

明治以降の東京都における水収支

原 美登里*・山田 勤**・新井 正***

Water Balance in Tokyo after Meiji Period

Midori Hara*, Tsutomu Yamada** and Tadashi Arai***

は じ め に

自然教育園に係わる水環境の研究として、菅原・三寺（1985）の水収支の解析をあげることが出来る。そこでは、園内の総流出水量が推定されたが、園周辺の環境の変化と水環境については言及されなかった。

そこで、本研究では過去100年近くにおける東京都内の気候環境の変化をもとに、1950年代以前の不透水性面積率ごとに水収支の推定を行った。その結果を踏まえ、自然教育園周辺の都市化における水収支の変化についても明らかにした。

1. 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）により求めた蒸発散値をもとに、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・浸透量について、下記の三つの説に基づき推定を試みた。

推定Ⅰ 不透水性面積率が0%・20%・40%・60%・80%・100%の場合を想定し、Thornthwaite法により求めた蒸発散量と浸透量（余剰水）のそれぞれから被覆率分の水が直接流出すると仮定した。

推定Ⅱ 降水量1mm以下の場合は不透水性面に降った雨はすぐに蒸発すると考えた。1985年から1995年に1mm以下の降水があった平均日数は100日であった（理科年表, 1997）。そこで、年間 $1\text{mm} \times 100\text{日} = 100\text{mm}$ の降水にそれぞれの不透水性面積率を乗じた水量がThornthwaite法により求めた蒸発散量に加算されると推定した。このように蒸発散量を求め、推定Ⅰで求めた直接流出はこの仮説でも成立するとし、残りを浸透量とした。

* 東京大学空間情報科学研究センター 客員研究員, Visiting Scholar, Univ. Tokyo

** 学習院女子中・高等科, Gakushuin Girls' Junior & Senior High School

*** 立正大学 地球環境科学部, Graduate School of Geo-Environmental Science, Rissho Univ.

推定Ⅲ 東京都(1980)は地下水収支を把握するために行われた、都内の水収支の調査に基づく流出率を基本とした。すなわち、東京都(1980)により求められた被覆率別の流出率をもとに、1876年から1995年における10年ごとに不透水性面積率別の直接流出量の算定を行った。蒸発散量は推定Ⅱにより求めた値を用い、降水量から蒸発散量と流出量をひいた残りを浸透量とした。

さらに、自然教育園のある白金台を中心とした地域について、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(図1)、推定Ⅰ・Ⅱ・Ⅲで得られた値をもとに、自然教育園周辺における蒸発散量・直接流出量・浸透量の推移を推定した。

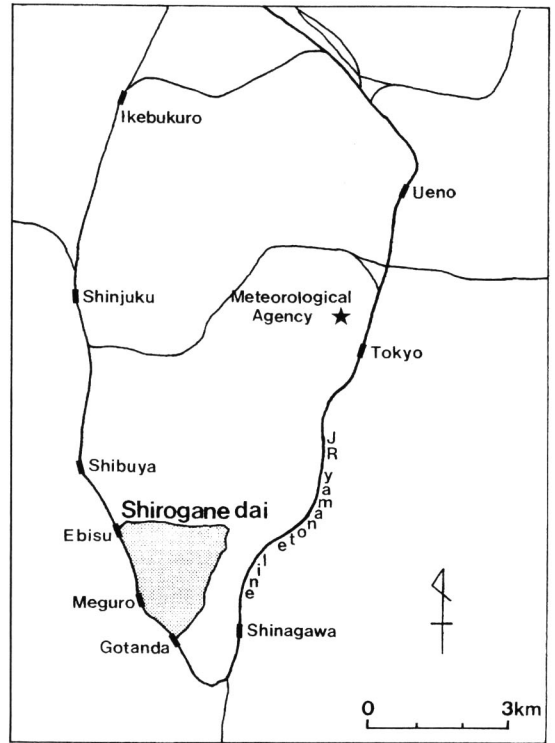


図1 研究対象地域

2. 東京都内の気候環境とThornthwaite法を用いた水収支の変化

1876年から1995年までの気温の変化を図2に示した。年変化はあるものの、年々上昇していることが明白である。特に冬季(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4℃の上昇がみられる。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。また、わずかだが、減少傾向がみられる。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。これは、気温上昇による蒸発散の増加と、降水量の減少が影響していると思われる。

3. 不透水性面積率の変化にともなう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。推定Ⅰでは、不透水性土地に降った雨は不透水性面積分だけ流出すると仮定し、蒸発散量と浸透量のそれぞれに不透水性面積率を乗じた値を直接流出量とした。推定Ⅰ・Ⅱ・Ⅲで用いた不透水性面積率は仮定の値で、実際のデータではない。

推定Ⅰにおける東京都内の水収支において、すべての不透水性面積率のケースで蒸発散量は降水量

の変動とは無関係に年々増加傾向にある。直接流出量は降水量変化と連動しており、また不透水性面積率が大きいほど、経年変化の変動が大きい。また、直接流出量は不透水性面積率が100%の場合、蒸発散・浸透せずに、降水量すべてが流出してしまう可能性も示唆している。浸透量は蒸発散量や流出量と比較すると、降水量変化にともない、大きく変動していた。また、不透水性面積率が小さいほど年変化は大きく、面積率に関係なく漸減傾向にある。さらに、1920年代以降、浸透率が減少傾向にある（図4・5・6）。

推定Ⅰでは不透水性面積率が100%の場合、降水はすべて直接流出となり、蒸発散量・浸透量は0mmとなる。しかし、不透水性の土地では通常1mm以下の降水は流出も浸透もせず、蒸発すると思われる。そこで、推定Ⅱでは、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。推定Ⅱによる蒸発散量の推移は、推定Ⅰ同様に、漸増傾向にある。また、不透水性面積率0%を除き、推定Ⅰの値より増加している。直接流出量・浸透量についても、推定Ⅰと同様の傾向がみられる。しかし、不透水性面積率が高くなると、推定Ⅰの浸透量より推定Ⅱの値が低くなっていた（図7・8・9）。

推定Ⅲでは、蒸発散量は推定Ⅱの仮定に準じ、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た。推定Ⅲによる蒸発散量の推移は、推定Ⅰ・Ⅱ同様に漸増傾向を示している。流出量は推定Ⅰ・Ⅱと比べると、年変化の変動幅が緩やかである。また、不透水性面積率が高くなると、推定Ⅰ・Ⅱの値より低くなっていた。対して、浸透量については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り、推定Ⅰ・Ⅱの値より高くなっていた（図10・11・12）。

推定Ⅰ・Ⅱ・Ⅲを比較すると、推定Ⅲの流出量をもっとも少なく、反対に蒸発散量と浸透量は推定Ⅰ・Ⅱより多くなっていた。

4. 白金台の不透水性面積率の推移

自然教育園を取り巻く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図13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。1909年には約27%、1926年には50%に達し、1937年には約67%もの土地が不透水となっていた。1955年には80%を超え、その後は90%の不透水性面積を有している。しかし、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。

5. 自然教育園周辺の水収支の推移

気象庁（大手町）の気象・水収支データを用い第3章で推定した水収支モデルと、第4章で求めた自然教育園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みた。

推定Ⅰにおける流出量は1970年まで急激に増加しており、それに比例して蒸発散量と浸透量は減少した。1970年以降の流出量はほぼ横這い状態である（図14）。

推定Ⅱにおける流出量は推定Ⅰと同様の傾向がみられるが、1980年以降浸透量はほぼ0mmに近い

値を示した(図15)。

推定Ⅲにおいては、推定Ⅰ・Ⅱと比較すると流出量が若干少ないが、蒸発散量と浸透量は増加している。また、1970年以降の流出量の変動も小さい(図16)。

推定Ⅱでは、1980年代以降、浸透量が計算上0mmとなっている。これは、1980年代以降でも透水性土地があるため、矛盾が生じている。一方、推定Ⅰ・Ⅱでは、不透水性面積率が低いときは浸透量が大きくなり、面積率が高いときは流出量が大きくなっている。しかし、東京都(1980)の調査と比較すると、推定Ⅰの値が大きく出ている傾向にある。そこで、本報告においては、推定Ⅲの数値が適切ではないかと考える。

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、水文データの無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、自然教育園の位置する白金台地を中心にした地域は、1950年代には約60%が不透水性面積となっており、推定Ⅲより得られたこの頃の蒸発散量は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の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。

参 考 文 献

- 菅原十一・三寺光雄. 1985. 自然教育園の水収支. 自然教育園報告, (16), 67-73.
東京都. 1980. 自由地下水の収支調査. 地下水収支報告書, 23-53.
Thrnthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, Vol.38, 55-94.

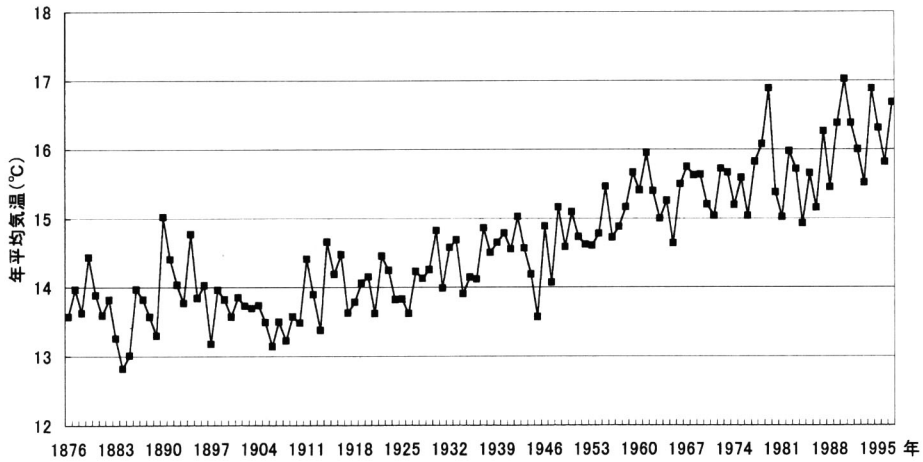


図2 東京における年平均気温の経年変化

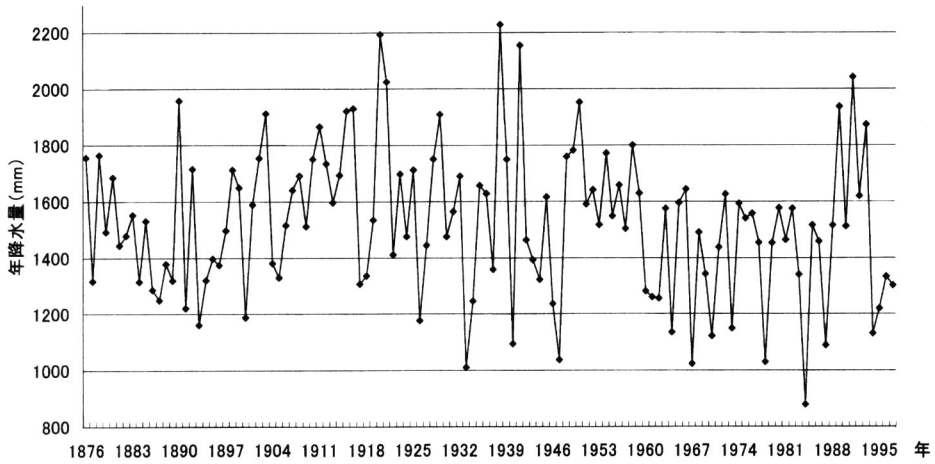


図3 東京における年降水量の経年変化

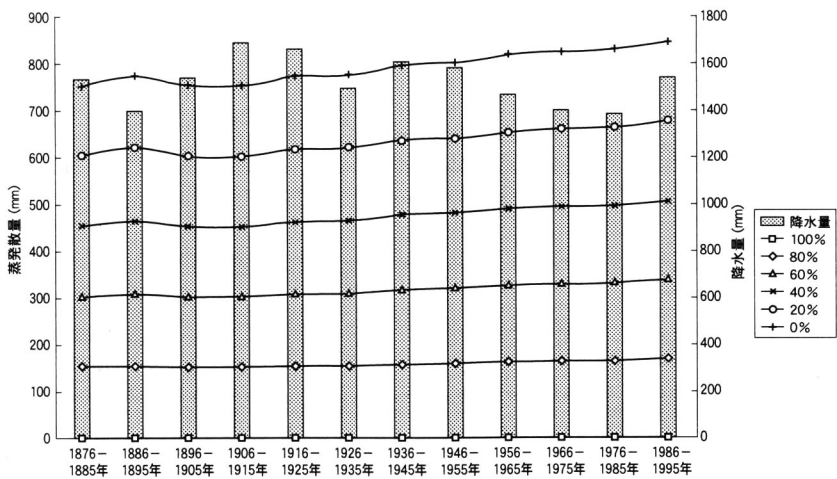


図4 降水量と推定Ⅰによる蒸発散量の推移

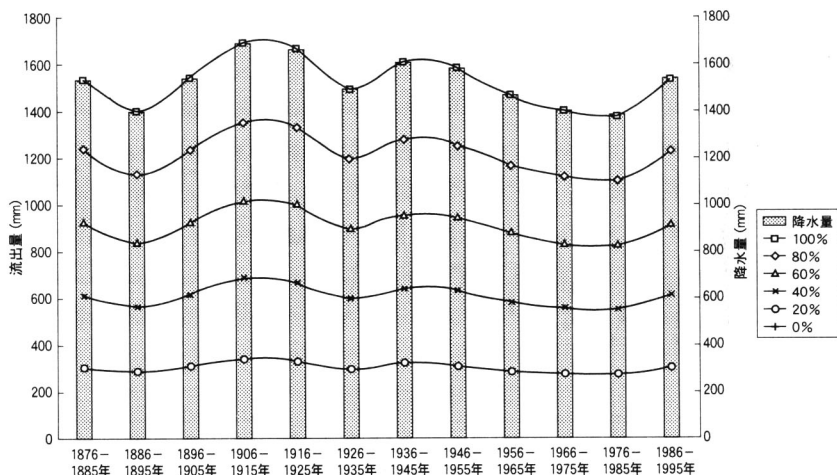


図5 降水量と推定 I による流出量の推移

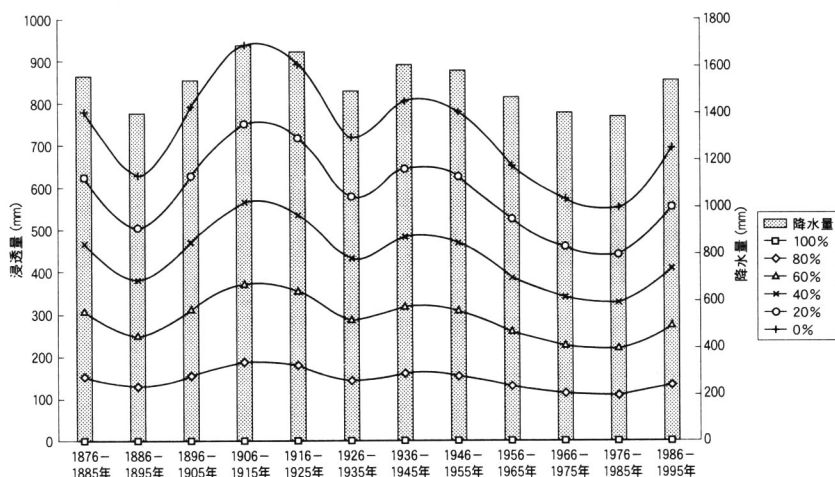


図6 降水量と推定 I による浸透量の推移

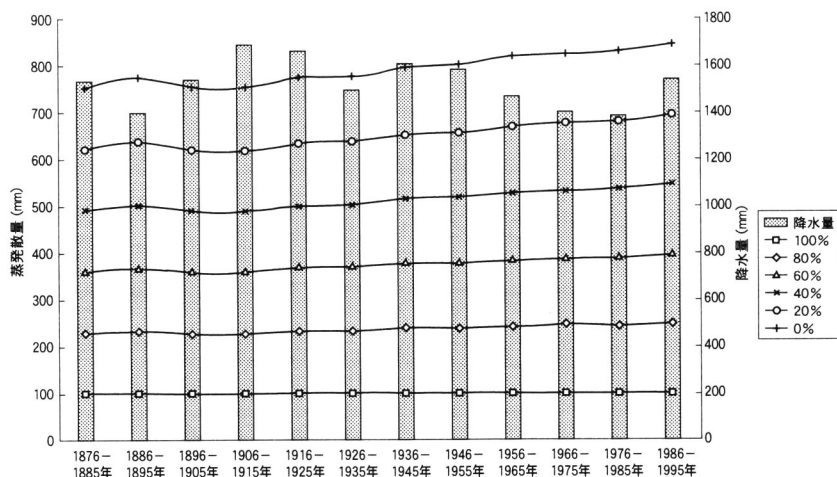


図7 降水量と推定 II による蒸発散量の推移

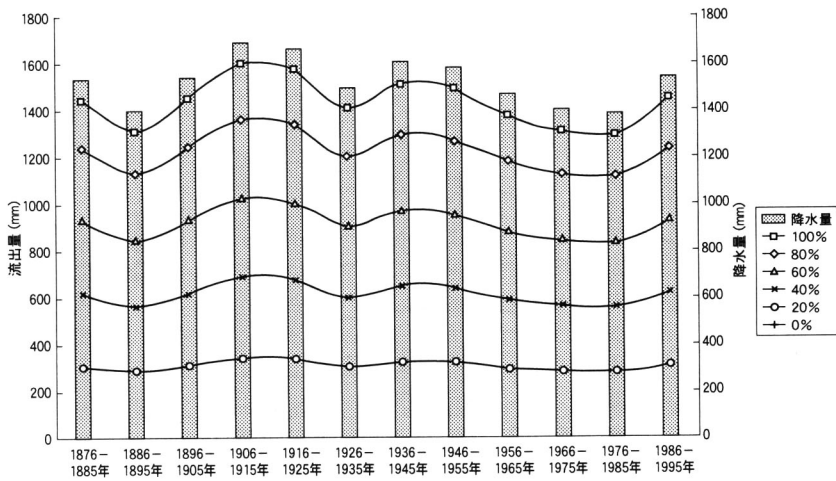


図8 降水量と推定Ⅱによる流出量の推移

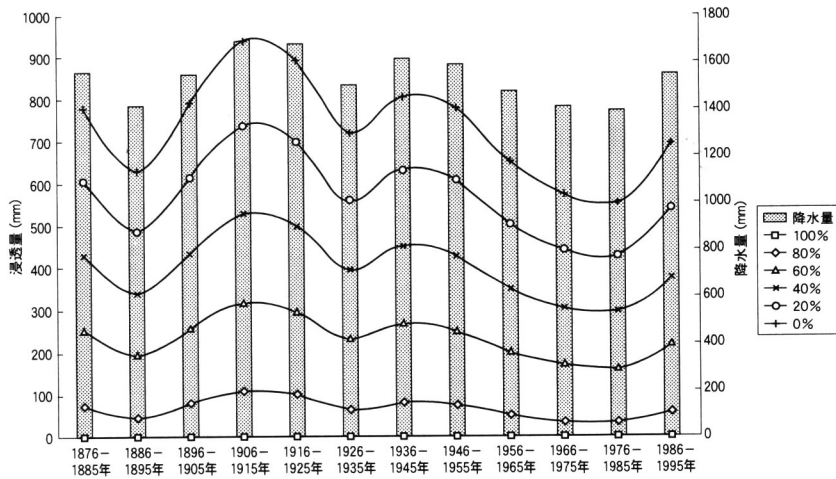


図9 降水量と推定Ⅱによる浸透量の推移

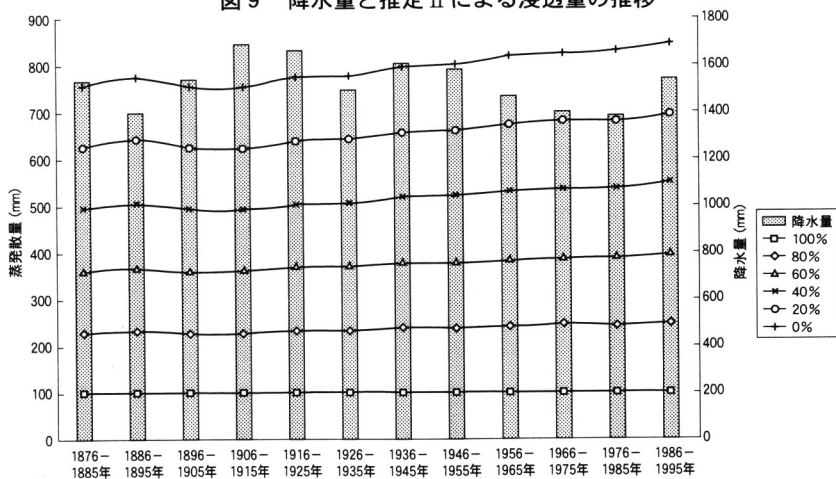


図10 降水量と推定Ⅲによる蒸発散量の推移

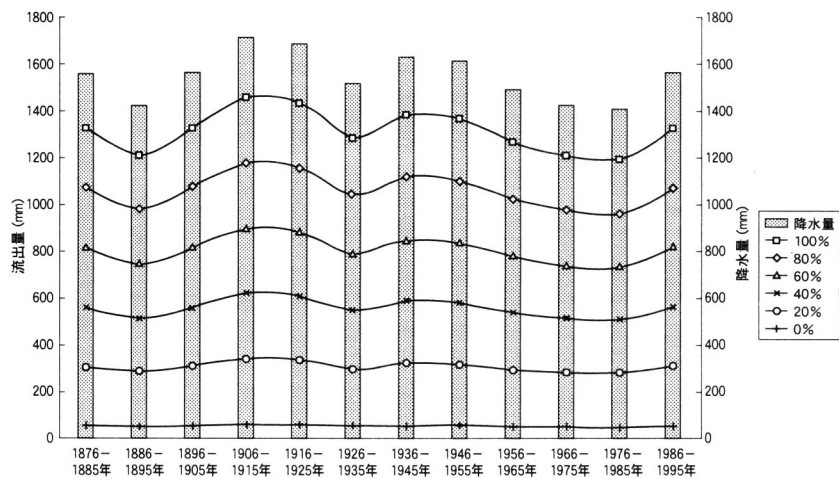


図11 降水量と推定Ⅲによる流出量の推移

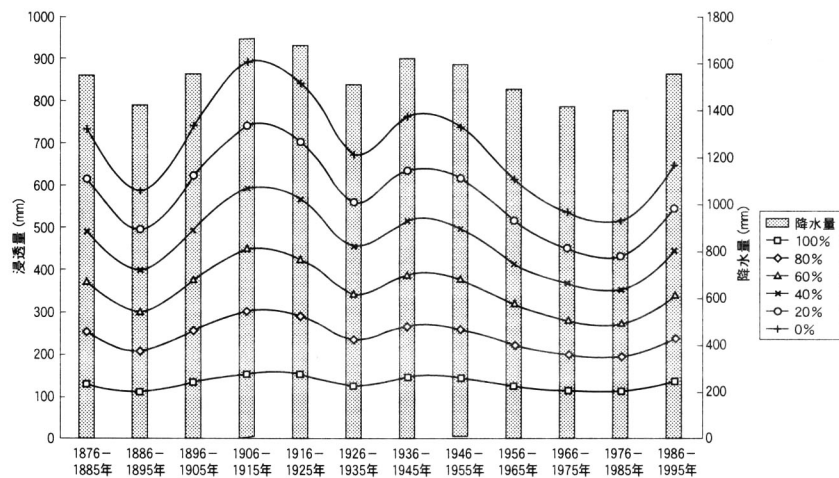


図12 降水量と推定Ⅲによる浸透量の推移

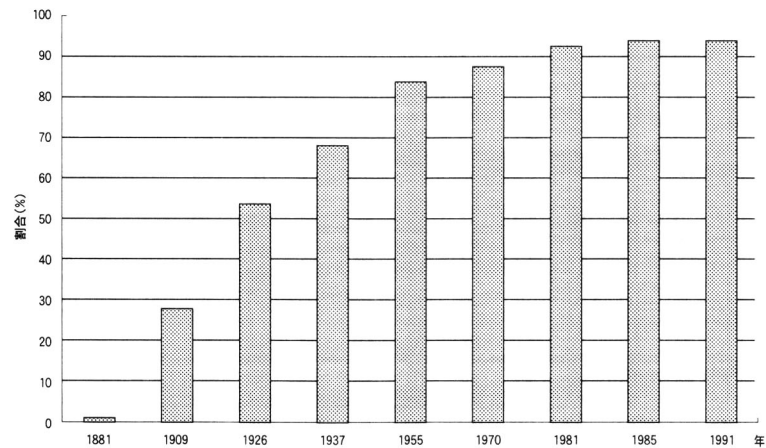


図13 白金台の不透水面積率の推移

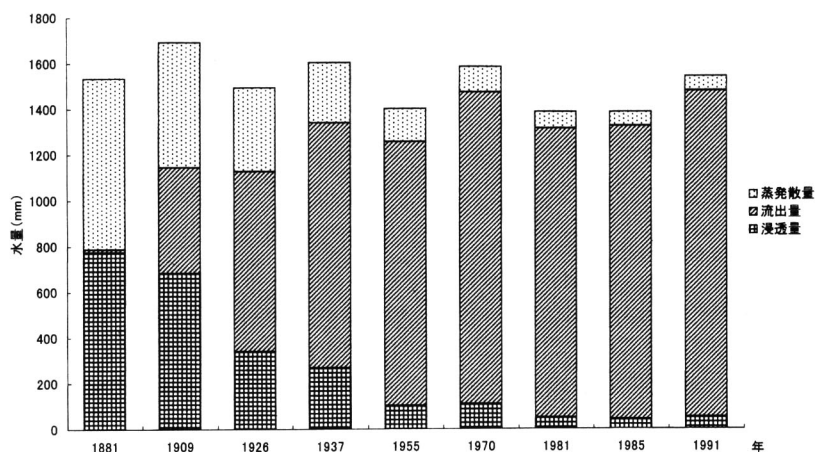


図14 推定Ⅰによる白金台水収支

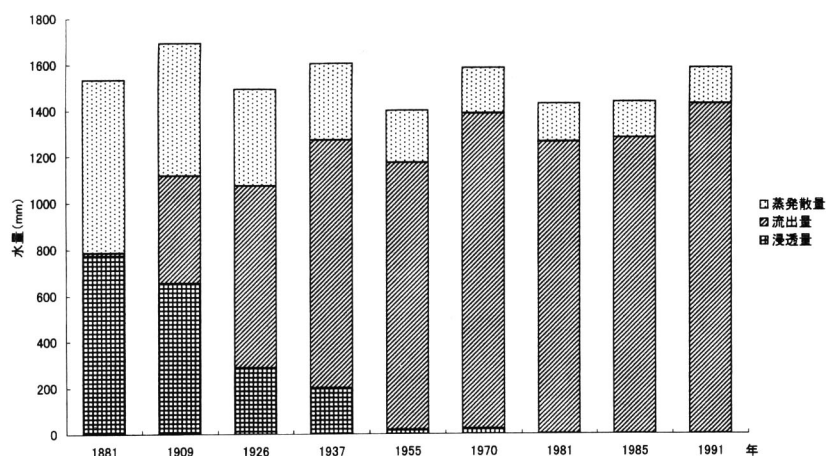


図15 推定Ⅱによる白金台水収支

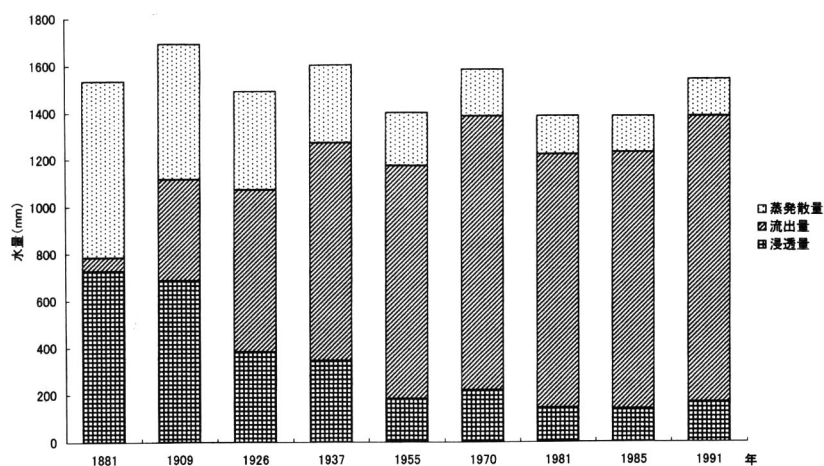


図16 推定Ⅲによる白金台水収支