

スマトラ断層での地電位観測 (2)

茂木透 (九大工学研究科)、田中良和、長谷英彰 (京大理学研究科)、
Edy M. Arsadi, Djedi S. Widarto (インドネシア科学院地球工学研究開発センター)、
長尾年恭 (東海大地震予知研究センター)、上田誠也 (理化学研究所)

Geoelectric potential monitoring at the Sumatra fault (2)

T. Mogi (Kyushu univ.), Y. Tanaka, H. Hase (Kyoto univ.), E. M. Arsadi, D. S. Widarto
(RDCG·LIPI), T. Nagao (Tokai univ.), S. Uyeda (Inst. Physical and Chemical Res.)

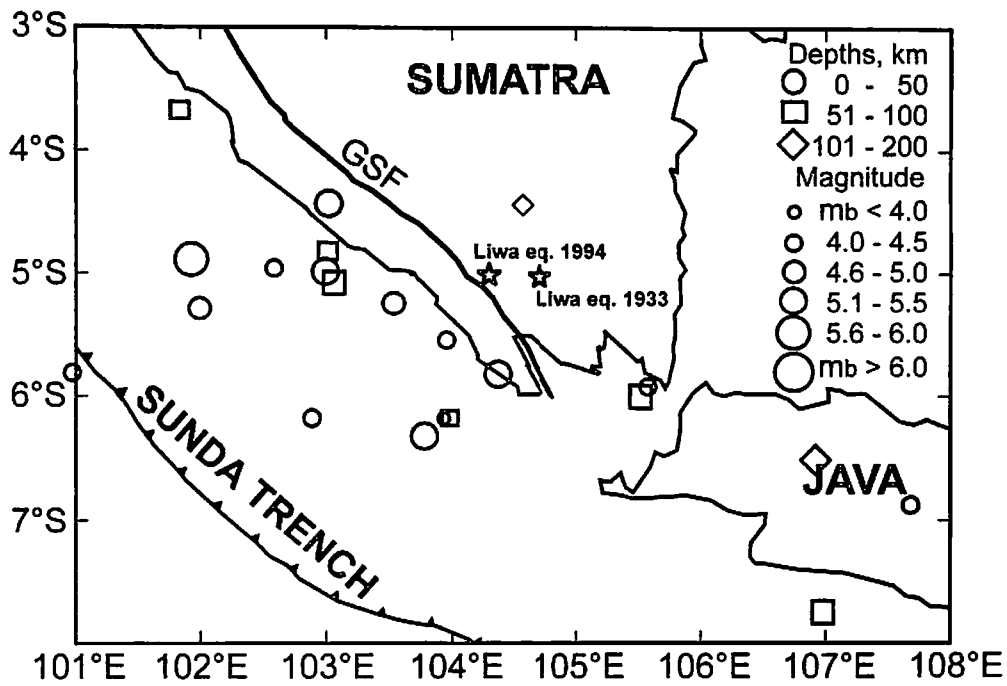
1. はじめに

1997年9月から、理研地震国際フロンティア研究の下で、インドネシア科学院地球工学研究開発センター (RDCG·LIPI) と共同でインドネシア・スマトラ島にあるリワ地域で地電位差観測を開始した。同年12月までの初期の結果については、昨年のCA研究会論文集 (茂木・他、1998) で報告した。その後、観測機材の不調等により十分なデータが得られなかったが、1998年9月末より機材を整備し、地電位差観測に加えて各測点で地震観測および雨量観測も開始した。また、サンプリング間隔も97年は10秒間隔であったが、それを1秒間隔にした。本報告では、97年中に観測されたコサイスマミックな地電位差変化の概要を示した上で、98年9月末以降の観測データについて述べる。

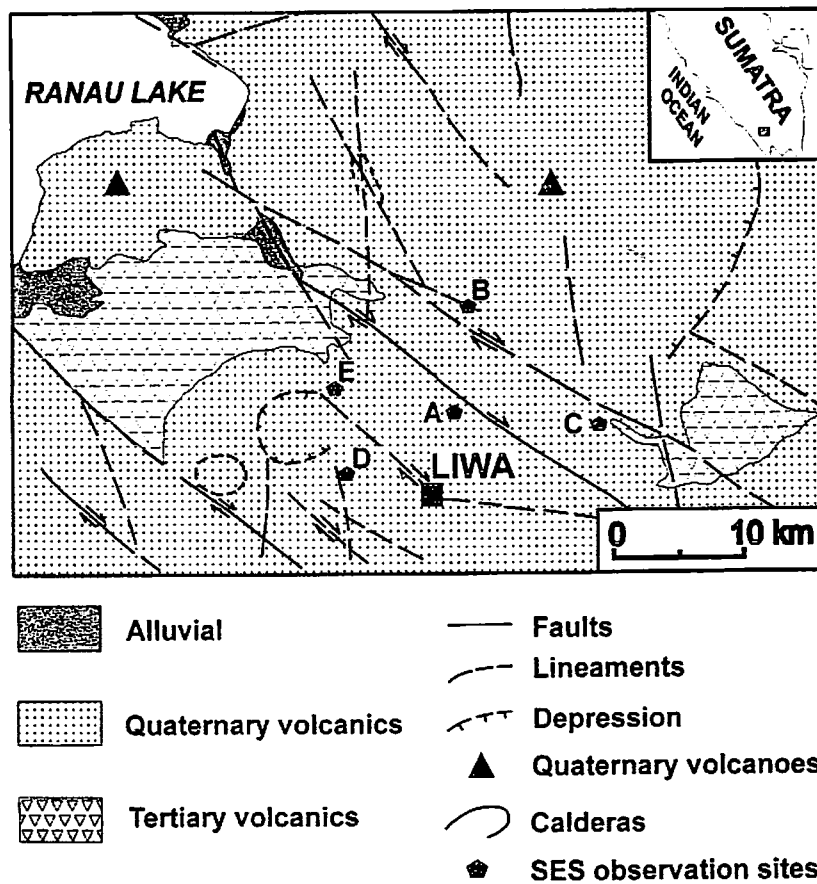
2. 観測地域の概要

リワ地域はスマトラ島南部にあり (第1図)、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Ms=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Ms=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 ± 3 mm/yr、南部で 6 ± 4 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。第1図には、観測地域とUSGS·NEICのデータベースを基にした98年10月~12月の間に観測地周辺で発生したmb>4以上の地震の分布を示した。

地電位差の観測は、リワの町から5km位離れているLIPIの観測所を根拠地にして、その近傍に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 (第2図)。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



第1図. スマトラ断層と観測地周辺の震源分布
 (USGS・NEIC データベースによる 1998 年 10 月～12 月, $d < 60\text{km}$, $mb > 4$ の震央分布)



第2図. 観測地域の地質概要と観測サイトの配置

クできるようにした。また、両方の中心電極の変化をチェックするために、それから1 m位離れたところに補助電極を置き、それらの間の電位も測定することにした(第3図)。この図で97年には地震計と雨量計は置かれていない。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(チコージェル)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。

3. 97年の観測結果

前報(茂木・他、1998)では、97年9月~12月の間にLiwa地域(5.0S, 104.0E)から半径500km以内で発生した地震のうち、第1表に示したb, c, dの3つのmb>5地震でコサイスマミックな地電位変化が観測されたことを報告した。その後データをさらに整理したところ、第1表のa, eの地震でも同様な変化が観測されていたことがわかった。結局この段階では、観測地域から半径200km以内に発生したM5クラス以上の地震でコサイスマミックな変化が見られたと考えた。

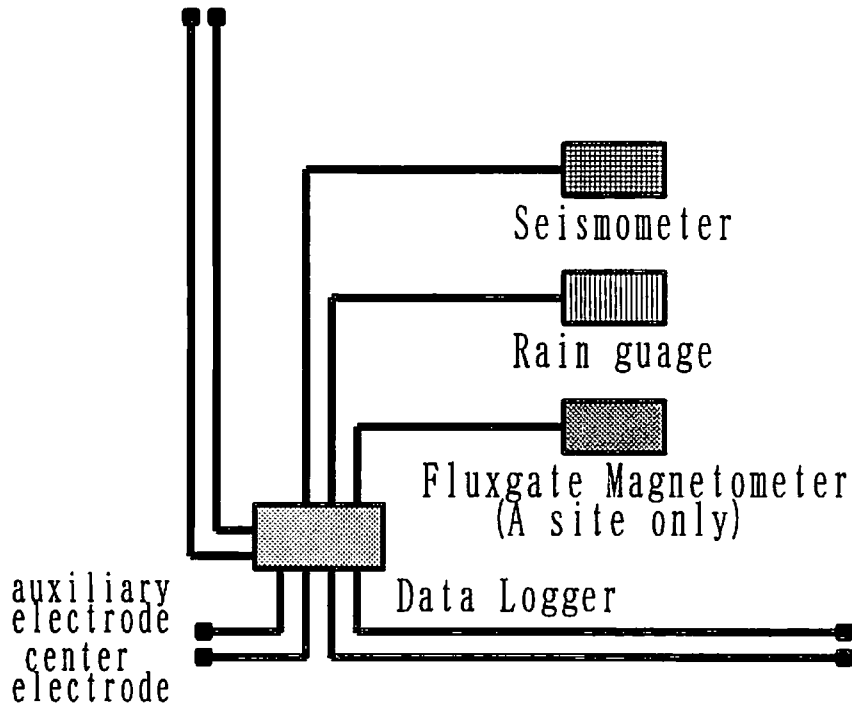
第4図に例として地震b, cの前後3分間の全チャンネルの測定記録を示す。測点Dで最も大きな振幅が観測され、次にC, B, Eの順で小さくなり、A測点の振幅が最も小さい。この傾向は他の地震に対するコサイスマミックな変化でも同様であり、変化の大きさは各測点の地下構造に依存するのではないかと考えられる。地電位差の変化は発生時刻から30秒位遅れて始まっており、地震波の到着時間と一致しているのではないかと考えられる。また、2本の平行に置かれた電線での変化は全く同じであり、補助電極と中心電極との電位差変化は見られない。

このような変化は、前報でも述べたように、地震動に伴ういわゆるelectroseismic effect (Martner and Sparks, 1959)を捕らえた可能性もあるが、他の可能性も考え得る。しかし、もしこのような変化が電極の揺れによるものだとしたら、その変化は電極間隔に関係ないので補助電極-中心電極間の電位も変化が見られるはずである。また、同じ振動で揺れたとしても、個々の電極の接触には微妙な差があるので、平行な2本の線で同じ電位が発生する可能性は小さい。埋設した電線の揺れにより電位変化が生じる可能性もあるかもしれないが、今のところ検証できない。

4. 98年の観測結果

98年9月24日から、第3図に示したように各測点において地電位観測に加えて、地震観測、雨量観測も開始した。また、サンプリング時間も1秒とした。前節で述べたように、この観測点ではコサイスマミックな地電位変化が何回も観測されたが、日本での観測ではこのような例はあまりなかった。その理由として日本での観測では高周波のノイズを打ち消すためにハイカットフィルターを入れていたことが考えられたので、今回同方向の2本の電線の内1本には2秒のハイカットフィルターを入れてみた。

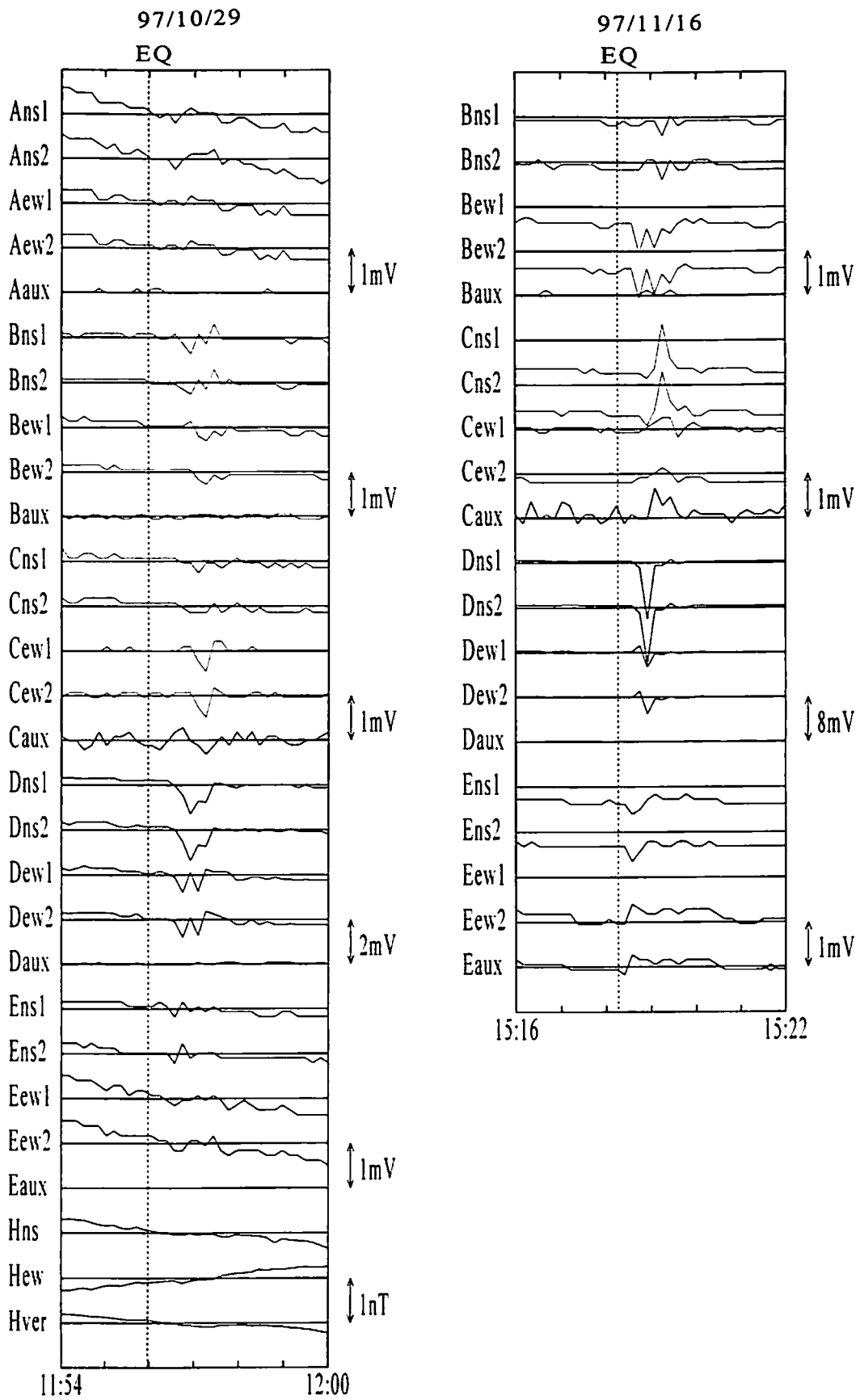
Field Setup



第3図. 各測点での電極の配列

第1表. 97年9月～12月の間に地電位差変化が見られた地震

	origin time (local time)	epicenter	distance	depth	mb	rem.
<i>a</i>	13, September, 13:46'03"	4.45S, 102.84E	147km	97km	5.0	
<i>b</i>	29, October, 11:55'58	6.38S, 104.01E	152km	45km	5.7	Mw
<i>c</i>	16, November, 15:18'16	4.96S, 103.19E	95km	58km	5.5	
<i>d</i>	23, November, 15:35'55	5.41S, 102.52E	174km	33km	5.1	
<i>e</i>	20, December, 13:33'43	6.33S, 104.08E	146km	71km	5.1	



第4図. 地震に伴う地電位差変化の例(10秒サンプリング、97年10月29日、11月16日)

第5図にコサイスマックに観測された地電位差変化の記録例を示す。この12月11日の地震は、第2表にあるように震央距離97kmで発生し、現地では有感地震であった。98年9月下旬～12月の間に、このような地電位差変化の記録が第2表に示した9個地震に対して観測された。

10月以降、サンプリングを1秒にしたために、ロガーの電力消費が大きくなり、バッテリーの消耗による欠測が多くなってしまった。また、平行な2本の電線の内1本(各測点の、ns2, ew2)には2秒のハイカットフィルターを入れたことにより、コサイスマックな変化は見られなくなった。地震の記録と比べると、地電位変化は地震波の到着と同時であることが明らかである。しかし、震源から約100kmも離れているにもかかわらず、地震波が数秒で到着しているところがあるし、各観測点に対する到着時間の差も大きすぎるので、ロガーの時計が正確でないようである。また、雨量との記録を比べると、降雨の影響はほとんど見られない。

地電位変化の記録をみると、変化の大きさは地震の振幅と相関が見られる。サンプリング間隔が1秒なので完全な地震波の記録が取れているわけではないので、現時点では地電位変化と地震動との相関についてはわからない。前年の観測では、コサイスマックな変化が見られる地震の大きさや震央距離にある限界が見られるようであったが、98年の記録では第2表の9月28日に発生したa地震のような震央距離が993kmのものでも地電位差変化が観測された。この地震は遠くで発生したがMw=6.5と大きかったので地震動が観測されている。一方、11月30日に震央距離205km、深さ52kmで起こったmb=5.2の地震は地電位差変化が観測されなかった。この地震では明瞭な地震動も観測されていない。このような結果から、地電位差変化は地震動の大きさと関係しているようである。10月31日にも震央距離590kmの遠い地震(第2表d地震)に対して地電位差変化が観測されているが、このときも明瞭な地震動が観測されている。したがって、どのような地震に対して地電位差変化が観測されるかは、どのような地震が観測地域において大きな地震動を発生させるかということに関係していると考えられる。

各観測サイトを比較すると、地震動の振幅がほぼ同じであっても、地電位差変化の大きさは異なるようである。このことは、同じ地震動に対して地電位差変化が測点固有の性質によることを意味しているのであろう。このような結果は、地震動に伴い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により地電位変化が発生する(Pride, 1994, Mikhailov et al.1997)と考えると、各測点で電気伝導度構造が異なっていることによりうまく説明できる可能性がある。

5. まとめ

地震計と同時に観測することにより、地電位差変化が地震動の到来と関係していることが明らかとなった。また、各測点によりほぼ同じ振幅の地震動でも地電位差変化の大きさが異なることから、測点特有の地下構造が地電位変化の大きさに関係しているようである。今後このことを確かめていきたい。前兆現象については今のところは見られて

いないが、さらに記録を詳細に調べる必要があるかもしれない。

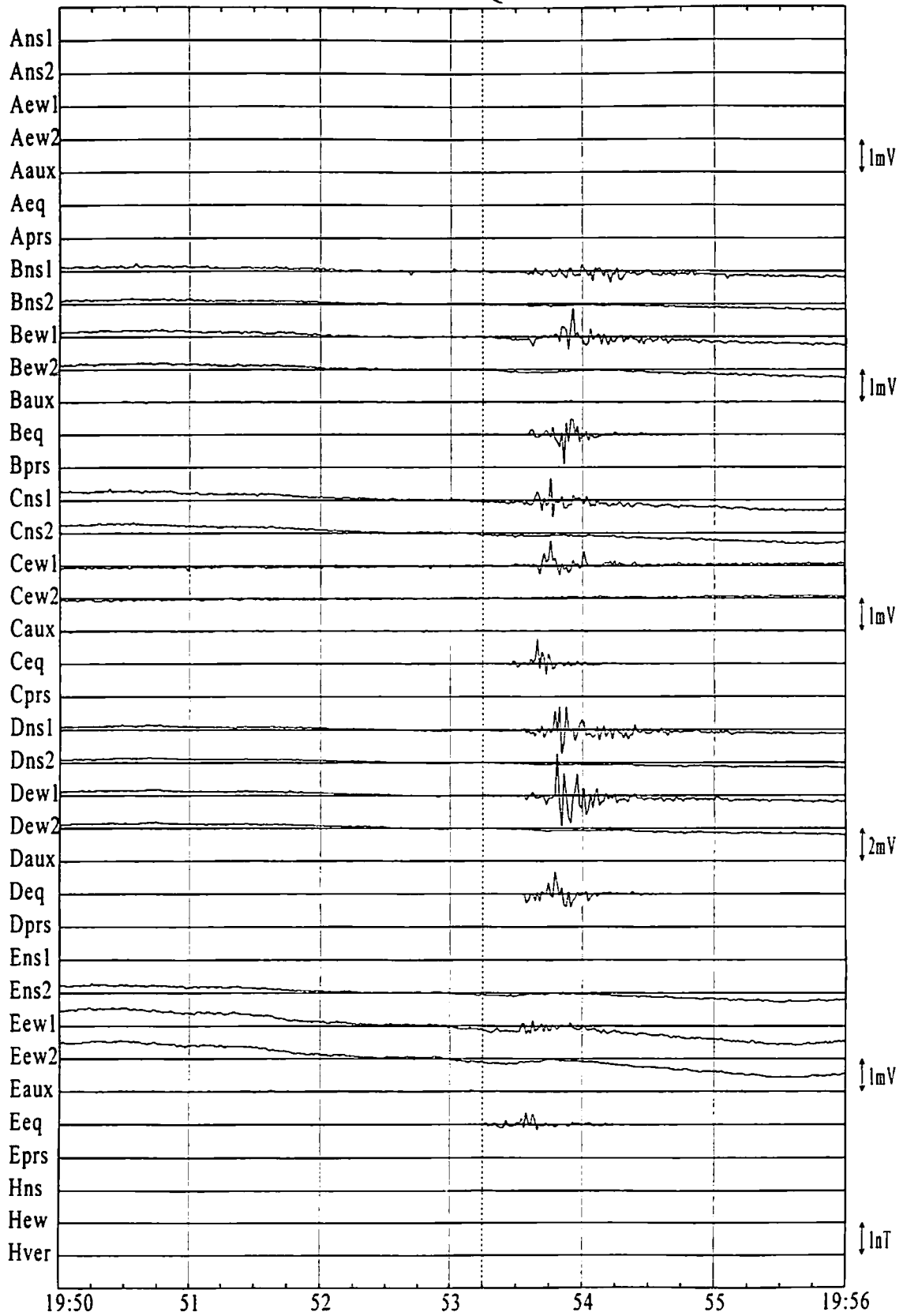
参考文献

- 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.
- 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, Electrostatic investigation of the shallow subsurface: Field measurements and numerical modeling., *Geophysics*, 62, 97-105.
- 茂木透、田中良和、Edy M. Arsadi, Djedi S. Widarto, Nanang Puspito, 長尾年恭、神田径、上田誠也, 1998, スマトラ断層での地電流観測、CA 研究会 1998 年論文集, 115-120.
- Pride, S., 1994, Governing equation for the coupled electromagnetics and acoustics of porous media., *Physical Review B*, 50, 15678-15696.
- Widiwijawanti, C., Deverchere, J., Louat, R., Sebrier, M., Harjono, H., Diament, 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.

第 2 表. 98 年 9 月～12 月の間に地電位差変化が見られた地震

	origin time (local time)	epicenter	distance	depth	mb	rem.
<i>a</i>	28, September, 20:34'31"	8.19S, 112.41E	993km	151km	6.5	Mw
<i>b</i>	09, October, 4:23'27"	4.88S, 103.10E	100km	33km	5.2	
<i>c</i>	21, October, 9:28'56"	6.32S, 103.78E	148km	40km	5.1	
<i>d</i>	31, October, 18:19'06"	6.22S, 98.80E	590km	33km	5.3	
<i>e</i>	05, November, 23:00'30	5.11S, 103.85E	20km	79km	4.8	
<i>f</i>	07, December, 22:53'30"	5.12S, 103.11E	99km	55km	5.2	
<i>g</i>	11, December, 19:53'16	5.80S, 104.37E	97km	33km	5.4	
<i>h</i>	13, December, 4:39'26"	4.47S, 103.02E	123km	100km	5.3	
<i>I</i>	20, December, 17:02'04"	4.74S, 102.11E	210km	33km	5.6	

98/12/11
EQ.



第5図. 地震に伴う地電位差変化の例
(1秒サンプリング、98年12月11日に発生した第2表g地震の例)