

# 柳ヶ瀬断層周辺におけるCA観測(3)

-変換関数の時間変化と西南日本における地震活動度との関連-

京都大学理学部 藤原 智

京都大学教養部 住友則彦

Conductivity Anomaly Observation near the Yanagase Fault (3) - Relation between  
Time Changes of Transfer Functions and the Seismicity in Southwest Japan -

Satoshi FUJIWARA\* and Norihiko SUMITOMO\*\*

\*Geophysical Institute, Faculty of Science, Kyoto University

\*\*Department of Earth Sciences, College of Liberal Arts and Sciences, Kyoto University

## 1. はじめに

琵琶湖の北東岸に沿って柳ヶ瀬断層が走っており、この周辺では微小地震活動が活発である (Fig.1)。この柳ヶ瀬断層周辺での地震活動と地下の電気伝導度の変化との関連を調べる目的で、京都大学防災研究所により滋賀県浅井町(AZJ)において地磁気3成分の観測が行なわれている。これより得られた解析結果の一部は、すでに報告されている<sup>(1)(2)(3)</sup>。

地磁気3成分の短周期変動 ( $\Delta H$ : 水平成分,  $\Delta D$ : 偏角,  $\Delta Z$ : 鉛直成分)の間には、

$$\Delta Z = A \cdot \Delta H + B \cdot \Delta D$$

の関係式が近似的になりつつ、このA, Bは変換関数(Transfer Function)と呼ばれ、観測点周辺の地下の電気伝導度構造の異常(Conductivity Anomaly)に関する情報を含んでいる。これらは一般に複素関数で周期依存性がある( $A = A_u + i A_v$ ,  $B = B_u + i B_v$ )。A<sub>u</sub>を南向きにとり、B<sub>u</sub>を西向きにとったベクトルは、パーキンソン・ベクトル(インダクション・ベクトル)と一致する。パーキンソン・ベクトルは良導体(低比抵抗体)のほうを向くことが知られている。

今回は、1982年~1987年の6年間のデータについて解析を行ない、変換関数の時間変化を求めた。また、この結果と地震活動との関連について報告する。

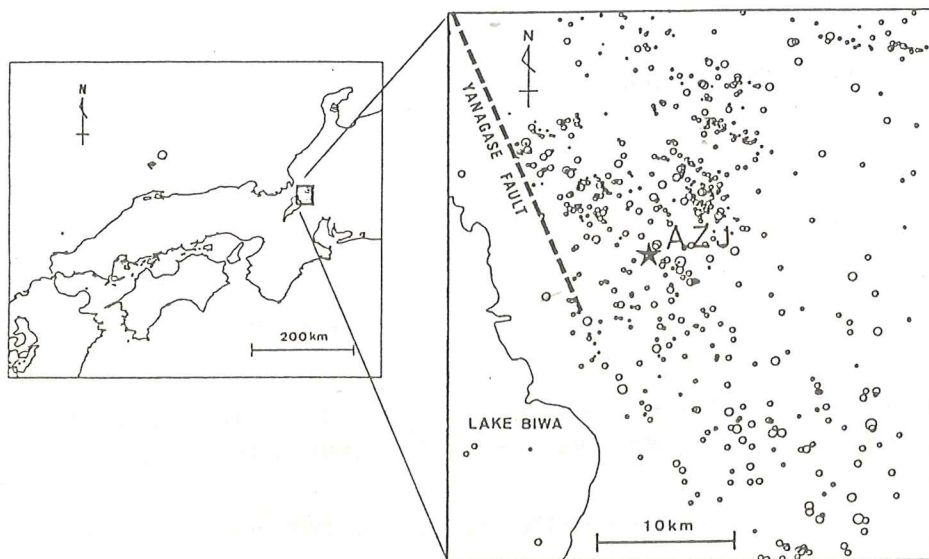


Fig.1. Epicenters of microearthquakes around Azai (AZJ) during the period from Jan.1983 to Jun.1986. (After Hokuriku microearthquake observatory)

## 2. データ処理方法

解析データとして、フラックスゲート磁力計（分解能 0.1 nT）によって計測されている地磁気3成分の1分値が用いられている。データ処理を行なって変換関数を求める手順は、基本的にはFFTを使ったパワー・スペクトル法である<sup>4)</sup>。まず、記録を8時間ごとに分割して、レコーシブ・ハイパス・フィルター（カットオフ140分）やハニング・データ・ウィンドウなどを通す処理を行なったあと、FFT法によりパワー・スペクトルおよびクロス・スペクトルを計算し、周波数領域で平滑化したあと、パワー・スペクトルおよびクロス・スペクトル値のままで保存しておく。この時点で変換関数の計算は可能であるが、後述の理由により、データを分割した1区間ごとに変換関数を計算しなかった。一般に、変換関数は外部磁場のパワーが小さいときは値にばらつきが認められる。とくに、浅井では電車からの漏洩電流によるノイズが避けられないために、短周期における変換関数が現象のパワーに相関をもっていることは住友・大塚<sup>2)</sup>によっても報告されている。したがって、従来は、安定した変換関数を求めるために、外部磁場の変動の大きい区間を選んで変換関数を計算し、これらの平均値を求めている。今回は、1つの変換関数の計算には、すべてパワー・スペクトルおよびクロス・スペクトルの状態でスタッキングされたものが一定区間を取りだされて用いられている。この方法は現象ごとのパワーに重みをかけて平均をとっているのと同様の効果があり、それによって特別な現象を選びだす必要なしに安定

した変換関数を求めることができた。

### 3. 変換関数の時間変化

#### 3-1 1982年~1987年の解析結果

第2節に述べられている手順によって、1982年~1987年までの6年間の変換関数の時間変化を求めた。周期は4分~128分のものが求められている。周期32分~128分の変換関数についてはほぼ同様の変動を示しているが、これより短い周期のものでは、電車からの漏洩電流と思われるノイズにより安定した値は得られなかった。Fig.2に、1例として周期64分の変換関数の1月ごとの時間変化が示されている。1月ごとの変換関数は前後30日分(計60日分)のデータをスタッキングしたのから求めている。図に示されているエラー・バーは95%信頼区間である<sup>5)</sup>。1986年~1987年にエラー・バーが大きくなっているのは、磁力計の不調時のデータを除いているためにスタッキング回数が少なくなっている理由による。

Fig.2によると、Auに比べBuの変動はかなり大きい。このことより、浅井の東方または西方に電気伝導度が変動している領域があるということも考えられる。また、Buには、 $-0.01/\text{year}$ の経年変化もみられる。変動の小さいAvに外部要因と思われる季節変化がみられ

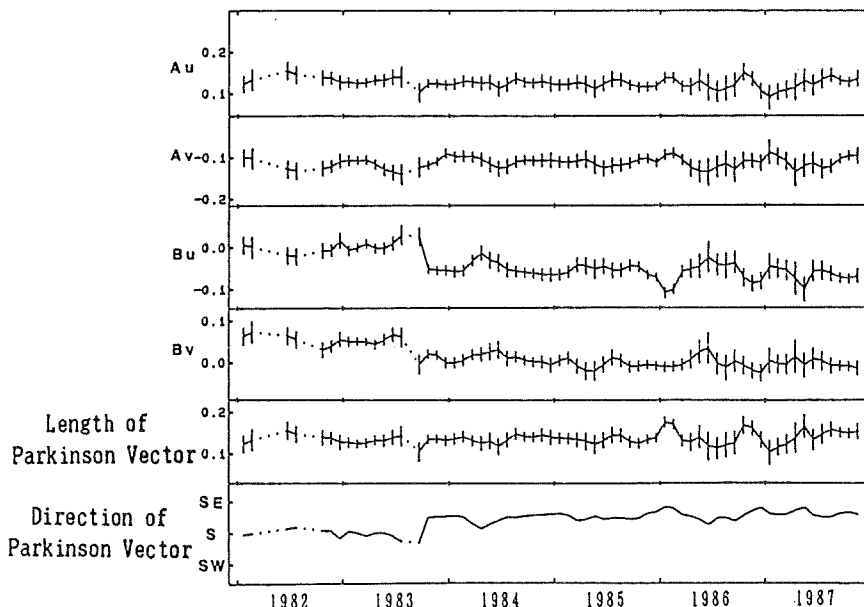


Fig.2. Monthly changes of transfer functions at Azai for period 64min. Each transfer function is calculated from about 60 days data. The 95% confidence intervals are shown by error bars.

るが、その振幅は 0.04 程度であり、季節変化以外の変動をかき消すほどのものではないと思われる。

### 3-2 八ヶ岳との比較

変換関数は外部磁場の  $\Delta Z$  成分による影響を受けているために、かなり離れた2つの地点でもよく似た変動を示すことがある<sup>8)</sup>。Fig.2 に示されている浅井の変換関数の変動が外部要因によるものかどうかを確かめるためには、他の観測点のデータの解析結果との比較を行なう必要がある。ここでは、東京大学地震研究所より八ヶ岳地磁気観測所のデータの提供を受け、浅井とまったく同じ解析手順で、八ヶ岳 (YAT) での変換関数の時間変化を求めた。

Fig.3 に、1985年から2年間の浅井と八ヶ岳における Au および Bu の変動が比較されている。八ヶ岳のデータは、ノイズも少なく安定しているために、エラー・バーも小さい。60日分のスタッキングを行なうことによって、外部磁場による変換関数の変動はかなり平滑化されており、八ヶ岳の変換関数にはほとんど変動はみられない。したがって、この解析方法の場合、1985年~1986年に関しては、外部磁場による変動はほとんど現われていないものと思われる。このことより、浅井の Bu の大きな変動、とくに1986年の1、2月の変動は、浅井特有のものであると結論される。1985年~1986年以外の期間については八ヶ岳との比較は

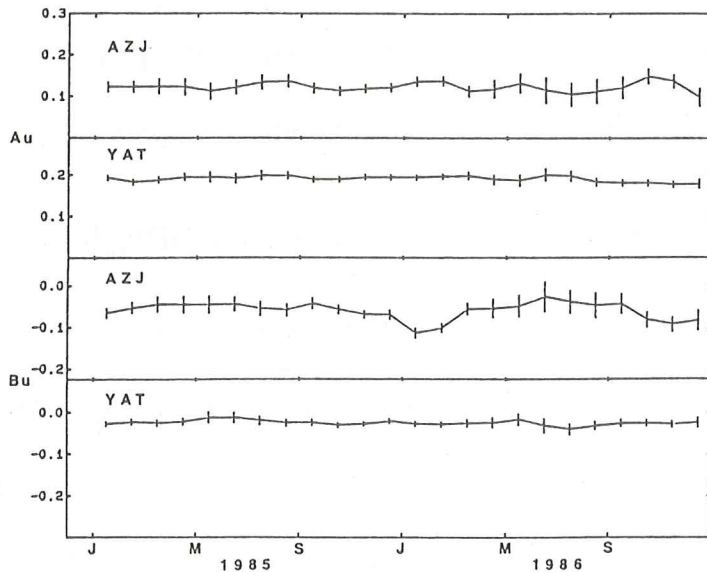


Fig.3. Comparisons between monthly changes of transfer functions at Azai (AZJ) and those at Yatsugadake (YAT) for period 64min.

行なわれていないが，以下の議論では，すべての期間を通じて外部要因による大きな変動はなかったものと考えことにする。

#### 4. 地震活動との関連

地震活動と地殻の応力とは密接に関連しており，また，応力変化で電気伝導度構造が変化することが起こりうる（ある場所の電気伝導度が変化する場合も広義の電気伝導度構造変化に含める）。これより，地震と変換関数になんらかの関連があることが予想される<sup>7) 8) 9)</sup>。

##### 4-1 浅井周辺での地震活動

Fig. 4 には，浅井を中心にしたいくつかの範囲内の月ごとの地震発生数と Au および Bu の変動が示されている。図中下段 c)，d) の微小地震数は，京都大学防災研究所附属北陸微小地震観測所より提供を受けたデータによっている。また，同図中段 a)，b) の地震数は気象庁によつ

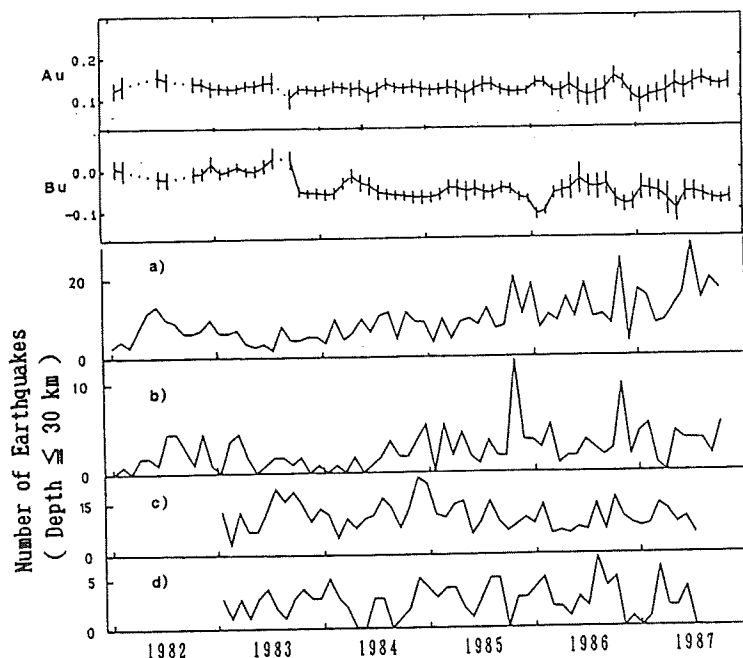


Fig. 4. Number of earthquakes per month around Azai.

a)  $\Delta$  (epicentral distance)  $\leq 120$  km    b)  $\Delta \leq 60$  km  
(After Japan Meteorological Agency)

c)  $\Delta \leq 20$  km    d)  $\Delta \leq 5$  km

(After Hokuriku microearthquake observatory)

Monthly changes of Au and Bu at Azai are shown in the same figure.

て観測されたデータによっている。地震数を数える範囲は観測点を中心にして震央までの距離が約5 kmから120 kmまで変えてあるが、どの範囲を採用しても、明確な変換関数との関連はみいだせなかった。ただし、震央距離120 km以内の地震数が多い時期とAuの変動が大きい時期がほぼ一致しているようにみうけられる。このほか、地震のマグニチュードより地震のエネルギーを計算したが、このエネルギーと変換関数の間にはとくに関連はみいだせなかった。震源が30 kmより深い地震について調べてみると、浅井周辺では総計10個程度（震央距離<60 km；気象庁による）しか起こっておらず、これらは1984年後半と1986年前半に集中していることがわかった。

Fig.4 に示されている解析期間中に浅井周辺ではめだった地震活動はないが、震央距離約130 kmの地点で1984年9月14日に長野県西部地震(M=6.9)が発生しており、この期間中では西日本で最大規模の被害地震であった。ただし、この地震に関連した変換関数の変化はまったくみられなかった。

#### 4-2 西南日本での地震活動

1983年10月前後のBuの変動はかなり大きい。この時期の顕著なできごとには、同年10月31日に発生した鳥取県中部地震(M=6.2)があり、この地震との関連が考えられる。しかし、浅井と鳥取では距離が大きすぎるという疑問がある。ところが、この地震の前後で西南日本の地震活動が活発化したともいわれる<sup>10)</sup>。変換関数の変化が個々の地震に対応するよりは、むしろ、ある範囲の地震活動の消長に対応するのではないかと考えて、広い範囲における地震発生状況と浅井の変換関数の関連を調べた。

Fig.5 (a) には、Fig.5 (b) に示されている範囲の積算地震数とBuの変動が示されている。Fig.5 (b) に示されている範囲は、試行錯誤を繰り返して変換関数と積算地震数の対応がよくなるようにして、なるべく広い範囲を採用するように決められている。この範囲は、地質構造によって分類されている西南日本内帯にほぼ一致することがわかった。ただし、長野県西部地方が含まれていないことには注意を要する。図におけるA~Eの矢印は、地震活動に明らかな変化がみられるところを表わしている。Aは鳥取県中部地震(M=6.2)、Bは山崎断層地震(M=5.6)に対応している。AおよびBの時期のように、ある程度以上の規模の地震が起こると、その余震のため地震数は短期間に急激に増加する。しかし、Aの前後に注目すると地震直後のみならず、ふだんの地震発生頻度の傾向が明らかに異なっており、地震後の発生頻度は大きくなっていて、この傾向は現在まで続いているといつてよい。1983年後半は西南日本の地震活動にとって特異な時期であったと思われる<sup>10)</sup>。なお、ここでいう西南日本とは、Fig.5 (b) に示されている範囲を

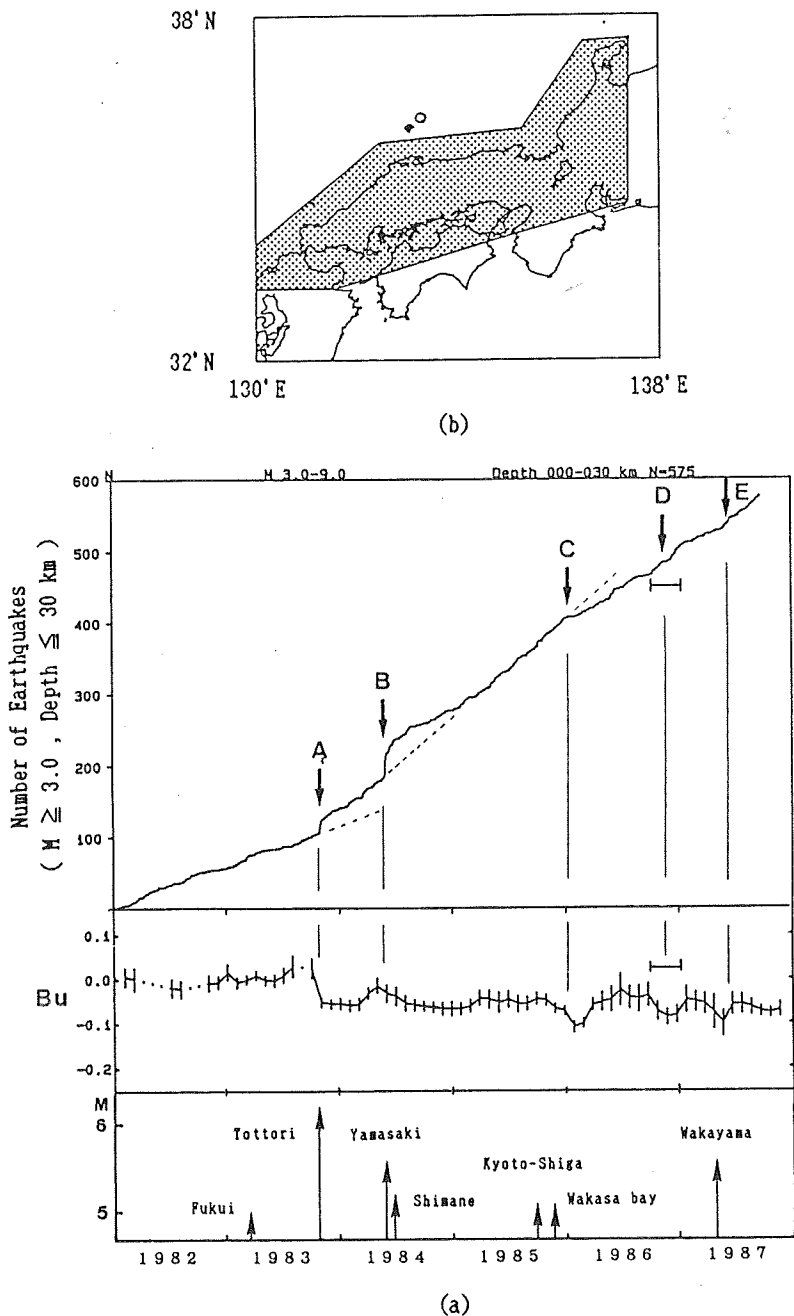


Fig. 5. Relation between monthly changes of Bu at Azai and the seismicity in Southwest Japan. The seismicity is defined as total number of earthquakes ( $M \geq 3.0$ , Depth  $\leq 30$  km) which occurred in the hatched area in (b). Arrows (A-E) indicate changes of the seismicity. Earthquakes ( $M \geq 5.0$ ) in (b) are shown in the lower part of (a).

指している。ここで、 $Bu$ をみると、大きな変動はすべてA~Eの時期にそれぞれ対応して起こっているように見える。このうち、その対応が顕著な時期は、やはりAの前後である。

$M \geq 5$ の地震の発生時期が同じ図に示されている。とくに、 $M \geq 5$ の鳥取、山崎断層および和歌山での地震についての $Bu$ は、地震前にいったん増加し、それから減少してから地震が起こるという変動がみられる。しかし、逆に、このような変動がみられると必ず地震が起こるわけではない。

以上のように、 $Bu$ の変化と西南日本における地震活動との間にはなんらかの関連があると思われる。とくに、西南日本での地震活動の傾向が変わるところが変換関数に明瞭に現われている。これらの間に具体的にどのような関係式がなりたっているのかは、今後の課題の1つである。なお、 $Au$ と地震活動との間には $Bu$ との間にみられるほど明確な関係はみいだせないが、Fig. 5(a)のDの変動などは $Au$ にも関連があるのかもしれない。

#### 4-3 $Bu$ の変動を説明するモデル

西南日本における地震活動に関連した変換関数の変動を説明する物理モデルを考える。浅発地震の発震機構<sup>11)</sup> および測地測量から得られた地殻水平ひずみ<sup>12)</sup> などにより、西南日本の上部地殻では東-西から北西-南東方向の水平圧縮軸をもつ応力が働いていることがわかっている。そして、この広域にわたる応力が地震活動と密接にかかわっていると思われる。この地殻応力の原動力は、おもに西進する太平洋プレートがユーラシア・プレートに働きかけていることによって生じている力であることが推定されている。そして、この水平応力が浅井周辺にも広域応力場の一部として同じようにかかっているものと考えられる。したがって、この応力の変化によって浅井周辺の地下の電気伝導度構造が変化する機構が存在すれば、地震活動と浅井の変換関数は結びつけられることになる。

ところで、周期64分の変換関数はスキン・デプス(比抵抗が $100 \Omega \text{m}$ でも深さは $300 \text{km}$ )から考えると、かなり広い範囲の電気伝導度構造の影響を受けていると推測される。行武<sup>13)</sup>によってまとめられた中部日本の深部電気抵抗構造によると、内陸下部地殻および海洋プレート上面の低比抵抗層が顕著である。浅井における変換関数の一部は、内陸下部地殻の低比抵抗層か本州の下へ沈み込むフィリピン海プレート上面の低比抵抗層によるものであるとも考えられる。しかし、この低比抵抗層全体で電気伝導度が変化するならば、 $Au$ の変動としても現われるはずである。浅井では変換関数の絶対値は $Au$ のほうが大きいのに対して、変換関数の変動はほとんど $Bu$ だけに現われているので、低比抵抗層全体にわたって電気伝導度が変化しているとは考えがたい。ここでは、 $Bu$ のみを変化させるしくみを考える。たとえば、浅井の東方または西



方に電気伝導度が時間変化している場所が存在しているか、もしくは浅井周辺で低比抵抗な部分が東西方向に移動するようなことが起こっていることなどが考えられるであろう。

前者の考え方の一例として、SUMITOMO and NORITOMI<sup>14)</sup> に説明されている機構が考えられる。これは、断層破砕帯が地下の深部まで達している場合に、地下での応力変化によって断層破砕帯中を地下水がおもに上下方向に移動するという考え方である。たとえば、このことが柳ヶ瀬断層で起こっていると考えるならば、 $Bu$ の変動は広域の応力変化に関連したものであることを説明することが可能である。後者の考え方も有力と思われるが、この場合、応力に関連して地殻内部で水平方向に電気伝導度構造が変わっているという示唆以上のものは、現段階では得られない。

以上は、もちろん、浅井1点のデータを説明するだけの仮説である。このモデルには西南日本の大構造の問題も含まれており、モデルの妥当性はさまざまな分野のデータをもって検証または修正されなくてはならない。

## 5. まとめ

滋賀県浅井町におけるCA観測の目的は、変換関数の時間変化と柳ヶ瀬断層周辺の地震活動との関連を調べることであった。今回の解析結果では、浅井周辺の地震活動と変換関数には直接に有意な関連はみいだせなかった。しかし、西南日本広範囲の地震活動との関連がみいだされた。このことの解釈の1つとしては、西南日本の地震活動を支配している広域のテクトニックな応力の変化によって地殻の電気伝導度が変わる領域が存在していることが考えられる。

上で述べた解釈が正しいかどうかを確かめるためには、西南日本の他の地点での変換関数の時間変化を求める必要がある。現段階において利用できる可能性が高いデータとして、鳥取と山崎断層に沿った安富町春での観測結果がある。早急にこれらの観測点での変換関数を求める予定である。

本稿を綴りおわるに際して、観測遂行上たいへんお世話になっている浅井町高山の観念寺住職明石祐暁氏に厚くお礼を申し上げます。また、八ヶ岳のデータを提供して下さった東京大学地震研究所の各位および微小地震のデータを提供して下さった北陸微小地震観測所の各位に深く感謝いたします。なお、西南日本の地震発生数を計算するには、気象庁の石川有三氏らによる地震活動解析プログラムSEIS-PC<sup>15)</sup> を使わせていただきました。

## 参考文献

- 1) 住友則彦・大塚成昭, 柳ヶ瀬断層周辺におけるCA観測(1), CA研究会論文集, 127-135, 1982.

- 2) 住友則彦・大塚成昭, 滋賀県北東部の地震活動域におけるCA変換関数, 九十九地学, 17, 25-33, 1982.
- 3) 大塚成昭・住友則彦, 柳ヶ瀬断層周辺におけるCA観測(2), CA研究会論文集, 95-101, 1984.
- 4) EVERETT, J.E. and R.D.HYNDMAN, Geomagnetic variations and electrical conductivity structure in southern Australia, Phys. Earth. Planet. Inter., 1, 24-34, 1967.
- 5) BENDAT, J.S. and A.G. PIERSOL, Random Data: Analysis and Measurements, 407pp., Wiley-Interscience, New York, 1971.
- 6) 佐野幸三・斎藤竜雄・中島新三郎, CA変換関数の多点比較と2, 3の問題点, CA研究会論文集, 103-111, 1984.
- 7) MIYAKOSHI, J., Secular variation of Parkinson vectors in a seismically active region of Middle Asia, J. Fac. Gen. Educ., Tottori Univ., 8, 209-218, 1975.
- 8) YANAGIHARA, K. and T. NAGANO, Time Change of Transfer Function in the Central Japan Anomaly of Conductivity with Special Reference to Earthquake Occurrences, J. Geomag. Geoelectr., 28, 157-163, 1976.
- 9) Rikitake, T., Changes in direction of magnetic vector of short-period geomagnetic variations before the 1972 Sitka, Alaska, earthquake, J. Geomag. Geoelectr., 31, 441-448, 1979.
- 10) 尾池和夫, 1983年10月31日鳥取県中部の地震(M 6.2)について, 地震予知研究シンポジウム(1987), 87-99, 1987.
- 11) ICHIKAWA, M., Reanalyses of Mechanism of Earthquakes which Occurred in and near Japan, and Statistical Studies on the Nodal Plane Solutions Obtained, 1926-1968, Geophysical Magazine, 35, 3, 207-274, 1971.
- 12) 中根勝美, 日本における定常的な水平地殻歪(II), 測地学会誌, 19, 3, 200-208, 1973.
- 13) 行武毅, 地球電磁気学的手法による地震予知研究の最近の進展, 地震予知研究シンポジウム(1987), 191-198, 1987.
- 14) SUMITOMO, N. and K. NORITOMI, 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., 38, 971-98, 1986.
- 15) 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照, SEIS-PCの開発-概要-, 情報地質, 10, 19-34, 1985.