

北陸観測所坑道内における地電位差観測（序報）

渡辺邦彦・岡本拓夫*

*福井工業高等専門学校

要 旨

福井県の北陸観測所坑道内で 10 年以上前から地電位差の群列観測を実施している。この観測で、直流電源の電車軌道からの漏洩電流による地電位差変動が記録される。この漏洩電流を解析することで、地盤のテクトニックな変動を解析することを計画した。このためにハイサンプリング観測装置を坑道内に設置したが、観測はまだ十分にスタートし得ていない。本報告では、地電位差観測に関する過去の経緯と今後の計画について述べる。

キーワード：北陸観測坑道，地電位差観測，漏洩電流，高周波数サンプリング

1. これまでの経過

古来、地震に関連した地球電磁気現象の報告は多い。安政江戸地震に 2 時間ほど先立って、江戸浅草の店先の看板として吊るしてあった大磁石が磁力を失ったが地震後に元に戻ったという話は有名である（力武，1986）。1965 年から始まった松代群発地震では発光現象の目撃例も多く、地元の写真家が撮影、公開した写真の一部はホームページで見ることができる（気象庁精密地震観測室，2006）。近年では、国外におけるギリシャの VAN 法も含め、国内においても精力的な研究がなされている（例えば、東海大学，2006）。1995 年兵庫県南部地震の際にも、地震前兆として多くの電磁気的な異常現象の報告が寄せられている（弘原海，1995）。電磁気現象は、方法次第では地震や地殻変動のように大掛かりで高価な観測装置を用いなくても比較的容易にそれなりの測定ができることもあって、在野の研究者が多いことも事実である。しかし、地球電磁気的な地震関連現象は、その検証と理論的メカニズムが困難な場合が多く、力武（1986）も述べるように、真偽が疑わしい報告も多いようである。

筆者の周辺での代表的な観測例は、1984 年 5 月のいわゆる山崎断層の地震（M5.6）の際に観測された磁力変化、比抵抗変化、地電位差変化であった。この地

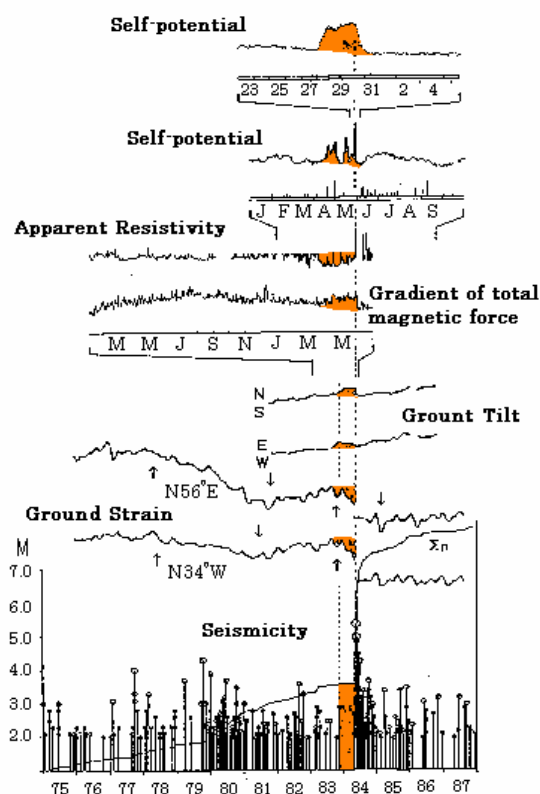


Fig.1 Some kinds of changes preceding the Yamasaki fault earthquake. Seismicity, ground

strain and ground tilt changes have continued since 7 months before the occurrence. Apparent resistivity, gradient of total magnetic force and self-potential have started have started about 2 months before. Self-potential on the top of the figure is shown in Fig.2.

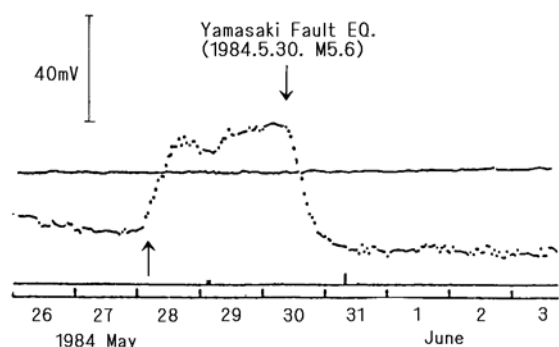


Fig.2 Self-potential started to change 2 days before the occurrence of the earthquake and returned to the ordinary level 13 hours later. (Miyakoshi,1986)

震は京都大学防災研究所の山崎断層観測室の南南西 3.3km が震央であった。山崎断層系のひとつの暮坂峠断層が震源で、深さは約 20km であった(西上, 1984)。従って震源は観測室から斜め下方に 21 km 程度に位置した。M5.6 という中規模地震がこのような観測室近傍に発生した例は少ないであろう。当時、山崎断層周辺域では、「山崎断層地震予知テストフィールド計画」(尾池・岸本, 1976) が実施の最中であり、内陸地震予知を念頭に置いたいくつかの観測が全国共同事業として実施されていた。しかしこの地震の予知はできなかった。ただ地震後の解析から、いくつかの前兆的変動が記録されていたことがわかった (Fig.1)。このうちのひとつに、安富断層に斜交する観測坑道内に設置された電極による地電位差観測で顕著な直前変化があった (Miyakoshi, 1986) (Fig.2)。地震の 2 日前くらいから大きな地電位差変化が始まり、地震後 13 時間ほどで元の状態に復したというものである。この変動に関しては、当時から観測状況の検証も含めていろいろな解釈が試みられたが、いまだ納得できる説明はなされていない。さらに加えて、Fig.1 に示す地震活動、坑道内の伸縮変化、傾斜変化、全磁力勾配、比抵抗変化 (Sumitomo and Noritomi, 1986)、そして地電位差変化を整合的に説明することがまだできないため、これらの観測結果は単なる測定事例にとどまっている。しかし、当時、内陸地震予知に絶望を感じ始めていた筆者達にとって、条件次第では前兆を捉えることも可能との希望を抱かせるできごとであった。

当時、筆者は地球電磁気に関して初学者であったが、福井県鯖江市にある北陸観測所(HKJ)の格子状坑道内に面的に電極を配置して地電位差観測を開始した(渡辺ら, 1992)。また岡本らはこのころから、福井県東部の池田町(TIJ)で温見断層に着目した地電位差観測を開始し、その後福井県清水町(SSJ)でも同様の観測を始めた。

筆者は、地電位差観測が目的とするところは二方向に大別できると考える。ひとつは電磁気現象によって地下構造を求める方向であり、もうひとつは観測結果の時間的変動から地殻の歪・応力状態の変動を探る方向である。

過渡的な地電位差変化を生ぜしめる原因のひとつとして、地震波動のような弾性波動が地盤内を通過する際に、地盤の歪がその部分の電気抵抗値を変化させたり (Long & Rivers, 1975)、構造境界等で電気的变化を生じさせたり (Martner & Sparks, 1959) するという説もある。彼らの考えに従えば、地震計との並行観測をすることである程度の検証が可能となる。それで、筆者らは人工地震の弾性波動による地電位差変動観測を実施した。結果は、人工地震波動が通過した直後に、到来方向に微小な地電位差変化が記録され、直交方向には認められなかった。S/N 比が不十分ながら弾性波動による地盤の歪変化による可能性のある地電位変化を観測したと考えているが、理論的解釈までに至っていない (Fig.3) (渡辺ら, 1992)。

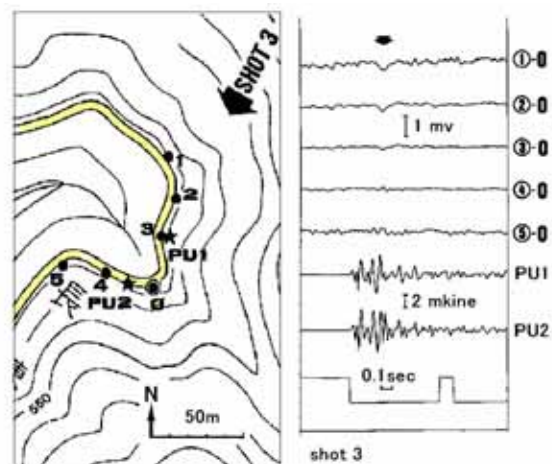


Fig.3 Change of self-potential when seismic wave of explosion passes. Self-potential changes can be recognized by three components of 1-0, 2-0 and 3-0 just after the P wave has passed. The two components, 4-0 and 5-0, which are perpendicular to the wave arrival do not show remarkable change. (渡辺ら, 1992)

地電位差測定は 2 地点間の微小なアース電位の差を

測定するため、地震のような弾性波動の測定とは異なる種類の制約がある。特に商用電源によるハムや都市活動に基づく様々な電気ノイズが大きな妨げになる。電車からの漏洩電流もそのひとつである。通常の電磁気観測はこれらの人為的ノイズを避け、長周期信号が反映すると考えられる比較的深部の地殻構造を研究対象とすることが多く、結果的に数 Hz 以上の高周波領域の測定を行うことは少ない。電車による漏洩電流ノイズに関しては、特に直流電源の電車軌道の近くでの諸測定は避ける場合が多い。それは、交流であればフィルターで除去することができるが直流電車の場合は入力レベルが大きく変動するので S/N 比が保てないという理由による。我々が実施している福井平野における地電位差観測でも、特に昼間に大振幅で重畳する人為的ノイズがあり、その中に直流電車による漏洩電流も大きく記録されている。通常はこれらのノイズが大きい場所は地電位差観測には不適当とされるが、我々は後に述べる理由により、電車からの漏洩電流を信号源と考え、それを複数地点で高周波成分まで測定し、それらの波形の比較から地盤状態の情報を得ようと考えた。まさに、結果が予測できない観測であったが、新しい知見が得られることを期待して開始した。まだ当初に目標とした漏洩電流波形の比較解析には至っていないが、本報は序報として、これまでの観測の概要と現状について述べる。

2. 北陸観測所とその周辺でのこれまでの観測

北陸観測所坑道内での地電位差観測の歴史は 15 年前に遡るが、本節ではその前半部分の概要を述べる。詳細は関連する参考文献を参照されたい。

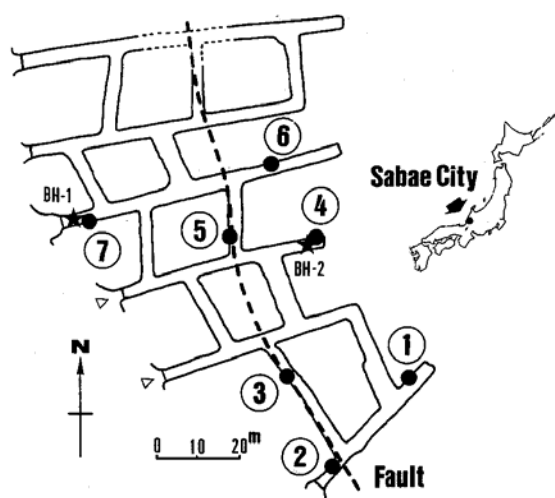


Fig.4 Spatial distribution of 7 electrodes in the observation tunnel. A dotted line denotes the

fractured zone in the tunnel. (渡辺ら, 1992)

北陸観測所は福井県鯖江市市中心部から東へ約 2km の三里山の西麓にあり、三里山の西斜面に掘られた格子状の坑道を観測施設として利用している。地電位差観測は 1991 年 6 月に開始した (Fig.4)。鉛—塩化鉛の平衡電極を坑内の 7 箇所に設置し、当初は打点式記録器による連続観測を開始した。7 本の電極のうち特定の 1 本 (当初は 3 番電極) を基準電極とし、他の電極と基準電極との地電位差を 1 秒のローパスフィルターを経由して測定した。降雨の影響や日中の都市ノイズ、電車の漏洩電流などが記録された。これらの観測結果は渡辺ら (1992) に示すが、その後のハイサンプリング観測の発端となった現象について略述する。



Fig.5 Three observation stations in the Fukui plain. Red lines show the railway which is driven by DC electricity. (Google map is modified.)

北陸観測所の西方 2~2.5km をほぼ南北に JR 北陸線が走り、その西方に並行して福井電鉄が通っている。やや北方では三国から福井市内、永平寺を経て勝山にいたる京福電鉄 (当時) が走っている。JR は交流であり一日中通電されている。一方、福井電鉄も京福電鉄も直流電車であり、北陸観測所に影響が大きいと思われる福井電鉄は、夜 22 時過ぎの終電から朝 06 時頃の始発までは通電を停止することであった (Fig.5)。打点式記録器の記録からも福井電鉄の漏洩電流らしい変動が推測されたので、その測定のために、デジタル記録である DR-F1 による 100Hz サンプリング臨時観測を実施した。その結果、Fig.6 に示すように、漏洩電流ベクトルは 2 つの異なる卓越方向を示した。その理由として、電鉄路線の途中には数箇所の変電所が点在しており、電車と変電所の位置関係によって漏洩電流の流入方向が異なることを意味している

のではなからうか、と考えた。

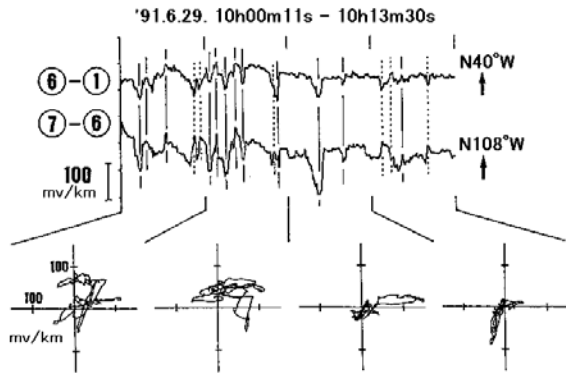


Fig.6 Two different directions of the leakage current vector can be recognized. (Watanabe et al.,1992)

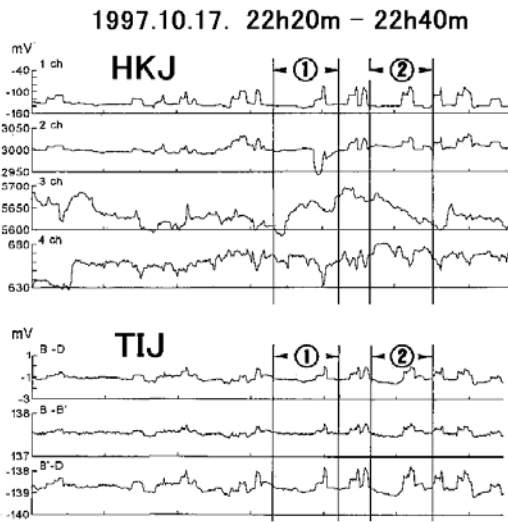


Fig.7 Leakage current waves observed at HKJ and TIJ simultaneously.

その後、北陸観測所における地電位差観測は中断していたが、平成7～9年度（1995～1997年度）に科学研究費補助金課題番号 07804027 を受けて再開した。この当時に北陸観測所坑道内と池田町観測室で同時に漏洩電流を記録した例を Fig.7 に示す(渡辺ら, 1998)。ノイズが少なくなった夜間の漏洩電流記録を見ると、北陸観測所と池田町で波形が対応していることが認められる。漏洩電流は、電車の運転手が運転時にモーターへ電流を流すためのノッチを作動させる際に電車からレールへ流れるもので、軌道近くで測定すると、一般に単一の矩形波か矩形波を重ねさせた波形として記録される。北陸観測所と池田観測室の波形を仔細に見ると、北陸観測所の波形に比べて池田町の波形の方が少し滑らかになっている。振幅は、感度を換算した結果、池田町の方が数分の一から一桁程度小さくなって

いる。池田町観測室には根尾谷断層系の北端の温見断層が通っており、この断層帯に並行に殆ど破碎帯内部に設置した電極組み合わせと、それに直交して破碎帯を横切る方向の電極組み合わせがある。通常の漏洩電流は池田町での全ての著電位差観測成分に記録されるが、断層に直交する成分だけに選択的に記録される波形も存在する。Fig.7 に示した波形の電流源となった電車と変電所の位置関係を特定することはできなかったが、漏洩電流源と断層構造との間にもその伝達に関する方向性があることが推測され、当時の研究の持ち越し課題とされた。

3. 北陸観測所坑道内における地電位差ハイサンプリング観測と今後の予定

3.1 解析方針

北陸観測所坑道内と池田町観測室の双方で記録された漏洩電流波形を比較することで、途中の伝播経路の電流伝達関数とその時間変動を調べることを計画した。Fig.8 の概念図に基づいてその方法を述べる。

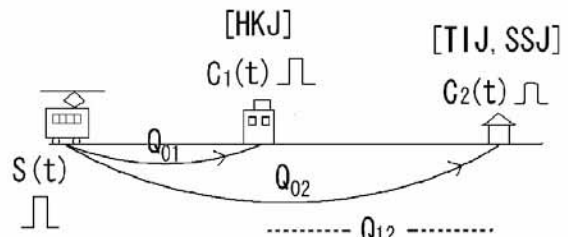


Fig.8 Concept of our investigation. Parameters are explained in the text.

北陸観測所に近い福井電鉄福武線による漏洩電流を信号源としその波形を $S(t)$ とする。信号源から北陸観測所までの距離は約 2～3km、その間の電流伝達関数を $Q_{01}(t)$ とする。北陸坑道内での漏洩電流観測波形を $C_1(t)$ とすれば、

$$C_1(t) = S(t) * Q_{01}(t)$$

と書ける。ここに*はコンボリューションである。福武線から池田町観測点までは約 20km で、その間の電流伝達関数を $Q_{02}(t)$ 、池田町での対応する漏洩電流観測波形を $C_2(t)$ とすれば、

$$C_2(t) = S(t) * Q_{02}(t)$$

である。これらのフーリエ変換はそれぞれ、

$$C_1(\omega) = S(\omega) \cdot Q_{01}(\omega),$$

$$C_2(\omega) = S(\omega) \cdot Q_{02}(\omega)$$

と書けるので、その比を取ると、

$$C_2(\omega) / C_1(\omega) = Q_{02}(\omega) / Q_{01}(\omega)$$

である。電流源からの距離は、北陸観測所までより池田町までのほうが約 10 倍であるから、

$$Q_{02}(\omega)/Q_{01}(\omega) \div Q_{12}(\omega)$$

としてよいであろう。従って、北陸観測所坑道内と池田町観測室での対応する漏洩電流波形を比較すると、北陸観測所と池田町の間の地盤の電流伝達関数の情報を得ることができる。

3.2 収録システムと今後の予定

実際の漏洩電流波形は矩形波に近いので、そのフーリエ周波数には高周波成分が含まれる。従ってその波形の違いを見るためには、ハイサンプリング測定が必要である。その目的に合致する観測システムを製作した。

システムの仕様の概要は、A/D は 16bit, 差動入力 8 成分またはシングル入力 16 成分, 入力レベルは $\pm 5V$ (1 digit=0.2mV) あるいは $\pm 10V$ (1digit=0.4mV) で、256Hz 連続測定が可能である。刻時は電波時計信号で逐次パソコン時計を自動修正している。データは現地設置の専用パソコンのハードディスクに圧縮収録する。ハードディスクは着脱容易なカートリッジ式で、数ヶ月～半年くらいで交換して研究室へ持ち帰って解凍、解析する方式である。

北陸観測所坑道内では、2003 年 12 月より上記方式による試験観測を開始したが、2006 年になって電極を新しい鉛―塩化鉛平衡電極に置き換えた。ただ、最近になって A/D ボードの故障が発見されるまでしばらく誤データ記録が続いたため十分なデータが取れなかった。他方、福井高専が同様設備を設置した池田町観測室と清水町観測室（現・福井市）では、順調な観測が実施されている。

2004 年 10 月 5 日には池田町の近傍で M4.8 地震が発生した。この地方では近年に珍しい大きな地震であった。その折の池田町での記録を Fig.9 に参考に示す。地震計はシャント抵抗を通したのみで直結しているが、感度は未計算である。S 波の直後辺りに地電位差の変動が認められる。池田町観測室ではカーボン電極が地中 1 m 以深辺りに埋設されて 10 年以上になるので、測定状態は安定していると考えられる。現在、北陸坑道内の計測システムは修理中であるが、池田町、清水町と 3 箇所の記録を比較することで、地盤の状態変化をとらえたいと考えている。

謝 辞

本観測システムは、福井高専の前澤廣道技官によって設計、製作された。収録用および解析用のパソコンも前澤技官の製作による。前澤技官はこのシステムを製作し北陸観測所坑道内で試験観測を開始してまもなく病に倒れられ、2004 年 1 月に他界された。これか

ら解析ソフトを作ると言っておられた矢先であった。痛恨の極みである。前澤技官なくしてこのシステムは成り立たなかった。心より感謝と哀悼の意を表する。

観測の実施に際しては、京大防災研究所地震予知研究センター北陸観測所関係の諸氏に便宜をはかっていただいた。また当初の観測は、科学研究費補助金（課題番号 07804027）を、平成 17 年度には地震予知研究センタープロジェクト研究費の配当を受けて実施された。付記して謝意を表する。

参考文献

- 尾池和夫・岸本兆方(1976)：地震予知テストフィールドとしての山崎断層，地震予知研究シンポジウム(1976), pp.83-90.
- 気象庁精密地震観測室(2006)：気象庁精密地震観測室 (<http://www.grn.janiss.or.jp/~matu-jma/> , accessed on June 5th, 2006)
- 東海大学(2006)：東海大学海洋学部地震予知研究センター (<http://yochi.iord.u-tokai.ac.jp/eprcJ/> , accessed on June 5th, 2006)
- 西上欽也(1984)：私信。
- 力武常次(1986)：地震前兆現象―予知のためのデータベース―，p.232，東京大学出版会。
- 弘原海清(1995)：前兆証言 1 5 1 9，p.265，東京出版。
- 渡辺邦彦・小泉 誠・和田安男・松尾成光・平野憲雄・住友則彦(1992)：活断層における地電位差観測（1）―北陸観測所坑内および牛首断層における観測―，京都大学防災研究所年報，第 35 号 B-1，pp.313-332.
- 渡辺邦彦（代表者）(1998)：漏洩電流ベクトルを用いた地殻ブロック境界的特徴的挙動の研究（科学研究費補助金課題番号 07804027）研究成果報告書。
- Long, L. T. and W. K. River (1975)：Field measurement of the electroseismic response, Geophysics, Vol.40, No.2, pp.233-245.
- Martner, S. T. and N. R. Sparks (1959)：The electroseismic effect, Geophysics, Vol.24, No.2, pp.297-308.
- Miyakoshi, J. (1986)：Anomalous time variation of the self-potential in the fractured zone of an active fault preceding the earthquake occurrence, J. Geomag. Geoelectr., Vol.38, pp.1015-1030.
- Sumitomo, N. and Noritomi, K (1986)：Synchronous precursors in the electrical earth resistivity and the geomagnetic field in relation to an earthquake near the Yamasaki fault, southwest Japan, J. Geomag. Geoelectr., Vol.38, pp.971-989.

**Self-potential Observation in the Observation Tunnel of the Hokuriku Observatory
(a preliminary report)**

Kunihiko WATANABE and Takuo OKAMOTO*

*Fukui National College of Tecnology

Synopsis

An array observation of self-potential variations has been carried out for more than 10 years in the observation tunnel of the Hokuriku observatory, Fukui prefecture. By this observation, self-potential variations caused by the leakage current from the DC electric railway are observed. We planned to analyze the change of tectonic conditions by comparing the leakage current wave forms of two or more stations. For this purpose, a high sampling observation equipments are settled in the tunnel. The observation is not fully started yet. So, in this paper, the former results and our future plan will be described.

Keywords : Hokuriku observation tunnel, self-potential observation, leakage current, high sampling