

# 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

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  
(中間報告書)

令和4年(2022年)3月発行  
富山国際大学・富山県立大学  
富山高等専門学校・大高建設株式会社

## 共同研究者

【共同研究者代表】 上坂 博亨 (うえさか ひろゆき)  
富山国際大学 現代社会学部 教授

【共同研究者】 丁子 哲治 (ちょうじ てつじ)  
富山高等専門学校・鹿児島工業高等専門学校 名誉教授  
富山国際大学 現代社会学部 客員教授

【共同研究者】 繁宮 悠介 (しげみや ゆうすけ)  
富山国際大学 現代社会学部 准教授

【共同研究者】 高松 さおり (たかまつ さおり)  
富山高等専門学校 物質化学工学科 准教授

【共同研究者】 立花 潤三 (たちばな じゅんぞう)  
富山県立大学 環境・社会基盤工学科 講師

【共同研究者】 山本 健太郎 (やまもと けんたろう)  
大高建設株式会社 フロンティア事業部 主任

本書は、一般社団法人北陸地域づくり協会が公益事業で実施している「北陸地域の活性化に関する研究助成事業」で共同研究を行った「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」の1年目の研究成果をまとめた中間報告書です。

## 目次

1. 序章：研究の背景とねらいについて .....	2
1.1. 研究の背景と概要 .....	2
1.2. 本プロジェクトの核心をなす学術的背景について .....	2
1.3. 持続可能な社会形成に向けた黒部川高水敷樹林の資源化について.....	4
2. ドローンを用いた河川敷樹林材積の推計方法の検討.....	7
2.1. 背景と目的 .....	7
2.2. 研究方法.....	8
2.3. 結果と考察.....	9
3. 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 .....	12
3.1. 背景と目的 .....	12
3.2. 材料と方法.....	12
3.3. 結果.....	13
3.4. 考察.....	15
4. 河川流域における河川樹林の成長抑制因子の検討 .....	18
4.1. 背景と目的 .....	18
4.2. 研究方法.....	18
4.3. 結果と考察.....	19
5. 河道内樹林の砂質土壌における土壌呼吸速度の推定.....	21
5.1. 背景と目的 .....	21
5.2. 材料と方法.....	21
5.3. 結果.....	22
5.4. 考察.....	22
6. バイオマス発電所視察調査報告.....	26
6.1. 視察実施内容 .....	26
6.2. 七ツ島バイオマスパワー合同会社バイオマス発電所 .....	26
6.3. 中越パルプ工業株式会社バイオマス発電所.....	28

# 1. 序章：研究の背景とねらいについて

## 1.1. 研究の背景と概要

化石燃料の大量使用により発生する二酸化炭素が起因する地球気候変動によって、河川の氾濫による激甚災害が頻発するようになり、河川工学的見地からの河川高水敷に過剰繁茂するヤナギ類等の樹林が注目されている。さらに、過剰繁茂した河川樹林は河川景観を損ない、市民の親水性を阻んでいることや、上流域の大型動物が河川高水敷を通して下流域へ押し出され、市民の居住地域での獣害を引き起こす要因となることなども含めて、河川樹林の伐採が、河川管理の重要な課題となっている。

一方で、地球規模での脱炭素化が急務となっている今日、省エネルギーばかりではなく、太陽光をはじめとして、風力・水力・バイオマス発電などの再エネ開発が進められている。しかしながら、バイオマス発電については大型化が進行する中で燃料が国内供給では不十分かつコスト高となり、輸入材や PKS などの海外産バイオマスへの依存度が高くなっていることが課題となっている。その一方で国内には様々な未利用のバイオマスがあり、大型河川に繁茂する河川敷樹林もバイオマス供給源のひとつとみる事ができる。このような未利用バイオマスの有効な活用方法が求められている。

本研究事業では、黒部川高水敷に繁茂するヤナギ類等を事例として、河川災害の激甚化の防止は言うに及ばず、(1) 社会の脱炭素化の実現、(2) カーボンニュートラルの達成、(3) 流域生態系の保護、(4) 経済性、の全てに寄与するシステム構築を目指す調査研究を行う。本申請事業は、2050年の脱炭素化社会構築の完成を目指す第一歩と位置づけたものである。

## 1.2. 本プロジェクトの核心をなす学術的背景について

黒部川の歴史は洪水の歴史であり、洪水の度に氾濫し、その主流は移動を繰り返し、扇状地の至る所に川筋が存在し、古来より「黒部四十八ヶ瀬」と言われてきた。洪水要因については、流域の年間降水量が 3000~4000mm 程度であり、しかも多くは川に沿う形で梅雨前線が停滞した場合の大雨だと言われている。しかも世界にも希に見る急峻な地形を流れ下ることから、大きな力が働き破壊力も大きい。そのため、黒部川の治水事業は古くから行われ、その歴史は古い。明治に入ってから、近代的な治水工事が行われるようになったが、それでも近年まで洪水被害が絶え間なく起こっている。近年までの治水は、主に自然界の水及び土砂を含む河川水の物理的現象との戦いであったと言えよう。

20 世紀後半の、日本の高度経済成長期においては、都市化、工業化が急速に進むことによって、公害問題として河川水の化学的汚濁が急速に進行した。富山県内では、上流で重金属の汚染があり下流域で公害病が発生した神通川の例がある。上流の金属汚染源は、亜鉛や銅の鉱山であったが、このイタイタイ病はカドミウムと考えられたため、その原因説は当初混乱が生じた。さらに、河川水にカドミウムが含有していたとしても、その河川水を直接に飲料水として摂取したとは考えにくいことなどからも、容易には人体に病的異変が起こることは理解できないでいた。しかし、多数の患者は神通川流域のみであり、その解決が急がれたために、疫学的見地からイタイタイ病の加害者と被害者を特定されるに至った。その後、カドミウムが人体内に取り込まれるプロセスが解明されるまでには相当の年月を要した。そのメカニズムとは、自然環境中の生態

系濃縮を経て、水産物や水田による米を食物として摂取した人の体内に高濃度のカドミウムが吸収され、腎臓に障害を起こすことにより骨を脆くし、発病することであった。

大量生産時代では、自然環境への影響がそれまでは想像もできないほどの規模となり、さらに有害な化学物質が複雑な自然環境の生態系を通じて濃縮され、人体に深刻な影響を及ぼした。これらの公害は、深刻であり、被害を受けた患者を一日も早く救うことが必要であったが、その科学的な原因究明が迅速には行われなかった。その大きな理由は、メカニズム解明のための研究体制が不十分であったと言わざるを得ない。すなわち、当時の学術研究全般では、ほとんどの分野はどんどん細分化される方向にあり、異なる分野間では専門用語も異なり、互いに共通の議論も出来ない状態に陥っていた。そのため、狭い領域での情報からの説明を試みることから、本当に必要な情報が得られていなかったことが、後に指摘されている。しかも、学術文献の収集も現在のようなインターネット検索も出来るわけではなく、膨大な時間と労力を要し、困難を極めたことが現実であった。

1980年代に入ると、日本における深刻な公害問題は、法的規制が整備されることによって、ようやく落ち着きを見せはじめた。ところが、河川の水質に影響を及ぼすと懸念される汚染物質が国境を越えて、大気で運ばれてくる問題が浮上してきた。いわゆる酸性雨である。北陸では、雨に限らず冬季の降雪量も多いことから、酸性雨雪と称している。北ヨーロッパや北米では、工業地帯から大気に放出された酸性物質が河川水や湖沼水を酸性化し、水中生態系や森林生態系を破壊しているとの報告があった。1980年代には、主として分析化学の分野の研究者らによって、日本においても北ヨーロッパや北米のような森林破壊や湖沼の酸性化が10年以内に起こるとの懸念が強くなされていたが、その後40年近く経た今日、酸性雨によると考えられる顕著な現象は日本では報告されていない。

降雨中の人為的汚染物質の量は日本においても北ヨーロッパ、北米と同等であると考えられたにも関わらず、山林等に被害らしいものが見られない原因は、日本特有の自然環境が影響してたと考えられる。日本列島の降水には、大陸起源の人為的降下物、沙漠起源の黄砂も含めて、日本の火山性、近隣の工業地帯などからの大気汚染物質が含まれる。このような降水の酸性物質を河川上流部の山岳地帯の土壌中の生態系が、十分に中和する機能を持っており、温暖な気候である日本では土壌中の生態系の活性が高く保たれていれば、河川や湖沼が酸性化することは現時点では起こらないことが明らかとなった。ここでも、自然界の生態系が重要な役割を担っていることが解った。

人類の歴史を見ると、農地や放牧地の拡大によって、あるいは建築材料や燃料のために森林の伐採が行われ、そのほとんどは森林の回復が行われず、最悪では砂漠化している。しかしながら、日本も長い歴史の中で、建築材料や燃料の確保のために、山林が過度に伐採された時代もあったが、その後の山林保護の努力もなされたことは考えられるが、日本の特殊な地理的条件が備わることによって、森林面積比率は世界でもトップクラスである。しかしながら、今後の気候変動によっては将来にわたっても森林面積が維持されるとの保証はないことから、確かな学術的な検証は今後とも必要である。

そもそも河川は、古来より人類の持続可能な社会形成に脅威をもたらす中心的存在であった。しかも、その範囲は地域限定から大陸間、さらには地球規模に拡大してきている。しかも、21世紀に入ると、やがて地球規模の気候変動が問題となり、そのことによってこれまでは予測され

てこなかった自然災害が懸念されるに至っている。すなわち、人為的な二酸化炭素等の放出が起因する地球気候変動によって、河川氾濫等の激甚災害が頻発するようになり、河川高水敷に過剰繁茂するヤナギ類等が治水に悪影響を及ぼすことなどが課題となっている。河川景観の維持、上流域の大型動物の移動と獣害防止なども含めて、市民の居住地域での河川機能の維持のため、河川敷樹林の伐採が河川管理上注目されるようになってきた。

黒部川を含む北陸の河川上流域は、降雨量が多く、急峻であることは、世界でも類を見ない。このことは河川の水質については極めて良好であることを裏付けており、生活用水、農業用水、工業用水などに有用である。近年のデータによると、北陸から東北の日本海側の一級河川では、黒部川は最も水質が良好な河川と評価されている<sup>(1)</sup>。しかしながら、黒部川に限らず、日本の多くの河川において河床の安定化が進み、河道内で樹林化が進行している。河道内樹林は、可積を減少させ、出水時の流下能力の低下をもたらす問題を醸し出すようになった。さらに、治水安全上の問題だけではなく、種々の課題があることから、河川の樹林化の機構を解明し、その管理技術を提案する研究が活発に行われるようになった。まず、樹林化原因に関して多くの視点からの研究が進められている。戸田<sup>(2)</sup>は、次のようにまとめている。すなわち、

洪水攪乱頻度低下説  
土砂動態変化説  
河床低下説（砂利採取以外のものも含む）  
低水路幅減少説  
高水敷の富栄養化説  
外来種説  
中規模攪乱による倒伏後の再萌芽拡大説  
人的管理、人的利用の低下説  
等々

である。これらの説に共通することは、シミュレーション解析に基づいている例が多く、河川の生態系のゆっくりした時間経過については十分な解析が行われていない。シミュレーションとは、運動方程式（モーメント収支式）、連続の式（流体収支式）、熱拡散方程式（熱収支式）、拡散方程式（物質収支式）にもとづく解析である。これらの解析方法は、既に 1970 年代に、内藤<sup>(3)</sup>は、相対的關係の説明には有効だが、因果關係の解明には限界があることや、時間軸が短い現象を対象としており、界面境界層などの微小な現象については曖昧で十分に表現できない、などの指摘がなされている。

20 世紀の後半にコンピューターが急速に進歩し、数値解析によるシミュレーションが多くの分野で主流となった。しかし、シミュレーション解析は当時の学術研究の主流であった細分化、機械論的思考によるものであり、これが内藤の言うシミュレーション解析の限界である。

### 1.3. 持続可能な社会形成に向けた黒部川高水敷樹林の資源化について

まず、持続可能な社会形成の基本概念を確認しておく必要がある。その概念は、既に 30 数年ほど前に国連で議論され、「将来の世代のニーズを満たしつつ、現在の世代のニーズも満足させるような開発」とまとめられている。この意味を 30 年以上も経た今になっても、人々に十分に理解されているようには思われない。近年の SDG s については、細かくゴールが示されており、

そのことに基づいて種々の取り組みがなされているものの、改善されていないように思われる。

現在の世代は強者であって、将来の世代は弱者であるという理解はあるだろうか<sup>(4)</sup>。将来の世代は、今の子供たちばかりではなく、まだ生まれていない人々も含まれる。したがって、そのような人々の意見も聞かずに（聞けずに）、現在の世代は物事を進めている。将来予測は難しいとの理由で、現在の世代の行動のほとんどは、将来の世代へ諸問題をつけ回していることになる。

このような強者と弱者の関係から「持続可能社会」を考えてみると、いろいろなものが見えてくる。すなわち、自分の都合の良いものだけを残し、都合の悪いものは排除する立場にあるのが強者という。逆に強者によって排除される得るものは弱者である。地球環境問題で言えば、「資源、食料、景観など」の基準を満たさない、細菌、害虫などの種は、意図的に駆逐される弱者であるとの説がある。また、これらの基準を満たしていても資源としての収奪で意図に反して絶滅させられてきているものも弱者であると言える。

このように考えると、持続可能な社会の本質とは、強者も弱者もない社会であることになる。このことをさらに深掘りすれば、社会的弱者（経済的、社会的、肉体的、人種的、・・・）、自然的弱者（人間にとってさほど利用価値がないと考えられる生物）とこれまで当たり前のこととして考えられてきたことが、人と人の絆や、ヒトと自然との絆によって、強者と弱者の立場の違いをなくすことができ、そのときはじめて持続可能な社会形成の最終ゴールとなる。

さらに重要なことは、強者を自負している人は、弱者に多少の負債を回しているに過ぎないとは考えていても、社会的弱者や自然的弱者がこれまでの持続可能性社会の実現に重要な役割を担ってきたことに気づけないでいることである。このことによって、人類全体の生存基盤を崩壊させるところまで来ていることに、そろそろ気がつかなければならない。すなわち、このようなことを全人類が一つ一つ学ぶことから始めなければならない。

以上の観点から、本プロジェクト「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」の持続可能社会の形成に対しては、次のようにアプローチすることとした。

二酸化炭素が起因する地球気候変動によって、河川氾濫等の激甚災害が頻発するようになり、河川高水敷に過剰繁茂するヤナギ類等の樹林利用が注目されている。さらに、河川景観の維持、上流域の大型動物の移動と獣害防止など、市民の居住地域での河川機能の維持のため、河川敷樹林の伐採が河川管理の重要な課題ともなっている。

そこでまず、ヤナギ類の河川樹林の生育に大きく影響する要因について検討した。ヤナギ類は、基本的に施肥なしで生育し、その生育速度は著しく速い。一般に樹木の成分はセルロースとリグニンが主成分を示し、遺伝子を構成するリン成分はわずかである。ヤナギ類は根からの水分の補給がある限り、光合成反応が継続し、炭素成分は成長を続ける。しかし施肥が行われてなくとも、遺伝子を構成するリン成分の供給は、河川水からの供給が不可欠である。リン成分は、上流域の岩石成分の溶解によって河川に供給される可能性があるが、このメカニズムには必ず生態系反応が関与しないわけには行かない。上流域のリン成分を含む岩石成分としては、黒部川上流では火山性岩石、および大陸の沙漠土壌粒子が黄砂現象によって輸送される可能性がある。このことによって、黒部川下流域の高水敷樹林であるヤナギ類を十分に生育させることが可能との仮説を検証する。また、高水敷土壌中の生態系によって、リン以外の窒素成分等の供給の可能性も検証する。このことによって、ヤナギ類としての生育可能なバイオマスとして評価できる。

一方、地球規模での脱炭素化が急務となり、再エネ開発が強力に推進される中、木質バイオマ

スは発電や熱利用において多様な可能性を有しており、利用方法の更なる検討が必要である。以上の検討から、黒部川河川樹林として生育可能なバイオマス量を推定することによって、これらをバイオマスエネルギーとしての評価も試みる。このような評価値と、実際の河川敷に繁茂するヤナギ類の定量的把握として、立体化した可視化による画像解析の手法によって定量化を行う。

以上の基本概念から、本研究事業では、黒部川河川敷に繁茂するヤナギ類等を事例として、河川災害の激甚化防止は言うに及ばず、(1) 社会の脱炭素化の実現、(2) カーボンニュートラルの達成、(3) 流域生態系の保護、(4) 経済性、の全てに寄与するシステム構築を目指す調査研究を行う。2021年度には、ヤナギ類の成長速度と早生性に影響を与える河川水の成分調査、および河川敷バイオマス量の測定に焦点をあて、基礎データ収集とドローン計測の手法開発を進めてきた。2022年度はこれを進展させ、地域におけるバイオマス利用実装への具体化方針を明らかにし、持続可能な社会形成に対する貢献度を評価する。

## 参考文献

- (1) 国土交通省 (2020) , 全国一級河川の水質現況
- (2) 戸田祐嗣 (2014) , 河川の樹林化原因に関する諸説のレビュー, 土木学会環境水理部会研究集会
- (3) 内藤正明 (1976) , 水質汚染現象のモデリングとシミュレーション, 計測と制御, pp.299-308
- (4) 内藤正明 (2017) , 改めて、なぜ持続可能社会を目指すべきなのか, KIESS-NPO 法人循環共生社会システム研究所 MailNews4月号

## 2. ドローンを用いた河川敷樹林材積の推計方法の検討

### 2.1. 背景と目的

河川の樹林化は河川管理の上でさまざまな問題を引き起こすことが良く知られている。樹林化の原因は複雑で、また気候・地域・地形などによっても異なり、さらには河川流域における水・エネルギー・物質循環、生態系代謝と言った広範な観点からの考察も求められている<sup>(1)</sup>。そのなかでも河川敷樹林の成長を促進する要因として、洪水による新たな土砂の供給とそれに伴う樹林生息域への栄養塩類の涵養が指摘されている。坂本ら（2009）は、上流ダムからの排砂によって下流域に土砂堆積を促進し、同時に窒素を供給し NP 比を上昇させることによりカワヤナギの成長を促進することを明らかにした<sup>(2)</sup>。このようにして河川敷樹林の植物は上流部から土壌と養分の供給を受けることによって途絶える事なく繁茂し続けるとされている。

1990 年代以降の調査によれば、本研究で対象とする富山県黒部川においても河川樹林化が進行しており、とりわけ河口 7 km 付近から愛本にかけてカワヤナギの侵入が顕著である。また 7 km より下流においてもアキグミ群落の増加が著しいことが報告されている。この事は平成 7・8・10・17 年の洪水時に砂州冠水による土砂堆積によって樹木が定着し、その後中小洪水によってみお筋が固定化し、樹木群がフラッシュされない事で樹林化が促進したと指摘されている<sup>(3)</sup>。黒部川においては上流のダムからの定期的排砂が行われている事を合わせ考えれば、前述坂本ら（2009）の指摘のとおり、下流域には定期的に栄養塩類の涵養がもたらされると想定され、河川敷樹林化の促進への寄与が考えられる。以上により黒部川における河川敷樹林は、巨大な洪水によって砂州がフラッシュされない限り比較的安定して繁茂し続ける可能性がある。本研究ではこのような背景にある河川敷樹林の樹木を、あらためて有用なバイオマス資源として利用する可能性を見出すことを目的としている。

ヤナギ類は他の樹種に比較して成長の早い早生樹として知られている。これまでヤナギは木材としての利用価値が低い事から未利用のまま放置されてきた。しかし森林総合研究所北海道支所ではヤナギの、①挿し木が容易、②成長が早い、③萌芽再生能が旺盛という特徴を利用して、バイオマス資源として注目している<sup>(4)</sup>。ここではヤナギを挿し木によって植付け、2 年から 5 年の超短伐期でサトウキビ用のハーベスタで収穫し、チップ燃料などにする試みがなされている。しかしここで課題となっているのは肥料コストである。木質バイオマス資源は一般にエネルギー密度が低い事から輸送などのコストが占める比率が大きくなりがちであるが、ヤナギの場合は肥料依存性が高く、窒素肥料の補充コストが全体の 32% を占めると報告されている。この点において河川敷樹林のヤナギは、常に上流からの栄養塩類の供給を受け続け、黒部川においては排砂による土砂や養分供給も得ているという特徴がある。

河川敷樹林の木質バイオマスの燃料としての可能性を評価するためには、黒部川流域におけるバイオマス供給能力の評価が必要である。そこで本研究では黒部川の河口から愛本堰堤を超えて宇奈月の下流に至るまでの区間を対象として、河川敷樹林のバイオマス量の計測を試みる。広域的な森林管理において、近年はドローンを用いた空撮によって樹林材積の分析を行う技術が開発されており、富山県森林研究所では、林業の DX 化を促進しスマート林業の構築を目指した森林情報の整備を行ってきた<sup>(5)</sup>。またドローン（UAV, 無人航空機）による動画および静止画の空撮と静止画像の解析による資源量推定に関して、同研究所がこれまで蓄積したノウハウをまとめた



手引書の発行なども行っている<sup>(6)</sup>。このようにしてドローン技術とコンピュータソフトウェアの発達によって、広域的なバイオマス資源量調査が可能となってきた。

一方、これらの新技術は従来のスギを中心とする人工林を対象としてものものであり、株立ちや枝分かれが多い河川敷のヤナギを対象とするには課題がある。本研究ではドローンを用いた広域計測を河川敷樹林に応用してその課題を明らかにするとともに、黒部川全体としてのバイオマス資源供給能力を評価することを試みる。本年度の研究ではまず、ドローンによる空撮と点群ソフトウェアによる河川敷樹林形状の観測に焦点をあてて方法論を検討する事とした。

## 2.2. 研究方法

空中撮影によるバイオマス計測においては、従来から代表的な3つの手法が知られており、その内容は以下のとおりである<sup>(3)</sup>。

- ①立体視により0.1 ha標準地の本数、樹高を目視判読し、林分密度管理図から材積を求める。
- ②オルソを使った広域の自動分析により林相区画を生成し、区画内の本数、樹高を推定し、林分密度管理図から材積を求める。
- ③オルソを使った広域の自動分析により林相区画を生成し、区画内の平均樹高から回帰式により材積を求める。

今回の研究においては上記③の方法を拡張して、オルソから3次元点群データを生成し区画内の樹林容積を推計し、これと実際の現地での計測から回帰式を作成して材積を求める方法である。本方法の手順を図1.2-1に示す。

### ドローン計測の手順

ドローンを用いて樹林の撮影を行うには、樹林上空から一定の間隔で写真を撮る必要がある。そのルートはiPad mini4にインストールした自動飛行ソフト(DJI Go 4)を用いて、ウェイポイントをドローンにセットして行う。今回1地点あたりの写真の撮影枚数は飛行時間によって制限され、最大でも600枚とした。

計測に用いたドローンはDJI社製のMavic 2 Proで、重量約900g、最大飛行時間は最大約30分である。搭載しているカメラは有効画素数20MPで、撮影データは内蔵するSDカードに記録した。

撮影した画像ファイルは点群解析ソフト(Terra Mapper V2.1)にてオルソ画像変換、3次元点群変換、並びにDSM画像変換を通して樹林容積の計算を実行させた。Terra Mapperを搭載したPCはIntel NUCシリーズ(Core i7, 32GB-Memory, 1TB-SSD)で、GPUボードは外付けとした。

### 計測地点の選定と撮影時期

本研究で今回選定した樹林は河口から約3.5 km上流に繁茂する一群で、カワヤナギ、アキグミなどによる混成林である(図1.2-3)。樹林の落葉が進むと樹冠をただしく認識することが困難になるため、撮影時期は2021年10月までとした。

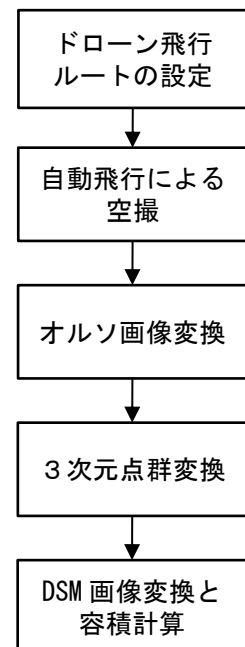


図 1.2-1 ドローン計測の手順の概要

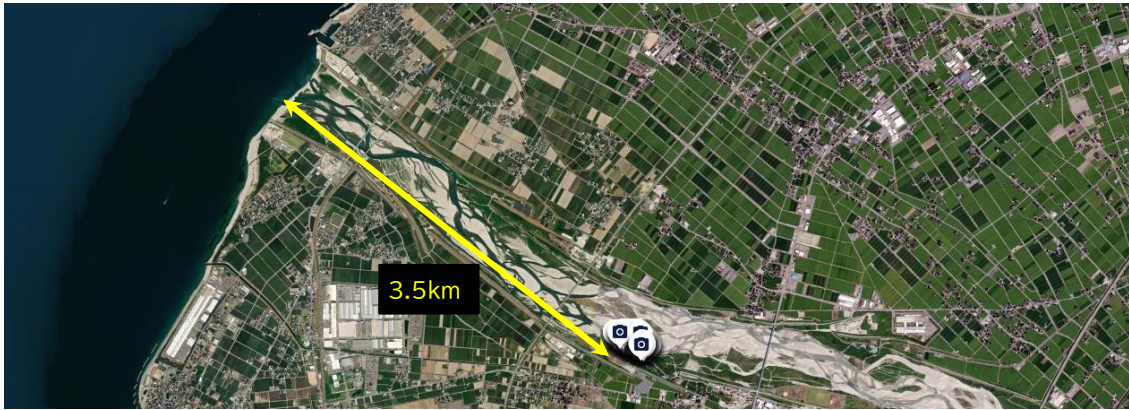


図 1.2-3 撮影箇所は河口から約 3.5km 上流の左岸に広がる樹林とした



図 1.2-4 撮影地点における自動飛行による空撮軌跡。写真左上から順に自動的に撮影しながら移動させた。撮影時のオーバーラップ率は試行錯誤によって 60%とした。この地点では 600 枚の空中撮影を行った。

### 2.3. 結果と考察

以上のように撮影された画像（図 1.3-1）は中心部と周辺部ではひずみが発生するため、これを正射変換によって直下視像に変換したオルソ画像を生成する。これをもとにして 3 次元点群に変換したものが点群画像である（図 1.3-2）。点群画像は 3D ビューアによって回転させながら樹林を観察する事も可能であり樹林形状の把握にも好都合である。撮影時期が 10 月であったことから幾分落葉が進行しており、樹枝がむき出しとなっている部分が散見された。

3 次元点群画像をもとに、点群を立体ととらえてその表面を補完する事で閉塞空間を作成したものが DSM (Digital Surface Model) 画像である(図 1.3-3)。今回の撮影においては落葉などの影響で特に林縁部分の粗面化が観察された。また容積を計算するためには基準面の確定が必要であるが、今回の計測からは明確に特定する事が出来なかった。

今後は今回撮影した樹林を用いて、林内に含まれる立木の材積を求める予定である。材積は二通りの方法を用いて計測する予定である。一つは実際に現地に生育している立木の胸高直径およ



び膝高直径、樹高を計測して理論値から算出する方法である。他方は林内をレーザースキャナーを用いて計測する方法で、いずれも流木が落葉している時期に実施する事が望ましい。これらの計測に基づいて、樹林容積と材積との回帰式を作成してバイオマス量の推計を行う予定である。



図 1.3-2 上空から撮影した樹林画像の一例。すでに落葉して枝が見える。



図 1.3-3 オルソ画像から生成した 3次元点群画像



図 1.3-4 点群から生成された DSM 画像。左上の赤枠部分を選択して容積計算に供した

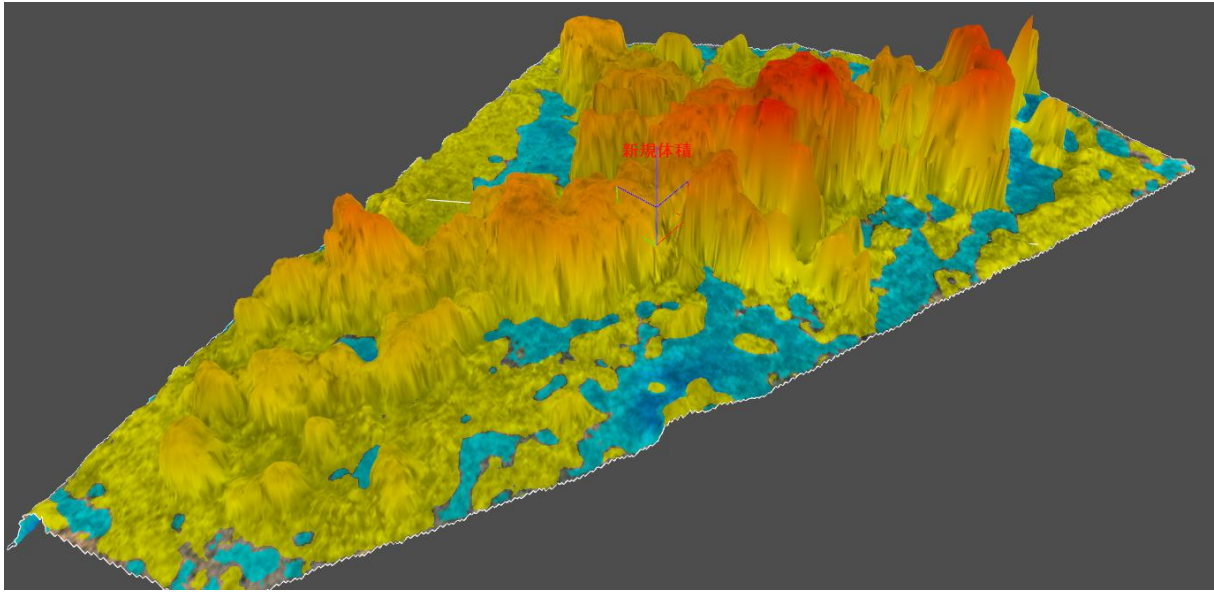


図 1.3-5 上述図 1.3-4 の赤枠部分を抽出して容積計算に用いた画像。

## 謝辞

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) 宮本仁志・赤松良久・戸田祐嗣（2013），河川の樹林化課題に対する研究の現状と展望，河川技術論文集，第 19 巻，pp. 441-446
- (2) 坂本健太郎・川島崇之・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，水工学論文集，第 53 巻，pp. 1165-1170
- (3) 黒部河川事務所（2014），第 2 回黒部川河道検討会資料，北陸地方整備局河川部黒部河川事務所，<https://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/jigyo/kasen/torikumi/kadou02.pdf>
- (4) 宇都木玄・上村章（2012），エネルギー資源作物としての樹木の利用-ヤナギの利用-，北の国・森林づくり技術交流発表集，第 2011 巻，pp. 164-168
- (5) 小林裕之（2018），富山県におけるスマート林業構築のための森林情報整備，富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告，第 10 巻，pp. 37-52
- (6) 森林研究所（2020），ドローンによる空撮と画像解析のやり方，富山県農林水産総合技術センター森林研究所発行
- (7) 大萱直花，（2015），空中写真を利用した材積推定，森林科学，76、pp. 15-19

### 3. 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

#### 3.1. 背景と目的

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。

#### 3.2. 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3.2-1）。年輪を調査した断面は、地上90~110cmに位置する。

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3.2-2）。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、本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。

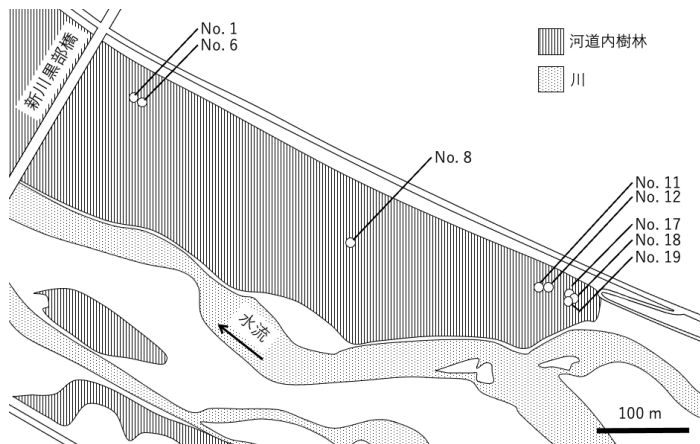


図 3.2-1 黒部川河道における調査株の位置。樹林および川の範囲は Google マップ（2021 年 8 月確認）の航空写真より作成した。

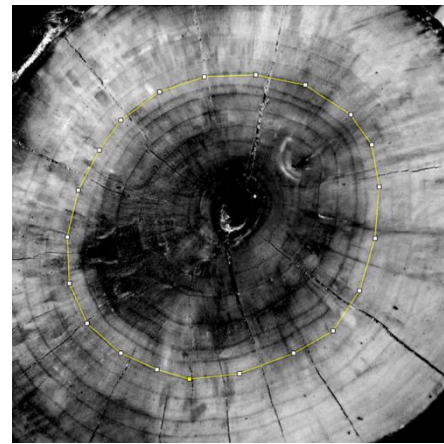


図 3.2-2 年輪画像の例。ImageJ の多角形描画ツールで計測対象の年輪をなぞった状態。

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。

### 3.3. 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 3.3-1A）。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（図 3.3-1B）。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 3.3-2）。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）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 3.3-3）。

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 3.3-4）。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 0.0022m<sup>3</sup> と 0.0019m<sup>3</sup> であり、10 齢で 0.026 m<sup>3</sup> と 0.024 m<sup>3</sup> であった。

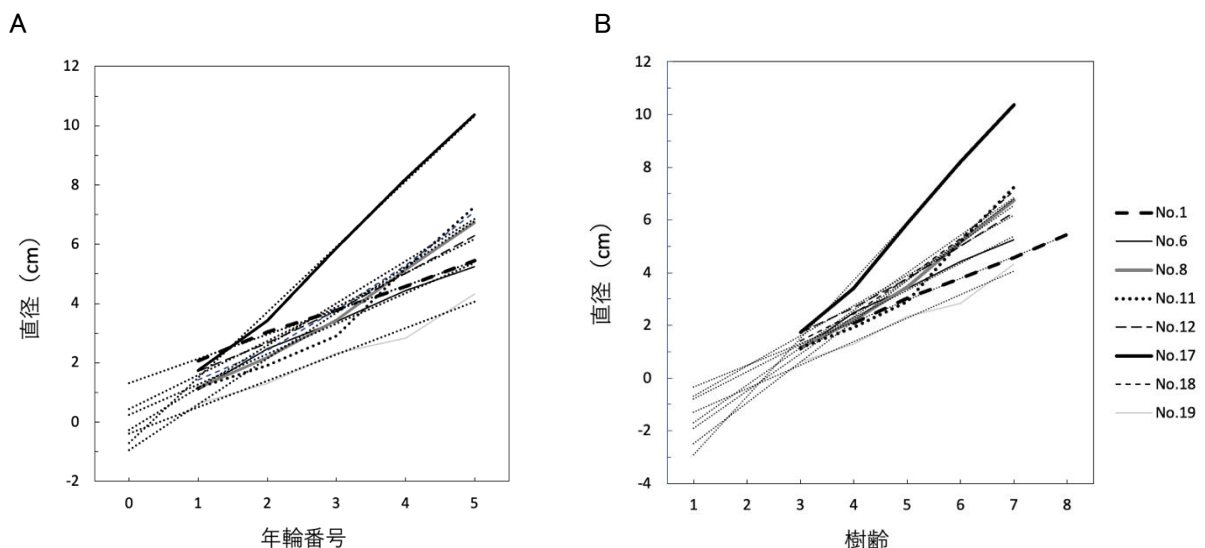


図 3.3-1 写真で確認できた年輪番号と直径の関係 (A) と、年輪番号と樹齢との関係を検討したのちの直径との関係 (B)。凡例に無い 8 本の点線はそれぞれの株に対する回帰直線である。

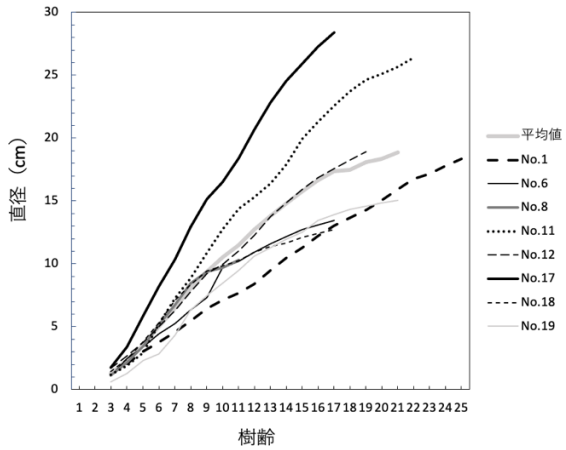


図 3.3-2 各個体の樹齢と直径の関係とその平均値

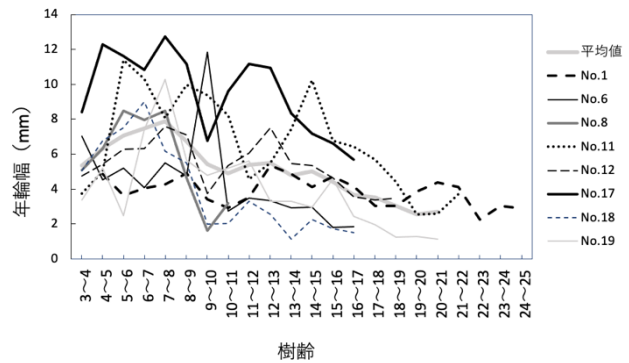


図 3.3-3 各株の樹齢と年輪幅の関係とその平均値

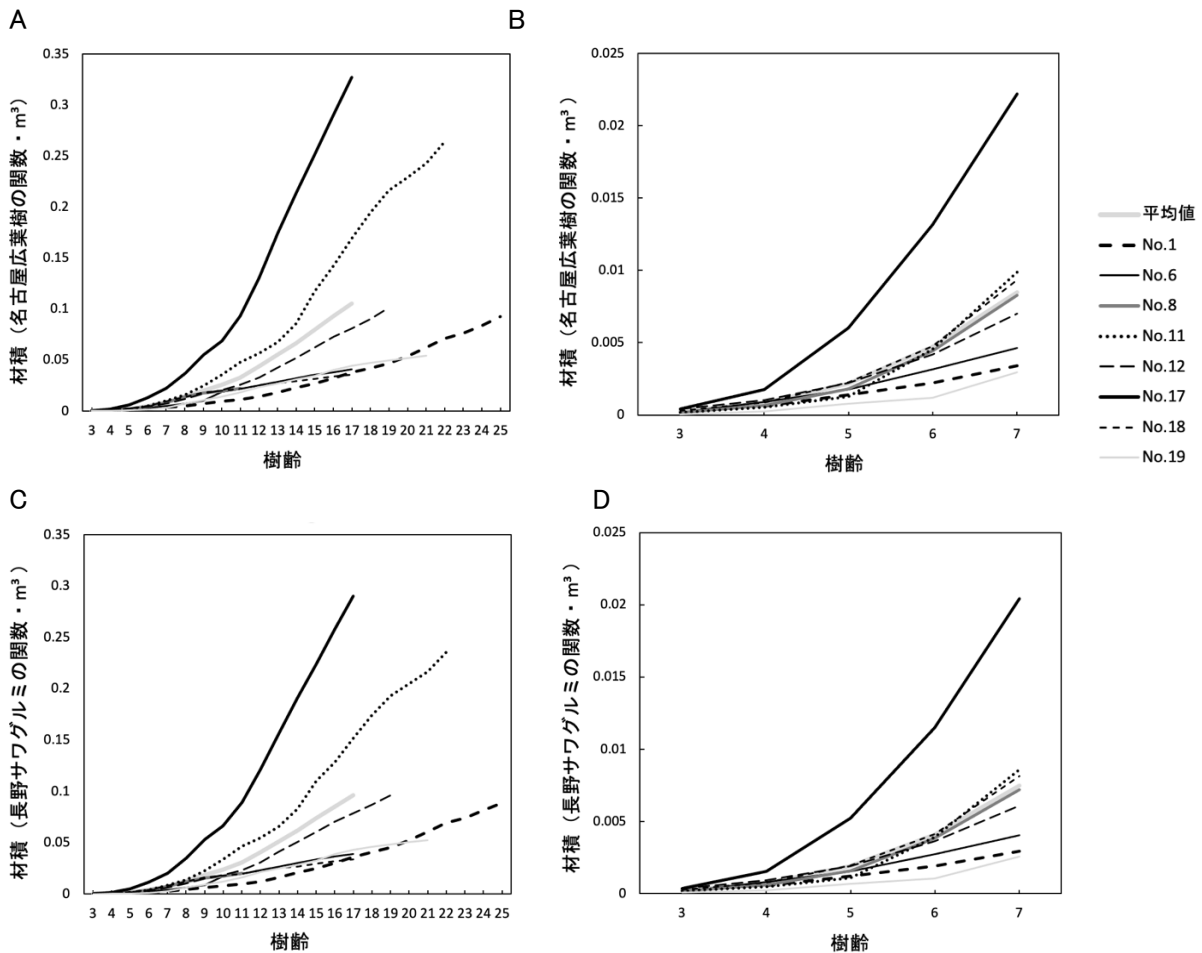


図 3.3-4 材積推定プログラムによる樹齢と材積の関係。名古屋広葉樹の推定式を使用して 3 齢から 25 齢まで推定したもの (A) と 3 齢から 7 齢までを拡大したもの (B)、長野サワグルミの推定式を使用して 3 齢から 25 齢まで推定したもの (C) と 3 齢から 7 齢までを拡大したもの (D)。

### 3.4. 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 3.3-3）。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 3.3-4）。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、鷲谷いづみ（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・サワ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

## 4. 河川流域における河川樹林の成長抑制因子の検討

### 4.1. 背景と目的

河川樹林の主な成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンであり、これら3成分で90%以上を占めている。化学成分としては炭素(C)、酸素(O)、水素(H)で構成されており、樹木はこれらの成分を空気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)や土中の水分(H<sub>2</sub>O)から取り込み、光合成によって成長している。さらに、樹木の生命活動を維持するために、窒素(N)やリン(P)などの養分を土壌等から取り込んでいる。

図4.1-1は河川流域における窒素およびリンの循環の概念を示している。森林生態系におけるリン化合物は系外からの流入はほとんどなく、系内で循環していると考えられてきた。リンは、大気とのガス交換量が大きい窒素と異なり、相対的に陸域の循環量が多く、河川が森林生態系からのリンの最大の輸送経路となる<sup>(1)</sup>。しかし、近年、黄砂や化石燃料の燃焼に伴う大気降下物による流入や森林管理の劣化などによる窒素・リンの系外への流出が無視できない量となっていることが指摘されている<sup>(1)</sup>。これらの窒素・リンが下流域に流出することで、河川樹林の生育が促進されていると懸念される。したがって、河川樹林の成長抑制因子を解明するには、黒部川流域における窒素およびリンの動態を明らかにする必要がある。黒部川流域における窒素およびリンの循環と河川樹林の成長との因果関係を解明し、脱炭素化とレジリエンス向上を両立させるシステムの構築を目指す。

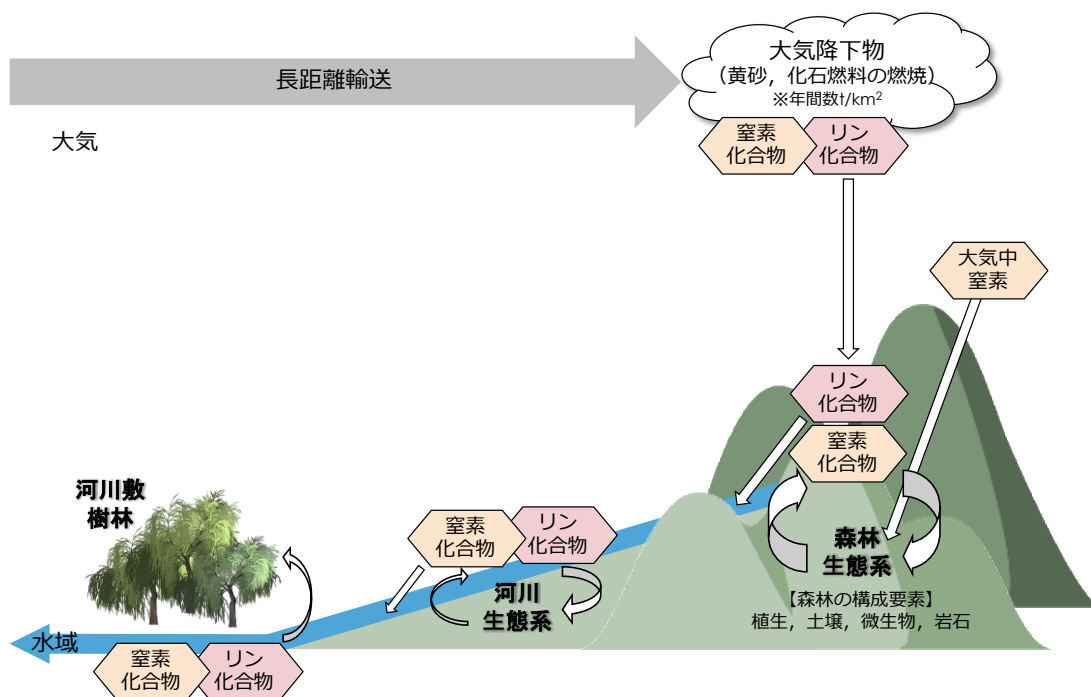


図 4.1-1 河川流域における窒素およびリンの循環

### 4.2. 研究方法

河川樹林の成長因子である窒素およびリンの動態を明らかにするため、黒部川上流域および中流域、下流域における河川水中の窒素およびリン濃度を計測した。

図 4.2-1 は河川水の採水地を示している。櫛平から宇奈月までを上流域，愛本から宇奈月までを中流域，河口から愛本までを下流域と設定し，各採水地で 2021 年 7 月から 11 月の期間中に月 1 回の採水を行なった。プラスチック製容器に 1L 程度採水した試料はすぐに冷蔵保存後，水質環境分析を専門とする外部機関に委託し試料中の全窒素および全リン濃度を測定した。なお，全窒素は JIS K 0120 45.2，全リンは JIS K 0120 46.3.1 に規定された方法により分析した。

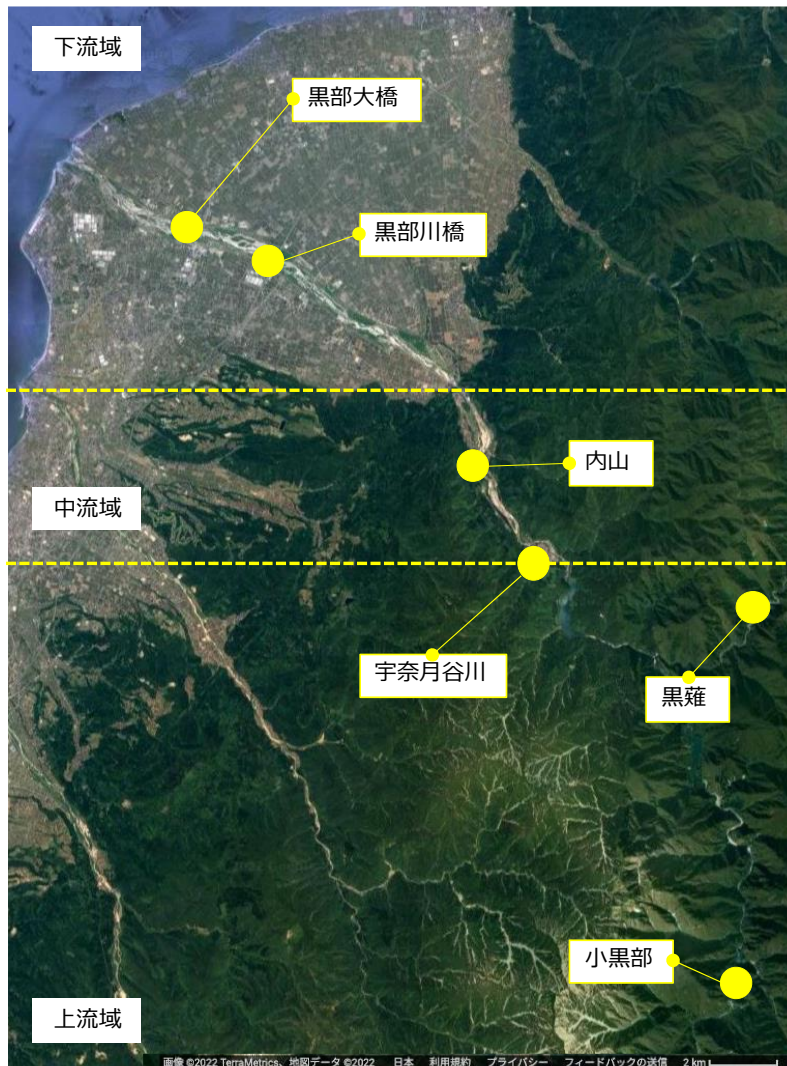


図 4.2-1 黒部川流域における採水地

#### 4.3. 結果と考察

全窒素および全リン濃度の測定結果を表 4.3-1 および図 4.3-1 に示す。上流域である小黒部では全窒素濃度は 0.15~0.16 mg/L 程度，全リン濃度については不検出であった。黒薙では人間の生活圏内に若干入りつつあり，全窒素濃度が上昇していた。さらに中流域，下流域になると全窒素および全リン濃度が上昇する傾向が見られた。上流域の河川水中のリンは人為圧がほとんどない自然起源のリンであり，中流域，下流域では人為的な影響を受けている。すなわち，中流域および下流域では，生活排水を浄化センターで処理した後の処理水が黒部川流域に戻していること

から、全窒素および全リン濃度が上昇しているのだと考えられる。

今後は、測定したような全窒素および全リン濃度で河川樹林が成長するのかを確認する必要がある。

表 4.3-1 黒部川流域採水ポイントにおける全窒素および全リン濃度

	採水ポイント	採水日	全窒素濃度	全リン濃度
			[mg/L]	[mg/L]
下 流 域	黒部大橋	2021/09/02	0.30	0.060
		2021/10/01	0.27	N.D.
		2021/11/10	0.21	0.005
	黒部川橋	2021/07/28	0.17	0.013
中 流 域	内山	2021/09/02	0.31	0.013
		2021/10/01	0.24	N.D.
		2021/11/10	0.33	0.003
	宇奈月谷川	2021/07/28	0.24	0.007
		2021/10/01	0.33	0.007
		2021/11/10	0.33	0.003
上 流 域	黒薙	2021/08/20	0.27	N.D.
		2021/09/30	0.27	N.D.
	小黒部	2021/07/28	0.15	N.D.
		2021/11/04	0.16	N.D.

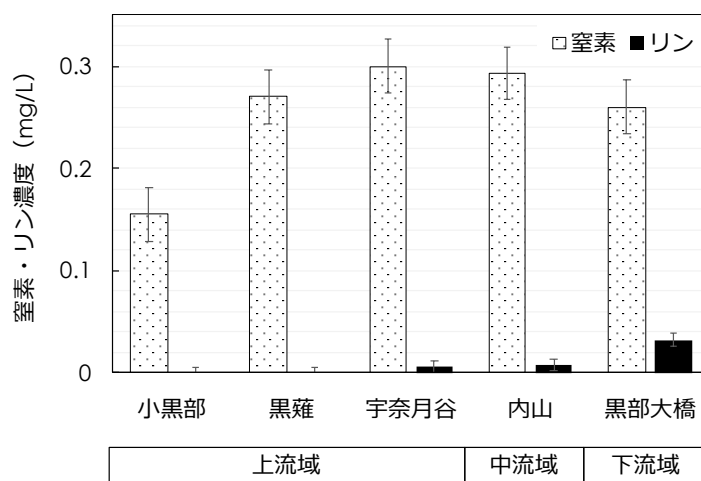


図 4.3-1 全窒素濃度、全リン濃度の流域による変化

## 謝辞

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) 柴田英昭 (2018) , 森林と物質循環, 共立出版

## 5. 河道内樹林の砂質土壌における土壌呼吸速度の推定

### 5.1. 背景と目的

河道内に生育する樹木（ヤナギ類、グミ、ニセアカシア、ハマセンダン等）は高い成長率を示す。その要因として、豊富な水、光合成に有利な光環境と、攪乱が起こる環境において成長率を高め早期に繁殖することが適応的な生活史戦略であるという遺伝的要素が挙げられる。一方で、樹林近傍を流れる河川水の無機塩類濃度と、土壌から発生する二酸化炭素量（以下、CO<sub>2</sub>）とどのような関係があるかは不明な点が多い。

土壌から発生する CO<sub>2</sub> には、主に土壌中の微生物の呼吸による CO<sub>2</sub> と、植物の根の呼吸による CO<sub>2</sub> が大きな割合を占める。活発な微生物の活動は CO<sub>2</sub> を放出するだけでなく、土壌中の有機物の分解による無機養分の供給という面でも、植物にとって成長のための資源が供給されることになる。

本研究では黒部川河道内樹林の土壌から放出される CO<sub>2</sub> の単位時間あたりの放出量（土壌呼吸量）を明らかにするために、黒部川河道内樹林と丘陵地樹林の土壌で密閉式チャンバー法による計測を行った。土壌呼吸量の研究は、河川から離れた森林生態系において活発に行われきたため、その数値を比較することで、河道内樹林の土壌呼吸量の特徴について考察する。

### 5.2. 材料と方法

調査地として、黒部川河道内の 2 地域 7 地点と、比較対象として富山市丘陵地（富山国際大学キャンパス内）の 3 地点の計 10 地点で行った（表 5.2-1）。調査日は大きく分けて 8 月下旬、9 月中旬、10 月下旬の 3 回行った（表 5.2-1）。CO<sub>2</sub> データロガー（CO2-9904SD、サトテック）をプラスチック容器に設置した密閉式チャンバー（装置を除いた容器内空隙 4.5ℓ（0.0045m<sup>3</sup>）、開口部面積 441.5cm<sup>2</sup>（0.04415m<sup>2</sup>）を使用した（図 5.2-1）。1 地点のデータ採取は、1 分間隔で 30 分以上行った。



図 5.2-1 ロガーを設置した密閉式チャンバー

表 5.2-1 調査地域、調査地点と調査日

地域	地点	調査日	
黒部川 (内山)	川側	8/31	9/17
	中間	8/31	9/17
	道路側	8/31	9/17
	駐車場	8/31	
黒部川 (下立)	川側		9/17
	中間		9/17
	道路側		9/17
大学(東 黒牧)	草地	8/30	
	広葉樹林		10/27 (2回)
	針葉樹林		10/27 (2回)

地上部の植物を取り除いたのち、土壌表面にチャンバーの開口部を押し当てて設置し、チャンバーと土壌表面との隙間を周囲の土壌を盛って埋めた。容器内 CO<sub>2</sub> 濃度を約 30 分にわたり測定した。調査地点と調査日は表 5.2-1 の通りである。体積の比 (ppm) のデータを重量密度 (mg/



m<sup>3</sup>) に変換するために、ガステック社のウェブサイトの換算プログラム<sup>(1)</sup>を使用し、温度は計測時の温度、気圧は1気圧として算出した。

$$\text{mg/m}^3 = \text{ppm} \cdot (M/22.4) \cdot (273/(273+T)) \cdot (P/1013)$$

ここで、M は物質の分子量 (CO<sub>2</sub> は 44)、T は気温 (°C)、P は気圧 (hPa) である。単位を変換したデータから、CO<sub>2</sub> 量 (mg/m<sup>3</sup>) の時間に対する変化率として、測定開始から5分程度経過し変化が安定した時点から、その9分後までのデータ (n=10) に対し、回帰直線の傾き (mg/m<sup>3</sup>・h) を得た。土壌呼吸量 R (mg/m<sup>2</sup>・h) の推定は下記の式により行った。

$$R = b \cdot (V/A)$$

ここで、b は1平方メートルあたり1時間あたりのCO<sub>2</sub>放出量 (mg/m<sup>3</sup>・h)、V は容器内空隙体積 (m<sup>3</sup>)、A は容器開口部面積 (m<sup>2</sup>) である。

### 5.3. 結果

調査地の航空写真および設置風景とともに、各地点のCO<sub>2</sub>濃度の時間的変化を図5.3-1に示す。この測定値から算出した土壌呼吸量を図5.3-2に示す。河道内の土壌呼吸量は102.36~781.98 mg/m<sup>2</sup>・h (0.028~0.217mg/m<sup>2</sup>・s) の範囲であった。丘陵地の草地および広葉樹、落葉樹森林の土壌呼吸量は170.70~357.49 mg/m<sup>2</sup>・h (0.047~0.099mg/m<sup>2</sup>・s) の範囲であった。

土壌呼吸量が温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度の影響をうけているかどうかを検討するために、測定開始時のチャンバー内の温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度のそれぞれに対する散布図を作成した(図5.3-3)。土壌呼吸量と温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度との相関係数 r は、それぞれ0.35、-0.17、-0.29であった。温度の異なる2時期に計測を行った黒部川河道(内山)のデータに対しては、地域ごとに温度と土壌呼吸量の関係を図に示した(図5.3-4)。

### 5.4. 考察

河川敷では10回の調査のうち、5回で1000ppmを超えるCO<sub>2</sub>の増加が見られたことから、河川敷内では土壌呼吸が活発であることが示唆された。チャンバー内のCO<sub>2</sub>濃度の上昇率が徐々に低下するのは、大気中のCO<sub>2</sub>分圧が高まるにつれ土壌からの移行が抑制されるためとされる<sup>(2,3)</sup>。本研究では測定開始初期の増加量から呼吸速度を推定したが、単位面積、単位時間あたりの増加量(土壌呼吸量)は約100~800 mg/m<sup>2</sup>・hであり、高い値は温帯森林の土壌呼吸量の調査結果<sup>(4)</sup>に近いことから、堆積した砂で構成される河道内の土壌においても、有機物が豊富な森林内の土壌に匹敵する活発な呼吸が起こっていると考えられる。

河道内の地点間および地点内で土壌呼吸量にばらつきが見られたことは(図5.4-1)、同じ地域であっても、流水部からの距離や土壌堆積量、攪乱後の経過年数、植生の発達段階が異なることから、土壌中の微生物量や植物根の量に違いによるものと考えられる。土壌呼吸量は地温や土壌含水率と相関するとされるが<sup>(4)</sup>、今調査での全地点の土壌呼吸量を測定開始時のチャンバー内の気温と比べても相関は高いとは言えない(図5.3-2)。一方で、温度の異なる2時期に計測

を行った3地点の土壌呼吸量と気温の関係では、3地点とも温度上昇に伴う土壌呼吸量の上昇が見られた(図5.3-4)。

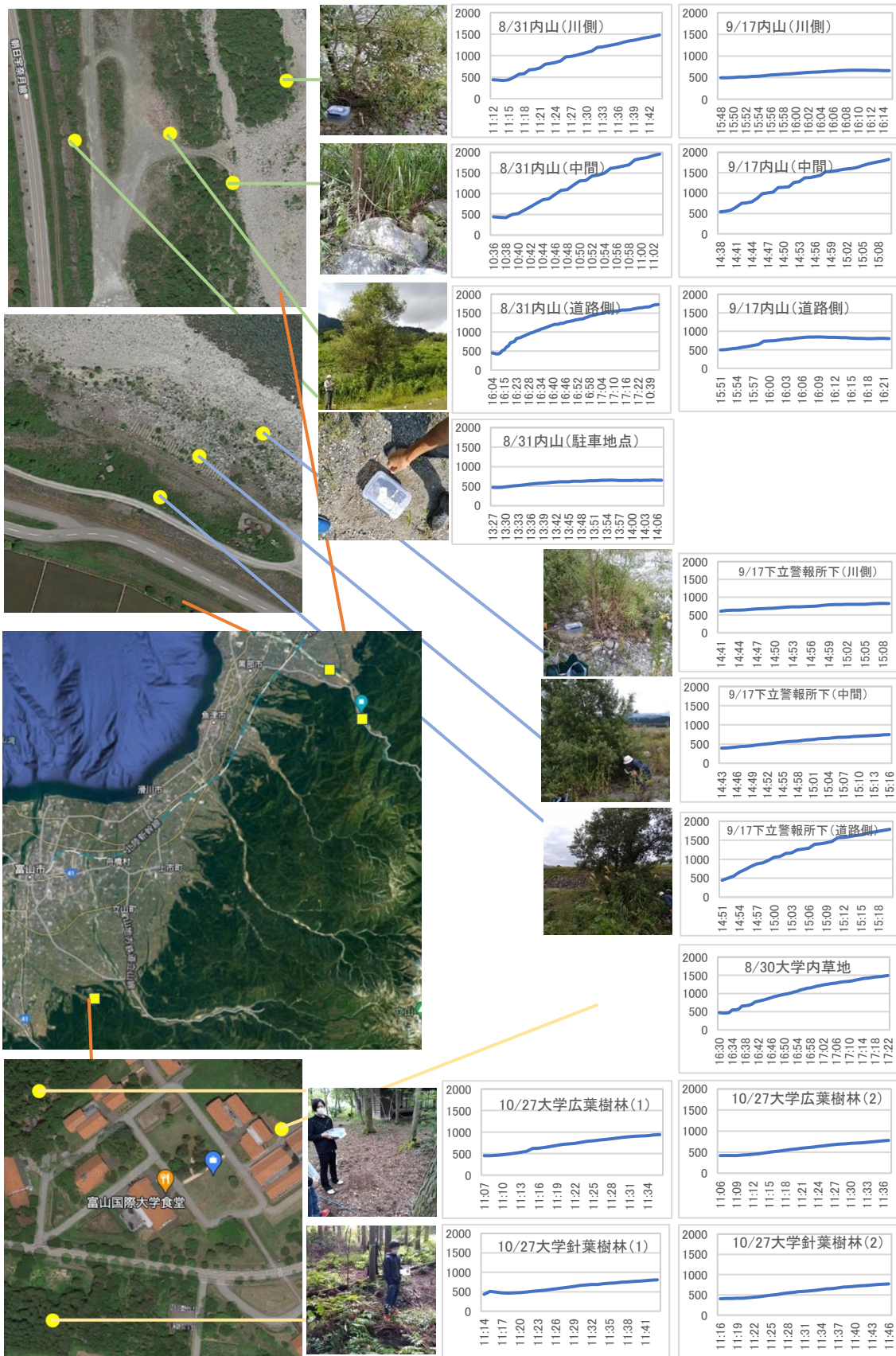




図 5.3-1 調査地の航空写真、設置風景、CO<sub>2</sub>濃度の時間的変化

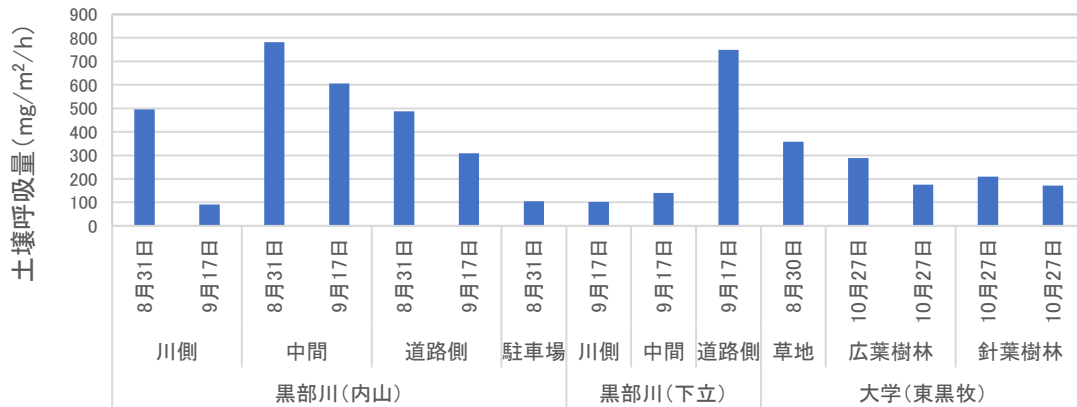


図 5.3-2 各調査地点の各調査日における土壌呼吸量の推定値

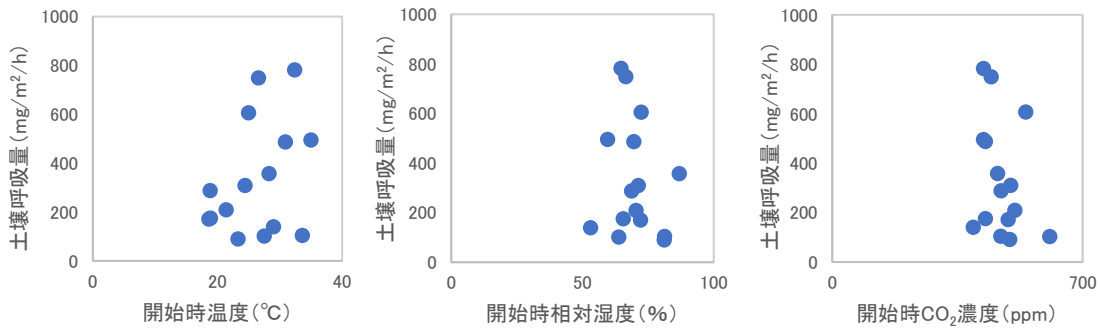


図 5.3-3 土壌呼吸量と測定開始時のチャンバー内温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度との関係

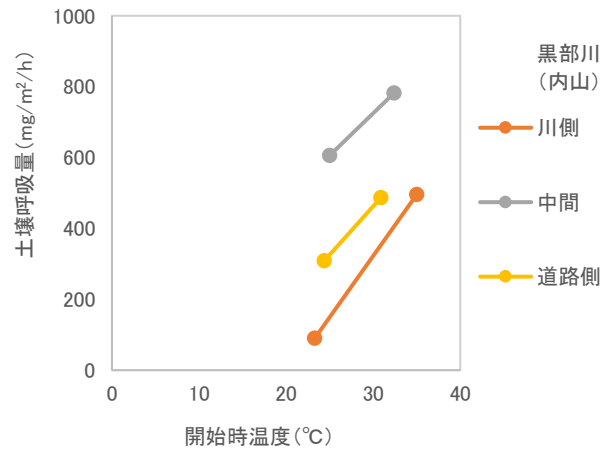


図 5.3-4 2 時期に計測を行った 3 地点の土壌呼吸量と気温の関係

河道内樹林における土壌呼吸量の概要を掴むには、1 日および 1 年間の時間的変化や、地域内の多地点での調査が必要である。特に河道に特徴的な、地下水位の変化にともなう呼吸量変化や、氾濫後の呼吸量の推移も調査することが、土壌呼吸量の全容解明につながり、さらには河道で生育する樹木の成長率が高い要因を明らかにすることが可能になる。

## 謝辞

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) <https://www.gastec.co.jp/technology/knowledge/concentration/>
- (2) Nakayama, F. S. (1990) Soilrespiration. Remote Sensing Reviews, 5(1), 311-321.
- (3) 鶴田治雄(1994) 二酸化炭素. 土壌圏と大気圏 -土壌生態系のガス代謝と地球環境(陽捷行編著), 朝倉書店, 39p.
- (4) 玉井幸治, 小南裕志, 深山貴文, & 後藤義明(2005) 山地小流域における地温, 土壌含水率からの土壌呼吸量時系列データの推定とその空間変動 京都府南部における風化花崗岩地域の場合. 日本森林学会誌, 87(4), 331-339.

## 6. バイオマス発電所視察調査報告

### 6.1. 視察実施内容

#### (1) 視察日時

令和3年12月4日(金)～12月6日(日) <2泊3日>

#### (2) 視察地

七ツ島バイオマスパワー合同会社

中越パルプ工業株式会社

#### (3) 参加者

上坂 博亨 (富山国際大学 教授)

丁子 哲治 (富山国際大学 客員教授)

繁宮 悠介 (富山国際大学 准教授)

山本 健太郎 (大高建設(株))

### 6.2. 七ツ島バイオマスパワー合同会社バイオマス発電所

七ツ島バイオマスパワー合同会社は、株式会社IHIと地元パートナー企業の共同出資により設立された発電所で、IHIが鹿児島市内に保有する土地の一部に建設された県内最大級のバイオマス発電所である。運転開始は2019年1月であり、それ以来、年間約337,000MWhを発電し九州電力に売電している。この年間発電量は一般家庭のおよそ77,000世帯分の消費量に相当する。発電した電力は、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」による固定価格買取制度(FIT)を利用し、全量を九州電力株式会社に売電している。このバイオマス発電により電力の安定供給に貢献するだけでなく、CO<sub>2</sub>排出量の年間削減量は年間に約200,000トンであるとされている。

本発電所が使用する燃料は主に、PKS (Palm Kernel Shell)、木質ペレット、間伐材チップである。特にPKSが主燃料となっており全体の80%を占めている。PKSは全量をマレーシアからの輸入に依存している。木質ペレットは全体の15%を占めており、これも東南アジア(ベトナム)からの輸入であるとの事であった。一方、5%程度ではあるが県内産の間伐材から製造される木質チップも使用している。間伐材は本発電所の敷地内に搬入され、自然乾燥されたのちに敷地内の工場においてチップに加工されている。

表 6.2-1 施設の諸元

発電能力	バイオマス発電システム 49000kW
所在地	鹿児島県鹿児島市七ツ島2丁目1番地
土地面積	約 62,000 m <sup>2</sup>
売買開始時期	2019年1月13日
主要設備	循環流動層ボイラ、蒸気タービン、発電機、脱硫設備、集塵設備、排水設備、燃料ハンドリング設備等
年間発電電力量	約 337,000MWh



図 6.2-1. 発電所の外観（手前が間伐材）



図 6.2-2. 発電所内の視察

表 6.2-2 発電所にて使用されているバイオマス燃料

	PKS（パーム椰子）	ペレット	間伐材
原産地	インドネシア マレーシア	ベトナム	日本 （鹿児島）
割合	80%	15%	5%

#### ヒアリング内容のまとめ

- 元々造船所があった土地にバイオマス発電所を建設した
- 海外から輸送してくるため税関と防疫所がある（敷地内）
- 間伐材は1日あたり500～600本を処理している（毎日刃を変えて砥ぐ必要がある）
- 間伐材は鹿児島県内から調達している
- ウッドショックの影響で中国買付けが増えている
- 木材不足がかなり懸念されたが、2021年は奄美大島からも調達できた
- 奄美大島材（広葉樹）はパルプ材用途が途絶え、新たな需要先として供給されている
- 間伐材による売電単価は32円で、その他の燃料による電力より高い（他は24円等）
- ただし計画外の木材は受け入れない（トレーサビリティによる選別が重要）
- 地元の業者を積極的にメンバーとして加える（間伐材受入れは島津興業と森林組合）
- 主燃料であるPKSは全量をマレーシアから輸入している。
- PKSはパームヤシの殻で、パーム油はポテトチップスの揚げ油として大量に使用されているためPKSが大量に発生する
- PKSにて全量発電も可能だが、地域貢献の側面により地元間伐材を取り入れる。
- PKSはカリウムにて炉を傷める、砂と結合させ搬出（図5,2-3）
- PKSの産地や土壌によって成分が異なるため、燃料ごとに出力調整が必要
- 燃焼灰はセメントと混ぜ路盤材として活用したり、土壌改良剤としてサトウキビ畑へ散布



図 6.2-3 PKSによるNa, Kの溶融物

### 6.3. 中越パルプ工業株式会社バイオマス発電所

中越パルプ工業株式会社川内工場の敷地内に、主に未利用木材を燃料としたバイオマス発電設備が設置されている。平成 27 年 11 月に運転開始され、最大出力は 23,700kW、約 43,000 世帯へ供給できる発電能力を備えている。

表 6.3-1 施設の諸元

設置場所	中越パルプ工業株式会社 川内工場内
設備能力	約 25MW (発電能力)
売電量	約 154GWh/年
売上高	約 48 億円/年
使用燃料	未利用木材等の木質バイオマス燃料
発電開始時期	2015 年 11 月



図 6.3-1 発電所の外観



図 6.3-2 職員からの説明

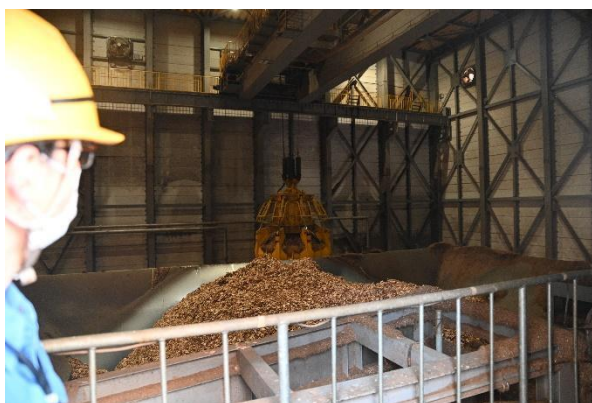


図 6.3-3 木質チップを投入するホッパ



図 6.3-4 燃焼状態を目視する小窓

表 6.3-2 発電所にて使用されているバイオマス燃料

木質チップの樹種	スギ	ヒノキ	シイ
割合	60%	20%	20%



## ヒアリング内容のまとめ

- チップは九州南部を中心にサイロへ投入 50~60 台/日・年間稼働日数=345 日
- 大型トラックで搬入してトラックダンパーにて燃料を投入する
- 燃焼炉は(株)タクマ製のストーカー炉を使用している
- 含水率が比較的高いが、ストーカー炉で乾燥させながら燃焼している。
- 燃料としては県内産の未利用木材を使った木質チップを使用している。
- 一部製材過程で発生する木片などの一般木材も使用している。
- 九州は竹林が多いため処理について検討したが、竹はカリウム成分が高く炉を傷める。
- また繊維が長く燃料が絡みつくため燃料としては不適合であった。
- 燃焼灰の再利用方法としてはコンクリートに混入する方法をとっている

## 謝辞

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」）

## 資料 1、中越パルプ工業(株)川内工場配布資料

