

テーマ 2：加速度センシングとデータ補正

AJG23055 牧野唯希

A. 目的

授業用資料に記載のため省略

B. 解説

授業用資料に記載のため省略

C. 使用機器

Physics toolbox sensor suite

XPERIA X Performance SO-04H

30cm 三角定規 2 個

養生テープ

Excel

D. 実験方法

a) 課題 1

x 軸のみが反応する方向にスマートフォンを手で持ち 1 メートル移動させたときの加速度データを 5 回計測した。この時、スマートフォンが回転しないように気を付けた。この結果から得られたデータにローパスフィルタを適用させて適切と思われる係数 b の値を決定した。

b) 課題 2

課題 1 で得られたデータについてどのように補正すれば、移動距離の計算結果の誤差が小さくできるかのアイデアを考えて列挙した。そしてその具体的な補正方法について検証し考察した。

c) 課題 3

スマートフォンを手に持ち x 軸 y 軸 z 軸すべてが反応する方向に手で持ったスマートフォンを 30cm 直線移動させて、加速度データを 5 回分取得した。このデータをもと

に移動距離 d の値を推定し、実際の移動距離との差分を検証した。

スマートフォンを動かす際には三角定規を養生テープを用いて固定し、 x 軸 y 軸 z 軸全てが正の方向になるように動かす向きを決めた。また、スマートフォンが回転しないように気を付けた。

E. 実験結果・考察

a) 課題 1

最初に結論から述べるが、第 8 班では係数 b の値は 0.2 であると結論付けた。

このように至った経緯を順を追って説明する。

まず、計測して得られた x 軸方向の加速度と時間をもとに距離を求めた。まず、式 1 で n 回目のサンプリング時点での速度の値を求めた。ただし I はサンプリング周期とする。

$$\sum_{k=1}^n \frac{(a_{k-1} + a_k)I}{2} \quad (1)$$

そして得られた速度から式 2 を用いて距離を求めた。

$$\sum_{k=1}^n \frac{(v_{k-1} + v_k)I}{2} \quad (2)$$

この計算から、加速度 ax 、速度 vx 、距離 L は以下の図 1-3 のように変化していることが分かった。ただし横軸は何回目のサンプリングであるかを表しており、サンプリング周期がほぼ一定であることから時間変化としてみなすこともできる。(1 回目のみ示す)

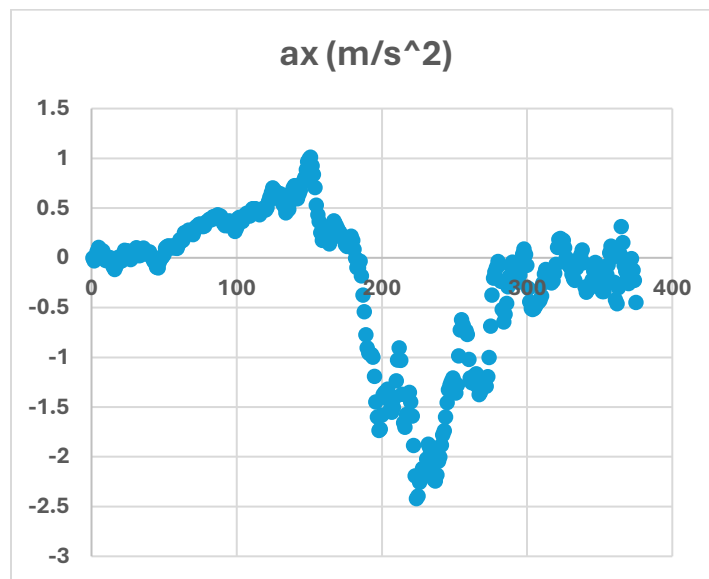


図 1x 軸方向の加速度の変化

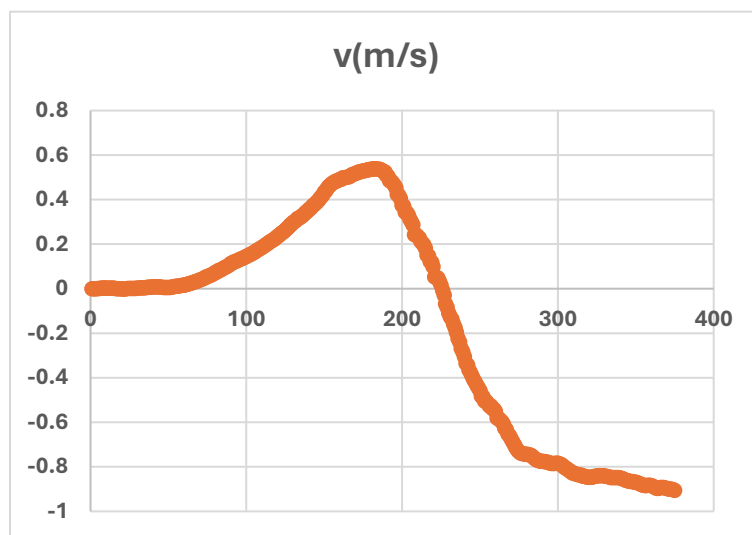


図 2x 軸方向の速度の変化

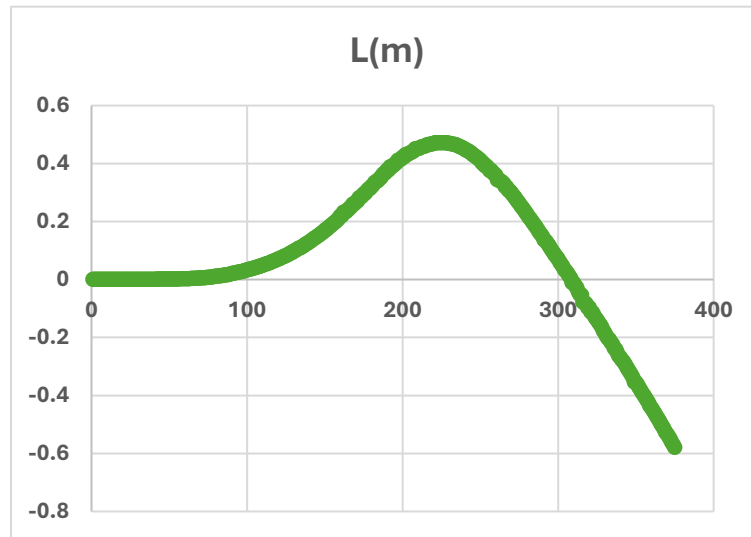


図 3x 軸方向の距離の変化

この結果から、第一回目において最終的な距離が-0.448m となり本来測定したはずの 1m から大幅にずれていることが確認できた。このようにずれが生じた原因については、負の加速度が正の加速度よりもかなり大きく計測されていることが考えられる。それによって、最終的な速度が 0 ではなく、負の値を示しており、それに伴い距離も直線的に減少している。表 1 に示すように 2 から 5 回目に関しても同様に 1m から大きくずれた結果が得られた。

表 1n 回目で計測した距離

n 回目	距離[m](補正無し)	1m からの差
1 回目	-0.448425	1.448425
2 回目	-0.235743	1.235743
3 回目	-1.167952	2.167952
4 回目	-1.545728	2.545728
5 回目	-0.578890	1.578890

次に加速度 a の値をローパスフィルタを用いて補正をすることにした。ローパスフィルタは以下の式 3 で定義する。

$$a'_n = ba_{n-1} + (1 - b)a_n \quad (3)$$

この時 a_n' が補正後の加速度であり、係数 b を 0 から 1 の間で動かすことによって、元データの影響度合いを調整する。

そこで、係数 b を 0 から 0.1 刻みで 1 まで変化させることで、1 に一番近づく値をとろうという話になった。そこで実際に計算したところ以下の図 4 のようになった。（本来 b が 1 や 0 をとることはないが、後で平均値を用いて計測するため、計算しやすいように 0 と 1 の値も含めた。）

ただし横軸が b の値で縦軸が b の値で補正した後の距離である。

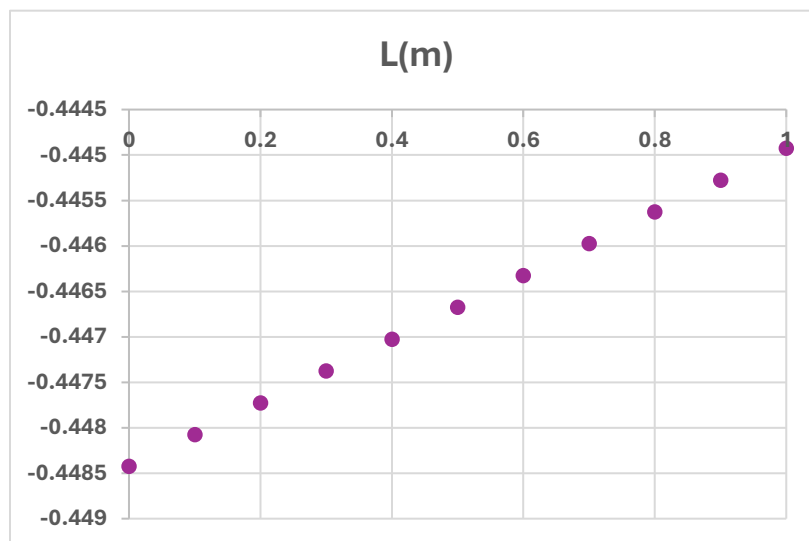


図 4b の値における距離の変化

この結果から b の値を 0 から 1 の間で変化させたとしても、補正した距離に大きな変化は現れないことが分かった。そのため、この状態で 1m に近い b の値を設定しようとするとも距離がマイナスのため全て $b=1$ の時となってしまう、検証することが出来ないと判断した。そこで先に課題 2 で行う予定の別方法の補正をかけた後で、 b の値を再検証しようという結論に至った。その結果が以下の図 5 である。この図では、後述する補正をかけたうえで b の値を変化させている。

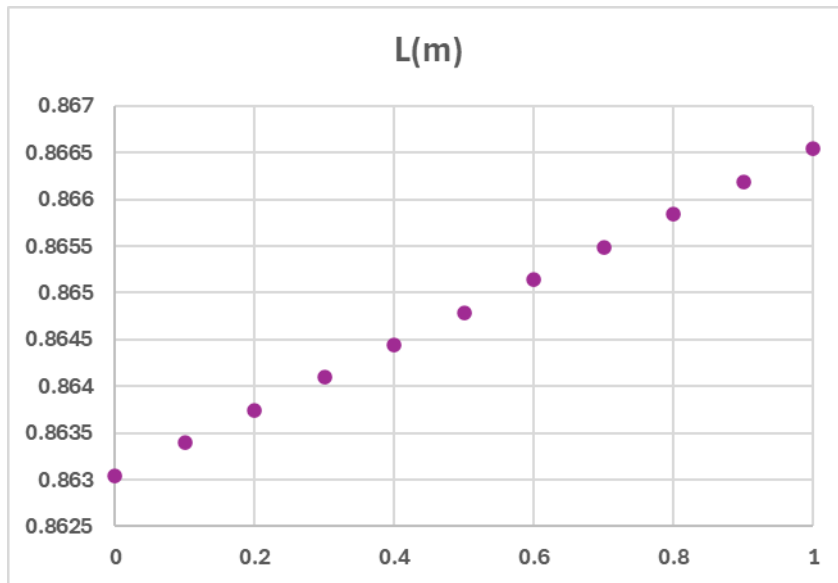


図 5b の値における距離の変化(補正済み)

この図より先ほどに比べてかなり 1m に近づいていることが分かる。他の 2 回目から 5 回目においても同じ傾向がみられた。以下図 6 以降に示す。

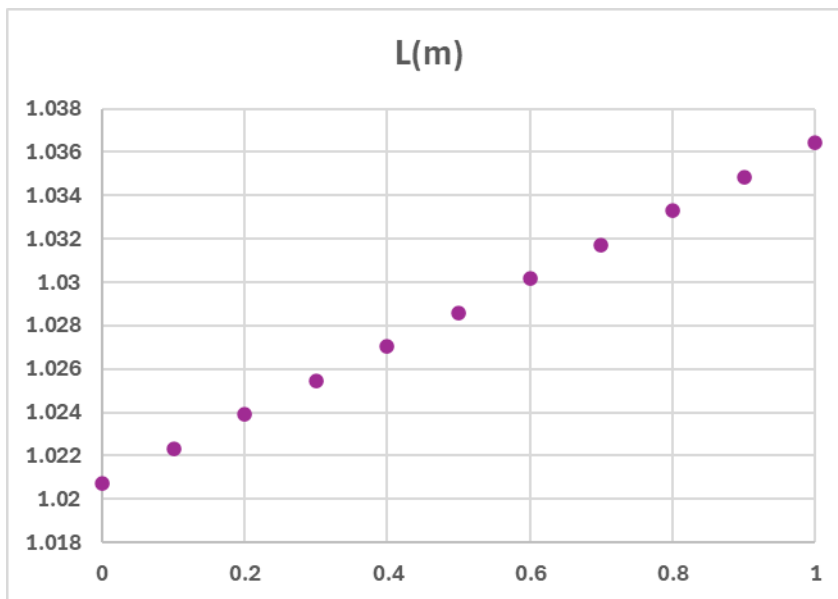


図 6b の値と距離の変化(補正済み 2 回目)

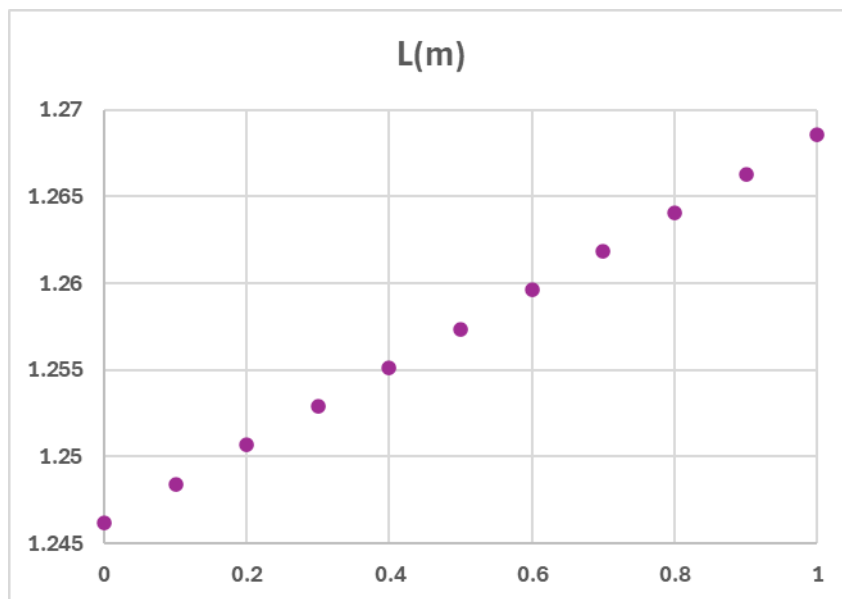


図 7b の値と距離の変化(補正済み 3 回目)

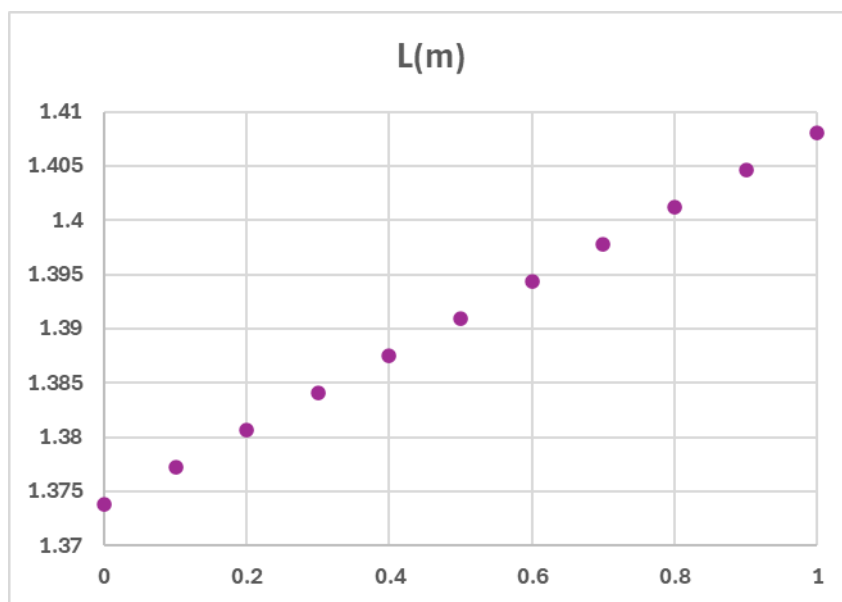


図 8b の値と距離の変化(補正済み 4 回目)

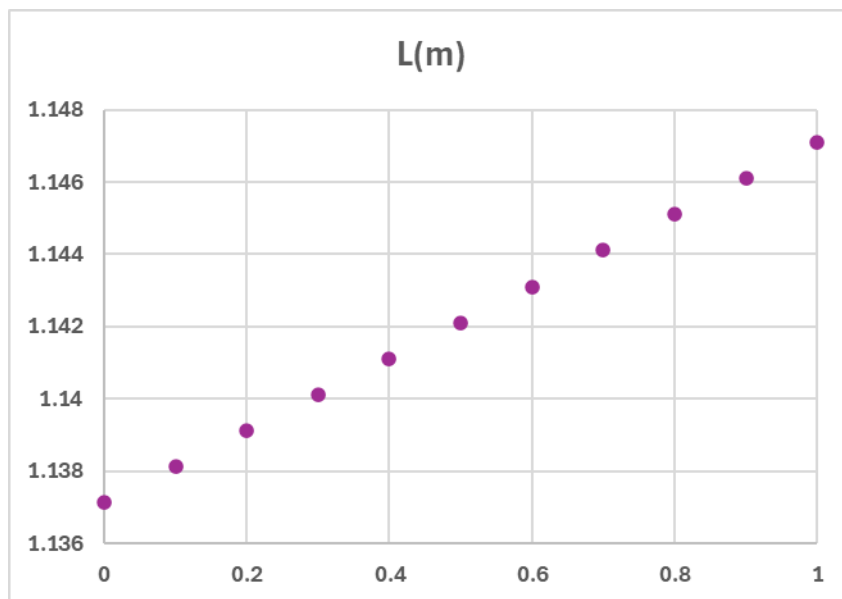


図 9b の値と距離の変化(補正済み 5 回目)

よってこの 5 回から、1 に近い b の値を求めその平均値をとると、0.2 が得られた。実験 1 において得られた距離の値を下の表 2 にまとめる。

表 2 加速度データの距離計算結果

n 回目	距離[m](補正無し)	距離[m]補正後	その時の b の値
1 回目	-0.448425	0.866543	1
2 回目	-0.235743	1.020753	0
3 回目	-1.167952	1.246209	0
4 回目	-1.545728	1.373746	0
5 回目	-0.578890	1.137123	0

しかしながら、この検証方法では元データから b の値を類推しているが、課題 2 の結果に大きく左右されていると捉えることが出来る。そのため、参考資料に記載されていた 0.8 周辺の値から大きく外れてしまい、あまり本実験においてはあまり参考にすることが出来ないと考えた。

b) 課題 2

この章では、距離を補正する方法について述べる。課題 1 でも軽く述べたが課題 1 で得られたデータが 1m から程遠い結果になった理由として、次のように考えた。

それは、加速度が負の方向のときに過剰に反応しているということだ。図 1 をみると、正方向の山と負方向の谷はほとんど同じ大きさになり積分すると 0 になるはずだが、実際には負の方向の谷が大きく表れている。そこで、すべての加速度の平均値を求め、それを全ての加速度から引くという案が出た。こうすることにより、常に加速度にかかっているバイアスを取り除くことが出来、ずれの無い値を導くことが出来ると考えた。

他には、最後の速度が停止しており 0 になるはずがマイナスになっているので、それを 0 に補正する案が出た。この案では、最終的な速度がこのスマートフォンにかかっているバイアスになるため、それを引くことで取り除くことが出来ると考えた。しかしながら最初の停止時にはその速度は検出されていなかったため、どのタイミングでバイアスが発生したのか考察するのが困難であった。

話し合いの結果、加速度の平均値を得られた加速度から引く補正方法で検証することになり、計算を行った。また、前章で述べた通り **b** の値が定まっていなかったため、**b** を 0 から 1 の間で動かしながら検証を行った。その結果、加速度、速度、距離が以下のように得られた。ただし、**b** による変化は微小なためほとんど重なって見える。(1 回目のみ示す。)

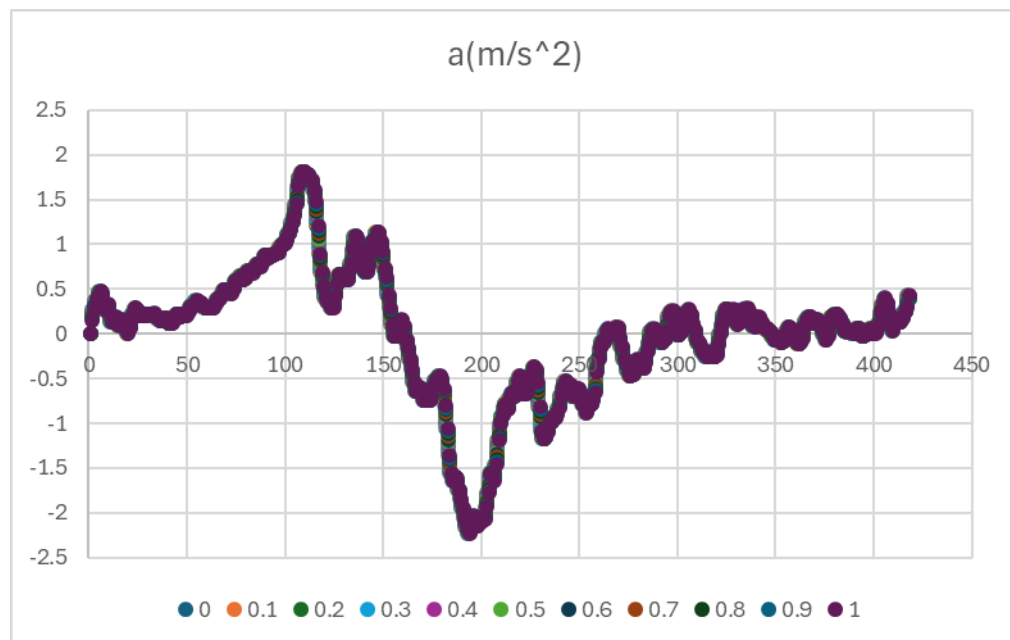


図 10x 軸方向の加速度の変化(補正済み)

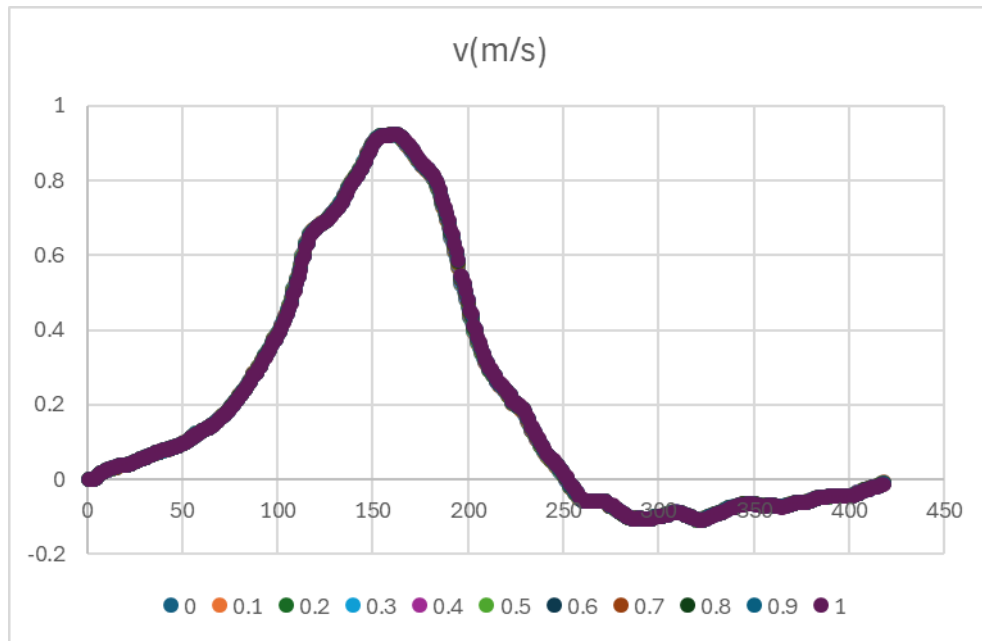


図 11x 軸方向の速度の変化(補正済み)

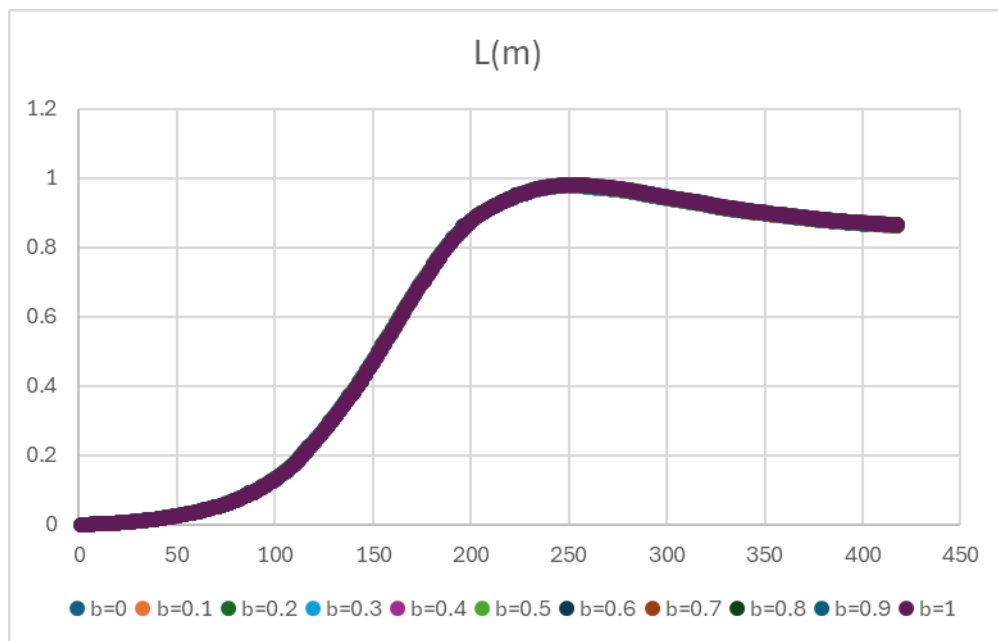


図 12x 軸方向の距離の変化(補正済み)

これらの結果と図 1 から 3 を比較すると大幅に補正がかかっていることが分かる。ま

た、速度が最終的に 0 に近い値になっていることや、距離が途中から変化して最終的に比較的横ばいになっていることも確認できる。

なお計測した結果は表 2 で記載した補正後の距離と一致するが再掲する。

表 3 加速度データの距離計算結果(再掲)

n 回目	距離[m](補正無し)	距離[m]補正後	その時の b の値
1 回目	-0.448425	0.866543	1
2 回目	-0.235743	1.020753	0
3 回目	-1.167952	1.246209	0
4 回目	-1.545728	1.373746	0
5 回目	-0.578890	1.137123	0

補正したのにも関わらず、1m から誤差が生じた要因については、スマートフォンを手で持っていたため震えてしまい誤差が生じたことや、しっかりと 1m で止まっていなかったことが考えられる。例えば図 12 で示した例だと、1 回目は瞬間的に 1m に達したものの素早く止まろうとしたために負の加速度を与えすぎてしまい、少し 1m に達していなかったなどという事態が考えられる。逆に 2 回目だとほとんど誤差がないためきっちりと止まっていたと考えられる。また、加速度の平均値を用いるうえで、最初や最後の停止時間なども平均値に含めたため、正しいバイアスを得ることが出来なかったと考えた。そのため、移動をしている時間のみを平均値の計算対象にしたり、積分値が 0 になるように計算するとより良い結果が得られそうだと感じた。

c) 課題 3

実験方法で述べたように 5 回加速度センサーを反応させ得られた結果から距離を求めた。課題 1 と同様の方法で x 軸 y 軸 z 軸方向の移動距離を求めた。その後それぞれの成分の移動距離 d_x , d_y , d_z とスマートフォンの移動距離 d について成り立つ式 4 を利用してスマートフォンの移動距離を求めた。

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2} \quad (4)$$

その結果以下のような結果が得られた。

1 回目の加速度、速度、距離について示す。

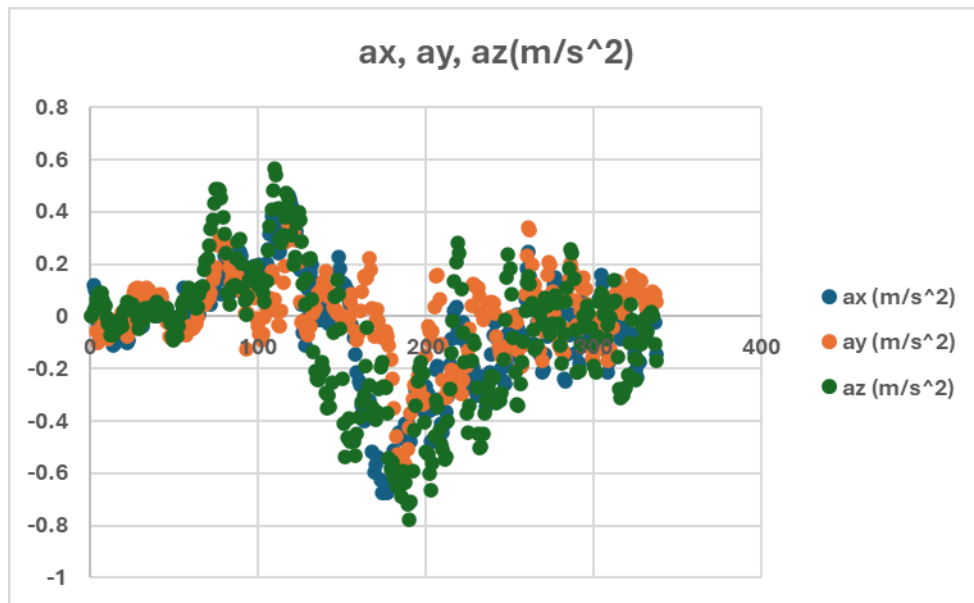


図 13 ax, ay, az の時間変化

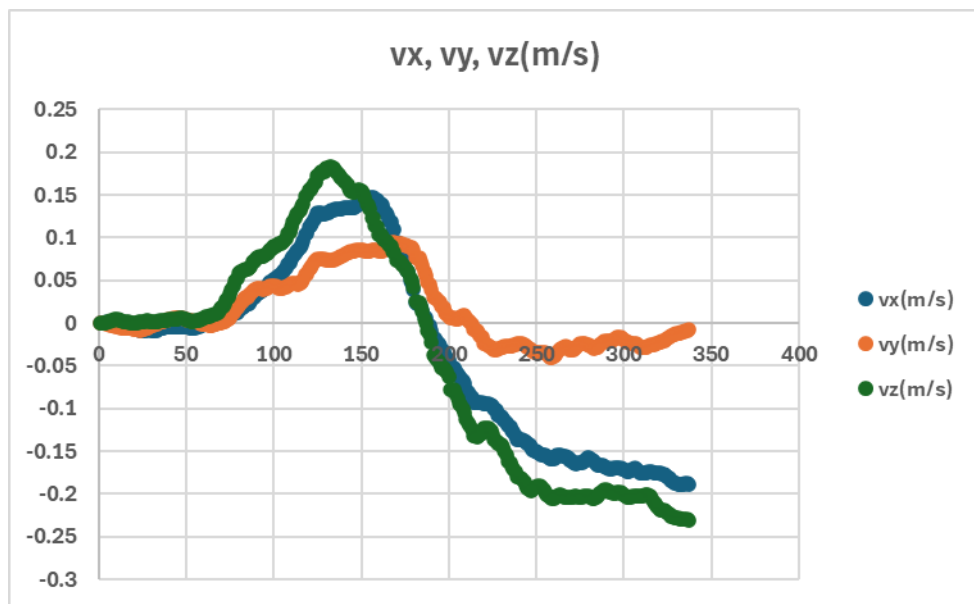


図 14 vx, vy, vz の時間変化

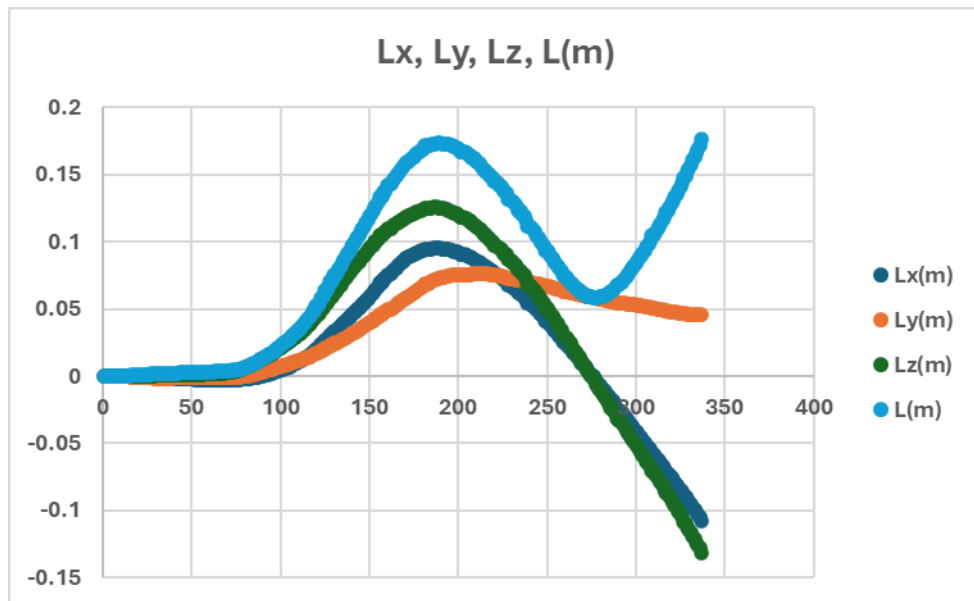


図 15 Lx, Ly, Lz, L の時間変化

この結果から、1 回目の距離は 0.176187[m]と求められた。2 から 5 回目の結果は以下の通りである。

表 4 n 回目の距離と 30cm からの差分

n 回目	距離[m](補正無し)	30cm からの差分[m]
1 回目	0.176187	0.123813
2 回目	0.158214	0.141786
3 回目	0.179169	0.120831
4 回目	0.447213	0.147213
5 回目	0.115401	0.184599

1 回目について課題 1 や課題 2 の結果と照らし合わせてみると、x 軸方向や z 軸方向において、課題 1 と同様に負の加速度が大きく検出され、その結果最終的な速度が負になり距離も減少している状態がみられる。一方 y 軸方向ではその結果が見られない。これは y 軸方向の加速度センサーは x 軸方向の加速度センサーや z 軸方向の加速度センサーと異なり比較的正常な値を検出しているといえる。

また、4 回目のみ距離が大きく検出されているが、これは下の図からもわかるように、z 軸方向の加速度が大きく検出されたために、速度や距離に影響を与えたものだと考

えられる。また、図から 4 回目ではすべての軸でバイアスがかかっていることも読み取れる。

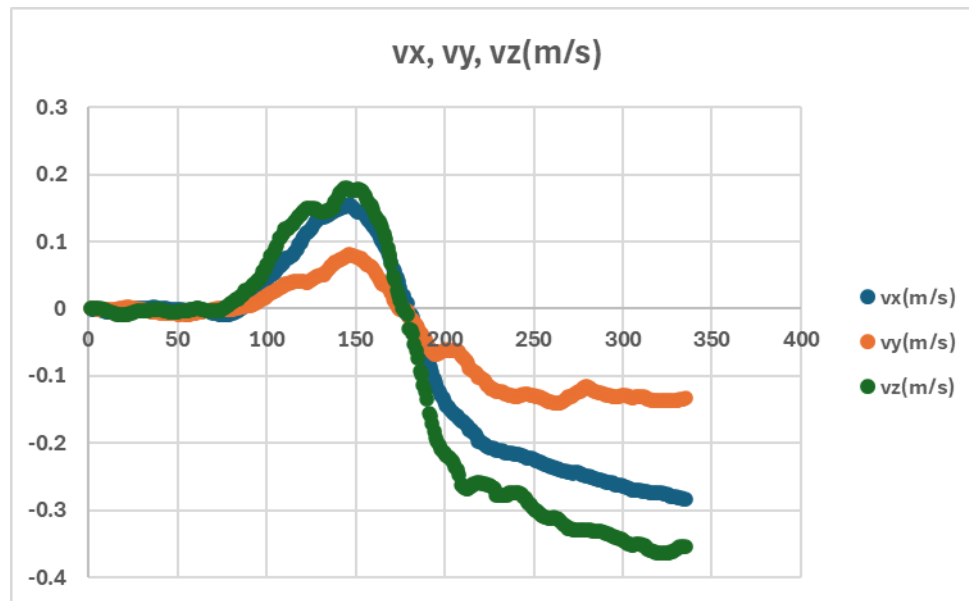


図 16 v_x, v_y, v_z の時間変化(4 回目)

そこで各軸にかかっているバイアスを取り除くためにすべての成分の加速度データに課題 2 で用いた加速度平均を差し引く方法でバイアスを取り除いた。また、課題 1 で求めた b の値については参考にならないと判断し課題 3 では用いないことにした。

補正をかけた結果が以下の通りである。ただし 1 回目のみ示す。

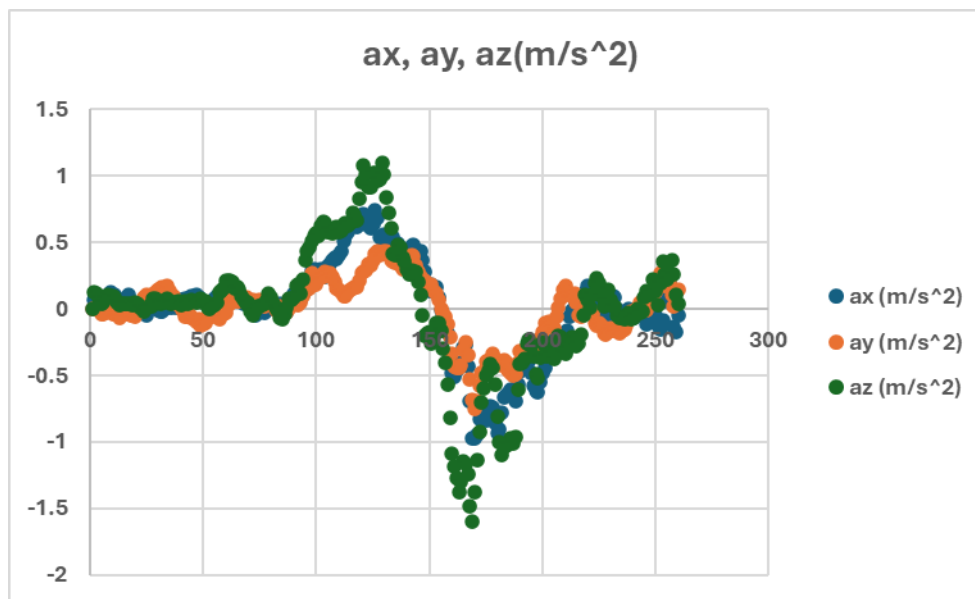


図 17 ax, ay, az の時間変化(補正済み)

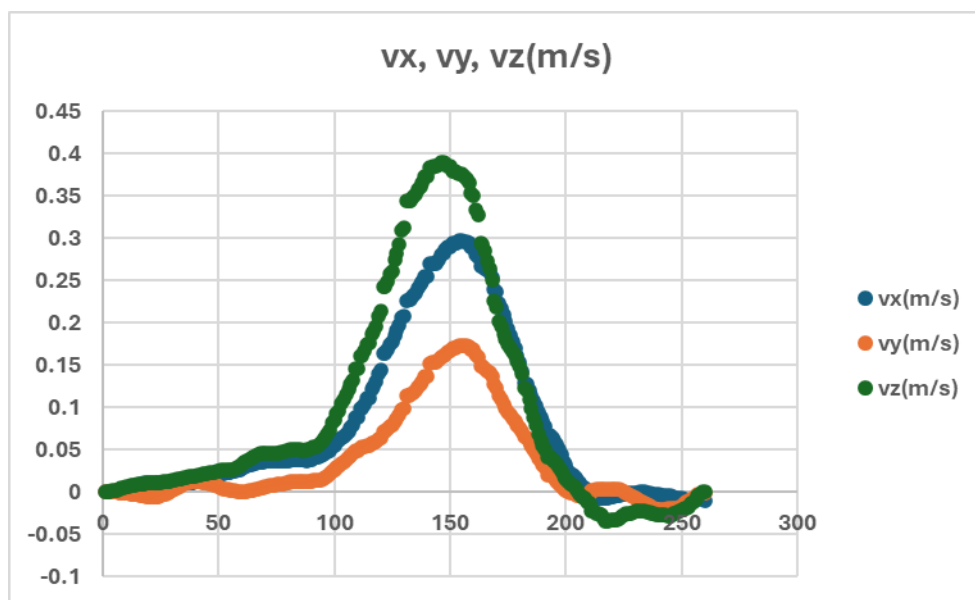


図 18 vx, vy, vz の時間変化(補正済み)

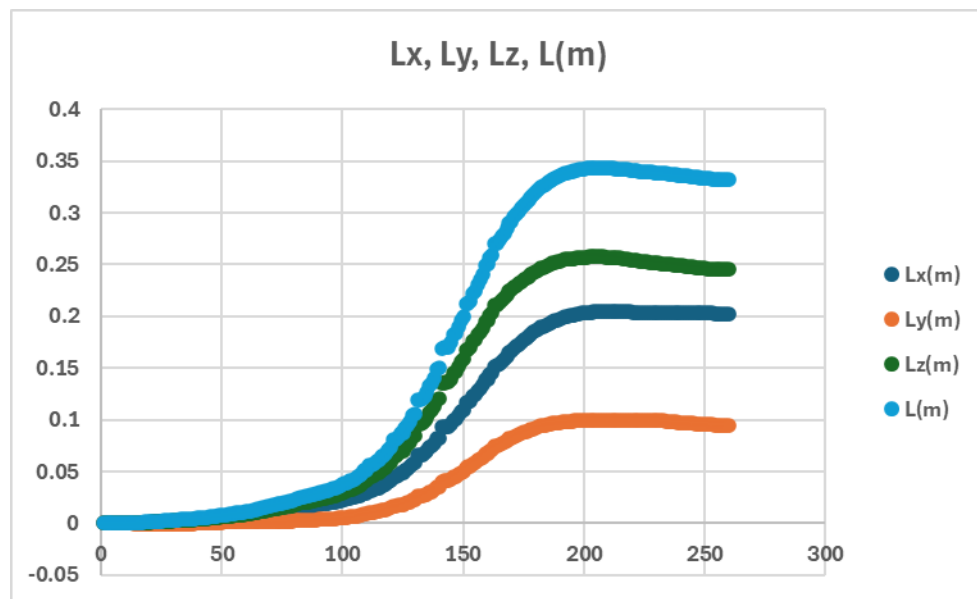


図 19 Lx, Ly, Lz, L の時間変化(補正済み)

この結果から補正後の 1 回目の距離は 0.344256 と求められた。2 回目から 5 回目の結果は以下の通りである。

表 5 n 回目の距離(補正済み)と 30cm からの差分

n 回目	距離[m](補正無し)	距離[m](補正済み)	30cm からの差[m]
1 回目	0.176187	0.344256	0.044256
2 回目	0.158214	0.468648	0.168648
3 回目	0.179169	0.340378	0.040378
4 回目	0.447213	0.346965	0.046965
5 回目	0.115401	0.331911	0.031911

この表から 2 回目のみ少し誤差が大きくなっているものの、おおむね想定の 30cm に近い値が計測されていることが分かる。また、5 回分の平均値をとることで、最終的な距離の推定値は、0.366432[m]と求められた。誤差が生じた要因として、課題 1・課題 2 同様にスマートフォンを手で持って動かしたこと、加速度センサーが負の加速度を大きく検知したこと、加速度の平均値を求める際に止まっている部分も計算に考慮したことが挙げられる。そのほかに、三角定規を設置する際にスマートフォンに厚みがあったため、高さをきっちり合わせることが出来ず、その分を人の手で調整したために誤差が生じたと考えられる。

F. 参考文献

勝間 亮. テーマ 2：加速度センシングとデータ補正. 2025