

デバイスを利用した力学データ計測

iPhone加速度センサーを利用した身体動揺の評価

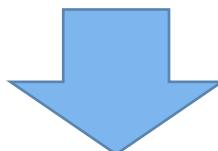


聖稟リハビリテーション病院 内藤祐馬

リハビリで使われる運動・動作の評価指標

病院で実施可能なバランステスト

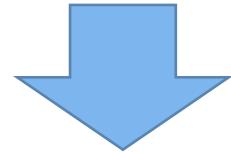
- ・BBS(Berg Balance Scale)
- ・FR(Fanctional Reach)
- ・10m歩行テスト
- ・TUG(Time Up & Go)
- ・静的バランステスト
(片脚立位、タンデム立位、マン姿位)



課題の可不可・速度・時間

研究で使用される指標

- ・フォースプレート(床反力計)
- ・下肢荷重足底(足圧計)
- ・三次元動作解析

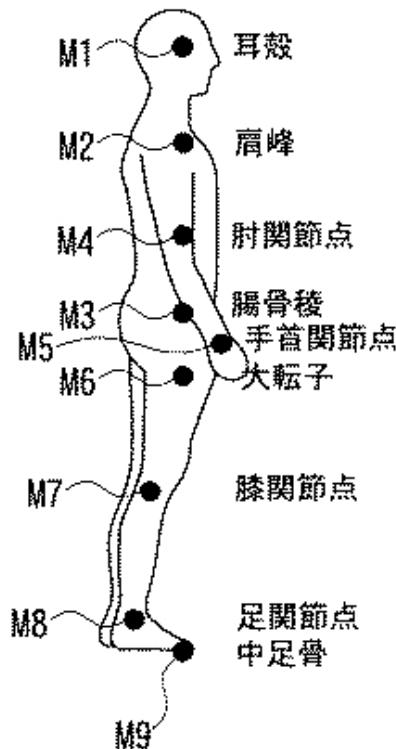


動作時の力学的指標
(専用機器が必要)

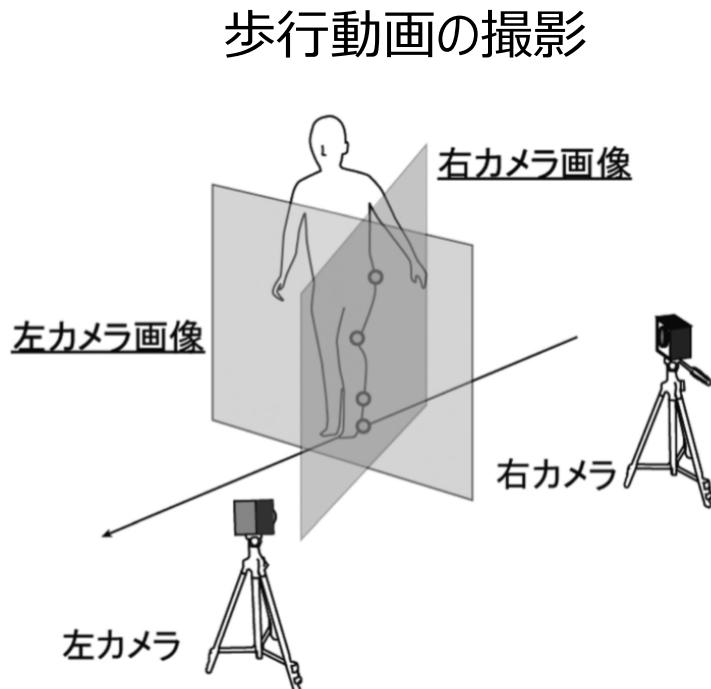
動作の実行状況を分析する事
で性質や特徴の分析が可能

これまでの力学的データを計測する工夫

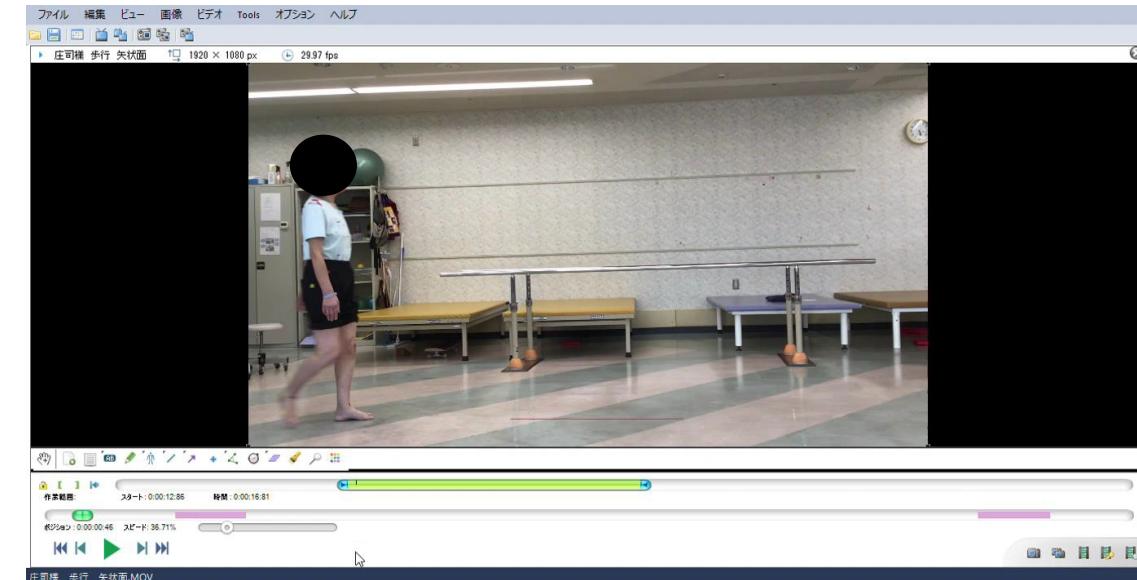
動画解析による**関節角度**の計測 (矢状面・前額面上の2次元解析)



各マークー位置



矢状面・前額面に
カメラを設置



Kinoveaによる動画分析

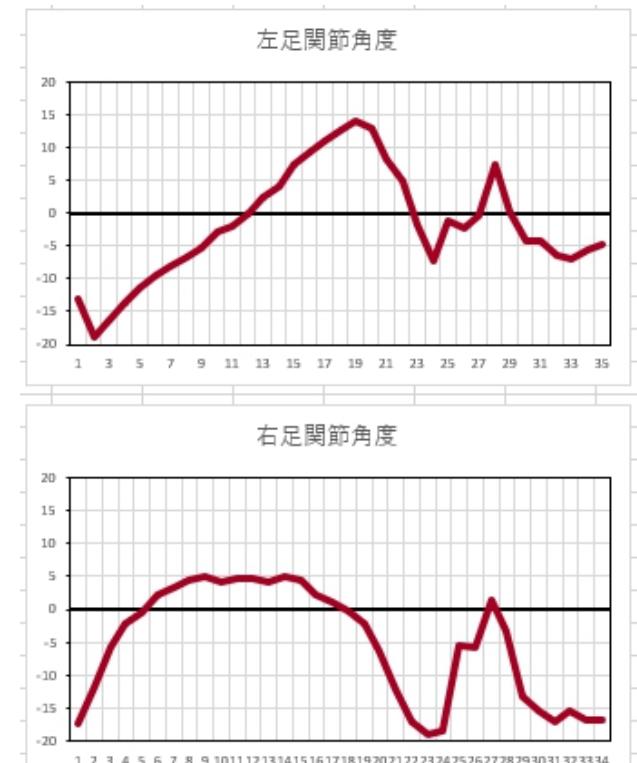
動画分析による動作中の関節角度の計測

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N				
Track			Track			Track			Track							
Label	左脚中足骨の計測	Label	左脚中足骨底	Label	左脚骨盤	Label	左脚骨盤	Label	右外踝							
Coords (x,y,px, 10ms)																
x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z					
5	-215.75	-477.53	0.00	14.75	-163.92	-482.81	0.00	14.75	-241.95	-291.21	0.00	14.75	201.04	-459.7	0.00	14.75
6	-215.74	-477.51	0.00	14.81	-163.92	-482.84	0.00	14.81	-223.98	-291.77	0.00	14.81	-207.01	-459.7	0.00	14.81
7	-215.75	-477.51	0.00	14.85	-163.92	-482.89	0.00	14.85	-204.93	-292.95	0.00	14.85	-205.07	-459.73	0.00	14.85
8	-215.75	-477.49	0.00	14.85	-163.91	-482.85	0.00	14.85	-193.12	-300.97	0.00	14.85	201.07	-459.78	0.00	14.85
9	-215.74	-475.5	0.00	14.91	-163.9	-482.82	0.00	14.91	-195.5	-302.95	0.00	14.91	-202.85	-459.74	0.00	14.91
10	-215.73	-475.5	0.00	14.95	-163.82	-482.78	0.00	14.95	-178.08	-302.81	0.00	14.95	-202.83	-459.7	0.00	14.95
11	-215.72	-476.55	0.00	14.98	-163.87	-482.73	0.00	14.98	-175.05	-302.87	0.00	14.98	202.81	-459.77	0.00	14.98
12	-215.72	-477.49	0.00	15.01	-163.87	-482.74	0.00	15.01	-175.03	-304.55	0.00	15.01	-202.75	-459.77	0.00	15.01
13	-215.73	-477.49	0.00	15.05	-163.87	-482.77	0.00	15.05	-173.95	-304.54	0.00	15.05	-202.78	-459.7	0.00	15.05
14	-215.74	-476.43	0.00	15.08	-163.88	-482.83	0.00	15.08	-173.04	-304.55	0.00	15.08	202.78	-459.77	0.00	15.08
15	-215.73	-475.41	0.00	15.11	-163.89	-482.89	0.00	15.11	-171.04	-304.58	0.00	15.11	-202.78	-459.71	0.00	15.11
16	-215.73	-475.41	0.00	15.15	-163.91	-482.95	0.00	15.15	-168.03	-305.57	0.00	15.15	-202.72	-459.7	0.00	15.15
17	-215.73	-474.43	0.00	15.18	-163.93	-483.12	0.00	15.18	-165.08	-306.53	0.00	15.18	202.78	-459.57	0.00	15.18
18	-215.73	-474.43	0.00	15.21	-163.94	-483.07	0.00	15.21	-161.95	-306.57	0.00	15.21	-202.78	-454.73	0.00	15.21
19	-215.73	-470.43	0.00	15.25	-163.92	-482.15	0.00	15.25	-157.92	-306.53	0.00	15.25	-202.78	-454.99	0.00	15.25
20	-215.73	-465.48	0.00	15.28	-164	-482.7	0.00	15.28	-151.87	-306.57	0.00	15.28	-202.78	-459.77	0.00	15.28
21	-215.73	-462.48	0.00	15.31	-164	-482.13	0.00	15.31	-141.92	-305.58	0.00	15.31	-108.84	-456.75	0.00	15.31
22	-213.75	-456.43	0.00	15.35	-163.96	-480.13	0.00	15.35	-131.51	-303.9	0.00	15.35	-106.75	-442.29	0.00	15.35
23	-209.8	-448.47	0.00	15.38	-161.92	-478.19	0.00	15.38	-115.08	-304.17	0.00	15.38	-109.82	-435.15	0.00	15.38
24	-203.73	-439.95	0.00	15.41	-160.01	-475.11	0.00	15.41	-93.74	-301.18	0.00	15.41	-106.56	-435.11	0.00	15.41
25	-191.8	-425.45	0.00	15.45	-157.03	-470.12	0.00	15.45	-93.38	-298.75	0.00	15.45	-108.14	-415.9	0.00	15.45
26	-175.8	-413.95	0.00	15.48	-159.61	-462.4	0.00	15.48	-93.42	-296.81	0.00	15.48	-105.35	-401.25	0.00	15.48
27	-150.7	-395.95	0.00	15.51	-128	-440.03	0.00	15.51	-10.14	-293.9	0.00	15.51	-120.75	-304.59	0.00	15.51
28	-117.65	-302.05	0.00	15.55	-93.73	-441.89	0.00	15.55	16.76	-291.41	0.00	15.55	-88.5	-301.0	0.00	15.55
29	-87.3	-405.71	0.00	15.58	-65.82	-447.71	0.00	15.58	43.42	-295.53	0.00	15.58	-48.77	-307.39	0.00	15.58
30	-32.93	-432.56	0.00	15.61	3.27	-469.35	0.00	15.61	70.58	-281.95	0.00	15.61	-3.14	-405.11	0.00	15.61
31	17.75	-463.54	0.00	15.65	95.99	-471.1	0.00	15.65	90.95	-291.71	0.00	15.65	32.01	-414.0	0.00	15.65
32	94.55	-463.24	0.00	15.68	111.95	-486.46	0.00	15.68	110.87	-290.98	0.00	15.68	73.75	-421.89	0.00	15.68
33	101.02	-466.17	0.00	15.71	158.08	-480.78	0.00	15.71	121.74	-281.51	0.00	15.71	125.37	-442.88	0.00	15.71
34	150.04	-468.93	0.00	15.73	213.99	-480.3	0.00	15.73	146.23	-286.5	0.00	15.73	161.34	-441.29	0.00	15.73
35	185.25	-471.55	0.00	15.75	250.83	-476.08	0.00	15.75	161.75	-290.89	0.00	15.75	199.2	-450.09	0.00	15.75
36	215.42	-472.45	0.00	15.78	213.40	-472.38	0.00	15.78	175.52	-292.87	0.00	15.78	201.4	-454.51	0.00	15.78
37	224	-472.87	0.00	15.83	283.81	-474.73	0.00	15.83	188.98	-294.55	0.00	15.83	230.3	-454.59	0.00	15.83
38	225.98	-472.95	0.00	15.85	289.49	-478.95	0.00	15.85	204.03	-295.83	0.00	15.85	236.38	-452.59	0.00	15.85
39																

時間・マーカー座標を抽出



時間・関節角度を計算



グラフ化

姿勢保持能力を精密に計測したい

くも膜下出血後の前庭機能低下に対し
感覚入力に着目した介入を行い、
自宅退院に至った症例

聖稟リハビリテーション病院 内藤祐馬

介入内容

課題の設定

姿勢条件
• 座位
• 立位
• タンデム姿位

視覚条件
• 開眼
• 閉眼
• 追視（ボールキャッチ）

足底条件
• 平面
• 不整地、斜面
• 柔らかい床面



R2年静岡県理学療法士学術大会にて
症例発表を行う。

異なる条件下での姿勢保持能力の変化を
治療効果の判定に使用
課題の可不可と保持時間指標としたが…

本当は身体動揺の改善を
結果として提示したかった…

デバイスセンサーとバランス測定

加速度センサーによる身体動揺の計測

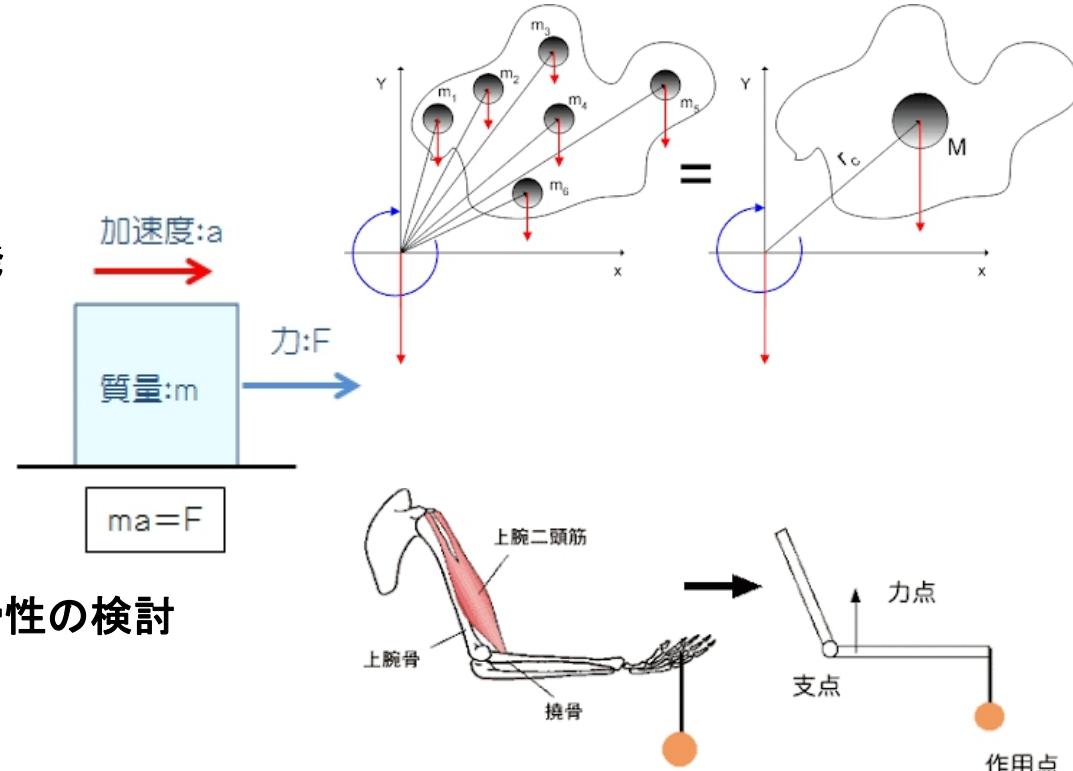
スマートフォンなどの加速度センサーを利用した身体バランス計測器の開発
～その経緯と妥当性の検証～

木野田 典保

小型三軸加速度計による高齢者の動的バランス評価の有用性
竹内 弥彦弘

小型3軸加速度計を用いた Timed Up and Go Test における動作の円滑性の検討
彦坂 潤

- ・力
- ・重心
- ・速度
- ・加速度
- ・床反力作用点 (COP)
- ・モーメント
- ・床反力



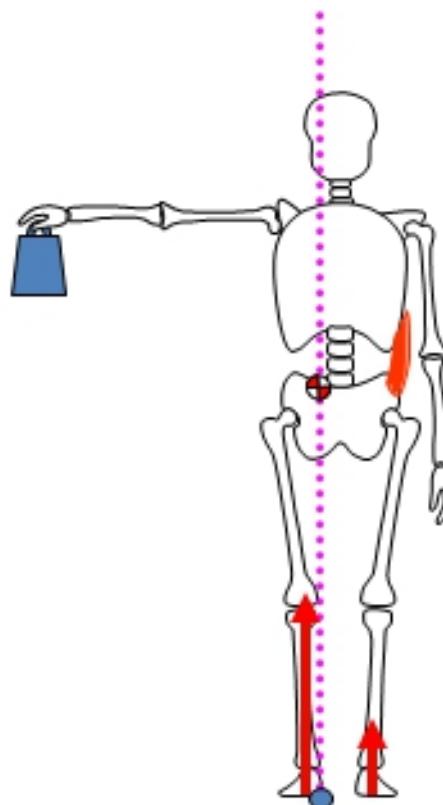
力学的な知識を学ぶ必要がある

意味も知らずに物理用語を使っていませんか？

バランスを力学的視点で考える

剛体のつり合い

- ・力のつり合い
- ・モーメントのつり合い



力のつり合い

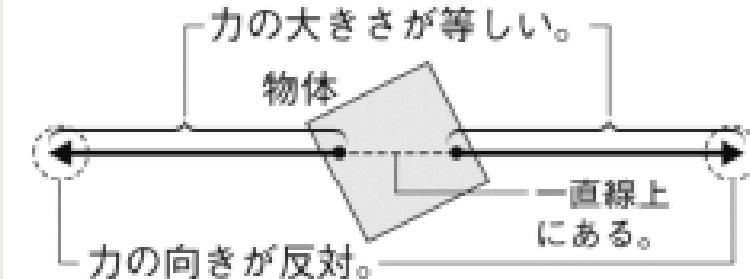
【2力のつり合い】

1つの物体に2つの力がはたらいていて、その物体が静止したままであるとき、2つの力は **つり合っている** という。

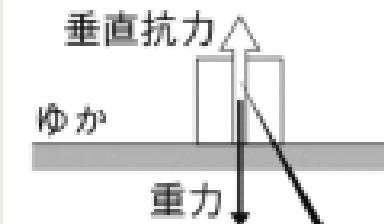
【2力がつり合う条件】

- ・力の大きさが等しい。
- ・力の向きが反対。
- ・一直線上にある。

2つの力のつり合い



つり合う2力



面に垂直な力が
物体にはたらく。

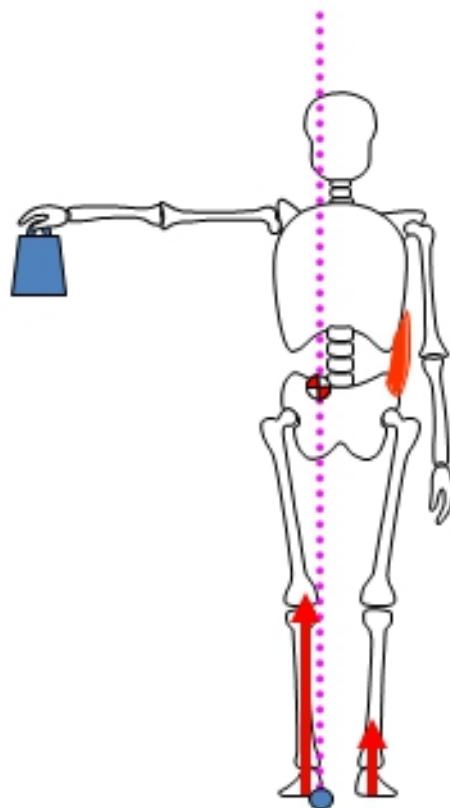


動こうとする向きと
逆向きにはたらく。

バランスを力学的視点で考える

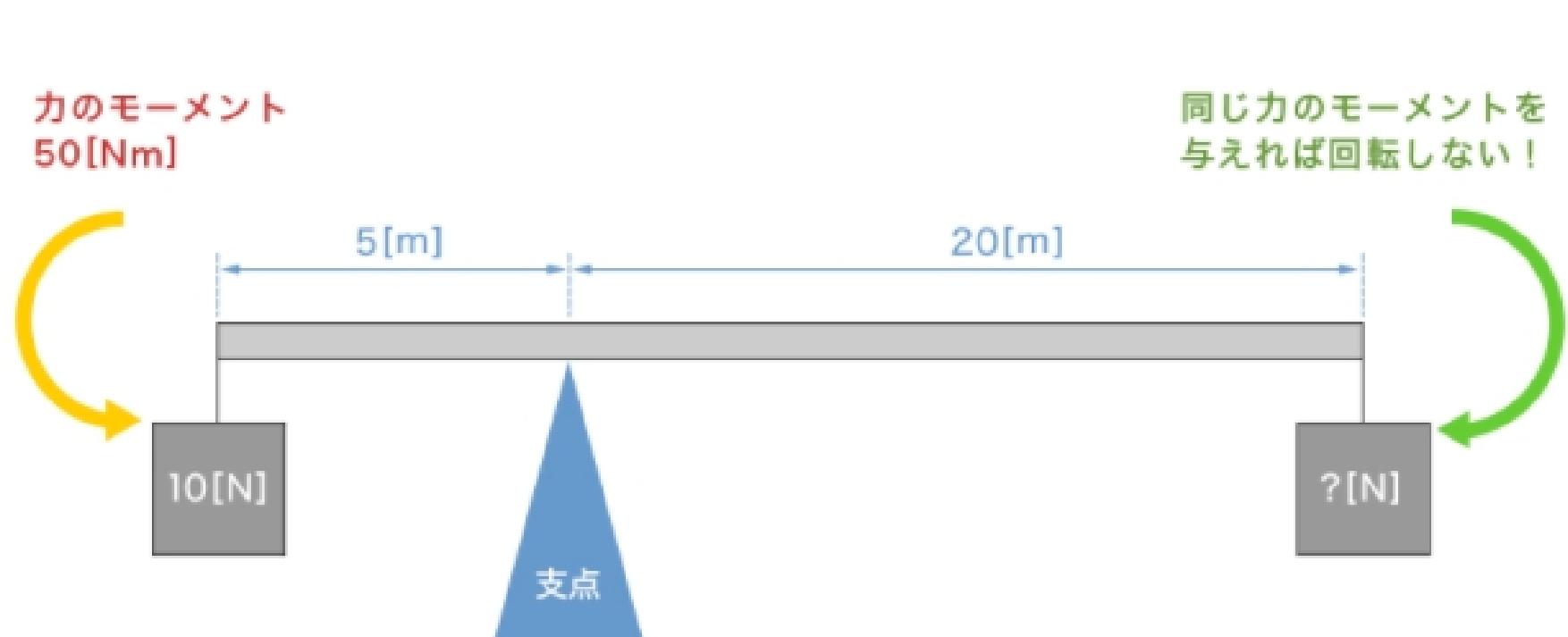
剛体のつり合い

- ・力のつり合い
- ・モーメントのつり合い



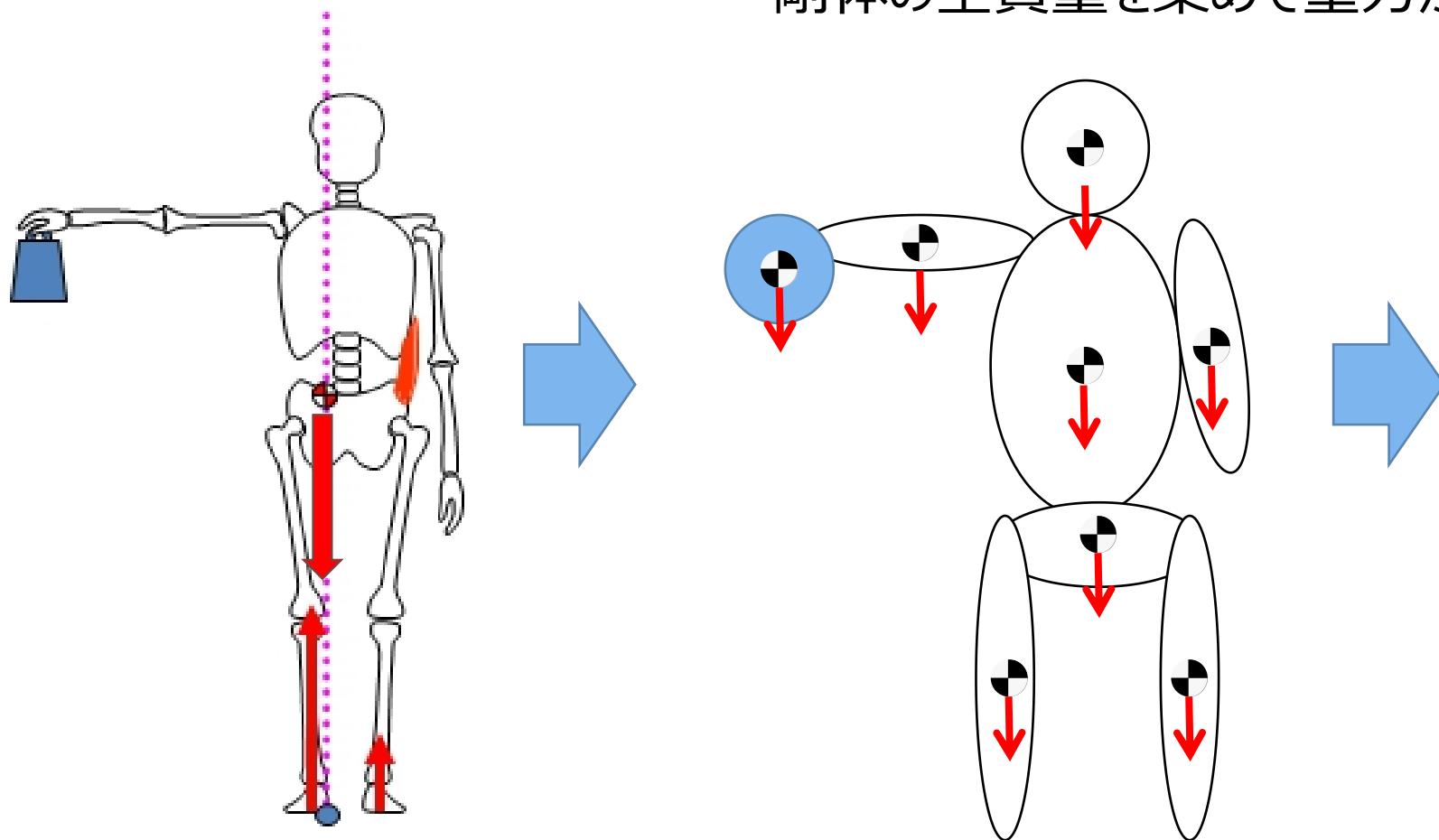
力のモーメント
50[Nm]

モーメント（回転力）のつり合い

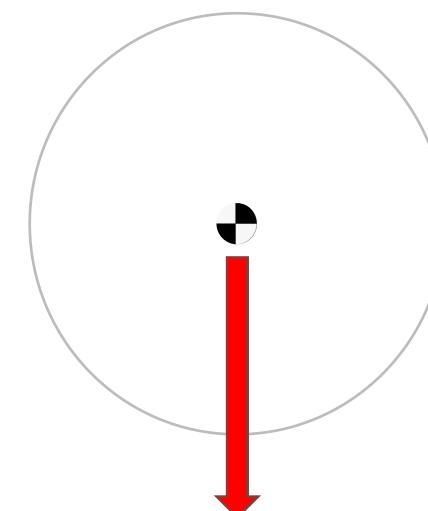
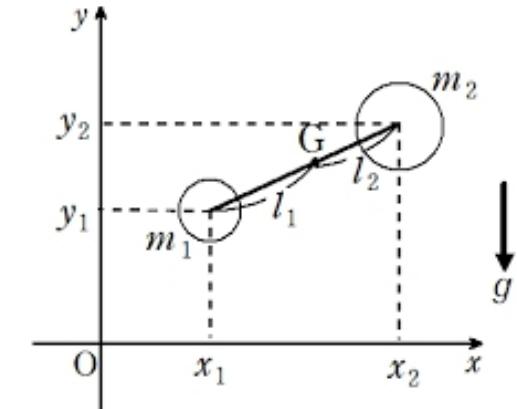


バランスを力学的視点で考える

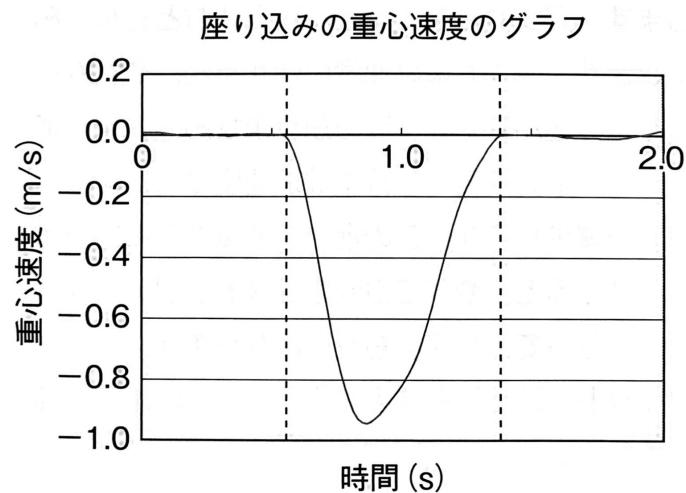
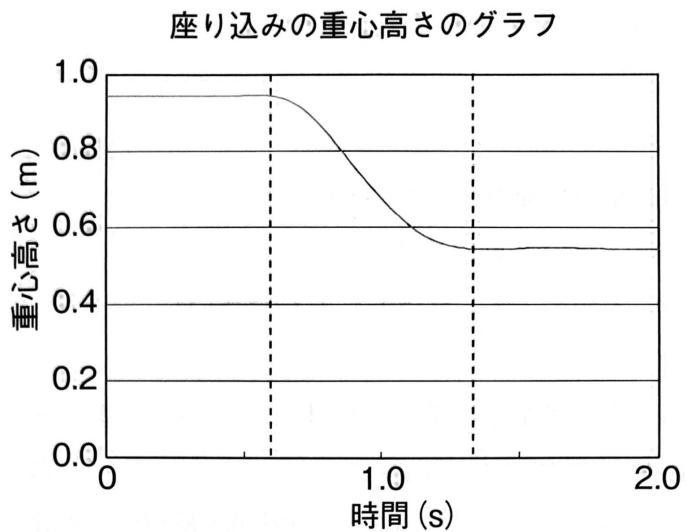
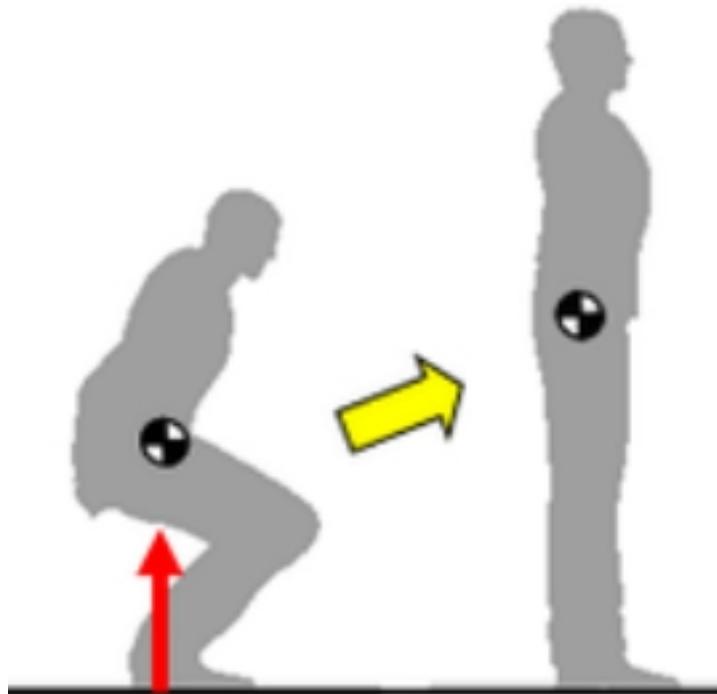
重心の性質



- ・剛体を傾くことなく支える事のできる点
- ・剛体の全質量を集めて重力が働く点



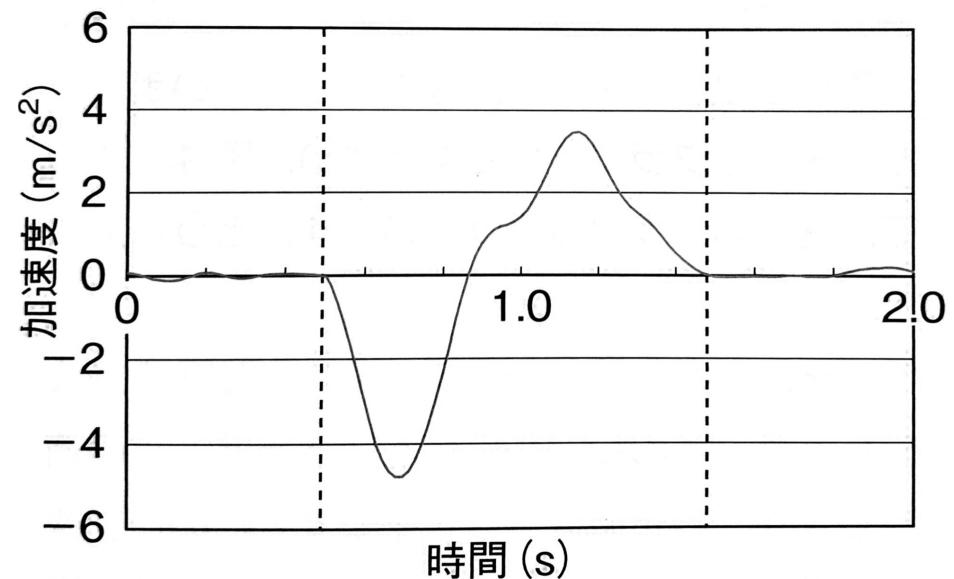
運動時の重心と加速度



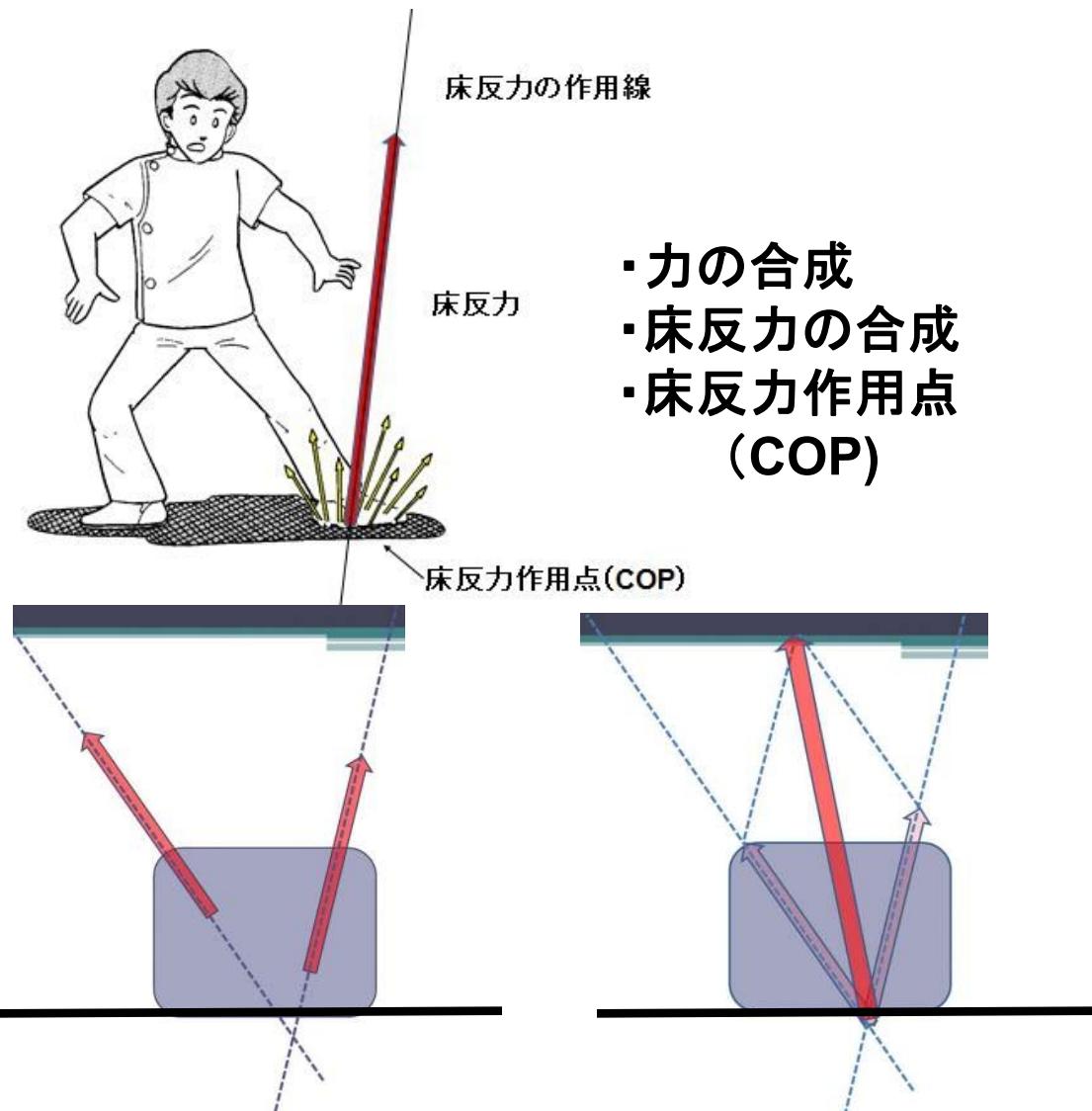
位置の時間あたりの変化量 = 速度(距離/時間)
速度の時間あたりの変化量 = 加速度(速度/時間)

グラフの傾き = 微分
グラフの面積 = 積分

座り込みの重心加速度のグラフ



重心の加速度と床反力

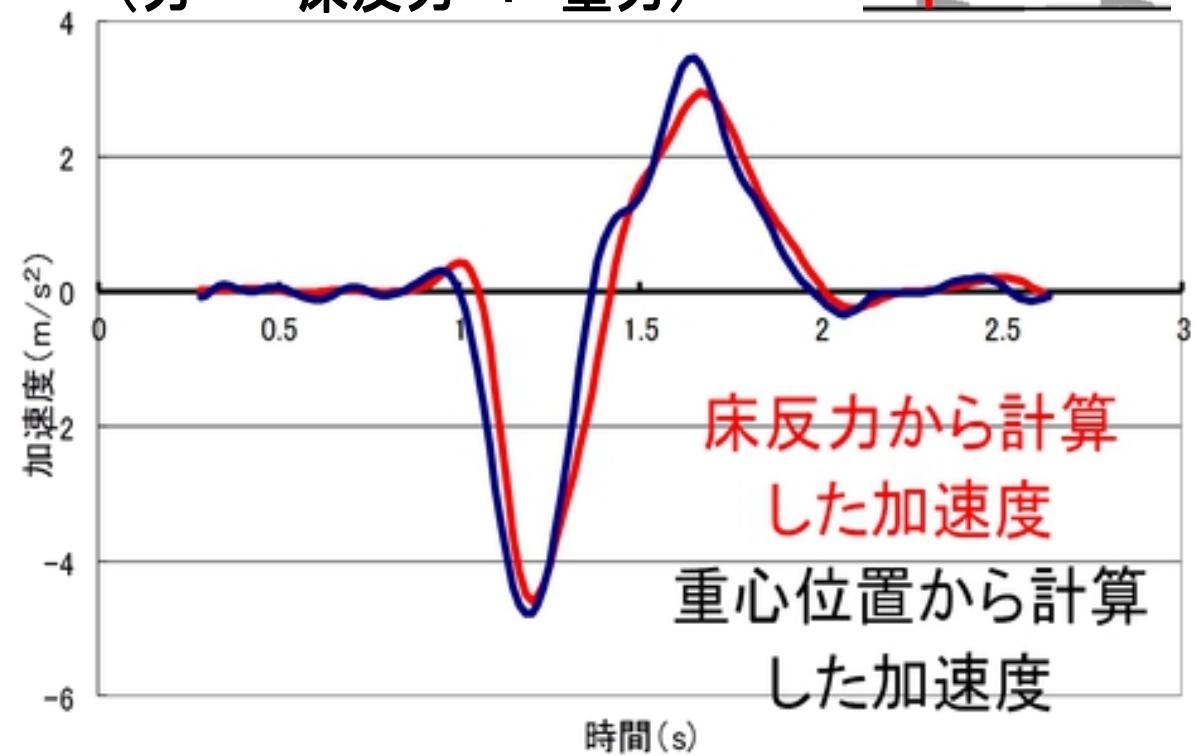
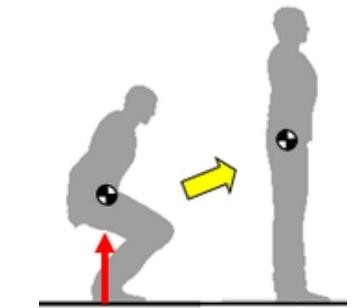


$$az = F_z/m$$

(加速度 = 力 / 質量)

$$F_z = W_z + w$$

(力 = 床反力 + 重力)

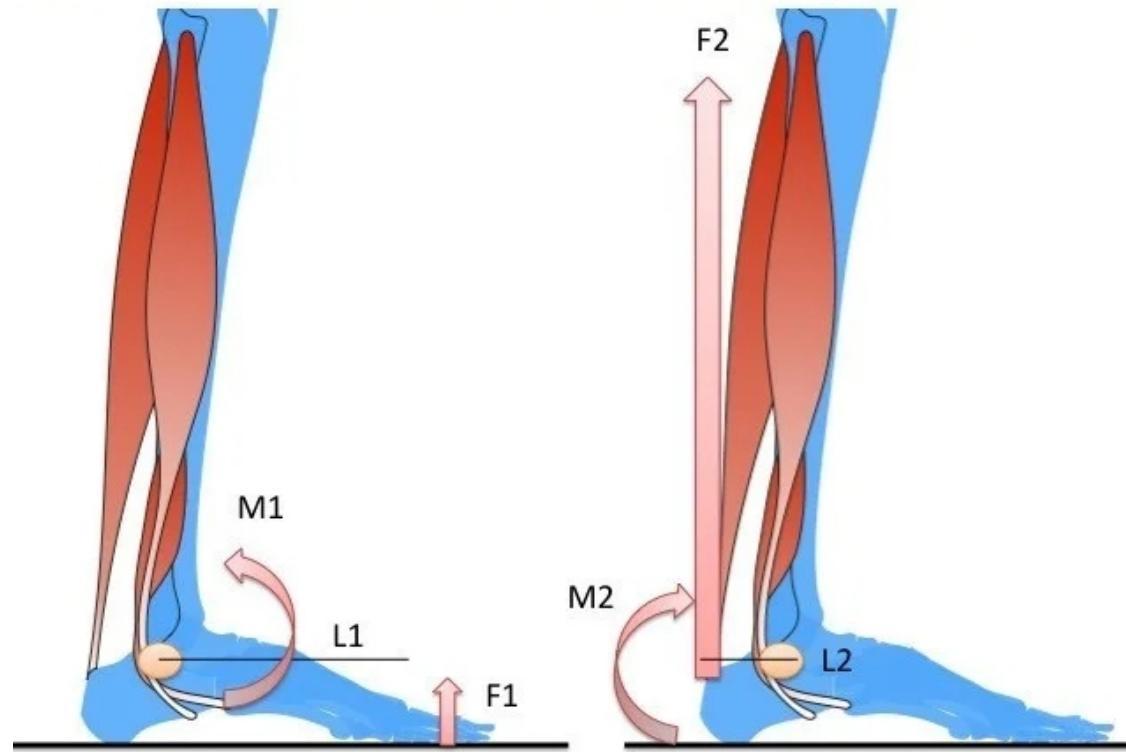


床反力から計算した加速度と重心の加速度はほぼ一致する

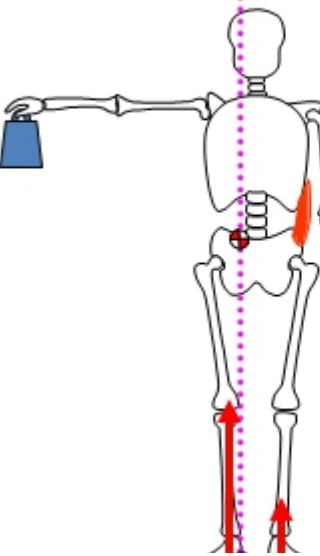
床反力とモーメント

M1:床反力モーメント
F1:床反力
L1:モーメントアーム

M2:底屈筋のモーメント
F2:底屈筋力
L2:モーメントアーム



$$\text{足関節底屈筋力によるモーメント} = \text{合成床反力による床反力}$$

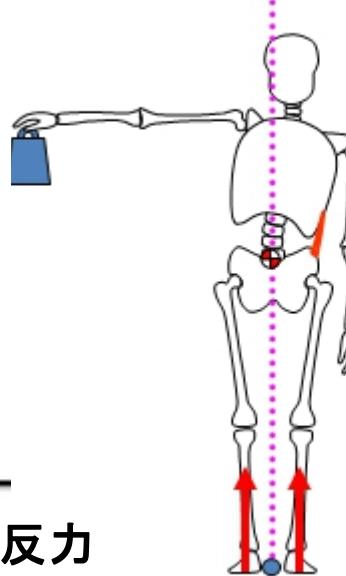


筋活動で制動する制御

身体の形を変えない

床反力作用点(COP)は変化する

どちらの戦略が有効？

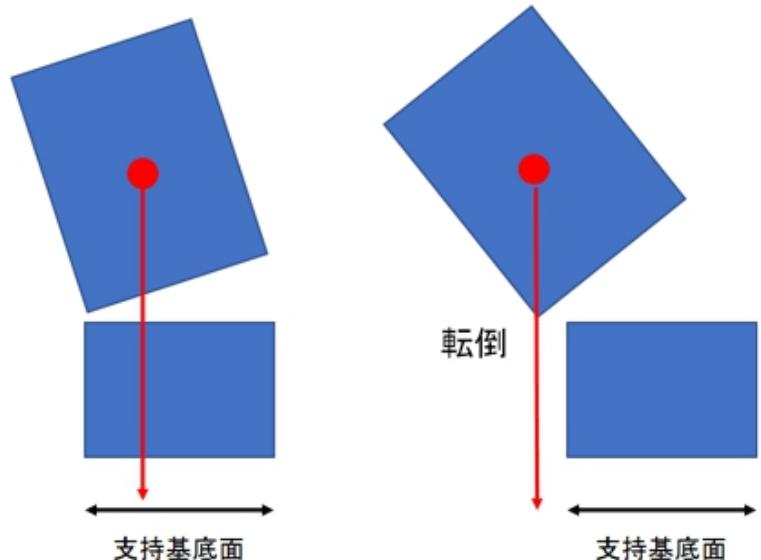


重さのつり合いの制御

身体の形を変える

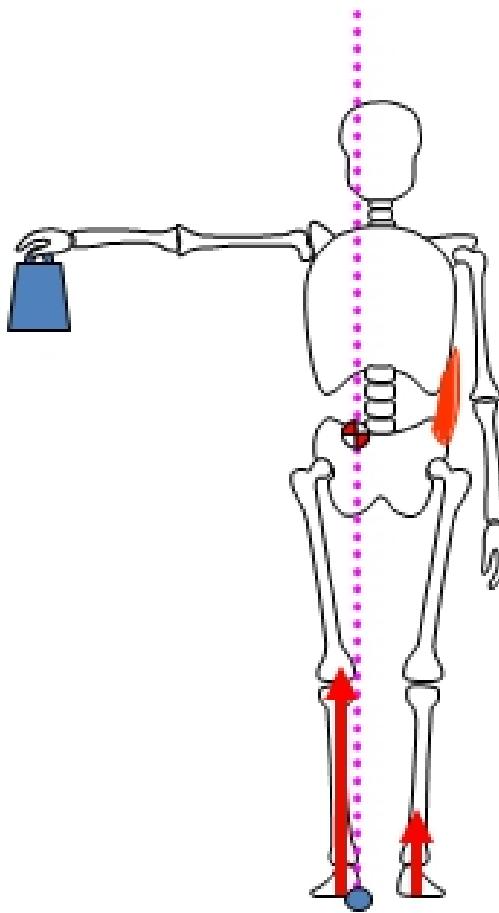
床反力作用点(COP)は変わらない

転倒と力学的指標



● 図4 なぜ転倒するのか

重心位置が支持基底面から逸脱する



バランス・姿勢保持のために

重心
関節モーメント
床反力
COP
重心加速度 など



筋力を力源として調節している

→ 重心に働く重力が、床反力作用点(COP)に働く床反力合力とつり合いが取れない

加速度センサーによる身体動揺の計測

加速度から算出した身体重心変位の妥当性の検討
—3次元動作解析装置との比較—

堀水 湧

- 歩行条件にて加速度センサーから重心変位を算出し
3次元動作解析機により計測された重心変位と比較

- 上下方向で強い相関(0.73-0.94)
- 左右方向は中等度以下の相関(0.31-0.71)を示した

スマートフォンなどの加速度センサーを利用した身体バランス
計測器の開発～その経緯と妥当性の検証～

木野田

- 立位条件にてスマホの加速度センサーから重心変位を算出し
重心動揺計で計測した軌跡長と比較する

- Pearsonの相関係数0.643(1%水準)有意

加速度センサーの位置

第三腰椎棘突起に固定(堀水)

実際の重心位置と言われる第2仙椎(芥川)
重心加速度を最も反映する第3腰椎(木野田)

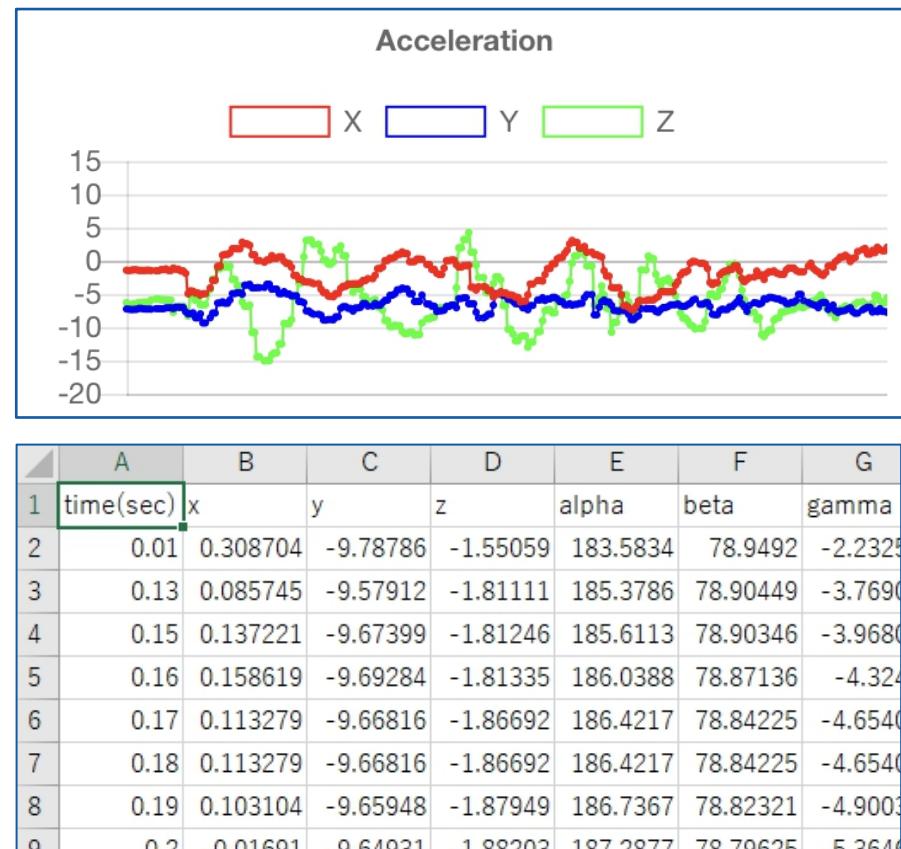
身体重心(COG) : 体重 × 重力加速度

鉛直下方にかかる力
(9.8 m/s^2)

床反力(COP) : 接触面から重心へ向かう力(反作用力)

立位条件による測定では再現性あり

加速度センサーの作製



加速度センサーの値を計測
SCVデータで出力



加速度センサー

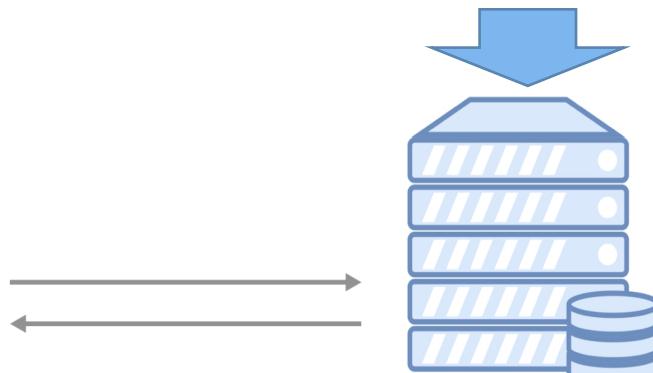


iPhone



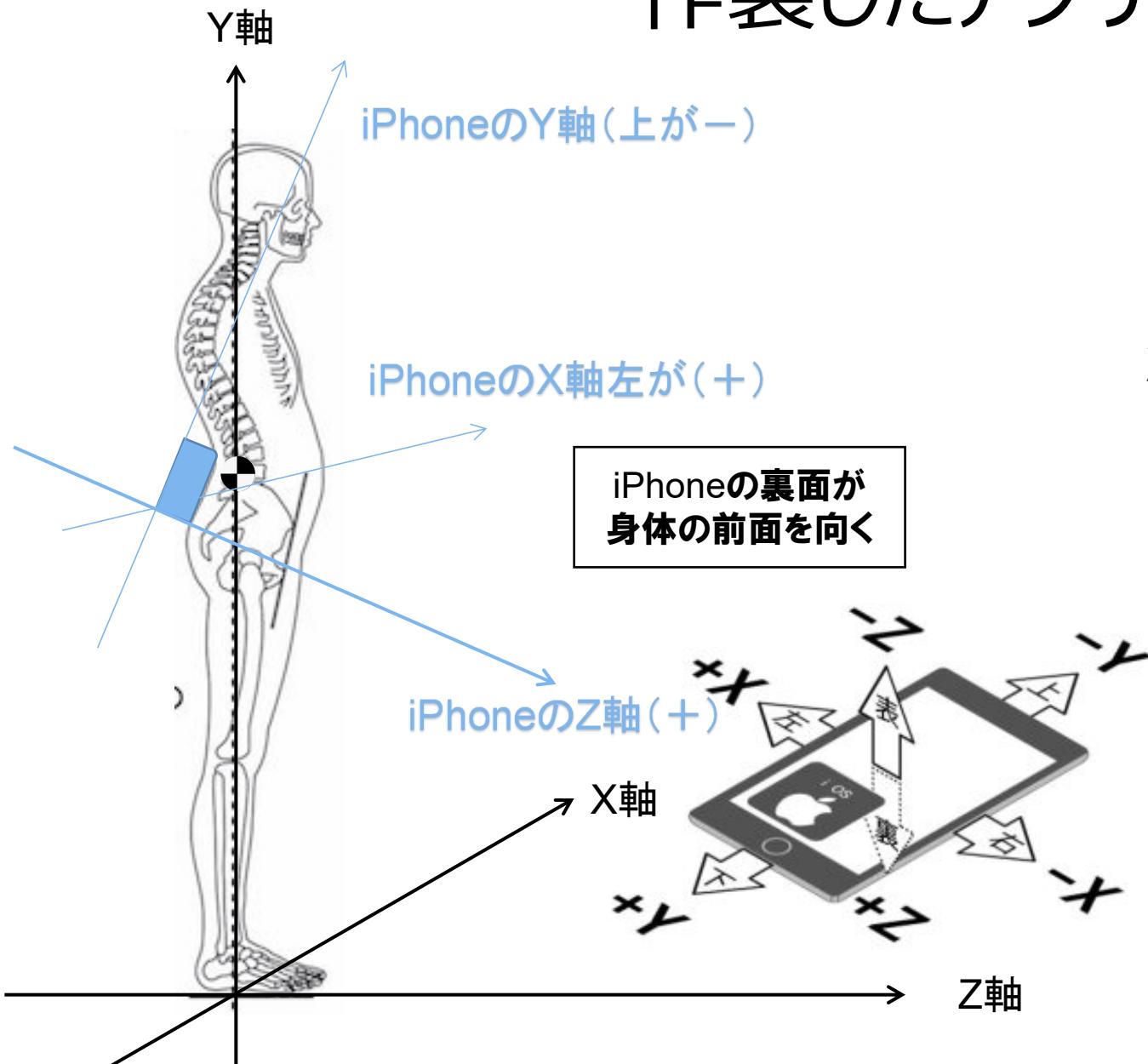
Webアプリケーション
プログラミング言語: Javascript

```
38 // デバイスモーションセンサーを起動
39 let timeArray: any[];
40 let xArry = [];
41 let yArry = [];
42 let zArry = [];
43
44 // アクセス許可を求める
45 const requestDeviceMotionPermission = function(){
46   sensor_contents.setAttribute("disabled", true);
47   // デバイスにセンサー機能が実装されているか判定
48   if (
49     DeviceMotionEvent &&
50     typeof DeviceMotionEvent.requestPermission === 'function'
51   ) {
52     // iOS 13以降はユーザーのアクセス許可が必要
53     // ボタンクリックで許可を取得
54     DeviceMotionEvent.requestPermission()
55       .then(permissionState => {
56         output.textContent = "Success";
57         if (permissionState === "granted") {
58           // devicemotionをイベントリスナーに追加
59           // 加速度センサーの起動
60           window.addEventListener('devicemotion', function(event){
61             // 重力加速度値の取得
62             x = event.accelerationIncludingGravity.x;
63             y = event.accelerationIncludingGravity.y;
64             z = event.accelerationIncludingGravity.z;
65           });
66         }
67       })
68     }
69   }
70 }
71
72 // event.accelerationIncludingGravity.x;
73 // event.accelerationIncludingGravity.y;
74 // event.accelerationIncludingGravity.z;
```



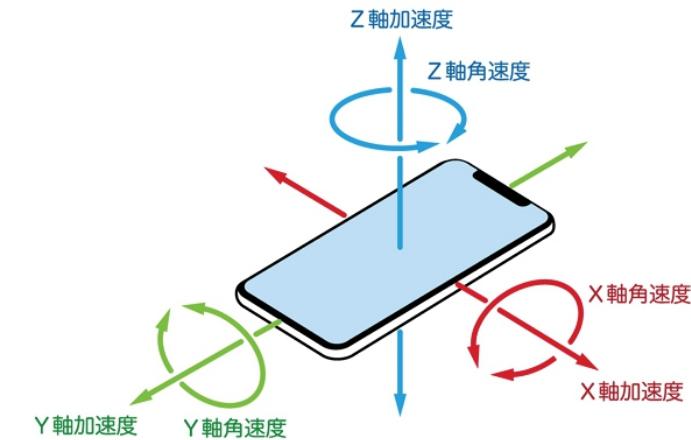
レンタルサーバ

作製したアプリの欠点



iPhoneを固定する際にiPhoneが傾く
実際の水平面、矢状面、前額面と
iPhoneのX, Y,Z方向成分が一致しない

X,Y,Zのそれぞれの成分を利用する場合
回転角度(ジャイロセンサー)で修正する必要がある



ただしX,Y,Z成分の合成値は変わらない
総軌跡長であれば修正の必要なし

次回 実際の健常者を用いた身体動搖計測