

パソコンを活用した「実験データで学ぶ物理現象」

井上新悟^{※1}

福岡教育大学教育学部

田中義秋

久留米工業高等専門学校

宇藤茂憲

福岡教育大学教育学部

(平成16年9月10日受理)

Physical phenomena to learn in the experimental data which utilized a personal computer

Shingo INOUE

Department of Physics, Fukuoka University of Education

Yoshiaki TANAKA

Kurume National College of Technology

Shigenori UTOH

Department of Physics, Fukuoka University of Education

概要

センサーからのデジタル信号をパソコンへ転送する「パソコン実験」を, できるだけ予算をかけずに, かつ, 比較的簡単に構築できる方法で紹介する。また, 簡易計測器からパソコンへ実験データを取り込んだ後, 実験データを処理・解析していく過程を経験しながら, 物理学を学ぶ「実験データで学ぶ物理現象」の概説を行う。シミュレーションとは異なり, 実験にパソコンを活用して物理を学ぶ試みである。

1. はじめに

現在, 物理教育にコンピュータを活用した試みは, 高等学校では多く見られる。それらは科学ビデオと同様, 視覚的な効果を求めたシミュレーションが主流で, 生徒の物理現象に対する興味の喚起や理解の補助的手段として, また, 学校の実験室では実現できない高速度, 高温度, 高圧力の条件下での実験や, 原子分子に関する課題などに対してイメージ作りを行う上で大きな役割を果たしており, 実験, 理論に続く第三の手法として確立されてきている。しかしながら, シミュレーションは科学教育のコンピュータ活用での一例に過ぎない。高等学校新学習指導要領では「コンピュータ活用をシミュレーションだけに留まらず, 実験・データ収集・解析などに積極的に導入すべきである」としている。¹⁾ 確かに, センサーで得る物理量(位置, 温度, 圧力などのデジタル信号)をデータとしてパソコンへ取り込む実験(以下, パソコン実験)は, 学校教育でほとんど行われていないのが現状である。やはり, 自然現象を直接自分の目で観察し, 生のデータに接することが, 自然に対する生徒の興味・関心を真に呼び起こす原動力であると考ええる。そこで, できるだけ予算をかけずに簡便に行えるパソコン実験を, 教育現場で実施する方法として構築する試みを行った。

パソコンへデジタル信号を取込むには, GP-IB 接続, AD/DA 変換接続, I/O ボード

※1: 現在, 鹿児島市立吉野小学校教諭

接続など目的に応じた各種ボードを用いる必要がある。²⁾ 予算が充分にあり、しかもパソコン技術に熟知した教師がいれば、工夫次第でパソコンを用いた計測機器制御は難なく行えるであろう。しかし、予算的にも、技術面においても、教育現場ではなかなか容易なことではない。そこで、高価なボードを新規に購入することなく、パソコンに標準装備されている I/O ポートを利用して、デジタル信号をパソコンに取り込める簡便な方法を紹介する。更に、超音波デジタル距離計 [3,000 円程度で市販されている組み立てキット (発信周波数 $f=17.4\text{kHz}$)。パソコンへのデジタル通信機能は有していないが、測定値を LED (light emitting diode) 表示可能] を用いて行ったパソコン実験の一例を示す。高校での発展学習、或いは、高専や大学教養程度で実施できるパソコン実験課題として「実体 (物理) 振り子の微小振動」を取り上げた。「パソコン実験によるデータ収集」→「データ解析」→「シミュレーションとの比較検討」の順に行い、生徒や学生はこの一連の過程で物理現象を理解することになる。³⁾ パソコンのデータ取り込みプログラムは Microsoft (株) 社製の VisualBasic ver.6.0 で作成し、データ解析には Microsoft (株) 社製の表計算ソフト Excel を用いた。

2. 実験方法

持ち運び可能なノートパソコンを実験に使用した。通常のノートパソコンには、デジタル信号のポートとして、パラレルポート (プリンター接続専用ポート)、RS-232C、USB (Universal Serial Bus) などが標準装備されている。各ポートのデジタル信号転送速度の比較を表 1 に示す。今回のパソコン実験に使用するポートをデータ転送速度に着目して検討すると、1 番遅い RS-232C でも 1 bit の信号を $8.5\mu\text{s}$ でパソコンへ取込み可能である。⁴⁾ これより、通常の実験ではどのポートを使用しても問題は生じないと言える。実際、本報告の実験例で示す超音波デジタル距離計では、1 s に 40 回測定できるので、25 ms が最速データ収集間隔である。ノートパソコンに標準装備のポートであれば、この簡易計測器のデータをパソコンへ取込む上で、どのポートでも使用可能である。一方、簡易計測器などの表示パネル LED が 4 桁であれば、8 ビット信号の下位 4 桁で「0 ～ 9 の数字」を、上位 4 桁で各「桁数」を示すので、⁵⁾ 回路上の BCD カウンターからこれらのビット信号を取り出すには、8 本のリード線さえあれば、「簡易計測器」と「パソコン」を接続するケーブル線を工作できる。RS-232C や USB の信号線は入出力各 1 本、パラレルポートでは信号線が 8 本であることを考慮すると、パラレルポートを使用すれば、回路を新たに組まないでケーブル線等の工作ができる。以上の理由より、今回の実験では、ノートパソコン標準装備のポートでパラレルポートが最適と判断し、パラレルポート経由でデジタル信号をパソコンへ取り込むこととした。

	Mbps	1byte の幅 [μs]	1bit の幅 計算値 [μs]
パラレルポート	0.15	6.36	0.80
	2	0.48	0.0596
	8	0.12	0.0149
RS232C	0.014	68.1	8.5
USB 1.1	12	0.080	0.010
USB 2.0	480	0.002	0.0003

表 1 ノートパソコン標準装備ポートと転送速度

LED 表示値をパソコンへ導入する基本原理は、既に公表しているのでここでは説明を省略する。⁵⁾ 先ず、パラレルポートをデジタル信号取り入れポート専用を設定する手順を説明し、ノートパソコンを壊さない為の安全ケーブル作成の説明を行った後、実験例として「実体振り子の微小振動」の装置について概説する。

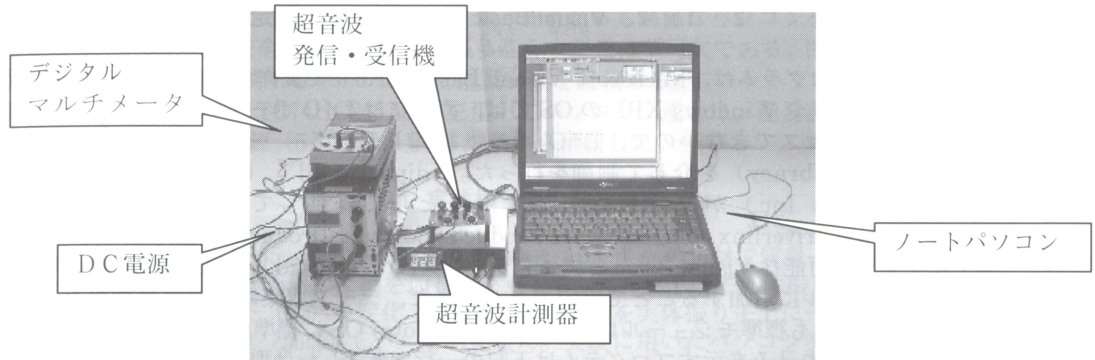


写真1 使用したパソコン実験装置

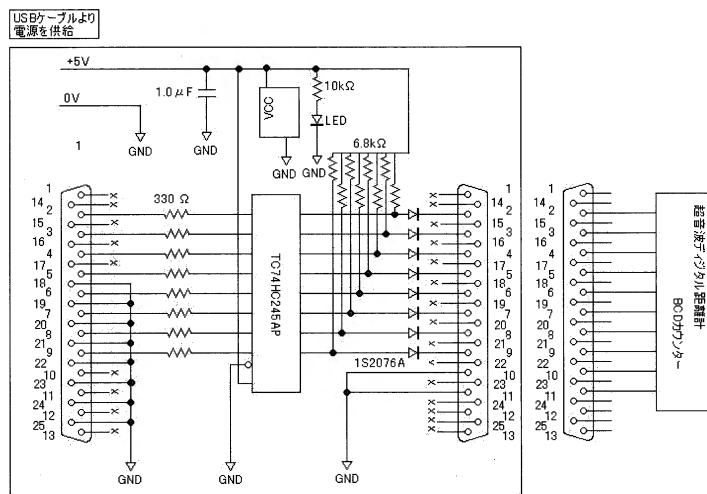


図1 二重安全ケーブル

2. 1. パラレルポートを入力ポート専用にする設定

ノートパソコンのパラレルポートをデジタル信号取り入れポートとして設定するには、パソコン起動時に初期設定を行う必要がある。本報告では、汎用品として幅広く出回っている Windows XP を OS として稼動するノートパソコンを対象とした（研究室では、Windows 98SE の OS でも試みたが、何れの OS でもデータ収集は良好であった）。

2. 1. 1. パソコンの初期設定（BIOS 設定：Basic Input Output System）手順

ノートパソコン起動時に BIOS を立ち上げる。通常、パラレルポートは ECP（Extended Capability Port）モードに設定されているが、このモードは圧縮転送や高速転送をも定義したもので、素人が扱うには技術的に困難であるので、比較的単純な EPP モードに切り替えた。Windows 98SE の場合、EPP モードは定義されていないので、BIOS 設定で、「ECP」モードから「Std. Bi-Direct.」モードに変更した（単純な双方向転送と考えると EPP とほぼ同じモードと考えてよい）。但し、パソコン製造会社やマザーボード提供会社によって、手順や設定できるモードに違いはある。

2. 1. 2. Visual Basic プログラムでの設定

データ収集プログラムは、Microsoft Visual Basic ver.6.0 で製作した。Windows NT 系 (Windows 2000 や Windows XP) の OS では、直接には I/O ポート (例えば、パラレルポート) にアクセスできないので、I/O ポート制御ドライバ “diportio.dll” (dll: dynamic link library) を介して制御を行った。“diportio.dll” は SST 社 (Scientific, Software Tools Inc.) がフリーウエイソフトとして提供しているものを使用した (<http://www.driverlinx.com/SoftwareProducts/SoftwareProducts.htm>)。*² I/O ポートにアクセス可能な Visual Basic のプログラミングは、「Dlportio.bas (SST 社提供ソフト)」を標準モジュールに追加することで設定できる。また、データ収集時間間隔制御用として、「kernel32.bas」も標準モジュールに追加した (Windows OS に標準的に添付)。簡易計測器 LED 表示値の取り込みを示すプログラムは下記の一行である。 t_1 は取込んだデータを示す。

$t_1 = \text{DIPortReadPortUchar}(\text{Val}(\&\text{H378}))$: diportio.dll を介して、プリンタポートでデータを読み込む場合

ここで、Visual Basic のフォームでパラレルポートを入力ポートに設定する為、下記のプログラムを組み込んでいる。このプログラムの付加で、パラレルポートの &H378 [超音波デジタル距離計のデータ部 (8 ビット信号)、つまり、パラレルポートの 2 pin から 9 pin までの信号] をデータ入力に設定できる。

Private Sub Form_Load() : プログラム開始時から終了時まで宣言する
Dim Value As Long : Value という変数を宣言する
DIPortWritePortUchar Val(&H37A), &HE4 : パラレルポートのアドレス &H37A に &HE4 の信号を送る

&HE4 (16 進法) は 10 進法では “228”, 2 進法では “11100100” を示す。EPP モードのレジスタ・マップ 6) を参照すると、パラレルポートへのデジタル信号入力を許可するモード設定となることを確認できる。

注意: Windows 98SE の場合、BIOS で「Std. Bi-Direct.」モードに変更した後、

Private Sub Form_Load()
Dim Value As Long
DIPortWritePortUchar Val(&H37A), &H20 とアドレスを変更する必要がある。

&H20 (16 進法) は 10 進法では “32”, 2 進法では “00100000” を示す。SPP [Std. Bi-Direct. は双方向モード (バイトモード) と同等] モードのレジスタ・マップを参照すると、パラレルポートへのデジタル信号入力を許可するモード設定となることを確認できる。

2. 2. プリンタポート安全接続ケーブルの製作

手作りで実験装置を製作し、これをノートパソコンのパラレルポートに接続するとすると、過度の電圧や電流がパラレルポート経由でパソコンに負荷を与えるようなことが生じ、パソコ

*²: この他、dll として “Dio32s.dll” などがトランジスタ技術 (1999 年 9 月号) から提供されている。これを用いることでも可能である (<http://www.cqpub.co.jp/toragi/DLF/TR0007.htm>)。

ンが壊れはしないだろうかと心配である。実際、著者たちも高価なパソコンを気遣いながら実験を行った。この為、安全対策を幾重にも張り巡らすことは不可欠である。図1に簡易計測器とノートパソコンを接続するケーブルの基本設計図を記載する。このケーブルでは、ダイオードと入出力 IC チップ (TC74HC245AP) を用いてパソコン、或いは、簡易計測器を二重に保護した。IC チップの電源 (5 V) は、USB 端子から供給した。

2. 3. 実体振り子の装置概略

木材 [長さ (L): 1.835 m, 巾: 0.087 m, 奥ゆき: 0.037 m の角材で質量 (M): 3.178 kg] にボールベアリングを埋め込んだ軸を通して支点とし、天井に下げて実体振り子とした。実体振り子の慣性モーメント (I) を変化 (2.56 kg のおもりを実体振り子上に一定間隔でずらした) させて、周期 (T) と位置 (X) を測定した。実験に用いたパソコン実験装置を図2に示す。超音波測定の基本構成は、LED 表示のある超音波デジタル距離計 (温度補正, 感度調整, 近距離干渉除去回路を付加), 直流電源とデジタル・マルチメータ (トランスと三端子レギュレータで距離計の電源を作成すればこれらは不必要) である。超音波による距離測定原理やデジタル信号取り出しについては、多くの説明書^{5,7)}があるので参照されたい。実体振り子の下端部に超音波受信機を取り付け、超音波発信機は実体振り子の変位 20 cm を測定できる位置に固定した。実体振り子の最大触れの角度を約 6° として微小振動させ、実体振り子の先端部は直線状の変位とみなした。データ収集間隔は 50 ms である。ノートパソコンや超音波デジタル距離計のアースを徹底することで、雑音の発生を極力抑えることができた。

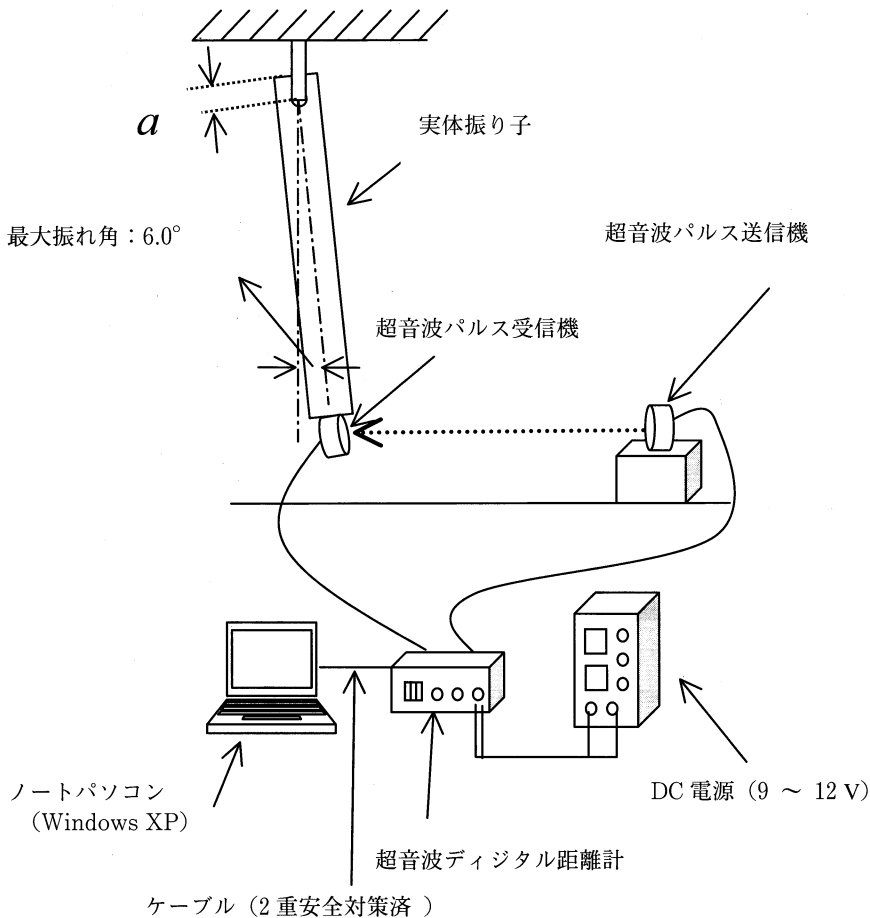


図2 実体 (物理) 振り子微小振動測定概念図

なお、実体振り子の各式を以下に示す。但し、 h ：固定軸から重心までの距離、 D ：固定軸からおもりまでの距離、 A ：振動の変位、である。ここで、 m ：おもりの質量、 g ：重力加速度、 δ ：初期位相、 l ：実体振り子の長さ、 a ：実体振り子の支点から端までの距離（図2参照）、 t ：時間、を示す。

$$\text{慣性モーメント } I = \left(\frac{l^2}{3} - la + a^2\right)M + D^2m \quad ①$$

$$\text{周期 } T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(M+m)gh}} = 2\pi \sqrt{\frac{\left(\frac{l^2}{3} - la + a^2\right)M + D^2m}{\left\{\left(\frac{l}{2} - a\right)M + Dm\right\}g}} \quad ②$$

$$\text{変位 } X = A \sin\left(\sqrt{\frac{Mgh}{I}}t + \delta\right) \quad ③$$

$$\text{速度 } V = A \sqrt{\frac{Mgh}{I}} \cos\left(\sqrt{\frac{Mgh}{I}}t + \delta\right) \quad ④$$

$$\text{加速度 } \alpha = -A \frac{Mgh}{I} \sin\left(\sqrt{\frac{Mgh}{I}}t + \delta\right) \quad ⑤$$

3. 実験結果と検討

実験データを図3に示す。ノートパソコンに取り込んだデータはファイルで記録し、データ整理と解析には、Microsoft Excelを用いた。振動の中心を求め、振幅の大きさを評価し、振動のようす（変位・速度・加速度）をまとめたものが図4である。速度と加速度の大きさは、

基本式： $V = \frac{\Delta X}{\Delta t}$ ， $\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ に基づいてデータより計算した。

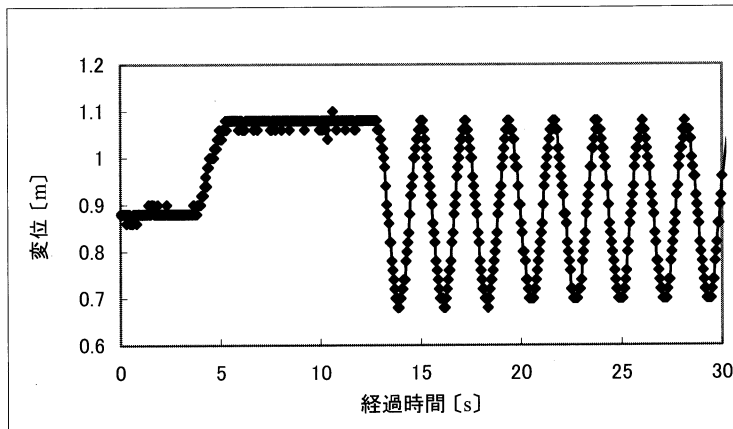


図3 実体振り子の実験データ

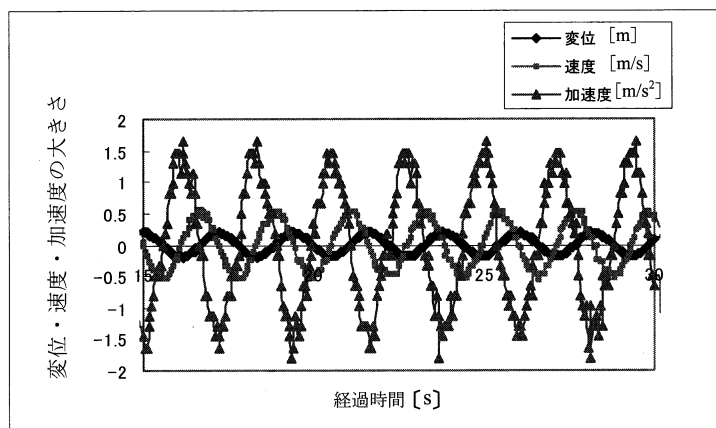


図4 実体振り子の変位・速度・加速度の周期変化

	実験値	計算値
変位 X の振幅 [m]	0.20	0.20
速度 V の振幅 [m/s]	0.54	0.58
加速度 α の振幅 [m/s ²]	1.63	1.67

表2 実体振り子の変位・速度・加速度

	実験値	計算値
X と V の位相差	$\simeq \pi/2$	$\pi/2$
V と α の位相差	$\simeq \pi/2$	$\pi/2$
X と α の位相差	$\simeq \pi$	π

表3 変位・速度・加速度の位相差

表2と3に示すように、実験値の変位より導出した速度と加速度の振幅が実体振り子の各公式で求めた計算値と良い一致を示すこと（誤差7%以内）、また、変位 X 、速度 V 、加速度 α の各位相差が $\frac{\pi}{2}$ であることも確認できた。実体振り子の変位、速度、加速度の振幅比を表4に示す。

	実験値	計算値
[速度 V の振幅]/[変位 X の振幅]	2.70	$\sqrt{\frac{Mgh}{I}} = 2.89$
[加速度 α の振幅]/[速度 V の振幅]	3.02	$\sqrt{\frac{Mgh}{I}} = 2.89$
[加速度 α の振幅]/[変位 X の振幅]	8.15	$\frac{Mgh}{I} = 8.35$

表4 変位・速度・加速度の振幅比

基本式の③～⑤に、 $A = 0.20$ m, $\sqrt{\frac{Mgh}{I}} = 2.89$ rad/s, $\delta = 0$ rad を代入すると、

$$X = 0.20 \sin(2.89 t) \quad V = 0.58 \cos(2.89 t) \quad \alpha = -1.67 \sin(2.89 t)$$

と示せた。慣性モーメントの変化による周期、速度、加速度の実験値と計算値を図5、6、7にそれぞれ示す。各物理量が実験値と計算値とで良い一致を示すことが確認できた。

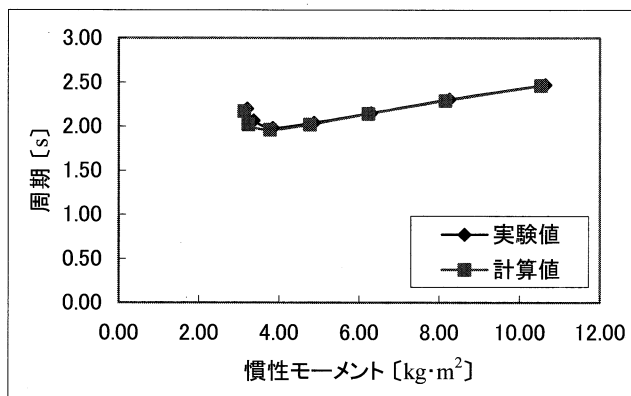


図5 慣性モーメントと周期との関係

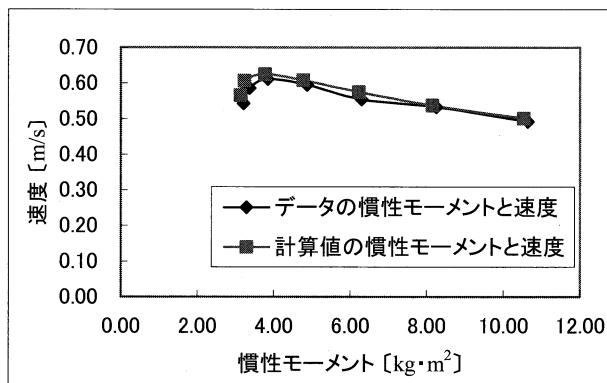


図6 慣性モーメントと速度（実体振り子先端部）との関係

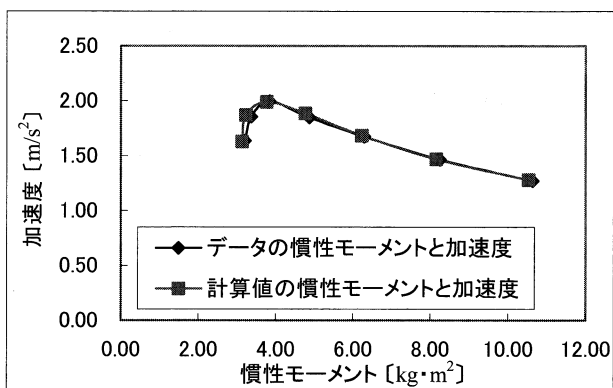


図7 慣性モーメントと加速度（実体振り子先端部）との関係

4. おわりに

高校での物理学の学習は、体験や実験を経ることのない概念的な思考、および数式を用いた公式の記述が主となっている。すなわち、物理学の扱う対象が、現実に身の周りで起こっている自然現象である、ということが十分に意識されていない。また、「自然は数学という言葉で語られている」といわれるように、物理学は数式なくしては語れない科目であるが、生徒には物理で用いられる数式が数学で学ぶものとは全く別物であると受け取られている。このことは、物理現象を正確に表現するために数式を用いること、数式が物理的な意味を持っていること、そしてその表現されている物理的な意味を正しく理解すること、という一連の流れが深く理解されていないことの現れであろう。

多くの高校の現場では、旧態依然たるスタイルの物理学実験が主流で、実験にパソコンを取り入れることはほとんど行われていない。伝統的器具を用いての実験は退屈（もちろん、それらのすべてというわけではないが・・・）で、生徒が物理学に興味・関心を持つことは期待できそうにない。物理学は自然科学、工学の基礎となる重要な科目であることを考えれば、将来の科学・技術を担う人材を育成するという観点からも、また、サイエンス・リテラシーの観点からも、興味・関心を失わせることのない物理学の学習法を真剣に考える必要に迫られている。

いまや、パソコンゲームやインターネットは生徒に浸透している状況にある。このことは、生徒に興味・関心を持たせる有効な方法として、多いに活用されるべきである。そこで、物理実験に魅力を持たせ、かつ、物理学の扱う対象が現実の自然現象であるということ意識しつつ、さらに、物理現象を数式で表現することを実感させるような、パソコン実験の構築を今回試みた。現象を実験（観察）し、得られた実験データを基にパソコンで現象を再現して、解釈の試みを行うなどのステップを経ながら学ぶことを目指すものである。

従来の実験では、誤差を論じるのに概念的な説明で生徒を納得させていた。例えば、運動に関する誤差では、生徒たちは「空気抵抗」をよく口にするが、実際それがどの程度であるかは計算をしてみないと誰も判断はできないことである。一方、パソコン実験で得たデータを定量的に評価する過程で、生徒が数式をその段階で理解できなくとも、空気抵抗に係わる数式に実験定数を代入してその値を数値化することで、現象をこれまで以上により具体的なイメージで捉えることができるようになると期待される。

これら一連の過程では、表計算ソフトの操作など高校では学ばない幾つかの技術を用いなければならない。しかし、生徒が技術的なことを厳密に理解できなくとも、興味を持ちながら問題意識を高め、自然科学に対する関心を広げる効果を期待できる。このことは、これからの物理学実験で必要な要素であり、このような試みにより、物理学の入り口で立ち止まっていた生徒たちが自然の営みの驚異の世界に気付くことを願って止まない。

謝辞

本研究の回路作成については、ラムダ・ビジョン（株）の金祥二郎氏に助言頂いた。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 高等学校学習指導要領（理科編理数編）平成11年12月 文部省
- 2) 例えば、「トランジスタ技術 SPECIAL No.63」CQ出版
横山 直隆 著：「Visual Basic による計測・制御実験」シータクス社
- 3) 村山 宏明，宇藤茂憲：福岡教育大学紀要，vol.53-3（2004）p25
井上 新悟，田中 義秋，宇藤 茂憲：物理教育，vol.52-3（2004）p214
- 4) 例えば，互野 恭治 著：「Visual Basic でエンジョイプログラミング」CQ 出版社
横山 直隆 著：「Visual Basic による制御実習入門」シータクス社
- 5) 村山 宏明，宇藤茂憲，その他：物理教育，vol. 50-6（2002）p376

或いは、村山 宏明:平成 13 年度福岡県長期派遣研修報告書（文科省委託「科学教育研究室 研究生報告書」）

- 6) 例えば、「トランジスタ技術 1999 年 9 月号」CQ 出版会
- 7) 例えば、物理教材研究会:「物理計測システム実用設計」CQ 出版会,
天良和男:物理教育, vol.34-2 (1986) p82, など