

# 明治以降の東京における水収支

Water balance in Tokyo after Meiji period

原 美登里(東京大学・客員研究員), 山田 勤(学習院女子中・高等科),

新井 正(立正大学・地球環境科学部)

Midori HARA (Visiting Scholar, Univ. Tokyo)

Tsutomu YAMADA (Gakushuin Girls' Junior & Senior High School)

Tadashi ARAI (Graduate School of Geo-Environmental Science, Rissho Univ.)

キーワード: 東京, 明治以降, 水収支, 蒸発散量, 流出

Keywords: Tokyo, after Meiji period, water balance, evapotranspiration, runoff

## 1. はじめに

近代以降, 都市の水循環は自然的な水循環とは大きく異なっていることが多くの研究者により指摘されている。都市化が進むにつれ, 地表面は舗装され, 降水の地下浸透量が激減している。さらに, 上下水道の整備にともない, 都市用水は流域変更されて都市に送水され(原, 1997), 使用された後, 本来の流域の水収支に加わることなく, 直接海へと放流されるようになった(中西, 1994)。すでに 1970 年代に細野(1978)は武蔵野市では降水量よりも上水道の給水量の方が多いいことを明らかにしている。また, 前田(1998)が神田川流域では降水量より他流域からの導水が多く, 河川への流出においても表面水より下水処理水の流入の方が多いいことを明らかにした。新井(1993)は近代の都市の水循環は自然の形態をほとんど失い, 人工的な水循環が支配的であると述べている。秋山(1991)は, 都市においては水収支も水循環構造も, 極端に人工化が進んでいると指摘している。

人為的な水循環は地表水および地下水の流量・水位・水質に大きな影響を与えていることを多くの研究者が示唆している(市川, 1980; 小倉, 1984, 新井, 1987; Mori, 1998; 原, 1998 など)。さらに植生や生態系・海域にまで影響がおよんでいる(河内, 1995; 市野ほか, 1996; 市野, 1997; 日比野, 1984 など)。

近年, 人類の生存に不可欠な水への関心が高まってきている。社会的にも 1993 年に『環境基本法』, 1994 年に『環境基本計画』が閣議決定され, 1996 年6月には河川審議会が河川整備の基本的方向についての提言をまとめた。これらの基本計画では, 地球環境の保全を図るためのキーワードとして, 「健全なる水循環の確保」や「水循環系全体」といった言葉が用いられており, 水循環への理解が求められている。

都市水文学の分野において, 水循環や水収支の研究は多いが, 都市化にともなった水循環や水収支の変化についての研究は多くない(新井, 1996)。また, そのほとんどは都市化の進んだ昭和後期以降を扱ったものが多い。しかし, 「健全なる水循環」を考えるには, 都市化以前の

水循環や水収支との比較を行い, その変化を明らかにすることが重要である。

そこで本研究では, 過去 120 年間における東京都内の気候環境の変化をもとに, 不透水性面積率ごとに水収支の推定を行った。さらに, その結果を用いて, 東京都内の水収支の変化を捉えた。

## 2. 研究方法

東京都内の水収支を明らかにするために, 東京都における 1876 年から 1995 年の気象データを用いて, 都内の気候を概観した。

次に, 都内の都市化による水収支の変化を明らかにするために, Thornthwaite 法(Thornthwaite, 1948)により, 蒸発散量の算定を行った。1876 年から 10 年ごとの都市化による不透水性被覆率の変化にともなう蒸発散量・直接流出量・浸透量の推定を試みた。

さらに, 都内でも比較的緑地の残っている白金台を中心とした地域(図 1)について, 1881 年, 1909 年, 1926 年, 1937 年, 1955 年, 1970 年, 1981 年, 1991 年の地形図から不透水性土地を推定し, 面積計を用い不透水性面積率を求め, この地域における蒸発散量・直接流出量・浸透量の推移を推定した。

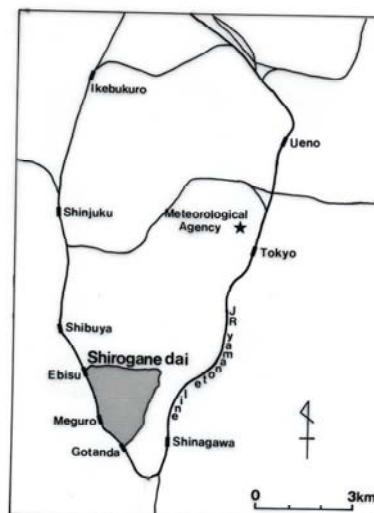


図 1  
白金台位置図

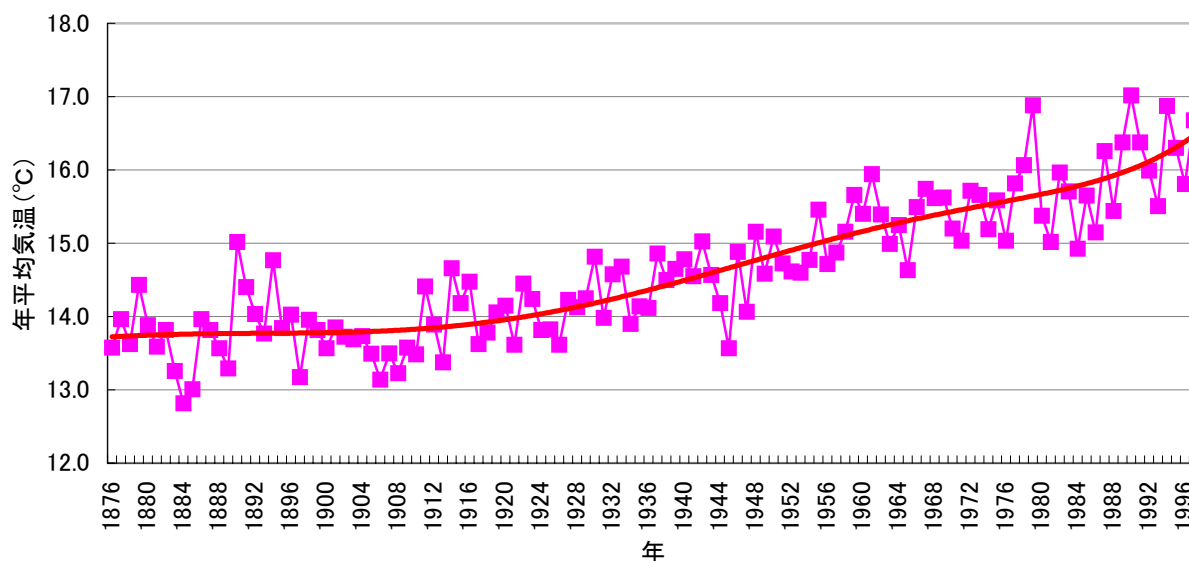


図 2 東京における年平均気温の経年変化

### 3. 東京都内の気候環境と Thornthwaite 法を用いた水収支の変化

気象庁で観測された 1876 年から 1995 年までの年平均気温の変化を図 2 に示した。年変化はあるものの、年々上昇していることは移動平均値からも明白である。1920 年以降の上昇傾向は著しく、1980 年以降はさらなる上昇傾向にある。季節別にみると、冬季(12 月から 3 月)の上昇傾向は著しい。1876 年から 1997 年の約 120 年間でおよそ 3°C の上昇がみられるが、1910 年から 1984 年の 75 年間で約 2°C、1984 年からのおよそ 20 年間で約 1°C 上昇している。夏季(6 月から 9 月)の気温も上昇傾向にあり、年変化が激しい。

同様に、図 3 に年降水量の推移を示した。降水量は年変化が大きいことがわかる。しかし、移動平均値をみると、1876 年から 1887 年に減少傾向、1887 年から 1920 年には増加傾向、1920 年から 1970 年では減少傾向、1970 年以降は漸増傾向にあることが明らかである。月別にみても、年変化が激しい。降水量の頻度分布をみると、1501mm から 1600mm がもっとも多く、次いで 1301mm から 1400mm が多い。1301mm から 1800mm の降水は全降水の約 70% を占めている。

Thornthwaite 法から求めた 1876 年から 1935 年までの平均流出率は 50.7% であったが、1936 年から 1995 年までは 45.1% に減少している。

### 4. 不透水性面積率別の都内の水収支モデル

Thornthwaite 法では湿潤な植生地における蒸発散と余剰水を求めるため、不透水性土地は考慮されていない。そこで、この点を考慮した検討を行った。

本研究では、蒸発散量は降雨後すぐに蒸発してしまう 1mm 以下の降水も考慮に入れ、年間 100mm の降水に不

透水性面積率を乗じた水量が直接蒸発すると仮定した。流出量は東京都(1980)により求められた被覆率別の降雨流出率をもとに算出し、降水量から蒸発散量と流出量を引いた値を浸透量と仮定し、その推移を図 4・5・6 に示した。蒸発散量は漸増傾向を示し、不透水性面積率が高くなるほど降水との関係が弱い。流出量と浸透量は降水量との関係が強い。流出量は、年変化の変動幅が緩やかで、不透水性面積率が高くなると増加する。浸透量の年変化の変動幅は大きく、不透水性面積率別の幅は小さくなっている。

### 5. 白金台の不透水性面積率の推移

都内でも比較的緑地の多い白金台地の不透水性面積を、1881 年、1909 年、1926 年、1937 年、1955 年、1970 年、1981 年、1991 年の地形図から読みとり、面積計を用いて割合を求めた。その結果、白金台地周辺の不透水性面積率の推移は第 7 図のようになった。1881 年には住宅が少なく、舗装された土地はほとんどなかった。この地域は寺社が多数立地していたため、緑地が多かった。その後の不透水性面積率は、1909 年には約 27%、1926 年には 50% になり、1937 年には約 67% もの土地が不透水となっていた。さらに 1955 年には 80% を超え、その後は 90% 以上となっている。しかし、残りのおよそ 10% の土地は自然教育園、庭園美術館、寺社・大学施設などであるため、1980 年代以降は変化が小さく、今後もこのまま推移していくと考えられる。

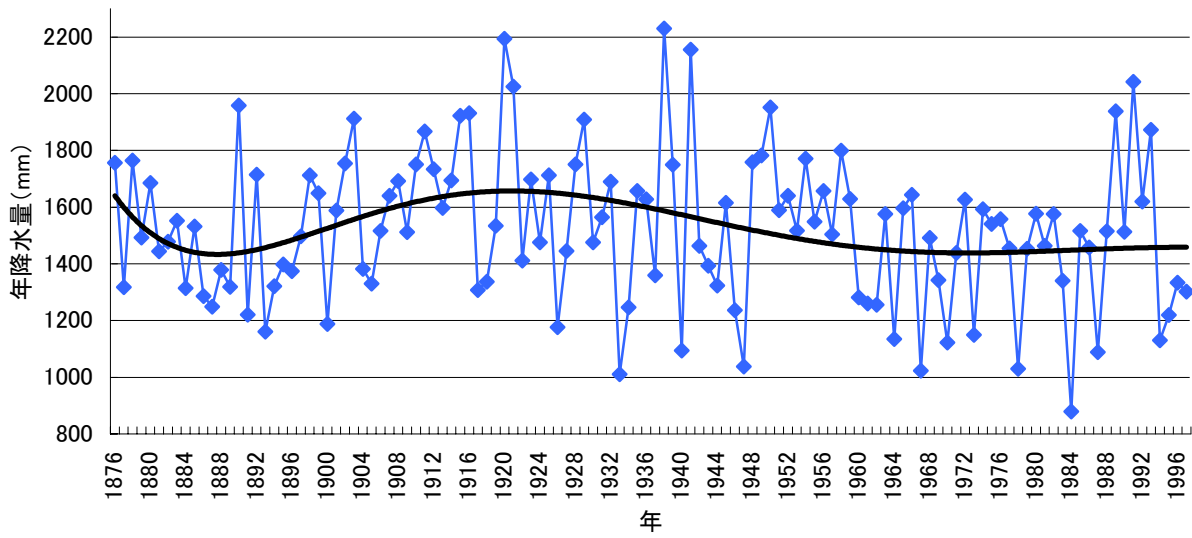


図 3 東京における年降水量の経年変化

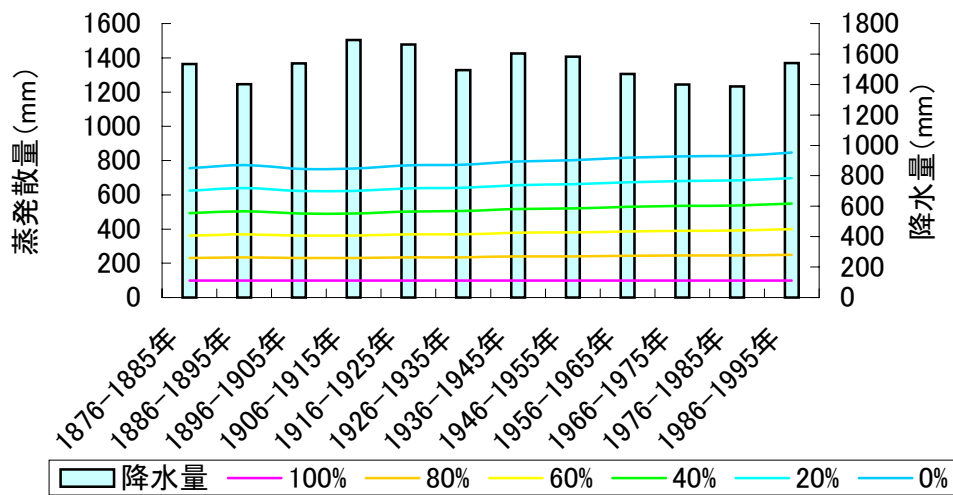


図 4 不透水性面積率別の蒸発散量の推移

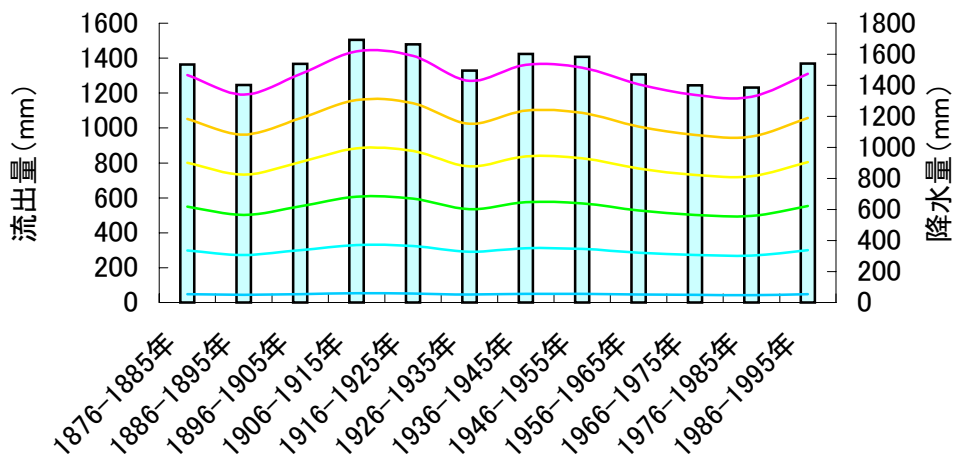


図 5 不透水性面積率別の流出量の推移(凡例は図 4 と共通)

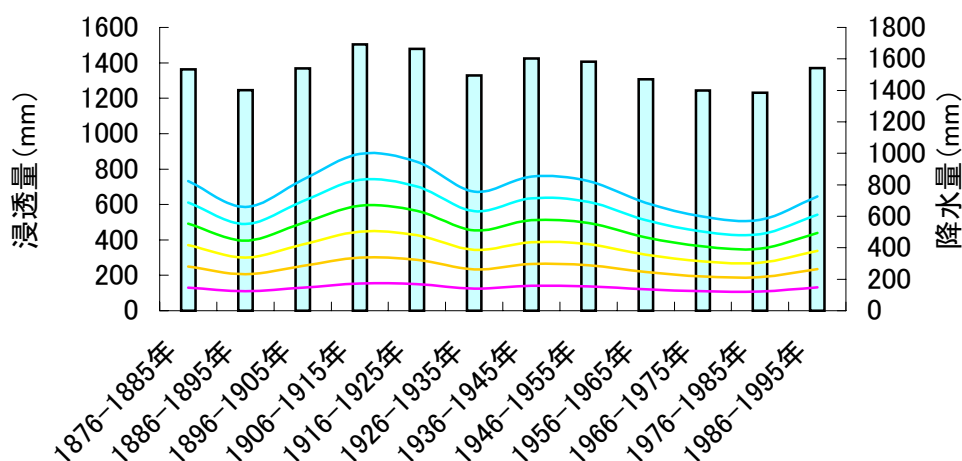


図 6 不透水性面積率別の浸透量の推移(凡例は図 4 と共通)

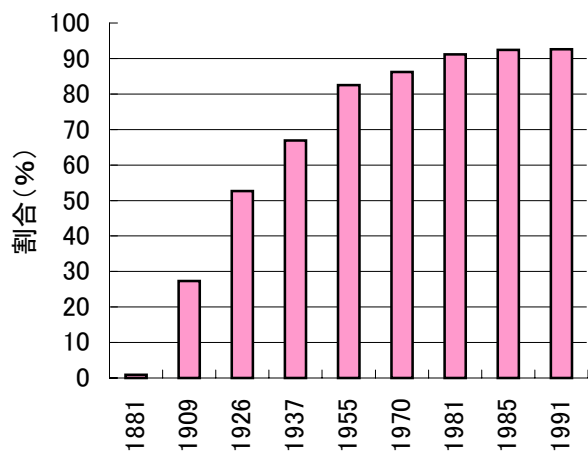


図 7 白金台の不透水面積率の推移

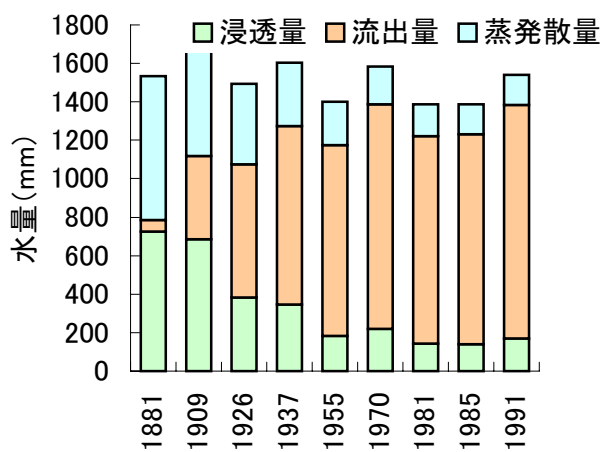


図 8 推定式による白金台の水収支

## 6. 白金台の水収支の推移

気象庁(大手町)の気象・水収支データを用い第4章で推定した水収支モデルと、第5章で求めた白金台周辺の不透水性面積率の推移をもとに、水収支の経年変化を求めた(図8)。

流出量は年々増加しており、特に1930年代以降の流出量増加が顕著で、これには不透水性面積率の増加が大きく関与していると考えられる。一方、1980年代以降は、蒸発散量・流出量・浸透量ともにほぼ一定量で推移している。不透水性面積率の増加傾向が止まった結果であろう。

## 7. おわりに

地域の環境を述べる上において、過去と比較することは意義が大きい。しかし、日本において、水質や水量などの水環境に関わるデータが整備され始めたのは1950年代以降である。唯一100年以上観測されていたのが気象データである。本研究ではこれらの気象データを用いて、水文データのない時代を含めた過去100年間の水収支を推定することを試みた。

その結果、白金台地を中心とした地域は、1950年代には約60%が不透水性面積となっており、推定式より得られた1950年頃の蒸発散量は226.9mm、流出量は989.3mm、浸透量は183.8mmであることが推定された。さらに、1990年代では蒸発散量は155.3mm、流出量は1216.5mm、浸透量は169.3mmであった。比較的都内の中でも緑地が多いこの地域においても、年々蒸発散量や浸透量は減少し、流出量が大幅に増加していた。

今回は不透水性面積率と水収支の関係を述べるにとどまったが、今後は上水道給水量や下水道普及率などのデータを合わせ、より正確な水収支の推定を行い、水循環の変化を明らかにする予定である。

### 参考文献

秋山紀子(1991):都市と環境. 半谷高久・岡部 昭彦・秋山紀子編:『人間と自然の事典』, 化学同人, 164-178.  
新井 正(1987):都市の水収支と地表水. 新井 正・新藤静夫・市川 新・吉越昭久:『都市の水文環境』, 共立出版, 1-108.  
新井 正(1993):東京の水域の変化と水循環. 都市問題研究, 45-8, 59-69.  
新井 正(1996):東京の水文環境の変化. 地学雑誌, 105, 459-474.  
市川 新(1980):『都市河川の環境科学:水質管理の考え方』, 培風館.

市野和夫・宮沢哲男・西條八束(1996):豊川流域の環境問題. 愛知大学共同研究(B-6)報告書.  
市野和夫(1997):三河湾集水域の水資源開発. 西條八束監修:『とりもどそう豊かな海 三河湾』, 八千代出版, 103-112.  
小倉紀雄(1984):多摩川—その自然と人間. 門司正三・高井康雄編:『陸水と人間活動』, 東大出版会, 16-68.  
河内俊英(1995):水環境に対する下水処理場およびその他の影響. 石井 実編:『自然保護と昆虫研究者の役割 VI』, 22-26.  
東京都(1980):地下水収支調査報告書.『自由地下水の収支調査』, 23-53.  
中西準子(1994):『水の世界戦略』, 岩波新書, 22-35.  
原 美登里(1997):神奈川県における都市用水事業・下水道事業の広域化と流域変更. 地理学評論, 70-8, 475-490.  
原 美登里(1998):神奈川県における流域変更が取水・排水河川へ与える影響. 日本水文科学会誌, 28-3, 83-96.  
日比野雅俊(1984):三河湾—汚濁と集水域の人間活動. 門司正三・高井康雄編:『陸水と人間活動』, 東大出版会, 209-252.  
細野義純(1978):武蔵野台地の不圧地下水. 市川正巳・榎根 勇編:『日本の水収支』, 古今書院, 174-188.  
前田正博(1998):水循環再生と下水道—排水から循環へ—. 都市問題研究, 50-8, 50-63.  
Mori, K. (1998):Recent trend of annual precipitation and its effect on river water quality: A case study. Proceedings of International Symposium on Hydrology and Water Resources; Environment, Development and Management in Southeast Asia and the Pacific. 319-324.  
Thorntwaite, C.W. (1948):An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38, 55-94.