

## 第5章 問題解答例

### 問題 5.1

小麦畑で、土壌表面からの高さ2 mにおける風速が5 m/sの場合、群落上端での風速はどれくらいか。小麦の高さを60 cmとする。

### 解答

摩擦速度 $u^*$ は接地境界層内で一定であるので、地上高2 mでの風速5 m/sから摩擦速度 $u^*$ を求めるが、地面修正量と粗度長は分からず、群落高しか分からない。そこで、式5.2と式5.3を用いて地面修正量 $d$ と粗度長 $z_M$ を求める。

地面修正量 $d$ は式5.2より、

$$d = 0.65h = 0.65 \times 0.60 \text{ m} = 0.39 \text{ m}$$

である。粗度長 $z_M$ は式5.3より、

$$z_M = 0.1h = 0.1 \times 0.60 \text{ m} = 0.06 \text{ m}$$

である。これらより、式5.1を変形して摩擦速度 $u^*$ を求める。

$$u(z) = \frac{u^*}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M}$$
$$\therefore u^* = \frac{0.4u}{\ln \left( \frac{z-d}{z_M} \right)}$$

上式に、 $u = 5 \text{ m/s}$ 、 $z = 2 \text{ m}$ 、先に求めた $d$ と $z_M$ を代入して、

$$u^* = \frac{0.4u}{\ln \left( \frac{z-d}{z_M} \right)}$$
$$= \frac{0.4 \times 5 \text{ m/s}}{\ln \left( \frac{2 \text{ m} - 0.39 \text{ m}}{0.06 \text{ m}} \right)}$$
$$= 0.608 \text{ m/s}$$

となる。求める群落上端の風速は式5.1において $z = 0.60 \text{ m}$ の風速であるので、式5.1に $z = 0.60 \text{ m}$ と先に求めた $d$ 、 $z_M$ 、 $u^*$ を代入して、

$$u(z) = \frac{u^*}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M}$$
$$u(0.6) = \frac{0.608 \text{ m/s}}{0.4} \ln \left( \frac{0.6 \text{ m} - 0.39 \text{ m}}{0.06 \text{ m}} \right)$$
$$= 1.904 \text{ m/s}$$

求める群落上端での風速は1.904 m/sである。

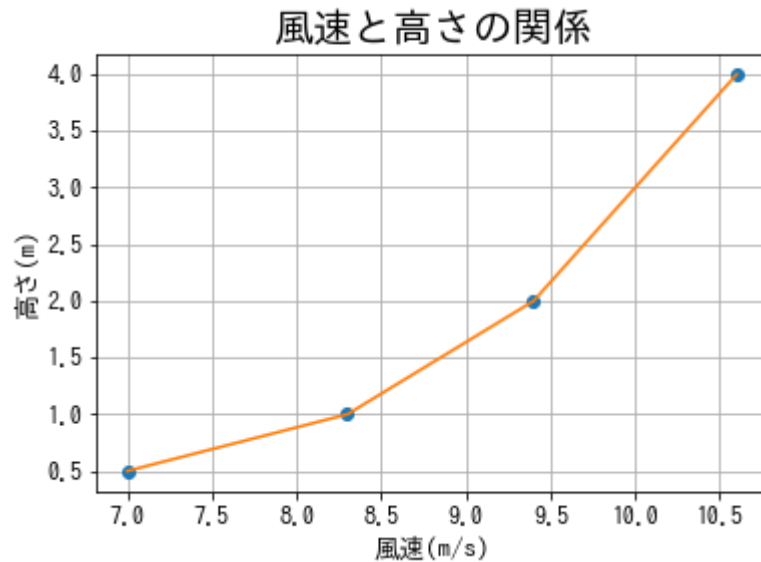
## 問題 5.2

下の表を用いて、 $u^*$  と  $z_M$  を求めよ。 $d = 0.08$  m とする。式5.2や式5.3を使わず、作図や曲線の当てはめによって求めよ。

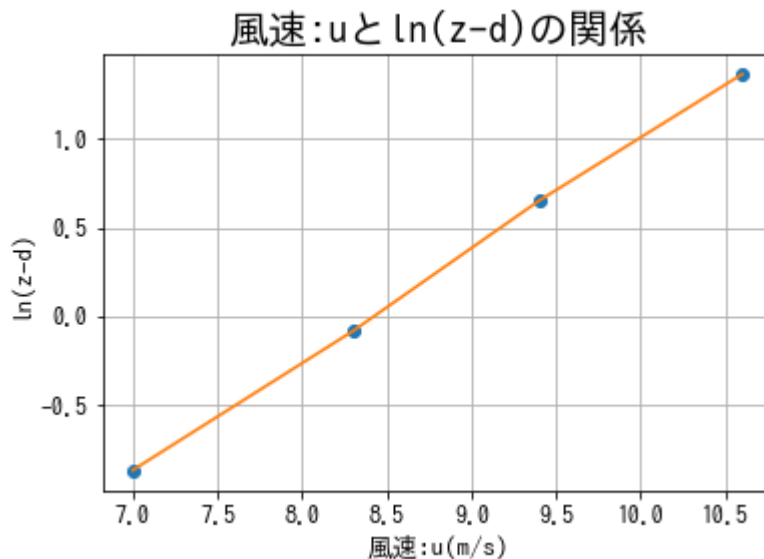
高さ (m)	風速 (m/s)
0.5	7.0
1.0	8.3
2.0	9.4
4.0	10.6

## 解答

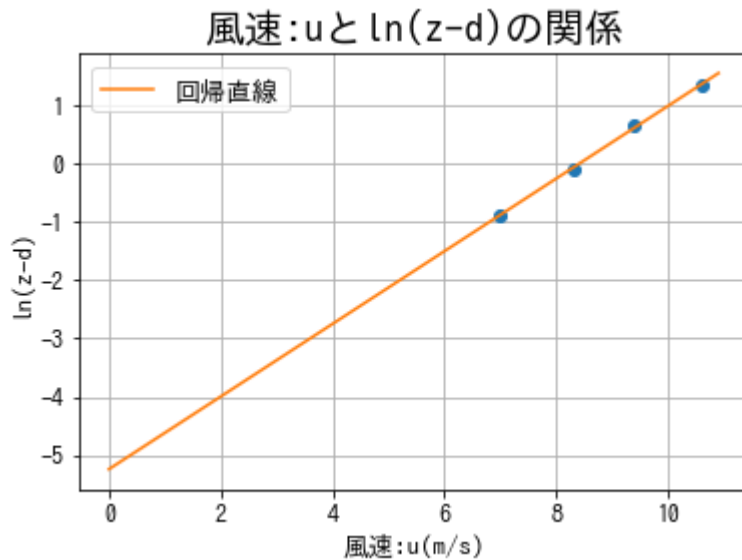
まずは、高さ と 風速 の関係を図示する。



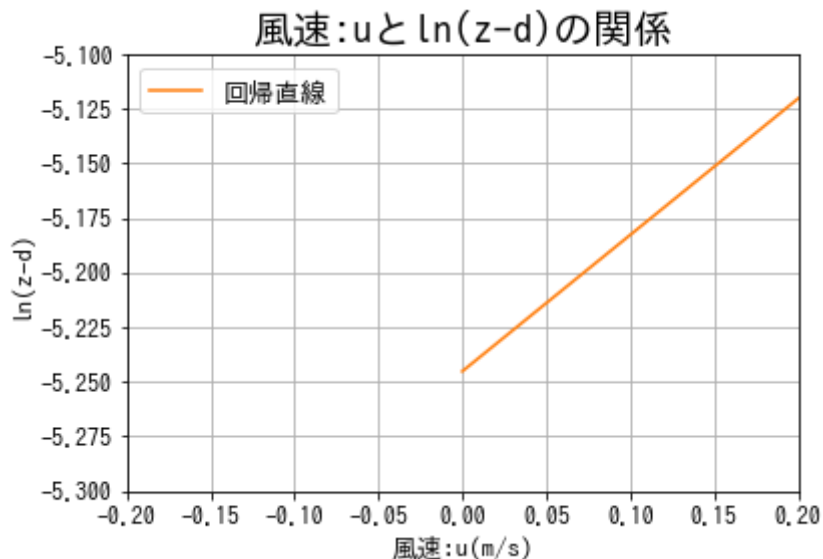
次に、風速  $u$  に対する  $\ln(z-d)$  を図示する。



風速に対する $\ln(z-d)$ の回帰直線を描き、 $u=0$ まで外挿する。



$(u, \ln(z-d)) = (0, 5.2)$ の周辺を拡大してみる。



グラフから $u=0$ のとき $\ln(z-d) = -5.245$ なので、 $z-d = e^{-5.245}$ である。式5.1において、 $u=0$ とおくと、 $u^* \neq 0$ であるため、

$$\begin{aligned}
 u(z) &= \frac{u^*}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M} = 0 \\
 \therefore \ln \frac{z-d}{z_M} &= 0 \\
 \therefore \frac{z-d}{z_M} &= 1 \\
 \therefore z_M &= z-d = e^{-5.245} = 0.00527
 \end{aligned}$$

よって、 $z_M = 0.00527$  mである。

続いて、式5.1を変形して摩擦速度 $u^*$ を求める。

$$u(z) = \frac{u^*}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M}$$

$$\therefore u^* = \frac{0.4u}{\ln \left( \frac{z-d}{z_M} \right)}$$

この式にそれぞれの高さ:z mと風速:u m/sを代入して、 $u^*$ を求めると次の表になる。

	高さ(m)	風速(m/s)	$u^*(m/s)$
0	0.5	7.0	0.639602
1	1.0	8.3	0.643181
2	2.0	9.4	0.637553
3	4.0	10.6	0.641325

摩擦係数は高さにかかわらず一定なので、平均すると、 $u^* = 0.640$  m/sである。

$u^*$ を求める別解

$$X = \frac{1}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M}$$

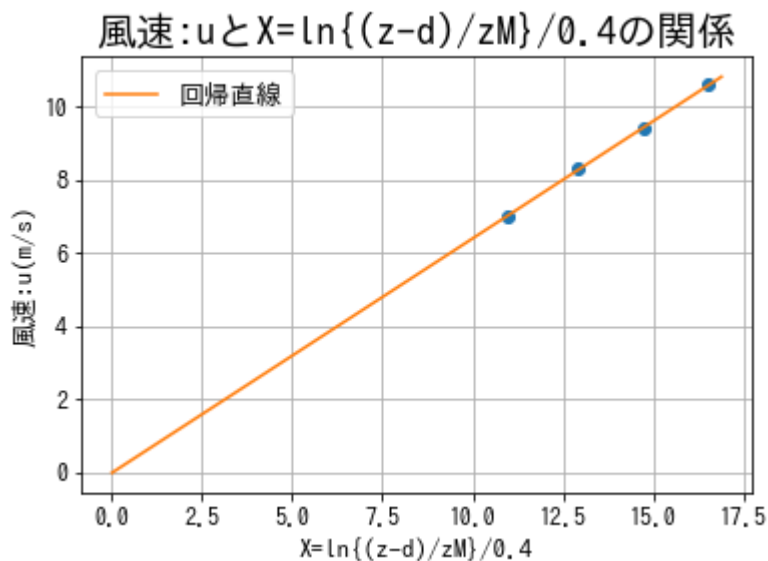
とすると、式5.1は

$$u(z) = \frac{u^*}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M}$$

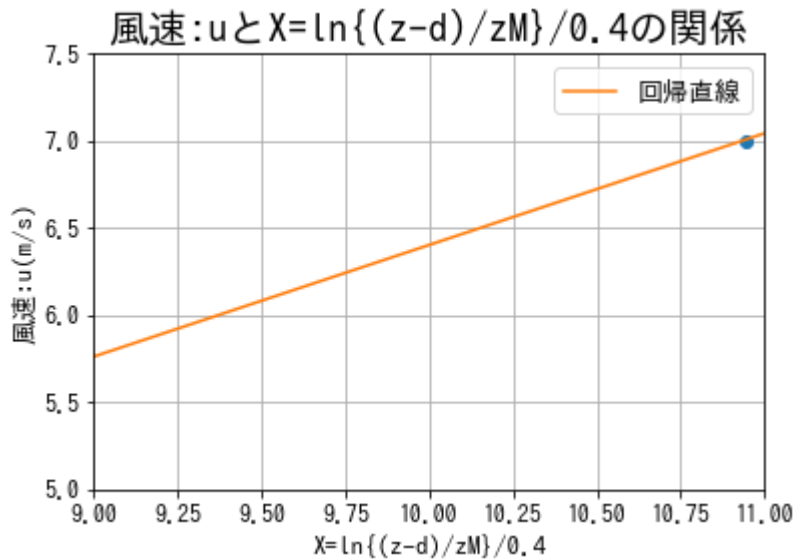
$$= u^* \times \frac{1}{0.4} \ln \frac{z-d}{z_M}$$

$$= u^* X$$

とおけ、 $z_M$ 、 $d$ は定数であるから、 $u(z)$ は $X$ に比例し、 $u^*$ はその傾きである。 $(X, u(z))$ を図示し、原点を通る回帰直線を描画して傾き $u^*$ を求める。



$(X, u) = (10, 6.5)$ の周辺を拡大してみる。



グラフより、 $(X, u) = (10, 6.4)$ であるため、 $u^* = 0.64$  m/sであることがわかる。なお、計算で傾きを求めると、 $u^* = 0.640$  m/sである。

### 問題 5.3

問題 5.1で、地面から10 cmの高さでの風速はどれくらいか。

### 解答

群落内において風速 $u$ は群落の上端から地面に向かって90%の範囲は式5.4で表せ、地面から群落の上端に向かって10%の範囲では式5.1で表せる。地面から高さ10 cmは群落上端（60 cm）から地面に向かって90%の中に入る。そこで、式5.4を用いて解く。式5.4に問題5.1で解いた $u(0.6) = 1.904$  m/s、出題内容より $z = 0.1$  mと $h = 0.6$  m、さらに、表5.2より小麦の減衰係数 $a = 2.5$ を代入する。

$$\begin{aligned}
 u(z) &= u(h) \exp \left[ a \left( \frac{z}{h} - 1 \right) \right] \\
 u(0.1) &= u(0.6) \exp \left[ a \left( \frac{z}{h} - 1 \right) \right] \\
 &= 1.904 \text{ m/s} \times \exp \left[ 2.5 \times \left( \frac{0.1 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} - 1 \right) \right] \\
 &= 0.237 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

したがって、求める風速は0.237 m/sである。