目 次

1　まえがき

力学とは物理の基本であるにも関わらず、また最初に物理を嫌いにしてしまう大きな壁です。私の高校生のとき、先生から「最初の中間テストは誰でも 100 点取れる」と言われていたにも関わらず（しかもそこそこに勉強はしてました）、70 点程度でショックを受けた記憶があります。

高校 3 年生のとき、あまりにも授業がつまらなくて授業で渡された参考書の答えの周りに小説を書いては周りの友達に見せ、反応をうかがい皆の予想を聞きながら、そうでない方向へ話を進めていくという私にとっては楽しい創作の時間になっていました。

そんなことをしてては当然成績が上がるはずもありません。5 月の模擬テストの偏差値が 47 くらいだったのにショックを受け（実際は他の教科も散々なものでしたが…）、本屋へ行き「標準問題精講」という前田和貞先生が書かれている問題集を買ってみました（今思うと何故コレを買ったかが疑問なんですが、そのとき、妙に惹かれたんですね。現在の標準問題精講は別の著者が書かれているようです）

コレ、びっくりするんですよ…。今思ってもまったく「標準」ではない！驚くほどのハイレベルな問題ばっかりで、正直全く手が出なかったんです。でも、私はその解法を丸暗記したんです。何故かその解法が分かり易い気がしたんですね。そうしたら、1 月後のテストから偏差値が異常に上昇したのです。

ただ、正直な話、誰もがこの方法で成績が上がるわけではありませんし、当然「標準問題精講」をお薦めは出来ません。なぜならあくまでそれら（難系）の参考書は、国語力があり、原理を読み解く力があり、精神力がある人でなければ理解できないからです。

ちょっとここらで昔話をしたいと思います。私が大学生だったころ、ある高校生の家庭教師をやっていました。中高一貫校に通うその生徒は 150 人中、140 番程度ととんでもない位置にいた子でした。授業を始めてすぐに気付いたことは、この子は全く勉強をする習慣がついていないということです。そこでまずは 1 週間の間に 15 分程度で出来る宿題を出して、やってくれれば褒める…という行程を経ながら徐々に宿題を増やしていき、3ヶ月後には 1 日 5 時間やらないと終わらないような宿題を出したのです。その内容はとにかく問題とその解答を暗記するというものでした。

宿題の量が 1 日 5 時間程度の量になったころ、学校の成績は 10 番内に入る程度まで上昇していました。校外模試でも平均偏差値が 60 をちょっと超える程度まで上昇していたのです。そこで私は自分の経験から、この勉強方法を後半年続けたら恐らく偏差値は 70 を楽々突破するだろうと思っていたのです。しかし、そううまくはいかなかったのです…。

半年続けても成績はずっと現状維持のまま。模試の偏差値もずっと現状維持…。「どういうことなんだろう？以前よりも相当問題数もこなしたし、もう 70 超えてもいい頃なのに…」

何が悪いかわからなかったある日、その子の隣に座って数学の問題を一緒に解いてみることにしました（問題自身は以前教えたものを応用するタイプのものです）。いつもは「解らない」と言われると、すぐに解き方を教えていたのですが、その日はその子がどう考えるかをしっかりと見極めようとしたのです。

私　:「じゃあ、この問題を解いてみてくれる？」
生徒:「………解りません。」
私　:「…ん？まぁ解らないって言っても最低何かの公式が思いついたり、以前解いたものとどこが似てるとかそういう思いとかはあるよね？何か立式できるでしょ？書いてごらん。正解じゃなくていいから…」
生徒:「ん～…」（10 分ほど白紙）
私　:「…えっ!?…いや、何も思いつかないわけはないでしょ？」
生徒:「いえ、何も思いつきません」

驚きでした。いや…本当に…。正直な話、その子が悩んで全く（本当に全く）手が出なかったその問題は、その前の週にやった問題の質問形式をちょっと変えただけで、言ってる内容は全く同じだったのです。そして当然その子はその問題を毎日 1 回ずつノートに解いていたのです（そういう宿題を出していました）。だから手が出ないなんてことは私からしたら、到底あり得るはずがなかったのです。しかし現実にその現象が眼前に広がっている…、わけが解らなくなった私はとりあえず先週と同じ系統の問題を出しました。そうすると完答は出来ませんでしたが、どうやら手は動くようです…。

帰宅途中のバイクの上で、ずっと悩んでいました。自分だったら形を変えられても同系統の問題ならすべて解けるようになってたのに、何故あの子は出題形式まで同じでなければ解けなかったのだろう？自分には出来てあの子には出来てないことは何なんだろう？

大学の授業の合間も、他のバイトをやっている間もずっとそのことだけを考え、考え…。そんなある日、普段自分が勉強するときにやっていること、当たり前だと思っていることを色々考えてみたら、一つの考えが浮かんだんです。

それが「問題中の原理または普遍性の抽出」だったのです。自分自身がたくさんの問題演習を中心に勉強して、それによって成績が上がっていたので、たくさん問題を解くことによって成績が上がっていたと勘違いしていましたが（正確には正しいのですが…）、実際はたくさん問題をこなすことにより、その同系統の問題に流れる原理または普遍性を見出し、それを他の問題に当てはめていたからこそ成績が上がっていたのです。

そして、次の家庭教師の日に確かめてみましたが、やはりその子は全ての問題をただ暗記していただけだったのです。ショックでした。ただ暗記して、つながりを探さないそういう勉強の仕方をやる子がいるということにです。そして思ったのです。学校の先生ってそういえば「どうしてこの公式はこのような形になっているのか」「どうしてこの問題はこのように考えて解いたのか」ということを、覚えることとして教えていたなぁ…と（少なくとも私の先生は…）。先生方はきっと「原理抽出型」の人間なのだろうと。だから意味はいいから覚えてたくさん問題を解けとおっしゃっていたのだろうと。そしてたくさんの問題をやることによって成績が上がっている現在の学校の教育制度における優秀とされる皆もきっと同じように「原理抽出型」の人間なのだろうと…。

しかし見方を変えると、逆に今の学校の教育制度において劣等生とされている生徒は「教え方」、「考え方」、「見方」さえ変えればもしかすると…という考えに行き着くのにそう時間は必要ありませんでした。

それを実行することは、正直簡単なことではありません。実際、このような考えに至った大学院生の時分

に、同じ研究室の友人とこのことについて話したのですが、その友人からは「誰だってそういうことは考え付くし、そしてそれが現実に実現することが不可能だから教育が今の形態なんだよ！」と言われました。確かに…。

彼らは頭が良かった。私の友人たちは本当に出来が良かったので、きっと与えられた公式をすんなり利用出来たし、応用も出来たのでしょう。しかし私はもともと文系と言われた人間だったので、恐ろしく出来る理系の連中と、「理系」として張り合うためにはどうしても「原理」を抽出し、「想像力」によってそれを膨らませ、「意味」を与え、「納得」しなければ先に進めなかったタイプの人間だったのです。そして折角苦労して手に入れた数々の知識を独り占めしておくのもどうかと思い、本当は出来るはずなのに、教育システムにつぶされそうな人の役に立てば…と、忙しい仕事の合間を縫って、Web 上に私の目で見た学問の世界を公開しようと思ったわけです。

「教え方・考え方・見方を変えることはできない」と言ってくれた友人に感謝です。私の反骨精神はそういう「既成概念は崩せない」といったタイプの言動により激しく燃え上がるからです。

昔話が少々過ぎましたか…。では、F_Master による物理の世界へようこそ！

2 力学

まえがきにも書きましたが、力学とは物理の基本です。しかし、もう既にここでつまづく人がどれだけ多いことか…。その原因は何と言っても公式の丸暗記にあります。公式を丸暗記しただけでどうにかなる教科ではありません。

物理は公式が少ない教科だと言われますよね？さらには覚えることも他の「化学」「生物」「地学」と比較しても圧倒的に少ないですし、正確には全教科を見て、最も簡単な教科だと思います。一度覚えてしまえば、忘れることもほとんどありません。しかし、どうして多くの人から敬遠されるのでしょう？

それは、その多くの人が「公式暗記」に走るからです。その多くの人はきっと他の理系教科もできないのでしょう。なぜなら、もう高校レベルの理系教科は暗記ではどうにもならないからです。もし、皆さんが軽く偏差値 70（勉強をしている人の上位 1%程度）を超えたいと思うのであれば、原理をしっかりと理解し、そしてそのイメージを覚えてください。物理がきっと楽しい教科へと変わります。

物理という学問を理解するためには、まず当然ながらその先人達が決めたルールを守らなくてはなりません。公式ではありません。ルールです。いつまでもワガママを通しているから解けないのです。そのルールを折りに触れて紹介しますので、そのたびにしっかりと覚えてください。

2.1 速度とは

いきなりですが、速度の定義、きちんと言えるでしょうか？…「速さ」と混同してたりしませんか？きっと焦った人いますよね？その人はもう入口からこけてますよ？今からしっかり理解しましょう！

速度とは「物体がある時間にどれだけ移動したか」を表す量です。物理では基本的に MKSA 単位系（M はメートル、K はキログラム、S は秒、A はアンペアの意）を用いますので、速度を正確に表すと「物体が 1 秒間あたりどれだけの距離（m）移動したか」という量になります。

では次の図 1 をご覧下さい。

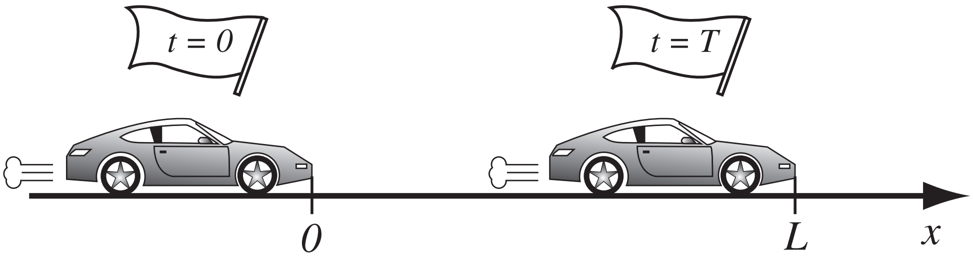

図 1: 物体の移動

$0[\mathrm{s}]$ のとき $x = 0[\mathrm{m}]$ のところにいた車は $t[\mathrm{s}]$ のときに $x = L[\mathrm{m}]$ のところにいます。この車は最初から等速で走っているとします。つまり、左から走ってきてその途中で $x = 0[\mathrm{m}]$ のところを通過したときを $t = 0[\mathrm{s}]$ としたわけです。

では、速度 $v[\mathrm{m/s}]$ を求めてみましょう。v は velocity（速度）の v です。定義から速度は「物体が 1 秒間あたりどれだけ移動したか」でしたから、今位置 $x = 0$ から $x = L$ まで移動した距離 Δx が $\Delta x = L - 0[\mathrm{m}]$ そして、その間にかかった時間が $\Delta t = t - 0[\mathrm{s}]$ なので、

$$\begin{aligned} v &= \frac{\text{移動した距離}}{\text{かかった時間}} \\ &= \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{L-0}{t-0} = \frac{L}{t} \end{aligned} \tag{1}$$

となります。（ここで $\Delta x = L - 0$ 等の考え方を出しましたが、これが良くわからない人は、ベクトル量の考え方が良くわかっていません。是非「ベクトル量とは」のページをご参照ください。）

ここで、大事なことは結局式 (1) で求めた値は単位が [m/s] となりますので、割り算の単位の定義から 1 秒間あたりの移動距離であるということです。ここ、当たり前じゃん…と飛ばされそうですが、実はとても大事なお話です。t 秒間かかって移動したときの速度を求めましたが、結局その t 秒間移動というものは 1 秒間あたりに直されているわけです。文字じゃよくわかりませんか？L/t という形で t は残ってるじゃん！と言われそうですね…。では具体的に値を入れて考えてみましょう！

図 2 のように $x = 0[\mathrm{m}]$ を通過するときの時間が $t = 0[\mathrm{s}]$ で、そのまま等速で進み $x = 20[\mathrm{m}]$ を通過するときの時間が $t = 4[\mathrm{s}]$ であるとします。

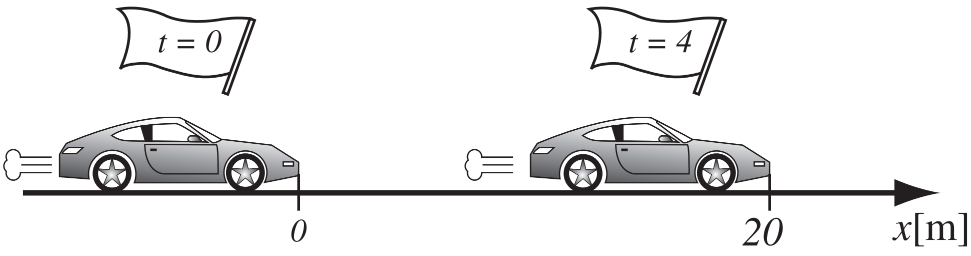

図 2: 具体的な物体の移動

$$
\begin{aligned}
v &= \frac{20-0}{4-0} \\
&= 5 \quad [\mathrm{m/s}]
\end{aligned}
\tag{2}
$$

4 秒間における移動量の変化を求めたのに 1 秒あたりの移動量の変化に変わりましたね。わかりますか？4 秒間で 20[m] 進むことはつまり 1 秒間で 5[m] 進むことを意味していたわけです。平均化しているわけですが、この 1 秒あたりの値が求まるということがとても大事な意味を持っています。さてそれは何故でしょう？

1 秒あたりの移動距離を求める (速度 [m/s]) と、その結果その割合で進んだときに、何秒後であっても瞬時に移動距離を求めることができるからなんです。例えば式 (2) のように速度が 5[m/s] であった場合、1 秒では当然 5[m] 進みますし、3 秒だったら 15[m]、20 秒だったら 100[m] 進むことが分かるわけです！もちろん雰囲気ではなく、掛け算で求めますよね。とても便利です！だからわざわざ 1 秒あたりの移動距離として定義しているわけです。

単位を見てください！速度の単位は [m/s] となっていますから、ここに時間 [s] を掛けると [m/s]× [s]= [m] となりますよね。だから距離が求まるわけです。単位から考えても分かりますね。これを**次元解析**と呼びます。（次元とは単位の種類の違いのことです。kg と g は同次元の M と表されます。また時間は T で長さは L と表されます。 だから式 (3) は正しくは $[LT^{-1}T] = [L]$ なんでしょうが、まぁここでは良しとします。）

$$
\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \times \mathrm{s} = \mathrm{m} \tag{3}
$$

下に、それぞれの例に対応する図を示します。

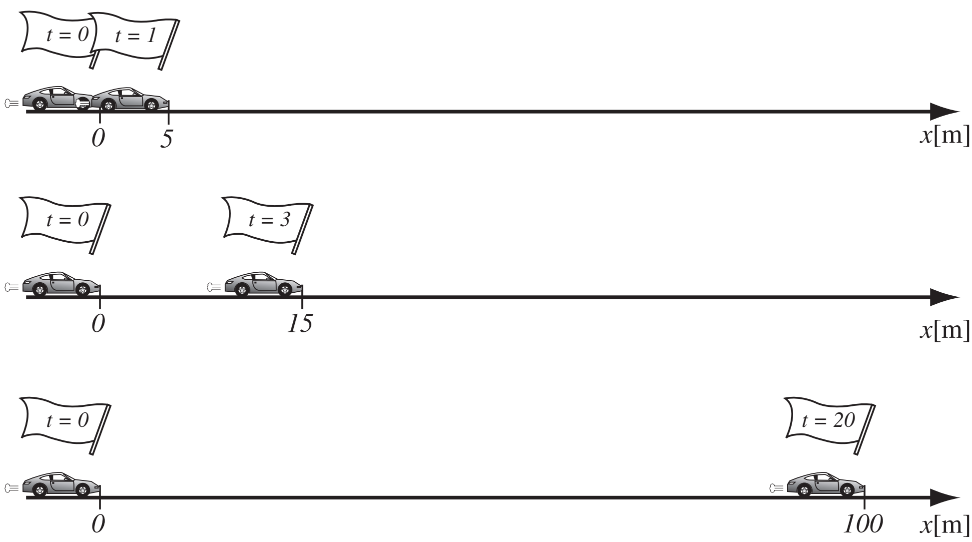

図 3: 時間に対応する移動距離

実はまだ、大事な話があります。ここを疎かにすると…きっとあなたは物理をずっと中途半端な公式に頼って解いていかなくてはならなくなるでしょう。それくらい大事な部分です！

その大事な話とは…「速度はベクトル量」ということです。ベクトル量？…などと思っている人はいませんか？これってとても大事なお話なんです。「な〜んだ。そんなこと知ってるよ。」なんて思っている人…恐らくきっと認識があまいですよ？この「速度はベクトル量」という定義、実はあなたが思っているほど適当に流していい定義ではないんです！これをちゃんと認識しているかどうかで物理の不可解が無くなるか無

くならないかが決まるんです！

では説明します。まずはベクトル量から。ベクトルが「向きと大きさを持つ矢印」ですから、ベクトル量は「向きと大きさを持った量」ということになります。つまり速度はどの向きに 1 秒間にどれだけ移動するかを示さなくてはならない値だということです。つまり表している値が 2 つあるわけです。向きと大きさですね。

ベクトル量と対応関係を持つ「スカラー量」に関しては「ベクトル量とは」のページに譲ります。では、ここからがとても大事なんですが…、実は物理においてベクトル量の（方向の）正負を決めているのは軸なのです！「なんだ…そんなこと？」とか思っている人いるでしょ！きっとその理解は中途半端ですよ！このお話、超重要です！

私から言わせると物理において「軸は神様」です。

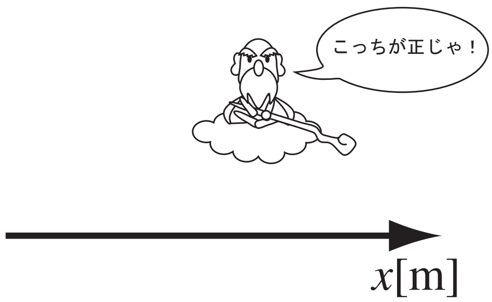

図 4: 軸は物理において神様

とりあえず図 4 に神様を出現させておきました。この神様（軸神）が右向きが正と言っているわけです。軸神が言うんだったら仕方ないですね。だから右向きが正です。しかし問題において「軸神が右向きを正としました」なんてコメントはありませんよね。では、誰が決めるのでしょう？…もちろん皆さんではありません。出題者が決めるのです。出題者が決めた軸に軸神が宿るわけです。

何故出題者が軸を決めるか疑問に思った人はいますか？それは当然、「軸を決めなければベクトル量の値が人それぞれに正だったり負だったり、はたまた別方向を向いてたりするから」です。言い換えると皆さんが好き勝手に軸を設定されたら答えが一つにまとまらずに〇付けが大変だからということです。

では戻りまして、何故軸神が方向を決めることがそれほど大事なのかといいますと、実はこれから皆さんが習う（もちろん学校で習ったでしょうけど…）

$$v = v_0 + at \tag{4}$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \tag{5}$$

という式は実はベクトル方程式だからです。ピンときませんね？なぜならそういう風に方向を意識した方程式だということを習ってないからです。その意識の無さが結局問題が解けないことに現れてくるのです。公式を作った人は適当に作ったわけではありません。ちゃんと、意識するものは意識して、概念を式に表しなおしたものが公式なのです。ですから式 (4) も式 (5) も共に軸の方向を意識して定義されているのです。

ここで、さらに大事なお話を加えます。それは「ベクトル量の未知数を求めるときは、その未知数は必ず軸の正の方向に向ける」というものです。ベクトル方程式の内容理解を私なりの言葉に変化させてお伝えし

ているわけですが、もちろんベクトル量の未知数というものがよくわかりませんよね。未知数とはわからない量のことを言います。わからない量…それは即ちこれから求めたい量です。それは式 (4) の v や、a のことを指します。つまり「ベクトル量の未知数を求めるときは、その未知数は必ず軸の正の方向に向ける」とは、a や v の値が軸神が決めた正の向きを向いているわけです。

でもきっとよくわからないことでしょう。ですから、これまでの話

- ベクトル量とは「大きさと向きを持った量」のこと
- ベクトル量の正負を決めるのは軸神
- ベクトル量の未知数は必ず軸の正方向向きに定義されている

を頭に入れながら次の例題をやってみましょう。

問 1. 速度を求めよ。

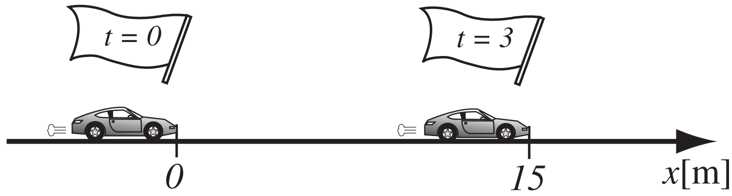

図 5: 速度を求めよ

どうですか？求めることが出来ましたか？これは軸神と、求める速度を書き込むと次の図 6 のようになります。

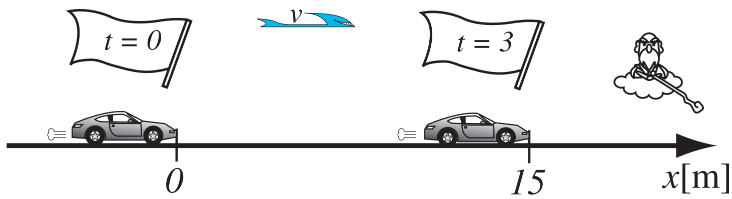

図 6: 軸神と速度矢印付加

今から求める速度は当然まだ決まってない速度です。ということは「未知数」ですね。ですから軸神が定める正の方向に向けて定義します。つまり図 6 のように右向きに向きます。（これはきっと車の移動方向を見ても感覚的にわかるので問題ないと思います）

では、速度を求めてみましょう！図 6 より、時間変化 Δt は $\Delta t = 3-0$[s] で、移動距離 Δx は $\Delta x = 15-0$[m] ですから、

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{15}{3} = 5 \quad [\mathrm{m/s}] \tag{6}$$

となります。つまりこの速度 $v = 5$[m/s] が言っていることは、「物体（車）は軸の方向へ 1 秒間あたり 5m の割合で移動している」ということです。

では次の問題を解いてみましょう。

問 2　速度を求めよ。

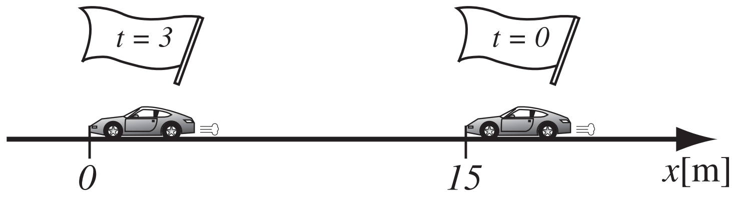

図 7: 速度を求めよ

さて、解けますか？これも軸神と速度を図中に書き込んでみましょう。

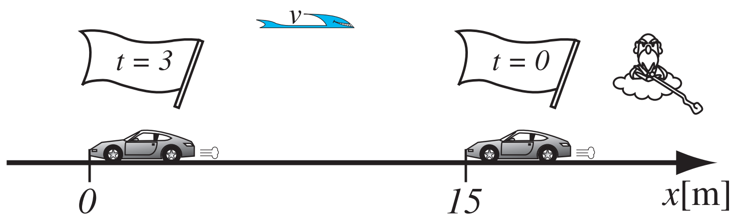

図 8: 軸神と速度矢印付加

きっと速度の矢印を左向きにした人がいますよね？それ、間違いです。「えぇ、どうして？車は左に動いてるじゃん！」とかいうクレームが聞こえてきそうですが、最初に言いましたよね？公式ではなく、物理にもちゃんとルールがあるんです。そのルールが「軸神」です。

そう…ちゃんと軸神が右を正にしろと言っています。ですから、誰が何と言おうと右向きが正なんです。そして、これから求める速度は当然「未知数」ですから、「ベクトル量の未知数を求めるときは、その未知数は必ず軸の正の方向に向ける」というルールにより、かならず右方向に設定しなくてはならないわけです。

では速度を求めてみましょう。時間変化 Δt は $\Delta t = 3 - 0[\mathrm{s}]$ です。そして変位 Δx は $\Delta x = 0 - 15[\mathrm{m}]$ です。ですから

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-15}{3} = -5 \quad [\mathrm{m/s}] \tag{7}$$

となります。定義した速度ベクトルの方向は右向きで、その求まった符号が「−」ですからつまり方向が逆だったということになります。しかし答えは当然式 (7) のように $v = -5[\mathrm{m/s}]$ です。出題者が軸神を設定しているからです。

忘れないうちに次の問題を解いてみましょう。

問 3 速度を求めよ。

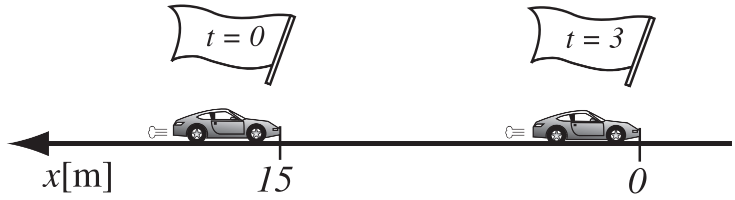

図 9: 速度を求めよ

車は左から右へと移動しています。では速度はどうなるでしょうか？…図 10 に軸神と速度ベクトルを書き込んでみましょう。

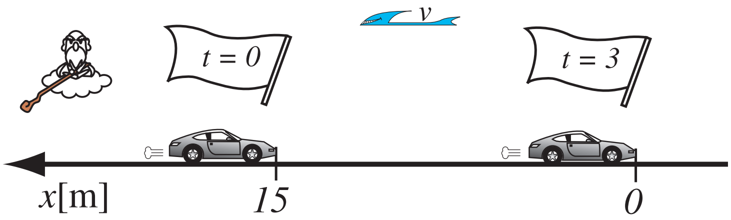

図 10: 軸神と速度矢印付加

ちゃんとこのように書き込めましたか？書き込めなかった人はまだ軸を確認する癖が付いてません。そしてその癖がついてないことは物理を学ぶ上で致命的な欠点になります。ちゃんとここで覚えてください。軸神が「左向きが正じゃ！」とか言っているので、これから求める「未知数」である速度ベクトルは当然軸神の設定に従います。そこで左向きになりますね。

では、速度を求めてみましょう。時間変化 Δt は $\Delta t = 3 - 0[\mathrm{s}]$ です。そして変位 Δx は $\Delta x = 0 - 15[\mathrm{m}]$ です。ですから求める速度は

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-15}{3} = -5 \quad [\mathrm{m/s}] \tag{8}$$

となります。物体（車）の移動は図 5 と全く一緒です。しかし、求まった速度は式 (6) とちょうど正負が反対の $v = -5[\mathrm{m/s}]$ になってしまいました。これは軸神が左が正と言っているからなのです。ですから、その正で速度ベクトルが左向きになりましたね。その左向きにおいて符号が「−」なので、つまり本当は右向きということです。しかし当然解答に書くべき答えは、軸神が正を決めてますから式 (8) のように $v = -5[\mathrm{m/s}]$ となります。

ここで、疑問に思った方がいらっしゃるでしょうか？何故図 5 と図 9 は同じ運動をしているのに、軸の方向が変わっただけで速度の正負がかわったのだろうと…。

細かいところに注目した人は気付いたかも知れませんが、実は軸神が設定するのは正の方向だけではなく、軸の値全体なんですね。ですから、図 5 の場合は軸が右を向いていますから、その軸に付属する値（0 や 15）も右方向が大きくなりますね。しかし、図 9 においては、軸が左を向いていますから、当然その軸に付属する値も左方向へ大きくなるのです。

つまり軸の矢印の方向というのは正の方向を決めるだけでなく、その軸に付属する数字の増加方向も示すということのです。これが原因で、軸の方向が変わると速度の正負が変わってしまうのです。

では最後にもう一問だけやってみましょう。問 4　速度を求めよ。

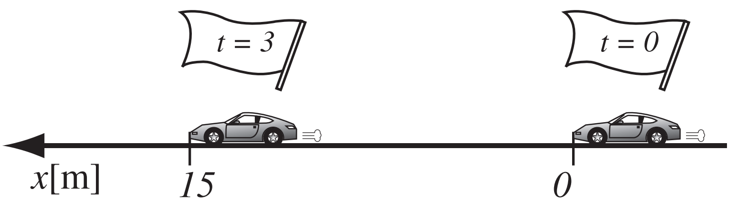

図 11: 速度を求めよ

これは図 7 と同じように車は右から左へと移動しています。では速度はどうなるでしょうか？

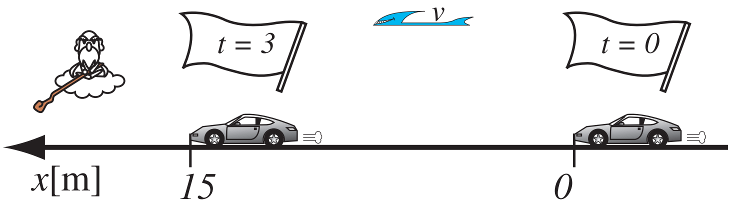

図 12: 軸神と速度矢印付加

当然軸神が「左が正じゃ！」と言っているので、左が正ですよね。ですから「未知数」である求める速度ベクトルも当然左向きに設定します。

あとはいつもと同じように変化量を求めて…

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{15}{3} = 5 \quad [\mathrm{m/s}] \tag{9}$$

となります。式 (9) の速度の符号は正になっていますので、書き込んだ図の速度ベクトル方向へ 5[m/s] で移動するということですね。

さてここまで解っていただけたでしょうか？解らなかったらもう一度最初から問題を解きなおしてみて下さい。きっと最初に見たときと違った感覚で問題を解くことが出来ますよ。それは軸やベクトルの感覚が身に付いたサインです。物理が好きになる扉を一つ開けましたね。

次は加速度とは何かを説明いたします。