
Topgun_x Physics
#1 Classical Mechanics Mastery

「力学」マスター
第三章 ～ 「力」を極める～

Ryosuke ISHII



眼に見えないものを、
知性はどうやって
観ることが出来るのでしょうか？

スタート！



1秒後



「ある時刻に物体がどこにあるか」

2秒後



これは、眼で見ることができます。

これは、物体の運動という
「結果」を示している。

3秒後





物体に運動を起こさせるもの
つまり「原因」は眼に見えない。

この眼に見えない「原因」を
「力」と呼ぶとしたら、

原因と結果の関係をどう定められるだろう？



物体に働く「力」

と

力を受けた物体の「運動」

の、

この関係を紐解こう

Q1-1: 摩擦がまったくくない、氷の床があります。
空気抵抗も無視できるとします。

いま、ソリが氷の床の上を速さ v で滑っています。



摩擦ゼロの床。つるつる～～

3秒後、速さはどうなっているでしょうか？

A1-1: 3秒後も、速さは変わらないはず。



摩擦ゼロの床。つるつる～～

Q1-2: では、このソリを止めるには、
どうしたらいいのでしょうか？

A1-2: 進行方向と逆向きに、
力をしばらく、かけてあげれば止まるはず。



静止：

$$v = 0$$



摩擦ゼロの床。つるつる～～

この例から、何が分かるのでしょうか？

実は、摩擦や空気抵抗がなければ、

既に速さ v で動いている物体が、
同じ速さ v のまま、

等速直線運動をし続けるのに、
力は必要ありません。

(これを、慣性の法則と言います)



「力」とは、
物体の速度を変える時に必要なものです。

この、速度が変わることを
「加速度を持つ」と言います。

静止しているとき、
等速度で動いているとき、
その物体に働く力の和はゼロです。



Q2: 時速200kmで等速で走る新幹線の中で
ジャンプすると、どうなるでしょうか？

新幹線の外に放り出されないのでしょうか？



時速200kmは、約 秒速60m
一瞬間ジャンプをしていれば、
わたしが宙に浮いている間、
新幹線は60m進むはず。



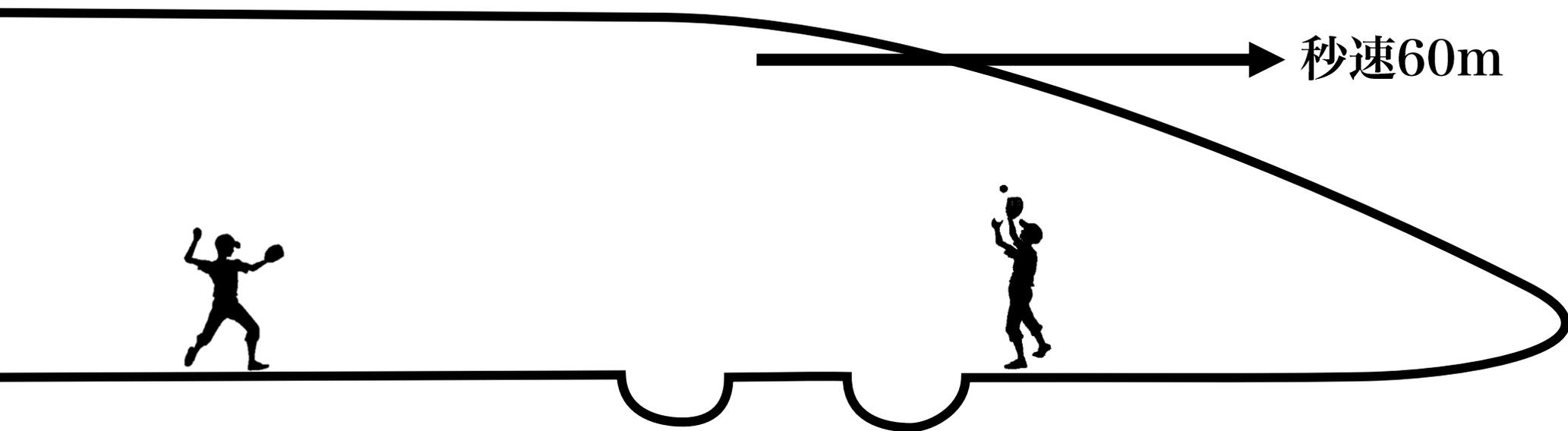
でも、秒速60mの電車の中で
あなたは普段どおり、

飛んだり跳ねたり、歩いたり
できるはずですよ。

(前新幹線に乗った時、なにか気をつけましたか?)

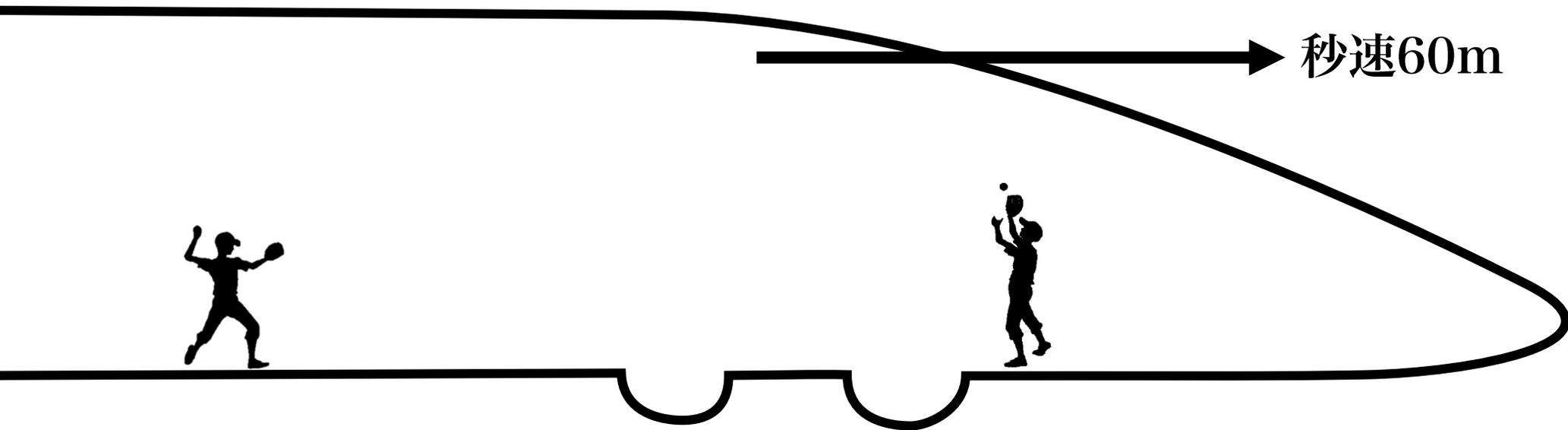


Q3: 新幹線の中でキャッチボールしたら、
どっちのポジションが有利でしょうか？



A2: どっちも一緒。

でなければ、子供がボール遊びしただけで、
大変なことになります。



ちなみに、調子の良い時のイチローの球速で、秒速42m

Q2、Q3の例から
何が分かるでしょうか。

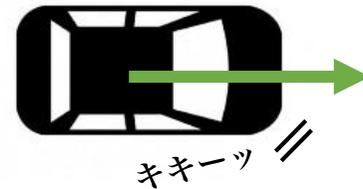
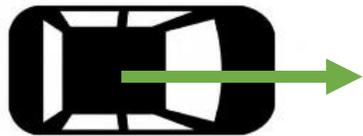
実は、
「静止」と「等速度直線運動」は、
見分けがつかない。

等速直線運動をする
新幹線の中で、

私たちは
歩いたり、食事をしたり、
自然に振る舞える。

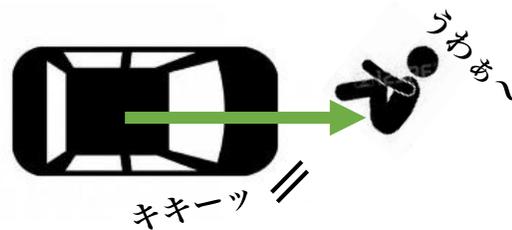
Q4:あなたはワイルドにも、フロントガラスが
ブツ壊れた自動車に乗って、
時速100kmで走っています。

シートベルトも、つけていません。



いま急ブレーキを踏む込むと、どうなるでしょうか。

A4: まあ、控えめに言ってこうなりますよね。



Q5:いま飛行機がまさに離陸しようとしています！



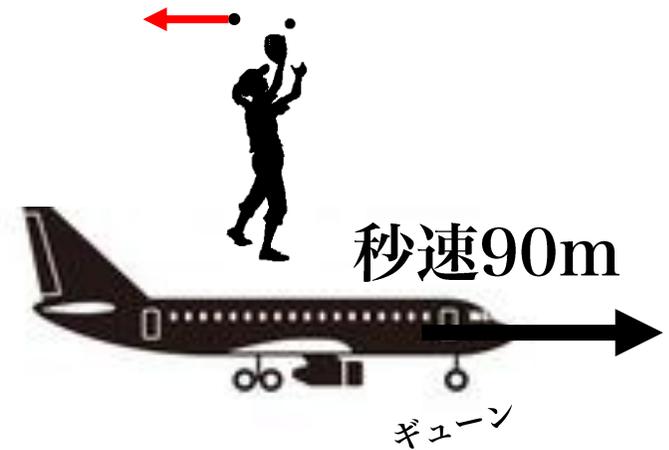
この離陸直前、一気に加速を開始する瞬間に、ボールを真上に投げ上げると何が起きるでしょう？

※良い子はマネしないで下さい

秒速10mから秒速90mまで、30秒程度で加速します。

A5: 真上に投げたボールは、0.3Gくらいの
加速度で後ろに飛んで行くように見えます。

あぶない！



Q6:地球を一周すると、その円周は4万kmです。

地球は一日24時間で一周回転します。

ということは、地球は赤道上では

$$40,000[\text{km}] \div 24[\text{h}] = 1600[\text{km/h}] = \text{約}450[\text{m/s}]$$

という超音速！で地表は移動しているはずですが。

地軸が傾いているので日本では400[m/s]程度でしょう。

では、いま、地球が1秒で自転をやめたら、
人々はどうなるでしょうか。



A6:重力の40倍くらいの力で
吹き飛ばされます。さよなら！

地球は止まり、地球が回っていた方向に
高速で吹き飛ばされる！！



Q4、Q5、Q6の例から
何が分かるでしょうか。

自分の乗っているものが、
加速(減速はマイナス方向の加速)する時、
ひとは「力」を感じる。

「力」は乗り物の加速度と、逆の向きに感じる



それは、乗り物が「加速」しても

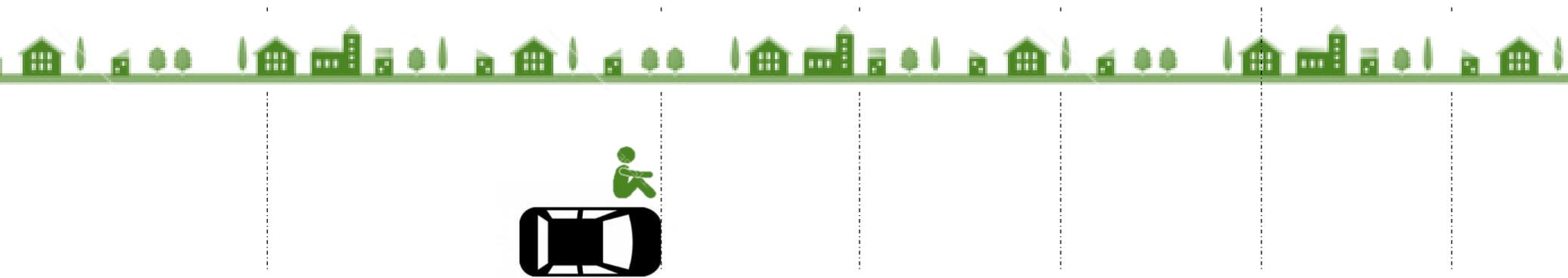
自分はこれまで通り
等速直線運動をしようとするから。

それは、乗り物が「加速」しても
自分はこれまで通り
等速直線運動をしようとするから。



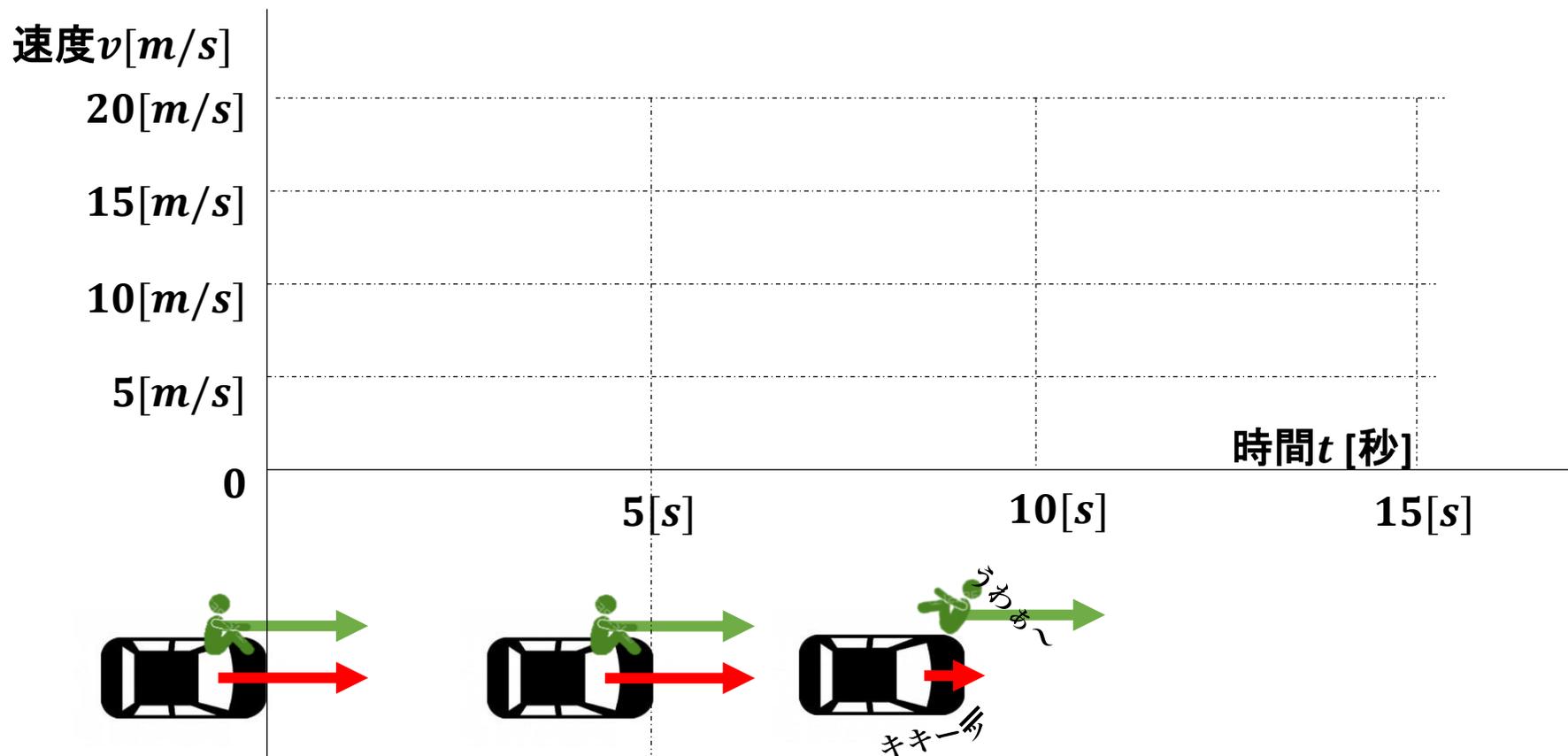
車の外の街から、急ブレーキをかける自動車を眺めるとこうなる

それは、乗り物が「加速」しても
自分はこれまで通り
等速直線運動をしようとするから。

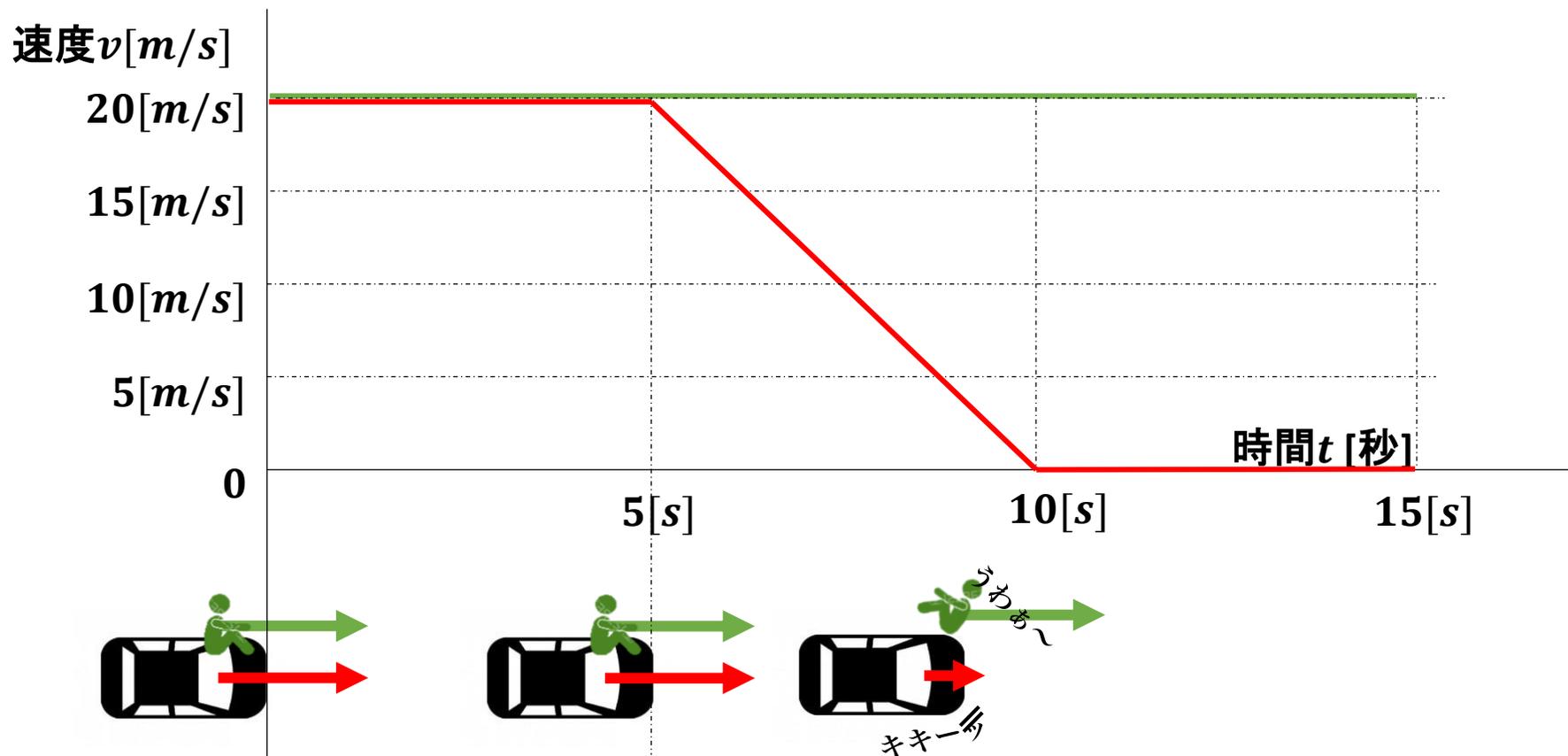


車の中から、世界と人を眺めるとこうなる
(運転している時の視点)

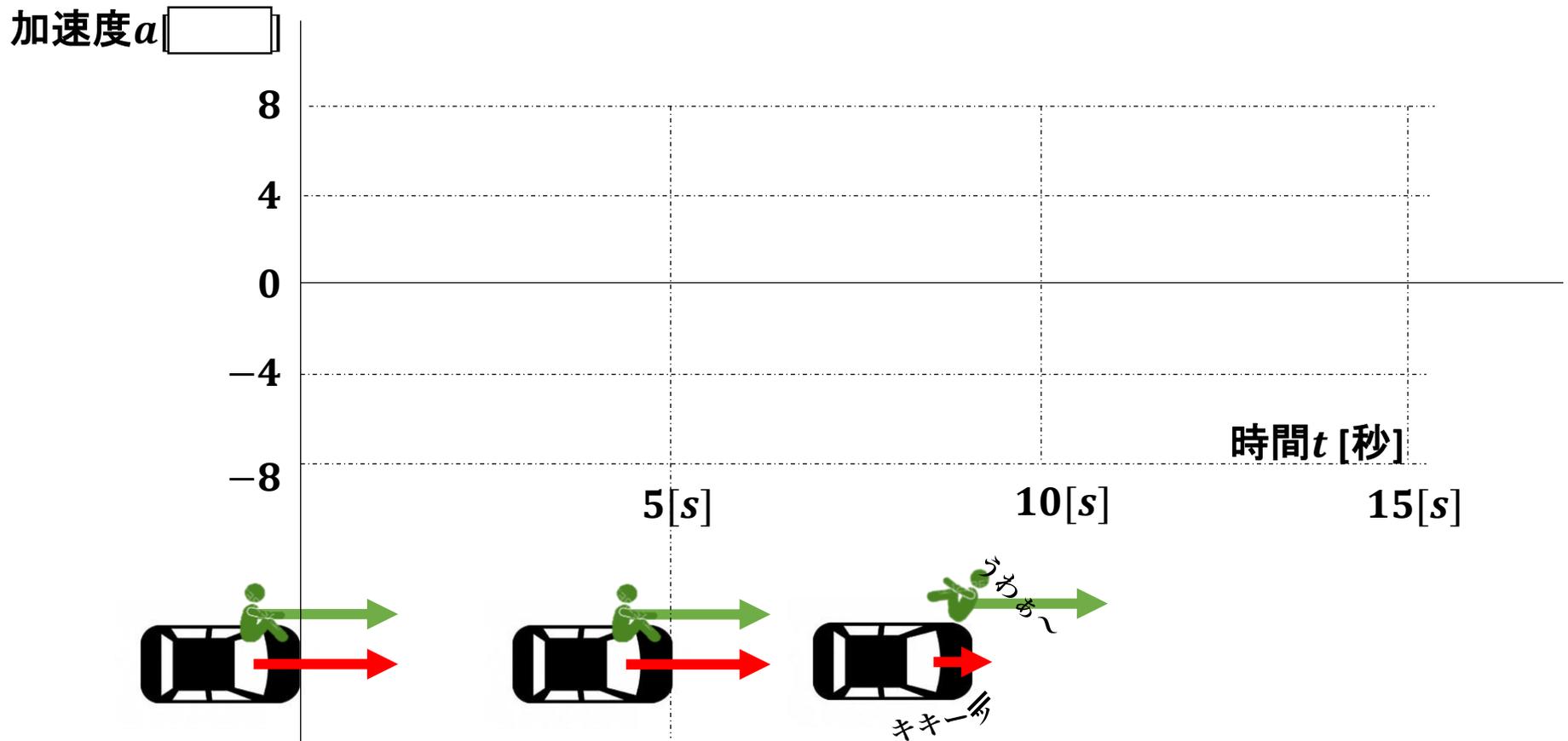
乗っている車が、 $20[m/s]$ (時速72km) で走っていて、
 $t = 5[s]$ 後から $t = 10[s]$ の5秒間で急ブレーキをかけ、
 等加速度運動で減速し、静止したとしましょう (かなり急)
 静止する車と等速直線運動をし続ける人の両方を、
 $v - t$ 図で書くとうなるでしょう？



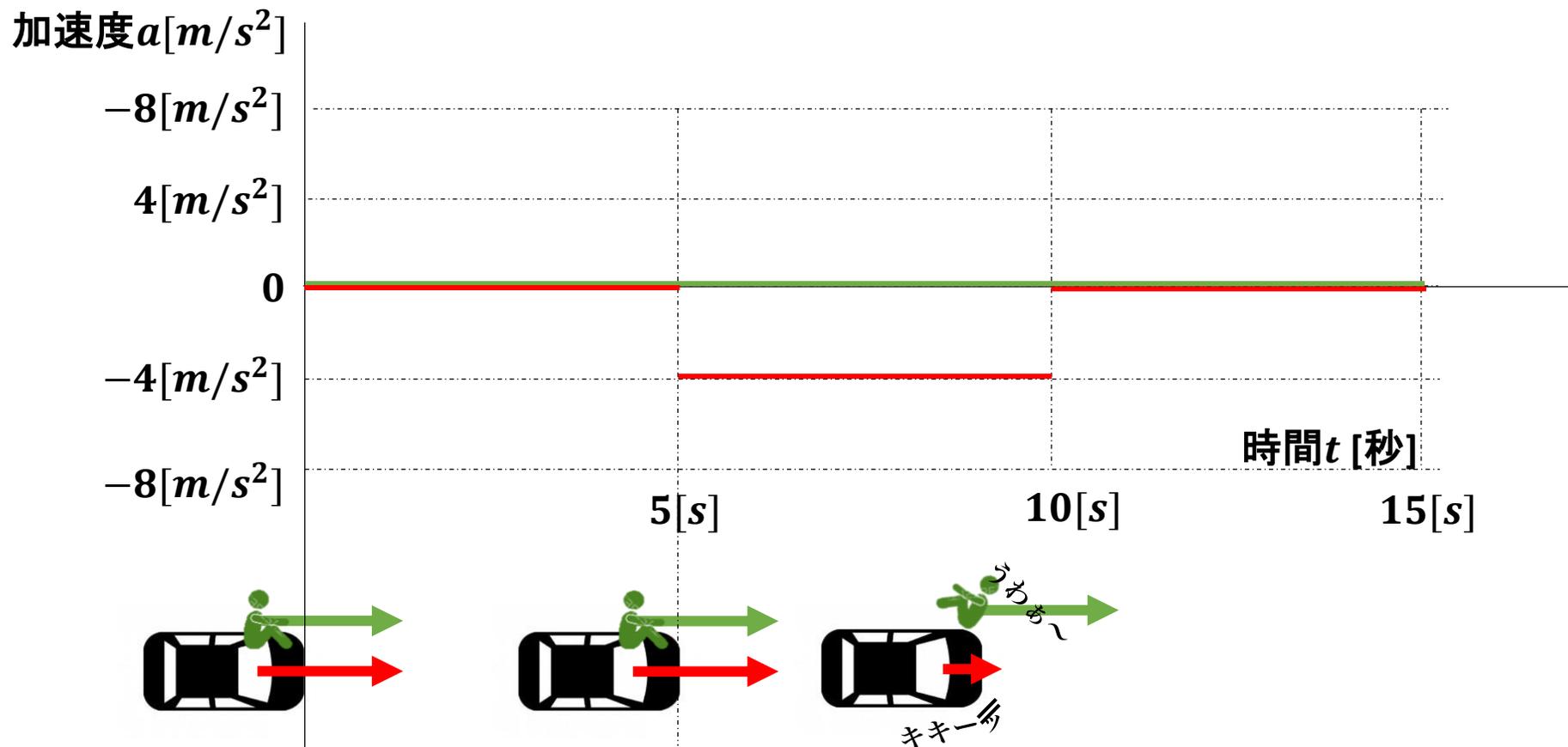
乗っている車が、 $20[m/s]$ (時速72km) で走っていて、
 $t = 5[s]$ 後から $t = 10[s]$ の5秒間で急ブレーキをかけ、
 等加速度運動で減速し、静止したとしましょう (かなり急)
静止する車と**等速直線運動をし続ける人**の両方を、
 速度の $v-t$ 図で書くとうなるでしょう？



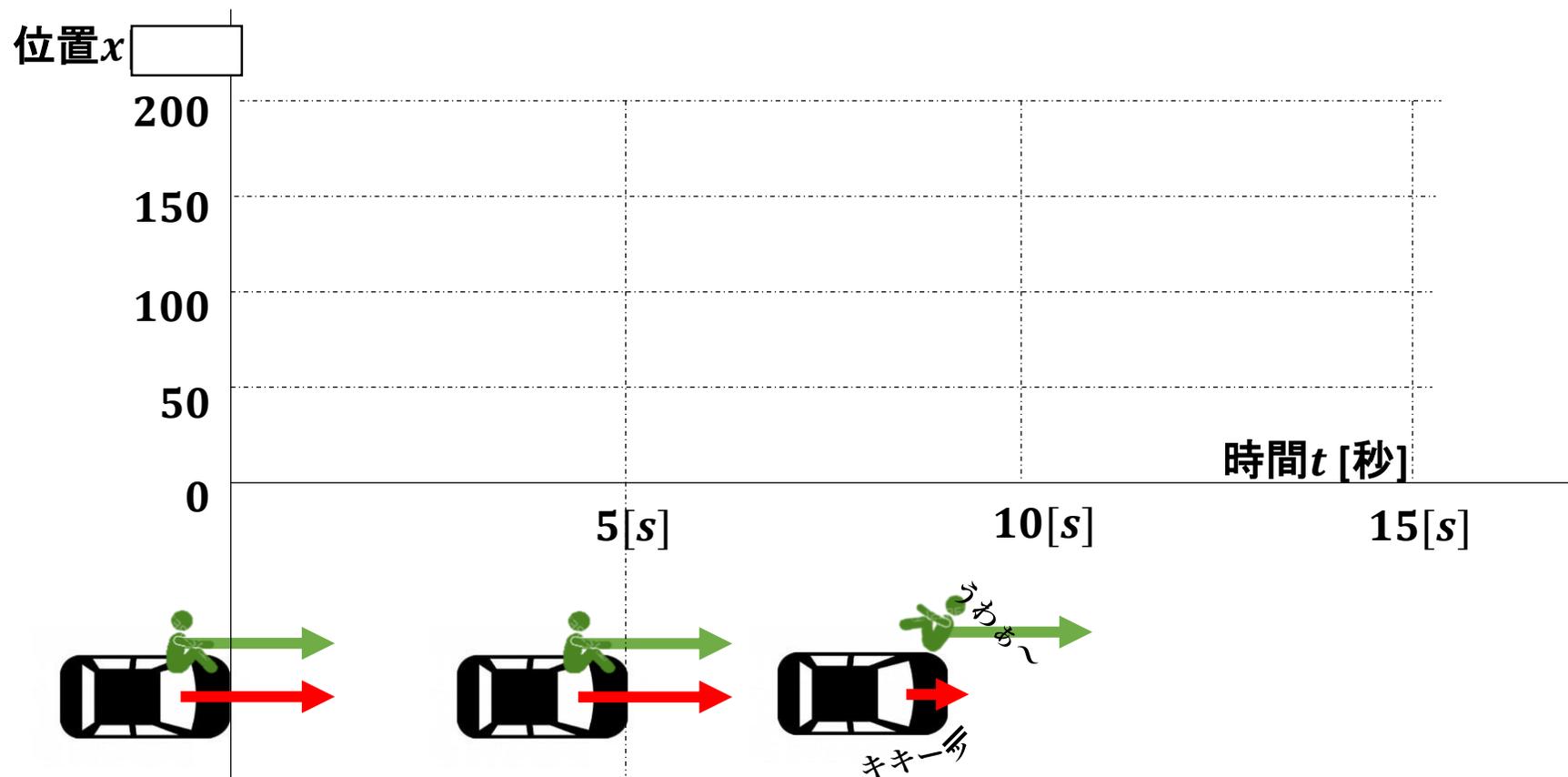
乗っている車が、 $20[m/s]$ (時速72km) で走っていて、
 $t = 5[s]$ 後から $t = 10[s]$ の5秒間で急ブレーキをかけ、
 等加速度運動で減速し、静止したとしましょう (かなり急)
静止する車と**等速直線運動をし続ける人**の両方を、
 加速度の $a - t$ 図で書くとうなるでしょう？



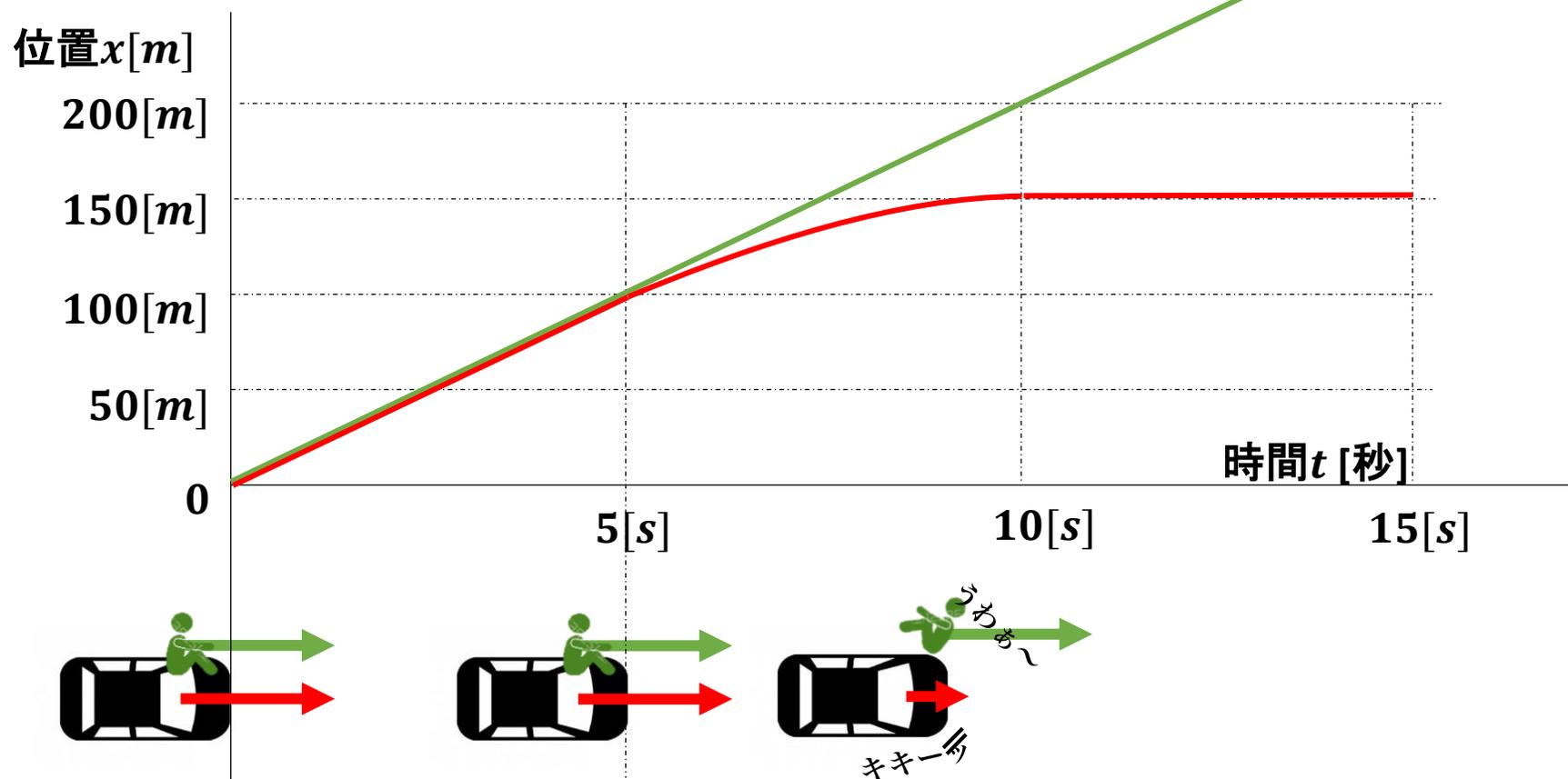
乗っている車が、 $20[m/s]$ (時速72km) で走っていて、
 $t = 5[s]$ 後から $t = 10[s]$ の5秒間で急ブレーキをかけ、
 等加速度運動で減速し、静止したとしましょう (かなり急)
静止する車と**等速直線運動をし続ける人**の両方を、
 加速度の $a - t$ 図で書くとうなるでしょう？



乗っている車が、 $20[m/s]$ (時速72km) で走っていて、
 $t = 5[s]$ 後から $t = 10[s]$ の5秒間で急ブレーキをかけ、
 等加速度運動で減速し、静止したとしましょう (かなり急)
 静止する車と等速直線運動をし続ける人の両方を、
 位置の $x - t$ 図で書くとうなるでしょう？



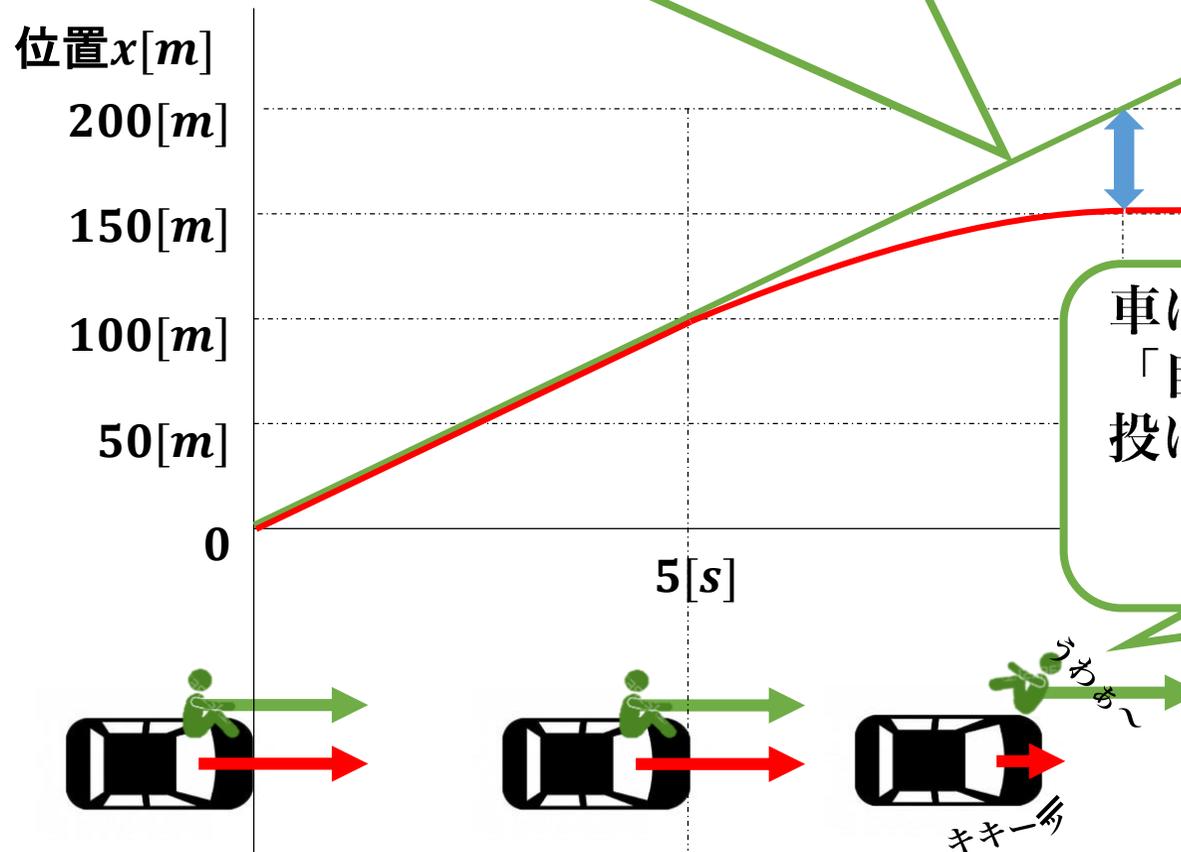
乗っている車が、 $20[m/s]$ (時速72km) で走っていて、
 $t = 5[s]$ 後から $t = 10[s]$ の5秒間で急ブレーキをかけ、
 等加速度運動で減速し、静止したとしましょう (かなり急)
 静止する車と等速直線運動をし続ける人の両方を、
 位置の $x - t$ 図で書くとうなるでしょう？



視点をどこに置くか？

車を外から眺める人にとっては、
「車が急に止まった」 & 「人は等速直線運動
を続けようとしている」ように見える

シートベルトもフロント
ガラスもナシで
今回みたいな急ブレーキ
かけたら、5秒後には
車と50m離れている



車に乗っている人からすると
「自分が力を受け車から前に
投げ出される」ように感じる
この「見かけの力」
を慣性力という

Q1～Q6 まとめ：力の定義

- 静止または等速直線運動をしている時、
物体の運動状態は変わっていない。
- 力とは、物体の運動状態を変えるもの。
つまり物体を加速度を生じさせるもの。

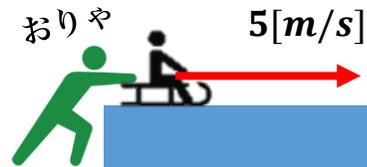


力について、もっと多くのことを
見ていきましょう。

摩擦のない床の上に、ソリに乗った子供が居ます。

1秒間かけて、
子供を、秒速5m まで加速して押すのと
子供を、秒速20mまで加速して押すのと

どちらが大変そうですか？



摩擦ゼロの床。つるつる～～

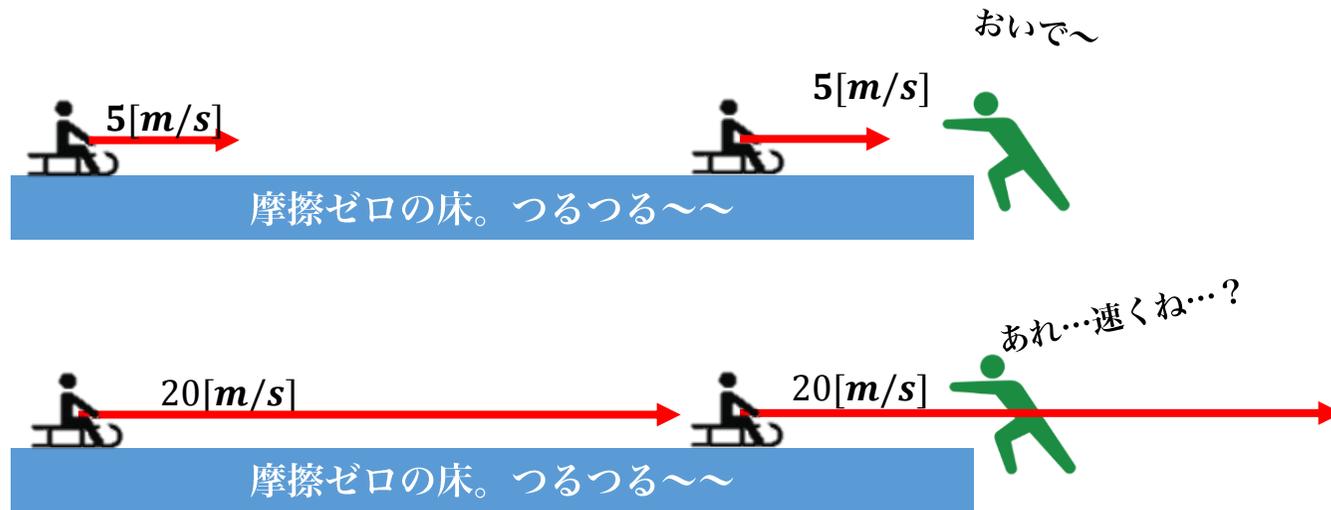


摩擦ゼロの床。つるつる～～

あるいは、

秒速5m で向かってくる子供を受け止めるのと、
秒速20mで突っ込んでくる子供を受け止めるのと、

どちらをやりたいですか？



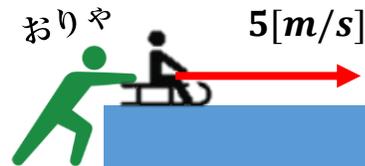
加速度が大きければ大きいほど
大きな力が必要！

摩擦のない床の上に、子供と自動車があります。

1秒間かけて、

子供を、秒速5mまで加速して押すのと
自動車を、秒速5mまで加速して押すのと、

どちらが大変そうですか？



摩擦ゼロの床。つるつる～～



摩擦ゼロの床。つるつる～～

あるいは、

秒速5mで向かってくる子供を受け止めるのと
秒速5mで突っ込んでくる自動車を受け止めるのと

どちらをやりたいですか？



同じ加速度を与える時でも 重ければ重いほど「大きな力が必要」



「力」について見てきたこと。

物体に力が作用すると：

力の方向に加速度が生じる。

プラスの向きに働くと加速
マイナスの向きだと減速してた

力が大きければ、
生じる加速度も大きい

5[m/s]まで加速するより
20[m/s]まで加速する方が
大変そうだった

物体の質量が大きければ
生じる加速度は小さい

子供を加速するより
自動車を加速する方が
ちよ大変そうだった



ニュートンは力学の原理として
「力」をこう決めました。

物体に力が作用すると、力の方向に加速度を生じる。

加速度は

- その物体が受ける力に比例し、
- 物体の質量に逆比例する。

これを、数式で書くとどうなるでしょうか？



運動方程式

「力とは、物体に加速度を生じさせるものです。」

このニュートンの見出した法則を、式に直すと

$$\vec{F} = \text{質量} \times \vec{\text{加速度}}$$

英語にすると 力はForce, 質量はmass, 加速度はacceleration
なので頭文字をとります。

運動方程式 $\vec{F} = m\vec{a}$ (← ちょー重要！)



運動方程式

力に「単位」をつけてみよう!!

力はForce, 質量はmass, 加速度はaccelerationとして

重さの単位 加速度の単位

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$$[kg \cdot m/s^2] \quad [kg] \quad [m/s^2]$$

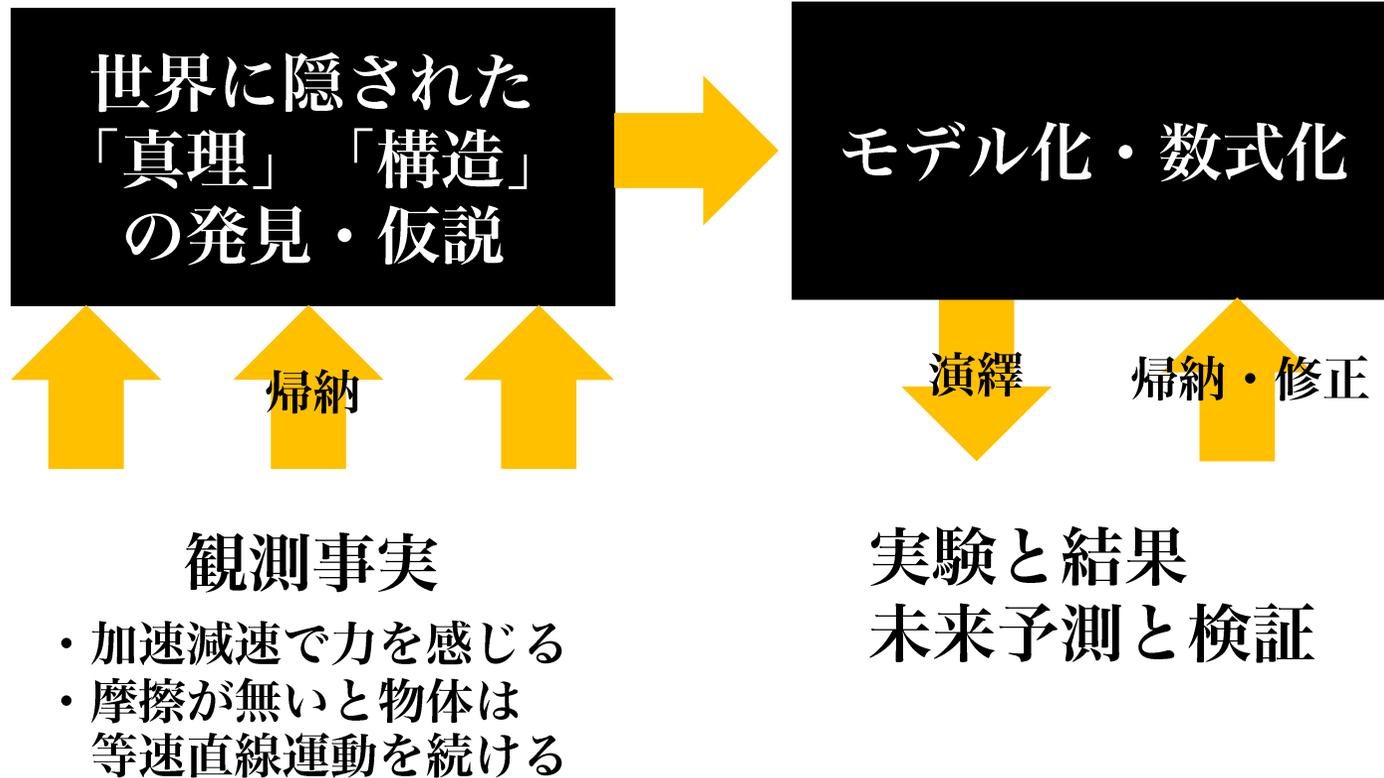
この力の単位 $[kg \cdot m/s^2]$ は長いので
[N](ニュートン)と呼びます。

ニュートンは、力学に於ける最も基本的な単位のひとつです。



「物理法則」とは、なにか

法則とは、世界を説明する「よい説明」のことです。



ニュートンは、落ちるリンゴも、走る馬車にも、地球の周りを月が廻ることにも「同じ説明」を与えました。