

京大地殻変動観測に携わった 40 余年

大谷文夫

(京都大学防災研究所地震予知研究センター)

0. 初めに

先日、上賀茂観測所で Rebeur-Paschwitz 傾斜計が瓦礫の下から見つかったというニュースが関係者を驚かせた。この傾斜計はちょうど 100 年前から志田 順先生により同所で使われ、地球潮汐の日本最初の観測に成功し志田数の提唱につながった由緒ある測器である。この観測が京大地球物理における地殻変動観測の最初であったことは言を待たない。その後 100 年、京大で地殻変動研究に携わった研究者は多数に上るが、ここではその最後の 40 年を私自身が携わった内容を主にして振り返る。この期間、地殻変動観測、特に坑道内における連続観測についてはその全盛期を含む時期で、この研究集会に参加されている皆さんをはじめとする諸先輩方の多くの業績が数えられるが全貌を捉えるには任が重く、また最適な立場とも言えないと思うので現役を終える日の近い我が身の「まとめ」とお受け取りいただきたい。なお関連図は power point 図が別途公開されているので、本稿ではすべて省略している。さらに参考文献は本稿の性格から煩瑣となるので挙げていないが、特に私以外の研究内容に触れる箇所には必要に応じ著者名のみ記した。

1. 地震予知計画

この 40 年の歴史は地震予知計画を抜きにしては語れない。それ以前には研究者として触れることがタブー視されていたともいえる「地震予知」が、ブループリントの発行を経て公式に認知されたのは画期的なことといえる。ただ、事業として大学が関わることの是非についての議論も常に底流にあった。私自身の研究生活も気がつけばこの計画の枠の内外を歩んでいくこととなった。第一次 5 ヶ年計画は奇しくも筆者の京大入学年度 1965 年度に始まる。その後、この第一次のみ途中で見直し 4 年で次期の計画に引き継がれたが他はずっと 5 ヶ年計画を積み重ねてきた。この間、第一次において上宝・屯鶴峯、第二次計画で逢坂山・宮崎の各地殻変動観測所が設立された。筆者は当初宮崎観測所の助手として採用された。制度としては 1974 年度(第二次)に理学部地震予知観測地域センターが阿武山に設立され、さらに 1990 年(第六次)同センターと防災研究所の理学系地震関係部門が合併し防災研究所附属地震予知研究センターとなり各観測所も地震予知研究センター所属となった。1995 年には兵庫県南部地震が発生したが、これは未曾有の被害を出しただけではなく、予知計画にも大きな影響を与え、従来の予兆を見つけることを基本としたものから、科学的な基礎を固めていくものへと転換が図られた。

2. 宮崎観測所と日向灘地殻活動総合観測線

地殻変動連続観測点網のキャッチフレーズとして線状に配置する「地殻活動総合観測線」という

概念が導入された。これは移動性地殻変動という現象の検証という意味合いもあったが、実際にはブループリントで提案している面状の稠密配列は莫大な経費がかかり非現実的であることから、改善の策とし1次元のトラバースを張るということであった。場所は地震予知計画上の特定観測地域や観測強化地域をカバーするという趣旨で全国的な共通テーマとして取り組まれた。新規に開設された観測点は実際に線状配列をとったが、京大の場合、次項以下で述べるように既設点も多数あったことから、これらの点を束ねて「観測線」と名乗っている。近畿を中心とする西南日本に分布する京大の観測点は上宝・逢坂山を結ぶ「北陸近畿」と鳥取・阿武山を結ぶ「山陰近畿」という2本の観測線にまとめられ、屯鶴峯は両者の延長が交差する要として両方に属するという位置づけがなされた。各線ともそれぞれの衛星点を含んで構成されている。

日向灘地域はM7程度の地震が10年前後の間隔で発生する地域として知られ、京大でも槇峰で古くから地殻変動観測を行ってきたが、予知計画に従い1974年度に宮崎に観測所を新設した。この観測所を中心にして四国側の宿毛を最北点として既設の槇峰を含む計6点の衛星観測点を持つ「日向灘地殻活動総合観測線」が設置された。

3. 地殻変動連続観測

横坑内で伸縮計・傾斜計を使った地殻変動連続観測は西日本の約20点で続けてきた。研究者や技術職員の減少によりすべての点の継続は難しくまたその意味を考える必要があるので、全点のデータの質の点検を行った。潮汐解析および季節変化を各点で求め、気象条件による擾乱が著しい点や分潮比の期待値との差異が大きい点では観測中止または検討をしている。今後重点的な投資により観測の質の向上と統一を進めていく。

40年前は光てこ方式で動きを拡大したイメージをブロマイド印画紙に感光させる方法で記録をとっていたが、まず定速度で光電素子が移動する光電変換装置により受光部のみをデジタル化した(古沢・竹本)。筆者はイメージの追尾式を試みたが実用化に至る前にセンサー自体を電気出力することになった。現在、ハングアップからの自動復帰装置などを組み込んだ特製のデータロガーによる10Hz収録を標準とし、センサーである差動トランスやアンプもそれぞれ京大仕様の特注品に揃えつつある。測器自体に関しては、基準尺材質として、シリカ並みの低熱膨張率である超スーパーインバール(SI)を伸縮計基準尺に採用し、従来のSIとの熱膨張率の違いを観測データから立証した。また水管傾斜計では設置時の気泡除去に真空ポンプを使ったり、half-filled方式によるものを試作した。

4. テレメータおよびデータ処理

総合観測線では多くの遠隔観測点のデータをテレメータによって収録することも必須の要件であった。私の手がけた日向灘観測線のシステムは数年次にわたり購入した計測制御用のコンピュータ5セットをGPIBという汎用規格のインターフェースで相互にアクセス可能とし最後に全体を5連の19インチラックに納めたいわば手作りのシステムである。ソフトウェアは完全に自前で組んで構築している。この計算機システムはLANが一般化していない当時としてはユニークなものであった。テレメータ自体は専門メーカー製であるが、収録装置とのインターフェースは上記汎用規格を採用したので、次世代へ継承する際も相互の接続については技術的にも経済的にも問題発生が最

小限ですんだ。

データ解析に関しては擾乱の除去／信号の抽出と信号処理が 2 つの要素である。気象擾乱では雨の影響を時間の経過によって影響が減少する重み関数を使用した。通常、潮汐項は BAYTAP を使うと気圧依存項と同時に分離される。降雨の影響を受けている期間が非常に長いデータに対して、影響されていない部分のみを使って潮汐解析をするためには最少二乗法を適用した。潮汐フィルタとしては 36 時間長で時間値 15 個を使用する Pertzev が良く知られているが、記録モニタープログラムの作成過程で分値を使って 24 時間 12 分長で 8 データを使うフィルタを開発した。これは O1 分潮だけは Pertzev に劣るが、M2,S2,K1 については、Pertzev に遜色ないものである。データを捨てる期間が少ないためにモニター記録に適用するのに有効である。また地震後の余効変動を抽出するために余効変動項を追加したモデルを使用した BAYTAP の応用プログラムを作成して日向灘で発生した地震後のデータに適用した。最後のケースでは複数観測点で同一時定数の変動があれば震源周辺がソースと見做すという考えで探査したが残念ながらそのような地震時記録を見出すことはできなかった。また宿毛観測点の伸縮計には豊後水道のスロースリップが 1992 年、1998 年、2004 年と 6 年毎に記録されている。このうち'98、'04 の 2 回は GPS で空間的な広がりを確認されソースの推定もされたものであり、'92 年は宿毛観測点の記録のみであるが記録の類似性と周期性から同様な現象であったと推定したものである。この周期性から 2010 年に次のスロースリップの発生を予測していたが、丁度本稿執筆中(3 月 5 日)に国土地理院からスロースリップが昨年秋から起きていたことが確認された旨の発表がなされた。ただ、今のところ宿毛の伸縮計では今回のイベントの確認には至っていない。

最近のこの分野での京大の業績としては森井による「気圧変化による断熱変化が坑道や機器の温度を変化を発生させて連続観測結果に影響を与える」ことを示したことが、連続観測擾乱の除去や今後の観測所整備(付随観測機器)の指針となっている。また相次ぐ巨大地震、大地震時の記録に対して川崎他が地球ダイナミクス面からの解析を行い核構造の知見に迫っている。長期的なトレンド変化は兵庫県南部地震の前に見出されたほか、後に述べる丹波山地での 2003 年からの地震活動の静穏化と同期したものも見出された。その他宮崎などでも M6.6 地震発生の前後期でのトレンド変化が認められた。これらのうちいくつかは解釈されているが、まだ説明できていない現象も少なくない。テクトニックなひずみ変化については現在では国土地理院の GPS 観測網 GEONET で全国的にカバーされているが各地域毎には必ずしも細かく解析監視されているわけではないのでこの分野でも連続観測がもたらす情報を有効に利用していかなければならない。なお歪や傾斜観測のデータは全国データベースの試験運用が始まり、京大にもデータサーバが設置される予定である。ここ数年その準備や遂行のための研究集会を開催した。(H19 東大地震研共同研究集会＝代表大谷 など)

5. 測地観測

坑道内連続観測が周囲の広い範囲の歪を代表していることを検証するため、観測所の基本観測として宮崎地域および延岡地域に放射状の光波測量基線網を設置した。連続観測と光波測量の結果は主歪解で比較する。測線数は延岡が 4 本、宮崎は当初 8 本であった。宮崎の測線網はその方位に偏りがあり測線数に応じた精度の高い主歪解が計算できないために、途中から空白方向の測線 2 本を追加して飛躍的に精度を増した。この追加測線は地形的に元の観測基点からは伸ばせないため別途

離れた基点から測量を行っている。結果は時間的に多少の揺らぎがあるが、大勢としては連続観測と光波観測とは非常によく一致している。主歪値としては連続観測の方が少し小さめとなり、光波測量から求まる主歪値の方が大きくなる。これは、一般に信じられている坑道内観測が長期のドリフトに弱いという傾向とは逆であり、宮崎観測所坑道内観測の高い信頼性の証であると考えている。研究面では気象補正の精度向上をめざしさまざまなシミュレーションや2波長光波測量用の変調素子の基礎実験なども行った。1996年12月3日のM6.6地震の際には前日までに定期測量を終えており、地震後の再測量で地震時の測線長変化の観測に成功したことも特筆すべきことである。

光波測量はマンパワーが必要であり、継続が難しくなったため、2008年で中止し、後はGPS観測網で継承していく。これはGEONET点2点と独自に設置した3点とでほぼ正三角形を大小3個形成するネットであり、通常のGPS観測のように変位主体ではなく主歪解を求めるための網という考えに基づいている。GPSについては、私自身はこの他に花折断層稠密観測網の設置や、いくつかの地震後の臨時観測、海外での測量に参加した。

6. 近畿北部の異常変動

2003年から丹波山地の微小地震活動に静穏化がみられ、歪においても天ヶ瀬他の連続観測でほぼ同時期から歪速度に変化が生じた。この静穏化は兵庫県南部地震の前と類似の面もあり、地震・地殻変動両者に同期した変化であるため、注意して推移を見守ることとなった。この事態に対し、GEONETのデータではどのようなになっているかを調べた。筆者のとった方法は、近畿地方の相互の距離が約40km以下のすべての観測点の対に対して歪時系列をつくり歪速度の時間変化が途中で起きているかどうかを悉皆調査した。GPSデータは、ばらつきが大きいので、前後各10日の中間値(メディアン)をとったデータ系列に変換することでばらつきの小さい直線状のグラフが得られ、速度変化が明瞭に検出できるようになった。その結果、2002年後半期に変化時期をもつ測線が近畿北部の歪集中帯の地域に集中して現れ、しかもその歪速度変化量が方位に依存することがわかり、全体として(変化量が)シェアの場となっていることが明らかになった。この手法の有用性が明らかになったため、歪集中帯全域に同じ手法を適用して、新潟県中越地震の前の変動を検出し、また先に述べた豊後水道スロースリップの解析も行った。

7. 最後に

最初に述べたように京大では地殻変動分野の研究者が非常に多く、それぞれの研究者が独自のやりかたで観測研究を進めてきた。また観測計器の製作・開発にあたった技術職員も各自が誇りと自負を持って仕事を行い測器の改良などを進めてきた。それはすばらしいことではあったが、その結果ルーティン観測の標準化が遅れ、同一坑道内の3成分の計器がすべて違う構造という場合まで生じている。いわば「十人十色」という状態で、今回その「一色」の紹介に過ぎない。現在研究者・技術者がともに急速に減少する時期にあたり、それなりの方向性を持たす努力もおこなってきた。これからも基本観測に基づく地殻変動研究の重要性は今後も減ることはないと考えられ、新技術の発展をはじめとしてさまざまな条件が変化しているが、過去の「多彩」な面をふまえ、改めるべき点も多いものの、今後も基本観測に基づく研究は続けていきたいと望む。講演で述べきれなかったことも含めてまとめとしたい。