力表示器「Fi-Cube」の使い方メモ

宇都宮大学教育学部理科教育学研究室

# Fi-Cubeの使い方

## 起動

水平な面上にFi-Cubeを置いて，電源スイッチを入れてください．最初Fi-Cubeは，数秒間初期化を行います．初期化している間は，X＋方向のLEDが，4，3，2，1と順番に消えていきます．X＋方向の赤いLEDがすべて消えたら初期化終了です．初期化が終わるまでFi-Cubeを水平に保ち，動かさないでください．

【裏起動】Fi-Cubeをひっくり返して起動すると，釣り合っている力をすべて表示しない，「加速度表示モード」になります．

## 表示の意味

Fi-Cubeの赤いLEDは，中心（白いランプ）を作用点として，そこから光の方向に働く力を表示しています．LED４個で重力の大きさに相当します．つまり，LED１個は0.25Gに相当します．

力といっても，複数の力が働き釣り合っている場合は，最終的な合力のみが表示されます．したがって，Fi-Cubeをいくら押しても，動かない限り力は表示されません．合力が0でない場合は必ずFi-Cubeは加速度運動をしているはずです．

## 重力

合力が0だと力は表示されないと上に書きましたが，重力だけは別です．「加速度表示モード」でない限り，重力は常に表示されます．さもないと，中学校理科で教えている学習内容「地球上の物体には常に重力が働いている」と異なってしまうからです．重力も含めて力が釣り合っている場合に何も表示しないようにするには，上述の「加速度表示モード」で使用してください．

## Fi-Cubeを傾ける場合の留意点

Fi-Cubeを任意の方向に傾けても，重力はX,Y,Zの3方向に分解されて，正しい方向，正しい大きさで表示されます．ただし，後述の原理で説明するように，重力の表示は人為的になされているので表示までに時間がかかります．そのため，Fi-Cubeを傾けた時，重力の表示にはタイムラグ（時間遅れ）が生じますのでご注意ください．

## 【重要】斜面上の運動における使用上の制約

後述するように，台車にFi-Cubeを載せて斜面に置き等加速度運動をさせる場合，斜面の傾きを10°以上にしてください．それ以下では，Fi-Cubeは斜面下向きの力を正しく表示できません．10°は勾配でいうと約0.18（1mで18cm上がる）です．

# Fi-Cubeの原理

図1．加速度センサーのイメージ

Fi-Cubeは，内部に備えた加速度センサーで自身の加速度を計測し，それを用いて自分に働いている力をLEDで表示する装置です．詳細は，参考文献［伊東・渡辺（2008）］を参照してください．ここでは，「力」を表示する原理を簡単に説明いたします．

加速度センサーとは，模式的には図1のように錘を3方向のばねで支えているようなものであると考えることができます．

Fi-Cubeに左向きに力を加えたと想像してください．この時，Fi-Cubeは左向きに加速度運動をするはずです．すると，図１の錘は慣性によって釣合の位置から力の向きとは逆方向にずれるでしょう．すなわち，錘の釣合の位置からのずれを測り（このずれが加速度として出力される），それと逆向きに力を表示してやればよいことになります．これが，力を表示する第1原理です．

それでは，Fi-Cubeが静止しているとき，Fi-Cubeにはどのような力が働いているでしょう？図1のような内部の加速度センサーにおいては，当然，錘は重力のために釣合の位置から下方向にずれるはずです．上述の第1原理によるとFi-Cubeにはどのような力が表示されるでしょうか？そうです，上向きの力が表示されます．上向きですから，これは，重力ではなく垂直抗力に相当します．

では，Fi-Cubeを自由落下させたらどうなるでしょう？錘はFi-Cubeと一緒に自由落下するので，Fi-Cube内部では見かけ上無重力状態になるでしょう．つまり，錘は釣合の位置に戻るはずです．すると，何が表示されるでしょうか．第1原理によれば，何も表示されません．これは，手を放したので支えていた力（垂直抗力）が消えた，と解釈されます．

上の2つのケースから分かることは，加速度センサーの出力をそのまま表示しても，“重力はどのような場合にも決して表示されない”ということです．これでは，中学校理科で教えている学習内容と異なってしまいます．長くなりますので，詳細は割愛しますが，Fi-Cubeでは“重力を常に表示する”工夫がなされています．そのための計算にすこし時間が必要なので，重力の表示はゆっくりとしか変化しません．Fi-Cubeを傾けた時，重力の表示の変化にタイムラグ（時間遅れ）が生じるのはそのためです．ですから，Fi-Cubeを傾けるときは，ゆっくり傾けてください．

一方，垂直抗力をはじめ重力以外の力は加速度センサーの出力をそのまま表示していますので，ほとんど時間遅れなく変化します．たとえば，自由落下させれば垂直抗力はすぐに消えます．

# Fi-Cubeの活用事例

Fi-Cubeを使うと，通常は決して目に見えない力を視覚化することができます．以下では，Fi-Cubeをどのように使えばよいかの事例を紹介します．なお，これまでに主として中学校で実践してきたFi-Cubeを用いた授業におけるワークシートを付録として文末に示しますので活用してください．

## 導入（水平面上に静止させた時，傾けた時，あらゆる方向に振ってみる，など）

垂直抗力

重力

図2，重力と垂直抗力

Fi-Cubeには，図2のように，下向きに4個，上向きに4個のLEDが点灯します．これにより，静止している物体には重力と垂直抗力が働いている，静止している物体に働く力は釣り合っているなどを見せることができます．

しかし，これだけでは，単にLEDが点いているのと変わりません．確かに力を表示しているのだということを示すため，次のような実験をしてみましょう．

１）傾ける

その状態からいろいろな方向に傾けてみると，重力は常に鉛直方向に働きますので，傾きに応じてそれが3成分に分かれて表示されます．

２）振ってみる

Fi-Cubeを手に持って振ると，力が加わった方向のLEDが点灯します．

## 重力と垂直抗力

Fi-Cubeに働く上向きの力と下向きの力の性質をいろいろと調べてみることで，重力と垂直抗力の意味を理解させることができます．

１）自由落下させる

Fi-Cubeを目の高さくらいに保持して，手を放し，床に落ちる前に受け取ります．自由落下している間，手が支えていた力が表示されなくなります．このことで，上向きの力は確かに手が支えていた力であることが確認できます．

２）投げ上げる

１）と同様に，手が離れている間は，下向きの力（重力）しか働かないことが分かります．同時に，物体の運動の方向と力の方向は同じではないことも確認できます．

## 水平な机上での運動

力学台車にFi-Cubeを載せて，台車と一緒に押すと，加速中，等速直線運動中，減速中に働く力の様子を確認できます．力は手で押したり止めたりした時しか働かないことを実感できます．また，鉛直方向の力はいつもつりあっていることも分かります．この時，なるべく長く滑走させるのがコツです．

次に，力学台車なしでFi-Cubeのみを机の上で滑らせると，長く滑走せずにすぐ止まってしまいます．そのとき，Fi-Cubeには後ろ向きに摩擦力が働いている様子を見ることができます．すなわち，止まるのは力が働いているからであることを示すことができます．

## 斜面での運動

台車に載せた斜面上で，Fi-Cubeを保持すると，重力が2方向に分かれて表示されると同時に，垂直抗力と手で支える力が表示されます．これらの力がつりあっているので止まっていることを説明できます．手を放すと，台車は斜面に沿って下向きに動き出します．手を放した瞬間に消える力が手で支えていた力であることが理解できます．

斜面に沿って動いている間，Fi-Cubeには斜面に沿って下向きの力が働き続けます．この力の大きさは台車がだんだん早くなっても変わりません．すなわち，Fi-Cubeには同じ力は働き続けていることを示すことができます．この結果を，打点タイマーを使った斜面における台車の運動と関連付けることによって，同じ大きさの力が働き続けるとどんどん早くなることを説明できます．

## 回転運動

Fi-Cubeを回転台などに載せて回転させると，Fi-Cubeには向心力が働いている様子を見ることができます(遠心力ではなく！)．

# 終わりに

上記の活用事例はほんの一部だと思います．Fi-Cubeを授業の中でどのように使用すれば有効かについて，皆様から多くのご提案をいただければ幸いです．よろしくお願いいたします．