

令和5年度
立山植生モニタリング調査
成果報告書

令和 6 年 3 月
立山植生研究会

目 次

第1章 本調査の目的と経緯	4
第2章 現地調査と方法.....	7
2.1 植生調査 (石田仁).....	7
2.1.1 調査区の概要と方法.....	7
2.1.1.1 [03]ブナ平調査区	9
2.1.2 年輪解析	12
2.1.3 統計処理.....	15
2.2 森林動態調査 (中島春樹).....	18
2.2.1 調査対象と調査経過.....	18
2.2.2 調査方法.....	18
2.2.3 材積の算出	19
2.3 気象観測.....	20
2.3.1 気温	20
2.3.2 最深積雪深	21
2.3.3 地表面温度 (根雪日数)	22
2.4 年輪年代学的成長解析 (加藤輝隆)	24
2.4.1 デンドロメータを用いたスギの肥大成長の記録.....	24
2.4.2 美松調査区のオオシラビソの年輪解析	25
2.5 外来植物モニタリング調査(太田道人・吉田めぐみ・山下寿之).....	26
2.5.1 調査区および方法.....	26
第3章 調査結果.....	28
3.1 植生調査 (石田仁)	28
3.1.1 [04]ブナ平調査区	28
3.1.2 立山森林植生の約 20 年間の動態と年輪解析 (石田・中島).....	33
3.2 森林動態調査 (中島春樹).....	56
3.2.1 ブナ平	56
3.2.2 全調査区における全樹種胸高断面積合計の推移	65
3.2.3 主要樹種の個体群動態	65
3.3 気象観測.....	67
3.3.1 気温	67
3.3.2 最深積雪深	68
3.3.3 地表面温度 (根雪日数)	69
3.4 年輪年代学的成長解析 (加藤輝隆)	72
3.4.1 デンドロメータを用いたスギの肥大成長の記録.....	72
3.4.2 美松調査区のオオシラビソの年輪解析	78
3.5 外来植物モニタリング調査 (太田道人・吉田めぐみ・山下寿之)	81
3.5.1 各調査区における外来植物の出現状況.....	81

参考文献 【全般】	109
付表(電子媒体).....	113

(電子媒体)

植物目録

毎木調査資料

植生調査野帳

年輪解析

外来植物

気象観測資料

※付表(電子媒体)は、報告書作成の基礎となるすべての調査データであり、原則テキスト形式で富山県および調査関係者が共有し、データの散逸を防止する。この電子媒体は非公開とし、調査担当者の許可なく利用できないものとする。

第1章 本調査の目的と経緯



図 1.1 立山植生モニタリング調査地点（植生調査）

わが国では、1960～70 年代の観光開発ブームに乗って、富士スバルライン、乗鞍スカイライン、石鎚スカイラインなど多くの観光道路が山岳地域に開設されたが、開発に伴う自然環境の破壊も社会問題化した（横山 1998、浅香・山村 1974）。立山もまた、北アルプス的一大山岳観光地として自動車道路の建設が 1953 年（昭和 28 年）に美女平から始まり、1955 年（昭和 30 年）に弘法まで開通した。その後、追分（1957 年）、弥陀ヶ原（1958 年）、天狗平（1963 年）、室堂（1964 年）とバスの運行区間が延伸するにつれて利用者数は次第に増加した。1970 年（昭和 45 年）には桂台～美女平間の自動車道路が完成し、標高 663m の桂台と 2,450m の室堂が 1 本の車道で結ばれた。1971 年には立山黒部アルペンルートが全線開通し、利用者数は前年の 10 万人台後半から 65 万 6 千人へと一挙に増加し（日本自然保护協会・富山県自然保护協会 1976），その後もコロナ禍の 4 年間（2020～2023 年）を除き、毎年約 80～150 万人の観光客の入込みが維持されている。立山の自然環境を正確に把握し、また、保全していくためには、道路沿線、その対照地として道路から離れた道路・観光客の入込の影響の少ない地点での植生を、客観的な手法で長期にモニタリングしていくことが必要である。

立山植生モニタリング調査（立山植生研究会 1998 年発足、表 1.1）は、平成 10 年度より、富山県によって実施されてきた立山地域の主なモニタリング調査（参考文献参照）を引き継ぎ、立山地域の植生、樹木、気象、立地環境等の自然生態系の構成要素について定量的に長期観測することを目的として始められた。アルペンルート沿線の主要な植生タイプにおいて、人為的な影響を強く受けている地点と、ほぼ同標高帯で道路から離れた人為的影響の少ない地点に対照区をとり調査を行っている。本調査は第 I 期（立山植生研究会 1998 年開始）、II 期（2002 年開始）、III 期（2008 年開始）、IV 期（2014 年開始）、V 期（同 2020 年開始）を経て現在に至っている。

・第 I 期（1998 年 4 月～2002 年 3 月 代表 小島 覚）

平成 10 年度から 3 年間にわたる現地調査を通じて 10 箇所において調査区が設定された（図 1.1）。調査結果は、平成 14 年 3 月に総括報告書（立山植生研究会、2002）として刊行されている。

・第 II 期（2002 年 4 月～2008 年 3 月 代表 小島 覚）

平成 14 年度から 6 箇年、第 I 期計画において設定された 10 箇所の調査区を順次再訪し、第 I 期と同様の手法で、第 I 期からの変化検出を行った（立山植生研究会、2008）。

表 1.1 立山植生モニタリング調査第 I ・ II 期調査担当者

調査項目	責任者	所属
植生調査	小島 覚（代表者）	富山大学、東京女子大学
林分調査	石田 仁	林業技術センター富山県林業試験場、岐阜大学
土壤調査	折谷 隆	富山県立大学
年輪年代学的解析	加藤 輝隆	富山医科薬科大学、富山大学

・第 III 期（2008 年 4 月～2014 年 3 月 代表 石田 仁）

平成 20～25 年度の 6 年間、基本的に I ・ II 期の手法を踏襲、一部追加修正し調査を実施した。平成 22 年度より、土壤調査を終了し、新たに、1. 「外来種の最新の生育状況を長期的にモニタリングし除去活動にすみやかに反映させていくこと」、2. 「人為的攪乱を強く受けて衰退したブナ林の復元」、を目的とし次の 2 課題が本モニタリング調査に加えられた。森林調査手法において、活力度が林木の成長や枯死を予測する指標として有効であることが示された(Nakashima *et al.* 2011)。2012 年には立山弥陀ヶ原・大日平がラムサール条約登録簿に掲載され、弥陀ヶ原湿原の池塘の分布と航空写真と現地測量に基づいた動態に関する調査が行われた。

1. 立山アルペンルート外来植物モニタリング調査（略称：外来植物調査）

1970 年に立山黒部アルペンルートが全線開通して以来、車両や観光客の増加とともに沿線に侵入した外来植物種が多数記載されてきた（大田ほか 1983, 立山ルート緑化研究委員会専門委員会 2000,2008,2009, 吉田ほか 2002, 太田 2006, 山下ほか 2008,2009, 立山ルート緑化研究委員会事務局 2010,2011,2012, 2014,2015,2016,2020,2021,2022,2023, 岩坪ほか 2012）。外来植物の侵入・繁茂・除去活動等の経緯については、松久（2005）と長井（2006）が詳しくまとめており、太田（2006）では 62 種の外来植物が除去対象とされた。

富山県生活環境部自然保護課は、平成 20 年度～21 年度にかけて「立山外来植物除去対策検討会」を設置し、沿線の外来植物の侵入状況を 46 の定点調査に基づいて除去対象種の再検討と侵入防止策・除去体制の構築等を行った（立山外来植物除去対策検討会 2010）。この中で、外来種の生育状況を除去活動にすみやかに反映させていくため、モニタリングを継続させていくことが望まれており、本調査はこれを受け継いで平成 22 年度から実施しているものである（立山植生研究会 2011,2012,2013,2015,2016,2017,2018,2019,2021,2022,2023, 石田編 2014,2020）。

2. ブナ林保全事業追跡調査（略称：ブナ林保全事業）

平成 22 年度より立山植生モニタリング調査の項目に加えられた。平成 8～12 年度、富山県林業試験場（当時）が自然保護課の委託を受け、立山ルート沿線の衰退もしくは枯損が顕著なブナ林において、ブナの人工更新作業が実施された。実施個所は美女平からブナ平に至るルート沿線の林冠ギャップ下 5 地点で（100～300 m²），ササが密生し森林更新が遅滞していた。基本方針は、最小限の施業で植栽後の保育作業は基本的に実施せずにギャップ更新を行うというものであった。刈り払いによって

確保できる光量とブナの伸長成長速度から、現場の状況に合せてササの刈り払いの方法を決定した。植栽苗は、平成5年に現地で採取した種子から育苗した苗が使用された（石田 2002）。事業後、植栽された苗は一部雪害や落枝によって枯死したが、その後高い生存率(87%)と順調な成長を示し、苗高は最大6m、平均3mを超えるまでに成長した（大宮 2014）。

・第IV期（2014年4月～2020年3月 代表 石田 仁）

基本的にIII期調査を踏襲し2014年4月に第IV期が発足した。この調査報告書は、第IV期五年目（表1.3）の調査結果をとりまとめたものである。

表 1.2 立山植生モニタリング調査第III・IV期調査担当者

調査項目	責任者	所属
植生調査	石田 仁（代表者）	岐阜大学
森林動態調査	中島春樹	富山県農林水産総合技術センター森林研究所
年輪年代学的解析	加藤輝隆	横浜薬科大学
外来植物調査	太田道人	富山市科学博物館
	山下寿之	富山県中央植物園
ブナ林保全事業	大宮 徹	富山県農林水産総合技術センター森林研究所

・第V期（2020年4月～現在 代表 石田 仁）

基本的にIV期調査を踏襲し2020年4月に第V期が発足した。ただし、第III・IV期に実施されていたブナ林保全事業は、植栽されたブナの成林の見込みがたったためIV期調査をもって終了した。また、森林動態、植生調査に関しては、第I期（1998年4月）からの調査資料が集積し調査継続のための基礎資料が整ったこと、新たに検討すべき課題ができ解析および集中的な調査の必要性が生じてきていることから定期調査の頻度を減らした。なお、この調査報告書は、第V期三年目（表1.3）の調査結果をとりまとめたものである。本年は新型コロナウィルスの感染拡大対策が緩和され過去2年間制限されていた野外調査の制限もほぼなくなった。欠測のあった年輪年代学のデンドロメーターの計測などが再開され、調査項目は計画通りに実施できた。植生調査では、松尾崎、鏡石に関して特に大きな変化はなかった。森林調査では、美松調査区を除くすべての調査区で胸高断面積の成長が続いている。最大積雪深は平年並み、根雪期間は平年より長い傾向が見とめられた。畠地雑草の合計被度は公用車や社用車、作業車等が頻繁に入り出する場所で高い値を示すことが明らかとなった。

表 1.2 立山植生モニタリング調査第V期調査担当者

調査項目	責任者	所属
植生調査	石田 仁（代表者）	岐阜大学
森林動態調査	中島春樹	富山県農林水産総合技術センター森林研究所
年輪年代学的解析	加藤輝隆	元横浜薬科大学
外来植物調査	太田道人	富山市科学博物館
	吉田めぐみ	富山県中央植物園

第2章 現地調査と方法

2.1 植生調査 (石田仁)

2.1.1 調査区の概要と方法

令和5年度の植生調査は、ブナ平の調査区で実施した(表 2.1.1.1)。I~IV期に続き第5回目の調査となる。

表 2.1.1.1 2023年植生調査の調査地

コード	調査区	標高(m)	優占樹種	調査面積	過去の調査年
1. [03]	ブナ平	1190	ブナ・スギ	100m×100m	1999-2005-2011-2018-2023

表 2.1.1.2 植物群落の階層区分

階層	内 容
B2層（低木層）	高さ2m以下の木本植物より構成される層。ただしイワナシ、コケモモ、ガンコウラン、チングルマなどの矮生低木は除く。 高木の幼稚樹もこの層に含まれる。
S層（ササ植物層）	すべてのササ植物により構成される層。
C層（草本層）	高さに関わらず、すべての草本植物により構成される層。 <u>B2層において除外された矮生低木はこの層に含まれる。</u>

表 2.1.1.3 被度階級

被度階級 Domin-Krajina	Braun-Blanquet	内容
10	5	100%の面積を占める
9	5	75%以上100%未満の面積を占める
8	4	50%以上75%未満の面積を占める
7	3	33%以上50%未満の面積を占める
6	3,2	20%以上33%未満の面積を占める
5	2	10%以上20%未満の面積を占める
4	2	5%以上10%未満の面積を占める
3	1	3%以上5%未満の面積を占める
2	1	2%の面積を占める
1	1	1%の面積を占める
+	+	1%未満の面積を占める

$$\text{頻度} = n_{(a)} / N$$

$n_{(a)}$: 種 a が出現しているサブコドラート数

(この場合、被度の大きさには無関係)

N : 全サブコドラート数 (通常は 25)

$$\text{平均被度} = \Sigma_{(a)} / N$$

$\Sigma_{(a)}$: 方形区に出現した種 a の被度階級合計

N : 全サブコドラート数 (通常は 25)

$$\text{総合優占度} = (\sqrt{(n_{(a)}/N)} \times (\Sigma_{(a)}/N) / \sqrt{10}) \times 100 \quad (\text{式 1})$$

なお、植生組成表においては、これらの数値を計算する場合、被度階級の+は 0.5 として数値化する。

表 2.1.1.4 頻度階級表

頻度階級	内 容
V	80%以上のサブコドラートに出現
IV	60%以上 80%未満に出現
III	40%以上 60%未満に出現
II	20%以上 40%未満に出現
I	頻度 20%未満

調査地のサブプロットにおいて、階層別(表 2.2.1.2)に出現植物(維管束植物)の被度を記録する。出現種の被度を Domin-Krajina の被度階級に変換し、種とサブプロットの集計表(植生組成表)を作成した後、出現種の総合優占度と頻度を算出する。本調査では、基本的にIV期の方法を踏襲する。

2.1.1.1 [03] ブナ平調査区

当調査区(100m×100m)は、美女平駅から直線で1.9km、緯度経度36.580857,137.47948、標高1190m地点に位置する(図2.1.2.1)。調査枠の南辺がアルペンルートに接している。地形は平坦であり、明瞭な沢地形は認められないが、緩やかな凹凸地形が観察され、窪地には滯水地が認められる。スギおよびブナが優占する森林である。調査区内には枯死もしくは樹勢の衰えた大木が比較的多く認められている。過去、1999, 2005, 2011, 2019年に植生調査が実施されている。今年度の調査は2023年6月1日、7月3~6日に実施した。

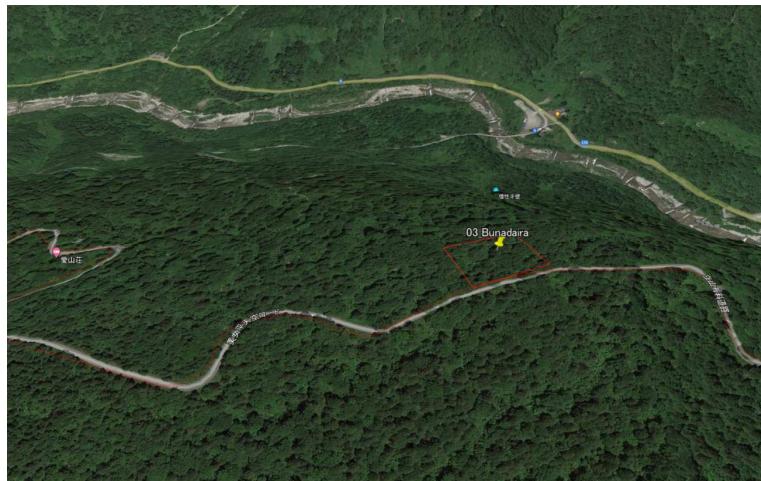


写真2.1.1.1 調査地鳥瞰図(google earth)



写真2.1.1.2 ブナ枯死木と林冠ギャップ



写真2.1.1.3 林内写真

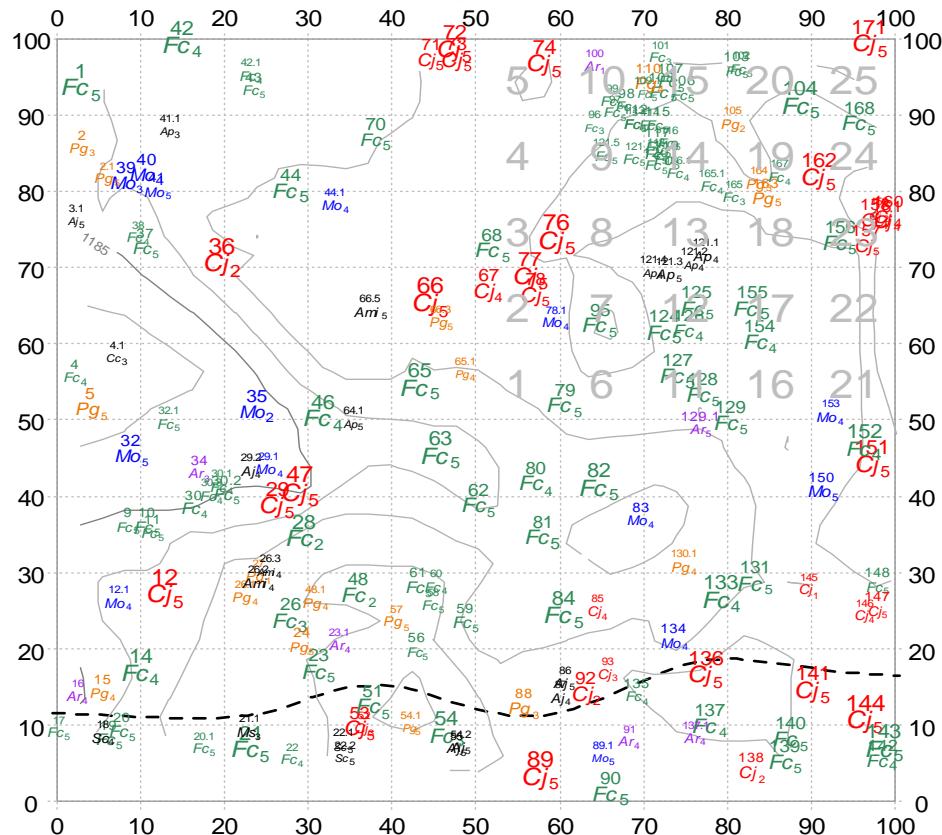


図 2.1.1.1.
ブナ平調査区
サブプロット位置図

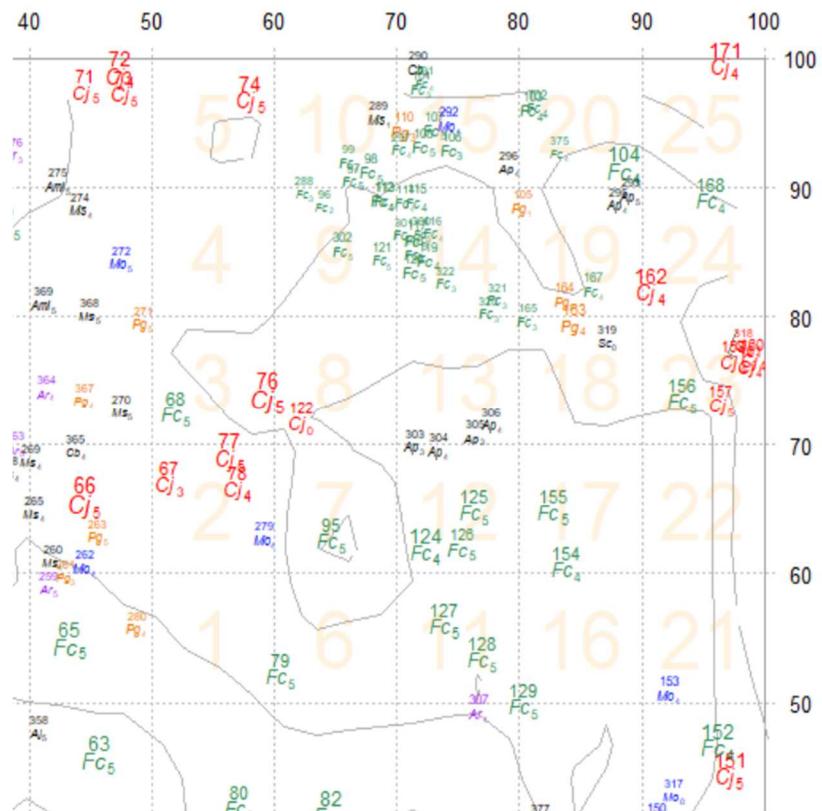




写真 2.1.2.4

チゴユリ, ミヤマシシガシラとシシガシラ
ヒロハユキザサ, ユキザサ, ツクバネソウ

2.1.2 年輪解析

2018年9月6日に富山県を直撃した台風によって美松調査地内、およびその周辺でオオシラビソ上層木の風倒被害が発生した。同年、毎木調査による被害状況調査および風倒木の年輪解析用の円板採取を行った。本調査では、石田、中島、大宮に加え山地管理学研究室の後藤、福永、小野寺、前田が参加した。

調査木の採取

- (1) 美松調査区において台風15号によって倒伏したオオシラビソを調査木とした(図2.1.2.2、表2.1.2.1)。
- (2) チェーンソーを用いて倒伏したオオシラビソの幹を玉切りし、円板状とした。
- (3) 電動カンナや電動ヤスリを使用して円板の表面にある年輪を明瞭にさせた。

美松 2014

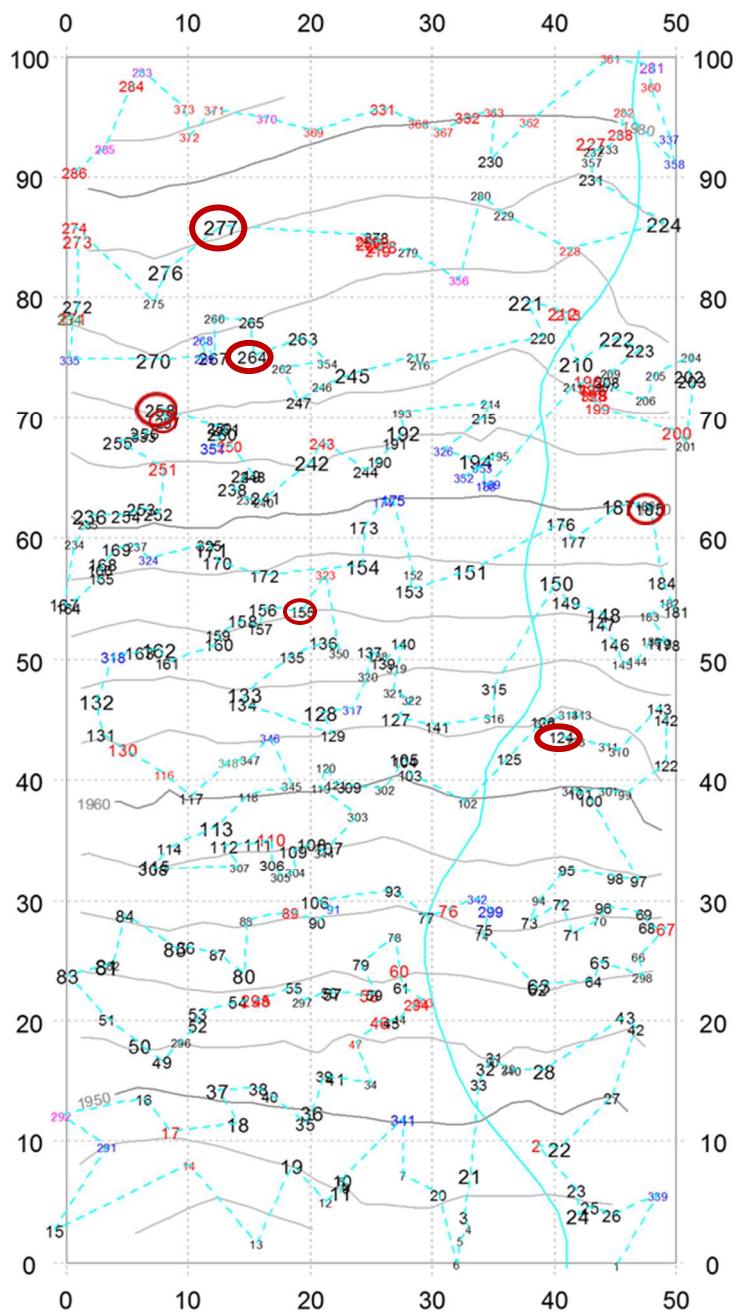


図2.1.2.2
採取した円板の位置(赤い丸は円板
を採取した樹木)

表 2.1.2.1 調査木から採取した円板の一覧表

ラベル番号	円板の樹高	距離	活力度
124	240cm	56.3m	4
155	120cm	45.9m	5
185	①50cm ②130cm ③420cm	37.3m	3
257	120cm	30.1m	4
258	①120cm ②740cm	29.1m	5
277	200cm	14.0m	2

年輪ポリゴンデータの入力

- (1) QGIS の初期設定の座標系である WGS84 では、円板の距離、面積などの計測値が正確に行われないため、カスタム CRS(Coordonate Reference System)での設定によって、年輪解析に適した座標系を設定した。設定した座標系は、パラメーターを「proj=merc」とし、名称を「年輪解析」として作成した。
- (2) スキャナ(CanoScan,4400F,1200dpi)で取り込んだ円板の画像をラスタレイヤとして追加した。
- (3) ジオメトリタイプを「ライン」として新規シェープファイルレイヤを作成し、髓から外側に向かって 8 方向のラインを引いた。
- (4) ジオメトリタイプを「ポイント」として新規シェープファイルレイヤを作成し、(2)で引いたライン上の年輪の 1 年毎のポイントデータを入力した(写真を入れること)。この際の、属性テーブルのフィールドには「id」と「ring」を設定し、「id」には(2)で引いたラインの番号、「ring」には年輪数をそれぞれ入力した。
- (5) ジオメトリタイプを「ライン」として新規シェープファイルレイヤを作成し、ラインデータを年輪に沿って入力した。属性テーブルには「ring」を設定し、年輪数を入力した。

R を用いた年輪解析

年輪解析には QGIS(Ver 3.2.3)を使用した(写真 2.1.2.4)。

- (1) QGIS 上で入力したポイントデータとラインデータを元に、年輪数を表すラインデータのうち、未入力の部分を R によって補完した。補完したラインデータはシェイプファイルとして保存した(図 2.1.2.3)。
- (2) 1 年毎の断面積成長量を求めた。1 年毎の断面積成長量はポリゴンデータを多角形の面積公式によって当該年輪までの円板断面積を求め、前年までの円板断面積の差をとることによって求めた。

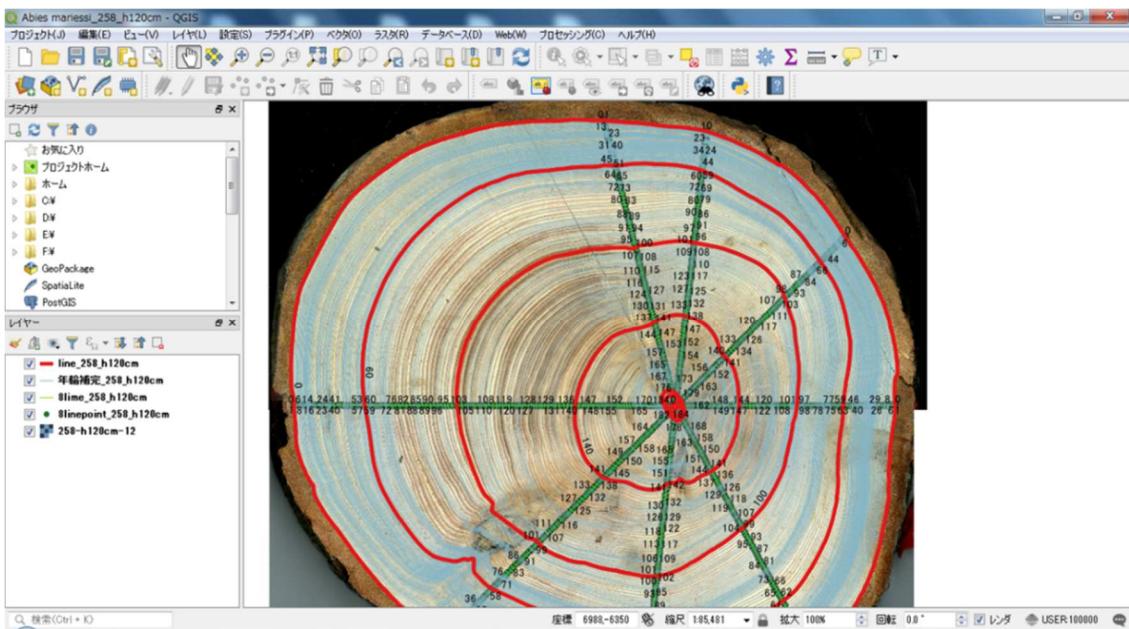


写真 2.1.2.4.QGIS を使用した年輪補完の作業画面

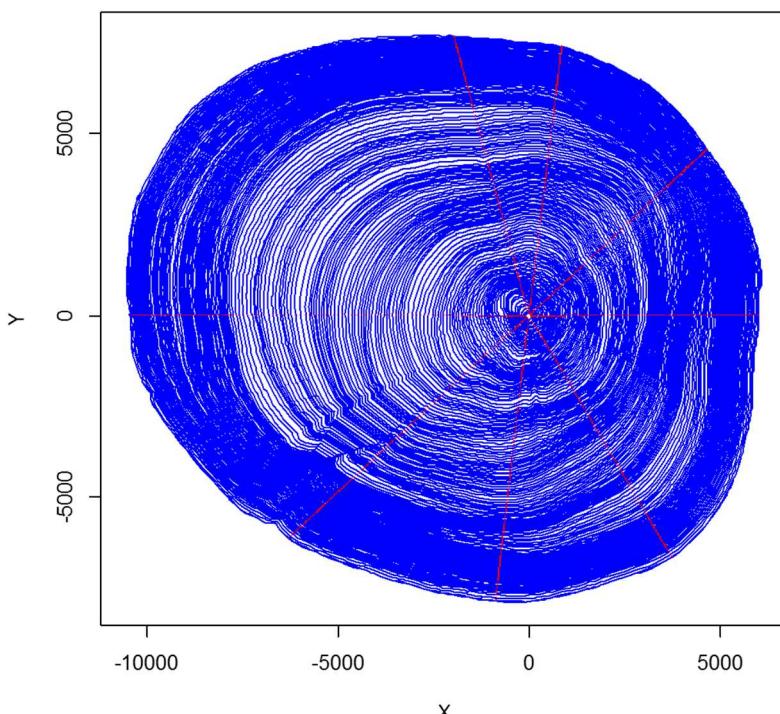


図 2.1.2.3 R によって作成された図

年輪画像の結合

スキャナ(CanoScan,4400F,1200dpi)で取り込めない大きさの円板については GNU Image Manipulation Program を使用して画像の結合を行った。

(1) 起動方法

プログラムが入った“Linux Ubuntu”をUSBポートに刺した状態でPCを起動する。

(2) 画像の取り込み

GIMP を起動し、「ファイル(F)」から「開く/インポート(O)」を選択する。結合する画像を 1 枚レイヤーとして選択し、開く

(3) レイヤーサイズの変更

画像を右クリックし、「レイヤー」から「レイヤーサイズの変更」を選択する。レイヤーサイズの項目の内、「高さ」の値のみを 2 倍にし、サイズ変更を行う。

(4) キャンパスサイズの変更

「画像」から「キャンパスサイズをレイヤーに合わせる」を選択する。

(5) 2 枚目の画像について

1 枚目の画像と同様に、2 枚目の画像をレイヤーとして開く。2 枚目の画像を右クリックし、「変形」から「180° 回転」を選択する。

(6) 画像の角度を確認

ツールから「角度変更」を選択する。縫を通るように右側をクリックし、左側までドラッグする。

画面左下に表示された角度の値を記録する。また、縫の中心にポインターを持っていき、画面左下に表示される x 座標、y 座標の値を記録する。

(7) 画像を水平にする

“(6)”で記録した角度の値と回転の中心となる縫の位置座標を記録する。

画像をわずかに回転させ、円板どうしを水平にさせる。

(8) 画像を結合させる

ツールから「移動」を選択し、1 枚の円板となるように 2 枚の円板を重ね合わせる。

(9) 保存方法

「ファイル」から「エクスポート」を選択し、拡張子は「.xcf」として保存する。

2.1.3 統計処理

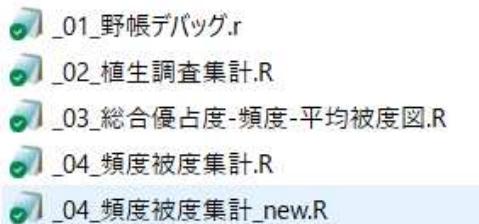


図 2.1.1.1

植生データ集計に関するスクリプト

本報告の作表・作図に使用しているスクリプト

植生調査の取りまとめに統計解析ソフト R4.3.1 を用いた。本バージョンでは、スクリプト(図 2.1.1.1)のエンコーディングが以前のバージョンで用いられていた Shift-Jis から UTF-8 に変更された。このため、これまで用いてきたスクリプトを開くと文字化けする(図 2.1.1.2)。


```
##野帳データファイル読み込み
```

```
(d<-read.csv(yachou,as.is=TRUE,fileEncoding="SHIFT-JIS"))
```

のようにエンコーディングを指定する必要ある。旧バージョンの R を使い続けることの不具合は、新たな機能が利用できること、パッケージが対応しなくなつて来ていること、いずれバージョン・サポートが終了することがあげられる。R に限らず GIS ソフトでも、データおよびスクリプトのファイルにマルチバイト文字を含むと正しく動作しないケースが少なくない。R パッケージのヘルプはマルチバイト文字(日本語含む)を使用できない。スクリプトのコメントや種名は日本語を用いた方が理解しやすいが、今後のモニタリングの長期継続に配慮し、種名など一部、英数文字に変更した。今回のデータの取りまとめに際し、R(ver4.3)パッケージ(植生解析 TateyamaVegetation, 森林動態 ForestVegetation, 年輪年代学 nenrin)を作成した。

2.2 森林動態調査（中島春樹）

2.2.1 調査対象と調査経過

森林動態調査は、本モニタリングで設定した10調査区のうち、弥陀ヶ原と浄土山を除く8調査区で実施している（表2.2.1.1）。調査対象は胸高直径10cm以上の立木であり、胸高直径の計測および活力度の目視評価を行っている。ただし、森林限界付近に位置する鏡石では樹高130cm以上のオオシラビソを調査対象とするとともに樹高の計測も行っている。

1998～2000年に1回目の調査を行い、2019年までに6回目の調査を完了した。2020年から7回目の調査を開始し、2023年はブナ平で実施した。

表2.2.1.1 調査区の概要

調査区	標高 (m)	優占樹種	方形区 形状(m)	面積 (ha)	調査対象	調査年月						
						1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目
美女平	1040	スギ(人工林)	100×100	1	D≥10cm	1998.9	2003.10	2006.9	2009.9	2012.9	2016.9	2021.9
ブナ坂	1090	スギ・ブナ	100×100	1	D≥10cm	1998.9	2002.6	2005.6	2008.6	2011.6	2015.6	2020.6
ブナ平	1190	ブナ・スギ	100×100	1	D≥10cm	1999.10	2003.10	2006.9	2009.8	2012.9	2017.9	2023.9
上ノ小平	1430	スギ・キタゴヨウ	100×100	1	D≥10cm	2000.9	2004.5-6	2007.6	2010.6	2013.6	2018.6	
美松	1960	オオシラビソ	100×50	0.5	D≥10cm	1999.10	2003.10	2007.6-7	2010.6-7	2014.6-7	2019.7	
松尾峠	1970	オオシラビソ	100×50	0.5	D≥10cm	1998.10	2002.5	2005.6	2008.6	2011.6	2016.5	2022.7
鏡石	2250	オオシラビソ	25×25	0.0625	H≥1.3m	1999.9	2004.6	2007.8	2009.9	2012.7	2017.9	2022.8
有峰	1350	ブナ	100×100	1	D≥10cm	2000.9	2004.6	2007.9	2010.9	2014.10	2019.9	

D: 胸高直径、H: 樹高

2.2.2 調査方法

通し番号を打ったアルミラベルを1回目の調査期間に全調査木に付けた。2回目以降の調査で胸高直径10cm（鏡石は樹高130cm）を超えて新たに調査対象となった加入木についても、アルミラベルを追加して付けた。ラベルは胸高部位に付けることを基本としたが、人工林の美女平調査区では地際に付けるとともに胸高部位をペンキでマーキングした。立木の位置座標を1回目の調査期間に測量した。この期間に測量できなかった一部の調査木および加入木はその後に追加して測量した。ラベルおよび位置座標によって個々の立木を識別した。

胸高直径を直径巻尺によってmm単位で計測した。ただし、主としてスギにみられる、基部は大径であるものの地上2m前後から分岐幹が株立ちする立木については、分岐幹ごとにその基部付近で計測した。計測はアルミラベルの下端もしくは計測位置の幹に付けたペンキを基準として毎回同じ部位で行った。鏡石では、測竿によってcm単位で樹高も計測した。また、人工林の美女平のスギについては、胸高直径と樹高の関係式を作成して材積算出に利用するため、2012年に先折れのないスギ214本についてトゥルーパルスによって0.1m単位で樹高を計測した。

活力度を調査木ごとに目視で評価した。生存木については直径に見合った葉量であるかを基準として1～5の5段階、枯死木については立枯木の0と倒伏木の-1の2段階で評価した（表2.2.2.1；Nakajima et al. 2011）。

表 2.2.2.1 活力度

活力度	状態
5	直径に対し最大程度の葉量がある健全木
4	枝枯れ、隣接個体との競争等により葉量がやや少ない健全木
3	幹や大枝の折損、枝枯れ、被陰等により葉量が少ない立木
2	幹や大枝の折損、枝枯れ、被陰等により葉量がかなり少ない衰弱木
1	直径に対し葉量が著しく少なく、枯死寸前の衰弱木
0	枯死木のうち立枯木 (胸高部位以上での折損を含む)
-1	枯死木のうち倒伏木 (胸高部位未満での折損を含む)

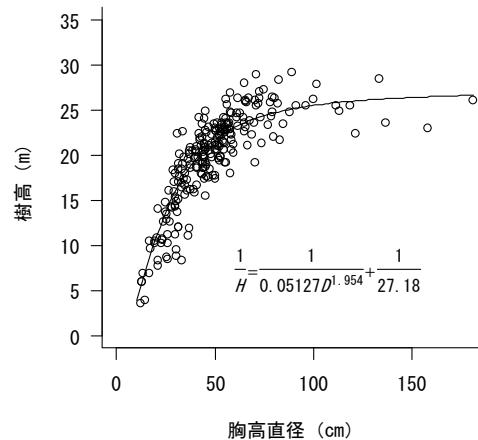


図 2.2.3.1 美女平調査区のスギの胸高直径と樹高の関係

2.2.3 材積の算出

富山県の広葉樹の毎木調査資料（石田 2004）を用いて、横井（1998）の方法に準じ、次の胸高直径 1 変数材積式を調整した。

$$V = 0.00007901 D^{2.674} 0.9905^D \quad (1)$$

ここで、 V ：単木材積(m^3)、 D ：胸高直径 (cm) である。

針葉樹についても(1)式を用いてよいか検討するため、2012年の美女平調査区のスギ材積を、樹高調査結果から得た胸高直径と樹高の関係式 ((2)式；図 2.2.3.1；拡張相対成長関係式) と、胸高直径と樹高による 2 変数材積式 ((3)式；林野庁計画課 1970；富山・岐阜・愛知地方スギ人工林) から算出し、1 変数材積式による算出結果と比較した。

$$1/H = 1/(0.05127 D^{1.954}) + 1/27.18 \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{ll} D \leq 10 & \log V = 1.967735 \log D + 0.874649 \log H - 4.229266 \\ 10 < D \leq 30 & \log V = 1.864665 \log D + 1.023757 \log H - 4.265222 \\ 30 < D \leq 40 & \log V = 1.687367 \log D + 1.079349 \log H - 4.068185 \\ 40 < D & \log V = 1.728859 \log D + 0.927572 \log H - 3.923549 \end{array} \right\} (3)$$

ここで、 H ：樹高(m)、 D ：胸高直径 (cm)、 V ：材積 (m^3) である。

その結果、2 変数材積式では $693.2 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、1 変数材積式では $666.0 \text{ m}^3/\text{ha}$ と算出され、大きな誤差はなかった。このことから、針葉樹についても(1)式を用いて材積を算出することとした。

2.3 気象観測

植生との関係が深い温度、積雪環境について、標高による違いや長期的な推移傾向を明らかにするため、気温、最深積雪深、地表面温度の観測を行っている（表 2.3.1.1）。地表面温度については、根雪日数を推定すること（石田 2006）を目的としている。

表 2.3.1.1 観測の概要

No	調査区	標高	気温	最深積雪深	地表面温度 (根雪日数)
1	美女平	1040		◎2004～	
2	ブナ坂	1090	○1998～	○2004～	◎1999～
3	ブナ平	1190		◎2004～	○2004～
4	上ノ小平	1430		◎2004～	◎2004～
5	弥陀ヶ原	1890			
6	美松	1960	▲2006～2016	○2004～	
7	松尾峠	1970	○1998～	◎2004～	◎1999～
8	鏡石	2250	▲1999～2014		◎2000～
9	浄土山	2830	▲2000～2010		◎2001～
10	有峰	1350			○2004～

◎: 繙続中、欠測なし ○: 繙続中、欠測あり ▲: 休止

最深積雪深、地表面温度の観測開始年の表記には寒候期の越年後の年を示している。例えば「2004～」となるものは、「2003～2004年寒候期から開始」を表す

表 2.3.1.2 気温の観測経過

調査区	事項	ロガー	日時	測定高	測定位置
ブナ坂	観測開始	ログ電子	1998/09/04 16:00	3~4m	No.33ウワミズザクラ
	ロガー変更	おんどとり	2006/10/31 17:00	3m	"
	位置移動	"	2009/05/21 16:00	7m	No.125スギ
松尾峠	観測開始	ログ電子	1998/09/04 16:00	3~4m	No.161オオシラビソ
	ロガー変更	おんどとり	2006/10/31 17:00	4m	"
	位置移動	"	2009/06/25 13:00	7m	No.156オオシラビソ
鏡石	観測開始	ログ電子	1999/09/04 16:00	3~4m	No.25オオシラビソ
	ロガー変更	おんどとり	2006/10/31 17:00	4m	No.25オオシラビソ
	観測終了		2014/07/23 12:00		
浄土山	観測開始	ログ電子	2000/09/07 16:00	5m	富大立山施設やぐら
	ロガー変更	おんどとり	2007/10/03 13:00	5m	"
	観測終了		2010/06/28 11:00		

2.3.1 気温

ブナ坂、松尾峠、鏡石、浄土山の 4 調査区で 1998～2000 年に気温の観測を開始した（表 2.3.1.2、図 2.3.1.1）。観測は 1 時間間隔で行った。データロガーは、当初ログ電子社製温度測定用 B-5（センサー外付）を用いたが、5～6 年経過後から不具合が生じ欠測が相次いだため、2006～2007 年にティアンドディ社製おんどとり TR51S（センサー内蔵）に切り替えた。ブナ坂、松尾峠、鏡石では立木の地上高 3～4m に、浄土山では富山大学の立山施設のやぐらの地上高約 5m に、ログ電子の外付けセンサーを設置するか、簡易シェルターで被覆したおんどとりを設置した。

冬期間の観測データには、いずれの調査区でも気温の日変動が不明瞭もしくは消失している期間があり（図 2.3.1.1），積雪に埋まることがあったためだと考えられた（第 III 期報告書 p21-22）。そこで、観測データを、調査区の間もしくは周辺地域で観測した他事業のデータと比較することにより、日変動が消失した期間を特定して埋雪期間を推定した（図 2.3.1.1）。ブナ坂、松尾峠、浄土山では積雪に埋まらない年もあったが、鏡石ではいずれの年も積雪に埋まっていた。鏡石はオオシラビソの疎林であるが、森林限界に近く最大樹高は約 5m に過ぎないため、立木にセンサーを設置する方法では冬期に積雪に埋まることを避けられず、気温の通年観測は不可能と考えられた。このため、2014 年に観測を中止した。また、浄土山では、環境省のモニタリング 1000 の一環として富山大学のグループが気温を観測しているため、2010 年から観測を休止した。

ブナ坂と松尾峠では冬期にセンサー部が積雪に埋まる場合があったこと、これに加えて松尾峠では直射日光の影響を受け夏期に異常な高温がパルス状に観測されることがあったため（図 2.3.1.1、第 III 期報告書 p21-23），2009 年に設置木を変更するとともに設置高を地上高 7m と高くした。この際に、落葉期がなく日射の影響を受けにくい常緑針葉樹の樹冠内にロガー（おんどとり）を設置することとし、ブナ坂ではスギ、松尾峠ではオオシラビソの樹幹の北側に設置した。また、枝にかけたロープにロガーを固定し、つるべ式に地表から 7m まで移動できるようにして、木に登らずにロガーの維持管

理を行えるようにした。ブナ坂、松尾峠では、センサー設置位置を地上高 7m へ高くした 2009 年以降、積雪に埋まることや夏期に異常な高温が観測されることはなくなった（図 2.3.1.1）。

以上より、推定された埋雪期間のデータおよび直射日光の影響が大きいと考えられる松尾峠の 2009 年のロガー移動前までのデータについては集計から除いた。その結果、通年の観測データはブナ坂で 18 年、松尾峠で 13 年、浄土山で 5 年分得られたが、鏡石では得られなかった。通年観測できた年にについて年平均気温を算出し、さらに調査区ごとに平均して年平均気温の平年値とした。欠測がない月について月平均気温を算出し、得られた各年の月平均気温を平均して平年値とした。この値から温量指数（月平均気温が 5°C 以上の月について、月平均気温から 5°C を引いた値の合計）を求めた。

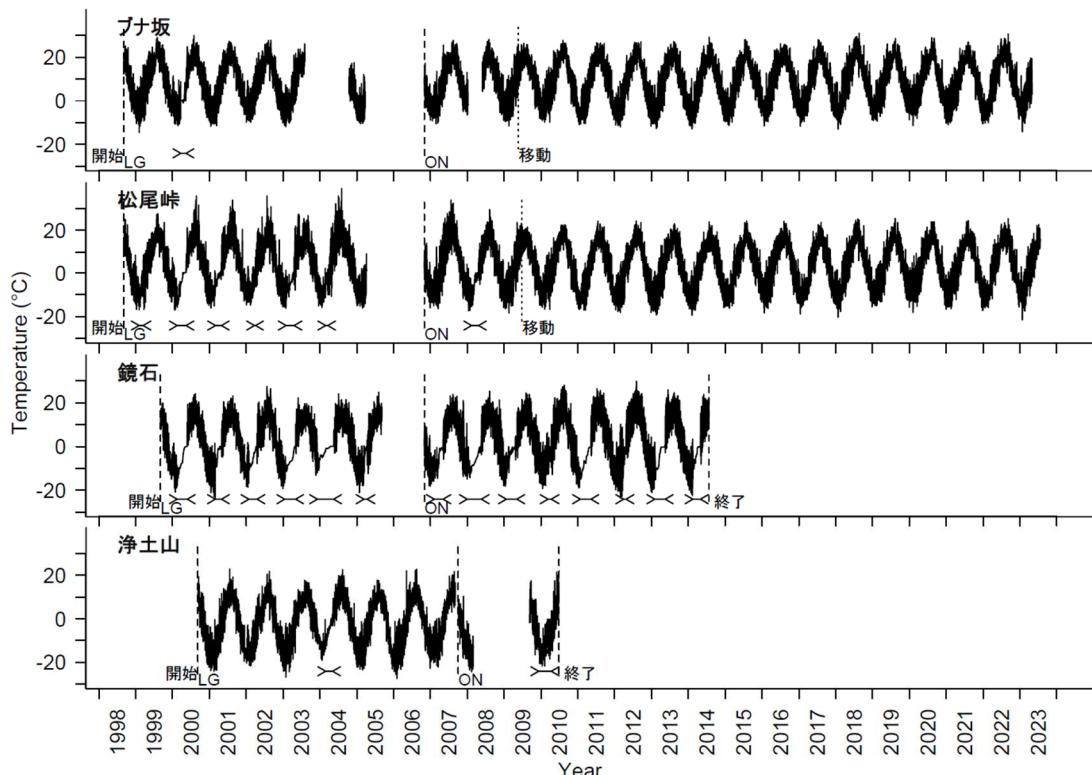


図 2.3.1.1 気温の経時変化（ロガーに記録された 1 時間間隔の全データ）

破線は測定開始、測定終了、ロガー種別変更日時を表し、下端の英字記号はロガー種別を表す（LG:ログ電子、ON:おんどとり）。開始から終了の間のデータがない期間はロガーの不具合等による欠測。

点線は調査区内での測定位置の移動日時を表す。 は推定した埋雪期間。

2.3.2 最深積雪深

美女平, ブナ坂, ブナ平, 上ノ小平, 松尾峠で2004年（2003～2004年寒候期を指す, 以下同様に越年後の年で表記）から, 美松で2006年から, 最深積雪深を高橋（1968）の最深積雪指示計に準じる方法で観測した（表2.3.1.1）。最深積雪時にも埋まらないと推測される立枯木上部の分枝部に滑車を固定し, 径2.5mmのワイヤーを通して地表まで垂らした。径2.5mm長さ25cmのアルミ線をワイヤーに20cm間隔でスリーブを用いて固定し, ワイヤーの両側へ水平にアルミ線が約10cmずつ伸びる状態とした（写真2.3.2.1）。アルミ線が積雪下となると, 沈降圧によりアルミ線が下向きに曲がるので, 寒候期終了後にアルミ線が曲がった最大の高さを測定して最深積雪深とした。また, 曲がったアルミ線を次の寒候期の観測のため水平に戻した。なお, 美女平では立枯木に電動ドリルを用いてアルミ線を20cm間隔で直接設置する方法での観測も行った。ブナ坂では2005年はワイヤーが寒候期に脱落したため欠測となった。美松ではワイヤーの脱落のため, 2017年以降観測を休止した。ワイヤー設置木の倒伏のため, 美松以外の調査区ではワイヤー設置木の変更があった。このうち, 松尾峠については, 当初設置木の観測期間は2004～2017年（倒伏のため2018年に中止）, 2番目の設置木の観測期間は2007年以降であるが, 両者の観測値のある2007～2017年の値は, 当初設置木の方が平均値で154cm大きく, 有意な差があった（対応のあるt検定, $p<0.001$ ）。このため, 2017年までは当初設置木の観測値を用い, 2018年以降は2番目の設置木の観測値に150cm加算した値を用いることとした。観測年数は11～20年と調査区により異なるが, それぞれの平均値を平年値とした。平野部との比較のため, 富山地方気象台（標高9m）の最深積雪深の観測値（気象庁HP）を利用した。



写真2.3.2.1 最深積雪深観測用のワイヤーに設置したアルミ線

2.3.3 地表面温度（根雪日数）

ブナ坂, 松尾峠, 鏡石, 净土山では1999～2001年に, ブナ平, 上ノ小平, 美松, 有峰では2004年に地表面温度の観測を開始した（表2.3.1.1）。地表面の落葉層に外付けセンサーもしくはセンサー内蔵型データロガーを設置し, 1時間間隔で温度を観測した。データロガーは1998～2000年の開始時はログ電子社製温度測定用B-5（センサー外付）を用いたが, 2004年以降, onset社製stowaway, ティアンドディ社製おんどとりTR51AまたはTR51S, オンセット社製ティドビッドv2へと順次移行した。2013年7月以降はすべてティドビッドv2を用いて観測している。根雪期間の推定を目的としているため, 積雪のない夏期は必ずしもロガーを設置していない。なお, ブナ平, 美松, 有峰ではロガーの不具合等による欠測年がある。

冬期はいずれの調査区でも0°C附近でほぼ安定する期間があり, 地表が積雪に覆われていたことを示していた。そこで, 石田（2006）の方法に準じ, 観測した1時間ごとに, 地表温度3.2°C以下で前後5時間の標準偏差が±0.22°C以下のとき積雪ありと判定した。そのうえで, 24時間のうち1時間でも積雪ありと判定された日を積雪日とした。積雪日が最も長く継続する期間を根雪期間とし, その始まる日を根雪初日, 終わる日を根雪終日, 期間日数を根雪日数とした。観測年数は17～25年と調査区により異なるが, それぞれの平均値を平年値とした。平野部との比較のため, 富山地方気象台（標高9m）

において日最深積雪深の観測値（気象庁 HP）が 1cm 以上となる日を積雪日とし、積雪日が最も長く連続する期間を根雪期間として根雪日数を算出した。

2.4 年輪年代学的成長解析（加藤輝隆）

2.4.1 デンドロメータを用いたスギの肥大成長の記録

年輪年代学的な研究を進める上では十分な数の試料を集めることが重要であり、20~30以上の大木について2方向以上の年輪幅を測定するというのが国際的に奨励されている。しかしながら、国立公園内で行う本調査では採取可能な試料数には限界がある。また、長期モニタリング調査の中で同一個体から繰り返して試料を採取することもできない。そこで、1998年11月に調査区[01]（美女平）で13個体のスギの樹幹にアルミ薄板製のデンドロメータ（写真2-4-1-1）を2本ずつ設置し、翌年の春以降、胸高直径の変化を記録してきた。デンドロメータの主尺に刻まれている3.14mmごとの目盛りは、直径1.00mmに対応する。一方、副尺側には主尺の9目盛り分を10等分する目盛りが記されており、両方の目盛りが一致する位置の値を読み取ることにより、直径0.1mm（半径方向では0.05mm）の変化を検出できるようになっている。

1個体に2本以上のデンドロメータを設置することによって、デンドロメータの破断による記録の中止を防ぐとともに、測定の信頼性を上げるために努めてきたが、測定を始めて数年が経過したところで、デンドロメータが破断する頻度が高くなってきた。そこで、2009年以降はUMS社（ドイツ）のプラスチック（Astralon）製デンドロメータ（写真2-4-1-2）を新たに設置し、従来品と並べて測定を続けている（写真2-4-1-1）。UMS社のプラスチック製デンドロメータ

（<https://www.upgmbh.com/fileadmin/produkte/pdf/1270B.pdf>）はアルミ製より耐久性が高いことが現在まで示されている。また、このデンドロメータの副尺は主尺の先端に付いているので、測定値は相対的な値ではなく、直径を直読できるので好都合である。さらに、金属光沢がなく、林内では目立ちにくいという点も国立公園内で使うには有利である。

2023年には19個体のスギに設置したデンドロメータの読み取りを7月9日、7月17日、7月22日、8月13日、8月30日、9月9日、9月16日、9月30日、10月14日、10月26日の10回実施した。



写真2-4-1-1 アルミ製デンドロメータ（左）と
プラスチック製デンドロメータ（右）



写真2-4-1-2 プラスチック製デンドロメータ

2.4.2 美松調査区のオオシラビソの年輪解析

試料の採取と前処理

2022年8月6日～8月29日および2023年8月30日～9月9日の間に美松調査区（調査区[06]）に生育する14個体のオオシラビソの胸高部位から直径5mmのコアを採取し、過去に採取して年代が未確定であったコアや円板試料などとあわせて30個体について年輪解析を行った。試料を自然乾燥した後に、木口面をサンドペーパー（#60～#1000）で研磨し、実体顕微鏡下で個々の細胞を認識できる状態に仕上げた。

年輪幅の測定

研磨された試料の木口面画像を、1600～2400 dpiの解像度でスキャナーから取り込み、樹木年輪解析用の画像解析ソフト WinDENDRO 2002 (Regent Instruments Inc., Canada) を用いて年輪幅を測定した。WinDENDRO では設定した測線に沿って年輪幅が自動的に測定されるが、すべての年輪境界について目視で確認したうえで問題があれば手作業で修正した。

試料の年輪年代決定

年輪幅の推移を片対数グラフとして表示し、同一個体の他の測線の年輪幅パターンと異なる場合には、問題のある年代の前後について年輪境界の見落としや、偽年輪・不連続年輪の可能性を再確認した。円板試料については、2本の測線付近の画像を確認しても問題が解決しない場合には両者の間に新たな測線を設定して、偽年輪や不連続年輪の存在を確認した。

過去の解析で年輪年代が決定された個体の年輪幅のデータを用いて、年輪年代決定用の解析プログラム (COFECHA) で統計処理し、問題点のあるデータを検出した (Holmes 1986)。この解析結果にもとづいて WinDENDRO で画像やグラフを再検討し、各年の年輪幅のデータを確定した。

年輪指数の計算

樹木の年輪幅は生育環境に大きな変化がなければ、一般に加齢とともに狭くなる。そこで、Holmes (1986) の解析プログラム ARSTANL を用いて、年輪幅の推移を指數曲線または回帰直線で近似して年輪幅期待値に対する実測値の比 (IN1) を求め、IN1 にフィルター長 32 年のスプライン曲線をあてはめ、スプライン曲線の対応する値に対する IN1 の比 (IN2) として年輪指数を計算した。なお、未成熟材は環境の指標として用いるには問題があるので、髓を含む試料の場合には髓側の約 10 年分の年輪幅のデータを除いて解析した。髓を含まない試料については、必要があれば数年分のデータを除いて解析した。

2.5 外来植物モニタリング調査(太田道人・吉田めぐみ・山下寿之)

2.5.1 調査区および方法

対象区域は「立山外来植物除去対策検討会」で実施した弘法（標高 1610m）から室堂平（標高 2457m）の 46 調査区とした（表 2-5-1a）。各年の調査対象区は区域全体を 3 分割した 1 区ずつとした（表 2-5-1b）。令和 5 年度は美松から室堂第 2 駐車場までの 15 調査区の外来植物の出現状況に加え、毎年実施している弥陀ヶ原遊歩道沿いの 5 調査区の外来植物出現状況を調査した。

表 2-5-1a 立山黒部アルペンルート沿線外来植物種調査対象エリア

No.	エリア		標高	No.	エリア		標高
1	弘法	弘法第1駐車場	1610	29	室堂ロータリー		2418
2		弘法第2駐車場	1620	30	立山センター車道		2428
3	追分	追分駐車場(立土)	1810	31	立山センター周囲		2470
4		追分駐車場(松尾峠入口)	1840	32	室堂ターミナル園地		2430
5		追分料金所緑化帯	1860	33	室堂平広場遊歩道		2431
6		弥陀ヶ原駐車場	1900	34	室堂平広場遊歩道		2437
7		六甲学院前(緑化復元地)	1900	35	供養塔広場		2437
8	弥陀ヶ原	弥陀ヶ原バス停周囲	1950	36	みくりが池遊歩道		2434
9		弥陀ヶ原ホテル駐車場	1940	37	みくりが池遊歩道		2420
10		弥陀ヶ原散策路入口	1932	38	地獄谷への道		2390
11		弥陀ヶ原ホテル裏	1940	39	室堂山莊遊歩道		2438
12		弥陀ヶ原立山莊入口	1955	40	室堂山莊遊歩道		2449
13		弥陀ヶ原カルデラ展望台入口	1980	41	室堂山莊横		2457
14	美松	美松駐車場	2090	42	玉殿岩屋への道		2450
15		天狗の鼻第1駐車場下	2125	43	エンマ台		2413
16		天狗の鼻第2駐車場	2130	44	ミドリガ池遊歩道		2420
17		立山高原ホテル浄化槽	2300	45	ミドリガ池遊歩道		2435
18	天狗	立山高原ホテル周囲	2300	46	ミドリガ池広場		2435
19		立山高原ホテル～天狗平山莊	2305				
20		天狗平山莊周囲	2305				
21		天狗平駐車場	2310	51	弥陀ヶ原遊歩道 ホテルと休憩所の中間点		1930
22		天狗平休憩所跡地	2315	52	弥陀ヶ原遊歩道ガキの広場上部		1920
23		天狗平歩道起点	2320	53	弥陀ヶ原遊歩道ガキの広場下部		1910
24	国見	国見第1駐車場	2360	54	弥陀ヶ原遊歩道内回り分岐点から各5m		1895
25		国見第2駐車場	2370	55	弥陀ヶ原遊歩道外回り分岐点各10m		1863
26		大谷待避所	2390				
28		室堂第2駐車場	2410				

表 2-5-1b. 調査対象区域とその調査年

調査対象区域	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
No.1～13 弘法～弥陀ヶ原	○			○			○			○			○	
No.14～28 美松～室堂第 2 駐車場		○			○			○			○			●
No.29～46 室堂平			○			○			○			○		
No.51～55 弥陀ヶ原遊歩道				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●

令和5年8月22日・23日に各調査区において、出現種ならびに出現状況を「立山外来植物除去対策検討会」（表2-5-1c）にしたがって判定した。判定基準が視覚的でゆるやかなものになっているのは、もともと各調査区が道路や駐車場等、人為の影響の強く及んだ地点に設定されたもので、植生の均質性を欠き植物社会学的な優占度（被度）の推定にはなじまないためであり、また、大まかな量的变化をとらえることを目的としているためである。

表2-5-1c. 外来植物の生育状況判定基準

階級	生育状況
5	びっしり面的に広がっている
4	かたまりがいくつか存在する
3	かたまりがある
2	捜さなくても目に入る
1	捜せば目に入る

第3章 調査結果

3.1 植生調査（石田仁）

3.1.1 [04] ブナ平調査区

今回の調査では階層別でB2層30種,C層28種,S層1種,広葉樹高木14種（アオダモ,ウダイカンバ,ウリハダカエデ,ウワミズザクラ,キハダ,コシアブラ,コハウチワカエデ,トチノキ,ハウチワカエデ,ハリギリ,ブナ,ホオノキ,ヤマモミジ,リョウブ）,広葉樹低木15種（アカミノイヌツゲ,アクシバ,エゾユズリハ,オオカメノキ,オオバクロモジ,オオバスノキ,コミネカエデ,サワフタギ,タムシバ,タラノキ,ナナカマド,ノリウツギ,ハナヒリノキ,ヒメウスノキ,ヤマウルシ）,針葉樹高木1種（スギ）,矮性低木3種（イボタノキ,ハイイヌツゲ,ヒメモチ）,シダ類13種（イワハリガネワラビ,シシガシラ,シノブカグマ,シラネワラビ,ナライシダ,ハクモウイノデ,ハリガネワラビ,ホソバトウゲシバ,ミヤマイタチシダ,ミヤマシシガシラ,ミヤマベニシダ,ヤマソテツ,ヤマドリゼンマイ）,草本12種（オオバユキザサ,カメバヒキオコシ,タケシマラン,タチシオデ,タニギキヨウ,チゴユリ,ツクバネソウ,ツルアリドオシ,ツルリンドウ,ヒメカシアオイ,ミヤマカンスグ,ユキザサ）,ササ類1種（チシマザサ）,を記録した。

過去に記録して、今回記録されなかった種は、B2層6種ヒメアオキ,ホツツジ,ミズキ,ミズナラ,ミネカエデ,ムラサキヤシオツツジ,C層5種イチヤクソウ,ウメガサソウ,オオバショリマ,オシダ,ノキシノブの計11種で、いずれも過去の調査で記録されなかったことのある、被度と出現頻度が小さい値を示す種であった(表3.1.1.2 赤字表示)。

出現頻度が高かった上位10種は、チシマザサ(100.0%),オオカメノキ(100.0%),リョウブ(100.0%),ヤマソテツ(100.0%),シノブカグマ(100.0%),オオバクロモジ(100.0%),ノリウツギ(100.0%),ヤマモミジ(60.0%),ブナ(88.0%),サワフタギ(52.0%)であった。

被度の上位10種は、チシマザサ(15.4%),オオカメノキ(10.4%),リョウブ(6.7%),ヤマソテツ(6.3%),シノブカグマ(4.8%),オオバクロモジ(4.1%),ノリウツギ(3.8%),ヤマモミジ(2.5%),ブナ(2.5%),サワフタギ(2.2%)であり、全サブプロットの被度合計の平均値は77.4%であった。チシマザサは2005年の時点で、被度39%を記録していたが、その後現在の15%まで大きく減少している。林内に設置されている野生動物撮影カメラでニホンジカが撮影されており、食痕も確認できることから、ササの被度の減少は、ニホンジカの被食に影響を受けているものと推測される。ササの被度の減少は、美女平やブナ坂でも同様に確認されている。低木層の平均被度は漸増傾向にあり、ササの被圧がなくなった空間にオオカメノキなどが生育範囲を拡大したこと、シカの食被圧が、現状では下層植生が失われてしまうほどに強くはないことを示唆しているものと思われる。

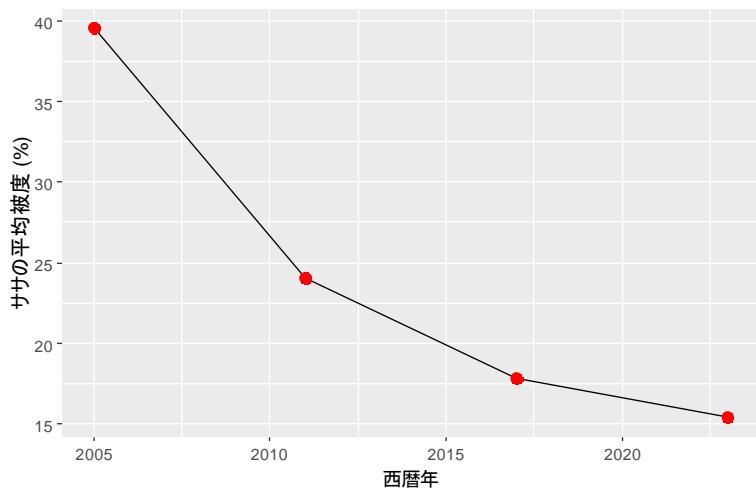


図 3.1.1.1
ササの平均被度の経年変化
(ブナ平)

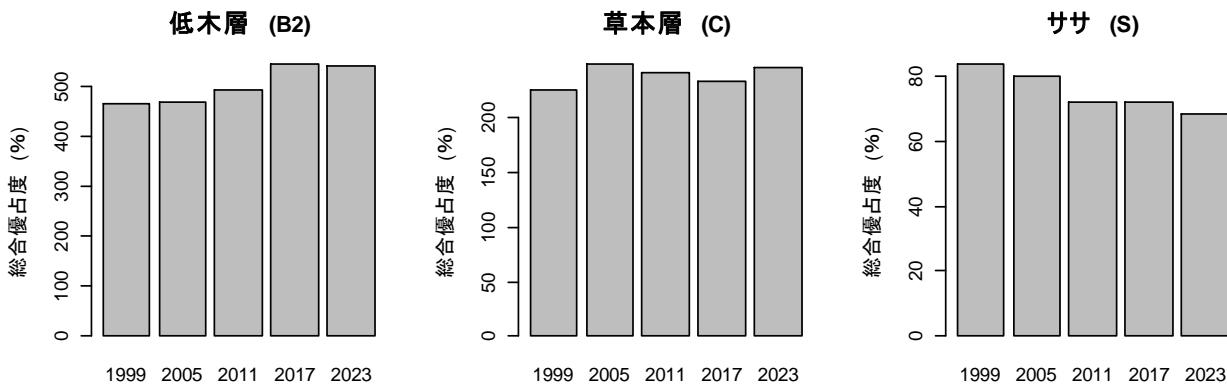


図 3.1.1.2 各種群の総合優占度の経年変化 (ブナ平)

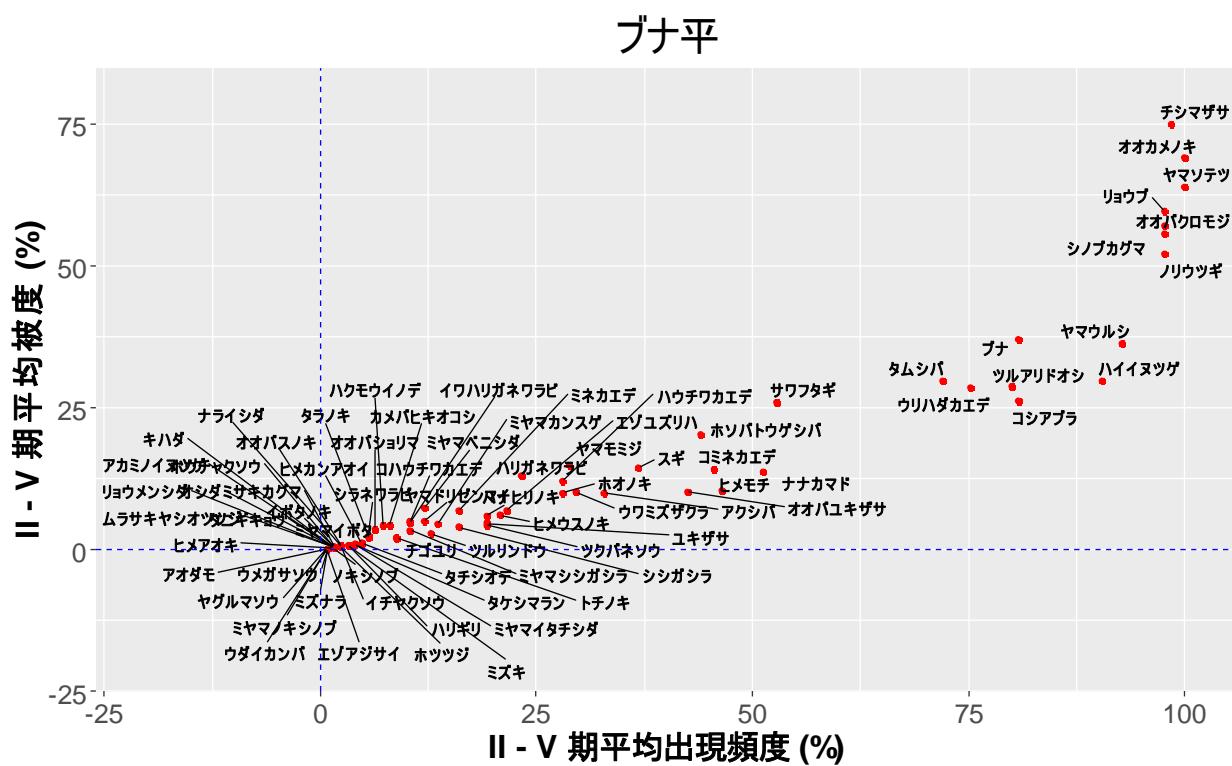


図 3.1.1.3 II-V期平均出現頻度と平均被度の関係 (ブナ平)

林床植生の総合優占度は漸増傾向にある(図 3.1.1.4)。特に木本低木 B2 の総合優占度の増加が顕著である。ほぼ同標高帯にありブナとスギが優占するという同じ特色をもつブナ坂調査区と比較して、本調査区ではササが少なく木本低木 B2 の割合が高い。本調査区は、平坦で梅雨期にほぼ毎年冠している箇所があり、こうした場所にササおよび他の植物も分布していない。ササはチシマザサ 1 種で、林冠層が疎となり明るい場所や微凸地では密生する。ササの出現頻度は高いが、特にスギの林冠層が閉鎖した平坦な林床ではササの繁茂が抑制されている。生育に必要な光量が確保できること、湿性ポドゾル土壤が優占しており加湿環境であること、およびニホンジカの被食によりササが少なくなっていると考えられる。

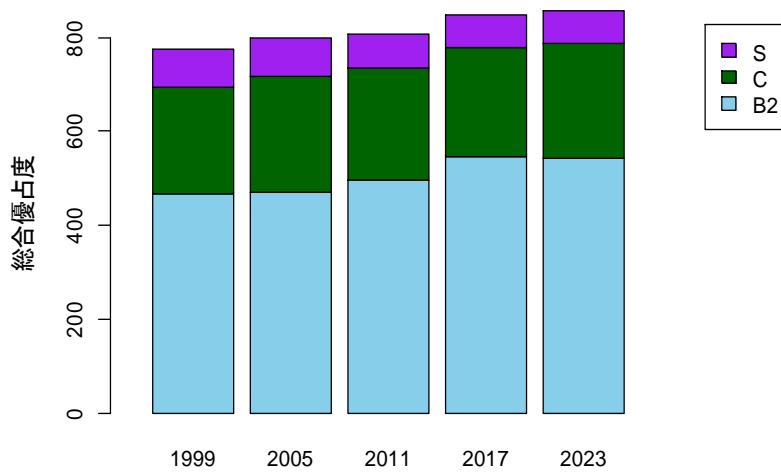


図 3.1.1.4
総合優占度の経年変化 (ブナ平)

3.1.2 立山森林植生の約20年間の動態と年輪解析(石田・中島)

—特にオオシラビソに着目して—

1998年Ⅰ期からV期の現在に至るまで、立山溶岩台地上で9地点(美女平、ブナ坂、ブナ平、上ノ小平、弥陀ヶ原、松尾峠、美松、鏡石、浄土山)、有峰で1地点で森林の動態(弥陀ヶ原と浄土山を除く8地点)および植生のモニタリング調査(10地点)を実施してきている(図3.1.2.1)。各調査地点では方形区を設定し出現した胸高直径10cm以上の毎木調査および、サブプロットを設置しそこに出現した維管束植物の被度を記録してきている。

ここでは、Ⅰ～Ⅳ期(1998～2019)について調査資料を用い森林および植生の動態について検討した。オオシラビソは上の小平から鏡石に出現する亜高山帯針葉樹林の優占種だが、分布の下限付近である上ノ小平、バス道路直下の美松において他の樹種と比較して枯死率が高かった。長期の環境変動が樹木の生長に及ぼす影響を明らかにする方法として年輪解析法が有効である。2018年9月の台風によって美松のオオシラビソが複数本倒れたため、幹の円板を採取し、過去の生長および、約100年間の気温と成長との間の相関分析を試みた。

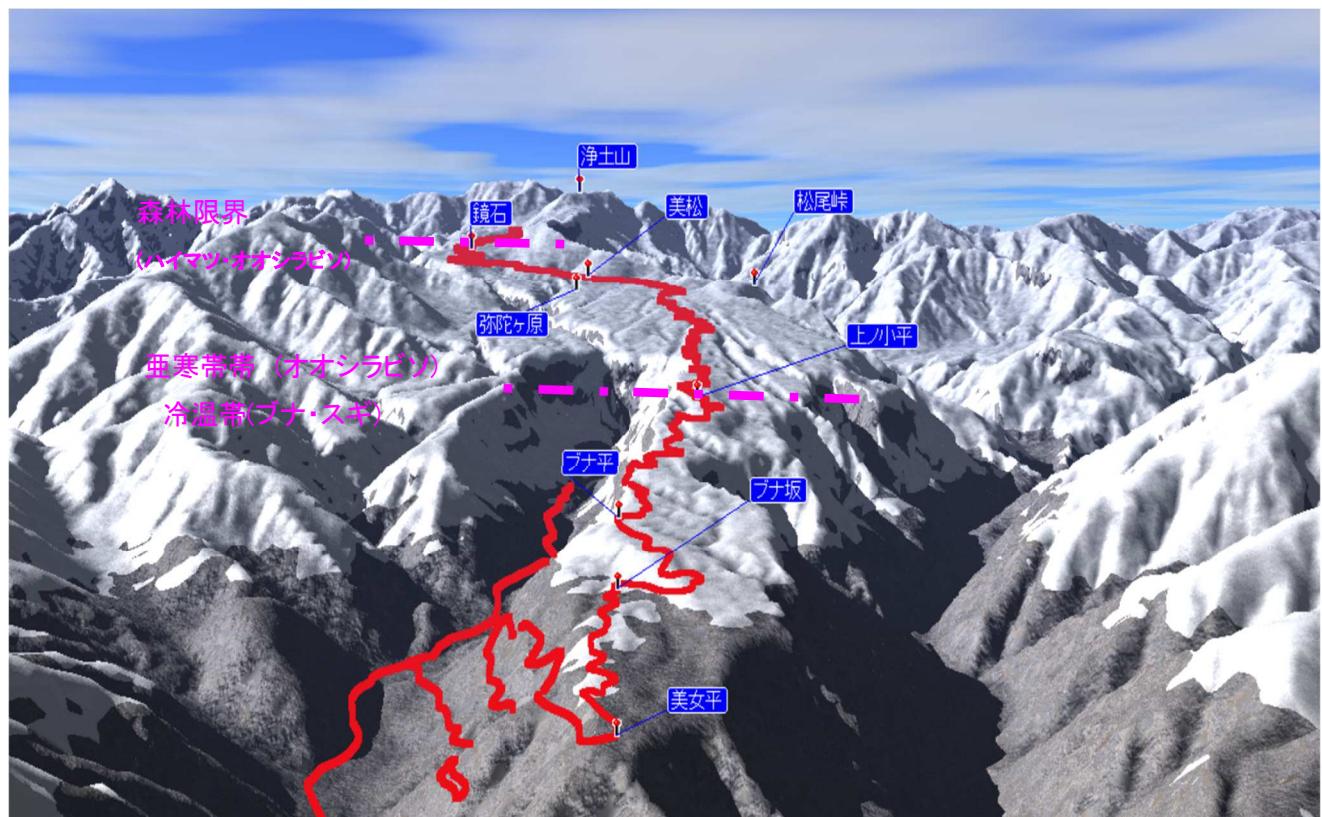


図3.1.2.1. 立山植生モニタリング調査(1998～現在)の調査地。有峰調査地は範囲以外。

植生変化

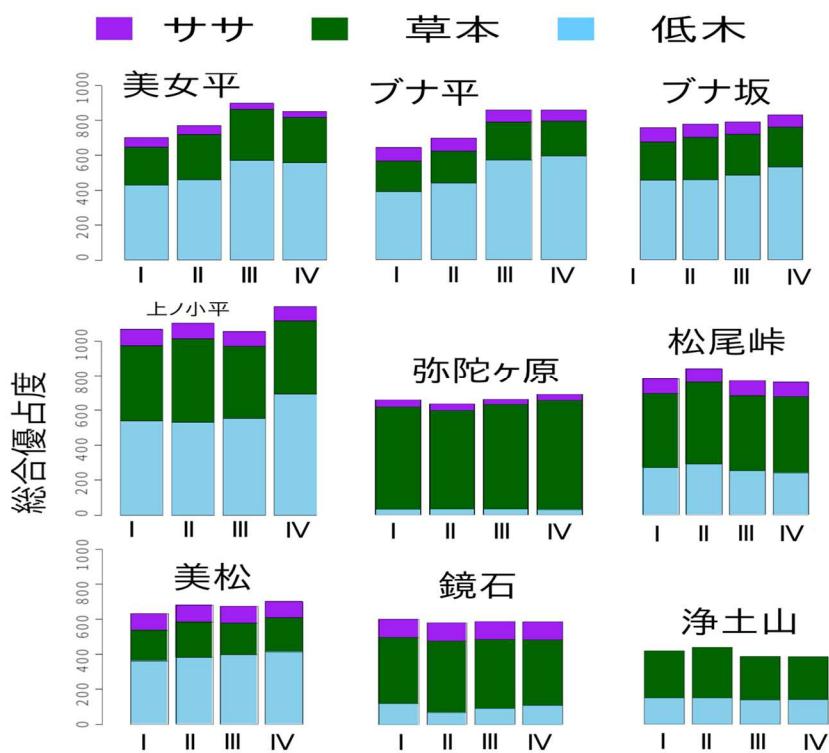


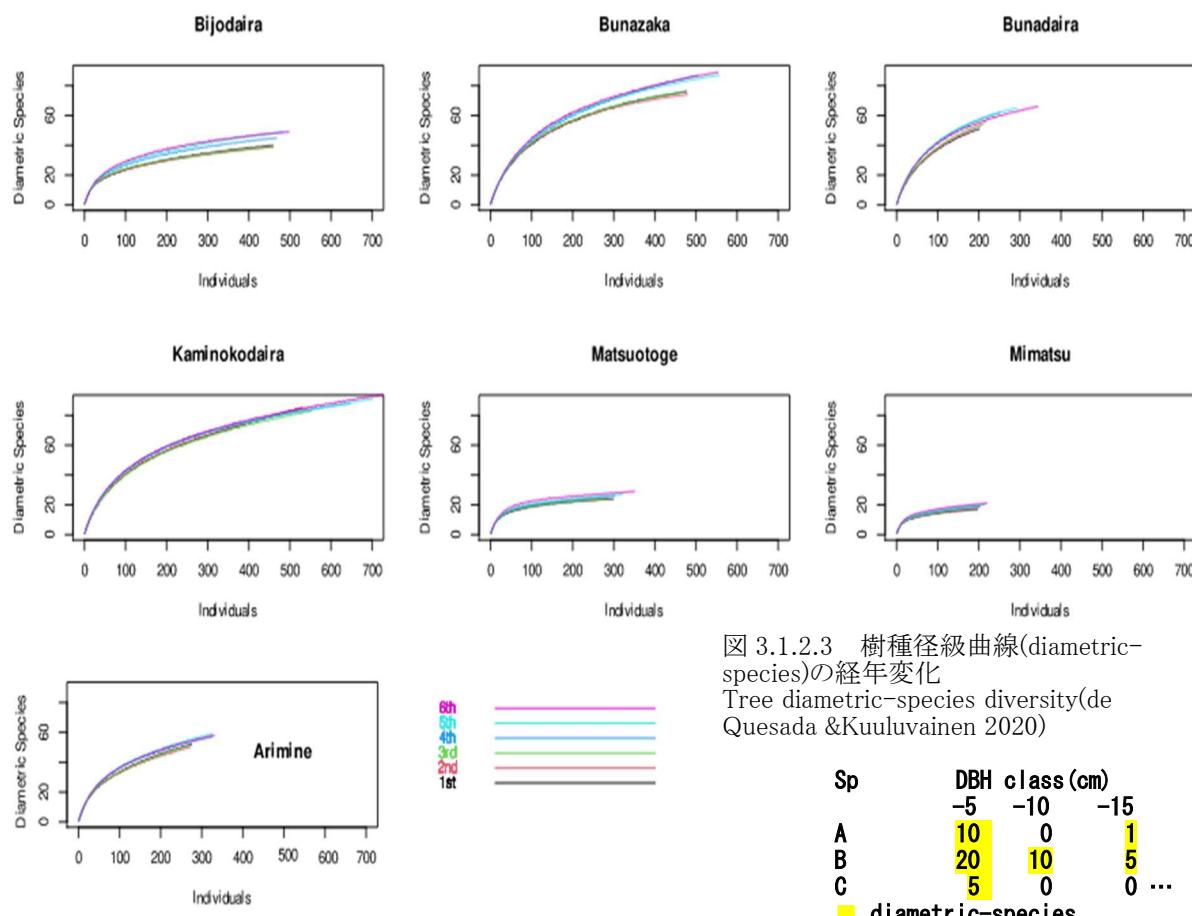
図 3.1.2.2 各調査区における総合優占度の経年変化



写真 3.1.2.1 ニホンジカ (ブナ平調査区)

総合優占度は調査区内に出現した維管束植物の出現頻度と平均被度をもとに算出される値で、植生の大きな変化を検出するための指標である。ここに示した総合優占度の図(図3.1.2.2)では、全植生に対するササの割合が小さいため顕著に示されていないが、冷温帯域に位置する美女平、ブナ坂、ブナ平、上ノ小平においてはササの平均被度が減少している(富山県2020、図3.1.1.2)。ニホンジカがブナ平の調査区に設置された赤外線カメラで撮影されており(写真3.1.2.1)，調査区内で糞や食痕が確認できることから、ササの減少は近年個体数が増加傾向にあるとされるニホンジカによる被食の影響があると推測される。しかし、現状では被食圧はそれほど強くない。林床に生育する草本やシダ植物、低木、高木性の樹種の稚樹は食痕がしばしば認められるものの出現頻度や平均被度に大きな変化はない。むしろ、美女平、ブナ坂、ブナ平、上ノ小平調査区では総合優占度が漸増している。ササ以外の林床植物が、それらを被压するササの密度が減少し光環境が改善したため、分布を広げ被度が増加していると考えられる。高木林が発達しない弥陀ヶ原湿原、およびハイマツ林の淨土山の調査区の総合優占度は合計が小さく、森林群落の調査区と比較して変化がすくない。オオシラビソ林が発達する松尾峠、美松においても下層植生の総合優占度には大きな変化はなかった。立山の全調査区の植生はI～IV期(1998～2018)の期間を通じ、基本的に大きな変化はなかった。しかし、ニホンジカは室堂においても確認されており(富山県自然保護課)，立山においても南アルプスなどと同様(門脇ら,2007; 長池ら, 2012; 鶴飼一博, 2011)に分布を拡大させていく可能性がある。シカが高密度で生息するようになった地域では、高山帶も含めて忌避植物を除いて植生が失われているケースが各地で報告されている。植生の変化、特にシカの被食の影響については、今後も経過観察が必要である。

樹種直径階多様性



Tree diametric-species diversity は森林の構成木の樹種と径級の多様性を示す指標である(de Quesada & Kuuluvainen 2020)。樹種と直徑階の集計表を作成し、ゼロではないセルの数を Diametric species の数とする(図 3.1.2.3)。Diametric species は樹種と径級数が多いほど、たくさんの種類の木が細い木から大きい木までまんべんなく生えているような場合ほど、高い値をとる。調査立木を無作為抽出して Diametric species の平均値を計算し、個体数との関係を図化すると種数面積曲線に似た飽和曲線が描かれる。ここでは直徑階 5cm 刻み、繰り返しなしの無作為抽出 2000 回とした。Diametric species 曲線は林分によって固有の値をとる。抽出個体数 200 付近の値を見ると、スギ人工林の美女平で 20-30、ブナ坂、ブナ平、上の小平で 50-60、オオシラビソ林では出現数が減少し松尾峠、美松で約 20 程度の値をとっている。有峰ではブナ林ではあるが、大径木で更新木も多いスギがないために、立山のブナ林と比較し低く 40-50 となっている。過去 6 回の調査結果を色別に示しているが、それぞれの調査区の曲線はほぼ重なり、後の調査ほどやや高い値をとっている。このことは、調査期間中、森林に大きな変化はないが、Diametric species が増加傾向にあることを示唆している。調査対象の林分構成木が依然として肥大成長し、より多くの径級を占めるようになっていると考えられる。

胸高断面積成長

本モニタリングの林分調査地は、人工林である美女平の調査区を除き、少なくともバス道路が開設される以前、過去に強度の人為的擾乱を受けたことがないと考えられる。まれに大木の抜き切りや幹材の剥ぎ取りの痕跡が認められるが(富山県森林管理署1994), いずれの調査区も自然状態がよく保たれた森林である。老齢過熟林分では成長量が低下するとする報告もあるが、期首の胸高断面積合計を1とした場合の各期の胸高断面積合計の成長率は、概ね増加傾向にある(図3.1.2.4)。バイオーム別では、冷温帯域のスギ人工林、ブナ・スギが優占する調査区で増加率が大きく、亜寒帯のオオシラビソ林で増加量が小さい。森林帶の移行帯に移行する上ノ小平調査区では断面積合計は調査期首の1.19倍にまで漸増してきている。冷温帯林中、一時的にブナの衰退が確認されていたブナ平は、近年増加に転じた(河野1999, Kume et al 2009)。美松調査区では成長率1前後で推移しているが、バス道路に近い場所での林木の衰退が顕著であり、道路開設や除雪の際の投雪の影響が関与している可能性がある。森林限界に位置する鏡石調査区の成長率は、2期と4期で大きい個体が倒れたことにより一時的に減少に転じたが、それ以降急増している。

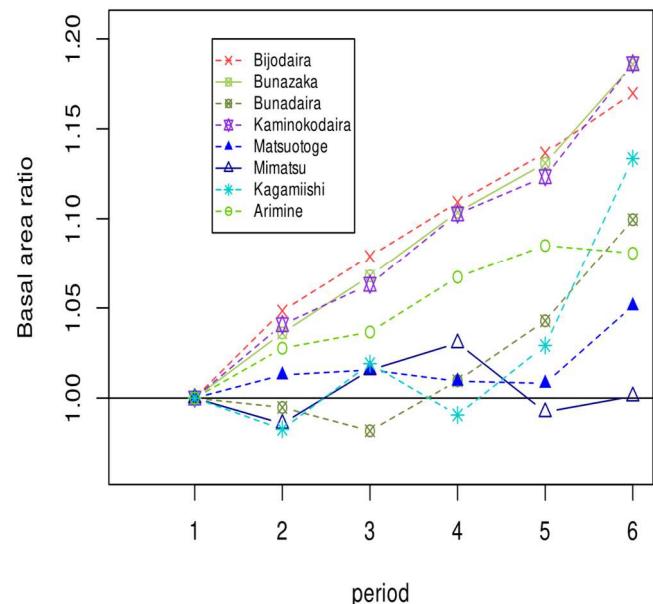


図 3.1.2.4 胸高断面積成長率
期首を 1 とする。

オオシラビソの動態

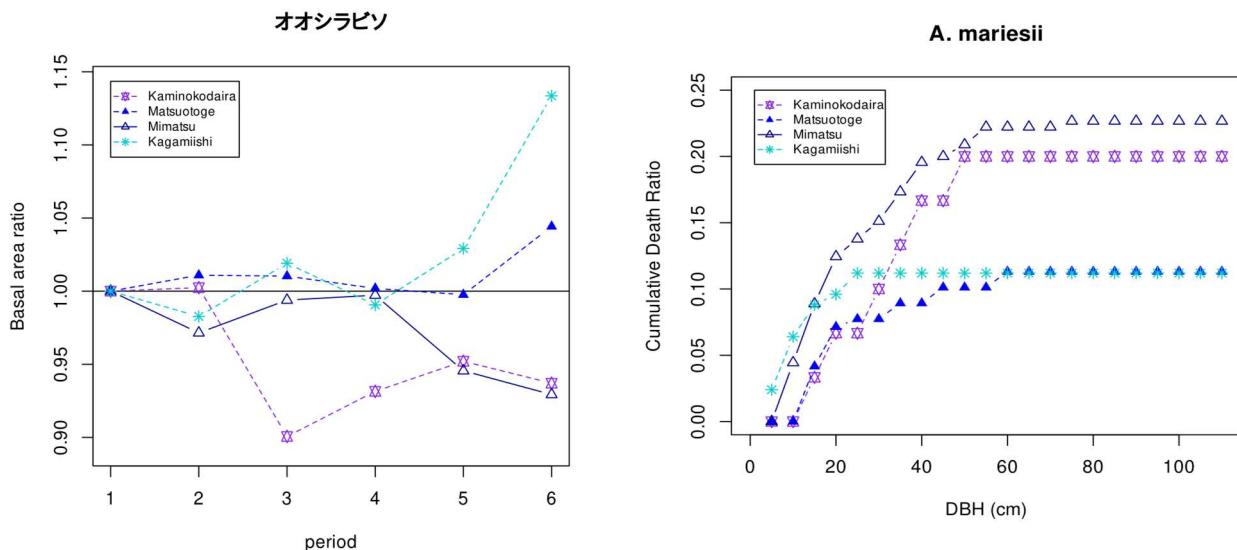
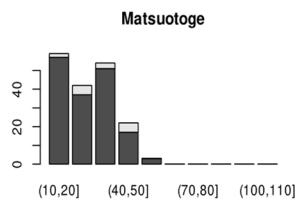
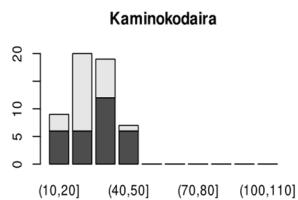


図 3.1.2.5 シラビソの胸高断面積成長率
期首を 1 とする。

図 3.1.2.6 オオシラビソの積算枯死率
直径階の小さい個体から積算した値を示す。

オオシラビソの胸高断面積成長率では、同種が優占する松尾峠、美松、鏡石については全種を対象とした傾向(図3.1.2.4)とほとんど変わりはないが、上ノ小平では大きく減少していた(図3.1.2.6)。前3調査区は亜寒帯に位置しオオシラビソが優占し、上ノ小平調査区は冷温帯と亜寒帯要素の移行帯に位置しブナをはじめとする冷温帯要素の樹種も多く分布している。上ノ小平調査区では、オオシラビソが減少傾向にあるのに対し、他の樹種の成長率が大きくなっていることが示唆される。オオシラビソが出現した上ノ小平、松尾峠、美松、鏡石の調査区において調査開始時点で生存していたオオシラビソの I ~ IV 期における枯死率は美松と上ノ小平で約二割、松尾峠と鏡石では約1割であった(図3.1.2.7)。美松調査区は、平衡斜面を横断するバス道路の直下に位置し、特に道路に近い場所に生育しているオオシラビソの衰退と枯死が認められ人為的攪乱、除雪による影響もこの結果に反映されているものと考えられる(図3.1.2.14)。上ノ小平調査区は除雪時の投雪の影響は殆どないが、オオシラビソの枯死率は高かった。上ノ小平のオオシラビソでは、調査開始時点での立ち枯れ木の割合が高く(図3.1.2.5,8)、調査開始後も枯死率が高かったことから(図3.1.2.6,7)、当調査区内に生育しているオオシラビソは、他の調査区、特に松尾峠や鏡石と比較して生育環境が悪化している可能性が否定できない。

樹木が風倒など物理的な応力によらず、病虫害や環境変化によって徐々に衰弱枯死した場合、立ち枯れすることが多い。立ち枯れの状態は、樹種やサイズによって異なるが20年間で多くは倒伏する(図3.1.2.9)。上ノ小平調査区では調査開始時点、オオシラビソの立ち枯れ木の多さが目立っていた(図3.1.2.7)。上ノ小平のオオシラビソについて、枯死木も含めた全胸高断面積合計のうち約4割が枯死木であったことから、20世紀の後半にその枯死率が高かった可能性が高い。



Kaminokodaira (a.s.l. 1450m ecotone)

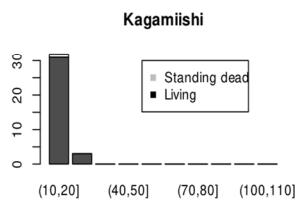
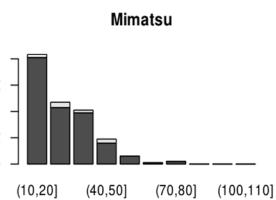
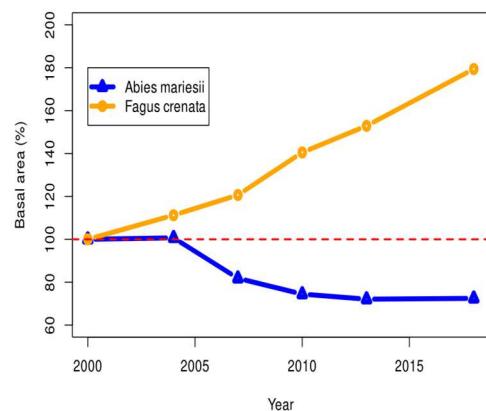


図 3.1.2.7 調査開始時点におけるオオシラビソの胸高直径分布
立ち枯れ木(Standing dead)も含めて示す。

図 3.1.2.8 オオシラビソとブナの胸高断面積成長
(上ノ小平)

亜寒帯と冷温帯の境界に位置する上ノ小平調査区において、亜寒帯要素のオオシラビソの枯死率が高く胸高断面積も減少しているのに対して、冷温帯の要素であるブナの胸高断面積は増加していた(図3.1.2.11)。近年の温暖化が世界各地の生態系に影響を及ぼしているとする研究事例が多く報告されている(Takahashi & Okuhara 2013, Treut et al. 2007 など)。立山の黒部ダムにおいても、1960年から2000年の期間で約2°Cの平均気温の上昇が認められている(Wada et al. 2004)。樹木の分布は温度環境によってよく説明できることが知られている(吉良 1948)。標高の増加に伴う気温の遞減率を0.6°C/100mとした場合、黒部湖で観測された気温変化をもとにした単純計算では森林帶は約300m 上昇することになる。冷温帯と亜寒帯の境界に位置する上ノ小平では、亜寒帯要素のオオシラビソは温暖化による生育ストレスを受け、冷温帯要素のブナ等ではより生育に適した温度環境となると考えられる。

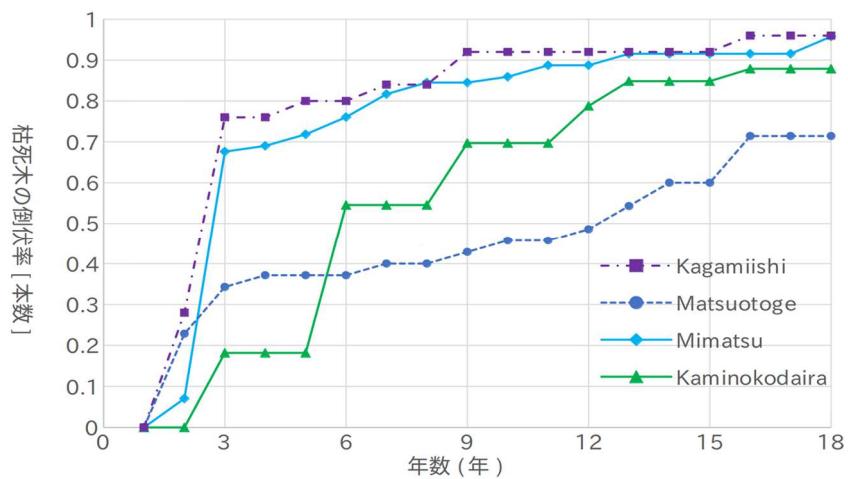


図 3.1.2.9 立ち枯れ木の経過年数と倒伏率の関係
(オオシラビソ)

年輪解析

年輪解析を行ったオオシラビソの6個体、計11枚の主幹の円板は、いずれも2018年9月4日の台風21号による風倒木から採取したもので、すべて風倒時に生きている葉をつけていた(写真3.1.2.2)。サンプリングは同年10月4日と、No.277の地上高400cmと600cmの円板を2022年7月7日に行った。生育期間後半での風倒ではあることから、形成層に接している最終の年輪は同年2018のものと判断した。円板は研究室に持ち帰り、かんなとベルトサンダーを用いて表面を研磨した後、1200dpiでスキャニングした。高解像度の画像をもとに、QGISとRを用いて年輪形状のベクターとして記録した(図3.1.2.11石田・後藤2019)。

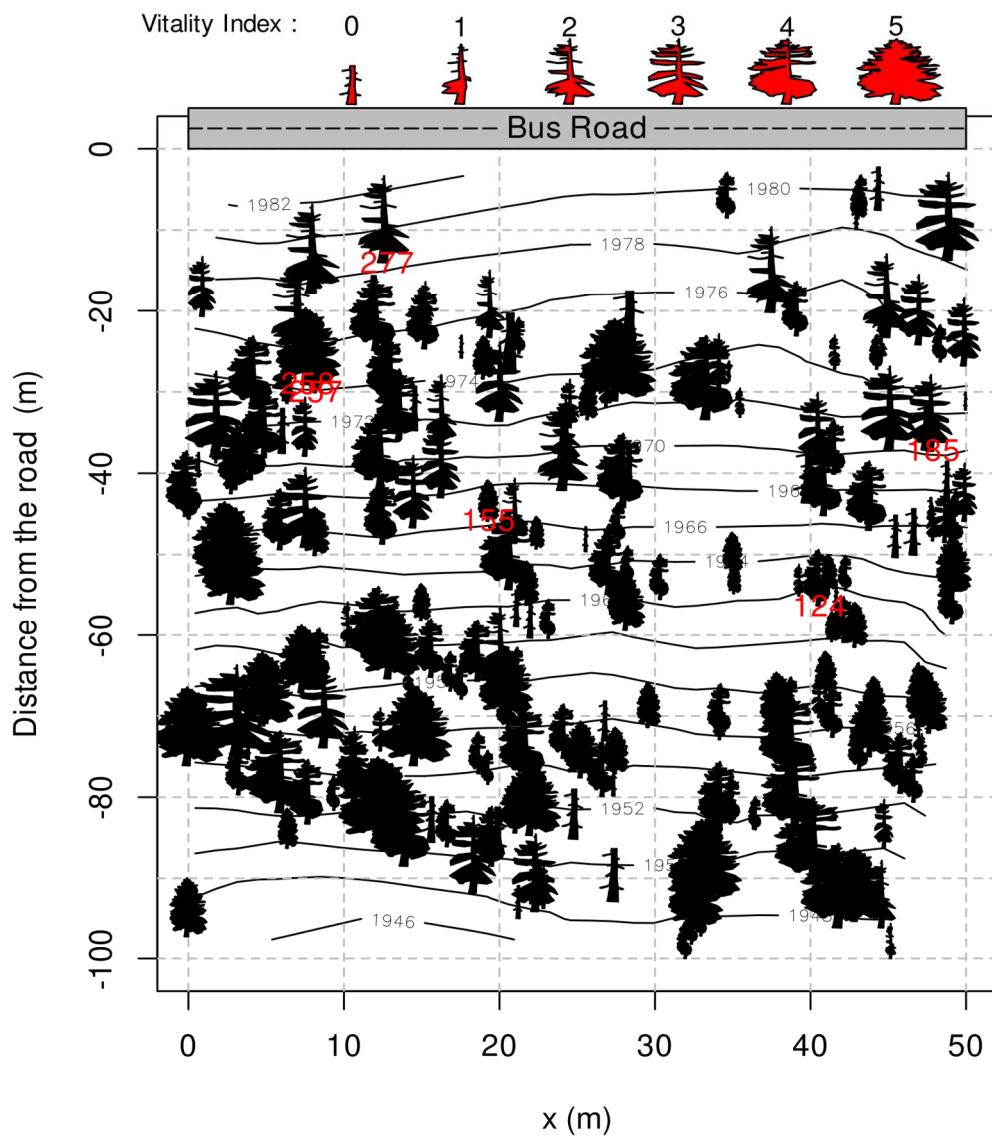


図 3.1.2.10 美松調査区の樹木位置図

年輪解析を行った個体の位置とラベル番号を赤字で示す。



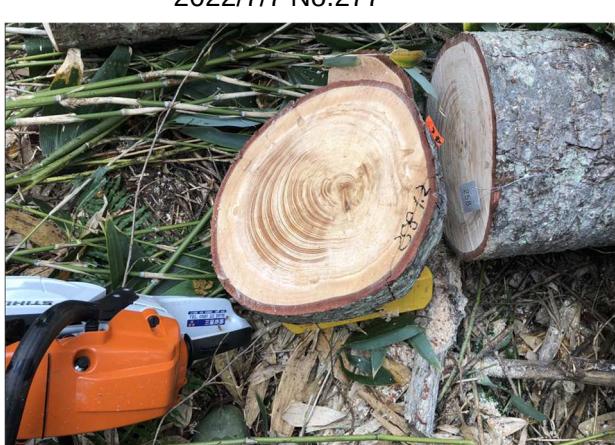
2018/5/1 No.277



2022/7/7 No.277



2018/10/4 No.257,258



2018/10/4 No.258



2018/10/4 No.124

写真 3.1.2.2 年輪解析に用いたオオシラビソの幹の円板

いずれも 2018 年 9 月 4 日の台風によって倒伏するまで生存していた。
円板のサンプリングは No.277 の地上高 400cm, 600cm を 2022 年 7 月 7 日, それ以外は 2018 年 10 月 4 日に行った。

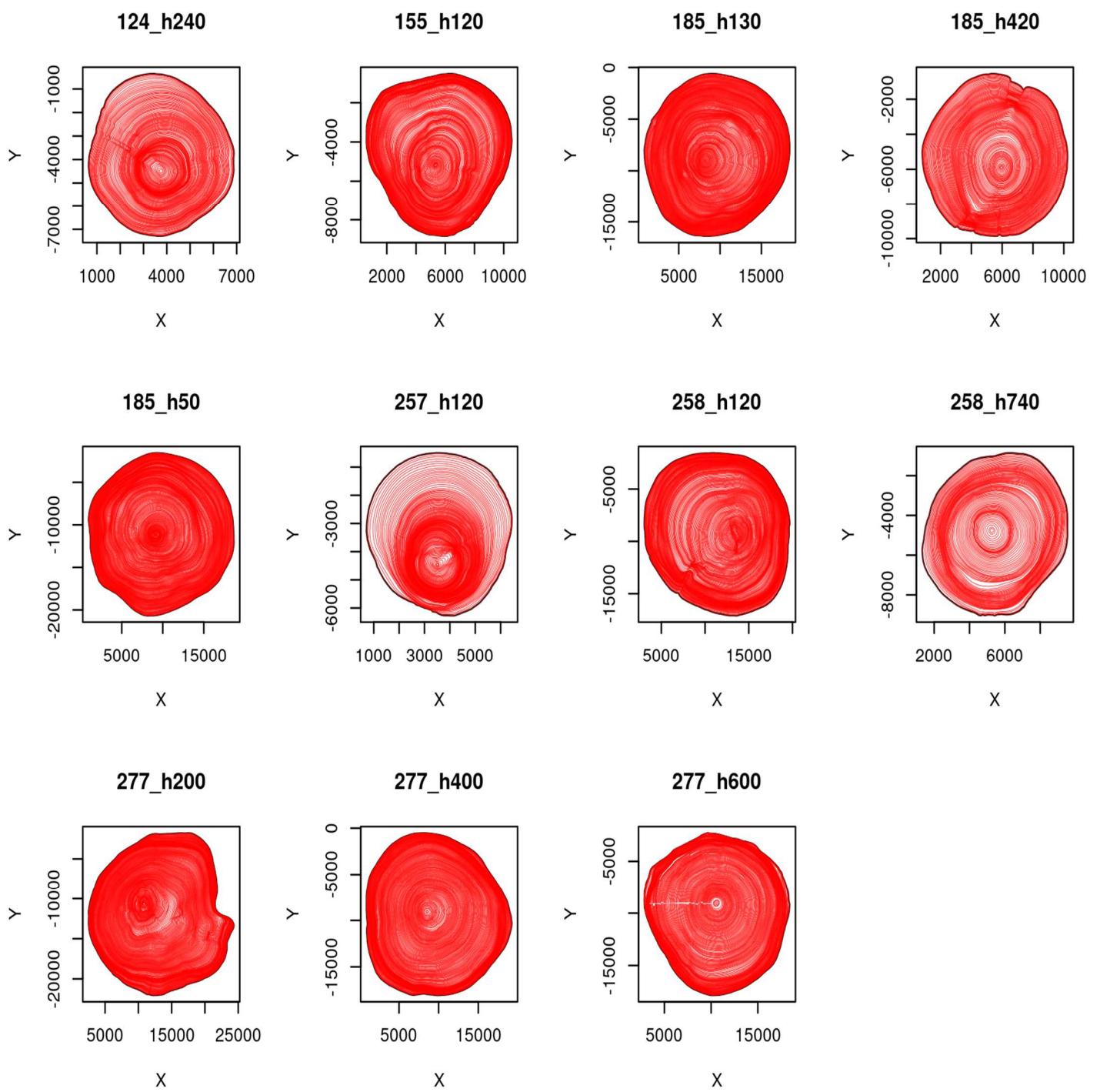


図 3.1.2.11 年輪面積の解析に用いた年輪形状のベクターデータ

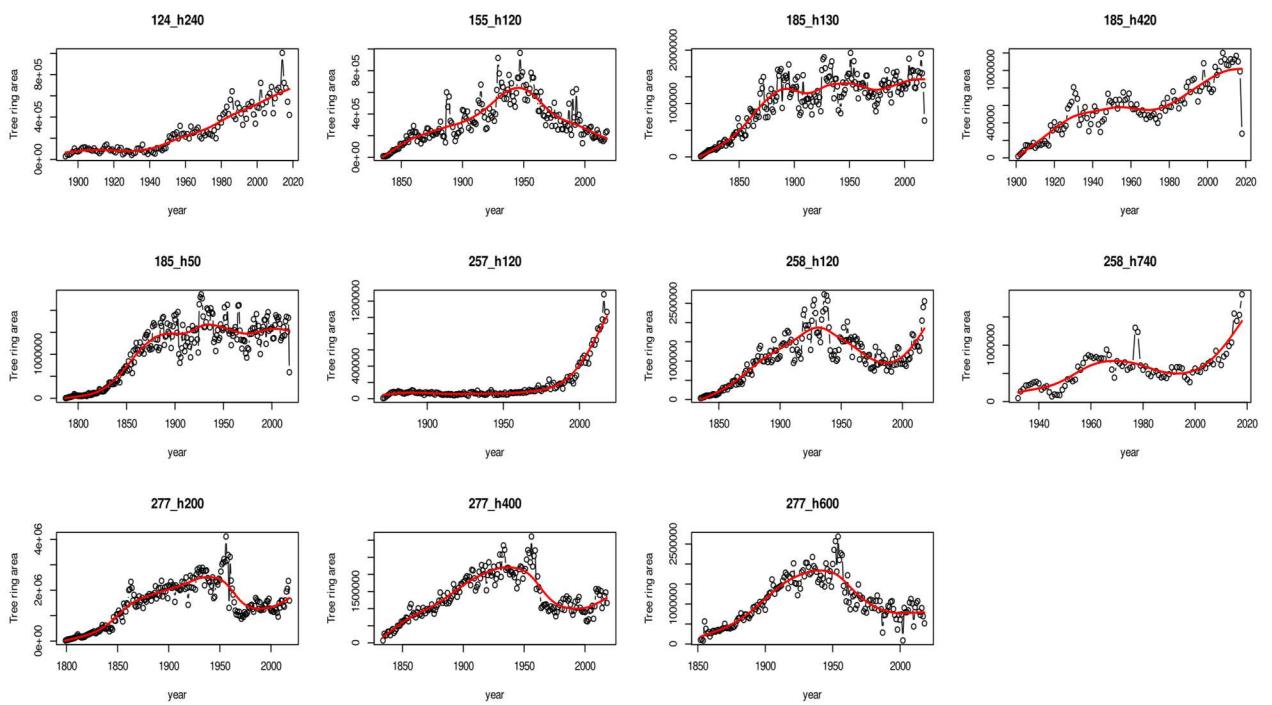


図 3.1.2.12 年輪面積の経年変化

赤い線はスプライン曲線を示す。

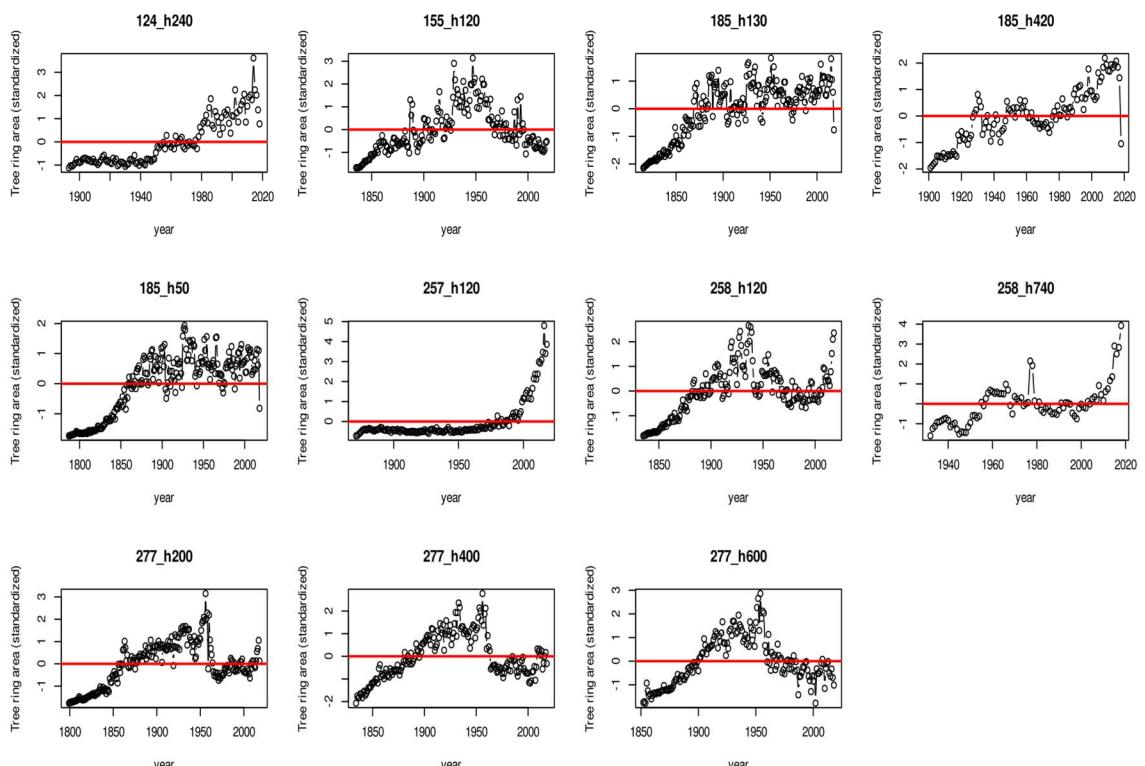


図 3.1.2.13 平均 0, 標準偏差 1 に標準化した年輪面積の経年変化

赤い線は 0 を示す。

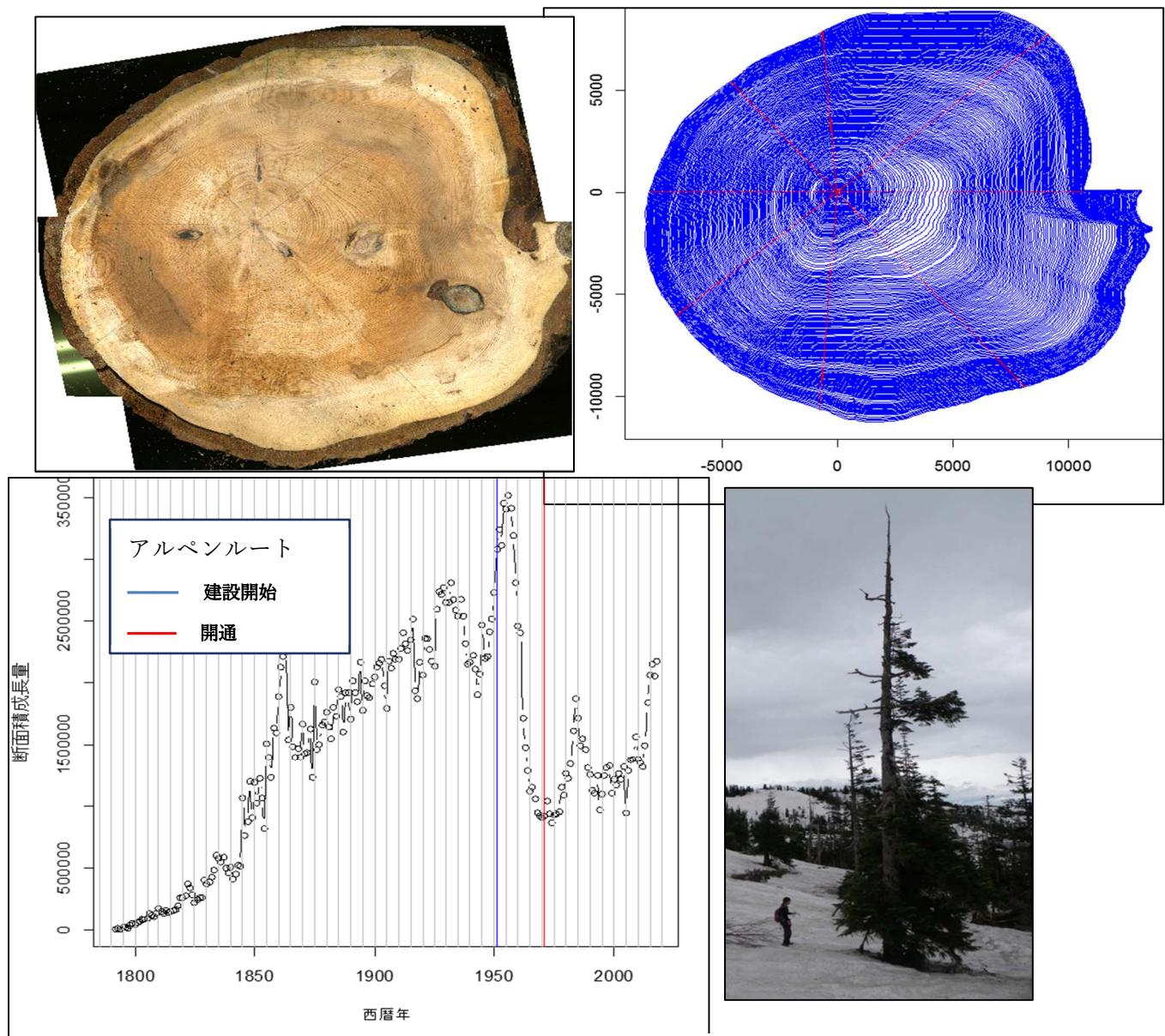


図 3.1.2.14 バス道路直下のオオシラビソ(ラベル番号 277)の円板と断面積成長

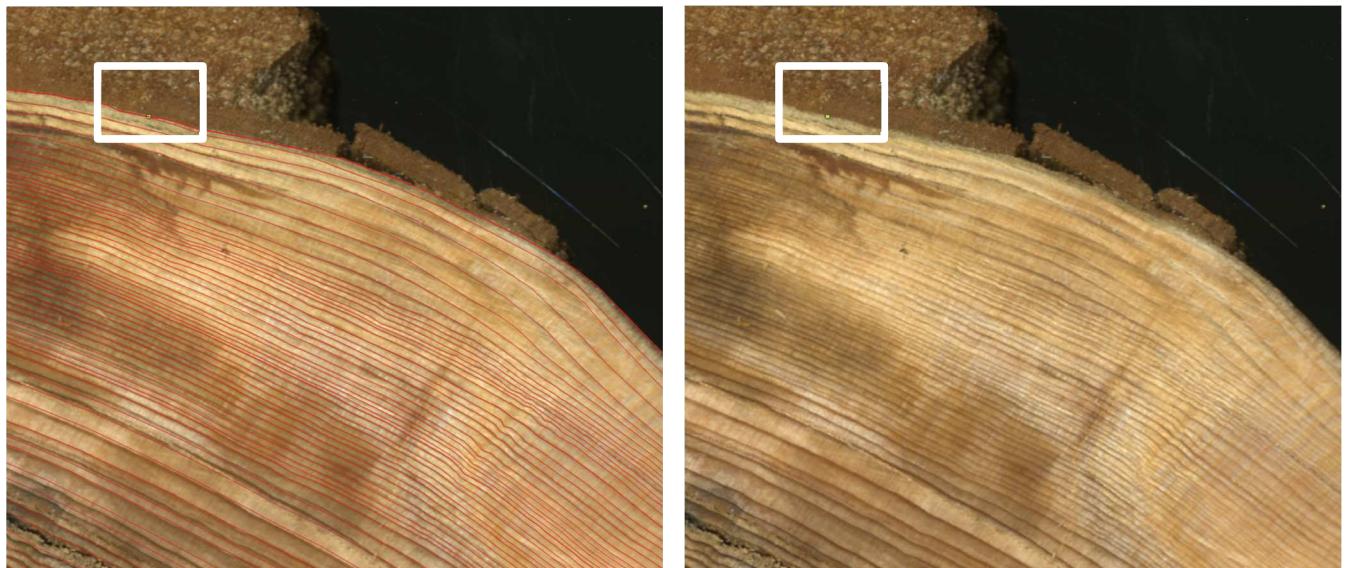


図 3.1.2.15 ラベル番号 277 地上高 600cm の円板で観察された不完全年輪(白枠内)

オオシラビの年輪は比較的に明瞭であり明らかな不完全年輪はこの円板だけであった。この樹冠部分はおそらく除雪の影響で葉が失われ枯損し一部腐朽していた(図 3.1.2.13 参照)。この報告では、便宜的にこの個体の形成層形成年を 2018 年としているが、すでに年輪形成をしていなかった可能性も高い。

年輪形状のポリゴンデータを用いて年輪の面積を算出、年輪指数算出のためにスプライン曲線を当てはめた(図 3.1.2.12)。また、年輪成長量を標準化するため以下の式により標準化した。

$$X' = (X - X_{\bar{}}) / \text{sd}(X) \quad (\text{式1})$$

ここで X' ; 標準化系列, X ; 年輪面積系列,

$X_{\bar{}}$; X 平均値, $\text{sd}(X)$; X 標準偏差, とする。

美松調査区はバス道路直下にあり、道路沿いのオオシラビソの活力度が低い傾向にある(図3.1.2.10)。道路から約10mの近距離に生育していた個体番号277のオオシラビソは樹冠上部の葉の消失が顕著であった(図3.1.2.14)。個体番号277から3枚の円板を採取したが、いずれも同地点でアルペンルートの開設工事が開始された1955年頃から急激に年輪成長が低下していた(図3.1.2.12,13,14)。

オオシラビの年輪は比較的に明瞭であるが、同個体の地上高600cm から採取した円板には不完全年輪が認められた(図3.1.2.15)。この樹冠部分はおそらく除雪の影響で葉が失われていた。この報告では、便宜的にこの個体の形成層形成年を2018年としたが、それ以前に年輪形成をしていなかった可能性も考えられる。

標準化した年輪面積の時系列変化のクラスター分析を行うと同一個体から採取した円板は近いグループとして分類された(図3.1.2.16)。個々の個体の成長パターンは多様であるが、同一個体内の幹の肥大成長の成長変遷は類似性が高いとみなされた(図3.1.2.12-16)。

年輪指數

年輪指數は、個々の個体の成長トレンドを除去し、年ごとの成長量を基準化するもので以下の式によって求められる(Cook 1981,Cook & Peters 1997, Bann 2008,Melvin & Briffa2008など)。

$$\text{年輪指數 } RWIt = Rt / Gt \quad (\text{式2})$$

ここで $RWIt$; 年 t における年輪指數,

Rt ; 年 t における年輪成長量, 本報告では年輪面積,

Gt ; 年 t における年輪成長量基準曲線の値,

とする。

本報告では Gt の算出に R 言語のスプライン曲線 `smooth.spline` 関数を用い、当てはまりの程度を示す smoothing parameter を $spar=0.8$ とした(図3.1.2.17)。この年輪指數算出値は、年輪解析用 R 言語パッケージ `dplR` (Bunn2008)による年輪指數算出値と、僅かなサイズ補正を除きほぼ同じものであった。算出した年輪指數をもとに、図3.1.2.16と同様にクラスター分類を行った場合、同一個体から採取した No.185 と No.277 の円板の年輪指數の変動パターンは類似性が高いものとして分類された。ただし、不完全年輪が認められた No.277_h600(図3.1.2.14,15)については No.277 の他2枚と離れたグループに分類された。道路開設時ころに起きた成長量の急激な減少という大きなトレンドは標準化された年輪面積のクラスター分析で近いグループとして分類されたが(図3.1.2.16)、トレンドの差分といえる年輪指數については、年輪欠損や局所的な成長パターンの違いによって、類似度が低いものとして評価されたものと推測される。

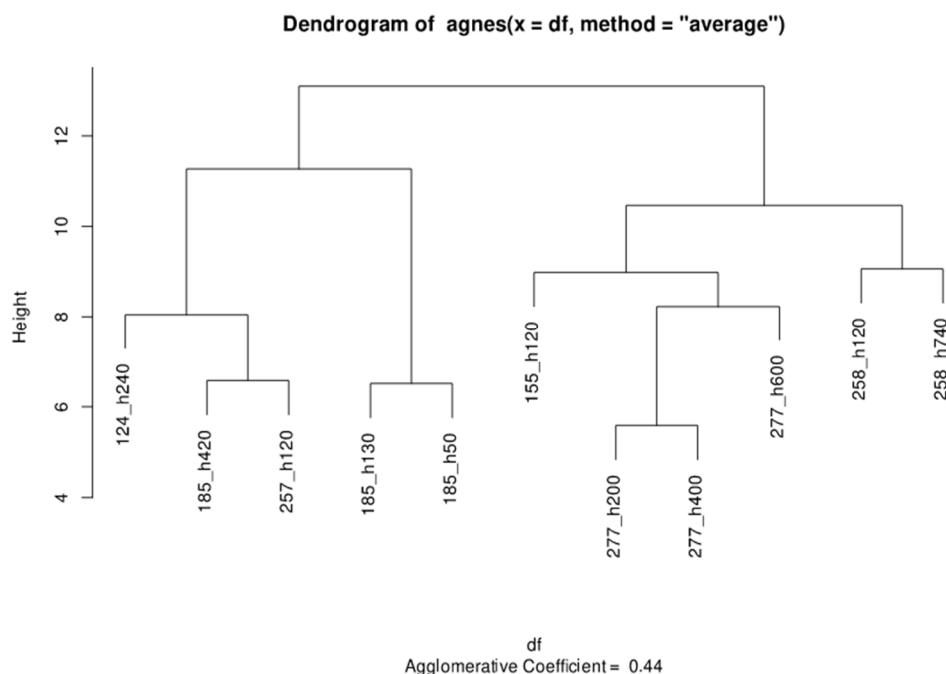


図 3.1.2.16 標準化した年輪面積成長に基づく円板のクラスター分類

同一個体から採取した円板は高い類似性を示している。

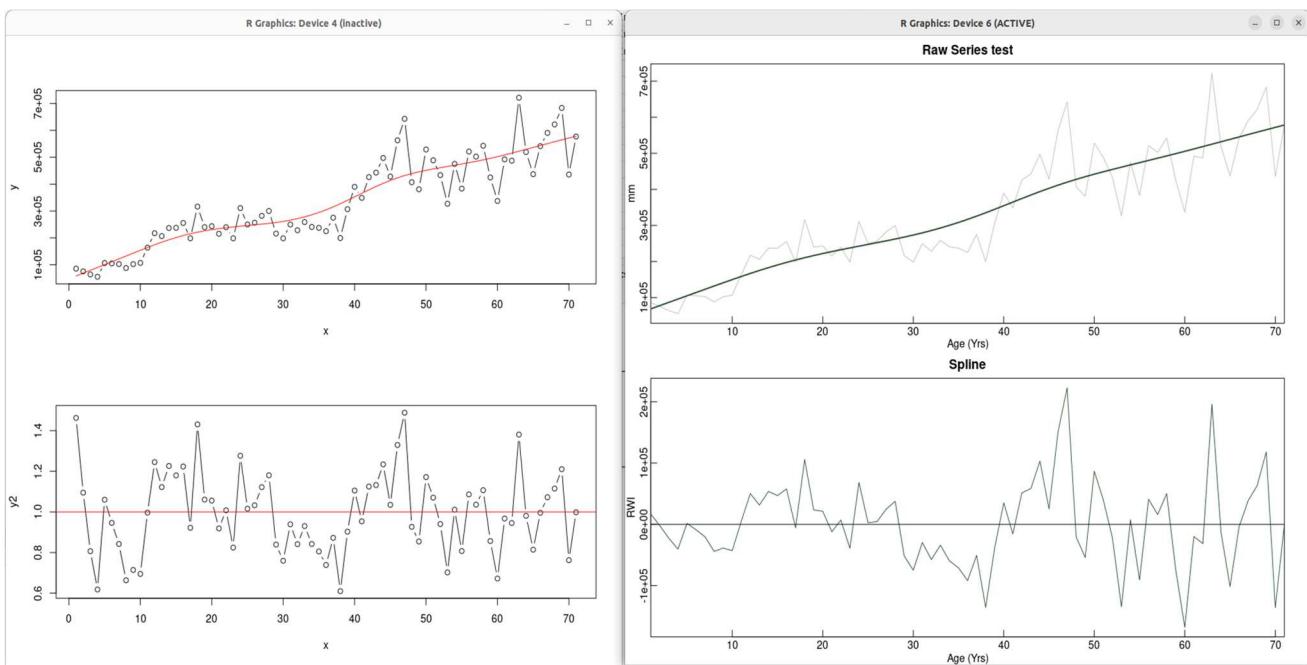


図 3.1.2.17 スプライン曲線を用いた年輪指標の算出 (124_h240 の例)

- (左) 本報告の算出値 (R package 'nennrin') (右) R package 'dplR' (Bunn2008)
- (上段) 年輪成長の時系列変化(Rt)とスプライン曲線(Gt)
- (下段) 年輪指標(RWI=Rt/Gt)
- (左下) `sm=smooth.spline(x,y,spar=0.8)` ; `RWI = y/predict(sm,x)$y`
- (右下) `RWI = detrend.series(v = v, v.name = "test", method="Spline", difference=TRUE)`

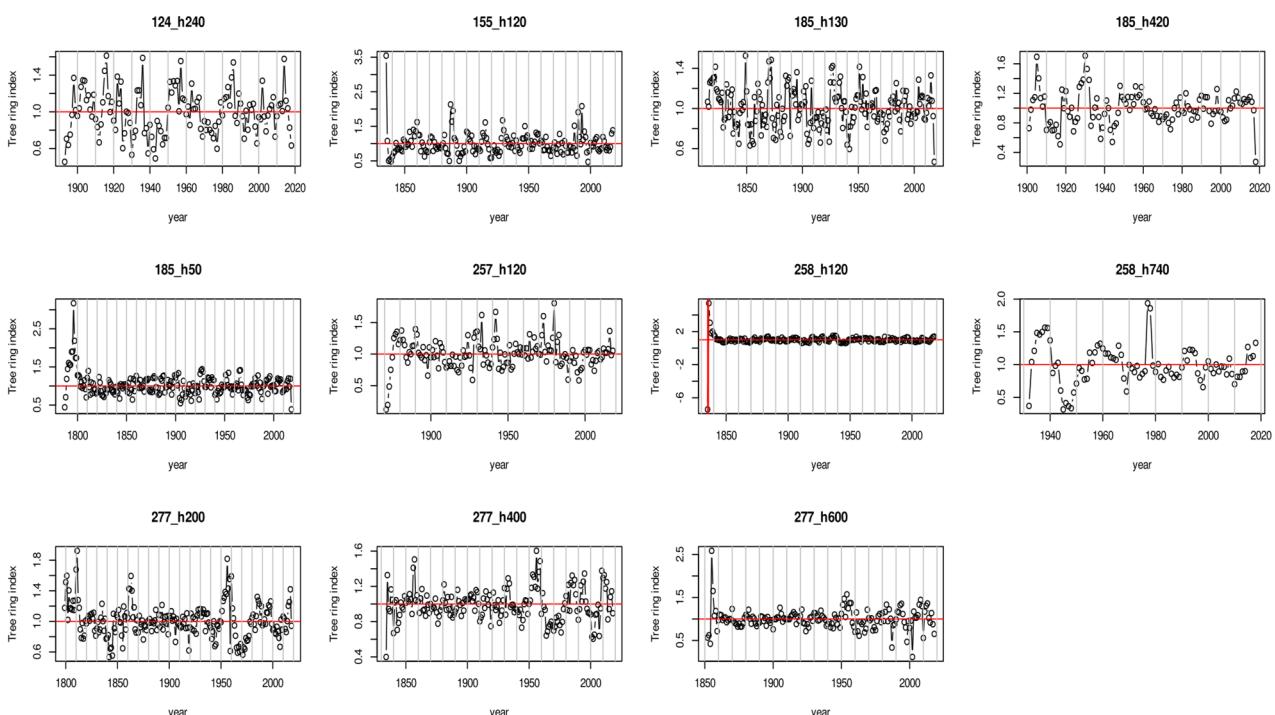


図 3.1.2.18 年輪指標の経年変化

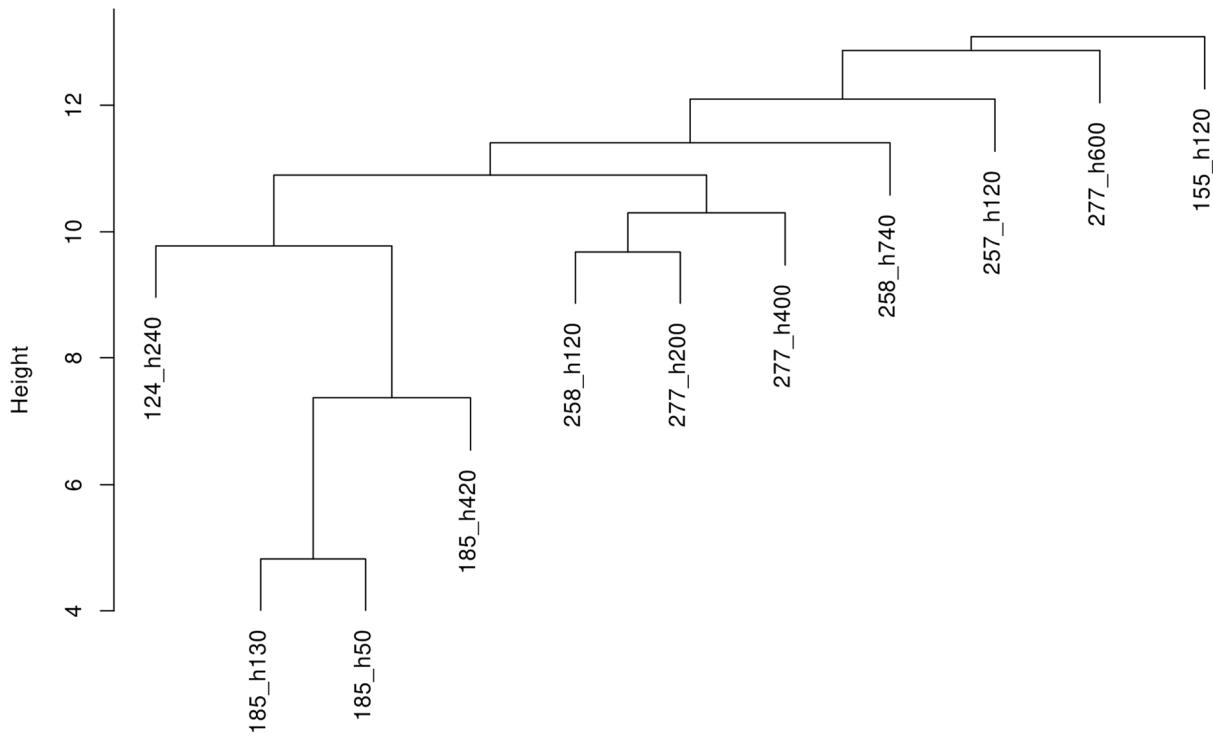


図 3.1.2.19 年輪指数に基づく円板のクラスター分類

標準化した年輪面積成長に基づく円板のクラスター分類(図 3.1.2.16)とは傾向が異なるが基本的には同一個体から採取した円板は近いグループに分類されている。

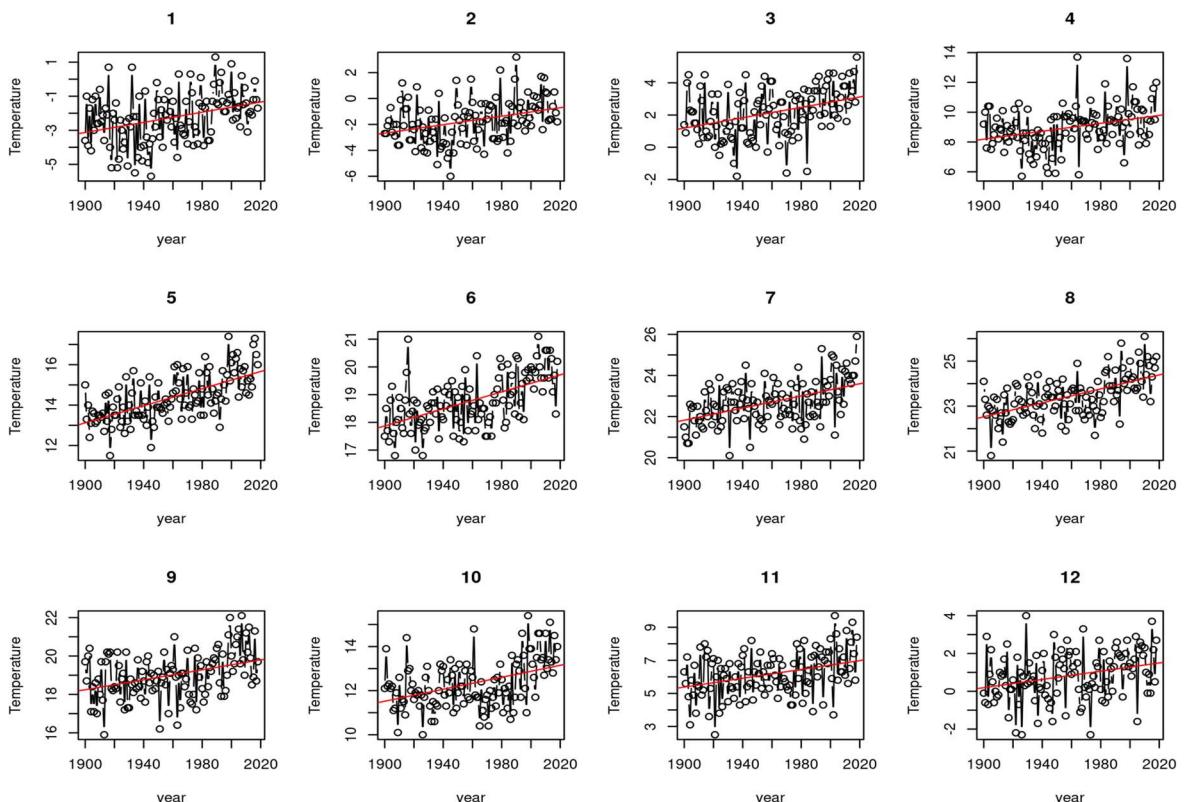


図 3.1.2.20 高山の月別平均気温の経年変化(1899-2023)

月別平均気温と年輪指数との相関

高山市の気象観測所では1899年から現在に至るまでの長期間計測が行われている。また、気温観測データの中では黒部で計測されている気温と最も相関が高い(久米, 2023立山研究会)。ここでは、年輪成長と高山の月別平均気温との相関関係について検討した。1899年以降の高山の月別平均気温は、各月いずれも西暦年と正の相関があり温暖化傾向が認められる(図3.1.2.20)。

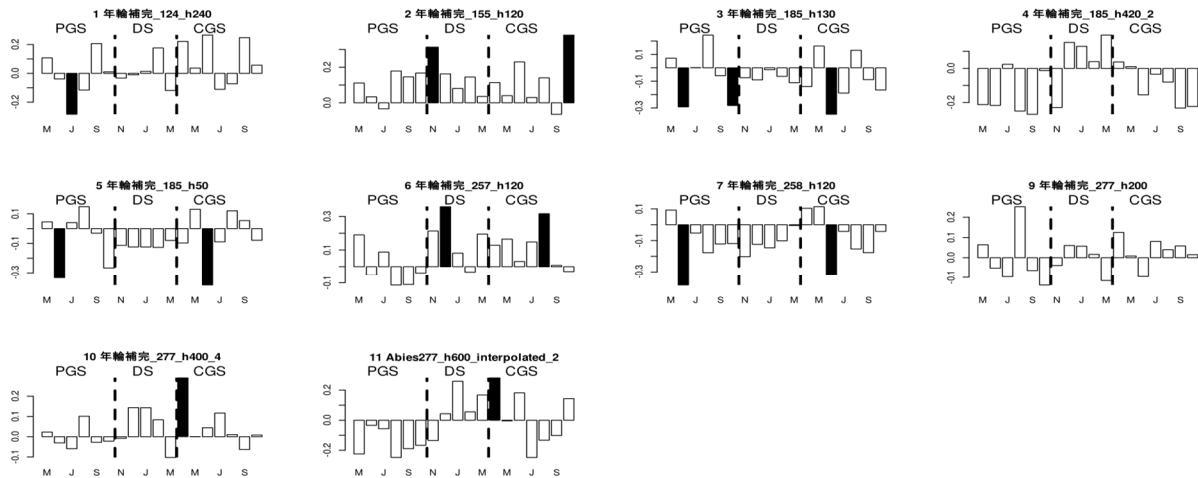
年輪解析を行ったオオシラビソの年輪指数と、高山の月別平均気温との間のピアソンの積率相関係数を前年の5月から当年の成長期終了時点までの期間について算出した(図3.1.2.21)。期間は、気象データのあるほぼ全期間に相当する1901～2018年と、アルペンルート開設の影響がない1901～1950年、と開設の影響を受けている1951～2000年の3期間に分けた。相関係数は総じて低く、相関ほぼすべてが0.3を下回り、フィッシャーの理論に基づいて統計的に有意となった割合は1901～1950年7.7%, 1951～2000年5.0%, 1901～2018年3.9%に過ぎなかつた。

本モニタリング調査において、加藤(2014)は美松のオオシラビソの年輪解析を行い、年輪成長と月別平均気温の関係において、当年の夏期に負の相関があることから、夏期の日中の晴天時にストレスを受けていると推測した。一方、Takahashiら(2011)は、乗鞍岳の亜高山帯で標高帯別にオオシラビソとシラビソの年輪解析を行い、年輪成長は、分布下限のシラビソを除き当年成長期前の休眠期および成長期で月別平均気温と正の相関があることを見出した。このことから、標高帯によって温度条件に対する年輪成長の反応が異なり、温暖な分布下限のシラビソの成長が温度ストレスを受けており、温暖化の影響があると結論した。

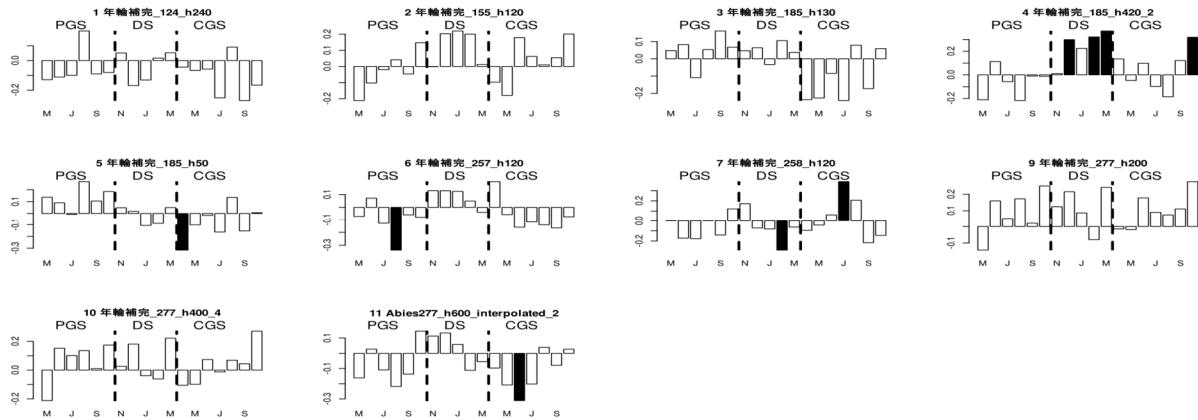
今回の調査では、年輪指数の算出に年輪面積を用いた。個体番号277上部の円板では、一部で明らかな不完全年輪が認められた。また、多くの個体の円板は偏芯し、部分的に年輪幅が広くなる特徴が認められた(図3.1.2.11)。直線的なコアサンプルでは特に髓付近で年輪幅を斜めに計測する可能性が高い。年輪形状のベクターデータの計測は多くの労力を要するが、年輪全周を観察できるため偽年輪、不完全年輪の判定精度が高い。また、年輪は、放射方向で必ずしも同一の割合で完全な同心円成長をしないため、年輪幅よりも年輪面積を用いたほうがより信頼性の高い解析が可能であるとされている(Soille & Misson, 2001, Cerdà 2007, Latte et al. 2015)。同一個体からサンプリングされた円板の年輪面積の成長パターンはともによく一致し、年輪面積による成長パターンの評価はおおむね妥当であると考えられた。

美松調査区のオオシラビソの成長パターンは、同一個体においては同調性が認められたもの(図3.1.2.16, 19)、個体によって固有であり解析を行った円板の年輪成長のパターンに共通した傾向を見出すことができなかった。また、年輪指数と月別平均気温との相関分析においても、明瞭な傾向は得られなかった(図3.1.2.21)。バス道路開設前の1950年以前では、人為的な影響はほとんどなかったと考えられるが、やはり気温と年輪成長の相間に一定の傾向は認められなかった。

1901-1950



1951-2000



1901-2018

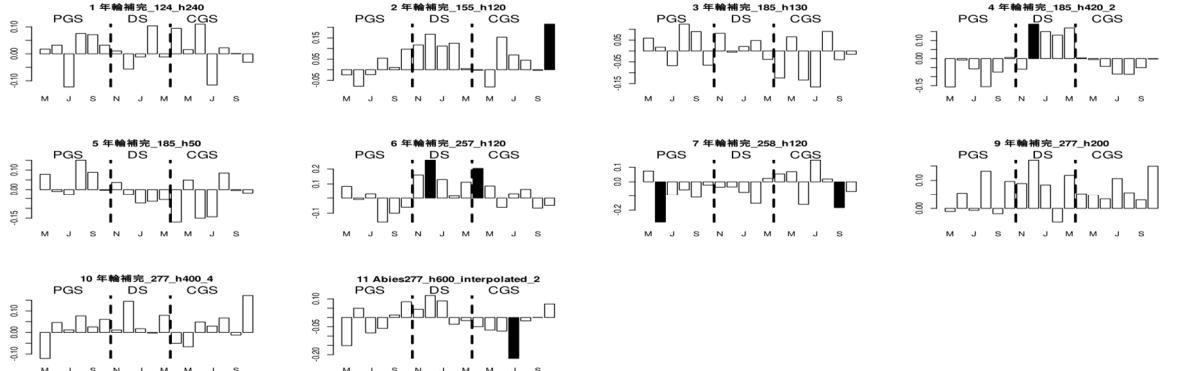


図 3.1.2.21 高山気象観測所の月別平均気温と年輪指数との相関関係

縦軸に相関係数(ピアソンの積率相関係数), 横軸に各月, PGS previous year growing season, DS dormance season, CGS current year growing season), 黒いバーは相関係数が有意であることを示す。

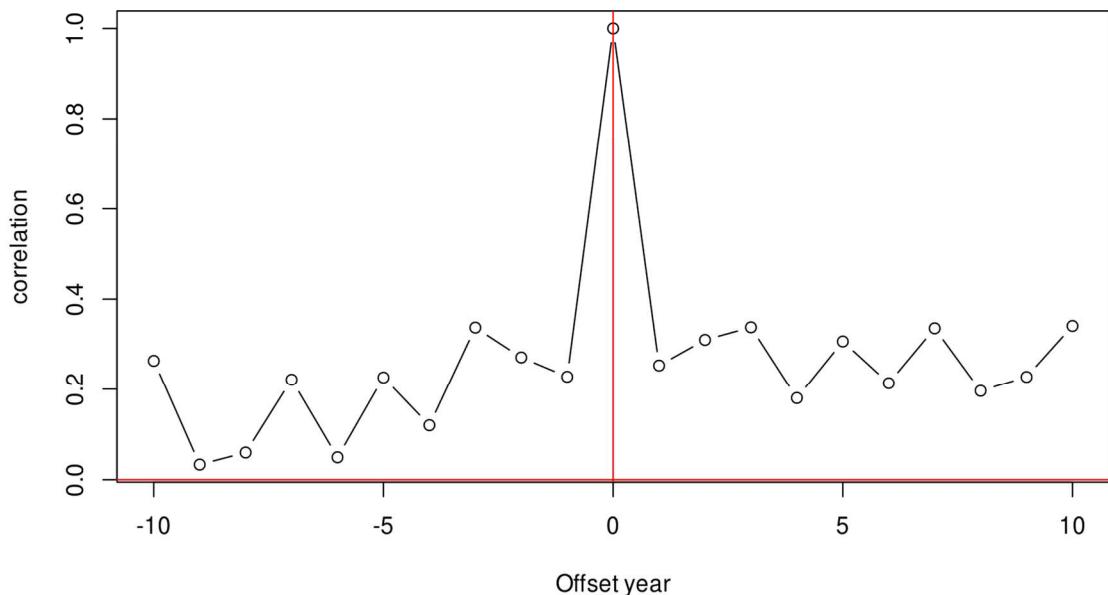


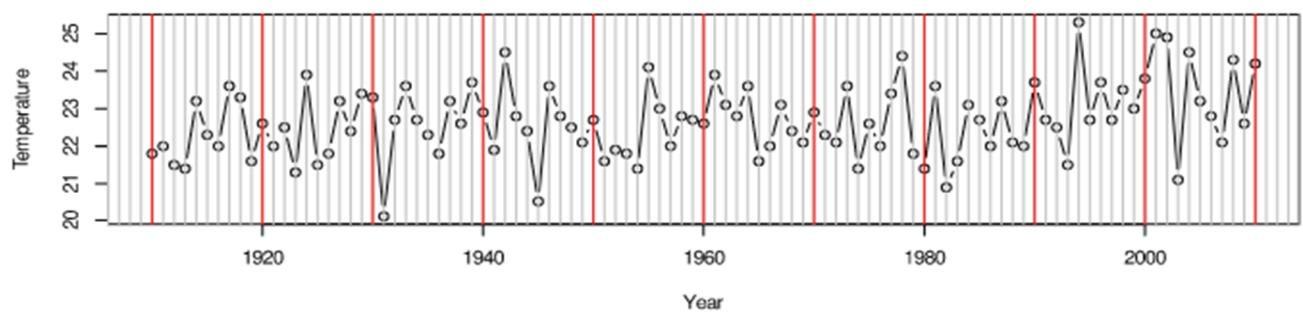
図 3.1.2.22 計測年のずれと相関関係 -検討-

年輪指数と環境因子(ここでは月別平均気温)の年変動の相関を検討する際、年輪形成年に誤差があると、両者に相関関係があった場合、たった1年でも両者の相関係数は大きく減少する。年の誤差が0の場合、相関係数が最も大きくなる。この図は2つの同じ高山気象観測所の年平均気温の1910年から2010年の観測値を用い、年をずらしながら両者の相関係数を計算したもの。5%有意水準は相関係数(correlation)0.2以上

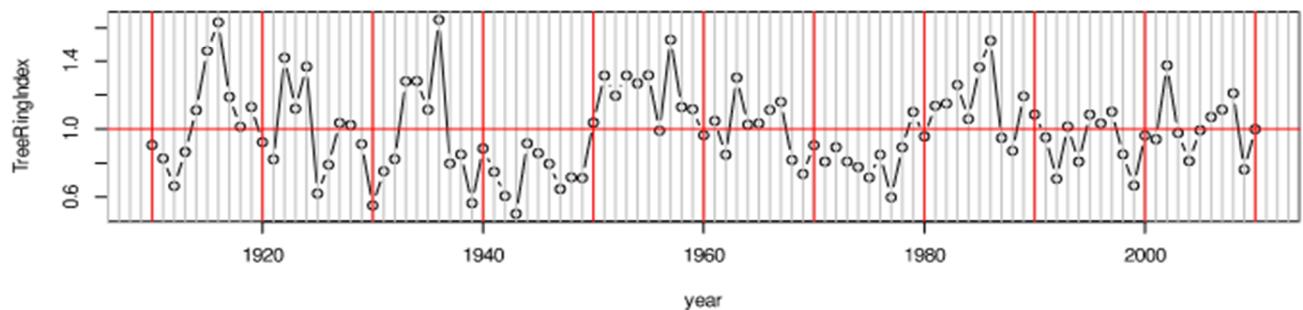
これまでの多くの年輪年代学の研究で月別平均気温と年輪指数との間に関係があることが報告されている(Fritts 2012, Mamet & Kershaw 2013, Takahashi & Okuhara 2013, Takahashi et al. 2011, Yasue et al., 2019, 野田 1996など)。一方、干ばつ年に年輪幅が著しく狭くなるといった特徴的な年輪成長量の変化が多くの個体で認められる年 key-year は我が国には存在しないであろうとする報告もある(高田 1985)。key-year は年輪解析の一手法として用いられるクロスデーティングの根拠となるものもある(米延ら 2010)。

これまでに行われている研究において、月別平均気温と年輪指数との相関係数は総じて低く、異なる結果を示すケースも少なくない。例えばオオシラビソの解析例では、標高分布帯の中間に位置する生育環境において、当年の夏期の相関係数は加藤(2014)では負、Takahashi ら(2011)では正の傾向を示している。

7 th month at Takayaya Meteolological station



年輪補完_124_h240



7月平均気温 X 年輪指数: 124_h240

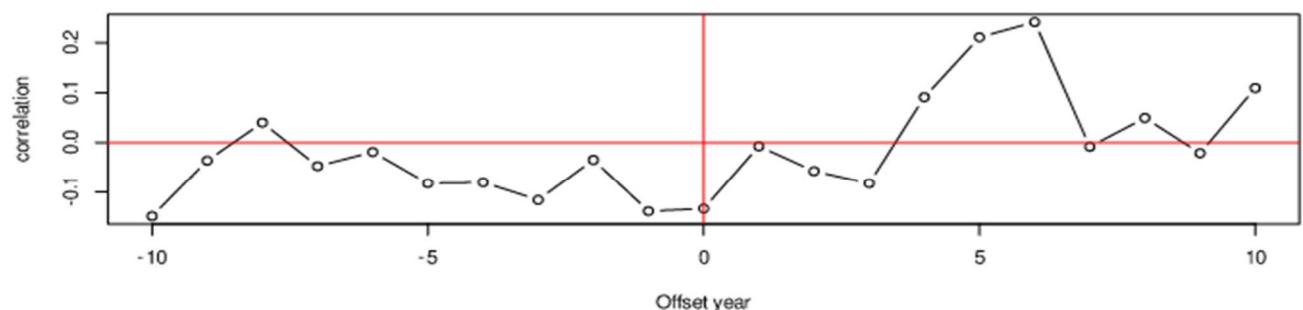


図 3.1.2.23 高山気象観測所の 7 月平均気温(上段), 年輪指数(中段)および両者の相関係数(下段)

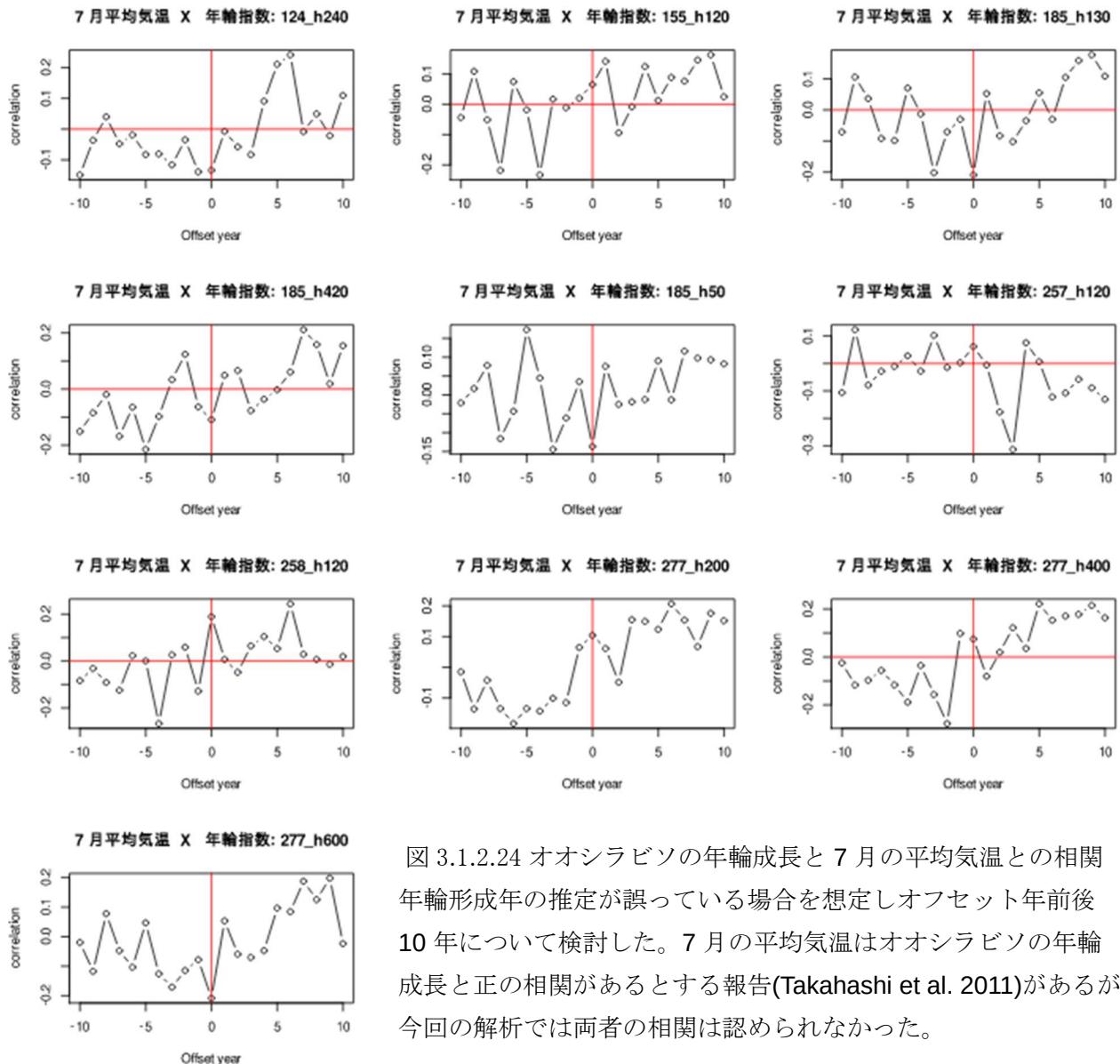


図 3.1.2.24 オオシラビソの年輪成長と 7 月の平均気温との相関
年輪形成年の推定が誤っている場合を想定しオフセット年前後
10 年について検討した。7 月の平均気温はオオシラビソの年輪
成長と正の相関があるとする報告(Takahashi et al. 2011)があるが
今回の解析では両者の相関は認められなかった。

人為的な影響

美松調査区の特徴として、バス道路の直下に位置し、特に道路に近い場所に生育するオオシラビソでは道路開設工事やその後の除雪作業によって生育阻害を受けている可能性が高い(図3.1.2.12-16)。除雪の際の投雪は本調査区においては、バス道路から約50m 付近にまで到達する。今回、年輪解析を行ったオオシラビソの個体は、いずれもこの範囲にあった。美松調査区の道路沿いに生育しているオオシラビソは、一様に樹冠上部の葉が少なく活力度が低い。今回、年輪解析を行った個体番号277のオオシラビソは、道路から約10m の距離に生育し、活力度が1~2と低い値をとりそうした個体の一つであるといえた。この個体から採取された3枚の年輪パターンは、いずれも道路開設時に急激に成長が鈍化しており、バス道路開設工事とその後の生育環境が生育ストレスとなっていることが強く疑われた。加藤(2014)もまた、同調査区内の道路に近いところに生育していた個体(277番, 224番)のコアサンプルを用いた年輪解析を行い道路開設工事時に成長が著しく減少していることを確認している。また、道路から離れてはいるが221番について、バス道路開設工事中の減少は認められないが、

その後減少が確認され、投雪による落葉落枝が年輪成長を阻害したのではないかと述べている。年輪幅は樹冠の葉の状態によって変化することが報告されている(Drobyshev et al. 2007)。美松調査区内のバス道路に近い場所に生育しているオオシラビソは、本数密度が低く、また、No.277と同じように樹冠上部の葉を失い活力度が低い個体が多い(図3.1.2.10)。バス道路開設が道路近くに生育するオオシラビソの生育に影響をもたらした可能性が示唆される。

年輪形成年代の推定誤差が相関分析に及ぼす影響の検討

年輪解析では、年輪数から年輪形成年を推定するため、すべての年の年輪を正確に識別していく必要がある。1年でもすれば、時系列の相関分析結果に大きく影響する(図3.1.2.22)。今回、2018年9月に風倒した個体の幹材を年輪解析用の円板として利用した。生育期間中であったためか、最終年の年輪面積が小さくなっているものも認められた(図3.1.2.12 個体 No.185など)。サンプリングした個体は比較的に道路に近く活力度が低い個体も含まれていたため(表3.1.2.1)、最終年の年輪幅が狭く判別できないものが含まれている可能性がある。少なくとも277_h600は、その可能性が高い。

オオシラビソの成長に影響を与えるとする夏期7月の平均気温と年輪指数との相関係数について(加藤2014, Takakashiら2013)、年輪形成年の推定にズレがあった場合、どのように変化するかについて検討した(図3.1.2.23, 24)。オフセット年が0の時、相関係数が最大となることが期待されたが、その事例は存在せず、いずれの組み合わせでも気温と年輪指数の相関係数は低く統計的にはほとんど有意とならなかった。

年輪成長に影響を与える要因

年輪成長には、気温以外にも、降水量、近接木との競合、葉の量、種子生産の豊凶、動物による食害など、様々な要因に影響を受ける(Shibata 2007, Mamet et al. 2013, Takakashi & Okuhara 2013, 加藤 2014など)。月別平均値では、樹木の成長を阻害する事象、例えば寒冷耐性を獲得していない早い時期での低温、開葉後の遅い霜によってもたらされる晩霜害など際立った低温など検出できない可能性が高い。樹木の年輪成長は、多変量によって説明されるもので、今回のような単回帰は解析手法として限界がある。年輪指数の算出や解析に関し標準化された手法(Bunn 2008など)によって、年輪面積の資料をさらに検討していく必要がある。また、年輪解析に供している試料が絶対的に少なく、特に人為的な影響を強く受けていない松尾峠などで試料を追加していく必要がある。気温の観測値は調査地から約60km離れた高山観測所の計測値を用いたが、立山の亜高山帯の局地的な値をどこまで正確に推定できているかは十分に明らかにされておらず今後の現地での気象データの集積が期待される。

参考文献

- Beck, W., Sanders, T. G. M., & Pofahl, U. (2013). CLIMTREG: Detecting temporal changes in climate-growth reactions—A computer program using intra-annual daily and yearly moving time intervals of variable width. *Dendrochronologia*, 31(3), 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.02.003>
- Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- Cerda, M., Hitschfeld-Kahler, N., & Mery, D. (2007). Robust Tree-Ring Detection. *Advances in Image and Video Technology*, 575-585. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77129-6_50
- Cook, E., & Peters, K. (1981). The smoothing spline, a new approach to standardising forest interior tree-ring. *Tree-ring Bulletin*, 41, 45-53.
- Cook, E. R., & Peters, K. (1997). Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *The Holocene*, 7(3), 361-370.
- de Quesada, G., & Kuuluvainen, T. (2020). Tree diametric-species diversity is affected by human impact in old Scots pine dominated forest in boreal Fennoscandia. *Forest Ecosystems*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-020-0219-6>
- Drobyshev, I., Linderson, H., & Sonesson, K. (2007). Relationship between crown condition and tree diameter growth in southern Swedish oaks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128(1-3), 61-73. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9415-2>
- Fritts, H. C. (2012). *Tree rings and climate*. Elsevier.
- Koenig, W. D., & Knops, J. M. H. (1998). Scale of mast-seeding and tree-ring growth. *Nature*, 396(6708), 225.
- Latte, N., Beeckman, H., Lejeune, P., Bauwens, S., Bonnet, S., & Philippe, L. (2015). A novel procedure to measure shrinkage-free tree-rings from very large wood samples combining photogrammetry, high-resolution image processing, and GIS tools. *Dendrochronologia*, 34, 24-28. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.03.002>
- Mamet, S. D., & Kershaw, G. P. (2013). Age-dependency, climate, and environmental controls of recent tree growth trends at subarctic and alpine treelines. *Dendrochronologia*, 31(2), 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.002>
- Melvin, T. M., & Briffa, K. R. (2008). A 「signal-free」 approach to dendroclimatic standardisation. *Dendrochronologia*, 26(2), 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.12.001>
- Shibata, E. (2007). Effects of deer debarking on masting and trunk radial growth of Hondo spruce, *Picea jezoensis* var. *Hondoensis*, in a subalpine forest of central Japan. *Forest Ecology and Management*, 252(1-3), 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.028>
- Soille, P., & Misson, L. (2001). Tree ring area measurements using morphological image analysis. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(6), 1074-1083. <https://doi.org/10.1139/x01-025>
- Takahashi, K., & Okuhara, I. (2013). Forecasting the effects of global warming on radial growth of subalpine trees at the upper and lower distribution limits in central Japan. *Climatic Change*, 117(1-2), 273-287. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0547-9>
- Takahashi, K., Okuhara, I., Tokumitsu, Y., & Yasue, K. (2011). Responses to climate by tree-ring widths and maximum latewood densities of two *Abies* species at upper and lower altitudinal distribution limits in

- central Japan. *Trees – Structure and Function*, 25(4), 745-753. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0552-z>
- Treut, L., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., Prather, M., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Kingdom, U. (2007). *Historical Overview of Climate Change Science*.
- Vézeau, C., & Payette, S. (2016). Gap expansion in old-growth subarctic forests: The climate-pathogen connection. *New Phytologist*, 212(4), 1044-1056. <https://doi.org/10.1111/nph.14081>
- Wada, N., & Kawada, K. (2004). Increasing Winter Runoff in a Middle-Latitude Mountain Area of Central Japan. 82(6), 1589-1597.
- YASUE, K., KUBO, N., AKAO, M., SANO, M., & NAKATSUKA, T. (2019) Dendroclimatic Reconstruction of Summer Temperature at the Akaishi Mountains since A.D. 1774. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, 128(1), 49-59. <https://doi.org/10.5026/jgeography.128.49>
- 鵜飼一博. (2011)南アルプスにおけるニホンジカの影響とその対策. 森林科学, 61, 21-24.
- 吉良龍夫. (1948) 温量指数による垂直的な気候帯のわかつたについて-日本の高冷地の合理的利用のために. 寒地農学, 2, 143-173.
- 高田和彦. (1985) スギの直径生長におけるkey year について. 日本林學會誌, 67(6), 240-242.
- 富山森林管理署 (1994)「タテヤマスギ巨木調査報告書（第1期報告＝平成15年度調査）」. 富山森林管理署 36p.
- 正史門脇, 好和遠藤, 明宏井波, & 明滝浪. (2007). 南アルプス静岡地域における天然生林のニホンジカ Cervus nippon による被害の事例報告. 森林立地, 49(1), 73-78. https://doi.org/10.18922/jffe.49.1_73
- 長池卓男, 西川浩己, 飯島勇人, 北原正彦, 杉田幹夫, 中野隆志, 土橋宏司, 亀井忠文, 横川昌史, 井鷺裕司, & others (2012). 南アルプスにおけるニホンジカによる高山植物への影響と保護対策および個体数管理に関する研究. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書, 7, 47-53.
- 加藤輝隆(2014) 年輪年代学的年輪解析. 環境変動と立山の自然(III) -立山植生モニタリング第 III 期調査成果報告書-. III
- 米延仁志, 大山幹成, & 星野安治. (2010). 年輪年代学におけるクロスデーターティングのガイドライン—日本産材を用いた方法論の分析とモンテカルロシミュレーションによる統計的クロスデーターティングの再検討. 考古学と自然科学, 60, 1-12.
- 野田真人 (1996) 樹木年輪幅の時系列変動の解析. 北海道大学農学部 演習林研究報告, 53(1), 97-146.

3.2 森林動態調査 (中島春樹)

3.2.1 ブナ平

調査概要

ブナ平調査区は、立山溶岩台地の先端部に位置する美女平から水平距離で約1800m室堂方向に上がったアルペンルートの車道沿いにあり、標高は1190mである。地形は平坦であり、明瞭な沢地形は認められないが部分的に緩やかな凹凸があり（図3.2.1.1），滞水した窪地がある。胸高直径10cm以上の立木を対象として胸高直径と活力度の追跡調査を行っている。1999, 2003, 2006, 2009, 2012, 2017, 2023年に1~7回目の調査を行った。以下、1回目から24年後の2023年に行った7回目の調査結果に基づき述べる。

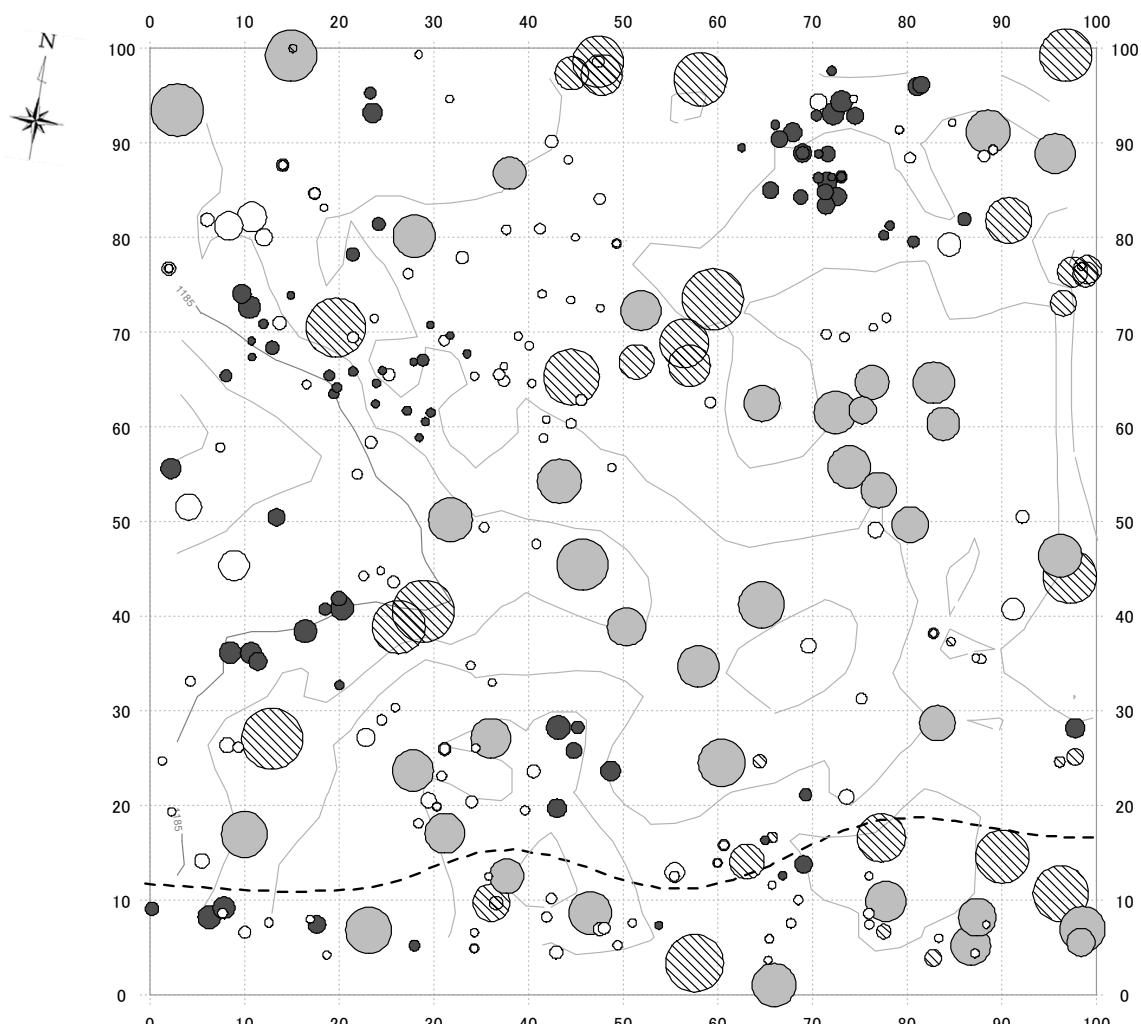


図3.2.1.1 ブナ平調査区の立木の空間分布（2023年）

円の大きさは胸高直径と相対関係にある
生存木のみを表示、等高線間隔1m
y軸正方向方位346.5度、座標軸の単位はm

スギ
中大径ブナ(1999年D \geq 30cm)
小径ブナ(1999年D<30cm)
その他広葉樹

2023年の森林構造

出現樹種は13種、本数は296本/ha、胸高断面積合計は45.12m²/haだった（表3.2.1.1）。優占率（胸高断面積割合）はスギが48.2%、ブナが46.0%であり、この2種で94%を占めていた。本数ではブナが121本/haとスギの37本/haを大きく上回っていた。その他の樹種では、ホオノキとウワミズザクラの優占率が比較的高かった。

直径分布をみると、ブナは10~20cmの最小クラスにモードがあり、全本数の約40%がこのクラスだったが（図3.2.1.2），大サイズほど少ない単純なL字型の分布ではなく、直径70~100cmにも多い二山型の分布だった。直径34.1cm~41.9cmの立木がなかったため、この直径階を境として小サイズの集団（以下、小径ブナ）と大サイズの集団（以下、中大径ブナ）に分けられた。これら2集団の1回目の調査時（1999年）の直径は、小径ブナで最大18.4cm、中大径ブナで最小38.5cmだったので、この期首直径に基づけば直径30cmを境にして集団を区分できた。最大直径は113.9cmだった。スギは10~20cmの最小クラスにモードがあり、最大直径は149.4cmだった。ホオノキ、ウワミズザクラの最大直径は47.8cm、38.8cmで、その他の樹種はすべて20cm以下だった（図3.2.1.3）。

表3.2.1.1 樹種組成（2023年）

樹種	本数	本数 (/ha)	胸高断面積 合計(m ² /ha)	優占率	材積 (m ³ /ha)
1 スギ	37	37	21.75	48.2%	172.6
2 ブナ	121	121	20.75	46.0%	177.9
3 ホオノキ	19	19	0.86	1.9%	6.5
4 ウワミズザクラ	28	28	0.69	1.5%	4.5
5 ハウチワカエデ	24	24	0.27	0.6%	1.3
6 ウリハダカエデ	20	20	0.25	0.6%	1.3
7 ヤマモミジ	19	19	0.21	0.5%	1.0
8 ナナカマド	8	8	0.09	0.2%	0.4
9 コミネカエデ	5	5	0.07	0.2%	0.4
10 タムシバ	7	7	0.06	0.1%	0.3
11 ミズキ	5	5	0.06	0.1%	0.3
12 キハダ	2	2	0.03	0.1%	0.2
13 ウダイイカンバ	1	1	0.02	0.0%	0.1
計	296	296	45.12	100.0%	366.7

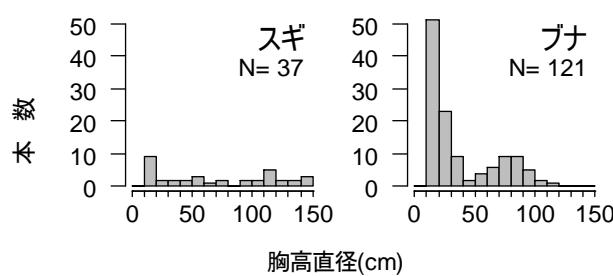


図3.2.1.2 スギとブナの直径分布（2023）

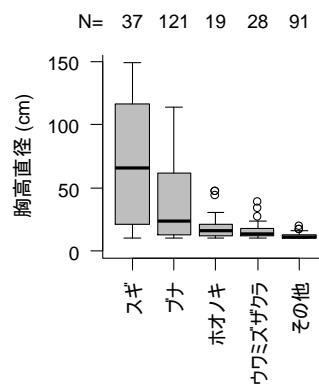


図3.2.1.3 全樹種の直径分布

小径ブナの空間分布

小径ブナ ($N=83$) は本数も多く、大径木へと成長して優勢木となりうるため、調査区の今後の森林動態を左右する重要な存在である。そこで小径ブナの空間分布（図 3.2.1.1）の特性を明らかにするため、中大径ブナ ($N=38$) およびスギ ($N=37$) とあわせ、Morisita (1959) の $I\delta$ 指数を用いて分布様式を、Iwao (1977) の ω 指数を用いて分布相関を検討した（図 3.2.1.4）。両指数は、調査区を $2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^9$ 個の同面積の区画に分割した場合についてそれぞれ算出した。すなわち区画面積（以下、S）は $19.5 \sim 5000 \text{ m}^2$ となる。

小径ブナは S に関わらず $I\delta$ が有意に 1 を上回り、顕著に集中分布していた。一方中大径ブナは S に関わらず $I\delta$ は 1 と有意差なくランダム分布だった。スギは $S \leq 313 \text{ m}^2$ の場合に有意に 1 を上回り集中分布していた。次に、S と $I\delta(S)/I\delta(2S)$ （区画面積 $2S$ で算出した $I\delta$ に対する S で算出した $I\delta$ の比）の関係をみると、小径ブナでは $S = 156 \text{ m}^2$ と 1250 m^2 に極大値があることから、その集中斑（Morisita 1959）の大きさは $100 \sim 200 \text{ m}^2$ 程度の小サイズのものと $1000 \sim 2000 \text{ m}^2$ の程度の大サイズのものが多いと推定された。

小径ブナと中大径ブナ間の ω 指数は S に関わらず負の値となり、小径ブナとスギ間では $S \leq 2500 \text{ m}^2$ で負の値だった。

これらのことから、小径ブナは周囲に中大径ブナやスギがないギャップに $100 \sim 200 \text{ m}^2$ もしくは $1000 \sim 2000 \text{ m}^2$ 程度の集中斑として分布しており、いわゆるギャップ更新が進行していると言える。

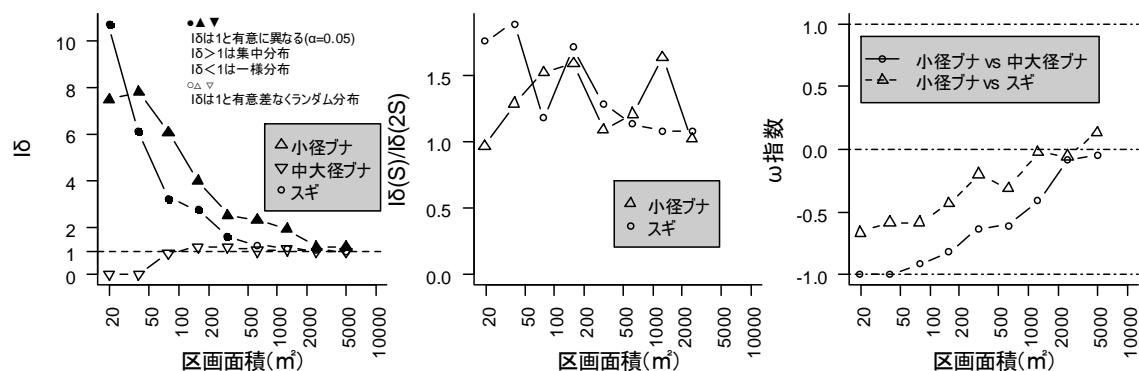


図 3.2.1.4

(左) 小径ブナ、中大径ブナ、スギの区画面積と $I\delta$ 指数の関係

(中) $I\delta$ 指数で集中分布が検出された小径ブナとスギの区画面積と $I\delta(S)/I\delta(2S)$ の関

係

森林動態

1回目に調査した1999年から2023年までの枯死木は8種42本だった（表3.2.1.2）。うち本数が多かったのはブナの19本で、ともに優占するスギは3本だった。枯死木の直径をみると（図3.2.1.5），ブナを除く7種23本はホオノキの1本を除き20cm未満であり、主に被圧により衰退して枯死したものと推測された。一方ブナは枯死した19本のうち20cm未満は5本に過ぎず、その他の14本は40cm以上だった。1999年に中大径ブナ（直径30cm以上）は52本生存していたので、うち27%が枯死したこととなる。枯死時期は、1999～2003年が5本、2003～2006年が4本、2017～2023年が5本であり、2006～2017年は1本もなかった（表3.2.1.3）。

調査区のブナの最大直径は113.9cmであるのに対し、枯死した中大径ブナは直径50～80cmのものが多いことから、老熟がすべての枯死の主因とは考えにくい。また、これらの枯死木は車道沿い（図3.2.1.6の下側、y=0mライン）ではなく、車道から20m以上離れた調査区内に広く分布すること、NO₂濃度は道路からの距離と負の相関があり、かつ道路から3m地点でも3.5ppbv以下の低濃度であること（Kume et al. 2009）から、排気ガスの影響で枯死したとも考えられない。一方、大陸からのオゾンなどの広域大気汚染物質が、オゾンに対する耐性がスギよりも弱いブナの生育に悪影響を及ぼし、1999～2006年にかけて相次いでブナ中大径木の枯死の一要因となった可能性が指摘されている（Kume et al. 2009）。また、2006年以降の中国における大気汚染対策の厳格化に伴い、大陸起源の大気汚染物質が2008年以降減少したことが、2009～2017年にかけてのブナの成長の改善（図3.2.1.7）に関係した可能性が指摘されており（Kume et al. 2020），2006～2017年にかけて中大径ブナの枯死がなかったことにも関係しているかもしれない。

中大径ブナは2017～2023年に5本枯死した（表3.2.1.3）。このうち直径111.6cmの枯死木は、2017年まで活力度が2と低い状態が続いており、本モニタリングにおけるブナの最大直径である約120cmに近い太さでもあることから、老熟による枯死だと考えられた。直径56.0cmの枯死木は、2018年9月4日に日本海を北上した台風18号による強風による幹折れが枯死原因だった。その他の3本（直径83.5, 61.0, 57.6cm）については、2017年の活力度は4または5と高く、2022年まで生存を確認していたが2023年に急激に枯死した（図3.2.1.8）。2022年はブナ平を含む県北東部でマイマイガが大発生した。富山県ではツキノワグマ出没予測のため、ブナ、ミズナラ、コナラの着果状況を固定調査木でモニタリングしており、マイマイガ大発生年には調査木の失葉率を10%単位で記録している（Nakajima 2015, 2018）。ブナ平のブナ29本（本調査区内19本、調査区外10本）について2022年7月に調べた失葉率の平均値は80%で、100%失葉木は11本を占めた（図3.2.1.9, 3.2.1.10）。2023年に急激に枯死した中大径ブナ3本のうち2本（直径61.0, 57.6cm）は2022年の失葉率の調査対象であったが、どちらも100%失葉木だった。マイマイガによる失葉後の同シーズンの再展葉能力は、ブナはミズナラに比べて低く、光合成産物の獲得による失葉のダメージからの回復が遅れやすい（Nakajima 2018）。これらのことから、2022年のマイマイガによる食葉害が、中大径ブナ3本の枯死に関係したと考えられる。なお、2022年に調査区内外で観察された100%失葉木11本のうち、2023年に枯死したのは上記の2本のみだった。

1回目に調査した1999年から2017年までの加入木は13種146本だった（表3.2.1.2）。樹種別にみるとブナが37本と最も多く、うち20本は2017～2023年にかけての加入木だった。ブナは図3.2.1.4に見たようにギャップに集中分布する小径ブナの集団があるうえ、加入木も多数発生しており、次代への更新は着実に進行していると考えられる。ブナに次いで加入木が多かったのは、ハウチワカエデの20本、ウリハダカエデの18本、ウワミズザクラの17本、ヤマモミジの15本だった。ス

ギの加入木は3本だった。加入木は周辺にブナ中大径木やスギがない部分に発生することが多く、2017～2023年にかけては調査開始時から大きなギャップとなっていた(x,y)=(35m,70m)付近に集中して発生した（図3.2.1.6）。ギャップには丈の高いチシマザサが密集している部分も観察され、ササが更新を阻害している可能性もあり、今後の動態を注視していく必要がある。

1回目調査時の1999年または最新調査の2023年に10本以上生存木があった樹種について、個体群成長率、枯死率、加入率を算出した（表3.2.1.4）。主にギャップにおいて加入木が多数発生したハウチワカエデ、ヤマモミジ、ウワミズザクラ、ウリハダカエデ、ホオノキは加入率が枯死率を大きく上回り、個体群成長率は2.28～7.47%/yrだった。このうちウワミズザクラとホオノキは直径30cmを超える立木がある（図3.2.1.3）ことから明らかなようにブナ林の林冠構成種であり（Yamamoto 1989），ギャップの一部ではこれら2種が林冠木へと成長していくものと考えられた。ブナとスギの個体群成長率は他樹種と比べると低かった。

表3.2.1.2 枯死木と加入木

樹種	枯死木本数	加入木本数
ブナ	19 <14> (7)	37 (20)
ウリハダカエデ	9 (2)	18 (7)
ウワミズザクラ	4 (1)	17 (4)
ホオノキ	3 <1> (2)	11 (3)
スギ	3 (1)	3 (2)
タムシバ	2 (1)	6 (1)
ナナカマド	1 (1)	6 (1)
リョウブ	1 (1)	
ハウチワカエデ	20 (7)	
ヤマモミジ	15 (2)	
コミネカエデ	5	
ミズキ	5 (1)	
キハダ	2 (1)	
ウダイイカンバ	1	
計	42 <15> (16)	146 (49)

「枯死木」とは1回目調査時に直径10cm以上だった生存木のうち、最新調査回に枯死していた木
「加入木」とは1回目調査時以降に直径10cm以上に成長し、最新調査回に生存していた木
裸数字：枯死木と加入木の本数
<>数字：裸数字の枯死木のうち直径30cm以上（生存時の最終の調査回時点）の本数
()数字：裸数字の枯死木と加入木のうち前回調査時以降に枯死または加入した本数

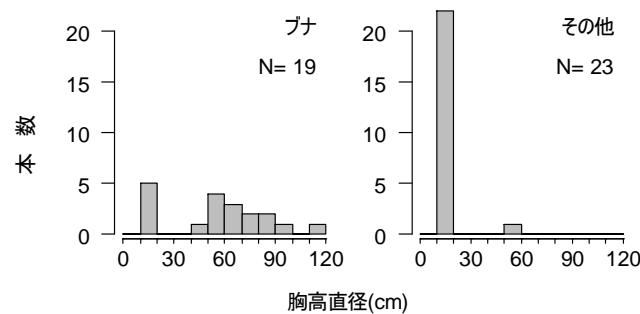


図3.2.1.5 枯死木（1999-2023）の直径分

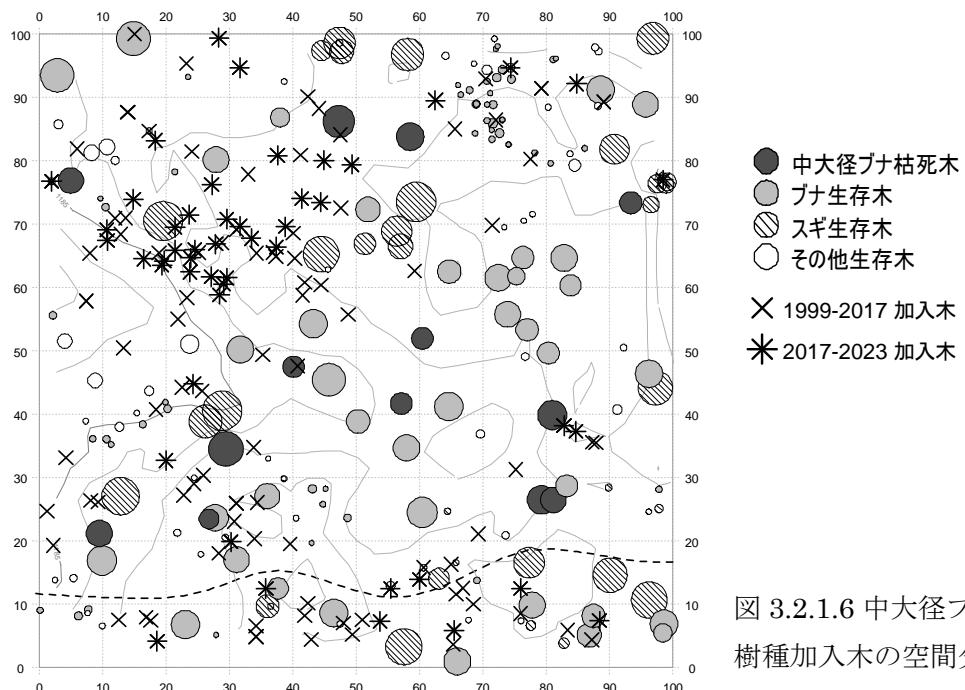


図 3.2.1.6 中大径ブナ枯死木と全樹種加入木の空間分布

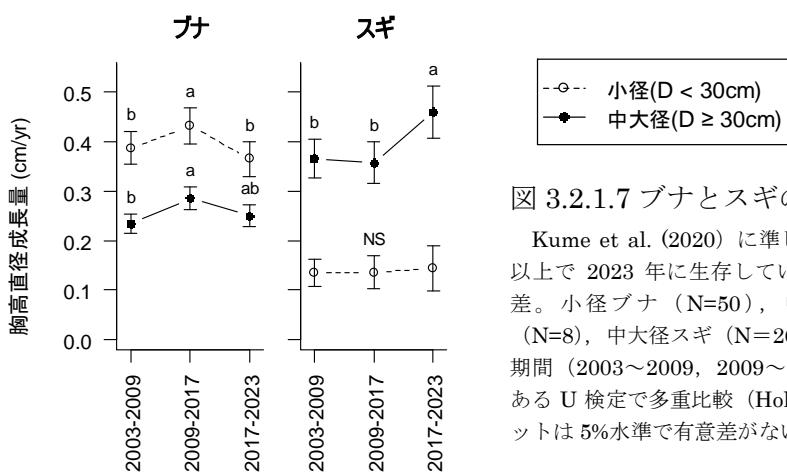


図 3.2.1.7 ブナとスギの胸高直径成長量の推移

Kume et al. (2020) に準じて解析。2003 年に胸高直径 10cm 以上で 2023 年に生存していた幹を対象とする。バーは標準誤差。小径ブナ (N=50), 中大径ブナ (N=38), 小径スギ (N=8), 中大径スギ (N=26) の 4 グループそれぞれで、3 つの期間 (2003~2009, 2009~2017, 2017~2023) の値を対応のある U 検定で多重比較 (Holm 法で p 値調整)。同じアルファベットは 5% 水準で有意差がないことを示す。

表 3.2.1.3 ブナ中大径枯死木

枯死時期	直徑 (cm)	ID (ラベル)	座標(m)		活力度						備考	
			x	y	1999	2003	2006	2009	2012	2017	2023	
1999 ~2003	83.7	130	80.9	39.9	非記録	枯						
	78.6	75	58.5	83.8	非記録	枯						
	72.5	13	9.5	21.2	非記録	枯						
	58.5	94			非記録	枯						
	46.6	25	26.8	23.5	非記録	枯						
2003 ~2006	96.8	69	47.3	86.2	非記録	3	枯					
	69.1	132	81.1	26.5	非記録	4	枯					
	68.4	3	5.0	76.9	非記録	2	枯					
	52.3	64	40.1	47.5	非記録	2	枯					
2017 ~2023	111.6	28	29.5	34.5	非記録	2	2	2	2	2	枯	
	83.5	133	79.2	26.5	非記録	4	5	4	4	4	枯	マイマイガ影響?
	61.0	156	93.3	73.3	非記録	5	5	5	5	5	枯	マイマイガ影響?
	57.6	79	60.5	52.0	非記録	5	5	5	5	5	枯	マイマイガ影響?
	56.0	80	57.1	41.7	非記録	4	4	4	4	3	枯	2018年台風で幹折



2023.7.24 撮影 ID79

胸高直径 57.6cm

2017 年活力度 5

2022 年失葉率 100%

2023.7.24 撮影 ID156

胸高直径 61.0cm

2017 年活力度 5

2022 年失葉率 100%

2023.9.7 撮影 ID133

胸高直径 83.5cm

2017 年活力度 4

2022 年失葉率 非調査

図 3.2.1.8 2023 年に急激に枯死した 3 本のブナ中大径木

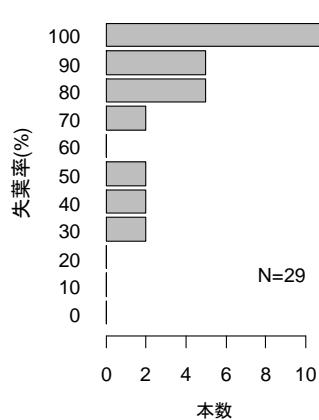


図 3.2.1.9 ブナ平における 2022 年のマイマイガ食葉害によるブナ林冠木の失葉率分布

図 3.2.1.10 ブナ平調査区における 2022 年のマイマイガ食葉害によるブナの失葉状況
(2022.7.15 撮影)

表 3.2.1.4 個体群成長率、枯死率、加入

樹種	個体群成長率	回転率		枯死率		加入率		本数		
		p (%/yr)	(m+r)/2 (%/yr)	m (%/yr)	95%信頼区間	r (%/yr)	95%信頼区間	1回目 N0	最新 N1	生存 Ns
ハウチワカエデ	7.47	3.73	0.00	(0.00 – 3.84)	7.47	(4.10 – 12.71)	4	24	4	
ヤマモミジ	6.49	3.25	0.00	(0.00 – 3.84)	6.49	(3.28 – 11.69)	4	19	4	
ウワミズザクラ	2.60	2.59	1.29	(0.34 – 3.34)	3.89	(2.17 – 6.40)	15	28	11	
ウリハダカエデ	2.49	8.35	7.10	(2.74 – 15.75)	9.59	(4.79 – 18.31)	11	20	2	
ホオノキ	2.28	2.47	1.33	(0.26 – 3.92)	3.60	(1.70 – 6.65)	11	19	8	
ブナ	0.67	1.19	0.85	(0.51 – 1.33)	1.52	(1.06 – 2.10)	103	121	84	
スギ	0.00	0.35	0.35	(0.07 – 1.03)	0.35	(0.07 – 1.03)	37	37	34	

1回目または最新調査時に10本以上の樹種を対象とする

N0: 1回目調査時の生存木本数、N1: 最新調査時の生存木本数、

Ns: 1回目調査時の生存木のうち最新調査時の生存本数、t: 期間年数

個体群成長率、枯死率、加入率は次式で算出 (Condit et al. 1999) $p=\ln(N1/N0)/t$, $m=\ln(N0/Ns)/t$, $r=\ln(N1/Ns)/t$

枯死率と加入率の95%信頼区間は二項分布から算出 (Condit et al. 1995)

胸高断面積合計の推移をみると（図 3.2.1.11），ブナは 1999 年から 2006 年にかけて中大径木が枯死した影響で減少したが，2006～2017 年は中大径木の枯死はなかったため増加に転じ，2017～2023 年は再び中大径木の枯死した影響で減少し，1999 年の値を下回った。スギの枯死木は直径 20cm 未満の 3 本に過ぎないため胸高断面積合計は増加し続けており，2023 年には 1999 年の 1.21 倍に達し，初めてブナを上回った。全樹種では 2023 年には 1999 年の 1.11 倍となった。本数密度についてみると，スギは 1999～2023 年の枯死木，生存木とも 3 本だったため（表 3.2.1.2）大きな変動はなかった。ブナは 2017～2023 年にかけて多数の加入木があったため 1999 年の 1.17 倍となった。全樹種では増加し続けており，1999 年の 1.54 倍となった。

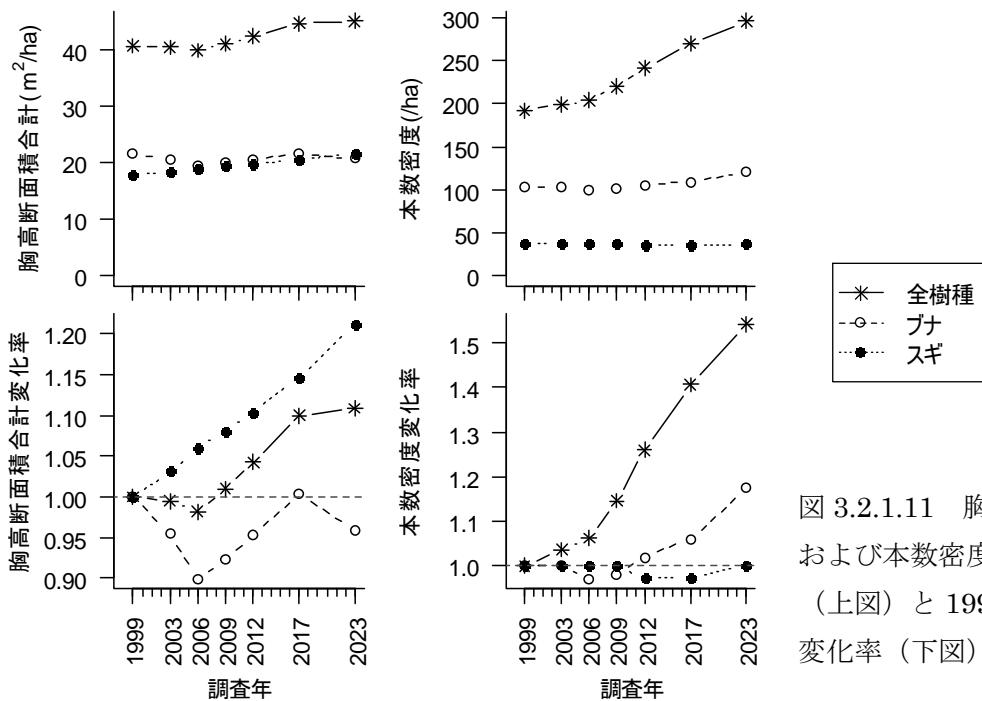


図 3.2.1.11 胸高断面積合計
および本数密度の年次推移
(上図) と 1999 年に対する
変化率 (下図)

活力度

ブナとスギの活力度別本数の相対頻度分布を，データに不備がある 1999 年を除いてみると（図 3.2.1.12），両樹種ともいずれの調査年も活力度 5 が最も多かった。調査年間で比較すると，2003 年と 2023 年の分布には差がなく（Fisher's exact test, $p>0.05$ ）活力度に変化はみられなかった。

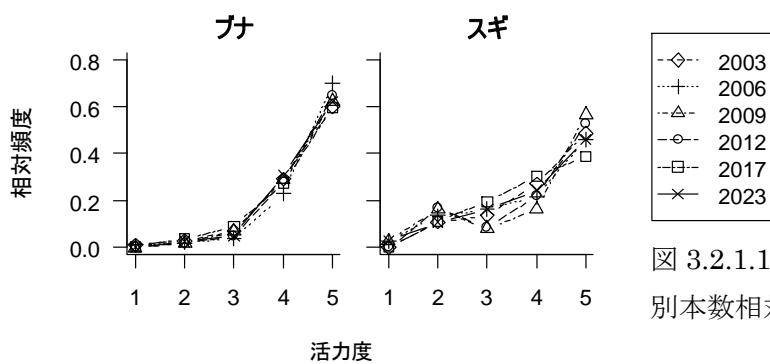


図 3.2.1.12 ブナとスギの活力度
別本数相対頻度分布

直径成長

ブナとスギについて 1999 年の胸高直径と 2023 年までの直径成長量の関係をみると（図 3.2.1.13），ブナは有意な負の相関があった。直径 30cm 未満の小径ブナは、ほとんど成長しない立木もあった一方で、0.5cm/yr を超える旺盛な成長を示す立木が多数あった。直径 30cm 以上の中大径ブナは 0.5cm/yr を超える成長をした立木は 1 本だけだった。スギは有意な正の相関があり、0.5cm/yr を超える成長を示した立木はいずれも直径 60cm 以上の大径木だった。このように、ブナはスギよりも大径木の成長が悪い傾向があり、中大径ブナは相次いで枯死したのに対し、スギの中大径木には枯死木がなかったことと対応していた。スギは、ブナ坂調査区に胸高直径約 260cm の立木があることからも明らかなように、ブナよりも寿命が長く、より太くなることができる。このことも、大径木における両種の成長差に関係しているのだろう。

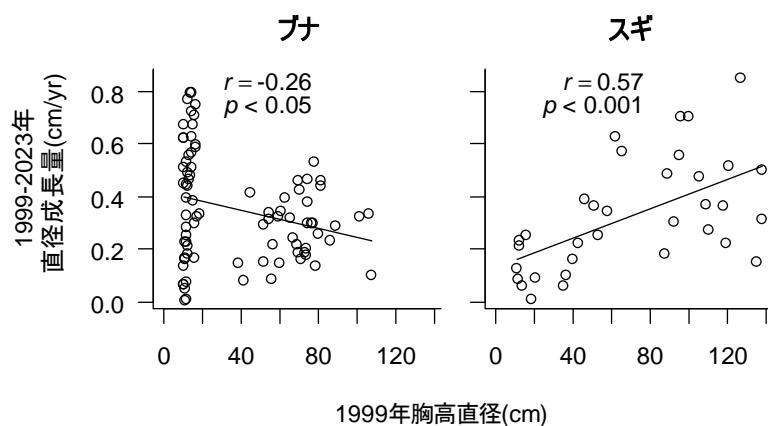


図 3.2.1.13 期首直径と年平均直径成長量の関係

3.2.2 全調査区における全樹種胸高断面積合計の推移

調査区ごとの全樹種の胸高断面積合計の年次推移は（図 3.2.3.1），亜高山帯の松尾峠と美松ではおむね横ばいかやや増加で，1回目の調査年の1.00～1.04倍となった。亜高山帯の鏡石と山地帯のブナ平，有峰では，減少する期間もあったが，1回目の調査年より増加して1.08～1.22倍となった。その他の山地帯に位置する2箇所（美女平，ブナ坂）と山地帯から亜高山帯への移行帯に位置する上ノ小平では一貫して増加し，1回目の調査年の1.19～1.22倍となった。

調査を実施した1998～2023年の25年間には，全樹種合計の森林レベルでは，現存量が大きく減少するような大規模な攪乱は発生せず，現存量が減少しつづけるような衰退傾向も検出されなかった。この期間の立山地域の森林を全体としてみると，安定した状態を保ち，現存量が増加する傾向にあつたといえる。

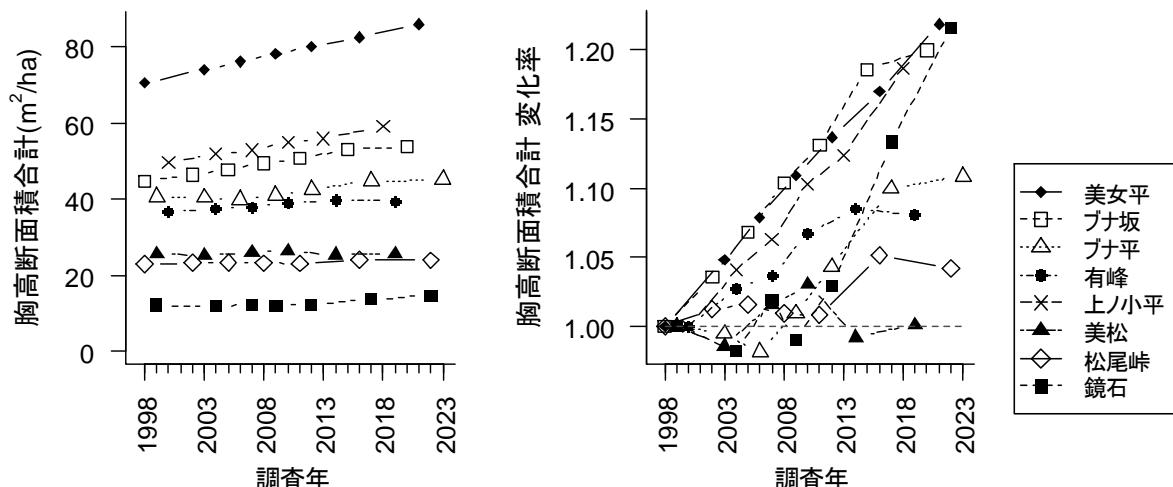


図 3.2.3.1 胸高断面積合計の年次推移（左図）と調査開始年に対する変化率（右図）

3.2.3 主要樹種の個体群動態

主要樹種（オオシラビソ，キタゴヨウ，スギ，ブナ）について，人工林の美女平調査区をのぞき，出現調査区ごとに枯死率，加入率，胸高断面積（BA）変化率を算出した（図 3.2.3.1）。枯死率は0.35～1.28%/yr，加入率は0.05～2.17%/yr，胸高断面積変化率は-0.35～4.15%/yrだった。

オオシラビソについて，出現した4調査区で比較すると，鏡石で加入率が高く枯死率が低い傾向があり，BA変化率は鏡石が0.93%/yrと最も高かった。一方，美松と上ノ小平では枯死率がそれぞれ1.28，1.24%/yrと高い傾向があり，BA変化率はいずれも-0.35%/yrで，他樹種も含めこれらのみ負値だった。

ブナについて，出現した4調査区で比較すると，上ノ小平とブナ坂で加入率がそれぞれ2.17，1.80%/yrと高い傾向があり，このうち上ノ小平ではBA変化率も4.15%/yrと顕著に高い値だった。

キタゴヨウとスギについては，枯死率，加入率はオオシラビソとブナより低い傾向があり，BA変化率は0.81～1.01%/yrと中庸な値だった。

オオシラビソとブナは，立山溶岩台地上におけるそれぞれの分布上限に近い鏡石と上ノ小平において，加入率とBA変化率が低標高の調査区より高い傾向があった。また，オオシラビソは分布下限に

近い上ノ小平において、枯死率が高い傾向があり BA 変化率が負値だった。これらのことには、近年の温暖化 (Wada et al. 2004) による分布適地の上昇が関係しているかもしれない。美松においてオオシラビソの枯死率が高く、BA 変化率が負値となつことには、車道に隣接する調査区上端において、除雪作業の影響が疑われるオオシラビソの衰退枯死が発生したこと（第 4 期報告書）が関係している可能性がある。

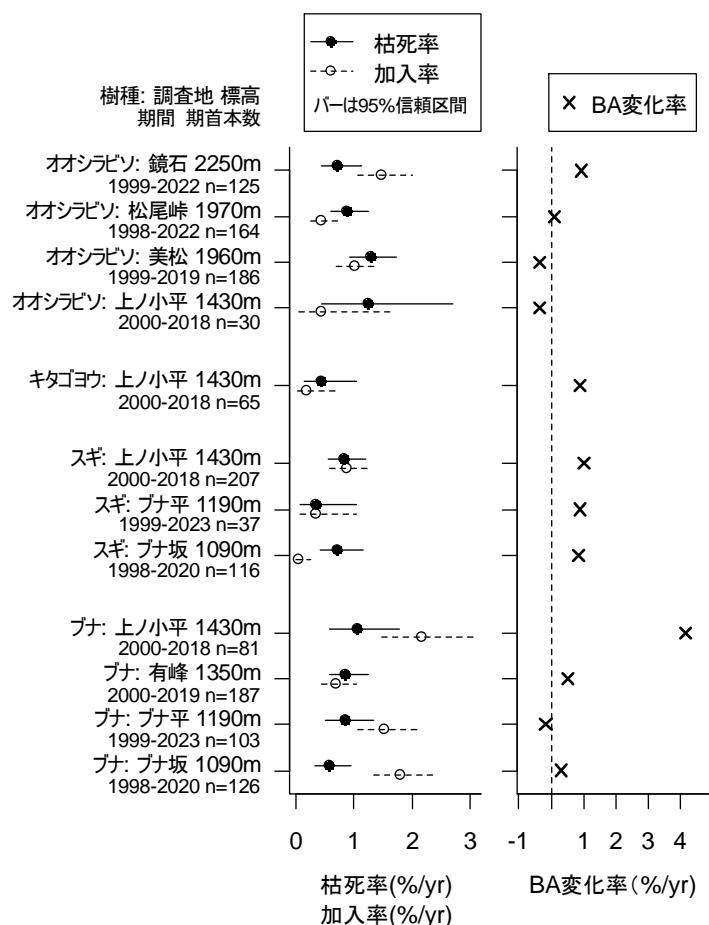


図 3.2.3.1

主要樹種の加入率、枯死率、
胸高断面積変化率

枯死率と加入率は次式で算出
(Condit et al. 1995; 1999)

$$M = \ln(N_0 / N_s) / t$$

$$R = \ln(N_1 / N_s) / t$$

M : 枯死率, R : 加入率

N_0 : 期首生存本数

N_1 : 期末生存本数,

N_s : 期首生存木のうち期末生存本数

t : 期間年数

95%信頼区間は二項分布を用い算出

胸高断面積変化率は次式で算出

(Miura et al. 2001)

$$\lambda = ((BA_1 - BA_0) / BA_0) / t$$

λ : 胸高断面積(BA)変化率

BA_0 : 期首 BA

BA_1 : 期末 BA

t : 期間年数

3.3 気象観測

3.3.1 気温

年平均気温の平年値はブナ坂で8.5°C、松尾峠で3.2°C、浄土山で-2.5°Cだった（表3.3.1.1）。富山地方気象台（標高9m）における年平均気温平年値（1991～2020年）の14.5°C（気象庁HP）を基準として、標高100mあたりの気温の遞減率を求めるとき、ブナ坂、松尾峠、浄土山それぞれ0.55, 0.57, 0.60°Cであり、一般に知られている0.55°Cに近い値だった。月平均気温も標高に応じた温度差があった（表3.3.1.2、図3.3.1.1）。吉良の森林帯区分では、温帶落葉樹林帯と常緑針葉樹林帯は温量指数45で、常緑針葉樹林帯と高山帯は温量指数15で区分されているが、月平均気温の平年値から求めた温量指数はブナ坂で68.0、松尾峠で36.7、鏡石で28.7、浄土山で14.0となり（表3.3.1.2）、ブナ坂は温帶落葉広葉樹林帯（山地帯）、松尾峠と鏡石は常緑針葉樹林帯（亜高山帯）、浄土山は高山帯に対応し、実際の植生と一致していた。最高気温と最低気温の極値も標高に応じた温度差があった（表3.3.1.3）。

表3.3.1.1 年平均気温

年	年平均気温(°C)			
	ブナ坂	松尾峠	鏡石	浄土山
1998	—	—	—	—
1999	8.6	—	—	—
2000	—	—	—	—
2001	8.0	—	—	-2.9
2002	8.3	—	—	-2.6
2003	—	—	—	-1.6
2004	—	—	—	—
2005	—	—	—	-3.2
2006	—	—	—	-2.1
2007	8.1	—	—	—
2008	—	—	—	—
2009	8.6	—	—	—
2010	8.6	3.5	—	—
2011	8.0	2.6	—	—
2012	7.8	2.4	—	—
2013	8.2	2.7	—	—
2014	7.9	2.4	—	—
2015	8.7	3.5	—	—
2016	9.1	4.0	—	—
2017	8.3	2.3	—	—
2018	9.4	3.8	—	—
2019	9.0	3.7	—	—
2020	8.8	3.7	—	—
2021	8.9	3.7	—	—
2022	9.0	3.5	—	—
平年値	8.5	3.2	—	-2.5

—は欠測等により通年観測していない年

表3.3.1.2 月平均気温平年値と温量指数

月	ブナ坂		松尾峠		鏡石		浄土山	
	気温	N	気温	N	気温	N	気温	N
1	-3.6	(22)	-9.7	(14)	-11.2	(8)	-15.2	(8)
2	-3.0	(22)	-8.8	(14)	-10.1	(3)	-14.6	(7)
3	1.1	(20)	-4.2	(14)	(0)	(0)	-12.2	(6)
4	6.6	(20)	1.0	(14)	(0)	(0)	-4.9	(6)
5	12.5	(19)	6.7	(14)	4.8	(6)	1.0	(7)
6	15.7	(21)	10.7	(14)	9.7	(14)	6.0	(7)
7	19.8	(21)	15.0	(14)	13.5	(13)	9.8	(7)
8	20.7	(20)	16.0	(14)	14.4	(13)	10.9	(7)
9	16.7	(20)	12.2	(14)	11.1	(12)	7.4	(6)
10	10.8	(21)	6.2	(14)	4.7	(13)	1.0	(8)
11	5.1	(23)	-0.1	(14)	-1.8	(14)	-5.6	(9)
12	-0.7	(23)	-6.7	(14)	-8.0	(13)	-12.3	(8)
温量指数	68.0		36.7		28.7		14.0	

気温:月平均気温平年値(°C) N:観測年数

温量指数:月平均気温が5°C以上の月について、月平均気温から5°Cを引いた値の合計

鏡石の3月、4月は埋雪のため観測データは得られなかった。

鏡石の温量指数算出において、3月、4月の月平均気温は5°C未満と推定

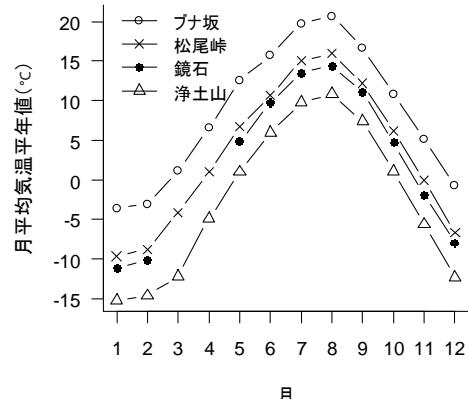


図3.3.1.1 月平均気温平年値

表3.3.1.3 最高気温と最低気温の極値

調査区	最高気温		最低気温	
	極値(°C)	観測日時	極値(°C)	観測日時
ブナ坂	31.0	2018/8/22 13:00	-14.5	1999/2/4 1:00
松尾峠	25.4	2019/8/13 13:00	-21.5	2023/1/25 4:00
浄土山	22.9	2001/7/21 14:00	-27.4	2006/2/4 1:00

鏡石は通年観測できなかつたため極値の集計は行わない

3.3.2 最深積雪深

最深積雪深は年により大きく異なり、山地帯の美女平、ブナ坂、ブナ平ではおおむね 200～400cm、山地帯から亜高山帯への移行帯の上ノ小平ではおおむね 250～450cm、亜高山帯の美松と松尾峠ではおおむね 400～550cm のレンジで変動した（図 3.3.2.1）。山地帯と亜高山帯で 200cm 程度の差がある年が多かったが（例えば 2007 年は美女平 160cm、美松 420cm で 260cm 差）、2005 年や 2010 年のように両者の差が小さい年もあった（例えば 2005 年は美女平 350cm、松尾峠 400cm で 50cm 差）。平年値は最も少ない美女平で 253cm、最も多い美松で 465cm となり、標高差約 900m で約 200cm の差があった（表 3.3.2.1）。最大値は 2006 年、最小値は 2016 年に観測された調査区が多く、調査区ごとの最大値と最小値の差は 240～340cm だった。2023 年の最深積雪深は、標高の高い方から順に松尾峠 340cm、上ノ小平 220cm、ブナ平 220cm、ブナ坂 190cm、美女平 160cm であり、平年より少なかった（図 3.3.2.1）。

最深積雪深の年次変動が調査区間でどの程度同調するのか検討するため、調査区間の相関を調べたところ、標高が近いほど高い相関を示す傾向があった（表 3.3.2.2）。例えば山地帯の美女平、ブナ坂、ブナ平の間では $r = 0.90 \sim 0.95$ の、亜高山帯の美松と松尾峠の間では $r = 0.92$ の高い相関があったが、山地帯の 3 調査区と亜高山帯の 2 調査区間の 6 組合せの相関係数は $r = 0.63 \sim 0.81$ とやや低かった。各調査区と富山地方気象台との相関をみると、上ノ小平より低標高の調査地では有意な相関があった ($r = 0.45 \sim 0.50$)。

表 3.3.2.1 最深積雪深の平年値と極

調査区	標高 (m)	観測 年数	最深積雪深			極値記録年	
			平年 (cm)	最大 (cm)	最小 (cm)	最大 '06	最小 '16
松尾峠	1970	20	446	580	300	'06	'16
美松	1960	11	465	600	360	'06	'09, '16
上ノ小平	1430	20	351	500	160	'06	'16
ブナ平	1190	20	311	420	160	'22	'16
ブナ坂	1090	19	277	420	130	'06	'16, '20
美女平	1040	20	253	360	120	'06, '15	'16, '20

極値記録年は西暦下2桁で表示。'06であれば2005-2006年寒候期

表 3.3.2.2 最深積雪深の調査区間相関行列

	美松	上ノ小平	ブナ平	ブナ坂	美女平	富山
松尾峠	0.92 ***	0.73 ***	0.67 **	0.74 ***	0.63 **	0.03 NS
美松		0.81 **	0.78 **	0.81 **	0.79 **	0.32 NS
上ノ小平			0.95 ***	0.96 ***	0.89 ***	0.45 *
ブナ平				0.95 ***	0.90 ***	0.50 *
ブナ坂					0.95 ***	0.48 *
美女平						0.47 *

」の積率相関係数 *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

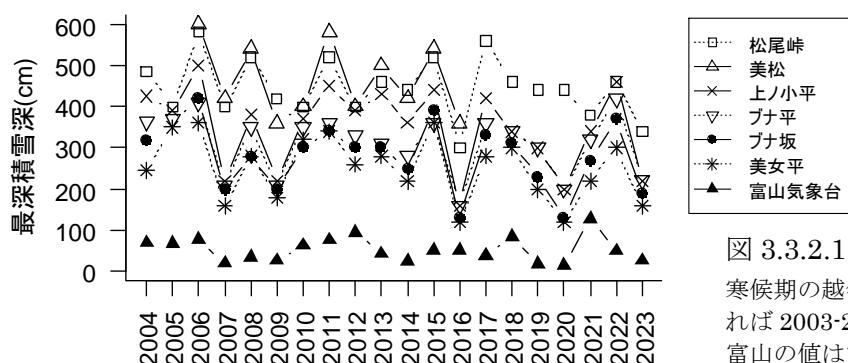


図 3.3.2.1 最深積雪深の年次推移

寒候期の越年後の年で示し、2004 であれば 2003-2004 年寒候期を表す

富山の値は富山地方気象台の観測値

3.3.3 地表面温度（根雪日数）

根雪日数は年により大きな変動があり、標高 1090m のブナ坂でおおむね 120~170 日、標高 1190~1430m のブナ平、有峰、上ノ小平でおおむね 150~190 日、標高 1960~2830m の美松、松尾峠、鏡石、淨土山でおおむね 200~240 日のレンジで変動した（図 3.3.3.1）。最深積雪深と根雪日数とも観測している、ブナ坂、ブナ平、上ノ小平、美松、松尾峠のデータをプールして両者の関係をみると（図 3.3.3.2），有意な正の相関があった。回帰直線から推定すると、最深積雪深 300, 500cm の時の根雪日数はそれぞれ 170, 217 日だった。

平均値をみると（表 3.3.3.1, 図 3.3.3.3），ブナ坂から上ノ小平までの調査区では標高が高くなるほど根雪初日が早く、根雪終日が遅く、根雪日数は長くなる傾向があり、ブナ坂では 12 月上旬～5 月上旬の 149 日、上ノ小平では 11 月下旬～5 月下旬の 177 日だった。亜高山帯の美松、松尾峠、鏡石では、調査区間差は少なく、11 月上旬～6 月中旬の 221～224 日だった。高山帯の淨土山では 10 月中旬～6 月上旬の 225 日であり、根雪初日、終日ともに亜高山帯の調査区より早かった。淨土山をのぞく調査区では、根雪日数の最小値と根雪終日の最早値の多くは 2016 年に観測された。最深積雪深の最小値も 2016 年に観測されたので（表 3.3.2.1），2016 年は広い標高帯で寡雪年だったと考えられ、Kawase et al. (2018) の報告と一致した。

2022 年 7 月～2023 年 7 月の地温変動（図 3.3.3.4）から算出した 2023 年の根雪日数は、標高の高い方から順に鏡石 181 日、松尾峠 181 日、美松 206 日、上ノ小平 150 日、有峰 144 日、ブナ平 145 日、ブナ坂 127 日だった。鏡石と松尾峠では、根雪日数の最小値と根雪初日の最遅日を更新した。

根雪日数の年次変動が調査区間でどの程度同調するのか検討するため、調査区間の相関を調べたところ、標高が近いほど高い相関を示す傾向があった（表 3.3.3.2）。例えば山地帯のブナ坂、ブナ平、有峰の間では $r = 0.82 \sim 0.95$ の、亜高山帯の美松、松尾峠、鏡石の間では $r = 0.76 \sim 0.81$ の有意な高い相関があったが、山地帯の 3 調査区と亜高山帯の 3 調査区の間の 9 組合せについてみると 5 組合せで $r < 0.75$ だった。高山帯の淨土山はいずれの調査区とも有意な相関はなかった。また、淨土山では積雪深の観測は行っていないものの、亜高山帯以下の調査区で比較的最深積雪深が少なかった 2007 年（図 3.3.2.1）に根雪日数が最も長くなるなど（図 3.3.3.1），根雪日数と積雪深の対応は明瞭でなかった。淨土山の調査区は冬期間季節風にさらされる北アルプス主稜線の風上側斜面にあるため、雪は吹き溜まらず飛散しやすい。つまり、降雪に応じて積雪深が深くなり続けるわけではないと推測される。淨土山の根雪日数は、亜高山帯以下の最深積雪深から類推される降雪の多寡よりも、初冬の寒気の入るタイミングや春先の気温の影響をより大きく受けているのだろう。

表 3.3.3.1 根雪日数、根雪初日、根雪終日の平年値と極値

調査区	標高 年数 (m)	観測 根雪日数 平年 最大 (日) 最小 (日)	根雪初日			根雪終日			極値記録年								
			平年	最早 (日)	最遅 (日)	平年	最早 (日)	最遅 (日)	根雪日数 最大 (日)	最小 (日)	根雪初日 最早 (年)						
											根雪終日 最遅 (年)						
淨土山	2830	22	225	255	202	10/19	10/4	11/15	6/1	5/7	6/18	'07	'04	'16	'12	'03	'07
鏡石	2250	24	224	252	181	11/7	10/20	12/2	6/17	5/25	6/30	'06	'23	'22	'23	'16	'06
松尾峠	1970	25	221	245	181	11/8	10/20	12/1	6/16	5/25	7/1	'13	'23	'22	'23	'16	'00
美松	1960	19	224	245	184	11/6	10/20	11/25	6/17	5/26	6/29	'22	'16	'22	'16	'16	'06; '17
上ノ小平	1430	20	177	200	147	11/25	11/11	12/13	5/20	4/21	6/11	'14	'16	'14	'10	'16	'17
有峰	1350	17	169	192	143	11/25	11/12	12/8	5/12	4/17	5/25	'13; '14	'16	'08	'19	'16	'11
ブナ平	1190	19	167	197	143	11/27	11/15	12/13	5/12	4/16	5/31	'06	'16	'18	'10	'16	'06
ブナ坂	1090	25	149	176	114	12/3	11/16	12/20	5/1	4/8	5/21	'06	'16	'18	'99; '05	'16	'06

極値記録年は西暦下2桁で表示。'06であれば2005-2006年寒候期

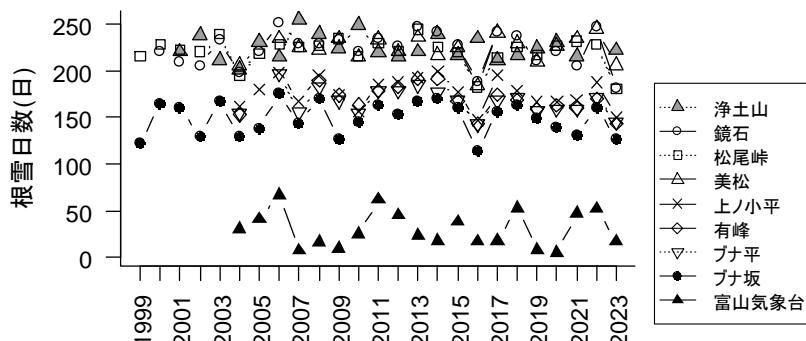


図 3.3.3.1 根雪日数の年次推移

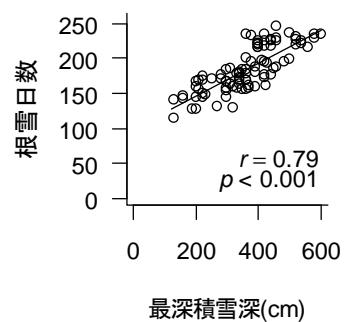


図 3.3.3.2
最深積雪深と根
雪日数の関係

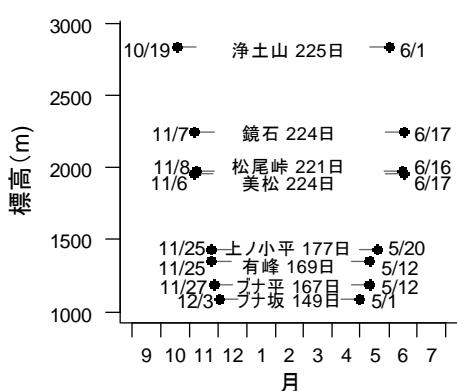


図 3.3.3.3 根雪期間平年

表 3.3.3.2 根雪日数の調査区間相関行列

	鏡石	松尾峠	美松	上ノ小平	有峰	ブナ平	ブナ坂	富山
鏡石	-0.03 NS	0.00 NS	-0.23 NS	-0.17 NS	0.15 NS	-0.21 NS	-0.14 NS	-0.45 *
松尾峠	0.76 ***	0.78 ***	0.86 ***	0.85 ***	0.84 ***	0.77 ***	0.77 ***	0.30 NS
美松		0.81 ***	0.68 ***	0.78 ***	0.71 ***	0.60 **	0.17 NS	
上ノ小平			0.68 **	0.58 *	0.63 **	0.55 *	0.39 NS	
有峰				0.92 ***	0.92 ***	0.85 ***	0.36 NS	
ブナ平					0.95 ***	0.82 ***	0.13 NS	
ブナ坂						0.86 ***	0.52 *	
富山							0.37 NS	

*/の積率相関係数 *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05
富山は富山地方気象台(標高9m)

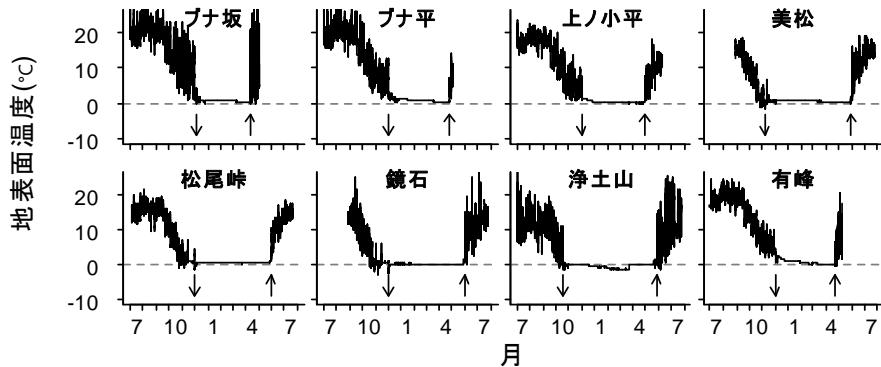


図 3.3.3.4 2022年7月～2023年7月の地表面温度
点線は0°C, ↓は根雪初日, ↑は根雪終日

引用文献

- Condit R, Hubbell SP, Foster RB (1995) Mortality rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecol. Monogr.* 65:419-439
- Condit R, Ashton PS, Manokaran N, LaFrankie JV, Hubbell SP, Foster RB (1999) Dynamics of the forest communities at Pasoh and Barro Colorado: comparing two 50-ha plots. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 354:1739-1748
- 石田仁 (2004) 富山県の天然林とその管理—基礎偏— 富山林技セ研報 17(別冊):1-146
- 石田仁 (2006) 富山県の森林帶における年間積雪期間の標高傾度—林床地表面温度からの推定—. 雪氷 68:489-496
- Iwao S (1977) Analysis of spatial association between two species based on the interspecies mean crowding. *Res. Popul. Ecol.* 18:243-260
- Kawase A, Yamazaki A, Iida H, Aoki K, Shimada W, Sasaki H, Murata A, Nosaka M (2018) Simulation of Extremely Small Amounts of Snow Observed at High Elevations over the Japanese Northern Alps in the 2015/16 Winter. *SOLA* 14:39-45
- Kume A, Numata S, Watanabe K, Honoki H, Nakajima H, Ishida M (2009) Influence of air pollution on the mountain forests along the Tateyama-Kurobe Alpine route. *Ecol Res* 24:821-830
- Kume A, Fujimoto M, Mizoue N, Honoki H, Nakajima H, Ishida M (2020) Impact of reduced ozone concentration on the mountain forests of Mt. Tateyama, Japan. *Environ Pollution* 267:115407
- Miura M, Manabe T, Nishimura N, Yamamoto S (2001) Forest canopy and community dynamics in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest, south-western Japan: a 7-year study of a 4-ha plot. *J. Ecol.* 89:841-849
- Morisita M (1959) Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.)* 2:215-235
- Nakajima H, Kume A, Ishida M, Ohmiya T, Mizoue N (2011) Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. *Ann For Sci* 68:1333-1340
- Nakajima H (2015) Defoliation by gypsy moths negatively affects the production of acorns by two Japanese oak species. *Trees* 29:1559–1566
- Nakajima H (2018) Refoliation of deciduous canopy trees following severe insect defoliation: comparison of *Fagus crenata* and *Quercus crispula*. *Plant Ecology* 219:665–675
- 林野庁計画課 (1970) 立木幹材積表 西日本編. pp.319 日本林業調査会
- 高橋喜平 (1968) 最深積雪指示計について. 雪氷 30:111-114
- Wada N, Kawada K, Kawamura R, Aoki K, Kume A (2004) Increasing winter runoff due to climatic change in a middlelatitude mountain area of central Japan. *J Meteorol Soc Jpn* 82:1589–1597
- Yamamoto S (1989) Gap dynamics in climax *Fagus crenata* forests. *Bot Mag Tokyo* 102:93-114
- 横井秀一 (1998) 岐阜県飛騨地方における広葉樹の1変数材積式. 岐阜寒林試研報 14:1-11.

3.4 年輪年代学的成长解析（加藤輝隆）

3.4.1 デンドロメータを用いたスギの肥大成長の記録

2023年の肥大成長の記録

表3-4-1-1には調査区[01]（美女平）におけるスギの胸高直径の変化について、2023年の測定値をデンドロメータごとにmm単位で示した。アルミ製のデンドロメータによる測定値の場合には、基準点からの相対的な位置を示すにすぎないが、プラスチック製のデンドロメータによる測定値は胸高直径に相当する。

表3-4-1-1 調査区[01]（美女平）のスギの肥大成長（デンドロメータの読み取り）

個体番号	測定日	2023年										備考
		7月9日	7月17日	7月22日	8月13日	8月30日	9月9日	9月16日	9月30日	10月14日	10月26日	
No.647 (上)*		564.7	565.4	565.7	566.5	567.1	567.4	567.5	567.8	568.0	568.3	
No.648 (上)*		426.4	426.5	426.4	426.1	426.2	426.3	426.3	426.5	426.6	426.7	
(下)*		427.8	427.9	427.8	427.7	427.5	427.5	427.5	427.7	427.7	427.8	衰退
No.652 (上)*		774.5	774.6	774.7	774.6	774.7	774.7	774.8	775.0	775.1	775.1	
(下)*		782.2	782.3	782.4	782.4	782.6	782.7	782.7	783.0	783.2	783.3	
No.656 (上)		6.6	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.8	6.8	
(下)		4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	被陰
No.656 (上)*		300.2	300.2	300.2	300.1	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	300.2	
(下)*		300.8	300.8	300.8	300.8	300.8	300.8	300.8	300.8	300.8	300.8	
No.657 (上)*		396.0	396.1	396.1	396.2	396.2	396.4	396.3	396.5	396.6	396.6	
(下)*		396.0	396.1	396.1	396.2	396.2	396.4	396.3	396.5	396.6	396.6	(被陰)
No.658 (下)*		700.9	701.2	701.3	701.4	701.4	701.7	701.8	702.1	702.3	702.4	
(上)*		701.0	701.3	701.3	701.3	701.5	701.8	701.8	702.1	702.3	702.3	
No.660 (上)		61.7	61.8	61.9	61.8	61.9	61.9	62.0	62.05	62.1	62.25	
(下)*		836.8	836.9	837.0	836.9	837.0	837.1	837.2	837.3	837.6	837.7	
No.683 (下)*		621.5	621.5	621.7	621.9	622.1	622.0	622.0	622.3	622.3	622.5	
No.724 (上)*		379.6	379.5	379.5	379.5	379.5	379.5	379.4	379.5	379.5	379.4	
No.725 (上)*		353.7	353.6	353.7	353.6	353.5	353.5	353.5	353.5	353.5	353.6	コブ病
No.728 (下)*		680.7	680.8	680.9	680.8	681.0	681.2	681.2	681.5	681.6	681.7	
(上)*		715.2	715.3	715.4	715.4	715.5	715.7	715.7	715.8	716.1	716.3	
No.730 (下)*		715.0	715.3	715.4	715.6	715.6	715.7	715.8	715.8	716.1	716.2	
No.731 (上)*		790.2	790.8	790.9	791.0	791.1	791.3	791.3	791.6	791.9	792.1	
(下)		790.9	791.2	791.6	791.6	791.7	792.0	791.9	792.2	792.6	792.7	
No.735 (下)*		564.1	564.3	564.3	564.5	564.7	564.9	564.8	564.9	564.9	565.0	
(上)*		845.4	845.6	845.6	845.5	845.5	845.6	845.6	845.8	846.0	846.1	
No.780 (上)		46.4	46.5	46.6	46.5	46.5	46.8	46.8	46.9	47.0	47.0	
(下)		44.0	44.3	44.35	44.3	44.4	44.6	44.6	44.7	44.8	44.9	
No.831 (上)*		1351.3	1351.3	1351.3	1351.2	1351.2	1351.2	1351.2	1351.2	1351.2	1351.3	
(下)*		1351.4	1351.4	1351.4	1351.3	1351.3	1351.3	1351.3	1351.3	1351.6	1351.7	
No.838 (下)*		724.8	725.0	725.0	725.0	725.2	725.3	725.4	725.6	725.7	726.0	
No.958 (上)*		726.2	726.4	726.5	726.1	726.3	726.5	726.5	726.7	726.9	727.2	
(下)*		727.5	727.7	727.8	727.7	727.8	727.9	727.9	728.1	728.2	728.4	
No.980 (上)*		1017.7	1017.8	1018.1	1018.2	1018.5	1018.7	1018.7	1019.2	1019.7	1019.8	
(下)*		1020.5	1020.6	1020.9	1021.0	1021.2	1021.4	1021.4	1021.9	1022.4	1022.6	

数値の単位はmm。測定値の增加分は胸高直径の増大分に相当する。

* : プラスチック(Astralon)製デンドロメータによる測定値(直径の実測値)

表 3-4-1-2 調査区[01] (美女平) のスギの期間別直径成長 (実測値)

測定日 個体番号	2023年										備考
	(11月11日) ~7月9日	7月9日 ~7月17日	7月17日 ~7月22日	7月22日 ~8月13日	8月13日 ~8月30日	8月30日 ~9月9日	9月9日 ~9月16日	9月16日 ~9月30日	9月30日 ~10月14日	10月14日 ~10月26日	
No.647 (上)*	2.50	0.70	0.30	0.80	0.60	0.30	0.10	0.30	0.20	0.30	
No.648 (上)*	0.30	0.10	-0.10	-0.30	0.10	0.10	0.00	0.20	0.10	0.10	衰退
	0.70	0.10	-0.10	-0.10	-0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.10	
No.652 (上)*	1.20	0.10	0.10	-0.10	0.10	0.00	0.10	0.20	0.10	0.00	
	1.90	0.10	0.10	0.00	0.20	0.10	0.00	0.30	0.20	0.10	
No.656 (上)	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	被陰
	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
No.657 (上)*	1.40	0.10	0.00	0.10	0.00	0.20	-0.10	0.20	0.10	0.00	(被陰)
	1.60	0.10	0.00	0.10	0.00	0.20	-0.10	0.20	0.10	0.00	
No.658 (下)*	3.20	0.30	0.10	0.10	0.00	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	
	3.00	0.30	0.00	0.00	0.20	0.30	0.00	0.30	0.20	0.00	
No.660 (上)	1.70	0.10	0.10	-0.10	0.10	0.00	0.10	0.05	0.05	0.15	
	2.00	0.10	0.10	-0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30	0.10	
No.683 (下)*	2.50	0.00	0.20	0.20	0.20	-0.10	0.00	0.30	0.00	0.20	
No.724 (上)*	0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.10	0.00	-0.10	枯死
No.725 (上)*	0.20	-0.10	0.10	-0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	コブ病
No.728 (下)*	2.20	0.10	0.10	-0.10	0.20	0.20	0.00	0.30	0.10	0.10	
No.730 (上)*	2.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.20	0.00	0.10	0.30	0.20	
	0.70	0.30	0.10	0.20	0.00	0.10	0.10	0.00	0.30	0.10	
No.731 (上)	3.00	0.60	0.10	0.10	0.10	0.20	0.00	0.30	0.30	0.20	
	1.90	0.30	0.40	0.00	0.10	0.30	-0.10	0.30	0.40	0.10	
No.735 (下)*	2.80	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	-0.10	0.10	0.00	0.10	
No.780 (上)	1.10	0.20	0.00	-0.10	0.00	0.10	0.00	0.20	0.20	0.10	
	1.40	0.10	0.10	-0.10	0.00	0.30	0.00	0.10	0.10	0.00	
	1.10	0.30	0.05	-0.05	0.10	0.20	0.00	0.10	0.10	0.10	
No.831 (上)*	1.30	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
	1.80	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.10	
No.838 (下)*	1.40	0.20	0.00	0.00	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.30	
No.958 (上)*	1.20	0.20	0.10	-0.40	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.30	
	1.30	0.20	0.10	-0.10	0.10	0.10	0.00	0.20	0.10	0.20	
No.980 (上)*	2.10	0.10	0.30	0.10	0.30	0.20	0.00	0.50	0.50	0.10	
	2.10	0.10	0.30	0.10	0.20	0.20	0.00	0.50	0.50	0.20	

数値の単位はmm。測定値の増加分は胸高直径の増大分に相当する。

* : プラスチック(Astralon)製デンドロメータによる測定値(直径の実測値)

表 3-4-1-2 には観察期間ごとの胸高直径の変化を生データで示し、表 3-4-1-3 には期間別の肥大成長の個体平均を直径換算で示した。7月下旬から 8月末までは多くの個体で肥大成長が停滞するのみならず、胸高直径が一時的にわずかながら縮小するスギも多く、特に 7月 22 日～8月 13 日の期間には 19 個体の過半数となる 10 個体 (No. 648, 652, 656, 660, 724, 725, 728, 780, 831, 958) で縮小傾向が認められた。なお、こぶ病罹患や被陰、着葉量の減少などで樹勢が衰退または枯死している 4 個体 (No. 648, 656, 724, 725) はいずれも同期間中に縮小傾向を示した (表 3-4-1-3)。この理由としては後述するように、7月下旬～8月中旬は降水量や降水日数が極端に少ない旱魃であったので土壌水分量の低下にともなって樹幹の水分量が減少したことが考えられる。なかでも樹勢の衰退が進んで根系の活性が低下してい

表 3-4-1-3 調査区[01]（美女平）のスギの期間別直径成長（平均値）

測定日 個体番号	2023年										備考
	(11月11日) ～7月9日	7月9日	7月17日	7月22日	8月13日	8月30日	9月9日	9月16日	9月30日	10月14日 ～10月26日	
No.647	2.50	0.70	0.30	0.80	0.60	0.30	0.10	0.30	0.20	0.30	
No.648	0.50	0.10	-0.10	-0.20	-0.05	0.05	0.00	0.20	0.05	0.10	衰退
No.652	1.55	0.10	0.10	-0.05	0.15	0.05	0.05	0.25	0.15	0.05	
No.656	0.13	0.00	0.03	-0.02	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	被陰
No.657	1.50	0.10	0.00	0.10	0.00	0.20	-0.10	0.20	0.10	0.00	(被陰)
No.658	3.10	0.30	0.05	0.05	0.10	0.30	0.05	0.30	0.20	0.05	
No.660	1.85	0.10	0.10	-0.10	0.10	0.05	0.10	0.07	0.18	0.13	
No.683	2.50	0.00	0.20	0.20	0.20	-0.10	0.00	0.30	0.00	0.20	
No.724	0.15	-0.10	0.05	-0.05	-0.05	0.00	-0.05	0.03	0.00	0.00	枯死
No.725	0.20	-0.10	0.10	-0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	コブ病
No.728	2.20	0.10	0.10	-0.10	0.20	0.20	0.00	0.30	0.10	0.10	
No.730	2.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.20	0.00	0.10	0.30	0.20	
No.731	2.45	0.45	0.25	0.05	0.10	0.25	-0.05	0.30	0.35	0.15	
No.735	2.80	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	-0.10	0.10	0.00	0.10	
No.780	1.20	0.20	0.05	-0.08	0.03	0.20	0.00	0.13	0.13	0.07	
No.831	1.55	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.10	
No.838	1.40	0.20	0.00	0.00	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.30	
No.958	1.25	0.20	0.10	-0.25	0.15	0.15	0.00	0.20	0.15	0.25	
No.980	2.10	0.10	0.30	0.10	0.25	0.20	0.00	0.50	0.50	0.15	

数値の単位はmm。測定値の増加分は胸高直径の増大分に相当する。

表 3-4-1-4 調査区[01]（美女平）のスギの肥大成長（前年 11月 11日以降の累積増加量）

測定日 個体番号	2023年										備考
	7月9日	7月17日	7月22日	8月13日	8月30日	9月9日	9月16日	9月30日	10月14日	10月26日	
No.647	2.50	3.20	3.50	4.30	4.90	5.20	5.30	5.60	5.80	6.10	
No.648	0.50	0.60	0.50	0.30	0.25	0.30	0.30	0.50	0.55	0.65	衰退
No.652	1.55	1.65	1.75	1.70	1.85	1.90	1.95	2.20	2.35	2.40	
No.656	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	被陰
No.657	1.50	1.60	1.60	1.70	1.70	1.90	1.80	2.00	2.10	2.10	(被陰)
No.658	3.10	3.40	3.45	3.50	3.60	3.90	3.95	4.25	4.45	4.50	
No.660	1.85	1.95	2.05	1.95	2.05	2.10	2.20	2.28	2.45	2.58	
No.683	2.50	2.50	2.70	2.90	3.10	3.00	3.00	3.30	3.30	3.50	
No.724	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.00	0.00	-0.10	枯死
No.725	0.20	0.10	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	コブ病
No.728	2.20	2.30	2.40	2.30	2.50	2.70	2.70	3.00	3.10	3.20	
No.730	2.00	2.10	2.20	2.20	2.30	2.50	2.50	2.60	2.90	3.10	
No.731	2.45	2.90	3.15	3.20	3.30	3.55	3.50	3.80	4.15	4.30	
No.735	2.80	3.00	3.00	3.20	3.40	3.60	3.50	3.60	3.60	3.70	
No.780	1.20	1.40	1.45	1.37	1.40	1.60	1.60	1.73	1.87	1.93	
No.831	1.55	1.55	1.55	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.60	1.70	
No.838	1.40	1.60	1.60	1.60	1.80	1.90	2.00	2.20	2.30	2.60	
No.958	1.25	1.45	1.55	1.30	1.45	1.60	1.60	1.80	1.95	2.20	
No.980	2.10	2.20	2.50	2.60	2.85	3.05	3.05	3.55	4.05	4.20	

数値の単位はmm。測定値の増加分は胸高直径の増大分に相当する。

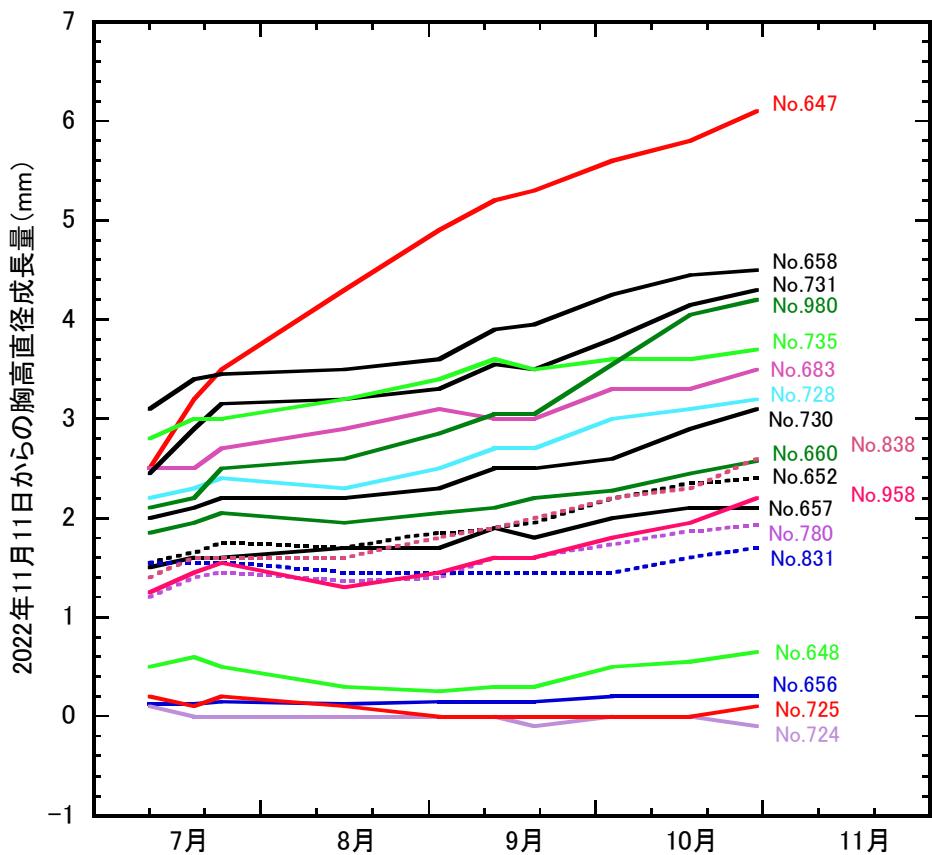


図 3-4-1-1 調査区〔01〕（美女平）のスギの胸高直径成長（2023年）

る個体の場合には、より大きな水分ストレスを受けたことが推定される。

表3-4-1-4および図3-4-1-1には個体ごとに2022年11月11日以降の累積成長量を示した。前述のとおり7月下旬～8月下旬には大部分の個体で肥大成長が停滞し、胸高直径が一時的に減少したスギも多い。一方、No.647のスギは他の個体と異なって一貫して順調に成長し、年間の直径成長は6.1 mmとなった。このスギは溶岩台地上を東西に走る小さな枯れ沢の南側斜面の下端付近に位置していることから旱魃の期間中も水分ストレスが比較的小さかったことが推定される。

No. 658のスギもこの沢沿いで日当たりの良い南側斜面に位置していて良好な成長を示すことが多く、2023年も第2位の肥大成長を示した。この個体に隣接するNo. 657とNo. 656のスギは同じ斜面に位置するが、No. 658に被圧されている。中でもNo. 656の個体はNo. 658とNo. 657に二重の被圧を受けているので長年にわたって成長が停滞しており、2023年の直径成長は0.2 mmにとどまった。No. 657の個体はNo. 658に被圧されているので2006年までは成長が抑制されていたが、上部の枝がNo. 656の個体の南から立ち上がって幹のような形状になり、徐々に旺盛な成長を示すようになり2023年には2.1 mmの肥大成長を示した。

最も旺盛な肥大成長を示したNo. 647の個体に隣接するNo. 648のスギは着葉量が著しく少ない衰退木なので成長が遅く、2011年以降の肥大成長は1.11 mm ⇒ 1.40 mm ⇒ 0.50 mm ⇒ 0.10 mm ⇒ 0.85 mm ⇒ 0.80 mm ⇒ 2.00 mm ⇒ 0.45 mm ⇒ 0.60 mm ⇒ 0.70 mm ⇒ 0.70 mm ⇒ 1.85 mm ⇒ 0.65 mmと推移している。

コブ病に罹患して着葉量が極めて少ないNo. 724とNo. 725のスギの胸高直径は1999年の測定開始時より停滞～微減の傾向が続いていたが、2018年にはNo. 724のスギが枯死した。これらのスギは根系の機能が低下し、土壤水分を十分に吸収できなくなって樹幹の含水率が徐々に低下したと推定される。

No. 725 の個体は 2019 年に胸高直徑が 1.1 mm 縮小したあとは概ね横ばいとなっているので近い将来には枯死する可能性が高い。

過去 25 年間のスギの肥大成長の記録

図 3-4-1-2 には過去 25 年間のデータが得られた 6 個体のほか、欠測期間のある 2 個体 (No. 657 および No. 658) について肥大成長の経年変化を示した。25 年間にわたって一貫して最も旺盛な肥大成長を示したのは、南向きの斜面の下部に位置し日照条件に恵まれるとともに水分ストレスも少ない No. 647 の個体である。No. 652 の個体は最初の数年間は No. 647 のスギと同程度の肥大成長を示していたが 2004 年頃から成長速度が少し遅くなり、2010 年頃からは No. 683 のスギと同じような成長パターンを描くようになり、2017 年以降は No. 683 より成長速度が遅くなっている。No. 660 のスギは No. 683 の個体と同様に 2017 年以降は成長速度が少し増加している。2 本のスギによって被陰されている No. 656 の個体はほとんど肥大成長を示さず、25 年間の累積直徑成長は 3.9 mm (平均年輪幅としては約 0.08 mm) であり、1999 年から記録が取られている 8 個体の中では最も成長が遅い (図 3-4-1-2)。

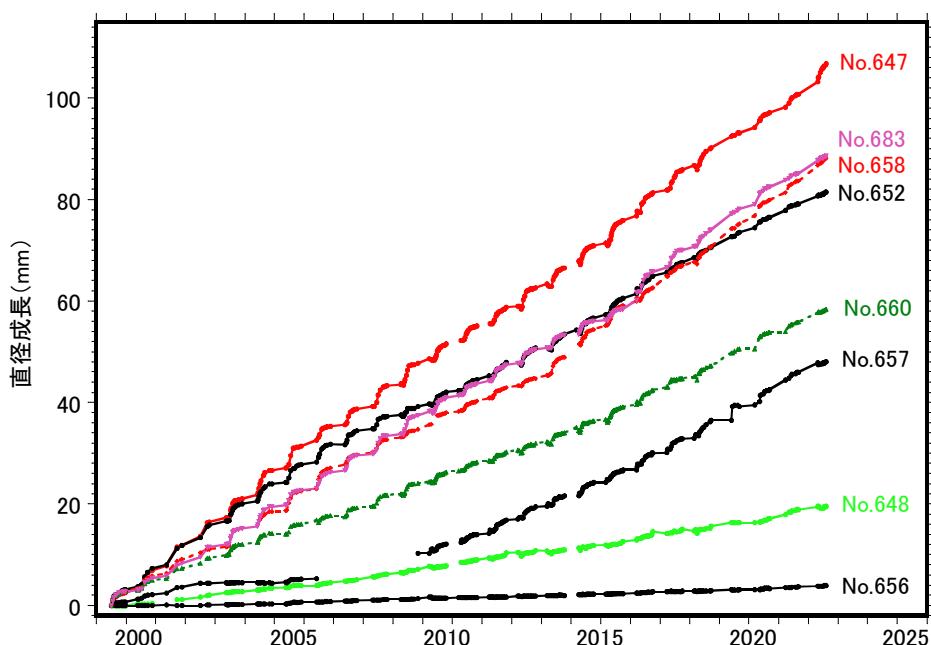


図 3-4-1-2 調査区 [01] (美女平) のスギの胸高直徑成長 (1999~2023 年)

No. 657 については中断期間の直徑成長を 5.0 mm と仮定して図示した

なお、No. 657 のスギに設置されたテンドロメータは断裂しており当初からの継続したデータは得られていないが、図 3-4-1-2 では中断期間 (2006 年 6 月 6 日~2009 年 11 月 15 日) の直徑成長を 5.0 mm と仮定して図示した。この個体は斜面の真上に生育する No. 658 のスギに被圧されており 2002 年~2006 年には成長が停滞していたが、No. 656 のスギの南側に伸びた 2 本の枝を立ち上げて日光を確保しているので、2010 年頃より No. 658 の個体に匹敵するような順調な成長を続け、25 年間の直徑成長は 48.1 mm となっている。

夏季の旱魃および斜面の位置とスギの肥大成長の関係

2023 年の梅雨明け (7 月 21 日頃) 以降 8 月 20 日頃までの約 1 か月間は富山県内一帯が極端な少雨となり、伏木では 8 月の月間降水量が 46.5 mm と 8 月としては少なく、0.5 mm 以上の降水を記録した日数も 6 日間と少なかった。伏木測候所で気象観測が開始された 1885 年以降の 139 年間で 8 月に 0.5 mm

以上の降水量を記録した日数が 6 日以下であったのは 22 回に限られる。また、2023 年には 7 月下旬も少雨傾向であったことから、8 月に 0.5 mm 以上の降水量を記録した日数が 6 日以下であった 22 年間にについて伏木における 7 月下旬～8 月中旬の 1 か月間の降水量と降水階級別日数を集約した（表 3-4-1-5）。同期間中の降水量が最も少ないのは 1951 年の 3.8 mm であり、2023 年の 16.5 mm、1945 年の 22.4 mm、1925 年の 22.9 mm、2002 年の 26.0 mm がこれに続く。このうち 1951 年と 2023 年には 10 mm 以上のまとまった日降水量は記録されていない。なお、2006 年は 8 月の降水日数が少なかった

表 3-4-1-5 7 月下旬～8 月中旬の降水量と降水階級別日数

年	降水量 (mm)	降水階級別日数				北陸地方の 梅雨明け日
		≥0.5mm (日)	≥1.0mm (日)	≥10mm (日)	≥30mm (日)	
1889	96.8	10	9	4	0	
1904	56.9	8	7	1	1	
1916	79.1	7	7	2	1	
1922	182.2	7	7	2	1	
1923	40.4	5	5	1	0	
1925	22.9	5	5	1	0	
1939	67.2	5	5	2	1	
1945	22.4	3	3	1	0	
1951	3.8	2	2	0	0	7月18日頃
1954	79.0	6	6	3	1	7月18日頃
1965	100.2	7	5	3	1	7月25日頃
1978	208.0	5	5	4	2	7月08日頃
1984	108.0	5	5	2	1	7月22日頃
1985	50.0	3	2	2	1	7月15日頃
1986	37.5	7	7	1	0	7月27日頃
1990	115.5	5	5	3	1	7月20日頃
1994	79.0	3	3	3	1	7月13日頃
2000	69.5	6	6	2	1	7月19日頃
2002	26.0	3	2	1	0	7月23日頃
2006	222.5	7	7	6	4	7月30日頃
2010	73.0	6	5	3	1	7月17日頃
2023	16.5	3	3	0	0	7月17日頃

表 3-4-1-6 7 月下旬～8 月中旬の降水量と降水階級別日数の順位

年	降水量 (順位)	降水階級別日数の順位(昇順)				北陸地方の 梅雨明け日
		≥0.5mm (順位)	≥1.0mm (順位)	≥10mm (順位)	≥30mm (順位)	
1889	16	22	22	20	1	
1904	9	21	17	3	9	
1916	15	16	17	9	9	
1922	20	16	17	9	9	
1923	7	7	7	3	1	
1925	4	7	7	3	1	
1939	10	7	7	9	9	
1945	3	2	4	3	1	
1951	1	1	1	1	1	7月18日頃
1954	13	13	15	15	9	7月18日頃
1965	17	16	7	15	9	7月25日頃
1978	21	7	7	20	21	7月08日頃
1984	18	7	7	9	9	7月22日頃
1985	8	2	1	9	9	7月15日頃
1986	6	16	17	3	1	7月27日頃
1990	19	7	7	15	9	7月20日頃
1994	13	2	4	15	9	7月13日頃
2000	11	13	15	9	9	7月19日頃
2002	5	2	1	3	1	7月23日頃
2006	22	16	17	22	22	7月30日頃
2010	12	13	7	15	9	7月17日頃
2023	2	2	4	1	1	7月17日頃

が、梅雨明けが7月30日と遅かったので7月下旬に10mm以上や30mm以上の日降水量をそれぞれ複数回記録しており、7月下旬～8月中旬の降水量は222.5mmと多くなっている。

表3-4-1-6には表3-4-1-5の各項目の数値について小さい順に並べ替えた場合の順位（昇順順位）を示した。1951年はすべての項目で第1位となっているので、1885年以降の139年間の中で最も極端な旱魃であったといえる。降水量や降水日数の少なさから2023年の7月下旬以降の1か月間は2002年や1945年と並んで1951年に次ぐ厳しい旱魃であったことが示される。

1999年から肥大成長の記録が続けられている8個体の中で肥大成長が上位4番目までのNo.647, No.683, No.658, No.652の4個体のうちNo.683以外の3本のスギは枯れ沢の南側斜面の下部付近に生育していることから旱魃の間も水分ストレスを比較的受けにくくことが考えられる。特にNo.647は枯れ沢の南側斜面の下端に生育しているので2023年の夏のように顕著な旱魃の下でも影響を受けることがなかったと考えられる。

従来から枯れ沢に近い南側斜面のスギが旺盛な成長を示す理由として日照条件をあげてきたが、山本ら（2010）はスギ幼齢木の成長解析の結果にもとづいて土壤水分や無機態窒素に恵まれた斜面の下部が斜面上部よりスギの成長にとって好都合であることを示している。2023年夏の成長パターンからすると水分ストレスの少なさも影響している可能性が高い。

3.4.2 美松調査区のオオシラビソの年輪解析

年輪幅の推移

美松調査区（調査区[06]）で30個体のオオシラビソについて年輪幅の推移を検討したところ1個体を除く29個体で年代が決定された。図3-4-2-1には各個体の年輪幅の推移を示した。年輪幅は概ね0.5～2mmの範囲内にあるが、最も幅広い年輪は4mmを超えており、最も狭い年輪は0.1mmを下回っている。試料の多くは老齢木から採取しているので、全般的には加齢とともに年輪幅が減衰する傾向が示されているが、1990頃より後には増大傾向を示す個体が多い。年輪幅の変動は非常に大きいが、1999年、1990年、1958年、1904年、1890年などには大部分の個体の年輪幅が著しく狭くなっている。

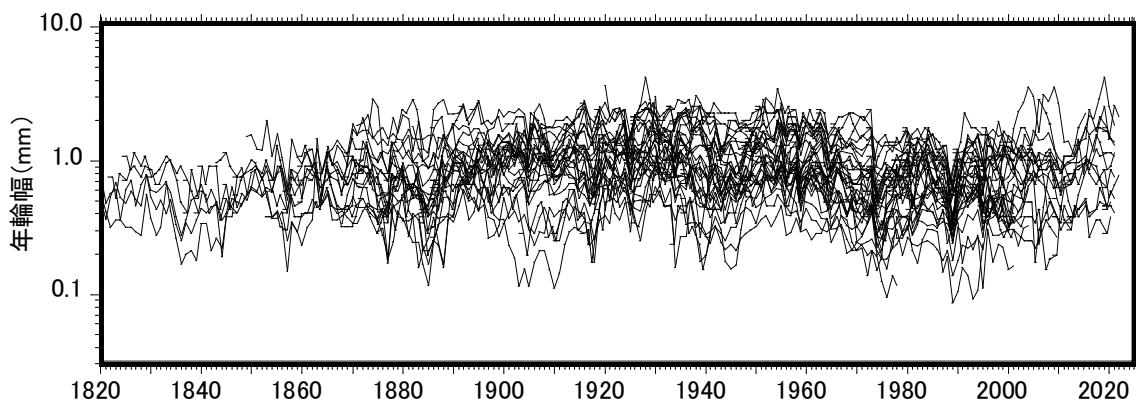


図3-4-2-1 美松平調査区（調査区[06]）のオオシラビソの年輪幅の推移

年輪指標の推移

図 3-4-2-2 には美松調査区（調査区[06]）のオオシラビソの年輪指標の推移を個体ごとに示した。年輪指標では樹齢の影響や長周期の変動が取り除かれているので、年輪幅に比べると変動範囲は小さく、大部分のデータは 1.0 ± 0.5 の範囲に入っている。1989年、1918年、1877年、1857年、1844年などには著しく小さな年輪指標を示す個体が多い。

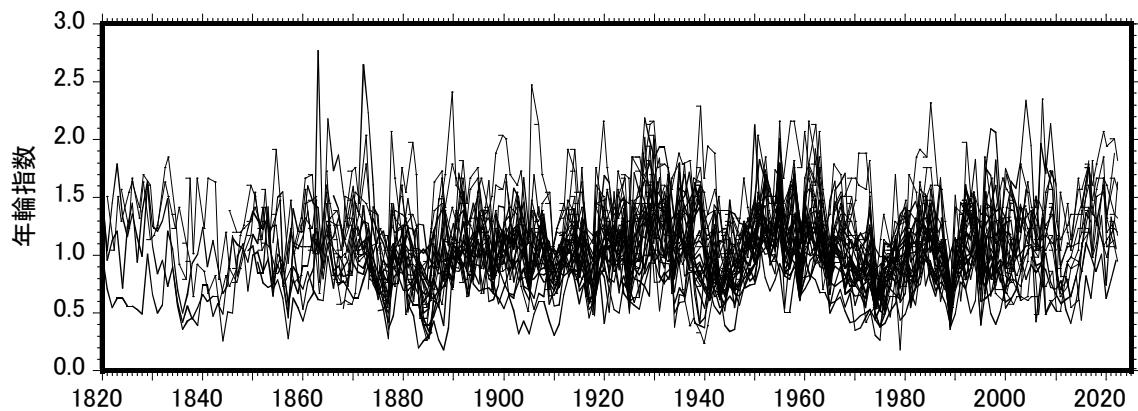


図 3-4-2-2 美松調査区（調査区[06]）のオオシラビソの年輪指標の推移

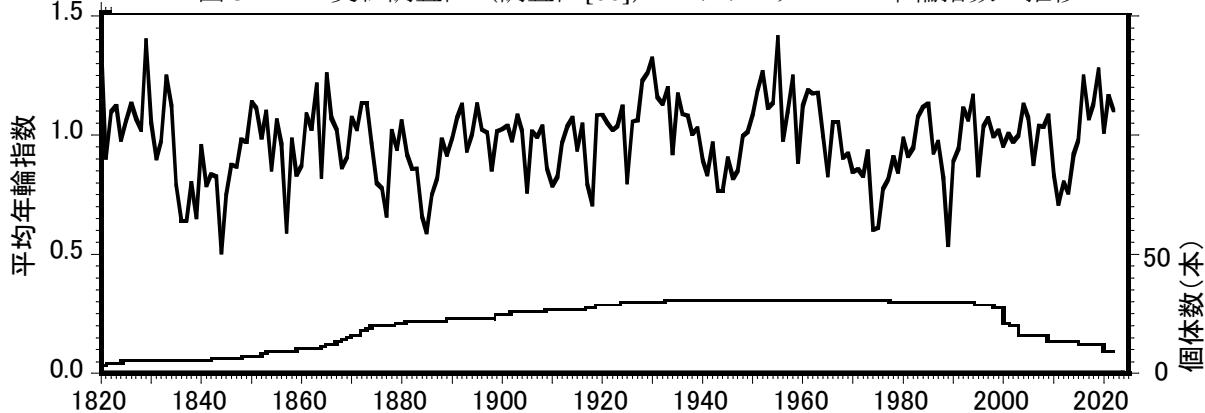


図 3-4-2-3 美松調査区（調査区[06]）のオオシラビソの平均年輪指標と個体数の推移

図 3-4-2-3 には美松調査区（調査区[06]）のオオシラビソの平均年輪指標と個体数の推移を示した。平均年輪指標は不規則に変動しているが、1940年代の中頃および1970年代の中頃を中心とする約10年間は比較的小さな値が続いている。

自動車道路建設などがオオシラビソの肥大成長に及ぼした影響

本調査の第Ⅰ期の報告書（小島 2002）では、自動車道路に最も近い2本のオオシラビソが1960年代以降の約20年間は肥大成長が著しく抑制されていることを示し、その要因として自動車道路建設の直接的な影響を取り上げた。そこで、調査区の上辺からの距離階級別に平均年輪指標を計算した（図 3-4-2-4）。調査区の上辺からの距離は概ね道路の路肩からの垂直距離に相当する。1960年頃までは上辺から25m以内、25~50m、50~90mの3グループ間で相違はほとんど見られないが1960年代半ば以降の約10年間は道路に最も近い「25m以内」のグループが他の2グループに比べて著しく小さな平均年輪指標を示している。弥陀ヶ原より上部の自動車道路工事は1959年以降に進められているので、当時は調査区[06]で法面の

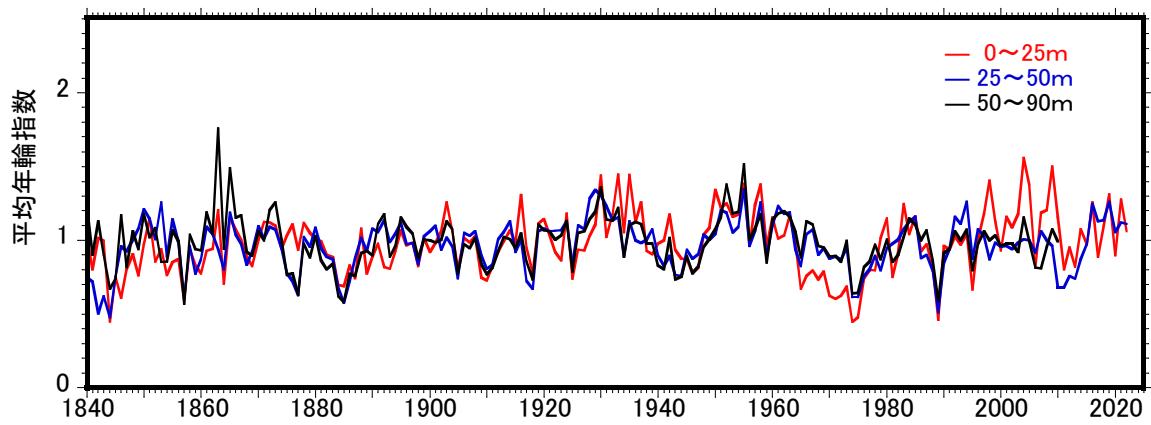


図 3-4-2-4 美松調査区（調査区[06]）のオオシラビソの平均年輪指数の推移（距離階級別）

開削にともなって樹幹の損傷や土砂の堆積など著しい攪乱が進んでおり、その影響が約 10 年間にわたって続いたと考えられる。なお、1998 年、2004 年、2009 年には「25 m 以内」のグループの平均年輪指数が他の 2 つのグループに比べて突出して大きな値となっている。これは「25 m 以内」のグループの個体数が他のグループに比べて極端に少ない上に、3~4 個体の中で 1 本のオオシラビソが異常に大きな年輪幅を示したためであり、これらのデータを除くと 1970 年代後半以降も他の 2 グループと同様の推移を示したことになる。

引用文献

- Holmes R. L., Adams R.K., Fritts H.C. (1986) Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin with procedures used in the chronology development work including users manuals for computer programs COFECHA and ARSTAN. Chronology Series VI., Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson
- 小島 覚 編 (2002) 環境変動と立山の自然 —立山植生モニタリング調査報告書— pp.79 調査区 [06] におけるオオシラビソの肥大成長
- 山本 哲裕 ほか (2010) 斜面に植栽したスギ幼齢木の成長と水分、養分の違いの関係 東京大学農学部 演習林報告 122: 1-15

3.5 外来植物モニタリング調査（太田道人・吉田めぐみ・山下寿之）

3.5.1 各調査区における外来植物の出現状況

今回の調査区全体で見ると（表 3-5-1），外来植物は 35 種出現し，出現頻度が大きかったのはゴマナ（18 カ所）で，ついでイタドリ（16），オノエヤナギ（13），スズメノカタビラ（12），雑種ヨモギ（12），フキ（12）であった。

表 3-5-1-1 令和 5 年度調査区全体での外来種出現状況

調査地	美松～室堂第2駐車場														弥陀ヶ原遊歩道					頻度(計)			
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25-26	27	28	51	52	53	54	55			
No.	11	10	19	13	12	8	14	13	1	11	15	6	5	6	13	31	3	18	12	1	1	21	35
種数																						6	
アイタドリ			2			1		1			1						1					1	
アイパンソウ				1																		1	
アライヅツメクサ				2	2						2											3	
イ	1																				1	1	
イタドリ	2	2	1	4	1	3	1	2		1	1	4	3	1	3	14		2	1		2	16	
イヌコリヤナギ			1																			1	
エゾノギシギシ						1												1			1	2	
オオイタドリ	1	1				1		1														4	
オオウシノケグサ					1		3	1		1	1	1	1	1	2	9						9	
オオバコ	1	1	1	1	1		2	1								7		1	1		2	9	
オノエヤナギ		1	1	1	1		1	1	1	1	1			1	1	11		1	1		2	13	
外来ミニナグサ					1	2										2		1	1		2	4	
キバナカワラマツバ			1													1	2				1	3	
クサイ	1	2	3					1			1					5						5	
ゴマナ	3	3	2	2	2	2	3	2		1	2	3	3	2	1	14	1	2	1	1	4	18	
雑種ヨモギ	1	2	1	1		1	1	1		1	1					10		1	1		2	12	
シロツメクサ	1	2	1	5	3		2	1		2	1				1	10		1		1	1	11	
スギナ	3			2	2			1		2					5		1		1	1	6		
ススキ			1												1		1		1	1	2		
スズメノカタビラ	1	1	2	1	3		2	1		1	1				10		1	1		2	12		
セイヨウタンポポ				4	1	1	1	1		1	1				8						1		
ゼニゴケ																		1		1	1		
タニウツギ																	1	1		2	2		
ツボスミレ		1													1			1		1	2		
ドロノキ		1					1				1				3		1	1	1	2	5		
ノアザミ											2				1						1		
ノコンギク	1														1						1		
バッコオノエヤナギ															1	1		2		2			
バッコヤナギ															1	1		2		2			
ヒヨウタンゴケ															2	2		2		2			
フキ	2	1		1	1	1	1	1		1	1	1	2	1	1	12					12		
ホツスガヤ	1														1						1		
ミスジナガハグサ					1	2	1			2				1	5						5		
ミドリハコベ							1								1						1		
ヨモギ	1	1	2											1	4						4		
(ハンゴンソウ)											1	1	1	1	4						4		

美松から室堂第 2 駐車場の 15 調査区における H21 年以降の外来植物出現頻度の経年変化を表 3-5-1-2 に示した。R5 年の調査で新たに、ドロノキとミドリハコベの 2 種が確認された。ドロノキは標高 1900m 前後の弥陀ヶ原では確認されていたが、今回の調査で、No.16 天狗の鼻第 2 駐車場、No.20 天狗平山荘周囲、No.24 国見第 1 駐車場の 3 地点で確認され、徐々により標高の高い場所へと上がっているように見受けられる。ミドリハコベは No.20 天狗平山荘周囲の山荘前の木道の隙間に 1 株がみられた。

また、H21 年以降継続して出現した種は 11 種で（表 3-5-1-2），このうち令和 5 年度に出現頻度 8（約 53%）以上を記録したことのある種はイタドリ、オオウシノケグサ、オノエヤナギ、

表 3-5-1-2 美松～室堂第 2 駐車場（15 カ所）における外来植物出現頻度の経年変化

種名	H21	H23	H26	H29	R2	R5	出現回数	コメント
アイタドリ				1	3	5	3	
アイバソウ			1			1	2	
アライドツメクサ	1	2	2	2	7	3	6	定着
イ				2	2	1	3	
イタドリ	13	13	14	14	15	14	6	定着・除去実施
イヌコリヤナギ		1	1	1	2	1	5	
エゾノギシギシ	3	1	2	3	4	1	6	定着・減少
オオイタドリ		2	4	8	6	4	5	定着
オオウシノケグサ		2	2	6	8	9	5	定着
オオバコ	5	5	6	7	8	7	6	定着
オニウシノケグサ		1					1	
オノエヤナギ	8	6	8	10	9	11	6	定着・除去実施
外来ミニナグサ	1	2	2	2	2	2	6	定着・除去実施
キバナカワラマツバ			1	1	2	2	4	定着・減少
クサイ	4	5	4	5	4	5	6	定着
ゴマナ		11	15	14	15	14	5	定着・除去実施
雑種ヨモギ			5	6	9	10	4	定着・除去実施
シロツメクサ	8	9	11	9	11	10	6	定着
スイバ	2						1	
スギナ	5	5	5	5	7	5	6	定着
ススキ	1		1	1	1	1	5	
スズメノカタビラ	10	10	11	10	10	10	6	定着
セイヨウタンポポ	10	7	6	9	8	8	6	定着・除去実施
ツボスミレ		1	1	1	1	1	5	
ドロノキ						3	1	初確認
ノアザミ	1		2	2		1	4	外来種再指定
ノコンギク	3					1	2	
ヒメジョオン	1						1	
フキ	6	9	12	12	12	12	6	定着・除去実施
フランスギク					1		1	
ホツスガヤ		1	1	2	2	1	5	定着・減少
ミスジナガハグサ		1	3	1	3	5	5	定着・増加
ミドリハコベ						1	1	初確認
ヨモギ	11	10	7	2		4	5	定着
(カノコソウ)					1		1	
(ハンゴンソウ)					1	4	2	定着・増加
種数	18	21	25	26	27	31		

ゴマナ、雑種ヨモギ、シロツメクサ、スズメノカタビラ、フキの 8 種であった。イタドリ、ゴマナ等は道路沿いの除草や、場所によってはボランティアによる除去作業が行われており、少しづつその効果が出始めているが、依然として多くのバイオマスを占めている。オオバコ、シロツメクサ、スズメノカタビラ等は美松や天狗第 2 駐車場などの砂利敷きや立山高原ホテルの石畳などに大面積で生育しており、効果的な除去作業を行うことが困難である。

調査区 No.22 の天狗平休憩所跡地については、前回までの調査で、本来の調査範囲（休憩所跡地のみ）だけでなく、車道の側溝縁まで調査に含めていたことが分かったため、表を範囲内と範囲外（側溝縁）の 2 つに分けて記載した。範囲内のセイヨウタンポポはほぼ消滅し、本来の植生であるイワイチョウ・ショウジョウ・スゲ群集へ復元しつつあることを確認した。

昨年再び立山外来植物として扱うこととしたノアザミは、No.24 国見第 1 駐車場の斜面に複数の集団が確認された。除去対象から外されている間に急激に増加しており、調査時には多くの花と種子をつけており、早急に除去する必要がある。

また、主に山地帯から亜高山帯に生育するハンゴンソウは外来植物の扱いではないが、高山帯に出現するものには参考として括弧をつけて記録しており、今回は No.24 国見第 1 駐車場から No.26 大谷待避所の 4 調査区で確認した。ハンゴンソウ、キオンなど山地～亜高山性の種について、どの地点以上の調査区において外来植物として扱うかを検討する必要がある。

昨年調査（立山植生研究会 2022）に引き続き、畑地雑草の見つけやすさの図の一部を更新した（図3-5-1-2）。更新部分は、全調査区のうち調査区 No.14～28 の範囲である。畑地雑草として扱う種および生育状況の判定値から準植被率への変換方法は、立山植生研究会（2022）と同じとした。

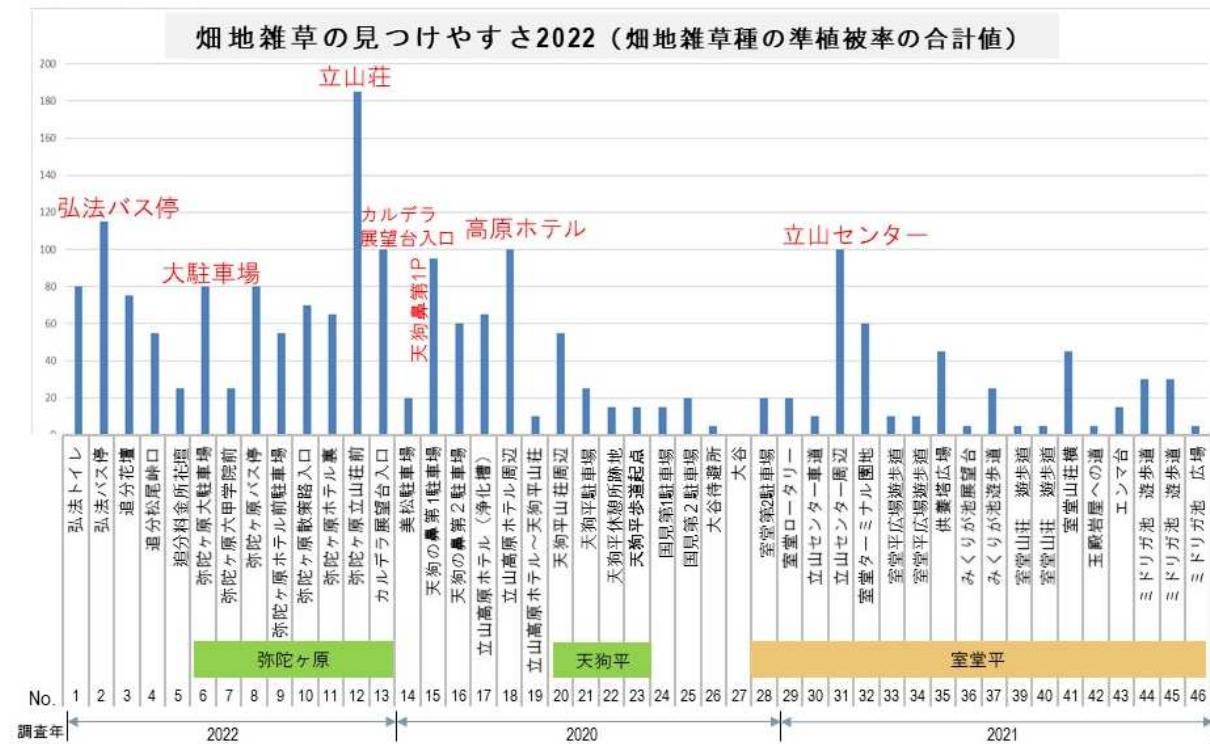


図 3-5-1-1. 畠地雑草種のみつけやすさ 2022 調査区 No.1-13 の調査年は 2022 年、No.14-28 は 2020 年、No.29-46 は 2021 年。

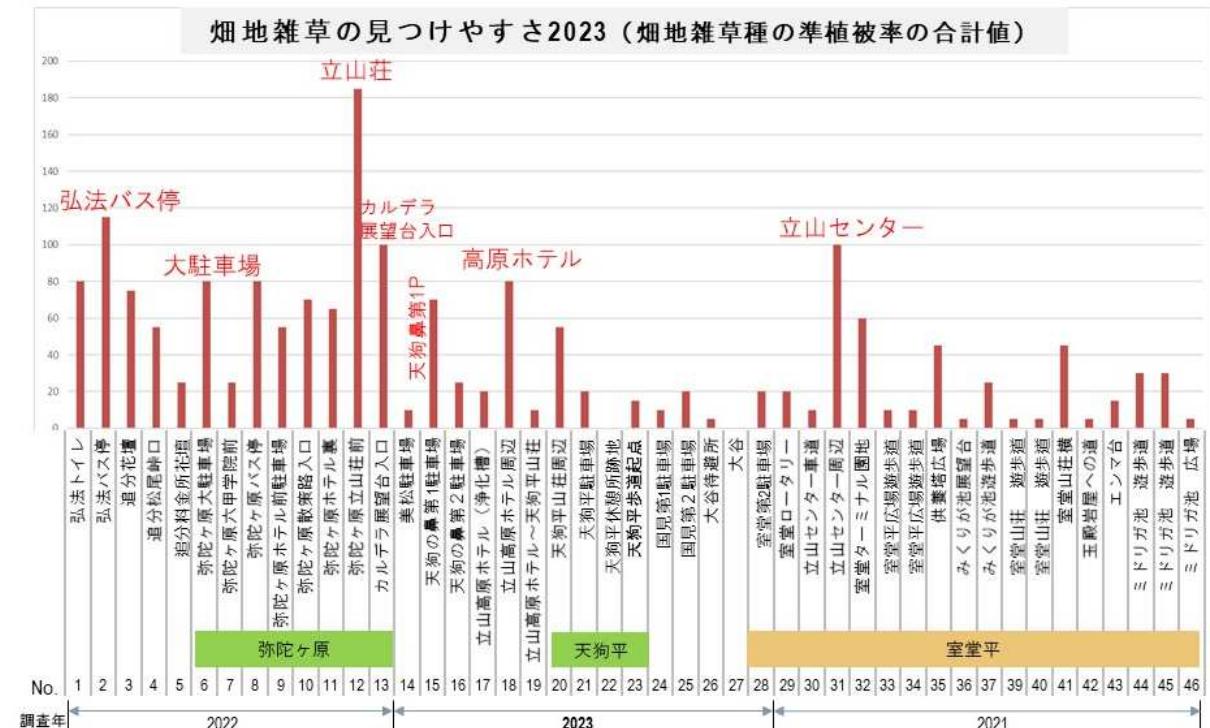


図 3-5-1-2. 畠地雑草種のみつけやすさ 2023 調査区 No.14-28 を今回更新（2023 年），その他は前図と同じ。

図 3-5-1-1, 3-5-1-2 から、畑地雑草の見つかりやすい区域が、弘法から弥陀ヶ原および室堂平立山センター周辺であることには変化がなかった。

今回更新した No.14～28 は、従来、畑地雑草の少ない調査区である。前回（2020 年）から今回（2023 年）にかけて、畑地雑草の減少が見られた調査区が 7、変化がなかった調査区が 7 であり、増加した調査区はなかった（調査範囲を調整したことで 0 となった No.22 を除く）。減少理由として、各駐車場の辺縁部において、除草または外来種除去が行われたことに加え、No.14 美松駐車場では舗装部が拡大したこと、No.15 天狗の鼻第 1 駐車場では在来種の高茎草本が成長し畑地雑草が被陰されたことなどが考えられる。

弥陀ヶ原遊歩道の5調査区におけるH25年以降の外来植物出現頻度の経年変化を表3-5-1-3に示した。

表3-5-1-3 弥陀ヶ原遊歩道の5調査区における外来植物出現頻度の経年変化

種名	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	出現回数	コメント
アイタドリ		1	1	1		1	1	1	1	2	1	8	定着・減少
イ				1	1	1	1	1	1	1	1	7	定着
イタドリ	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	10	定着・除去実施
エゾノギシギシ	2	1	1		1	1	1	1	1	1	1	8	定着・除去実施
オオイタドリ	1	1	1	1	1	1						6	除去実施
オオバコ	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	定着
オノエヤナギ				1	1	1	1	1	1	2	2	7	定着・増加
キバナカラマツバ								1	1	1	1	3	定着
クサイ								1				1	
ゴマナ	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	10	定着・除去実施
シロツメクサ					1	1	1	1	1	1	1	6	定着
スギナ			1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	定着
スキ						1	1	1		1	1	4	定着
スズメノカタビラ	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	9	定着
ゼニゴケ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	9	定着
タニウツギ		1	1	1	1	1		2	2	2	2	7	定着・除去実施
ツボスミレ	1			1	1	2	2	1	1	1	1	7	定着
ドロノキ								1	2	2	2	2	定着
バッコオノエヤナギ								2	2	2	2	3	定着・除去実施
バッコヤナギ								2	1	2	2	2	
ハルジオン								1	1	1		3	除去実施
ヒメムカシヨモギ	1											1	自然消滅
ヒョウタンゴケ		2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	8	定着
ヨモギ									1			1	
外来ミニナグサ				1	1	1	1	2	2	2	2	7	定着
雑種ヨモギ	2			2	2	2	2	2	2	2	2	8	定着
種数	3	11	11	16	15	18	18	21	19	23	21		

出現種数は21種で、過去最高の種数であったR4年より2種減少し、これはハルジオンとヨモギが消失したことによる。外来植物の多くはNo.52が17種、No.53が12種とガキの広場に集中して生育している。

昨年再確認されたバッコヤナギとドロノキは今年も生育し、ゴマナは4調査区と最も多い地点で確認された。一昨年から7月の外来種除去指導者研修で、調査区No.52、53の木道沿いのゴマナの刈り取りを続けており、8月23日の調査時には再生した小さな株となっていた。また同研修時にイタドリ、外来ミニナグサ、エゾノギシギシを徹底して除去を行った結果、調査時にはイタドリは再生した小個体のみで、外来ミニナグサ、エゾノギシギシもわずかに残るのみであった。木本のタニウツギ、オノエヤナギは研修時に地際から刈り取ったが、生育調査時には萌芽していた。株が衰退するまで継続して刈り取り等の除去作業を行うべきである。調査区No.55とその付近の木道で、H28から確認されているイが増加し、株が徐々に生長している。依然として外来種の侵入、定着、生長が続いていることから、これ以上の増殖を阻止し、他地域への拡散を防ぐために早急に除去しておくことが望まれる。

令和5年度の外来植物の出現状況を調査区ごとに表3-5-1-4～28にそれぞれ示した。

調査区 No. 14 美松駐車場 標高 2090m



図 3-5-1-3a. 全景



図 3-5-1-3b. 道沿いのゴマナ等草刈り作業中

表 3-5-1-4. 調査区 No.14 の外来植物の出現状況

	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	6	9	7	11	12	11
オノエヤナギ	2	1	1	1	1	
イタドリ	1	2	2	2	2	2
ヨモギ	4	2	1			1
シロツメクサ	2		1		1	1
オオバコ	1			1	1	1
スギナ	1					
ゴマナ		2	2	3	3	3
スズメノカタビラ		1	1	1	2	1
クサイ		1		1	1	1
ホツスガヤ		1		1	1	1
フキ		1				
オニウシノケグサ		1				
ヨモギ雑種			1	2	1	1
イ				1	1	1
オオイタドリ				1	1	1
セイヨウタンポポ				1	1	

【概要】令和3年秋に駐車場出入口部の舗装が新しくなり、前回までその場所に生育していたイ、オオバコ、セイヨウタンポポは見られなくなった。今回調査時に道路沿いのイタドリやゴマナ等の除草作業が行われていた。関西学院小屋に続く道沿いの砂利敷きにオオバコ、スズメノカタビラがわずかに生育していた。

調査区 No. 15 天狗の鼻第1駐車場 標高 2125m



図 3-5-1-4a. 天狗の鼻第1駐車場の全景



図 3-5-1-4b. 駐車場斜面下側にフキ、イタドリ等が生育

表 3-5-1-5. 調査区 No.15 の外来植物の出現状況

	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	10	12	11	10	13	10
オオバコ	3	3	2	3	1	1
スズメノカタビラ	3	2	1	1	1	1
イタドリ	3	3	2	2	2	2
オノエヤナギ	3	2	1	1	1	1
スギナ	2	3	2	4	4	3
シロツメクサ	2	2	1	2	2	2
フキ	1	2	2	2	2	2
セイヨウタンポポ	1	1				
ススキ	2					
ノコンギク	4					1
ゴマナ		3	3	2	3	3
ヨモギ		3	1	1		
オオイタドリ		2	2	3	2	
アライドツメクサ		1	1		1	
雑種ヨモギ					1	2
エゾノギシギシ					1	
ヌカボ					1	

【概要】平成 26 年秋に弥陀ヶ原湿原が一望できる展望所として整備・舗装され、谷側の擁壁に沿って雑草帯が残る場所。除草等により、オオイタドリ、アライドツメクサ、エゾノギシギシ、ヌカボは見られなくなり、オオバコも減少した。草地の大部分が高茎草本群落に以降しつつあり、フキ、ゴマナは旺盛に生育し、雑種ヨモギはオオヨモギと同所的に生育していた。

調査区No. 16 天狗の鼻第2駐車場 標高 2130m



図 3-5-1-5a. 天狗の鼻第2駐車場の全景



図 3-5-1-5b. 碎石路面にはシロツメクサ, アライドツメクサが増加

表 3-5-1-6. 調査区 No.16 の外来植物の出現状況

	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	7	10	16	14	17	19
スズメノカタビラ	4	2	3	3	3	2
イタドリ	4	2	1	1	2	1
シロツメクサ	5	1	1	1	1	2
オオバコ	2	1	1	1	1	1
ヨモギ	3		1			1
スギナ	3					
セイヨウタンポポ	1					
フキ		2	2	2	2	1
オノエヤナギ		2	1	1	2	1
ゴマナ		1	2	1	2	2
イヌコリヤナギ		1	1	1	1	1
クサイ		1	1	1	2	2
ツボスミレ		1	1	2	1	1
アイバソウ			1			1
オオイタドリ			2	1	1	1
キバナカワラマツバ			1	1	2	1
ススキ			1	1	1	1
ホツスガヤ			1	1	1	
雑種ヨモギ					1	1
アイイタドリ					1	2
アライドツメクサ					1	2
ドロノキ						1

【概要】ヨモギ, アイバソウが9年ぶりに、ドロノキが初確認され、出現種数が19種に増加した。ダケカンバ植林との境に、さまざまな外来種が生育しており、イタドリ, フキ, アイイタドリが目に入る。碎石敷路面には小型のシロツメクサとアライドツメクサが地面にへばりつくように繁茂し、前回より增加了。車道縁のオノエヤナギの一部は除去されていた。路肩沿いにはヤマホタルブクロが生育しているが、山地性の種であり、外来種として扱うか検討する必要がある。

調査区No. 17 立山高原ホテル（浄化槽）標高 2300m



図 3-5-1-6a. 浄化槽全景



図 3-5-1-6b. 浄化槽周辺にイタドリが繁茂

表 3-5-1-7. 調査区 No.17 の外来植物の出現状況

	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	8	8	10	14	14	13
シロツメクサ	5	5	5	5	5	5
イタドリ	4	4	1	4	3	4
スズメノカタビラ	5	3	3	3	3	1
外来ミミナグサ	3	1	1	1	2	1
セイヨウタンポポ	1	1	1	1	2	4
クサイ	1	1	1	2	2	3
ヨモギ	3	1	1	1		2
オオバコ	1			1	1	1
ゴマナ		3	2	1	2	2
ミスジナガハグサ			1	1	2	1
雑種ヨモギ			1	3	1	1
エゾノギシギシ				1	1	
オオウシノケグサ				1		1
オノエヤナギ				1	1	1
アライドツメクサ					1	
ヌカボ					3	

【概要】前回同様、多くの外来種が生育していた。浄化槽上部にはシロツメクサが群生し続けており、セイヨウタンポポが急増し、クサイも増加した。浄化槽周囲にはイタドリやゴマナが繁茂していた。スズメノカタビラ、外来ミミナグサ、ミスジナガハグサは前回よりも減少していた。また、前回ヌカボとした種はヤマヌカボの誤認と確認された。

調査区No. 18 立山高原ホテル周辺 標高 2300m



図 3-5-1-7a. 調査区全景。



図 3-5-1-7b. テラス法面にシロツメクサ、スギナなどが
多くみられた。

表 3-5-1-8. 調査区 No.18 の外来植物の出現状況

出現種数	6	6	10	10	11	12
シロツメクサ	5	2	1	2	3	3
スズメノカタビラ	3	3	3	3	3	3
イタドリ	3	3	2	2	1	1
オノエヤナギ	1	1	1	1		1
ヨモギ	3		1			
エゾノギシギシ	3					
スギナ		2	1	1	2	2
外来ミミナグサ		1	2	2	3	2
オオバコ			1	1	1	1
ゴマナ			2	2	2	2
セイヨウタンポポ			1	1	2	1
オオウシノケグサ				1	1	
アライドツメクサ					1	2
ミスジナガハグサ					1	2
フキ						1

【概要】前回同様にテラス部分にシロツメクサ、スギナが繁茂、玄関前の石畳の隙間にセイヨウタンポポ、シロツメクサ、スズメノカタビラ、アライドツメクサが多く生育していた。玄関南側の側溝には外来ミミナグサ、雑種ヨモギが大きく成長しており、自然植生への種子の供給が危惧される。

調査区 No. 19 立山高原ホテル～天狗平山荘 標高 2305m



図 3-5-1-8a. 全景（上り）。



図 3-5-1-8b. 旺盛に生育するイタドリ

表 3-5-1-9. 調査区 No.19 の外来植物の出現状況

外来種	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	4	4	6	6	8	8
イタドリ	3	3	3	3	3	3
フキ	1	1	1	1	1	1
ヨモギ	1		1			
セイヨウタンポポ	3					1
ゴマナ		2	2	2	2	2
オオバコ		1	1		1	
オオイタドリ			1	1	1	1
アイイタドリ				1	1	1
オオウシノケグサ				1	1	
イヌコリヤナギ					1	
ミスジナガハグサ						1
雑種ヨモギ						1

【概要】道路沿いにイタドリが旺盛に繁茂し、調査時は花盛りであった。在来種のイワノガリヤス、ミヤマメシダなどと同所的に生育しており、自然植生への種子の供給が危惧される。前回確認されたオオバコ、オオウシノケグサ、イヌコリヤナギは見られなかつたが、新たにミスジナガハグサと雑種ヨモギが確認され、出現種数は前回と同じ 8 種であった。

調査区 No. 20 天狗平山莊周囲 標高 2305m



図 3-5-1-9a. 天狗平山莊入口付近



図 3-5-1-9b. 山莊裏側のオオウシノケグサ



図 3-5-1-9c. 山莊裏のシロツメクサ、スギナ等



図 3-5-1-9d. 山莊前木道の隙間のミドリハコベ

表 3-5-1-10. 調査区 No.20 の外来植物の出現状況

外来種	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	8	7	11	12	11	14
スギナ	3	3	2	2	2	2
シロツメクサ	1	3	1	1	2	2
スズメノカタビラ	2	1	1	1	1	2
オオバコ	2	1	2	1	2	2
ヨモギ	1	1				
セイヨウタンポポ	1			1	1	1
フキ	1		1	1	1	1
エゾノギシギシ	2		1	1	2	1
オノエヤナギ	1		1	1		1
オオウシノケグサ		2	2	2	3	3
ゴマナ		3	3	2	2	3
イタドリ			1	1	1	1
雑種ヨモギ			1	1	1	1
ドロノキ						1
ミドリハコベ						1

【概要】山莊の前にはゴマナ、エゾノギシギシなどが生育していたが、エゾノギシギシは前回よりは減少した。山莊前の木道の隙間にミドリハコベが 1 株確認された。山莊の裏側は前回同様、オオウシノケグサ、オオバコ、スズメノカタビラ、シロツメクサが生育していた。山莊西側にみられたセイヨウタンポポは他の植物に覆われ、1 株が確認されたのみであった。

調査区 No. 21 天狗平駐車場 標高 2310m



図 3-5-1-9a. 天狗平駐車場全景



図 3-5-1-9b. 道路法面のオオイタドリとアイイタドリ

表 3-5-1-11. 調査区 No.21 の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	4	8	10	11	15	13
イタドリ	3	2	2	2	2	2
スズメノカタビラ	3	1	1	1	1	1
クサイ	1	1	1	1	1	1
ヨモギ	1	1				
スギナ		1	1	1	1	
フキ		1	1	1	1	1
オオイタドリ		2	1	1	1	1
ゴマナ		2	2	2	2	2
オオバコ			1	1	1	1
オノエヤナギ			1	1	1	1
シロツメクサ			1		1	1
イ				1	1	
セイヨウタンポポ				1		1
フランスギク					1	
アライドツメクサ					1	
エゾノギシギシ					1	
雑種ヨモギ					1	1
オオウシノケグサ						1
アイイタドリ						1

【概要】路面舗装の一部修繕により、前回確認されたフランスギク、アライドツメクサ、エゾノギシギシ、スギナは見られなくなっており、舗装することで外来種を減少させた事例といえる。道路法面は除草作業も行われているが、オオイタドリ、オオウシノケグサ、ゴマナ、アイイタドリなどが生育している。

調査区 No. 22 天狗平休憩所跡地 標高 2315m



図 3-5-1-10a. 天狗平休憩所跡地（範囲内）全景



図 3-5-1-10b. セイヨウタンポポは消失



図 3-5-1-10c. 範囲内のオノエヤナギ



図 3-5-1-10d. 側溝の縁にゴマナ等生育

表 3-5-1-12a. 調査区 No.22（範囲内）の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	4	2	1	2	2	1
セイヨウタンポポ		1	1	1	1	
イタドリ	3	1				
スズメノカタビラ	3					
オノエヤナギ	1			1	1	1
クサイ	1					

表 3-5-1-12b. 調査区 No.22（範囲外：側溝の縁）の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	0	4	4	3	5	4
フキ		2	1	1	2	2
イタドリ					1	1
セイヨウタンポポ		1	1	1	1	
シロツメクサ		1	1	1	1	1
ゴマナ		1	1		1	1

【概要】今回の調査時に本来の休憩所跡地だけでなく、側溝の縁も前回までの調査に含めていたことがわかったことから、表を範囲内、範囲外に分けて記載した。範囲内のセイヨウタンポポは消滅したことを確認した。範囲内の湿性平坦地は本来のイワイチョウ—ショウジョウスゲ群集へ復元しつつある。

調査区 No. 23 天狗平歩道起点 標高 2320m



図 3-5-1-11a. 調査区の全景



図 3-5-1-11b. 歩道出入口付近にはシロツメクサ、スギナなどが繁茂

表 3-5-1-13. 調査区 No.23 の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	8	9	8	10	10	11
シロツメクサ	1	2	2	2	2	2
フキ	1	2	1	1	1	1
イタドリ	1	1	1	1	1	1
スズメノカタビラ	1	1	1	1	1	1
セイヨウタンポポ	1	1	1	1	1	1
オノエヤナギ	1	1	1	1	1	1
スイバ	1					
ヒメジヨオン	3					
ミスジナガハグサ		2	2	2	2	2
ゴマナ		1	2	1	1	1
ヨモギ		1				
雑種ヨモギ				1		1
オオイタドリ				1		
アライドツメクサ					1	
スギナ					1	1
オオウシノケグサ						1

【概要】歩道出入口付近にシロツメクサ、ゴマナ、スギナが繁茂し、ミスジナガハグサも目立ってきた。またオオウシノケグサが新たに確認された。奥のベンチ付近にはオノエヤナギが大きく成長していた。前回確認されたアライドツメクサは消失していた。

調査区 No. 24 国見第1駐車場 標高 2360m



図 3-5-1-12a. 駐車場全景



図 3-5-1-12b. 法面に生育するノアザミ

表 3-5-1-14. 調査区 No.24 の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	8	7	9	10	12	15
イタドリ	5	4	4	2	3	3
シロツメクサ	1	2	1	1	1	1
クサイ	1	1	1	1		1
セイヨウタンポポ	2	1	1	1	1	1
スズメノカタビラ	1	1	1	1	1	1
アライドツメクサ	3	1	1	1	2	2
ヨモギ	4	4				
スイバ	1					
ゴマナ			2	1	2	2
フキ			1	1	1	1
雑種ヨモギ			2	2	1	1
オノエヤナギ				1	1	1
キバナカワラマツバ					1	
スギナ					1	
オオウシノケグサ					1	1
ドロノキ						1
アイイタドリ						1
ノアザミ						2
(ハンゴンソウ)						1

【概要】山小屋等へヘリコプターで運搬する物資や除雪用燃料の置き場であり、低地からの外来種が入りやすい環境である。ボランティアによる最近の外来植物除去により、イタドリ、ゴマナ等は再萌芽した小型のものになっている。キバナカワラマツバ、スギナは消失したが、新たにドロノキ、アイイタドリおよび再び除去対象種としたノアザミが確認された。アライドツメクサが排水路に逸出していった。車道の山側法面にハンゴンソウが確認された。

調査区 No. 25 国見第2駐車場 標高 2370m



図 3-5-1-13a. 駐車場の全景



図 3-5-1-13b. イタドリやフキが目立つ

表 3-5-1-15. 調査区 No.25 の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	5	6	6	6	6	6
イタドリ	4	3	3	3	3	4
スギナ	3	2	1	1	2	2
フキ	1	1	1	1	1	1
ヨモギ	1	3				
セイヨウタンポポ	3	1				
オオウシノケグサ		1	1	1	1	1
ゴマナ			1	1	2	3
雑種ヨモギ			1	1	1	
(ハンゴンソウ)						1

【概要】駐車場と自然植生との境にイタドリ、ゴマナが前回よりも増加し、調査時はどちらも花盛りであった。イタドリは除去作業が行われた跡も認められたが、減少させるまでには至っていないようである。アスファルトのひび割れ部分にはスギナが目立った。雑種ヨモギは今回確認できなかった。

調査区 No. 25-2 国見待避所 標高 2380m



図 3-5-1-14a. 全景



図 3-5-1-14b. 法面にはゴマナ、イタドリが生育。

表 3-5-1-16. 調査区 No.25-2 の外来植物の出現状況

調査年	H26	H29	R2	R5
出現種数	3	3	6	5
イタドリ	2	3	2	3
フキ	1	1	1	2
ゴマナ	1	1	1	3
オオイタドリ			1	
オオウシノケグサ			1	1
(ハンゴンソウ)			1	1

【概要】イタドリ、ゴマナ、フキの増加が目立った。オオウシノケグサとハンゴンソウは今回も確認された。

調査区 No. 26 大谷待避所 標高 2390m



図 3-5-1-15a. 全景



図 3-5-1-15b. アスファルトの隙間にオノエヤナギ

表 3-5-1-17. 調査区 No.26 の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	6	5	4	5	4	6
イタドリ	4	3	1	1	(3)	1
フキ	1	1	1	1	1	1
ゴマナ		2	1	1	2	2
セイヨウタンポポ	1					
ヨモギ	3	1				
オノエヤナギ	1					
ノコンギク	1					
オオバコ		1				
スズメノカタビラ			1			
アライドツメクサ				1		
オオイタドリ				1		
オオウシノケグサ					1	1
(ハンゴンソウ)						1
オノエヤナギ						1

【概要】路肩にイタドリ、フキ、ゴマナが生育し、ゴマナが最も目立った。前回同様にオオウシノケグサが確認された。またアスファルトの隙間に小さなオノエヤナギが新たに確認された。

調査区 No. 28 室堂第2駐車場 標高 2410m



図 3-5-1-16a. 室堂第2駐車場入口付近全景



図 3-5-1-16b. 室堂ロータリー側法面のイタドリ

表 3-5-1-18. 調査区 No.28 の外来植物の出現状況

調査年	H21	H23	H26	H29	R2	R5
出現種数	7	8	10	10	11	13
イタドリ	4	4	2	1	2	3
ヨモギ	3	3	1			1
スズメノカタビラ	3	2	2	2	2	1
セイヨウタンポポ	2	2	1	2	2	2
オノエヤナギ	1	1	1		1	1
エゾノギシギシ	2	1	1	1		
ノコンギク	1					
シロツメクサ		1	1	1	1	1
ゴマナ		1	1	1	1	1
フキ			1	1	1	1
ミスジナガハグサ			1			1
雑種ヨモギ				2	2	1
オオウシノケグサ				1	2	2
オオイタドリ				1		
アイイタドリ					1	1
(カノコソウ)					1	

【概要】イタドリの一部は除去された跡も見られたが、室堂ロータリー側の法面上部には旺盛に繁茂していた。砂利敷きの駐車場にスズメノカタビラ、セイヨウタンポポ、シロツメクサ、また雪捨て場の斜面には多くのセイヨウタンポポが在来種のミヤマタンポポと混生している。他への種子の供給源となる恐れがあることから、セイヨウタンポポを早急に除去する必要がある。調査範囲の外にキバナカワラマツバが確認された。

調査区 No. 51 弥陀ヶ原遊歩道 ホテルと休憩所の中間点 標高 1920m



図 3-5-1-17a. 調査区全景



図 3-5-1-17b. タニウツギ再萌芽



図 3-5-1-17c. 木道脇のゴマナは小さい

表 3-5-1-19. 調査区 No.51 の外来植物の出現状況

調査年	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
種類数	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3
ゴマナ	3	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1
タニウツギ			1	1	1	1	1		1	1	1
バッコヤナギ								1	1		(1)

【概要】タニウツギは毎年、外来種除去指導者研修時に地際から伐採しているが、調査時には再び萌芽がみられた。木道脇にみられるゴマナは小さいままであった。また調査区より数 m ホテル側（調査範囲外）にあったバッコヤナギが再確認された。

調査区 No. 52 弥陀ヶ原遊歩道 ガキの広場上部 標高 1915m



図 3-5-1-18a. 調査区休憩所付近



図 3-5-1-18b. 再萌芽したイタドリ

表 3-5-1-20. 調査区 No.52 の外来植物の出現状況

調査年	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
種類数	2	10	10	10	9	10	12	16	16	17	18
ゴマナ	1	3	2	2	2	3	3	2	3	3	2
イタドリ	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2
オオイタドリ		1	1	1	1	1	1				
ゼニゴケ		4	4	3	2	2	2	1	1		
オオバコ		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
スズメノカタビラ		1	1	1	1		1	1	1	1	1
アイイタドリ		1	1	1		1	1	1	1	1	1
雑種ヨモギ		1		1	1	1	1	2	2	1	1
エゾノギシギシ		1	1					2	1	1	1
スギナ			1	1	1	1	1	1	1	1	1
ヒヨウタンゴケ			2	2	2	2	3	2	1	1	2
ツボスミレ		1					2	2	1	1	1
バッコオノエヤナギ						1	2	2	1	1	1
外来ミミナグサ								2	1	1	1
オノエヤナギ								1		1	1
タニウツギ								1	1	1	1
シロツメクサ								1	1	1	1
セイヨウウツボグサ									1		
ヨモギ										1	
ドロノキ										1	1
バッコヤナギ											1
ススキ											1

【概要】調査開始以来種類数の増加が続いているが、8年間発生が続いていたゼニゴケは、R4年R5年と続けて確認されなかったことから消滅したと考えられる。今年も7月9日の外来種除去指導者研修でゴマナ、イタドリ、外来ミミナグサ、シロツメクサなどを集中して除去し、タニウツギも地際から伐採した。除去の効果で調査時にはイタドリ、ゴマナは小さい再生個体であり、外来ミミナグサもわずかに残るのみであった。

調査区 No. 53 弥陀ヶ原遊歩道 ガキの広場下部 標高 1910m



図 3-5-1-19a. 全景



図 3-5-1-19b. 除去後再生したイタドリ



図 3-5-1-19c. 増加したヒヨウタンゴケ



図 3-5-1-19d. 衰退しつつあるゼニゴケ

表 3-5-1-21. 調査区 No.53 の外来植物の出現状況

調査年	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
種類数	3	8	6	11	11	13	16	18	12	14	12
イタドリ	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1
ゴマナ	1	3	4	2	2	3	3	3	2	2	1
オオバコ	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1
エゾノギシギシ		1		2		1	1				
スズメノカタビラ		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
雑種ヨモギ		1		1	1	1	1	1	1	1	1
ヒメムカシヨモギ		1									
ゼニゴケ		4	4	3	3	2	2	1	1	1	1
ヒヨウタンゴケ			3	2	1	1	2	1	1	1	2
外来ミミナグサ				3	2	2	1	1	1	1	1
シロツメクサ				2	1	1	2				
オノエヤナギ				1	1	1	1	2	1	1	1
ツボスミレ					1	1	1	1			
ススキ						1	1	1		1	
バッコオノエヤナギ							2	2	1	1	1

ドロノキ						1	1		1	1
バッコヤナギ						1	1			
クサイ							1			
アイイタドリ							1			
ハルジオン							1	1	1	
キバナカワラマツバ							1	1	1	1

【概要】 イタドリ、ゴマナ、雑種ヨモギ、外来ミミナグサは今年も7月9日の外来種除去指導者研修で集中して除去し、ゴマナは調査時には小さい個体であり、継続して刈りとる効果が表れていた。ゼニゴケは調査区下端の一部でマット状に残っており、またヒヨウタンゴケは以前より増加している。早めの除去が必要である。また7月に除去したハルジオンは再生せず消失、外来ミミナグサはわずかに確認されたのみであった。

過去に生育状況調査のため設置したペグは今回すべて撤去した。

調査区 No. 54 弥陀ヶ原遊歩道内回り分岐点から各 5m 標高 1895m



図 3-5-1-20a. 調査区全景



図 3-5-1-20b. わずかに確認されたゴマナ

表 3-5-1-22. 調査区 No.54 の外来植物の出現状況

調査年	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
種類数	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
イタドリ	2	1	1	1	1	1	1				
ゴマナ						1	1	1	1	1	1

【概要】イタドリはR2年7月のナチュラリスト研修時に除去したのち再生していない。ゴマナは今年7月の研修で除去したが、その後再生した小さい個体が確認された。

調査区 No. 55 弥陀ヶ原遊歩道外回り分岐点各 10m 標高 1863m



図 3-5-1-21a. 全景



図 3-5-1-21b. イは増加傾向にある

表 3-5-1-22. 調査区 No.55 の外来植物の出現状況

調査年	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
種類数	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
イ					2	2	3	2	2	2	2

【概要】今回もイのみが確認された。昨年よりも株が肥大し増加しているように見受けられるため、早めの除去が望まれる。

参考文献

- 浅井元朗（2015）植調 雜草大鑑. 357pp. 全国農村教育協会.
- 石田仁編（2014）環境変動と立山の自然（III）—立山植生モニタリング調査成果報告書—. 195pp. 富山県.
- 石田仁編（2020）環境変動と立山の自然（IV）—立山植生モニタリング調査成果報告書—. 203pp. 富山県.
- 岩坪美兼・新田雅志・宮下啓子・上田有美・太田道人・城賀津樹（2012）立山ルート沿線のオオヨモギの多様性と雑種の分布. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成23年度）13：14-16.
- 松久卓（2005）アルペンルートにおける帰化植物等の現況と除去. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成15年度）6：1-5.
- 長井真隆（2006）立山に外来植物が侵入してきた背景. 立山黒部アルペンルート外来植物現況報告書. pp.1-8. 環境省中部地方環境事務所・富山県・立山ルート緑化研究委員会専門調査部会.
- 大田弘・小路・長井（1983）富山県植物誌. 広文堂. 富山. 430pp.
- 太田道人（2006）外来植物除去の優先順位. 立山黒部アルペンルート外来植物現況報告書. pp.16-21. 環境省中部地方環境事務所・富山県・立山ルート緑化研究委員会専門調査部会.
- 立山外来植物除去対策検討会（2010）立山外来植物除去対策検討会報告書. 153pp. 富山県.
- 立山植生研究会（2011）平成22年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 112pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2012）平成23年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 110pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2013）平成24年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 110pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2015）平成26年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 107pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2016）平成27年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 91pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2017）平成28年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 116pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2018）平成29年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 110pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2019）平成30年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 140pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2021）令和2年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 91pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2022）令和3年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 112pp. 立山植生研究会.
- 立山植生研究会（2023）令和4年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 97pp. 立山植生研究会.
- 立山ルート緑化研究委員会専門委員会（2000）弥陀ヶ原～室堂 立山ルート沿線植生復元状況調査. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成11年度）1：6-9.
- 立山ルート緑化研究委員会専門委員会（2008）弥陀ヶ原～室堂 立山ルート沿線植生復元状況調査7および室堂平アルペンルート建設工事用道路跡緑化試験報告2. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成19年度）9：23-30.
- 立山ルート緑化研究委員会専門委員会（2009）弥陀ヶ原～室堂 立山ルート沿線植生復元状況調査8および室堂平アルペンルート建設工事用道路跡緑化試験報告3. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成20年度）10：9-14.
- 立山ルート緑化研究委員会専門委員会（2011）弥陀ヶ原～室堂 立山ルート沿線植生復元状況調査9および室堂平アルペンルート建設工事用道路跡緑化試験報告4. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成22年度）12：14-20.
- 立山ルート緑化研究委員会事務局（2010）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成21年度）11：30-33.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2011）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 22 年度）12 : 21-24.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2012）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 23 年度）13 : 17-19.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2013）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 24 年度）14 : 22-24.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2014）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 25 年度）15 : 35-37.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2015）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 26 年度）16 : 27-29.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2016）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 27 年度）17 : 11-13.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2020）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（令和元年度）18 : 25-32.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2021）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（令和 2 年度）19 : 15-17.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2022）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（令和 3 年度）20 : 7-9.

立山ルート緑化研究委員会事務局（2023）アルペンルート沿線施設外来植物除去報告. 立山ルート緑化研究委員会年報（令和 4 年度）21 : 18-20.

山下寿之・太田道人（2018）立山アルペンルート沿線における外来種除去の経緯と実績. 立山ルート緑化研究報告書第 4 報 pp.101-116. 立山黒部貫光・立山ルート緑化研究委員会.

山下寿之・吉田めぐみ・大沼進（2008）立山自然保護センターで採取した靴底土から発芽した植物. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 19 年度）9 : 1-4.

山下寿之・吉田めぐみ・富永宣宏（2009）室堂平における外来植物種の侵入状況と除去効果. 立山ルート緑化研究委員会年報（平成 20 年度）10 : 6-8.

吉田めぐみ・高橋一臣・加藤治好（2002）立山室堂平の維管束植物相. 立山室堂平周辺植物調査報告書-1999-2000. 富山県立山センター

参考文献 【全般】

- 浅香幸雄, 山村順次(1974)観光地理学. 大明堂,234pp
- 大丸裕武・塙田宏 (2004) 東北日本亜高山帯のオオシラビソ林の分布における雪圧の影響. 農業気象 60: 253-261
- Forman, R. T. T., 1995: Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press. 632 pp.
- 深井三郎 (1975) 北アルプスにおけるガキ田の気候地形学的考察. 富山大学教育学部紀要 23: 107-121
- Henry J. D. Swan J. M. A. (1974) Reconstructing forest history from live and dead plants material-An approach to the study of forest succession in southern New Hampshire. Ecology 55: 772-783
- 東野外志男・小川弘司・野上達也 (1998) 白山高山帯の室堂平における気温, 地温の通年変化. 日本雪氷学会誌 60: 157-165
- 本多啓七 (1964) 日本北アルプスにおけるガキ田の生態. 富山大学学術調査団編; 『北アルプスの自然』, 古今書院, 173-192
- Huggard D. J. (1999) Static life-table analysis of fall rates of subalpine fir snags. Ecological Applications 9: 1009-1016
- 石田仁 (1991) 富山県における気候値メッシュファイル (気温・降水・積雪深) の特性. 日本雪氷学会誌 53: 45-51
- 石田仁 (2001) 北アルプス立山の冷温帶一亜高山帯移行域に位置する森林の林分構造. 第 112 回日本林学会大会学術講演集 p.469
- 石田仁 (2002) 平成 8~13 年度 立山ブナ林保全対策事業報告書. 富山県林業技術センター・林業試験場, 富山県, 33pp.
- 石田仁 (2003) 富山県におけるブナ林の分布と動態. 統計数理 51: 59-71
- 石田仁・大宮徹 (1996-) 立山ブナ林保全対策事業. 富山県林業技術センター林業試験場・富山県農林水産総合技術センター森林研究所業務報告, 富山県
- 石田仁 (2004) 立山アルペンルート沿線におけるブナの植栽と事後経過. 日本緑化工学会誌 29(4): 503-506
- 石田仁 (2004) 富山県の天然林とその管理－基礎編－. 富山県林業技術センター研究報告 17 (別冊) 146pp.
- 石田仁 (2006) 富山県の森林帯における年間積雪期間の標高傾度—林床地表面温度からの推定—. 日本雪氷学会誌 68(5): 489-496
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. (Internet Version), URL: (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>)
- 河野昭一 (1999) 北アルプス立山における自然環境の破壊と保全－長期モニタリング調査結果の評価－. 日本生態学会誌 49: 313-320
- 河野昭一 (1981) 立山の植生と植物. 立山連峰の自然を守る会編, 「立山の自然」立山連峰の自然を守る会結成 10 周年記念誌 16-40

河野昭一 (1981) 立山の自然・植生破壊の元凶. 立山連峰の自然を守る会編, 立山連峰の自然を守る会結成 10 周年記念誌 41-63

北日本新聞 (2008) 減る「がきの田」巨大化. 北日本新聞 平成 20 年 7 月 21 日付

小島覚 (2008) 環境変動と立山の自然(II) 植生. 富山県立山植生モニタリング第 II 期調査成果報告書: 37-86

環境庁自然保護局 (1982) 日本の自然環境. 大蔵省印刷局 249 pp.

Kitao M. Löwb M., Heerdt C., Gramsb T.E.E., Häberle K.. and Matyssek R. (2009) Effects of chronic elevated ozone exposure on gas exchange responses of adult beech trees (*Fagus sylvatica*) as related to the within-canopy light gradient. Environmental Pollution 157: 537-544

小島覚 (1996) 気候温暖化と北陸地方の植生. J. Phytogeogr. & Taxon 44: 9-18

Kume A. Numata S. Watanabe K. Honoki H. Nakajima H. Ishida M. (2008) Influence of air pollution on the mountain forests along the Tateyama-Kurobe Alpine route Ecological Research: DOI10.1007/s11284-008-0557-2:

丸田恵美子・中野隆志 (1999) 中部山岳地域の亜高山帯針葉樹と環境ストレス(中部山岳地域の高山・亜高山帯における植物群落の現状と将来). 日本生態学会誌 49: 293-300

丸山幸平 (1991) —ブナの生活史—. ブナ林の自然環境と保全 (村井ほか編), ソフトサイエンス社, 83-89

松本繁樹・竹田次夫 (1986) 空中写真の画像解析による池塘の判読の有効性と限界—立山・弥陀ヶ原を例として—. 地理科学 41(2) : 85-98

長井真隆 (1988) TKK の観測による立山・室堂平の気象. 富山市科学文化センター研究報告 12: 109-138

Nagaoka T(2003) Edge Effects on Stand Structure and Regeneration in a Subalpine Coniferous Forest on Mt. Fuji, Japan, 30 Years after Road Construction. Edge Effects on Stand Structure and Regeneration in a Subalpine Coniferous Forest on Mt. Fuji, Japan, 30 Years after Road Construction. Arctic, Antarctic, and Alpine Research:35: 454-459

中川正之・川田邦夫・岡部俊夫・清水弘・秋田谷英次 (1976) 立山の積雪の性質の研究. 雪氷 38:1-8.

Nakajima H., Kume A., Ishida M., Omiya T & Mizoue N. (2011) Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. Annals of Forest Science 68: 1333-1340

中静透 (1991) —ブナ林の空間的構造—. ブナ林の自然環境と保全 (村井ほか編): ソフトサイエンス社, 83-92

日本林業技術協会 (1998) 立山道路沿線自然生物定点調査報告書. 富山県, 20: 130pp.

小笠原和夫 (1969) 山と水の自然. 古今書院, 318pp, 東京

Oliver C.D. & Larson B. C. (1990) Forest stand dynamics. McGraw-Hill Newyork, 467pp.

折谷隆志 (2008) 環境変動と立山の自然(II) 弥陀ヶ原湿原. 富山県立山植生モニタリング第 II 期調査成果報告書 95-109

Osada K, Kido M, Iida H, Matsunaga K, Iwasaka Y, Nagatani M, Nakada H (2003) Seasonal variation of free tropospheric aerosol particles at Mt. Tateyama, central Japan. J Geophys Res 108 (D23): 8667.doi: 10.1029/2003JD003544

- 十代田朗・野崎哲矢. (1999). 観光地としての立山黒部アルペンルートの形成過程と富山県側での論議. ランドスケープ研究, 63(5), 743-748.
- 鈴木時夫 (1964) 奥黒部地方の高山および亜高山植生の植物社会学的研究. 富山大学学術総合調査団「北アルプスの自然」 219-254
- 鈴木時夫・梅津幸夫 (1965) 奥黒部・立山および白山のハイマツ低木林と高山ハイデ. 日本生態学会誌 15: 113-124
- 鈴木時夫・二村昭八 (1966) 積雪と植生—立山平, 東斜面の帶状測定. 日本生態学会誌 16: 191-199
- 平英彰・沢田隆司 (1977) 立山・剣岳地方 (海拔高 2500m) に分布する天然スギについて. 日本林学会誌 59: 449-452
- 平英彰 (1985) 北アルプス北部におけるタテヤマスギの天然分布について. 森林立地 27: 1-7
- 立山植生研究会 (1998) 平成 10 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 104pp.
- 立山植生研究会 (1999) 平成 11 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 118pp.
- 立山植生研究会 (2000) 平成 12 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 112pp.
- 立山植生研究会 (2002) 環境変動と立山の自然(I) —立山植生モニタリング第 I 期調査成果報告書—. 富山県, 148pp
- 立山植生研究会 (2003) 平成 14 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 62pp.
- 立山植生研究会 (2004) 平成 15 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 77pp.
- 立山植生研究会 (2005) 平成 16 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 88pp.
- 立山植生研究会 (2006) 平成 17 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 80pp.
- 立山植生研究会 (2007) 平成 18 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 51pp.
- 立山植生研究会 (2008) 環境変動と立山の自然(II) —立山植生モニタリング第 II 期調査成果報告書—. 富山県, 219pp.
- 立山植生研究会 (2014) 環境変動と立山の自然(III) —立山植生モニタリング第 III 期調査成果報告書—. 富山県, 195pp.
- 立山植生研究会 (2008) 平成 21 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 124pp.
- 立山植生研究会 (2008) 平成 22 年度立山植生モニタリング調査成果報告書. 富山県, 113pp.
- 富山県 (1977) 立山池塘保護対策調査報告書(第 1 報). 立山池塘保護対策調査報告書, 37pp.
- 富山県 (1978) 立山池塘保護対策調査報告書(第 2 報). 立山池塘保護対策調査報告書, 44pp.
- 富山県 (1979) 立山池塘保護対策調査報告書(第 3 報). 立山池塘保護対策調査報告書, 74pp.
- 富山県 (1979) 立山道路沿線自然生物定点調査報告書(第 1 報). 181pp.
- 富山県 (1980) 立山道路沿線自然生物定点調査報告書(第 2 報). 147pp.
- 富山県 (1993) 富山県自然環境指針—人間と自然との共存を目指して—. 87pp.
- 富山県 (1996) 立山道路沿線自然生物定点調査報告書(第 18 報). 143pp.
- 富山県 (2002) 富山県の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブックとやま—. 富山県生活環境部自然保護課, 352pp.
- 富山森林管理署 (2004) 立山スギ巨木調査報告書. 富山森林管理署, 36pp.
- 遠山大和・鈴木悟郎・佐竹洋・川田邦夫・飯田肇 (2005) 酸素同位対比を用いた山岳地積雪の積雪時期推定. 日本雪氷学会誌 67: 319-330

Wada N, Kawada K, Kawamura R, Aoki K, Kume A (2004) Increasing winter runoff due to climatic change in a middle latitude mountain area of central Japan. *J Meteorol Soc Jpn* 82: 1589-1597.
doi: 10.2151/jmsj.82. 1589

渡辺幸一・朴木英治・吉久真弘・西野幹・柳瀬友治 (2006) 立山・美女平におけるオゾン、窒素酸化物および二酸化硫黄濃度の測定. *大気環境学会誌* 41: 268-278

山崎直方 (1902) 氷河果して本邦に存在せざりしか. *地質学雑誌* 110: 390-398

横山秀司 (1998). 北アルプス, 立山・室堂における観光と景観収支. *商経論叢* 39:3:181-204

吉井亮一・藤井昭二 (1981) 立山弥陀ヶ原台地における湿原堆積物についての花粉分析（予報）. *植物地理・分類研究* 29: 40-50

吉井亮一・折谷隆志 (1987) 立山天狗平における湿原堆積物についての花粉分析. *植物地理・分類研究* 35 : 127-136

吉井亮一 (1988) 立山室堂平における立山弥陀ヶ原台地における湿原堆積物についての花粉分析. *日本花粉学会誌* 34: 43-53

付表(電子媒体)

毎木調査資料

植生調査野帳

年輪解析

外来植物

気象観測資料

※モニタリング、報告書作成の基礎となるすべての野帳資料を原則テキスト形式で富山県および調査関係者が共有する。本資料は非公開とし、調査担当者の許可なく利用できないものとする。