

# 柿岡に於ける空中電位傾度に就いて

横 内 幸 雄

Atom. Elec. Potential-Gradient at Kakioka.

By Y. YOKOUTI.

Abstract:—Annual and diurnal variation of calm days at the surface during five years, 1931-1935, are studied. The morning maximum occurs about two hours after sunrise, and the beginning of the peak is about one and half hour earlier than its apex. The effects of wind and cloud upon the potential gradient are considerable. On the days of continuous wind the potential gradient generally shows low value; morning maximum is greatly decreased except summer months, and the time of its occurrence is retarded about one hour, while the evening maximum scarcely appears.

## 1. 空中電位傾度の年変化並びに日変化

柿岡地磁気観測所（北緯 36° 13' 15", 東経 140° 11' 21", 海面上高さ 28.2 米）に於いて 1931 年より 1935 年迄五年間に観測せる地表附近の空中電位傾度の内静穏なる日に於ける年変化, 並びに日変化の平均値は第 1 表, 第 2 表及び第 3 表の如くである. 時刻は總べて東京中央標準時を用ひ, 以下總べて同様である. 第三表に於ける年, 冬季 (12 月~2 月), 及び夏季 (6 月~8 月) の日變

第 1 表 空中電位傾度の年変化 (ヴォルト/米)

年 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
1931	154	147	118	115	130	130	115	103	109	124	145	168	130
1932	149	134	137	125	102	121	129	124	125	128	185	180	137
1933	128	139	148	107	109	99	128	110	94	120	146	153	123
1934	111	117	96	98	102	121	132	117	124	135	153	177	124
1935	163	168	107	115	111	123	152	188	134	133	143	177	139
平均	141	140	120	112	111	119	131	114	117	128	155	171	130

第 2 表 空中電位傾度の各年別日変化 (ヴォルト/米, L.M.T.)

年 \ 時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1931	106	105	95	99	103	152	198	227	182	153	122	113	106	99	94	88	100	132	146	148	141	142	140	125
1932	125	124	122	122	128	162	205	216	197	155	129	115	109	104	102	98	109	127	150	144	132	139	139	126
1933	104	103	101	101	121	156	232	218	185	140	116	107	97	93	89	88	98	115	126	133	120	119	110	110
1934	108	108	108	104	111	152	209	201	182	144	120	108	100	92	88	86	93	115	127	132	125	125	119	117
1935	111	113	115	118	130	181	218	238	210	161	131	117	108	101	97	103	111	130	142	137	149	141	136	129

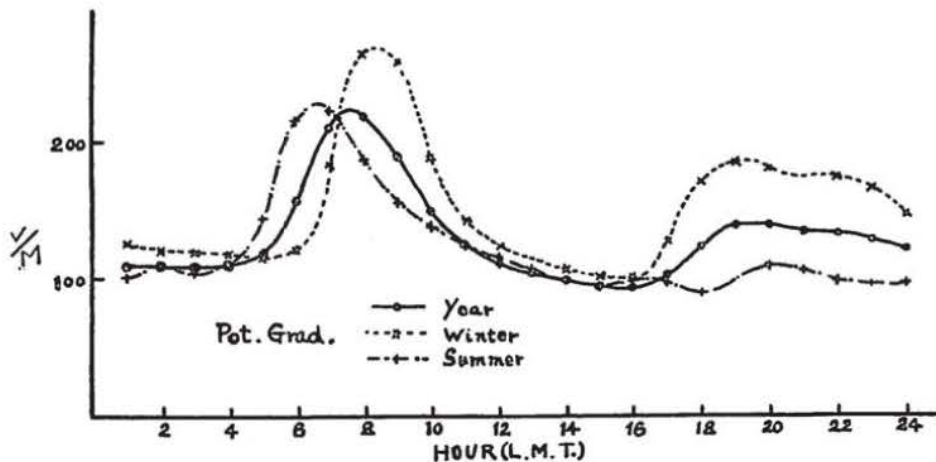
化を第 1 圖に示す. 測定装置はペンドルフ自記電位計を用ひ, 電器は水滴電器を主とし, Radio-Thorium 電器を補として用ひて居る. 柿岡に於ける空中電位傾度の年平均は 130 ヴォルト/米, で

第3表 空中電位傾度の各月別日變化 (ヴォルド/米 L.M.T.) (1931~1935)

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	121	114	115	111	109	115	170	238	240	171	124	118	106	106	95	94	126	171	178	169	158	149	154	132	141
2	120	121	115	118	122	129	200	255	248	178	141	120	111	99	96	94	92	130	140	156	152	157	140	130	140
3	107	108	115	106	105	115	223	235	175	128	102	95	94	89	85	86	89	93	125	120	115	127	126	121	120
4	102	104	102	105	108	184	209	172	138	119	108	101	89	88	82	83	84	85	93	107	106	103	111	104	112
5	92	92	87	89	109	170	199	173	150	133	123	105	85	91	89	84	86	86	99	110	106	95	99	100	111
6	94	100	87	101	136	219	220	193	150	131	120	110	103	92	87	92	94	98	106	120	107	104	92	92	119
7	120	136	125	131	180	250	244	195	143	117	119	123	113	102	109	112	104	89	94	107	110	106	108	107	181
8	92	94	103	104	119	188	212	176	173	170	136	119	114	104	92	98	95	93	99	100	103	87	86	82	114
9	90	97	89	96	108	144	200	200	134	155	121	107	101	96	95	84	85	102	136	116	109	100	91	103	117
10	113	114	104	104	101	125	222	224	175	127	104	96	92	88	84	78	85	143	157	159	153	158	141	128	128
11	134	119	125	117	112	135	224	280	230	162	126	114	107	104	102	94	130	186	190	182	174	195	190	178	155
12	139	125	125	125	116	122	181	301	286	214	157	132	125	115	111	109	160	207	226	218	208	213	208	180	171
平均	110	110	108	109	119	158	209	220	191	150	123	112	103	98	94	92	103	124	137	139	133	133	129	121	130
冬	126	120	119	118	116	122	184	265	258	188	141	124	114	106	101	99	126	170	187	181	173	173	167	147	151
夏	102	110	105	112	145	219	224	188	156	139	125	117	110	99	96	101	97	88	99	109	107	99	95	94	122

あつて、冬季に於いて高く、夏季に於いて小である。年變化には極大極小が各々二つ宛現はれる。極大は七月及び十二月に起り、十二月の値は七月の値より大である。極小は五月頃及び八月頃に起り其の大小は年により異なる。

第 1 圖



日變化には日出後及び日没後二つの極大があり又日出前及び日没前二つの極小がある。冬季にては朝の極大及び夜の極大は共に高く現はれるが、夏季にては朝の極大は高く現はれ、夜の極大は餘り顯著に現はれない。

次に第3表の年、冬季、及び夏季の日變化をフーリエの級數で示すと次の如くである。

年の日変化

$$\frac{\partial V}{\partial h} = 130.2 + 23.0 \sin(15t + 348^\circ) + 36.7 \sin(30t + 203^\circ) + 12.8 \sin(45t + 96^\circ) \\ + 12.2 \sin(60t + 352^\circ) + 6.2 \sin(75t + 211^\circ) + 3.8 \sin(90t + 154^\circ)$$

冬季の日変化

$$\frac{\partial V}{\partial h} = 151.0 + 9.6 \sin(15t + 349^\circ) + 53.6 \sin(30t + 190^\circ) + 18.6 \sin(45t + 48^\circ) \\ + 15.8 \sin(60t + 316^\circ) + 18.0 \sin(75t + 169^\circ) + 4.8 \sin(90t + 75^\circ) \\ + 5.6 \sin(105t + 300^\circ) + 2.5 \sin(120t + 164^\circ)$$

夏季の日変化

$$\frac{\partial V}{\partial h} = 122.3 + 39.9 \sin(15t + 339^\circ) + 26.4 \sin(30t + 230^\circ) + 14.7 \sin(45t + 145^\circ) \\ + 11.1 \sin(60t + 34^\circ) + 11.3 \sin(75t + 320^\circ) + 3.6 \sin(90t + 231^\circ) \\ + 4.9 \sin(105t + 156^\circ)$$

但し  $t$  は 0 時から 24 時迄の値である。式中振幅 2 以下のものは省略した。

年及冬季に於いては半日週期の振幅は一日週期の振幅より大であるが、夏季に於てはこの反対である。一日週期の振幅に對する半日週期の比は年、冬季及び夏季夫々 1.6, 5.6, 及び 0.7 である。一日週期の極大は大體 7 時頃にあり、半日週期の極大は大體 8 時頃及び 20 時頃にある。マクリ<sup>(1)</sup>に依る一日週期の極大が 1 時~6 時にあるとの説とは少しく異なつて遅れて居る。

2. 日變化に於ける朝の極大の起時

第 3 表に於て認められる如く朝の極大の起る時刻は各月に依つて異つて居る。この日變化の極大の起時を晴天なる日 (22 時, 6 時, 10 時, 14 時の氣象觀測及日照を参照し午前中晴天なる日を選んだ) に於ける空中電位傾度の自記紙より求め、各月に就いて 1931 年より 1935 年迄五年間の値を平均すると第 4 表の如くである。

第 4 表 朝の極大の起時 (1931~1935 の平均 L.M.T.)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
時刻	h m 8-27	h m 8-11	h m 7-39	h m 6-53	h m 6-49	h m 6-32	h m 6-29	h m 6-59	h m 7-14	h m 7-42	h m 7-59	h m 8-23	h m 7-25

又柿岡に於ける日の出の時刻の各月の平均を求め、これを極大の起時 (第 4 表の値) と共に第 2 圖に示す。この二つの曲線は略平行し居つて空中電位傾度の極大の起時は日出の時刻より約 2 時間程

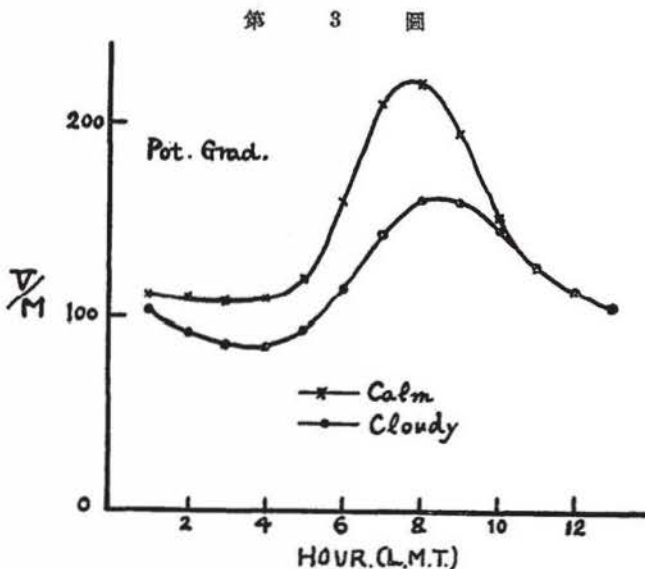


度遅れて居る。朝の極大の起時は日照、雲、霧及風等と関係ある如く観察されるが、これらの要素をなるべく除き、且つ日の出の時刻の差異を考慮に入れても同じ月の内で猶 1 時間餘も遅速がある。朝の極大は相當急に極大の位置に達するのであつて、其の起り初めとの時間の差は約 1 時間半程度であつて日出の時刻に接近して居る。第 4 表を得たと同様晴天の日の空中電位傾度の日記紙より朝の極大の起り初めを求め、1931 年

より 1935 年迄五年間に於ける各月の平均値をやはり第 2 圖に示す。これを見ると朝の極大の起り初めの時刻は日出の時刻より幾分遅れて居るが大體一致し居ることを認める。又朝の極大の時刻と起り初めの時刻とは全く平行して居る。然し朝の極大の起り初めの時刻を定めるには極大のある山の裾の時刻を採る方針で定めたが、観測曲線が相當脈動して居るため其の時刻を判然と決めることが困難で、このため極大の起り初めの時刻に幾分の遅速あるを免れない。

### 3. 雲 と の 関 係

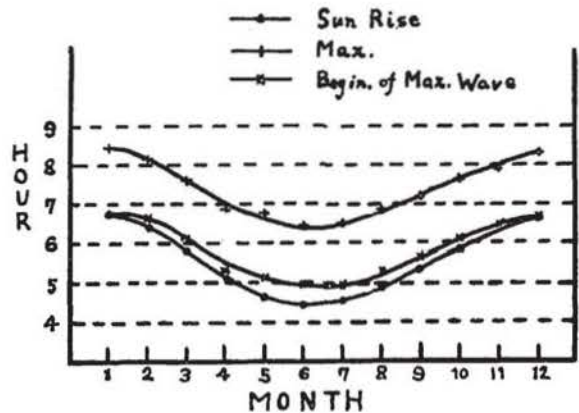
空中電位傾度は高層雲に依つては餘り影響がない様であるが中層雲殊に下層雲（雨を含む亂雲、



雷雲等を除く)に依つて其の値が低められることが認められる。1931 年から 1935 年迄五年間に就いてこの関係を調査した。22 時、6 時、10 時 14 時の氣象観測（雲形、雲量、風普通の時）及び日照に依つて雲多き日のみを採用して 1 時より 13 時迄各時に於ける空中電位傾度の平均値を第 3 圖に示す。又此の値と静穏なる日に於ける値と比較するため第 3 表に於ける年平均値の内 1 時より 13 時迄のものを同圖に示す。第 3 圖を見ると雲多き日の空

中電位傾度の値は低められ且朝の極大は低く緩やかに又極大の起時は遅れて居ることが判る。尙こ

第 2 圖



ここに採用せる時刻を1時より13時迄に限つたのは全一日の値をとると擾亂の日が多きため統計数少なくなるを防ぐためである。

#### 4. 風 と の 関 係

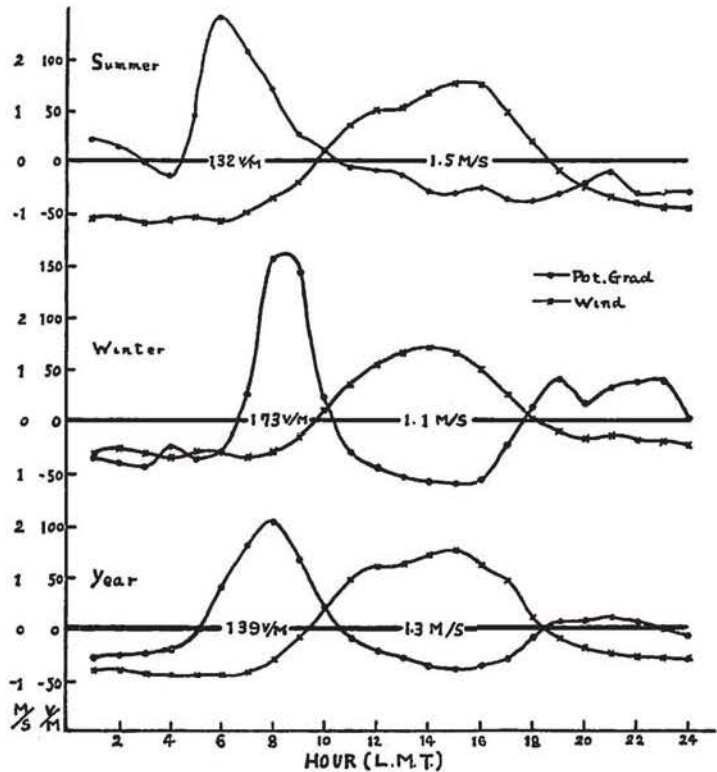
空中電位傾度と風との關係に就いて柿岡に於いて觀測結果を調査した結果相互の關係大なることを認めためて其の調査結果を以下に報告する。

(a) 1935年に於ける空中電位傾度の靜穩の日に於ける値の平均と、これ等の日の毎時前後一時間に於ける平均風速(米/秒に直して)を自記紙より讀取り其の平均を夫々年、冬季及び夏季に就いて第4圖に示す。

風速は日の出後漸次其の強さを増して14時頃最も強くなり、日没と共に其の値が漸次減少して靜かになることが見受けられる。

風速と空中電位傾度との二つの曲線を比較して見ると空中電位傾度に於いては日の出後風速未だ小なる内に其の値を増してゆき、風速が漸次強くなり初める頃に極大に達し、風速が強くなると共に其の値が減少して風速強き内割合暖やかな曲線を畫いて居る。次に日没と共に風速弱まりて後其の値が増して再び極大に達することが見受けられる。直接自記紙を見ると風弱き内は電位傾度の變化は脈動大であるが風強きときは脈動は風弱きときに比して小である。

第 4 圖

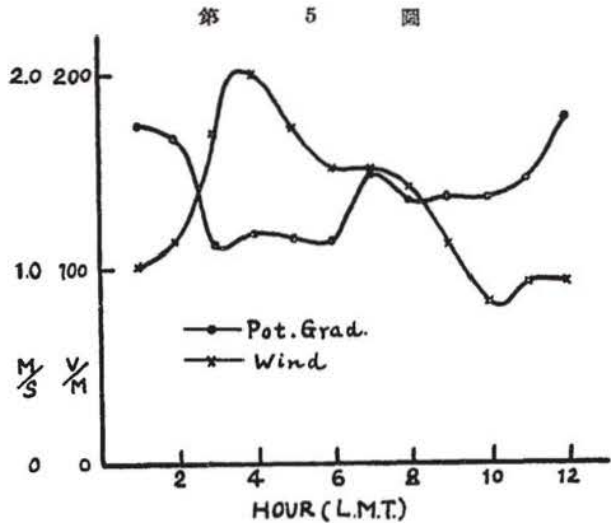


又第4圖を得るに選んだ日に於ける空中電位傾度及風速の値を各月について平均して第5圖に示す。風速と空中電位傾度とに何らかの關係あることを物語つて居る。

(b) 1930年より1935年迄六年間に於ける空中電位傾度の觀測の内、6時、10時、14時の氣象觀測及び日照を参照して、其の晴天の日を採用し、(但し霧の日を除く)これ等の日に於ける3

時より 13 時の間毎時前後一時間の平均風速(米/秒)を日記紙より讀取り各時の風階を求め、空中電位傾度の内各時に於いて風階(0)(1.5 米/秒以下)及び風階(1)(1.5 米/秒)以上に相當する値を各々各時に就いて合計して其の平均値を求め第 5 表に示す。

第 5 表の内年、冬季、及び夏季の變化を第 6 圖に示す。尙こゝに採用せる時刻を 3 時から 13 時迄に限つたのは全一日の値をとると擾亂の日が多くなり統計數



第 5 表 風階別による空中電位傾度

A. 風階(0)の空中電位傾度の平均値  
(ヴォルト/米, L.M.T.)

時 月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	129	125	123	131	168	265	277	193	128	110	105
2	122	125	123	131	206	285	264	180	122	118	129
3	119	118	118	136	246	256	174	129	104	97	93
4	108	114	121	195	235	185	162	153	120	103	97
5	95	95	114	195	215	178	143	124	107	103	90
6	97	104	135	220	212	182	151	154	97	97	86
7	116	134	156	219	224	180	133	117	107	117	107
8	91	94	106	200	233	188	183	176	140	120	103
9	98	100	107	152	213	204	197	156	114	99	104
10	107	110	105	133	242	234	180	129	109	104	116
11	125	124	111	128	202	288	241	164	129	111	109
12	136	144	135	137	213	324	297	223	153	125	118
平均	112	116	121	165	217	231	200	158	118	109	105
冬	129	131	127	133	196	291	279	199	134	118	117
夏	101	111	132	215	223	183	156	149	115	111	99

B. 風階(1)以上の空中電位傾度の平均値  
(ヴォルト/米, L.M.T.)

時 月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	123	127	111	103	147	161	178	163	125	126	110
2	126	121	118	111	154	178	184	157	143	117	107
3	98	114	104	118	133	150	145	121	111	111	101
4	137	100	115	172	136	153	131	119	119	114	102
5	92	121	134	137	189	207	170	146	125	105	93
6	109	98	200	205	239	199	189	142	137	117	115
7	298	163	73	110	165	216	142	121	132	106	105
8	127	165	199	205	211	214	189	170	138	117	112
9	108	75	101	120	184	170	170	136	122	109	101
10	132	85	101	103	96	142	157	150	110	97	95
11	115	97	93	136	115	132	183	158	143	117	103
12	108	94	98	81	134	139	184	171	144	134	130
平均	131	113	121	133	159	172	169	146	129	114	106
冬	119	114	109	98	145	159	182	164	137	126	116
夏	178	142	159	173	205	209	173	144	136	113	111

を減ずるを防いだからである。第 5 表及び第 6 圖を見ると冬季に於いて殊に良く風の影響が認められ空中電位傾度の値が風階(1)以上に於いて著しく弱められ且朝の極大は風階(0)に於ける大なる極大に比較して著しく小となり曲線が緩やかに變化する。又其の極大の起る時刻が遅れて居ることが認められる。然るに夏季に於いては冬季に於ける如き著しき差異が認められない。これは冬季に於いては晴天の日に於いて風速が長時間強い日が多く、夏季に於いては風速が長時間強い日少なく従つて風階(1)以上を採用せるため、夏季に於いて風階(0)に近き風階(1)の日が多く含まれ



て居ることに幾分考慮の點があると思ふ。この統計を作るのに風の影響が風速強くなると共に直ちに生ずるといふ假定の許に作つたのであるが自記紙を観察するとかなり速かに風の影響が生ずるらしく見られ、又 Sapsford<sup>(2)</sup> の論文からも以上のことが推察出来ると思ふ。

更に風との關係を考察するため多少重複の點あるも他の方法に依り二三これを検討して見る。

(c) (b) に於ては風階(0)と風階(1)以上とに就いて比較したが今度は 1936 一月中の観測結果より風階(0) (1.5 米/秒 以下) 風階(1) (1.5~3.4 米/秒) 風階(2) (3.5~6.0 米/秒) 及び風階(3) (6.0~10.0 米/秒) とを區別して調査して見る。(b) と同様の方針にて風階(0), (1), (2) 及び(3) に就き夫々空中電位傾度の値を合計して4時より13時迄の冬季に就いて平均した値を第七圖に示す。

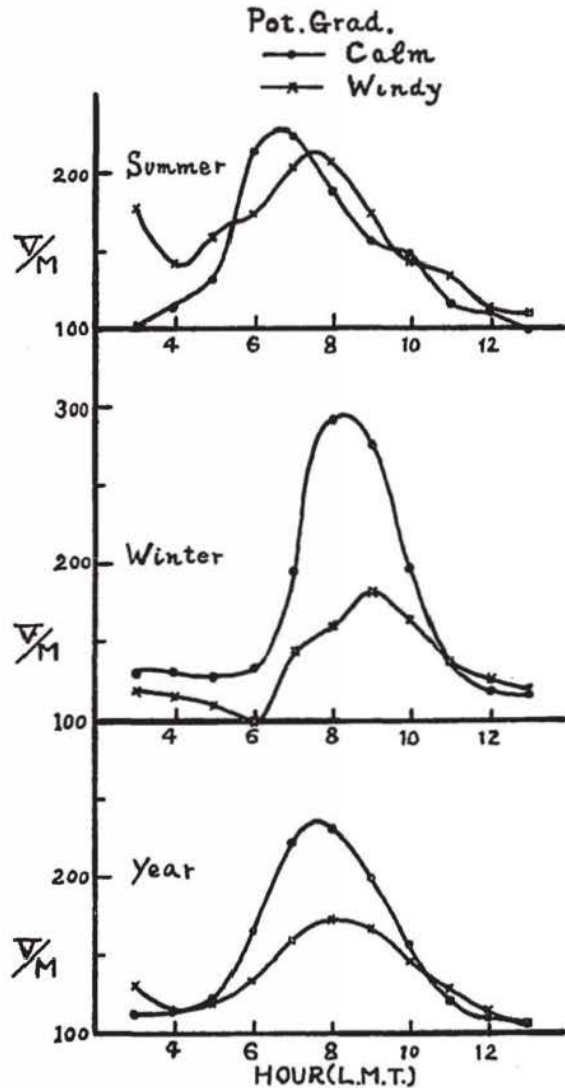
風階(1), (2) 及び(3)の空中電位傾度の値が風階(0)の其れに比して著しく小さい値となることが判る。

(d) (b) 及び(c)に於いては日變化の朝の極大のみに就いて調査して見たが今度は夜の極大をも含み全一日の空中電位傾度の値に就いて調査して見る。

1931 年より 1935 年迄五年間の空中電位傾度の観測結果の内晴天にして終日風速強き日のみを採り、其の値を各時に就いて平均したるものを第6表に示す。この日變化と比較するため第3表の靜穩の日の年平均の日變化を同表に示す。

又第6表の値を第8圖に示す。

第 6 圖



第 6 表 終日風強き日の空中電位傾度 (1930-1935) (ヴォルト/米)

時	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	平均 風速 m/s
風強き日	92	93	93	90	93	96	115	120	132	121	110	94	82	86	88	79	89	88	89	91	90	86	87	94	96	80
静穏の日	110	110	108	109	119	158	209	220	191	150	123	112	103	98	94	93	103	124	137	139	133	138	129	121	130	—

地図に於ける空中電位傾度に就きて

第 7 表 (A) 1936 Jan. 14, 16 の平均値 (風強く吹きたる日)  
(静電單位/立方米, ヴォルト/米, 米/秒, L.M.T.)

時	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
空間電荷 e.s.u./M <sup>3</sup>	0.114	0.111	0.110	0.095	0.101	0.108	0.123	0.120	0.112	0.108	0.107	0.101	0.110	0.126	0.108	0.103	0.089	0.098	0.101	0.112	0.118	0.115	0.117	0.112	0.109
空中電位傾度 V/m	108	125	119	117	111	103	116	130	155	169	150	109	104	117	109	122	117	104	99	110	98	88	84	97	115
風速 m/s	4.2	6.1	6.4	6.9	5.8	4.8	4.7	6.0	6.7	5.6	5.5	6.1	5.8	6.1	5.7	3.9	3.8	4.9	4.1	2.8	2.9	3.4	3.5	2.7	4.5

第 7 表 (B) 1936. Jan. の平均値 (静穏なる日) (静電單位/立方米, ヴォルト/米 L.M.T.)

時	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
空間電荷 e.s.u./M <sup>3</sup>	0.082	0.103	0.040	0.015	0.081	-0.006	0.112	0.060	0.193	0.101	0.099	0.100	0.095	0.088	0.107	0.098	0.060	0.055	0.032	-0.030	0.036	0.028	0.099	0.082	0.073
空中電位傾度 V/m	138	112	114	124	120	123	172	314	326	187	151	131	119	104	101	97	105	144	165	172	154	157	156	156	152

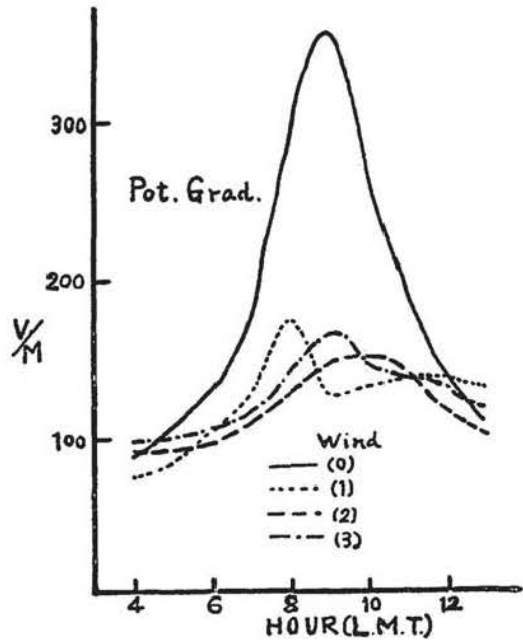


終日風速大なる日の風速の平均値は 3.0 米/秒である。此の圖を見ると風速大なる日の平均値は静穏の日の其れに比して著しく小さく、且各時に於いても小さい値を持つことが判る。又朝の極大は風速大なる日に於いて、(b) の場合と同様其の値著しく低められ且朝の極大の起時が約 1 時間半程遅れて居る。又夜の極大は殆んど現はれて居ない。

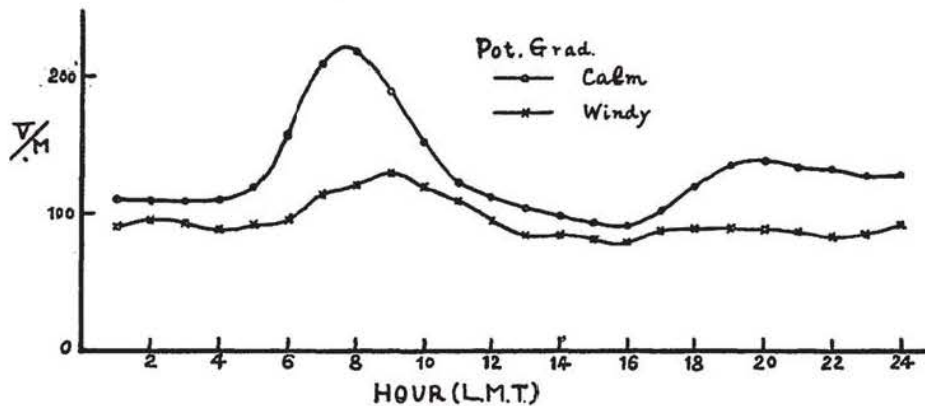
(e) 更に空間電荷の観測結果と比較して見る。

1936 年 1 月 14 日、16 日の兩日は晴天にして終日風速が強かつた。此の兩日に於ける柿岡の空中電位傾度、空間電荷及び風速の平均値を第 7 表 (A) に示し、又これと比較するため 1936 年 1 月中の静穏な日に於ける空中電位傾度及び空間電荷の平均値を第 7 表 (B) に示す。

第 7 圖



第 8 圖



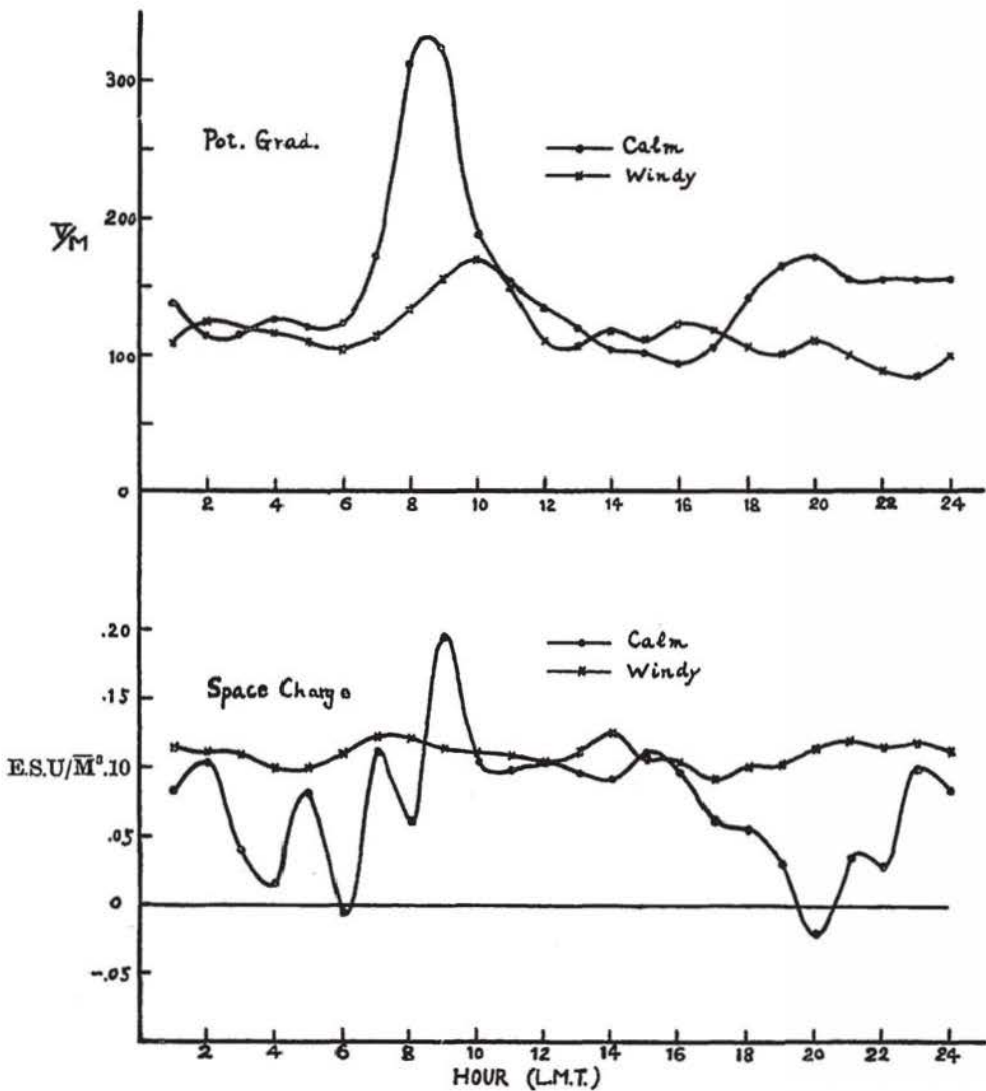
更に第 7 表 (A) 及び (B) に於ける空中電位傾度及び空間電荷の値を第 9 圖に示す。空間電荷の値は静穏なる日には、其の變化の度合著しく大であるが、風速大なる日には極く短週期の變化を持つて、其の平均値は略一定の値を持つ。静穏なる日に於ては日中の變化(第 9 圖では約 10 時~16 時迄、第 4 圖に見られる如く日中は幾分風速が強い)は短週期の變化を持ち其の平均値は略一定して居るのであるが、風速大なる日に於いてはこの變化と同じ様な變化を終日続ける。要するに

空間電荷の變化は靜穩なる日と風速大なる日とに於いて著しき差異あるを認める。空中電位傾度に於いては (d) に於けると同様のことになる。

空間電荷の變化と空中電位傾度の變化とが風速大なる日に於いてこれ等の曲線が共に平に近づくといふことは注目すべきである。

(f) 柿岡に於ける風向を 1935 年全一年間について調べて見る。毎時前後 1 時間の平均風速が風階 (1) 以上なるものに就いて、これに相應する風向を知り、各月毎に同じ風向の回數を求め、こ

第 9 圖



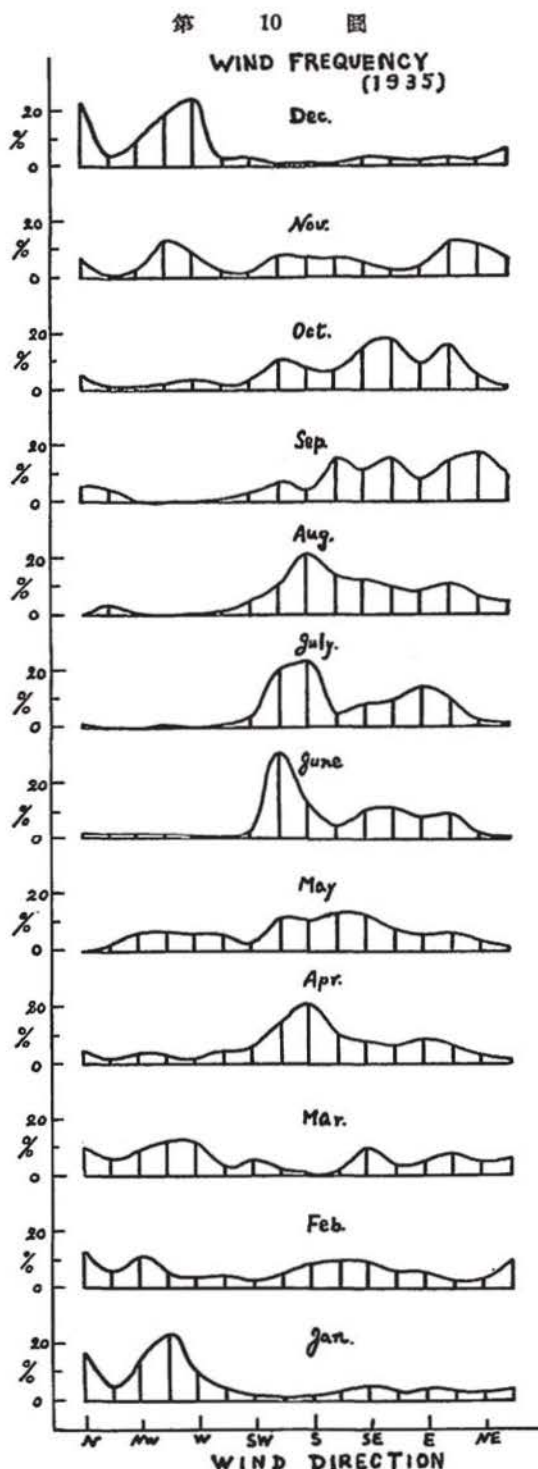
れが各月の全体の回数に對する百分率を得、各月毎に第10圖に示す。季節に依る風向が大分趣きを異にして居ることを物語つて居る。(b)に於ける冬季及び夏季の風との關係の相異が風向と大いに關係あるやに考へられる。然しながらこの統計は天候に關係なく即ち空中電氣的擾亂の日をも含んで勘定してある故冬季に於いて晴天を伴ふ風強き日多きこと、及び夏季に於いて悪天候を伴ふ風強き日多きこと等をも考慮に入れなければならぬと思ふ。

又氣塊の相異(即ち風向の相異が考へられる)に依つて空中電位傾度の値が全體として高低ある様であるが<sup>(3)</sup>、風速強き時は風向と關係なく一般に空中電位傾度の日變化の曲線が平に近づくといふことは認められる。

### 5. 結 言

柿岡に於ける空中電位傾度の朝の極大は日の出後約2時間にして起り、又其の極大の山の初まりの時刻からは殆んど1時間半遅れて居ることを認めた。

又空中電位傾度と雲、風等との相關大なることを認めた。因みに最近 Sapsford<sup>(4)</sup> は Apia に於ける觀測により又 Brown<sup>(5)</sup> は Ebro に於ける觀測に依つて風と空中電位傾度との相關を論じて居る。柿岡にては風速強き晴天のときは一般に空中電位傾度低下し、朝の極大は著しく小となり其の起る時が遅れ、午後の極大は殆んど現はれない。風強きとき冬季及び夏季との變化の相異あるも、是は觀測數少なく統計に不備を來たしたのに原因するのではなきかと思ふ。





Sapsford<sup>(6)</sup> は Apia に於ける空中電位傾度の日變化の極大と、風向と大いに關係あることを述べて居るけれども、これは Apia が海洋の影響大にして季節風卓越して、風速強きときの風向、風速小なるときの風向が割合一定して居るのに大なる原因があり、風向は第二にして風速が第一に原因するのではないかと思ふ。されば風向との關係については更に觀測調査して見たいと思ふ。以上の如く風速と空中電位傾度との關係大なるも日變化の極大に對しては第二次的影響に過ぎないと思ふ。日變化に對する理論的考察は後報にて論及したいと思ふ。終りに臨み、今道所長より終始御指導、御鞭撻を得ました厚く御禮申し上げます。

#### 文 獻

1. S. J. Mauchly: Terr. Mag. & Atm. Elec., Vol. 28, 1923, p. 61.
  - 2, 4, 6. H. B. Sapsford: Terr. Mag. & Atm. Elec., Vol. 41, 1936, p. 29.
  3. 荒川秀俊: 氣象集誌. 第二輯第十四卷第七號.
  5. Joseph G. Brown: Terr. Mag. & Atm. Elec., Vol. 41, 1936, p. 279.
-