

スキージャンプの科学的基礎

10000m上空から物が落下したとき、
何秒で地面に到達するか？

10000m上空からの落下時間？

上空10000m



速度
v

$$v=gt$$

$$h=\frac{1}{2}gt^2$$

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t=\sqrt{\frac{2 \times 10000}{10}}$$

$$t=45$$

時間
t

地面

バイオメカニクスとは

Bio + Mechanics

Bio: 生体, 生き物

Mechanics: 力学, 力とその効果

= 生物の構造や運動を力学的に探求する学問である。生体力学あるいは生物力学などと訳される

= スポーツ(人体の動き)を物理学的見地から解明、研究すること

• ニュートンの運動法則

■ 第1法則(慣性の法則)

物体は、力の作用を受けない限り、静止の状態、あるいは等速直線運動を続ける。

■ 第2法則(運動法則)

運動量の変化の割合は、その物体に働く力に比例し、その力の向きに生ずる。

$$\text{質量} \diamond \text{加速度} = \text{力}$$

■ 第3法則(作用・反作用の法則)

物体1が物体2に力を及ぼす場合、物体2は物体1に大きさが同じで逆方向の力を及ぼす。

内力と外力

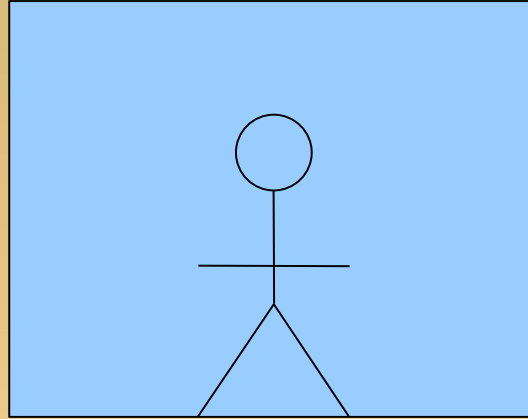
☆外力 (external force)

- ・ 接触力：
接触している物体から受ける力
(地面反力, 空気抵抗など)
- ・ 場による力：
質点系の外から各質点に作用する力
(重力場, 電場, 磁場, 慣性などによる)

☆内力 (internal force)

- ・ 物体が外部から力を受けているときに, ある物体やシステムの内部にとどまり, その物体を分解させずに保たせる力
- ・ 質点系の質点間で相互に作用する力
- ・ 物体(剛体系)の重心の運動には影響を及ぼさない
(内力の和はゼロ→作用・反作用を考える)

バイオメカニクス



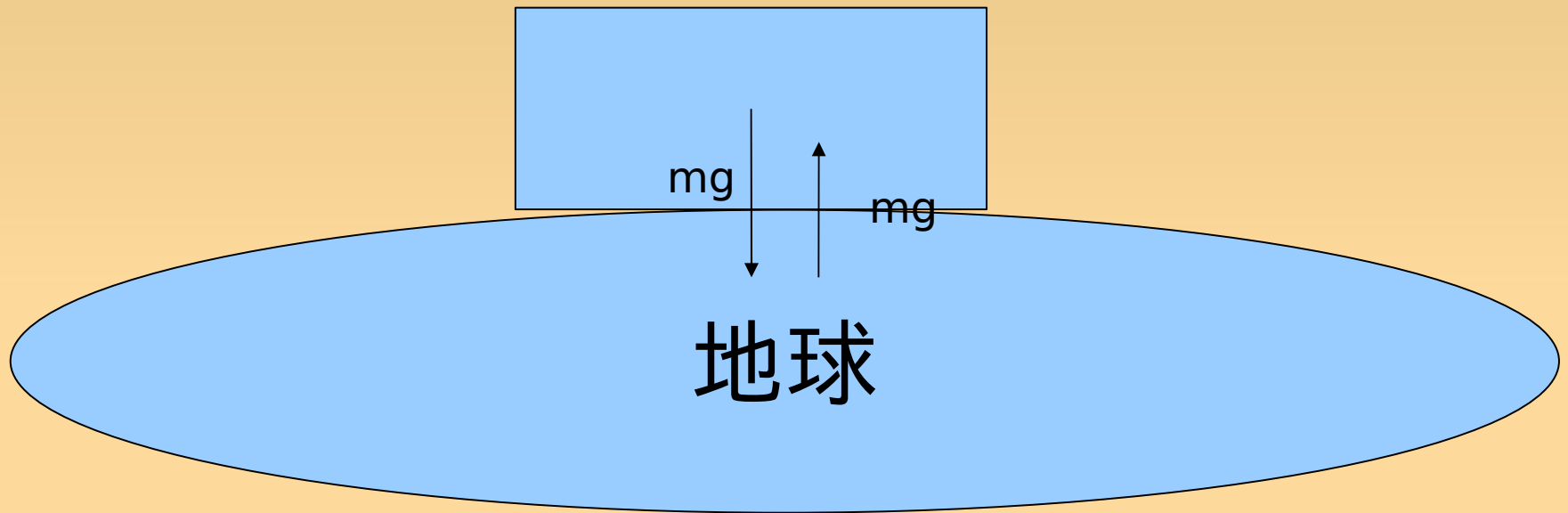
落下している
箱に乗って
いる人はど
のように重力
を感じるか？

地球

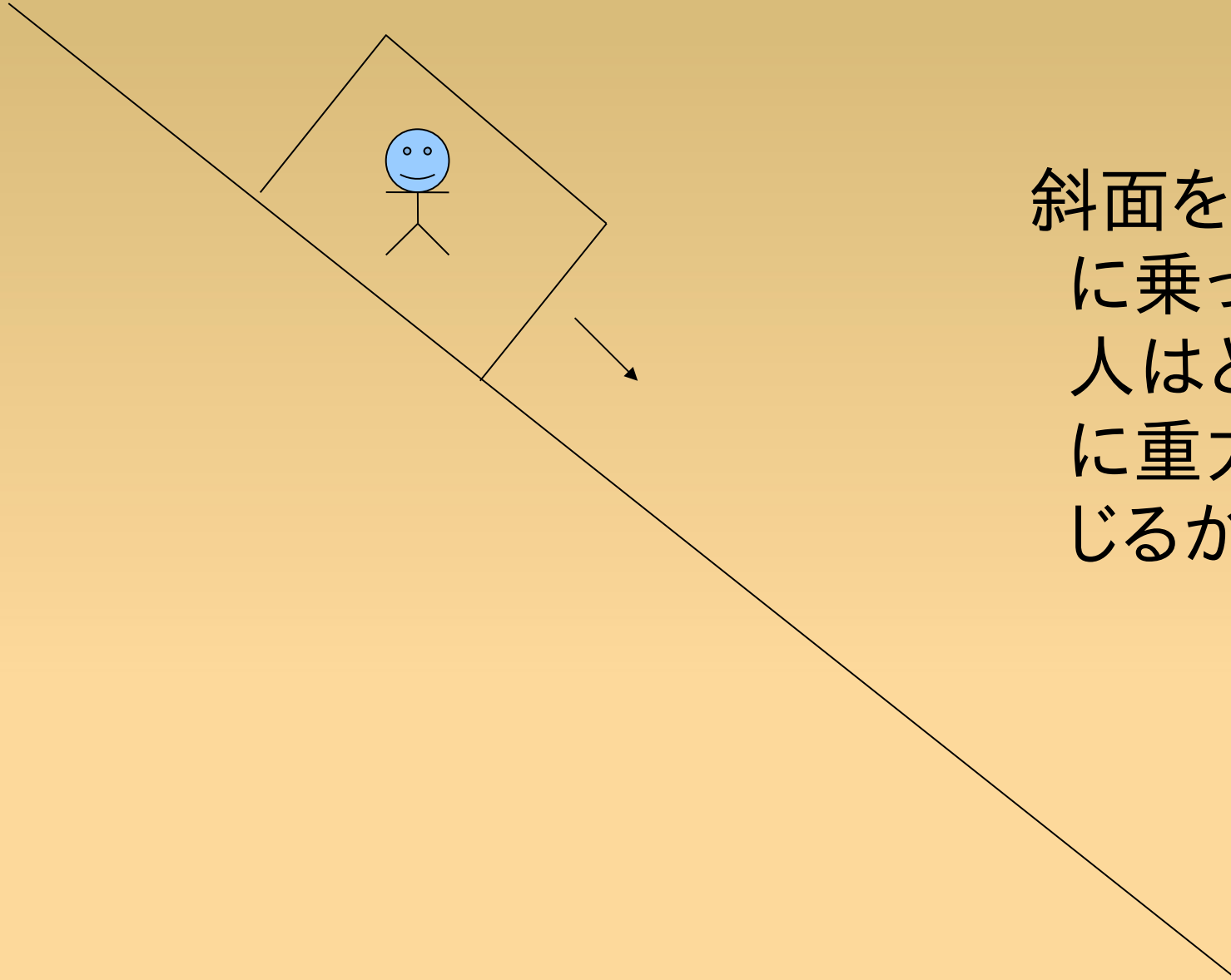
バイオメカニクス

m = 質量(kg)
 g = 重力加速度
(9.8m/s^2)

地面に接する物体は、地面よりの反力を受けバランスする

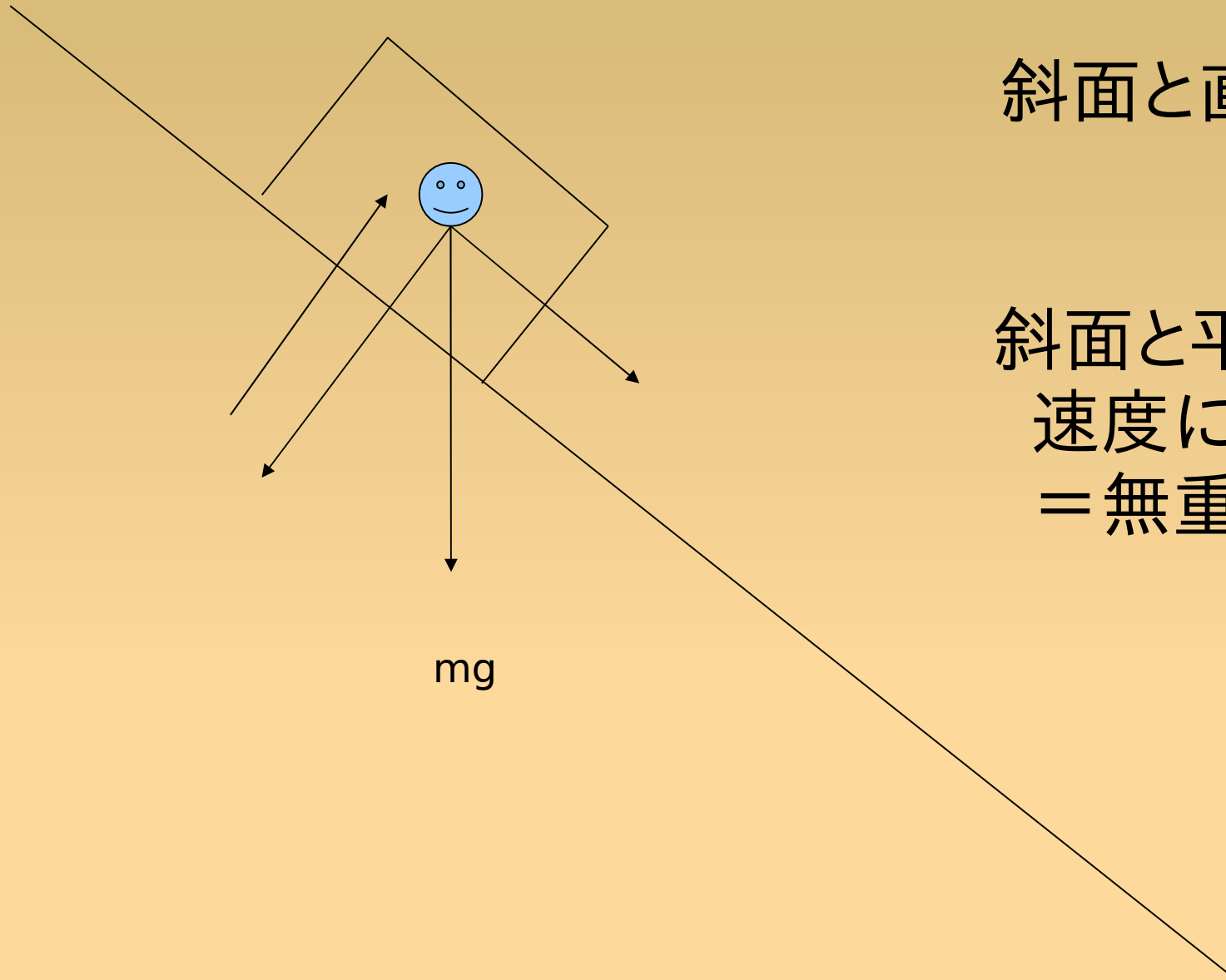


斜面を落下する場合



斜面を滑る箱
に乗っている
人はどのよう
に重力を感
じるか？

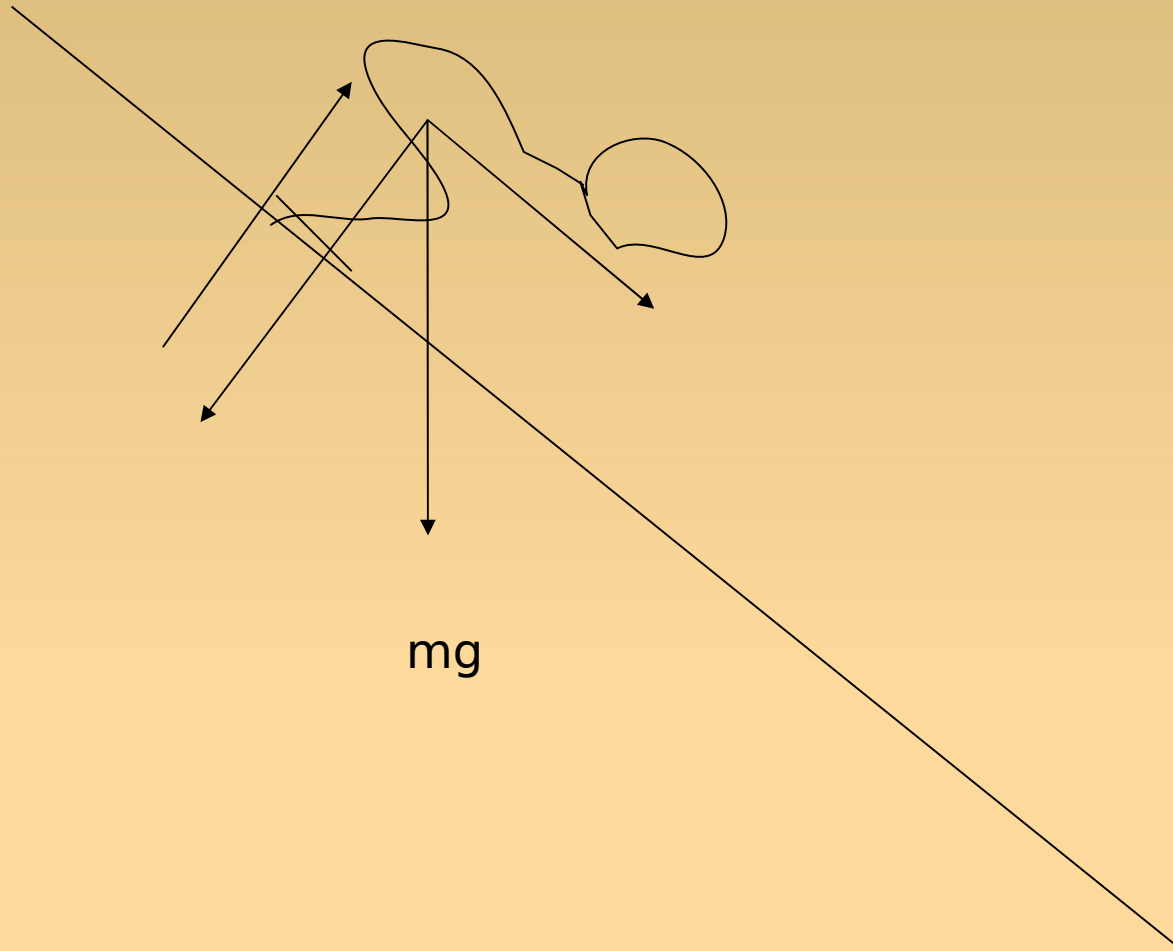
斜面を滑る箱で感じる重力



斜面と直角に重力を
感じる

斜面と平行の力は
速度に変換される
= 無重力

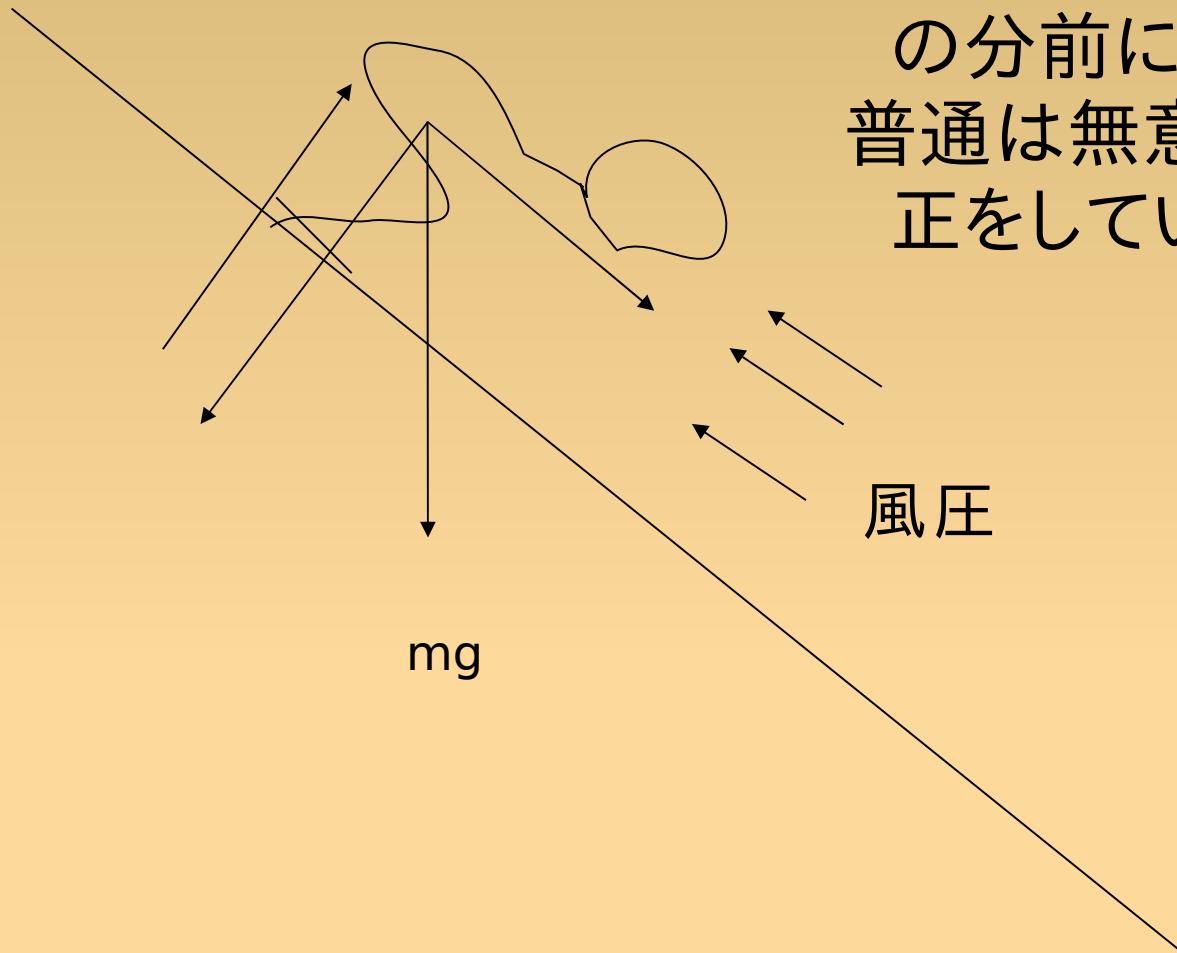
斜面を滑るジャンパー(空気がない場合)



斜面を滑る
ジャンパーは
重力方向を
斜面と直角
に感じる

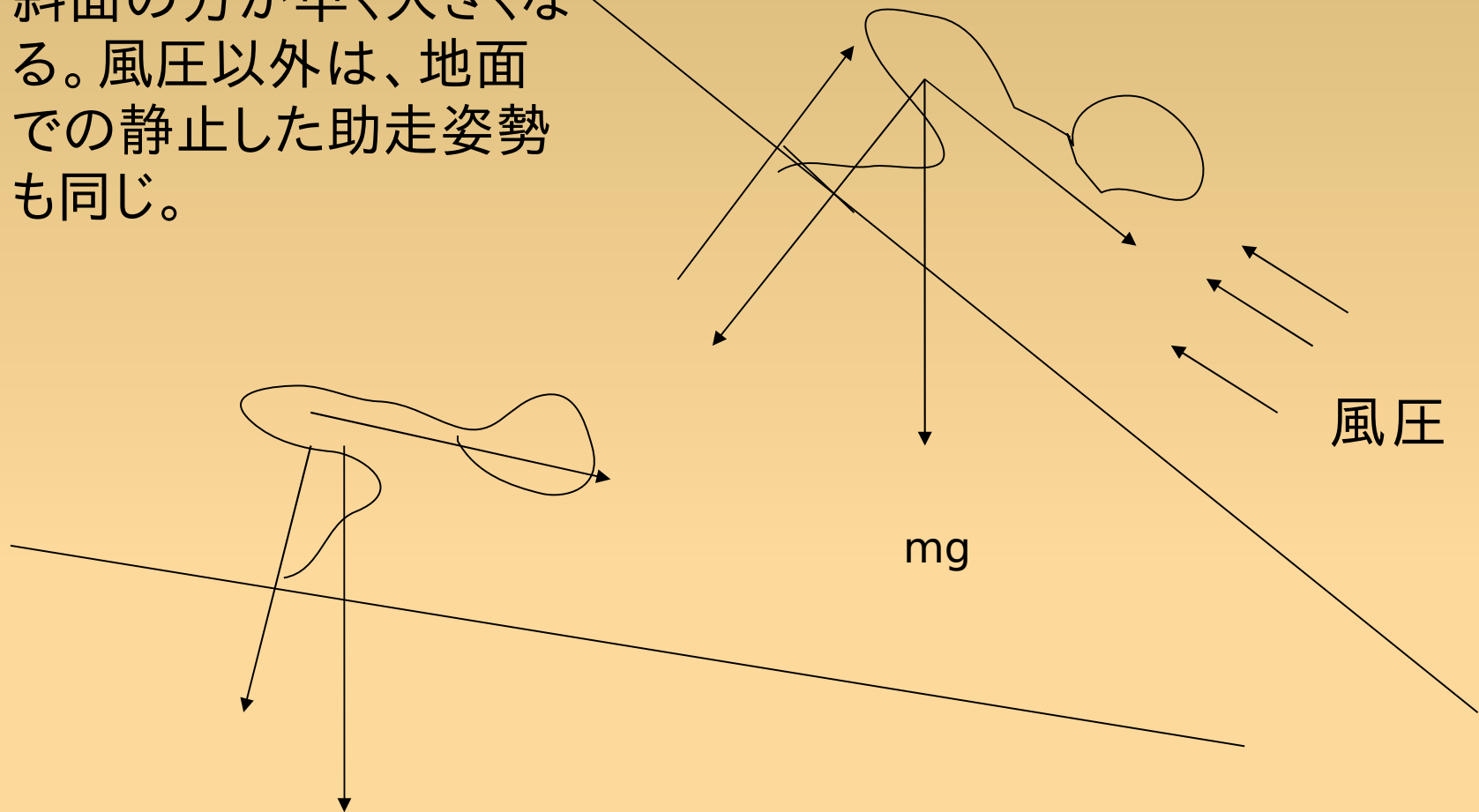
斜面を滑るジャンパー (空気がある場合)

風圧は速度が増すと大きくなる。90km/hで約5kg。その分前に体を傾ける。普通は無意識にバランス補正をしている。



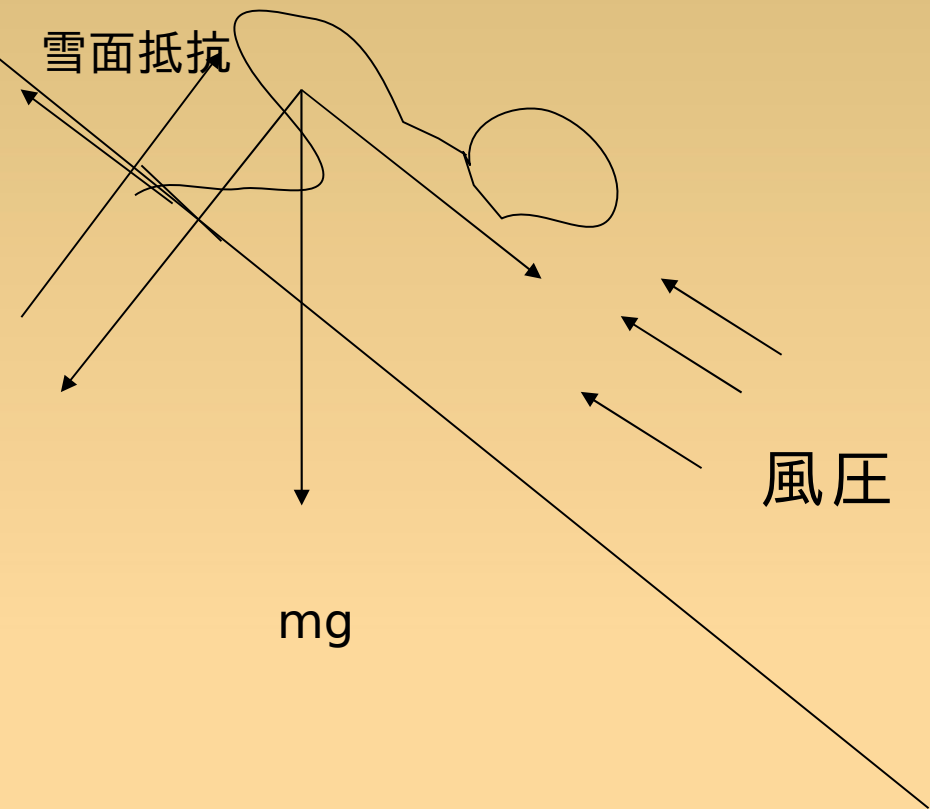
急斜面と緩斜面の助走路

斜度に関係なくバランスは同じ。ただし風圧は急斜面の方が早く大きくなる。風圧以外は、地面での静止した助走姿勢も同じ。

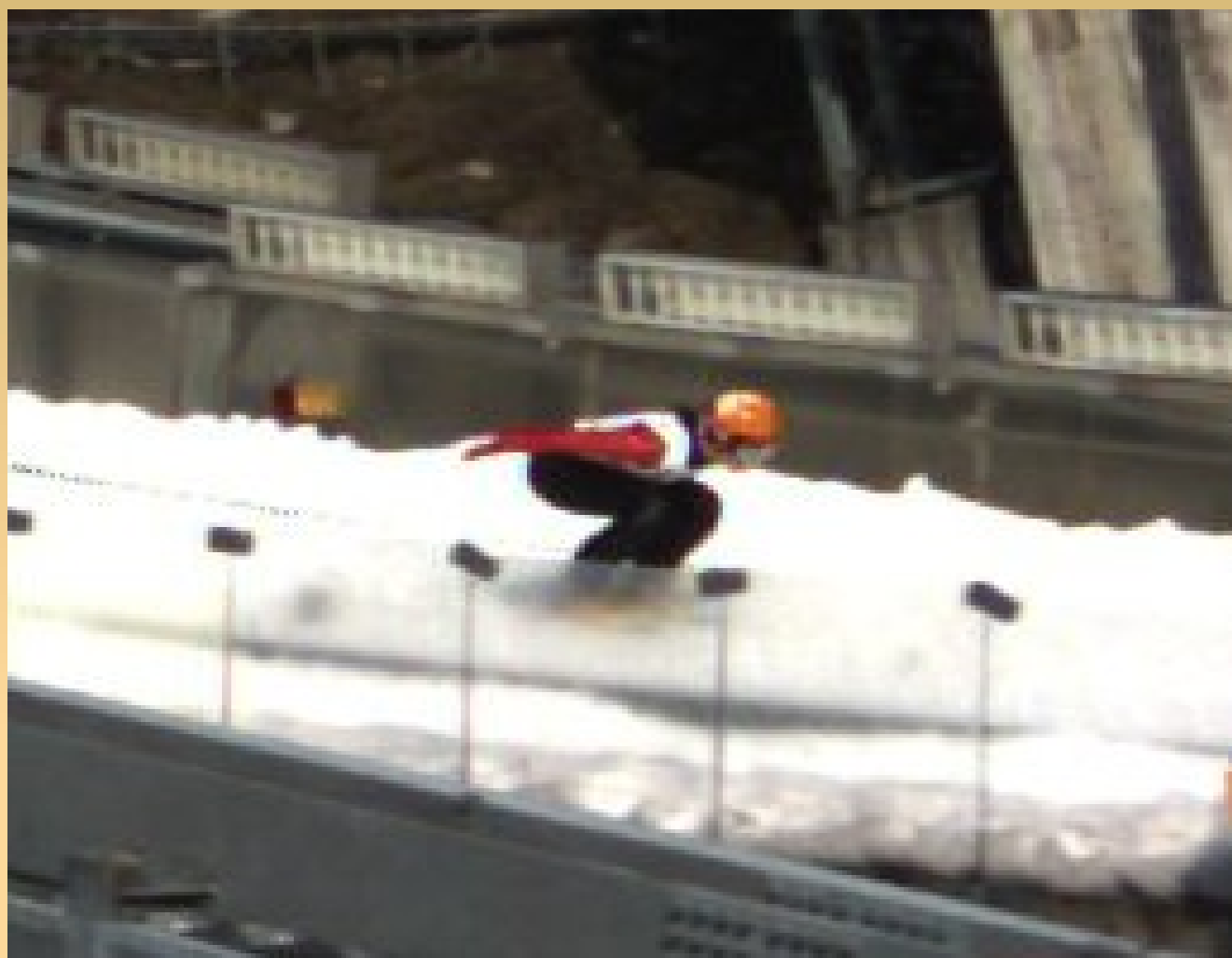


滑る助走路、滑らない助走路

降雪時や、湿雪の滑らない助走路では、雪面抵抗の分、後傾してバランスをとる。
滑る助走路でも、スキーが先に行くことはない(感じるだけ)

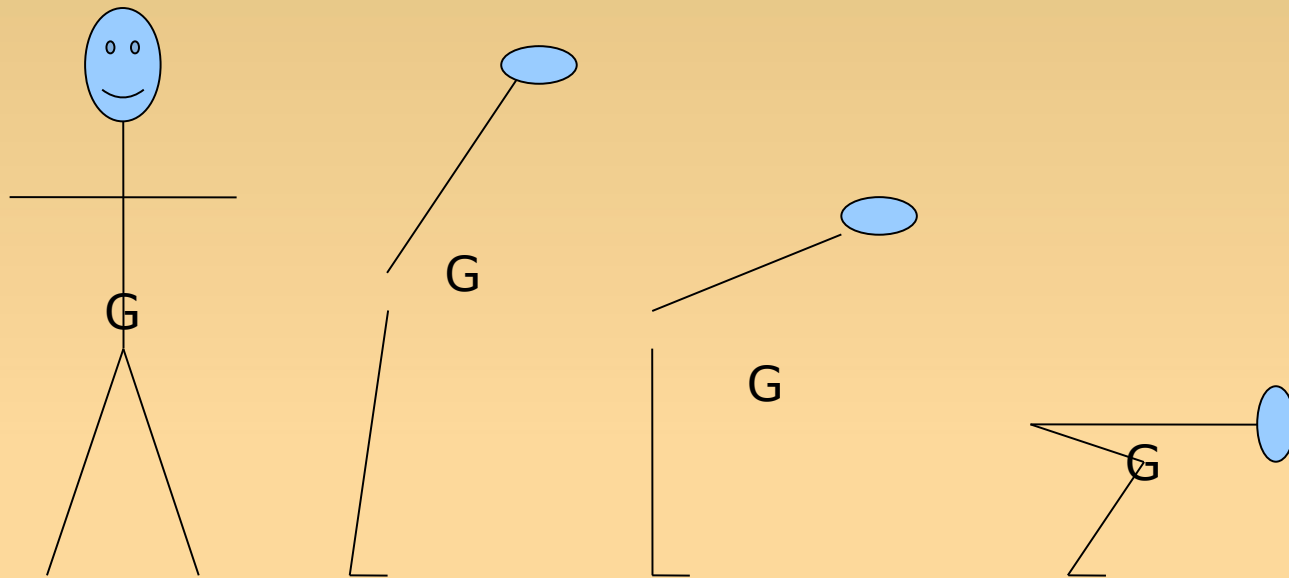


全日本選手権NH 金井



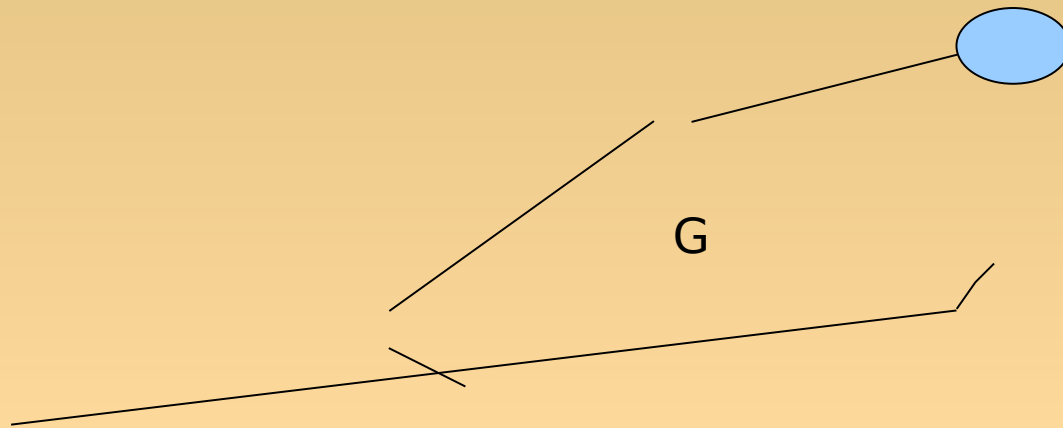
重心とは

重さの中心＝何か物体を一点で支えたときに、ちょうど釣り合う点が重心



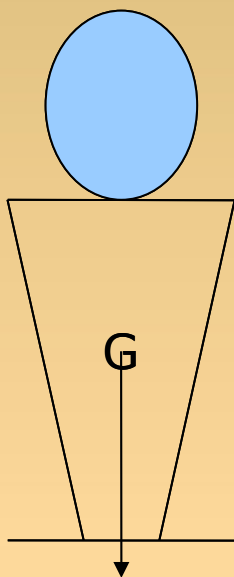
重心とは

重さの中心 = 身体だけでなくスキー、靴等も含めた重さの中心が重心

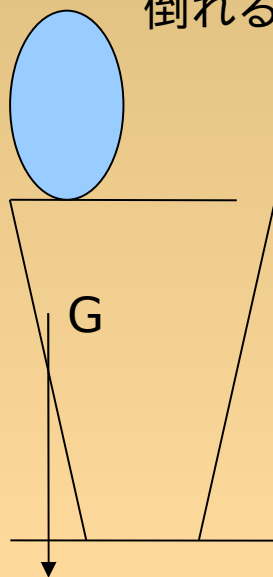


安定、バランス

倒れない

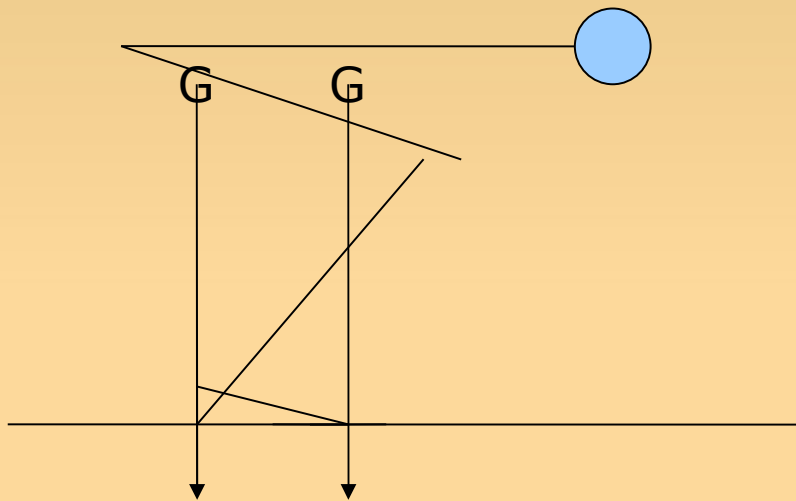


倒れる



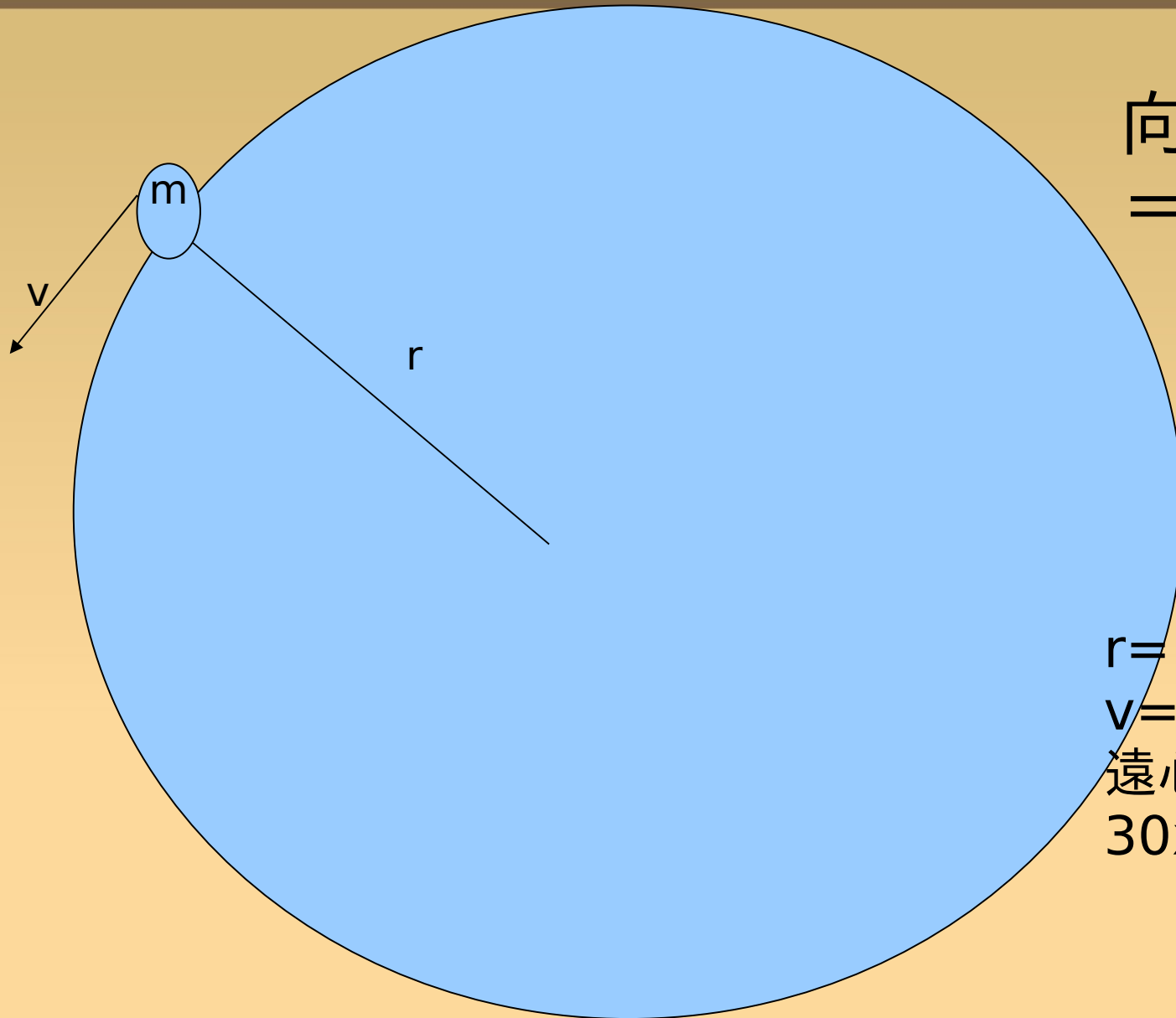
物体の重心
の作用線が
底面を外れ
ると倒れる

安定、バランス



クローチン
グ姿勢での
重心が足裏
を外れると
転倒する。
＝滑れない

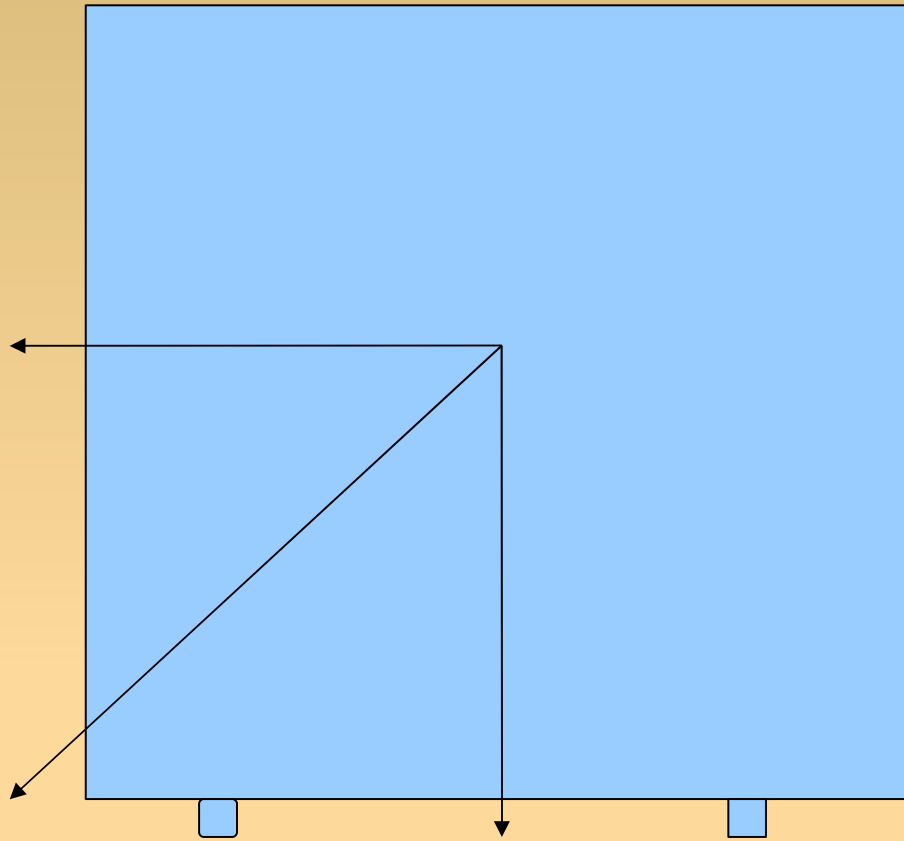
遠心力、向心力



$$\text{向心力} = \text{遠心力} \\ = v^2/r$$

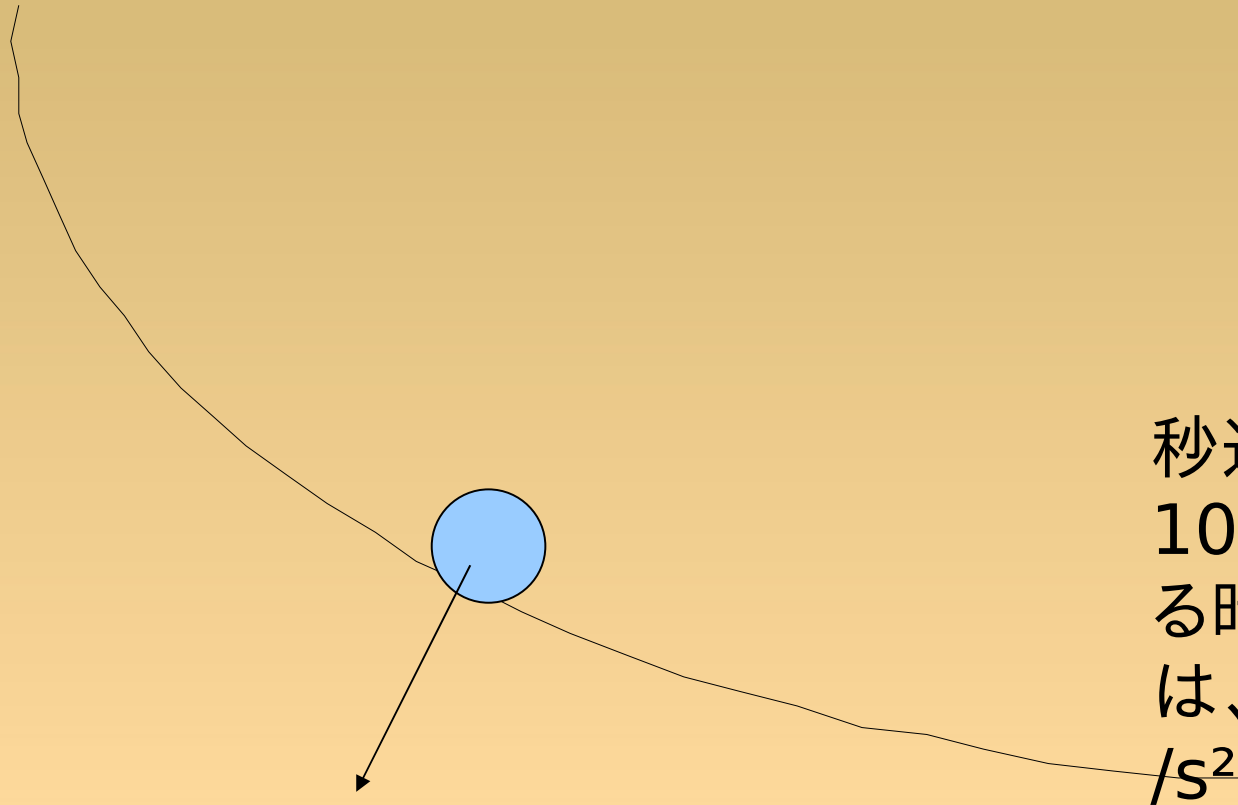
$r=100\text{m}$
 $v=30\text{m/s}$ の場合
遠心力は、
 $30 \times 30 / 100 = 9\text{m/s}^2$

遠心力、向心力



半径100mのカーブを秒速30m/sで走っている電車は水平方向に 9m/s^2 の遠心力を受ける。
=重力加速度
(9.8m/s^2 とほぼ同じ)

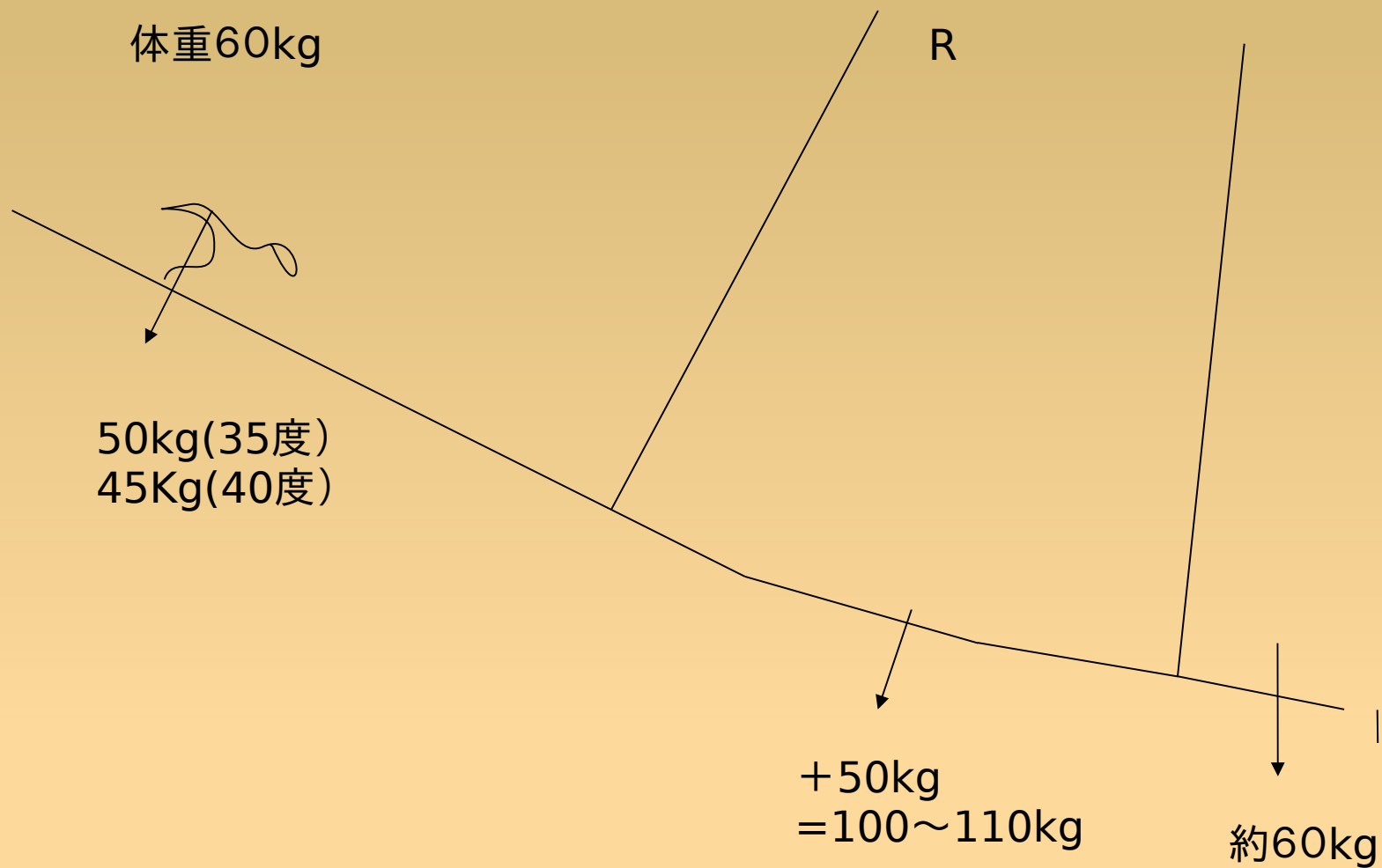
助走路曲線を滑るジャンパー



秒速25m/sで半径
100mの曲線を通過す
る時の向心力
は、 $25^2/100=6.25\text{m}/\text{s}^2$

曲線を通過中のジャンパーは体重が50%程重くなった感じがする＝斜面に押しつけられる＝潰される感じ

助走路での(足に感じる)体重



ジャンプ台の設計

助走路の緩和曲線R1は、

$$R1=0.13 \sim 0.14 \times Vo^2 \dots (1)$$

遠心力 $=\frac{Vo^2}{R1}$ なので

$$\text{遠心力}=\frac{1}{(0.13 \sim 0.14)}=7.7=0.8G$$

ジャンプ台の大きさに関係なくほぼ同じ遠心力を受ける。

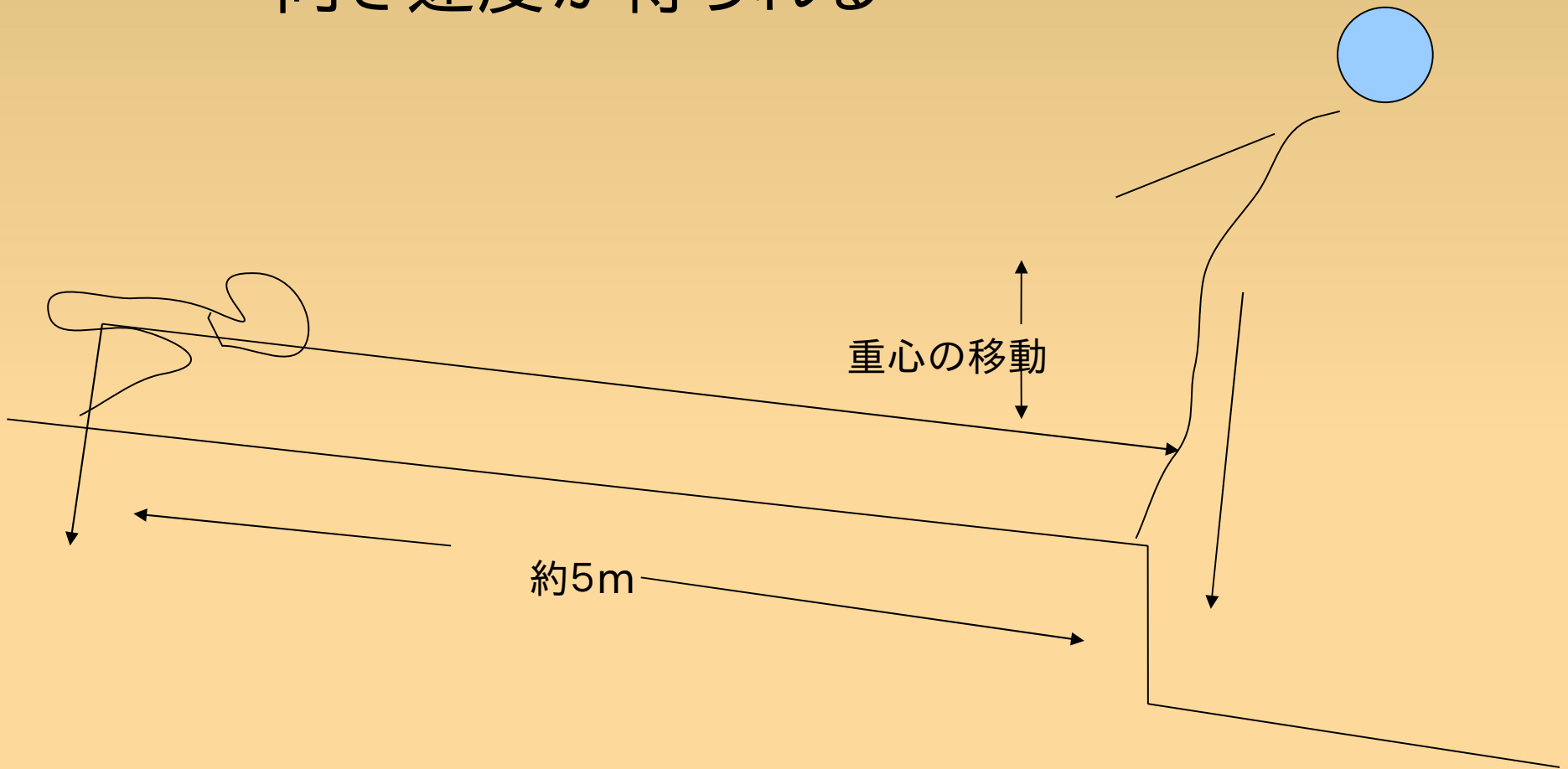
一方、カンテ直線Tは、 $T=0.25 \times Vo$

よって、カンテ通過時間は、

ジャンプ台の大きさに関係なく約0.25秒

踏切(Take off)

踏切動作により重心位置が進行方向と直角に移動する＝上向き速度が得られる



踏切動作の力学(数式)

$$F = mg + ma \dots\dots(1)$$

$$a = \frac{(F - mg)}{m} \dots\dots(2)$$

$$v = \frac{(F - mg)}{m} t \dots\dots(3)$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots(4)$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = mgh \dots\dots(5)$$

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots(6)$$

h=0.8とすると(5)より

v=4m/s

t=0.25sとして(3)に代入

a=8m/s²

踏切動作の力学(数式)

体重が55 kg, で上方向に4m毎秒で踏み切った場合の仕事量Eは

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 55 \times 4^2 = 440 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$$

体重が10パーセント (約60kg) 増え、筋力 (仕事量) が同じ場合、

$$v = \sqrt{2 \frac{E}{m}} \text{ より、}$$

$$v' = \sqrt{2 \frac{E}{1.1m}} = \sqrt{\frac{1}{1.1}} v$$

$$v' = 0.95v = 3.8 \text{ m/s}$$

体重が10%増えた場合

$m' = 1.1m$ とすると (体重が10%増)

$f = m\alpha$ なので、 $\alpha' = \frac{\alpha}{1.1}$

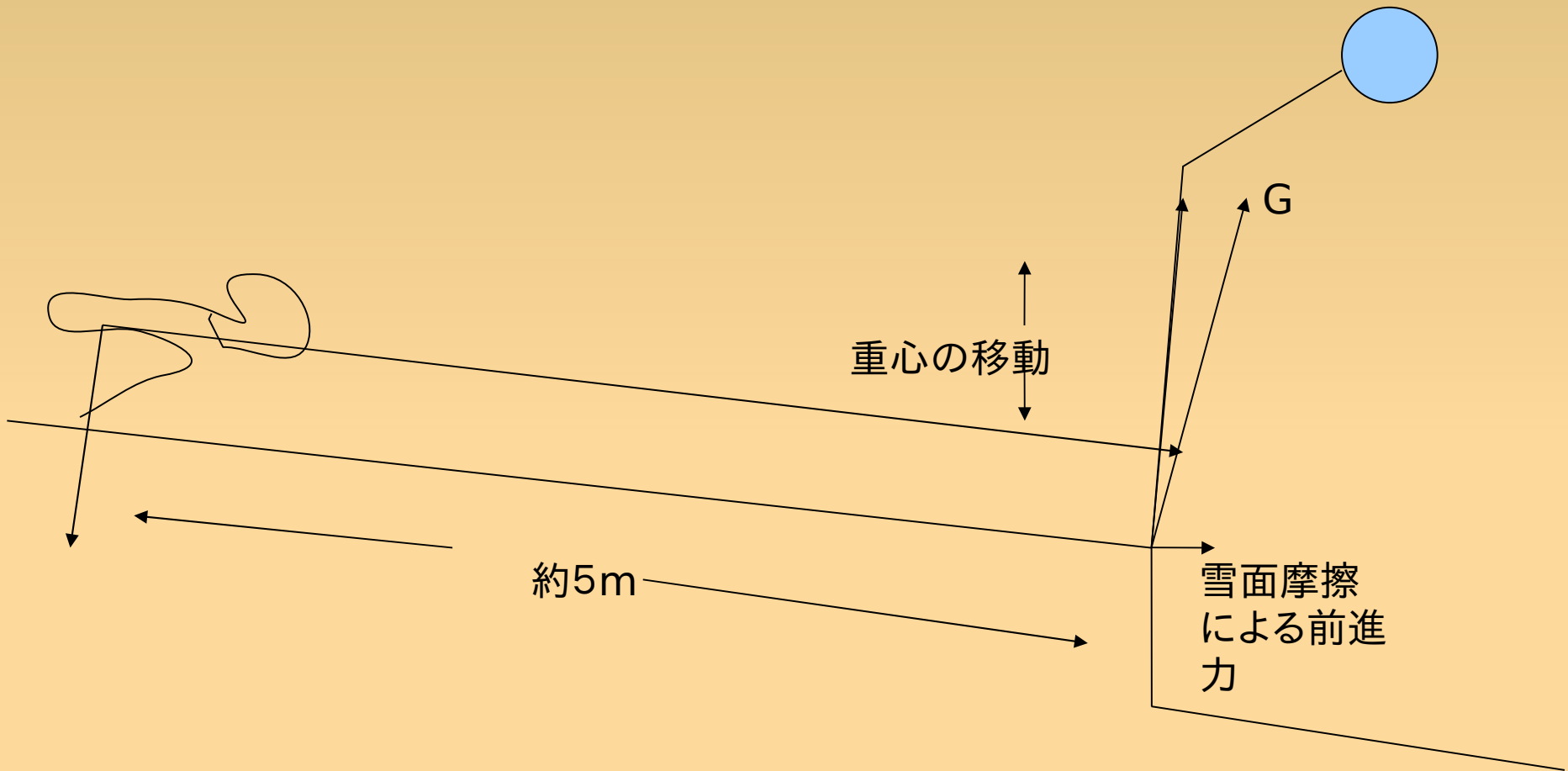
$t' = 1.1t$ となり、 $t = 0.3\text{m/s}$ の場合、

$t' = 0.33\text{m/s}$

すなわち、 $\frac{3}{100}$ 秒、完了に時間がかかる

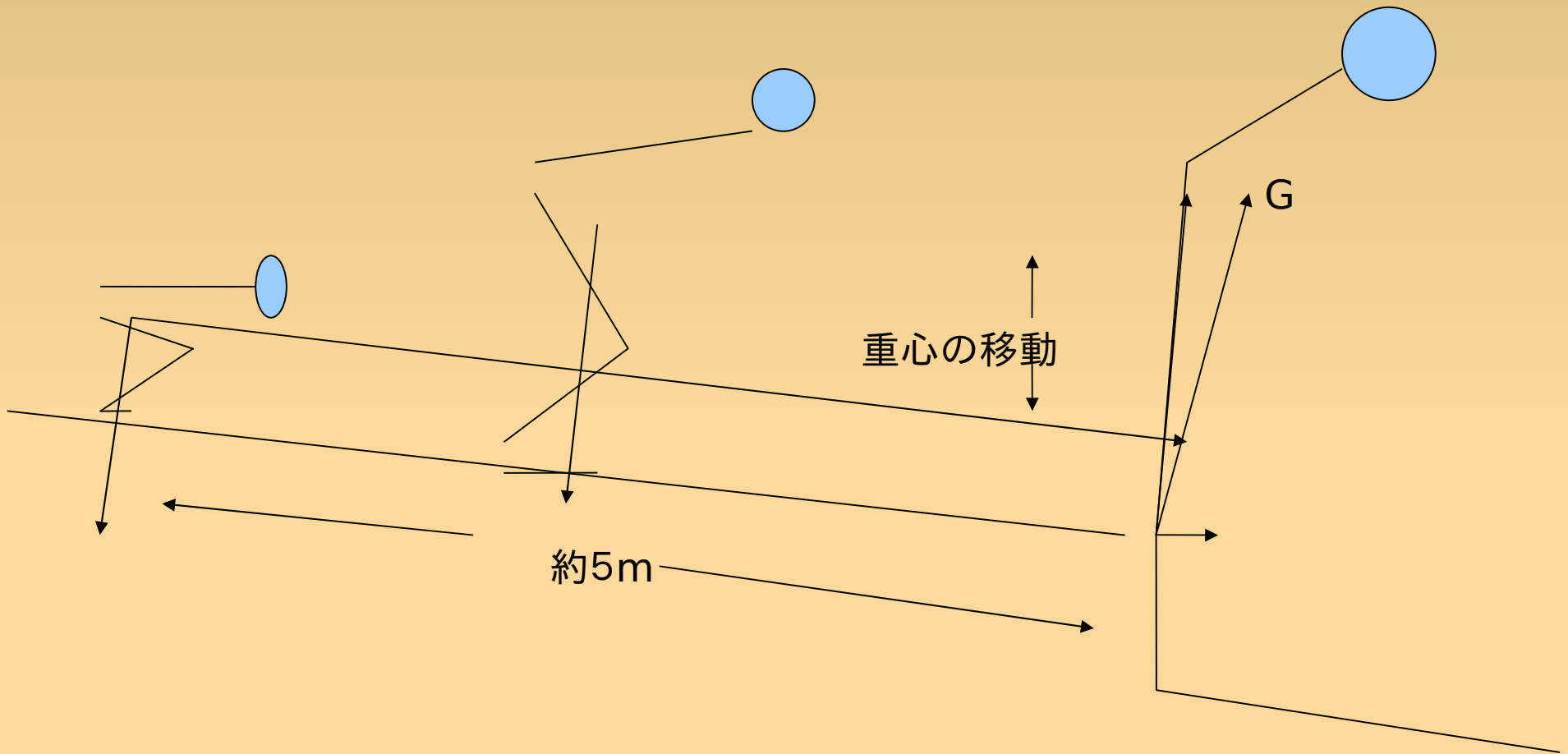
踏切の方向

理論的には踏切の方向は雪面摩擦の分前方になる。しかし僅かであるので限りなくカンテと直角。
膝の方向へは不可能



踏切の方向

また踏切の方向は足裏重心位置によって
きまるといえる。(踵、土踏まず、母子球、
爪先の順に前方となる)



踏切での上体の角度



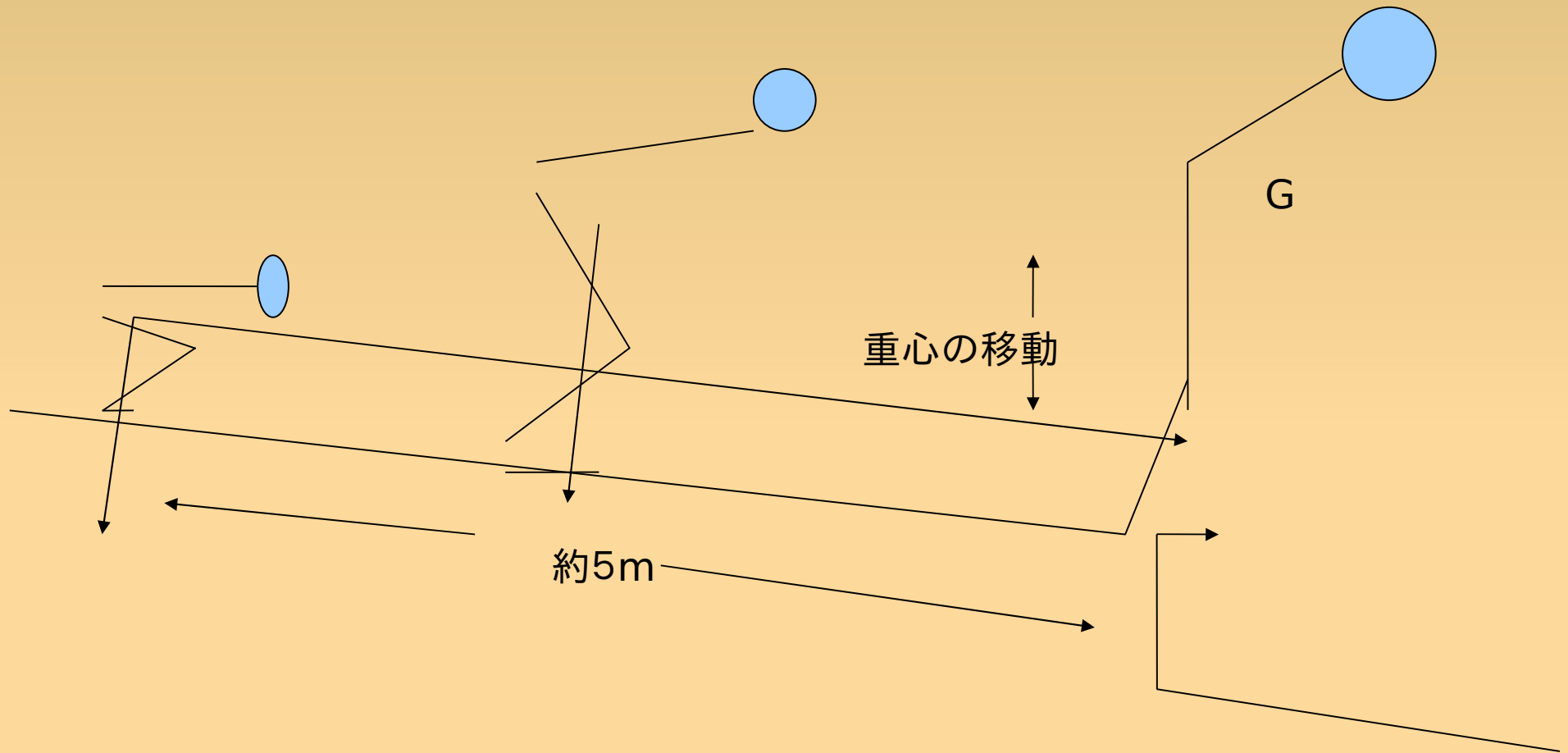
アマン型
モルゲンシュタイン
ヘルバルト
伊東大貴
竹内拓
原田雅彦



アホネン型
ヤンダ
ロキアソイ
ビドヘルツル
船木和喜

踏切のタイミング

踏切のタイミングは靴(25cm)の長さ内で、踏切先端にかかり、膝は前方に突き出し、ふとももの角度が鉛直を基本とする

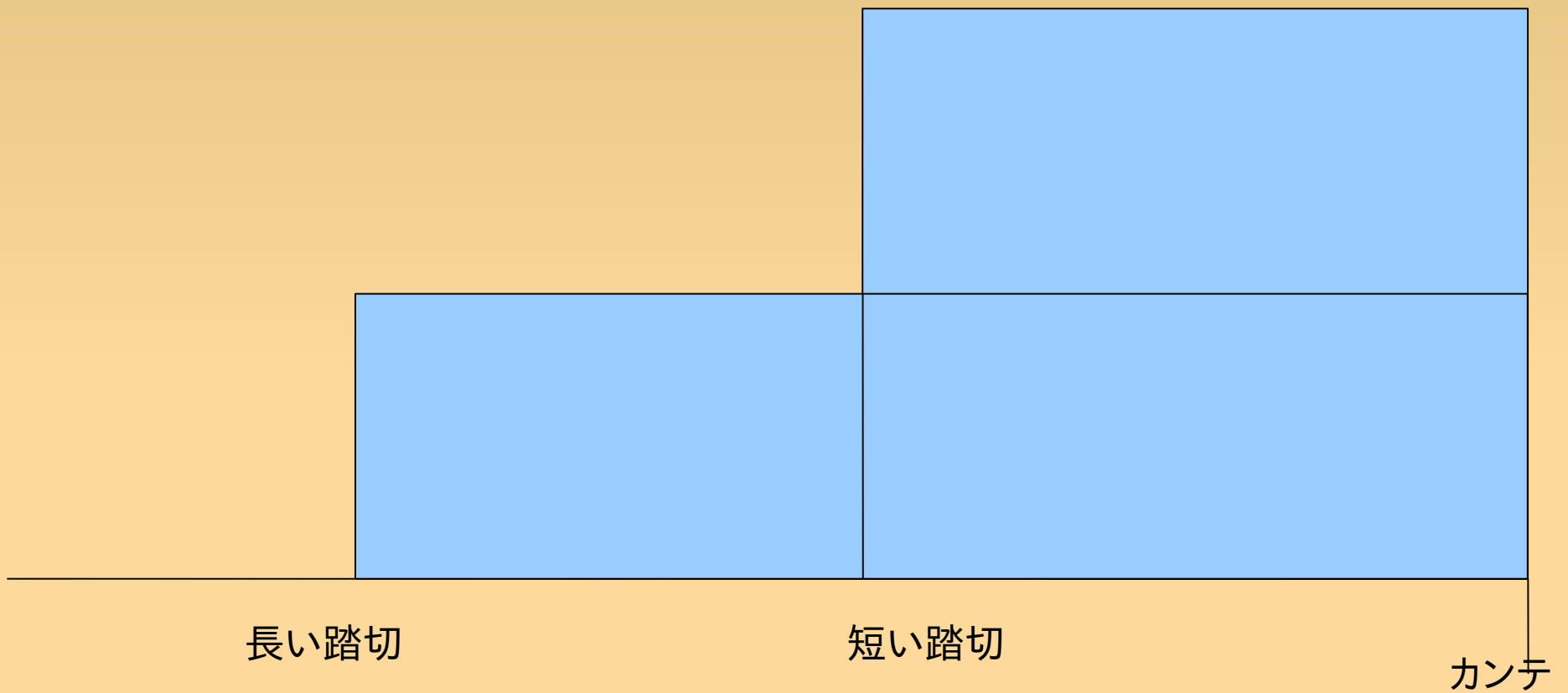


札幌世界選手権NH マリシュ



<img s
width=

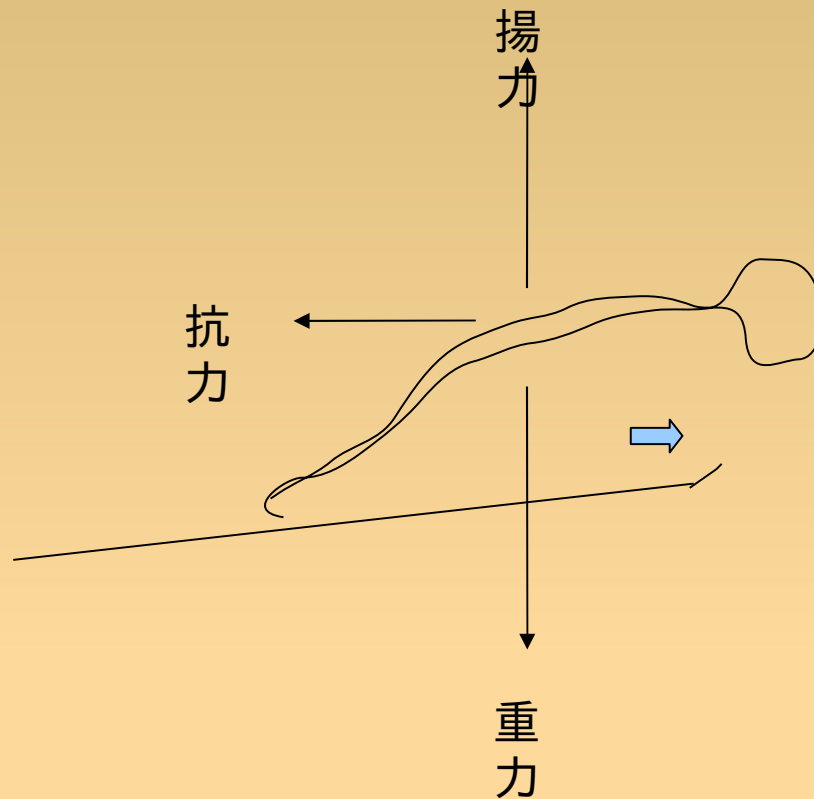
長い踏切と短い踏切



空中

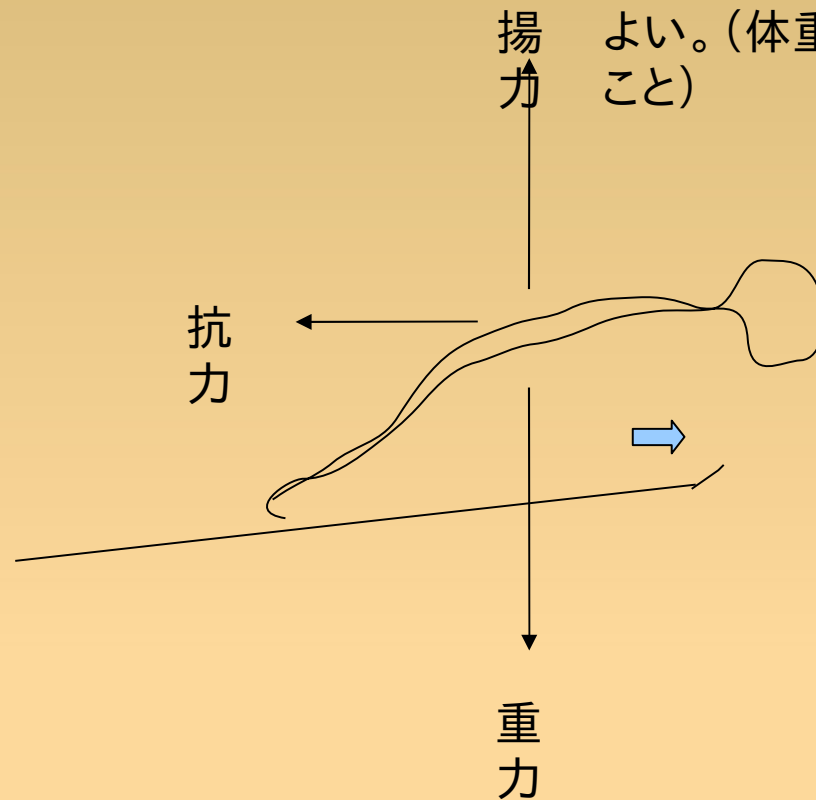
飛距離を出すには揚力を大きく、抗力を少なくする

体重が1kg増えると1m飛距離が減り、スキーが1cm長くなると1m距離が増える



BMIルールと空中

BMIルール以前は、パワーのない軽量選手が有利な場合もあったが、BMIルール後は、同じ長さのスキー長ならパワー（筋力）がある方がよい。（体重はルールに限りなく近いこと）



BMIルールにおける有利な体型

同じスキーマの長さなら

