

学制 150 年初期の授業記録で読み解く 日本の理学教育の特質と ICT 活用的再創生

小林昭三*1・興治文子*2

Email: kobayasiakizo@gmail.com

*1: 新潟大学教育学部

*2: 東京理科大学教育支援機構教職教育センター

◎Key Words ICT 活用アクティブ・ラーニング, 学制 150 年の教訓と再創生, 簡易理学実験検証

1. はじめに

明治期科学授業記録を全国網羅的に探索して見出してきた理学教育 150 年史の特質・教訓の核心部を、現代的に再創生することを試行してきた⁽¹⁾。今回は、そのような中で、特にコロナ禍での遠隔的 ICT 活用や簡易実験を核心部に配置するアクティブラーニング (AL) 型授業の具体化に関する実践的な試行を報告する。その際、欧米日での科学教育改革の潮流 (カッケンボス・パーカー型からガノー・スチュワート・ゲージ型) における史的相互関連に関する比較検討や資料的な検証として、ハラタマ・リヒター・旧帝大 (お抱え外国人教師) 潮流から日本流の開拓者 (飯盛・桜井・小川・後藤他) に受け継がれた史の変遷とその新展開に注目した⁽³⁻⁶⁾。特に、その大きな潮流として特徴付けられた人脈により築かれた歴史的遺産や教訓へと集約される点が注目される。

蘭・仏・独・英・米の洋書原著/大ガノー書/スチュワート書/ガノー書類の飯盛物理書⁽⁶⁾・桜井や小川流の新展開例, 等に本論考では焦点化して、その教育記録内容分析・解説による大まかな俯瞰的提示を試みる。

更に、身近な素材を活用した簡易の実験検証を重要な鍵とする「ICT 活用 AL 型授業への現代的再構成」を試みてきた。その際に、100 均店素材活用・ICT 活用した簡易実験的工夫・最適実験教材 (力学・流体・波動等の簡易実験装置) 作り、能動的深い学びを探索してきた⁽¹⁾。

そのような身近な簡易実験装置作りを、コロナ禍における遠隔的な授業にも適応できる身近な素材を活用した簡易実験装置作り・モノづくりとして適切に配置した、ハイブリッド型 AL 授業法への現代的再構築した実践的試行に基づいた、これまでの諸研究成果の報告をする。

2. 明治期理工教育に於ける日欧米の比較分析

最初に、日本の理学・数学・工学分野の教育に於ける明治期以来の歴史の変遷の実相と教訓を明らかにするため、明治以来の理工授業を記録した授業筆記文書他を探索・撮影した経緯と、その調査分析結果を概観する。

2022 年は学制公布 1872 (明治 5) 年から 150 年である。当初の明治期の日本は、アジア地域でも科学・技術分野で特筆される発展を遂げるに至った。その中でも特に科学教育や理工教育分野では日本は如何なる進展を遂げたのか。教育は如何なる役割を果たしたのか。科学教育や実学教育における変遷はどの様であったか。この様な、史的課題を掲げて日本の科学や実学教育に於ける明治以来の実相・教訓を国際的視野から解説してきた⁽¹⁾。特に、1900 年前後頃に於ける、欧米でのパーカー・カッ

ケンボス型、スチュワート物理型、ガノーやゲージ物理書⁽³⁻⁵⁾、などの物理教育と日本の科学や実学教育の実相や教訓とを対比して、それらの緊密な相互関連を見出し解き明かす調査分析研究を推進してきた。

2.1 新潟茨城や静岡埼玉等で講義筆記文書の新発掘

明治初期から中期や後期にかけての特徴的な実相を概観しておこう。学制が開始してから現在までに 150 年に至るが、学制開始から小学校令下での高等学校制度化に至り、当時の世界的な科学教育の改革期における諸潮流の影響下で、その幾多の潮流が形成され、日本における科学教育の育成期と高揚期とを招来しつつあった。特に、明治中期 (明治 20 年代以降) には、カッケンボス・パーカー型から、ガノー・スチュワート・ゲージ型⁽³⁻⁵⁾への転換が急速に進行し、簡易実験を核心部に配置するような AL 型授業の具体化への息吹が芽を出し始めた。そのような高等学校における物理教育への芽を育てた簡易実験に基づく授業筆記を提示する。

例えば、星野・太田 (那須福岡師範) の『新撰物理書』では、英国教育改革で生まれたサイエンスプリマ型・スチュワート物理型の簡易実験に基づく物理教育教科書が作成され、そうした日本的なスタイルが後藤牧太の「小学校生徒用物理書」による授業展開例として日本各地で普及展開されたことを示す授業筆記での提示を我々は実現してきている。それは、師範学校付属の教育実習教案 (新潟や神奈川) や、師範学校生徒や高等学校生徒の授業筆記 (埼玉・群馬・山口・静岡・熊本) としても確認できる。特に、それ等は小学校令期前後において具体化されたことが注目される。旧制中学校や師範学校での教育開始期頃の新鮮な息吹として、当時の生徒に多大な影響を与えた事での史的役割に注目したい。

そうした潮流の代表的な事例である第 5 高等学校での櫻井房紀の物理学初歩筆記を、高等中学でのスチュワート型物理教育授業の典型例として詳細に解説した。

さらに、欧米における最先端的な「大ガノー物理書型」でのより高度で実用的な教育授業筆記実例として、実学的な諸要求にも十分対応できる物理授業例が、静岡尋常中学校での小川正孝⁽²⁾による「大ガノー書」で、詳細に提示できる。即ち、小川による力学や物性物理：流体 (気体・液体)、音学 (震動体と伝導媒質と波動性)、弾性・分子振動・波動的伝導、で詳細に跡付け得る。

その幾つかの授業内容については、本報告後半における、「流体圧力 (気体・液体) をめぐる現代的なパラドックス的論争の抜本的な解明」という重要な課題、即

ち、こうした分野に於ける科学や教育の歴史的な教訓に基づいた、歴史的な教育課題の現代的な再構成としてのアクティブラーニング型授業への再構成を論じよう。

さらに、櫻井房紀・スチュワート書型や小川正孝・大ガノー書型の2大典型例以外にも、水戸中学校や山口師範学校他や、次節の埼玉での授業筆記で示される実例のような、幾多の興味深い授業筆記の実例を提示できる。但し、紙幅関係からその詳細な記述は省くことになる。

2.2 埼玉県立文書館の文書検索実例の記録

埼玉県立文書館での特に注目される新文書集録群の発見例を報告する。記事『2023.4.17・古文書・R4年度刊行目録「古沢家文書」収録分をアップしました』を基に、更なる新〇〇家文書発見の予感が見事に的中した事例である。特に、コロナ禍で現地訪問が困難・苦難な時を経てこの新予感を的中させて、100件程の大量の新文書の撮影を実現してきた。そこで、「埼玉県立文書館での新理工農文書を発掘し得る検索をやり直す絶好機を捉えて探索活動を再開し、250件に近い新文書一覧の発掘が埼玉で実現できた。大量の新収録文献の検索から未知の〇〇家文書に焦点化した包括的網羅的な探索が実現できた。その埼玉文書館での新体験例を報告する。即ち、全体検索から古沢・飯塚・福島(總)姓の新収録文書所蔵家の個別検索へと授業記録資料の増加域に焦点化したキーワード検索・網羅的詳細検索を拡張した、新理工農文献全体の網羅的探索」の実践例の報告である。

表1. 飯塚家と古沢家理数筆記文書の実例20件

飯塚家5613	note book	?	第二学年B組号	飯塚素	1
飯塚家5614	note Book	?			2
飯塚家5615	NOTEBOOK	?	飯塚素治		3
飯塚家5616	[雑記帳]	?	大里郡明戸村大字江原		4
飯塚家5618	ALGEBRA	?	J. iizuka		5
飯塚家5642	理学 巻一	?			6
飯塚家5643	懐中横文字	明治9.1.18	飯塚富八		7
飯塚家5644	修身	?	四ノ一	飯塚	8
飯塚家5645	[生物・歴史]	?	幡窪郡明戸村大字江原		9
飯塚家5651	修身科	明治30.18	大里郡明戸村大字上江原		10
古沢家文書1	ノート(綴方)	大正.8.1			11
古沢家文書2	NOTE BOOK	[大正15]..	4B Fkuriko[栗子ふみ]		12
古沢家文書2	算術帳(数学)	大正6.9.18	栗子		13
古沢家文書2	[生物学ノ]	[近代]			14
古沢家文書2	三角(数学)	明治43.4.1	埼玉県立熊谷中学校	第3	15
古沢家文書2	Note Book	[近代].	by Kuriko[栗子]		16
古沢家文書2	Geometry(幾)	[大正15]..	4B F.kuriko[栗子ふみ]		17
古沢家文書1	紅物筆記帳	明治39.4.1	第一学年甲組	古澤嘉辰	18
古沢家文書1	数学筆記帳	明治32.5.	中学二年級	古澤善文	19
古沢家文書2	化学筆記帳	[明治42]..	第四年級甲	古澤嘉辰	20

準備段階の「埼玉文書館内の全データベースの横断検索」により、網羅的な探索を私たちが既にしてある「〇〇家一覧表」以外に、新文書が存在しそうな〇〇家を新発見する。その新家名データベースでの個別的と総当たりの詳細検索を進める。即ち、総当たりの検索とキーワード絞り込み(ノート・理筆記・教・理・・・他)検索,等を必要に応じて行き来して、重要理工農文献の取り残しを最小限化する文献検索を実施した。

こうした全面的検索が未だにされて無い〇〇家(福島,飯塚,古沢,諸井,中野家)等に検索重点を移した成果である。未探索だった「新たな家名のデータベース」の詳細で網羅的な検索・探索・発掘した飯塚家・古沢家文書リスト(約250件中の20件)が表1である。

表1の赤字の文書文献は、自然科学分野の筆記文献であり、明治期のものが主で、大正・昭和初期のものも若干は含む。最近に於ける「飯塚家・古沢家の筆記者」は、何代かの兄弟による場合が目立ち、筆者が特定できている事例がとても多い事で「家族史的な変遷をも読み解き得る価値ある資料となる期待が盛り沢山」となる。埼玉県立文書館を2023年6月には実地訪問し、明治時代から本格化した理工農教育研究の実相を解き明かす教育関連記録・授業記録に関連する文書の100文書程

(探索・検索し一覧表全体中の一部)を閲覧・撮影(持参したカメラで)した。それらの写真をpdf化文書資料として整理・蓄積して、その詳細な調査分析研究を現在も鋭意推進してきた。以上が、埼玉文書館デジタル検索と、それに基く理工農授業記録PDF資料作成例である。

2.3 ハラタマ・リッテル・飯盛挺造理学書の変遷史

代表的な講義記録として、外国人教師講義の通訳者による物理化学講義の口述記録書(オランダの外国人教師ハラタマの理化新説や窮理学書全11巻)や、ドイツ人教師リヒター(物理日記・化学日記)の特徴的な共通点と転換期の深層を調査探索する。ハラタマ・リヒター以来の旧帝大(旧北大農)外国人教師から日本教師への物理教育潮流の変遷を辿った。飯盛挺造の『物理学上・中・下』⁶⁾は、東大医学教育助教時代の医学教育から、4高(石川)時代の物理講義書として使用された。その序言には「この書は東京大学医学部の助教時代から物理学授業の際に講義用備忘録として逐次編纂し生徒に与え、内容や順序を改善して実地経験の蓄積で講義録の改良を毎年蓄積し増刷毎に完成度を高めた」と記された⁶⁾。それは大ガノー書類似の教科書として30余年・28版⁶⁾に及ぶ。実は、大ガノー書フランス語原著の潮流に強く影響されたドイツ流改良編集版である『ミュウレル氏物理学書(ドイツ語原著版)』によるものだった(大ガノー物理書ドイツ語翻訳書は別にある)。ハラタマやリヒターの授業口述物理書も、大ガノー物理書(オランダ語訳書やドイツ語訳書)に強く影響されたものだった。大ガノー物理書訳や物理実験図の国際連関を浮彫にするため、それらの俯瞰的な総覧図を作成しその実態を対比して、当時の国際連関的な深層的連関分析を進展させた。この①口述記録書(オランダ教師ハラタマ理化新説と窮理学書11巻)、②ドイツ教師リヒター物理・化学日記、③飯盛挺造の物理学を俯瞰的な対比図を図1にて試作成してみた。その基礎である「カッケンボス型・パーカー型、スチュワート型やガノー型、等の実験図

も配置した。この実験装置の対比的な俯瞰的総覧図で迎る欧米日の大ガノー物理書に至る国際連関と史の変遷を可視化する方法を探索、その具現化を試行してきた。

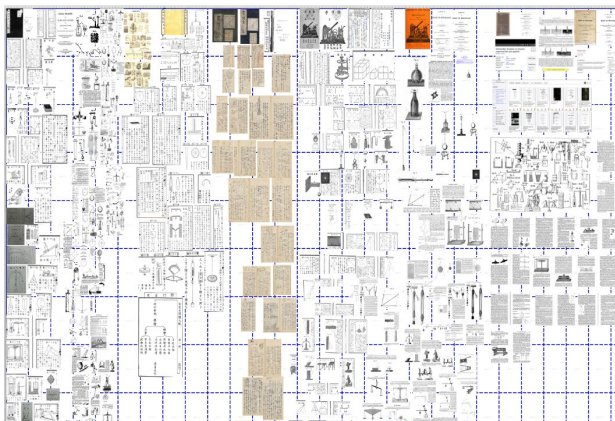


図1 明治の日欧米物理教科書・物理実験図の比較一覧

加えて小川正孝流の展開例(大ガノー書⁴⁾型実験工夫と物理化学型授業の展開)他、の豊富な授業記録を調査分析し、「パーカー・カッテンボス型から大ガノー書・シュワート・ゲージ物理書型」への新展開を跡づけた。そして「当時に特徴的だった原子・分子論・簡易実験検証を重視したアクティブ・ラーニング型講義の史的再構成」を試みた。アジア地域で特筆される発展・科学や技術分野での展開として、日本の理学・数学・工学分野の教育に於ける明治期以来の歴史の変遷の実相と教訓を解説した。その類似性や革新性を対比分析して、力学や流体分野の授業展開に於ける実態・教訓の具現化を次節で試みる。

3. 流体(気体液体)圧力や物性関連の授業筆記

パスカルの水銀サイフンの原理を原著⁷⁾を深く読み、以下の見事で正確な実験検証法の記述を再発見した。圧力が2気圧(深度10m)の水中で、大気、水、水銀、油、等の流体が相互に織りなすサイフン現象を論じる。容器内の流体とサイフン管内の流体のそれぞれの役割を上手く変え、相互の領域での圧力基準(境界条件)を識別し得る相互圧力差の概念的混乱を解消する。

特に注目すべき事は、「2気圧水中の水銀管という設定」を同水中の「油管という設定」に代えれば「逆向きサイフン」になる」とパスカルは明確に推定した事である⁷⁾。私達は、「如何なるサイフンを、如何なる溶液中に、如何に設定するか」という圧力差を生む境界条件の変更を、思いど通りに・自由自在に行えることで、(水中の、油や空気や、空中の水や炭酸ガス他の)最新型実験装置作り・モノ作りの多彩な工夫を試行した。

我々の「何でもサイフン化やモノ作り法の考案」で、パラドックス的なサイフン動因の明快な実験的検証法を再創生した。万能パスカルサイフン検証装置作り、流体圧差をめぐるパラドックスカル現象⁷⁻⁹⁾の解明実験法と動画映像実演の機会を、幾度も持ってきた。この新型サイフン原理の実演法は、水中での大気入りビニール袋型サイフン(両端の空気入り袋をサイフン管で通管させる)の工夫をして、水中に沈めた深さに於ける圧力差のサイフン動因流を生む。更に、教訓茶椀

の逆流を圧差で生むAL授業法提示案を例示できる。例えば、「サイフン原理;水流の動因は、次のどれか? ①水の鎖的な張力 ②水流端の圧力差 ③その他」。

図2のサイフン管の基準気圧 P' 、1気圧 P なる流体容器と水中をつなぐサイフン管中の流体動因力は、内気圧差 $P-P'$ +水高度差 H :サイフン流動源は ①水分子鎖張力か? ②水流端の圧力差? ③その他?。という簡易実験的な水解釈で大気中開放の容器間での閉じた内圧 P' の2容器間の圧差と水高差 h の実験だ。

3.1 パスカルのサイフン原理は間違いか?

「サイフン流体はなぜ動く?」との問いと、その問に対する「サイフンの作動原理の理解法をめぐる解説論述」には、根本的な誤解や混乱が目立つ。曖昧な解説スタイルの広がりも著しく無視できない状況にある。

特に「物理学や力学教科書(大学教育)や一般向けの科学入門書のサイフン現象の解説に多くの間違いがある」という分析が宮地により指摘された⁹⁾。その結果、宮地は「サイフン原理の間違いが350年以上も前から存在していたことが明らかになった」と明記した⁹⁾。

同様な論理展開を彼の添付論文でも彼は明言した⁹⁾。しかし、実は、次の内容解説のようなパスカル原著⁷⁾の記述を注意深く読むと、「サイフンは空気圧による押し上げによる」という「パスカルの350年以上も前から存在するサイフン原理の間違い」との決めつけは誤解だった。それはパスカル原著の根本的誤読で生じていた。宮地は重大な誤読から「水分子の鎖(チェーン)の張力説によるサイフン作動原理で、パスカルの350年来の間違いを正した」との思い込みで陥った⁹⁾。「身近な手作りサイフンの簡易実験法」を次の図1に示して、宮地等の根深い誤解⁹⁾を全て水解させ得よう。

パスカルの「水中下10メートルでの水銀柱サイフンによる実験的検証図解」の核心部を次図2で示す。

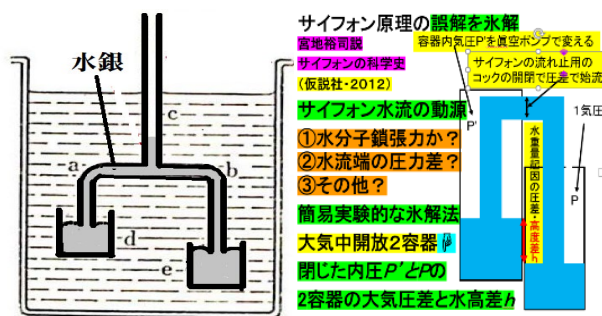


図2. 水深10mの水銀サイフン図とその動因の解説図

即ち、それは水中でのサイフン(水銀・空気・油の流れ)などによる検証実験法・パスカル科学論文集(7)の116頁のように、「大気の重さはサイフンの中に水を上昇させる」との実験図をもとにするサイフン現象の考案である。実は、この主な実験的な実証内容は、「空気中のサイフンの代わりに水中の水銀の管を流れるサイフン」を考えるものである。その際、10メートルもの深さの水中なので、1気圧が増加する水圧下での水圧で水銀が76センチも上昇(水銀サイフン中を図2のaからcまで)させる工夫をした。水銀の1気圧分を上昇させることで、これによりサイフンが上手く連

通するようにするため、大気圧(一気圧)に加え水10m分の水圧(又は気圧)を使う「パスカル型アイデア」を応用する。この水中10mと同一な水銀サイフォン動因の実験検証法・図2をより簡明なAL型授業に再構成する。

「10メートル分の水量の重力は、水銀サイフォン中の水銀を76センチ程上昇させる」、その上で、更に「それより短い下部では、水銀同士の圧力差で、水銀はより下部の器に落ちることになる(水銀同士の重力差が主要因である)」。更に次の問を發して、正解の選択をさせる。

問い：サイフォン水銀流の動因は何だろうか？

回答：次の①～③から一つを選択し理由を述べよ。

① サイフォン水流作動原因は水分子鎖の張力か？

② 水流端の圧力差か？

③ その他か？

パスカル原著⁽⁷⁾油サイフォンで鎖張力説は破綻する

内圧P'Pの2容器のサイフォン管上部の圧力差は、管下端の水高さ $h+P-P'$ ；図2。P'Pが共に2気圧の水銀サイフォン(水銀管が水中10m下と同じ)を、水より軽い油(水銀の代わりに)で満たしたらどうなるか？水銀とは正反対の現象が起こるに違いない。重力と逆方向に、低い方の油が上昇しサイフォン上部に上り高い容器に流れ込むが、鎖張力では不可能だ。鎖張力の無い空気でも同じ逆流する結果が得られ、鎖張力説⁽⁹⁾は破綻する。

3.2 サイフォン作動原理やマリOTT瓶他の応用例

パスカルが本当に示したい極限例は「水銀サイフォン管内で水銀途切れぬ限度が有る」事だった⁽⁷⁻⁸⁾。深さ10mの水中で水銀サイフォン実験で実証をした。実は空気圧2気圧・深さ80cmの水銀サイフォンと同条件だ。

サイフォン流の動因は容器内の流体の比重とサイフォン管内の流体の比重差(相対的質量差)で、サイフォン最高位置のコック部圧力の差で定まる。サイフォンが置かれる容器流体とサイフォン内流体例として、水中に置いた空気サイフォンで、空気流は高圧部(下底)から低圧部(上面)に流れ、上部風船膨脹と底部風船縮小だ。

E.L.マッカーシーはペットボトル栓にストローを付けて、外部の空気をびん中の水中に差し込み、水が流失して減少した(希薄化・減圧)分を補うだけ空気が入るマリOTT瓶を作成し普及した(1934)。瓶中のストロー下端と水出口の高さの内外圧差が一定なので、端の水が有る間は一定流量で流出する。次の2実験を試行する。

①2種のマリOTT瓶(圧差 h_1-h_2 , h_3-h_4)の流失量を競争させ、どちらがより早く流出するか？というマリOTT瓶とその法則性の探究を試みる。ストローが減水分の空気を補い、水流不変ストロー下端部での水圧差を一定に保つよう容器内に空気が入る原理を検証する。

②教訓茶碗(ストローサイフォン)を作って、その水流出を止める方法は？と「水圧差をポンプ減圧で変化させ」、サイフォン原理とボイルの法則でピストンの仕事と水の位置エネルギー変化量を探究する。容器内気圧P'と外気圧Pの2容器を繋ぐサイフォン内水流動力は内気圧差 $P-P'+$ 水高度差 H に等しい事を検証する。

5. おわりに

学制開始150年初期の教育史的な文書録の探究で解説し

た明治期の特徴的授業の実相を列挙して整理しておこう。

1. 櫻井房記の第五高等中物理授業はスチュワート物理教科書と明瞭に対応することを明瞭に対比して解説した。
2. 1890(M23)年の小川正孝静岡県尋常中学校の物理講義(石川武平筆記)は大ガノー書と明確に対応していた。
3. 1896(M29)年の酒井佐保物理学講義・新撰物理学教科書熱学実験検証・法則確証・大ガノー書に対応していた。
4. 1900(M33)年の松岡豊吉物理学筆記はゲージ物理書のAL型簡易実験・高水準筆記・深概念形成の源流は、政教社型の役割(雑誌日本人やな緩やかな文壇的人脈)による。
5. パスカルの水銀サイフォン構想(2気圧の水中水銀管の設定)を同水中で「油管の設定」に代えれば「逆向きサイフォン」になる、とパスカルは推定した⁽⁷⁾。私達は見過ごされてきた「パスカル原著でのこの推定」を、空気サイフォンや油サイフォン装置を作って実験的に確証した。

最後に、この様な史的価値ある学習内容を現代的に再創生する例(吸盤作りとICT活用型AL授業)を4項目ほど列挙することで、本論考のまとめに代えることにする。

1. アルキメデスの原理と排除した水分の重量で浮力流体3D圧効果を論証し、吸盤の剥離落下浮上で差異を明示した。吸盤・サイフォン・教訓茶碗・マリOTT瓶作り、のようなモノ作りを核心部に配置する効果が大であった。
2. ガリレイ・トリチェリ・パスカル・真空・吸盤流体力学パスカル原理⇔断面積比例水圧・固体間力の差異や流体圧力・深さ比例；四方八方・落下浮き上り明示した。
3. 密閉領域毎の流体圧基準を見抜く応力概念を形成し、密閉境界面での圧力差を面圧力ベクトルで可視化したい。
4. 圧力差を応用した実験器具作りや逆流弁の原理、真空ポンプ作り、ゴム弁付けと圧力差での圧着、等は意義深い。

謝辞:本研究はJSPS 科研費21K02947, 19H01711及び、21K02890によるものである。

参考文献

- (1) 小林昭三, 興治文子: 授業筆記や学会誌等で解明する科学教育150年の史的新実相とその現代的再創成, 2020PCC論文集, CIEC, pp. 207-210(2020), 同: 「Grafの浮力背理と流体圧力をめぐる能動的深い学び-明治期授業の解説による」, 2021PCC論文集PDF, pp. 189-192。
- (2) 小川正孝: "物理筆記・化学筆記", 静岡尋常中学校講義の生徒・田中宗一郎による筆記(1893年・明治26年以後), 小林研究室蔵, 同: "物理学筆記第1号, 第2号, 第3号", 静岡尋常中学校講義の生徒・石川武平の筆記(1890年・明治23年), 静岡静高同窓会蔵。
- (3) B. Stewart: Lessons in elementary physics, Macmillan, London(1873), M18 スチュワート物理学川本清一訳。
- (4) A. Ganot: "Elementary Treatise on Physics Experimental and Applied for Use of Colleges and Schools" W. Wood and Company, 1879.
- (5) A. P. Gage A, "Textbook on the Elements of Physics for High Schools and Academies", Boston, 1882. M25-27 菊池熊太郎編訳『理化示教(分子存在証明)物理教科書』。
- (6) 飯盛挺造記述: 『物理学上・中・下』, 飯森・丹波・柴田出版人(1877-1880)(1917, 第28版丸善の出版に至る)。
- (7) パスカル原著: 『パスカルの科学論文集』松波信三郎訳・岩波文庫1953初版・1984年版:(120頁2段落3行目部分)。
- (8) E. マッハ著(1883), 伏見謙訳: "マッハ力学", 講談社(1969)。マッハ力学史・岩野秀明訳(公論社)も同一内容である。
- (9) 宮地裕司: サイフォンの科学史(仮説社・2012)。