

# 岩石と隕石表面反射光の偏光度について

早川和夫\*

## 1. はしがき

B. Lyot は 1929 年に、彼の創案した偏光計を使って月面を観測して、月面の場所によって偏光の度合いが異なることを認めた。その理由として、彼は月の岩石と隕石物質の混合比が異なるからでないかという意見をのべた。

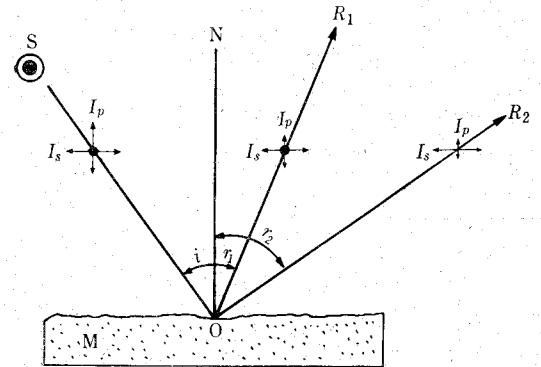
A. Dollfus は 1957 年に改良偏光計による観測において、月面の海の偏光度は山のそれより大きいこと、また月面の表面部の物質は地球上の火山灰に似ていることを指摘している。

私は、地上の岩石と隕石の偏光度を測定して、Lyot-Dollfus のデータと比較してみたいと考えたので、昭和 35 年 7 月と 8 月に北大工学部で、代表的岩石の偏光測定を行なった。

偶然であったが、昭和 35 年に開催された日本隕石展に、北海道唯一の光珠内隕石（沼貝隕石）を出品するように村山定男氏から依頼があり、私が同隕石を携行して上京する機会に、その偏光度を測定することができた。この実験は、さらに 2 年後に行なわれた“月の偏光度の研究”と密接な関連性を有するものである。

## 2. 研究の目的

この研究の目的は、ある物質の偏光度と、物質を構成する鉱物成分または表面状態との間に、どのような関係があるかを調べることである。



第 1 図 偏光の説明

M: 岩石試料のテストピース (又は月面)  
 S: 光源 (又は太陽)  
 入射光 SO が入射角  $i$  で試料面上の O 点で反射し、 $OR_1, OR_2$  方向に反射角  $r_1, r_2$  で進行する。 $i+r_1, i+r_2$  が位相角に相等し、 $R_1, R_2$  は観測者の方向を表わす。入射光は  $I_p = I_s$  だが、 $r$  の変化により  $I_p$  が減少してゆく状態を示した。ただし  $I_s$  は紙面に垂直に書くべきところを比較のため同一平面内に書いた。ON は O 点の接線の法線である。

偏光は反射光中に見られる現象であるから、実験室内の岩石はもち論のこと、惑星や衛星のように、太陽光を直接反射して輝いている場合でも当然偏光を認めることができよう。第 1 図において S を光源または太陽とし、M を岩石試料または月面と考えると、O 点での反射光は法線 ON のまわりに、逆円錐状にあらゆる方向に散乱する。しかし、ここでは ON と OS を含む平面内のみで考えてみる。入射光 SO は進行方向に垂直な平面内で、あらゆる方向に等しい強度で振動する。ところが、反射光  $OR_1, OR_2, \dots$  では反射面内に平行に振動する成分の強さ  $I_p$  が減少する。一方垂直成分の強さ  $I_s$  は変わらないので、光の強さが一方にかたよる現象を呈するのである。 $I_s, I_p$  を次のようにきめる。

$I_s$ : 入射面に垂直に振動する反射光中の偏光成分の強さ。

$I_p$ : 入射面に平行に振動する反射光中の偏光成分の強さで  $I_s \perp I_p$ 。

偏光度の定義は研究者により差があるが、B. Lyot の定義にしたがって、いま偏光度を  $p\%$  と表わすと、

$$p = \frac{I_s - I_p}{I_s + I_p} \times 100 = \frac{1 - \frac{I_p}{I_s}}{1 + \frac{I_p}{I_s}} \times 100 \dots \dots (1)$$

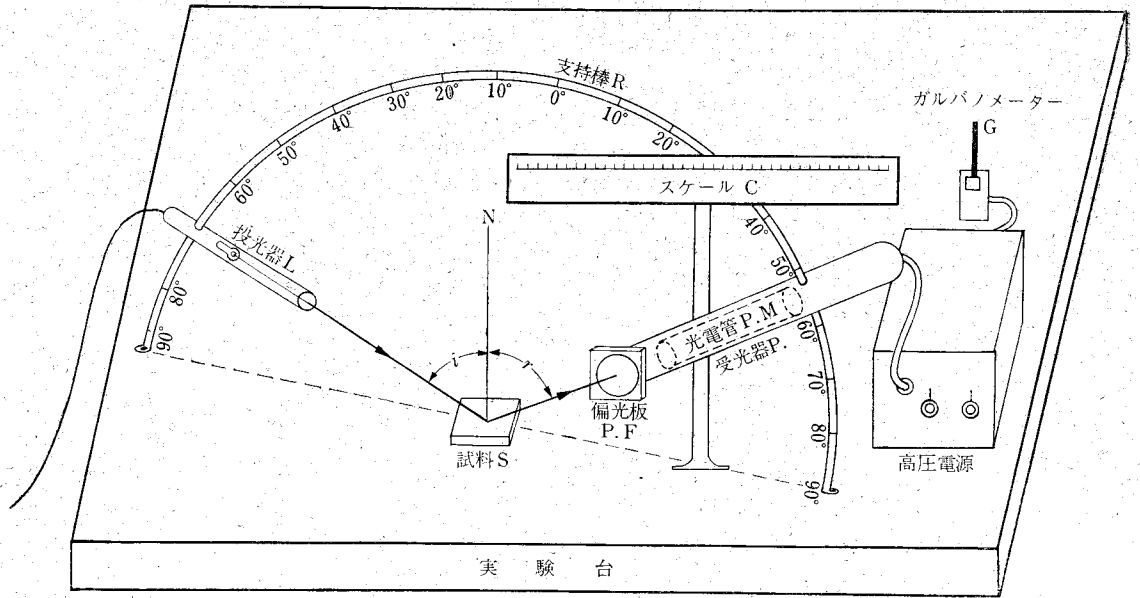
となるので、 $I_p$  と  $I_s$  の比を測定すれば偏光度  $p$  が求まる。実例として、自然光は  $I_s = I_p$  だから  $p = 0$ 、また  $I_s = 7, I_p = 3$  の比の場合は  $p = 4/10 \times 100 = 40\%$  の偏光度となる。また  $I_p \ll I_s$  の場合は、 $p \approx 100\%$  となる場合もある。入射光に単色光を使用しても、白色光の場合との差は極めて小さいので、この実験ではすべて白色光を使用することにした。

## 3. 研究試料

### 1) 岩石試料

- ① 軽石 (Pumice), 流紋岩 (Liparite) の発泡したもの。
- ② 輝石安山岩 (Pyroxen Andesite), 普通のもの。
- ③ 玄武岩 (Basalt), 極めて黒っぽいもの。
- ④ 両雲母花崗岩 (Two-Mica Granite), 一般的なもの。
- ⑤ 海岸砂<sup>1)</sup> (Beach Sands), 北海道石狩海岸産, 石英, 磁鉄鉱, 輝石, 黒雲母を含む, 500 $\mu$ ~

\* 北海学園大学



第 2 図 実験装置見置図

70 $\mu$  粒度. ①, ②, ③, ④ は火成岩で, ⑤ のみ堆積岩である.

2) 隕石試料

⑥ 光珠内隕石<sup>2)</sup> (KOSHUNAI Meteorite)

日本隕石表には, 沼貝隕石と記載されている. 大正 14 年 (1925) 9 月 5 日, 北海道空知郡沼貝村字光珠内に落下, 現在 319 gr (落下時 356 gr), 形状は 8×8×9 cm で厚さ約 2 cm の栗の実型で, 黒色溶融皮膜上に多数の拇痕を認める. 岩石学的には “紫蘇輝石 (または古銅輝石) 球粒かんらん岩” ((Olivine Hypersthene (or Bronzite) Chondrite)) と推定される. 発見者である田中勝氏が所有, 保管している.

以上の 1)~4) の試料は 5×5×1 cm 程度のテストピースに切断して実験に供した. 表面は自然状態の破壊面の平面に近い部分を用いた. 5) 砂は皿に入れ水平面を, 6) 隕石は一部に破断面があるので, その部分を測光した. 1) から 6) までの 6 種のテスト・ピースの岩石学的分類位置を第 1 表に示した. (隕石の破断面は, かつて今井半次郎氏が欠き取った跡である)

4. 実験装置と方法

(1) 式に示す偏光度  $p$  を測光するためには,  $I_s$  と  $I_p$  を測定すればよい. 第 2 図は装置の略図である. 実験台 T 上の左端の投光器 L から白色光を試料 S に投入する. 光束は絞った方が試料面の各部の  $p$  を調べるのに都合がよい.

試料 S で反射した偏光は, 第 2 図中央部の偏光板 P・F を通過した後, 受光器 P 中の光電管 P・M に導入される. 最後に増倍管の電流はガルバノメーター G とスケール C で読みとられる.

支持棒 R は直径 1 cm の丸鉄棒を半円に曲げて, 投光器 L と受光器 P の光軸の交点が試料面 S 上で正しく交わるように R に直角に取り付けられて, 自由に上下できる. R の両端は T に垂直に固定し, R の中央部を 0° に目盛り, 左右に 10° おきに 90° まで刻んである. 水平位置が 90° である.

偏光板は, Zeiss Ikon 製の直径

岩種	化学成分 (粒度)	酸性岩	中性岩	塩基性岩	超塩基性岩
		SiO <sub>2</sub> > 65%	65% ≥ SiO <sub>2</sub> ≥ 52%	52% > SiO <sub>2</sub>	40% > SiO <sub>2</sub>
火成岩	噴出岩 (微晶質)	① 軽石 (流紋岩)	② 安山岩	③ 玄武岩	⑥ かんらん岩 (光珠内隕石)
	深成岩 (完晶質)	④ 花崗岩			
堆積岩	色	おおむね白	灰色	おおむね黒色	暗黒色
	風化による分解	⑤ 石狩海岸砂			

第 1 表 試料①~⑥の岩石学上の分類位置表

①~⑥は地球物質で⑥の光珠内隕石はかんらん岩に相等する位置においた.  
①の軽石は流紋岩の発泡したものをいう.

読みとり 測定回数	$I_s$	$I_p$	$I_s - I_p$	$I_s + I_p$	$\frac{I_s - I_p}{I_s + I_p} \times 100$	$p\%$
第1回	264	245	19	509	$\frac{19}{509} \times 100$	3.7
第2回	264	245	19	509	$\frac{19}{509} \times 100$	3.7
第3回	261	239	22	500	$\frac{22}{500} \times 100$	4.4
第4回	251	236	15	487	$\frac{15}{487} \times 100$	3.1
第5回	252	235	17	487	$\frac{17}{487} \times 100$	3.5
平均値	$p$ の 5 回の平均値 3.7, 標準偏差 0.41					

第 2 表  $p$  の読みとりと偏差の 1 例  
観測値はすべて 5 回の平均値である。

3 cm のゼラチン膜の枠付きを、光電管 P・M の光軸に直角に装置し、反射光に垂直な面内で任意の角度だけ回転できる。暗室中で操作するため、偏光板の回転角は 90° おきに 4 箇所位置にクリック・ストップを取りつけてある。(偏光板の周囲に 4 カ所切れ目が見える。第 2 図)

光電管 P・M は東芝製 7309 型の 10 枚型光電子増倍管で、磁気シールド・ケースに格納して使用した。装置全体の大きさは高さ 50 cm, 半円直径 1 m, 幅 70 cm の実験台に載せて、全体を黒色遮蔽幕に包み、外光を遮断した。

実験の方法はまずテスト・ピースを S に固定し、L に光を入れ、P に 1025 V 流す。この際、光電管に反射光が入射すると、G に読み取りが出る。スケール・アウトせぬように光をしぼる。次に投光器 L の入射角  $i^\circ$  (第 1 図参照) を一定にする。そして反射角  $r^\circ$  を 0° から

10° ごとに 90° まで変化するよう受光器 P の位置を移動していく。このとき、10° ごとに 1 組の ( $I_s, I_p$ ) が求められる。

$i^\circ$  と  $r^\circ$  を適当にとったある試料について、第 2 表を作った。G に読み取りが出るように光学系を調整して、P・F を回転していくと、読み取りの最大値が反射面に垂直方向の強度  $I_s$  である。第 2 表の  $I_s=264$  がそれである。 $I_s$  と直角に P・F を回転すると、こんどは  $I_p=245$  がスケールに出る。こうして (1) 式から Lyot の偏光度  $p=3.7\%$  が求められる。 $p$  の値は小数第 2 位を四捨五入し、( $i^\circ, r^\circ$ ) の 1 組について 5 回の測定値の平均値を載せた。標準偏差は 0.41 であった。

$i^\circ$  の 1 箇の値を固定して、 $r^\circ$  を変化させていくと、次に  $p$  が求まる。次に  $i^\circ$  を変えて固定し、再び  $r^\circ$  を上述のように 10° ごとに変化させていくと、偏光度曲線が求まるのである。これを試料①から⑥までに対して全部行なって 6 枚の曲線図が得られた。次に、その 1 例を挙げて説明する。第 3 表がそれである。

5. 偏光度曲線と位相角

6 枚の偏光度曲線<sup>3)</sup> から①軽石 (Pumice) の自然表面の場合のみを取り上げる。第 3 表中に値の出ない部分は投光器と受光器に幅があって、 $i^\circ+r^\circ$  を 20° 以内に接近できなかったために測定できなかった。

第 4 図は第 3 表を目盛った軽石の偏光度曲線である。8 本の曲線が画かれているが、上から  $i^\circ=70^\circ, 60^\circ, 50^\circ, 40^\circ, 30^\circ, 20^\circ, 10^\circ, 0$  に固定して、反射面内にある反射光線の  $r^\circ=0^\circ$  から 10° おきに 90° まで対応させて求めた曲線である。

横軸は 10° おきに反射角  $r^\circ$  を、縦軸は偏光度  $p$  を 25% まで目盛ってある。いずれも普通目盛りである。第 4 図を見ると、 $i^\circ$  を一定にして  $r^\circ$  を次第に増加させれば  $p$  の自然増加が認められる。 $r^\circ=30^\circ \sim 90^\circ$  の範囲では、大体直線状とみなしてよい。

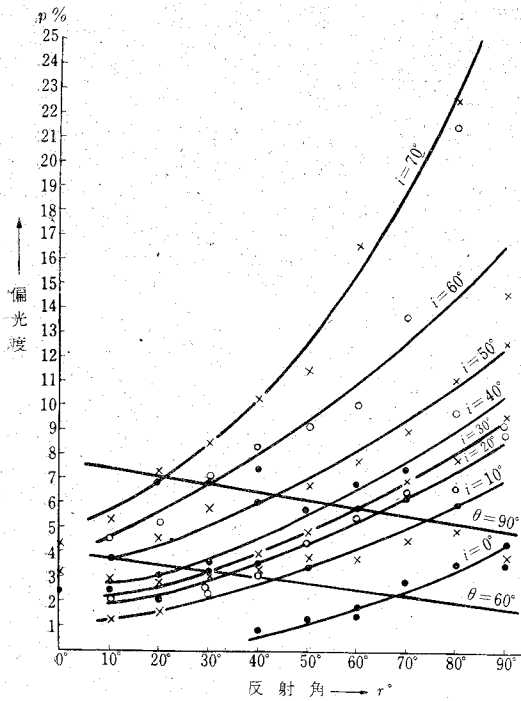
このような曲線は①の軽石のみでなく、②安山岩、③玄武岩、④花崗岩、⑤海岸砂、⑥隕石についても同様の傾向を示すのである。ただ  $p$  の最大値が異なるのみである。

さて、月の位相角 ( $\theta$ ) についてみると、月面のある点における入射光と反射光が月の中心を含む同一平面内にある限り、 $i^\circ+r^\circ$  の和は月の位相角 ( $\theta$ ) に等しいのである。すなわち

$$\theta = i + r \dots \dots \dots (2)$$

$i \backslash r$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0°	—	—	—	2.43	0.85	1.27	1.42	2.91	3.61	3.58
10°	—	1.27	1.62	2.40	3.26	3.88	3.80	4.64	5.05	6.13
20°	—	2.09	1.92	2.35	3.07	4.45	5.37	6.53	6.66	9.19
30°	—	0.51	2.79	3.16	4.00	4.97	5.98	7.04	7.88	9.73
40°	2.44	2.43	2.14	3.68	7.44	5.72	6.89	7.47	7.95	8.90
50°	3.09	2.87	4.60	5.88	6.15	6.92	7.92	9.14	11.17	12.70
60°	1.57	4.53	5.24	7.13	8.33	9.27	10.90	13.70	21.50	25.60
70°	4.27	5.38	7.27	8.50	10.35	11.50	16.60	24.80	22.60	14.70
80°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第 3 表 軽石の自然表面の偏光度  $p$  (%)  $i$  入射角,  $r$  反射角  
— 線の部分は入射光が試料面に平行となって測定不能となった。また  $i+r=20^\circ$  になるような  $i$  と  $r$  の位置では投光器と受光器が重なり合うのでこれも測光不能であった。



第3図 軽石の自然表面の偏光度と位相角の関係  $i$ (入射角)を固定した時の  $r$ (反射角)の変化に伴う  $p$ (偏光度)の曲線

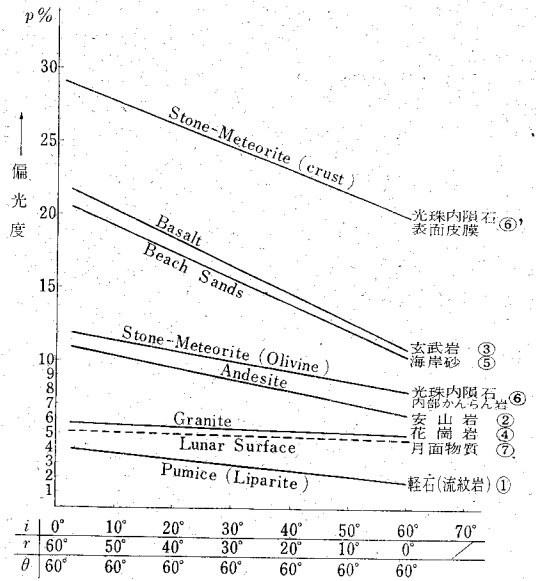
位相角  $\theta=60^\circ$  又は  $\theta=90^\circ$  (月では上弦)に相等する偏光度は  $\theta=90^\circ$  のときは8%から4.5%まで変化する。又  $\theta=60^\circ$  では  $i$ と  $r$ の組合はせに従って4%から1.5%まで変化する。両直線の他に  $\theta$ の任意の値に対して偏光曲線を求めることができる。

第3図の軽石曲線上において、例えば  $\theta=60^\circ$  になるような  $i$ と  $r$ の組合せになる点をプロットしてみる。すなわち  $(i=60^\circ, r=0^\circ)$ ,  $(i=50^\circ, r=10^\circ)$ ,  $(i=40^\circ, r=20^\circ)$ ,  $(i=30^\circ, r=30^\circ)$ ,  $(i=20^\circ, r=40^\circ)$ ,  $(i=10^\circ, r=50^\circ)$ ,  $(i=0^\circ, r=60^\circ)$  の7点が求められる。

これら7点を結んで得られる曲線が  $\theta=60^\circ$  の位相角に相等する偏光度曲線である。同じ第4図上に  $\theta=90^\circ$  (上弦)に相等する  $p$ カーブを画いてみた。同様の操作で②安山岩、③玄武岩、④花崗岩、⑤省略、⑥光珠内隕石、⑥' 同隕石皮膚について  $\theta=60^\circ$  の偏光度曲線を作ることができる。  $\theta=60^\circ$  についてまとめたのが第5図である。

第4図を見ると各岩石の偏光度を月面の位相角に対比して見ることが出来る。偏光度の高い方から順に、⑥' 隕石皮膚、③玄武岩、⑥ 隕石内部かんらん岩、②安山岩、④花崗岩、①軽石である。  $p$ の範囲は最高⑥' の30%から最低(1)の4%に及んでいる。⑥海岸砂の曲線は  $p$ の平均値21%から推定した。

月面物質の偏光曲線は Lyot が求めたものを使ってみた。第5図が1929年に Lyot が求めた月全面の偏光度

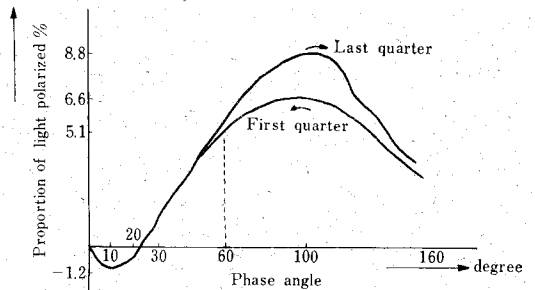


第4図 位相角  $60^\circ$  の場合に相等する岩石と隕石及び月面の偏光度曲線

第4図の軽石の  $\theta=60^\circ$  直線と同様な手続きで作った各種岩石の  $p$ を一枚の図にまとめたものである。海岸砂は平均値から推定して挿入してみた。

曲線で、上弦6.6%、下弦で8.8%を示し、 $\theta=22.5^\circ$ で偏光度は0となっている。また満月 ( $\theta=0$ )も偏光を示さないことがわかる。上弦と下弦に到る位相で  $p$ の値が変化しているのは、月面の右半分と左半分で海陸の分布が異なるためであろう。

Lyot の曲線上から  $\theta=60^\circ$  に対する  $p$ を読み取ると、上弦5.1%、下弦6%である。これを第4図に  $p=5.1\%$ として挿入したのが⑦であって、①の軽石4%との花崗岩約6%の中間値を示している。③玄武岩の値が30~20%を示す事実は、玄武岩にも多くの種類があるので一概にいられないが、ルナ9号などの報告では月面は玄



第5図 1929, Lyot による月の偏光度曲線

位相角が  $0^\circ$  と  $22^\circ$  近くで偏光度は0となる。  $p$ の最大値は  $\theta=90^\circ$  でなく、  $100^\circ$  を越えたところで、たかだか9%程度である。この曲線は月面全体の平均偏光度と思われる。