

スマトラ断層での地電流観測

茂木透 (九州大学工学部)、田中良和 (京都大学理学部)、Edy M. Arsadi, Djedi S. Widarto(R&D Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Science), Nanang Puspito (Bandung Institute of Technology), 長尾年恭 (東海大学地震予知研究センター)、神田径、上田誠也 (理化学研究所)

Telluric current monitoring at the Sumatra fault

T.Mogi(Kyushu univ.), Y.Tanaka(Kyoto univ), E.M.Arsadi, D.S.Widarto(RDCG・LIPI),
N.Puspito(Bandung Inst.Tech.), T.Nagao(Tokai univ.),
W.Kanda, S.Uyeda(Inst. Physical and Chemical Res.)

1. はじめに

地震に伴い地電流の変化が起こるという報告がギリシャをはじめとして世界各地で報告されてきた。国内でも理化学研究所が地震国際フロンティア研究プロジェクトを発足させ、各地でいわゆる VAN 法の追試を一つの目標にして地電流観測を始めている。しかし、日本のように人口密度が大きく産業開発が進んだ国では、電気ノイズが多くこのような観測による研究の大きな障害となっている。

インドネシア・スマトラ島には、ほぼ島を縦断するようにスマトラ断層が走り、その周辺には地震も頻発している。スマトラ島南部にある Liwa 地域では 1994 年に $M_s=7.2$ の地震が発生し、多くの被害が発生した。インドネシア科学院地球科学研究開発センター(RDCG・LIPI)では、この地に観測所を設置し種々の観測を行うことを計画している。そこで、理研地震国際フロンティア研究でも RDCG・LIPI と共同でこの地域で地電流観測を行うことになった。この地域はまだ開発が進んでおらず、観測所にも電気がきていない状況である。このような電氣的ノイズが少なく、しかも地震が頻発する地域で地電流観測を行うことは、地震と地電流変化との関係を研究するには理想的な環境であること、また、このような観測による地震の予知法が将来確立することがあれば、そのような方法がインドネシアの防災にも貢献できる可能性がある。

2. 観測地域の環境

Liwa 地域はスマトラ島南部にあり (図 1)、総延長 1700km にも及ぶスマトラ断層の上に位置している。本地域では、1994 年に $M_s=7.2$ の地震が起こり(Widiwijayanti et al.,1996)、200 人以上の犠牲者を出すなど大きな被害が生じた。この地域ではその前には 1933 年にも $M_s=7.5$ の地震が起こっており、数十年のサイクルで大地震が発生している。

スマトラ断層は、インド洋プレートがバンダアークの西部にあたるスマトラ島の下にほぼ北に向かって沈み込んでいるために、それに引きずられるように動く右横ずれ断層で、スリップレートは北部では $23\pm 3\text{mm/yr}$ 、南部で $6\pm 4\text{mm/yr}$ と見積もられている(Bellier and Sebrier,1994)。地震は、スマトラ断層上にも発生することもあるが、スマトラ島の西方海上で多く発生している (図 1)。

スマトラ島には電化鉄道はなく、またこの地域も町の中心部を除けば、電気も電話も通じていない状況であり、電氣的ノイズは少ないと予想された。Liwa の町の中心から 5km 位離れたところにある RDCG・

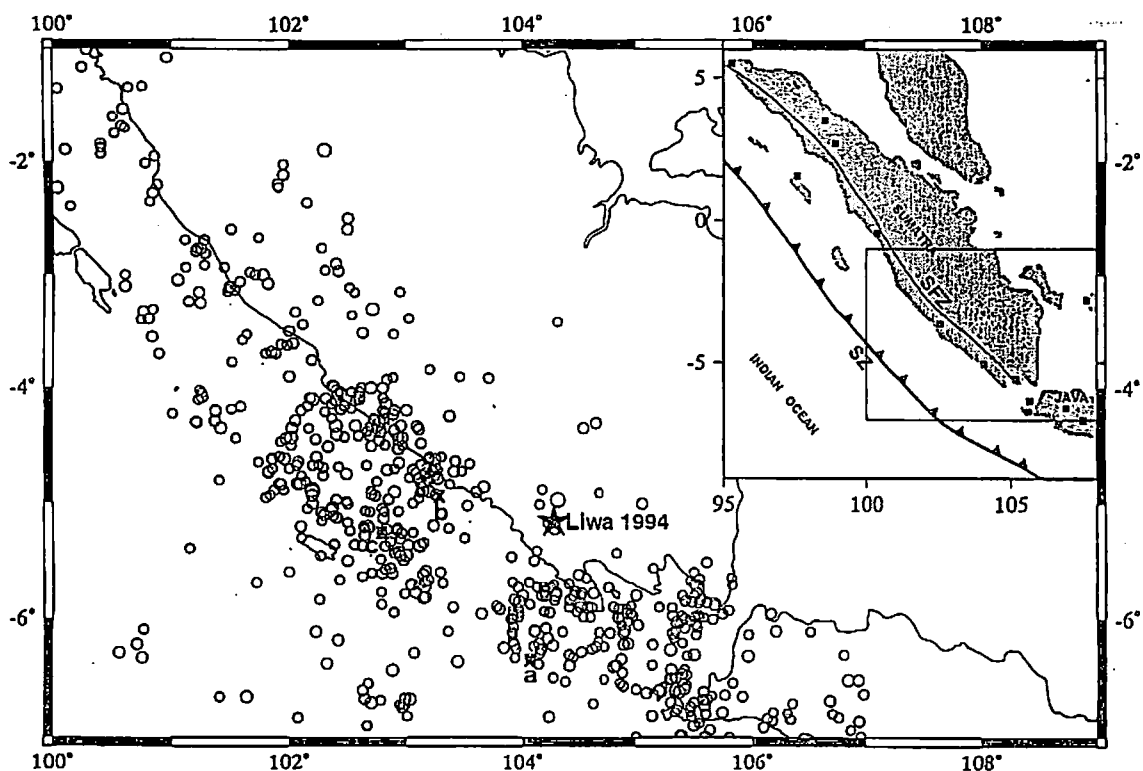


図1. スマトラ断層と観測地周辺の震源分布 (<60km, $M>5$, USGS 地震データベース 1960~1995 年)

a, b, c は、1997 年 10 月~11 月に発生した地震

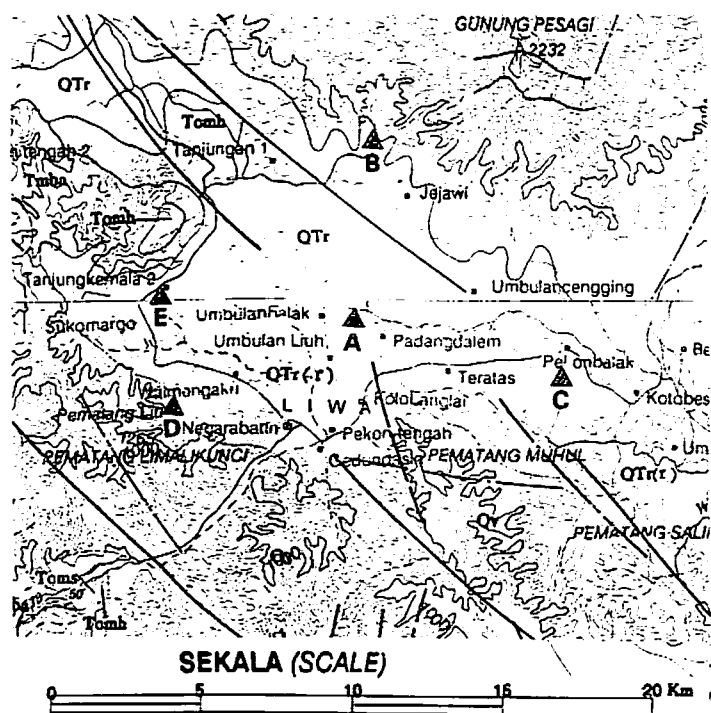


図2. 観測サイトの配置

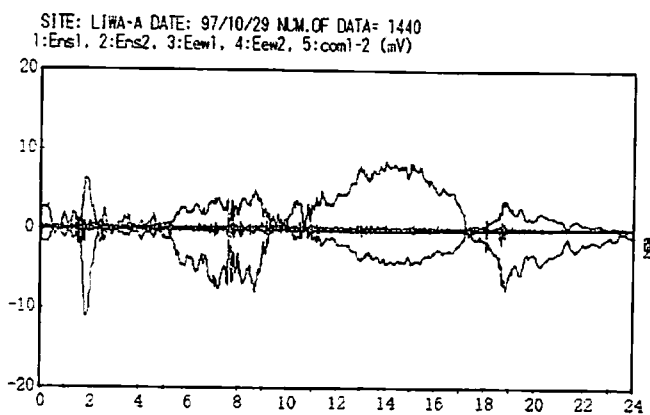


図3. 電位差の1日の変化例 (10月29日 A site)

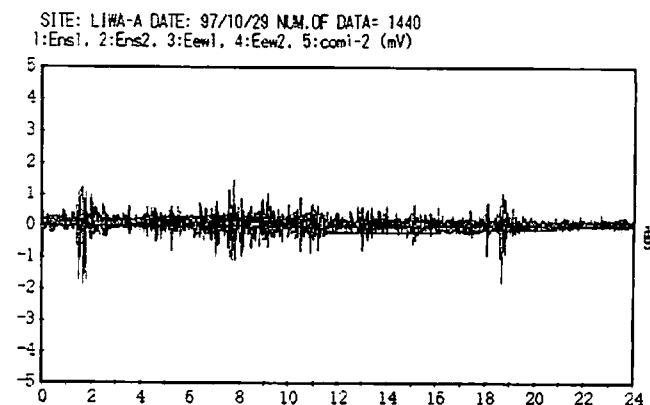


図4. 磁場の影響を差し引いた電位差変化 (10月29日, A site)

LIPi の観測所にも電気も電話もなく、夜間だけ発電機による電気を使っている。従って、観測装置はすべてバッテリーにより維持されている。

3. 観測状況

地電位差の観測は、この観測所を根拠地にして近傍に A site を設け、それぞれ 5~10km 離れた所に B (北東), C (南東), D (西), E (北西) site を設置した (図 2)。それぞれの測点において、電極間の距離は約 85m とし、南北、東西方向の電極を 2 組ずつ設置し各電極が個々に発生するノイズはチェックできるようにした。また、両方の基準電極間の電位も測定することにした。A site にはフラックスゲート磁力計を置き、磁場の変動も観測している。電極には表面に塩化物を付着した鉛管を用い、深さ 1 m 位の穴の中に導電性接地低減剤 (チコーゲル) を入れ、その中に電極を設置した。データは 10 秒サンプリングとし、その記録には白山工業製 LS3300 型ロガーのメモリーを 20MB に拡張して用いている。

観測所内には簡易の雨量計を置き、1 日毎の雨量を記録している。また、A, B, E site の近くには深度 10~20m 位の掘り抜き井戸があるので、その水位を 2 週間毎に測定している。

4. 観測記録

(1) 日変化

図 3 に A site の 1 日の記録例を示す。この記録では 1 日間の平均値を差し引いて示している。各方向 Ens, Eew について 2 本ずつ記録があるが、ほとんど同じ変動をしているので、このような図では重なって 1 本に見える。また、基準電極間の変動はほとんど 0 である。静穏な日はほぼ同じような記録が各測点で毎日記録されている。地電位差の変化の主要な部分はほぼ地磁気の変化に対応しているようである。地磁気の影響を多変量回帰式 (北川, 1993) により求め、それを差し引いた記録を図 4 に示す。回帰モデルの次数は AIC により最適なものを選んだ。このような処理をすると、ほとんどの地電位差変化は 1mV 以下になる。また、図 5 には磁場および各測点の電場の変化の軌跡を示した。C site は東西成分が欠測のため省いた。磁場は 1 日で各方向を一回りするような変化しているが、電場は各測点毎に拘束される方向があるようで、1 日の大半はその方向を向いている。

(2) 月間の変化

図 6 には電位差変化の日平均値を 10 月、11 月について E site を例として示した。この変化には、平行に設置した 2 本の電極間の記録が必ずしも同じでないところがみられ、その分は個々の電極のドリフトと考えられる。どの記録も 10 月中は一側に変化しているが、11 月になると + 側に変化し、特に 11 月 10 日、11 日には大きく + 側に変化している。

A, B, E site の近くには井戸があり、図 7 に 9 月 26 日~11 月 24 日のそれらの水位変化と観測所で観測した雨量の記録とを示す。雨は 11 月 4 日まではまったく降らなかったが、その後、断続的に降っている。水位は 10 月中旬より低下し、11 月上旬に最低になった後、そのまま低下したままの所と上昇した所とがある。

11 月 10 日、11 日の電位の大きな変化は B, C, D site でも同様にみられる。基準電極間電位差も変化しているので電極の設置状況の変化とも考えられるが、それらの日には降雨は記録されていない。この変化の原因は今のところわからない。

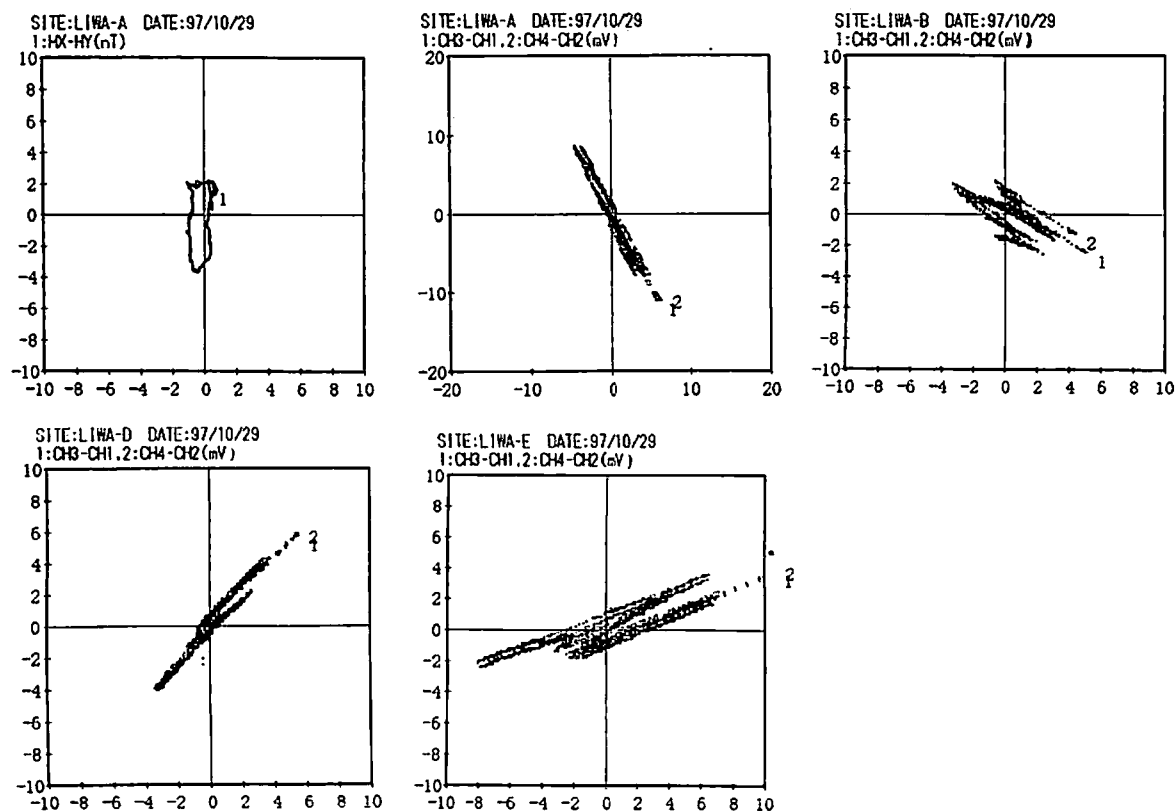


図5. 磁場、電場の振動方向の変化軌跡 (10月29日)

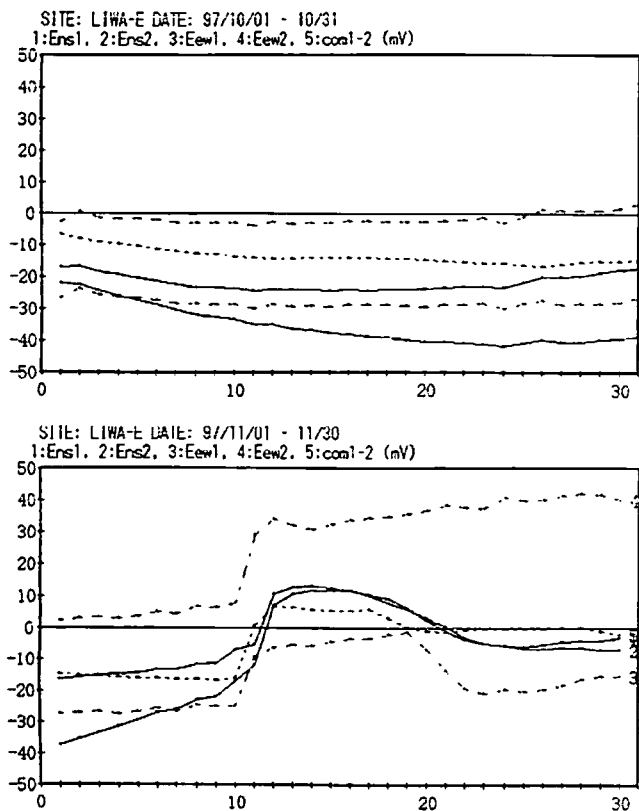


図6. 地電位差1日平均値の月別変化(D site, 10, 11月)

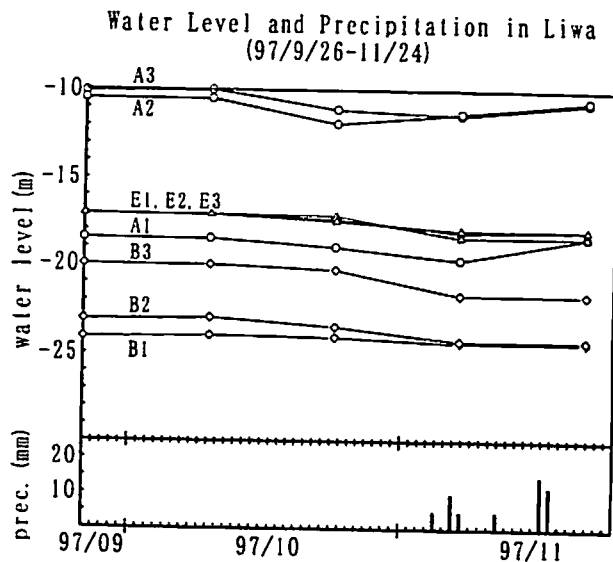


図7. 観測サイト周辺の井戸の水位変化と日降雨量

5. 地震との対応

10月～11月にかけて Liwa 地域から半径 500km 以内では、M4 以上の地震が 6 回発生しており、そのうち次の 3 回は M5 以上である。それぞれ図 1 に示した a, b, c の位置で発生した。

a 地震：10 月 29 日 11:55'58", M.5.2, 震央 6.339S, 104.086E, 深度 45km, 有感

b 地震：11 月 16 日 15:18'16", M.5.5, 震央 4.905S, 103.305E, 深度 58km, 有感

c 地震：11 月 23 日 15:35'55", M.5.1, 震央 5.262S, 102.816E, 深度 100km, 無感？

これらの地震の情報は USGS の地震データベースから引用した。

図 8 にこれら 3 回の M5 以上の地震時の D site の電位差変化記録を示す。図 9 には b 地震の時の地震前後 6 分間を拡大した図を示した。マグニチュードも大きく最も近かった b 地震の際には、南北方向では 7.3mV、東西方向では 1.4mV の変化が見られた。このような変化は C, B, E site でも見られたが (A site は欠測)、C site では 1mv、B, E site では 0.5mv 程度の振幅変化であった。A 地震の時も D site では 2mV、C, B site では 1mV 程度の変化が見られたが、E, A site では見られなかった。また、C 地震の時は D site のみ 0.5mV 程度の変化が見られたが、他のサイトでは明瞭にはみられなかった。このように大半の変化は非常に小さい変化であったが、観測地点のノイズレベルが小さかったために観測できたと考えられる。

これら変化は、b 地震では発生後約 30 秒、a, c 地震では約 40 秒後に始まっている。変化はどの場合も約 1 分間だけ続いている。記録が 10 秒毎なので時間についてはあまり詳しいことはわからないが、この時間差は地震波が 3.5km/s 位で伝わったとすればその到達時間とほぼ同じと考えられる。すなわち、この観測電位差の変化は地震波の到来と共に発生した可能性がある。

このような観測電位差の変化は、地震動に伴う電極や電線の揺れにより発生する可能性もある。しかし、電極が揺れたことにより発生した場合は、各電極間で大きさが異なる可能性が大きい。2本の平行な線での観測値は大きさも変化の様子もほぼ同じである。また、基準電極間の電位差も変化が見られない。これらのことから揺れによる電極の接地の変化とは考えにくい。また、地球磁場の中で電線が揺れることにより電位差が生じる可能性もあるが、各サイトで震度がほぼ同じであったようであり、各サイトで異なる電位差が発生したことを説明し難い。

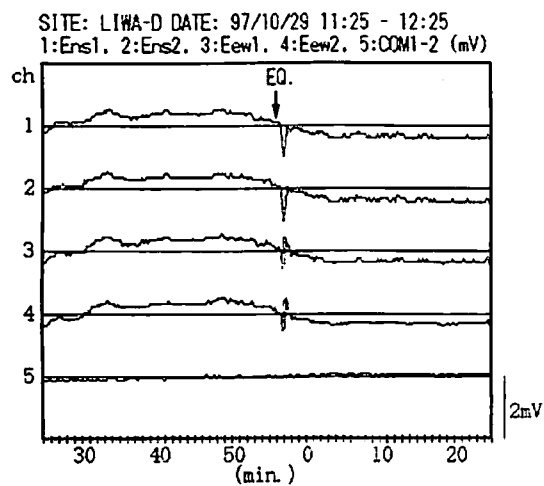
地震波が通過するときに発生する地電位差の変化については、地震電気効果(electroseismic effect)として知られ(Thompson, 1939, Martner and Sparks, 1959)、人工地震に対して震源の近くで観測されている(Long and Rivers, 1975, Mikhailov et al., 1997)。その原因については、地震波による弾性変形に伴う比抵抗の変化(Thompson, 1939, Long and Rivers, 1975)やイオンを含む水が岩石粒子に対して変位し発生する流動電位(Pride, 1994, Mikhailov et al. 1997) によるという考え方がある。今回このような現象が、震源から遠く離れた地点で自然地震に対して捕らえられたと考えている。

6. まとめ

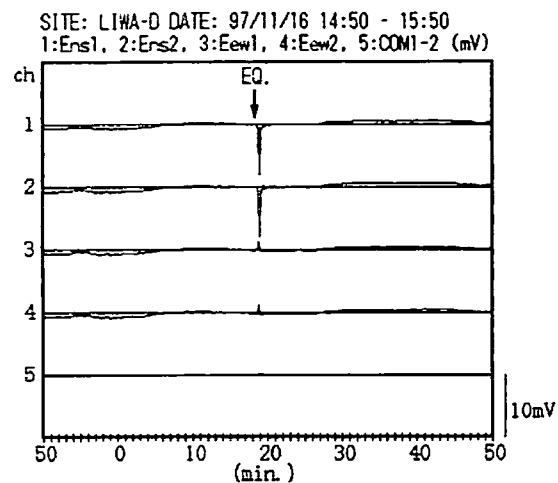
スマトラ断層の地電位差観測では、平常時はノイズレベルが 1mV/100m 以下という静かな環境で観測が可能である。このような環境であるために、震央距離が 100km 程度の M5 クラスの地震で co-seismic な地電位差変動が観測された。このような大きさの地震はこの地域周辺では少なくないので、今後観測を続けることで地震に伴う地電位差変動が観測されると期待される。また、地震の前に地電位差が特異な変化をしていることもあるが、今のところそれが Precursor があったかどうか現時点ではわからない。

参考文献

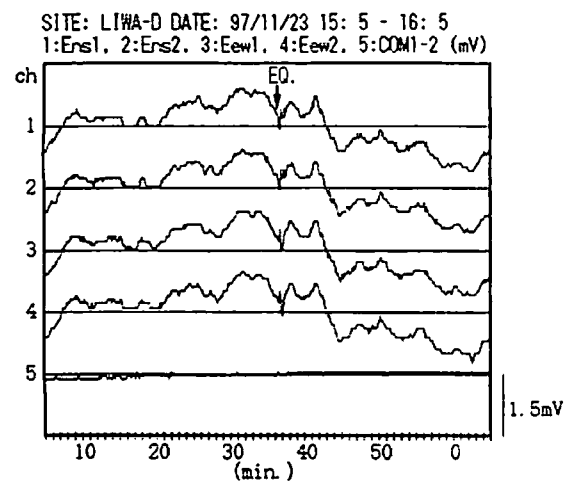
- Bellier, O. and Sebrier, M., 1994, Relationship between tectonism and volcanism along the Great Sumatra Fault Zone deduced by SPOT image analyses., *Tectonophysics*, 233, 215-233.
- 北川源四郎, 1993, 時系列解析プログラミング, 岩波書店, pp.390.
- Long, L.T. and Rivers, W.K., 1975, Field measurement of the electroseismic response., *Geophysics*, 40, 233-245.
- Martner, S.T. and Sparks, N.R., 1959, The electroseismic effect., *Geophysics*, 24, 297-308.
- Mikhailov, O.V., Haartsen, M.W. and Toksoz, M.N., 1997, Electro seismic investigation of the shallow subsurface: Field measurements and numerical modeling., *Geophysics*, 62, 97-105.
- Pride, S., 1994, Governing equation for the coupled electromagnetics and acoustics of porous media., *Physical Review B*, 50, 15678-15696.
- Thompson, R.R., 1939, A note on the seismic-electric effect., *Geophysics*, 4, 102-105.
- Widiwijawanti, C., Deverchere, J., Louat, R., Sebrier, M., Harjono, H., Diamant, M. and Hidayat, D., 1996, Aftershock sequence of the 1994, Mw6.8, Liwa earthquake (Indonesia): Seismic rupture process in a volcanic arc., *Geophys. Res. Lett.*, 23, 3051-3054.



(a) 10月29日 11:25~12:25



(b) 11月16日 14:50~15:20



(c) 11月23日 15:05~16:05

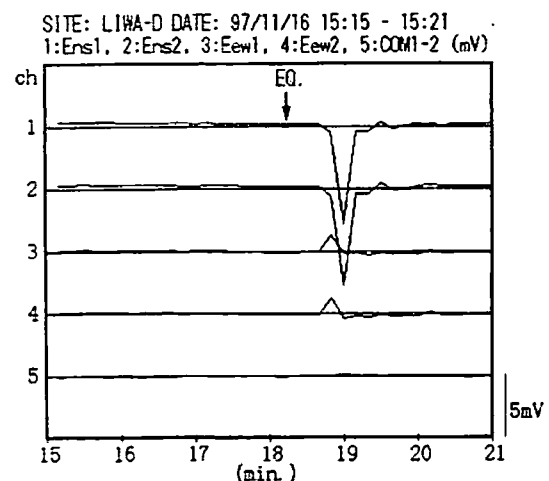


図9. b地震前後6分間の地電位差変化(D site)

図8. 地震前後1時間の地電位差変化(D site)