

放置竹林の整備が植生回復に与える影響

小谷二郎・向野峻平・富沢裕子

放置された竹林の伐採とその後再生する竹の刈り払いによる整備が、植生回復に与える影響を5年間追跡調査した。整備後、竹林はほとんどの箇所ですべて衰退傾向にあった。再生竹の本数は侵入竹林整備地よりも多い傾向にあったが、樹高はあまり変わらなかった。一方、更新広葉樹は、侵入竹林整備地に比べ、種数、本数とも少ない傾向がみられたが、樹高が高い傾向がみられ広葉樹林への回復が速いことが示唆された。多種多様な広葉樹の樹種構成だったが、パイオニア種の生存本数が多い傾向がみられた。下層植生の被度は95%まで回復し、公益的機能の回復も順調と考えられた。

キーワード：広葉樹、再生竹刈り払い、植生回復、放置竹林整備

I. はじめに

モウソウチク等の放置竹林が針葉樹人工林等周辺森林や農地へ侵入拡大していることが問題となり（鳥居・井鷲 1997；鳥居 2006）、現在、公的な資金を使って整備が進められている（たとえば、いしかわ森林環境基金事業）。周辺地域の森林や農地への竹の侵入拡大を防ぐためには、侵入の先端部での整備に加えて、その発生源となっている林分での放置された竹林の整備が必要である。しかも、竹は地中で栄養繁殖するために、親竹の伐採のみでは再生竹によってまた元の竹林へ回復してしまうため、竹を完全に絶やすためには、数年間の再生竹の刈り払いが必要である（石田ら 1999；藤井ら 2005、2008；鈴木ら 2008）。石川県では平

成 24 年からの「第二期いしかわ森林環境基金事業」での針葉樹人工林へ侵入した竹林（以下、侵入竹林）の整備に加え、平成 29 年からの「第三期いしかわ森林環境基金事業」において、発生源となっている竹林（以下、放置竹林）の整備も行っている。侵入竹林では、整備後の機能の回復状況を検証するために植生回復のモニタリング調査を行い（小谷 2018）、放置竹林においても同様に整備後の植生回復のモニタリング調査を行っている。

侵入竹林の整備跡地では、親竹の伐採後 2 年間の再生竹の刈り払いで、竹の本数や樹高は刈り払い直後に減少したものの、徐々に増加する傾向がみられた（小谷 2018）。一方、更新広葉樹は、種数・本数ともに伐採後に急激に増加した後 3~4 年

表-1. 調査した放置竹林整備跡地の整備前の概要

No	場所 市町 字	標高 (m)	方位	傾斜 (°)	親竹		
					生竹(本/ha)	枯竹(本/ha)	直径(cm)
1	加賀市 黒瀬	27	W	15	7,500	500	11.1
2	能美市 灯台笹1	102	NW	20	6,400	500	12.2
3	能美市 灯台笹2	112	W	5	6,400	500	9.6
4	白山市 月橋1	93	S	30	7,800	1,100	11.1
5	白山市 月橋2	125	SW	25	3,700	400	9.6
6	かほく市 気屋	67	E	20	8,000	200	12.6
7	津幡町 七黒	45	N	30	7,900	800	12.5
8	津幡町 浅田	29	N	0	9,000	500	13.6
9	津幡町 平野	75	SE	30	12,000	700	12.1
10	金沢市 北千石	90	SE	0	10,400	1,600	10.0
11	宝達志水町 森本	30	W	10	11,400	1,500	8.5
12	羽咋市 鹿島路	26	SE	30	6,400	600	14.7
13	志賀町 田原	42	NE	20	7,200	700	10.0
14	志賀町 谷神	103	E	5	7,300	500	12.3
15	七尾市 池崎	18	SW	5	9,200	2,300	10.6
16	穴水町 曾山	119	SE	15	5,400	0	12.1
17	能登町 五十里	125	SE	20	4,700	1,000	8.2
18	能登町 猪平	105	SW	5	7,600	1,200	11.0
19	能登町 秋吉	25	W	25	12,100	600	9.5
20	珠洲市 春日野	55	E	20	11,700	1,300	13.1

Kodani J, Mukono S, Tomisawa H (2023) Effects of cutting and weeding of abandoned bamboo forests on vegetation recovery

目以降はほぼ横ばいで推移したが、樹高は継続して増加傾向を示していた（小谷 2018）。また、下層植生の被度も増加傾向であった（小谷 2018）。このことから、侵入竹林の整備では竹の勢いを完璧に減衰させることはできなかったものの、広葉樹の更新や林床の植生回復は達成できたと考えられる。

そこで、放置竹林での整備が植生回復にどのような影響があったかを検証するため、県内20か所の当事業によるモニタリング調査地において、親竹の伐採とその後の再生竹の刈り払いが植生回復に及ぼす影響を5年間調査したので報告する。

II. 調査地および調査方法

調査は、石川県内20か所の放置竹林整備跡地である（表-1）。この事業では、1年目に親竹を伐採し2～3年目は再生竹を刈り払っている。ただし、20か所のうち6か所においては事業終了後の翌年にも刈り払いを行っていた。

2017年秋、それぞれの整備跡地の標準的な立地条件の箇所に10m×10mの固定プロットを1か所設けた。プロット内では、再生竹および識別の可能な実生の段階から高木性広葉樹の本数と高さを調査した。

調査方法として、プロット内を2mメッシュ（合計25枠）に区切り、メッシュごとに竹および樹種別の本数と最大樹高を測定した。さらに10m×10mのプロット内に1m×1mの小プロットを5か所（原則として、中心と4隅）設け、植生被度とA₀層の被覆率を求めた。小プロットでは地上部1.5mの高さで魚眼レンズを用いて全天空写真を撮影（Coolpix4500 & Fisheye Converter FC-E8、0.21X、Nikon社）し、光環境を把握した。光環境は、撮影した写真から既存の全天空写真解析プログラムCanopOn 2（竹中 2009）を使って開空度として求めた。調査は、2017～2021年の秋に行った。

広葉樹の更新状況の解析方法として、2018年（親竹伐採2年後）および2021年（親竹伐採5年後）の更新広葉樹の種数、本数に關係する要因を分析するために、一般化線形混合モデル（GLMM）を作成した。2018年の広葉樹の種数と本数を目的変数にした場合は、親竹密度、親竹の平均直径、親竹伐採直後（2017年）の開空度を説明変数に用い、ランダム効果には調査地を指定した。また、2021年の広葉樹の種数、本数を目的変数とした場合は、

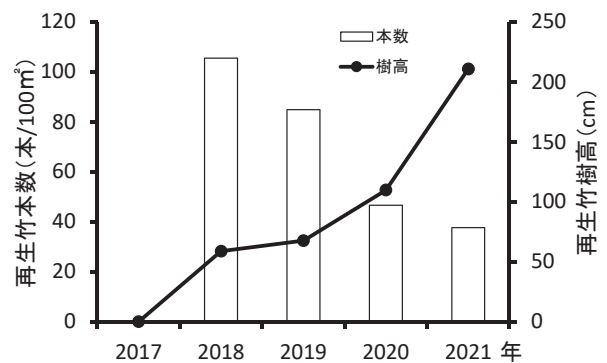


図-1. 再生竹の平均本数と平均樹高の推移

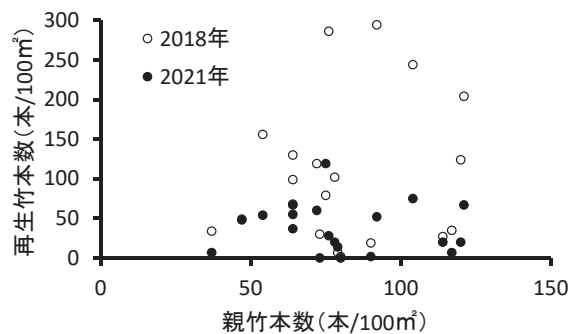


図-2. 親竹本数と再生竹本数の関係

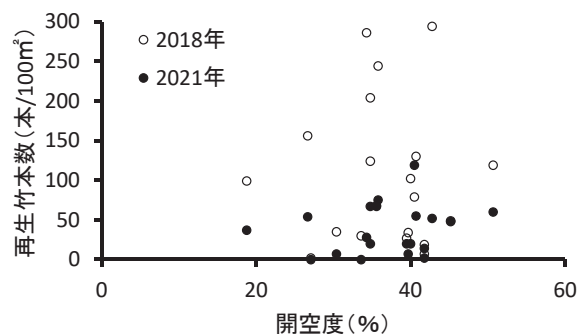


図-3. 2017年の開空度と再生竹本数の関係

2017年の開空度のほか、2021年の再生竹の本数と平均樹高、および3年目の刈り払いの有無を説明変数に用い、ランダム効果には調査地を指定した。これらの解析には、R (Core Team 2023) を用いて、glmer 関数 (package "lme4" : Bates et al. 2023) によってモデルを作成した。

III. 結果

1. 再生竹の本数と樹高の推移

図-1は、2017～2021年までの全20か所の再生竹の平均本数と平均樹高の推移である。2017年には親竹の伐採時期がほとんど秋以降であったので、再生竹は未発生であった。再生竹の本数は、2018年に最多(109本)となったのち徐々に減少傾向を示した(2021年: 38本)。樹高は2019年(刈り払い

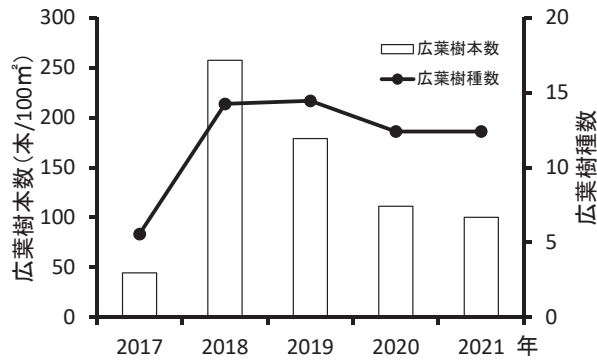


図-4. 更新広葉樹の平均種数と平均本数の推移

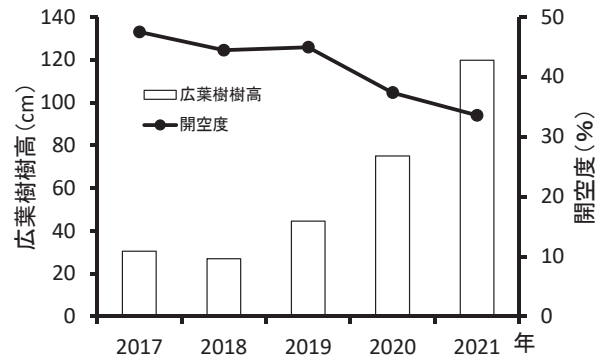


図-6. 平均開空度と広葉樹の平均樹高の推移



図-5. 2017年の開空度と広葉樹の本数の関係

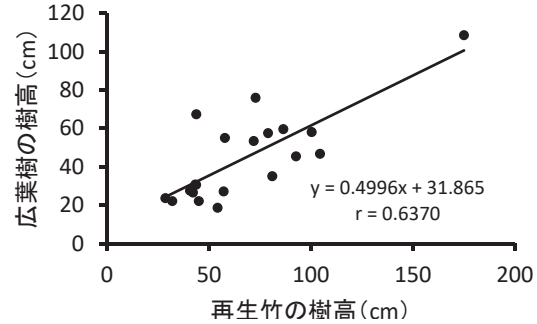


図-7. 竹の平均樹高と広葉樹の平均樹高の関係

2回目)に1度頭打ちになったが、その後増加傾向を示した(2021年:210cm)。場所ごとに、親竹(生竹)の本数と再生竹の本数の関係(図-2)を調べ

たところ、どちらも相関関係はみられなかった($p>0.05$)。2018年は2021年に比べばらつきが大きく、親竹本数の多いところで再生竹本数の多い場

表-2. 高木広葉樹の樹種構成の変化

No	樹種	伐採年(2017年)			1年後(2018年)			5年後(2021年)		
		出現頻度 (%)	平均本数 (本/ha)	平均樹高 (cm)	出現頻度 (%)	平均本数 (本/ha)	平均樹高 (cm)	出現頻度 (%)	平均本数 (本/ha)	平均樹高 (cm)
1	アカメガシワ				100	8,025	28.5	85	2,055	160.8
2	シロダモ	100	2,145	12.4	95	1,700	22.7	85	1,830	61.3
3	ウワミズザクラ	30	460	19.9	55	885	39.0	65	635	204.9
4	ヤブツバキ	60	445	20.2	60	530	29.4	60	615	66.1
5	クマノミズキ				90	585	20.9	70	595	156.3
6	エノキ	20	70	38.4	60	640	22.2	55	525	113.7
7	ヤマザクラ	30	55	29.4	85	650	24.9	85	510	166.2
8	アオハダ	25	90	28.2	50	295	24.9	45	385	119.5
9	カラスザンショウ				100	7,825	26.9	65	385	177.8
10	ケヤキ	30	65	13.2	50	280	27.7	35	365	50.5
11	イイギリ				30	1,310	14.3	20	190	168.2
12	ヤマグワ	5	25	8.8	30	185	37.0	30	180	115.5
13	ウラジロガシ	35	250	24.9	30	255	56.1	20	175	105.6
14	モチノキ	35	155	34.8	30	215	43.2	30	175	93.0
15	コシアブラ	30	380	9.3	40	450	25.3	20	140	103.0
16	コナラ	30	175	10.9	25	235	22.7	35	135	104.9
17	ミズキ	10	25	7.8	35	165	22.3	45	100	87.8
18	ネムノキ				55	365	15.3	50	90	80.1
19	アワブキ	10	15	11.7	30	60	36.5	40	80	132.4
20	キリ				50	565	22.5	25	80	226.5
21	オニグルミ				30	60	31.4	30	70	111.2
22	ケンポナシ	5	85	1.3	5	50	21.5	20	70	84.3
23	クリ	10	30	16.5	30	155	25.4	30	65	186.1
24	ホオノキ	15	20	24.0	45	70	14.2	30	65	143.7
25	アカシデ				5	5	4.0	5	60	60.0
26	コブシ				10	30	17.2	15	60	99.0
27	ネズミモチ	15	30	22.8	10	45	30.7	10	55	128.8
28	ハリギリ				20	125	17.1	5	55	90.0
29	タブノキ	5	25	13.0	10	45	18.4	25	45	64.0
30	ニガキ	5	5	35.0	15	115	26.5	5	45	91.0

全45種のうち、2021年に本数の多かった上位30種で示している。

合がみられた。また、2017年の開空度と2018年および2021年の再生竹本数の関係でも相関関係はみられなかった(図-3: $p>0.05$)。2018年ではばらつきが大きかったのに対し、2021年では全体に本数が減少し開空度による差は小さい傾向がみられた。

2. 広葉樹の種数と本数の推移

プロット内に出現した高木広葉樹の平均種数と平均本数の推移を図-4に示す。平均種数は2017年に5.6種であったのが2018年に14.3種に急増(約2.6倍)したのち2021年には12.4種(2018年から約13.3%減)と横ばいないしはやや減少傾向となった。平均本数は2017年に44.5本/100m²であったのが2018年に257.4本/100m²に急増(約5.8倍)した後、一転して減少傾向を示し2021年には100.1本/100m²となった(2018年から61.1%減少)。2018年の種数または本数を目的変数とし、親竹の本数や直径および2017年の開空度を説明変数とする関係性をGLMMで解析した結果、種数ではどの要因でも有意な関係性はみられなかった($p>0.05$)が、本数では親竹本数と開空度が正の、親竹直径が負の、それぞれ有意な関係がみられた($p<0.05$)。一方、2021年の種数または本数を目的変数とし、2017年の開空度、2021年の再生竹の本数、再生竹の樹高、3回目の刈り払いの有無を説明変数とするGLMMで解析した結果、種数では再生竹の樹高および3回目の刈り払いの有りで負の関係がみられ、本数では開空度が正の、竹の本数と3回目の刈り払い有りが負の、それぞれ有意な関係性を示した($p<0.05$)。2017年の開空度と2018年および2021年の本数との関係を見ると、2018年ではばらつきが大きく相関関係がみられなかった($p>0.05$)のに対し、2021年では有意な相関関係がみられた(図-5; $p<0.05$)。

3. 広葉樹の樹高と光環境の推移

図-6は、高木広葉樹の平均樹高と平均開空度の経年変化を示している。平均開空度は整備直後48%であったのが徐々に減少し5年後には33%となったのに対し、平均樹高は、2018年に1度減少したのち一貫して上昇傾向を示した(2021年:120cm)。開空度と広葉樹の平均樹高の間にはどの年においても有意な相関関係はみられなかった($p>0.05$)。

2018~2021年での竹の平均樹高と広葉樹の平均樹高の関係をみると、2018~2020年までは両者に有意な正の相関関係が認められた(図-7(たとえば、2019年): $p<0.05$)。しかしながら、2021年では相関関係がみられなかった($p>0.05$)。

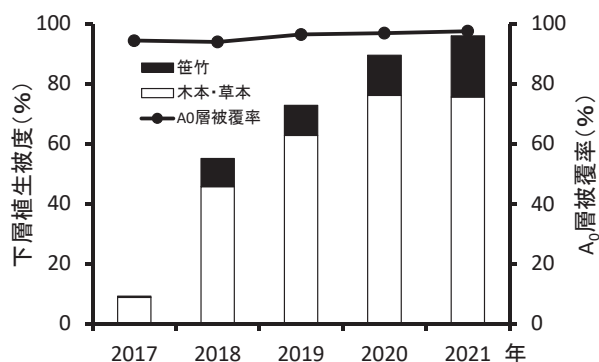


図-8. 平均植生被度と平均A₀層被覆率の推移

4. 広葉樹の樹種構成の推移

表-2は、2017年(親竹伐採直後)、2018年(親竹伐採翌年)および2021年での高木広葉樹の出現頻度、平均本数および平均樹高を全出現種数45種のうち2021年に本数の多かった上位30種で示している。2017年には、伐採前から出現していたとみられるシロダモ、ヤブツバキ、ウラジロガシといった常緑広葉樹のほか、ウワミズザクラやコシアブラなどの出現頻度が高く本数が多い傾向がみられた。それに対し、伐採翌年(2018年)にはアカメガシワ、カラスザンショウ、イイギリ、ネムノキなど、伐採前にはみられなかった、いわゆるパイオニア樹種が急激に増加した。2021年には、アカメガシワ、カラスザンショウ、イイギリなどは2018年の2割以下に減少したものの、依然として本数は上位を占めていた。また、キリ、ウワミズザクラ、クリ、カラスザンショウ、ヤマザクラ、アカメガシワなどが樹高の上位を占めた。伐採前から存在していたシロダモ、ウワミズザクラ、ヤブツバキなども出現頻度、本数とも依然上位を占めていた。30種のうち、2018年から2021年に半数の15種が本数を減らしたのに対し、残り半数は増加または同数であった。増加したのは、シロダモ、クマノミズキ、アオハダといった鳥散布型の種子を持つものが多かった。

周辺の広葉樹林の優占樹種であるコナラは、整備5年後の本数が135本/ha(30種中16番目)で出現頻度も35%とそれほど高くなかった(表-2)。

5. 下層植生とA₀層の被覆率の変化

図-8は、平均植生被度と平均A₀層被覆率の推移を示している。A₀層被覆率は、竹の落葉が多くみられたため、元々高いまま推移していた。植生被度は、2018年に急激に増加した後、一貫して上昇傾向を示し2021年には95%に達した。なお、植生被度に占める笹竹の被度の割合は徐々に増加傾向

を示し、2018年に9.5%だったのが、2021年には20.4%と2倍に増加した。

IV. 考察

竹の再生状況

再生竹の本数は、親竹伐採直後に比べ5年後には全体的に減少している(図-1)ことから、2年間の刈り払いが効果的であったことが示された。再生竹の本数は、初期には親竹の本数の多い場所や光環境の良好な場所で多い事例がみられたが、5年後にはそれらの差が小さくなっていった(図-2、3)このことから、刈り払いは光環境に関係なく再生力を抑制する効果があったと考えられる。針葉樹人工林での侵入竹整備5年後(小谷 2018)と比較すると、再生竹の本数は多い傾向にあるが、平均樹高はほぼ同じであった(小谷 2018)。ただし、侵入竹林整備同様、樹高は刈り払い2年目以降急激に高くなっている(図-1)ことから、今後さらに勢いを増す可能性は考えられる。以上のことから、整備後再生竹は、侵入竹林整備地とほぼ同じ傾向を示し、本数が減少する半面、樹高成長は上向き傾向であることから、今後とも継続した監視が必要であると考えられる。

広葉樹の更新に与える影響

高木広葉樹では、種数が2年目に増加した後横ばいとなり、本数も2年後に急増した後徐々に減少する傾向(図-4)がみられ、それらの5年後の数値は、いずれも侵入竹林整備地(小谷 2018)での値に比べて小さくなっていった。2年目での増加傾向は侵入竹林整備地でもみられたが、3年目以降放置竹林で減少傾向にあるのは、侵入竹林に比べてアカメガシワやカラスザンショウなどのパイオニア種の本数が全体に占める割合が高いためと考えられる(表-2)。パイオニア種が多い原因は、侵入竹林整備地に比べて親竹伐採後の光環境が良好なため(小谷 2018; 図-6)と考えられる。また、3年目以降減少傾向が顕著であったのは、パイオニア種が競争に弱いため、または刈り払いの影響を受けやすかったためと考えられる。

整備5年後の広葉樹の平均樹高は120cmで侵入竹林整備5年後(80cm)に比べて高かった(図-6)。これは、同じく親竹伐採跡後の光環境が良好であったためと考えられる。整備直後の開空度を比較すると、侵入竹林整備地では15%であったのに対し、放置竹林では48%(3.2倍)である(小谷 2018;

図-6)。整備5年後を比較しても前者が13%であったのに対し、後者は33%(2.5倍)で常に放置竹林整備地では高い開空度が維持されている(小谷 2018; 図-6)。放置竹林整備5年後の再生竹の樹高は侵入竹林整備5年後(小谷 2018)とほとんど変わらなかったことを考えると、侵入竹林整備地での広葉樹の成長は、再生竹に加え、針葉樹の残存立木の影響を受けていることが考えられる。一方、放置竹林での広葉樹の成長は再生竹のみの影響となる。実際、広葉樹の平均樹高と開空度の関係で、初期には光環境の影響を受けにくかったにもかかわらず、5年後には好適な環境で樹高が高くなる傾向がみられた(図-5)ことや、GLMMの解析の結果、5年後の広葉樹の本数に対し、開空度が正の、竹の本数と樹高が負の影響を与えていることから、再生竹の伸びが光環境を制御し、広葉樹の成長に影響を与えている(図-7)ことを示している。

これらのことから、放置竹林の整備跡地で更新した広葉樹は侵入竹林に比べて種数や本数は若干少ないが、光環境が劇的に改善し成長が速いために、広葉樹林への回復が速いと考えられる。

広葉樹の樹種構成の変化

放置竹林整備跡地に出現した広葉樹の樹種構成は、基本的に手入れ不足人工林の強度間伐地(小谷 2011)や侵入竹林整備地(小谷 2018)に出現した樹種とほとんど同じで、里山広葉樹林に出現する樹種であった(表-2)。これは、いずれも標高や立地条件がほぼ同じ場所に位置しているためと考えられる。整備5年後にパイオニア樹種は大幅に減少し、シロダモ、クマノミズキ、アオハダなどの鳥散布型を持つ樹種が増加する傾向や、伐採前からの前生樹と思われるシロダモやウラジロガシなど常緑広葉樹の本数が維持されている(表-2)のも侵入竹林整備地と同様である(小谷 2018)。このことから、竹林を整備すれば多種多様な樹種の森林に回復できる可能性が示唆される。ただし、放置竹林整備地では周辺広葉樹林の優占種であるコナラの出現が侵入竹林整備地(780本/ha)より低調で、コナラを主とした広葉樹林への回復の可能性は低いか、またはその回復に時間を要すると考えられる。

下層植生とA₀層の被覆率の変化

水源涵養機能や土砂流出防止機能など公益的機能の指標として、下層植生や林床のA₀層の変化も整備後の重要な注目点である。今回の結果では、

植生被度は親竹伐採後一貫して増加傾向を示し、5年後には平均で95%に達し、侵入竹林整備地の80%を上回っていた(図-8)。皆伐された竹林は、放置された竹林に比べ降雨による地表流が5分の1に減少し、浸食土壌量も3分の1程度に減少するが、これには林床植生の有無が影響しているとされている(豊原ら 2005)。また、針葉樹人工林では植生被度が50%前後に達すれば被度20%前後の土砂流出量の1%程度に抑えられる(小倉・小谷 2008)とされている。このことから、多くの整備跡地で機能が回復していると考えられる。ただし、笹竹の割合が侵入竹林整備地に比べて高くなっている(小谷 2018; 図-8)ことは、今後注視する必要があると考えられる。

A₀層の被覆率も機能に関係することが指摘されている(服部ら 1992)。今回の結果では、侵入竹林同様、整備直後から高い値で推移している(図-8; 小谷 2018)ことから、機能の変化に大きな影響を与えていないかもしれない。

以上のことから、放置された竹林の整備の結果、竹の再生力を弱めることは可能であった。しかし、再生竹は完全に絶えておらず、徐々に勢いを取り戻して来る可能性があるため、今後状況を見ながら追加の刈り払いが必要と考えられる。一方、高木広葉樹はパイオニア樹種が多い傾向にあったが、多種多様な樹種が更新しており、侵入竹林整備地よりも成長が速く、広葉樹林への回復が早いと考えられた。また、植生被度の急速な高まりによって公益的機能も順調に回復していることが示唆された。

引用文献

- Bates D、Maechler M、Bolker B、Walker S (2023) Linear Mixed-Effects Models using Eigen and S4 R package version 1. 1-21: 32-35
- 藤井義久・重松敏則 (2008) 継続的な伐竹によるモウソウチクの再生力衰退とその他の植生回復。ランドスケープ研究 71: 529-534
- 藤井義久・重松敏則・西浦千春 (2005) 北部九州における竹林皆伐後の再生過程。ランドスケープ研究 68: 689-692
- 服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治 (1992) 林床被覆がヒノキ人工林の浸食防止に及ぼす影響。森林総合研究所研究報告 36: 2-33
- 石田弘明・服部 保・今西朋子・加藤 文・高比良響・豊木麻由・山田真紀子・山崎香陽子 (1999) 三田市フラワータウンにおけるモウソウチク林の皆伐後の植生動態。人と自然 10: 29-40
- 小谷二郎 (2011) 林分管理および立地環境が針葉樹人工林内の広葉樹の更新に与える影響。石川県林業試験場研究報告 43: 1-4
- 小谷二郎 (2018) 針葉樹人工林内に侵入した竹の整備が植生回復に与える影響。石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告 49: 1-6
- 小倉 晃・小谷二郎 (2008) 林種および下層植生被度が異なる人工林の土壌流出量。石川県林業試験場研究報告 40: 27-28
- R Core Team (2023) R: language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/> (2023年3月25日参照)
- 鈴木重雄 (2010) 竹林は植物多様性が低いのか?。森林科学 58: 11-14
- 鈴木重雄・菊池亜希良・中越信和 (2008) モウソウチク稈の除去後に再生した植生の構造と種組成。景観生態学 12: 43-51
- 竹中明夫 (2009) 全天写真解析プログラム CanopOn 2. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/> (2023年3月25日参照)
- 鳥居厚志 (2006) 竹林の分布拡大の現状とその背景。林業と薬剤 175: 18-27
- 鳥居厚志・井鷲裕司 (1997) 京都府南部地域における竹林の分布拡大。日本生態学会誌 47: 31-41
- 豊原裕子・土屋 智・逢坂興宏 (2005) 密度の異なる竹林試験区における地表流出と土壌浸食。中部森林研究 53: 213-216