イントロダクション（2次方程式の場合）

資料01

我々は <u>体のGalois理論</u>についてやる。何をやりたいのか？

2次方程式

$a, b, c \in \mathbb{Q}$ であるとし，$a \neq 0$ と仮定する。

2次方程式 $ax^2 + bx + c = 0$ について考えよう。

よりシンプルな方程式に帰着していく。

両辺を a でわると，$x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0$.

$p = \frac{b}{a}$，$q = \frac{c}{a}$ とおくと，$x^2 + px + q = 0$

$x = X - \frac{p}{2}$ とおくと，$X^2 \cancel{- pX} + \frac{p^2}{4} \cancel{+ pX} - \frac{p^2}{2} + q = 0$.

$X^2 \quad \frac{p^2}{4} + q = 0$.　$X^2 = \frac{p^2}{4} - q$

$X = \pm\sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$.

2次方程式は $X^2 = A$ 型の2次方程式に帰着される。

平方根で2次方程式は解ける。

$\boxed{\text{重要なポイント}}$ 0でない数の平方根のとり方は2通りある。

たとえば、2の平方根のとり方は $\pm\sqrt{2}$ の2つある。

-1の平方根のとり方は $\pm i$ の2つある。 $(i=\sqrt{-1})$

どちらをえらんでもよい。 ← あいまいな言い方 ← どういう意味か？

$\boxed{\text{どういう意味か}}$ (おおざっぱな説明)

加減乗除 ← 体の演算

$\sqrt{2}$ を $-\sqrt{2}$ でおきかえても四則演算がたもたれる。たとえば

どう定式化するか

これを

$$\underbrace{(1+\sqrt{2})(2-3\sqrt{2}) = 2-3\sqrt{2}+2\sqrt{2}-3\cdot 2 = -4-\sqrt{2}}$$

この中の $\sqrt{2}$ をすべて $-\sqrt{2}$ でおきかえても等式が成立

$$\overbrace{(1-\sqrt{2})(2+3\sqrt{2}) = 2+3\sqrt{2}-2\sqrt{2}-3\cdot 2 = -4+\sqrt{2}}$$

OK

これが体のGalois理論の基本的なアイデア！

体の言葉を使った定式化

体 K を $K=\mathbb{Q}$ と定める。　このLはKの拡大体の例になっている。

体 L を $L=\mathbb{Q}(\sqrt{2})=(\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含む最小の $(\mathbb{R}$ の部分$)$体$)$

$$=\{a+b\sqrt{2} \mid a,b\in\mathbb{Q}\}$$

こうなる。

㊟ $\mathbb{Q}(-\sqrt{2})=\mathbb{Q}(\sqrt{2})=\mathbb{Q}(\sqrt{2},-\sqrt{2})$

このσが $\sqrt{2}$ を $-\sqrt{2}$ でおきかえる操作になっている。

写像 $\sigma: L\to L$ を $\sigma(a+b\sqrt{2})=a-b\sqrt{2}$ $(a,b\in\mathbb{Q})$ と定める。

このとき、σ は体 L の(自己)同型写像になっている。

σ は全単射なのでこれを示すためには、σ が四則演算を保つことを示せば十分である。

さらに、σ は $a\in\mathbb{Q}$ について $\sigma(a)=a$ をみたす。

すなわち、σ は $K=\mathbb{Q}$ の元を動かさない。

(σ は体 L の体 K 上での自己同型であるという。)

これが後でGalois理論で使われる!

$\boxed{\text{問題 1-1}}$ 集合 $L=\{a+b\sqrt{2} \mid a,b\in\mathbb{Q}\}$ が $\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体になっていることを証明せよ.

$\mathbb{R}$ の部分体とは $\mathbb{R}$ の部分環で体になっているもののことである.

証明するべきこと:　　$L\supset\mathbb{Q}$, $L\ni\sqrt{2}$ は自明

(1)　L は $\mathbb{R}$ の部分環でかつ体になっている.

(2)　M を $\mathbb{R}$ の部分環でかつ $\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含むものとするとき, $L\subset M$.

体(でもよい)

この2つを示せば十分である. □

$\mathbb{Q}[\alpha]=(\mathbb{Q}$ と α を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分環$)$

$\boxed{\text{問題 1-2}}$ $\alpha,\beta\in\mathbb{R}$ のとき, $\mathbb{Q}(\alpha)=(\mathbb{Q}$ と α を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体$)$,

$\mathbb{Q}(\alpha,\beta)=(\mathbb{Q}$ と α,β を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体$)$ とおく. このとき,

$$\mathbb{Q}(\sqrt{2})=\mathbb{Q}(-\sqrt{2})=\mathbb{Q}(\sqrt{2},-\sqrt{2})$$

となることを示せ.

□

記号の約束 Lは体でKはその部分体とし，$\alpha_1,\dots,\alpha_r\in L$であるとする；

- $K[\alpha_1,\dots,\alpha_r]=$（$K$と$\alpha_1,\dots,\alpha_r$を含むLの最小の部分環）
- $K(\alpha_1,\dots,\alpha_r)=$（$K$と$\alpha_1,\dots,\alpha_r$を含むLの最小の部分体）

商体

かっこの形 ( ) と [ ] のちがいに注意

注意 $K[\alpha_1,\dots,\alpha_r]=K(\alpha_1,\dots,\alpha_r)$となることもある．

問題 1-3 $L=\mathbb{Q}(\sqrt{2})=\{a+b\sqrt{2}\mid a,b\in\mathbb{Q}\}$とおき，

写像$\sigma:L\to L$を$\sigma(a+b\sqrt{2})=a-b\sqrt{2}$ $(a,b\in\mathbb{Q})$と定める．

このとき，以下が成立することを示せ：$a\in\mathbb{Q}$，$\alpha,\beta\in L$のとき

(0) $\sigma(a)=a$．

(1) $\sigma(\alpha+\beta)=\sigma(\alpha)+\sigma(\beta)$．

(2) $\sigma(\alpha-\beta)=\sigma(\alpha)-\sigma(\beta)$．

(3) $\sigma(\alpha\beta)=\sigma(\alpha)\sigma(\beta)$．

(4) $\alpha\neq 0$のとき，$\sigma\left(\dfrac{1}{\alpha}\right)=\dfrac{1}{\sigma(\alpha)}$．

□

ここで動画をストップし，資料のつづきを見ることもやめて，問題を解いてみよ．

$\boxed{\text{解答例}}$

$\boxed{\text{問題 1-1}}$ 集合 $L=\{a+b\sqrt{2}\mid a,b\in\mathbb{Q}\}$ が $\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体になっていることを証明せよ.

$\mathbb{R}$ の部分体とは $\mathbb{R}$ の部分環で体になっているもののことである.

証明するべきこと: $L\supset\mathbb{Q}$, $L\ni\sqrt{2}$ は自明

(1) L は $\mathbb{R}$ の部分環でかつ体になっている.

(2) M を $\mathbb{R}$ の部分環でかつ $\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含むものとするとき, $L\subset M$.

この2つを示せば十分である. □

$\boxed{\text{解答例}}$ $\mathbb{Q}\subset L\subset\mathbb{R}$, $\sqrt{2}\in L$ は自明なので (1), (2) を示せば十分である.

(1) $\underbrace{0,1\in L \text{ でかつ, } \alpha,\beta\in L \text{ のとき, } \alpha+\beta,\ -\alpha,\ \alpha\beta\in L}_{\text{部分環}}$ でかつ $\underbrace{\alpha\neq 0 \Rightarrow \frac{1}{\alpha}\in L}_{\text{さらに体}}$

となることを示せばよい.

$\mathbb{Q}\subset L$ より, $0,1\in L$ は自明. $\alpha,\beta\in L$ を任意にとる.

α,β は $\alpha=a+b\sqrt{2}$, $\beta=c+d\sqrt{2}$ $(a,b,c,d\in\mathbb{Q})$ と表わされる.

つづく

$\alpha+\beta=(a+b\sqrt{2})+(c+d\sqrt{2})=(a+c)+(b+d)\sqrt{2}\in L.$

$-\alpha=-(a+b\sqrt{2})=(-a)+(-b)\sqrt{2}\in L.$

$\alpha\beta=(a+b\sqrt{2})(c+d\sqrt{2})=(ac+2bd)+(ad+bc)\sqrt{2}\in L.$

$\alpha=a+b\sqrt{2}\neq 0$ のとき、 分子分母に $a-b\sqrt{2}$ をかける

$$\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{a+b\sqrt{2}}=\frac{a-b\sqrt{2}}{a^2-2b^2}=\frac{a}{a^2-2b^2}+\frac{-b}{a^2-2b^2}\sqrt{2}\in L.$$

(2) M は $\mathbb{R}$ の部分環でかつ $\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含むものであるとする。

余談
($\mathbb{R}$ の部分体は常に $\mathbb{Q}$ を含む
$\mathbb{C}$ の部分体も常に $\mathbb{Q}$ を含む)

任意に $\alpha\in L$ をとる。 $\alpha=a+b\sqrt{2}$, $a,b\in\mathbb{Q}$ と書ける。

$a, b, \sqrt{2}\in M$ でかつ M が加法と乗法でとじていることより、

$\alpha=a+b\sqrt{2}\in M.$ これで $L\subset M$ が示された。 $\square$

$\mathbb{Q}[\alpha] = (\mathbb{Q}$ と α を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分環$)$ ← おまけの話

問題 1-2 $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$ のとき, $\mathbb{Q}(\alpha) = (\mathbb{Q}$ と α を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体$)$,

ここがちがう

$\mathbb{Q}(\alpha, \beta) = (\mathbb{Q}$ と α, β を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体$)$ とおく. このとき,

$$\mathbb{Q}(\sqrt{2}) = \mathbb{Q}(-\sqrt{2}) = \mathbb{Q}(\sqrt{2}, -\sqrt{2})$$

となることを示せ.

解答例 $\mathbb{Q}(\sqrt{2}) \overset{(1)}{\subset} \mathbb{Q}(-\sqrt{2}) \overset{(2)}{\subset} \mathbb{Q}(\sqrt{2}, -\sqrt{2}) \overset{(3)}{\subset} \mathbb{Q}(\sqrt{2})$ を示せばよい.

(1) $-1 \in \mathbb{Q} \subset \mathbb{Q}(-\sqrt{2})$, $-\sqrt{2} \in \mathbb{Q}(-\sqrt{2})$ と $\mathbb{Q}(-\sqrt{2})$ が乗法でとじていることより,

$\sqrt{2} = (-1)(-\sqrt{2}) \in \mathbb{Q}(-\sqrt{2})$.

$\mathbb{Q}(\sqrt{2})$ は $\mathbb{Q}$ と $\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の部分体の中で最小であるので $\mathbb{Q}(\sqrt{2}) \subset \mathbb{Q}(-\sqrt{2})$.

(2) $\mathbb{Q}(\sqrt{2}, -\sqrt{2})$ は $\mathbb{Q}, \pm\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の部分体で,

$\mathbb{Q}(-\sqrt{2})$ が $\mathbb{Q}, -\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の部分体の中で最小であることより $\mathbb{Q}(-\sqrt{2}) \subset \mathbb{Q}(\sqrt{2}, -\sqrt{2})$.

(3) $\mathbb{Q}(\sqrt{2})$ が $\mathbb{Q}$ と $\pm\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の部分体で, $-\sqrt{2} = (-1)\sqrt{2} \in \mathbb{Q}(\sqrt{2})$

$\mathbb{Q}(\sqrt{2}, -\sqrt{2})$ が $\mathbb{Q}, \pm\sqrt{2}$ を含む $\mathbb{R}$ の部分体の中で最小であることより $\mathbb{Q}(\sqrt{2}, -\sqrt{2}) \subset \mathbb{Q}(\sqrt{2})$. □

$\boxed{\text{問題 1-3}}$ $L = \mathbb{Q}(\sqrt{2}) = \{a + b\sqrt{2} \mid a, b \in \mathbb{Q}\}$ とおき,

写像 $\sigma : L \to L$ を $\sigma(a+b\sqrt{2}) = a - b\sqrt{2}$ $(a, b \in \mathbb{Q})$ と定める.

このとき, 以下が成立することを示せ: $a \in \mathbb{Q}$, $\alpha, \beta \in L$ のとき

(0) $\sigma(a) = a$.

(1) $\sigma(\alpha+\beta) = \sigma(\alpha) + \sigma(\beta)$.

(2) $\sigma(\alpha-\beta) = \sigma(\alpha) - \sigma(\beta)$.

(3) $\sigma(\alpha\beta) = \sigma(\alpha)\sigma(\beta)$.

(4) $\alpha \neq 0$ のとき, $\sigma\left(\frac{1}{\alpha}\right) = \frac{1}{\sigma(\alpha)}$. □

(σ は L の $\mathbb{Q}$ 上での自己同型になっている.)

$\boxed{\text{解答例}}$

(0) $\sigma(a) = \sigma(a + 0\sqrt{2}) = a - 0\sqrt{2} = a$

$\alpha = a + b\sqrt{2}$, $\beta = c + d\sqrt{2}$, $a, b, c, d \in \mathbb{Q}$ と書ける. (この a は上の a とは別)

(1,2) $\sigma(\alpha \pm \beta) = \sigma((a \pm c) + (b \pm d)\sqrt{2}) = (a \pm c) - (b \pm d)\sqrt{2}$

$\sigma(\alpha) \pm \sigma(\beta) = (a - b\sqrt{2}) \pm (c - d\sqrt{2})$ //

(3) $\sigma(\alpha\beta) = \sigma((ac + 2bd) + (ad + bc)\sqrt{2}) = (ac + 2bd) - (ad + bc)\sqrt{2}$

$\sigma(\alpha)\sigma(\beta) = (a - b\sqrt{2})(c - d\sqrt{2}) = (ac + 2bd) - (ad + bc)\sqrt{2}$ //

(4) $\alpha = a + b\sqrt{2} \neq 0$ のとき,

$$\sigma\left(\frac{1}{\alpha}\right) = \sigma\left(\frac{a}{a^2-2b^2} + \frac{-b}{a^2-2b^2}\sqrt{2}\right) = \frac{a}{a^2-2b^2} - \frac{-b}{a^2-2b^2}\sqrt{2}$$

$$\frac{1}{\sigma(\alpha)} = \frac{1}{a - b\sqrt{2}} = \frac{a + b\sqrt{2}}{a^2 - 2b^2} = \frac{a}{a^2-2b^2} + \frac{b}{a^2-2b^2}\sqrt{2}$$

OK

$\boxed{\text{(4)の別証}}$ (0), (3) $\Rightarrow$ (4) を示す.

(0) $\sigma(a)=a \quad (a\in\mathbb{Q})$, (3) $\sigma(\alpha\beta)=\sigma(\alpha)\sigma(\beta) \quad (\alpha,\beta\in L)$ から

(4) $\sigma\left(\frac{1}{\alpha}\right)=\frac{1}{\sigma(\alpha)} \quad (\alpha\in L,\ \alpha\neq 0)$ を示そう.

$$\left.\begin{array}{l} \alpha\cdot\frac{1}{\alpha}=1\in\mathbb{Q} \text{ より, } \sigma\left(\alpha\cdot\frac{1}{\alpha}\right)=\sigma(1)\overset{(0)}{=}1. \\ \text{(3) より, } \sigma\left(\alpha\cdot\frac{1}{\alpha}\right)=\sigma(\alpha)\sigma\left(\frac{1}{\alpha}\right). \end{array}\right\} \text{ゆえに, } \sigma(\alpha)\sigma\left(\frac{1}{\alpha}\right)=1.$$

したがって, $\sigma\left(\frac{1}{\alpha}\right)=\frac{1}{\sigma(\alpha)}$.

$\square$

3次方程式 (の解法に向けて)

問題1-4 $x^3+y^3+z^3-3xyz$ を x,y,z の1次式の積で表せ.

ヒント $\omega = e^{2\pi i/3} = \dfrac{-1+\sqrt{3}i}{2}$ を使ってよい.

実際には $\omega^2+\omega+1=0$, $\omega^3=1$ のみを使う. □

ここで動画をストップして,資料もこの先を見ずに問題を解いてみよ.

$\boxed{\text{問題 1-4 の解答例}}$ 記号 $\omega = e^{2\pi i/3} = \dfrac{-1+\sqrt{-3}}{2}$ （このとき、$\omega^2+\omega+1=0$, $\omega^3=1$, $\omega \neq 1$）

$\boxed{\text{解答例}}$ 次を地道な計算で示せる：

$$(x+y+z)(x^2+y^2+z^2-xy-xz-yz) = x^3+y^3+z^3-3xyz.$$

さらに，

$$
\begin{aligned}
&(x+\omega y+\omega^2 z)(x+\omega^2 y+\omega z) \\
&= \left\{
\begin{array}{ccccc}
x^2 & + & \omega^2 xy & + & \omega xz \\
+\omega xy & + & y^2 & + & \omega^2 yz \\
+\omega^2 xz & + & \omega yz & + & z^2
\end{array}
\right. \\
&= x^2+y^2+z^2-xy-xz-yz.
\end{aligned}
$$

$\omega^3=1$ を使う

$\omega^2+\omega+1=0$ より $\omega^2+\omega=-1$ を使う

したがって，

$$x^3+y^3+z^3-3xyz = (x+y+z)(x+\omega y+\omega^2 z)(x+\omega^2 y+\omega z). \qquad \square$$

別の解答例

$x^3+y^3+z^3-3xyz=(x+y+z)(x^2+y^2+z^2-xy-xz-yz)$ である.

$x^2+y^2+z^2-xy-xz-yz=x^2-(y+z)x+y^2-yz+z^2=0$ を x について解こう.

$D=(y+z)^2-4(y^2-yz+z^2)=y^2+2yz+z^2-4y^2+4yz-4z^2$

$=-3(y^2-2yz+z^2)=-3(y-z)^2$,

$\therefore\ \pm\sqrt{D}=(y-z)\sqrt{-3},\ (-y+z)\sqrt{-3}$,

$$\begin{cases} \omega=\dfrac{-1+\sqrt{-3}}{2} \\ \omega^2=\dfrac{-1-\sqrt{-3}}{2} \end{cases}$$

$x=\dfrac{y+z+(y-z)\sqrt{-3}}{2},\ \dfrac{y+z+(-y+z)\sqrt{-3}}{2}$

$x=-\dfrac{-1-\sqrt{-3}}{2}y-\dfrac{-1+\sqrt{-3}}{2}z,\ -\dfrac{-1+\sqrt{-3}}{2}y-\dfrac{-1-\sqrt{-3}}{2}z$

$x=-\omega^2y-\omega z,\ -\omega y-\omega^2z$.

$\therefore\ x^2+y^2+z^2-xy-xz-yz=(x+\omega y+\omega^2z)(x+\omega^2y+\omega z)$,

$\therefore\ x^3+y^3+z^3-3xyz=(x+y+z)(x+\omega y+\omega^2z)(x+\omega^2y+\omega z)$, $\square$

$\boxed{\text{余談}}$ ($x^3+y^3+z^3-3xyz$ の行列式表示)

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ z & x & y \\ y & z & x \end{vmatrix} = x^3+y^3+z^3-3xyz$$

$$\begin{array}{cc|ccc|cc} & & x & y & z & & \\ & y & z & x & y & z & \\ z & x & y & z & x & y & z \end{array} = \left\{ \begin{array}{l} xxx + yyy + zzz \\ -xyz - yzx - zxy \end{array} \right\} = x^3+y^3+z^3-3xyz.$$

以上のように見れば 3×3 を $n\times n$ に一般化できる。

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},\quad \Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \Lambda^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

とおくと、$xE + y\Lambda + z\Lambda^2 = \begin{bmatrix} x & y & z \\ z & x & y \\ y & z & x \end{bmatrix}$.

Λ の対角化: $U = \dfrac{1}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 \\ 1 & \omega^2 & \omega \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \omega & 0 \\ 0 & 0 & \omega^2 \end{bmatrix}$ とおくと、$\Lambda U = UD$

でかつ $U^* = U^{-1}$ となることを示せる。(練習: 示してみよ!)

ゆえに $\Lambda = UDU^{-1}$. したがって、$xE + y\Lambda + z\Lambda^2 = U(xE + yD + zD^2)U^{-1}$.

$\therefore\ |xE + y\Lambda + z\Lambda^2| = |xE + yD + zD^2| = (x+y+z)(x+\omega y+\omega^2 z)(x+\omega^2 y+\omega z)$.

もう少し見易く書くと,

$$xE + y\Lambda + z\Lambda^2 = U(xE + yD + zD^2)U^{-1}, \quad D = \begin{bmatrix} 1 & & \\ & \omega & \\ & & \omega^2 \end{bmatrix}, \quad D^2 = \begin{bmatrix} 1 & & \\ & \omega^2 & \\ & & \omega \end{bmatrix}$$

$$= U\left(\begin{bmatrix} x & & \\ & x & \\ & & x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y & & \\ & \omega y & \\ & & \omega^2 y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z & & \\ & \omega^2 z & \\ & & \omega z \end{bmatrix}\right)U^{-1}$$

$$= U\begin{bmatrix} x+y+z & & \\ & x+\omega y+\omega^2 z & \\ & & x+\omega^2 y+\omega z \end{bmatrix}U^{-1}.$$

$$\therefore \left|xE + y\Lambda + z\Lambda^2\right| = \begin{vmatrix} x+y+z & & \\ & x+\omega y+\omega^2 z & \\ & & x+\omega^2 y+\omega z \end{vmatrix}$$

$$= (x+y+z)(x+\omega y+\omega^2 z)(x+\omega^2 y+\omega z).$$

練習 以上の計算を 2×2, 4×4, n×n に一般化せよ. □

解答例の解説を来週やる問題

来週まで楽しんで考えてください。

問題1-5 $\alpha = \sqrt[3]{2} = 2^{\frac{1}{3}}$, $L = \{a + b\alpha + c\alpha^2 \mid a, b, c \in \mathbb{Q}\}$ とおく。

L が $\mathbb{Q}$, α を含む $\mathbb{R}$ の最小の部分体になっていることを示せ。 □

ヒント $\mathbb{Q}(\sqrt{2}) = \{a + b\sqrt{2} \mid a, b \in \mathbb{Q}\}$ の証明は問題1-1でやった。

それと同じようにして、$\mathbb{Q}(\sqrt[3]{2}) = \{a + b\alpha + c\alpha^2 \mid a, b, c \in \mathbb{Q}\}$ を示せばよい。

そのとき、$\beta = a + b\alpha + c\alpha^2 \neq 0$ に対する $\frac{1}{\beta}$ の分母の有理化が必要になる。 □

問題1-6 x に関する3次方程式 $x^3 - 3px + q = 0$ の解法を作れ。 □

ヒント $p = yz$, $q = y^3 + z^3$ とできたらどうなるか? $\longrightarrow$ 問題1-4. □

問題1-7 $x^3 + 2x - 2 = 0$ をみたす正の実数 $x = \alpha$ が存在することを示せ。

さらに α の具体的な形を求めよ ($\sqrt{\ }$ と $\sqrt[3]{\ }$ を使って表せ)。 □

来週の資料を見る前に以上の問題を解いておいてください。