

II. 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）

「人口減少社会における情報技術を活用した水質確保を含む管路網管理向上策に関する研究」
分担研究報告書

送配水管における水質等の変化の予測及び実証（予測）

研究分担者 氏名：荒井康裕 所属：首都大学東京

研究要旨

小規模水道事業者における効率的な管網管理手法の提案を目的に、給水末端の個人宅に設置した自動水質測定計器のモニタリングデータを用い、管網末端での残留塩素濃度の減少幅を予測するニューラルネットワーク（NN）モデルを構築した。この NN モデルを応用し、浄水場での塩素注入量の適正化を検討するための残留塩素濃度低減化シミュレーションを試みた。学習期間を2週間分とする NN モデルでは、テスト期間の前半において予測精度が ± 0.1 （mg/L）程度であり、入力値を仮想的に減少させると残留塩素濃度も減少する時系列の応答反応が確認できた。また、NN モデルについて、異なる地域のデータを適用した場合、同様の結果が得られるのか否かを検証し、NN モデルの汎用性を確認した。

A. 研究目的

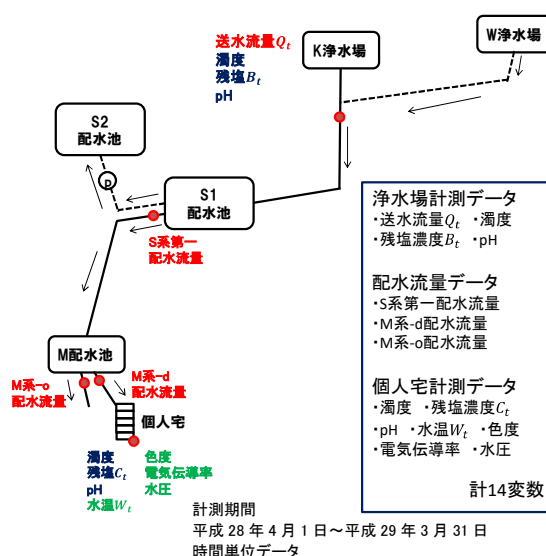
管網末端で適正な残留塩素濃度を維持するには、送配水中の塩素消費量を考慮し、浄水場における塩素注入量を適切に管理する必要がある。本研究では、平成30年度において、機械学習のひとつであるニューラルネットワーク（NN）を用いて残留塩素濃度減少幅を推定し、NNモデルの有用性に関する評価を試みた。令和元年度は、構築した NN モデルを応用し、残留塩素濃度の低減化を目的としたシミュレーションを行い、浄水場での塩素注入量の適正化に関する検討を試みる。また、NNモデルについて、異なる地域のデータを適用した場合、同様の結果が得られるのか否かを検証する。

B. 研究方法

分析対象となる地域は、**図1**に示す送配水管系列である。分析対象となるデータは、K浄水場計測データ（送水流量・濁度・残留塩素濃度・pH）、各配水流量データ（S系第一配水流量・M系-d配水流量・M系-o配水流量）、

個人宅計測データ（濁度・残留塩素濃度・pH・水温・色度・電気伝導率・水圧）の14種類である。

なお、各データは平成28年4月1日から平成29年3月31日までの時間単位データである。



以上の時系列データを用いて変数間の相関関係や時間差 (time lag) を整理した上で、NNモデルの説明変数及び目的変数を設定する (図 2 及び図 3 参照)。さらに、得られた NNモデルの精度を向上させるため、学習処理を適宜変更することで本研究の最適な NNモデルを決定した (図 4 参照)。

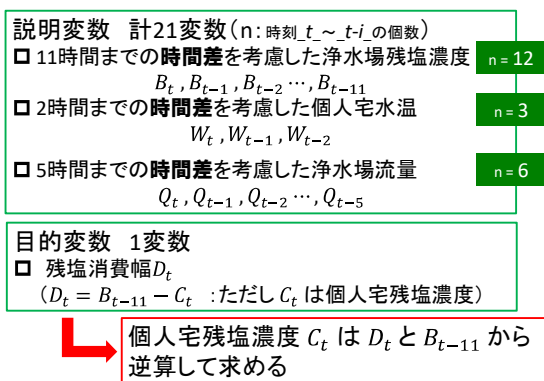
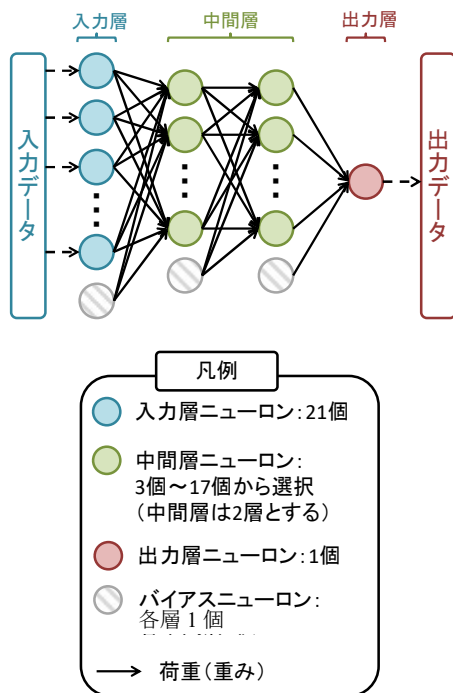


図 3 NNモデルの説明変数及び目的変数

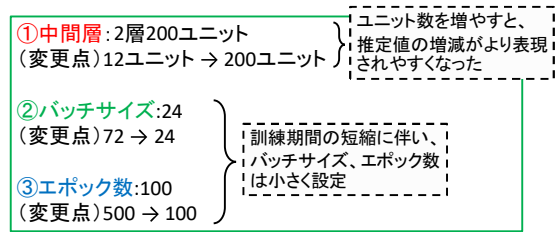


図 4 モデルの学習処理に関する設定内容

C. 低減化シミュレーションの方法

本研究で試みる残留塩素濃度の低減化シミュレーションのイメージを図 5 に示す。また、このシミュレーションを実現するための NNモデル構築手順を図 6 に示す。

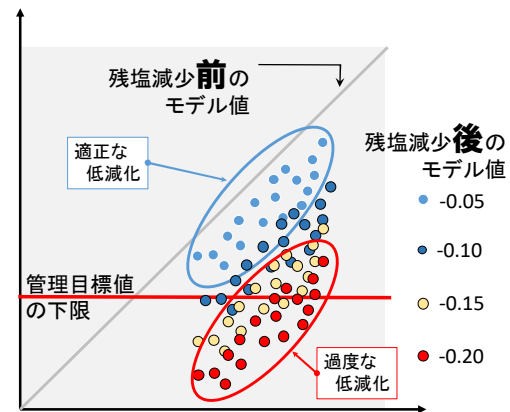


図 5 低減化シミュレーションのイメージ

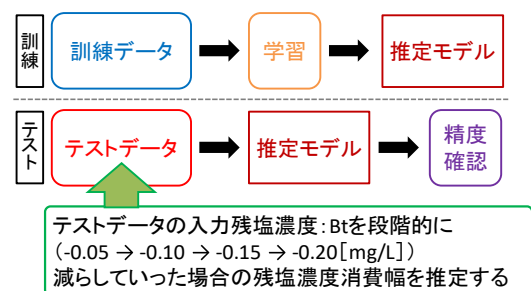


図 6 モデル構築手順 (訓練とテスト)

D. シミュレーション結果と検証

(1) NNモデルの推定結果

本研究では、テスト期間の直前2週間を訓練期間に設定した。具体的な期間は次のとおりである。

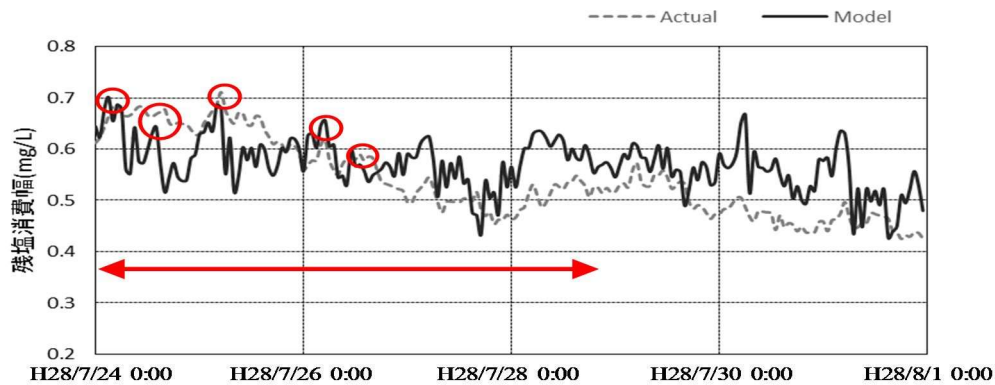


図 7 残留塩素濃度の減少幅 D t (予測値と実測値)

- ・訓練データ : 平成 28 年 7 月 10 日から 7 月 23 日までの 2 週間分
- ・テストデータ : 平成 28 年 7 月 24 日から 7 月 31 日までの 1 週間分

上記のデータを用いてモデルの学習処理を行い、残留塩素濃度減少幅 (D t) を予測すると、図 7 に示すような時系列図が得られた。テスト期間の前半頃まで(図中の両矢印で示す範囲)は、NN モデルが±0.1 (mg/L) 程度の誤差で減少幅を予測可能であることが明らかになった。また、NN モデルの予測結果と実測値を散布図で比較すると、図 8 のような結果となる。

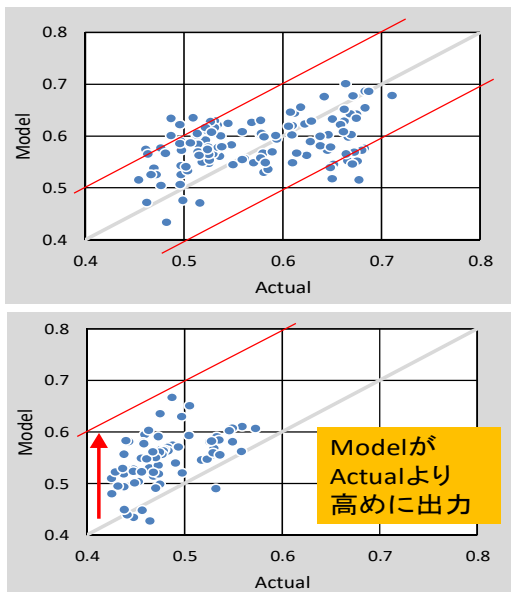


図 8 テスト期間の予測値と実測値の散布図 (上 : 前半 4 日間、下 : 後半 3 日間)

(2) シミュレーションによる残留塩素濃度の低減化検討

構築した NN モデルを活用し、テストデータの入力残塩濃度 (B t) を段階的に減少 (-0.05 → -0.10 → -0.15 → -0.20 (mg/L)) させた場合、図 9 に示すシミュレーション結果 (C t の時系列と散布図) が得られた。

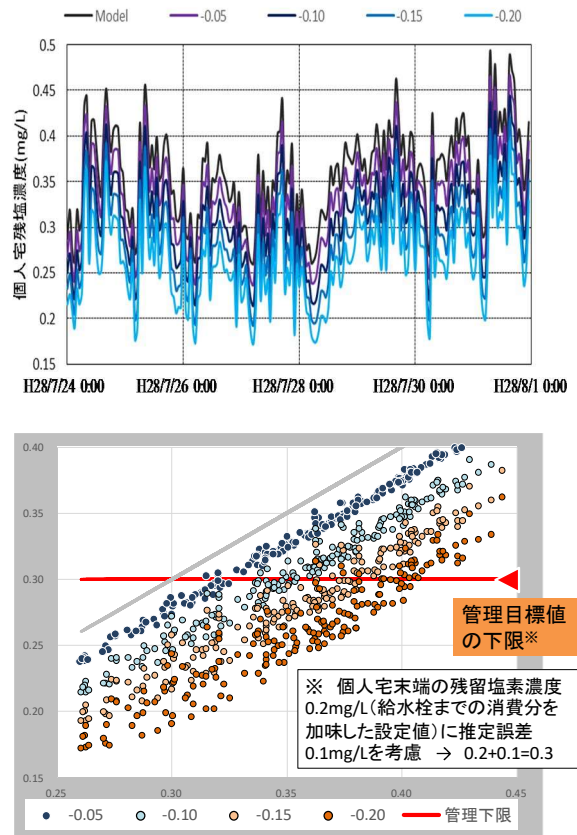


図 9 低減化シミュレーションの結果 (上 : 時系列図、下 : 散布図)

(3) NN モデルを異なる送配水管系統に

適用した場合の推定結果と汎用性の検証

前述の NN モデルの対象送配水管系統に加え、異なる系統の測定データを適用した場合、同様の結果が得られるのか否かを検証した。

この検証では、相互相関分析に基づく説明変数の「時間差 (TD) の調整」(表 1 参照)、並びに「訓練期間」の長さによる感度分析も同時に実施した(表 1 の下線部: 令和元年度

表 2 地域・時間差の調整・訓練期間の組み合わせ

地域	時間差の調整	訓練期間
K 浄水場系統	TD調整: 有	2週間(2weeks)
		1週間(1week)
		1ヶ月(1month)
	TD調整: 無	2週間(2weeks)
		1週間(1week)
		1ヶ月(1month)
S 浄水場系統	TD調整: 有	2週間(2weeks)
		1週間(1week)
		1ヶ月(1month)
	TD調整: 無	2週間(2weeks)
		1週間(1week)
		1ヶ月(1month)

表 3 訓練期間の詳細

長さ	期間
2週間	平成28年7月10日～7月23日
1週間	平成28年7月17日～7月23日
1ヵ月	平成28年6月24日～7月23日

に再検討し、適切な値に設定を変更)。組み合わせ数は表 2 に示す計 12 通りである。表 3 に示す訓練期間でモデルを構築し、各々の推定精度を集計したところ、図 10 のような結果が得られた。新地域 (S 浄水場系統) においても旧地域 (K 浄水場系統) と同程度の推定精度が得られることが確認できた。ただし、旧地域では説明変数の時間差を考慮することで効果が現れたのに対し、新地域ではそうした傾向が確認されなかった。異なる 2 地域においても、3 つの説明変数、すなわち①浄水場残留塩素濃度、②浄水場流量、③個人宅水温の測定データを基に構築した NN モデルが一定の推定精度を有することから、本研究で提案したアプローチの汎用性の高さが示されたと判断できる。

表 1 時間差の調整に伴う説明変数の変更

(旧地域: K 浄水場系統)

説明変数 (時間差の調整: 有)	説明変数 (時間差の調整: 無)
$B_t, B_{t-1}, \dots, B_{t-11}$	$B_t, B_{t-1}, \dots, B_{t-11}$
$Q_t, Q_{t-1}, \dots, Q_{t-11}$	$Q_t, Q_{t-1}, \dots, Q_{t-11}$
W_t, W_{t-1}, W_{t-2}	$W_t, W_{t-1}, \dots, W_{t-11}$

(新地域: S 浄水場系統)

説明変数 (時間差の調整: 有)	説明変数 (時間差の調整: 無)
$B_t, B_{t-1}, \dots, B_{t-6}$	$B_t, B_{t-1}, \dots, B_{t-8}$
$Q_t, Q_{t-1}, \dots, Q_{t-7}$	$Q_t, Q_{t-1}, \dots, Q_{t-8}$
$W_t, W_{t-1}, \dots, W_{t-8}$	$W_t, W_{t-1}, \dots, W_{t-8}$

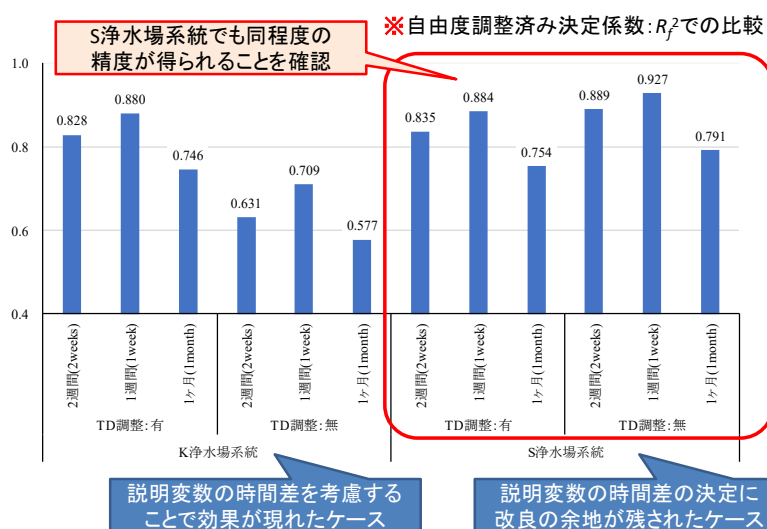


図 10 推定精度に関する K 浄水場系統（左）と S 浄水場系統（右）の比較

E. 結論

本研究では、ニューラルネットワーク (NN) を用いて残留塩素濃度の減少幅を予測するモデルを構築した。構築した NN モデルを応用した残留塩素濃度のシミュレーションを試みた結果、浄水場での塩素注入量の適正化を図る方策の実現可能性を示すことができた。異なる地域での適用結果が示すように、本研究で提案した NN モデル構築のアプローチは、それぞれの対象地域に応じたチューニングが必要とされるものの、多くの水道事業者において活用可能な汎用性の高い手法と考えられる。三宅研究分担者が開発した可搬式の自動水質測定計器を活用し、より多くのフィールドの測定データを収集・蓄積すること、またそれらが容易かつコスト低減化が可能となれば、本研究で展開した AI 技術等を援用した残留塩素濃度の管理手法は、「人口減少社会における情報技術を活用した水質確保を含む管路網管理向上策」として有効な手段になり得る。

F. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

- 1) 荒井康裕・中岡祐輔・稲員とよの・酒井宏治・小泉明・佐々木史朗：配水管網の水質監視データ活用とニューラルネットワークモデルによる残留塩素濃度推定、土木学会第 74 回年次学術講演会、VII-32-VII-33、2019 年 9 月
- 2) 中岡祐輔・荒井康裕・酒井宏治・小泉明・佐々木史朗：送配水過程における残留塩素濃度減少の推定モデルに関する一考察、令和元年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp.836-837、2019 年 11 月

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

