

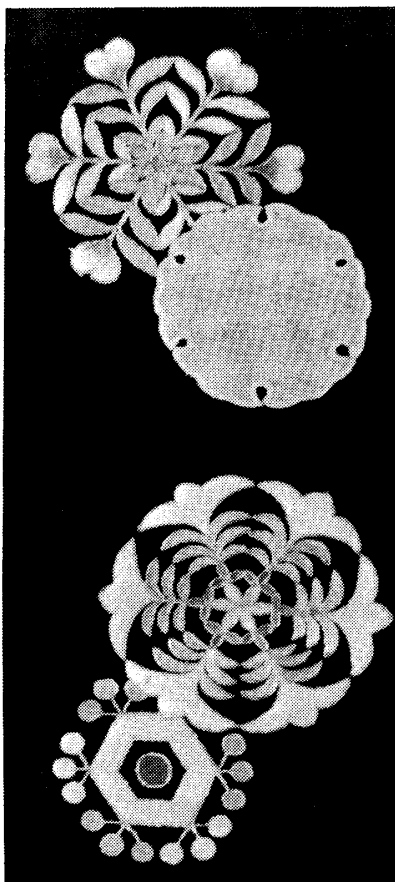
雪の結晶の形

北大・低温研 小林 禎 作

1. はじめに

「形の物理学」研究会への出席を前にして、提案者のひとりである小川泰氏の「研究ノート」（朝日新聞，昭 55, 4, 25）を読んで，私は非常な興味をそそられた。提案の動機としては，液体や非晶質での分子配列の“乱雑さ”を統計数理的に処理するという仕事から始まったにせよ，氏は物の形の特徴をどう概念化し定量化して表現するか，そして得られた情報からその形の成因を究明する途を探そうと目標をかかげておられる。とりわけ「形の認識は（見る人の）文化的背景に大いに依存していると思われる」と述べておられたのには，深い共感を覚えた。

形のなかから数量化できるものだけを抽象し，それらを計算機で処理してある物理的描像を得たとしても，それらは形をもつ物の実体からはほど遠い。数理的処理が形の認識への一歩であり，かつ強力な道具であることは否めないにしても，それだけで形の認識ができようとは到底思えないのである。



1 図

“驚娘”の帯の雪花模様

例えば、1 図は長唄の舞踊劇“鷺娘”に使われる帯の模様であるが、見る人の多くがこれを雪の結晶模様と認識するのは、単にそれが六方対称という数量化された概念によるのではない。むしろ、それが劇中で使われる時の情景や、天保年間の土井利位の観察をもとにデザイン化された雪の紋様に永く親しんで来た日本人の文化的素養によると思われるのである。雪の結晶の形を認識するには、対称性のほかにも、もっといろいろな数量的な情報が秘められているに違いないとしても、それ以上に、小川氏の指摘しておられるように、全体としてのイメージによって形を捉えるという「東洋的発想」が重要な役割りを演じているのを忘れてはならないと思う。

2. 雪は天からの手紙

Bentley が雪の結晶を「自らの生い立ちを語る象形文字である」といい、後に中谷が「天から送られた手紙」と言ったのも、それらは雪の結晶の形を、それが生まれ成長してきた上層の気象条件を示す視覚言語として捉えたものである。そしてその形の分類は、地上で手にした時の、つまり成長の最後の時点での全体としての形を、前述の「東洋的発想」によって分類したと言ってよいだろう。漢字を見れば、その一画一画の配置がかなり乱れていても、全体として何を意味するかが理解できると同様に、雪を上層気象を探るゾンデとみる限り、そのような分類が有用だったのである。

それに対して、人工雪のその場観察で問題となるのは、出来上った全体の形ではなく、成長のしくみと関係して変化する結晶部分の形である。その形は、各結晶面の成長速度の違いによって表わされる晶癖と、成長面の安定、不安定によって示される成長の型に要約されるが、¹⁾これについての解説はこのあとの黒田の稿にゆずる。これは結晶の形と成因とを結びつけるひとつの試みである。

3. 結晶の形と構造

最近になって、雪もひとつの鉱物であるとの認識から、その形を双晶として捉え、その接合部の構造を調べる一連の研究がなされてきた^{2) ~7)}。

その簡単な一例として、雪の十二花結晶と呼ばれるものについて述べよう。

十二花というのは、六花の樹枝状結晶が2枚ほぼその中心を揃えて接合した形のもので、その枝と枝とのなす角度を測ると、 60° を2等分する 30° のほかに 22° と 28° にも同じくらの頻度をもつ山が現われる。もし中谷が考えたように、落下途中の2枚が偶然に衝突付着したとすれば、このような規則性はでてこないはずである。事実、十二花のうちでも中心がずれ

て接合したものは、そのような傾向にある。

十二花結晶の場合の 22° , 28° , 30° という角度は、Coincidence Site Lattice (CSL) の概念を導入することによってうまく説明される。いま氷の結晶格子の (0001) 面に沿ってカットを入れたのち、下半分を固定し上半分を $[0001]$ 軸の周りに回転してゆくと、適当な角度 (θ) をとった時に、切れ目に沿う上下の格子点の間に再び幾何学的な一致点が見出される。このような点を Coincidence Site と呼ぶが、これらの点の面密度 (その逆数を Σ と定義する) が高いほど界面エネルギーは低く、接合の実現度は高いと考えられる。 θ として 22° , 28° および 30° の場合をとると、 Σ の値は 7, 13 および 14 となって比較的小さく、観測結果とよく一致する。

この CSL の考え方を一般の 3 次元に拡張すると、氷の結晶については、 $[\bar{1}120]$ 軸の周りに 70.5° 回転したときにできる CSL 境界が低エネルギーの接合面となり、二つの結晶要素間にこのような配位をとらせる原因としては、[cubic 構造をもった nucleation が考えられる。そしてこの考え方は、立体樹枝、放射樹枝、砲弾集合、双晶角柱などと呼ばれる多結晶雪の観測結果や、その生成の実験結果をも定性的にはよく説明している。

これらの成果は、鉱物の形の研究が面角の測定から出発したのと同じ道を歩んだものである。

4. おわりに

「私は雪の結晶の形をこう観る」といった立場から、私は最近これまでの歩みを「六花の美 — 雪の結晶成長とその形」(1980, サイエンス社)としてまとめて書いた。そしてこれからの雪の結晶の形の研究は、例えばその晶癖変化については、各結晶面の成長速度を定量的に測定し、その成長機構を明らかにするという方向に動いていくだろうが、このようにして求められる物理的描像は、自然に降る千差万別の雪の形の抽象された一面であることをつねに忘れないでいたいと私は願う。

最後にこの研究会に出席しての印象について一言すると、多くの物理学者の興味はランダムな形の取扱いに注がれているという事実に対する驚きであり、それによってまた多くの刺激を受けた。これはあるいは、基研の研究集会という事情によって性格づけられたのかもしれない。あちこちに頭をぶっつけ試行錯誤を繰り返しながらも、小川氏がかかげられた目標に向って、今後もこの研究会が続くことを強く希望したい。

この研究会に参加する機会を与えて下さった世話人の方々ならびに基研に対して、心からお礼申し上げる。

文 献

- 1) Kobayashi, T.: The growth of snow crystals at low supersaturation Phil. Mag., 6 1363 ~ 1370 (1961).
 - 2) Kobayashi, T. and T. Ohtake: Hexagonal twin prism of ice J. Atmos. Sci., 31, 1377 ~ 1383 (1974).
 - 3) Kobayashi, T. and Y. Furukawa: On twelve branched snow crystals. J. Cryst. Growth, 28 21 ~ 28. (1975).
 - 4) Kobayashi, T., Y. Furukawa, K. Kikuchi and H. Uyeda: On twinned structures in snow crystals J. Cryst. Growth, 32, 233 ~ 249 (1976).
 - 5) Kobayashi, T., Y. Furukawa, T. Takahashi and H. Uyeda: Cubic structure models at the junctions in polycrystalline snow crystals J. Cryst. Growth, 35, 262 ~ 268 (1976).
 - 6) Kobayashi, T. and Y. Furukawa: Epitaxial relationships during the formation of three-dimensional snow dendrites J. Cryst. Growth, 45, 48 ~ 56 (1978).
 - 7) Furukawa, T. and T. Kobayashi: On the growth mechanism of polycrystalline snow crystals with specific grain boundary J. Cryst. Growth, 45, 57 ~ 65 (1978).
- 他に雪の結晶の形についての解説としては、下記を参考にされたい。
- 8) 小林禎作：雪・氷の結晶成長，応用物理，44，1234 ~ 1248 (1975)。
 - 9) 小林禎作：雪—結晶の形，数理科学，No. 184，10 ~ 17 (1978)。
 - 10) 小林禎作：「六花の美—雪の結晶成長とその形」，pp. 249，サイエンス社 (1980)。

雪結晶の形についての理論的考察

北大・低温研 黒田 登志雄

1. はじめに

天からの手紙を解読する鍵となる，雪結晶の外形と成長条件の関係を示すダイアグラムを得るための実験的研究は，気象学，雲物理学の分野において多数行われてきた。しかしながら，雪結晶の成長，すなわち氷結晶の蒸気相成長，の機構と成長形に関する理論的研究は数少なく多くの未解決な問題点が残されている。ここでは，小林ダイアグラム¹⁾ (第1図)に見られる第1の特徴である，温度の低下にともなって六角板，六角柱が交互に現われる晶癖変化のしく