

水質予測シミュレーションモデルの計算条件 及び現況再現計算結果について

1. 計算条件

(1) 気象条件

アメダス諏訪、長野地方気象台及び気象庁局地数値予報（LSM）における気象データを図1-1に示す。

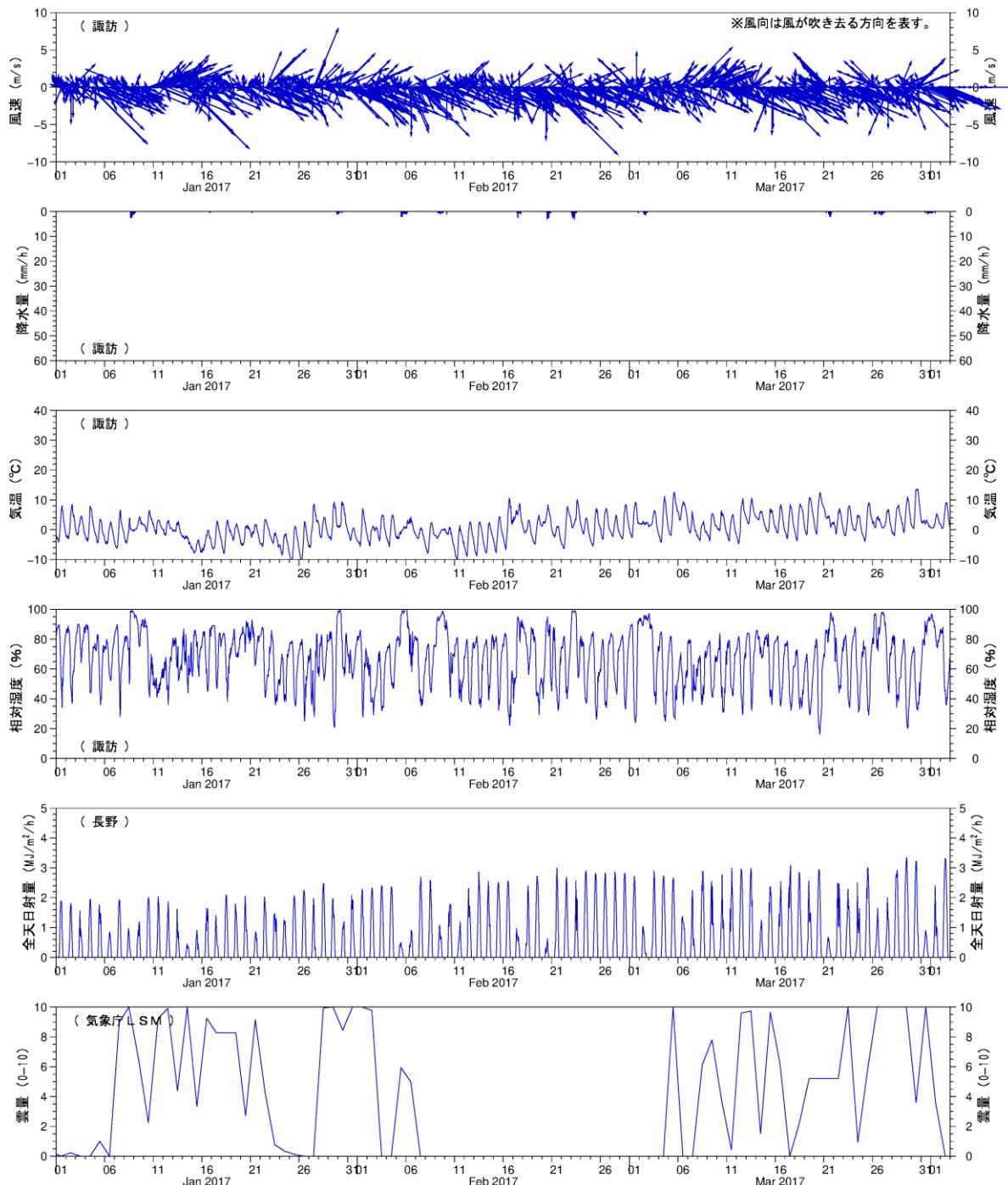


図 1-1(1) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2017年1月～3月)

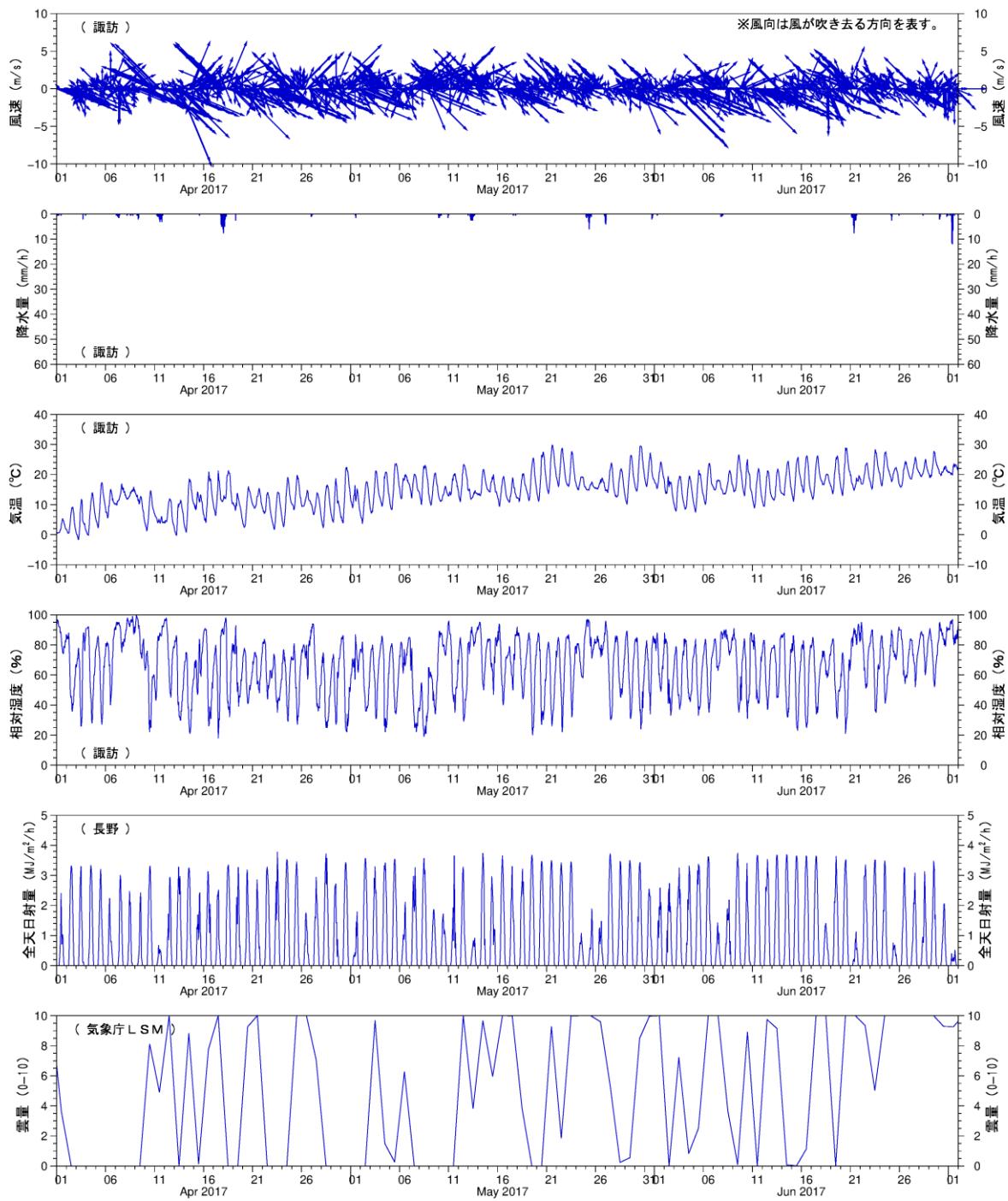


図 1-1(2) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2017 年 4 月～6 月)

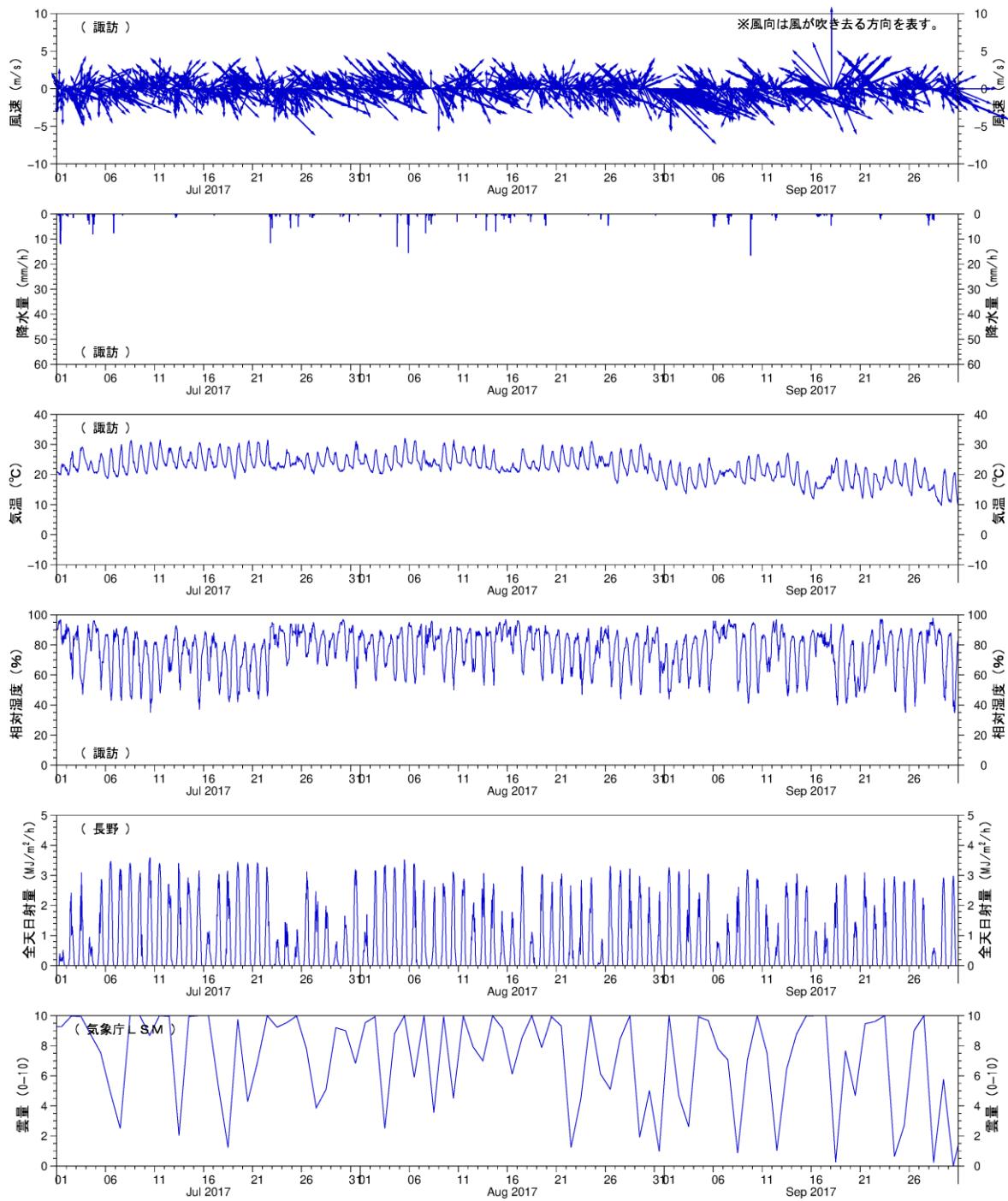


図 1-1(3) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2017 年 7 月～9 月)

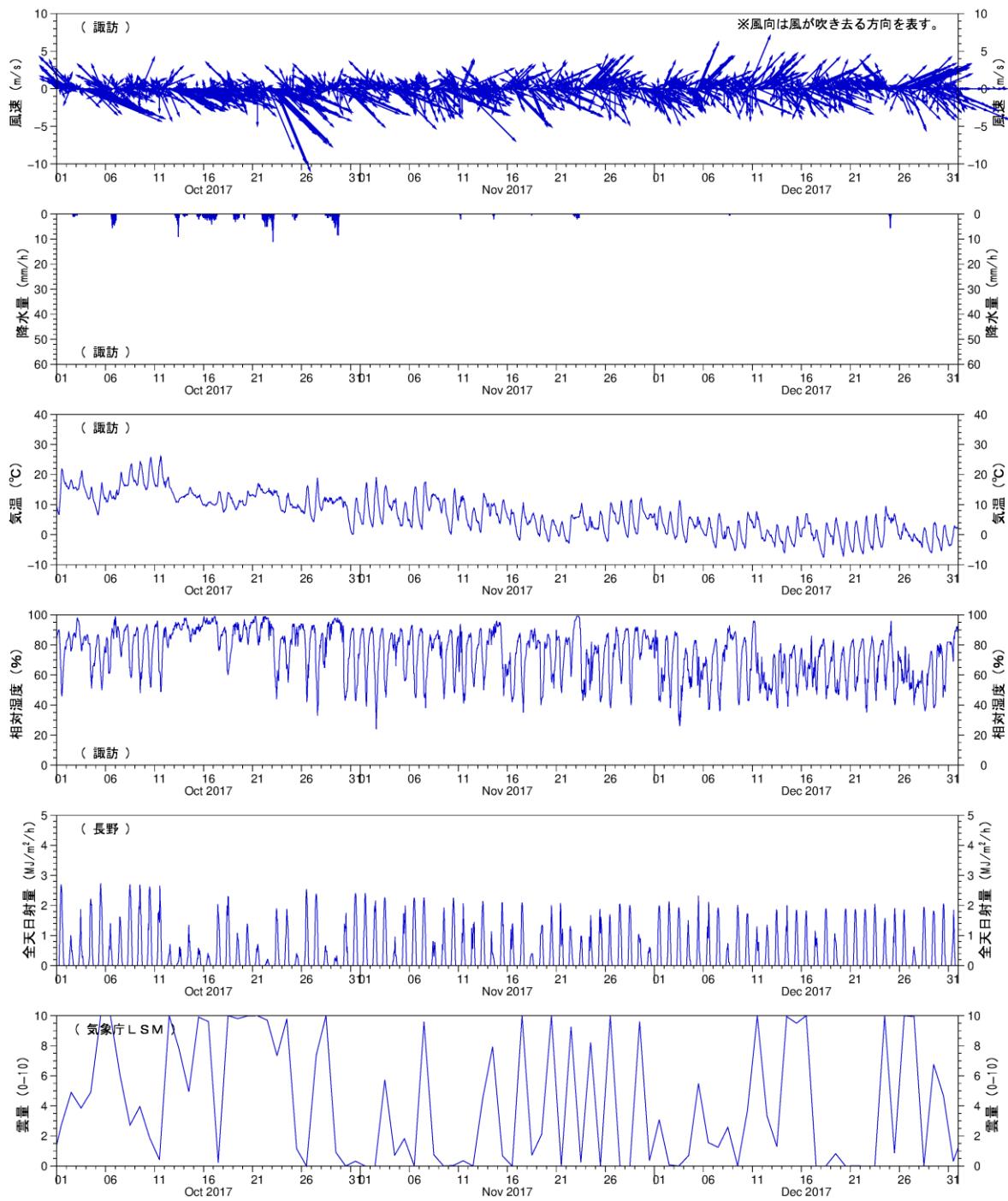


図 1-1(4) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2017 年 10 月～12 月)

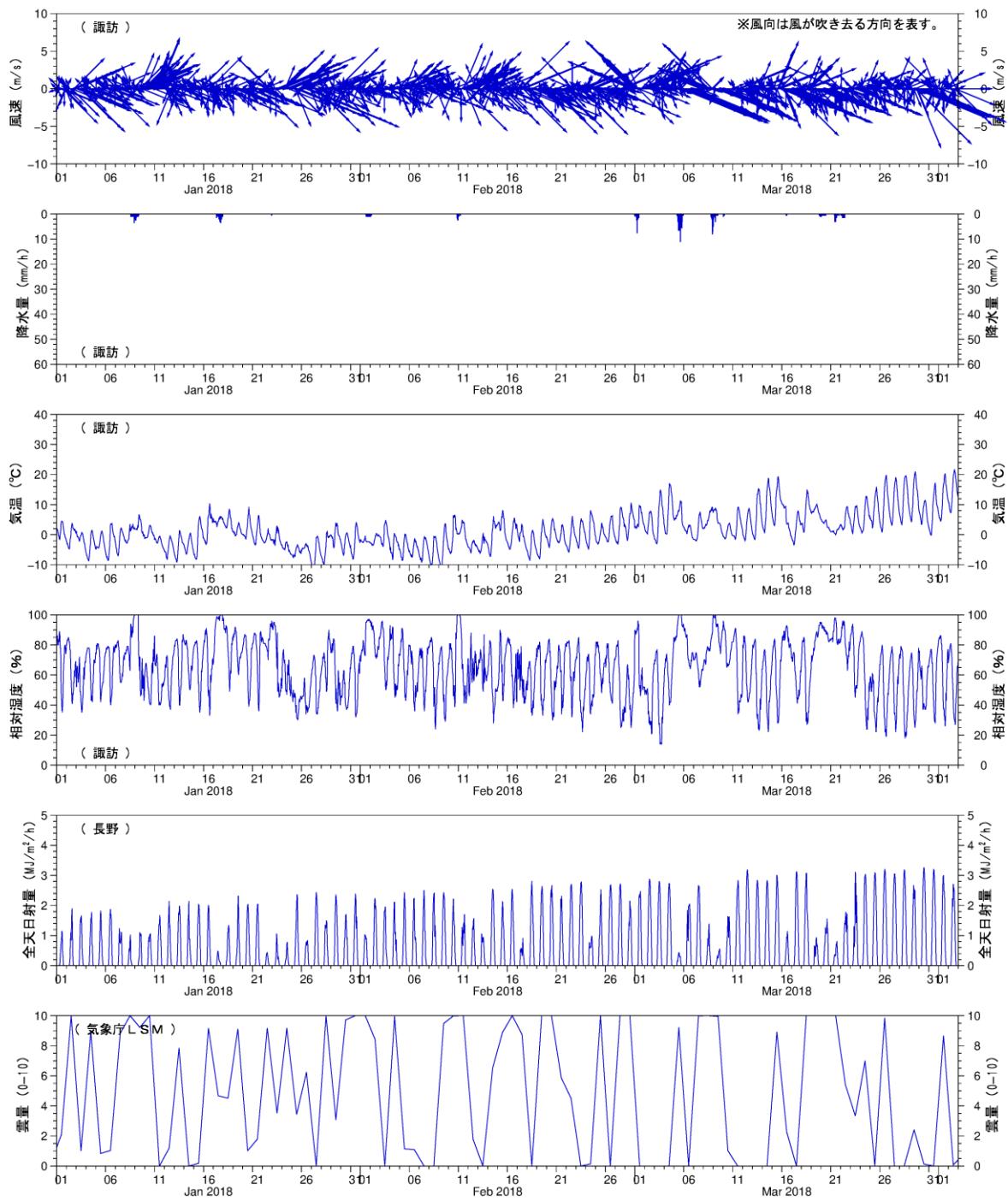


図 1-1(5) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2018年1月～3月)

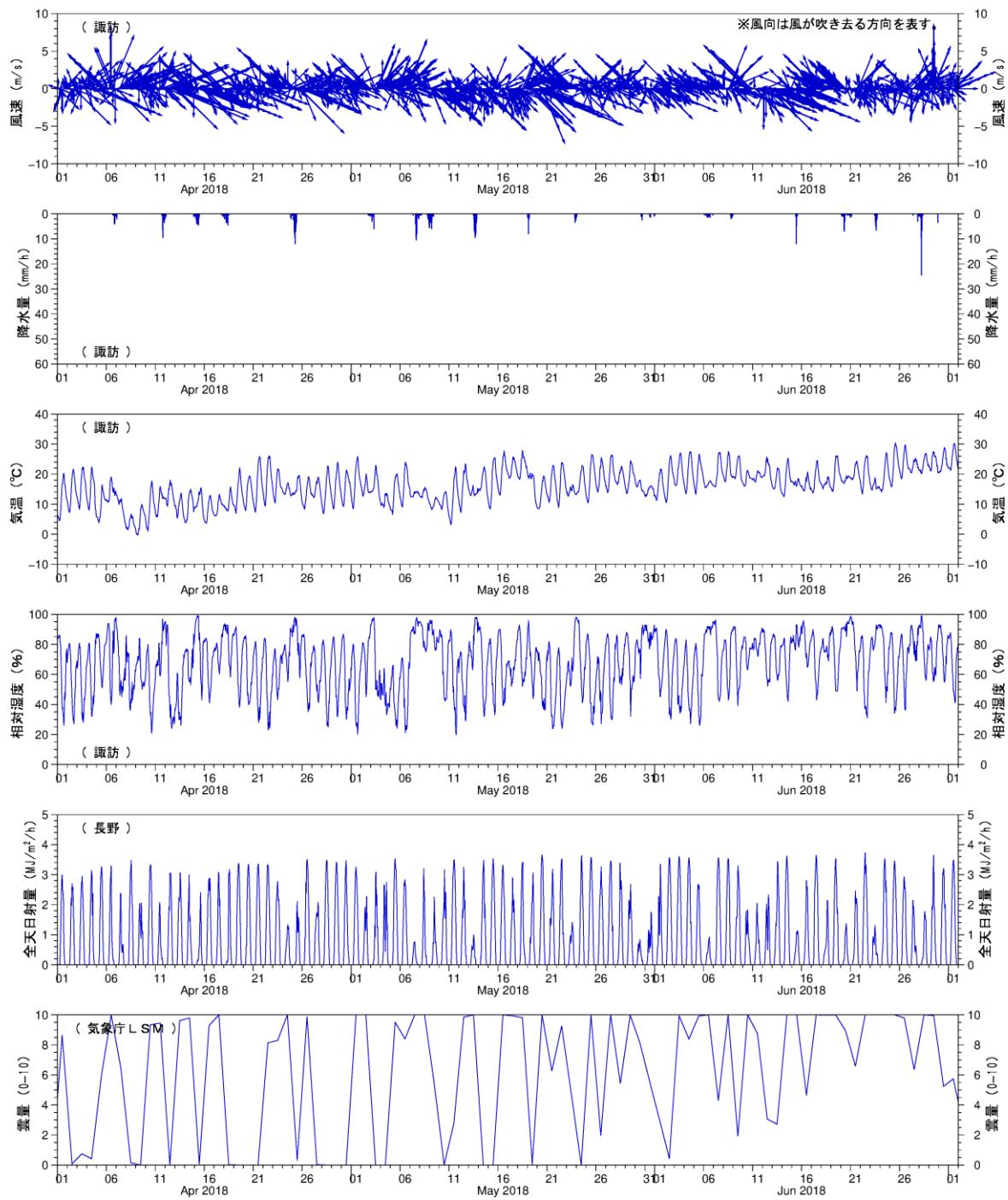


図 1-1(6) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2018 年 4 月～6 月)

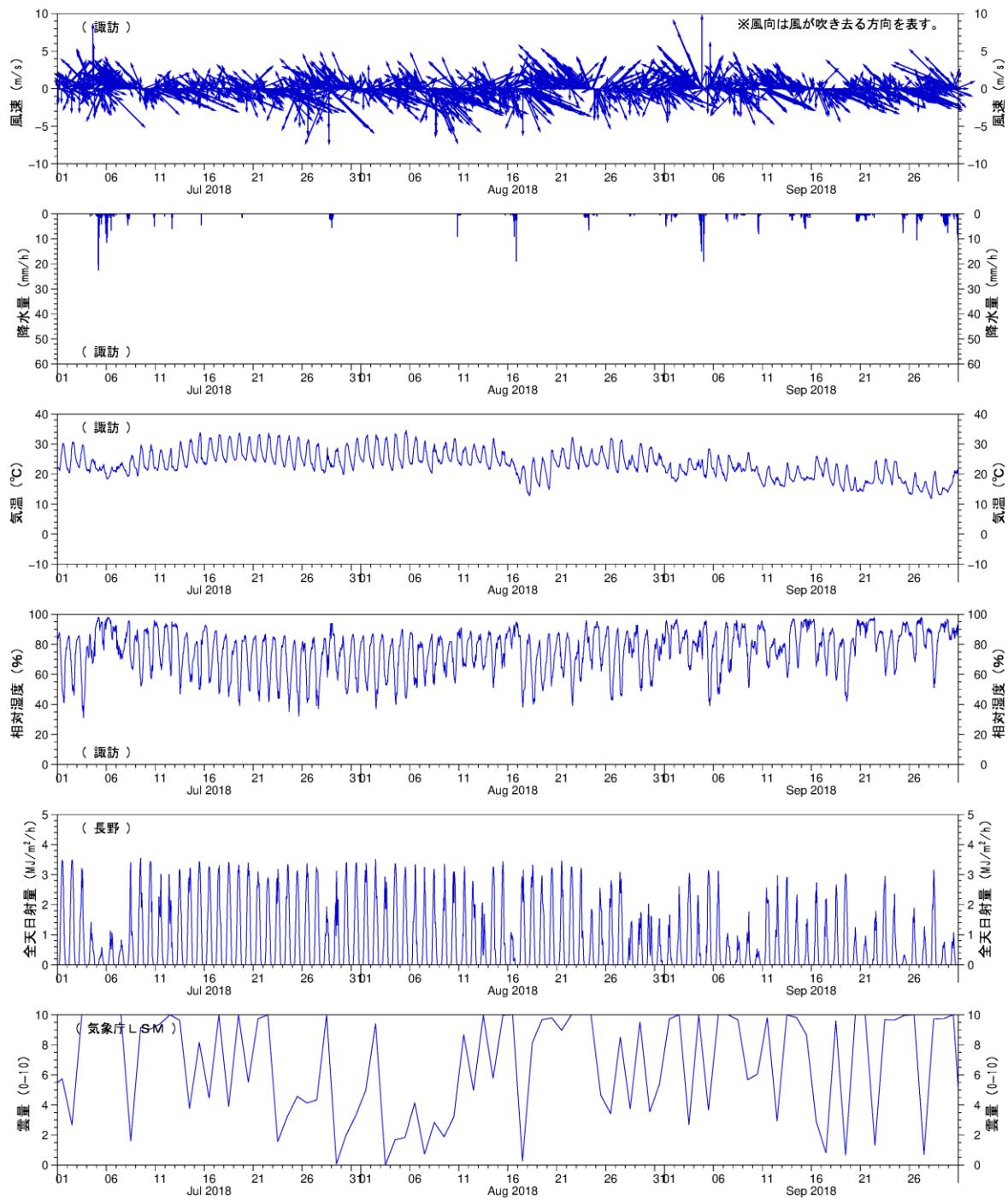


図 1-1(7) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2018年7月~9月)

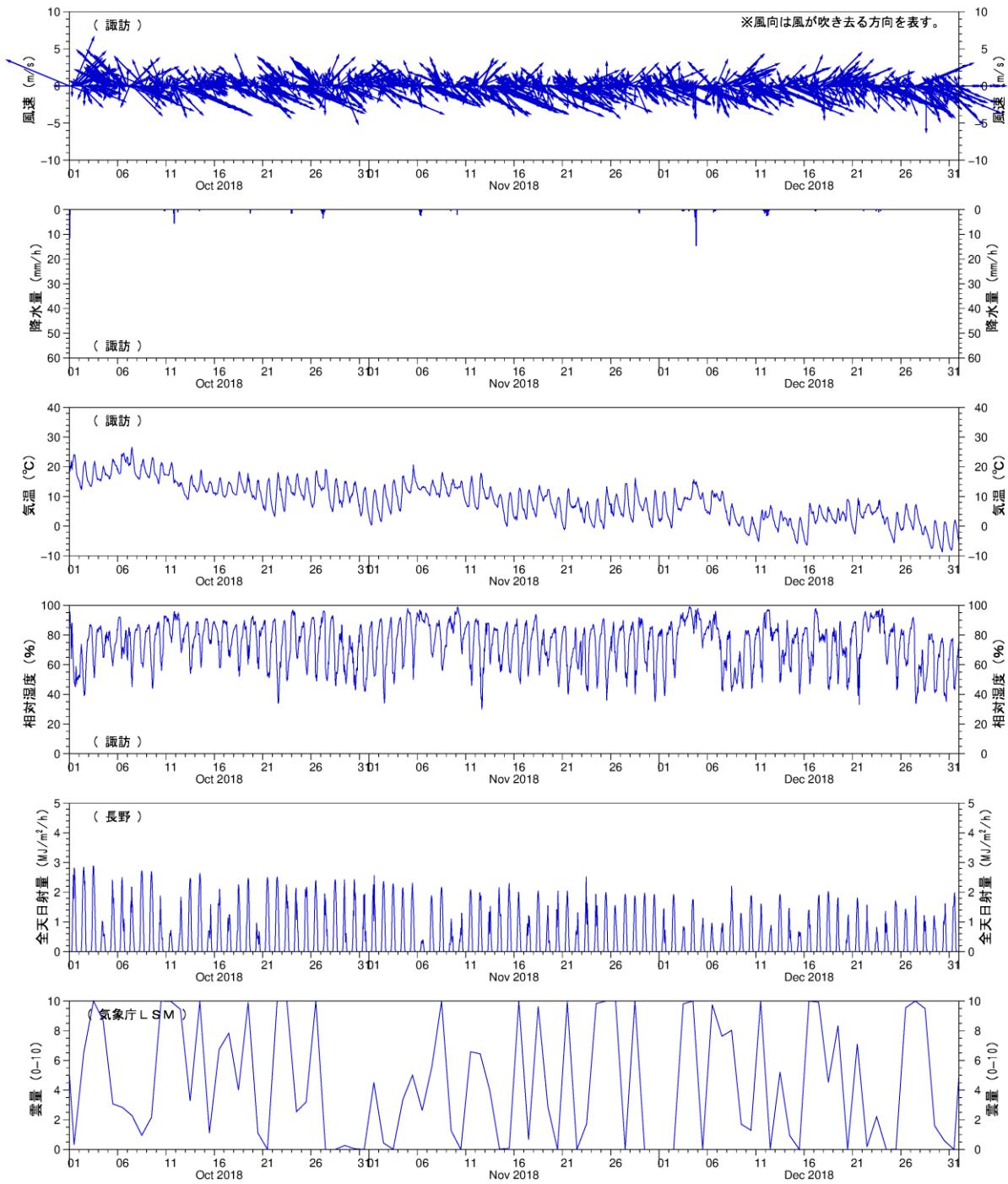


図 1-1(8) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2018 年 10 月～12 月)

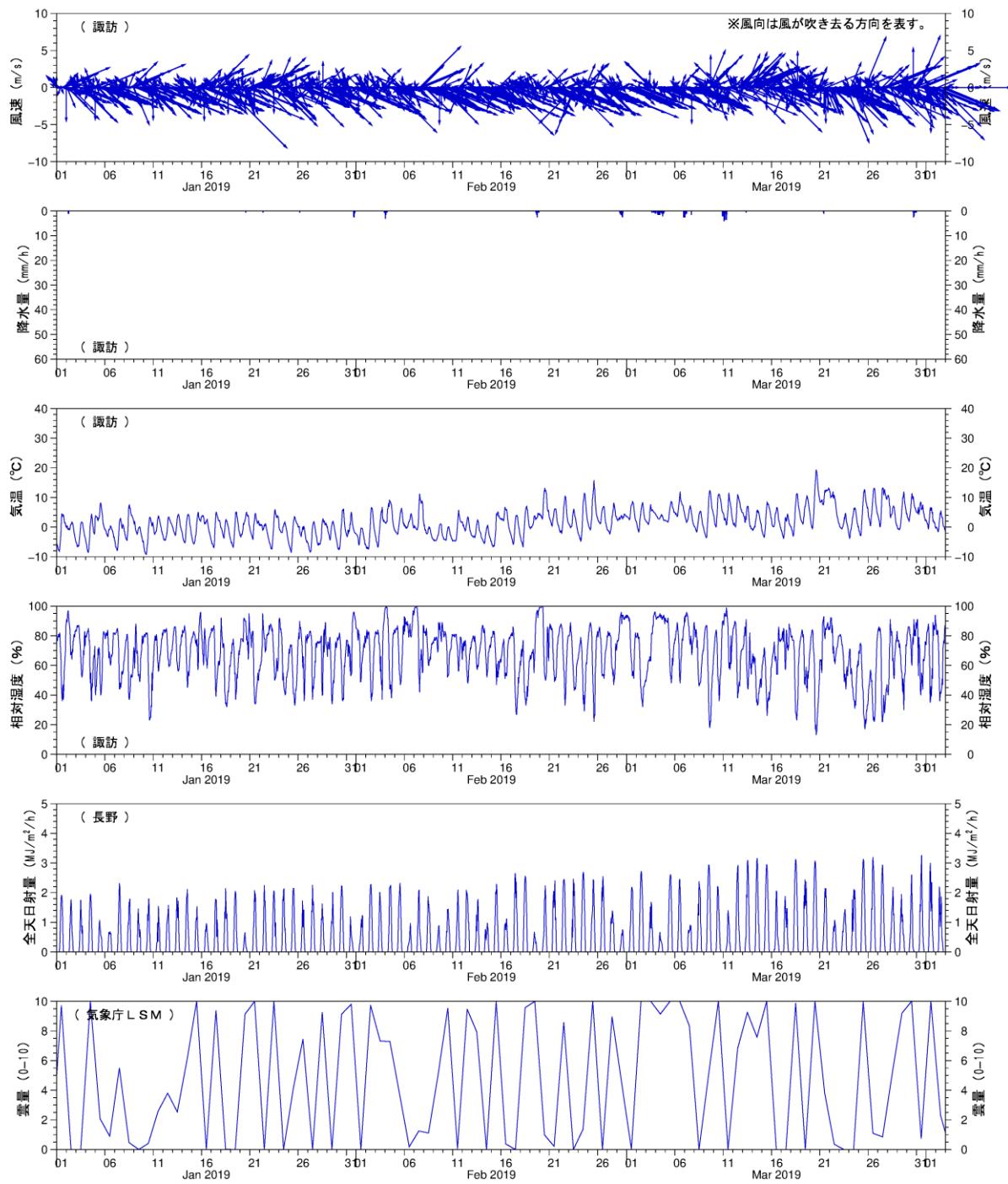


図 1-1(9) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2019 年 1 月～3 月)

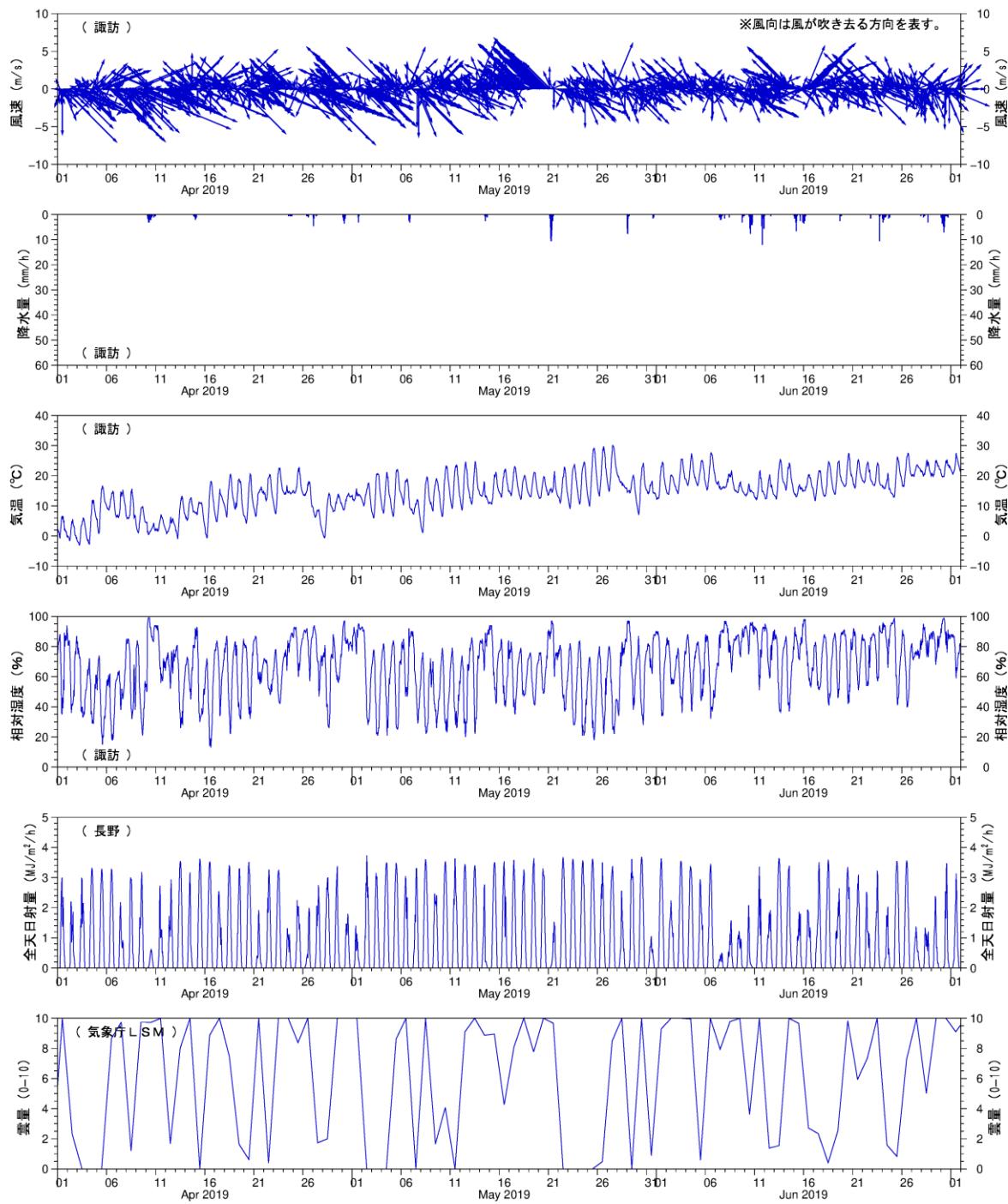


図 1-1(10) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2019年4月～6月)

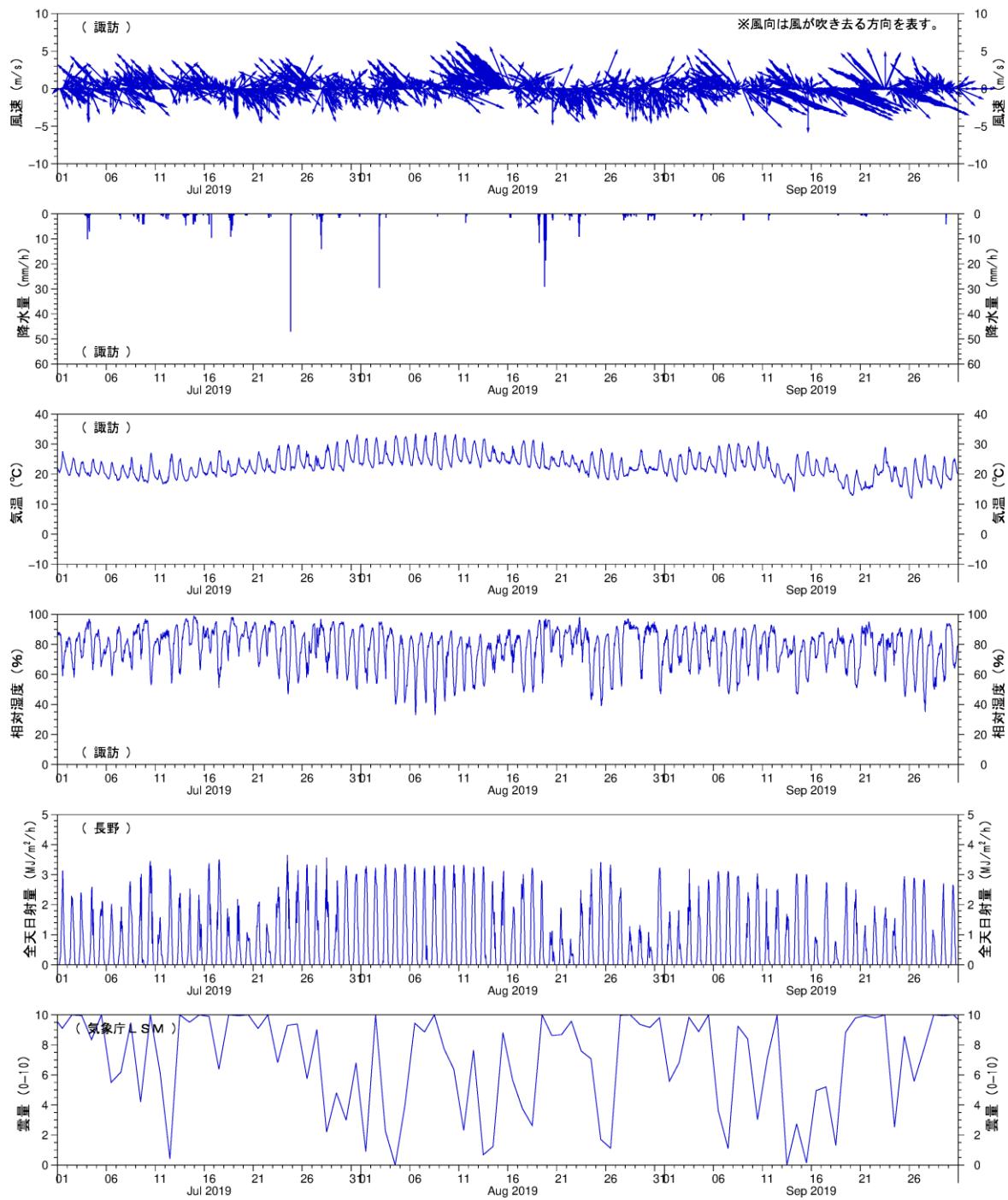


図 1-1(11) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2019年7月～9月)

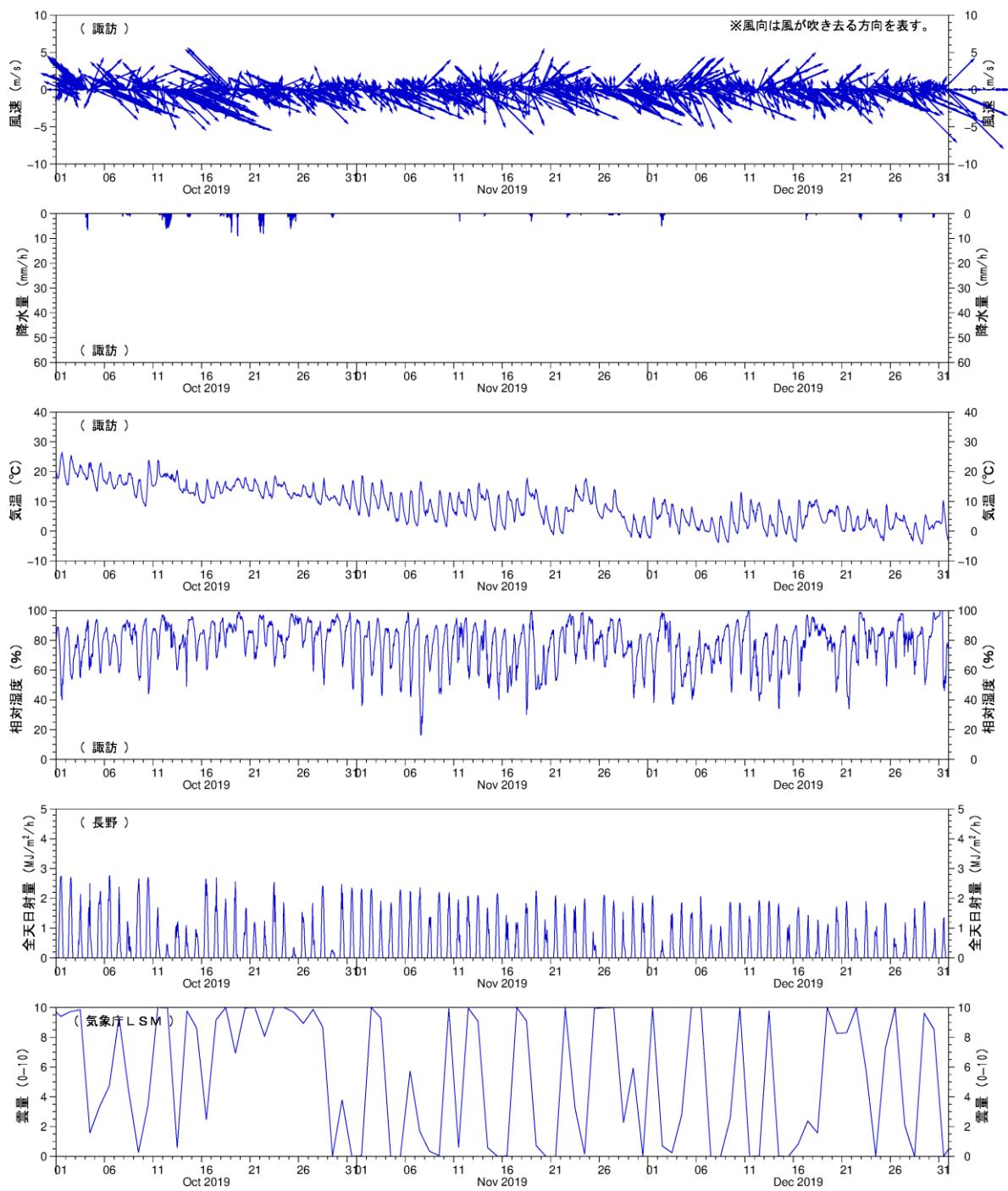


図 1-1(12) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2019年10月～12月)

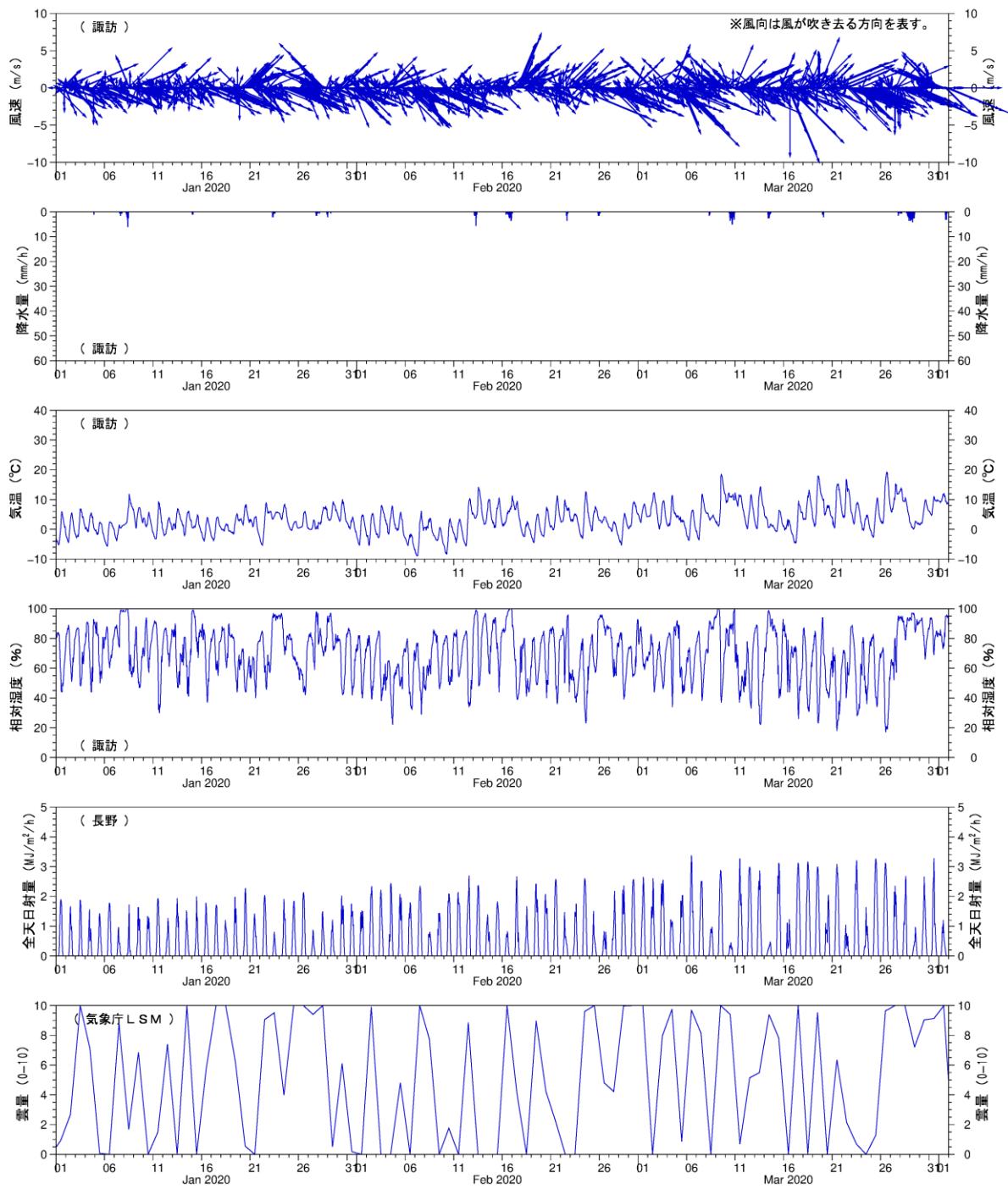


図 1-1(13) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2020 年 1 月～3 月)

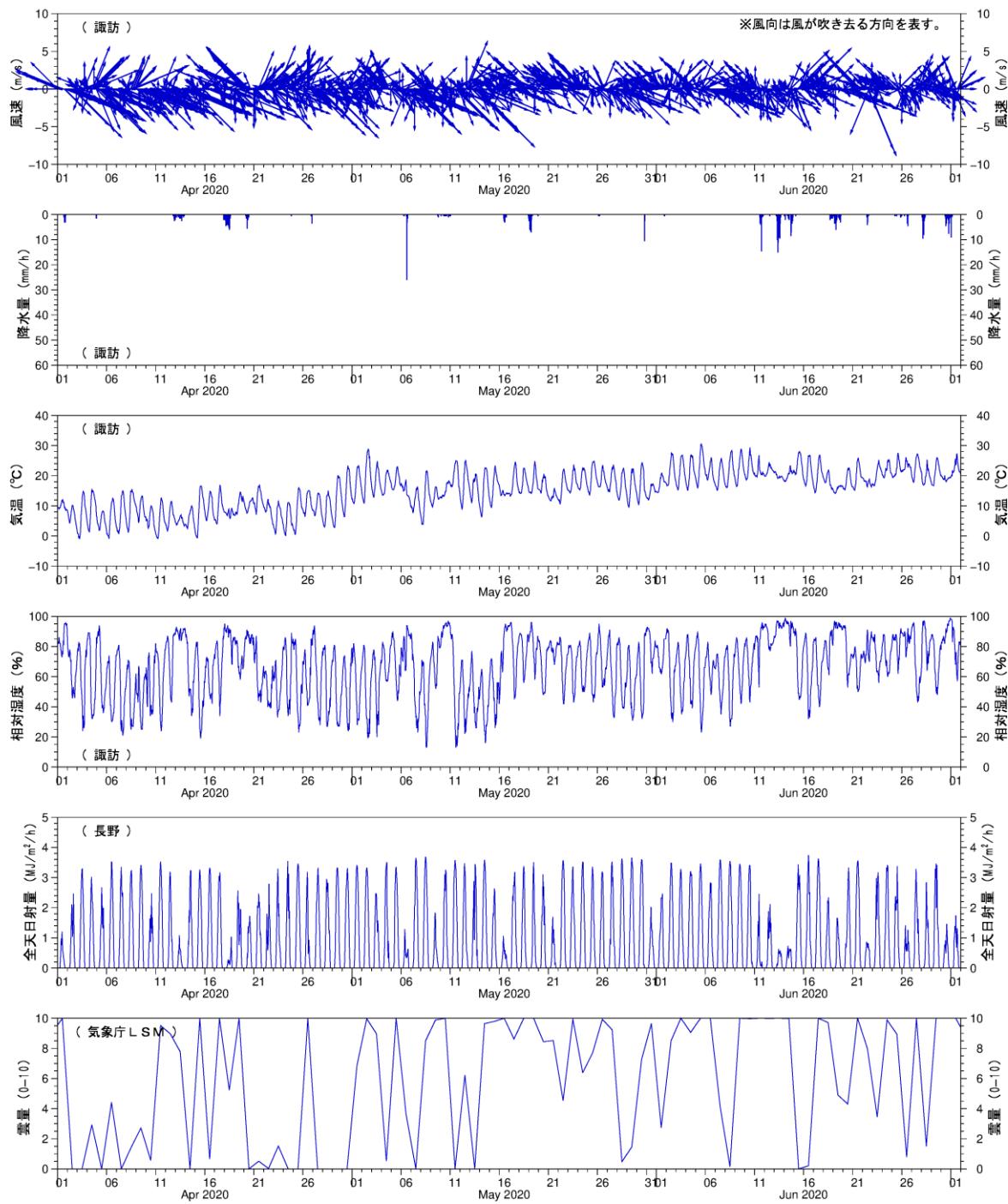


図 1-1(14) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2020年4月～6月)

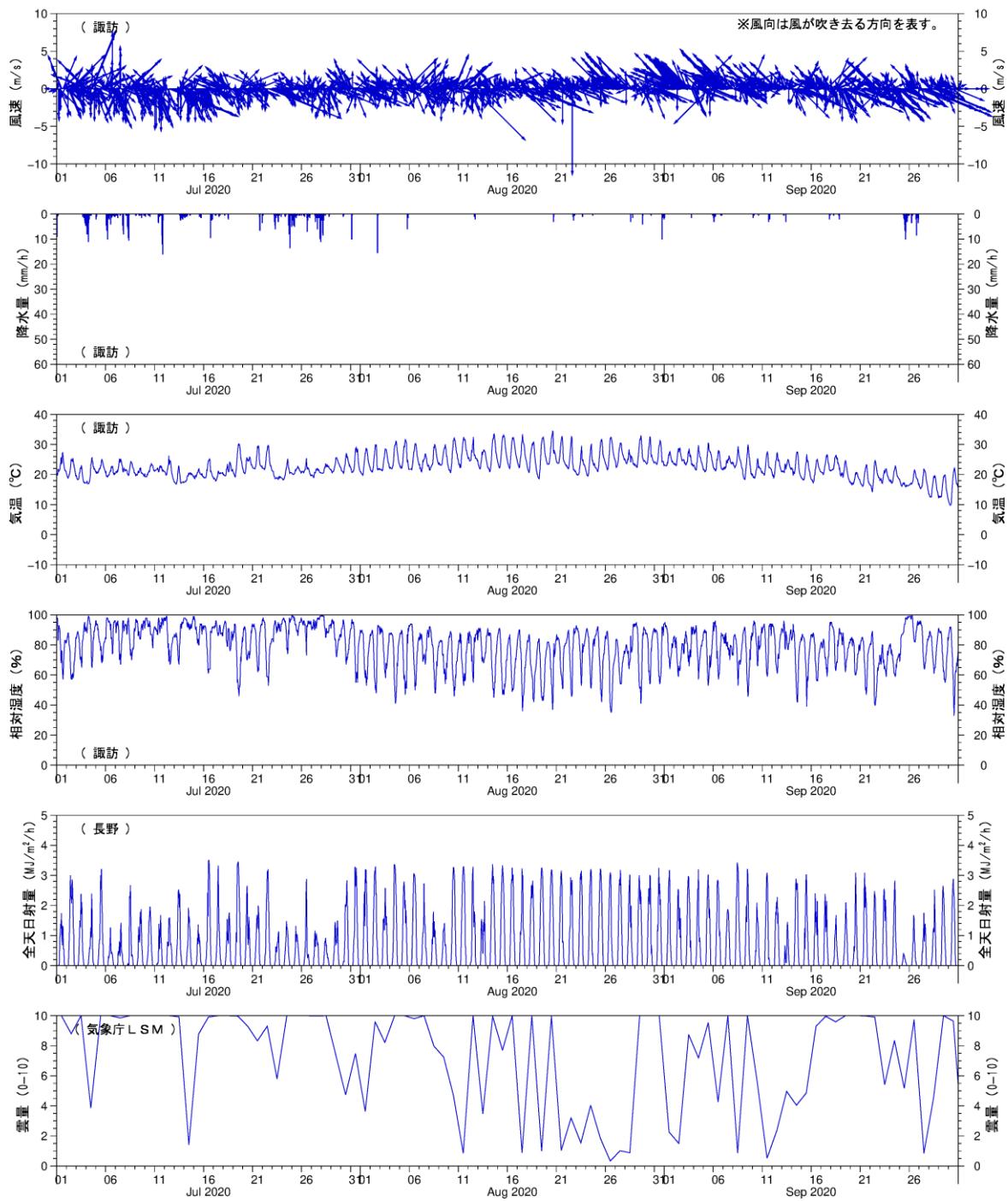


図 1-1(15) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2020 年 7 月～9 月)

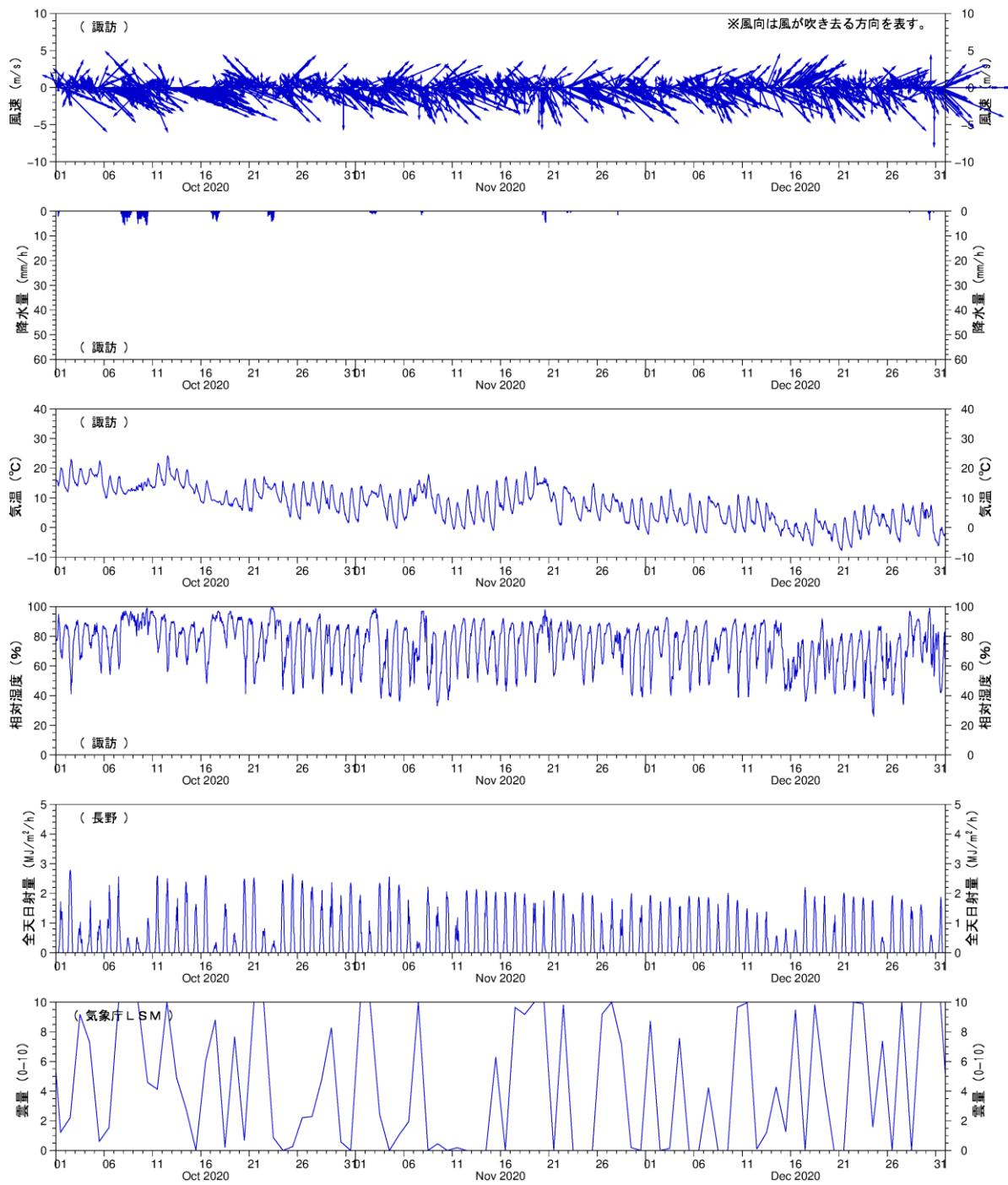


図 1-1(16) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2020 年 10 月～12 月)

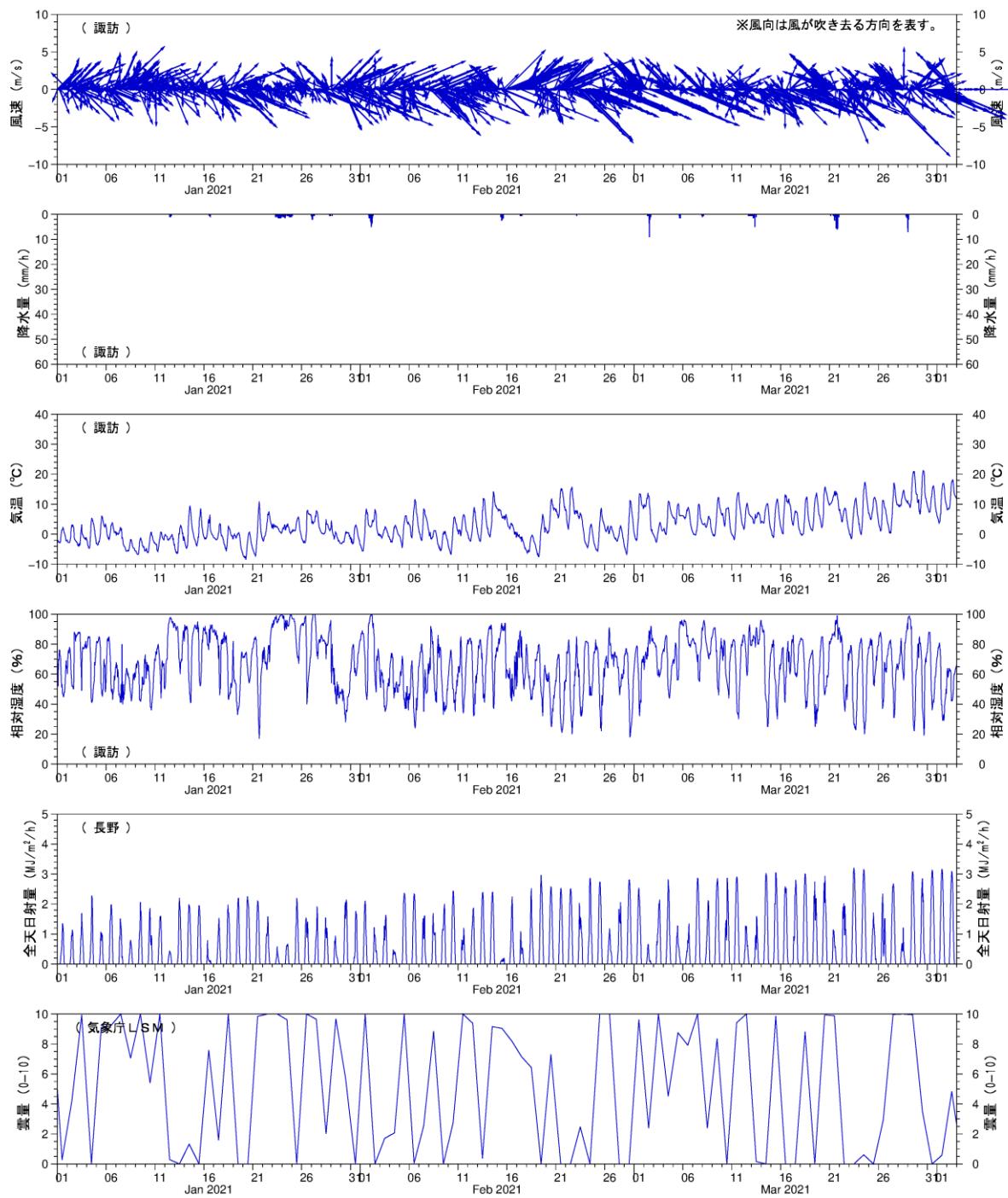


図 1-1(17) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2021年1月～3月)

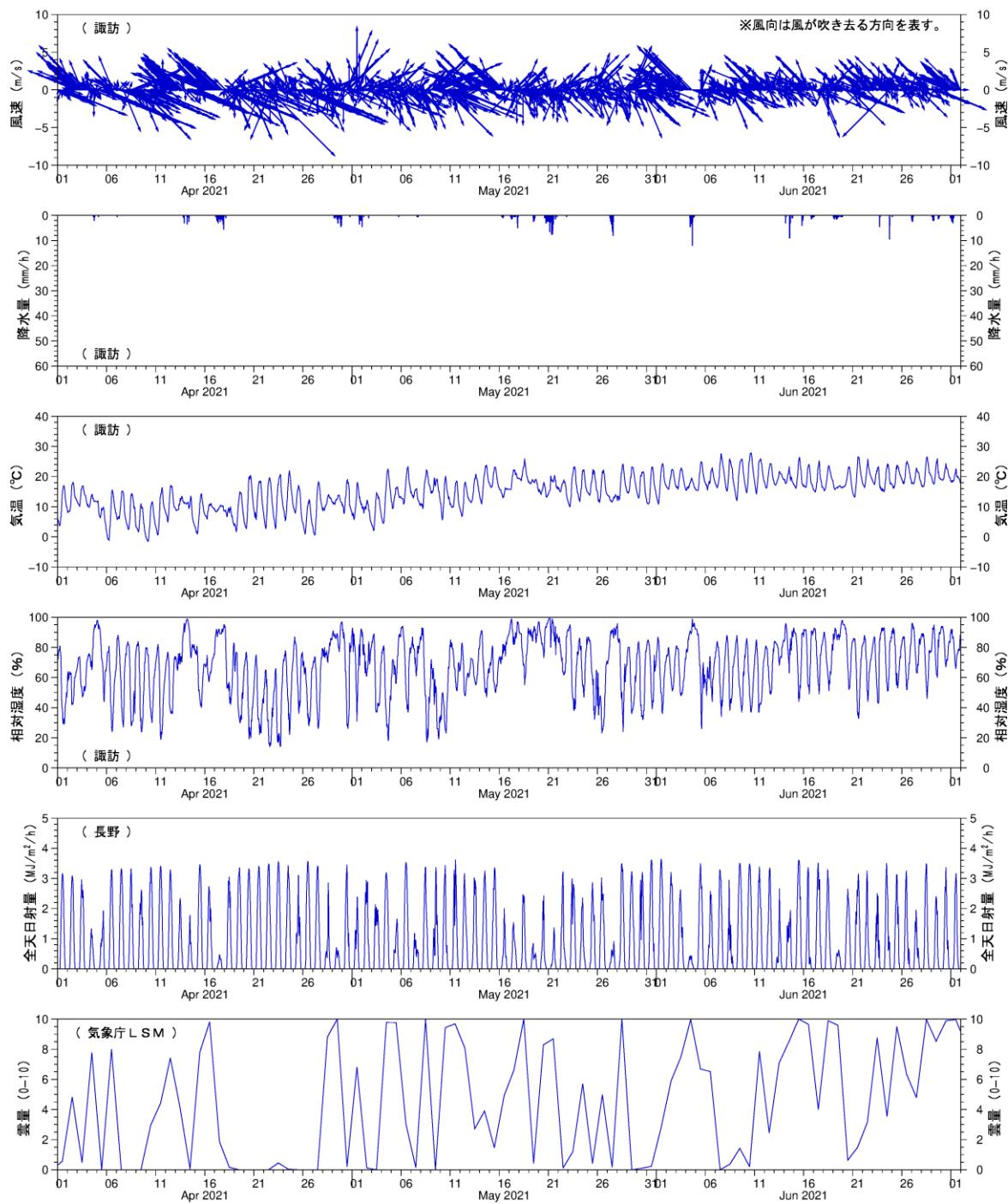


図 1-1(18) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2021年4月～6月)

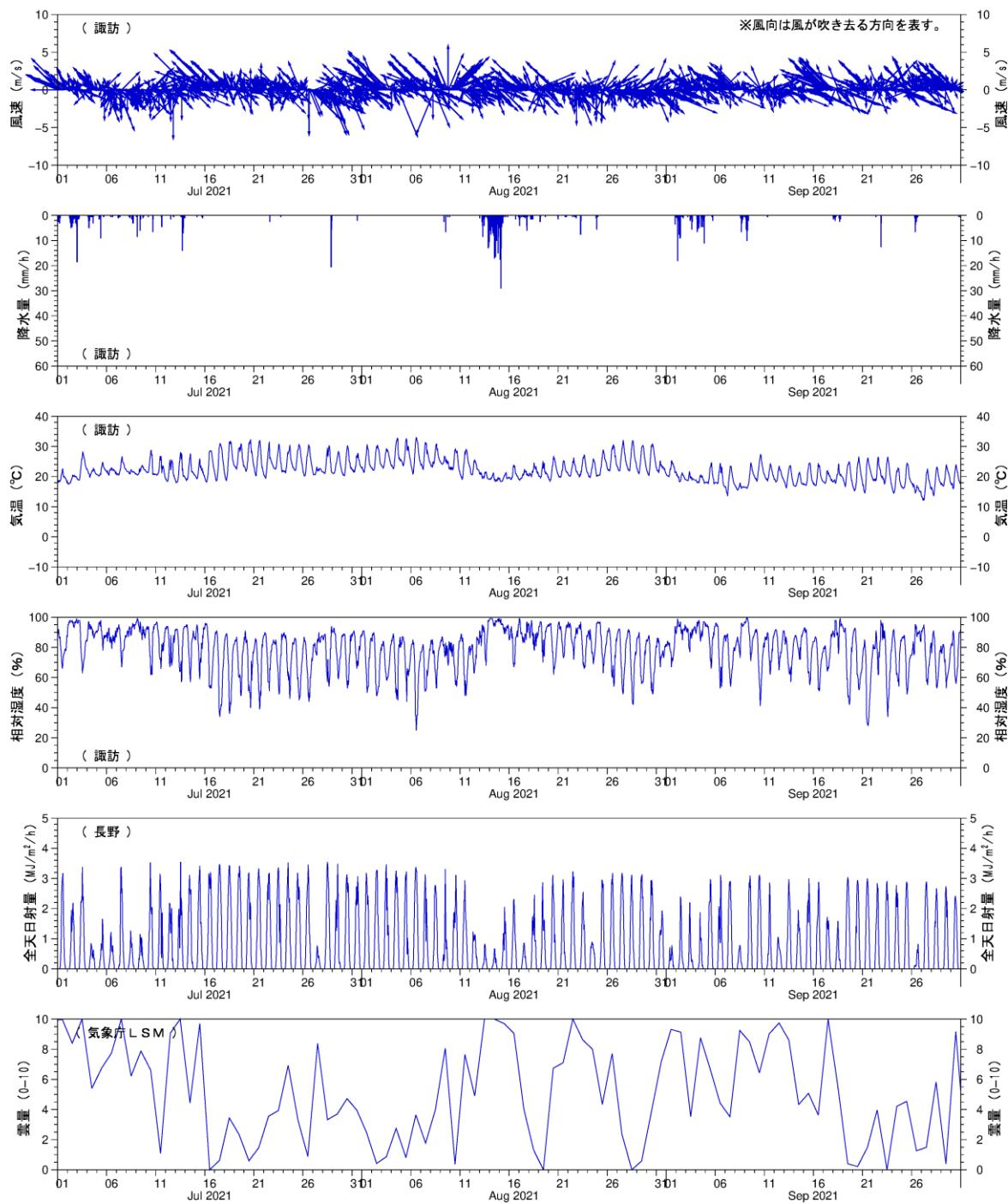


図 1-1(19) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2021年7月～9月)

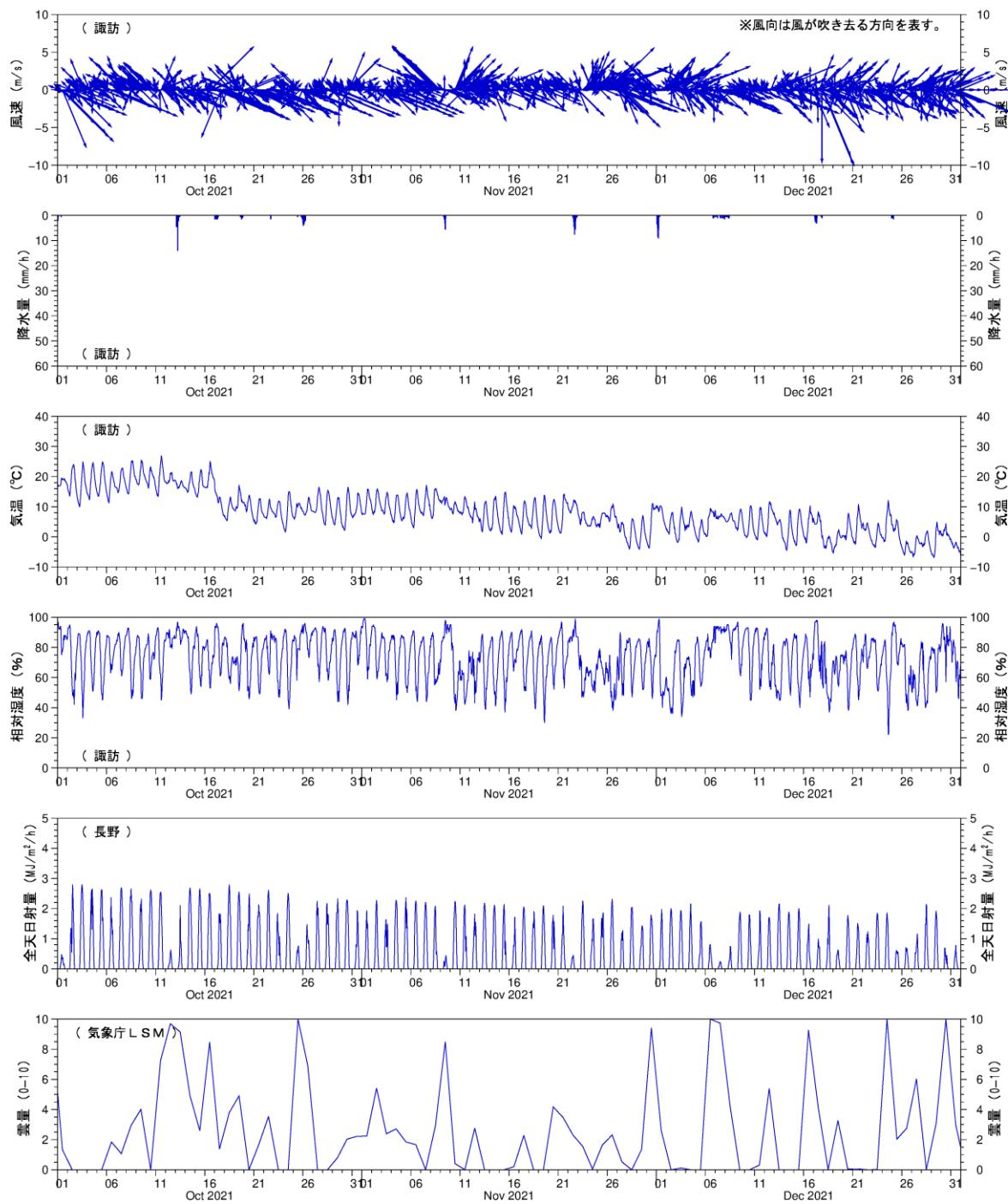


図 1-1(20) 数値シミュレーションに用いた気象データ(2021年10月～12月)

(2) 流入・流出条件

各河川からの流入水量を推定するため、国土交通省国土数値情報に基づく流域界を基に、小流域からの流出量を貯留関数法により算出した。

貯留関数法としては、洪水時から長期流出まで幅広く対応可能な馬場¹の二段二価貯留関数モデルを用いた。

$$s_1 = k_{11}q_1^{p_{11}} + k_{12}\frac{d}{dt}(q_1^{p_{12}})$$

$$\frac{ds_1}{dt} = r_e - e_1 - q_1 - \min(\alpha_1 s_1, q_{Lmax})$$

$$s_2 = k_{21}q_2^{p_{21}} + k_{22}\frac{d}{dt}(q_2^{p_{22}})$$

$$\frac{ds_2}{dt} = \alpha_1 s_1 - e_2 - q_2 - \alpha_2 s_2$$

$$Q = \frac{A}{3.6}(q_1 + q_2)$$

ここで、 s_1, s_2 : 1段目、2段目の貯留高 [mm]

q_1, q_2 : 流出高 [mm/h]

e_1, e_2 : 蒸発散量 [mm/h]

α_1, α_2 : 地下浸透速度 [1/h]

q_{Lmax} : 1段目浸透量の最大値 [mm/h]

t : 時間 [h]

r_e : 有効降雨量 [mm/h]

A : 流域面積 [km^2]

Q : 流出量 [m^3/s]

$k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}, p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{12}$: モデルパラメータ

である。

時刻 t の観測降雨量 $r(t)$ に対する有効降雨量 $r_e(t)$ との比率は流出率 $f(t)$ と呼ばれ、次式で算出した。

$$f(t) = 1 - \exp\left\{-\frac{s_1(t) + r(t)\Delta t}{R_f}\right\}$$

$$r_e(t) = f(t) \cdot r(t)$$

ここで、 R_f : 濡潤係数 [mm] である。

¹ 馬場仁志, 損失を考慮した貯留関数型流出モデルおよび浸透と蒸発散を組み合わせた二段貯留関数型流出モデルの開発と応用に関する研究, 北海道大学, 2002.

2価の貯留関数法のモデルパラメータは、kinematic wave 法との比較により、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{m} \\ p_2 &= \left(\frac{1}{m}\right)^{3/2} \\ k_1 &= \frac{m}{m+1} \left(\frac{10^{3m-6}}{3.6}\right)^{1/m} \cdot \left(\frac{L}{\alpha}\right)^{1/m} \\ k_2 &= \frac{m^{1/5}}{10} \left(\frac{m+1}{m}\right)^2 \cdot k_1^2 R_C^{2/m-1-p_2} \end{aligned}$$

ここで、 α 、 m ：モデル定数、 L ：平均斜面長 [m]、 R_C ：代表降雨強度 [mm/h] である。

表面流（1段目）の場合、流れがマニング則に従うとすると、

$$\begin{aligned} m &= \frac{5}{3} \\ \alpha &= \frac{\sqrt{I}}{n} \end{aligned}$$

ここで、 n ：等価粗度係数、 I ：平均斜面勾配である。ここから、

$$\begin{aligned} p_{11} &= 0.6 \\ p_{12} &= 0.46476 \\ k_{11} &= 0.072794 \left(\frac{nL}{\sqrt{I}}\right)^{0.6} \\ k_{12} &= 0.28354 \cdot k_{11}^2 \cdot R_C^{-0.26476} \end{aligned}$$

となる。

浸透流（2段目）の場合、流れがダルシー則に従うとすると、

$$\begin{aligned} m &= 1 \\ \alpha &= \frac{K \cdot I}{\lambda} \end{aligned}$$

ここで、 K ：透水係数、 λ ：有効間隙率である。ここから、

$$\begin{aligned} p_{21} &= p_{22} = 1 \\ k_{21} &= \frac{1}{7200} \cdot \frac{\lambda L}{KI} \end{aligned}$$

$$k_{22} = 0.4 \cdot k_{21}^2$$

となる。

諏訪湖流域の流域分割図を図 1-2 に示す。流域分割は国土交通省国土数値情報、標高は国土地理院基盤地図情報数値標高データ（5m メッシュデータ）によるものである。

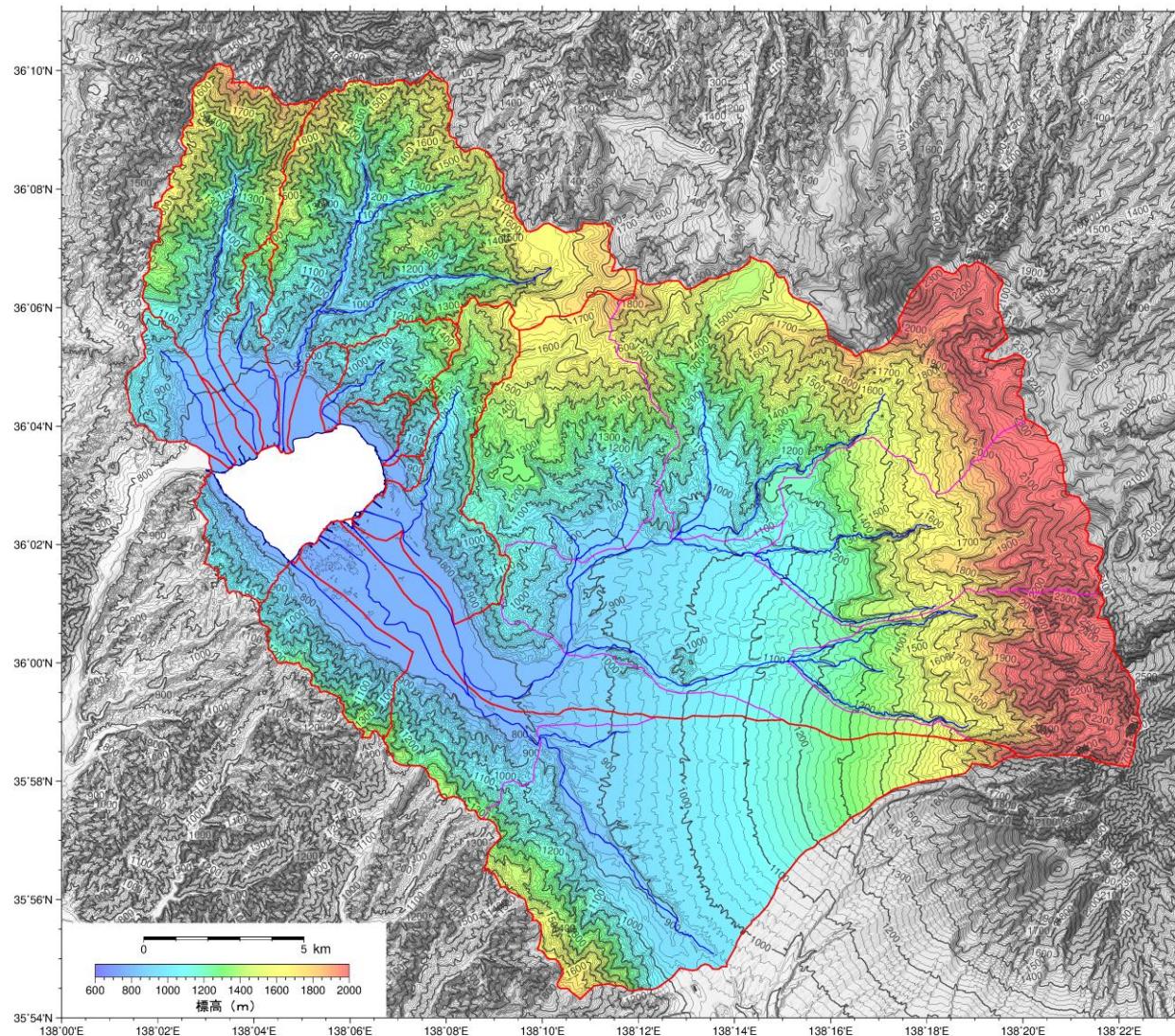


図 1-2 諏訪湖流域の流域分割図

国土数値情報及び数値標高データより算出した、各小流域の流域面積、平均斜面長、平均斜面勾配は表 1.1 に示すとおりである。

表 1.1 各小流域の流域面積、平均斜面長、平均斜面勾配

小流域名	流域面積	平均斜面長	平均斜面勾配
塚間川	7.88 km ²	1657 m	0.09640
横河川	28.73 km ²	1616 m	0.22937
十四瀬川	6.37 km ²	872 m	0.13335
砥川	61.35 km ²	1580 m	0.21862
承知川	7.57 km ²	1237 m	0.18186
千本木川	1.73 km ²	1226 m	0.19162
角間川	20.80 km ²	1634 m	0.14591
上川-1	19.12 km ²	2411 m	0.04988
上川-2	42.38 km ²	2634 m	0.07895
上川-3	39.58 km ²	2731 m	0.17897
上川-4	44.31 km ²	3007 m	0.13842
上川-5	36.71 km ²	4079 m	0.10823
上川-6	68.71 km ²	2931 m	0.14221
宮川-1	23.64 km ²	1656 m	0.08857
宮川-2	77.63 km ²	4029 m	0.09273
新川	13.41 km ²	1526 m	0.15125
残流域	26.92 km ²	1249 m	0.12893

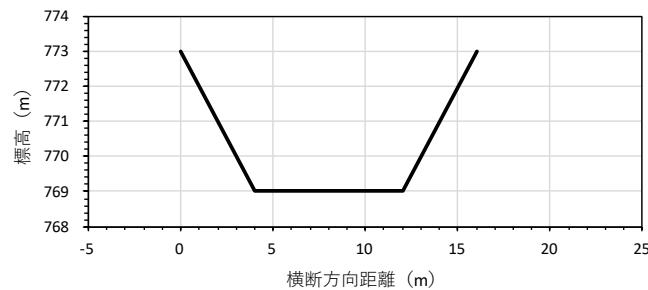
流出量算定にあたっては、気象庁解析雨量 (1km メッシュ) より各流域平均雨量を算出し、これを外力条件として設定した。モデルパラメータは、予備検討の結果から表 1.2 の様に設定した。なお、水質シミュレーションを行うにあたっては湖水の水収支（総流入量と流出量、湖水位変化）を調整する必要があることから、各流域からの流出量は、湖水位、釜口水門及び下水道放流量に基づき補正を行った。

表 1.2 流出解析のモデルパラメータ

パラメータ名	記号	設定値	単位
等価粗度係数	n	0.50	s/m ^{1/3}
代表降雨強度	R_c	20	mm/h
透水係数	K	0.0015	m/s
有効間隙率	λ	0.2	—
湿潤係数	R_f	2.0	mm
1段目の地下浸透速度	α_1	0.2	1/h
2段目の地下浸透速度	α_2	0.001	1/h
1段目浸透量の最大値	q_{Lmax}	20.0	mm/h

なお、宮川については、途中の取飴川によって洪水流が上川に分派するようになっている。しかしながら、宮川流量に対する分派流量が不明であったため、本検討では Google Earth 等によって分派点下流側の宮川・取飴川それぞれの河道断面を仮定し（図 1-3 参照）、マニング則に基づいてそれぞれの河川流量を算出した。宮川の分派地点流量に対する取飴川分派率を図 1-4 に示す。なお、分派率算定にあたっては、河床勾配は数値標高データを参考に 1/200 とし、粗度係数は 0.03 とした。

宮川



取飴川

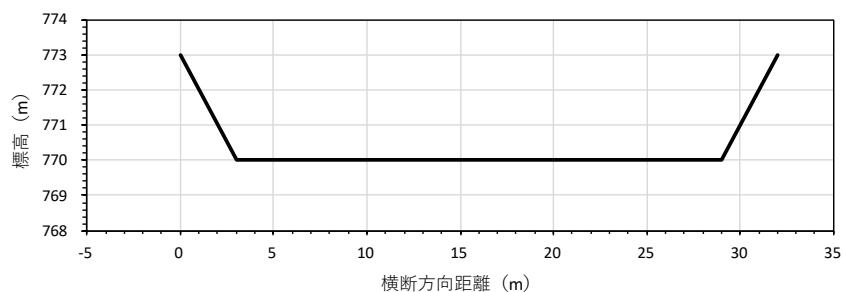


図 1-3 仮定した河道断面

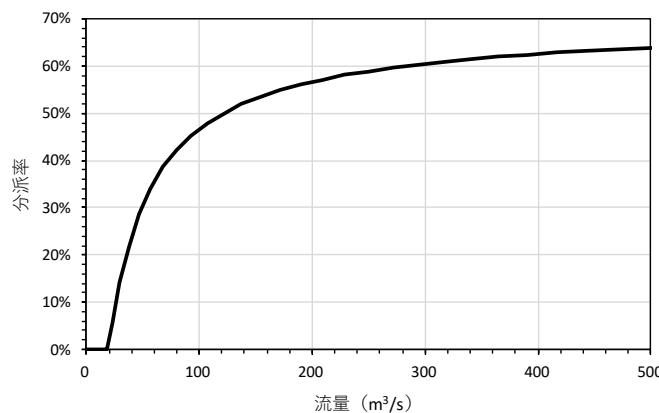


図 1-4 宮川・取飴川分派率

各河川の流域平均雨量及び流入量を図 1-5 に示す。

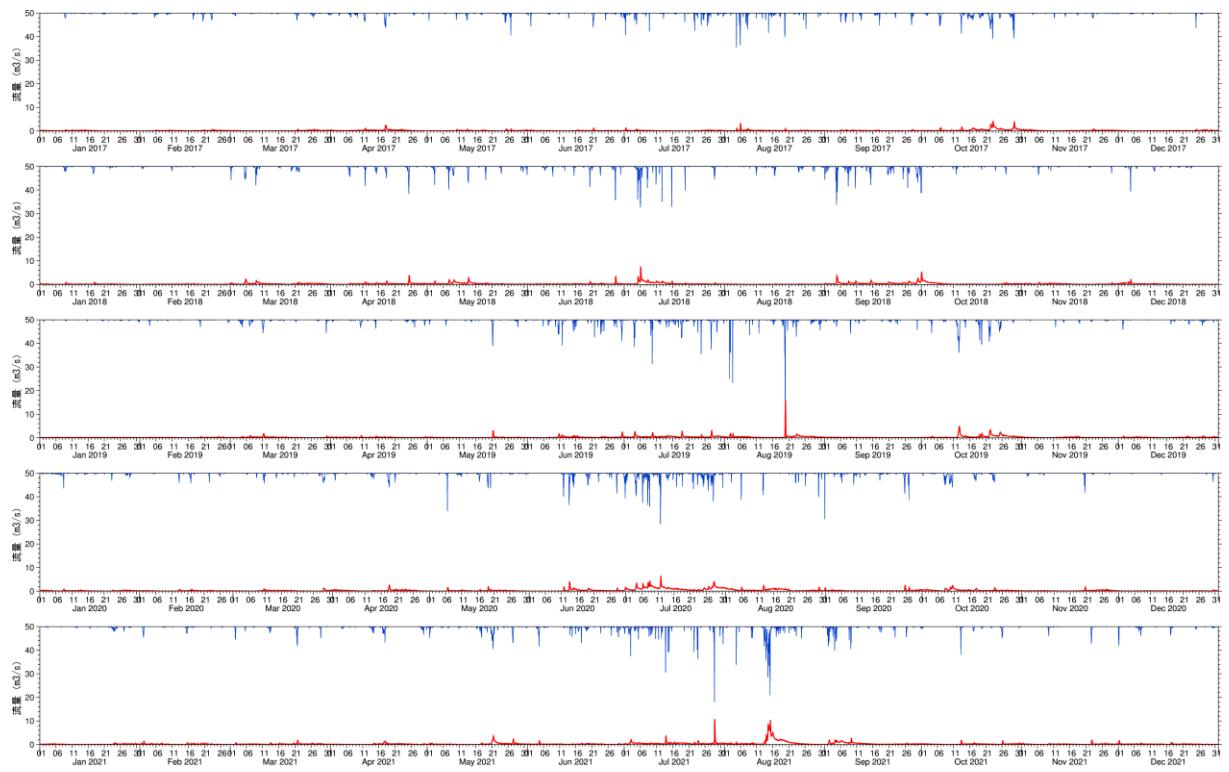


図 1-5(1) 流域平均雨量及び流入量(塙間川)

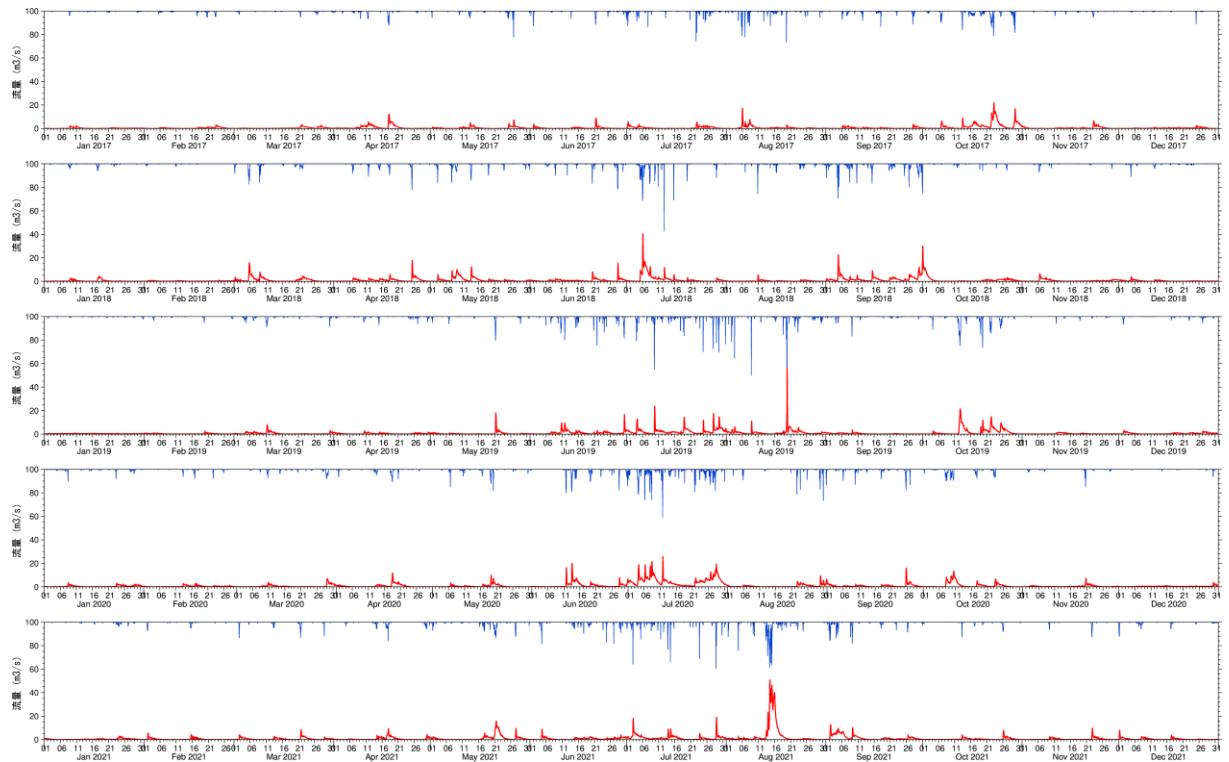


図 1-5(2) 流域平均雨量及び流入量(横河川)

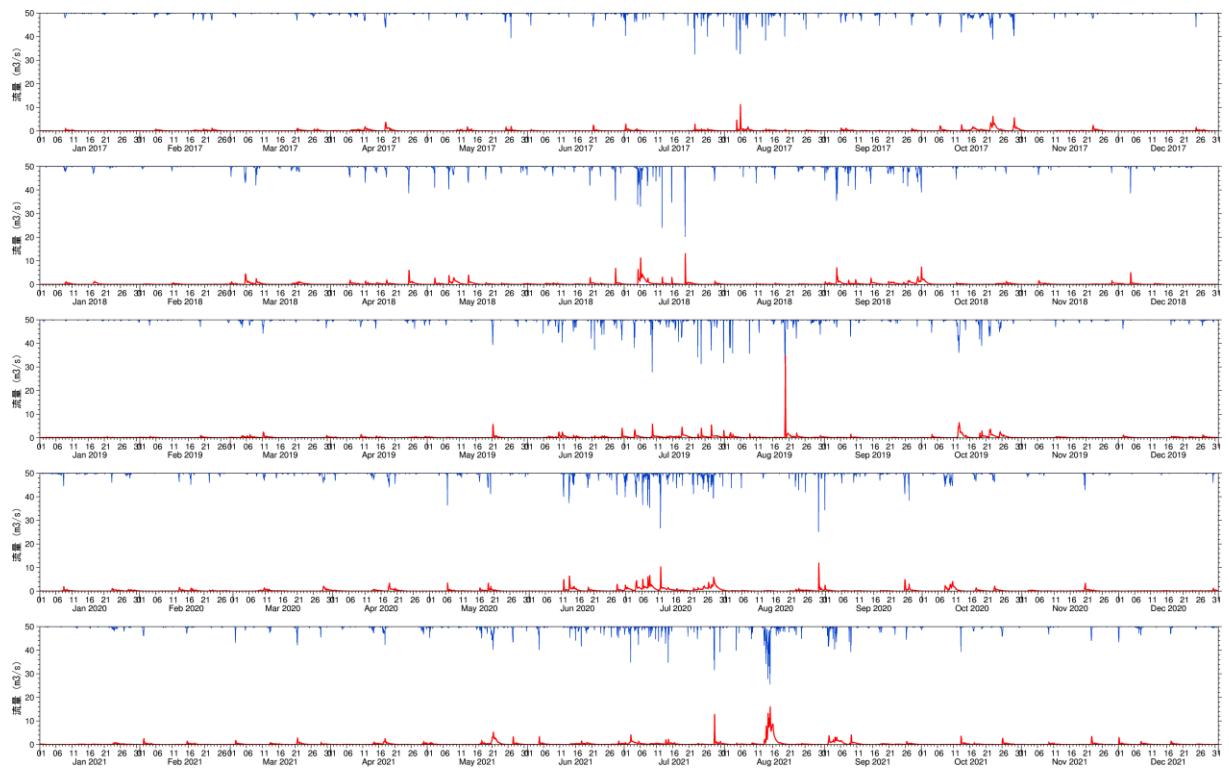


図 1-5(3) 流域平均雨量及び流入量(十四瀬川)

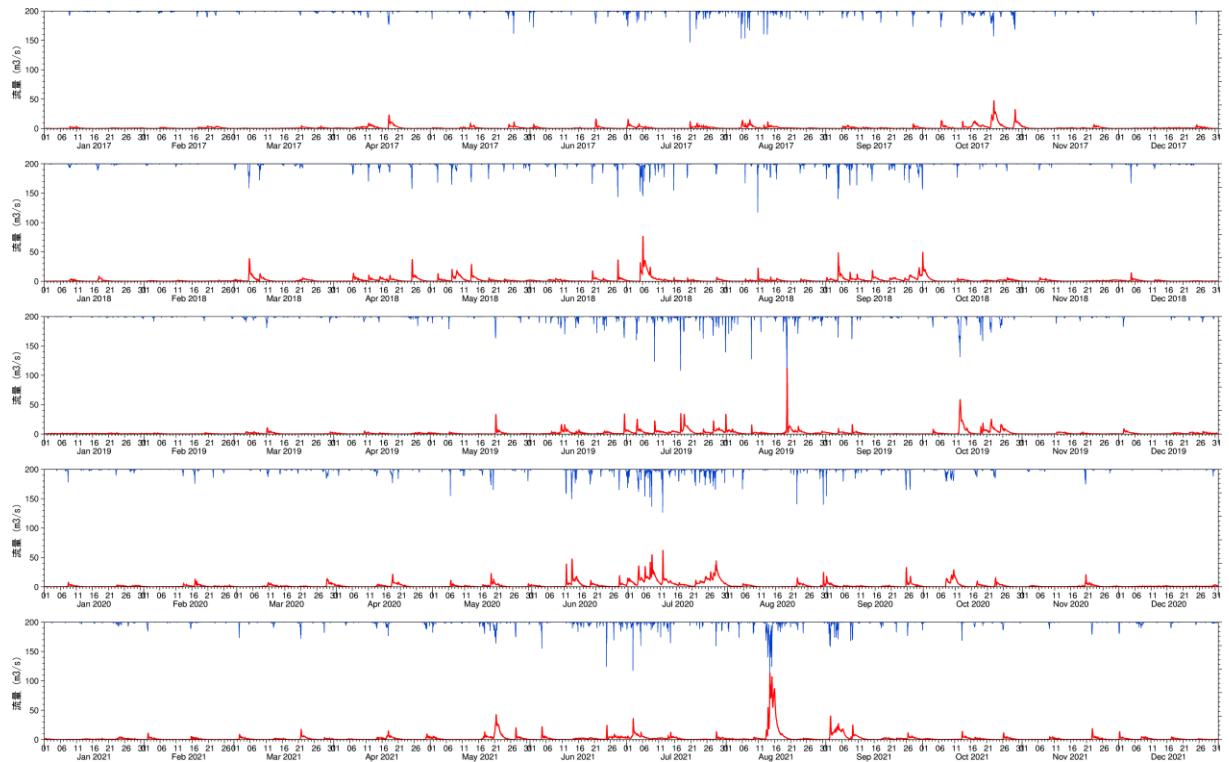


図 1-5(4) 流域平均雨量及び流入量(砥川)

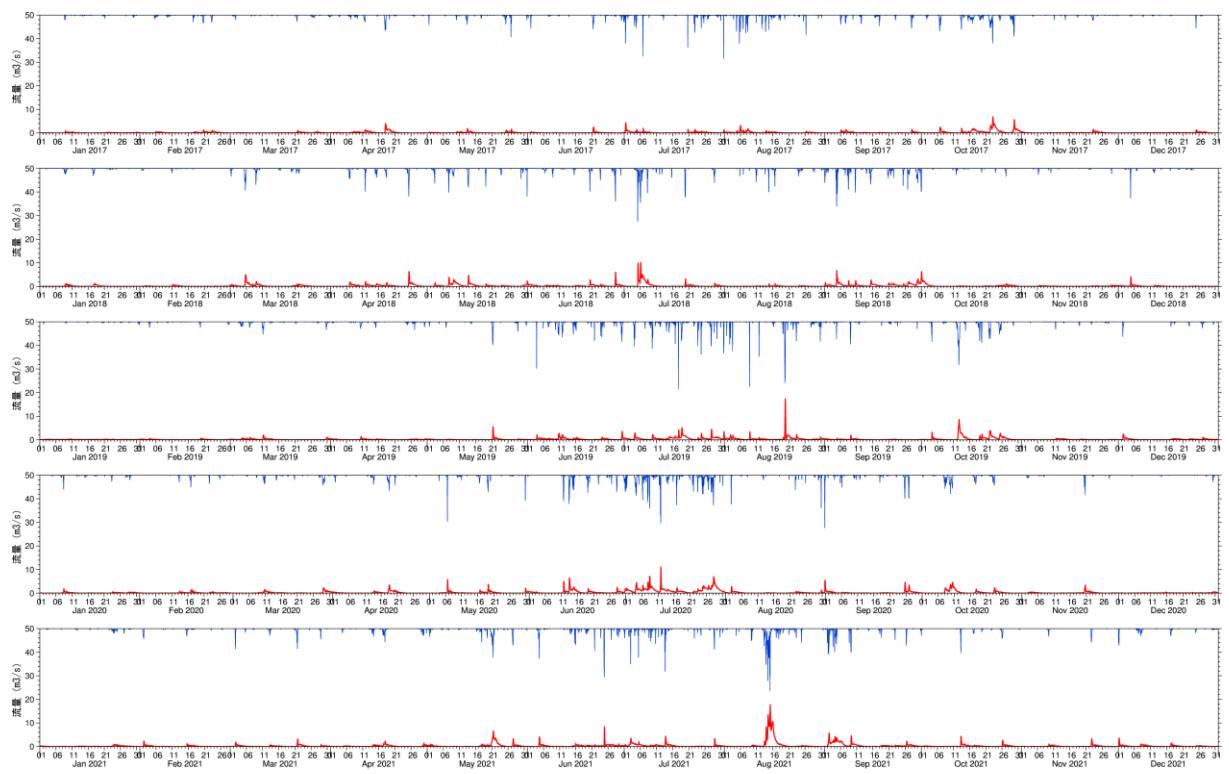


図 1-5(5) 流域平均雨量及び流入量(承知川)

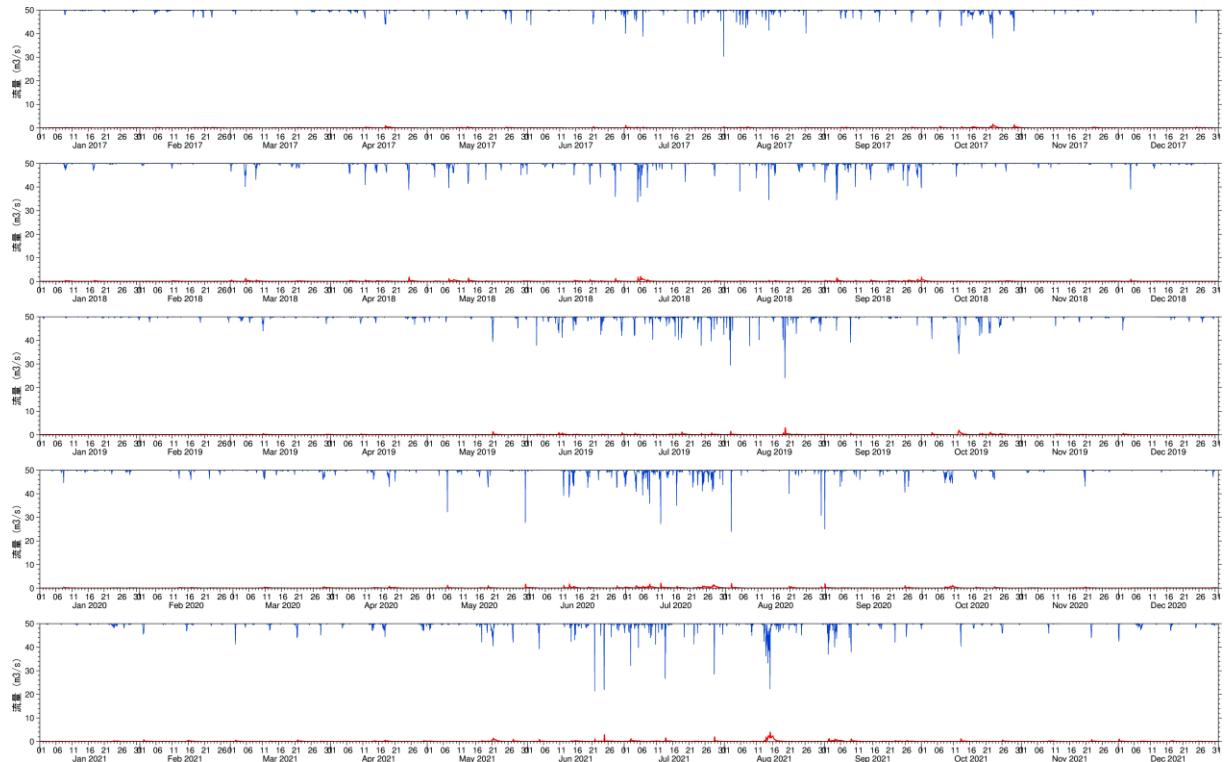


図 1-5(6) 流域平均雨量及び流入量(千本木川)

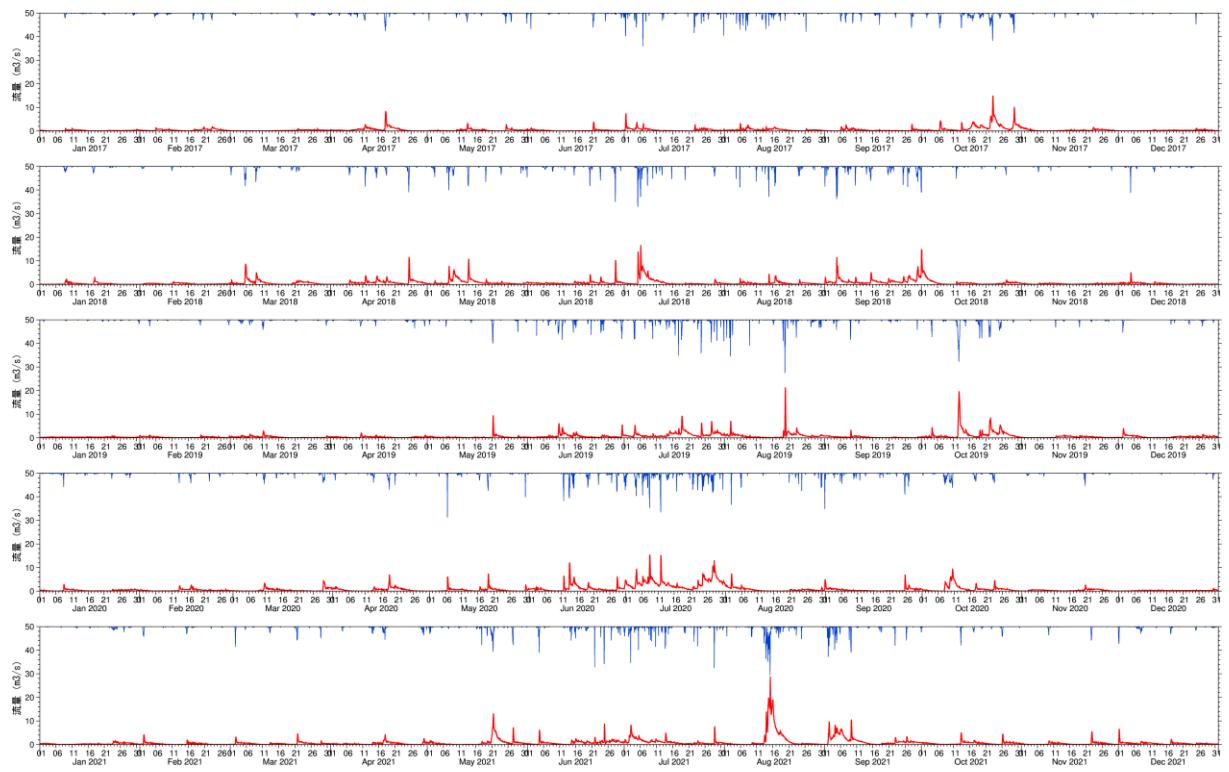


図 1-5(7) 流域平均雨量及び流入量(角間川)

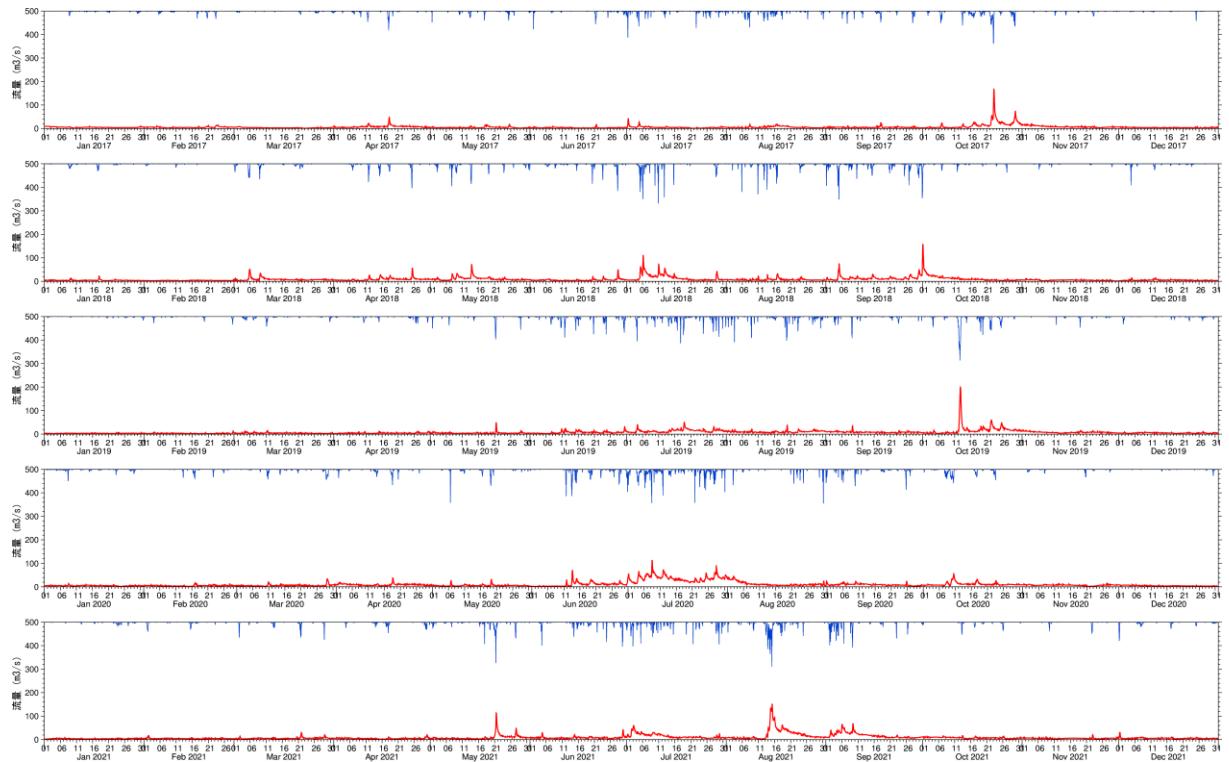


図 1-5(8) 流域平均雨量及び流入量(上川)

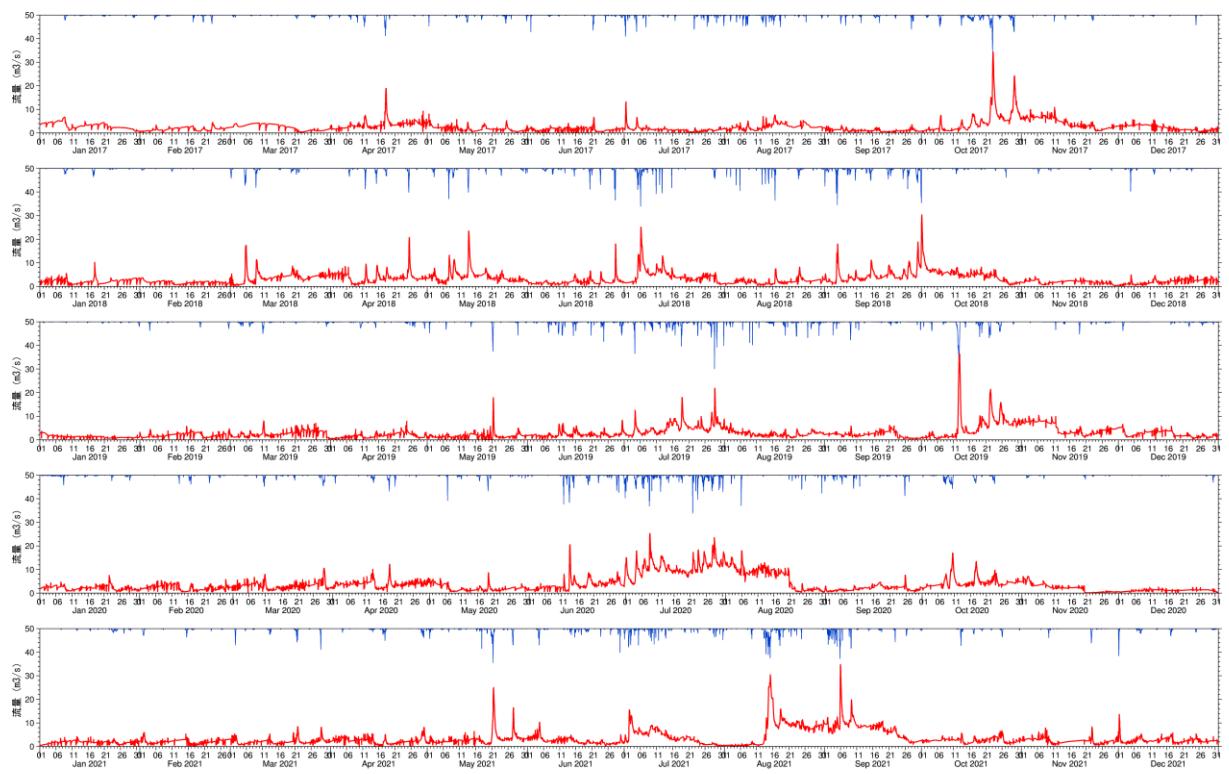


図 1-5(9) 流域平均雨量及び流入量(宮川)

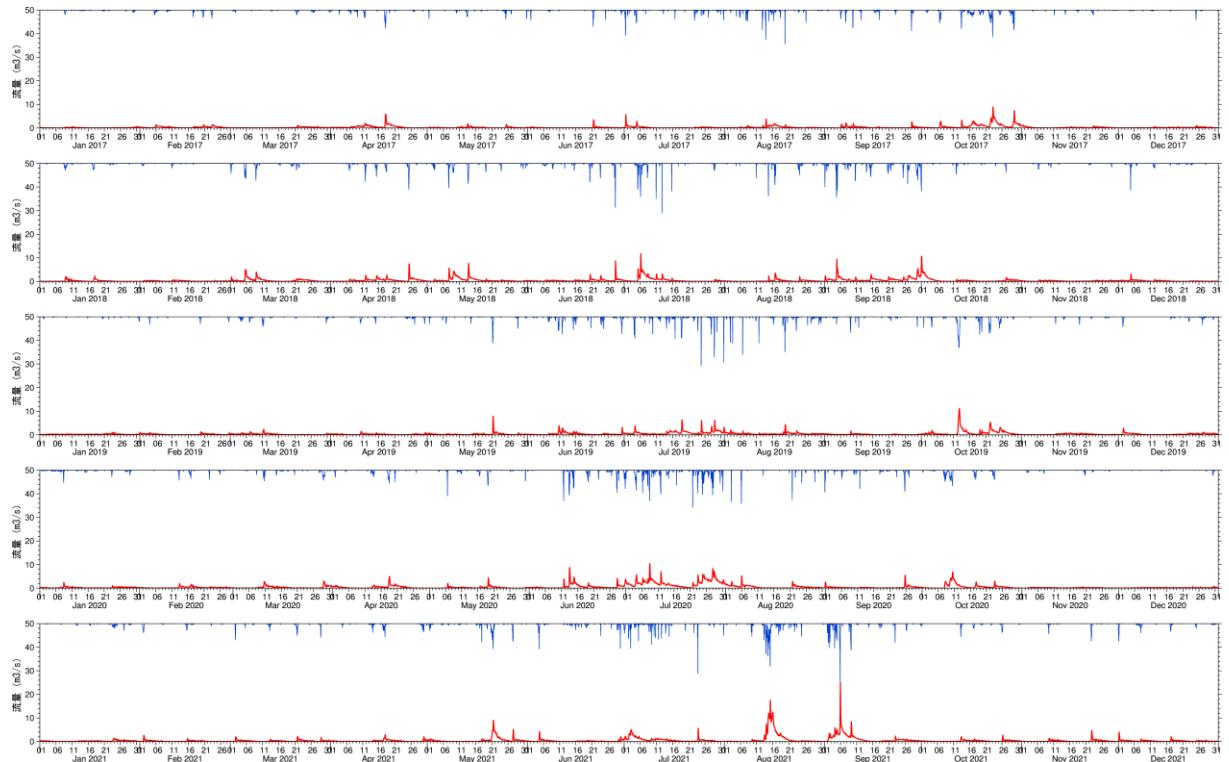


図 1-5(10) 流域平均雨量及び流入量(新川)

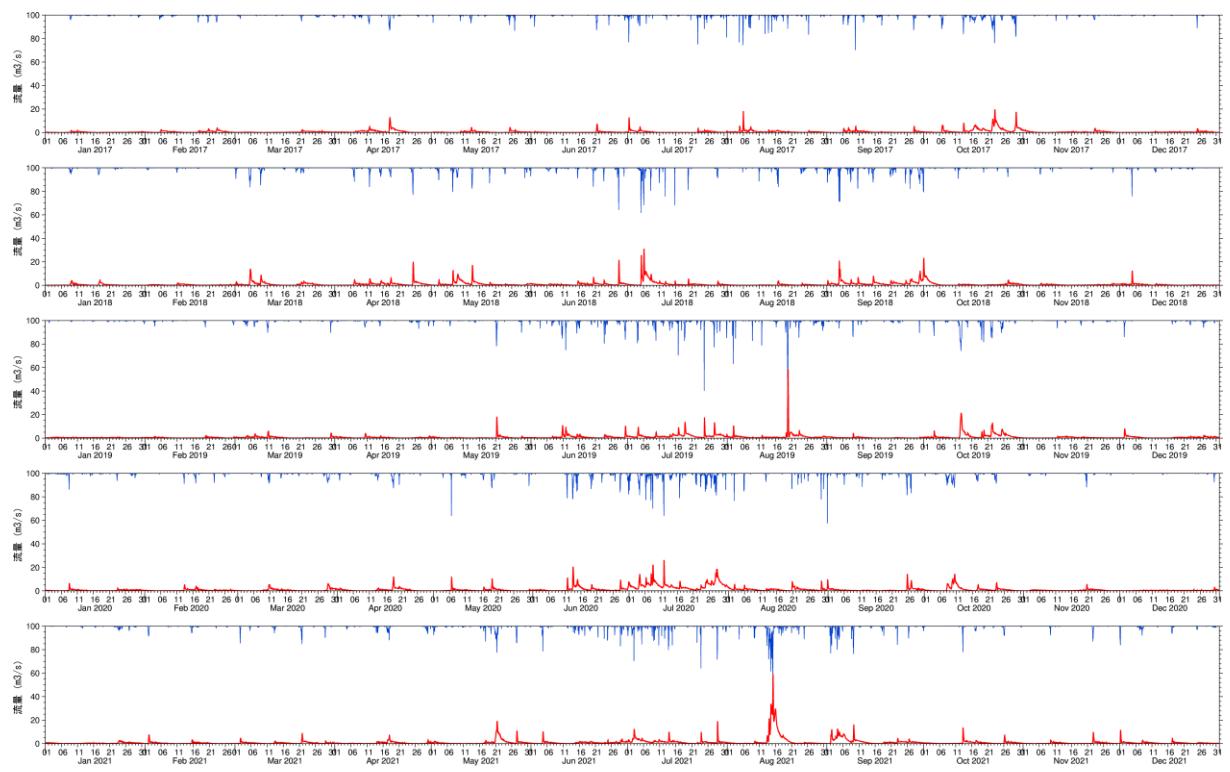


図 1-5(11) 流域平均雨量及び流入量(残流域)

2. 現況再現計算結果

現況再現計算として、湖心における各水深の水温観測結果と計算結果の比較図を図 2-2 に示す。また、釜口水門の水位及び湖内連続観測 9 地点における水深別水温の時系列比較結果を図 2-3 に示す。図 2-2、図 2-3 より、水位及び水温の計算結果は全体的には連続観測結果と良い一致を示しており、流动モデルは諏訪湖内の水温の季節変化を再現できていると言える。

ただし、図 2-3 を見ると、特に出水時において湖水位の計算結果と観測結果にずれがみられる。これは、前述した流域からの流入量は毎時で整理されているのに対し、釜口水門からの放流量は日単位であり、流入・放流のタイミングにずれがあるためと考えられる。

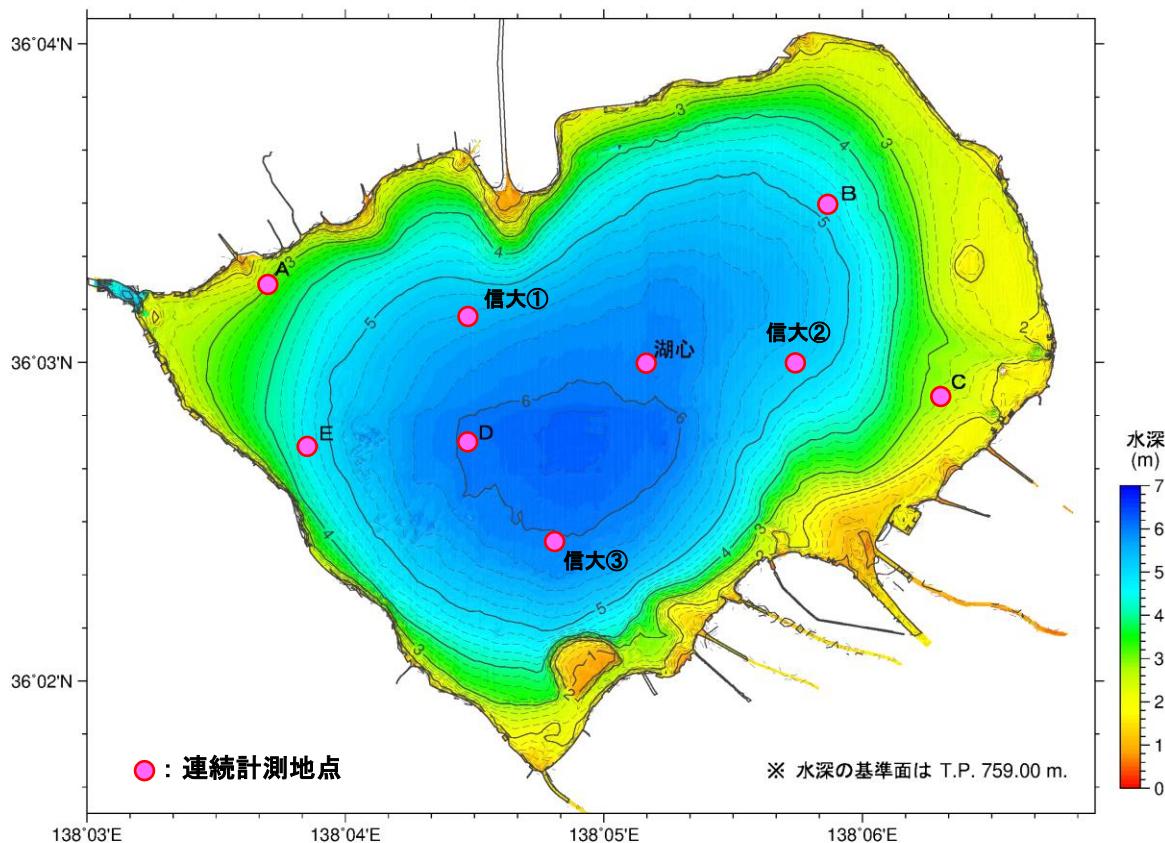


図 2-1 諏訪湖における定点観測地点