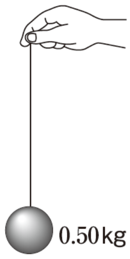
☆44 期生のうち新二年で物理を選択する生徒への課題
　以下の問いを問題のコピーor レポート用紙に解く。
　自己採点して 2 年の初めの物理の授業で提出する。

　これまでに学習したように，物体の運動を正しくとらえるためには，物体の運動方程式を適確に立てることも重要である。ここでは，運動方程式の立て方を改めて学習しよう。
　運動方程式は，次のような手順で立てることができる。
①運動方程式を適用する物体を決め，その物体が受ける力を図示する。
②正の向きを定め，加速度を a とする。運動する向きを正とすることが多い。複数の方向に力を受ける場合は，互いに垂直な 2 つの方向で正の向きを定める。
③物体が受ける運動方向の力の成分の和を求める。2 つの方向を定めた場合は，各方向で力の成分の和を求める。
④求めた力の成分の和を運動方程式($ma=F$)に代入する。

102　鉛直方向の運動

質量 0.50kg の物体に軽いひもの一端を取りつけ，他端を手でもって静止させる。ひもの張力の大きさを変化させて，物体を鉛直方向に運動させる。次のような運動を物体にさせるとき，ひもの張力の大きさはそれぞれいくらか。ただし，重力加速度の大きさを 9.8m/s^2 とする。



(1)　鉛直上向きに大きさ 1.2m/s^2 の加速度で上昇させる。
(2)　鉛直下向きに 1.2m/s^2 の加速度で下降させる。
(3)　鉛直下向きに 9.8m/s^2 の加速度で下降させる。

102　鉛直方向の運動

《解答》

(1) 5.5N　(2) 4.3N　(3) 0N

《指針》

物体は，重力，糸の張力を受けて，鉛直方向に運動する。物体が運動する向きを正として，運動方程式を立てる。

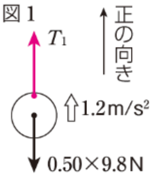
《解説》

(1)　物体が受ける糸の張力を T_1 とすると，力は図 1 のように示される。鉛直上向きを正とすると，物体が受ける運動方向の力の成分の和は
$T_1 - 0.50\times9.8$〔N〕であり，運動方程式 $ma=F$ は，

$0.50\times1.2 = T_1 - 0.50\times9.8$

$T_1 = 0.50\times(1.2+9.8) = 5.5$〔N〕

図 1

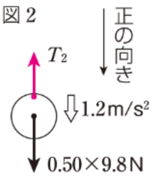


(2)　物体が受ける糸の張力を T_2 とすると，力は図 2 のように示される。鉛直下向きを正とすると，物体が受ける運動方向の力の成分の和は $0.50\times9.8 - T_2$〔N〕であり，運動方程式 $ma=F$ は，

$0.50\times1.2 = 0.50\times9.8 - T_2$

$T_2 = 0.50\times(9.8-1.2) = 4.3$〔N〕

図 2



(3)　糸の張力の大きさを T_3 とする。物体は(2)と同じ向きに運動しているので，(2)と同様に，鉛直下向きを正とすると，運動方向の力の成分の和は $0.50\times9.8 - T_3$〔N〕である。運動方程式 $ma=F$ を立てると，

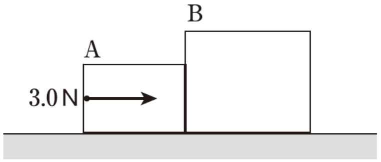
$0.50\times9.8 = 0.50\times9.8 - T_3$　　$T_3 = 0$〔N〕

《補足》

・物体の運動の向き(鉛直下向き)を正としているので，(1)と正の向きの設定が逆である。

・鉛直下向きに 9.8m/s² で運動しており，物体は自由落下をしていることがわかる。

103　接触する 2 物体の運動



なめらかな水平面上に，質量 1.0kg の物体 A と質量 1.5kg の物体 B が接するように置かれている。A に大きさ 3.0N の右向きの力を加え続け，A と B を運動させる。このとき，A，B の加速度の大きさと，A と B との間でおよぼしあう力の大きさはそれぞれいくらか。

103　接触する 2 物体の運動

《解答》

1.2m/s^2，1.8N

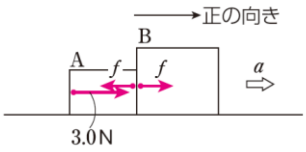
《指針》

接触する 2 つの物体が運動するとき，各物体の加速度の大きさは等しい。また，物体の間では，作用・反作用の法則から，大きさが等しく逆向きの力をおよぼしあっている。物体ごとに運動方程式を立てる。

《解説》

物体 A, B がおよぼしあう力の大きさを f〔N〕とすると，各物体が運動方向に受ける力は図のようになる。右向きを正の向きとし，A，B の加速度を a とする。各物体が受ける運動方向の力の成分の和は，

A：$3.0-f$〔N〕　　B：f〔N〕



したがって，それぞれの運動方程式 $ma=F$ は，

A：$1.0\times a=3.0-f$　　…①

B：$1.5\times a=f$　　…②

式①＋式②から，　$2.5a=3.0$　　$a=1.2$〔m/s^2〕

これを式②に代入して f を求めると，　$f=1.5\times1.2=1.8$〔N〕

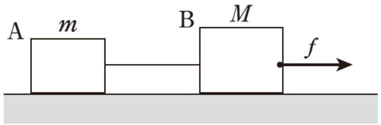
《補足》

・A，B が鉛直方向にそれぞれ受ける重力，垂直抗力はつりあっており，運動方向の成分がなく，考慮しなくてよい。

・A と B をまとめて 1 つの物体とみなすと，運動方程式は，$(1.0+1.5)a=3.0$ となり，a が求められる。しかし，f を求めるためには，物体ごとに運動方程式を立てる必要がある。

104 連結された物体の運動

なめらかな水平面上に，質量 m の物体 A と質量 M の物体 B が置かれている。両者を軽い糸でつなぎ，B に大きさ f の右向きの力を加え続けて，A と B を運動させる。このとき，A，B の加速度の大きさと，糸の張力の大きさはそれぞれいくらか。



04　連結された物体の運動

《解答》

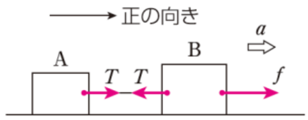
加速度：$\frac{f}{M+m}$，張力：$\frac{mf}{M+m}$

《指針》

軽い糸で連結された 2 つの物体が運動するとき，各物体の加速度の大きさは等しい。また，糸は両端につながれた物体に同じ大きさの張力をおよぼす。物体ごとに運動方程式を立てる。

《解説》

糸の張力の大きさを T とすると，A，B が受ける運動方向の力は図のように示される。右向きを正の向きとし，A，B の加速度を a とする。各物体が受ける運動方向の力の成分の和は，



A：T　　B：$f-T$

したがって，それぞれの運動方程式は，

A：$ma=T$　　…①

B：$Ma=f-T$　　…②

式①＋式②から，　$(M+m)a=f$　　$a=\frac{f}{M+m}$

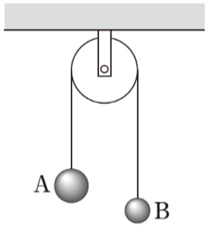
これを式①に代入して T を求めると，　$T=ma=\frac{mf}{M+m}$

《補足》

・A，B が鉛直方向にそれぞれ受ける重力，垂直抗力はつりあっており，運動方向の成分がなく，考慮しなくてよい。

・A と B をまとめて 1 つの物体とみなすと，運動方程式は，$(M+m)a=f$ となり，a が求められる。しかし，T を求めるためには，物体ごとに運動方程式を立てる必要がある。

105　滑車につけた物体の運動



なめらかに回転する軽い滑車に糸を通し，糸の両端に質量 M の物体 A と質量 m の物体 B をつけて手で静止させる。静かにはなすと，A，B は運動を始めた。このとき，A，B の加速度の大きさと，糸の張力の大きさはそれぞれいくらか。ただし，重力加速度の大きさを g として，物体の質量は $M>m$ の関係にあるとする。

105　滑車につけた物体の運動

《解答》

加速度：$\frac{M-m}{M+m}g$，張力：$\frac{2Mm}{M+m}g$

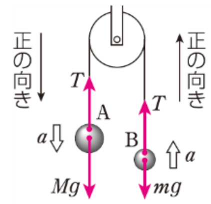
《指針》

糸で連結されているので，A，B の加速度の大きさは等しい。また，糸は両端につながれた物体に同じ大きさの張力をおよぼす。各物体の運動の向きを正として，A，B の運動方程式を立てる。

《解説》

糸の張力の大きさを T とすると，A，B が受ける力は図のように示される。A，B のそれぞれが運動する向きを正として，加速度を a とする。各物体が受ける運動方向の力の成分の和は，

A：$Mg-T$　　B：$T-mg$



それぞれの運動方程式は，

A：$Mg=Mg-T$　　…①

B：$ma=T-mg$　　…②

式①＋式②から，

$(M+m)a=(M-m)g$　　$a=\frac{M-m}{M+m}g$

これを式②に代入して T を求めると，

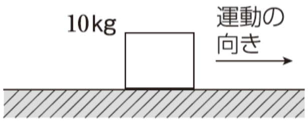
$$T=m(a+g)=m\times\left(\frac{M-m}{M+m}g+g\right)=\frac{2Mm}{M+m}g$$

《補足》

・A の質量が B の質量よりも大きいので，A は下向きに，B は上向きに運動する。A と B とで，加速度の正の向きが異なるので注意する。

106 粗い水平面上の運動

図のように，粗い水平面上に置かれた質量 10kg の物体に，右向きの初速度を与えて面上をすべらせた。物体が面上をすべっているときの，物体の加速度の大きさと向きを求めよ。ただし，物体と面との間の動摩擦係数を 0.20，重力加速度の大きさを 9.8m/s^2 とする。



106　粗い水平面上の運動

《解答》

$2.0 m/s^2$，左向き

《指針》

物体は，運動する向きと逆向きに動摩擦力を受けている。その大きさ F'は，動摩擦係数 μ'，垂直抗力 N を用いて，$F'=\mu' N$ である。鉛直方向の力のつりあいから垂直抗力を計算し，動摩擦力を求めて運動方程式を立てる。

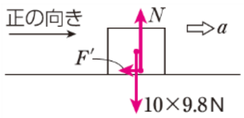
《解説》

垂直抗力を N，動摩擦力を F'とすると，物体が受ける力は図のように示される。鉛直方向の重力と垂直抗力のつりあいから，

$N=10\times 9.8=98$〔N〕

動摩擦力 F'は，　$F'=\mu' N=0.20\times 98=19.6$〔N〕

右向きを正の向きとし,加速度を a とする。運動方向の力の成分の和は，-19.6N である。運動方程式 $ma=F$ は,



$10\times a=-19.6$

$a=-1.96$〔m/s^2〕　　$-2.0 m/s^2$

加速度は，$2.0 m/s^2$ で左向きとなる。

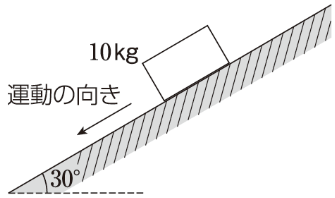
《補足》

・物体が受ける鉛直方向の重力と垂直抗力はつりあっている。動摩擦力は垂直抗力に比例するので，摩擦のない面上の運動とは異なり，鉛直方向の力を考慮する必要がある。

・加速度の負の符号は，正の向きと逆向き(左向き)であることを示している。

107 粗い斜面上の運動

水平とのなす角が 30° の粗い斜面上に, 質量 10kg の物体を静かに置くと, 物体は斜面に沿って下向きにすべり始めた。このとき, 物体の加速度の大きさはいくらか。ただし, 物体と面との間の動摩擦係数を 0.20, 重力加速度の大きさを $9.8 m/s^2$ とする。



107　粗い斜面上の運動

《解答》

3.2m/s^2

《指針》

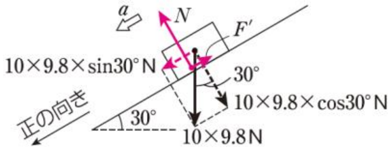
物体は，運動する向きと逆向き(斜面に沿って上向き)に動摩擦力を受けている。その大きさ F'は，動摩擦係数 μ'，垂直抗力 N を用いて，$F'=\mu'N$ である。斜面に垂直な方向の力のつりあいから垂直抗力を計算して動摩擦力を求め，斜面に平行な方向の運動方程式を立てる。

《解説》

垂直抗力を N，動摩擦力を F'とすると，物体が受ける力は図のように示される。斜面に垂直な方向の力のつりあいから，

$N-10\times9.8\times\cos30°=0$　　$N=49\sqrt{3}$〔N〕

動摩擦力 F'は，　$F'=\mu'N=0.20\times49\sqrt{3}=16.9$〔N〕



斜面下向きを正の向きとし，加速度を a とする。運動方向(斜面に平行な方向)の力の成分の和は，

$10\times9.8\times\sin30°-16.9=32.1$〔N〕

運動方程式 $ma=F$ は，　$10\times a=32.1$　　$a=3.21$〔m/s^2〕　　3.2m/s^2

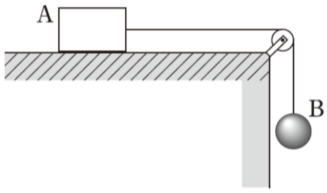
《補足》

・動摩擦力は，面に沿って平行な方向にはたらく。

・途中計算の結果は有効数字の桁数よりも 1 桁多くとり，最後に有効数字の桁数にあわせる。

108 滑車につけた物体の運動

粗い水平面上に置かれた質量 M の物体 A に糸をつけ，なめらかに回転する軽い滑車に通して，他端に質量 m の物体 B をつるし，静かにはなすと，B は下降し始めた。このとき，A，B の加速度の大きさと，糸の張力の大きさはそれぞれいくらか。ただし，A と面との間の動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とする。



108　滑車につけた物体の運動

《解答》

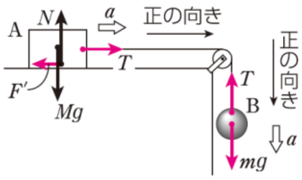
加速度：$\frac{m-\mu' M}{M+m}g$，張力：$\frac{(1+\mu')Mm}{M+m}g$

《指針》

糸で連結されて運動するので，物体 A，B の加速度の大きさは等しく，糸から受ける張力の大きさも等しい。各物体の運動の向きを正として，A，B の運動方程式を立てる。なお，A は面から左向きに動摩擦力を受けている。

《解説》

A が受ける垂直抗力を N，動摩擦力を F'，糸の張力を T とすると，A，B が受ける力は図のように示される。A が受ける鉛直方向の力のつりあいから，$N=Mg$ であり，動摩擦力 F' は，$F'=\mu' N=\mu' Mg$ となる。A，B のそれぞれが運動する向きを正として，加速度を a とする。各物体が受ける運動方向の力の成分の和は，



A：$T-\mu' Mg$　　B：$mg-T$

それぞれの運動方程式は，

A：$Ma=T-\mu' Mg$　　…①

B：$ma=mg-T$　　…②

式①＋式②から，

$(M+m)a=(m-\mu' M)g$　　$a=\frac{m-\mu' M}{M+m}g$

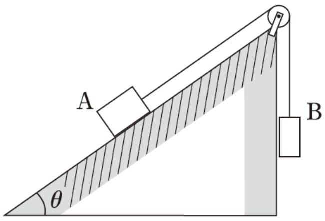
これを式②に代入して T を求めると，

$$T=m(g-a)=m\left(g-\frac{m-\mu' M}{M+m}g\right)=\frac{(1+\mu')Mm}{M+m}g$$

《補足》

・A は右向き，B は下向きに運動する。A が受ける動摩擦力は，運動を妨げる左向きとなる。

109　滑車につけた物体の運動



水平とのなす角が θ の粗い斜面上に質量 m の物体 A を置き，軽いひもの一端をつける。ひもをなめらかに回転する軽い滑車に通して，他端に質量 M の物体 B をつるし，静かにはなすと，B は下降し始めた。このとき，A，B の加速度の大きさと，ひもの張力の大きさはそれぞれいくらか。ただし，A と面との間の動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とする。

109　滑車につけた物体の運動

《解答》

加速度：$\dfrac{M-m(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}{M+m}g$

張力：$\dfrac{(1+\sin\theta+\mu'\cos\theta)Mmg}{M+m}$

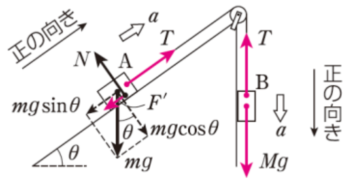
《指針》

糸で連結されて運動するので，物体 A，B の加速度の大きさは等しく，糸から受ける張力の大きさも等しい。各物体の運動の向きを正として，A，B の運動方程式を立てる。なお，A は斜面下向きに動摩擦力を受けている。

《解説》

A が受ける垂直抗力を N，動摩擦力を F'，糸の張力を T とすると，A，B が受ける力は図のように示される。A が受ける斜面に垂直な方向の力のつりあいから，$N=mg\cos\theta$ であり，動摩擦力 F'は，

$F'=\mu'N=\mu'mg\cos\theta$ となる。A，B が運動する向きをそれぞれ正として，加速度を a とする。各物体が受ける運動方向の力の成分の和は，



A：$T-mg\sin\theta-\mu'mg\cos\theta$　　B：$Mg-T$

それぞれの運動方程式は，

A：$ma=T-mg\sin\theta-\mu'mg\cos\theta$　　…①

B：$Ma=Mg-T$　　…②

式①＋式②から，　$(M+m)a=\{M-m(\sin\theta+\mu'\cos\theta)\}g$

$$a=\frac{M-m(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}{M+m}g$$

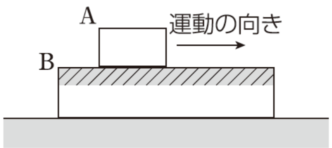
これを式②に代入して T を求めると，

$$T=M(g-a)=\frac{(1+\sin\theta+\mu'\cos\theta)Mmg}{M+m}$$

《補足》

・A は斜面上向き，B は下向きに運動する。A が受ける動摩擦力は，運動を妨げる斜面下向きとなる。
・A が受ける力は，斜面に平行な方向と垂直な方向に分解して考える。

110　重ねた物体の運動



なめらかな水平面上に質量 M の板 B が置かれ，その上に質量 m の物体 A がのせられている。A と B との間には摩擦があり，A に右向きの初速度を与えて B の上ですべらせると，A, B はそれぞれ異なる加速度で運動した。A と B との間の動摩擦係数を μ' とし，重力加速度の大きさを g とする。

(1)　A，B が受ける動摩擦力の大きさと向きをそれぞれ求めよ。

(2)　面に対する A，B の加速度の大きさと向きをそれぞれ求めよ。

110　重ねた物体の運動

《解答》

(1) A：$\mu' mg$，左向き　B：$\mu' mg$，右向き

(2) A：$\mu' g$，左向き　B：$\frac{\mu' m}{M}g$，右向き

《指針》

物体 A と板 B がおよぼしあう動摩擦力は，作用・反作用の関係にあり，互いに逆向きで大きさが等しい。A，B のそれぞれで運動方程式を立て，加速度を求める。なお，A は B の上をすべっており，A と B は異なる加速度で運動している。

《解説》

図 1

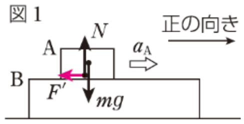
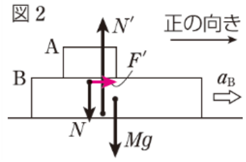


図 2



(1)　A は，B から運動を妨げる向き(左向き)に動摩擦力を受ける(図 1)。B が A から受ける動摩擦力は，A が受ける動摩擦力の反作用であり，右向きとなる(図 2)。A が受ける垂直抗力を N として，A が受ける鉛直方向の力のつりあいから，$N=mg$ である。したがって，動摩擦力の大きさ F' は，$F'=\mu' N$ から，$F'=\mu' mg$
B が受ける動摩擦力もこれに等しく，$\mu' mg$ となる。

(2)　右向きを正として，面に対する A，B の加速度をそれぞれ a_A，a_B とする。A，B が受ける運動方向の力の成分の和は，

A：$-\mu' mg$　　B：$\mu' mg$

それぞれの運動方程式は，

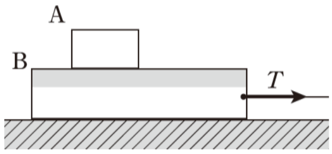
A：$ma_A=-\mu' mg$　　$a_A=-\mu' g$　　左向きに $\mu' g$

B：$Ma_B=\mu' mg$　　$a_B=\frac{\mu' m}{M}g$　右向きに $\frac{\mu' m}{M}g$

《補足》

・これまで動摩擦力は，物体の運動を妨げる力として扱われていた。しかし，このような重なりあった物体の運動では，動摩擦力によって運動することがある。

111　重ねた物体の運動



粗い水平面上に質量 M の板 B が置かれ，その上に質量 m の物体 A がのせられている。A と B の間には摩擦がない。B に糸をつけ，大きさ T の張力で右向きに引いて運動させた。面と B との間の動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とする。

(1)　A が B から受ける垂直抗力の大きさと，B が面から受ける垂直抗力の大きさをそれぞれ求めよ。

(2)　面に対する A，B の加速度の大きさをそれぞれ求めよ。

111　重ねた物体の運動

《解答》

(1) A：mg　B：$(M+m)g$

(2) A：0　B：$\frac{T-\mu'(M+m)g}{M}$

《指針》

(1) 物体 A と板 B がおよぼしあう垂直抗力は，作用・反作用の関係にある。A，B がそれぞれ受ける鉛直方向の力のつりあいから，垂直抗力を求める。(2) A と B との間に摩擦はないので，A は水平方向に力を受けず，運動しない。B の運動方程式を立て，加速度を求める。

《解説》

図 1

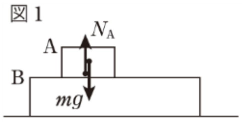
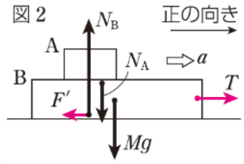


図 2



(1)　A が鉛直方向に受ける力は，重力と垂直抗力である(図 1)。垂直抗力を N_A とすると，力のつりあいから，

$N_A - mg = 0$　　$N_A = mg$

B が鉛直方向に受ける力は，重力，A が受ける垂直抗力 N_A の反作用，面からの垂直抗力である(図 2)。面からの垂直抗力を N_B とすると，力のつりあいから，　$N_B - Mg - mg = 0$　　$N_B = (M+m)g$

(2)　A と B の間に摩擦はないので，A は水平方向に力を受けない。したがって，加速度は 0 となる。B が面から受ける動摩擦力 F'は，

$F' = \mu' N_B = \mu'(M+m)g$

右向きを正として，面に対する B の加速度を a とする。B が受ける運動方向の力の成分の和は，

$T - \mu'(M+m)g$ となる。運動方程式を立てると，　$Ma = T - \mu'(M+m)g$　　$a = \frac{T-\mu'(M+m)g}{M}$

《補足》

・B の運動方程式を立てるときは，B の質量だけを用いればよい。