3 次の問題の [　　] の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。答えが数値となる場合は最も近い数値を選ぶこと。)　(20 点)

ウェーブマシン（波動実験器）がある（**図 3-1** 参照）。**図 3-1(a)** は変位を与えていないときの図である。ウェーブマシンに沿って x 軸をとり，左端の位置を x 軸の原点 O とする。また，ウェーブマシン上の，左端から 1.5 m の位置を点 P，3 m の位置を点 Q とする。y 軸はウェーブマシンの変位の方向にとる。**図 3-1(b)** は，原点 O に正弦波として時間変化する変位を与えたときの，ある時刻におけるウェーブマシンの図である（ただし，この図は例示のためのもので，設問中で指定される条件のもとでの波とは関係しない）。なお，波の伝わる速さは 0.5 m/s であった。また一般に，ウェーブマシンを伝わる波の波長には装置の構造に由来する下限が存在するが，その下限は十分小さいと考えてよいものとする。

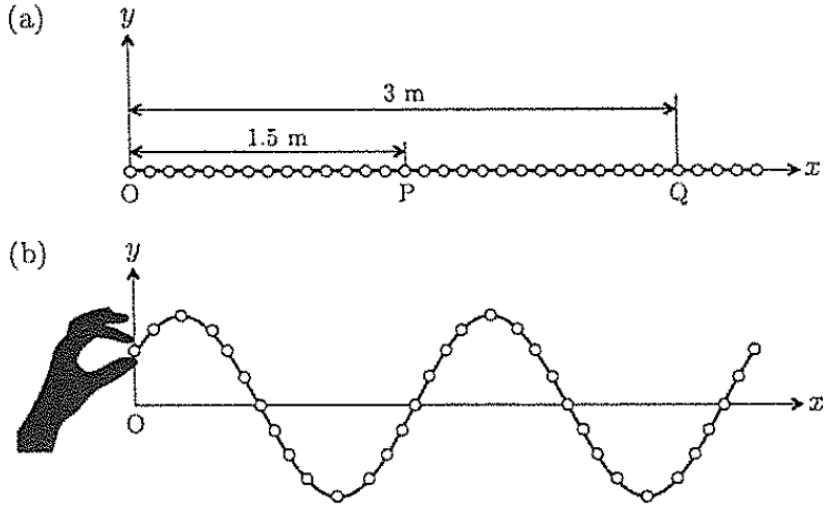

図 3-1

(1) ウェーブマシンの左端（原点 O）の変位 y_O [m] が，**図 3-2** に示すように，時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から正弦波の時間変化をしたとする。この波の振幅を A [m]，周期を T [s] とすると，$A =$ [(ア)] m，$T =$ [(イ)] s であり，振動数は [(ウ)] Hz，波長は [(エ)] m である。

$x = 1.5\,\mathrm{m}$ の点 P における変位について考えよう。点 O の振動は，x 軸の正の向きに速さ 0.5 m/s で伝わっていく。点 O から点 P の位置まで進むのに要する時間 t_1 [s] は $t_1 =$ [(オ)] s である。時刻 t_1 以降の時刻 t [s] での点 P の変位 y_P [m] は

$$y_P = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \boxed{\text{(カ)}} \right)$$

である。

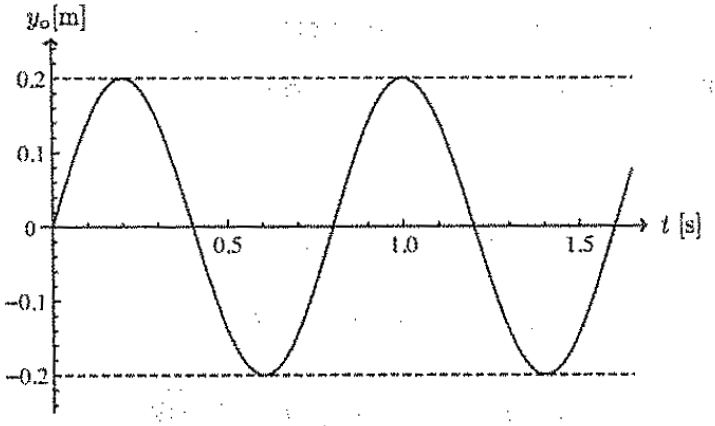

図 3-2

(ア), (イ), (ウ), (エ), (オ), (カ) の解答群

⓪ 0.2	① 0.4	② 0.5	③ 0.6	④ 0.8
⑤ 1	⑥ 1.25	⑦ 1.5	⑧ 2	⑨ 3

(2) 点Qおよびその右側の部分を動かないように固定する，すなわち，点Qを固定端とする。ウェーブマシンの左端（原点O）の変位 y_O [m] の時間変動は，時刻 $t \geqq 0\,\mathrm{s}$ で**図 3-2** に示されている正弦波とする（$t < 0\,\mathrm{s}$ では，全ての点の変位はゼロとする）。点Oの振動が点Pに到達するのに要する時間は $t_1 =$ [(オ)] s，点Qに到達するのに要する時間 t_2 [s] は $t_2 = 2t_1$ である。点Oの振動が点Qの固定端に到達し反射されて左方向に進み，点Pと点Oのそれぞれに到達するのに要する時間を t_3 [s]，t_4 [s] とすると，$t_3 = 3t_1$，$t_4 = 4t_1$ である。

以下において，点Pと点Qの間の位置 $x = X$ [m]（$1.5\,\mathrm{m} \leqq X \leqq 3\,\mathrm{m}$）の点の，時刻 t [s]（ただし，$t_3 < t < t_4$ とする）の変位 y [m] について考える。y [m] は，点Oから進行してきた入射波の変位 y' [m] と点Qから進行してきた反射波の変位 y'' [m] の重ね合わせとなり，$y = y' + y''$ で与えられる。

点Qで時刻 t [s] に生じる反射波について考える。点Qでの入射波，反射波の変位をそれぞれ y'_Q [m]，y''_Q [m] とすると，点Qでの全変位 y_Q [m] は $y_Q = y'_Q + y''_Q$ で与えられる。まず，点Qに固定端があるので $y_Q = 0\,\mathrm{m}$ である。一方，点Oから**図 3-2** の正弦波が入射波として進行してくるので，点Qでの入射波の変位 y'_Q [m] は

$$y'_Q = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \boxed{\text{(キ)}} \right)$$

である。よって，点Qでの反射波の変位 y''_Q [m] は

$$y''_Q = -y'_Q = -A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \boxed{\text{(キ)}} \right)$$

となる。このように，固定端では入射波による変位を打ち消すように反射波の変位が生じる。

反射波が点Qから位置 $x = X$ [m] に到達するのに要する時間は [(ク)] [s] である。よって，位置 $x = X$ [m] の時刻 t [s] での反射波の変位は

$$y'' = -A \sin \frac{2\pi}{T} \left[t - \left(\boxed{\text{(ケ)}} \right) \right]$$

となる。ある時刻の反射波の変位を x の関数として表したグラフは，その時刻の入射波の変位のグラフを $x > 3\,\mathrm{m}$ に延長し，[(コ)] ことによって得られることになる。

入射波と反射波の重ね合わせにより定常波が得られる。三角関数の公式

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

を用いると，変位 $y = y' + y''$ を

$$y = 2A\cos\left[\frac{2\pi}{T}(t-6)\right]\sin\left[\frac{2\pi}{T}\times\left(\boxed{\text{(サ)}}\right)\right]$$

と書き表すことができる。点Pと点Qの間（$1.5\,\mathrm{m} \leqq X \leqq 3\,\mathrm{m}$）に生ずる節の数は $\boxed{\text{(シ)}}$ 個である。（ただし，点Qの固定端も節の1つと数えるものとする。）

(キ) の解答群

⓪ 1　① 3　② 5　③ 6

④ 9　⑤ 10　⑥ 12　⑦ 15

(ク)，(ケ)，(サ) の解答群

⓪ X　① $2X$　② $3X$　③ $4X$　④ $3+X$

⑤ $6+2X$　⑥ $12+2X$　⑦ $3-X$　⑧ $6-2X$　⑨ $12-2X$

(コ) の解答群

⓪ 固定端Qを通る y 軸に平行な直線で線対称に折り返す

① 振幅を半分にしたのち，固定端Qを通る y 軸に平行な直線で線対称に折り返す

② 上下を反転させたのち，固定端Qを通る y 軸に平行な直線で線対称に折り返す

(シ) の解答群

⓪ 2　① 4　② 6　③ 8

④ 10　⑤ 12　⑥ 14　⑦ 16