

強度間伐地における施業効果の評価（第1報）

2019年度～2023年度

門屋 健・岩下幸平*

要 旨

近年、森林施業の低コスト化などを目的に、強度間伐施業が行われている。強度間伐は、下層植生の導入による表面土壌の保護や針広混交林化に有効であり、また、人工林の公益的機能の向上への寄与も期待されている。本県でも2009年から“あいち森と緑づくり税”の事業の中で強度間伐を推進しているが、表面土壌の流亡や下層植生の構成樹種の推移等については未解明であり、2回目間伐の適期についての調査データも求められている。そこで県内3箇所の施業地における表面土壌流亡の継続的な調査と下層植生の調査を実施した。その結果、間伐後、細土の流出は減少し安定してきていること、流出量には様々な要因が関与しており、その内、降水量、調査地の傾斜、上層木の樹種が関与していることが認められた。また、過去の強度間伐施業地40箇所の再調査では、下層植生の植被率は5～100%と調査地により様々であった。一方、低木層の木本種の増加が調査地の75%で見られたが、林冠部の多くは閉鎖傾向であった。

I はじめに

スギ、ヒノキなどの人工林の森林施業の中で間伐は重要な施業の一つであるが、近年、森林施業コストの低減などを目的に、強度間伐施業が行われる森林が増加している。また、強度間伐は、コスト低減だけではなく、広葉樹の進入により、表面土壌の保護や針広混交林化にとって効果的であると言われている。加えて水土保持機能の向上や生物多様性の増加等の公益的機能改善への寄与も期待できる。

愛知県でも“あいち森と緑づくり税”を導入し、2009年から人工林整備事業の中で強度間伐を推進している。しかしながら、間伐後の下層植生の被覆による表面土壌の流亡や針広混交林化に重要な構成樹種の推移等については未解明な部分も多い。また、県内では過去の強度間伐施業地の再調査による2回目間伐の検討についても未実施であり、再調査によるデータの収集が求められている。

そこで本研究では、2019年度に強度間伐施業を行った岡崎市、新城市、設楽町の3箇所に調査地を設置し、土壌流出量の継続的な調査と下層植生の調査を行い、また、2012、2013年度に実施した既調査地において再度植生調査を行うことにより、強度間伐の施業効果を明らかにし、今後の強度間伐施業の推進に資することを目的とする。

II 方法

1. 施業効果のモニタリング

(1) 土壌流出量調査

2019年度に、あいち森と緑づくり税を活用した人工林整備事業により強度間伐施業が実施された事業地3箇所（表-1、図-1）に試験地を設定した。各試験地では、土砂受け箱（幅25cm×高さ15cm×奥行き20cm、塚本2010）を4基ずつ設置（写真-1）し、2019年10月から2021年12月にかけて、まとまった降雨イベント後に土砂受け箱に流入したリターと土砂を回収した。回収物は、

試験地	岡崎市	新城市	設楽町
場所	岡崎市夏山町稲葉沢	新城市横川字倉木	設楽町西納庫字平山
標高	60m	50m	600m
地形概要	斜面中～下部 北東の平衡斜面	斜面中～下部 北東の平衡緩斜面	斜面中～下部 南西の平衡斜面
樹種	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ
林齢(年)	30-60	20-60	16-50
植栽木立木密度	1,160本/ha	1,068本/ha	1,150本/ha
本数間伐率	40%	39%	37%

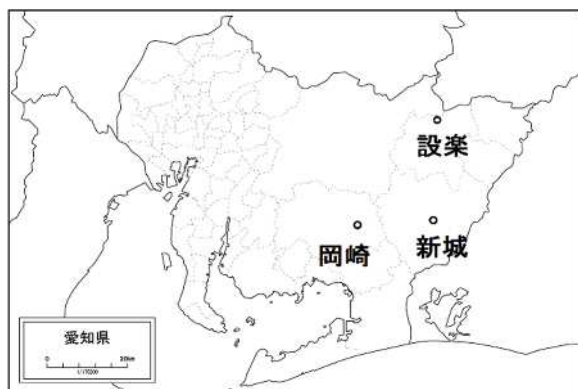


図-1 土砂流出量調査地位置図

85℃で24時間乾燥後、リターと土砂に分け、土砂については径2mmの円孔篩で礫(2mm<)と細土(2mm≧)に分別し、それぞれ重量を測定した。調査期間中の降雨量は、農研機構メッシュ農業気象データシステムから各調査地のデータをダウンロードして使用した。



写真-1 土砂受け箱の設置状況

(2) 調査地の植生調査

各調査地の土砂受け箱設置箇所近くに斜面と平行にライン(40m長)を設置し、そのライン上下1mの幅内に生育する木本植物について、種名と個体数を記録した。また、垂直方向については、①樹高50cm未満②4m未満③8m未満④8m以上の4階層に分けて記録した。調査は、2021年の10月に実施した。

(3) 調査地の開空度調査

開空度調査は、各調査地の土砂受け箱上部(地上高1.2m)からデジタルカメラ(使用レンズ:シグマ4.5mm F2.8 EX DC HSM)で全天空写真を撮影(写真-2)し、LIA32(ver. 0.3781、山本2008)の処理ソフトウェアを用いて開空率を算出した。



写真-2 天空写真撮影による開空度調査

2. 2回目間伐施業の検討

(1) 下層植生調査

2009、2010年度に強度間伐施業を実施し、2012、2013年度に植生調査を実施した県内40箇所（図-2）の調査地について、2019~2021年度に再調査を実施した。調査方法は、前回調査を行った調査地に設置した20×20mの方形区内の木本種について、種名と個体数を記録した。また、垂直方向の階層分けについては、1.（1）と同様である。

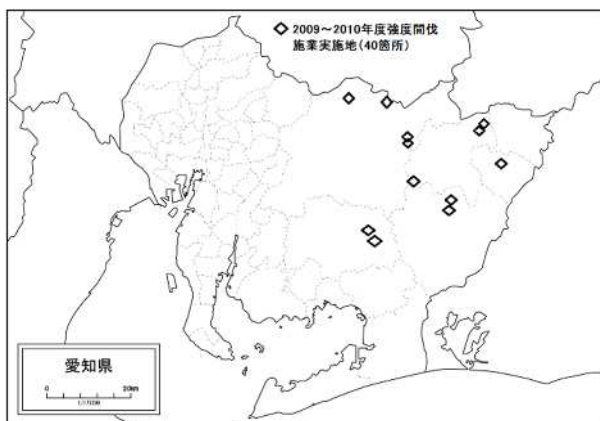


図-2 再調査地位置図（既設40箇所）

※◇の各調査地には、複数の調査地を含む

(2) 開空度調査

2.（1）の40箇所の調査地内20×20m方形区中心付近から全天空写真を撮影した。開空率の算出については、1.（3）と同様である。

III 結果と考察

1. 施業効果のモニタリング

(1) 土壌流出量調査

土壌流出量調査は、2019、2020年度に3回、2021年度は5回実施した。調査期間中の総流出量は、新城市が最も少なく、続いて岡崎市、設楽町の順番であった（図-3）。3調査地ともリターの割合が最も多く、設楽町は、リターの割合が47.3%、細土の割合が41.5%、岡崎市はリターの割合が68.8%、細土が9.4%、新城市はリターの割合が

55.0%、細土が27.9%と調査地により割合が異なっていた。図-4に、各調査地の間伐前後の土砂流出量の違いを示す。調査地により回収期間が異なるためY軸の数値は1ヶ月当たりの流出量として示した。新城市、設楽町では、間伐後の流出量の減少が見られ、割合から細土と礫の流出量が低下したのがその要因であると考えられた。一方、岡崎市については、リターの流出量が増加したため、間伐後の全体の流出量の増加がみられた。

次に3年間の各調査地の土砂受け箱ごとの流出量の推移を図-5に示す。X軸の数字は、土砂回収作業の何回目かを表し、1~3回目が2019、2020年度、4~8回目が2021年度のデータである。Y軸の数値は、降雨の影響を平均化するため物質移動レート($\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)を用いた(Miura et al. 2002、2003)。リターについては、設楽町では2021年の移動レートが、岡崎市、新城市では、2021年10月~12月回収の8回目の移動レートが高くなった。また、土砂受け箱の設置場所による差もみられた。礫についてはどの調査地においても、8回目のデータが高くなった。この原因は明らかではないが、土砂受け箱上部斜面の土砂とリターの状態が時間経過により変化することが、回収時の流出量に影響を与えている可能性があるかと推察された。一方、細土については、バラツキはあるものの、期間の前半、間伐前後に値は大きかったが、その後継続して低い値を示していることから、間伐施業後、

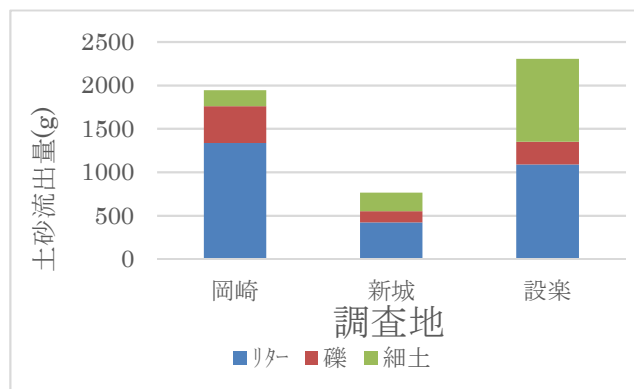


図-3 調査地の土砂流出量（2019~2021）

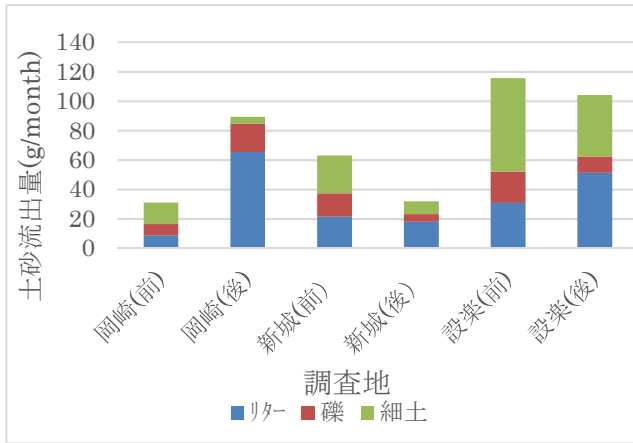


図-4 調査地の間伐前後の土砂流出量の違い

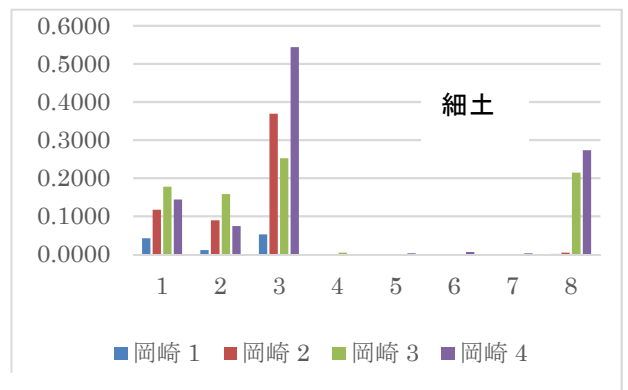
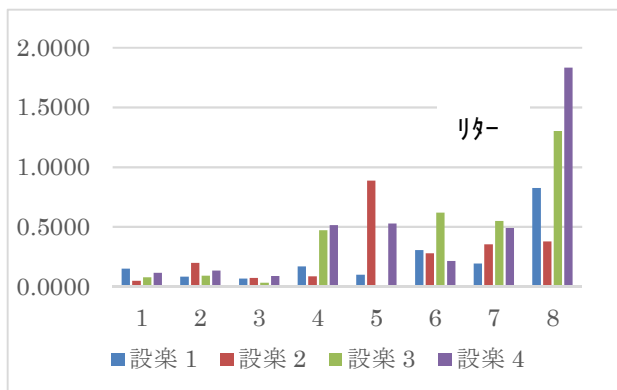
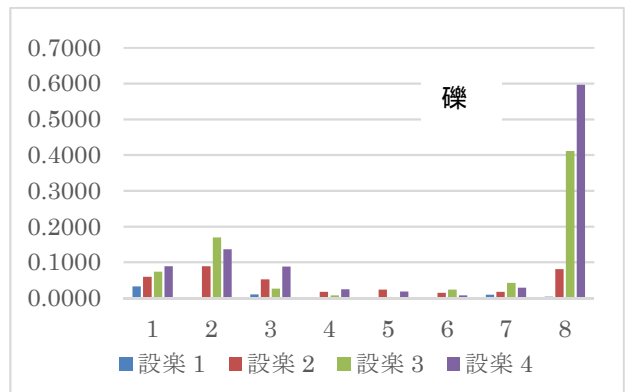
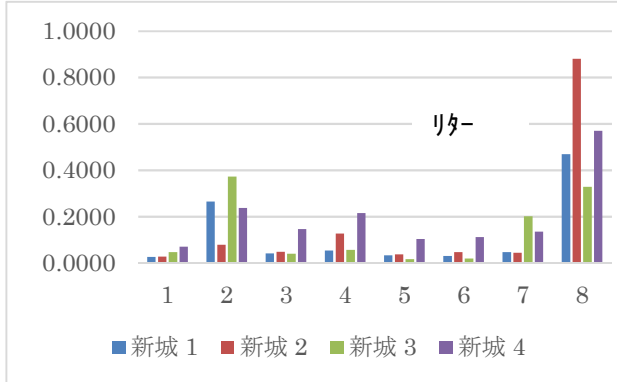
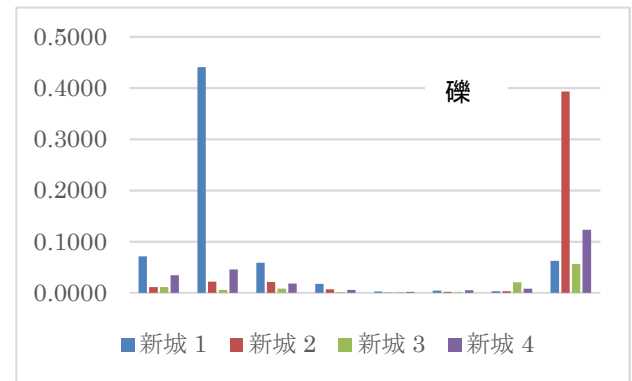
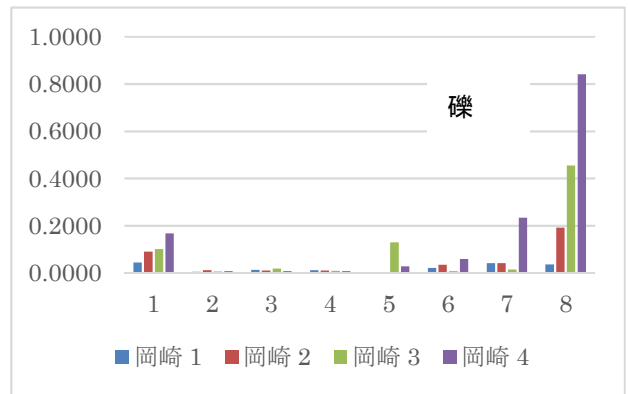


図-5-1 各調査地のリター、礫、細土流出量の推移

※X軸：流出土砂回収回数（回目）、Y軸：移動レート（ $g \cdot mm^{-1} \cdot m^{-1}$ ）

凡例 1～4：各調査地の土砂受け箱 No.

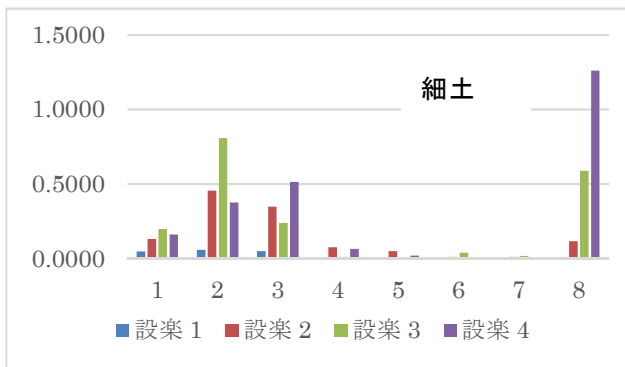
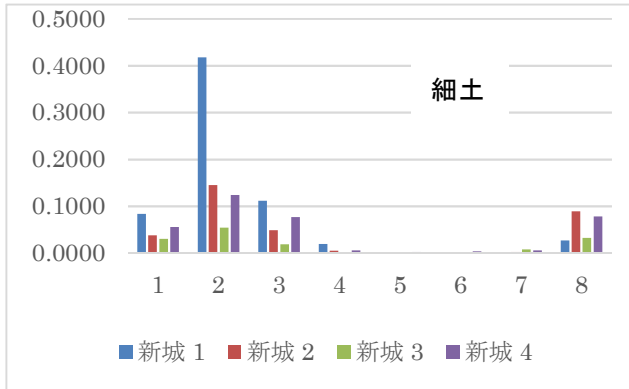


図-5-2 新城、岡崎市の細土流出量の推移

年数の経過により林内の表土流亡が安定し、土砂流出が減少するという既往研究の結果（杉本ら 2011）を支持した。

続いて、流出量に影響がある要因について、重回帰分析により検討を加えた。降水量、調査地の傾斜、調査地上層木の樹種（スギ、ヒノキ、スギ・ヒノキ混）を説明変数に、土砂流出量（総回収物、分別各種）を目的変数にして解析した結果を表-2に示す。この結果、礫、リター、総回収物については、上記の3説明変数である程度説明できると考えられた。しかしながら、現地調査の結果、個々の土砂受け箱のデータのバラツキ（場所、時期）、土砂受け箱上部斜面状態の違い（リター、植物の被覆、斜面に置かれた間伐木の状態（井川原ら 2004）や立木、枯れ枝の状況等）、様々な要因が土砂の移動に複合的に影響を与えていることが推察できた。また、降雨パターンも調査年により変動が大きいことが観察されたことから、今後も継

続してデータを収集し、その要因を解析する必要性が認められた。

表-2 重回帰分析の結果

土砂回収物	重相関係数R	決定係数R ²	補正R ²	F値
リター	0.796	0.634	0.534	0.011
礫	0.854	0.729	0.656	0.009
細土	0.701	0.491	0.353	0.002
総回収物	0.789	0.623	0.520	0.052

(2) 調査地の植生調査

調査地の下層植生の植被率は5~10%で、木本種の出現種数は、岡崎市で13種、新城市で11種、設楽町で14種であった。また、高木性樹種の種数割合は、岡崎市46%、新城市54%、設楽町14%で、本数割合はそれぞれ48%、89%、13%であった。新城市の特長としては、ツブラジイの実生が多く、本数割合で56%、続いてアラカシが同17%であった。岡崎市ではアラカシの本数割合が31%で、他の調査地との違いとしてスギとヒノキ実生が見られた。多様性を示す Shannon-Wiener の多様性指数 H' （伊藤ら 1977）は、岡崎市で3.04、新城市で2.09、設楽町で3.29であった。3調査地間の類似度は（Jaccard の共通係数、伊藤ら 1977）、設楽-新城市で0.087、設楽-岡崎で0.038、新城-岡崎で0.143となり、各調査地間の木本種の種組成の違いがみられた。

(3) 調査地の開空度調査

3箇所の開空率の推移を図-6に示す。3箇所とも間伐前後で開空率は増加した。間伐後2年経過時の調査では、調査地により間伐直後からの数値の増減は異なっていた。設楽町では、調査地内の倒木が発生したことにより、開空率の増加が確認された。今後もその推移を継続的に調査する必要があると思われた。

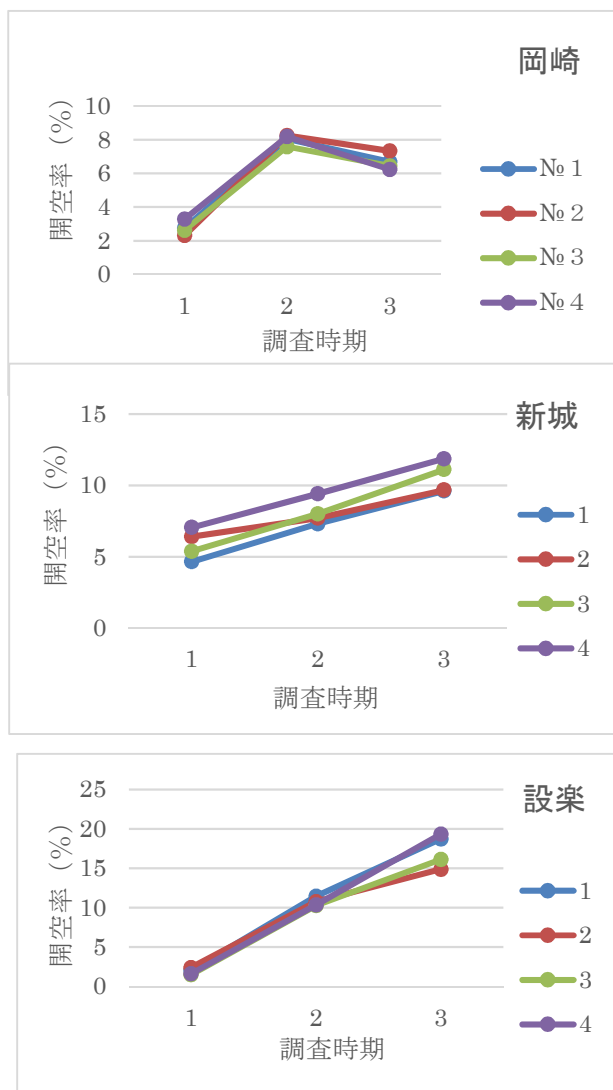


図-6 3調査地の開空率の推移

X軸：1は間伐前、2は間伐直後、3は2021年
No.1~4：土砂受け箱No.（撮影位置）

2. 2回目間伐施業の検討

(1) 下層植生調査

強度間伐施業後調査を行った40箇所の調査地について、7、8年後の植生調査の結果を表-3に示す。下層植生（H）の木本種数、優占種の推移について、40箇所中21箇所で種数は増加した。植被率については1回目調査では、すべて50%以下であったが、2回目調査では、50%以上の調査地が2割を占め、19箇所が前回調査

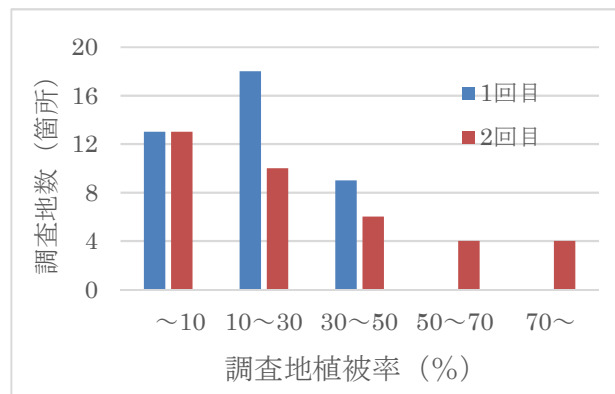


図-7 下層植生の植被率の頻度分布

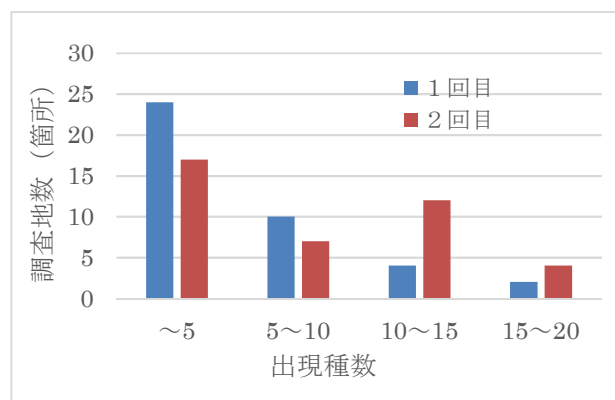


図-8 低木層の出現種数の推移

より増加していた（図-7）。一方、低木層については、75%の30箇所で種数の増加がみられた（図-8）。このことから、間伐後下層植生で生育する個体の一部が定着し、成長したものと考えられた。これら調査地の低木層に優占する樹種は、道沿いや伐採跡地などの比較的明るい立地に生育するコアジサイ、ヤブムラサキ、陽生樹のアセビが多くの調査地で出現していることから、林内環境は比較的明るい状況であることがわかる。しかしながら、低木層出現種の中から将来的に上層木優占種へと生育すると思われる樹種は、アラカシ、ツブラジイが個体数では候補として挙げられるが、その他の種が乏しい状態であることから、2回目の間伐については、下層植生に出現する高木性樹種が成長する環境作りを、各調査地の現状を十分把握した上で講じる必要があると思われた。

表-3 各調査地の木本植物種数と優占種 ((1):1回目調査、(2):2回目調査、H:下層植生、S:低木層)

No	調査地 市町	大字以下	調査年 (1)	種数		調査年 (2)	種数		2012-13年優占種		2019-21年優占種	
				H(1)	S(1)		H(2)	S(2)	No.1	No.2	No.1	No.2
奥01	東栄町	振草古戸大手13	2012	15	2	2020	17	3	コアシ サイ(2)	クロモジ (1)	クロモジ	コアシ サイ
奥02	東栄町	振草古戸大手13	2012	8	2	2020	12	3	コアシ サイ(3)	クロモジ (1)	コアシ サイ	クロモジ
奥03	東栄町	振草古戸大手12-1	2012	13	2	2020	19	1	コアシ サイ(2)	クロモジ (1)	クロモジ	コアシ サイ
奥04	東栄町	振草古戸大手12-1	2012	4	1	2020	10	4	コアシ サイ(2)	クロモジ (2)	クロモジ	コアシ サイ
奥05	東栄町	振草古戸大手8	2012	9	4	2020	10	4	コアシ サイ(2)	クロモジ (1)	クロモジ	カナクギ ノキ
奥06	東栄町	振草古戸大手8	2012	7	0	2020	3	0	ヤマアジ サイ(+)	-	クロモジ 9	コアシ サイ4
奥07	東栄町	振草古戸大手8	2012	6	1	2020	2	1	ヤマアジ サイ(2)	-	ヤマアジ サイ	クロモジ 2
奥08	設楽町	豊邦段戸山1-489	2012	18	4	2020	9	4	コアシ サイ(1)	スズ タケ(1)	コアシ サイ	ヤブ ムラサキ
奥09	設楽町	豊邦段戸山1-489	2012	22	0	2020	13	0	スズ タケ(2)	-	コアシ サイ	ヒノキ
奥10	設楽町	豊邦段戸山1-473	2012	11	1	2020	5	1	シロモジ (1)	-	ツツジ 9	コアシ サイ4
奥11	設楽町	豊邦段戸山1-473	2012	18	2	2020	6	3	シロモジ (2)	リョウブ (1)	ツツジ sp	イヌツゲ 5
奥12	設楽町	豊邦段戸山1-475	2012	11	0	2020	11	1	ミヤコザ サ(3)	-	ツツジ sp	ヒノキ
奥13	設楽町	豊邦段戸山1-475	2012	11	1	2020	8	0	ミヤコザ サ(4)	-	スギ	ヒノキ8
奥14	設楽町	豊邦段戸山1-447	2012	7	0	2020	10	2	スズ タケ(+)	-	ムラサキシキブ 9	タカノツメ4
奥15	設楽町	豊邦段戸山1-447	2012	18	0	2020	8	3	スズ タケ(+)	-	スギ 7	コアシ サイ3
奥16	設楽町	豊邦段戸山1-447	2012	19	3	2020	17	9	アセビ (1)	シロモジ (1)	ヒノキ	スギ
奥17	岡崎市	石原町相野76	2013	17	5	2021	15	4	コシダ (3)	ウラジ ロ(2)	ヒサカキ	アラカシ
奥18	岡崎市	石原町淀野123-9	2013	14	7	2021	19	9	ウラジ ロ(2)	アラカシ(1)	アラカシ、チャノキ	-
奥19	豊田市	浅谷町上平649-1	2013	41	8	2020	29	15	ヤブ ムラサキ(3)	ベニシダ (1)	モミ	アラカシ
奥20	豊田市	上仁木町貝戸ヶ入	2013	33	5	2020	25	15	ヒサカキ(2)	ヤマツツジ (1)	ヤマツツジ	ヒノキ
奥21	豊田市	下仁木町井ノ平	2013	26	6	2020	10	15	ケチチ ミザ サ(3)	ベニシダ (2)	ヒサカキ	コアシ サイ
公01	新城市	中島金剛地1-2	2012	28	19	2019	25	14	アセビ (1)	アラカシ(1)	ヤブ コウジ	アカシデ
公02	新城市	中島金剛地1-2	2012	20	11	2019	30	18	コシダ (2)	アラカシ(1)	ヒノキ	ヒサカキ
公03	新城市	中島金剛地1-2	2012	26	6	2019	28	9	アセビ (1)	アラカシ(1)	ヒノキ	アカシデ
公04	新城市	中島金剛地1-2	2012	5	0	2019	26	15	ヒサカキ(1)	コアシ サイ(1)	ヒノキ	ヤブ コウジ
公05	新城市	中島金剛地1-2	2012	7	0	2019	20	13	アセビ (2)	アラカシ(2)	ヒノキ	ヤブ コウジ
公06	新城市	中島金剛地1-2	2012	7	7	2019	21	14	ヒサカキ(2)	アラカシ(1)	ヒノキ	ヤブ コウジ
公07	新城市	中島浜入場24-1	2012	30	7	2019	20	14	スズ タケ(3)	シキミ(1)	ヤブ コウジ	ヒサカキ
公08	新城市	中島浜入場24-1	2012	18	14	2019	27	10	スズ タケ(2)	アラカシ(1)	シキミ	ヤブ コウジ
公09	新城市	中島浜入場24-1	2012	26	4	2019	26	13	スズ タケ(2)	タカノツメ(1)	ヤブ コウジ	シキミ
公10	新城市	中島スサノ口5-2	2012	11	11	2019	22	5	アブ ラチャン(1)	フイチゴ (1)	ヒサカキ	コアシ サイ
公11	新城市	中島スサノ口5-2	2012	13	10	2019	14	11	フイチゴ (1)	-	ヤブ コウジ 7	コアシ サイ6
公12	新城市	中島スサノ口5-2	2012	37	0	2019	12	12	フイチゴ (1)	-	コアシ サイ	アブ ラチャン3
公13	設楽町	津具釜石17-1	2012	14	17	2020	9	16	ツタウルシ(2)	ケチチ ミザ サ(1)	ヤブ コウジ	モミ イチゴ
公14	設楽町	津具中手向2-80	2012	13	12	2020	13	7	コアシ サイ(2)	-	コアシ サイ	ムラサキシキブ
公15	岡崎市	木下町嶋18	2013	30	9	2021	29	14	アカシ (1)	アセビ (1)	ヒサカキ	アセビ
公16	岡崎市	木下町河原田118-1	2013	25	4	2021	31	18	ヒサカキ(3)	ミヤコザ サ(2)	ミヤマシキミ	ヒサカキ
公17	岡崎市	石原町淀野118-1	2013	18	4	2021	23	8	マダ ケ(2)	チャノキ(1)	チャノキ	アラカシ
公18	豊田市	大多賀町下平5-16	2013	23	6	2020	25	10	アセビ (2)	-	コアシ サイ	サクラsp
公19	豊田市	大多賀町八子15-4	2013	28	10	2020	14	20	アセビ (2)	コアシ サイ(2)	ヤマツツジ 6	ハ イカツジ 5

※ 2012-2013年優占種：植物名の後の()内数字は被度の値、2019-2021年優占種：植物名の後の数字は個体数(10個体以下の場合表記)



図-9 調査地（40箇所）のデンドログラム

次に、40箇所の調査地について、植生調査から得られた調査地間の類似度（Jaccardの共通係数）、各調査地のShannon-Wienerの多様度指数（H'）、木本種数、高木性樹種数、高木性樹種の常緑樹の割合（2回調査分）と調査地の標高データを用いてクラスター分析を実施した。なお、距離計算には、ユークリッド距離とワード法を用いた。得られたデンドログラムを図-9に示す。40箇所の調査地は大きく2つのクラスターに分かれた。それぞれのクラスターは更に2または3個のクラスターに分けられた。大きな2つのクラスターの内、1つ目は①東栄町、設楽町津具の一部、豊田市大多賀のグループと②設楽町段戸と津具の一部のグループに、2つ目は、③岡崎市、新城市、豊田市の一部、④岡崎市、新城市、豊田市の残り調査地にグループに分け

られた。2つの大きなクラスターは調査地の地理的な差違から、また、①と②のグループについても、同様に地理的な差違でクラスター分けされたと考えられた。③と④については、調査地の標高と今回調査した調査地の常緑の高木性樹種の割合によりクラスター分けされたと考えられた。

(2) 開空度調査

40箇所の開空率の値は、4.81～17.89%で平均は7.88%であった。図-10に、調査地の開空率の頻度分布を示す。40箇所の内、80%が10%以下で林冠部はやや閉鎖傾向であった。次に、上層木の樹種別の開空率の違いを図-11に示す。今回の調査地においては、開空率10%以上の比較的林冠が開いている調査地は、スギ・ヒノキの混交林での割合が高かった。

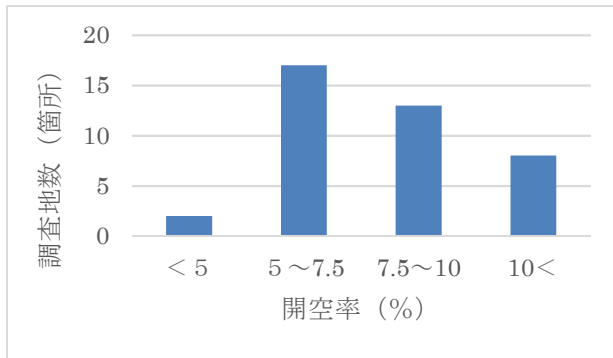


図-10 各調査地の開空率の頻度分布

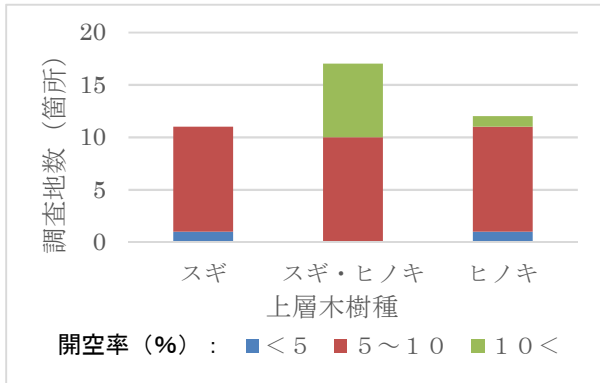


図-11 上層木樹種別の開空率

以上の結果、2019年に強度間伐を実施した3箇所の事業地では、土壌流出量の内、細土については間伐後の土壌の安定化により、流出量が低下したと考えられた。また、その他の流出量については、様々な要因の関与が推察できるため、今後も継続的にデータを収集し、分析する必要性が認められた。

調査地の下層植生については、強度間伐後2年経過した時点では、植被率も低く、木本種の種数も豊富とは言えなかった。岡崎市、新城市の調査地は、カナメモチーコジイ群集の標徴種コジイ(ツブラジイ)、アセビ、ソヨゴが出現し、ヤブツバキクラスの種もそれぞれ半数程度を占めていた。岡崎市については、チャノキ、フユイチゴが出現していたことから、植生区分としては下級単位のチャノキ亜群集に分類される種構成であると思われた(宮脇1985)。設楽町の調査地は標高も他調査地と異なり600mと高く、そのため構成種が異なっていた。区分種の

比較により、シキミーモミ群集に分類される種組成であり、そのことがJaccardの共通係数値の差として現れたと考えられた。これら3箇所の調査地については、強度間伐実施後2年しか経過しておらず、今後も継続して植生動態を調査する必要性が認められた。

次に、2012、2013年に強度間伐施業を実施した40箇所については、今回の調査で9箇所が下層植生の植被率が60%を超えていた。植被率が60%を超えている森林は、30%未満の森林と比較して、単位面積当たりの土砂流出率が97%減少するという報告(Mizuno et al. 2021)もあり、これら9箇所については、公益的機能が十分発揮されることが期待できると思われた。一方、18箇所については植被率が30%未満であったため、今後、2回目の間伐も含めて、現地状況を十分に把握した上で、考えられる選択肢から適切な森林施業を検討することが必要であると思われた。

引用文献

- 井川原弘一・渡邊仁志・横井秀一(2004)ヒノキ人工林における間伐木の処理方法と土壌浸食量の関係. 中森研 52 : 267-270
- 伊藤秀三・宮田逸夫(1977)群落の種多様性. (群落の組成と構造. 伊藤秀三編 朝倉書店). 76-111
- Miura S, Hirai K, Yamada T(2002)Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. J. For. Res. 7:201-211
- Miura S, Yoshinaga T, Yamada T(2003)Protective effect of floor cover against soil erosion on steep forested with *Chamaecyparis obtusa* and other species. J. For. Res. 8:27-35
- 宮脇昭(1985)日本植生誌 中部. 至文堂

Mizuno T, Kojima N, Asano S(2021)The risk reduction effect of sediment production rate by understory coverage rate in granite area mountain forest. Sci. Rep. 11:14415

杉本純佑・鈴木保志・後藤純一（2011）列状間伐実施後のスギ人工林における土砂移動量と下層植生現存量．森利誌26：105-109

塚本次郎（2010）移動土砂量の簡易測定法（改訂版 森林立地調査法．森林立地調査法編集委員会編、博友社）．195-196

山本一清（2008）LIA32 ver. 0.3781．URL：
<http://www.agr.nagoyau.ac.jp/~shinkan/LIA3.2/download.html>