

# 水源林整備地における植生と林分構造の現状： 水源林の林分構造調査の1巡目調査結果

山根正伸\*・田村 淳\*

## 1 はじめに

神奈川県は1997年（平成9年）より水源涵養など森林の持つ公益的機能を向上させるため、城山ダム、宮ヶ瀬ダム及び三保ダムの上流を中心とした対象エリア内にある約60,900haの森林状況に応じた管理・整備の推進、いわゆる水源林整備事業を開始した。水源林整備事業は、2007年（平成19年）以降は水源環境保全・再生施策（以下、水源施策）の特別対策事業にも位置付けられて加速している。この事業では対象エリア内にある手入れが不足している森林を複数の手法により確保して、公的管理・支援を通じて巨木林、複層林、混交林へと誘導することとしている。

神奈川県は水源林整備事業の効果検証と事業の順応的な見直しに必要な科学的知見を得ることを目的として、2002年（平成14年）以降、施策の対象エリア内に、スギ・ヒノキ人工林25地点、広葉樹二次林25地点、合計50地点の固定試験地を設置し、当初は「水源林整備地モニタリング調査」その後「水源林植生定点モニタリング調査」に名称を変更して、ほぼ5年間隔で一巡するかたちで継続的な調査を行ってきた。この調査は当初、間伐などの水源林整備による林床植生の回復並びに土壌流出量の低減への効果を追跡することを目的として、林床植生、林内の光環境、土壌流出量およびニホンジカの生息状況などが調べられてきた（神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課2017）。その後、2016年までに森林整備等が進んだこともあり、整備初期段階の目標であった林床植生の回復や土壌保全が確認され（田村ら2013）、このような事業成果を踏まえて、2017

年以降は「低木層や亜高木層が発達した多層な構造を持つ人工林」という目標林型への到達状況を明らかにすることが新たに目的に加わった。これに伴って、従来の50地点のモニタリング調査地の中からスギ・ヒノキ人工林に限定する形で調査地が再編され、林分構造の変化を追跡できる調査項目を加える形で「水源林の林分構造調査」として2017年以降現在まで調査が継続されている。

本稿では、このような調査目的の追加を踏まえて、水源林の林分構造調査が一巡した時点で得られた林床植生と林分構造の現状についてとりまとめ、水源林整備が目標としている植生状態や林分構造への到達状況と今後の課題に関する若干の考察を行ったので報告する。なお、本稿では、モニタリングを開始した2002年から水源施策開始前の2006年までを第1期、水源施策開始後の2007年から2011年までを第2期、2012年から2016年まで第3期、2017年から2021年を第4期として区分した。

## 2 調査地と方法

### (1) 調査地

本稿で解析対象とした調査地は、小仏山地（以下、小仏）と丹沢山地（以下、丹沢）、箱根外輪山の3地区に含まれる第4期以降のモニタリング調査地21地点のうち（表1）、広葉樹とアカマツを主体とするH13-協-18（南足柄市荻野）とH13-協-13（南足柄市矢倉沢）を除いた19地点とした。なお、各地点の調査地点名は調査地設定時点の契約地番号と所在名称を用いている。

この19調査地のうち丹沢地区に位置する6調査

表1 水源林の林分構造調査地

No.	契約地番号	地区	所在	標高	植生保護柵	林相	備考
1	H15-協-28	小仏	相模原市緑区小原	515	無	ヒノキ	
2	H15-協-24	小仏	相模原市緑区青根字長者舎	609	有	ヒノキ	
3	H16-分-09	小仏	相模原市緑区佐野川川本	666	無	スギ	
4	H17-協-60	小仏	相模原市緑区打谷戸	283	無	スギ	
5	H18-協-48	小仏	相模原市緑区中鉢	296	無	ヒノキ	
6	H18-協-64	小仏	相模原市緑区宝澤	503	無	ヒノキ	
7	H13-協-09	丹沢	山北町山北	339	無	広葉樹、ヒノキ	
8	H13-協-10	丹沢	山北町山北	269	無	ヒノキ、スギ	
9	H14-協-19	丹沢	山北町向原	190	無	ヒノキ	
10	H15-協-08	丹沢	厚木市七沢	500	有	スギ、ヒノキ	
11	H16-協-15	丹沢	山北町玄倉竹本	714	有	ヒノキ	
12	H16-協-24	丹沢	山北町笹ヶ尾	297	無	スギ	
13	H17-協-05	丹沢	伊勢原市奥前内寺	335	有	スギ	
14	H17-協-09	丹沢	清川村宮ヶ瀬	425	有	スギ	
15	H18-協-06	丹沢	伊勢原市梅ノ木	371	有	スギ	
16	H9-協-09	丹沢	松田町寄	600	無	スギ	
17	H14-立-01	箱根外輪山	南足柄市雨坪字二ツ沢	716	無	ヒノキ	
18	H17-立-01	箱根外輪山	小田原市久野	270	無	ヒノキ	
19	H17-立-02	箱根外輪山	小田原市久野	684	無	ヒノキ	
20	H13-協-13	箱根外輪山	南足柄市矢倉沢	352	無	スギ、広葉樹	解析対象外
21	H13-協-18	箱根外輪山	南足柄市苜野	804	無	広葉樹、アカマツ	解析対象外

地には、ニホンジカ (*Cervus nippon*、以下シカ) の採食影響を排除するため高さ 1.8 m の概ね 20 m 方形の植生保護柵が設置されている。さらに、各調査地には 10 m 方形植生調査枠が基本的に 1 か所、植生保護柵が設置されている場合は柵の内外にそれぞれ 1 か所設定してある。ただし、10 m 方形植生調査枠が複数設置されている調査地もあり、この調査枠は柵内外の合計で 43 か所となる。

これらの調査地においては、水源林整備事業の指針である「水源林整備の手引き(平成 29 年 3 月)」(神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課、2017) で示されている単層人工林で目標としている成立本数(おおむね 600 本/ha 程度)への到達状況と、林内の光環境等の改善によって低木や亜高木の増加に伴う、階層構造の発達状況を把握するため、第 4 期調査開始時点から調査地の設定地点の中央付近を原則含むかたちで 50 m × 50 m の方形調査区または面積がおおよそ 2,500 m<sup>2</sup> の広さの矩形調査区(図 1)を各 1 か所、新たに設置している。

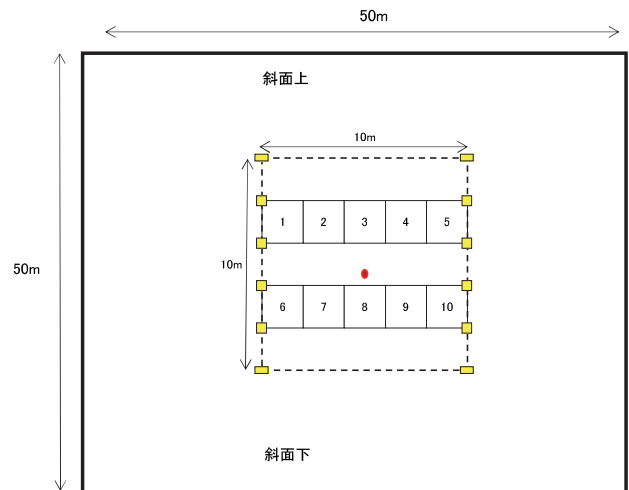


図1 調査地の標準的な構造

注1: 外側の太黒線は林分構造調査の範囲(50 m × 50 m = 0.25ha)を示す。

注2: 内側の黒点線は、植生調査コドラート(10 m × 10 m = 100 m<sup>2</sup>)、その内側の上下5個の小正方形枠は小植生調査枠(2 m × 2 m = 4 m<sup>2</sup>)を示す。

注3: 中央の赤点●は調査地点の中心地点の杭、黄色■は植生調査コドラート及び小植生枠の位置を示す杭。

## (2) 調査方法

### ア 草本層と低木層の植生

草本層の植生状態は、調査地の設定地点の中央付近にある植生調査枠（10m × 10m）内に等高線に沿って設置した上下2列5個ずつ合計10個の2m × 2m 方形の小植生調査枠内それぞれで植被率と地上から高さ1.5mまでの範囲に出現したすべての草本及び木本の種名と被度を記録した。また、10m 方形植生調査枠内の高さ1.5mから5mの低木層の被度を目視で判定し、併せて主な出現種を記録した。なお、被度は6階級（+：植物体の地表投影面積の比率1%以下、1：同1-10%、2：同10-25%、3：同25-50%、4：同50-75%、5：75-100%）で判定した。なお、調査は7月下旬から9月中旬までに実施した。

### イ 更新木の侵入状況

小植生調査枠で確認した木本種のうち高木性樹種（小高木種含む）で樹高5cm以上150cm未満の樹木から、樹高の高い上位5個体について樹種名を記録し樹高を測定した。この調査は8月から9月に実施した。

### ウ 林分構造と開空率

50m × 50mの方形調査区内に生育している樹高1.5m以上のすべての立木について樹種名と樹高、胸高直径、樹冠長（2方向）、樹冠幅（4方向）を測定、記録した。この林分構造を調べた現地調査は、7月から10月上旬ごろまでに行った。

加えて、調査地の林冠の平均的な開空状況を調べるため後述の植生調査枠の4隅と中央地点の合計5地点において地上高1m地点からデジタルカメラ（ニコン Cool Pix 4500）に魚眼レンズ（ニコン FC-E8）を装着して全天空写真を撮影した。撮影は、上記の植生調査あるいは林分構造の調査を実施している期間中に撮影条件の良い日を選んで行った。

## (3) 解析方法

### ア 草本層と低木層の植生

各調査地の草本層植被率は、10個の小植生調査枠内の植被率を平均した値とし、地区及び柵の内外で各区分の平均、標準偏差、最大値、最小値を集計した。また、各調査地において被度が上位の種を主な草本層出現種とした。低木層では10m 方形の植生調査枠内の被度を各調査地の低木層植被率とし、

草本層同様に地区及び柵の内外で各区分の平均、標準偏差、最大値、最小値を集計した。また、各調査地において被度が上位の種を主な低木層出現種とした。

### イ 更新木の侵入状況

更新木の上位5種の出現種数と樹高について集計した。調査地の出現種数は10個の小植生調査枠に出現した高木性樹種の種数とし、地区及び柵の内外で各区分の平均種数、標準偏差、最大種数、最小種数を算出した。調査地の平均樹高は10個の小植生調査枠内の上位5位までの樹高を平均値とし、出現種と同様に地区及び柵の内外で各区分の平均樹高、標準偏差、最大樹高、最小樹高を算出した。

### ウ 林分構造と開空率

各調査地における成立本数は、林分構造調査による亜高木層と高木層に区分したスギ及びヒノキの本数とし、それらの樹高、胸高直径、樹冠長及び樹冠幅の平均値と標準偏差、最大値、最小値も併せて算出した。なお、階層区分は、調査地の平均樹高は20m前後で階層構造も大きく異なっていなかったため、便宜的に樹高が1.5mから5mを低木層、5mから15mを亜高木層、15m以上を高木層をとした。

調査地の階層構造を把握するため、確認できた全個体の樹高値を2m刻みで区分して樹高階本数分布を図化した。この際、低木層と亜高木層が認められた調査地については、出現した高木性樹種の本数を集計し主な樹種名も記録した。また、それぞれの階層に出現したすべての広葉樹種に対する高木性樹種の本数割合も併せて算出した。

開空率の測定は、持ち帰った全天空写真デジタル画像を国立環境研究所の竹中明夫氏のフリープログラム CanopOn2 (<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/index.html>、2023年7月27日)を使用し、樹冠部分の枝葉が適切に二値化できるようパラメータ値を個別調整して開空率をPC上で計測し、各地点の平均開空率を算出した。さらに開空率と林分構造の関係について、上層木の本数に加えて亜高木層以上の広葉樹と低木層の広葉樹の本数を変数とした一般線形化モデルを作成して、開空率への寄与について解析した。

## エ 統計解析

観測変数間の関係については相関係数 ( $r^2$ ) を算出し、有意水準は原則 5% 未満とし無相関検定による p 値を付記した。また、観測値の差の検定には 2 群の比較ではマン・ホイットニーの U 検定を、3 群の比較ではクラスカル・ウォリス検定を用い、有意水準は原則 5% 未満として p 値を示した。

一般線形モデルにおけるモデル選択は AIC (Akaike's Information Criterion; 赤池情報量規準) を用い、最も AIC の値が小さな変数の組み合わせをベストモデルとし、併せて AIC の差が 2 以内のモデルも探索し、それぞれの式における有意な変数名とその係数を示した。

なお、以上の統計解析には、統計パッケージ R (R Core Team 2021) を用いた。

## 3 結果

### (1) 林床及び低木層の植生

解析対象とした小仏、丹沢、箱根外輪山の 3 地区 19 調査地の柵外で調査された 33 個所の小植生調査枠の計測結果から草本層植被率をみると、柵外では 41% から 47% の範囲で、地区によりほとんど差はなかった (表 2: クラスカル・ウォリス検定  $p=0.94$ )。

また、丹沢地区の柵内の草本層の平均植被率は 39% と柵外よりやや小さかったが両値に有意差は確認できなかった (マン・ホイットニーの U 検定、 $p=0.61$ )。草本層植被率の出現頻度はばらつきが大きく、10% 以下は 5 地点でその内 4 地点が丹沢地区の調査地であり、5% を下回る地点も 1 地点含まれ、このような草本層に植被が少ない地点が約 15% を占めていた (図 2)。一方、草本層植被率が 20% を超える地点の割合は約 8 割、40% を超える地点は約 3 割であった。各地点における主な出現種は地区によりやや異なり (表 2)、丹沢地区ではこの地区でのシカの不嗜好種とされるオオバノイノモトソウ、シロダモ (神奈川県自然環境保全センター研究連携課 2016) の被度の高い地点が多かった。

次に、3 地区における低木層の植被率をみると、柵外では 6.4% から 15.8% の範囲であり地区による有意差は確認できなかった (表 2; クラスカル・ウォリス検定、 $p=0.35$ )。一方、丹沢地区の柵内における植被率は 17.5% で、柵外より 10% 程度大きかった (マン・ホイットニーの U 検定、 $p=0.11$ )。主な出現種は、草本層と同様に地区により異なり (表 2)、丹沢地区ではシカの不嗜好種のシロダモの被度の高い地点が多かった。

表 2 調査地の植生に関する地区・柵内外の集計値及び主な出現種

地区	小仏	丹沢	丹沢	箱根外輪山	
柵	外	外	内	外	
地点数	4	24	10	5	
平均植被率 %	45.2	47.0	39.2	41.0	
sd	13.5	27.3	27.5	21.2	
最大値	59	97	69.2	56.5	
草本層	最小値	31.8	0.5	1.1	7.8
主な出現種	マルバウツギ、コクサギ、オオバノイノモトソウ、アブラチャン	オオバノイノモトソウ、コチヂミザサ、ヒメワラビ、イノデ、シロダモ	オオバノイノモトソウ、シロダモ、ヒメワラビ、チヂミザサ、クサイチゴ	アオキ、モミジイチゴ、クロモジ、スゲ属の一種	
平均植被率 %	15.8	6.4	17.5	9.6	
sd	11.9	8.9	19.9	20.4	
最大値	28.3	25.3	53.0	46.0	
低木層	最小値	0	0	0	
主な出現種	マルバウツギ、コクサギ、アブラチャン、ムラサキシキブ	シロダモ、アズマネザサ、クロモジ、アブラチャン	シロダモ、サンショウ、ヤブムラキ	アオキ、サンショウ、ハナイカダ	
平均出現種数	26	17	21	14	
同上sd	22	16	16	5	
最大値	58	79	55	20	
更新木	最小値	10	4	9	7
主な高木性広葉樹種	エゴノキ、ヤマザクラ	アラカシ、イヌシデ、シロダモ	シロダモ、イヌシデ、エンコウカエデ、エノキ	ケヤキ、アラカシ、イヌシデ	

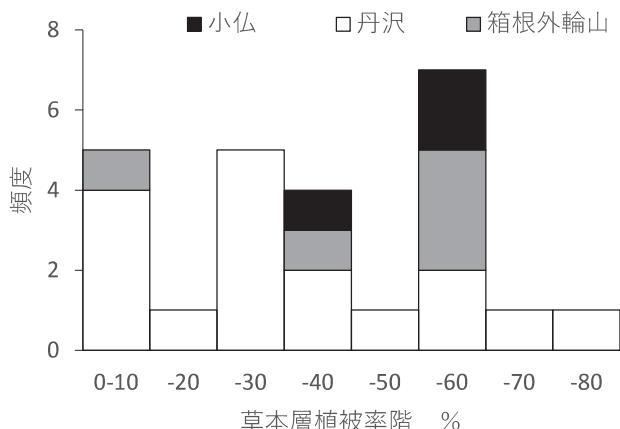


図2 調査地の草本層植被率の出現頻度

### (2) 更新木の侵入状況

林床における更新木の侵入状況の指標とした高木性広葉樹の平均出現種数は、小仏地区が26種、丹沢地区が17種、箱根外輪山地区が14種であったが、調査地間で出現種数にばらつきが大きく地区間での違いは確認できなかった(表2;マン・ホイットニーのU検定、 $p=0.51$ )。また、丹沢地区での柵内外における種数を比較すると、平均種数は柵外より柵内でやや多かったが柵の内外での出現種数に有意差はなかった(マン・ホイットニーのU検定、 $p=0.50$ )。なお、各地区における主な更新木は、小仏地区ではエゴノキやヤマザクラなどであった。丹沢地区では柵外では同じくアラカシ、イヌシデ、シロダモなどであった。一方、箱根外輪山地区では同じくケヤキ、アラカシ、イヌシデなどが主なものであった。

柵外における更新木の平均樹高は約18cmから48cmの範囲で、箱根外輪山地区でやや低かったが、ばらつきが大きく他地区との有意差は確認できなかった(クラスカル・ウォリス検定、 $p=0.14$ )。また、丹沢地区での柵内外における更新木の平均樹高を比較すると柵内は50.3cmと柵外の26.5cmと比較して2倍近く、柵内で有意に高かった(マン・ホイットニーのU検定、 $p=0.017$ )。

### (3) 林分構造と開空率

第4期時点における調査地の林分構造の指標値は表3に示すとおりである。すなわち、成立本数は平均で586本/ha ( $sd=183$ )で大半が400本/haから800本/haの範囲にあり、一部の調査地を除いて水源林整備事業が目標とする600本/ha前後であった。上層木の平均樹高は20m前後、平均胸高直径

表3 調査地の林分構造に関する全体と地区別の統計量  
注：各統計量は高木層のスギ・ヒノキの計測値から集計した値

地区	小仏	丹沢	箱根外輪山	全体
地点数	4	12	3	19
成立本数	平均 515 sd 148	平均 570 sd 182	平均 744 sd 188	平均 586 sd 183
本/ha	最大 668 最小 384	最大 892 最小 376	最大 960 最小 616	最大 960 最小 376
平均樹高	平均 20.4 sd 2.0	平均 19.2 sd 2.8	平均 21.5 sd 1.4	平均 19.8 sd 2.5
m	最大 22.5 最小 18.4	最大 23.0 最小 14.8	最大 22.5 最小 19.9	最大 23.0 最小 14.8
平均胸高直径	平均 32.3 sd 4.2	平均 31.0 sd 5.6	平均 34.6 sd 3.6	平均 31.8 sd 5.0
c m	最大 38.3 最小 28.8	最大 43.0 最小 21.9	最大 38.2 最小 31.0	最大 43.0 最小 21.9
平均樹冠長	平均 9.9 sd 4.1	平均 8.5 sd 2.3	平均 9.9 sd 4.7	平均 9.0 sd 3.0
m	最大 15.8 最小 7.0	最大 13.2 最小 5.9	最大 15.4 最小 7.1	最大 15.8 最小 5.9
平均樹冠幅	平均 5.0 sd 0.4	平均 4.9 sd 0.6	平均 4.5 sd 1.3	平均 4.8 sd 0.7
m	最大 5.5 最小 4.5	最大 5.8 最小 4.1	最大 5.6 最小 3.1	最大 5.8 最小 3.1

は32cm前後であった。また、上層木の平均樹冠長と平均樹冠幅はそれぞれ9m前後と5m前後で調査地間ではかなりばらつきがあった。

調査地内の地上1m地点の上空の開空率は平均では8%前後で約4%から約17%の範囲にあり調査地間のばらつきが大きかった。また、成立本数が600本/ha前後でも開空率が7%以下の調査地もあった。

開空率と成立本数との関係には有意な相関関係は認められなかったが( $r^2=0.02$ ,  $p=0.50$ )、低木層と亜高木層の本数を変数として加えた一般線形化モデルでは、低木層の本数が開空率に対して有意に寄与しており、低木層の本数が多い調査地では開空率が低下することを確認できた(表4)。

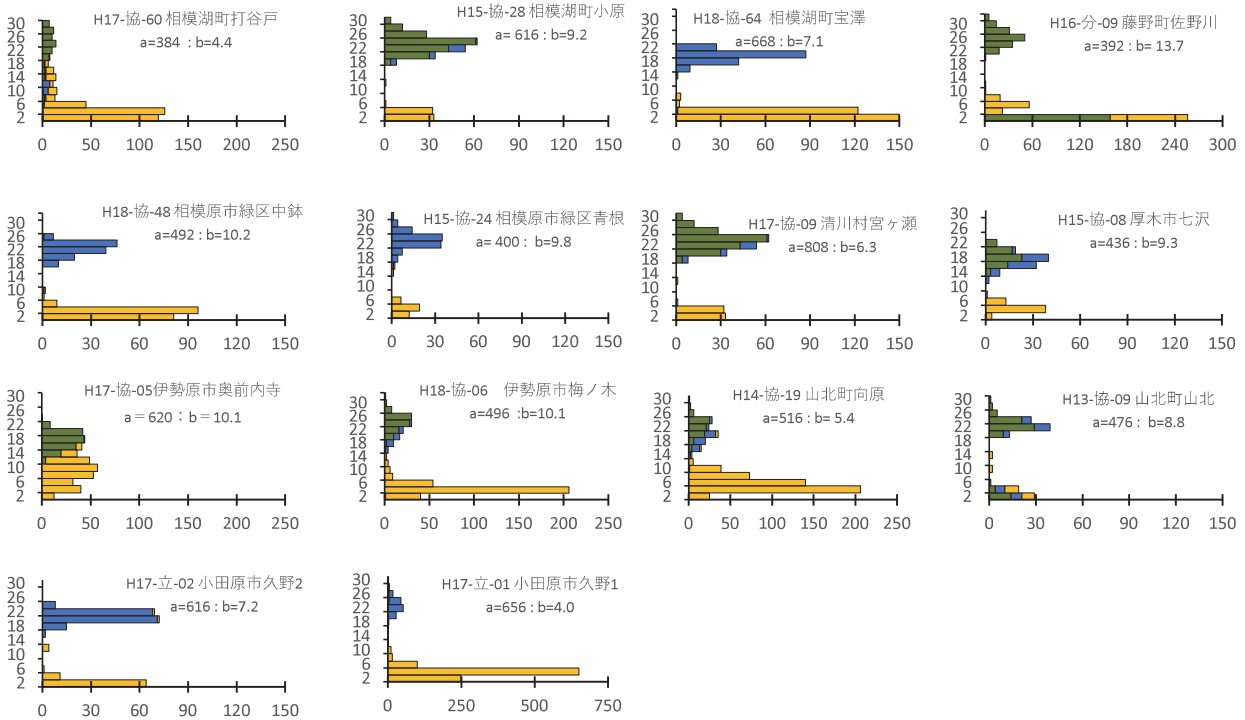
樹高階別本数頻度分布(図3)に基づいて、各調査地の階層構造の発達状況をみると、林冠木のスギ、ヒノキの下層に広葉樹が成立し、低木層から亜高木層が形成されつつある調査地は14調査地で、全体の74%を占めていた。これらの階層構造の発達が進みつつある調査地には小仏地区、丹沢地区、箱根外輪山地区の調査地がそれぞれ複数地点含まれていた。また、階層構造が発達していない調査地は5地点で全調査地の26%を占めていた。これら5か所



表4 開空率に関する成立本数、亜高木層と高木層の広葉樹本数及び低木層広葉樹本数を説明変数とした場合の一般化線形モデル。  
注1：説明変数に付記した\*\*、\*、- はp値水準(0.01、0.05、0.1)を示す。

変数	開空率
切片	12.966 **
スギ・ヒノキ上層木本数	-0.01447
亜高木層・高木層広葉樹本数	-0.01753 -
低木層広葉樹本数	-0.00636 *
AIC	95.598

(a) 低木層と亜高木層が発達しつつある調査地



(b) 低木層、亜高木層が発達していない調査地

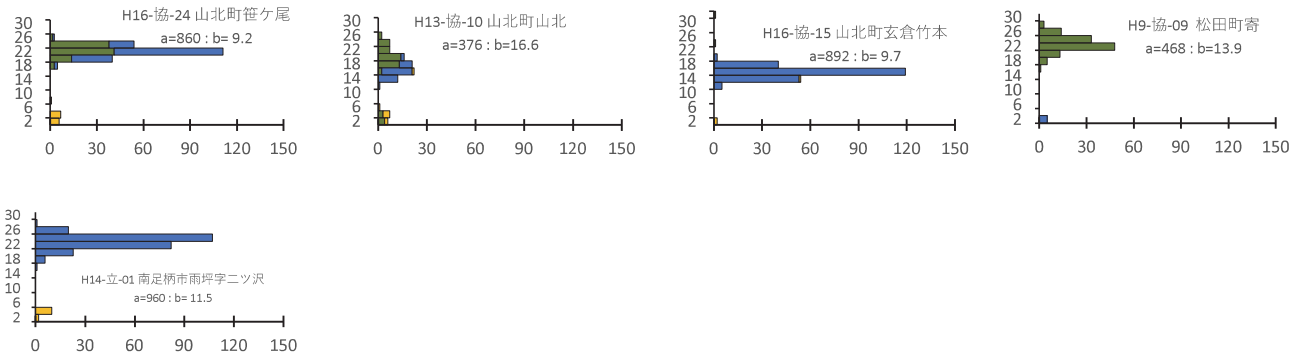


図3 各調査地における樹高階別本数頻度分布図

注1：縦軸は樹高階(2m刻み)、横軸は0.25haあたりの出現本数

注2：各図に記したaとbの数値はそれぞれ針葉樹上層木の成立本数(本/ha)地上1m高地点で測定した開空率(%)を示す。

注3：図により横軸のスケールは異なる。

の調査地には成立本数が 800 本 /ha を超えている調査地が 3 地点含まれている。なお、両区分における成立本数および開空率を比較すると、成立本数には有意差はなかったが（マン・ホイットニーの U 検定、 $p=0.31$ ）、開空率は階層構造が発達していない調査地で有意に高いことが確認できた（マン・ホイットニーの U 検定、 $P=0.04$ ）。

続いて、階層構造の発達の兆しが認められた調査地について、低木層と亜高木層に出現した樹種と本数から、高木性広葉樹（小高木樹種は除く）の出現

状況を見ると、亜高木層に本数が多い調査地ではアラカシなどの高木性広葉樹の生育が確認できた（表 5）。一方、亜高木層、低木層ともに高木性広葉樹の本数が少ない調査地もあり、とくに東丹沢山麓に位置する厚木市七沢調査地と清川村宮ヶ瀬調査地は低木層、亜高木層にほとんど高木性広葉樹が生育しておらず、シロダモなどシカの不嗜好小高木広葉樹（神奈川県自然環境保全センター研究連携課 2016）で占められており、シカの累積的な影響が伺えた。

表 5 階層構造の発達が確認できた調査地における高木性樹種の生育状況

地区	地点名	階層	出現した		主な高木性樹種
			高木性樹種の本数 本/0.25ha	同出現割合 %	
小仏	相模湖町打戸谷	低木層	91	16	アラカシ
		亜高木層	66	31	アラカシ、ウワミズザクラ
	相模湖町宝澤	低木層	60	18	カラスザンショウ、アラカシ
		亜高木層	3	100	カラスザンショウ
	藤野町佐野川川本	低木層	4	4	ハクウンボク
		亜高木層	2	50	ウワミズザクラ
相模湖町小原	低木層	11	3	イタヤカエデ	
	亜高木層	0	-	なし	
丹沢	津久井町中鉢	低木層	37	10	アラカシ、ウラジロガシ
		亜高木層	1	25	クリ
	津久井町青根字長者舎	低木層	2	6	オオバアサガラ、カヤ
		亜高木層	2	28	エゾエノキ、ウワミズザクラ
	清川村宮ヶ瀬	低木層	0	0	なし
		亜高木層	1	50	クマノミズキ
厚木市七沢	厚木市七沢	低木層	37	100	シロダモ
		亜高木層	3	100	シロダモ
	伊勢原市奥前内寺	低木層	14	14	アラカシ
		亜高木層	133	32	クマノミズキ、アラカシ、マメガキ
	伊勢原市梅の木	低木層	8	1	ウラジロガシ
		亜高木層	20	32	クマノミズキ、マメガキ
山北町向原	山北町向原	低木層	99	34	アラカシ
		亜高木層	177	88	アラカシ
	山北町山北1 (H13-協-09)	低木層	24	14	コブシ
		亜高木層	5	100	アラカシ
箱根外輪山	小田原市久野2	低木層	3	4	サワフタギ
		亜高木層	6	100	クマシデ
	小田原市久野1	低木層	123	13	アラカシ、ウワミズザクラ
		亜高木層	34	48	アラカシ

## 5 考察

調査期第4期時点における柵外での草本層植被率は平均値で41%から47%の範囲であり、各地点で一定のリター堆積があると仮定すると、両被覆を合計した林床被覆率(三浦 2000)の平均値は少なくとも40%を超えていると推察できる。この林床被覆率は表層土壌の流出を防止できるとされる林床被覆率20%から40%の範囲(石川 2008、初ほか 2010)を上回る水準であり、水源林整備の当初の目的であった「水源林整備を通じた(土壌流出を防止する)林床植生の回復」が第4期の段階で達成できている整備地が多いことを示唆している。しかし、草本層植被率の調査地間のばらつきは大きく、また草本層植被率が10%以下の地点も約15%を占めており、丹沢地区ではシカの嗜好種が優占したかたちで植被率が高い地点が多かった。このため、水源林整備を通じた林床植生の回復には課題がある林分が一定数残されており、そこではシカによる採食影響が含まれる可能性が示唆される。

次に、第4期以降に新たに調査目的に加わった「低木層や亜高木層が発達した多層な構造を持つ」人工林への誘導状況に関しては、調査地のほとんどで成立本数が600本/ha前後まで低下しており、約7割で低木層あるいは亜高木層が形成されつつあることを確認できた。したがって、水源林として整備が進められてきたスギ・ヒノキ人工林では、第4期時点で半数以上が目標とする成立本数に達し、目標林型への誘導途上にあることが推察できる。

しかし、調査地の低木層植被率の平均値は9%から14%の範囲で、全く発達していない地点も確認できた。さらに、高木性広葉樹種が低木層あるいは亜高木層に多い割合で生育している調査地が限られており、多くの水源林確保地の人工林では針広混交林への誘導に関しては不十分な段階にあると考えられる。

スギ・ヒノキ人工林における階層構造の形成や混交林への誘導には、種子散布様式に応じた高木性樹種(小谷・高田 1999、Utsugi et al., 2004など)の更新木の侵入・定着そして成長が必要である。また、鳥類や哺乳類により種子散布される樹種については供給源となりうる周辺の広葉樹林との位置関係(中西 1994)も関係してくる。本研究では、調査地の更新木、低木層、亜高木層を構成する主な広葉樹

種や、低木層及び亜高木層での高木性広葉樹の生育状況を示したのに留まり、種子の散布型や供給源との位置関係については分析を行っていない。今後は調査地の立地環境と更新木の侵入状況や林分構造を関連付けて分析することで、各調査地で成立しうる多層な構造をもった混交林の樹種構成や誘導の可能性、さらには有効な誘導手法が明らかになっていくと考えられる。

また、更新木の定着・成長には草本層及び低木層の光条件も一定の影響があると考えられる(小池 1988、相浦・大宮 2010など)。第4期時点の地上1m地点の開空率は調査地の大半で15%以下と全般に低く、成立本数が600本/ha前後でも開空率が7%以下の調査地もあった。なお、低木層の本数が開空率を低下させていることや、階層構造が発達していない調査地で有意に開空率が高かった結果から考えると、地上1m付近で撮影した天空画像により計測した開空度は必ずしも林冠部分の開空度を的確に指標していない可能性もある。しかしながら、下層木の影響がない階層構造がほとんどない調査地での最大の開空率が17%弱であるという状況は、スギ人工林やヒノキ人工林では開空率が20%程度の林分における相対照度は6%以下との報告(瀬尾ほか 2008)などを念頭におくと、水源林整備地では間伐が進んで高木本数は減少したものの、調査地の多くでは樹冠の空き具合はまだ不十分で、更新木が順調に成長していくのに必要な林内照度が不足している状態にある可能性がある。このため、多層な構造を持つ混交林へと誘導していくには、現存の更新木の保護に加えて上層木間伐などにより大幅な開空率の拡大を図り、更新木の定着と成長を促していくことが必要と考える。

## 謝辞

本稿の作成にあたり、当センター研究連携課の谷脇徹主任研究員には丁寧かつ適切なコメントを頂きました。ここに記してお礼申し上げます。

## 引用・参考文献

相浦 英春・大宮 徹(2010) スギ林の強度間伐が林内の光環境と下層植生に与える影響. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告



2:1-9

石川芳治 (2008) 丹沢山地でのシカによる林床植生  
表退地における土壌侵食機構と対策手法. 森林  
科学 53:48-52

神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課 (2017)  
水源林整備の手引き. 神奈川県, 57pp

神奈川県自然環境保全センター研究連携課 (2016)  
シカ不嗜好性植物図鑑. 神奈川県自然環境保全  
センター 58pp

小池 孝良 (1988) 落葉広葉樹の生存に必要な明る  
さとその成長に伴う変化. 林木の育種 148:19-  
23

小谷 二郎・高田 兼太 (1999) スギ林の林床での広  
葉樹の侵入および優占様式、石川県林業試験場  
研究報告 30:1-10

三浦 覚 (2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の  
視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林  
床被覆率の実態評価. 日本林学会誌 82 (2):132-  
140

中西弘樹 (1994) 種子はひろがる種子散布の生態学.  
平凡社 255pp.

R Core Team (2021) R: A language and environment  
for statistical computing. R Foundation for  
Statistical Computing, Vienna, Austria.

瀬尾 史恵・井原 大介・増谷 利博 (2008) スギ・  
ヒノキの壮齢林における開空度と相対照度の関  
係. 関東森林研究 59:73-76

初 磊・石川 芳治・白木 克繁・若原 妙子・内山  
佳美 (2010) 丹沢堂平地区のシカによる林床植  
生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量  
の関係. 日本森林学会誌 92(5):261-268

田村 淳・山根 正伸・武田 潤・久富 寛之 (2013)  
神奈川県の水源林の施業地においてシカが林床  
植生に及ぼす影響. 神奈川県自然環境保全セン  
ター報告 11:53-60

Utsugi E, Kanno A, Ueno N, Tomita M, Saitoh T,  
Kimura M, Kanou K, Seiwa K (2004) Hardwood  
recruitment into conifer plantations in  
Japan: Effects of thinning and distance  
from neighboring hardwood forests. *Forest  
Ecology and Management* 237 (1-3):15-28