偏 光 と 視 程 (前編)*

川 畑 幸 夫,** 大 谷 和 夫**

前編 高空における偏光

§ 1. 緒 言

天空光の偏光については従来多くの理論及び観測が行われて來たが、雲海、雲、海面その他一般の地物よりの偏光を調べたものはきわめて少ない。我々は偏光板を利用して視程を改善する目的を以て視程と偏光の關係を研究するため、先づ雲海、海面、その他一般の地物が如何なる偏光を示すかを調べ、併せて視程観測を並行して行い、偏光板により偏光を除去することによつて、視程が如何に變るかを調べた。

この章においては、富士山頂の如き高所より見る場合について述べ、低空において海面等を見る場合については、次章において論ずることとする。

§ 2. 測定装置

器械の主要部は前後二つの筒よりなり、前部圓筒の底に偏光板を固定し、これを後部圓筒にはめ込んで圓筒軸の廻りに回轉出来る様にしてある。後部圓筒の底にマツダ光電池を設置し、得られた光電流をシーメンス製照度計で読みとつた。前部圓筒と同大の中空圓筒を別に準備して、観測の度に抜き挿しして全光量をも同時に測定した。この圓筒の上下回轉軸を鐵脚に支持し、更に經緯儀用三脚を利用して左右にも動かし得るようにしておく。

この測器が收め得る視野は約 9° である。

§ 3. 観測結果

昭和19年7月中旬より約20日間、富士山頂測候所風力塔上より、太陽を背にする方向の水平線近くの空、雲海、海面、裾野等につき測定を行つた。観測は主として早朝であり、日中は上昇氣流が盛んになるので観測は困難であつた。

偏光板を回轉することにより、偏光の大小を光電流の強弱に變え、その最大値、最小値と各々の回轉角とを測り偏光度を $\frac{I_{\max} - I_{\min}}{\text{全光量}}$ で定義し、偏光面を回轉角から決定した。次に得られた結果の概要を述べる。

(i) 太陽垂直面からの方位と偏光度

* Y. Kawabata and K. Ootani: Polarization and Visibility (First Report.)

** 福岡管區氣象台

第 1 圖

偏光度を縦軸にとり方位を横軸にとつて観測結果の平均を示したものが第1圖である。こゝに方位は、太陽垂直面内で太陽の正反対側を零度とし、之より向つて右へ正、左へ負と数えるものとする。

この圖から分る様に、偏光度は如何なる場合にも太陽垂直面内で最小でこれと直角な方向において最大である。偏光度の方位的變化の振幅の大きいのは青空であり、これについては伏角6-8°の海面、伏角9°の裾野、伏角14°の裾野、伏角5-9°の雲海、伏角9-14°の雲海の順になつてゐる。

これによつてみると、偏光の方位的變化の振幅は目標と観測者間の空氣量にほぼ比例するものゝ様である。これを確かめるために試みに快晴の朝の雲海について、方位を一定にして伏角だけを変えて測つてみたところ、第2圖に示す如く、偏光度と通過空氣量とが殆んど並行して變化していることが分つた。

これによつて見ても上の推測は殆んど間違ひのない

ところかと考えられる。

第1圖において、偏光度の方位的變化の振幅が小さくなるに従ひ、最大偏光の方位が太陽垂直面へ段々近づくのが見られるのは興味ある事實であるが、この理由は判然としない。

(ii) 偏光度と太陽高度

太陽高度の變化に伴う偏光度の變化については、日中の観測が上昇氣流のために殆んど連日遮げられて一日を通した資料が得られなかつたのが遺憾であるが、得られたものについては在來の研究の結果とよく一致している。雲海からの光については、雲自身の變貌があまりに激しいためにこのような傾向を確實に見出すことは出来なかつた。

(iii) 偏光面について

いま全観測資料を使つて、偏光面の傾きの分布を、太陽對稱點を原點にして(縦軸は仰角及び伏角、横軸は方位)圖示したものが

第3圖である。所謂中立點の太陽對稱點からの距離、及び偏光面の分布狀態等は、殆んど完全に在

第 2 圖

第 3 圖

し、偏光面がこのように規則正しく配列することは注意すべきことであり、著者等の一人が北海道の皆既日食の際に天頂光の偏光を測定した場合にも、又東京で行つた観測でも同様であつた。⁽¹⁾

§ 4. 特殊な偏光

(i) 白虹の偏光

高度約 2500 米に層積雲状の典型的雲海があらわれたとき、影富士の根元から太陽垂直面の左右約 40° に對稱的に二條の白く輝いた白虹があらわれた、幅は約 6° 、その形はほぼ拋物線に近かつた。偏光度を測つてみると強い偏光を示し、偏光板を回轉すると完全に光輝が消失して周囲の雲海と同色になつた。偏光面はこの場合にも何等特異な變化はなかつた。なおこの日は影富士の頭部の光環も特に鮮明であつた。測器の開口角が大きいため白虹以外の部分も一部同一視野に入るので、第 4 圖において白虹の偏光度は實際にはもつと大きい筈である。白虹及び光環偏光については、Soret⁽²⁾の観測があるが、量的な測定はない。

(ii) 月明の空の偏光

月明の空の偏光については、從來詳しい研究は殆んどなく、その大體の傾向さえ窺い知ることが出来ない。吾々の観測の結果月明の空では、その偏光度は月を通る垂直面において最小であり、之と直角方向で最大であつた。即ち晝間の天空光の偏光にお

第 4 圖

來の天空光の偏光の研究の示すところと一致し、中立點附近は光電流の變化が小さいため測定が著しく困難であるに拘らず、結果はきわめて合理的で測定精度も充分であつたと思われる。

このような結果から、「偏光面は、天氣にも、又地物の反射光にも左右されず安定なものである。」ということが出来る。偏光度が天氣状態により著しく變化し、殊に雲海などの場合きわめて複雑な變化をするのに反

(1) 天氣と氣候、第 10 卷、第 3 號(昭 18)

(2) Sur la polarisation atmosphérique: Ann. Chim. Phys, 6 Ser. vol. 14 (1888)

ける光源たる太陽を月に替えたことになる。

月明りに白く霞んだ水平線近くの空が、偏光を除去することによつて暗くなり、空の白さに紛れて識別困難であつた雲が際立つて見え易くなることが屢々経験された。この場合の視度の良化が月と直角方向で特に顕著なことは勿論である。

(iii) 雲間を洩れる太陽光線の偏光

朝夕の時刻に太陽が雲に覆われ雲の隙間から洩れる光線の條痕が白く烟り、背後にある山の輪割が非常にぼんやりとして、時には全く見えない事は日常我々のよく経験することである。この時の光線の條痕部分は、調べてみると非常に強く偏光していることがあり、偏光板によつてこの偏光を除けば光條は消えて、それに遮られて見ることの出来なかつた遠方の山がはつきり再現することが経験された。

(iv) 偏光面の異常現象

一般に大氣の散亂光の偏光面が安定なことは既述の通りであるが、観測中唯一度異常と考えられる場合があつた。日没直前海面が薄紅味を帯びて見えるとき、海面方向の偏光面が著しく常と異り水平から 60° も傾いていた。このとき海面に接する空の偏光は平常通り水平であつた。そしてこの翌日は天氣悪化し、落雷降雹等があり、又7月中旬と言うのに季節外れの降雪などの異常現象があつたのは注意すべきことである。

§ 5. 偏光と視程

Koschmieder は視程の研究に際し、二物體の輝度を H_1, H_2 とするとき $\frac{H_1 - H_2}{H_1}$ を以てそのコントラストを論じている。いま偏光せる物體について偏光を除去した光量(偏光板での最小値)を H'_1, H'_2 とし、 $H_1 > H_2$ であつて、 H_1 より H_2 の方が偏光が大であるとするとき $H_1 - H_2 < H'_1 - H'_2$ であり、コントラストは増加すると考えられる。もとより偏光板を使用することによる光量の絶對値の減少、兩者の色彩の相違及び H'_1 の偏光度如何も考え合せねばならぬが H_1 が不偏光の場合には上の事は確實であると思われる。 $H_1 < H_2$ で H_1 の方が偏光大なる時は、逆の結果になつて偏光板の使用はかえつてコントラストを弱めるであろう。

この様な考えに基いて偏光板による偏光除去が如何なる場合に視度改善に役立つかを調べた。ヴィガントの階級視程計を用い各種フィルターを併用して比較観測を行つた結果は第1表の如くである。

第 1 表

時 刻	目 標	方向	ヴィガント視程計による視程階級					
			肉眼	フ イ ル タ ー				
				赤	淡黄	濃黄	緑	紫
18時45分	水平線上の積雲(背景青空)	N	5	5	4	—	4	5
"	"	E	5	6	5	—	5	2
"	"	S	6	7	6	—	5	2

18時50分	夾狀雲(太陽より90°方向)	—	6	5	5	5	—	—	6.5
19 10	海岸線	SSW	25	—	2	2	—	—	3
14 35	水平線附近の積雲	NE	5	—	5	—	—	—	5.5
"	雲の割れ間より見える青空(高度38)	S	7	—	7	—	—	—	7.5
8 15	水平線上の積亂雲	SSW	5	—	5	5	4	0	6
8 20	山の稜線	NW	7	—	7	6	7	5	7
8 25	"	NNE	6	—	7	6	6	5	7
8 30	積 雲	NNE	8	—	8	7	7	5	8
8 40	水平線上の積雲	SSW	4	—	3	3	—	—	5
10 30	青空を背景とせる積雲	NNW	5	—	5	5	5	—	6
10 35	"	NNE	5	—	1	—	—	—	6
10 45	"	SW	4	—	5	—	—	—	5
14 10	"	NNE	7	—	6	—	7	4	8
17 30	積 亂 雲	NNE	8	—	8	—	8	4	12
17 50	積 雲	SSW	6	—	6.5	—	5.5	—	8

これによつて見ると青空を背景とした白雲の視程は特にそれが太陽と直角方向にある場合には、偏光板を使用した方がフィルターを使用するよりも視程改善には一層効果的であることがわかる。海と空の境界線又は水平線附近の暗雲などの場合は結果は逆であつた。これ等のことは上述の考えから當然豫想されるところである。

視程と同時に偏光を観測し、白雲と青空の場合について各種のフィルター及び偏光板を使用した場合のコントラストを求めてみると第2表の如くなる。

第2表 $\frac{H-H_1}{H}$ の値

H; 白雲 H₁; 空

	H ₁ -H/H の値			偏光度	
	全光量	偏光を透過する場合	偏光を除去する場合	雲	空
偏光板のみ	—	0.652	0.850	0.049	0.251
赤フィルター併用	0.881	0.861	0.906	0.064	0.181
黄フィルター併用	0.760	0.720	0.880	0.078	0.283
緑フィルター併用	0.740	0.712	0.851	0.039	0.244

これから分るように天空に浮べる白雲のコントラストは、偏光を除去した場合が最大であり、その際に赤フィルターを併用すれば最も効果的である。これ等のことは前記の視程観測結果によつてもほぼ裏書されている。

吾々の経験によると、偏光の利用による視度の改善は方向的には天頂附近の方向において著しく、時刻的には朝夕の薄暮時に顯著である。夕方頃、肉眼では殆んど見分け難い高積雲の襞が偏光板を回轉することにより極めて明瞭に現出することは屢々経験せられたところであつた。

§ 6. 要 約

以上述べたところを要約すれば次の如くである。

(i) このような高所から俯瞰した場合には、海、裾野、雲海等の偏光度は、主として目標と観測者間の空気分子の散亂によるもので、地面の反射等の影響を受けることは殆んどなく、天空光の偏光面、偏光度に関する従來の理論、観測から豫想されるところと一致し、唯偏光度が天空の場合、

に比し小なるのみである。

(ii) 雲海の偏光度の方位に對する關係は、雲海が層雲から層積雲、積雲と發達上昇するに従い段々複雑になる。

(iii) 偏光度は大陽垂直面内で最小で、太陽垂直面より直角な方向で最大である。

(iv) 白虹、光環、月明の夜の空、雲間を洩れる太陽光線の條痕等も偏光している。然し白虹以外は今回は偏光度を量的に測定出来なかつた。

(v) コントラストの考えから豫想される如く、こゝに二つの目標があつて、(a) 一方の輝度小なる目標の方が偏光度大なる場合、(b) 輝度はお互いに殆んど等しく、一方だけが著しく偏光している場合等では偏光板を利用して視程を必ずよくすることが出来る。特に薄明、薄暮、月夜等の觀測に用いて効果が著しい。

(本原稿は印刷所の火災で焼失してしまつたので、手許に残つた資料を再び綴り合せたものである。従つて後篇と連續しない部分があるかも知れないことをお断りしておく)。

(昭和 21 年 1 月 22 日受理)

地面附近の大気の亂れ* (第2報)

鹽 谷 正 雄**

§ 1. 緒 言

この研究の目的は、接地氣層が不安定状態から安定状態に移行したとき、亂れの減衰の状況を逆に安定から不安定に移行したとき、亂れの生長の状況を、實際に風速を連続的に記録して調べてみることであつた。この爲5月9日の日食を選び、食の中心線に近い稚内町に觀測地を選んだ。この日食は11時頃既に氣層が不安定になつたとき始まり、11時58分頃食甚となるので、上述の研究目的に適していた。又この他にもう一つの研究目的があつた。それは中央氣象臺の狩野氏が同じ觀測場で氣温の垂直分布の時間的推移を測定し、その結果の解析の際に必要な亂れに依る補正項を求めることであつた。

氣層の安定、不安定と亂れの生長減衰の間には一定の關係がある。即ち無次元の數 Richardson 數 $\left\{g/T \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma\right)\right\} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2$ が一定數より大きくなると亂れは減衰する。この定數として Richardson は 1; Taylor, Goldstein は $1/2$ Schlichting は $1/24$ といふ數を與えている。これ等は風洞内の實驗に於ては既に實證されているが、大氣の場合は今迄觀測が行なわれたが判然とした結論は得られていない。著者の場合も強風の爲 0.5m の高さのところでも Richardson 數が $1/30$ 程度と

* M. Shiotani: Atmospheric Turbulence near the Ground (2nd Report)

** 鐵道技術研究所