冠水センサと機械学習を用いた道路冠水予測システムの開発

東京電機大学　総合研究所　小林亘

wkoba@mail.dendai.ac.jp

2023-11

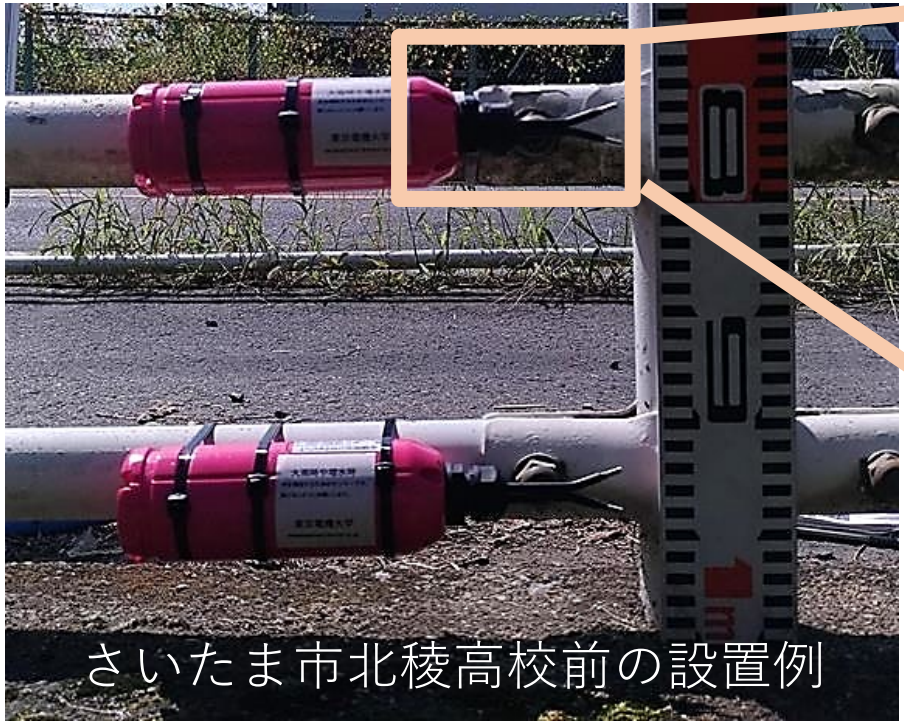
冠水センサと機械学習を用いた道路冠水予測システムの開発

目標：**導入の容易な冠水センサと機械学習を用いて道路の冠水を予測するシステムを開発する．**（研究助成申請書より抜粋）

概要：導入が容易な安価な浸水・冠水のセンサを用いることで，道路の複数の冠水水位を検知できる．これによって道路の冠水をリアルタイムで知ることができるが，さらに冠水の予測が可能となると，より有用性が向上する．本研究では，センサからの情報に予測降水量とを組み合わせたデータを作成し，これに機械学習を適用することにより，低位置での冠水から降水量によって通行規制の生ずる冠水の発生を予測するシステムを開発する．（研究助成申請書より抜粋）

期間：１年（本発表時間10分、質疑応答5分）

冠水センサ（電極式）の例



電極部分

特徴

電池＋無線通信（LPWA)により水位計に比べて手軽に設置でき安価である。

仕組み

電極位置に水が現れたとき、電極位置の水が無くなったときに信号を発する。

国土交通省ワインコイン浸水センサで使用されているものの一つ

本発表で紹介する事例：さいたま市北稜高校前

2021年7月30日

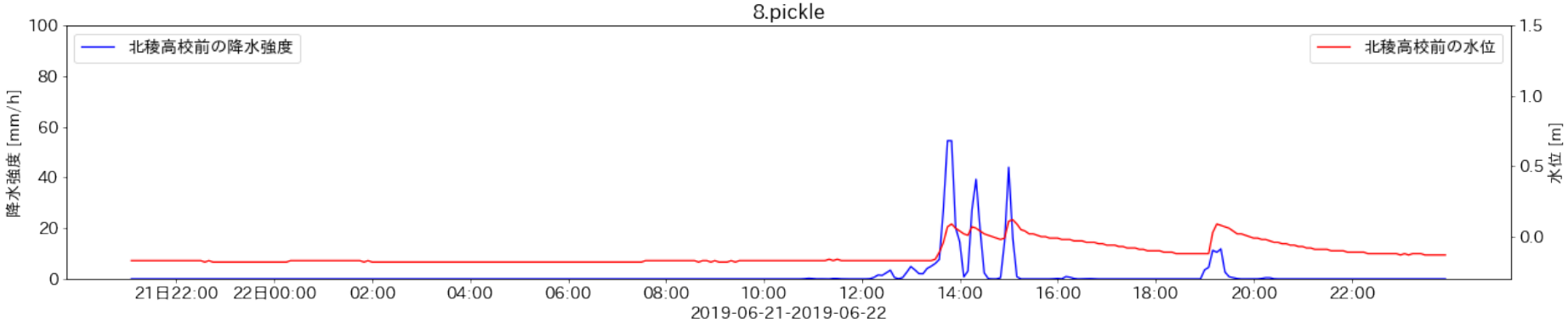
2023年6月3日

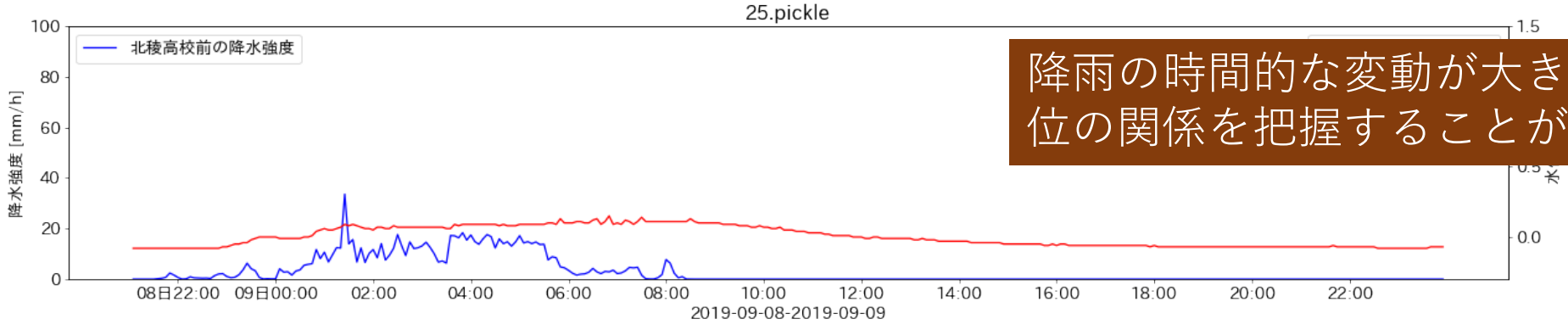
- 2023年6月2日～4日（台風２号）
- 3個のセンサを設置
- 国土交通省XRAINにて雨量を取得
- 検証にさいたま市水位情報システムの水位を利用

この地点での降雨と水位の例

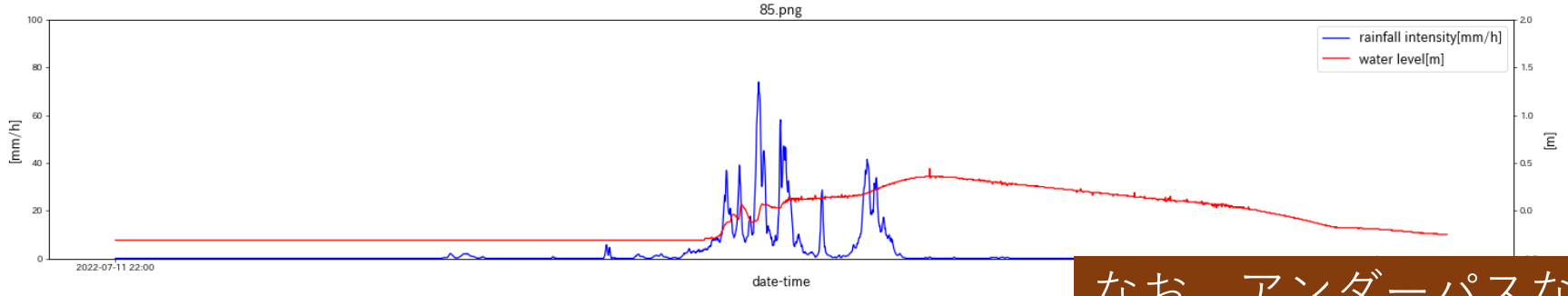
青線：降雨強度（国交省Xバンドレーダによる）

赤線：水位（さいたま市水位情報システムによる）



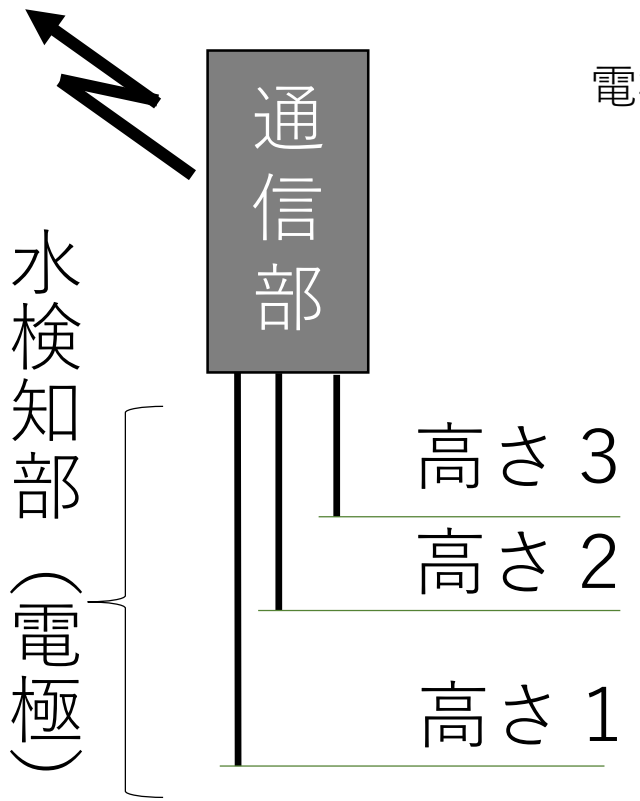


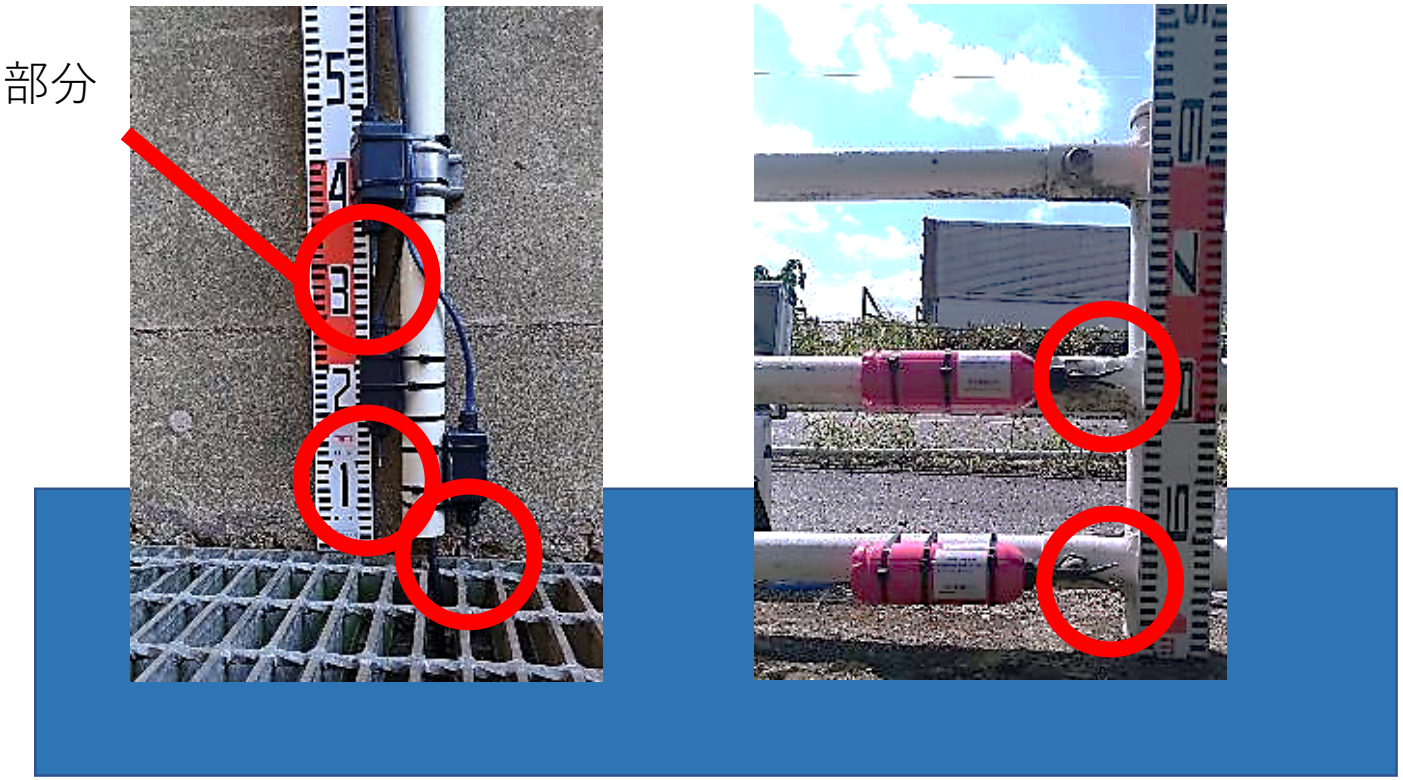
降雨の時間的な変動が大きく、人間が降雨と水位の関係を把握することが難しい



なお、アンダーパスなどの他の場所では別のパターンが得られる。

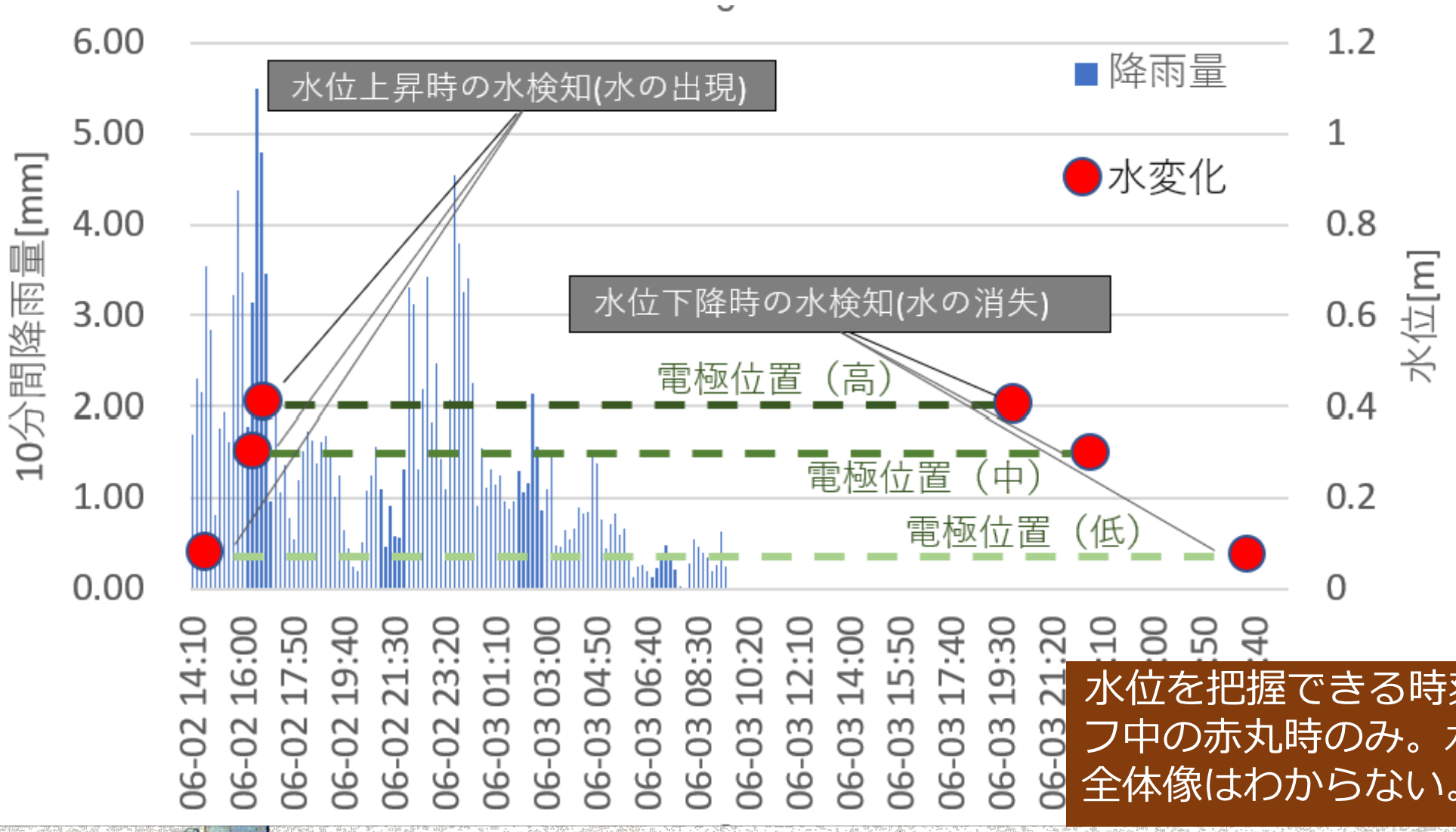
冠水センサで、冠水の把握だけでなく「予測」を行うために・・・複数高さ水検知





高さの異なる水検知部のそれぞれが水を検出した時点、
それぞれから水が消失した時点に状態の変化を送信する。

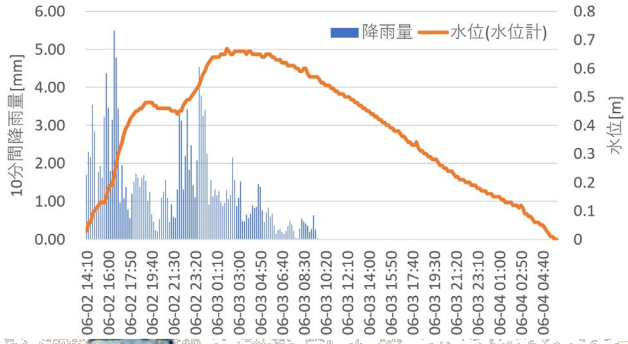
複数高さの冠水センサによる水位把握の例



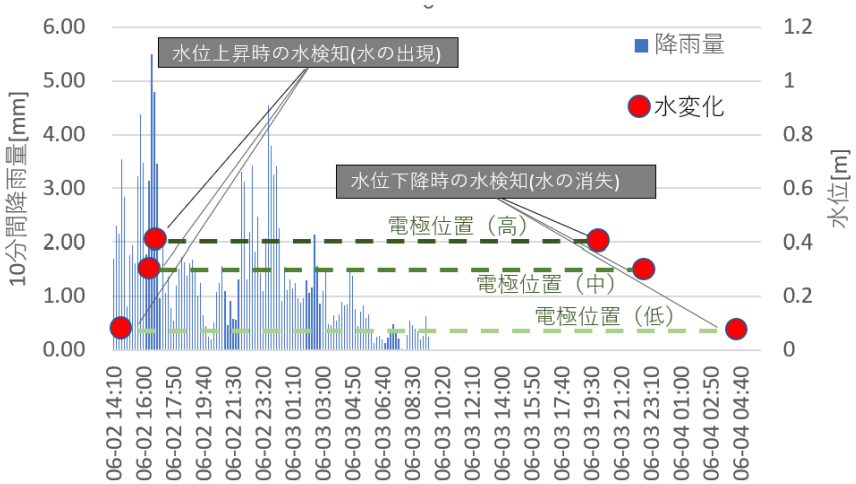
水位を把握できる時刻は、グラフ中の赤丸時のみ。水位変化の全体像はわからない。

得られる情報の違い　（左）連続式水位計、（右）センサ

観測時刻	10分間降雨量 [mm]	水位[m]
---	---	---
06-02 16:00	3.47	0.18
06-02 16:10	1.79	0.19
06-02 16:20	3.15	0.19
06-02 16:30	5.50	0.23
06-02 16:40	4.79	0.26
06-02 16:50	3.45	0.3
06-02 17:00	0.97	0.32
---	---	---



観測時刻	検知情報	水位[m]
2023-06-02 14:09	高さ１水検出	0.03
2023-06-02 17:15	高さ２水検出	0.35
2023-06-02 23:27	高さ３水検出	0.52
2023-06-03 11:26	高さ３水消失	0.52
2023-06-03 17:16	高さ２水消失	0.35
2023-06-04 07:14	高さ１水消失	0.03



センサの限られた情報から予測するための仮定

場所毎に降雨の一定割合の有効雨量が場所毎に一定時間遅れて流入する

雨水の流入

雨水が排出されなければ流入した雨水に比例して水位が上昇する

冠水地点

検知器(*高さ j*)

検知器(*高さ i*)

場所毎に時間当たり一定量の水が排出され、時間当たり一定の水位低下が生ずる

雨水の排出

予測式

$$
\begin{aligned}
&\text{水位高さ}_j - \text{水位高さ}_i \\
&= \text{上昇係数} \times \text{総雨量}\left(\text{時刻}_{i-\text{遅れ}} \sim \text{時刻}_{j-\text{遅れ}}\right) \\
&+ \text{下降係数} \times \left(\text{時刻}_j - \text{時刻}_i\right)
\end{aligned}
$$

$i,\ j$：時刻（jはiよりあと）

上昇係数：有効雨量となる割合と流入雨量によって上昇する水位を決める係数

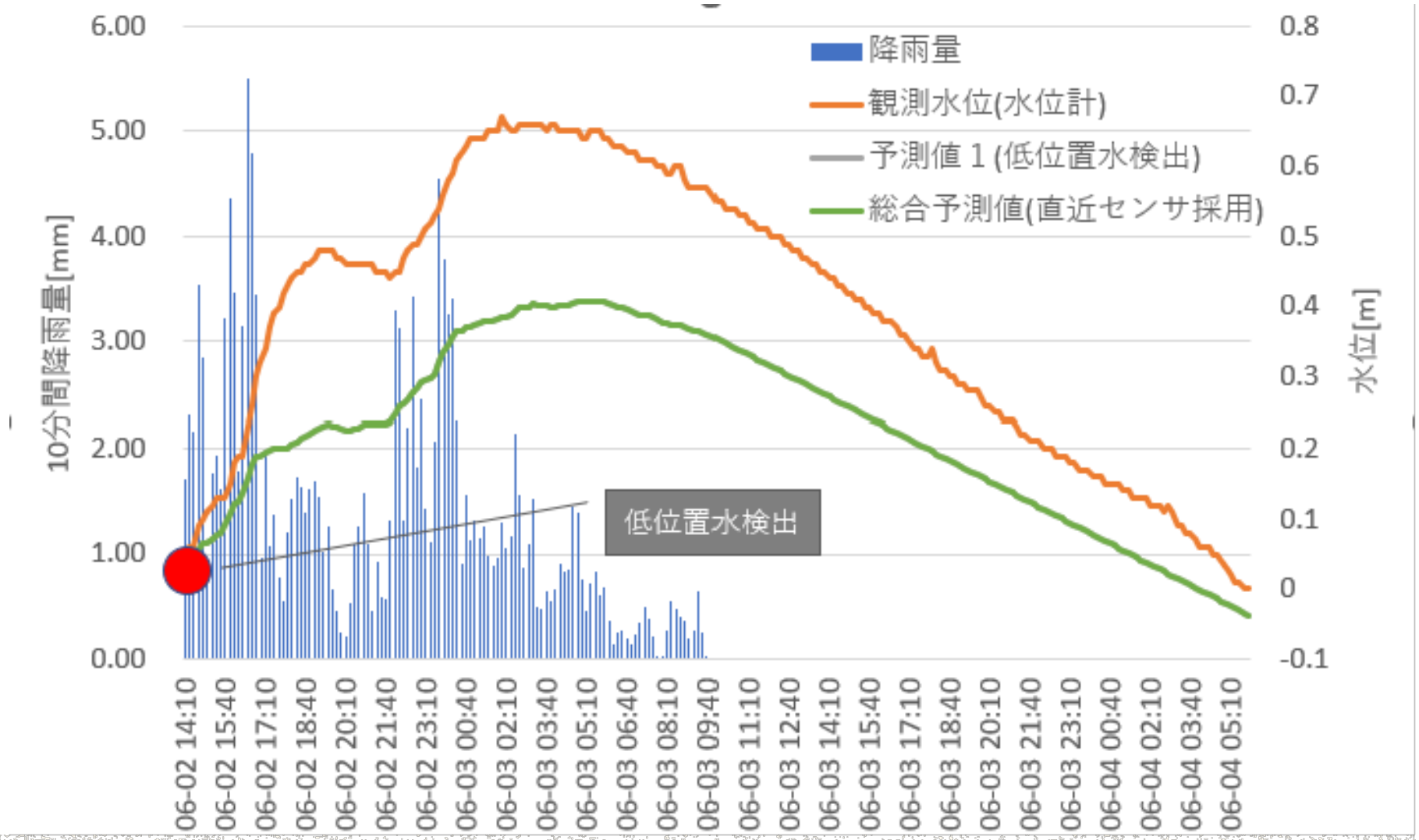
下降係数 :排水により単位時間当たりに低下する水位を決める係数

遅れ：降雨が予測対象地点へ到達する時間

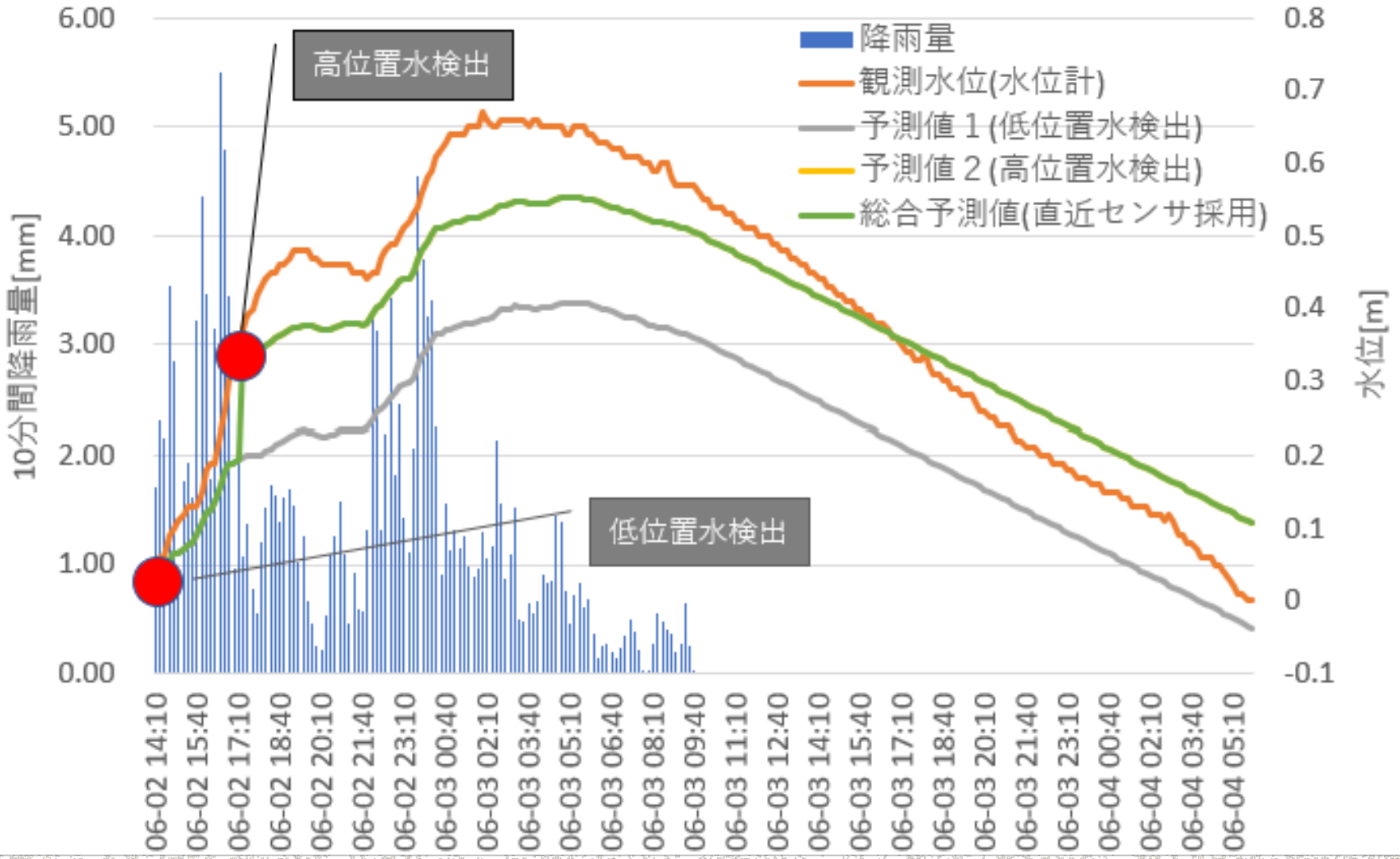
（補足）

ここでは係数を固定し、雨量と時間と比例関係にあるとしたが、係数を関数（例えば、カーネル関数）とするなども可能である。その場合は正則化項を加える。

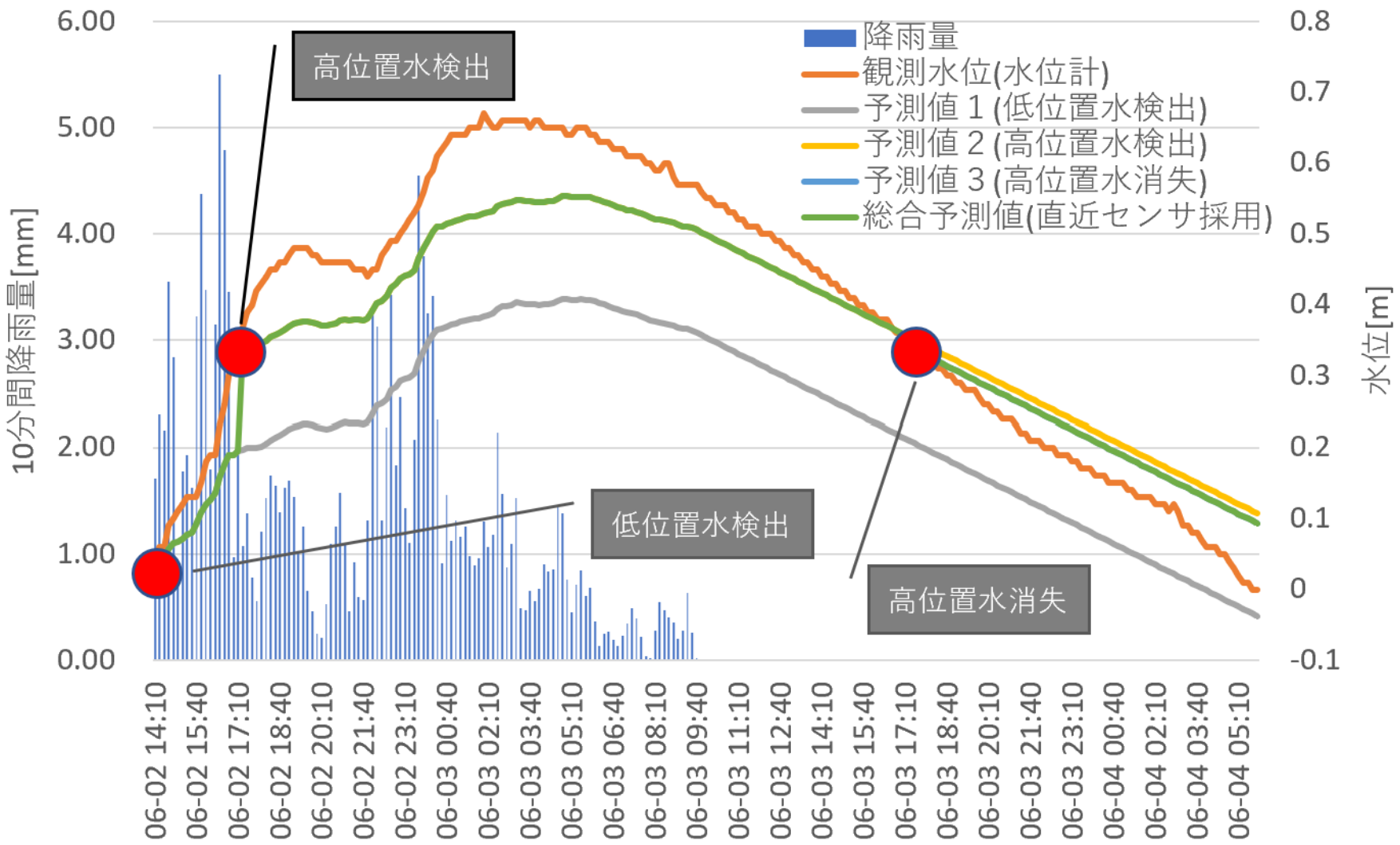
先の仮定に基づいてセンサと降雨データから機械学習により予測した水位



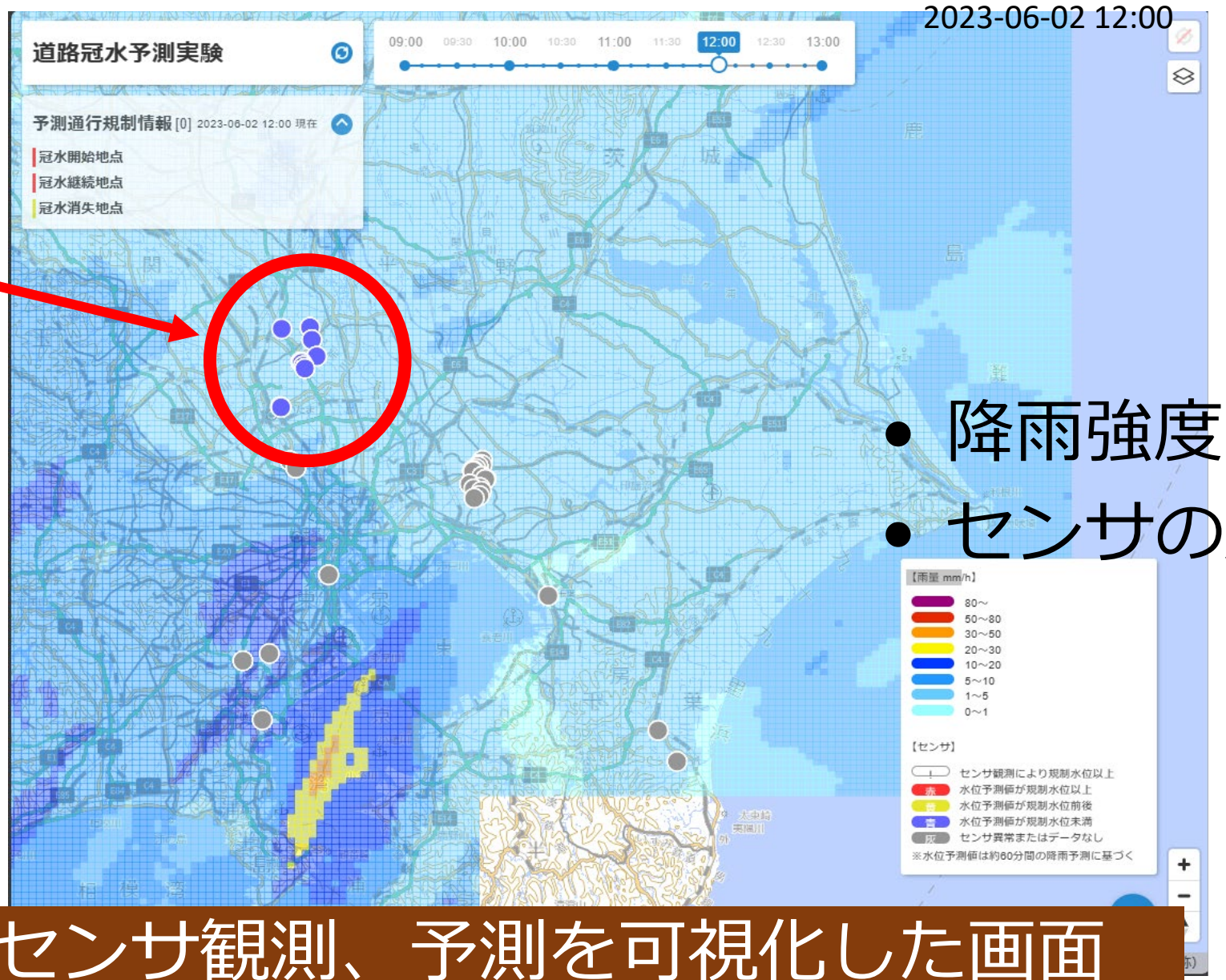
先の仮定に基づいてセンサ＋機械学習により予測した水位



先の仮定に基づいてセンサ＋機械学習により予測した水位



さいたま市
に設置した
センサ

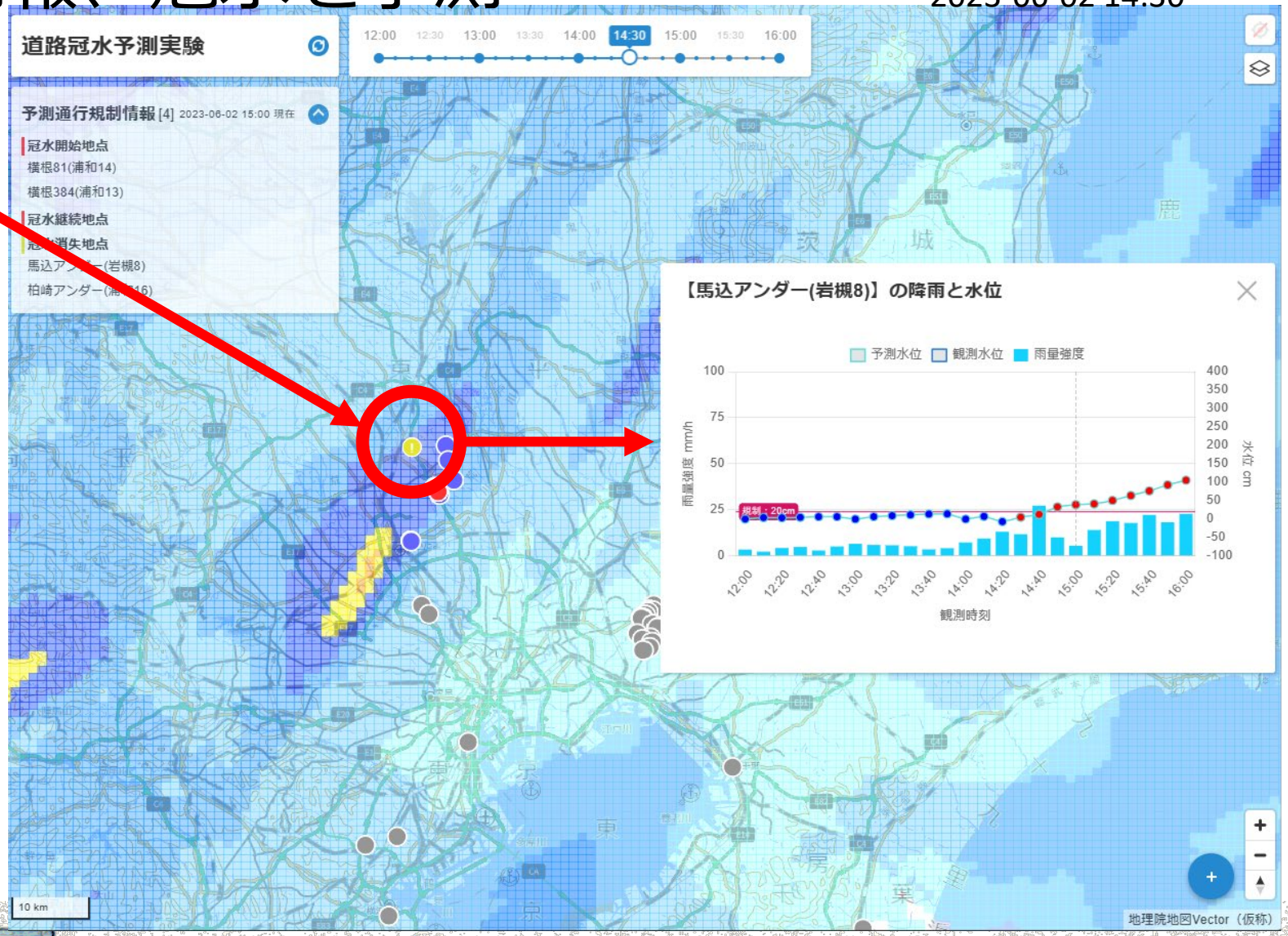


- 降雨強度
- センサの凡例

降雨、浸水センサ観測、予測を可視化した画面

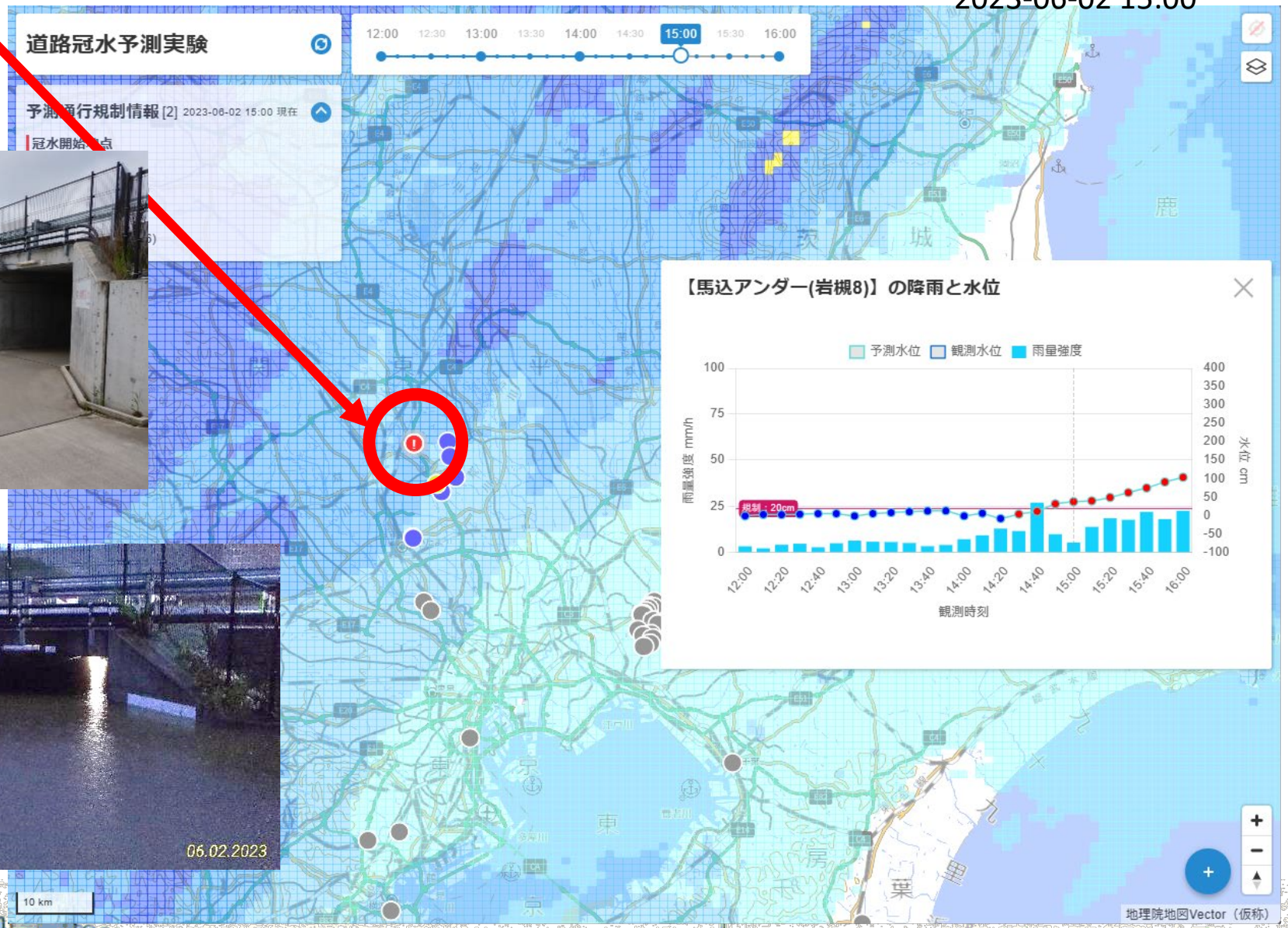
- 馬込アンダー地点で低位置センサが発報、冠水を予測している

2023-06-02 14:30



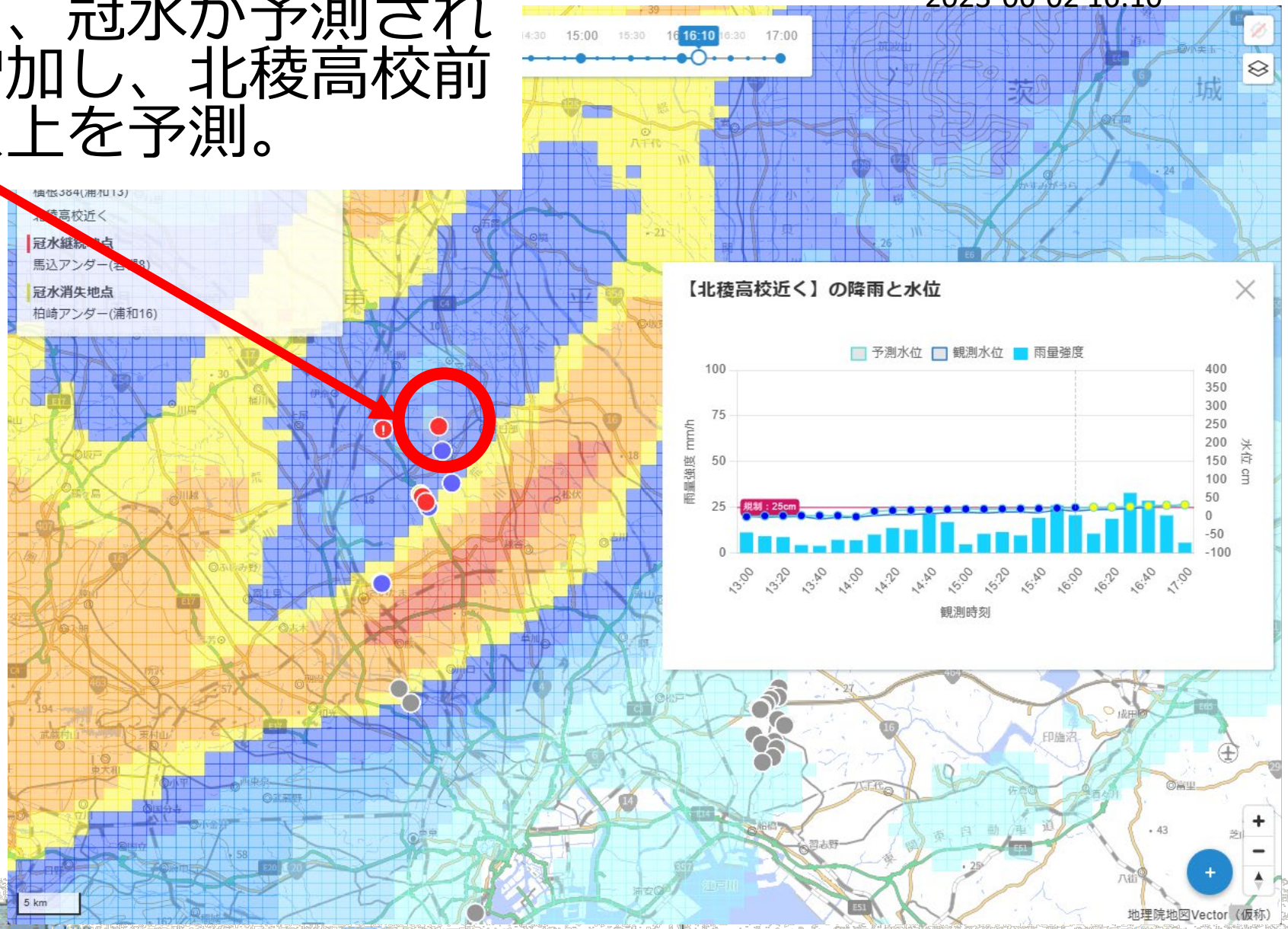
- 馬込アンダー地点で予測のとおり規制値以上のセンサが発報し、冠水を観測した（マークが！へ）

2023-06-02 15:00



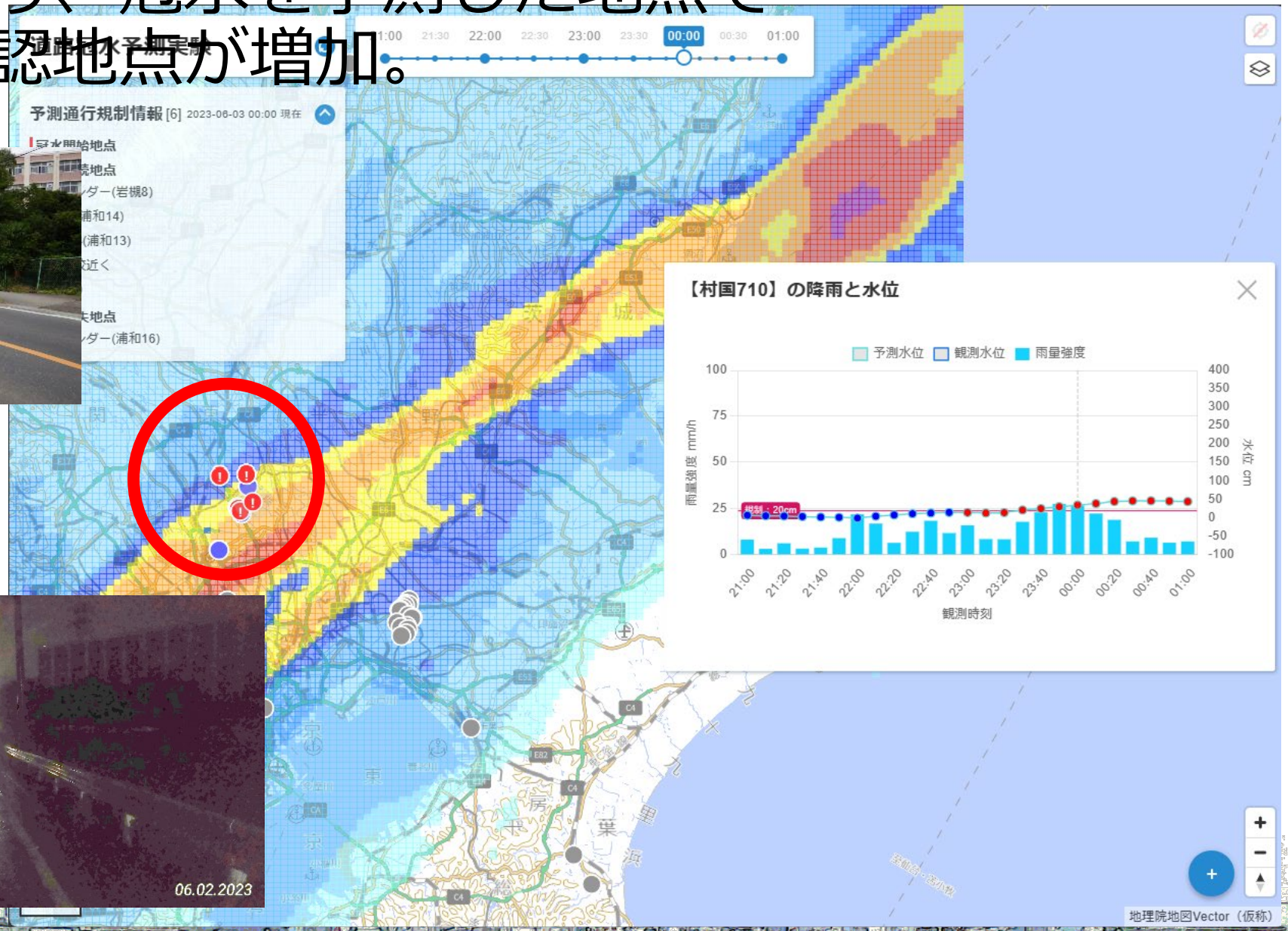
- 20mm/h、30mm/h以上の降雨により、冠水が予測される地点が増加し、北稜高校前も規制値以上を予測。

2023-06-02 16:10



深夜0時において、20mm/h前後の降雨により、冠水を予測した地点で冠水の確認地点が増加。

2023-06-03 00:00



まとめ

- 比較的小さなエリアで内水氾濫※により道路冠水が生ずる場所において、水位計に比して安価なセンサを使って降雨から水位予測を行い、道路冠水予測システムを開発した。

  ※外水氾濫（河川の諸条件を要す）、高潮（天文潮位と気圧）、人工的な排水（水門、ポンプの稼働状況）のように降雨以外の要因で急激な水位変動が生ずるものは想定していない。

- 道路管理者の意見
  - 道路冠水水位が低下、上昇、不変が判るだけでも有用。
  - 通行規制の作業は地元の業者が行っており、長年の勘でうまく実施しているが高齢による退職によってノウハウが失われることを懸念しており、それを新技術で補えることに期待する。
- 今後の課題
  - より多くの地点でデータを収集し、地形も分析に加えて精度の向上を図る。

- 成果の公表
  - 土木学会土木情報学シンポジウム2023年「道路冠水による通行規制に対する水検知器と雨量計を用いた予測に関する基礎的研究」、科学技術振興機構主催新技術発表会。
  - なお、現在投稿中原稿との二重投稿にならないよう研究内容の一部を省略しています。
  - 水位予測に関する特許を出願中。