

## 14. 中小河川感潮域の水位推定

### River Level Estimation for Small River in Tidal Reach

技術支援課 高崎忠勝、大澤健二、杉原大介

#### 1. はじめに

中小河川流域では大雨時に浸水被害がしばしば発生している。都市域では河道の拡幅を短期間に行うことが困難なことから、浸水被害の早期解消を図るために調節池の整備が進められている。既に運用されている目黒川の船入場調節池や荏原調節池、現在、工事が進められている古川地下調節池<sup>1)</sup>は、河川の流量や水位が潮汐の影響を受ける感潮域に位置している。こうした感潮域に位置する施設について運用方法の改善を検討する際には、河川の流量だけではなく流量と潮位の影響を受けた河川水位の関係についても把握する必要がある。また、神田川で行われている水位予測においても下流は感潮域に位置しており、下流の水位を精度良く予測するためには流量と水位の関係を把握する必要がある。しかし、感潮域の流量と水位の関係は複雑であり十分には把握されていないのが実態である。

ニューラルネットワークモデル（Artificial Neural Network : ANN）は、多くの項目からなるデータをもとに項目間の相互関係を数値として示すことが可能であり、様々な予測計算に用いられている。感潮域の流量と水位の関係についてもANNを用いることで把握できるものと考えられる。本報告では、感潮域である神田川下流域における河川モニタリング<sup>2)</sup>地点を対象とした水位の推定計算を例として、ANNを用いた感潮域における水位の推定方法および潮汐や気圧、風が水位に及ぼす影響を説明する。

#### 2. 水位・流量特性の把握手法

##### (1) 調査地点

調査検討を行った神田川美倉橋は図-1に示すように隅田川合流点から0.7km上流に位置する。美倉橋における平水時の水位変化を図-2に示す。水位が潮位と概ね同じ変化をしており、美倉橋地点が感潮域に位置していることが分かる。

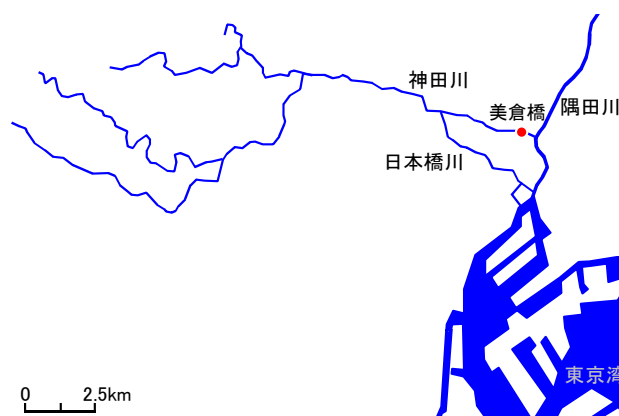


図-1 調査地点

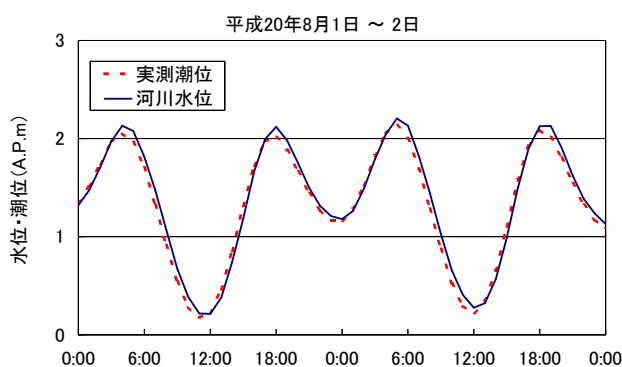


図-2 河川水位の変化

## (2) ニューラルネットワークモデル (ANN)

人工知能の一種であるANNは、非線形の連続関数を近似できる点が特長であり、十分な観測データを用いてANNに学習をさせることで複雑な事象についても予測計算を行うことが可能になる。ANNは様々な分野で利用されており、河川においても流出解析や洪水予測に適用した事例<sup>3,4)</sup>が報告されている。

潮汐の影響を受けない河川の水位は流量のみから推定することが可能であるが、感潮域の水位は、流量の他に潮汐、気圧、風の影響を同時に受ける<sup>5)</sup>ことから、これらの各項目が水位に及ぼす影響を直接に観測データから明らかにすることは難しい。このため感潮域の水位推定にANNを用いることとする。

本検討に用いたANNは、図-3に示すように入力層、中間層、出力層の3層からなる階層型ネットワークであり、各ユニットにおいて式(1)および式(2)による計算を行う。

$$y_i = \frac{1}{1 + \exp(-x_i)} \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} y_j + b_i \quad (2)$$

ここに、 $y_i$ : ユニット*i*の出力値、 $x_i$ : 入力値、 $w_{ij}$ : 結合荷重、 $b_i$ : ユニット*i*のバイアス値。

## 2. 水位・流量特性の把握手順

### (1) 学習データの作成

ANNを用いて感潮域における流量と水位の関係を把握するには、さまざまな条件における水位、流量、潮汐、気圧、風のデータを取得し、学習データを作成する必要がある。また、図-2に示したように感潮域の水位は潮位の影響を大きく受けるため、直接に水位と他の項目の関係について検討を行った場合、潮位の影響のみしか現れない可能性がある。そこで、ANNによる計算においては、水位偏差（天文潮位と観測水位の差）が河川水位の偏差量を示していると考え、水位偏差と他の項目の関係について検討を行う。

美倉橋の検討においては、水位・流量データを取得するため、写真-1のように水位計と流速計を設置し、連続計測を行った。これらの機器は直接に流量を把握することはできないので、写真-2のように流量観測調査を行い、水位・流速データと観測流量の

関係式を求め、流量データを作成した。なお、感潮域では鉛直方向の流速分布が時間経過によって大きく変化するため、詳細な鉛直方向の流速分布を短時間に計測できる超音波ドップラー式流速計 (ADCP)<sup>6)</sup>を用いて流量観測を行うことが望ましく、美倉橋においても平水時と出水時の観測にADCPを用いた。

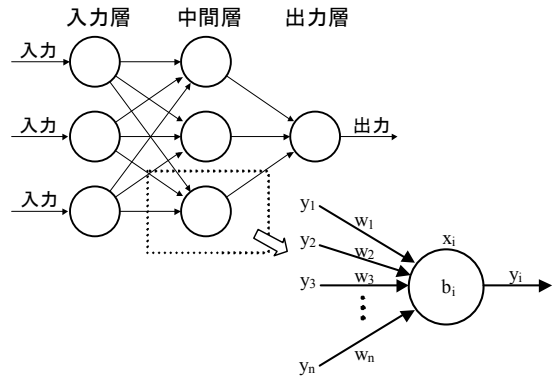


図-3 ニューラルネットワークモデル (ANN) の構造



写真-1 設置した水位計・流速計



写真-2 流量観測調査の状況

ANNによる計算に用いる潮位データについては、天文潮位（潮位の予測値）、潮位偏差（実際の潮位の観測値と天文潮位の差）、潮位変化速度（天文潮位の時間当たりの変化量）の3種類のデータが必要となる。美倉橋の検討では、気象庁の東京（中央区晴海5丁目）の1時間間隔の潮位データを用い、潮位変化速度は現時刻の天文潮位から1時間前の天文潮位を引いたものとした。また、水位計から得られた水位データから天文潮位を引いたものを水位偏差とした。

気圧、風向・風速のデータは気象庁アメダス観測所の東京のデータを用いた。風向は16方位を南北方向と東西方向の成分に分けてデータを作成する。

学習データは平成19年10月から平成21年10月における約3年間の1時間間隔のデータから欠測および検証期間を除外したものとし、検証期間は平成20年9月の1ヶ月間とした。

ANNの学習に用いたデータは水位偏差の他に、潮位偏差、潮位変化速度、流量、気圧、風向別風速であり、これらの各項目と水位偏差のプロットを図-4に示す。図の(a)は潮位偏差と水位偏差をプロットしたものである。潮位偏差は気圧、風向、風速の影響を受けて変化するが、神田川が接する隅田川の増水の影響も含んでいる。図の(b)は潮位変化速度と水位偏差をプロットしたものである。平水時においては潮位変化速度が正の値の場合に上げ潮であり、負の場合に引き潮になる。図の(c)は流量と水位偏差をプロットしたものである。流量には降水が短時間に河川に流入して生じる流量（直接流出量）だけでなく潮汐によって生じる流量も含まれている。50m<sup>3</sup>/s以上の流量をみると、流量が大きくなるのに伴い水位偏差も大きくなっていることから、これらのデータは大きな流量の発生が原因で大きな水位偏差が現れたものと考えられる。50m<sup>3</sup>/s以下の流量においても1mを超える水位偏差が見られるが、これらのデータは流量以外の要因によって大きな水位偏差が生じたと考えられる。図の(d)は気圧と水位偏差をプロットしたものである。気圧は海面気圧を用いている。0.6m以上の水位偏差は気圧1000hPa以下でのみ発生している。図の(e)～(h)は風向別の風速と水位偏差をプロットしたものである。風速が水位偏差に及ぼす影響は

風向によって大きく異なっている。

## (2) ANNの学習

作成した学習データを用いてANNの学習を行う。ANNの学習は、ANNの計算結果（出力）が観測値と同じになるように式(2)の連結荷重 $w_{ij}$ やバイアス $b_i$ の値を操作する作業である。

河川水位の計算を行うANN（水位ANN）が出力する項目は水位偏差であり、水位ANNに入力する項目は流量、天文潮位、潮位変化速度、潮位偏差、気圧、風向（南北方向、東西方向）、風速である。水位ANNのユニット数は入力層8、中間層8、出力層1とした。

水位の予測計算を行う際には潮位偏差のデータを取得できないので気圧、風向、風速によって

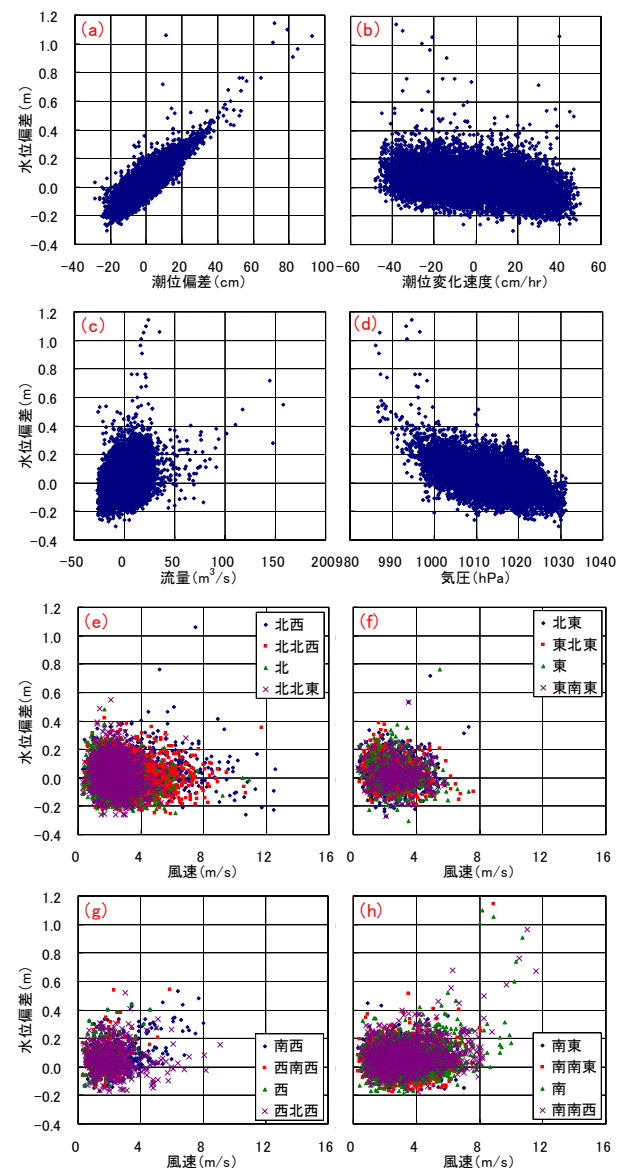


図-4 観測項目と水位偏差

生じる潮位偏差を推定する必要があることから、潮位偏差の推定についてもANNを用いる。潮位偏差の計算に用いるANN（潮位ANN）が出力する項目は潮位偏差であり、潮位ANNへの入力項目は気圧、風向（南北方向、東西方向）、風速である。潮位ANNのユニット数は入力層4、中間層8、出力層1である。本検討では水位と流量の関係（水位流量曲線）に及ぼす潮位、気圧、風の影響を把握するため、隅田川の増水の影響を受けていないデータを取り扱うものとし、学習データは水位ANNと同様の期間とするが、隅田川の流域に位置する所沢（気象庁アメダス観測所）において前24時間に降水量が記録されているデータを除くことにより、隅田川の増水の影響を除外した。

水位ANN および潮位ANNの学習はバックプロパゲーション法<sup>7)</sup>を用い、10000回の学習を行った。

学習には使用していない検証データによりANNの学習結果を検証する。1時間に10mm以上の降水量を観測し50m<sup>3</sup>/s以上の流量が発生した平成20年9月21日～24日の河川水位の計算結果を図-5に示す。約60m<sup>3</sup>/sの流量が発生した21日20時を含めて期間全体において計算水位は観測水位を良好に再現しており、学習が適切に行われたものと判断した。

### (3) ANNによる水位計算

隅田川の増水の影響を考慮しない美倉橋の水位計算は以下の手順で行う。1) 天文潮位、潮位変化速度、気圧、風向、風速、流量の値を設定する。2) 気圧、風向、風速を学習後の潮位ANNに入力し、隅田川の増水がない状況の潮位偏差を出力する。3) 潮位ANNが出力した潮位偏差の他に天文潮位、潮位変化速度、気圧、風向、風速、流量を学習後の水位ANNに入力し水位偏差を出力する。4) 水位ANNが出力した水位偏差を入力に用いた天文潮位を加えることで水位が求められる。なお、隅田川の増水の影響を考慮する場合には、隅田川の増水に関する情報を含む潮位ANNを構築することで対応可能である。

## 3. 水位流量特性

潮汐、気圧、風向、風速の条件を設定し、流量を変化させANNを用いて水位を計算する。ANNに入力した流量とANNから出力された水位を用いて水位流量曲

線を作成する。

### (1) 潮汐の影響

天文潮位が水位に及ぼす影響を確認する。天文潮位をA. P. +1. 7m、A. P. +1. 8m、A. P. +1. 9m、A. P. +2. 0mの4ケースを設定した。他の条件については、潮位変化速度を満潮時に対応する値に設定し、気圧を1010 hPa、風向北、風速1m/sに設定した。これらの設定値は出水時の観測値を参照して決定した。入力した流量とANNが出力した水位を用いて作成した水位流量曲線が図-6である。天文潮位が異なる4ケースを比較

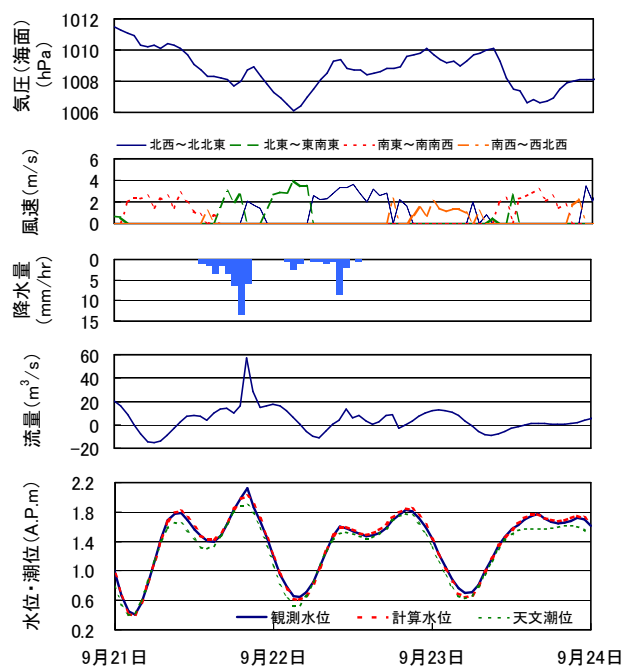


図-5 出水時の再現性

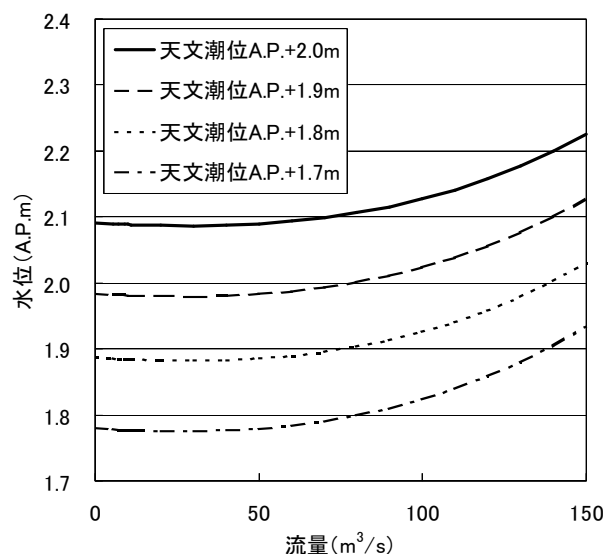


図-6 天文潮位による水位流量曲線の変化

すると、流量増加に伴う水位の上昇量に違いはなく流量に拘わらず天文潮位の差が4ケースの水位の違いとなっている。

潮位変化速度が水位流量曲線に及ぼす影響を確認する。潮位変化速度を順流方向の最大流量発生時、満潮時、逆流方向の最大流量発生時の3ケースに対応する値を設定した。他の条件については天文潮位A. P. +1. 9m、気圧1010hPa、風向北、風速1m/sに設定した。この条件の水位流量曲線を図-7に示す。図中では潮位変化速度の違いをそれぞれ引き潮、満潮、上げ潮として表わしている。上げ潮においては逆流方向の流量が生じ、引き潮における最低流量は0m<sup>3</sup>/sより大きくなる。流量が同じ場合には、上げ潮、満潮、引き潮の順に流量に占める直接流出量の割合が大きく、水位は引き潮、満潮、上げ潮の順に高くなる。引き潮、満潮、上げ潮による水位の違いは流量の増加に伴って小さくなり、流量150m<sup>3</sup>/s時には約2cmになる。

### (2) 気圧の影響

気圧が水位に及ぼす影響を確認する。気圧を995hPa、1000hPa、1005hPa、1010hPaの4ケース設定し、他の条件については、天文潮位A. P. +1. 9m、潮位変化速度は満潮時を想定した値とし、風向北、風速1m/sに設定した。図-8に気圧別の水位流量曲線を示す。気圧の低下に伴い水位は上昇し、気圧が5hPa低くなる毎に水位が約7cm上昇している。この水位上昇量は流量の大小に拘わらずほぼ一定である。

### (3) 風の影響

風向が水位に及ぼす影響を把握する。16方位の各方位に4m/sの風速を設定し、天文潮位A. P. +1. 9m、潮位変化速度は満潮時を想定した値とし、気圧は1010hPaに設定した。図-9に風向による水位変化を示す。図は各方位の風速に対応する水位を示しており、外側にいくほど高い水位となる。風向が南南西の時に水位が最も高くなりA. P. +2. 02mとなる。また、風向が北北東の時に水位が最も低くなりA. P. +1. 97mになる。4m/sの風速においては風向による水位の違いは5cmである。

風速が水位に及ぼす影響を確認する。水位への影響が大きい南南西の風向を設定し、異なる風速に対

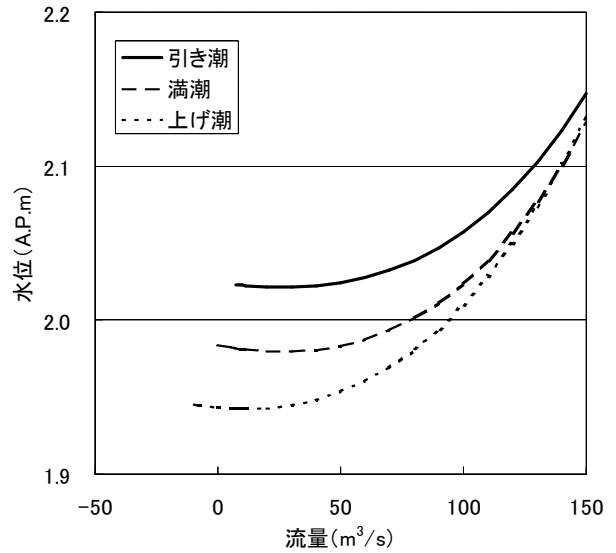


図-7 潮汐による水位流量曲線の変化

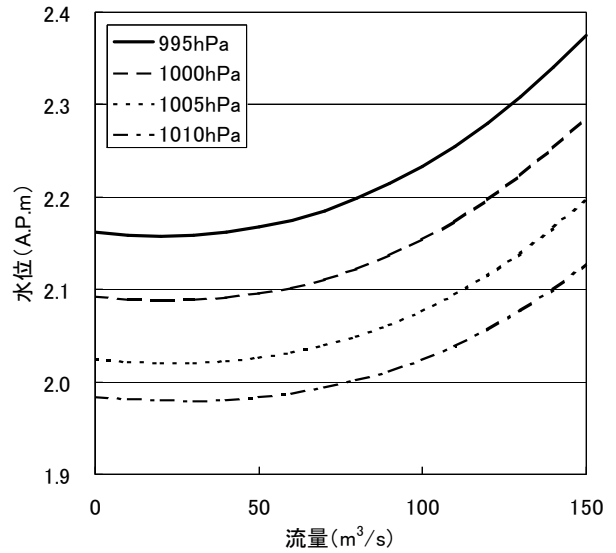


図-8 気圧による水位流量曲線の変化

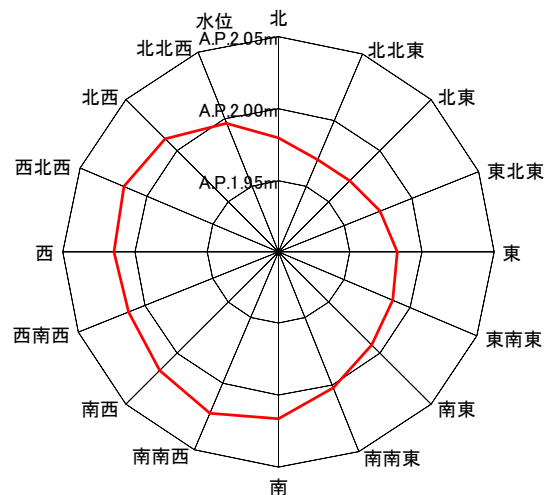


図-9 風向による水位の変化

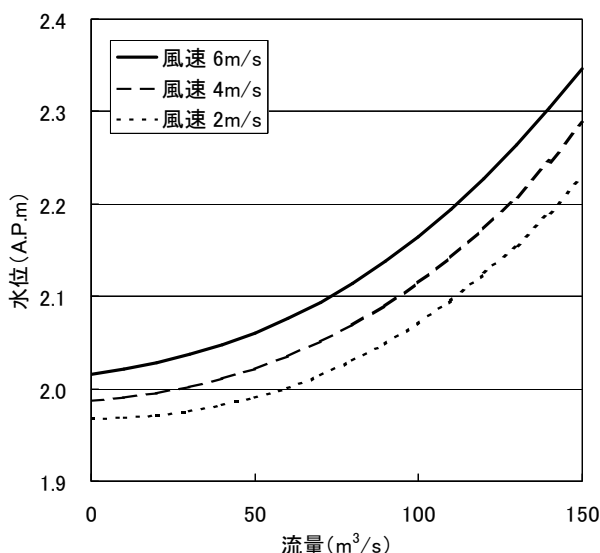


図-10 風速による水位流量曲線の変化

する水位流量曲線を作成する。設定は天文潮位A.P.+1.9m、潮位変化速度は満潮時を想定した値とし、気圧は1010hPaとした。図-10に南南西の風向における風速別の水位流量曲線を示す。風速が2m/s大きくな

ると流量0m<sup>3</sup>/s時の水位は約3cm上がり、流量150m<sup>3</sup>/s時の水位は約6cm上昇する。流量が大きくなると風速が水位に及ぼす影響は大きくなる。

#### 4. まとめ

潮汐の影響を受け時々刻々と水位・流量が変化する感潮河川においても、河川モニタリングを行い、得られたデータをANNによって処理することで、水位の推定や水位流量曲線の作成が可能である。

ANNは学習データに基づいて予測を行うため、学習データに含まれていないパターンや学習データより大きな規模の現象に対しては予測精度が低下する点に注意が必要である。本検討においても計算条件の設定は、できるだけ学習データに含まれる範囲内となるように心掛けた。適切な予測計算に向けては学習データ作成のための河川モニタリングが極めて重要である。

#### 参 考 文 献

- 1) 東京都(2008)：渋谷川・古川河川整備計画、p25
- 2) 高崎忠勝、杉原大介、藤崎哲朗(2010)：神田川下流域および日本橋川の流況特性、平22. 都土木技術支援・人材育成センター年報、pp.155-160
- 3) 安部清明、菊池英明、古川浩平、塩月善晴(2000)：ニューラルネットワークによる流出解析手法（日流量）に関する研究、土木学会論文集、No. 656/II-52、pp. 1-13
- 4) 稲吉明男、長江幸平、田宮睦雄、宮田達磨、眞間修一、竹村仁志(2003)：ニューラルネットワークモデルによる二級河川での洪水予測の基礎的検討、河川技術論文集、第9巻、pp. 179-184
- 5) 横尾啓介、吉田静男、西田修三、荒川範彦(2003)：感潮域における河川水位決定要因の定量的評価、水工学論文集、第47巻、pp. 961-966
- 6) 二瓶泰雄、色川有、井出恭平、高村智之(2008)：超音波ドップラー流速分布計を用いた河川流量計測法に関する検討、土木学会論文集B、Vol. 64、No. 2、pp. 99-114
- 7) 馬場則夫、児島史男、小澤誠一(1994)：ニューラルネットの基礎と応用、共立出版、pp. 11-20