

阿武山観測所の地震計

2011年9月18日（関西なまずの会）

梅田康弘

（産業技術総合研究所客員研究員 京都大学名誉教授）

1. 阿武山観測所

この観測所は1930年（昭和5年）、京都大学理学部附属阿武山地震観測所として発足した。創設は志田順（しだ とし）で、志田は設立の前、ドイツのゲッチンゲン大学に留学している。ゲッチンゲン大学付属の地球物理研究所は、阿武山と同じ小高い山の上であり、やはり高い塔と横長の建物がある。阿武山観測所と瓜二つであるが、阿武山のほうが2倍くらい大きい。志田は帰国したらゲッチングンのそれにまさる研究所を作ろうと思ったのだろう。

2. ウイーヘルト地震計

阿武山で本格的な地震観測が始まったのは、観測所開所2年後の1932年（昭和7年）からで、最初に稼働したのはウィーヘルト地震計である。水平動は固有周期10秒、倍率170倍である。上部の振子を下部の支点が支える倒立振子で、振子の重量は1000kgある。支点は自在継手のような構造で、ひとつの振子で東西方向と南北方向のふたつの地動を記録できるようになっている。



図1 ウィーヘルト地震計。左：水平動，右：上下動

上下動の固有周期は 4.7 秒，150 倍である．鉄の箱に銑鉄を入れて重量 1300kg の振子になっている．この振子を前 4 本，後ろ 4 本の計 8 本の太いつるまきバネで吊るしている．機械式地震計の周期を長くするためには振子の復元力を小さくする必要があるが，振子を吊り下げている 8 本のバネとは別に小さなつるまきバネがあり，前者の復元力を小さくするように両者のバネが梘子で連結されている．また温度変化による記録のずれを補償するため，振子を吊っているバネとは熱膨張の違った亜鉛棒を用い，温度変化に対して逆センスに作用するよう，つるまきバネと梘子で連結している．ウイーヘルト地震計については立花健二・他に詳しい（参考文献）．

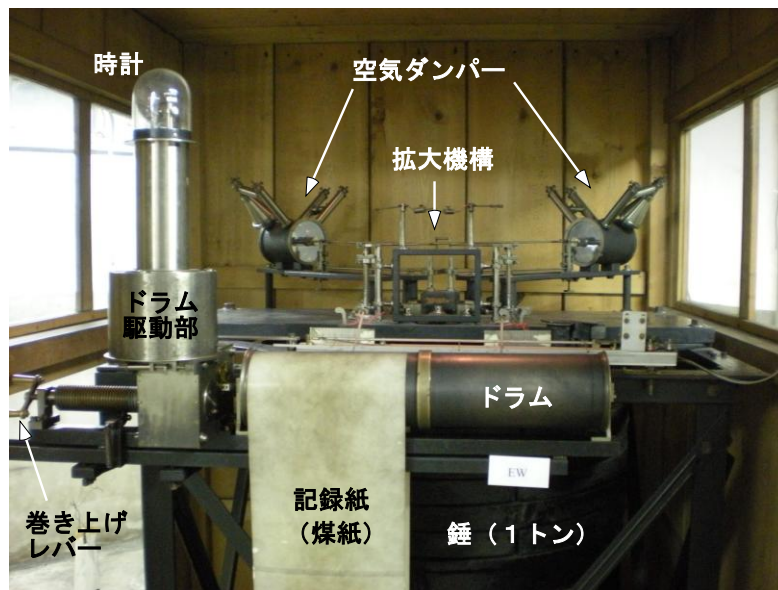


図2 ウイーヘルト地震計，図1の水平動の上部を拡大した

上下・水平とも制振器（ダンパー）はピストン・シリンダーを利用した空気ダンパーである．空気ダンパーの調節は非常に難しい．振子そのものの地面に対する倍率は 1 倍であるが，梘子による拡大機構によって前記の倍率を得ている．この倍率を得ようとするれば，拡大装置の摩擦に打ち勝つばかりか，それを無視できるほどの慣性がなくてはならない．そのため振り子の重量が 1 トンにもなっている．

記録は煤書き方式と呼ばれ，長さ 180cm，幅 20cm の白紙の両端を糊つけし，リング状にした後，石油ランプから出る煤を掛けたものを用いる．後には石油ランプからプロパンガスに変わった．記録紙を地震計の前面にある円筒状の駆動装置にセットすると，1 分間に 4cm の速さで記録紙が送られる．セットされた記録紙の上に描針（記録ペン）を降ろすと記録開始となる．描針を降ろした時刻を，年月日と共に手書きで記入する．1 分間くらいゼロ線を描かせた後，振子を僅かに動かして，記録紙上の振幅が 3cm～5cm になるようにダンピング記録を描かせる．これによって地震計の周期と周波数特性を知ることができる．

記録紙の駆動には地震計本体の横に設けられた錘の位置のエネルギーを利用してゐる．すなわちこの錘を人力で 1 日 1 回巻き上げ，それがゆっくり下がっていくことによ

って記録紙が送られるという仕組みである。一定の送り速度を得るため機械式の時計機構がついている。電気は使われていない。

この地震計は倍率と周期において当時としては画期的な地震計だったようで、世界中に広まった。ただ有感地震の多い日本ではこの地震計を安定して可動させるには、なかなか難しく、人の手も相当かかった。阿武山でも震度1か2の有感地震があると、拡大装置のアームがピポットから外れた。少しゆれが大きいと振子が傾いてストッパーに寄り掛ってしまう。その場合には1辺が1cmから4cmほどの、いろいろな重さの鉛の板が予め用意されていて、それを傾いた方向とは反対側に置いてバランスを取るようしていた。あるいは傾いた側にすでに鉛板が置いてあれば、それを取り去るなどして振子を中心に持ってくるようにしていた。東西・南北ふたつの成分を同時に中心に持ってくるためには、鉛板を置く位置や重さを変えながら試行錯誤で作業をしていた。さらに大きな揺れがあると、拡大装置が壊れたりエアダンパーのピストンとシリンダーが擦れるなどの故障が生じた。振子を支えているバネが損傷するなど、大きな修理の時のため、水平動の振子の下には木枠が組んである。通常はどうぜん振子と木枠は離れているが、作業の時はその間に木の楔を挿入して振子を木枠で支える。そして板バネなどの交換を行うようになっている。地震で板バネが折れたことは無かったと思う。組み立て図面は地震計室の壁に貼ってある。

ウイーヘルト (Emil Wiechert (1861-1928)) はこの地震計を製作するにあたって、設計図というか設計に至るまでの下書きを4冊ばかりのノートに記している。このノートはゲッチンゲン地球物理学研究所に保管されている。阿武山のウイーヘルト地震計は1928年(昭和3年)に、イリス商会を通じて購入されている。当時の物品管理票によれば水平動が¥4,000円、上下動は¥4,950円とある。日銀の企業物価指数によれば昭和のはじめと平成23年の貨幣価値の比は700倍だそうだから、現在の価格にすると水平動は280万円、上下動は347万円だろうか。

阿武山に残されている最初の記録は1929年1月2日の水平2成分である。3月には3成分の記録があるので上下動も組み立てられたようだ。しかしテスト観測だったのか、あるいは建物の建設が遅れたためか、翌年もその次の年もほとんど記録は無く、連続的に記録が残されるのは最初に述べたように1932年1月からである。

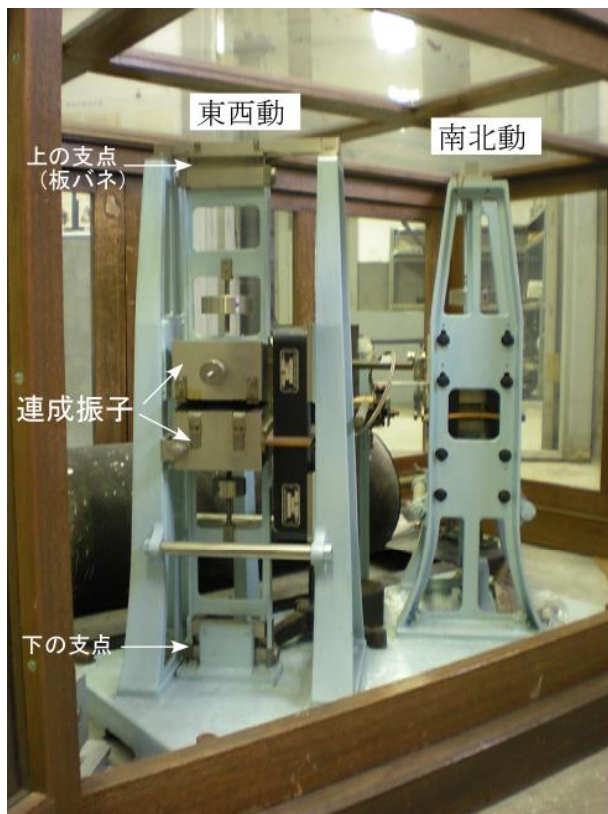
3. 強震計

ウイーヘルト地震計による観測が開始されてから3年ほど後の1934年12月に倍率5倍の地震計による観測が開始された。この地震計による観測は1954年7月まで20年近く続けられた。ウイーヘルト地震計のように当時としては高い倍率の地震計記録は毎日記録紙を保存したが、低倍率の強震計記録は地震の記録が無い場合は、記録紙の煤を刷毛で払って白紙に戻し、と言っても少しは黒ずんではいるが、紙を再利用していた。それでもこの地震計による記録は2000枚あまり残されており、その中には1943年鳥取地震(M7.2)や1948年福井地震(M7.1)の記録が含まれている。この地震計は現存しないのでどんな地震計だったのかは分からない。

5倍強震計の記録がなくなってから約1年半後の1956年1月から、現存する15倍の強震計が稼働する。この地震計は上から吊された振子と、倒立振子のふたつの振子が薄

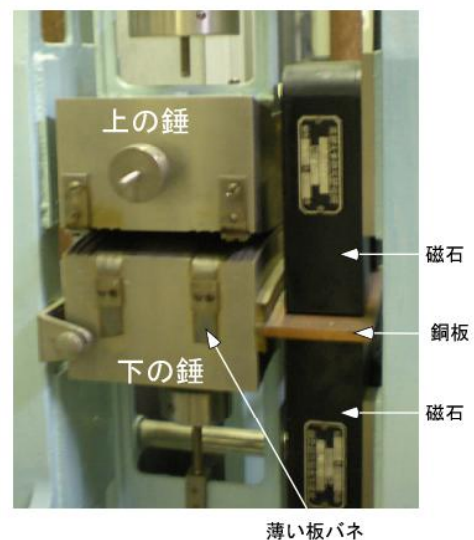
い板バネで連結されている。連結部分を横から見ると、たすきを掛けたようになってるので「たすき掛け」あるいは「たすき掛け連成振子」と呼ばれている。ふたつの振子を連結することによって他成分の影響を打ち消すことができる。強震動のように他成分が無視できない場合には有効である。連成振子にしても周期を伸ばす効果は無いが、単一振子で周期を伸ばした場合より安定しているという利点がある。阿武山に設置されているのは「松沢式連成振子」で、国産と思われる。

制振器として磁気ダンパーが使われている。図3の左図にあるように、振子に付けられた銅板を上下ふたつの磁石で挟み、磁場による制動をかけている。磁石と銅板との隙間を狭くするほど制動が強くなる。同図で上の錘の中央に丸いネジのような物が付いているが、これはゼロ調節する際のカウンターバランスである。これを調節してペン先がゼロになるよう調節する。ペン軸は麦わらである。軽くしなやかでよかったらしい。



左：強震計，水平2成分

下：錘とダンパー部分



板バネは横（上の写真で磁石側）から見ると、左図のように「たすき」をかけたようになっていて、ふたつの錘を連結させている。

図3 強震計。上から吊るした錘と下から支えている錘を，うすい板バネで連結させている。ふたつの振子はスイングするようになっている。

4. 佐々式大震計

地下室の1室を占める大型の地震計で1936年6月から観測が始まった。支柱の高さ2.5m，振子を支えるアームの長さも1.7mある。水平2成分のみで上下動は無い。記録紙を1箇所にとめるため，東西成分をアームで南北成分のところに寄せている。振子の重心位置で倍率は1倍だが，描針を伸ばしているので1.1倍となっている。安定した長周期地震計で，固有周期は24秒から27秒ある。

記録方式はウイーヘルトや強震計と同様、煤書きである。倍率が低く地震記録はめったに得られないが、長周期であるため 1960 年チリ地震など遠方の巨大地震を記録している。1943 年鳥取地震や 1948 年福井地震も振り切れることなく完全に記録した。残念ながら 1944 年東南海地震は欠測であった。1946 年南海地震の時は、記録紙はセットされていたが駆動装置が停止したままで、直線記録しか得られていない。

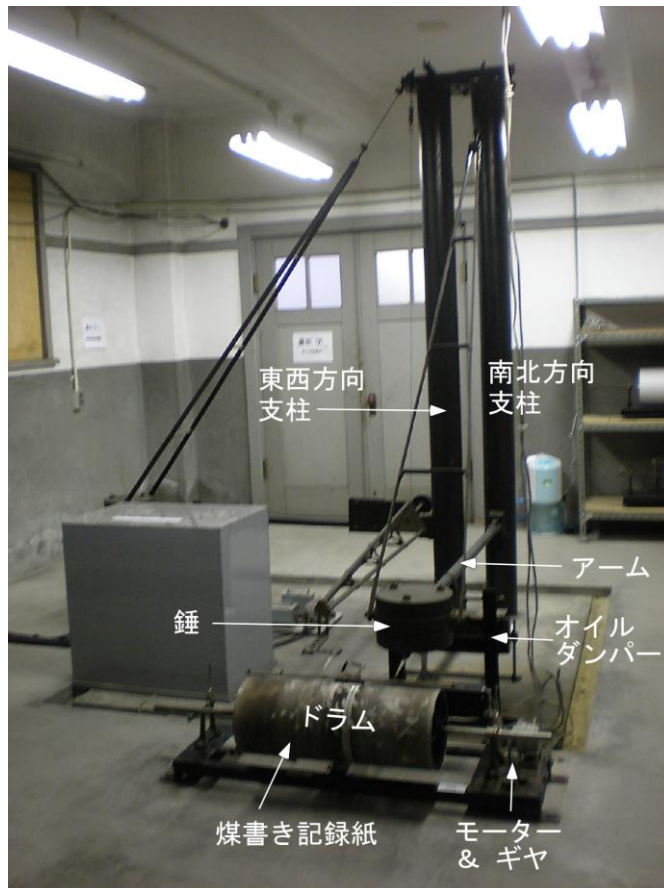


図 4 大震計。支柱の高さは 2.5m ある。

どの地震計の記録紙も当時は 1 日に 1 回交換していた。まず描針をあげ、回転ドラムを駆動部（モーターのギヤ）から外す。地震の記録が無いかどうか確認し、小さな波形記録でもあった場合は日時、観測所名を、煤の上からたいていマッチの軸で書いていた。ドラムに巻き付けられた煤書き記録紙をナイフで切る。クリップで両端を挟み、ゆっくり何にも触れないようニス付け室に運ぶ。煤書き記録は何かに触れたら消えてなくなるので細心の注意が必要である。定着用ニスはワニスを工業用アルコールで溶解したもので、これを予め大きな樋の形をしたニス皿に入れておき、そこに煤紙を通して記録を定着させる。

この地震計を作成したのは、阿武山 2 代目の所長佐々憲三で、その名が冠されているが、元々の設計は初代所長の志田順だったようだ。志田は 1925 年頃、地球の自由振動を観測するための地震計の机上設計の論文を書いている。三木晴男によれば、1883 年クラカトア火山の大爆発の際、噴火が 1 時間間隔で継続したことに、地球の自由振動の

観測を思い立ったようだ（三木晴男,1981）。志田の論文には図面は無く文章のみだったが、地震計の寸法は支柱、アームの長さ共に 2mと、現存する佐々式大震計とほぼ同じである。これを電磁式にして検流計に接続する計画で、検流計の高さも 2mほどだった。志田の論文は私の手元にはないが、Ben-Menahem（1995）の地震学レビューによると地震計の周期が 180 秒、検流計のそれは 1,200 秒（!）とある。しかしこの長周期高感度地震観測システムを稼働させるためには、温度の安定した地下観測壕が必要不可欠と、志田の論文の最後に記述してあった。

おそらくこの地下観測壕が観測所建物の西端（ガレージの北側）から掘削された横坑と思われる。横坑は観測所の裏の小高い部分の直下をめぐって掘り進められたそうで、林一（はやしはじめ, 2002）によると、掘削工事は出来高払いで、林さんは掘り出した土の重さを測っていたそうだ。横坑がある程度掘り進められたところで、到達予定の建物裏の小高い所からも縦穴を掘削し始めたそうだ。そこで石瓦に当たったという。その下には漆塗りの木棺があり、中に金糸があったことから貴人の墓と呼ばれているが、藤原鎌足の墓という説もある。志田は埋葬物を写真だけでなくレントゲン写真も撮っている。当時としては先進的である。レントゲン撮影装置は島津製作所製だったそうで、ガラスの乾板だった。

5. 電磁式地震計

佐々式大震計が観測開始した同じ年にガリツイン地震計による観測が始まっている。ガリツイン（Boris Galitzin, 1862-1916）はウーヘルトの 1 年後に生まれているのでほとんど同じ時期に地震計の開発をめざしていたことになる。ガリツイン地震計はウーヘルト地震計の 6 年後の 1910 年に世にでていますが、おそらく最初の電磁式地震計と思われる。

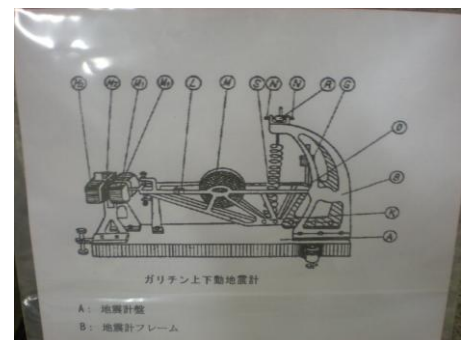
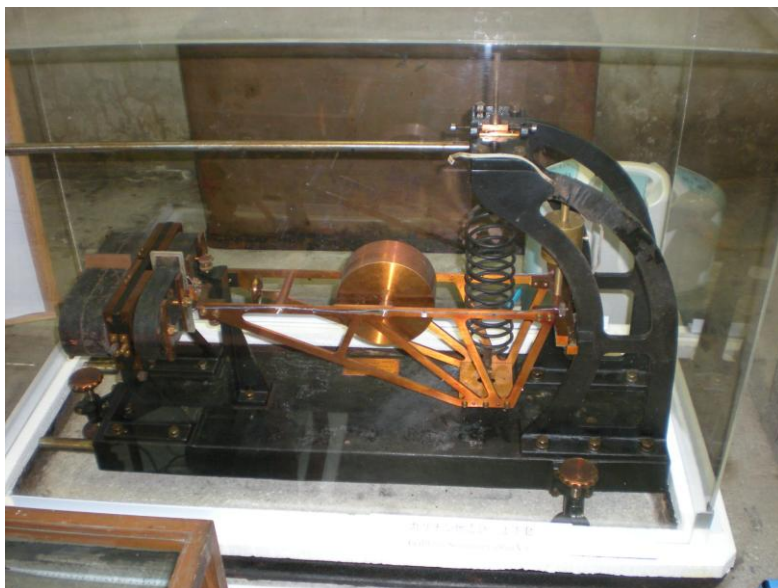


図5 ガリツイン地震計 上下動

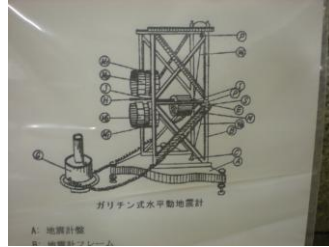
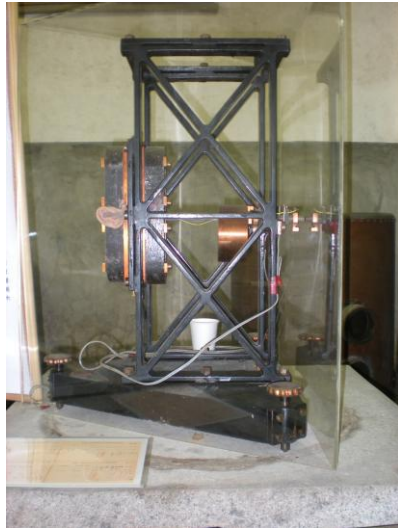


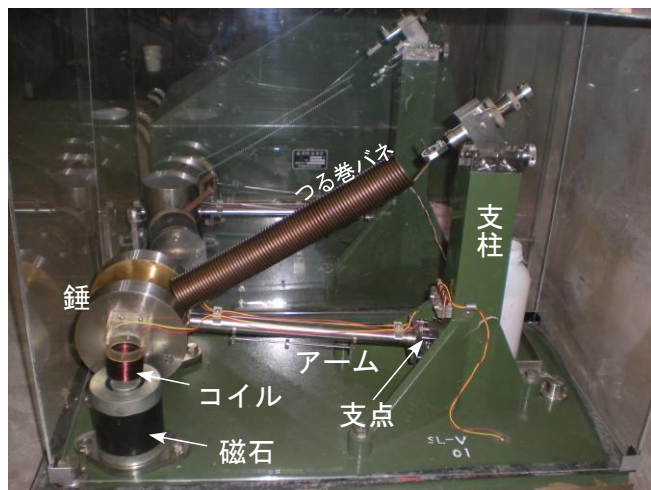
図6 ガリツイン地震計 水平動

阿武山にある物品管理票によれば、納入業者は Cambridge で、1 式 (3 成分) 価格 ¥8,376 円となっている。ウーヘルト地震計 (3 成分価格 ¥8,950 円) とほぼ同じ値段である。地震計には「The Cambridge and Paul Institute England Co. Ltd」という名盤が貼ってあるので、そこから直接購入したらしい。ただ、購入日は大正 12 年 7 月 15 日となっていて、上賀茂の番号が付いている。後に阿武山に移したようだ。地震計を封入する銅板製ケースは地球物理学教室の工作室で造られており、材料費 (銅板) の金額は 3 成分合計で ¥490 円、大正 13 年教室生産となっている。

阿武山では 1967 年まで使われていたが同年 7 月には次世代の電磁式地震計、プレス・ユーイング型地震計に変わった。現在ガリツイン地震計は透明プラスチックケースに入れられ、現在は地下室で展示されている。



前から見たプレス・ユーイング地震計



横から見たプレス・ユーイング地震計

図7 プレス・ユーイング地震計 左右とも上下動

プレス・ユース・イング地震計は上下・水平とも固有周期は 15 秒，検流計（ガルバノメータ）の固有周期は 120 秒である．電磁式地震計から出力される起電力によって検流計のコイルが回転する仕組みだが，復元力を小さくして周期 120 秒を得るために，コイルを吊っている銅線は非常に細いものだった．検流計は理化学研究所で作られていたが，最も細い銅線を，さらに指に粉をつけて削って細くし，周期 120 秒にしていたそうだ．この細い銅線に直径 6mm 程の薄い鏡が付いており，これに光源ランプからの光をあて，反射光をブロマイド紙に記録していた．長周期地震計記録には特有のノイズがあり，特に冬に大きくなった．上下動では地震計の中で空気の対流が発生し，振子を揺らしていることに気付いた（Umeda 1977）．さっそく地球物理学教室の工場で作って封入し，空気を抜いたら，数十秒の大きなノイズは消えた．水平動は土地の傾斜を書いていることも分かった．

1972 年に地下観測室（横坑）が完成し，プレス・ユース・イング地震計は 3 成分とも耐圧カプセルに入れ地下観測室に設置した．1978 年には検流計が変わって電子回路による増幅装置が開発され（梅田）記録方式もブロマイドからペン書き記録紙になった．佐々式大震計には振子部に電気変換機を取り付け，増幅器を通してペン書きに変更した．ウーヘルト地震計や 15 倍強震計も順次，等価地震計が開発され，ペン書きになった（梅田康弘・他，1992）．これらに伴いウーヘルト地震計の煤書き方式は 1991 年に停止した．これで建物地下室の地震計はすべて電気変換され，ペン書きになったと同時にデジタル記録用の出力も持つようになった．

1990 年に阿武山地震観測所が京都大学防災研究所地震予知研究センター附属になったことから職員は順次宇治地区へ転勤した．また高感度地震計や広帯域地震計が設置されたこともあって，地下室で観測していた地震観測は 1996 年末で終了した．現在は地下観測室（横坑）で高感度地震計と防災科学技術研究所の STS 地震計が稼働している．



図 8 検流計（ガルバノメータ）



図 9 光学式記録装置．

6. 刻時，煤掛けなど

煤書き記録の刻時は，磁石で描針を持ち上げる方式で，記録上では線が途切れるようになっている．時と分の区別がつくように，描針があげられる時間が前者は長く，後者は短くしてある．光学式印画紙（ブロマイド）の場合も同様で，光源を遮ることによって刻時するようになっている．ウイーヘルト地震計は刻時装置を持っているが，他の地震計記録には振り子時計からの信号を使っていた．1950年以前の刻時の精度は，P波の着震時で震源決定できるほどはない．年ははっきりしないが，少なくとも1950年代には，観測所の振り子時計（親時計と呼んでいた時計）の出力と，JJYかNHKの時報を整流した信号とを同時に煤書き記録し，両者の差を ΔT として，地震記録の読み取り時刻を補正していた．1960年代には親時計には水晶時計が採用された．水晶時計は格段



図 10 時計

に正確ではあったが，P波の着震時で震源決定できるほどの正確さを得るには，やはり ΔT の記録は必要だった．1970年代に親時計がデジタル時計になり，毎時自動校正されるようになって，ようやく ΔT の記録は廃止された．

煤書きの記録紙はドラムに巻かれた白紙に石油ランプから出る煤を掛けて作る．ランプの炎を調節し，ドラムを回転させながら，煤が均一にかかるようランプを動かす．慣れないと，掛けた煤に濃淡ができたり，ひどいときは紙を焦がす事もある．これを一挙に解決したのが，プロパンガスの使用だった．記録紙の幅（約25cm）の長さで，直径3cm程の鉄のパイプに，直径1mm以下の細かい穴を縦方向1列にたくさん開ける．火口の細かいガスコンロをまっすぐにしたようなものである．これにプロパンガスを通して点火すると細かい穴から炎が出るが，穴が細かいと不完全燃焼を起こし効率よく煤を出すことができた．石油ランプのように動かさなくても，ドラムを回すだけで簡単に煤が掛けられるようになった．これは黒磯章夫の発明で，製作は地球物理学教室工場の森本喜一郎だった．

煤紙を定着するニス（工業用アルコール）で溶かされているので、蒸発させないため、使用後は漏斗で一升瓶に移していた。このめんどろさを解決してくれたのが、ニス皿の底と5リットルくらいのポリタンクをゴムホースで繋ぐという簡単な仕掛けだった。定着用ニスはポリタンクに保存しておき、ニス付けする時はポリタンクをニス皿の高さに置くと自動的にニスが皿に出る、使用後はポリタンクをニス皿より低い位置に置けば自然にニスはポリタンクにおさまる。極めて簡単。これも黒磯の発案だった。

記録がインクペン書きの時代になっても、いかにペンを細くし、記録がかすれないようにするかなど様々な工夫がなされた。

7. 記録と観測報告

阿武山の地下室で記録された記録用紙はすべて建物東端の記録室に保管されている。ウイーヘルト地震記録の読み取り結果（phase data）は1934年1月からひとつの地震につき1枚のカードに記録されていた。1985年頃に伊藤潔が、桐の箱に納められていたカードを整理し、リストにして印刷出版した（MIKI H.,1987）。この読み取りカードは1957年3月までであるが、1943年～1946年は欠測が多い。

1952年からは「SEISMOLOGICAL BULLETIN ABUYAMA」が半年毎に印刷され、世界の地震関係機関180カ所あまりに送られた。ブレティン作成手順は伊藤勝祥（1995）に詳しい。伊藤はブレティン出版の前に、速報値をイギリスの国際地震センターに送っていた。このブレティン出版も地震観測が終了した1996年に終了した。

1984年から3年掛かりで、ウイーヘルト地震計及び5倍と15倍強震計、佐々式大震計記録、33,000枚余りを整理し、マイクロフィルムに収録した。ウイーヘルトは観測開始から1963年まで、他の地震計記録はすべて収録した（MIKI H.,1987）。2008年頃に、（財）地震予知総合研究振興会によって阿武山に現存するすべての地震記録がデジタル化された。



図 11 ウイーヘルト地震の制振器
ピストン・シリンダー型の空気制振器
（エアダンパー）



図 12 ウイーヘルト地震の支点
東西・南北、2方向に動く

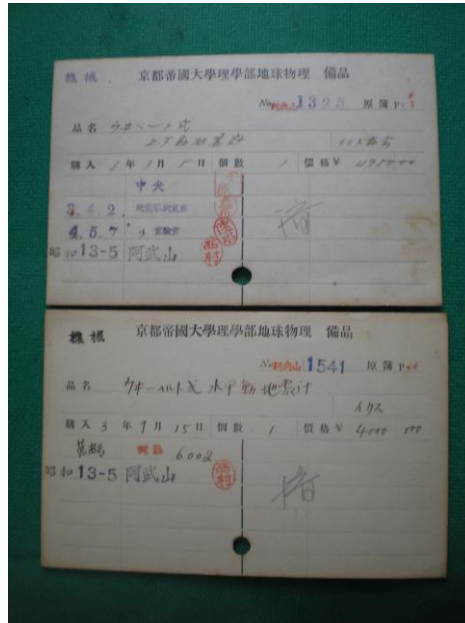


図 13 ウイーヘルト地震計の物品管理票

参考文献

- Ben-Menahem, A., 1995, Review, a concise history of mainstream seismology : origin, legacy, and perspectives, Bull. Seismol. Soc. Am., 85, 1202-1225, .
- 萩原尊禮, 1982, 地震学百年, 東京大学出版会
- 林 一, 2002, 京大阿蘇火山研究所阿武山地震観測所草創期物語.
- 伊藤勝祥, 1993, 阿武山観測所の大震計について, 京大防災研技術部通信, No. 8, 2-5
- 伊藤勝祥, 1994, 阿武山観測所の長周期地震計 (ガリチン) 記録について, 京大防災研技術部通信, No. 22, 2-3
- 伊藤勝祥, 1995, 地震観測報告について「SEISMOLOGICAL BULLETIN ABUYAMA」の作成, 京大防災研技術部通信, No. 22, 2-5
- 伊藤勝祥, 1996, 阿武山地震観測所の歴史, 京大防災研技術室通信, No. 50, 2-3.
- 三木晴夫, 1981, 日本の地震学百年の歩み, 京都大学理学部, 地震 ii, 34-特 157-160.
- MIKI H., 1987, Microfilm of Historical Seismograms at Abuyama Seismological Observatory,
- 杉政和光, 2001, 阿武山地震観測所について, 京大防災研技術室報告, No. 3, 73-78.
- 立花健二, 鈴木和司, 増田忠志, 石川秀蔵, 鳥居龍晴, 松下幸司, ウイーヘルト地震計の修復について.
<http://www.tech.nagoya-u.ac.jp/event/h19/web/Dk202web.pdf>
- Umeda Y., 1977, The Predominant Noises of Long Period Seismographs and their Generating Mechanism, J. Phys. Earth, 25, 103-116.
- 梅田康弘, 伊藤勝祥, 斎田市三, 1992, ウイーヘルト地震計と等価な地震観測装置. 防災研究所年報 35 号 B-1, 291-298.