

1. 学習指導要領の示す目的

物理 (1) 様々な運動

物体の運動についての観察，実験などを通して，次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア(知識・技能) 様々な運動について，次のことを理解するとともに，それらの観察，実験などに関する技能を身に付けること。

(ア) 平面内の運動と剛体のつり合い

ウ 剛体のつり合い

大きさのある物体のつり合いに関する実験などを行い，剛体のつり合う条件を見いだして理解すること。

イ(思考力・判断力・表現力) 様々な物体の運動について，観察，実験などを通して探究し，平面内の運動と剛体のつり合い，運動量，円運動と単振動，万有引力，気体分子の運動における規則性や関係性を見いだして表現すること。

2. 出題について

(1)想定したテストの種類：定期考査

(2)授業からテストまでの単元「剛体」の流れ

使用教科書：数研出版「改訂版 総合物理1」P81～93

- ①【講義】剛体にはたらく力、力のモーメント…1時間
- ②【講義】剛体のつり合い…1時間
- ③【講義+実験】重心（三角形と四角形の重心）…1時間
- ④【探究活動】剛体の転倒実験…1時間→実験レポート提出
- ⑤実験の考察と転倒問題演習
- ⑥定期テスト

(3)④の探究活動で重視する「探究の過程」（別紙の実験レポート参照）

- ・仮説の設定 …実験プリントの3と4
- ・観察実験の実施 …実験プリントの5
- ・結果の処理 …実験プリントの6
- ・考察、推論 …実験プリントの7
- ・表現、伝達 …実験プリントの作成

3. 評価問題：題材「斜面上の剛体が転がる条件」

図1のように密度が一様で一辺が a, b, c ($a > b > c$) の直方体を図2のようにあらい斜面上におき，斜面の傾き角を徐々に大きくしていく．直方体が転倒するときの角度を調べた．また，直方体の置き方を変えて実験し，どのような時に転倒しやすいかを調べた．実験の手順，および実験結果は以下の通りである．

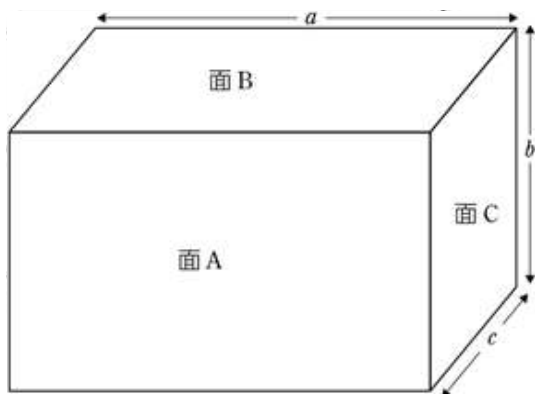


図1

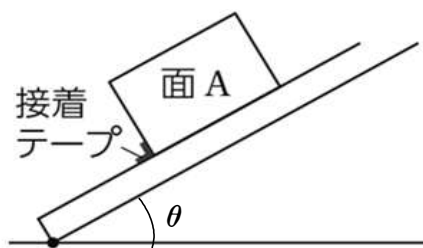


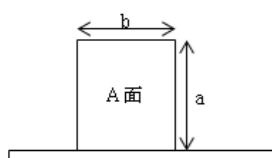
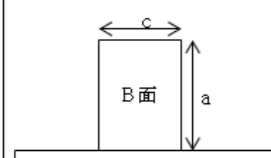
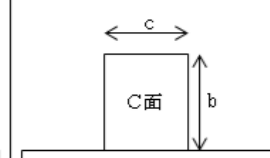
図2

手順

- ①直方体の3辺 a, b, c を測定する．
- ②直方体を，水平にしたベニヤ板の上に，辺が斜面にそう向きに平行になるようにして，あらい斜面上に置く．直方体の斜面下方の側面とベニヤ板面とを接着テープでL字形に貼ってつなぐ．
- ③斜面の傾きの角を徐々に大きくしていき，直方体が転倒するときの角度 θ_0 を分度器で測定し記録する．
- ③直方体の側面が他の面となるように置き方を変えて実験し，どのようなときに転倒しやすいか比較する．

実験結果 ①辺の長さ： $a = 40.0$ cm, $b = 30.0$ cm, $c = 28.0$ cm

表1：置き方と転倒するときの角度 θ_0 の測定結果

置き方	パターンα	パターンβ	パターンγ
			
転倒する角度	$\theta_0 = 36.9^\circ$	$\theta_0 = 35.0^\circ$	$\theta_0 = 43.1^\circ$

以下の問いに答えよ．ただし，テープを貼ることによる回転への影響はないものとする．

(1) 手順②で下線部アのようにテープを張る目的は何か.

(2) 下線部イの角度を分度器や関数電卓を使わずに角度を測定する方法を1つ述べよ.

(3) 実験結果を表1に示す. 実験結果から考えてパターン α , β , γ のどの置き方が転倒しやすいといえるか. 理由もつけて述べよ.

(4) この実験をもとに斜面上の物体が転倒しない条件を以下のように考察した. 空欄に適する語句や数式を入れよ. ただし, 重力加速度の大きさを g とする.

図3のように, 水平面と角 θ の傾きをなす
あらい斜面上に, 質量が m で密度が一般的な
直方体が置かれて静止している状態を考える.

この直方体に働く力を図示すると図4のよう
になる. したがって, 斜面からはたらく摩擦力 F と
垂直抗力 N の大きさは, 重力 mg と傾角 θ を用いて,
それぞれ, 次式のようになる.

$$F = (\text{ア}) \dots ①,$$

$$N = (\text{イ}) \dots ②.$$

次に, 直方体の左下端をA, 垂直抗力の作用点を
Bとし, AB間の距離を x とする. 重力 mg ,
垂直抗力 N , 摩擦力 F によるA点まわりの
力のモーメントのつり合いを考えると,

$$(\text{ウ}) = 0 \dots ③$$

となる.

①~③を用いて, x について解くと $x = (\text{エ})$ となる.

傾角 θ を大きくしていくと, 垂直抗力の作用点BがAの方へずれていく. しかし,
倒れない場合, 垂直抗力の作用点Bが直方体の底面の外に出ることはない(Aを超え
ない). つまり, $x \geq 0$ が転倒しない条件である. したがって, $\tan \theta \leq \frac{a}{b}$ が転倒しな
い条件となる.

(5) (4)の図3において直方体と斜面との間の静止摩擦係数を μ とすると, θ を0
から徐々に大きくしていったとき, 直方体が倒れずにすべり始めるための条件を a , b ,
 μ を用いて表せ. 答えだけでなく, 考え方や計算過程も示せ.

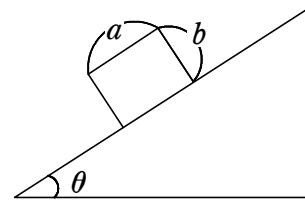


図3

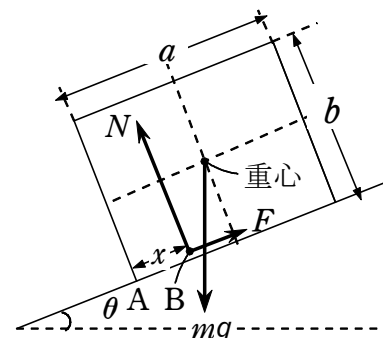


図4

(6) 図5のように直方体を三角柱に代え，同様の実験を行った．三角柱の置き方は図のように立てて置かれている．このとき，底面の正三角形の一边は斜面に沿う向きに直交するように置かれている．この置き方で三角柱が転倒する最小の傾角 θ_0 を見積もれ．答えだけでなく，考え方や計算過程も示せ．必要であれば，表2の三角関数表を利用すること．ただし，三角柱の形状の詳細は以下の通りである．

三角柱の形状

- ・上面と下面は一边が6.0cmの正三角形
- ・高さは10cm

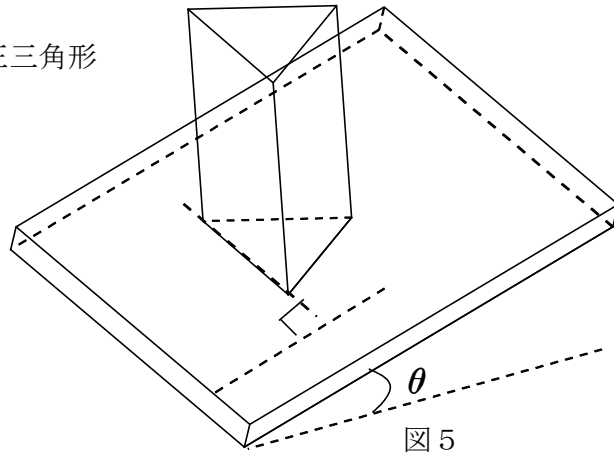


図5

表 2：三角関数表

角度		正弦 sin	余弦 cos	正接 tan	角度		正弦 sin	余弦 cos	正接 tan
度	rad				度	rad			
0°	0.000	0.0000	1.0000	0.0000	45°	0.785	0.7071	0.7071	1.0000
1°	0.017	0.0175	0.9998	0.0175	46°	0.803	0.7193	0.6947	1.0355
2°	0.035	0.0349	0.9994	0.0349	47°	0.820	0.7314	0.6820	1.0724
3°	0.052	0.0523	0.9986	0.0524	48°	0.838	0.7431	0.6691	1.1106
4°	0.070	0.0698	0.9976	0.0699	49°	0.855	0.7547	0.6561	1.1504
5°	0.087	0.0872	0.9962	0.0875	50°	0.873	0.7660	0.6428	1.1918
6°	0.105	0.1045	0.9945	0.1051	51°	0.890	0.7771	0.6293	1.2349
7°	0.122	0.1219	0.9925	0.1228	52°	0.908	0.7880	0.6157	1.2799
8°	0.140	0.1392	0.9903	0.1405	53°	0.925	0.7986	0.6018	1.3270
9°	0.157	0.1564	0.9877	0.1584	54°	0.942	0.8090	0.5878	1.3764
10°	0.175	0.1736	0.9848	0.1763	55°	0.960	0.8192	0.5736	1.4281
11°	0.192	0.1908	0.9816	0.1944	56°	0.977	0.8290	0.5592	1.4826
12°	0.209	0.2079	0.9781	0.2126	57°	0.995	0.8387	0.5446	1.5399
13°	0.227	0.2250	0.9744	0.2309	58°	1.012	0.8480	0.5299	1.6003
14°	0.244	0.2419	0.9703	0.2493	59°	1.030	0.8572	0.5150	1.6643
15°	0.262	0.2588	0.9659	0.2679	60°	1.047	0.8660	0.5000	1.7321
16°	0.279	0.2756	0.9613	0.2867	61°	1.065	0.8746	0.4848	1.8040
17°	0.297	0.2924	0.9563	0.3057	62°	1.082	0.8829	0.4695	1.8807
18°	0.314	0.3090	0.9511	0.3249	63°	1.100	0.8910	0.4540	1.9626
19°	0.332	0.3256	0.9455	0.3443	64°	1.117	0.8988	0.4384	2.0503
20°	0.349	0.3420	0.9397	0.3640	65°	1.134	0.9063	0.4226	2.1445
21°	0.367	0.3584	0.9336	0.3839	66°	1.152	0.9135	0.4067	2.2460
22°	0.384	0.3746	0.9272	0.4040	67°	1.169	0.9205	0.3907	2.3559
23°	0.401	0.3907	0.9205	0.4245	68°	1.187	0.9272	0.3746	2.4751
24°	0.419	0.4067	0.9135	0.4452	69°	1.204	0.9336	0.3584	2.6051
25°	0.436	0.4226	0.9063	0.4663	70°	1.222	0.9397	0.3420	2.7475
26°	0.454	0.4384	0.8988	0.4877	71°	1.239	0.9455	0.3256	2.9042
27°	0.471	0.4540	0.8910	0.5095	72°	1.257	0.9511	0.3090	3.0777
28°	0.489	0.4695	0.8829	0.5317	73°	1.274	0.9563	0.2924	3.2709
29°	0.506	0.4848	0.8746	0.5543	74°	1.292	0.9613	0.2756	3.4874
30°	0.524	0.5000	0.8660	0.5774	75°	1.309	0.9659	0.2588	3.7321
31°	0.541	0.5150	0.8572	0.6009	76°	1.326	0.9703	0.2419	4.0108
32°	0.559	0.5299	0.8480	0.6249	77°	1.344	0.9744	0.2250	4.3315
33°	0.576	0.5446	0.8387	0.6494	78°	1.361	0.9781	0.2079	4.7046
34°	0.593	0.5592	0.8290	0.6745	79°	1.379	0.9816	0.1908	5.1446
35°	0.611	0.5736	0.8192	0.7002	80°	1.396	0.9848	0.1736	5.6713
36°	0.628	0.5878	0.8090	0.7265	81°	1.414	0.9877	0.1564	6.3138
37°	0.646	0.6018	0.7986	0.7536	82°	1.431	0.9903	0.1392	7.1154
38°	0.663	0.6157	0.7880	0.7813	83°	1.449	0.9925	0.1219	8.1443
39°	0.681	0.6293	0.7771	0.8098	84°	1.466	0.9945	0.1045	9.5144
40°	0.698	0.6428	0.7660	0.8391	85°	1.484	0.9962	0.0872	11.4301
41°	0.716	0.6561	0.7547	0.8693	86°	1.501	0.9976	0.0698	14.3007
42°	0.733	0.6691	0.7431	0.9004	87°	1.518	0.9986	0.0523	19.0811
43°	0.750	0.6820	0.7314	0.9325	88°	1.536	0.9994	0.0349	28.6363
44°	0.768	0.6947	0.7193	0.9657	89°	1.553	0.9998	0.0175	57.2900
45°	0.785	0.7071	0.7071	1.0000	90°	1.571	1.0000	0.0000	—

解説

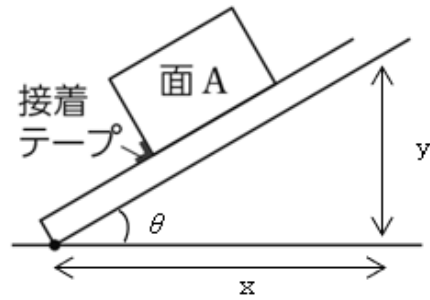
(1) 直方体が滑らずに回転させるため

(2) (例)

右図のように斜面の水平の長さ x と床面からの高さ y を測定し、

$\tan \frac{y}{x}$ の値から三角関数表を用いて

角度を見積もる.



(3) β 理由：回転するときの角度が一番小さいから.

(4) ア： $mg \sin \theta$ イ： $mg \cos \theta$

$$\text{ウ} : mg \sin \theta \times \frac{b}{2} + N \times x - mg \cos \theta \times \frac{a}{2} \quad \text{エ} : \frac{1}{2}(a - b \tan \theta)$$

(5) 物体が滑り出すときの斜面の角度（摩擦角）を θ_1 とすると、摩擦角 θ_1 と静止摩擦係数 μ の間には以下の関係式が成り立つ.

$$\mu = \tan \theta_1 \quad \dots(i)$$

(4)の考察から、物体が転倒するときの最小の斜面の角度 θ_0 は以下のようになる.

$$\tan \theta_0 = \frac{a}{b} \quad \dots(ii)$$

物体が転倒せずに滑り出すためには、(i)の条件が(ii)より先に満たされればよい。したがって、

$$\theta_1 < \theta_0$$

$$\tan \theta_1 < \tan \theta_0 \quad \therefore \underline{\mu < \frac{a}{b}}$$

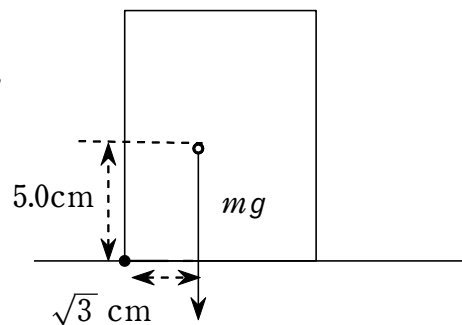
(6)

右図のように重心の位置は、回転軸から、5.0cm、 $\sqrt{3}$ cmの位置にある。

(4)と同様に考えると、転倒する条件は、

$$\tan \theta_0 \geq \frac{\sqrt{3}}{5.0} \doteq \frac{1.73}{5.0} = 0.346$$

表2の三角関数表をより、 $\theta_0 \doteq 19^\circ$



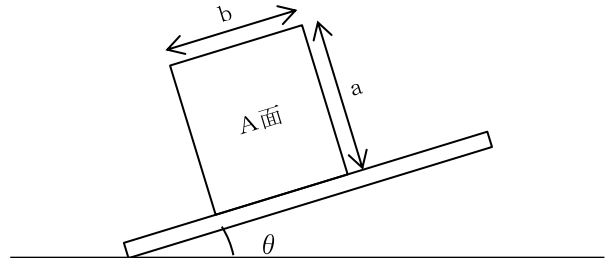
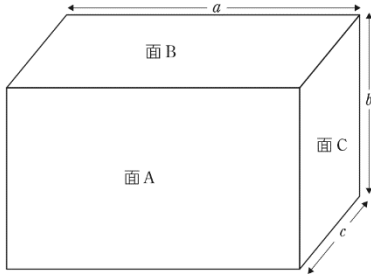
解答用紙

1					
2					
3	記号		理由		
4	ア			イ	
	ウ			エ	
5					
6					

ミッション：斜面上の直方体が転がる角度を見積もれ！

1 ミッションの内容

一辺が a 、 b 、 c の直方体 ($a > b > c$) がある。3 種類の面をそれぞれ図のように A、B、C とおく。荒い斜面上にこの直方体を置いたとき、どのような置き方をすれば転倒しにくいか、そして斜面の角度 θ を大きくしていくとき、どの角度で転倒するか、転倒する条件を見つけてほしい。



使用するもの

ターゲットの直方体（空き箱）、メジャー、関数電卓、ホワイドボード、マスキングテープ

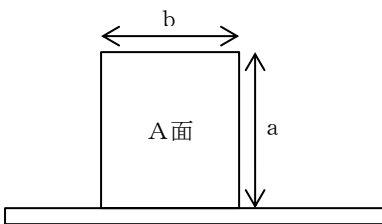
2 事前準備 直方体の3辺 a 、 b 、 c の長さを測定して、面 A、B、C を決定する

測定結果 場所をずらして計測し、平均値で示そう（複数回計測で精度が上がる！）

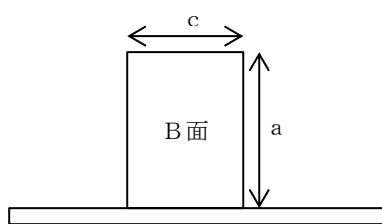
平均 $a = (\quad)$ 平均 $b = (\quad)$ 平均 $c = (\quad)$

3 予測① 転倒しやすい順番は？

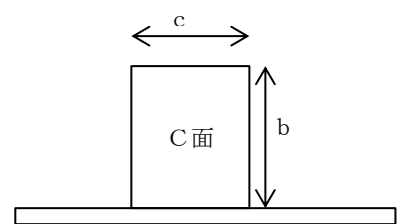
下の3パターンの置き方で、転倒しやすい順番を予想し、理由もつけて述べよ



パターン α



パターン β



パターン γ

<理由>

4 予測② 転倒する角度は何度？

パターン α 、 β 、 γ で転倒する条件を考えよう。
可能であれば、転倒する角度が何° 以上になるか見積もってみよう。

問いたい資質・能力

小問番号	問いたい資質・能力	出題の意図
(1)	技能, 表現力	授業で実施した同様の実験においても, 斜面と直方体をテープで貼るが, その意味を実験中通して理解しているか問いたい.
(2)	技能, 表現力	授業で実施した実験では, 斜面の角度を縦と横の長さから, 関数電卓のアークトanジェントを用いて計算させた. 分度器を使うことは容易に想像できるが, それ以外で角度を見積もる方法について考えさせることで三角関数表の存在や使い方について考えさせたい.
(3)	判断力, 表現力	実験結果のどの部分のデータが必要で, そこからどのように結論を導き出すか, そしてそれをどう表現するかを問いたい.
(4)	知識, 思考力	誘導に従って考察できるかを問いたい. 出題者との紙面を交えた対話ができるかどうかである.
(5)	知識, 思考力, 表現力	既習事項である摩擦角をこの問題に適用し, 滑る条件と転倒する条件をどのように関連付ければ良いかを考えさせたい.
(6)	知識, 思考力, 表現力	(4)で考察した転倒の条件を他の剛体へ適応できるかどうかを問いたい. つまり, 一般化できるかどうかである.