来たものにちがひない。さういふ現象、即ち土と水との混合物から氷が析出するといふ現象は、吾々が普段見て居る事柄であつて、霜柱がその顯著な例である。土と水との混合物が只凍つただけならば、土のコンクリートのやうなものが出来ただけで、それならば凍上の問題は起らない。地下に出来る「霜柱」がその原因であることは、少くとも原理的には疑ふ餘地がないものと思はれる。今日霜柱の研究は或る程度迄行はれて居る。そしてその成因も可なり知られて居る。さうすれば凍上の防禦といふ問題も、少しの努力を拂へば解決出来る見込は十分ある。もし寒地の鐵道局で、局員中から野球の選手を養成して居る程度にでも、研究の選手を養成する位の氣持があつたならば、此の種の問題もやがては解決されるであらうと思はれる。

わが國のこの種の研究が長足の進歩をしないのは、研究費の不足もさることながら、その當事者が頻々として轉任し、一つのことに十年數十年或は一生をかけてとりくみ、研究を続けやうとしない點にあるのではないかと考へられる。どのやうな研究や仕事も一年や二年で完成される筈がない。まして我國に取つて重大な問題であり、且つ案外困難である雪の研究などが、單なる腰かけ仕事に出来る筈もないであらう。

八

雪は人間の生活に害を與へるばかりではない。これを利用すればまた頗る有用のものであることも論をまたない。しかし飽く迄科學的研究をしてその性質を究めなければ、利用の効果を十分に擧げ得ないことも明かである。雪上交通運搬の例をとつたから、最近研究に着手したばかりであるが、橇についての話を一例として記して見よう。

北海道のやうな所で、特に奥地にある木は冬でなくては運び出せない。雪が十分深く積ると、夏の間は足も入れられないやうな山奥迄も馬橇が通ふやうになつて、一抱も二抱もある材木が、案外容易に運び出されるやうになるのである。北海道では此の材木の雪上運搬はたまた引と呼ばれて居るが、このたまた引に使ふ橇が面白いのである。普通の橇を前後二つに切り離したやうな形のもので二つで一組になつて、長い材木の頭と尻とにそれぞれ一つ宛履かせたやうな恰好に材木を積み上げ、その前の橇を馬が牽くのである。この橇にはバチバチといふ妙な名前がついてゐるが、非常に巧い考へであつて、曲りくねつた狭い雪道を長い材木を運ぶには、そのやうな橇でなくてはいけない筈である。このボギー車の

原理を發見して、それをたま引に應用した天才が誰であつたかは分らない。いづれ名もない出稼ぎの人夫の一人であつたのであらうが、昔は普通の橇を用ひてゐたので短い材木しか運べなかつたといふ話であるから、このバチバチの發明者は材木の雪上運搬の問題に非常な功績を残したわけである。材木の商品價値の向上にこのやうな偉大な貢獻をしたこの男は、多分親方からおほめの言葉位は頂戴したことであらうが、今調べて見ても名前を知つてゐる人はないやうである。

さて私は昨年の冬から、丁度良い林學關係の協力者を得たので、たま引の物理的研究といふ仕事を始めたのである。物理的研究といつても別に難しいことをするのではなくて、雪橇の抵抗を測つて雪質や荷重などとの關係を見ろといふだけなのである。まあその實驗の味噲とでも云ふべき點は、本當の馬とバチバチとを使つて、本當の材木を積んで、たま引道へ行つて測定をするといふことでもあらう。昨年の實驗は全部協力者がやつて呉れたので、まだほんの豫備的の實驗ではあるが、可なり面白い結果が出て來たやうである。實驗機械といふのは、ゼンマイ秤一つだけであつて、それを馬と橇とを連絡する鎖の途中に入れて置くと、馬の牽引力がゼンマイの伸びで讀めるのである。その牽引力と材木の目

方とから抵抗を計算して見ると、驚いたことには、少し雪質が異ると抵抗が二倍も三倍も違ふのであつた。抵抗が半分になると、同じ馬で二倍の材木が積めるのだから、運賃が半分になることになる。謂はばゼンマイ秤の針の動きから材木の商品價値が直ぐに分るのである。

もつともこれはほんの豫備的の實驗であつて、實際は馬の牽く力は一步一步毎に違ふのである。それに或る雪質の場合には、雪が橇に凝着するやうなこともあるので、一寸休んで動き始める時とか、或は歩いて居る間にも、所々で一瞬間馬は非常な力を出さねばならぬことがある。その力が馬の最大牽引力を超過して居れば、平均としては十分牽き得る程度の荷重でも動かさないことになる。さういふ點を調べるには、どうしてもゼンマイ秤の動きを連続的に紙の上に描かすやうにしなければならぬ。丁度さういふ目的に適ふやうな自動記録ゼンマイ秤といふものがあるので、それを用ひて今後もたま引の研究を續けることにして居る。

抵抗の測定が完全に出來るやうになれば、色々の型のバチバチの性能の比較、隨つてその改良、雪道の作り方の影響、冬期間の各時期に於ける抵抗の標準、地方による差など、

調べる事はいくらでも出て来る。そしてそれ等の色々の要素の中から搬出費用の極小になる条件を求めれば、それでたまた引の物理的研究として先づ通用するのである。一々その測定資料を擧げて、之等の實驗をすつかり書いたら、恐らく大部な研究となることであらう。外國にたまた引があるかどうかは知らないが、獨逸などの本にも、雪の摩擦係数は零コンマいくつといふやうな暢氣なことを書いてあるところを見ると、こんな研究をやつてゐないことは確からしい。尤も外國でこの種の研究が行はれてゐない一つの理由は、日本に較べて、雪の質が物の運搬に適してゐることによるのかもしれない。日本のやうに質が多種多様で、しかも恐ろしく運搬に適さぬ、つまり粘着力の多い雪の降る處では、是非ともこのやうな物理的研究が必要なのである。

九

以上思ひつくまゝに雪害について、或は雪の利用について述べて見たが、雪害の種類も雪の利用もまだくゞ澤山あることはこゝに數へ立てる迄もない。

雪崩の恐ろしさ、吹雪の恐ろしさ、雪が人間の生活に及ぼす影響特に生理上の障害等々を數へあげれば、その一つの項目に就いても優に一冊の書物になり得るやうな研究題目のみであるが、残念ながら現在の所ではまだ殆ど未着手の状態である。

私のこの本で述べようとするのは、この地上に積つた即ち積雪に就いてではなく、主として地上へ降つて来る迄の雪の状態についてであるから、これ以上、雪害及び雪の利用の問題に就いては述べない。これらについては、いづれ私以外の誰か専門家が説いて呉れるであらう。私は日本に於いて雪の研究をもつと眞劍にしなければならぬといふことを繰返すに止める。それを説明するために、われくゞの一番目につき易い且つ氣のつき易い雪の話をこゝへ持つて來たまでである。

雪は人間の生活をおびやかす計りではない。年毎に激増してゆくスキーを楽しむ人、冬山へ登る人、更に幾度か犠牲を拂ふことにも屈せず、ヒマラヤに挑戦してゐる西歐の登山家達、このいづれもの人々が謂はば雪と闘ひ、雪を楽しみ、雪の魅力に引ずられてゐるのであるが、雪の研究を根本的に進めようとする人間の努力の方は之等にくらべて遙かに微弱であることは争へない。毎年何百萬の人間が積雪に苦しめられて憂鬱な生活をしてゐる。雪のために毎年一億萬圓を超える損害を受けてゐる。かういふ事實に對して少數の人々は

何とかしなければいけないといふことを眞剣に考へてゐるのである。

しかし一方では、毎年冬になると何十萬といふ人々が、スキーを樂しむために雪原へ雪の山へ出かけてゆく。これらの人々が雪に親しみ、健康と剛健な氣風とを養ふことは勿論大いに賛成すべきことではあるが、このやうに雪に親しむ氣持を今一步進めて、雪の性質なり、雪の降る状態なりに注意し、そして雪から蒙る損害をいくらかでも少くしようといふことに心を向け、また同時に雪を樂しむやうにしたら、どんなに良からうかといふ氣もする。雪の性質が本當に研究し盡された時、雪は現在のやうに恐ろしいものとして、われわれに迫らなくなるであらう。これは決して夢のやうな話ではない。人間はもつと困難な多くの自然現象とたゞかび、それを研究して、征服しつゝあるのに、雪についてまだ多くの研究がされないのは何故であらうか。少數の學者の研究が如何に進んでも、その研究が一般の人に普及されなければその眞價を發揮したことはならぬ。また研究といふものは多くの人に諒解され、利用されて、人々の注意が集つて更に新しい段階に入ることが出来るのである。今日我國に於いて最も緊急なことは、何事をするにも、正しい科學的精神と態度とをもつて爲すことが必要であるといふことであらう。これは何回繰返して言つても過ぎることはないであらうと思はれる。

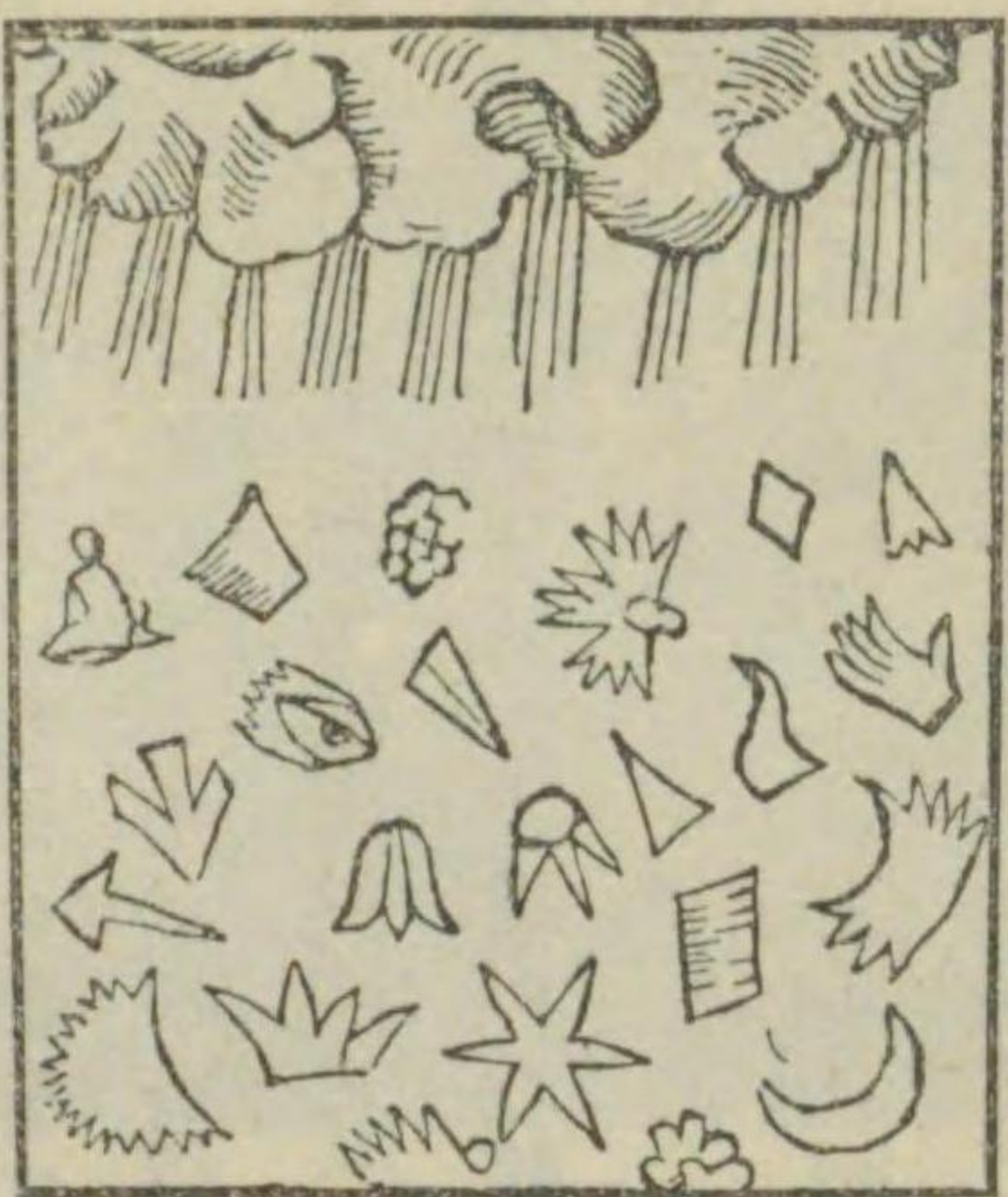
第二 「雪の結晶」雑話

雪の結晶は誰が最初にその姿を正しく認識したであらうか。そして、その後どのやうな歴史をもつて今日に及んでゐるか。今その大略をこゝに述べて見よう。さうしてこの歴史を調べることによつても今更に感ずるのは、如何に自然の祕められたる工は深く、人智によるその認識が遅々としてゐるかといふことなのである。

雪の結晶を初めて認識した人はアルベルタス・マグヌスで、一二五〇年代のことである。これより以前に雪に關する記述は全く残つてゐない。古代文化の繁榮の中心は多く地中海方面であつて、この地方に雪の降ることは甚だ稀であつたから、隨つて雪の研究は北歐人により、或は北方に旅行をした人によつて漸次爲されたものと考へられる。

一五五〇年代ウプサラの大僧正オラウス・マグヌスはその著 *Historia de Gentibus*

septentrionalibus の中の一章に雪のことを記し、第1圖の如き雪の結晶を描寫した。これは今から見ればまことに怪しげなものといはねばならぬが、とも角これが雪華圖として世界最初のものである。彼はこのほか窓硝子に出来る窓霜（ジャック・フロスト）につい

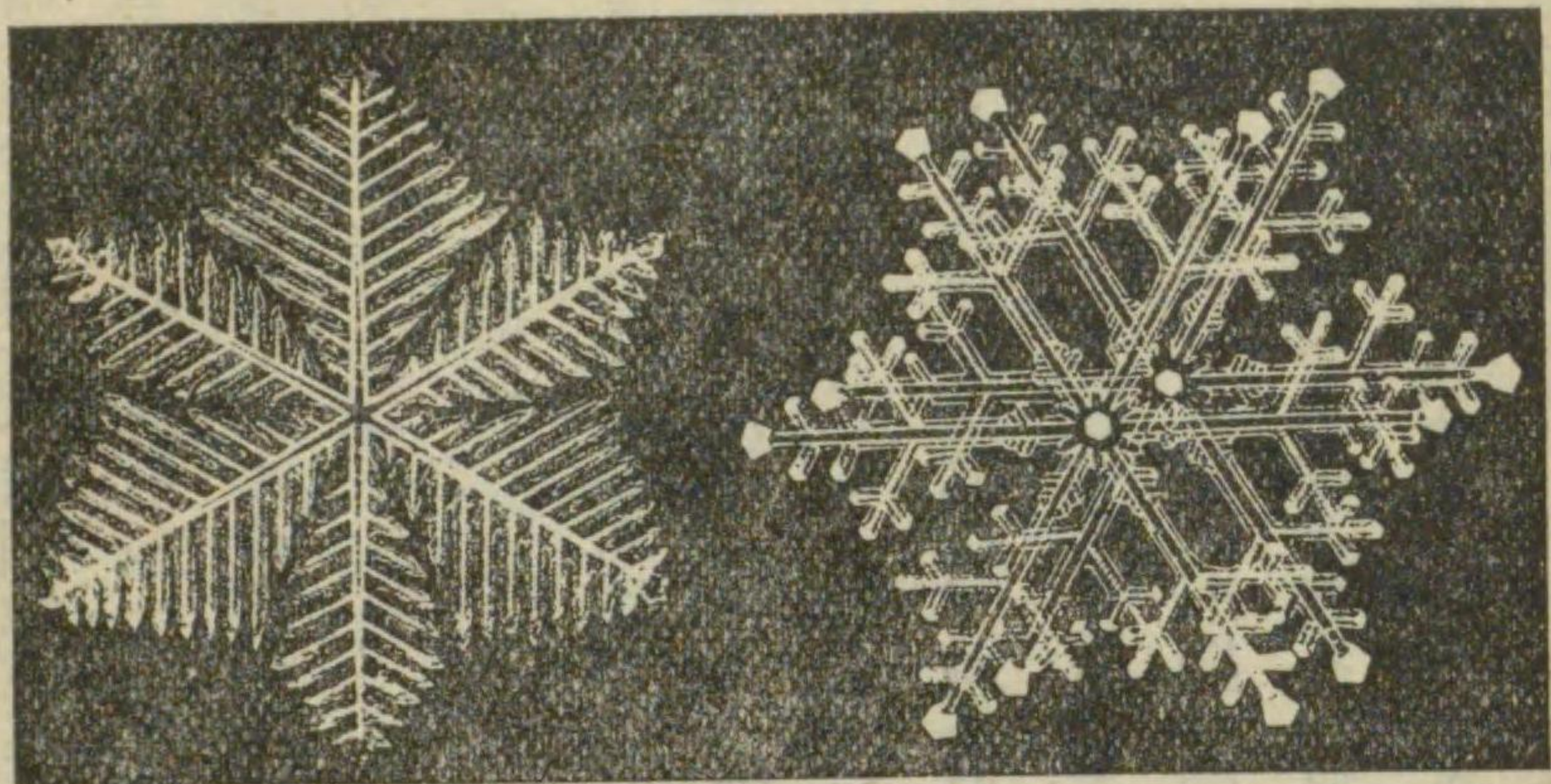


ても記述してゐるし、スカンデナヴィア人が狩獵や戰爭の用具として現今のスキーの如きものを用ひてゐることも記載してゐるのである。

第1圖 マグヌスは結晶に種々の形のあることを發見したが、それが一様に六方晶系に屬する結晶であるといふことには氣が付かなかつた。その點を初めて指摘したのは有名なケプレルだといふことになつてゐる。その後一

六三五年アムステルダムに於いて、デカルトが雪の結晶の觀察をしてその繪を發表したのを初として、十七世紀の前半には多くの學者が雪の結晶に興味を持つてその研究をした。

この頃迄の雪華の觀察は、肉眼でなされたか或は簡単な蟲眼鏡でされたのであるが、十七世紀後半に於いて、顯微鏡の發明が全ての學問的研究に一大飛躍を齎したと同時に、雪



第 2 圖

一八五五年には英國の氣象學者ゼームス・グレイシャーが雪の結晶一五一箇の描寫圖を作つて發表した。その圖はかのアルプス登山史上に不朽の名を遺した科學者ジョン・チンダルの *The Forms of Water* にも引

華の研究も長足の進歩をしたことはいふまでもない。一六六五年かの細胞の發見者として有名なロバート・フックが「ミクログラフィア」なる書物を現し、顯微鏡で見た種々の圖を掲げ當時の學界の注意を惹いたが、その中に雪や霜などの結晶の模寫も發表してゐる。そして彼は星狀の雪の結晶では、軸から分岐する小枝はすべて隣の軸と平行せるものであることを發見し、從來の觀察が誤りであることを知らしめたのであつた。

一六七五年にはドイツの旅行家フリードリヒ・マルテンスが、スピッツベルゲンからグリーンランドの方面に航海した見聞記を刊行してゐる。この中で彼は極地方面での雪の觀察を記載して居るが、彼の功績は、結晶形と天候との關係に就いての觀測結果に論及して居ることである。

一六八一年にはリヴォルノの僧侶で數學者のドナト・ロセッティがその著 *La Figura della neve* に於いて、六十箇の雪華を描いてこれ等の結晶を五種類に分類してゐる。これが最初の分類であつて、その分類は今日より見れば甚だ幼稚ではあるが、兎に角最初に雪の結晶を分類したといふ點で、彼の名は雪の研究史上に逸することは出来ない。

十八世紀に於いては雪の研究では特に記すべき程のこともない。

一八二〇年イギリスの捕鯨業者ウイリアム・スコレスビーは、北海に於ける捕鯨の歴史とその状態とを記した著作を出したが、その中に彼は九六箇の雪華圖を收め、かつこれを五種に分類した。彼はその分類中にプリズム型、ピラミット型及び板狀と柱狀結晶との結合したもの即ち後述の鼓型をも含め、從來見のがされてゐた新しい種類についてその構造を明かにした。彼の説は物理學者、氣象學者の注目を惹き、その著書は極地方に關する一般的記事の古典として何時迄も残つて居るのである。

用され、彼の仕事は顕微鏡寫眞の發達する以前の雪華圖としては、最も精巧を極めたものと云はれて居る。その一例を第2圖に示すが、勿論之は上のやうな完全な形のものを観測したのではなく、この中の一枝又は二枝の完全なものを眞似て他の枝を描いたものである。

二

十九世紀の末葉から顕微鏡寫眞の方法が考案され漸次進歩してからは、雪華の研究も長足の進歩をとげたのである。即ち一八九四年ベルリンでノイハウス博士及びシグソンが撮影した寫眞について、ヘルマン教授が精しく研究してドイツ氣象學界に發表して居るが、特にシグソンの寫眞は、斜めの照明法を用ひて雪の結晶の表面の細い凹凸^{こまか}迄よく撮影して居るので、その技術は今日でもよく用ひられて居るのである。次いでストックホルムのノルデンショルドも雪華の顕微鏡寫眞を發表した。ヘルマン及びノルデンショルドは共に雪の結晶を平板、角柱及びその組合せと三種に分類して居るのであるが、その分類は最近迄一般に用ひられて來たものである。

以上は雪華研究の歴史を大略述べたのであるが、かくて六世紀に亙る長期間を経たのち、われ／＼に最も親しい彼のウイルソン、エー、ベントレーが現れるのである。

ベントレーはアメリカのヴェルモン州に生れ、その殆ど全生涯をジェリチヨに於ける雪の結晶の觀測に費した。彼は正規の教育を受けた人でなく、學者としての彼の地位は極めて低いものであつたが、彼は幼少の頃その母から與へられた顕微鏡によつて、雪華を偶然にのぞいて、その美しさに驚異の念をもつたことに出發して、遂にその一生は雪華の寫眞を撮るために費されたのである。彼は毎年冬になると、雪華の寫眞を撮り、それが一九〇七年には千三百種になり、一九二三年には約四千種、そして晩年には遂に六千種に及ぶ寫眞を撮つたのである。このうち約三千枚を一冊の書物に輯めて出版されたのが一九三一年であつた、これはアメリカの氣象臺長ハンフリース博士が集成し、アメリカ氣象學界の補助によつて出版されたものである。この寫眞集 Snow Crystals の出版によつて、ベントレーの名は一躍世界的のものとなつたのであつた。

この書物は、かつて類例のない雪華の寫眞集であること、非常に多くの寫眞を集め得たこと、またその寫眞が美しいことなどで非常に有名になつたものである。従來日本で雪の結晶の寫眞がしばしば引用されてゐたのは、多くこの書物中の寫眞から轉載されたもので

あつた。もつとも日本に限らず、世界中の大抵の氣象學の本には彼の寫眞が轉載されて居るといつても良い位である。

しかしベントレーは前記の如く餘り科學的素養をもたず、最初はたゞ自分の楽しみとして、後には新しい寫眞の數を増すこと、そのまた美しい寫眞や幻燈板を賣ることを仕事として居た程度であるから、倍率や降つた時期の記載が全然無いのが惜しまれて居る。寫眞は、凡て黒地に白く結晶が出るやうに細工を施してある。即ち寫眞の原板上で結晶の縁に添つて膜面を切取つて焼きつけたものであるから、細かい外形はわからなくなつてゐる。その點についてドイツの或る氣象學者が、右に擧げた點を批難して、アメリカの氣象學專門雜誌へ抗議を出した人があつた。これは如何にもドイツ式であるが、この珍らしい老人の一生の仕事を遠慮なしに批難することも、學者としては止むを得ないと考へたのかも知れない。ベントレーのためには甚だ氣の毒な話である。これに對してベントレーも返事を同じ雜誌に書いて、「私の方法は美的價值を高めただけで、その爲に科學的價值を損つては居ない」と云つて居る。併し實の所複雑な形の結晶はベントレーのやうにされると一寸困るのである。

しかしベントレーの寫眞集は、雪の結晶について多くの人々の關心と興味とを喚起した。この點に於いてウイルソン・ベントレーなるアメリカの一老人は偉大なる功績を遺したと言ふことも出来る。嚴密にいつてそれは科學的研究の産物とは云へないかも知れないが、その一生を通じて自然に對する純眞な興味を失はず、うますたゆまず成し遂げた彼の事業に對しては、われ／＼は尊敬を拂はなければならぬであらう。

三

ベントレーの寫眞集は前述のやうに立派なものではあるが、凡て綺麗で且つ規則正しい平板狀の對稱形のもののみを選んで撮つたために、一般に雪の結晶といふものが、ベントレーの寫眞のやうなものと思ひ込ませたといふ點は注意して置く必要がある。アメリカに於ける彼の觀測にも、後述のやうな不規則な形のものや、立體的に發達したものや、或は無定形に近いものがあつたのであらうが、彼はそれ等の顯微鏡寫眞は殆ど撮らなかつたやうである。前述のやうに、彼の目的が美しい結晶の寫眞の蒐集にあつたことと、また永年の彼の半ば習慣になつた雪華に對する概念がかうさせたものと考へられるのである。

彼が若し、自然を忠實に觀察するといふ科學者の態度をもつて、その一生の仕事を續けたならば、彼の寫眞の如く平面的で、且つ六次の對稱をしてゐるやうな結晶以外に、澤山の複雑な形の雪が存在する事を一般の人に教へたであらう。事實は後に詳しく述べるやうに、立體的の構造のもの、或は不規則な形のもの、或は無定形に近いやうなもの、即ち見た眼には汚い形のもものが非常に多いのである。しかしベントレーの如き傾向がヨーロッパの氣象學者の雪の結晶の寫眞集にも度々見られるのは、人間に共通な或る心理の現れとも考へられぬことはない。それには顯微鏡寫眞が立體的のものを撮るのに適しなくて、又そのやうなものを撮影しても出來上つた寫眞が綺麗でないといふことが、その種の結晶が除外され勝ちとなつた一つの理由かも知れない。この點で顯微鏡寫眞の發達はかへつて、一時科學的な雪の結晶の研究を阻礙したとも言ひ得るのである。このことは獨逸の氣象學者ウエーゲナーも云つて居ることであるが、面白い一つの心理現象である。つまり一口に言へば、顯微鏡を覗いて見て、美しくないものは寫眞に撮らない。模樣的に美しく、しかも平面的なもののみを撮る傾向がある爲に、一般の人々に雪の結晶がさういふものだと思ひ込ませるやうになつたのである。それは別にベントレーのみの負ふ責任ではないのである。

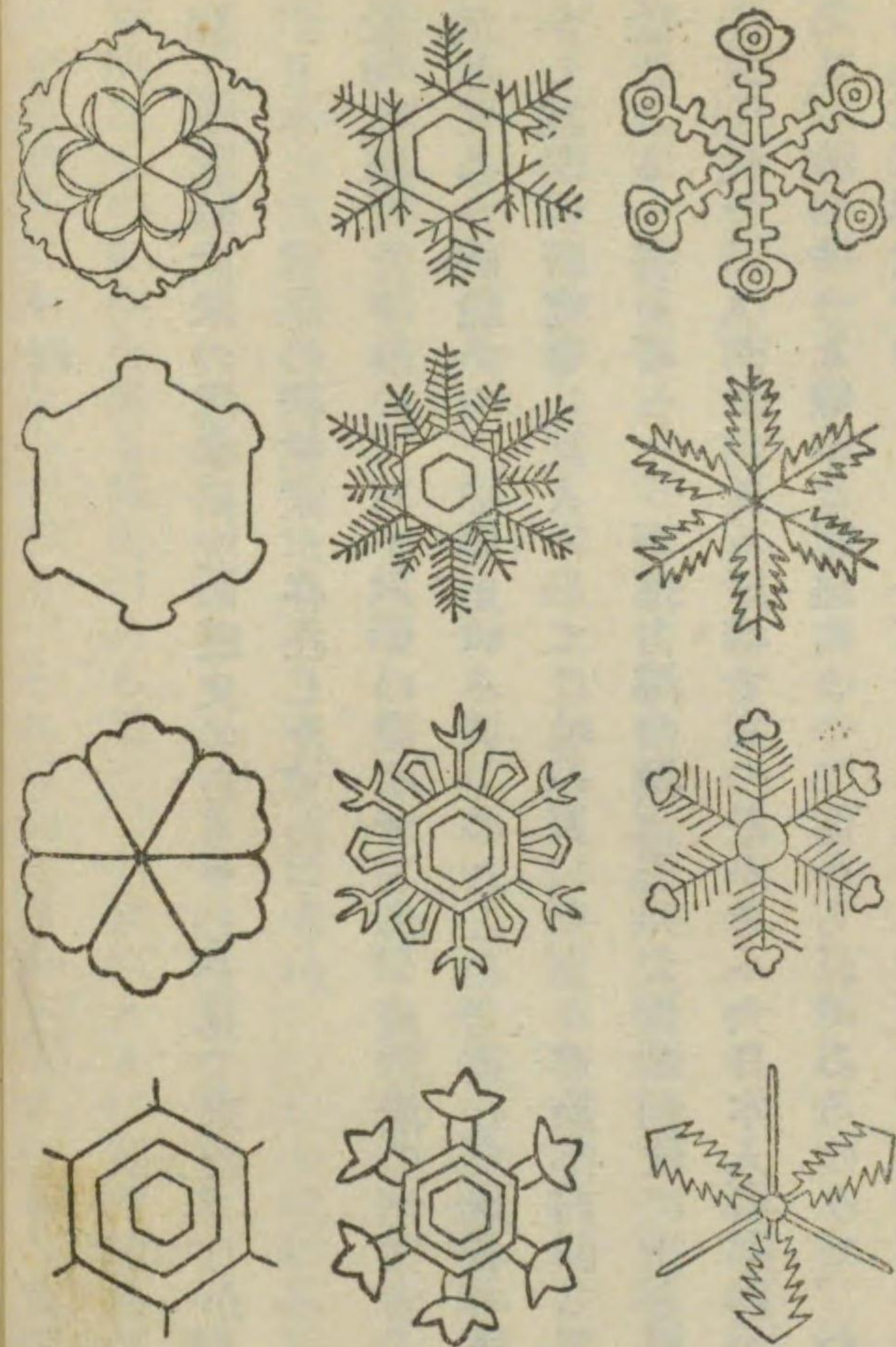
四

以上私共は歐米の雪華研究の歴史のあらましを見て來た。しからば世界有數の雪國たるわが日本には雪華の研究家が存在したであらうか。

最初に擧げたやうに、バチバチの發明者とか、流雪溝の考案者とか、先祖代々雪の中に生活してゐた經驗から、必要上いろ／＼のことを考案した無名の科學者達は數多くあらう。しかし雪華の研究をした人としては唯一人、今より百餘年前即ち西曆一八三二年に『雪華圖説』なる一書を著した、下總古河の城主土井大炊頭利位に指を屈するばかりである。この土井利位なる人が如何なる殿様であつたかを「大日本人名辭典」その他によつて調べて見ると、左のやうな簡単な記述によつて傳へられてゐるのみで、われ／＼が尊敬を拂つてゐる『雪華圖説』のことには一言もふれてゐない。これなども日本の辭典の一つの特色なのであらうか。

ドイトシツラ 土居利位とみとしつら(二四四九—二五〇八) 下總古河藩主、土井利徳の男、利厚の養子となる。主膳正、織部正、大炊頭、從四位下に敘任され、寺社奉行、大阪城代、京都

所司代を経て老中首座となる。大阪城代在任中、天保八年大鹽平八郎の騷擾事件があつたが、善處よく平定せしめた。嘉永元年歿。年六十。
彼の遺した『雪華圖説』一卷は、一八二〇年代にスコレスビー或はグレイシャーの如き



第 3 圖

世界的雪華研究者として歴史上に不朽の名を遺した人の仕事と較べても餘り遜色がないやうに思はれる。
徳川三百年、全國に三百餘侯がそれぞれ蟠踞して、何千人かの人々が、殿様たる地位に生

れ、多くの家臣に仕へられてその生を終つたであらう中に、この一卷の書を残したかの土井利位のみが、自然の最も優れたる観察者として、科學的精神の具顯者としてその名を遺したことにについては、大鹽平八郎を退治たといふよりも偉大な意味がある筈である。この方をこそ人々は銘記しなくてはならないのではないかと思はれる。

彼が天保三年に著した『雪華圖説』は僅かに十七枚の小冊子に過ぎないが、この中には八十六箇の雪華を描寫してある。そのうち觀察の年時を記載してないものが三十八箇、文政十一年（一八二八年）に二箇、同十三年（一八三〇年）に十箇、天保三年一月に五箇、同年十二月に三十一箇を觀察して、これを寫しとつたのである。その中の數例は第3圖にあげる如くで、今子細にそれを見るに、前述歐米の研究者達の觀察に比しても決して遜色のない點をもつてゐることがわかるのである。なほ彼はこの『雪華圖説』一卷の中に雪の效用十四箇條を擧げてゐる。少しく長いが、わが國の雪華研究の大先達の文章として此處へ引用することは必ずしも無駄ではなからう。

第一 空氣ヲ清フシ汚濁ヲ驅ル

第二 已ニ氣ヲ清フスレバ氣即チ涼爽粹純ヲ致ス



第三 積雪常ニ山巔ヲ寒カラシム 故ニ昇騰ノ氣凝集シテ水濕ヲ山礪ニ生シ以テ江河ノ源ヲ養フ

第四 冬寒支體僵瘵ノ病 雪塊ヲ取テ患部ニ擦搭スレバ即チ癒ユ 又臘雪水甘クシテ大寒天行時疫ヲ解シ一切ノ瘡毒ヲ療ス ソノ他諸病ニ於テ必須ツ所ニシテ醫家缺クベカラズ

第五 遍地ニ罨覆シテ寒ノ土中ニ侵透スルヲ防拒ス 地中頼テ以テ寒冷ヲ致サズ 却テ溫ヲ得 故ニ草木肥茂シ蟄虫生ヲ得 又雪上ニ橇ヲ走ラシ犬鹿ヲ驅使シ重ヲ引キ遠ニ致ス 故ニ北陸雪多モ害ナク利アリ

第六 其質ノ輕キ毳ニ勝ル 故ニ冬時ノ蔬穀ノ鼻脆ナルヲ損セズ 却テ之ヲ擁包シテ寒ニ傷ラルルヲ防グ

第七 窖藏ノ冰雪夏月鳥魚諸肉ノ敗餒ヲ防ギ水漿ヲ冷ヤシテ收儲暑ヲ延クコトヲ得 イハユル冰雪冬時コレヲ藏シ夏時コレヲ開キ食肉ノ祿喪祭賓客用ヒザルコト無シ コレ亦輔相調燮ノ一事トコレナリ

第八 冬日地中ヨリ發スル蒸氣ヲ遏抑シ冬天以テ暗晦ヲ致サズ 若冬日ノ地氣ヲシテ恣

ニ滿タシムレバ冬日更ニ昏暗ヲ致スベキナリ

第九 雪中ニ諸物ヲ生育スル酸鹽活機ノ氣ヲ包含ス 故ニ土地ノ肥沃ヲ醸ス

第十 雪輝ヨク諸物ヲ照明ス 故ニ北邊ニ於テ冬日ノ暗室ヲ照シ冬夜ニ明ヲ與フ

第十一 積雪尺ニ盈レバ遺蝗ヲ地下ニ驅ルコト一丈其春必震霖ノ小雨アリテ潤澤澆洽シ以テ天下ノ豊年ヲナス

第十二 學者雪ニヨリテ理學ノ諸支ヲ悟リ詞人畫工ニ至ルマデ詩賦ノ工ヲ添へ山川ノ美景ヲ圖セシム

第十三 雪ノ潔瑩比スベキモノ無ク能ク汚濁ヲ洗濯シ臭腐ヲ驅除ス 故ニ中華西洋人ノ廉潔物ノ清淨必ズコレヲ之ニ比ス 我邦由伎ノ名モ亦此義ナリ

第十四 諸山ノ雪漸ヲ以テ融釋シ常時諸川ニ適宜ノ冷水ヲ送り曾テ乾涸ヲ致サズ 以上人命ノ係ルトコロ最大 夏月ハ冷 冬月ハ溫 熱ヲ解シ寒ヲ禦グ天地ノ神工固ヨリ偶然ニ非ズ 路上ノ積雪我儕コレヲ躑過スルガ如キ豈奉戴ノ意ヲ存セザルベケンヤ

以上がその全文である。この中には例へば第四の如く、雪といふよりも寧ろ氷であらうと思はれるやうな箇所もないではないが、全體を通じては、雪の性質雪の效用を道破した

ものとして尊敬に値するのである。尤も彼は下總に住んでゐたのであるから、『北越雪譜』の著者の如く、雪から蒙る災害に就いては観るところがなかつたのか、或は矢張殿様のおほらかな気分が現れてゐるのかも知れないが、災害について餘り觸れてゐないのは面白いことと思はれる。

しかしとも角今から百餘年昔に『雪華圖説』の著者の如き人がゐたといふことは日本人のために意を強くするに足る材料であらう。

五

日本では土井利位の他には雪華を研究した人は殆どないやうである。或はあつたかも知れないが今日傳はつてゐない。最初に挙げた『北越雪譜』の著者鈴木牧之は、「雪に關する」諸の珍らしい見聞を記したが、それは『雪華圖説』とは餘程性質が異なるものである。又、『北越雪譜』にある雪華の模寫圖は「雪華圖説」から轉載したものである。

我國の人は、すべて自然の災害に對しても何となく靜かな氣持でこれを受け入れてゐる傾向が強いやうに思はれる。『雪華圖説』或は『北越雪譜』或は萬葉集、古今集、或は又俳諧隨筆などに現はれる雪は、いづれも陽氣な觀察或は諦觀、最も多くはこれを賞玩するやうな傾向をもつてゐる。勿論このことをば必ずしも日本人の惡癖であるとのみ言ひ去ることは出来ない。寧ろ泣き言に終始してゐるよりも、このやうに明るい氣持で扱つてゐる方がよいのかも知れない。

「恐いもの地震、雷、火事、親爺」とは昔から餘りにも知れわたつてゐる諺であるが、この恐いものの正體を掴まうとする精神に缺けてゐるのが日本人の一つの特異色であらう。随つて世界に類例を見ない天災國であるに拘らず、近年に至るまでそれ等の災害の科學的研究が頗るおかれてゐたのも、當然のことといはなければならぬ。われ／＼の先祖が繰返しおびやかされて來た自然の暴威、或は自然の恩恵に對して、これを忠實に觀察し、記録して置く人が多かつたならば、そしてさういふ氣風が傳統として傳つてゐたならば、それらの資料は忽ち近代科學の照明を受けて、現今の科學的研究をより長足に進歩させたであらうと思はれるのである。

眼に觸れるもの、新しい經驗をするもの、苦しめられてゐるもの、楽しんでゐるもの、これらを美しく詩化し美化して表現することに妙を得てゐる日本人の性質を私は一概にけ

なさうと云ふのではない。しかし科學日本のためには、専門學者の努力のみによつて研究が押し進められると思つて、安心してゐることは禁物である。

雪華の研究が顯微鏡がなければ出来ないと思ふ人があれば、それは迷妄である。百餘年の昔既に土井利位がなした業績を思へば、雪華の研究などはほんの一つの例に過ぎないが、あらゆる問題について、道具や器械が揃つてゐなければ科學的研究が出来ないと思ふことが科學的精神に反する道であると知らなければならぬ。雪華の研究の如きは極めて特殊な問題であつて、誰もがベントレーの如くまた土井利位の如く、それを一々觀察して描寫しなくてもよい。併し自分の楽しみのために、雪の降る日一箇の蟲眼鏡をもつてそれを自分の眼で見ることは無意味なことではない。それによつて自然の工の微妙さを知るに止まらず、寫眞や見取圖などではうかゞへぬ神祕が觀察者に雪に對する新しい興味をもたせられるであらう。凡ての事象を自分自身の眼によつて見ようとする願望、これがあれば必ずしも専門的の知識や素質がなくともよいのである。併しこのやうに自然現象を自分の眼で見る人には、やがてその科學的説明を求める氣持が出て來るであらう。遺憾なことには現在の我國にはそのやうな要求を満すべき本が極めて少い。併しそのやうな希望はやがて火となり、専門學者をして正しい知識の普及を志させずにはおかないであらう。専門科學者が通俗的な書物を書いて、自然科學の普及を圖るが先か、或は一般の人々の要求が燃え上つてそれに専門家が應ずるのが順路であるかといふ問題に對しては、私には後者がより望ましいことと思はれる。

六

次に現在各國の雪の研究はどんな工合であるかといふに、その一番大きい機關としてはインターナショナル・コンミッッション・オブ・スノー（萬國雪協議會）といふ學會があつて、これはアメリカのチャーチ博士が會長、ポーランドのドロヴォルスキー教授が副會長となり、世界八十箇國の氣象學者及び雪に關係のある研究をしてゐる物理學者或は工學者などを會員としてゐるものである。我國でもこの會員になつてゐる學者が數名ある。その主な仕事としては、四年に一度國際的の會議をして、そこで雪の問題を互に連絡して研究しようといふのが目的である。この中でも現在の所、英國の部會が最も活潑に研究を開始して居て、時々支部會を開いて盛んに討論をしてゐるやうである。雪の研究に萬國

協議會を作るなどといふと少し大げさのやうに考へられるかも知れないが、今日學問的のあらゆる研究に於いて、この世界各國の研究者が互に連絡をとることは最も必要なことなのである。今日世界の情勢が急迫して、各々の國が鎖國的態度を取らうとしてゐることは、科學の進歩といふ點から云へば、寒心に堪へぬ次第である。

七

雪とは一體何であるか。それは簡単に云へば水が氷の結晶になつたものであるといふことが出来る。併し普通の水が凍ればそれが雪になるかと言へば、決してさうでないことは誰でも知つてゐる通りである。池の水が凍つたものを雪と呼ぶ人はない。雪解の水や瀧の流れが凍つて棒状になつても、それは水柱であつて、雪にはならない。凡てわれ／＼が普通に知つてゐる氷は液狀の水が凍つたものであるが、此の種の氷は雪にはならないのである。

雪は水が氷の結晶となつたものなのである。それで結晶とはどんなものであるかといふことを簡単に述べることとする。結晶について詳しく學ぶことは、非常にむづかしいことであつて、その述説は恐らく一冊の本になるであらうが、此處で必要な程度に結晶の定義をいへば、「物質を作つてゐる原子が空間的に或る定まつた配列をもつて並んだものである」といふに盡きる。結晶と關係して結晶質といふ言葉がある。元來物質には、無定形と結晶質とがあつて、無定形といふのは、その物質の構成原子が、勝手に滅茶苦茶な配列になつてゐるものことであつて、硝子などは無定形の代表的なものである。結晶質といふのは、之と反對に原子がある規則正しい配列をして居る時を指すので、この結晶質の物質は微結晶集合と、所謂結晶とに分けることが出来る。

所謂結晶といふのは、原子の規則正しい配列のために、その外觀までが定まつた形をしてゐるものを指すのであつて、結晶といへばすぐに水晶などのことを聯想するのが例となつてゐるであらうが、水晶は外郭まで規則正しい形になつてゐる方の結晶の代表的なものである。しかしそれではあの六方石（水晶）をいろ／＼の形に磨いて、圓い玉とか四角な置物とかいろ／＼に細工をしたならば結晶ではなくなるかといふ疑問が起きるかも知れないが、さうではないのである。一寸考へると、六角柱の水晶を圓い玉に磨いたり、或は印形にしたりすると、天然のものとの外觀と違つて來るから、結晶とは云へないのではないか

といふやうな疑念が生じ易い。しかしこれは最初に述べたやうに、物質を作つてゐる原子が、規則正しい配列をしてゐることには少しも變りはないのであるから、その結晶質は失はれて居ないのである。水晶の外にもダイヤモンド、螢石、方解石など、及びわれ／＼が寶石と呼んでゐるものの大部分は結晶である場合が多い。次に微結晶といふのは、微小な結晶が澤山集つて一つの塊をなしてゐるものであることであつて、その一つ／＼の結晶そのものは、勿論結晶の定義通りに原子の配列が規則正しいのであるが、全體としては無定形に近い構造となり、随つて外形も決つた形にはならない。普通の金屬、例へば鐵とか銅とかいふものは微結晶の集合である。そして水から凍つた氷も亦普通には微結晶の集合なのである。もつとも特別の場合には結晶性の氷が水から凍ることもあるがそれは例外の場合である。

八

しからば雪は何であるか。それは前にも述べたやうに、「水が氷の結晶となつたものでこれは純粹の結晶である。雪は空の高い處で出來てそれが漸次成長しながら地上に降りて來るものである。此の時上空高く存在してゐる水が凍るのであるが、この空中の水といふのは水蒸氣のことである。

普通に氣體が冷却されたり壓縮されたりすると液體となり、その液體を更に冷却すると固體になる。この逆に固體を熱すれば液體となり、更に液體を熱すれば氣體になる。これを水の場合にすれば氷、水、水蒸氣と三つの状態の間を變化するのである。日常目撃する現象はこの三つの状態間の變化であるが、この外にも固體から氣體或はその逆に、途中の液體の状態をとばして變化することもあるのである。即ち水蒸氣が非常に氣温の低いところで凝縮する場合、水の状態を飛び越して固體、即ち氷になるのである。この固體から直接氣體になり、又は氣體から直接固體になる現象を一般に昇華作用と呼んでゐるが、雪は此の昇華作用によつて水蒸氣が直接に氷になつたものである。即ち昇華による固化といふ現象によつて空氣中に生じた氷が地上へ降りて來たものがわれ／＼の所謂雪なのである。大氣中でも水蒸氣が水になり更にそれが凍る現象もあるが、その場合は凍雨となるのであつて雪にはならない。

一般に水蒸氣の凝縮によつて大氣中から降下するものには雨、雪、霰、霰、雹など澤山

の種類があり、それ等の生成機構はそれ／＼異つた性質を持つてゐるのであるが、雲や霞のことに就いては後に改めて觸れることとする。

之等の各種の降下物の成因は、空氣中の水蒸氣の濃度、溫度、氣流の問題などいろ／＼の事柄によつて支配されるもので、此處ではそれ等の詳しい點にはふれない。兎に角溫い水蒸氣が自然對流で上層へ昇つて行き、且つ風によつて異なる地點に運ばれて行つて、氣溫の十分に低いところで昇華作用によつて固化した場合に雪が出来る。これが最も簡単な雪の成因の説明である。

九

さて、水蒸氣が凝縮して雪になるには芯になるものが必要である。丁度われ／＼が子供の頃食べた金米糖を作る時、砂糖をとかした中へ芥子の實を入れて動かして居ると、その芥子の實が芯となつてそれに砂糖が附いて金米糖が生長するやうに、雪の芯となるものが必要なのである。この芯になるものは、空氣中の塵や鹽の微粒子又はイオンなどであつて、この芯のことを物理の方では核と呼んでゐる。これらの核が上空高らかに存在して居て、

それに水蒸氣が附着して出来る雪の最初の状態のものは、普通に氷晶と呼ばれるものである。この氷晶は六角柱の頭に六角錐がついたものと一部の學者間には信ぜられてゐる。此の氷晶については後に改めて説明をする。

氷晶の核になるものが塵や鹽の微粒子やイオンなどであるとすると、之等のものがどのやうな状態で大氣中に存在するかを説明する必要がある。先づこゝでいふ上層の空氣中に浮游する塵といふのは、われ／＼が普通に塵と呼んでゐるものよりも遙かに小さいものである。

即ち塵といつても、普通われ／＼が塵と呼んでゐるものと分子との中間位の大きさの固体と思へばいゝであらう。固体の一番小さいものといつても、例へば針の先とかほこりの粒子とかいふ程度の即ち高倍率の顯微鏡で見える位のものは、分子の數からいへば何億兆といふ莫大な數字を以て現はさねばならないものである。併し大氣中には特に上層にはそれ等地上の塵埃よりも桁ちがひに小さい塵が無數に存在して居るので、その大きさは分らないのであるが、大體分子が何萬とか何百萬とか集つた程度のものである。之等の塵は空氣コロイドとも云ふべきものである。大氣の上層で雪の核になる塵といふのは此の種のも

のであらうと思はれる。

大氣中には、このやうな細塵が、如何なる場所、如何なる時にも充滿してゐる。到る處にそんなに塵が一杯にあつては、われ／＼の生活に差支へがありはしないかと考へられるかも知れないが、そんなことはないやうである。先にも述べたやうに、それは非常に小さいもので、恐らく、われ／＼が一口に空氣と云つてゐるものは、この細塵を澤山含んだ空氣のことなのである。

この細塵は太陽の光との合奏によつてわれ／＼に青空を與へてゐる。若しも空氣中に此の種の細塵がなかつたなら、われ／＼は青い空を見ることが出来ないのである。

空が青いといふことは、空氣が青いのではなく、空氣はもとより無色透明のものである。空から來る光は、日光の中の青い光が空氣の分子や空氣中に浮んでゐる此の種の細塵に散亂されて、青い光となつて人間の眼に入るのである。もと／＼日光の中には赤も黄も緑も即ち虹の七色があつて、之等の色は光の波長のちがひから生じて居るのである。即ち色々の波長の光の集りである。日光が空氣の分子や細塵に當つて散亂される時に、その波長がこの空氣の分子や細塵よりも更に小さい光だけがよく散亂されるのであつて、波長の長い

ものは、これらの微小固體があつても、それでは散亂されずにどん／＼通つてしまふのである。それは丁度川や湖などで色々の波が岸へ寄せて來る場合に、岸から少し離れたところに碇を下ろしてゐる船があるとすると、小波は舟に遮られて反射されてしまふが、大波は船にあたつてもかまはずに通越して岸に寄せてくるのと似たやうな現象なのである。即ち空を仰いで居る人間の眼に入つて來る光は、空氣の分子や細塵のために散亂された波長の短い青色の光が多い爲に青く見えるのである。

古來青空の美しさは多くの詩歌にも歌はれ、人々の心持を爽けく、晴々と豊かにするものであるが、その青空が空氣中の塵のために出來るといふことは、面白いことであらう。それではこの大氣中に充滿し浮遊してゐる細塵とは一體何であるかといふと、例へばその一つとして煙の粒子などを擧げることが出来る。或はまた鹽の分子の集合から成るものもある。それは浪の爲に海水の一部がちぎれて極微な粒子となつて空中に四散して上昇して行つたものなのである。これらの細塵や鹽の微粒子が凝縮の核としては一番役立つものであるが、それ等が大氣中に少い場合にはイオンが凝縮の芯になる場合もある。

以上に述べた大氣中の細塵やイオンは雪の核となるばかりではなく、雨とか雲とか霧な

どの成因ともなるのである。

10

雪とは直接関係がないが、大氣中の細塵が霧の成因となるといふことを最もよく説明する事柄をこゝに記して見よう。われ／＼は、昔からロンドンの市街に霧が深いといふことを聞いてゐる。霧はロンドンの名物と迄云はれてゐる位である。以上に述べた大氣中の細塵の研究は、實はロンドンの霧の研究委員會の仕事として發展して來たものなのである。ところが、東京も年毎に霧が深くなつて行くやうである。これは古老の言を待つ迄もなく、われ／＼自身も屢々見てゐるところであつて、殊に晩秋から冬にかけて、夕方から市街一面に知らぬ間に下りて來る霧は、十米先の物もかくしてしまふやうな状態となり、自動車はその速度を落し、街の灯は霧の中へ沈んで、日中や晴れた夜には凡そ想像もつかぬ景觀が出現することがある。何故に近年東京がこのやうに霧の深い都會になつたかといふことは、東京が凄じい發展膨脹をして、人口が殖え、自動車の數も増し、煙突から吐き出される煙の量も著しく増加したといふことによつて説明されるであらう。この日中に大氣の中へ吐き出された多くの細塵が核となつて、夜と共に冷却された空氣中の水蒸氣を凝縮して霧となるのである。東京の霧が年毎に濃くなつて來たことは、東京が繁榮して來た一つの現れであることは確かであるが、同時に又空氣中の細塵をより少くするといふ努力が全然拂はれてゐないといふことにもなるのである。

この他大氣中に浮遊する細塵としては、煙や砂漠の砂塵や又は火山から噴き出した灰など頗る多くのものを擧げ數へることが出来るであらう。

次に細塵と共に水蒸氣の凝結の芯となるイオンとは何であるかをも簡単に説明して置かう。イオンといふのは電氣を持った微粒子であつて、正電氣をもつたもの即ち陽イオンと、負電氣をもつたもの即ち陰イオンとがある。大氣中に含まれてゐる之等陰陽のイオンには大小二種類あつて、その一つをモル・イオン或は小イオンと呼んでゐる。ラヂウム類の放射性物質、紫外線などの作用を受けて、空氣の分子の中から電子が追ひ出されて、所謂自由電子となり、それに中性の分子が幾箇か集積したものが、陰イオンになるのである。又電子が追ひ出された残りの分子は、陽の電氣を帯びてゐるが、これに又中性の分子が數箇附いて陽イオンになるのである。是等は何れもモル・イオンであつて、その大きさは分子

の大きさ程度のものである。此等のイオンが水蒸氣の凝縮の核となることは、細塵と同様であるが、細塵よりも凝縮し難い。即ち水蒸氣が細塵の場合よりもつと過飽和の状態にある時にはじめて凝結の核となり得るものである、他の一つのイオンといふのは、このモル・イオンが空氣中に浮遊してゐる霧滴、煙の粒子、細塵などに附着して出来る質量の大きなイオンである。これはフランスのランジュバンが初めて巴里の大氣中で発見したので、発見者の名をとつてランジュバン・イオンと呼ばれてゐる。或は單に大イオンとも云ふ。これは著しい吸濕性をもつてゐて、空氣が左程過飽和の状態になつてゐなくても、水蒸氣の凝縮が起る。比較的低い所、例へば地上二千米迄位の大氣中で水蒸氣の凝縮が起る時は、その核となるものは細塵とこのランジュバン・イオンであらうと思はれてゐる。ロンドンの霧などは各家庭で焚くストーブの石炭の煙が核となつたものであるといふことが分つて居る。

此の頃になつてイオンが衛生學上にも重要な問題となつて來た。例へば雨上りの清々しい大氣の中には陰イオンが多く、又活動小屋の中などで空氣が汚れて頭が重くなるといふやうな現象も、その空氣中にある炭酸瓦斯などの作用ではなく、陽イオンが多くなる爲といはれてゐる。これを要するに本書の讀者は、雪の核となるものは、大氣中にある細塵と鹽の微粒子とそしてイオンなどであるといふことを知つて貰へればよいのである。

一一

極めて上層の氣温の低いところで、結晶の核に水蒸氣が凝着して最初に出来るものは、水晶のやうな頭の尖つた六角柱の極めて小さい結晶である。これを氷晶と呼ぶ。ところで非常に高い空中に出来る之等の小さな形態の氷晶が、水晶のやうな六角柱のものであるといふことがどうしてわかるかといふ疑問が起るのは當然のことである。それは地上で觀測出来る現象から理論的に色々推理をして、それに數學的の計算を應用して推論するのである。それには時々觀測される暈(ハロ)といふ現象を利用するのであつて、この暈の大きさから氷晶の形を推論するのである。

われ／＼がよく見る普通のハロは、太陽や月のまわりに圓く出るものが多い。俗に傘といふのがそれである。このハロが太陽や月のまはりに出来ると天候が變ると昔から云はれてゐるが、實際上可なりの程度に適中するやうである。この普通のハロは何故出来るかと

いふと、多くは日や月の面が雨雲で覆はれた場合、太陽や月から来る光が雨雲の無數の微小水滴で散亂される爲なのである。それでハロの大きさを測定すると、それに光學上の理論を適用して、ハロを生ずる雨雲の水滴の直径が計算出来るのである。これが普通われわれの見受ける所の即ち雨雲に出来るハロであるが、稀には卷雲や卷層雲にハロが現れることがある。

卷雲といふのは一番高いところに現れる雲であつて、その場所の氣温は零下十度或はそれよりもすつと以下と考へられる。所でさういふ氣温の低いところでは水滴は存在し得ないことは明かであるから、この卷雲或は卷層雲は水晶であらうといふことが考へられるのである。

今われわれの問題に直接關係のあるのは卷雲或は卷層雲であるが、一應雲の名稱について説明しよう。雲には云ふ迄もなくいろいろの種類があつて、その千種萬態の様子は説明が困難な位であることは誰もが毎日目撃する通りである。しかし雲の研究は氣象學上非常に重要なものであるから、國際氣象會議中にも國際雲委員會が別に設けられて、この研究に當つてゐるのである。我國に於いては、藤原咲平博士がその權威者であつて、「雲」とい

ふ立派な著書が出てゐるから、その方に興味のある方はこの藤原博士の「雲」を繙かれるのがよいであらう。

要するに雲はどうして出来るかといへば、「水蒸氣を含んだ空氣が上空へ昇つて行つて其處で冷却されるに當り水蒸氣が凝縮して析出するためである」といふことが出来る。

雲の形は非常に多く一見すると到底これを分類することは出来ないやうに見えるが、しかし雲の型からいへば、何處に見られる雲も同じで差別はない。又浮ぶ高さも種類によつて略一定してゐるのであつて、低いところに起る可き雲が高い所に生じ、高いところに生ずべき雲が低いところに生じるといふことは無い。それ故に萬國共通の分類が出来るのであつて、前記委員會によつて、雲の種類は十種類に分類されてゐる。

ところで、十種類の雲の中で一番上層に出来る雲が卷雲である。これは青く晴れた大空に空の一方から一方へ眞直に數條或は數十條の美しい筋雲となつて走つてゐる薄い雲である。この卷雲は層々として濃く重つてゐる雲や、薄黒く空一面を覆ふ雲などとは異り、一見如何にも高い空にあるといふことが少しく注意すればわかるのである。この卷雲のことを國際語では Cirrus (略稱 Ci) といひ、俗にはすぢ雲と呼ぶ。雲の分類中第一の上層に

生ずるものと分類されてゐる。第二は巻層雲であつて、國際學名は *Cirro-stratus* であり、俗にはうす雲と呼ばれてゐる。白色をして居り、その形態は淡い扁平なもので、時には全天を覆ひ單に乳白色を示すこともあり、又時には亂れた蜘蛛の巣狀の組織を示すこともある。

この二つは共に上層雲と呼ばれ、また一括して白簞雲とも云はれてゐて、八千米以上の上空に出来るのであるが、日本では一萬米以上のことが多い。かゝる上層の雲は氷晶であるといふことは前に述べた通りである。されば、夏の日地上のわれ／＼が炎暑に苦しめられてあへいで居る時、上層を流れる白雲の世界は零下十度或はずつとそれ以下の寒冷の大氣に充ちて居るのである。このことは一寸不思議な感じを一部の人々に與へるかも知れない。

次に少しく岐道にそれるが、白簞雲の流れる上層の世界が何故このやうに氣温の低いところであるかといふ理由を一言述べておく必要があらう。

このことは氣象學の方では詳しく研究されて居ることで、例へば岡田博士の「氣象學講話」の説明を借りると、次の如くである。

大氣中では、高所に昇るに従つて氣壓が減少する。今茲に空氣の一塊が高い所へ昇つて行くと、四方からこれを壓してゐる外氣の壓力が減ずるから、その空氣の塊は漸次膨脹する。しかるに膨脹するに當つては、外氣の壓力に反抗して、容積が増すために、自己の内部のエネルギーを消費する。凡て氣體の温度の昇降は、自己の内部のエネルギーの増減によるから、この空氣塊の温度は上昇するに従つて漸次に低くなる。勿論この空氣塊には、太陽の輻射も當れば、又四方の空氣からも熱を傳へるから、空氣塊は全く他から熱を取らず、又他へ熱を奪はれないとは云へないが、元來太陽の輻射を吸収するのは至つて少いものであり、且つこの空氣塊が可なり速かに上昇すれば、四周の空氣から熱を取るか取られぬかする暇がないから、結局この昇騰空氣には熱の出入りがないと見ても大過ない。理論上から計算する時は、この上昇する空氣の中に全く水蒸氣がないとすると、百米昇る毎に約一度冷却する割合になる。又水蒸氣を多少含んでゐても、飽和に達しない内は矢張同様の割合で冷える。しかし若し水蒸氣で飽和してゐると、上昇して冷却するにつれ、水蒸氣の一部は凝結して雲になり、その時水は潜熱を放散するから、冷却の度が緩慢になり、百米昇る毎に〇・五度位の割合に温度が低くなるのである。尤もこれは水蒸氣の分量による

から一概に論ずることは出来ないが、略この位の割合に考へて差支ないのであらう。

一一

此の説明で上空は地上よりも寒いといふこと、白雲の生じてゐるやうなところでは氣温が零下十度或はそれ以下にもなつて居るといふことが分るであらう。實際飛行機に乗る人が、上空では地上で想像もつかぬ寒さに、遭逢してゐることは、誰でもきいてゐることである。

さて之等の上層雲にたま／＼生ずるハロが氷晶であるといふことは、もつと下層の雨雲に生ずるハロとは直径、即ち視角が異なるのでわかるのである。このハロの成因をよく研究したのはアメリカのハンフリースであつて、その研究の結果、上層雲を形成するものは頭の尖つた即ち角錐のついた六角柱の氷晶であつて、之に光があたつて屈折することによつて出来るとすると説明が出来ることが分つた。そして角錐の頭の角度を約五十度とするとハロの直径が計算され、その値が観測値と一致するのである。故に卷雲或は卷層雲は頭の尖つた六角柱の氷の結晶から成るものであると見るのが現在の所可なりの定説となつてゐる。

るのである。随つて、雪の出来初めの状態も亦この種の氷晶であらうと考へられてゐるのである。實際頭に角錐の付いた六角柱の雪の結晶で、もつと大形のもものが時々地上でも観測されるのであつて、後述砲弾型として紹介するものは此の種の結晶なのである。

ところでこの氷晶は地上一萬米もの上空に生ずるものと限られてゐるかといふと、稀には地表に近いところに現れることもある。北海道などでは、非常に氣温が低くて風が無く、水蒸氣の量が適當の場合には、地表に近い大氣中でこの氷晶が出来ることがある。しかし氷晶といふものは元來非常に小さいものであるから、普通の肉眼では見ることは出来ない。しかし朝日が射してゐるやうな時には、チカ／＼と光つて見えるので、これをダイヤモンド・ダスト（ダイヤモンドの塵）と呼んでゐる。山岳スキー家などの云ふダイヤモンド・ダストは、この本來の氷晶を指す場合も稀にはあるが、多くの場合には非常に小さい粉雪が風で吹き上げられて、空中を浮遊してゐるものに朝日があたつてキラ／＼するのを指してゐることが多い。こゝでいふ本來の意味での氷晶は北滿ではしば／＼見られるさうである。それは簡単に云へば霧の凍つたものなのである。

上層に氷晶が出来てこれが大氣中を落ちて来る間に、水蒸氣が昇華によつて、その周り

へだん／＼凝縮して附加してゆくと、普通に見る雪の結晶となるのである。この雪の結晶の生長の過程で、氣温や水蒸氣の量などが異ると、雪の結晶の形がいろ／＼に異つて來るのである。このことは、「雪を人工的に作つて」見ることによつて、はつきりとわかるのである。その點は後の章「雪を作る話」で詳しく述べることにする。

さて比較的上層では、これらの結晶は各々獨立に、地上に向つて落ちて來る。地表に近くなつて、氣温が零度に近いところがあると、結晶は互に衝突しながら落ちて來る間にお互に附着し合つて、地表へ達する時には數十乃至數百の結晶が一つの塊即ち雪片になつて來るのである。これが即ちわれ／＼によつて牡丹雪或は綿雪と呼ばれてゐるものである。

牡丹雪或は綿雪と呼ばれてゐるものは、割合に溫暖の地に降ることは人の知るところであつて、その大きさは、時には直徑十五纏にも及ぶものがあることが記録されてゐる。みるみるうちに大雪の積るのは多くこの種の雪で、隨つて雪害が問題となる場合は、主としてこの種の雪の時である。

氣温が地表近くまでずつと低い場合には、結晶は互にふれ合つても附着しない爲に、個々の結晶のまゝで地表へ達する。この種のもものは、サラ／＼としてゐて、手で握つても塊とならないことが多い。スキーなどに好適なのは此の種の雪であつて、靴などで踏むとよくキユツキユツと音がする。北海道や高山地方などの雪は多くこれである。また俗に戶外を人が通るときキユツキユツと雪の音がする時は寒いといふのもこの種の雪を指して居るのである。これは普通に粉雪と稱せられて居るのであるが、この「粉雪」といふ言葉が實は甚だ曖昧な言葉なのである。

一三

「粉雪」と一般に呼ばれてゐるのは牡丹雪に對してサラ／＼した雪のことを指して居る場合が多いので、北海道では冬の初めと終りには牡丹雪も降るが、眞冬の間は、粉雪ばかりだなどといふ場合に使はれる粉雪はこの意味である。この場合の粉雪とは牡丹雪に對する言葉であつて、それは雪片の状態の名稱と見るべきであらう。氣温の高い地方での降雪が大形の牡丹雪になることは事實であつて、横濱で觀測された記録では前にも述べたやうに直徑十五纏にも及んだものがある。風がなくて餘り寒くない日、小さい團扇位の雪片がひら／＼と降つて來る景色は餘程のどかで楽しい眺めであらうと思はれる。

北海道の眞冬の降雪はそれと反對に極めて引締つた感じの日が多い。風の無い夕方から小形の牡丹雪が降り始める日など、遠くの山も人家も薄鼠色に消えて行くのを背景に、眞白く音もなく積つてゆく。その中に一陣の風が来ると急に雪の形が變つて、今度は極めて細い個々の結晶が硼酸の結晶をまくやうに降つて来る。何だか耳を澄ますと空でサラ／＼といふ音を立ててゐるやうな感じである。こんな時の降雪の状態も粉雪といふことになつて居るのであるが、この意味での粉雪は、雪の結晶が個々の状態で降るといふだけであつて、その結晶は六花樹枝状のものでも、角柱その他のものでもかまはないのである。即ち粉雪といふ言葉を單に結晶が個々離れ／＼の状態で降るといふ意味に使つて居るのである。今一つ全く別の意味で或る特殊の雪の結晶を粉雪と呼ぶこともある。これも北海道の話であるが、夕方から急に氣温がどん／＼下り、零下十何度といふ寒さにかつて加へて風もかなり強いといふやうな晩のことである。外では鋭い風の音がしてゐる。部屋の中でストーヴに暖つて話してゐるうちに、ふと立つて廊下に出て見ると、何處から吹き込んだかわからぬやうに一面に眞白に、水晶の粉のやうな雪がまかれる。かなり建てつけがよくなつてゐると思はれるやうな硝子戸の隙からもこの種の粉雪は平氣で舞ひ込むのである。博物

館の陳列箱の中には、どのやうにしつかりした箱にして置いても、永い年月の間には埃が溜つて困るものである。その埃が目に見えぬ位の隙間から侵入する理由は、温度の時間的變化によつて、箱の内部の空氣が膨脹收縮するためによるものであるといふ研究があるさうである。粉雪の場合にもこれと同じやうなことがある。雪の場合では室内の空氣が暖つて天井に逃げるために、この種の粉雪の侵入を促進してゐるものと思はれる。この種のものは外觀上はうどん粉位の粉こなに見えるのであるが、その顯微鏡寫眞をとつて見ると、非常に小さい角柱状の結晶の集合から成つてゐる場合が多い。

雪の結晶の二大別として、平板状と角柱状とが擧げられる。角柱状のものは全部六角の柱になつてゐて、顯微鏡下では、丁度水晶の結晶のやうな外觀を示すものであるが、この種の粉雪の場合は、角柱が全體として非常に小さい計りでなく、其の脊が低いために横から見ると四角形に見えるやうなものが澤山集つて、それに極めて小さい平板状の結晶部分が附着してゐる場合が多いのである。此のやうな場合に用ひられる粉雪といふ言葉はそれで、結晶の種類の一つの名稱であるといつても差支へ無いやうである。

以上に擧げたやうな意味での粉雪は、結局雪片又は結晶の或るものを指して居るのであ

るが、普通スキーヤーの喜ぶ粉雪といふのは、之等とは全然意味が異つて、地表に積つた雪、即ち積雪の中の一つを呼ぶのに用ひられてゐるのである。停車場の告知板に「積雪一〇〇糎粉雪」と書いてあるあの粉雪である。この場合になるともはや雪の結晶は問題にならなくなる。それは降つた時こそ六花状や角柱状の色々な形をしてゐる結晶も、長らく積雪となつて地表に横はつて居る間には、すつかり變形して氷の粒子となつてしまふのである。氣温が時々零度以上になるやうな地點では勿論のことであるが、氷點以下に保たれてゐても、結晶はどん／＼變化する。それは固體の状態から直ちに氣化して又凝縮するといふ現象、前に述べた所謂昇華作用のために、結晶の尖つた部分が氣化して凹んだ部分に凝縮し、結晶は全體として表面積が一番小さくなるやうに變形するのである。それで氣温が零度以下に常に保たれてゐるやうな地點では、積雪は氷の粒子の集積となるのである。滑らかな直滑降に、スキーはすばらしくよく走り、後には高く雪煙りが揚がる。そのやうな雪質は理想的の「粉雪」即ち積雪の性質の一つを現はす意味での粉雪なのである。粉雪といふ言葉を雪質を表はすものとして使ふとすると、それは濕雪しつせつ或は俗にべと雪といふ言葉に對照させて見るのが一番早道である。このやうな問題を科學的に取扱ふとなると今更のやうに「科學の言葉」の不足に悩むのである。

一四

雪片が零度以上の氣温の場所を通つて來ると、即ち地表に近い所の氣温が高い時には、地表に近づくにつれてその一部がとけることがある。それが普通に霰と呼ばれてゐるものである。また霰は雪の結晶に雲の微水滴が澤山ついて出來たもので、霰とは異ふものである。霰のことは次の章に詳しく述べることにしてこゝには觸れない。

また霜は雪と似たものであるが、霜を仔細に觀察すると二種類あることが分る。一つは無定形な氷から成り、他は結晶質から成つてゐる。前者は、氣温が零度以下ではあるが、比較的暖い時に出來るもので、後者はすつと寒い時に、即ち氣温が零下十度内外或はこれ以下の時に出來るものである。

結晶質の霜は、水蒸氣の昇華凝縮によつて出來るもので、雪の結晶の一枝と殆ど同様の構造をもつてゐるものである。即ち雪の結晶と霜の結晶との差は、單に雪の方は空中で核から發達したもので、霜の方は地物から發達したものであるといふ點に歸せられるもので

ある。しかし霜の場合は地物の熱的影響のために雪ほど完全な結晶は出来難いので、雪の場合のやうに千差萬別の種類は生じないのである。

もつとも霜の結晶にも平板状、針状、角柱状などの種類はあるので、本質的には雪の場合と異らないのである。その點は「雪を作る話」で詳しく述べることにする。又こゝでいふ無定形の霜といふのは、東京地方などで、晴れた夜屋根などに白く見えるものを云ふのである。結晶性の霜は冬スキーなどに行つて少し高い場所でも山小屋の壁などに見られることが多い。

霜柱は霜とは成因の全く異つたものである。あれは土の中の水が凍つたものであつて、普通水から凍つた氷は結晶にならぬことは前に述べた通りであるが、霜柱の時は例外であつて、土の特殊の性質によるものである。霜柱は關東地方の赤土に最も顯著に出来易いもので、外國では餘り出来ない。

第三 北海道に於ける雪の研究の話

一

私の雪の研究もベントレーといさゝかの關係を持つてゐる。一九三一年に彼の Snow Crystals が出版されたことは既に述べた通りである。彼の雪華の寫眞は前記の如く科學的に見て幾分不備の點を持つてゐるのであるが、そのやうな缺陷はそれとして、兎に角三千の雪の結晶の寫眞を並べて見ると、その中から涌いて來る自然の工の持つ一つの雰圍氣は私に強い感動を與へた。彼の寫眞は時折少數宛米國の氣象學の専門雜誌に從來も發表されて來たものであるが、斷片的に見た彼の研究と、今かうして一生の仕事を纏めたものとを比較して見ると、その人を動かす力がまるで違ふことも面白かつた。そして彼のこの寫眞帳の出現は、私の前から心がけながら延びくになつて居た日本に於ける雪の研究に着手しようといふ企てに對して引き金の役をつとめてくれたのである。

今一つの理由は私が勤務の都合上札幌に住むやうになつたといふことを擧げることが出来よう。半年の間雪に埋れた生活をしながら、私はベントレーの本を手にして日本の雪の姿を色々と思ひ見た。そして初めはとても彼のやうに綺麗な寫眞は撮れないだらうがと思ひながら、とにかく自分で先づ手をつけて見ることにしたのであつた。それは丁度ベントレーの本が出版された翌年即ち今から六年前のことである。

かういふ問題にとり付く一番平易な方法は、先づ雪そのものをよく観るといふことと、着手の億劫を避けるといふことである。先づ何よりも雪のとけないやうな寒いところではなくてはこの實驗は出来ないで、學校の附屬室の方へ行く廊下の片隅で始めることにした。此處はチームも通つてゐないし、冬になるととても寒いので餘り人も通らず先づ屈竟な場所といはねばならない。其處へ實驗臺の小さいのと、顯微鏡とを運んで、冬の間は一度も開けたことのない引戸をすつかりあけ放つとそれで準備は出来たのである。

札幌の一月は大體氣温は零下七八度位である。凍りついた引戸を無理にあげると、廊下のコンクリートの路面から二尺位も積上つてゐる吹溜の雪が音もなく崩れてコンクリートの上へ流れ落ちるのであつた。そこで硝子板を紙へ包んで外へ出して置いて、すつかり冷

え切つた所を取り出し、降つて来る雪をその上へ受取つて顯微鏡で覗くことにした。一二三度やつて居る中にわかつたことであるが、雪を受ける硝子板はよく冷えて且つ乾いて居る必要があつた。それには硝子板を紙に包んで零下十度の戸外に放置して置けばよいのである。顯微鏡の下に顯出した雪の結晶は成程今まで寫眞で見たやうな形をしてゐる。實のところ本物の雪を顯微鏡で覗いて見たのはこの時が初めてなのである。寫眞では黑白の線しか分らないのであるが、眼で見た時は、こまか細い小凹凸がある爲に、繊細なあの模様縁に空の光が反射して、水晶細工のやうな微妙な色が見える。水晶の針を集めたやうな實物の結晶の巧緻さは、普通の教科書などに出てゐる顯微鏡寫眞とはまるで異つた感じであつた。冷徹無比の結晶母體、鋭い輪郭、その中に鏤められた變化無限の花模様、それらが全くの透明で、何等の濁りの色を含んで居ないだけに、その特殊の美しさは形容を見出すことが困難な位であつた。

しかし完全な結晶といふものは稀であつて、色々な形の汚い結晶が混つて居るのでそれを取り除けるのが一骨であつた。結局マッチの軸の頭を折つて、そのさくくれた纖維の端で欲しい雪の結晶を吊し出して綺麗な硝子板の上へ持つて来ることになつたのであるが、

どうも結晶がとけ易くて困った。しかし色々やつてゐるうちに、それは手の温みによる輻射熱と手で温められた空気の対流とによることが分つたので、手袋をはめることによつて難なく解決された。手袋を、手から出る温みを遮断する爲に用ひるのは一寸面白いが、考へて見るまでもなくすべての防寒具の目的とするところは結局同じことなのである。

手袋をはめると仕事は益々面倒になる。暫くやつてゐるうちに、いくら外套をきこんでゐても何時の間にか身體がすっかり冷え込んで、氣がついて見ると足は小刻みにコンクリートの上をとん／＼と踏んでゐる。慌てて暖い室へ逃げ歸つて、スチームの放熱器に腰をかけて暖まるのである。

こんな騒ぎをしてやつと顕微鏡寫眞をとることは出来たのであるが、今になつてその頃の寫眞をとり出して見ると随分下手な寫眞である。それでも初めて現像して見て、結晶の像が出て來た時はとても嬉しくて、濡れた乾板を持つて同僚の友人の所へ見せに行つたのであるから、随分滑稽な話であつた。そんな事をしてゐるうちに最初の年の冬は明けて了つたのであるが、その一冬の間毎日のやうに雪の降る度にかうして撮つた寫眞を集めて見ると可成りの蒐集が自然に出来上つた。それを見ると面白いことには、日本の雪の結晶は

非常に種類が多く、今迄世界中で澤山の學者が五十年もかゝつて撮つた結晶の各種類のうち殆ど大多數のものが、僅か一冬のかうした暢氣な觀察で見付かつたのであつた。これは勿論わが國の氣象状態が非常に複雑で變化の多いことから諒解されるのである。それでその年の春には、測候所から冬中の天氣圖を借りて來て、今迄集めた雪の結晶とその天氣圖とを較べて「我國に於ける雪の結晶と氣象條件との關係」といふ論文を書いて、第一期の雪の研究はそれでお茶を濁して置くことにした。今から見ると冷汗の出るやうな代物であつたが、兎に角それだけの仕事でもして置くと、次の冬からは雪の研究にも色々の便宜が得られることとなつた。

二

次の冬の正月休みの前になつて巧いことを思ひついた。それは十勝岳の中腹三千五百尺のところにある、山林監視人のために出来てゐるヒュツテの白銀莊といふのを借りることである。それを借り受けて、皆で出かけ雪の降る日は結晶の寫眞を撮り、天氣の良い日は仕方がないからスキーをやらうといふ案なのである。驛から五里の雪道を、原始林の間を

縫ひ、馬桶で顕微鏡だの寫眞の道具だの食糧だのを運ぶのは大仕事であつたが、計畫は見事成功した。白樺の老樹の細い枝が樹氷につつまれて空一面に交錯して居る間に、僅か許りの空所があつて、その間を靜かに降つて來る雪の結晶は、豫期以上に纖細巧緻を極めた構造のものであつた。夜になつて風がなく氣温が零下十五度位になつた時に靜かに降り出す雪は特に美しかつた。眞暗なヴェランダに出て懐中電燈を空に向けて見ると、底無しの暗い空の奥から、數知れぬ白い粉が後から／＼と無限に續いて落ちて來る。それが大體きまつた大きさの螺旋形を描き乍ら舞つて來るのである。そして大部分のものはキラ／＼と電燈の光に輝いて、結晶面の完全な發達を知らせてくれる。標高は千百米位に過ぎないが、北海道の奥地遠く人煙を離れた十勝岳の中腹では、風の無い夜は全くの沈黙と暗黒の世界である。その闇の中を頭上だけ一部分懐中電燈の光で區切つて、その中を何時迄も舞ひ落ちて來る雪を仰いで居ると、いつの間にか自分の身體が靜かに空へ浮き上つて行くやうな錯覺が起きて來る。外に基準となる物が何も見えないのであるからそんな錯覺の起きるのは不思議ではないが、然しその感覺自身は實に珍らしい今迄知らなかつた經驗であつた。ヒュツテの中には部屋の眞中に大きいストーブがあつて、番人の老人が太い三尺もある

立派な丸太を惜し氣もなくどん／＼燃してくれて居る。其處で十分暖まつてから防寒外套を着て、ヴェランダに出て寫眞をとるのである。顕微鏡寫眞の装置は固定した儘ヴェランダに出し放しになつて居るので、暫く休んで居る間に、水鳥の胸毛よりもつと軽い雪がもう何寸も積つて居る。軽いと云へば、十勝岳の眞冬の降り立ての雪位軽いものは少いらう。比重を測つて見ると百分の一よりも小さいことがある。まるで空氣ばかりのやうなものである。よく縁日の雑沓の中で、銅の盃をぐる／＼廻して綿菓子といふものを賣つて居ることがあるが、あの綿菓子のやうな感じである。こんな雪はさつと拂ふとすぐ飛んで了つて、その儘仕事を續けるのに何の邪魔にもならない。此の土地では冬の六箇月の間氣温が零下五度以上に昇ることは殆どない。それで水の状態は固體であつて、液體の水といふのは例外的に見られるだけである。それで周圍は全く水の中に埋まれて居る筈なのに物が濡れるといふ心配は先づないのだから面白いと思つた。千圓の顕微鏡を雪の露天に放り出して置いても、乾いた布で拭ふだけの注意をして居れば何の故障も起らないのである。餘り大切にしていゝ暖い部屋へ持ち込んで掃除をして居たら、温度の急變と雪がとける爲に却つて色々な故障が起き易い。こんな所ではすぼらをするに限るのであつて、只注意す

べきことは、水をこぼすことである。液体の水は此處では一種の危険品で、あやまつてヴェランダの床の上などにこぼしたら、直ぐ凍りついて了つて、その後は危く歩いて歩くことも出来ない始末になる。

結晶がとける心配はないのであるから、いくらでも良い寫眞がとれる筈であるが、實際は初めの中は中々巧く行かなかつた。愚圖々々して居る中に昇華作用で肝心の一番繊細な模様が消えて了つたり、つい一番大切な珍しい結晶に息を吹きかけて了つたり、中々さう簡單には行かなかつた。所が十勝行もその年の中に二回、次の年にも三回といふ風に度重つて行くと、不思議なことには雪の結晶が段々大きく見えて来て、それに硝子細工か何かのやうに勝手に弄り廻すことが出来るやうになつて来た。どうも双兒の結晶らしいと思はれるものは、兩方から引つばるとちやんと二つに分れるやうになつた。寺田先生の隨筆に硝子の面に作つた絹絲位の割れ目を顯微鏡で毎日覗いて居ると、小山の中に峡谷があるやうに見えて来る、さうなると色々の現象が分つて來るといふやうな意味の一節があつたやうに憶えて居るが、どうもさういふことがありさうである。十勝岳ではよく水晶のやうな六角柱の雪の結晶で兩底面に六花の板狀結晶がついて丁度鼓のやうな形になつたものが

降つて來ることがある。さういふ結晶は何とかして顯微鏡の下に垂直に立てて、その側面の寫眞をとりたのである。色々試みた末、唾を使ふのが一番良いといふことが分つた。

マツチの軸の先を一寸舐めて硝子板をそつとつくと、唾の非常に小さい滴が硝子板の上につく。所が唾は氷點が低いと見えて暫くは過冷却の状態で液狀の微滴の儘になつて居る。そこで今一本のマツチの軸の頭を折つたもので結晶を吊し乍ら、丁度結晶が垂直に立つやうにその一端を唾の滴にふれさせるのである。すると今迄過冷却の状態にあつた唾の滴はその瞬間に凍つて、結晶は巧く垂直に硝子面に凍りつくのであつた。このやうにして色々の結晶の側面寫眞をとつて見ると、平面寫眞計り見て居たのではどうしても分らなかつたことが、呆氣ない位簡單に分つて來るのでとても面白かつた。

十勝岳の思ひ出は皆なつかしいこと計りである。冬の深山の晴れた雪の朝位美しいものは少いであらう。登山家やスキー家達が生命の危険にさらされながらも、冬の山へ出かけてゆく氣持がわかるやうな氣がした。十勝岳での雪の仕事のことは今も度々思ひ出されるのであるが、その印象は美しいこと計りのやうである。



このやうにして札幌と十勝岳の中腹とで、毎冬雪の結晶の寫眞を撮つて來たのが、段々溜つて、約三千枚位の蒐集となつた。もつとも之には教室の方々や學生の人々の澤山の助力が加はつて居るので、比較的短い年月の割には立派な蒐集となつたのである。この蒐集では、特に注意して、なるべく天然に見られる全種類の雪の結晶を網羅するやうに務め、兎角陥り易い弊風、即ち綺麗な寫眞に撮つて美的價値が多い結晶のみに重點を置くことがないやうに注意を拂つたつもりである。もつとも特に汚い形の結晶を探したわけではなく、落下の途中で破損したものは避け、決り切つた形のもの即ち六花樹枝状の結晶などは、その中でも立派に發達した代表的のものを逃さないやうに心掛けたことは勿論である。

このやうにして集めた三千枚餘りの寫眞を眺めて居ると、今迄の分類がどうも不十分のやうに思はれたので、天然に見られる全種類の雪の結晶の一般分類を行はうと思ひ立つた。その分類を行ふ前に、各々の結晶の型についてその代表的の結晶の寫眞を擧げその詳しい説明をして置く必要がある。

1 針狀結晶

雪の針狀結晶は從來最も珍らしいものの一つと考へられて居て、外國でも稀にしか觀測されないらしく、ウェーゲナー教授なども、觀測機會が稀な爲に單に細長い角柱なのか、骸晶の一部分なのか分らないと云つて居るものである。併し北海道では案外屢々觀測されるのであつて一冬に札幌でも少くも四五回は降るやうである。十勝岳に於ては、かなりの激しい降雪が殆ど全部此の針狀結晶からなり、それが一時間位續いたのに遭遇したことがある。それでその構造は勿論、質量や落下速度なども測定することが出來た。普通にはこの針狀結晶は極めて細い針が數本束になつたやうな構造をして居て、その詳細は第4圖(第一圖版)に見られる通りである。此の針は又二本互に交錯してX字型になつて降ることが屢々ある。之は偶然のことかと思つたのであるが、外國でもX字型の針といふ記載がある所を見ると一般的事であるらしい。

此の結晶は北海道に於ける今迄の觀測結果では、氣温が比較的高く零度に近い時に降つて居る。畠山氏が樺太の豊原で同様の觀測をされたが、その時も氣温の比較的高い時に降つて居る由である。所が歐洲の學者達の記録では、氣温の高い時は板狀になり、低

い時には針状になるといふが多い。外國の記録には寫真がないのでよく分らないが、針状といつて居るのが實は次に述べる角柱状のことであるのかも知れないと思はれる。後に述べるやうに、人工的に之等の針状結晶を作つて見ても、其の出来る時の條件は、溫度が比較的高く水蒸氣の量の多い時といふことになつて居る。それで一般分類に於ても此の針状結晶は從來の例を破つて、角柱系のものとは全然別種と考へることにした。

2 角錐、角柱及び砲彈型

角錐状即ちピラミット型の雪の結晶は、スコレスビーが北極に近い地方で初めて發見してそのスケッチをして居るが、寫真に撮られたものは稀である。第5圖(第一圖版)の寫真は十勝岳で撮つたもので、我國でも此の形の結晶は極めて稀である。併し人工的に作つて見ると案外容易に出來た。

角柱はよく知られて居るもので、第6圖(第一圖版)に見られるやうに、兩底面からピル壘の揚げ底のやうな形の孔がはひり込んで居ることは前から知られて居る。普通この孔が圓錐形に見えるやうな寫真が多いのであるが、それは觀測する迄に昇華又は融解した爲に最初の孔が變形したものである。十勝岳に於て完全な輪郭を有する角柱を調べて見ると、即ち第6圖の寫真では、この孔は六角の洋酒杯状の形をして居る。結晶性の霜の中には、特に積雪中に出来る霜には杯状の結晶がよく見られるのであるが、それと比較して見ると、この角柱は杯状結晶に肉がついて出來たものだらうといふことが分る。

砲彈型といふのは、角柱の頭に角錐がついたもので、第7圖(第一圖版)の寫真に示したやうな形をして居るものである。ハンフリース博士が上層雲を作つて居る氷晶の形として假定して、特殊のハロを説明したものとこの砲彈型の寫真とを比較して見ると、よく一致して居るのは面白いことである。

以上の角錐、角柱及び砲彈型の結晶は、氷の結晶系たる六方晶系の縦の方向の軸即ち主軸の方向に發達した結晶である。

3 砲彈型組合せ

砲彈型の雪はよく澤山集つて、その尖頭で互にくつつき合つたやうな形となることがある。第8圖(第一圖版)には砲彈が五つ集つたものと、六つ集つたものが示されて居る。勿論二つ、三つ、四つなどの組合せも見られる。スチウベ氏は此の種の結晶は、澤

山角のある固體の細塵が核となつて、その各々の角から杯狀の結晶が出来、それから發達したものだらうと想像して居るが、そのやうなことを實證することはなかく困難なことなのである。

4 樹枝狀平板結晶

この種類が從來雪華の代表的なものとされて居たもので、美しい六花狀の平板結晶である。この種の結晶は、六方晶系の底面内に發達したもので、例へば水晶を縦の軸に直角に切ると、切り口は六角形をして居る、その六角形を延長した面内に發達したものである。樹枝狀といふのは結晶の發達する形の一種で木の枝のやうに澤山枝分れしたものをいふのである。樹枝狀の一番簡單なものは中心から六本の枝が伸び出ただけのもので、それを星狀と名付けることにする。それに澤山小枝がつくと普通の樹枝狀になるので、その中でも特に細い小枝が澤山出て羊齒の葉のやうな形になつたものを羊齒狀と呼ぶこともある。又枝の幅が廣くなることもあつてそれは廣幅六花といふことにする。之等の枝の outfah は主として出来る時の水蒸氣の供給の過大度によつて決るので、羊齒狀即ち小枝が澤山出る時は水蒸氣が著しく多く、枝の幅が廣くなつて全體として角板の性質が多くなるのは、水蒸氣の供給度がより少い爲なのである。廣幅六花よりも更に水蒸氣の供給度が少くなると扇形のもものが六枚集つた形になり、もつと少くなると六角板になるのである。之等のことは雪の結晶を人工的に作つて見るとよく分る。星狀、廣幅六花、扇形などの標本圖は第一〇〇及び一〇一頁の一般分類の圖の中に示してある。又羊齒狀の結晶の一例は第9圖(第一圖版)に示してあるが、その纖細を極めた構造は驚くべきものである。

5 角板

六角板の結晶は、アメリカで觀測したベントレーの寫眞集の中には澤山見られるが、我國では大形の六角板は比較的稀で、大抵は樹枝狀のものか、或は次に述べる角板に樹枝のついたものである。樹枝狀の結晶が水蒸氣の多い時に出來、角板が少い時に出來るといふことは分つて居るので、それから見ても我國の空にはいつも水蒸氣が多く、アメリカでは比較的少いといふことが分るのである。

大形の六角板の結晶は大抵内部に色々の模様がある。この模様の成因については、ウエーゲナー教授が一寸面白い假説を出して居る。その説に従ふと、初めに上空のある地

點で雪が出来初め、その水蒸氣の量が多いと小さい樹枝状の結晶になる。その結晶が

落ちて来る間に水蒸氣の量の少い層へ來ると、樹枝状の小枝の間の隙間に氷がついて角板になる。それが又次の水蒸氣の多い層へ來ると、その角板に樹枝が付く、そして又次の水蒸氣の少い層で又角板になるといふ風にして段々に發達して來るといふのである。

この説明によると、角板の内部の色々な模様がよく説明されるのであるが、實際に人工的にこの説のやうに條件を順次かへて雪の結晶を作つて見ても、なか／＼巧くは行かないのである。随つて角板の内部の模様の成因如何といふやうな些細な問題すら未だに解決がついて居ないのである。そんな簡単なこと位、専門家は誰でも知つて居るかと思はれるかも知れないが、只今の所では世界中のどの學者にきいて見ても分らないのである。もつともさういふつまらぬことは誰も研究をしないから分らないので、一寸研究すれば直ぐ分る筈だといふ議論も出るかも知れないが、子供に「どうして雪があんなに不思議な形をして居るのか」と聞かれて、何とも返答の出來ぬのも一寸考へ物である。これは雪の場合に限らず、大抵の自然の珍らしい現象はまだ殆どよく分つて居ないのである。

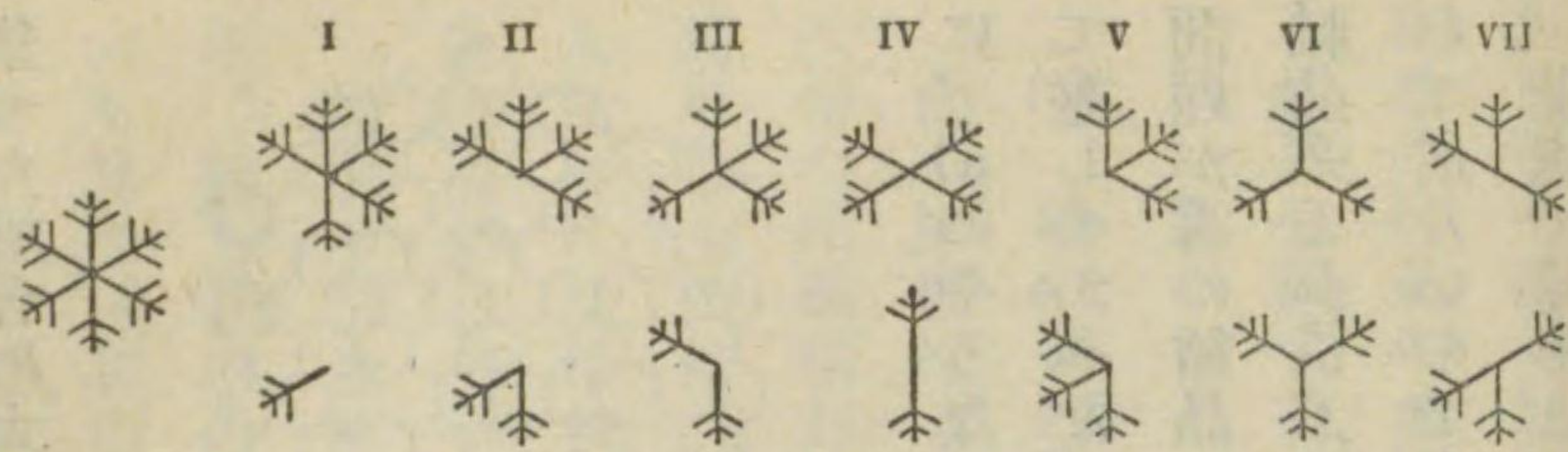
角板の中には極めて小さいものがある。十勝岳では第10圖(第一圖版)に示したやうな直徑〇・二耗にも足らぬやうな小さい角板が降ることがある。之は明かに結晶生成初期の状態を示してゐるものと思はれる。人工でも成生初期の結晶状態として此の種の微小角板が得られるので、之等の小角板から平面的の樹枝又は角板が發達することを實證することが出来る。

6 樹枝付角板

我國では、よく第11圖(第一圖版)に示すやうに、六角板の角から樹枝状の枝が出て居るやうな形の結晶が見られる。之は明かに上空に水蒸氣の少い層があつて、其處で角板が出来て、それが地表近くに落ちて來た時に水蒸氣の多い層にあつて、其處で樹枝が付いたものと思はれる。人工雪についても、その條件を真似てこの種の結晶を作ることが出来る。その逆の氣象状態だと、樹枝の枝の端に角板が付く筈であつて、その種の結晶も天然には時々見られる。それは角板付樹枝ともいふべきものである。この角板付樹枝の標本圖も一般分類圖の中に示してある。

7 二花、三花、四花などの結晶

從來、色々の國で三花の雪の結晶が發見されて居る。その一例は第12圖(第二圖版)の



第 13 圖

8 畸形

は普通の六花状に見えた雪を中央部をついて分離して見たら、たま／＼四花と二花から成つて居る結晶だつたことが分つたのである。第13圖のIからVII迄の七種類の結晶は全部天然雪の中で発見され、その寫眞も夫々撮ることが出来た。

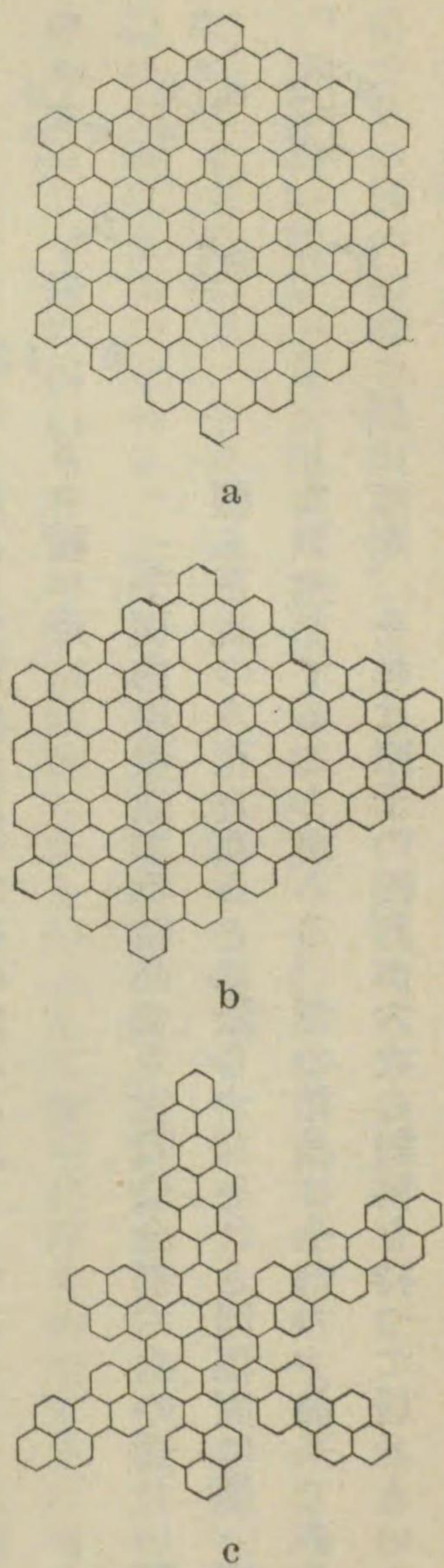
このやうにして三花、四花などの結晶の成因が分つて見れば、その分類も出来るのであつて、之等の結晶は平板結晶中の二核結晶とすればよいのである。

一平面内に發達する結晶でも實際は全部六次の美しい對稱形即ち正規の六花となるとは限らず、それと同程度に屢々畸形的な發達をすることがある。雪の結晶は全部六方晶系であるとしても、それは原子の配列が六次の對稱を持つて居るといふだけで、必ずしも外形迄規則正しい六次の對稱をもつて居るとは限らない。例へば雪の結晶の基本形が小六角形としても、それが

寫眞に示した如くで、之は十勝岳で撮つたものである。この外にも二花、四花などの結晶も時々見られるのであるが、之等の結晶の成因は今迄分らなかつたのである。所が十勝岳で此の種の結晶を澤山觀測して居る中に、偶然にその成因が分つた。それといふのは、或る種の雪で一見正規の六花型を示して居るものをよく見ると、中央部が二重になつて居ることがある。それを適當にマツチの軸木の先で中央部をつくと、左右二箇の結晶に分離出来たのである。之は結晶生成初期に於て核が二箇重り、一方の核から左の半分が生長し、他の核から右の半分が發達したものと説明出来るのである。もし一本置きの本置きの三本の枝が一方の核から出、他の三本が他の核から出るとすると、その結晶は第12圖のやうな三花二つが重つた結晶となる筈である。それが落下の途中風か何かの機械的衝戟で二箇に分離したとすると、三花の雪が出来るのである。實際一見六花型の或る雪の結晶を適當について三花二つに分離した實例も可なりある。

此の時一方の核から枝がいくつ出るかは偶然に決まるとすると、二核の場合第13圖に示すやうな七つの組合せが出来る筈である。その中VIが今述べた三花であるが、その外に例へばIVの場合は四花と二花とが出来る筈である。第14圖(第二圖版)はその例で、初め

集つた場合に大きい六角形になる場合もあれば、ならぬ場合もある。第15圖に示すやう



第 15 圖

に、a)のやうな正六角形になる場合は寧ろ例外でb)、c)：：といくらでも外形は變化して差しつかへないのである。結晶の外形は結晶習性と呼ばれるもので、この結晶習性の問題が雪の結晶の場合には大切なのであるが、その研究は結晶系、即ち六方晶系とか等軸晶系とかいふ風な結晶の基本的原子配列の模様の研究に比しては、まだ十分には爲されて居ないのである。

此處で畸形といふのは規則正しい六花以外の平面結晶といふ意味で、結晶習性の問題からいへば、別に畸形ではなく、寧ろ外形迄完全に六次の對稱を示して居る所謂正規六花状の結晶の成因の方がむしろ不思議なのである。畸形は殆ど無限の種類があるので、それを分類することは出来ないが、便宜上比較的簡單なものを類別すると左の五類になる。

(a) 他の核の附着によつて生じた變形

此の原因による變形は屢々見られるのであつて、結晶が半ば出来上つた時、その一點に他の結晶核が付着した爲に其の後の發達が非對稱的になつたものである。その中一番簡單なものは、星状結晶の枝の一點に核が付着したもので、多くの場合、その核の付いた所だけに小枝が出るのである。一般に核が付くと其處で結晶は枝分れをするか、或は急に發達を早めるかすることが知られて居る。その理由は未だよく分らない。

角板の場合にも同様な現象があり、第16圖(第二圖版)に示したものがその良い例である。即ち初めの結晶が可成りの大きさの六角板に發達した時に、その一點に他の核が付いた爲に、其の後の發達が著しく變形されたものである。

(b) 左右對稱に近い結晶

此の種の結晶も屢々見られる。之は結晶生成初期に於て核が二箇左右に竝んで附着し合ひ、それから結晶が成長した爲に、左右對稱に近い形になつたものと思はれる。核が二箇以上竝んで付着した場合らしく思はれる結晶もあるので、そのやうな時には結晶は大體左右對稱の性質を持ちながら、もつと複雑な形となる。

(c) 畸形角板

角板も正六角形とならず、色々變化することがある。その中一番簡單なものは、その一邊からV字形の切り込みが入る場合であつて、それが澤山重ると随分複雑な形となる。それで角板の變形はこのV字形の切り込みの原因が分ると、可なり判明するものと思はれる。人工雪で角板を作つて見ても此の切り込みが入ることが屢々見られるのであるが、その出来る原因はなかく分らない。併し可なり瑣細な條件の偏差で出来るものであることは確かである。

(d) 枝の非對稱的發達

枝の對稱性といふことは量的の問題で、正規な六花狀結晶でも、詳しく調べると各々の枝の微細な構造は對稱的になつて居ないので、又それが結晶の發達から考へて當然なのである。一般に大形の羊齒狀六花結晶は、この意味に於ては非對稱的といふべきであるが、此處では特に一方向に著しく枝が伸びて居るものをこの類に算へることとする。代表的な例は第17圖(第二圖版)に示す如くである。此の場合は寫眞の上方に當る方向からの水蒸氣の供給が著しかつたものと考へられる。結晶は落下の途中、流體力學の知識から分るやうに、水平に近い位置を保ちながら落ちて來る筈で、その時鉛直線を軸として螺旋形の道に沿つて廻りながら落ちて來る。此の廻轉運動は枝の對稱的發達を助けるのであるが、時には此の寫眞のやうな非對稱的のものも可なり屢々見られるのである。

(e) 複雑なる畸形

實際に屢々見られる畸形は非常に複雑な構造を示して居るものが多く、その類別をすることは出来ない。併しよく見ると大抵は、今述べたやうな、核の附着による變形、角板中のV字切り込み、枝の非對稱、その外に數枚の結晶の重疊といふやうな各要素の複雑な組合せと思へば先づ良い。故に之等の各要素の生成機構が分れば、畸形の結晶の説明も出来る筈である。

9 立體樹枝型

以上の雪は一平面内に發達した結晶であるが、之等の平面結晶の枝が空間的に集つて、全體として立體樹枝型となることがある。此の種の雪は外國では記載が少いのであるが、それは前述のやうに、降らないのではなく記載がないのであらうと思はれる。北海道では量からいつたら、此の種の雪の方が、平面六花のものよりも却つて多い位である。非常な濃雪で二十米先も見えないといふ位の雪の時には、此の種の結晶が多いのである。此の型は大別して三種に分けることが出来る。

(a) 立體六花型

之は普通の樹枝狀六花結晶を底面として持ち、其の各點から樹枝狀の枝が空間的に伸び出て居るものである。第18圖（第二圖版）に示したものがその例で、この寫眞は上方に伸び出て居る枝に顯微鏡の焦點を合せて寫眞を撮つたもので、下の六花狀の結晶はぼやけて寫つて居る。此の種の結晶は上空で既に小六花が出来て、それが落下する間に、枝の各點に結晶の核が澤山附着してそれから立體的に枝が伸び出たものと考へられる。

此の結晶で立體的に出る枝は多くは基底をなす六花の結晶の一面から伸び出て居る。第19圖（第二圖版）は此の種の結晶の側面寫眞であるが、主な枝は皆上方に伸び出て居る。

之は落下の途中一方の面に多く核が附着し、又水蒸氣の供給もその面の方が多いた爲であつて、後述の雲粒付結晶の場合にも同様な現象が見られる。

(b) 放射型

樹枝狀の枝が中心から八方に伸び出ることあつて、その時は結晶は丁度栗の毬のやうな形となる。第20圖（第三圖版）がその好い例である。此の場合には中心に大きい種があり、その種は多くの場合短い角柱の集合である。もつとも此の種が極めて小さく殆ど見られないものもある。前者は明かに上空に水蒸氣の量が少く角柱狀發達を生ぜしめるやうな状態の層があり、その下に樹枝狀發達を生ずる水蒸氣の多い層があることを示して居る。後者の即ち種の見えないものは、人工雪の研究の結果から、立體角板集合から發達したものだといふことが分つた。

(c) 立體角板集合

小角板が立體的に組合はされたもので、細いうどん粉のやうな雪が降る時に、この種の結晶が見られることがあるが、我國では比較的稀な結晶である。

第6圖（第一圖版）のやうな角柱状結晶の兩底面に平板結晶が付くと鼓型の結晶になる。外國では之を車輪型又は茶卓^{テイテーブル}型と云つて居るが、それよりも鼓型と云つた方が適切であらう。兩底面に付く平板結晶が角板の時は本當の鼓のやうな形となるが、我國で觀測される此の種の結晶は、樹枝状の場合が多い。その一例は第21圖（第三圖版）の寫眞に示す通りである。

此の鼓が幾つも重ると、角柱の兩底面及び途中に何枚もの平板が付いた複雑な形となる。それを段々鼓と呼ぶことにする。段々鼓の一例は第22圖（第三圖版）の寫眞に示してある。又角柱の底面に付く樹枝状結晶が平面でなく前述の立體六花になることもある。此の種の珍しい結晶は外國でも古くから屢々觀測されて居るものである。段々鼓は人工的に作ることも出来るので、随つてその出来る條件も分つたのであるが、詳しいことは「雪を作る話」で述べる。

11 十二花

十二花の雪は從來からよく知られて居るもので、土井利位の「雪華圖説」の中にもその模寫がある。此の種の結晶は多くは、二本目毎の六本が少し長く、中の六本が少し短い。併し稀には十二本共全く同じ形の枝から成つて居るものもある。その一例は第23圖（第三圖版）の寫眞に見られる。

此の種の結晶の成因については、ベントレーが既に、六花二箇に分離出来ることを報告して居る。私たちも十二花の結晶を見付ける毎にその分離を試みて、大抵の場合は成功した。そして分離した一方を顯微鏡下に立てて側面から見た結果、此の種の結晶は平板と角柱との組合せで、たゞ二つの平板結晶を結ぶ角柱が短い爲に、十二花共同一平面内にあるやうに見えるといふことが分つた。

稀にはこの基本結晶が三枚重ることもあり、その時は十八花の結晶となる。之等の十二花、十八花などは、かうして構造が分つて見ると、一般分類の中では、角柱平板組合せの中に入れることが出来るのである。

12 平板付砲彈

第8圖（第一圖版）のやうな砲彈組合せに樹枝状其の他の平板結晶が付くこともある。第24圖（第三圖版）はその一例であつて、随分珍らしい複雑な構造の結晶である。かういふ結晶が澤山降つて來る時に、それを硝子板に受けては覗いて居ると、随分神祕的な感

じがするものである。

13 側面結晶

一九三五年一月十六日の夕方、札幌に於て從來全く知られて居ないと思はれる妙な形の結晶計りが短時間降つたことがあつた。その結晶は角柱と平板との不規則な集合であつて、その時撮つた寫眞の中の一枚を第25圖（第三圖版）に示す。其の後注意して居ると、此の種の結晶は時々少數宛雑つて降つて來ることが知られた。札幌でも其の後時々見られたが、特に十勝岳に於ては再々觀測された。

初めは此の種の結晶は何と分類してよいか分らなかつたのであるが、其の後人工雪や人工霜の實驗をして居る中に、角柱の側面が平板となつて伸び出たやうな形のものが出來ることを知つた。其の構造を調べた結果、第25圖（第三圖版）に示したやうな結晶も、角柱の集合から側面が不規則に伸び出たものと思はれるやうになつた。それで此の種の結晶を側面結晶と名づけて、一つの新しい種類として一般分類に入れることにした。

14 不規則なる角柱平板組合せ、「粉雪」

山岳地方や寒地で屢、「粉雪」と稱する種類の雪が降ることがある。粉雪といふ言葉

は前にも述べたやうに、積雪の性質を示す時以外にも、雪片形成状態を指して使はれることもあるが、此處でいふ「粉雪」とは、粒が非常に細く、降り立てのものが積つた様子は全くうどん粉のやうな外觀を呈して居るものである。高山でスキー家達は屢、さういふ種類の新雪に遭遇されたことがあるだらうと思ふ。

此の「粉雪」の顯微鏡寫眞は第26圖（第四圖版）に示す如くであつて、角柱と小角板との不規則な集合である。この小角板も側面結晶らしく思はれるが、未だ確かめられない。此の種の結晶は非常に小さいもので、放射型樹枝其他の立體的の大形の結晶は之等の微小結晶を種にして生長するものと思はれる。前出微小角板のやうに初めから平面状になつて居るものもあり、この「粉雪」のやうに立體的になつて居るものもある。人工雪の研究で、之等の結晶初期状態が其の後の生長の様子を可なりに支配することが分つた。

15 雲粒付結晶

殆どすべての型の雪の結晶に、小水滴が澤山付いて居ることが屢、見られる。北海道の觀測では、降雪回數の三分の一位は小水滴付のものが混つて居る。内地の雪では多分もつと屢、小水滴付の結晶が見られることと思ふ。此の點はゼリチヨに於けるベントレ

1の観測結果とは著しく異なるのである。即ちペントレーの蒐集では、小水滴付の結晶は寧ろ稀な場合であつた。第27圖（第四圖版）は樹枝狀結晶に小水滴が付いた例であるが、此の外針狀角柱狀を初め、殆どすべての種類の結晶にも付くことがある。

此の小水滴の大きさを測る爲に、第27圖のやうな寫眞を大きく引伸して、その擴大寫眞上で水滴の直径を一々測つて見た。全部で百七十五の測定値を調べて見ると、水滴の直径は大小色々あるが、 0.03 三耗位のもが一番多く、その前後に散在した値を示した。所が従来色々な人が雲の粒子の直径を測つて居るのであるが、その結果は例へばワグナー氏の測定値によると、大體直径 0.03 三三三耗となつて居り、其の他の人の値も大體それと似寄つた値となつて居る。之等の測定は雲粒を直接顯微鏡で測つたものでは無く、強い光を雲にあてて暈輪を作り、その直径から光學の理論を適用して算出したものである。所で今度雪の結晶に付いて居る小水滴の直径が丁度この値と一致して居ることから、此の種の雪は雲粒付結晶であることが分つたのである。

此の種の結晶は雲粒を直接に雪が捕へて來てくれたといふ點で興味がある計りでなく、上層の氣象状態を推測する一つの手がかりを與へるものと見て意味がある。即ち此の種の雪が降る時は、結晶が生長した層よりも下の地表に近い所に、過冷却水滴よりなる雲の層があつたことを示すものと見られるのである。

16 厚板

時々平板狀結晶で非常に厚いものが降ることがある。顯微鏡の下で反射光で見ると、一面に白い小粒が重つたやうに見え、透過光で見ると、全體が黒く見えるものである。此の結晶を切つて、その斷面を顯微鏡で見ると、第28圖（第四圖版）の寫眞に示すやうな構造をして居ることが分る。この寫眞で分るやうに、之は六花平板狀の結晶の面に雲粒が幾重にも附着して全體として厚い板になつたものである。面白いことには、雲粒は主として結晶の一面にのみ附着して居るのであつて、落下の途中下面になつただけに付いたものと思はれる。冬の高山で見られる霧氷の場合にも、霧の粒は風上の面に多く附着することはよく知られて居る事柄である。此の種の結晶はいはば霧氷の付いた雪の結晶なのである。

此の厚板は外國の文獻には餘り見當らぬやうであるが、北海道特に十勝岳に於ては頻繁に觀測される。札幌でも時々見られる。

17

霰状雪及び雪から霰への遷移

北海道に於ては、霰は初冬と限らず真冬でも盛に降る。もつとも内地で初冬に見られる霰よりも少し小形のやうである。大抵雲粒付結晶や厚板と雑つて降つて來ることが多い。之等の霰には大抵三種類あつて、圓錐形、塊状及び六花の痕跡を留めて居るものに分類することが出来る。六花の痕跡を有する霰といふのは、第30圖（第四圖版）に示すやうなものである。

之等の霰の成因については、既にバーコフ氏なども云つて居ることであるが、普通の雪の結晶に雲粒が非常に澤山附着して出來たものと考へられる。十勝岳に於て殆ど連日此の種の結晶を觀測して居る中に、雪の結晶に雲粒の附着する度合は連續的に變化して居て、單なる水滴付結晶から、雪と霰の中間的のものを經て、霰に到る迄の各段階の状態にある雪を觀測することが出來たのである。普通の平板結晶に雲粒が澤山附着した時は厚板になるのであるが、立體樹枝型のものに澤山雲粒が付くと、段々霰に似て來るのである。之等の雪と霰の中間にあるものを霰状雪と稱することにする。放射型のものに澤山雲粒が付くとそれは塊状霰になるらしい。又第18圖及び第19圖（第二圖版）のやうな





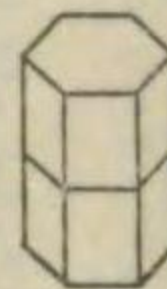
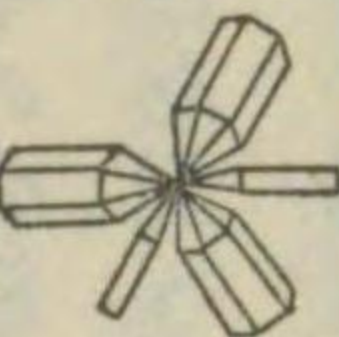
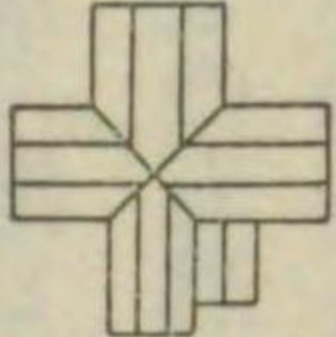
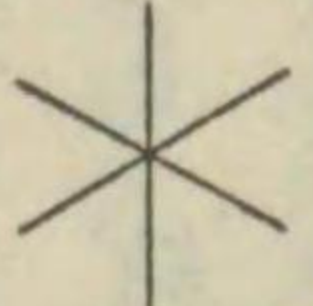
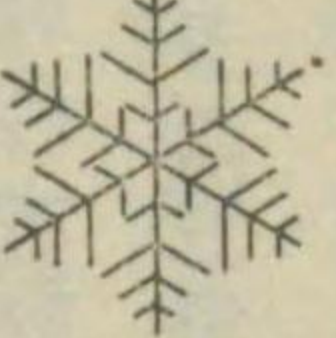

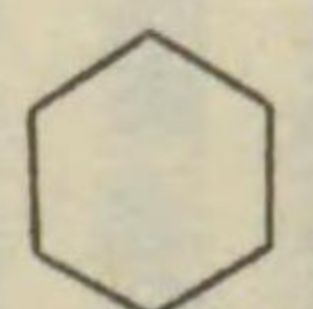

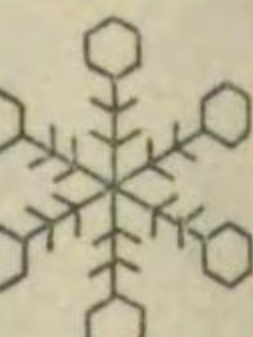
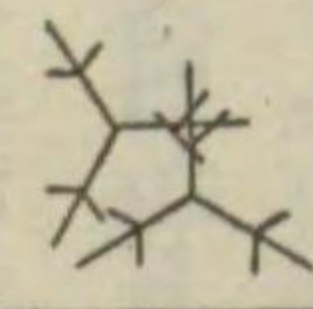
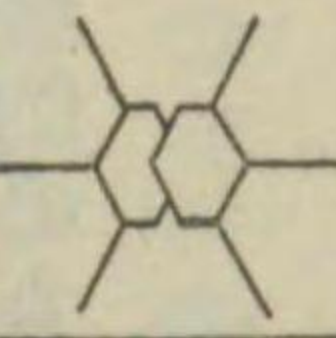

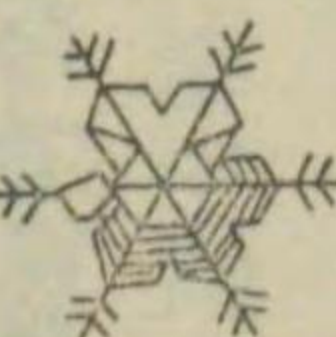
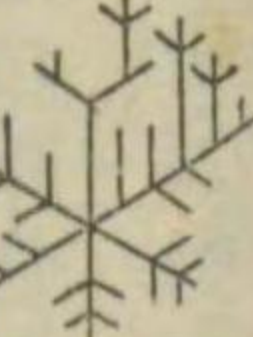
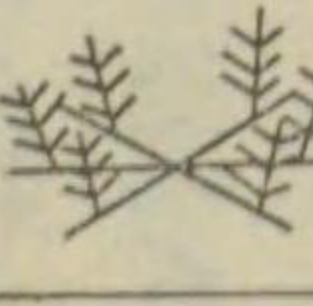
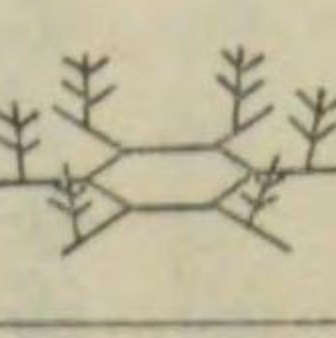
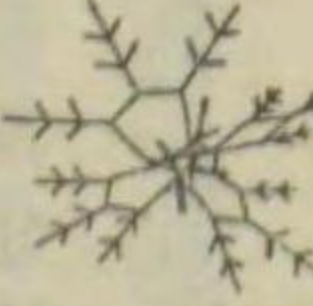
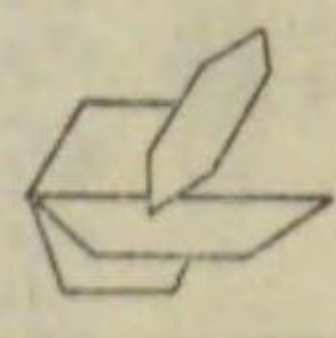
立體六花に雲粒が付くと六花霰になることが分つた。立體六花の霰状雪の例として、第29圖（第四圖版）の寫眞に示したやうな結晶を擧げることが出来る。之はその側面の寫眞である。

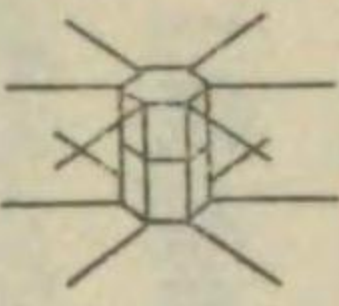
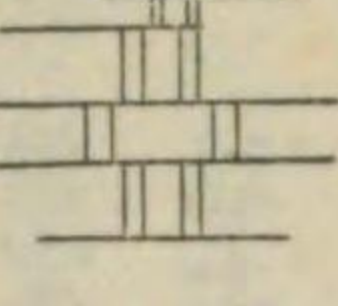
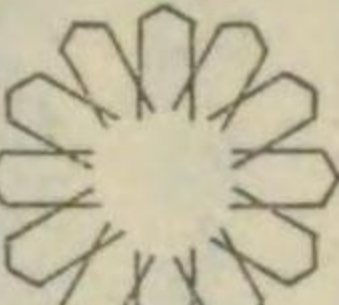

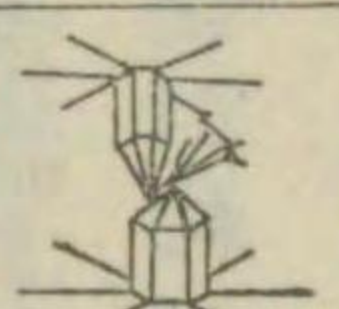
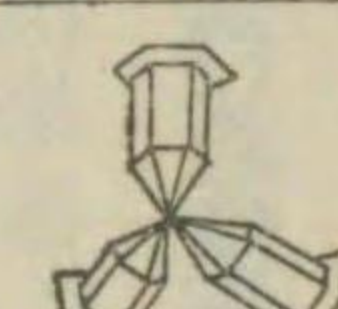
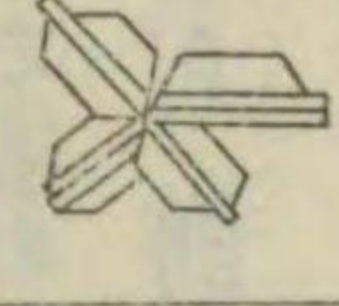
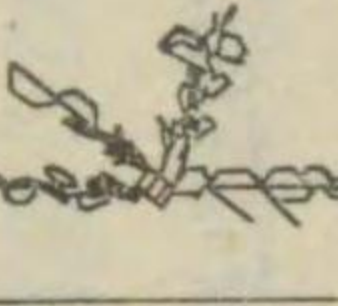

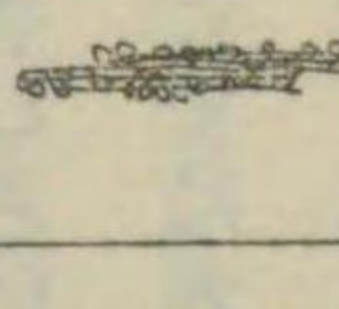

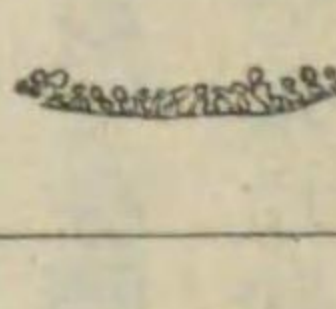
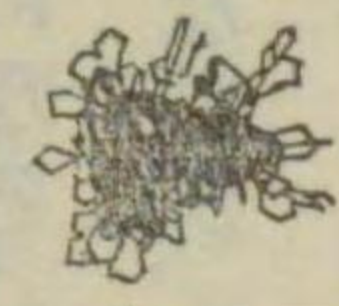






錐状霰の成因については以前から落下の途中廻轉する爲であらうといふ考へで、色々研究があり、大體さういふことに落付いて居るやうであるが、今一步確める必要がある。霰の成因を以上の如くに考へると、その出來る氣象状態は、上層に雪の層があり、その下に過冷却の水滴より成る雲の厚い層があることになる。このことは岡田博士の名著「氣象學」にも書かれて居り、別に新しいことではないが、雪と霰との中間物即ち霰状雪の各種のものの寫眞が撮れ、その説を確めたといふことになるのである。

18

無定形の雪

以上述べた雪の各種類のどれにも屬せしめられない無定形に近い雪も澤山降るのである。之等を纏めて無定形の雪といふのであるが、此の無定形の雪は案外澤山降るのであつて、今後その性質が詳しく分れば、更に改めて分類しなければならぬかも知れない。第31圖（第四圖版）に示すものは無定形の一つで氷片状をなして居るものの例である。此

I 針 狀 結 晶	1. 單なる針狀	
	2. 針狀組合せ	
II 角 柱 狀 結 晶	1. 角柱結晶	角錐  砲彈型  角柱 
	2. 角柱組合せ	砲彈集合  角柱集合 
III 板 狀 結 晶	1. 正規六花型	星狀  羊齒狀  扇形 
		角板  樹枝付角板  角板付六花 
	2. 二核結晶	 
	3. 畸形	  
	4. 立體六花型	 
	5. 放射樹枝型	 

IV 平 板 角 柱 組 合 せ	1. 鼓型	 
	2. 十二花	 
	3. 平板彈付型	 
V 平 板 角 柱 不 規 則 組 合 せ	1. 側面結晶	 
	2. 「粉雪」	
VI 雲 粒 付 結 晶	1. 雲粒付結晶 (各種)	  
	2. 霰狀雪	塊狀  六花型 
	3. 霰	塊狀霰  六花霰  錐狀霰 
VII 無 定 形	1. 水片狀	
	2. 水滴付	

の外にも樹枝の痕跡があつて、それに小水滴が澤山付いて居るものも屢々降り、其の外にも色々のものがある。

四

以上各種類の結晶についてそれごとく説明した如く、我國で観測される雪の結晶は非常に種類が多い。之等の全部を網羅する一般分類を試みたのであるが、その結果は一般分類圖に示す如くである。その骨組はヘルマン・ノルデンシヨルドなどの分類と結局似たものであるが、新しい種目を加へたり、結晶構造の究明から分類項目を變へたり、針狀結晶を別にしたり、霰狀雪や無定形などの從來閑却されて居たものを重視したりして、全體を包括的のものとした。併し此の一般分類も最終的のものではなく、今後の研究によつて幾分修正さるべきものと思つて居る。

五

此の一般分類圖から見て分るやうに、雪の結晶は極めて種類が多く、從來雪の代表の如くに思はれて居た六花狀の結晶は、實際に降る雪の全量の中ではほんの一部に過ぎないことが分つた。それでは次に、之等の多種多様な結晶がどれ位の割合で雜つて降るか、どの結晶が一番多く降り、どの種類が稀であるかといふことを調べて置く必要がある。

所が、此の仕事は實はなかく大變な仕事なのであつて、降雪中殆ど戸外に居續けて、適當な間隙をおいて雪の結晶を硝子板に受け、その種類を記載する必要がある。その爲に十勝岳のやうな所では、零下十度以下の戸外で數時間もの連續観測をするのであるから、生易しいことではないのである。或る時などは、観測を始めたらずららしい雪が澤山降つて來て、それが何時迄も斷續しながら續いて、到頭十時間の連續観測をしなくてはならぬことになつて了つた日もあつた。丁度一九三四年から三五年にかけて冬、關戸彌太郎君が此の仕事を引き受けてくれたので、一冬だけの資料は集めることが出來た。

観測は「精」と「粗」との二種に分け、「粗」の方は擴大鏡による肉眼観測であるが、「精」の方は顯微鏡を用ひ、一度に二三十の結晶を硝子板に受け、その種類と數と同時に大きさを記録することとした。之を一回の観測と算へて、かういふ観測を五分乃至十分置きに繰り返した。もつとも餘り身體が冷え込んで來ると、室内に逃げ歸つてストーヴで

身體を暖めて又出かけるのである。そんな時には二十分間位観測が抜けることがあるが、それ位のことには仕方がない。

観測は札幌と十勝岳とで行ひ、降雪日數五十四日、全観測回數九百七十四回に及んだ。その結果を整理して見てはつきりと分つたことであるが、殆どすべての降雪は各種の結晶の混合から成つて居るのである。時には例へば六花状の結晶計りが降るやうに見えることがあつても、暫く續けて観測して居る中に他の種類のものが雜つて來、又次の種類のものが降り始めるといふ工合になることが多い。只一種の結晶のみがずつと降るといふやうなことは一度もなかつた。針状などの比較的珍らしい結晶が一分間か二分間位さつと降つて、直ぐ他の種類の結晶になつて了ふやうなことも時々あつた。

かういふ現象は、上空の氣象状態が非常に複雑だといふことを示すのである。即ち上空の各層の氣象状態が夫々異り、各々の層で別の形の結晶が出來、地表に近い所で出來た結晶はその儘に近い形で地上に達し、上層で出來たものは落下途中で更に色々な成長をなして地上に達する。所が結晶の形によつて落下速度が異なる爲に、落下途中で前後が生じ、色々な形の結晶が入り亂れて同時に地上に達するものと思はれる。それに上昇氣流や下向氣流が加はるので問題は一層複雑になるのであらう。

此のやうに多くの種類の結晶が互に入り亂れて同時に降るといふことは、外國の記録には餘り無いやうである。歐洲の観測結果では、よく、氣温何度の時にどのやうな結晶が降り、何度になつたら異つた結晶になつたといふ風な記録があるが、それから見ると、歐洲の降雪はもつと簡単なやうにも思はれる。それで吾々が今見たやうな現象は我國の氣象状態が非常に複雑な爲に起る現象ともとれるが、カスナー教授の手紙によると、獨逸でも日本の場合と同じやうに澤山の結晶が入り亂れて降るのであるが、ちやんとした観測がないのだといふことである。

一冬の間の観測を整理して、各結晶の降下頻度を多、中、少、稀と四つに分けて見ると、次のやうな結果となつた。

I. 針状		II. 角柱	
單針	針組合	單角柱	角柱組合
少	少	少	少

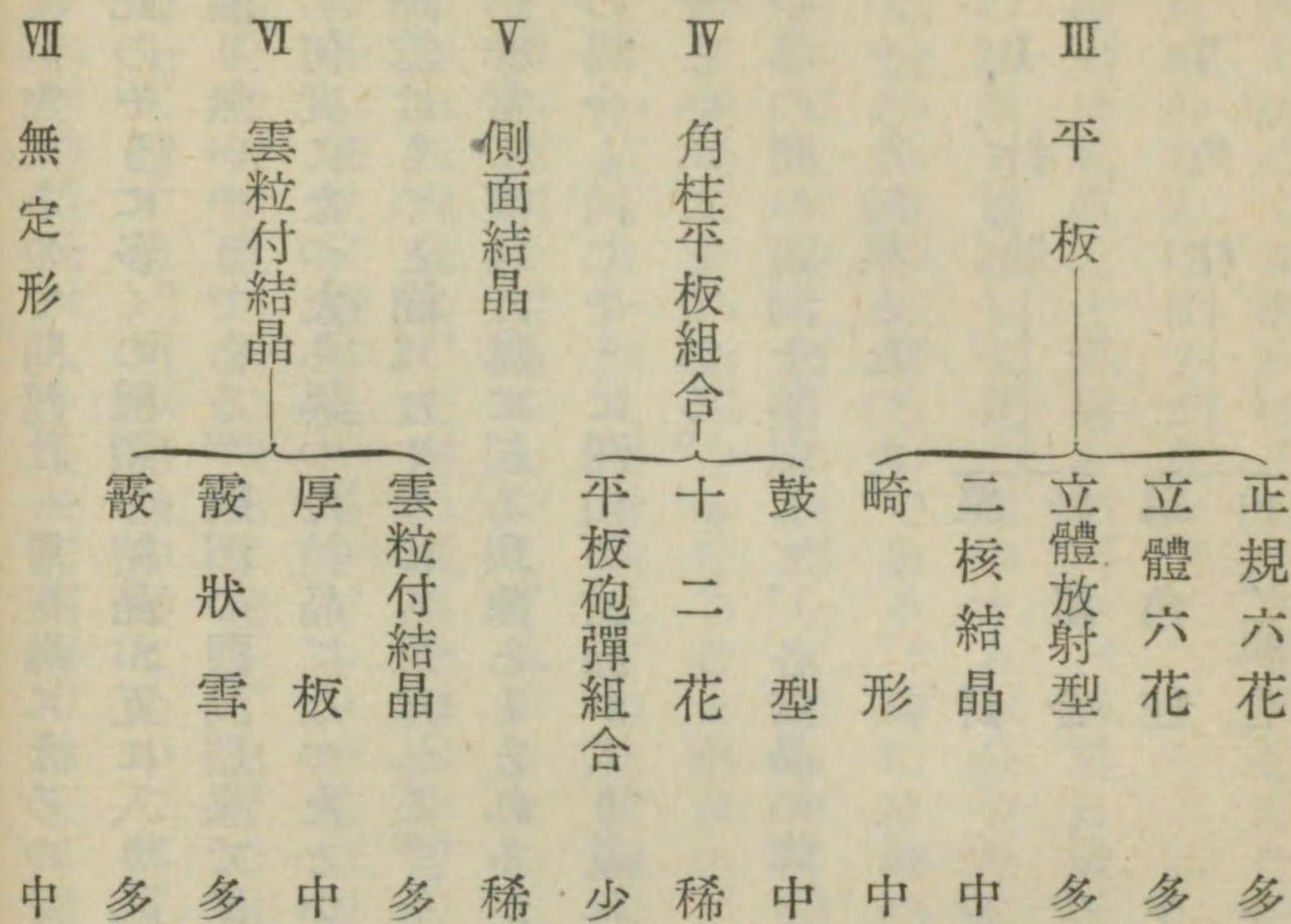
此の結果から見て、前の論點、即ち六花狀の美しい形の雪といふのは、天然に降る雪のほんの一部をなして居るのに過ぎないので、色々雑多な形の雪が本當は澤山に降つて居るといふことがよく分るのである。

六

次に高空の高いところで出来た之等の雪がわれ／＼の地上へ落ちて来る迄にはどの位の時間がかかるかといふ問題がある。これはその時の状態によつて異り、又雪片の大きさによつて異なる筈であるから、簡単に云ふことは出来ない。

前に述べたやうに、氣温の少し高い時には澤山の結晶が集まつて雪片となつて降るのであるが、その落下速度は雪片の大きさによつて異なるので、どの位と決つては居ない。風のない晝など牡丹雪が眞直に靜かに降つて居る時に、一寸注意された人は大きい雪片が小さい雪片を追ひ越して落ちて来るのをよく見られたことがあるだらう。

北海道などのやうな寒い所では普通雪片と單一の結晶とが入り亂れて降ることが多いのであるが、もつと寒い所では雪は全部個々の結晶となつて降つて居るのであらう。所でこ



の個々の結晶の落下速度はいままで測定されたものが全くないやうであるから、私達は結晶の各種類について、その大きさと落下速度との關係を調べて見ることにした。それと同時に個々の結晶の目方も測定して置く必要があると思はれたので、その爲に新しい簡単な方法を考案して、それとの關係も調べて見た。普通雪片のみが降るやうな比較的暖い土地でも、上層に於ては結晶は個々分離した状態で降つてゐると思はれるので、その落下速度を知つて置くことは、後に人工で結晶を作つた時、その結晶の生長速度から、同様の結晶の出来る場所の高さを推測する時に必要なのである。これを逆に云へば、人工で雪の結晶を作つた時に、天然に降つて來た同様の結晶が、どの位の上層で出來始めたものかといふことを大體見當つけようといふのである。

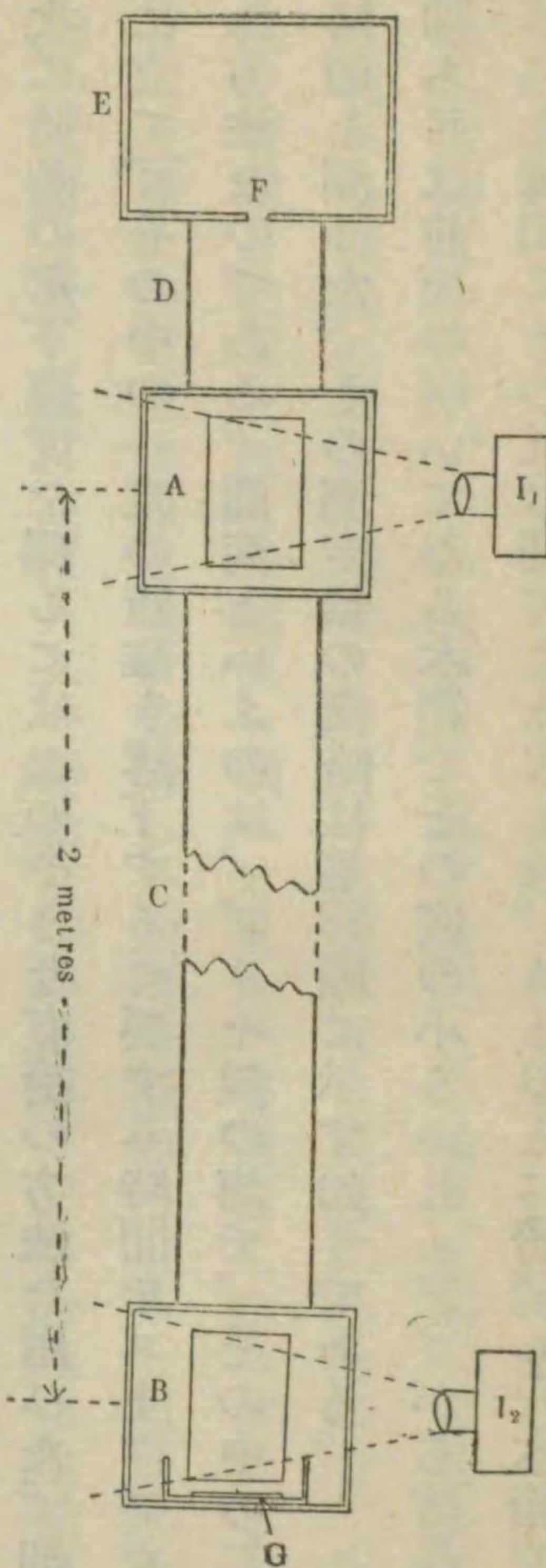
この落下速度の測定は、主として十勝岳で行つた。こゝは眞冬の間はどんな暖い時でも零下五度以上に氣温が昇ることはないので、こゝに述べるやうな測定方法を用ひることが出来るのである。

先づ目方を測る方法であるが、零度以下の氣温の所でも雪の結晶は昇華作用でどん／＼蒸發して小さくなるものであるし、それに一つの結晶の目方は百分の一程度程度の恐ろしく少いものである。そのやうな微小な目方を短時間内にかも野外で測ることは普通の天秤では不可能なので、結晶を溶かして小水滴として、顯微鏡下でその直徑を測るといふ方法を用ひた。硝子板を薄いパラフィン膜で蔽ひ、その上に結晶をのせて、裏から指先で一センチ温めてやると、先づ結晶の枝の先から融け始め、融けた水は毛管現象で結晶中心に吸ひ寄せられて、全體が一つの小水滴になりその儘凍つてしまふのである。これを側面から顯微鏡で覗いて見ると半球になつて居ることが分つたので、容易にその體積を求めることが出来るのである。球が小さくなると少し半球から偏差が出来るのであるが、われ／＼の要求する精度の範囲内では、半球と見て差支へない程度である。

次に結晶の落下速度を測るには次のやうな直接の方法を用ひた。即ち密閉した圓筒を垂直に立て、その中の一定の距離を落下するに要する時間をストップウォッチで測定するといふ方法なのである。圓筒といふのは、ブリキ製の筒で、その中の二米を落下するに要する時間を測つた。その測定器の概略は第33圖に示す如くである。

即ちEは前面の明いてゐる木箱でその底の小さい孔(F)から結晶を落下させる。結晶が落ちた瞬間にこの孔は塞ぐことにした。AとBとは密閉した木箱で硝子の窓が前面と側

が通つた瞬間にキラツと光つて見えるのである。二人の観測者が各々AとBとを注視して居て、其處を結晶が通過するに要する時間を測つた。Gはパラフィンを塗つた硝子板で、落下した結晶を受けるために挿入したものである。



第 33 圖

面とついで
る。側面か
ら手提電燈で
照らし、内部
を黒く塗つて
置くと、結晶

七

装置の説明は前述の如くであるが、實驗の手順を簡単に記すと、先づ降つて來た結晶を、寫眞を撮る項に述べたやうに、冷い硝子の板で受取り、その中で必要な結晶を素早く寫眞に撮つて、その硝子板を結晶が載つた儘E、即ち上の木箱に入れて、その中でマッチの棒

をほぐした先で結晶をひつかけてF孔に入れる。結晶を入れると同時に孔を塞ぐことは前にのべた通りである。すると手提電燈で照されたA及びBのところを結晶がキラリと光つて通る。その瞬間を夫々合圖してストップウォッチで測るのである。そしてGの硝子板に落ちた結晶は裏から指先で暖めて、小さい水滴とし、その直径を測るのである。これで一つの結晶についての測定は終るのであるが、巧く全過程をやるにはなか／＼熟練を要するのである。何分相手は顯微鏡で見るとやうな小さいものであるし、どん／＼雪が降つてゐる嚴寒の野外での實驗であるから、巧く行かないのも當然である。併しこんなことでも皆が氣を揃へて根氣よくやつてゐると段々馴れて來て、これだけの全操作を一分乃至一分半で出来るやうになり、その間に結晶の變形することを心配する必要はなくなるのである。

この測定によつて、結晶の落下速度を色々の結晶の種類について夫々測ることが出来るのであるが、今迄の一般分類では餘りに詳し過ぎてかへつて面倒になり、且つ資料がそれ程澤山集らなかつたので、簡単に結晶を六種に分類してその各々について調べることとした。即ち

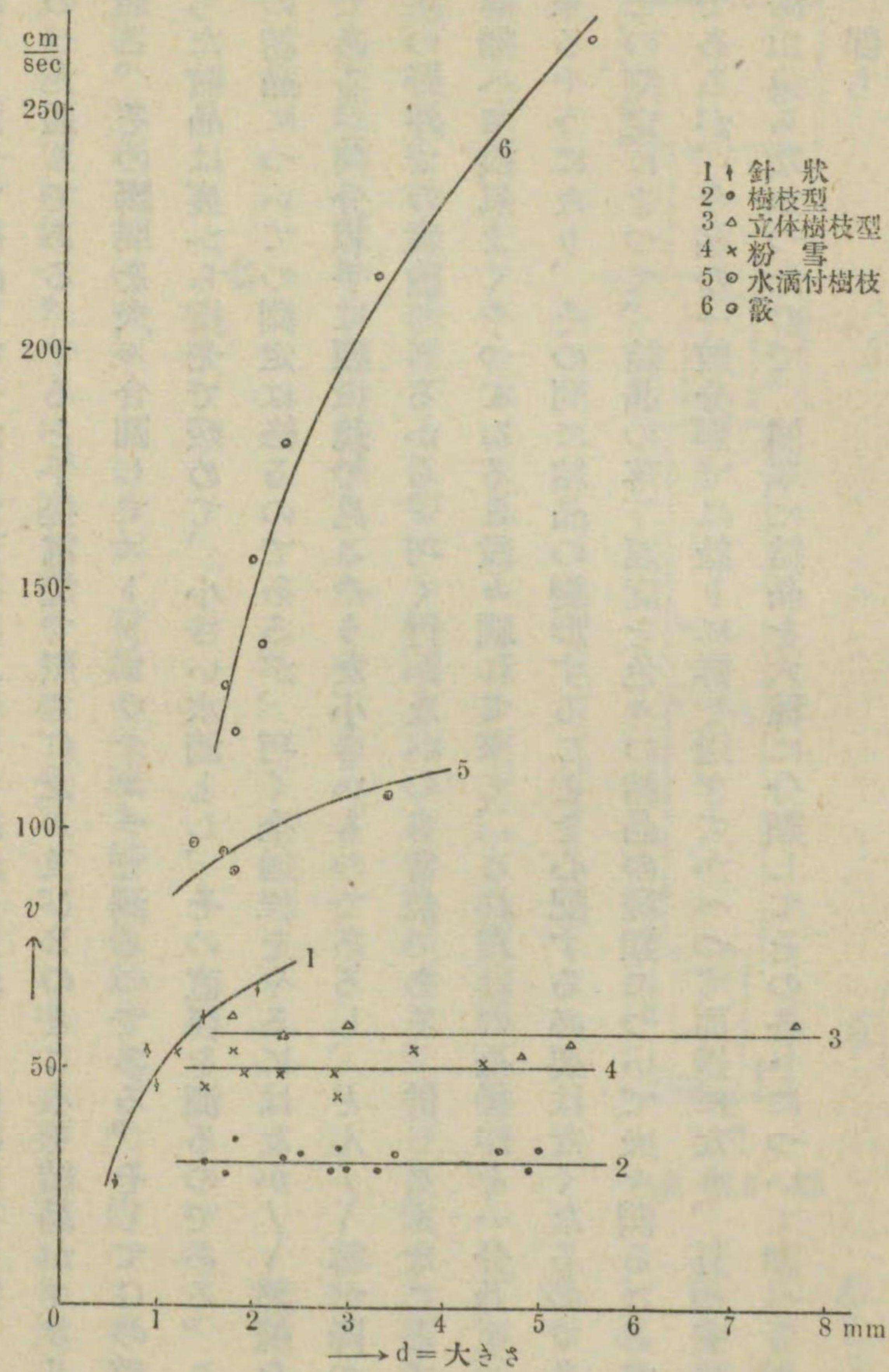
- 1) 針狀（偶然に針が澤山に降つたのでその性質が調べられた）

この圖は横軸に結晶の大きさを採り、縦軸に落下速度を採つたもので、即ち結晶の大きさと落下速度との關係を示したものである。この圖から分るやうに、面白いことには、立體及び平面樹枝結晶並に「粉雪」は、結晶の大きさに無關係に落下速度が一定であるといふことである。即ち平面樹枝結晶は直徑一・五耗位のものから五耗位迄のものについて測定されたのであるが、その落下速度はどれも一秒間に三十纏位である。同様に「粉雪」は五十纏、立體樹枝は五十七纏といふやうに夫々大體一定の値を示すのである。水滴が付いて來ると、落下速度は増して一秒間に百纏位になり、この時は大きさが増すと落下速度も

果を纏めて示すこととする。

これ等六種のものゝの落下速度を示すには圖が一番手取早いと思ふので、第34圖にその結果を纏めて示すこととする。

- 2) 平面樹枝型 (羊齒狀と普通樹枝狀とが多かつた)
- 3) 立體樹枝型 (立體六花と放射型の兩者)
- 4) 粉雪 (角柱角板組合せ、その他小形の結晶を含む)
- 5) 水滴付結晶 (針を除き全部、厚板、霰狀雪を含む)
- 6) 霰 (各種のもの)



第 34 圖

以上で大體北海道に於ける私達の雪の研究の経過をつくしたのであるが、この外に雪の持つ電氣的性質の研究とか、各種の結晶の代表的の大きさの問題とか、それから結晶形と氣象要素との關係なども調べたのであるが、餘り問題が特殊になるので本書では省くことにして、次に之等の雪の結晶を人工的に作る實驗の話に入らう。

三時間かゝつた後の形であることがわかるのである。

結晶の種類	\bar{m}	\bar{v}	\bar{v}/v_r
針状結晶	0.004	50	1/2
平面樹枝	0.043	31	1/6
立體樹枝	0.146	57	1/5
「粉雪」	0.064	50	1/4
水滴付結晶	0.176	100	1/5
霰	0.80	180	1/2.5

即ち \bar{v}/v_r は各々の結晶について、それが若し雨となつて降つた時の落下速度の何分の一になるかを示すものである。これで見ると普通の六花即ち平面樹枝の結晶は $\frac{1}{6}$ になり、雨に比して非常に遅いものであることがわかる。此の結晶では \bar{v} は一秒間に三十一糎の速度となつてゐるが、それは一糎の距離を落下するのに約一時間かゝる位の速度である。普通之等の結晶は少くも二、三糎の上空で出来始めたと考えられるから、地上で吾々の観測するものは少くとも出来始めてから二

大きくなる傾向がある。霰になるとその傾向は更に判然となり、大形になると一秒間に二五〇糎或はそれ以上の速度となる。圖中6の數字は霰であるが、342などところがつて、結晶が大きくなると急に落下速度が大きくなることが一目ではつきりわかるであらう。霰の場合は第33圖の方法では一寸困ることがあるので、天然に落下する儘を巧い方法で寫眞にとつて速度が出せるやうにした。針については資料は少いが、長くなると落下速度も大きくなることは確かであつて、短いものでも一秒間に三十糎、長いものでは七十糎程度のものであつた。兎に角第34圖のやうな圖を一度作つて置けば、今度からは降つて來た結晶を見ればその落下速度は直ぐ分るのである。

結晶の目方と大きさとの關係も今迄の實驗の結果を整理すれば同時に出来るのである。そして第34圖と同じやうに、結晶の大きさと目方との關係を又別の圖として作つたのである。そしてそれ等の測定資料から各結晶の目方と落下速度との關係も見ることが出来た。その爲に各結晶の目方と落下速度との平均値を作つて見ると大體左の表の如くなつた。

この表の中で \bar{m} といふのは平均の目方であり、 \bar{v} といふのが平均の落下速度である。そして最後の行の v_r といふのは \bar{m} なる雪がもし雨となつて降つたとした時の落下速度である。

第四 雪を作る話

雪が人工で出来ないものだらうか。それは四五年前迄は私にとつては全くの夢であつた。そして私計りではなく、各國の此の方面の學者たちの中でも眞面目に雪を作らうなどと思つて居た人はなかつたやうである。私は初め、單に天然の雪華を顯微鏡寫眞に撮ることにとりかゝつた。そして雪の降る日は毎日のやうに廊下に持ち出した顯微鏡を覗いてゐたのであるが、いくら北海道でもさう毎日雪が降つて計りも居ない。それで雪の降らぬ時は合の手として、實驗室や廊下などの窓に出來てゐる「霜の花」の寫眞を撮ることにした。その「霜の花」にも雪の結晶と類似の色々の變つた結晶が見られるのでなか／＼面白かつたのである。そんなことをして居る中にその年の冬の終り頃になつて、もう雪も降らず「霜の花」も餘り咲かなくなつて來た。その頃になつて私は次の問題としてこの「霜の花」を

人工で作つて見ようといふ氣を起した。それで食鹽と雪とで銅の箱を冷して置いてその面へ水蒸氣を送つてやつて、「霜の花」を作ることを試みた。それは案外簡單に出來たのである。もつともそれは、悪友の一人に「便所の窓にだつて出來るものだから、實驗室で出來るのは當り前ぢやないか」と云はれて、大笑ひになつてしまつた。併し便所の窓で氣のついたことは、この「霜の花」が雪の結晶と形が違ふのは、そして硝子面の性質によつても著しく形の異なるのは、硝子面にいつでも附着してゐる有機化合物の薄膜によるのではないかといふ點であつた。それで硝子面にいろ／＼の脂をつけて、その上に「霜の花」を作ることを試みたのであるが、この時は硝子面を完全に綺麗にするのに手間取つてゐるうちに春になつてしまつた。

この「霜の花」を作つてゐるうちに、私の頭の中にいつの間にか、雪の結晶も人工で出來はしまいかといふ氣持が涌いて來たのである。そこで早速三尺位の長さの銅の筒を作つて、それを冷して置いて上部の孔から暖い水蒸氣と冷い空氣とを混ぜて吹き込んで見た。そしてその下に入れて置いた硝子板を時々引出して顯微鏡で覗いて見たが、勿論何も見えはしなかつた。こんなことをしてゐるうちにすっかり春になり、雪の研究の第一年は有耶

無耶の中に過ぎて了つた。その後毎年雪の研究は續けて居たものの、雪を人工で作る試みとしては餘り積極的なことはしなかつた。それといふのはどうして手をつけてよいか見當が付かなかつたのである。併し十勝岳へ出かける度に、毎日のやうに顯微鏡で雪を覗き暮してゐるうちにも、これほど美しいものが文字通り無數にあつてしかも殆ど誰の目にも止らずに消えてゆくのが勿體ないやうな氣が始終して居た。そして實驗室の中で何時でもこのやうな結晶が自由に出來たなら、雪の成因の研究などといふ問題をはなれても隨分楽しいものであらうと考へて居た。

始終さういふ氣持を持ちながら、天然の雪とそれに直接の關係がある霜とを見て居たら、何時の間にかすらくと雪の人工製作への道が開けて來たのである。その最初の手掛りとなつたものは十勝の山小屋の周圍で見た各種の霜の結晶であつた。

二

十勝岳の白銀莊附近では、眞冬の間の氣温は、零下十度乃至十五度附近を上下し、零度以上になることは先づ無い。それで附近の露出物や積雪中の洞穴の雪の壁などに澤山霜の

結晶が出来る。それ等を觀測してゐるうちに、霜の結晶と雪の結晶との間に著しい類似のあることを認めたとであつた。普通高山地方の露出物に附着する霧氷又は樹氷と呼ばれるものは二種あつて、その差は肉眼でも認めることが出来る。その一種は過冷却の水滴が凍結したもので、他は水蒸氣の昇華凝縮によつて出来るものである。この後者は樹霜と呼ばれてゐる。前にも述べたやうに、水は原則として液體から凍結したものは微結晶集合となり、氣體から昇華凝縮したもののみが普通の意味での結晶となるものである。又樹霜と同様な結晶性の霜は積雪中の空所の雪の壁や積雪表面にも出来るので、これをセリグマン氏の命名に従つて、雪中霜及び雪上霜と呼ぶことにする。今こゝで私が問題にするのは樹霜、雪上霜及び雪中霜である。

十勝岳で觀測された霜の中一番見事なものは雪中霜であつた。大樹木の切株や岩の蔭にはよく大きな雪の洞が出來てゐて、その壁に色々の形の霜が發達してゐるのである。外觀上それ等は針狀、羽毛狀、杯狀、平板狀の四種に分類出来る。その外立木の枝の上に出来る樹霜は完全な樹枝狀をしてゐることが多い。これらの結晶の習性は雪と全く同じものである。今これらについて簡単な説明をして見ると左のやうに云ふことが出来る。

(1) 針状 雪の針状結晶と外觀は似てゐて、普通直径〇・二耗乃至〇・五耗位、長さ一糶程の針になつて雪面から突出してゐる。顯微鏡で見ると小角柱から成つてゐて、雪の角柱結晶と比較して見ると、その構造は全く同じであることが分る。

(2) 羽毛状 この種類は十勝岳では最も多く觀測されるものであつて、長いものは五糶乃至七糶位まで伸びてゐるものもある。外觀は鳥の羽のやうに見えるが、顯微鏡下で調べると、(1)の針状結晶が束になつて特殊の配列をするために出來たものといふことが分る。

(3) 杯状 この種類の完全なものは、六角の洋酒杯のやうな形になるのであるが、普通その一部分を形成してゐる程度のもが多い。

(4) 平板状 これは雪の洞の天井からぶら下つてゐることが多い。杯状の霜の尖端が廣がつて平板になることが多く、これと雪の板状結晶とを比較して見ると、殆ど同じものであることがわかる。

(5) 樹枝状 これは雪中霜には餘り見當らないが、立木の枝又は新雪表面には澤山出來る。特に風のない静かな夜のうちに出來、翌朝旭日に輝いてゐることが多い。新雪表面に出來た場合にはスキー家達が「葉雪」といふ特殊な名前と呼んでゐる。顯微鏡下では羊齒

状の構造を示すことが多く、雪の羊齒状平面結晶と同じである。只内部の微細構造は消えてゐることが多い。それは昇華のためである。

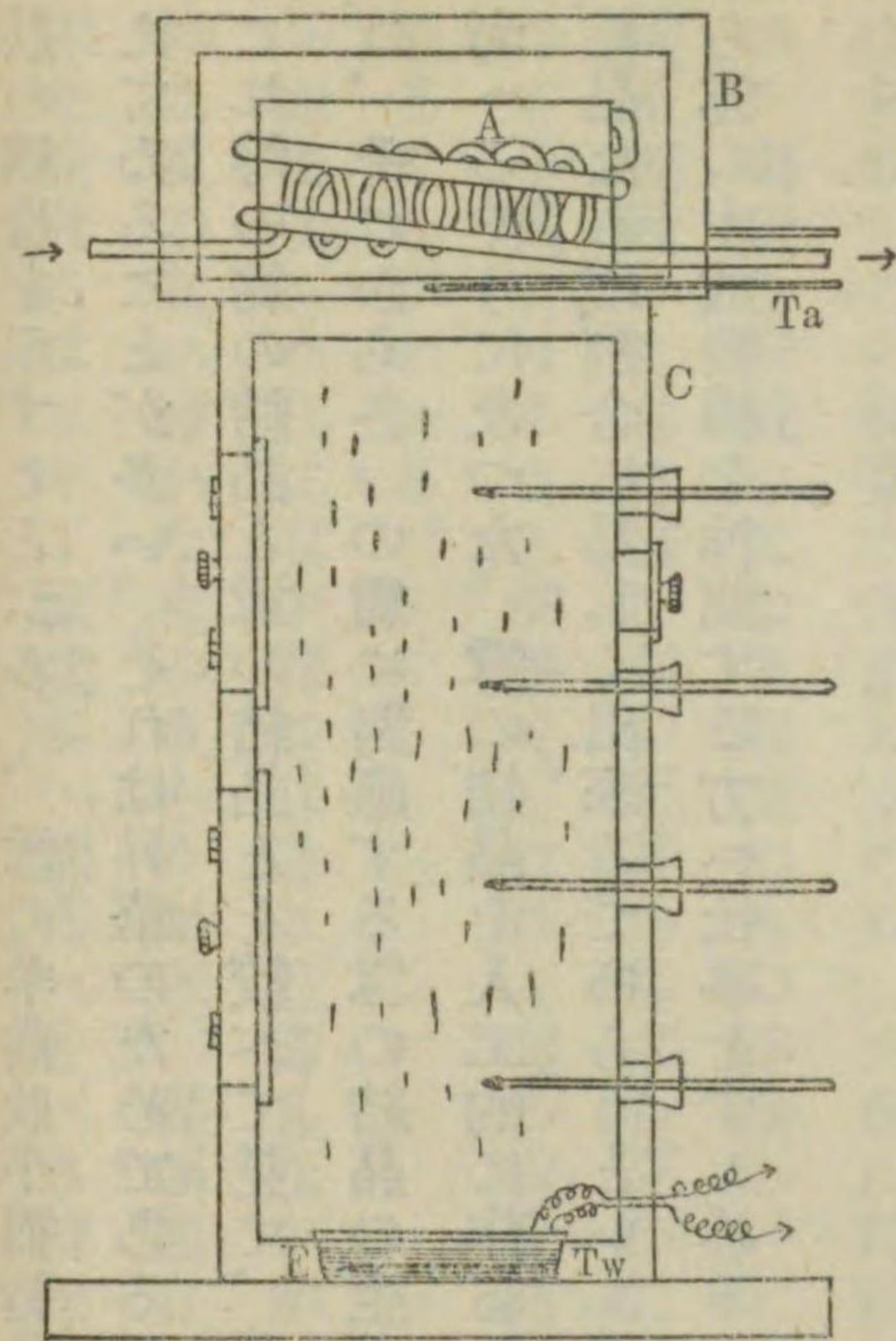
これ等の霜の結晶と雪の結晶とを較べて見て、各種の霜の結晶が出來る時の條件がわかれば、それから各々の霜に對應する雪の結晶の生成機構を推測することが出來る筈であると考へるやうになつた。雪の結晶を人工的に作ることは非常に困難らしく思はれたが、霜の結晶ならば割合に易しく出來るであらうといふ氣がしたので、先づ人工霜を作り、それから雪の生成機構を推測する方へ仕事をすゝめることとしたのである。

三

水蒸氣を凝結させて氷の結晶を作ることとは、既にカリホルニア大學のアダムス教授が試みたことを一九三〇年に報告してゐる。彼は硝子板を冷して置いて、その上に水蒸氣を通して微小な氷の角柱結晶を作つてゐるのであるが、その時の彼の目的は我々の望むところと違ふので、その結晶の生成條件にふれてゐないのである。又彼の作つた角柱結晶といふものは非常に小さいもので、三百倍の顯微鏡下で形が分る程度のものである。之では雪の

天井が銅板になつてゐるわけである。この銅の天井へ霜の結晶を附着させるのである。Bは保温用の木の箱で、AとB、つまり木箱と銅箱との間には綿をつめる。Cは矢張り木の箱で、前面は硝子を嵌込んであり、下のEなる皿には水を入れ、圖で見えるやうに電熱で所要の温度に保つのである。寒暖計は七本用ひ、酒精の温度 T_a 、銅面直前の氣温 T_c 、水溫 T_w の外に水蒸氣の對流の起る空間の四點の氣温を測つた。初め T_0 （以下 T_1 又は T_w などの記號は一々説明をつけぬが前記の説明の通りである）を零下二十度位にして置いて、下の水溫を五度乃至十度に保つて暫く待つてゐると、上の銅板の面から白い雪やうのものがちらちら降つて來るのである。これは銅面に出來た霜がちぎれて落ちて來るのであつて、丁度雪が降つてゐると同じやうな状景を呈するのである。この霜を冷い硝子板で受け取つて、顯微鏡下でその形を調べるのである。小形の霜の結晶は銅面に附着したまゝ落ちないから、かき落して調べた。この實驗をした所は冬季暖房装置を止めた室内で、零度乃至三度位の氣温の時が實驗に便であつた。

四



第 35 圖

この實驗の裝置は第35圖に示す通りである。
Aは銅で作つた箱で、中に酒精を満たし、その中に銅の蛇管を挿入し、蛇管の中に液體空氣を通して酒精を冷すのである。この銅箱の底は下の木箱内に露出してゐる。つまり下の木箱の方から見れば

結晶といふことは出來ない。われ／＼もまた彼のやうに、冷い硝子板を下に置いて、その上に暖い水蒸氣を通して見たのであるが、その時も矢張り霜を十分な大きさに發達させることが出來なかつた。所が偶然な思ひ付きで冷却板を上置いて、暖い水蒸氣を下から自然對流で送つてやつて見ると、思ひがけなく十分に發達した大きい霜の結晶を得ることが出來たのである。そして供給する水蒸氣の温度と出來る場所の温度とを色々かへると、各種の霜の結晶が出來ることがわかつたのである。

この實驗によつてわれ／＼の知つたことは次の如くである。少し専門的な説明になるかも知れないが、この部分は相當必要な事柄であるし、且つ讀者が興味をもつて讀まれるれば、譯なく諒解される筈のことである。結晶の形をきめる主な條件は過飽和の度であるといふことは、雪の場合に限らず結晶一般の性質として分つて居ることである。此の實驗ではその點が更に詳しく明かにされたのであるが、その説明に先だつて、飽和、過飽和及びそれに關係ある事柄に就いて簡単に觸れて置くこととする。

吾々の大氣中には常に水蒸氣が多少含まれてゐて、一立方メートルの空氣中にある水蒸氣の目を互で表はし、これを濕量或は絶對濕度と云つてゐる。しかし空氣が乾燥してゐるとか濕つて居るとかいふことは、必ずしも此の空氣中の水蒸氣の量の多少だけでは決まらないのである。それは何故かといふと、同じ一立方メートルの空氣でも溫度が高い程多量の水蒸氣を含むことが出来るからである。例へば溫度が十五度の時は水蒸氣を含み得るだけ含んだとしても十二瓦八許りであるが、三十度の時には約三十五瓦四も含むことが出来るのである。それ故に、例へば同じ一立方メートルの空氣中に水蒸氣が十瓦含まれてゐる場合を考へると、溫度が十五度の時ならば、それは含み得る水蒸氣の極量に近い分量を含んで居ることになる

から、餘程濕つてゐることになるが、若し溫度が三十度であつたならば、それ位の水蒸氣ではまだ多分に水蒸氣を含む餘地があるので、空氣は十分乾いてゐるといふことになるのである。そこで空氣の乾濕は、一立方メートルの空氣中に現に含んでゐる水蒸氣の分量と、その時の溫度で含み得るだけ含んだ場合の極量との比で示し、これを比較濕度又は單に濕度と呼ぶ。通例パーセントで示すのであるが、そのパーセントを略して濕度八〇とか六〇とかいふ風に呼んでゐる。即ち濕度は零と百との間の數で示される。そして水蒸氣が極量に達した時、即ち濕度一〇〇の時を空氣が水蒸氣で「飽和」したといふのである。

この水蒸氣で飽和した空氣を漸次冷して行くと、その水蒸氣の一部は、氣溫によつて水滴になるか又は氷の結晶となつて分れ出る筈であるが、實際は空氣中に前に述べたやうな吸濕性の細塵やイオンなどが無いと、水蒸氣は凝結の手がかりがない爲に溫度が下つても凝結しないのである。この状態では水蒸氣はその氣溫での飽和の状態以上に存在するので、即ち「過飽和」の状態になつて居るのである。空氣がかういふ過飽和の状態になつてしかも氣溫が零度以下の時に、何か核になると、其處から雪の結晶が生じ、更にその後過飽和の空氣がこの結晶に觸れると雪はどん／＼生長して行くのである。

所で第35圖に於てCなる箱の内部での水蒸氣流の状態を見るために、下の水溫が室溫より高い場合と低い場合とについて、それ〴〵箱内の各點での溫度を測定して見た。その溫度分布狀況を見ると、水溫がかなり高い時でも大體箱の内部は一様に室溫に近い値となつてゐた。この時箱の内部を、硝子板を通してよく見ても、著しい霧のやうなものは見えない。つまり水蒸氣は過飽和の状態で上部の場所に運ばれ、そこで霜の結晶となつて凝縮するといふことが分つたのである。

ところで結晶形は T_a と T_w とで主として決定されてゐるらしいので、この時の過飽和の度をきめる必要がある。その目安として過飽和の比 s を採用することにした。 s といふのは T_w なる水溫の所での飽和水蒸氣壓 S_w と結晶の出来る所の氣溫 T_a での飽和蒸氣壓 S_a との比である。即ち $s = \frac{S_w}{S_a}$ で現したものである。之は下の暖い水溫の所で飽和した水蒸氣流が上方の冷い場所へ行つた時の過飽和の度を示すものである。もつとも過飽和の度は兩者の差 $S_w - S_a$ でもあらはせるが、この實驗の結果では S_w/S_a を一つの目安と採つた方が結

果の整理に好都合であつた。それで以下この過飽和比 s を主として用ひることとする。

この s は結晶の出来る時に實際に過飽和が何倍になつてゐるかを示すものとは限らない。内部の對流の工合で蒸發する水蒸氣が全部霜の出来る場所へ運ばれるとは限らない。又上昇する氣流が水面を離れる時にもその條件で完全に飽和されてはゐない。それ故に實際に結晶の出来る所での過飽和の比は s より小さいものである。即ち s の値自身は装置の形、周圍の熱的條件などによつて變るものである。しかし相對的には一定の裝置については s を以て各種の結晶が出来る時の過飽和の度合を示すものとする事が出来るのである。

この實驗の結果では s が大きい時は結晶は針狀になり、以下 s が小さくなるに従つて、結晶は樹枝狀、樹枝角板中間形、角板、角錐、角柱、側面付角柱の順に變化して行くことがわかつた。それ等の結果は次の表で示す通りである。

かういふ風にして作つた各種の霜の結晶は大體に於て雪の結晶と同じものであるが、中には少しく違つてゐるものもあつた。

各々の結晶について簡単な説明をすると、

(1) 針狀結晶 過飽和の比が一番大きい時に針狀が得られたことは一寸意外であつた。こ

結晶形	実験回数	T_a の範圍	T_w の範圍	s の平均
針狀結晶	5	-5°~-14°C	+6°~+8°C	7.5
樹枝狀	4	-16°~-22°C	0°~+4°C	6.6
樹枝角板中間型	5	-7°~-16°C	+1°~+12°C	4.4
角板	6	-5°~-13°C	+3°~+4°C	3.5
角錐	3	-3°~-10°C	0°~+6°C	2.2
角柱	4	-5°~-6°C	0°~+1°C	1.7
側面付角柱	3	-2°~-3°C	0°~+5°C	1.6

の結晶は、針が數本並行に束になつてゐる點も雪の場合に似てゐる。過飽和比 s は六乃至八の範圍内にあつて平均七・五になつてゐる。雪の針狀結晶が氣温が高く水蒸氣の量が多いと思はれる時降ることと、この實驗の結果とはよく一致してゐる。

(2) 樹枝狀平板結晶 樹枝狀結晶が水蒸氣の供給が多い時、即ち生長速度の大きい時に出来ることは、雪の場合と限らず結晶一般の性質である。此の實驗の條件では s の平均が六・六位の時にこの樹枝狀が得られた。

(3) 樹枝角板中間型 s をだん／＼減少して行くと、前述の樹枝の一部を示す鱗片が擴がつて来る。そして s が三・五乃至五・五位の範圍内では小角板が集まつて簡單な樹枝狀をなしたやうな即ち樹枝角板中間型となる。

(4) 角板 s を更に小さくすると、即ち三乃至四の範圍内

では角板が益々大きくなつて来る。その時出来る角板は勿論一枚であるが、このやうな角板が六枚集つた雪は實際に澤山存在する。また稀には全くの六角板が出来ることもあつて發達したものである。即ち附着すべき固體表面の影響を餘り受けなかつたので、正規の六角の形、つまり空中に浮遊して出来る雪の形と似たものになつたのである。

(5) 角錐 角錐は天然の雪の結晶の中では最も珍しいものであるが、人工霜の場合は比較的簡單に出來た。此の角錐と次の角柱とは殆ど同じ條件で出來たのであつて、 s が樹枝などの場合と比較して三分の一以下に小さくなつた場合である。結晶生長速度は隨つて非常に遅く、大形の結晶は得られない。

(6) 角柱 これも非常に小さい結晶としてのみ得られる。角柱と角錐とは同時に出来ることが多い。二つの組合せからなる所謂砲彈型のものも屢々觀測された。

(7) 側面結晶 角柱結晶を作つてゐる間に、角柱の一側面が延び出たやうな形のものが出た時得られた。この時の s は一・六位で角柱の出来る條件と大體同じであつた。この側面結晶が實驗室内で出來たので、天然雪の一般分類の中にも側面結晶といふ新しい種目を

入れることが出来たのである。

以上に述べたやうに、天然の雪の各結晶にそれ／＼對應する霜の結晶が、人工的に作られたので、その條件から天然の雪の生成條件を幾分類推することが出来るやうになつた。しかしまだこの實驗で得られた霜の結晶は雪の結晶とは完全な一致を見てゐないものもあつたので、更に進んで本當の雪と全く同じものを作る實驗に入る決心をしたのである。

六

人工霜から更に進んで人工雪を作らうと決心しても、決心や信念だけで自然現象が分るわけもないので、仕方なく唯一の手がかりたる霜の結晶をもつとよく見ることにした。先づ前の實驗装置で霜の結晶が何故自然にちぎれて落下するかといふことを見る爲に、銅箱の底に銅の楔をつけてその楔の先端に霜の結晶を作るやうにして、その結晶を箱の外から焦點距離の長い顯微鏡で覗くことにした。さうすると霜の結晶が段々生長して行く途中の各状態を、外からいつでも觀測することが出来るのである。その實驗で難なく分つたことは、霜の結晶が或る程度發達すると、銅面に近い即ち根の部分が昇華のためにだん／＼細

くなつて行つて、遂にちぎれるのであつた。霜が或る程度以上發達すると、下から上つて来る水蒸氣は、叢生してゐるこれ等の結晶の内部まで行くことが出来ずに、逆に出来てゐた結晶の水分子迄がより冷たい銅面の方へ昇華によつて移つてゆくので、根元はだん／＼瘠せるのである。そして遂には霜の結晶が細い氷の糸で吊られたやうな形になり、ついで結晶がちぎれて落下するのである。それで完全な人工霜を作るには、銅箱を冷してその面に作るのでは駄目で、さういふ冷たい銅箱を取り除けて了つて、装置全體を冷たい室の中に入れてなければならぬといふ大切なことが分つたのである。随つて人工雪の場合に於いては勿論のことである。所が丁度その頃北海道帝國大學内に、常時低溫研究室といふ御誂へ向きのものが設置された。

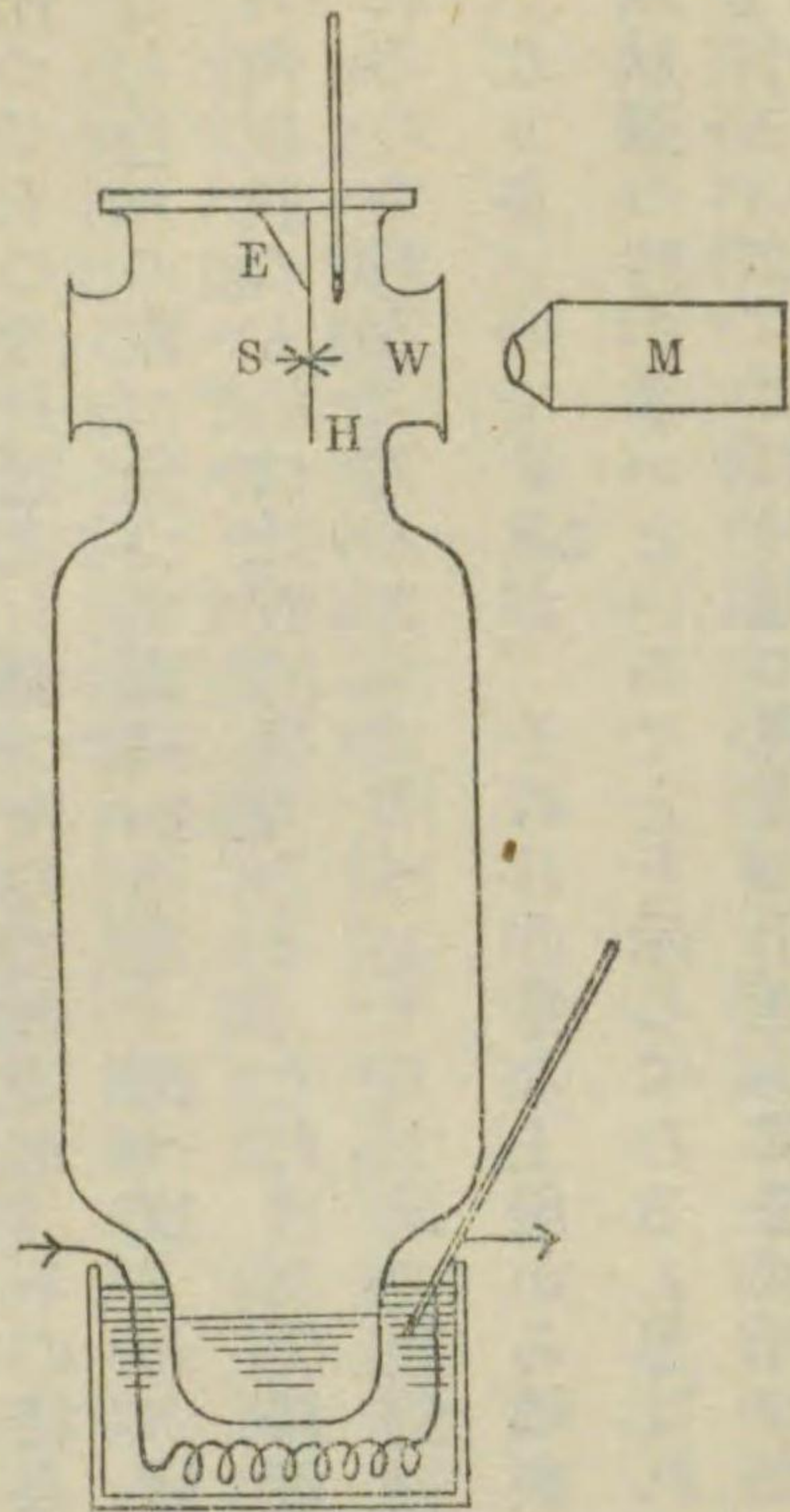
この實驗室は一九三六年の二月に出来上つた。その主な實驗室は、縦、横、高さ各、四米で、即ち八疊の間位の大きさである。この室が年中零下五十度迄の任意の溫度に冷して、その寒冷の溫度で保てるやうになつてゐる。外にその主室の半分の大さの副室がついてゐて、この方は零下三十度迄冷却出来るやうになつてゐる。冷却機はアンモニア使用の製氷機である。この實驗室が出来たので、大喜びで早速人工霜の装置を低溫室内へ持ち込ん

で、大いに馬力をかけて実験をすることとした。もつとも零下五十度迄冷せるといつてもそんなことは止むを得ぬ時だけにして、大抵の実験は零下三十度附近の所で行ふことにした。それでもこの室へ入る者は、毛皮の防寒服、防寒頭巾、防寒靴及び手袋を着用しなくてはならないことは勿論である。丁度北滿の嚴寒の野に立つ哨兵とまつたく同じやうな服装をして、こまかい物理の実験をしようといふのであるから、仕事はなか／＼思ふやうには捗どらない。その様子は第36圖（第五圖版）の寫眞を見ていたゞけば了解されることであらう。

零下三十度といつても、風が無いので、はひつた當座はそれ程寒いとも思はないのであるが、三十分も中で仕事をして居ると、急に身體が冷えて来る。特に夏がいけないのであつて、外の氣温が三十度近くある時などは、急に六十度からの氣温の激變に會ふことになる。さういふ氣温の激變に度々會つて居ることは、健康の爲には勿論よくない。それでも少しづつ身體を馴らして行くと、案外耐へられるのである。

所でこの室で実験をするためには、前に示した人工霜の装置を少し改める必要がある。前圖のA及びBは今度は必要がなくなる。即ち上部の銅箱を銅板に代へたものを低温室へ

持ち込んで、前と同様の実験をしたのである。初めの中の實驗は零下二十度乃至三十度の室温で行ふこととした。また他に第37圖のやうな硝子製の装置を作り、特に純粹にした水或は重水で霜を作つて見る場合には之を使ふことにした。この装置も主意は前装置と全く



第 37 圖

同様である。（圖中細い毛に六花の結晶の附いたやうに描いてあるのは、後で述べる人工雪である。初めは毛の代りに木や銅の楔を置いてそれに霜をつけることにしたのである。）

霜の實驗をやり直して見ると、豫期通り、見事に發達した美しい霜の結晶がいくらでも出来るので大いに力を得たのである。そしてこの實驗では、先づ霜の結晶の生長の各段階を調べることにした。雪に限らず凡ての結晶は、生長の速度が大きくなると樹枝狀に發達し、小さくなると簡単な基本形に近い形となる。そして前に云つた過飽和の度といふのは、こ

の結晶の生長速度を支配するのである。それで角板は生長速度が遅く、角柱、角錐になると更に生長が遅いといふことは結晶の常識で考へられる。實驗の結果は豫期の通りで、例へば氣温零下二十五度、水温零度で一晩放置しておくとも角板の見事なものが得られた。その時の生長速度は樹枝の時の約十分の一であつた。このやうにして色々の型の霜の結晶を作つてその生長速度を測つたのであるが、その結果を應用して天然の雪のことを考へて見ると色々の點が分つて面白かつた。例へば、わが國では綺麗に發達した六花型の雪が多く、六角板状のものは比較的稀である。これは勿論湿度が常に大きいためによるものと諒解されるのである。アメリカではベントレー氏の觀測結果によると、六角板状の大形の結晶がかなり多いのであるが、それは非常な上層から地表近くまでずつと湿度の小さいやうな氣象状態の時が多いといふことを示してゐると思はれる。我國で時々見られる六角板は非常に小さいが、これは稀に湿度の小さい氣層があつても、それが薄いものとして説明される。歐洲で觀測された雪の結晶をヘルマン教授が調べたところによると、六角板状のものは皆小形であるといふことになつてゐる。その點はわが國の冬期の上層の氣象状態と似てゐるのであらうか。尤も最近の人工雪の實驗の結果によると、角板になる條件は湿度が小さい

ことばかりでなく、氣温、水蒸氣供給度、水蒸氣の溫度などが時間的に一定であるといふことも大切であることが分つた。この點も考慮に入れて置く必要がある。

前に擧げた重水による實驗の結果はこゝには煩を避けて記さぬこととするが、重水の霜も亦後に作つて見た重水の雪も、普通の水の霜や雪と本質的には差のないことが分つた。

七

以上の實驗で兎に角霜の方は先づ完全な結晶を人工的に作る事が出来るやうになつた。すでに述べたやうに霜と雪との間には、結晶習性上本質的の差はない。それで人工霜の生成條件から或る程度迄雪の結晶の出来る時の状況を類推することが出来るのである。それで私は、霜に關する實驗の記述を随分廻りくどく述べた。しかしこれは雪の結晶を作ることを説明するのに、徒らに迂廻してゐたことには當らない。事實は、私の研究自體がこゝのやうに迂廻した経路を踏んで來たのである。

さて霜の生成條件と雪の結晶が出来る時の條件とは略同じだと云つたものの、霜の場合にはすぐ近くに固體表面があるので、つまり霜は地物の上に出来るものなので、その熱的

影響のために、餘分の條件が一つ入ることとなる。それで人工雪の場合には、なるべく天然の雪のやうに空中に浮游の状態に近い條件の下で結晶を作るやうにする必要があつた。しかし、狭い實驗室の中で、天空から數時間もかゝつて落ちて來ると同じ條件を作ることとは出來ないので、それだけの時間の間、なるだけ空中に浮游してゐるのと似寄つた條件の下に結晶を置くやうに工夫をしたのである。それには細い纖維を使い、その一點に結晶の核を附着せしめ、それから結晶を發達させるといふ方法が先づ考へられた。即ち雪の結晶を蜘蛛の糸で吊したやうな形で作つて見ようといふのである。それで早速その方法を採用したのであるが、低溫室内に装置を入れて、纖維を吊して、温い水蒸氣を送つて見ると、纖維一面に霜の結晶が附着して、丁度毛蟲のやうな形になつてしまふのには一寸弱つた。これでは困るので、纖維上の一點だけに氷の結晶を付け、そこから雪の結晶を發達させながら、纖維の他の部分には霜が附着しないやうにする工夫が次に必要となつて來た。初めの中は、そんな勝手なことが注文通りに出來るとは一寸考へられなかつたのであるが、有難いことには、根氣よく色々やつて見て居ると巧いものが見付かつた。それは極細い兎の腹毛であつた。どうして兎の毛がよいかといふ理由は、後で詳しく述べることとして、兎

に角兎の毛を巧い條件の下で使ふと、ちゃんと雪の結晶が出來たのである。その條件といふのは先づ兎の毛を十分よく乾燥させて置くことと、水溫を初め低くして置いてそれから徐々にあげることであつた。

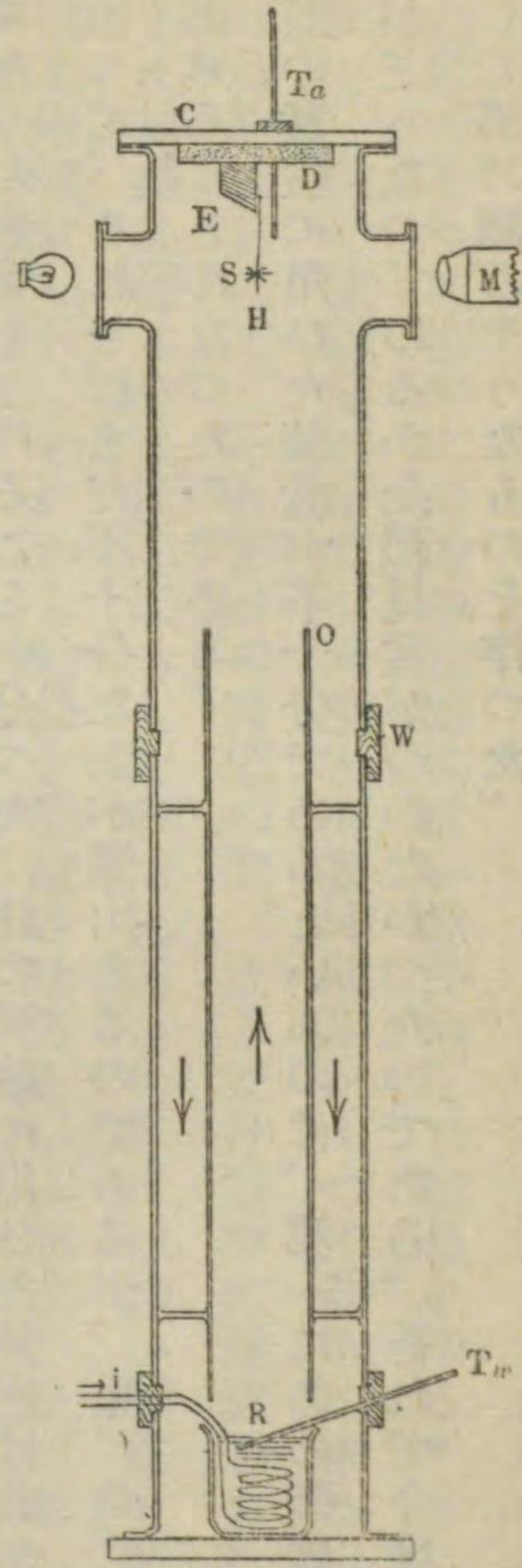
このやうにして水溫を適當に調節してやると、天然の六花の雪の結晶と全く同じものも出來れば、角板狀、角柱、砲彈型などのいろいろの結晶も、後には勝手に作ることが出来るやうになつたのである。

その生成條件をきめるものは、第一に過飽和の度合であり、この點は人工霜と同様であつた。そして今度の實驗では、その外に結晶の出來る所の氣溫、對流の様子などによつても可なりの影響をうけることが分つた。此の實驗に用ひた装置は前出の第37圖に示すものであつて、これではまだ不十分な點が澤山あるのであるが、兎に角之で雪の結晶が人工的に出來ることになつたのである。

前の實驗に用ひた装置が不十分であるといふのは、第一にあの装置では内部の空氣の對流がどうなつてゐるか全然見當がつかなかつたのである。それで今度は前の装置を少し改良して第38圖のやうなものを作つた。

次に對流の工合を全く異にする装置を作り、装置第四とした。その原理は、電熱で暖めた硝子管内に氣流を自然上昇せしめ、冷えた銅の側管内を自然下降せしめるといふのである。この装置では對流を可なり強くすることが出来て、毛に附着した雪の結晶が激しく動揺する位であつた。羊齒狀結晶はこの装置では非常に速く生長し大形のもので出来た。

し、冷えた空氣は二本の硝子管の間を下りるやうにした。即ち空氣は第38圖に矢印で示したやうな経路の對流を起すのである。圖中Cは銅板の蓋でその内面にはDなるコルクまたは木の板を置いた。Dは結晶が直接冷たい銅板に面しない爲に挿入したもので、Dの有無によつて結晶の出来る所の氣温 T_a の値は著しく左右される。楔Eは銅または木で作られ、及びDの物質を色々組合せることによつて、 T_a を適宜加減して色々の種類の結晶を作る際の二次的要素の調整をした。即ち結晶形は主として、室温 T_r と水温 T_w とで決定されるのであるが、結晶の出来る場所の周囲の熱的條件も二次的にはかなりの影響を與へるからである。



第 38 圖

これは大部分硝子製で、大小二本の硝子管を圖の如く立てて、暖い水蒸氣は内部の管内を上昇

Wは木の環であつて、これから上部は取りはづしが出来るやうになつてゐる。そして上部の形のいろ／＼變つたものを挿しかへて、實驗が出来るやうにした。その一つは上部を單に短かくしたもので、結晶の出来る場所が暖い水蒸氣の出口に近くなるやうにしたものである。即ち此の第二の装置では第一の即ち第38圖の装置よりも、同じ室温及び水温に對して、結晶の出来る所への水蒸氣の供給が多いやうにしたのである。第三の装置ではこれに反し上部を細くして水蒸氣の供給が少くなるやうにして見た。即ち一定の室温について、第二及び第三の装置では第一の装置の場合に比し、夫々水温を低く或は高くした場合に同形の結晶が得られるだらうといふ見込で、これらの装置を作つたのである。實驗の結果は豫想通りであつて、水蒸氣の對流の状態によつて結晶形が著しく影響されることが確かめられた。

人工雪の研究の第二段としては先づ核の問題を調べる必要がある。

雪の核の本来の意味は、水蒸気の凝縮の中心となるもの、即ちイオン、空氣コロイド粒子或は細塵などを指すものであることは、既に詳しく述べた通りであるが、便宜のためここでは、それらに水蒸気が凝縮して出来た氷の微粒子を核と呼ぶこととする。即ちこゝでは核と呼ぶのは雪の結晶の極初期の状態を指すのである。

先づ雪を吊すべき毛の上に今云つた意味での核を作ることが問題なのであるが、それは可なりむづかしいことであつて、普通に毛を上昇気流にさらすと、水蒸気は毛の全體に霜の結晶となつて凝縮し、少數の雪の核だけを作る目的には適はない。問題は毛の上に點々と分離して附着した雪の核を作り、それから雪の結晶を發達させ、毛の他の部分には霜を附着させないやうにすることに歸するのである。核を點々と分離して作ることに成功さへすれば、後はその核から色々の型の結晶を生長させるのは比較的容易である。それで核を作る最適の條件を發見するためには、いろ／＼の實驗をしなければならなかつた。それを

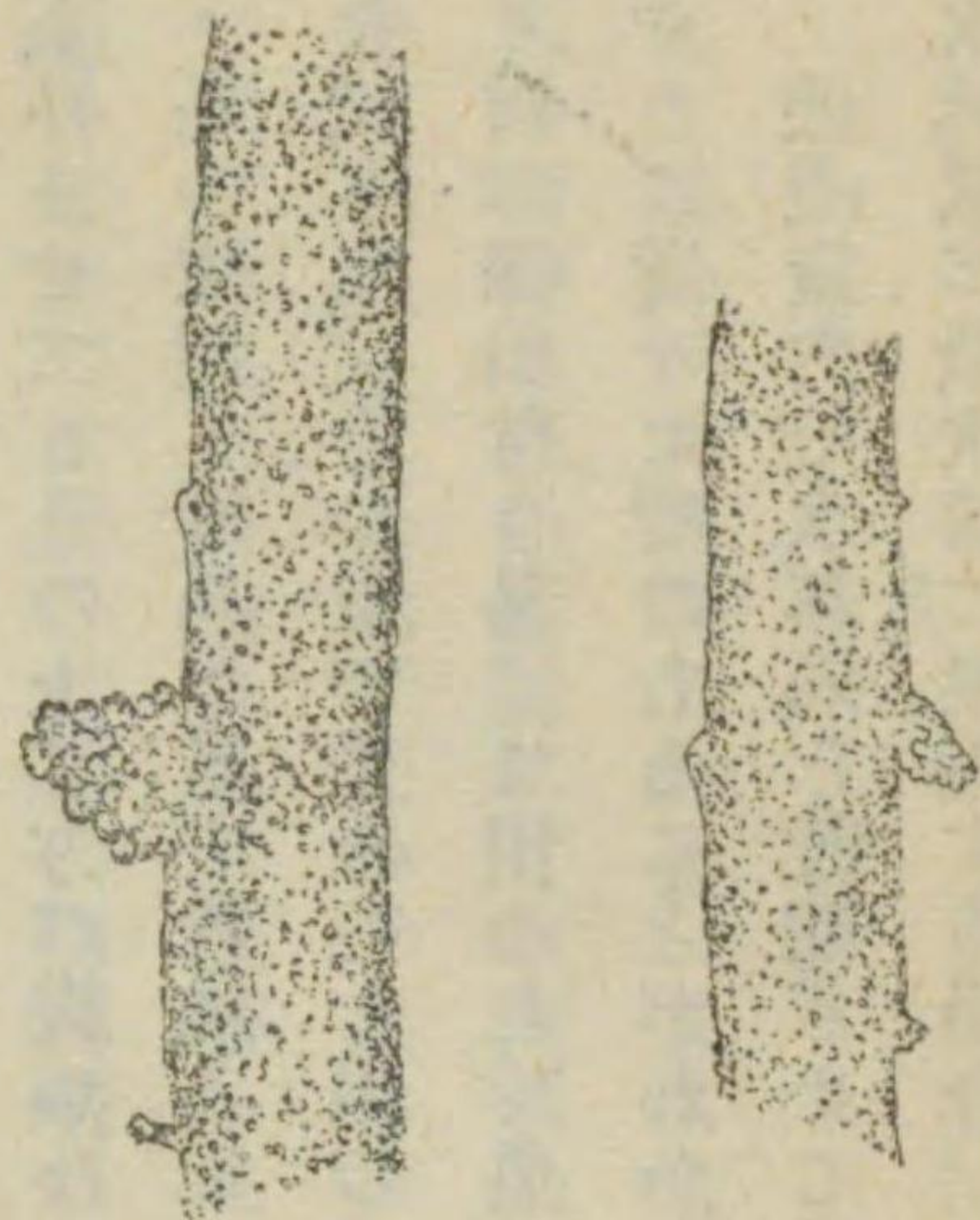
箇條書にして書き出して見よう。

(1) 毛の乾燥度 毛は種類の如何を問はず、十分に乾燥してゐることが大切であつた。濕つた毛を入れると、毛の全體が凍つて氷の鞘で蔽はれてしまふので、霜は全體に生ずるのであらうと思はれる。

(2) 水溫の上げ方 毛を装置内に入れてから、水溫 T_w を上げて暖い水蒸気を毛の方へ送るのであるが、この際水溫のあげ方が大切である。 T_w は十度位から徐々に上げてゆくことが大切であつて、急激に上昇させると澤山の核が毛一面に出来てしまふ。 T_w は零度から上昇させてもその上げ方が緩かならば差支へなかつた。

(3) 毛の種類 結晶を吊す纖維としては、兎の腹毛、絹、木綿纖維、羊毛、蜘蛛の巣などを試みた。その中で兎の毛と絹の纖維とが一番良いことがわかつた。他の纖維ではとかく核が澤山付き易くて困つた。兎の腹毛を高倍率の顯微鏡下で調べたところ、第39圖のやうに所々に瘤のあることがわかつた。

低温室内で水蒸気を凝縮させて見たが、この瘤が最初に氷で蔽はれるのが見られた。水蒸気が微水滴に凝縮する場合、イオンを核として凝縮するといはれてゐるが、それは



第 39 圖

空氣中に塵埃が全くない場合で、少しでも塵埃があれば、イオンよりも塵の方を核として凝縮するのである。今イオンの問題を別にして考へるに、水滴の蒸發は表面張力の影響で飽和蒸氣中でも進行する。それで微水滴の生長にはかなりの度の過飽和が必要である。その過飽和度は水滴が小さい程大きいことが必要で、換言すれば與へられた過飽和度では、水滴が或る限界の大きさまで何かの理由で生長したものが、その先も生長することが出来、それより小さいものは蒸發してしまふのである。塵があると、これを中心として出来た水滴が多くの場合その限界の大きさを越えることが出来て益、生長するのである。第39圖に示した兎の腹毛の瘤に氷が附着して、小氷塊になると、その氷塊は益、生長するが、他の部分には凝着しにくいので、或る點だけに雪の核が出来ると説明される。後には絹纖維をパラフィン蒸氣の上に暫くさらしてそれを

用ひて見たが、それも今の目的に適してゐた。

(4) 毛の太さ 同種の毛では太いものよりも細いものの方が結果がよかつた。細いものは核が早くついて、そして點々と離れてつきやすかつた。

(5) 天井の物質の影響 第38圖の裝置に於ける天井Dの物質をかへると T_a が變り、隨つて核の出來方に影響した。勿論Dの物質はその後の雪の結晶の生長にも影響した。コルク、木材、銅の三種類を比較した所では、コルクの時が與へられた T_r 、 T_w に對して T_a が一番高く、獨立した核が出來易かつた。又核の出來る迄の時間も一番短かつた。銅の時はその反對で核の付く迄に時間がかかり、木材は兩者の中間の性質を示した。これは熱の傳導度によるものである。

之だけ事柄が分つて來ると、毛の上に雪の核を少數だけ作るといふ一見甚だ無理なやうなことが、難なく何時でも欲しい時に遂行出來るやうになつたのである。

九

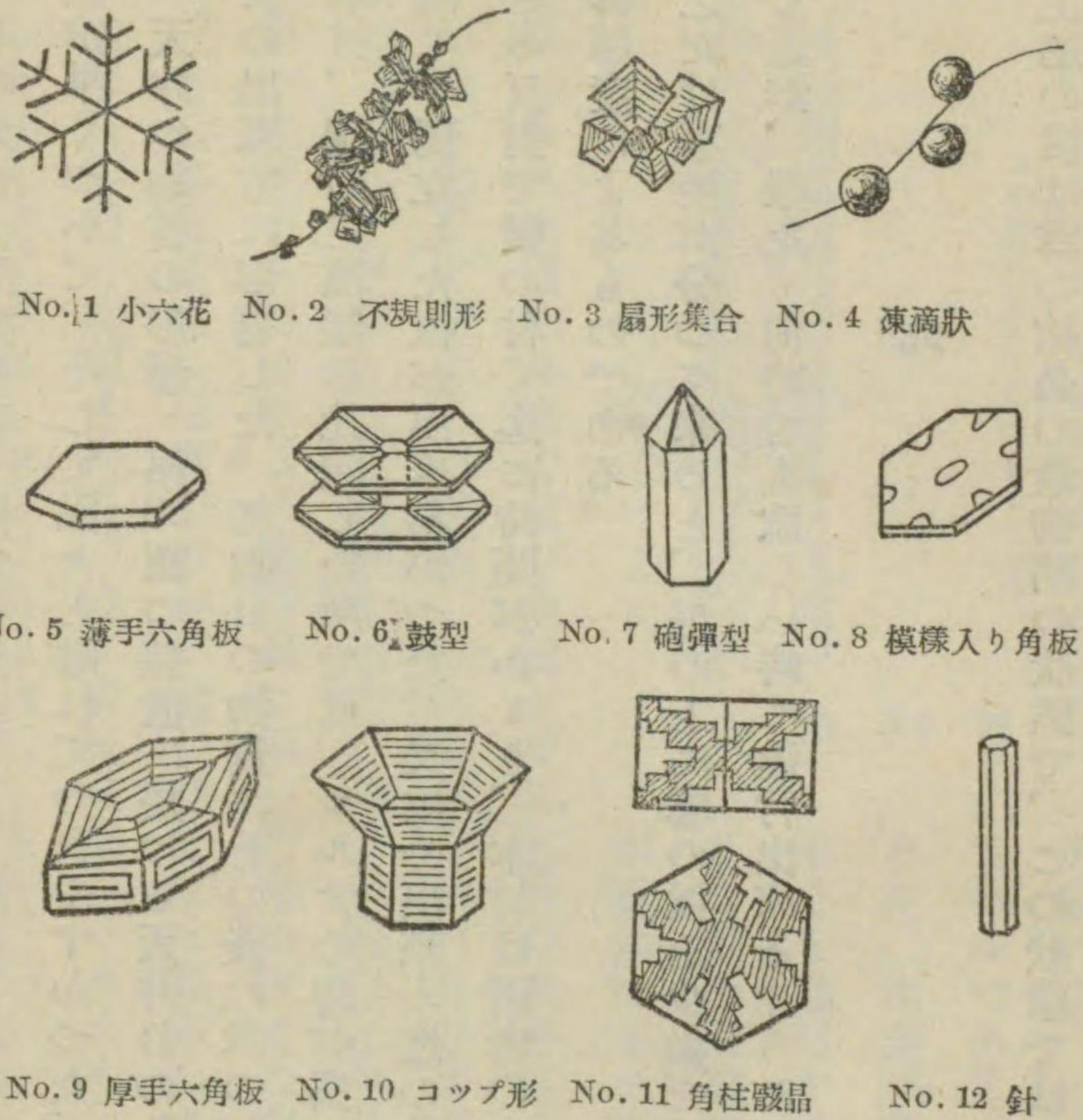
上述の核は雪の結晶の最初期の状態で、この状態ではその形は普通の倍率の顯微鏡ではまだ十分に識別することは出來ない。併しこの核は見え始めるとどん／＼生長して、間も

(2) 中間的のもの (3) 扇形集合のもの、(5) 薄手六角板などがこれであつて、生長速度は(1)の場合よりも少し遅い。

(3) 生長の遅いもの (6) 鼓型、(7) 砲弾、(9) 厚手六角板及び(10) コップ形(11) 角柱骸晶及び(12) 針などがこの類に屬し、結晶を緩かに生長させた時に、これらのものが得られる。五時間位は普通で、中には二十五時間もかゝつたものもある。もつともこの時間は大した意味はないので、例へば二十五時間かゝつて生長したといふ結晶の寫眞を、十五時間のときにとつたとしても、その差は少し形が小さいといふ位のことしか見られないのである。

説明をすれば次の如くである。

(1) 急激に生長するもの (1) 小形六花、(2) 不規則形、及び(4) 凍滴状はこの種類に屬し、これらは例へば第41圖(第五圖版)に示した程度迄生長するのに三十分位かゝる。同一實驗に於て、一本の毛に例へば小形六花が出来、他の毛に角板集合が出来るやうなことがあり、前者は生長が速く後者は遅いといふやうなことが屢々ある。これは多分核の形の差によるものと思はれるが、核自身の形はわからない。高倍率にして見るために装置外に出すとすぐに昇華してしまふからである。



第 40 圖

この状態を以下「結晶初期」の状態と呼ぶこととする。結晶初期の状態にもいろいろ雑多な種類があつて、その複雑の度は雪の結晶の場合と同程度であることが分つた。そのうち十二種の型を模型的に第40圖に示す。その中(1)小六花、(6)鼓型、(10)コップ型、(11)角柱骸晶の四種だけは、寫眞を第41、42、43、44圖(第五圖版)に示すこととする。之等の結晶初期を三種類に分類して簡単な

なく顕微鏡下でその形と構造とがよく見える位に發達する。

これらのうち、(8)(9)(10)及び(11)は結局同じもので、角柱の骸晶である。骸晶の模範的の形は第40圖(11)に示したもので、同圖上方は側面圖、下方は平面圖である。この結晶は上下両面及び側面から階段状の穴が入りこんで居るやうな形となつてゐるので、(11)で斜線を引いてある部分が、氷の實質のある部分である。この角柱の丈けが低くなると(9)の厚板になり、更に低くなると(8)の模様入り角板となるのである。(10)のコップ形の結晶は氷の部分が非常に薄くなつた場合である。鼓型は天然の雪の場合には、一般に骸晶的發達をした角柱の兩底面に六花が付いたものであるが、この場合の鼓型は無垢むくの氷の針に角板が付いたものである。この無垢の氷の針はそれ自身獨立に出来ることもあつて、その例が(12)である。このやうな結晶は天然の場合にはまだ見當らない。生成條件は詳しいことは分らないが、低溫、零下三十度以下で水蒸氣の供給を少くした時に出来易いやうである。

次には以上に述べた「結晶初期」の状態がその後の雪の結晶の生長にどのやうな影響を及ぼすかといふ問題が出て来る。即ち地上へ降つて来てわれ／＼の目にふれる所謂雪の結晶は、この初期の結晶の如きものから漸次生長して大きくなつた結晶なのである。此の結晶の初期状態が其の後の結晶生長に及ぼす影響を示す好い例は立體樹枝型の雪である。

天然の雪には立體樹枝の中に立體六花型と放射型とがあることは前に述べた通りである。初めの立體六花型の雪は普通の六花型の結晶が生長してゆく途中、他の核が枝の各點に附着して、其處から立體的に餘分の樹枝状の枝が伸び出たものと考へれば説明が出来るのである。所が放射型のもは、結晶が生成初期に於いて特殊な形をしてゐた爲に、その各點から枝が八方に伸び出たものと考へねばならない。放射型の中でも前に述べたやうに、中心に角柱の集合があるものはそれを初期状態と見ればよいのであるが、中にはこの角柱集合が見えぬものもある。その種のものはこの實驗から第40圖の(3)即ち扇形集合から發達したものであることが分つた。即ち初めに扇形集合を作つて置いて、それから樹枝を發達させると、ちゃんと放射型の立體樹枝になつたのである。第47圖(第六圖版)がその一例である。これらの結晶初期の形といふものは、天然雪の場合では天空に於いて出来始めた形であるから、本來は窺ひ知ることが出来ないものである。ところが人工雪に於いては、これ

らのことが判然と知ることが出来るのである。

一一

このやうにして人工雪が何時でも出来るやうになつたので、室温、水溫、裝置などを色色變へて、約七百種許りの結晶を作つて其の顯微鏡寫眞を撮つた。

室温は初めは零下二十度乃至三十度位で實驗を行つて居たのであるが、其の後室温を零下四十度位迄下げて見ると、出来る結晶の形がまるで變つて了ふことが分つた。それで實驗を二つの群に分けて、零下二十度乃至三十度の時の結晶と、零下四十度附近の時の結晶とに分けて説明することとする。

此の實驗で分つたことは、前に採用した過飽和比といふものは、あの時にも説明したやうに、裝置をきめた時に、その裝置での相對的の意味しか持たないものであるといふことがはつきりしたのである。所で過飽和比といふものは、直接に結晶の形をきめるものではなく、過飽和が結晶の生長速度をきめ、その速度が結晶の形を左右するものなのである。それで今度は結晶の生長速度を測つて、それを結晶形をきめる目安とした。折角前に採用

した過飽和比を捨てるのは今迄無駄をして居たやうに思はれるかも知れないが、實際はさうではない。研究といふものは、このやうに何度でもぐる／＼廻りをして居る中に少し宛進歩して行くもので、丁度ねぢの運行のやうなものなのである。

最初の室温零下二十度乃至三十度の實驗では、出来た結晶の形を簡單の爲に、五種類に分類した。(1)羊齒狀、(2)普通の樹枝狀及び廣幅の六花、(3)扇形及び角板、(4)不規則形及び側面結晶、(5)針狀其の他の五つである。之等の人工雪の例は第六圖版の寫眞に示した如くで、即ち第45圖(第六圖版)が羊齒狀の模範的なもの、但し一本の枝は折れて居る。第46圖が普通の樹枝狀の雪、第47圖が放射型の立體樹枝である。この立體樹枝は前述のやうに扇形集合の初期状態のものから作つた結晶で、第20圖(第三圖版)の天然雪の同種のものと比較すれば、両者が全く同じものであることが分るであらう。第48圖の寫眞は側面結晶の例で、之も同種の天然雪の結晶、即ち第25圖(第三圖版)と殆ど同じものである。針狀結晶も人工で容易に出来るので、その一例は第49圖に示す通りである。

之等の各々の結晶に就いて分つたことを纏めて見ると次のやうな結論になる。

(1) 結晶の平均生長速度は

羊齒狀

四・六

耗/時

普通及び廣幅樹枝

一・三

扇形及び角板

〇・六六

側面結晶及び不規則形

〇・五

となつた。羊齒狀の結晶が生長が速く、角板などが遅いことは分つて居たのであるが、之でその程度がはつきりしたのである。

- (2) 羊齒狀及び普通樹枝狀は T_a が零下十五度乃至二十三度の範圍内で出來易く、 T_a が零下二十三度以下の低溫では、色々水蒸氣の供給度を變へて見たが、どうしても出來なかつた。即ち美しい六花の結晶の出來る爲には氣溫が或る範圍内にある必要があるらしい。もつとも天然には氣溫零下三十度の所でも美しい六花が降ることがあるかも知れないが、冬期そのやうに氣溫が下る土地では、氣溫の逆轉といふ現象があつて、數軒上空の方が地上より却つて溫度が高いことが多いのだから、この説の反證にはならない。
- (3) T_a が零下二十三度以下では、結晶は不規則形又は側面結晶となり易い。
- (4) 或る特定の結晶を作る場合、水溫 T_w は一定の室溫 T_r についても廣い範圍内に變化した

が、之は裝置内の對流が一定ではない爲によるものと思はれる。随つて水溫ではことを決めることが出來ない。

- (5) 結晶初期狀態の影響は側面結晶の時に著しい。

以上のやうに書くとき大變よく雪の出來る機構が分つたやうであるが、實際は、結晶生成の際其の形を決める外的條件は非常に複雑なのである。例へば此の實驗では勝手に調節し得る條件は室溫 T_r と水溫 T_w とである。結晶の出來る所の氣溫 T_a は T_r と T_w とそれから裝置内の對流とによつて決まる。その中對流は不安定なもので、顯微鏡的に見た即ち非常に小範圍内の激しい偏^{フラクチュエーション}差があるものである。即ち T_a は時間的にも空間的にも激しい偏差があるもので、その値は統計的にしか決められないものである。所が結晶の形は時間的並に空間的の之等の偏差によつて支配されるものであるから、統計的の T_a の値即ち寒暖計の指す値では簡單に決められない。雪の結晶の出來る機構を本當によく分らす爲には、此の條件の偏差と結晶形との關係を調べる必要がある。この問題は目下研究中であつて、可なり結果は出て居るが、本書の性質上省くこととする。要するにかういふ問題はなかくさう簡單には片付くものではないことを了解して貰へればよいのである。

室温を零下四十度附近迄下げると、雪の結晶の形はすっかり變つて来る。そして最はや美麗な六花の雪にはならなくなる。大抵は角柱と側面との集合になるか、各種の小結晶の不規則集合となつて了ふ。

此の實驗では水蒸氣の供給度を調節する爲に絞りを付けて上昇氣流を加減して見た。その結果分つたことは、氣温がうんと低くて水蒸氣の供給が少い時には、結晶は角柱と角板との不規則集合、即ち天然雪の「粉雪」(第四圖版第26圖)になることである。その一例は第50圖(第六圖版)に示す如くである。この寫眞と前の第26圖の天然雪とを較べて見ればその類似がよく分るであらう。高山地方でこの種の「粉雪」の出来る條件として想像されるものは、此の人工雪の實驗の條件と同じものである。

此の時水蒸氣の供給をうんと増すと、結晶は筈狀の無定形に近い形となる。その筈狀の結晶は、よく見ると内部に樹枝に近い結晶質の骨組があるもので、天然には樺太の豊原近郊で同種のもので撮影された例がある。

以上の實驗の外に、氣温をうんと低くして、水蒸氣の温度及び供給度を極端に減らして數十時間かけてゆつくり結晶を作つた場合と、普通の條件で出来た雪の結晶を放置してその昇華蒸發を調べた場合の實驗とを行つた。それ等の結果は省略することとするが、要するに之で人工雪の實驗は一段落といふ所迄出来上つたのである。併し以上に述べたやうな色々の結論は、もう四五年も研究を續けたら又變つて了ふかも知れない。又さうありたいものと願つて居る次第である。

一三

このやうに色々苦勞をして人工で雪を作つて見るといふのも、その目的は何かと云へば、第一の目的は雪の本質を知りたいといふのである。もつともかういふことも附け加へて置いてもよいだらう。

冬期の降雪中の航空は甚だ困難な問題なのである。何故かといふと、上層の氣象状態がちつともわかつて居ないからである。普通上層の氣象状態を測るには小氣球を飛ばせて、それを地上から觀測して、その氣球の動き工合から上層の氣流などを調べることが多い。

また上層の水蒸氣の量及び氣温を測るには、氣球に自記寒暖計、濕度計、氣壓計などをつけて飛ばしたり或は大形の凧を上げたり、飛行機で觀測したりするのである。ところが、雪の降つてゐる時は氣球を飛ばしてもすぐ見えなくなつてしまふし、凧を上げることも困難である。また飛行機を降雪中に飛ばすことは一層危険であつて、寧ろ降雪中の飛行は、その時の上層の氣象状態を別の方法で測つてから後に飛ぶのが順序である。して見ると目下のところ雪の降つてゐる時の上層の氣象状態を知るためには、殆ど方法がないと言はなければならぬ。もつともラヂオゾンデといふものがあつて、小さいラヂオの發信機を氣球につけてとばし、その發信する電波の波長が温度、濕度などで變るやうにして置く。さうすれば地上で電波を受信してその波長を刻々に測つて置けば、各層の温度や濕度が分る筈である。併し此の方法は大變金がかかるのが缺點であり、且つ雪の降つてゐる時にラヂオゾンデを飛ばせた例はまだ少いので何か困難が出て來るかも知れない。所が此處に雪の結晶を利用するといふ面白い思ひ付きがある。

寺田寅彦先生の「小淺間」といふ文章の中に左のやうな一節がある。

先生は昭和十年の夏小淺間へのぼられた。丁度その時小淺間の頂上には地震研究所のT

君が觀測するために天幕をはつて滞在してゐるのを訪問旁々登山されたのである。

「まはりに落ち散らばつてゐる火山の噴出物にも實に色々な種類のものがある。多稜形をした外面が黒く緻密な岩肌を示して、それに深い龜裂の入つた麵麩殻型の火山弾もある。灼熱した岩片が落下して表面は急激に冷えるが内部は急には冷えない、それが徐々に冷える間は、岩質中に含まれたガス體が外部の壓力の減つた結果として次第に泡沫となつて遊離して來る、従つて内部が次第に海綿狀に粗鬆になると同時に膨脹して外側の固結した皮殻に深い龜裂を生じたのではないかといふ氣がする。表面の殻が冷却收縮したためといふだけではどうも説明が難かしいやうに思はれる。實際この種の火山彈の破片で内部の輕石狀構造を示すものが多いやうである。(中略)

その他にも色々な種類の噴出物がそれ／＼にちがつた經歷を秘めかくして靜かに横はつてゐる。一つ／＼が貴重なロゼッタストーンである。その表面と内部には恐らく數百頁にも印刷し切れないだけの「記録」が包藏されてゐる。悲しいことには吾々はまだ、その聖文字を讀みほごす知能が惠まれてゐない。」

寺田先生は、小淺間にのぼられる道々に轉つてゐる岩石の石片を眺められながら、これ

だけのことを考へられた。これは地の底から噴出した物質から、地殻内部の構造を窺ふとする一つの方法を暗示されたのであるが、われ／＼の今問題としてゐるのは、天空高く、飛行機も氣球も大風も窺ひ得ない世界の氣象状態を知らうといふ欲望である。この二つは丁度反對の事柄、即ち天と地との差はあるが、その方法として考へる道筋の同一であることを示してゐるので、こゝに引用したわけである。

さて、雪は高層に於いて、まづ中心部が出来それが地表迄降つて來る間、各層に於いてそれ／＼異なる生長をして、複雑な形になつて、地表へ達すると考へねばならない。それで雪の結晶形及び模様が如何なる條件で出来たかといふことがわかれば、結晶の顯微鏡寫眞を見れば、上層から地表までの大氣の構造を知ることが出来る筈である。そのためには雪の結晶を人工的に作つて見て、天然に見られる雪の全種類を作ることが出来れば、その實驗室内の測定値から、今度は逆にその形の雪が降つた時の上層の氣象の状態を類推することが出来る筈である。

このやうに見れば雪の結晶は、天から送られた手紙であるといふことが出来る。そしてその中の文句は結晶の形及び模様といふ暗號で書かれてゐるのである。その暗號を讀みと

いふことも出来るのである。

73
36

この本を作った主旨である。...

その話も一部の読者には興味があるかも知れないと思つたの
信い仕事の紹介はいくらでもある。それで極めて
知した方がよいとは私自身も十分知つ
て
それだ目的だつた

73
36

ト勇
結晶の研究などは如何にも迂遠な路を歩むやうに見えるかも知れない。併し或る種の仕事

は、何年やつてもその効果が蓄積しないものであるが、科學的研究は、本當の事柄を一度知つて置けば、その後の研究はそれから發達することが出来るのであるから、さういふ意味で決して迂遠な道ではなく、寧ろ最も正確な近路を歩いてゐることになると少くも科學者はさういふ風に思つてゐるのである。

「雪を研究する」といふ仕事は一人の人間が一生を費してやつても到底かたづくやうな問題ではない。一石づつ築いた研究の上に立つて、今後の有爲な人々が、何十人か何百人か或は何千人かが、更にその上に眞剣な努力を積み重ねることによつて一歩一歩と完成に近づくといふやうな性質の問題であらうと思はれる。

73
36

73
36

昭和十三年十一月十五日印刷
昭和十三年十一月二十日發行

岩波新書
8

雪

定價五十錢

(大森製本)

著者

中谷 吉郎

發行者

東京市神田區一ツ橋二丁目三番地
岩波 茂雄

印刷者

東京市神田區美土代町十六番地
島 連太郎

發行所

東京市神田區
一ツ橋二丁目三番地

岩波書

店

電話九段(33)一〇〇一八七〇
振替口座東京二六二四二番

三秀舎印刷

岩波新書を刊行するに際して

岩波茂雄

天地の義を輔相して人類に平和を與へ王道樂土を建設することは東洋精神の神髓にして、東亞民族の指導者を以て任ずる日本に課せられたる世界的義務である。日支事變の目標も亦茲にあらねばならぬ。世界は白人の跳梁に委すべく神によつて造られたるものにあらざると共に、日本の行動も亦飽くまで公明正大、東洋道義の精神に則らざるべからず。東海の君子國は白人に道義の尊きを誨ふべきで、斷じて彼等が世界を蹂躪せし暴虐なる跡を學ぶべきでない。

今や世界混亂、列強競争の中に立つて日本國民は果して此の大任を完らざる用意ありや。吾人は社會の實情を審かにせざるも現下政黨は健在なりや、官僚は獨善の傾きなきか、財界は奉公の精神に缺くるところなきか、また頼みとする武人に高邁なる卓見と一絲亂れざる統制ありや。思想に生きて社會の先覺たるべき學徒が眞理を慕ふこと果して鹿の溪水を慕ふが如きものありや。吾人は非常時に於ける舉國一致國民總動員の現狀に少からぬ不安を抱く者である。

明治維新五ヶ條の御誓文は嘗て開國の指標たるに止らず、興隆日本の國是として永遠に輝く理念である。之を遵奉してこそ國體の明徴も八紘一字の理想も完きを得るのである。然るに現今の情勢は如何。批判的精神と良心的行動に乏しく、やゝとみすれば世に阿り權勢に媚びる風なきか。偏狹なる思想を以て進歩的なる忠誠の士を排し、國策の線に沿はざるとなして言論の統制に民意の暢達を妨ぐる嫌ひなきか。これ實に我國文化の昂揚に微力を盡さんとする吾人の竊に憂ふる所である。吾人は歐米功利の風潮を排して東洋道義の精神を高調する點に於て決して人後に落つる者でないが、驕慢なる態度を以て徒らに歐米の文物を排撃して忠君愛國となす者の如き徒に與することは出来ない。近代文化の歐米に學ぶべきものは寸尺と雖も謙虛なる態度を以て之を學び、皇國の發展に資する心こそ大和魂の本質であり、日本精神の骨髄であると信する者である。

吾人は明治に生れ、明治に育ち來れる者である。今、空前の事變に際會し、世の風潮を顧み、新たに明治時代を追慕し、維新の志士の風格を回想するの情切なるものがある。皇軍が今日威武を四海に輝かすことかくの如くなるを見るにつけても、武力日本と相並んで文化日本を世界に躍進せしむべく努力せねばならぬことを痛感する。これ文化に關與する者の銃後の責務であり、戦線に身を命を曝す將兵の志に報ゆる所以でもある。吾人市井の一町人に過ぎずと雖も、文化建設の一兵卒として涓滴の誠を致して君恩の萬一に報いんことを念願とする。

曩に學術振興のため岩波講座岩波全書を企圖したるが、今茲に現代人の現代的教養を目的として岩波新書を刊行せんとする。これ一に御誓文の遺訓を體して、島國的根性より我が同胞を解放し、優秀なる我が民族性にあらゆる發展の機會を與へ、躍進日本の要求する新知識を提供し、岩波文庫の古典的知識と相俟つて大國民としての教養に遺憾なきを期せんとするに外ならない。古今を貫く原理と東西に通ずる道念によつてのみ東洋民族の先覺者としての大使命は果されるであらう。岩波新書を刊行するに際し茲に所懐の一端を述べ。

昭和十三年十月靖國神社大祭の日

730
362

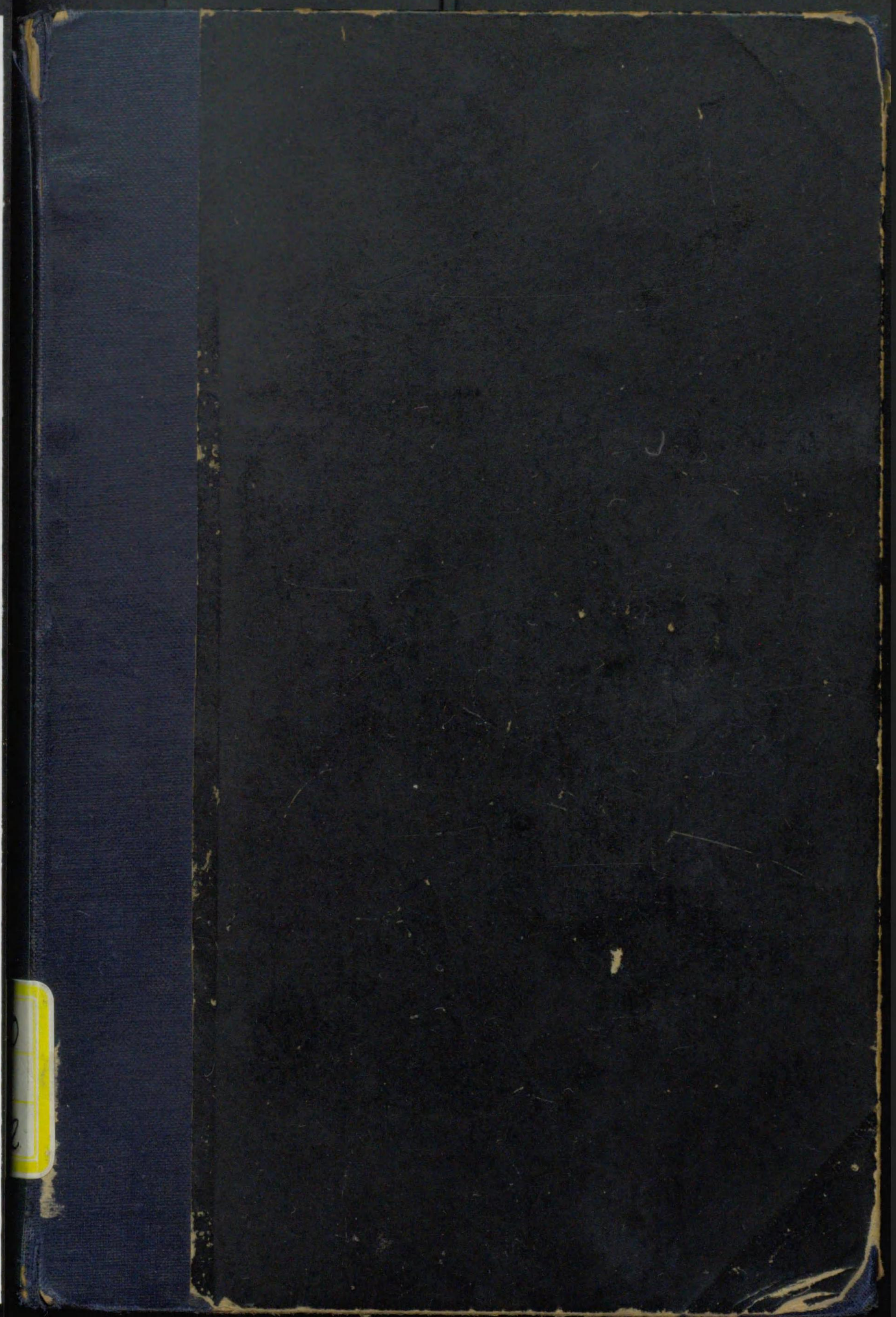
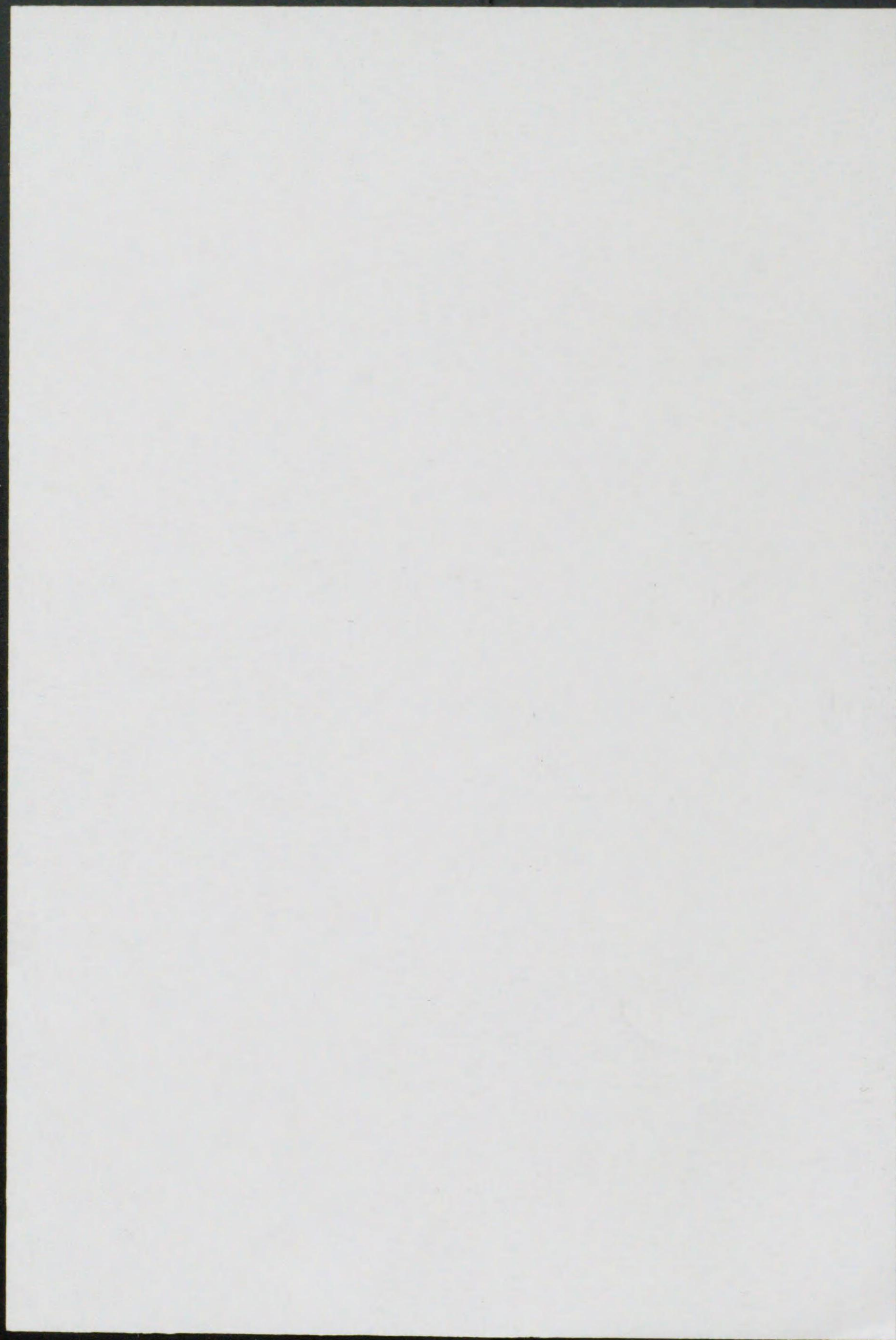
73
36

730
36

IF3N79



730
362

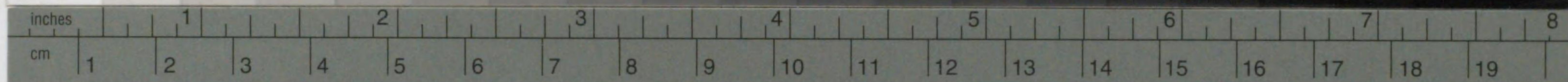


Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19



Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

