

ユーイングの円盤記録式地震計について

大迫正弘

国立科学博物館理工学研究所 〒169-0073 東京都新宿区百人町3-23-1

Ewing's Disk-recording Seismographs

Masahiro OSAKO

Department of Science and Engineering, National Museum of Nature and Science, Tokyo,
3-23-1 Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan
e-mail: sako@kahaku.go.jp

Abstract James Alfred Ewing (1855–1935) made various improvements to the horizontal seismograph that in 1880 first recorded the ground motion of an earthquake. He also designed a vertical seismograph. Scientists that followed him combined these mechanisms into a three-component seismograph. A photograph in the collection of the National Museum of Nature and Science is perhaps the only one in existence showing the form of this early seismograph, which recorded on a rotating smoked glass plate. The Museum also preserves a notebook with entries of earthquake measurements from 1881 to 1885 at the College of the Tokyo University at Hitotsubashi. This was where Ewing, accompanied by Seikei Sekiya (1854–1896), conducted experiments using seismographs. This document, probably written by Sekiya for the most part, demonstrates the progress made in the early stages of disc-recording seismographs.

Key words: J. A. Ewing, disc-recording seismograph, S. Sekiya

1. はじめに

ユーイング (James Alfred Ewing, 1855–1935) は東京大学理学部で機械工学を教えるために招かれ1878年来日したが、ほどなくミルン (John Milne, 1850–1913) らとともに地震の研究にかかわるところとなり、地震計の開発を手がけることになった。1880年に水平振り子を用いた水平動2成分の円盤記録式地震計を完成させ、その年の11月には初めての地震動の連続記録をとった¹⁾。また、グレイ (Thomas Gray, 1850–1908) の考案による上下動地震計の改良案を示している²⁾。ユーイングはのちに初の地震学専任教授となる関谷清景 (1854–1896) を助手にして一ツ橋にできた理学部地震学実験所³⁾で地震計の試験と地震観測を行い、実用となる地震計の開発という大きな足跡をこの分野に残し、その任期の終る3ヵ月前の1883年6月に故国の英国 (スコットランド) に帰った⁴⁾。ユーイングの円盤記録式地震計の実物は残って

いないが、帰国に際してそれまでの仕事をまとめた大部の論文⁵⁾ (以下Ewing (1883) とする) にスケール入りの挿図とともに説明があるので、その全体像をつかむことができる。また、国立科学博物館の地震資料の中にはその形式の地震計の写真があり、1881年から1885年までの地震計測のノートが1冊残っている。なお、ユーイングの考案に始まる円盤記録式地震計による地震記象 (記録) は1881年からのものが地震研究所に保存されている⁶⁾。

地震学の黎明期に日本でつくられた地震計についてはこの円盤式のものを含めてわからないことがいくつかある。器械装置の名称はふつうその発明・開発に貢献した人物の名前をもってつけるが、その時代の地震計についてはこの点で混乱があるように思われる。当時の地震計について触れている文献^{7)–10)}にあたって、いまひとつははっきりしない。このたび国立科学博物館の地震展示を更新するにあたりユーイングのこの円盤式地震計を復

元した。そのなかで疑問として浮かんだことは、ユーイングが上下動地震計を完成させたのかどうか、ということと、水平動に上下動を加えて3成分の地震計にまとめたのは誰か、ということであった。とくにあとのほうについては地震計の名前にもかかわることでもある。円盤記録式の3成分地震計を同時期のドラム記録式の3成分地震計と同じくグレイ-ミルン-ユーイング（またはユーイング-グレイ-ミルン）地震計と呼びならわしているようであるが¹¹⁾、円盤記録式地震計の改良にミルンがどこまでかかわっていたのかははっきりせず、この名称が当を得たものなのかどうかがよくわからない。

ここでは、以上のような疑問点を踏まえ、国立科学博物館に残る当時の写真と地震計測のノートを中心にしてユーイングの考案・改良にはじまる円盤式地震計について述べ、また、この地震計の復元について記す。

2. 写真に見る円盤記録式地震計

図1に円盤式記録地震計の使われていた当時の写真を掲げる。これは3成分の円盤記録式地震計の完成した姿をとどめているただ一つのものであろう。ただし、この写真はガラス乾板のネガになっているが、明らかに印画を複写したものであり、もとの撮影原板ではない。左側がややすぼんでいたため、ここに再録するにあたり歪み修正をかけた。

左手と奥に円錐台を逆さに伏せたような形の重りをもつ振り子が2つ置いてある。これは水平振り子で、東西・南北の地面の揺れをとらえる。右手には四角柱の塔のような形をした支柱が立っており、ここにバネで重りを吊った振り子がとりつけてある。これによって地面の上下の揺れをとらえる。中央には記録のためのガラス円盤がある。この円盤を煤でいぶし、振り子にとりつけた細い

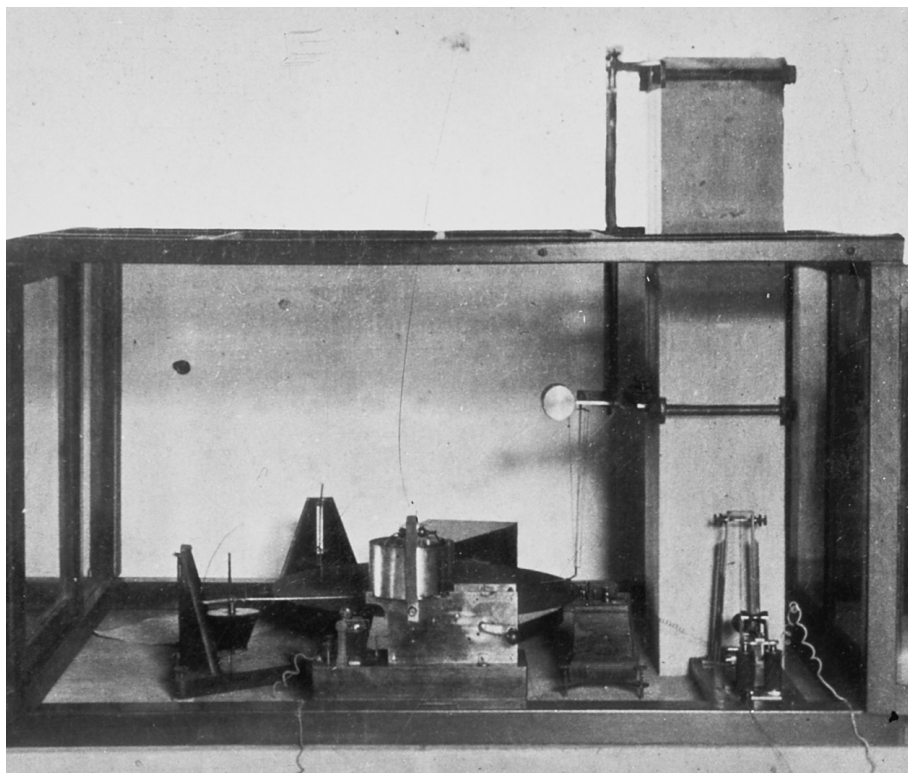


図1. 円盤記録式地震計の写真（国立科学博物館地震写真資料009-09、画像の歪みを修正）。中央の煤をつけた円盤を手前に見える時計装置で駆動する。左手と奥に円錐台を逆さに伏せたような形の重りをもつ水平振り子がある。右側の高い柱に重りをバネで吊った形の上下動振り子を取りつけてある。右下の小さな振り子は記録に時間のきざみを入れるための画時機という仕掛けである。

針の先でひっかいて跡をつけ揺れを記録する。地震の記録がとれたなら円盤を外してニスをかけて固定し、青写真に転写して保存した。ガラスの円盤は拭き取って繰り返し使ったものと思われる。

写真に見える地震計の左半分は機能、つまり記録円盤と水平動2成分の振り子を備えた地震計をユーイングの水平振り子地震計と呼んでいる。また、写真の右側のような上下動の振り子をもつ地震計はグレイ-ユーイングの上下動地震計という。この写真にある水平動地震計の部分と上下動地震計の部分はそれぞれEwing (1883) で紹介しているものと形がほとんど同じである(図版II,III,XI)。ただし、ユーイングはこの写真にあるような水平動2成分と上下動を組み合わせた地震計については述べていない。

記録円盤の手前にある装置は円盤を回すための駆動時計で、重錘を動力にしている。重錘を巻き上げるためのハンドルが見える(重錘の紐は写っていない)。ハンドルの左上にある円筒形のは調速機である。上下動の柱の手前にある装置は画時計というもので、振り子により時間のきざみを地震記録に入れるためのものである。風の影響を防ぐために地震計はこのように覆いをかけて使った。

東京大学(帝国大学)においてはこのような円盤に記録する形式の地震計が1880年代のはじめから10年あまりにわたって主力の観測器械として使われていたようである¹²⁾。その後、ドラムに記録をとる形の地震計に替わっていくが、円盤記録式の地震計はかなり長く使われていたらしい。とくに強震計といわれる1倍程度の低倍率の器械を1923年の関東地震の頃まで補助的に動かしていたという¹³⁾。一方気象台(官署)においては早くからドラム記録式の地震計が主力となっていたようである¹⁴⁾。おそらく、その大きな理由の一つは記録媒体の取り扱いの点にあったと思われる。記録ドラムが手前に転がして取り外せばよいのにたいして、円盤式の地震計では水平振り子を退避させて円盤のとりはずしを行わなければならないし、振り子を再びセットしたあとまた記録針の位置の調整が必要である。考えてみれば取り扱いのかなり面倒な器械である。また、回転する円盤上に記録するということから、円周の両側に針が円弧で地震動を描くということになる。そこで、その記録の線は幾何学的に複雑なものとなり、読み取るのに厄介である。日本で地震学をおこしたもうひ

とりの雄ミルンは1880年代はじめ早くからに平面のガラス板やドラムに記録する方式の地震計を使い始めていた^{15),16)}。ちなみに、ユーイングは1877年のエジソンの蓄音機の発明のすぐあとに自ら蓄音機をつくり¹⁷⁾、これを携えて日本に来た。この蓄音機の記録方式は円筒上に螺旋を描くというものである。円盤式の蓄音機は1887年のベルリナーの発明まで待つので、円盤式の記録は蓄音機よりも地震計が先行したということになる。なぜユーイングが地震計に当時の蓄音機の記録方式を使わなかったのか不思議なところであるが、その理由は記録面の滑らかさにあったようである¹⁸⁾。たしかにガラスは紙よりも針先の摩擦が小さいし、1枚のガラス板のほうがドラムに張った紙にありがちな凹凸やうねりが少ない。このようなことから、ユーイングとその後継者はガラス円盤による記録方式が優れているとして、それにこだわったのかもしれない。

ユーイングが1880年に初めて連続記録をとった水平動地震計はこのような円錐の重りの振り子をもつ器械とは形がやや異なる。それは円柱の重りを上下からコの字型をしたフレームで挟むようにした振り子をもつ地震計で、その形から銚型地震計といわれるものであった。銚型の水平振り子は改良されて重りとそれを支えるフレームの形も変わった¹⁹⁾。この写真の円錐型の重りの水平振り子がその改良型ひとつで、フレームを上と下の2ヶ所でピボットにより支えるようになっていて、上のピボットのネジを調節して振り子の回転軸の傾きを調節できるようにしてある。なお、気象台の地震計では少し後まで銚型の振り子が使われていたようである²⁰⁾。

3. 地震計測ノートについて

このノートは表紙に“Note on earthquake measurement Jan. 2 1881”と記してあり、内容は1881年から1885年までの地震観測の覚え書きで、東京大学理学部地震実験所(一ツ橋)でのユーイングの考案による地震計の試験と観測について記したものである。大きさは縦21 cm、横17 cmで、ページ数は136ある。57ページ目までは番号を付してあるが、そのあとにはページを打っていない。見開き右側のページを使い左側は空白というところも多い。大部分は英語で書いてあるが、後ろのほうは日本語の書きこみが多くなる。はじめの1881年

1月2日の分から1883年5月のところまではノートの罫線にしたがってきちんと書いてあるので、観測野帳または別に実験ノートがあって、そこから書き写したか、のちにまとめて書いたものと考えられる。また、ユーイングのものと思われる署名のある書きこみが見られる。1883年6月以降は書き方がやや雑になり、記述が簡単になってくる。このノートをきちんとした記録を書き残すためのものというより、メモ書きとして扱うようになったという印象を受ける。ちなみにユーイングが帰国したのは1883年6月²¹⁾であるから、地震学実験所の状況の変化がノートの記載のしかたにも現れているのであろう。101ページ目から119ページ目までは地震の記録ではなく、要人の名前と居所が並べてあり、120ページ目からまた地震の記載になっている。

1881年1月2日の地震をNo. 1として1884年6月14日のNo. 75までは通し番号がついているが、そのあとには番号を付していない。またこのころから地震の起きた日付の間に空きが多くなる。目立った地震記録については印をつけまたP(番号)というようにしてあり、これは写真の番号であるとの説明がある。これはカメラで写真にとったというのではなく青写真の複写にして残したということであろう。この場合には往々にして「写真を見よ」とある。ノートにないようなコメントを地震記録に書きこんでおいたのかもしれない。なお、Ewing(1883)にでてくる円盤式の記録(図版XIIから-XIXまで)はすべてこのノートにある地震と照らし合わせることができる。また、地震研究所に残る円盤式の記録⁶⁾のほうでは、1881年1月から1885年2月まで間の6つの地震がこのノートに載っている。

以下地震計について述べていることを中心に、重要と思われるものについて示す。

(1) 2ページ目にはNoteとして、「1882年9月までは同じ原理に基づく3つの異なった地震計を使った」とあり、「それは円環型、円柱型、円錐型の重りをもつ振り子が使われている」と述べている。そして「No. 30(1882年2月18日)までは円柱型の振り子によっている」としている。また、「円錐型はマニラに送られ、同じようなタイプが東京加賀屋敷の气象台²²⁾向けに作られた」(meteorologicalとあるがおそらくmeteorologicalの誤り)とある。この円柱型振り子の地震計はユーイングが1880

年に初めて地震記録をとった錐型器械のことである(Ewing(1883)の図版I)、円環型地震計も同じ文献(図版IV)にある。この記述は本郷(加賀屋敷)で気象観測とともに地震観測が行われたことをうかがわせる。

(2) No. 9(1881年3月8日)。この地震については「今まで記録したうちで長く興味深いものであるが、ユーイングが日本地震学会²³⁾」で報告するのでここには詳しく述べない」としている。Ewing(1883)ではp56-58および図版XIII。この地震の円盤式記録は地震研究所に現存するものの中でもっとも古い⁶⁾。

(3) No. 25(1882年1月はじめ)とNo. 26(1882年1月14日)の左側のページに「このとき地震計と時計機の注文がマニラから来た」とある。

(4) No. 31(1882年3月1日)。円環型で初めての記録。「円環型はユーイングの2番目の地震計である」としている。この地震はEwing(1883)(p58-59および図版XIV)にあり、文献6)のリストにも載っていて記録が現存する。

(5) No. 34(1882年3月11日)で、「初めて円錐型の地震計により記録をとった」とある。円盤と振り子の位置関係を示すスケッチがあり(図2)、それによると円盤の回る向きは時計まわりである。ここからあとは円錐型を使ったという記述が頻繁に出てくる。この地震もEwing(1883)(p59-60および図版XV)にある。

(6) No. 37(1882年4月9日)の左のページに「气象台用向けに earthquake session(地震の授業?)-1822-で(使うために)円錐型の器械一式の新しいものの注文があり作った。これは発明者(ユーイングのこと)による4番目の器械」とある。この气象台とはおそらく東京气象台ではなく本郷の東京大学理学部の气象台のことで、1822は1882の書き誤りであろう。その下には日本語を交えて製作者が書いてあり、地震計は製煉社、時計器械は小石川掃除町桐藤製作場となっている。製煉社とは科学機器の製造会社で、関谷の地震動の針金模型を売り出したところでもあり、のちに東京機械製造会社と名前を変えた²⁴⁾。

(7) No. 43(1883年1月18日)。継ぎ手なし水平振り子地震計(horizontal pendulum seismograph without joints, Ewing(1883)の図版V)と単地震計(duplex pendulum seismometer, 同, 図版IX)でも記録。これら地震計のはじめての実地試験。この継ぎ手なし水平振り子地震計では、水平振り子

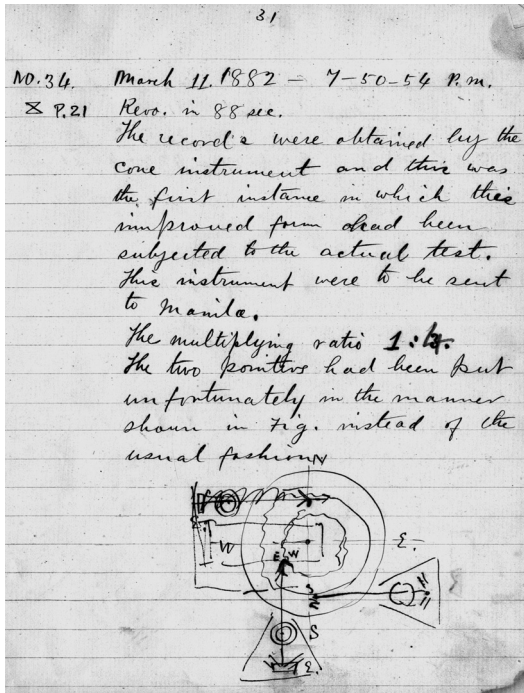


図2. 地震計測ノート (Note on earthquake measurement Jan. 2 1881). 1882年3月11日のページ。このとき初めて円錐型の振り子を使い地震の記録をとった、と記している。

の重りを斜め上から針金で吊っている²⁵⁾。

(8) No. 44 (1883年1月22日)。時間の長くかなり大きな地震。時計の具合が悪かったり止まったりしたために、継ぎ手なし水平振り子、円環型、円錐型すべてが止まっている記録板に振幅だけを示した(単地震計でも記録)、とある。

(9) No. 49 (1883年4月23日)。久しぶりに感じた強くて (sharp) 長く続く地震。「上下動器械を水平動用糸器械 (horizontal string instrument, この“string”にたいする和名と思われる“用糸”はノートの後のほうにでてくる) とともに同じ円盤に書くように据えつけたが、電気接点が働かなかったので失敗した」、とある。これが上下動地震計の初めてのテストになったのかもしれない。この用糸器械(地震計)というのがどのようなものかはっきりしないが、この前後の記述のしかたからみると継ぎ手なし水平振り子地震計と同じものを指していると思われる。用糸器械(地震計)という記述はこのあたりから多くなる。また、長大振り子の器械 (Ewing (1883) の図版 VIII) が初めて記録した、とある。この地震の円錐型水平動による記

録は Ewing (1883) にあり (図版 XIX), 文献6) のリストにも載っていて現存する。

(10) No. 50 (1883年5月2日)。「小さい地震で、長大振り子と水平動てこ式地震計の記録板の上でようやく認めることができる。上下動地震計と継ぎ手のない用糸地震計 (string seismometer without the joint) がはじめて動きを示した」、とある。水平てこ式地震計 (Horizontal lever seismograph) とは、円盤式の水平動と思われるが、左のページに「長大振り子地震計の倍率は10, 単地震計の倍率は4.3」、と書いてあるので、単地震計のことかもしれない。記録の写しはとったことになっているが(「写真を見よ」とある)、現存しない。ひきつづく No. 51 (1883年5月13日)には用糸と上下の地震計は電気接点が働かず動かなかった、とある。

(11) No. 54 (1883年6月10日)。強くて (sharp) 長く続く地震。すべての器械が動いた、とある。ここまでにててくる地震計は、円盤記録式水平動の円柱型・円環型・円錐型地震計の3つ、それに用糸地震計、上下動地震計、長大振り子地震計、単地震計である。だが、具体的に地震計の名前をあげていないのでここに挙げた器械全部が動いたことなのかどうかかわからない。

(12) 1884年10月15日。この地震は関谷の紹介記事がある²⁶⁾。ノートでは、「この日付の前1884年10月6日の地震の記載の後に実験所をつくりなおした」、とある。この10月15日の地震はこの実験所に器械が据えつけられて初めて経験する長いものであったと記している。この「実験所に器械が据えつけられた」というのはいつのことをいうのかかわからないが、大きな揺れだったらしく、地震計の東西動の描針が外れたことが図にして書いてある。長大振り子での観測結果や、円盤の回転速度を3回測って平均したこと、地震動の観測時間や波の数、図を書いて地震動の性質を考察した様子など、この前後でおきた地震の記載より詳しく記している。なお、この地震の記録は文献6) のリストに載っており、現存する。

ノートの記述はしだいにまばらになり、最終日付は1885年2月4日で、そこは「全四日午後七時 円錐型並ニ用糸ニ記象アリ」としか書いていない。そして、つぎのページには「明治十八年英国新発明博覧会〇[不明]地震計差出スニ付キ円錐型不断動ハ取徐ケリ」とのメモ書きがある。

地震計の拡大倍率と円盤の回転速度にはところどころに記載がある。倍率は円柱型が4倍、円錐型は4倍から6倍、円環型は少し大きくて6倍から8倍である。また円盤は44秒から124秒で一回りする、となっている。このように、記録倍率もときどき変え、また記録の送り速度はそのたびごとにかなり違っていた。

なお、地震観測のはじめのほうでは、しばしば大和屋敷（東京気象台）²⁷⁾で観測した時間と揺れの方向²⁸⁾を参照したことが記してある。このことから地震学実験所では地震計の試験的観測をすでにルーチンで観測を始めていた気象台の観測²⁹⁾結果を使いチェックをしていたということがわかる。

この観測/実験ノートを書いたのは誰であろうか。No. 60（1883年11月30日）までは同一人の筆跡である。この部分を書いたのは、ユーイングを助けて地震計の実験を続けていた関谷と考えられる。No. 8（1881年2月28日）では、「検流計の光の点が速くちらつくのを見て、地震のためとユーイングが気づいた。われわれが（実験）室にかけこんだときちょうど収まっていた」、とある。ユーイングでないわれわれ（we）のひとり関谷がこれを記したとするのが自然である。もっともNo. 45（1883年1月31日）のところに「ユーイングと関谷が地震計の針の動くのを見ていた」とあり、第三者とも考えられるが、自身を客観して書いたのであろう。

このノートからは円盤式の3成分地震計を作ったとかそれで観測したとの証しとなるような記述を見いだすことができなかった。ちなみに、地震研究所の円盤式地震計の記録のリスト⁶⁾で、水平動に上下動をあわせた3成分の記録の初めは1884年5月28日のものである。したがって、遅くともこのときまでに図1の写真にあるような形の地震計ができていたということになる。ノートではNo. 70の地震がこの日付のものであるが、そこでは揺れについて短く述べているだけである。このNo. 70を含めた期間のNo. 61（1884年1月19日）からNo. 75（1884年6月14日）までの地震については、地震記録を複写したかどうかということ添えて揺れの様子を簡単に列記し、地震計のことはなにも書いていない。またこの部分の筆跡はその前No. 60までのところとも、1884年10月6日以降（ここから先は地震の番号はない）のところとも違う。

4. 円盤記録式地震計の復元

平成19年4月国立科学博物館の上野本館内に日本館展示が開館し、その中に地震計を展開した。そこで、この展示更新を機に円盤式地震計を復元した（図3）。復元は図1の写真とユーイングの論文の図をもとにして行った。実物はもとよりその部分品と思われるものは残っていないが、後につくられたと思われる水平振り子の実物があるので、それも参考にした。だが、復元を始めてみると、思ったよりは難しく、限られた時間と費用のなかでは完動品までもっていくことはあきらめなければならなかった。

昔の機械式地震計では記録円盤やドラムを動かす動力に重錘がゼンマイを使う。この写真にある円盤式地震計では円盤を回す動力は重錘らしい³⁰⁾。送りの速さを調節するためには遠心振り子の调速機やテンプを使った。ユーイングの地震計では回転翼にかかる油の抵抗を利用した遠心振り子を用いている。今回は展示用ということで、この駆動部分の復元は行わず、電気モーターで置き換えることにした。円盤をガラスにするのは展示の安全のことを考えてやめにし、アクリルで代用した。それに、ガラスは重量があるので、スピンド



図3. 復元した円盤記録式地震計。

ルの部分のもそれに見合うように考えてつくらなければならない。回転力を記録円盤に伝えるための摩擦車の材質や作りがどのようなものであったのかは文献からはよくわからなかった。写真の右下の画時機は、振り子の重りにつけた針と真下に置いた水銀溜めで電気接点を作っており、これによって一定間隔のパルスを出して時刻のきざみを記録に入れる。この部分は後でつけられたもののようなので復元模型から外した。なお、円盤の回転の向きであるが、図1の写真では反時計まわり、図2のノートのスケッチでは時計まわりとなっている。ユーイングの論文Ewing (1883) の図面(図版II)では時計まわり、記録(図版XIII)では反時計まわりである。記録を青写真にとれば向きは反転するので、これで整合性はとれている。ちなみに、1887年1月15日の円盤式地震計の記録から関谷は地震動の針金模型を作っているが、その紹介の中³¹⁾にある地震記録は時計まわりとなっている。円盤式地震計では水平動振り子の位置が自由にえられるので、円盤の回転の向きはどちらでもよい。このように回転の向きについては判断しきれないところであるが、写真のネガにしたがい、復元模型では反時計まわりとした。もっとも、写真の裏焼という可能性は否定できない。

地震計の要は振り子である。水平振り子については、振り子本体の支持台、重りのフレーム、ピボットの部分は国立科学博物館に残っている同様の実物も参考にした。よくわからないのは描針のところであった。ブームを軽い麦藁などで作ったのならその自重で針先を煤書き円盤にあてても大丈夫だと思われる。のちの機械式地震計たとえば石本式などもそのようにしている。しかしユーイングの水平振り子地震計ではブームを吊っている。このようにすると、円盤の交換のときに針先を上げて退避させるのに手間がかかることになるし、針先がうまくガラス板にあたるよう調節するのがたいへんなはずである。だが、針先の摩擦をできるだけ少なくするために、こうしてブームを支えるようにしたとのことである。ユーイングの論文では弱いつるまきバネでブームの根元に近いところを吊っている(Ewing (1883) の図版III)が、写真の地震計ではブームを弓形の薄い板バネの先から糸で吊ってある。これは、ユーイングの錠型水平動地震計(Ewing (1883) の図版I)にある方式である。1度はつるまきバネで吊るようにしたもの、何か具合の悪いことがわかって実機ではも

とに戻したのであろう。バネで吊ると、ブームがちょうど上下動地震計の不動点のようになって、上下の揺れで針が円盤から離れたりしないのであろうか。復元ではユーイングの図面ではなく、写真にあるような糸で吊る形をとった。ただし、復元品は稼働しないこととしたので、これでもって描針の円盤へのあたりの強さを変えるようにはしていない。

上下動部分の振り子やてこ・描針については不明なところは少なかった。しかし、上下動の図面(Ewing (1883) の図版XI)は、テストをくりかえしてある程度でき上がってから描いたというより、その前の構想のときまたは試作途中のときのものではないか、という印象を受けた。とくに上部のバネを吊っているところの描きかたが簡単すぎる。写真では縦に長く下ろしたブームに糸のようなものが張ってあるのが見える。裸のブームでは具合の悪いところがでてきて実機では補強するようになったのであろうか。ところで、ユーイングの仕事の締めくくりとなったその論文Ewing (1883)には、水平動の地震計については地震記録のトレース図とともに観測結果をいくつも示しているのに、上下動の地震計については実際に作って観測したという記述がみあたらず、その記録もない。こうしたことから、ユーイング自身は上下動地震計を完成させるところまでには至らなかったのではないかと、と思われる。

論文の中の図にはスケールもはいい細かいところまで書き込まれているものの、概念図である。設計図面または製作図面でないの、いざ復元ということになると、このように振り子の描針や、駆動部の機構の細かい部分での寸法やつくりかたにわからないところが出てくる。また、写真はこの地震計の全体の姿をよく伝えてはいるが、印画を複写したうえに、ネガの大きさが手札判と小さい。細かいところを見ようとすれば、やはり階調や解像度が足りず輪郭が不鮮明ということで、判明に困るところもままあった。

4. おわりに

国立科学博物館に保存されている一冊の地震観測ノートは、1881年のはじめから1885年頃までの円盤式地震計中心に観測したことの記録を今に伝えている。そこに記してある地震計とその観測は、ほとんど水平動についてのことである。水平動の

地震計では、はじめのころは円柱型が多く、それに円環形を使った短い時期を経て円錐型と移り変わっていきということが追える。さらに、あとになると、用糸 (string) 器械/地震計という記述が目つくようになる。“円柱型-円錐型”のように振り子全体に金属枠を使うのでは大きさに限りがあるので、発展の方向としてこのような形の地震計をテストしたのであろう。重りを斜め上から針金で吊るという形の水平振り子はのちに低倍率の円盤記録式の強震計に使われることになる (図4)。また、大森式地震計でもこのような水平振り子が使われている。上下動地震計はこの間にできあがり、それによる観測も始まっていたはずであるが、ノートには試しに上下動地震計が動いたくらいのことしか書き残していない。

このノートは地震計の発達のはじめのところに關する貴重な資料であると思われる。ただ、前半部は地震計の試験や地震の観測をその場で記したのでなくのちに整理して書いたようで、実際のテストや観測のときに考えたこと観察したことなどについてのさまざまなメモが抜けてしまっていると思われること、水平振り子地震計についての記述が中心でそのほかの地震学実験所にあったはずのいろいろな地震計とくに上下動地震計についてあまり書いていないこと、ユーイングが帰国したあたりから記載がまばらになっていること、などは残念なところである。

地震計の始まりにおいては、ユーイングが水平振り子を使った地震計を作り、また、グレイの上下動振り子の地震計にユーイングが改良案を示し、

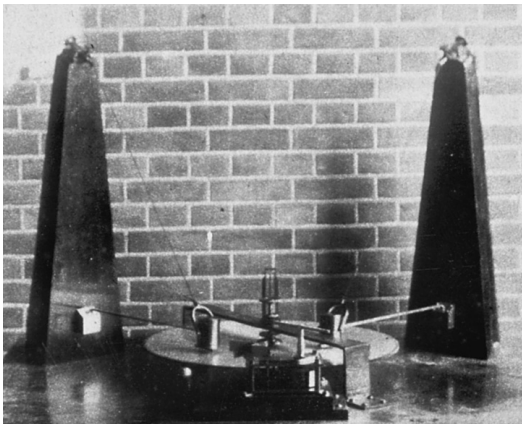


図4. ユーイングの円盤記録式強震計³²⁾ (国立科学博物館地震写真資料009-10)。

さらに、ミルンが水平動と上下動を一つにまとめて3成分を記録する地震計にした、ということになっていて³³⁾、こうしてでき上がった地震計はその3人の名前をとって呼ばれている。ドラム記録式の地震計については、のちになってグレイ-ミルン-ユーイング地震計という呼び名が定着した⁷⁾¹⁰⁾。また、円盤記録式地震計の3成分のものも同じように呼ぶこともあるらしい。しかし、ミルンがユーイングの開発した円盤記録式地震計の3成分化にどこまでかかわったのであろうか。今回見た地震観測ノートでは、3成分の地震計で観測したとははっきりとした記述が見られず、この点についての手がかりは得られなかった。ユーイングの上下動地震計を使えるものにし、これを水平振り子地震計とあわせて写真1にあるような3成分の形にしたのは、ユーイングのもので地震計の実験を行っていた関谷であったかもしれない。しかし、そうだとすると、地震学の黎明期にそこで大きな貢献をしたユーイング、ミルン、そしてグレイの陰にあってそのとき関谷はまだ駆け出しの研究者であり、地震計に名前を残すほどの存在ではなかったと思われたのかもしれない。

ノートによれば上下動地震計と用糸 (継ぎ手のない) 地震計がはじめてその動きを示した (どのような記録がとれたかは今となってはわからない) のは1883年5月2日で、これはEwing (1883) の序文 (Preface) の日付と同じである。上下動地震計と継ぎ手のない地震計が働くことを見届けてそこを論文の上梓の日にしたのであろうか。または、たまたま同じ日付になったのであろうか。そして、この頃からいろいろな地震計が動きはじめるようになっていった。地震実験所のあとを関谷に託し³⁴⁾、ユーイングはその翌月に帰国した。6月10日の地震を記したあとノートには3ヵ月あまりの間記載がない。9月19日になってまた前の記載のしかたにもどっている。

ノートは当時の地震学実験所にあった器械で地震を観測したこととともに、地震がきても器械が動かないで記録し損なったことも伝えている。早いうちにできていたと思われる長大振り子の器械や単地震計にしても、失敗がかなり多かったようである。それからすれば、水平振り子地震計の開発はむしろ順調であったようにも見えてくる。単地震計は地面の水平方向の動きを静止した記録板に描くもので、地震計というよりは感震器である、単地震計や長大振り子の器械は地震計に

至る前の段階のようなものではあるが、水平振り子地震計で地震動の連続記録をとるようになってからも、しばらくは並行して使い続けていたらしい、ということもノートからうかがえる。

物理学者であったユーイングは地震そのものといよりも、地震をいかにして測るかということに大きな関心を寄せていたといわれる。だが、普通の物理実験と違い地震計の実験は器械をつくっても地震が起こらなければ行うことができない。地震国の日本でその中でも地震の揺れを多く感じる関東地方（東京）であったからこそ実用となる地震計をつくることができた、と見るのは本当のところであろう。ユーイングの母国では、こうして地震計の開発を進めることはできなかったはずである。

展示の機会にユーイングによる円盤式地震計の復元を試みたが、今回は期日に間に合わせるということもあり、完動品までもっていくことはできなかった。当時の地震計は測定装置としてみたとき必ずしも高度なものではなく、時代の最先端の技術を投入したといえないかもしれない³⁵⁾。しかし、近代地震学の嚆矢となったのがまさにユーイングによるこの円盤記録式地震計であった³⁶⁾。歴史的に意味のあるこの器械の完動品をまたいつか復元できることを願っている。

謝 辞

地震計の復元にあたり、国立科学博物館本館展示準備室西村美里さんと池本誠也さんに協力をいただいた。製作については、遠藤信之さんほか本館展示JVスタッフが担当された。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献と注

- 1) Ewing, J. A., 1881. "On a new seismograph for horizontal motion". *Trans. Seismol. Soc. Jpn.*, 2: 45-49.; Ewing, J. A., 1883. "Earthquake measurement". *Mem. Sci. Dep. U. Tokyo*, 9: 1-92, p. 21, p. 54.
- 2) Ewing, J. A., 1881. "A seismometer for vertical motion". *Trans. Seismol. Soc. Jpn.*, 3: 140-142.
- 3) ユーイングは1880年からここで高さ6mの槽に吊るした長い単振り子により地震の観測を始めた。一ツ橋の地震学実験所は1923年の関東震災の火災で消失し、閉鎖となった。
- 4) ユネスコ東アジア文化研究センター編, 1975. 『資料 御雇外国人』. 小学館, p. 446-447.
- 5) 前出1)のEwing, 1883.
- 6) 岩田孝行・野口和子, 2004. 「東京大学におけるユーイング式地震計の歴史地震記象」. 地震研究所技術研究報告, 10: 58-76.
- 7) 濱松音蔵, 1981. 「地震観測史」. 地震, 第2輯, 34 (特別号): 73-92. のp. 80-82.
- 8) 藤井陽一郎, 1967. 『日本の地震学』. 紀伊国屋書店, p. 44-45.
- 9) 気象庁編, 1975. 『気象百年史:本編』. 日本気象学会, p. 440. に“1883年8月にはグレー・ミルン・ユーイング地震計が設置された”とある。前出7)の記述からはこの地震計はドラム記録式のようにもうけとれる。
- 10) Kikuch, D., 1904. "Recent seismological investigations in Japan", *Pub. Imp. Earthq. Inv. Comm.*, 19: 1-120. p. 29-39.
- 11) 前出6)のリストにある使用地震計の名称, など.
- 12) 前出6)で, 円盤式の記録は1881年から1902年までに917枚を数えているが, ドラム式の記録は1888年からで, そこから1900年までのところでは枚数が少なく有効な記象が見当たらない, という.
- 13) 那須信次, 1971. 「烈強震の地動(1)」. 建築技術, No. 236: 123-128.
- 14) 前出7).
- 15) 池上良平, 1987. 『震源を求めて』. 平凡社, p. 137-138.
- 16) 金凡性, 2007. 『明治・大正の日本の地震学』. 東京大学出版会, p. 33.
- 17) ユーイングの蘇言機という。国立科学博物館所蔵のこの器械は平成15年度の国の重要文化財(歴史資料)に指定された。
- 18) 前出10)のp. 31.
- 19) 水平振り子は回転軸を鉛直線から少し傾けるものであるが, 銚子型地震計の図(Ewing, 1883の図版I)を見ると, 振り子の回転軸が鉛直になっている。“まだ固有周期の思想はなく, 振子の軸を垂直に調整しているらしい”, という指摘がある(宇佐美龍夫・濱松音蔵, 1967. 「日本の地震および地震学の歴史」. 地震 第2輯, 20: 1-34. p. 4.). ユーイングの銚子型水平振り子地震計を紹介している文献は多いが, このことについて言及しているものはあまりない。
- 20) 前出7)のp. 81-82.
- 21) 今村明恒, 1935. 「地震学教室の創設と関谷先生」. 地震, 7: 533-538. にユーイングの解任は1883年6月22日, とある。
- 22) 1878年に本郷の東京大学理学部に観象台を設けた。1882年に天象台と气象台に分かれ, 气象台は1886年に廃止となった(天象台は後に東京天文台とな

- る)。(茅野一郎・鈴木保典, 1981. 「年表」. 地震, 第2輯, 34巻 (特別号): 185-207, p. 187.)
- 23) 現在の日本地震学会 (The seismological society of Japan) とミルン・ユースイングらが主宰した学会は和名・英名とも同じであるが, 両者に組織上のつながりはない.
- 24) 橋本万平, 1983. 『地震学事始』. 朝日新聞社, p. 157-158. なお, この地震動の模型については関谷清景, 1888. 「地震動ノ性質ヲ示ス雛形ノ説明」. 日本地震学会報告, 5, 35-40. にあり, これがそのまま付属の説明書となった. 奥付の製煉社を消して東京機械製造会社に直した説明書も残っている.
- 25) グレイの考案という. Dewey, J. and Byerly, P. 1969. The early history of seismometry (to 1900), *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59:183-227. p. 202.
- 26) 関谷清景, 1886. 「明治17年10月15日地震の記」. 日本地震学会報告, 3: 23-47.
- 27) 東京気象台は1882年6月まで赤坂葵町の大和屋敷 (現在の虎ノ門2丁目ホテルオークラの地) にあった.
- 28) パルミエリ (Palmieri) 感震器による. この器械による地震観測については, 濱松音蔵, 1966. 「地震観測のあけぼのと Palmieri 地震計」. 測候時報, 33: 189-192. をはじめいろいろなところに書かれている.
- 29) 地震学の黎明期に日本で地震観測の主導的役割を担ったのはむしろ気象官署であった. また, 気象官署ではユースイングやミルンの開発した地震計を早くからとりいれていた (前出16) p. 50-57.).
- 30) 写真の手前に見える駆動装置はEwing (1883) の図版IIにあるものと似ている. その駆動装置では質量10 kgの重りを5 m巻き上げるとなっている.
- 31) 前出24) の関谷, 1888.
- 32) このユースイングの円盤記録式強震計の写真は, 濱田信生, 2007. 「「地震計の写真にみる気象庁の地震観測の歴史」等の改訂」. 験震時報, 70: 73-75. (地震計の写真と解説は付録のCDに収録), および, 古村孝志・竹内宏之, 2007. 「首都圏直下の地震と強振動 —安政江戸地震と明治東京地震—」. 地学雑誌, 116: 431-450. で紹介している. 写真の強震計は水平動2成分のものであるが, これに上下動を加えた3成分の円盤記録式強震計の図や写真は見つかっていない.
- 33) たとえば前出8) のp. 44.
- 34) ユースイングはそれまでの研究をまとめた報告 (Ewing, 1883) の序文の中で, 日本を発つにあたり器械を関谷に託し後を頼むのは幸い, とのように記している. なお, このときまだ関谷の呼び名は「せいけい」でなく「きよかけ」(K. Sekiya) であった.
- 35) 今村が1922年にユースイングを訪ねたときの回想によると, “(日本滞在中の業績について) 「一つは地震計の発明, 今一つは Electromagnetic hysteresis の研究です」といふと, 先生は呵々大笑され「実はね, 地震計の発明といっても, 力学の一問題を応用したまでで, 大したこともなく, さうして地震の研究といっても滞在中だけのことであって, 本国に帰ると地震が全くない為, 何もかも忘れて仕舞ったよ」と謙抑された” という (今村明恒, 1935. 「ユースイング先生の追想」地震, 7: 118-124.).
- 36) 前出8) のp. 39-45.