

## 教材紹介

### 携帯情報端末の加速度センサーによる実感をともなった運動の理解

市川 忠樹\* 越 桐 國 雄\*

物理現象の実感をともなった理解を図るために、iPod Touchの加速度センサーアプリ (AccelGraph) を用いて、エレベータや遊園地の乗り物の運動など日常場面でよく体感する加速度を測定した。力学分野の学習において、こうした携帯情報端末の加速度計を教材化することの妥当性について検討した。

#### 1. はじめに

中学校や高等学校の力学分野における定量的な実験は、これまで主として力学台車や記録タイマーの組み合わせによって実施されてきた<sup>1)</sup>。また、最近ではこれをさらに進めたものとして、距離センサーや力センサーを用いたコンピュータ計測によって多様な力学的現象のリアルタイムな理解を図ったり<sup>2) 3)</sup>、加速度センサーを用いた教材を開発して様々な運動の加速度を測定する実験なども試みられている<sup>4) 5) 6) 7)</sup>。

ところで、最近、携帯情報端末 (Personal Digital Assistance/Smart Phone) が加速度センサーを備えるようになり、これを使った非常に安価なアプリケーションソフトが流通しはじめた。そこで、ネットワーク機能を持った携帯情報端末を測定器として用い、実験室から飛び出して、屋外等の様々な場面で日常体験する運動に関する現象をリアルタイムに測定して体感と比較し、その結果を持ち帰って整理する活動を行うことが可能になってきた。

我々は、加速度センサーを備えた携帯情報端末を用いたこれらの現象の測定を教材化できるかどうか、またその際の問題点について検討を行うことにした。

#### 2. センサーを備えた携帯情報端末

センサーを備えた携帯情報端末の代表的な例として iPod Touch [またはiPhone] をとりあげた<sup>8)</sup>。iPod Touch [iPhone] は2007年に販売が開始され、現在は、第3世代を迎えており、19,000円弱で最低限の機能をもった機種が入手可能である。

iPod Touch [iPhone] には加速度センサー、マイク、スピーカー、Wifi/3G [BlueTooth] ネットワーク、[GPS、磁気センサー、カメラ]などが内蔵されており、精度は必ずしも十分とはいえないが、各種の物理量の簡易測定が可能である。ただし、[ ]内はiPhone機種

のみの機能である。

これらのセンサーや入出力機能によって、速度 (GPS)、加速度 (加速度センサー)、斜度 (加速度センサー)、高度 (GPS)、距離 (マイクとスピーカー)、騒音レベル (マイク)、色調 (カメラ)、音響分析 (マイク) などの物理量測定が可能となっている。これらのアプリケーションは、無料や115円程度のものから、特別なものを除けば約1,000円程度以内で、ネットワーク経由で入手できる。

表1 iPod Touch [iPhone] のアプリの例

測定量	アプリケーション	価格
速度	MySpeed	無料
加速度	AccelGraph	350円
斜度	Clinometer	115円
高度	Altimeter Pro	115円
距離	Sound Ruler	115円
騒音レベル	Decibel	115円
色調	スポイト	230円
音響分析	Spectrogram	600円

iPod touch [iPhone] には加速度センサーが内蔵されており、傾きや回転などを感知して画面の向きを自動で切り替える機能を提供している。このため、加速度センサーが感知する加速度の値を数値化するアプリケーションを用いれば、iPod touch [iPhone] を加速度計として利用することができる。

加速度計アプリケーションとしては、AccelGraph (350円)、Vibration (600円)、Accelerometer Data Pro (900円)、加速度ロガー (1,000円) などいくつか存在しており、これらをダウンロードすることですぐに

簡易加速度計として利用できる。

ここでは、データ記録機能をそなえ、安価で簡単に使えるものとして、AccelGraph (制作者: Bastian Kohl bauer) という加速度計アプリを選択した<sup>9)</sup>。これは、最短で0.1秒毎に測定した加速度 (重力を含む: G-Forceとよぶ) の大きさを、 $g$  (重力加速度) を単位として求めてグラフ表示するとともに、有効数字2桁までの数値データを記録し、CSV型式で電子メールによって送信することができる。

表2 AccelGraphの主な機能一覧

画面	特徴
Top-Screen	G-Forceの3成分をグラフ化
Recording	G-Forceの3成分を同時に記録
	記録する時間間隔 (4種類) を指定 記録したG-Forceを電子メールで送信
G-Meters	G-Forceの3成分をメーター表示
Settings	High-Passの切り替え
	周波数の設定 (3種類)
	成分ごとの計測の切り替え
	背景の設定 (4種類)

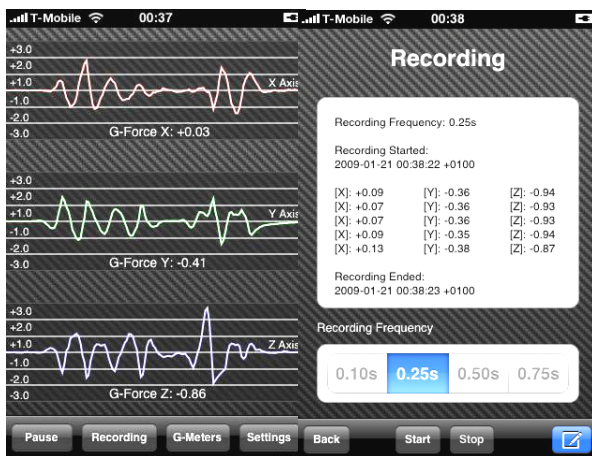


図1 AccelGraphのトップ画面(左)と記録画面(右)

AccelGraphの計測結果はG-Forceで表示される。G-Forceとは、加速度センサーに働く重力と慣性力を加え、重力の大きさを割ったベクトル量である。携帯情報端末が加速度  $\vec{a}$  で運動している場合、重力は  $m\vec{g}$ 、慣性力は  $-m\vec{a}$  であり、G-Forceは次式で与えられる。

$$\text{G-Force} : \frac{m\vec{g} - m\vec{a}}{|m\vec{g}|} = \frac{\vec{g} - \vec{a}}{g} \quad (1)$$

High-Passフィルタを有効にすると、G-Forceの低周波成分が除去できるため、重力を除いた慣性力の高周波成分を取り出して表示することも可能である。

また、AccelGraphは iPod Touchの3軸加速度センサーに対し図2のように操作面に向かって右にx軸、上にy軸、操作面に垂直手前にz軸を定義している。

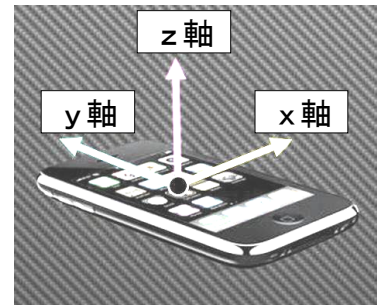


図2 iPod Touchの座標系

### 3. 実験室における加速度センサーの検証

まず、この加速度計 (iPod Touch + Accel Graph) の計測可能時間について確かめた。その結果、設定可能な計測記録間隔×記録回数が実際の記録時間と一致する有効範囲があり、それ以上では時間間隔の誤差が蓄積することがわかった。表3には、計測記録間隔ごとの測定可能な時間と回数の目安を示した。

表3 AccelGraphの計測可能時間

計測間隔	0.10 s	0.25 s	0.50 s	0.75 s
計測時間	5 s	35 s	155 s	300 s
計測回数	50	140	310	400

次に、実験室内で斜面を用いて、iPod Touchが静止した状態でのG-Force (この場合は重力の大きさのみに対応) を測定して、AccelGraphの精度を検証した。

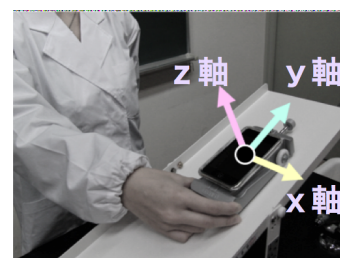


図3 斜面で静止した状態での測定

図3のように、x軸が斜面と平行方向、y軸が斜面に沿って上方、z軸が斜面に垂直に上向きとなる。斜面としては力学台車用斜面台を用い、斜度は  $\theta = 15^\circ$  に設定した。G-Forceの理論値は、x軸方向が0、y軸方向が  $-\sin \theta$ 、z軸方向が  $-\cos \theta$  である。G-Force

eの測定値及び重力加速度  $g$  に対する相対誤差を表4に示した。iPod Touch の向きを変えて測定しても同程度の相対誤差内におさまった。

表4 斜面で静止した状態でのG-Forceの値

	理論値	測定値	相対誤差
x軸	0.0	0.024	2.4%
y軸	-0.259	-0.271	1.2%
z軸	-0.966	-0.968	0.2%

最後に、斜面上のiPod Touchを固定した力学台車を自由に降下させて、斜面方向のG-Forceを測定した。その際に、記録タイマーのテープを力学台車に繋いで斜面方向の加速度を同時計測した。計測時間間隔は0.10秒に設定している。

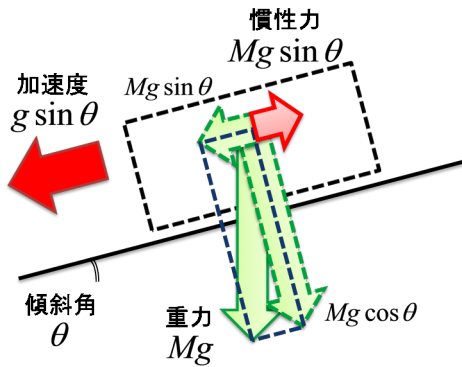


図4 斜面で運動している状態のG-Force

力学台車の摩擦等が無視できれば、斜面方向のG-Forceは、(斜面方向の重力加速度- 慣性力/質量)/ $g = 0$ となる。一方、摩擦等で力学台車の斜面方向の加速度が  $a$  となる場合は、 $\sin \theta - a/g$  となる。この式に記録タイマーから得られた加速度を代入して斜面方向のG-Forceを求め、AccelGraphで得られた値と比較した。表5は、iPod Touchの各軸を斜面方向に設定した結果を表し、記録タイマーとAccelGraphによる測定値は、 $g$  に対し3%の相対誤差内で一致した。

表5 斜面を降下させた場合のG-Forceの値

	記録タイマー	AccelGraph	相対誤差
x軸	0.020	0.049	2.9%
y軸	0.023	0.033	1.0%
z軸	0.023	0.027	0.4%

#### 4. 実験室外における運動の測定

実験室外で私たちは様々な加速度運動を体験する。これを加速度計で測定することで、日常体験と物理現

象の関係についての実感を持った理解が可能になる。電車、自動車、エレベータ、遊園地の遊具やテーマパークのアトラクションなどさまざまな場面が考えられるが、ここでは実際に測定した中からいくつかの典型的な事例を紹介する。

##### (1) エレベータ (鉛直方向の等加速度運動)

15階建のマンションの1階から10階までをエレベータで上ったときの加速度を測定した、iPod Touchはエレベータの床にz軸が鉛直上方になるように水平に置いた。静止時や等速直線運動時には慣性力が0であり、重力のみがz軸負方向に働くため、G-Forceのz成分の理論値は-1となる。計測時間間隔は0.25秒とし、約20秒間の測定を行った。測定結果はメールでPCに送信後、Excelによって処理した。

これからわかるように、上昇時に身体が押し付けられる感覚を受ける場合のG-Forceは静止時より約10%増加し、停止時に身体がふわっとする感覚を受ける場合は10%減少する。これがエレベータで感じる感覚を数量化したものとなる。

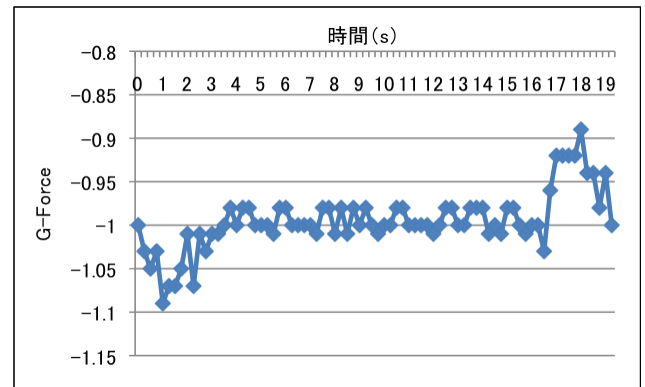


図5 エレベータ上昇と停止におけるG-Force

##### (2) フリーフォール (自由落下)

遊園地のアトラクションでフリーフォール (自由落下) に近い体験ができるものがある。ひらかたパーク (大阪府枚方市) のジャイアントドロップメテオでは、地上約40mから自由落下を体感できる。

この自由落下中のG-Forceを測定するため、iPod Touchをy軸正の向きが鉛直上向きになるように身体に装着した。なお、落下過程の前後に時間的な余裕をもって、記録の開始と終了を行う必要がある。

計測時間間隔を0.10秒に設定した結果が図6に示されている。G-Forceがほぼ0になる自由落下時間が約0.5秒程度継続し、その後ブレーキがかかってG-Forceは、2.4s~2.6sでは -1.9、2.7s~3.1sでは -1.1となった。

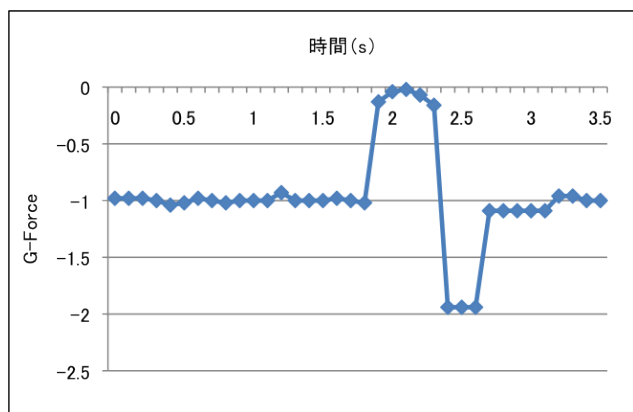


図6 フリーフォールにおけるG-Force

### (3) メリーゴーランド (等速円運動)

同様にひらかたパークのメリーゴーランドで、iPod Touchを装着してz軸を速度ベクトルと逆方向に向けて、x軸方向(回転中心から外向き)のG-Forceを計測時間間隔0.50秒で測定した。運動開始後10-80秒にわたりG-Forceは揺らぎを除いてほぼ一定で、平均0.11であった。一方、100-120秒の静止時にも平均0.06となり、端末の傾斜(4°相当)による重力の効果が見えた。

質量 $m$ の物体が、半径 $r$ 、角速度 $\omega$ の等速円運動をする際の慣性力は、 $m r \omega^2$ となり、G-Forceは $r \omega^2 / g$ である。角速度の測定値 $\omega = 0.31 \text{ rad/s}$ とG-Forceの測定値の慣性力分 $0.05 (= 0.11 - 0.06)$ を代入すると、メリーゴーランドの半径の値は $r = 5.1 \text{ m}$ と求まり、実測値の $r = 4.3 \text{ m}$ と誤差が20%になった。この誤差の原因としては、メリーゴーランドの細かな機械的振動や、回転時と静止時の端末の傾斜の違いなどが考えられる。

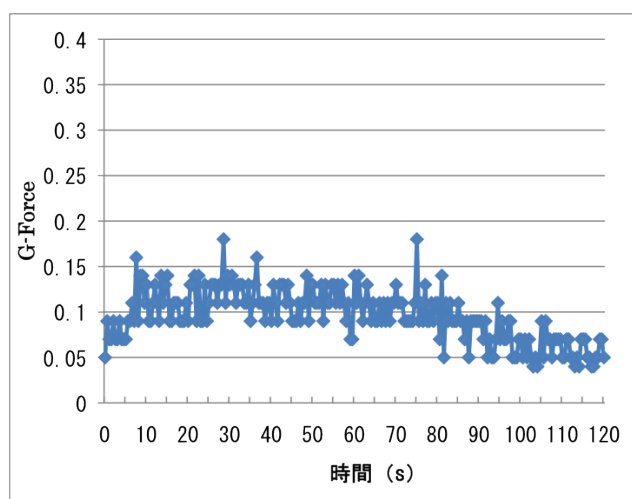


図7 メリーゴーランドにおけるG-Force

## 5. おわりに

iPod TouchのAccelGraphを用いて実感をともなった

運動の理解を図るために、実験室外の様々な運動についての加速度測定を行った。身体につけての計測では、測定器の向き揺らぎや乗り物の振動などの影響もあって、十分な精度を確保できないケースもあったが、定性的な特徴を取り出すことや、一定の定量的な議論をすることが可能な場合も多いことが示された。

センサーを備えた携帯情報端末の普及やアプリケーションの整備が進めば、こうした簡易測定がより手軽に実施できるようになると考えられ、物理教育におけるICT活用の新しい方法として期待される。

### 参考文献

- 1) 例えば、大阪府高等学校理化教育研究会・物理研究委員会：物理実験書(2004)，[http://www.osk-but.suri-edu.com/physics/jikkensho\\_word/](http://www.osk-but.suri-edu.com/physics/jikkensho_word/)
- 2) ナリカ：イージーセンスシリーズ，<http://www.easysense.jp/>，ケニス：サイエンスキューブ，<http://www.kenis.co.jp/sciencecube/science.html>，島津理化：サイエンスワークショップ，<http://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoiku/pc/>
- 3) 小林昭三：ITセンサーや現象分析ソフトによる初・中・高等科学教育の新展開と再構築，科学研究費補助金報告書(2006)，16604004
- 4) 鈴木成，木村捨雄：モノシリック加速度センサを用いた生徒実験用加速度計の開発研究，日本科学教育学会研究会研究報告(1997)，11(7) pp. 49-54
- 5) 森涼太郎：半導体加速度センサを用いた速度計測と教材への応用，物理教育(2008)，56(3) pp. 193-197
- 6) 足利裕人：計測・制御が手軽になったGainer miniで始めるフィジカルコンピューティング，新興出版社啓林館，物理授業実践記録(2008)，<http://www.shinko-keirin.co.jp/kori/science/buturi/19.html>
- 7) 五十嵐伊佐雄：Wiiリモコンを用いた加速度測定，物理教育(2008)，57(2) pp. 159-162
- 8) ありがとう iPod，資料集 iPodの年表，<http://arigato-ipod.com/collection-chronology.html>
- 9) Bastian Kohlbauser, AccelGraph 1.6 (2009)，<http://web.me.com/bastian.kohlbauser/appMug/Home.e.html>

\*大阪教育大学

“Outdoor Experiments of Motions by the Acceleration Sensor of PDA”  
by ICHIKAWA, Tadaki and KOSHIGIRI, Kunio