



道路・市街地の冠水のリアルタイムモニタリングに関する研究

東京電機大学 総合研究所 小林 亘

wkoba@mail.dendai.ac.jp

2024-05-17

令和6年度 研究助成成果報告会

道路・市街地の冠水のリアルタイムモニタリングに関する研究

1年目

目標：道路・市街地の冠水を把握するセンサの信頼性を実地で定量的に評価する。

効果：信頼性の高い冠水モニタリングの実現。

定量的な評価方法の確立は製造者にもメリットがある。

2年目

目標：冠水情報の有用性を高める手法・表現を開発する。

効果：冠水情報の社会実装を可能とすることができる。



冠水センサの例：国土交通省ワンコイン浸水センサ実証実験パンフレットより

1. 冠水センサの信頼性の基本的な評価項目

- ① 通信の信頼度
- ② 水検知の信頼度
- ③ 水検知情報の到達時間

(その他、堅牢性、結露対策等も考えられる)



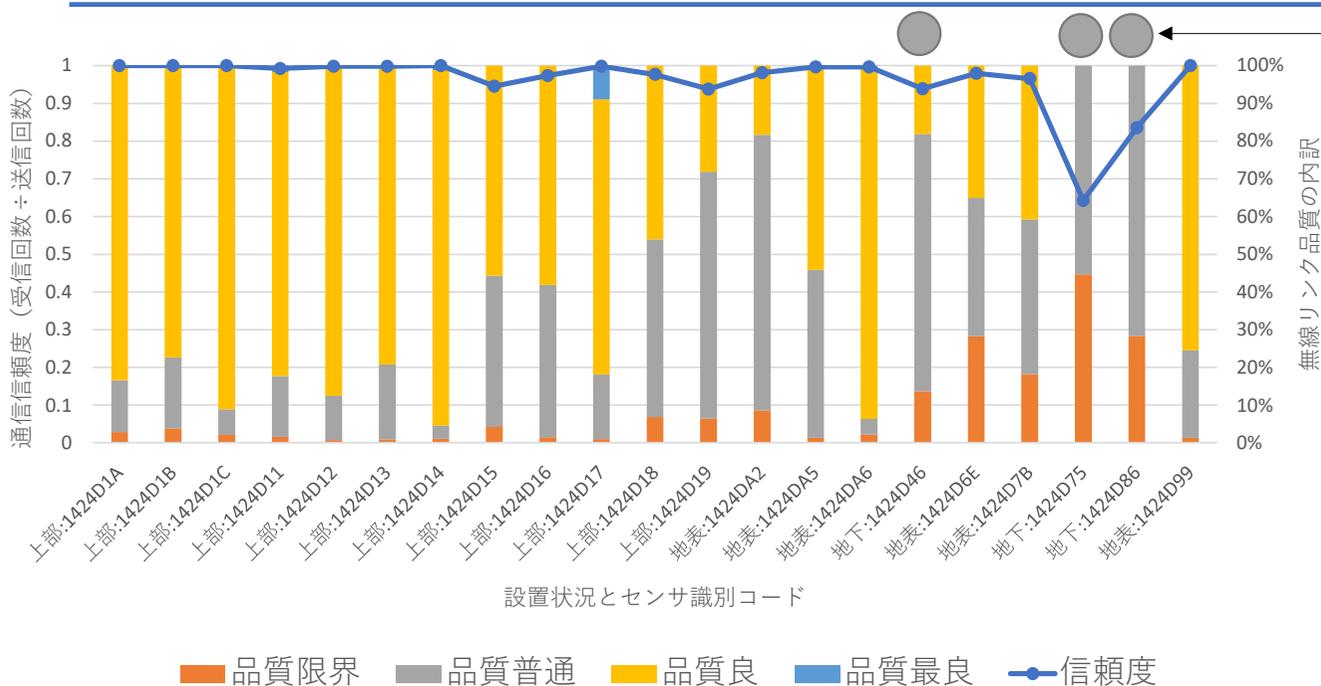
電極

連続式水位計と冠水センサの特徴の比較

	連続式水位計 (河川)	冠水センサ (市街地・道路)
通信方式	水防道路用専用波等	LPWA等 (多様な用途で共用)
観測時間	10分周期	検知時のみ
観測水位	連続 (1/100[m])	検知高さのみ
観測方法	フロート式、水圧式、超音波式、電波式等	連続式水位計の水検知方法に加えて、電極式等も利用可能



無線通信の信頼度



地表より下の側溝グレーチング下に設置

RSSI (受信信号強度)	受信局数	Link Quality
$-122\text{dBm} \leq \text{RSSI}$	3	EXCELLENT
$-135\text{dBm} \leq \text{RSSI} < -122\text{dBm}$	3	GOOD
$-122\text{dBm} \leq \text{RSSI}$	1 or 2	GOOD
$-135\text{dBm} \leq \text{RSSI} < -122\text{dBm}$	1 or 2	AVERAGE
$\text{RSSI} < -135\text{dBm}$	any	LIMIT

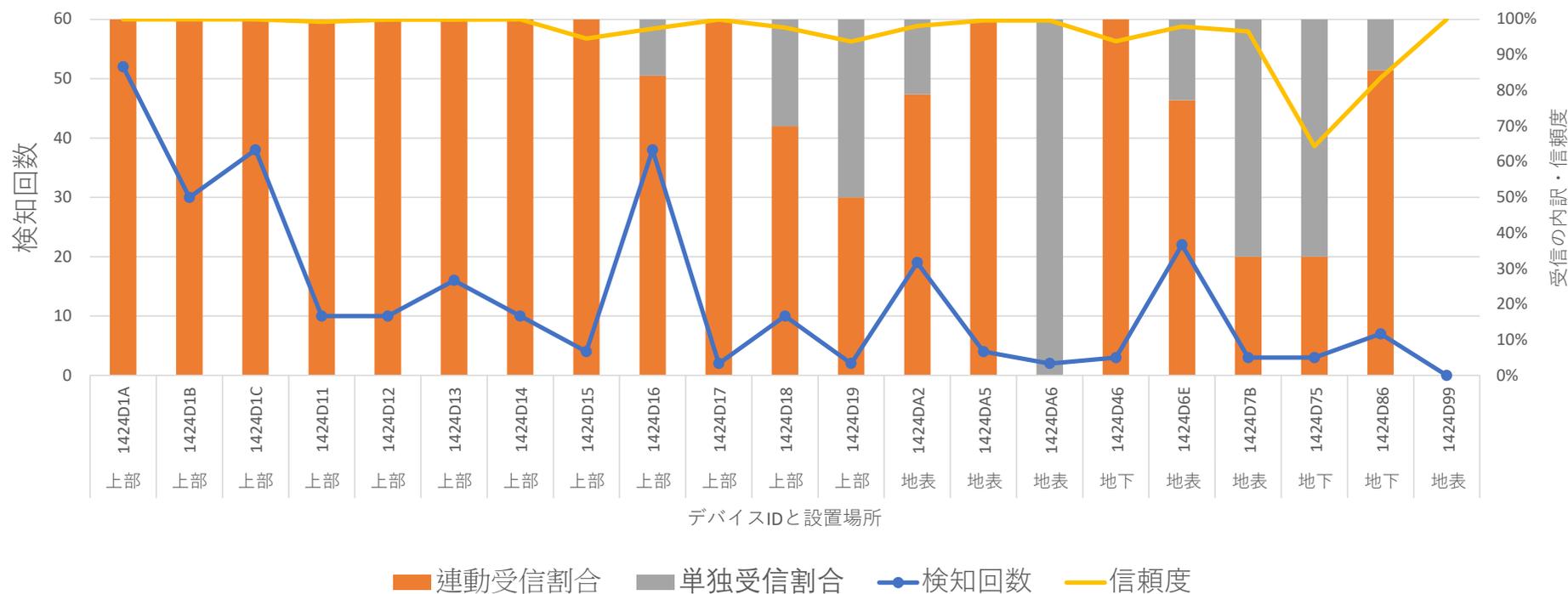
京セラコミュニケーションシステム：
Sigfoxネットワーク品質指標 - Link Quality -

無線信頼度とリンク品質(Sigfox, 送信空中線電力13dBm)

無線通信の信頼度の算出方法：受信回数 ÷ 送信回数 (送信回数は454回~862回)



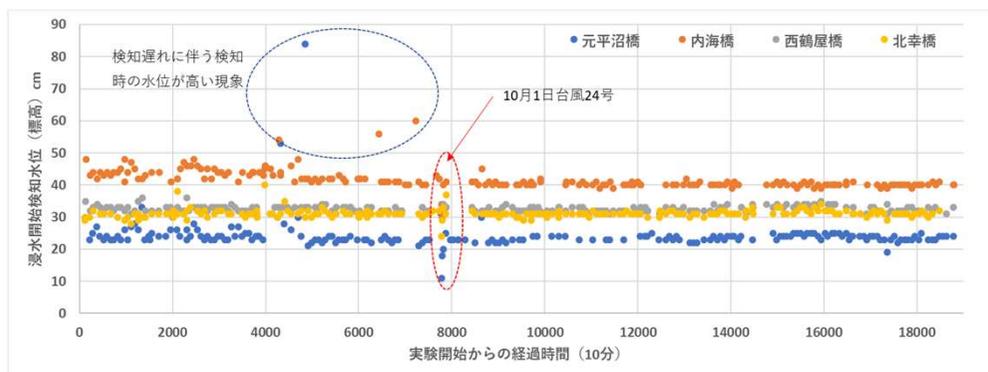
主信号と副信号(30秒後の再送信)によるダイバーシティの状況



- 連動受信割合：主信号・副信号の両方を受信した割合
- 単独受信割合：主信号・副信号のいずれか一方のみを受信した割合



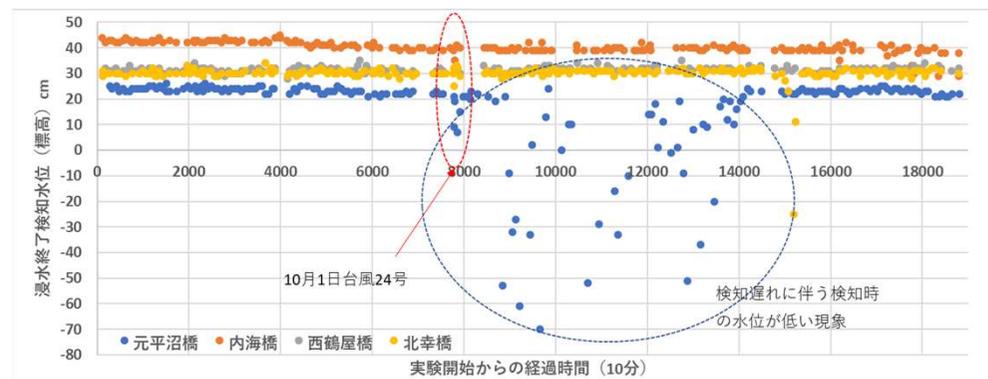
水の検知について：（参考）河川設置のフロート式センサの誤検知の例



浸水検知時の水位¹⁾（低い水位で検知しているのは風の巻き上げの可能性）



フロート式センサとフィルタ



浸水終了時の水位¹⁾（終了が低い水位まで遅れるのはセンサからの排出が不良であるため）

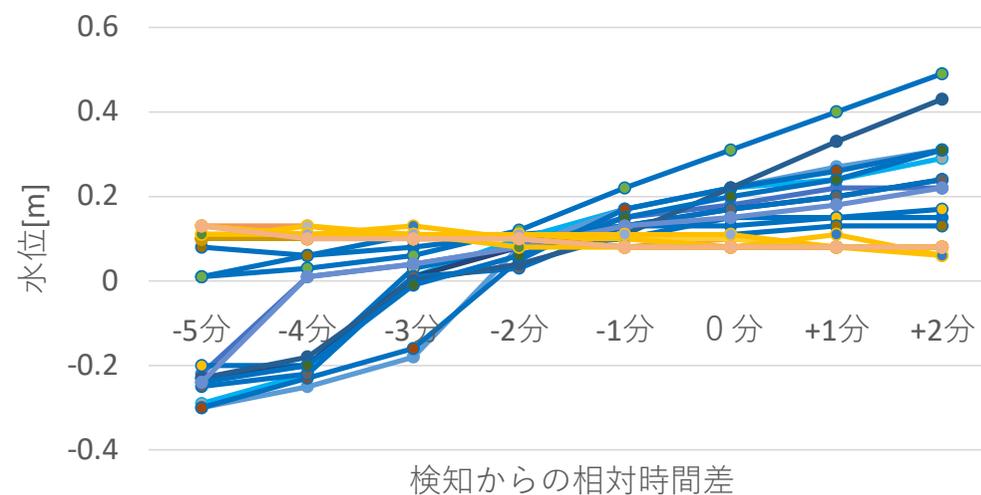
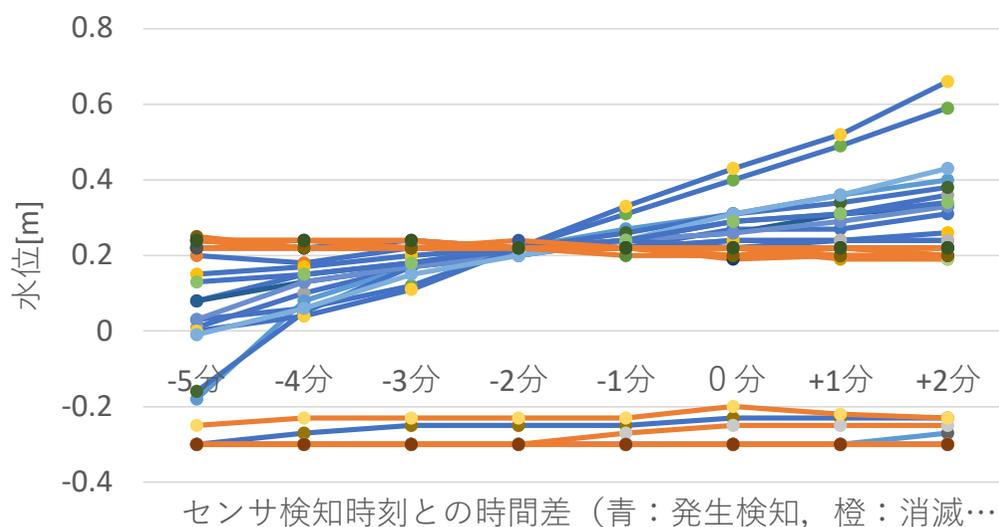


センサのフィルタ部に付着した藻

1) 小林 亘, 大原 美保: LPWAを用いた市街地でのリアルタイム浸水モニタリングに関する研究, 土木学会論文集F3 (土木情報学), 75 巻, 1 号, pp. 36-47, 2019.



さいたま市水位情報システムと冠水センサの照合による検知高さの補正



1424D1B 異常値排除済み

	-5分	-4分	-3分	-2分	-1分	0分	+1分	+2分
1424D1C								
平均高さ [m]	0.14	0.17	0.20	0.22	0.24	0.25	0.27	0.29
標準偏差	0.125	0.066	0.035	0.008	0.029	0.059	0.085	0.120

1424D1C：馬込アンダーパス設置

水検知時刻の前5分から2分後までの水位計の値

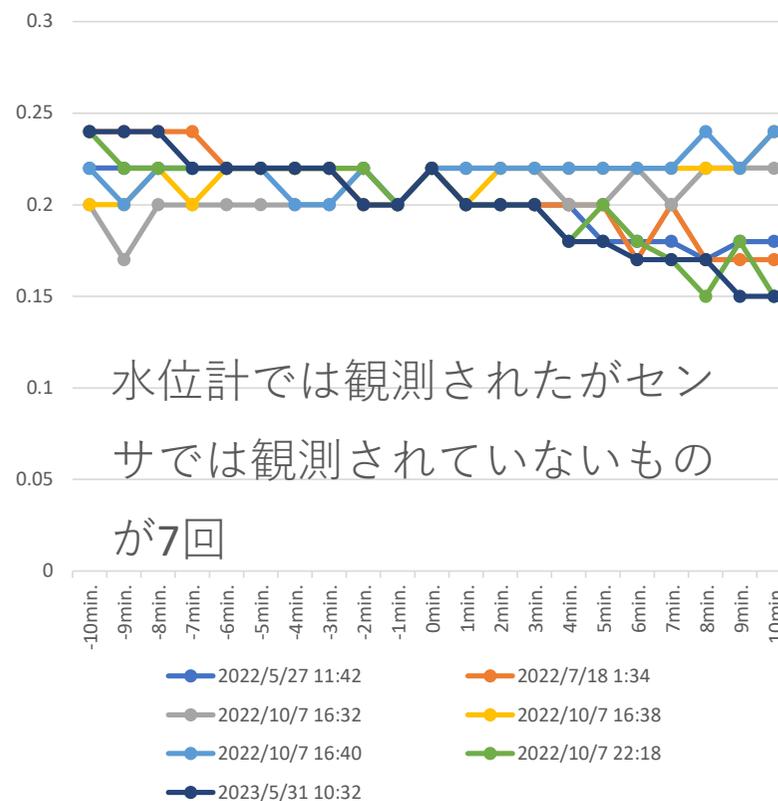
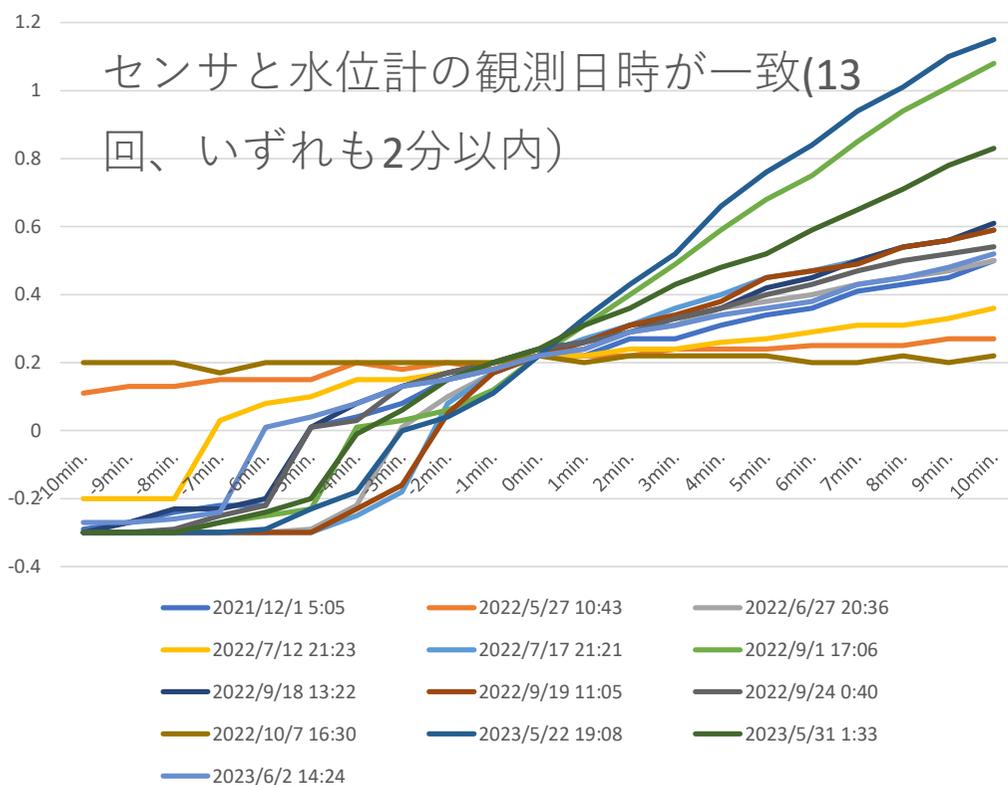


センシングの方法と特徴、特に平滑処理

方法	特徴
水の浮力を利用する方法（フロート式センサ）	原理：水の浮力を利用してスイッチを制御し浸水を検知する。 平滑処理： 波浪によるチャタリングに対してフロートの慣性が平滑化の役割を果たす。 メリット：仕組みが単純である。 デメリット：浮力を得るためのフロートにはある程度の大きさが必要となる、機械的機構が必要となるため実装レベルでは高価になる、ゴミ等への対処が必要。
水と空気の電気伝導度の違いを利用する方法（電極式）	原理：水の電気伝導度を利用して浸水時に導通を得てスイッチを制御する。 平滑処理： 波浪によるチャタリングに対して信号処理による平滑化が必要（使用したものは30秒間隔の検出で4回連続同一判定のときに確定）。 メリット：仕組みが単純であり、安価。 デメリット：様々な電気伝導度の異なる水質に対して安定して浸水を検知すること、電極の腐食や不純物の付着を抑止するために電極を定期的に逆転するなどの対策を講ずること、消費電力を抑制するなどの技術の開発が必要。



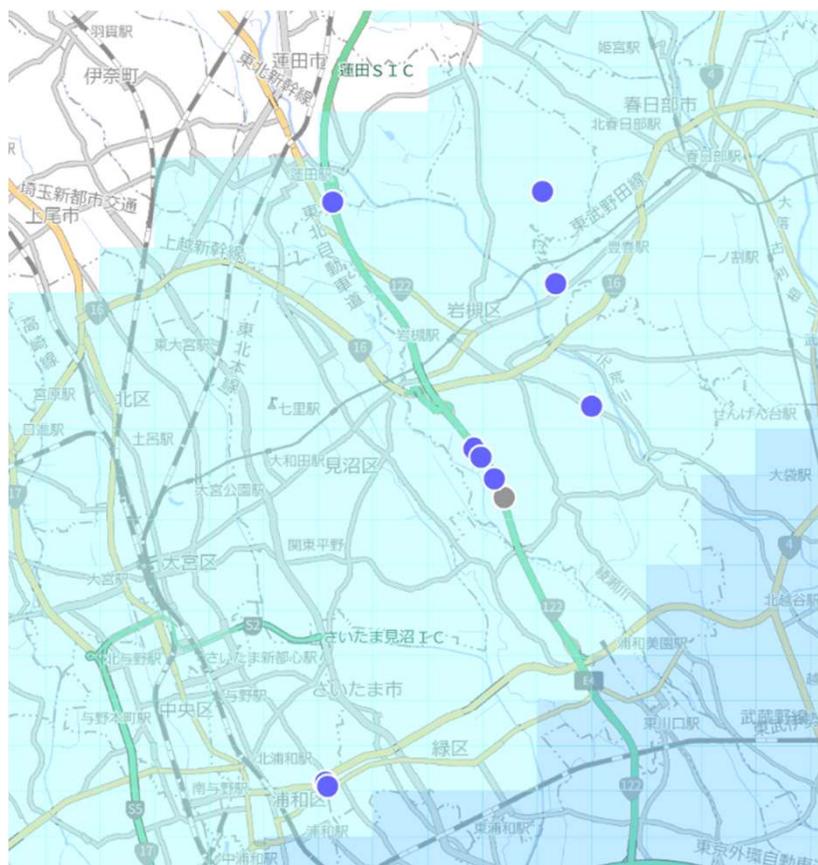
水位計と冠水センサの照合



馬込アンダーパスに設置した1424D1C 水位計補正センサ高 = 0.22m



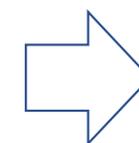
2. 冠水情報の有用性を高める手法・表現の開発



レーダ雨量との重畳



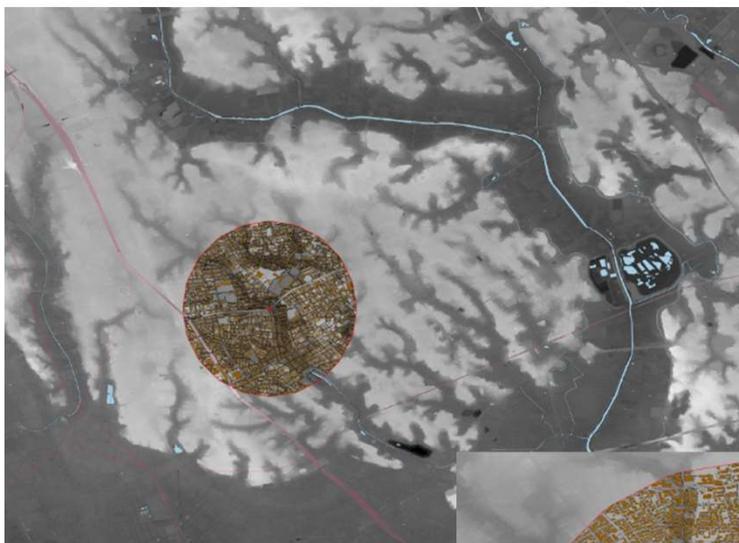
ベクトルタイル地図を利用した道路リンクの明示



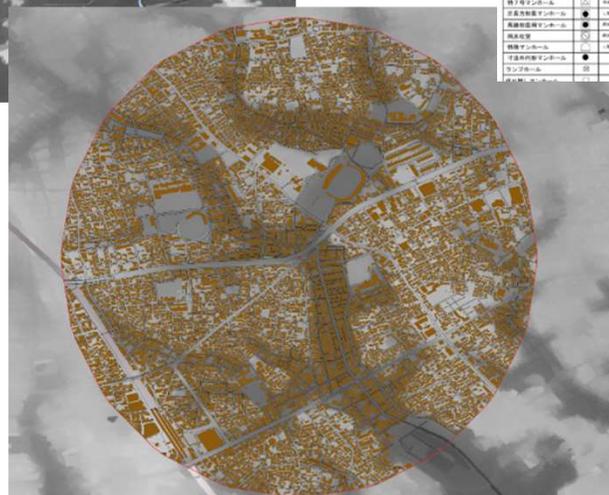
空間又は時間の拡張



空間的な補間の場合に検討すべき要素の例



DEM5m上の本太
交差点の位置



本太交差点（円
の半径は1180m）



本太交差点の下水道の状況

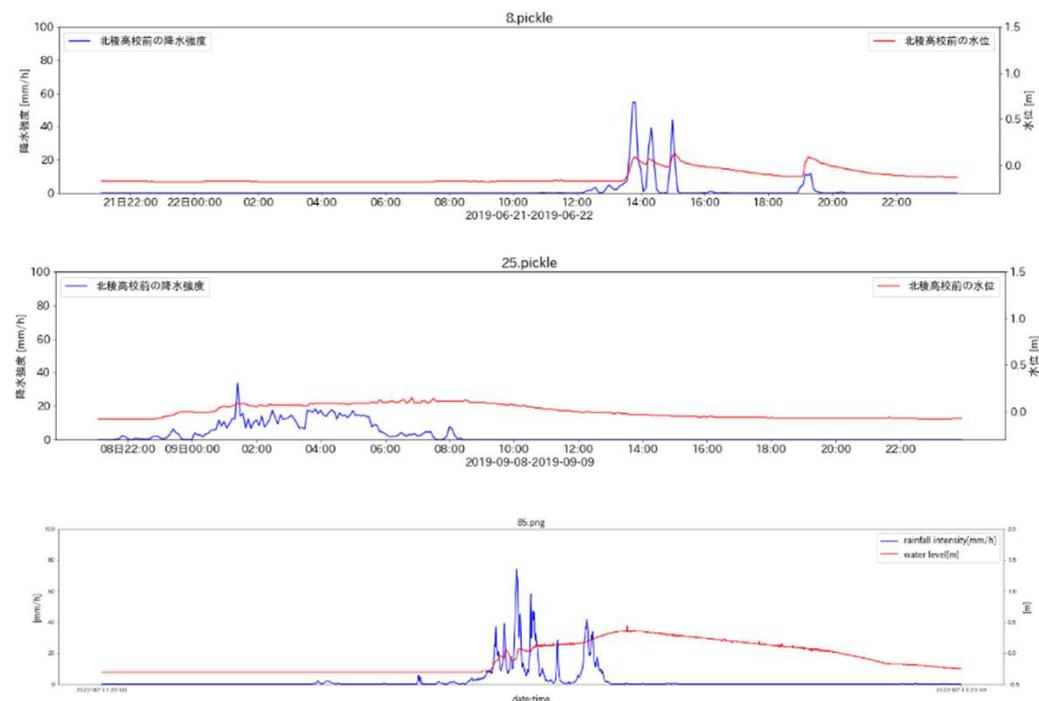
地盤高と下水道の状況
（本太交差点の例）



降雨と水位の関係の例（道路）

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
---	---	---

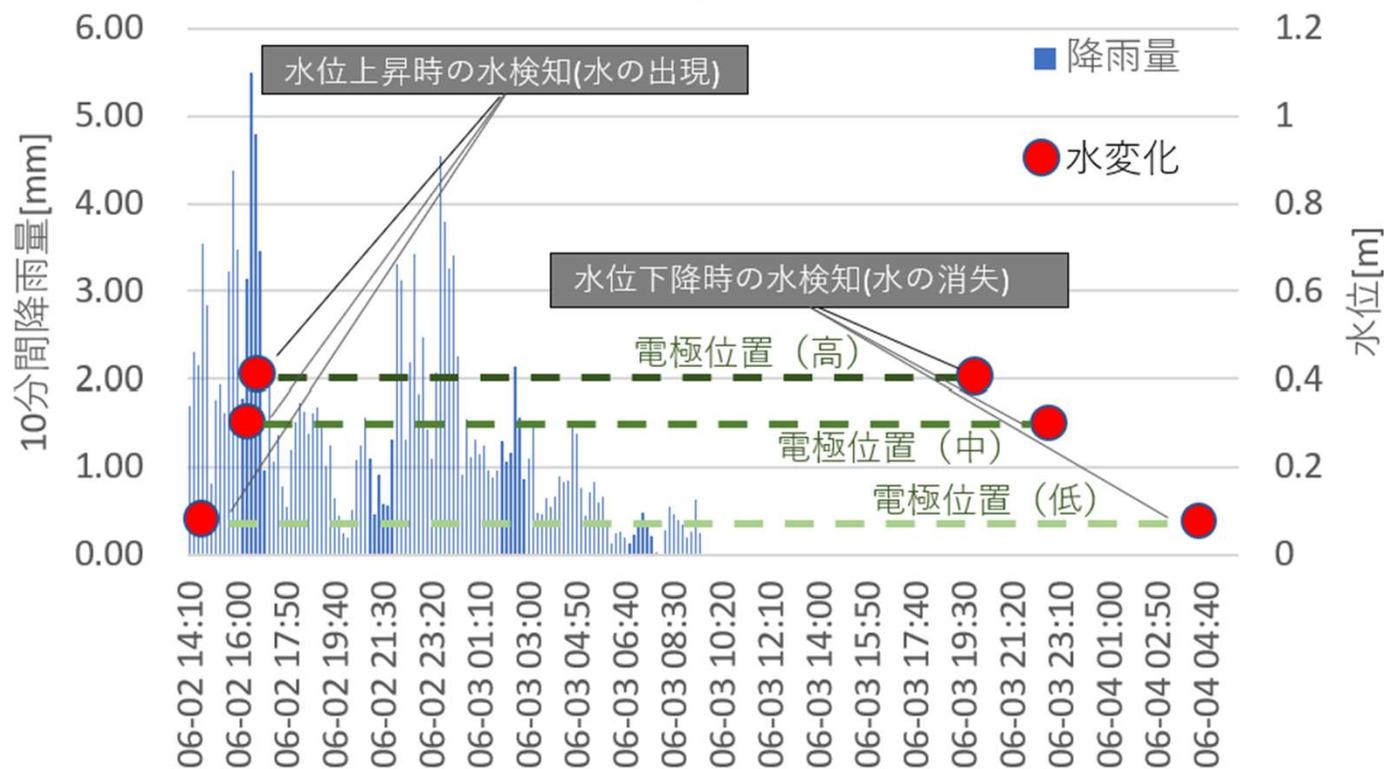
連続式水位計では連続的に多くのデータを収集できる



青線：降雨強度（国交省Xバンドレーダ）

赤線：水位（さいたま市水位情報システム）

冠水センサでは連続式水位計に比べて得られる情報が限定される



冠水センサによる観測記録

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

冠水センサでは水位を把握できる時刻と高さはグラフ中の赤丸に限られる



複数の高さの水位を検出するためのセンサの設置例

冠水センサの限られた情報から水位を予測するための仮定

降雨のうちの一定の割合（有効雨量）が一定の時間遅れて流入する



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

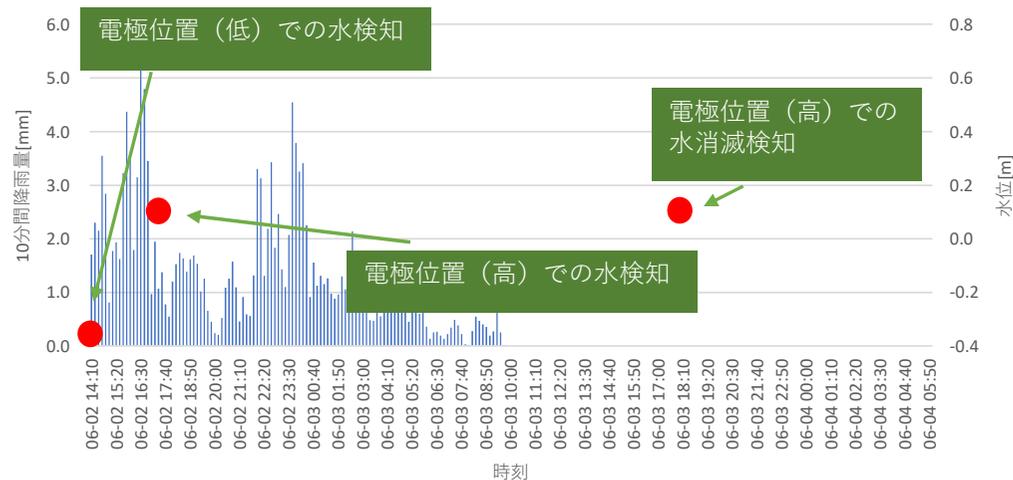


時間当たり一定量の水が排出され、時間当たり一定の水位低下が生ずる



特許出願中：モデル生成装置、水位予測装置、モデル生成方法、モデル生成プログラム、水位予測方法、水位予測プログラム、水位予測システム、及び学習済みモデル

降水量と冠水センサによる情報（さいたま市北稜高校前）



■ 降雨量:メッシュコード53397577

2023年6月2日～4日（台風2号）

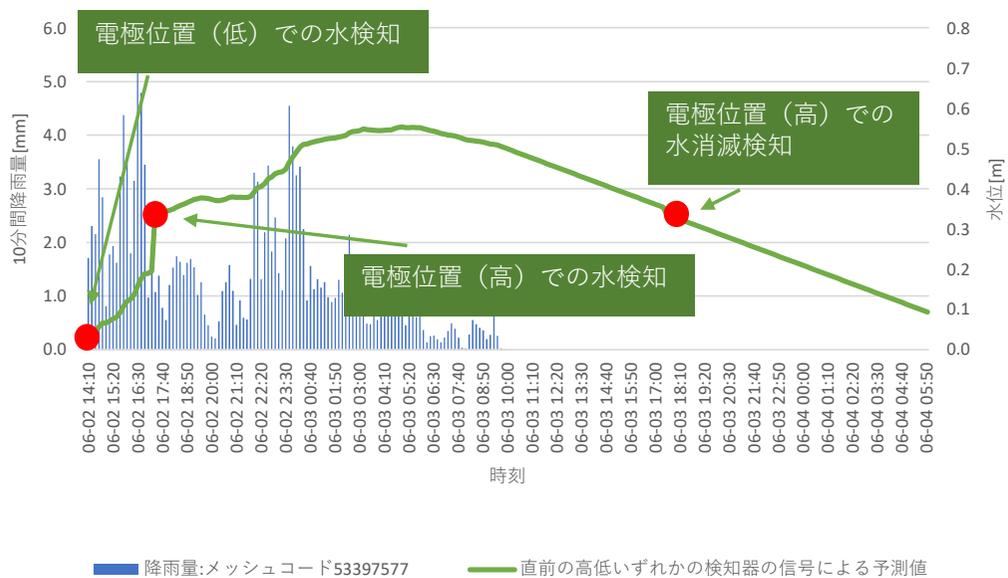
雨量強度：国土交通省XRAIN

電極式センサ

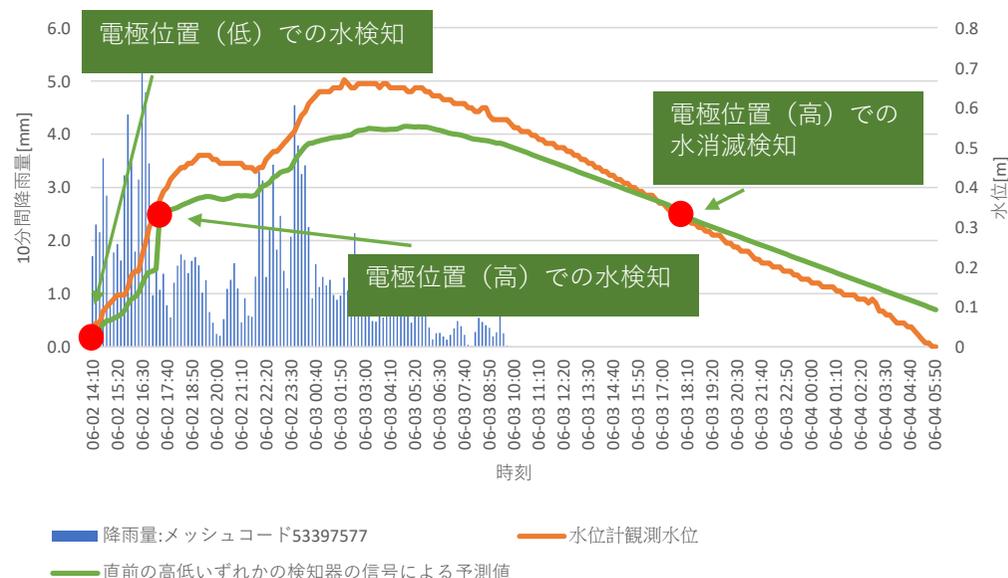


降水量と冠水センサによる水位予測

降水量とセンサ情報に機械学習により算出した係数を適用して水位を予測



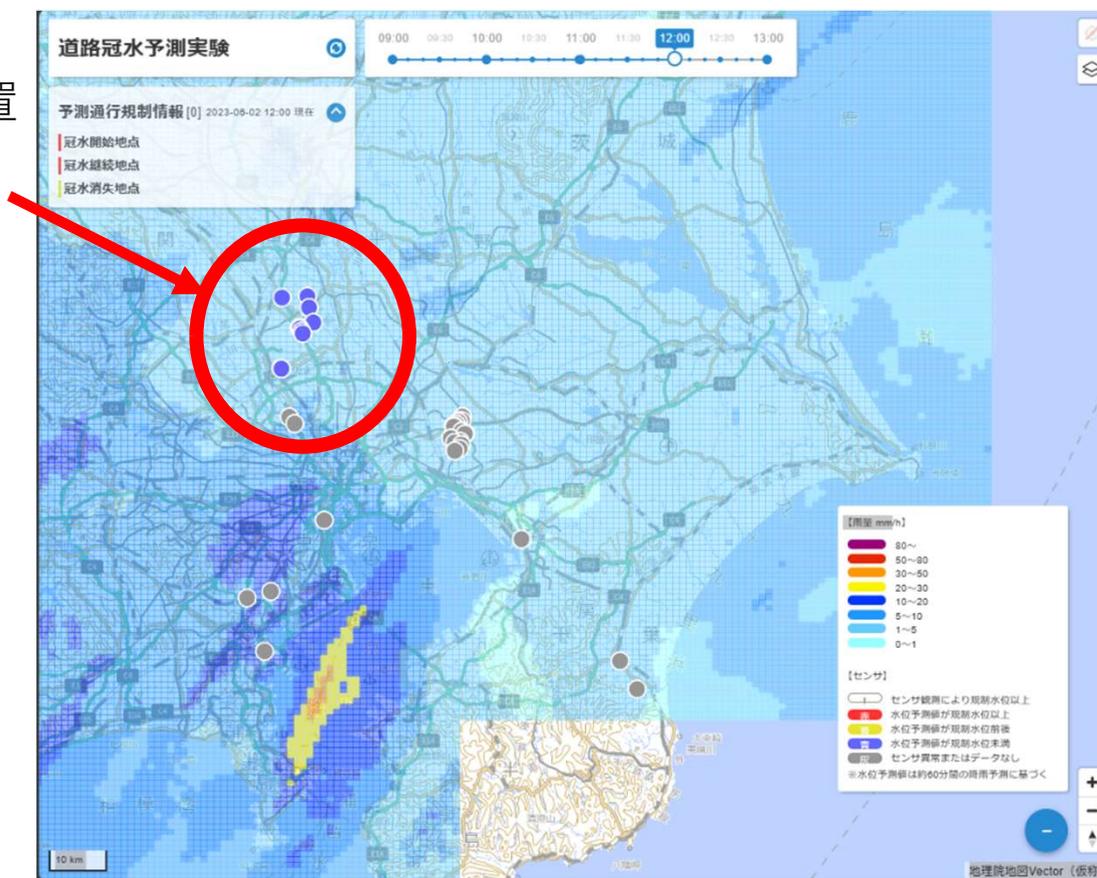
さいたま市水位情報システムによる検証



予測を組み込み降雨とセンサを可視化

2023-06-02 12:00

さいたま市に設置
したセンサ

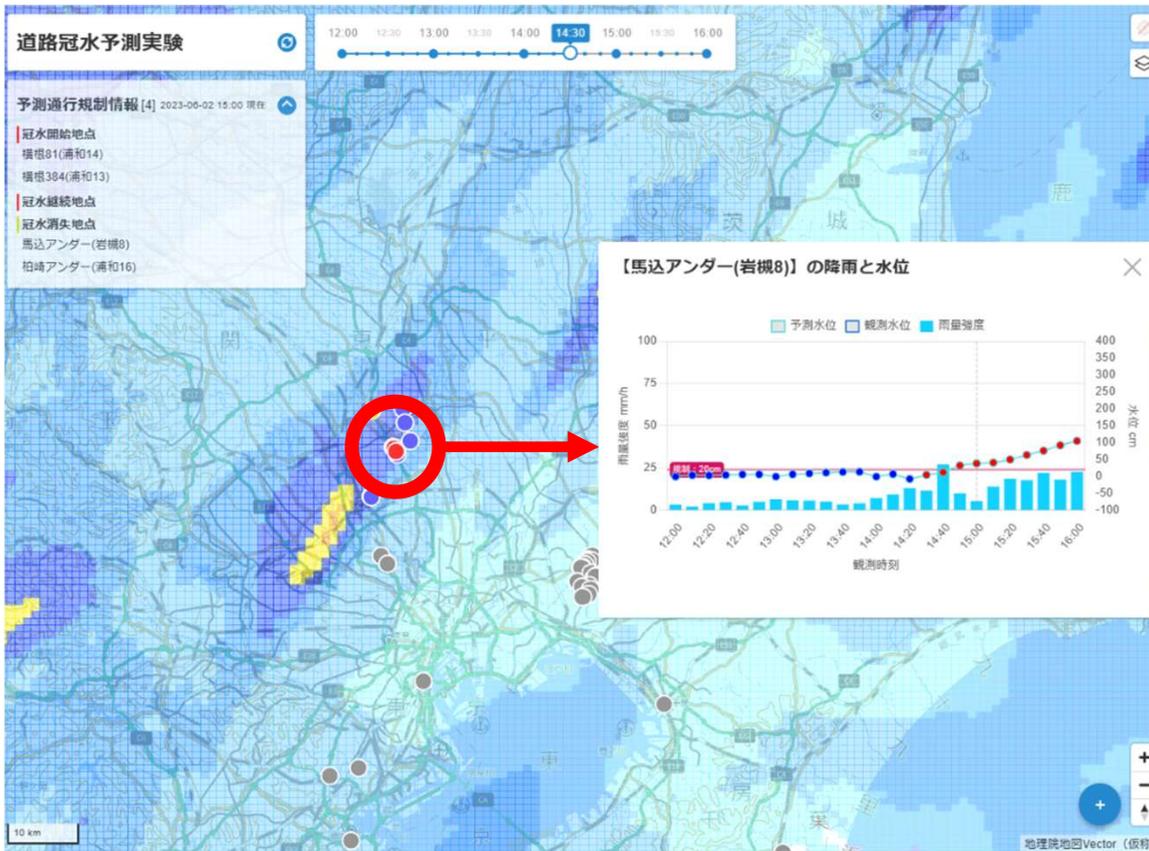


凡例
降雨強度と着色
センサアイコンの意味



冠水予測と可視化システムでの表示例

2023-06-02 14:30



馬込アンダー地点で低位置センサが発報し冠水を予測した



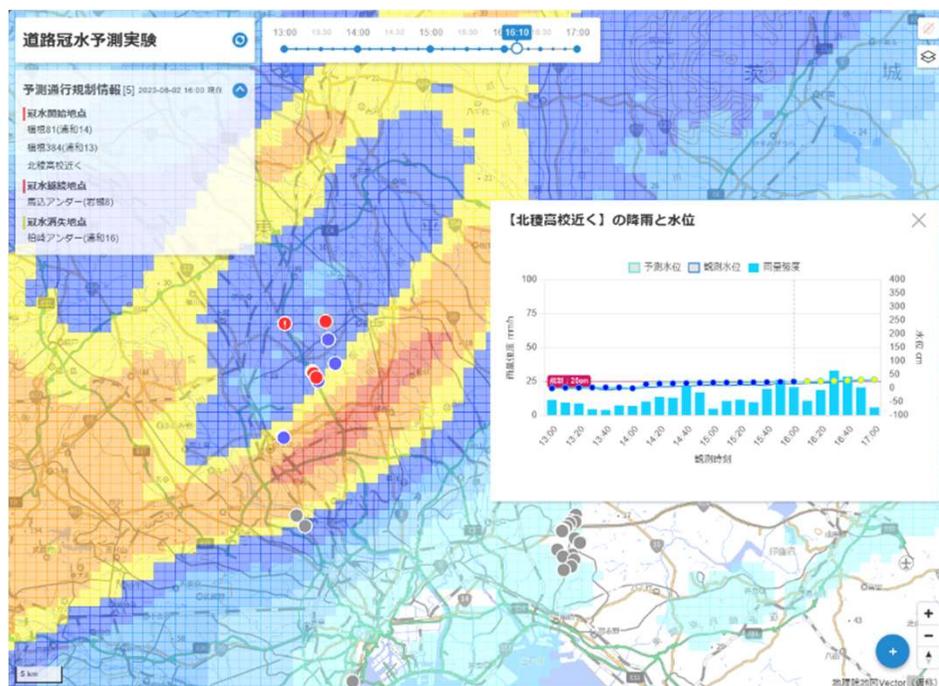
平常時の馬込アンダーパス



2023年6月2日18時の状況

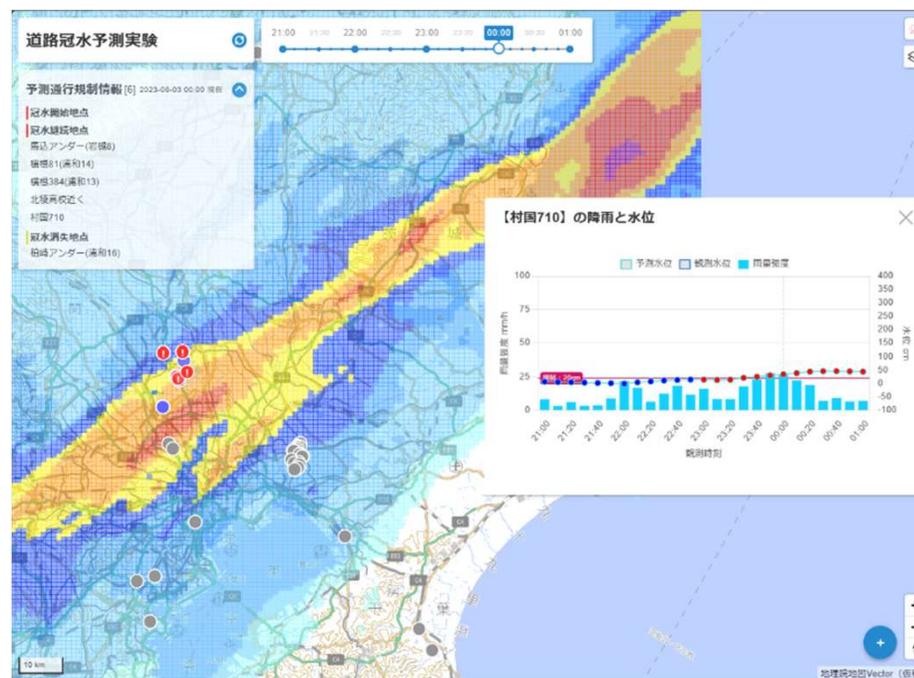


冠水予測と可視化システムでの表示例



2023-06-02 16:10

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。



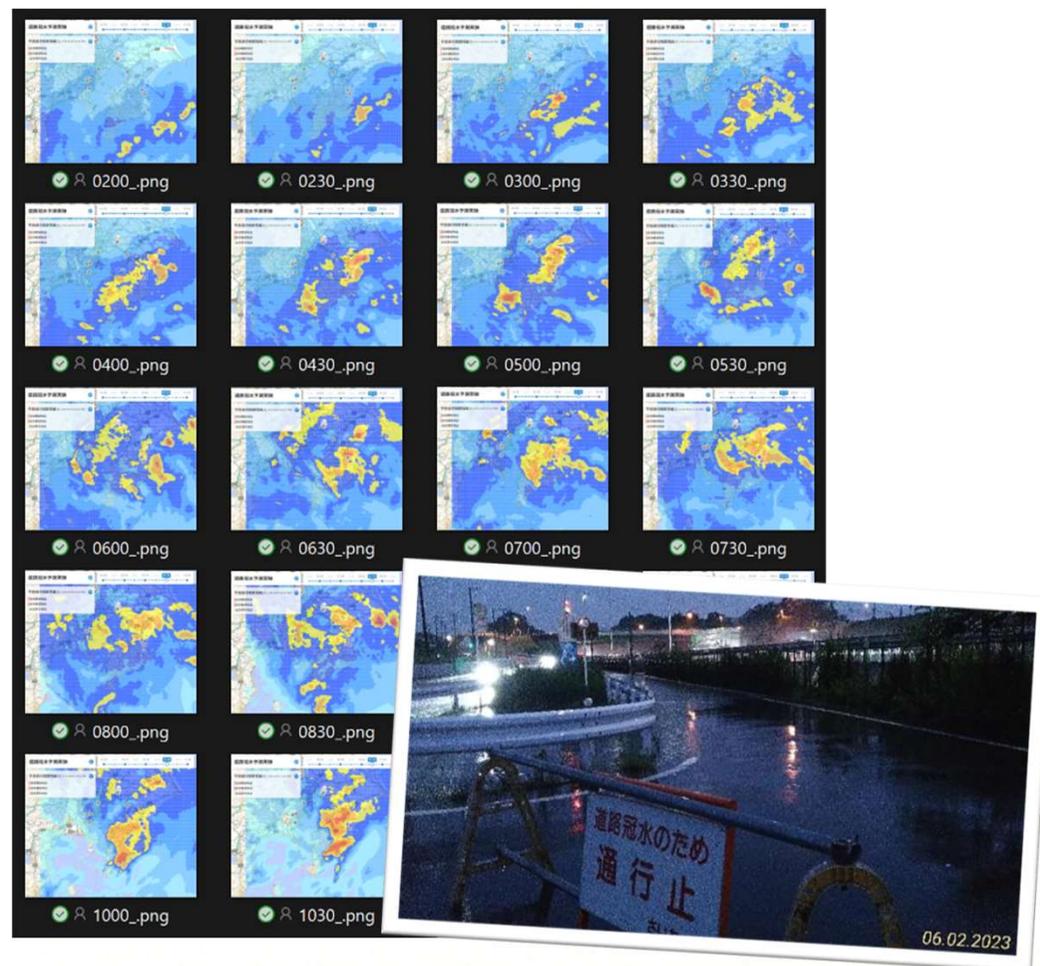
2023-06-03 00:00

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。



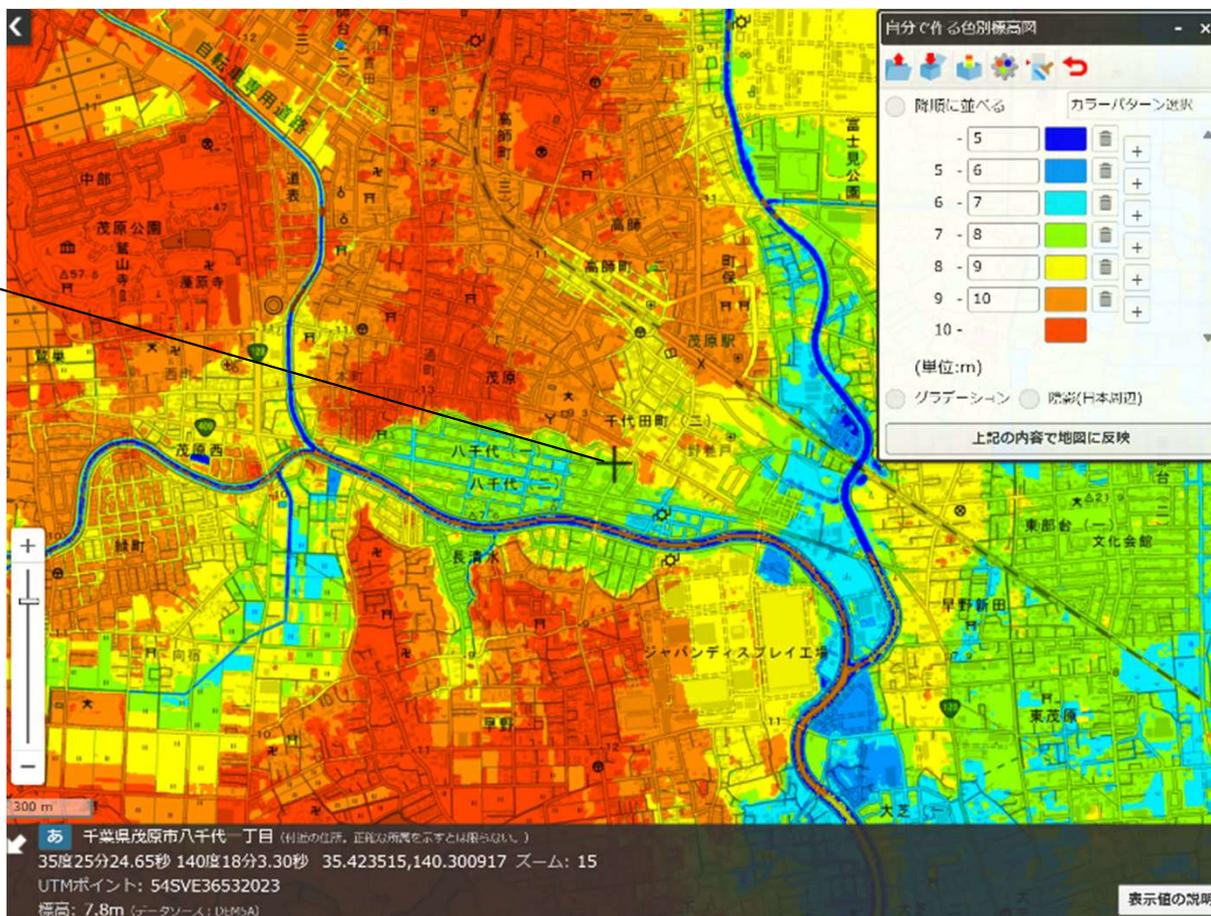
道路管理者の意見

- 道路冠水水位の数値があいまいでも低下・上昇・不変が判ることは有用である。
- 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。
- 通行規制の現地作業を職員が行っており、個所数に対して職員数が足りないので優先順が分かることは有用である。



冠水センサによる内水氾濫と外水氾濫の把握の事例（茂原市内）

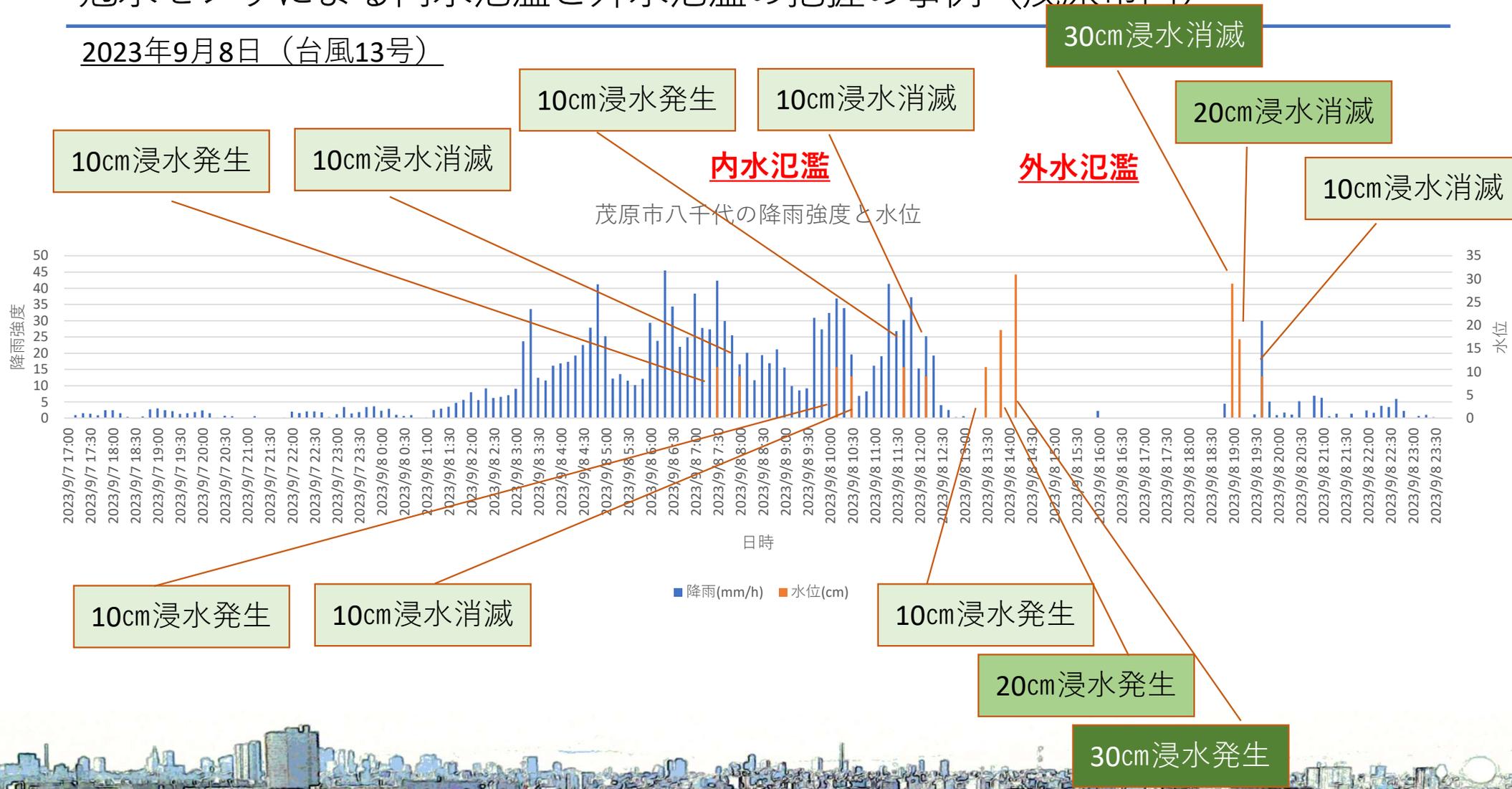
冠水センサ設置場所



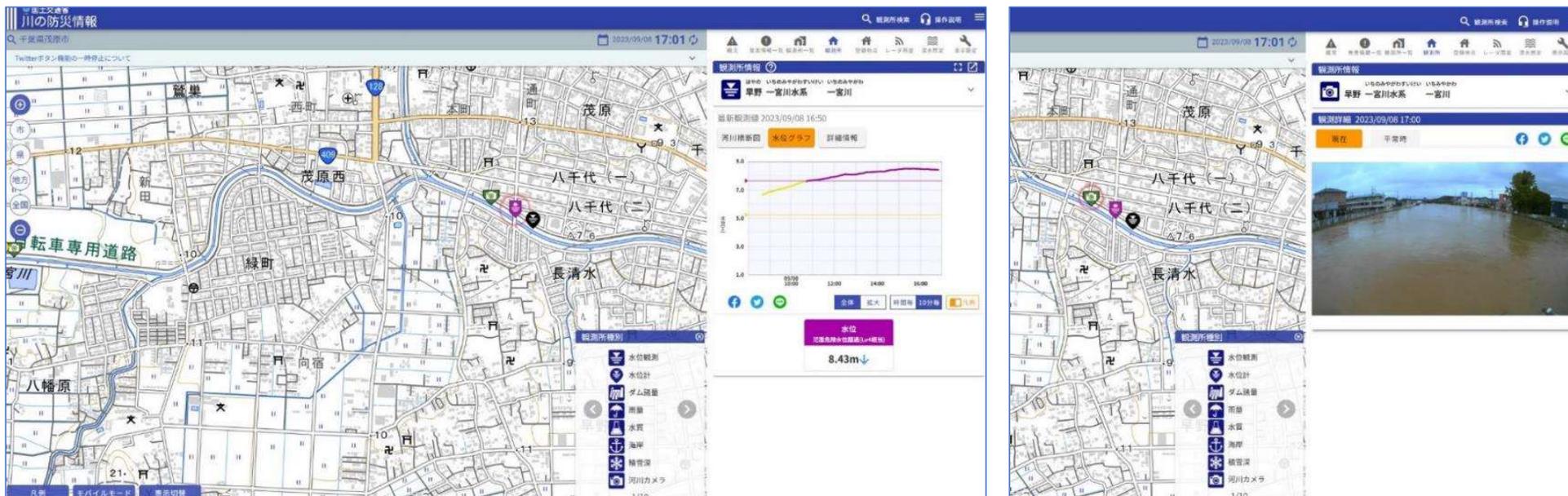
地理院地図

冠水センサによる内水氾濫と外水氾濫の把握の事例（茂原市内）

2023年9月8日（台風13号）



外水氾濫に近い時間の状況（川の防災情報による）



2023年9月8日17時の付近の国土交通省「川の防災情報」サイト

- ・地図と水位グラフ（左）
- ・河川監視カメラの画像（右）

まとめ

1. 冠水センサに対して信頼性の基本的な評価項目を設定し、センサ単体と水位計との照合により評価を行った。
 - 無線通信(Sigfox)において信頼度1があった一方、信頼度が低いものがあった。なお、この結果は、電波伝搬に加えて通信システムの周波数ダイバーシティ、スペースダイバーシティ等を含めた総合的な性能である。
 - 送信信号の冗長化（副信号）による効果が見られたものがあった。
 - 電極式の水検知の判定処理の時間(2分)を差し引くと水位計水位との一致が見られた。センサデータの精密な利用にはセンサの検知時間について処理する必要がある。
 - 水検知の判定処理により検知の有無が異なる場合があった。
2. センサと降雨データ、降雨予測を表示する可視化システムを開発した。
 - 道路管理者には水位の予測において相対的な情報（上昇・下降・不変）だけでも有用であることが分かった。
3. その他
 - センサとレーダ雨量から内水氾濫と外水氾濫の識別の事例が得られた。

