

地電位傾度半日變化の主原因に就て〔第一報〕

理學博士 南 葉 宗 利

§1 緒 言 地電位傾度變化の觀測に於て降雨の影響を受ける事は周知の事實である。殊に阿蘇では、南北分値の觀測に於てなやまされてゐる。

筆者は降雨の際に地下水と地電流との關係をみる爲に、特に測定地を撰定し、昭和17年9月から18年8月に至る一年間の結果を整理した。之に依つて平均項、日變化項は地下水の影響を受ける事甚しい事が知れた。その影響の方向は Quincke 等の期待する電氣滲透現象に合致する結果となつた。更に半日變化項に於ては地下水の影響殆んど無い事が知れた。種々の氣象的條件と比較したが、結局太陽時半日變化の原因として太陽の位置及びその運行に關係ありとの結論に達した。

§2 觀 測 京都帝國大學内牧研究所は阿蘇内牧町寶泉橋畔にあつて黒川右岸に位してゐる。黒川は此附近に於ては東西に流れ、兩岸の地下水は地表面下約十米の層にありて黒川の川底に滲出して河水を培養してゐる。

黒川右岸に兩電極共に10米底の地下水層の中に埋設し、地電位南北分値の測定を續けた。間隔は25米で、S電極は河岸から6米北にある。地下水は兩電極を洗つて川底に滲出する。かゝる方式で觀測すると、降雨の際には地下水流の下流にあたる電極即ちS極が地電位増大となる事が判然した(第1圖)。昭和17年9月から18年8月に至る材料をそのまま整理すると第1表の如くなつた。即ち全體を

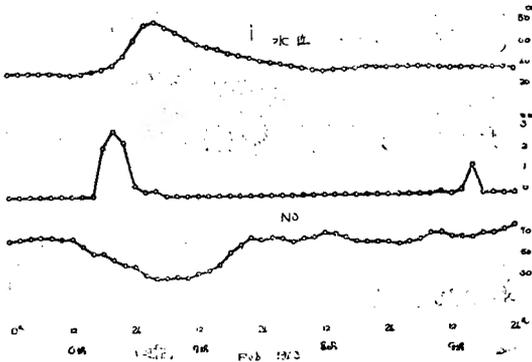
$$A + N_1 \cos(t - \theta_1) + N_2 \cos(2t - \theta_2) + \dots$$

とすると $A, N_1, N_2, \theta_1, \theta_2$ は第1表から與へられる。次に各常數の各月の變化の模様を検討すると、明かに一年、半年變化が顯著であるから、調和分析にかけて第2表を得た。通覽すると A と N_1 には一年、半年の兩變化が共に大きい。 θ_1 と N_2 に於ては半年變化が特に著しく、 θ_2 に於ては年變化が特に目立つ。そこで第2表から各項の補正をした結果を第3表に示した。又内牧に於ける降水量 W の變化をみるに

$$W = 194.2m.m. + 42.6 \cos \theta - 202.0 \sin \theta - 71.5 \cos 2\theta - 23.7 \sin 2\theta + \dots$$

となる。之は1942年9月から1943年8月までの前記地電流と同期間のものである。年變化

地電位傾度半日變化の主原因に就て



第1圖 黒川水位、降水量、NSの變化

る事が知れる。この結果は Helmholtz, Quincke, Bachmetjew 等の期待する流動電位に合致する⁽¹⁾。筆者が阿蘇米塚山に於て地電位分布の測定をした時に得た結果も同様であつた。更に此の結果は阿蘇火山爆發の際の鉛直地電位傾度變化觀測に應用したのである⁽²⁾。本文の目的も其の一つは此現象の再確認にあつたのである。

$A=2931-7955 \cos \theta + 5273 \sin \theta - 0.381 \cos 2\theta + 4538 \sin 2\theta + \dots$
$N=0233 - 0035 \cos \theta + 0095 \sin \theta + 0001 \cos 2\theta + 0.110 \sin 2\theta + \dots$
$\theta_1=12435+353 \cos \theta - 501 \sin \theta - 1679 \cos 2\theta - 1869 \sin 2\theta + \dots$
$N_1=0044+00005 \cos \theta - 00018 \sin \theta + 00108 \cos 2\theta - 00074 \sin 2\theta + \dots$
$\theta_2=17028-2208 \cos \theta + 12664 \sin \theta + 542 \cos 2\theta + 900 \sin 2\theta + \dots$
$1^{\text{mm}} = 868 \times 10^{-4} \text{ Volts} / 100 \text{ m}$

第2表 各項數年變化表

みるに

$$W_m = 211.7 \text{ m.m} - 162.0 \cos \theta + 43.2 \sin \theta + 42.4 \cos 2\theta - 6.7 \sin 2\theta + \dots$$

となつて、前記の一ケ年間の場合と同様に6-7月の最高と12-1月の最低とをもつ年變化と、7月と1月に最高、4月と10月に最低とをもつ半年變化が整然としてゐる。従つて降水量に原因する NS 地電位傾度變化に於ても必ずや之に應ずる變化が整然と出る事が推察される。

と半年變化が共に大きく、しかして半年變化は一年變化の約 $\frac{1}{3}$ にあつてゐる。かくて降水量と地電位傾度變化を對比してみると次の様になる。

1) A に就て:—WとAとを比較すると、降水量極大後に地電位傾度極小(即ちS極の地電位最高)とな

月	A	N ₁	θ ₁	N ₂	θ ₂	月
9	-0520	0154	106.4	00627	98.0	9
10	3116	0335	107.3	00400	283.0	10
11	5552	0410	109.2	00242	603	11
12	6274	0273	142.6	00440	32.2	12
1	11435	0183	153.0	00291	162.0	1
2	8020	0369	94.2	00547	206	2
3	10350	0227	113.5	00664	263.4	3
4	8137	0140	131.2	00170	287.3	4
5	3565	0252	80.7	00510	119.1	5
6	-0187	0082	135.1	00322	36.2	6
7	-9427	0018	145.5	00470	250.7	7
8	-15375	0082	115.2	00500	80.7	8
Σ	2922	0216	109.0	00150	532	Σ

$1^{\text{mm}} = 868 \times 10^{-4} \text{ Volts} / 100 \text{ m}$

第1表 南北分値觀測表

さて降水量の一年變化及び半年變化はかなり規則正しいものであると思はれる。試みに昭和12年から17年まで6ケ年間の平均雨量を

雨や雪の時に地電流の急激に變化する事は Dickson, Lamont, Palmieri, Bachmetjew, Landerer, Battelli, 能登氏等をはじめ地電流觀測者の既に氣附いてゐる事實である。特に

Bachmetjew は地下水の流れる方向と分布が地電流の方向及び大きさに影響ありと指摘してゐる。⁽⁴⁾しかし彼は雨雪が土壤の電導度を變化させる爲と考へた。之に反し筆者の得た結果は、“流動電位現象の期待する方向に地電位傾度變化を發生する”と云ふのである。とは云ふもの前記の觀測結果に於ては一年變化と半年變化の比

月	A	N ₁	θ ₁	N ₂	θ ₂	月
9	-596	0193	1172	00553	1536	9
10	269	0347	1033	00425	2250	10
11	752	0403	1170	00319	2442	11
12	820	0328	1562	00314	2915	12
1	766	0227	1327	00431	2800	1
2	750	0205	1236	00548	2477	2
3	1092	0266	1041	00563	1978	3
4	1114	0321	1022	00735	1762	4
5	620	0275	1221	00335	364	5
6	-234	0138	1462	00350	364	6
7	-166	0027	1521	00474	364	7
8	-1026	0040	1543	00571	364	8
年	233	0233	1254	00440	1183	年

1 m.m. = 86.8 x 10⁻⁴ Volt / 100 m

第3表 補正したる NS 分値表

は2:1で、雨量の相當比3:1に較べ半年變化の方が少し多すぎる。之れは明かに半年變化の原因には降水量以外の原因のある事を示してゐる(勿論當然と思ふ)。

2) N₁, θ₁ に就て:— N₁ は降水量と平行的に變化してゐる事はAの場合と同様である。唯一年變化と半年變化とが殆んど同大である事は此場合にも $\frac{2}{3}$ 丈半年變化に別の原因がある事を示してゐる。

位相角 θ₁ は降水量の増大に依つて増すから位相が遅れる事を意味してゐる。しかしその半年變化が特に大であることは降水量のみが主原因でない事を教へる。

3) N₂, θ₂ に就て:— N₂, θ₂ は前二者と異なり降水量には直接に關係しないものの如くである。又他の氣象要素とも比較したが關係ない事が知れた。而して N₂ に於ては半年變化項が特に大きく、θ₂ に於ては年變化項が特に大きい。

以上を綜合すると、地電流の觀測に於ては A, N₁, θ₁ は降水量の影響が著大である事が知れた。しからば各地の觀測結果の吟味にあつては半日項以外に於ては直ちに比較することは困難が伴ふと云ふ事になる。しかのみならず半日項に於ても各月に依つて變化がかなり顯著であるから、必ずや任意な期間の統計相互では嚴密な比較は困る事になると思ふ。

§3 太陽時半日變化項 前述の如く A, N₁, θ₁ には降水量の影響が著大であるが、降水量と他の原因との割合の辨別には尙研究の要ありと認められるので、本文には第一報として降水量其他の氣象要素には關係の極めて少ない事の知れた N₂ と θ₂ の性質及び原因

等に関し報告する次第である。

(a) 振幅 N_2 に就て：— 半日變化項の一年間の平均振幅は 100 米につき 3.82×10^{-4} volts となるから、別府に於ける値と大體に order が一致してゐる。第 4 表に栗原理學士⁽⁵⁾の統計した別府、柿岡、及び豊原に於ける太陽時半日項 (NS 分値) を比較のために挙げ

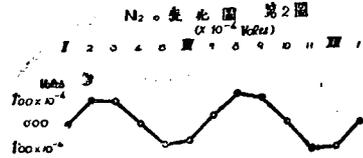
NS-Component	
向蘇 33° N 131° E	$3.62 \times 10^{-4} \cos(2t - 170)$ (Annual)
別府 33°20' N 131°30' E	$3.66 \times 10^{-4} \sin(2t + 147)$ (Nov-Feb)
柿岡 36° N 140° E	$0.79 \times 10^{-4} \sin(2t + 324)$ (Jan-Jun)
豊原 47° N 143° E	$0.78 \times 10^{-4} \sin(2t + 87)$ (Jan-Jun)

第四表 太陽時半日項

た。何れも統計期間が異つてゐるので嚴密には因りはするが、大體の傾向は高緯度から低緯度になるに従つて N_2 は急に増加してゐると解されるやうである。又第 2 圖に示した如く N_2 の各月の値は兩分點附近に最大であり、兩至點附近で最小である。而して更に詳細にみると秋の極大は春のそれよりも大であり、冬の極小は夏の極小よりも更に數値が大きいのが原則であるらしく讀める。

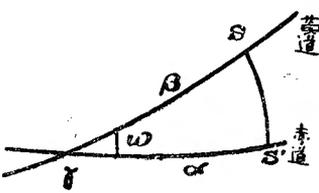
(b) 位相角 θ_2 に就て：— 第 2 表から判明する如く θ_2 は一年變化が主なもので、6 月の夏至附近に最小で冬至附近に最大である。即ちこれは位相が太陽赤緯極大の夏至點附近に最も

進み赤緯極小の冬至點附近で最も遅れることを示す。一般的には夏に位相が進み冬には遅れる事を意味する。而して兩分點附近では略平均値の 170° のあたり即ち當地方の日出時刻附近に極大がある。而して實際には春分點では 198° であり、秋分點では 154° であつて、春の方が秋よりも遅れてゐる事は日出時刻と同様である。又場所的にみると第 4 表から判明する如く、東方から西方に移るに従つて順次に位相が遅れて來るようである。



進む赤緯極小の冬至點附近で最も遅れることを示す。一般的には夏に位相が進み冬には遅れる事を意味する。而して兩分點附近では略平均値の 170° のあたり即ち當地方の日出時刻附近に極大がある。而して實際には春分點では 198° であり、秋分點では 154° であつて、春の方が秋よりも遅れてゐる事は日出時刻と同様である。又場所的にみると第 4 表から判明する如く、東方から西方に移るに従つて順次に位相が遅れて來るようである。

§4 太陽時半日變化の主原因



第 3 圖

前述の諸性質からして太陽時半日變化の主原因として太陽の關係位置を想像しうるのである。依つて赤道上で見掛上の太陽の運動即ち黄經の赤道への制約を考へて見やう。第 3 圖に於て γ を春分點、 $\gamma S'$ を赤道、 γS を黄道とし赤道と黄道との角を ω とする。太陽 S の黄經を β とし赤經を α とすると $\gamma S = \beta$ 、 $\gamma S' = \alpha$ となる

から、

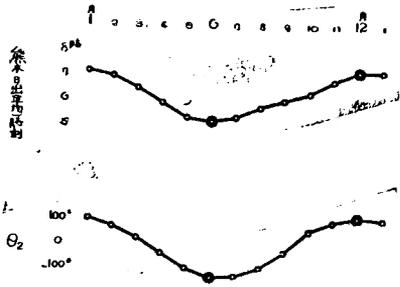
$$\alpha - \beta = -\frac{1}{2}g^2 \frac{\omega}{2} \sin 2\beta - \frac{1}{2}g^4 \frac{\omega}{2} \sin 4\beta \dots\dots\dots$$

となるから β が zero の時即ち春分點では $\alpha - \beta = 0$ となり、更に第4圖に示した如く年に二回づつの極大と極小が現はれ、兩分兩至に於て零となる。之を N_2 と對比すると極めてよく一致してゐる事がわかる。この事は見掛の太陽の速く運行する時は地電位傾度が大きく N_2 極地電位變化増大であるが、逆に太陽が遅く運行する時は地電位傾度變化が小即ち S 極の地電位増大であると解しうる。



第4圖 黄經の赤道への制約

之に反して θ_2 の一年變化は赤緯の變化に原因するものの如くである。熊本地方毎月平均日出時刻を圖示すると第5圖の如くなつて、 θ_2 の變化が之とよく一致してゐる。即ち赤緯が増大して日出が早くなると位相が進む事を意味してゐる。之は觀測結果と合致する。かく太陽の運行が直接に原因してゐるとすると、氣象諸要素と關係の少なかつた理由も了解出来る。



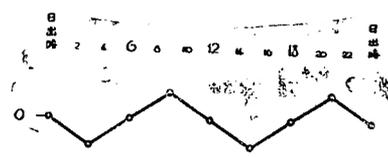
第5圖 熊本地方日出(平均)時刻と θ_2 の變化比較圖

半年變化に於てかく太陽の關係運動が原因の主體であるとするならば、一日の現象にも同様に太陽の關係運動に原因を求めうる筈である。

第3圖に於て γ を日出點、 γ' を地平線、 γ'' を赤道とし、 φ を緯度とすると $\omega = 90^\circ - \varphi$ とし太陽の赤經の地平線への制約は全く同様にして〔此時太陽の動く方向は此圖とは異なるが符號のみを利用した〕

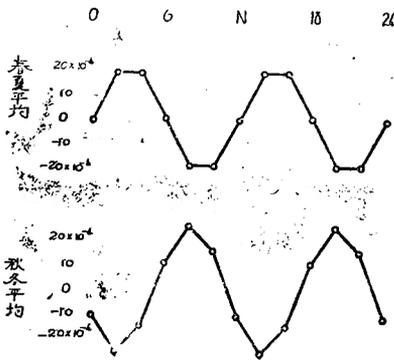
$$p = \alpha - \beta = -\frac{1}{2}g^2 \frac{90 - \varphi}{2} \sin 2\beta - \frac{1}{2}g^4 \frac{90 - \varphi}{2} \sin 4\beta \dots\dots\dots$$

となるから、第6圖に示した如く明かに半日變化をもつ變化を示す。之から推察すると $\beta = 45^\circ$ 即ち日出點から3時間後に極小が現はれる筈である。かくて一太陽日中に極小2ヶ極大2ヶを示す筈である。太陽が北半球にある春夏の候には9時頃に極小が現はれてゐる(日出後約3時間である)。而して太陽が南半球にある秋冬の候には丁度逆の極大が現はれてゐる。



第6圖 太陽赤經の地平線への制約

Huancajo の結果にみると阿蘇地方と全く逆に現はれてゐるのは今の變化が共通のものである事を示すものではあるまいか。

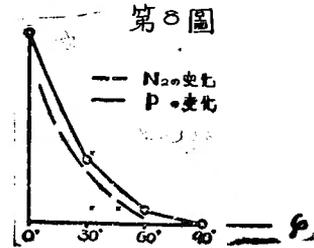


第7圖 阿蘇に於ける春夏、秋冬の平均半日變化(NS)

又 p には $tg^2 \frac{90-\varphi}{2}$ が含まれてゐるから、 $\varphi=0^\circ$ 即ち赤道では p が最大で、 $\varphi=90^\circ$ 即ち極地では最小である。従つて振幅は赤道地方に於て最大で、高緯度に至る程急激に小さくなる筈である(第8圖)。これは豊原、柿岡、別府の N_2 比較から大體の傾向が知られる。又観測地から云ふと最東方にある豊原に位相が最も進み、最西方の九州に最も遅れてゐる事實も日出時刻に應じてゐる。

以上太陽時半日變化に就ても完全に了解し得られる。

85 太陽時半日變化東西分値に就て 本報告に於ては南北分値に就ての吟味のみをした。しかし原因が前記の如きものであるならば、EW分値に就ても當然同様の結果が出る筈である。第5表は前にも述べた如く期間が不同であるから完全ではないが、一般的傾向を知るには充分であらう。之によると東西分値に於ても N_2 は低緯度に大きく高緯度に小さくなり、又東に位するものは西のものより位相が進んでゐる事が知れる。一年變化、半年變化に就ては次回の報告に譲る。



86 太陰時半日變化に就て 太陽時半日變化に就て前記の現象を得たのであるから、太陰時變化も全く同様な取扱に依つて太陰赤經の地平線への制約を考へると太陰時半日變化の存在を期待する事が出来てその振幅 L_2 及び位相角 ϕ_2 も N_2 及び θ_2 と全く同様の結果になる筈と思はれる。栗原理學士の統計結果に就てみても大體の傾向は全く豫想通りである。⁽⁶⁾ 唯完全なる整理は次回に譲る。

§7 結 び 以上述べた所を要約すると、地電位傾度變化に於て平均項及び日變化項は地下水の影響を多分にうける事が判明した。そして地下水流の下流にある電極の地電位が

(表6)

太陽半日変化 (S_2) EW-分値		極大時刻
別府	$230 \times 10^{-4} \sin(2t+11)$	279°
柿岡	$301 \times 10^{-4} \sin(2t+35)$	97°
豊原	$146 \times 10^{-4} \sin(2t+26)$	↑ 64°
太陰半日変化 (L_2) EW-分値		
別府	$263 \times 10^{-4} \sin(2t+143)$	307°
柿岡	$155 \times 10^{-4} \sin(2t+26)$	234°
豊原	$056 \times 10^{-4} \sin(2t+22)$	↑ 229°
NS-分値		
別府	$060 \times 10^{-4} \sin(2t+240)$	154°
柿岡	$040 \times 10^{-4} \sin(2t+216)$	234°
豊原	$033 \times 10^{-4} \sin(2t+234)$	↑ 220°

第5表 栗原學士に依る

地下水量増加の場合には上昇する即ち流動電位現象の要求する如き作用を受ける。かく平均項及び一日變化項には降雨の影響が入つて来るので觀測地の異つた統計の比較には困難が伴ふ。しかるに半日變化項には地下水の影響がらぬ事が判明した。依つて太陽時半日項 (N_2, θ_2) に就てその性質を擧げてみる。

- (1) 振幅 N_2 は低緯度で大で高緯度になる程減少する。
- (2) 觀測地が東にあるものは最も位相が進み西になる程遅れる。
- (3) N_2 の半年變化は特に著しく、兩至點附近では極小で兩分點附近では極大を示す。

- (4) 位相は夏に進み夏至點で最も進み、冬に遅れ冬至點附近に最も遅れる。
- (5) 太陽が北半球にある春夏の候には、 N_2 の極小は大體9時前後で日出後3時間附近にある。之に反し太陽が南半球にある秋冬の候には、 N_2 の極大が大體9時頃で日出後3時間の所にある。
- (6) かくる太陽時半日變化の N_2 諸性質の原因としては氣象學的諸要素でなくて太陽に直接關係してゐる事が考へられた。太陽黄經の赤道への制約を考へて半年變化を完全に了解出來た。又太陽赤緯の年變化を考へると θ_2 の年變化を完全に了解出來る。
- (7) 更に太陽赤經の地平線への制約を考へると太陽時半日變化を解決出來、更に日出時刻の早い東の觀測地が位相最も進み西に移る程位相が遅れる事も了解出來る。
- (8) 更に南化分値のみならず東西分値に於ても全く同様の現象を解決出來る事が推察された。又太陰時半日變化も太陽時半日變化と全く同様の方法で解決出來る事が想定された。しかし此二問題は更に資料の整理を完備して次の報告に提出する豫定である。

本文を終るにあたり觀測及び整理に所員江藤敏治、森昭三兩君の協力を得た事を記したい。恩師野滿教授の御指導に厚く謝意を表する次第である。費用は文部省科學研究費に負

うた。

文 獻

- (1) Quincke, G.; Electricity produced by running water through porous membranes. Pogg. Ann., CVII, 1859, pp. 1-47; CX, 1860. etc. etc.
- (2) Namba, M.; An Investigation of Earth Currents on the Valcano Aso, Part I. The Potential Diff. of the Upward Earth-current flowing toward the top of a Valcano; Memoirs of Coll Science Kyoto I. U. Series A vol. XXI, No. 6, 1928.
- (3) Namba, M.; Part V. Correlation of the Volcanic Activity of Mt. Aso with the Variation of the Vertical Earth current. Memoirs of Coll. Science Kyoto I. U. Series A. Vol. XXIII, No. 4, 1941, p. 171
- (4) Bachmetjew, P. Effect of ground water distribution on earth-currents. Zeitschr. fur Elektrotechnik, XII, 1894, p. 509, 522 etc. etc.
- (5) 栗原正次; 別府柿岡豊原に於ける地電流の大陰時變化に就て, 地球物理第2卷第4號 p. 382 (昭和13年12月)
- (6) (5)と同じ.