

# 柳ヶ瀬断層周辺におけるCA観測 (1)

京都大学教養部

住友則彦

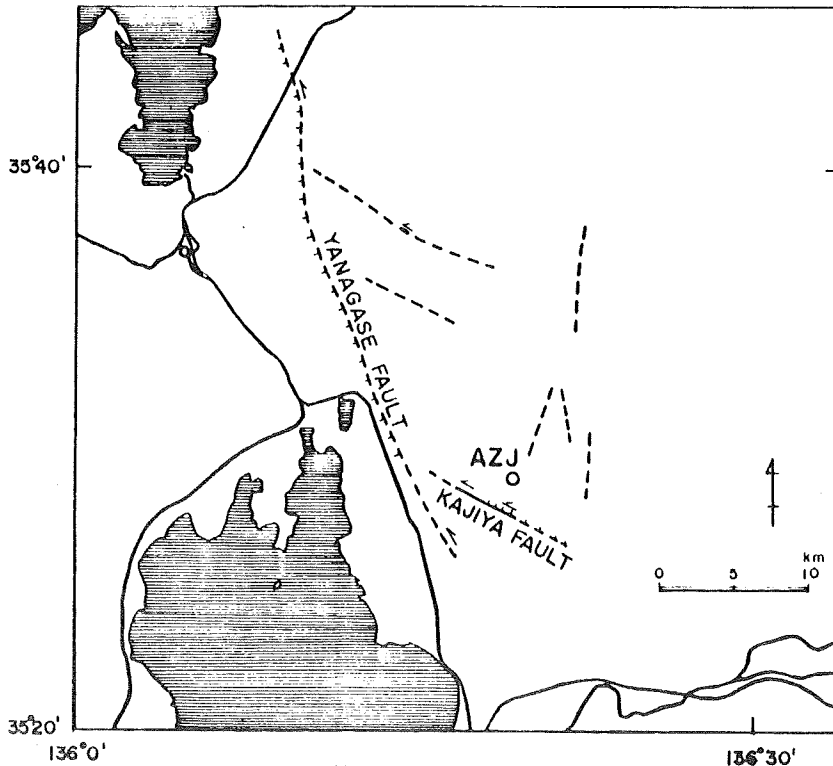
神戸学院大学

大塚成昭

## 1. はじめに

第4次地震予知計画に基く「地殻活動域における地磁気・地電流および電気抵抗総合観測」事業の一環として、京都大学防災研究所は、滋賀県東浅井郡浅井町高山 ( $\phi = 35^{\circ}28.6'$   $\lambda = 136^{\circ}19.4'$ ) に地磁気3成分連続観測点を設けた。観測は昭和56年12月25日より開始した。この観測の目的は、地磁気3成分の観測から地下の電気伝導度構造に関するCA変換関数を求め、この時間的変化を監視することによって地震発生に関連する前兆現象を見つけようとするものである。このような変換関数の時間的変化と地震発生との関連に関する研究は、白木<sup>1)</sup>・佐野<sup>2)</sup>によって関東地区で詳しくなされている。

固定観測点(第1図)を浅井町(AZJ)に決めるに先立ち、琵琶湖周辺で電磁気ノイズ調



第1図 観測点位置図

査や予備観測をした。当初は、花折断層を監視するため琵琶湖西岸に固定点を定める予定であったが、湖西線よりの漏洩電流の影響が予想以上に大きく広範囲におよぶことが分り、最終的に琵琶湖北東部を走る柳ヶ瀬断層の東方約6 Kmの浅井町高山に決定した。後にも述べるように、この地点でも東海道線の影響が昼間では数 nT にも及び必ずしも最適地とは言えない。活断層の近傍で観測をするという条件を付す限り、近畿地区では電車等による電磁気ノイズから完全にのがれることは難しい。

柳ヶ瀬断層は琵琶湖東岸を南南東から北北西方向に走る全長37 Kmにおよぶ活断層である。福井県南部から滋賀県北東部にかけて有史以来、度々大地震が発生しているが、柳ヶ瀬断層の活動もその一つである。明治42年には断層南端部虎姫町付近で姉川地震 ( $M = 6.9$ ) が発生している。この度磁力計を設置した場所は、防災研究所附属北陸微小地震観測所浅井衛星観測点 (AZJ) に当り、周辺の微小地震活動が昭和46年来詳しく調べられている<sup>3)</sup>。これによると、この地域の微小地震の震源は柳ヶ瀬断層と、その東方にある根尾谷断層系との間にはさまれたブロックの深さ、ほぼ、10 Kmに集中しており、主な活動域は、有史来の大地震の余震域に一致していることが確かめられている<sup>4)</sup>。

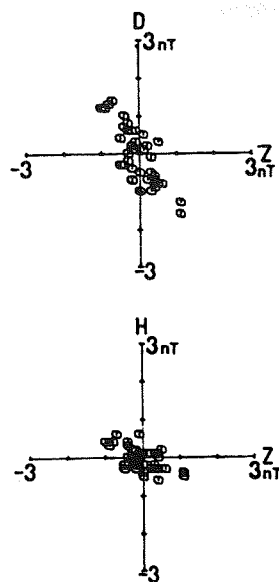
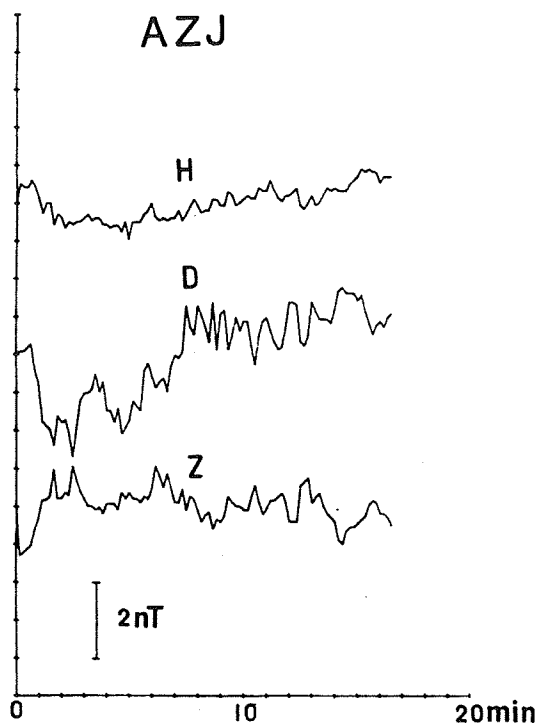
CA観測は緒についたばかりであるが、今後、上に述べた地震活動とCA変換関数の時間的变化を詳細に調べて行く予定である。ここでは予備的に解析したCA変換関数の求め方や、その主な特徴について述べる。

## 2. 観 測

観測に用いた磁力計は東北金属KK製リングコア-センサフラックスゲート型磁力計 (TRM-1) である。感度は0.1 nT, 温度ドリフト0.5 nT/1°C程度、周波数分解能は1 Hz 以上であるが、本観測では通常1分サンプリングとし、周期100秒以上の現象を観測対象としている。データはティアックKK製デジタルレコーダーDR-55にて、CMT上に2 byte / 1データで集録している。ダイナミックレンジはおよそ±200 nTである。CMT1巻で約20日分の記録が可能である。なお、アナログモニターとして、東亜電波KK製フラットベッドレコーダー (FBR-253A) を使用している。本観測点では、近々、地電流2成分観測も合せ行い、マグネトテルリックも行う計画である。

## 3. 電磁気ノイズ

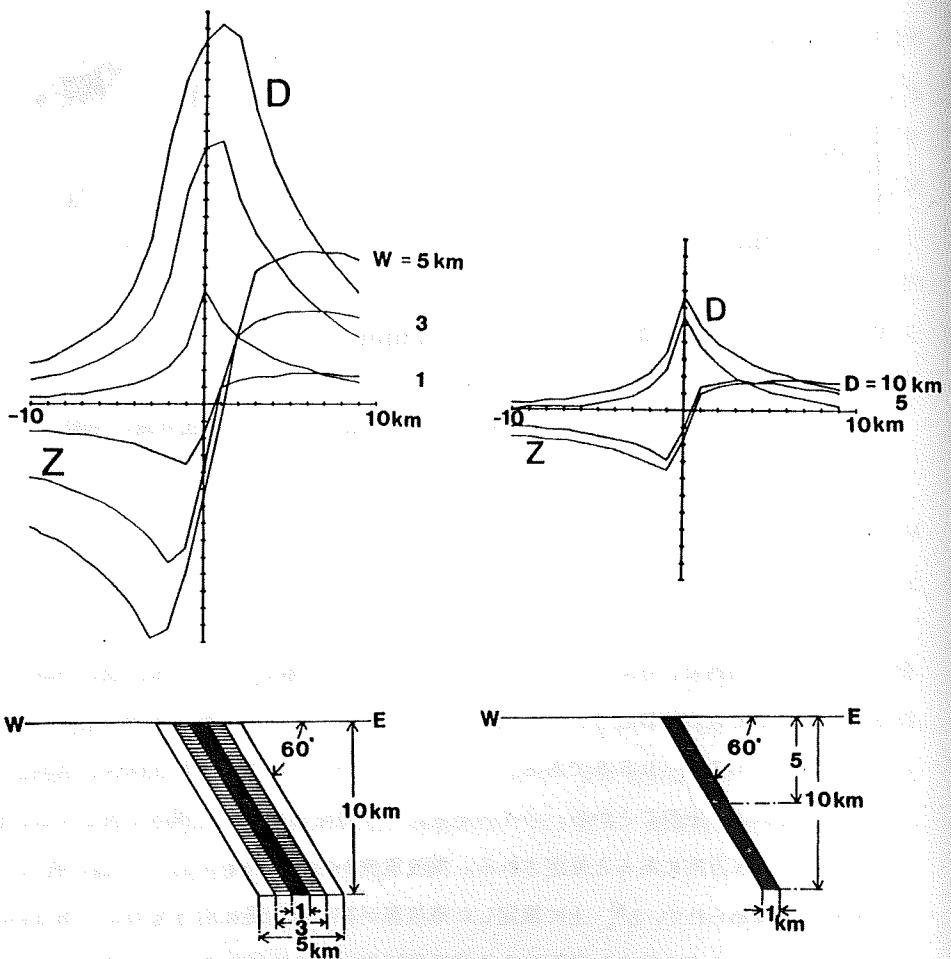
1.にも述べたように、昼間は東海道線からの漏洩と思われる電流によって生じる磁気ノイズが3成分共に観測される。特にD (東西水平成分) およびZ (鉛直成分) に著しい。第2図左



第2図 浅井における電車漏洩電流による磁気ノイズと各成分間の相関

側は磁気ノイズの例で、時に  $2 \text{ nT}$  にもおよぶ。第2図右側はトレンド除去後、各成分間の相関を調べたものである。DとZ、H（南北水平成分）とZはそれぞれ逆相関を示す。回帰係数はそれぞれ、 $-1.7$ 、 $-0.58$ である。ここで、H、D、Zはそれぞれ北向き、西向き、下向きを正としている。上のことから、ノイズをもたらす電流源は2次元構造を仮定すると観測点よりほぼ $W 2.0^\circ N$ 方向にあると推定される。漏洩電流が断層破砕帯に沿って流れ易いことは、山崎断層でも確められている<sup>5)</sup>。上に推定した電流源が柳ヶ瀬断層に沿うものか、あるいは第1図に見られるAZJ点の約3 Km南西にある鍛冶屋断層によるものかここでは直ちに結論できない。電流が全く断層に沿って流れているとすれば、HとZが僅かながら逆相関であることが上記いずれの断層についても説明できない。しかし、電流が地表面近くを線電流の形で流れる場

合は、磁場の水平成分は地表ではほとんど観測されない。AZJ 点で、D成分がZ成分を上まわって観測されたことは、観測点が破碎帯のへりもしくは内部に位置するか、あるいは、観測点が破碎帯外にあったとしても、破碎帯がかなりの幅を有し、かつ、今の場合東側に傾斜している場合などが考えられる。ここでは、南北走向で東落傾斜を有する仮想的な断層破碎帯を考え、その中を一様に流れる電流によってつくられる磁場D成分、Z成分をいくつかのモデルについて計算し、第3図に示した。第3図左側は、傾斜角 $60^\circ$ 、深さ10kmを固定し、幅を1、3、5kmに変えた場合、第3図右側は、傾斜角 $60^\circ$ 、幅を1kmに固定し、深さを5、10kmに変えた場合である。電流密度はいずれの場合も単位1とした。D成分とZ成分が等しくなる地点を1つ



第3図 断層破碎帯内を一様に流れる電流による磁場のD、Z成分の分布

の目安にすると、破碎帯の幅が広がるほど、深さが深くなるほど、その地点は破碎帯より東へ移動することが分る。従って、AZJ点が破碎帯外に位置するとすれば、その破碎帯は幅数Km以上、深さ10Km程度の規模を有する必要があることになる。観測点が1点のみであるので、もとより解は一義的に定まらないが、ここで考えた断層が柳ヶ瀬断層に相当する場合は、周辺の微小地震活動などとの関連を考えると興味深いと思われる。柳ヶ瀬断層破碎帯の幅、深さは今後、ELF帯やULF帯でのマグネトテルリック法で詳しく調べる予定である。また、次節で述べるCA変換関数を求める際に、破碎帯内を流れる伝導電流と本来の誘導電流との区別が出来るか否かも興味ある問題である。

#### 4. 変換関数

地磁気短周期変化3成分の間に、 $Z(f) = A H(f) + B D(f)$ の関係が成り立ち、複素量A、BはCA変換関数と呼ばれている。一般には、これらは2入力1出力の線形システムの伝達関数とも見なされている。この場合、入出力のパワースペクトル密度およびクロススペクトル密度と伝達関数との間に次式が成り立つ。

$$P_{ZH}(f) = A(f)P_{HH}(f) + B(f)P_{DH}(f) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{ZD}(f) = A(f)P_{HD}(f) + B(f)P_{DD}(f) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $P_{ii}(f)$ はi成分のパワースペクトル密度、 $P_{ij}(f)$ はi成分とj成分のクロススペクトル密度である。A(f)およびB(f)はシステムの伝達関数で、いわゆるCA変換関数に相当する。Everett and Hyndman<sup>6)</sup>によって導かれた変換関数を求める手法はこの方法である。(1)と(2)からA、Bを求める際、HとDとのコヒーレンシー、つまり

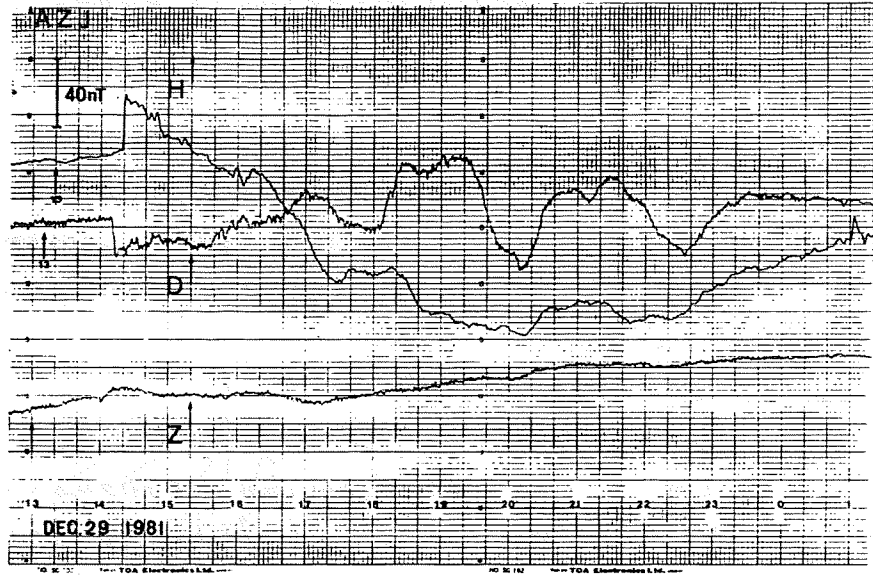
$$r_{HD}^2(f) = \frac{|P_{HD}(f)|^2}{P_{HH}(f)P_{DD}(f)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

が1でも0でもないことが要求されることも自明である。

A、Bの決定精度はパワーおよびクロススペクトル密度推定の精度に依存する。これらの推定方法としては、いわゆるBT法(Blackman-Tukey)が最も一般的である。この場合は連続記録の解析を前提としている。これとは別に、短周期擾乱の個々の現象毎にフーリエ変換をし、それら複数のフーリエ係数を用い最小自乗法よりA、Bを決める手法もあり、佐野<sup>2)</sup>はこれによっている。

我々は、本質的にはEverett and Hyndmanの手法とは変らないが、スペクトル密度の推定値をFFT(高速フーリエ変換)法により求めることを試みた。これは計算時間の短縮を

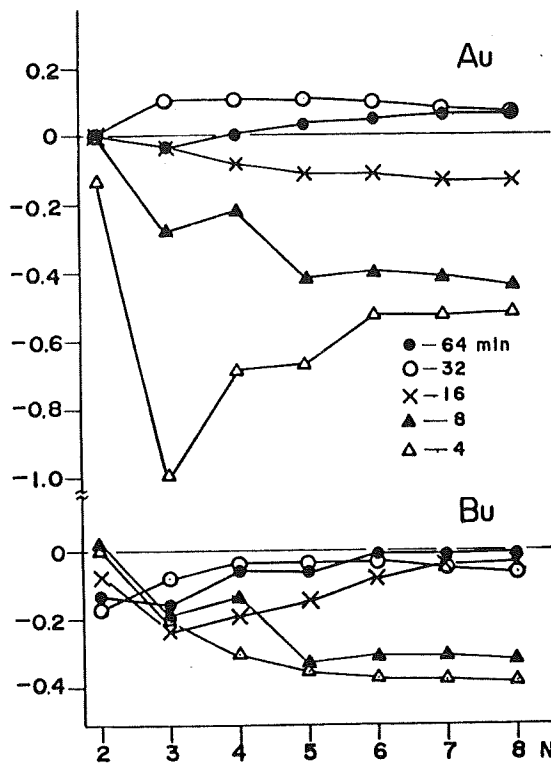
主眼としている。しかし、この方法では一連の記録から得られるスペクトル密度には大きな相対誤差が含まれるので、解析区間を小区間に分割して、各小区間毎にスペクトル密度を求め、それらを平均する部分分割平均法を用いた。実際には、初めに、ある小区間を定め、小区間毎にスペクトル密度を求め、 $i$  番目の区間までの集合平均値から  $A_i$ 、 $B_i$  を順次求め、値が適当に収束するところで計算を打ち切った。各小区間では、1次式でトレンドを除去し、ハミングの時間窓をかけた。小区間のデータ長は64分(1分値64ケ)とした。



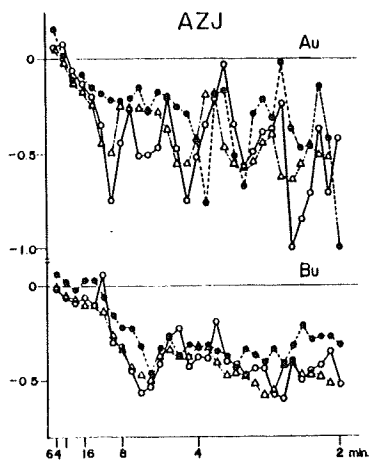
第4図 浅井にて観測された磁気嵐の例

第4図に解析に用いた磁気嵐の記録の一部を示した。急始部の鋭い立ち上り部は解析区間からはずした。第5図に、集合平均回数の増加に伴って、 $A_u$ 、 $B_u$  値が収束する様子を示した。概ね6回位の平均回数でどの周期成分も収束するようである。第4図に示した磁気嵐の初期および後期のそれぞれ約8時間について変換関数を求めた例を第6図a、bに示した。初期の部分より得た値は白丸で、後期の部分の値は黒丸で示した。なお、初期の部分をも、相関法によって解析した結果(三角印)の一部も合せて示した。また、第7図は、別の小規模擾乱の解析結果である。これらの結果を見ると、個々の周期に対する変換関数は、一連の磁気嵐でも解析区間が異なったり、解析方法が異なった場合、若干の相違が見られることが分る。これらは、データ長の選び方、トレンド(長周期成分)除去の方法、時間窓のかけ方などに検討すべき問題が残されていることを示唆する。

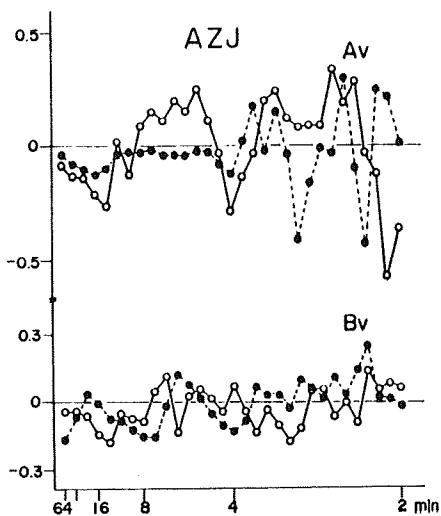
さて、変換関数の特性を見ると、長周期(約30分以上)成分では、 $A_u > 0$ 、 $B_u \approx 0$ 、短



第5図 FFT法より求めた変換関数(実数部)の部分分割法による平均の効果



第6図-a 浅井における変換関数実数部  
○は第4図の磁気嵐初期の部分からFFT法で求めたもの  
●は同磁気嵐後期の部分からFFT法で求めたもの  
△は同磁気嵐初期の部分から相関法で求めたもの



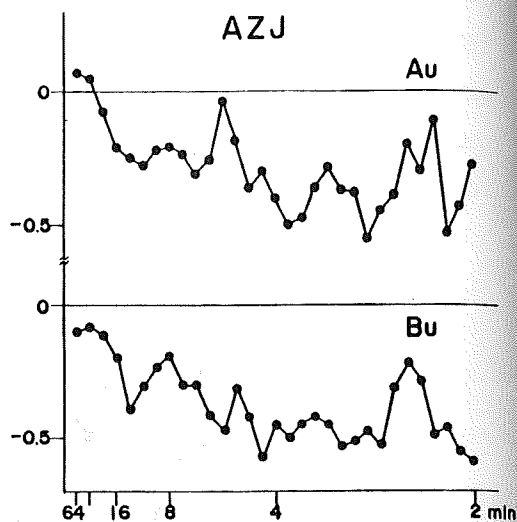
第6図-b 浅井における変換関数虚数部  
(FFT法による)

周期成分(30~2分)では $A_u < 0$ ,  $B_u < 0$ の傾向が見られる。(D成分は西向きを正としている)つまり,短周期では,AZJ点は,短周期異常をもたらす導体源の南東側に,長周期では,導体源の北側に位置することになる。すなわち,短周期パーキンソンベクトルは,ほぼ若狭湾の方向を,長周期ベクトルは太平洋方向を指すことになり,ほぼ期待される結果となった。短周期ベクトルの方向は前節で電車による磁気ノイズから推定した電流源の方向と概ね一致しているが,この理由は明らかではない。上に求めた変換関数の,周期4分以下については自然現象と人工的ノイズが重なっているものと思われる。これを分離することは今後の課題である。

変換関数の決定精度は現象のパワーに依存し,地磁気活動度に依存した偏りの生じることが白木<sup>1)</sup>,佐野<sup>2)</sup>によって報告されている。今後,データの蓄積を待って詳細な解析を進めたい。最後に,磁力計の性能試験等に多大の御協力をいただいた地磁気観測所の方々に厚くお礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) M. Shiraki, Monitoring of the time change in the central Japan conductivity anomaly, J. Geomag. Geoelectr., **32**, 637-648, 1980.
- 2) Y. Sano, Time changes of transfer functions at Kakioka related to earthquake occurrences (I), 地磁気観測所要報 別冊第8号, 1-25, 1980.
- 3) 渡辺邦彦, 平野憲雄, 岸本兆方, 北陸地方の微小地震活動(第1報), 京都大学防災研究所年報, **21**, B-1, 57-67, 1978.
- 4) 渡辺邦彦, 平野憲雄, 岸本兆方, 北陸地方のサイスミンティ, 地震, **31**, 35-47, 1978.



第7図 浅井における変換関数実数部  
(FFT法による)  
(昭和57年1月21日の小規模  
擾乱を解析)



- 5) 住友則彦, 山崎断層周辺における地磁気永年変化観測(Ⅲ), Conductivity Anomaly  
研究会 論文集, 45-53, 1978.
- 6) J. E. Everett and R. D. Hyndman, Geomagnetic variations and electrical  
conductivity structure in southern Australia, Phys. Earth Planet. Inter.,  
1, 24-34, 1967.

2 min

模

が

。

申

所