

鳥取大学教養部 宮腰潤一郎

〃 塩崎一郎

〃 西田良平

SPONTANEOUS INTENSIFICATION OF GEOELECTRIC NOISES PRECEDING THE
EARTHQUAKE OCCURRENCE

J. Miyakoshi I. Shiozaki R. Nishida

(Institute of Earth Sciences, Tottori University)

Earthquakes of $M=4.4$ and 5.9 occurred at the Tottori - Shimane Prefectures border in the midnight of August 27 and in the morning of August 28, 1991. Fortunately, our observation stations, SNT and SGE, for the continuous measurement of the geoelectric potential difference are located almost upon the epicenters. Anomalous and big changes occurred in the NS component of the geoelectric field on Aug. 27 prior to the occurrence of earthquakes. The changes are series of positive pulses of quite similar pattern to the daily noises caused obviously by the leakage current from the electric rail-way near by. The amplitude of changes are much bigger than that of the daily range of geoelectric noises explainable as the resistivity change between the rail and the ground due to the rainfall, for instance. And also, according to the Rail-way Company, the operation of trains and DC current supply to trains were done as usual on Aug. 27. Therefore, we concluded that the observed anomalous changes must be a kind of precursor to the earthquakes. It was a noise intensification and not the electromagnetic emission from hypocenters. Taking the geological setting around SNT into account, the most plausible explanation of this temporal intensification of geoelectrical noises is "The anomalous changes were caused by the induced polarization, accumulation of electric charges produced by the electric rail-way on the surface of dykes underground in the preparation of earthquakes".

1. はじめに

自然状態の地表面における電位の地域分布は、自然電位 (S_p) の分布として、またこれに人為的に電流を与えた場合はいわゆる電気探査の問題として、地下の鉱体・熱流・地下水・噴気などの存在状況を知る重要な手段とされてきた。そして鉱体電池・IP現象・流動電

位など種々の興味ある電気化学的現象が知られるようになった。一方電位の時間変化は——この場合必ずしも非分極電極が使用されるわけではないので自然電位 (Sp) の時間変化を見ていることにはならないが——いわゆる地電流 (Earth current) 観測として、前述の電気探査より深部或は広域の地下電気電導度構造の問題を対象ととするMT法探査などの立場から注目されてきた。そしてこの場合の観測は数100 mの電極間隔と数10 mV/kmの感度で行われ解析の対象となる現象は地磁気嵐、サブストーム等比較的長周期の外部磁場変動に対応する電場変化でありそれ以外は無視されてきた。ところが近年の地震予知の観点から、地震発生前後に見られる特異な電場変化が注目されるようになった。すなわち、従来はドリフト或はノイズとしてその原因を追及することなく無視されてきた電場変化 (地電位差変化) の中には、その前後に発生した地震に関連して出現したと考えざるを得ない観測例が多く報告されるようになってきたのである^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}。これらの電場変化の発生のメカニズムとしては、震源における破壊核形成過程或は主破壊に伴う電磁放射、地殻内の水の流動或は交代による流動電位の発生、電気抵抗の変化等が挙げられている。しかしながら現象に対する十分な説明は未だなされておらずまた観測された特異な電場変化を地震発生に結び付けて考えることそのものに対する批判もあり⁷⁾。問題の解明は容易ではない。

鳥取・島根県境には特に著しい活断層は見られず地震活動も1987年6月に一時的に活動があったもののおおむね静穏に経過してきた。ところが1989年10月にM=5.3の地震が発生したまた我々が他の目的で観測を行ってきた菅沢 (SGE) (震央距離約7 km) においてこの地震発生に関連すると考えられる顕著な電場変化が観測された。その変化の波形は流動電位による変化を思わせる緩やかなものであった⁸⁾。その後我々は付近に下中谷 (SNT) 観測点を増設して地電位差観測を行っていたが1991年8月27日夜半と8月28日午前相続いて発生したそれぞれM=4.4、M=5.9の地震発生に先行して、8月27日の日中異常な電場変化が下中谷 (SNT) において観測された。その変化は流動電位や震源域からの電磁放射といった自然現象を思わせるものではなく明らかに人工的ノイズ関連の現象であった。

2. 観測及び観測結果

第1図に観測点の位置を示す。図中には1989年10月の地震とこの度の地震の震央位置も示した。第1表にはそれら地震のリストをまとめて示した。なおこの地域に発生する地震はいずれも東西圧縮の場で起る地殻内の地震であることが知られている (気象庁大阪管区気象台)。下中谷 (SNT) 観測点は国道180号線から西へ約2 km入った谷間の水田地帯の農家の納屋であり電極は30 cm長の炭素棒を水田傍の空き地に周囲に炭素粉末を充填しながら深さ0.5~1.0 mに埋設したものである。記録方式は全振幅1000 mV、チャートスピード10 mm/時のアナログ記録とプリンターによる30分間隔のデジタル記録とを併用している。電極間隔はEW: 4.8.7 m、NS: 60.0である。下中谷と菅沢におけるアナログ記録の例を第2図に示した。下中谷から電化されたJR伯備線までの直線距離は12 km程度であり日中は明らかに漏洩電流によると考えられるノイズが卓越している。そこで

静穏な夜間の平均値をその日の地電位差の代表値として選び1991年における経年変化を雨量と共に示したのが第3図である。これによれば降雨が電極間電位差に与える影響はそれほど重大なものではないようである。なお菅沢(SGE)におけるEW、NS成分のアナログ観測は銅・硫酸銅電極を用いて1991年11月以降開始したものでありそれ以前は炭素棒電極を用いほぼ東西及び垂直方向の電場を30分間隔でデジタル観測していた。

3. 考察

下中谷及び菅沢における毎日の著しい電場変化を作っている原因がJR伯備線からの洩れ電流であることはほぼ明白であるが我々は幸いにもJR西日本米子支社の御好意によって伯備線の全列車の運行ダイアグラムと直流電流を供給する変電所の位置、各変電所における供給電流の監視記録をいただきこれらを参考にしてそのことを確かめることができた。第2図に見られるように下中谷、菅沢における電場変化の特徴は深夜の静穏と昼間の著しい擾乱の存在であるが日中の変化は0.5~1.0時間の周期をもつやや緩やかな変化の繰り返しとそれに重なる短周期のパルス状変化とからなっている。運行ダイア等を参考にして調べた結果NS成分の電場変化に顕著に現れているやや緩やかな周期的変化の中でN極側の電位が正になっているときは、特急など大電流を消費する電車が下中谷の最寄りの北側の変電所区間を進行している場合であり、負になっているときは最寄りの南側の変電所区間を運行している場合であること、またこれらの正弦波的な変化に重なる大振幅のパルス状変化は電車運転士のコントローラー操作によって生じたものであることが下中谷、菅沢で行った高感度、早送りアナログ観測の記録なども参考にして知ることができた。第4図はその概念図である。なお両地点の電場変化にはNS成分が卓越しているがこれはおそらくこの付近でJR伯備線の走行方向がほぼ南北であること、この地域の北に極めてconductiveな海が存在することによると思われるがなおこれに加えて、これらの影響を上回るような極端な電気伝導度分布のHeterogenietyがこの地域には存在しないことを意味しているのかも知れない。先の第1図にはJR伯備線の列車へ直流電流を供給する変電所の位置を示してある。ところで下中谷、菅沢における地電位差変化は毎日ほとんど同じ波形で繰り返されているものであり振幅にもそれほど大きな変動は認められなかった。ところが第5図に示したように下中谷における1991年8月27日の変化は日中に異常な振幅の増大を示し翌8月28日には通常の振幅或はむしろやや小さな振幅に戻るといった奇妙な様相を示した。第5図に見られるように8月27日の電場変化の著しい特徴は、(1)日中のNS成分のパルス状変化にのみ振幅増大が見られること、(2)N極側の電位が高くなっている場合にのみ振幅増大が現れること、(3)片ブレ(N極電位の上昇方向)のみによる振幅増大であること、である。このような変化の原因について考えてみたい。レールからの洩れ電流は近似的に⁹⁾¹⁰⁾

$$i = \frac{1}{12} I \cdot \frac{\gamma}{\omega} \cdot L^2$$

ω : レール洩れ抵抗

γ : レール抵抗

L : 変電所間距離

I : 供給電流

で表される。電流値 I は 8 月 27 日は各変電所とも平常通りであったことは JR からの資料によって確かめられている。残る可能性としてはレール洩れ抵抗 ω が降雨等によって一時的に減少したのではないかということである。第 6 図は、観測期間中の毎日のパルス的变化の大きさの代表値として 11 時における振幅を選びこれに対して当日とその前日の雨量合計との対応を示したものである。5 月 27 日とその前日にはほとんど降雨がなかったにもかかわらずパルス的变化は異常に大きな振幅を示しておりこの振幅増大が降雨による洩れ抵抗の一時的減少としては説明できないことを示している。電場にパルス的变化を生ずる原因としてはこの他に雷が考えられるが 8 月 27 日当日雷の発生はなく(鳥取地方気象台)また雷による電場変化の波形は容易に識別できるものであり少なくともこのような片ブレではない。その他電極、記録計に異常を与えるような事象は全く発見することができなかった。

以上の事柄を総合して我々は 8 月 27 日に現れた電車ノイズの増大は、8 月 27 日深夜の $M=4.4$ の地震或は 8 月 28 日午前 $M=5.9$ の地震の先行現象であろうと判断した。

さてこのような地震発生に先行して、電車からの洩れ電流によるパルスの短周期電場変化の NS 成分が、片ブレ的かつ一時的に enhance された原因について考えてみたい。

変電所の間隔は電気探査における電流ダイポールの電極間距離に相当するが、伯備線の場合これがおよそ 20 km であることはこの度の震源の深さが 20 km 以浅であることと矛盾しない。しかしながらこの enhancement を下中谷観測点への電流の集中、すなわち下中谷の周囲の電気抵抗が一時的に増大したためとすることには無理があろう。また震源からの電磁放射による電場変化と考えることも発現時刻からみて妥当でないし地下水流動による流動電位との考えも観測された電場変化の波形から判断して否定される。そこで我々はこの度の場合の解釈として「界面電気現象によって一時的に電荷が集積したために電場が enhance された、すなわち IP 現象による電場の enhancement」を提案したい。下中谷観測点と JR 伯備線との間には緑水湖と呼ばれる貯水ダムがあり建設に先だってボーリングを含む詳細な地質調査が行われているがその結果によれば、この地域の大部分を占めている花崗岩体を貫きほとんど垂直かつ NW-SE 方向に延びるひん岩 (Porphyrite) の岩脈が数多く分布している¹¹⁾ がその方向はこの付近における JR 伯備線の走行方向とほぼ直行している(第 7 図)。一方この付近ではほぼ南北方向に延びている JR 伯備線からの洩れ電流は常に(電車)→(変電所)の向きに流れて下中谷における NS 方向の電場変化を作っているが、その電荷が、地震発生の前に一時的に生じた IP 現象のために岩脈の北側表面に付着し下中谷における N 極側電位を増大したのではないだろうか。第 8 図に概念図(平面図)を示した。このような IP 現象が生ずるためには地下の亀裂、空隙などで電解質水の侵入・交代などの現象が発生している必要がある。狭い電極間に電場変化が現れていることから考えて、これらの現象は比較的浅部の地下で生じたものであろう。そしてこの enhancement は 8 月 27 日深夜 $M=4.4$ の地震発生時には解消していたと見られる。

以上の推定を直接的に裏付ける観測データはないが皆生温泉 (KKE) における温泉水の

水位変化を示した第9図を地殻内ストレス場の状況を示す指標である^{1,2)}と見なすならば地震発生時に下中谷周辺においても地下水の移動、交代を生ずるようなストレス場の変化があったと思われる。

以上述べたことから1991年8月27日に下中谷において観測された異常な電場変化は電車ノイズがenhanceされたものでありこれは8月27日夜半、28日午前付近で発生した地震の先行現象であったと判断される。ところでこのようなパルス的变化の増大はその当日の地電位差差値のバラツキの増大として現れることが予想される。そこで地電位差NS成分の30分間隔計測値の標準偏差(SD)をそれぞれの日について計算したのが第10図である。(SD)の値は数日前から急増して8月27日には観測期間中の最大値となっているが、同程度の値になっている日が他にもある。このことは界面電気現象は平常時にも地震発生時と同程度のcriticalな状態になっている場合があることを示しているのかも知れない。

4. まとめと謝辞

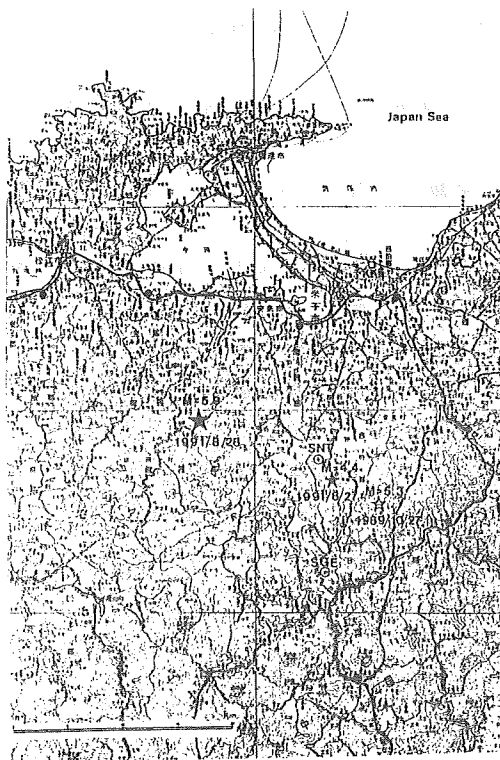
(1) 1991年8月27日の日中、下中谷(SNT)において異常な地電位差変化が観測された。(2) その変化は付近の電車レールからの洩れ電流による電場変化がenhanceされて現れたものである。(3) enhancementが生じた原因は、8月27日の夜半及び8月28日の午前はこの地域に発生した地震に先行して地下水の交代が行われ、地下の岩脈の表面に界面電気現象が生じて電荷が集積し、下中谷(SNT)における電場を強めたためであろう。終りに、現在を含むこの観測実施に際して観測の保守に多大の貢献をいただいている下中谷観測点の長尾保氏に心から感謝の意を表すると共に、貴重な資料を提供して下さったJR西日本米子支社、皆生温泉観光KK、建設省菅沢ダム管理事務所、鳥取県賀祥ダム(緑水湖)管理事務所の各位に厚く御礼申し上げるものであります。

参考文献

- 1) Corwin, R. F. and H. F. Morrison, Self-potential variations preceding earthquakes in central California. *Geophys. Res. Lett.*, 4, 171-174, 1977.
- 2) 小山茂, 本蔵義守, 中伊豆における自然電位観測(1). *地震研究所い報*, 53, 939-942, 1978.
- 3) Varotsos, P. and K. Alexopoulos, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes, I. *Tectonophysics*, 110, 73-98, 1984a.
- 4) Varotsos, P. and K. Alexopoulos, Physical properties of the variation of the electric field of the earth preceding earthquakes, II. Determination of epicenter and magnitude. *Tectonophysics*, 110, 99-125, 1984b.
- 5) Miyakoshi, J. Anomalous time variation of self-potential in the fractured zone

of an active fault preceding the earthquake occurrence. *J. Geomag. Geoelectr.*, 38, 1015-1030, 1986.

- 6) 宮腰潤一郎, 西田良平, 西日本地域活動域における地電位差の連続観測, CA研究会1989年論文集, 177-185, 1989.
- 7) 小嶋美都子, 伊豆大島で観測された地電位差異異常変動の原因についての一考察, 地震, 2, 44, 177-184, 1991.
- 8) 宮腰潤一郎, 西田良平, 塩崎一郎, 笹井洋一, 大志万直人, 巨大貯水ダム周縁における地磁気・地電位差観測(序報), CA研究会1990年論文集, 195-203, 1990.
- 9) 新版電食・土壤腐食ハンドブック, 電気学会, 昭和52年, コロナ社
- 10) 宮腰潤一郎, 西田良平, 鉄道レール洩れ電流利用による中央構造線地下電気伝導度の測定, CA研究会1984年論文集, 279-285, 1984.
- 11) 賀祥治水ダム地質調査報告, 八千代エンジニアリング, 昭和45年9月
- 12) J. H. Healy and T. C. Urvan, In-situ fluid-pressure measurements for earthquake prediction: An example from a deep well at Hi Vista, California, *PAGEOPH*, 122, 255-279, 1984.

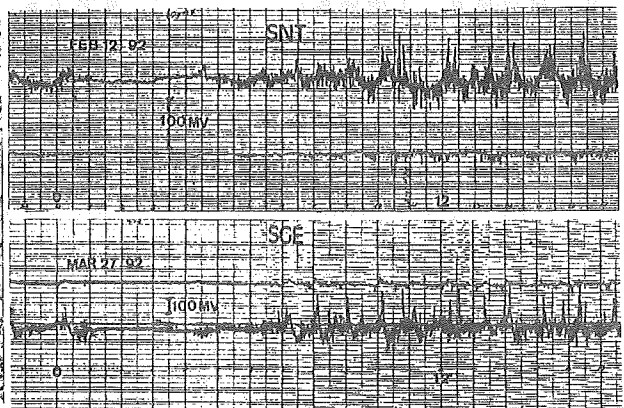


第1図. 観測点位置図

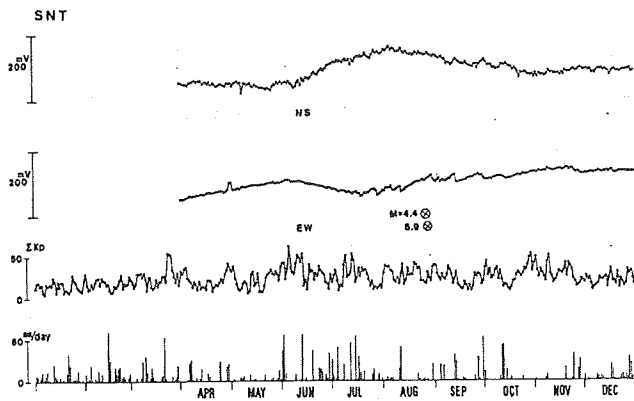
● : 変電所

第1表. 地震リスト

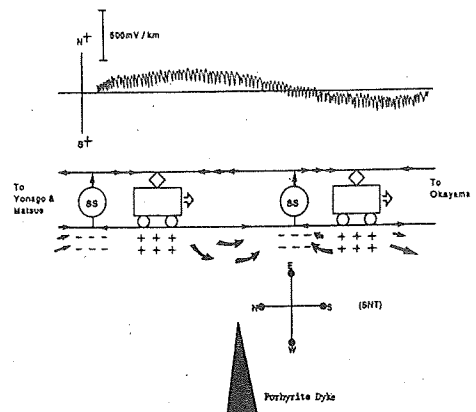
Occ. Time	M	Depth(km)
1989. 10. 27. 7. 41	5.3	14
1991. 8. 27. 23. 59	4.4	12
1991. 8. 28. 10. 29	5.9	15



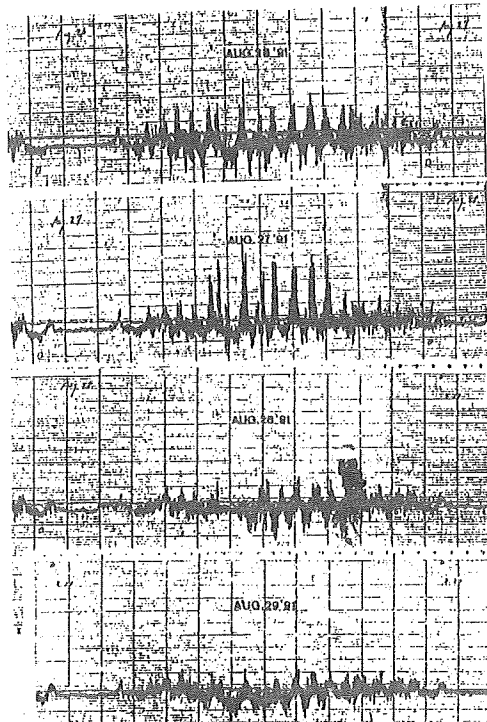
第2図. 観測記録例



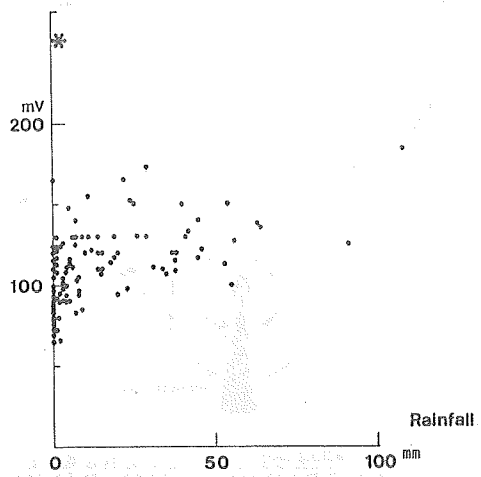
第3図. 地電位差夜間値の経年変化



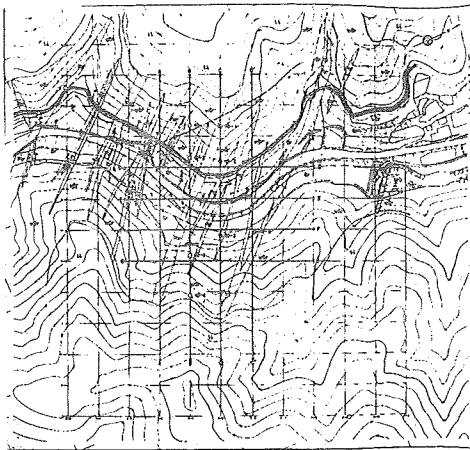
第4図. 電車漏洩電流による電場の模式図



第5図. 1991年8月27日前後の
地電位差変化

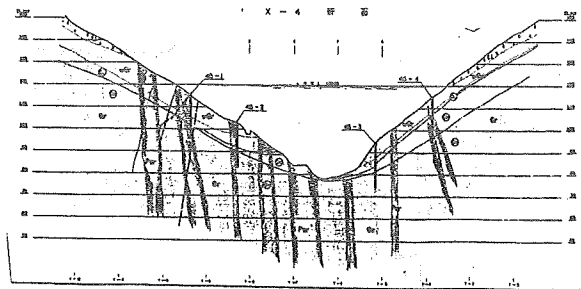


第6図. 短周期地電位差ノイズ振幅
と雨量



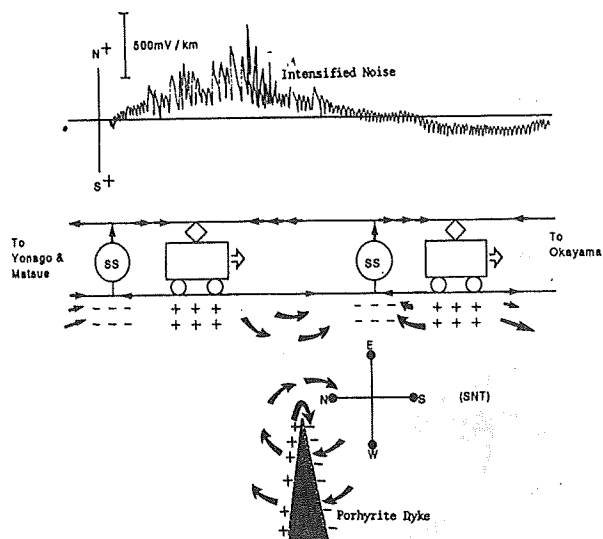
第7図 (a)

・ 緑水湖 (下中谷) ダム地質図

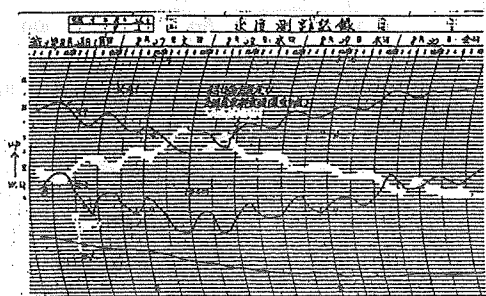


第7図 (b)

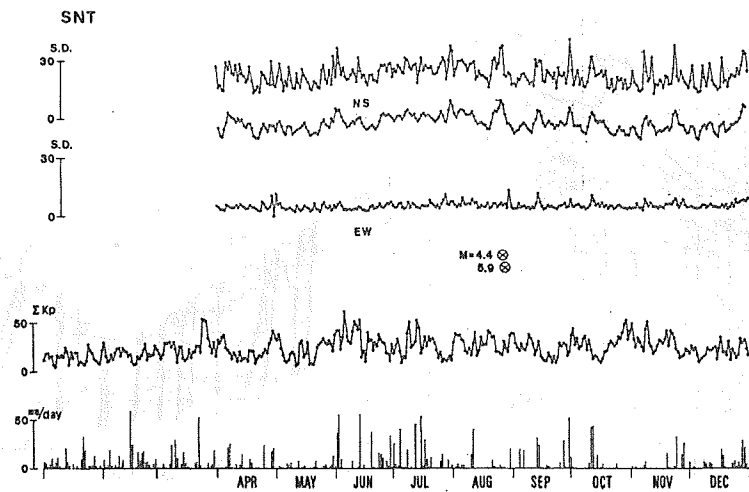
・ 緑水湖 (下中谷) ダム地質断面図



第 8 図. IP現象による地電位差ノイズ増大の説明図



第 9 図. 地下水水位変化皆生 (KKE) 温泉



第 10 図. 各日の地電位差の S.D. 及びその 3 日毎の移動平均の経年変化