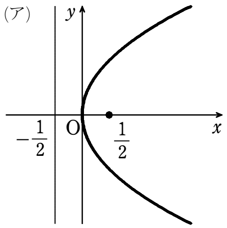
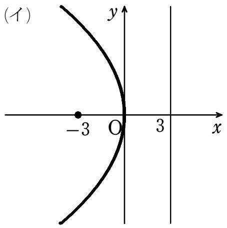
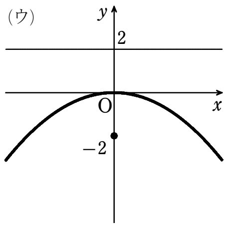
1

解答　(1)　(ア)　$\left(\frac{1}{2},\ 0\right)$，$x=-\frac{1}{2}$，［図］　(イ)　$(-3,\ 0)$，$x=3$，［図］

(ウ)　$(0,\ -2)$，$y=2$，［図］

(ア)


(イ)


(ウ)


(2)　(エ)　$y^2=\frac{2}{3}x$　(オ)　$x^2=16y$

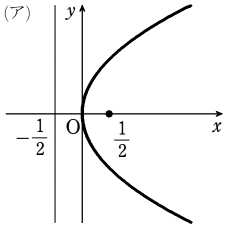
解説

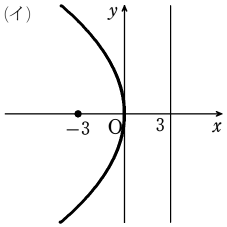
(1)　(ア)　$y^2=4\cdot\frac{1}{2}x$ から　焦点は点 $\left(\frac{1}{2},\ 0\right)$，準線は直線 $x=-\frac{1}{2}$，概形は下図。

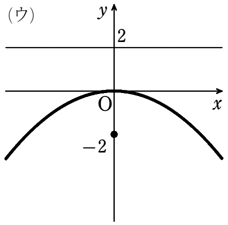
(イ)　$y^2=4\cdot(-3)x$ から　焦点は点 $(-3,\ 0)$，準線は直線 $x=3$，概形は下図。

(ウ)　$x^2=-8y$　すなわち　$x^2=4\cdot(-2)y$ から

焦点は点 $(0,\ -2)$，準線は直線 $y=2$，概形は下図。

(ア)


(イ)


(ウ)


(2)　(エ)　$y^2=4px$ に $p=\frac{1}{6}$ を代入して　$y^2=\frac{2}{3}x$

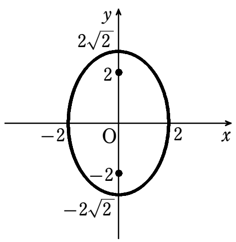
(オ)　$x^2=4py$ に $p=4$ を代入して　$x^2=16y$

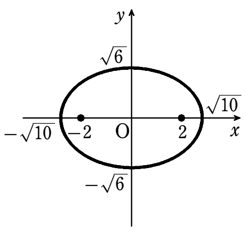
2

解答　(1)　(ア)　長軸 $4\sqrt{2}$，短軸 4；焦点は点 $(0,\ 2)$，$(0,\ -2)$；［図］

(イ)　長軸 $2\sqrt{10}$，短軸 $2\sqrt{6}$；焦点は点 $(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$；［図］

(2)　$\frac{x^2}{9}+y^2=1$

(ア)


(イ)


解説

(1)　(ア)　$\frac{x^2}{2^2}+\frac{y^2}{(2\sqrt{2})^2}=1$ であるから

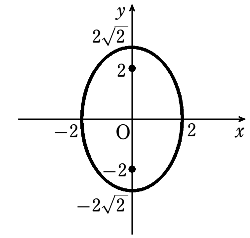
長軸の長さは　$2\cdot2\sqrt{2}=4\sqrt{2}$，

短軸の長さは　$2\cdot2=4$

$\sqrt{(2\sqrt{2})^2-2^2}=2$ であるから，焦点は

2 点 $(0,\ 2)$，$(0,\ -2)$

概形は右図のようになる。



(イ)　$3x^2+5y^2=30$ を変形すると，

$\frac{x^2}{(\sqrt{10})^2}+\frac{y^2}{(\sqrt{6})^2}=1$ となるから，

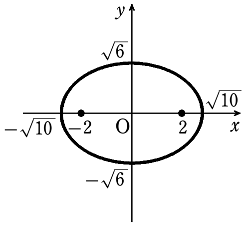
長軸の長さは　$2\cdot\sqrt{10}=2\sqrt{10}$，

短軸の長さは　$2\cdot\sqrt{6}=2\sqrt{6}$

$\sqrt{(\sqrt{10})^2-(\sqrt{6})^2}=2$ であるから，焦点は

2 点 $(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$

概形は右図のようになる。



(2)　2 点 $(2\sqrt{2},\ 0)$，$(-2\sqrt{2},\ 0)$ を焦点とする楕円の方程式は

$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$ $(a>b>0)$ と表されて，焦点からの距離の和が 6 であるから

$2a=6$　よって　$a=3$

焦点の座標から，$\sqrt{a^2-b^2}=2\sqrt{2}$ となり　$b^2=1$

ゆえに，求める楕円の方程式は　$\frac{x^2}{9}+y^2=1$

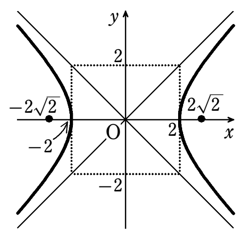
3

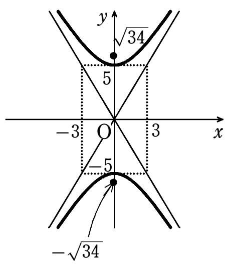
解答　(1)　頂点は点 $(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$；焦点は点 $(2\sqrt{2},\ 0)$，$(-2\sqrt{2},\ 0)$；

漸近線は 2 直線 $y=\pm x$；［図］

(2)　頂点は点 $(0,\ 5)$，$(0,\ -5)$；焦点は点 $(0,\ \sqrt{34})$，$(0,\ -\sqrt{34})$；

漸近線は 2 直線 $y=\pm\frac{5}{3}x$；［図］

(1)


(2)


解説

(1)　$\frac{x^2}{2^2}-\frac{y^2}{2^2}=1$ であるから，頂点は

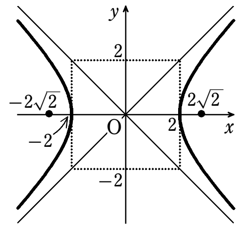
2 点 $(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$

$\sqrt{2^2+2^2}=2\sqrt{2}$ であるから，焦点は

2 点 $(2\sqrt{2},\ 0)$，$(-2\sqrt{2},\ 0)$

また，漸近線は　2 直線 $y=\pm x$

概形は右図のようになる。



(2)　$25x^2-9y^2=-225$ を変形して

$\frac{x^2}{3^2}-\frac{y^2}{5^2}=-1$

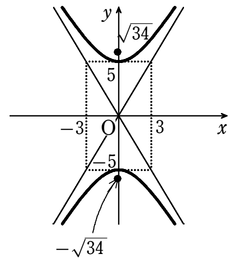
よって，頂点は　2 点 $(0,\ 5)$，$(0,\ -5)$

$\sqrt{3^2+5^2}=\sqrt{34}$ であるから，焦点は

2 点 $(0,\ \sqrt{34})$，$(0,\ -\sqrt{34})$

また，漸近線は　2 直線 $y=\pm\frac{5}{3}x$

概形は右図のようになる。



4

解答　(1)　$\frac{x^2}{16}+\frac{y^2}{25}=1$　(2)　$x^2=-3y$　(3)　$\frac{x^2}{9}-\frac{y^2}{7}=1$

解説

(1)　中心が原点で，長軸が y 軸上にあるから，求める楕円の方程式を

$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$ $(b>a>0)$　とおく。

短軸の長さが 8 であるから　$2a=8$　ゆえに　$a=4$

また，点 $\left(\frac{12}{5},\ 4\right)$ を通るから　$\frac{1}{4^2}\cdot\left(\frac{12}{5}\right)^2+\frac{4^2}{b^2}=1$

よって　$\frac{16}{b^2}=1-\frac{9}{25}=\frac{16}{25}$　ゆえに　$b^2=25$

したがって，求める方程式は　$\frac{x^2}{16}+\frac{y^2}{25}=1$

(2)　頂点が原点で，焦点が y 軸上にあるから軸は y 軸。

また，頂点が原点であるから，求める放物線の方程式は $x^2=4py$ とおける。

点 $(3,\ -3)$ を通るから　$3^2=4p\cdot(-3)$　よって　$p=-\frac{3}{4}$

したがって，求める放物線の方程式は　$x^2=-3y$

(3)　2 点 $(4,\ 0)$，$(-4,\ 0)$ を焦点とするから，求める双曲線の方程式は

$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}=1$ $(a>0,\ b>0)$ とおける。

このとき，焦点からの距離の差は $2a$ であるから，$2a=6$ より　$a=3$

また　$a^2+b^2=4^2$　よって　$b^2=4^2-a^2=16-3^2=7$

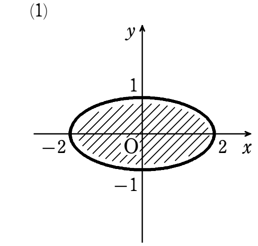
したがって　$\frac{x^2}{9}-\frac{y^2}{7}=1$

5

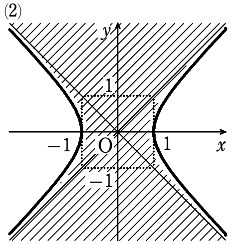
解答　(1)　［図］　境界線を含まない　(2)　［図］　境界線を含まない

(3)〔図〕 境界線を含む

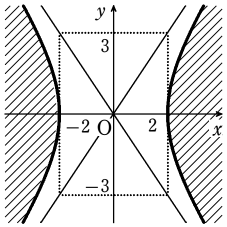
(1)



(2)



(3)

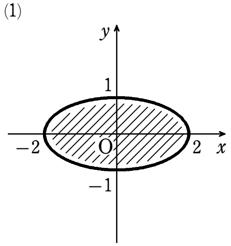


解説

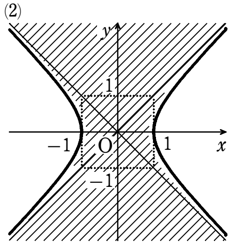
(1)　この領域は，楕円 $\dfrac{x^2}{4}+y^2=1$ の内部で，[図] の斜線部分である。
　ただし，境界線を含まない。

(2)　この領域は，双曲線 $x^2-y^2=1$ を境界線とし，原点を含む領域で，[図] の斜線部分である。ただし，境界線を含まない。

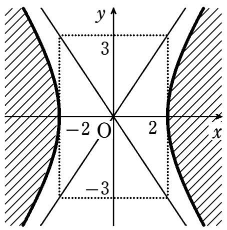
(1)



(2)



(3)　この領域は，双曲線 $\dfrac{x^2}{4}-\dfrac{y^2}{9}=1$ を境界線とし，
　原点を含まない領域で，[図] の斜線部分である。
　ただし，境界線を含む。



6

解答　略

解説

点 P の座標を $(x_1,\ y_1)$ とする。

P は双曲線 $x^2-y^2=a^2$ 上にあるから

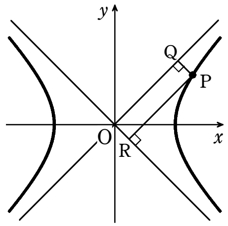
$$x_1{}^2-y_1{}^2=a^2$$

また，漸近線の方程式は　$x-y=0,\ x+y=0$

よって　$\mathrm{PQ}\cdot\mathrm{PR}=\dfrac{|x_1-y_1|}{\sqrt{2}}\cdot\dfrac{|x_1+y_1|}{\sqrt{2}}$

$$=\frac{|x_1{}^2-y_1{}^2|}{2}$$

$$=\frac{|a^2|}{2}=\frac{a^2}{2}\quad（一定）$$



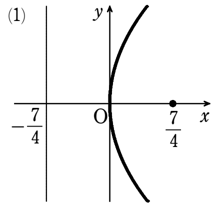
1

解答　(1)　順に　点 $\left(\dfrac{7}{4},\ 0\right)$，直線 $x=-\dfrac{7}{4}$，[図]

(2)　$x^2=-4y$

(3)　$y^2=-2x$

(1)

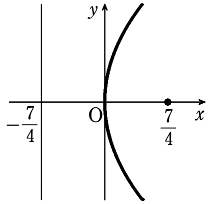


解説

(1)　$y^2=7x$ を変形して　$y^2=4\cdot\dfrac{7}{4}x$

　ゆえに　焦点は点 $\left(\dfrac{7}{4},\ 0\right)$，準線は直線 $x=-\dfrac{7}{4}$

　概形は右図のようになる。



(2)　条件から　$x^2=4\cdot(-1)y$　すなわち　$x^2=-4y$

(3)　頂点が原点で，焦点が x 軸上にあるから，条件を満たす放物線の方程式は $y^2=ax\ (a\neq0)$ と表される。

　この放物線が点 $(-2,\ 2)$ を通るから　$4=-2a$

　ゆえに　$a=-2$

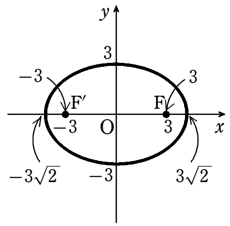
　よって，求める方程式は　$y^2=-2x$

2

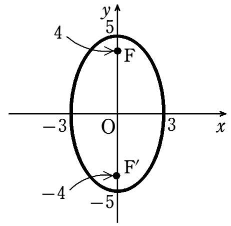
解答　(1)　(ア)　長軸 $6\sqrt{2}$，短軸 6，焦点 $(3,\ 0)$，$(-3,\ 0)$，[図]

　(イ)　長軸 10，短軸 6，焦点 $(0,\ 4)$，$(0,\ -4)$，[図]

(ア)



(イ)



(2)　$\dfrac{4}{169}x^2+\dfrac{4}{25}y^2=1$

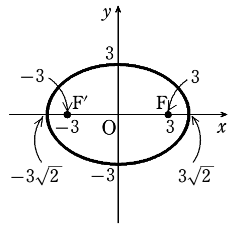
解説

(1)　(ア)　$\dfrac{x^2}{(3\sqrt{2})^2}+\dfrac{y^2}{3^2}=1$ であるから，

　長軸の長さは　$2\cdot3\sqrt{2}=6\sqrt{2}$，

　短軸の長さは　$2\cdot3=6$

　$\sqrt{(3\sqrt{2})^2-3^2}=3$ より，焦点は 2 点 $(3,\ 0)$，$(-3,\ 0)$ であり，概形は右図。



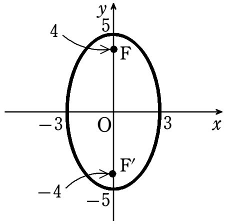
（イ）$25x^2+9y^2=225$ を変形すると，

$\dfrac{x^2}{3^2}+\dfrac{y^2}{5^2}=1$ であるから，長軸の長さは $2\cdot5=10$，

短軸の長さは $2\cdot3=6$

$\sqrt{5^2-3^2}=4$ より，焦点は 2 点 $(0,\ 4)$，$(0,\ -4)$

であり，概形は右図。



(2)　2 点 $(6,\ 0)$，$(-6,\ 0)$ を焦点とする楕円の方程式は

$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$ $(a>b>0)$ と表されて，焦点からの距離の和が 13 であるから　$2a=13$

よって　　$a=\dfrac{13}{2}$

焦点の座標から，$\sqrt{a^2-b^2}=6$ となり　$b^2=a^2-6^2=\dfrac{25}{4}$

ゆえに，求める楕円の方程式は　　$\dfrac{4}{169}x^2+\dfrac{4}{25}y^2=1$

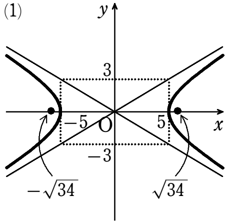
$\boxed{3}$

解答　(1)　頂点 $(5,\ 0)$，$(-5,\ 0)$，

焦点 $(\sqrt{34},\ 0)$，$(-\sqrt{34},\ 0)$，

漸近線 $y=\pm\dfrac{3}{5}x$，［図］

(1)

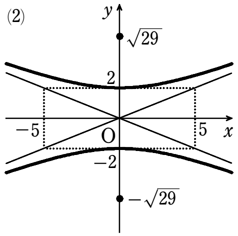


(2)　頂点 $(0,\ 2)$，$(0,\ -2)$，

焦点 $(0,\ \sqrt{29})$，$(0,\ -\sqrt{29})$，

漸近線 $y=\pm\dfrac{2}{5}x$，［図］

(2)



解説

(1)　$\dfrac{x^2}{5^2}-\dfrac{y^2}{3^2}=1$ であるから，頂点は

2 点 $(5,\ 0)$，$(-5,\ 0)$

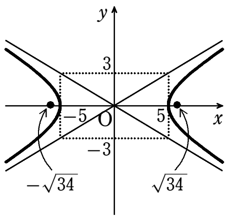
$\sqrt{5^2+3^2}=\sqrt{34}$ であるから，焦点は

2 点 $(\sqrt{34},\ 0)$，$(-\sqrt{34},\ 0)$

また，漸近線は

2 直線 $y=\pm\dfrac{3}{5}x$

概形は右図。



(2)　$4x^2-25y^2=-100$ を変形して

$\dfrac{x^2}{5^2}-\dfrac{y^2}{2^2}=-1$

よって，頂点は

2 点 $(0,\ 2)$，$(0,\ -2)$

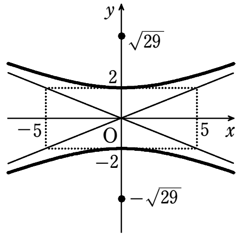
$\sqrt{5^2+2^2}=\sqrt{29}$ であるから，焦点は

2 点 $(0,\ \sqrt{29})$，$(0,\ -\sqrt{29})$

また，漸近線は

2 直線 $y=\pm\dfrac{2}{5}x$

概形は右図。



$\boxed{4}$

解答　(1)　$y^2=-\dfrac{1}{2}x$　　(2)　$y^2=12x$，$y^2=-12x$　　(3)　$\dfrac{x^2}{16}+\dfrac{y^2}{4}=1$

(4)　$\dfrac{x^2}{4}-\dfrac{y^2}{16}=1$　　(5)　$\dfrac{x^2}{8}-\dfrac{y^2}{8}=-1$

解説

(1)　頂点が原点で，焦点が x 軸上にあるから，求める放物線の方程式は $y^2=4px$ $(p\neq0)$ とおける。

点 $(-12,\ \sqrt{6})$ を通ることから　　$(\sqrt{6})^2=4p\cdot(-12)$

$6=-48p$ より　　$p=-\dfrac{1}{8}$　　これは $p\neq0$ を満たす。

よって，求める方程式は　　$y^2=4\cdot\left(-\dfrac{1}{8}\right)x$　　すなわち　$y^2=-\dfrac{1}{2}x$

(2)　軸が x 軸，頂点が原点であるから，求める放物線の方程式は $y^2=4px$ $(p\neq0)$ とおける。

このとき，焦点は点 $(p,\ 0)$，準線は直線 $x=-p$ である。

焦点と準線の距離が 6 であるから

$|p-(-p)|=6$　　すなわち　$|2p|=6$

よって　　$p=\pm3$　　これは $p\neq0$ を満たす。

したがって，求める方程式は　　$y^2=12x$，$y^2=-12x$

(3)　中心が原点で，長軸が x 軸上，短軸が y 軸上にある楕円の方程式は

$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$ $(a>b>0)$ と表される。

点 $(-4,\ 0)$ を通るから

$\dfrac{16}{a^2}=1$　　……①

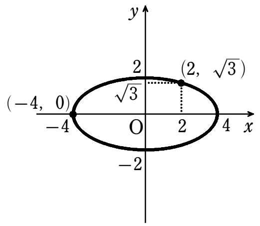
点 $(2,\ \sqrt{3})$ を通るから

$\dfrac{4}{a^2}+\dfrac{3}{b^2}=1$　……②

① から　　$a^2=16$

よって，② から　　$b^2=4$

したがって，求める楕円の方程式は　$\dfrac{x^2}{16}+\dfrac{y^2}{4}=1$



(4)　中心が原点で，焦点が x 軸上にあるから，双曲線の方程式は $\dfrac{x^2}{a^2}-\dfrac{y^2}{b^2}=1$

$(a>0,\ b>0)$ と表される。

点 $\left(\dfrac{5}{2},\ -3\right)$ を通るから　　$\dfrac{25}{4a^2}-\dfrac{9}{b^2}=1$　……①

点 $(4,\ 4\sqrt{3})$ を通るから　　$\dfrac{16}{a^2}-\dfrac{48}{b^2}=1$　……②

①×16−②×3 から　　$\dfrac{52}{a^2}=13$

よって　　$a^2=4$　　ゆえに，② から　　$b^2=16$

よって，求める双曲線の方程式は　　$\dfrac{x^2}{4}-\dfrac{y^2}{16}=1$

(5)　中心が原点，1 つの焦点が $(0,\ 4)$ であるから，双曲線の方程式は $\dfrac{x^2}{a^2}-\dfrac{y^2}{b^2}=-1$

$(a>0,\ b>0)$ と表される。

このとき，漸近線は　　$y=\pm\dfrac{b}{a}x$

漸近線が直交するから　　$\dfrac{b}{a}\cdot\left(-\dfrac{b}{a}\right)=-1$

ゆえに　　$b^2=a^2$　……①

焦点の 1 つが $(0,\ 4)$ であるから　　$\sqrt{a^2+b^2}=4$

両辺を 2 乗して　　$a^2+b^2=16$　　① を代入して　　$2a^2=16$

よって　　$a^2=8$　　① から　　$b^2=8$

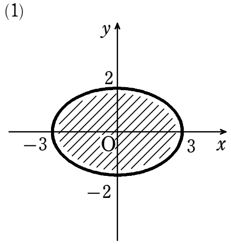
ゆえに，求める直角双曲線の方程式は　　$\dfrac{x^2}{8}-\dfrac{y^2}{8}=-1$

$\boxed{5}$

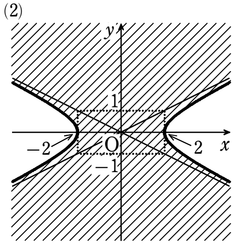
解答　(1)　［図］　境界線を含まない　　　(2)　［図］　境界線を含む

(3)　［図］　境界線を含まない

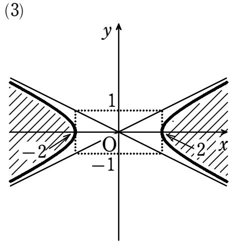
(1)



(2)



(3)



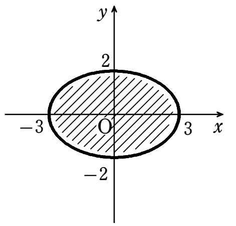
解説

(1)　この領域は，楕円 $\dfrac{x^2}{9}+\dfrac{y^2}{4}=1$ の内部で，［図］の斜線部分である。

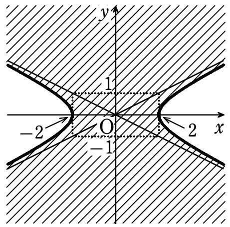
ただし，境界線を含まない。

(2)　この領域は，双曲線 $\frac{x^2}{4}-y^2=1$ を境界線とし，原点を含む領域で，[図] の斜線部分である。ただし，境界線を含む。

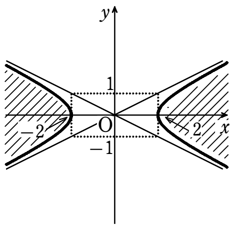
(1)



(2)



(3)　この領域は，双曲線 $\frac{x^2}{4}-y^2=1$ を境界線とし，原点を含まない領域で，[図] の斜線部分である。ただし，境界線を含まない。

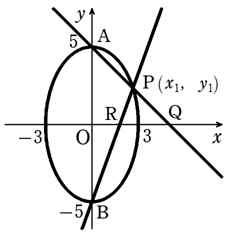


参考　不等式の表す領域が，原点を含むかどうかは，不等式に $x=0$，$y=0$ を代入してみればわかる。
$x=0$，$y=0$ を代入すると
(1)，(2)　不等式が成り立つ $\longrightarrow$ 原点を含む
(3)　不等式が成り立たない $\longrightarrow$ 原点を含まない

6

解答　略

解説



点 P の座標を $(x_1,\ y_1)$ とし，A $(0,\ 5)$，B $(0,\ -5)$ とする。

条件から　　$x_1\fallingdotseq 0$，$y_1\fallingdotseq \pm5$

直線 PA，PB の方程式は，それぞれ

$$\text{PA}:y=\frac{y_1-5}{x_1}x+5$$

$$\text{PB}:y=\frac{y_1+5}{x_1}x-5$$

これらの方程式で $y=0$ とすると，それぞれ

$$x=-\frac{5x_1}{y_1-5},\quad x=\frac{5x_1}{y_1+5}$$

よって　　$\text{OQ}\cdot\text{OR}=\left|-\frac{5x_1}{y_1-5}\right|\cdot\left|\frac{5x_1}{y_1+5}\right|=\left|\frac{25{x_1}^2}{{y_1}^2-25}\right|$

ここで，点 P は楕円上にあるから　　$\frac{{x_1}^2}{9}+\frac{{y_1}^2}{25}=1$

ゆえに　　$25{x_1}^2=9(25-{y_1}^2)$

したがって　　$\text{OQ}\cdot\text{OR}=\left|\frac{9(25-{y_1}^2)}{{y_1}^2-25}\right|=9$ (一定)

1

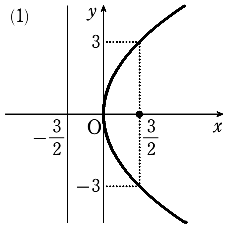
解答　(1)　焦点の座標は　$\left(\frac{3}{2},\ 0\right)$，準線の方程式は　$x=-\frac{3}{2}$

(2)　焦点の座標は　$(4\sqrt{2},\ 0)$，$(-4\sqrt{2},\ 0)$，
長軸の長さは　12，短軸の長さは　4

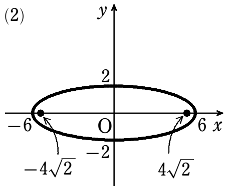
(3)　頂点の座標は　$(3,\ 0)$，$(-3,\ 0)$，焦点の座標は　$(5,\ 0)$，$(-5,\ 0)$，
漸近線の方程式は　$y=\frac{4}{3}x$，$y=-\frac{4}{3}x$

(4)　[図]

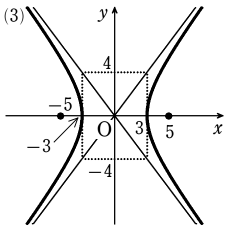
(1)



(2)



(3)



解説

(1)　$y^2=6x$ から　$y^2=4\cdot\frac{3}{2}x$

よって，焦点の座標は　$\left(\frac{3}{2},\ 0\right)$，準線の方程式は　$x=-\frac{3}{2}$

(2)　$x^2+9y^2=36$ から　　$\frac{x^2}{6^2}+\frac{y^2}{2^2}=1$

$\sqrt{6^2-2^2}=4\sqrt{2}$ であるから，焦点の座標は　　$(4\sqrt{2},\ 0)$，$(-4\sqrt{2},\ 0)$
長軸の長さは　　$2\cdot6=12$，　短軸の長さは　　$2\cdot2=4$

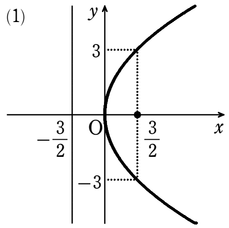
(3)　$16x^2-9y^2=144$ から　　$\frac{x^2}{3^2}-\frac{y^2}{4^2}=1$

よって，頂点の座標は　　$(3,\ 0)$，$(-3,\ 0)$
$\sqrt{3^2+4^2}=5$ であるから，焦点の座標は　　$(5,\ 0)$，$(-5,\ 0)$
漸近線の方程式は　　$\frac{x}{3}-\frac{y}{4}=0$，$\frac{x}{3}+\frac{y}{4}=0$

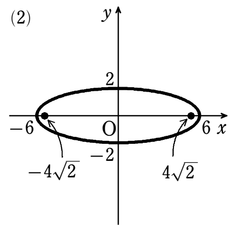
すなわち　　$y=\frac{4}{3}x$，$y=-\frac{4}{3}x$

(4)　(1)，(2)，(3) の結果から，それぞれの概形は図のようになる。

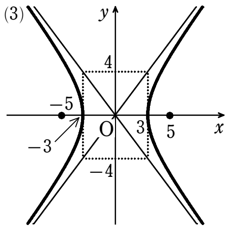
(1)



(2)



(3)



2

解答　(1)　$\frac{x^2}{20}+\frac{y^2}{16}=1$　　(2)　$\frac{x^2}{49}-y^2=1$，$p=\pm7$

解説

(1)　楕円 $\frac{x^2}{16}+\frac{y^2}{12}=1$ の焦点は，$(\sqrt{16-12},\ 0)$，$(-\sqrt{16-12},\ 0)$ から
$(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$

求める楕円の方程式を $\frac{x^2}{b^2+4}+\frac{y^2}{b^2}=1$ とおく。

点 $(\sqrt{15},\ 2)$ を通るから　　$\frac{15}{b^2+4}+\frac{4}{b^2}=1$

よって　　$(b^2+1)(b^2-16)=0$
$b^2+1\fallingdotseq 0$ であるから　　$b^2=16$

したがって，求める楕円の方程式は　　$\frac{x^2}{20}+\frac{y^2}{16}=1$

(2)　中心が原点で焦点が x 軸上にあり，かつ，点 $(p,\ 0)$ を通り漸近線の方程式が $py=x$ であるから，双曲線の方程式は $\frac{x^2}{p^2}-\frac{y^2}{1^2}=1$ と書ける。

焦点の座標が $(5\sqrt{2},\ 0)$，$(-5\sqrt{2},\ 0)$ であるから　　$p^2+1=50$
よって　　$p=\pm7$

求める双曲線の方程式は　　$\frac{x^2}{49}-y^2=1$

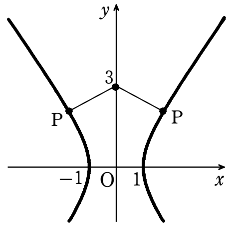
3

解答　$\text{P}(-\sqrt{3},\ 2)$ または $\text{P}(\sqrt{3},\ 2)$ のときで距離は 2

解説

A$(0,\ 3)$，P$(s,\ t)$ とする。

P は双曲線 $x^2-\dfrac{y^2}{2}=1$ 上の点であるから



$$s^2-\frac{t^2}{2}=1 \quad \cdots\cdots ①$$

ゆえに　$AP^2=s^2+(t-3)^2=1+\dfrac{t^2}{2}+(t-3)^2$

$$=\frac{3}{2}t^2-6t+10=\frac{3}{2}(t-2)^2+4$$

よって，AP^2 は $t=2$ のとき最小値 4 をとる。

$AP\geqq 0$ であるから，AP^2 が最小のとき，AP も最小となる。

$t=2$ のとき，① から　$s^2=3$

ゆえに　$s=\pm\sqrt{3}$

よって，P$(-\sqrt{3},\ 2)$ または P$(\sqrt{3},\ 2)$ のとき最小となり，そのときの距離は 2

$\boxed{4}$

解答　双曲線の一部 $x^2-\dfrac{y^2}{8}=1\ (x\geqq 1)$

解説

点 $(3,\ 0)$ を F，円 $(x+3)^2+y^2=4$ の中心を F′ とおくと　F′$(-3,\ 0)$

題意の点 $(X,\ Y)$ を P とおくと，条件から　$PF'-PF=2$

また，線分 FF′ の中点は原点であるから，点 P は双曲線 $\dfrac{x^2}{a^2}-\dfrac{y^2}{b^2}=1$ $(a>0,\ b>0)$ 上を動く。

ゆえに $|PF'-PF|=2a$ から　$2=2a$　　よって　$a=1$

また，$3=\sqrt{a^2+b^2}$ から　$9=1+b^2$　　ゆえに　$b^2=8$

よって，点 P は双曲線 $x^2-\dfrac{y^2}{8}=1$ 上を動く。

ここで，P が x 軸上にあるとき P$(1,\ 0)$ であるから，求める軌跡は双曲線の一部

$x^2-\dfrac{y^2}{8}=1$ $(x\geqq 1)$ である。

別解　点 $(3,\ 0)$ を通り，円 $(x+3)^2+y^2=4$ と互いに外接する円の中心 $(X,\ Y)$ を P，半径を r とする。

また，A$(-3,\ 0)$ とすると　$AP=r+2$

ここで，$AP=\sqrt{(X+3)^2+Y^2}$，$r=\sqrt{(X-3)^2+Y^2}$ であるから

$$\sqrt{(X+3)^2+Y^2}=\sqrt{(X-3)^2+Y^2}+2$$

両辺を 2 乗すると

$$(X+3)^2+Y^2=(X-3)^2+Y^2+4\sqrt{(X-3)^2+Y^2}+4$$

ゆえに　$3X-1=\sqrt{(X-3)^2+Y^2}$　……①

このとき，$3X-1\geqq 0$ から　$X\geqq\dfrac{1}{3}$　……②

① の両辺を 2 乗すると　$9X^2-6X+1=(X-3)^2+Y^2$

ゆえに　$Y^2=8(X^2-1)$

このとき，$X^2-1\geqq 0$ から　$X\leqq -1,\ 1\leqq X$　……③

よって　$X^2-\dfrac{Y^2}{8}=1$

ただし，②，③ から　$X\geqq 1$

ゆえに，求める軌跡は，双曲線の一部　$x^2-\dfrac{y^2}{8}=1$ $(x\geqq 1)$

$\boxed{5}$

解答　(1)　楕円 $\dfrac{x^2}{36}+\dfrac{y^2}{9}=1$

(2)　楕円 $\dfrac{x^2}{4}+y^2=1$　ただし，2 点 $(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$ を除く

解説

(1)　2 点 A，B の座標を，それぞれ $(s,\ 0)$，$(0,\ t)$ とすると，$AB^2=3^2$ であるから

$$s^2+t^2=3^2 \quad \cdots\cdots ①$$

点 P の座標を $(x,\ y)$ とすると　$x=2s,\ y=-t$

ゆえに　$s=\dfrac{1}{2}x,\ t=-y$

これを ① に代入すると　$\left(\dfrac{1}{2}x\right)^2+(-y)^2=3^2$　すなわち　$\dfrac{x^2}{6^2}+\dfrac{y^2}{3^2}=1$

よって，点 P の軌跡は，楕円 $\dfrac{x^2}{36}+\dfrac{y^2}{9}=1$ である。

(2)　Q の座標を $(s,\ t)$，P の座標を $(x,\ y)$ とする。

Q は楕円 $\dfrac{x^2}{36}+\dfrac{y^2}{9}=1$ 上にあるから　$\dfrac{s^2}{36}+\dfrac{t^2}{9}=1$　……①

P は △AQB の重心であるから　$x=\dfrac{-2+s+2}{3}$，$y=\dfrac{0+t+0}{3}$

よって　$s=3x,\ t=3y$

これを ① に代入すると　$\dfrac{(3x)^2}{36}+\dfrac{(3y)^2}{9}=1$　　ゆえに　$\dfrac{x^2}{4}+y^2=1$

ここで，$(s,\ t)=(\pm 6,\ 0)$ のとき，3 点 A，B，Q は同じ直線上にあり，△AQB ができない。

よって　$(s,\ t)\neq(\pm 6,\ 0)$　すなわち　$(x,\ y)\neq(\pm 2,\ 0)$

よって，点 P の軌跡は　楕円 $\dfrac{x^2}{4}+y^2=1$

ただし，2 点 $(2,\ 0)$，$(-2,\ 0)$ を除く。

$\boxed{1}$

解答　2 辺の長さ $\sqrt{2}a$，$\sqrt{2}b$；面積 $2ab$

解説

第 1 象限にある長方形の頂点を P$(s,\ t)$ $(s>0,\ t>0)$ とする。

このとき，長方形の面積 S は　$S=2s\cdot 2t=4st$

点 P は楕円上にあるから　$\dfrac{s^2}{a^2}+\dfrac{t^2}{b^2}=1$　……①

$\dfrac{s^2}{a^2}>0,\ \dfrac{t^2}{b^2}>0$ であるから，(相加平均)$\geqq$(相乗平均) により

$$\frac{s^2}{a^2}+\frac{t^2}{b^2}\geqq 2\sqrt{\frac{s^2}{a^2}\cdot\frac{t^2}{b^2}}=\frac{2st}{ab}$$

よって，① から　$\dfrac{2st}{ab}\leqq 1$　　ゆえに　$S\leqq 2ab$

$S=2ab$ となるのは $\dfrac{s}{a}=\dfrac{t}{b}$ のときで，このとき $t=\dfrac{b}{a}s$ を ① に代入して整理すると

$$s^2=\frac{a^2}{2}$$

$s>0,\ a>0$ であるから　$s=\dfrac{a}{\sqrt{2}}$　　ゆえに　$t=\dfrac{b}{\sqrt{2}}$

よって，求める長方形の 2 辺の長さは $2s=\sqrt{2}a$，$2t=\sqrt{2}b$，面積は　$2ab$

$\boxed{2}$

解答　略

解説

双曲線の方程式を $\dfrac{x^2}{a^2}-\dfrac{y^2}{b^2}=1$ $(a>0,\ b>0)$ とする。

このとき，漸近線は　$y=\pm\dfrac{b}{a}x$

すなわち　$bx-ay=0,\ bx+ay=0$

P$(x_1,\ y_1)$ とすると　$\dfrac{{x_1}^2}{a^2}-\dfrac{{y_1}^2}{b^2}=1$　……①

また　$PQ\cdot PR=\dfrac{|bx_1-ay_1|}{\sqrt{b^2+a^2}}\cdot\dfrac{|bx_1+ay_1|}{\sqrt{b^2+a^2}}=\dfrac{|b^2{x_1}^2-a^2{y_1}^2|}{a^2+b^2}$

① から　$b^2{x_1}^2-a^2{y_1}^2=a^2b^2$

よって　$PQ\cdot PR=\dfrac{|a^2b^2|}{a^2+b^2}=\dfrac{a^2b^2}{a^2+b^2}$ (一定)

$\boxed{3}$

解答　略

解説

原点 O 以外で放物線と 2 直線は交点をもつから，

2 直線の方程式は $x=0$ でも $y=0$ でもない。

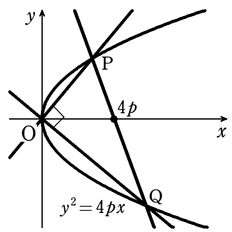
よって，直交する 2 直線の方程式は

$y=mx,\ y=-\dfrac{1}{m}x$ $(m\neq 0)$

と表される。

$y=mx,\ y^2=4px$ から y を消去して

$m^2x^2=4px$



ゆえに，$x \neq 0$ のとき　　$x=\dfrac{4p}{m^2}$

$y=-\dfrac{1}{m}x$，$y^2=4px$ から y を消去して　　$\dfrac{1}{m^2}x^2=4px$

よって，$x \neq 0$ のとき　　$x=4pm^2$

$P\left(\dfrac{4p}{m^2},\ \dfrac{4p}{m}\right)$，$Q(4pm^2,\ -4pm)$ ……① とする。

P，Q の x 座標が一致するとき　　$\dfrac{4p}{m^2}=4pm^2$

ゆえに　　$m^4-1=0$　　　　よって　　$(m^2+1)(m^2-1)=0$

$m^2+1>0$ であるから　　$m=\pm 1$

[1]　$m=\pm 1$ のとき

①から，P，Q の x 座標は，ともに $x=4p$ となる。

ゆえに，直線 PQ は定点 $(4p,\ 0)$ を通る。

[2]　$m \neq \pm 1$ のとき

①から，直線 PQ の方程式は

$$y=\frac{-4pm-\dfrac{4p}{m}}{4pm^2-\dfrac{4p}{m^2}}\left(x-\frac{4p}{m^2}\right)+\frac{4p}{m}$$

ゆえに　　$y=\dfrac{-m(m^2+1)}{m^4-1}\left(x-\dfrac{4p}{m^2}\right)+\dfrac{4p}{m}$

よって　　$y=\dfrac{-m}{m^2-1}\cdot\dfrac{m^2x-4p}{m^2}+\dfrac{4p}{m}$

ゆえに　　$y=\dfrac{-m^2x+4p+4pm^2-4p}{m(m^2-1)}$

すなわち　　$y=-\dfrac{m}{m^2-1}(x-4p)$

よって，直線 PQ は定点 $(4p,\ 0)$ を通る。

[1]，[2] により，直線 PQ は常に x 軸上の定点 $(4p,\ 0)$ を通る。

別解　（①を求めた後の別解）

①から，直線 PQ の方程式は

$$\left(-4pm-\frac{4p}{m}\right)\left(x-\frac{4p}{m^2}\right)-\left(4pm^2-\frac{4p}{m^2}\right)\left(y-\frac{4p}{m}\right)=0$$

よって

$$\left(-m-\frac{1}{m}\right)\left(x-\frac{4p}{m^2}\right)-\left(m^2-\frac{1}{m^2}\right)\left(y-\frac{4p}{m}\right)=0$$

ゆえに

$$\left(m+\frac{1}{m}\right)\left\{-x+\frac{4p}{m^2}-\left(m-\frac{1}{m}\right)\left(y-\frac{4p}{m}\right)\right\}=0$$

$m+\dfrac{1}{m}=\dfrac{m^2+1}{m} \neq 0$ であるから

$$-x-\left(m-\frac{1}{m}\right)y+4p=0$$

よって，直線 PQ は常に x 軸上の定点 $(4p,\ 0)$ を通る。

1

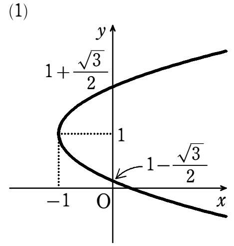
解答　(1)　[図]　頂点は点 $(-1,\ 1)$；焦点は点 $\left(-\dfrac{13}{16},\ 1\right)$

(2)　[図]　中心は点 $(1,\ -2)$；焦点は 2 点 $(1,\ 2\sqrt{2}-2)$，$(1,\ -2\sqrt{2}-2)$

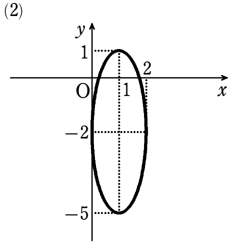
(3)　[図]　漸近線は 2 直線 $2x-3y-3=0$，$2x+3y+15=0$；

焦点は 2 点 $(-3,\ \sqrt{13}-3)$，$(-3,\ -\sqrt{13}-3)$

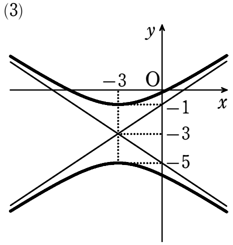
(1)



(2)



(3)

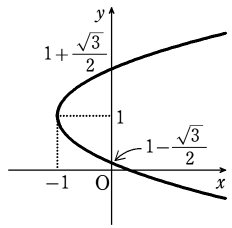


解説

(1)　$4y^2-8y-3x+1=0$ を変形すると　　$4(y-1)^2-3(x+1)=0$

よって　　$(y-1)^2=\dfrac{3}{4}(x+1)$　……①

曲線①は放物線 $y^2=\dfrac{3}{4}x$ を x 軸方向に -1，y 軸方向に 1 だけ平行移動したもので，その概形は[図]のようになる。



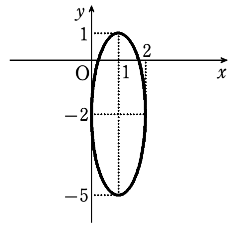
放物線 $y^2=\dfrac{3}{4}x$ の頂点は原点 $(0,\ 0)$，焦点は点 $\left(\dfrac{3}{16},\ 0\right)$ である。

よって，放物線①の頂点は　点 $(-1,\ 1)$，　焦点は　点 $\left(-\dfrac{13}{16},\ 1\right)$

(2)　$9x^2+y^2-18x+4y+4=0$ を変形すると　　$9(x-1)^2+(y+2)^2=9$

よって　　$(x-1)^2+\dfrac{(y+2)^2}{9}=1$　……①

曲線①は，楕円 $x^2+\dfrac{y^2}{9}=1$ を x 軸方向に 1，y 軸方向に -2 だけ平行移動したもので，その概形は[図]のようになる。



楕円 $x^2+\dfrac{y^2}{9}=1$ の中心は原点 $(0,\ 0)$，焦点は 2 点 $(0,\ 2\sqrt{2})$，$(0,\ -2\sqrt{2})$ である。

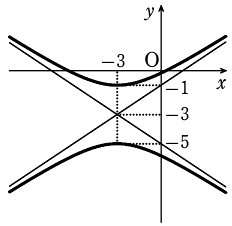
よって，楕円①の中心は　点 $(1,\ -2)$，

焦点は　2 点 $(1,\ 2\sqrt{2}-2)$，$(1,\ -2\sqrt{2}-2)$

(3)　$4x^2-9y^2+24x-54y-9=0$ を変形すると　　$4(x+3)^2-9(y+3)^2=-36$

よって　　$\dfrac{(x+3)^2}{9}-\dfrac{(y+3)^2}{4}=-1$　……①

曲線①は双曲線 $\dfrac{x^2}{9}-\dfrac{y^2}{4}=-1$ を x 軸方向に -3，y 軸方向に -3 だけ平行移動したもので，その概形は[図]のようになる。



双曲線 $\dfrac{x^2}{9}-\dfrac{y^2}{4}=-1$ の漸近線は，2 直線

$\dfrac{x}{3}-\dfrac{y}{2}=0$，$\dfrac{x}{3}+\dfrac{y}{2}=0$

すなわち　　$2x-3y=0$，$2x+3y=0$

焦点は 2 点 $(0,\ \sqrt{13})$，$(0,\ -\sqrt{13})$ である。

よって，双曲線①の漸近線は，2 直線

$2(x+3)-3(y+3)=0$，　$2(x+3)+3(y+3)=0$

すなわち　　$2x-3y-3=0$，　$2x+3y+15=0$

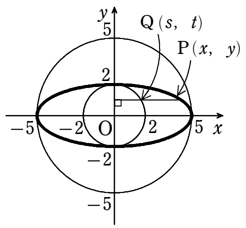
焦点は　2 点 $(-3,\ \sqrt{13}-3)$，$(-3,\ -\sqrt{13}-3)$

2

解答　$\dfrac{x^2}{25}+\dfrac{y^2}{4}=1$

解説

円上に点 $Q(s,\ t)$ をとり，Q が移る点を $P(x,\ y)$ とすると



$x=\dfrac{5}{2}s$，$y=t$

ゆえに　　$s=\dfrac{2}{5}x$，$t=y$

$s^2+t^2=4$ であるから　　$\left(\dfrac{2}{5}x\right)^2+y^2=4$

よって，求める方程式は　　$\dfrac{x^2}{25}+\dfrac{y^2}{4}=1$

3

解答　$\dfrac{x^2}{2}-\dfrac{y^2}{10}=1$

解説

原点を中心とする $\dfrac{\pi}{4}$ の回転によって，双曲線上の点 $Q(X,\ Y)$ が点 $P(x,\ y)$ に移るとす

る。

点 Q は，点 P を原点を中心として $-\frac{\pi}{4}$ だけ回転した点であるから，複素数平面で考えると

$$X+Yi=\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{4}\right)+i\sin\left(-\frac{\pi}{4}\right)\right\}(x+yi)$$
$$=\left(\frac{1}{\sqrt{2}}-\frac{1}{\sqrt{2}}i\right)(x+yi)$$
$$=\frac{1}{\sqrt{2}}(x+y)+\frac{1}{\sqrt{2}}(-x+y)i$$

よって　$X=\frac{1}{\sqrt{2}}(x+y)$，$Y=\frac{1}{\sqrt{2}}(-x+y)$　……①

点 Q は曲線 $x^2-3xy+y^2=5$ 上にあるから　$X^2-3XY+Y^2=5$

この式に ① を代入して　$\frac{1}{2}(x+y)^2-\frac{3}{2}(x+y)(-x+y)+\frac{1}{2}(-x+y)^2=5$

整理すると　$\frac{x^2}{2}-\frac{y^2}{10}=1$

参考　① の式は，次のように三角関数の加法定理を用いて求めることもできる。

OP$=r$，x 軸の正の向きから半直線 OP までの回転角を θ とすると

$$x=r\cos\theta,\quad y=r\sin\theta$$

また，OQ$=r$ で，x 軸の正の向きから半直線 OQ までの回転角は $\theta-\frac{\pi}{4}$ であるから

$$X=r\cos\left(\theta-\frac{\pi}{4}\right)=r\cos\theta\cos\frac{\pi}{4}+r\sin\theta\sin\frac{\pi}{4}=\frac{1}{\sqrt{2}}(x+y)$$
$$Y=r\sin\left(\theta-\frac{\pi}{4}\right)=r\sin\theta\cos\frac{\pi}{4}-r\cos\theta\sin\frac{\pi}{4}=\frac{1}{\sqrt{2}}(-x+y)$$

4

解答　$k<-\sqrt{3}$，$\sqrt{3}<k$ のとき 2 個，　$k=\pm\sqrt{3}$ のとき 1 個，
$-\sqrt{3}<k<\sqrt{3}$ のとき 0 個

解説

$$\begin{cases} x^2-4y^2=4 & \cdots\cdots ① \\ y=x+k & \cdots\cdots ② \end{cases}$$

② を ① に代入すると　$x^2-4(x+k)^2=4$

整理すると　$3x^2+8kx+4k^2+4=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=(4k)^2-3(4k^2+4)=4k^2-12=4(k^2-3)$$
$$=4(k+\sqrt{3})(k-\sqrt{3})$$

① と ② の共有点の個数は

$D>0$　すなわち　$k<-\sqrt{3}$，$\sqrt{3}<k$ のとき 2 個
$D=0$　すなわち　$k=\pm\sqrt{3}$ のとき 1 個
$D<0$　すなわち　$-\sqrt{3}<k<\sqrt{3}$ のとき 0 個

5

解答　(3，4)，$8\sqrt{2}$

解説

$y=3x-5$ ……①，$4x^2-y^2=4$ ……② とする。

① と ② の 2 つの交点を P$(x_1,\ y_1)$，Q$(x_2,\ y_2)$ とする。

①，② から y を消去すると　$5x^2-30x+29=0$　……③

x_1，x_2 は 2 次方程式 ③ の異なる 2 つの実数解である。

ここで，③ において，解と係数の関係から

$$x_1+x_2=6 \ \cdots\cdots ④,\quad x_1x_2=\frac{29}{5} \ \cdots\cdots ⑤$$

線分 PQ の中点の座標は　$\left(\frac{x_1+x_2}{2},\ 3\cdot\frac{x_1+x_2}{2}-5\right)$

④ を代入して　(3，4)

また　$\mathrm{PQ}^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2=(x_2-x_1)^2+9(x_2-x_1)^2$
$=10(x_2-x_1)^2=10\{(x_1+x_2)^2-4x_1x_2\}$

④，⑤ を代入して　$\mathrm{PQ}^2=10\left(6^2-4\cdot\frac{29}{5}\right)=128$

よって　$\mathrm{PQ}=\sqrt{128}=8\sqrt{2}$

6

解答　(1)　$-\sqrt{5}<k<\sqrt{5}$　　(2)　直線 $y=-\frac{1}{4}x$　$\left(-\frac{4\sqrt{5}}{5}<x<\frac{4\sqrt{5}}{5}\right)$

解説

(1)　$x^2+4y^2=4$　……①，$y=x+k$　……②

② を ① に代入すると　$x^2+4(x+k)^2=4$

整理すると　$5x^2+8kx+4(k^2-1)=0$　……③

求める条件は，2 次方程式 ③ が異なる 2 つの実数解をもつ条件であるから，判別式を D とすると　$D>0$

$$\frac{D}{4}=16k^2-20(k^2-1)=4(-k^2+5)$$

よって　$-k^2+5>0$　　これを解いて　$-\sqrt{5}<k<\sqrt{5}$

(2)　k が (1) で求めた範囲内にあるとき，方程式 ③ は異なる 2 つの実数解 x_1，x_2 をもち，これらは P，Q の x 座標である。

よって，線分 PQ の中点 R の座標を $(x,\ y)$ とすると，③ の解と係数の関係から

$$x=\frac{x_1+x_2}{2}=-\frac{4}{5}k \ \cdots\cdots ④,\quad y=x+k=-\frac{4}{5}k+k=\frac{1}{5}k \ \cdots\cdots ⑤$$

④，⑤ から，k を消去すると　$y=-\frac{1}{4}x$

④ から　$k=-\frac{5}{4}x$　　(1) から　$-\sqrt{5}<-\frac{5}{4}x<\sqrt{5}$　　よって　$-\frac{4\sqrt{5}}{5}<x<\frac{4\sqrt{5}}{5}$

したがって，線分 PQ の中点 R の軌跡は

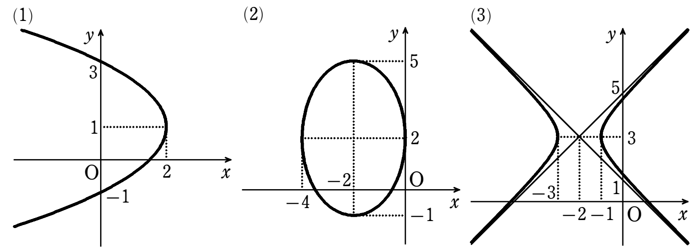
直線 $y=-\frac{1}{4}x$ の $-\frac{4\sqrt{5}}{5}<x<\frac{4\sqrt{5}}{5}$ の部分

1

解答　(1)　放物線 $y^2=-2x$ を x 軸方向に 2，y 軸方向に 1 だけ平行移動した放物線，[図]

(2)　楕円 $\frac{x^2}{4}+\frac{y^2}{9}=1$ を x 軸方向に -2，y 軸方向に 2 だけ平行移動した楕円，[図]

(3)　双曲線 $x^2-y^2=1$ を x 軸方向に -2，y 軸方向に 3 だけ平行移動した双曲線，[図]



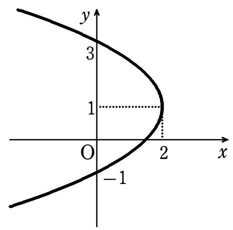
解説

(1)　方程式を変形すると　$(y-1)^2+2(x-2)=0$

よって　$(y-1)^2=-2(x-2)$

この曲線は，放物線 $y^2=-2x$ を x 軸方向に 2，y 軸方向に 1 だけ平行移動した放物線である。

また，その概形は [図] のようになる。

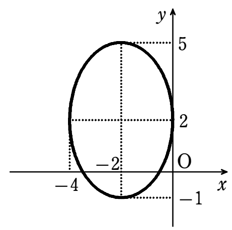


(2)　方程式を変形すると　$9(x+2)^2+4(y-2)^2=36$

よって　$\frac{(x+2)^2}{4}+\frac{(y-2)^2}{9}=1$

この曲線は，楕円 $\frac{x^2}{4}+\frac{y^2}{9}=1$ を x 軸方向に -2，y 軸方向に 2 だけ平行移動した楕円である。

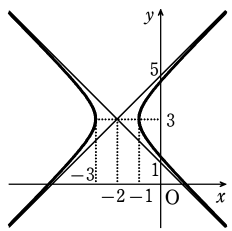
また，その概形は [図] のようになる。



(3)　方程式を変形すると　$(x+2)^2-(y-3)^2=1$

この曲線は，双曲線 $x^2-y^2=1$ を x 軸方向に -2，y 軸方向に 3 だけ平行移動した双曲線である。

また，その概形は [図] のようになる。

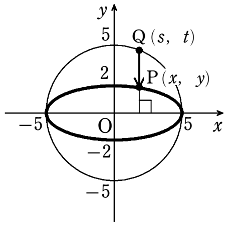


2

解答　(1)　楕円 $\frac{x^2}{25}+\frac{y^2}{4}=1$　　(2)　楕円 $\frac{x^2}{100}+\frac{y^2}{25}=1$

解説

(1)　円上に点Q $(s,\ t)$ をとり，Q が移る点をP $(x,\ y)$ とすると

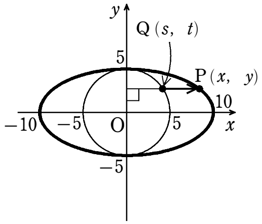


$x=s,\ y=\dfrac{2}{5}t$　　ゆえに　$s=x,\ t=\dfrac{5}{2}y$

$s^2+t^2=25$ であるから　$x^2+\left(\dfrac{5}{2}y\right)^2=25$

よって　楕円 $\dfrac{x^2}{25}+\dfrac{y^2}{4}=1$

(2)　円上に点 Q $(s,\ t)$ をとり，Q が移る点を P $(x,\ y)$ とすると



$x=2s,\ y=t$　　ゆえに　$s=\dfrac{x}{2},\ t=y$

$s^2+t^2=25$ であるから　$\left(\dfrac{x}{2}\right)^2+y^2=25$

よって　楕円 $\dfrac{x^2}{100}+\dfrac{y^2}{25}=1$

3

解答　(1)　$xy=1$　(2)　$13x^2-6\sqrt{3}xy+7y^2=16$
(3)　$x^2+2\sqrt{3}xy+3y^2-8\sqrt{3}x+8y=0$

解説

(1)　原点を中心とする $\dfrac{\pi}{4}$ の回転によって，双曲線上の点 Q $(X,\ Y)$ が点 P $(x,\ y)$ に移るとする。

点 Q は，点 P を原点を中心として $-\dfrac{\pi}{4}$ だけ回転した点であるから，複素数平面で考えると　$X+Yi=\left\{\cos\left(-\dfrac{\pi}{4}\right)+i\sin\left(-\dfrac{\pi}{4}\right)\right\}(x+yi)=\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}-\dfrac{1}{\sqrt{2}}i\right)(x+yi)$

$=\dfrac{1}{\sqrt{2}}(x+y)+\dfrac{1}{\sqrt{2}}(-x+y)i$

したがって　$X=\dfrac{1}{\sqrt{2}}(x+y),\ Y=\dfrac{1}{\sqrt{2}}(-x+y)$　…… ①

点 Q は双曲線 $x^2-y^2=2$ 上にあるから　$X^2-Y^2=2$

これに ① を代入すると　$\dfrac{1}{2}(x+y)^2-\dfrac{1}{2}(-x+y)^2=2$

よって，求める曲線の方程式は　$xy=1$

(2)　原点を中心とする $\dfrac{\pi}{3}$ の回転によって，楕円上の点 Q $(X,\ Y)$ が点 P $(x,\ y)$ に移るとする。

点 Q は，点 P を原点を中心として $-\dfrac{\pi}{3}$ だけ回転した点であるから，複素数平面で考えると　$X+Yi=\left\{\cos\left(-\dfrac{\pi}{3}\right)+i\sin\left(-\dfrac{\pi}{3}\right)\right\}(x+yi)=\left(\dfrac{1}{2}-\dfrac{\sqrt{3}}{2}i\right)(x+yi)$

$=\dfrac{1}{2}(x+\sqrt{3}y)+\dfrac{1}{2}(-\sqrt{3}x+y)i$

したがって　$X=\dfrac{1}{2}(x+\sqrt{3}y),\ Y=\dfrac{1}{2}(-\sqrt{3}x+y)$　…… ①

点 Q は楕円 $\dfrac{x^2}{4}+y^2=1$ 上にあるから　$\dfrac{X^2}{4}+Y^2=1$

これに ① を代入すると　$\dfrac{1}{4}\cdot\dfrac{1}{4}(x+\sqrt{3}y)^2+\dfrac{1}{4}(-\sqrt{3}x+y)^2=1$

よって，求める曲線の方程式は　$13x^2-6\sqrt{3}xy+7y^2=16$

(3)　原点を中心とする $-\dfrac{\pi}{6}$ の回転によって，放物線上の点 Q $(X,\ Y)$ が点 P $(x,\ y)$ に移るとする。

点 Q は，点 P を原点を中心として $\dfrac{\pi}{6}$ だけ回転した点であるから，複素数平面で考えると　$X+Yi=\left(\cos\dfrac{\pi}{6}+i\sin\dfrac{\pi}{6}\right)(x+yi)=\left(\dfrac{\sqrt{3}}{2}+\dfrac{1}{2}i\right)(x+yi)$

$=\dfrac{1}{2}(\sqrt{3}x-y)+\dfrac{1}{2}(x+\sqrt{3}y)i$

したがって　$X=\dfrac{1}{2}(\sqrt{3}x-y),\ Y=\dfrac{1}{2}(x+\sqrt{3}y)$　…… ①

点 Q は放物線 $y^2=4x$ 上にあるから　$Y^2=4X$

これに ① を代入すると　$\dfrac{1}{4}(x+\sqrt{3}y)^2=4\cdot\dfrac{1}{2}(\sqrt{3}x-y)$

よって，求める曲線の方程式は　$x^2+2\sqrt{3}xy+3y^2-8\sqrt{3}x+8y=0$

4

解答　(1)　$k>-\dfrac{1}{2}$ のとき 2 個；$k=-\dfrac{1}{2}$ のとき 1 個；$k<-\dfrac{1}{2}$ のとき 0 個
(2)　$k<-\sqrt{21}$，$\sqrt{21}<k$ のとき 2 個；$k=\pm\sqrt{21}$ のとき 1 個：$-\sqrt{21}<k<\sqrt{21}$ のとき 0 個

解説

(1)　$\begin{cases} y^2=-4x & \cdots\cdots ① \\ y=2x+k & \cdots\cdots ② \end{cases}$

② を ① に代入すると　$(2x+k)^2=-4x$

整理すると　$4x^2+4(k+1)x+k^2=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると　$\dfrac{D}{4}=\{2(k+1)\}^2-4k^2=8k+4$

① と ② の共有点の個数は

$D>0$ すなわち $k>-\dfrac{1}{2}$ のとき 2 個

$D=0$ すなわち $k=-\dfrac{1}{2}$ のとき 1 個

$D<0$ すなわち $k<-\dfrac{1}{2}$ のとき 0 個

(2)　$\begin{cases} 4x^2-25y^2=100 & \cdots\cdots ① \\ x+y=k & \cdots\cdots ② \end{cases}$

② から　$y=k-x$　…… ②′

②′ を ① に代入すると　$4x^2-25(k-x)^2=100$

整理すると　$21x^2-50kx+25(k^2+4)=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$\dfrac{D}{4}=(-25k)^2-21\cdot25(k^2+4)=100(k^2-21)$

$=100(k+\sqrt{21})(k-\sqrt{21})$

① と ② の共有点の個数は

$D>0$ すなわち $k<-\sqrt{21}$，$\sqrt{21}<k$ のとき 2 個

$D=0$ すなわち $k=\pm\sqrt{21}$ のとき 1 個

$D<0$ すなわち $-\sqrt{21}<k<\sqrt{21}$ のとき 0 個

5

解答　(1)　$(7,\ 4)$，$8\sqrt{5}$　(2)　$\left(\dfrac{4}{13},\ \dfrac{3}{13}\right)$，$\dfrac{8\sqrt{30}}{13}$　(3)　$\left(\dfrac{12}{7},\ \dfrac{3}{7}\right)$，$\dfrac{2\sqrt{55}}{7}$

解説

(1)　$y^2=8x$ …… ①，$x-y=3$ …… ②　とする。

① と ② の 2 つの交点を P $(x_1,\ y_1)$，Q $(x_2,\ y_2)$ とする。

② から　$y=x-3$

これを ① に代入して，y を消去すると

$x^2-14x+9=0$　…… ③

x_1，x_2 は 2 次方程式 ③ の異なる 2 つの実数解である。

ここで，③ において，解と係数の関係から

$x_1+x_2=14$ …… ④，$x_1x_2=9$ …… ⑤

線分 PQ の中点の座標は　$\left(\dfrac{x_1+x_2}{2},\ \dfrac{x_1+x_2}{2}-3\right)$

④ を代入して　$(7,\ 4)$

また　$\mathrm{PQ}^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2=(x_2-x_1)^2+(x_2-x_1)^2$

$=2(x_2-x_1)^2=2\{(x_1+x_2)^2-4x_1x_2\}$

④，⑤ を代入して　$\mathrm{PQ}^2=2(14^2-4\cdot9)=320$

したがって　$\mathrm{PQ}=8\sqrt{5}$

(2)　$x^2+4y^2=4$ …… ①，$x+3y=1$ …… ②　とする。

① と ② の 2 つの交点を P $(x_1,\ y_1)$，Q $(x_2,\ y_2)$ とする。

② から　$x=1-3y$

これを ① に代入して，x を消去すると

$13y^2-6y-3=0$　…… ③

y_1，y_2 は 2 次方程式 ③ の異なる 2 つの実数解である。

ここで，③ において，解と係数の関係から

$y_1+y_2=\dfrac{6}{13}$ …… ④，$y_1y_2=-\dfrac{3}{13}$ …… ⑤

線分 PQ の中点の座標は　$\left(1-3\cdot\dfrac{y_1+y_2}{2},\ \dfrac{y_1+y_2}{2}\right)$

④ を代入して　$\left(\dfrac{4}{13},\ \dfrac{3}{13}\right)$

また　$\mathrm{PQ}^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2=9(y_2-y_1)^2+(y_2-y_1)^2$

$=10(y_2-y_1)^2=10\{(y_1+y_2)^2-4y_1y_2\}$

④，⑤ を代入して　$\mathrm{PQ}^2=10\left\{\left(\dfrac{6}{13}\right)^2-4\cdot\left(-\dfrac{3}{13}\right)\right\}=\dfrac{1920}{169}$

したがって　$\mathrm{PQ}=\dfrac{8\sqrt{30}}{13}$

(3)　$x^2-2y^2=1$ …… ①，$2x-y=3$ …… ②　とする。

① と ② の 2 つの交点を P $(x_1,\ y_1)$，Q $(x_2,\ y_2)$ とする。

② から　$y=2x-3$

これを ① に代入して，y を消去すると

$$7x^2-24x+19=0 \quad \cdots\cdots ③$$

x_1，x_2 は２次方程式 ③ の異なる２つの実数解である。

ここで，③ において，解と係数の関係から

$$x_1+x_2=\frac{24}{7} \quad \cdots\cdots ④,\quad x_1x_2=\frac{19}{7} \quad \cdots\cdots ⑤$$

線分 PQ の中点の座標は　$\left(\dfrac{x_1+x_2}{2},\ 2\cdot\dfrac{x_1+x_2}{2}-3\right)$

④ を代入して　$\left(\dfrac{12}{7},\ \dfrac{3}{7}\right)$

また　$PQ^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2=(x_2-x_1)^2+4(x_2-x_1)^2$

$$=5(x_2-x_1)^2=5\{(x_1+x_2)^2-4x_1x_2\}$$

④，⑤ を代入して　$PQ^2=5\left\{\left(\dfrac{24}{7}\right)^2-4\cdot\dfrac{19}{7}\right\}=\dfrac{220}{49}$

したがって　$PQ=\dfrac{2\sqrt{55}}{7}$

6

解答　(1)　$k<-\sqrt{2}$，$\sqrt{2}<k$　　(2)　直線 $y=\dfrac{1}{3}x$ の $x<-\dfrac{3}{\sqrt{2}}$，$\dfrac{3}{\sqrt{2}}<x$ の部分

解説

(1)　２つの方程式から，y を消去すると　$2x^2+6kx+3k^2+3=0$　…… ①

２次方程式 ① の判別式を D とすると　$\dfrac{D}{4}=(3k)^2-2(3k^2+3)=3(k^2-2)$

異なる２点で交わるから　$D>0$

ゆえに　$k^2-2>0$　　よって　$k<-\sqrt{2}$，$\sqrt{2}<k$

(2)　① の異なる２つの実数解を x_1，x_2 とし，線分の中点の座標を $(x,\ y)$ とすると

$$x=\frac{x_1+x_2}{2}=\frac{1}{2}\left(-\frac{6k}{2}\right)=-\frac{3}{2}k,\qquad y=x+k=-\frac{3}{2}k+k=-\frac{1}{2}k$$

k を消去して　$x=3y$　　(1) から　$x<-\dfrac{3}{\sqrt{2}}$，$\dfrac{3}{\sqrt{2}}<x$

よって，求める軌跡は　直線 $y=\dfrac{1}{3}x$ の $x<-\dfrac{3}{\sqrt{2}}$，$\dfrac{3}{\sqrt{2}}<x$ の部分

1

解答　(ア)　$(-2,\ 5+\sqrt{5})$　　(イ)　6

解説

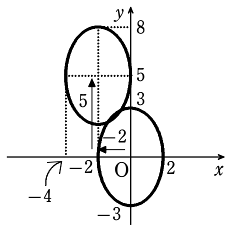
与えられた楕円の方程式を変形すると

$$9(x^2+4x+4)-9\cdot4+4(y^2-10y+25)-4\cdot25+100=0$$

すなわち　$9(x+2)^2+4(y-5)^2=36$

よって　$\dfrac{(x+2)^2}{4}+\dfrac{(y-5)^2}{9}=1$　…… ①

これは楕円 $\dfrac{x^2}{4}+\dfrac{y^2}{9}=1$ …… ② を x 軸方向に -2，y 軸方向に 5 だけ平行移動した楕円を表す。



$\sqrt{9-4}=\sqrt{5}$ より，楕円 ② の焦点の座標は

$(0,\ \sqrt{5})$，$(0,\ -\sqrt{5})$

長軸の長さは　$2\cdot3=6$

ゆえに，楕円 ① の２つの焦点のうち，y 座標が大きい方の座標は　$^{ア}(-2,\ 5+\sqrt{5})$

長軸の長さは　$^{イ}6$

2

解答　$k=-1$

解説

$9x^2+y^2+18kx-2(k+2)y-16k-9=0$ から

$$9(x^2+2kx)+y^2-2(k+2)y-16k-9=0$$

よって　$9(x+k)^2-9k^2+\{y-(k+2)\}^2-(k+2)^2-16k-9=0$

すなわち　$9(x+k)^2+\{y-(k+2)\}^2=10k^2+20k+13$

$10k^2+20k+13=10(k+1)^2+3>0$ であるから，与えられた方程式はすべての実数 k に対して楕円を表す。

$10(k+1)^2+3=r$ とおくと　$\dfrac{(x+k)^2}{\left(\dfrac{\sqrt{r}}{3}\right)^2}+\dfrac{\{y-(k+2)\}^2}{(\sqrt{r})^2}=1$

よって，長軸の長さと短軸の長さの積は　$\dfrac{2\sqrt{r}}{3}\cdot2\sqrt{r}=\dfrac{4}{3}r=\dfrac{4}{3}\{10(k+1)^2+3\}$

これが最小となる k の値は　$k=-1$

3

解答　(1)　双曲線 $\dfrac{(x+3)^2}{16}-\dfrac{(y-2)^2}{9}=-1$　　(2)　放物線 $(y+1)^2=8(x-1)$

解説

(1)　軌跡は点 $(-3,\ 2)$ を中心とする双曲線である。

２点 $(-3,\ -3)$，$(-3,\ 7)$ を x 軸方向に 3，y 軸方向に -2 だけ平行移動すると

２点 $(0,\ -5)$，$(0,\ 5)$

２点 $(0,\ -5)$，$(0,\ 5)$ を焦点とする双曲線の方程式は

$\dfrac{x^2}{a^2}-\dfrac{y^2}{b^2}=-1$ $(a>0,\ b>0)$ …… ① と表される。

焦点からの距離の差が 6 であるから　$2b=6$　　よって　$b=3$

焦点の座標について，$\sqrt{a^2+b^2}=5$ であるから　$a^2+b^2=25$

$b=3$ であるから　$a^2=16$

ゆえに，① は　$\dfrac{x^2}{16}-\dfrac{y^2}{9}=-1$

よって，軌跡は　双曲線 $\dfrac{(x+3)^2}{16}-\dfrac{(y-2)^2}{9}=-1$

別解　A$(-3,\ -3)$，B$(-3,\ 7)$，軌跡上の点を P$(x,\ y)$ とする。

AP−BP$=\pm6$ であるから

$$\sqrt{(x+3)^2+(y+3)^2}-\sqrt{(x+3)^2+(y-7)^2}=\pm6$$

よって　$\sqrt{(x+3)^2+(y+3)^2}=\pm6+\sqrt{(x+3)^2+(y-7)^2}$

両辺を２乗して

$$(x+3)^2+(y+3)^2=36\pm12\sqrt{(x+3)^2+(y-7)^2}+(x+3)^2+(y-7)^2$$

よって　$y^2+6y+9=\pm12\sqrt{(x+3)^2+(y-7)^2}+y^2-14y+85$

ゆえに　$\pm3\sqrt{(x+3)^2+(y-7)^2}=5y-19$

この式の両辺を２乗して整理すると　$9(x+3)^2-16(y-2)^2=-144$

したがって，求める軌跡は　双曲線 $\dfrac{(x+3)^2}{16}-\dfrac{(y-2)^2}{9}=-1$

(2)　軌跡は点 $(1,\ -1)$ を頂点とする放物線である。

点 $(3,\ -1)$ と直線 $x=-1$ を x 軸方向に -1，y 軸方向に 1 だけ平行移動すると

点 $(2,\ 0)$，直線 $x=-2$

焦点が点 $(2,\ 0)$，準線が直線 $x=-2$ である放物線の方程式は

$$y^2=8x$$

よって，軌跡は　放物線 $(y+1)^2=8(x-1)$

別解　A$(3,\ -1)$，$\ell : x=-1$，軌跡上の点を P$(x,\ y)$ とする。

また，P から ℓ に下ろした垂線を PH とすると　AP＝PH

ゆえに　$\sqrt{(x-3)^2+(y+1)^2}=|x-(-1)|$

両辺を２乗して　$(x-3)^2+(y+1)^2=(x+1)^2$

整理して　$(y+1)^2=8(x-1)$

したがって，求める軌跡は　放物線 $(y+1)^2=8(x-1)$

4

解答　(ア)　2　　(イ)　0　　(ウ)　6　　(エ)　楕円

解説

曲線 $3x^2+2\sqrt{3}xy+5y^2=1$ 上の点 P$(X,\ Y)$ を原点を中心として $\dfrac{\pi}{6}$ だけ回転した点を Q$(x,\ y)$ とすると　$3X^2+2\sqrt{3}XY+5Y^2=1$　…… ①

P は Q を原点を中心として $-\dfrac{\pi}{6}$ だけ回転した点であるから，複素数平面で考えると

$$X+Yi=\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{6}\right)+i\sin\left(-\frac{\pi}{6}\right)\right\}(x+yi)=\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{1}{2}i\right)(x+yi)$$

$$=\frac{1}{2}(\sqrt{3}x+y)+\frac{1}{2}(\sqrt{3}y-x)i$$

よって　$X=\dfrac{1}{2}(\sqrt{3}x+y)$，$Y=\dfrac{1}{2}(\sqrt{3}y-x)$

これを ① に代入して整理すると　$^{ア}2x^2+{}^{イ}0xy+{}^{ウ}6y^2=1$

これは楕円を表すから，もとの曲線は ^{エ}楕円 である。

5

解答　(1)　(ア)　$k<-4$，$4<k$　　(イ)　$-4<k<4$

(2)　$k=\sqrt{6}$ のとき接点 $\left(-\dfrac{4\sqrt{6}}{5},\ \dfrac{1}{5}\right)$，　$k=-\sqrt{6}$ のとき接点 $\left(\dfrac{4\sqrt{6}}{5},\ \dfrac{1}{5}\right)$

解説

(1)　$\begin{cases} x^2-y^2=2 & \cdots\cdots ① \\ y=3x+k & \cdots\cdots ② \end{cases}$

② を ① に代入すると　$x^2-(3x+k)^2=2$

整理すると　$8x^2+6kx+k^2+2=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=(3k)^2-8(k^2+2)=(k+4)(k-4)$$

(ア)　① と ② が異なる 2 点で交わるための条件は

$D>0$　すなわち　$(k+4)(k-4)>0$

よって　$k<-4,\ 4<k$

(イ)　① と ② が共有点をもたないための条件は

$D<0$　すなわち　$(k+4)(k-4)<0$

よって　$-4<k<4$

(2)　$\begin{cases} x^2+4y^2=4 & \cdots\cdots ① \\ y=kx+5 & \cdots\cdots ② \end{cases}$

② を ① に代入すると　$x^2+4(kx+5)^2=4$

整理すると　$(4k^2+1)x^2+40kx+96=0$　……③

この 2 次方程式の判別式を D とすると　$\dfrac{D}{4}=(20k)^2-(4k^2+1)\cdot 96=16(k^2-6)$

① と ② が接するための条件は　$D=0$　すなわち　$16(k^2-6)=0$

よって　$k^2=6$　　ゆえに　$k=\pm\sqrt{6}$

接点の x 座標は，③ から　$x=-\dfrac{40k}{2(4k^2+1)}=-\dfrac{20k}{4\cdot 6+1}=-\dfrac{4}{5}k$

接点の y 座標は，② から　$y=k\cdot\left(-\dfrac{4}{5}k\right)+5=-\dfrac{4}{5}k^2+5=-\dfrac{4}{5}\cdot 6+5=\dfrac{1}{5}$

よって，接点の座標は

$k=\sqrt{6}$　のとき　$\left(-\dfrac{4\sqrt{6}}{5},\ \dfrac{1}{5}\right)$，　$k=-\sqrt{6}$ のとき　$\left(\dfrac{4\sqrt{6}}{5},\ \dfrac{1}{5}\right)$

6

解答　$-\dfrac{\sqrt{5}}{2}<k<\dfrac{\sqrt{5}}{2}$，$y=\dfrac{1}{4}x\ \left(-\dfrac{2\sqrt{5}}{5}<x<\dfrac{2\sqrt{5}}{5}\right)$

解説

$y=-x+k$ を $x^2+4y^2=1$ に代入すると　$x^2+4(-x+k)^2=1$

整理すると　$5x^2-8kx+4k^2-1=0$　……①

この x の 2 次方程式 ① の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=(-4k)^2-5(4k^2-1)=-4k^2+5$$

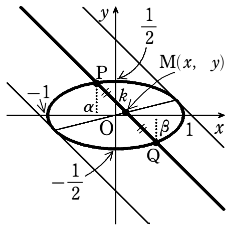
楕円 $x^2+4y^2=1$ と直線 $y=-x+k$ が異なる 2 点で交わるのは $D>0$ のときであるから

$-4k^2+5>0$

これを解くと　$-\dfrac{\sqrt{5}}{2}<k<\dfrac{\sqrt{5}}{2}$　……②

2 点 P，Q の x 座標をそれぞれ α，β とする。

α，β は方程式 ① の解であるから，解と係数の関係により　$\alpha+\beta=\dfrac{8}{5}k$



線分 PQ の中点 M の座標が $(x,\ y)$ であるから

$x=\dfrac{\alpha+\beta}{2}=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{8}{5}k=\dfrac{4}{5}k$　……③

$y=-x+k=-\dfrac{4}{5}k+k=\dfrac{1}{5}k$　……④

③，④ から k を消去すると　$y=\dfrac{1}{4}x$

また，② より　$\dfrac{4}{5}\left(-\dfrac{\sqrt{5}}{2}\right)<\dfrac{4}{5}k<\dfrac{4}{5}\cdot\dfrac{\sqrt{5}}{2}$

よって，③ から　$-\dfrac{2\sqrt{5}}{5}<x<\dfrac{2\sqrt{5}}{5}$

したがって　$y=\dfrac{1}{4}x\ \left(-\dfrac{2\sqrt{5}}{5}<x<\dfrac{2\sqrt{5}}{5}\right)$

1

解答　略

解説

$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$　……①，$\dfrac{x_1x}{a^2}+\dfrac{y_1y}{b^2}=1$　……②　とする。

①，② から y を消去して整理すると

$$\left(\frac{x_1{}^2}{a^2}+\frac{y_1{}^2}{b^2}\right)x^2-2x_1x+a^2\left(1-\frac{y_1{}^2}{b^2}\right)=0\quad\cdots\cdots③$$

また，点 $\mathrm{P}(x_1,\ y_1)$ は楕円 ① 上の点であるから　$\dfrac{x_1{}^2}{a^2}+\dfrac{y_1{}^2}{b^2}=1$，$1-\dfrac{y_1{}^2}{b^2}=\dfrac{x_1{}^2}{a^2}$

よって　$x^2-2x_1x+x_1{}^2=0$　すなわち　$(x-x_1)^2=0$

したがって，x の 2 次方程式 ③ は重解 $x=x_1$ をもち，直線 ② は，点 $\mathrm{P}(x_1,\ y_1)$ における楕円 ① の接線である。

2

解答　$-\dfrac{65}{16}<k<-1$

解説

$x^2=y-k$ を $x^2+4y^2=4$ に代入して整理すると

$4y^2+y-(k+4)=0$　……①

$x^2=4-4y^2\geqq 0$ から　$-1\leqq y\leqq 1$

放物線 $y=x^2+k$ と楕円 $x^2+4y^2=4$ は y 軸に関して対称であるから，2 つの曲線が異なる 4 点で交わる条件は，① が $-1<y<1$ において異なる 2 つの実数解をもつことである。

① の左辺を $f(y)$ とすると，この条件は

[1]　判別式 $D>0$ から　$1+16(k+4)>0$

ゆえに　$k>-\dfrac{65}{16}$　……②

[2]　軸：$y=-\dfrac{1}{8}$ であり，$-1<-\dfrac{1}{8}<1$ となっている。

[3]　$f(1)=1-k>0$ から　$k<1$　……③

[4]　$f(-1)=-1-k>0$ から　$k<-1$　……④

②，③，④ の共通範囲を求めて　$-\dfrac{65}{16}<k<-1$

3

解答　(1)　$9a^2-b^2+4=0$　　(2)　円 $x^2+y^2=13$

解説

(1)　$y=ax+b$ を $4x^2+9y^2=36$ に代入すると　$4x^2+9(ax+b)^2=36$

整理すると　$(9a^2+4)x^2+18abx+9(b^2-4)=0$

判別式を D とすると　$\dfrac{D}{4}=(9ab)^2-9(9a^2+4)(b^2-4)=36(9a^2-b^2+4)$

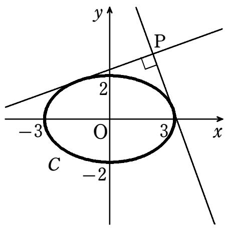
直線 $y=ax+b$ と楕円 C が接するための条件は　$D=0$

よって　$9a^2-b^2+4=0$　……①

(2)　点 P の座標を $(X,\ Y)$ とする。

点 P から楕円 C に引いた接線が x 軸と垂直になるのは，$X=\pm 3$ のときである。

[1]　$X \neq \pm 3$ のとき



点Ｐから楕円 C に引いた接線は x 軸に垂直ではない。

よって，その方程式は　$y-Y=m(x-X)$

すなわち　$y=mx-mX+Y$　……②

とおける。

② が楕円 C に接するとき，① において $a=m$，$b=-mX+Y$ とすると

$$9m^2-(-mX+Y)^2+4=0$$

整理すると

$$(9-X^2)m^2+2XYm+4-Y^2=0 \quad \cdots\cdots ③$$

③ の２つの解を m_1，m_2 とすると，これらは点Ｐから楕円 C に引いた２本の接線の傾きを表す。

２本の接線が直交するから　$m_1m_2=-1$

また，解と係数の関係から　$m_1m_2=\dfrac{4-Y^2}{9-X^2}$　　すなわち　$\dfrac{4-Y^2}{9-X^2}=-1$

整理すると　$X^2+Y^2=13$　……④

[2]　$X=\pm 3$ のとき

２本の接線は $x=\pm 3$，$y=\pm 2$（複号任意）の組で，その交点は

$(3,\ 2)$，$(3,\ -2)$，$(-3,\ 2)$，$(-3,\ -2)$

これらの点は ④ を満たす。

[1]，[2] から，求める軌跡は　円 $x^2+y^2=13$

$\boxed{4}$

解答　(1)　$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$　　(2)　$\dfrac{(x+k)^2}{b^2}+\dfrac{(y-k)^2}{a^2}=1$

(3)　$k<-\sqrt{a^2+b^2}$，$\sqrt{a^2+b^2}<k$

解説

(1)　P$(s,\ t)$，Q$(x,\ y)$ とすると

$x=s$，$y=\dfrac{b}{a}t$　　ゆえに　$s=x$，$t=\dfrac{a}{b}y$

$s^2+t^2=a^2$ であるから　$x^2+\left(\dfrac{a}{b}y\right)^2=a^2$

よって，C_1 の方程式は　$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$

(2)　Q$(s,\ t)$，C_2 上の点を R$(x,\ y)$ とすると，線分 QR の中点 $\left(\dfrac{s+x}{2},\ \dfrac{t+y}{2}\right)$ は直線 $y=x+k$ 上にあるから

$$\frac{t+y}{2}=\frac{s+x}{2}+k$$

ゆえに　$s-t=-x+y-2k$　……①

また，線分 QR は直線 $y=x+k$ に垂直であるから

$$\frac{y-t}{x-s}=-1$$

よって　$s+t=x+y$　……②

①，② から　$s=y-k$，$t=x+k$

Q は C_1 上の点であるから　$\dfrac{(y-k)^2}{a^2}+\dfrac{(x+k)^2}{b^2}=1$

したがって，C_2 の方程式は　$\dfrac{(x+k)^2}{b^2}+\dfrac{(y-k)^2}{a^2}=1$

(3)　$y=x+k$ と C_2 の共有点の x 座標は

$$\frac{(x+k)^2}{b^2}+\frac{(x+k-k)^2}{a^2}=1 \quad \cdots\cdots ③$$

の実数解である。

③ を変形して　$(a^2+b^2)x^2+2a^2kx+a^2(k^2-b^2)=0$

この２次方程式の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=(a^2k)^2-(a^2+b^2)a^2(k^2-b^2)$$
$$=a^2b^2(a^2+b^2-k^2)$$

$D<0$ から　$a^2+b^2-k^2<0$

$a^2+b^2>0$ であるから　$k<-\sqrt{a^2+b^2}$，$\sqrt{a^2+b^2}<k$

解説

$\boxed{1}$

解答　(1)　$y=x+1$　　(2)　$2x+3y=12$　　(3)　$\sqrt{5}\,x+2y+8=0$

解説

(1)　$2y=2\cdot 1\cdot(x+1)$　　すなわち　$y=x+1$

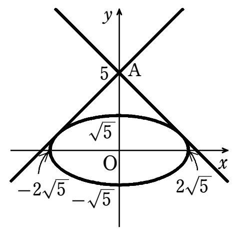
(2)　$\dfrac{3x}{18}+\dfrac{2y}{8}=1$　　すなわち　$2x+3y=12$

(3)　$\dfrac{-2\sqrt{5}\,x}{16}-\dfrac{1\cdot y}{4}=1$　　すなわち　$\sqrt{5}\,x+2y+8=0$

$\boxed{2}$

解答　$y=x+5$，$y=-x+5$

解説



$x^2+4y^2=20$ ……① とする。

点Ａを通る接線は，x 軸に垂直ではないから，接線の傾きを m とすると，接線の方程式は

$$y=mx+5 \quad \cdots\cdots ②$$

② を ① に代入して，整理すると

$$(4m^2+1)x^2+40mx+80=0$$

この２次方程式の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=(20m)^2-(4m^2+1)\cdot 80=80(m+1)(m-1)$$

直線 ② が楕円 ① に接する条件は，$D=0$ から　$m=\pm 1$

よって，接線の方程式は　$y=x+5$，$y=-x+5$

別解　接点の座標を P$(x_1,\ y_1)$ とすると

点Ｐは楕円 $x^2+4y^2=20$ ……① 上の点であるから

$${x_1}^2+4{y_1}^2=20 \quad \cdots\cdots ②$$

楕円 ① 上の点Ｐにおける接線の方程式は　$x_1x+4y_1y=20$

点Ａを通るから　$x_1\cdot 0+4y_1\cdot 5=20$　　よって　$y_1=1$

これを ② に代入すると　${x_1}^2=16$　　ゆえに　$x_1=\pm 4$

よって，接線の方程式は　$y=x+5$，$y=-x+5$

$\boxed{3}$

解答　(1)　$x=5\cos\theta$，$y=5\sin\theta$　　(2)　$x=5\cos\theta$，$y=3\sin\theta$

(3)　$x=\dfrac{2}{\cos\theta}$，$y=\tan\theta$

解説

(1)　$x=5\cos\theta$，$y=5\sin\theta$　　(2)　$x=5\cos\theta$，$y=3\sin\theta$

(3)　$x=\dfrac{2}{\cos\theta}$，$y=\tan\theta$

$\boxed{4}$

解答　(1)　放物線 $y=\dfrac{1}{2}x^2-\dfrac{1}{2}$ の $-1\leqq x\leqq\sqrt{2}$ の部分

(2)　双曲線 $x^2-y^2=1$ の $x\geqq 1$ の部分

(3)　円 $\left(x-\dfrac{1}{2}\right)^2+y^2=\dfrac{1}{4}$　ただし，点 $(0,\ 0)$ を除く

解説

(1)　$x=\sin\theta+\cos\theta$ の両辺を２乗し，整理すると

$$x^2=1+2\sin\theta\cos\theta$$

これに $\sin\theta\cos\theta=y$ を代入すると

$$x^2=1+2y$$

$\sin\theta+\cos\theta=\sqrt{2}\sin\left(\theta+\frac{\pi}{4}\right)$ であるから，$0\leqq\theta\leqq\pi$ のとき

$$-1\leqq\sin\theta+\cos\theta\leqq\sqrt{2}$$

よって　放物線 $y=\frac{1}{2}x^2-\frac{1}{2}$ の $-1\leqq x\leqq\sqrt{2}$ の部分

(2) $x=\frac{1}{2}(3^t+3^{-t})$ ……①，$y=\frac{1}{2}(3^t-3^{-t})$ ……②

①+② から　$x+y=3^t$　　①−② から　$x-y=3^{-t}$

ゆえに　$(x+y)(x-y)=3^t\cdot3^{-t}$　　よって　$x^2-y^2=1$

$3^t>0$，$3^{-t}>0$ であるから，相加平均と相乗平均の大小関係により

$$x=\frac{1}{2}(3^t+3^{-t})\geqq\sqrt{3^t\cdot3^{-t}}=1$$

ゆえに　双曲線 $x^2-y^2=1$ の $x\geqq1$ の部分

(3) $x=\frac{1}{1+t^2}$ ……①，$y=\frac{t}{1+t^2}$ ……② とする。

① を ② に代入して　$y=tx$

$x\neq0$ であるから　$t=\frac{y}{x}$

これを ① に代入して t を消去すると　$x=\dfrac{1}{1+\left(\frac{y}{x}\right)^2}$

整理すると　$x(x^2-x+y^2)=0$

$x\neq0$ であるから　$x^2-x+y^2=0$

よって　円 $\left(x-\frac{1}{2}\right)^2+y^2=\frac{1}{4}$　ただし，点 (0，0) を除く。

$\boxed{5}$

解答 $\left(-\frac{4\sqrt{5}}{5},\ \frac{\sqrt{5}}{5}\right)$，$\left(\frac{4\sqrt{5}}{5},\ -\frac{\sqrt{5}}{5}\right)$

解説

点 P$(x,\ y)$ は楕円 $\frac{x^2}{4}+y^2=1$ 上を動くから，

$x=2\cos\theta$，$y=\sin\theta$　$(0\leqq\theta<2\pi)$　と表される。

このとき　$3x^2-16xy-12y^2$

$=3\cdot4\cos^2\theta-16\cdot2\cos\theta\cdot\sin\theta-12\sin^2\theta$

$=12(\cos^2\theta-\sin^2\theta)-16\cdot2\sin\theta\cos\theta=12\cos2\theta-16\sin2\theta$

$=-4(4\sin2\theta-3\cos2\theta)=-4\cdot5\sin(2\theta-\alpha)$

ただし，α は $\cos\alpha=\frac{4}{5}$，$\sin\alpha=\frac{3}{5}$ $\left(0<\alpha<\frac{\pi}{2}\right)$ を満たす角とする。

$0\leqq\theta<2\pi$ より，$-\alpha<2\theta-\alpha<4\pi-\alpha$ であり，さらに $-\frac{\pi}{2}<-\alpha<0$，

$\frac{7}{2}\pi<4\pi-\alpha<4\pi$ であるから，$3x^2-16xy-12y^2$ は $2\theta-\alpha=\frac{3}{2}\pi,\ \frac{7}{2}\pi$ のとき最大となる。

このとき　$\theta=\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2},\ \frac{7}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}$

ここで，$\sin\frac{\alpha}{2}>0$，$\cos\frac{\alpha}{2}>0$ であるから

$$\sin\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{1}{2}(1-\cos\alpha)}=\sqrt{\frac{1}{2}\left(1-\frac{4}{5}\right)}=\frac{1}{\sqrt{10}}$$

$$\cos\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{1}{2}(1+\cos\alpha)}=\sqrt{\frac{1}{2}\left(1+\frac{4}{5}\right)}=\frac{3}{\sqrt{10}}$$

[1] $\theta=\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}$ のとき

$$x=2\cos\theta=2\cos\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)=2\left(\cos\frac{3}{4}\pi\cos\frac{\alpha}{2}-\sin\frac{3}{4}\pi\sin\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$=2\left\{\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\cdot\frac{3}{\sqrt{10}}-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{10}}\right\}=-\frac{4\sqrt{5}}{5}$$

$$y=\sin\theta=\sin\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)=\sin\frac{3}{4}\pi\cos\frac{\alpha}{2}+\cos\frac{3}{4}\pi\sin\frac{\alpha}{2}$$

$$=\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\frac{3}{\sqrt{10}}+\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{10}}=\frac{\sqrt{5}}{5}$$

[2] $\theta=\frac{7}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}$ のとき

[1] の結果を利用すると

$$x=2\cos\left(\frac{7}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)=2\cos\left\{\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)+\pi\right\}=-2\cos\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$=-\left(-\frac{4\sqrt{5}}{5}\right)=\frac{4\sqrt{5}}{5}$$

$$y=\sin\left(\frac{7}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)=\sin\left\{\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)+\pi\right\}=-\sin\left(\frac{3}{4}\pi+\frac{\alpha}{2}\right)=-\frac{\sqrt{5}}{5}$$

[1]，[2] より，求める点 P の座標は　$\left(-\frac{4\sqrt{5}}{5},\ \frac{\sqrt{5}}{5}\right)$，$\left(\frac{4\sqrt{5}}{5},\ -\frac{\sqrt{5}}{5}\right)$

$\boxed{6}$

解答 $\begin{cases}x=3\cos\theta-\cos3\theta\\ y=3\sin\theta-\sin3\theta\end{cases}$

解説

円 C' の中心 C′ が O の周りを θ だけ回転したときの接点を T とし，A (2，0) とする。

$\overset{\frown}{\mathrm{PT}}=\overset{\frown}{\mathrm{AT}}=2\theta$，PC′$=1$ から　$\angle\mathrm{TC'P}=2\theta$

よって，線分 C′P の，x 軸の正方向からの角 α は

$$\alpha=\theta+\pi+2\theta=3\theta+\pi$$

P$(x,\ y)$ とすると

$\overrightarrow{\mathrm{OP}}=(x,\ y)$，$\overrightarrow{\mathrm{OC'}}=(3\cos\theta,\ 3\sin\theta)$，

$\overrightarrow{\mathrm{C'P}}=(\cos(3\theta+\pi),\ \sin(3\theta+\pi))$

$\overrightarrow{\mathrm{OP}}=\overrightarrow{\mathrm{OC'}}+\overrightarrow{\mathrm{C'P}}$ であるから

$$\begin{cases}x=3\cos\theta+\cos(3\theta+\pi)=3\cos\theta-\cos3\theta\\ y=3\sin\theta+\sin(3\theta+\pi)=3\sin\theta-\sin3\theta\end{cases}$$

$\boxed{1}$

解答 (1) $y=x+2$　(2) $x+y-3=0$　(3) $2\sqrt{2}x+\sqrt{3}y-1=0$

解説

(1) $4\cdot y=2\cdot2(x+2)$

すなわち　$y=x+2$

(2) $\frac{1\cdot x}{3}+\frac{2\cdot y}{6}=1$

すなわち　$x+y-3=0$

(3) $2\cdot\sqrt{2}\cdot x-(-\sqrt{3})\cdot y=1$

すなわち　$2\sqrt{2}x+\sqrt{3}y-1=0$

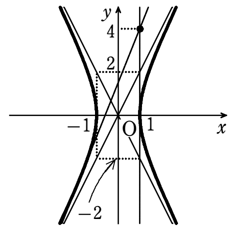
$\boxed{2}$

解答 接線の方程式が $x=1$ のとき，接点 (1，0)；

接線の方程式が $y=\frac{5}{2}x+\frac{3}{2}$ のとき，接点 $\left(-\frac{5}{3},\ -\frac{8}{3}\right)$

解説

$4x^2-y^2=4$ ……① とする。



点 A を通る接線のうち，x 軸に垂直なものの方程式は $x=1$ であり，その接点の座標は (1，0) である。

x 軸に垂直ではない接線の傾きを m とすると，接線の方程式は

$$y=m(x-1)+4\ \cdots\cdots②$$

② を ① に代入して，整理すると

$$(4-m^2)x^2+2m(m-4)x-m^2+8m-20=0\ \cdots\cdots③$$

$m=\pm2$ のとき，直線 ② は漸近線と平行で，接線ではない。

よって　$m\neq\pm2$

このとき，2 次方程式 ③ の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=\{m(m-4)\}^2-(4-m^2)(-m^2+8m-20)$$

$$=-32m+80=-16(2m-5)$$

直線 ② が双曲線 ① に接する条件は，$D=0$ から　$m=\frac{5}{2}$

このとき，接線の方程式は ② から　$y=\frac{5}{2}x+\frac{3}{2}$ ……④

$m=\frac{5}{2}$ を ③ に代入して　$-\frac{9}{4}x^2-\frac{15}{2}x-\frac{25}{4}=0$

ゆえに　$9x^2+30x+25=0$　　よって　$(3x+5)^2=0$

ゆえに　$x=-\frac{5}{3}$　　④ から　$y=-\frac{8}{3}$

したがって，接線の方程式と接点の座標は

接線の方程式が $x=1$ のとき　接点 (1，0)

接線の方程式が $y=\frac{5}{2}x+\frac{3}{2}$ のとき　接点 $\left(-\frac{5}{3},\ -\frac{8}{3}\right)$

別解 接点の座標を P$(x_1,\ y_1)$ とすると

点 P は双曲線上の点であるから　$4{x_1}^2-{y_1}^2=4$ ……①

点 P における双曲線の接線の方程式は　$4x_1x-y_1y=4$ ……②

点 A を通るから　$4x_1\cdot1-y_1\cdot4=4$　　よって　$y_1=x_1-1$ ……③

これを ① に代入すると　$4x_1{}^2-(x_1-1)^2=4$　　ゆえに　$3x_1{}^2+2x_1-5=0$

よって　$(3x_1+5)(x_1-1)=0$　　ゆえに　$x_1=-\dfrac{5}{3},\ 1$

$x_1=-\dfrac{5}{3}$ のとき，③ から　$y_1=-\dfrac{8}{3}$

このとき，接線の方程式は ② から　$-\dfrac{20}{3}x+\dfrac{8}{3}y=4$

すなわち　$y=\dfrac{5}{2}x+\dfrac{3}{2}$

$x_1=1$ のとき，③ から　$y_1=0$

このとき，接線の方程式は ② から　$4x=4$　すなわち　$x=1$

したがって，接線の方程式と接点の座標は

接線の方程式が $x=1$ のとき　接点 $(1,\ 0)$

接線の方程式が $y=\dfrac{5}{2}x+\dfrac{3}{2}$ のとき　接点 $\left(-\dfrac{5}{3},\ -\dfrac{8}{3}\right)$

3

解答 (1) $x=4\cos\theta$，$y=4\sin\theta$　(2) $x=\sqrt{5}\cos\theta$，$y=\sqrt{5}\sin\theta$

(3) $x=2\cos\theta$，$y=\sin\theta$　(4) $x=2\cos\theta$，$y=3\sin\theta$

(5) $x=\dfrac{4}{\cos\theta}$，$y=3\tan\theta$　(6) $x=\dfrac{1}{\cos\theta}$，$y=2\tan\theta$

解説

(1) $x=4\cos\theta$，$y=4\sin\theta$

(2) $x=\sqrt{5}\cos\theta$，$y=\sqrt{5}\sin\theta$

(3) $x=2\cos\theta$，$y=\sin\theta$

(4) $9x^2+4y^2=36$ の両辺を 36 で割って　$\dfrac{x^2}{4}+\dfrac{y^2}{9}=1$

よって　$x=2\cos\theta$，$y=3\sin\theta$

(5) $x=\dfrac{4}{\cos\theta}$，$y=3\tan\theta$

(6) $4x^2-y^2=4$ の両辺を 4 で割って　$x^2-\dfrac{y^2}{4}=1$

よって　$x=\dfrac{1}{\cos\theta}$，$y=2\tan\theta$

4

解答 (1) 放物線 $y=1-x^2$ の $-1\leqq x\leqq1$ の部分

(2) 双曲線 $x^2-y^2=4$ の $x\geqq2$ の部分

(3) 双曲線 $x^2-\dfrac{y^2}{4}=1$　ただし，点 $(-1,\ 0)$ を除く

解説

(1) $y=1-\cos^2\theta=1-x^2$

$0\leqq\theta\leqq\pi$ であるから　$-1\leqq\cos\theta\leqq1$

よって　放物線 $y=1-x^2$ の $-1\leqq x\leqq1$ の部分

(2) $x=t^2+\dfrac{1}{t^2}$ ……①，$y=t^2-\dfrac{1}{t^2}$ ……②

①＋② から　$x+y=2t^2$　①－② から　$x-y=\dfrac{2}{t^2}$

ゆえに　$(x+y)(x-y)=2t^2\cdot\dfrac{2}{t^2}=4$　よって　$x^2-y^2=4$

$t^2>0$，$\dfrac{1}{t^2}>0$ であるから，相加平均と相乗平均の大小関係により

$$x=t^2+\frac{1}{t^2}\geqq2\sqrt{t^2\cdot\frac{1}{t^2}}=2$$

ゆえに　双曲線 $x^2-y^2=4$ の $x\geqq2$ の部分

(3) $x=\dfrac{1+t^2}{1-t^2}$ から　$(1-t^2)x=1+t^2$　よって　$(x+1)t^2=x-1$

$x\neq-1$ であるから　$t^2=\dfrac{x-1}{x+1}$ ……①

また，$y=\dfrac{4t}{1-t^2}$ から

$$t=\frac{1-t^2}{4}y=\frac{y}{4}\left(1-\frac{x-1}{x+1}\right)=\frac{y}{4}\cdot\frac{2}{x+1}=\frac{y}{2(x+1)}\quad\cdots\cdots②$$

①，② から t を消去して　$\left\{\dfrac{y}{2(x+1)}\right\}^2=\dfrac{x-1}{x+1}$

両辺に $4(x+1)^2$ を掛けて　$y^2=4(x^2-1)$

したがって　双曲線 $x^2-\dfrac{y^2}{4}=1$　ただし，点 $(-1,\ 0)$ を除く。

別解 $x=\dfrac{1+t^2}{1-t^2}$ から　$x=-1+\dfrac{2}{1-t^2}$　すなわち　$\dfrac{1}{1-t^2}=\dfrac{x+1}{2}$

$y=\dfrac{4t}{1-t^2}$ から　$\dfrac{t}{1-t^2}=\dfrac{y}{4}$

ゆえに　$\left(\dfrac{x+1}{2}\right)^2-\left(\dfrac{y}{4}\right)^2=\dfrac{1}{1-t^2}=\dfrac{x+1}{2}$

よって　$4x^2-y^2=4$　すなわち　$x^2-\dfrac{y^2}{4}=1$

また，$x=-1+\dfrac{2}{1-t^2}$ から　$x<-1,\ 1\leqq x$

したがって　双曲線 $x^2-\dfrac{y^2}{4}=1$　ただし，点 $(-1,\ 0)$ を除く。

5

解答 $\dfrac{\sqrt{31}+1}{12}$

解説

楕円 $2x^2+3y^2=1$ 上の点 $(x,\ y)$ は，

$$x=\frac{1}{\sqrt{2}}\cos\theta,\ y=\frac{1}{\sqrt{3}}\sin\theta\ (0\leqq\theta<2\pi)$$

と表されるから

$$\begin{aligned}x^2-y^2+xy&=\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cos\theta\right)^2-\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\sin\theta\right)^2+\frac{1}{\sqrt{2}}\cos\theta\cdot\frac{1}{\sqrt{3}}\sin\theta\\&=\frac{1}{2}\cos^2\theta-\frac{1}{3}\sin^2\theta+\frac{1}{\sqrt{6}}\sin\theta\cos\theta\\&=\frac{1}{2}\cdot\frac{1+\cos2\theta}{2}-\frac{1}{3}\cdot\frac{1-\cos2\theta}{2}+\frac{1}{2\sqrt{6}}\sin2\theta\\&=\frac{\sqrt{6}}{12}\sin2\theta+\frac{5}{12}\cos2\theta+\frac{1}{12}\\&=\frac{\sqrt{31}}{12}\sin(2\theta+\alpha)+\frac{1}{12}\end{aligned}$$

ただし　$\sin\alpha=\dfrac{5}{\sqrt{31}}$，$\cos\alpha=\dfrac{\sqrt{6}}{\sqrt{31}}$

$0\leqq\theta<2\pi$ であるから　$\alpha\leqq2\theta+\alpha<4\pi+\alpha$

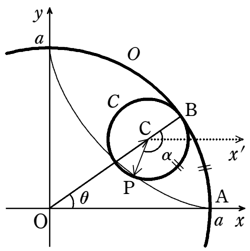
よって　$-1\leqq\sin(2\theta+\alpha)\leqq1$

ゆえに，求める最大値は　$\dfrac{\sqrt{31}+1}{12}$

6

解答 $x=a\cos^3\theta$，$y=a\sin^3\theta$

解説



$\mathrm{P}(x,\ y)$ とし，円 O と円 C との接点を B とする。

$\angle\mathrm{BCP}=\alpha$ とすると，$\overset{\frown}{\mathrm{AB}}=\overset{\frown}{\mathrm{PB}}$ であるから

$a\theta=\dfrac{a}{4}\cdot\alpha$

よって　$\alpha=4\theta$

半直線 CP が x 軸の正の向きとなす角は

$\theta-\alpha=\theta-4\theta=-3\theta$

したがって

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\mathrm{OP}}&=\overrightarrow{\mathrm{OC}}+\overrightarrow{\mathrm{CP}}\\&=\left(\frac{3}{4}a\cos\theta,\ \frac{3}{4}a\sin\theta\right)+\left(\frac{a}{4}\cos(-3\theta),\ \frac{a}{4}\sin(-3\theta)\right)\\&=\left(\frac{3}{4}a\cos\theta+\frac{a}{4}(4\cos^3\theta-3\cos\theta),\ \frac{3}{4}a\sin\theta-\frac{a}{4}(3\sin\theta-4\sin^3\theta)\right)\\&=(a\cos^3\theta,\ a\sin^3\theta)\end{aligned}$$

ゆえに　$x=a\cos^3\theta$，$y=a\sin^3\theta$

1

解答　略

解説

点Ｐにおける接線の方程式は　$y_1y=2p(x+x_1)$　……①

点Ｐは放物線上の点であるから　$y_1{}^2=4px_1$

また，焦点Ｆの座標は $(p,\ 0)$ であるから

$$\mathrm{FP}=\sqrt{(x_1-p)^2+y_1{}^2}=\sqrt{(x_1-p)^2+4px_1}$$
$$=\sqrt{(x_1+p)^2}=x_1+p$$

Ｔの x 座標は，接線①に $y=0$ を代入して　$x=-x_1$

ゆえに　$\mathrm{FT}=p-(-x_1)=p+x_1$

よって，FP＝FT となり，△FPT は二等辺三角形であるから

$$\angle\mathrm{PTF}=\angle\mathrm{TPF}$$

2

解答　（ア）$-x^2+1$　（イ）$-\dfrac{1}{2}$　（ウ）1　（エ）π

解説

$x=\sin\theta$，$y=\cos^2\theta$ から　$x^2+y=\sin^2\theta+\cos^2\theta=1$　　よって　$y=-x^2+1$

$\dfrac{\pi}{3}\leqq\theta\leqq\dfrac{7}{6}\pi$ から　$-\dfrac{1}{2}\leqq\sin\theta\leqq1$　　すなわち　$-\dfrac{1}{2}\leqq x\leqq1$

ゆえに，点Ｐが描く曲線は放物線 $y={}^{ア}-x^2+1$ の ${}^{イ}-\dfrac{1}{2}\leqq x\leqq{}^{ウ}1$ の部分であり，

点Ｐの y 座標が最大となるのは，$x=0$ すなわち $\sin\theta=0$ のときである。

$\dfrac{\pi}{3}\leqq\theta\leqq\dfrac{7}{6}\pi$ において，$\sin\theta=0$ を満たす θ の値は　$\theta={}^{エ}\pi$

3

解答　$\dfrac{\left(x-\dfrac{5}{2}\right)^2}{4}-\dfrac{y^2}{16}=1$

解説

$x=t+\dfrac{1}{t}+\dfrac{5}{2}$ から　$t+\dfrac{1}{t}=x-\dfrac{5}{2}$　……①

$y=2t-\dfrac{2}{t}$ から　$t-\dfrac{1}{t}=\dfrac{y}{2}$　……②

①＋② から　$2t=\left(x-\dfrac{5}{2}\right)+\dfrac{y}{2}$　　よって　$t=\dfrac{1}{2}\left(x-\dfrac{5}{2}\right)+\dfrac{y}{4}$

①－② から　$\dfrac{2}{t}=\left(x-\dfrac{5}{2}\right)-\dfrac{y}{2}$　　よって　$\dfrac{1}{t}=\dfrac{1}{2}\left(x-\dfrac{5}{2}\right)-\dfrac{y}{4}$

$t\cdot\dfrac{1}{t}=1$ に代入すると　$\left\{\dfrac{1}{2}\left(x-\dfrac{5}{2}\right)+\dfrac{y}{4}\right\}\cdot\left\{\dfrac{1}{2}\left(x-\dfrac{5}{2}\right)-\dfrac{y}{4}\right\}=1$

したがって　$\dfrac{\left(x-\dfrac{5}{2}\right)^2}{4}-\dfrac{y^2}{16}=1$

4

解答　（ア）$\dfrac{3}{2}$　（イ）$\left(1,\ \dfrac{1}{2}\right)$

解説

$x+y=k$ とおくと　$y=-x+k$　……①

$x+y$ のとりうる値の範囲は，直線①が楕円 $x^2+x+2y^2+y=3$ と共有点をもつような k の値の範囲と一致する。

①を $x^2+x+2y^2+y=3$ に代入して整理すると　$3x^2-4kx+2k^2+k-3=0$　……②

②の判別式を D とすると　$\dfrac{D}{4}=(-2k)^2-3\cdot(2k^2+k-3)=-(2k-3)(k+3)$

直線①が楕円 $x^2+x+2y^2+y=3$ と共有点をもつとき，$D\geqq0$ であるから

$-(2k-3)(k+3)\geqq0$　　すなわち　$-3\leqq k\leqq\dfrac{3}{2}$

k が最大となるとき，$x+y$ は最大となるから，$k=\dfrac{3}{2}$ のとき $x+y$ は最大値 ${}^{ア}\dfrac{3}{2}$ をとる。

このとき，②は　$3x^2-6x+3=0$　　すなわち　$(x-1)^2=0$

よって　$x=1$

したがって　$y=-x+k=\dfrac{1}{2}$

ゆえに，このときの点の座標は　${}^{イ}\left(1,\ \dfrac{1}{2}\right)$

5

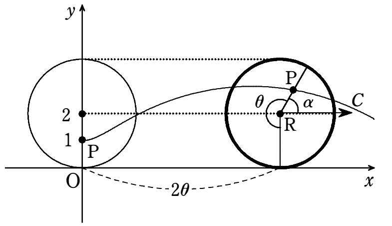
解答　$(2\theta-\sin\theta,\ 2-\cos\theta)$

解説

円板がその中心の周りに角 θ だけ回転したときの中心をＲ，円板上の点で最初に原点Ｏにあった点が移った点をＱ，Ｒから x 軸に引いた垂線をＲＨとすると　$\mathrm{OH}=\overparen{\mathrm{QH}}=2\theta$

よって　$\mathrm{H}(2\theta,\ 0)$，$\mathrm{R}(2\theta,\ 2)$

$\overrightarrow{\mathrm{RP}}$ と x 軸の正の向きとのなす角を α とすると



$$\alpha=\frac{3}{2}\pi-\theta$$

また，$|\overrightarrow{\mathrm{RP}}|=1$ であるから

$$\overrightarrow{\mathrm{RP}}=\left(\cos\left(\frac{3}{2}\pi-\theta\right),\ \sin\left(\frac{3}{2}\pi-\theta\right)\right)=(-\sin\theta,\ -\cos\theta)$$

よって

$$\overrightarrow{\mathrm{OP}}=\overrightarrow{\mathrm{OR}}+\overrightarrow{\mathrm{RP}}=(2\theta,\ 2)+(-\sin\theta,\ -\cos\theta)$$
$$=(2\theta-\sin\theta,\ 2-\cos\theta)$$

ゆえに，点Ｐの座標は　$(2\theta-\sin\theta,\ 2-\cos\theta)$

1

解答　(1)　$b=-\dfrac{\sqrt{3}}{2}a$　　(2)　$\left(-1,\ \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$，$\dfrac{4}{\sqrt{13}}$

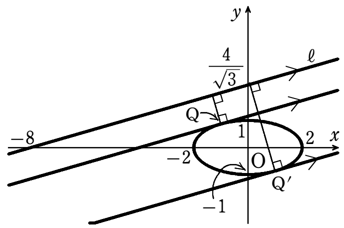
解説

(1)　C 上の点 $\mathrm{P}(a,\ b)$ における接線の方程式は　$\dfrac{a}{4}x+by=1$

よって，求める条件は　$\dfrac{a}{4}\cdot(-2\sqrt{3})-1\cdot b=0$

ゆえに　$b=-\dfrac{\sqrt{3}}{2}a$　……①

(2)　点Ｑにおける接線は ℓ に平行であるから，$\mathrm{Q}(a,\ b)$ とすると(1)より，①が成り立つ。



また　$\dfrac{a^2}{4}+b^2=1$　……②

①を②に代入して整理すると

$a^2=1$　　よって　$a=\pm1$

右図から　$\mathrm{Q}\left(-1,\ \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$

点Ｑから直線 ℓ ：$x-2\sqrt{3}y+8=0$ までの距離は

$$\frac{\left|-1-2\sqrt{3}\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{2}+8\right|}{\sqrt{1^2+(-2\sqrt{3})^2}}=\frac{4}{\sqrt{13}}$$

2

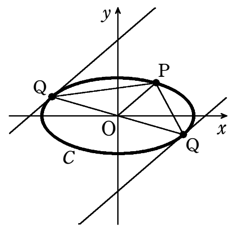
解答　(1)　$\sqrt{3}x-2y=4$，$-\sqrt{3}x+2y=4$

(2)　最大値１，Ｑの座標 $\left(\sqrt{3},\ -\dfrac{1}{2}\right)$，$\left(-\sqrt{3},\ \dfrac{1}{2}\right)$

解説

(1)　接点の座標を $(a,\ b)$ とすると，接線の方程式は

$\dfrac{ax}{4}+by=1$　……①



直線ＯＰの傾きは　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

よって，直線①が直線ＯＰに平行であるための条件は

$-\dfrac{a}{4b}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

すなわち　$a=-2\sqrt{3}b$　……②

接点 $(a,\ b)$ は曲線 C 上の点であるから　$\dfrac{a^2}{4}+b^2=1$　……③

②，③を連立させて解くと

$(a,\ b)=\left(\sqrt{3},\ -\dfrac{1}{2}\right)$，$\left(-\sqrt{3},\ \dfrac{1}{2}\right)$

よって，求める直線は

$\sqrt{3}x-2y=4$，$-\sqrt{3}x+2y=4$

(2)　線分ＯＰを△ＯＰＱの底辺と考えると，高さは点Ｑと直線ＯＰの距離 d に等しい。△ＯＰＱの面積が最大になるのは，d が最大のときであり，そのとき，Ｑは(1)で求めた接線の接点に一致する。

Q の座標が $\left(\sqrt{3},\ -\frac{1}{2}\right)$ のとき，△OPQ の面積は

$$\frac{1}{2}\left|1\cdot\left(-\frac{1}{2}\right)-\sqrt{3}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right|=1$$

Q の座標が $\left(-\sqrt{3},\ \frac{1}{2}\right)$ のとき，△OPQ の面積は上で求めた値と等しいから　1

よって，△OPQ の面積の最大値は 1 である。

また，それを与える Q の座標は

$$\left(\sqrt{3},\ -\frac{1}{2}\right),\ \left(-\sqrt{3},\ \frac{1}{2}\right)$$

別解　(1)　直線 OP の傾きは　$\frac{\sqrt{3}}{2}$

よって，求める接線の方程式は $y=\frac{\sqrt{3}}{2}x+k$ と表せる。

$\frac{x^2}{4}+y^2=1$ に代入して整理すると

$$x^2+\sqrt{3}kx+k^2-1=0$$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$$D=(\sqrt{3}k)^2-4(k^2-1)=-(k+2)(k-2)$$

$D=0$ から　$k=\pm2$

よって，求める直線は　$y=\frac{\sqrt{3}}{2}x\pm2$

(2)　(Q の x 座標の求め方)

接点の x 座標は $x^2\pm2\sqrt{3}x+3=0$ の重解であるから

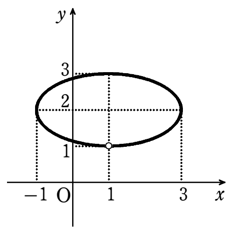
$$x=-\frac{\pm2\sqrt{3}}{2}=\mp\sqrt{3}\ \text{(複号同順)}$$

(以下同様)

3

解答　(1)　$\frac{(x-1)^2}{4}+(y-2)^2=1,\ 1<y\leqq3$

(2)　［図］



解説

(1)　$y=\frac{3+t^2}{1+t^2}$ から　$(y-1)t^2=3-y$ ……①

$y=1$ は ① を満たさないから　$y\neq1$

よって　$t^2=\frac{3-y}{y-1}$ ……②

これを $x=1+\frac{4t}{1+t^2}$ に代入して整理すると　$t=\frac{x-1}{4}(1+t^2)=\frac{x-1}{2(y-1)}$ ……③

②，③ から t を消去して　$\left\{\frac{x-1}{2(y-1)}\right\}^2=\frac{3-y}{y-1}$

整理すると　$\frac{(x-1)^2}{4}+(y-2)^2=1$

また，$y=1+\frac{2}{1+t^2}$ かつ $1<1+\frac{2}{1+t^2}\leqq3$ であるから

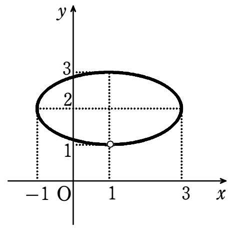
$$1<y\leqq3$$

よって，曲線 C の方程式は

$$\frac{(x-1)^2}{4}+(y-2)^2=1,\ 1<y\leqq3$$

(2)　(1) の結果により，曲線 C は楕円 $\frac{(x-1)^2}{4}+(y-2)^2=1$ から点 (1, 1) を除いた部分である。

よって，曲線 C の概形は右の図のようになる。



4

解答　$\mathrm{OP}=\sqrt{5+4\cos\theta}$

解説

$\mathrm{OO'}=2,\ \angle\mathrm{AOO'}=\theta$　から　$\mathrm{O'}(2\cos\theta,\ 2\sin\theta)$

更に，O′P が x 軸の正の向きとなす角は 2θ であるから，

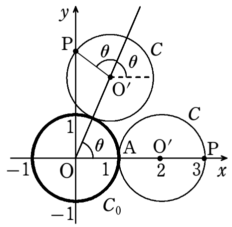
P$(x,\ y)$ とおくと

$$x=2\cos\theta+\cos2\theta,\ y=2\sin\theta+\sin2\theta$$

よって

$$\mathrm{OP}^2=x^2+y^2=(2\cos\theta+\cos2\theta)^2+(2\sin\theta+\sin2\theta)^2$$
$$=4(\cos^2\theta+\sin^2\theta)+(\cos^2 2\theta+\sin^2 2\theta)$$
$$+4(\cos\theta\cos2\theta+\sin\theta\sin2\theta)$$
$$=5+4\cos\theta$$

OP>0 であるから　$\mathrm{OP}=\sqrt{5+4\cos\theta}$



解説

1

解答　(1)　A$(3\sqrt{2},\ 3\sqrt{2})$，B$(-\sqrt{3},\ -1)$　(2)　C$\left(2\sqrt{3},\ \frac{5}{3}\pi\right)$，D$(2,\ \pi)$

解説

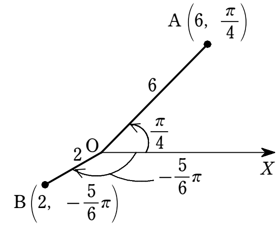
(1)　$x=6\cos\frac{\pi}{4}=3\sqrt{2}$，$y=6\sin\frac{\pi}{4}=3\sqrt{2}$ から

A$(3\sqrt{2},\ 3\sqrt{2})$

$x=2\cos\left(-\frac{5}{6}\pi\right)=-\sqrt{3}$，

$y=2\sin\left(-\frac{5}{6}\pi\right)=-1$ から

B$(-\sqrt{3},\ -1)$



(2)　$r=\sqrt{(\sqrt{3})^2+(-3)^2}=2\sqrt{3}$

また　$\cos\theta=\frac{1}{2}$，$\sin\theta=-\frac{\sqrt{3}}{2}$

$0\leqq\theta<2\pi$ から　$\theta=\frac{5}{3}\pi$

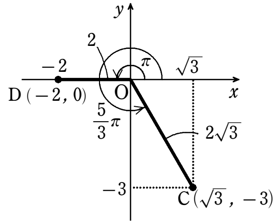
よって　C$\left(2\sqrt{3},\ \frac{5}{3}\pi\right)$

$r=\sqrt{(-2)^2+0^2}=2$

また　$\cos\theta=-1$，$\sin\theta=0$

$0\leqq\theta<2\pi$ から　$\theta=\pi$

よって　D$(2,\ \pi)$



2

解答　(1)　$r\cos\left(\theta-\frac{5}{3}\pi\right)=1$　(2)　$r=-2\cos\theta$　(3)　$r\sin^2\theta=4\cos\theta$

解説

(1)　$x-\sqrt{3}y-2=0$ に $x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$ を代入すると

$$r(\cos\theta-\sqrt{3}\sin\theta)=2$$

ゆえに　$r\left\{\cos\theta\cdot\frac{1}{2}+\sin\theta\cdot\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right\}=1$

よって，求める極方程式は　$r\cos\left(\theta-\frac{5}{3}\pi\right)=1$

(2)　$x^2+y^2=-2x$ に $x^2+y^2=r^2$，$x=r\cos\theta$ を代入すると

$$r(r+2\cos\theta)=0$$

ゆえに　$r=0$　または　$r=-2\cos\theta$

$r=0$ は極を表し，$r=-2\cos\theta$ は極 $\left(0,\ \frac{\pi}{2}\right)$ を通る。

よって，求める極方程式は　$r=-2\cos\theta$

(3)　$y^2=4x$ に $x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$ を代入すると

$$r(r\sin^2\theta-4\cos\theta)=0$$

ゆえに　$r=0$　または　$r\sin^2\theta=4\cos\theta$

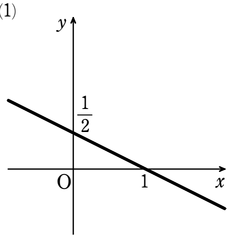
$r=0$ は極を表し，$r\sin^2\theta=4\cos\theta$ は極 $\left(0,\ \frac{\pi}{2}\right)$ を通る。

よって，求める極方程式は　$r\sin^2\theta=4\cos\theta$

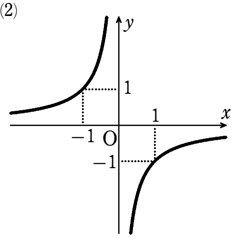
3

解答　(1)　$y=-\frac{1}{2}x+\frac{1}{2}$，［図］　(2)　$xy=-1$，［図］　(3)　$\frac{x^2}{4}+y^2=1$，［図］

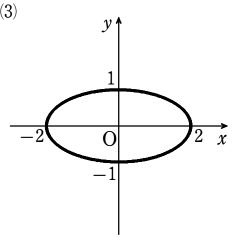
(1)



(2)



(3)



解説

(1)　$\frac{1}{r}=\cos\theta+2\sin\theta$ の両辺を r 倍して　$1=r\cos\theta+2r\sin\theta$

ゆえに　$1=x+2y$　すなわち　$y=-\frac{1}{2}x+\frac{1}{2}$，下図。

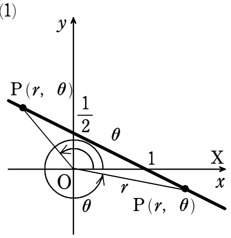
(2)　$r^2\sin 2\theta=r^2\cdot 2\sin\theta\cos\theta=2r\cos\theta\cdot r\sin\theta$ であるから　$2xy=-2$

ゆえに　$xy=-1$，下図。

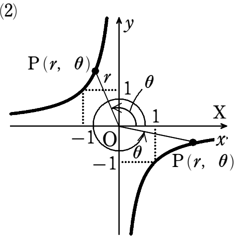
(3)　$3(r\sin\theta)^2+r^2=4$ であるから　$3y^2+(x^2+y^2)=4$

ゆえに　$x^2+4y^2=4$　すなわち　$\frac{x^2}{4}+y^2=1$，下図。

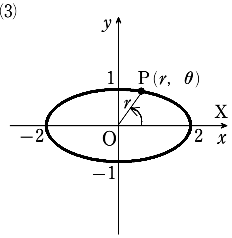
(1)



(2)



(3)



4

解答　(1)　中心が極，半径が 3 の円　［図］

(2)　極を通り，始線とのなす角が $\frac{\pi}{3}$ の直線　［図］

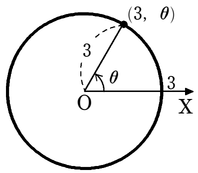
(3)　中心の極座標が (3，0)，半径が 3 の円　［図］

(4)　極座標が (2，0) である点を通り，始線に垂直な直線　［図］

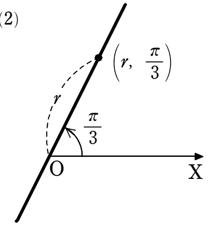
(5)　極座標が $\left(1,\ \frac{5}{6}\pi\right)$ である点 A を通り，OA に垂直な直線（O は極）［図］

(6)　極座標が $\left(3,\ \frac{\pi}{2}\right)$ である点を通り，始線に平行な直線　［図］

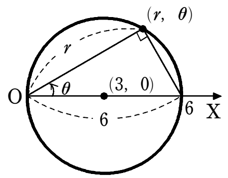
(1)



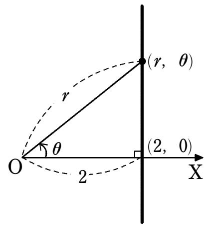
(2)



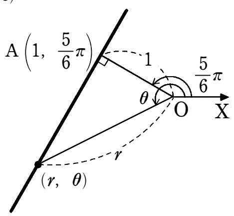
(3)



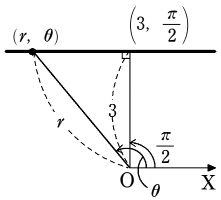
(4)



(5)



(6)

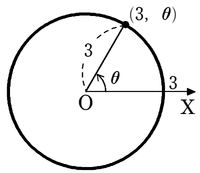


解説

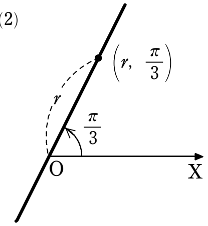
(1)　中心が極，半径が 3 の円を表す。［図］

(2)　極を通り，始線とのなす角が $\frac{\pi}{3}$ の直線を表す。［図］

(1)



(2)

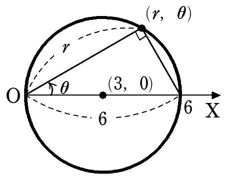


(3)　$r=6\cos\theta$ から　$r=2\cdot 3\cos\theta$

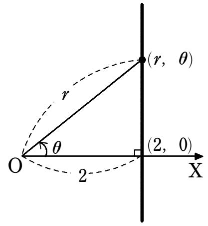
よって，中心の極座標が (3，0)，半径が 3 の円を表す。［図］

(4)　極座標が (2，0) である点を通り，始線に垂直な直線を表す。［図］

(3)



(4)

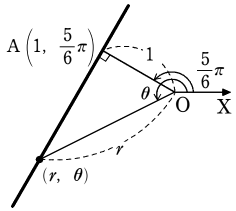


(5)　極座標が $\left(1,\ \frac{5}{6}\pi\right)$ である点 A を通り，OA に垂直な直線を表す（O は極）。［図］

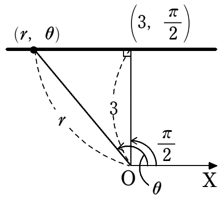
(6)　$\sin\theta=\cos\left(\theta-\frac{\pi}{2}\right)$ であるから，極方程式は　$r\cos\left(\theta-\frac{\pi}{2}\right)=3$

よって，極座標が $\left(3,\ \frac{\pi}{2}\right)$ である点を通り，始線に平行な直線を表す。［図］

(5)



(6)



5

解答　(1)　$r=5$　(2)　$r=6\cos\theta$　(3)　$\theta=\frac{\pi}{3}$　(4)　$r\cos\left(\theta-\frac{\pi}{4}\right)=2$

解説

(1)　$r=5$

(2)　点 (3，0) を中心とする半径 3 の円であるから

$r=2\cdot 3\cos\theta$　よって　$r=6\cos\theta$

(3)　$\theta=\frac{\pi}{3}$

(4)　$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{4}\right)=2$

6

解答　$r=\dfrac{6}{3+2\cos\theta}$

解説

点 P の極座標を $(r,\ \theta)$，P から直線 ℓ に下ろした垂線を PH とすると

$\mathrm{OP}:\mathrm{PH}=2:3$

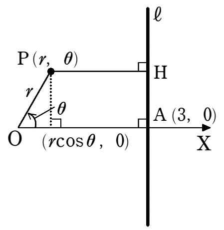
ここで　$\mathrm{OP}=r,\ \mathrm{PH}=3-r\cos\theta$

よって　$r:(3-r\cos\theta)=2:3$

ゆえに　$3r=2(3-r\cos\theta)$

したがって，求める極方程式は

$$r=\frac{6}{3+2\cos\theta}$$



7

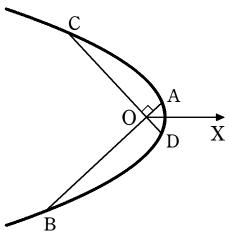
解答　$\dfrac{1}{6}$

解説

$\mathrm{OA}=r_1,\ \mathrm{OB}=r_2,\ \mathrm{OC}=r_3,\ \mathrm{OD}=r_4$ とおき，点 A の極座標を $(r_1,\ \theta_1)$ とする。

4 点 A，C，B，D が，この順で極 O の周りに正の回転の向きで並んでいるとすると，3 点 B，C，D の極座標は $\mathrm{B}(r_2,\ \theta_1+\pi)$，$\mathrm{C}\left(r_3,\ \theta_1+\dfrac{\pi}{2}\right)$，

$\mathrm{D}\left(r_4,\ \theta_1-\dfrac{\pi}{2}\right)$　とおける。



4 点 A，B，C，D は放物線上にあるから

$$r_1=\frac{3}{1+\cos\theta_1}$$

$$r_2=\frac{3}{1+\cos(\theta_1+\pi)}=\frac{3}{1-\cos\theta_1}$$

$$r_3=\frac{3}{1+\cos\left(\theta_1+\dfrac{\pi}{2}\right)}=\frac{3}{1-\sin\theta_1}$$

$$r_4=\frac{3}{1+\cos\left(\theta_1-\dfrac{\pi}{2}\right)}=\frac{3}{1+\sin\theta_1}$$

ここで　$\mathrm{AB}=r_1+r_2=\dfrac{3}{1+\cos\theta_1}+\dfrac{3}{1-\cos\theta_1}$

$$=\frac{6}{1-\cos^2\theta_1}=\frac{6}{\sin^2\theta_1}$$

$\mathrm{CD}=r_3+r_4=\dfrac{3}{1-\sin\theta_1}+\dfrac{3}{1+\sin\theta_1}$

$$=\frac{6}{1-\sin^2\theta_1}=\frac{6}{\cos^2\theta_1}$$

よって　$\dfrac{1}{\mathrm{AB}}+\dfrac{1}{\mathrm{CD}}=\dfrac{\sin^2\theta_1}{6}+\dfrac{\cos^2\theta_1}{6}=\dfrac{1}{6}$

1

解答　(1)　$\mathrm{A}(-2\sqrt{2},\ -2\sqrt{2})$，$\mathrm{B}(0,\ -3)$　　(2)　$\mathrm{C}\left(1,\ \dfrac{7}{4}\pi\right)$，$\mathrm{D}\left(4,\ \dfrac{4}{3}\pi\right)$

解説

(1)　A：$x=4\cos\dfrac{5}{4}\pi=-2\sqrt{2}$，$y=4\sin\dfrac{5}{4}\pi=-2\sqrt{2}$

よって　$\mathrm{A}(-2\sqrt{2},\ -2\sqrt{2})$

B：$x=3\cos\left(-\dfrac{\pi}{2}\right)=0$，$y=3\sin\left(-\dfrac{\pi}{2}\right)=-3$

よって　$\mathrm{B}(0,\ -3)$

(2)　C：$r=\sqrt{\left(\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right)^2+\left(-\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right)^2}=1$

よって　$\cos\theta=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，$\sin\theta=-\dfrac{\sqrt{2}}{2}$

$0\leqq\theta<2\pi$ から　$\theta=\dfrac{7}{4}\pi$

したがって　$\mathrm{C}\left(1,\ \dfrac{7}{4}\pi\right)$

D：$r=\sqrt{(-2)^2+(-2\sqrt{3})^2}=4$

よって　$\cos\theta=\dfrac{-2}{4}=-\dfrac{1}{2}$，$\sin\theta=\dfrac{-2\sqrt{3}}{4}=-\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

$0\leqq\theta<2\pi$ から　$\theta=\dfrac{4}{3}\pi$

したがって　$\mathrm{D}\left(4,\ \dfrac{4}{3}\pi\right)$

2

解答　(1)　$r\cos\left(\theta-\dfrac{5}{4}\pi\right)=\sqrt{2}$　　(2)　$r=4\sin\theta$　　(3)　$r^2\cos2\theta=-4$

解説

(1)　$x+y+2=0$ に $x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$ を代入すると

$r(\cos\theta+\sin\theta)=-2$

すなわち　$r(-\cos\theta-\sin\theta)=2$

ゆえに　$r\left\{\cos\theta\cdot\left(-\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)+\sin\theta\cdot\left(-\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)\right\}=\sqrt{2}$

よって，求める極方程式は　$r\cos\left(\theta-\dfrac{5}{4}\pi\right)=\sqrt{2}$

(2)　$x^2+y^2-4y=0$ に $x^2+y^2=r^2$，$y=r\sin\theta$ を代入すると

$r(r-4\sin\theta)=0$

ゆえに　$r=0$　または　$r=4\sin\theta$

$r=0$ は極を表し，$r=4\sin\theta$ は極 $(0,\ 0)$ を通る。

よって，求める極方程式は　$r=4\sin\theta$

(3)　$x^2-y^2=-4$ に $x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$ を代入すると

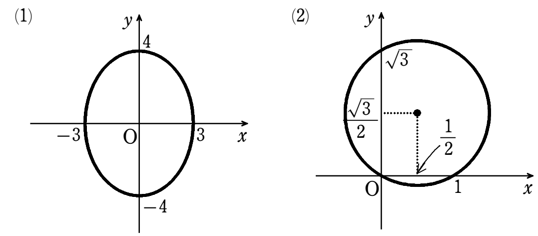
$r^2(\cos^2\theta-\sin^2\theta)=-4$

ゆえに　$r^2\cos2\theta=-4$

よって，求める極方程式は　$r^2\cos2\theta=-4$

3

解答　(1)　$\dfrac{x^2}{9}+\dfrac{y^2}{16}=1$，［図］　　(2)　$x^2+y^2-x-\sqrt{3}\,y=0$，［図］



解説

(1)　$r^2(7\cos^2\theta+9)=144$ から

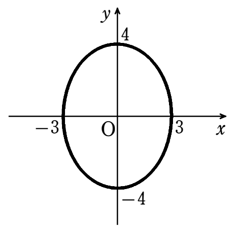
$7(r\cos\theta)^2+9r^2=144$

これに $r\cos\theta=x$，$r^2=x^2+y^2$ を代入して

$7x^2+9(x^2+y^2)=144$

よって　$16x^2+9y^2=144$

ゆえに　$\dfrac{x^2}{9}+\dfrac{y^2}{16}=1$，右図。



(2)　極方程式の右辺を加法定理を用いて展開すると

$$r=2\left(\cos\theta\cos\frac{\pi}{3}+\sin\theta\sin\frac{\pi}{3}\right)$$

すなわち　$r=\cos\theta+\sqrt{3}\sin\theta$

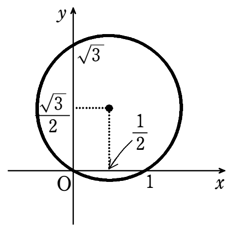
よって　$r^2=r\cos\theta+\sqrt{3}\,r\sin\theta$

これに $r^2=x^2+y^2$，$r\cos\theta=x$，$r\sin\theta=y$ を代入して　$x^2+y^2-x-\sqrt{3}\,y=0$

これを変形して

$$\left(x-\frac{1}{2}\right)^2+\left(y-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2=1$$

ゆえに，右図。



別解　$r=2\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{3}\right)$　……①を変形して

$$r=2\cdot1\cos\left(\theta-\frac{\pi}{3}\right)$$

よって，極方程式①は $\mathrm{C}\left(1,\ \dfrac{\pi}{3}\right)$ を中心とし，半径 1 の円を表す。

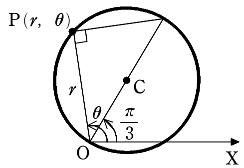
$\mathrm{C}\left(1,\ \dfrac{\pi}{3}\right)$ を直交座標で表すと

$$\mathrm{C}\left(1\cdot\cos\frac{\pi}{3},\ 1\cdot\sin\frac{\pi}{3}\right)$$

すなわち　$\mathrm{C}\left(\dfrac{1}{2},\ \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$

ゆえに，極方程式①を直交座標に関する方程式で表すと

$$\left(x-\frac{1}{2}\right)^2+\left(y-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2=1$$



4

解答　(1)～(6)〔図〕

(1)　中心が極，半径が７の円

(2)　中心の極座標が $(5,\ 0)$，半径が５の円

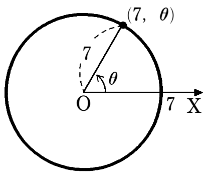
(3)　極を通り，始線とのなす角が $\dfrac{\pi}{3}$ の直線

(4)　極座標が $(3,\ 0)$ である点を通り，始線に垂直な直線

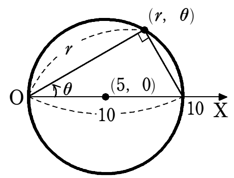
(5)　極座標が $\left(1,\ \dfrac{5}{6}\pi\right)$ である点Ａを通り，OA に垂直な直線（O は極）

(6)　極座標が $\left(2,\ \dfrac{\pi}{2}\right)$ である点を通り，始線に平行な直線

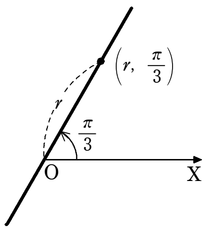
(1)



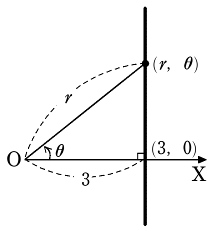
(2)



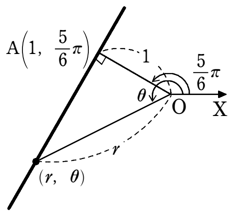
(3)



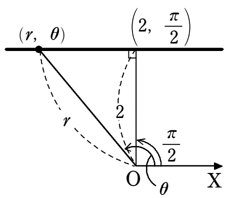
(4)



(5)



(6)



解説

(1)　中心が極，半径が７の円〔図〕

(2)　$r=10\cos\theta$ から　　$r=2\cdot5\cos\theta$

　よって，中心の極座標が $(5,\ 0)$，半径が５の円〔図〕

(3)　極を通り，始線とのなす角が $\dfrac{\pi}{3}$ の直線〔図〕

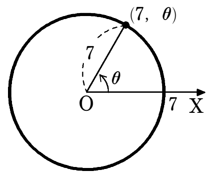
(4)　極座標が $(3,\ 0)$ である点を通り，始線に垂直な直線〔図〕

(5)　極座標が $\left(1,\ \dfrac{5}{6}\pi\right)$ である点Ａを通り，OA に垂直な直線（O は極）〔図〕

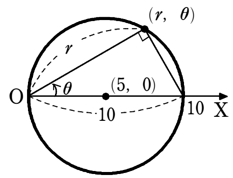
(6)　$\sin\theta=\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{2}\right)$ であるから，極方程式は　　$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{2}\right)=2$

　よって，極座標が $\left(2,\ \dfrac{\pi}{2}\right)$ である点を通り，始線に平行な直線〔図〕

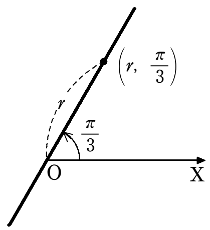
(1)



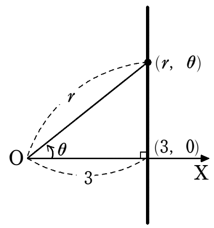
(2)



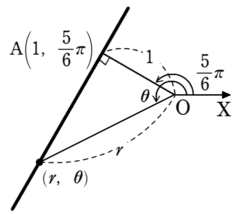
(3)



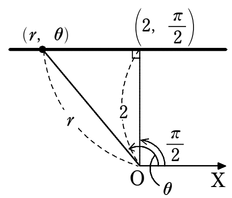
(4)



(5)



(6)



5

解答　(1)　$r=4$　　(2)　$r=\dfrac{3}{\cos\theta}$　　(3)　$\theta=\dfrac{\pi}{3}$　　(4)　$r=6\cos\theta$

　(5)　$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{3}\right)=1$　　(6)　$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{6}\right)=\dfrac{1}{2}$

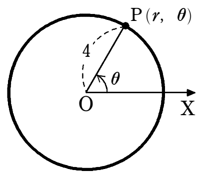
解説

曲線上の点Ｐの極座標を $(r,\ \theta)$ とする。

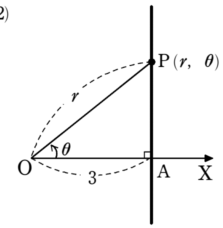
(1)　$r=4$

(2)　$r\cos\theta=3$ から　　$r=\dfrac{3}{\cos\theta}$

(1)



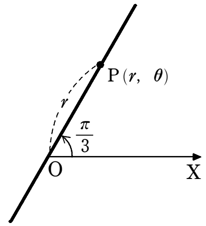
(2)



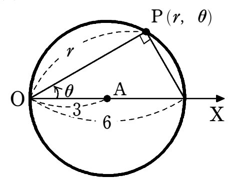
(3)　$\theta=\dfrac{\pi}{3}$

(4)　$r=6\cos\theta$

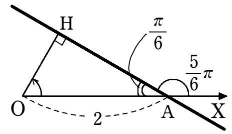
(3)



(4)



(5)　極Ｏからこの直線に下ろした垂線を OH とする。右の図から



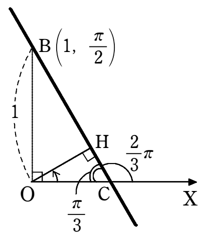
$\angle\mathrm{AOH}=\dfrac{\pi}{2}-\dfrac{\pi}{6}=\dfrac{\pi}{3}$

$\mathrm{OH}=\mathrm{OA}\cos\dfrac{\pi}{3}=2\cdot\dfrac{1}{2}=1$

よって，点Ｈの極座標は　　$\left(1,\ \dfrac{\pi}{3}\right)$

したがって，求める極方程式は　　$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{3}\right)=1$

(6)　極Ｏからこの直線に下ろした垂線を OH，直線と始線の交点をＣとする。右の図から



$\angle\mathrm{COH}=\dfrac{\pi}{2}-\dfrac{\pi}{3}=\dfrac{\pi}{6}$

$\angle\mathrm{HOB}=\dfrac{\pi}{2}-\dfrac{\pi}{6}=\dfrac{\pi}{3}$

$\mathrm{OH}=\mathrm{OB}\cos\angle\mathrm{HOB}=1\cdot\cos\dfrac{\pi}{3}=\dfrac{1}{2}$

よって，点Ｈの極座標は　　$\left(\dfrac{1}{2},\ \dfrac{\pi}{6}\right)$

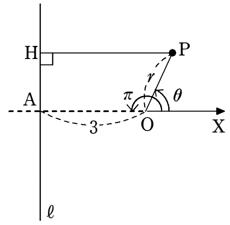
したがって，求める極方程式は　　$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{6}\right)=\dfrac{1}{2}$

6

解答　(1)　$r=\dfrac{3}{2-\cos\theta}$　　(2)　$r=\dfrac{3}{1-\cos\theta}$

解説

点Pの極座標を$(r,\ \theta)$とし，Pから直線ℓに下ろした垂線をPHとする。



(1)　$\mathrm{OP}:\mathrm{PH}=\frac{1}{2}:1$ より　　$2\mathrm{OP}=\mathrm{PH}$

これを満たす点Pは直線ℓの右側にあり

$\mathrm{OP}=r$

$\mathrm{PH}=3+r\cos\theta$

よって　$2r=3+r\cos\theta$

したがって，求める極方程式は　$r=\dfrac{3}{2-\cos\theta}$

(2)　$\mathrm{OP}:\mathrm{PH}=1:1$ より　　$\mathrm{OP}=\mathrm{PH}$

これを満たす点Pは直線ℓの右側にあり

$\mathrm{OP}=r$

$\mathrm{PH}=3+r\cos\theta$

よって　$r=3+r\cos\theta$

したがって，求める極方程式は　$r=\dfrac{3}{1-\cos\theta}$

7

解答　略

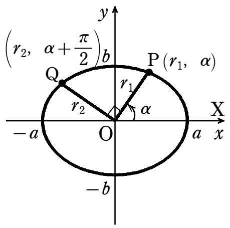
解説

楕円を直交座標において $\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1\ (a>b>0)$ とする。

楕円の中心O (原点) を極，x軸の正の向きを始線とすると，楕円の極方程式は

$$\frac{r^2\cos^2\theta}{a^2}+\frac{r^2\sin^2\theta}{b^2}=1$$

よって　$\dfrac{1}{r^2}=\dfrac{\cos^2\theta}{a^2}+\dfrac{\sin^2\theta}{b^2}$



OP⊥OQ であるから，2点P，Qの極座標は $\mathrm{P}(r_1,\ \alpha)$，$\mathrm{Q}\left(r_2,\ \alpha+\dfrac{\pi}{2}\right)$ $(r_1>0,\ r_2>0)$ とおけて，このとき

$$\mathrm{OP}=r_1,\ \mathrm{OQ}=r_2$$

P，Qは楕円上にあるから

$$\frac{1}{{r_1}^2}=\frac{\cos^2\alpha}{a^2}+\frac{\sin^2\alpha}{b^2},$$

$$\frac{1}{{r_2}^2}=\frac{\cos^2\left(\alpha+\frac{\pi}{2}\right)}{a^2}+\frac{\sin^2\left(\alpha+\frac{\pi}{2}\right)}{b^2}$$

よって　$\dfrac{1}{{r_2}^2}=\dfrac{\sin^2\alpha}{a^2}+\dfrac{\cos^2\alpha}{b^2}$

したがって　$\dfrac{1}{\mathrm{OP}^2}+\dfrac{1}{\mathrm{OQ}^2}=\dfrac{1}{{r_1}^2}+\dfrac{1}{{r_2}^2}=\left(\dfrac{\cos^2\alpha}{a^2}+\dfrac{\sin^2\alpha}{b^2}\right)+\left(\dfrac{\sin^2\alpha}{a^2}+\dfrac{\cos^2\alpha}{b^2}\right)$

$$=\frac{\sin^2\alpha+\cos^2\alpha}{a^2}+\frac{\sin^2\alpha+\cos^2\alpha}{b^2}$$

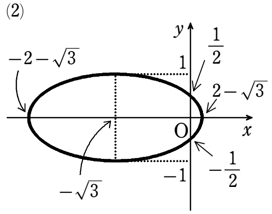
$$=\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}\quad(一定)$$

1

解答　(1)　$r=\dfrac{3}{1+\cos\theta}$

(2)　$\dfrac{(x+\sqrt{3})^2}{4}+y^2=1$，[図]

(2)



解説

(1)　放物線上の点Pの極座標を$(r,\ \theta)$とし，点Pから準線ℓに下ろした垂線をPHとすると　　OP＝PH

$\mathrm{OP}=r$，$\mathrm{PH}=3-r\cos\theta$ であるから　　$r=3-r\cos\theta$

よって　　$r=\dfrac{3}{1+\cos\theta}$

(2)　$r=\dfrac{1}{2+\sqrt{3}\cos\theta}$ から　$2r=1-\sqrt{3}\,r\cos\theta$

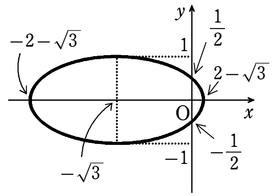
$r\cos\theta=x$ を代入して　　$2r=1-\sqrt{3}\,x$

両辺を2乗して　　$4r^2=1-2\sqrt{3}\,x+3x^2$

$r^2=x^2+y^2$ を代入して

$x^2+2\sqrt{3}\,x+4y^2-1=0$

よって　　$\dfrac{(x+\sqrt{3})^2}{4}+y^2=1$，右図



2

解答　(1)　$\mathrm{AB}=\sqrt{7}$　　(2)　$r(\sqrt{3}\cos\theta-2\sin\theta)=\sqrt{3}$

解説

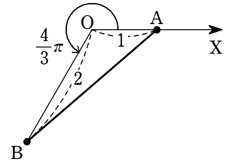
極をOとする。

(1)　△OABについて，余弦定理により

$$\mathrm{AB}^2=1^2+2^2-2\cdot1\cdot2\cos\left(2\pi-\frac{4}{3}\pi\right)$$

$$=1+4-4\cdot\left(-\frac{1}{2}\right)=7$$

したがって　　$\mathrm{AB}=\sqrt{7}$



(2)　Aの直交座標は $1\cdot\cos0=1$，$1\cdot\sin0=0$ より　　$(1,\ 0)$

Bの直交座標は $2\cos\frac{4}{3}\pi=-1$，$2\sin\frac{4}{3}\pi=-\sqrt{3}$ より　　$(-1,\ -\sqrt{3})$

直線ABの直交座標に関する方程式は

$y-0=\dfrac{-\sqrt{3}-0}{-1-1}(x-1)$　　すなわち　$\sqrt{3}\,x-2y=\sqrt{3}$

これに $x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$ を代入して，求める極方程式は

$r(\sqrt{3}\cos\theta-2\sin\theta)=\sqrt{3}$

3

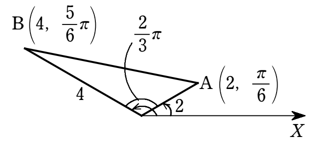
解答　(1)　①　$2\sqrt{7}$　　②　$2\sqrt{3}$　　(2)　$\dfrac{-\sqrt{2}+12\sqrt{3}+7\sqrt{6}}{4}$

解説

(1)　△OABにおいて

$\mathrm{OA}=2$，$\mathrm{OB}=4$，

$\angle\mathrm{AOB}=\dfrac{5}{6}\pi-\dfrac{\pi}{6}=\dfrac{2}{3}\pi$



①　余弦定理により

$\mathrm{AB}^2=2^2+4^2-2\cdot2\cdot4\cos\dfrac{2}{3}\pi=28$

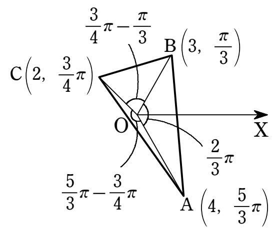
ゆえに　　$\mathrm{AB}=\sqrt{28}=2\sqrt{7}$

②　△OABの面積Sは　　$S=\dfrac{1}{2}\cdot2\cdot4\sin\dfrac{2}{3}\pi=2\sqrt{3}$

(2)　$\mathrm{A}\left(4,\ -\dfrac{\pi}{3}\right)$ から　　$\mathrm{A}\left(4,\ -\dfrac{\pi}{3}+2\pi\right)$　　すなわち　$\mathrm{A}\left(4,\ \dfrac{5}{3}\pi\right)$

△ABCを図示すると，右の図のようになる。

ゆえに



$$\triangle\mathrm{OAB}=\frac{1}{2}\mathrm{OA}\cdot\mathrm{OB}\sin\angle\mathrm{AOB}$$

$$=\frac{1}{2}\cdot4\cdot3\sin\frac{2}{3}\pi=6\times\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$=3\sqrt{3}$$

$$\triangle\mathrm{OBC}=\frac{1}{2}\mathrm{OB}\cdot\mathrm{OC}\sin\angle\mathrm{BOC}$$

$$=\frac{1}{2}\cdot3\cdot2\sin\left(\frac{3}{4}\pi-\frac{\pi}{3}\right)$$

$$=3\left(\sin\frac{3}{4}\pi\cos\frac{\pi}{3}-\cos\frac{3}{4}\pi\sin\frac{\pi}{3}\right)$$

$$=3\left\{\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot\frac{1}{2}-\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right\}=\frac{3(\sqrt{2}+\sqrt{6})}{4}$$

$$\triangle\mathrm{OCA}=\frac{1}{2}\mathrm{OC}\cdot\mathrm{OA}\sin\angle\mathrm{COA}$$

$$=\frac{1}{2}\cdot2\cdot4\sin\left(\frac{5}{3}\pi-\frac{3}{4}\pi\right)$$

$$=4\left(\sin\frac{5}{3}\pi\cos\frac{3}{4}\pi-\cos\frac{5}{3}\pi\sin\frac{3}{4}\pi\right)$$

$$=4\left\{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)-\frac{1}{2}\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}\right\}=\sqrt{6}-\sqrt{2}$$

よって　$\triangle\mathrm{ABC}=3\sqrt{3}+\dfrac{3(\sqrt{2}+\sqrt{6})}{4}+\sqrt{6}-\sqrt{2}$

$$=\frac{-\sqrt{2}+12\sqrt{3}+7\sqrt{6}}{4}$$

4

解答　$\dfrac{4}{\sqrt{3}}a$

解説

$\mathrm{A}(2a,\ 0)$，$\mathrm{P}(r,\ \theta)$ とすると，A，Pの直交座標は

$\mathrm{A}(2a,\ 0)$，$\mathrm{P}(r\cos\theta,\ r\sin\theta)$

$r=a(1+\cos\theta)$ であるから

$$\mathrm{AP}^2=(r\cos\theta-2a)^2+(r\sin\theta)^2$$

$$=r^2-4ar\cos\theta+4a^2$$

$$=a^2(1+\cos\theta)^2-4a^2\cos\theta(1+\cos\theta)+4a^2$$

$$= -3a^2\cos^2\theta - 2a^2\cos\theta + 5a^2$$
$$= -3a^2\left(\cos^2\theta + \frac{2}{3}\cos\theta\right) + 5a^2$$
$$= -3a^2\left(\cos\theta + \frac{1}{3}\right)^2 + \frac{16}{3}a^2$$

ゆえに，$-1 \leqq \cos\theta \leqq 1$ の範囲において，$\cos\theta = -\frac{1}{3}$ のとき，AP^2 は最大となる。

$AP \geqq 0$ であるから，AP^2 が最大のとき，AP も最大となる。

したがって，AP の最大値は　$\sqrt{\frac{16}{3}a^2} = \frac{4}{\sqrt{3}}a$

$\boxed{5}$

解答　$r\cos\theta = -\sqrt{3}$，$r\cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) = -\sqrt{3}$

解説

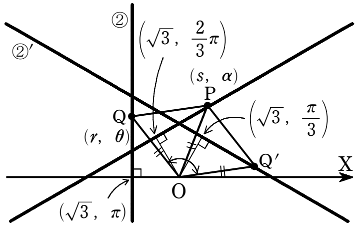
P の極座標を $(s,\ \alpha)$，Q の極座標を $(r,\ \theta)$ とする。

P は与えられた直線上にあるから

$s\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) = -\sqrt{3}$　……①

$\triangle$OPQ は正三角形であるから

$OQ = OP$，$\angle POQ = \frac{\pi}{3}$



よって　$(r,\ \theta) = \left(s,\ \alpha + \frac{\pi}{3}\right)$，$\left(s,\ \alpha - \frac{\pi}{3}\right)$

ゆえに　$(s,\ \alpha) = \left(r,\ \theta - \frac{\pi}{3}\right)$，$\left(r,\ \theta + \frac{\pi}{3}\right)$

$(s,\ \alpha) = \left(r,\ \theta - \frac{\pi}{3}\right)$ のとき，① から　$r\cos\theta = -\sqrt{3}$

$(s,\ \alpha) = \left(r,\ \theta + \frac{\pi}{3}\right)$ のとき，① から　$r\cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) = -\sqrt{3}$

したがって，Q の軌跡の極方程式は

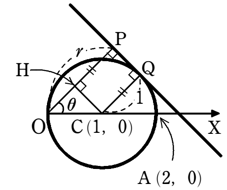
$r\cos\theta = -\sqrt{3}$，$r\cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) = -\sqrt{3}$

$\boxed{1}$

解答　$r = 1 + \cos\theta$

解説

円 C の中心を C とすると，その極座標は (1，0) である。



[1]　$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ のとき

中心 C から直線 OP に下ろした垂線の足を H とすると

$OC = CQ = HP = 1$

$\angle COH = \theta$，$OH = \cos\theta$ から

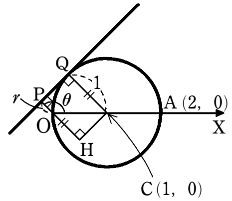
$OP = HP + OH = 1 + \cos\theta$

[2]　$\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$ のとき

[1] と同様にして，$\angle COH = \pi - \theta$，

$OH = \cos(\pi - \theta) = -\cos\theta$ から

$OP = HP - OH = 1 + \cos\theta$



[3]　$\theta = 0$ のとき

このとき，P は A に一致して　$OP = 2$

よって，$OP = 1 + \cos\theta$ を満たす。

[4]　$\theta = \frac{\pi}{2}$ のとき

このとき，$OP = CQ = 1$ であるから，$OP = 1 + \cos\theta$ を満たす。

ゆえに，点 P の軌跡の極方程式は

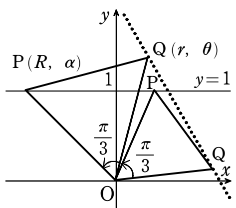
$r = 1 + \cos\theta$

$\boxed{2}$

解答　(1)　$r\sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) = 1$　　(2)　$\sqrt{3}x + y = 2$

解説

(1)　点 Q の極座標を $(r,\ \theta)$，点 P の極座標を $(R,\ \alpha)$ とする。



点 P は直線 $y = 1$ 上を動くから　$R\sin\alpha = 1$　……①

また，$\triangle$OPQ は正三角形で，O，P，Q はこの順で時計回りに並ぶから　$R = r$，$\alpha = \theta + \frac{\pi}{3}$

これを ① に代入すると　$r\sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) = 1$

よって，点 Q の軌跡を極方程式で表すと

$r\sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) = 1$

(2)　(1) から　$r\left(\sin\theta\cos\frac{\pi}{3} + \cos\theta\sin\frac{\pi}{3}\right) = 1$

すなわち　$\frac{1}{2}r\sin\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}r\cos\theta = 1$

$r\cos\theta = x$，$r\sin\theta = y$ を代入すると　$\frac{1}{2}y + \frac{\sqrt{3}}{2}x = 1$

すなわち　$\sqrt{3}x + y = 2$

$\boxed{3}$

解答　(1)　中心は (1，0)，半径は 1

(2)　$r\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2}$

(3)　$r = 2\sqrt{2}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$

解説

(1)　$r = 2\cos\theta$ の両辺に r を掛けると　$r^2 = 2r\cos\theta$

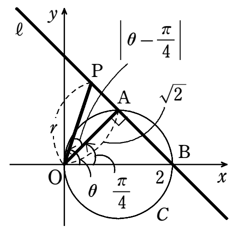
$r^2 = x^2 + y^2$，$r\cos\theta = x$ を代入すると　$x^2 + y^2 = 2x$

すなわち　$(x-1)^2 + y^2 = 1$

よって，円 C の中心の直交座標は (1，0)，半径は 1

(2)　線分 OB は円 C の直径であるから　$OA \perp AB$

よって，直線 ℓ は，点 A を通り OA に垂直な直線である。

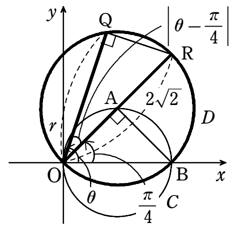


ゆえに，直線 ℓ 上の点 P の極座標を $(r,\ \theta)$ とすると，$OA = OP\cos\angle POA$ から　$\sqrt{2} = r\cos\left|\theta - \frac{\pi}{4}\right|$

したがって，直線 ℓ の極方程式は

$r\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2}$

(3)　円 D 上の点 Q の極座標を $(r,\ \theta)$ とする。



$AB = OA = \sqrt{2}$ であるから，極座標が $\left(2\sqrt{2},\ \frac{\pi}{4}\right)$ である点を R とすると，直角三角形 OQR において

$OQ = OR\cos\angle QOR$

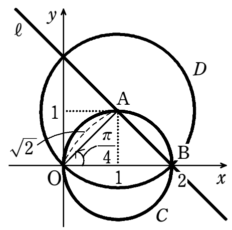
したがって，円 D の極方程式は

$r = 2\sqrt{2}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$

別解　(直交座標の x，y の方程式を極方程式に直す)

(2)　点 A，B の直交座標は，それぞれ

A (1，1)，B (2，0)



よって，直線 ℓ の方程式は　$x + y = 2$

$x = r\cos\theta$，$y = r\sin\theta$ を代入して

$r\cos\theta + r\sin\theta = 2$

すなわち　$r(\cos\theta + \sin\theta) = 2$

ここで　$\cos\theta + \sin\theta = \sqrt{2}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$

したがって，直線 ℓ の極方程式は　$r\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2}$

(3)　$AB = \sqrt{2}$ であるから，円 D の方程式は　$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 2$

すなわち　$x^2 + y^2 = 2x + 2y$

$x^2 + y^2 = r^2$，$x = r\cos\theta$，$y = r\sin\theta$ を代入して　$r^2 = 2r\cos\theta + 2r\sin\theta$

よって　$r\{r - 2(\cos\theta + \sin\theta)\} = 0$

すなわち　$r\left\{r - 2\sqrt{2}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)\right\} = 0$

ゆえに　$r = 0$ または $r = 2\sqrt{2}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$

$r = 0$ は極を表し，曲線 $r = 2\sqrt{2}\cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$ は極を通る。

したがって，円 D の極方程式は　$r=2\sqrt{2}\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{4}\right)$

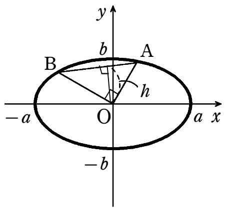
$\boxed{4}$

解答　(1)　略　　(2)　$h=\dfrac{ab}{\sqrt{a^2+b^2}}$

解説

(1)　△OAB の面積を S とする。

$\angle\mathrm{AOB}=\dfrac{\pi}{2}$ であるから　$S=\dfrac{1}{2}\mathrm{OA}\cdot\mathrm{OB}$　……①



また，△OAB は直角三角形であるから

$\mathrm{AB}=\sqrt{\mathrm{OA}^2+\mathrm{OB}^2}$

よって　$S=\dfrac{1}{2}\mathrm{AB}\cdot h=\dfrac{1}{2}\sqrt{\mathrm{OA}^2+\mathrm{OB}^2}\cdot h$　……②

①，② から　$\dfrac{1}{2}\mathrm{OA}\cdot\mathrm{OB}=\dfrac{1}{2}\sqrt{\mathrm{OA}^2+\mathrm{OB}^2}\cdot h$

両辺を２乗して整理すると　$\dfrac{1}{h^2}=\dfrac{1}{\mathrm{OA}^2}+\dfrac{1}{\mathrm{OB}^2}$

(2)　$\mathrm{OA}=r_1$，$\mathrm{OB}=r_2$ とし，動径 OA，OB の表す角をそれぞれ θ_1，θ_2 とする。

ここで，$\theta_2=\theta_1+\dfrac{\pi}{2}$ としても一般性を失わない。

このとき，$\cos\theta_2=\cos\left(\theta_1+\dfrac{\pi}{2}\right)=-\sin\theta_1$，$\sin\theta_2=\sin\left(\theta_1+\dfrac{\pi}{2}\right)=\cos\theta_1$ であるから，$\mathrm{A}(r_1\cos\theta_1,\ r_1\sin\theta_1)$，$\mathrm{B}(-r_2\sin\theta_1,\ r_2\cos\theta_1)$ とおける。

２点 A，B は楕円 $\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$ 上にあるから

$$\frac{r_1^2\cos^2\theta_1}{a^2}+\frac{r_1^2\sin^2\theta_1}{b^2}=1,\quad \frac{r_2^2\sin^2\theta_1}{a^2}+\frac{r_2^2\cos^2\theta_1}{b^2}=1$$

よって　$\dfrac{1}{r_1^2}=\dfrac{\cos^2\theta_1}{a^2}+\dfrac{\sin^2\theta_1}{b^2}$，$\dfrac{1}{r_2^2}=\dfrac{\sin^2\theta_1}{a^2}+\dfrac{\cos^2\theta_1}{b^2}$

ゆえに　$\dfrac{1}{h^2}=\dfrac{1}{\mathrm{OA}^2}+\dfrac{1}{\mathrm{OB}^2}=\dfrac{1}{r_1^2}+\dfrac{1}{r_2^2}=\dfrac{\sin^2\theta_1+\cos^2\theta_1}{a^2}+\dfrac{\sin^2\theta_1+\cos^2\theta_1}{b^2}$

$=\dfrac{1}{a^2}+\dfrac{1}{b^2}=\dfrac{a^2+b^2}{a^2b^2}$

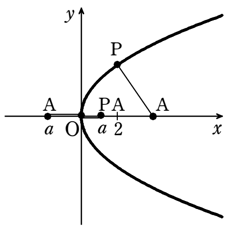
$a>0$，$b>0$，$h>0$ であるから　$h=\dfrac{ab}{\sqrt{a^2+b^2}}$

$\boxed{1}$

解答 (1) $a \leqq 2$ のとき最小値 $|a|$，$a>2$ のとき最小値 $2\sqrt{a-1}$

(2) $a=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，$\dfrac{2+\sqrt{10}}{2}$

(2) P は放物線 $y^2=4x$ 上の点であるから，P$(s,\ t)$ とすると $t^2=4s$



ゆえに $\mathrm{AP}^2=(s-a)^2+t^2=(s-a)^2+4s$

$=s^2-2(a-2)s+a^2$

$=\{s-(a-2)\}^2+4a-4$

$s=\dfrac{t^2}{4} \geqq 0$ であるから

[1] $a-2 \leqq 0$ すなわち $a \leqq 2$ のとき

AP^2 は $s=0$ のとき最小で，最小値は a^2

[2] $0<a-2$ すなわち $a>2$ のとき

AP^2 は $s=a-2$ のとき最小で，最小値は $4a-4$

$a>2$ から $4a-4>0$

$\mathrm{AP} \geqq 0$ であるから，AP^2 が最小のとき，AP も最小となる。

以上から $a \leqq 2$ のとき 最小値 $|a|$

$a>2$ のとき 最小値 $2\sqrt{a-1}$

(2) 点 P$(x,\ y)$ は楕円 C 上にあるから

$$\frac{x^2}{10}+\frac{y^2}{6}=1 \quad \text{すなわち} \quad y^2=6-\frac{3}{5}x^2$$

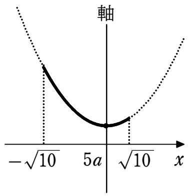
よって $\mathrm{PA}^2=(x-2a)^2+y^2=(x-2a)^2+6-\dfrac{3}{5}x^2$

$=\dfrac{2}{5}x^2-4ax+4a^2+6$

$=\dfrac{2}{5}(x-5a)^2+6-6a^2$

また，$y^2=\dfrac{3}{5}(10-x^2) \geqq 0$ より $-\sqrt{10} \leqq x \leqq \sqrt{10}$

$0<5a<\sqrt{10}$ のとき



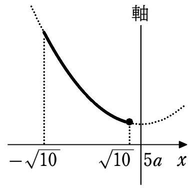
[1] $0<5a<\sqrt{10}$ すなわち $0<a<\dfrac{\sqrt{10}}{5}$ のとき

PA^2 は $x=5a$ で最小値 $6-6a^2$ をとる。

よって $6-6a^2=2^2$

$0<a<\dfrac{\sqrt{10}}{5}$ を満たす a の値は $a=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

$\sqrt{10} \leqq 5a$ のとき



[2] $\sqrt{10} \leqq 5a$ すなわち $\dfrac{\sqrt{10}}{5} \leqq a$ のとき

PA^2 は $x=\sqrt{10}$ で最小値 $(2a-\sqrt{10})^2$ をとる。

よって $(2a-\sqrt{10})^2=2^2$

$\dfrac{\sqrt{10}}{5} \leqq a$ を満たす a の値は $a=\dfrac{2+\sqrt{10}}{2}$

以上から $a=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，$\dfrac{2+\sqrt{10}}{2}$

$\boxed{2}$

解答 $\dfrac{(x+6)^2}{4}-\dfrac{(y-2)^2}{2}=-1$

双曲線 $x^2-2y^2=-4$ 上の任意の点を P$(u,\ v)$ とする。

また，点 $(-3,\ 1)$ に関して P と対称な点を Q$(x,\ y)$ とする。

線分 PQ の中点の座標が $(-3,\ 1)$ であるから

$$\frac{u+x}{2}=-3,\quad \frac{v+y}{2}=1$$

ゆえに $u=-x-6,\ v=-y+2$ ……①

P は，双曲線 $x^2-2y^2=-4$ 上にあるから，① より

$(-x-6)^2-2(-y+2)^2=-4$

すなわち $(x+6)^2-2(y-2)^2=-4$

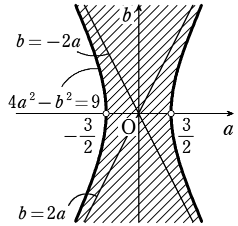
したがって，求める曲線の方程式は

$$\frac{(x+6)^2}{4}-\frac{(y-2)^2}{2}=-1$$

$\boxed{3}$

解答 [図]，境界線は，点 $\left(\pm\dfrac{3}{2},\ 0\right)$ を除き，

他はすべて含む



(1) 双曲線 $\dfrac{x^2}{4}-\dfrac{y^2}{9}=1$ と直線 $y=ax+b$ が共有点をもつための条件は，$\dfrac{x^2}{4}-\dfrac{y^2}{9}=1$ と $y=ax+b$ の 2 式から y を消去して得られる x の方程式

$$\frac{x^2}{4}-\frac{(ax+b)^2}{9}=1$$

すなわち $(4a^2-9)x^2+8abx+4(b^2+9)=0$ ……①

が実数解をもつことである。

[1] $4a^2-9 \neq 0$ すなわち $a \neq \pm\dfrac{3}{2}$ のとき

2 次方程式 ① の判別式を D とすると $D \geqq 0$

$\dfrac{D}{4}=(4ab)^2-(4a^2-9)\cdot 4(b^2+9)=36(b^2-4a^2+9)$ であるから，$D \geqq 0$ より

$b^2-4a^2+9 \geqq 0$

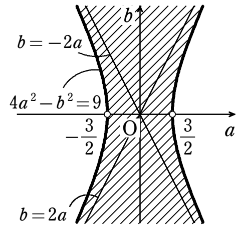
すなわち $4a^2-b^2 \leqq 9$

[2] $4a^2-9=0$ すなわち $a=\pm\dfrac{3}{2}$ のとき

① は $\pm 12bx+4(b^2+9)=0$

これが実数解をもつための条件は $b \neq 0$

[1]，[2] より，求める領域 E は，右の図の斜線部分のようになる。



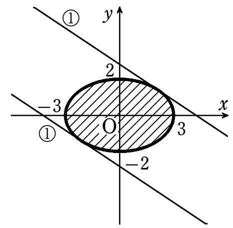
ただし，境界線は，点 $\left(\pm\dfrac{3}{2},\ 0\right)$ を除き，他はすべて含む。

$\boxed{4}$

解答 $x=\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$，$y=\sqrt{2}$ のとき最大値 $6\sqrt{2}$；

$x=-\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$，$y=-\sqrt{2}$ のとき最小値 $-6\sqrt{2}$

不等式 $4x^2+9y^2 \leqq 36$ で表される領域 P は，楕円 $\dfrac{x^2}{9}+\dfrac{y^2}{4}=1$ の周および内部である。



$2x+3y=k$ とおくと $y=\dfrac{1}{3}(-2x+k)$ ……①

直線 ① と領域 P が共有点をもつような k の最大値，最小値が求めるものである。

① を $4x^2+9y^2=36$ に代入して

$4x^2+(-2x+k)^2=36$

よって $8x^2-4kx+k^2-36=0$ ……②

この 2 次方程式の判別式を D とすると $\dfrac{D}{4}=(-2k)^2-8(k^2-36)=-4(k^2-72)$

$\dfrac{D}{4} \geqq 0$ とすると $k^2-72 \leqq 0$ ゆえに $-6\sqrt{2} \leqq k \leqq 6\sqrt{2}$

$k=6\sqrt{2}$ のとき，② の重解は $x=-\dfrac{-4k}{2\cdot 8}=\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$

このとき，① から $y=\dfrac{1}{3}(-3\sqrt{2}+6\sqrt{2})=\sqrt{2}$

$k=-6\sqrt{2}$ のとき，② の重解は $x=-\dfrac{-4k}{2\cdot 8}=-\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$

このとき，① から $y=\dfrac{1}{3}(3\sqrt{2}-6\sqrt{2})=-\sqrt{2}$

したがって $x=\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$，$y=\sqrt{2}$ のとき最大値 $6\sqrt{2}$；

$x=-\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$，$y=-\sqrt{2}$ のとき最小値 $-6\sqrt{2}$

$\boxed{5}$

解答 (1) $\dfrac{ax}{4}+by=1$ (2) $\pm\dfrac{2t}{\sqrt{t^2-1}}$ (3) $t=\sqrt{13}$，面積は $\dfrac{13}{\sqrt{3}}$

(1) $\dfrac{ax}{4}+by=1$ ……①

(2) 接線 ① が点 P$(0,\ t)$ を通るとき $bt=1$

よって $b=\dfrac{1}{t}$ ……②

また，点 $(a,\ b)$ は楕円 C 上の点であるから $\dfrac{a^2}{4}+b^2=1$ ……③

②，③ から $\dfrac{a^2}{4}+\dfrac{1}{t^2}=1$

ゆえに $a^2=4\left(1-\dfrac{1}{t^2}\right)=\dfrac{4(t^2-1)}{t^2}$

ここで，$t>1$ であるから $t^2-1>0$

よって $a=\pm\dfrac{2\sqrt{t^2-1}}{t}$ ……④

接線 ① と x 軸との交点の x 座標は，① で $y=0$ として $x=\dfrac{4}{a}$

ゆえに，④ から，求める x 座標は

$\pm\dfrac{4t}{2\sqrt{t^2-1}}$　すなわち　$\pm\dfrac{2t}{\sqrt{t^2-1}}$

(3)　$\dfrac{t}{\dfrac{2t}{\sqrt{t^2-1}}}=\tan 60^\circ$ であるから　$\dfrac{\sqrt{t^2-1}}{2}=\sqrt{3}$

両辺を 2 乗して　$\dfrac{t^2-1}{4}=3$　　よって　$t^2=13$

$t>1$ であるから　$t=\sqrt{13}$

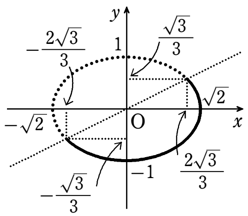
このときの正三角形の面積は　$\dfrac{1}{2}\cdot 2\cdot\dfrac{2\sqrt{13}}{\sqrt{13-1}}\cdot\sqrt{13}=\dfrac{13}{\sqrt{3}}$

6

解答　(1)　$\dfrac{x^2}{2}+y^2=1$，$y\leqq\dfrac{x}{2}$，［図］

(2)　接線の方程式は　$y=\dfrac{1}{\sqrt{2}}x-\sqrt{2}$，

接点の座標は　$\left(1,\ -\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)$



(1)　$x=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\cos\theta+\dfrac{\sqrt{6}}{3}\sin\theta$ ……①，$y=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\cos\theta-\dfrac{\sqrt{6}}{3}\sin\theta$ ……②　とする。

①＋② から　$x+y=\sqrt{3}\cos\theta$　　よって　$\cos\theta=\dfrac{1}{\sqrt{3}}(x+y)$ ……③

①−②×2 から　$x-2y=\sqrt{6}\sin\theta$　　よって　$\sin\theta=\dfrac{1}{\sqrt{6}}(x-2y)$ ……④

③，④ を $\sin^2\theta+\cos^2\theta=1$ に代入すると　$\dfrac{1}{6}(x-2y)^2+\dfrac{1}{3}(x+y)^2=1$

整理すると　$x^2+2y^2=2$

また，$0\leqq\theta\leqq\pi$ より，$\sin\theta\geqq 0$ であるから　$\dfrac{1}{\sqrt{6}}(x-2y)\geqq 0$

すなわち　$y\leqq\dfrac{x}{2}$

ゆえに，C 上の点 $(x,\ y)$ は $\dfrac{x^2}{2}+y^2=1$，$y\leqq\dfrac{x}{2}$ を満たす。

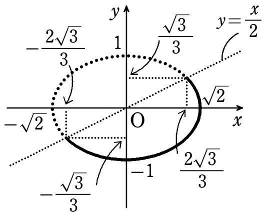
逆に，平面上の点 $(x,\ y)$ が $\dfrac{x^2}{2}+y^2=1$，$y\leqq\dfrac{x}{2}$ を満たすとすると，上の計算を逆にたどることにより，①，② を満たす $\theta\ (0\leqq\theta\leqq\pi)$ が存在する。

よって，点 $(x,\ y)$ は C 上の点である。

以上から，曲線 C を表す x と y の関係式は

$\dfrac{x^2}{2}+y^2=1$，$y\leqq\dfrac{x}{2}$

であり，曲線 C の概形は右の図の実線部分のようになる。



(2)　まず，点 $(2,\ 0)$ を通り，楕円

$\dfrac{x^2}{2}+y^2=1$ ……⑤ に接する直線を考える。

この直線と楕円 ⑤ の接点を $(x_1,\ y_1)$ とすると，接線の方程式は　$\dfrac{x_1}{2}x+y_1y=1$

これが点 $(2,\ 0)$ を通るから　$x_1=1$

また，$(x_1,\ y_1)$ は楕円 ⑤ 上にあるから　$\dfrac{x_1^2}{2}+y_1^2=1$

これに $x_1=1$ を代入して整理すると　$y_1^2=\dfrac{1}{2}$　　よって　$y_1=\pm\dfrac{1}{\sqrt{2}}$

ここで，点 $\left(1,\ -\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)$ は C 上の点であり，点 $\left(1,\ \dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)$ は C 上の点でない。

したがって，求める接線の方程式は　$y=\dfrac{1}{\sqrt{2}}x-\sqrt{2}$

接点の座標は　$\left(1,\ -\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)$

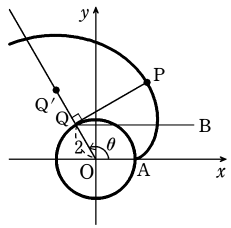
7

解答　略

点 Q の座標は　$(2\cos\theta,\ 2\sin\theta)$

よって　$\overrightarrow{\mathrm{OQ}}=(2\cos\theta,\ 2\sin\theta)$

右の図において，QB は x 軸に平行な半直線であり，Q′ は半直線 OQ 上の点で OQ′＞OQ とする。



図から　$\angle\mathrm{BQP}=\angle\mathrm{BQQ'}-\angle\mathrm{PQQ'}=\theta-\dfrac{\pi}{2}$

また，$\mathrm{PQ}=\overset{\frown}{\mathrm{AQ}}=2\theta$ であるから

$\overrightarrow{\mathrm{QP}}=\left(2\theta\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{2}\right),\ 2\theta\sin\left(\theta-\dfrac{\pi}{2}\right)\right)$

$=(2\theta\sin\theta,\ -2\theta\cos\theta)$

$\overrightarrow{\mathrm{OP}}=\overrightarrow{\mathrm{OQ}}+\overrightarrow{\mathrm{QP}}$ であるから，P の座標を $(x,\ y)$ とすると

$x=2\cos\theta+2\theta\sin\theta=2(\cos\theta+\theta\sin\theta)$

$y=2\sin\theta-2\theta\cos\theta=2(\sin\theta-\theta\cos\theta)$

よって，P が描く曲線の媒介変数表示は

$x=2(\cos\theta+\theta\sin\theta)$，$y=2(\sin\theta-\theta\cos\theta)$ $(0\leqq\theta\leqq 2\pi)$

8

解答　$\dfrac{\sqrt{2}}{2}\pi$

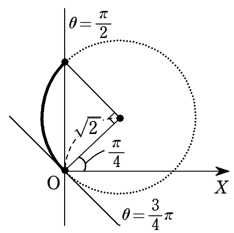
$r=2(\cos\theta+\sin\theta)$ の両辺を r 倍して

$r^2=2r\cos\theta+2r\sin\theta$

ゆえに　$x^2+y^2=2x+2y$

すなわち　$(x-1)^2+(y-1)^2=2$

$\dfrac{\pi}{2}\leqq\theta\leqq\dfrac{3}{4}\pi$ より，曲線は右の図の太い実線部分のようになるから，求める曲線の長さは　$\sqrt{2}\times\dfrac{\pi}{2}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}\pi$



別解　$r=2(\cos\theta+\sin\theta)$ から　$r=2\sqrt{2}\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{4}\right)$

よって，極方程式 $r=2(\cos\theta+\sin\theta)$ は

中心が $\left(\sqrt{2},\ \dfrac{\pi}{4}\right)$，半径 $\sqrt{2}$

の円を表す。

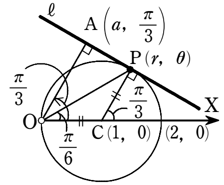
以下同様。

9

解答　$a=\dfrac{3}{2}$，$\left(\sqrt{3},\ \dfrac{\pi}{6}\right)$

直線 ℓ の極方程式は

$r\cos\left(\theta-\dfrac{\pi}{3}\right)=a$　……①



曲線 C は，中心 C の極座標が $(1,\ 0)$，半径が 1 の円である。ただし，極 O を除く。

このとき，点 P の極座標を $(r,\ \theta)$ とする。

図から　$\angle\mathrm{PCO}=\dfrac{2}{3}\pi$

△PCO は，二等辺三角形であるから　$\angle\mathrm{COP}=\dfrac{\pi}{6}$

$r=2\cos\theta$ に $\theta=\dfrac{\pi}{6}$ を代入して　$r=2\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{2}=\sqrt{3}$

よって，点 P の極座標は　$\left(\sqrt{3},\ \dfrac{\pi}{6}\right)$

P は直線 ℓ 上の点であるから，① より

$a=\sqrt{3}\cos\left(-\dfrac{\pi}{6}\right)=\dfrac{3}{2}$

10

解答　(1)　$\theta=\pi$ のとき最大値 3，$\theta=\dfrac{\pi}{3}$，$\dfrac{5}{3}\pi$ のとき最小値 0

(2)　$\left(\dfrac{3}{16},\ \pm\dfrac{3\sqrt{15}}{16}\right)$

(1)　点 $\mathrm{P}(f(\theta),\ \theta)$ と点 $\mathrm{Q}(g(\theta),\ \theta)$ の間の距離を d とすると

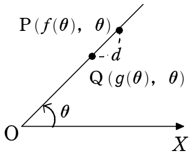
$d=|f(\theta)-g(\theta)|=|3\cos\theta-(1+\cos\theta)|=|2\cos\theta-1|$

$0\leqq\theta<2\pi$ より，$-1\leqq\cos\theta\leqq 1$ であるから，d は

$\cos\theta=-1$　すなわち　$\theta=\pi$ のとき最大値 3，

$\cos\theta=\dfrac{1}{2}$　すなわち　$\theta=\dfrac{\pi}{3}$，$\dfrac{5}{3}\pi$ のとき最小値 0

をとる。



(2)　線分 PQ の中点が原点 O となるための条件は　$f(\theta)+g(\theta)=0$ かつ $f(\theta)\neq 0$

すなわち　$3\cos\theta+(1+\cos\theta)=0$ かつ $3\cos\theta\neq 0$

よって　$\cos\theta=-\dfrac{1}{4}$

このとき　$f(\theta)=3\cos\theta=-\dfrac{3}{4}$，$\sin\theta=\pm\sqrt{1-\left(-\dfrac{1}{4}\right)^2}=\pm\dfrac{\sqrt{15}}{4}$

点 P の直交座標は $(f(\theta)\cos\theta,\ f(\theta)\sin\theta)$ で表されるから　$\left(\dfrac{3}{16},\ \pm\dfrac{3\sqrt{15}}{16}\right)$

1

解答 (1) $\mathrm{PF}^2+\mathrm{PF}'^2=2k^2+32$，$\mathrm{PF}\cdot\mathrm{PF}'=34-k^2$

(2) $k=\sqrt{22}$，$\left(\dfrac{5\sqrt{13}}{4},\ \dfrac{3\sqrt{3}}{4}\right)$

(1) 点 P の座標を $(x,\ y)$ $(x>0,\ y>0)$ とする。

$\mathrm{OP}=k$ より $\mathrm{OP}^2=k^2$ であるから　$x^2+y^2=k^2$ ……①

よって　$\mathrm{PF}^2+\mathrm{PF}'^2=(x-4)^2+y^2+(x+4)^2+y^2$

$=2(x^2+y^2)+32=2k^2+32$

また，楕円の方程式から　$\mathrm{PF}+\mathrm{PF}'=2\cdot5=10$

ゆえに　$\mathrm{PF}\cdot\mathrm{PF}'=\dfrac{1}{2}\{(\mathrm{PF}+\mathrm{PF}')^2-(\mathrm{PF}^2+\mathrm{PF}'^2)\}$

$=\dfrac{1}{2}\{10^2-(2k^2+32)\}=34-k^2$

(2) $\triangle\mathrm{PFF}'$ において，余弦定理から

$$\mathrm{FF}'^2=\mathrm{PF}^2+\mathrm{PF}'^2-2\mathrm{PF}\cdot\mathrm{PF}'\cos\frac{\pi}{3}$$

よって　$64=2k^2+32-2(34-k^2)\cdot\dfrac{1}{2}$

したがって　$k^2=22$　　$k>0$ から　$k=\sqrt{22}$

このとき，①は　$x^2+y^2=22$ ……②

また，楕円の方程式から　$9x^2+25y^2=25\times9$ ……③

②，③から　$x^2=\dfrac{325}{16}$，$y^2=\dfrac{27}{16}$

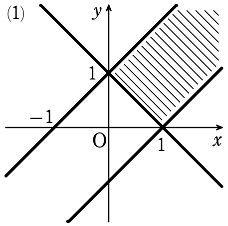
$x>0$，$y>0$ であるから　$x=\dfrac{5\sqrt{13}}{4}$，$y=\dfrac{3\sqrt{3}}{4}$

よって，点 P の座標は　$\left(\dfrac{5\sqrt{13}}{4},\ \dfrac{3\sqrt{3}}{4}\right)$

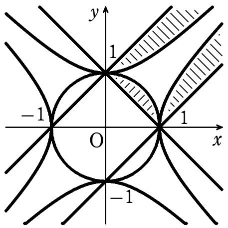
2

解答 (1) ［図］ 境界線は含まない。　(2) ［図］ 境界線は含まない。

(1)



(2)



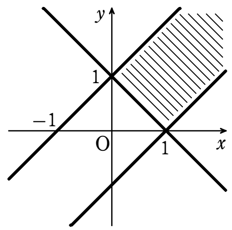
(1) 3 辺の長さが 1，x，y であるような三角形が存在するための条件は

$$1<x+y \text{ かつ } x<1+y \text{ かつ } y<1+x$$

すなわち　$y>-x+1$ かつ $y>x-1$ かつ $y<x+1$

よって，求める領域は右の図の斜線部分である。

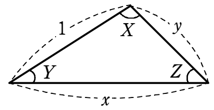
ただし，境界線は含まない。



(2) 右の図の三角形において，余弦定理により

$\cos X=\dfrac{y^2+1-x^2}{2y}$，$\cos Y=\dfrac{x^2+1-y^2}{2x}$，

$\cos Z=\dfrac{x^2+y^2-1}{2xy}$



この三角形が鈍角三角形であるとき

$\cos X<0$ または $\cos Y<0$ または $\cos Z<0$

よって　$\dfrac{y^2+1-x^2}{2y}<0$ または $\dfrac{x^2+1-y^2}{2x}<0$ または $\dfrac{x^2+y^2-1}{2xy}<0$

x，y は辺の長さであるから　$x>0$，$y>0$

ゆえに　$x^2-y^2>1$ または $x^2-y^2<-1$ または $x^2+y^2<1$

よって，3 辺の長さが 1，x，y であるような鈍角三角形が存在するための条件は

「$y>-x+1$ かつ $y>x-1$ かつ $y<x+1$」

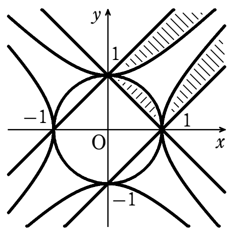
かつ

「$x^2-y^2>1$ または $x^2-y^2<-1$

または $x^2+y^2<1$」

よって，求める領域は右の図の斜線部分である。

ただし，境界線は含まない。



3

解答 略

点 $\mathrm{P}(x_1,\ y_1)$ における接線の方程式は

$$\frac{x_1x}{a^2}-\frac{y_1y}{b^2}=1 \quad ……①$$

また，$x_1>a$ であるから　$y_1\neq0$

① に $x=a$ を代入すると

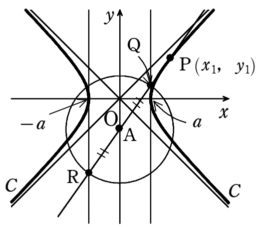
$$\frac{x_1}{a}-\frac{y_1y}{b^2}=1$$

$y_1\neq0$ であるから

$$y=\frac{b^2x_1}{ay_1}-\frac{b^2}{y_1}$$

① に $x=-a$ を代入すると　$-\dfrac{x_1}{a}-\dfrac{y_1y}{b^2}=1$

$y_1\neq0$ であるから　$y=-\dfrac{b^2x_1}{ay_1}-\dfrac{b^2}{y_1}$



よって　$\mathrm{Q}\left(a,\ \dfrac{b^2x_1}{ay_1}-\dfrac{b^2}{y_1}\right)$，$\mathrm{R}\left(-a,\ -\dfrac{b^2x_1}{ay_1}-\dfrac{b^2}{y_1}\right)$

$\dfrac{1}{2}\left\{\left(\dfrac{b^2x_1}{ay_1}-\dfrac{b^2}{y_1}\right)+\left(-\dfrac{b^2x_1}{ay_1}-\dfrac{b^2}{y_1}\right)\right\}=-\dfrac{b^2}{y_1}$ であるから，線分 QR の中点を A とすると　$\mathrm{A}\left(0,\ -\dfrac{b^2}{y_1}\right)$

また　$\mathrm{AQ}^2=a^2+\dfrac{b^4x_1^2}{a^2y_1^2}$

ゆえに，線分 QR を直径とする円の方程式は

$$x^2+\left(y+\frac{b^2}{y_1}\right)^2=a^2+\frac{b^4x_1^2}{a^2y_1^2} \quad ……②$$

双曲線 C の 2 つの焦点は

$(\sqrt{a^2+b^2},\ 0)$，$(-\sqrt{a^2+b^2},\ 0)$

② の左辺に $x=\sqrt{a^2+b^2}$，$y=0$ を代入すると　$a^2+b^2+\dfrac{b^4}{y_1^2}$

ここで，点 P は双曲線 C 上の点であるから　$\dfrac{x_1^2}{a^2}-\dfrac{y_1^2}{b^2}=1$

よって　$a^2+b^2+\dfrac{b^4}{y_1^2}=a^2+\dfrac{b^4}{y_1^2}\left(\dfrac{y_1^2}{b^2}+1\right)=a^2+\dfrac{b^4x_1^2}{a^2y_1^2}$

したがって，点 $(\sqrt{a^2+b^2},\ 0)$ は円 ② 上にある。

また，円 ② は y 軸に関して対称であるから，点 $(-\sqrt{a^2+b^2},\ 0)$ も円 ② 上にある。

4

解答 (1) $X=\dfrac{s+t}{2}$，$Y=st$　(2) $2x^2-2\left(y+\dfrac{3}{4}\right)^2=-1$ $\left(y<-\dfrac{1}{4}\right)$

(1) $y=x^2$ から　$y'=2x$

放物線 $y=x^2$ 上の異なる 2 点 $\mathrm{P}(t,\ t^2)$，$\mathrm{Q}(s,\ s^2)$ における接線の方程式は，それぞれ

$y=2tx-t^2$ ……①，　$y=2sx-s^2$ ……②

①，② から y を消去すると　$2tx-t^2=2sx-s^2$

よって　$2(t-s)x=(t-s)(t+s)$

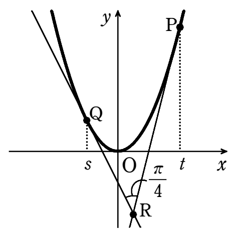
$t-s\neq0$ から　$x=\dfrac{s+t}{2}$　　このとき，① から　$y=st$

ゆえに　$X=\dfrac{s+t}{2}$，$Y=st$

(2) 直線 PR，QR と x 軸の正の向きとのなす角をそれぞれ α，β とすると

$\tan\alpha=2t$，$\tan\beta=2s$

$\beta-\alpha=\dfrac{\pi}{4}$ であるから　$\tan(\beta-\alpha)=1$



ここで

$$\tan(\beta-\alpha)=\frac{\tan\beta-\tan\alpha}{1+\tan\beta\tan\alpha}=\frac{2s-2t}{1+2s\cdot2t}$$

よって，$\dfrac{2s-2t}{1+4st}=1$ から　$2(s-t)=1+4st$ ……③

$s<t$ であるから　$1+4st<0$ ……④

③，④ と (1) で求めた式から，s，t を消去する。

③ から　$\{2(s-t)\}^2=(1+4st)^2$

左辺を変形すると　$4(s+t)^2-16st=(1+4st)^2$

(1) より，$s+t=2X$，$st=Y$ であるから　$4(2X)^2-16Y=(1+4Y)^2$

整理して　$2X^2-2\left(Y+\dfrac{3}{4}\right)^2=-1$

また，④ と $st=Y$ から　　$Y<-\dfrac{1}{4}$

したがって，点 R は双曲線　$2x^2-2\left(y+\dfrac{3}{4}\right)^2=-1$ $\left(y<-\dfrac{1}{4}\right)$　上を動く。

$\boxed{5}$

解答　$y=2\sqrt{5}\,x-5$，$y=-2\sqrt{5}\,x-5$

$y=x^2$ ……①，$x^2+\dfrac{y^2}{5}=1$ ……② とする。

放物線 ① と楕円 ② の共通接線は x 軸に垂直でないから，その方程式は

$y=mx+n$　……③

と表される。

①，③ から y を消去して　　$x^2=mx+n$

ゆえに　　$x^2-mx-n=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$D=(-m)^2-4\cdot1\cdot(-n)=m^2+4n$

直線 ③ が放物線 ① と接するとき，$D=0$ から

$m^2+4n=0$　……④

また，②，③ から y を消去して

$$x^2+\frac{(mx+n)^2}{5}=1$$

よって　　$5x^2+m^2x^2+2mnx+n^2-5=0$

ゆえに　　$(m^2+5)x^2+2mnx+n^2-5=0$

この 2 次方程式の判別式を D' とすると

$$\frac{D'}{4}=m^2n^2-(m^2+5)(n^2-5)=5(m^2-n^2+5)$$

直線 ③ が楕円 ② と接するとき，$D'=0$ から

$m^2-n^2+5=0$　……⑤

④，⑤ から m を消去して　　$n^2+4n-5=0$

よって　　$(n-1)(n+5)=0$　　　　ゆえに　　$n=1$，-5

④ より，$n\leqq0$ であるから　　$n=-5$

よって，④ から　　$m^2=-4\cdot(-5)=20$　　　　ゆえに　　$m=\pm2\sqrt{5}$

したがって，求める共通接線の方程式は　　$y=2\sqrt{5}\,x-5$，$y=-2\sqrt{5}\,x-5$

別解　$y=x^2$ ……①，$x^2+\dfrac{y^2}{5}=1$ ……② とする。

楕円 ② 上の点 $(x_1,\ y_1)$ における接線の方程式は

$x_1x+\dfrac{y_1y}{5}=1$　……③

① と ③ から y を消去して

$y_1x^2+5x_1x-5=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$D=(5x_1)^2-4\cdot y_1\cdot(-5)=5(5x_1{}^2+4y_1)$

直線 ③ が放物線 ① と接するとき，$D=0$ から

$5x_1{}^2+4y_1=0$　……④

また，点 $(x_1,\ y_1)$ は楕円 ② 上の点であるから

$x_1{}^2+\dfrac{y_1{}^2}{5}=1$　……⑤

④，⑤ から x_1 を消去して

$y_1{}^2-4y_1-5=0$

よって　　$(y_1+1)(y_1-5)=0$

ゆえに　　$y_1=-1$，5

④ より，$y_1\leqq0$ であるから　　$y_1=-1$

よって，④ から　　$x_1{}^2=\dfrac{4}{5}$

ゆえに　　$x_1=\pm\dfrac{2}{\sqrt{5}}$

$x_1=\dfrac{2}{\sqrt{5}}$，$y_1=-1$ を ③ に代入して

$\dfrac{2}{\sqrt{5}}x-\dfrac{1}{5}y=1$　すなわち　$y=2\sqrt{5}\,x-5$

$x_1=-\dfrac{2}{\sqrt{5}}$，$y_1=-1$ を ③ に代入して

$-\dfrac{2}{\sqrt{5}}x-\dfrac{1}{5}y=1$　すなわち　$y=-2\sqrt{5}\,x-5$

したがって，求める共通接線の方程式は

$y=2\sqrt{5}\,x-5$，$y=-2\sqrt{5}\,x-5$

$\boxed{6}$

解答　円 $x^2+y^2=25$

[1]　$a=\pm\sqrt{17}$ のとき　　$b=\pm2\sqrt{2}$（複号任意）

[2]　$a\fallingdotseq\pm\sqrt{17}$ のとき

点 P を通る傾き m の直線の方程式は　　$y=m(x-a)+b$

これを楕円の方程式に代入して y を消去すると　　$\dfrac{x^2}{17}+\dfrac{\{mx+(b-ma)\}^2}{8}=1$

整理すると　　$(17m^2+8)x^2+34m(b-ma)x+17\{(b-ma)^2-8\}=0$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=17^2m^2(b-ma)^2-17(17m^2+8)\{(b-ma)^2-8\}$$
$$=17\cdot8\{-(b-ma)^2+17m^2+8\}$$
$$=17\cdot8\{(17-a^2)m^2+2abm+8-b^2\}$$

$D=0$ から　　$(17-a^2)m^2+2abm+8-b^2=0$　……①

m の 2 次方程式 ① の 2 つの解を α，β とすると　　$\alpha\beta=-1$

解と係数の関係から　　$\dfrac{8-b^2}{17-a^2}=-1$

ゆえに　　$8-b^2=-(17-a^2)$

よって　　$a^2+b^2=25$　……②

② は，$a=\pm\sqrt{17}$，$b=\pm2\sqrt{2}$ のときも成り立つ。

以上から，求める軌跡は　　円 $x^2+y^2=25$

$\boxed{7}$

解答　$\mathrm{P}\left(1,\ -\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$ のとき最大値 $\dfrac{12}{\sqrt{13}}$，$\mathrm{P}\left(-1,\ \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$ のとき最小値 $\dfrac{4}{\sqrt{13}}$

楕円 $\dfrac{x^2}{4}+y^2=1$ 上の点 P は，$\mathrm{P}(2\cos\theta,\ \sin\theta)$ $(0\leqq\theta<2\pi)$ とおける。

点 P から直線 $x-2\sqrt{3}\,y+8=0$ に下ろした垂線の長さを l とすると

$$l=\frac{|2\cos\theta-2\sqrt{3}\sin\theta+8|}{\sqrt{1^2+(-2\sqrt{3})^2}}=\frac{4}{\sqrt{13}}\left\{2-\sin\left(\theta-\frac{\pi}{6}\right)\right\}$$

ゆえに，$\theta=\dfrac{5}{3}\pi$ のとき，l は最大となり，l の最大値は　$\dfrac{12}{\sqrt{13}}$

このとき，P の座標は　$\left(1,\ -\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$

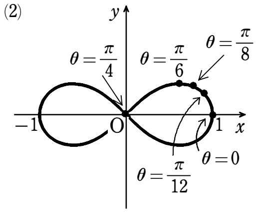
$\theta=\dfrac{2}{3}\pi$ のとき，l は最小となり，l の最小値は　$\dfrac{4}{\sqrt{13}}$

このとき，P の座標は　$\left(-1,\ \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$

$\boxed{8}$

解答　(1)　略　　(2)　$r^2=\cos2\theta$，[図]

(2)



(1)　$f(x,\ y)=(x^2+y^2)^2-(x^2-y^2)$ とすると，与えられた曲線の方程式は

$f(x,\ y)=0$　……①

$f(x,\ -y)=f(-x,\ y)=f(-x,\ -y)=f(x,\ y)$ であるから曲線 ① は，x 軸，y 軸，原点に関してそれぞれ対称である。

(2)　与式に　$x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$，$x^2+y^2=r^2$ を代入すると

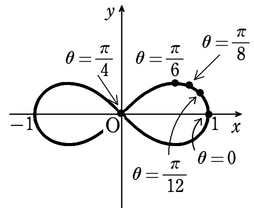
$(r^2)^2=r^2(\cos^2\theta-\sin^2\theta)$　　　よって　　$r^2=\cos2\theta$（$r=0$ も含む）

曲線の対称性から，$r\geqq0$，$0\leqq\theta\leqq\dfrac{\pi}{2}$ とする。

また，$r^2\geqq0$ から　　$\cos2\theta\geqq0$

ゆえに，曲線の存在範囲は　　$0\leqq\theta\leqq\dfrac{\pi}{4}$

θ	0	$\dfrac{\pi}{12}$	$\dfrac{\pi}{8}$	$\dfrac{\pi}{6}$	$\dfrac{\pi}{4}$
r^2	1	$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$	$\dfrac{\sqrt{2}}{2}$	$\dfrac{1}{2}$	0



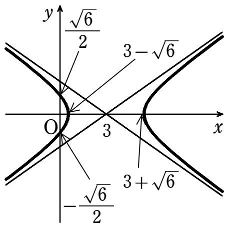
これらをもとにして，第 1 象限における曲線 ① をかき，それと x 軸，y 軸，原点に関して対称な曲線もかき加えると，曲線の概形は右の図のようになる。

章末問題B

9

解答 (1) $\dfrac{(x-3)^2}{6}-\dfrac{y^2}{3}=1$，［図］

(2) $a=1$，$k=\dfrac{\sqrt{6}}{2}$



(1) 極方程式を変形して　$2r+\sqrt{6}\,r\cos\theta=\sqrt{6}$

$r\cos\theta=x$ であるから　$2r+\sqrt{6}\,x=\sqrt{6}$

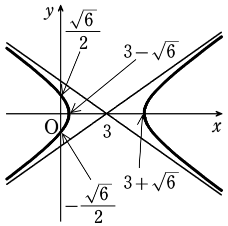
すなわち　$2r=\sqrt{6}(1-x)$　　両辺を 2 乗して　$4r^2=6(1-x)^2$

$r^2=x^2+y^2$ であるから　$4(x^2+y^2)=6(1-2x+x^2)$

整理すると　$x^2-6x-2y^2=-3$ ……①

したがって　$\dfrac{(x-3)^2}{6}-\dfrac{y^2}{3}=1$

曲線の概形は右の図のようになる。



(2) $k\mathrm{PH}=\mathrm{OP}$ から　$k^2\mathrm{PH}^2=\mathrm{OP}^2$

$\mathrm{PH}^2=(x-a)^2$，$\mathrm{OP}^2=x^2+y^2$ を代入して

$k^2(x-a)^2=x^2+y^2$ ……②

① から　$y^2=\dfrac{1}{2}(x^2-6x+3)$

② に代入して　$k^2(x^2-2ax+a^2)=\dfrac{3}{2}x^2-3x+\dfrac{3}{2}$

P$(x,\ y)$ が (1) の曲線上を動くとき，k が一定となるから，この等式は x の恒等式である。

よって　$k^2=\dfrac{3}{2}$，$2ak^2=3$，$k^2a^2=\dfrac{3}{2}$

$k>0$ であるから　$k=\dfrac{\sqrt{6}}{2}$　　ゆえに　$a=1$

10

解答 (1) 略　(2) 略

(1) 楕円の直交座標による方程式を $\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1\ (a>0,\ b>0)$ とする。

$\angle\mathrm{POQ}=\dfrac{\pi}{2}$ であるから，P，Q の極座標は P$(r_1,\ \theta)$，Q$\left(r_2,\ \theta+\dfrac{\pi}{2}\right)$ と表される。

ただし，$r_1>0$，$r_2>0$ とする。

よって，P，Q の直交座標は

$$\mathrm{P}(r_1\cos\theta,\ r_1\sin\theta),\ \mathrm{Q}\left(r_2\cos\left(\theta+\frac{\pi}{2}\right),\ r_2\sin\left(\theta+\frac{\pi}{2}\right)\right)$$

ゆえに　Q$(-r_2\sin\theta,\ r_2\cos\theta)$

点 P は楕円上にあるから　$\dfrac{r_1{}^2\cos^2\theta}{a^2}+\dfrac{r_1{}^2\sin^2\theta}{b^2}=1$

よって　$r_1{}^2\left(\dfrac{\cos^2\theta}{a^2}+\dfrac{\sin^2\theta}{b^2}\right)=1$

点 Q は楕円上にあるから　$\dfrac{r_2{}^2\sin^2\theta}{a^2}+\dfrac{r_2{}^2\cos^2\theta}{b^2}=1$

ゆえに　$r_2{}^2\left(\dfrac{\sin^2\theta}{a^2}+\dfrac{\cos^2\theta}{b^2}\right)=1$

よって　$\dfrac{1}{\mathrm{OP}^2}+\dfrac{1}{\mathrm{OQ}^2}=\dfrac{1}{r_1{}^2}+\dfrac{1}{r_2{}^2}$

$$=\left(\frac{\cos^2\theta}{a^2}+\frac{\sin^2\theta}{b^2}\right)+\left(\frac{\sin^2\theta}{a^2}+\frac{\cos^2\theta}{b^2}\right)$$

$$=\frac{1}{a^2}(\sin^2\theta+\cos^2\theta)+\frac{1}{b^2}(\sin^2\theta+\cos^2\theta)$$

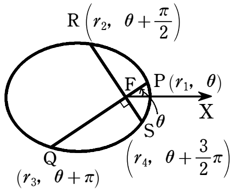
$$=\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}\ (一定)$$

(2) $r(1+e\cos\theta)=l\ (0<e<1,\ l>0)$ ……① とする。

PQ⊥RS であるから

P$(r_1,\ \theta)$，R$\left(r_2,\ \theta+\dfrac{\pi}{2}\right)$，

Q$(r_3,\ \theta+\pi)$，S$\left(r_4,\ \theta+\dfrac{3}{2}\pi\right)$



と表される。ただし，$r_1>0$，$r_2>0$，$r_3>0$，$r_4>0$ とする。

2 点 P，Q は楕円 ① 上にあるから

$$\mathrm{PF}=r_1=\frac{l}{1+e\cos\theta},\ \mathrm{QF}=r_3=\frac{l}{1+e\cos(\theta+\pi)}$$

ここで　$\cos(\theta+\pi)=-\cos\theta$

ゆえに　$\dfrac{1}{\mathrm{PF}}=\dfrac{1+e\cos\theta}{l}$，$\dfrac{1}{\mathrm{QF}}=\dfrac{1-e\cos\theta}{l}$

よって　$\dfrac{1}{\mathrm{PF}\cdot\mathrm{QF}}=\dfrac{1}{\mathrm{PF}}\cdot\dfrac{1}{\mathrm{QF}}=\dfrac{1-e^2\cos^2\theta}{l^2}$ ……②

2 点 R，S は楕円 ① 上にあるから

$$\mathrm{RF}=r_2=\frac{l}{1+e\cos\left(\theta+\frac{\pi}{2}\right)}$$

$$\mathrm{SF}=r_4=\frac{l}{1+e\cos\left(\theta+\frac{3}{2}\pi\right)}$$

ここで　$\cos\left(\theta+\dfrac{\pi}{2}\right)=-\sin\theta$，$\cos\left(\theta+\dfrac{3}{2}\pi\right)=\sin\theta$

よって　$\dfrac{1}{\mathrm{RF}}=\dfrac{1-e\sin\theta}{l}$，$\dfrac{1}{\mathrm{SF}}=\dfrac{1+e\sin\theta}{l}$

ゆえに　$\dfrac{1}{\mathrm{RF}\cdot\mathrm{SF}}=\dfrac{1}{\mathrm{RF}}\cdot\dfrac{1}{\mathrm{SF}}=\dfrac{1-e^2\sin^2\theta}{l^2}$ ……③

②，③ から

$$\frac{1}{\mathrm{PF}\cdot\mathrm{QF}}+\frac{1}{\mathrm{RF}\cdot\mathrm{SF}}=\frac{2-e^2(\cos^2\theta+\sin^2\theta)}{l^2}=\frac{2-e^2}{l^2}\ (一定)$$

章末問題C

1

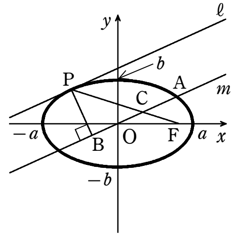
解答 (1) 略　(2) 略

(1) P$(\alpha,\ \beta)\ (\alpha<0,\ \beta>0)$ とおくと，接線 ℓ の方程式は　$\dfrac{\alpha x}{a^2}+\dfrac{\beta y}{b^2}=1$

ゆえに，直線 m の方程式は　$\dfrac{\alpha x}{a^2}+\dfrac{\beta y}{b^2}=0$　　すなわち　$y=-\dfrac{b^2\alpha}{a^2\beta}x$

これを楕円の方程式に代入して　$\dfrac{x^2}{a^2}+\dfrac{1}{b^2}\left(-\dfrac{b^2\alpha}{a^2\beta}\right)^2x^2=1$

よって　$x^2=\dfrac{a^4\beta^2}{a^2\beta^2+b^2\alpha^2}=\dfrac{a^4\beta^2}{a^2b^2\left(\dfrac{\alpha^2}{a^2}+\dfrac{\beta^2}{b^2}\right)}=\dfrac{a^2}{b^2}\beta^2$



$a>0$，$b>0$，$\beta>0$，$x>0$ から

$$x=\frac{a}{b}\beta,\ y=-\frac{b^2\alpha}{a^2\beta}\cdot\frac{a}{b}\beta=-\frac{b}{a}\alpha$$

よって　A$\left(\dfrac{a}{b}\beta,\ -\dfrac{b}{a}\alpha\right)$ であるから

$$\mathrm{OA}=\sqrt{\frac{a^2}{b^2}\beta^2+\frac{b^2}{a^2}\alpha^2}=ab\sqrt{\frac{\alpha^2}{a^4}+\frac{\beta^2}{b^4}}$$

また，PB の長さは原点 O と直線 ℓ との距離に等しいから

$$\mathrm{PB}=\frac{1}{\sqrt{\dfrac{\alpha^2}{a^4}+\dfrac{\beta^2}{b^4}}}$$

したがって　$\mathrm{OA}\cdot\mathrm{PB}=ab$

(2) △OPA，△OFA の面積をそれぞれ S_1，S_2 とすると，(1) から

$$S_1=\frac{1}{2}ab\ \text{……①}$$

また，F$(\sqrt{a^2-b^2},\ 0)$ であるから

$$S_2=-\frac{b}{2a}\alpha\sqrt{a^2-b^2}\ \text{……②}$$

ここで，$S_1:S_2=\mathrm{PC}:\mathrm{CF}$ であるから

$$\frac{S_1}{S_1+S_2}=\frac{\mathrm{PC}}{\mathrm{PC}+\mathrm{CF}}=\frac{\mathrm{PC}}{\mathrm{PF}}\ \text{……③}$$

$$\mathrm{PF}=\sqrt{(\alpha-\sqrt{a^2-b^2})^2+\beta^2}=\sqrt{\alpha^2-2\alpha\sqrt{a^2-b^2}+a^2-b^2+b^2\left(1-\frac{\alpha^2}{a^2}\right)}$$

$$=\frac{1}{a}\sqrt{a^4-2a^2\alpha\sqrt{a^2-b^2}+\alpha^2(a^2-b^2)}=\frac{1}{a}\sqrt{(a^2-\alpha\sqrt{a^2-b^2})^2}$$

$\alpha<0$ であるから　$\mathrm{PF}=\dfrac{1}{a}(a^2-\alpha\sqrt{a^2-b^2})$ ……④

①，② から　$\dfrac{S_1}{S_1+S_2}=\dfrac{\dfrac{1}{2}ab}{\dfrac{1}{2}ab-\dfrac{b}{2a}\alpha\sqrt{a^2-b^2}}=\dfrac{a^2}{a^2-\alpha\sqrt{a^2-b^2}}$

これと ③，④ から　$\mathrm{PC}=\dfrac{S_1}{S_1+S_2}\mathrm{PF}=a$

2

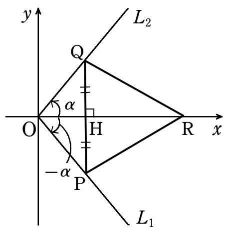
解答 (1) R$\left(\dfrac{1}{2\tan\alpha}+\dfrac{\sqrt{3}}{2},\ 0\right)$　(2) 略

(1) 線分 PQ が x 軸と直交するとき，その交点を H とすると，H は線分 PQ の中点である。

よって $\mathrm{OH}=\dfrac{\mathrm{QH}}{\tan\alpha}=\dfrac{1}{2\tan\alpha}$

また，点 R は x 軸上にあり，$\mathrm{RH}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$ であるから，点 R の座標は

$$\left(\frac{1}{2\tan\alpha}+\frac{\sqrt{3}}{2},\ 0\right)$$



(2) $\mathrm{OP}=s$，$\mathrm{OQ}=t$ とすると

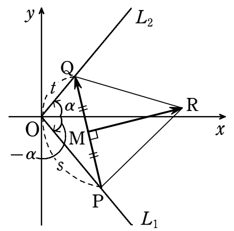
$\mathrm{P}(s\cos\alpha,\ -s\sin\alpha)$，$\mathrm{Q}(t\cos\alpha,\ t\sin\alpha)$

よって $\overrightarrow{\mathrm{PQ}}=((t-s)\cos\alpha,\ (t+s)\sin\alpha)$

また $|\overrightarrow{\mathrm{PQ}}|=\mathrm{PQ}=1$

線分 PQ の中点を M とすると

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}}=\left(\frac{t+s}{2}\cos\alpha,\ \frac{t-s}{2}\sin\alpha\right)$$



$\overrightarrow{\mathrm{MR}}$ は $\overrightarrow{\mathrm{PQ}}$ に垂直で大きさ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，x 成分が正のベクトルである。

$\overrightarrow{\mathrm{PQ}}$ と垂直で x 成分が正の単位ベクトルは $((t+s)\sin\alpha,\ -(t-s)\cos\alpha)$ であるから

$$\overrightarrow{\mathrm{OR}}=\overrightarrow{\mathrm{OM}}+\overrightarrow{\mathrm{MR}}$$
$$=\left(\frac{t+s}{2}\cos\alpha,\ \frac{t-s}{2}\sin\alpha\right)+\frac{\sqrt{3}}{2}((t+s)\sin\alpha,\ -(t-s)\cos\alpha)$$
$$=\left(\frac{t+s}{2}(\cos\alpha+\sqrt{3}\sin\alpha),\ \frac{t-s}{2}(\sin\alpha-\sqrt{3}\cos\alpha)\right)$$

$\dfrac{\cos\alpha+\sqrt{3}\sin\alpha}{2}=A$，$\dfrac{\sin\alpha-\sqrt{3}\cos\alpha}{2}=B$ とおき，R の座標を $(x,\ y)$ とすると

$x=A(t+s)$，$y=B(t-s)$

よって $t=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{A}+\dfrac{y}{B}\right)$，$s=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{A}-\dfrac{y}{B}\right)$ ……①

一方，△OPQ に余弦定理を適用すると $t^2+s^2-2ts\cos 2\alpha=1$

これに ① を代入して整理すると $\dfrac{1-\cos 2\alpha}{2A^2}x^2+\dfrac{1+\cos 2\alpha}{2B^2}y^2=1$

$\dfrac{1-\cos 2\alpha}{2A^2}>0$，$\dfrac{1+\cos 2\alpha}{2B^2}>0$ であるから，点 R の軌跡は楕円の一部である。

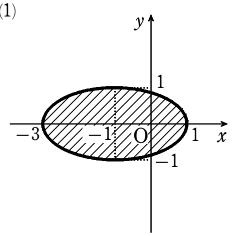
$\boxed{3}$

解答 (1) [図] の斜線部分。ただし，境界線を含む。

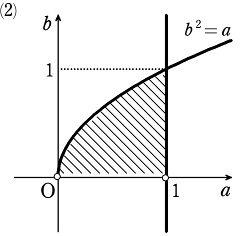
(2) $0<a\leqq 1$，$b>0$，$b^2\leqq a$

領域は [図] の斜線部分。ただし，境界線のうち a 軸を除く。

(1)



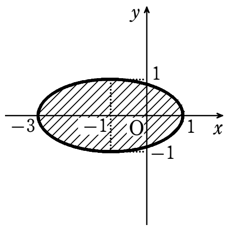
(2)



(1) $a=2$，$b=1$ のとき，領域 D を表す不等式は

$$\frac{(x+1)^2}{4}+y^2\leqq 1$$

よって，D は楕円 $\dfrac{(x+1)^2}{4}+y^2=1$ およびその内部で，右の図の斜線部分。ただし，境界線を含む。



(2) $\dfrac{\{x-(1-a)\}^2}{a^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$ ……①，

$x^2+y^2=1$ ……②

とする。

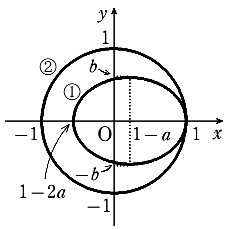
楕円 ① の頂点のうち，x 軸上にあるものは

$(1-2a,\ 0)$，$(1,\ 0)$

D が E に含まれるとき

$1-2a\geqq -1$

よって $0<a\leqq 1$ ……③



① から $y^2=b^2\left\{1-\dfrac{(x-1+a)^2}{a^2}\right\}$

② から $y^2=1-x^2$

したがって，D が E に含まれるための条件は，

$1-2a\leqq x\leqq 1$ ……④ (ただし，$0<a\leqq 1$) を満たすすべての x について

$$b^2\left\{1-\frac{(x-1+a)^2}{a^2}\right\}\leqq 1-x^2 \quad\text{……⑤}$$

が成り立つことである。

$\dfrac{x-1+a}{a}=t$ とおくと $x=at-a+1$

④ から $-1\leqq t\leqq 1$

⑤ から $(at-a+1)^2+b^2(1-t^2)-1\leqq 0$

変形して $a^2(t-1)^2+2a(t-1)+b^2(1-t^2)\leqq 0$

$(t-1)\{(a^2-b^2)t-(a^2-2a+b^2)\}\leqq 0$

$-1\leqq t\leqq 1$ で $t-1\leqq 0$ であるから，$-1\leqq t\leqq 1$ において $(a^2-b^2)t-(a^2-2a+b^2)\geqq 0$ が成り立てばよい。そのための条件は，

$a=b$ のとき $-(a^2-2a+b^2)\geqq 0$ よって $0<a\leqq 1$

$a\neq b$ のとき

$(a^2-b^2)-(a^2-2a+b^2)\geqq 0$

かつ $-(a^2-b^2)-(a^2-2a+b^2)\geqq 0$

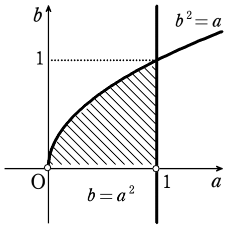
よって $b^2\leqq a$ かつ $0<a\leqq 1$

まとめると

$0<a\leqq 1$，$b>0$，$b^2\leqq a$

これは ③ を満たす。

よって，求める領域は右の図の斜線部分。ただし，境界線のうち a 軸を除く。



$\boxed{4}$

解答 双曲線 $2x^2-2\left(y+\dfrac{3}{4}\right)^2=-1$ の $y<-\dfrac{1}{4}$ の部分

点 P の座標を $(X,\ Y)$ とおき，2つの接点 A，B を $\mathrm{A}(s,\ s^2)$，$\mathrm{B}(t,\ t^2)$ (ただし $s<t$) とする。

$y=x^2$ から $y'=2x$

点 A，B における接線の方程式はそれぞれ

$y=2sx-s^2$ ……①，$y=2tx-t^2$ ……②

点 P は，直線 ①，② の交点である。

①，② から y を消去すると $2sx-s^2=2tx-t^2$

よって $2(t-s)x=(t-s)(t+s)$

$t-s\neq 0$ から $x=\dfrac{s+t}{2}$ ① から $y=st$

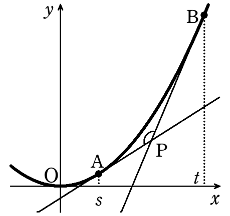
ゆえに $X=\dfrac{s+t}{2}$，$Y=st$

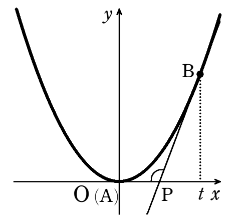
したがって，s，t は 2 次方程式 $c^2-2Xc+Y=0$ の異なる 2 つの実数解であるから，判別式を D とすると $\dfrac{D}{4}=(-X)^2-1\cdot Y>0$

ゆえに，$Y<X^2$ であるから，点 P は放物線 $y=x^2$ よりも下側にある。

ここで，$0<s<t$ とすると，①，② の傾きはともに正となり $\angle\mathrm{APB}>\dfrac{\pi}{2}$

また，$s=0$，$t>0$ とすると，① の傾きは 0，② の傾きは正となり $\angle\mathrm{APB}>\dfrac{\pi}{2}$





$s<t<0$ のとき，$s<0$，$t=0$ のときもそれぞれ同様に考えて $\angle\mathrm{APB}>\dfrac{\pi}{2}$

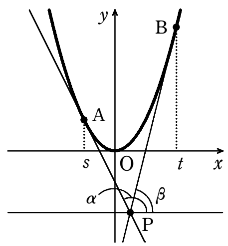
よって，$\angle\mathrm{APB}=\dfrac{\pi}{4}$ となるためには，$s<0<t$ となることが必要である。

直線 AP，BP と x 軸の正の向きとのなす角をそれぞれ α，β とすると，①，② の傾きから $\tan\alpha=2s$，$\tan\beta=2t$

であり $0<\beta<\dfrac{\pi}{2}<\alpha<\pi$

よって $\angle\mathrm{APB}=\alpha-\beta$

ゆえに，$\alpha-\beta=\dfrac{\pi}{4}$ であるから $\tan(\alpha-\beta)=1$



ここで $\tan(\alpha-\beta)=\dfrac{\tan\alpha-\tan\beta}{1+\tan\alpha\tan\beta}=\dfrac{2s-2t}{1+4st}$

よって，$\dfrac{2s-2t}{1+4st}=1$ から $2(s-t)=1+4st$ ……③

$s<t$ であるから $1+4st<0$ ……④

③ から $\{2(s-t)\}^2=(1+4st)^2$ すなわち $4(s+t)^2-16st=(1+4st)^2$

$s+t=2X$，$st=Y$ を代入すると $4(2X)^2-16Y=(1+4Y)^2$

整理して $2X^2-2\left(Y+\dfrac{3}{4}\right)^2=-1$

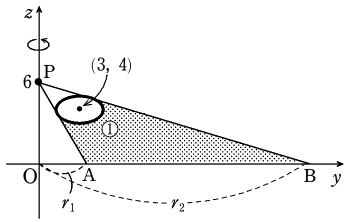
また，④ と $st=Y$ から $Y<-\dfrac{1}{4}$

ゆえに，点 P の軌跡は 双曲線 $2x^2-2\left(y+\dfrac{3}{4}\right)^2=-1$ の $y<-\dfrac{1}{4}$ の部分

5

解答　$288\sqrt{2}\pi$

$(y-3)^2+3(z-4)^2=3$ ……① とする。
yz 平面上で，点 P を通る楕円 ① の 2 つの接線と y 軸との交点を A，B とし，$\mathrm{OA}=r_1$，$\mathrm{OB}=r_2$ $(r_1<r_2)$ とする。
立体 T が xy 平面上に作る影は，原点 O を中心とする半径 r_1 と r_2 の 2 つの円で囲まれる部分である。



r_1 と r_2 は，yz 平面上で楕円 ① と直線
$\dfrac{y}{r}+\dfrac{z}{6}=1$ ……② が接するときの r の値である。

② から　　$z=6-\dfrac{6}{r}y$

これを ① に代入して整理すると

$$(r^2+108)y^2-6(r^2+12r)y+18r^2=0$$

この 2 次方程式の判別式を D とすると

$$\frac{D}{4}=9(r^2+12r)^2-(r^2+108)\cdot 18r^2$$

$$=9r^2\{(r+12)^2-2(r^2+108)\}=-9r^2(r^2-24r+72)$$

楕円 ① と直線 ② が接するとき，$D=0$ であるから

$$-9r^2(r^2-24r+72)=0$$

$r>0$ であるから　　$r^2-24r+72=0$

これを解くと　　$r=12\pm 6\sqrt{2}=6(2\pm\sqrt{2})$

$r_1<r_2$ から　　$r_1=6(2-\sqrt{2})$，$r_2=6(2+\sqrt{2})$

したがって，求める影の面積は

$$\pi r_2{}^2-\pi r_1{}^2=\pi(r_2+r_1)(r_2-r_1)=\pi\times 6\cdot 4\times 6\cdot 2\sqrt{2}=288\sqrt{2}\pi$$

6

解答　(1)　楕円 $\dfrac{x^2}{\left(R+\dfrac{1}{R}\right)^2}+\dfrac{y^2}{\left(R-\dfrac{1}{R}\right)^2}=1$

(2)　双曲線 $\dfrac{x^2}{4\cos^2\alpha}-\dfrac{y^2}{4\sin^2\alpha}=1$ の $x\geqq 2\cos\alpha$ の部分

(1)　$w=R(\cos\theta+i\sin\theta)$ $(0\leqq\theta<2\pi)$ とおくと

$$\frac{1}{w}=\frac{1}{R(\cos\theta+i\sin\theta)}=\frac{1}{R}(\cos\theta-i\sin\theta)$$

よって　$w+\dfrac{1}{w}=\left(R+\dfrac{1}{R}\right)\cos\theta+i\left(R-\dfrac{1}{R}\right)\sin\theta$

$w+\dfrac{1}{w}=x+yi$ であるから，実部と虚部を比較して

$$x=\left(R+\frac{1}{R}\right)\cos\theta,\quad y=\left(R-\frac{1}{R}\right)\sin\theta$$

$R>1$ であるから　　$R+\dfrac{1}{R}\neq 0$，$R-\dfrac{1}{R}\neq 0$

ゆえに　　$\cos\theta=\dfrac{x}{R+\dfrac{1}{R}}$，$\sin\theta=\dfrac{y}{R-\dfrac{1}{R}}$

$\cos^2\theta+\sin^2\theta=1$ であるから，求める軌跡は　　楕円 $\dfrac{x^2}{\left(R+\dfrac{1}{R}\right)^2}+\dfrac{y^2}{\left(R-\dfrac{1}{R}\right)^2}=1$

(2)　$w=r(\cos\alpha+i\sin\alpha)$ $\left(r>0,\ 0<\alpha<\dfrac{\pi}{2}\right)$ とおくと，(1) と同様にして

$$x=\left(r+\frac{1}{r}\right)\cos\alpha,\quad y=\left(r-\frac{1}{r}\right)\sin\alpha$$

$0<\alpha<\dfrac{\pi}{2}$ であるから　　$\cos\alpha>0$，$\sin\alpha>0$

よって　　$r+\dfrac{1}{r}=\dfrac{x}{\cos\alpha}$，$r-\dfrac{1}{r}=\dfrac{y}{\sin\alpha}$

ゆえに　　$r=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{\cos\alpha}+\dfrac{y}{\sin\alpha}\right)$，$\dfrac{1}{r}=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{\cos\alpha}-\dfrac{y}{\sin\alpha}\right)$

$r\cdot\dfrac{1}{r}=1$ であるから　　$\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{\cos\alpha}+\dfrac{y}{\sin\alpha}\right)\cdot\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{\cos\alpha}-\dfrac{y}{\sin\alpha}\right)=1$

整理すると　　$\dfrac{x^2}{4\cos^2\alpha}-\dfrac{y^2}{4\sin^2\alpha}=1$

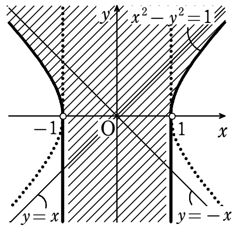
また，$r>0$ であるから　　$\dfrac{x}{\cos\alpha}+\dfrac{y}{\sin\alpha}>0$，$\dfrac{x}{\cos\alpha}-\dfrac{y}{\sin\alpha}>0$

このとき　　$x\geqq 2\cos\alpha$

したがって，求める軌跡は　　双曲線 $\dfrac{x^2}{4\cos^2\alpha}-\dfrac{y^2}{4\sin^2\alpha}=1$ の $x\geqq 2\cos\alpha$ の部分

7

解答　［図］境界線は，直線 $x=\pm 1$ の $y\leqq 0$ の部分を含まず，他は含む



$y=ax^2+\dfrac{1-4a^2}{4a}$ から　　$(x^2-1)a^2-ya+\dfrac{1}{4}=0$　……①

求める C の通過する領域は，① を満たす正の実数 a が存在するような点 $(x,\ y)$ 全体である。

[1]　$x^2-1=0$ すなわち $x=\pm 1$ のとき

① は $ya=\dfrac{1}{4}$ となるから，これを満たす正の実数 a が存在するための条件は　　$y>0$

[2]　$x^2-1\neq 0$ のとき

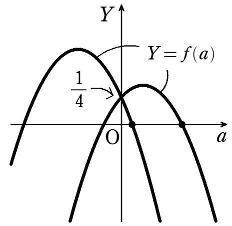
$f(a)=(x^2-1)a^2-ya+\dfrac{1}{4}$ とおく。

① を満たす正の実数 a が存在するための条件は，放物線 $Y=f(a)$ が a 軸の正の部分と共有点をもつことである。

(i)　$x^2-1<0$ すなわち $-1<x<1$ のとき

$Y=f(a)$ は上に凸の放物線であり，$f(0)=\dfrac{1}{4}$ である

から，右の図より，a 軸の正の部分と常に共有点をもつ。

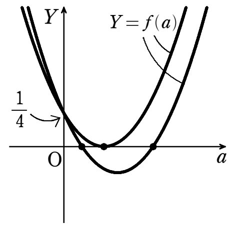


よって，$-1<x<1$ のとき
y はすべての実数

(ii)　$x^2-1>0$ すなわち $x<-1$，$1<x$ のとき

$Y=f(a)$ は下に凸の放物線であり，$f(0)=\dfrac{1}{4}$ である

から，右の図より，a 軸の正の部分と共有点をもつための条件は，① の判別式 D について

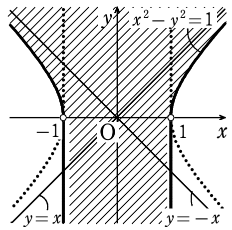


$$D=(-y)^2-4\cdot\frac{1}{4}(x^2-1)=y^2-x^2+1\geqq 0$$

かつ　軸について　　$\dfrac{y}{2(x^2-1)}>0$

よって　　$x^2-y^2\leqq 1$　かつ　$y>0$

以上から，求める領域は，右の図の斜線部分のようになる。
ただし，境界線は，直線 $x=\pm 1$ の $y\leqq 0$ の部分を含まず，他は含む。



別解　【数Ⅲの微分利用】

x を固定して考える。

$y=(x^2-1)a+\dfrac{1}{4a}$ から

$$\frac{dy}{da}=x^2-1-\frac{1}{4a^2}=\frac{4(x^2-1)a^2-1}{4a^2}$$

[1]　$x^2-1\leqq 0$ のとき　　$\dfrac{dy}{da}<0$

また　　$\displaystyle\lim_{a\to+0}y=\infty$，　$\displaystyle\lim_{a\to\infty}y=\begin{cases}0 & (x^2-1=0\text{ のとき})\\ -\infty & (x^2-1<0\text{ のとき})\end{cases}$

よって，a が正の実数全体を動くとき，y のとりうる値の範囲は

$x=\pm 1$ のとき　　$y>0$

$-1<x<1$ のとき　　すべての実数

[2]　$x^2-1>0$ のとき

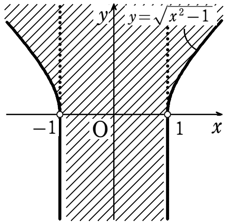
$\dfrac{dy}{da}=0$ とすると　　$a=\pm\dfrac{1}{2\sqrt{x^2-1}}$

$a>0$ における y の増減表は次のようになる。

a	0	$\cdots$	$\frac{1}{2\sqrt{x^2-1}}$	$\cdots$
$\frac{dy}{da}$	/	$-$	0	$+$
y	/	↘	$\sqrt{x^2-1}$	↗

また　$\lim_{a\to+0} y=\infty$，$\lim_{a\to\infty} y=\infty$

よって，a が正の実数全体を動くとき，y のとりうる値の範囲は　$y\geqq\sqrt{x^2-1}$

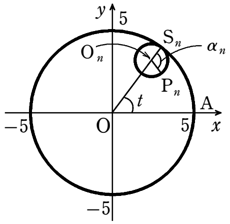


以上から，求める領域は，右の図の斜線部分のようになる。ただし，境界線は，直線 $x=\pm1$ の $y\leqq0$ の部分を含まず，他は含む。

8

解答　(1)　$P_n\left((5-n)\cos t+n\cos\left(t-\frac{5t}{n}\right),\ (5-n)\sin t+n\sin\left(t-\frac{5t}{n}\right)\right)$　(2)　略

(1)　A(5, 0)，$\angle S_nO_nP_n=\alpha_n$ とすると，円 C_n が滑ることなく回転するから　$\overset{\frown}{AS_n}=\overset{\frown}{P_nS_n}$



よって　$5t=n\alpha_n$　　ゆえに　$\alpha_n=\frac{5t}{n}$

ここで

$$\overrightarrow{OP_n}=\overrightarrow{OO_n}+\overrightarrow{O_nP_n}$$
$$=((5-n)\cos t,\ (5-n)\sin t)+(n\cos(t-\alpha_n),\ n\sin(t-\alpha_n))$$
$$=\left((5-n)\cos t+n\cos\left(t-\frac{5t}{n}\right),\ (5-n)\sin t+n\sin\left(t-\frac{5t}{n}\right)\right)$$

したがって　$P_n\left((5-n)\cos t+n\cos\left(t-\frac{5t}{n}\right),\ (5-n)\sin t+n\sin\left(t-\frac{5t}{n}\right)\right)$

(2)　円 C_n の中心が円 C の内部を反時計回りに n 周するから，$n=2$ のとき

$$P_2\left(3\cos t+2\cos\frac{3}{2}t,\ 3\sin t-2\sin\frac{3}{2}t\right),\ 0\leqq t\leqq4\pi$$

$n=3$ のとき　$P_3\left(2\cos t+3\cos\frac{2}{3}t,\ 2\sin t-3\sin\frac{2}{3}t\right)$，$0\leqq t\leqq6\pi$

ここで，$n=2$ に対し $t=4\pi-\frac{2}{3}u$ とおくと

$$3\cos\left(4\pi-\frac{2}{3}u\right)+2\cos\frac{3}{2}\left(4\pi-\frac{2}{3}u\right)=3\cos\frac{2}{3}u+2\cos u,$$
$$3\sin\left(4\pi-\frac{2}{3}u\right)-2\sin\frac{3}{2}\left(4\pi-\frac{2}{3}u\right)=-3\sin\frac{2}{3}u+2\sin u,$$

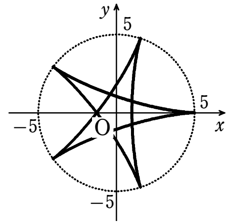
$0\leqq t\leqq4\pi$ のとき $0\leqq u\leqq6\pi$ であるから

$$P_2\left(2\cos u+3\cos\frac{2}{3}u,\ 2\sin u-3\sin\frac{2}{3}u\right),\ 0\leqq u\leqq6\pi$$

と表せる。

よって，点 P_2 の描く曲線と点 P_3 の描く曲線は一致する。

参考　点 P_2，P_3 の描く曲線は右の図のようになる。

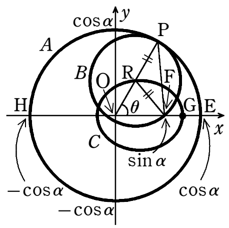


9

解答　(1)　$2\sqrt{x^2+y^2}\cos\alpha-2x\sin\alpha=\cos2\alpha$　　(2)　$r(\cos\alpha-\sin\alpha\cos\theta)=\frac{\cos2\alpha}{2}$

(3)　$\sqrt{2}<f(\alpha)\leqq\frac{\sqrt{10}}{2}$

(1)　円 B の中心を R$(x,\ y)$ とすると，



円 B は円 A に内接するから，

R は円 A の半径 OP 上にある。

円 B は点 F を通るから　RP＝RF

ゆえに　OP＝OR＋RP＝OR＋RF

円 A の半径は OP$=\cos\alpha$ であるから

OR＋RF$=\cos\alpha$　……①

ゆえに　RF$=\cos\alpha-$OR

よって　$\sqrt{(x-\sin\alpha)^2+y^2}=\cos\alpha-\sqrt{x^2+y^2}$

両辺を2乗して整理すると　$2\sqrt{x^2+y^2}\cos\alpha-2x\sin\alpha=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha$

したがって　$2\sqrt{x^2+y^2}\cos\alpha-2x\sin\alpha=\cos2\alpha$　……②

(2)　R$(x,\ y)$ の極座標を $(r,\ \theta)$ とおくと，

$x=r\cos\theta$，$y=r\sin\theta$，$r=\sqrt{x^2+y^2}$

であるから，②は　$2r\cos\alpha-2r\cos\theta\sin\alpha=\cos2\alpha$

ゆえに　$r(\cos\alpha-\sin\alpha\cos\theta)=\frac{\cos2\alpha}{2}$

(3)　①より，軌跡 C は2点 O，F を焦点とする楕円であるから，円 A 上の動点 P と楕円 C 上の動点 Q が最も遠くなるのは，点 P が H$(-\cos\alpha,\ 0)$ の位置にあり，かつ，点 Q が楕円 C の長軸の右端 G の位置にあるときである。

②において $y=0$，$x>0$ のとき　$2x(\cos\alpha-\sin\alpha)=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha$

ゆえに　$x=\frac{\cos\alpha+\sin\alpha}{2}$

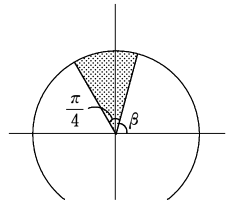
よって　G$\left(\frac{\cos\alpha+\sin\alpha}{2},\ 0\right)$

したがって，PQ の最大値は

$$f(\alpha)=\text{HG}=\frac{\cos\alpha+\sin\alpha}{2}-(-\cos\alpha)=\frac{1}{2}(\sin\alpha+3\cos\alpha)$$

$$=\frac{\sqrt{10}}{2}\sin(\alpha+\beta)\ \left(0<\alpha<\frac{\pi}{4}\right)$$

ただし　$\sin\beta=\frac{3}{\sqrt{10}}$，$\cos\beta=\frac{1}{\sqrt{10}}$



（角 $\alpha+\beta$ の存在範囲）

ここで，$0<\cos\beta=\frac{1}{\sqrt{10}}<\frac{1}{2}$ から，$\frac{\pi}{3}<\beta<\frac{\pi}{2}$

としてよい。

このとき，$\frac{\pi}{3}<\beta<\alpha+\beta<\frac{\pi}{4}+\beta<\frac{3}{4}\pi$ であるから，$\alpha+\beta=\frac{\pi}{2}$ のときに $f(\alpha)$ は最大値 $\frac{\sqrt{10}}{2}$ をとる。

一方，$f(0)=\frac{1}{2}(\sin0+3\cos0)=\frac{3}{2}$　　$f\left(\frac{\pi}{4}\right)=\frac{1}{2}\left(\sin\frac{\pi}{4}+3\cos\frac{\pi}{4}\right)=\sqrt{2}$

$\sqrt{2}<\frac{3}{2}$ であるから，$f(\alpha)$ のとりうる値の範囲は　$\sqrt{2}<f(\alpha)\leqq\frac{\sqrt{10}}{2}$

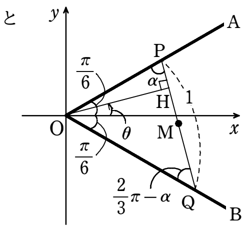
10

解答　(1)　$0\leqq\alpha<\frac{2}{3}\pi$ のとき　OP$=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)$，OQ$=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\alpha$

(2)　$\frac{x^2}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}+\frac{y^2}{\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)^2}=1$，$x\geqq\frac{\sqrt{3}}{4}$，$y\neq-\frac{1}{4}$

(3)　$r=\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\cos2\theta+\frac{1}{2}\right)$　$\left(-\frac{\pi}{3}<\theta<\frac{\pi}{3}\right)$

(1)　$0<\alpha<\frac{2}{3}\pi$ のとき，△OPQ に正弦定理を適用すると



$$\frac{\text{OP}}{\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)}=\frac{\text{OQ}}{\sin\alpha}=\frac{1}{\sin\frac{\pi}{3}}$$

よって　OP$=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)$　……①

OQ$=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\alpha$　……②

$\alpha=0$ のとき　OP$=1$，OQ$=0$

ゆえに，①，②は $\alpha=0$ のときも成り立つ。

したがって，$0\leqq\alpha<\frac{2}{3}\pi$ のとき　OP$=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)$，OQ$=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\alpha$

注意　Q が O に重なってもよいと考えた。P が O に重なる場合は，∠OPQ が定義できないから除いた。

(2)　$\overrightarrow{OP}=\left(\text{OP}\cos\frac{\pi}{6},\ \text{OP}\sin\frac{\pi}{6}\right)$，$\overrightarrow{OQ}=\left(\text{OQ}\cos\left(-\frac{\pi}{6}\right),\ \text{OQ}\sin\left(-\frac{\pi}{6}\right)\right)$

したがって，(1) から

$$\overrightarrow{OP}=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)\left(\cos\frac{\pi}{6},\ \sin\frac{\pi}{6}\right)=\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)\left(1,\ \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$$
$$\overrightarrow{OQ}=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\alpha\left(\cos\left(-\frac{\pi}{6}\right),\ \sin\left(-\frac{\pi}{6}\right)\right)=\sin\alpha\left(1,\ -\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$$

よって　$\overrightarrow{OM}=\frac{\overrightarrow{OP}+\overrightarrow{OQ}}{2}$

$$=\left(\frac{1}{2}\left\{\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)+\sin\alpha\right\},\ \frac{1}{2\sqrt{3}}\left\{\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)-\sin\alpha\right\}\right)$$

$$=\left(\sin\frac{\pi}{3}\cos\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right),\ \frac{1}{\sqrt{3}}\cos\frac{\pi}{3}\sin\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)\right)$$

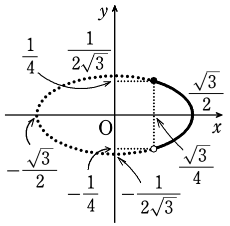
$$=\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right),\ \frac{1}{2\sqrt{3}}\sin\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)\right)$$

$0\leqq\alpha<\frac{2}{3}\pi$ から　$-\frac{\pi}{3}<\frac{\pi}{3}-\alpha\leqq\frac{\pi}{3}$　……③

M$(x,\ y)$ とすると　$x=\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)$，$y=\frac{1}{2\sqrt{3}}\sin\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)$

よって　$\cos\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)=\dfrac{x}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$，$\sin\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)=\dfrac{y}{\frac{1}{2\sqrt{3}}}$

ゆえに　$\dfrac{x^2}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}+\dfrac{y^2}{\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)^2}=1$



また，③から　$\frac{\sqrt{3}}{4}\leqq x\leqq\frac{\sqrt{3}}{2}$，$-\frac{1}{4}<y\leqq\frac{1}{4}$

したがって，中点Mの軌跡の方程式は

$$\frac{x^2}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}+\frac{y^2}{\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)^2}=1,\quad x\geqq\frac{\sqrt{3}}{4},\quad y\neq-\frac{1}{4}$$

(3)　Hの偏角を θ とすると

$$\theta=(\overrightarrow{\mathrm{QP}}\text{ と }x\text{ 軸の正の向きとのなす角})-\frac{\pi}{2}=\left(\frac{\pi}{6}+\alpha\right)-\frac{\pi}{2}=\alpha-\frac{\pi}{3}$$

③から $-\frac{\pi}{3}\leqq\alpha-\frac{\pi}{3}<\frac{\pi}{3}$ であるが，$\alpha=0$ のとき，OからPQへ垂線OHを引けないから　$\alpha\neq0$

したがって　$-\frac{\pi}{3}<\theta<\frac{\pi}{3}$

また　$\mathrm{OH}=\mathrm{OP}\sin\alpha=\frac{2}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{2}{3}\pi-\alpha\right)\sin\alpha=\frac{1}{\sqrt{3}}\left\{\cos\left(\frac{2}{3}\pi-2\alpha\right)-\cos\frac{2}{3}\pi\right\}$

$$=\frac{1}{\sqrt{3}}\left\{\cos(-2\theta)+\frac{1}{2}\right\}=\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\cos2\theta+\frac{1}{2}\right)$$

したがって，Hの軌跡の極方程式は

$$r=\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\cos2\theta+\frac{1}{2}\right)\quad\left(-\frac{\pi}{3}<\theta<\frac{\pi}{3}\right)$$

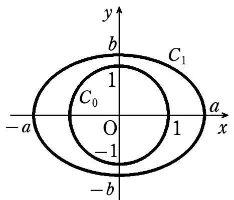
11

解答　$\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}=1$　$(a>0,\ b>0)$

楕円 C_1 が，円 C_0 を含むから　$a>1$，$b>1$

ゆえに，x 座標が1である楕円 C_1 上の点が存在して，そのうち第1象限にある点をPとする。点Pから円 C_0 に引いた接線のうち1本は直線 $x=1$ であり，直線 $x=1$ と C_1 のPでない交点をSとする。

平行四辺形PQRSが，題意を満たすように作れるとき，C_0 が y 軸に関して対称な図形であるから，2点Q，Rは，直線 $x=-1$ と C_1 との交点である。



C_1 も y 軸に関して対称な図形であるから点Pと点Q，点Rと点Sも y 軸に関して対称である。

ゆえに，辺PQが，C_0 に接するとき，2点P，Qは，直線 $y=1$ 上の点である。

よって，P(1，1)であり，点Pは C_1 上の点であるから　$\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}=1$

逆に，$\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}=1$ が成り立つとする。C_1 上の任意の点Pに対し，C_1 は x 軸，y 軸，原点に関して対称な図形であるから，原点に関して点Pと対称な点をRとすると，Rは C_1 上にある。また，線分PRの垂直二等分線と C_1 の交点をQ，Sとすると，Q，Sも C_1 上の点であり，原点に関して対称である。ゆえに，四辺形PQRSは，その対角線PR，QSが原点で直交し，互いに他を2等分するからひし形である。

このとき，$\mathrm{OP}=r_1$，$\mathrm{OQ}=r_2$，x 軸の正の部分とOPのなす角を θ とおくと

$\mathrm{P}(r_1\cos\theta,\ r_1\sin\theta)$　……①，　$\mathrm{Q}\left(r_2\cos\left(\theta+\frac{\pi}{2}\right),\ r_2\sin\left(\theta+\frac{\pi}{2}\right)\right)$　……②

②から　$\mathrm{Q}(-r_2\sin\theta,\ r_2\cos\theta)$　……③

P，Qは C_1 上の点であるから，①，③より

$$r_1^2\left(\frac{\cos^2\theta}{a^2}+\frac{\sin^2\theta}{b^2}\right)=1,\quad r_2^2\left(\frac{\sin^2\theta}{a^2}+\frac{\cos^2\theta}{b^2}\right)=1$$

ゆえに　$\frac{1}{r_1^2}+\frac{1}{r_2^2}=\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}=1$　……④

一方　$\triangle\mathrm{POQ}=\frac{1}{2}\mathrm{OP}\cdot\mathrm{OQ}=\frac{1}{2}r_1r_2$　……⑤

また，原点Oと辺PQの距離を d $(d>0)$ とおくと　$\triangle\mathrm{POQ}=\frac{1}{2}\mathrm{PQ}\cdot d$　……⑥

更に　$\mathrm{PQ}^2=\mathrm{OP}^2+\mathrm{OQ}^2=r_1^2+r_2^2$

これと⑤，⑥から　$r_1^2r_2^2=(r_1^2+r_2^2)d^2$

よって，④から　$d^2=\dfrac{r_1^2r_2^2}{r_1^2+r_2^2}=\dfrac{1}{\frac{1}{r_1^2}+\frac{1}{r_2^2}}=1$

ゆえに　$d=1$　　よって，PQは C_0 に接する。

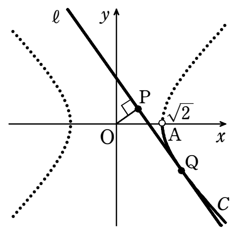
同様に，QR，RS，SPも C_0 に接する。

したがって，求める必要十分条件は　$\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}=1$　$(a>0,\ b>0)$

12

解答　(1)　略　　(2)　$\left(\frac{\sqrt{3}}{2},\ \frac{1}{2}\right)$

(1)　曲線 C 上の点Qの座標は，媒介変数 t $\left(-\frac{\pi}{2}<t<0\right)$ を用いて，$\mathrm{Q}\left(\frac{\sqrt{2}}{\cos t},\ \sqrt{2}\tan t\right)$ と表される。



この点Qにおける接線 ℓ の方程式は

$$\frac{\sqrt{2}}{\cos t}x-\sqrt{2}(\tan t)y=2$$

すなわち　$x-(\sin t)y=\sqrt{2}\cos t$　……①

原点Oを通り，接線 ℓ に垂直な直線の方程式は

$(\sin t)x+y=0$　……②

①+②×$\sin t$ から　$(1+\sin^2t)x=\sqrt{2}\cos t$　　よって　$x=\dfrac{\sqrt{2}\cos t}{1+\sin^2t}$

また，②−①×$\sin t$ から　$(1+\sin^2t)y=-\sqrt{2}\sin t\cos t$

よって　$y=-\dfrac{\sqrt{2}\sin t\cos t}{1+\sin^2t}$

ゆえに，点Pを直交座標で表すと　$\left(\dfrac{\sqrt{2}\cos t}{1+\sin^2t},\ -\dfrac{\sqrt{2}\sin t\cos t}{1+\sin^2t}\right)$

ここで，$-\frac{\pi}{2}<t<0$ であるから　$x=\dfrac{\sqrt{2}\cos t}{1+\sin^2t}>0$，　$y=-\dfrac{\sqrt{2}\sin t\cos t}{1+\sin^2t}>0$

よって，点Pを点Oを極とする極座標 $(r,\ \theta)$ で表したとき，$r>0$，$0<\theta<\frac{\pi}{2}$ としてよい。

このとき　$r=\mathrm{OP}=\dfrac{|-\sqrt{2}\cos t|}{\sqrt{1+\sin^2t}}=\dfrac{\sqrt{2}\cos t}{\sqrt{1+\sin^2t}}$，

$$\cos\theta=\frac{x}{r}=\frac{\sqrt{2}\cos t}{1+\sin^2t}\cdot\frac{\sqrt{1+\sin^2t}}{\sqrt{2}\cos t}=\frac{1}{\sqrt{1+\sin^2t}}$$

よって　$r^2-2\cos2\theta=r^2-2(2\cos^2\theta-1)=\dfrac{2\cos^2t}{1+\sin^2t}-2\cdot\left(2\cdot\dfrac{1}{1+\sin^2t}-1\right)$

$$=\frac{2(\cos^2t+\sin^2t)-2}{1+\sin^2t}=0$$

また，$-\frac{\pi}{2}<t<0$ より，$0<\sin^2t<1$ であるから　$\dfrac{1}{\sqrt{2}}<\dfrac{1}{\sqrt{1+\sin^2t}}<1$

すなわち　$\frac{1}{\sqrt{2}}<\cos\theta<1$

$0<\theta<\frac{\pi}{2}$ の範囲で，これを解くと　$0<\theta<\frac{\pi}{4}$

したがって，点Pの軌跡は，点Oを極とする極方程式

$r^2=2\cos2\theta$　$\left(r>0,\ 0<\theta<\frac{\pi}{4}\right)$　　で表される。

(2)　点Pの極座標を $(r,\ \theta)$ とすると，直交座標は $(r\cos\theta,\ r\sin\theta)$ である。

△OAPの面積を S とすると　$S=\frac{1}{2}\cdot\mathrm{OA}\cdot r\sin\theta=\frac{1}{\sqrt{2}}r\sin\theta$

(1)より，$r^2=2\cos2\theta$ であるから

$$S^2=\frac{1}{2}r^2\sin^2\theta=\frac{1}{2}\cdot2\cos2\theta\cdot\frac{1-\cos2\theta}{2}=-\frac{1}{2}\left(\cos2\theta-\frac{1}{2}\right)^2+\frac{1}{8}$$

また，$0<\theta<\frac{\pi}{4}$ より，$0<2\theta<\frac{\pi}{2}$ であるから　$0<\cos2\theta<1$

よって，S^2 は $\cos2\theta=\frac{1}{2}$ すなわち $\theta=\frac{\pi}{6}$ のとき最大となる。

$S>0$ であるから，S も $\theta=\frac{\pi}{6}$ のとき最大となる。

このとき，$r=\sqrt{2\cos2\theta}=1$ であるから　$x=r\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$，　$y=r\sin\theta=\frac{1}{2}$

したがって，求める点Pの直交座標は　$\left(\frac{\sqrt{3}}{2},\ \frac{1}{2}\right)$

参考　極方程式 $r^2=2\cos2\theta$ で表される曲線は，「レムニスケート」と呼ばれる曲線で，$r>0$，$0<\theta<\frac{\pi}{4}$ の範囲が表す部分は，右の図の実線部分である。