

工部大学校における重力加速度に関する教育

— 覚書 —

Education on the Acceleration of Gravity in the Imperial College of Engineering

植村 正治*

Shoji Uemura

実験実習による理学教育を重視したイギリス人教師エアトンは、工部大学校において様々な実験実習を行ったが、本稿では重力加速度測定実習に関してどのような理学教育が行われたかを検討する。

キーワード：技術移転、工学教育、工部大学校、理学教育、重力加速度

I. はじめに

前稿では¹⁾、工部大学校理学教師のイギリス人エアトンらが学生たちを指導して行った4つの理学実験実習もしくは実験パフォーマンス、すなわちファクシミリ、アーク灯、軽気球、重力加速度測定に関する実習がどのように進められたかを検証し、さらにそれらのうちの1つ、軽気球に関して、実験実習に至るまでに理学に関するどのような知識が学生たちに教育されたかを検討した。

本稿では軽気球の場合と同様に、重力加速度測定実習に関してどのような教育が行われたかを跡付けてみたい。ただし、1877年冬期(10月～翌年3月)に実施された加速度測定実習への参加学生は2年生であったので、以下では主に1、2年生段階で行われたとみられる授業内容を中心に検討したい。また、前稿と同様、本印刷物が暫定的なものであることを断っておきたい。

II. 真空落下実験ガラス管と斜面

工部大学校の理学教育においてエアトンが教科書として使用したデシャネル英訳書では²⁾、いかなる物体も同じ速さで落下することを証明するために、ガリレオがピサの斜塔において行ったとされている実験が紹介されている³⁾。まず、異なる物質からなる小球2つを落下させると同時に着地したが、様々な表面を持つようにそれらの形状を変化させると、同時に着地しなかった。この実験から、ガリレオは、すべての物質に対して重力は同じ強度(intensity)で作用し、真空に

においてはすべての物体は同じ速さで落下すると推論した、とする。ちなみにデシャネルは、重力加速度 (acceleration of gravity) のことを重力強度 (intensité de la pesanteur) と表記し、英訳者エベレットも intensity of gravity と訳出した。

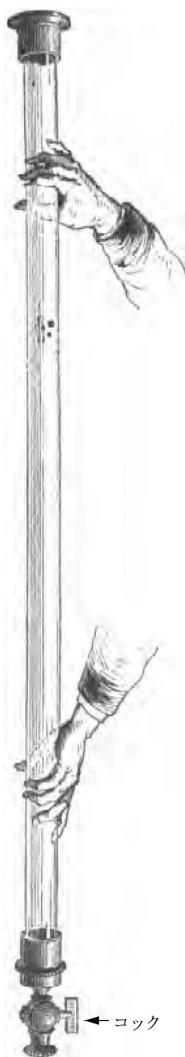


図 1. 真空落下実験ガラス管

注: 以下のいくつかの図では、器具の説明に必要な記号や部品名称を書き加えた。また不鮮明な原図記号には修正を加えた

出所: A. P. Deschanel,
*Elementary Treatise on
Natural Philosophy*, (by J.
D. Everett), part I, D.
Appleton and Company,
New York, 1878, p.41.

ガリレオの時代には真空状態を作り出すための空気ポンプがなかったために、上記の仮説を実証することはできなかったが、空気ポンプを利用できたニュートンは上記の仮説を実証し、デシャネルの時代には、実験物理学においてこのガラス管利用が一般的となったとしている。エアトンが作成した「Catalogue of Physical Apparatus」(以下、物理学器具カタログとする⁴⁾)の中にガラス管に関する記述、「Fall in Vacuo (apparatus to illustrate)」が見いだせた。図1はデシャネル英訳書から引用した図版であるが、上の記述は工部大学校に同種のガラス管が用意されていたことを示している。コックを開放した状態で、ガラス管下方部分と空気ポンプとを接続することにより管内を真空状態にすることができる。上記カタログにはピアンキ、シュブレンゲル、ハビネなどの各種空気ポンプが掲げられており、これらが理学器具室などに常備されていたことがわかる。エアトンは、あらかじめガラス管に入れておいた紙、羽根、鉛粒など密度の異なる物質が同時にガラス管底に到達することを、学生たちに示したのであろう。

デシャネルは、真空落下実験に関する記述に続けて、多くの物理学入門書と同様に⁵⁾、ガリレオがすべての物体に対して同一の強度で重力が加わることを検証しようとして斜面を利用したことを記している。自由落下する物体の速度は速く、落下の状態を観察することが困難であるため、斜面が利用された。ガリレオは長い定規を斜面とした。その斜面には小球を転がすための溝が縦に掘られている。物理学器具カタログにも「Inclined Planes」が掲載されていた。

図2は、その原理を説明するためにデシャネルが著書に掲載したものである。いずれの高さにおいても、小球(M)の斜面ABを下る重力強度はAC間を垂直に落下するそのAC/ABにすぎない。より観察しやすくなる上、垂直落下よりも速度が遅いので空気抵抗が少なく、正確な測定が可能となる。この実験でガリレオが発見した法則の1つが、落下距離は、経過時間の二乗に比例するというものであったが、速度が経過時間に比例するというもう1つの法則につい

では、デシャネルはこの個所では触れていない。ガリレオは、底に穴を開けた水桶から流れ出る水量に基づいて時間経過を測定したが⁶⁾、エアトンは時計や秒振り子などに依拠して、この実験をより正確に実施することができたはずである。

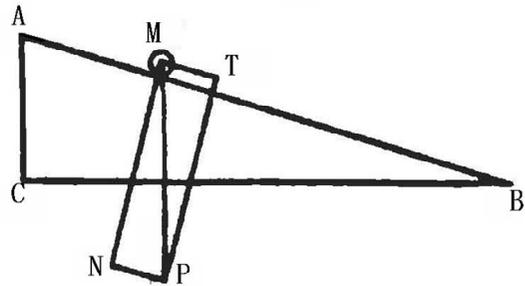


図 2. デシャネル英訳書記載の傾斜面図

出所: 以下、特筆しないかぎり、図1に同じ。

III. アトウッドの器械

この器械は、ケンブリッジ大学トリニティ・カレッジの特別研究員でありチューターでもあつた G. アトウッドが発明したもので、物理学器具カタログに「Attwood's (Atwood) Machine」と記録されている。

図3がデシャネル英訳書に掲載されていた図版である。これを利用することにより、斜面よりも正確に落体の法則を見いだすことができる。

器械の最上部には、1つの滑車と、その滑車軸を支えるための2つの車輪が2組配置されている。2つの車輪が交叉する個所に滑車軸を載せることにより、摩擦が少なくなる。滑車から糸が両脇に垂らされ、それぞれの先端には重り(P, P')が吊されている。それぞれの質量は同一で、その質量をPと、同じ記号を使用している。同一質量なので滑車は静止状態であるが、pもしくはp'(pと同じ質量だが、形状が異なる)をPの上に載せるとP+pは落下する。落下始動の仕組みは、図4に示されているが、図3と必ずしも対応していない。参考書としてエアトンが指定したガノー英訳書によると⁷⁾、図3との関係から図4は左右反転していなければならないし、下部の歯車機構(R)は、図3の秒振り子上部のデジタル計器内部(図4の渦カムが見える)に配置されているはずのものである。またデシャネル英訳書には、その高さについては触れていないが、ガノー英訳書では、約2.5ヤードとしている。

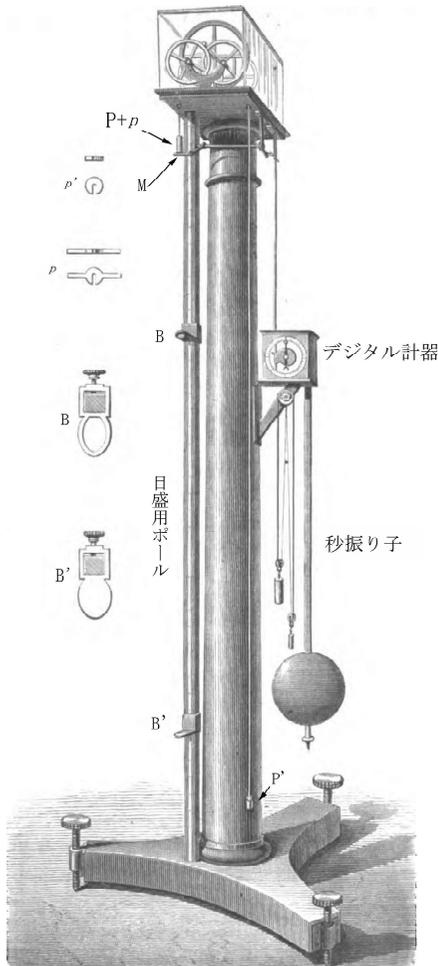


図 3. アトウッドの器械

図3もしくは図4の重り棚(M)が下方に開かれることにより、その上の重り $P+p$ が落下するが、落下始動時刻が厳密に秒振り子と連動する仕組みになっていることがわかる。秒振り子の振

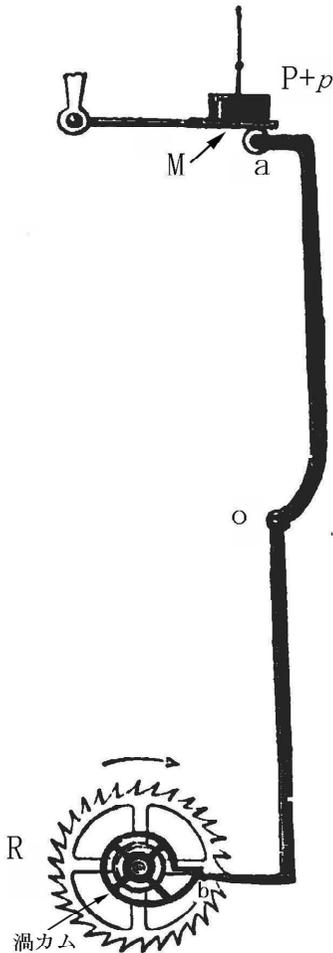


図4. アトウッド器械の重り落下機構

動時間は1秒なので、おそらく振り子が一番高い位置にきた瞬間に、図4のoを軸とするレバーの下方先端が渦カムbの位置から外れ、これと同時にaもMから外れ、 $P+p$ が落下する。滑車を動かす力は、 p に、重力強度（以下では重力加速度とする）を掛けた値、すなわち重量のみであるが、この力が作用するのは滑車全体の質量 $=2P+p$ なので、滑車全体の加速度は、重力加速度の $\frac{p}{2P+p}$ にすぎない⁸⁾。デシャネルは、 $2P+p$ が p の20倍とすると、滑車全体の加速度は重力加速度の20分の1となる、という数値例を掲げている。

このようにしてゆっくりと落下させることにより、まず、落下距離と時間との関係を明らかにしている。振り子が振動する最初の1秒間に重りが何目盛落下したかを観測する。デシャネルによると、1秒経過後の重りの位置に止め板B'を暫定的に水平に固定する。さらに1秒経過後の振り子の音と、暫定的に固定した止め板に重りが当たった時の音が一致するように聞き分けて、最終的にその位置を確定して、より正確な1秒後の落下距離を計測する。その距離が11目盛だったとすると、

2、3、4秒後の落下距離は、44、99、176目盛とな

るはずだとしている。すなわち、落下距離を s 、経過時間を t 、不定記号 (the indefinite symbol) を K とおくと、 $s = Kt^2$ という式が得られる。 K はこの事例では11となる。

速度と時間の関係に関する実験は、次のようにして行われる。1秒経過後の落下位置に固定された止め板B'の代わりに、重りPは素通りするが p が捕捉される止め板Bを固定すると、Bを通過したその瞬間以降、 p の重力による作用はなくなり、 $2P$ は慣性のみにより等速運動を行う。その後の1秒間の移動距離を計測した値が1秒後の速度、22目盛となる。最初の1秒間の落下距離の2倍である。同様に2秒後の落下距離の位置にBを固定し、そこを通過した後の速度が2秒後の速度となる。1秒前の速度にさらに速度が加えられ、その速度は44目盛となる。3秒後も22目盛だけ加速され、66目盛の速度となる。速度を v とすると、 $v = 2Kt$ が成立する。 $2K$ が重力加

速度にあたる。

デシャネルによると、一般に重力加速度は g で表現されるが、アトウッドの器械では、厳密な測定は不可能で、振り子により初めて厳密な測定が可能となるとする。イギリスの場合、 g は32.2フィート(9.81メートル)で、最初の1秒間の落下距離は16.1フィートすなわち $\frac{1}{2}g$ となることから、先の2つの式を g に置き換えて、それぞれを公式化すると、 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 、 $v = gt$ となるとしている。ガノー英訳書をはじめとする当時の多くの物理学入門書ばかりでなく、現代の入門書においても、後者公式とその意味を紹介したあとに具体的説明を加えているが、デシャネルは、実験経過からこの公式を導こうとした。

エアトンの物理学器具カタログには掲載されていないが、デシャネルは、アトウッドの器械と同様の機能を持つ2つの装置を紹介している。1つは、フランスの器具メーカーの Bourbouze が、時間と距離・速度との関係を自動的に計測するためにアトウッドの器械を改良したものである⁹⁾。 p を載せていない重りは、電磁石により装置の下部に密着させる。一方、滑車軸の延長線上に、煤でいぶしたシリンダーが水平に取り付けられ、その上には尖筆が置かれる。尖筆は、電磁石により左右に一定の間隔で振動する細長い棒の先端に取り付けられているので、落下速度が一定の時、シリンダー上には等間隔の波形が描かれるが、加速していると、時間の経過とともに間隔が広がっていく。一方の重りが開放されると同時に振動が開始されるようになっている。

もう1つは、フランス人物理学者モラン (A. Morin¹⁰⁾) により発明された装置である。等速で回転する円柱に紙を巻き付ける。垂直に落下するように2本のひもに誘導される重りには、鉛筆が取り付けられている。その鉛筆が円柱側面に常に接するように工夫されているので、重りの落下と同時に円柱を回転させると、紙上には放物線が描かれる。横軸が時間経過で、縦軸は落下距離となる。

IV. 振り子

デシャネル英訳書第6章において振り子が論じられている。最初に通常の振り子について述べた後、理想上の単振り子の運動について言及する。すなわち、重量のない無伸縮の糸の上先端を固定し、垂直に伸びる下先端には一定の重さを持つ質点を取り付けられている。振り子が垂直の時、均衡状態にあるが、図5のようにMの方向に引き寄せられた場合、摩擦はないものと想定して接線MHに相当する力が作用して質点の運動が引き起こされる。その力はM'点に近づくにしたがって弱

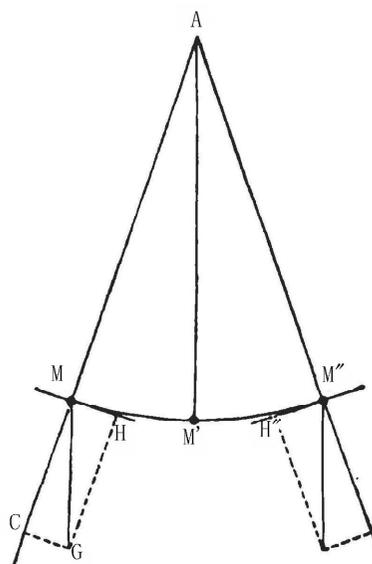


図5. 単振り子の原理説明図

くなり、 M' 点ではゼロとなるが、速度が与えられているので、 M' 点をすぎても M'' 方向に向かう。 M' から離れるにしたがって逆方向の力が働き、 M と同じ高さの M'' に達した段階で、質点の速度はゼロとなる。この時、質点に作用する力は $M''H''$ で、同じ運動を逆方向にくり返す。

デシャネルは、 M もしくは M'' から M' までの距離を振幅、 M から M'' を経てふたたび M に戻ってくるまでの時間（現在では周期と称されている）を完全周期（complete period）と称し、完全周期の半分、すなわち M から M'' までの時間を振動（vibration もしくは single vibration）時間とした。前掲のガノー英訳書や、前稿¹¹⁾で紹介したトドハンター(I. Todhunter)の「Mechanics for Beginners¹²⁾」では oscillation を使用し、トムリンソン(C. Tomlinson)の「Rudimentary Mechanics¹³⁾」では vibration もしくは oscillation と称した。物理学器具カタログには、カーターの振り子とサイクロイド振り子が掲載されているが、これら以外に、長さ 939.09 cmのワイヤーとその先に重量 2352.2gの真鍮球を取り付けた単振り子に近い振り子が備えられており¹⁴⁾、図5とともに実物の振り子を使用して振り子の原理が教えられたのであろう。

当時の多くのテキストと同様に、デシャネルは振幅が大きくなるに応じて振動時間も長くなるが、振幅が A 点となす角度 ($\angle MAM' = \theta$) が 5° を超えない限り、 $T = \pi\sqrt{l/g}$ (T :振動時間、 l :振り子の長さ、 g :重力加速度) が成立し、等時性が維持されることを指摘したが、この公式の導出方法については言及していない。同書が、主に大学進学を目指している学生を対象としたものであり、また、絶対的原理から厳密な因果関係を演繹するのではなく、既知の固有な因果関係を積み上げて普遍的原理に導いていくことを重要視していたために¹⁵⁾、数学的演繹により導き出されたこの公式については立ち入らなかった、と理解される。

続けて、ホイヘンスの相等単振り子 (equivalent simple pendulum) について説明する。剛体の上方に軸を設定してその軸を中心に振動させる。その軸のことをつりの中心 (center of suspension) という。静止状態にして、その軸から剛体の重心を通るように垂線を延ばし、延長線上のある一点に軸 (振りの中心: center of oscillation) を設定する。振り子を逆転させ、この軸を中心にして振動させる。両方の振動時間が一致した場合、その振り子のことを相等単振り子という。つりの中心と振りの中心との間の長さ (相等単振り子の長さ) が単振り子の長さに相等し、振動時間に関する先の公式が適用できる。

ホイヘンスの幾何学的思考による発見に基づき、カーターが発明したのが、カーターの振り子と称される振り子である。2つの軸 (ナイフエッジの先端) のうち、1つが移動可能である。振り子を何回か逆転させ、振動時間が一致するように一方の軸を移動させる。これが一致した時の両軸間の長さが相等単振り子の長さということになる。前稿では別の文献からその模式図を掲げて簡単な仕組みを紹介したが¹⁶⁾、これは2つの軸が固定されているのに対して、2つの重りのうちの1つが移動可能でこれを移動させることにより、両者の振動時間を一致させることができる。

デシャネルは、ふたたび先の公式に戻り、この公式から重力加速度 ($g = \pi^2 l / T^2$) が測定さ

れることを指摘し、世界各地の重力加速度の具体的数値を紹介した。地域によりこの値が異なるのは地球の自転によって生じる遠心力によるもので、地軸からもっとも離れた赤道上ほど遠心力が大きくなり、見かけ上の重力加速度は低くなる。

等速円運動をしている質点には、遠心力とは逆方向で同じ力を持つ、円の中心に向かう向心力

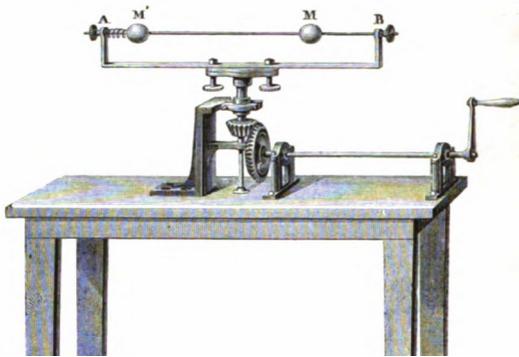


図 6. 遠心力発生器具

(質量×向心加速度)が働く。他の多くのテキストと同様に幾何学を利用して向心加速度の公式を、 v^2/r (v は円周上を回転する質点の接線方向の速度。 r は円の半径)と導き出した。図6はデシャネル英訳書(「Fig. 37. - Centrifugal Force Apparatus」, p.64)に掲載されていた器具で、物理学器具カタログに「Centrifugal Force (experiments on)」と記載されていた器具と同一のものであろう。右側のハ

ンドルを回転させることにより遠心力が発生する。 M' 、 M (象牙ボール)が両サイドに移動し、 M' 側に配置されたスプリングに遠心力が作用する。デシャネルは、この器具を利用して上記公式を導く意図があったかもしれないが、その器具の構造から判断すると、その測定精度は高くないように見える。このため、デシャネルはやむを得ず幾何学を用いて向心力公式を紹介したのであろう。

また、先の向心加速度式は、 $4\pi^2r/T^2$ と表現できるので(T :地球の1回転時間。 r :地球の半径)、それぞれの記号に実際の数値(T は86,104秒、地球の円周 $=2\pi r$ は4万km)を代入して得られた赤道上の遠心力の値は、重力加速度 9.8m/s^2 の $1/289$ となる。289は17の2乗なので、もし地球の回転数が現在の回転数の17倍(T の $1/17$)になると、赤道上の物体は重力を失うという、初学者に分かりやすい計算事例を掲げた。

さらに、遠心力以外に重力加速度の地域的差異を引き起こす要因として地球が楕円体であること、近くに質量の大きな山脈などが存在していること、地球表面からの上下への乖離、を掲げてそれぞれについて論じた。デシャネルの原著書の振り子に関する説明はここで終了しているが、同書の翻訳者であるエベレットは、彼独自の判断で補論を展開した。デシャネル英訳書の振り子に関する個所は56~79ページであるが、このうちエベレットの補論は、その半分近くの67~79ページを占めている。この中には、デシャネルが説明を割愛した慣性モーメント、運動エネルギー、位置エネルギー、エネルギー保存の法則などが含まれるが、以下では振り子に関連するエベレットの説明を見てみたい。

当時の多くの物理学テキストと同様に、各章のサブセクションには通し番号が付けられている。

たとえば、「Chapter VI. The Pendulum」の場合、その最初の一行目から「43. The Pendulum—」とあり、「—」マーク以降から文章がはじまっている。第2冊目の「Part II. —Heat」以降も1冊目から連続する通し番号を使用している。デシャネルの振り子の章は、「53. Variation of Gravity with Height」で終わっているが、エベレットはこれに続けて「53A. Simple Vibrations」から補論を展開した。

上記のように、デシャネルは振動時間の公式を掲げたのみで、その数学的導出方法については説明を避けた。その方法には2つあった。1つは幾何学を利用するもので、前述のホイヘンスが初めて導出した。この発見を契機にサイクロイド振り子の原理が発見されたとされている¹⁷⁾。トドハンターも前掲著書において幾何学や三角関数を使用して同一公式を紹介した¹⁸⁾。

エベレットの説明は、現在の物理学入門書にも取り入れられている一般的方法であった。単振動 (Simple Vibrations) とは、一線上に沿った質点の水平 (もしくは上下) 運動で、その加速度が、線上の中心点からの距離に比例するような運動だとしている。前掲のデシャネルの振り子に関する記述に対応する内容である。その例として、振り子のほかに音叉、楽器の弦をあげている。振幅がきわめて狭い単振り子の場合、図5のMHはほとんど水平となるので質点の加速度は gx/l とおける。 x は、 M' から M もしくは M'' までの、変位と称される距離で、中心点から乖離すればするほど加速度が増加していることが示されている。

「53A」に続けて「53B」では、単振動は等速円運動の射影もしくは投射 (projection) に相当するとする。現代の高校生テキスト『物理学II』において「等速円運動する点の正射影の運動が単振動である¹⁹⁾」としている。『ファインマン物理学』においても、上下に吊されたバネ運動を想定して「一様な円運動が振動の上下運動に数学的に非常によく似ていることから、振動運動を何か円運動をしているものの投影であると想定した方が、その運動を調べるのに簡単²⁰⁾」という記述が見いだせる。

このことを説明するためにエベレットが採用した図が図7である。図5の振幅は、説明の都合上その幅が広く描かれているが、単振り子を想定した場合、 M と M'' との幅はきわめて短く、その幅に対応するのは図7の円直径である。円周上の P_1 に対応する射影点が下の水平線上の p_1 となる。同様に P_2 と p_2 、 P_3 と p_3 、という対応関係になる。 p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_8 それぞれの点から中心点 p_3 までの距離が変位 x となる。変位に関する

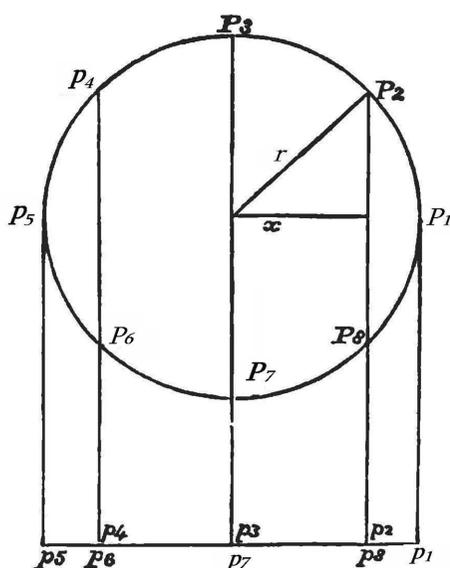


図7. 等速円運動の射影

考え方と同様に、円周上の質点の速度や加速度を水平線上に射影することにより、振り子のそれぞれの変位における速度と加速度が得られる。

水平線上の p 点における加速度は向心加速度の r/x なので、 $4\pi^2x/T^2$ となる。質点が円周上を P_2 から P_3 に移動するに応じて、またその射影である水平線上の点が p_2 から p_3 に移動するに応じて、この値が小さくなっていることがわかる。振り子の均衡点 M' にあたる p_3 ではゼロとなる。先の gx/l とこの式から $4\pi^2/T^2 = g/l$ が得られ、 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ という周期の公式が導かれる、という説明であった。

本文においてエベレットは、なぜ単振動が等速円運動を行う質点の射影に対応するかについては説明しなかったが、脚注において単振動運動方程式（微分方程式）を解くことによって理解できるとしている。工部大学校2年生冬期段階の学生たちは、現代の高校生と同様、微分方程式については学んでいなかったため、前掲の『物理学Ⅱ』と同じ理解にとどまったのであろう。

エベレットは、図8を利用してサイクロイド振り子に簡単に触れている。単振り子は振幅がき

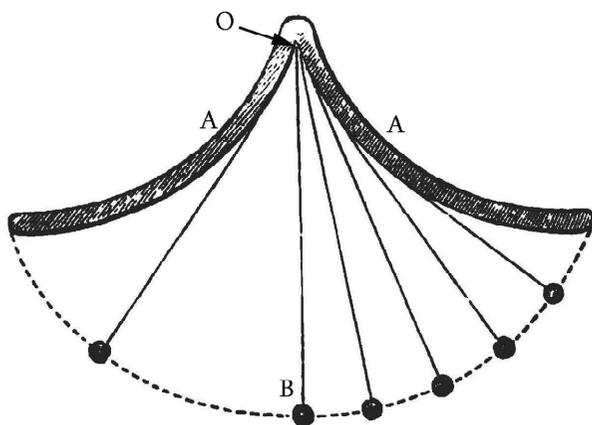


図8. サイクロイド振り子

わめて小さい時、振り子はほぼ水平に振れるので、その加速度は中心点からの変位に比例するが、振幅が大きくなるに応じて振り子の加速度 $g\sin\theta$ (θ は図5の $\angle MGH$) は、変位と比例しなくなり、等時性が維持できなくなる。この値と弧 MM' の距離とが比例するような振り子を作成することにより、振幅に関係なく等時性を維持できるとしている。この条件を満足させるのがサイクロイド曲

線に沿って運動する振り子である。エベレットは、これを証明するための数学的な言及は特に行っていない。図8の O から重り B が吊り下げられている。 A の両側面も、それぞれ半分のサイクロイド曲線からなっている。振り子の長さは図のように両側面の長さに等しい。このように設定された振り子の重りはサイクロイド曲線を描き、 θ の大小にかかわらず等時性を維持することができるが、実際には摩擦が大きくなるので、通常の振り子に比し精度は低くなるとしている。サイクロイド振り子も物理学器具カタログに掲載されているので、この実験実習も工部大学校理学棟・実習室（階段教室²¹⁾）などで行われたと考えられる。

V. おわりに

近代日本の経済発展にとって、欧米の先進技術とりわけ地下資源利用技術の移転が重要であっ

たという観点から、技術移転の媒介手段の1つである人間、すなわちお雇い外国人や日本人の工学博士の経歴分析を行ったことがあるが、その技術の具体的な移転過程や、技術内容そのものの、人間への内面化過程の解明も重要な課題であると考えた。

一連の印刷物では、工部大学校の各学科で教えられていた工学技術そのものではなく、工学技術を学ぶのに必要な基礎科目であり、当時生産技術への応用可能性が高いと考えられていた²²⁾、理学ないしは物理学の教育過程に立ち入って種々検討を加えてきた。工学技術に関しても同じような過程を経たと想定できる。

前稿では、実験実習による理学教育を重視したイギリス人教師エアトンらが工部大学校において行った4つの実験実習、すなわちファクシミリ、アーク灯、軽気球、重力加速度測定を検証した。さらに、これらのうち軽気球を取り上げ、それらの実験の理解に必要とされる基礎知識がどのように工部大学校の学生たちに教えられていったかを検討した。本稿では、重力加速度測定に関して、どのような内容の教育が行われたかを、理学教科書であるデシャネル英訳書や指定参考書のガノー英訳書の記述内容と、工部大学校の博物館や器具室に準備された諸器具とを照らし合わせながらたどってみた。近代日本の工業化を担うことになる学生たちの脳裏に、これらの知見が焼き付けられていった過程を垣間見ることができたと考える。

引用文献、注

- 1) 植村正治「工部大学校（工学寮）における理学の実験実習－研究ノート」『流通科学大学論集』流通・経営編、第27巻第1号、2014年。
- 2) A. P. Deschanel, *Elementary Treatise on Natural Philosophy*, (by J. D. Everett), part I, D. Appleton and Company, New York, 1878.
- 3) ピサの斜塔の実験実施に関する真偽については、F. Cajori (カジョリ) の「A History of Physics」(The Macmillan Company, London, 1922)、広重徹『物理学史 I』(倍風館、1968年)、スティルマン・ドレイク著、田中一郎訳『ガリレオの生涯 1 ピサの斜塔と自由落下』(共立出版、1984年)などに言及されている。
- 4) 物理学器具カタログは、前稿「工部大学校（工学寮）における理学シラバスの変遷」(『流通科学大学論集』経済・情報・政策編、第23巻第1号、2014年)において一覧表にまとめた。
- 5) A. Ganot, *Elementary Treatise on Physics*, (by E. Atkinson), William Wood and Co., New York, 1875. Cajori, *op.cit.* (注3)
- 6) Cajori, *op.cit.* (注3), p.34.
- 7) Ganot, *op.cit.* (注5), p.53.
- 8) 現代の物理学入門テキストにこの計算方法が掲げられている。たとえば高等学校理科用教科書である『物理 I』(東京書籍、2009年版、102ページ)にアドウツドの器械の紹介とともに、その原理と計算式が示されている。

- 9) イタリアのウルビーノ大学科学技術博物館 (<http://www.uniurb.it/PhysLab/Nuovo.html>)。同博物館には、彼が発明した電動機が収蔵されているが、デシャネル英訳書(電気・磁気編(partIII, p.711))において同一の電動機が紹介されている。
- 10) マックチューター数学史アーカイブ (<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/>)。
- 11) 植村前掲論文(注4)。
- 12) I. Todhunter, *Mechanics for Beginners with Numerous Examples*, Macmillan and Co., London, 1878.
- 13) C. Tomlinson, *Rudimentary Mechanics*, John Weale, London, 1854.
- 14) 植村前掲論文(注1)、52 ページ。
- 15) Deschanel, *op.cit.* (注2), p.v.
- 16) 植村前掲論文(注1)、51 ページ。
- 17) 原亨吉「『振り時計』解題」(原亨吉編集『ホイヘンス』(『科学の名著』第II期10、朝日出版社、1989年)、Li~Lii ページ)。
- 18) Todhunter, *op.cit.* (注12), p.374.
- 19) 『物理II』東京書籍、2011年版、48 ページ。
- 20) R. P. ファインマン著、坪井忠二訳『ファインマン物理学I』岩波書店、2011年、290 ページ。
- 21) 植村正治「工部大学校理学研究棟についてー研究ノートに代えて」『同志社商学』第63巻第5号、2012年、221 ページ。
- 22) 植村正治「《研究ノート》シラバスを通して見た工部大学校の理学教育」(『社会科学』(同志社大学人文科学研究所)第43巻第4号、2014年)において、物理学の実用性に関する福沢諭吉や寺田寅彦の言葉を紹介した。