第33卷 第4期　　气 象 学 报　　Vol. 33, No. 4
1963 年 11 月　　ACTA METEOROLOGICA SINICA　　Nov., 1963

一次华北冬季弱降水系統的雪晶分析*

鄭 大 雄
(中央气象局观象台)

一、引　言

雪晶形状与气象条件之間存在着一定的关系[1, 2]. 用雪晶形状的观測可以反推高空气象条件. 許多研究者多以此作为研究云和降水系統的一項工具[3-5],我們在研究华北冬春季降水过程的工作中进行了这种观測. 本文描述 1963 年 2 月 16 日比較典型的华北弱天气系統降雪过程中的北京雪晶形状的变化序列, 并对这个系統的云系結构进行了一些討論.

二、观測方法

目測、显微照相、阴影照相三种方法并用. 这次降雪多半是由小的柱状及柱片組合的雪晶組成,且經常成簇, 目測及阴影照相无法分辨它們的細微差别, 因此主要采用显微照相. 由于地面温度較高(−2℃), 显微鏡用的取样片事先經过冷却. 由于雪晶太小, 阴影照相主要用于記录浓度(单位时間內降落在单位面积上的雪晶个数). 目測借助放大鏡进行, 沒有作分类計数, 但記录符号仍按晶类出現的数量比例排列 (比例大的雪晶排在前面). 为了便于詳細說明, 采用中谷宇吉郎提出的一般分类[1]. 显微鏡观測是連續进行的, 每一次取样有 1—4 个雪晶, 观測 2—3 分鈡, 然后又换上新的样片, 对具有代表性的雪晶进行显微照相; 目測及阴影照相不定时进行, 当在显微鏡下发現晶型有变化时都进行目測.

三、天气形势

2 月 15 日 08 时, 蒙古大高气压脊从我国东北向南伸展, 辽宁省一带 24 小时內均有 −7℃—−9℃ 的降温, 浅薄冷空气从这里伸向华北. 河套西北角有一个弱小低压向东移动, 16 日 02 时在山西省境內形成一种特殊的"錮囚"过程, 河套东北边开始下雪; 高空图上有明显的小槽与地面低压配合, 16 日 08 时 700、850 毫巴槽前均有暖平流. 北京在 16 日 19 时以前 850 毫巴层以下是微弱的东南东—东风, 850—500 毫巴是西南西—西南风; 从北京探空时間剖面(图 1)看到, 在东风冷垫上面有一厚 80 毫巴的稳定层. 北京高层云在 16 日 01 时开始出現. 这是北京冬季比較典型的阴沉天气.

四、分析方法

用北京探空紀录(地点与雪晶观測点水平距离約 50 公里)作 6 小时时間剖面 (图 1). 将湿度换算成对冰面的湿度, 从这个剖面图上可以大致了解温度和湿度随高度及时間的

变化情况.（探空湿度观測准确度不高，分析結果应該是相对的）. 雪晶观測結果列在剖面图的下面（見图 2），雪晶随时間的变化所反映的高空气象条件的变化，比較細致. 所表示的降水过程比 6 小时为間隔的探空时間剖面图应該更好.

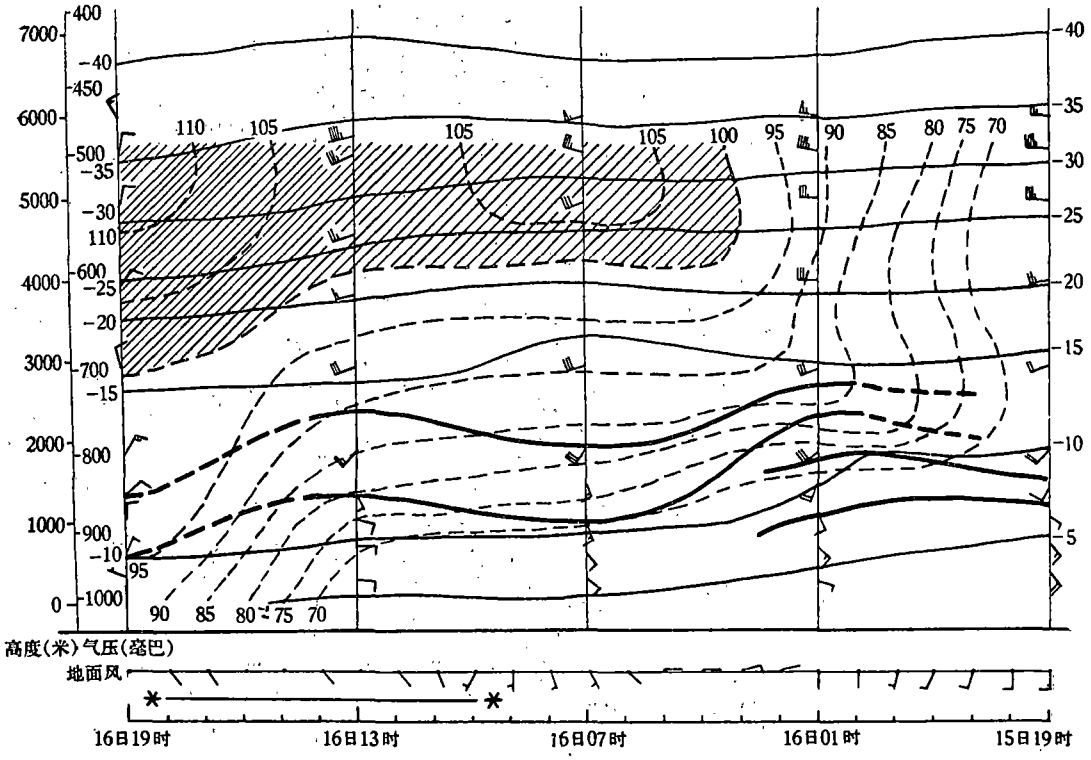


图 1　北京探空时間剖面图

細实綫为等溫綫，粗实綫所表示的范围为稳定层，細虛綫为对冰面的等相对湿度綫，划有斜綫的区域为对冰面飽和区.

按理，根据雪晶形状可以了解雪晶形成的溫度，确定它在那一气层中形成，按其大小，可計算該层的厚度. 由于沒有精确的湿度紀录，又缺乏各型雪晶增长率的数据，仍不能計算形成层的厚度. 因此采用如下办法估計雪晶形成层：以剖面图的等溫綫为縱坐标，假定各型雪晶出現的溫度范围就是它們形成的范围，这样就可以得到各型雪晶形成层的时間剖面（图 2）. 在作这个图时应用了下列数据：

柱状：按中谷的实驗結果，分别在 −9℃——12℃ 和 −17℃——25℃ 两个范围內出現. 在本次降雪的前半段可以肯定它們是出現在較冷的范围內，因为按探空紀录冰面飽和区在 4000 公尺以上，溫度低于 −20℃；而且曾观測到柱帽状（照片 9）表示雪晶是在片状形成区的上空形成的. 按 Weickmann[2] 的意見，把柱状鎗弹形及其組合划在溫度为 −30℃——55℃ 的范围內. 因此我們权将柱状出現的低溫区取为 −17℃——35℃；在較高的溫度范围取为 −9℃——12℃. 按中谷的人造雪試驗，中空的鎗弹形的組合体（柱状）在溫度为 −5℃——8℃、过飽和度很高的情况下产生. 本次降雪的后期观測到的中柱空状，估計是在柱状出現的高溫区产生的.

粉末状的雪，按中谷人造雪試驗，出現在 −36℃——38℃，而带側面扩展片的柱状为

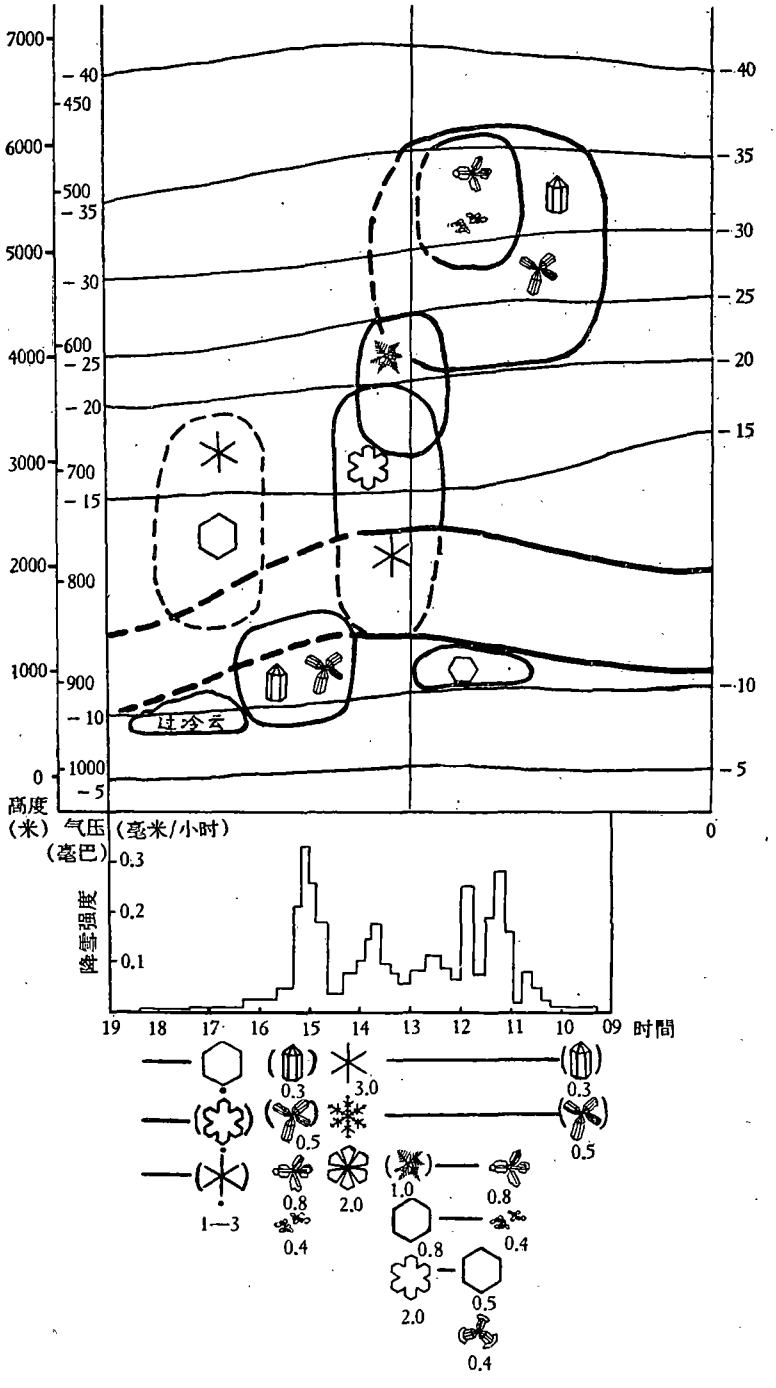


图 2 云雪形成层的变化

表示雪晶带冻滴 (✳) 表示雪晶成簇，符号下数字为雪晶大小(毫米)

－30℃ 左右(在 －20℃ 左右也可以出現)；而在 Weickmann 等人对冰晶形状的試驗中，温度为 －28℃，水汽供应不足时产生簡单的柱状，水汽供应十分充足时，就会产生柱片的組合．因此我們将柱片組合的雪晶(不包括柱帽状)产生的温度取为 －28℃——36℃．

立体枝状：－18℃——25℃；枝状(星状)：－14℃——17℃；片状：－10℃——20℃．以上均按中谷的数据．

五、雪晶出現的序列及其形成层的分析

2 月 16 日 9 时，全天蔽光高层云，結构均匀．9 时 09 分，开始降柱状雪：单个晶体大小約 0.3 厘米；由几个鎗弹形柱状晶組成的雪晶大小也在 1 厘米以下，它們攀附成簇降下(照片1，2，3)．一直到 11 时晶型都沒有什么变化，降雪的強度很小，变化也不大．从探空时間剖面图可以看到对冰面飽和区出現在 4000 公尺以上，从温度来看，4000 公尺以上温度低于 －20℃，正是柱状雪晶出現的冷区．因此，这些柱状雪晶是从 4000 公尺以上的蔽光高层云中降下的．从雪的形状及降雪強度的少变，可以看出云的結构比較均匀，雪形成层高度随时間的变化也不大．

降雪在 11 时开始加密，柱片无規則組合的“粉末状”雪晶明显增加，大小約 0.4 毫米，也有带側面扩展片的柱状雪晶出現(照片 4，5)，大小約 1 毫米；同时还出現正交的片状晶組合(照片 6)，以及其他无規則形状的雪．这个变化可以認为主要是云中湿度增加的結果，而不是由于形成层高度(温度)的变化．这时降雪強度較前大大增加(約 0.2 毫米/小时)，已更接近降水系統的中部．

11 时 25 分，粉末状晶体減少，观測到构造簡单的、十分薄的片状晶，大小約 0.5 毫米左右，有时粘在柱状晶上一起降下(照片 7，8)．偶而也观測到柱帽状晶体(照片 9)．这些片状最可能在 －10℃——14℃ 的低层形成，因为这时在 1000 公尺附近已有层积云．由剖面图上可以看到 －10℃——15℃ 之間是一个稳定区，厚达 2000 公尺．用 Mason 的片状晶增长率公式和中谷氏片状晶大小与質量的关系，并假定直径小于 1 毫米的片状晶落速也是 0.3 米/秒，从片状的大小可以估算出层积云的厚度約 500 公尺．柱状晶是成簇下降的，速度无規則，但是用肉眼估計，速度大于 1.5 米/秒，因此它們在穿过这一层积云薄层时，只有很少的柱状长有帽子．柱状，粉末状和簡单的片状三种雪晶，在两个不同的高度形成，这样一直持續到13时左右．

13 时以后，柱状及粉末状減少，整个降雪从柱状向立体片状过渡，立体片状的大小 1—1.8 毫米(照片 10)，成簇．同时出現結构比以前复杂，大小为 0.8—2 毫米的片状(照片 11)．这种变化說明降雪的主要形成层已降低到 －20℃ 左右．14 时 20 分观測到 3 毫米左右的星状(照片 12，13)．枝端較寬．星状和大的片状雪晶只持續了 20 分鈡．星状(枝状)的出現，表示形成层更降低到了 －15℃ 左右．在仅仅两个小时內，形成层降低了 1500 公尺，过程变化的速度是大的．立体枝状的枝头多呈扇形，星状的枝头也很寬，这說明云中水汽并不是很充沛的．

14 时 40 分后降雪強度一度減小．15 时左右降雪又以柱状为主，也有柱片組合的不規則形状(照片 14，15，16)．但这时观測到的柱状比 11 时以前观測到的粗短，有很多可以明显的看出空心結构(照片 14，15)，大小 0.3—1 毫米不等．这种空心的鎗弹形組合及

杯状雪晶，估計是在 1000 公尺左右的云中产生的.

15 时 30 分后，雪开始減弱，高层云变薄，低云也分裂降低. 16 时 30 分在柱状雪晶中可以看出有冻滴，16 时 35 分片状再出現，柱状及柱片組合的雪晶大大減少. 16 时 45 分以后，柱状絕迹，全部是片状和星状的晶体，大小为 1—3 毫米，极稀，这些雪晶几乎全部带冻滴(照片 17, 18, 19, 20)，有的冻滴多且均匀分布，有的只有枝头上有一些，有的向霰过渡(照片 20)，但偶而也有完全不带冻滴的小片状. 这些雪晶从 3000 公尺透光高层云中降下，是这次降雪殘余，它們穿过低层 500—800 公尺高度上的碎云，形成带冻滴的雪晶. 碎云不均匀，雪晶本身大小和落速也有差异，因此带冻滴的情况各不相同. 零星的带冻滴的雪晶一直飘到 18 时 35 分才終止.

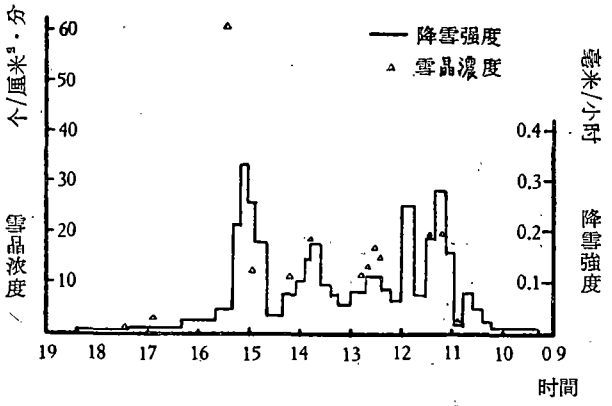


图 3 雪晶浓度与降雪强度

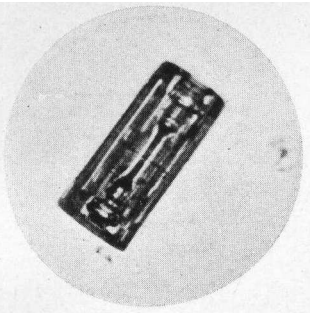
这次降雪，雪量只有 0.9 毫米，但雪晶形状十分丰富，将上面的分析用图 2 表示，可以清楚的看出雪的形成层逐步下降的过程.

雪晶浓度的变化未进行連續測量，只測了 13 次，結果見图 3. 它与降雪強度的变化是对应的.

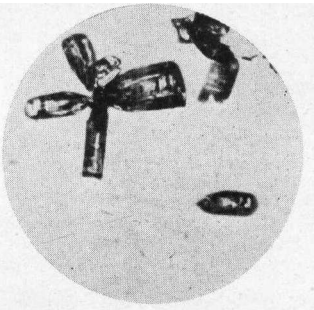
六、討 論

总起来說：15 日夜間浅薄的冷空气开始从东北移入河北，1500 公尺以下形成一个冷气垫，一直維持到 16 日夜間(冷气垫下面风力微弱). 16 日 1 时左右以后，北京逐漸接近小槽槽前部分，开始出現高层云，阴天；从 9 时起降雪，18 时終止，終止时間差不多也就是 500 公尺以上整层轉为北风(风力甚弱)的时間. 从对流层下部的高空风及降水現象来看，槽前上升的云系降水系統是明确的，但是系統很弱，地面气压沒有明显下降，不超出日变化. 冷垫上的温度变化也很小，在07时的探空上，700 毫巴只有1℃的增加，暖平流是很弱的. 但是降水时間长达 9 个小时，总降水量为 0.9 毫米. 从雪晶分析可以看清楚，雪先在 4000—6000 公尺形成；随着槽綫的接近，形成层逐步降低. 降雪強度与雪晶形状及密度有关，并不是槽綫附近最大. 从探空紀录看，整层的湿度都不高；雪晶的形状也多呈"不飽和型"，表示云中湿度低于水面飽和；在主要的降雪时段中，均沒有观測到带冻滴的雪晶，因此形成降雪的云可能主要是冰云(或者說过冷却水滴很少)，这一特点关系到这个季节人工催化的可能性，很值得注意. 这是一个比較典型的华北冬季弱降水系統，暖平流不強，但是从云层看还維持了一定的上升气流，气团性质看来并无明显变化，可能仅仅由于气流方向不同形成"錮囚形势"，所以云系很弱(实际上从温度結构分析不出錮囚鋒).

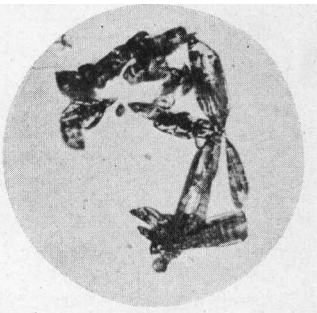
雪晶分析方面，由于雪晶产生的物理、气象条件仍有很多不确定之处，某些較特殊的形状，如杯状、粉末状等，各家說法尙不統一，因此分析中仍有困难. 在观測中沒有分类計数及作浓度的連續观測，是这次观測的缺点，如果只是为了观測浓度，可以用滤紙上涂玫



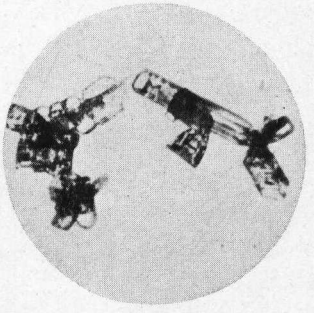
44×
1



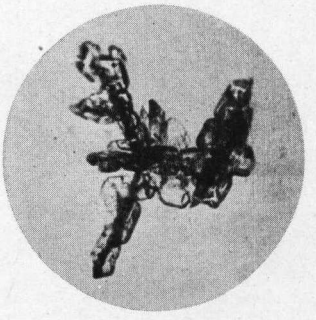
29×
2



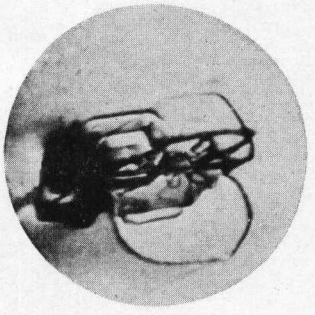
24×
3



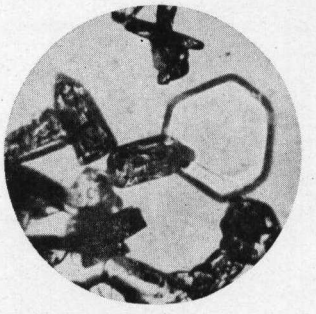
22×
4



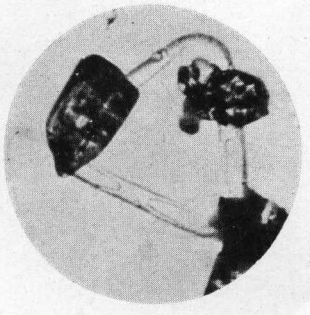
25×
5



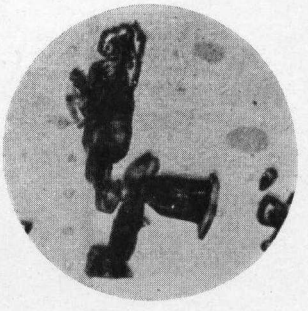
53×
6



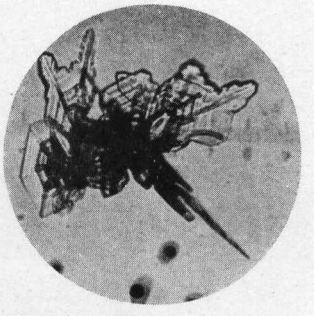
27.5×
7



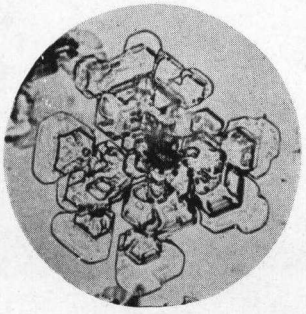
41×
8



24×
9

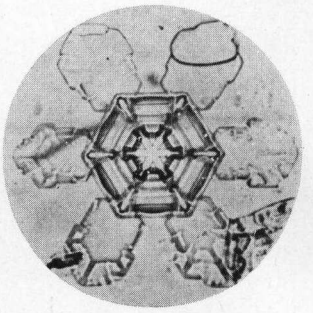


25×
10

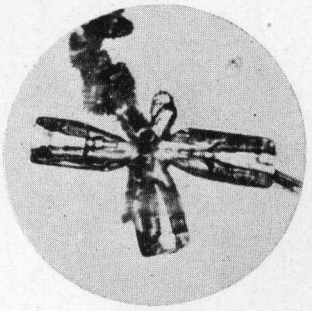


22.5×
11

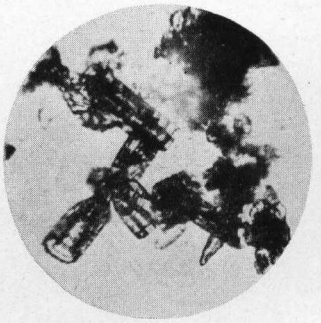
17×
12



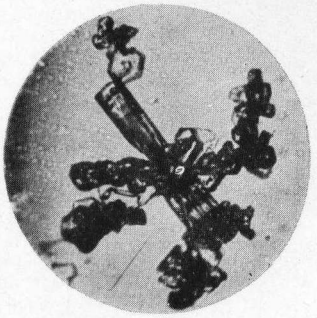
23×
13



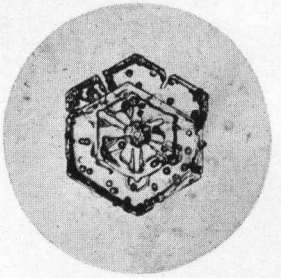
34×
14



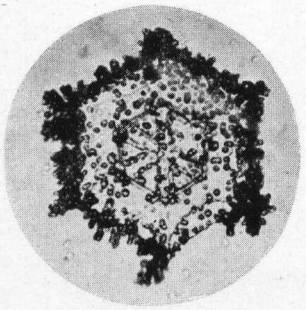
22×
15



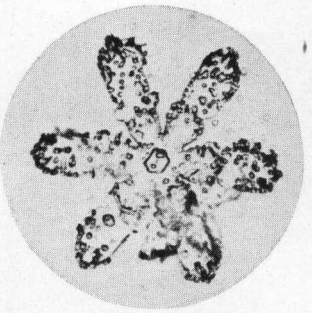
24×
16



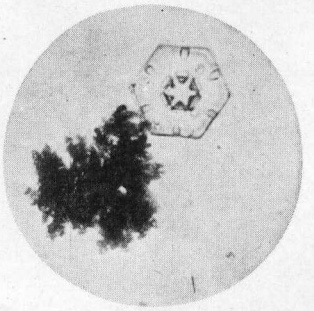
27.5×
17



30×
18



25×
19



25×
20

瑰精的簡单办法，而无須进行阴影照相。另外配合雪晶研究，探空仪还应有更好的湿度和温度元件。

这工作承程純枢同志指点，馬培民和李洪珍两同志协同观測，謹此致謝。

参　考　文　献

[1] Nakaya, U. (中谷宇吉郎), *Snow crystals*, Harvard Univ. Press, 1954.
[2] Weickmann, H., The snow crystal as aerological sonde, *Artificial stimulation of rain*, 1957, 315—325.
[3] Grunow, J., Snow crystal analysis as a method of indirect aerology, *Physics of precipitation*, 1959, 130—141.
[4] Higuchi, K. (樋口敬二), A case study on snowfall from clouds under subsidence inversion 气象集志, **40** (1962), 65—72.
[5] Higuchi, K. (樋口敬二), Horizontal distribution of snow crystals during the snowfall (II), 同上, 73—82.