

加速度をめぐって

岩手県立花巻北高等学校 宮本次郎

1. はじめに

私は数学の教員である。「少年少女数学愛好会」の生徒たちと行った実験をとおして、速度や加速度という量について考えさせられた。数学教育協議会の大会や少年少女数学愛好会の数学研究報告集である冊子「取れたての定理です」で発表したものを見て下さった編集部から、この場で紹介するように注文があった。一数学教員の速度・加速度にまつわる実験で感じたことを紹介する。

2. 速度・加速度という量

高校に入学したての生徒たちに、これまでの数学の勉強の中で最も嫌いな物は何かと問うと、ほとんどの生徒が「関数」をあげる。中学や高校の数学教員の長年の実践によれば、その関数教育のむずかしさの一つの要因が小学校高学年の内包量にありそうだとということになっている。

自分の授業を振り返るとき、数学を不得意とする生徒たちは「時間の関数」をむずかしいと考える傾向にあると感じる。そしていつのまにか生徒たちと一緒に考える関数の例として、もっと目で見ていることのできるものを探している。そうして、生徒も私も「時間の関数」や「速度」や「加速度」とは疎遠になっていくのかもしれない。

20年前の教員になりたての頃、当時の数学の「微分法」で、微分係数の定義を、ファインマンの物理学の教科書にある小話ではじめた。平均変化率・極限などの定義を積み上げていってなんとか「微分する」まで終わった時に、生徒は「何が微分で何をやっているのかわからない」とか「微分するとどうして速度になるの」という感想を書いてくれた。自動車に乗れば速度計があって、肌で感じる速度の感覚が身につけており、どうしてこんなに苦労して定義しなければならないのか、割り切れない思いが残った。

同じ頃、数学セミナーに載った小沢健一先生の推理小説風教材「暴走の死角」が非常にうまくできていると感動した。斜面を滑り降りるスキーマの瞬間

の速度」が、途中分かれ道で水平方向に滑りはじめるときの速度を「ほら、これだよ」と手で触れるような感覚で示してくれた。身近に見ることのできる現象を使って切り取って見せることの素晴らしさに舌を巻いた。

今から10年ぐらい前には足立久美子先生の新幹線のビュッフェにある速度計を使った実践が数学にセミナーに載った。あるとき私も新幹線に乗って新花巻駅から上野駅までの約3時間を15秒おきに速度計の表示を記録してきた。このデータを積分して新幹線が走った距離を求めるという作業を生徒にやってもらった。

3. 速度と距離の実験(1)

新幹線のビュッフェにある速度計の表示を15秒間隔で記録し、それを積分して距離を求めた。生徒にとっては、1秒間4個で3時間で720個のデータを使って面積を計算していく作業は大変だったはずであるが、はまってしまう生徒もいて、盛岡～東京間を10秒間隔のデータを探ってきてくれたり、その生徒の友達は、別の高校に通っていたのであるが、

駅	本当の値	Data A	Data B	Data C
東京～上野	3.9			3.9
上野～大宮	27.7	27.4	27.0	27.4
大宮～宇都宮	77.7	77.4	77.2	182.8
宇都宮～郡山	104.9	104.8	104.5	
郡山～福島	41.2	41.1	40.5	111.4
福島～仙台	70.3	70.1	69.8	
仙台～古川	38.4	38.4	38.2	
古川～栗駒高原	21.9	21.8	21.3	
栗駒高原～一関	20.6	20.6	20.5	
一関～水沢江刺	25.0	25.1	24.9	171.2
水沢江刺～北上	17.3	16.6	17.3	
北上～新花巻	14.5	14.5	14.4	
新花巻～盛岡	33.4		33.1	
上野～新花巻	459.5	458.2	455.6	
上野～盛岡	492.9		488.7	492.8

表1 各駅間の距離

同じく盛岡～東京間を5秒間隔のデータを探ってきてくれたりした。さらに、JRに勤める、ある生徒の父親の耳に入り、本当の距離を教えてくれたりした(表1)。

4. 加速時計の製作

同僚である物理の先生が「デジタル加速度計」を作ってくれてくれた。昔やった新幹線での実験を思い出して、この加速度計を用いて同じような実験ができるかもしれないと思った。さっそく秋葉原の秋月電子で加速度計キットを買ってきた。製作に難しい点はなく、私にもなんとか組み立てることができた。

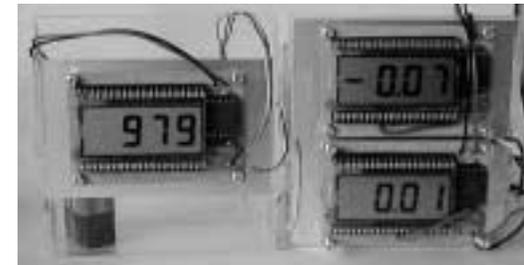


図1 デジタル加速度計

5. 予備実験

5-1. 自動車に乗って

乗用車に生徒を乗せて加速度を測定をした。刻々と変化する表示をビデオカメラで録画して、後でビデオを再生しながら値を読み取ることにした。加速度計は、おおむねそれらしい値を出してはいた。このような実験をするには、普通乗用車は小さすぎ、そもそも加速度計を水平に設定することが難しかった。得られるデータの検証のためには速度計の表示も同時に記録しなければならないが、これには複数のビデオカメラが必要となった。

おおまかな実験の結果、加速度計が示す値が、自動車の速度計から計算する加速度よりも少々大きめな値が出るのがわかった。そこで、その示す値が実際の加速度を示しているのかどうか確かめるため、今度は電車に乗って測定しようとした。電車の運転席にある速度計を撮影しようと思ったのだが、運転手からは規則によって撮影を禁止され、速度計のデータとの比較はできずに終わった。



図2 東北本線の電車の中で

5-2. 新幹線に乗って

加速度計から得られるデータを確かめるために、新幹線のビュッフェで測定することにした。



図3 東北新幹線のビュッフェにて

図3のようにセットして、速度計と加速度計の表示を録画していく。このようにして、加速度計の表示が一定となるとき、速度計から計算した加速度と、加速度計の表示との相関をしらべた。次のようなグラフが得られた。こうして得られた相関から、加速度計の表示を換算して「加速度」とすることにした。

このようにしてデータを補正し、その結果を積分してみた。加速度データを積分して得た速度と、ビュッフェの速度計の示す値をグラフにすると、次のようになる(図6 東北新幹線、盛岡駅～新花巻駅間)。

速度計 km/h	速度変動 (km/h)/s	加速度計 の表示	備考
44	8	0.55	
52	1	0.56	
53	3	0.59	
56	1	0.60	
57	1	0.58	3秒間で 5km/h増加
58	2	0.56	
60	2	0.56	1秒間で 0.46m/s増加
62	1	0.56	
63	1	0.56	
64	2	0.02	
66	3	0.55	
69	1	0.61	
70	1	0.59	
71	2	0.56	
73	1	0.59	
74	2	0.54	3秒間で 5km/h増加
76	2	0.54	
78	1	0.52	1秒間で 0.46m/s増加
79	2	0.52	
81	0	0.59	
81	3	0.52	
84	1	0.56	
78		...	

表2 速度計と加速時計の表示

6. 生徒実験

以上のような予備実験をもとに、修学旅行中の新幹線の中で、生徒たちが実験することになった。加速度計の製作からデータの処理までをすっかり生徒に任せることにした。最後のデータの処理までうまくいった。



図5 新幹線ビュッフェで実験中

ビデオテープを再生して1秒ごとにデータを読み取っていく作業は非常に辛い作業であった。辛い作業のなかで、速度計の表示が増加するちょっと前に

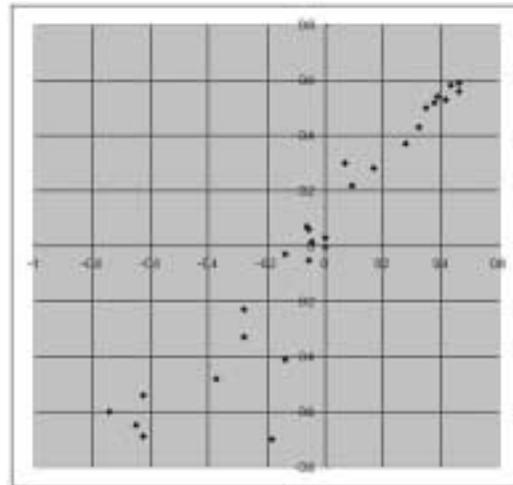


図4 加速度計表示と加速度の相関

加速度計の表示があがるという「加速度感覚」は、この辛い作業を通してはじめて体験できた。新幹線は、ある区間で所定の速度になるように、一定の加速をするようだ。

7. 速度と距離の実験(2)

小学校で初めて内包量を考える場面では、電車の混み具合だとか、畑に種をまく場面において、「どこでも均等だと仮定」した上で考えている。速度の場合で考えると一定の速さで動くとは仮定するのだ。このとき、時間と移動距離が比例関係にあり、その比例定数が速度ということである。そこで、人工的にこの速度一定の状態を作りだして実験してみようと思った。

高速道路の中央分離帯には、高速道路起点からの距離を表す標識が立っている。1kmごとに緑の地に白い数字がかかれたものがあり、それよりもやや小さい白い地に小数点第1位まで書かれた標識が100mごとにある。

自動車の速度計を見ながら 70km/h, 80km/h, 90km/h, 100km/h の各速度で一定速度になるように注意して運転し、このとき、窓の外に流れる上記標識が通過する時刻を記録していくという実験を行った。この実験でも窓の外の景色をビデオカメラで撮影し、後でそれを再生しながら各標識を通過する時刻を画面のカウンターから読み取るのである。

ビデオを再生しながら標識が来るたびにポーズボタンを押して画面のカウンターの値を読み取って記

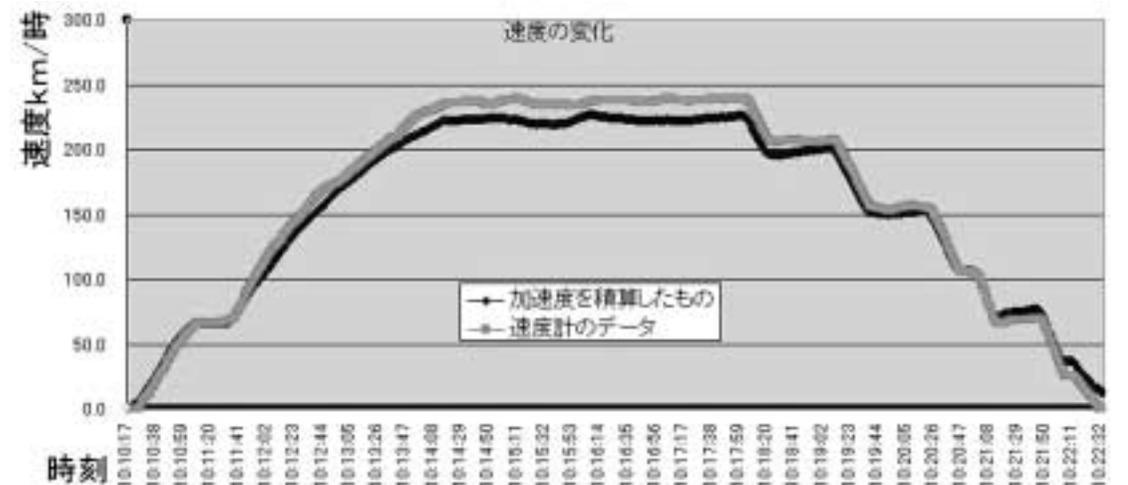


図6 加速度計データの積分と速度

録していくという単調な作業の繰り返しの中で、「次の標識を通過するのは5秒後だな・・・」とか「2分間で2400m走ったから、4分で4800m、一時間だと・・・72kmかあ・・・すると時速72km/h・・・変だなあ・・・80km/hのはずなのに・・・」などと考えながら作業していた。そうして、ああ、こういう状態が「速度一定」なのだ、と納得してしまった。

データを整理する中でビデオの画面の中での納得というものもあるのだ。生の実験現場では、こんなことを考える間もないまま、どんどん事態は進行してしまうものだ。「時間と移動距離の比例」という当たり前の関係をこういうように感性的に体験することができた。

ところでこの実験の副産物として、自動車の速度計が1割ほど遅めの速度を示しているということがわかった。最初に加速度計が大きめの値を出していたことが説明できた。

8. 理解と実験と納得

私の「実験」に対する思いと、理科の先生の「実験」に対する思いは、おそらく異なっているのではないだろうか少し心配している。数学を学ぶ上で、証明を理解し、計算ができたとしても、それが本当に自分のものとなるためには、もう少し感性的な体験をして自分なりの意味を付加していかないとならないと思っている。それが私にとっての「実験」なのである。