

電光のスペクトラムに就いて*

小 岩 井 誠

I. 昨春以來筆者はプリズム二個 F/4.5 の分光寫眞機で夜光の長時間露出を行つて來たが、往々 λ 6500Å 附近に特別強い帯狀の輻射を認めることがあつた。第 1 圖は 1940 年 3 月より 5 月に至る 58 時間の露出で撮影した夜光のスペクトラムであるが、 λ 6364, 6300, 5984, 5570Å 以外に λ 6520Å 附近に明かに相當強度の大なる輝帯を認める。

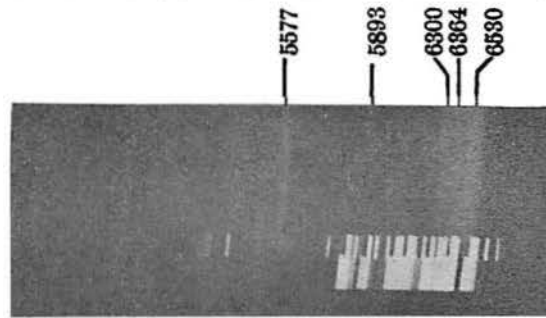
此の λ 6520Å 輝帯は夜光本來の輻射とは考へられない。勿論夜光に於ても此の部分に輝帯の存在することは知られてゐるが、他の輝線と其の強度を比較して、夜光本來の輻射と看做すことを疑問視したのである。筆者は此の輻射の起源を電光以外に考へられぬと思つてゐる。

たとへ夜光観測地の全天が快晴であつても、遠方の電光（稲妻）が大氣の粒子に反射擴散されて分光寫眞機に入ることは極めてあり得ることと考へる。夫故筆者は電光のスペクトラムに果して λ 6520Å に該當する部分に、強い輝帯が存在するかどうかを知りたいと考へたが、筆者の手の届く範囲内では電光のスペクトラムを取扱つた記事は極めて少なく、僅かに Ap. J. 等⁽¹⁾ に三回だけ見出し得たに過ぎず、而も之等の電光スペクトラムは、イソクロム級の乾板に撮影してある爲に、長波長の部分は全く知ることが出来なかつた。

元來電光は空氣中の火花放電に依るものであるから、態々電光のスペクトラムを撮影するまでもなく、實驗室で充分撮影出来る爲か、或は電光のスペクトラムからは別して珍らしい結果を期待出来ぬ爲に撮影の勞を省いたものと考へられる。

II. 上述の如き経緯から、早速昨夏電光のスペクトラムを撮影して見た。使用した器械は普通の寫眞器にプリズムを附した對物プリズム分光寫眞器、及び前記の夜光長時間露出用の細隙分光寫眞機の兩者である。

第 1 圖 夜光のスペクトラム
露出 58 時間 (1940 年 3 月 28 日~5 月 14 日)



* M. Koiwai: On the Spectrum of the Lighting.

(1) Edward C. Pickering: Ap. J. Vol. 14, p. 367, 1901; Philip Fox: Ap. J. Vol. 18, p. 294, 1903; W. J. Humphreys: "Physics of the Air" p. 387.

前者に依ると各電光毎に、電光の形状、上方と下方との輻射の強度差等をも見ることが出来るが、一般には分散率が小さく、又電光を視野の中央にキャッチすることは仲々困難である。之に對し細隙分光寫眞機（コンデンサーなしの）を、仰角及び方位角を自由に變化し得る臺の上に載せて、電光の激しい方向に向けて露出する場合は、手数の點及び乾板の點で甚だ經濟的で、加ふるに分散率を大にし得る利點がある。Ap. J. 等に發表されてゐるスペクトラムは何れも天文臺の對物プリズム望遠鏡で撮影したものであつて、細隙分光寫眞器で撮影する方法は全く行はれなかつたのではないかと思はれる。

筆者は細隙分光寫眞器の方に主力を注いで、對物プリズム寫眞機の方法は單に撮影して見たといふ程度に過ぎぬ。

寫眞 I の B は昨年 8 月 20 日夜、柿岡地方を襲つた雷に際して、細隙分光寫眞機で撮影したスペクトラムで、C は之を引伸したもの、更に大きく引伸した印畫を寫眞 II の B に示した。露出時間は 20 時より約 2.5 時間であり、落雷に依る火災が露出方向に起つた爲に中止した。電光迄の距離は 2 杆以内と考へられ、又露出の後半は雨中の電光に屬してゐる。分光器の分散度は原板上で 6500, 6000, 5500 及び 5000Å 邊で各々 140, 100, 70 及び 50Å/mm で、6600~5000Å が約 2 cm である。

此の原板をネオンスペクトラムを標準としてコンパレーターで測定し、分散曲線から圖解法で波長を決定した。寫眞 II の B に記入してある波長は其の結果である。但し細隙の幅を 0.2 mm とした爲に線の幅が相當廣く、従つて決定した波長も所に依り 10 數オングストロムの誤差があると考へねばならぬ。

寫眞 II の A は理研の三島氏から戴いた實驗室内の火花放電スペクトラムであるが、之と同寫眞 B の電光スペクトラムを比較すると、一見相當良く一致して居り、一般に豫想される通りである。然し詳細に吟味する時は必ずしも簡単に片付けることが出来るとは考へられぬ。

III. 電光スペクトラムを詳細に調査する爲に第 1 表の如く、電光スペクトラム、實驗室に於ける空氣中及び酸素中の火花放電、窒素中の低壓放電（之等兩者は理研より借用したスペクトログラムより筆者が波長、強度を推定したものであることを附記する）及び Physikalisch-Chemische Tabellen 等から拾つた空氣中の N (N II は除外)、O, A の波長を表示した。

第 1 表からして寫眞 II B の電光スペクトラムの長波端に位する強い輝線は水素の H_{α} であることに何等の疑問の餘地はない。II_a 線は空氣及び酸素中の火花放電にも極めて強く現はれて居り又窒素の低壓放電にも常に存在してゐる。之は勿論放電に際して水蒸氣が解離して水素を生じ、此の水素から發生せられたものであらう。尙一般に赤い電光には水素の輝線（特に H_{α} ）が強く現は

第 1 表

電光スペクトラム		實驗室に於ける空氣及び酸素中の火花放電 (寫眞 II A)			酸素の低壓放電			空氣中の諸元素のスペクトラム (NII 除外)	
波長	性質	波長	比 強 度	元素	波 長	性 質	元素	波 長	元 素
6563	極強・鋭	6563	空氣(極強) > 酸素	H _α	6563	極強	H _α	6563	H _α
6525	強・幅廣帯狀 長波端鋭	6480	空氣(強) > 酸素	N	6482	強	NI	6540 6485 6464 6173 6158 6106 6013 6008	N ₂ NI OI AI OI AI N ₂ NI
6168	稍強・青端鋭	6170	空氣<<酸素(極強)	O?	6169	強	NII		
6100	弱・鋭	6110	空氣<酸素(中・幅廣)	O?					
6008	中・青端鋭	6005	空氣<酸素(中・幅廣)	O?	6008	弱	NII		
5936	中・鋭	5942	空氣(強・二重)>>酸素	N	[5940]	強	NII		
5752	強・幅廣帯狀 青端鋭	5742	酸素中にて弱					{ 5755 [5755]}	N ₂ NII*
5714	稍強・鋭	5705	空氣(中)>>酸素	N	5712	稍強	NII		
5673	極強・鋭	5685	空氣(極強・二重)>>酸素	N	[5680]	強	NII		
5617	中・幅廣		欠		5622	弱	NII	{ 5615 5607 5570 5570	N ₂ AI N ₂ Kr
5560	稍弱・ボヤケ		欠		5565	弱	NII	5527	N ₂
5530	中・鋭	5535	空氣(中)>>酸素	N	[5585]	稍強	NII	5496 5484	AI N ₂
5494	弱・鋭	5498	空氣(中)>>酸素	N	5498	弱	NII	5452	AI
5450	極弱	5455	空氣(中)>酸素	N	5455	弱	NII	5373	AI
5372	極弱		欠					5330	OI
5327	極弱	5330	空氣<<酸素(中・幅廣)	O?	5335	弱	NII	{ 5324 5198 5188 5185 5063	N ₂ NI** AI N ₂ AII
5185	中・幅廣	5184	空氣(弱・幅廣)>>酸素	N	5180	稍強	NII		
5063	中	5066	空氣<<酸素(弱)						
5035	稍弱	5040	空氣(弱)>>酸素	N	5040	稍強	NII		
4988	極強・鋭	5001	空氣(極強)>>酸素	N	[5005]	極強	NII	[5007]	OIII
4917	弱	4915	空氣<酸素(中)	O?				{ 4917 [4911]	N ₂ OII?
4821	弱・幅廣	4815	空氣(中)>>酸素	N	[4803]	稍弱	NII	4838	N ₂
4782	弱	4790	空氣(弱)>>酸素	N	[4780]	弱	NII	4780	OII***
4737	弱	4737	兩者に痕跡のみ					4728	AI
4698	弱	4707	空氣<<酸素(極強)	O?				[4705]	OII***

*: 禁止線 (新星・極光中にあり)

** : 惑星狀星雲中にあり

***: 極光中にあり

[] : Nova Aquilae, 1927 中にあり

れるであらうことは窺はれる。又白色の電光には水素の輝線は極めて弱いか、或は殆んど全然認め得ぬこともあるらしい。今回の電光スペクトラムには H_β が認められぬが、之は全然缺如してゐるのではなく極めて弱いと見るべきであらう。*

次の λ 6525Å 邊から短波の方向にぼけて、極めて強く現はれてゐる輝帯様のものは λ 5752 邊から長波長 (短波の方向にも伸びてゐる如く思はれる) の方向にぼけてゐる輝帯様のものと共に、

* 何れにせよ放電のエネルギーは水素原子を量子数 4 以上に excite することは今回の電に於ては極めて少なかつたと考へられる。

實驗室に於ける火花放電には見られぬものである。此の輝帯様の部分は、或は使用した乾板（オリエンタル汎色）の増感部に屬してゐるため、連続スペクトラムが強く感じたとも考へられるが、第1圖の如く明かに $\lambda 6520\text{\AA}$ 邊に輝帯の認め得ることから考へると一概に連続スペクトラムと看做す譯には行かぬ。筆者は之等を第2表に掲げた他の數本と共に、窒素分子の First Positive Bands (${}^2D^{\prime}D$) $B^3\pi \rightarrow ({}^2D^{\prime}S) A^3\Sigma$ に屬する輝帯と考へては如何と思つてゐる。元來此の First Positive Bands は窒素中の低壓放電及び夫の殘映 (After glow) 中に現はれ、又 Arc line が強く出る如き状態に於て現はれ易い輝帯であるが、常壓に於ける火花放電では寫眞 II の A に示した如く全然認められない。

第 2 表

電光中之等輝帯の存在が確實であるならば、常壓に近い大氣中に於ても雷放電の如き高壓の場合には現はれ得ると考へられる。電光の通路が低壓になるか高壓になるかは未だ定説が無い様に思はれるが、理論上からは數十氣壓の高壓になると云ふ結果を出してゐる人もあるが、瞬間的には常識的には低壓になりそうにも思はれる。此の邊の消息は更に電光のスペクトラムを研究することに依り明瞭になることと考へる。

尙、此の $\lambda 6525$ 輝帯の頭部に重なつて NI, OI の輝線が含まれてゐると看做すのが妥當ではないかと考へる。

次の $\lambda 6168\text{\AA}$ の稍強い輝線は寫眞 II の

A でも知れる如く、空氣中よりも酸素中の放電の方が遙かに強く現はれてゐる。此の様な輝線は他にも數本認められ、酸素或はアルゴンの輝線を考へられる。此の外、實驗室の火花放電には全然認められぬか或は極めて微弱にしか現はれず、電光スペクトラムに相當強く現はれてゐる線が數本存在するが、之等はアルゴン或は窒素の輝帯とも考へられるであらう。

電光スペクトラムの輝線中に極光、新星、惑星狀星雲、太陽コロナ等に認められると同様な線がありはせぬかとの疑問も起り、E. C. Pickering は彼自身撮影した電光スペクトラムとペルセウス座の新星 (Nova Persei, No. 2) のスペクトラムとを比較して強度及び波長が一致してゐるものゝあることを述べてゐるが、電光のスペクトラムの波長を更に詳細に調査した上でなくては夫等を論

電光スペクトラムの起源

波 長	考へ得る元素
6563	H α (6563).
6525	N $_2$ (First P.B.), NI (6485), OI (6464).
6168	N $_2$ (6169), OI (6164), AI (6173).
6100	AI (6106).
6008	N $_2$ (First P.B.), NI (6008).
5936	NII (5940).
5752	N $_2$ (First P.B.).
5714	NII (5712).
5678	NII (5680).
5617	N $_2$ (First P.B.), NII (5622).
5560	N $_2$ (First P.B.), NII (5565).
5530	NII (5535), N $_2$ (First P.B.).
5494	NII (5498), N $_2$ (First P.B.), AI (5496).
5450	NII (5455), AI (5452).
5372	AI (5373).
5327	OI (5330), NII (5335), N $_2$ (First P.B.).
5185	NII (5180), N $_2$ (First P.B.), AI (5188).
5063	AI (5063).
5035	NII (5040).
4988	NII (5005).
4917	OII (4911), N $_2$ (First P.B.).
4821	N $_2$ (First P.B.).
4782	NII (4780), OII (4779).
4737	AI (4733).
4698	OII (4705).

第 3 表

Fox			Vogel	Schuster	Pickering	筆者			
波 長 (15 倍に拡大)	波 長 (3 倍に拡大)	性 質	波 長	波 長	波 長	波 長	性 質	同 定	
3848	3838	弱・幅廣 弱・時に依り二重 極弱			3881				
3898	{ 3890 3915								
3950	3943								
3997	{ 3997 4041.5 S	稍弱 中			{ 3956 } H _α { 3998 } 4046				
4074	4077				4102 H _β				
4106	4105								
4143 V	{ 4154 4188	幅廣・時に依り二重			{ 4147 4187				
4165 C					{ 4222 4263				
4188 R					4341				
4236	4238	強							
4349	4359	幅廣・中							
4439	4439	強							
4529	4535	幅廣・ボヤケ			4519				
4630.7 S	{ 4603 V 4630.7 C 4660.1 R	幅廣・強	4583 } 帯 4673 }		4643				
						4698 極弱 4737 極弱 4782 極弱 4821 弱・幅廣		OII AI NII, OII N ₂	
4790	4786	極弱			4754				
4858	4842	極弱	4860		4861 H _β				
5003.7 S	5003.7 S	稍強	5002	5002	4940	4917 弱 4988 極強・鋭 5035 稍弱 5063 弱		OII?, N ₂ NII NII AII	
5175	5156	極弱	5184	5181	5173	{ 5185 5267	中・幅廣	NII, N ₂ , AI	
5306 V	幅廣・赤端 } 極強			5260					
5600 C				5341	5334		5327 極弱		OI, NII, N ₂
5683 R									
						5372 極弱 5450 極弱 5494 弱・鋭 5530 中・鋭 5560 稍弱・ボヤケ 5617 中・幅廣 5673 極強・鋭 5714 稍強・鋭 5752 強・幅廣・青端鋭 } 5936 中・鋭 6008 中・青端鋭 6100 弱・鋭 6168 稍強 6525 強・幅廣・赤端鋭 } 6563 極強・鋭		AI NII, AI NII, N ₂ , AI NII, N ₂ N ₂ , NII N ₂ , NII NII NII N ₂ NII N ₂ , NI AI N ₂ , OI, AI N ₂ , NI, OI H _α	

S: 波長測定に使用した線

V: 短波端

C: 中 央

R: 長波端

N₂: First Positive Bands に属すると考へられる。

することは出来ない。之等に関しては筆者は只第 1 表の欄外に一二注意として附記するに止める。但し窒素の First Positive Bands は極光及び夜光には明かに存在して居り、夜光に於ては 20 本以上数へてゐる人もある。先に筆者が夜光スペクトラムに認めたる λ 6520Å の輝帯は此の First Positive Bands に屬する輝帯と考へるのが最も妥當であり、又其の起源が電光にあると考へて良いと信ずる。

尙、便宜上 Philip Fox が Ap. J. に表示した電光スペクトラムに、筆者の今回の電光スペクトラムを加へて第 3 表とした。之に依り短波域から長波域に亘つて大體の電光スペクトラムの様子が明かになつたことになる。只惜しむらくは Fox 等は何れもスペクトラムの同定を殆んどしてない。或は筆者の電光スペクトラムに撮つてゐない短波域に於ては NII, OI, OII 以外に N_2 の Vegard-Kaplan Bands ($^4S^2D$) $A^3\Sigma \rightarrow (^4S^4S) X_1\Sigma$, Second Positive Bands ($^2D^2P$) $C^3\Pi \rightarrow (^2D^2D) B^3\Pi$ に屬する輝帯も現はれる可能性がある。

終りに臨み此の觀測に便宜を與へて下さつた今道所長及び實驗室に於けるスペクトログラムを御貸し下さつた理研の三島、神山兩氏に謝意を表はす次第である。

(於柿岡地磁氣觀測所)



1940年6月19日

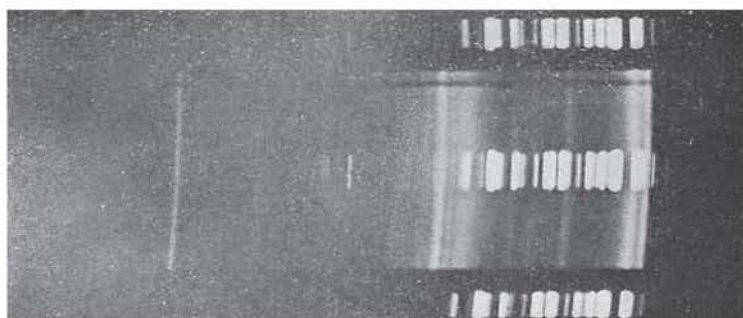


1940年8月21日

A



B



C

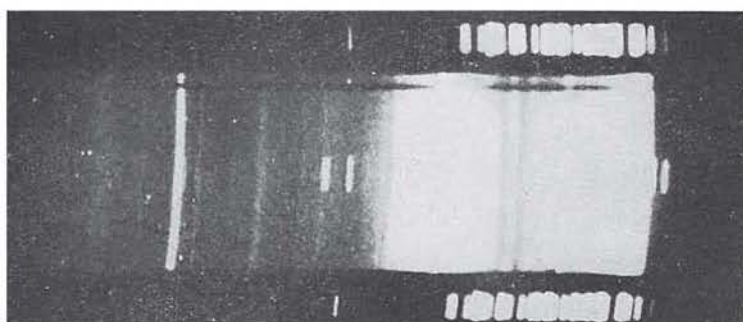


写真 I. A: 對物プリズム寫真機に依る電光スペクトラム
B: 細隙分光寫真機に依る電光スペクトラム(1940年8月20日)
C: Bの引伸

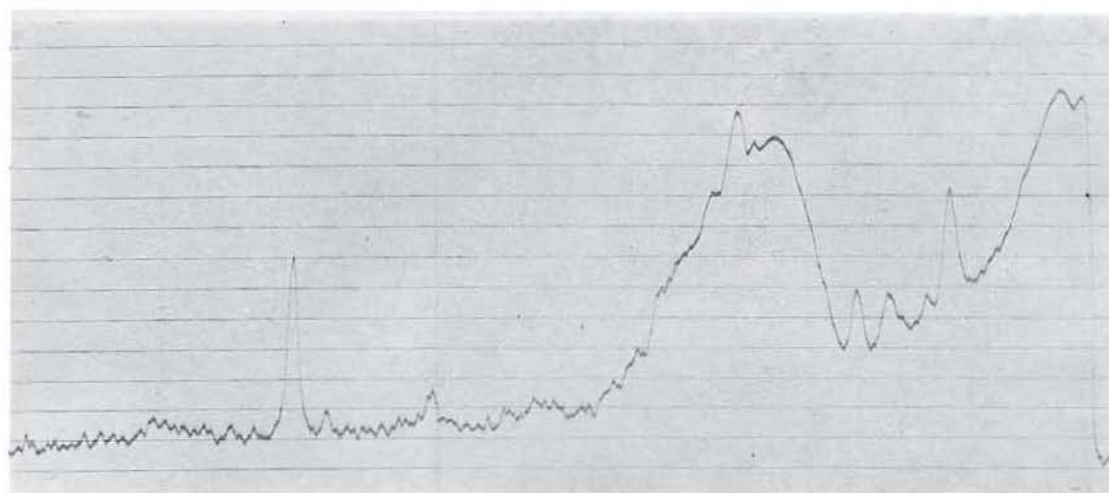
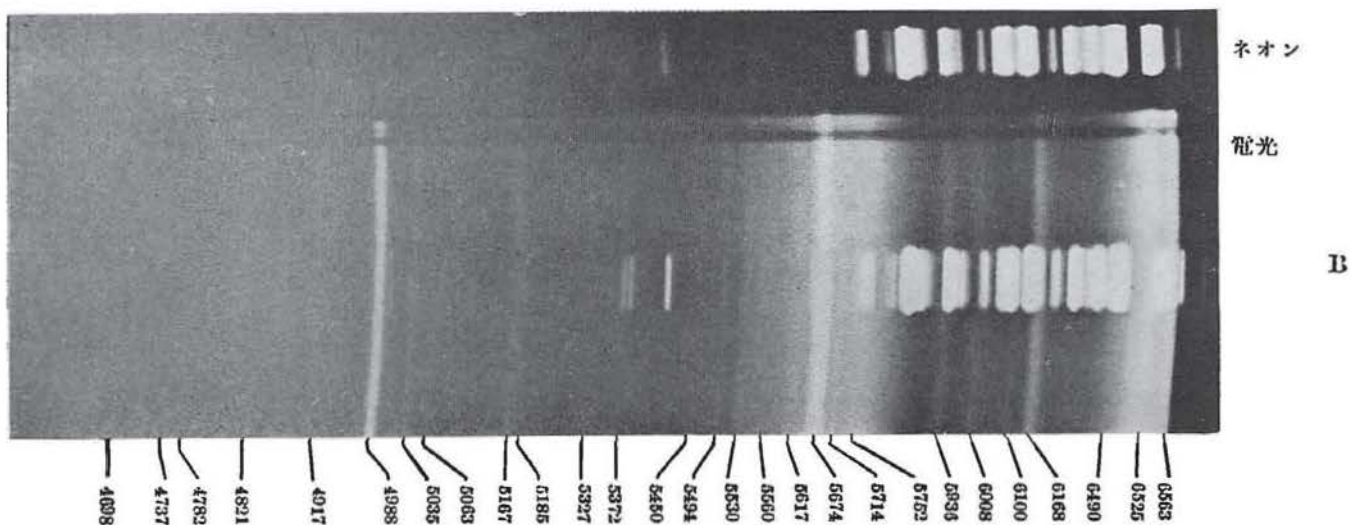
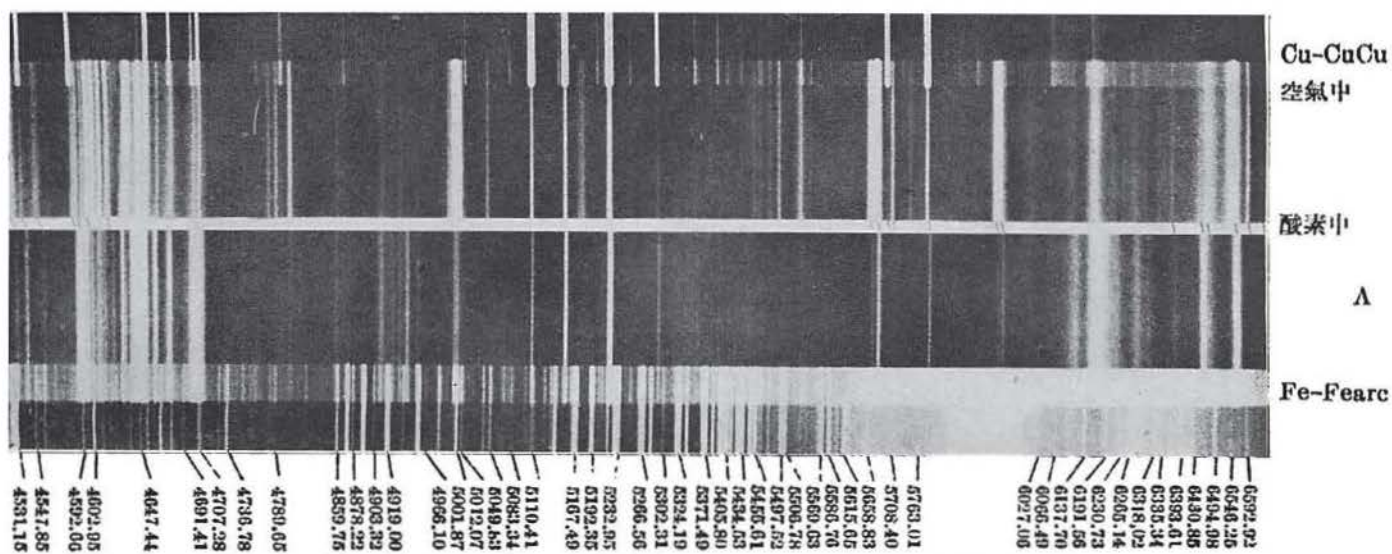


写真 II. A : 実験室に於ける火花放電のスペクトラム
 B : 電光のスペクトラム(写真 I の B の引伸)
 C : 電光スペクトラムのマイグロホートメーターに依る記録

Memoirs of the Kakioka Magnetic Observatory

Vol. IV, No. 1. June, 2602. (1942)

Abstract of Memoirs

On the Spectrum of the Lightning

By M. KORWAI.

The spectrum of the light from the night sky often shows unusually predominant band at about λ 6520Å (Fig. 1). This band is too intensive to ascribe to the light of the night sky and the author suspects it to be the light from the lightning. To make sure of it, he has observed the spectra of the lightning in the summer 1940.

In this paper he reports the wave-lengths and characters of the spectrum of the lightning and compares the spectrum with the spark and low pressure discharge spectra in laboratory.

He identifies the lines and bands with the most probable element in the air.

Some problems of the relation between disturbed magnetic force and a magnetized body

By T. YUMURA.

In his previous papers, the writer gave the results of distribution and the local anomalies of the Earth's magnetic field, but in attempting to discuss the anomalies theoretically, he had to put some assumptions to the following factors:

- (1) the geometrical form and the position of the vertical direction of the subterranean body,
- (2) the cause of the magnetization of the body,
- (3) the direction and the magnitude of the magnetization.

At first, for (1), the form and depth shall be roughly imagined from the disturbed field on the Earth's surface and geological structure, excepting the case when they were found by the boring. In either case, however, the ideal form must be considered for theoretical discussion.

Next, as regards the second, we may be able to consider the following causes:

- (1) the Earth's magnetic induction to the substance of the earth's crust,
- (2) the permanent magnetism of rocks,
- (3) the electromagnetic action due to a local earth-current.

But we can't easily determine to which of the three the cause of magnetization belongs.

In general, theoretical calculations will be carried out under the condition that the magnetization is caused by the Earth's magnetic induction, and uniform all over the body, with its direction parallel to the Earth's magnetic field, having the magnitude defined by the susceptibility and the field. In practice, these idealised conditions above mentioned are not fulfilled.

If a substance of an arbitrary form is placed in the Earth's magnetic field (generally, in a uniform

field), it is not uniformly magnetized; that is, the magnetic induction at every point is not the same.

The form of the substance, in which it is uniformly magnetized, is only an ellipsoid. Even if the substance is uniformly magnetized, the direction of its magnetization is not parallel to that of the outer field. The form of the substance, in which the direction of the magnetization is parallel to that of the outer field, is only a sphere.

If the magnetization of the body depends only on magnetic induction, A , B , C — x , y , z -components of the magnetization respectively—are defined by

$$A = \frac{F_{0x}}{\frac{1}{\kappa} + N_x}, \quad B = \frac{F_{0y}}{\frac{1}{\kappa} + N_y}, \quad C = \frac{F_{0z}}{\frac{1}{\kappa} + N_z}$$

where F_0 is the outer field, κ the susceptibility, and N the demagnetizing factor.

In general these three components of the demagnetizing factor are not equal, and the direction of magnetization, usually, is not parallel to the outer field. Only in the case of which κ is smaller than 10^{-3} , the contribution of the factor to the direction of the magnetization becomes out of consideration.

Under such assumptions, the writer gives, in this paper, the field of the rectangular solid placed in a uniform field.

The writer has mentioned in this paper that the direction of the magnetization can not be determined so easily, when the body has a permanent magnetism, or is magnetized by induction. The following method, however, will bring to light this problem to a certain degree.

If the origin of a rectangular coordinates is taken appropriately in or near the body, such as $r > r_0$, where r is the distance from the origin to some external point and r_0 from the origin to any volume element in this body, then the distance from the volume element to the external point is represented by a spherical harmonic series.

Hence, if the magnetization of this body is uniform, the magnetic potential, consequently the magnetic force, due to this body is represented by a spherical harmonic series; that is

$$X = \sum_0^n S_n^1 \int r_0^n P_n dv \quad Y = \sum_0^n S_n^2 \int r_0^n P_n dv \quad Z = \sum_0^n S_n^3 \int r_0^n P_n dv$$

Since S_n^1, S_n^2, S_n^3 are linear functions of A, B, C , the values of AP_n', BP_n', CP_n' are obtained ($P_n' = \int r_0^n P_n dv$). Hence, by taking the ratio of these values, the direction of the magnetization will be found.

Distribution of the Earth's magnetic field in Akita prefecture—Part I.

By T. YUMURA.

Abstract—From June to October, 1940, the magnetic observation of the vertical and horizontal intensity was carried out in Akita prefecture by the author and Mr. S. Kikuti.

The number of the stations for observation was 384, in which three standard stations, Akita, Odate and Yokote were included, and the instruments used were the vertical and horizontal field-balance by Ad. Schmidt.

The object of this survey were not only to obtain the distribution of the Earth's magnetism in

Akita prefecture, but also to investigate the following:

- (1) the distribution of the magnetic intensity over the oil-field,
- (2) the character of the magnetic field due to a volcanic mountain.

Oil-exploration is an indirect application of the magnetic method and furthermore has a double indirect nature. First, oil itself can't be found magnetically; we must rely on finding favourable structures in such formations as are expected to be oil-bearing; secondly, inasmuch as these formations are mostly non-magnetic, we must attempt to find igneous rocks which bear a known structural relation to the potential oil-formation,—the anticlinal formations of buried igneous rocks and the faults of the same rock or of crystalline formations.

As above mentioned, it is very difficult to apply the magnetic method to the oil-exploration but the writer almost accomplished his object by observing the anomalous band parallel to the oil-field which runs from south to north nearly along the coast of the Nippon Sea and by the detailed observation about the Asahigawa oil-field lying in the northern part of the field. (The latter result will be mentioned in Part II of this manuscript.)

For the second object, by the observations of two volcanic lakes, Towada and Tazawa, the author found some typical anomaly as a magnetic property of volcanic mountains.

The distribution of magnetic forces about volcanic mountains was observed at Mt. Fuji by Professor A. Tanakadate and at Mt. Mihara by Dr. T. Nagata, etc, and these results agree with that of the author about the surroundings of the central part of the mountain, but, since their observing stations were chosen roughly, those results could not give the state near the centre.

As the writer chose the denser net of stations near the centre, the state of the central part was considerably brought to light.

The direction of the magnetisation of subterranean rocks at Towada was found by the method, originally given by the author. (See the preceding paper, "Some problems of the relation between magnetic disturbed force and a magnetized body.")
