

新河岸川流域水循環マスタープランの策定

松本将能¹・矢部隆幸²・内山雄介³・渡邊晋也⁴・宇土祐一⁵・荒川泰二⁶

¹ 非会員 国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所 調査課 (〒115-0042 東京都北区志茂 5-41-1)

E-mail: matsumoto-t8312@mlit.go.jp

² 非会員 国土交通省関東地方整備局 防災室 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心 2-1)

E-mail: yabe-t8311@mlit.go.jp

³ 会員 日本工営株式会社 大阪支店 流域水管理部 (〒530-0047 大阪府大阪市北区西天満 1-2-5)

E-mail: a5386@n-koei.co.jp

⁴ 非会員 日本工営株式会社 流域水管理事業部 河川部 (〒102-8539 東京都千代田区九段北 1-14-6)

E-mail: a7327@n-koei.co.jp

⁵ 非会員 日本工営株式会社 福岡支店 技術第一部 (〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵 1-2-12)

E-mail: a7532@n-koei.co.jp

⁶ 非会員 国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所 (〒115-0042 東京都北区志茂 5-41-1)

E-mail: arakawa-t87dd@mlit.go.jp

荒川水系の支川である新河岸川流域では、昭和 40 年代の高度成長期に、東京への一極集中により人口が爆発的に増加した。都市化の拡大に伴い、治水に関する問題のほか、平常時の河川流量不足や瀬切れなどの水環境に関する問題が指摘されるようになり、流域単位で健全な水循環を構築する必要性が高まった。そこで、多様な情報を入力条件とした水循環解析モデルを構築し、年間水収支を定量化したほか、近年の平常時の河川流量減少要因を分析した。分析結果を踏まえた当該流域の課題、目標、対応方策について、多様なステークホルダーと十分に議論を重ね、当該流域がこれから向かうべき方向性を示した「新河岸川流域水循環マスタープラン」を平成 31 年 1 月に策定した。このマスタープランを例として、これからの水循環計画の策定手法を提案する。

Key Words: water cycle, master plan, river environment, grid-based hydrological model

1. はじめに

新河岸川流域は、都心より 20~30km 圏内に位置しており、首都圏のベッドタウンとして宅地化が進められ、昭和 40 年代の高度成長期には、東京への一極集中により人口が爆発的に増加した。都市化の拡大に伴い、治水に関する問題のほか、平常時の河川流量不足や瀬切れなどの水環境に関する問題が指摘されるようになり、流域単位で健全な水循環を構築する必要性が高まった。

新河岸川流域では昭和 50 年代から流域の治水安全度を向上させるため総合治水対策を実施してきているが、こうした経緯のもと、水循環に係る取り組みも平成 10 年に始まった。検討当時は、水循環に関する解析手法や計画策定手法も確立されておらず、パイロットプランとして一次支川である柳瀬川流域を対象に検討を始め、平成 17 年にマスタープラン¹⁾、平成 21 年にアクションプ

ラン²⁾が策定された。近年では、水循環基本法が施行されたほか、気候変動や人口減少、都市化の緩和などの新たな問題も顕在化し、高度経済成長期直後の社会情勢と異なる点も多い。水循環に関する計画は、流域水循環計画³⁾をはじめとして複数挙げられるが、都市河川流域を対象に、これらの社会情勢まで踏まえた計画は少ない。

本稿では中村ほか⁴⁾の研究事例を参考に、自然条件のみならず都市河川流域特有の社会条件を組み込んだ流域水循環解析モデル (NK-GHM) を構築し、水循環の状態把握と河川の水環境の変遷要因について分析した。また、分析結果や近年の社会情勢を踏まえ、多様なステークホルダーと議論を重ねて策定した「新河岸川流域水循環マスタープラン 平成 31 年 1 月⁵⁾」を例として、水循環計画の策定方法を提案するものである。



図-1 調査対象流域（新河岸川流域）



図-2 新河岸川流域の河川管理区分

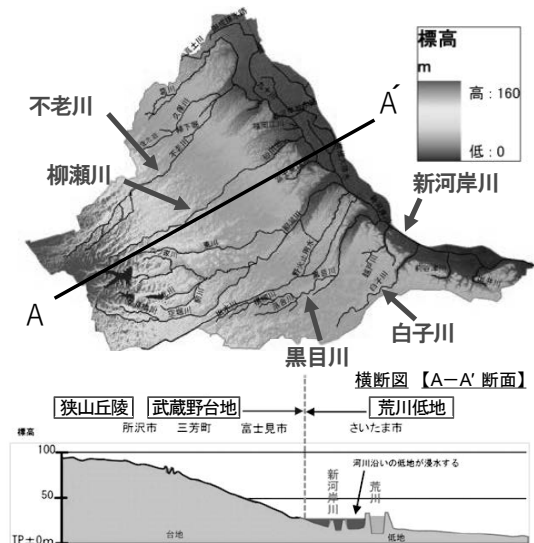


図-3 新河岸川流域の標高段彩図



図-4 瀬切れの発生状況（不老川）

2. 流域の概要

新河岸川流域の概要を図-1 に示す。新河岸川は埼玉県の南中部及び東京都の北中部の一部を流域に持つ流域面積 411km²（村山・山口貯水池流域 21km²を含む）、幹川流路延長 34.6km の荒川水系の支川である。“新河岸”という名前は 1638 年に発生した川越の大火の復旧に際し、新しく作られた河岸場由来するといわれている。

新河岸川は、不老川、柳瀬川、黒目川、白子川などの支川と合流した後、東京都北区志茂地先で隅田川となって東京湾に注ぐ。流域内の各支川にはさらに多くの分流がある網目模様の流域となっている。図-2 に新河岸川の河川管理区分を示す。新河岸川本川や主要支川は東京都・埼玉県が管理する一級河川であり、その支流は準用河川または普通河川として、流域内の各市区町が管理する河川もある。

図-3 に流域の標高段彩図を示す。流域の地形は、荒川低地とその背後に広がる武蔵野台地、狭山丘陵を含んだ地域となっており、これらより発現する中小河川が新河岸川水系を形成している。流域全体のうち、約 8 割が

武蔵野台地、約 2 割が荒川と新河岸川に挟まれた低平地であり、低平地に降雨が溜まりやすい地形となっている。

平成 28 年および平成 29 年には計画規模相当の降雨によって、内水氾濫に加え不老川や柳瀬川、空堀川などの支川では溢水による外水氾濫も発生し、床上・床下を含む多数の家屋浸水被害が発生した。また、一部の支川では、図-4 に示すように平常時の流量不足や瀬切れなどの水環境に関する課題が顕在化している。

3. 水循環解析手法

(1) 解析モデルの概要

都市域を流れる河川の平常時流量は、降雨による流出だけでなく生活雑排水や農業還元水などが含まれ、人工的な影響を大きく受けている。また、地下水も上水道の漏水、下水道への浸入水、生活用水や農業用水の井戸揚水などの影響を受け、非常に複雑な構造となっている。一方、洪水時は流域の土地利用変化や河川下水道などの整備状況により河川への流出量が大きく変化する。この

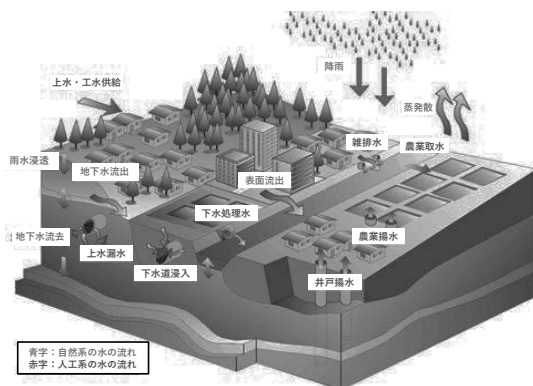


図-5 流域水循環解析モデルで取り扱う主な現象

ように、都市域の水循環を把握するためには、降雨量、地形、地質などの自然条件に加え、土地利用、人口、下水道整備、地下水利用などの人工的な影響を客観的に評価できる解析モデルの構築が不可欠である。

本研究では図-5 に示す NK-GHM というグリッド型の準三次元多層地下水流動解析モデルを採用した。入力パラメータは、降雨量、気温や地質分布などの自然条件と、人口や下水道整備、土地利用などの社会条件からなり、現地調査結果や各種統計資料から設定した。計算結果としては、任意の地点の河川流量、地下水、河川水質が時間単位で得られ、現地観測データとの比較によりモデルの妥当性を検証する。本モデルを用いることにより、現況の年間水収支などの水循環の状態が定量的に評価できるだけでなく、将来の土地利用など流域の変化による影響や施策実施による効果などを客観的に評価することが可能となる。

本モデルでは流域を一定間隔の格子状に分割し、それぞれに図-6 に示す直方体を設定して代表させ、メッシュ間の水分移動を追跡することで流域の水循環系を表現している。計算は主に 3 つの単位、1) 地表+表層土壌、2) 河川、3) 帯水層から構成され、それぞれの計算単位において支配方程式を設定し、それを差分手法により水量を追跡する。

(2) 新河岸川流域のモデル化

地表及び帯水層構造表現のためのメッシュサイズは 100m とし、表-1 のように流域地形モデルを生成した。

河川モデルは、河道横断面図をもとに設定した。横断面図のない河川は、合流部河川の河床標高と地表面地盤高の関係から河床高を設定し、川幅を平面図から判読することで河道横断面形状を設定した。また、河床の飽和透水係数は調査結果をもとに、 $1.0 \times 10^4 \text{ cm/s} \sim 2.0 \times 10^5 \text{ cm/s}$ の範囲で河川別に設定した。さらに、流域内の野火止用水に清流を復活させることを目的として、多摩川上流水再生

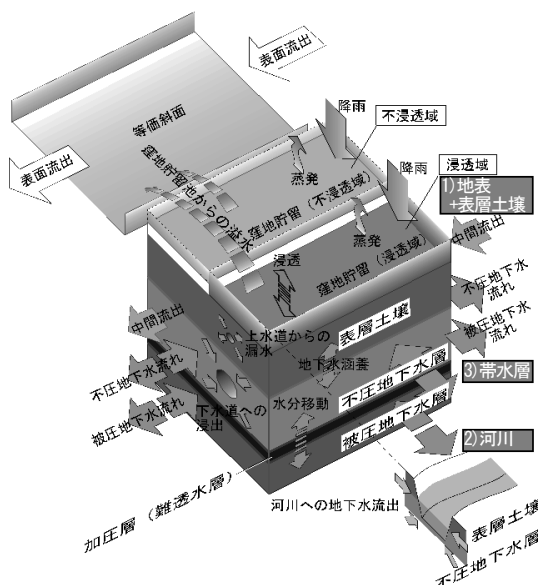


図-6 流域水循環解析モデルでのメッシュの構成

表-1 流域地形モデルの設定方法

項目	設定方法
標高	基盤地図情報数値標高モデル 5m ^⑥ をもとに DEM データを作成した。
不透透域	数値地図土地利用 ^⑦ の土地利用地目毎に既往検討事例を参考に不透透面積率を設定した。
窪地貯留能	水田：50mm、浸透域：5mm、不透透域：2mm として設定した。
雨水貯留浸透施設	流域対策の進捗状況調査をもとに実績値を設定した。
浸透度倍率 (土地被覆)	既往文献 ^⑧ の調査結果を参考に、地表面の締め固め状況 (被覆状況) による雨水の浸透度の低減率を設定した。

センターから野火止用水へ下水道処理水の放流を実施しており、常時水が流れているため、この野火止用水路についてもモデル化した。これらの河川、用水路については概ね 100m 毎に計算ノードを設定した。

帯水層構造は、関東ローム層等層厚線図、不圧帯水層等層厚線図、加圧層等層厚線図などの既往調査結果を基に設定した。透水性に富んだ関東ローム層は、その分布する段丘面下に概ね 2m～10m の層厚で分布させた。また、不圧帯水層厚は、流域全体で概ね 50m 前後の層厚を設定し、加圧層の層厚は上流域で 10m 前後、中流域で 10m～20m、荒川沿いの下流域で 5m 未満とした。

その他入力条件として、気象・水文データのほか、上水道漏水量、河川へ流入する雑排水量、下水道への浸入水量、下水道処理場での放流量、上水道および工業・農業用水量 (河川からの取水、地下水揚水)、下水道処理水の還流量、工場排水量などについて、調査結果などをもとに設定した。

表-2 モデルパラメータの同定結果

土質区分	飽和透水係数 k0 (cm/s)	飽和体積 含水率	残留体積 含水率	Harvercamp		Mualem
				α	β	n
多摩ローム	1.0×10^{-3}	0.598	0.707	72.8	3.92	3.11
立川ローム	1.0×10^{-3}	0.598	0.707	72.8	3.92	3.11
武蔵野ローム	1.0×10^{-3}	0.598	0.707	72.8	3.92	3.11
下末吉ローム (上部・下部)	1.0×10^{-3}	0.598	0.707	72.8	3.92	3.11
礫	3.0×10^{-4}	0.4	0.077	1.75×10^{10}	16.95	3.37
砂	3.0×10^{-4}	0.4	0.077	1.75×10^{10}	16.95	3.37
泥	1.0×10^{-4}	0.4	0.077	6.58×10^7	9.00	4.38

帯水層区分	飽和透水係数 (cm/s)	貯留係数
第1帯水層	5.0×10^{-4}	0.07
難透水層	1.0×10^{-8}	—
第2帯水層	5.0×10^{-4}	0.1

(3) モデルパラメータの同定 (モデル検証)

収集した資料から全てのモデルパラメータを設定できればよいが、幾つかについては再現計算を繰り返して調整する必要がある。ここでは河川流量と地下水位時系列を再現対象として繰り返し計算を行い、表層土壌の物性（水分保持特性と伝達特性の式は Harvercamp et al.⁹⁾と Mualem¹⁰⁾を用いた）と帯水層の透水係数を表-2の通り同定した。決定したパラメータでの河川流量の再現計算結果を図-7に、地下水位の再現計算結果を図-8に示す。計算結果は、河川の平常時流量と地下水位変動において良好な再現精度を示した。

4. 解析結果に基づく流域の水循環に関する考察

(1) 年間水収支の定量化

水循環解析の結果から、平均的な年間降水量であった平成 19 年を例に流域の年間水収支を集計した。得られた年間水収支を図-9に示す。都市化の進行によって森林や緑地、農地による保水機能が低下しているため、流域全体の年間水収支のうち、表面流出量が全体の4割強を占めており、逆に地下水涵養が2割強となっている。ただし、新河岸川流域では昭和 57 年より総合治水対策による雨水貯留浸透対策を継続的に実施してきており、雨水浸透施設からの涵養量が地下水涵養全体の1/4を占め、雨水浸透対策が流出抑制だけでなく、水収支バランスの改善にも繋がっていることが確認できる。

(2) 平常時の河川流量減少要因の分析

平常時の流量不足や瀬切れなどの水環境に関する課題に対してその要因を明らかにするため、流量が豊富であった昭和 40 年代～50 年代の土地利用や下水道整備状況を入力条件とし、河川流量の変化の状況を確認した。図-10にその解析結果を流量構成要素別に示す。かつては流量構成のうち8割以上が生活雑排水で占められていたため、水質は好ましくなかったものの、流量は豊富であ

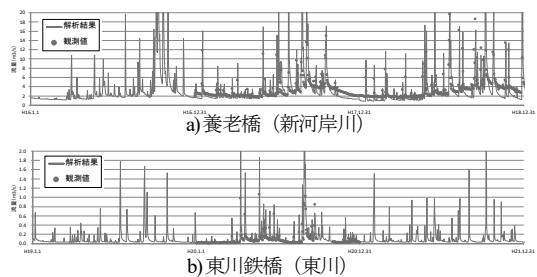


図-7 河川流量の再現結果

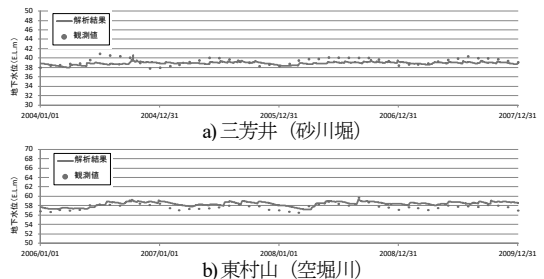


図-8 地下水位の再現結果

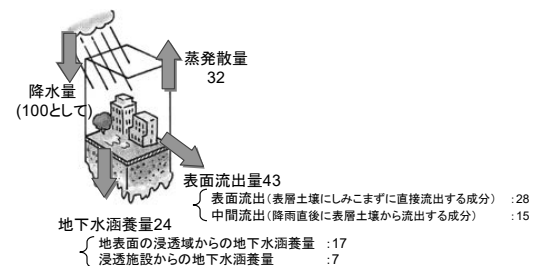


図-9 現況の年間水収支 (新河岸川流域全体)

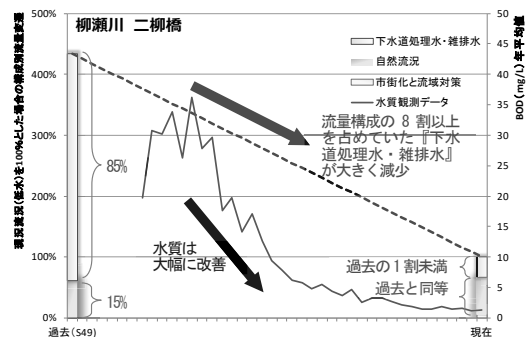


図-10 流量構成要素別の低流量変遷図 (柳瀬川 二柳橋)

った。現在では、下流側に下水道処理場が整備されたことにより、生活雑排水の流入量が当時の1割以下まで減少したため、水質は改善したものの河川流量が減少している。一方で自然流況はほぼ減少していないことから、流域の市街化による影響はこれに比べて極めて少なく、現在の河川流量減少については生活雑排水の流入減少が大きなインパクトになっていることが明らかとなった。

5. 新河岸川流域水循環マスタープランの策定と水循環計画策定手法の提案

新河岸川流域では、支川柳瀬川流域にてパイロットプランとして策定された水循環計画での知見を踏まえて、平成 28 年より水循環マスタープランの検討を進めてきた。新河岸川流域水循環マスタープランを策定した平成 31 年 1 月までの 3 年間で、計 18 回の会議を開催し、会議の延べ参加人数は 910 人、収集した総意見数は 1,300 にものぼる。策定に向けて多様なステークホルダーと十分に議論を重ねてきたことが特徴のひとつであるが、その組織体制や策定手順をこれからの水循環計画の策定手法の一例として提案する。

(1) 多様なステークホルダーが参画する検討組織構築

検討組織図を図-11 に示す。まず、学識者・市民代表・行政（国・東京都・埼玉県・流域 24 市区町）をメンバーとする「新河岸川流域水循環マスタープラン検討委員会」を組織した。また、マスタープランで示す内容は流域内の地方公共団体のうち、様々な部局が関連することになるため、マスタープランの具体的な内容を検討する際には、関係行政機関の河川、下水道、都市計画、環境などの各部署が集まる行政作業部会にて合意形成を図った。その他、流域を良く知る住民の意見を反映するため「市民部会：意見を集約する」、「市民懇談会：意見を抽出する」からなる 2 つの市民会議を設けた。

なお、図-2 で示した通り、新河岸川流域では国土交通省が管理する河川はない。しかしながら、東京都と埼玉県をまたぐ河川が多く、複雑な流域であるため、荒川下流河川事務所が主体となって東京都・埼玉県や流域市区町と連携して水循環マスタープランの策定を進めてきたことが本計画の特徴のひとつである。

(2) 計画の策定手順と構成

a) 流域の現状と課題の把握

まずはじめに、流域の現状と課題を把握した。新河岸川流域は低地に位置する新河岸川本川のほか、都市化の状況や河道状況、水辺環境などが異なる 4 つの大きな支川（不老川、柳瀬川、黒目川、白子川）が存在する。そのため、流域の特徴や水循環に関する課題はこれらの各支川流域によって多岐に渡るため、各種統計データや調査結果の整理だけでなく、作業部会や市民懇談会からワークショップ形式にて意見を出し合って流域の状態を把握した。その際、流域の“悪いところ”だけに着目せず、図-12 に示す流域の“良いところ”についても着目した。これらの意見を踏まえたうえで、関係者合同の現地視察会を開催し、検討にあたっての流域の多様な現状について、関係機関で共通認識を持つように努めた。

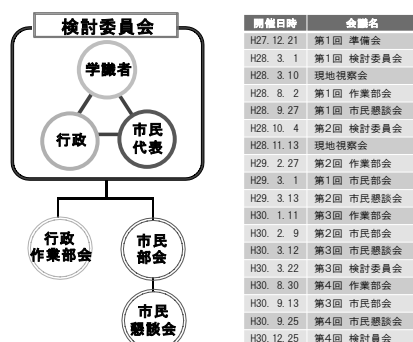


図-11 検討組織と会議の開催状況

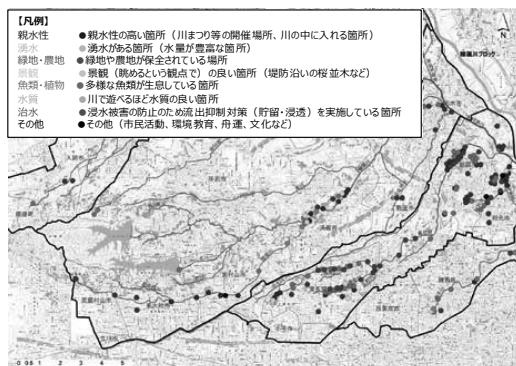


図-12 “良いところ”マップの作成事例

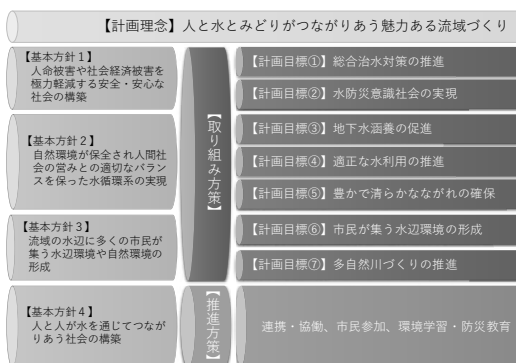


図-13 体系化した計画理念、基本方針、計画目標

b) 流域の目指すべき将来像と計画目標の体系化

現状と課題を踏まえて、これから流域が目指すべき姿を検討した。多様な課題がある中で、関係者全員が同じ方向性を持つことを念頭において、『人と水とみどりがつながりあう魅力ある流域づくり』と誰にでも分かりやすい表現で示し、これを計画理念とした。

計画理念をより具体化するため、流域全体で取り組むべき課題・テーマを踏まえた 3 つの基本方針とその実現に向けた 7 つの計画目標に加え、それらを推進するための 1 つの基本方針を設定した。これらを体系化したものを図-13 に示す。計画目標の具体例として、計画目標③で設定した「地下水涵養の促進」については、水循環解

析にて定量化した現況の年間水収支のバランスを、望ましい流域の水収支¹⁰⁾として、日本の平均的な年間水収支を参考に「表面流出：蒸発散：地下水涵養＝1：1：1」を目標として設定した。

c) 流域の目指すべき将来像と計画目標の体系化

設定した計画目標に対して、流域の個別課題への対応のほか、近年顕在化してきている水防災意識社会の実現や施設の維持管理等も視野に入れて、流域で取り組むべき具体的施策を網羅的に抽出した。今後、行政の各部署と市民などの関係者が一体となって実行計画であるアクションプランを策定し、施策を推進していく予定である。

6. おわりに

本稿では、新河岸川流域を対象に水循環解析モデルを用いて水循環の状態を把握・考察した。また、新河岸川流域水循環マスタープラン策定の知見を踏まえて、これからの水循環計画の策定手法について提案した。以下に主要な結論および提案事項を示す。

- ・都市河川流域の水循環の変化について分析するためには、自然条件だけでなく社会条件を組み込んだ水循環解析モデルを採用することが有効である。
- ・水循環解析結果から、新河岸川流域での現況の年間水収支は、全国平均と比べて表面流出量が多く、地下水涵養量が少ないことなどが明らかとなった。
- ・水循環計画の理念や目標を設定するうえでは、水循環の現状・課題や将来予測を水循環解析モデルにて定量的に評価した結果を用いることが有効である。
- ・水循環計画の策定に向けては、官学民が一体となった組織と、議論内容に応じた組織構成が重要である。また、課題や流域の将来像について、関係者が共通認識を持って議論を進めていくことが重要である。

謝辞：新河岸川流域水循環マスタープランの策定検討にあたり、守田委員長をはじめとした検討委員会委員の皆様、市民部会・市民懇談会委員の皆様および行政関係者の皆様には、終始意欲的にご議論を交わされ、数々の意見・提言を頂戴し、多大な協力を得た。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：柳瀬川流域水循環マスタープラン，2005，<http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage00016.html>
- 2) 国土交通省：柳瀬川流域水循環アクションプラン，2009，<http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage00119.html>
- 3) 内閣官房水循環政策本部事務局：水循環基本計画に基づく「流域水循環計画」に該当する計画，https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu_junkan/kouhyou2/h300117_index.html
- 4) 中村茂，中嶋規行，忌部正博，Srikantha Herath：グリッド型水循環系解析モデルの開発 海老川流域を対象として，水工学論文集，第45巻，pp.103-108，2001。
- 5) 国土交通省：新河岸川流域水循環マスタープラン，2019，http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage_index061.html
- 6) 国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル，<https://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 7) 国土地理院：数値地図 5000（土地利用），<https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/lum-5k.html>
- 8) 村井宏，岩崎勇作：林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)，林試研報 274，1975。
- 9) Harvercamp,R., Vauclin,M., Touma, J., Wierenga,P.J., Vauchad,G.: A comparison of numerical simulation models for onedimensional infiltration, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol 41, pp.285-293,1977.
- 10) Mualem,Y.: Hydraulic conductivity of unsaturated porous media : Generalized macroscopic approach , Water Resources Research , Vol.14 , No.2 , pp.325-334 , 1978.
- 11) 水と舗装を考える会：よくわかる透水性舗装，山海堂，1997。

(Received June 19, 2019)

Development of a water cycle master plan in the Shingashi river basin

Takayoshi Matsumoto, Takayuki Yabe, Yusuke Uchiyama, Shinya Watanabe, Yuichi Uto and Taiji Arakawa

In the Shingashi river basin, the population increased explosively due to extreme concentration of industry in Tokyo during the high economic growth period. Urbanization has progressed due to population growth, not only problem of flood, but also water environment problems such as lack of river flow in normal times and drought. Considering this situation, it became necessary to build a sound water cycle plan in the Shingashi river basin. To realize this plan, a water cycle analysis model (grid-based hydrological model) using various input conditions including social conditions was constructed. Using this model, the annual water balance was quantified, and the reason why river flow rate had decreased in recent years were analyzed. According to the results of study, the issues, future vision and countermeasures of the basin was thoroughly discussed. Finally, “Shingashi River Basin Water Cycle Master Plan” was formulated in January 2019. Taking this master plan as an example, we propose a method for formulating future water cycle plans.