

明治 150 年の科学授業筆記で解明する 能動的学習法の今日的再構成と創設法

小林昭三*1・興治文子*2・大石和江*3
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

*2: 東京理科大学近代科学資料館

◎Key Words 明治初中等生徒授業筆記, アクティブラーニング型授業形成史, ICT 活用力学授業法

1. はじめに

明治期の高等小学校生徒によって書かれた物理筆記, 例えば遠藤俊吉の物理筆記 (明治 23 年), 永井玄信の物理学筆記 (明治 25 年) や宇治橋正則理科筆記 1-5 (明治 24-27 年), 松岡豊吉の物理学筆記 (明治 33 年) 等の発見により, 明治日本において開始された国際的に高いレベルの科学教育の源流が浮き彫りにされてきている。

特に, 150 年前頃に欧米で本格化した科学教育における世界的な最先端を形成した「パーカー・カッケンボス・クーレー・スチュワート・ゲージ他の物理教科書」に基づいた教科書や授業案が作られ授業法が工夫されて, 日本の高等小学校や師範学校や高等中学校の科学授業内容・方法が展開されて来た。そのような授業の生徒筆記や, 日本人による最初の日本流教科書である後藤牧太達の『小学校生徒用物理書』等による物理学授業の筆記などを, 私達は日本各地で次々と発見した。その特徴的内容と史的な意義・価値について考究した。その結果「明治 19 (1886 年) に高等小学校で「理科」が開始されたが, 明治 27 (1894) 年頃や明治 33 (1900) 年頃まで当時の世界最先端レベルの物理学授業が日本各地で実施された実態を解明した⁽¹⁾。

最近, 熊本, 新潟, 岩手, 山形, 群馬, 茨城, 埼玉, 香川, 和歌山, 他において明治以来の知られざる生徒の授業筆記, 試験問題や試験答案, 教師の授業案などの授業記録を数多く発掘した。その分析研究から法令・教科書指定を主とする従来型分析研究⁽²⁾の限界を超える新知見を得た⁽¹⁾。例えば, 本 PCC 開催地熊本の女子高等小学校 3 年・磯田による「明治 31 年 4 月 22 日からの熊本高等小学校の理科筆記」を見出し, その科学授業の実態と源流を探求した。今回は熊本の筆記文書を中心に明治 150 年に挑んだ教育課題や内容を特に重視して論じる。それらを能動学習・ICT 活用型授業で甦らせる試行も報告する。

2. ファラデー・チンダル・ハクスレー達の教育革新

2017 年はファラデー没後 150 年, 2018 年は明治 150 年であるが, ファラデーの金曜講演やクリスマス講演は最新の科学を解り易く生き生きと追体験させるとても魅力的な科学教育の源流生んだ。そのファラデー達の教授法の伝統が 150 年前頃の欧米に科学教育革新の火を灯した。1866 年にファラデーの後継者チンダルはハクスレー・

ロスコー・スチュワート達と大英協会下に科学教育審議会を置く。ハクスレー・ロスコー・スチュワート等の物理・化学・生理学分野のサイエンスプリマー教科書シリーズ作成を開始し, 1870 年には王立審議会が始動した。

学習者が自然に対し科学的に問いかけ, その答や予想を実験や観察によって検証するというように, 科学を能動的に学ぶ学習法が開始した。その潮流は全米規模の科学教育調査 (1880, 1884 年) に受け継がれ, ゲージ (A. P. Gage) のアクティブラーニング (AL) 型教科書 (1882) を生むに至る。明治 33 (1900) 年には埼玉県の大里高等小学校 4 年生の松岡豊吉によって理科筆記が記されたが, 冒頭には物理学筆記と書いてあり, 授業内容はゲージの AL 型物理学の授業を筆記したものだった。その物理教育内容は, ゲージの AL 型の教科書の翻訳文 (菊池熊太郎著) と見事に一致していた。「理科教育の時代」になって 15 年経過した明治 33 年にも当時の世界最先端の AL 型の物理学授業が日本の埼玉で実施された, 史実を確認するものだった。その松岡豊吉が書いた物理学筆記こそ当時の世界最先端の科学教育が日本でも実施されたことを示す重要証拠だった。ゲージの物理書中の「原子や分子の存在」を実験で検証するという貴重な授業筆記であった⁽¹⁾。

ゲージ物理教科書による明治 33 年物理学筆記内容：

「一滴の水を熟視せよ。此の水滴は其の実質中に, 少しも空隙を有せざるなり。然るに, 今これを試験管に入れ, 熱して膨張して細管に上るべし。斯くの膨張したる水を其の実質中に空隙を有せず。但し, 火を去りて試験管を冷やせば, 再び降下すべし。斯くの如き容積の膨張収縮する理由を説明するに 2 つの説あり。①膨張・収縮の理由, 水の実質は少しも間隔を生ぜずして, 図の如く唯, 其の高が増すものなり。②実質は個々別々の細かき粒子より成立して, 各粒子間には, 顕微鏡にも認めざる程の空隙を有しその膨張するとき, (教科書図の如く) 各粒子相互に離開して間隔を大にするものなりとする説是なり。此の二つ説中, 何れが正しか是とす。」という内容である⁽¹⁾。

さらに, 力学の源流 Gage の教科書では 4m の斜面勾配 4cm/4m, によって, ガリレイの「落下の法則 (等加速度運動)」の実験を真空中や摩擦が無視できる世界で実現した。特に, 「ガリレイの緩斜面装置」により加速運動のスローモーション化を実現した。しかし, それについては生徒筆

記には記述がない。簡易実験の工夫する日本の実験授業では斜面の落下運動実験の授業は未完な段階だったのだ。

3. 熊本の科学筆記探索と授業筆記の分析例

3.1 熊本県立図書館の所蔵する理数筆記の探索

2018年8月に熊本県立図書館で所蔵する理数分野の授業筆記(事前にウェブ探索した約100文書),他を写真撮影・PDF文書化し,理数教育史的な探索調査分析を進めた。

熊本県立図書館理数教育関連100文書,他を探索撮影

熊本にて興味深い理科関連筆記文書を見出した。明治28年・作文筆記帳・熊本高等小2年磯田とみ江筆記/明治30年・数学筆記帳・磯田敏祐筆記/明治22年・理科筆記・高等小赤星寿恵筆記/明治22年・地理・赤星寿恵筆記,熊本第5高等中学校生徒の物理学筆記⁽³⁾等々がある。特に,熊本小学校3学級磯田とみの理科筆記の内容は西村正三郎の小学理科巻3の内容と酷似することが明瞭に解った。明治31年の熊本高等小学校では西村の小学理科巻3による理科授業が実施された確証となる。理科,数学,地理,作文他もある。しかし,紙幅が無いので,以下では,櫻井房記教頭教授物理学初歩(Elementary Physics)講義を筆記した熊本第5高等中学校生徒物理学筆記⁽³⁾の第0章~第2章(スチュワートのVIII⁽⁴⁾迄)⁽⁵⁾を分析し報告する。

3.2 熊本第5高等中学校生徒の物理学筆記

県立熊本高等学校資料室所蔵の物理学筆記とは明治23年9月から熊本中学校(明治27年には第五高等学校と改称)にて櫻井房記教頭が教授した物理学初歩の内容が詳細に記録された貴重な第5高等中学生徒の筆記である⁽³⁾。

特徴的な骨格は前述したスチュワート Lessons in Elementary Physics(以後LEPと略記)⁽⁴⁾に基く。更にそれを上回る豊富な物理学の内容が含まれている。

①櫻井物理学初歩⁽³⁾の目次(表1)⁽⁵⁾はスチュワートのLEPの目次(表2)⁽⁴⁾と,次に示すように正確に一致している。

②スチュワートLEPのFig1~Fig18中の(2枚の図;Fig1とFig17を除く)16枚の図は⁽⁴⁾,櫻井物理学初歩における第0章から第3章までの対応する図と正確に一致するように,櫻井物理学初歩⁽³⁾においても筆記されており,該当する説明もある。以後の21枚の図(Fig19~Fig39)は,櫻井の第4,5,6章の図に対応する。但し,7枚の図が省略され,全14枚の図が筆記され同様な説明がされている。

③櫻井物理学初歩の英語(鍵語=key_word)記述⁽³⁾は,スチュワートLEPの英語記述⁽⁴⁾と多くの場合に一致する。

④スチュワートLEPに無い櫻井物理学初歩における独特な内容・部分には,ガノーやカッケンボスの物理学教科書において重要とされた部分との一致が多数存在する。それは,櫻井が開成学校入学・東大の仏語物理学科卒業で,ガノーやカッケンボスの洋書教科書で物理を学び,英国・フランス留学(明治16年)でそれを深めたからであろう。

物理学初歩の目次とそのスチュワート物理学との一致

次に示す物理学初歩の目次⁽⁵⁾はStewart LEPの目次⁽⁴⁾と一致する。後に示すようにその記述内容の一致も多い。

表1. 櫻井房記の物理学初歩(物理学筆記)の目次^(3,5)

第0章 物理学: 物理学の定義/物理と化学との区別/運動の種類/力の種類/各種の量の単位/等速運動に於るt時後の距離/質量は如何にして量るや/運動量とは如何。

第1章 運動: 運動の第一則,慣性の法則/運動の第2則(運動の成分の合成則)/加速運動の成分,等速運動の成分/加速運動に於るt時後のVを出す公式/加速運動のSを出す公式/力のモーメント,二つの平衡力が一様に働いたとき/てことは如何/運動の第3法則(作用反作用の法則)。

第2章 自然力万有引力: 重力/万有引力/例題

第3章 重力・平衡: 重心と平均/振り子の運動,等時性/円運動/地球重力の強弱。

第4章 固体における諸力: 固体における諸力/摩擦力/物体の組織,性質/弾性とその原因。

第5章 液体論: パスカルの原理/水準器など/アルキメデスの原理/毛管現象/問題。

第6章 気体論: パスカルの原理/気圧計/ボイルの法則。

表2 Stewart LEPのTable of Contents(目次)⁽⁴⁾

CHAPTER 0. INTRODUCTION.

CHAPTER I. LAWS OF MOTION.

I. Determination of Units/ II. First Law of Motion/ III. Second

Law : Action of a Single Force on a Moving Body/ IV. Second

Law : Action of two or more Forces/ V. Forces statically

considered/ VI. Third Law of Motion

CHAPTER II. THE FORCES OF NATURE.

VII. Universal Gravitation/ VIII. Atwood's Machine;/第2章対応

IX. Centre of Gravity, etc. ;第3章 重力・平衡に対応

X. Forces exhibited in Solids ;第4章 固体における諸力に対応

XI. Forces exhibited in Liquids ;第5章 液体論に対応

XII. Forces exhibited in Gases ;第6章 気体論に対応

表1と表2に示すように櫻井物理学初歩の目次⁽⁵⁾とStewart LEPのTable of Contents(目次)⁽⁴⁾は同じである。但し,第0章の力の種類までがCHAPTER 0.で,その以降/各種の量の単位/. . . がCHAPTER 1に対応する。なお,表2目次に,和文太字の章を付記したのは筆者による。

3.3. 第0章 物理学(=序論)の特徴

物理学・序論では物理学の定義がされている。この部分に関しては,大幅に異なる日本流の書き方にその内容は変更されている。日本人に身近な日常的生活感や自然観に引き戻して物理学の定義を解り易くしたようである。

例えば,スチュワートのLEPでは次の様である⁽⁴⁾:

1. 五感による我々の住む外界・独立自存する多様な客観的对象)」や「A child knows that a stone will fall to the ground, but it required a Newton to discover the law of gravitation...These lessons are intended to serve as an introduction to this branch of knowledge which is called **Physics**。」として,物理学を客観物の自然現象・法則と定義する。

2. 天上と地上の森羅万象の集団・物質;宇宙や銀河(当時には多くの光年の距離)から,塩や水の構成物質である分子と原子に至る,物理が探求する物質観の解説になる。様々な物質集団のまとめとして;

①巨視的世界(Starry system)・宇宙銀河(星構成物=太陽系・satellites system) ②通常物質 Individual systems ③微視的世界:分子-原子(Individual Components),のようになっている⁽⁴⁾。

Porosity(気孔性):①Physical pores;分子と分子,原子と原子の間 ②visible pores,星と星の間,物と物の間(皮膚,荒い紙とカスポンジ)。3 State of matters(物質の三態),固体,液体,気体の概要

5. Motion,どの様な物もその構成物である分子は激

しく運動している。

6. Force, 星の重力 (Gravitation) 太陽系の衛星を引く力, 銀河集団の構成員, 物を結びつける凝集力 (cohesion) → chemical attraction. 以上がスチュワートの LEP である⁽⁴⁾。

櫻井の物理学初歩序論は次の様にかなり独特である:

スチュワートには無い内容が大部分という程に序論は独特な内容である。その内容は三守守著『普通物理学教科書』⁽⁶⁾序論でもその内容のかかりが引き継がれる。以下、序論カナ表記は筆者によりひらがな表記に直した。

「先(ま)づ, 上, 日月星, 天(夜)より下, 山河, 動物植物鉱物に至る迄, 天下間の, 総べて物質に見る数はとても多いので枚挙するに困らない。且, 総べての万物は1秒も静止せず。変化している。即ち, 日月星の如き, ・・・天空をめぐる衛星や星や地上の森羅万象, 是の変化を称して現象という (Phenomena)。如何に複雑な現象にもそれを支配する動かすべからざる一定の規則がある。之を定律天律 (Natural laws) という。天文に関するものは天文学にてこれを探求する。動物植物鉱物に関するものは, 動物学・植物学・鉱物学・・(中略)・・。

然らば物理学はいかなる事を探求する学科なるかと云(え)ば, 物理学とは, 「物体の性質をつまびらかに

し, その物体上に生ずる現象を探求しその現象を支配する定律を発見し, 而してこれの日常の事に応用するものなり」これだけでは, 化学と物理学の区別は判然としな

ないので, 更に次のように定義する。 **物理と化学の区別**

物理学とは, 「その探求する現象はその物質の変化をせずして生じる処の現象である。」例えば物の高所より落とせば, これがそうした一現象なり。物の性質は変わらない。ガラス (Glass) を摩擦して (静) 電気を生じる現象を起こす。Glass は変化せず。水を熱して蒸気と

る。水は少しも性質を変えていない。これらは物理現象なり化学の論ずるものは, 「その現象のために物質の性質を全く変化する処のものなり」鉄が錆びる。鉄が酸化して, 錆びは, 鉄でもなく 0 にもあらず全く別種の物に

変化。物を燃やせば, 0 にもあらず, C にもあらず一種の別物が生ずる。0 と H から H₂O, それは 0 にもあらず C にもあらず。・・中略・・凡て物体は分かつことを得る

而して, 分けたる一部を亦, 分かつことを得, 今ま, この方の続をつつ可からざれば, 想像上之を分かつと考思せば終に問題が生ずる。(1) 其の分解の法は何処まで

続くや。(2) 或いは然らざるか。かゝは, 物理学者が実際に道理に由りて, 物体の性質を変えずしては更に之を

より分つ可からざる極限ありとなす。其の極限まで分ちたる一小部を称して分子 (molecule) と云う。然れども

科学の状の手立てを用すれば, その分子を尚ほに小分するを得る。その一部を atom 原子と云う。然れども, これは物体の性質を変化して分かちたるものなり。故に,

物体は此の分子よりなるものなるを知る。乃 (すなわ) ち分子と他の分子が凝集して物体をなすなり。」⁽³⁾

こうした記述はスチュワートの洋書教科書にはない。

スチュワートより詳細な記述になっている。その中には,

原子や分子にかかわることも多い。Porosity (気孔性) や Cohesion (凝集力) にかかわることなどが, かなり詳細に解説されている。この様な記述は, 三守守著『普通物理学教科書』⁽⁶⁾の内容としても引き継がれる。

Cohesion (分子引力, 又は凝集力): 物体を構成する「分子と分子が互いに結びつく力」。然らば其の分子と

分子との間に間隙 (隙間) をあるや果てはあらざるか?

Pore (気孔) の存在する証拠を以下で次のように述べる実はカッケンボス・ガノーにも類似した内容である。

「道理に由り説明すれば, 乃 (すなわ) ち, ①物体は温に由りて膨張し, 寒冷に由りて収縮すると云うことより, ②実際に海綿や軽石等には気孔あるを知るなり。③黄金を以て真空の球を製し, そのなかに水を入れ, 槌にてこれを打てば, 水の出るを知るなり。是れ, 黄金も気孔ある証なり。④壺に水を入れて, alcohol をこれに注ぎ, (水に混じるように注意して) そのビン一杯に充たして封じる栓を閉める。其のビンをふれば, 前に充たされた alcohol と水は, 減じて空所が生じるを見る。是は alcohol が水の分子の間に入りたればなり。」⁽³⁾

③の黄金球や金属球の孔性の例示は, カッケンボスやガノーの教科書や三守守著『普通物理学教科書』⁽⁶⁾でも, ほぼ同じように記述されている。更に, それはイタリーのフロレンス学士会員の実験例とされている同様な実験例であり, 当時のガノーやカッケンボスの教科書中でも重視された例示だった。更に, 以後は物体の 3 態変化の解説が次のように続く; 固体とは・・液体とは・・気体とは・・閉じ込めるものアラザレバ飛散, 等々と。

櫻井物理学初歩⁽³⁻⁵⁾で本格的な力学内容を展開

櫻井物理学初歩の序論は「運動の種類/力の種類/各種の量の単位/等速運動に於る t 時後の距離/質量は如何にして量るや/運動量とは如何」^(3,5)の様展開され, スチュワート LEP⁽⁴⁾の内容に沿って, 更に身近な例示 (例えば船と流れる水や川岸のような間の相対的な運動の例) で, より解りやすく工夫に富んだ内容として教えている。

運動と力・位置や速度・各種の量の単位・質量と運動量

スチュワートの LEP 教科書では, 動く太陽系内での地球の運動や惑星の運動, 地球の自転・公転や地上の運動はある基準とする座標系に対する対象物体の相対的な運動。分子運動のような多様な運動示して, 運動こそ絶対であり, 静止は相対的な静止で, 絶対的静止は有難い等を扱う。

更に, 櫻井物理学初歩は, 天体間の相対運動を紹介した上に, 動く地球, その地上の川岸と川の水の流, 流れる水面と船との相対運動, 川岸と船との相対運動, 海上を運行する船と船との相対運動, 地上の駅での汽車と汽車との相対運動, 等⁽³⁾の身近な例を上げ, 4 種類の力で概括する。

力とは, 習慣性を破る為の原因なり。力とはその種類多けれども, 先ずは大別すればとして次の 4 種類挙げる。⁽³⁾

- (1) 六合引力 Universal gravitation: 太陽系の結合力
- (2) 地球引力 Gravitation: 地上の物体に働く引力
- (3) 凝集力 Cohesion: 分子間力で固体や液体の維持力
- (4) 化学親和力 Chemical attraction: 化学反応の原因

ここで, 六合とは, 2 合(天と地)と 4 合(東西南北)を合わせた全てが有するを意味し, 通常は万有引力と呼ぶ。

これ以外にはほぼスチュワートの LEP に沿っている^(3,4)。英文表記は特に殆ど LEP と一致し次がその典型例である:

Metric System: 時間・距離・質量の単位について

距離・面積・体積, 速度・加速度・力, 他の単位が詳しく扱われる。当時の, 質量単位は gramme で, 摂氏 4 度の水 1 cubic centimetre の mass を 1 グラムと定義した。

距離(s), 速度(v), 時間(t)の単位を定め, $v=s/t$, $s=vt$, 他, 等速度 v での時間 t 後の距離 s の関係式を導く。一定の運動量を生む力を, 質量 m の物体に 1 秒働いた時, v

の速度を生じる(加える)力を, mv として定義する. 乃ち, $F \times 1 \text{ 秒} = mv$, $m = 1 \text{ gr}$, $v = 1 \text{ m/s}$, $F = 1 \text{ grm/s}^2$ とする. スチュワート LEP と同様に力を運動量変化として定義する^(3,4).

3.4. 第1,2章 運動の3法則と自然力・万有引力

引き続き第1章と第2章は, ニュートン力学の3法則や万有引力について本格的な講義をした筆記である. その内容は概ねスチュワート LEP を身近な例示を挙げて, より詳細で解りやすく展開したものである^(3,4). 他方では, スチュワートのそれを超える, 第一法則, 第二法則, 振り子の運動や等時性, 円運動や地球重力の強弱, アトウッド装置の議論, 他の詳細な検討をしている. 微分積分は使わないが, ガリレイ・ニュートンの運動の3法則を主たる内容とした明治期の世界最先端レベルの力学の講義内容を展開する. 最後に2例だけ^(3,4)を紹介して締めくくろう.

(1) アトウッド氏の機械は如何なる原理に基づきて之を造れるやの物理筆記とスチュワートLEPの対比

櫻井講義筆記では, 次の解説(カナ表記)を独自にした: 「其ノ運動ノ性ヲカヘルタメ, 其ノ運動ヲ選援ニスル方法ヲ考フ可(べ)シ. 其ノ法, 種々アリ. アトウッドノ機械ハ, ソノツナリ.」として, スチュワートのLEPには無い, より解り易い定滑車の図(その両側に質量Mとm+Mを糸で吊す)を書いて次のようにその原理を解説する.

「此ノ機械ノ運動ヲ選援ニスル理ハ下ノ如シ. 茲ニ mass m ノモノアリ. 之ヲ自由ニ墜下セシムレバ g velocity ヲ以テ運動ス. 而シテ其ノ運動量ハ mg ナリ. 今マ, 其ノ m ナル mass ヲ有スルモノヲ自由ニ墜下ス代ワリニ M ナル mass ヲ有スル二体ヲ糸ノ両端ニ付ケテ, 一ノ滑車ノ付ル付ケナイ, トキノ平均セル体ナリ. m ノ物ヲ付ケレバ, m ナル体ハ自由ニ墜落スル能ワズ. 此ト共ニ M ノ2ケヲ引キズル運動セザルベカラズ. 而シテ其ノ時ノ運動量ハ $(2M+m)$ ノ体ニナレバ, 其ノ時ノ velocity ヲ X , $(2M+m)X$ と顛ワスコトヲ得. 而シテ $(2M+m)X = mg$... 此ノ運動ヲ素サセシムル原因ハ, m ノ重量ナレバ, 其ノ momentum ハ相等シイ. $\therefore X = mg / (m + 2M)$ 此ノ X ナル速度ハ M ヲ大ニスレバ益々小ニナル故ニ, 其ノ運動方ヲ随意ニ遅クナスコトヲ得.

仮令(ば) $m=1$, $M=100$ ニスレバ X ハ, $9.8 \times 1 / 201$
 $m=1$, $M=500$ ニスレバ X ハ, $9.8 \times 1 / 1001$

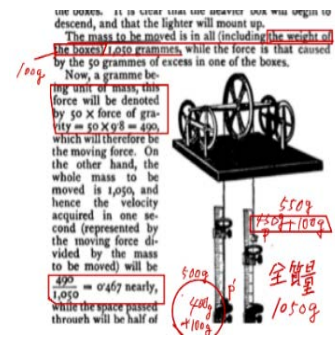
トナル. Atwood's Machine ノ緊要ナル部ハ, 一ノ絹一ヲ通シタル定滑車ニシテ, ソノ軸ヲ, 他ノ2ツノ滑車ニノセ, 其ノ摩擦ヲ最小ニシセリ. 而シテ其ノ滑車ノ両端ニハ, オモリヲ付ケリ. 且ツ, 時計ノ計測スル秒時ヲ知ラス. 亦タ, 下方ニハ遮ルモノタル版(plate)アリテ, 重リノ墜下ノ度ヲ示メス. 図ノ如ク, 其ノ板ノ下ハ, 重リ止ムルモノト, 其ノ重カヲ取ラスルモノニ, 二ツノ環(ring)アリ. Aハ重リノ通行スルトキ, 其ノ重リヲ加エタル. 他ハ重リヲ捕ユルモノナリ.」なる内容は櫻井の独自の記述だ.

櫻井の Experiment A は, スチュワートの Lessons in Elementary Physics の Force of Nature の英文部分^(3,4)と同じ内容の和訳となる; その講義筆記は次の様である:

今マ, P, P', (box の)重サヲ各 100 gram トナシ, 一方(の重リ)ヲ 400 g, 他方ヲ 450 g トスレバ, 50 g ノ差アル故ニ, 其ノ重キ方ハ必ず墜下ス可(ベキ)デ. 其ノ時, 運動スル全質量ハ, $200+400+450=1050$, ニナル. 之

ヲ運動セシムルモノハ 50g ナリ. 然ルニ gr ハ mass ノ単位ナルガ故ニ, 其ノ力ハ $50 \times \text{force of gravity that is } 50 \times 9.8 = 490$ ナル故ニ

$450 / 1050 = 0.467$ ハ 1050 ノ 1 秒時ヲ通過スル velocity ナリ. 但シ, 其ノ移動目盛リハ 0.2335 ナリがスチュワート図1の解説である.
 図1. アトウッド装置解説 (4) *



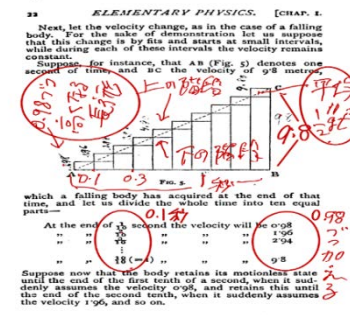
(2) 墜体の等加速度運動(自由落下)で t 秒後の落下距離

櫻井講義の物理学初歩では, 等速運動の落下距離の概念形成の為にスチュワートのLEPに沿う思考実験を行う.

それは, 0.1 秒毎に加速度 g (9.8 m/s^2) で増加する増加・速度分 ($9.8 \times 0.1 \text{ m/s}$) \times 経過時間 (0.1 秒) の微小面積は, 微小下距離を表すので, そのような微小面積を 0.1 秒ごとに加えて求まる階段型3角形の全面積が, 1秒後の落下距離であるという, 長方形の足し算でそれを求める(アルキメデスの求積法)方法を用いている. それは1秒間の加速度運動を10分割した微小長方形の面積和で示す, 図2の様な3角形の面積を求めるといふ求積法である⁽⁴⁾.

従って, それはスチュワートの22頁の図2, とその説明文と同じ理解となる. 即ち, 上の階段部分までと, 下の階段部分までの3角形型の長方形の面積の和の平均値である. それはまさに点線の3角形の面積 ($gt^2/2$) になる. これで落下距離が求まる. そのような積分に当たる微小面積和(求積法)を用いた解説なのである^(3,4).

上記(1)(2)(アトウッド装置実験と落下距離求積)が, 明治20年代の, 授業法における, 自由落下の法則に関する概念形成を深い理解度まで進める工夫とされたのである⁽⁴⁾. そうした価値ある力学授業法を最新 ICT によるAL型力学授業として再構成する試みについても報告する. 図2. 自由落下・等加速度運動⁽⁴⁾ *



謝辞: 本研究は JSPS 科研費 15H02912, 15H02913, 17K18617 及び 17K01022 の研究助成を受けたものです.

参考文献

- (1) 小林昭三, 興治文子『科学史研究』岩波52巻, pp.200-210, 240-248(2013).
- (2) 板倉聖宣『増補日本理科教育史(付・年表)』仮説社, 170-253(2009).
- (3) 櫻井房記教授物理初歩『熊本第5 高等中学生徒物理筆記』県立熊本高等学校資料室所蔵(東京理科大学近代科学資料館複写展示).
- (4) B.Stewart "Lessons in elementary physics" Macmillan & Co. London (1873).
 * 図1. 及び図2. の赤字による書き込みは, 筆者によるものである.
- (5) 東京理科大学近代科学資料館企画展「入試問題の変遷」展示資料.
- (6) 三守守著『普通物理学教科書・上中下巻』(敬業社・東京物理学校教科書), (東京理科大学近代科学資料館所蔵・国会図書館デジタル版(1894).