

A. b. VII.

地質調査所報告第155號

方解石の晶相變化

—特に晶出順序との關係について—

砂川一郎

地質調査所

昭和28年3月

548.53/.54 : 549.742

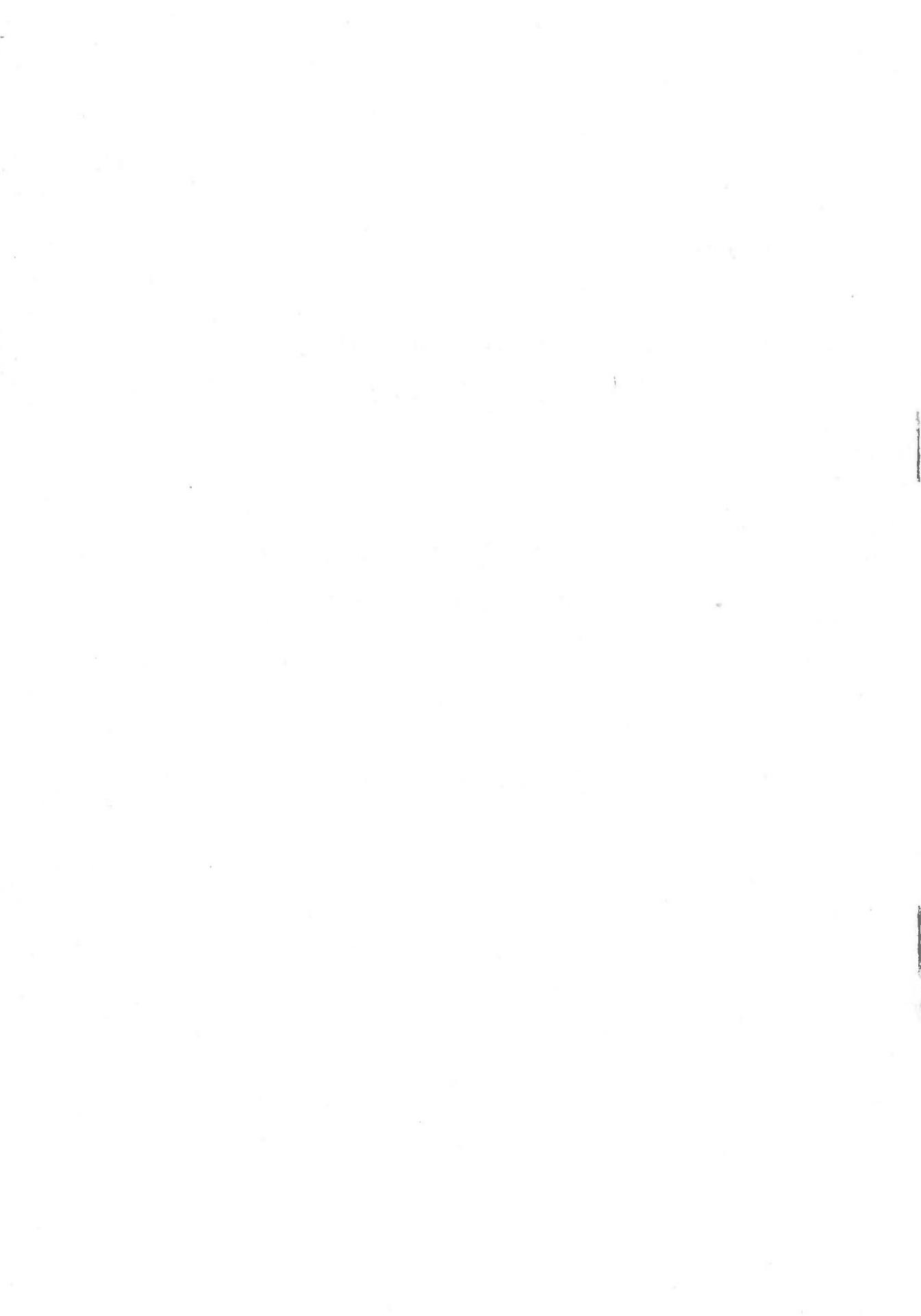
地質調査所報告

所長 三土知芳

方解石の晶相變化

—特に晶出順序との関係について—

通商産業技官 砂川一郎



目次

要約	1
I. 序論	1
II. 茨城縣福原の方解石	6
II.1 産状	6
II.2 結晶形態	6
II.2.1 測角結果および結晶面の特性	6
II.2.2 晶相	13
II.3 各晶相の晶出状態	20
II.4 晶出順序と晶相変化との関係の総括	24
III. 足尾鉍山の方解石	26
III.1 産状	26
III.2 結晶形態	27
III.2.1 測角結果および結晶面の特性	27
III.2.2 晶相	31
III.3 各晶相の晶出状態	42
III.3.1 異種晶相の共生関係	42
III.3.1.1 異種晶相の平行連晶関係	45
III.3.1.2 平行連晶をしていない異種晶相の共生関係	47
III.3.1.3 明瞭な時間的不連続を認めぬ場合	47
III.3.2 結晶の大きさによる変化	49
III.3.3 他の鉍物との共生関係, 結晶の色, 透明度の変化	49
III.4 結晶面の特性から判断される変化の傾向	51
III.5 晶出順序と晶相変化との関係の総括	53
IV. 結論, 考察および應用	55
IV.1 結果の総括	55
IV.1.1 福原の方解石	55
IV.1.2 足尾鉍山の方解石	57
IV.1.3 共通する現象	58
IV.1.4 相違する点	58
IV.1.5 晶相変化の総括	60
IV.1.6 結晶状態の変化	60

IV.2 結果の検討	61
IV.3 晶相変化の主原因についての考察	62
IV.4 応用	64

文献

附図 2葉 図版 11図

Résumé (in English)

方解石の晶相變化

— 特に晶出順序との關係について —

通商産業技官 砂 川 一 郎

要 約

茨城縣福原の結晶質石灰岩中に発達する方解石脈中の方解石、および足尾鉍山産の方解石の標本について、主として晶相およびその結晶度と晶出時期との關係を觀察した。その結果方解石の晶相は、晶出時期に應じて早期から晩期に向つて、一定の傾向をもつ變化を示していることが明らかにされた。すなわちその基本的な傾向は産地・産狀の相違にかかわらず、兩者でほぼ等しくさらに他の場合でも等しいであろうと予想される。また結晶の色・透明度・完全さなども晶出時期に應じて興味深い變化を示している。これらの變化は主として温度の連続的な變化に対応させられるから、方解石の晶相の差を地質学的温度計に用うることができかつ鉍床探査への應用も可能であろう。

こうした晶相の連続的な變化は、従来の晶相變化の主原因と考えられてきた面による選択的吸着のような、いわば偶然的な原因では解釈することができずむしろ結晶および結晶面自身の特性と環境（主として温度）の連続的な變化の相乗作用の結果としてのみ考える。

I. 序 論

天然に産する各種の鉍物のうちで方解石ほど結晶面の種類に富み、晶相の豊富な鉍物は他にみあたらない。結晶面についていえば、日本鉍物誌第3版¹⁾には57種の記載がみられ、Dana's System of Mineralogy 6 Ed.²⁾には總計73種にもものぼる面の記載がある。晶相も板狀・釘頭狀・犬牙狀・樽狀・柱狀・菱面体狀等、千差万別である。またその産狀も相当の広範囲にわたり、金属鉍床中の晶洞に美しい結晶として産するのはもとより、ペグマタイトの晶洞中にも、種々の岩石中に單獨脈としても、あるいは化石を置換してその空洞内面に向つて結晶したり、温泉・冷泉等からの沈澱物として、または石灰岩中の天水による分泌脈としてなど、いろいろの産狀を示している。したがつてその晶出温度の範囲も、黄鉄鉍等とともに相当に広い範囲にわたるものと考えられることができる。金属鉍床中だけについてみても、一般には方解石は最も晩期の晶出と考えられているが、Decrepitation method によつて温度測定を行うと意外に広い晶出温度の範囲を示している³⁾。また生成温度についてではなく、その晶出する分布をみても、結晶形を示すか否かを別とすればほとんど全ての鉍床にもなつて産し、石英・黄鉄鉍とともに perexistance mineral の1つであるということが出来る。

こうした広範囲の生成條件と、豊富な種類の晶相との關係は、たしかに深い興味を抱かされ

~ 400°C

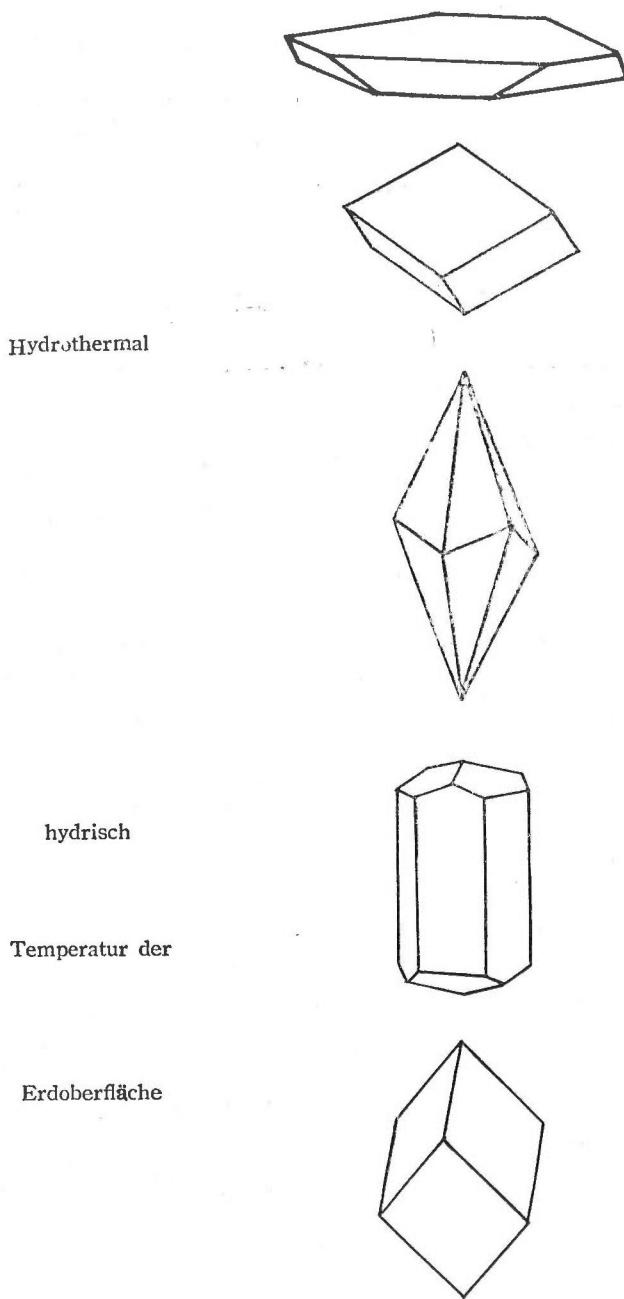


Fig. 1 Habit variations of calcite according to crystallization stage. (after G. Kalb.)

る問題の1つである。換言すれば、晶相の多様性と生成条件との間にある関係が見出されるのではないかという疑問は、鉱物学的にも鉱床学的にも古くから興味をもたれ、かなりの研究が行われてきているのである。これらの研究のうち、鉱物学的に特に興味をひかれるものは G.

Kalb⁴⁾の研究である。G. Kalb は多くの博物館に所蔵されている多数の標本の観察から、晶相の種類と晶出 stage (特に晶出温度)との間に第1図に示すような一定の関係が存在することを認めた。すなわち hydrothermal stage の初期から順次に、板状・正の菱面体・犬牙状と変り、さらに hydriſch Temperature der Erdoberfläche となつてからは $e(01\bar{1}2)$ をともなう柱状、負の菱面体というように変化し、それぞれの stage で特徴的な晶相を示していると報告している。また日本では、古くから福地信世が足尾鉾山の方解石の豊富な晶相に着目して、その相違を鉾床探査上の一方法として用いられないかという希望をもつていた。福地の示唆にもとづいて、杉山隆二・小川雨田雄・須藤俊男等は詳細な形態的研究を行つたが⁵⁾、いまだ充分に鉾床の性質と晶相との関係を結びつけるまでにはいたらなかつたようである。

このように、方解石の豊富な晶相の変化はそれぞれその生長した条件の相違に應じているものと予想され、したがつてこれは逆に晶相から晶出時の条件を推定することも可能と考えられようし、さらにはこれを鉾床探査の一方法として用いることも可能とならう。したがつて、方解石の晶相変化と晶出時の環境とを関係づけて、その実体を明らかにするという点から鉾物学的に興味深い問題であるばかりでなく、それを鉾床探査上の一指示者とする可能性もたれるという点からみて、鉾床学的に興味深い関心のもたれる問題であるといえよう。

ところで、今試みに日本鉾物誌第3版に記載されている方解石の主要面について、産状を3大別し、それぞれの出現率を統計してみると第1表のような結果が得られる。すなわち, contact deposit, hydrothermal deposit, 種々の岩石中に単独脈としてあらわれるもののそれぞれに應じて各面の出現頻度が順次ほほ漸移的に相違し, $c(0001)$, $e(01\bar{1}2)$, $m(10\bar{1}0)$, $-scalenohedral\ face\ \{k\bar{h}i\bar{l}\}$ などは前者において出現率高く、後者に至るに従つて出現率が低くなり, $+rhombohedral\ face\ \{h0\bar{n}l\}$, $-rhombohedral\ face\ \{0k\bar{k}l\}$, $a(11\bar{2}0)$ などはこの逆を示す。また $+s\ \{hk\bar{i}l\}$ は hydrothermal deposit 中のものが最も頻度が高い。さらに面の発達程度にこだわらずに、記載されている全ての面について産状別に統計すると、第2表の結果が得られる。この場合も主要面の場合と同様の傾向が認められ、その程度はより著しい。ただし $+S$ は後者に至るに従い著しくなり、 $-S$ が hydrothermal deposit において出現率が高くなる点などがやや異なるが、全体の傾向としてはほほ等しいといえる。これらの統計は産出量・出現率その他を考慮に入れず、1晶相あるいは1結晶面を1単位として計算しているから、その頻度が現実の頻度を完全に表現しているものとはいえないが、少なくとも大略の傾向を示しているものと考えてよいであろう。とすると、産状(特に生成温度)と晶相との間に一定の関係が存在すると思ふことができるであろう。

また一方、金属鉾床中に産するものについて比較してみると、例えば神岡鉾山ではその多くが釘頭状を示しているのに対し、足尾鉾山の場合は相対的にむしろ犬牙状のものの方が多いようである。このような産地による相違とともに、1鉾床内でもその晶出位置によつて晶相の変化が認められることもある。

Table 1 The frequency of appearance of predominant faces
of calcite according to occurrence
from data of the "Minerals of Japan" 3rd Ed.

occurrence form	contact dep.		hydrothermal dep.		single vein	
	<i>c</i> (0001)	4	27.0%	7	10.5%	5
<i>e</i> (01 $\bar{1}$ 2)	4	27.0	19	29.0	5	9.5
<i>m</i> (10 $\bar{1}$ 0)	2	13.5	4	6.0	1	2.0
<i>a</i> (11 $\bar{2}$ 0)					2	4.0
+ <i>R</i> (<i>h</i> 0 \bar{h} l)	1	6.5	5	7.5	8	15.0
- <i>R</i> (0 <i>k</i> \bar{k} l)			6	9.0	16	30.0
+ <i>S</i> (<i>h</i> <i>k</i> \bar{h} l)	2	13.0	23	35.0	15	28.0
- <i>S</i> (<i>k</i> <i>h</i> \bar{h} l)	1	6.5	1	1.5		
<i>c</i> , + <i>R</i> , - <i>R</i>	1	6.5				
<i>e</i> , + <i>R</i> , - <i>R</i>			1	1.5		
<i>m</i> , + <i>R</i> , - <i>R</i>					1	2.0%
Total	15		66		53	

contact dep. . . . in contact metamorphic dep. ; Calcite vein penetrated contact metamorphosed crystalline limestone etc.

hydrothermal dep. . . . in hydrothermal ore dep.

single vein Pure calcite veins penetrating tuff and non-metamorphosed limestone, as well as igneous rocks etc.

the last three forms three faces are equally developed.

Table 2 The frequency of appearance of each faces (irrespective
of size of faces) according to occurrences
from data recorded in the "Minerals of Japan" 3rd Ed.

occurrence form	contact dep.		hydrothermal dep.		single vein	
	<i>c</i> (0001)	5	20.0%	9	8.0%	6
<i>e</i> (01 $\bar{1}$ 2)	5	20.0	17	14.5	8	7.0
<i>m</i> (10 $\bar{1}$ 0)	4	16.0	12	10.0	6	5.5
<i>a</i> (11 $\bar{2}$ 0)	none	none	5	4.0	7	6.0
+ <i>R</i> (<i>h</i> 0 \bar{h} l)	5	20.0	16	14.0	21	18.5
- <i>R</i> (0 <i>k</i> \bar{k} l)	2	8.0	17	14.5	26	23.0
+ <i>S</i> (<i>h</i> <i>k</i> \bar{h} l)	3	12.0	30	26.0	37	33.0
- <i>S</i> (<i>k</i> <i>h</i> \bar{h} l)	1	4.0	8	7.0	2	1.5
<i>D</i> (<i>h</i> <i>h</i> 2 \bar{h} l)	none	none	2	2.0	none	none
Total	25		116		113	

occurrence same as Table 1.

さらに、われわれはしばしば1晶洞内に2~3種類の異つた晶相の結晶が共存し、その結合状態から、晶出順序と晶相との間にある関係が存在する事実が気がついている。すなわち同一の晶出時期の結晶はほぼ同じ晶相を示し、これと晶出時期を異にしている結晶は異つた晶相をもっているのが普通の現象のようである。そうすると、それらの個々の前後関係を組織化して、晶相変化と生成条件との関係を晶出順序を基準として系統立てることが可能なのではあるまいか。

上にのべたこれらの現象および Kalb の研究結果から、われわれは方解石の晶相変化はその晶出順序の如何と大きな関係があるものと予測することができるのである。従つて、方解石の晶相変化の原因を研究するにあつて、この面からの検討および現象の蒐集が第1に必要なとなつてくる。

そこで、多くの産地毎に、方解石のなるべく完璧な蒐集標本について、晶出順序と晶相変化の関係を各標本について観察し、さらにそれぞれの関係を組み合わせ組織立てることによつて、方解石としての一般的な順序、あるいは傾向を決定することができるであろう。また産状によつて各晶相の出現頻度が特徴的である事実を組み合わせることによつて、温度・鉍液の化学的状态等の生成条件において任意のある晶相が占める位置を知ることができるようになるであろう。すなわち場合によつては晶相を地質学的温度計として用いたり、共存する結晶の晶相の差から鉍液流動方向を推定する基準としたり、あるいは数種晶相の組み合わせの観察から ore-source からの距りを判定したりなど、多くの面で鉍床学上の1つの指示者として用いることができるであろう。

このような予想の下に、筆者はまず足尾鉍山および茨城県福原産の方解石の、晶出順序と晶相変化との関係を明らかにすることに努め、その結果いずれの場合においても晶出順序による晶相変化の傾向はほぼ一様であり、今後の研究によつて、それを生成時の条件の指示者として用いるという予測を立てることができた。

この研究を行うに当つて、常に深い理解と鋭い批判とを與えられた河野地質部長・岩生課長・斎藤課長・小出元課長および地質調査所の関係各位に深甚の謝意を表したい。また貴重な標本を観察する便宜を與えられ、または提供された古河鉍業竹内英雄技師・東北大学渡辺万次郎教授・櫻井欽一氏・地質調査所標本室各位にも深謝する。さらに、結晶の測角は秋田大学所蔵ゴールドシュミット A 型複円測角器を使用した。貴重な同器を長期間にわたつて、当所に貸し出された同大学の地質学関係の職員諸氏の同志的友情に対して、深い敬意と感謝の意を表するものである。

II. 茨城県福原の方解石

II.1 産 状

茨城県西茨城郡西山内村福原にある接触変質石灰岩は、種々の接触鉱物を産するので、最近有名となり、その一部については松井和典等の報告がある¹⁰⁾。この結晶質石灰岩は混成岩・接触帯をへだてて周囲を花崗岩にとりかこまれており、熱変質を受けて結晶質となり、さらに次のような諸変成鉱物を形成している¹¹⁾。

珪灰石・透輝石・ベスブ石・魚眼石・葡萄石・東沸石・斜ヒューム石・柱石・褐簾石・電気

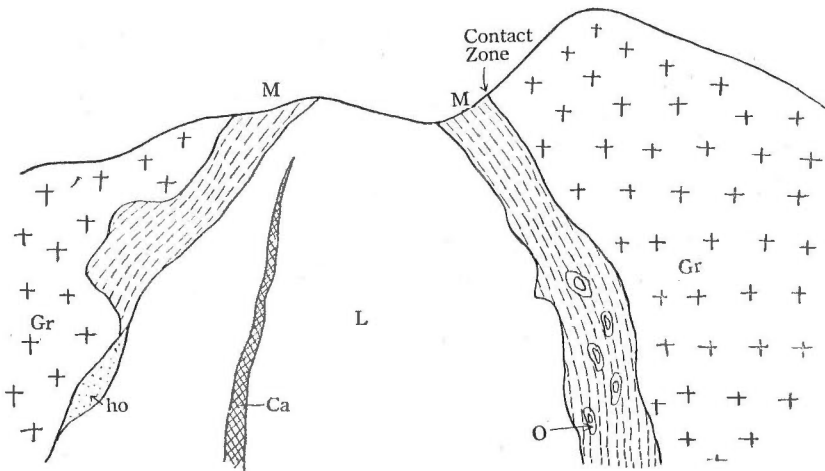


Fig. 2 Occurrence of calcite vein at Fukuhara. (after T. Hamada)
 Gr...granite, L...crystalline limestone Ca...calcite vein,
 M...Migmatite ho...hornfels
 O...Orbicular part composed by wollastonite, diopside etc.

石・金雲母・くさび石・方解石

この結晶質石灰岩体中の一部にかなりの規模の数本の方解石脈が発達している(第2図)。この方解石脈は他の共生鉱物をほとんどもなわず、僅かに少量の魚眼石小晶の共生がみられるのみである。またこの脈は甚だしく晶洞に富んでおり、晶洞内部に向つて多数の方解石美晶が晶出している。福原の方解石結晶のほとんど全てはこの方解石脈中より産し、その標本の多くは地質調査所標本室に採集保存されている(松井和典技官採集)。

筆者が観察したのはこの標本の全てについてである。

II.2 結晶形態

II.2.1 測角結果および結晶面の特性

結晶は、板状・釘頭状・犬牙状・柱状等種々の晶相がみられ、透明なもの、不透明なもの、

Table 3 Crystal faces of Calcite from Fukuhara
(Determined by two-circle goniometric method)

base c (0001)			
e ($01\bar{1}2$)			
plus rhombohedron	r ($10\bar{1}1$)	M ($40\bar{4}1$)	($60\bar{6}5$)
minus rhombohedron	f ($02\bar{2}1$)	($0.24.\bar{2}4.1$)	l ($04\bar{4}5$)
	($0.9.\bar{9}.10$)	ε ($01\bar{1}1$)	($0.10.\bar{1}0.9$) } i ($06\bar{6}5$)
ϕ ($05\bar{5}4$)	A ($04\bar{4}3$)	II ($07\bar{7}5$)	($08\bar{8}5$)
	($05\bar{5}3$)	($07\bar{7}4$)	($09\bar{9}4$) } g ($05\bar{5}2$)
	($08\bar{8}3$)	η ($04\bar{4}1$)	($07\bar{7}1$) } ($0.12.\bar{1}2.1$)
plus scalenohedron			
Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$)	ξ ($43\bar{7}1$)	μ ($54\bar{9}1$)	($9.7.\bar{1}6.2$)
x ($7.6.\bar{1}3.1$)	($17.16.\bar{3}3.1$)	($7.5.\bar{1}2.2$)	($8.5.\bar{1}3.3$)
($24.8.\bar{3}2.7$)	($8.7.\bar{1}5.1$)	($15.14.\bar{2}9.1$)	($11.10.\bar{2}1.1$)
minus scalenohedron			
($12.20.\bar{3}2.1$)	($27\bar{9}1$)	($34\bar{7}3$)	Γ ($35\bar{8}4$)
($3.10.\bar{1}3.3$)	($4.20.\bar{2}4.17$)		
plus prism m ($10\bar{1}0$)			
minus prism a ($11\bar{2}0$)			
diagonal pyramid ($11\bar{2}2$) ($44\bar{8}1$) ($7.7.\bar{1}4.1$) ($22\bar{4}5$)			

平滑な面，粗で丸味を帯びた面等その結晶状態も広い幅をもっている。面の種類は非常に豊富で，代表的な全ての品相から選定した測角に適する標本46ヶについて，複円測角器により測角した。測角は主として劈開面により，またしばしば M ($40\bar{4}1$) あるいは f ($02\bar{2}1$)，稀に scalenohedral face による小円調整法によった。その結果認められた面は，第3表に示す如く豊富な数にのぼる。主要面についての測角データは第4表に示す。

これらの多数の面うち主として出現するものは c (0001)， r ($10\bar{1}1$)， M ($40\bar{4}1$)， f ($02\bar{2}1$)， Ω ，($6.5.\bar{1}1.1$)， a ($11\bar{2}0$)， m ($10\bar{1}0$)， Γ ($34\bar{7}3$) で，独立した面としてあらわれるものは以上の他に ξ ($43\bar{7}1$)， μ ($54\bar{9}1$)，($9.7.\bar{1}6.2$)，($7.6.\bar{1}3.1$)，($17.16.\bar{3}3.1$)，($27\bar{9}2$)，($0.24.\bar{2}4.1$) 等である。

Table 4 (1) Measured and Calculated two-circle angles of Calcite from Fukuhara

Index	ρ		φ		Ref.	Size	No. of xsts	No. of faces
	meas.	calc.	meas.	calc.				
<i>c</i> (0001)	0°00'	0°00'	—	—	C	L~S	8	8
<i>e</i> (01 $\bar{1}$ 2)								
<i>m</i> (10 $\bar{1}$ 0)	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	C	M	3	6
<i>a</i> (11 $\bar{2}$ 0)	89°56'	"	60°01'	60°00'	B	S	13	38
+ <i>R</i>								
<i>r</i> (10 $\bar{1}$ 1)	44°36'	44°36'	90°00'	90°00'	A	S	27	75
(60 $\bar{6}$ 5)	49°49'	49°40'	"	"	B	S	1	1
<i>M</i> (40 $\bar{4}$ 1)	75°47'	75°47'	"	"	A	M	29	84
- <i>R</i>								
<i>l</i> (04 $\bar{4}$ 5)	38°36'	38°17'	30°02'	30°00'	max.	M	2	4
(0.9.9.10)	42.5°	41°59'	30.0°	"	"	L	1	1
<i>ε</i> (01 $\bar{1}$ 1)	45.0°	44°36'	30.0°	"	"	S	1	3
(0.10.10.9)	47°03'	47°36'	29°57'	"	C	S	1	1
<i>i</i> (06 $\bar{6}$ 5)	49.5°	49°48'	30.0°	"	max.	L	1	3
ϕ (05 $\bar{5}$ 4)	51.0°	50°57'	30.0°	"	"	L	1	2
(04 $\bar{4}$ 3)	52°16'	52°45'	30°00'	"	"	S	2	4
(07 $\bar{7}$ 5)	54°44'	54°42'	"	"	C	S	3	6
(08 $\bar{8}$ 5)	57.5°	58°00'	30.0°	"	max.	S	2	6
(05 $\bar{5}$ 3)	59°04'	59°02'	29°57'	"	C	S	2	4
(07 $\bar{7}$ 4)	59°40'	59°54'	29°55'	"	C	L	1	3
<i>f</i> (02 $\bar{2}$ 1)	63°08'	63°07'	30°00'	"	A	M	22	57
(09 $\bar{9}$ 4)	65°25'	65°45'	"	"	max.	S	1	2
(05 $\bar{5}$ 2)	67°45'	67°55'	30°15'	"	"	S	2	4
(08 $\bar{8}$ 3)	75°06'	75°05'	30°01'	"	"	S	1	1
(04 $\bar{4}$ 1)	76.0°	75°46'	30.0°	"	"	M	1	1
(07 $\bar{7}$ 1)	82°03'	81°45'	30°00'	"	"	M	2	5
(0.12.12.1)	85°14'	85°14'	30°00'	"	"	M	1	1
(0.24.24.1)	87°40'	87°34'	29°53'	"	"	S	3	4

46 crystals are measured by two-circle goniometer of V. Goldschmidt Type A.
Adjustments...cleavage {sometimes M (4041), f (0221)} small circle method.

Table 4 (2) Measured and Calculated two-circle angles of Calcite from Fukuhara

Index	ρ		φ		Ref.	Size	No. of xsts	No. of faces	
	meas.	calc.	meas.	calc.					
D									
(22 $\bar{4}5$)	34.5°	34°22'	59.5°	60°00'	max.	M	1	1	
(11 $\bar{2}2$)	40°32'	40°32'	60°00'	60°00'	"	"	1	1	
(44 $\bar{8}1$)	82°08'	81°40'	60°50'	"	C	S	1	1	
(7.7. $\bar{14}.1$)	85°12'	85°11'	60°18'	"	C	S	1	1	
-S									
(4.20. $\bar{24}.17$)	52°19'	52°18'	38°44'	38°56'	B	L	1	6	
Γ (35 $\bar{8}4$)	60°01'	59°46'	51°40'	51°31'	B	M	2	3	
(34 $\bar{7}3$)	63.0°	63°26'	55.5°	55°17'	max.	S	1	2	
(3.10. $\bar{13}.3$)	74°44'	75°27'	42°39'	42°44'	B	S	1	1	
(27 $\bar{9}1$)	76.5°	76°02'	42 $\frac{1}{3}$ °	42°14'	max.	S	1	2	
(12.20. $\bar{32}.1$)	87°57'	87°56'	51°52'	51°47'	B	S	3	6	
+S									
(8.5. $\bar{13}.3$)	74°44'	74°56'	67°29'	67°34'	C	S	1	1	
(24.8. $\bar{32}.7$)	76°29'	76°10'	76°05'	76°12'	A	S	3	17	
(7.5. $\bar{12}.2$)	78°50'	78°58'	65°37'	65°29'	C	L	2	3	
ξ (43 $\bar{7}1$)	80°25'	80°32'	64°30'	64°42'	B		10	25	
(9.7. $\bar{16}.2$)	81°40'	81°41'	64°07'	64°07'	B		15	35	
μ (54 $\bar{9}1$)	82°38'	82°36'	63°43'	63°40'	B		14	30	
Ω (6.5. $\bar{11}.1$)	83°52'	83°56'	63°02'	63°00'	A		29	137	
x (7.6. $\bar{13}.1$)	84°48'	84°52'	62°42'	62°31'	B		5	14	
(8.7. $\bar{15}.1$)	85°28'	85°34'	62°20'	62°13'	B		4	6	
(11.10. $\bar{21}.1$)	86°52'	86°49'	61°17'	61°32'	C		1	1	
(17.16. $\bar{33}.1$)	88°04'	87°57'	60°57'	60°59'	A		M	2	13
(15.24. $\bar{29}.1$)	88°11'	88°18'	52°13'	52°26'	C			1	1

Index, ρ calc., φ calc.,...most of them are calculated by T. Ito's formula.

Ref....degree of reflection of faces. A...very good, B...good, C...not so good

max....faces showing no image, measured at maximum glittered point.

Size....average size of face, L...large, M...medium, S...small

No. of xsts....number of crystals, No. of faces....number of faces

これら多数の面は第2表に分類表示してあるように、次の9種に分けることができる。

i) base	c (0001)	c
ii) plus rhombohedron	$(h0\bar{h}l)$	$+R$
iii) minus rhombohedron	$(0k\bar{k}l)$	$-R$
iv) //	e ($01\bar{1}2$)	e
v) plus scalenohedron	$(hk\bar{i}l)$ $h > k$	$+S$
vi) minus scalenohedron	$(hk\bar{i}l)$ $h < k$	$-S$
vii) plus prism	m ($10\bar{1}0$)	m
viii) minus prism	a ($11\bar{2}0$)	a
ix) diagonal pyramid	$(hh\bar{2}hl)$	D

上のうち右端に示した記号はそれぞれの面群の略記号で、この報告では面の記載には専らこれを用いることとする。

これら9種の面群中特徴的なものは $-R$ および $+S$ 面で、第3表に表示してある面のうちのほとんどが、この両者のいずれかに入る。

base c (0001) は早期晶出種において主要面としてあらわれるが、晩期に至るに従つて次第に小となり、晩期晶出種にはみられなくなる。常に粗面で反射は不良であるが、樽状晶相にとりなう場合にはやや良好となる。またしばしば e ($01\bar{1}2$) へ分化する著しい傾向を示し、そのためこの面との稜の方向に平行な深い條線を生じ、時には c 面が e 面と c 面との組み合わせで形成されていることもある。

plus prism m ($10\bar{1}0$) もまた早期晶出種にあらわれ、 c 面と結んで板状を呈するか、あるいは釘頭状結晶中に認められる。中位の発達を極限とし、面はおおむね不良で余り良好な反射を示さない。

minus prism a ($11\bar{2}0$) はほとんど常に $+S$ 面にとりなつてあらわれ、良好な面ではあるが大きくは発達していない。 $+S$ との稜の方向に普通條線が認められ、肉眼的にはしばしば $+S$ 面との間が連続的であるようにみえるが、反射測角器で測定すると、 $+S$ 面の属する連続反射帯は a 面の前で明らかに消失し、 a との間は不連続的であることがわかる。また最晩期の晶出種において、 a は大きく発達し、 a を主とした柱状晶相を形成する。

plus rhombohedron としては、 r ($10\bar{1}1$)、 M ($40\bar{4}1$)、ごく稀に ($60\bar{6}5$) のみが認められ、いずれも良好な結晶面で良い反射を示す。小位発達から主体面まで、面の大きさは広い範囲にわたり、晶出時期に従つてその発達程度が変化する。特に早期の犬牙状では大きく発達している。

minus rhombohedron は f ($02\bar{2}1$) を主とし、 f は分化して第2表に $-R$ として一括したように、多数の面のうちのいくつかの組み合わせとしてあらわれる。特に早期の結晶種で f

面が分化して、 f を含む 2~3 種の面でできている傾向が強い。普通は f の方が大きく発達しているが、またしばしば他の $-R$ の方が大きく発達していることもある。 f 面は良好な反射を示す面で、ほとんど全ての晶出時期の結晶に、従つて全ての晶相にわたつて認められるが、特に後期晶出種の結晶で大きく発達している。 f から分化した $-R$ 面は常に粗で、かつ彎曲して散乱反射を示すことが多い。この分化は一定面への分化ではなく、同一結晶群中のものでも個体ごとに分化した面の指数および面の組み合わせが異つている。 $-R$ 面中 ($0.24.\overline{24}.1$) は樽状結晶中に細長い面としてあらわれるもので、この面は f から分化したものではないようである。

e ($01\bar{1}2$) は $-R$ 面に属するものであるが、その位置および種々の特性からみて他の $-R$ とは区別して考えた方がよい。この面は早期晶出種の結晶において大きく発達し、釘頭状晶相の主体面をなす。常に劈開面となす稜の方向に平行な深い條線が走つているが、甚だしい彎曲は示さない。ただし時に D 面に分化していることもある。反射は良好ではない。

diagonal pyramid は時に釘頭状結晶にあらわれ、劈開面との稜に平行な條線が著しく、面の性質は不良である。

plus scalenohedron は Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) を主として他に多数の面があらわれる。今良好な結晶状態を示し、 $+S$ を主とした犬牙状結晶について劈開面による厳密な小円調整を行い、 $+S$ 面の ρ , φ 値を測定すると、いずれの面も連続反射を示し、連続反射帯中に数回の明るい反射点を含んでいる。この反射点はその状態から明らかに独立した面よりの反射で、干渉像その他の変則的な反射点ではない。この明るい反射点についてのみ測定値を読み取り、指数の計算を行つてみると、1 結晶あるいは 1 結晶面においてすら数ケの異つた面指数を示す。また結晶の上半 6 ケの面よりの反射点中に、全てに共通する同一の面指数を有する反射点が存在するとは限らず、多くは Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) が 3~4 面位にあらわれるが、他の 3~2 面よりの反射点中には Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) に相当する ρ , φ 値を示すものはなく、これにやや近い μ ($54\overline{91}$), ξ ($43\overline{71}$), ($9.7.\overline{16}.2$) 等、第 3 表に $+S$ として一括した数多くの面の 1 ないし数面があらわれる。1 結晶の $+S$ 面についての正確な測角結果の一例をあげると第 5 表の如くである。さらに時には Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) の方があらわれる度数が少なく、 μ あるいはその他の指数の方が多いこともある。さらに同一結晶群中の結晶についてみても、あらわれる面指数は決して一定していない。ただしその分布範囲は大幅な変化ではなく、 Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) を中心としてある狭い範囲内に限られている。すなわちこれらの事実から、 $+S$ 面は一義的に一定の指数の面によつて指定することはできず、ある幅をもつたある範囲としてしか表現できない。しかし、ここでは便宜上最も頻度の高い指数の面で、1 結晶をあらわすことにした。第 3 表に記載してあるほとんど全ての面は上記の如く、各反射点から算出した種類のものであるが、これらのうち ($24.8.\overline{32}.7$) および ($17.16.\overline{33}.1$) は上記の Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) で一括表現される面群とは別個のものである。すなわち ($24.8.\overline{32}.7$) は Ω , ($6.5.\overline{11}.1$) を主とする犬牙状の無

Table 5 An example of exact goniometric measurements of plus scalenohedral faces of a crystal

Index	ρ		φ			R
	meas.	calc.	meas. 1	meas. 2	calc.	
r ($10\bar{1}1$)	44°36'	44°36'	85°59'	90°00'	90°00'	A
"	"	"	205°59'	"	"	A
"	"	"	325°59'	"	"	A
($9.7.\bar{1}6.2$)	81°46'	81°39'	111°44'	64°15'	64°11'	B
Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$)	83°35'	83°56'	232°52'	63°07'	63°00'	B
Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$)	83°54'	83°56'	298°57'	62°58'	63°00'	A
($9.7.\bar{1}6.2$)	81°35'	81°39'	351°39'	64°10'	64°11'	B
($9.7.\bar{1}6.2$)	81°35'	81°39'	60°00'	64°01'	64°11'	B
Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$)	83°44'	83°56'	59°00'	63°01'	63°00'	B
μ ($54\bar{9}1$)	97°26'	97°27'	52°10'	56°11'	56°10'	B
($8.7.\bar{1}5.1$)	94°30'	94°29'	53°45'	57°46'	57°49'	A
\bar{M} , ($6.5.\bar{1}1.1$)	95°31'	96°04'	143°00'	57°01'	57°00'	C
\bar{M} , ($6.5.\bar{1}1.1$)	96°18'	96°04'	239°03'	56°56'	57°00'	B
$\bar{\mu}$ ($54\bar{9}1$)	97°00'	97°27'	239°22'	56°37'	56°10'	B
$\bar{\mu}$ ($54\bar{9}1$)	97°46'	97°27'	292°00'	56°01'	56°10'	B
\bar{M} , ($6.5.\bar{1}1.1$)	96°01'	96°04'	292°56'	56°57'	57°00'	A

meas. measured value calc. calculated value

φ meas. 1. direct measured value φ meas. 2. recalculated value from φ meas. 1.

R reflection

Parentthesized two or more faces are calculated from angles of each reflected points from one face.

Adjustment small circle adj. by cleavage faces.

色透明な結晶に、 Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$) と r ($10\bar{1}1$) との隅を欠いてあらわれる面で、非常に明瞭な独立した反射を呈し、明らかに Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$) とは別個の存在であり、($17.16.\bar{3}3.1$) は α ($11\bar{2}0$) を主とした柱状結晶にみられ、連続反射中の光輝点の測定値からみても、 Ω , 面群とは独立である。

minus scalenohedron は早期晶出種の結晶にみられ、釘頭状および樽状晶相の結晶に中位面としてあらわれる。 Γ ($35\bar{8}4$) は釘頭状結晶中に中位の発達をなす反射良好な面で、($12.20.\bar{3}2.1$), ($27\bar{9}1$) もまた樽状結晶にあらわれ、前者は中位、後者は小面である。この他 ($34\bar{7}3$) は犬牙状結晶にとまなう微小面、($3.10.\bar{1}3.3$) は板状結晶に稀にあらわれる小面

である。-S 面は +S 面のように外見上独立した1面が、いくつかの指数の面群によつて構成されているものとはやや異り、いずれの場合も面指数は1結晶面についても1個体においてもほぼ一定している。

II.2.2 晶 相

上記多数の面の主な組み合わせは、大別して次の6型に分けられる。

- 第1型 板状および短柱状晶相
- 第2型 釘頭状晶相
- 第3型 樽状晶相
- 第4型 +R をともなう犬牙状晶相
- 第5型 -R を特徴とする犬牙状晶相
- 第6型 -R を主とする菱面体晶相
- 第7型 a を主とする柱状晶相

これらはさらに2次的優位面の発達程度の差、および組み合わせの相違によつてそれぞれ次の如くに分けられる。それらの個々について次に簡単な記載を行う。

第1型 板状および短柱状晶相

c 面のよく発達した晶相で、薄板状のものと厚板状~短柱状のものがある。

*1a*型 cm 型: c , m のみよりなる薄板状結晶。白色半透明。普通 a 軸方向に 4 mm, c 軸に 1 mm 程度の大きさである。他の晶相の結晶と共生せず、これのみが集合晶出し、母岩は著しく結晶度が高くなっている。面はいずれも粗で、 c は e へ分化しようとする傾向をもっているため、やや丸味を帯びていることがある。この傾向は結晶が大きい程強い(第3-1図)。

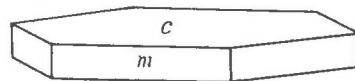


Fig. 3-1 Type 1a

*1b*型 $c+S$ 型: 厚板状ないし短柱状をなす。やや白濁した半透明結晶である。一般には他の型をともしない。 c (0001), M ($40\bar{4}1$), f ($02\bar{2}1$), a ($11\bar{2}0$), Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$) よりなり c , Ω を主とする。普通 c 軸方向の長さ a 軸方向の長さとの比が 1:1 程度の板状を示すが、しばしば Ω が発達してこの比が 2:1 程度の短柱状結晶となることもある。また結晶下半の M が大きく発達し、上半の M の発達が小となっていることもある。

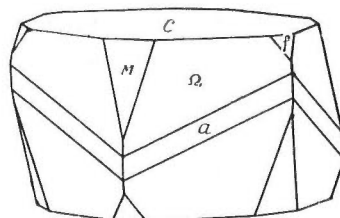


Fig. 3-2 Type 1b

上記諸面以外に ($08\bar{8}3$) が f の下半と M との間に、($3.10.\bar{1}3.3$), ($8.5.\bar{1}3.3$) が f と Ω との稜を切つて

あらわれることもあるがいずれも小である。 c 以外の面は良好な反射を示す。大きさは a 軸方向に 3~8 mm 程度(第3-2図)。

第2型 釘頭状晶相

e ($01\bar{1}2$) の発達によつて特徴づけられる 葉片状ないし釘頭状結晶で、白濁半透明結晶からやや弱い透明の結晶まで漸移的關係にある。同時に色および透明度の変化と並行的に形態的な変化が認められる。通常集合し入り組んで晶出し、この上に第3・4・6型等の結晶が被覆晶出している。またこの他に第5型の結晶が少量同様關係で晶出していることもある。大きさは a 軸方向に平均 5 mm, 最大 7 mm 程度。

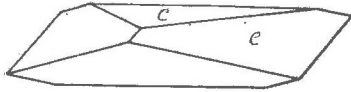


Fig. 3-3 Type 2a

2a型 ec 型: e ($01\bar{1}2$) および c (0001) よりなるやや厚い片状の白濁半透明結晶で、密雑集合して産し、通常白色薄膜 (おそらく CaCO_3 の沈澱物) によつて被覆されている。 e 面は劈開面との稜に平行な條線が

走り、 c もまた粗でかなり大きく発達している(第3-3図)。

2b型 $eM+S$ 型: e ($01\bar{1}2$), M ($40\bar{4}1$), m ($10\bar{1}0$), c (0001) を主とする小形釘頭状結晶。 e , c は粗で e は條線が深い。 M は大きく発達する良好な面であるが、 m は小で細長い。この形の結晶は小形であるが、結晶が大きくなるに従つて a ($11\bar{2}0$) あるいは ζ ($43\bar{7}1$), Ω ($6.5.\bar{1}1.1$) 等の $+S$ 面があらわれ、透明度も増し、時に眞珠光沢を呈することも

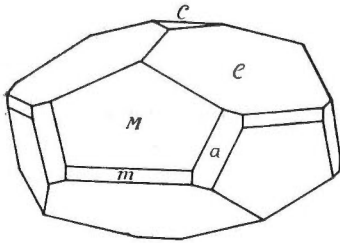


Fig. 3-4 Type 2b

もある。普通 M の発達が最も大で、 a および $+S$ は條線が走り小さいし中位の大きさである。従つて結晶全体としては、遂次 c 軸方向に伸び丸味を帯びてきて 2c型に至る。これらの結晶は 2a型の集合体上に突出した形で産する(第3-4図)。

2c型 $M, m, e, +S$ 型: M , m , Ω , Γ ($35\bar{8}4$), e , ($11\bar{2}2$) 等よりなる算盤玉状結晶。 M , m , Ω , e はほぼ等大の発達を示し、($11\bar{2}2$), Γ は中位。 e , ($11\bar{2}2$) は條線が走るが他の面はいずれも良好である。この他に ($0.12.\bar{1}2.1$), ($7.5.12.2$), ($22\bar{4}5$) 等の微小面がみられる。結晶は無色でやや透明。この型および 2b型は 2a型の集合結晶上に突出晶出し、さらに犬牙状結晶が被覆発達している(第3-5図)。

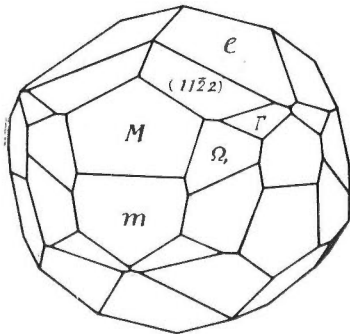


Fig. 3-5 Type 2c

第3型 樽状晶相

C , $+R$, $-R$ をともない $+S$ を主とする樽状の結晶で、 c の発達により第4・5型と區別される。 c , $+R$, $-R$ はいずれも相当大きく発達している。普通無色透明の美品で面の発達程度によつて次の3種に細分できる。

3a型 $c, M, +S, -S$ 型: c, M および $+S$ の発達した樽状晶相で $-S$ をともなう。無色透明, 7~10 mm 大の美晶。第2型の結晶群と共生し, それらを被覆して晶出している。

この型の結晶3ヶについて複円測角した結果, $c, M, r, f, a, (0.24.24.1), (0.9.9.10), \Omega, (12.20.32.1), (2791)$ を認め, さらに Ω で代表される $+S$ 面中よりの良好反射点

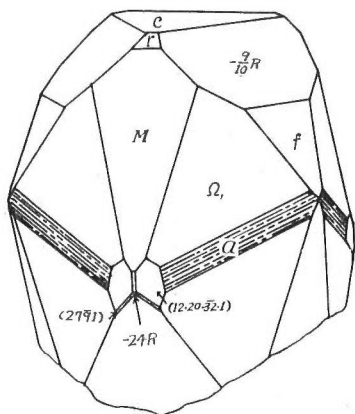


Fig. 3-6 Type 3a

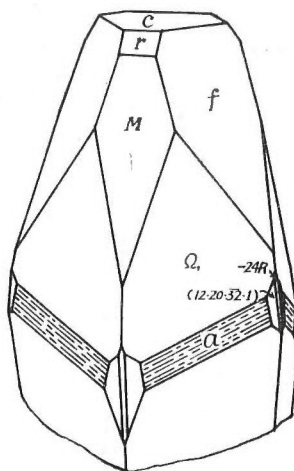


Fig. 3-6b Type 3a

として $(9.7.16.2), \mu, \xi$ その他を認めた。面の反射はいずれも良好である。これらのうち $(12.20.32.1)$ は中位発達の独立面, $(2792), (0.24.24.1)$ は $(12.20.32.1)$ にともなう細長い面で, いずれも他の型の結晶にはみられない。

$+S$ よりの反射は $\Omega, (65.11.1)$ が最も頻度が高い。
 $-R$ は f のみよりなる場合と, これと $(0.9.9.10)$ の2面とよりなる場合とある。

c, M, Ω, f がほぼ等大に発達したもから, Ω が大きく犬牙状に近いものまである(第3-6a・b図)。

3b型 $cM+S$ 型: c の発達した犬牙状に近い晶相。無色透明, 2.5~5 mm 程度の美晶。3a型とは $-S$ のあらわれない点および $+S$ の種類が異なる点で区別される。3a型結晶と同様に, それとともなつて第2型の結晶群と共生し, それを被覆して生長している。

結晶3ヶを複円測角した結果, $c, r, M, f, (0445), \xi (4371)$ を認め, さらに $+S$ として $(9.7.16.2)$ 等

6面を認めた。 $+S$ は Ω よりの反射は僅かであり ξ よりの反射の方が頻度が高い。

結晶は普通 ξ, M, f を主とし c は中位, r は小である(第3-7図)。

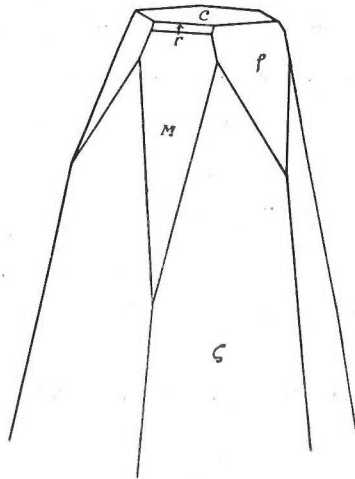


Fig. 3-7 Type 3b

第4型 +R の発達した犬牙状結晶

+S を主とする犬牙状結晶で、+R が -R に比して大きく発達している点で第5型と区別され、*c* がほとんどあらわれない点で第3型と異なる。結晶はおおむね無色透明の美晶である。

4a型 +S*r*型: やや濁った無色透明の犬牙状結晶で、3~7mm の大きさである。他の型の結晶と共生せず、この型の結晶のみの集合品をなし、母壁より柱の如くこの結晶が晶出してそこに方解石のみの厚さ 4mm 程度の壁をつくり、さらに内部に向つて同型の大形結晶が晶出している。

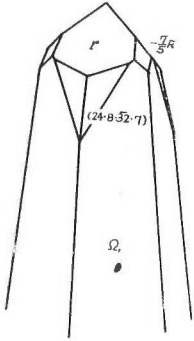


Fig. 3-8 Type 4a

結晶は+Sは Ω , (6.5.11.1) 1種かあるいはこれと (24.8.32.7) の2種の面が主となり、通常これに中位発達の *r* (1011) をともなっている。時に Π (0775) の微小面をとともなうこともある。第3・4型に普通あらわれる *M* 面が、この型には全くあらわれないのが特徴的である。また2種の +S 面は他の場合に較べて甚だ良好な結晶面を形成し、連続反射も他の指数よりの反射点も認められない(第3-8図)。

4b型: +S を主とし、+R, -R をともなう無色透明の犬牙状結晶。+R の方が -R よりも常に大きく発達している。3~6mm を普通とし、時に 10mm を超えることもある。第2型の結晶上に附着晶出、時に 2b 型と平行連晶してあらわれる。

+S は Ω を主としているが、時に μ (5491), ξ (4371), (9.7.16.2) 等が頻度が高いときもある。+R は *M* を主とし *r* をともない、時に *r* の方が大きく発達していることもある。-R は *f* が主であるが、しばしば分化して *g* (0552), (0553), ϵ (0111), *i* (0665), (0441), (0994), (0885), *A* (0443) などのうちの1~2面とともに -R を構成している。*f* は良好であるが他の -R は粗であり、普通は *f* の方が大きい、時に他の -R の方が *f* より大きく発達していることもある。

この型の結晶 12ヶについて測角した結果上記の他に次の如き諸面が認められた。

a (1120), (18.15.33.4), (15.14.29.1), x (7.6.13.1), (4481), (12.9.21.2), (20.15.35.1), (28.20.48.5), (3473)

結晶は +S, +R, -R の発達程度によつて細長いスマートな犬牙状となつたり、やや太いずんぐりした犬牙状となつたりするが、+S が主要面で +R が -R よりも大きく発達する点では変化はない(第3-9a・b 図)。

4c型 偏倚結晶: +S と *a* とを主とする結晶が偏倚して単斜晶系に属する結晶の如き外観を示すもので、無色透明、3~4mm の美晶。第2型の結晶と平行連晶し、4a・4b 型と共生する。測角の結果 +S は Ω , (6.5.11.1) を主とし他に (8.7.15.1) の反射がみられる。*a* の他に *r* があらわれる。

結晶は、 Ω , *a*, *r* の3面のそれぞれが次のように規則的に偏倚発達している。すなわち

($6.5.11.1$), ($11.5.6.1$) および

これらの相対する面は大きく発達せず細長い小面となり, それらの対応する下半部の4面, およびそのはさむ a 面は完全に消失する。

この Ω , は階段状発達を示さず良好な面である。これに対して

($6.11.5.1$), ($5.11.6.1$) および

これに相当する下半部の2面が特に大きく発達し, さらに a があら

われる。これらの面は前者の場合とは反対に $+S$ 面は a と階段状発達をなしており, そのため $+S$ 面上には深い

條線が走っている。 r は細長い小面で ($\bar{1}101$) および ($0\bar{1}11$) の2組の発達しかみられない。このように6組の $+S$ 面中2組の対応する面だけが, 著しく発達したために偏倚して単斜晶系状を示すのであり, この関係は第3-10図の結晶図に示すごとくである。

4d型 $a+S$ 型: a および a に近い $+S$ を主とする無色透明の1~3mmの美晶。8×4×5mm程度の小空洞中に第2型の結晶上に晶出している。

結晶2ヶについて測角した結果 M, r, f, a , および ($17.16.33.1$) が認められた。 a と ($17.16.33.1$) が主要面で, いずれも両者の稜に平行な浅い條線が走っている。 $+S$ は ($17.16.33.1$) 以外の反射は認められず, この指数の $+S$ はこの型にしかみられない。 M, f はほぼ等大に中位に発達しており, r は小面である(第3-11図)。

第5型 $-R$ の発達した犬牙状結晶

$+S$ および $-R$ を主とする結晶で $+R$ をともなうが, これは $-R$ よりも大きくは発達しない。結晶はいずれも白色あるいは茶褐色半透明ないし不透明で, 面は粗で彎曲し, 第3・4型などに比べると結晶状態ははるかに悪い。また結晶によつては, $-R$ 相互の稜等より劍竜の背びれのように不完全結晶が生長しており, それらが晶出中断の産物であることを示している。 $+S, -R$ いずれの結晶面も面よりの反射は至つて不良である。

5a型 $+S, -R, c$ 型: $+S$ と $-R$ を主とするずんぐりした犬牙状結晶で, 白色半透明の3~7mmの結晶である。面は粗で彎曲している。この型の結晶だけが群晶している。

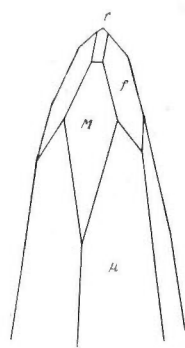


Fig. 3-9a Type 4b

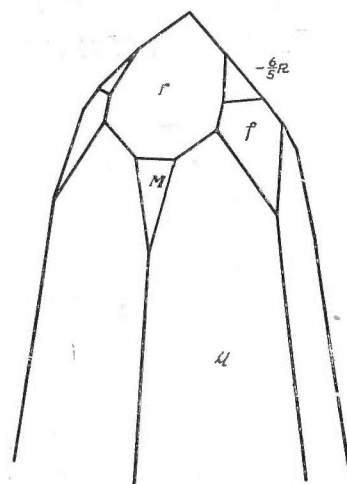


Fig. 3-9b Type 4b

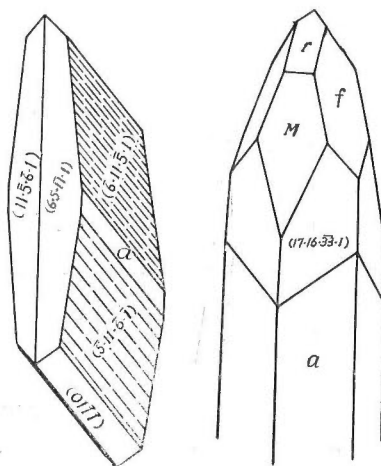


Fig. 3-10 Type 4c Fig. 3-11 Type 4d

+S は反射不良で正確な指数は決定できないが、大体 Ω , (6.5.11.1) に相当する。-R は (0554) 等の f (0221) 以外の面が主体となり、 f のあらわれることもあるが小さい。時に

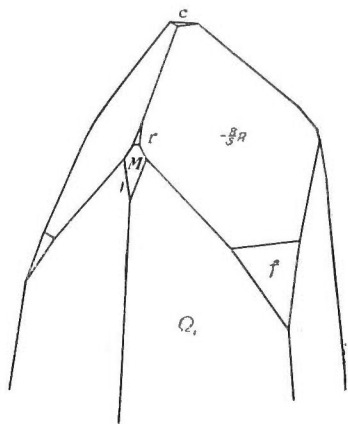


Fig. 3-12 Type 5a

+R の M 面および c 面をとまなりこともあるが、これらは大きくは発達しない(第3-12図)。

5b 型: 茶褐色~白色半透明の 10~20 mm の結晶で、+S と -R の発達した犬牙状を呈するもの。+R, c は全く発達しない。第6型と共生し、第6型の結晶はこの上に集合品として晶出している、結晶面は粗で彎曲し、反射不良で正確な指数を決定できないが、+S は大体 Ω , (6.5.11.1) に相当し、-R は f (0221) よりなつている。-R には他の指数の面はみられない。図版1のように、 f 相互の稜および +S 相互の稜より剣竜の背びれのように不完全な結晶が生長しており、主軸を中心として3本の不完全結晶による背びれが形成されている。この

背びれに相当する部分は、結晶状態が甚だ不完全で、独立した面をもつた結晶とは考えられない。すなわち数ケの正確な面によつて形成されているのではなく、lineage structure よ

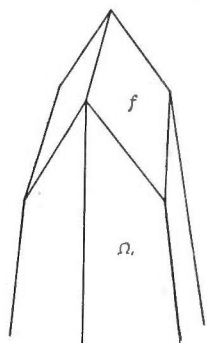


Fig. 3-13 Type 5b

うの起伏によつてつくられている。またこの背びれ状結晶で狭まれている +S, -R 等の面も良好な結晶面ではなく、lineage structure が著しく発達しており、凹面を形成している。これらの事実およびこの型の結晶の晶出時期から考えて、この結晶の背びれ状存在は晶出の途中で、生長が停止したために帰因するものと考えられる(第3-13図、図版1参照)。

第6型 -R を主とする菱面体晶相

-R を主体面とする菱面体晶相。白濁半透明で普通 3~5 mm, 最大 15 mm の結晶。普通は、この型の結晶のみ集合して晶出しているが、稀に第2・3・4型等とともにあらわれる。後者の場合には第2型の結晶を被覆晶出している。

-R は彎曲し lineage structure のゆるい起伏が発達している。この起伏および彎曲の程度が著しくなると、1ケの -R 面は3部分にゆるく分化した形をとる。この3部分のうち1部は -R の位置に相当し、他の2つは -S 面に相当する。分化がさらに著しいと、-R は消失し -S のみよりなる結晶となる。こうなると -S は比較的良好な面となり反射も割合によいが、なお若干の lineage structure の発達はみられる。-S のみで構成されている場合も、その外見は菱面体晶相とほとんど変わらない。分化した -S 面の指数は (4.20.24.17) という複雑な指数の面であり、分化する前の -R 面は面全体からくる反射点を基礎として計算すると、大体 (0774) あるいは (0775) あたりに相当する。すなわち ρ 値で 54° から

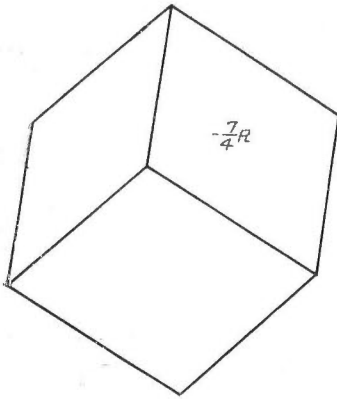


Fig. 3-14 Type 6

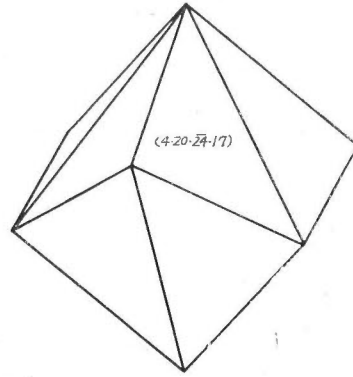


Fig. 3-15 Type 6'

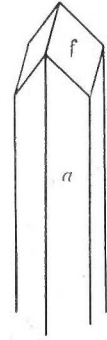


Fig. 3-16 Type 7

Table 6 Classification of crystal habit of Calcite from Fukuhara

Habit	Type	development of faces			size	color & transparency	Fig.
		large	medium	small			
Tabular	1 a	c	m		4 mm × 1 mm	white translucent	3-1
	1 b	$c, \Omega,$	$M, a,$	$f, -R, -S$ etc.	$a:c=1:1\sim 1:2$	"	3-2
Nail-head	2 a	e, c				"	3-3
	2 b	e, M	$m, a,$	$c, \Omega,$	10 mm	"	3-4
	2 c	$e, M, m,$	$\Omega, \Gamma, (11\bar{2}2)$	$-R, D$ etc.		colorless translucent	3-5
Barrel	3 a	$\Omega, M, c,$	$r, f, -R,$	$-S, a, -R$	7~10 mm	colorless transparent	3-6
	3 b	$\xi, M,$	$c, f,$	$r, -R$	2.5~5 mm	"	3-7
Dog-teeth with +R	4 a	$\Omega,$	$r, (24.8.\bar{3}2.7)$	Ω	3~7 mm	"	3-8
	4 b	$\Omega,$	$M, r, f,$	$-R(g, \epsilon, i$ etc.)	3~6 mm	"	3-9
	4 c	$\Omega, (marformed)$	$a, r,$		3~4 mm	"	3-10
	4 d	$a, (17.16.\bar{3}3.1)$	$M, f,$	r	1~3 mm	"	3-11
Dog-teeth with -R	5 a	$\Omega, -R$		c, M	3~7 mm	white translucent	3-12
	5 b	Ω, f			10~20 mm	brown translucent	3-13
Rhombohedron	6	$-R(07\bar{7}4)$ or $(07\bar{7}5)$		$(7.6.\bar{1}3.1)$ or a	3~5 mm	white translucent	3-14
	6'	$(4.20.\bar{2}4.17)$			"	"	3-15
minus prism	7	a	$f, (07\bar{7}1)$		1.5 mm	"	3-16

59°位の範囲にかけて反射がみられる。

稀には $-R$ 面の稜を欠いて、(7.6.13.1) および a の小面のあらわれることもある(第3-14・15図)。

この型の結晶に限って(0001)を双晶面とする貫入双晶が稀にみられる。

第7型 a よりなる柱状結晶

a (11 $\bar{2}$ 0)を主とし $-R$ をともなう白色ないし茶褐色半透明の1.5 mm程度の小結晶、第5b型の結晶上に枝のように附着結晶している。

a は劈開面との稜に平行な條線が走り、 $-R$ はやや彎曲しているため正確な指数を決定できないが、 f だけの場合と f と(07 $\bar{7}$ 1)の2面よりなる場合とある(第3-16図)。

上記各品相の諸特徴を要約して表示すると第6表の如くなる。

II.3 各品相の晶出状態

上記各品相の晶出状態およびそれぞれの組み合わせ方の観察から、晶出順序と品相との関係を明らかにしてゆくことにする。

晶出順序の前・後期を決定する基準として次の形をとつた。2つ以上の結晶が存在し、それらが互に入り組んで群晶している場合には、これらの結晶はほぼ同時的な晶出によるものと考ええる。一方が他方を被覆して晶出している場合、前者は後者よりも後期の晶出と考える。平行連晶的に結合している場合には、両者の接合面の自形・他形の程度によつて前後を決定する。

こうして結晶相互の関係を決定した後、それらを組み合わせ組織立てることによつて、福原産方解石の晶出時期による晶相変化の系路を決定できる。また、他の品相のものと全く共存しない結晶については、各結晶面のもつ特性から判断して大体の位置を決定できる。その点で面の特性は重要な役割を果たす。また、同一型の品相を示す結晶はほぼ一定の晶出時期に限つてあらわれ、他時期には全くあらわれないことがない。

以上の基準に従つて、多数の標本について各品相の晶出状態の観察を行つたのであるが、観察は全く採集された標本に限られ、研究を開始した際既に問題の方解石脈は完全に埋没しつくされていたため、現地の産状を詳細に調査する機会に恵まれなかつた。その点でいくらかの見逃しもあるかも知れないが、採集された標本はほとんど完璧に近く、またここで考察しようとする問題においては、産状の観察の不足は決して致命的欠かんになりうるものでないと考えられる。

採集され観察した標本は全部で108ヶである(結晶の個体数ではなく結晶群としての個数)。これらの標本は結晶の集合状態、品相の組み合わせ等から第7表のように9種類に分類される。

各々の標本についての観察結果は次の如くである。

第1種は1a型のみみられる。1aについてみると小結晶では c が未分化のままであるが、

Table 7 Showing type of specimens of calcite from Fukuhara
(type of combination of coexisting habit, specimens)

Type of Specimen	Coexisting habit, and combination of specimens	number of Spec.
Type 1	Habit 1a	2
Type 2	Habit 1a and 2a	1
Type 3	Habit 2b	1
Type 4	Habit 5a	2
Type 5	Habit 2a, 2c, 3a, 3b, 4a, 4b, 4c, 4d, 6	11
Type 6	Habit 5b, 7	62
Type 7	Habit 6	20
Type 8	Specimen Type 5 and Type 7	9
Type 9	Specimen Type 7 and Type 8	1

結晶大なるにしたがつて c は漸次 e へ分化する傾向を示している。その甚だしい場合には $2a$ 型の外形を示すに至る。一般に c は最も早期にあらわれるが、後期に至るに従つて常に分化して e を生じ、遂に e 面によつておきかえられるようである。これと同様に m 面は結晶が大きくなるに従つて発達大となり、薄板状の晶相から短柱状の晶相へと変化する傾向が認められる。これらの面の変遷は結晶の生長にもなつての変化であるから、これを1つの晶出時期内の早期から晩期にかけての変化と考えることができる。もちろんそれらの間は連続的変化である。したがつて $1a$ 型の結晶内で、構成面は後期に至るに従い c は e へ分化し、 m は大きく発達する傾向があるといふことができる(図版2に第1種標本を示す)。

第2種の標本には $1b$, $2a$, $2c$ の3晶相の結晶が共存する。まず1mm以下の $2a$ 型の小品が馬鞍状に集合結晶し、これを被覆して $1b$ 型の5mm程度の半透明の結晶が群晶する。これと別個の位置に2mm程度のやや薄い釘頭状の $2c$ 型結晶が数ヶ晶出し、 $1b$ と同様に $2a$ 型の群晶上に晶出している。従つてここでは、後期に至るに従い $2a$ 型→ $1b$ 型、 $2a$ 型→ $2c$ 型の関係にあるといえる。 $1b$ 型と $2c$ 型との関係は不明。

第3種では $2b$ 型のみ晶出している。 $2b$ 型では小結晶程薄い釘頭状で、結晶大なるほど厚い釘頭状の結晶となる。面についていえば、小結晶ほど e 面の発達が良好で M 面は小、 m は中位の発達を示すが、結晶が大きくなるほど e に対して M の発達が大きくなり、 m は小である。したがつて $2b$ 型の時期では m , e は漸次に発達がにぶり、 M の発達が盛となる傾向にあるといえる。また結晶大で厚い釘頭状のものほど結晶度は完全となり、透明度も高く特殊な玻璃光沢を帯びてくる。

第4種では $5a$ 型の結晶のみが晶出する。 $5a$ 型の大型の結晶が群晶している上に、同型の1mm以下の小品が生長している場合もある。この両者は同じ $5a$ 型であるが後者の方が $-R$ 面の発達が著しく、 $5a$ 型においては後期ほど $-R$ 面の発達が著しくなる傾向を示

しているといえる。

第5種には最も多種類の晶相の結晶が共存している。この標本の基盤をなし最も早期に晶出したものは、*2a*型の群晶で白色半透明の結晶群である。これは互に入り組んで群晶生長しており、こうして群晶しているものは*2a*型に限られている。その上にこれを被覆して*2c*, *3a*, *3b*, *4a*, *4b*, *4c*, *4d*, *6*型等の結晶が晶出し、これらが明らかに*2a*型よりも後期の晶出であることを示している。*3a*, *3b*, *4a*, *4b*, *4c*の諸型と*2c*型とは、平行連晶関係にある場合が多い。その関係をみると、*3a*, *3b*, *4a*, *4b*, *4c*の各晶相はいずれも無色透明の美晶で、*2c*型は白色半透明の結晶であり、両者の接合面の状態が観察できる。それによるといずれの場合も*2c*型が自形を呈し、他は他型を示しているから、*2c*型の方が他の諸形よりも早期晶出種であることがうなづける。また*6*型の結晶と*3a*, *3b*, *4a*, *4b*, *4c*型の結晶との関係も、同様の観察から*6*型の方が早期の晶出であると考えることができる。*2c*型と*6*型との関係は、*6*型の結晶上に*2c*型の結晶が丘のようになつて頭を出しているため、一見*2c*型の方が後期晶出のように見えるが、その結合面を割つてみると、*2c*型の結晶は丁度氷山の水中と水上部との関係のように、*6*型の結晶内部に末ひろがりに入り込み、自形を示している。従つて*2c*型の方が*6*型よりも早期の晶出と考えるのが妥当であろう。*3a*, *3b*, *4a*, *4b*, *4c*, *4d*型のうちの各型の前後関係は、*4d*型を除いては一概に決定することはできないが、ほぼ同一時期の晶出と考えることができる。この時期のうちでの前後関係は、面の種類・出現程度等を考慮して*3a*, *3b*型が最も早く、次いで*4b*, *4a*, *4c*型の順と考えられる。*4c*型の偏倚結晶は、一般にこれと同種面よりなる正規発達結晶よりも後期晶出であるようである。*a*の発達している*4d*型は唯一の標本にのみ認められたもので、 1cm^3 程度の小空洞中に産する。この空洞の壁には第2型の小晶が群晶し、これらを被覆して帯青白色の CaCO_3 の沈澱物があり、その沈澱物中から*4d*型の結晶が透明な水晶のように抜き出て結晶している。 CaCO_3 の沈澱物に被覆されていない結晶は*4d*型だけで、この空洞以外の部分でも、ほとんど全ての結晶がこの沈澱物によつて被覆されている。これらのことから、*4d*型は第5種の結晶中最も後期の晶出と考えられる。したがつてこれらをまとめてみると、*2a*型→*2c*型→*6*型→*3a*, *3b*, *4b*, *4a*, *4c*型→*4d*型の順序であると考えられる。これらの関係の1部は図版3・4・5・6・7に示す如くである。

第6種の標本はその数が最も多い。15~20 mm の*5b*型の大形の結晶が群晶し、これが一番基盤をなしている。この上にこれらの結晶の一側に定方向的に3~4 mm の*-R*の発達の小さい同型の結晶が晶出し、それが著しい場合には*-R*の発達のほとんどみられぬ犬牙状結晶となる。さらにこれらの小結晶から樹枝状にほぼ直角に7型の1 mm 程度の小晶が晶出している。従つて第6種の標本においては早期から順次に、*-R*の発達した大形の*5b*型結晶、*-R*の発達の悪い*5b*型か*-R*をともなわぬ犬牙状の小晶と変化し、最後に7型が晶出したものと考えることができる。これらの関係の一部は図版8・9に示す如くである。

またこの結晶群で注目すべきことは、他の結晶群の第1・2・3・4・6型等の結晶が一般に無色ないし白色透明あるいは半透明で汚濁の程度も少なく、結晶も比較的完全で晶出の途中で生長が停止したような痕跡がみられないのに対して、この結晶群に属する結晶が、全般的に茶褐色に汚濁した半透明結晶で、面は粗あるいは彎曲して汚く結晶が不完全である点である。殊に5b型結晶においてはしばしば $-R$ 面の稜から丁度剣竜の背びれ状の不完全小結晶の生長がみられ、特にこれらが多数平行して板状を示すことすらある(図版1参照)。

一般に結晶の生長は面に直角な方向よりも稜の方向への生長の方が盛で、この生長に続いて、その稜ではさまれる面への堆積が行われて結晶が形成されるものと考えられている。この場合 $-R$ の稜の方向に向つて生長が行われ、これに継続しながら稜の間を埋めてゆく途中で、液の供給が中断され、晶出が停止した結果、上述のような不完全結晶が形成されたものと考えられるのである。このような事実と、この種結晶の完全度・色・透明度などと他の型の結晶のそれらとの比較から、この結晶がそれらよりも明らかに後期に晶出したものであると考えられる。

第7種の標本は、第6型の結晶とこれを被覆生長する魚眼石の微晶とのみからできている。魚眼石は $p(111)$ を主とし $a(100)$, $b(010)$ の小～中位面をともなる錐状結晶が普通で、時に a , b が大きく発達した短柱状を示すこともある。いずれも 0.5 mm 以下の微晶であるが結晶は完全で方解石結晶群の1側方向のみに被覆晶出し、明らかに方解石よりも後期晶出である。方解石は 2~15 mm で大きさの幅は広いが晶相は1種類に限られ、晶相による前後関係を決定できない。ただし大体の傾向として入り組んで群品しているものほど、2次的優位面の a あるいは $+S$ 面の発達が良好で、結晶大で、上の群品中から突出している結晶ほどそれらの面の発達が悪い(図版10参照)。

以上に説明してきた結晶群は、1種あるいは数種の晶相の組み合わせで構成されており、それぞれの結晶群のなかで晶相の相違と晶出順序との関係を大体決定することができた。しかしこれらのなかでは、ある型の晶相が数種の結晶群に共通にあらわれる場合はなく、従つてこれらからだけでは異つた結晶群間の関係の決定、および福原全体としての晶出順序による晶相変化の系列を組織化することはできない。そこで異つた結晶群が同時に、かつ接触して存在するような標本が必要となる。この種標本として第8種および第9種がある。

第8種の標本は第5種および第6種の2種類の結晶群によつて構成されている。第5種結晶群を形成する方解石脈を追跡してゆくと、これを被覆してその上に直接に不整合的に第6種の結晶群を構成する方解石脈が存在する。両者の境界部はそれぞれの方解石の色および透明度の相違によつて明瞭である。この関係を図版11に示す。従つて第5種および第6種の結晶群相互の間の晶出の前後関係は、前者の方が早期であり、両者の間は生長时期的にみて不連続的であるといえる。

第9種の標本は第6種および第7種の結晶群よりなる。第8種の場合と同様な観察から第7

種の結晶群の方が早期晶出で、第6種との関係は不連続的であると考えられる。なおこの標本中の5型の晶相の群晶上に5*b*型の結晶が僅少ではあるが被覆晶出しており、これから6型→5*b*型の関係が明らかにされる。

第5種と第7種の結晶群の関係を直接に示す標本はないが、上の事実と第5種の標本中における6型の晶出時期上の位置から、6型は5*b*型よりも前期で2型よりも後期であると考えられることができる。

II.4 晶出順序と晶相変化との関係の総括

II.3 で観察した諸事実をまとめて表示すると第8表の結果が得られ、この表から、福原産方解石の全体としての晶出順序に應じた晶相変化を読みとつて、不等式で表わすと、次のようになる。

Table 8 Summary of observations on the relation between crystal habit and crystallization stage. (Calcite crystals from Fukuhara)

Specimen	Sequence of crystal habit and specimens in crystallization stage	sequence of faces
Type 1	1 <i>a</i>	<i>c</i> → <i>e</i> , <i>m</i> become larger in later stage
Type 2	2 <i>a</i> >1 <i>b</i> , 2 <i>c</i>	
Type 3	2 <i>b</i>	<i>e</i> develop in earlier stage, <i>M</i> in later
Type 4	5 <i>a</i>	− <i>R</i> developed in later
Type 5	2 <i>a</i> >2 <i>c</i> >6>3 <i>a</i> , 3 <i>b</i> , 4 <i>a</i> , 4 <i>b</i> >4 <i>c</i> >4 <i>d</i>	+ <i>R</i> is larger than − <i>R</i> in 3 <i>a</i> , <i>b</i> etc.
Type 6	5 <i>b</i> >7	− <i>R</i> develop. <i>a</i> become larger in later stage
Type 7	6	
Type 8	spec. Type 5>spec. Type 6	
Type 9	spec. Type 7>spec. Type 6; 6>5 <i>b</i>	

An inequality represents the relation of earlier (>) and later (<) of crystallization. Arrows also represent the tendency of transformation or development of faces in later stage.

$$[2a > 1b, 2c > 6] > [3a, 3b, 4b, 4a > 4c > 4d] > [5b > 7]$$

この不等式で>は晶出の前後期を示し、[] でまとめたものはほぼ同一 *stage* の晶出を意味し、[] 相互の間では時間的不連続、すなわち晶出停止期が存在したものと考えられる。ただこのうち [3*a* 型から 4*d* 型] と [5*b*>7] の間は、明らかな不連続を示す直接の関係が認められるが、[2*a* から 6] と [3*a* から 4*d*] との間には不連続を直接に示す資料はない。が既述の如く結晶の色・透明度・完全さなどから、この間に不連続を認めた方がよい。また、結晶の共存関係の資料からだけでは、この不等式中にその位置を決定できないものとして 1*a*、

$2b \cdot 5a$ がある。このうち $5a$ は晶相としては $5b$ とほぼ同様で、時に $+R$ および小なる c をともなう点が異つているだけであり、結晶の色・透明度等からいつても $[5b > 7]$ の群中に入れ、 $5b$ よりやや早期の位置にあてはめて間違いあるまい。また面自身の変化についてみると、第8表および II.2・II.3 の観察のように、早期から晩期にかけて c は e え分化し、 m は $1a$ 型においては大、 $2b$ 型においては小となる傾向を示し、 M は $2b$ 型で晩期に至るに従つて大きくなる。したがつてこれらのことから c を主とする $1a$ 型は、当然 $2a$ 型より早期に位置する筈であり、また $2b$ 型は $2a$ 型よりも後期で $2c$ よりも早期、 $1b$ 型よりも後期に位するものと考えることができる。従つて上の不等式は、さらに詳細に次のように表現することができる。

$$[1a > 2a > 1b > 2b > 2c > 6] > [3a > 3b > 4b > 4a > 4c > 4d] > [5a > 5b > 7]$$

すなわち福原産の方解石の晶相は早期から晩期にかけて、順次に次の変化を示しているものといえる。まず板状結晶が最も早期にあらわれ、釘頭状・算盤玉状・菱面体と変化し、時間的なずれの後、 $+R$ の発達した犬牙状結晶 ($3a \cdot 3b \cdot 4a \sim 4d$) の晶出があり、ふたたび晶出停止期をへだてて最後に $-R$ の発達した犬牙状 ($5a \cdot 5b$)、 $-R$ をともない a を主とする柱状結晶、という変化を示しているのである。この関係を結晶図で概念的にあらわすと第4図が得られる。

この変化を通じて次のような関係が認められる。まず福原における方解石の晶出は、大きく3つの *stage* に分けられる。最初の *stage* は $1a$ 型から6型までの期間で、この期間に晶出した結晶はいずれも白色半透明、面はやや粗であるが、晶出の途中で生長が停止したという痕跡は認められない。主に発達している面は $c, e, -R$ で、 $+S$ は大きな発達を示さない。2次的優位面は早期から $m \rightarrow +R \rightarrow +S \rightarrow -R$ の順序で変化している。第2の時期は $3a$ から $4d$ 型までの期間で、結晶はいずれも無色透明の完全な美晶である。主として生長する面は $+S$ で、これに大きく発達した $+R$ をともなつている。2次的優位面は、早期から晩期にかけて c が最も早期で、 $+R, -R, a$ の順序での変遷を示している。第3の時期は $5a \cdot 5b \cdot 7$ 型の時期で、結晶はいずれも茶褐色ないし白色半透明で、結晶面および結晶の性質は甚だ不良であり、既述のように晶出の途中で生長が停止した痕跡を明らかに示している。この期間の結晶の特徴は $+S$ とこれにともなう $-R$ の著しい発達、 $+R$ の消失である。この場合も、この *stage* 内での2次的優位面の変遷は $c \rightarrow +R \rightarrow a$ の順序である。

従つて、晶出の各時期にそれぞれ特徴的な主体面があらわれ、早期から晩期にかけて大要 $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$ の変遷をたどつているものと要約することができる。ここで $-S$ は位置されていないが、第1の時期内での位置から、ほぼ $+R$ と同時期あるいはそのやや前後に位するものと考えられる。また $-R$ の位置についてもやや疑問が残る。それは第1の *stage* 内で $-R$ が主体面としてあらわれているにもかかわらず、全体的に見ると $-R$ は最も後期に近いところに位置するはずで、この間の矛盾をどう解釈するかの問題である。これは

第1の stage 内での第6型の位置の決定の資料が、かなり不十分なものであつた点からいつても、正式には $-R$ の位置をなお保留しておくべきであろう。

次に各時期内での面の消長をみると、この場合もそれぞれの時期内において、主体面の変遷とほぼ同じ系路をもつた変化をたどっていることに気がつく。従つて晶出の各 stage ごとに特徴的な晶相を示し、それは晶出の早期から晩期にかけて1つの系路をもつた変化を示している。しかも各 stage 内での面の変化もまた、これと同様な系路での変遷を示しているといえるのである。

これらの関係を各面に分解してその消長図として図示すると、第5図の如く表現される。

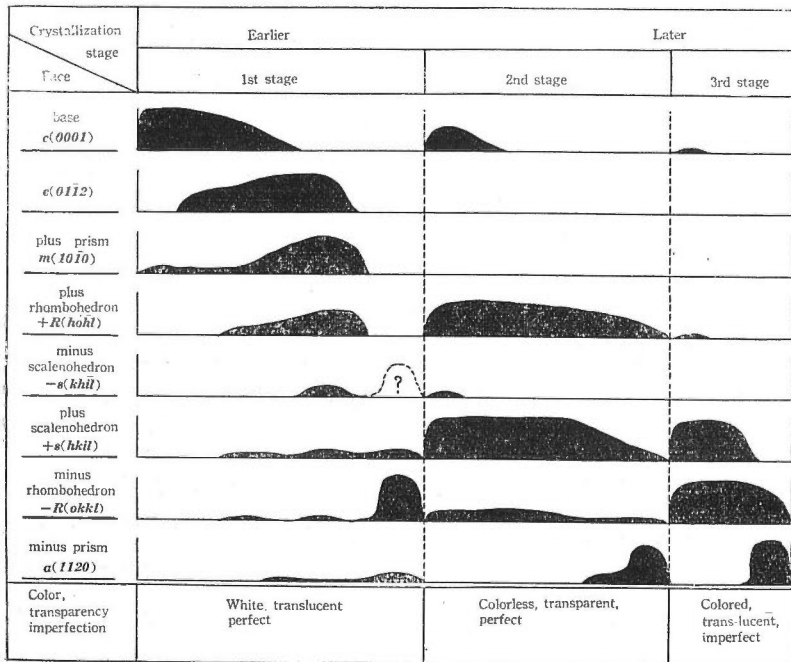


Fig. 5 Variation diagram of crystal faces of calcite from Fukuhara.
*Dotted line shows suspension stage of crystallization.

III. 足尾鉱山の方解石

III.1 産 状

足尾鉱山の方解石は晶相の種類が多いこととその量が豊富で結晶が美しく、かつ大型のものが産するので古くから有名である。

足尾鉱山内で特にどの地域に多く産するという傾向はみられないが、概して鉱脈の下底部では結晶質のものが少なく、河鹿鉱床では一般にその下部の母岩中の裂隙に晶洞をなして晶出し

ている傾向がみられるという。従来大型の美品を産した主な鉱床は次の如くである⁸⁾。

小滝坑……天狗鑛系統・光盛前鑛 30 尺横鑛・大正 2 年鑛・大正 11 年鑛・昭和 15 年鑛・
開盛鑛・光盛河鹿・新盛河鹿

本山坑……永盛 102 尺鑛・南神保鑛・蛭子 (Ebis) 奥鑛・燐盛河鹿

通洞坑……連慶時河鹿・御典河鹿・福祿河鹿・80 尺河鹿・200 尺河鹿・300 尺河鹿・700
尺河鹿等

結晶としては、金属鉱脈中、河鹿鉱床中、母岩中に方解石のみの単独脈あるいは金属鉱物をも
ともなわない石英・方解石脈などとして、その晶洞中に晶出している。

III.2 結晶形態

III.2.1 測角結果および結晶面の特性

日本鉱物誌第 3 版に記載されている足尾産方解石の結晶面の種類は次の 28 種である。

$c(0001)$, $m(10\bar{1}0)$, $a(11\bar{2}0)$, $r(10\bar{1}1)$, $M(40\bar{4}1)$, $\tau(70\bar{7}1)$,
 $\rho(16.0.\bar{1}6.1)$, $e(01\bar{1}2)$, $i(06\bar{6}5)$, $h(03\bar{3}2)$, $-\frac{5}{8}R(08\bar{8}5)$,
 $f(02\bar{2}1)$, $\eta(04\bar{4}1)$, $d(08\bar{8}1)$, $-29R(0.29.\bar{2}9.1)$, $n(41\bar{5}3)$,
 $\lambda(31\bar{4}2)$, $v(21\bar{3}1)$, $\Gamma(53\bar{8}2)$, $y(32\bar{5}1)$, $\Omega(6.5.\bar{1}1.1)$, $G(52\bar{7}9)$,
 $x(13\bar{4}1)$, $\gamma(8.8.\bar{1}6.3)$, $N(4.16.\bar{2}0.3)$, $\delta(3.10.\bar{1}3.2)$, $m(16\bar{7}1)$,
 $x(1.9.\bar{1}0.1)$

筆者が竹内英雄氏所蔵の標本 81 種より、各晶相を示す代表的な結晶 20 ケを選び、3 ケの劈
開面を利用した小円調整による複円測角を行つた結果、認められた面指数は第 9 表の如くであ
る。それらの測角データは第 10 表に一括表示してある。

第 9 表に表示した諸面は、福原産方解石の場合と同様 c , $+R$, $-R$, e , $+S$, $-S$, m , a , D
の 9 種に分類され、そのおのおのの特性は以下に記す如くである。

c は普通良好な反射を示さず、面は粗で荒立っている場合が多い。ほとんど常に面の一部は
 e 面へ轉化しており、 c 面が e 面へ分化する傾向をもっていることを示している。またその
一段階前の状態として、 e および劈開面の組み合わせによる三角錐状突起の集合によつて、 c
面が構成されている場合もある。

$+R$ は常に面の性質・反射ともに良好で、條線・lineage structure などの著しい發達をみ
ない。 r および M 面以外の $+R$ として ($50\bar{5}1$) の小面が認められる。このうち r は結晶
面としてあらわれる場合少なく、これに対して M は多くの晶相にとまわられてあらわれるが、
晶相を支配する第 1 次優位面となる場合はほとんどない。

$-R$ は多くは彎曲したり、2 あるいは 3 ケの面に分化したり、または著しい lineage struc
ture の發達がみられるなど、面の性質は $+R$ に比して甚だ悪い。 f が最もよくあらわれ、他

Table 9 Crystal faces of Calcite from the Ashio mine
(Determined by two-circle goniometer)

base	c (0001)
	e ($01\bar{1}2$)
plus rhombohedron	r ($10\bar{1}1$), M ($40\bar{4}1$), ($50\bar{5}1$)
minus rhombohedron	f ($02\bar{2}1$), η ($04\bar{4}1$), ϕ ($03\bar{3}1$), ϵ ($01\bar{1}1$)
plus scalenohedron	v ($21\bar{3}1$), y ($32\bar{5}1$), μ ($54\bar{9}1$), ζ ($43\bar{7}1$), Γ ($53\bar{8}2$), Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$), ($7.4.\bar{1}1.3$), ($9.7.\bar{1}6.2$), ($8.6.\bar{1}4.3$), ($9.5.\bar{1}4.4$), ($63\bar{9}1$) ($8.5.\bar{1}3.3$), ($52\bar{7}3$), ($72\bar{9}5$), λ ($31\bar{4}2$), ($15.4.\bar{1}9.11$), ($10.3.\bar{1}3.7$), ($8.3.\bar{1}1.5$), ($7.3.\bar{1}0.4$), ($9.2.\bar{1}1.7$), ($19.10.\bar{2}9.29$), ($10.7.\bar{1}7.3$)
minus scalenohedron	N ($4.16.\bar{2}0.3$), ($2.10.\bar{1}2.3$), x ($13\bar{4}1$), ($20.200.\bar{2}20.1$)
plus prism	m ($10\bar{1}0$)
minus prism	a ($11\bar{2}0$)

の $-R$ 面はこれより分化したものあるいは副次的にあらわれる小面である。ただし、足尾鉍山としては産出の珍しい $-R$ を主とした菱面体結晶（小滝坑開盛鑛下 4 西 26 井産）では、 $-R$ は f 以外の面が主体面となつている。概して、第 2 次的優位面としてあらわれる場合には $-R$ は f を主とし、1 次的優位面として晶相の主体面をなす場合には、 $-R$ は f としてあらわれるよりも他の指数の面としてあらわれる確率の方が高いようである。

e 面は釘頭状・葉片状等の結晶の主体面としてあらわれ、また他の晶相に中位発達的面としてもあらわれる。ほとんど常に劈開面となす稜の方向に平行な深い條線が走っている。このため反射は常に不明瞭である。

+S よりの反射は福原の場合と同様に著しい連続反射を示し、連続反射中より明らかに結晶面よりの反射と思われる反射点のみを選んで面指数を計算しても、1 結晶の上部 6 面の全てに同一の指数を與えず、ある範囲内で数種の面指数を示している。したがつて、福原の場合と同様に最も高い頻度を示す指数をもつて、その結晶の +S 面を代表することにする。こうして代表された指数は、福原の場合では Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$) および他の数種のみであつたが、足尾鉍山の場合には、 v ($21\bar{3}1$), ζ ($43\bar{7}1$), ($52\bar{7}3$), ($7.4.\bar{1}1.3$), ($9.7.\bar{1}6.2$), ($7.3.\bar{1}0.4$), y ($32\bar{5}1$), Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$), Γ ($53\bar{8}2$), ($9.2.\bar{1}1.7$), ($8.3.\bar{1}1.5$), ($72\bar{9}5$) の 12 種があげられる。この種 +S 面の多くは彎曲して連続反射を示す 1 面のみよりなるが、時には別個の独立した 2, 3 面によつて構成されている場合もある。また 1 結晶群に属する各個体において

Table 10 (1) Measured and calculated two-circle angles of Calcite from the Ashio mine

Index	ρ		φ		Ref.	Size	No. of xsts	No. of faces
	meas.	calc.	meas.	calc.				
<i>c</i> (0001)	0°00'	0°00'	—	—	max.	M	7	7
<i>e</i> (10 $\bar{1}2$)	26°17'	26°15'	30°00'	30°00'	C	M	5	12
<i>m</i> (10 $\bar{1}0$)	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	B	L	11	57
<i>a</i> (11 $\bar{2}0$)	90°14'	"	59°50'	60°00'	C	M	1	3
+ <i>R</i>								
<i>r</i> (10 $\bar{1}1$)	44°37'	44°36'	90°00'	90°00'	A	L	1	3
<i>M</i> (40 $\bar{4}1$)	75°50'	75°47'	"	"	A	L	6	16
(50 $\bar{5}1$)	78°40'	78°33'	90.0°	"	max.	S	1	3
- <i>R</i>								
ϵ (01 $\bar{1}1$)	44.5°	44°37'	30.0°	30°00'	C	M	1	3
<i>f</i> (02 $\bar{2}1$)	63°16'	63°07'	30°00'	"	C	M	6	14
ϕ (03 $\bar{3}1$)	73.5°	73°03'	30.0°	"	max.	S	1	2
η (04 $\bar{4}1$)	75°42'	75°47'	"	"	"	M	1	1
- <i>S</i>								
χ (13 $\bar{4}1$)	74°11'	74°18'	43°40'	43°54'	C	S	1	1
<i>N</i> (4.16.20.3)	80°34'	80°35'	40°59'	40°54'	B	M	10	42
(2.10.12.3)	80°57'	81°05'	38°34'	38°56'	B	S	1	3
(20.200.220.1)	87°16'	87°15'	34°45'	34°42'	C	M	1	5
+ <i>S</i>								
(9.2.11.7)	55°38'	55°23'	80°13'	80°10'	C	L	1	6
(15.4.19.11)	57°23'	57°15'	78°28'	78°28'	B		1	2
(72 $\bar{9}5$)	58°18'	58°17'	77°42'	77°47'	B		1	3
(10.3.13.7)	58°57'	58°58'	77°16'	77°16'	B		1	2
λ (31 $\bar{4}2$)	60°33'	60°40'	76°09'	76°08'	B		3	5
(8.3.11.5)	62°47'	62°44'	74°50'	74°41'	C		2	8
(52 $\bar{7}3$)	64°06'	64°03'	74°13'	73°58'	B		2	7
(7.3.10.4)	64°44'	65°25'	73°00'	72°58'	C	S	1	3
<i>v</i> (21 $\bar{3}1$)	69°09'	69°02'	70°53'	70°53'	B	L	5	11
(19.10.29.29)	70°08'	70°10'	70°07'	70°10'	C	S	1	1
(9.5.14.4)	71°48'	71°50'	69°27'	69°25'	B	S	2	3
(7.4.11.3)	72°38'	72°30'	68°39'	68°58'	B	L	6	29
<i>Y</i> (53 $\bar{8}2$)	73°40'	73°52'	68°18'	68°12'	C	L	8	23

Table 10 (2) Measured and calculated two-circle angles of Calcite from the Ashio mine

Index	ρ		φ		Ref.	Size	No. of xsts	No. of faces
	meas.	calc.	meas.	calc.				
(8.5.13.3)	75°06'	74°56'	67°56'	67°34'	C		1	1
<i>y</i> (3251)	76°34'	76°54'	66°47'	66°35'	B	L	8	26
(10.7.17.3)	78°30'	78°23'	65°28'	65°45'	B		1	2
(8.6.14.3)	78°35'	78°58'	65°10'	64°45'	C	S	2	2
<i>S</i> (4371)	80°10'	80°18'	64°53'	64°45'	B	S	3	8
(9.7.16.2)	81°32'	81°40'	63°54'	64°11'	C	M	1	6
(5491)	82°33'	82°33'	63°46'	63°40'	B	S	1	1
(6391)	83°10'	83°39'	64°17'	64°42'	C	S	1	3
Ω , (6.5.11.1)	84°03'	83°56'	63°25'	63°00'	C	S	1	1

Adjustment method, calculation, mark of Ref., Size etc. are same as the case of Fukuhara. (Table 4)

20 crystals are measured.

N (4.16.20.3)···Index calculated from average values of ρ , φ of *N*, (2.8.10.3) (3.12.15.2), (3.15.18.5), and (5.20.25.4)

は、大休同一指数で代表されるようである。

−*S* も +*S* 面と同様な性質をもっている。ただ、+*S* ほど著しい彎曲あるいは條線の發達を示さず、従つて連続反射の範囲も狭いが、その範囲内に2~3点の明瞭な反射点をもっている。それらの点の測定値から面指数を計算したものが、第10表中の −*S* 面中 *x* (1341), (20.200.220.1) 以外の全ての面である。これらは ρ , φ 値ともほぼ2°内外の範囲内に落付くが、その指数は1結晶内の諸面においても同一晶相の對應面においても不同である。したがつてこの場合も面指数を正確に決めることはできない。ただ、須藤俊男・杉山隆二・小川雨田雄の報告⁵⁾ではこの面を *N* (4.16.20.3) としてあるから、ここでもこの指数をもつて代表しておくこととする。この面は第1次優位面にまで大きく發達している場合も、小面としてあらわれている場合もある。*x* (1341) は小面としてあらわれ、*N* とは異つた −*S* 面で反射は明瞭である。

m 面は一般に良好で反射も明瞭であるが、時に鱗狀の lineage structure の發達により粗面となつていることもある。この傾向は特に晩期晶出の結晶に強い。また逆に特に早期の晶出と考えられる結晶では、*m* は面としては平滑であるが、面上に細かい凹凸の存在するために反射の全く認められない場合もある。*m* 面の發達程度は晶出時期によつて異なるが一般に大であり、福原産のものに比べて出現率が高いようである。また1結晶内でもその發達が偏倚し、1つおきに大きく發達したり、6ヶの面のうち1対の2面だけが特に大きく發達したりする場合

が多くみられる。

a 面は足尾鉾山の方解石では余り大きな発達を示さないが、面の性質は良好である。多くの場合上下の $+S$ 面の間に細長い小面としてあらわれるが、稀には独立して大きく発達した面として柱状の結晶にあらわれることもあるが、この場合でも精密な測定を行うと、正規の a 面ではなく、 a に甚だ近い位置に位する $-S$ 面、例えば $(20.200.220.1)$ の如き指数をもつた $-S$ 面によつて構成されていることが多い。

III.2.2 晶 相

日本鉱物誌第3版では、足尾産方解石の晶相を次の17種に分類している。

(1) e を主とする扁平状、しばしば狭い m をともない、また時に λ をともなう。時に多数集合してバラ花状を呈する

(2) e を主として中位の m 、小位の i , r , τ , v 等をともなう饅頭形

(3) e , m を主とする柱状、時に c , n をともなう

(4) c , m を主とする柱状、 e , f 等の小面をともなう

(5) e , ρ よりなる柱状

(6) 主軸の一端が e 、他端が M , d の発達する異極晶状のものが2ヶ向つて平行連晶し、鼓胴状をなすもの

(7) χ , を主とし e , γ , a をもつ樽状晶

(8) y を主とし c , m , f 等をともなう樽状晶

(9) γ を主とし c これに次ぎ、 δ , d 等をともなう樽状晶

(10) v , γ , y , Ω , G 等の $+S$ を主とし、なお h , f , M , r 等をもつ紡錘形結晶

(11) v を主とし f をともなう犬牙状晶

(12) y を主とする結晶が $(03\bar{3}2)$ を双晶面とする蝶形双晶をなし、各個体は $[2\bar{1}10]$ の方向に板状を呈するもの

(13) Ω , を主とする槍状晶

(14) m , y , $-29R$ よりなる槍状晶で、 m は交互に $-29R$ で置きかえられているもの

(15) m , γ よりなる槍状晶。時に m の両端に r , n , h 等を有する針状のものもある

(16) c , m よりなる六角板状晶

(17) m よりなる柱の端面に c , m よりなる六角板状晶が整然と附着し、西洋糸巻状平行連晶をなすもの

筆者が、竹内英雄氏所蔵の標本81種、および地質調査所標本室・櫻井欽一氏所蔵の足尾鉾山産方解石結晶について観察した結果から、主要面の組み合わせおよび発達程度の相違によつて晶相を分類すると、大別して以下の8型に分けられる。これら8型はさらに2次的優位面の種類および発達程度の相異によりいくつかに細分される。おのおのの晶相の特徴は以下に要約

して示す如くである。

第1型 板状ないし短柱状晶相

c の著しい発達で特徴づけられる晶相で、これにともなう2次的優位面の種類の発達程度により薄板状晶相から厚板状さらに短柱状晶相まで種々に分類できる。

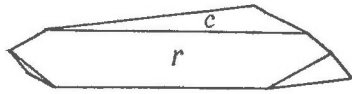


Fig. 6-1 Type 1a

1a型 cr型: 大きく発達した c と r の小面とよりなる薄板状結晶。 r の異極像的発達により正三角形の板状を示す。1辺3cm, 白色半透明~不透明で大理石状色沢を示し, 結晶の一部は単色不透明となっている。小滝坑光盛河鹿下5西18井南立入(第6-1図)。

小滝坑光盛河鹿下5西18井南立入(第6-1図)。

1b型 cm型: c を主とし中位に発達した m をともなう厚板状晶で, m の発達程度により**3a型**の柱状結晶に移化する。無色透明, c 軸方向に0.5~1cm。 c 面のみが薄層をなして

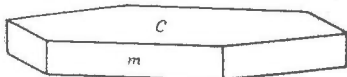


Fig. 6-2 Type 1b

白濁半透明となっている。小滝坑光盛河鹿下5西18井南立入(第6-2図)。

1c型 cme型: **1b型**の c の一部が分化して中位に発達した e をともなう厚板状結晶。 e は彎曲し e と c との稜もまた曲線をなしている。連慶峙河鹿下6中段の結晶は, 黄銅鉱・白鉄鉱と共生し, 結晶表面は白鉄鉱により被覆されている2cm大の結晶で, 小滝坑光盛河鹿下5西18井南立入のものは, *marmatite*と入り組んで集合結晶する白色半透明1~2.5cmの結晶である(第6-3図)。

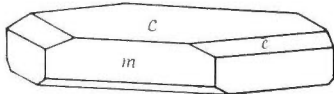


Fig. 6-3 Type 1c

1c'型 cme型: 構成面の種類は**1c型**と同じである

が, m が**1c型**よりも発達して短柱状を示し, e も**1c型**よりも良好な面で彎曲していない。灰色半透明, 径6cm大の結晶で, 結晶内部には白濁半透明部が砂時計状をなして存在する。第**1f型**と共生するが, 一般に大形結晶は**1c'型**を示し, 小形結晶は**1f型**を示している(第6-4図)。

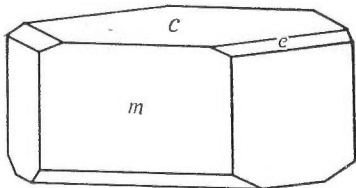


Fig. 6-4 Type 1c'

1d型 ce型: c を主とし e の中位面をともなうか,あるいは c, e がほぼ等大に発達するもので薄板状を示す。多くは3cm程度の結晶で最大径8cmに達するものもある。ほとんど全てが帯茶不透明あるいは白色不透明で, 特に結晶中心部において濃色となり, かつ透明度も低くなっている。時に馬鞍状集合品を形成し, この結晶

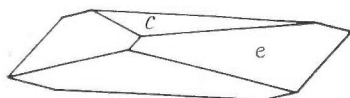


Fig. 6-5 Type 1d

の側軸面の稜に沿って**3e型**, **5c型**等の小品が鱗の鱗状に平行連晶したり, またはこれを基盤としてこの上に同大の側軸面をもった**6a型**等の結晶が平行連晶している。

本山坑横間歩下2北立入・小滝坑天狗下9西4井河鹿・本山坑燐盛河鹿上4・大正11年錫

通洞地並等に産する（第6-5図）。

1e 型 $cm+S$ 型: c を主とし m および $+S$ の中位面をとともなう厚板状ないし短柱状晶相。 $+S$ は條線が著しく発達し、面が粗であるため正確な指数を決定することはできないが、大体 (7.4.11.3) か (5273) に相当する。この他に時に f の小面をとともなうこともある。多くは白色半透明、0.3 cm 程度の小品と 3 cm を超える大結晶とがある。連慶時第5河鹿下4中、連慶時第4河鹿上1、本山坑横間歩下2北立入等の標本にみられる（第6-6図）。

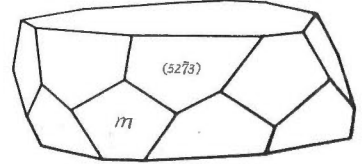


Fig. 6-6 Type 1e

1f 型 c, m, a 型: c, m, a 面で特徴づけられる晶相で、この他に M, Ω, χ および $-R$ 面をとともなう。 $-R$ は彎曲しており (0441) から f (0221) までの反射を示す。 a は劈開面との稜に平行な條線がよく発達している。 m は交互に異つた大きさをもつて発達している場合がある。 $1c'$ 型と共生し $1c'$ 型よりも小形結晶において、この型の結晶を示す傾向がみられる。また $1c'$ 型と同様結晶内部に砂時計状白濁部が存在する。本山坑蛭子奥鍾下4西9井産（第6-7図）。

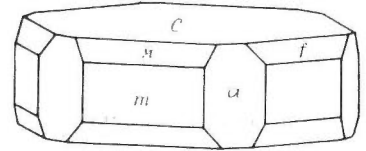


Fig. 6-7 Type 1f

第2型 釘頭状晶相

e 面の著しい発達によつて特徴づけられる釘頭状結晶で、 $m, +S$ のともない方によつて4型に細分できる。この型の結晶はしばしば特徴的な集合状態を示す。すなわち通常の馬鞍状集合・渦巻状集合をなすほかに、 c 軸を僅かづつずらした亜平行連晶をなして球くわ状・半球状・バラ花状等の集合晶を示すことがある。この場合球の中心部は空洞をなしていることが多く、その中心部に向つて異つた晶相の小結晶が晶出していることもある。

2a 型 e 型: e 面のみよりなる葉片状單純型で、時に小なる m 面をとともなうこともある。結晶はいずれも白色ないし薄茶色、稀に草綠色で半透明ないし不透明で、無色透明のものはみられない。また時には白色不透明の結晶中に、うぐいす褐色の細幅の帯が規則的に包有されていることもある。集合形も種々あり、渦巻状・馬鞍状・球くわ状等の集合がみられ、また他の晶相の結晶がこの型の結晶を完全に包有して生長している場合もある。この型の結晶は多くは石英の結晶上に晶出しており、0.3 cm 程度のものから 3 cm 大のものまでである。

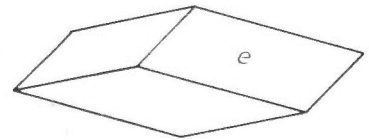


Fig. 6-8 Type 2a

通洞坑 200 尺河鹿・80 尺河鹿下 6 中・本山坑 700 尺河鹿南 15 井・永盛上 5 南立入 102 尺鍾・小滝坑天狗鍾下 9 西 4 井河鹿その他に産する（第6-8図）。

2b 型 em 型: e 、および中位発達の m よりなる典型的釘頭状晶相。いずれも白濁・灰色、半透明ないし不透明で無色透明のものはみられない。この形の 2 ヶの結晶が平行連晶し柱

面の部が彎入して鼓状をなすもの、**3a**型の柱状結晶の上下端にこの型の結晶が平行連晶状に附着して西洋糸巻形を呈するもの、バラ花状に亜平行連晶するもの、など種々の集合状態がみられる。

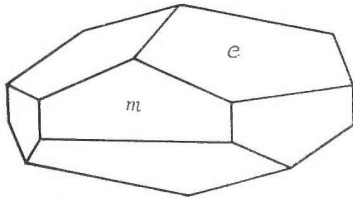


Fig. 6-9 Type 2b

1e型のものと同種面で大体 ($7.4.\overline{11.3}$) あるいは Γ ($53\overline{82}$) に相当する。+S の発達が大きい場合には饅頭形となる。多くは石英上あるいは Apatite の円筒状集合体の上に晶出し

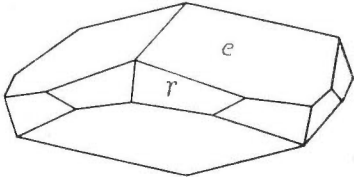


Fig. 6-10a Type 2c

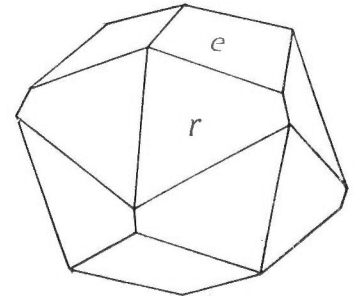


Fig. 6-10b Type 2c

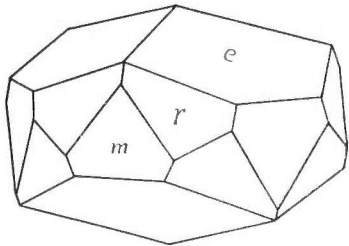


Fig. 6-11 Type 2d

ている。0.5 cm から 1.5 cm 大のものまであり、いずれも白色半透明である。時にこの型の結晶が orientation をほぼ等しくして層状に発達したり、pyrite の小塊を核とした球状集合体をつくっていることもある。通洞坑 200 尺河鹿上 1・同 300 尺河鹿下 5・御典河鹿下 5・連慶時第 5 河鹿下 4 中・連慶時向御典寄り 立入内下 5 等の標本にみられる (第 6-10 図)。

2c型 **e+S**型: **e** および +S よりなる釘頭状ないし饅頭形結晶。時に **c**, **m**, **f** 等の小面をともなう。+S は條線発達し反射不良で正確な指数を決定できないが、**1**

2d型 **em+S**型: **2c**型にかなり大きく発達した **m** 面をともなうもの。**m** は粗である。0.5 cm, 無色透明の結晶で Apatite の渦巻状集合体の上に散点的に晶出し、**1e**型を支える如き形で存在する。連慶時第 4 河鹿上 1 産 (第 6-11 図)。

第3型 柱状結晶

m 面を主要面とする柱状の結晶で、結晶の頭は **c** あるいは **e** 面で構成され、時に +R, -R, +S, -S の中位面をともなうこともある。一般に結晶は無色透明で面も良好である場合が多い。

3a型 **mc**型: **m** と **c** とよりなる柱状の結晶で **1b** 型の **m** が大きく発達したもの。時に **m** は **M** 面との繰り返し階段状発達のため、一見指数の大きな +R 面のように見える。また階段状発達のためでなくて、指数の大き

な +R, 例えば ρ ($16.0.\overline{16.1}$) の如き面よりなっている場合もあるが、一般にはこの種 +R に対して 1 結晶において一定した指数を興えることは困難である。すなわちそれほどこの +R は不確定な面であるから、ここでは **m** で代表しておくことにする。結晶は 0.5 cm 程度から

最大 4 cm 位まであり、一般に無色透明の誠に美しい結晶状態を示している。ただ多くの場合 c 面のみ白濁半透明ないし不透明の薄層をつくっている。この現象は $1b$ 型結晶の c 面にも同様に認められ、 c, m より構成される足尾鉾山の方解石結晶の特徴のようである。また時に c 面上には $2b$ 型その他の結晶がほぼ側軸面を等しくして平行連晶し、さらに m に沿い m を共有して $6b$ 型の結晶が平行連晶していることもある。小滝坑大正 2 年鍾河鹿上 1・新盛河鹿下 6 中・光盛前鍾 30 尺横鍾下 8 中・光盛鍾下 5 西 18 南立入等の標本にみられる (第 6-12 図)。

3b 型 me 型: $2b$ 型の m が大きく発達して長柱状を示すもの。結晶は白濁ないし朧色半透明で面は良好ではないが、 $2b$ 型に比べるとやや良い。時に m 面上に鱗状の *lineage structure* の発達が見られる。0.5~3.0 cm 小滝坑昭和 15 年鍾下 4 に産した結晶は、 $2b$ 型の大晶上にそれよりも小さい結晶として散点的に晶出している (第 6-13 図)。

3c 型 $m, +R, c$ 型: $c, m, +R$ を主とし $e, +S, -S$ の小面をともなう結晶で、無色透明 4 cm に達する美品である。 $+R$ は M よりなり大きく発達する場合もある。時に指数の大きい $+R$ をともなうこともあるが、大きくは発達しない。いずれも面は良好、 $+S$ は正確な指数は個体によって異なるが、大体 v ($21\bar{3}1$) から ζ ($43\bar{7}1$) までの間に相当する。 c は粗で 1 部 e 面へ分化している。 m は M との繰り返えし階段状発達のため、一見指数の大きな $+R$ の如き外観を示している。この型の結晶は $3d$ 型とは逆に、 $+R$

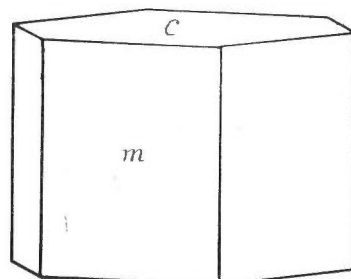


Fig. 6-12 Type 3a

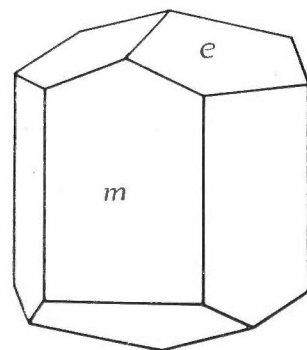


Fig. 6-13 Type 3b

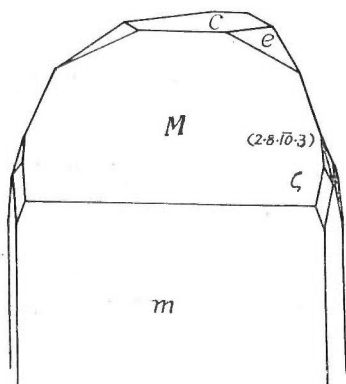


Fig. 6-14a Type 3c

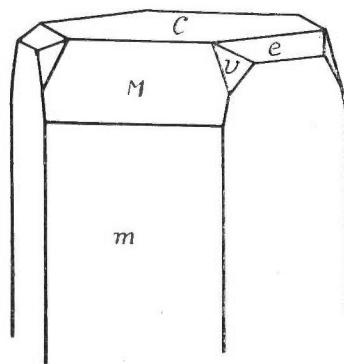


Fig. 6-14b Type 3c

の発達に対して $-R$ が全くみられない点で異つている。小滝坑下部の標本にみられる (第 6-14 a・b 図)。

3d 型 $m, c, -R$ 型: 3c 型に対して $-R$ 面の発達が著しい点で区別されるもので、 c, m, f を主とし他に M および $+S$ をともなう場合もある。 $+S$ は $v(21\bar{3}1)$ に相当する。時に f, m 面上には三角形の lineage structure が発達する。結晶はいずれも白色半透明で $0.5\sim 2.0$ cm。本山坑南神保鑛下 4 西 16 井産の結晶では、小結晶で $f, -S, M$ 等の発達

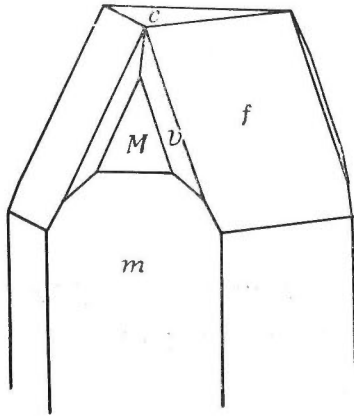


Fig. 6-15a Type 3d

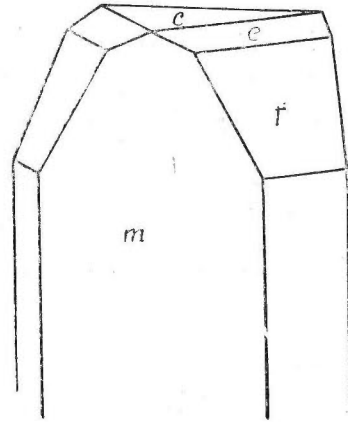


Fig. 6-15b Type 3d

が小さくなっている。通洞坑連慶時第四河鹿産のものでは、 $+R, +S$ がみられず e および f が大きく発達している (第 6-15 a·b 図)。

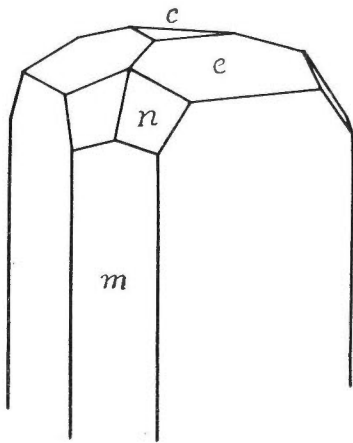


Fig. 6-16 Type 3e

3e 型 $m, e, +S$ 型: m 面がもつともよく発達し中位の $e, +S$, 小位の c をともなうもので、 $+S$ は大体 $n(41\bar{5}3)$ で代表できる。 m は普通交互に大きさを異にしている。 c は小でありあまりあらわれない。しばしば 1d 型の大結晶の e と e との側軸面の稜に沿つて、この型の小結晶が平行連晶し、鱗の鱗状を呈する。この場合大なる m 面の方が稜に平行に位置している。結晶は一般に粗で白色・飴色・薄茶色等を示し、半透明または不透明である。 $0.5\sim 1.0$ cm 程度。小滝坑天狗河鹿下 9 西 4 井・通洞坑連慶時第四河鹿・銀盛鑛上 4 切上り等に産した (第 6-16 図)。

3f 型 $c, m, +S, -R$ 型: $m, f, +S, c$ を主とするもので他に M の小面をともなうこともある。 $+S$ は v に相当する。常に 1b あるいは 3a 型の c 面上に、その結晶と等しい側軸面積を有して生長し、外観上は 3f 型の長柱状單一結晶の如くみえるが、両者の境界部は白濁不透明の c 面に平行な薄層をもつて明瞭に境されている。面はいずれも不良で、特に m 面は lineage structure が著しく f は彎曲してい

る。また c 面は時に $+S$ の尖端の集合で形成され、甚だしい粗面となっている。結晶はいずれも白色半透明で 2~3 cm の大きさである。本山坑横間歩下 2 北立入・小滝坑大正 2 年鍾河鹿上 1 等 (第 6-17 図)。

第 4 型 樽状結晶

— S 面の著しい発達によつて特徴づけられる晶相で、次の 2 型に細分される。

4a 型 — S, c 型: — S の著しい発達とこれにともなう中位の $+S, c, e$ によつて特徴づけられる晶相である。— S はその指数が個体によつて僅かづつ異り、測定値より計算すると $N(4.16.20.3)$, $(3.12.15.2)$, $x(1.9.10.1)$ などの指数が與えられる。しかしそれらは

ρ, φ 値でせいぜい 2~3° の範囲に入るから、ここでは前研究⁵⁾に従つて N で代表する。 $+S$ もまた個体により、結晶面により、異つた指数を示す。この型の結晶 2 ヶについて測角した結果、頻度の最も高い指数は 1 つは $\Gamma(53\bar{8}2)$ および $v(21\bar{3}1)$ で、他は $(72\bar{9}5)$ である。この他なお $(31\bar{4}1)$, $(9.3.12.5)$, $(52\bar{7}3)$, $(9.5.14.4)$, $(15.4.19.11)$, $(10.3.13.7)$ 等の反射点がみられる。ここでは前研究に従つて $\Gamma(53\bar{8}2)$ をもつて代表しておく。— R は前研究では e となつてゐるが、筆者の測定では e の場合と f の場合とある。しかしこの面は條線が深く彎曲しているため正確な値は得られない。また時に小なる m および a をともなう。結晶は 2~3 cm で、無色透明であるが、時に白色半透明あるいは個体の半分が無色透明、半分が白色半透明である場合もある。また無色透明の結晶内部に Bismuthinite, Arsenopyrite 等の針状結晶を包有し、草入水晶状をなしていることもある。通洞坑連慶時第 4 河鹿上地並・本山坑 700 尺河鹿下 4 等に産した標本にみられる (第 6-18 図)。

4b 型 — $S, +R$ 型: — S 面の著しい発達と、これにともなう $+R$ 面の大きな発達がこの型の特徴である。— S 面は $N(4.16.20.3)$ によつてあらわされ、 $+R$ は r が最も大きく発達し M の中位面をとともなう。この他に $\phi(03\bar{3}1)$ および $\Gamma(53\bar{8}2)$ の小面をとともなう。 r はあらわれない場合もある。結晶はいずれも無色透明、2~3 cm 程度の美晶で、面も非常に良好である。小滝坑大正 2 年鍾産 (第 6-19 図)

第 5 型 槍状結晶

m を主とする柱状結晶であるが、これにともなう f あるいは e 面が大きく発達している点

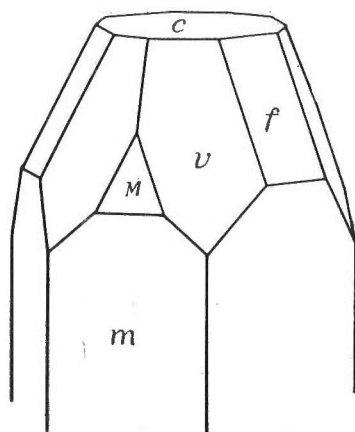


Fig. 6-17 Type 3f

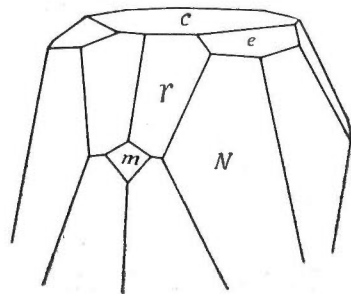


Fig. 6-18 Type 4a

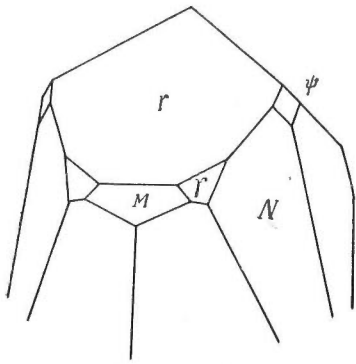
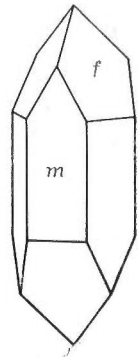


Fig. 6-19 Type 4b

で第3型と区別される。この他に $+S$ が中に発達する。結晶は一般に lineage structure の発達が著しい。
5a型 mf 型: m および f のみよりなり、他の面をともしない。光盛前鍾30尺鍾に産した結晶は、硫酸鉄のため表面がエメラルドグリーンに着色し、面は粗である(第6-20図)。
5b型 $m f + S$ 型: 5a型に $+S$ 面の加わったもので、 a 面をともしないこともある。 $+S$ は通常 $\Gamma(53\bar{8}2)$ 。前

Fig. 6-20
Type 5a

研究によれば $y(21\bar{3}1)$ の場合もある。 m は6面とも等大に発達している場合もあるが、しばしば相対する1組の2面だけが大きく発達して、斜方晶系状外観を示す場合もある。また柱面が指数の大きな $+R$ によつておきかえられている場合もある(前研究によれば $(0.29.29.1)$ の指数が與えられる)。一般に白色ないし帯緑色半透明で、時に柱の中心部のみが著しく白濁して、不透明となつていることもある。面は多く粗で、かつ lineage structure が著しい。最大 8cm。本山坑横3堅坑下8北立入5号鍾・小滝坑光盛河鹿下6下仮中段、その他有木坑等の標本にみられる(第6-21図)。

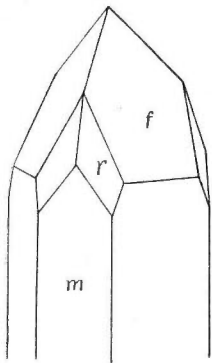


Fig. 6-12 Type 5b

5c型 $+S fm$ 型: 5b型よりも m の発達が小で $+S$ の大きく発達した槍状結晶。 $+S, m$ ともに 5c型と同様の指数および性質をもつ。 m, f は lineage structure の発達が著しい。この型の結晶はほとんどの場合、 $2a$ あるいは $2c$ 型の側軸面の稜に沿つて平行連晶するか、あるいは前結晶を内包するような形でそれと等大な側軸面積をもち、その上に生長している。この場合には、 $2a, 2c$ 型結晶の1側にもこの型の大形の結晶が発達し、他の側では 5c 型の小結晶が稜に沿つて平行連晶しているような形をとる。結晶は大形のものはみられず平均 0.5 cm, 最大 1.5 cm で多くは無色透明ないし白色半透明である。本山坑永盛上5中段南立入102尺鍾・小滝坑天狗鍾下9西4井河鹿・御典寄り連慶時向い立入内下5等(第6-22図)。

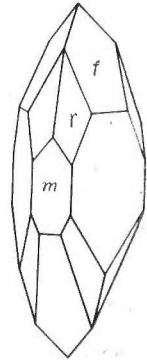


Fig. 6-22 Type 5c

5d型 $m + S e$ 型: $m, +S, e$ よりなるもので、多くは同型結晶が多数集合して平行連晶をなす。面は著しく粗で lineage structure の発達が甚だしい。3~4 cm 程度、白色ないし無色半透明である。通洞坑福録河鹿下8中・連慶時下6中段等の標本にみられる(第6-23図)。

5e型 $m, f, +S, -S$ 型: $m, f, +S$ および $-S$ 面よりなるもので $+S$ は $(7.4.II.3)$

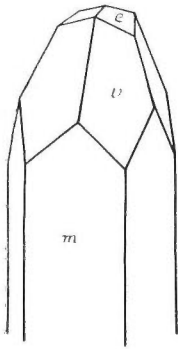


Fig. 6-23 Type 5d

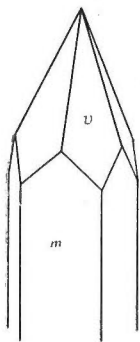
で代表され、結晶2ヶの測角によるとなお Γ (5382), ζ (4371), (6391), y (3251), (10.7.17.3), \downarrow (7.5.12.2), (9.6.15.4), (5491), (8.5.13.3), (9.7.16.4), (8.6.14.3) 等よりの反射が認められる。-S は N であらわされる。面はいずれも良好、無色透明の結晶である (第6-24 図)。

第6型 鉛筆型結晶

m および +S を主とする槍状結晶で、他の +R, -R 等の諸面をともしなわれない点で第5型と異なる。

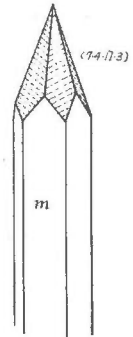
6a 型 太い槍状: +S は Γ (5382) あるいは v (2131) よりなる。一般に m は lineage structure が発達し粗である。白色半透明、多くは 2a あるいは 2c 型

結晶上に等側軸面積をもつて平行連晶し、時に (0112) を双晶面とする蝶形双晶をつくる。この結晶で大形のものでは m の発達が良好であるが、同一標本中の小形結晶では、 m よりも +S の発達が大きく犬牙状結晶となる。小滝坑雨天狗 100 尺鍾下 7 その他 2, 3 の産出がある (第6-25 図)。

Fig. 6-25
Type 6a

6b 型 鉛筆型: +S は (7.4.11.3) を主とし、時にはこれと (9.7.16.2) の2面で構成されていることもある。前研究では y (3251) ないし Γ (5382) の指数が與えられている。また m はしばしば指数の大きい -R (前研究では -29R) で、1つおきに置き換えられている。結晶は 3~4 cm で無色透明の美晶である。小滝坑大正2年鍾・光盛下5 西18 井南立入・光盛前鍾 30 尺横鍾下5・本山坑横間歩下2 北立入等の標本にみられ、なかんずく大正2年鍾のものをもつとも

美しい (第6-26 図)。

Fig. 6-26
Type 6b

第7型 犬牙状結晶

+S を主体面とする犬牙状晶相。2次的優位面として c , M , f , m 等をともしなうこともある。+S は v (2131), y (3251), (7.4.11.3) をはじめ、その他に 2, 3 種類の面で代表される。+S 面の指数は、1 結晶群に属する結晶では大体同じ指数よりなっている。

7a 型 c +S 型: c をともしなう点が特徴的な犬牙状晶相で、 M , m をともしなう場合が多い。+S は y (3251) である場合と、 v (2131) その他の場合とがある。 M は良好な面、

c は粗, $+S$ は條線が発達するかあるいは **lineage structure** の発達が見られる。普通白色半透明で時に無色透明であるが, 無色透明の場合も結晶内部の劈開による割れ目のために白濁している。2a型と共生しその大形結晶上に附着晶出するか, その球くわ状集合体の内部空洞

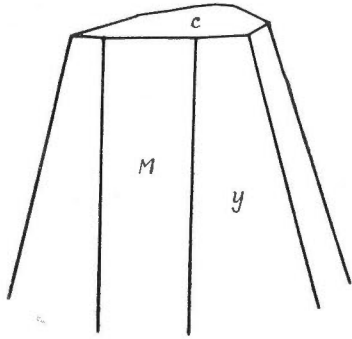


Fig. 6-27a Type 7a

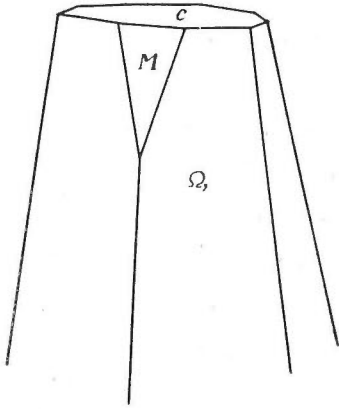


Fig. 6-27b Type 7a

に向つて, 小結晶として簇生している。また時にこの型の小結晶が多数平行連晶して, 全体として同形の犬牙状結晶を形成しているときもある。結晶は普通 0.5~1.0 cm であるか, 平行連晶して形成された同形の結晶は 12 cm に達する。通洞坑連慶峙第4河鹿・13区 80尺河鹿・連慶峙河鹿下5中・小滝坑光盛前鍾 30尺横鍾下5等に産した(第6-27 a・b 図)。

7b型 $+S$ 型: $+S$ のみよりなる犬牙状結晶で, $+S$ には何種類もあり, 産状によつて異つていようである。小滝坑光盛前鍾 30尺横鍾(黄銅鉍-方解石脈)のものは (7.4.II.3), 小滝坑天狗河鹿下5西5井(珪岩中の黄鉄鉍を主とした脈)のものは (9.2.II.7) および (8.3.II.5), 本山坑横3下8北立入内 11号鍾(石英粗面岩中の裂罅に沿つて晶出している方解石の単独脈)のものは Ω , (6.5.II.1) をそれぞれ主としている。ただし同一産地のものは, 大体ほぼ同種の結晶面よりなつていようである。これらはしばしば, 同種面の偏倚発達による板状ないし單斜晶系状偏倚結晶と共生している。またこの型の小結晶が多数平行連晶して, 全体として同形の犬牙状結晶をなす場合, 2a型の面上に平行連晶する場合, 6b型上に群晶する場合などもある。産地によつて結晶の大きさも異り (0.3~8 cm) また色・透明度も無色・白色・飴色, 透明・半透明等と変化し, さらに無色透明でも結晶内部の劈開の存在のために白濁している場合もある。小滝坑光盛前鍾 30尺横鍾下5中でもつとも多く, 他に天狗河鹿下5西5井・通洞坑 300尺河鹿下6・連慶峙河鹿下5・本山坑横3下8北立入内 11号鍾奥等の標本にみられた(第6-28 a・b 図)。

7c型 $+S, m$ 型: $+S$ を主とし, これに中~小位の m をとまない, 時に a, f, M 等

に向つて, 小結晶として簇生している。また時にこの型の小結晶が多数平行連晶して, 全体として同形の犬牙状結晶を形成しているときもある。結晶は普通 0.5~1.0 cm であるか, 平行連晶して形成された同形の結晶は 12 cm に達する。通洞坑連慶峙第4河鹿・13区 80尺河鹿・連慶峙河鹿下5中・小滝坑光盛前鍾 30尺横鍾下5等に産した(第6-27 a・b 図)。

7b型 $+S$ 型: $+S$ のみよりなる犬牙状結晶で, $+S$ には何種類もあり, 産状によつて異つていようである。小滝坑光盛前鍾 30尺横鍾(黄銅鉍-方解石脈)のものは (7.4.II.3), 小滝坑天狗河鹿下5西5井(珪岩中の黄鉄鉍を主とした脈)のものは (9.2.II.7) および (8.3.II.5), 本山坑横3下8北立入内 11号鍾(石英粗面岩中の裂罅に沿つて晶出している方解石の単独脈)のものは Ω ,

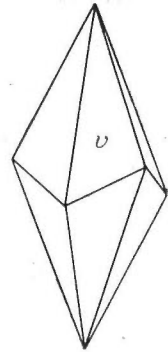


Fig. 6-28a Type 7b

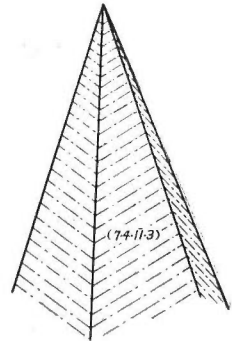


Fig. 6-28b Type 7b

をともなう犬牙状結晶。+S 面は Γ ($53\bar{8}2$) あるいは v ($21\bar{3}1$) で代表される。 m , +S, f とともに lineage structure の発達著しく面は粗である。小滝坑光盛前鉢 30 尺横鉢下 5 のものは黄銅鉍-方解石脈中に晶出し、10 cm 程度の大型をなす白色半透明の結晶で M , m 等をともない +S は v で代表される。光盛河鹿下 5 西 18 井南立入のものは marmatite・石英の結晶上に集合晶出し白色半透明の平均 1 cm 大、最大 5 cm に達する結晶をなし、 m , a ,

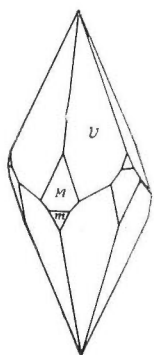


Fig. 6-29
Type 7c

f をともない、また時に $1b$ 型結晶上に晶出する。このほか樽状石英と共生し $2c$ 型結晶上に平行連晶するものもあり、この産状を示すものでは大結晶ほど m の発達が著しく $5c$ 型を示し、小結晶では m が小さく $7c$ 型を示す (第 6-29 図)。

7d 型 +S, -R 型: f のよく発達した犬牙状結晶。+S は Γ ($53\bar{8}2$) か Ω , ($6.5.\bar{1}1.1$) で代表される。本山坑横 3 下 8 北立入の石英粗面岩中の方解石の単独脈として産したものは、 $7f$ 型の偏倚結晶および $7b$ 型と共生し、大きさ 5 cm, 飴色半透明結晶で、2 対の Ω , のみが大きく発達し一見斜方

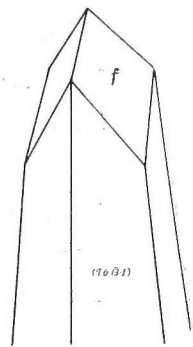


Fig. 6-30 Type 7d

面錐状を示す。通洞坑連慶峠下中第 5 河鹿のものは、Apatite の渦巻状集合晶上に散点的に晶出する $1e$ 型の小晶上、あるいはその稜に沿い 0.1~0.2 cm 程度の微晶をなして平行連晶している。無色透明で +S は r よりなるものと思われる (第 6-30 図)。

7e 型 e+S 型: e の発達により特徴づけられる犬牙状結晶で、+S は v ($21\bar{3}1$) あるいは y ($32\bar{5}1$) が主となっている場合が多い。時にこのほかに ($7.3.\bar{1}0.4$) が、 v , y とともに 3 面でもつて +S 面を構成していることもある。極く稀には M , c 等をともなうこともあるが、普通他の面をともなわない。また一方の頭が e よりなり、他方が r の粗面よりなる異極像的晶相を示すこともある。結晶は白色ないし帯茶色半透明で、犬牙の中心部において特に濃色となつている場合もある。大きさは平均 1~2 cm, 最大 5 cm である。通洞坑連慶峠下 6 第 2 北向立入内東向鉢押北盤 20 尺入、通洞坑 300 尺河鹿下 6・通洞坑連慶峠瑞第 2 河鹿下 3 中等の標本に見られる (第 6-31 図)。

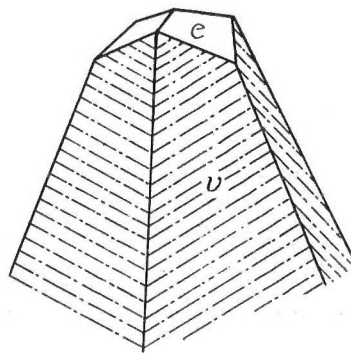


Fig. 6-31 Type 7e

7f 型 偏倚結晶: +S 面を主体とするがその発達程度が面によつて偏倚しているため、板状・単斜晶系状等を示すものである。偏倚の仕方によつて種々の形をとる。例えば $7d$ 型の犬牙状結晶の +S のうち、2 対の 4 面のみ発達して斜方錐状を示すもの (本山坑横 3 下 8 立入内 11 号鉢奥), 2 対の相対する上下面だけが大きく発達

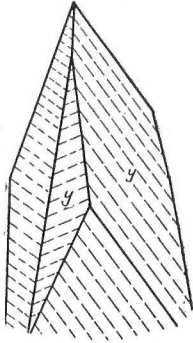


Fig. 6-32 Type 7f

して単斜晶系状外形をなすもの（同上および小滝坑光盛前鍾 30 尺横鍾下 5 中段等）、+S の上部 2 面のみが特に大きく発達したため石斧状を呈するもの（小滝坑光盛前鍾 30 尺横鍾下 5 中）などの諸種の型がみられる。また犬牙状結晶が蝶形双晶をなすと、しばしば接合面に直角の方向に偏して兩個体が板状となる場合もある（この関係は石英の日本式双晶の場合と同じである。小滝坑南天狗 100 尺鍾下 7）。これらの偏倚発達をなす結晶は +S を主体面とする犬牙状結晶の場合に、出現頻度が最も高いようである。これらの結晶は一般に白色半透明である（第 6-32 図）。

第 8 型 菱面体型結晶

正 +R あるいは -R を主体面とする菱面体型の結晶で、足尾鉍山には産出は稀である。面の種類によつて次の 2 型に細分できる。

8a 型 -R 型： -R を主要面とする菱面体の結晶で、 M , m , r の小～中位面をとまなう。-R は一定方向にその尖端を向けて配列した、うるこ状の lineage structure が顕著に発達しているため正確な指数を決定できないが、大体 ϕ (0554) に相当するものと考えられる。 M 上には h とは配列方向の逆な lineage structure が発達する。結晶は飴色半透明、1 辺 10 cm 以上の巨晶である。小滝坑開盛鍾下 4 西 26 井（第 6-33 図）。

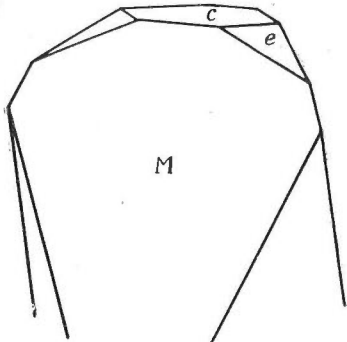


Fig. 6-34 Type 8b

8b 型 M 型： M を主体面とする結晶であるが、 c および e の中位面をとまなうため、外形は菱面体型を示していない。7a 型と共生し、白色半透明の集合結晶として現われる。 M は m との繰り返えし階段状発達のため、 c 面との稜に平行な條線が走っている。通洞坑連慶峙第 4 河鹿の標本にみられる（第 6-34 図）。

上記各晶相の諸特徴をまとめて簡単に表示すると、第 11 表の如くである。

III.3 各晶相の晶出状態

III.3.1 異種晶相の共生関係

異つた晶相の結晶が共生している場合、その結合の仕方から、それらの晶出の前後関係を決定することができる。福原産方解石の観察と同じように足尾鉍山の場合も異種晶相が共生し、

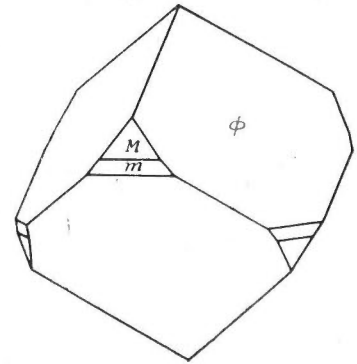


Fig. 6-33 Type 8a

Table 11 (1) Classification of Crystal habit of Calcite from the Ashio mine (on H. Takeuchi's collections)

Habit Type	Development of faces			size	color & transparency	characteristics	Fig.
	large	medium	small				
Tabular	<i>I a</i>	<i>c</i>	<i>r</i>	3 cm	white opaque	triangular platy	6-1
	<i>I b</i>	<i>c</i>		0.5~1.0 cm	colorless translucent	thin layer parallel to <i>c</i> is white turbid	6-2
	<i>I c</i>	<i>c</i>		1~2.5 cm	white translucent	thick tabular	6-3
	<i>I c'</i>	<i>c, m</i>		6 cm	grey translucent	showing hourglass structure	6-4
	<i>I d</i>	<i>c, e</i>		3~8 cm	brown opaque	thin tabular	6-5
	<i>I e</i>	<i>c</i>	<i>r</i>	0.3 cm	white translucent		6-6
	<i>I f</i>	<i>c, m</i>	<i>a, e,</i> <i>f, m</i> <i>M, Q, x, f</i>	2.5 cm	"	hour-glass str.	6-7
Nail-head	<i>2 a</i>	<i>e</i>	<i>sometimes m</i>	0.3~3.0 cm	white brown translucent		6-8
	<i>2 b</i>	<i>e</i>		0.5~4.0 cm	white grey translucent~opaque		6-9
	<i>2 c</i>	<i>e</i>	<i>c, m, f</i> (<i>sometimes</i>)	0.5~1.5 cm	white translucent		6-10
	<i>2 d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	0.5 cm	colorless translucent		6-11
Prismatic	<i>3 a</i>	<i>m</i>	<i>c</i>	0.5~4.0 cm	colorless transparent	<i>c</i> is white turbid	6-12
	<i>3 b</i>	<i>m</i>	<i>e</i>	0.5~3.0 cm	white~grey translucent		6-13
	<i>3 c</i>	<i>m</i>	<i>c, M, e,</i> <i>v</i>	4.0 cm	colorless transparent	—R not develop	6-14
	<i>3 d</i>	<i>m</i>	<i>c, f</i> <i>M or r v or v, M or e</i>	0.5~2.0 cm	white translucent	—R develop	6-15
	<i>3 e</i>	<i>m</i>	<i>e, n,</i> <i>c</i>	0.5~1.0 cm	white~brown translucent		6-16
	<i>3 f</i>	<i>m, f</i>	<i>M, v, e</i>	2.0~3.0 cm	white translucent		6-17
Barel	<i>4 a</i>	—S	<i>r, c, f or e</i>	2~3 cm	colorless transparent		6-18
	<i>4 b</i>	—S, <i>r</i>	<i>M</i> (<i>0331</i>), <i>r</i>	"	"		6-19

Table 11 (2) Classification of Crystal habit of Calcite from the Ashio mine (on H. Takeuchi's collections)

Habit	Type	Development of faces			size	color & transparency	characteristics	Fig.
		large	medium	small				
Spear	5a	<i>m, f</i>			0.5~1.5 cm	white~brown translucent		6-20
	5b	<i>m, f</i>	<i>Y</i>		"	white translucent		6-21
	5c	<i>m, Y</i>	<i>f (c)</i>		"	"		6-22
	5d	<i>m, e, v</i>			3~4 cm	"		6-23
	5e	<i>m, f,</i>	<i>N, Y</i>		0.5~1.0 cm	colorless transparent		6-24
Pencil	6a	<i>m, v</i>			3~5 cm	white translucent	big prismatic	6-25
	6b	<i>m, (7.4.II.3)</i>			3~4 cm	colorless transparent	slender prismatic	6-26
Dog-teeth	7a	+S (<i>y, v or Q₁</i>)	<i>c, M, m</i>		0.5~1.0 cm max. 12 cm	colorless white translucent		6-27
	7b	+S((7.4.II.3) or (9.2.II.7) or Q ₁)			0.3~8 cm	colorless~white transparent		6-28
	7c	+S (<i>Y or v</i>)	<i>m</i>	<i>a, f, M</i>	1.0~10.0 cm	white translucent		6-29
	7d	+S (<i>Y or Q₁</i>)	<i>f</i>		5 cm	brown translucent	-R develop	6-30
	7e	+S (<i>v or y</i>)	<i>e</i>	rarely <i>M or c</i>	1~5 cm	white translucent	marformed xst.	6-31
	7f	+S (<i>Q₁</i>)			"	"		6-82
Rhomboidal	8a	-R (<i>h</i>)	<i>M</i>	<i>m, Y</i>	10 cm	brown translucent	lineage str.	6-33
	8b	<i>M</i>	<i>c, e</i>		4 cm	white translucent		6-34

しかもそれらが同時期晶出であるといった場合は全く認められない。したがってその観察から晶出順序と晶相変化との関係を求めることができる。しかし福原の場合に比して、足尾鉾山の場合は観察した標本が限定され、足尾鉾山全般のものについて網羅しているとは限らず、また採集されている標本も美晶が多く、普通の結晶はあつめられていることが少ないから、この標本の観察から足尾鉾山全体の晶相変化の系路を組織化することは困難であり、多くの欠所と誤ちが予想されねばならない。

足尾鉾山の標本で観察される異種晶相の結合様式には、いろいろな場合がある。平行連晶的關係にあるものも多く、その内容も稜に沿つて平行連晶するもの、完全に他を包有して平行連晶するもの、前者の c 面上に同一側軸面積を共有して生長しているもの、などがあげられる。平行連晶をしていないものでも異種晶相の共生關係から、晶出順序を決定できるものも多い。これらはいずれも晶出の *stage* が不連続的な關係にあるものであるが、なおこの他に同一晶出の *stage* 内で面の発達程度が異り、外見的な晶相の差が認められる場合もある。この場合もその組み合わせ方の観察から、その *stage* 内での面の変遷を決定することができる。

ここではそれぞれの場合にわけて、晶出順序と晶相変化を明らかにしていくという観点から、統一した記載を行いたいと思う。

III.3.1.1 異種晶相の平行連晶關係

異種晶相が平行連晶している場合、その結合の仕方から晶出の前後關係を決定できる。この場合多くは両者の間は、ある時間的不連続をおいた晶出關係にあるものと考えられる。足尾鉾山のこの種結合様式を示すものを様式別に分類して、それぞれの場合を説明すると次の如くである。

III.3.1.1.1 A 晶相の側軸面の稜に沿つて B 晶相の小結晶が多数平行連晶し、全体として鱗の楯鱗状をなすもの。この場合明らかに A の方が B より早期晶出である。この様式に属するものでは $1d$ 型 $>$ $3e$ 型、 $2a$ 型 $>$ $5c$ 型の 2 種が認められた (第 7-1 図)。

III.3.1.1.2 大正 11 年鍾の標本では $3a$ 型 \cdot $2b$ 型が平行連晶し西洋糸巻状を示す。その結合状態から $3a$ 型 $>$ $2b$ 型。またこの西洋糸巻型結晶は $1d$ 型の小晶の馬鞍状集合上に附着結晶しているから、明らかに $1d$ 型よりも後期晶出。従つて $1d$ 型 $>$ $3a$ 型 $>$ $2b$ 型。

III.3.1.1.3 A 晶相の結晶を内包する如き状態で、あるいは A 上に新たにつぎたされたような形で、 A と側軸面積を等しくした B 晶相の結晶が晶出している場合がある。この場合も $A > B$ 。この種結合状態を示すものとして次がある。本山坑横間歩下 2 北立入では $1d$ 型 $>$ $1e$ 型。小滝坑大正 2 年鍾河鹿の標本では $3a$ 型 $>$ $3f$ 型。この他に産地不明の標本について $2a$ 型 $>$ $5c$ 型、 $2b$ 型 $>$ $6a$ 型が認められる (第 7-2 図)。

III.3.1.1.4 A 晶相の稜に沿いあるいはその結晶上に、これと平行連晶關係をもつて小形の B 晶相が晶出している場合、 B が A の内部に入り込んでいなければ、 $A > B$ の關係にあるといえる。連慶時第 5 河鹿のもので $1e > 7d$ の關係が認められる。

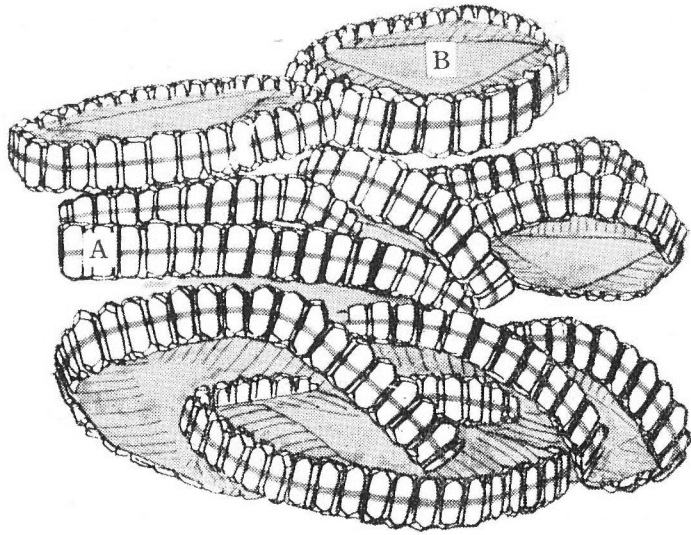


Fig. 7-1 Habit 3e crystallize along edge of e \wedge e face of habit 1d in parallel growth.
A...habit 3e, B...habit 1d

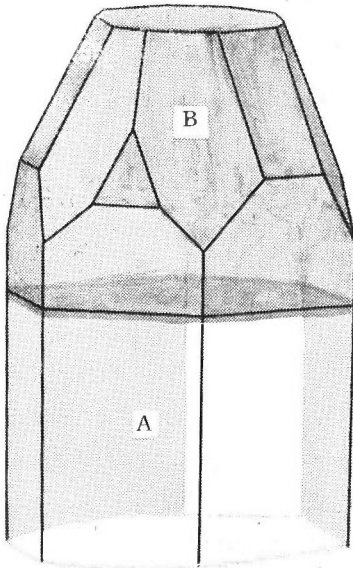


Fig. 7-2 Habit 3f (B) grown on C (0001) face of habit 3a (A) in parallel growth.
It is considered that there was a suspension stage of crystallization.
A...colorless transparent
B...white translucent

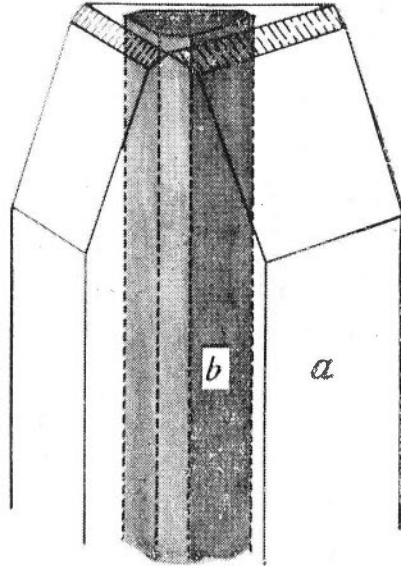


Fig. 7-3 Habit 3a(b) grown on habit 3d (a) in parallel growth.
a...white turbid,
b...colorless, transparent

III.3.1.1.5 1 結晶の中心部 c 軸に沿った六角柱状部だけが無色透明で、他の部分は白色半透明の結晶が、連慶時第4河鹿の標本にみられる。この結晶で両者の境は明瞭である。したがってまず無色透明六角柱の部の晶出があり、その後時間的不連続をへだてて、その結晶上に新たに白色半透明部の結晶生長が行われたものと考えられる。白色半透明部の晶相は $3a$ 型に e および $+S$ の加わった $3e$ 型を示し、内部の無色透明部は c, m のみよりなる純粹の $3a$ 型である。したがって $3a$ 型 $>$ $3e$ 型。すなわち面についていえば、 c, m よりも $e, +S$ の方が後期にあらはれる傾向を示している (第7-3図)。

III.3.1.2 平行連晶をしていない異種晶相の共生関係

数種の晶相が同一標本内に共生し、晶出の前後関係を明らかにしうるものとして次の諸例がある。

III.3.1.2.1 連慶時下6中のもものでは、 $1c$ 型結晶上に白鉄鉍薄膜をへだてて $7b$ 型小晶が集合晶出し、 $1c$ 型 $>$ $7b$ 型の関係にある。光盛下5のものでは、 $1b$ 型上に $7c$ 型の大晶が晶出し $1b$ 型 $>$ $7c$ 型。同様の関係が $2a$ 型と $5c$ 型・ $7b$ 型・ $7c$ 型との間にもみられ、ある標本では $2a$ 型 $>$ $7b$ 型・ $7c$ 型、永盛上5の102尺鐘の標本では $2a$ 型 $>$ $5c$ 型の関係にある。また $2c$ 型と他の型の間にも同様の関係が認められる。すなわちある標本では $2c$ 型 $>$ $6a$ 型・ $7b$ 型。御典寄連慶時向立入の標本では $2c$ 型 $>$ $5c$ 型。通洞坑80尺河鹿では、 $2a$ 型の亜平行連晶による球状集合体の球の空洞となつている中心部にのみ、内部に向けて $7b$ 型の小晶が簇生し、その状態から $2a$ 型 $>$ $7b$ 型の関係が明らかにされる。これらはいずれも板状ないし釘頭状晶相が、犬牙状ないし柱状晶相よりも早期晶出であることを示している。面についていえば、 c, e, m の方が $+S, -R$ より早期であることを示している。

III.3.1.2.2 柱状結晶と釘頭状結晶との関係を示す標本として、光盛前鐘30尺横鐘の標本がある。無色透明の $3a$ 型結晶の c 面上に、 $2b$ 型の小晶が1ヶだけ晶出し、 $3a$ 型 $>$ $2b$ 型の関係が認められる。

III.3.1.2.3 有木坑横間歩下2北立入の標本には、 $1d \cdot 4a \cdot 6b$ の3型が共生する。珪化した母岩の1側には帯茶乳白色、半透明、3cm程度の $1d$ 型の結晶が群晶し、その上に稀に無色透明の2~3cmの $4a$ 型結晶が晶出。さらに稀に0.5cm程度の $6b$ 型小晶が晶出している。したがって $1d$ 型 $>$ $4a$ 型・ $6b$ 型の関係にある。母岩の他側では $6b$ 型の小晶のみ群晶し、これと前者との位置関係および結晶の透明度・完全さなどから考えて、 $4a$ 型と $6b$ 型との間は大体 $4a$ 型 $>$ $6b$ 型と考えられる。したがって $1d$ 型 $>$ $4a$ 型 $>$ $6b$ 型。面についていえばこの場合も $+S$ および $-R$ は c, e よりも後期で、 m は両者の中間に位置するものといえる。

III.3.1.3 明瞭な時間的不連続を認めぬ場合

異つた晶相の結晶が同一標本内に晶出しており、それらの間に晶出時期の差は認められるが、晶出の不連続をへだてた晶出とは考えられず、むしろある巾の晶出時間の範囲内での、早

期・晩期の差による晶相の変化と考えられる場合がある。このような場合、多くは構成面の種類が同じで発達程度が異なるため、晶相の差がみられるような結晶群であり、またその面の消長は両者の間に連続的である。

III.3.1.3.1 $3a$ 型結晶のわきに $6b$ 型が平行連晶し、両者の結合状態から、その間に晶出の時間的不連続があつたとは考えられず、むしろまず中心部の $3a$ 型が先に晶出し、ひきつづいて $3a$ 型に $+S$ の発達がみられ、わきの $6b$ 型が晶出したものと考えられる。すなわち $3a$ 型 $>$ $6b$ 型で、 $+S$ は c, m よりも後期に至つてあらわれる。

III.3.1.3.2 e および m 面よりなる結晶において、早期から晩期にかけての m の発達程度の変化を示す例として、小滝坑昭和 15 年鍾の標本がある。この標本は marmatite, galena, chalcopyrite 等の小晶上に集合して晶出している方解石で、3 cm 程度の $2b$ 型の結晶が主体となつている。 $2b$ 型は e, m 面上に鱗状の lineage structure の発達が著しく、殊に m 面は中央部で凹んでいる。この彎曲度・lineage structure の発達程度等は、結晶が小さいほど少ない。また m の発達も結晶小なるほど著しく、 $3b$ 型に近くなる。さらに $2b$ 型の大結晶上には、結晶状態の良好な灰色半透明の $3b$ 型小晶が晶出し、明らかに $2b$ 型 $>$ $3b$ 型の関係にある。結晶状態の変化、 $2b$ 型と $3b$ 型との関係などから、上の $2b$ 型結晶のうち大形結晶ほど早期晶出と考えられる。したがつて m 面はこの場合後期に至るに従つて発達が大きくなるものと考えられることができる。

III.3.1.3.3 $+S$ を主とする犬牙状結晶のうち、正規発達の結晶と偏倚結晶との間に、晶出時期のずれが認められる場合が多い。例えば光盛前鍾 30 尺横鍾のものでは、 \mathcal{Q} を主とする正規発達の $7b$ 型（小結晶）と偏倚発達した $7f$ 型（大結晶）との間に、漸移的ではあるが、大体 $7b$ 型の方が後期晶出と考えられる関係が認められる。同様に本山坑横 3 下 8 の標本も、 \mathcal{Q} を主とする $7b$ 型と $7f$ 型とが共生し、偏倚した結晶の方が大体早期晶出のようである。また小滝坑南天狗 100 尺鍾のものは、 $+S$ と m よりなる結晶が蝶形双晶をなし、この双晶は結晶全体として双晶面に垂直な方向に扁平となつている。この双晶のわきに同種面より形成される正規発達の小結晶（ $6a$ 型）が附着生長し、双晶よりもやや後期の晶出であることを示している。これらの関係は、時に両者の間が逆関係を示している場合もあり、はつきりと偏倚結晶の方が早期であると断定することはできない。しかし大体の傾向として、同一の晶出 stage 内で早期の方が偏倚発達をなす傾向が認められ、また単晶よりも双晶の方が偏倚する傾向が強いといふことができる。

III.3.1.3.4 $6b$ 型と $7b \cdot 7c$ 型とが共生し、それらの束状集合体において、ある部分だけ $6b$ 型よりなり、他の部分が $7b \cdot 7c$ 型の結晶である標本が、小滝坑光盛前鍾 30 尺横鍾のものに認められた。束状集合体の中心部は無色透明の $6b$ 型結晶で、それより外側は白濁半透明の $7b \cdot 7c$ 型結晶が簇生している。その共生状態から大体同一 stage 内で早期のものが $6b$ 型を示し、晩期のものほど $7b \cdot 7c$ 型を示すに至ると考えられる。

III.3.2 結晶の大きさによる変化

同一標本内で結晶の大きさによつて、2次的優位面の発達程度に差が認められる場合がある。結晶の大小によつて晶出時期の前後を決定することは困難で、それぞれの場合について関係を決定する以外に方法はない。この場合の相互の関係は、もちろん1 stage 内での早期から晩期にかけての面の変遷を示すか、あるいは結晶の生長にともなつての面の発達の変遷を示すものであつて、別個の晶相相互の間に晶出時期上の不連続関係が存在するものではない。このような関係を示すものとして次のような例がある。

III.3.2.1 本山坑蛭子奥鍾産の標本では、4 cm 程度の大結晶では c, m, e のみよりなる $1c$ 型結晶で、小結晶ではさらに M, a, f をともなう $1f$ 型を示し、さらに小結晶に至るとこれに $+S$ の発達がみられる $1f$ 型となる。その晶出の前後関係は、共生状態から大體小形結晶ほど後期晶出で、 $1c$ 型 $>$ $1f$ 型の関係にあると思われる。したがつて面としては $c \cdot m \cdot e > +R \cdot -R \cdot a > +S$ 。

III.3.2.2 通洞坑 200 尺河鹿の標本では、2.5 cm 程度の大形結晶では e のみよりなる $2a$ 型を示し、0.5~1.0 cm の小結晶では $+S$ をともなう $2c$ 型となり、小結晶ほど $+S$ の発達が大きくなる傾向にある。III. 3.2.1 と同様の観察から $2a$ 型 $>$ $2c$ 型で、面としては $e > +S$ の関係と考えられる。

III.3.2.3 御典河鹿の方解石は、 $2c$ 型結晶を示し、3~4 cm の大形結晶は m が現われているが、小結晶では m は全くみられなくなつてゐる。

III.3.2.4 連慶峠第4河鹿の標本は c, e よりなる結晶であるが、大結晶では c が大きく発達して板状の $1e$ 型を示し、小結晶は c のみられぬ $2d$ 型である。 e と c との関係は後述するように、晩期に至るに従い c が e に分化する傾向をもつてゐる。この場合も早期晶出のものでは $1e$ 型を示し、晩期に至るに従い c が e へ分化して、 $2d$ 型となつたものと考えることができる。

III.3.2.5 小滝坑昭和15年鍾の結晶は e, m の2面で構成されるが、3 cm 程度の大結晶では m の発達小で $2b$ 型を示し、0.5 cm 程度の小晶では m が発達して柱状の $3b$ 型を示す。この場合その晶出状態から明らかに $2b$ 型 $>$ $3b$ 型で、 e の方が早期に発達し m は後期に至るに従い発達が大きくなるといえる。 $+S, m$ を主とする第6・7型が共存する場合、結晶大なるほど m の発達大で $6a \cdot 7e$ 等の型を示し、小結晶ほど m が小で $7b$ 型を示す。この場合には、その共生関係から m は $+S$ よりも早期において発達する傾向があることがわかる。

III.3.2.6 光盛河鹿の結晶は m に近い指数をもつ $+R$ を主とし、 $+S, -R$ をもつ $5b$ 型の結晶であるが、結晶大なるほど $+R$ が発達 $+S$ が小であり、小なるほど $+R$ 小となり $+S$ が発達する。この場合もまた $+R > S \cdot -R$ の関係にあるといえる。

III.3.3 他の鉱物との共生関係、結晶の性質の晶相ごとの特徴

共生鉱物との関係・産状・結晶の色・透明度等において、晶相ごとにより特徴的な傾向が認められる場合があり、その特徴は晶相の晶出順序を決定する上で1つの資料となりうる。以下にはその主な関係を晶相ごとに簡単にまとめてみることにする。

第1型には無色透明の結晶はみられず、いずれも着色した半透明ないし不透明結晶であり、他の晶相と共生する場合、これより早期晶出のものはみられない。しばしば共生する金属鉱物と入り組んで晶出し、ほぼ同時の晶出時期にあつたことを示しており、他の鉱物に対してこの関係をもっているものは、第1型のものに限定されている。また *Ic* 型のように、場合によつては金属鉱物で被覆されていることもある。

第2型はかなり広い範囲にわたつて産し、第1型と同様白色半透明ないし不透明結晶であり、種々の特徴的な集合状態を示す。Quartz と共生する場合が多く、またしばしば Quartz のみと共生して Quartz-Calcite 脈を形成する。この場合には犬牙状・柱状等の結晶と共生し、常にこれよりも早期晶出種であることを示しており、第1型とは共存しない。金属鉱脈の晶洞中に産する場合には、第1型と共存しそれよりも後期晶出である。一般的にいうと Quartz のみと共存する場合に比べて、Apatite と共存する場合の方が +S 面の発達が大きくなる傾向がみられるようであるが、この関係は明確ではない。

第3型の結晶は第1・2型に比して透明度が高い。面の構成は第1型とほぼ同じであるが、第3型では *m* 面の発達が著しく、晶出時期も第1型よりも後期である。共生鉱物として特徴的なものは見当たらない。

第4型の結晶はいずれも無色透明の美晶で、透明度は足尾鉱山の方解石中最も高い。時に結晶内部に Bismuthinite, Arsenopyrite 等の針状結晶を包有している。

第5型・第6型は多く白色半透明結晶で、結晶は比較的良好である。特徴的な共生鉱物はみられない。

第7型は無色透明の場合もあるが、lineage structure, striation 等の発達が著しい。鉱体から離れた珪岩・石英粗面岩などの裂隙に沿つて発達している方解石の単独脈に晶出するものは、多くの場合第7型のみよりなり、これより早期晶出種の晶相はみられないようである。

第8型は着色した半透明結晶で lineage structure などの発達が著しい。特徴的な共生鉱物はない。また他の晶相との関係も明らかには認められない。

以上を通じて特徴的な点は次の如くである。

III.3.3.1 金属鉱物と同時晶出、ないしそれよりも早期晶出と考えられるものは第1型に限られ、石英-方解石脈中に産する最も早期晶出種の晶相は第2型であり、方解石単独脈中の結晶は、第7型が最も早期晶出種のものようである。

III.3.3.2 結晶の透明度・完全度などは晶相によつて異り、しかも晶相の晶出順序と平行的な関係で変化を示しているようである。

III.4 結晶面の特性から判断される変化の傾向

結晶面上にみられる lineage structure, striation その他種々の現象を詳細に観察すると、それらの発達の程度・仕方などから晶出順序にともなつての面の出現の変遷を読みとることができる。そこで面ごとの特性を晶出順序と関連させて観察すると、次の如くである。

c 面はほとんど常に粗で、無色透明の完全な結晶においても、 c のみが白濁したり粗鬆となつているのが普通である。 c と e とのなす稜はしばしば彎曲し、漸移的關係にあることを示している。殊に板状結晶などにおいてその傾向は強い。この關係は独立した c 面と e 面との間だけではなく、 c 面自身の中にも潜在的な要素として認められる。例えば c 面上に発達する lineage structure をみると、面の中心を核として、 $-R$ 面との稜に垂直な方向に走る3方向の線群で構成されていることが多い。この lineage structure の発達がさらに著しくなると、面の中心より距るほど面が彎曲して、 c 面に対してある傾斜をもつた1種の面をつくつている。この場合傾斜した部分と c 面との境は漸移的で、面の中心に向つて凸状の弧線をもつた境界をなしている。これらの線群の方向は e 面の條線の方向と一致し、このような方向の條線の発達する面は e 、および e から分化した D 面にのみ認められる條線の方向である。したがつて上述の現象から c と e との間は漸移的で、 c が分化して e 面があらわれるのであり、 e と c との組み合わせによつて形成されているのではないことがわかる。すなわち、早期においては独立した c 面としてあらわれるが、この c 面は常に e 面へうつりかわろうとする傾向を強く内包しており、晩期に至り、あるいは c 面が大きく発達しすぎた結果、その周縁部においては c としての形をとろうとする力よりも、 e として現られようとする力の方が強くなり、 c 面が分化して e 面が形をとつてくるもの考えることができる。 c 面としての形をととのえようとする力と、 e 面として現られようとする力とは、板状・釘頭状等が主としてし晶出する時期（方解石晶出の早期に属する）において、最も強く結晶内に内包されているところの互に矛盾した2つの力であり、そのいずれが他よりも強力となるかは、専ら晶出の時期に依存しているものようである。すなはち早期においては c の方が強く、晩期に至るに従つて e の力が強くなり、遂に c の力を凌駕するに至るものと考えられる。

c と m との關係は上の場合とは逆でその境は明瞭であり、 m の方が後期に至つて発達する傾向にある。 $+R$ 、 $-R$ 、 $+S$ 、 $-S$ 等と c との關係も同様である。

m と $+R$ との關係は c と e との關係に類似している。 m 面上の主たる條線は $+R$ との稜に平行な方向であり、この條線は m と M との階段状繰り返えし発達によつて形成されている場合が多い。その繰り返えしが著しい場合には、 m は指数の大きな $+R$ の如き外觀を呈する。この種條線は m のみでなく、 $+R$ にもしばしば認められる。また板状結晶などにおいては m と $+R$ との間は漸移的で m が彎曲し、その末端が $+R$ に移化する場合が多くみられる。lineage structure の sign の方向も $+R$ と m とは同一である。これらのことから、 m

と $+R$ との間も密接な近縁関係にあり、早期において m が強く、晩期において $+R$ の発達がみられるものといえることができる。

$+S$ と a との関係にもまた同様の傾向が認められる。*striation* の方向・*lineage structure* の方向性などは、いずれも $+S$ と a との両者同一である。 $+S$ は多くの場合彎曲面であり、これは無数の僅かづつ角度をずらした細かい *vicinal face* によつて構成されている。 a は $+S$ との階段状発達、あるいは上下の $+S$ の繰りかえし発達によつて構成されていることが多く、そのため $+S$ との稜の方向に *striation* が走っている。さらに $+S$ と a との形態学上の位置からも考えてみると、 a は $+S$ の極限の形と考えることができる。

$+S$ 面自身は既述のように常にある巾をもつた連続反射を示し、その反射帯中にいくつかの明瞭な反射点があり、一定の指数であらわすことができない。しかし1つの結晶群あるいは産状・晶出時期等を等しくすると考えられる1群の標本中の結晶では、 $+S$ 面の連続反射の範囲は大體において等しく、それらの異つているものの間では、その範囲が異つているようである。その差を産状と関連させて詳細に定量的に表現することは困難であるが、例えば金属鉍物と共生し金属鉍脈ないし河鹿鉍床中に産する結晶においては、 $y(32\bar{5}1)$, $v(21\bar{3}1)$ 等の比較的 ρ 値の低い a 面より離れた点を中心とした範囲の反射を示し、珪岩・石英粗面岩等の裂隙を充し、鉍床からはずれた位置に発達する方解石の単独脈中に産したものでは、 $\Omega(6.5.\bar{1}1.1)$, $\mu(54\bar{9}1)$ の如く ρ 値が 80° ないしそれを越し、 a 面に近い点を中心とした連続反射を示している。この関係はまた同一標本内での早期晶出種と晩期晶出種の間にも認められるようで、晩期晶出種の結晶ほど一般に a 面に近い範囲で連続反射を示している。すなわち $+S$ 面は、後期晶出種の結晶ほど ρ の値が 90° に近く、 a 面に接近した $+S$ 面となる傾向をもつていてと考えることができるのである。この事実は既述の a と $+S$ との近親性および後述の a 面の主として現られる晶出時期上の位置を考えると、 $+S$ と a との関係および $+S$ が晶出時期の変化にもなつて示す挙動がよく理解できる。すなわち a は $+S$ の極限の形と考えることができるのである。

$-S$ は *lineage structure*, *striation* とともに著しい発達を示さず、反射も $+S$ のような著しい連続反射を示さない。 $+S$ との間は不連続で、 c と e との間のように漸移的な関係にはない。 ρ 値からみれば $+S$ よりも 90° よりへだたつた値をもち、また晶出時期上でも $+S$ よりも早期に発達する傾向がある。

$-R$ は c , e とは明らかな境をもつて接する。 m とは *lineage structure* の *sign* が完全に逆向きである。しばしば f を中心として数ヶの彎曲した小面に分化している。一般に早期晶出種の結晶には余り大きく発達せず、犬牙状結晶などの比較的後期の晶出種の結晶で、大きな発達を示す。この点は $+R$ とは全く逆で、 $+R$ はむしろ早期晶出種に発達する。面の性質からみても $+R$ と $-R$ とは全く反対で、 $+R$ に比し $-R$ は常に粗で、彎曲したり *lineage structure* が強く発達したりしていることが多い。また $+R$ と m との既述のような関係は $-R$

と m との間にはみられず、 m と $-R$ とは深い近親関係にあるものではないようである。

これらの事実を通観すると、各種結晶面は近親関係にあるいくつかの群にまとめることができる。例えば c と e 、 m と $+R$ 、 $+S$ と a という如くである。 $-R$ と $-S$ については現在の資料でははつきりした関係はみいだせない。

ところでこうしてまとめたものは、各群ごとに晶出の時期に応じて、片方から他方へと分化してゆく傾向をもっている。例えば c が晩期に至つて e に移過する如くであるばかりでなく、群相互の間にも早期・晩期の相違がある。この点については後述することにする。

III.5 晶出順序と晶相変化との関係の総括

III.3 および III.4 で観察した事実を総括して、足尾鉍山の方解石結晶が晶出時期に応じて、どのような晶相変化を示すかを以下に考察してみよう。この作業は、個々の独立した事象の相互に関連をつけ、蒐集された不十分な標本から、足尾鉍山全体としての晶相変化の順序を編成しようとするのであるから、当然その間に欠所・逆位も予想され、完全な組織化ははなはだ困難であるといえる。しかし面自身の特性の観察、結晶全体としての傾向の観察等は、その困難さを減少し欠所に相当するはずの晶相の予想を可能にすることもある。

III. 3.3 の観察結果から鉍床形成の順序が、金属鉍物を主とする鉍床がまず形成され、次いで Quartz-Calcite 脈の形成、最後に母岩の裂罅を Calcite のみで充填したと前提すれば、金属鉍物と同時晶出と考えられる第1型は最も早期の晶出型であり、次いで第2型、さらにおくられて第7型が形成されたものと大体予測することができる。

III.3.1 と III.3.2 で観察された事実を各晶相ごとにまとめて、不等式関係であらわすと第12表が得られる。この表で左端の欄は各晶相を示し、 $>$ の欄に表示してある晶相は左端の欄に相当する晶相よりも、明らかに後期晶出種であることが認められる晶相を示しており、 $<$ の欄のものは同様にそれよりも早期晶出種であることが認められた晶相である。 no は共生する異種晶相がなく、前後関係を決定できないものを意味している。この表から次のような関係がみいだされる。

III.5.1 A, B 2種の晶相が共存し $A > B$ の関係にあるとすると、他のいかなる標本においてもこの2者が共存する場合は常に $A > B$ で、 $B > A$ の関係にあることはない。

III.5.2 3型の半分、5型の大部分、8型の全ては共存する標本がないからその位置を正式には決定できない。

III.5.3 他の晶相については大体次の関係にある。すなはち第1型の大部分は他のいかなる晶相よりも早期晶出種である。第2型は第3・5・6・7型よりは前期晶出であるが、第1型および $3a$ 型よりも後期であり、第4型との関係は不明である。第3型は第1型よりも明らかに後期であり、 $3a$ 型以外は第2型よりも後期である。しかし $3a$ 型は $2b$ 型よりも前期で第6型よりも明らかに早期である。第4型は第1型よりも明らかに後期、第6型よりも前期で

Table 12 The earlier and the later relations in crystallization of eachcrystalhabits of calcite from the Ashio mine

Habit	>	<	Habit	>	<
1a	no	no	4a	6b	1d
1b	7c		4b	no	no
1c	1f, 7b		5a	no	no
1d	1e, 2b, 3a, 3e, 4a, 6b		5b	no	no
1e	2d, 7d,	1d	5c		2a, 2c
1f		1c	5d	no	no
2a	2c, 5c, 7b, 7c		6a	7e	2b, 2c
2b	3b, 6a	1d, 3a	6b	7b, 7c	4a, 1d, 3a
2c	5c, 6a, 7b	2a	7a	no	no
2d		1e	7b	7f	1c, 2a, 2c, 3a, 6b
3a	2b, 3e, 3f, 6b	1d	7c		1b, 2a, 6a, 6b
3b		2b	7d		1e
3c	no	no	7e		6a
3d	no	no	7f		7b
3e		1d, 3a	8a	no	no
3f	no	no	8b	no	no

>...earlier crystallization than the habits listed in the left column.

<...later crystallization than the habits of the 1st column.

no...There is no co-existing habits, so the sequence of crystallization can not be determined.

他の型との関係は不明である。第5型の大部分は共生する他種の品相が少ないから明らかでないが、5e型は第2型よりも後期である。第6型は第1・2・3・4型よりも後期で第7型よりも早期である。第7型は第4・5・8型以外の全てよりも後期であり、第4, 5, 8型との関係は不明である。

III.5.4 従つて上の関係をまとめ III.3.3 の観察を考慮して品出順序による品相変化の順序を不等式であらわすと、大体次のような形をとる。

$$[1a(?), 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 2a] > [3a, 2b, 2c, 2d] > [3b, 3e, 4a, 5e] > [6a, 6b] > [7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f]$$

III.5.5 この順序は、足尾鉾山に産する方解石の品相を統一的に眺めた場合にあらわされたものであつて、これを面の特徴その他の現象とあわせ考えてゆくと、互に僅かずつ overlap するいくつかの系統が明らかとなる。例えば *m*, *e* よりなる結晶が 2a, 2b, 3b と変化する系統と、*r*, +*S* を主とする結晶が 2c, 2d, さらに犬牙状に近くなるまで変化する系統とは、早期の位置で互に overlap している。このように上の順序はいくつかの系統が複合した結果と見做すことができる。

III.5.6 従つてそれらをより正確に分析し、組織立てねばならぬが、資料が少ないために甚

だ困難である。しかし III.4 で観察した各結晶面の特性をもととしてこの分析を行い、さらに上の順序中に位置を決め得なかつたものの相当する位置を予測して、概念的に図示すると、大体第8図のような関係にあるものとしてあらわせるであろう。

既述の観察結果、上述の不等式および第8図から、足尾鉾山全体としての方解石の晶相が、早期から晩期にかけてたどる変化の順序は次のようにあらわすことができる。

まず c を主とした板状結晶が最も早期にあらわれ、次いで e を主とする釘頭状結晶と変り、さらに m を主とする柱状結晶、 $-S$ を主とする樽状結晶があらわれる。さらに m , $+S$ を主とする槍状結晶となり、最後に $+S$ を主とする犬牙状結晶となる。これらの各時期は相互の間に晶出停止時期があつたと考えられる。すなわち方解石の晶出は晶出の全期間にわたつて連続的であつたのではなく、ある期間の晶出が行われるとその後にしばらくの晶出停止期があり、ふたたび晶出が始まり、それが数度くりかへされたものと考えられる。そしてその各時期ごとに特徴的な晶相があらわれ、その特徴的な晶相は上のような順序で、早期から晩期にかけて変化してゆく。すなわち結晶全体としてみるとまず側軸面にひろがつた板状結晶があらわれ、逐次主軸方向に伸びて釘頭状・樽状と変化し、遂には犬牙状結晶にまで至る。これを面として分解して考えると、次のような順序である。 $c > e > m > +R > -S > +S > -R > a$

さらにそれぞれの晶出時期内での変化をみると、III.3.1.2, III.4 の観察等から明らかにされるように、各時期とも早期から晩期にかけて2次的優位面の変化が認められるのである。その変化も晶相の場合と全く同じように、早期から順次に c , e , m , $+R$, $-S$, $+S$, $-R$, a の順序をもつた変化が、各時期ごとに認められるのである。

これらの関係を各結晶面に分解して、その消長図として表現したものが第9図である。

さらにまた、それぞれの時期での結晶の透明度・完全さ等の変化をみると、早期においては着色した半透明結晶が多く、次に無色透明の美晶を形成する時期があり、ふたたび半透明ないし不透明となり、lineage structure の発達が著しい不完全結晶となる大略の変化が認められるのである。

IV. 結論・考察および應用

IV.1 結果の総括

既述の観察結果をここで要約し、福原および足尾鉾山の両者に共通する現象および相違する事実を摘出してみよう。

IV.1.1 福原の方解石

IV.1.1.1 A , B 2 晶相が共存し $A > B$ なる関係にあるときは、他のいずれの標本においても $B > A$ なる関係にあることはない。

IV.1.1.2 方解石の晶出は大体3つの *stage* に大きくわけられ、それぞれ相互の間には晶出停止期が存在したと考えられる。

Crystallization stage Face	Earlier					Later		
	c stage	e stage	-S stage	c, m, -R stage	+S, m stage	m, -R, +S stage	+S stage	
base $c(0001)$								
$e(01\bar{1}2)$								
plus prism $m(10\bar{1}0)$								
plus rhombohedron $+R(h0h\bar{1})$								
minus scalenohedron $-s(h\bar{1}l)$								
plus scalenohedron $+s(h\bar{1}l)$								
minus rhombohedron $-R(ok\bar{k}l)$								
minus prism $a(1120)$								
Color, transparency imperfection	White, Opaque, perfect	White, translucent perfect	Colorless transparent perfect	White, transparent perfect	Colorless transparent perfect	White translucent, imperfect	White translucent imperfect lineage structure	

Fig. 9 Variation diagram of faces of calcite from the Ashio mine.
*Dotted line shows suspension stage of crystallization

IV.1.1.3 各晶出時期ごとに特徴的な主要面が発達する。すなわち第1期では早期から晩期へ向つて c , e , $-R$ があり, 第2期は $+S$ と $+R$, 第3期は $+S$ と $-R$ および a である。すなわち晶相としてみると板状から釘頭状, 負の菱面体と変化し, 次に $+R$ の発達した犬牙状の晶出する時期があり, さらに $-R$ の発達する犬牙状の時期を経て, 最後に a を主とする柱状結晶が現われる。ここで $-R$ を主とする菱面体晶相については, 資料不足のため正確には決定し得ない。

IV.1.1.4 各晶出時期ごとに結晶の色・透明度・完全さなどが相違する。第1期の結晶はいずれも白色半透明, 第2期の結晶は無色透明の美晶, 第3期の結晶は帯茶半透明で lineage structure の発達が著しく, 晶出の途中で生長が停止した痕跡を明らかに示している。すなわち中間期において結晶度が最も高くなり, 晶出の最初および最後ではそれがはるかに低くなる。

IV.1.1.5 上述の3つのそれぞれの晶出時期内においても, 2次的優位面の出現および発達程度は, 早期から晩期にかけて一定の系列をもつた変化を示している。すなわち第1期では主要面の c , e を除いて $m \rightarrow +R \cdot -S \rightarrow +S \rightarrow -R$ の変化を示し, 第2期では $c \rightarrow +R \rightarrow -R \rightarrow a$ の変化を, 第3期では $c \rightarrow +R \rightarrow a$ の変化を示している。したがつて面の変化は各時期ごとにそのなかの早期から晩期へ向つて, 全体として $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R \cdot -S \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$ の順序での変化を示しているといふことができる。ただし各時期ごとにその1部があらわれない場合もある。

IV.1.1.6 したがつて面の消長は, 方解石晶出の全般を通じて一定の系路をもつた変化を示し, 各晶出時期内でも早期から晩期にかけて同一系路をもつた変化を示しているものといふことができる。また, それぞれの時期に応じて結晶の性質も変化を示しているのである。

IV.1.2 足尾鉾山の方解石

IV.1.2.1 A , B 2晶相が共存する場合の関係は, 福原の場合と同様である。

IV.1.2.2 方解石の晶出時期は福原の場合と同じようにいくつかの stage に大別され, 各時期の間には晶出停止期が存在したと考えられる。

IV.1.2.3 異種晶相の共存状態・他の鉾物との共生関係・結晶面の特性等から判断して, 足尾鉾山の方解石が晶出順序にともなつて示す晶相変化は, 第8図および第9図に総括して示した如くである。

IV.1.2.4 これらの図から明らかなように, 各晶出時期ごとに特徴的な主要面が発達している。すなわち早期から晩期へ向つて順次 c を主とする時期, e を主とする時期, m を主とする時期, $-S$ を主とする時期, m , $+S$ を主とする時期, $+S$ を主とする時期と変化している。

IV.1.2.5 さらに各時期内で面の種類・発達程度をみると, 早期から晩期へかけての一定の傾向をもつた消長がみられ, 通観すればその消長の傾向は全ての時期で同傾向であり, さらに主要面の変化の傾向とも等しい。すなわち早期から $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R \rightarrow -S \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$ の順序を示している。

IV.1.2.6 これらの関係はさらに面自身の特性の分析からも明らかにされる。すなわち、各種結晶面は近親関係にあるいくつかの組み合わせにわけられ、それぞれの組み合わせのうちで、晶出時期によつて一方から他方へ移化する傾向が認められ、かつ各組み合わせ相互の間も晶出時期によつて順序づけることができる。

IV.1.2.7 結晶の色・透明度・完全さなどは晶出時期によつて変化し、最も早期の晶出種では結晶の外形は比較的完全であるが、面は粗で白色半透明である。後期になるに従い結晶の完全度は高まり無色透明の美晶となるが、遂に最後には着色し、半透明結晶となり、lineage structure の発達が著しくなる。

IV.1.3 共通する現象

これら両者の観察結果を通じてそれらの産状の相違にもかかわらず、著しく共通する現象としてわれわれは次の点を認めることができる。

IV.1.3.1 2種以上の異つた晶相が共存する場合、それらは相互に晶出時期を異にして晶出したものであり、異つた晶相が同一時期に晶出したと考えられる関係で共存している場合はない。逆に1標本内で同一時期の晶出と考えられる結晶はいずれも同種晶相を示し、異種晶相を示すことはない。

IV.1.3.2 A, B 2晶相が $A > B$ の関係で共存する標本があるとすると、他のいかなる標本にも $B > A$ なる場合を認めることはできない。

IV.1.3.3 いずれの場合も方解石の晶出は1回かぎりであり、終結したものではなく、数回の晶出の時期が存在し、各晶出 stage の間には晶出の停止期が存在したものと考えられる。

IV.1.3.4 各晶出時期ごとに特徴的な晶相が現れ、早期から晩期にかけて一定の傾向をもつた変化を示している。すなわちいずれの場合もまず最も早期に板状晶相を呈し、次いで釘頭状・柱状・樽状と変化し、さらに犬牙状を通り、最後に a を主とした柱状という変化を示す。総括して面としてあらわすと、 $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R \cdot -S \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$ の順序である。また形としてあらわせば、側軸面に拡がったものから漸次主軸方向にのび、柱に近いものへと変化している。

IV.1.3.5 各晶出時期内でも、早期から晩期にかけて面の出現・発達程度等が一定の系列をもつて変化し、その系列は総括してみれば各時期とも同じであり、しかも IV.1.3.4 でのべた主要面の変化の傾向とも等しい。

IV.1.3.6 結晶の色・透明度・完全さなども早期から晩期にかけて各時期ごとに変化し、最も早期晶出種では結晶は多く白色半透明ないし不透明で、面は粗であるが外形は明瞭である。中間期においては結晶は無色透明の美晶となり結晶も完全であるが、最も後期晶出種に至ると結晶はふたたび白色半透明となり、lineage structure 等の発達が著しく、甚だしい場合には晶出の途中で生長が停止した痕跡を示している。

IV.1.4 相違する点

両者の間で相違する点として次があげられる。

IV.1.4.1 晶出時期の回数は両者において異つている。

IV.1.4.2 晶出時期に従つての晶相変化の順序は両者同じであるが、その現れわれ方・晶相の形式・欠所の位置等は相違し、それぞれに特徴的である。例えば福原では板状・釘頭状・負の菱面体等が 1 stage 内にあらわれ、犬牙状が $+R$ の発達するものと、 $-R$ の発達する時期との 2 つの stage に分けられる。これに対し足尾鉾山では板状・釘頭状・柱状がそれぞれ stage を異にし、犬牙状結晶は 1 つの stage に統一され、 $+R$, $-R$ の発達の相違によつて 2 つの別の stage に分けることはできない。また福原では m を主とする柱状の晶相は現れわれず、晶出の最晩期において a を主とする柱状結晶が現れられるが、足尾鉾山では m を主とする柱状結晶は現れられるが a を主とする結晶はみられない。

IV.1.4.3 結晶の色・透明度・完全さなどが、晶出順序に従つて変化する傾向は両者ほぼ等しいが、全体としての結晶度をみると福原の方が低い。また最も結晶度の高い位置は、足尾鉾山では $-S$ の発達する樽状晶相の時期であるが、福原の場合は $-S$ の発達する時期よりもやや後期で、 $+R$ と $+S$ が大きく発達する犬牙状晶相の時期において、結晶度が最も高くなつている。すなわち最もよい結晶を示す時期（方解石の晶出にとつて最も好条件の時期）は両者において異つているのである。

IV.1.4.4 福原の方解石は $-R$, $+S$ の発達する $5b$ 型、および a を主とする 7 型の結晶、すなわち最晩期晶出種の結晶が最も多量に産する（第 7 表参照）。これに対して竹内英雄氏所

Table 13 Frequency of appearance of each habit
(Ashio mine, statistics made on H. Takeuchi's collection)

Type	Habit	Predominant faces	Number of Specimens	Percentage of appearance
1	Tabular	c	13	12.5%
2	Nail-head	e	22	21.0
3	plus prismatic	m	18	17.0
4	barrel type	$-S$	4	4.0
5	spear	$m, -R$	12	11.5
6	pencil	$m, +S$	8	7.5
7	dog-teeth	$+S$	22	21.0
7'		$+S, -R$	5	4.5
8	Rhombohedral	$R(\pm)$	2	2.0
Total			106	

藏の標本について統計した結果によると（第 13 表）、足尾鉾山のものは、むしろ釘頭状・ m を主とする柱状・ $+S$ を主とする犬牙状晶相等の中～早期の方が多量に産する。犬牙状結晶においても $-R$ の発達する晩期型は甚だ少ない。この統計は限定された資料についてのものであるから、正確な定量的関係を示すものではないが、大体の傾向は示しているものと考えてよいであろう。従つて定量的に比較することはできないが、最も多量に晶出している晶相、すなわ

ち最も盛な晶出の行われた晶出時期上の位置は、両者において異つているものといえる。

IV.1.4.5 また最も頻度の高い +S の位置は両者で異つている。すなわち福原では Ω_1 を主とし v, y 等はほとんど現られないが、足尾鉾山の場合は v, y 等の方が多く現られ、 Ω_2 を主とする場合はむしろ稀である。

IV.1.5 晶相変化の総括

福原および足尾鉾山の上記の観察を通じて、方解石の晶相変化についてわれわれは次のように結論することができる。

IV.1.5.1 A 晶相が B 晶相に対して前期晶出であつたり、後期晶出であつたりすることはなく、必ず一定の関係にある。すなわち一定の晶相は晶出時期上の一定の位置を占め、その晶相が晶出時期上の異つたいいくつかの位置を占めることはない。

IV.1.5.2 方解石の晶出は、晶出開始時から終結時まで連続的に行われるものではなく、ある期間の晶出が行われるとその後に晶出停止期があり、それをへだてて晶出が再開され、これが何度かくりかえされて晶出が完全に終結する。この晶出の回数は産地・産状によつて異なる。

IV.1.5.3 各晶出時期でそれぞれに特徴的な主体面が現られ、それは方解石晶出の全期間を通じて眺めてみると、早期から晩期にかけて大体 $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R \rightarrow -S \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$ の順序で変化を示す。晶相としてみると、側軸面にひろがつた板状結晶が最も早期で、後期に至るにしたがい漸次主軸方向に伸びて釘頭状・鋸頭状・柱状となり、次いで主軸方向の発達で側軸面の広がりよりも強い犬牙状を呈し、最後に +S の極限の形である a を主とする柱状結晶になる。この変化の傾向は、産地・産状にかかわらずほぼ一定のようである。

IV.1.5.4 しかしこの変化は1産地内に全てが現られるのではなく、全く現られない部分もある。それらの欠所の位置、現られない晶相の種類はそれぞれの産地によつて異つている。

IV.1.5.5 また最も多く現られる晶相の種類、従つて方解石の晶出の最も盛に行われた晶出時期上の位置は、産地によつて異つている。

IV.1.5.6 各晶出の stage 内における面の消長・変遷も、その stage で早期から晩期にかけて一定の系路をもつた変化を示しており、その系路は IV.1.5.3 の系路と同一である。しかしこの場合も系路の全てが現られるのではなく、現られない部分もあり、その欠所の位置等はそれの属する stage の相違により、また産地・産状によつて異つている。

IV.1.6 結晶状態の変化

結晶の透明度・完全さなどについては、次の如く結論することができる。

IV.1.6.1 結晶の透明度・完全さなどは晶出の時期によつて変化し、早期晶出種は結晶の外形は比較的完全で、lineage structure 等の発達は著しくはないが、白色透明ないし不透明の場合が多く面は粗で反射不良である。中期に至ると透明度・完全さともに高まり、無色透明で lineage structure の発達なく外形も完全な美晶となり、面も良好である。後期晶出種においてはふたたび着色し透明度は低くなり、半透明ないし不透明となる。lineage structure の発

達が著しく、甚だしい場合には晶出の途中で生長の停止した痕跡を示しており、全体として最も發育不完全である。早期・中期・晩期における結晶度の上のような変化は、産地にかかわらず変化はない。

IV.1.6.2 しかし全体としての結晶度、および最も結晶度の高くなる晶出時期上の位置は、産地によつて相違する。

IV.2 結果の検討

IV.1 で與えられた結論が、果して他の産地の場合にも一般に適用できるものか否かを、従来の研究結果およびその他の観点から以下に検討してみたいと思う。

まず晶出順序に應ずる晶相変化についてみよう。序論でふれたように、G. Kalb は筆者とは少しく異つた方法でこの関係を観察し、高温から低温に向つて第1図のような変化を認めている。G. Kalb の結論の高温・低温の関係は、早期・晩期関係におきかえてみてもよい。そうすると c , $+R$, $-R$ の位置はほぼ筆者の結論と一致するが、 e , m , $+S$ は逆関係にある。しかし、第1図で Hydrothermal stage と hydrish Temperatur der Erdoberfläche の間に境界線を引いてある意味を別個の晶出時期とし、その間に不連続を考えるとすれば、それぞれの時期内での早期から晩期にかけての晶相の変化は、筆者の結論とよく一致する。また、高温から低温に、あるいは早期から晩期にかけて晶相が変化をするという事実自身は、両者の観察ともによく一致している。晶相が晶出の *stage* によつて相違するという事実は、G. Kalb の他になお多くの人の認めるところであり、例えば A. F. Seager および W. F. Davidson⁹⁾ は Calcite にもまた Barite についてもその関係を認め、W. S. Twenhofel¹⁰⁾ も早期から晩期にかけてあるいは高温から低温にかけての晶相の変化を、Luna County の Fluorite について認めている。したがつて *stage* によつて晶相が変化するという点については、異論がさしはさまれないであろう。晶相変化の順序は上述のように G. Kalb の結論と筆者の結論とはほぼ一致する。また石井淳一(遺稿)¹¹⁾ は福岡縣早良郡金武村の方解石についての形態的観察を行い、晶相と晶出時期との間に関係をみだしている。この場合の結論もほぼ筆者の結論と同じである。また日本鉱物誌第3版のデーターを統計した第1・2表をみると、 c , e , m , $+R$ が contact deposit で最も頻度高く、 $-S$, D が hydrothermal deposit で高く、single vein では a , $-R$, $+S$ が最も頻度が高い。もし常識的に考えられる生成温度が大体この順序で低くなるとし、それと早期・晩期における一般の場合の温度変化とを結びつけて考えるとすると、大体の傾向として筆者の結論とこの統計結果とが、一致しているといふことができる。すなわち筆者の順序では c , e , m , $+R$, $-S$ 等は早期にあらわれ、 $+S$, a , $-R$ 等は晩期において大きく発達するものと考えられるから、その程度の意味で両者はほぼ一致しているといふことができるのである。

さらにまた足尾鉾山の III.4 で観察したように、結晶面自身の特性、結晶面相互の関係からみても筆者の結論が肯定されるし足尾鉾山の方解石について観察された結晶面の特性は、他の

産地の方解石の結晶面についても同様に認められるのである。

したがってこれらの検討結果からみても、足尾鉾山および福原について得られた結論は、基本的には他の産地・産状の場合にもおしひろげて考えてよいといえるであろう。もちろん、その現らわれ方・欠所の位置・種類等は産地・産状によつてそれぞれ異つた特徴を現らわすであろうし、またここで得られた順序は他の多くの標本の観察によつて確かめられ、訂正されてゆかなければならない。

晶出時期による結晶の色・透明度・完全さなどの変化についての結論は、晶出条件の変化を考えれば容易に考えられることである。一般に結晶生長にとつて妨害擾乱が少なく、自由にかつ充分にまた静かに生長が行われれば結晶の透明度・完全度等は最も高くなり、擾乱等が甚だしければそれは低くなる。同時にこの条件のほかにも温度条件も考えなければならぬ。F. G. Smith¹²⁾ が pyrite について、O. F. Tuttle, W. S. Twenhofel¹³⁾ が Lithium Sulphate Monohydrate ($\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) を種々の温度条件で生長させて、lineage structure の発達程度について観察したように、一般に同一結晶において低温生成の結晶ほど lineage structure の発達が著しく、結晶が不完全で高温生成のものほど、lineage structure の発達も不完全さの程度も低いといわれている。lineage structure の発達、結晶の不完全さの程度からみると足尾鉾山・福原のいずれの場合でも、晩期晶出種ほどそれが高い。しかし一方最も早期の晶出種では lineage structure の発達は余り著しくはないが、結晶度が特に高いとはいえない。むしろそれらの程度の最も高いのは、中間期の *stage* のものである。したがって結晶の不完全さ・lineage structure の発達程度などは、F. G. Smith, W. S. Twenhofel & O. F. Tuttle の結論のように、高温晶出種ほどそれが低くなるという一方的なものではなく、方解石の晶出または生長にとつて最も好条件なある温度の範囲があり、その条件のもとでは高いが、それよりも高温度のもとでは透明度低く結晶も不完全に近くなり、また低温度では結晶度・透明度とも低く、lineage structure の発達が著しくなるものというべきであろう。しかし、最も好条件の範囲が最も多量の結晶を晶出させるとは限らない。またこの範囲は産地・産状によつて多少の相違があるようである。

IV.3 晶相変化の主原因についての考察

この研究を通じて主として観察したことは、方解石の晶出時期と晶相変化との関係についてであり、晶相変化とその他の原因との関係、例えば共生鉱物による変化、産状による相違などについては十分に観察していない。しかし、少なくとも、晶出時期によつて方解石が明らかな晶相の変化を示すということ、しかもその変化が早期から晩期にかけて一定の傾向をもつているということは、これらの観察の結果否定できない事実として認められたことである。また共生鉱物の相違による変化、産状による相違などについては特に著しい関係を認めることができなかったし、またたとえその間に関係を認め得た場合でも、それらは多くの場合晶出時期との

関係に換算しうる種類のものではあつた。したがつて、方解石の晶相変化の原因によつて晶出時期の差ということが、最も大きな主原因の1つであるということは、否定できないものである。しかもそれが産状の相違にもかかわらず、早期から晩期にかけてほぼ一定した順序をもつた変化を示しているのである。

ところで、従来結晶の外形の変化の生ずる主原因として考えられ、一般に承認されていた考えは、いわゆる *Adsorption Theory*¹⁹⁾ である。すなわち溶液中に存在する異種イオン・アトム・分子あるいは微細結晶が（問題の結晶面と格子間隔その他の点で構造的・化学的に近親関係にあるもの）、特定面に対して選択的に吸着され、それがその面に垂直な方向の発達を阻害ないし促進させる結果、その面が大きく発達したり、逆に消失したりして晶相の変化を生ずるといふ考え方である。もしこの理論で筆者の観察結果を説明しようとする、甚だしい無理が生ずる。例えば異種物質の存在というようないわば偶然的な原因の結果が、産地・産状の相違によらずほぼ一定の系路をもつた変化を生ずるとは到底考えられず、むしろ産地・産状・晶出時期にこだわらず不規則な変化がみられる筈である。また共生鉱物等との間にもつと密接な関連が見出されるはずである。

したがつて筆者の観察結果は *Adsorption Theory* のようないわば偶然的なものによつては解釈することができず、晶出期間の全てにわたつて作用している原因、例えば温度の連続的な降下とか、pH の連続的な変化とかいつた原因を考えなければ解釈が困難である。もちろん、*foreign material* の *selective adsorption* の結果生じた晶相の変化が全くあり得ないというのではなく、そうした原因以外にも晶相変化の原因を考えなければならないということ、さらに天然における鉱物については、むしろ晶相変化の基本的な原因は *selective adsorption* 以外に求める方が適当であり、*selective adsorption* に帰因する場合はむしろ稀な場合であると考えられるということである。このことは單に方解石についてのみでなく、また筆者が従来研究している黄鉄鉱の場合についても同じである。

さらにまたこうした環境の変化だけに全ての原因を求めるべきではなく、結晶自身あるいは結晶面自身のもつている構造的特性を無視することはできない。足尾鉱山の場合の III.4 で観察したように、結晶面自身がそれぞれに著しい特性をもつており、その特性と晶出時との間には密接な関係が認められる。例えば *c* 面は常に潜在的に *e* に分化しようとする傾向を内包しており、最初 *c* 面として現らわれたものも、後期に至ると *e* 面に分化してしまう。こうした種類の各面の特性の組み合わせが、晶相変化として現らわれているのである。また結晶全体としてみると、別報で詳しく記したように¹⁰⁾、結晶面の *lineage structure*, *striation* 等の分析から、方解石結晶の生長は3方向の主生長軸にそつて行われ、これらの異つた発達程度の組み合わせによつて異つた外形をとると考えられる。すなわち側軸方向に拡がるようとする力、主軸方向にのびようとする力、單位面に垂直な方向の生長の3主要方向は、互に矛盾・排斥しあう力として方解石の結晶構造自身のうちに内包されており、それが環境によつて異つた程度の発

達を示す結果、種々の異つた晶相が形成されると考えられるのである。したがって晶相変化を考えるうえで、こうした結晶面、ないし結晶体自身のうちに内包される特性を無視することはできない。したがって晶相変化は環境の変化と、それに対応する結晶自身のうちに内包されている特性との、相乗の結果であるというべきであろう。

ところで、この環境とは何を意味するであろうか。上述の観察は全て晶出時期を規準として行われた。この晶出時期が主としていかなる物理的・化学的條件と対応させうるであろうか。この問題は簡単には決定しがたい。しかし、温度の連続的な降下・pH の連続的変化・圧力の連続的な降下などが一應考えられる。このうち圧力の降下は一鉱床内でそれほど大きなものとは考えられないから、一應除外できる。pH および温度の変化を比較してみると第1・2表のように、ほぼ生成温度の差でわけて統計した結果、高温型から低温型への変化の傾向が、早期から晩期への変化の傾向とほぼ一致しているところから、温度の連続的変化を考えた方が考え易い。しかし pH については積極的な否定および肯定の関係はみられない。そこで今の場合はかりに早期から晩期への晶相の連続的変化を、高温から低温への連続的変化とおきかえて考えてみる。とすると、この考の論理的な帰結として、温度が連続的に降下した場合には晶相の連続的変化が認められるが、もし鉱床生成が複雑で温度が不規則的に変化するとすれば、晶相変化の系路も複雑となり、不等式内での位置の逆轉・欠如等の生ずる可能性がある。例えば釘頭状結晶上に板状結晶が被覆生長している場合も、あるいはあるかも知れない。したがって基本的な系路を、晶出機構の単純であると考えられる他の多くの場合について観察し、明確に決定しておかなければならないわけである。しかし、既に検討したように、足尾鉱山および福原の観察で得られた結果は、基本的には大きな誤りはないものと考えてよい。

IV.4 應 用

もし上述の考察が妥当なものであるとすれば、方解石の晶相は生成温度と対応しているので、それを生成温度の指示者とすることができるであろう。例えば釘頭状結晶はどれだけの温度範囲でできたものかということが出来るはずである。しかし上述の結果からは、例えば板状・釘頭状等の晶相が主となっている場合は、相当に高温生成であり、犬牙状晶相が主となっている場合は、むしろ低温型であるという定性的な予測が可能であるだけで、定量的関係を明らかにするまでには至らない。定量的関係を明らかにするためには、異つた種々の産状の場合についてのより多くの観察と対比を行い、さらに decrepitation geothermometer method その他種々の工夫された温度の側定を行わなければならない。今後の研究課題として残されているものである。

方解石の晶相を Geothermometer に應用する以外に、これらの結果を他の面から鉱床探査上に應用することができる。その2,3例について簡単に記してみよう。

方解石の結晶がしばしば c 軸の両端で異極像的である場合がある。例えば足尾鉱山に産し

たものでは、一端は c 面よりなり、他端は e 面が大きく発達している。しかもこれが集合晶をつくっている場合、 c 面のみが発達する一端が皆同一方向に向つて結合している。すなわち集合晶の一侧では c 面のみがみられ、他側では e 面のみが大きく発達している。この事実と早期から晩期にかけて c が e へ分化するという事実とをあわせ考えれば、この場合の鉍液の流動方向を推定することができる。また大きな晶洞内に異種晶相が共存する場合、各晶相の晶出の密度とそれらの前後関係から、同様に鉍液流動の方向を知ることができる。

さらに視野を広めて1鉍床内の各晶相の分布状態をしらべ、それと各晶相の晶出順序とをあわせて考えると、*mineralizing source* からの相対的距離を推測することも、場合によつては可能であろう。例えば紀州鉍山の場合などでは、南部の諸脈に晶出している方解石は c, e を主とする釘頭状ないし板状結晶であるが、北ないし北東部の諸脈では、 e を主とする釘頭状が多くなり、さらに $+S$ を主とする犬牙状結晶もみられるようになる。これらの分布関係から *mineralizing source* からの距離が北ないし北東部の諸脈では、他よりもへだたっていると解釈することは無理であろうか。少なくとも晶相変化をそのための1資料として、考慮に入れることはできると考えられる。こうした点で方解石の晶相変化の現象を鉍床の生成機構を考える上での1つの資料とすることが、種々な場合で可能となると考えられるのである。

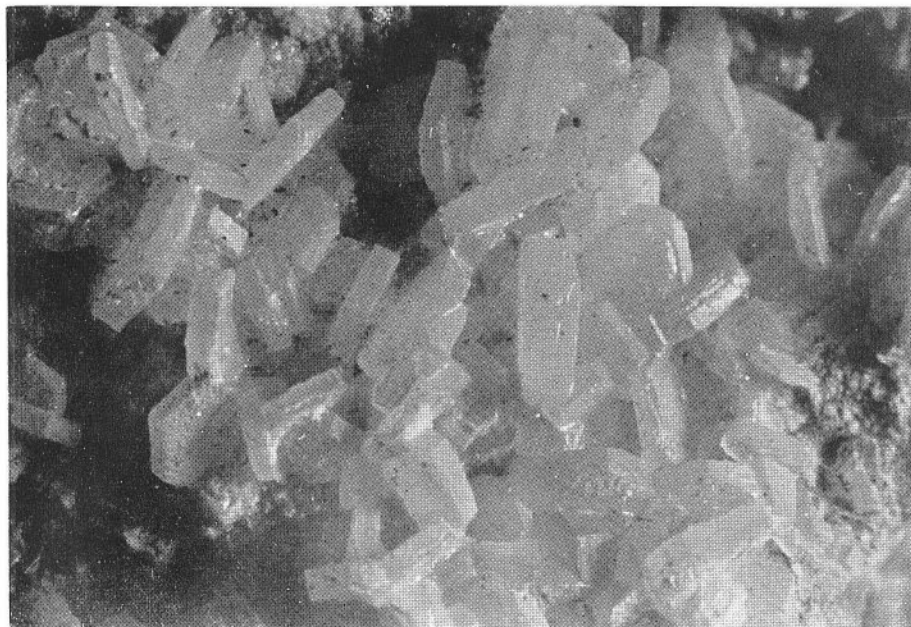
文 献

- 1) 伊藤貞一・櫻井欽一：日本鉱物誌 上谷第3版, p. 230 (1947)
- 2) Dana: A System of Mineralogy, 6 Ed. p. 262 (1915)
- 3) 今井秀喜：日本鉱山地質学会例会における講演 (1952)
- 4) G. Kalb: Centralblatt f. Min. Geo. und Palä., Abt A, nr. 9, p. 337 (1928), その他
- 5) 杉山隆二・須藤俊男・小川雨田雄：日本鉱物資料 続1巻, p. 80 (1935)
- 6) 松井和典：茨城県福原の含エヂリン閉長岩質岩石について(要旨)地質学雑誌, vol. 57, no. 670, p. 311 (1951)
- 7) 浜田隆士：柘山接触鉱物採集の手引 無名会会誌, vol. 1, p. 28, 1949による
- 8) 足尾鉱山竹内英雄技師の蒐集標本による
- 9) A. F. Seagr & W. F. Davidson: Changes in habit during the growth of baryte crystals from the north England, Min. Mag. vol. XXIX, no. 217, p. 885 (1952)
- 10) W. S. Twenhofel: The temperature of crystallization of a fluorite crystal from Luna County, New Mexico, Eco. Geol. vol. 42, p. 78 (1947)
- 11) 石井淳一(遺稿)：福岡縣金武村産方解石の結晶 地殻の科学, vol. 1, no. 2, p. 72 (1942)
- 12) F. G. Smith: Lineage structure and condition of deposition of pyrite, Econ. Geol. vol. 37, p. 519 (1942)
- 13) D. F. Tuttle and W. S. Twenhofel: Effect of temperature on lineage structure in some synthetic crystals, Amer. Min., vol. 31, p. 569 (1946)
- 14) C. H. Desch: The chemistry of Solids, p. 43 (1943); H. E. Buckley: Crystal Growth, (1952) その他 H. E. Buckley etc の数多くの研究報告
- 15) 砂川一郎：足尾鉱山の方解石に見られる不規則性 地質調査所月報 vol. 4-1, p. 1 (1953)

PLATES
AND
EXPLANATIONS



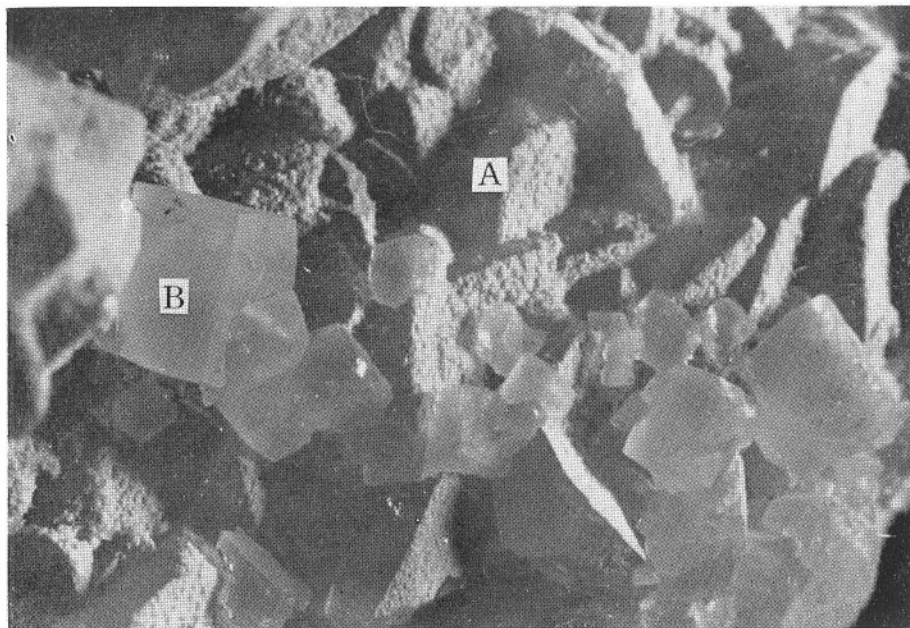
Aggregation of small imperfect crystals growing on the edge of type 5 b crystals. The growth of these crystals seems to be intermittently stopped during the course of crystallization. This tendency is confined to the latest stage of crystallization. (Fukuhara)



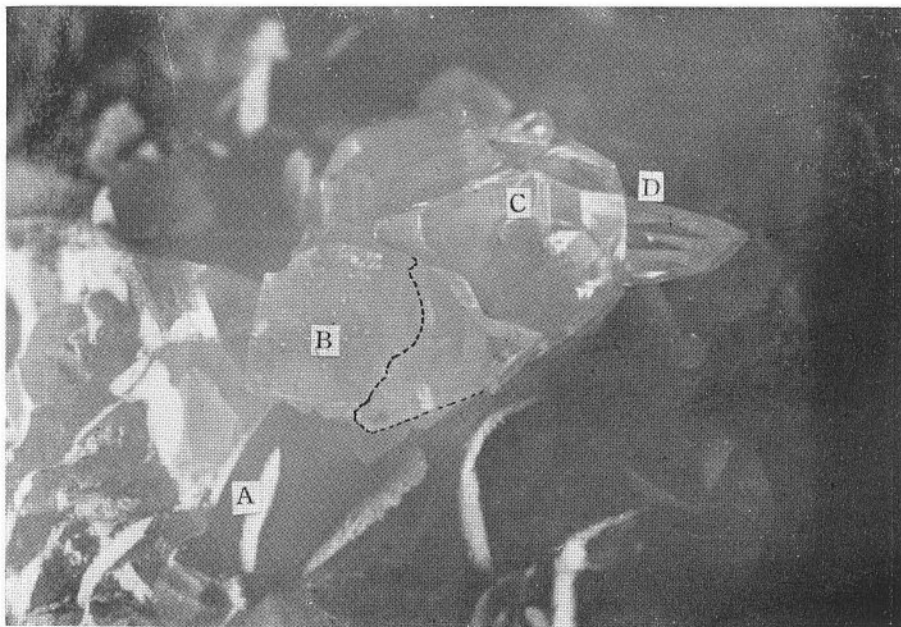
Aggregation of crystals of type 1 a. (Specimen Type 1)



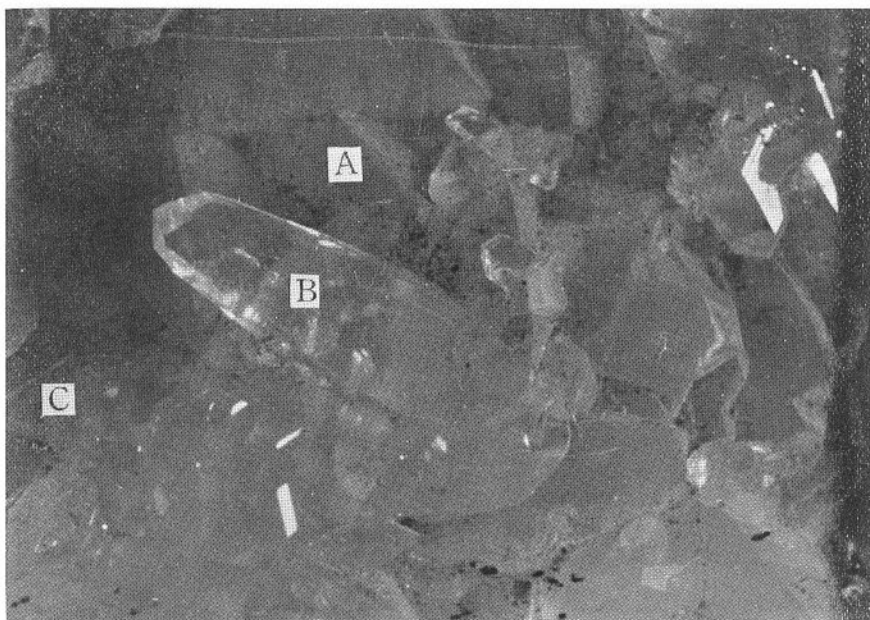
Paragenic relation of habit 2a, 2d, 4b and 4c. (Fukuhara)
 $2a > 2b > 4b \cdot 4c$ A·····2a, B·····2b, C·····4b, D·····4c



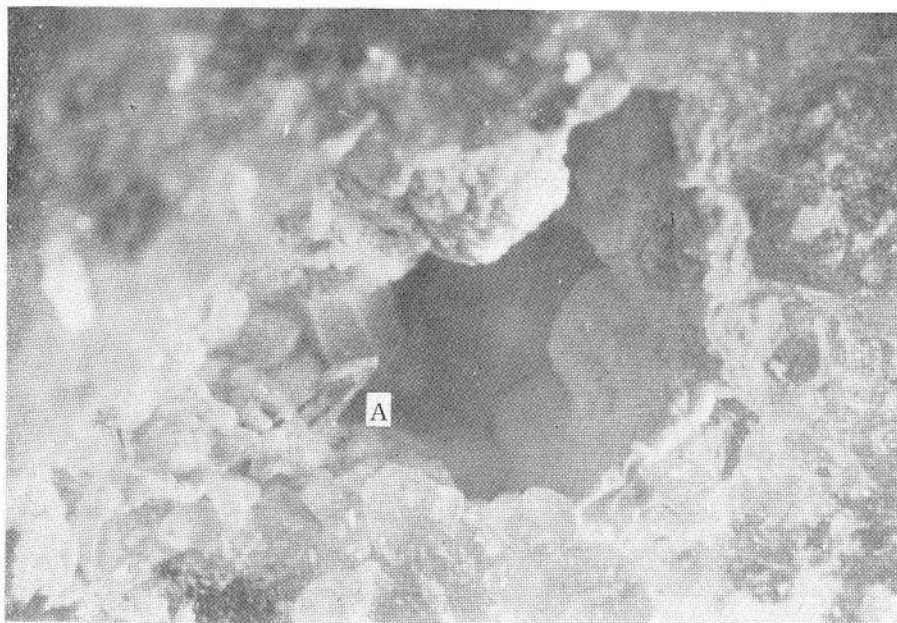
Paragenetic relation between habit 2a and 7. (Fukuhara)
2a > 7 A···habit 2a, B···habit 7



A photograph showing paragenic relation between habit 2 a, 7, 3 a and 4 b. (Fukuhara) Habit 2 a is overgrown by others. Habit 7 is overgrown by 3 a and 4 b. 3 a is somewhat of earlier crystallization than 4 b.
A····habit 2 a, B····habit 7, C····habit 3 a, D····habit 4 b



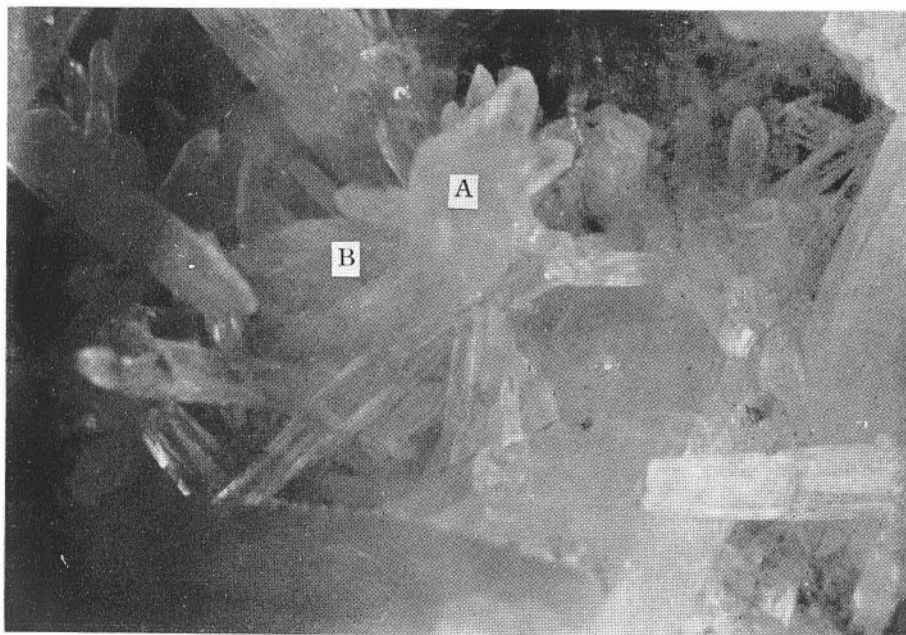
Paragenetic relation between habit 2a, 4a and 4c. (Fukuhara)
 $2a > 4a \cdot 4c$ A····habit 2a, B····habit 4a, C····habit 4c



A photograph showing occurrence of habit 4 d of calcite from Fukuhara.
A····habit 4 d



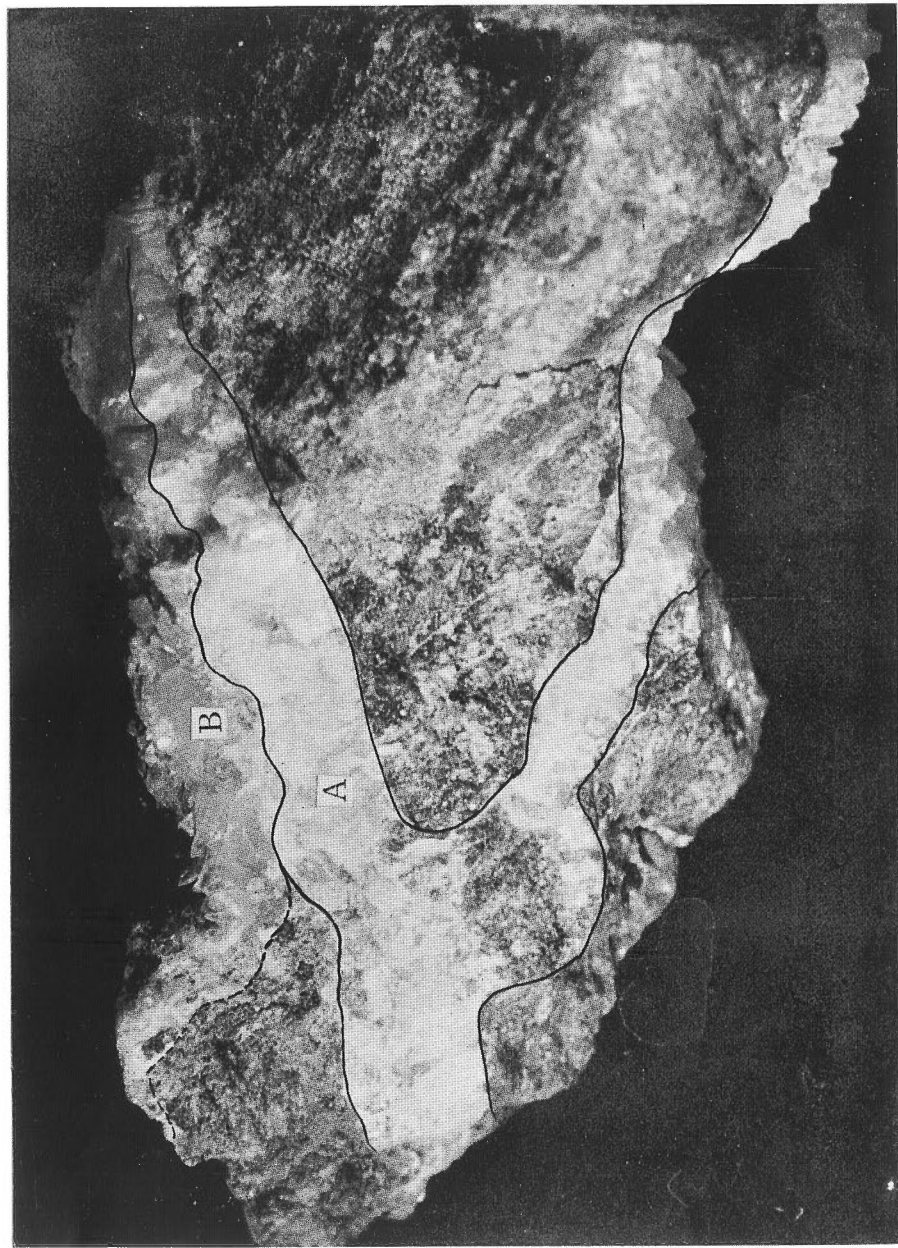
Specimen type 6. (Fukuhara)



Paragenetic relation between habit 5 b and 7. Crystals of habit 7 (B)
grow on perpendicular to the face of crystals of habit 5 b (A)
Habit 7 is later crystallization than 5 b.



A photograph of specimen type 7 (Fukuhara). Showing the habit 6 crystals of the earlier crystallization (A) with small or middle developed +S face, and of the later crystallization (B) without +S face.



A photograph showing paragenetic relation between specimen type 5 (A) and 6 (B). (Fukuhara)
Crystal group of type 5 is of earlier crystallization than that of type 6

Résumé

Variation of Crystal Habit of Calcite
with special reference to the relation between crystal
habit and crystallization stage

by

Ichiro Sunagawa

Calcite, as familiar to mineralogist, shows very variable crystal habits such as tabular, platy, prismatic, pencil style, barrel style, dog-teeth style, rhombohedral and etc. Its occurrence is also variable, as found in contact metamorphosed deposits, hydrothermal deposits, single vein in various rocks, and as deposition from hot or cold springs and so on. Some mineralogists and economic geologists, therefore, have been interested in the relation between variation in habit and change of physico-chemical environment in crystallization, and have made some investigations as studied, for instance, by G. Kalb (Fig. 1).

The present writer has carried on some statistical studies on crystal faces recorded in "Minerals of Japan" 3rd Ed., and found a close relation between frequency of appearance of faces and occurrence of calcite (Table 1 and 2), that faces of **c**, **e**, **m**, plus rhombohedron are predominate in crystals in contact deposits, minus scalenohedron and diagonal pyramid rich in hydrothermal deposits, and plus scalenohedron minus rhombohedron and **a** face in specimens from single vein in various rocks. From the facts it seems to suggest that there may be an intimate relation between development of faces and temperature of crystallization. On the other hand, he often observed that some specimens is constituted of A habit completely overgrown with different B habit. This coexisting relation suggest him an idea that crystal habit of calcite may be different in each crystallization stage. It may be said, from view of point above mentioned, that if he systematizes, collecting data, the relation between crystal habit and crystallization stage, he could make clear the mode of change in habit during crystallization process. If the knowledge on the mode of change in crystal habits ascertained, it may applicable as some geothermometric indicators for ore prospecting. On this idea, he observed these relations on many specimens of calcite from Fukuhara (segregated calcite vein in contact metamorphosed crystalline limestone) and from the Ashio mine (hydrothermal Cu, Pb, Zn veins and metasomatic deposits) with the hope for the ore prospecting.

His observations on calcite from Fukuhara are summarized as bellow.

1) Crystal faces and their two-circle angles are listed in Table 3 and 4. Classification of crystal habit is shown in Table 6, and each habit shown in Figs. 3-1 to 3-16. Type of specimens (of coexisting habit, and of paragenic relation of different crystal groups) are given in Table 7. His observations on paragenic relations between each habit and each specimen are summarized in Table 8. By the results obtained from these observations, the writer arrived at his conclusion as follows.

2) When two different habit A and B coexist in the relation of $A > B$, the reverse relation can never be observed in any other specimens. Here an inequality shows that A is of earlier crystallization than B.

3) Crystallization process of calcite is divided into three stages with discontinuity of crystallization between them.

4) Each stage is characterized by each different predominant face; the earliest stage, by **c**, **e**, and minus rhombohedron (?); the middle stage, by plus scalenohedron and plus rhombohedron; the latest stage, by plus scalenohedron, minus rhombohedron and **a** face. Therefore, the sequence of variation in crystal habit from earlier to later stage is expressed as tabular \rightarrow nail-head \rightarrow minus rhombohedral (?) in the earliest stage; dog-teeth habit characterized by large development of plus rhombohedron in the second stage; and dog-teeth habit characterized by large development of minus rhombohedral face \rightarrow minus prismatic in the latest stage. Here the position of minus rhombohedral habit is in question.

5) Appearance and rate of development of the second predominant faces is also gradually changed from earlier to later in each stage. In the earliest stage, the sequence is $m \rightarrow +R$. $-S \rightarrow +S \rightarrow -R$; in the second stage, $c \rightarrow -S$. $+R \rightarrow -R \rightarrow a$; in the latest stage, $c \rightarrow +R \rightarrow -R \rightarrow a$. Whole sequence, therefore, is expressed as " $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R$. $-S \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$ " from the earlier to the later.

6) Therefore, the mode of variation in habits or faces from the earlier to the later may be said invariable through whole process of crystallization in each stage, as showing bellow as well as in Figs. 4 and 5.

[$1a > 2a > 1b > 2b > 2c > 6 (?)$] > [$3a > 3b > 4b > 4a > 4c > 4d$] > [$5a > 5b > 7$]

7) Color, transparency and imperfection of crystals are different in each stage. Crystals of the earliest stage are white, translucent and not so perfect; of the second stage very perfect, beautiful, colorless and transparent; and of the latest stage, colored, translucent and very imperfect with the remarkable development of lineage structure. Crystals of the latest stage often show that growth of crystals was intermittently stopped during the course of crystallization. (Plate 1)

Of the calcite specimens from the Ashio mine, the following may be said.

1) Crystal faces and their goniometric data are listed in Tables 9 and 10. Classification of crystal habits is in Table 11, and each habits are shown in Figs. 6-1 to 6-34. Paragenic relations of various habits is shown in Table 12. From those above data, the followings may be safely said.

2) Paragenic relation between each coexisting habit is same with that in the case in Fukuhara. (c. f. Fukuhara 2)

3) Crystallization process is divided into six stages. There is an intermittent time of suspension of crystallization between each stage.

4) The sequence of change in habits and faces from the earlier to the later are as follows:

[1a (?), 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 2a] > [3a, 2b, 2c, 2d] > [3b, 3e, 4a, 5e] > [6a, 6b] > [7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f]

In this case, the relations between each habit are so complicated that it is difficult to represent the sequence in simple style as in the case of Fukuhara. However, with the result observed in characteristic features of crystal faces and on paragenic relations between each habit and other coexisting minerals etc., the mode of variation of habit from the earlier to the later are expressed as Figs. 8 and 9.

5) From above inequalities and figures, it is clear that crystals in each stage has each characteristic predominant faces. From the earlier to the later, predominant faces change in the sequence of; 1) **c** predominant stage; 2) **e** predominant stage; 3) **m** predominant stage; 4) **-S** predominant stage; 5) **m**, **+S** predominant stage; and 6) **+S** predominant stage.

6) In each stage, as well as through whole course of crystallization, mode of variation in appearance and development of each faces from the earlier to the later are invariable; the sequence is $c \rightarrow e \rightarrow m \rightarrow +R$. $-S \rightarrow +S \rightarrow -R \rightarrow a$. This sequence is same as that of calcite from Fukuhara.

7) Color, transparency and imperfection of crystals are different in each stage. Crystals of the earliest stage are comparatively perfect in its external form but their faces are always rough and translucent. In the middle stage, crystals become colorless, transparent, very perfect and beautiful, while crystals of later stage are white or colored and translucent, and become imperfect by remarkable development of lineage structure.

Irrespective to their differences of occurrences, the followings are common to the calcite in two localities.

1) When two or more different habits coexist, their crystallization stage is different. On the contrary, crystal habit in same crystallization stage is always same in style or combination of faces.

2) When two or more different habits A and B coexist in the relation of $A > B$, the reverse relation can never be observed in any other specimen.

3) Crystallization course of the calcite is divided into some stages with intermittent suspension time in crystallization.

4) Crystals in each stage have their characteristic predominant faces. The sequence of change in predominant faces is common to the Fukuhara and the Ashio mine from earlier to later stage, as expressed "c → e → m → +R. -S → +S → -R → a."

5) In each stage, rate of appearance and development of faces are also changed from the earlier to the later in the same manner as in whole crystallization process.

6) Mode of change in color, transparency and imperfection of crystals in each crystallization stage are same in two localities. Earlier crystals are white, translucent and almost perfect in external form but rough in faces; intermediate crystals are colorless, transparent and very perfect; and crystals of later crystallization are remarkable in development of lineage structure, and sometimes they have loci of suspension of growth during the course of crystallization.

However, the followings are different in each locality:

1) Number of crystallization stages.

2) Mode of appearance of the sequence in habit variation, and the position of disappeared habit. For instance, in the case of Fukuhara, tabular, nail-head, minus rhombohedral habit appears in one stage, and dog-teeth habit in two stages which are characterized by large development of +R and -R. In the case of the Ashio mine, tabular, nail-head, plus prismatic habits developed in their own crystallization stage, while dog-teeth habits individual to two stages. Moreover, plus prismatic habit is not observed in Fukuhara, but is predominated in the Ashio mine; while minus prismatic habit appears in the latest stage of Fukuhara, but does not appear in the Ashio mine.

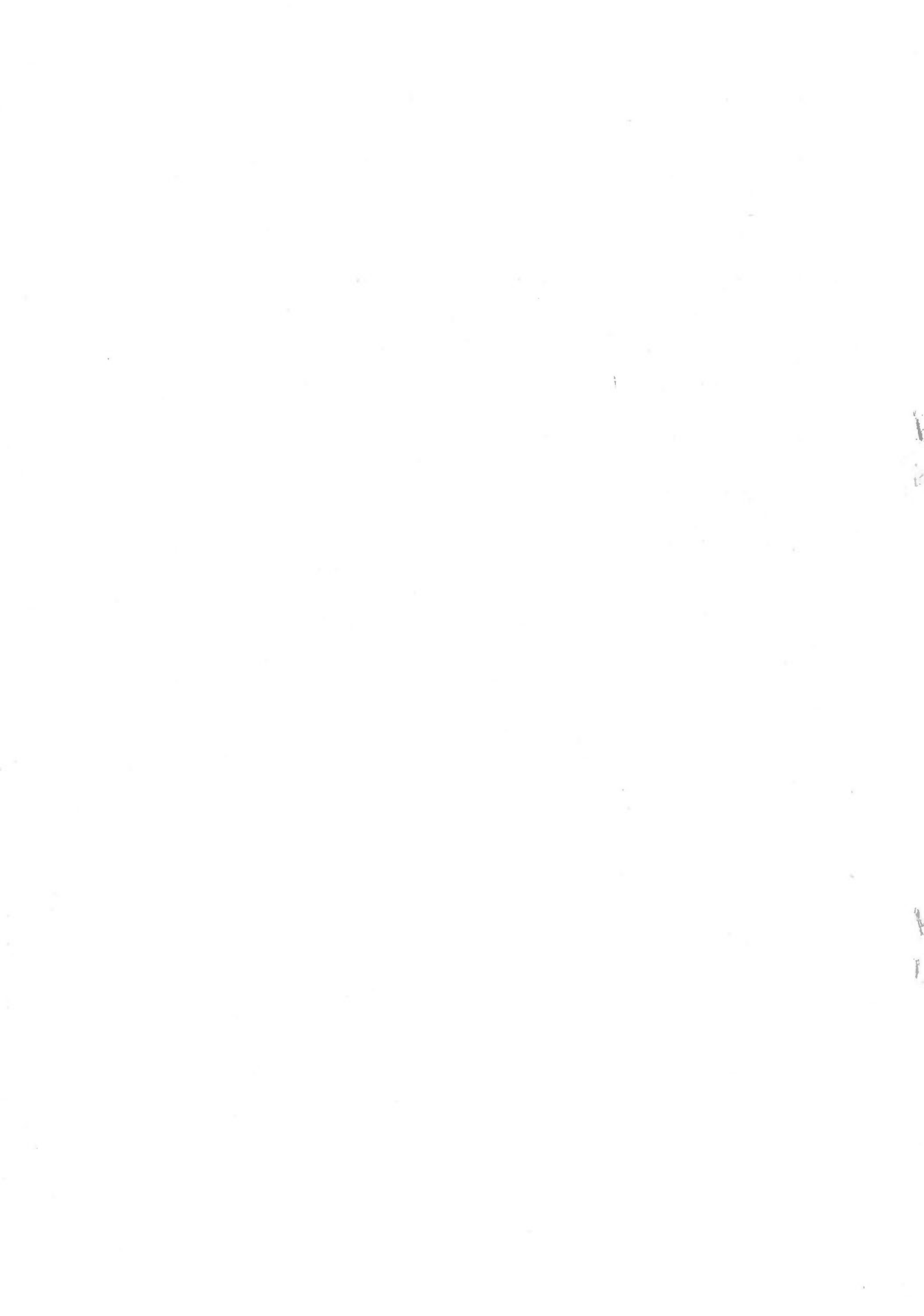
3) The prolific habit is different in each locality. In Fukuhara, habit of type 5 b and 7 is most abundant. But in the Ashio mine, type 2, 3 and 7 are most prolific, while dog-teeth habit with large developed -R (same as type 5 b of Fukuhara) and minus prismatic habit (type 7 of Fukuhara) are rare or absent.

4) In general speaking, crystallinity of calcite from Fukuhara is lower than that from the Ashio mine. And the position of highest crystallinity is also somewhat different in each locality.

As a result of reexamination of some previous data about the change in habit of calcite crystals from other localities and considerations from structural point of view on each faces, it was revealed that the above conclusions, especially about the sequence of change in habit and the mode of change in crystallinity, may be applied universally, with some characteristic nuance in each case.

In the writer's view, that the crystal habit of calcite changes according to the stage of crystallization with definite sequence principally connected with continuous drops in temperature during crystallization process. Therefore, the above sequence will be applicable to the ore prospecting as a new method of geothermometer, though it shows only qualitative means. The quantitative relation between crystal habit of calcite and temperature of crystallization will become more clearer in near future by the aid of decrepitation method etc.

The facts above mentioned may be unable to be explained by the so called "adsorption theory." Adsorption theory is held by an idea that some selective adsorption of foreign materials by crystal faces takes place. If this is the cause, the manner of changes in crystal habit may be quite random. But this is not the case. The variation of crystal habit of minerals in nature may be, therefore, thought to be principally referred to physico-chemical changes such as continuous drop in temperature or successive change in pH of solution. Some inherent factors such as structural differences of each face which defined crystal habit can not be also neglected. Differences in structural characteristics of each face and the continuous change of physico-chemical condition, therefore, are most fundamental which causes the differences in crystal habit. Selective adsorption of foreign materials on faces may be considered preferably, as an accidental factor in change of habits.



The Geological Survey of Japan has published in the past several kinds of reports such as the Memoirs, the Bulletin, and the Reports of the Geological Survey.

Hereafter all reports will be published exclusively in the Reports of the Geological Survey of Japan. The currently Published Report will be consecutive with the numbers of the Report of the Imperial Geological Survey of Japan hitherto published. As a general rule, each issue of the Report will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated in each Report.

- A. Geology & allied sciences
 - a. Geology.
 - b. Petrology and Mineralogy.
 - c. Palaeontology.
 - d. Volcanology and Hotspring.
 - e. Geophysics.
 - f. Geochemistry.
- B. Applied geology
 - a. Ore deposits.
 - b. Coal.
 - c. Petroleum and Natural Gas.
 - d. Underground water.
 - e. Agricultural geology.
Engineering geology.
 - f. Physical prospecting.
Chemical prospecting & Boring.
- C. Miscellaneous
- D. Annual Report of Progress

Note: Besides the regularly printed Reports, the Geological Survey is newly going to circulate "Bulletin of the Geological Survey of Japan" which will be published monthly commencing in July 1950

本所刊行の報文類の種目には従来地質要報、地質調査所報告等があつたが今後はすべて刊行する報文は地質調査所報告に改めることとし、その番號は従来地質調査所報告を追つて附けることにする。そして報告は一報文につき報告1冊を原則とし、その分類の便宜のために次の如くアルファベットによる略號を附けることにする。

- | | | |
|---------------------|---|-------------------|
| A 地質およびその基礎科學に關するもの | } | a. 地質 |
| | | b. 岩石・鈹物 |
| | | c. 古生物 |
| | | d. 火山・温泉 |
| | | e. 地球物理 |
| | | f. 地球化學 |
| B 應用地質に關するもの | } | a. 鈹床 |
| | | b. 石炭 |
| | | c. 石油・天然ガス |
| | | d. 地下水 |
| | | e. 農林地質・土木地質 |
| | | f. 物理探鈹・化學探鈹および試錐 |
| C その他 | | |
| D 事業報告 | | |

なお刊行する報文以外に當分の間報文を謄寫して配布したものに地下資源調査所速報があつたが今後は地質調査所月報として第1号より刊行する。

昭和 28 年 3 月 20 日印刷

昭和 28 年 3 月 25 日発行

作權所有 工業技術院
地質調査所

印刷者 向喜久雄

印刷所 一ツ橋印刷株式会社

REPORT No. 155

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Tomofusa MITSUCHI, Director

VARIATION OF CRYSTAL HABIT
OF CALCITE

WITH SPECIAL REFERENCE TO THE RELATION
BETWEEN CRYSTAL HABIT AND
CRYSTALLIZATION STAGE

BY

Ichiro SUNAGAWA

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-cho, Kawasaki-shi, Japan

1953