

## カワヤナギの年輪画像解析による幹の肥大成長率の推定

Stem Radial Growth Rate of *Salix gilgiana* Analyzed from Year Ring Images

繁宮 悠介                      上坂 博亨  
SHIGEMIYA Yusuke              UESAKA Hiroyuki

河道（河川敷）内樹林を形成するカワヤナギをバイオマス資源として利用するためには、幹の成長率を把握して計画的に伐採する必要がある。本研究では、黒部川下流域で伐採されたカワヤナギの肥大成長率を推定するために、断面に現れる全ての確認可能な年輪に対して内部面積を測定し、成長に伴う直径および材積の増加率を算出した。調査した8個体の樹齢は11歳から25歳と様々で、発芽後の肥大成長率にもばらつきが見られた。年輪から求めた地上1m付近での直径は、発芽から5回の成長期間を経た5歳時点で平均3.57cm、10歳時点で平均10.49cmであった。富山県に隣接する2地域の広葉樹を対象にした幹材積推定プログラムに直径と樹高を投入して求めた材積は、5歳時点で0.0022m<sup>3</sup>と0.0019m<sup>3</sup>、10歳で0.026m<sup>3</sup>と0.024m<sup>3</sup>であった。幹材積の増加が頭打ちになる傾向は見られず、増加幅が拡大する株もあった。資源としての利用のみならず、防災および景観の面からも最適な伐採を行うには、多くの樹林の多く個体を調査し、密度と死亡率の関係を加味した伐採周期の算出をはじめ、除根を行うか、地上部のみの伐採を行うかという工法の違いによる安全性や景観への影響も検討する必要がある。

キーワード： 河道内樹林、バイオマス資源、材積推定、防災、景観

## 1. はじめに

河道（河川敷）は、流域における降水量の変動に伴い、干出や水没、堆砂や土壌浸食など様々な攪乱を受ける環境である。そのような環境で生育する植物は、水没しても水流による破壊を受けにくい細長い葉や頑丈な根、生育適地への迅速な種子散布、発芽後の早い成長などの特徴を進化させ、河道に特異的な種から成る独特の生態系が構築される。近年は、河道改修や外来種の影響を軽減しつつ、生態系の保全や治水機能、良好な河川景観を実現することが目指されるようになってきている<sup>(1, 2)</sup>。

河道に生育する樹木は、増水時に流勢を緩和する機能を持つ一方、堆砂の促進や河道断面積を減少させ流下能力の低下をもたらし、結果として洪水を引き起こしやすくなるため、定期的に伐採することが必要とされている<sup>(3)</sup>。河道内樹林の代表的な樹種であるヤナギ類は早春に開花し、その花蜜は昆虫類にとって貴重な餌であり、とくに河道の堆砂中に営巣するヒメハナバチ類とは

緊密な送粉共生関係にある<sup>(4)</sup>。ヤナギ類は成長が速いため木質バイオマスとしても利用が検討されており、圃場栽培やメタン発酵の試験がおこなわれている<sup>(5, 6)</sup>。

本研究は、河道内樹林のバイオマス資源としての利用とともに、生態系保全と災害防止を実現するうえで必要となる基本的情報として、河道内樹林を形成する主要な樹種であるカワヤナギ *Salix gilgiana* の肥大成長率を推定することを目的とする。伐採木の年輪をもとに算出した樹齢と材積の関係をもとに、最適な伐採計画の立案や材の搬出コスト計算のために今後必要となる調査項目について検討する。

## 2. 材料と方法

調査をおこなったカワヤナギは、富山県下新川郡入善町浦山新の黒部川右岸堤防と水流の間に広がる河道内樹林に生育し、国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所から伐採を依頼された朝野工業株式会社(魚津市)により、2021年8月23日から9月14日の間に伐採されたものである。20株(No.1~20)のサンプルのうち、枝折れ後の回復痕やカミキリムシ幼虫による幹の食害が軽微な8本(No.1、6、8、11、12、17、18、19)のみを分析に用いた(図1)。年輪を調査した断面は、地上90~110cmに位置する。

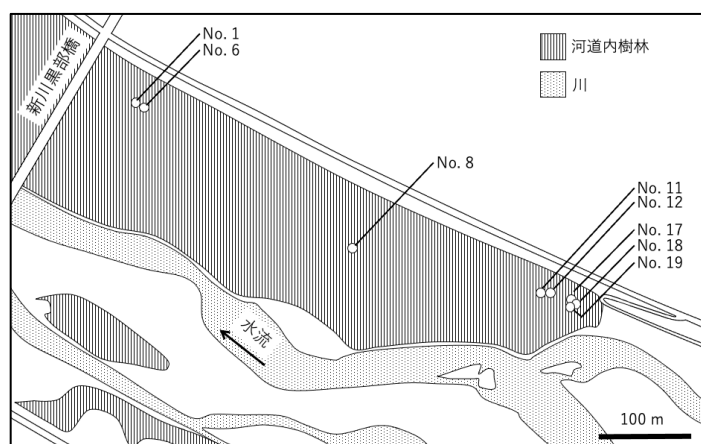


図1. 黒部川河道における調査株の位置。樹林および川の範囲はGoogleマップ(2021年8月確認)の航空写真より作成した。

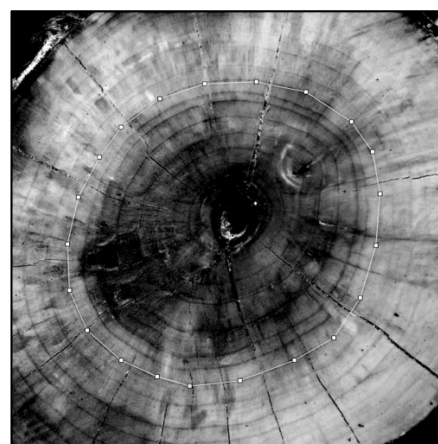


図2. 年輪画像の例。ImageJの多角形描画ツールで計測対象の年輪をなぞった状態。

断面をやすり掛けして年輪を視認しやすくしたのち静止画像を撮影し、その画像を画像解析ソフト(ImageJ、NIH、USA)に取り込み、画像に写し込んだ定規を基準にピクセル数と長さを対応させ、年輪が鮮明になるよう画像を加工し、計測対象の年輪を多角形描画ツールでなぞり、その内部面積を測定した(図2)。枝折れ跡や食害により年輪の一部が見えなくなっている場合は、周辺の年輪の形状から類推して多角形を作成した。明らかに年輪と判断できる線の濃さよりも薄いものは偽年輪と判断し、計測対象から除外した。計測した最も内側の年輪から順に番号を振り年輪番号とし、年輪番号が樹齢(発芽した年の成長停止により生じた年輪を1齢時の年輪とした)を表しているかどうかは、各個体の計測結果を比較することで検証することとした。検証において参考にした、黒部川におけるカワヤナギの成長過程の調査結果<sup>(7)</sup>によると、本研究の断面位置(地上90~110cm)は、2齢個体(春に発芽してから2回の生育期間を終えた個体と思われる)が

到達する平均的な樹高である。よって、今研究の調査断面では、春に発芽した株が最初の秋に成長を停止した年輪、および2回目の秋に成長停止した年輪は現れないと想定し、1番年輪が3齢時(3回の成長期間を経た時点)のものかという点を検証する。

胸高直径は幹の太さの指標として使われるが、本研究では年輪からその樹齢時点での材積を推定したいため、丸太の上端部である地上90~110cmでの年輪の内部面積と同じ面積となる真円の直径を算出し、その直径を胸高直径とほぼ同等と考え、胸高直径の推定および、胸高直径に基づく材積計算に利用した。立木の胸高直径の計測の際には樹皮部分も含めて計測するが、本研究の直径推定方法では樹皮部分が含まれていないことになる。年輪幅を成長率の指標として比較するために、隣り合う年輪の直径の差を2で割ることで算出した。

材積の推定には、林野庁計画課による「立木材積表」を基にした「幹材積計算プログラム」<sup>(8)</sup>を用いた。このプログラムに入力する樹木の情報としては、樹種、地域、胸高直径、樹高の4項目がある。樹種と地域については、富山県のカワヤナギを推定するのに適当と考えられる「愛知県広葉樹」および「長野県サワグルミ」を選択した。愛知県広葉樹の材積推定<sup>(9)</sup>は、岐阜県を中心に多様な広葉樹1927本から推定式を得たものである。長野県サワグルミの材積推定<sup>(10)</sup>は、ブナ群およびサワグルミ群に分けられた広葉樹の材積表のうち、樹形が羽状形となるサワグルミ群(サワグルミ、カツラ、ホオノキ、シオジ)に対して算出されたもので、カワヤナギはこれらと同じく河畔林の代表樹種であることから、この推定式を使用した。今回は伐採時に樹高が求められていないため、坂本ら<sup>(7)</sup>によるカワヤナギにおける樹齢(t)と樹高( $y_1$ )の関係式( $y_1=407.99 \times \ln(t)-218.49$ )および樹齢と胸高直径( $y_2$ )の関係式( $y_2=12.23 \times \ln(t)-12.16$ )から樹高と胸高直径の関係式を推定し、その式に本研究で推定した直径を代入して樹高を推定した。

### 3. 結果

調査した断面は地上90~110cmに位置し、2齢個体が2年の生育期間で到達する高さであり<sup>(7)</sup>、2年目の成長が停止した際の年輪は断面には現れないか、現れても小さいと考えられる。今回視認された1番年輪を3齢(3回の成長期間を終えた)個体の幹のサイズを示していると仮定すると、1番年輪が形成された前年の年輪(0番年輪と仮定する)は半径0cm付近かそれ以下と推測される。年輪番号に対する年輪直径の増加傾向を見ると、1番から5番までの直径が直線的に並んだため、株ごとに回帰直線を引いた(図3A)。その結果、多くの株で0番年輪の直径は0付近かそれ以下に散らばるようになり、2回の成長を終えた2齢時点で90~110cmに到達したことになる。しかしNo.1の個体では0番年輪に対応する直径が1cmを超えていることから、本来1番年輪の内側にあるべき年輪が明瞭に現れずに数えられなかったと考え、この個体に対してのみ1番年輪を4齢とした。年輪が計測できた樹齢の範囲は、3~11齢が1個体(No.8)、3~17齢が3個体(No.6、No.17、No.18)、3~19齢が1個体(No.12)、3~21齢が1個体(No.19)、3~22例が1個体(No.11)、4~25齢が1個体(No.1)であった。

樹齢に対する直径の増加率は、株ごとに違いが出た。発芽から5回の成長期間を経た5齢時の直径は平均3.57cm(最大5.87cm、最小2.33cm)、10齢時は平均10.49cm(最大16.49cm、最小7.10cm)であった(図4)。各齢の直径の差から推定した年輪幅は、3齢と4齢の間で平均5.3mm(最大8.4mm、最小3.4mm)で、年輪幅の平均値が最大となったのは7齢から8齢の間(7.9mm)

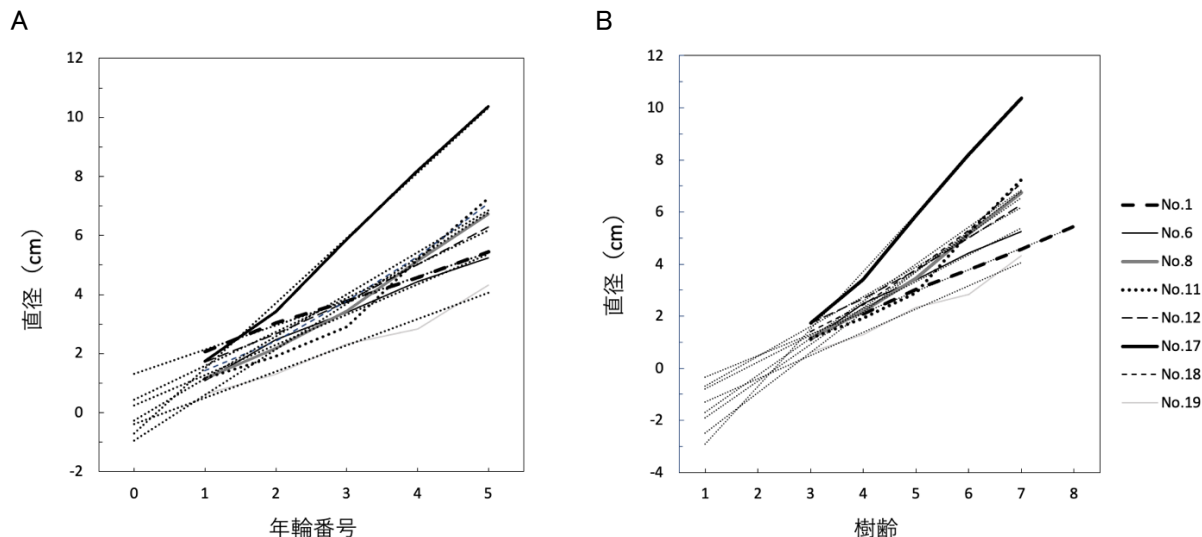


図 3. 写真で確認できた年輪番号と直径の関係 (A) と、年輪番号と樹齢との関係を検討したのちの直径との関係 (B)。凡例に無い 8 本の点線はそれぞれの株に対する回帰直線である。

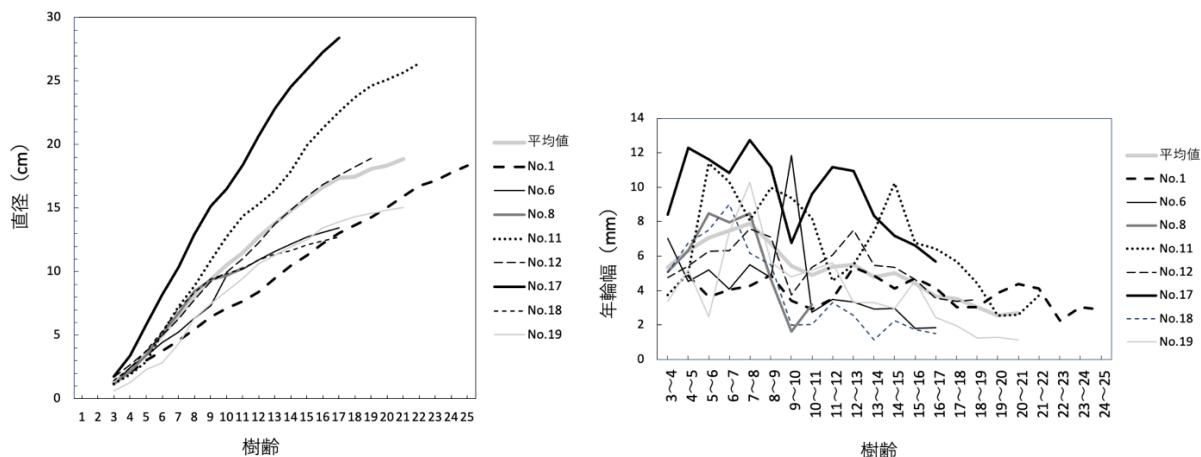


図 4. 各個体の樹齢と直径の関係とその平均値

図 5. 各株の樹齢と年輪幅の関係とその平均値

で、その後は減少し 11 齢から 12 齢の間では平均 5.4 mm (最大 11.2 cm、最小 3.3 cm)、16 齢から 17 齢の間では平均 3.7mm (最大 6.4mm、最小 1.5mm) であった (図 5)。

坂本ら<sup>(7)</sup>による黒部川カワヤナギの樹齢と樹高および胸高直径の関係から、樹高(y)と胸高直径(x)の関係を推定すると  $y=33.36x+187.16$  であった。この式に本研究で算出した直径を代入し、各直径に対する樹高を算出した。この直径と樹高を用いて、細田ら<sup>(8)</sup>の材積計算プログラムにより幹材積を算出した (図 5)。名古屋広葉樹の関数および長野サワグルミの関数から算出した幹材積は、5 齢でそれぞれ  $0.0022\text{m}^3$  と  $0.0019\text{m}^3$  であり、10 齢で  $0.026\text{ m}^3$  と  $0.024\text{ m}^3$  であった。

#### 4. 考察

本研究に使用した材の切断面は地上 90~110 cm であるため、発芽後何年でこの高さに到達していたかを考慮し、切断面に見られる 1 本目の年輪が何回目の成長停止であるか考える必要があった。黒部川のカワヤナギに関する先行研究<sup>(7)</sup>から、樹高が地上 90~110cm に到達するのは 2 回の

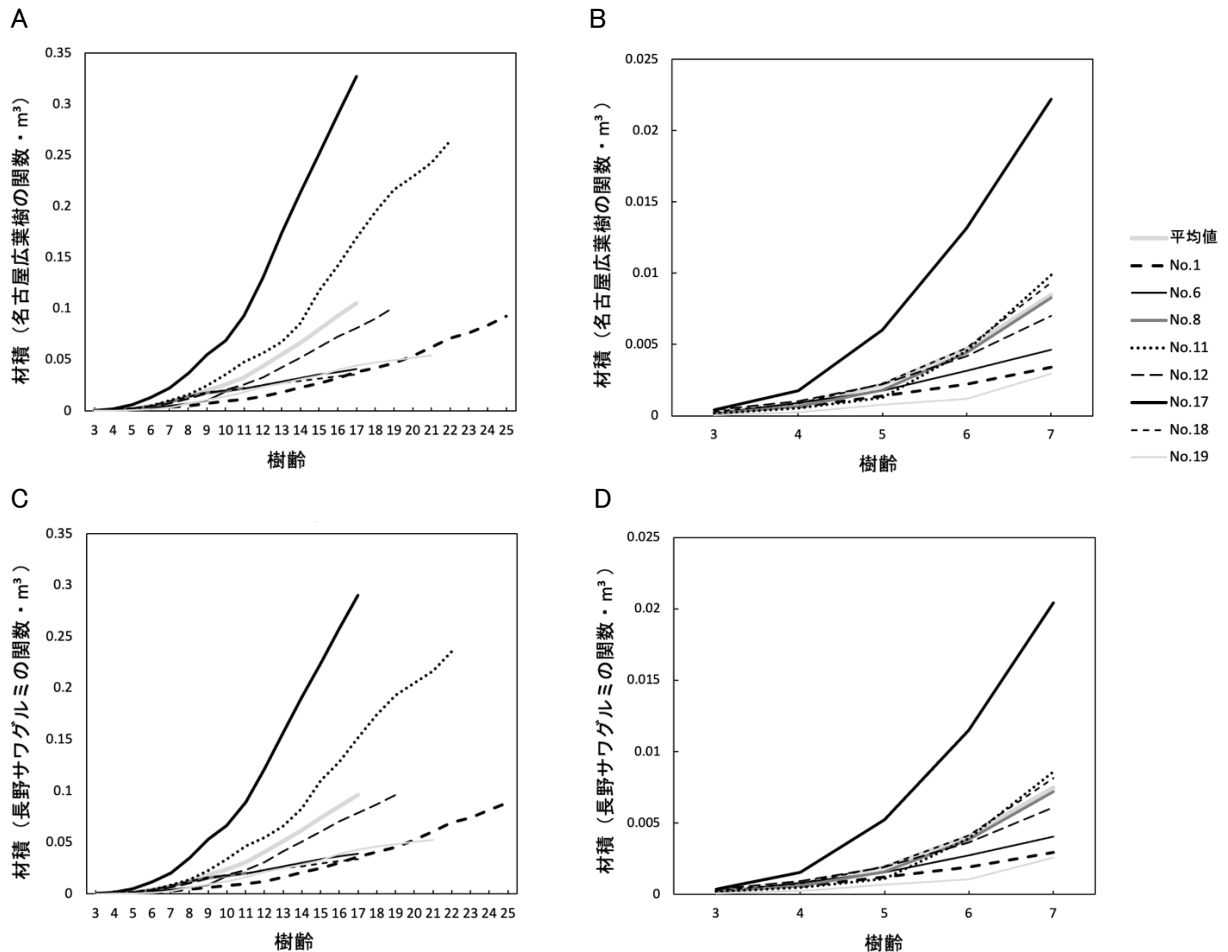


図6. 材積推定プログラムによる樹齢と材積の関係。名古屋広葉樹の推定式を使用して3 齢から 25 齢まで推定したもの (A) と3 齢から7 齢までを拡大したもの (B)、長野サワグルミの推定式を使用して3 齢から 25 齢まで推定したもの (C) と3 齢から7 齢までを拡大したもの (D)。

成長期間を終えた時点 (2 齢個体) であると仮定し、本研究で確認された年輪は3 齢から始まるものであると見なせるか検討した結果、1 個体のみは4 齢から始まるものと判定した。この検討結果により、本研究で肥大成長の過程が観察できた範囲は、多くの個体で年輪が観察できた3 齢から17 齢までであり、最長で25 齢までとなった。

樹木サイズの代表的指標である胸高直径の増加率は直線的に増加しているように見えるが (図4)、年輪幅の経年変化を見ると、7~8 齢で最大を示した後、15 齢ごろには半分程度まで下がる (図5)。さらに胸高直径と推定樹高から材積を求めると、全ての株で増加の停滞が見られなかっただけでなく、増加幅が拡大する株もあった (図6)。このことは、今回調べた生育期間の範囲では、長く育てるほど一株から取得できる年あたりのバイオマス量は多いことになる。しかし自然環境下において個体の加入がランダムに起こりつつ成長していく過程では、個体バイオマス量の増加に伴い密度に依存した死亡が起こると考えられる。よって同じ面積の土地から3 齢の株を100 株収穫するのと、15 齢の株を1 株収穫するのとどちらが効率的か、密度の変化と個体バイオマス量の関係から検討する必要があるだろう。

持続可能なバイオマス利用計画の構築においては、河道内森林のバイオマス利用とともに、防災と景観の面からも検討する必要がある。バイオマス利用では、数年に一度だけ大量のバイオマ

スが収穫されるよりも、毎年一定量が安定して収穫される方が設備の小型化や稼働率の面で良いと考えられる。防災面においても毎年の安定した管理が有効に働く可能性がある。バイオマス資源の再生産という点では、除根して種子から成長させる方法よりも、株を残して萌芽させる方法が高い成長率を示す<sup>(11, 12)</sup>。さらに、前者の方法では種子の発芽が場所や年ごとに変わり収量が不安定になる可能性がある一方で、後者では株のある場所で繰り返し成長が起こることが安定した収量につながる可能性がある。除根しない手法を採用する場合は、災害の危険性が上がらないか検討する必要がある。景観面においても、伐採やその後の成長過程が景観の悪化につながることは極力避けなければならない。

以上のことから、今後の研究においては、多くの調査地で多個体を対象に密度と材積の関係を調べることで、新規に除根された遷移初期段階の河道での新規加入とその後の成長率および死亡率を調べることで、地上部の伐採による萌芽更新の速度を調べることで伐採周期の算出に役立ち、さらに災害防止と景観保護についての検討を加えていくことが必要となるだろう。

## 謝辞

調査に使用した丸太は、国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所、朝野工業株式会社に提供いただいた。本研究は一般社団法人北陸地域づくり協会第26回「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業による助成を受けたものである（申請事業名「黒部川高水敷樹林の資源化による持続可能な脱炭素化とレジリエンス向上」）。

## 参考文献

- (1) 池内幸司、田口隆男、原田圭助、幸弘美（1999）「河川における樹木管理の手引き」について、リバーフロント研究所平成10年度研究所報告、pp. 212-227
- (2) 宮脇成生、鷺谷いづみ（2004）外来種の現状把握と対策 生物多様性保全のための河川における侵略的外来植物の管理、応用生態工学、第6巻2号、pp. 195-209
- (3) 国土交通省北海道開発局(独)土木研究所寒地土木研究所（2011）樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン(案)
- (4) 根来尚（1998）庄川河川敷におけるヤナギ属3種の訪花昆虫とその送粉可能性、保全生態学研究、第3巻2号、pp. 111-123
- (5) L. Rosso, G. Facciotto, S. Bergante, L. Vietto, G. Nervo（2013）Selection and testing of *Populus alba* and *Salix* spp. as bioenergy feedstock: preliminary results, Applied energy、第102巻、pp. 87-92
- (6) 森本英嗣、佐藤茂、石澤公明、新井健（2016）小規模遊休農地の活用に向けたエネルギー作物としてのヤナギ生産の基礎的研究-経済的視点からの考察、農村計画学会誌、第35巻1号、pp. 43-50
- (7) 坂本健太郎、川嶋崇之、浅枝隆（2009）ダム下流の砂州上への排砂土砂の堆積が樹木の成長促進に与える影響、水文学論文集、第53巻、pp. 1165-1170
- (8) 細田和男、光田靖、家原敏郎（2010）現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法、森林計画学会誌、第44巻2号、pp. 23-39
- (9) 林野庁（1959）名古屋営林局広葉樹立木材積表調製説明書

- (10) 林野庁 (1960) 長野営林局ブナ群・サウグルミ群立木材積表調製説明書
- (11) 佐貫方城、大石哲也、三輪準二 (2010) 全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察、河川技術論文集、第 16 巻、pp. 241-246
- (12) 斎藤新一郎、天羽淳、村椿俊幸、住友慶三 (2019) 洪水後の礫川原における細葉ヤナギ類の流木繁殖と実生繁殖の初期成長量の違い、北方森林研究、第 67 巻、pp. 57-60