第 1 表 北風の場合の偏角 ($\beta - \alpha$)

緯度 δ	20°N	30°N	40°N
50°	61°	62°	62.5°
40	59	61	62
30	56	59	61
20	51	56	59
10	44	51	56
0	33	44	51
-10	18	33	44
-20	0	18	33
-30	-18	0	18
-40	-33	-18	0
-50	-44	-33	-18

第 2 表 西風の場合の偏角 ($\beta - \alpha$)

緯度 δ	20°N	30°N	40°N
50°	13°	19°	25°
40	15	22	29
30	18	26	33
20	21	30	38
10	26	36	44
0	33	44	51
-10	43	53	68
-20	56	63	66
-30	70	72	71
-40	77	77	74
-50	75	74	71

第 5 節 議論の一般的擴張

斜面に沿ふ氣流に就いて得られた前節迄の結果は直ちに自由大氣中にも擴張されるであらう。其の場合に於いては摩擦は表面摩擦の形式 (kV) を捨てて内部摩擦の形式を採用すれば良い。併しながら定性的結果は此場合に於いても大なる修正を要しないであらう。即ち垂直氣流に依る風の地衡風偏倚は自由大氣中にも常に存する。

然らば自由大氣中に於ける地衡風偏倚より加速度を——即ち將來の氣壓變化を計算しようとする希望は失はれねばならない。そしてその好例は第 1 節に述べた如く日常吾々の身近に指摘することが出来るものである。

追記 本州上層に於ける等壓線と風向との交叉に就いては、單に本州を這ひ上り、這ひ降る氣流のみからは論ずることは出来ない。寧ろ、風上に於ける下降氣流を、風下に於ける上昇氣流を考慮することに依つて初めて本論文の結果と一致するのである。併しながらこの實例を以つてする議論は此處では許されぬ。

(昭和 19 年 1 月 於中央氣象臺)

要 報

東京に於ける偏光観測結果に就て*

鮎 田 正**

(I) 緒 言

昨年 2 月 5 日北海道に於ける皆既日蝕に際し、吾々は釧路測候所に於て天頂方向の偏光面並に偏光度を

観測し、其の結果は既に報告した⁽¹⁾。其の際得られた第一の結果は偏光度は蝕の進むに伴ひ著しく減少し、皆既時に於て極小となり、其の後復圓と共に常態に復

* T. Ayuda: Polarization of Sky Light at Tôkyô.

** 中央氣象臺天測課、氣象技手。

(1) 天氣と氣候, 10 第 5 號。

したことである。之の事實は吾々が豫想せる如く蝕の進行に伴ひ日射量が減少する爲に、大氣中の水蒸氣の凝結が促進せられ、上層の陰影部に向ふ輻射放冷は凝結を加速し、而も下層大氣程水蒸氣量が多い爲に、皆既時刻に近づく程水滴の生成も夥しく、皆既の時刻には地面の極く近い大氣中の凝結が起り、其の爲に偏光度は皆既時刻に極小と成るものと推察せられた。此の事實は細雨の機構等とも関係があることが豫想され氣象學的にも重要な事である。天頂方向の偏光に關しては Ahlgrim⁽¹⁾ の理論的研究、Dorno⁽²⁾、Gockel⁽³⁾ 其の他の諸家の觀測がある。最近ペンシルヴァニア大學の Hans Neuberger 博士⁽⁴⁾ は偏光と氣象との相關に付て研究し、雲の生成數時間前の偏光の變化を論じた。吾々も亦今年 4 月—5 月に互り東京に於て天頂方向の偏光を觀測し、偏光と天氣の状態とは密接な關係があることを知り得たので此處に簡単に報告する事にする。

(2) 觀測器械並に觀測方法

使用した器械は拔山博士の考案製作せられたものを其の儘拝借し、吾々の觀測に都合のよいやうに若干の變形を爲したものである。器械の概要は直徑約 6 寸、長さ 50 寸の固定せる圓筒内に、別に徑 4 寸の回轉せしめ得る圓筒を挿込み、筒先から 45 寸の筒底にポーラロイドを接着する。其の後方にカリウム光電管を置き、内部圓筒（ポーラロイド）を回轉せしめて得られる光電流を VZ 77 並に 75 を用ひて 2 段に増幅しメーターで出力電壓を讀取る仕組である。光電管使用の増幅部の構造は第 1 圖に示す通りである。内部圓筒に入射せる光量は光電流としては強きに失する爲、圓板に多數の小孔を中心對稱に穿ちたる絞りを豫め準備し

ておき光量を適當に加減した。又光電流が直流として與へられると増幅が困難であるから別に圓筒の筒先に多數の扇形の孔を中心から放射狀に穿ちおきたる圓盤を小型モートルにて回轉せしめて直流に變調を與へた。ポーラロイドの嵌込んである圓筒が天頂を向くやうに器械を設置固定する。圓筒を回轉すれば光電流の最大な角度と最小の角度が判る様に固定して回轉しない外圓筒に指標を記し置き、更に之に内接ポーラロイドと共に回轉する圓筒には零度から 360 度迄目盛して置けば偏光量の最大最小の位置が判る。

更に偏光度の測定を爲す爲には全光量の同時測定が必要である。其の爲にポーラロイドの圓筒と平行に別な圓筒内にシーメンス製セレン光電池を藏し置き偏光觀測と同時に天頂方向の照度を實測した。兩圓筒の آپァチュアーは大體同一で、光電池を藏めた圓筒の方が多少大きい。

觀測は好晴の日を選び 8 時より 16 時 30 分まで 15 分置きの觀測を行つた。觀測に際しては小型モートルを回轉せしめて、光電流に變調を與へて増幅しポーラロイドの附着せる内圓筒を回轉して最大光量の角度及び最小光量の角度と出力電壓をメーターに依り讀取り、之と同時に照度をとも讀取る事とした。

(3) 偏光面の決定

吾々は觀測に際しては器械の一稜を正東西の線と平行に置いた。故に固定して回轉しない外圓筒の指標は相對的に決り、從つて内接圓筒内のポーラロイド面も決定される譯である。内接圓筒の角度とポーラロイドの偏光面との關係は 153 度と 333 度を結ぶ一線を含む面が之のポーラロイドを通過する光の振動方向と直角を爲し、從つて之等の角度と 90 度づつ異つた 63 度と 243 度を結ぶ一線が偏光の振動方向と成つて居る。Rayleigh の理論に依れば偏光面の位置は純乾燥大氣に於ては (i) 太陽、(ii) 觀測者、(iii) 天空部分以上三者を含む平面と成る。Arago が實測した所に依つても矢張り同様であつた。内接圓筒に密着せるポーラロイドの偏光面と角度との相對位置は既述の如く決定されて居る爲 63 度と 243 度を結ぶ一線と太陽を含む平面が偏光面と成る譯であり、方位角の變化に依り目盛

第 1 圖

- (1) Jahrb. d. Hamburg Wiss Inst., 32. Beich (1914).
- (2) Veröffentl. Preuss Met. Inst. Nr. 303 (1919).
- (3) Ann. d. Phys. 56 (1918); Met. Zeits. 37 (1920).
- (4) Full report in Pa. State Coll. Studies No. 9.

盤上の角度の變化は之の平面が器械と天頂を結ぶ直線を軸として回轉して行く事を意味する。後に述べる太陽方位と偏光面との圖を見ると之の間の消息は一目にして判る。

(4) 偏光面の日變化

偏光は天空狀態に依つて左右されて曇天の日は偏光は観測されず、快晴の日は最も偏光され好晴の日は之に次ぐ。雲量雲形等の變化のはげしく、雲の消滅生成の變化の夥しき日はメーターの讀みが困難で正確な結果が得難き爲、好晴の日を選んで観測を行ふ事にした。之の報告中の観測期間は4月—5月の兩月で大體次の諸日である。

4月 14日, 16日, 20日, 21日, 23日,

26日, 27日, 28日, 30日

5月 3日, 4日, 5日, 7日, 10日,

11日, 12日

之等の諸日は快晴の日及び好晴の日であるが観測開始後雲が現れた場合も観測を續行した爲多少は曇天と考へられる日も含まれて居る。観測の結果から見ると之等の曇天と考へられる日に於て反つて興味ある結果を得た。春の期間の観測の事とて霞の濃い平穩の日の多かつたが、8米/秒もの風速の日は2日もあつた。又午後雷雲が帝都上空まで發達した日もあり、朝方は曇りで10時頃から晴れて來た日等も観測に含まれて居る。

第2圖(1),(2)は偏光面の日變化を示す。之は各時刻に於ける最大光量の角度と最小光量との角度の平均値を縦軸に取り、縦軸の4段目置きを目盛の180度の目盛の線を示し、各日を2枚の圖に描き込んだものである。

一目して判る様に2,3の特別の日を除けば大體曲線の平均を考へると皆平行な直線的變化を爲して居り、各日の細部に付て考察すると種々の事實が判明される。

在來の観測結果に従へば偏光面は(1)太陽、(2)観測せんとする天空部分、(3)観測者の目、以上三者を含む平面で決せられる。吾々の観測したのは固定せる器械の指標に對する角度であるから當然太陽の方位角の變化と同一と成る可きである。

4月21日の曲線を見ると煙霧が濃く天空が霞みベールで蔽はれた様な日であつた。之の曲線を見ると他の曲線と比較して非常にスムーズで偏光狀態が定常的

第2圖 (1)

第2圖 (2)

であつたと考へられる。即ち上層の天氣狀態は安定であつた。既に報告した釧路測候所に於ける日蝕時の偏光面の變化を見るに4月21日の如く定常的な曲線を描いて居る。之は矢張り氣温が低き爲上空の水蒸氣量が少なく、天空狀態が可成安定であつた事と思ふ。各

日の曲線に付てデグザグの大きい日程天空状態は不安定で雲の消滅、生成があり淡き層雲の如き雲の流れて居た事を物語つて居る。快晴と見做し得る様な日でも偏光面の變化には之等の影響が現れて居る。

4月20日と4月21日の兩日は同じ様な快晴の日であつた。然し一方4月21日はスムーズな曲線を描いて居るに對し、4月20日は小さいデグザグな曲線が現れて居る。之をロビツチ式自記日射計の自記具合と比較して見ると矢張り4月21日はスムーズな曲線を描いて居るが4月20日は小さなデグザグの曲線が現れて居り、偏光面の變動曲線は之の天空状態を擴大しより敏感に記録し得る様に思はれる。

5月4日と5月11日は風向に於て南北の違いこそあれ風速が8米/秒もの日であつた。之の兩日は淡い層雲とも蒸氣の流れとも區別し得ぬ雲が流れて居た爲曲線は可成り大きなデグザグな曲線を示して居る。又5月5日も午後は煙霧少なく15時30分頃淡き卷雲が表れた程度の快晴の日であつた。之の兩三日の曲線の状態を全般的に見ると他の諸日の曲線と異つた特徴を見る事が出来る。他の一般の諸日は15時16時頃には太陽面近傍まで多濕の水蒸氣が上昇し下層近邊は霞が見うけられ太陽高度が低く成ると之等の影響が加はり、曇天の場合の如き影響を偏光面に及ぼし、偏光變化が無く、偏光面の角度變化は午後になり幾分上り氣味の曲線を示して居る。然し之の兩日は8米/秒もの風が吹いて居る爲、午後に於ても都市上空には煙霧の如きものは觀測されず又下層の水蒸氣も少なく、偏光面の角度は直線的な傾向を示して居る。恐ら斯の如き曲線の傾向が正常な偏光面の變化であると思ふ。諸外國の學者の報告に依ると風向に依る偏光變化が報告されて居るが當然の事ではあるが偏光面に付ては何等の變化も見うけられなかつた。又後に述べる偏光度に付ても取り立てるべき影響も無かつた。

4月27日は全天が高層雲に蔽はれ太陽の姿が臆に眺め得る様な日であつた。之の日は偏光面は殆ど變化を認め得ない様な曲線状態を示し、太陽の方位角などには、何等の相關も認め得られなかつた。之は高層雲より上空の太陽光は蔽はれて、偏光に關與するのは之の雲層の下の部分許りで大きな水滴に影響された各種の偏光を持つ通過光が觀測される爲に結局偏光面の變化は認められなかつた事と思ふ。

5月3日の曲線の状態も同様に解釋が付く。之の日

の朝方は卷積雲が全天を蔽ひ、11時頃までは太陽の位置に依る影響は無く、偏光面は變化が無く水平な直線状態を示して居る。11時30分頃より13時45分頃までは天空が晴れて正常の曲線の状態に返り、14時及び14時15分の兩時刻には高積雲に蔽はれた爲に午前中の水平直線の延長とも見做し得る位置に變化をして居る。

5月3日13時45分と5月4日13時15分の兩時刻には淡き高層雲があり日暈が見うけられ、天頂にも同様の雲があつたが偏光面の土にはさしたる影響は見うけられなかつた。當然斯の如き天空状態に於ては其の影響が現る可きであるが、偏光面に影響を及ぼし得ない程度の淡き爲か角度上の變化は觀測されなかつた。

(5) 太陽方位と偏光面

吾々は偏光面と太陽の方位角即ち太陽の位置との相關を考へた。偏光面の日變化の状態は各々の日の同一時刻に於ける偏光面の角度を平均すると宜い様に考へられるが、之等の日の中には其の天氣状態に依り可成り正常の状態からかけ離れた曲線もあるので先づ代表的と考へられる正常の日の偏光面のみに付て考へ同一の時刻の値を平均したものを縦軸に取り、横軸に各觀測時刻を取つた。之が第3圖である。之と同時に各日の方位角を計算したが、之等の期間中の中間の日として5月4日の方位角の變化で代表させ適當のスケールで同一圖の中に描いて見た。之の表を一目すれば當然の事ではあるが、兩曲線は大體平行して居る事が判る。然し午後の偏光面の部分は多少平行からずれた傾向を示して居るが、之は前にも述べた如く之の季節の

第3圖

天気状態の影響が關與して居る事と思はれる。恐らく大氣の清く澄んだ日、田舎に於て観測を行へば午後も全く平行する事と考へられる。

(6) 偏光度と天気状態

既に述べた所であるが此處で云ふ偏光度とはポーロイドを通過し得る最大光量と最小光量の差を全光量で割つたものである。之の場合各光量はメーターの読みを使用して居るから偏光度の單位は絶體單位では無くアルビトラリーと成つて居る。

之の観測期間中日に依つて偏光度の著しく異なる事實を知つた。其の日の偏光度の相對強度に依り大別して三つの組に分つて見た。第1組は偏光度の強かつた

日で第2組は其の中間に位し、第3組は偏光度の最も小さい日であつた。之等の各組の諸日は其の日の天気状態と密接な關係があり、第1組は快晴の日であり、第3組は曇りの日であり、第2組に屬する日は晴と云はる可き日であつた。

各組に屬する日は次の如くて縦軸に偏光度を、横軸に各観測時刻を取り、之等の相關を描けば第4表(1)、(2)、(3)圖の如く成る。

第1組 4月20日、5月4日、5月11日、
5月12日

第2組 4月14日、4月23日、4月27日、
5月10日

第3組 4月21日、4月26日、4月30日、
5月7日

第1組の中5月4日は南の風が毎秒8米/秒程度の速度で吹き多少の塵芥はあつたが、快晴の日であつた。5月11日は北風が毎秒8米/秒程度に吹き矢張り快晴の日であつた。4月20日は快晴の日で14時頃初めて K' が僅かに観測された程の日であつた。5月12日も快晴で16時まで殆ど雲量は観測されなかつた。吾々は快晴の日に限り偏光度が異常に大きいと云ふ事實を知つた。之等の日は都會持有の塵芥も少く煙霧も無く、天空も青く澄んで居り、斷然上昇した大氣中の水蒸氣も凝結を起し、或は氷晶の生成、水滴の形成も行はず、肉眼で判らない上層に於ける之等のものゝ影響は無く自由大氣中の偏光度許りが現れて來て居つた事と思ふ。

第2組に屬する4月14日は10時頃より層積雲が観測され初め、16時頃には其の雲量は8位に増加して居た。之の事實より見れば8時、9時頃より上層に於ては水蒸氣が凝結して水滴を生じ雲の發生の過程にあつたと考へられる。4月27日は朝方は高層雲や層雲等が観測され、日中は卷層雲が雲量10位まで發達した。午後は卷層雲、高層雲等が観測された。大體之等の日は雲量も多く曇りの日であつた。5月10日は9時頃から正午頃まで快晴であつたが、朝は層雲が観測され、13時頃から中層雲が観測された。5月10日の示す曲線には之の日の天気状態が如實に現れて居り、10時半頃より12時頃まで偏光度は相當に大きく成つて居る。Rayleighの偏光の理論は自由大氣の場合であつて、實際の大氣の如く水蒸氣及び種々の性質の塵埃を含む場合は、之に關與する分子が理論

的の場合と異なり、偏光度は小さく成る。

第 2 組の場合を第 1 組と比較すると、水蒸氣の量が多く、猶且つ凝結した水滴の影響も考へられ偏光度は小さい。之の間の事實は圖より容易に知る事が出来る。

第 3 組に屬する場合は總括的に見れば非常に煙霧の濃い日であつた。4 月の事とて相當に濃い春霞があり、都は煤煙に閉されて居る長閑な日であつた。之の様に風も無い都市の上空には種々の金屬性粒子の浮遊も考へられる。Ehrenhaft⁽⁵⁾ の實驗に依ると、金屬のコロイドに依る偏光の最大は入射光の方向にも關係し、粒子の大きさに依つても偏光の大きさは非常な影響を受ける事が發表されて居る。之等の粒子の場合は無論球狀とは考へられず、理論的には粒子の形狀は球狀と假定して居る爲、之の形狀から來る影響も相當に考慮せられねばならぬと思ふ。兎も角之等の粒子が存在する場合は太陽から來る光は擴散されて減光し、透過率は無論小さくなり、以上の諸因子が加はつて自然、偏光も小さく成ると考へられる。事實觀測の結果に依れば、最も偏光度の小さい 4 月 26 日及び 4 月 30 日

の如きは 1 日中都市の上空を煙霧、煤煙が蔽ひ、偏光度は午前、午後とも一樣に變化が無く全體的に小さかつた。

結 語

吾々は之の觀測に依り偏光面と太陽の方位とは Rayleigh の理論の如く全く平行して變化する事を確かめ得た。偏光度と天氣狀態との間には密接な相關があり、曇天の際は全く偏光の變化は觀測されず、快晴の日は偏光度が最も大きく晴天の日は之につく偏光度を示した。觀測中雲の生成消滅が如何に偏光變化に大きな影響を及ぼすかと云ふ事實を知つた。之は將來の氣象學にも重要な問題であると思ふ。之の觀測中にも日暈の現れた日があり、異つた風向の日等もあつたが、之等に依る偏光變化は材料も少なく未だ將來の問題である。尙天空各部の偏光觀測、波長別觀測等も残されて居るが、之等は今後の觀測を俟たなければならぬ。觀測器械は拔山先生より借用したもので、種々御便宜を與へて戴いた。課長川畑博士からは終始懇切なる御指導にあづかつた。附記して深甚の謝意を表するものである。

(5) Sitzungsber d. Wien. Akad, 112, Abt, II, a (1903).