る。これは造岩鉱物の結晶構造上の骨格が生成条件によつて異なり、それに入り込みうる原子が何元素であるか生成条件により異なるためと言われており、火山岩中のものは常に最も高温性である。これらの原因が果して問題の酸化作用とどのような関係があるか、今後の解明を期したい。

7. 石 基 輝 石

これまで地表噴出時前後におけるマグマの再熱に就いて述べた。石基輝石の晶出に就いてもこの観点から考察しなければならない。火山岩石基の化学成分と石基輝石の種類との間に関係がある事实は、既に久野¹⁾により指摘されている。すなわち $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ および MgO の三角図表に c および d の石基の化学分析値を投影すると、両者ははつきり分れて分布する。筆者はこの図を次のように解釈したい。すなわち石基輝石に c および d の種類が生ずるのは地下深所から温度を高められつつ上昇してきたマグマの地表噴出または地下浅所进入の際の温度により決まるものであり、その温度は主として化学成分に支配されまた揮発性物質にも関係がある。諸火山熔岩の実測によると塩基性マグマほど高温であり、酸性マグマほど低温の傾向がみられるが、一般に Total FeO が多くアルカリの少ないものほど高温である。c を生ずるためには Total FeO に富みアルカリが少ないことが必要であるが、アルカリが非常に減少した場合とか、アルカリが増加しても Total FeO に比較して MgO が減少した場合すなわち Total FeO のうち MgO と結合して有色鉱物に入るものより酸化して磁鉄鉱となるものが増加した場合でも c を生ずる。火山岩の諸化学分析値をみると c は d に比較して一般に Norm lit に富んでいる。また筆者の経験によると熔岩の薄片を鏡下に検した場合、c は d に比較し一般に石基磁鉄鉱に富んでおり、また石基構成鉱物は一般に粗粉である。石基磁鉄鉱に富んでいる事実を定量的に表示することは難しいが、この傾向は確実に存在する。また一般に粗粒である事实はマグマが揮発性物質に富んでいたことを示すもので、燃焼により温度の上昇を助けたと推察される。

関東山地東部のパンペリー石とその産状

Pumpellyite and its distribution in the eastern part of the Kantô mountainland

関 陽太郎 (Yōtarō Seki)*
横 山 重 夫 (Shigeo Yokoyama)*

Abstract : The mode of occurrence, and chemical and physical properties including x-ray diffraction data of pumpellyite in the eastern part of the Kantô mountainland are described (Table 1, 2 and 3). The mineral

1) 久野 久：火山および火山岩，1954.

* 埼玉大学文理学部地学教室.

is not found in the part of spotted crystalline schists with albite porphyroblasts developing in the lowest horizon of the Palaeozoics and their metamorphic facies in this district.

1. は し が き

1936年に坪井および杉¹⁾は、関東山地東部の槻川村朝日根の槻川河原にあつたソーシユライト化輝緑岩の中にパンベリー石の脈のあることを報告した。之は、日本でのパンベリー石の最初の発見である。そのち、1941年には、朱雀²⁾が同地方のいわゆる緑色岩類の岩石学的研究をなし、その結果、古生層の熔岩、凝灰岩及び輝緑岩の中にかなりひろくパンベリー石が含まれていることを報告した。

この論文では、関東山地東部のパンベリー石の産状及び分布を概観し、それらパンベリー石の二つのものについて鈹物学的記載をし、更に化学組成と屈折率との間の関係について述べる。

この研究では、化学分析及び野外調査の一部を横山が、他は関が行つた。化学分析に当つては、埼玉大学文理学部化学教室早川保昌・城戸英彦の諸氏に、X線のデータを得るにあつては、東京大学理学部地質学教室の都城秋穂および山島正男の両氏に御厄介になつた。ここに上記の諸氏にふかく感謝する。

この研究は文部省科学研究費の一部をつかつてなされたことを明記し、当局に感謝する次第である。

2. 地 質 概 略

この地域の地質は、ローソン石の分布に関する論文³⁾の中に概略のべられているのでここでは省略する。但し、前記論文では、結晶片岩は一まとめにされていたが、実はその層位学的下部には、曹長石の変斑晶が著じるしいので、この論文では結晶片岩類は下部の点紋部と上部の無点紋部との2つの部分に分けることにする。結晶片岩類は一般に南又は南東にむけてゆるく傾斜し、準片岩又は千枚岩様の岩石をへて上位にある古生層に移化(層位学的にも、変成程度でも)する。点紋結晶片岩は、本地域の北部にのみ分布する(第1図)。

3. パンベリー石の分布

関東山地東部におけるパンベリー石の分布は、第1図に示されている。確認したもの以外にもあるだろうが、結晶片岩類の下部にある点紋部には今までの所パンベリー石のないことはほぼ確実である。即ちパンベリー石は無点紋結晶片岩層、その上部の準片岩又は千枚岩様部分及び古生層下部の緑色岩類の中にのみある。パンベリー石の分布の下限が、無点紋部と点紋部との境にはほぼ相当する。又、それは、この地域でのアルカリ角閃石(藍閃石-クローズサイト)の分布の下限でもあるのは注目すべきである。点紋部における

1) Tsuboi, S. : Jap. Jour. Geol. Geograph, **13**, 333, 1936.

坪井誠太郎, 杉 健一 : 地質, **42**, 187~188, 1936.

2) 朱雀智介 : 地質, **48**, 62~74, 1941.

3) 関陽太郎 : 岩鈹 (投稿中).

Seki, Y. : Sci. Rep. Saitama Univ., **2**, 362~373, 1957.

第 1 図 関東山地東部のパンペリー石の分布
(A, B はそれぞれ第 1, 2 表の A, B に対応する。)

1. 中生代(?)層, 2. 不変成〜弱変成古生層, 3. 中間帯(主として緑色岩より成る), 4a. 無点紋結晶片岩ないし準片岩, 4b. 点紋結晶片岩

含水 Ca-Al 珪酸塩はエビドートクリノゾイサイト-紅簾石のみである。(以上のことは、あくまでも関東山地東部でのことであつて、同じ三波川変成地域の他地域にもそのまま通用するかどうかかわからない)。

4. パンベリー石の産状

上記のような分布をなすパンベリー石は、ひかち的 mafic な熔岩、凝灰岩又は輝緑岩まれには斑礫岩源の緑色片岩又は準片岩の中にある。いわゆる珪質緑色片岩や砂岩及び頁岩源の変成岩にはみられない。まれには脈状をなすことがあるが、ふつうは陽起石、藍閃石、角閃石 (但し $b=Z$)、緑泥石・チタナイト・白雲母・曹長石・石英と共に、結晶片岩そのものの主要な構成鉱物となつている。これらの鉱物とは安定に共存するらしい。パンベリー石をふくむ岩石には、もとの火山物質ののりであろうと思われる普通輝石、褐色～淡褐緑色角閃石、ガラス質物質などがこつていることがある。パンベリー石分布地域の変成度は、変成相で表現すると緑色片岩相ないし藍閃石片岩相に当る (おそらくその中間) ものであろうと思われる。エビドート及びローソン石と、パンベリー石との関係についてはのちにのべる。

5. パンベリー石の鉱物学的性質

産状の項でのべたような種々の産状のパンベリー石の中、脈状をなし、ひかち的包含物のすくないもの 2 つをえらんだ。重液と isodynamic 分離機とによつて、純粹に近いパンベリー石を得ることができた。これら 2 つのパンベリー石の採集地点は第 1 図に示されている。

1) 光学的性質 第 1 表は、これら 2 つのパンベリー石の光学的諸性質を示した。この表の A と B は第 1 図及び第 2 表のそれらにそれぞれ対応する。

第 1 表 パンベリー石の光学的性質

	(A)	(B)
α	1.684 ± 0.002	1.680 ± 0.002
β	1.690 ± 0.002	1.684 ± 0.002
γ	1.700 ± 0.002	1.694 ± 0.002
$\gamma-\alpha$	0.016	0.014
(+)2V	50.5°	38°
$c \wedge Z$	11°	$7 \sim 8^\circ$
Pleochroism	X	colourless
	Y	pale yellowish green
	Z	colourless
Dispersion	$\rho < \nu$	$\rho < \nu$

(A) 埼玉県秩父郡槻川村和知場, (B) 埼玉県秩父郡高篠村定峯

2) 化学組成 第 2 表は A 及 B 両パンベリー石の化学組成及び原子比を示す。原子比は (OH)=3, O=23 として計算された。

第 2 表 バンベリー石の化学組成及び原子比 (C は坪井による朝日根産
バンベリー石の化学組成と原子比 (坪井, 1936))

	A		B		C	
SiO ₂	37.99		38.09		37.53	
TiO ₂	n.d.		n.d.		0.14	
Al ₂ O ₃	24.89		23.53		25.39	
Fe ₂ O ₃	3.86		3.20		1.74	
FeO	2.29		1.18		2.95	
MnO	0.42		0.50		0.13	
MgO	1.54		3.58		2.65	
CaO	21.72		22.96		22.56	
Na ₂ O	0.67		0.48		0.58	
K ₂ O	0.20		0.11		nil	
H ₂ O+	6.64		6.56		6.37	
H ₂ O-	0.37		0.21		0.09	
Total	100.49		100.40		100.13	
Si	6.09		6.16		6.00	
Al	4.70		4.48		4.78	
Fe'''	0.47		0.39		0.21	
Ti	—		—		0.02	
Fe''	0.31		0.15		0.39	
Mn	0.06		0.06		0.02	
Mg	0.37		0.86		0.63	
Ca	3.73		3.97		3.83	
Na	0.20		0.14		0.18	
K	0.04		0.02		—	
O	23		23		23	
OH	3		3		3	
H ₂ O	2.05		2.04		1.94	

両バンベリー石の化学式は次の通りである：

A, B 共にバンベリー石の理想式¹⁾ $\text{Ca}_4 (\text{Al}, \text{Fe}''')_5 (\text{Fe}'', \text{Mn}, \text{Mg}) \text{Si}_6 \text{O}_{23} (\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ にはば一致する。

3) X-線解析値及び格子恒数 バンベリー石の X-線データは, Philips ガイガー計算管 X-線 diffractometer (Cu-K α) を用いてえられた。2 θ で 13 度と 60° との間で, 次の格子恒数をもとにして 48 のピーク指数がつけられた (第 3 表)。

$$a=8.83 \text{ \AA}, \quad b=5.91 \text{ \AA}, \quad c=19.14 \text{ \AA}, \quad \beta=97.6^\circ$$

Coombs は Al を置換する Fe''' が多くなるとともに格子スペーシングが僅かに大きくなることを認めている。しかし, この論文で扱っている 2 つのバンベリー石 A, B の X 線データにはほとんど差がないので, 両者の間の格子恒数の差は明らかにならなか

1) Coombs, D. C. : Min. Mag., **30**, 113~135, 1953.

つた。

第3表のデータは A_2 の対象とよく一致する。格子恒数は、Coombs によつて与えられた値とよく一致する。

第3表 関東山地東部のパンベリー石の X 線解析値 (Cu-K α)

hkl	d(Å)	Int.	hkl	d(Å)	Int.	hkl	d(Å)	Int.
* 102	6.9	8	* 022	2.81	10	118	} 2.076	15
* 102	6.1	10	* 206	2.74	30	* 402		
* 004	4.74	15	* 302	2.69	5	** 317		
* 111	4.65	25	◎◎ * 311	2.64	30	** 027	} 2.003	10
* 104	4.41	8	310	2.62	10	** 130		5
* 200	4.37	15	* 024	2.50	20	0.0.10	} 1.895	10
* 202	4.19	5	220	} 2.449	35	404		5
113	4.01	5	312			119		10
* 104	3.95	5	* 117			** 028	1.849	15
* 202	} 3.79	35	221	} 2.328	15	** 421	1.734	15
005			025			** 029	1.716	15
114	3.54	15	* 222			** 406	} 1.698	10
* 204	3.45	5	** 315	2.284	10	** 422		
006	3.16	5	224	2.244	5	* 1.1.11		
◎ * 116	} 3.10	5	* 208	} 2.209	15	* 2.0.10	} 1.662	15
* 106			125			318		
* 204	3.02	10	* 402			425		
* 020	2.94	28	400	2.189	15	** 331	} 1.636	5
021	2.92	20	314	2.184	10	* 424		
* 300	} 2.89	100	* 026	2.158	10	0.2.10	} 1.595	15
* 115			** 224	2.113	15	* 0.0.12		
* 302			* 404	2.096	15	* 2.2.10	1.554	

* : Coombs (1953) によつて指数をつけられたもの, ** : Coombs (1953) によつてピークは示されたが未だ指数をつけられなかつたもの, ◎ : Coombs (1953) によつて 115 とされたもの, ◎◎ : Coombs (1953) によつて 311 とされたもの,

(これらの指数は $a=8.83\text{\AA}$, $b=5.91\text{\AA}$, $c=19.14\text{\AA}$, $\beta=97.6^\circ$ としてつけられたものである。)

4) 化学組成と屈折率との関係 前にのべたように、パンベリー石の化学組成は $\text{Ca}_4\text{R}_5\text{R}'\text{Si}_6\text{O}_{23}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{R}=\text{Ti}, \text{Al}, \text{Fe}''', \text{R}'=\text{Mn}, \text{Fe}'', \text{Mg}$) で示されうる。パンベリー石でのイオン置換は $\text{Al}-\text{Fe}'''-\text{Ti}$ と $\text{Mn}-\text{Fe}-\text{Mg}$ との2種類ある。その中、 Ti と Mn はきわめてすくない。今まで発表されたパンベリー石の分析結果の中、信頼できるもの4つ (Coombs, 1953) と、この論文に示されたもの2つを、 $\text{Ca}_4\text{Al}_5\text{MgSi}_6\text{O}_{23}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{Ca}_4\text{Al}_5\text{Fe}''\text{Si}_6\text{O}_{23}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{Ca}_4\text{Fe}_5'''\text{MgSi}_6\text{O}_{23}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{Ca}_4\text{Fe}'''\text{Fe}''\text{Si}_6\text{O}_{23}(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の4角の中におとすと第2図のようになる。 Fe''/Mg は 15/85 より 55/45 まで、 Fe'''/Al は 0 より 10/90 位まである。

これらのイオン置換の状態と屈折率 (β) との関係をしらべると、第3図のようになる。即ち、 $\beta=1.67-1.70$ の範囲では R' における Fe''/Mg や、 Mn の量などは屈折率 β に対してほとんど関連性が認められない。しかし、 R における $\text{Al}-\text{Fe}'''$ 置換は屈折

第 2 図 パンベリー石の化学組成

1 と 2 : California, (Irving, Vonsen, and Gonyer, 1932), 3 : 朝日根 (Tsuboi, 1936), 4 : Michigan (Palache and Vassar, 1925), A と B : 本論文

第 3 図 パンベリー石におけるイオン置換と屈折率との関係。(A 及び B は第 1 表, 第 2 表にそれぞれ対応, 1-4 は 第 2 図の説明参照) (サンプル記号のあとのカッコ内の数字は Unit cell 中の Mn の数を示す。)

率 β に対して割合とよい関連性を示していて Fe''' が多いほど β は高くなる。

6. パンベリー石とエビドート及びローソン石との関係

パンベリー石, エビドート, 及びローソン石は, 含まれる水の量を除いては互に類似した化学組成をもつ鉱物である。従つてこれらの三鉱物間の安定関係は多くの人々によつて

注目されて来た。

1) **パンベリー石とローソン石との関係**：関東山地東部のローソン石とその分布については既に報告した (関, 1957 a 及び b)。ローソン石を含む岩石には、しばしばパンベリー石も認められる。しかし California において報告されたような両鉱物の双晶連晶はない¹⁾。両鉱物が共存する場合、どちらが安定であるか判定にくるしむ場合が多いが、次のような注目すべき事実もある。

a) 短冊状の自形を呈するローソン石が藍閃石 ($Y=b$)、緑泥石と共にあり、それらの中に非常に不規則な形の残晶と思われるエビドートが見られる岩石がある時には、必ず、エビドートを取りかこんで微細なパンベリー石の集合がみられる。そして、エビドート→ローソン石という過程では、パンベリー石が生じ、エビドートとローソン石とは直接接しない。

b) ローソン石—藍閃石—緑泥石片岩は、しばしばパンベリー石脈に貫かれ、脈の周辺部では、ローソン石はパンベリー石によつて交代されていることがある。このような例は、California²⁾、神居古潭³⁾より報告されたことがある。

2) **パンベリー石とエビドートとの関係**：パンベリー石をもつた岩石には、エビドートのみられないことが多い。パンベリー石をもつた岩石の中のエビドートは、ほとんど常に非常に不規則な形をしていて、又、そのようなエビドートを含む片状部を切つてパンベリー石脈ができたり、片理に平行なブールの中にパンベリー石 (曹長石・緑泥石) の集合がみられたりする。まれには、主としてパンベリー石、曹長石及び緑泥石より成りその他に普通輝石の残晶をもつ緑色岩の中に、エビドート・石英・曹長石脈が網目状に走っていることがある。只一つ次のような場合があつた；パンベリー石・緑泥石・曹長石・石英それにわずかのエビドートの入つた層と、主としてエビドート・緑泥石より成りそれに曹長石と石英のまじつた層とが 1cm 位のあつきの互層をなす場合である。この時のエビドートとパンベリー石との間には、片方が安定で他方が不安定というような関係はないようである。

Quitow⁴⁾ (1936) がドイツの Braunau から報告したようなパンベリー石とエビドートとの間の平行連晶は、関東山地東部では今までの所見出されていない。

7. 関東山地東部の、エビドート、パンベリー石及びローソン石の分布

この論文及び前に報告したローソン石の分布⁵⁾ から次のようなことがわかる。

(1) パンベリー石は、結晶片岩層の無点紋部と点紋部とのほぼ境あたりより、層位的に上部、不変成古生層に近い部分までの間に分布する。

(2) ローソン石は、パンベリー石の分布する層準の中間部に一つのローソン石帯をつ

1) Brothers, R. N. : Am. Jour. Sci., **252**, 614~626, 1954.

Coombs, D. S. : Min. Mag., **30**, 113~135, 1953.

Irving, J., Vonsen, M., and Gonyer, F. A. : Am. Min., **17**, 338~342, 1932.

2) Irving, J., Vonsen, M. and Gonyer, F. A. : 前出 (1932)

3) 鈴木 醇 : 岩鉱, **20**, 251~261, 1938.

4) Quitow, H. W. : Zentral. Min. Abt. A, 39~46, 1936.

5) 関陽太郎 : 前出 (1957)

くつて分布する。

(3) エビドートは、点紋部及びそれより上位の層準にかけてひろく分布する。点紋部には、含水 Ca-Al-珪酸塩鉱物としてはエビドート族きりない。

この関東山地東部の、特に無点紋部以上の層準の変成岩は一般に再結晶作用がすくなくおらず、与えられた物理化学的条件の下での平衡が十分達せられたかどうか疑わしい。又物理条件（圧力、温度及び水蒸気圧）もこの地域では、きれいな isograde をつくるように増進的にゆきわたつたかどうかきわめてうたがわしい、後退的な過程もしばしばあつたと思われる。従つて、近接した地点でも達せられた物理条件は同じであつたかどうか疑問であるし、又、増進的に達せられた条件の下でできた鉱物と後退的な過程での鉱物との区別も一つ一つの場合について吟味決定するのははなはだむづかしい。

又、エビドート、パンベリー石及びローソン石とは、水の量だけでなく、Al を置換する Fe^{3+} の量及び有無及び (Fe^{2+} , Mn, Mg) の存否などの点で僅かの化学組成の差がある。これらの化学成分上の差もそれらの鉱物が晶出するかどうかを決定する要因の一つになつたであろう。

このような物理的条件のむら、平衡が十分にゆきわたらなかつたこと、後退変成作用及び三鉱物間の化学組成上の差などの可能なことがらによつて、前にのべたような、パンベリー石とエビドートを含む部分の互層や、パンベリー石の分布する地域とローソン石の分布する地域とにエビドートが安定にみられたりするものであろう。

上にのべたようなことがあるにせよ、(1), (2) 及び (3) でまとめられた事実は注目すべきである。これらのことがどのような意味をもつかということは関によつて追つて発表される。‘エビドート・パンベリー石・ローソン石の安定関係’及び‘関東山地東部の変成岩の帯状区分’という論文の中でのべられるであろう。

群馬県荒船鉱山産鶏冠石について*

(附) 結晶図の正確・簡単な作成法

On realgar from Arafune Mine, Gunma Prefecture.

Supplement—A new method for drawing crystal figures

高 野 琴 代 (Kotoyo Takano)**

高 野 幸 雄 (Yukio Takano)***

伊 藤 和 明 (Kazuaki Itō)***

1. 序 言

本邦における鶏冠石の結晶の著名な産地としては、古来群馬県北甘楽郡西牧村西の牧鉱

* 1955 年 6 月 日本鉱物学会総会講演に加筆した。

** 東京大学理学部鉱物学教室

*** 東京大学教養学部地学教室