石川県林試研報 57：1-7
論文

石川県におけるカラマツ人工林の現況※

富沢裕子・小谷二郎

要旨：再造林樹種としての可能性を見いだすため，成林しているカラマツ人工林の現地調査を行い，生育状況や立地環境等を評価した。現地調査による上層木の平均樹高は，長野県のカラマツ人工林樹高曲線の地位Ⅱ～Ⅲに相当し，県内においても良好な樹高成長が期待できる結果となった。また，一般化線形混合モデル等で解析を行った結果，標高が高いほどカラマツの残存，樹高成長，幹の形質に正の影響を与える等，カラマツの生育に適した環境条件を読み取ることができた。そのため，生育適地であれば本県の再造林樹種として期待できると考えられた。

キーワード：カラマツ，樹高成長，標高，一般化線形混合モデル

Ⅰ．はじめに

石川県の人工林資源の約 7 割が成熟しており，森林資源の持続的利用のため，主伐再造林の推進が図られている（石川県 2023）。一方，主伐後の再造林や初期保育に多額の費用を要すること（石川県 2021a）や，主要な造林樹種であるスギの標準伐期齢 45 年（石川県 2021b，石川県 2024）と非常に長いため経費の回収が遅くなること等により，森林所有者の再造林への関心が薄い現状である。そのため，初期成長がよく，用材として価値があり，比較的短期間で木材としての利用が見込まれる再造林樹種を検討することは重要である。

カラマツ（*Larix kaempferi*）は寒冷地に強く，樹形が安定し，成長が早い等利点があるため，造林樹種の一つであり，長野県や北海道で特に多く植栽されている（林野庁 2026）。また，スギ材より強度が高いため（中井ら 1982），構造用合板等木材としての需要が高まっている中，県内における令和 6 年度スギ材（4m，18cm 上）の平均価格は 12,032 円（石川県森林管理課 2024，石川県森林管理課 2025）に対して，令和 6 年度森林・林業白書（林野庁 2025）ではカラマツ材（中丸太）年平均価格は 15,300 円/m^3 と高く，再造林樹種にカラマツを検討している林業事業体は少なくない。しかし，県内でもカラマツの造林履歴はあるものの，植栽に適した立地や施業体系など不明な点が多い状態である。

そこで，石川県の再造林樹種となる可能性を検討するため，森林簿データによるカラマツ林の残存と環境条件との関係性を吟味しつつ，県内に成林しているカラマツ林の現況調査を実施し，生育状況や立地環境等を評価した。

表-1．調査したカラマツ人工林の概要

調査地		林齢	標高	土壌型	傾斜	斜面方位	地形	微地形	最大積雪深
(No.)	(市町)	(年)	(m)		(°)				(cm)
1	穴水町	60	288	R_D	25	東	谷	平	171
2	宝達志水町	60	58	B_D(d)	15	南西	中腹	平	65
3	中能登町	70	374	B_D(d)	5	北東	尾根	凸	200
4	金沢市	61	148	B_D	5	北西	尾根	凹	112
5	白山市	61	505	B_D(d)	10	西	尾根	凹	233
6	白山市	61	191	B_D	10	西	中腹	平	132
7	白山市	80	819	B_D	5	南西	中腹	凸	256
8	白山市	80	809	B_D	20	南西	中腹	平	256
9	白山市	64	328	B_D	20	南西	谷	平	186
10	加賀市	48	397	B_D	20	北西	中腹	平	207
11	穴水町	68	173	B_D	20	南東	尾根	平	124
12	穴水町	67	140	R_D	5	東	尾根	凸	108
13	穴水町	69	233	B_D	30	北	中腹	平	150

※Growing condition of larch plantations in Ishikawa Prefecture.

Ⅱ．調査地および調査方法

1．現地調査

1）調査地

調査地は，県内に成林しているカラマツ人工林13 か所である（表-1）。南は加賀市から北は穴水町まで，標高は 58m～819m であった。

2）調査方法

令和 5 年春から秋にかけて，それぞれの調査地の標準的な立地条件の箇所に 10m×10m のプロットを 1 か所設置した。プロット内のカラマツ（計 239 本）の樹高と胸高直径を計測し，広葉樹が混在している調査地については，広葉樹の胸高直径も計測した。樹高の測定には，バーテックスⅢ（Haglöf 社，Sweden）を用い，胸高直径の測定には輪尺を用いた。また，幹の形質について，通直性が高く 4m 以上の長材の採材可能なものを A，A より劣る採材可能なものを B，採材不可能なものを C と樹形ランクを設定し，確認した。調査地の立地環境要因として，標高及び傾斜と斜面方位（8 方位）を計測し，地形（尾根・中腹・谷の 3 パターン）と微地形（凸・平・凹の 3 パターン）は設置プロットの状態で判断した。土壌型は石川県地質誌（石川県 1993），林齢は令和 4 年時点の森林簿データによるものである。最大積雪深は，標高と平均最深積雪深との関係から得られた回帰式（小谷 2004）より算出した。

長野県民有林カラマツ人工林・長伐期施業の手引き（長野県林務部 1991）のカラマツ人工林樹高曲線図に現地調査の上層樹高数値を参照し，それぞれの調査地の地位を確認した。また，収量比数（Ry）は森林総合研究所「収量比数 Ry 計算プログラム」を使用し，林分密度管理図を本州カラマツとし，現地調査の上層樹高と成立本数（本/ha）を入力して算出した。

3）解析方法

カラマツの樹高と樹形ランクに与える立地環境要因を一般化線形混合モデル(GLMM)で解析した。目的変数は樹高と幹の形質（樹形ランク A を 1，樹形ランク B&C を 0 の 2 項）とし，説明変数は，標高，土壌型，傾斜，斜面方位，地形および微地形の 6 因子を用いた。さらに，各目的変数に対する地域的な影響をモデルに含めるため，調査地を変量効果とした。また，林齢に応じた樹高の推定値を算出することを考慮し，樹高を目的変数とするモデルには林齢をオフセット項（変動効果）とした。樹高はガウス分布で恒等関数により，幹の形質は二項分布でロジット関数により解析した。効果のある説明変数に絞り込むため AIC（赤池情報量規準）に基づくステップワイズ法によって変数削減を行い，AIC の値が最小になるモデルを選択した。統計解析は，R（ver.4.2.1）で行った。

また，後述の統計解析結果において説明変数に選択されなかった立地環境要因（土壌型）については，樹高との関係について確認した。

2．森林簿による調査

1）調査地とデータの調整

令和 4 年時点の石川県の森林簿を使用し，0.5ha 以上のカラマツ林のデータを抽出した（付表-2，36 か所）。対象林分の残存状態を確認するため，現地調査もしくは石川県農林総合事務所森林部(5 事務所）への聞き取りを行った。また，それぞれ林分の立地環境要因として，標高及び傾斜と土壌型（B_C・B_D（d）・B_D）と斜面方位（8 方位）と地域（能登・加賀）について森林簿内データを確認した。

2）解析方法

林分の残存に与える立地環境要因を一般化線形混合モデル（GLMM）で解析した。目的変数は残存とし，説明変数は，標高と土壌型と傾斜と斜面方位と地域の 5 因子を用いた。さらに，各目的変数に対する地域的な影響をモデルに含めるため，林分を変量効果とした。二項分布でロジット関数により解析した。前述の調査地の解析方法と同じく，AIC に基づいてモデルを選択した。統計解析は，R（ver.4.2.1）で行った。

Ⅲ．結果

1．調査地の地位と収量比数

カラマツ人工林樹高曲線図（長野県民有林）に現地調査結果（付表-1）を参照したものを図-1 に示した。調査地は地位Ⅰ～Ⅳの範囲にあり，13 か

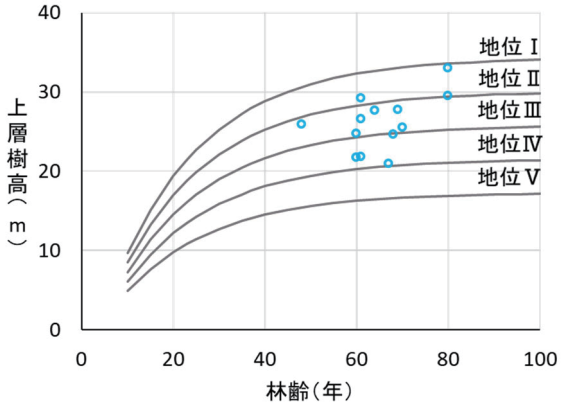


図-1. 現地調査結果を参照したカラマツ人工林樹高曲線図（長野県民有林）

上層樹高：被圧木および枯死木を除いた平均樹高

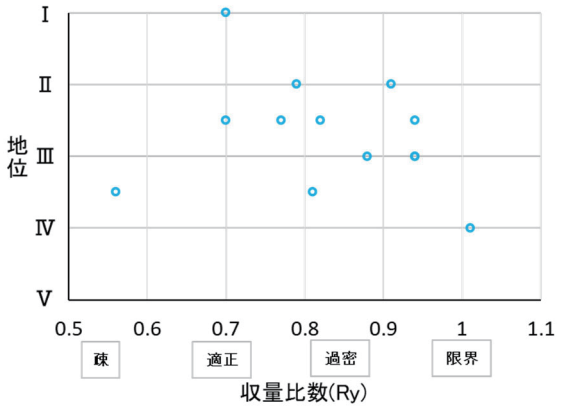


図-2. 調査地の地位と収量比数の関係

所のうち 9 か所が地位Ⅱ～Ⅲに位置した。

調査地の地位と収量比数の関係を図-2 に示した。調査地は，Ry=0.5～0.7 の 3 か所を除いて混みすぎの過密林であった。また，地位Ⅰ～Ⅱ，および地位Ⅱ～ⅢでRy=0.7 の 4 か所は現地に切り株があり，間伐が実施されていた（写真-1）。地位Ⅲ未満の 3 か所の林内には広葉樹が混在しており（写真-2），その平均胸高直径（25.0～30.0cm）はカラマツ（24.1～27.8cm）と同等以上のものであった。

2. 調査地における樹高や幹の形質に与える立地環境要因

調査地の立地環境（表-1）と現地調査結果（付表-1）を元に GLMM で解析し， AIC に基づくモデル選択を行ったところ，最良モデルとして樹高，幹の形質ともに標高と斜面方位と地形と微地形の 4 変数を説明変数としたモデルが選択された。標高の効果の係数は，樹高と幹の形質モデルともに有意な正（樹高 $p<0.001$，幹の形質 $p<0.05$）であった（表-2）。斜面方位の効果の係数について，樹高モデルにおいて東斜面に比べて北斜面（$p<0.01$），南西斜面（$p<0.001$），西斜面（$p<0.01$）で有意な差がみられるものの（表-2a），幹の形質モデルには有意な方位はみられず（表-2b），両者の共通性はみられなかった。地形の効果の係数では，樹高と幹のモデルともに，尾根と比べて中腹，谷で有意な負（樹高 $p<0.01$，幹の形質 $p<0.05$）であった（表-2）。微地形の効果の係数では，樹高モデルにおいて，凸地形に比べて平地形が有意に正（$p<0.001$）であった（表-2a）。また，有意差がないものの，どちらのモデルも凸地形に比べて平地形が正，凹地形が負の係数であった。

3. 調査地における土壌型と樹高の関係

土壌型と樹高の関係を図-3 に示した。R_D（赤色土）の平均樹高 20.9m に対して，B_D（d）（適潤性褐色森林土（偏乾亜型））は 25.4m，B_D（適潤性褐色森林土）は 26.1m であり，樹高成長に有意差があった（1 元配置分散分析，Tukey-Kramer の多重比較，$p<0.01$）。B_D（d）と B_D には有意差はなかった。



写真-1. 調査地 5（地位Ⅱ）の林内の様子



写真-2. 調査地 4（地位Ⅲ～Ⅳ）の林内の様子

表-2. 樹高（a）や幹の形質（b）に対する各因子の係数の GLMM による推定値

a樹高モデル

因子	事項	回帰係数	標準誤差	p値
切片		15.594	0.903	2.00e-16***
標高		0.011	0.002	1.18e-11***
斜面方位	北	5.477	1.814	0.0025***
	北東	0.789	1.165	0.4980
	北西	2.232	1.788	0.2119
	南東	-2.865	1.724	0.0965
	南西	4.993	1.493	0.0008***
	西	5.448	1.786	0.0023***
地形	中腹	-5.925	2.136	0.0055***
	谷	-7.021	1.851	0.0001***
微地形	平	5.372	1.309	4.05e-05***
	凹	-2.289	2.054	0.2652

b幹の形質モデル

因子	事項	回帰係数	標準誤差	p値
切片		0.792	0.594	0.1883
標高		0.002	0.001	0.0302*
斜面方位	北	1.038	1.105	0.3476
	北東	-1.537	0.733	0.0360*
	北西	2.180	1.146	0.0571
	南東	-2.027	1.098	0.0648
	南西	0.675	0.925	0.4661
	西	0.627	1.099	0.5685
地形	中腹	-3.820	1.342	0.0044**
	谷	-2.867	1.172	0.0144*
微地形	平	1.598	0.826	0.0531
	凹	-1.972	1.301	0.1295

斜面方位は東，地形は尾根，微地形は凸に対して，その他の事項の回帰係数が有意となった場合アスタリスクで示す（*p<0.05:**p<0.01:***p<0.001）

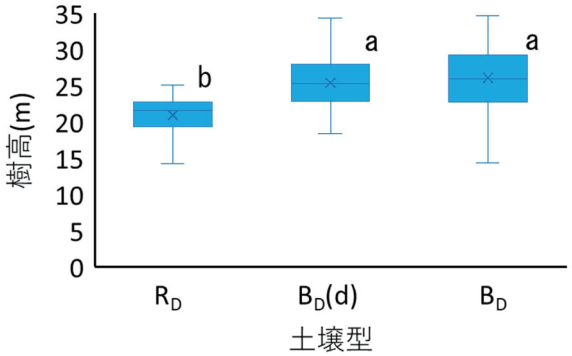


図-3. 土壌型と樹高の関係

Oneway-ANOVA（p<0.01），Tukey-Kramer の多重比較（p<0.01）同じ記号は有意差なし，違う記号は有意差あり

表-3. 林分の残存に対する各因子の係数の GLMM による推定値

因子	回帰係数	標準誤差	p値
切片	-6.629	3.132	0.0343*
標高	0.154	0.006	0.0080**
地域	4.447	2.297	0.0528

地域は加賀に対して，能登の係数が有意となった場合アスタリスクで示す（*p<0.05:**p<0.01）

4. 森林簿におけるカラマツ林分の残存に与える立地環境要因

GLMM で解析し，AIC に基づくモデル選択を行ったところ，最良モデルと標高と地域の 2 変数を説明変数としたモデルが選択された。標高の効果の係数は，有意な正（p<0.01）であった(表-3)。森林簿から抽出した標高とカラマツ人工林の残存の関係を図-4 に示した。標高 300m 未満では，成林している林分が 11 か所（55%）に対して成林していない林分は 9 か所（45%）であった(付表-2)。一方，標高約 400m より高いところでは，成林している林分が 15 か所（94%）に対して成林していない林分は 1 か所（6%）であり（付表-2），標高 300～400m を境に低標高ではカラマツ人工林が成林しにくい傾向がみられた。地域の効果の係数は，加賀地域に比べて能登地域が正の関係ではあったが，有意な差はなかった（表-3）。

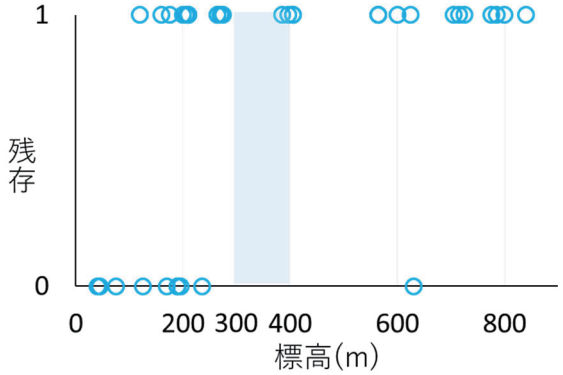


図-4. 標高とカラマツ人工林の残存の関係

Ⅳ. 考察

現地調査結果を長野県のカラマツ人工林樹高曲線に参照したところ，地位Ⅱ～Ⅲに多く位置づけられ（図-1），県内においても良好な樹高成長が期待できる結果であった。また，調査林分の多くは過密や広葉樹と混合した状態であった（図-2，写真-2)。過密林分は立木間の競争により，広葉樹が混合した林分は広葉樹の胸高直径がカラマツと同等以上であったことから，成林内に残存していたカラマツの生存や成長に影響を及ぼしていた可能性がある。そのため，適正な保育作業を行うこと

でより良好な成長に期待できると考えられる。

樹高や幹の形質に与える立地環境要因について，GLMM で統計解析したところ，目的変数は異なるが選択モデルの説明変数が同じであった。つまり，樹高成長が良いほど長材の採材が可能であることを意味する。カラマツの形態について，幹は直立し通直性に優れているため（福田 1985），今回の結果になったと推測される。選択された説明変数は 4 変数で，標高，斜面方位，地形，微地形であった。標高について，効果の係数がともに有意に正であることから，高標高ほど成長，幹の形質が良いことを示す。カラマツの天然分布は長野県を中心とした本州のきわめて狭い範囲に限られており，その垂直分布は中部地方では 1,000m から 2,800mとされている(加藤ら 1966)。県内において，高標高ほどカラマツの主な生育域に近づくことから，成長がよいと考えられる。しかし，今回の調査地で最も高い標高は 819m であり，その最大積雪深は 256cm であった（表-1)。標高が高くなるにつれ，石川県では積雪量も増える。豪雪地帯（積雪深 250cm 以上）において，カラマツは積雪の重みによる雪害を受けやすいため，植林には不向きな樹種であること（平 1984）から，より高標高地においては今後さらに検討が必要である。斜面方位について，一部の斜面で有意な差はみられるものの，樹高と幹の形質に影響を与える共通した傾向は確認できなかった。今回の調査地数は 13 か所であり，南向きが 0 か所，北向き・北東向き・南東向きが 1 か所に対して，南西向きが 4 か所(表-1)と斜面方位数にバラつきがあったことが今回の結果に関与している可能性が考えられる。地形と微地形について，地形では尾根に比べて中腹・谷が有意に負，微地形では凸地形に対して平地形は正，凹地形では負の関係であった。つまり，谷や凹地形においては成長や幹の形質が良くない結果であった。本来，カラマツは酸素要求量が多いため（苅住 2010），停滞水の発生しやすい地形では成長及び幹の形質に負の影響を与えると考えられる。

土壌型と樹高の関係について，赤色土より適潤性褐色森林土が有意に樹高成長がよい結果となった（図-4)。カラマツが通気・通水性のよい土壌を好むことは一般的に認められていることから（加藤ら 1966），粘土質の褐色土より隙間に富んだ褐色森林土において今回の結果をもたらしたと考察される。また，北海道カラマツ人工林における地位指数への立地要因の寄与の度合いは，土壌型が最も大きいこと（山根ら 1990），長野県のカラマツの成長を左右する立地要因は，土壌型が最も大きかったこと（武井ら 1987）が報告されており，今回の結果も踏まえて，土壌型は樹高成長に影響を及ぼすと考えられる。前述の樹高に与える立地環境要因のモデルの説明変数に土壌型が選択されていなかったことについて，あくまで今回の調査結果に基づく選択モデルであり，よりデータ数を増やすことで選択される可能性は否定できない。そのため今後も調査を続け，確認していく必要がある。

カラマツ林分の残存に与える立地環境要因について，GLMM で統計解析したところ，選択された説明変数は 2 変数で，標高と地域であった。標高の係数は有意に正であり，標高 300～400m を境に低標高でカラマツ人工林が成林しにくい傾向がみられた（図-5)。石川県のほとんどの地域は温帯に属し，標高 300～400m を境に暖温帯と冷温帯に分かれていること（古池 1983），また，カラマツは冬季比較的低温で乾燥した地域に適した樹種であり，高温や多雪は制限的な因子となっていること（加藤ら 1966）より，異なる気候条件が要因と考えられる。地域の係数より，加賀地域に比べて能登地域が正の関係ではあったが，有意な差はみられなかった。能登地域は低標高域が多いため，全般に積雪量は少なく，最新積雪深も 100cm を超えないことに対し，加賀地域は多雪地帯である（小谷 2004)。前述より，多雪はカラマツの制限的な因子になり得ることが今回の結果の要因と考えられるが，もう一つの説明変数である有意差が確認できた標高の考察と矛盾する。よって，地域に対して突出した傾向は確認できなかった。

長野県のカラマツ人工林樹高曲線図を参照して調査地の地位を確認したところ，良好な樹高成長が期待できる結果であった。また，標高が高いほどカラマツの残存，樹高成長，幹の形質に正の影響を与えること，土壌型が良好な樹高成長に影響を及ぼすこと等，カラマツの生育に適した環境条件を読み取ることができた。よって，標高および最大積雪深や初期成長について今後も引き続き検討していく必要はあるものの，生育適地であれば本県の再造林樹種として期待できると考えられた。

本調査の実行にあたり，県内 5 つの農林総合事務所森林部林業振興課職員の方々にご協力いただ

いた。この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

石川県（1993）紬野義夫編，石川県地質誌

石川県（2021a）いしかわ森林・林業・木材産業振興ビジョン 2021．18

石川県（2021b）森林の整備に関する事項．（地域森林計画書加賀森林計画区）．2-5

石川県（2023）石川県成長戦略．42

石川県（2024）森林の整備に関する事項．（地域森林計画書能登森林計画区）．2-5

石川県森林管理課（2024）木材市況．（石川の林業 No.827～834．石川県森林管理課）．8

石川県森林管理課（2025）木材市況．（石川の林業 No.835～838．石川県森林管理課）．8

加藤義忠・松井光瑠(1966) 天然分布とその気候．（カラマツ造林地の実態調査からみたカラマツ造林の要点．林業科学技術振興所）．9

苅住　昇（2010）最新樹木根系図説．62-66

小谷二郎（2004）スギ人工林の冠雪害と広葉樹の侵入パターン．石川県林業試験場研究報告 35: 5-25

平　英彰（1984）積雪地帯の造林樹種．（雪に強い森林の育て方．日本林業調査会）．65-67

武井富喜雄・片倉正行（1987）カラマツ構造材生産の施業技術に関する研究－カラマツの立地条件と生長についてー．長野県林業試験場研究報告 2: 12 - 20

中井　孝・山井良三郎（1982）日本産主要樹種の性質 日本産主要 35 樹種の強度的性質．林試研報 319: 13-46

福田元太郎（1985）カラマツ．（原色樹木大図鑑．北隆館）．760

古池　博（1983）石川県の植生と植物相（石川の植物の会編，石川県植物誌．石川県）．17-39

山根玄一・薄井五郎・江州克弘・菊地　健・寺沢和彦（1990）カラマツ人工林の成長と立地要因の関係．北海道林業試験場研究報告 28: 54-63

林野庁（2025）令和 6 年度森林・林業白書．147

林野庁（2026）森林資源の現状（令和4年3月31日現在）樹種別齢級別面積．人工林カラマツ https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/r4/（令和8年3月19日）

付表-1. 現地調査結果

調査地		平均樹高	上層樹高	平均胸高直径	成立本数	収量比数	幹の形質 A		B		C	
(No.)	(市町)	(m)	(m)	(cm)	(本/ha)		(本)	(%)	(本)	(%)	(本)	(%)
1	穴水町	21.1	21.7	27.8	675	0.81	14	53.8	10	38.5	2	7.7
2	宝達志水町	24.8	24.8	25.3	675	0.88	9	33.3	13	48.1	5	18.6
3	中能登町	24.5	25.5	28.7	826	0.94	14	51.9	11	40.7	2	7.4
4	金沢市	21.2	21.8	26.9	300	0.56	10	83.3	2	16.7	0	0.0
5	白山市	28.3	29.2	38.0	375	0.79	9	60.0	4	26.7	2	13.3
6	白山市	26.6	26.6	39.2	405	0.77	7	43.8	9	56.3	0	0.0
7	白山市	25.7	29.5	32.4	550	0.91	8	36.4	6	27.3	8	36.4
8	白山市	33.0	33.0	43.1	225	0.70	7	77.8	2	22.2	0	0.0
9	白山市	26.6	27.7	29.0	700	0.94	5	71.4	2	28.6	0	0.0
10	加賀市	25.4	25.9	36.3	340	0.70	12	80.0	2	13.3	1	6.7
11	穴水町	24.2	24.7	30.1	849	0.94	21	67.7	4	12.9	6	19.4
12	穴水町	20.7	21.0	24.1	1600	1.01	12	75.0	3	18.8	1	6.2
13	穴水町	27.2	27.8	34.4	452	0.82	9	52.9	8	47.1	0	0.0

付表-2. 抽出した森林簿データー覧および残存結果

No.	市町村	残存	林齢 (年)	標高 (m)	土壌型	傾斜 (°)	斜面方位	地域 加賀/能登
1	白山市	なし	80	630	B_D	25	南	加賀
2	珠洲市	なし	116	195	B_C	10	北東	能登
3	加賀市	あり	60	705	$B_D(d)$	30	南西	加賀
4	加賀市	あり	61	785	$B_D(d)$	30	南	加賀
5	珠洲市	なし	61	170	B_C	10	南東	能登
6	穴水町	あり	68	160	B_C	10	東	能登
7	加賀市	あり	60	565	$B_D(d)$	30	南東	加賀
8	穴水町	あり	70	265	B_D	15	南西	能登
9	中能登町	あり	70	385	$B_D(d)$	15	北東	能登
10	加賀市	あり	60	800	$B_D(d)$	30	南西	加賀
11	加賀市	あり	61	775	$B_D(d)$	30	南	加賀
12	穴水町	あり	64	200	B_D	15	北東	能登
13	穴水町	あり	63	210	B_D	15	西	能登
14	加賀市	あり	61	625	$B_D(d)$	30	南	加賀
15	加賀市	あり	60	840	B_D	25	南西	加賀
16	穴水町	あり	69	275	B_D	15	東	能登
17	中能登町	あり	76	405	B_D	5	南東	能登
18	中能登町	なし	64	40	B_D	15	南東	能登
19	穴水町	あり	66	120	B_D	10	南西	能登
20	加賀市	あり	60	600	$B_D(d)$	30	東	加賀
21	白山市	なし	105	190	B_D	20	南西	加賀
22	穴水町	あり	69	210	B_D	15	西	能登
23	穴水町	あり	62	205	B_C	15	南東	能登
24	穴水町	あり	70	265	B_C	15	北	能登
25	穴水町	あり	69	175	B_C	15	北東	能登
26	加賀市	あり	60	725	B_D	25	東	加賀
27	加賀市	あり	60	565	$B_D(d)$	30	南東	加賀
28	金沢市	なし	57	235	B_D	15	北	加賀
29	中能登町	あり	76	405	B_D	5	南西	能登
30	穴水町	あり	80	270	B_C	15	北	能登
31	羽咋市	なし	60	75	$B_D(d)$	15	北	能登
32	志賀町	なし	63	45	$B_D(d)$	10	南東	能登
33	能登町	なし	39	190	B_C	15	北東	能登
34	羽咋市	なし	68	125	$B_D(d)$	15	北	能登
35	加賀市	あり	60	715	B_D	25	西	加賀
36	加賀市	あり	50	397	B_D	20	北西	加賀