

史料

京都・上賀茂観測所で使用された レボイル・パシュウィツ式傾斜計の変遷

国際高等研究所* 竹本修三

京都大学防災研究所** James MORI

ストラスブール大学地球物理研究所*** Luis RIVERA・Julien FRECHET

Short History of the Rebeur-Paschwitz Tiltmeter Used in Kamigamo Observatory, Kyoto

Shuzo TAKEMOTO

International Institute for Advanced Studies
9-3 Kizugawadai, Kizugawa, Kyoto 619-0225, Japan

James MORI

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

Luis RIVERA and Julien FRECHET

Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Université de Strasbourg
5 rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France

(Received November 24, 2009, Accepted January 12, 2010)

§1. はじめに

菊池大麓(1855-1917)は、東京帝国大学総長や文部大臣を歴任した後、1908(明治41)年9月に第3代京都帝国大学総長に就任した。総長就任にあたって、菊池は、京都帝国大学の理工科大学のなかに東京帝国大学の「大森地震学」とは違う新しい地震学・地球物理学の研究拠点をつくるという構想をもっていたことが1980年8月27日の佐々憲三と三木晴男の対談「京大地震学史に関連して」からうかがい知ることができる。〔佐々・三木(2010)〕そして菊池は、その構想を具体化するために、当時、第一高等学校教授であった志田順(1876-1936)

を京都帝国大学理工科大学助教授として招聘した。

志田は、1909(明治42)年9月に京都に着任後、直ちに上賀茂地学観測所の整備に着手し、同所にレボイル・パシュウィツ(Ernst von Rebeur-Paschwitz)式傾斜計とウィーヘルト(Emile Wiechert)地震計の上下動成分を設置した。そして、レボイル・パシュウィツ式傾斜計を用いて、わが国で初めて地球潮汐の観測に成功した。この地球潮汐の研究が、弾性地球の変形を表す3つの定数のうちの1つである「志田数」の提唱につながった〔Shida(1912)〕。志田は、これらの研究に基づき、1913(大正2)年3月17日に“On the Elasticity of the Earth and the Earth's Crust”という研究題目で京都帝国大学から理学博士の学位を得て、同年9月に教授に昇任している。

このほか志田は、ウィーヘルト地震計を用いた観測からは、地震波初動の4象限型押し引き分布の発見や深発

* 〒619-0225 木津川市木津川台9丁目3番地

** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄

*** 5 rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France

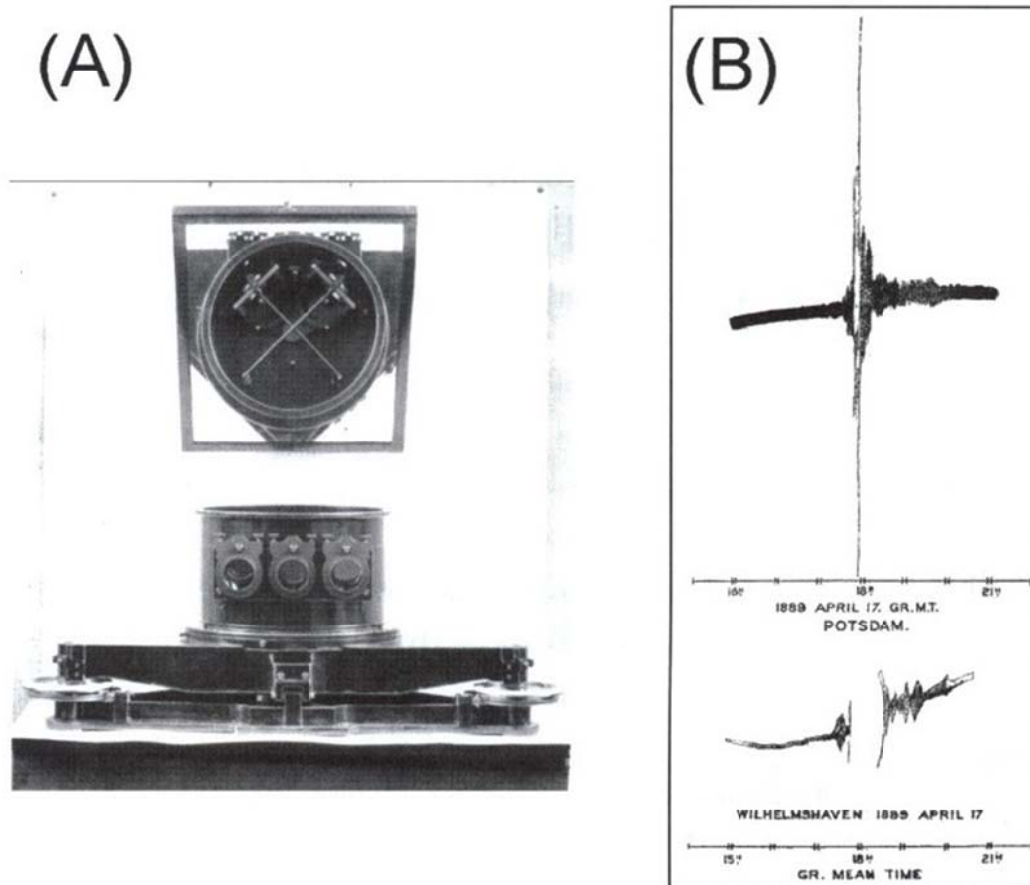


Fig. 1. (A) Rebeur-Paschwitz type of tiltmeter. (B) Records observed with the tiltmeters at Potsdam (upper) and Wilhelmshaven (lower) [after Rebeur-Paschwitz (1889)].

地震の存在の提唱などの業績を上げた [竹本 (2007)]. 1914 (大正 3) 年に京都帝国大学の理工科大学が理科大学と工科大学に分離したが、志田は、1920 (大正 9) 年に理科大学のなかに地球物理学科を立ち上げたほか、別府、阿蘇や阿武山に研究観測施設を開設するなど、京都大学における地球物理学の観測・研究の礎を築き、菊池の期待に立派に応えた。

上賀茂観測所は、京都大学の吉田キャンパスからは北北西に約 4.5 km の距離にあるが、もともと地磁気観測を目的として 1900 (明治 33) 年に菊池大麓が会長をしていた震災予防調査会により設置され、東京帝国大学の田中館愛橋が 1902~03 年の地球磁力国際同時特別観測のために使用したものである。その後はほとんど使われておらず、1909 年に京都帝国大学に移管された。観測所周辺の岩質は、砂岩・頁岩をまじえた秩父古生層のチャートである。

志田が上賀茂観測所で使用し、顕著な業績を上げたレボイル・パシュウィツ式傾斜計は、1939 年以降の足跡が途絶えており、上賀茂観測所の建物内はもとより、京都大学の地球物理学教室などにも残っておらず、現存していないのではないかと考えられていた。ところが、志

田が上賀茂観測所で傾斜計を始めてからちょうど百年後の 2009 年 7 月 11 日に、James Mori とそのとき来日中であった Luis Rivera の 2 名によって、上賀茂観測所の敷地内の空き地の倒木や落ち葉の下に埋もれていた瓦礫のなかからレボイル・パシュウィツ式傾斜計が発見された。

本稿は、このレボイル・パシュウィツ式傾斜計の変遷について調査した結果について述べる。

§ 2. レボイル・パシュウィツ式傾斜計の日本への導入

日本では明治の初めから御雇外国人教師であった John Milne, James A. Ewing や Thomas Grey を中心に水平振子を用いた地震計が考案されていたが、1889 年 7 月 25 日号の Nature 誌の letters to editor 欄に地震観測に関する興味深い報告が掲載された。Ernst von Rebeur-Paschwitz が、彼の考案した水平振子型傾斜計を用いて、1889 年 4 月 17 日に日本付近で起こった地震の波形をドイツのポツダムとウィルヘルムスハーフェンの 2 カ所で観測したというものである [Von Rebeur-Paschwitz (1889)]. Fig. 1 にレボイル・パシュウィツ式傾斜計の写真 (A) と同傾斜計を用いて前記 2 カ所の観測

所で観測された地震による振動波形の図(B)を示す。

Von Rebeur-Paschwitz は、月および太陽に起因する潮汐力による鉛直線の変化を測定するために、ツェルナー吊りの水平振子を改造した傾斜計を用いた観測を1889年3月から前記2カ所の観測所で行っていたところ、1889年4月17日18時(グリニッジ標準時)前後に異常な振動を記録した。その直後にはこの原因がわからなかったが、1889年6月13日号のNature誌のletters to editor欄に東京で観測された日本付近の地震に関するレポートが掲載されているのを読んで、彼は、この地震とドイツの2カ所の観測所で水平振子型傾斜計により観測された特異な振動との時間的な一致に、強い衝撃を受けた。東京からポツダムとウィルヘルムスハーフェンまでの距離は、それぞれ8,221 km および8,307 km であり、東京で観測されてから約1時間後にドイツの2カ所の観測所で日本付近の地震による大きな揺れが記録された。

Nature誌に掲載された地震の波形(Fig. 1(B))は、遠地地震の震動を記録した世界初の例であったため、地震の揺れを体験したことのないヨーロッパの研究者の興味を呼び、その後、ヨーロッパを中心に発展した地震波の伝播から地球内部の構造や状態を調べる研究の端緒となった[萩原(1982)]。

後に震災予防調査会を立ち上げた菊池大麓もこの傾斜計に興味を示し、1890年代に震災予防調査会のメンバーであった長岡半太郎(1865-1950)と大森房吉(1868-1923)がドイツへ留学した際に、このレポイル・パシュウィツ式水平振子型傾斜計の調査と購入を命じている。長岡半太郎は、1893年から1896年にかけてドイツに留学し、大森房吉は、1894年から3年間、ドイツ、イタリアへ留学した。ドイツ留学中の彼らがハンブルグにあったレポイル・パシュウィツ式傾斜計の製造会社に送った5通の貴重な手紙が、それから百年以上経った2009年に、Julien FrechetとLuis Riveraによりハンブルグにあるドイツ国立公文書館(Das Staatsarchiv Hamburg)で発見された。1893年8月2日と1893年8月4日の長岡半太郎の手紙、および1896年1月10日、1896年2月2日と1896年8月7日の大森房吉の手紙を付録として文末に掲載してある。また、その原文のコピーの例(長岡:1893年8月2日と大森:1896年1月10日)をそれぞれFig.2とFig.3に示してある。

これらの資料から、震災予防調査会の命を受けた長岡と大森が、価格や納期の問い合わせだけでなく、部品の構成にまで細かい注文を出していたことがわかる。なお、この傾斜計を開発したErnst von Rebeur-Paschwitzは、長岡と大森が欧州留学中の1895年に亡くなっている。

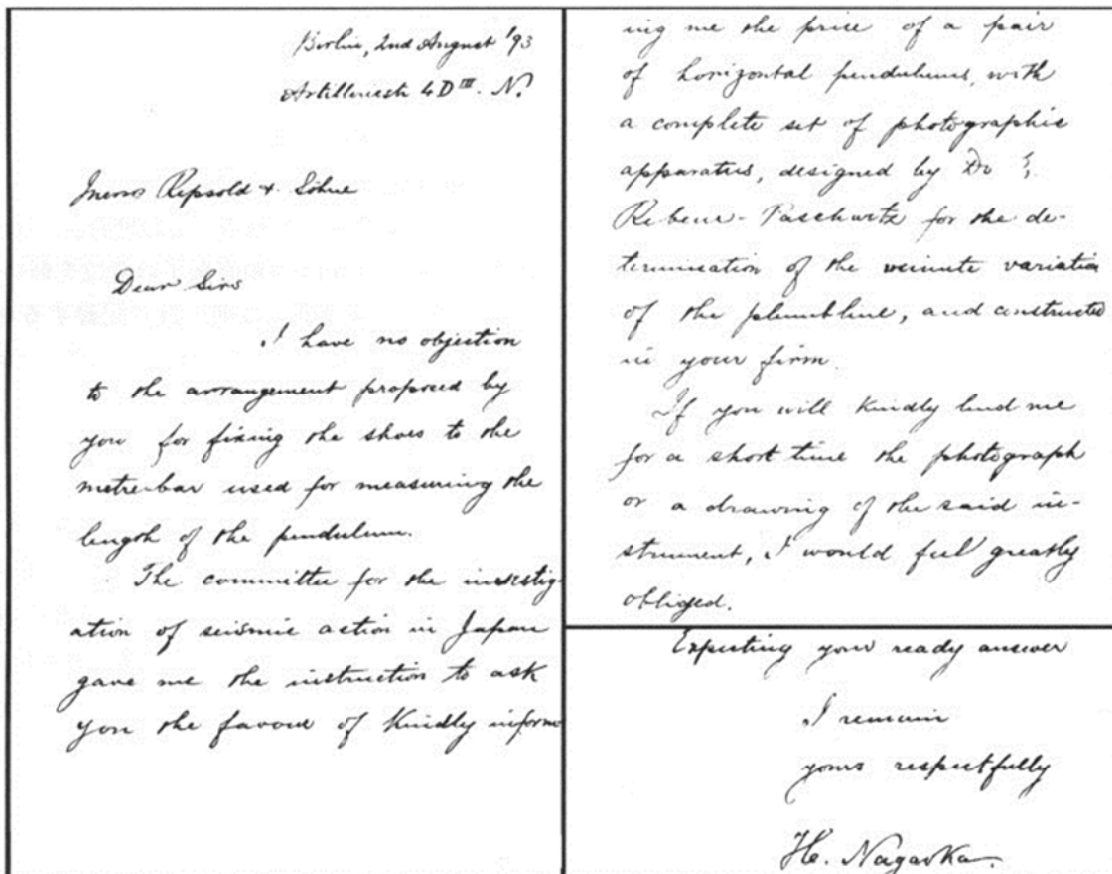


Fig. 2. Letter from H. Nagaoka to Repsold & Söhne (August 2, 1893).

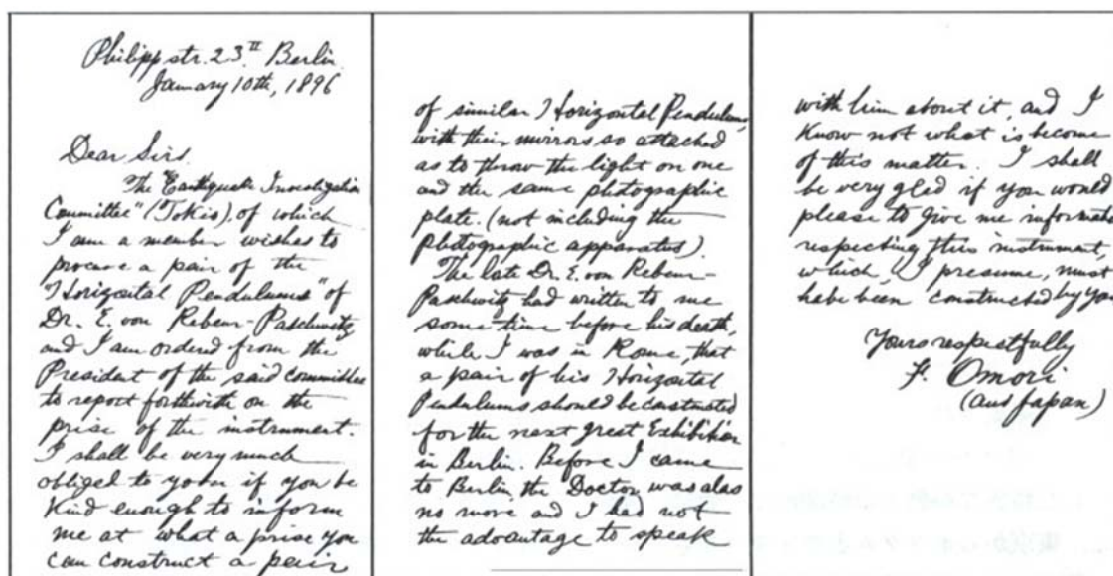


Fig. 3. Letter from F. Omori to Repsold & Söhne (January 10, 1896).

大森房吉は、1896年に帰国後、帝国大学理科大学の地震学科教授に昇進するとともに、震災予防調査会の幹事に抜擢され、日本の地震学研究の指導的な立場に立った。大森は、周期約10秒の連続記録可能な長周期地震計である「大森式地震計」を開発したほか、初期微動継続時間から震源までの距離を決定できる「大森公式」を発表するなどの多くの成果を上げ、「大森地震学」と呼ばれる一時代を築いた。

姿なき研究所ともいわれた震災予防調査会は、菊池大麓が幹事・会長を務めていた時代には、さまざまな専門分野の委員で構成されていたが、1896年に大森が幹事に就任してからは、次第に大森の考える「統計地震学」的アプローチが重視されるようになり、大森一人が活躍する場が変わっていった。膨大な調査会報告書の大半は、大森の手によって書かれた〔萩原(1982)〕。

一方、長岡半太郎は、1896年に帰国後、帝国大学理科大学物理学教授となったが、大学院時代からの磁歪の研究のほか、原子モデルの提唱などの物理学の研究に従事した。長岡は、地球物理学・地震学の研究にも興味をもち続け、弟子の目下部四郎太とともに、大森の統計地震学的アプローチとは異なる地学的・実験物理学的見地からの地震学研究を主張したが、この長岡らの考えは、大森には受け入れられなかった。1923年の関東大震災の直後に大森房吉が急死したが、長岡は、その翌年の1924年に発刊された大正大震災火災誌(山本 美 編)に「大森地震学」を鋭く批判した論文を寄せている。そこには、物理的必然性を重視した地震学研究への取り組みの重要性が述べられている〔長岡(1924)〕。

1896年に大森が帰国後、レポイル・パシュウィツ式傾斜計は東京帝国大学に届いたが、大森がこの傾斜計を

活用した形跡はない。その理由は、この水平振り型傾斜計が地震観測を目的としたものではなく、月や太陽に起因する潮汐力による鉛直線変化を観測するためのものであったため、大森の興味の対象とずれていたことのほか、ドイツでこの傾斜計の構造を仔細に検討した結果、地震の揺れがないドイツで使用するのはならともかく、地震国日本でこの傾斜計を使用すると、地震で揺れるたびに頻りに計器の調整をしなければならないから、日本で使用するのには不向きであると考えていたようである(付録の大森房吉の1896年2月2日の手紙参照)。

また、1895年にイタリアのパドヴァでヴィチェンチーニ(Vicentini)が新しい地震計を開発したが、大森は1896年頃にイタリアに留学しており、この地震計の実物を見ていると思われる。この地震計は100kgの重錘をもつ長さ1.5mの鉛直振子の変位を軽いテコで80倍に拡大し、煤煙紙上に細い針で記録するものであった。帰国後、大森はレポイル・パシュウィツ式傾斜計とヴィチェンチーニ地震計の構造を参考にして、日本で使用するに適した「大森式地震計」を独自に設計・製作している。日本における地震観測は、この「大森式地震計」で十分と考えていた大森は、レポイル・パシュウィツ式傾斜計にはあまり未練がなかったと考えられる。

菊池大麓は、大森房吉の精力的な活動を評価しつつも、震災予防調査会で苦勞して予算を確保し、やっとドイツから輸入されたレポイル・パシュウィツ式傾斜計とウィーヘルト地震計が、大森のもとで使用されずに放置されていることを気にかけていた。このことは、次章で述べる菊池大麓から志田順に宛てた書簡からたどることができる。

§3. レボイル・パシュウィツ式傾斜計—東京から京都へ

1909年9月に志田 順が京都に赴任する3カ月前に、彼が菊池大麓から受領した有名な手紙には、下記のように記されている。

拝啓 陳は下加茂観測所 今般震災豫防調査會の方にては不用と相成候に付 京大の方にて引受け 將來は之を以て地球物理學研究の爲に用ゐ度と存候へ共 とかく經費の問題と成りて直に實行と申ことは六ヶ敷候へ共 不取敢震災の方より地震計地動計を借用し 据付候へば宜敷と存じ 大森氏に談候處何とか相成可申趣に御座候 就ては其中に大森氏に御面會 此邊の御打合相成度と存候

草々

(明治四十二年)

六月十七日

菊池大麓

志田 順 殿

ここで、下加茂観測所と書かれているのは、正しくは上賀茂観測所であるが、震災予防調査会を立ち上げた菊池としては、同調査会の費用で設置した上賀茂観測所が地球磁力国際同時特別観測の役目を終えて、その後ほとんど使用されていないのと、同じく震災予防調査会の費用で輸入したレボイル・パシュウィツ式傾斜計とウィーヘルト地震計が、東京帝国大学の大森房吉のもとで放置されているのを何とかしたいという思いがこの文面から読み取れる。新しい予算を獲得するのはなかなか難しいことをよく知っている菊池は、この両者を結び合わせて活用し、「大森地震学」とは違った地球物理学の研究を京都で立ち上げたいという思いがあったと考えられる。

そして、菊池は、その当時、やはり大森房吉の方針に批判的であった長岡半太郎と田中館愛橘の意見も入れて、彼の構想を実現できる人材として志田 順を選んだ。この選択は、その後の志田の京都における活躍をみると、間違っていなかったと言える。

志田が1929年に「地球および地殻の剛性並に地振動に関する研究」で恩賜賞を受賞したとき、研究回顧の一文を東洋学芸雑誌に寄せているが、その中に次の文章がある〔志田(1929)〕。

大森先生の手にあつて其時は不用になつて居たレボイル・パシュウィツ水平振子と、幾つかの大きな荷箱に納まつたまま東京の物理教室の玄関に積まれてあつたウィーヘルトの上下動地震計とを男爵と長岡先生との好意に由つて借り入れることを得たのは私にとって洵に(まことに)幸運でした。この二つの機械と十五坪の地下室と上賀茂の地の利とは其後

速くも二十年を過ぎた京都での私の仕事の資本でした。

この文章にも志田の考えだけでなく、その背景にあった男爵(菊池大麓)の意向が十分感じられる。すなわち、1909年に志田が第一高等学校教授から京都帝国大学理工科大学助教授に赴任したとき、志田にはまだ顕著な業績はなかった。それに対して、大森房吉は、その当時、すでに世界に通用する地震学の大家であった。当時の二人の関係を考えれば、上記の文書は、単に『大森先生のご好意で、レボイル・パシュウィツ水平振子と、ウィーヘルトの上下動地震計とを借り入れることができた。』と書くのが自然であろう。それを敢えて、『“不用になつて居た”レボイル・パシュウィツ水平振子と、“幾つかの大きな荷箱に納まつたまま東京の物理教室の玄関に積まれてあつた”ウィーヘルトの上下動地震計』と書いたということは、志田が京都に赴任するにあたって、菊池大麓から聞かされた大森房吉への評価が上記の文面に反映されているとみることができる。

志田は、菊池の意図をよく理解して、地震に関係する諸現象の調査に重きをおく大森らの震災予防調査会的な研究アプローチとは距離をおき、その一方で、地震がほとんど起こらないドイツにおいて、地震波を地球の内部構造を調べる道具として利用するウィーヘルトらのゲッティンゲン学派の行き方に徹することも、地震国日本においては許されないと考えた。そこで志田は、京都では観測を重視するとともに、得られたデータの物理的解釈を大事にする道を選んだ〔竹本(2007)〕。

志田は、京都に着任するまでに、重力測定や地磁気観測の経験はあつたが、地震計や傾斜計を扱つたことはなかった。彼は、1909年9月に京都に来てから独力で地震計や傾斜計の原理を学び、講義や実験指導の合間に、まだ電灯線の引かれていない上賀茂観測所でローソクの灯を頼りに計器の設置を行い、同年12月には観測を開始している〔志田(1929)〕。

上賀茂観測所における傾斜計観測は、鉛直線に対する土地の相対的な傾斜変化を傾斜計の振子に取り付けたミラーの回転から測定するものであり、約3m離れた光源からミラーに光を当てて、戻ってきた光の軌跡を光源の横に置かれた記録用ドラムに巻きつけられた印画紙上に記録するという光テコを用いた拡大方式を用いている。ドラムは時計仕掛けで、1日に1回転する。電灯線が引かれていない時代にどんな光源ランプを使用したのかと思つてしたが、当時は石油あるいはベンジン・ランプが用いられていたのである〔Von Rebeur-Paschwitz(1894)〕。

Shida(1912)によれば、1日巻きのドラムの印画紙の

交換とランプの調整は、大谷助手の協力を得て、毎日午後8時に行われたという。志田は、こうして得られた1910年1月から1911年4月までの間の傾斜計の連続記録を解析し、主太陰半日周潮(M_2)と太陰日周潮(O)の振幅と位相を日本で最初に求めた。

§4. レボイル・パシュウィツ式傾斜計のその後の変遷

志田 順が顕著な業績を上げたレボイル・パシュウィツ式傾斜計は、その後どうなったであろうか。その後の変遷を調べた結果、この傾斜計は、1932(昭和7)年に阿蘇火山研究施設に移され、1937(昭和12)年まで同所において観測が続けられていたことがわかった[佐々(1940), 佐々・西村(1941)].

佐々らは、1932年に阿蘇火山の活動が活発化したのに伴い、火山周辺の地殻変動を観測する目的で、上賀茂観測所で使用されていたレボイル・パシュウィツ式傾斜計を阿蘇火山研究施設構内の横坑内に移設し、これを用いて1932~33(昭和7~8)年の阿蘇山大爆発に伴う土地傾斜変化を観測した[佐々・西村(1941)]. 佐々らは、この阿蘇における観測経験から地表面付近の傾斜計観測は気象影響が大きいことを痛感したためと考えられるが、近距離多点観測に使用するために、1935~36(昭和10~11)年に阿武山地震観測所工作室において10組(20台)の石本式水平振子型傾斜計を製作している。この傾斜計は、ツェルナー吊り水平振子型の構造で、振子部分はすべてシリカ(熔融水晶)でできている。鏡も水晶で作って溶接し、台・覆等は鉄製、三脚部分は耐錆鋼を使用したものであった。10組の傾斜計は、傾斜計観測に及ぼす気象変化の影響を調べる目的で、1937年から別府市内で相互に300~400 m離れた4点、阿蘇火山周辺では相互に3~4 km離れた4点に設置され、1組は京都上賀茂でレボイル・パシュウィツ式傾斜計との比較のために使用された。残る1組は、阿武山地震観測所構内に設置されて、精密水準測量との比較に用いられた。

このように、レボイル・パシュウィツ式傾斜計は、1937年12月に上賀茂観測所に戻され、同観測所の横坑内で約1年間にわたって、新たに製作された石本式熔融水晶製水平振子型傾斜計との比較観測に使用された。レボイル・パシュウィツ式傾斜計に比べて、新しく製作された熔融水晶製水平振子型傾斜計は、同じ光学距離で記録紙上の感度が15.8倍大きい。比較観測の結果、得られた傾斜変化量は、日周変化以下の短周期の変化では、両者とも全く同一であった。しかし、4~5日以上以上の緩慢な変化では、前者(レボイル・パシュウィツ式傾斜計)が3~4割程度大きな変化を示した。また、年間変化では、前者が0.6秒、後者が1.8秒と後者が前者の3倍であっ

た[佐々(1940)].

京都大学でレボイル・パシュウィツ式傾斜計を使用した記録は、ここで途絶えている。1959年に発行された「京都大学 上賀茂地学観測所」のパンフレットに器械設備として挙げられている傾斜計は、以下の3種類のみであり、レボイル・パシュウィツ式傾斜計の名前はない。

- (1) シリカ傾斜計 2成分1式(感度0.005"/mm/3 m)
- (2) インバー水平振子型傾斜計
2成分1式(ダンパー付)(感度0.006"/mm/2 m)
2成分1式(ダンパーなし)(感度0.006"/mm/2 m)
- (3) 水銀傾斜計 2成分1式(感度0.01/mm)

なお、(3)の水銀傾斜計は、細山謙之輔[Hosoyama(1953)]によって開発された。測定原理は、現在の水管傾斜計と同様であり、以下のような構造のものである。

直径10 cm、高さ3 cmのパイレックス・ガラス製の水銀槽の上部と下部は、同じくパイレックス・ガラス製の内径1.5 mm、長さ30 cmの2本の毛細管でそれぞれつながれており、閉じた構造になっている。水銀槽の下半分とその下の毛細管は水銀で満たされており、水銀槽の上半分と上部毛細管は着色アルコールで満たされているが、上部毛細管の中央には気泡が残されている。傾斜変化に伴う気泡の左右の動きを光学記録方式で記録する。なお、気泡を挿入するために上部毛細管の両端にはU字管が取り付けられているが、観測時にはこのU字管は閉じられている。

§5. レボイル・パシュウィツ式傾斜計と熔融水晶製の水平振子傾斜計の比較

上賀茂観測所で使用されたレボイル・パシュウィツ式傾斜計の原記録は残されていないが、Shida(1912)の論文には1組2成分の傾斜計(No. 1: S41°W方向およびNo. 2: N49°W方向)の1910年3月から1911年3月までの1時間ごとの読み取り値が記載されている。これに基づき、1910年3月8日から3月14日までの1週間の傾斜変化をプロットしたのがFig. 4である。一方、西村(1941a)がそれから30年後に、同じ上賀茂観測所で熔融水晶製水平振子型傾斜計を用いて観測した傾斜変化の記録の例をFig. 5に示す。

Fig. 4とFig. 5を比較すると、日周潮・半日周潮の帯域ではレボイル・パシュウィツ式傾斜計に比べて熔融水晶製水平振子型傾斜計(Fig. 5)のほうが安定しており、はるかに良質のデータが得られていることがわかる。Fig. 6は、西村(1941a)によって求められた上賀茂観測所における主要日周潮 O_1 と主要半日周潮 M_2 との潮汐傾斜変化を示す。上賀茂で観測される潮汐傾斜変化の特

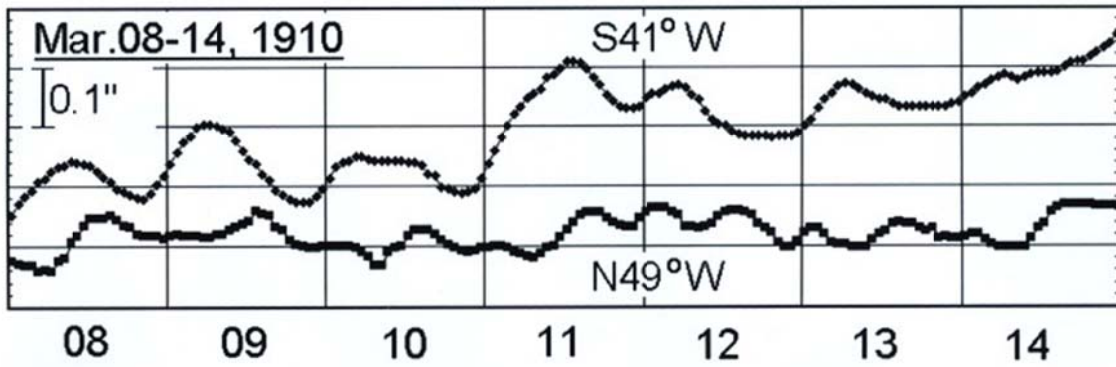


Fig. 4. Tilting motion observed with the Rebeur-Paschwitz tiltmeter at Kamigamo Observatory (March 8-14, 1910) [after Shida (1912)].

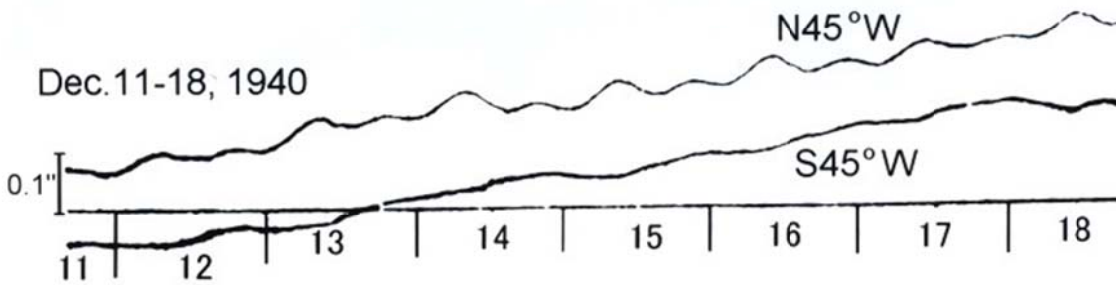


Fig. 5. Tilting motion observed with the horizontal pendulum type of fused silica tiltmeter at Kamigamo Observatory (December 11-18, 1940) [after Nishimura (1941a)].

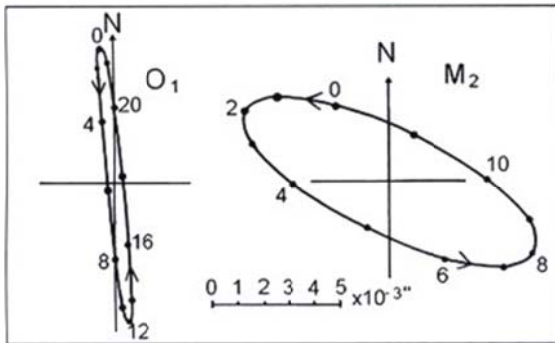


Fig. 6. Deflection of the vertical at Kamigamo Observatory (O_1 and M_2 constituents) observed with the horizontal pendulum type of fused silica tiltmeters [after Nishimura, 1941a].

徴は、日周潮の O_1 分潮では南北に大きく、半日周潮 M_2 分潮では北西-南東方向に大きい。

西村英一は、佐々憲三とともに、1930年代に上賀茂、阿武山、別府(6カ所)、阿蘇などで、熔融水晶製水平振り子型傾斜計を用いた観測を実施したほか、水沢緯度観測所等の観測データを用いて緯度の潮汐変化も調べて一連の論文を発表した [西村(1941a, 1941b, 1941c, 1941d, 1944)].

西村は、志田が上賀茂観測所における傾斜計観測で、海洋潮汐の荷重影響を取り除くことにたいへん苦勞をしたのをよく知っており、海岸より遠く、海洋潮汐の影響が小さい場所で観測をすることが念願であったが、

1941年に中国大陸の奥地の巴林 (Barim) において傾斜計観測を実施することができた [Nishimura (1950)]. 海岸から 1,000 km 以上離れた東経 $122^{\circ}09.7'$ 、北緯 $48^{\circ}18.2'$ の地点にある観測室は、ホルンヘルスの岩帯中に銅鉱石の水平試掘坑として掘削された坑道を利用したものであり、入口から 70 m 奥の地表面からのかぶり高が 44 m の場所に熔融水晶製水平振り子型傾斜計が設置された。観測は 1941 年 7 月初旬より同年 9 月末まで続けられた。ここで得られたデータに基づき決定された潮汐の減少定数 (D 値: Diminishing Factor) の値: $D=0.661 \pm 0.024$ は、「西村の D 値」として、世界各国の研究者に広く引用された [例えば、Tomaschek (1952)]. その後、西村英一らは、熔融水晶製水平振り子型傾斜計よりも製作および取り扱いが容易なスーパーインヴァール製水平振り子型傾斜計を多数製作し、1948 年以降はこの型の傾斜計が京都大学における土地傾斜変化観測の主流となった。

西村らは、地震活動と関連した土地傾斜変化を観測する目的で、1950 年頃までに鉱山の廃坑などを利用して、全国で 20 カ所を超える観測室に水平振り子型傾斜計を設置した [Nishimura (1953)]. これらの観測は、1965 年に発足したわが国の地震予知研究計画の先駆をなすものであった。



Photo 1. (A) L. Rivera searching for the Rebeur-Paschwitz tiltmeter at the premises of the Kamigamo Observatory on July 11, 2009. (B) The Rebeur-Paschwitz tiltmeter presented by J. Mori (right) and S. Takemoto (left) at the 2009 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan. This photo was taken by Yoshiaki Takeuchi of the Yomiuri Shimbun (Osaka) on October 22, 2009.

§ 6. Luis Rivera と James Mori による歴史的再発見

レボイル・パシュウィツ式傾斜計が京都大学で使用されていた記録は 1938 (昭和 13) 年までしかなく、それ以後は、より高感度の溶融水晶製水平振子型傾斜計 (シリカ傾斜計) が用いられ、1948 年頃からはさらに安定で、製作が容易なスーパーインヴァール製水平振子型傾斜計 (インバー傾斜計) が京都大学で使用されてきた。志田が使用したレボイル・パシュウィツ式傾斜計の現物は、地球物理学教室や上賀茂観測所の建物内などにも残っており、1940 年代前半の大戦下の困難な時期に、他の計器に転用されたのではないかと考えられていた。

ところが、2009 年 7 月 11 日に James Mori とちょうどそのとき来日中であった Luis Rivera の 2 名が、上賀茂観測所を訪れた際に、Luis Rivera が敷地内の現存の観測室から約 10 m 離れた明治・大正時代の倉庫跡の空き地の瓦礫の下に埋もれていたレボイル・パシュウィツ式傾斜計を見つけ出した (Photo 1(A))。これは、まさに科学史に残る発見であった。この歴史的傾斜計は、2009 年 11 月に京都大学で開催された日本地震学会 2009 年度秋季大会のポスター会場で展示され (Photo 1(B))、多くの参加者の興味を呼んだ。発見時に傾斜計の振子部分は失われていたが、残された資料に基づいてこの振子部分を復元した後に、この傾斜計を京都大学総合博物館で展示してもらうことになっている。

志田 順の教訓の 1 つに「誤差の中に真理が顔を覗かせている」というのがある [京都大学理学部 (1986)]。志田が上賀茂観測所におけるレボイル・パシュウィツ式傾斜計で得られたデータを解析し、地球潮汐の各分潮の振

幅や位相、さらに潮汐の減少定数 (D 値) を求める過程で、気温・気圧・湿度などの気象影響や海洋潮汐の荷重影響の除去にいかにか苦労をしたかを偲ばせる言葉である。京都大学総合博物館でこの歴史的な傾斜計の展示を見た人に、この志田の思いを感じてもらいたいと考えている。

§ 7. ま と め

京都大学における地球物理学研究は、志田 順が 1909 年 9 月に京都帝国大学理工科大学助教授に赴任してきたときから始まる。志田は、着任後、直ちに京都市北部にある上賀茂観測所にレボイル・パシュウィツ式傾斜計とウィーヘルト地震計を設置し、わが国で初めて地球潮汐の観測に成功したほか、地震波初動の 4 象限型押し引き分布の発見や深発地震の存在の提唱などの業績を上げた。

志田が上賀茂観測所で使用したレボイル・パシュウィツ式傾斜計は、その後、阿蘇で使われた記録などが残っているが、1939 年以後はその足跡が途絶えていた。その傾斜計が、2009 年 7 月 11 日に 70 年振りに偶然発見された。また、長岡半太郎と大森房吉が 1890 年代にドイツへ留学中に、レボイル・パシュウィツ式傾斜計の製造会社に送った手紙などの資料も新たに発見された。

本稿は、この傾斜計の変遷とその背景の歴史をまとめたものである。なお、「はじめに」で述べた佐々憲三と三木晴男の対談「京大地震学史に関連して」は未公開であったが、関係者の了解を得て 2010 年に公開された。

謝 辞

上賀茂観測所で見つかったレボイル・パシュウィツ式傾斜計の振子部分の復元作業は、京都大学防災研究所技術室機器開発班の園田保美班長に受け持っていた。また、振子部分の復元図の作成には、同防災研究所地震予知研究センターの大谷文夫氏と寺石眞弘氏のご協力を得たほか、Photo 1(B)で使用した写真は、読売新聞大阪本社編集局科学部の竹内芳朗氏から提供されたものである。これらの方々に厚く御礼を申し上げる。また、編集担当委員の本多 亮氏および査読者の浜田信生氏と向井厚志氏には丁寧に文章を読んでいただき、多くの有益なコメントを頂戴した。ここに深く感謝いたします。

文 献

- 萩原尊禮, 1982, 地震学百年, 東京大学出版会, 233 pp.
 Hosoyama, K., 1953, On a mercury tiltmeter and its application, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., **6**, 17-25.
 京都大学理学部, 1986, 理学部地球物理学教室一創始者志田 順先生, 京大広報, No. 307, 53-55.
 長岡半太郎, 1924, 地震研究の方針, 大正大震火災誌, 山本美編, 改造社, 37-44.
 西村英一, 1941a, 地球潮汐に就いて, 其一, 地球外殻の剛性, 地球物理, **5**, 10-32.
 西村英一, 1941b, 地球潮汐に就いて, 其二, 活断層附近の土地の特異なる運動, 地球物理, **5**, 33-86.
 西村英一, 1941c, 地球潮汐に就いて, 其三, 地球の剛性, 地球物理, **5**, 87-112.
 西村英一, 1941d, 地球潮汐に就いて, 其四, 緯度の潮汐変化, 地球物理, **5**, 113-170.
 西村英一, 1944, 地球潮汐に就いて, 其五, 緯度の潮汐変化(第二報), 地球物理, **8**, 66-72.
 Nishimura, E., 1950, On earth tides, Trans. Am. Geophys. Union, **31**, 357-376.
 Nishimura, E., 1953, On some destructive earthquakes observed with the tiltmeter at a great distance, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., **6**, 1-15.
 佐々憲三, 1940, 気象諸変化に起因する土地昇降変動について, 天文学および地球物理学邦文輯報, **1**, 17-26.
 佐々憲三・西村英一, 1941, 土地傾斜変化の観測序論, 地球物理, **5**, 4-8.
 佐々憲三・三木晴男, 2010, 京大地震学史に関連して, (財)国際高等研究所フェロー研究会「京大地球物理学研究の百年」集録, 137-148.
 Shida, T., 1912, On the elasticity of the earth and the earth's crust, Memoirs of the College of Science and Engineering, Kyoto Imperial University, **4**, 1-286.
 Shida, T., 1925, On the possibility of observing free vibrations of the earth, in Anniversary Volume Dedicated to Professor Hantaro Nagaoka by his Friends and Pupils on the Completion of Twenty-five Years of his Professorship, 109-120.

志田 順, 1929, 「地球および地殻の剛性並に地振動に関する研究」回顧, 東洋学芸雑誌, **45**, 275-289.

竹本修三, 2007, 京大の地殻変動研究短評, 測地学会誌, **53**, 123-133.

Tomaschek, R., 1952, Harmonic analysis of tidal gravity experiments at Peebles and Kirklington, Geophys. J. Roy. Astr. Soc., **6**, 286-302.

Von Rebeur-Paschwitz, E., 1889, The earthquake of Tokio, April 18, 1889, Nature, **40**, 294-295.

Von Rebeur-Paschwitz, E., 1894, Description of an apparatus for recording by photography the motions of horizontal pendulums, Seismological Journal of Japan, **19**, 35-54.

(付録) 長岡半太郎および大森房吉の手紙

Berlin, 2nd August, '93

Artillerie str. 4D III N.

Messrs Repsold & Söhne

Dear Sirs

I have no objection to the arrangement proposed by you for fixing the shoes to the metre-bar used for measuring the length of the pendulum.

The committee for the investigation of seismic action in Japan gave me the instruction to ask you the favour of kindly informing me the price of a pair of horizontal pendulums, with a complete set of photographic apparatus, designed by Dr. E. Rebeur-Paschwitz for the determination of the minute variation of the plumb line, and constructed in your firm.

If you will kindly lend me for a short time the photograph or a drawing of the said instrument, I would feel greatly obligated.

Expecting your ready answer,

I remain

yours respectfully

H. Nagaoka

Berlin, 4th August, '93

Artillerie str. 4D III N.

Messrs Repsold & Söhne

Dear Sirs

Thanks for your kind letter and a photograph of the horizontal pendulum. I wrote today to the Committee for the investigation of seismic action; the answer will probably come in the beginning of October.

As I had no official capacity to write directly to the manufacturer of the metre scale concerning the shoes to be attached to the extremities of the bar, I wrote the other day to the officials in Japan, who will order them to be near in the form designed by you. I am afraid that it will take some time before I can hand the shoes over to you,

Yours respectfully
H. Nagaoka

Philipp str. 23 II, Berlin
January 10th, 1896

Dear Sirs,

The "Earthquake Investigation Committee" (Tokio), of which I am a member wishes to procure a pair of the "Horizontal Pendulums" of Dr. E. von Rebeur-Paschwitz and I am ordered from the President of the said committee to report forthwith on the price of the instrument.

I shall be very much obliged to you if you be kind enough to inform me at what a price you can construct a pair of the similar Horizontal Pendulums, with their mirrors so attached as to throw the light on one and the same photographic plate (not including the photographic apparatus).

The late Dr. E. von Rebeur-Paschwitz had written to me some time before his death, while I was in Rome, that a pair of his Horizontal Pendulums should be reconstructed for the next great Exhibition in Berlin. Before I came to Berlin, the Doctor was alas no more and I had not the advantage to speak with him about it, and I know not what is become of this matter. I shall be very glad if you would please to give me information respecting this instrument, which, I presume, must have been constructed by you.

Yours respectfully,
F. Omori
(aus Japan)

Berlin, Philipp str. 23 II
Feb. 2, 1896

Dear Sirs,

Please accept my best thanks for your kind letter of Jan. 11th. I reply to you with some delay, for which I beg your pardon, as I have long considered whether

to adopt some modifications in the method of suspension of the pendulum.

Dr. E. von Rebeur-Paschwitz's method of suspending the pendulum is evidently not free from objections, and as you pointed out, it would be difficult to hung the pendulum on the steel points so as the position is that of the required maximum stability, and more especially the adjustment may be deranged by earthquake shocks which in Tokio are so frequent. But as Dr. E. von Rebeur-Paschwitz has much worked with the Horizontal-Pendulum which is in anyway simple in construction, and as he is an authority in this line of investigation, I should like after all to follow his method of the suspension.

With respect to the construction of the Pendulum:

-
- 1) I should like to have a pair of separate Hor. Pendulums of an exactly similar construction, (and not two H.P. combined into one system).
 - 2) Instead of the Prism (which serves to project both coordinates on the same photographic paper) it may be better, as Dr. Paschwitz himself had suggested, to provide 3 vertical Mirrors inclined to one another at an angle of $22^{\circ} 1/2$ (which must naturally be placed one over the other so as not mutually to interfere) with a lens L before them. The correcting mirrors 1 and 2 receive rotations round a vertical axis to correct their planes whenever the digression of the pendulum is too great. The mirror 3 is the fixed mirror which serves as reference and for marking the time.
 - 3) Two extra pairs of the "Steel points" (on which the agate cups of the pendulum are to rest) with their conical points of different sharpness. I say this as often difficulties may arise from the flattening of the "Steel points" which necessitate their change.
 - 4) If you think it possible that these "points" can be made of some hard stones, I should like to have an extra pair of such points.
 - 5) The distance between the two "points" suitably increased them in the instrument hitherto constructed, say doubled.

Will you be kind enough to write me once more and inform me of the prise (price?) of a pair of the H.P.

constructed as above and with the extra "points" mentioned, and also of how long time is necessary for the construction of the instrument.

With kind regards, believe me,

Yours respectfully.

F. Omori
(aus Japan)

Berlin, Philipp str. 23 II
Potsdam, August 7th, 1896

Dear Sirs,

I am not sure whether, in the drawings of the new

Hor. Pendulums which you have so kindly shown me some days ago in Potsdam, there exists an arrangement for letting down the suspension "Points" of the pendulums on their supports slowly (which would be necessary for preserving the "points"), and not to be let down or taken off directly by hand as in the first instrument of Dr. Rebeur-Paschwitz. Please let me know about this thing.

Yours very truly.

F. Omori