

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：32658

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26740052

研究課題名(和文)多摩川源流域における森林構造の歴史的変遷に伴う水収支の推計

研究課題名(英文) Estimate of the water balance changed through historical transition of the forest structure, in Tama River headwater area

研究代表者

橘 隆一 (Tachibana, Ryuichi)

東京農業大学・地域環境科学部・准教授

研究者番号：20432297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：多摩川源流域における過去およそ100年間の森林構造の変遷とそれに伴う水収支の変化を推計した。その結果、多摩川源流域における森林の変遷では、特に1947年から1972年にかけての大規模な天然林択伐による新植面積の拡大により、1990年には針葉樹の占める面積は拡大し広葉樹や荒地の割合が減少していた。1914年から2012年の多摩川源流域における森林蒸発散量は、532～710mm/yとばらつきが認められた。しかし、1914～1944年と1953～2012年の各平均値と比較すると350mm/yから480mm/yに増加していた。これは森林構造の発達により、蒸散量が上昇したためと考えられた。

研究成果の概要(英文)：As well as estimate historical transition of the forest structure during approximately 100 years of Tama River headwater area, it was performed for the purpose of which is to infer changes in the water balance. Also collects historical materials, using vegetation map of satellite images and the Geospatial Information Authority of Japan for the presence and the current vegetation distribution of past forest.

As a result, especially new planting of conifer forest area through 1972 since 1947 has increased broad leaf forest and waste land were found to have reduced in 1990. The forest year evapotranspiration of Tama River headwater area during approximately 100 years after 1914 are 532 to 710 mm/y variability. However, the forest year evapotranspiration was increased from 350mm/y during 1914 to 1944 to 480 mm/y during 1953 to 2012. Transpiration rate was considered increased through developed the forest structure as cause for forest evapotranspiration increased.

研究分野：森林環境科学

キーワード：水資源 森林蒸発散量 水収支 多摩川源流域 森林構造

1 . 研究開始当初の背景

多摩川は、江戸時代から江戸中心部の 3/4 をまかなう重要な水源とされ(丹保,2012), 現在も、都民の生活と活動を支えている。

本申請者は、首都東京の水資源保全を念頭に、多摩川源流域の水資源が広がる奥多摩・小菅地域において、水収支を解明することを目的として研究を進めてきた。2012 年からは、多摩川源流域内に位置する東京農業大学地域環境科学部 奥多摩演習林(以下、演習林)において、樹液流計測法の一つである Granier 法による多点測定と樹冠遮断量の測定を行うことで、森林からの蒸発散量を推定してきた。その結果、スギ・ヒノキ壮齢林、カラマツ若齢林における樹冠遮断量は、それぞれ 28.4% , 6.9% であることが分かった。

森林伐採や造林によってもたらされる森林構造や構成樹種の変化は、水収支に大きな影響を与える。一般に、森林は荒廃したはげ山に比べて、大雨時の河川への流出量を 3~4 割も減らす(五名ら,2012)ことから、森林構造や構成樹種の変化の把握は洪水の危険性を把握する上でも重要である。すなわち、多摩川源流域での植生変化に伴う水収支の変遷、特に蒸発散量の変遷が解明されることで、安定した水源確保とともに災害防止機能をも発揮できる適切な森林の利用・管理方法を提案することができる。

多摩川水源における蒸発散量については、明治初期から現在に至るまでの多摩川水源林の変遷に伴うその変化に関する報告がある(多摩川流域協議会,2007)。この報告では、明治初期から森林面積はほとんど変わっていないとの認識のもとで蒸発散量を推定している。しかしながら、太田(2012)によると、およそ 100 年前の東京都水源林には樹木がほとんどない、いわゆるはげ山の状態が多かったことを当時の写真とともに報告している。このことから、過去の蒸発散量の推定値は正確ではないといえる。

小川ら(2000)は衛星データによる土地被覆の変遷と 39 年間の水文データの変化を分析することで、多摩川上流域の土地被覆変遷に伴う流出変化を検証している。長期水収支の結果、1959 年から 1997 年の 39 年間では、年降雨はほぼ一定傾向にあるが、年蒸発量は緩やかに増加し、流出率は逆に減少傾向にあることが分かった。これらの結果は、土地利用の変化の中でも、特に森林の構造や植生の変化によるものと推察される。しかし、小川らの研究は 39 年間と期間が短く、多摩川源流域がはげ山であった時期の解析がされていない。

近藤ら(2001)は、森林による土地被覆の変遷、樹木の生長が水収支に果たす役割を明らかにすることを目的として、1957 年から大規模な植林が行われた多摩川上流域における降雨、流出量の資料と地図情報データの解析を行っている。その結果、多摩川上流水源林では植林後 60 年間で、森林の順調な回

復に伴って、森林の保水力が増加するとともに蒸発散量も増加傾向にあることが確認されている。しかし、この研究では北緯 35° 43' 00" ~ 35° 52' 00" , 東経 138° 31' 00" ~ 138° 43' 00" (約 11,000ha) という限られた範囲を対象としており、多摩川の源流域全体の森林植生の変遷に伴う水収支の変化を推計するのに十分とはいえない。

また、今後の森林管理へ応用させることを念頭におく場合、森林の構造を樹種や樹齢に至るまで詳細に分析する必要があるが、この研究では、森林の構造を広葉樹林、針葉樹林、混成樹林のみの分類とした土地利用の変遷解析に止まっている。さらに、上記 3 つの既存研究では、過去の降水量と流出量のみで蒸発散量を算出しており、実際の森林からの蒸発散量は測定していない。

2 . 研究の目的

本研究課題では、これまで続けてきた森林タイプ毎の蒸発散量の調査を続け、多摩川源流域における過去 100 年間の構成樹種や林齢など森林構造の歴史の変遷に伴う水収支の変化を推計することを目的とした。

そこで、1) これまで多摩川源流域内に設けてきたプロットで樹種や林齢毎の正確な実蒸発散量の情報を収集して樹木の生理的特性を把握した。2) 多摩川源流域における過去 100 年間の森林構造および構成樹種・林齢の変遷を既存報告書から明らかにした。3) 各樹種やその林齢毎の実蒸発散量の情報をスケールアップし、多摩川源流域の過去およそ 100 年間の森林構造の歴史の変遷に伴う水収支の変化を推計した。

さらに、今後の森林施業、管理方法によって変化する多摩川源流域の水消費量を推計することで、中長期的な下流域における水利用の限界量把握や防災計画の立案に資する成果につなげることができると考えた(図 1)。

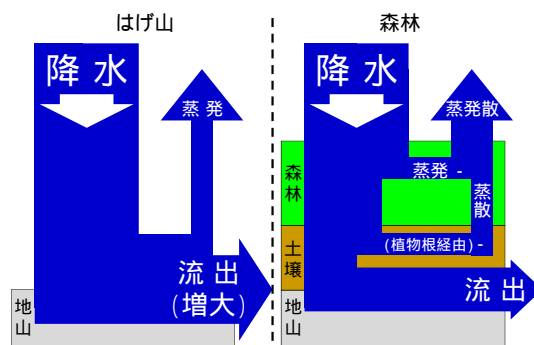


図1 はげ山と森林における雨水の移動経路の違い

3 . 研究の方法

( 1 ) 多摩川源流域における蒸発散量の測定  
調査地は、東京都西部(35° 48' N, 139° 4' E, 標高約 600~1,400m)に位置する演習林内である。この演習林の年平均気温は約 9 °C , 年平均降水量は約 1,400mm である。

蒸発散量は、蒸散量と蒸発量(樹冠遮断量)に分けて測定した。具体的には、樹液流量と辺材面積をかけあわせることで単木蒸散量を推定した。樹液流量の測定には、樹液流測定法の1つである Granier 法を使用した。各林分に 20m×20m のプロットを設け、樹液流量の測定木に関して、カラマツはプロット内から胸高直径が偏らないように 12 個体選出し、スギ・ヒノキはそれぞれプロット内の代表的な胸高直径の個体を 3 個体ずつ選出した。樹液流速は測定木の北側胸高に Granier センサーを設置して測定した。辺材面積は上記測定プロットの近隣に予備プロット(20m×20m)を設置して、予備プロット内の複数個体を成長錐でコアサンプリングし、目視で辺材幅を測定した。その結果からそれぞれの樹種について胸高直径と辺材幅との関係式を求めることで、調査プロットの供試木の辺材面積を推定した。

樹冠遮断量は林外雨量から樹冠通過雨量と樹幹流量下を差し引くことで求められるため、樹冠通過雨量と樹幹流量下を測定した。樹冠通過雨量は、貯留ボトル(口内径 21cm)を受水面が水平になるようランダムに設置し、貯留量はメスシリンダーで測定した。樹幹流量下はそれぞれのプロット内において代表的な胸高直径の個体を複数選出し、集水装置を設置することで測定した。

集水装置は胸高付近に背割りしたホースを巻き、カバーを被せてシリコンで固め、貯留タンクにつないだもので、溜まった樹幹流はメスシリンダーを用いて計測する。測定プロットは 10m×10m とし、カラマツ林、スギ・ヒノキ林内にそれぞれ設けている。各プロットには貯留ボトルは 15 個ずつ、集水装置は 6 個体ずつに設置し、月 2 回測定した。

#### (2) 多摩川源流域の森林変遷の調査

泉(2000, 2002)の研究を参考に、東京都の水道水源林の森林変遷については水道水源林施業計画書(東京市水道水源林施業計画書・東京(市)都水源林各経営計画)や調査報告書として、東京市水道水源林事業報告書、東京都水道水源多摩川流域森林調査報告書、年報として、東京都(市)水道事業年報を参考とした。それらの資料から、大正 3 年～平成 25 年までの奥多摩地域における降水量、流量、気温の情報を収集した。水道水源林以外の森林については過去の土地利用図などを参考にして、過去 100 年から現在までの多摩川水源林の森林面積、樹種構成、林齢、手入れの状況などを 10～20 年単位で読み取った。また、旧版地形図と衛星画像から多摩川源流域の土地被覆状況を区分し、1910 年以降のその変化を把握した。

#### (3) 森林変遷に伴う水収支変化の解析

まず、行政区画と数値標高モデルを元に流域の抽出を行った。次に、東京都水道局が観測している水文・気象資料を使用し(東京都

水道局, 1914-2015), 流域当たりの降水量, 気温, 湿度, 日射量, 水域蒸発量, 流出量を整理した。流出量は小河内ダムの流入量を流域当たりの流出量とした。土地被覆は 5 時期(1910 年, 1929 年, 1952 年, 1967 年, 1990 年)の旧版地形図(国土地理院発行)と 1 時期(2010 年 1 月 24 日撮影)の衛星画像(ALOS/AVNIR2)を用い、5 つに分類(針葉樹, 広葉樹, 荒地, 市街地, 耕作地, 水域)した。旧版地形図は地図記号を目視で判読し、ポロノイ分割を行った。衛星画像は ERDAS IMAGINE 13.0 を使用して単画像オルソ幾何補正をし、教師付き分類(最尤法)を行った。現地調査では各プロットにて全天空写真やリタートラップにより LAI を測定した。気象や地形, 土地被覆の情報から、森林遮断蒸発散量(塚本, 1992)(近藤, 1991), 森林蒸発散量(McNaughton, 1973), それ以外の蒸発散量(Horton, 1919)をそれぞれの式から求めた。なお、水域蒸発量は東京都水道局の資料を引用した(東京都水道局, 1957-2013)。

#### 4. 研究成果

(1) 多摩川源流域における蒸発散量の測定  
初年度、カラマツ人工林における蒸散量の日変化は、気温と大気飽差、日射量の日変化に対応していることを明らかにした。最終年度では、壮齢期のカラマツ林では、樹冠遮断率は、10-20%と、スギ、ヒノキとほぼ同様の値を示し、落葉期、展葉期での差は認められなかった。さらに、樹幹流量下については、スギおよびヒノキに比較して小さい値を示すことが認められた。

#### (2) 多摩川源流域の森林変遷の調査

旧版地形図と衛星画像から区分した多摩川源流域の土地被覆の変化を図 2 に示す。1990 年に針葉樹の割合が増加し、広葉樹や荒地の割合が減少している。これは 1947 年から 1972 年にかけて大規模な天然林の択伐作業が実施され(泉, 2004), 新植面積が大きく増加したことが影響していると考えられる。また、2010 年の分類に関しては落葉針葉樹であるカラマツを針葉樹でなく広葉樹として分類した。このため、針葉樹が低い割合となった。

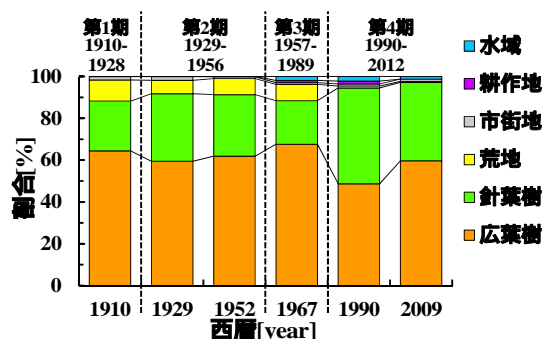


図 2 多摩川源流域における土地被覆割合の推移

### (3) 森林変遷に伴う水収支変化の解析

多摩川源流域における森林変遷の調査結果から、1914年から2012年の多摩川源流域における水収支の変遷を推計した(図3)。1945年から1952年の蒸発散量は湿度の観測値が欠測していた影響により、計算不可だった。蒸発散量は532~710mm/yとなった。

また、降水量から蒸発散量を差し引いた値を流出量として実測の流出量と比較した。その結果、計算値の流出量が実測値より低い傾向となった( $R^2=0.780$ )。実測値は年により降水量の値より過度に流出した。これは皆伐などの人為的に裸地化したことによる蒸発散量の増加と考えられる。

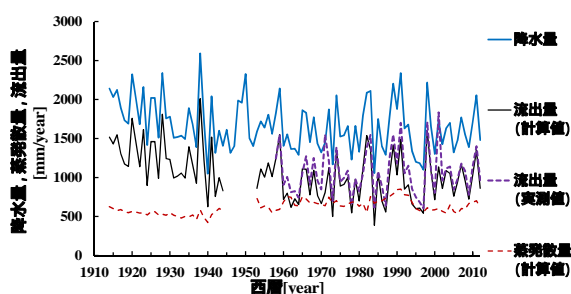


図3 多摩川源流域の過去100年間の水収支

つぎに、蒸発散量を土地被覆区分毎に分けると森林蒸散量が森林遮断蒸散量よりもおよそ3倍程度大きくなった。森林蒸散量を1914年から1944年の平均値と1953年から2012年までの平均値で比較してみると、350mm/yから480mm/yほどに増加している。これは森林構造の発達により蒸散効率が上昇したためと考えられる。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 7 件)

- 1) 西川修平・佐藤岳大・橘 隆一・福永健司, 東京農業大学奥多摩演習林におけるカラマツ人工林の樹冠遮断量と蒸散に関する研究, 水文・水資源学会 2015 年度研究発表会要旨集, P-24, pp.158-159, 2015 年 9 月 9-11 日, 首都大学東京 南大沢キャンパス(東京都八王子市)
- 2) 佐藤博紀・西川修平・橘 隆一・福永健司, 多摩川源流域における気象・地形・植生の変遷に伴う年蒸発散量の変化, 環境科学会 2015 年会プログラム, P-42, p.96 (優秀発表賞(富士電機賞)受賞), 2015 年 9 月 7-8 日, 大阪大学 吹田キャンパス(大阪府吹田市)
- 3) 橘 隆一・増山達也・杉原誠一・福永健司・浜 咲子, 東京農業大学奥多摩演習林のスギ・ヒノキ混交林における樹冠通過雨量, 樹冠流下量, 樹冠遮断量に関する研究, 水文・水資源学会 2014 年研究発表会要旨集, P-69, pp.288-289, 2014 年 9 月 25-27 日, 宮崎グリーンズフィア壱番館(宮崎県宮崎

市)

- 4) 小作知愛・浜 咲子・増山達也・杉原誠一・橘 隆一・福永健司, 東京農業大学奥多摩演習林のカラマツ林における樹冠通過雨量, 樹冠流下量, 樹冠遮断量に関する研究, 水文・水資源学会 2014 年研究発表会要旨集, P-68, pp.286-287, 2014 年 9 月 25-27 日, 宮崎グリーンズフィア壱番館(宮崎県宮崎市)
- 5) 西川修平・杉原誠一・増山達也・橘 隆一・福永健司, 東京農業大学奥多摩演習林のカラマツ林における樹液流速の直接計測, 水文・水資源学会 2014 年研究発表会要旨集, P-27, pp.204-205, 2014 年 9 月 25-27 日, 宮崎グリーンズフィア壱番館(宮崎県宮崎市)
- 6) 佐藤岳大・杉原誠一・増山達也・橘 隆一・福永健司, 東京農業大学奥多摩演習林のスギ・ヒノキ混交林における樹液流速の直接計測, 水文・水資源学会 2014 年研究発表会要旨集, P-26, pp.202-203, 2014 年 9 月 25-27 日, 宮崎グリーンズフィア壱番館(宮崎県宮崎市)
- 7) 浜 咲子・小作知愛・橘 隆一・福永健司, 森林蒸発散の直接計測による多摩川源流域の水収支解析, 環境科学会 2014 年会プログラム, P-23, p.85 (優秀発表賞(富士電機賞)受賞), 2014 年 9 月 18-19 日, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕なし

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

橘 隆一(Tachibana Ryuichi)

東京農業大学・地域環境科学部・准教授

研究者番号: 20432297

#### (2) 研究分担者 なし

#### (3) 連携研究者 なし