

# 工部大学校（工学寮）における理学の実験実習

## — 研究ノート —

On the Experimental Practices of Natural Philosophy  
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、本稿ではファクシミリ、アーク灯、軽気球、重力加速度測定を取り上げた。これらの実験実習を行うことにより、工部大学校学生たちはそれぞれの実験に関連する講義内容をより深く理解することができた。

キーワード：技術移転、工学教育、工部大学校、理学教育、実験実習

### I. はじめに

近代日本の経済発展の基底には、欧米からの先進技術の移転、とくに地下資源もしくは鉱物資源を効率よく利用開発することのできる技術の移転があったという、きわめて鳥瞰的で素朴な視点から、技術移転の方法の1つとして工学系高等教育機関が重要であったと捉え、明治前期における工部大学校（工学寮）における工学教育に着目してきた。

工部大学校の最終年（1885年）に設置されていた学科は、土木学、機械工学、造船学、電気工学、造家学、製造化学、鉱山学、冶金学の8学科であった。その多くは地下資源利用技術に関連する学科であったが、本来ならば、個々の学科における教育内容に立ち入り、微細な検証を行う必要があるが、これには多大の時間と幅広い工学知識を要するので、一連の印刷物では、工学教育に必須の基礎的専門科目で、当時、生産技術などへの応用可能性が高いと考えられていた理学（物理学）に限定して検証してきた。理学教育に必要な物的資材、すなわち学校校舎、実験室、実習室、各種実験実習器具、図書館、図書などについて検討を加え<sup>1)</sup>、さらにイギリス人お雇い教師がこれら資材を利用してどのような理学教育を行ってきたかを、主に理学シラバスを通して検討した<sup>2)</sup>。まさに人、物、文献を通じて理学という科学的知見が日本人学生の脳裏に植え付けられていった。上記の各学科における専門知識の日本人学生への移植も同じような過程をたどっ

---

\*流通科学大学総合政策学部、〒651-2188 神戸市西区学園西町3-1

たと考えていいであろう。

本稿では、工部大学校理学教師の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を紹介し、それらのうちの1つを取り上げ、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い。筆者の経済史専門領域から今まで以上に離れたテーマなので、本稿が暫定的印刷物であることを断っておきたい。

## II. 工部大学校における実験実習

### 1. アーリンコートファクシミリ

日本人がはじめてファクシミリを見たのは、幕府文久遣欧使節団がフランスを訪問した1862（文久2）年3月のことで、当時のフランス政府は、パリーリヨン間をファクシミリで結ぶための実用化試験を行っていた。そのファクシミリは性能が高く評価されていたイタリアの物理学者カセリ（G. Caselli）が発明したものであった<sup>3)</sup>。

1867（慶応2）年、徳川昭武（御三卿清水家当主）はパリ万国博覧会に将軍徳川慶喜の名代として派遣された。この時、随行した外国奉行向山隼人正（黄村）は出展されていたファクシミリを見て日本に持ち帰ることにした。外国奉行として少し遅れて渡仏した栗本鋤雲は、その時の状況を「近時瑞国に一工あり。其造る所の電機更に奇巧を極め、片紙に書画を写し直に二千里外に達す。毫髪不錯。向山黄村大に感じ、田辺太一・箕作貞一をして其器を購ひ、就て其技を受しむ<sup>4)</sup>」と記している。

そのファクシミリは、スイスのニューシャントル伝信機製作所製で、「ボネルリヒップの伝信機<sup>5)</sup>」というものであった。ボネルリ（G. Bonelli）はミラノ出身の技術者で、1860年にイギリスで特許をとった。走査法は並列走査であった<sup>6)</sup>。一方、ヒップ（M. Hipp）はドイツ人の発明家で、上記製作所を立ち上げた人物である<sup>7)</sup>。向山は、田辺と箕作をスイスに派遣し、同製作所で操作技術を学ばせる一方で、ヒップとの間に同ファクシミリ2組の購入契約を結び、実際に代金の支払いを済ませたが、1867年末に横浜に発送したあとの経緯については不明である<sup>8)</sup>。

工部大学校でファクシミリの実験パフォーマンスが行われたのは、1877年、三条太政大臣一行が同校を視察した時のことである。フランス人のアーリンコート（Guyot d'Arincourt）が1869年にイギリスの特許を取得したファクシミリで、フランス・ブルケ社製（Breguet）であった<sup>9)</sup>。

図1-1・2の写真が工部大学校博物館に収納さ

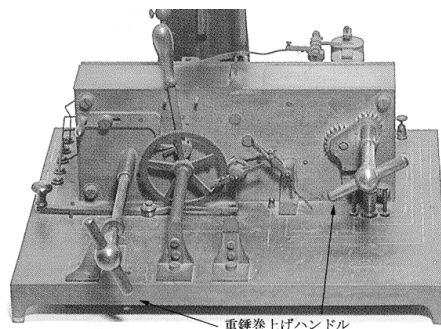


図1-1. アーリンコートのファクシミリ

注：保存状態が悪く、多くの部品が欠落している。  
出所：画像電子学会編『ファクシミリ史』口絵写真による。

れていた 2 組のファクシミリで、現在は郵政博物館に展示されている<sup>10)</sup>。三条自らが書いた「図画電送」という画像が、博物場（図 2-No.2 の建物 2 階に位置）に設置された送信用ファクシミリから階下の理科教室に設置された受信機に送られ<sup>11)</sup>、その画像が「墨痕淋漓青色鮮明ニ現出<sup>12)</sup>」したという。

博物場が入っていた建物はもともと旧工学寮小学校として建てられたもので、1874 年 1 月に工学寮大学校校舎となり、1877 年 1 月に工学寮が工部大学校に改組されて同校校舎となる。1877 年 9 月に工部大学校新校舎(図 2-No.1、1')が完成するにともなうて、旧工部大学校校舎全体が博物場となったが、実際に新校舎で授業が始まったのは同年 11 月のことであったので<sup>13)</sup>、階下に理科教室が配置されていたことから、三条一行が視察したのは同年 10 月以前と推測できる。

エアトンの指導の下にこの実験パフォーマンスを行ったのは、第 2 期電信学科入学の岩田武夫であった。エアトンが理学授業で使用したテキストは、フランス人デシャネル (A. P. Deschanel) 原著、エベレット (J.

D. Everett) 英訳『Elementary Treatise on Natural Philosophy』part III (以下、デシャネル英訳書とする) であった。同書第 50 章「Electro-Motors—Telegraphs」の第 593 項「Autographic Telegraph」において<sup>14)</sup>、ボネルリ、カセリ、ペインのファクシミリに言及している。とくにカセリのファクシミリについては詳しい解説を行っているが、同書の初版が 1868 年であったので、アーリンコートのファクシミリについては紹介されていない。岩田は、「アーリンコートファクシミリ電信機これは中々機械が込み入て取扱が六ヶ敷い、而して其説明書は仏文であつたから先生之を英訳口授せられ、志田林三郎氏や川口武一郎氏などが筆記<sup>15)</sup>」したとしている。志田と川口 (1878 年 7 月に病死<sup>16)</sup>) は第 1 期電信学科入学生である。エアトンがまとめた「Preliminary Catalogue of the Apparatus

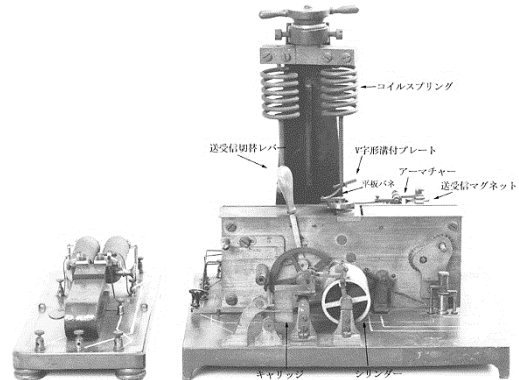


図 1-2. アーリンコートのファクシミリ (右がファクシミリ、左がリレー)

注：保存状態は良好だが、図 1-1 の重錘巻上げハンドルが欠落している。

出所：郵政博物館蔵。部品名称は、遠藤正論文 (注 19 参) による。

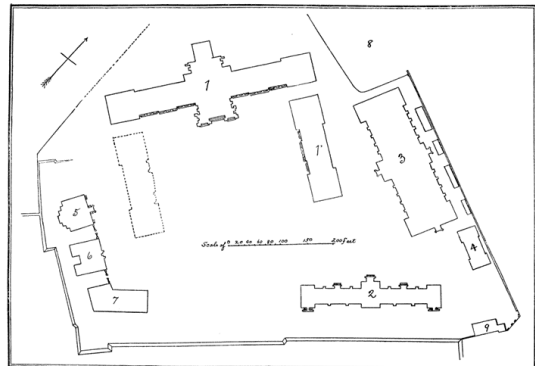


図 2. 工部大学校（工学寮）建物配置図

出所：『旧工部大学校史料』挿入図。

in the Telegraph Museum」(1877年印刷)には133個の電信関連機器・器具が紹介されているが、その中に「D'Arlincourt's Fac-simile Instruments」と「D'Arlincourt's Relays」に関する簡単な解説文が掲載されている<sup>17)</sup>。また、カタログの最後に学術論文などの各種文献類が掲載されている中に、「D'Arlincourt. — Description of his fac-simile instrument, and of his relay」という記載がある。これが志田と川口が筆記した説明書で、この説明書に依拠して上記の解説文が書かれたとみられる。

実験の時、志田と川口、岩田と同期の中山信順は電信工事などのため不在だったとみられる。岩田は、「(…唯精巧なる組織に真正なる運転を得る迄に調製する事が甚困難なりき)、機械組立職の頗る熟練なる者一名を雇入れ、此所を此の様彼所を彼の様にと付限りにて指揮し、約一日を消費して調整し得たり」としている。1873年に工部省電信寮に設置された電信機械製造所では各種電信機の製造修理を行っており<sup>18)</sup>、機械組立職人は同製造所から派遣された職工と推測する。

エアトンの上記解説文によると、送信機のシリンダーには、絶縁インクでメッセージを書いた錫箔を巻き付け、受信機のシリンダーには、青酸カリウムと硝酸アンモニウムの溶液に前もって浸しておいた紙を巻き付けておく。読み取り用の針(送信側)がシリンダー軸に平行に移動する過程で、針が絶縁インク部分に触れると、電流が受信機のシリンダー上に配置された記録用の針(受信側)に流れて「青色鮮明二現出」し、メッセージの書かれていない空白部分の錫箔に触れると電流が送信されずに無色となる。シリンダーの回転を一定にする方法(エアトンによるとclock-work)や、同期の方法については簡単に触れるのみであった。

小林一雄氏や遠藤正氏の近年の研究は、これらのメカニカルな仕組みを解明している<sup>19)</sup>。発明当初のアーリコートファクシミリの動力はゼンマイであったが、工部大学校のものは重錐であった。図1-1の重錐巻上げハンドルを回転させ重錐を巻き上げる。加速する回転を一定にするために、前者では音叉、後者ではコイルスプリングを利用した。もう1組のファクシミリと推測される図1-2のV字形溝付プレートは、歯車を介して水平に回転することにより、垂直に下りてくるコイルスプリングの先端を通してスプリング全体に振動をあたえる。その振動とV字形溝付プレートが共振し、共振周波数を超えた時、V字形溝付プレートに負荷がかかり、湾曲した平板バネを介して歯車回転が抑えられる。

電気回路については必ずしも明らかでないが、同期の方法は、概ね次のような仕組みであった。同ファクシミリは送受信兼用機器で、送信の場合、受信より早く作動しなければならないので、送受信切替レバーにより歯車回転を早くする。送信と同時に送信機の裏面にある送信マグネットが作動してアーマチャー(接極子)を引きつけ、これにより歯車回転を抑えていたストッパー(図の裏側に配置)が解除され、シリンダーが回転する一方で、その上を走る読み取り用針を所定の位置に固定したキャリッジがシリンダー軸と平行に移動しながら針を介して画像を読み取っていく。送信機が作動すると同時に、受信機に電流が流れ、同一位置にある受信用マグネットが作動し、同じ動作をへて、記憶用針を介して化学処理を施した紙に画像が描かれる。シリンダーが1回転

して受信が終了したあと、受信機から送信機に電流が流れ、送信機シリンダーが定位置に停止するような仕組みになっていた。このようなスタートストップ方式を採用することによって1回転ごとに送受信間の誤差が修正される。

三条一行への実験パフォーマンス以後、岩田は「山尾子（工部大輔後工部卿）時々実験室に臨まれて、或る貴頭の縦覧の折該機械にて送画せよと特に余に命ぜられた事などあつて此機械に屢々接した<sup>20)</sup>」としていることから、岩田は山尾庸三の命令で何度も実験を行ったことがわかる。また、後述の電信中央局開業式が開催された1878年3月25日、同局機械室において数種類の電信機器の展示説明会が開催された。「報辰機」、「双信機」、「伝話機」などとともに「原字印行機」という機器の名前が掲げられており<sup>21)</sup>、この時、工部大学校のファクシミリが持ち出され、画像送信が行われたものとみられる。1878年10月、「The Japan Weekly Mail」の記者が「Telegraph Museum」を見学した時もファクシミリの実演が披露された<sup>22)</sup>。旧工部大学校校舎における博物場には、各学科の展示スペースが混在していたとみられるが、工部大学校新校舎が完成し旧校舎全体が博物場になるにともない、電信学科用各種器具を収納・展示した「Telegraph Museum」が他学科から独立したのであろう。

## 2. デュボクス式アーク灯

1875（明治8）年秋、イタリアの歌劇団が来日し、各国公使館員、在留外国人、日本政府要人らが観劇した。開催場所は、工学寮生徒館中央部に位置する「広堂」と称された2階建て吹き抜きの建物で（図2-No.3の建物中央部）、昼間は食堂、夜間は学生の勉学室にもなっていた<sup>23)</sup>。奥行き28.6m、幅12.7mなので、362 m<sup>2</sup>の広さであった。この時、エアトンは、工学寮学生であった「志田林三郎、川口武定、野口由貞の三氏と小生<sup>24)</sup>」を指導して照明実験パフォーマンスを行った。野口（野上）は第2期機械学科入学生、「小生」は第2期鉱山学科入学生の仙石亮であった。ただし、照明器具が設置されたのは「博物場の東端の楼上」であった。図2のように、博物場は、生徒館から30～50m南に離れた工学寮大学校校舎内に位置していたので、劇場となった広堂内を照明したのではなかったようである。当初はその計画だったかもしれないが、配線上の問題で予定通りにはいかなかったのであろう。

この時、2つの実験が行われた。1つは、「オキシハイドロゼン」、すなわち酸水素(oxy-hydrogen)炎で石灰を加熱させることにより強い石灰光(ライムライト)を発生させるパフォーマンスで<sup>25)</sup>、これには成功をおさめることができた。もう1つは、「弧形電灯<sup>26)</sup>」実験で、「亜鉛白金電池を用ひ、両極には木炭を用ひたが…全くの失敗に終」わった。電池は後述のグローブ電池にあたり、炭素棒を使用しているため、デュボクス(Duboscq)式アーク灯点灯実験が行われたのであろう。この時「ガイやデスチャンネルの物理学書」が参考にされた。前者はエアトンが参考書として指定したフランス人ガノー(A. Ganot)原著、アトキンソン(E. Atkinson)英訳『Elementary Treatise

on Physics<sup>27)</sup>』(ガノー英訳書とする)と推測される。後者は、前掲のデシャネル英訳書である。

1878年3月25日、工部大学校においてデュボクス式アーク灯照明パフォーマンスが実施された。「東京木挽町十丁目ニ電信中央局ヲ設置シ全国電信ノ中心ト為シ、益々通信ノ便ヲ加ヘ大ニ事業ヲ拡張ス、此日工部卿以下中央局ニ臨ミ本邦電信開業ノ式ヲ挙<sup>28)</sup>」げたあと、工部大学校で祝宴が開催された。郵便報知新聞3月27日付け記事には、「午後六時頃両大臣参議議官、各省の勅奏官、陸海軍の将校、府知事及び外国公使書記官凡そ百五十有余名二行に座定まり<sup>29)</sup>」とある。国家的威信をかけた祝宴であったと想像する。祝宴会場は、同校広堂(中堂)1階の講堂(「大ホール<sup>30)</sup>」)であった。広堂は1877年9月竣工の3階建て建物中央部(図2-No.1)に位置し<sup>31)</sup>、2、3階部分は吹き抜けの図書館となっていた。

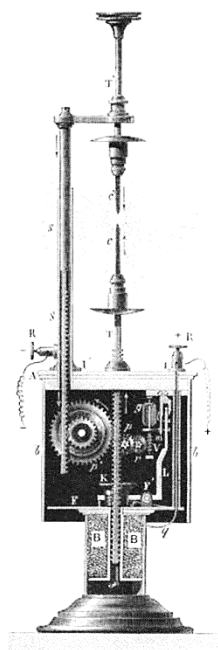


図3-1. アーク灯内部構造図

出所：A. P. Deschanel, *Elementary Treatise on Natural Philosophy*, (by J. D. Everett), part III, D. Appleton and Company, New York, 1878, p.706.

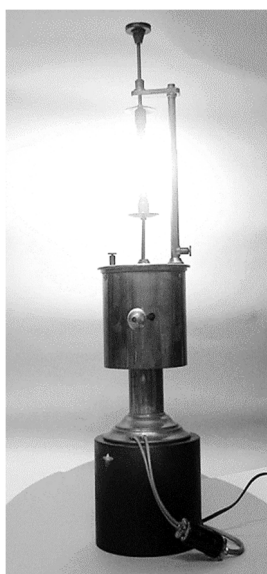


図3-2. 工部大学校のアーク灯復元品

出所：東芝未来科学館蔵。

上記デシャネル英訳書のうち、電磁気学に関する第3巻(part III)の第49章「Heating Effects of Currents」の項において、同アーク灯作動の仕組みが説明されている<sup>32)</sup>。一定の間隔を保つ、垂直に配置した2本の炭素棒に電流を流すと炭素粒子が高温に加熱され、その間隔にアーチ状の鮮やかな光が放たれる。図3-1がアーク灯の内部構造図である。図3-2は当時工部大学校に納められていたアーク灯の復元品写真である<sup>33)</sup>。前者図のcが炭素棒のプラス極、c'がマイナス極で、両極間の放電が進行するにつれて炭素棒は磨耗していくので、ゼンマイを動力として両極の間隔が一定に保たれるように両極の炭素棒がそれぞれ上下に移動するが、プラス極の方が2倍磨耗するので、歯車を通じてプラス極のラックTがマイナス極のラックSに比し2倍の距離を移動する構造になっている。一方、両極の間隔の制御は次のような仕組みであった。R'から電流が流れ込み、BBの電磁石を通過してTのラックからプラス極cに伝わる。両極の間隔と電流は比例しているため、間隔が狭まると電流は増加し、電磁石の作用によりKのアーマチャーを引きつけ、さらにLの屈曲レバーなどに作用して歯車回転を抑える。間隔が開くと、逆に作動する。

岩田によると<sup>34)</sup>、アーク灯点灯パフォーマンスは初代工部卿の伊藤博文の命令によるもので、エアトンの指導の下に工部大学校学生らが行った。これに参加した学生は、第3期電

信学科入学生の中野初子、藤岡市助、浅野応輔であった。志田は実修のため工部大学校を留守にしており、川口は病欠とみられる。岩田と中山は「専門学修期末の最多忙」のため参加できなかった。この外、教場付給仕の「武永、大久保等<sup>35)</sup>」が下働きとして使役された。

アーク灯は2階の図書館正面に設置され、電源は1階入口の脇に設置したグローブ電池50個が用いられた。アーク灯の調整はエアトン自らが行き、夕方より点灯されたが、「宴会席上俄然白昼の観を呈し、賓客拍手して歓迎す。然るに夫れは東の間にて階上にシューと云ふ音を聞けばアーク線切れて、忽然下界宴席は真夜中の如く暗黒界と変化<sup>36)</sup>」し、何回か同じ作業を行っても再点灯することはなかった。ただし照明用として「瓦斯燈<sup>37)</sup>」が使用され、11時頃まで宴会が続いていたので、会場の照明には大きな支障はなかったようである。

電池を電源としてアーク灯を持続的に点灯するにはコストがかかることや、電池では寿命が短かったために、発電機を電源とするまで実用化されなかった<sup>38)</sup>。工部大学校の実験では「一時間の点灯費用は約五十円位<sup>39)</sup>」と見積もられていた。岩田は「カーボンの上げ下げの調整も歯車でやつて随分苦心したものである<sup>40)</sup>」と証言しており、点灯が短時間に終わった原因として歯車機構を通じて炭素棒の間隔を一定に保つことに成功しなかったことが考えられる。

### 3. 軽気球

1877年に3つの軽気球飛行実験が行われた。

陸軍省は海軍省兵学校において軽気球を研究していることを知り、同年4月14日に軽気球製造依頼を海軍に行った。西南戦争勃発にともなう西郷方を偵察するためである。製造スタッフは海軍省6等出仕の麻生武平をリーダーとする7人であった。同月17日から20日にかけて「護謨溶解法、絹地塗抹法、裁縫法、水素瓦斯製造法等ヲ試窮シ<sup>41)</sup>」、直径6尺、体積113立方尺、重量670目の小型軽気球を作り上げた。球形に縫った絹地にゴムを塗ったものである。実際に使用したガスは石炭ガスで、これを軽気球に注入して気球重量を測定すると、重量は180目となり、差引490目(1.84kg)の浮力がついた。この125倍の体積にあたる直径3丈の軽気球を製造すると、61貫250目の浮力がつくことと計算し、軽気球本体、乗務員、乗船用籠などの合計重量がこの数値より低ければ浮上すると判断して、「諸工ノ使役シ昼夜ヲ分タズ孜々勉励シテ…五月十四日ニ到リ其工ヲ終」り、5月21日、軽気球を綱で繋留した状態で、6人のスタッフが交代で1人ずつ合計6回の試乗を行った。高度は50~120間であった。23日にも飛行実験が行われ、5月24日付けの読売新聞記事に「このときは東伏見宮、岩倉公…松方公そのほか華族などもだいぶ出られ、外に見物は大そうな事で有ました<sup>42)</sup>」とある。

その後、石炭ガスが運搬困難であるため、水素ガスを利用することになったが、水素ガス製造装置を国産化するのに手間取り、その装置が完成した6月20日には戦況好転のため、軽気球の必要性がなくなった<sup>43)</sup>。その後、同年11月7日に軽気球天覧となったが、直径3丈の石炭ガス軽

軽気球は破損し、直径2.8丈の水素ガス軽気球は80間の高さまで上昇し、強風のため繫留綱が切れて飛び去ってしまった。

1875年3月に島津製作所を設立した島津源蔵は、1877年夏、京都府学務課課長原田千之介の依頼を受け、同年12月6日、京都仙洞御所において軽気球を飛ばした<sup>44)</sup>。彼は理化学に関する基礎的知識を京都舎密局で修得していたが、軽気球製造経験はなく、試行錯誤の末、軽気球の素材を羽二重とし、気密性を高めるためにダンマーゴムと称される天然樹脂を荏胡麻油に溶解して軽気球の上に塗布した。中には水素ガスを注入することとした。軽気球から吊された籠には取引先の小柄な店員を乗り込ませ、軽気球は20間ほどの高さまで上昇した。12月13日付けの朝野新聞によると、「四万八千八百枚の通券は四日迄に残らず出切り、当日は未明より老若男女今日を晴れと美服を着飾り押し合ひへし合ひ御所へ詰掛け<sup>45)</sup>」たという。またこの時、人形を乗せたパフォーマンスも行われ、150間の高さにまで達したとしている。

工部大学校において軽気球飛行実験が行われたのは同年5月3日のことであった。海軍兵学校の場合と同様、陸軍から西郷方偵察用の軽気球製造の要請があったためである。これより先の1月に工部大学校が工部省工作局の監督下に入った関係で、陸軍省から工作局長大鳥圭介を経て、前述の志田に試作要請が伝えられた。工部大学校学生が分担して試作を行うことになったのである。表1は、6人の分担範囲を掲げたもの

である。志田と岩田は全体の計画や調整などを行ったのであろう。5月4日付けの朝野新聞には、彼らに加えて「林、田辺、速水、築山、高島、今井の六人」の名前が掲げられ、「化学局（工部大学校内に設置された「化学試験局」とみられる一植村）にて諸技を演ぜし」とある。それぞれ、第2期化学学科入学の林糾四郎、第5期土木学科入学の田辺朔郎、第1期入学で所属不明の速水忠益（中退<sup>46)</sup>）、第2期化学学

科入学の築山鏞太郎、第2期冶金学科入学の高島米八、第2期化学学科入学の今井善一である<sup>47)</sup>。工部大学校学生総動員といった感がある。岩田によると、「抑も此の試作の困難なる点は物質の欠乏又は製作技術の巧拙と云ふ事には非ずして、之に投費し得る資金が僅に金式百円余の外なしと云ふ経済上の問題なりき<sup>48)</sup>」と、軽気球製作能力はあるが、資金援助が少ないことを嘆いている。

軽気球の素材は美濃紙とし、半球の「木製の型」を作成してこれに美濃紙のをせ、「渋せむ糊」（柿渋糊か一植村）で接ぎ合わせて半球状にする。これを2個製作し、さらにこれらを接合して1個の球体を完成させる。原田や安永が担当したのであろう。気密性を保つためにゴムが塗布さ

表1. 軽気球製造分担

氏名	担当	所属学科	入学期
志田林三郎	一般方略	電信学科	第1期
岩田武夫	同	同	第2期
原田虎三	木型製作製球	機械学科	第2期
安永義章	同	同	第2期
高峰讓吉	気囊気密仕上	化学科	第1期
森省吉	水素瓦斯製造充実	同	第1期

出所：岩田武夫「旧工部大学校史料参考記事」『旧工部大学校史料附録』（旧工部大学校史料編纂会編『旧工部大学校史料・同附録』虎之門会、1931年）、27ページ。大蔵省編『工部省沿革報告』（『明治前期財政経済史料集成』第17巻ノ1、明治文献資料刊行会、1964年（1890年刊行））、405ページ。



れ、注入ガスは水素ガスとした。上記の朝野新聞によると、「炭素瓦斯入」や「アルコール入」も利用された。表1のように高峰が「気嚢気密仕上」、森が「水素瓦斯製造充実」を担当したはずである。軽気球の直径は6尺とし全体を麻糸製の網で覆い、網の下に籠をつり下げ、籠の底をロープで結び繫留する仕組みであった。

彼らが参考にしたかどうかは不明だが、上記デシャネル英訳書とガノー英訳書に軽気球に関する記述が見いだせる。図4はデシャネル英訳書から引用したものである<sup>49)</sup>。同書によると、素材は絹布の両側にワニス処理を施したもの、もしくは2枚の絹布の間に天然ゴムのシートを挟んだもので、水素ガスも使用するが、石炭ガスが入手しやすくコストも安いので、一般に石炭ガスが使用されている。操縦士が乗る吊り籠は、小枝もしくは鯨ひげでできており、軽気球の上半分を覆う網に結びつけられた複数の紐によって、重量が均等に分散されるように吊り下げられている。軽気球の下方の先端部分は、細くなっており空气中に開いた状態である。上部は内部に向かって細長くなっているが、スプリングのついた弁で閉じられ、弁に結びつけられた紐を操縦士が引くことによりガスを抜き、下降することができる。下降が早い場合は、安定用に取り付けた砂袋から砂を徐々に放出することにより下降速度を遅くすることができる。また、図4のようにパラシュートに関する説明も加えられていた。

表2は同書に掲載されていた、おおよその各気体1立方メートルあたり重量である。デシャネルはこの表に基づき、たとえば水素ガスを利用して1500kgの重量を浮かび上がらせるのに必要な軽気球体積は、 $1500 \div (1.3 - 0.089)$ を計算して1239 m<sup>3</sup>、石炭ガスの場合だと、2727 m<sup>3</sup>となるとしている。この計算でいけば、工部大学校軽気球の直径は6尺（1.82m）なので、体積は3.15 m<sup>3</sup>となり、水素ガスを使用した場合、 $3.15 \text{ m}^3 \times (1.3 - 0.089)$ を計算すると約3.81kgの浮力を持っていたことになろう。石炭ガスであれば1.73kgとなり、上記の海軍兵学校で使用された試験用軽気球とほぼ同じ浮力となる。軽気球が上昇するためには、軽気球本体重量、網や紐類、籠などの合計重量が上記の浮力より少なくなければならない。岩田は軽気球の「飛揚力を計算して」直径6尺としたとしている。ただし、高度が高くなるに応じて気圧が下がり、軽気球が膨張することを考慮したとすると、ガス注入量を減らす必要がでてくるので、想定された浮力は上記

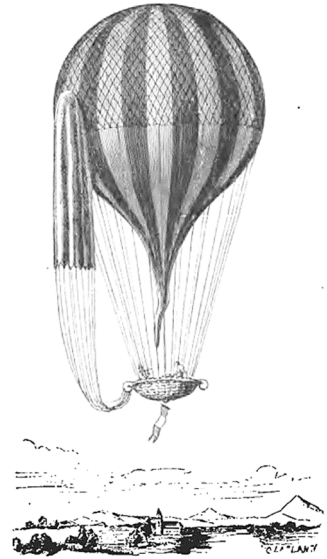


図4. 軽気球飛行図

出所：A. P. Deschanel, *Elementary Treatise on Natural Philosophy*, (by J. D. Everett), part I, D. Appleton and Company, New York, 1878, p.212.

表2. 気体別1 m<sup>3</sup>あたり重量

気体の種類	重量 (kg)
空気	1.300
水素	0.089
石炭ガス	0.750
200°Cの空気	0.800

出所：図4と同一文献。p.211.

の数値より低くなる可能性がある。

5月3日、工部大学校南西側に位置していた旧鍋島藩邸敷地に属する溜池埋立地において、当時陸軍卿代理の西郷従道一行や工部省幹部が観覧する中、軽気球が放たれた。高度「百余尺」に達したところで突風に襲われたため、籠に付けられた紐を引き寄せ所定の位置に戻し、再び上昇させたが、「一陣の猛風俄に起り、為めに繫索は切断」されて、軽気球は東南方向に飛び去った。また「下方地上に垂下する所の細紐を引けばパラシュートは籠体を離れて下降する仕掛」があったが、実施できなかったという。

岩田は、軽気球は「上総の或村」に落下したとしているが、民間雑誌5月12日付け記事によると<sup>50)</sup>、下総香取郡西田村に落ち、その円周は「二丈五尺」であった。その直径を計算すると約8尺となり、落下した場所も異なることから、「炭素瓦斯入」すなわち石炭ガス入り、もしくは「アルコール入」軽気球の可能性が高い。同記事は3種類の気体が使用されたことを記し、「アルコール入」に関して軽気球の「下部なる入口の処より針金の鈎又は銅網を下げ、スポンジ又は綿の類をアルコルに浸して其上に載せ置き之に火を点しなば、囊中の気は外の空気よりも稀薄になる」としているので、熱気球であったことがわかる。西田村に落下した軽気球の浮力を表2に従って計算すると、石炭ガスでは4.1 kg、熱気球では3.7 kgとなり、水素ガス軽気球と同じくらいの浮力であった。いずれにしても軽気球飛行実験パフォーマンスは成功したとはいえない。上述の海軍兵学校の場合と同様、戦況変化のため必要がなくなり、軽気球の試作は沙汰止みとなった。

#### 4. 重力加速度測定

1877年から1878年にかけて、エアトンは、多数の共同研究や共著論文発表を行ってきた土木学教師のペリー (John Perry<sup>51)</sup>) とともに工部大学校内において重力加速度の測定を行い、その測定結果や測定過程をまとめた論文をイギリスの学術雑誌「The Philosophical Magazine」に掲載した<sup>52)</sup>。彼らの共著論文によると、多数の学生が測定実習に参加したが、とりわけ「Messrs. Honda, Kikkawa, A. Kasai, J. Nakahara, and H. Nobechi」の尽力が大きかった。それぞれ第4期入学で所属不明の本多政裕<sup>53)</sup> (中退)、第4期土木学科入学の吉川三次郎、笠井愛次郎、同期機械学科入学の中原淳蔵、同期土木学科入学の野辺地久記である。いずれも1876年4月入学である。

重力加速度の測定は次の公式に従って振り子によって行われる。彼らの共著論文やデシャネル英訳書で使用している公式は、 $t = \pi\sqrt{l/g}$  であった。tは振り子の重りが端から端まで移動する時間(半周期)で、現在では往復時間(周期)を採用して $t = 2\pi\sqrt{l/g}$ としている。gが重力加速度、lが振り子の糸の長さである。この公式に従って振動する振り子を単振り子 (simple pendulum) といい、実際には存在しない理想上の振り子である。糸に重量はなく、糸の下の先端に位置する重りは大きさのない質点と想定しているので、実際の振り子から正確なgを測定することができない。より正確に測定するためにケーターの振り子 (Kater's pendulum) が使用される。実体振り子

(compound pendulum)、物理振り子もしくは、力を加えても変形しない物質でできているので剛体振り子とも称されている振り子の一種である。デシャネル英訳書では part I・第 5 章「The Pendulum」においてケーターの振り子に言及しているの、参加した多くの学生（2 年生後半）はその基本的原理については理解していたはずである。ただ、理学シラバスによると、3 年生段階で教えらるることになっていた<sup>54)</sup>、その数学的原理については知らない学生も多かったものとみられる。

図 5 は、ケーターの振り子の模式図である。O の個所に配置されたナイフエッジ、すなわち逆三角形の先端部分が保持台（図 5 では省略）に載せられる。振り子の全重量がナイフエッジにより支えられ、振り子が左右に振動する。その周期を測定したあと、振り子を逆さまにして、ナイフエッジ 2 を支点として振動させてその周期を測定する。2 つの測定値が一致するまで、繰り返し小さい方の重り 1 を移動させる<sup>55)</sup>。周期が一致した時、O と O' との距離は、単振り子の糸の長さに相等し、先の公式が適用できるとされている。なお、振り子の重心は O と O' との間に位置するような構造になっている。また振り子の先端が尖っているのは、保持台を支える支柱に取り付けられた照準目盛板と対照させるためである。

エアトンとペリーは、当初、イギリス製のケーター振り子を利用して  $g$  の測定を行おうとした。この時、フランスの物理学者ボルダが単振り子を用いて正確な周期を測定するために利用したコインシデンス (coincidence) 法も導入した。単振り子の周期を測定するために、半周期が 1 秒の秒振り子と同時に振動させ、多数の振動が繰り返されるうちに 2 つの振り子の先端が照準目盛板において一致することがある。それまでの振動回数と時間を測定することにより、正確な周期測定が可能となる<sup>56)</sup>。エアトンらは、2 人の学生に秒振り子とケーターの振り子とがコインシデンスする時間や振動数を観測させたのであるが、数カ月間にわたって同一作業を繰り返しても「the results were always unsatisfactory」であった。また、緯度別重力加速度に関するクレローの公式<sup>57)</sup> に東京の緯度  $35^{\circ}39'$  を代入して得られた  $979.7\text{cm/s}^2$  からほど遠い値であったとしている。

この後、単振り子を用いて測定を行うことになった。糸が長ければ長いほど理論上の単振り子に近くなる。その振り子の重りは真鍮球で重量は  $2352.2\text{g}$ 、最上部のナイフエッジから吊された糸はスチールワイヤーで太さは  $0.45\text{mm}$ 、長さは  $978.7\text{cm}$  であった。この時もコインシデンス法を導入するが、測定が自動化されている。この長尺振り子と秒振り子の重りの先端に白金線が付けられ、それぞれの重りが真下に来た時、その位置に配置された水銀入り小容器と接触するようにした。

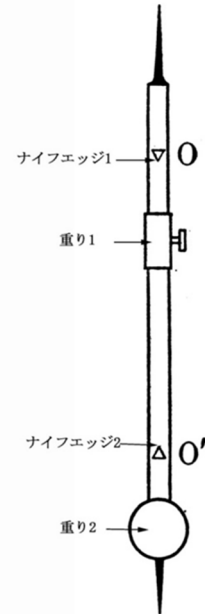


図 5. ケーターの振り子模式図

出所：佐藤瑞穂『物理学』第 1 巻、培風館、1975 年、186 ページ。

ナイフエッジにも電線が接続され電池につながれているので、秒振り子の場合、重りが真下にきた時、電流が流れて電磁石を介してアーマチャーが作動することにより、一定の速度で動く紙の上に 1 秒の等間隔でインクがマークされていく。ところが、2つの振り子が同時に真下に位置した時、電流が流れない配線になっている。すなわち、紙に残されたマークをたどることによって、学生が観察しなくてもコインシデンスまでの時間と振動数が測定できる。しかし、振り子のワイヤーの長さを測定するための測定器具が摂氏何度の時にもっとも正確な測定が可能なのか不明だったので、0℃の時に正確に測定できると仮定して、上記のコインシデンス法に基づいて測定した  $g$  は  $978.8\text{cm/s}^2$  となった。

表 3. 学生による周期測定結果

測定日	測定回数	振動数	経過時間	測定開始時気温	測定終了時気温	半周期(秒)
1878年1月25日	26	1015.75	52分	10.5°	11.25°	3.0744
1878年2月15日	45	1385.5	1時間11分	9.25°	12.25°	3.0745
1878年2月21日	53	1288.5	1時間6分	8.5°	12.25°	3.0741

注：表3の半周期の計算結果は、実際の数値と微妙に食い違っている。それぞれ3.0719、3.0747、3.0733であった。出所：エアトン・ペリー論文（注52参）。

エアトンはこの数値に満足しなかったようで、別の方法を模索した。まず、正確な測定器具を取り寄せることになった。エアトンが理学に関する教育内容を都検のダイアーに報告した1877年10月1日付け報告書に<sup>58)</sup>、ペリーとの共同研究や共同論文の進捗状況を一覧した表が掲載されている。その中に「Determination of gravity for Tokio, Japan」の備考として「Waiting now for a standard measure of length」とあった。この段階で測定器具は届いていない。日付は不明だが、その後フランスの「Deleuil」社製の精度の高い測定器具が取り寄せられることになったが、前述の方法の場合、秒振り子の長さ（1m弱）と長尺振り子の長さが10倍も違うのでコインシデンス法は不適切だと判断し、長尺振り子だけから振動数を測定することとし、上記の電気配線を利用して一定時間内における紙上のインクマーク数をカウントした。表3は、学生たちが試験的に測定した結果である。この結果を踏まえ、エアトンは本格的に測定を行った。振り子は別の振り子を使用している。共著論文には、振り子の詳細な仕様は示されておらず、0℃で振り子の長さが939.09cmであったとしか記されていない。表4は、J・ハーシェル（John Herschel）という物理学者が彼らの共著論文を痛烈に批判したのを受けて<sup>59)</sup>、続刊の「The Philosophical Magazine」において、この時使用した振り子に関する各種数値を掲げたものである<sup>60)</sup>。上記の939.09cmは、ナイフ

表 4. 振り子の各部測定値

振り子各部名称	測定値
ナイフエッジから真鍮球上端までのワイヤーの長さ（0℃）	934.99cm
スチールワイヤーの直径	0.045cm
ワイヤー重量	11.6g
真鍮球の直径	8.2cm
真鍮球重量	2352.2g
ナイフエッジの長さ	4cm
ナイフエッジの幅	1cm
ナイフエッジの高さ	0.5cm
周期	6.1496sec
振幅	30cm

出所：エアトン・ペリー論文（注59参）。

エッジから真鍮球上端までのスチールワイヤーの長さ 934.99cm に真鍮球の半径を加算した数値であることがわかる。この振り子を約 8 万回振動させた結果、この振り子を単振り子と想定した時の  $g$  は  $980.06\text{cm/s}^2$  と測定された。

この後、共著論文において各種の補正に関する考察が行われている。空気抵抗、空気抵抗のために生じるワイヤーの湾曲によるワイヤー自身の縮小、遠心力によるワイヤーの伸張、ワイヤーで吊された重量のある重りが最も高い位置に来た時に生じる重り自身の回転に関する考察である。とくに最後の補正に関しては難解な数学を使用し、10 ページの論文のうち 1.5 ページ分が費やされていた。しかし、いずれも振り子の振動に与える影響は微少であったとした。ハーシェルはこれらの補正に関する考察を「dust thrown into the pupils' eyes」と退けた。

最後に、エアトンらは、この振り子を剛体振り子とみなし、 $t = \pi \sqrt{\sum mr^2 / lmg}$  の公式にしたがって、 $g$  を測定しようとした。振り子がナイフエッジ、ワイヤー、真鍮球の一体化した剛体から構成されていると仮定し、それぞれの慣性モーメント ( $mr^2$ ) を計算して 3 者を合計した値を  $\sum mr^2$  としたのである。ナイフエッジの場合、その先端から重心までの距離とナイフエッジの重量、ワイヤーの場合も同様でナイフエッジからワイヤーの重心までの距離とワイヤーの重量、真鍮球についてもナイフエッジから真鍮球中心までの距離 (939.09cm) と真鍮球重量から、それぞれの慣性モーメントを計算している。分母の  $m$  は、振り子の構成部品の総重量で、 $l$  は 3 者全体の重心からナイフエッジまでを計算したようである。それぞれの数値と、この時測定された  $t=3.0748\text{sec}$  を上記公式に代入して得られた  $g$  は  $979.58\text{cm/s}^2$  となったとする<sup>61)</sup>。この値は前掲のクレローの公式から得られた  $979.7\text{cm/s}^2$  に近く、満足すべき結果だとした。当初、彼らは地球の赤道が楕円形で日本が位置する経度は短径近くに位置しているため、もっと高めの値が測定されると予想していたが、このような値となったのは日本の東へ数百マイルに巨大な海溝が位置していたことにより、重力加速度が低くなったとした。

エアトンとペリーは、クレローの公式にしたがって計算された  $g$  の値に近づけようとして各種の測定を行ってきたような印象を受け、ハーシェルが批判論文の最後に「The force of gravity at Tokio in Japan may be known more certainly from the above formula (クレローの公式—植村) than from the experiments recorded in the paper under review.」と括ったことに一定の理解を示すことができるが、この共著論文をオリジナル研究としてよりも重力加速度測定実習報告書と見るならば、工部大学校の機械学科や土木学科の学生たちは、このような試行錯誤的とも言える各種測定作業に従事することにより授業で学んだ知識をより確実に身につけていったものと考えられる。共著論文の最後に、この研究は、学生に既知の実験を繰り返すことを教えるのではなく、学生自身の研究に関して知識の範囲を少しでも広げようと努力することを教えようという方針から生み出されたと指摘し、このようなオリジナルな研究に若い学生たちを参加させる方法は、通常では得られない実験作業に対する情熱を生み出すことが明らかになった、としている。

### Ⅲ. 軽気球飛行実験に関連する教育

今まで、4つの実験実習もしくは実験パフォーマンスについて検討してきたが、本節では、これらのうち、軽気球飛行を取り上げ、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、デシャネル英訳書などを介して検討したい。

表5. 「Elementary treatise on Natural Philosophy」 part I (Mechanics, Hydrostatics, and Pneumatics)の章題

chapter	chapter head	章題
1	Preliminary Notions	予備的考察
2	Mechanics	力学
3	Constitution of Bodies	物体の組成
4	Gravity	重力
5	Laws of Falling Bodies	落体の法則
6	The Pendulum	振り子
7	The Balance	天秤
8	Hydrostatics	流体静力学
9	Principle of Archimedes	アルキメデスの原理
10	Application of the Principle of Archimedes to the Determination of Specific Gravities	アルキメデ法則の比重測定への応用
11	Vessels in Communication Capillarity	相互に通じる容器—毛细管現象
12	The Barometer	気圧計
13	Variations of the Barometer	気圧計の変化
14	Boyle's Law	ボイルの法則
15	Air-Pump	空気ポンプ
16	Upward Pressure of the Air	空気の上昇圧力
17	Pumps for Liquids	液体用ポンプ
18	Efflux of Liquids	液体の流出

出所：図4と同じ。

表5はデシャネル英訳書 part I の目次で、表6は、前掲のエアトンのダイアー宛て理学授業報告書に含まれていた「Catalogue of Physical Apparatus」から作成したものである<sup>62)</sup>。このカタログでは理学教育に関係する各種器具をアルファベット順に配列していたが、表6ではデシャネル英訳書にその名前が現れる順番に配列を変えた。エアトンは、着任当初、理学教育に必要な実験実習用器具はほとんどなかったが、徐々に増えていき、報告書作成段階の1877年10月には満足のいくまでになったとした<sup>63)</sup>。また、デシャネル英訳書をテキストとして選択した理由の1つに豊富な図版が収録されていることをあげ、工部大学校に必要な器具が備わっていない場合、これを補うことができるとしている<sup>64)</sup>。

デシャネル英訳書 part I の中で浮力に関連する箇所は、第8章「流体静力学」から第16章「空気の上昇圧力」までに及んでいるが、この中には実に様々な実験器具や空気ポンプのような実用器具の紹介が含まれており、浮力の原理それ自体を理解する上で必要な実験や器具の紹介は多くはない。第8章ではパスカルの原理の紹介からはじまっている。液体に加えられた圧力はあらゆる方向に減少することなく伝わり、すべての単位面積あたり圧力は同一で、平面に直角方向に加わる。重力下に置かれた静水の圧力も同様の原理があてはまる。

表 6. 工部大学校所蔵の実験・実習用器具と「Elementary treatise on Natural Philosophy」(part I)との対照

No	工部大学校所蔵器具名称	邦訳名称	図版番号	ページ	章
1	Parallelogram of Forces (apparatus to prove).	力の平行四辺形	2	12	2
2	Gravesande's Apparatus.	フラーフエサンデの器具	3	13	2
3	Oersted's Piezometer.	エールステッドの圧度計	12	26	3
4	Pneumatic Syringe.	空気注入器	13	27	3
5	Centre of Gravity (experiments to illustrate).	重心	26	39	4
6	Mechanical Powers (apparatus to illustrate).	機械動力		未確認	4
7	Fall in Vacuo (apparatus to illustrate).	真空落下	27	41	5
8	Inclined Planes.	傾斜面	28	41	5
9	Attwood's Machine.	アトウッドの器械	29	42	5
10	Kater's Pendulum.	カーターの振り子		60	6
11	Centrifugal Force (experiments on).	遠心力	36	62	6
12	Gyrostat.	ジャイロスタット		未確認	6
13	Cycloidal Pendulum.	サイクロイド振り子	39	72	6
14	Balances.	天秤	40	80	7
15	Specific Gravity Bottles(Flask).	比重ビン	44-45	88	7
16	Hydrostatic Bellows(Press).	水圧鞆	167	93	8
17	Pascal's Vases.	パスカルの花瓶	57	98	8
18	Barker's Mill.	バーカーの水車	62	101	8
19	Archimedes' Screw.	アルキメディアン・スクリュー		未確認	9
20	Principle (apparatus to prove).	アルキメデス原理	66	106	9
21	Cartesian Diver.	浮沈子	68	108	9
22	Hydrometers, Nicholson's, Ordinary.	ニコルソンの液体比重計、一般的液体比重計	78	115	10
23	Haldat's Apparatus.	ヘラルドの器具	89	122	11
24	Spirit-levels.	アルコール水準器	92	124	11
25	Capillarity (apparatus to show).	毛細管現象	99-103	128	11
26	Cathetometer.	カセットメーター	104	130	11
27	Specific Gravity of Gases (apparatus for determining).	気体の比重	106	141	12
28	Barometers.	気圧計	109	145	12
29	Sympiesometer.	合成気圧計	118	156	12
30	Aneroid Barometer.	アネロイド気圧計	119	157	12
31	Boyle's law(apparatus to illustrate).	ボイルの法則	125,6	171,2	14
32	Pouillet's Apparatus (compression of gases).	プイエの器具	127	173	14
33	Regnault's Apparatus to measure coefficient of increase of pressure of gases at constant volume(model of).	ルニョーの、一定体積下におけるガス圧増加係数測定器具	128	174	14
34	Air-Pumps,	空気ポンプ		表題	15
	Receivers, and Apparatus for.	容器と器具	135	184	15
	Bianchi's.	ピアンキ	139,140	189	15
	Sprengel's.	シュプレングエル	146	197	15
	Babinet's.	バビネ	147	199	15
	Condensing.	圧縮ポンプ	151	203	15
35	Fountain in Vacuo.	真空噴水	143	192	15
36	Air-Gun.	空気銃		207	15
37	Baroscope.	バロスコープ	153	208	16
38	Hero's Fountain.	ヘロンの噴水		215	17
39	Suction Pump (models of).	吸上げポンプ	157-160	215-9	17
40	Force-Pump (models of).	押し上げポンプ	161	220	17
41	Centrifugal Pump (model of).	渦巻ポンプ		223	17
42	Bramah's Press(Hydrostatic Press)	ブラマ式水圧機	167	223	17
43	Torricelli's Experiment with Spouting	トリチェリの噴出液実験	169	227	18
44	Burettes.	ビュレット	171	231	18
45	Siphons.	サイホン	175	234	18
46	Tantalus Vase.	タンタロスの瓶	179	237	18

注：図版番号欄は、デシャネル英訳書収録の図版番号。その欄が空白の場合は、同書にその器具が図版として収録されていないが、言及されていることを示す。未確認としている器具は、デシャネル英訳書にその器具の図版も掲載されず、その器具への言及もないが、エアトンがデシャネル英訳書の当該章に関する授業で使用した、と推測した器具。

出所：Imperial College of Engineering(KOBU-DAI-GAKKO), Tokai. Class Report by the Professors for the Period 1873-77, pp.23-27. 東京大学情報理工学図書館蔵。

図6はデシャネル英訳書に掲載されていた、液体の上方圧力を実証するための実験道具で、表6には見いだせない。工部大学校書房には1878年段階で108部のデシャネル英訳書が所蔵されていたので<sup>65)</sup>、すべての学生は個々に同書のこの図を参照することができたはずである。上下が開いた円筒(直円柱)の下方部に平たい円形の蓋を付け、図6のように液体に沈める。深さに比例して圧力が高くなり、水面から筒底までの深さに比例する圧力が蓋に向かって下から上にかかってくるのに対して、蓋の上の液圧はゼロであるため、蓋は液中に落下せず筒底に張り付いたままである。ところが、筒の上から液体を加えていくに応じて圧力が増していき、筒の内外の水位が等しくなった段階で、蓋が液中に落下していくという実験である。

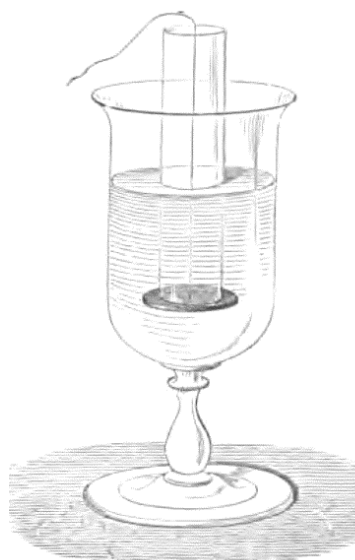


図6. 液体の上方圧力

出所：図4に同じ。p.99.

さらに浮力の原理に繋がる実験としてパスカルの花瓶による実験が紹介されている。液体容器の底への圧力は底面積と液体の高さに依存し、容器の形状には関係しないことを証明する実験である。図7がこれを照明

するための器具である。表6のNo.17に掲げられているので、同器具は工部大学校博物場もしくは理学器具室に備え付けられていたことが確認できる。矢印Dの先に位置する円形蓋の中心部に糸を固着させ、この糸を天秤皿Eの下部のフックに吊し、もう一方の天秤皿Fには一定の重量の重りをのせる。まずAの円筒形容器を据え付け、上から液体を少しずつ注ぎ込み、その圧力がFに載せた重量を上回ると円形蓋がDから離れ、この時の水位を記録する。同様に上に向かって広がっているBの容器をAのあった同じ位置に据え付け、同様に液体を注ぎ込み、円形蓋が離れる水位を記録すると、Aの場合と同じ水位となる。Cの上に向

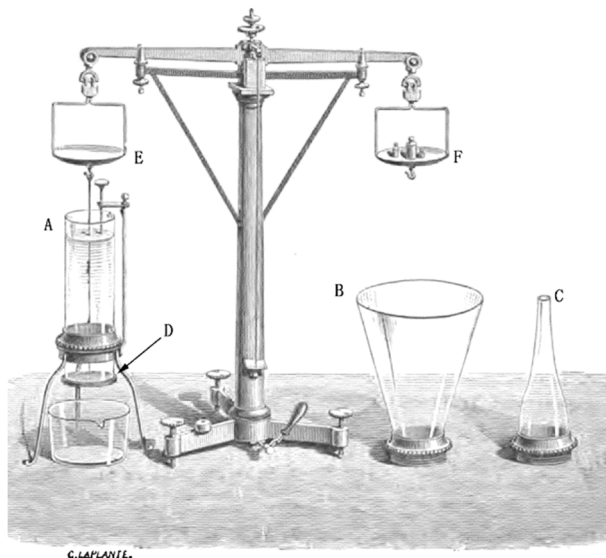


図7. パスカルの花瓶

出所：図4に同じ。p.97.

向かって細くなっている容器の場合も同じ水位で離れる。



第9章においてアルキメデスの原理が取り上げられている。

図8はデシャネル英訳書に掲載のアルキメデスの原理を説明するための図である。円筒形の物体が液体に垂直に沈められている状態が示されている。円筒形物体両側に水平に作用する圧力は、互いに相殺されるので無視することができる。円筒の上部にかかる圧力は、ABの表面にだけ垂直に作用する圧力だけを考慮すればいいので、ABNNが液柱重量分の圧力となり、同様に下側から上方にかかる圧力はCDNNの液柱重量分なので、差し引きして円筒形物体体積に相当する液体重量分の浮力が生じることになる。

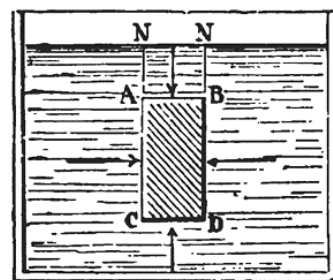


図8. アルキメデス原理説明図  
出所：図4に同じ。p.108.

表6のNo.20にはアルキメデスの原理を証明するための器具が掲げられているが、これはデシャネル英訳書に掲載された図9の器具にあたる。学生たちはこの器具を使用してこの原理の理解を深めたであろう。図7と同じ天秤の左側天秤皿下部に、同体積の銅製円筒が2つ吊されている。

上の円筒は中空であるのに対して、下の円筒は内部もすべて銅でできている。まず下の円筒を空气中に吊り下げた状態で、天秤が均衡するように右側天秤に重りを載せる。次に左側・下の円筒を液中に沈めていくと、円筒に上方の圧力が加わり、天秤が徐々に右方向に傾いていく。下の円筒すべてが液中に沈んだ段階で、上の円筒に少しずつ液体を注ぎ込み、これが一杯になった時、再び天秤が均衡する。液体に浸された物体は、押しつけられた液体の重さに等しい浮力を得ることになる。図版を掲げることを控えるが、No.21の浮沈子もまた、アルキメデスの原理を証明する器具である。細長いガラス製の円筒に水を入れ、その中に空気の入ったガラス球を入れる。

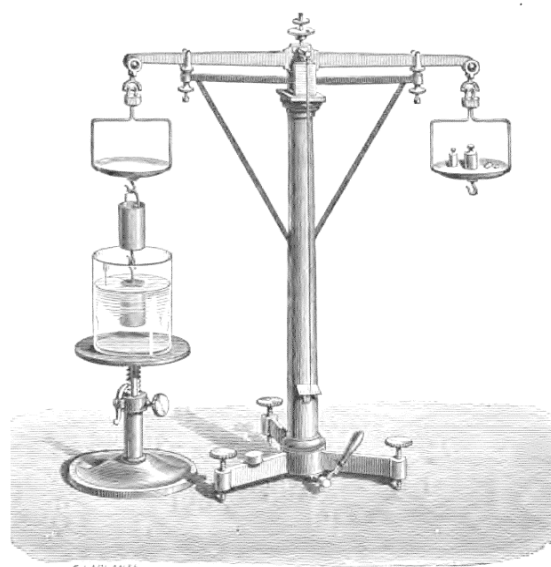


図9. アルキメデスの原理を証明する器具  
出所：図4に同じ。p.106.

ガラス球の下部の一部に穴を開け、さらにその下に小さな陶器製人形を水中に吊す。円筒上部は天然ゴム製蓋で密封する。その蓋を押すことにより、水圧が加わりガラス球内の空気の体積が小さくなり浮沈子は沈み、蓋を押すのを止めると、体積が元に戻り、ふたたび浮沈子は浮かび上がるという実験である。

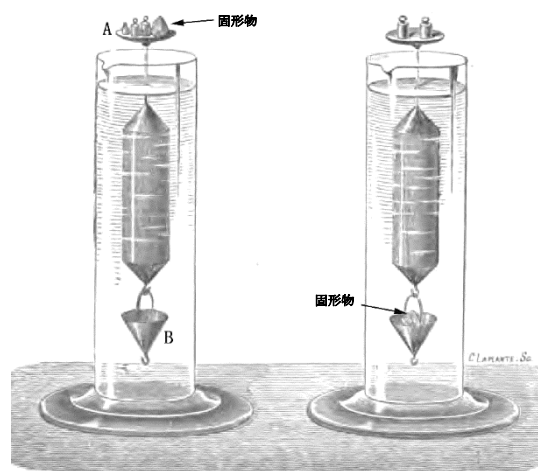


図 10. ニコルソンの比重計

出所：図 4 に同じ。p.115.

第 10 章では、章題のようにアルキメデスの原理を利用して液体や固体の比重測定法を詳論するとともに多数の測定器具の紹介がなされている。このうち、表 6 に掲げられているニコルソンの比重計に関する内容を取り上げたい。図 10 がその比重計である。液体の比重を測定する場合、まず水中に中空の金属製器具を沈める。上には細い棒を支えとする小皿 A を据え付け、棒にはマークが付せられている。下方には逆円錐状の容器 B が吊されている。B は、小皿に一定重量の重りを載せた状態で器具全体をマークまで沈めることができる重さでなければならないとしている。ガノー英訳書では、このために鉛が B の容器に入れられて

いる<sup>66)</sup>。まず水の中にこの器具を沈め、小皿を支える棒のマークと水面が一致するように上部の小皿に一定の重量の重りが載せられる。容器そのものの重量を  $W$  とし、小皿に載せられた重量を 1000 グレーンとすると、水中で器具重量と浮力が均衡しているので  $W+1000$  が器具それ自身の重量となる。次に比重が不明な液中にこの器具を同じように沈めて、棒のマークに一致するように別の重りを小皿に載せ、その重量が  $w$  だった場合、 $(W+w) \div (W+1000)$  がこの液体の比重となる。

また 1000 グレーン未満の固形物重量とその比重を測定するためにもこの器具が使用される。先と同様に水中に同器具を沈め、図 10 (左図) に示されているように小皿にその固形物を載せ、さらに棒のマークと水面が一致するように重しを加えていく。その重しの重量と 1000 グレーンとの差がその固形物の重量となる。さらに右図に示されているように、固形物を A から B に移し入れて同様にマークと水面が一致するように重しを加える。前者を後者重量で割ってやった値が固形物の比重となる。

1876 年 10 月の理学英文シラバスのうち、Hydrostatics の項において「the floating or sinking of bodies in liquids, from whence will be derived the ideas of specific gravity, the methods for measuring it, and its practical utility」としているのは、上記の内容に対応する記述である<sup>67)</sup>。

第 12 章の最初に、空気などの気体にも重さがあることが検証されている。表 6 の No.27 で気体の比重測定器具としているのは、図 11 の気体重量測定用天秤と考えられる。天秤の左側小皿の下に球形のガラスが吊り下げられている。デシャネル英訳書の事例ではその体積は 12 リットルであった。まず空気を入れた状態で計った重量から、ガラス内を空気ポンプで真空にしたものを吊して計った重量を差し引くことにより、12 リットルの空気の重量 15.5 グラムが得られる。1 リッ

トルあたり重量は 1.293 グラムとなり、水 1 リットルは 1000 グラムなので、一定体積の空気の重量の、同一体積の水の重量に対する比率は  $\frac{1.293}{1000} = \frac{1}{773}$  とした。また酸素 1.43 グラム、炭酸ガス 1.97 グラム、水素 0.089 グラムの各数値を紹介した。

気体は液体と同じような特徴を持っているためにパスカルの原理があてはまることが論じられているが、両者の相違点の 1 つである圧縮性に関して気体がきわめて大きいため、地球上を取り巻く空気の密度（もしくは圧力）は、高度が低くなるほど高くなる。デシャネル英訳書の別の箇所<sup>68)</sup>、水の体積の場合、15°C で 1 気圧あたり 10 万分の 4.57 しか減少しないのに対して、空気の場合、一方を密封したポンプに空気を取り入れ、ピストンで圧力を加えると、簡単に元の体積の 2 分の 1 や 3 分の 1、10 分の 1 になることが指摘されている。ボイルの法則は第 14 章で取り上げられることになっているので、とくにここでは言及されていない。次にトリチェリの実験に言及し、様々な種類の気圧計の紹介がなされている。表 6 の No.28 から多数の実物気圧計が用意されていたことがわかる。

第 13 章では、空気は圧縮性が高いので高度が上がるにつれて気圧は低下するが、幾何級数的に低下することを論証した。第 14 章では、ボイルの法則とその実験方法(No.31) や、必ずしもボイルの法則があてはまらないこと、これを

実証するための各種実験と実験器具の紹介が行われている。No.32 と No.33 はこれを証明するためにフランス人物

理学者 C・ブイエおよび H・ルニョーが開発した器具である。第 15 章では空気ポンプの原理と、各種空気ポンプの仕組みを紹介している。No.34 には、それらの空気ポンプ実物のいくつかが掲げられている。上記のシラバスにも、空気の重量に関する「Next will be shown the proof that gases have weight and the effects resulting from this」という記載や、パスカルの原理に関する「the pressure of air is the same in all directions at the same point」という記載が見いだせる<sup>69)</sup>。また、ボイルの法則に関して「the connection between the pressure, volume, and density of a gas」としている。

第 16 章において、空気中の浮力について言及する。これを明瞭に実証する器具が図 12 のバロスコープと称される器具である。表 6 の No.37 がこれにあたる。デシャネル英訳書では、自明のこととしてバロスコープを覆うガラス製の空気ポンプ容器が省かれていたので、バロスコープをこの中に収容した状態の図をガロー英訳書から引用した<sup>70)</sup>。天秤の左には鉛製の重り、右側には銅

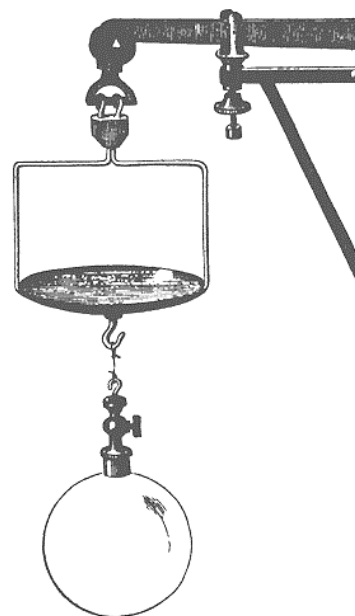


図 11. 気体重量測定用天秤

出所：図 4 に同じ。p.141.

製の中空の球体を配置し、容器に空気を入れた状態で均衡させる。図には描かれていないが、左方向に空気ポンプが配置され、密閉された容器から空気が抽出されていく。表 6 の No.34 に掲げられているように、この作業に必要な諸器具が用意されていたことがわかる。左の重り、右の球体それぞれについて、最初と最後の空気密度の差だけ浮力が失われるが、体積の大きい球体の方がその程度が大きいので、天秤は右側に傾いていく。さらに容器の中に空気より重い炭酸ガスを注入していくと、再び球体が上昇していくが、空気よりも浮力が大きいので、今度は左方向に傾いていくとしている。

各種実験器具を利用したここまでの授業内容から得られた知見を背景にして、前述の軽気球飛行実験が行われ、また逆に実験実習を行うことによりそれまでに授業で学んだ各種知見を再確認することができた。

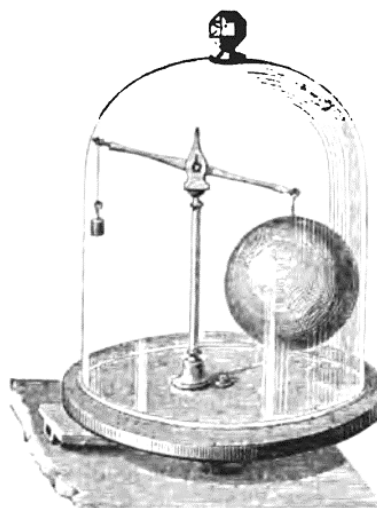


図 12. バロスコープ

出所：A. Ganot, *Elementary Treatise on Physics* (by E. Atkinson), William Wood and Co., New York, 1875, p.136.

#### IV. おわりに

以前に、お雇い外国人<sup>71)</sup>や工学博士<sup>72)</sup>を通して欧米の先進技術、とりわけ地下資源利用技術が日本に移転されたことを論じたことがあった。技術移転の媒介手段の1つである人間を介して技術移転が進んだことをある程度明らかにすることができたが、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、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する。

本稿では、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。軽気球実験についてはエアトンが直接関与したかどうかは不明だが、エアトンが知らなかったはずはない。これらの実験実習を行うことにより、工部大学校学生たちはそれぞれの実験に関連する授業内容をより深く理解することができた。IIIでは、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。浮力に関する知見は周知のことであるし、ここで取り上げた理学書は今から1世紀半ほど前に刊行されたものであるので、現代の物理学の知見と異なる点もあろうが、工部大学校の博物場や

器具室に準備された諸器具と照らし合わせながら、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をたどることにより、学生たちの脳裏にこれらの知見がどのように焼き付けられていったかを明らかにすることができたと考える。このような方法の妥当性を探りつつ、別の機会に他の実験に関わる授業内容についても補足したい。

#### 引用文献、注

- 1) 植村正治「明治初期工学教育機関の設立」『社会科学』（同志社大学人文科学研究所）第40巻第3号、2010年。「工部大学校理学研究棟について－研究ノートに代えて」『同志社商学』第63巻第5号、2012年。「《研究ノート》工部大学校（工学寮）における博物場・器具室と実習用諸器具について」『社会科学』（同上）第42巻第2・3号、2012年。「工部大学校書房と図書分類」『流通科学大学論集』経済・情報・政策編、第21巻第2号、2013年。「工部大学校書房所蔵の理学図書－研究ノートに代えて」『流通科学大学論集』経済・情報・政策編、第22巻第1号、2013年。
- 2) 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』（同上）第43巻第4号、2014年。「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。
- 3) 丹羽保次郎『テレビとファックス』東京電機大学出版局、1960年、49ページ。川野辺富次『テレグラフ古文書考』文昌堂、1987年、415ページ。
- 4) 栗本鋤雲『曉窓追録』（井田進也校注『幕末維新バリ見聞記』岩波文庫、2009年）、163ページ。同文献はすでに、奥谷留吉『日本電気通信史話』（葛城書店、1943年、105ページ）、渡辺正美『日本電信電話創業史話』（一二三書房、1958年、31ページ）で紹介されている。
- 5) 川野辺前掲書の引用史料（425ページ）による。
- 6) 小林一雄「ファクシミリ故事（大正15年以前）」（画像電子学会編『ファクシミリ史』画像電子学会発行、1997年、6ページ）に詳しい。
- 7) 川野辺前掲書、426ページ。小林同上論文、5～7ページ。
- 8) 注4～6の各文献による。
- 9) 小林前掲論文、7ページ。
- 10) 郵政博物館のご好意により画像を送信していただいた。同館では「アーリンコート生写電信機」という名称を使用している。奥谷前掲書（177ページ）においても同名称を使用した。
- 11) 遠邑容吉「工学寮雑記（三、図画電送と地雷火）」『旧工部大学校史料附録』（旧工部大学校史料編纂会編『旧工部大学校史料・同附録』虎之門会、1931年）、5ページ。岩田武夫「旧工部大学校史料参考記事（「図画電送」の項）」、同上、25ページ。
- 12) 筆者不詳「図画電送」『旧工部大学校史料』（旧工部大学校史料編纂会編同上書）、181ページ。
- 13) 植村前掲論文「工部大学校理学研究棟について－研究ノートに代えて」、215ページ。
- 14) A. P. Deschanel, *Elementary Treatise on Natural Philosophy*, (by J. D. Everett), part III, D. Appleton and Company, New York, 1878, pp.730-733.
- 15) 岩田武夫「エルトン先生に関する談話」（加藤木重教編『日本電気事業発達史』後編、電友社、1918年）、1441ページ。
- 16) 「工部省第四回年報二 工作局」、国立公文書館アジア歴史資料データベース、レファレンスコード

- A07062261600。
- 17) 植村前掲論文「《研究ノート》工部大学校（工学寮）における博物館・器具室と実習用諸器具について」を参照。
  - 18) 加藤木前掲書、前編、1916年、138ページ。
  - 19) 小林前掲論文。遠藤正「通信総合博物館におけるファクシミリおよび関連資料」、画像電子学会編前掲書。
  - 20) 岩田前掲談話（注15）、1441ページ。
  - 21) 報知社編『郵便報知新聞』第1547号（明治11年3月26日）（柏書房、〈復刻版〉明治11～12年版、1989年、267ページ）。
  - 22) 植村前掲論文「工部大学校理学研究棟について—研究ノートに代えて」、220ページ。
  - 23) 瀬川秀雄編『工学博士藤岡市助君伝』電気日報社、1932年、25ページ。筆者不詳「生徒館ノ説明」『旧工部大学校史料』（旧工部大学校史料編纂会編前掲書）、70ページ。
  - 24) 仙石亮「思出話」『旧工部大学校史料附録』（旧工部大学校史料編纂会編前掲書）、119ページ。
  - 25) 高橋雄造『電気の歴史』東京電気大学出版局、2011年、68ページ。
  - 26) 瀬川編前掲書、26ページ。
  - 27) A. Ganot, *Elementary Treatise on Physics*, (by E. Atkinson), William Wood and Co., New York, 1875.
  - 28) 逓信省電務局編『帝国大日本電信史沿革史』、1892年、272ページ。
  - 29) 前掲『郵便報知新聞』第1548号（明治11年3月27日）、272ページ。
  - 30) 瀬川編前掲書、28ページ。
  - 31) 植村前掲論文「明治初期工学教育機関の設立」、31ページ。
  - 32) *op.cit.*（注14）, pp.705-707.
  - 33) 東芝未来科学館のご好意により、同画像を送信していただいた。
  - 34) 36) 岩田前掲記事（注11）、29ページ。30ページ。
  - 35) 加藤木重教『重教七十年の旅』前編、電気之友社、1928年、74ページ。
  - 37) 報知社前掲文献（注29）、272ページ。
  - 38) 山崎俊雄・木本忠昭『電気の技術史』オーム社、1992年、135ページ。
  - 39) 岩田前掲記事（注11）、29ページ。
  - 40) 岩田前掲談話（注15）、1440ページ。
  - 41) 43) 海軍大臣官房『海軍制度沿革』巻9、1940年、1006～1008ページ。1008ページ。前掲郵便報知新聞の同一日付け記事に同内容の報道が見いだせる。また石井研堂『明治事物起原』（第5巻、筑摩書房、1997年（1908年初版）、312ページ）でも取り上げられているが、『海軍制度沿革』に一致しない個所がいくつか見いだせる。
  - 42) 『新聞集成明治編年史』第3巻、林泉社、1936年、214ページ。クララ・ホイットニー著、一又民子訳『クララの明治日記』（上巻、講談社、1976年、184ページ）にも、岩倉や松方らの「お偉方」が見物に来たことが記されている。
  - 44) 『科学とともに百二十年—島津製作所の歩み』島津製作所、1995年、3ページ。
  - 45) 前掲『新聞集成明治編年史』第3巻、338ページ。
  - 46) 前掲「工部省第四回年報二 工作局」。植村前掲論文「明治初期工学教育機関の設立」、36ページ。
  - 47) 大蔵省編『工部省沿革報告』（『明治前期財政経済史料集成』第17巻ノ1、明治文献資料刊行会、1964年（1890年刊行））、405ページ。

- 48) 岩田前掲記事（注 11）、27 ページ。
- 49) *op.cit.*（注 14）、part I, p.212.
- 50) 前掲『新聞集成明治編年史』第 3 巻、201 ページ。
- 51) ペリーについては、以下の文献に詳しい。高橋雄造「エアトンとその周辺」『技術と文明』7 巻 1 号、1991 年。公田蔵「John Perry と日本の数学教育」『数理解析研究所講究録』1195 巻、2001 年。板倉聖宣「ジョン・ペリーの生涯（1）～（4）」『数学セミナー』別冊、2000 年、2001 年。中西正治「ペリーの関数教育の考察」『三重大学教育学部研究紀要』第 61 巻、2010 年。大下卓司「ジョン・ペリーの数学教育論」『教育方法学研究』第 36 巻、2011 年。また、ペリー著「Elementary practical mathematics」（Macmillan and Co., Limited, London, 1913）の邦訳書、小倉金之助・新宮恒次郎訳注『初等実用数学』（山海堂出版部、1930 年）においても詳細な経歴紹介がなされている。植村前掲論文のいくつかでも取り上げた。
- 52) W. E. Ayrton and John Perry, 'Determination of the Acceleration of Gravity for Tokio, Japan', *Proceedings of the Physical Society of London*, vol.3, 1879. 同一論文を「The Philosophical Magazine」（No.56, April, vol. 4, series 5, 1880）に掲載。
- 53) 前掲「工部省第四回年報二 工作局」。前掲『工部省沿革報告』、405 ページ。
- 54) 植村前掲論文「《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」、129 ページ。
- 55) 東京大学教養学部編『基礎物理学実験』（学術図書出版社、2012 年、56 ページ）において詳細な実験方法が記されている。同実験では、摩擦を一層小さくするために、ナイフエッジが差し込まれている個所にベアリング台座が使用されている。
- 56) 黒須茂「ボルダの振り子を追って：コインシデンス法とその発展」『計量史研究』第 32 巻第 1 号、2010 年。
- 57)  $g=980.6056-2.5028\cos 2\lambda-0.000003h$ （ $\lambda$  は緯度、 $h$  は海拔）。エアトン・ペリー論文は、「The Philosophical Magazine」（No.58, June, vol. 10, series 5, 1880）に掲載された、ハーシェル(J. Herschel)の「On the Determination of the Acceleration of Gravity for Tokio, Japan」において痛烈な批判を浴びることになるが、上記式右辺第 2 項を間違えて  $\cos \lambda$  としていたこともその 1 つであった。
- 58) Imperial College of Engineering (KOBU-DAI-GAKKO), Tokei. Class Report by the Professors for the Period 1873-77, p.32. 東京大学情報理工学図書館蔵。
- 60) W. E. Ayrton and John Perry, 'On the Determination of the Acceleration of Gravity for Tokio, Japan', *The Philosophical Magazine*, No.59, July, vol. 10, series 5, 1880. ハーシェルの批判論文が 2.5 ページほどであったのに対して、この反批判論文は原論文と同じ 10 ページに及んでいる。これは、ハーシェルの批判内容がかなり大ざっぱな知見に基づいていたこと、批判のために使用した言葉が学術雑誌に掲載するには不穏当であったこと（エアトン・ペリーは反批判論文の最後に「the style and tone of his letter is hardly what is usually employed by scientific men」とした）、そしておそらくは、同誌編集委員の一人 W・トムソンがエアトンとペリーをかつて指導した人物であったことによる（彼らとトムソンとの関係については植村前掲論文のいくつかでも取り上げたが、高橋前掲論文に詳しい）。
- 61) 普通のワイヤーで吊した振り子に剛体振り子の公式を当てはめて  $g$  を測定することに疑問が残るし、計算の過程でいくつかの疑義が見いだせた。
- 62) 表 5、6 とともに植村前掲論文「《研究ノート》工部大学校（工学寮）における博物場・器具室と実習用諸器具について」（181～2 ページ）で紹介した。
- 63) 同上論文、180 ページ。

- 
- 64) 植村前掲論文「《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」、110 ページ。
- 65) 植村前掲論文「工部大学校書房所蔵の理学図書—研究ノートに代えて」、42 ページ。
- 66) *op.cit.* (注 27), p.90.
- 67) 69) Imperial College of Engineering, Tokei. Calendar. Printed at College. 1876, p.42. 東京大学情報理工学図書館所蔵。植村前掲論文「《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」(125 ページ)で紹介した。
- 68) *op.cit.* (注 14), part I, p.27.
- 70) *op.cit.* (注 27), p.136.
- 71) 植村正治「お雇い外国人の統計的概観」『流通科学大学論集』経済・経営情報編、第 12 巻第 3 号、2004 年。「明治前期におけるお雇い外国人の統計観察」『大阪大学経済学』第 54 巻第 3 号、2004 年。「明治前期お雇い外国人技術者・技能工の統計観察」(安岡重明編『近代日本の企業者と経営組織』同文館)、2005 年。「明治前期お雇い外国人の給与」『流通科学大学論集』経済・経営情報編、第 17 巻第 1 号、2008 年。
- 72) 植村正治「近代日本における工学博士の統計観察」『流通科学大学論集』経済・経営情報編、第 15 巻第 1 号、2006 年。「近代日本における工学博士の出自の統計観察」『流通科学大学論集』経済・経営情報編、第 15 巻第 2 号、2006 年。「近代日本における工学博士の経歴の統計観察(1)」『流通科学大学論集』流通・経営編、第 19 巻第 2 号、2006 年。「近代日本における工学博士の経歴の統計観察(2)～(5)」『流通科学大学論集』経済・経営情報編、第 15 巻第 3 号(2007 年)、第 16 巻第 1 号(2007 年)、第 17 巻第 1 号(2008 年)、第 17 巻第 2 号(2009 年)。