

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K06345

研究課題名（和文）都市近郊水源域における近代1世紀分の高精細な林分構造マッピングと水収支変遷の解析

研究課題名（英文）Mapping of high-resolution forest structure and water balance analysis for a century in a suburban watershed area

研究代表者

橋 隆一（Tachibana, Ryuichi）

東京農業大学・地域環境科学部・教授

研究者番号：20432297

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、黎明期の水源林における林分構造の変遷を把握するための林政学的調査手法を検証し、林産物に関する歴史資料とGISによる地図化を組み合わせて解析することができた。また、多摩川源流域における構成林分として、おもに幼齢のカラマツ人工林における水収支として、樹幹遮断特性と蒸発散特性を明らかにした。同時に、多摩川源流域内の狩倉沢流域において、基岩地形を考慮した降雨流出特性を明らかにした。さらに、多摩川源流域から抽出された一部についての空中写真をカラー化処理し、多時期における同流域の土地被覆変遷をマッピング化することで、裸地、伐採地の抽出に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで首都東京の水資源保全を念頭に、多摩川源流域において水収支の解明を目的として研究を進めてきた。

本研究では、黎明期の東京都水源林における林分構造の変遷を把握するための林政学的調査手法を検証すること、さらには多摩川源流域における構成林分の水収支を解明することによって一つの流域における長期間の構成林分における水収支の変化を捉えられる手法を明らかにすることができた。さらには多時期における対象流域の土地被覆変遷をマッピング化し、それらの画像解析から各時期の裸地・伐採地を抽出したうえで、その分布図を作成することに成功した。

研究成果の概要（英文）：We verified a forestry survey method to understand the changes in forest structure in a water source forest at the dawn of time, and were able to analyze it by combining historical data on forest products and mapping using GIS. We also clarified the characteristics of tree trunk interception and evapotranspiration as water balance in young larch plantation forests as a component of the Tama River headwaters area. At the same time, rainfall-runoff characteristics were clarified in the Karikurasawa watershed in the headwaters of the Tama River, taking into account the base rock topography. In addition, we succeeded in extracting bare and logged areas by mapping the land cover change in the watershed area at various periods of time using colorized aerial photographs of a part of the Tama River headwaters.

研究分野：森林科学

キーワード：水資源 水収支 多摩川源流域 蒸発散 森林

## 1. 研究開始当初の背景

本研究代表者は、これまで都市域における持続可能な水資源保全を目指し、国内においては下水処理場、海外においては中国北京市等を対象とした水収支解析を進めてきた (Tachibana *et al.*, 2011a; 2011b)。持続可能な都市域の水資源保全を展開するには、その源流である水源域の水収支を解明しなければならない。そこで、首都東京の水資源保全を念頭に、各種の助成を受け、多摩川源流域において水収支の解明を目的として研究を進めてきた。スギ・ヒノキ混交人工林（壮齢林）、カラマツ人工林（幼齢林、壮齢林、老齢林）の実蒸発散量を、Granier 法による多点測定と樹冠遮断量の測定によって直接計測してきた結果、多摩川源流域における森林の水消費量を暫定的に推計できた。

さらに、2014-2015 年には科学研究費（若手 (B) 26740052）により、東京市及び東京都水道局による大正 2 年以降の気象観測情報と、過去 100 年間の土地利用変遷について GIS を駆使して、多摩川源流域における森林構造の歴史の変遷に伴う水収支の挑戦的な推定を試みた。その結果、森林蒸発散量を 1914~1944 年の平均値と 1953~2012 年までの平均値で比較すると、350mm/y から 480mm/y ほどに増加していた。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た。これらの研究成果として、過去 100 年前までは多摩川源流域の土地被覆の空間分布変遷を把握することができ、論文としてまとめた (佐藤ら, 2018) しかしながら、それ以前の時代では情報が制限されてしまう。そこで、これ以前について、林政学的なアナログ手法と GIS 技術を駆使した推定を試みる着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、黎明期の東京都水源林における林分構造の変遷を把握するための林政学的調査手法を検証すること、多摩川源流域における構成林分の水収支を解明すること、さらには多時期における同流域の土地被覆変遷をマッピング化することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 黎明期の森林構造変遷の解明に向けた林政学的調査手法の検証

主に明治時代初期から後期にかかる黎明期の東京都西多摩郡において、森林・林業の実態変遷を既存資料から林政学的な手法によって明らかにするため、その最適なアプローチ手法を同じ対象年代における岩手県内の事例を用いて検証した。

### (2) 多摩川源流域の構造林分における水収支の解明

東京都水道水源林を含む多摩川源流域における構成林分であるカラマツおよび落葉広葉樹林に関して現地調査を展開した。カラマツは、成長段階あるいは林齢に伴う変化曲線を求めるため、岩手県八幡平市大更の幼齢人工林にて調査を展開した。カラマツ人工林は構成樹種の中では優占割合は低いものの落葉広葉樹林を除いた他の針葉樹林である、スギ林やヒノキ林と比較して蒸発散量に関する情報が少ないことから選定することとし、展葉期から落葉期まで特に樹冠遮断量を測定した。10×10 m のプロットを 2 つ設けて 2022 年 8 月 24 日から 12 月 10 日まで蒸発散量を測定した。両プロットの立木密度はそれぞれ 2,300, 2,600 本/ha、平均樹高は 11.2, 10.3 m、平均胸高直径は 12.9, 11.9 cm である。蒸散量は Granier 法による樹液流速の測定から求め、樹冠遮断量は樹幹流量と樹冠通過雨量を測定し、林外雨量から差し引くことで求めた。また、既存データを用いて、幼齢、壮齢、老齢のカラマツ人工林における蒸発散特性を比較した。

多摩川源流域に位置する東京農業大学奥多摩演習林内にある狩倉沢流域において流量観測を開始した。流域面積は 16.7 ha、最高地点は狩倉山山頂の 1,452 m で、地質は後期ジュラ紀から前期白亜紀の付加体からなっている。流域末端には量水堰があり、かつて 2000 年からしばらく流量観測が行われていた。そこで、この流域の降雨流出特性を明らかにするために 2022 年 7 月から流量観測を雨量観測とともに開始した。水位流量の関係を明らかにするため、月 1 度の頻度で観測を継続した。また、表面地形と基岩地形を比較するため、簡易貫入試験によって土層厚を測定し、基岩標高を算出、ArcGIS のクリギング処理によって基岩地形を求めた。

### (3) 多時期における多摩川源流域の土地被覆変遷のマッピング化

多摩川源流域における水収支の変遷の推定に向け、多時期のリモートセンシング画像を用いた土地被覆分類および変遷把握を行うため、SfM (Structure from Motion) ソフトや汎用画像ソフト (Photoshop) を活用し、モノクロ空中写真を用いた半自動処理により土地被覆分類および変遷把握の解析手法を検討した。多摩川上流部の約 890ha を解析対象地として 3 時期 (1948 年, 1969 年, 1985 年) のモノクロ空中写真を用意した。多時期の空中写真には、白黒空中写真及びカラー空中写真を用いた。白黒空中写真についてはカラー処理を (ニューラルフィルター) 行った。景観の再現できるように自動生成されたカラー画像に対し、色彩等を微調整した。カラー化

した空中写真は、撮影された時期に近い、現行の電子地形図ないし旧版地図をデジタル処理し、ジオレファレンスに供した。ジオレファレンス済みのカラー空中写真より、赤、緑、青のバンドごとに再抽出し、カラー化及びカラー空中写真より GSI (粒度指数) より二値化処理を行い、裸地または伐採地を抽出、その変遷を把握して、当該地の土地被覆の定量化及び手法を検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 黎明期の森林構造変遷の解明に向けた林政学的調査手法の検証

岩手県が明治政府の指示に応じて著した村誌で、県内 642 村の人口・農地・地租・物産などが記録されている『岩手県管轄地誌』を用いて、1878 年前後の岩手県内における林産物の生産状況を明らかにした。一方、多摩川水源地域における調査を予定したが訪問予定地が台風 19 号の被害を受けたため、生業等の変遷構造が類似している岐阜県恵那市において調査を行った。成果の一部は日本森林学会において発表している (泉, 2020)。

さらに、19 世紀末岩手県を対象として、山野を含む森林景観における植物資源の利用状況を明らかにした。特に、どのような種類の林産物が歴史的に生産され出荷されたのか、どの種が利用されたのか、その利用は県内にどのように分布していたのか、を歴史資料と GIS (MANDARA) による地図化を組み合わせ解析した。GIS による地図化から、薪と木炭は岩手県南部の町に気仙郡の各村から出荷されたと考えられ、当時これらの燃料を市場取引していた可能性が認められた。付随して、明治期の旧村有林に起源を持つ岐阜県笠置財産区有林において、地域社会や他の森林利用者との軋轢調整に成功している事例も調査した。これらの成果の一部は学術雑誌 (Izumi, 2020 ; 泉・佐藤, 2021) や国内学会 (泉・鈴木, 2021) にて発表している。

##### (2) 多摩川源流域の構造林分における水収支の解明

カラマツ人工林では、落葉期にかけての樹冠遮断量は、幼齢林では増加したが、壮齢、老齢林では減少する季節性を示した。このことから、カラマツ人工林は林齢によって異なる樹冠遮断特性を持つことが示唆された (太田原ら, 2024)。また、同調査地において土壌水分収支法による蒸散特性の把握を試みた。その結果、蒸散量は展葉期である 4 月頃に増加を開始し、5~6 月にピークを迎えたあと、7 月以降は緩やかに減少した (相澤ら, 2024)。

狩倉沢流域では、地表面尾根を跨いだ広い凹型の基岩地形が流域下部の量水堰付近にあることがわかり、地表面流域界を跨いだ地下水の移動が発生している可能性が示唆された (佐藤ら, 2024)。そこで、複数の堆積岩流域における降雨流出特性の把握を試みた。すると、これまでに観測によって得られたハイドログラフとハイエトグラフからは、降雨イベントに対して流量が増加する場合と変化しない場合があつて、一旦増加すると、非常にゆっくりと数ヶ月かけて逡減する傾向が認められた (滝口ら, 2024)。

このほか、東京大学生態水文学研究所赤津研究林にある斜面上の落葉広葉樹二次林にて樹冠通過雨を計測した結果、樹冠通過雨量は谷部、尾根部、その中間部の順に多くなった。また、落葉に伴う変化は、各部いずれにおいても見られなかった (三宅ら, 2024)。

##### (3) 多時期における多摩川源流域の土地被覆変遷のマッピング化

多摩川源流域から抽出された一部についての空中写真は概ね正しくカラー処理が行なえた。図 1 は 1948 年の解析結果で、左がオルソモザイク済みのモノクロ画像、右がオルソモザイク済みのカラー画像である。裸地や伐採後の判読といった、景観把握が十分可能であると判断できる。

1948年

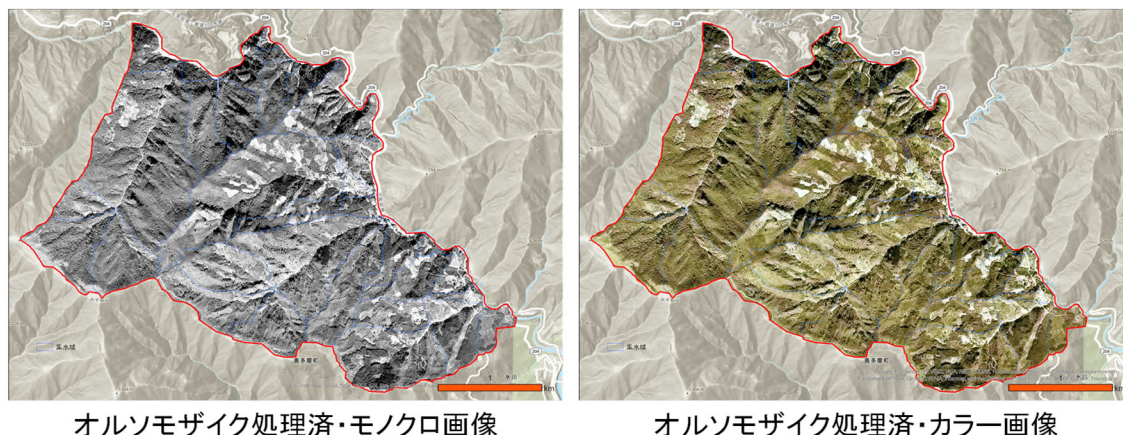


図 1 1948 年の空中写真カラー化処理と解析

1969 年、1985 年のモノクロ画像も概ねカラー化に成功したものの、当該地が急斜面を有するため影等が生じ、色彩等の画像調整にやや影響を及ぼした。



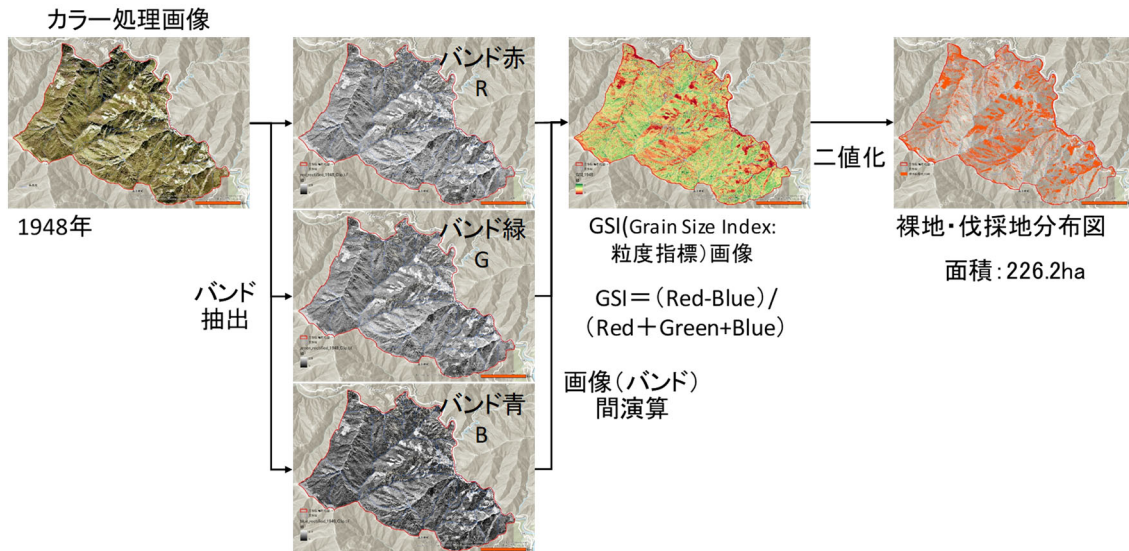


図2 空中写真のカラー化処理画像から裸地・伐採地の抽出

3 時期カラー処理を行った結果のうち、均等に概ね正しくカラー処理が行なえ、裸地や伐採跡地など景観把握が可能と判断した、1948 年の画像データを用いて、裸地と伐採地を抽出した結果、1948 年では解析対象地に対して、226.2ha の裸地、伐採跡地を抽出できた (図 2)。

以上より、SfM (Structure from Motion) ソフトウェアを用いることで、複数枚の空中写真のオルソモザイク処理を簡易的に行うことが確認できた。また、汎用画像処理ソフト (photoshop) を用いることで、モノクロ空中写真のカラー処理することが可能となり、カラー化による判読性や判読効率が向上した。さらに、3 バンド (R・G・B) の画像データを生成することにより、画像演算が可能となり、GSI (粒度指数) を算出することによって、裸地/伐採地の抽出が容易に行えることが確認できた。以上より、多摩川源流域におけるモノクロ空中写真を用いた半自動処理による土地被覆分類および変遷把握の解析手法について提示することができた (下嶋・橘, 2022)。

#### 引用文献

- 1) 相澤壮真・佐藤貴紀・太田原芽久美・橘 隆一 (2024) 土壌水分収支法による幼齡カラマツ人工林の蒸散特性, 第 135 回日本森林学会大会学術講演要旨集, p. 263.
- 2) 泉 桂子 (2020) 『岩手県管轄地誌』にみられる明治期の林産物, 第 131 回日本森林学会大会学術講演集, p. 122.
- 3) Keiko Izumi (2020) Spatial Distribution of Local Forest Products at the End of the 19th Century: A Case Study of Former Villages in Iwate Prefecture, *Forest*, 11(10), 1044-1058.
- 4) 泉 桂子・佐藤康介 (2021) ロッククライミングエリアの運営実態及び地域活性化への貢献度—岐阜県笠置山クライミングエリアを事例として—, *林業経済研究*, 67(2), 1-15.
- 5) 泉 桂子・鈴木正貴 (2021) 明治前期の岩手県における鳥獣および内水面漁業資源の利用, 第 132 回日本森林学会大会学術講演集, p. 134.
- 6) 三宅康太・佐藤貴紀・江端一徳・松本嘉考・橘 隆一 (2024) 落葉広葉樹林斜面における林内雨の時空間分布, 第 135 回日本森林学会大会学術講演要旨集, p. 262.
- 7) 太田原芽久美・佐藤貴紀・橘 隆一 (2024) カラマツ人工林における林齢ごとの蒸発散特性の比較, 第 135 回日本森林学会大会学術講演要旨集, p. 263.
- 8) 佐藤博紀・橘 隆一・下嶋 聖・泉 桂子・福永健司 (2018) 多摩川源流域における土地被覆の履歴から推計した年蒸発散量の過去 100 年間の推移, *環境科学会誌*, 31(4), 148-163.
- 9) 佐藤貴紀・古市嗣洋・滝口慶人・橘 隆一 (2024) 東京農業大学奥多摩演習林狩倉沢流域における表面地形と基岩地形との比較, 第 135 回日本森林学会大会学術講演要旨集, p. 266.
- 10) 下嶋 聖・橘 隆一 (2022) カラー化した多時期の空中写真及び衛星画像を用いた多摩川源流域における土地被覆変遷の把握, 第 12 回関東森林学会大会 (於 東京都農林総合研究センター, Web 開催)
- 11) Ryuichi Tachibana, Hirokazu Kurahashi, Rong Qi, Wei An, Min Yang, Koichi Fujie (2011) An analysis of domestic water demand structure and water recycling in Beijing, *Journal of water and environment technology*, 9(2), 129-140.
- 12) Ryuichi Tachibana, Yuhi Ozaki, Koichi Fujie (2011) Material and Energy Flow Analysis in Sewage Sludge Incineration and Composting Treatment Processes, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 44(10), 798-802.
- 13) 滝口慶人・佐藤貴紀・浅野友子・橘 隆一 (2024) 複数の堆積岩流域における降雨流出特性の把握, 第 135 回日本森林学会大会学術講演要旨集, p. 261.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Keiko Izumi	4. 巻 11(10)
2. 論文標題 Spatial Distribution of Local Forest Products at the End of the 19th Century: A Case Study of Former Villages in Iwate Prefecture	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forest	6. 最初と最後の頁 1044-1058
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f11101044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 泉 桂子・佐藤康介	4. 巻 67(2)
2. 論文標題 ロックライミングエリアの運営実態及び地域活性化への貢献度 - 岐阜県笠置山クライミングエリアを事例として -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 林業経済研究	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20818/jfe.67.2_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 下嶋 聖・橘 隆一
2. 発表標題 カラー化した多時期の空中写真及び衛星画像を用いた多摩川源流域における土地被覆変遷の把握
3. 学会等名 第12回関東森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤貴紀・橘 隆一
2. 発表標題 東京農業大学奥多摩演習林狩倉沢流域における降雨流出特性
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田原芽久美・佐藤貴紀・橘 隆一
2. 発表標題 幼齡カラマツ人工林における蒸発散の特性
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 泉 桂子・鈴木正貴
2. 発表標題 明治前期の岩手県における鳥獣および内水面漁業資源の利用
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉 桂子
2. 発表標題 『岩手県管轄地誌』にみられる明治期の林産物
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会学術講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤康介・泉 桂子
2. 発表標題 クライミング・エリアの運営実態に関する研究 - 笠置山を事例として -
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会学術講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤貴紀・古市嗣洋・滝口慶人・橘 隆一
2. 発表標題 東京農業大学奥多摩演習林狩倉沢流域における表面地形と基岩地形との比較
3. 学会等名 第135回 日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 滝口慶人・佐藤貴紀・浅野友子・橘 隆一
2. 発表標題 複数の堆積岩流域における降雨流出特性の把握
3. 学会等名 第135回 日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 太田原芽久美・佐藤貴紀・橘 隆一
2. 発表標題 カラマツ人工林における林齢ごとの蒸発散特性の比較
3. 学会等名 第135回 日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 相澤壮真・佐藤貴紀・太田原芽久美・橘 隆一
2. 発表標題 土壌水分収支法による幼齡カラマツ人工林の蒸散特性
3. 学会等名 第135回 日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 橋 隆一・杉山綾音・佐藤貴紀・福永健司
2. 発表標題 林齡がカラマツの単木蒸散量および林分蒸散量に及ぼす影響
3. 学会等名 第135回 日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 三宅康太・佐藤貴紀・江端一徳・松本嘉考・橋 隆一
2. 発表標題 落葉広葉樹林斜面における林内雨の時空間分布
3. 学会等名 第135回 日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京農業大学森林総合科学科 シリーズ研究紹介 【治山緑化学研究室 教授 橋 隆一】  <a href="https://www.facebook.com/forestry.nodai/posts/126468749053083">https://www.facebook.com/forestry.nodai/posts/126468749053083</a></p> <p>橋 隆一 (2019) シリーズ「発想のたまご」源流域における森林構造の歴史の変遷に伴う水収支の推計, 水文・水資源学会誌, 32(6), p.336.</p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	泉 桂子  (Izumi Keiko)  (10457898)	岩手県立大学・総合政策学部・教授    (21201)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	下嶋 聖  (Shimojima Hijiri)  (60439883)	東京農業大学・地域環境科学部・准教授     (32658)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関