

## 事例2 加速度センサーを用いた加速度計測

### 1 指導の工夫

運動する物体の加速度を測定する場合、通常はテープ式の記録タイマー等で得た一定時間毎の変位の記録から求める方法を用いることが多いが、データの解析に手間と時間がかかることや、得られた加速度が間接的な測定値であるため、生徒が実感をもちにくい等の問題点がある。

本事例では、加速度センサーを内蔵した測定モジュール及びゲーム用リモコンを用いて加速度を計測し、パソコンに取り込んだデータをExcel等の表計算ソフトで処理することによって、物体の運動の様子を速やかにグラフに表現するような教材の開発を行った。

### 2 実験装置について

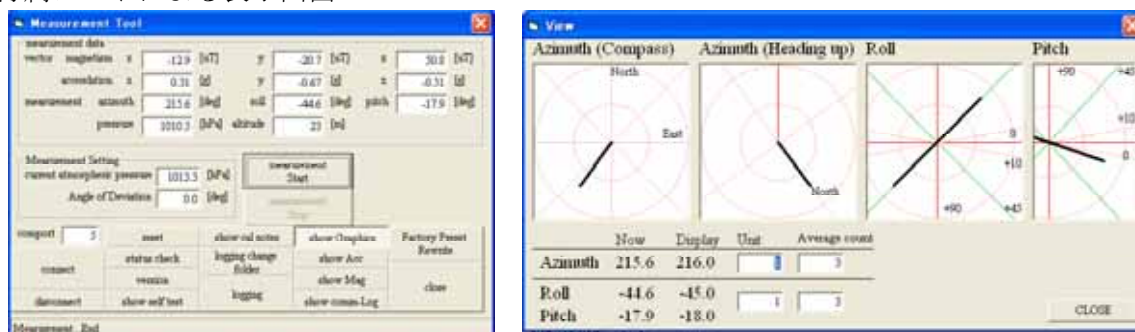
#### (1) 地磁気・加速度・気圧測定モジュールTDS01V（秋月電子通商）

##### ① 概要

ワンチップの中に3軸のMR型地磁気センサー、3軸の加速度センサー、気圧センサーを内蔵した測定用ICを搭載した完成品の基板上で、USB接続でパソコンにデータを取り込むことができ、リアルタイムで数値表示及びグラフ表示させるソフトウェア（Win XP/98/2000）も付属している。本事例ではX方向の加速度データのみを使用した。



##### ② 付属ソフトによる表示画面



##### ③ 入手先

(株) 秋月電子通商（秋葉原店）

所在地：〒101-0021 千代田区外神田1-8-3 野水ビル1F 電話：03-3251-1779

ホームページからも注文できる。（<http://akizukidenshi.com/>）

#### (2) 任天堂Wiiリモコン及びBluetoothアダプタ

##### ① 概要

任天堂のゲーム機Wiiに付属しているリモコンは、3軸の加速度センサーを内蔵しており、パソコンのUSB端子にBluetoothアダプタを接続することによって、計測した加速度データをパソコンで受け取ることができる。



##### ② ソフトウェア

本事例では、フリーソフトウェアを下記のアドレスからダウンロードして用いた。

WiimoteData（<http://d.hatena.ne.jp/yoda-dip-jp/20070318>）

WiiAcc（<http://www.gijyutu.com/g-soft/wiiacc/wiiacc.html>）

## 実験Ⅴ 「乗り物の加速度を測ってみよう」

### 1 実験のねらい

エレベータや電車、自動車のような乗り物の加速度を、加速度センサーを用いて直接計測し、 $a-t$  グラフ、及び  $v-t$  グラフを作成することにより、速度と加速度の関係について、理解を深める。

### 2 準備

(1) 地磁気・加速度・気圧測定モジュール TDS01V

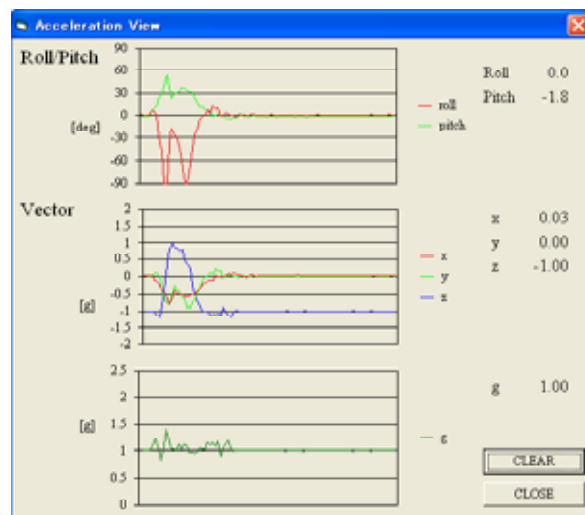
(2) ノート型パソコン

### 3 実験の手順

(1) ノート型パソコン及び測定モジュールを持って、電車等の乗り物に乗る。

(2) ノート型パソコンと測定モジュールを USB ケーブルで接続し、モジュールに付属しているソフトウェアを起動させる。

(3) 3軸の加速度グラフを表示させ、測定モジュールを水平に固定する。このとき、乗り物が静止しているときの Z 方向の加速度が  $-1$ 、X 方向及び Y 方向の加速度が  $0$  となることを確認する。また、測定モジュールの X (又は Y) 方向が、乗り物の進行方向になるように測定モジュールの向きを合わせる。



(4) パソコン画面のロギングボタンをクリックし、加速度データを記録する。

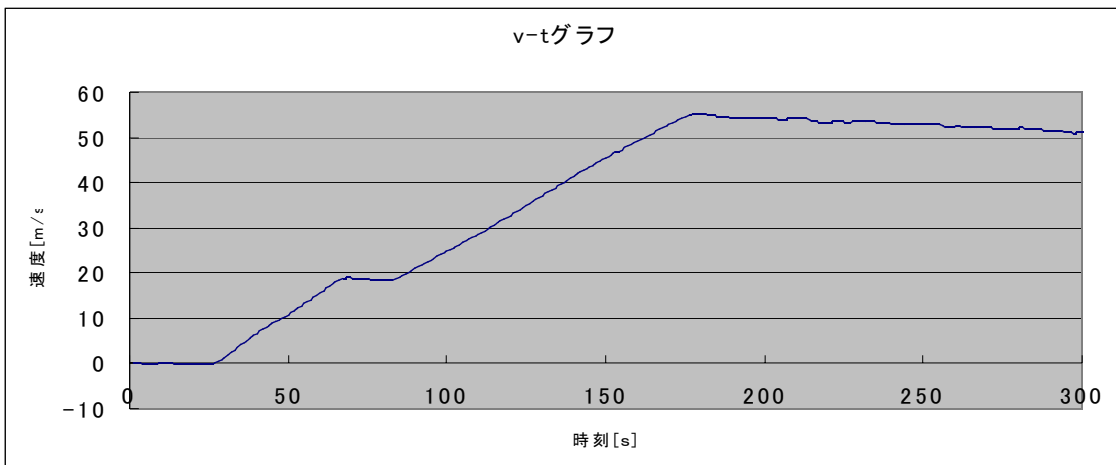
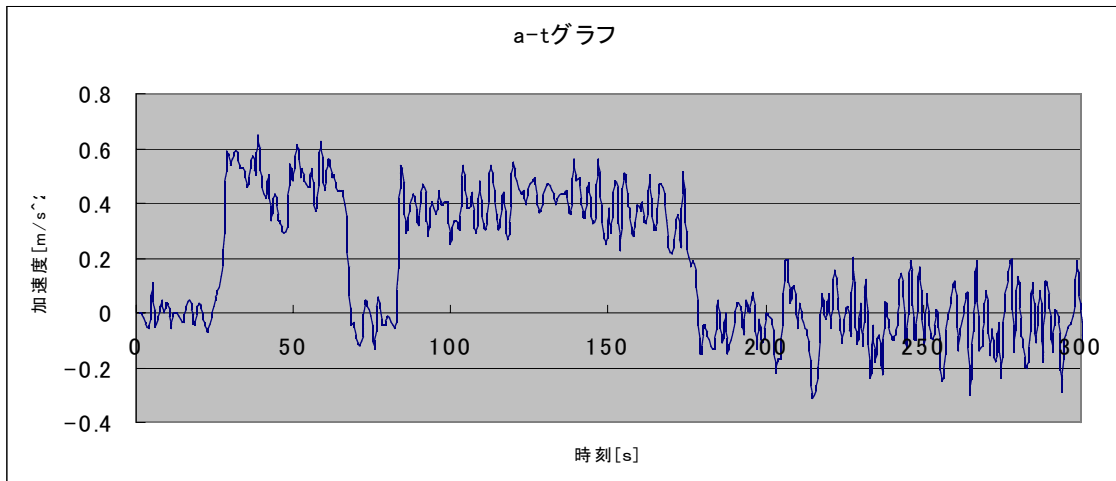
(5) 教室に戻ってから、記録された X 方向の加速度データを表計算ソフトで処理し、時刻  $t$  と加速度  $a$  の関係をグラフにする。なお、加速度データは 0.10 秒間隔で記録されているが、機械的な振動やノイズの影響をキャンセルするため、適当な時間毎に平均すると有意義な結果が得られる。

(6) 台形公式やシンプソンの公式を用いて加速度  $a$  を時間で数値積分し、速度  $v$  と時刻  $t$  の関係を求める。

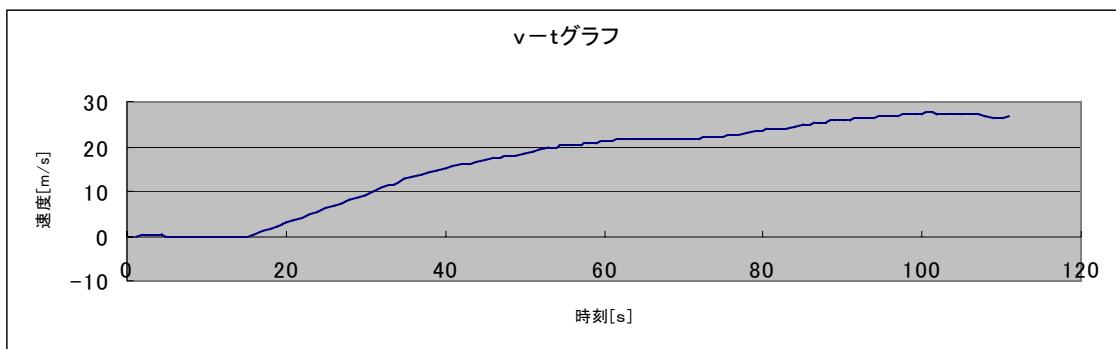
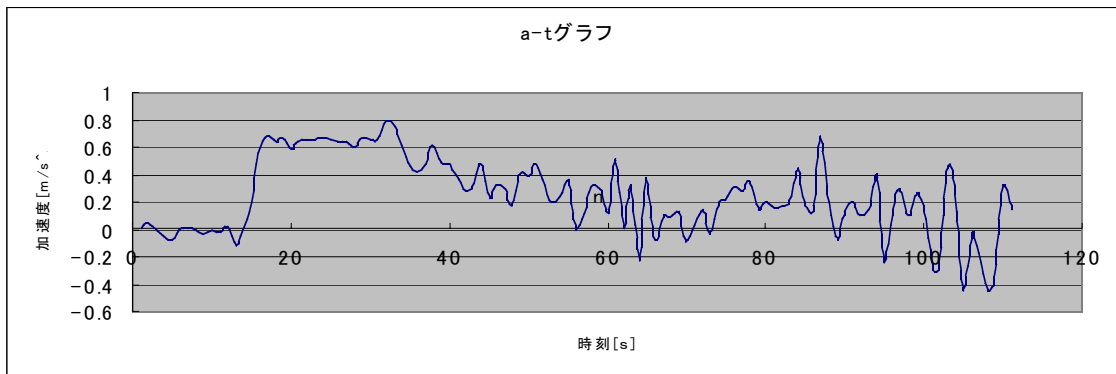
(7) 何種類かの乗り物について、発進時の加速度を測定し、 $a-t$  グラフや  $v-t$  グラフで、運動の様子を比較する。

#### 4 実験結果の例

##### (1) 東北新幹線（上り、小山駅発）



##### (2) JR宇都宮線 普通電車（下り、小山駅発）



## 5 データ処理について

### (1) 記録されたデータ

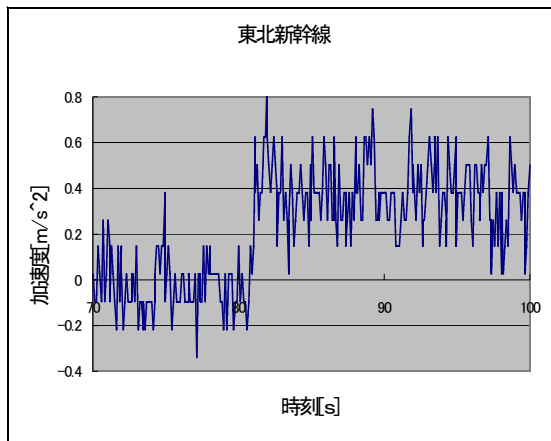
データは0.10 s毎に記録され、時刻、3軸方向の磁界、地磁気から求めたセンサーの方位、3軸方向の加速度、重力加速度の向きから求めたセンサーの傾き、気圧、気圧から求めた高度のデータがカンマで区切られた形式で保存される。Excel等で読み込むときにカンマ区切りのテキストデータとすれば、セル毎に配置される。なお、加速度の単位は重力加速度  $g$  である。

time	mx	my	mz	azimuth	ax	ay	az	roll	pitch	pressure	altitude
12:27:33	46.9	-7.4	23.4	23.7	0.01	1.57	-1	90	-0.2	1018	-40
12:27:33	50.4	-8.6	26.6	29.1	0.48	0.49	-1.08	33.6	-28.4	1018	-41
12:27:33	39.1	-15.6	35.5	317.5	-0.01	-1.11	-0.94	-90	0.4	1018	-41

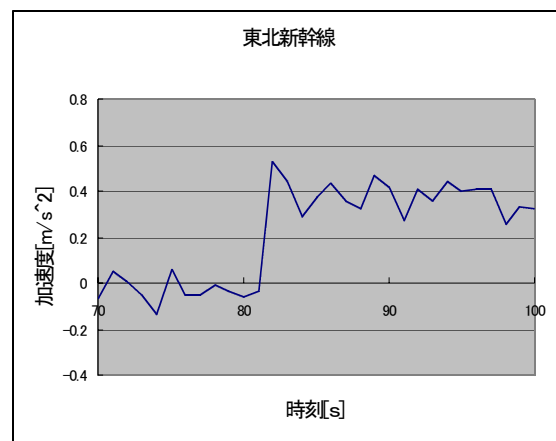
(Excelで読み込んだデータ)

### (2) 時間平均の処理

得られるデータは0.10 sであるが、実際に乗り物にセンサーを持ち込んで測定してみると、乗り物全体の加速度とは無関係の細かい振動等が含まれてしまう。本事例では、これらの振動等の影響をキャンセルするため、10個分のデータを平均して1 s毎の加速度データとした。



時間平均前



時間平均後

### (3) 加速度の積分

本事例では、加速度を数値積分するために、シンプソンの公式を用いた。つまり、時間間隔  $\Delta t$  のデータ間を放物線で結び、積分することで速度変化  $\Delta v$  を算出した。例えば、

時刻 t	0	$\Delta t$	$2 \Delta t$
加速度 a	$a_1$	$a_2$	$a_3$

という3つのデータがあるとき、加速度  $a$  と時刻  $t$  の関係を  $a = \alpha t^2 + \beta t + \gamma$  とすると、

$$a_1 = \gamma, \quad a_2 = \alpha(\Delta t)^2 + \beta \Delta t + \gamma, \quad a_3 = \alpha(2\Delta t)^2 + \beta \cdot 2\Delta t + \gamma$$

の関係式が得られ、これらを  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  について解くと、

$$\alpha = \frac{a_1 - 2a_2 + a_3}{2(\Delta t)^2}, \quad \beta = \frac{-3a_1 + 4a_2 - a_3}{2\Delta t}, \quad \gamma = a_1$$

また、速度変化  $\Delta v$  は、

$$\Delta v = \int_0^{2\Delta t} a \, dt = \left[ \frac{1}{3} \alpha t^3 + \frac{1}{2} \beta t^2 + \gamma t \right]_0^{2\Delta t} = \frac{8}{3} \alpha (\Delta t)^3 + 2\beta (\Delta t)^2 + 2\gamma \cdot \Delta t$$

と表される。 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  を代入すると、

$$\Delta v = \frac{8}{3} \frac{a_1 - 2a_2 + a_3}{2(\Delta t)^2} (\Delta t)^3 + 2 \frac{-3a_1 + 4a_2 - a_3}{2\Delta t} (\Delta t)^2 + 2a_1 \cdot \Delta t = \frac{1}{3} (a_1 + 4a_2 + a_3) \Delta t$$

と、極めて簡単な式となる。この  $\Delta v$  をExcel等で計算し、時刻0から時刻  $t$  までの総和をとることで、時刻  $t$  での速度  $v$  を計算した。

## 実験VI 「Wii リモコンで加速度を測ってみよう」

### 1 実験のねらい

テレビゲーム用リモコンに内蔵されている3軸の加速度センサーを用いて、台車や振り子が運動するときの加速度を直接計測し、慣性力や運動方程式についての理解を深める。

### 2 準備

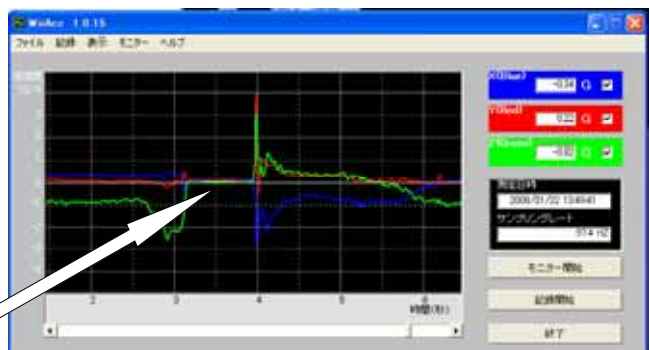
- (1) 任天堂Wii リモコン
- (2) ノート型パソコン
- (3) ブルートゥースアダプタ

### 3 実験の手順

- (1) ノートパソコンのUSB端子にブルートゥースアダプタを挿入する。
- (2) Wii リモコンの電源を入れ、無線によってパソコンと接続する。

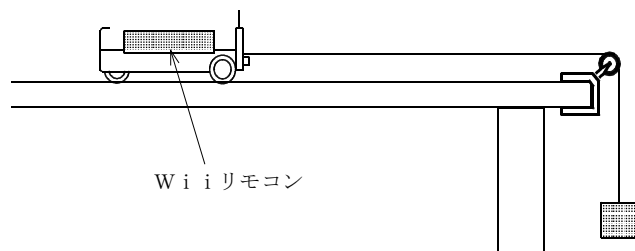
【フリーソフトウェア「WiiAcc」による画面】

- (3) 3軸の加速度グラフを表示させ、リモコンを水平にしたとき、Y方向の加速度が、ほぼ $-1$  (単位は $g$ )、X方向、Z方向の加速度がともに $0$ となることを確認する。

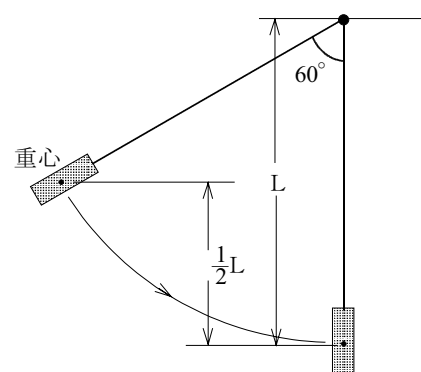


- (4) リモコンを空中に投げると、リモコンが空中にある間は、3軸方向の加速度が全て $0$ になることを確認する。

- (5) 右図のように、Wii リモコンを載せた台車とおもりを糸でつなぎ、糸を滑車にかける。台車が運動するときの加速度の大きさを測定し、運動方程式から求めた理論値と比較する。



- (6) リモコン底部の2箇所の穴を利用し、1 m程度の糸を取り付けてつり下げる。糸がピンと張った状態を保ちながらリモコンを持ち上げていき、糸と鉛直線のなす角が $70\sim 80^\circ$ の位置まできたら、静かに手を離してリモコンに振り子運動をさせ、このときの加速度を測定する。振り子の振幅は空気抵抗、糸の支点での摩擦等により減衰していくが、振れ角の最大値が $60^\circ$ のとき、最高点及び最下点での見かけの重力加速度はそれぞれ、 $0.5g$ 、 $2g$ となることを確認する。



#### 4 実験結果の例

(1) 台車とおもりの運動 (台車とリモコンの質量 $M=1.08\text{kg}$ 、おもりの質量 $m=0.340\text{kg}$ )

##### 【理論値】

加速度の大きさを  $a$ 、糸の張力の大きさを  $S$  とすると、台車及びおもりの運動方程式はそれぞれ、

$$\text{(台車)} \quad M a = S$$

$$\text{(おもり)} \quad m a = m g - S$$

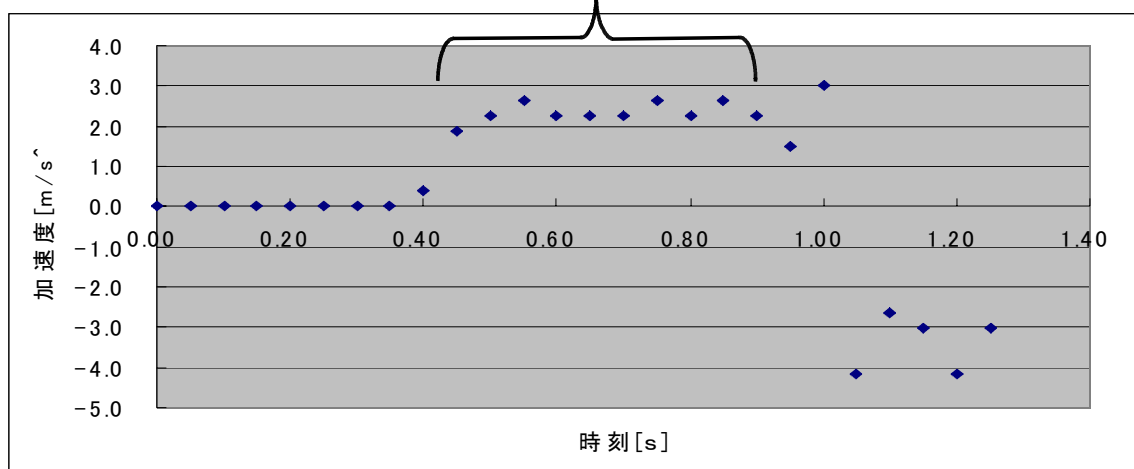
これらを解いて、

$$a = \frac{m g}{m + M} = \frac{0.34 \times 9.8}{1.08 + 0.34} = 2.34 \text{ m/s}^2$$

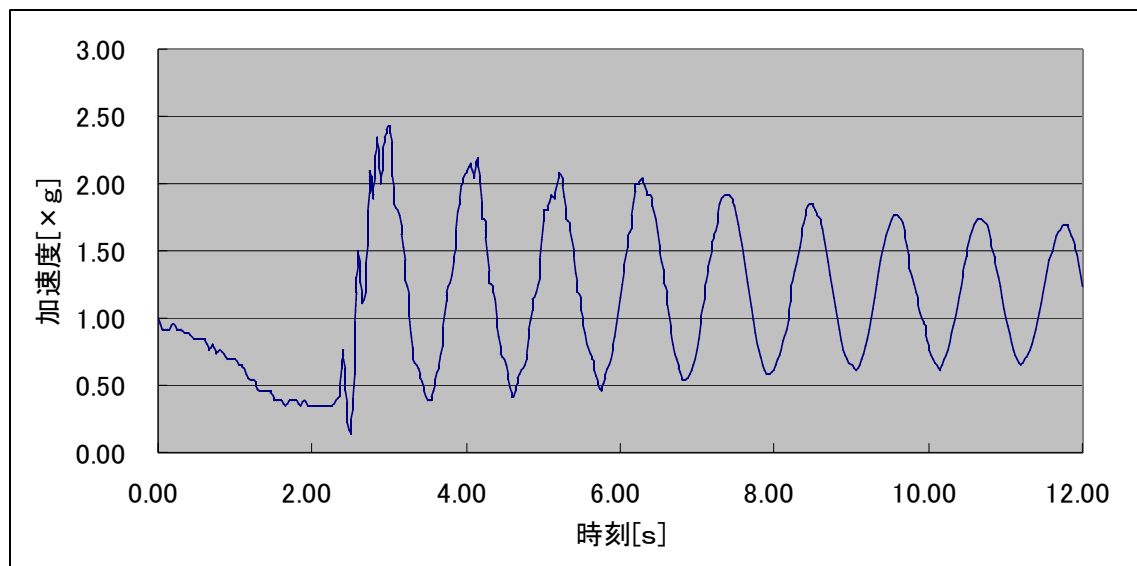


##### 【測定値】

等加速度と考えられる区間



(2) 振り子運動 (糸の長さ1.0m)



振り子の振れ角 (最高点における、糸が鉛直線となす角)  $\theta$  のときの、見かけの重力加速度 (糸の方向成分) は、 $g \cos \theta$  から  $(3-2\cos \theta)g$  まで変化する。上のグラフを見ると、時刻 6.00 s 付近で、加速度が  $0.5g \sim 2.0g$  となっていることから、このときの  $\theta$  は  $60^\circ$  程度だと考えられる。なお、振動の減衰に伴って加速度の最大値、最小値とも  $1.0g$  に近づいていくが、 $\cos \theta$  の係数の関係で最大値の方が、時間変化が大きい様子がグラフに現れている。

## 5 データ処理について

### (1) 記録されたデータ

以下に、WiimoteDataによって保存され、Excelで読み込まれたデータの一部を示す。データは、0.05 s 毎に記録され、時刻、3 軸方向の加速度の他、リモコンに付いている IR センサーやボタンの状態を表す数値等が、CSV形式で保存される。



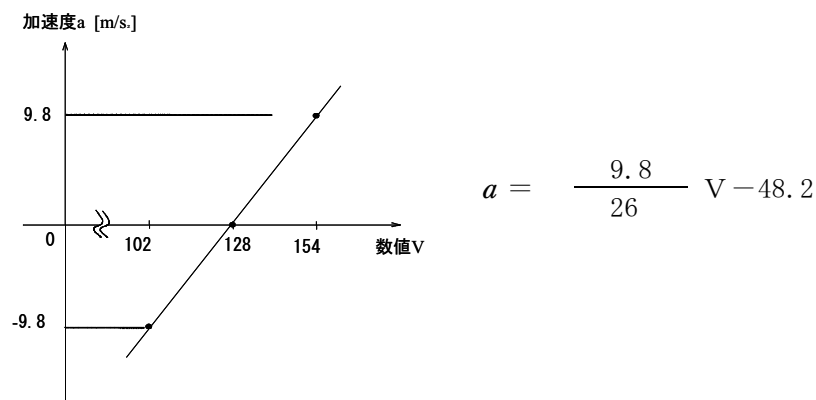
Time	ch	btn1	btn2	X、Y、Z方向の加速度			IROX	IROY	IROS
				accX	accY	accZ			
5:58:36	0x33	0x0	0x0	128	127	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	128	155	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	128	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	127	127	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	127	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	128	155	1023	1023	15

加速度のデータは3桁の整数で記録される。リモコンが静止しているときのX、Y、Z方向のデータは、重力加速度  $g$  のそれぞれの方向の成分であるから、リモコンの向きによって、 $-g$  から  $+g$  までの値を表すはずである。以下に、各方向で測定した  $-g$ 、 $0$ 、 $+g$  に相当する数値データを示す。

	$-g$	$0$	$+g$
X方向	101	128	154
Y方向	102	128	154
Z方向	104	127	155

### (2) データの処理

上記の表より、方向によってセンサーの特性にわずかな差があることがわかる。次に、本事例で用いたY方向のセンサーについて、記録される数値データ  $V$  と加速度  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] の関係を示す。



加速度センサーの分解能は、数値データ  $V$  が1だけ変化したときの  $a$  の変化であり、Y方向については、

$$\frac{9.8}{26} = 0.38 \quad [\text{m/s}^2]$$

である。なお、リモコンを振り回したり、リモコンに衝撃を与えたりして、測定される加速度の大きさの範囲を調べたところ、得られた数値データは、1~248であった。したがって、 $a$  と  $V$  の関係の直線性が成り立っているとすれば、測定できる加速度の範囲は、

$$-47.8 \sim +45.3 \quad [\text{m/s}^2] \quad (-5g \sim +4.6g)$$

である。ただし、加速度の分解能及び測定可能な加速度の範囲は、使用するリモコンに内蔵されているセンサーの特性により、上記の数値と多少ずれる場合があると考えられる。