

柿岡に於ける空間電荷に就いて

横内 幸雄

On the Space Charge in Atmospheric Electricity at
the Kakioka Magnetic Observatory

By Y. YOKOUTI

Abstract:— In this paper are reported the results of simultaneous observations of both space charge and potential gradient at Kakioka during about two years from Aug. 1935 to Oct. 1937. The space charge was recorded automatically by the Thomson's method, and the results show the following mean values; 0.049 e.s.u./m³ in year, 0.056 e.s.u./m³ in winter and 0.039 e.s.u./m³ in summer. The relation between the space charge and the potential gradient at Kakioka, is generally complicated, but is of interest. In the diurnal variation of the potential gradient the following results were obtained that, the morning maximum may be not only affected by the space charge but by any other important factors, while the evening maximum may be affected directly by the space charge near the ground.

The space charge are largely affected by wind velocity and the relation between these two factors was investigated, and moreover the relations between the space charge and the other meteorological factors were studied.

1. 緒 言

空中電位差の観測は世界各地に於て行はれ、その長期間に亙れる観測結果は数多い。S. J. Mauchly⁽¹⁾ は海洋に於ける空中電位傾度の結果を基礎とした陸上の各地の観測結果を調和分析して、空中電位傾度の日変化が緯度時にて 24 時間週期の汎世界的効果に依ることを確めたが、陸上の観測結果の内にはこれと一致しないものも多く、これは局所的差異に依るものとされた。又最近 J. G. Brown⁽²⁾ は空中電位傾度の日変化を論じて Mauchly の説を擴張し、陸上の観測結果を分析し局所的差異の態勢を見出して、空中電位差の日変化の理論に對し重要な一石を投じた。然しながらまだ空中電位差の日変化の總てを説明し盡す説は見出されない様である。J. G. Brown⁽³⁾ や 島山、星兩氏⁽⁴⁾ が看破して居る如く、空中電位傾度と空間電荷との相關は大であり、空間電荷に對する研究は空中電位差の日変化の理論に暗示を與へ得るものと考へられるのに、兩者の長期間に亙る平行観測の結果は未だ少ない。然し近來空間電荷の観測より更に進んで小イオン、中イオン及大イオン等の數の自記測定が行はれ、これ等の日変化及年変化等が報じられて居る⁽⁵⁾。

(1) Terr. Mag. 28, 1923, p. 61-81.

(2) Terr. Mag. 41, 1935, p. 413-424.

(3) Terr. Mag. 35, 1930, p. 1-16.

(4) 氣象集誌 14. 1936. p. 159-164.

(5) O. W. Torreson & G. R. Wait: Terr. Mag. 39, 1934, p. 47-64, p. 111-119.

" " Terr. Mag. 40, 1935, p. 425-432.

A.P. Gogge & I. M. Moriyama: Terr. Mag. 40, 1935, p. 295-306.

本邦に於ては空間電荷の観測は豊原(樺太)にて昭和8年10月より初められ、1年間に對するその観測結果が報告されて居る⁽⁶⁾。一方柿岡に於ては昭和7年7月より空間電荷の自記観測が進められて居つたが昭和9年7月に於ける大降雹のため屋外の装置が破壊され続行不可能となり、その後種々の事情のため一時中止のやむなきに至つたが、昭和10年10月より再び自記観測を開始した。こゝに昭和12年8月迄の観測結果を纏め、その概略を空中電位傾度及び氣象要素との同時観測結果と共に比較報告する。

2. 観測方法

空間電荷の測定に用ゐられるものには4つの異つた方法⁽⁶⁾があるが、その中で「トムソン」の方法を採用して自記観測を行つた。金網籠は正六面體のものを用ゐ、その一邊の長さは1.36米で中心の高さは1.50米である。金網は銅網を用ゐ、これを接地しその他の總てに銅線を用ゐた。蒐集器(眞鍮材に放射物を塗布せるもの)は1時間に1回自動的に接地した。金網籠は観測室の外壁より約55厘米程隔てゝ据付け、蒐集器は観測室の側壁より突き出したる竹の棒の一端に吊して籠の中心に保つた。竹の棒は屋内にて「アンブロイド」を以て堅固に支持し、導線は竹の棒の中を通じて、電位計へ導いた。電位計には「ドレザレック」型を用ゐ、その懸垂線には燐銅線を用ゐて充分で、観測中の感度は1日1回測定し、1米の距離で大體4極毎ヴォルトであつて、週期は8.5秒であつた。竹の棒を支持せる「アンブロイド」は「カーボン」電球にて常に乾燥させ湿度に依る絶縁低下を防いだ。電球は金網にて遮蔽し、又蒐集器より電位計迄の導程は出来る限り小にし、すべて電氣的に遮蔽した。

扱て空間電荷の値を決定するには、

正六面體の一邊の長さを a とし、その中心に於ける電位を V とすると空間電荷の密度 ρ は次の式で與へられる⁽⁷⁾。

$$\rho = 1.41 \times \frac{V}{a^3}$$

こゝで $a = 1.36$ 米であるら電位 V をヴォルトで現はすと

$$\rho = 0.25 V \text{ e.s.u./M}^3$$

となり ρ は e.s.u./M³ で與へられる。

3. 観測結果

昭和10年10月より昭和12年8月迄の観測結果の内空中電位傾度の静穏日と同一の日に就

(6) 岡田武松：氣象學(下巻)(改稿) p. 262-269.

(7) K. Kähler: Met. Zeit., 1923, p. 204-211.

第 1 表 柿岡に於ける空間電荷 ($\times 10^{-3}$ e.s.u./M², L.M.T.)
(Oct. 1935~Aug. 1937)

時 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均
1	76	96	106	115	141	104	122	114	106	56	53	43	40	34	45	45	-27	-61	-32	13	5	34	64	56	56
2	63	37	34	70	43	59	43	142	115	110	29	55	50	49	31	55	57	16	53	18	71	-35	64	59	59
3	42	43	42	27	30	21	70	77	55	34	24	18	30	32	26	26	30	-52	-11	-91	65	-35	-12	14	14
4	45	65	83	86	63	69	89	67	48	37	27	23	28	26	28	24	34	27	-51	20	-10	-59	3	32	32
5	35	33	55	31	14	67	70	70	57	56	49	45	43	41	46	46	46	45	-23	-8	-35	-27	19	36	33
6	83	89	103	71	94	91	41	18	9	1	-5	-9	-4	-6	-2	-1	-3	11	-5	16	8	20	28	29	29
7	-1	20	-26	-15	20	43	26	34	83	33	30	29	31	26	32	31	29	23	20	-27	-9	-16	3	6	14
8	94	109	102	115	136	113	110	110	77	59	44	32	28	32	27	26	40	65	49	58	57	75	83	89	72
9	94	100	123	149	150	137	108	104	66	74	66	42	43	37	38	39	47	-8	6	81	95	117	136	142	83
10	55	86	92	93	108	82	108	116	96	91	86	82	84	81	83	94	-10	16	31	43	42	76	81	73	75
11	105	81	74	69	87	74	44	93	64	79	82	75	76	76	80	67	24	-27	5	39	48	54	70	84	63
12	97	65	56	91	91	90	40	84	130	95	69	48	63	53	55	-11	-63	-33	-30	12	71	72	52	78	58
年 冬 夏	66	69	70	74	80	81	73	86	71	60	50	41	42	40	43	37	17	1	-2	16	22	28	47	56	49
	79	66	65	92	92	84	68	113	117	87	66	49	51	45	50	30	-11	-26	-3	18	47	44	56	66	56
	59	73	60	53	76	90	60	54	40	31	23	17	18	17	19	19	22	33	8	16	17	26	36	51	39

第 2 表 柿岡に於ける空中電位傾度 (V/M, L.M.T.)
(Oct. 1935~Aug. 1937)

時 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均
1	110	104	103	103	100	120	173	279	251	173	111	117	98	94	92	82	110	192	197	204	128	160	171	153	143
2	139	146	145	122	125	137	272	280	254	181	178	166	128	118	119	123	123	166	205	204	187	180	159	188	167
3	102	97	99	112	107	142	279	297	185	124	110	110	90	90	81	92	97	98	118	128	145	123	140	98	126
4	103	95	107	106	148	258	277	195	135	138	115	105	99	82	84	85	83	104	136	122	121	102	96	106	125
5	117	106	137	137	165	254	245	226	184	142	120	115	114	110	94	86	89	98	95	115	94	107	109	132	123
6	95	87	106	123	150	254	246	180	174	138	117	106	105	123	103	100	90	90	86	104	112	92	82	84	123
7	125	123	118	148	148	288	292	178	152	154	131	128	138	119	129	130	122	137	108	126	137	117	119	122	142
8	59	59	72	81	88	191	198	167	180	160	136	124	105	89	95	88	84	95	87	95	81	86	79	87	108
9	111	106	105	111	102	270	304	245	230	184	133	101	107	94	92	102	75	80	124	88	104	101	87	98	131
10	133	126	132	103	104	146	242	239	190	111	99	95	91	84	84	96	86	194	185	177	185	177	175	133	143
11	105	94	105	104	103	128	244	281	211	145	138	119	106	105	108	103	133	194	204	188	195	185	151	135	149
12	159	155	142	150	135	141	228	323	334	233	153	133	124	119	104	93	162	172	244	231	241	235	210	196	184
年 冬 夏	113	108	114	117	123	180	251	240	206	157	123	118	108	103	99	98	105	134	150	147	146	138	132	126	139
	136	135	130	125	120	133	224	294	280	196	147	139	110	110	105	99	134	177	215	210	185	192	180	162	165
	93	90	99	117	128	228	245	175	169	151	161	119	113	110	109	106	99	104	90	108	110	98	93	98	124

きての空間電荷の平均値を第 1 表に示し、同上の空中電位傾度の平均値を第 2 表に示す。

本観測に於ける空間電荷の年平均は $+0.049 \text{ e.s.u./M}^3$ で、冬期は $+0.056 \text{ e.s.u./M}^3$ 、夏期は $+0.039 \text{ e.s.u./M}^3$ であつた。柿岡での年平均は豊原の観測結果⁽⁹⁾と比較すると非常に小さく約 $1/3$ 程度である。一方 J. G. Brown⁽⁸⁾ は世界各地の空間電荷の観測結果に依つて地表附近の空間電荷の平均値は略 $+0.1 \text{ e.s.u./M}^3$ と結論して居り、この値は大體信ぜられて居るが、これらの値は観測方法を異にした装置に依り得られたもので、局所的差異に依り大いにその値を異にする。因みに今迄の空間電荷の観測結果の値を挙げると第 3 表の如くであり柿岡の値は小なる部に屬する。

第 3 表 各地に於ける空間電荷の値

観測者	観測場所	観測期間	空間電荷 (e.s.u./M ³)	観測點の 高さ(M)	観測方法
Daundlerer ⁽⁸⁾	Bad Aibling	Jan.-Mar. 1906	-0.577	0-2	Daundlerer's method*
		Apr.-Jun. 1906	+0.616		
		Jul.-Nov. 1906	+0.630		
		Jan.-Dec. 1906	+0.115		
Norinder ⁽⁹⁾	Upsala	Aug. 1918~Sep. 1919	-0.05 -0.02	0-2 0-3	"
Kähler ⁽¹⁰⁾	Potsdam	Dec.-Feb. (1921-1922)	+0.27	1	Thomson's method
		Jun.-Aug. (1921-1922)	+0.11		
		Jan.-Dec. (1921-1922)	+0.19		
Obolensky ⁽¹¹⁾	Leningrad	Dec. 1923-Feb. 1924	+0.0507	1	Filter method
		Jul.-Sep. 1924	-0.0946		
		Sep. 1923-Sep. 1924	+0.0035		
Kähler & Dorno ⁽¹²⁾	Davos	Feb.-Mar. 1925	+0.44	1	Thomson's method
Brown ⁽³⁾	Stanford	Feb.-Dec. 1929	+0.083	7.5	Filter method
Dwight ⁽¹³⁾	Cincinnati	Spring of 1930	+0.024		"
Brown ⁽¹⁴⁾	Stanford	Apr. 1932~Mar. 1933	+0.069 +0.053	1 15	"
島山及星 ⁽⁴⁾	豊原	Feb.-Dec. 1934	+0.167	1.5	Thomson's method

* 地表上三點に於ける電位の測定より計算するもの

柿岡に於ける空間電荷の年変化は第 1 圖に示されたる如く 3 月~7 月に小で 8 月~2 月に大となつて居る。第 1 圖には空間電荷の他の地の観測結果に依る年変化をも併記したが、これに依つて

(8) Phy. Zeit., 1907, p. 281-286.

(9) Geograf. Ann., 1921, p. 1. 1923, p. 116.

(10) Met. Zeit., 1927, p. 1-5.

(11) Ann. d. Phys. 77, 1925, p. 644-666.

(12) Met. Zeit., 1925, p. 434-439.

(13) Phil. Mag. 18, 1934, p. 719-724.

(14) Terr. Mag. 38, 1933, p. 161-173.

見ると、柿岡 (36°13' N, 140°11' E) の変化は Stanford (37°25' N, 122°10' W) で Brown⁽³⁾ が濾過法に依り観測せる結果との相似性が認められ、一方豊原⁽⁴⁾ (46°58' N, 142°45' E) の年変化は Kähler⁽¹⁰⁾ が Potsdam (52°23' N, 13°02' E) にて「トムソン」の方法を用ゐて一日の一定時刻に於て目観測に依つて得た結果との相似性が認められる。Stanford と柿岡, Potsdam と豊原, 夫々が接近せる緯度に位して居り、これらの相似性は興味あるものと考へられるが、観測期間が異つて居り、局所的差異の大なる空間電荷に於ては一概にこれらの関係が決定的なものと言ひ難い。

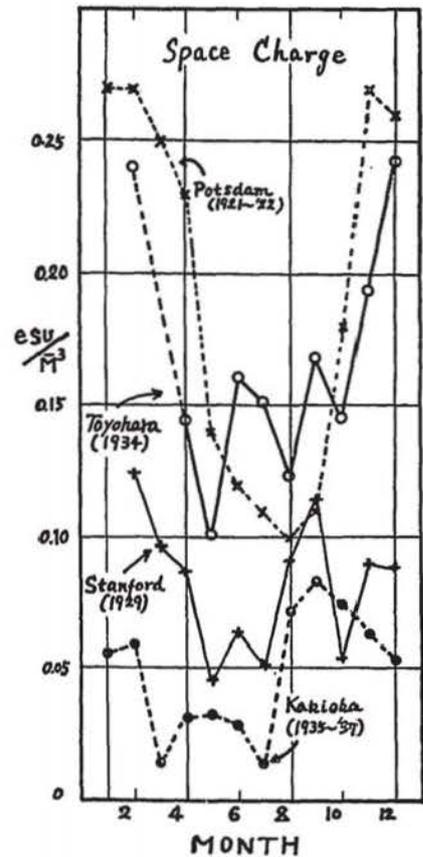
柿岡に於ける空間電荷の日変化は第2圖(第3圖, 第4圖, 第5圖及第6圖参照)に示された如く、大體日出後8時頃に極大となり、日没後18時頃極小となつて居る。第2圖にはやはり他の地の空間電荷の観測結果を示した。時刻は各地の夫々の地方標準時を以て示したが、空間電荷の日変化の本質から、これが比較に便かと考へられる。第2圖を見ると局所的差異が明らかに認められこれ等の原因の探求が要せられるが、観測結果の少ない現在では決定的推測は許されなく各地での長期の観測結果が望ましい。Stanford に於ける観測と柿岡に於ける観測と比較すると、夜半より日没頃迄の曲線の變化は相似性が認められるが日没頃より夜半迄の變化は異なり、寧ろ反對の傾向が認められる。これは局所的差異の如何が問題となり空間電荷の變化に重要な暗示を與へるかと思ふ。

以上は主として各地に於ける観測結果と比較したが次に柿岡に於て空間電荷の観測に於て観察された事項を述べる。

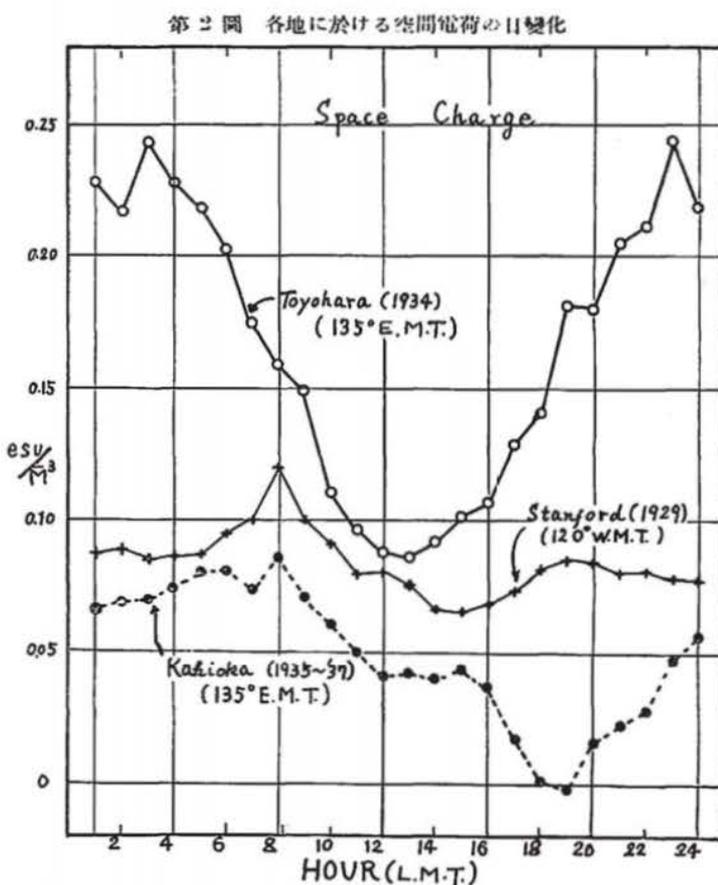
静穏な日の空間電荷の一例を第3圖に示す。日変化に就いては晝間は短週期にて割合一定の振幅を以て振動し、時刻に對しては朝の極大を過ぎると略一定の値を保つて居るが、日没頃より日出頃迄の間は變化は非常に大であつて、

晝間より長い週期にて、大きな振幅を以て振動し、その變化の有様が日に依つて大いに異なることが認められた。この日出及び日没を境とせる急な變化の變位點は明瞭に認められ日没時の變化は日出時の變化に比して一般により顯著である。日没時の變化の時刻は日没と共に風速が漸次小となる時刻と殆ど一致し、又日出時の變化の時刻は日出後にて風速が漸次増加し初める時刻と殆ど一致して

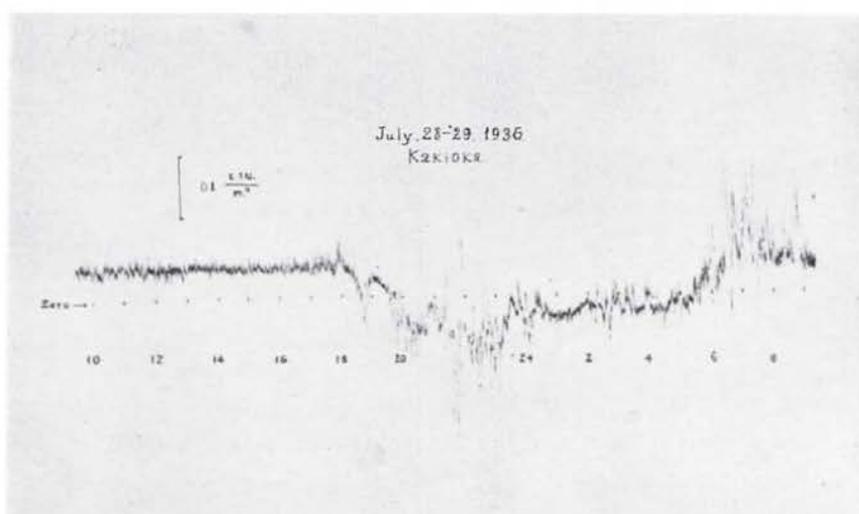
第1圖 各地に於ける空間電荷の年変化



居り、これらの變位點の時刻は風速の變化に伴ひ日に依つて多少相異があり季節的には日出及び日没の時刻に従ひ、風速の變化の時刻と共に變化する。又空中電位傾度 λ の觀測に於ても晝間は割合平滑な曲線を畫くも、夜間に於ては脈動することが認められ、空間電荷の場合と同じ傾向と見られる。これらの現象は風速と密接なる關係を有するもので(後述の風との相關事項参照)、晝間は風があり、(氣温が高まり)空氣の混合、擾亂及び對流等が大で觀測點附近の空氣の空中電氣的狀態が割合一樣さを保つこと、及び夜間は風がなく空氣の混合、擾亂及び對流等



第 3 圖 柿岡に於ける空間電荷の一例



が緩漫となりその一様さが失はれること等がイオンや核の成生及び分布等と相俟つて變化を左右する重要な要素と考へられる。

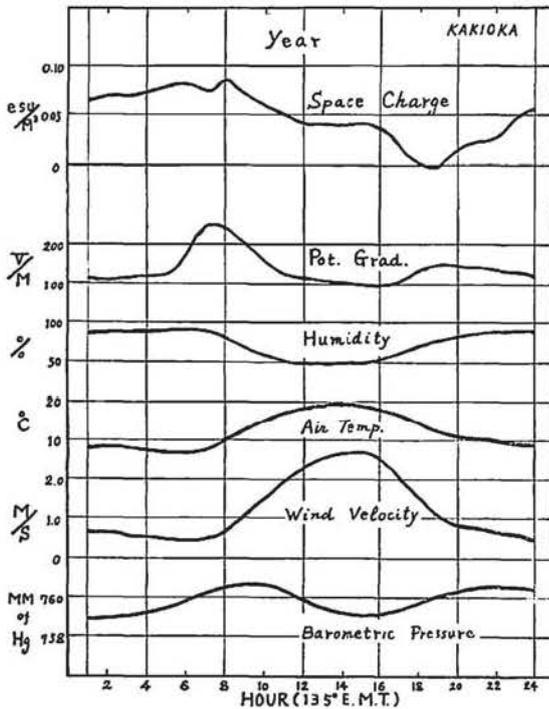
次に柿岡に於て昭和 10 年 10 月より昭和 12 年 8 月迄の期間に就いての空間電荷、空中電位傾度及び氣象要素等の同時觀測の結果を比較して見る。

擾亂の日即ち降雨、降雪、雷雨、或は風強く塵埃の飛翔が起る時等では非常に擾亂され、空中電位傾度と相應する變化が認められる。然し全然相應しない場合も觀測された。

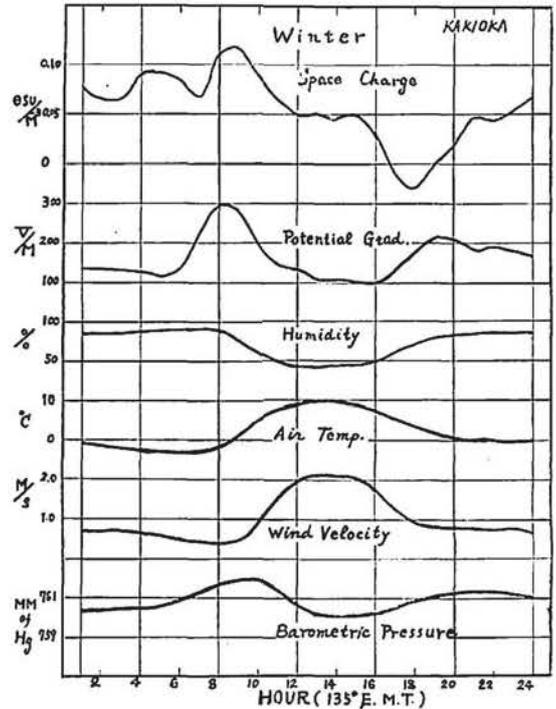
今靜穏な日のみに就いて空間電荷と同じ日に於ける空中電位傾度及び氣象要素（氣壓、氣温、風速及び濕度）との觀測結果を調査した。これらの年、冬及び夏の季節別日變化及び年變化の有様を第 4 圖、第 5 圖、第 6 圖及び第 7 圖に示した。但しこれらの値は當觀測所構内に於ける自記記象により統計せるものであつて空中電位傾度の値は第 2 表に示してある。

先づ空中電位傾度と比較して見ると圖より明かに認められる如く空間電荷の極大と空中電位傾度の朝の極大とは略同時刻に起り各々の極大よりは後略同じ傾向を持つて尖々の値が減じ尖々略一定の値に近づき日中の間持續する。然るに夜間に於ては冬期には兩者の變化は反對で空間電荷は極小を形成するが空中電位傾度は第二の極大を形成する。一方夏期には兩者の變化の度合は共に小で

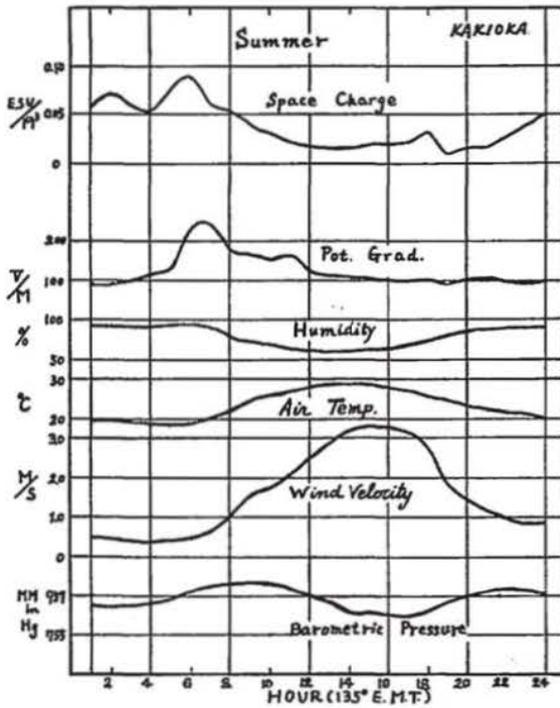
第 4 圖 柿岡に於ける各要素の日變化 (年)



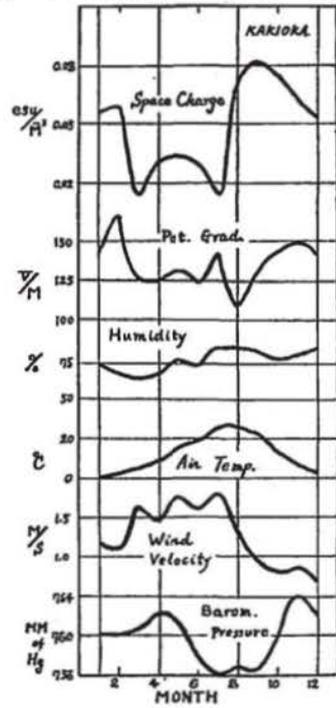
第 5 圖 柿岡に於ける各要素の日變化 (冬)



第6圖 柿岡に於ける各要素の日変化(夏)

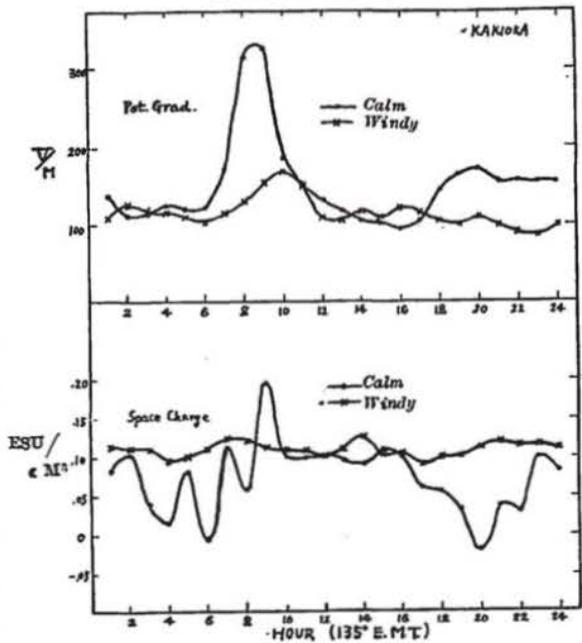


第7圖 柿岡に於ける各要素の年変化



日中の値を持続して行く傾向がある。空気が静穏で空間電荷が大氣中に一樣に分布し又他の要素が一定であれば地表附近にては空中電位傾度と空間電荷とは相應すると考へられるが一般には他の要素が介入して兩者の相關は非常に複雑となる。Brown⁽¹¹⁾は嵐の際は空中電位傾度と空間電荷との間に相應する變化を見るが晴天の日では兩者の變化は全く異なつた方式に依つて變化する事を認め、Stanfordでの觀測結果より、日出前にて空中電位傾度の極小は空間電荷の極大と同様の時刻頃に起り、尙夜中は空間電荷は増加するが空中電位傾度は減少し、又空間電荷が最も急速に減少する時刻に、空中電位傾度は極大に向つて急速に増加することを認めて、これらに對し注

第8圖 柿岡に於ける風の日及静穏日に於ける空中電位傾度と空間電荷



意を與へて居る。又柿岡に於て観測された兩者の關係の一例を第 8 圖に示す。即ち、昭和 11 年 1 月 14 日、16 日は晴天にて終日風が強く吹き通した日であつて、この際の空中電位傾度及空間電荷の平均値を同年 1 月中の靜穩な日に於ける兩者の平均値と共に圖に示した。

風の日と靜穩な日との兩者の變化は著しく異なつて居ることが認められる。空中電位傾度では靜穩な日の朝の顯著なる極大の値は風の日に於て非常に減ぜられ其の起時も遅れて居り、一方靜穩な日の夜の極大は風の日にて殆ど消失して居る。次に空間電荷にては靜穩な日に於ける著しき變化の有様は風の日にて殆ど消失して曲線は殆ど平滑に近づいて居る。これは一例に過ぎないが風の日に於ける空中電位傾度及び空間電荷の以上の如き變化は他の日に於ても大體認められる。

これら及上述の季節的變化より推して、空中電位傾度の朝の極大は地表附近の空間電荷に依るものゝ外に重要な要素が存在することを物語り、一方夜の極大は地表上の空間電荷に左右される變化であるかと思惟される。

風速に就いては既に述べたる如く空間電荷との關係著しきものあるを認めるが更に兩者の關係を調べる。靜穩な日の空間電荷と風速との日變化の曲線より明らかなる如く、風速が日出後漸次大となるに従つて空間電荷の値は比較的一定な値に向つて近づき、日中風速大なる時には比較的一定なる値を保ち、日没頃の風速穏やかなるに従つて空間電荷の變化は著しくなる。更に兩者の年變化を見ると風速と空間電荷とは大體反對な傾向が認められ、これらは上述の關係より大體うなづかれることである。

気温は風速と密接なる關係があり空間電荷との相關も大であると考へられるも風速と空間電荷に於ける如き相關とは自ら相異なる點があるやうに考へられる。気温の變化は大氣の對流や擾亂、土壤の通氣作用、核の成生等に影響を持ち空間電荷に就いてはこれらの混合したるものが影響するかと考へられる。

更に氣壓の變化は土壤の通氣作用に依るイオンの成生、消失等に影響を持ち第二次的に空間電荷に對して影響を持つと考へられる。

次に濕度の曲線を見ると濕度が比較的小さい時に空間電荷の變化は小さいことが認められる。O. W. Torreson⁽¹⁵⁾ は大氣中にて正に荷電された核の數 (N_1) と核の全部の數 (N) との比 N_1/N の日變化を示す曲線と濕度の日變化を示す曲線との間に近似性が存在することに對して注意を與へて居り、H. L. Wright⁽¹⁶⁾ はこれに對する理論的考察をなして居る。濕度が第二次的には空間電荷に關係することは明らかである。

(15) Terr. Mag. 39, 1934, p. 65-68.

(16) Terr. Mag. 39, 1934, p. 277-280.

これを要するに空間電荷の變化には多くの重要なる要素が混合して影響し非常に複雑となる。こゝには單に空間電荷と二三の要素との相關の概略を記述することにとどめた。

3. 結 言

柿岡にて昭和 10 年 10 月より昭和 12 年 8 月迄の期間中に行はれた空間電荷及び空中電位傾度の同時觀測の結果を報告した。空間電荷の觀測には「トムソン」の方法を用ゐて自記觀測を行つた。その靜穩な日の年平均は 0.049 e.s.u./m^3 で、冬期は 0.056 e.s.u./m^3 、夏期は 0.039 e.s.u./m^3 であつた。空間電荷と空中電位傾度とは一般に複雑な關係を有して居り、これが研究に對しては興味深い。柿岡に於ける空中電位傾度の日變化に於ては朝の極大に對しては空間電荷の影響の外に他の重要なる要素の影響が存在し、夜の極大に對しては地表附近の空間電荷に直接關係を持つものゝ如く考察された。空間電荷には風の影響が大であり、兩者の關係を調査し、尙他の氣象要素に就いても空間電荷と比較した。

終りに臨み終始御懇篤なる御指導と御鞭撻を下さいました今道所長に厚く御禮申し上げます。尙、日々記象紙の現像の勞を取つて下さつた仁井田仲治氏及び種々御援助下さつた吉田金三氏に厚く御禮申し上げます。
