

地震計の写真に見る気象庁の地震観測の歴史

濱田 信生*

Photographs of Seismographs used for the Seismological Observation
by the Central Meteorological Observatory and Japan Meteorological Agency

Nobuo HAMADA

(Received January 20, 2000 : Accepted February 7, 2000)

1. はじめに

気象庁では近年、地震記象紙の保存活用を目的として、マイクロフィルム化を進めており、これまでに気象庁が保有する地震記象紙で現存する記象紙の半数の約80万枚のマイクロ化が終了している。マイクロフィルムは、本庁、気象研究所、各管区気象台に保管されているが、近年大学や各種研究機関の研究者の利用が増えつつある。これは利用しやすい体制が整ってきたことその他、古い地震記象をデジタル化して、インバージョンなど最新の震源過程解析手法を応用し、過去の地震の震源過程を明らかにしたり、その結果に基づき当時の強震動を再現する研究が盛んになってきたことによるものと考えられる。被害をもたらすような大地震は、多くの気象現象と異なり、再現性の乏しい自然現象であり、このような古い資料の重要性を示すものと考えられる。

しかし各種の古い地震記象がこのような形で活用されることは、観測に携わった先人達の想像を越えるものに違いない。1961年から導入された地震観測データの電子計算機処理にしても、その後過去の資料に遡っても処理が行われているが、このような事態は予想されなかったであろう。同様に地震記象紙が作成される時点では、今日の解析に必要な情報を残す必要性は、十分認識されなかったとしても不思議ではない。例えば多くの官署の記象紙には、官署名や地震計の種類すら記入されていない場合が大部分である。そのため後世解析に携わる研究者がまず直面するのは、地震計の常数など解析に必要な情報をどのようにして確保するかという問題であり、地震計の特性に関する質問を多く受けるようになった。極く限られた官署では、これら諸元が記象紙や地震観測原簿に記載されている場合もあるが、一般的には解析に必要

な情報がない場合が多い。もし観測に用いられた地震計などの実機が保存されていれば、それを調査することにより必要な手がかりが得られるのであるが、気象庁で観測に使われた器械は、観測が中止された場合、棄却廃棄され、実機は勿論写真すら残っていないことも珍しくない。例えば、気象庁の代表的な地震計であったウィーヘルト地震計は、気象官署では筑波の気象測器参考館と、松代の精密地震観測室に保存されているのみである。その他の各種の簡単微動計や、強震計の実機の多くは保存されておらず、わずかに地震観測法に写真や図面が記載されているだけの場合もある。このような状況では、地震計に関する写真だけでも地震計の特性を調査する一助になる可能性があることから、気象庁で今まで使われてきた地震計の写真を整理編集し紹介することにした。地震計の電子機器化、ブラックボックス化が進んだ今日、多くの職員にとって地震計を扱ったり認識する機会が極端に減少してしまっており、この報告が地震計に関する認識を深める一助になれば幸いである。

気象庁における地震観測の歴史、特に観測に用いられた地震計は、各時代の地震観測法(指針)に取り扱いが記載されている他、宇佐美・浜松(1967)や浜松(1981)による解説がある。特に浜松(1981)には多くの地震計の写真や図が掲載されている。また機械式の地震計に関する研究調査については小野崎(1958)が文献目録を作成しており、地震計の図や写真の掲載されている文献を調べることが出来る。このため、この報告ではこれらの文献の引用で済む部分、特に浜松(1981)に紹介されている地震計の写真や説明と重複する部分は最小限にとどめた。また世界標準地震計(WWSS)など著名で、色々な文献に出ている地震計などについての紹介は割愛

*気象庁地震火山部地震予知情報課

した。地震月報に地震計の周波数特性が記載されている地震計については、出来るだけ略号を示した。

2. 各種の地震計の写真や図

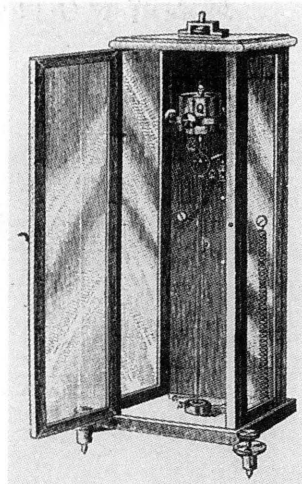
2.1 パルミエリ地震計 (Palmieri Seismograph)

パルミエリ地震計は気象庁の前身である内務省地理局の気象掛により、地震観測に用いられた最初の観測器械である。その概要はKikuchi (1904), 浜松 (1966), 浜松 (1981) などに紹介されており、地震計というより地震の起きたことを検知し、時刻を記録する感震器の一種である。イタリアから2台が輸入され、東京の地震観測に1875年から使用され、少なくとも1883年までは観測に用いられていた。この地震計の実物、写真とも国内には、現存しないが、Rose (1993) にはイタリアで復元保存されている器械の実物写真が掲載され、Istituto Nazionale di Geofisica (イタリアの地球物理研究所) (1992) には、写真に加え詳しい解説が載せられている。

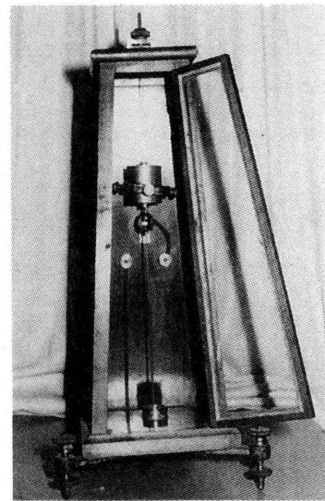
2.2 感震器及び簡単地震計 (Seismoscope)

簡単地震計は、水平動の揺れを拡大してその2次元の軌跡を煤をつけたガラスの板の上にひっかいて書かせるものであり、ミルン (Milne) 式と関谷式があり大森 (1905) からの図は浜松 (1981) に転載されている。なお簡単地震計、簡易地震計という呼び方は、ドラム上に記録を書かせる本格的な地震計の嚙矢ともいえる銚 (かすがい) 形感震器やグレー・ミルン・ユーイング地震計 (普通地震計) にも使われている可能性があり、気象官署の観測履歴などの記述については、どの地震計を指すのか解釈にあたって注意が必要である。

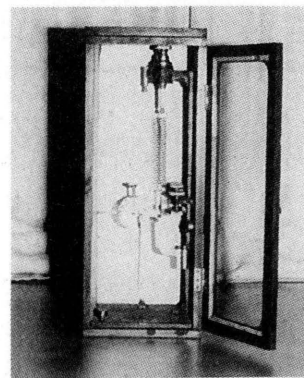
感震器は、地震を感知した後に記録ドラムを動作記録させる方式の銚形感震器や、グレー・ミルン・ユーイング地震計の記録スターターとして用いられた。常時ドラムが回転して地震計の記録が連続的に得られるいわゆる不断観測 (連続観測) に変わった後は、観測員に地震の発生を知らせる感知器としてもっぱら使われるようになった。第1図は中央气象台地震観測法 (1915) に載せられた感震器の外観のスケッチであるが、1960年代まで長く使われていた (第2図)。第3図は感震器の振り子が上下動のもので、仙台で1960年代まで使われていたものである。第4図は1950年代初頭に気象測器工場で作製され、河口湖測候所に配布された51型感震器である。原理や構造は、グレー・ミルン・ユーイング地震計当時の感



第1図 大正4年の地震観測法に掲載されている感震器のスケッチ



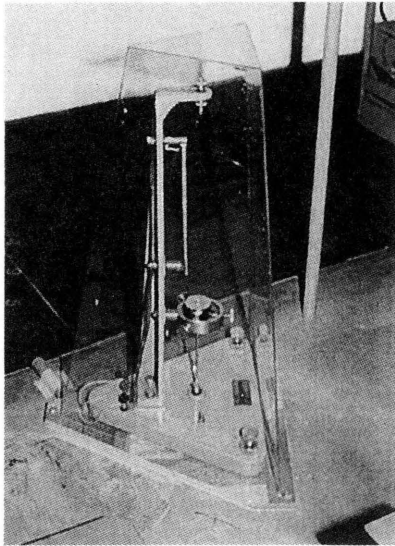
第2図 仙台の水平動感震器



第3図 仙台の上下動 (ユーイング振り子) を用いた感震器

震器とまったく変わることがなく、半世紀以上たって再び製作されたということは驚べきことである。

59型直視式地震計など地震計に感震機能が内蔵されるようになると感震器の役目は終わりを告げた。



第4図 気象測器工場で製作され河口湖測候所に配分された51型感震器

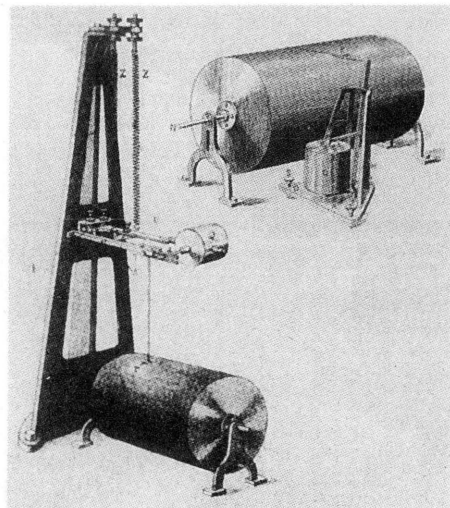
2.3 錠形験震器 (Bracket Seismograph)

錠形験震器は、ドラム記録方式の最初の地震計であり、国内で開発された各種地震計の原器とも言えるものである。またグレー・ミルン錠形地震計とも呼ばれ、錠形験震器用法書が東京气象台(1886)から発行されており、全国の測候所でかなり使われた地震計であるが、次のグレー・ミルン・ユーイング地震計との区別はあまり明らかでない。この地震計については写真は発見されておらず、浜松(1981)も錠形験震器用法書の図を引用している。しかし錠形の振り子の構造は、次のグレー・ミルン・ユーイング地震計の初期のものと大変よく似ており、大きな違いはないものと考えられる。この錠形験震器により得られたドラム記録の地震計記録紙は東京に現存する。なお气象台で最初の地震計の取扱い説明書といえる錠形験震器用法書の著者の一人である朝倉慶吉氏は、大正12年の関東地震当時の横浜測候所長で、震災により殉職している。

2.4 グレー・ミルン・ユーイング地震計

グレー・ミルン・ユーイング地震計は、大正4年の中央气象台地震観測法(以後観測法と略す)に現れる呼び

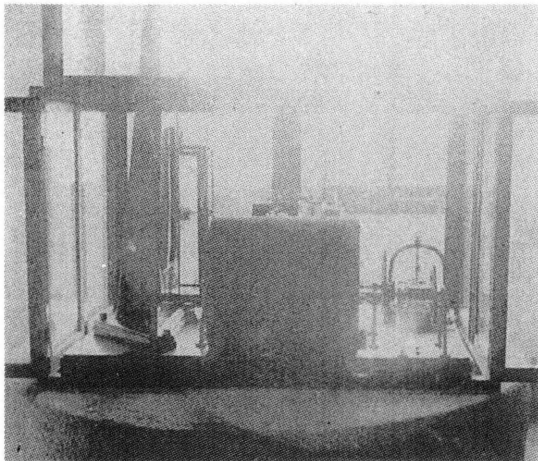
名であり普通地震計 (Ordinary Seismograph) あるいは、グレー・ミルン地震計とも呼ばれている。振り子の錘は2kg程度、周期が3～5秒、倍率が5倍(水平動)、10倍(上下動)と低いことから、官署によっては、ミルン式強震計とかグレー・ミルン強震計という呼び方をされていたようである。なお昭和52年の観測法には、簡単微動計のことが普通地震計と称して記述されており、1950年代に気象測器工場で設計された最後の機械式地震計にも普通地震計という呼び名が用いられており紛らわしいので、ここではグレー・ミルン・ユーイング地震計と呼ぶことにする。この地震計の写真は気象学会(1893)、Kikuchi(1904)に写真が紹介され浜松(1981)もそれを引用している。气象台で観測に用いられた実機は現存しないと思われる。第5図は観測法にある振り子の図面であるが、写真は第6図に示した松本測候所に保管されている不鮮明なガラス乾板しか確認されていない。第6図からも左側背の高い上下動振り子の支柱とその奥にある感震器、記録ドラムの奥に頭が見える水平動振り子の錘、右側に見えるドラム駆動のための调速機構など同地震計の特徴を認めることが出来る。松本の地震計は、水平動振り子の位置が高く気象学会(1893)の写真とよく似ており、また外形も錠形験震器の水平動の振り子によく似ており初期のものであろう。興味深いのは地震計台が円形であることである。同様の円形地震計台は、岐阜測候所にもあったことが確認されており、円形地震計台はこの当時の一つの標準型であったと思われるが、その由来等の記述は見つかっていない。この地震計は、



第5図 大正4年の観測法に記載されているグレー・ミルン・ユーイング地震計の振り子の図

後に改良され、倍率以外は、ほとんど同じ構造を持った大森式強震計 (2.14 参照) として使われるようになった。

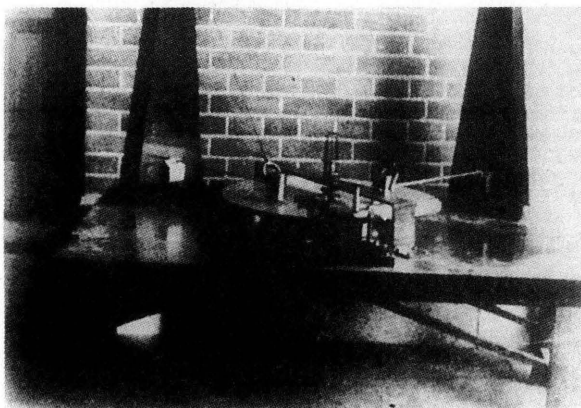
なおRose (1992) を見ると、イギリスに保存されているグレー・ミルン地震計は記録ドラムの回転軸が垂直である。ミルンがイギリスに帰国した後に製作された改良型と考えられるが、日本国内にも同様の地震計が使われていたかどうかは、明らかではない。東京で観測に使われた同地震計は記象紙が3種類あることから、すくなくとも3種類の型があったものと考えられる。



第6図 松本測候所のグレー・ミルン・ユーイング地震の写真

2.5 ユーイング地震計 (Ewing Seismograph)

ユーイング地震計は、銚式の水平振り子2成分の動きを円盤の上に記録するユニークな構造を持っている。形がユニークなことから色々な文献で紹介されているが、第7図は東京帝国大学地震学教室 (以後地震学教室と略す) の物である。この地震計は中央気象台 (東京) で観測に用いられ、1894年から1902までの青写真による記録のコ



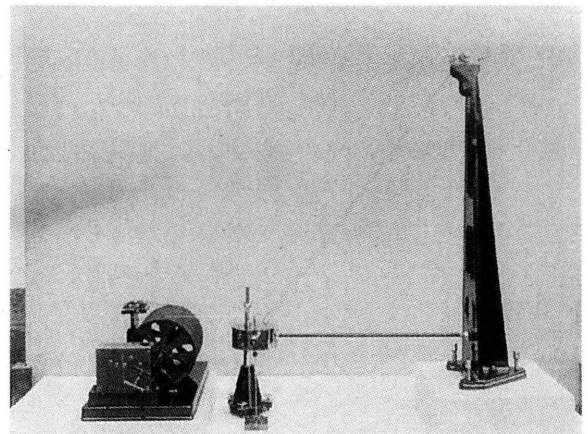
第7図 東京帝国大学地震学教室で用いられた円盤記録のユーイング地震計

ピーが現存している。地震学教室で用いられた3成分の地震計が国立科学博物館に保存されている。

2.6 大森式地動計 (Omori Seismometer)

いわゆる大森式地震計には、地動計と微動計に区別される。

大森式地動計は、グレー・ミルン・ユーイング地震計の固有周期が3秒前後と短かったのに対し、グレイ式の重さ10～15kgの振り子を用いて固有周期を20秒から30秒に延ばした機械式の長周期地震計の始まりと言えるものである。倍率は20倍位で用いられた。またこの地震計から初めて起動器を用いた連続記録が取られるようになった。この地震計は、大森 (1905) により解説されており、明治の30年代から気象台で使われるようになった。第8図は地震学教室で使われた同地震計の写真である。振り子の下に周期を延ばすための倒立振り子の機構が取り付けられているが、気象台で使用された同地震計にはこの機構は取り付けられてなかったと思われる。制振器は当初なかったが、気象台で用いられたものは地震観測法 (1936) の第9図に示されるように、電磁式の制振器が取り付けられた。この地震計は松代その他で観測に用いた実機が保存されている。

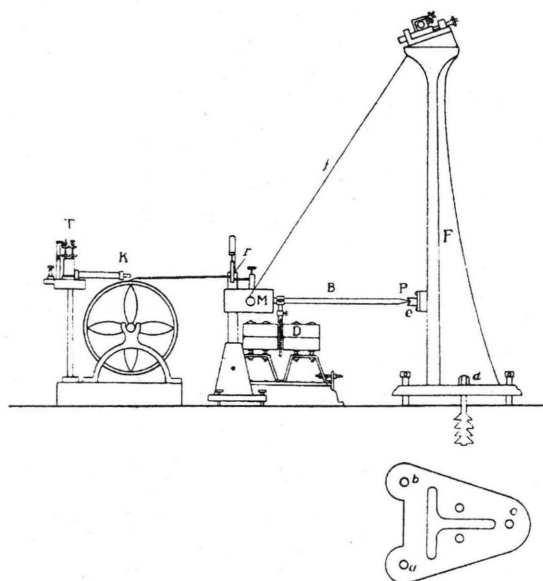


第8図 東京帝国大学地震学教室で用いられた大森式地動計

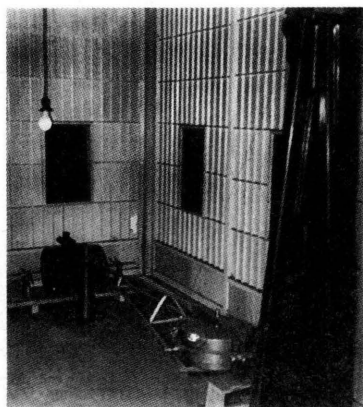
2.7 大森式微動計 (Omori Tremometer)

大森式微動計は、大森式地動計と似た外観を持っているが、振り子の長さを短くして固有周期を5秒前後と短くした代わりに、梃子を用いて倍率を100倍程度まで上げている。そのため梃子の摩擦にうち勝つため50kg程度の重い錘を用いている。第10図は軽井沢測候所で使われ、松代に保存されている物 (アレス商会製) の写真である。

気象台で用いられた大森式微動計は、地震観測法（1915）の第11図にあるような油制振器が取り付けられたが、地

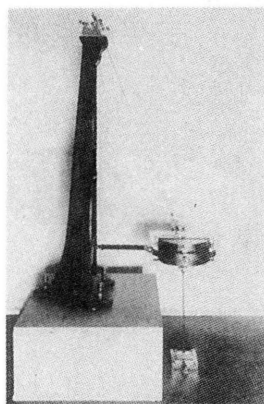


第9図 昭和11年，昭和15年の地震観測法に掲載されている大森式地動計の図



第10図 軽井沢測候所の大森式微動計

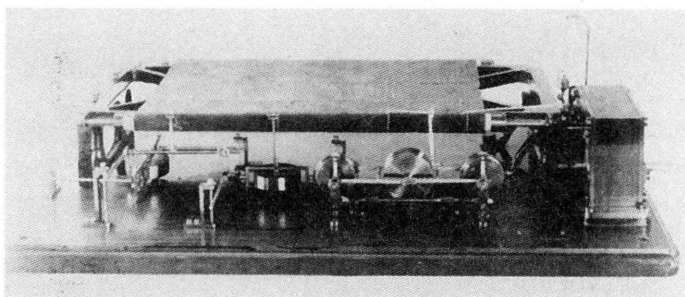
震学教室で使われた物は第12図に示すように振り子の下に固有周期を延ばすための倒立振り子の機構が取り付けられているだけで制震機構はついていない。



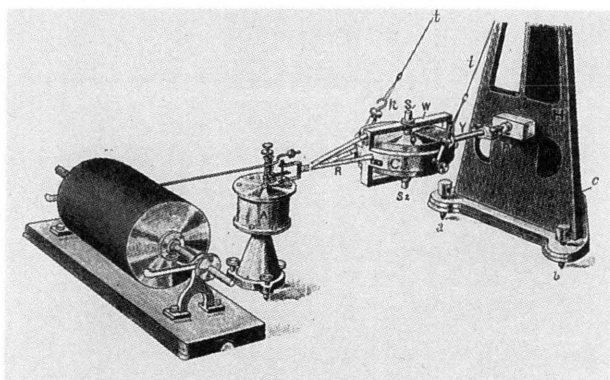
第12図 東京帝国大学地震学教室の大森式微動計の振り子

2.8 田中館大震計

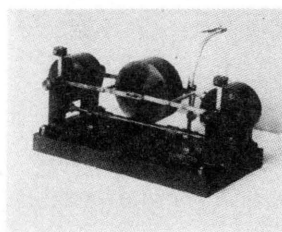
中央気象台（東京）では、他の気象台、測候所では使われることの無かった色々な地震計が、いわば試験的に観測に用いられていた。田中館大震計もその一つであり、地震観測法（1915）に説明があり、明治後期から大正時代にかけて1倍の強震計として観測に用いられた。第13図及び第14図（上下動）は、地震学教室で用いられていた同地震計の写真であり、気象台で使われた実機は現存



第13図 東京帝国大学地震学教室の田中館式大震計，手前右側が上下動，左側が水平動振り子



第11図 昭和11年，昭和15年の地震観測法に掲載されている大森式微動計のスケッチ

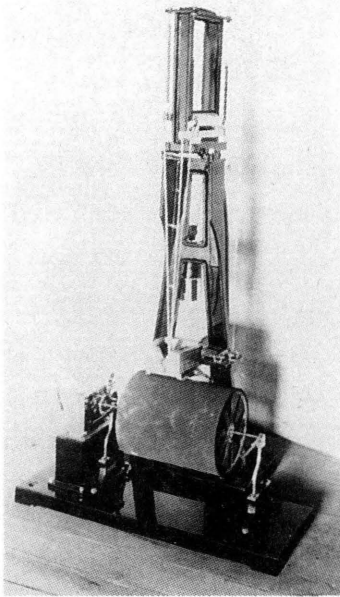


第14図 田中館式上下動振り子

しないが、国立科学博物館に地震学教室で使用されたものが保管されている。東京の記象紙は現存する。

2.9 田丸式上下動地震計

田中館大震計と同じく東京の地震観測に用いられた地震計であり、やはり地震観測法(1915)に取り扱いの説明がある。第15図は、地震学教室で用いられた同地震計の写真である。東京の記象紙は現存する。



第15図 東京帝国大学地震学教室の田丸式上下動地震計、

2.10 各種の簡単微動計

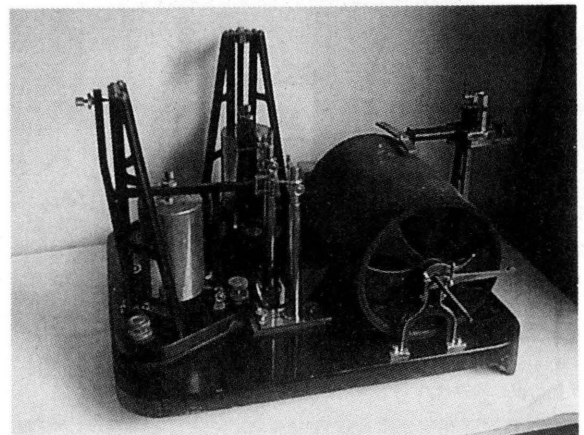
簡単微動計 (Portable Tremometer) は、水平振り子2成分からなる低倍率の地震計で、地震計の中では構造が簡単で安い価格で作ることが出来、1940年以前に測候所、气象台で使われた地震計としては最も数が多く、气象台の地震観測網の主力であった。簡単微動計には、大森式(錘が茶筒形)、長谷川式、中村式(錘が太鼓形)、中央气象台式(錘が太鼓形)、今村式など色々なタイプがあったが、測候所、气象台で使われた物は、主として大森式、中村式、中央气象台式の3種類であった。中村式簡単微動計は、大正10年型、大正11年型中央气象台式簡単微動計とも呼ばれており、中央气象台式簡単微動計との区別には注意が必要である。

第16図は軽井沢測候所で用いられ松代に保管されている大森式簡単微動計(教育品製造合資会社製)である。大森式簡単微動計は今村(1926)によって改良を施され

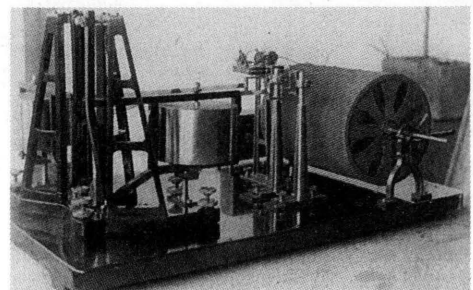
ているが、气象台で用いられた地震計についても改良がどの程度反映されたかはよく分からない。大森式簡単微動計は、倍率30～50倍、振り子の錘の重量12～15kg、周期4～10秒程度で観測に用いられた。

第17図は松本測候所で用いられた中央气象台式簡単微動計で、関東地震の直前の大正時代に展開されたものである。大森式、中央气象台式はいずれも水平振り子の上下の支点をピボットで支える構造を持っている。大森式は初期には制振器なしで用いられたが、中央气象台式には箱形の空気制振器が取り付けられている。中央气象台式簡単微動計は、倍率20～40倍、振り子の錘の重量15～18kg、周期3～4秒程度、制振度は少な目の2～3で観測に用いられた。

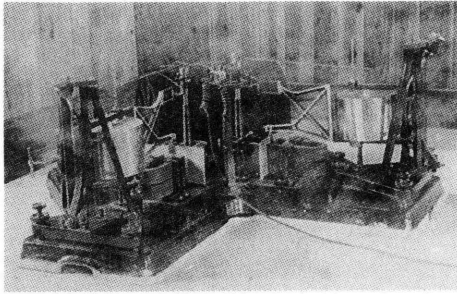
第18図は熊谷の中村式簡単微動計である。この中村式簡単微動計の特徴は、中村(1920)に紹介されているように、支点到ピボットの代わりに板バネを初めて用いたこと、電磁制振器が付けてあること、ドラム上を描針が直線書きになるような機構を持っていたことである。ピボットによる支点は、支柱との接触点が摩擦しやすく、初期の機械式地震計の動作上の弱点であった。直線書き



第16図 大森式簡単微動計



第17図 松本測候所の中央气象台式簡単微動計



第18図 熊谷測候所の中村式簡単微動計

の機構は複雑で、どの程度うまく機能したのかは、よく分からない。中村式簡単微動計の諸元は、倍率50倍前後、振り子の錘の重量17kg前後となっている。

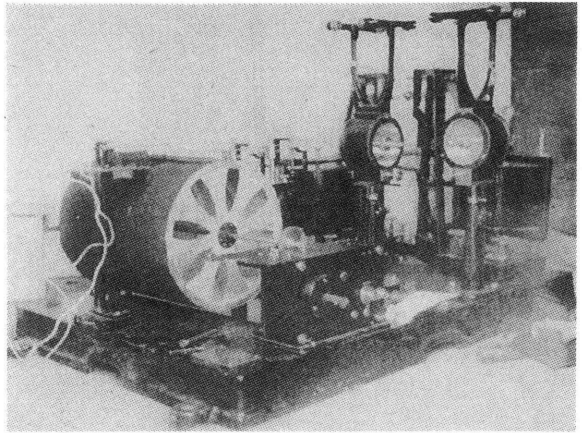
大森式、中央気象台式は長方形のベッドの上に水平2成分の直交する水平振り子と記録ドラムが載せられているが、中村式ではドラムと振り子が45度の方位をなすように斜めに向いていた。松本、熊谷の簡単微動計はいずれも関東地震の観測に用いられた。

新型の中央気象台式簡単微動計が、昭和15年から17年にかけて、35台が新たに制作されて各測候所に展開されたが（地震課、1941）、錘の重量が20kgとやや重くなった他、第19図に示すように円筒形の空気制振器を取り付けた点以外は、支点もピボットのまま改良されておらず、元の中央気象台式簡単微動計とはほぼ同じ構造で、周期、倍率、制振度などの特性も変わらない。

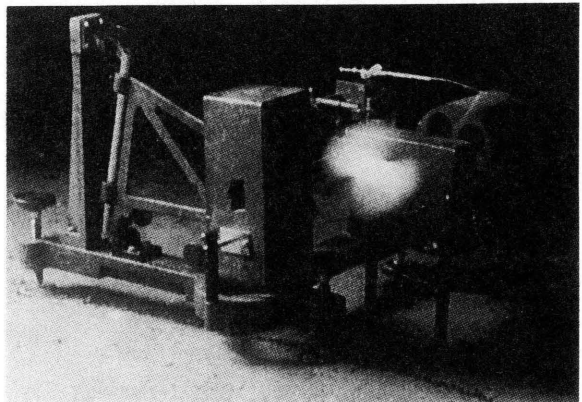
今村式簡単微動計は、後述の今村式強震計と似たような構造を持っていたと考えられる。長谷川式簡単微動計については、資料や写真が残されていないため詳しいことは分からない。第20図は盛岡に残されている地震計の写真である。大正12年10月撮影とのメモが付いている他は詳細は不明である。測候所開設当時何らかの調査に用いたものと考えられる。振り子の上側の支点はピボットでなく板バネが用いられており、形式から見て簡単微動計の一種である可能性がある。この他にも各測候所の地震計室の写真には、1成分の型名が分からない地震計が写っている場合がある。先に述べたように松代に保存されている大森式簡単微動計以外には気象庁内には実機は現存しない。

2.1.1 マインカ地震計 (Mainka Seismograph)

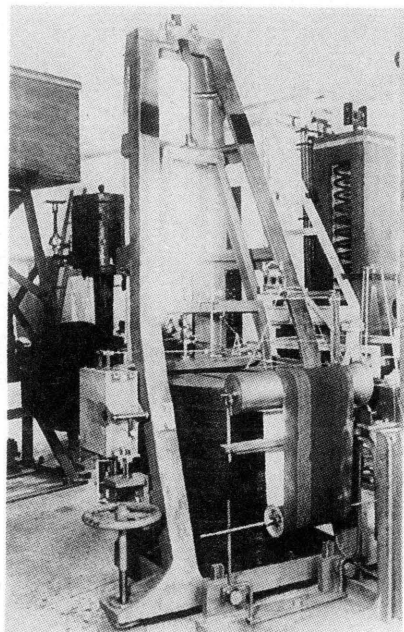
マインカ地震計は、第21図に示すような大型の機械式の長周期地震計で、フランスのストラスブルグ地震観測所の地震学者マインカによって開発された地震計である。



第19図 中央気象台式（新式）簡単微動計



第20図 盛岡測候所の大正12当時の地震計の写真

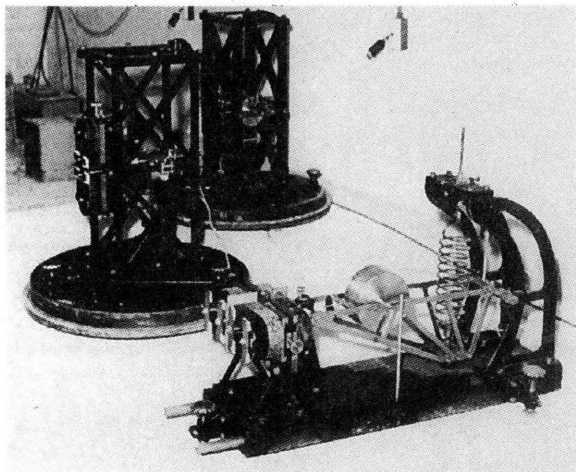


第21図 旧皇居地震計室のマインカ地震計

パリで製造したものが輸入され、大正13年から中央気象台で観測に用いられた。昭和6年に福岡管区にも水平2成分が設置されている。地震計にはBureau Central Seismologique De Strasbourgという銘板と製造会社名を印した銘板がついている。振り子が450kgと重く周期が長いことから、主として遠地震の観測に活用された。倍率は150倍前後、振り子の周期10秒位、制振度7程度で用いられた。記象紙は本庁に保管されている。福岡管区に設置された同地震計は、福岡教育大学に保存されている。なお国立科学博物館には、東北大学で用いられた構造が少し異なる国産のマインカ地震計が保管されている。

2.1.2 ガリツチン地震計 (Galitzin Seismograph)

ガリツチン地震計は、ロシアの地震学者ガリチンが開発した世界最初の光学式電磁地震計として知られている。関東地震の前に輸入され(英国The Cambridge and Paul Instrument社製)中央気象台に設置されたが、観測は翌年からである。松代の地震課分室開設に伴い松代に移管され1965年まで観測に用いられた。振り子の固有周期も検流計の固有周期も10～20秒で、他の変位特性の地震計と異なり、この範囲に最高倍率を持つ山型の倍率周波数特性を持っている。第22図は松代の坑道内の地震計室での様子で、実機は松代に保管されている。

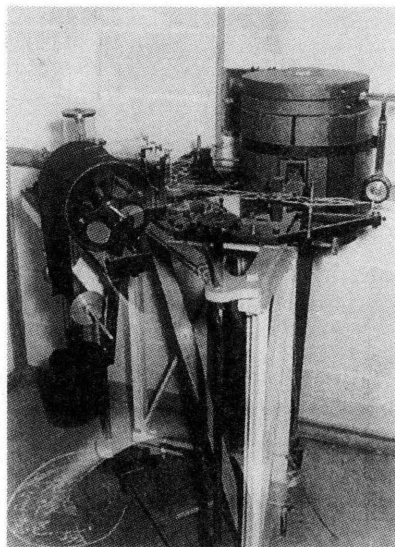


第22図 松代の大坑道に設置されていたガリツチン地震計

2.1.3 ウィーヘルト地震計 (Wiechert Seismograph, 略号: W)

いうまでもなく、中央気象台、気象庁の地震観測網を

代表する主力地震計であり、地震観測法を初め、多くの文献に扱われている。地震計は、ドイツのゲッチンゲンから輸入されたものと、国内のアレス社で制作されたものがあるが、外観は同じである。実機は松代と筑波に保管されている以外に、気象台、測候所から払い下げられた地震計が各地の博物館にも展示されており、写真も多数残されている。ここでは代表例として第23図(水平動)および第24図(上下動)に示す。地震計の標準の常数は水平動、上下動共に固有周期5.0秒、倍率70～100倍、制振度6～8であるが、各官署の検定結果を見ると、固有周期が若干短めの5～4秒で使われた場合が多く、上下動の倍率は50倍程度と低めの場合が多かった。

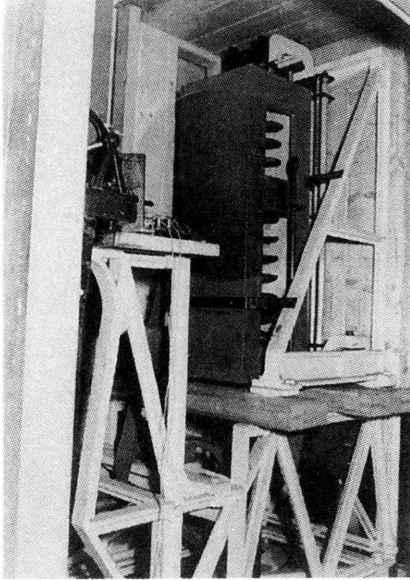


第23図 ウィーヘルト地震計水平動

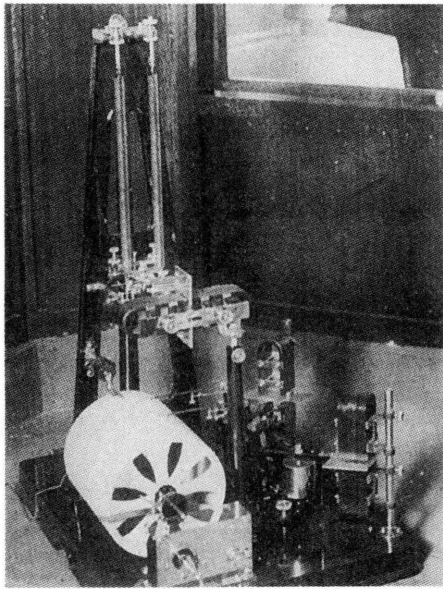
2.1.4 初期の機械式強震計

地震の少ないヨーロッパでは、固有周期の長い地震計や倍率の高い地震計の設計に関心が注がれ、地震観測の関心は主に地球の内部構造の解明に向けられたが、被害地震の多い我が国では、強震を記録できる強震計の開発に力が注がれた。強震計の中には今村式強震計のように、ニュージーランドなど海外で長く使われていた地震計もある。気象台で用いられた機械式強震計には、大森式、今村式、中央気象台式の3種類があるが、いずれもグレー・ミルン・ユーイング地震計を原型として改良されたものである。

中でも大森式は明治34年に大阪、明治35年に石巻に初めて設置されたが、グレー・ミルン・ユーイング地震計によく似ている。第25図は釜山測候所に設置された大森式強震計と考えられる地震計で、電磁制振器とゼンマ



第24図 ウィーヘルト地震計上下動



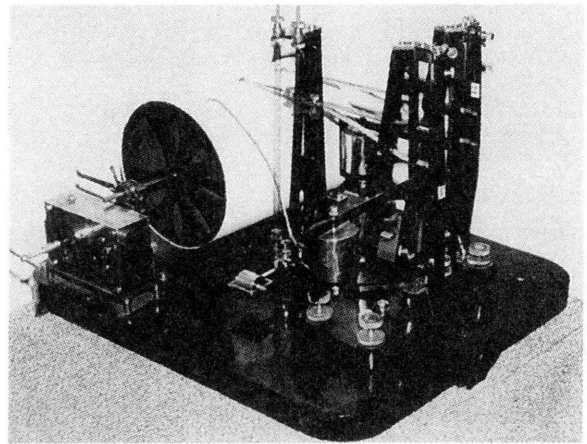
第25図 釜山測候所地震計室の大森式強震計，昭和初期の写真と推定される。

イ式の起動器が付いている以外の外観は、グレイ・ミルン・ユーイング地震計そっくりである。他官署の地震計室に設置されていた地震計の中にも、大森式強震計と思われる地震計が写っている場合があるが、残念ながらこれ以上鮮明な写真は見つからない。

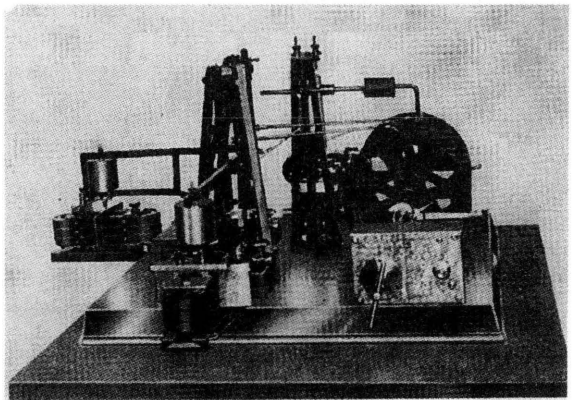
今村式地震計は、上下動の支柱が大森式より小さくなり、水平動の支柱と同じ程度になっている。また振り子の錘の位置も低くなっている。浜松（1981）によれば、初期の今村式強震計は水平2成分だけとなっているが、

気象台では上下動のついた3成分の強震計が使われたと思われる。第26図は岐阜測候所で使われ、現在県立博物館に保存されている今村式強震計である。水戸の今村式強震計も同じ外観を持っており、熊谷に昭和3年に整備された中央気象台式2倍強震計も、観測報告のスケッチから見ると構造は同じであることから、今村式強震計の可能性が高い。今村式強震計は、関東地震当時各地の測候所で観測に用いられており、岐阜や高田など振り切れない貴重な記録が得られている（武村他，1994）。なお今村式強震計は科学博物館に実機が保存されているが、振り子に油槽式の制振器がついている。

初期の中央気象台式強震計は、地震観測法（1936）に掲載された写真（第27図）以外には、残念ながら写真が見つからない。振り子の構造そのものは上下動、水平動共に今村式強震計に近く、振り子の向きが変わっているのと電磁制振器が取り付けられている点が異なるだけである。強震計の振り子はグレイ・ミルン・ユーイング



第26図 岐阜測候所で観測に用いられた今村式強震計



第27図 昭和11年の地震観測法に掲載されている、初期の中央気象台式強震計

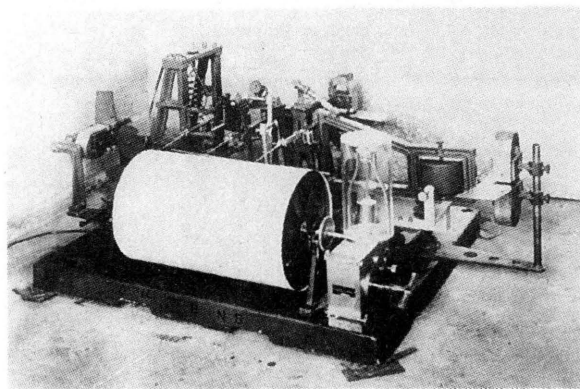
グ地震計の特徴を引き継いでいるため、水平動の錘は2kg、上下動は1～2kg前後と軽く、強震計の固有周期は3～5秒、制振度は3～4程度、大森式は倍率1.5倍から2倍、今村式は2倍、中央気象台式は1倍で観測に用いられた。

2.1.5 50～52B型機械式1倍強震計（略号：S）

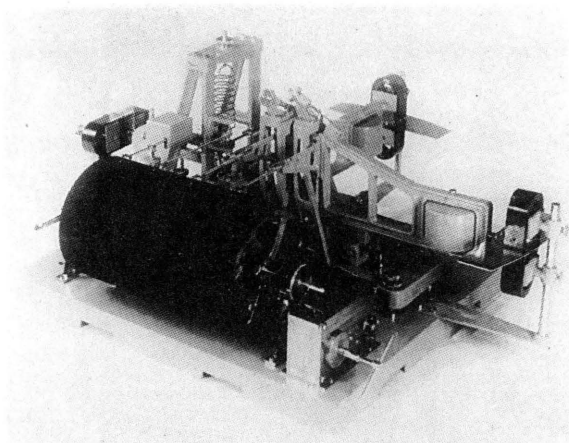
50～52B型機械式強震計は、昭和16年から展開した新型中央気象台式強震計（中央気象台地震課1942）の改良型である（地震課、1951）。最後の機械式強震計として1990年代初めまで観測に用いられ、気象庁で用いられた地震計としては最も長く観測に使用された。変位倍率1倍、固有周期が上下動5秒、水平動6秒、制振度8前後で観測に用いられ、観測法（1952）、気象庁（1967a）にも詳しく紹介されている。初期の中央気象台式強震計からの改良は、支点がピボットから板バネに変えられたことや、上下動の錘を支える弦巻バネが2本から太い一本のバネに変わったこと、慣性を大きくするために錘の重量が水平動は4kg以上、上下動は3kg以上と旧型の倍以上に増やされたことである。また1960年代の後半から1970年代にかけてインク書きへの改造、気象資料伝送網の展開に際しては、テレメータのために、電磁式の変位変換器の取り付けなどが行われた。実機もまだかなり現存するので、第28図（50型）、第29図（51型）および第30図（52B型）に紹介するにとどめる。

2.1.6 50～54B型普通地震計（略号：P）

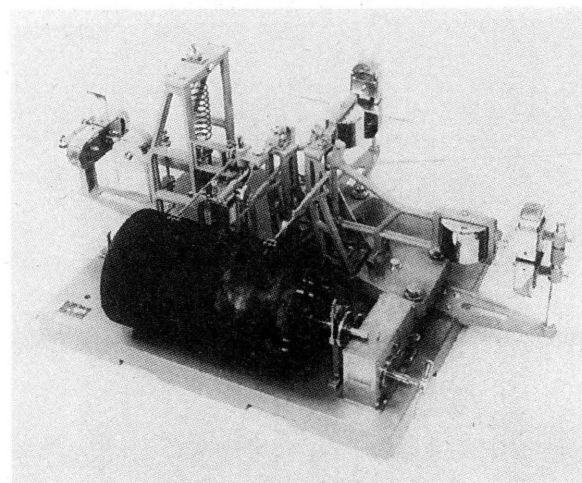
普通地震計（Standard Seismograph）は、簡単微動計の後継機として気象測器工場で設計された、最後の機械式地震計であり、酒井（1954,1956）、市川（1958）に紹介されている。それによれば、諸元は、重錘の重量22.



第28図 50型機械式1倍強震計



第29図 51型機械式1倍強震計、タイムマーク専用のペンが取り付けられている。

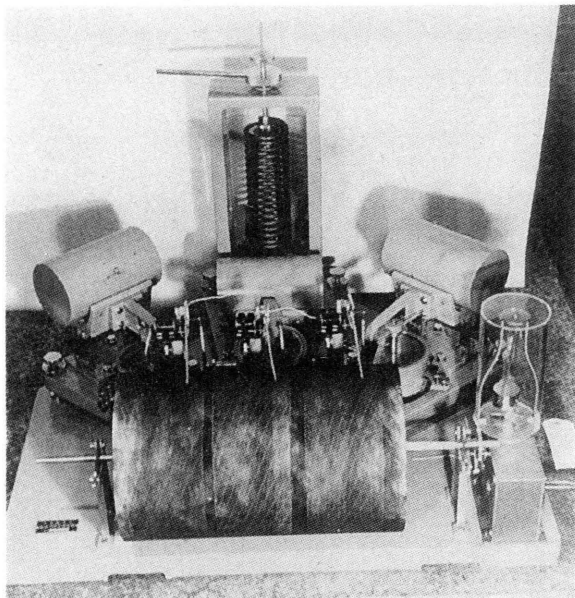


第30図 52B型機械式1倍強震計

5kg、固有周期2秒、基本倍率50～65倍、制振度8、摩擦値0.03～0.30mmとなっている。第31図に示すように水平動には簡単微動計の水平振り子に代えて倒立振り子が用いられており、石本式微動計を参考にしたものであろう。普通地震計は1950年代に展開されたが、1960年代後半には短周期高感度の67型電磁式地震計の展開が始まったため、気象庁の代表的な地震計の中では使われた期間は短かった。

2.1.7 石本式高倍率地震計（56型高倍率地震計、略号：I）

石本式微動計は、気象庁では石本式高倍率地震計、或いは56型高倍率地震計と呼ばれ、振り子の重量30kg、固有周期が1秒程度で、倍率150倍から450倍の高倍率の変位地震計として用いられた。制動はピストン型の空

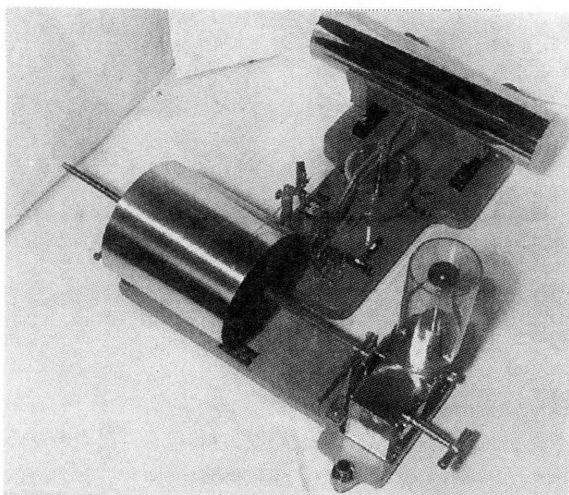


第31図 54B型普通地震計

気制振器を用い過減衰で用いられ、周波数帯によっては速度特性になる。56型では、回転軸の軸受け構造を改良して摩耗を防いでいる。

気象庁では主として火山観測に用いられた（地震課火山係、1958）。第32図は、雌阿寒岳、十勝岳、大島、鳥島の火山観測のため制作された勝島製作所製の56型高倍率地震計を示す。円錐振り子調速器のついたドラムの起動器は、まもなく電動モーターに置き換えられている。

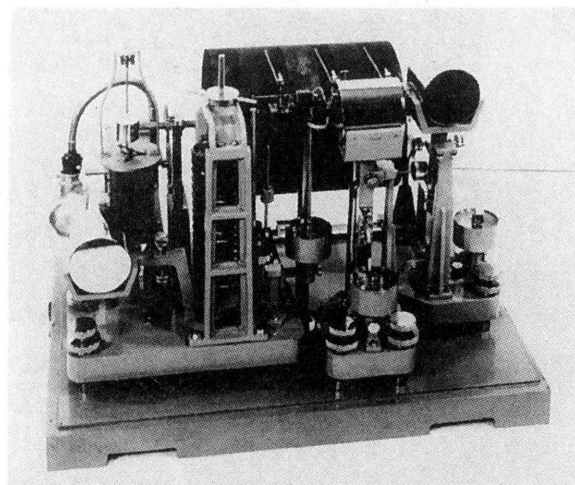
石本式加速度計も一部で観測に使われた。固有周期が0.1秒と短い以外、構造は高倍率の変位地震計と共通である。



第32図 56型高倍率地震計

2.1 8 10倍地震計（略号：J）

10倍地震計は、東京での地震観測のため、気象測器工場で設計製作された。ウィーヘルト地震計（倍率80倍）と一倍強震計の中間の大きさの地震動を捕らえるために開発されたもので1958年から観測に用いられている（宇佐美、1959）。第33図のように水平動に倒立振り子を用いたのが特徴であり、萩原式（とっくり型）倒立振り子地震計を参考にしたものであろう。振り子の重さは7.5kg（水平動）、8.6kg（上下動）、周期5秒で、制振にはピストン型油制振器を用いている。東京で観測に用いられた後皇居東御苑内の地震計室の無人化移転に伴い1965年に仙台へ移管され1974年まで観測に用いられた。



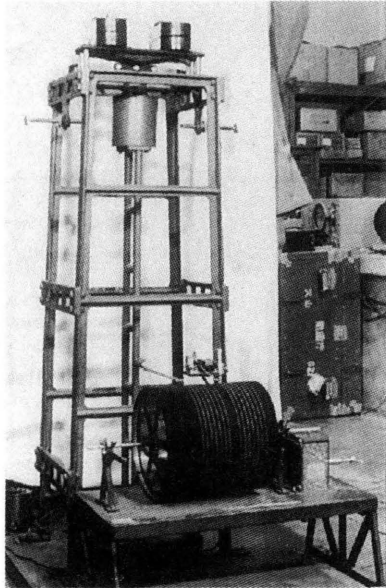
第33図 旧皇居地震計室に設置された10倍地震計

2.1 9 0.4倍強震計

0.4倍強震計は、東京の強震観測を補強する目的で開発された大型の倒立振り子を用いた地震計で水平2成分で1950年から供用された。振り子の錘は8.5kg（振り子全体の重量は16.8kg）、固有周期5秒、制振度8程度で観測に用いられた。1964年に10倍地震計と同様、1成分は仙台に移管され、1989年まで観測に使われた。第34図は仙台で運用時の写真である。

2.2 0 樋口式地震計

沖縄は戦後米国軍政府の管理下に置かれ、沖縄、石垣島、宮古島の地震観測は戦災のため石垣島の強震計を除き中断した。昭和30年代になり、琉球気象庁が地震観測を再開するために購入したのが樋口式地震計である。この地震計は元気象研究所の樋口長太郎氏のアイデアで勝島製作所が製造したもので、沖縄以外に台湾、サンサル

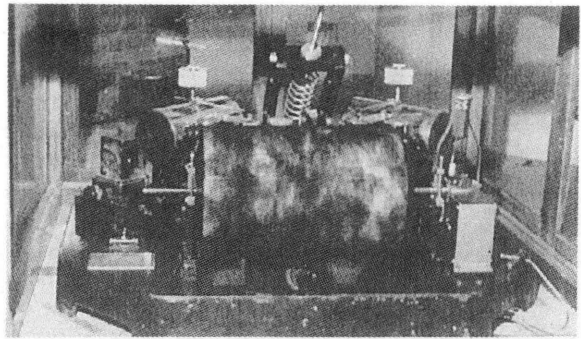


第34図 仙台管区気象台の0.4倍強震計

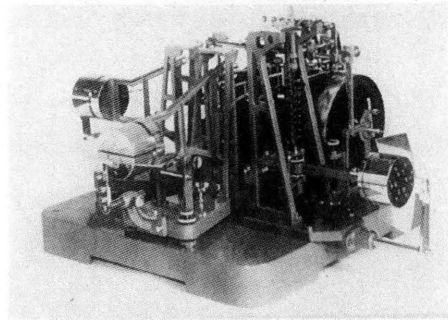
バドルなどに輸出されたが、中央気象台で使われることはなかった。振り子の錘が磁石を兼ねており、錘の隙間に挟まれた金属板に生ずる渦電流の制振作用を利用している。強震計に相当する機種（第35図）と倍率数十倍の微動計に相当するもの（第36図、与那国島測候所で使用された地震計）がある。微動計は、上記のような樋口式の特徴はなく、50型普通地震計と同じような構造を持っている。樋口式地震計は沖縄が本土に復帰するまで観測に用いられた。

2.2.1 1トン長周期地震計

1トン長周期地震計の開発は、戦後まもなく中央気象台の地震観測網復興の努力の一環として始められ、気象測器工場で設計制作された。その経緯や苦労については樋口（1951）に書かれている。当時遠地地震を観測するのに適した地震計はマインカとガリチンくらいしかなく、性能の良い長周期地震計の開発には強い期待があった。機械式地震計の場合地震計の振り子は、周期を長くすれば復元力が小さくなるために、記録の摩擦を考慮すると、周期を延ばすためには、振り子の錘を重くして慣性を増やすしかない。このことは外国の長周期地震計でも事情は同じであり、地震計開発の歴史における大艦巨砲主義の時代といえよう。しかし地震計が松代に設置され観測が始まった1950年代は電磁式地震計の開発が進められ、機械式地震計からの移行が始まった時期にあたる。機械梘子の摩擦がなければ、振り子の固有周期は50秒か

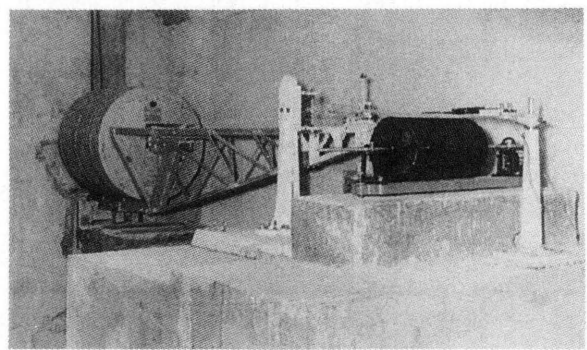


第35図 樋口式普通地震計（微動計）



第36図 樋口式強震計（3成分）

ら60秒まで出せた（鷲坂他，1952）といわれており、摩擦のない電磁センサーを組み合わせたならもっと活躍の場が広がったと思われる。固有周期30秒、倍率300程度で観測に用いられたが、この地震計は加速度の大きい振動には弱く、松代群発地震のために、1960年代半ばで観測を中止している（第37図）。

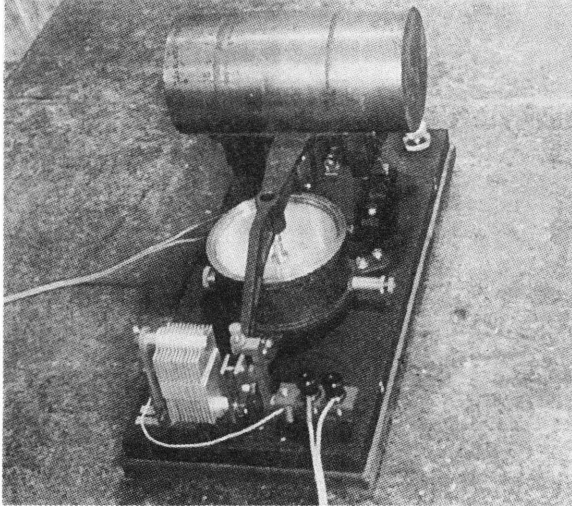


第37図 松代の大坑道に設置された1トン地震計（南北動）

2.2.2 可変容量型電磁地震計

電磁地震計の開発は1950年代に本格化し、開発のために色々な努力が続けられた。可変容量型地震計もその努力の一つであった（宇津，1954）。第38図は変換器で、石本式の振り子の変位を検出するために振り子の先にラ

ジオのバリコンのような形をした感部が取り付けられている。一部の管区に設置されたが、試験観測で終わっている。可変容量型のセンサーの性能は、増幅回路の性能にほとんど依存し初期の真空管方式の回路では安定した特性を確保するのは難しかった。特性が安定し、実用的に使えるようになったのはもっと後の時代である。

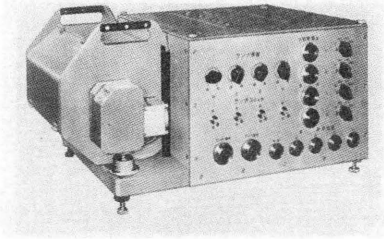


第38図 可変容量型電磁地震計変換器

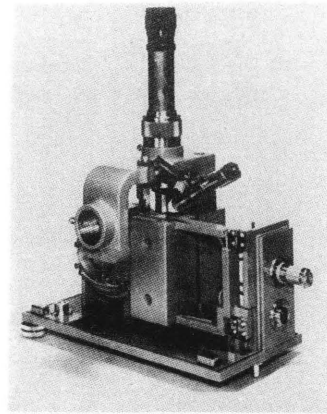
2.2.3 59型光学式電磁地震計（略号：OP）

59型電磁地震計は、ウィーヘルト地震計の後継機として設計された地震計であるが、従来のウィーヘルト地震計の特性を引き継いだ直視式電磁地震計と、短周期の高感度地震観測用の光学式電磁地震計で構成されていた（地震課技術係，1959，気象庁地震課，1960）。第39図は光学式の記録装置，第40図は水平動変換器（検定顕微鏡を含む）である。検定コイルの付いた変換器が用いられるようになるまでは、電磁地震計の変換器の検定は、このように、変換器に顕微鏡を取り付け、目測とストップウォッチを用いて行っていた。振り子の形式は、上下動がユースリング振り子、水平動が水平振り子である。変換器の固有周期は1.5秒、検流計の固有周期は0.3秒で、変位倍率は1000倍から500倍くらいで観測に用いられた。気象庁で用いられた電磁地震計の変換器は、これ以後、埋設型の変換器、最近の短周期変換器、広帯域地震計や強震計用の加速度計を除けばほとんど、ユースリング振り子と水平振り子の組み合わせになっている。なおこの59型光学式は明石製作所製で萩原式電磁地震計（略称、HES）を基に設計されたものである。全国20官署に直視式電磁地震計と共に展開されたが、ノイズの多い市街地にあ

る官署では本来の性能の発揮は困難であった。35mmのフィルムの記録は、記録の線が重なり易く観測者は検測に苦勞したと思われる。67型電磁地震計の整備が進むにつれ観測は中止されていった。松代には実機が保存されている。



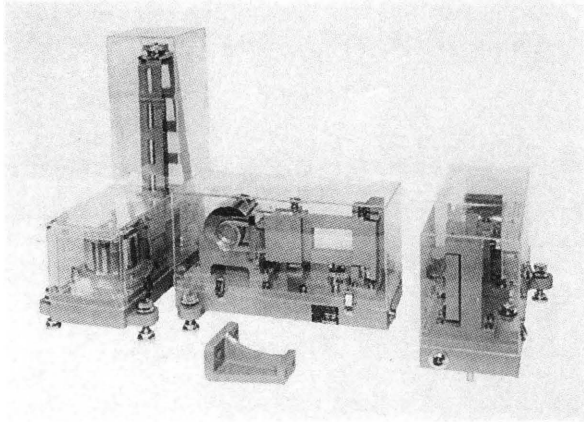
第39図 59型光学式電磁地震計記録器



第40図 59型光学式電磁地震計の動コイル型水平動変換器、検定のため顕微鏡と小型懐中電灯を取り付け状態

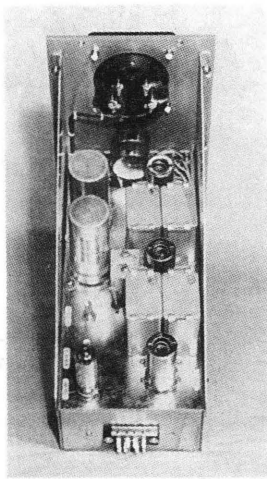
2.2.4 59型直視式電磁地震計（略号：V1）

59型直視式電磁地震計は、戦後の気象庁の地震観測網の主力であった地震計である。制作年次などにより、59型、59A型、59B型、59C型の4種類がある。変換器の構造（第41図）はほとんど同じであるが、59Cでは変換器に検定コイルが付加され、さらに振り子の位置のずれを検知するセンサーが取り付けられるなど、検定等の保守作業の効率化が図られた。増幅器は、当初の真空管（第42図）からトランジスタ増幅器（59A）、ハイブリッドIC（59B）、IC（59C）を用いたものへと、改良が加えられている。検流計も59Aまではエデンバネを用いた内磁型で太鼓型のもが使われたが、59Bからは、外磁型のトルクの強い検流計が用いられるようになった。記録も当初のすす書きからインク書きへと変わっている。水晶時計も水晶発振器でモーターを駆動させていたハイ

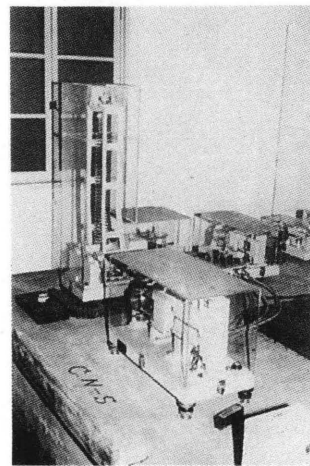


第41図 59A型直視式電磁地震計の3成分の動コイル型変器

力を改善するために、全国の指定官署に展開された（地震課技術係，1961）。これは気象庁観測網にはマインカ地震計，ガリッチン地震計，1トン地震計など特殊な地震計を別にすると，固有周期が5秒以下のウィーヘルト地震計や59型地震計など，遠地地震観測に適しない地震計が主力であったことによる。61型直視式電磁地震計は59型電磁地震計と同じ時期に展開されたため，固有周期が長く変換器が大型になっている他は，増幅器，記録装置等は，59型直視式電磁地震計と似た仕様になっている。第43図は，61型と同等の仕様の東京の63C型の変換器（手前側）であり，第44図は初期の上下動変換器を示す。



第42図 59型直視式電磁地震計の真空管式低周波増幅器

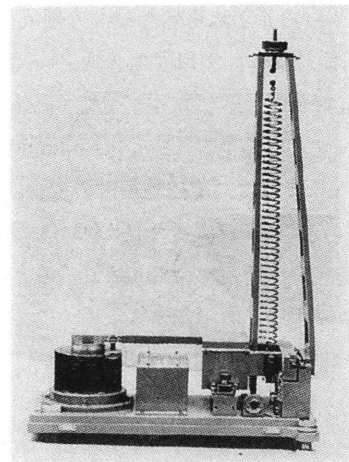


第43図 皇居地震計室の固有周期10秒の63C型地震計変換器（手前側）

ブリッド方式の当初のものから，59B以降は完全なデジタル，回路に改良されている。59型は，固有周期5秒，倍率80倍，減衰比（制振度）が7前後で観測に用いられたウィーヘルト地震計の後継機として開発され，地震計の特性もほぼ同じ固有周期は5秒，倍率100倍，減衰定数 h は制振度6～8前後に相当する $h=0.5$ に設定された。気象庁で用いる電磁地震計の減衰定数は変位型，速度型に係わらずこれ以来0.5に設定されるようになった。59型直視式電磁地震計の詳細については，地震課技術係（1966），地震火山業務課技術係（1985）などに紹介され，観測指針（1967a），気象庁（1967b，1973）などの指針・観測要領に詳しい記載がある他，各管区の刊行物にも解説がある。

2.2.5 61型直視式電磁地震計（略号：VD）

振り子の固有周期10秒，倍率200倍の61型直視式電磁地震計は1960年のチリ地震津波以降，遠地地震の観測能

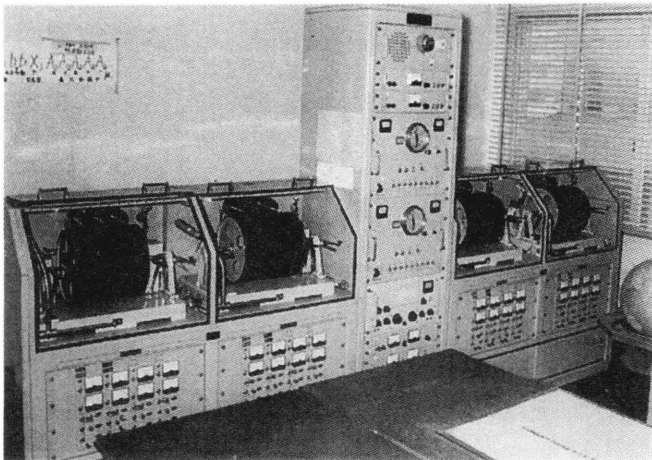


第44図 初期の61型直視式電磁地震計上下動変換器

2.2.6 63型直視式電磁地震計観測装置

63型直視式電磁地震計観測装置は，皇居にある地震計室における地震観測を隔測し本庁で記録するために，設

置された地震計のセットで、特性は59型直視式電磁地震計と同じで倍率は10倍の63A、特性倍率が59型と同じ63B、特性倍率が61型と同じ63C、及び固有周期1秒倍率300倍の短周期高感度地震計である63D型直視式電磁地震計で構成されていた（地震課技術係，1964）。63型の特色は、気象庁の地震観測としては初めて専用電話回線を利用した周波数変調方式（FM）のテレメータを導入したことである。FM方式のテレメータは、その後松代群発地震時の可搬型地震計の開発、67型磁気テープ式電磁地震計の展開などにより普及していった。初期のFM変調回路は不安定で、地震計の保守には苦労が多かった器械である。第45図は本庁の現業室のテレメータ受信記録装置で、各ドラムの下側にテレメータ受信装置、中央部の塔には、水晶時計、時報受信機、ドラム駆動用定周波電源などが組み込まれている。63型は更新時に63Cは松代からの速度型長周期地震計に、また63Dは皇居地震計室の脇に設置した埋設型の76型電磁地震計の信号に切り替えられた。

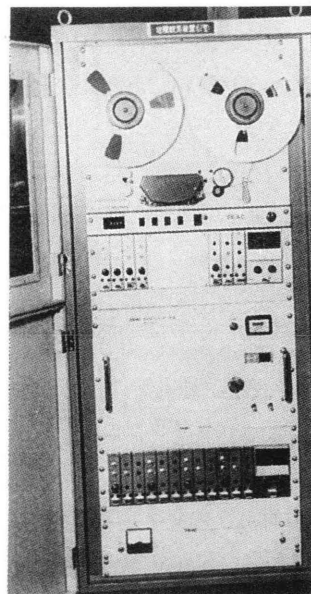


第45図 本庁地震現業室の63型直視式電磁地震計観測装置の受信記録装置

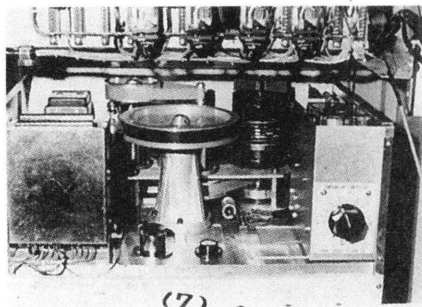
2.2.7 67型磁気テープ式電磁地震計（略号：EMT 67）

67型磁気テープ式電磁地震計の展開に至った経緯は、木村（1968）に解説があり、伝統的な気象庁の地震観測網に新しい考え方をもち込もうとした意気込みが感じられる。67型の特徴は、1秒短周期の高感度地震計であること、磁気ドラムにより信号を遅延しFM変調方式のデータレコーダを用い磁気テープに再生可能な形で信号を記録するトリガー記録方式を取り入れたこと、津波予報

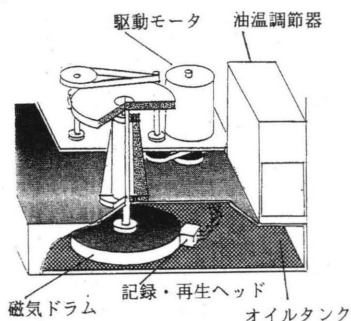
作業迅速化のために、各管区4官署の信号を管区にリアルタイムテレメータする速報装置を取り入れたこと、信号を対数圧縮することにより信号の見かけ上のダイナミックレンジを広げるようにしたこと、磁気テープに時刻信号として、直列の二進十進（binary decimal）の時刻符号を入れるために、水晶時計に時刻符号出力の機能を新たに付加したこと、一部の官署では埋設型の変換器を用いたり、隔測によりノイズレベルを下げる工夫をしたことなどにあり、従来のドラム記録方式の地震計にはなかった数々の斬新なアイデアを取り入れた1970年代を代表する気象庁の高感度地震計であった。第46図は、記録用磁気テープラックであり、第47図および第48図はその中の信号遅延用の磁気ドラム機構をしめす。このように斬新なアイデアが多数盛り込まれたらう、信号の変調、復調を繰り返すことによるS/Nの低下、信号の対数圧縮、伸張、さらには積分による信号の歪み、地震時の振動による機械ノイズなど、アナログの電気信号の品質に関する認識が十分でなく、記録波形品質が低いという短所ももっていた。その反省から76型磁気テープ式電磁地震計を初めとするその後の短周期電磁地震計では、対数圧縮を廃し、また積分をせずに地動速度に比例した電気信号をそのまま記録装置に取り入れるようになった。67型地震計の構造、取り扱い、気象庁（1972）に詳しく書かれている他、構成が複雑であり運用に苦労したことから、管区の刊行物にも解説がある。



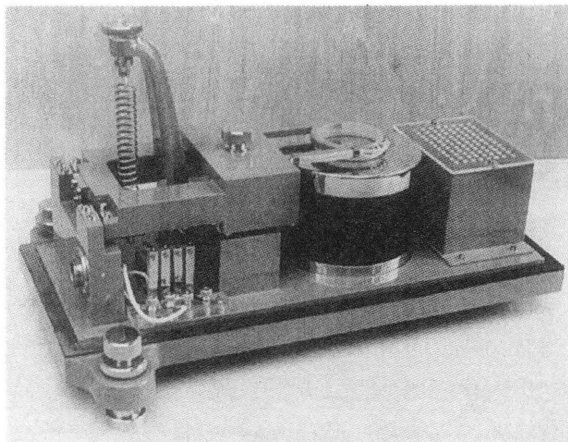
第46図 67型磁気テープ式電磁地震計の磁気テープ記録装置（Bラック）、上部にFMテープレコーダーが下部には信号遅延用磁気ドラムが収められている。



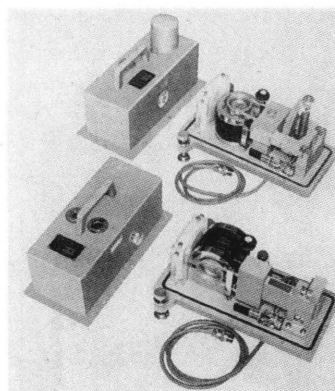
第47図 67型磁気テープ式電磁地震計の磁気ドラム信号遅延ユニット



第48図 67型磁気テープ式電磁地震計の磁気ドラム信号遅延ユニットの機構図、磁気ドラムと記録、再生用磁気ヘッドは、油の入った容器に収められている。



第49図 火山観測用58型直視式電磁地震計の固有周期1秒の上下動変換器

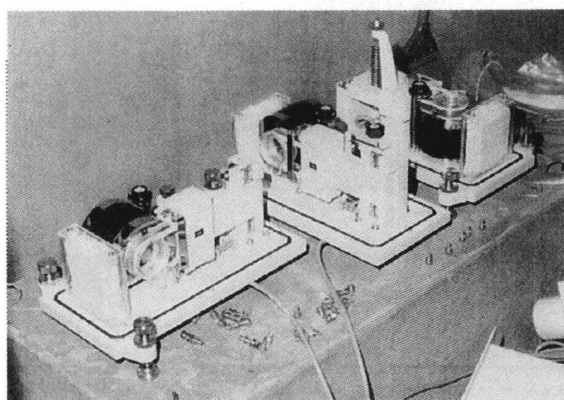


第50図 沖電気製の固有周期1秒の火山観測用変換器

2.2.8 短周期地震計用変換器

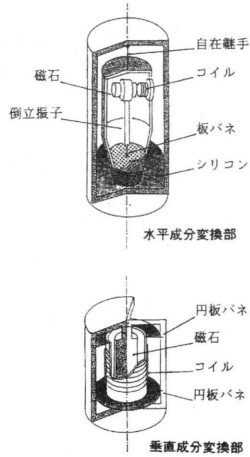
小地震観測用の短周期速度型の電磁地震計は、67型地震計以降、埋設型の76型磁気テープ式電磁地震計（略号：EMT 76）、88型電磁地震計、津波地震早期検知網の観測局装置と更新が続けられたが、固有周期1秒の変換器を用い地動速度に比例した電気信号を取り入れることには変わりがなく、またテレメータによりデジタル、信号に変換して信号を計算機で処理するようになった今日、使用される変換器に特徴はあっても信号の質の違いはほとんどなくなった。ここでは特徴のある短周期変換器を紹介する。

第49図は、電磁地震計変換器としては最も初期の火山観測用58型直視式電磁地震計の上下動1秒変換器である。その後上下動はユースイング振り子、水平動は水平振り子を用いた第50図のようなほとんど同じ形の変換器が、火山観測用の電磁地震計や67型地震計（地上型）などに使われるようになった。第50図は火山観測用で雷対策用の避雷器が内蔵されている。第51図は変換器を地震計台上に設置した状態を示している。いっぽう埋設孔に設置する地中型の変換器は、ボーリング孔の制約から上下動



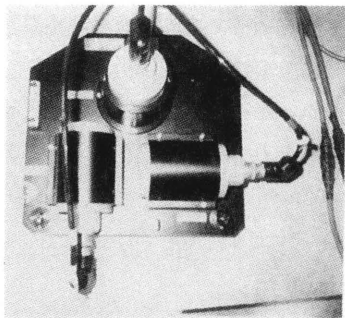
第51図 磐梯山のA点に設置された地震計変換器

変換器には、直動型の振り子が、また水平動は円筒形の容器に納めるために、倒立振り子の変換器が用いられた。第52図は88型の埋設型の変換器の構造の例を示したものである（地震火山業務課技術係、1989）。地上設置型の88型の上下動にはこの他キルノス（Kirnos）吊りの振り子が一部で使われた。



第52図 88型小地震観測装置の埋設型変換器構造図

直動型の振り子 (Rectilinear Pendulum) を用いた変換器は、構造が単純で特性が素直な点や取り扱いが易しいことから、火山観測などで導入され、ユースリング振り子や水平振り子の変換器は、次第に置き換えられるようになり (第53図)、津波地震早期検知網観測局の装置では、3成分一体型の変換器が全面的に採用されるようになった (第54図)。直動型の変換器は取り扱いが容易であるが、固有周期など常数の調整がほとんど不可能なことや、バネの劣化により長期間使用すると特性の変化が



第53図 軽井沢測候所の観測点に設置した米国マークプロダクト社の固有周期1秒のLAC変換器。



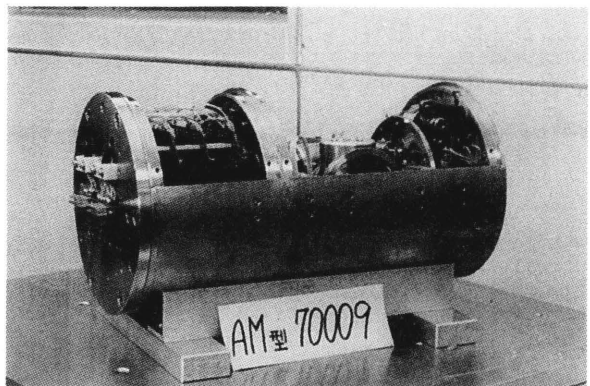
第54図 津波地震早期検知網の観測局装置の加速度センサー (左側) とマークプロダクト社製3成分一体型の固有周期1秒の変換器 (右側)

起きやすいなどの短所も持っている。

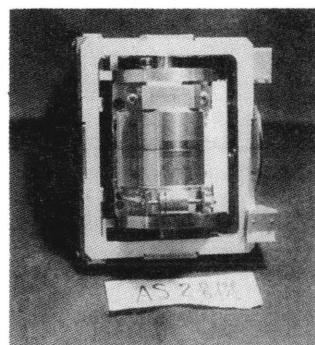
2.2.9 海底地震計 (海底地震常時観測システム)

ケーブル方式の海底地震計は、1978年に御前崎沖に設置され (気象研究所地震火山研究部、1980) 1985年には房総沖にも設置され (藤沢他、1986)、今日まで観測が続けられている。ケーブル方式の海底地震計は、中継器 (リピーター) と呼ばれる円筒形の容器に地震計を収容する必要があること、中継器は自由落下により海底に敷設するため、姿勢の制御が出来ないことから、地震計をジンバルと呼ばれる機構に乗せ重力を利用して、上下、水平の位置を自動的に調整する機能を持っている。

第55図は、変換器の姿勢を、制御するジンバルを、第56図は変換器を示す。変換器は、容積が限られるため、小型の直動型3Hzまたは4Hzの振り子を過制振の状態で用い、積分回路により1秒速度、変位あるいは5秒変位に近い特性を得ている。



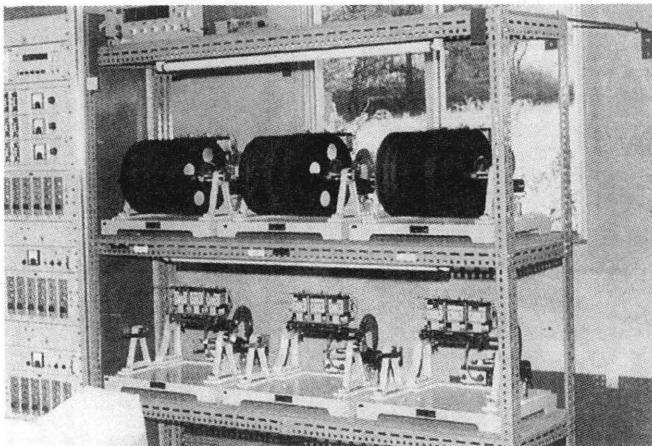
第55図 房総沖の海底地震計の先端点の地震計装置、変換器、ジンバル、増幅器より構成されている。



第56図 ジンバルに取り付けた房総沖の海底地震計の中間点の地震計変換器

2.3.0 火山性震動観測装置

気象庁において短周期高倍率の直視式電磁式地震計の開発と活用は、火山観測から始められた。56型電磁地震計は桜島に設置され、1成分、周期1秒の変換器を用い、変位倍率3000倍程度の観測が行われている（気象庁地震課、1958）。昭和37年頃から始まった火山観測整備では、火山観測用の地震計は、火山性地震、微動の両方を観測することから、火山性震動観測装置と呼ばれている。第57図は、1974年以降に整備されたA74型の記録装置部分である。A74型は、気象庁では最後のすず書きドラム記録方式の地震計であり、1995年まで観測に用いられた。火山性震動観測装置の特色は、1台の地震計に2つのドラム記録装置が用意され交互に記録が自動的に切り替えられるようになってきていることである。これは記録紙交換の欠測時間をなくし、また振幅の大きい火山性地震や微動が続いた場合、頻繁に記録を取り替える事態を想定してのことである。記録線の間隔もレバーの切り替えで4倍に広げられるようになっていた。すず書きのペンにはレコード針が用いられ、コントラストのよい記録が得られるように工夫されていた。



第57図 軽井沢測候所のA74型火山性震動観測装置の受信記録装置、3観測点3成分の信号が上下2段の記録ドラムに12時間切り替えて交互に連続記録される。

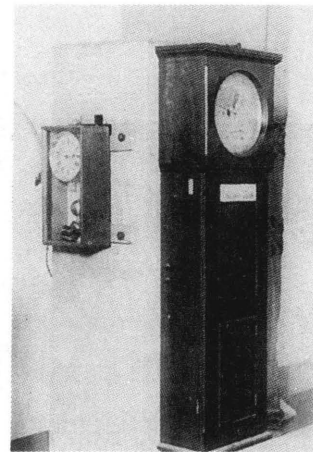
気象庁の短周期高感度地震観測の特色は、機械式地震計以来の伝統を引き継いだために、地動変位の出力にこだわったことにある。火山観測用の地震計の場合も67型磁気テープ式電磁地震計も最終出力は地動変位波形を得るように作られた。変位は倍率などを直感的に理解し易いなどの利点があるものの、変換器からの速度出力を電氣的に積分する必要があり回路構成が複雑になる上、脈動など周期の長いノイズを強調することになり、検知

能力の向上など観測目的を考慮すると適切な選択とはいえないが、火山観測の場合、地震計の記録振幅などが活動を示す物差しとして情報文などに直接用いられる場合が多い。基準となる観測点では、変位記録が必要とされる場合も多いのでやむを得ない面もある。

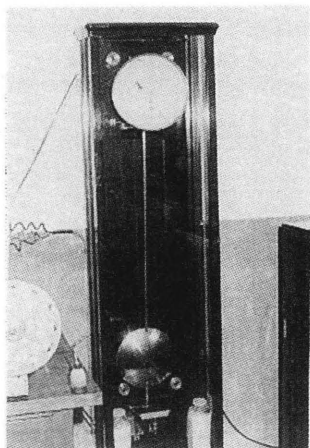
2.3.1 刻時装置

地震計の記録に正確な時刻を記録する刻時は、精密な水晶時計が登場するまでは、地震計の性能以上に、地震観測にとって重要な問題であった（濱松、1986）。記象紙への時刻マークは、地震計とは別に時刻用の描針により記録する方法と、電磁石で地震計の描針をドラムから吸い上げて記録の隙間を作る方法があり、51型機械式1倍強震計（第29図）、0.4倍強震計は前者の例であり、大森式簡単微動計（第16図）や初期の中央気象台型強震計は後者の例である。ドラムを回転させる動力は、巻き上げた錘の重力による落下を利用した方式（グレー・ミルン・ユーイング地震計やウィーヘルト地震計など）の他、ゼンマイ起動器などが用いられ、等速回転を確保する仕組みとしては、円錐振り子などが用いられた。

時計としては、ルロアやデント、リーフラーなどの振り子時計（第58図及び第59図）及びナルダンなどクロノメーター（第60図）が用いられた。機械式の時計は環境特に温度変化に敏感であり、地震計の振り子のバランスも含め、地震計室の構造については障子で仕切ったり、地震計をガラスのケースに入れるなど、温度変化を少なくする工夫が行われている。また人為的な影響による時計の遅れ進みの変化を避けるために、時刻の修正の機会 はなるべく減らすように運用されていた。関東地震当時



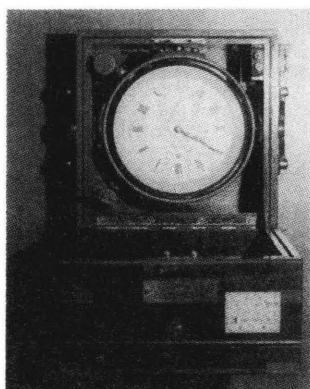
第58図 ルロアなど電気式の振り子時計



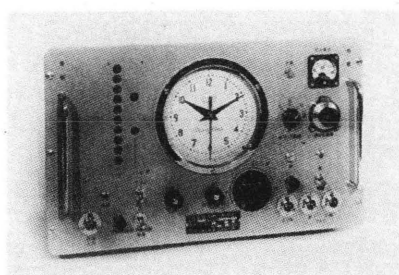
第59図 リーフラー振り子時計の子時計

の東京の記象紙を見ると ΔT は20分以上あり、地震動の発現時を求めるのに苦労していたことが分かる。

水晶時計は、59型電磁地震計と共に地震観測に用いられるようになった。また1960年代初め、気象測器製作所でも製作された(第61図、酒井、1962)。1960年代に機械式の時計は水晶時計に置き換えられていった。



第60図 仙台で使われたクロノメーター



第61図 気象測器製作所で試作され観測に用いられた水晶時計

3. 終わりに

現在観測に用いられている地震計の感部は、強震観測、

震度観測は加速度計、短周期地震計は直動型の変換器が大部分である。変換器を分解して調整したり中の機構を直接見る機会はほとんどない。地震計の特性や常数は比較的安定しており、得られた地震記録を利用する上で、地震計の特性を問題にする機会も少ない。しかし機械式地震計や、初期の電磁地震計においては、記録を解析する場合に地震計の特徴、特性を知ることは不可欠である。今回まとめた写真や図が、過去の地震記録を用いた調査の参考になれば幸いである。なお掲載出来なかった写真も含めすべての写真は別途CDにも収録し利用できるようにした。今回の調査にあたって地震火山技術通信や、観測指針、取り扱い要領などを参照したが、これらは部内資料であり、時間が経つとともに散逸が進む恐れがある。最近まで使われた電磁式地震計についても時間が経つと詳細が忘れられる恐れがあり、写真以外の資料についても保存に注意していく必要がある。

この報告をまとめるに当たっては、気象庁OBの浜松音蔵氏からは地震計の写真のコレクションを提供して頂いた。松本測候所、軽井沢測候所、熊谷地方气象台、盛岡地方气象台、水戸地方气象台、精密地震観測室の担当官からは、ガラス乾板の写真など貴重な資料を提供して頂いた。福岡教育大学の三浪俊雄教授からはマインカ地震計に関する情報を頂いた。また東京帝国大学地震学教室所蔵で、現在国立科学博物館で保管されている地震計の写真の利用については、同博物館の大迫正弘氏および気象庁OBの津村建四朗氏にお世話になりました。大迫氏からは、博物館で保管されている地震計についても色々ご教示頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 中央气象台 (1915) : 地震観測法, pp.86.
- 中央气象台 (1936) : 地震観測法, 第2版, pp.94.
- 中央气象台 (1939) : 地震観測法, 第3版, pp.94.
- 中央气象台 (1952) : 地震観測法, 第4版.
- 中央气象台地震課 (1942) : 新型気象台式強震計の紹介, 測候時報, 13, 161-163.
- 藤沢格, 立山清二, 舟崎淳 (1986) : 房総沖海底地震常時観測システムの概要, 測候時報, 53, 127-166.
- 浜松音蔵 (1966) : 地震観測のあけぼのとPalmieri地震計, 測候時報, 33, 189-192.

- 浜松音蔵 (1981) : 地震観測史, 地震2, 34 特別号, 73-92.
- 浜松音蔵 (1986) : 明治・大正期の地震観測の精度, 歴史地震, 2, 53-58.
- 樋口長太郎 (1951) : 1トン地震計制作のおもいで, 測候時報, 18, 287-289.
- 市川政治 (1958) : 54B型普通地震計据え付け状況, 地震技術通信, No15, 10.
- 今村明恒 (1926) : 地震計測整備の一斑, 地震研究所彙報, 1, 7-25.
- 地震課 (1941) : 最近製作された簡単微動計について, 測候時報, 12, 297-298.
- 地震課 (1951) : 50年型強震計の紹介, 測候時報, 18, 205-227.
- 地震課火山係 (1958) : 56型高倍率地震計の紹介, 地震技術通信, No16, 7.
- 地震課火山係 (1958) : 火山観測用新測器の紹介, 測候時報, 25, 496-504.
- 地震課技術係 (1959) : 高倍率電磁地震計による地震観測網の整備について (1), 地震技術通信, No21, 2-4.
- 地震課技術係 (1961) : 61型遠地震用電磁地震計, 地震技術通信, No27, 2-3.
- 地震課技術係 (1964) : 63型地震観測装置の概要, 地震技術通信, No35, 6-13.
- 地震課技術係 (1966) : 59A型近地震用電磁地震計, 地震技術通信, No38, 9-22.
- 地震課火山業務課技術係 (1985) : 59C型地震計について, 地震技術通信, No61, 39-58.
- 地震課火山業務課技術係 (1989) : 88型小地震観測装置の紹介, 地震技術通信, No65, 1-17.
- 気象庁 (1967a) : 地震観測指針, 第5版 (観測編), pp122.
- 気象庁 (1967b) : 59A型直視式電磁地震計による地震観測要領 (暫定版), pp.136.
- 気象庁 (1972) : 磁気テープ記録式電磁地震計取扱要領 (暫定版), pp.150.
- 気象庁 (1973) : 59B型直視式電磁地震計による地震観測要領 (暫定版), pp.103.
- 気象庁地震課 (1960) : 近地震用電磁地震計について, 測候時報, 27, 142-149.
- 気象学会 (1893) : 地震計, 気象集誌, 12, 163-170.
- 気象研究所地震火山研究部 (1980) : 海底地震常時観測システムの開発, 気象研究所技術報告, 4, pp.233.
- 木村耕三 (1968) : 地震観測業務のあり方, 測候時報, 35, 93-108.
- 中村左衛門太郎 (1920) : 大正8年式水平振り子地震計の設計, 気象集誌, 39, 1-4.
- 小野崎誠一 (1958) : 地震計文献目録 (その1), 験震時報, 23, 89-98.
- 大森房吉 (1905) : 地震験測法一斑, 震災予防調査会報告, 50, 1-100.
- 武村雅之, 池浦友則, 工藤一嘉, 大沼啓人 (1994) : 岐阜測候所で観測された1923年関東地震の本震・余震の記録, 地震2, 47, 193-200.
- 鷲坂清信, 本間正作, 矢崎敬三, 長宗留男, 山岸登, (1952) : 1トン長周期地震計, 験震時報, 16, 7-38.
- 酒井乙彦 (1954) : 53年型普通地震計の紹介, 地震技術通信, No1, 1-2.
- 酒井乙彦 (1956) : 54型普通地震計の紹介, 地震技術通信, No10, 9.
- 酒井乙彦 (1962) : 気象測器製作所製水晶時計, 地震技術通信, No28,
- 東京気象台 (1886) : 鏡形験震器用法書, pp17.
- 宇佐見龍夫 (1959) : 十倍地震計について, 技術通信, No19, 2-5.
- 宇佐美龍夫・浜松音蔵 (1967) : 日本の地震および地震学の歴史, 地震2, 20 特集号, 1-34.
- 宇津徳治 (1954) : 電気容量変化型換振器を用いた長周期地震計の試作, 地震2, 7, 180-184.
- KIKUCHI, D (1904) : Recent seismological investigation in Japan, Publ. Earthq. Invest. Comm., No19, 1-120.
- ROSE S.V. (1992) : Volcano, Eyewitness guides, Doring Kindersley, London, pp.64.
- Instituto Nazionale di Geofisica (editor G. FERRARI) (1992) : Two hundreds years of seismic instruments in Italy 1731-1940, Storia-Geofisica Ambiente, Bologna, 54-58.