

1967年3月6日に観測された地電流の異常変化  
—松代における垂直地電流観測の報告—

熊谷貞治

国立防災科学技術センター

An Anomalous Variation at the Time of the Earthquake on Mar. 6, 1967  
— Study on Vertical Component of Earth-Current Potential Gradient  
at Matsushiro

By

Teiji Kumagai

*National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo*

Abstract

The observation of vertical component of earth-current potential gradient has been carried out by National Research Center for Disaster Prevention near the eastern outskirts of Matsushiro town. The geographical coordinates of the observed station are as follows; Latitude:  $36^{\circ}33'16''\text{N}$ ; Longitude:  $138^{\circ}13'03''\text{E}$ ; Height: 374 m.

This observation was planned to utilize the boring for the investigation of earthquake swarms around Matsushiro region.

The electrodes in use consist of leaden rod of about 5 cm in diameter and one meter in length. The upper electrode is buried vertically in a thick layer of pine charcoal grains at the depth of about 1.7 meters below the surface of ground. And lower one is cemented in a thick layer of conductive concrete and situated vertically at the depth of about 0.2 km below the surface. The distance between two electrodes (base length) is about 0.2 km. As the recording instrument is used a set of chopper type amplifier and pen-writing voltmeter. The speed of record is usually 6 cm per minute, and its sensitivity is 10 millivolts per 250 mm per base length.

One of the objects of this observation was to obtain the record of shorter-period variation, not such as lunar and diurnal variation. In the region of Matsushiro, it was so difficult to observe the natural variation of earth-current potential gradient

due to the obscuration by the noise of stray electric current from railways, so that the present observation was executed during night hours (from 00 h to 04 h), when the noises were comparatively small.

The writer reports here only the anomalous variation recorded at the time of the earthquake occurred at 03h 33m, Mar. 6, 1967 (JST).

The morphology of this anomalous variation is as follows;

- 1) Beginning time of this variation is the same as the observed time of the earthquake.
- 2) Type of variation is that of dumping oscillation, 0.7 sec period and about 7 sec duration.

Such a type of variation has never been found at least in the records of world-wide rapid variation which were observed by the Kakioka Magnetic Observatory and its branches. The writer suspected at first that such variation might be produced by some mechanical shocks given to the recorder or electrodes. If so, they ought to be recorded also at the time of other earthquakes, but the results of several experiments and researches were negative, contrary to the above expectation.

まえがき

地震の群発している長野市松代町の皆神山山麓に設けられた深さ約200mの試験孔による観測井<sup>6)</sup>において、地震などとともに地震流の観測を行なっている。

この観測中に垂直地電流について特異な変化が記録されたので、地震との関係について検討した結果をここに報告する。

なお、地電流観測はその短周期変化を対象とし、日変化などの長周期変化は対象としていない。

1. 観測の概要

問題としてとりあげた1967年3月6日に発生した地電流の特異な変化を観測したときの地電流および地震観測の条件は以下のようなものである。

観測地点

長野県長野市松代町の皆神山山麓、北緯36°33'16", 東経138°13'03" (松代町製1:10,000の地形図より)

地電流観測装置

1) 電極

電極は長さ約1m、直径52.8mm、肉厚約

5mmの鉛管を使用した。地表の電極は、地表下1.7mのところに炭素粒(松炭)を周囲に入れて埋設し、地下の電極は、地表と材質、大きさとも同じ鉛管を地表下188mの位置に電導性コンクリートで周囲を他の計測器と一諸につつんで設置した<sup>6)</sup>。その電気的性質は、地表電極の接地抵抗170Ω、電極電位約500mV、地下電極は接地抵抗140Ω、電極電位約200mVである。

測定系はFig.1に示す通りである。

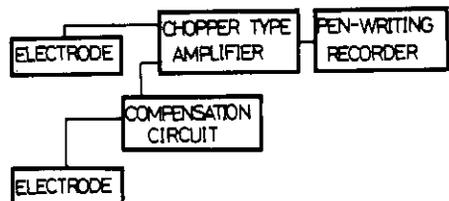


Fig.1 Block diagram of earth-current potential gradient observation.

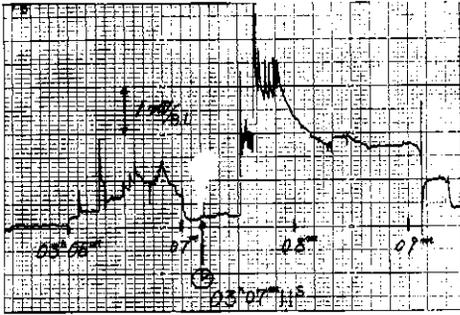


Fig. 2 - 1

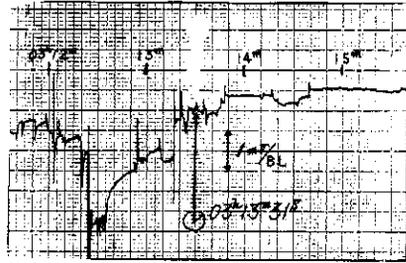


Fig. 2 - 2

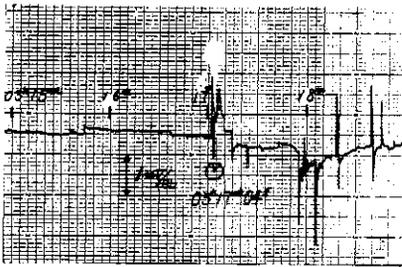


Fig. 2 - 3

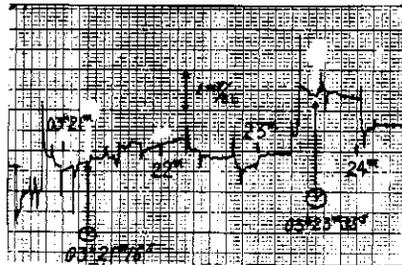


Fig. 2 - 4

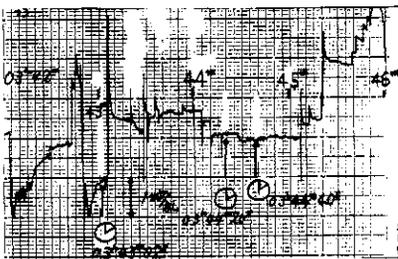


Fig. 2 - 5



Fig. 2 - 6

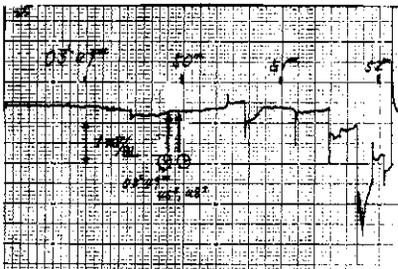


Fig. 2 - 7

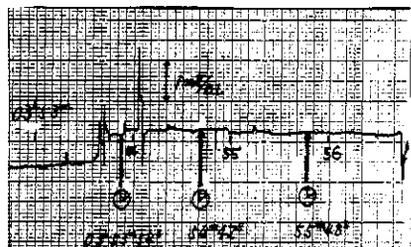


Fig. 2 - 8

Fig.2 Variation of earth-current potential gradient and observation time of earthquakes.

2) 記録装置

ペン書き直流電圧計(YEW製 LER-12 A)を使用し、フルスケール10mV、記録紙速度6cm/分で観測した。

地震観測装置

1) 地震計

E-W, N-S, U-Dの3成分で固有周期は、それぞれ50c/sで、地表下197mの附近に設置<sup>6)</sup>されている。

2) 記録装置

3成分を同一の記録計で観測し、使用した記録計はペン書き式直流電圧計(三栄測器製 IR-302形)である。記録紙上における感度は地震計を含めて20~50c/sにおいて、5ga/2cmである。記録紙速度は6cm/分で観測した。

2. 観測結果の検討と考察

地電流観測の記録紙上に、観測井において、1.25gal以上の加速度が観測された地震時刻を記入して共通した対応変化が認められるか検討した。Fig.2-1~8<sup>(注1)</sup>では少なくとも発震時、感震時およびそれらの直前に共通した変化は認められない。

しかし、6日03時33分38秒の地震時には図4-1のような特異な変化が記録された。(以下

ここでは仮にMX現象とよぶことにする)

MX現象の発生原因はFig.3の事項が考えられるのでこれらについて検討を行なった。

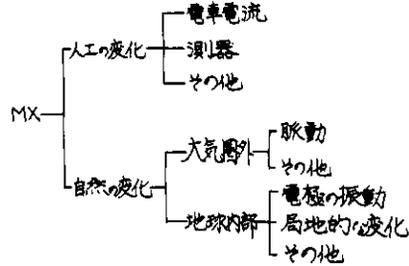


Fig.3 Thinkable factors of MX.

2.1 人工的なものについて

1) 電車電流の漏洩

発生原因が電車電流の漏洩であれば、3月6日以外の日の同時刻附近にも出現するであろうとの仮定のもとに3月6日と同感度で観測をTable1の示す期間行なった。(1967年の観測のみ示す)

Fig.4に代表的なものを示したが、ほぼ同時刻

Table 1 Observed period and sensitivity of instruments.

年月日	観測時間 h-h	感度 mV/250mm/BL	年月日	観測時間 h-h	感度 mV/250mm/BL
1967.2.22~23	21.5~09	100	1967.6.22	00~04	10
2.23~24	19.5~07	100	6.23	00~04	10
3.5	00~04	100	6.28~29	23.5~11.5	20
3.6	00~04	10	7.19~20	23~03	20
3.6~7	04~09	200	8.1~2	23~03	10
4.26	00~04	10	8.10~11	23~03	10
4.26	04~14	20	10.12~13	23~03	10
4.27	00~04	10	10.13~14	23~03	10
5.20	16~24	50	11.20~21	23.5~03.5	10
5.21	00~04	10	11.21	00~04	10
5.22	00~04	10	11.23	00~04	10
5.22	12~20.5	20~50	11.23~24	23.5~03.5	10
5.23	00~04	10	11.29~30	23.5~03.5	10
5.23	11~15	20	12.1~2	23.5~03.5	10
5.23~24	19.5~07.5	20	12.4~5	23.5~03.5	10
24~25	09~06.5	20			
21	00~04	10			

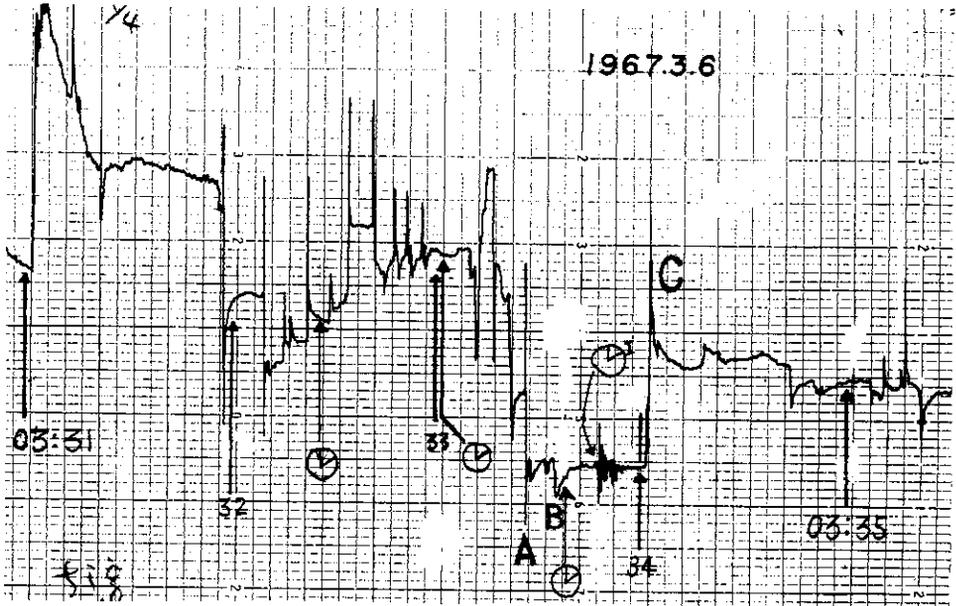


Fig. 4 - 1

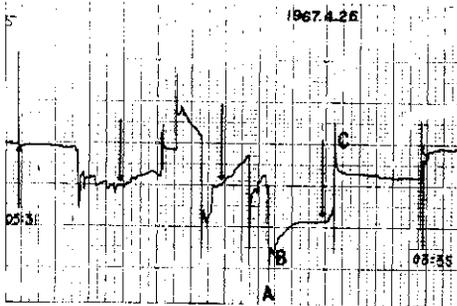


Fig. 4 - 2

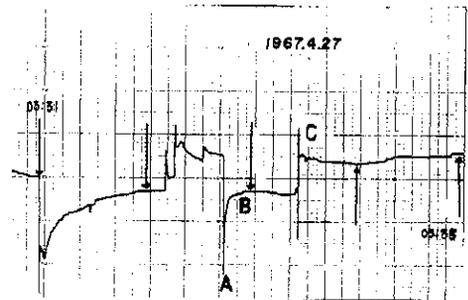


Fig. 4 - 3

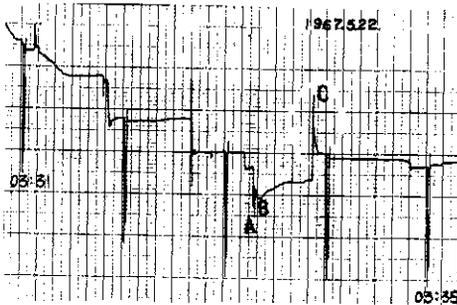


Fig. 4 - 4

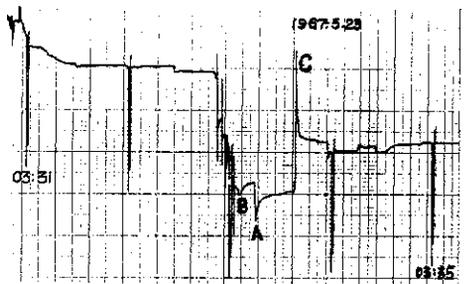


Fig. 4 - 5

Fig. 4 A,B and C are artificial variations at about the same time every day

にA, B, Cの変化はいずれも出現しているが, MXは3月6日のみである。

2) 配線の不良

配線の不良によるものが考えられるが, 04時観測終了後ただちに点検を行なったが, 結線不良, 接触不良, 絶縁不良などは発見出来なかった。

3) 測器の不良

地震動により測器が振動し, この振動を記録することも考えられるので, 測器を観測状態において手でゆする, 測器の付近で人間がはねるなどの試験を1967年5月22日に行なったが, MXは出現しなかった。また, 地電流観測時に観測井において, 震度I程度の地震はしばしば観測されているが3月6日と記録紙の速度, 感度とも同じであってもMXは観測されていないし, また申すまでもなく地震時以外の時にもMXは記録されていない。

次に記録紙速度を2cm/分にし, 感度を $1\text{mV}/250\text{mm}$ にして観測を行なった。この場合垂直200mを使用すると変化量が大きいのでスケールアウトしてしまうので, 炭素電極の水平2m(両極の電位差は $26\mu\text{V}$ )を使用した。

電極の振動による電位の変化をみるためのみなので炭素電極を使用した。厳密に言えば設置状態がことなるので参考にとどまるということになるであろうが感度を10倍にして観測期間中1.25gal以上の地震, また電極付近で人間がとびはねてもMXは記録されない。

振動を与えることが地中に電極があつては困難であるため, 一方は地中に埋設した炭素電極を, 他方は地表下約6mのボーリング孔にたまった水の中へ炭素電極を入れて試験してみた結果が, Fig.5, Fig.6である。

Fig.5は, 炭素電極を水中に没したまま高さを変えて, (2cm~16cmで2cm間隔), 自由落下させたものであり, Fig.6は振幅を10cmにして, 周期(1.2秒~5秒前後<sup>注2)</sup>)を変えて水中において手動により振動させたものである。

Fig.5においてH(高さ)が4cmの場合に電極電位が高くなっているが, これは落下の際土に直接衝突したものである。これをのぞけば, 水中における電極の移動量が増加しても, 電極電位の変動は, 今回の実験では1mV未満であった。

また同じ振幅なら周期の短い方が電極電位の変動が大きい。

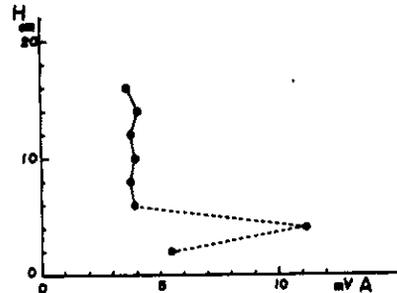


Fig.5 Relation between the movement of electrode in water and the amplitude of earth-current potential.

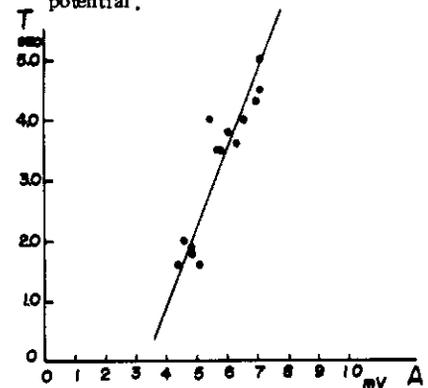


Fig.6 Relation between the periods of electrode vibration in water and the amplitude of earth-current potential.

以上から, 電極の振動で電位が変動するが, 振動が電極付近において1.25gal程度では電極電位の変動は $1\text{mV}/250\text{mm}$ の感度では認められなかった。

また3月6日と同程度の地震があつた際にはMXが出現しないことから, MXは電極の振動による電位の変化ではないといえる。

4) その他の人工電流について

高周波電流によるじょう乱, 電信線の漏洩, 商用電源の漏洩, 工場など電気施設よりの漏洩, などが考えられる。

高周波電流についてトランシーバー(0.5W, 27MC)により測定器の近くで送信するとじょう乱が混入するが, MXとは異なった波形である。またこのとき観測者はトランシーバーを使用していなかったし, 附近20m程度以内の距離(20m程度離れた場合, 観測に影響のないことは確認している。)においてトランシーバーを使用したものは

認められなかった。

電信線よりの漏洩電流によってはMXのような変化はなく、3月6日のみに出現するという事は考えられない。

工場などの電気施設からの漏洩は時間的に(03時33分)作動しているとは考えにくく、また大電流を漏洩させるような施設は電気鉄道以外は附近に存在しない。

最後に商用電源交流100V, 200V, 3300V, の漏洩であるが、大地に整流作用があるので漏洩したものをひろうことも考えられるが、電線が継続時間7秒で0.7秒位の周期で大地についたり、はなれたり減衰しながらということは非常に考えにくい。またこのような際はFig.7のようになりMXのようにはならない。

MXの発生原因を人為的なものと考えて、電流の漏洩しそうなものについて検討したが、この電源ならMXを発生させ得るといふものは見当たらないので、少なくとも現段階ではMXは人工電流によるものではないと考えている。

2.2 自然的なものについて

発生原因を地球内部と大気圏外とに分けて検討を行なう。

地電流変化は、経年変化、年変化、月変化(Lunar)・日変化(Solar)・短周期変化などがあ

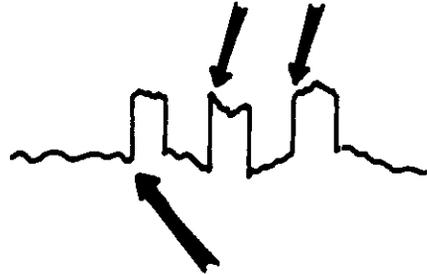


Fig.7 Arrows showing the cases of leakage variation in earth-current potential gradient.

り、月変化以下は主として大気圏外にその原因があると考えられる。

2.2.1 大気圏外

MX現象に似た現象で $P_t$ ,  $P_c$ と呼ばれている変化がある。 $P_t$ の方は単独、もしくは数十分間にいくつかもまとめて発生する。

$P_c$ は数時間ほぼ連続して発生している。Fig.8からFig.9に $P_t$ ,  $P_c$ およびSSOの立上り附近に観測されたMXに似た現象を示す。

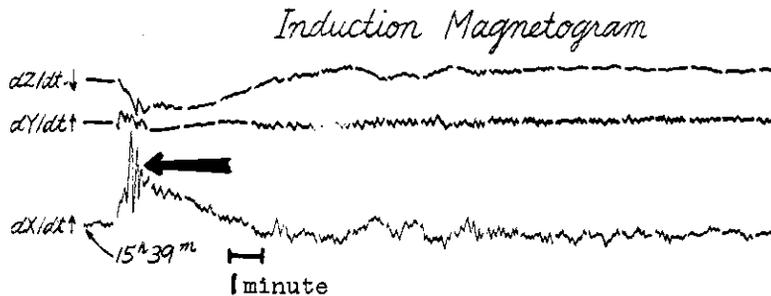


Fig.8 Arrow showing the likeness variation of MX.

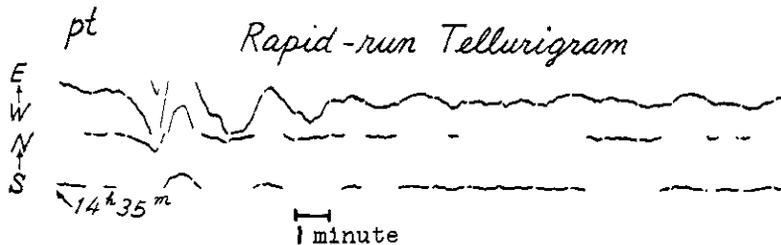


Fig.9-1  $P_t$  variation of tellurigram at Kakioka.

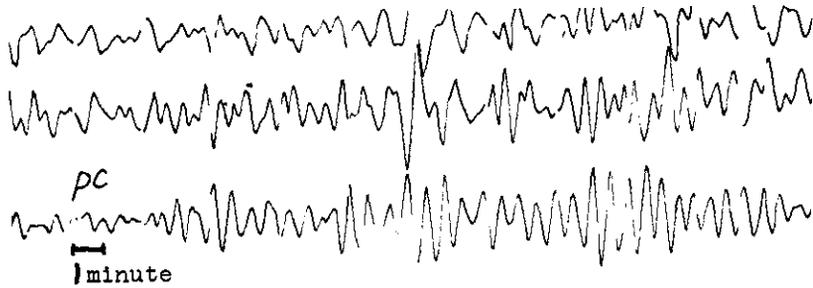


Fig.9-2 Pc variation of magnetogram at Kanoya.

MX は、単独で出現していることや、形態をみると  $P_t$  に類似し、周期の短いことは  $P_c$  に類似している。しかし、IAGA 第10委員会のとりきめによると、 $P_c$  の周期は10秒〜40秒であるといっているのに、MXは周期が0.7秒であるので周期についても  $P_t$  といえるが、通常は周期が40秒以上のことをいうので  $P_t$  とするには問題がある。

しかし  $P_c$  は単独で出現することがないのでここでは一応  $P_t$  として検討してみる。

$P_t$  であれば、地球全体にわたって同時に発生する性質があり、 $P_t$  の発生時刻分布はG.M.T で変化するとV.A. Troycikaya<sup>2</sup>は言っているのに、Kakioka における  $P_t$  の出現頻度分布により出現が期待される時刻にMXが出現したかどうか検討した結果比較的頻度の高いところで発生している。Fig.10にKakioka における  $P_t$  の発生時刻分布を示す。

以上でMXは比較的発生頻度の高いところで発生していることがわかったが、発生頻度のピークを含む時間帯を他期日にも観測しているが、 $P_t$  であれば再度観測されてもよさそうであるが、いま

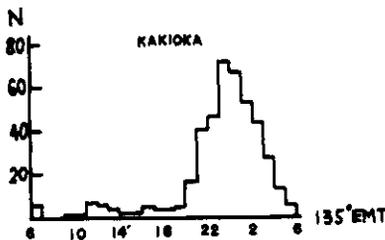


Fig.10 The frequency distribution of earth-current  $P_t$  at Kakioka 1950-1952.

だ観測されていない。MXの観測されたのは、1967年3月6日03時33分38秒のときのみである。

$P_t$ ,  $P_c$  以外にSSCの立上り時に観測された記録をMXの類似現象としてあげたが、形態は類似しているが周期は全然ことになっている。

以上をまとめると

1. 周期的に通常いわれている  $P_t$  とはいいがたい。
2. 期待される時間にMX発生時以外の観測時に観測されていない。
3. 筆者の知る限り松代以外の観測でも記録されていない。

以上からMXはいわゆる汎世界的地電流現象ではなく、何かによって起こされた局地的現象であるとみた方がよいようである。

### 2.2.2 地球内部

一般に導体に電流を流した場合、高い周波数ほど表面を流れ、低い周波数ほど内部へ入り込んで流れるという性質があり、地球内部に原因をもつという変化の周期を併せ考えれば、MXが地球内部に原因をもつ変化と考えればかなり浅いところに源をもつ現象であることが考えられる。

以上でMXは大気圏外に原因をもつ  $P_t$ ,  $P_c$  などの現象でもなく、通常地球内部深くに源を有する変化ではなく、局地自然現象性の変化であることが検討された。

ここでMXに関係ありと思われる事柄を拾いあげてみると次のようになる。

1. 発生は1967年3月6日03時33分(J.S.T)である。
2. 地震とはほぼ同時に現象は開始した。
3. 周期：0.7秒
4. 継続時間：約7秒
5. MXの発生した前後の変化は当該日以外も

- 出現している。
6. 他の地震時および非地震時にも観測されていない。
  7. 電極の振動、測器の振動があってもMXは出現しない。
  8. 減衰振動である。
  9. 観測成分は垂直約200mである。
  10. 測定精度は感度： $10\text{mV}/250\text{mm}/\text{BL}$ , 紙送り速度： $6\text{cm}/\text{min}$
  11. 群発地震の発生している地域で観測している。
  12. MXの初めと、終りでレベルに変動がない。
  13.  $P_t$ などのいわゆる汎世界的現象でなく局地的現象と考えられる。
  14. MXとほぼ同時に発生した地震は(1967年3月6日03時33分)長野県更埴市南東部の戸倉町との境界付近で深さは4kmと推定されている。観測点より震央までは約8kmである。

松代において地電流の観測を行なっている力武によれば地震とともにFig.11のような地電流の変化が観測されている<sup>5)</sup>MXとは異なる変化ではあるが、やはり地震時における地電流の変化である。これらから地震の発震状況、地域などにより地電流に変化を生じる場合もあるのではないかと思う。

これまでの検討の結果、人工的なものではなく、大気圏外に原因をもつものでもなさそうである。自然的な局地的原因をもつ何らかの原因とすると周囲の環境上、同時刻に発生した地震が第一に考

えられ、またそれ以外のものは見当たらない。前の報告<sup>6)</sup>にのべた観測時期は第二活動期中であり地震が余りにもひんぱつしており地電流の変化と地震の関連を把握するにはその意味では今になって考えればかえって不適當であったともいえよう。今回の観測時の方が地震と地電流変化を検討するのに適しているように思われる。

### 3. 今後の問題

松代群発地震における地電流観測の結果、通常は地震によって地電流の変化は観測されていない。しかし2例ほど地震と同時に他の原因によって説明しきれない地電流の変化が観測された。通常は生じないその変化がいかなるわけで発生したかを推察する手がかりさえもまったくついでない。

今後は水平成分の観測もあわせておこないつつ地電流に変化をおこす地震について共通する特徴の抽出を試みたい。また測器の振動に対するより精密な検定を行なってみるなどして地震の発生により筆者や或は力武の見出したような地電流変化がどのような条件下で発生するものかを少しでも明らかに出来たらと考える。

終りに臨み御指導をいただいた地磁気観測所技術課長柳原一夫氏、技術課研究官大地沈氏、観測課研究官横内恒雄氏、気象庁地震課湯村哲男氏および本観測に従事された本所第2研究部地震防災研究室長高橋博氏、同室研究員高橋末雄氏、鈴木宏芳氏、元第3研究部計測研究室八十島久氏に感謝いたします。

注1：地電流観測時間中、人工じょう乱の少ないと思われる時間帯3時～4時の記録を例としてあげた。

注2：手動において、周期1秒以下で、振幅を一定にするのは困難であるため、0.7秒前後では行えなかった。

### 参 考 文 献

- 1) Resolutions: The International Association of Geomagnetism, Astronomy and Geophysics, at its Copenhagen meeting, April 9-11, 1957.
- 2) Troychikaya, V.A. (1955): T174R, T13R, Defence Research Board, Canada, 1955 (Translated in English by E.R. Hope)
- 3) Kou Ohchi (1959): On the daily distribution of pulsation (pt) in electromagnetic field, Memoris of the Kakioka Magnetic Observatory, 8.

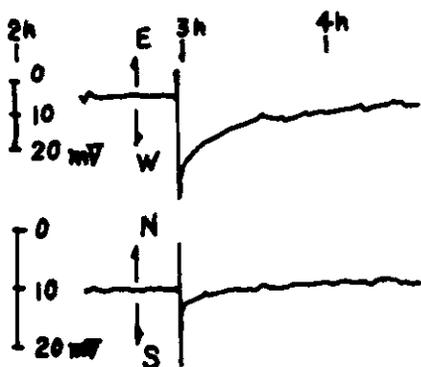


Fig.11 Anomalous change in earth-current potential gradient at the time of an earthquake on Nov 23 1966 at Mt. Minakami.

No.1 88

- 4) Kakioka Magnetic Observatory(1960): Report of the geomagnetic and geoelectric observations I.G.Y.,1957-58
- 5) Tsuneji Rikitake et al.(1966): Geomagnetic and Geoelectric studies of the Matsushiro earthquake swarm (I). Bull. Earthq. Res. Inst., 44, P401.
- 6) 高橋末雄, 高橋博, 鈴木宏芳(1967): 試錐内観測装置。防災科学技術総合研究速報, 5, 72~75