

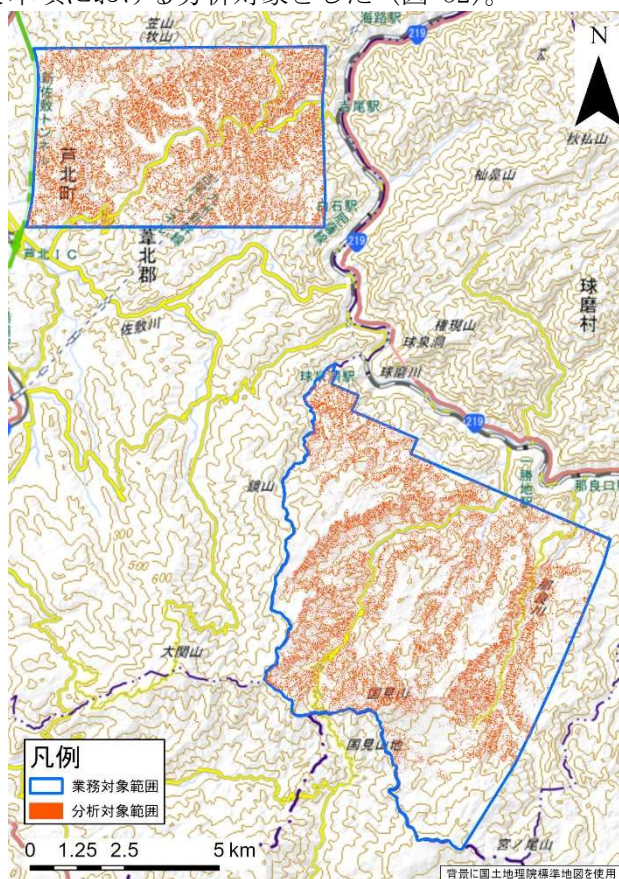
3.5. 土砂流出源頭部の発生に係る因子の分析

土砂流出源頭部における土地状況の分析より、土砂流出は「傾斜が大きく、かつ横断面形が凹型である」という地形条件の斜面で発生しやすくなる可能性があることが芦北町、球磨村南部、および令和4年度業務対象範囲の球磨村北部において共通してみられた。さらに、源頭部の多くが切土盛土においてみられた。本項では、地形が前述の条件と一致する土地において、土砂流出が発生した箇所としなかった箇所における路網の状況による違いを比較した。

3.5.1. 分析手法

1) 分析対象範囲

本業務対象範囲を10m四方で分割したメッシュの内、令和2年度森林簿小班ポリゴンと重なるメッシュを森林内のメッシュとして抽出した。抽出したメッシュに3.3章で算出した傾斜および横断面形の情報を各メッシュに付与し、「急峻地及び急傾斜地（傾斜30°以上）かつ横断面形が凹型」という条件でさらに抽出したメッシュを本項における分析対象とした（図52）。



2) 使用データ

分析で使用したデータを表 20 に整理した。

表 20 分析に使用したデータ

項目	データの名称・種類	データ数	備考
分析対象範囲	10m メッシュ	193,974 個 (うち芦北町 90,798 個、 球磨村南部 103,176 個)	本業務対象範囲を 10m メッシュで分割したものの内、2) で抽出されたもの。
土砂流出発生箇所	源頭部ポイント	170 個 (うち芦北町 85 個、 球磨村南部 85 個)	3.3 章において土砂流出の起点として判読された箇所。
路網密度	路網密度ラスタ	-	各 10m メッシュから 50m 以内の作業道・集材路延長の値を集計したラスタ。

3) 集計方法

分析対象範囲となる 10m メッシュを集計単位として路網密度の値を集計した。また、源頭部ポイントと重なった 10m メッシュを「土砂流出が発生した箇所」、源頭部ポイントと重ならなかった 10m メッシュを「土砂流出が発生しなかった箇所」とし、「急峻地及び急傾斜地（傾斜 30° 以上）かつ横断面形が凹型」の条件において土砂流出が発生した箇所とそうでない箇所における路網密度の違いを検討した（図 53）。集計は、路網密度の条件によって分類された 10m メッシュの出現数をカウントすることや、個々に付与した属性値の統計情報を計算することにより行った。

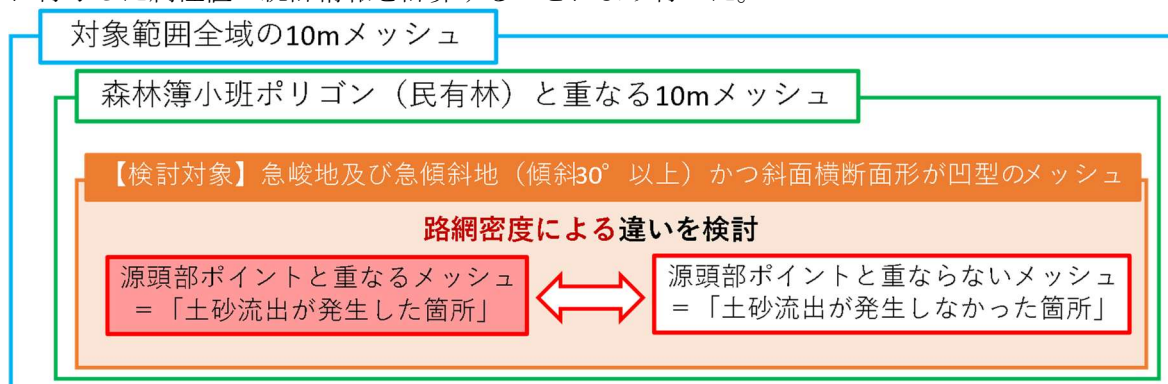


図 53 分析対象範囲の抽出および分析イメージ図

集計結果は 3.4 章と同様に、集計結果が全メッシュにおいて占める割合と土砂流出が発生したメッシュにおいて占める割合での比較を行ったほか、路網密度の違いによって抽出された 10m メッシュにおける土砂流出が発生したメッシュの割合を「土砂流出発生確率」として算出した。なお、3.4 章より芦北町と球磨村南部では地形以外の因子の傾向が異なっていることから、地質以外の項目については地域別に集計を行った（図 54）。

A 分析対象全メッシュ メッシュ数：193,974			
B 周辺の路網密度が大きいメッシュ 例：半径100m以内の路網密度が130m/ha以上 メッシュ数例：25,701		C 周辺の路網密度が小さいメッシュ 例：半径100m以内の路網密度が130m/ha未満 メッシュ数例：77,475	
D 土砂流出が発生したメッシュ メッシュ数例：29	土砂流出が発生しなかったメッシュ メッシュ数例：25,672	E 土砂流出が発生したメッシュ メッシュ数例：15	土砂流出が発生しなかったメッシュ メッシュ数例：77,460

全メッシュに占める割合と土砂流出が発生したメッシュに占める割合の比較 → $\frac{B}{A}$ と $\frac{D}{D+E}$

図 54 集計結果の比較方法

3.5.2. 分析内容詳細および結果

1) データ数

分析対象範囲の全メッシュにおける土砂流出が発生したメッシュ数および土砂流出発生確率を表 21 に示す。

表 21 分析対象範囲全メッシュの集計結果

項目	全域	芦北町	球磨村南部
急峻地及び急傾斜地（傾斜 30° 以上）かつ横断面形が凹型のメッシュ数	193,974	90,798	103,176
土砂流出が発生したメッシュ数	100	56	44
土砂流出発生確率	5.2×10^{-4} (0.052%)	6.2×10^{-4} (0.062%)	4.3×10^{-4} (0.043%)

2) 路網密度と土砂流出の関係

路網密度と土砂流出の発生しやすさとの関係を検討するため、ArcGISの「線密度」ツールで各10mメッシュから50m以内の路網延長の合計を集計した。また、延長の合計値を集計範囲の面積(約0.8ha)で割ることで各メッシュから50m以内の範囲における路網密度を算出した。この集計方法を用いることにより、一つの伐採地ポリゴン内というような大きな範囲ではなく、局所的な路網密度を評価することができる。

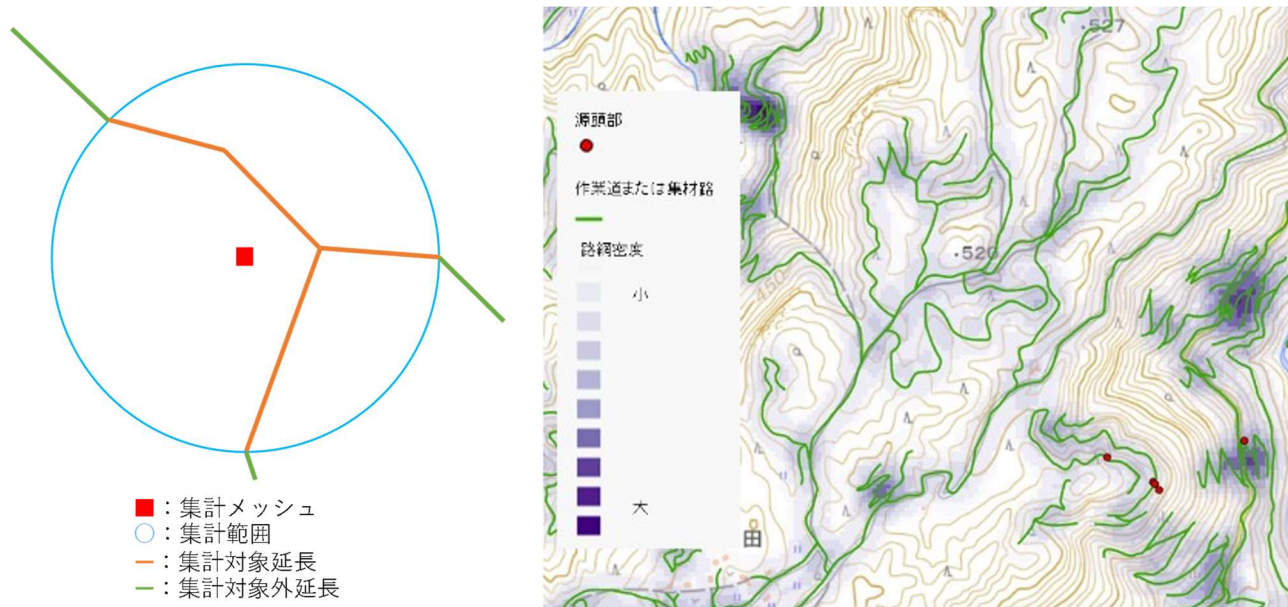


図 55 路網密度算出イメージ

(1) 球磨村南部集計結果

球磨村における路網密度と土砂流出の関係における集計結果を図 56 および表 22 に示す。

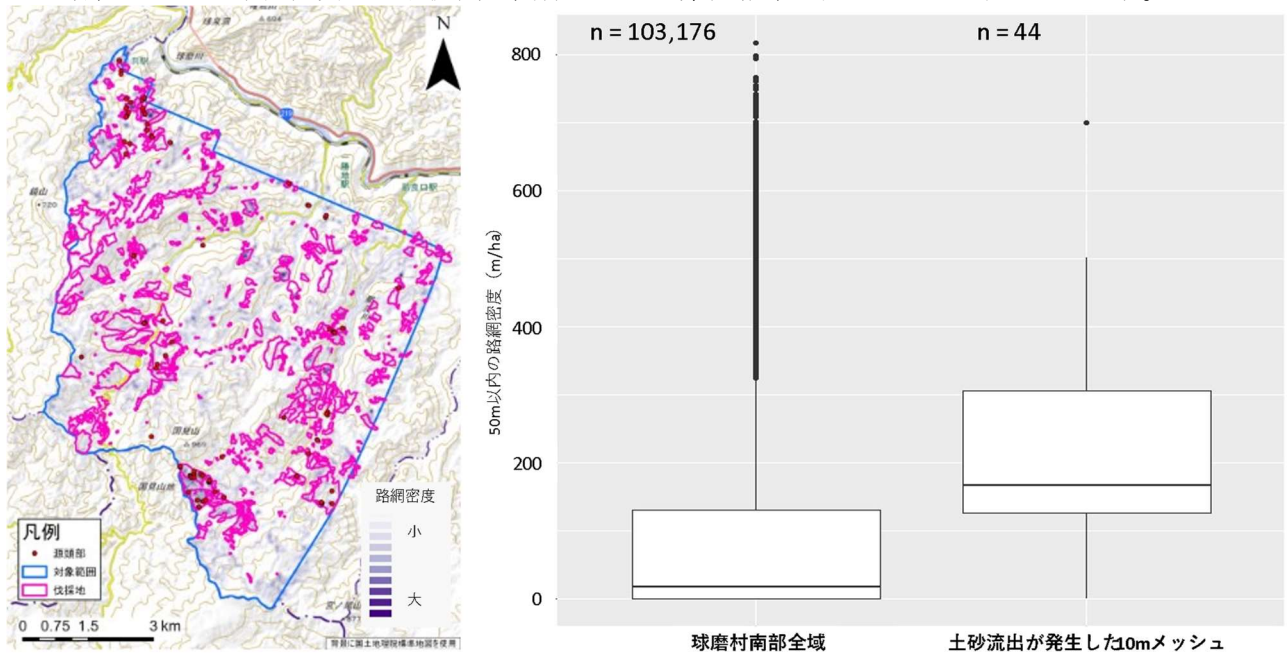


図 56 路網密度の分布割合集計結果（球磨村南部）

表 22 路網密度別の土砂流出発生確率集計結果（球磨村南部）

	130m/ha [※] 以上	130m/ha [※] 未満
土砂流出が発生した箇所	29	15
土砂流出が発生していない箇所	25,672	77,460
土砂流出発生確率	11×10^{-4} (0.113%)	1.9×10^{-4} (0.019%)

※ 地域内における相対的な路網密度評価の指標として、図 56 より球磨村南部全域における路網密度分布の第 3 四分位数および土砂流出が発生した 10m メッシュにおける路網密度分布の第 1 四分位数が位置する 130m/ha を閾値に設定した。

球磨村南部全域の 10m メッシュでは 75% のメッシュ（メッシュ総数 103,176 に対して 77,460）が路網密度 130m/ha 未満に分類されたのに対し、土砂流出が発生したメッシュでは 66% のメッシュ（メッシュ総数 44 に対して 29）が路網密度 130m/ha 以上に分類された。このことから、土砂流出は路網密度の大きい箇所に集中して発生していることが明らかになった。

(2) 芦北町集計結果

球磨村における路網密度と土砂流出の関係における集計結果を図 57 および表 23 に示す。

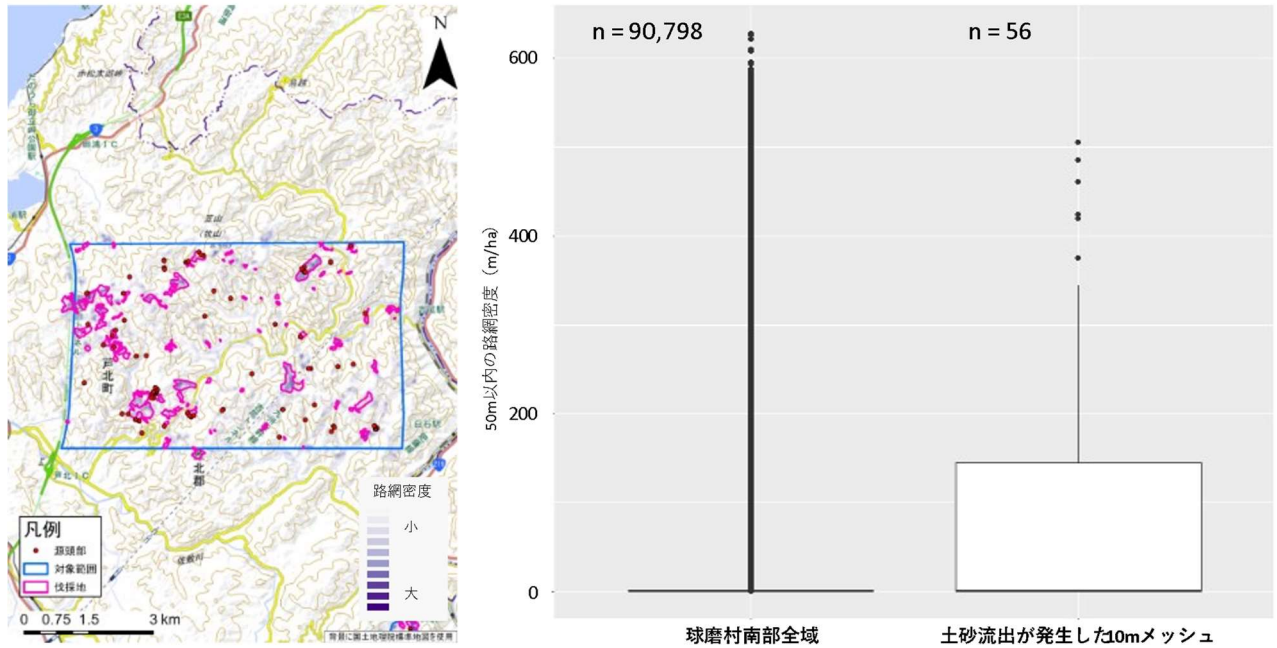


図 57 路網密度の分布割合集計結果（芦北町）

表 23 路網密度別の土砂流出発生確率集計結果（芦北町）

	130m/ha 以上*	130m/ha 未満*
土砂流出が発生した箇所	15	41
土砂流出が発生していない箇所	7,141	83,601
土砂流出発生確率	21×10^{-4} (0.210%)	4.9×10^{-4} (0.049%)

※ 芦北町全域と土砂流出が発生したメッシュいずれにおいても半数以上が路網密度 0m/ha であったため、球磨村南部と同じ基準で路網密度の大小を区分した。

芦北町では球磨村南部に比べて施業箇所が少ないことから、路網密度の値も全体的に低い値が算出された。芦北町全域のメッシュおよび土砂流出が発生したメッシュではいずれにおいても路網密度の中央値は 0 であり、土砂流出の多くは路網から離れた箇所で発生していることが考えられた。

(3) 路網密度による土砂流出発生への影響

「3.4.5 3)」によると、芦北町および球磨村南地区では概ね森林整備計画に則った適切な路網整備が実施されていることがうかがえた。ここでは、施業地内に「急峻地及び急傾斜地」かつ「横断凹地」という崩壊が発生しやすい条件の土地が含まれていた場合を想定し、「施業地の傾斜を考慮した、土砂流出の発生率を抑えた適切な路網密度を検討する」という視点で、傾斜と本項2)の結果との関係から路網密度による土砂流出発生への影響を次の通り考察する。

芦北町においては、路網密度が低いところから高いところまで一定程度の崩壊発生率となったが、150m/ha以上で崩壊発生率が顕著に高くなった。球磨村南部では路網密度75m/haから150m/ha以上まで徐々に崩壊発生率が高くなっていった。これは、芦北町の地質区分は崩壊発生率が比較的高い付加体が主である一方、球磨村南部の地質区分は崩壊発生率が比較的低い火成岩が主であることが影響していると考えられる。

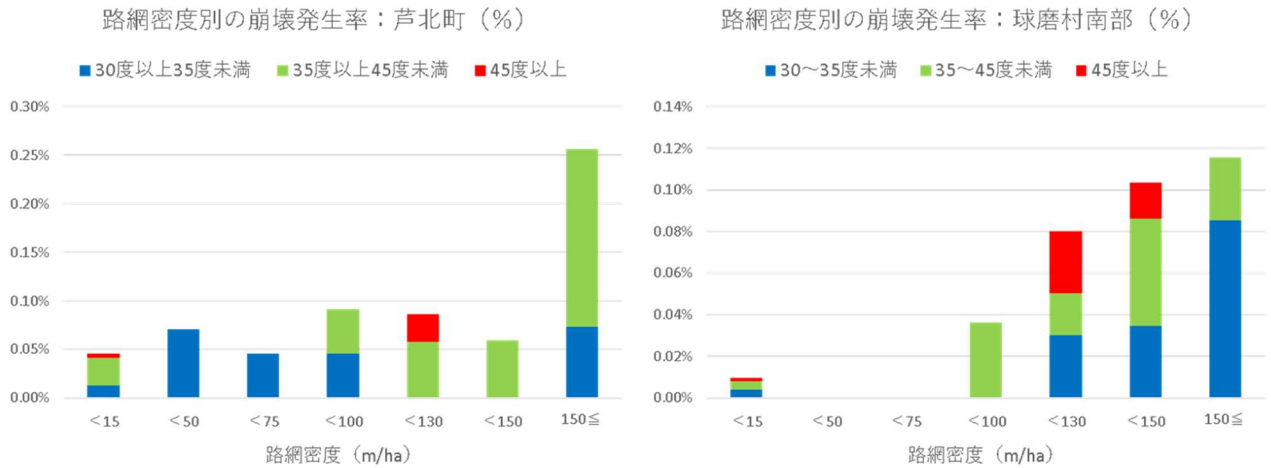


図 58 路網密度別の崩壊発生率%

表 24 地形傾斜・作業システムに対応する路網整備水準の目安 (単位 m/ha)
(フォレスターテキストより)

区 分	作業システム	基幹路網			細部路網	路網密度
		林道	林業専用道	小計	森林作業道	
緩傾斜地 (0 ~ 15°)	車両系	15 ~ 20	20 ~ 30	35 ~ 50	65 ~ 200	100 ~ 250
中傾斜地 (15 ~ 30°)	車両系	15 ~ 20	10 ~ 20	25 ~ 40	50 ~ 160	75 ~ 200
	架線系				0 ~ 35	25 ~ 75
急傾斜地 (30 ~ 35°)	車両系	15 ~ 20	0 ~ 5	15 ~ 25	45 ~ 125	60 ~ 150
	架線系				0 ~ 25	15 ~ 50
急峻地 (35° ~)	架線系	5 ~ 15	—	5 ~ 15	—	5 ~ 15

3.6. 土砂流出した影響度の分析

3.6.1. 土砂流出の規模と源頭部の解析要素（切土盛土、0次谷等）

本項では、本年度新たに衛星画像及び航空レーザ測量データを利用して求めた土砂流出の規模と、本年度土砂流出源頭部における発生因子として分析した切土・盛土等、谷次数、林種及び林齢との関係を把握した。

土砂流出の規模は、「土砂流出の流下距離」及び「発生土量」で、前者は衛星画像判読による土砂流出区域の源頭部から流下方向の末端までの水平距離とした。後者は航空レーザ計測によるDEMデータを用いた差分解析から求めた発生土量とした。

土砂流出の規模と比較する因子は、前掲の①切土・盛土等、②谷次数のほか、③林種及び林齢との関係について分析を行った。

1) 土砂流出の流下距離と発生土量の関係（伐採地内外別）

土砂流出の流下距離と発生土量の関係を伐採地内外別で比較した結果は、図 59 の通りである。

(1) 芦北町

流下距離は、最大 404m、最小 13m、平均 94m であった。

伐採地内外別は、伐採地内 (n=12) の流下距離は最大 291m、最小 13m、平均 92m、伐採地外 (n=43) の流下距離は最大 404m、最小 17m、平均 95m であり、差はみられるが小さく、同程度の規模であった。

発生土量は、最大 118,554m³、最小 129m³、平均 9,083m³ であった。伐採地内外別は、伐採地内の発生土量は最大 3,340m³、最小 129m³、平均 5,576m³、伐採地外の発生土量は最大 118,554m³、最小 322m³、平均 10,062m³ であり、最大値やデータの幅に差がみられるが、概ね同程度の規模であった。

流下距離と発生土量の関係は、外れ値を除いた右下の図をみると、伐採地内は高い相関関係 ($R^2=0.7$) がみられ、伐採地外は弱い相関関係 ($R^2=0.3$) がみられた。

土砂流出源頭部の伐採地内外の違いによって、流下距離及び発生土量の規模に大きく影響する傾向はみられなかった。

(2) 球磨村南部

流下距離は、最大 649m、最小 8m、平均 78m であった。

伐採地内外別は、伐採地内 (n=47) の流下距離は最大 539m、最小 9m、平均 79m、伐採地外 (n=25) の流下距離は最大 649m、最小 8m、平均 75m であり、最大値を除くと伐採地内が伐採地外に比べやや大きい結果であった。

発生土量は、最大 107,735m³、最小 133m³、平均 3,925m³ であった。

伐採地内外別は、伐採地内の発生土量は最大 17,995m³、最小 133m³、平均 1,902m³、伐採地外の発生土量は最大 107,735m³、最小 161m³、平均 7,733m³ であり、伐採地外が伐採地内に比べ大きい傾向がみられた。

流下距離と発生土量の関係は、外れ値を除いた右下の図をみると、伐採地内外ともに相関関係はみられなかった。線形近似曲線から伐採無が伐採有と比べ、流下距離に対して発生土量が多い傾向がみられた。

土砂流出源頭部の伐採地内外の違いによって、明確な流下距離及び発生土量の規模に大きく影響する傾向はみられなかった。

2) 土砂流出源頭部の盛土の有無と土砂流出規模の関係

流下距離と発生土量の関係を土砂流出源頭部に盛土が含まれるか否か別で比較した結果は、図 60 の通りである。

(1) 芦北町

土砂流出源頭部の盛土の有無別では、盛土有 (n=7) の流下距離は最大 207m、最小 17m、平均 112m、盛土無 (n=48) の流下距離は最大 404m、最小 13m、平均 92m であり、盛土有のデータ数が少ないが、盛土有が盛土無に比べやや大きい結果であった。

土砂流出源頭部の盛土の有無別、盛土有の発生土量は、最大 118,554m³、最小 495m³、平均 27,483 m³ であり、盛土無の発生土量は最大 56,408m³、最小 129m³、平均 6,400m³ であり、盛土有のデータ数が少ないが、流下距離と同様に盛土有が盛土無に比べ大きい結果であった。

流下距離と発生土量の関係は、外れ値を除いた右下の図をみると、盛土有は高い相関関係 ($R^2=0.7$) が、盛土無は弱い相関関係 ($R^2=0.3$) がみられた。

盛土有のデータ数は少ないが、線形近似曲線の傾き等から盛土有が盛土無と比べ、流下距離に対して発生土量が多い傾向がみられ、土砂流出源頭部に盛土を含む場合、土砂流出の規模に影響する可能性が考えられた。

(2) 球磨村南部

土砂流出源頭部の盛土の有無別では、盛土有 (n=41) の流下距離は最大 539m、最小 8m、平均 80m、盛土無 (n=31) の流下距離は最大 649m、最小 9m、平均 75m であり、盛土有と無では大きく変わらない結果であった。

土砂流出源頭部の盛土の有無別、盛土有の発生土量は、最大 30,266m³、最小 133m³、平均 3,357m³ であり、盛土無の発生土量は最大 107,735m³、最小 161m³、平均 4,680m³ であり、最大値には差がみられるが、外れ値を除くと同程度の規模であった。

流下距離と発生土量の関係は、外れ値を除いた右下の図をみると、盛土有及び盛土無の相関関係 ($R^2=0.2$ 以下) はみられなかった。

土砂流出源頭部の盛土有無の違いによって、土砂流出の規模に影響する傾向はみられなかった。

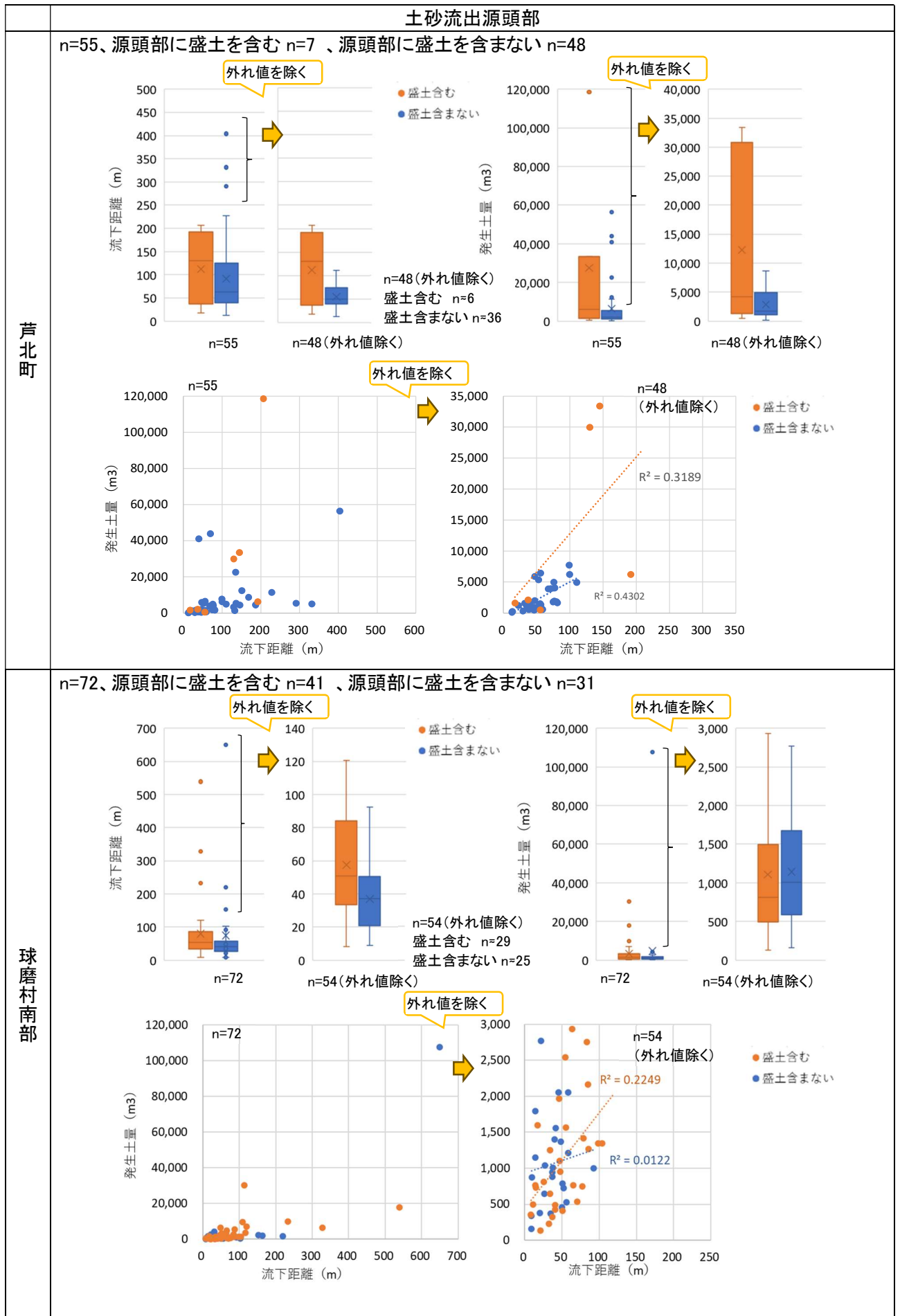


図 60 盛土有無別、土砂流出の流下距離、発生土量との関係

3) 土砂流出源頭部の0次谷の有無と土砂流出規模の関係

流下距離と発生土量の関係を土砂流出源頭部に0次谷が含まれるか否か別で比較した結果は、図 61の通りである。

(1) 芦北町

土砂流出源頭部の0次谷の有無別では、0次谷有(n=21)の流下距離は最大228m、最小13m、平均97m、0次谷無(n=34)の流下距離は最大404m、最小14m、平均93mであり、最大値には違いがみられたものの、同程度の規模であった。

土砂流出源頭部の0次谷の有無別、0次谷有の発生土量は、最大33,404m³、最小129m³、平均6,171m³であり、0次谷無の発生土砂は最大118,554m³、最小241m³、平均10,882m³であり、最大値には大きな差がみられるが、外れ値を除くと同程度の規模であった。

流下距離と発生土量の関係は、外れ値を除いた右下の図をみると、0次谷有に相関関係($R^2=0.5$)がみられ、0次谷無には相関関係($R^2=0.1$)はみられなかった。相関関係は異なるが、線形近似曲線の傾き等から0次谷有と0次谷無に大きな違いはみられなかった。

(2) 球磨村南部

土砂流出源頭部の0次谷の有無別では、0次谷有(n=32)の流下距離は最大649m、最小9m、平均107m、0次谷無(n=40)の流下距離は最大220m、最小8m、平均54mであり、0次谷有が0次谷無と比べやや大きい結果であった。

土砂流出源頭部の0次谷の有無別、0次谷有の発生土量は、最大107,735m³、最小338m³、平均6,758m³であり、0次谷無の発生土砂は最大9,761m³、最小133m³、平均1,662m³であり、0次谷有が0次谷無と比べ大きい結果であるが、外れ値を除くと同程度の規模であった。

流下距離と発生土量の関係は、外れ値を除いた右下の図をみると、0次谷有及び0次谷無の相関関係($R^2=0.1$ 以下)はみられず、線形近似曲線の傾き等から0次谷有が0次谷無と比べ、流下距離に対して発生土量は小さい傾向であった。

土砂流出源頭部に0次谷が含まれることによって、流下距離や発生土量の規模に大きく影響する傾向はみられなかった。

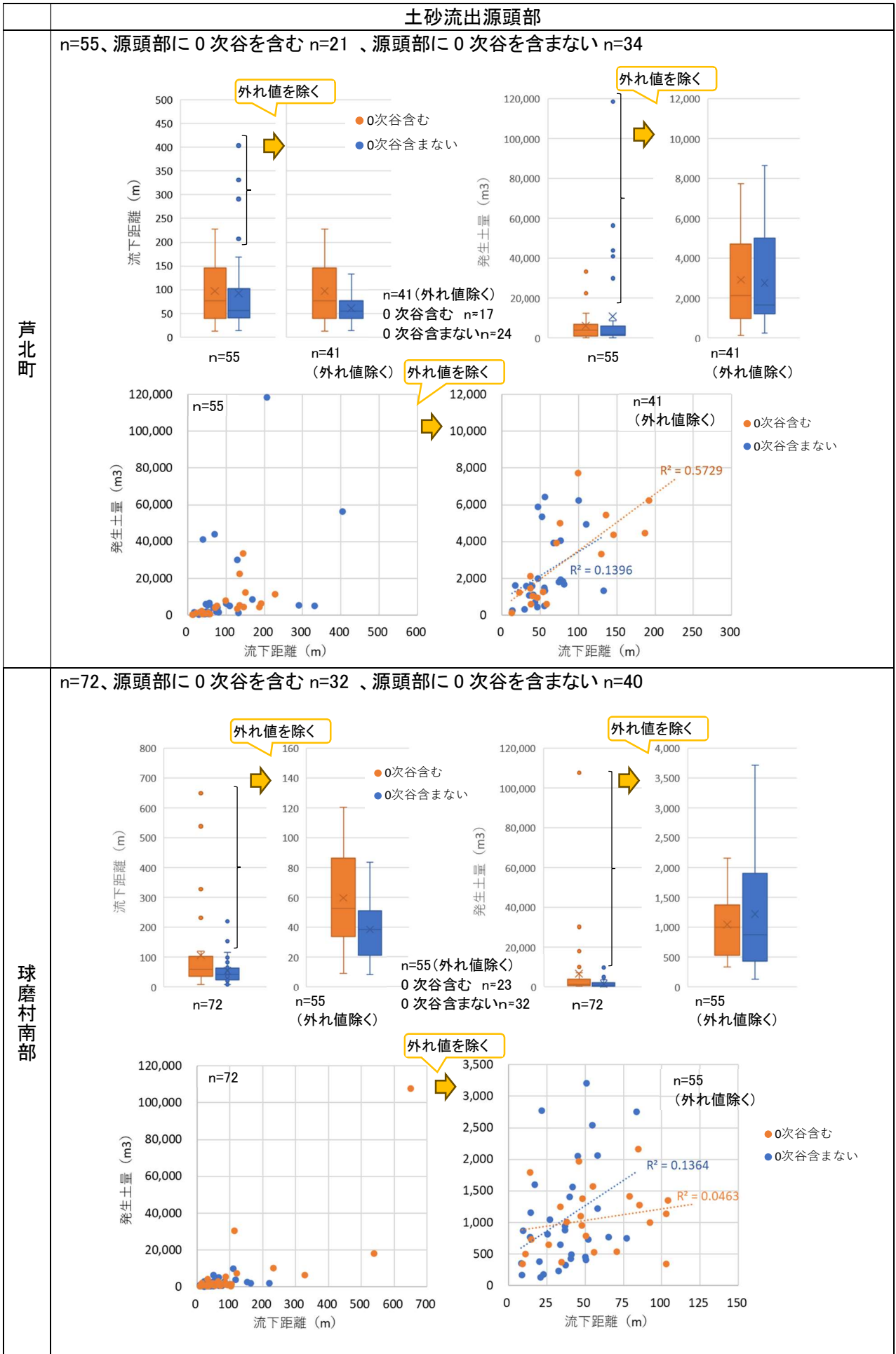


図 61 0次谷有無別、土砂流出の流下距離、発生土量との関係

3.6.2. 土砂流出地の林種・齢級

1) 森林状況（令和5年度分析対象地）

分析対象範囲のうち、森林簿データのある森林地域を対象とした林種別及び齢級別の10mメッシュの数（10mメッシュ1個=100m²）は図 62、図 63 の通りである。

齢級区分のほか、伐採跡地（伐跡）及びその他（他）に区分し、その他は竹林、未立木地、更新困難地を示す。

(1) 芦北町

齢級別10mメッシュ数（メッシュ数を100で割った値は面積に相当：ha）は、8 齢級から14 齢級の壮齢林が多くを占めている。林種別メッシュ数は、主に人工林が9 齢級から11 齢級にかけて多く占めており、12 齢級からは天然林が人工林を上回っている。

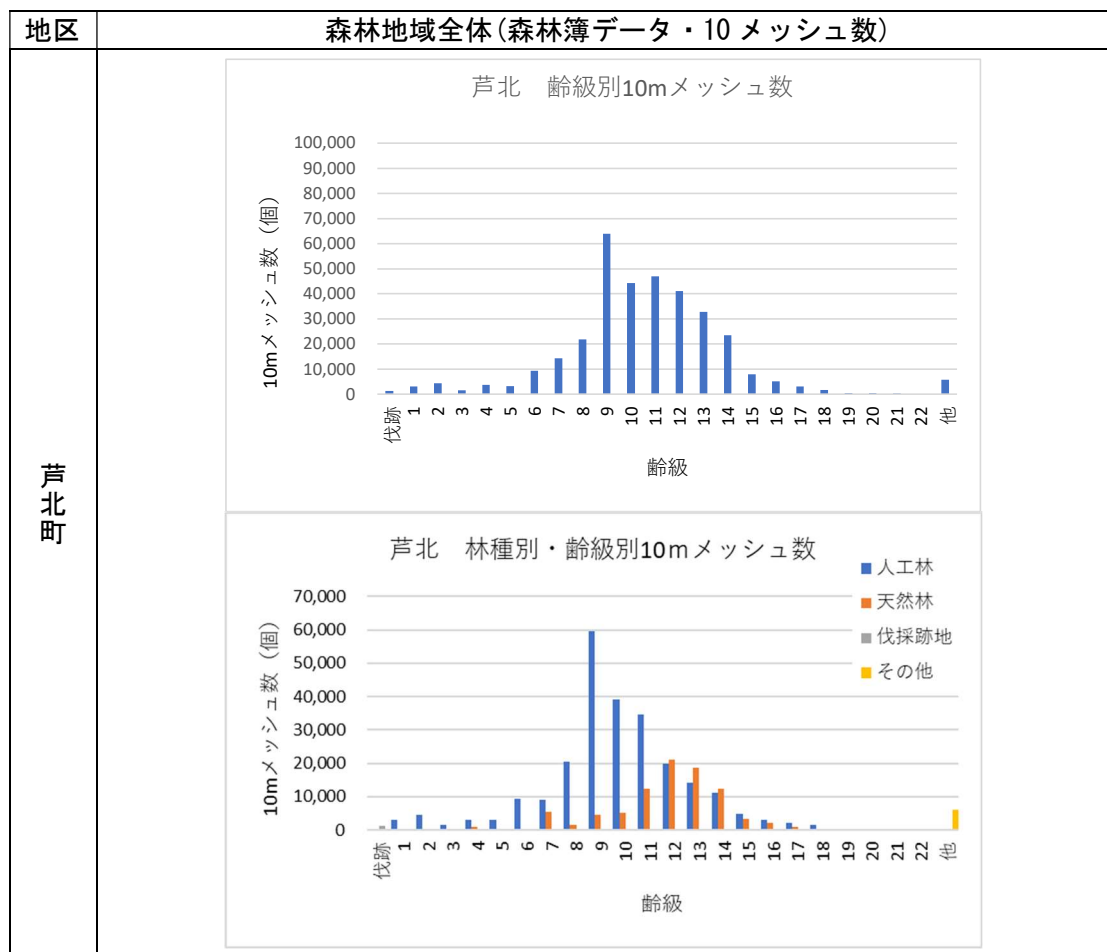


図 62 林種別・齢級別の10mメッシュ数

(2) 球磨村南部

齢級別 10mメッシュ数は、8 齢級から 15 齢級の壮齢林が多くを占め、次に 1 齢級から 5 齢級の幼齢林が占めている。

林種別メッシュ数は、主に人工林が多くを占めており、齢級分布と同様に幼齢林は 4 齢級、壮齢林は 12 齢級から 13 齢級にかけてピークがみられ、天然林は 5 齢級と 15 齢級から人工林を上回っている。

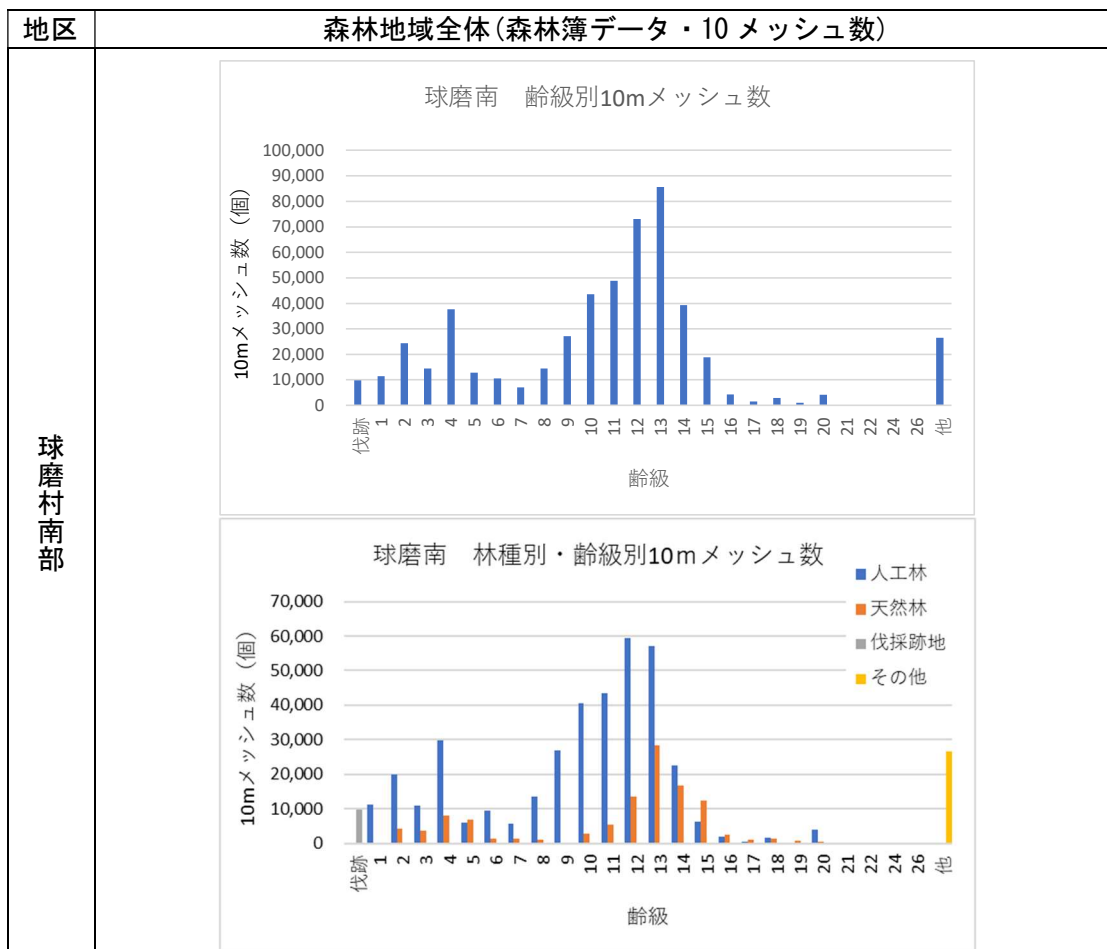


図 63 林種別・齢級別の 10mメッシュ数

2) 齢級と土砂流出の関係

判読等による土砂流出地を 10mメッシュに区分し、土砂流出地における齢級別の 10mメッシュの数の割合は図 64、図 65 の通りである。

図上段の「全土砂流出地に占める齢級別割合」は、「齢級別の土砂流出地 10mメッシュの数」を「全土砂流出地 10mメッシュの数」で除した値を「齢級別 10mメッシュ数割合」とした。

また、図下段の「齢級ごとの土砂流出地率」は、「齢級別の土砂流出地 10mメッシュの数」を「齢級別の森林地域 10mメッシュの数」で除した値を「齢級ごとの土砂流出地率」とした。

(1) 芦北町

全土砂流出地に占める齢級別の割合は、齢級分布と同様に 9 齢級をピークとした壮齢林と、伐採跡地及び 1 齢級から 4 齢級の幼齢林が高い割合を占めている。

齢級ごとの土砂流出地率は、伐採跡地が最も高く、次いで、その他、1 齢級から 4 齢級及び 15 齢級となっている。

分布する 10mメッシュ数（面積）の大きさに応じて土砂流出地も多くを占めている一方、伐採跡地及び 1 齢級から 4 齢級の幼齢林において、土砂流出の発生頻度が相対的に高い傾向がみられた。

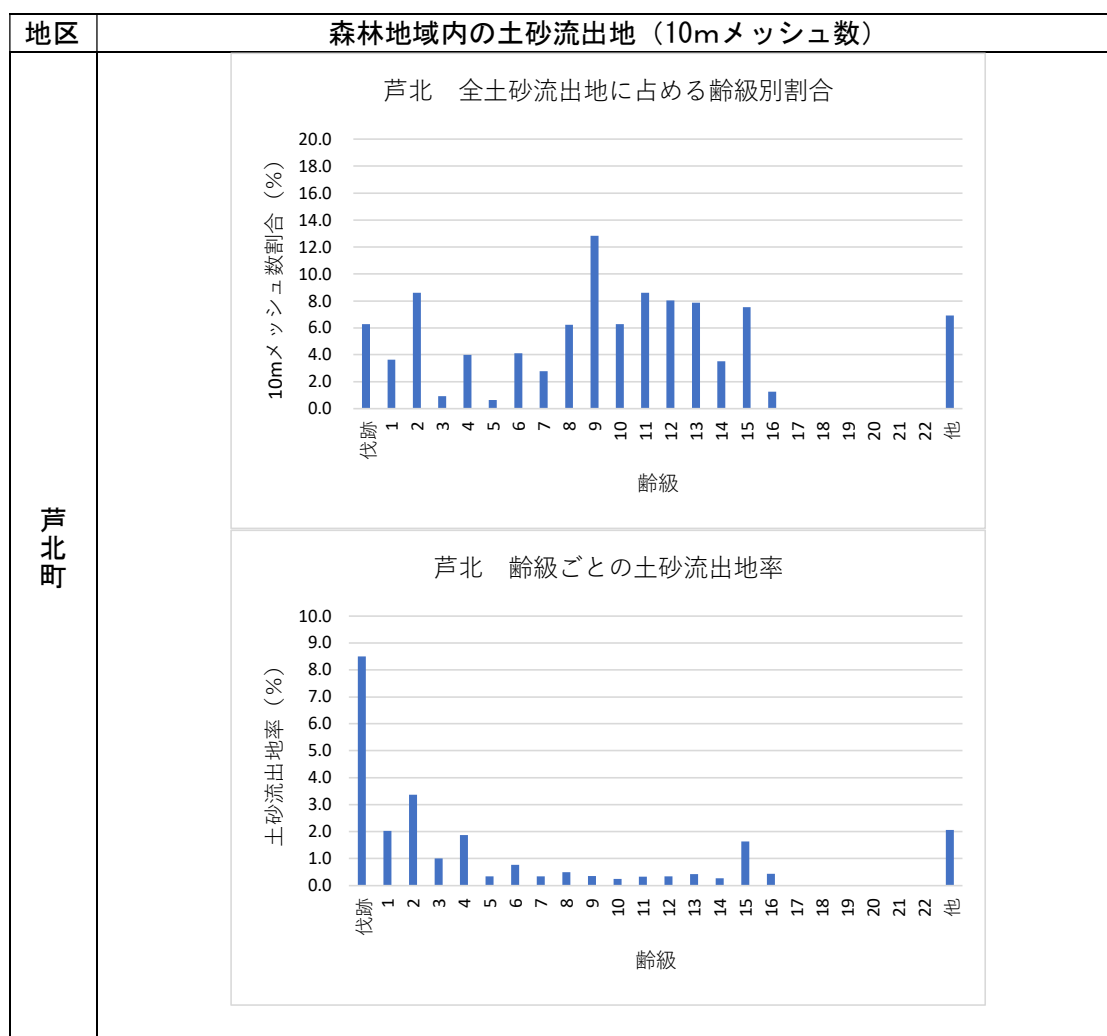


図 64 齢級別の土砂流出地との関係

(2) 球磨村南部

全土砂流出地に占める齢級別の割合は、伐採跡地が最も高く、1 齢級から 4 齢級の幼齡林、続いて 8 齢級から 14 齢級の壮齡林が占めている。

齢級ごとの土砂流出地率は、伐採跡地が最も高く、次いで、1 齢級及び 2 齢級となっている。

伐採跡地及び 1 齢級から 2 齢級の幼齡林において、土砂流出の発生頻度が相対的に高い傾向がみられた。

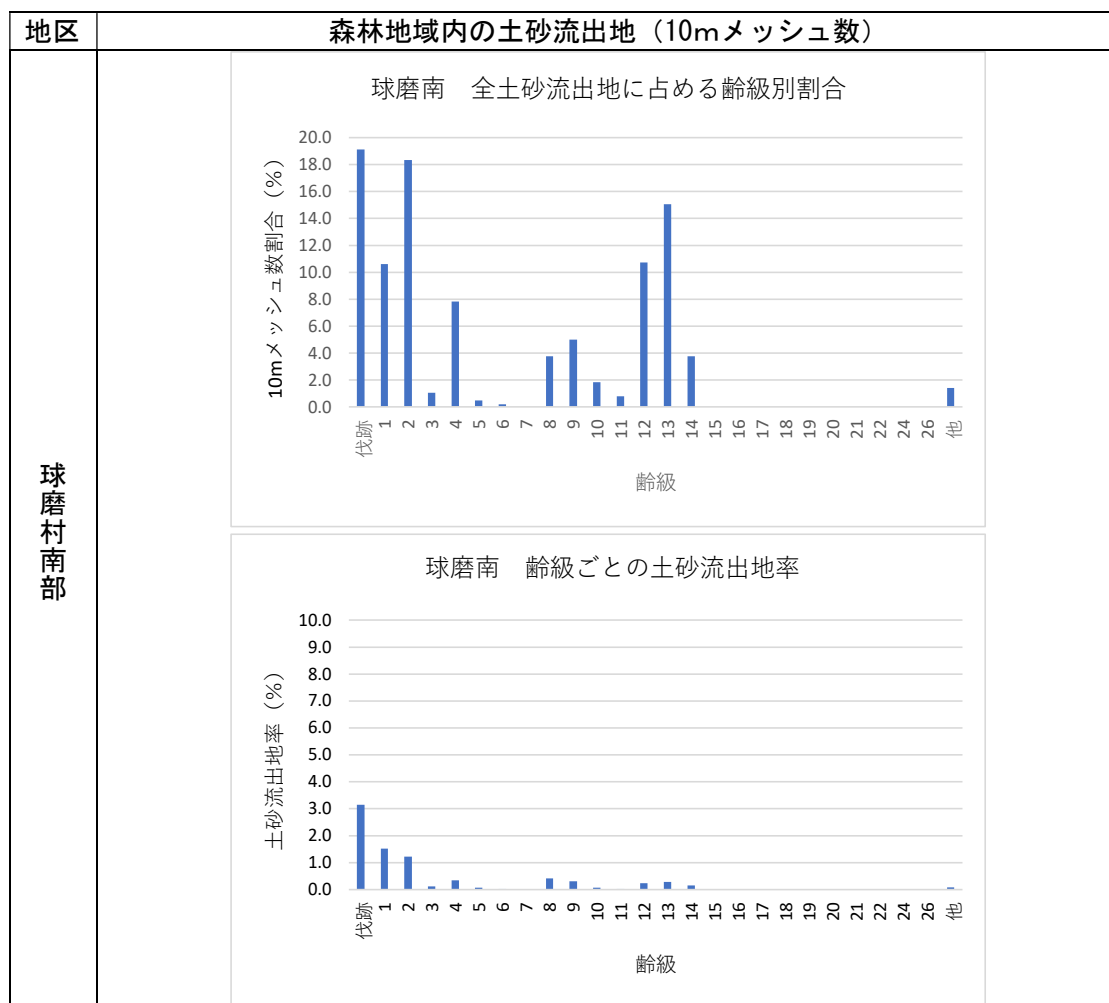


図 65 齢級別の土砂流出地との関係

3) 林種と土砂流出の関係

齢級別に加え、人工林及び天然林別の土砂流出の関係は図 66、図 67 の通りである。

(1) 芦北地区

人工林における全土砂流出地に占める齢級別割合は、齢級分布と同様に 9 齢級をピークとした壮齡林と、2 齢級の幼齡林が高い割合を占めている。

人工林における齢級ごとの土砂流出地率は、1 齢級から 4 齢級と、15 齢級が高くなっている。

天然林における全土砂流出地に占める齢級別割合は、齢級分布と同様に 12 齢級をピークとした壮齡林が高い割合を占めている。

天然林における齢級ごとの土砂流出地率は、1 齢級が最も高く、次いで 4 齢級となっている。

人工林及び天然林ともに、分布する 10mメッシュ数 (面積) の大きさに応じて土砂流出地も多くを占めている一方、1 齢級及び 2 齢級の幼齡林において、土砂流出の発生頻度が相対的に高い傾向がみられた。

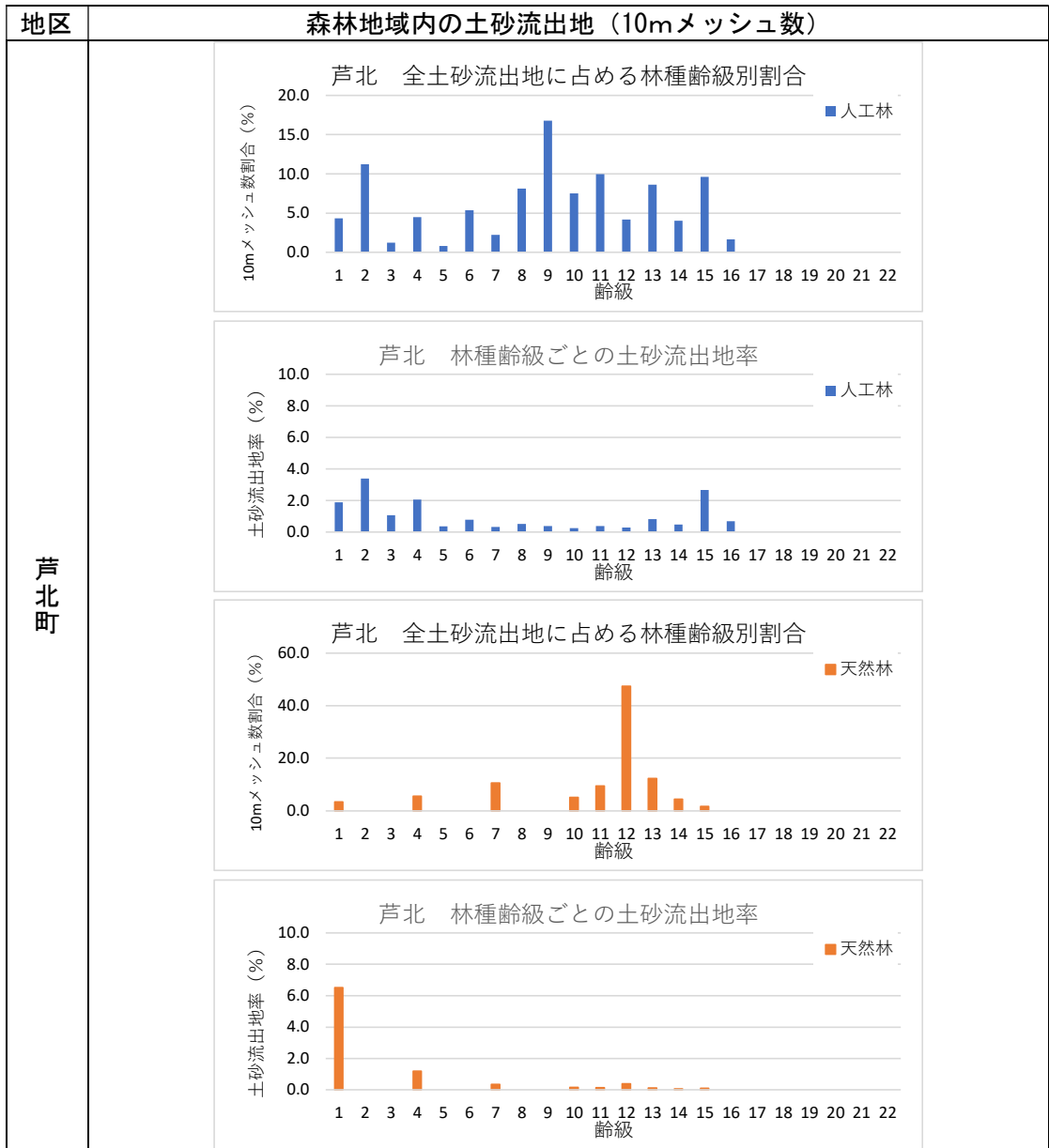


図 66 林種別の土砂流出地との関係

(2) 球磨村南部

人工林における全土砂流出地に占める齢級別の割合は、2 齢級が最も高く、次いで 13 齢級であり、全体で見ると壮齢林が半数以上を占めている。

人工林における齢級ごとの土砂流出地率は、1 齢級及び 2 齢級が高くなっている。

天然林における全土砂流出地に占める齢級別の割合は、4 齢級が最も高く、次いで 12 齢級から 14 齢級が占めている。

天然林における齢級ごとの土砂流出地率は、4 齢級が最も高く、2 齢級及び 3 齢級、12 齢級から 14 齢級となっている。

人工林及び天然林ともに、分布する 10mメッシュ数（面積）の大きさに応じて土砂流出地も多くを占めている一方、特に人工林では 1 齢級及び 2 齢級、天然林では 4 齢級未満において、土砂流出の発生頻度が相対的に高い傾向がみられた。

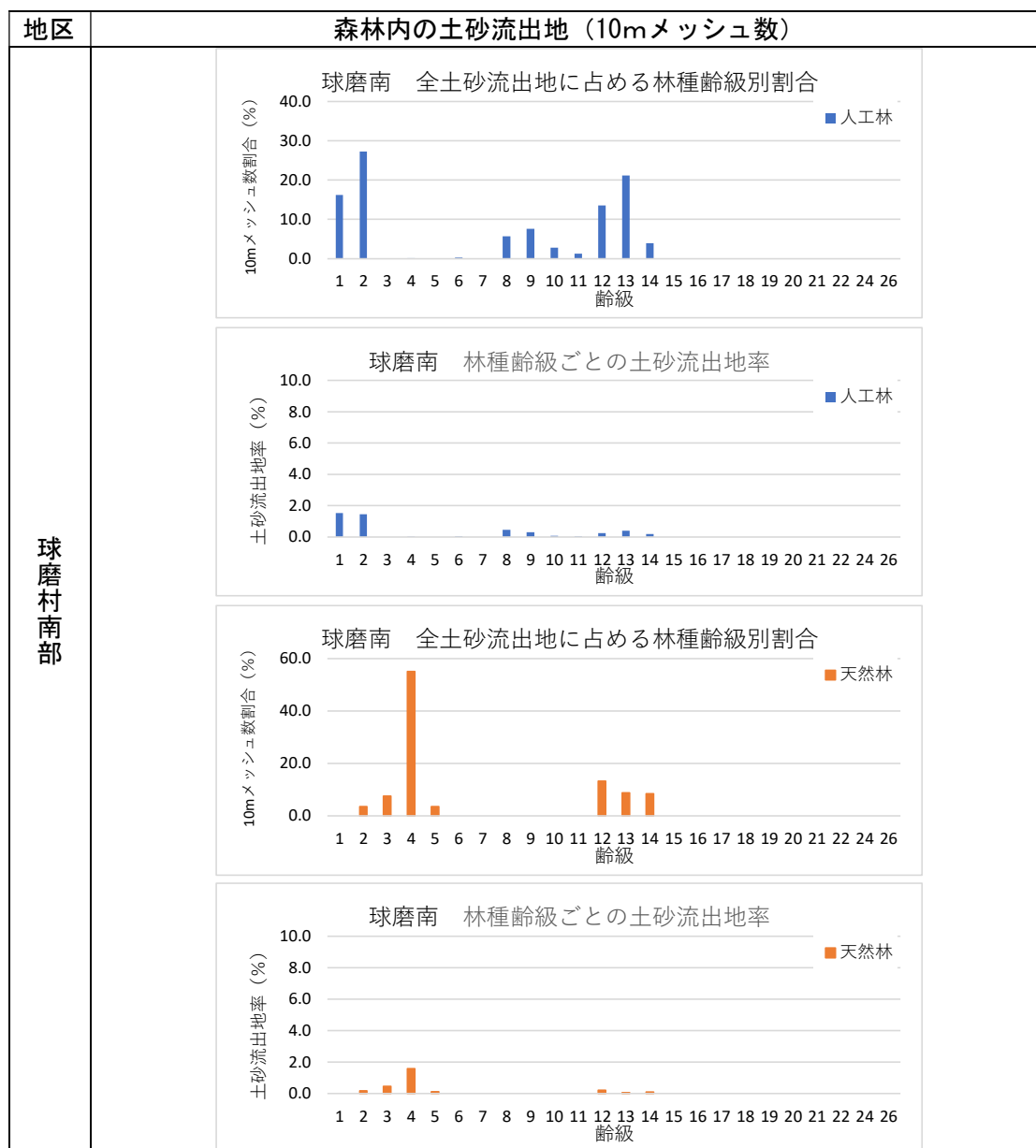


図 67 林種別の土砂流出地との関係

3.6.3. 【追加検討】 伐採規模と集中的な土砂流出発生の関係

伐採規模が大きいほど土砂流出が発生しやすいという可能性が考えられることから、土砂流出が近い距離で複数発生した場合、それぞれが小規模な土砂流出であっても土砂流が合流し大規模な土砂流となる可能性も考えられるため、土砂流出が集中的に発生する可能性を高める要因を把握することは治山計画を検討する上で重要である。

本項においては、伐採規模と集中的な土砂流出発生関係を ArcGIS ツール「カーネル密度」を使って検討した。「カーネル密度」は各 10m メッシュから 100m 以内の源頭部数とメッシュから源頭部までの距離を評価する指標であり、近距離に多数の源頭部が集まるほど大きい値をとる。

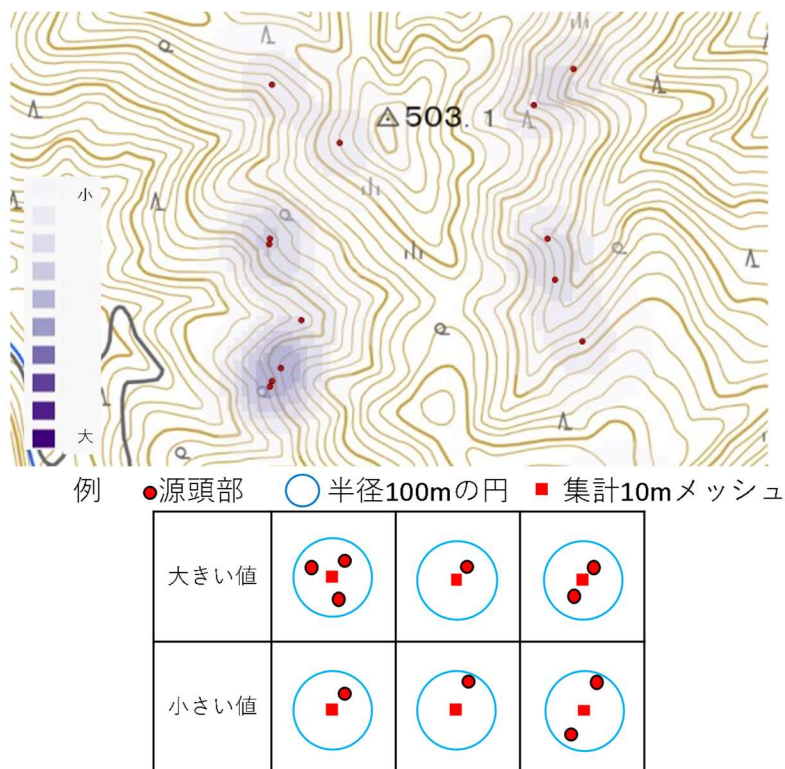


図 68 カーネル密度算出例

球磨村南部においてカーネル密度の集計を行ったところ、以下のような分布が見られた (図 69)。なお、集計結果はカーネル密度が 0 より大きい (メッシュから 100m 以内の源頭部個数が 1 以上) 算出結果のみを示す。

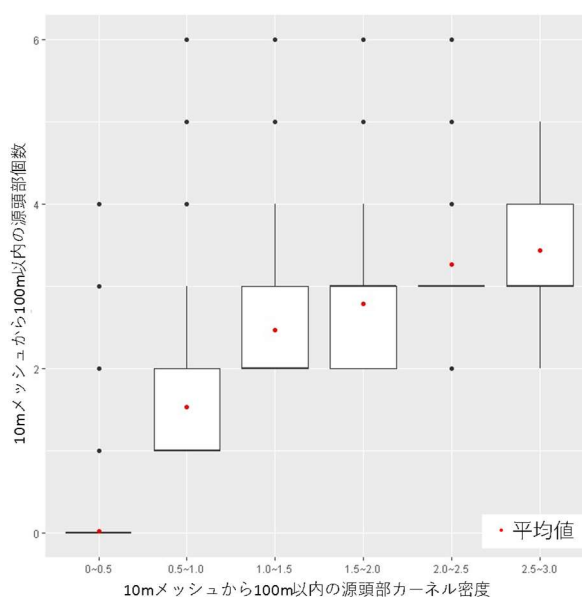


図 69 メッシュから 100m 以内の源頭部個数とカーネル密度との関係

次に、3.5.2 4)と同様の手法で算出した伐採規模とカーネル密度との関係を集計した。集計結果を図70に示す。

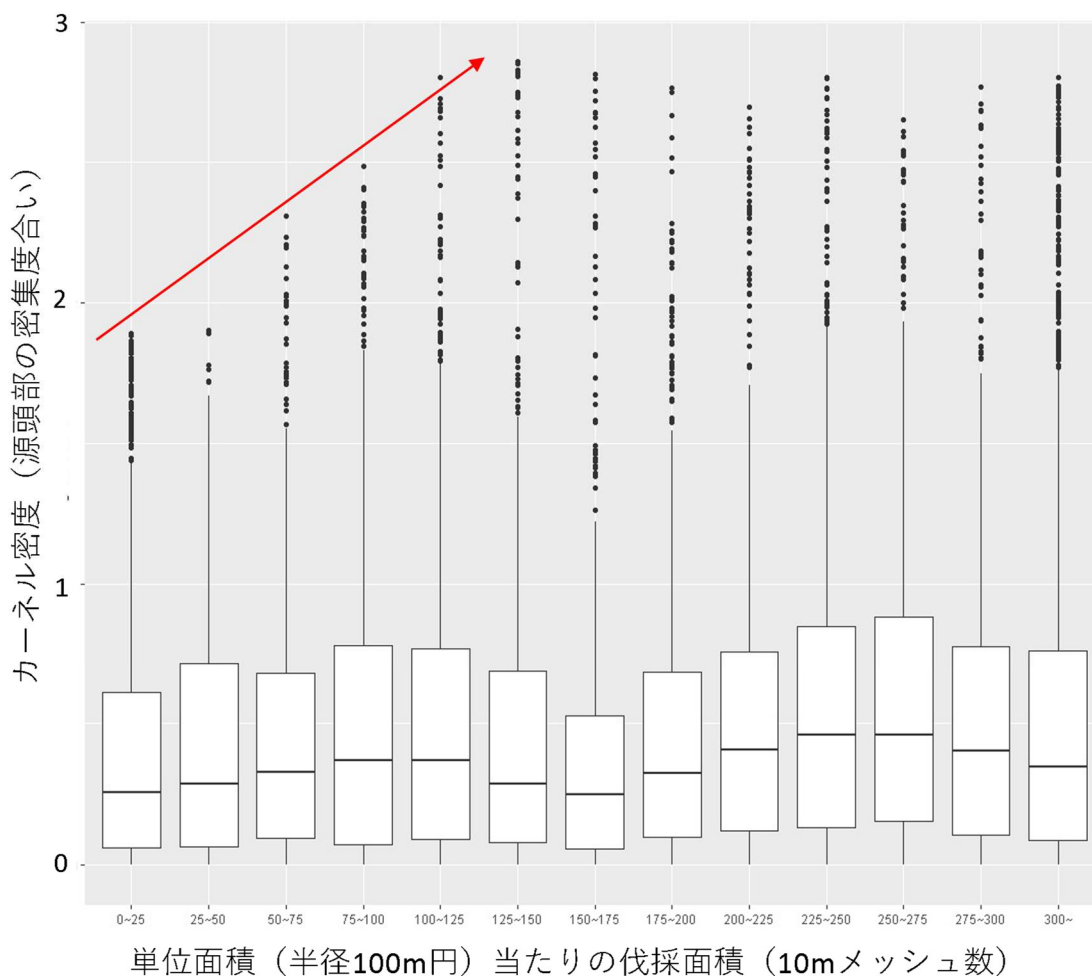


図 70 カーネル密度と伐採規模の関係

図 70 より、カーネル密度の最大値は半径 100m 以内の伐採面積が 125 以上となる伐採規模まで大きくなる傾向が見られた。このことから、源頭部が近距離で複数発生する土砂流出は一定以上の伐採規模の伐採地でのみ発生することが明らかになった。

集計の結果より、近い距離で複数の土砂流出が発生しづらい条件は伐採規模が大きくないことであることがわかるが、一定以上の伐採規模においてカーネル密度の上昇傾向が見られないため、近い距離で複数の土砂流出が発生しやすい条件については明らかになっていない。伐採規模だけでなく路網密度や植林状況の情報と組み合わせて条件を絞り込むことが今後の課題として考えられた。