

東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題

Issues on Discharge Monitoring in Main Influent Rivers into Tokyo Bay

二瓶泰雄¹・高村智之²・渡邊敬之³

Yasuo NIHEI, Tomoyuki TAKAMURA and Noriyuki WATANABE

To manage and control water environments in Tokyo Bay, it is necessary to monitor discharges in large rivers due to significant environmental impacts from inland on water quality in Tokyo Bay. In the present study, we examine present monitoring systems for discharges in the Edo, Ara, Tama, Naka, Sumida and Tsurumi Rivers corresponding to main influent rivers into Tokyo Bay. We also try to evaluate river discharges at the mouth by using several monitoring data. The evaluated discharges at the river mouths are compared among these rivers, indicating that the discharge in the Naka River is larger than that in the Tama River because of large amount of water supply. Measuring accuracy of discharge measurements is discussed through field measurements for the discharge with an ADCP.

1. 序論

大都市圏を背後に抱える東京湾では、湾奥部に江戸川や荒川、多摩川などの大河川が流入しており、これらの河川を通じて大量の淡水や土砂・栄養塩・有機物などが流入している。このような陸域からの淡水供給や物質輸送は、東京湾における流動構造や海水交換、物質循環に対して大きな影響を与えている（例えば、貝塚，1993）。このことから、東京湾に流入する主要河川における流量や汚濁負荷量（=流量×水質濃度）をモニタリングすることは、東京湾の環境管理・研究上極めて重要である。

このうち、流量の自動・連続モニタリング手法としては、予め作成された水位流量曲線と連続観測している水位データから流量を間接的に求める方法が一般的に用いられている（以下、間接法と呼ぶ）。また、堰がある横断面では、堰上の越流水深等を用いて流量を計測する堰測法も適用されている（建設省河川局，1997）。さらに、最近では、水平設置型超音波ドップラー流速分布計（H-ADCP）による直接・連続的な流量モニタリングも試みられている（岡田ら，2005）。

これらの中で最も多く用いられる水位流量曲線に基づく間接法では、「水位と流量が一意の関係になる」という前提に基づくので、この前提条件が根本的に成立しない感潮域や背水区間では当然間接法を適用できない。そのため、間接法に基づく流量観測点は上流側の順流域に位置しており、また都市域特有の人口流路網による複雑な取水・排水過程が存在するため、東京湾の環境管理に必要となる河口部の流量データは存在しない。そのため、

上流側の流量データや流域内の雨量データを用いて、何らかの形で河口流量を推定せざるを得ないのが現状である（松村・石丸，2004；岡田ら，2007）。

このように、「東京湾の環境管理」の観点では、主要流入河川における流量モニタリング体制は十分とは言えず、今後、水位流量曲線を用いない新たな流量モニタリングシステムの導入を検討すべきであると考えられる。本研究では、その第一歩として、東京湾主要流入河川（江戸川、荒川、多摩川、中川、隅田川、鶴見川）における流量モニタリングの現状を整理し、この現状の観測データを組み合わせて河口流量を推定する。また、ここでの流量観測の基礎である、水位流量曲線に基づく間接法や堰測法の計測精度上の課題について列挙する。

2. 流量モニタリング体制の現状と河口流量の推定手順

(1) はじめに

主要流入河川の水系と流量観測点を図-1、また、そこでの流域特性を表-1に示す。以下では、流量モニタリングの現状について、河川毎に記述する。

(2) 江戸川

江戸川は、千葉県野田市関宿において利根川より分派し、東京都・埼玉県と千葉県の境を流下する。全長は60kmであり、河口部では旧江戸川と江戸川放水路に分かれ、それぞれ水閘門（河口より+9km）と行徳可動堰（+3km）により海水遡上が止められている。順流部末端は水閘門であり、水門の開閉状況の影響を受けて、そこより上流約20kmは背水区間である。江戸川では、西関宿（+58km）と野田（+39km）、流山（+28km）において、水位流量曲線を用いる間接法による流量観測が行われている。これらのうち流山地点のみ背水区間内に位置するため、水閘門による水位変化の影響を受けない最も下流側の流量観測点は野田となる。野田から河口部の水閘門の間に、支

1 正会員 博(工) 東京理科大学准教授理工学部土木工学科

2 神奈川県(元東京理科大学学部生)

3 警察庁(元東京理科大学学部生)

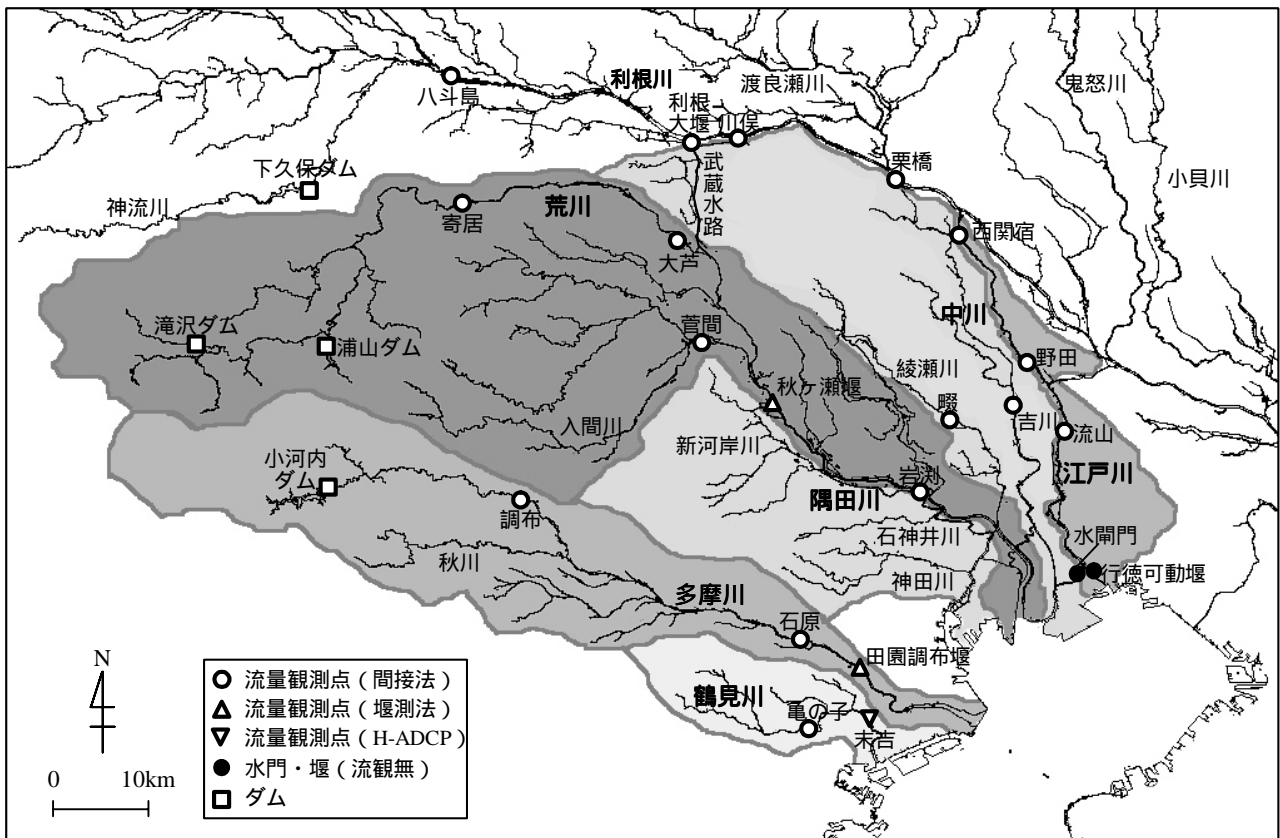


図-1 主要流入河川における流量観測点

表-1 主要流入河川の概要

	流域面積 [km ²]	全長[km]	最下流の流量観測点
江戸川	200	60	野田橋 (39km)
荒川	2300	173	秋ヶ瀬堰 (34km)
多摩川	1240	138	田園調布堰 (13km)
中川	987	81	吉川橋 (31km)
隅田川	640	23.5	なし
鶴見川	235	42.5	末吉橋 (6km)

川（利根運河、坂川等）の流入や三郷・金町浄水場をはじめとする上水・工業・農業用水の取水が行われている。

このため、河口部における流量を推定するには、野田～水閘門までの取排水量を全て把握する必要があるが、これは容易ではない。そこで、江戸川本川で行われている公共用水域水質測定時に得られる流量データを活用し、この区間内の取排水量を求める。ここでは、新葛飾橋（+17km）が公共用水域測定時に流量計測が行われる最も下流側の地点であるので、野田橋と新葛飾橋の流量差をこの区間の取排水量とする。また、新葛飾橋から水閘門の間では金町浄水場が最大の取水施設であるので、この取水量も考慮する。さらに、出水時には野田橋下流の残流域（=120km²）からの雨水排水も存在するので、これらをまとめると、江戸川河口流量は次式で表される。

江戸川河口流量

= 野田流量（間）

- { 野田流量（公） - 新葛飾流量（公） }

- 金町取水量 + 雨量 × 流出率 × 残流域面積 (1)

ここで、式中の（間）は間接法による連続計測結果、（公）は公共用水域測定時の結果であり、金町取水量は公表値を用いる。また、流出率は東京湾研究会（1978）を参考にして0.60とする（他の河川でも同様とする）。ただし、河口流量の推定値が維持流量（=9m³/s）を下回った場合には、便宜的に流量推定値を維持流量に置き換える。

(3) 荒川

荒川は埼玉県と東京区部を流下しており、岩淵（+21km）から河口までは人工放水路となっている。順流部末端は秋ヶ瀬堰（+34km）であり、荒川は江戸川や多摩川よりも感潮区間が長い。この感潮区間には、支川（鴨川、笹目川、新芝川、菖蒲川等）の合流、岩淵での隅田川への分派、下水処理場の放流が存在する。また、水質浄化用として、綾瀬川に最大2m³/sを導水する。

荒川の流量観測点は、間接法では本川の寄居（+95km）、大芦（+68km）、支川・入間川の菅間である。また秋ヶ瀬堰では堰測法により流量観測が行われており、ここが最下流の流量観測点である。荒川河口流量を推定するには、秋ヶ瀬流量に加えて、支川や下水処理場からの流入量や

隅田川への分派流量，綾瀬川への導水量，秋ヶ瀬堰下流の残流域（=290km²）からの雨水流出量が必要となる。

$$\begin{aligned} \text{荒川河口流量} &= \text{秋ヶ瀬流量（堰）} + \text{下水道放流量} \\ &+ \text{支川流入量} - \text{岩淵流量} \times \text{分派率} - \text{綾瀬川導水量} \\ &+ \text{雨量} \times \text{流出率} \times \text{残流域面積} \quad (2) \end{aligned}$$

ここで（堰）は堰測法による流量値を表し，下水放流量は公表値を用いる。支川の流量には，公共用水域データより平常時の流量を河川毎に与え，一方出水時流量には式（2）の右辺第6項により一括して与える。なお，岩淵での隅田川への分派率には後述する実測値を用いる。

(4) 多摩川

全長138kmの多摩川は，山梨県の一部，東京を流下し，順流域末端は田園調布堰（+13km）である。多摩川では上流部の羽村堰と小作堰にて取水され，中下流部には7つの下水処理場が放流している。流量観測点としては，間接法では調布橋（+59km）と石原（+28km），堰測法では田園調布堰があり，最下流の観測点は田園調布堰である。田園調布堰から河口部までの主な流入源は川崎市の等々力水処理センターと残流域（=40km²）からの雨水流出であるので，多摩川河口流量は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \text{多摩川河口流量} &= \text{田園調布流量（堰）} + \text{下水道放流量} \\ &+ \text{雨量} \times \text{流出率} \times \text{残流域面積} \quad (3) \end{aligned}$$

(5) 中川

中川は埼玉県や東京東部を流れ，途中，綾瀬川が合流し，東京湾に辿り着く直前に荒川と合流する。中川の流域面積は綾瀬川を含めて987km²である。中川流域は低平地を流れるため，潮汐の影響を受ける区間が上流まで及ぶ。そのため，間接法による流量観測点は存在しない。ただし，上流部に位置する倉田（中川，+40km）や礮橋（綾瀬川，+24km），支川である元荒川，新方川，大落古利根川では，標準的な低水・洪水流量調査が行われている。この結果を用いて，各地点の水位流量曲線を作成し，それと水位の連続観測データより流量を求める。中川・倉田地点から吉川地点（+31km）の間に，大落古利根川と新方川，元荒川が合流し，それ以外の顕著な流入がないため，これら4つの流量の和を吉川流量とする。また，吉川橋及び礮橋の下流における流入源は中川水処理センターと荒川から綾瀬川への導水，残流域（=250km²）の雨水排水であるので，中川河口流量は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{中川河口流量} &= \text{吉川流量} + \text{礮流量} + \text{下水道放流量} \\ &+ \text{綾瀬川導水量} + \text{雨量} \times \text{流出率} \times \text{残流域面積} \quad (4) \end{aligned}$$

(6) 隅田川

隅田川は，岩淵における荒川の分流と新河岸川の合流地点を起点として，石神井川や神田川を合流し東京湾に

注ぐ河川である。全長は23.5kmであり，全て感潮域である。そのため，間接法による流量観測が行われておらず，さらに標準的な流量観測も定期的には行われていない。このことから，隅田川の流量を推定するには，神田川や石神井川，新河岸川の流量データを必要とするが，各支川の流量観測はそこでの上流域のみに限定される。このようなことから，現段階では，隅田川の流量推定は困難であり，ここでは省略する。

(7) 鶴見川

鶴見川は，多摩丘陵を水源として，神奈川県川崎市や横浜市を流下し，全長は42.5km，流域面積は235km²である。流域の市街化が著しく，かつ，人口密度も高いため，都市用水のほぼ全てを流域外から導水している。また，流域内にある7つの下水処理センターが鶴見川に放流している。間接法による流量観測は，亀の子橋（+13km）において行われている。また，H-ADCPによる流量観測が，末吉橋（+6km，集水面積：230km²）で試みられている。この観測システムでは，自動昇降装置にH-ADCPを取り付けH-ADCPを上下させて，流量の直接計測を行うことが可能となっている。このシステムの計測精度について，岡田ら（2005）により検証されており，鶴見川河口流量としてはこの観測システムの計測結果を用いる。

$$\text{鶴見川河口流量} = \text{末吉流量（H）} \quad (5)$$

ここで（H）はH-ADCPによる流量値を表す。なお，残流域面積（=5km²）は小さく，その雨水排水を無視する。

3. 主要流入河川における河口流量の推定

(1) 概要

上述した流量モニタリングの現状を踏まえて，隅田川を除く5つの主要流入河川における河口流量を推定する。その手順は式（1）～（5）に従う。式中の最下流の観測点における流量データとしては，荒川・秋ヶ瀬堰と多摩川・田園調布堰，鶴見川・末吉の流量について関係機関より入手する。また，中川に関しては，流域内5地点の低水・洪水流量観測結果を河川管理者より入手し，水位流量曲線を独自に作成する。また，江戸川・野田については，著者らが行っているADCPを用いた流量観測データが蓄積されているので（二瓶ら，2005），それを用いて独自の水位流量曲線を作成し，流量を与える。流量推定を行う期間は全河川のデータが揃っている2006年とするが，データが入手できた江戸川や荒川，多摩川の2004，2005年分についても解析する。

(2) 河川下流域における流量収支

河口流量の推定結果を示す前に，主要流入河川の下流域における流量収支の特徴について記述する。まず，江戸川の野田と河口部における2004年から2006年の年平均

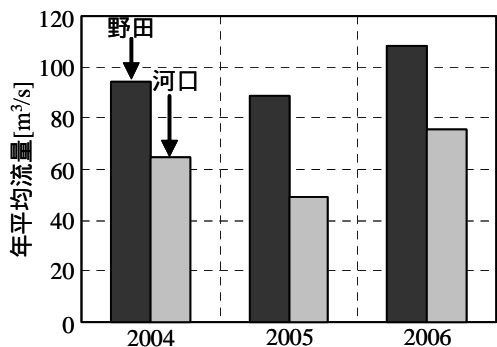


図-2 江戸川・野田と河口における流量の比較

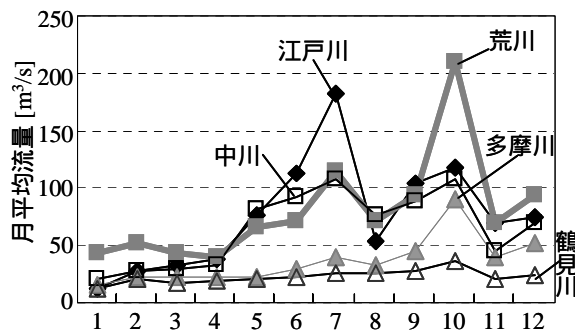


図-5 河口流量の経月変化

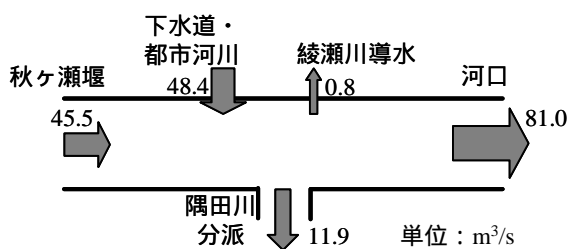


図-3 荒川下流域における流量収支 (2006年)

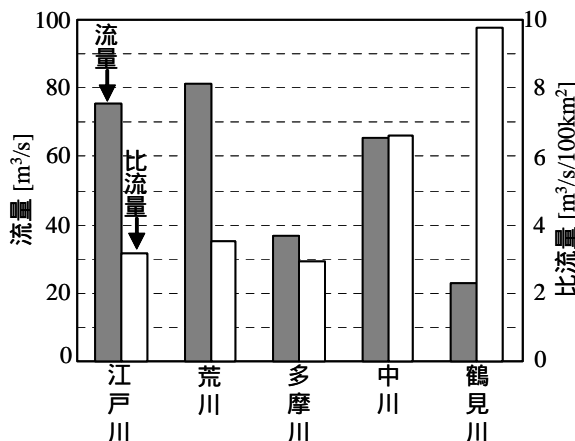


図-6 各河川河口部の流量と比流量の年平均値 (2006年)

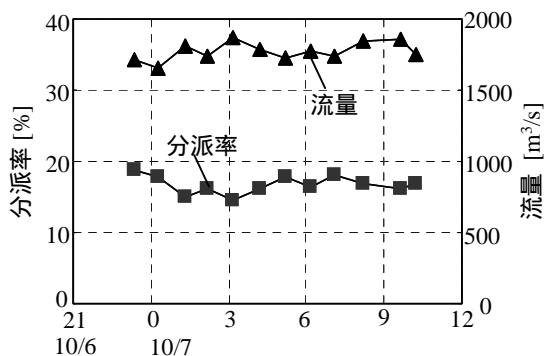


図-4 荒川・新荒川大橋の流量と隅田川への分派率の時間変化 (台風0616号出水時)

均流量を図-2に示す。これを見ると、野田の年平均流量は88~107m³/sとなっているが、河口では49~75m³/sとなっており、野田から河口の間で正味30~40m³/sも流量が減少している。この流量減少量は野田流量の30~44%に相当しており、大量の取水が行われたことが分かる。

荒川下流域における流量収支を図-3に示す。ここでは、秋ヶ瀬での流入、下流域の下水道・都市河川からの流入、綾瀬川導水や隅田川分派による流出、河口での流出に分けており、2006年における平均値を示している。このうち、隅田川への分派流量を求める際に必要となる分派率を検討した結果を図-4に示す。ここでは、2006年10月6~7日に生じた台風0616号接近に伴う出水イベント時を対象とし、分派点上流の新荒川大橋の流量 Q_1 と隅田川へ分派する岩淵水門における流量 Q_2 の浮子流量観測結果を用いて、分派率(= Q_2/Q_1)を求める。ここで、浮子

データから流量を推定する手法は、精度向上のため、著者らの方法を用いる(原田ら,2007)。図-4より、洪水時における分派率は概ね15~19%となっており、既存の結果(=30%,松村・石丸,2004)よりも小さい。別の洪水イベントでもほぼ類似した結果が得られたので、ここでの分派率は0.17とする。この分派率を用いて算出された流量収支(図-3)を見ると、秋ヶ瀬流量とほぼ同程度の水量が下水道・都市河川から流入している。そのため、隅田川への分派があるにも関わらず、河口流量は秋ヶ瀬流量の約1.8倍になっている。このように、江戸川や荒川では、最下流の流量観測点から河口までの間において、ダイナミックな流入・流出が生じており、より正確に河口流量を捉えるには、河口付近において直接流量計測を行うことが望ましい。

(3) 各河川における河口流量の比較

各河川の河口流量を比べるために、月平均流量の時間変化を図-5に示す。大きな出水が無い1-3月では、荒川の流量が他の河川よりも顕著である。4月以降では、江戸川の流量も大きく、降雨の空間分布により、江戸川と荒川の流量の大小関係は変化している。また、中川において4-10月の流量が大きいのは、出水影響と共に農業排水が流入しているためであり、月によっては中川の流量が荒川や江戸川を上回る。多摩川や鶴見川では、大規模な出水が生じたときを除いて、明確な変化は見られない。

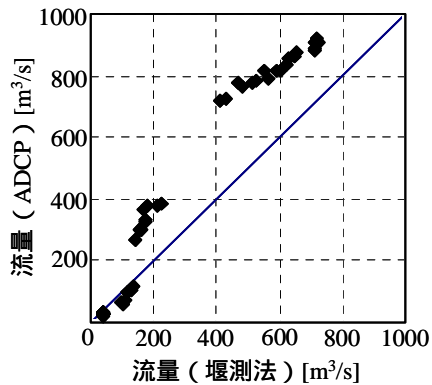


図-7 堰測法の流量計測精度 (多摩川・田園調布堰)

図-6は河口流量と比流量の年平均値を示している。その結果、流量の大小関係は、荒川>江戸川>中川>多摩川>鶴見川となっており、特に、中川の流量が流域面積が相対的に大きい多摩川を大きく上回っている。一方、比流量については、都市化の著しい中川や鶴見川の値が大きく、取水量が大きい江戸川、荒川、多摩川は相対的に小さい。中川や鶴見川では、流域外からの上水・農業用水の導水が顕在化しているため、大きな比流量が生じたものと考えられる。隅田川についても、中川や鶴見川と同様なことが予想され、中川や隅田川でも適用可能な流量観測システムの構築が急務の課題である。それには、水位流量曲線を用いないH-ADCPによる流量観測が有用である。鶴見川のみならず、著者らも江戸川において、H-ADCPによる流量計測を実施している(木水ら, 2007)。

4. 流量計測精度上の課題

前述した河口流量を推定するに当たり、水位流量曲線を用いる間接法や堰測法の流量計測誤差が少ない(一般的な低水流量観測では5%以下)ことが大きな前提となる。水位流量曲線の元となる流量観測としては、低水時にはブライス流速計、洪水時には浮子を用いて行われる(建設省河川局, 1997)。低水流量観測については精度検証例が多いものの(今村ら, 2006)、浮子観測の検証例は少なく、著者らが江戸川を対象に行った結果では10-20%の誤差を有することが確認されている(原田ら, 2007)。

一方、水位や堰の開度から流量を算出する堰測法の計測精度に関しては、現状では、継続的に検定されておらず、特に出水時には流木やゴミの漂着や堆砂・洗掘により、計測精度が低下する恐れがある。そこで、多摩川・田園調布堰を例として、平常時と出水時においてADCPによる流量観測を行い、堰流量の精度検証を行った結果を図-7に示す。これより、低水時には両者は概ね一致するものの、出水時には大きく異なり、その相対差は20~70%程度である。このように、堰測法や浮子流量観測という一般的な流量観測法においても計測精度上の課題が

あることが示された。

5. 結論

本研究で得られた主な結論は、以下の通りである。

- 1) 「東京湾の環境管理」に必要な不可欠となる主要流入河川における流量モニタリングの現状を整理すると共に、現状の観測データを活用して河口流量の推定手順を明示した。
- 2) 江戸川や荒川では、最下流の流量観測点と河口部の間における流入・流出量が大きく、河口流量の推定には、その区間内の流入量の評価がキーとなる。
- 3) 隅田川を除く5つの主要河川の河口流量を求めたところ、流量としては荒川、江戸川、中川が相対的に大きく、また、比流量は鶴見川や中川が顕著である。
- 4) 大河川での検証例が少ない堰測法における洪水流量の計測精度上の課題を指摘した。
- 5) 以上より、より正確な河口流量計測のためには、新たな河口流量モニタリングシステムの構築が急務の課題であることが示唆された。

謝辞：国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所・荒川下流河川事務所・京浜河川事務所、水資源機構・利根導水総合管理所、東京都水道局には流量データをご提供して頂いた。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・若手研究(A)(研究代表者：二瓶泰雄)による成果である。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 今村仁紀・深見和彦・天羽淳(2006): 河川における低水流量観測技術基準の再評価, 土木技術資料, Vol.48, No.1, pp.66-71.
- 岡田将治・森彰彦・海野修司・昆敏之・山田正(2005): 鶴見川感潮域におけるH-ADCPを用いた流量観測, 河川技術論文集, Vol.11, pp.243-248.
- 岡田智也・高尾敏幸・中山恵介・古川恵太(2007): 東京湾における淡水流入量および海水の滞留時間の長期変化, 土木学会論文集B, Vol.63, No.1, pp.67-72.
- 貝塚爽平(1993): 東京湾の地形・地質と水, 築地書館, pp.1-211.
- 木水啓・二瓶泰雄・北山秀飛(2007): H-ADCPとDIEX法を用いた河川流量計測法の洪水流観測への適用, 水工学論文集, Vol.51, pp.1057-1062.
- 建設省河川局, (株)日本河川協会(1997): 改訂新版 河川砂防技術基準(案)同解説 調査編, pp.33-58.
- 東京湾研究会(1978): 東京湾を診断する(特集), さかな, Vol.21, pp.1-55.
- 二瓶泰雄・木水啓・植田雅康・中岡亮・望月健(2005): 陸域環境負荷評価のための調査方法及び解析法に関する検討 ~ 江戸川を例にして ~, 海岸工学論文集, Vol.52, No.2, pp.1106-1110.
- 原田靖生・二瓶泰雄・酒井雄弘・木水啓(2007): 浮子観測の洪水流量計測精度に関する基礎的検討, 水工学論文集, Vol.51, pp.1081-1086.
- 松村剛・石丸隆(2004): 東京湾への淡水供給量と窒素・リンの流入負荷量(1997, 98年度), 海の研究, 13巻, 1号, pp.25-36.