

GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム) を利用した活断層調査
—花折断層稠密 GPS 観測—

観測班 細 善信

■はじめに

琵琶湖の西側に位置する花折断層は、福井県敦賀市より京都市北東部にかけての約 50km にわたる右ずれの活断層である(写真 1)。国土地理院の過去 100 年以上にわたる三角測量網による地殻歪の分布図を見ると東側、琵琶湖を含む滋賀県側では、西北西—東南東方向の縮みが卓越しているのに対し、西側京都府中部から中国地方にかけては歪量が数分の 1、あるいはそれ以上に小さくなっている(図 1)。また、国土地理院により全国展開され現在 1200 点を超える GPS 観測網 GEONET (GPS Earth Observation Network) (写真 2) により日本列島の変動について大きな成果が得られ、新潟から神戸にかけて帯状のひずみ集中帯(新潟神戸変動帯 NKTZ)が見出された(図 2)。(Sagiya et al., 2000)

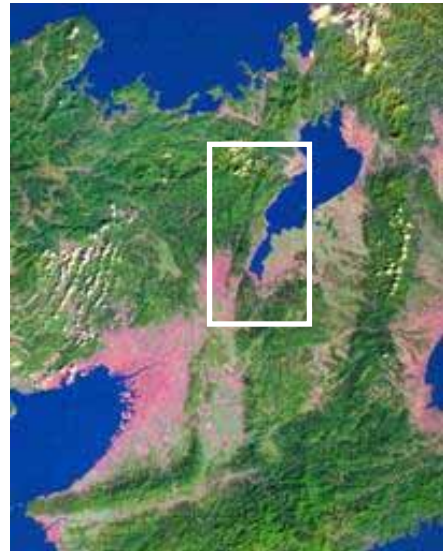


写真 1 花折断層とその周辺
(白枠観測地域)



図 1 最近 100 年間の地殻歪
(1894 ~ 1883)

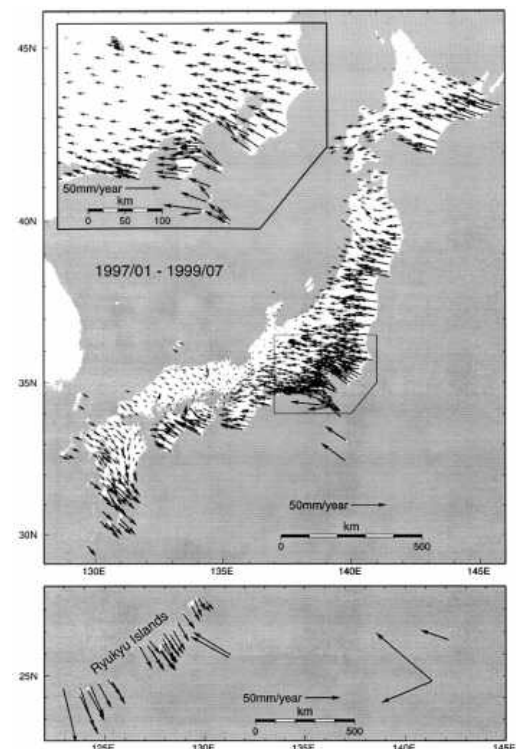


図 2 国土地理院 GEONET に
よる地殻ひずみ

ひずみ集中帯には跡津川断層や花折断層、有馬高槻構造線など多くの活断層が存在するが、それぞれの断層周辺での GEONET 観測点密度は 25km 間隔と粗く、断層周辺の詳細な動きを捉えるには十分とはいえない。

そこで我々グループは、花折断層南部周辺の詳細な歪み分布の不均質性を捉える目的で、南部の断層走行を中心として幅約 15km、長さ 30km あまりの範囲に基点間距離 5km とする稠密な GPS 観測網を計画した。1997 年春、計画当初からこのプロジェクトに参加し、これまで観測を続けてきた「花折断層稠密 GPS 観測」について手順に沿って報告する。

■ なぜ？花折断層か

我々の活動拠点、近畿地方中北部には数多くの活断層が存在する。その中でも花折断層は最大規模、京都市北東部から福井県敦賀市にかけて約 50km に及ぶ B 級の活断層である。トレンチ調査などによると、この断層の活動履歴は北部と南部で異なる可能性が高いとされ、北部は 1662 年（寛文 2）の地震、南部は縄文時代後期（約 3500 年前）以降としか判明していない（吉岡ほか 1997）。また、他の調査でも少なくとも 1000 年から 2500 年間は動いていない断層だと言われている。しかし、国土地理院による三角測量網による地殻歪の分布図や GPS 電子基準点観測網 GEONET の観測結果から歪が集中している場所であると推察される。

1995 年 1 月 17 日早朝兵庫県南部地震が発生した。この地震が発生するまで、近畿地方に存在する断層が動いて大地震が発生するなどとは殆どの人は想いもしなかった。しかし内陸大地震が発生した。

また、兵庫県南部地震以降、南側の有馬高槻構造線、東側の花折断層を含む琵琶湖西岸を境とする丹波山地を中心に微小地震活動が活発化し、京都市北部地域を震源とする有感地震の回数も増えてきている事が地震予知研究センターによる地震観測から確認できた（図 3）。花折断層は我々の地元、いわば足元にある活断層である。（地質的意味のみならず地殻変動からみても歪分布の境界をなしている断層であり、歪の蓄積量が大きいと考えられる。）



写真 2 電子基準点 No.950279

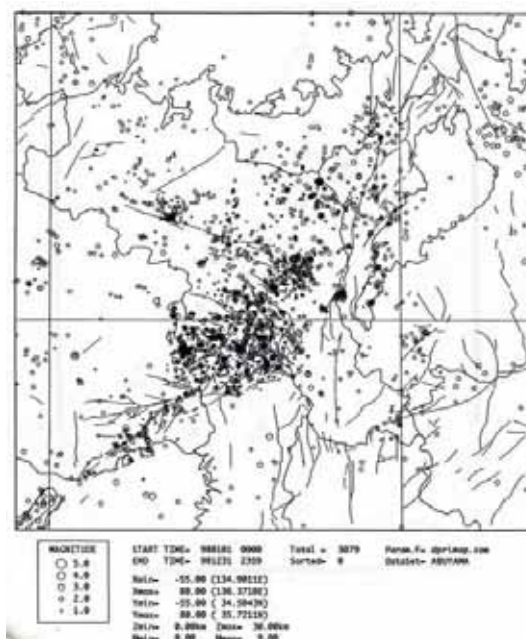


図 3 丹波山地の地震活動
(1998, 1/1-12/31)

また、この断層の東側には比良山系をはさんで琵琶湖西岸断層帯も存在する(図4)。これらの断層周辺の歪の時間的・空間的分布を明らかにすることはテクトニクスの解明と地震予知の両面からも意義深い。地震予知研究センターでは、逢坂山・岩倉・天ヶ瀬・阿武山の坑道内において高感度の地殻変動連続観測がおこなわれているが、50km を超える長さの花折断層の動向を把握するには不十分である。より詳細な調査をおこなわなければならないという機運が高まっていた。

観測計画の最中、1997 年 2 月に比叡山直下の花折断層で M3.5 の有感地震が発生した。この地震をきっかけに、花折断層の観測がより重要であるとの認識で琵琶湖西岸断層をも含む領域で GPS 稠密観測を実施することとなった。

■ 計画・図上選点

GPS 観測を行なうには以下のような手順で作業を進めるが、

- 計画・図上選点
- 選点調査・設置交渉
- 埋標
- 受信機設置
- データ回収、受信機撤収
- データ変換(RINEX ファイル) 軌道情報取得
- 解析

手順に沿って作業の詳細を紹介する。

観測点配置は観測機材、マンパワーなどから花折断層南部地域とその周辺とし、GEONET 観測点配置を考慮にも入れ、基線長間隔を約 5km と設定し、観測点の選点作業を始めた。これまでの経験から主に小中学校などの公共施設を中心に選び出したが、観測点配置から比良山系や京都北山の山中にも配置することとし、国土地理院の 20 万分の 1 地形図、2 万 5 千分の 1 地形図上に配置を試みた。

観測点は南部の断層走行を中心として幅約 15km、長さ 30km あまりの範囲に 17 点の観測点を新設、宇治(防災研究所) 京都大学理学研究科、地理院の既設点を含め 24 点の稠密観測網を計画した。



1:石塚地点 2:弘川地点 3:豊田地点 4:新江付点 5:比良沖地点
6:高野地点 7:赤川地点 8:比叡山地点 A:文献点
活断層の位置は文献4及び文献8に基づく
*:新断層の北端と南端
基図は国土地理院発行数値地図250000「岐阜」、「名古屋」、「宮津」及び「京都及大阪」を使用

図4 花折断層と琵琶湖西岸断層

■選点調査・設置交渉

長期に亘る観測では、借用施設に対し研究目的、観測方法などの説明が必要となる。説明資料として、研究目的のほか GPS 観測による兵庫県南部地震の研究成果、観測点設置方法と観測機材、近畿の活断層図、観測点配置計画図、最近 1 年間の近畿北部の地震活動図などを付け加えたものを用意し選点調査をおこなった。

調査の結果、観測点は小中学校などの公共施設の他、民間施設（ゴルフ場、比良山上の比良ロッジ、びわこバレイ山頂、鉄道施設など）などにも協力をお願いすることとした。

観測点は以下のとおりである（図 5）。

新設観測点（北から南へ）

- 1、滋賀県滋賀郡志賀町北比良・比良索道株式会社 比良ロッジ [HRSN]
- 2、滋賀県滋賀郡志賀町南小松 1122・志賀町立小松小学校 [MAIK]
- 3、滋賀県大津市葛川中村町 108-1・大津市立葛川中学校 [KAZU]
- 4、滋賀県滋賀郡志賀町木戸 1547-1・株式会社びわこバレイ 打見山頂駅 [HORA]
- 5、京都市左京区久多下の町・京都市市有林 [KUTA]
- 6、京都市左京区大原百井町・百井区有地 [MMOI]
- 7、京都市左京区大原古知平町 345・八洲観光企業株式会社
大原パブリックゴルフ場 [OHAR]
- 8、滋賀県大津市本堅田 3-6・大津市立堅田小学校 [KTTA]
- 9、滋賀県守山市赤野井町 9-1・守山市立玉津小学校 [MORI]
- 10、京都市左京区静市静原町 1125-1・京都市立静原小学校 [SHIZ]
- 11、京都市左京区岩倉長谷町・京都市立岩倉北小学校 [IWAK]
- 12、滋賀県大津市阪本本町 4244・比叡山鉄道株式会社延暦寺駅 [ENRI]
- 13、滋賀県大津市下阪本 4-10-1・大津市立下阪本小学校 [SAKA]
- 14、京都市北区鷹峰北鷹峰町 4-1・京都市立鷹峰小学校 [TAKA]
- 15、滋賀県大津市比叡平 1-45-1・大津市立比叡平小学校 [HIEI]
- 16、滋賀県大津市音羽台 6-1・大津市立逢坂小学校 [OSKY]
- 17、京都市山科区北花山大峰町・京都大学理学研究科附属花山天文台 [KZAN]

既設観測点

- 18、京都市左京区北白川追分町・京都大学理学研究科地球物理学教室 [KYTO]
- 19、宇治市五ヶ庄・京都大学防災研究所地震予知研究センター [UJIC]

国土地理院 GPS 観測局(GEONET)

- 20、滋賀県高島郡朽木村市場・950139
- 21、滋賀県高島郡安曇川町南船木・950320
- 22、京都市左京区花背・950330
- 23、滋賀県大津市伊香立生津町・950322
- 24、滋賀県大津市南郷・950324

花折断層稠密GPS観測網

京都大学防災研究所
地震予知研究センター

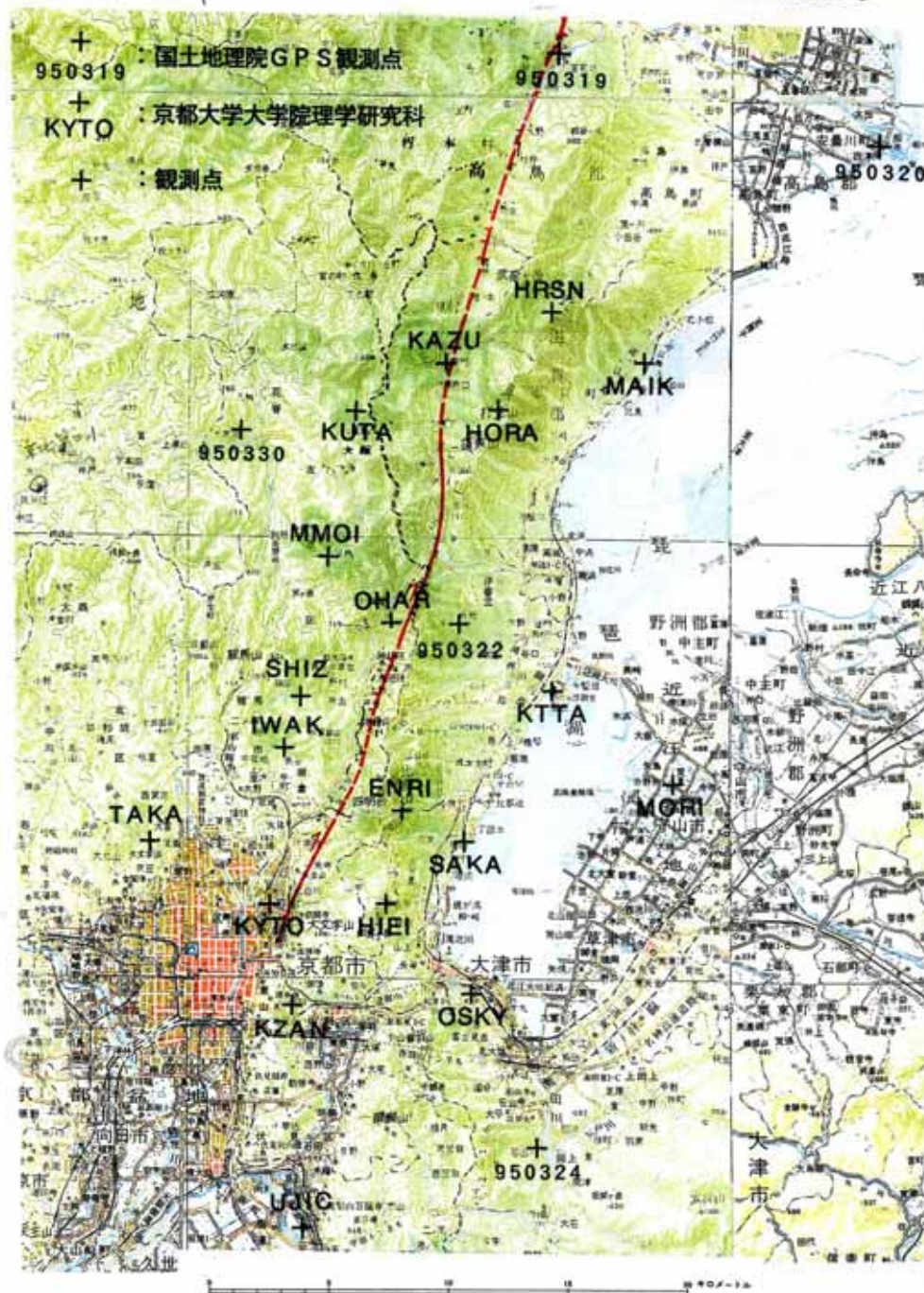


図5 観測点配置図

■事務手続き

観測点を設置する施設には建物等の使用許可申請が必要となる。学校などの公共施設では行政財産使用許可申請書類(図6、7)に観測機材取り付け場所などを示す図面を添付し、市町村の教育委員会宛提出し許可を受ける。使用期間は通常申請した日から1年間とされる場合が多く自動更新はされない。このため長期に亘る観測では年毎の申請日

図6 行政財産申請書

図7 許可書

までの更新手続きが重要な事務作業となる。ただし民間の施設ではこの限りではなく目的の期間の申請を一度おこなえば観測を終了するまで継続させてくれることもある。

■観測点設置

水準測量や三角測量など測地測量では測量用三脚を用いて観測をおこなう。一方GPSを用いた断層調査などの観測では予備観測(写真3)などでは測量用三脚などを用いて観測をおこなうが、繰り返し長期に観測をおこなう場合、いかに観測精度を高めるかが問題となる。このため学校など天空が開け鉄筋コンクリートのしっかりした建物の屋上にボルトなどを取り付け、観測機材設置時に出来るだけ誤差が生じないような方法を取っている。しかし近年施工された新しい建物などでは防水加工などの問題から屋上に穴を開けボルトを取り付ける事が出来ない事が多い。



写真3 予備観測風景

今回の観測では観測点が多く市街地だけでなく山中にも観測点を設置するため、いろいろな観測基準点を設置することになった。以下に観測点の状況を示す。

1. ボルト埋設

測量機器に使用される取り付けネジは5/8インチでほぼ統一されている。観測に使用するGPSアンテナや整準台(トリブラッチ)も5/8インチネジを用いる。このため観測点用としてステンレスのずん切りネジ、約7cm長さの5/8インチボルトを用意し、屋上などのコンクリート部分に直径約1.6cm・深さ6cmほどの穴を開け埋め込む。観測機材の取り付けの為、上端1cm強を出しセメントやコンクリートボンドなどで固定するが、埋め込みに関しては、いかに垂直にボルトを立てるかが注意点として挙げられる。(写真4、5、6)また構造物に穴を開ける為、雨水など染込まないような細心の注意と工夫が必要とされる。



写真4 ステンレスボルト



写真5 埋め込み穴とボルト

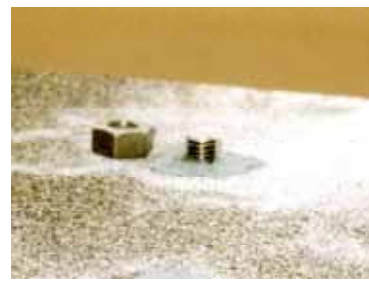


写真6 ボルト埋め込み

2. アンテナ架台

防水加工が施されている構造物の屋上ではドリルで穴を開ける事が出来ない。このような場合、アンテナ架台を作成する事になるが、手作りでコンクリート架台を作成したり金属性架台を業者発注する。

「手作りによるコンクリートアンテナ架台作成」

必要資材となる鉄筋・エスロンパイプ・セメント・型枠用木材など用意する。

作業手順としては・鉄筋を組み型枠に入れる・エスロンパイプで柱部分を作る・中にコンクリートを詰め先端に 5/8 インチボルトを埋め込む・数日間乾燥でコンクリートが固まるのを待つ。(写真7、8、9)

アンテナ架台にはコンクリートを流し込むためかなりの重さとなる。建物の屋上に設置



写真7 アンテナ架台基礎



写真8 ベースと柱部分



写真9 設置状況

する時にはセメントで固定したり防水シートの上に置く。防水シートの上に置く場合は間に薄いゴムシートを敷き防水シートを傷つけないよう注意を払いコンクリートブロックを重石として乗せ僅かな移動も防ぐような対策をしている。

3. 金属製アンテナ架台

防水加工が施されている屋上では写真のようなアンテナ架台やステンレス柱で作成したアンテナ架台を使用することもある。このような架台を使用する場合はコンクリート面のの上にのせレベルを取りしっかりとセメントで固定する。どうしても良いことではあるかも知れないが、固定する架台の一边を南北方向にあわせるような工夫も施している。こうすることによりアンテナ取り付け時の方位の間違いを防ぐ事が可能となる。



写真 10 金属製アンテナ架台
(上部のネジは整準台固定用)



写真 11 アンテナ取り付け状況

写真のアンテナ架台は 1987 年、大学に GPS 受信機が大量導入された当時、アンテナ架台として納入されたものと同じ型式で、上部の丸い穴にソケットを差込み整準台・アンテナを下から蝶ネジで固定する(写真 10、11)。

4 . コンクリート製アンテナ柱

山中や学校などの建物がない所や視界があまり確保出来ない場所では、地上高 2 m から 5 m 程のコンクリート柱を用いる。コンクリート柱は電力供給などに用いる電信柱を利用し適当な長さに切り使用する。観測用柱として使用する場合、安定性を確保するため地上高 2 m の柱であれば地下埋設 1.5 m 程度、地上高 5 m の柱ならば約 3 m 地下に埋設する。このため柱の長さは地上高の倍といはいかないが相当な長さの物を使用する。建てる方法は、電信柱を建てる時と同様、掘削ドリル(オーガと言うらしい?)(写真 13)で柱よりやや大きめの穴を掘り周りにコンクリートを流し込み固定する。このドリルを使うことにより周りの地盤をなるべく傷つけないように掘る事が出来、安定した地盤の中に柱を垂直に建てる事が出来る。



写真 12 百井観測点

京都市左京区百井観測点では上記の方法で、柱を建てる工事を行なった(写真 12)。百井観測点より更に北に山中を分け入ると京都市市有林がある。久多観測点はこの市有林の中にある。観測点はヘリコプター発着場のすぐ傍でもあり山の中でありながら周りが開



写真 14 コンクリート枡



写真 13 掘削ドリル

けている。この場所では地表下すぐのところから岩盤の為あらかじめ大き目の穴を掘りコンクリート枡を入れ（写真 14）その中にコンクリート柱（写真 15）を固定した。柱の固定には砂とセメントを混ぜ合わせたものを隙間に突き込む方法を用いた。

久多観測点は山中ゆえ AC 電源などの設備はない。この為、観測点ではソーラーパネルとバッテリーの組み合わせで観測（写真 18）をおこなっている。

電力供給システムは、ソーラーパネル[Siemens SP75 Pro 4JF MaxPower 75watts]、バッテリー[Yuasa 55B 24L] ソーラーコントローラー[Morningstar ProSTAR20]の組み合わせで、観測当初はソーラーパネル 2 枚、バッテリー 2 台で始めたが、天候不良などにより連続してデータを取得する事が出来なかった。この為ソーラーパネルの枚数を 4 枚（写真 16、17）にし、パネルの向きを日当たりの良い方向に変えるなど試行錯誤で欠測なくデータが取得できるよう改良を重ねている。最近ではソーラーパネルを緯度と同じぐらいの角度の上向きにし、より電力供給アップを図っている。



写真 15



写真 16 観測風景
（写真奥はヘリポート）



写真 17 ソーラーパネル



写真 18 バッテリーコントローラーなど

京都大学理学部花山天文台観測点（写真 19）では気象観測露場にコンクリート柱を設置した。露場の中でもあり高い柱は必要なく観測柱は久多観測点で使ったコンクリート柱の残り部分を使用した。ここでは掘削機材など持ち込めないため手掘りによる作業となった（写真 20）。



写真 19 花山天文台
(気象観測用露場)



写真 20 穴掘り作業

GPS 観測では観測点設置は業者依頼せず自前の手仕事になる事が多い。力仕事になることも多いが自前の作業となることから作業工程や設置状況が把握できるという利点がある。

地面すぐのところからの柔らかな岩盤を電動削岩機を使用して、深さ約 60cm 程の穴を掘り(写真 21)ステンレス線で吊り下げたコンクリート柱を垂直を保ちながら挿入した(写真 22)。短くともかなりの重量である為、挿入には脚立とチェーンブロックを利用して吊り下げ垂直を保ちつつコンクリートを流し込み柱を固定した。



写真 21 掘り下げた穴



写真 22 建柱作業

■ 点の記作成

地震観測や測地測量の観測、GPS 観測などおこなう場合、長期、短期の観測に関係なく観測点点の記の作成が必須となる。作成方法は観測者・グループの好みでそれぞれ異なるが、観測点が完成すれば所在地、連絡先、現地での担当者、アンテナや受信機などの設置場所、観測に必要な機材などとともに機材設置場所の図面、所在地を示す地図などが入った点の記を作成する(図 8)。点の記を作成することにより観測に加わる誰もが、必要な機材の準備や観測地点まで無事辿り着く事が可能になり、仕事もスムーズに行なう事が出来る。

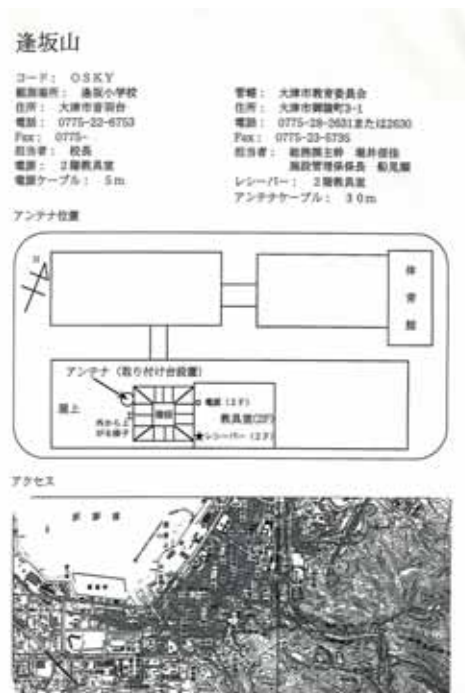


図 8 観測点点の記

■ 観測機材と観測

花折断層での観測は年間 2 回、春(4～5 月)と秋(10～11 月)におこなっている。観測機材は Ashtech 社製 2 周波受信機 Z-12(写真 23)を用い、データは 30 秒サンプリング、高度角マスク 15 度で 24 時間連続で観測を続ける。観測期間は受信機の内部メモリの関係で 5 日間の観測となる。



写真 23 Ashtech Z-12 GPS 受信機



写真 24 受信機設置状況



写真 25 アンテナ設置状況

ごとに内容が表示され、必要項目を入力できるようになっている。液晶ディスプレイは数分操作しなければスリープ状態になり消費電力を抑えるようには設定されているが、

Ashtech Z-12 標準装備 器材一覧

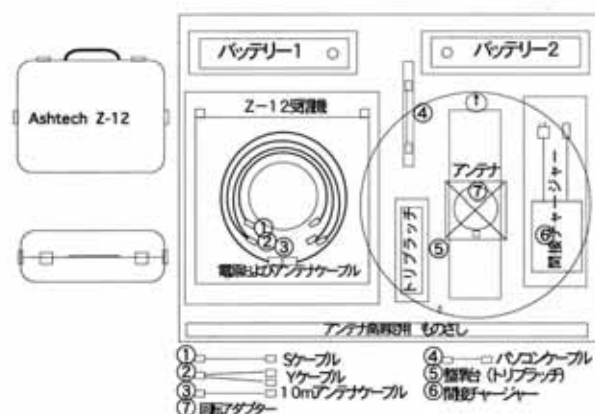


図 9 機材の名称と配置図

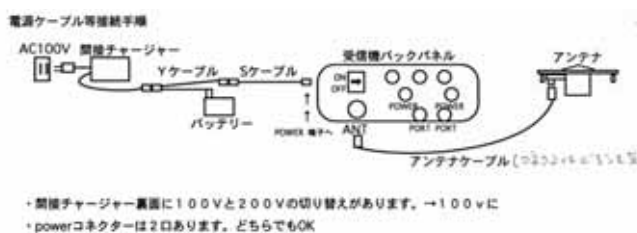


図 10 機材配線図

受信機には AC 電源のほか停電対策のためバッテリーも接続する。(写真 24)

アンテナ設置では整準台(トリブラッチ)を取り付けアンテナの水平を保つ(写真 25)。右にある黒い棒状のものはアンテナの高さを測る物差しで伸ばせば 2 m ぐらいとなる。

観測に使用する Ashtech Z-12 受信機は外部電源により直流 10 から 32 ボルトの間の入力電圧で動作する。受信機の操作は、前面パネル(図 11)に液晶ディスプレイが装備されていて項目

消費電力が約 14 wh と割合大きく附属のバッテリーでは数時間の観測しか出来ない。

この為数日間に亘る観測では AC 電源が欠かせない。

アンテナは測量用マイクロストリップ型で、防水カバーで保護されたプラットフォームの上に固定されている。またアンテナ底部には低ノイズ型プリアンプが装着されていて 30 m の長さのケーブルを使用する事も可能となっている。

また、プラットフォームには測定ロッド用の穴が開けられ専用の測定ロッドでアンテナ高の測定が出来るようになっている(図 12、13)。

観測は以下のような手順でおこなう。

- 1、受信機とアンテナの設置
- 2、アンテナ高の測定
- 3、データ収録の為の受信機の操作
- 4、観測の開始、数日後終了
- 5、データのダウンロード
(受信機とコンピュータの接続)

作業として 1~5 をおこなえばデータの取得は出来る。観測は慣れてしまえばそれほど難しい作業ではないが作業工程の中でそれぞれの観測点での観測野帳の作成が大切な作業であり資料となる。

■観測野帳

観測野帳には、観測点の機材情報、アンテナの高さ、データ収録の内容、観測点で得られた情報など事細かに記入出来るようになっていて、データ解析、繰り返し観測をおこなう場合の資料となる。

GPS 観測野帳は地震予知研究センターにおけるこれまでの観測経験から GPS 観測に必要なと思われる項目が記入出来るよう筆者自身が作成したものである(図 14)。

観測点への受信機設置はマンパワーと機材の関係で 4~5 観測点毎に観測を繰り返す。花折断層での観測は観測点が多い為、観測に要する期間は 1 ヶ月を超えることも少なくない。

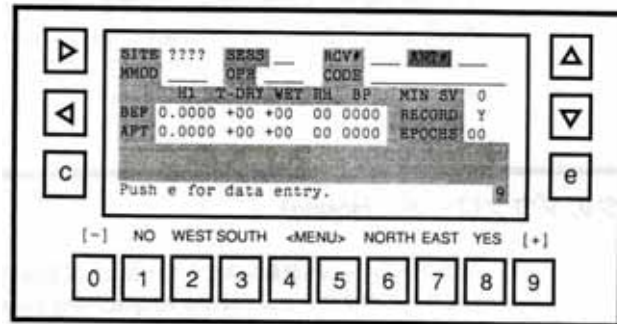


図 11 受信機前面パネル

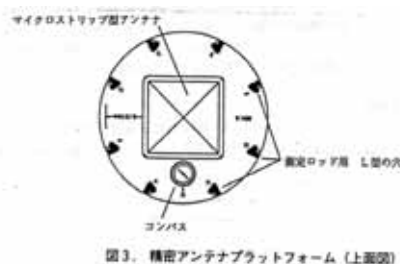


図 12 アンテナ
(上面図)

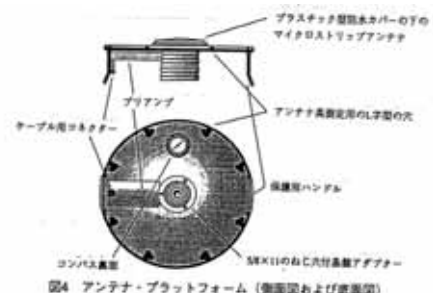


図 13 アンテナ
(側面図、底面図)

同じ機材をあちこちの観測点でタライ廻しして使うが、それぞれの観測点で使用するアンテナはシリアルナンバーを固定するなどし観測誤差を極力抑える工夫をしている。

■観測結果

観測で得られたデータの解析結果を図により示す。GPS 解析に用いる主なソフトウェアには

- ・ Bernese Software(スイス・Bern 大学)
 - ・ GAMIT Program(アメリカ・MIT・Scripps 海洋研究所)
 - ・ GIPSY Software(アメリカ・JPL)
- などあるが、花折断層 GPS 観測では GAMIT Ver.9~10 を使用した。

観測網の座標計算には、GEONET 観測点 0335(交野)と 0067(箕面)を座標既知点として座標の決定を試みた。(図 15) 0067(箕面)に対する相対的な変位の南北(図 16)・東西成分(図 17)の結果を示す。

解析結果から、花折断層(びわこ西岸断層帯を含む)南部周辺では 1997 年以降 2002 年までと、2003 年以降の変位の傾向が異なっているように見える。相対変位の傾向の変化をベクトル図(図 18、図 19)で表すとよくわかる。1997 年から 2002 年までは変位量は割合小さく主に東向き傾向が見られる。2003 年からの変化については、近辺の坑道内のひずみ観測(図 21,22)や地震活動状態の傾向変化の時期とも一致し GEONET の測線長も同様の変化が見られる。箕面固定の変位ベクトルで見ると地震活動が減少している丹波山地を挟む、東西成分においてそれまでの東向きから西向きに変化した点が多い。この変化は丹波山地の圧縮に相当すると判断される。

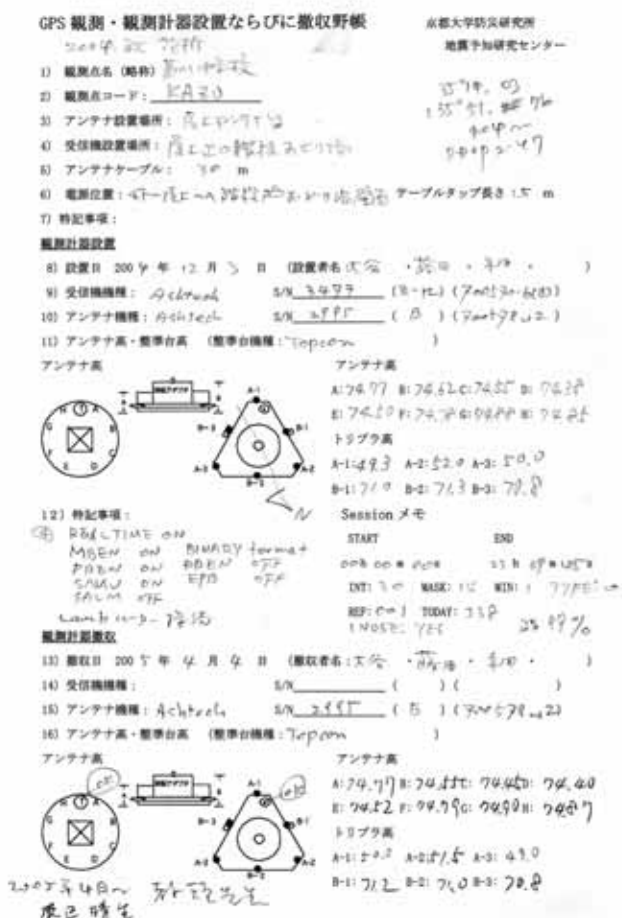


図 14 観測野帳

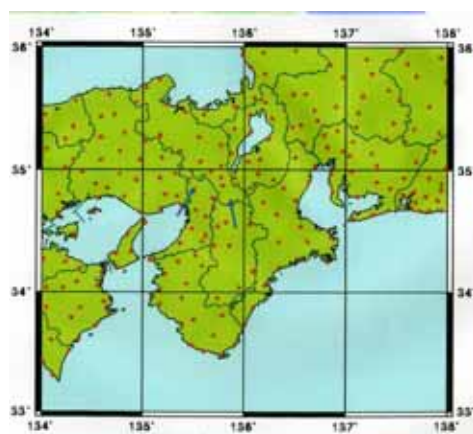


図 15 近畿地方とその周辺の
GEONET 観測点
(矢印: 交野、箕面)

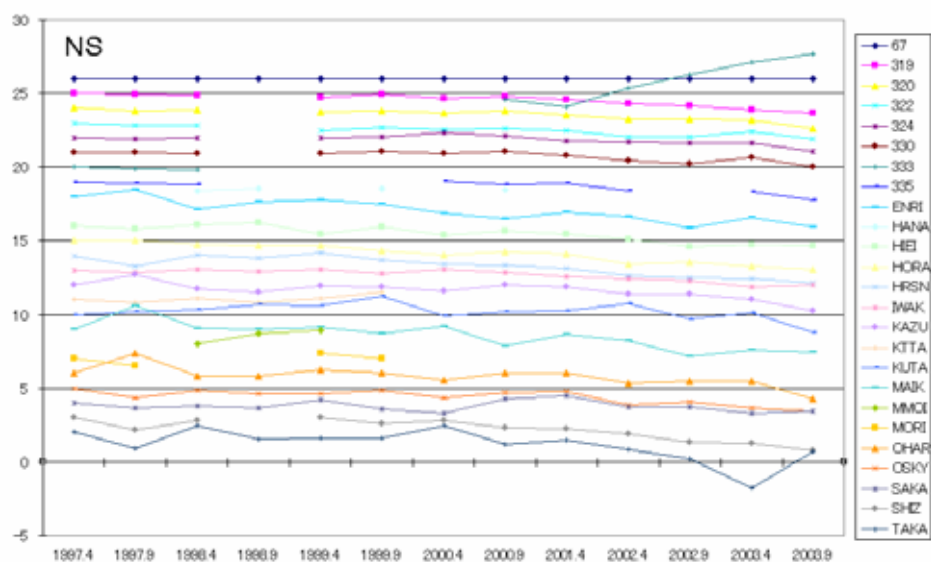


図 16 1997 年から 2003 年までの解析結果（南北成分）

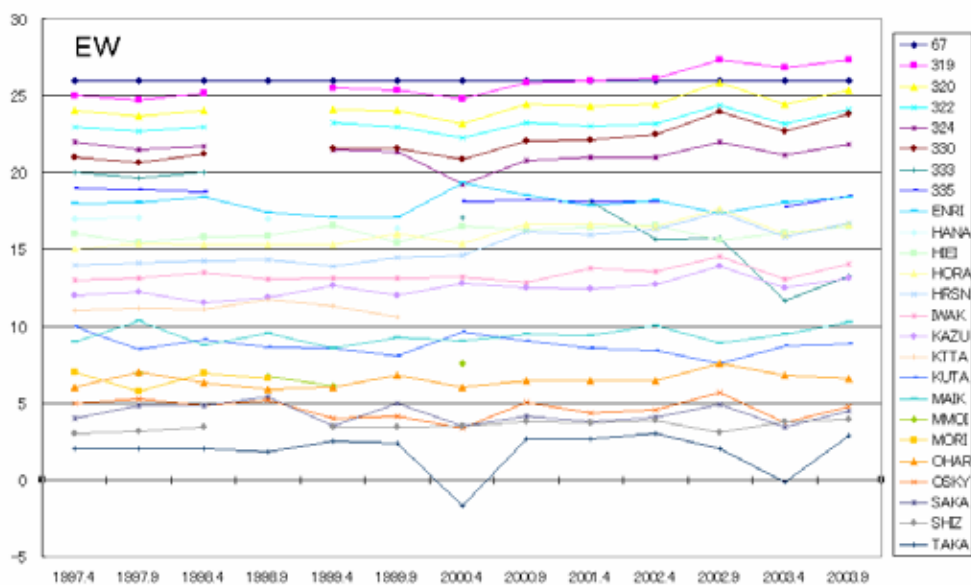


図 17 1997 年から 2003 年までの解析結果（東西成分）

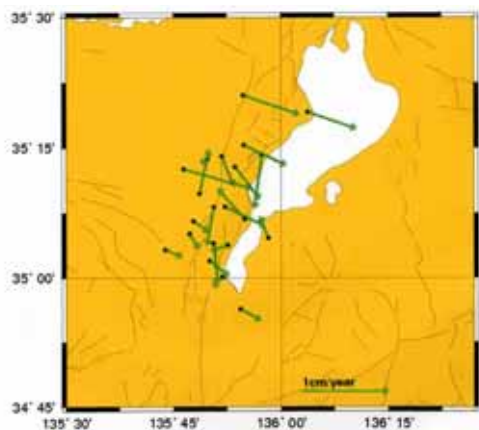


図 18 相対変位速度ベクトル
（1997 年～2002 年）

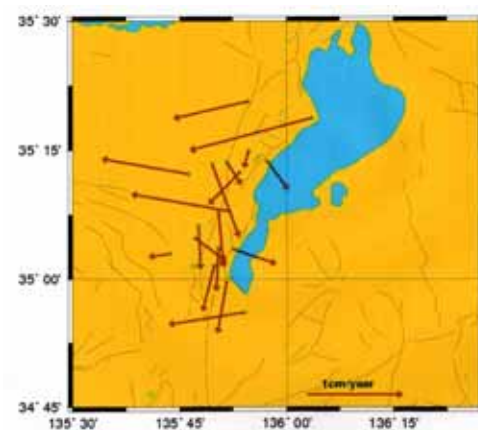


図 19 相対変位速度ベクトル
（2002 年～2003 年）



図 21 地殻変動観測点

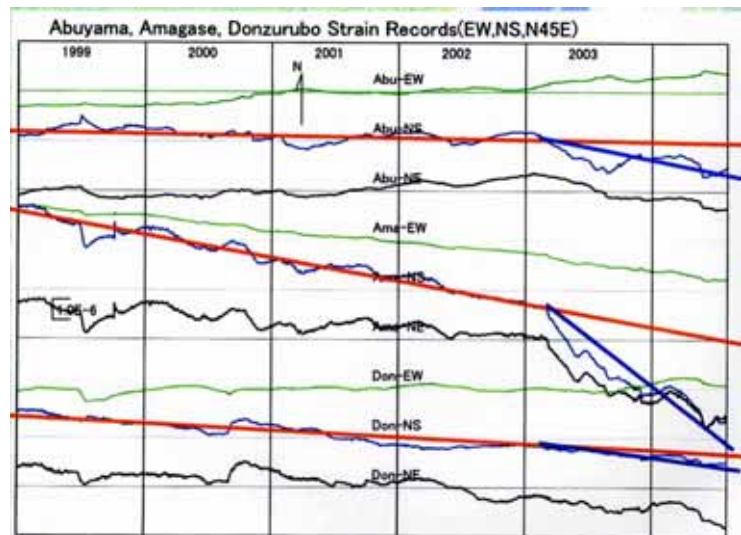


図 22 坑道内で観測された歪変化

■ 観測点に於けるトラブル、改良点など

長期に亘る観測ではいろいろな事が発生する。観測点「比良」では 2004 年、比良索道株式会社が突然会社の解散と営業中止を打ち出し、運行していたリフト・ロープウェイの営業中止、屋上を観測点としていた比良ロッジも営業中止となり、観測点を放棄せざるを得なくなった。

観測点「びわこバレイ」(写真 26)においては 2004 年夏、強風により山頂駅の屋根が吹き飛ぶ事故が起きた。間を置かず改修工事が行なわれたが改修業者が観測用ボルトの上まで屋根を掛けてしまい、この観測点も放棄せざるを得なくなった。



写真 26 びわこバレイ観測点

観測点「下阪本」では校舎の老朽化により建て替えが行なわれ、観測点が消滅した。近年建築される学校は屋根型校舎が多く屋上への取り付けが出来なくなる状況にあり、学校施設などでの観測点設置が難しい状況になりつつある。多点で観測をする場合このようなことは常におこり得るがあきらめざるを得ない。

また観測点「大原」では手作りアンテナ架台をゴルフ場玄関屋上に設置させていただいているが、利用客に対する景観への配慮から改善申し入れがありアンテナ架台にステンレスカバーを取り付け見栄えを良くする改修作業も行なっている(写真 27、28)、(図 23)。



写真 27 大原アンテナ架台

アンテナ柱覆い製作(案)
材質：ステンレス1mm厚板

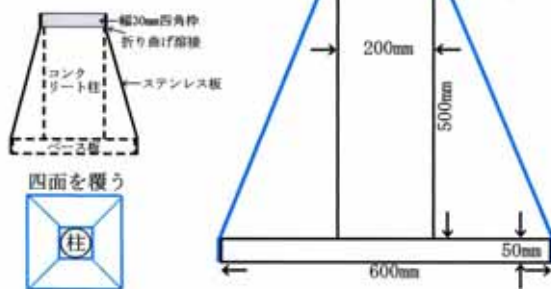


図 23 アンテナカバー製作図面



写真 28 アンテナ架台カバー

■まとめと展望

1997 年から観測を続けてきたが、諸般の事情により観測を断念しなければならない点が出てくるなど、観測を継続する事が難しい状況になりつつある。

観測結果では 2003 年春から測線長に傾向の変化がみられ、坑道内での歪観測においても異常と見られる傾向が続いている。このため今後は面的なキャンペーン観測とともに断層をまたぐトラバース観測による連続観測も実施する予定である（図 24）。

計画では、守山、堅田、大原、百井観測点を結ぶ北西—南東方向のラインに GEONET 観測点も加え約 7～8 点の観測ラインを設置する予定で準備を進めている。

トラバース観測を実施することにより傾向の変化がより詳細になることが期待される。

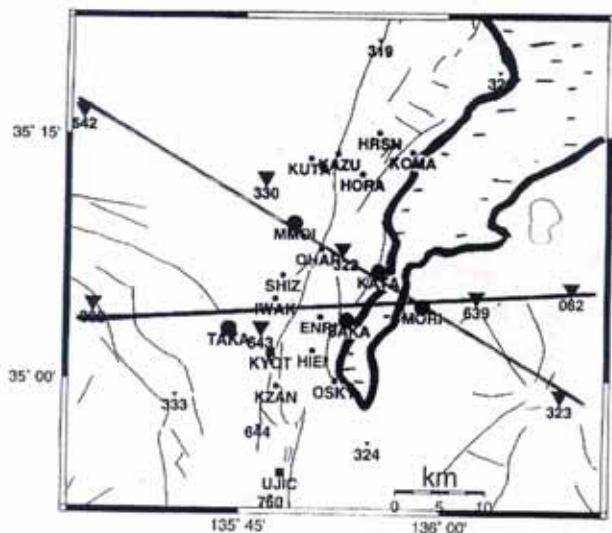


図 24 トラバース観測計画図

■謝辞

花折断層稠密 GPS 観測では、大津市教育委員会、志賀町教育委員会、京都市教育委員会、守山市教育委員会、それぞれの市、町の小中学校、京都市産業観光局農林部、比叡山鉄道株式会社、株式会社びわこバレイ、比良索道株式会社、八洲観光企業株式会社（京都大原パブリックコース）、左京区大原百井地区区有地など、多くの施設を提供いただきご協力いただきました。観測では技術室に所属する多くの技術員の皆さんにもお手伝いいただき助けていただきました。また、本報告を作成するにあたり地震予知研究センター、大谷文夫先生には資料の提供とアドバイスをいただきました。関係各位に深く感謝を申し上げます。

【参考文献】

Takeshi Sagiya ・ Shinichi Miyazaki ・ Takashi Tada(2000) Pure and Applied Geophys.vol.157 2303-2322

吉岡敏和・荻谷愛彦・七山太・岡田篤正・竹村恵二（1998）トレンチ発掘調査に基づく花折断層の最新活動と 1662 年寛文地震、地震 第 51 巻 83-97 頁

月刊地球(1999)—GPS：汎地球測位システム— 号外 No.25(1999)

橋本 学（2001）地震予知研究センターGPS 研修資料

土屋 淳・辻 宏道（1991）やさしい GPS 測量、日本測量協会

大谷文夫・細善信・中村佳重郎・重富國宏（2005）稠密 GPS 観測による花折断層南部の歪変化、測地学会講演要旨