

令和2年7月豪雨に係る熊本県球磨村の被害分析 [令和3年度流域山地災害等対策調査] (概要)

令和2年7月豪雨で、**過去10年にないレベルの降雨があった熊本県球磨村の全森林を対象**として、航空レーザ等を用いて土砂流出(崩壊)の発生状況を調査。

- ① **土砂流出箇所に占める伐採跡地及び1齢級の森林の割合は9%程度**であるが、**齢級分布全体から見ると高齢級林分よりやや発生頻度が高い傾向**がみられた
- ② 地形との関係では、**急傾斜地や雨水の集まりやすい凹型地形で土砂流出の発生頻度が高かった。**
- ③ 球磨村の全森林のうち、0.18%で土砂流出が確認された。林種別では、**人工林(0.19%)と天然林(0.17%)で発生割合に大きな差異はなかった。**

■ 調査方法

- ・ 令和2年7月豪雨で多数の崩壊が確認された熊本県球磨村内の全森林を10×10mの約167万個のメッシュ(ポイント)に区切り、航空レーザにより抽出された土砂流出地(崩壊地)データや森林簿等の森林データを用いて、発生状況や森林の状況との関係性等について調査。

■ 調査結果 (概要)

① 土砂流出地の齢級構成と森林全域の齢級構成の比較

割合 \ 齢級	土砂流出箇所に占める割合	森林全域に占める割合
伐採跡地及び1齢級	9%	2.5%
2齢級以上*	91%	97.5%

③ 林種別の土砂流出発生割合 (=各林種における土砂流出地ポイント数÷各林種における森林ポイント数)

	人工林	天然林	竹林等	計
①森林ポイント数	1,154,783	453,491	62,503	1,670,777
②土砂流出ポイント数	2,170	754	71	2,995
(②/①)	0.19%	0.17%	0.004%	0.18%

人天で特に大きな差異はない

② 地形と土砂流出発生割合

急傾斜地や凹地形で発生頻度が高い

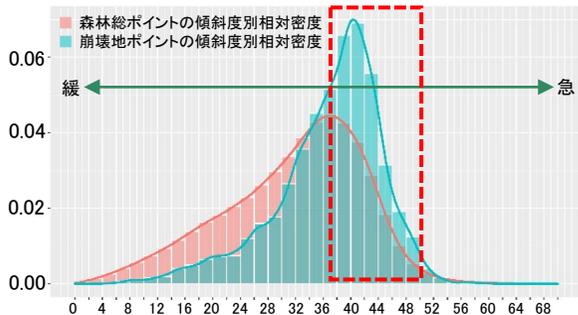


図: 森林総ポイントと崩壊地ポイントの傾斜度別ヒストグラム

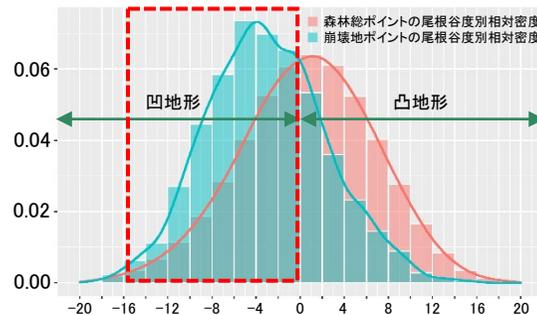
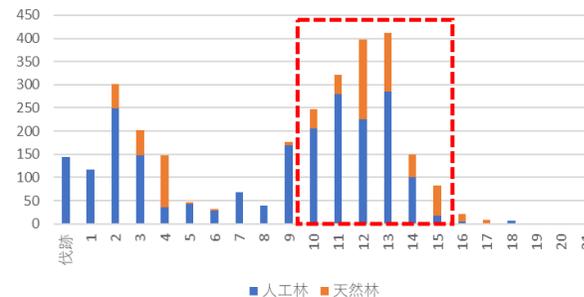


図: 森林総ポイントと崩壊地ポイントの尾根谷度別ヒストグラム

④ 人・天齢級別の土砂流出ポイント数



天然林や高齢級の人工林でも発生している。

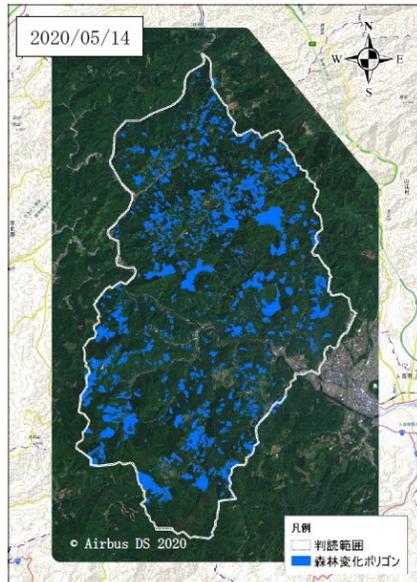
令和4年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

- 伐採等の森林変化が豪雨災害時における土砂流出に与える影響を分析するため、令和2年7月豪雨において過去10年にないレベルの降雨があった熊本県球磨村の伐採跡地の一部を対象に、衛星画像や航空レーザ計測データ等を用いて土砂流出の発生状況とその要因を調査。

(1) 衛星画像を用いた伐採跡地、土砂流出箇所等の抽出等

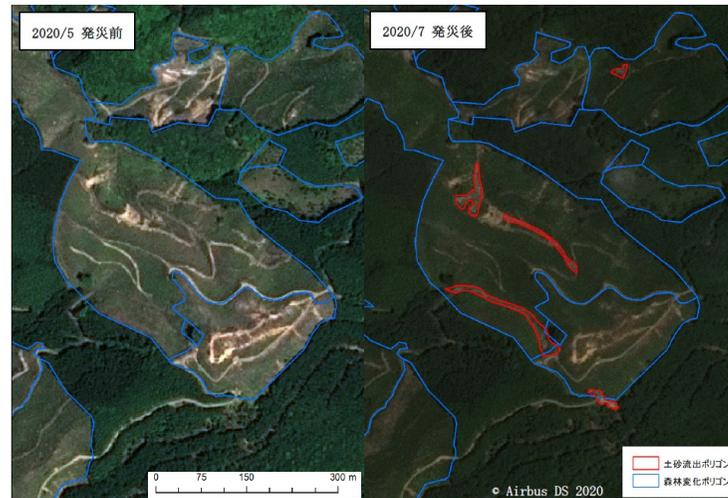
- 伐採跡地の抽出:** 熊本県球磨村の森林域を対象として、2013年の衛星画像を基準にし、2017年、2020年の衛星画像との森林変化を機械的に抽出した上で、当該森林変化が伐採跡地であるか目視による精査を行った。
- 土砂流出箇所の抽出:** 令和2年7月豪雨直前の衛星画像(2020年5月)を基準に、発災後(2020年7月)の衛星画像から、伐採地の抽出方法と同様に森林変化ポリгонを抽出し、目視判断による土砂流出の精査を行った。そのうち伐採地と重なるものを伐採地で発生した土砂流出とした。
- 土砂流出源頭部、路網の判別等:** 抽出した伐採跡地・土砂流出箇所については10m×10mの間隔でポイントデータを設定し、地形等のデータを付与した。土砂流出箇所については、源頭部にポイントデータを設定し、土砂流出に起因する部分に限定した分析ができるようにした。衛星画像から路網(幅員含む)も判別し、上記のポイントデータに路網に関するデータを付与できるようにし、より林業活動との関係を分析できるようにした。

① 伐採跡地の抽出



* 伐採地は2時期(2013~2017, 2017~2020)に分類可能だが、分析の趣旨を踏まえ時期が異なっても隣接する伐区は一つに結合した。

② 土砂流出箇所の抽出



森林変化地(伐採跡地)	640
源頭部ポイント	365

③ 土砂流出源頭部の判別



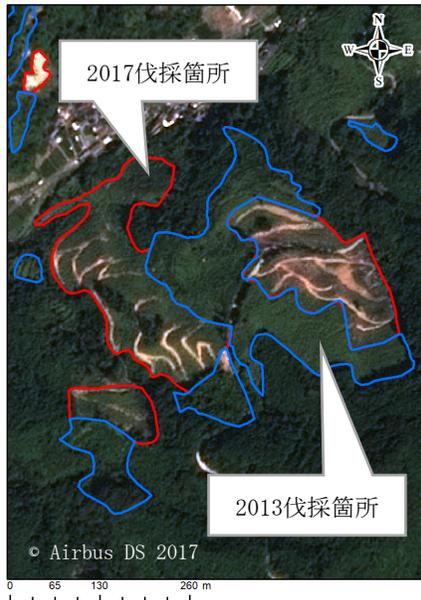
令和5年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

- **目的** 伐採等の森林変化が豪雨災害時における土砂流出に与える影響を分析するため、令和2年7月豪雨において過去10年にないレベルの降雨があった熊本県球磨村および芦北町の一部を対象に、航空写真、航空レーザ解析成果、衛星画像などを活用し時系列で森林変化を確認。地域間で比較し、**より一般的な土砂流出発生箇所の傾向を把握するとともに、集材路等の影響について過年度調査よりも詳細な分析を実施。**

(1) 衛星画像を用いた森林変化地の抽出等

- ① **森林変化地の抽出:** 熊本県球磨村および芦北町の森林域の一部を対象として2013年、2017年、2020年の衛星画像を判読し、伐採等の形跡や令和2年7月豪雨に起因しない土砂崩壊等(森林変化地)を抽出した。抽出箇所に対して、画像の被覆状況から裸地、草地、植林、成林(森林)の4種類に分類。
- ② **土砂流出箇所の抽出:** 令和2年7月豪雨発災後(2020年7月)の衛星画像を判読し、当該豪雨による土砂流出と考えられる箇所を抽出。
- ③ **土砂流出源頭部、路網、0次谷の判読:** 土砂流出箇所については源頭部にポイントデータを設定し、土砂流出の起因分析の基礎データを整備。航空レーザ計測データおよび衛星画像から集材路等(幅員、切土・盛土含む)および谷次数を判読し、源頭部の発生要因と地形等との関係分析の基礎データを整備。
- ④ **地形解析データの付与:** 10m×10mメッシュで対象地全域の地形を解析し、抽出した伐採跡地、土砂流出箇所および源頭部に対し傾斜や縦横断面型等の地形データを付与。

①伐採等の森林変化地の抽出*

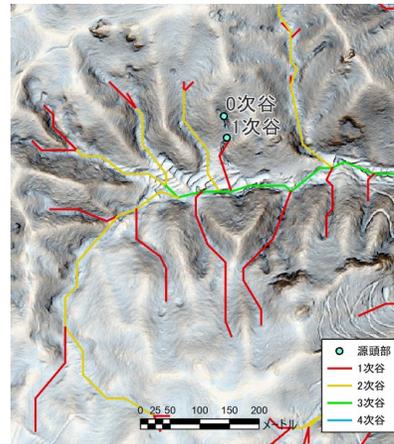


*複数時期の衛星画像から、伐採範囲の拡大が確認できる場合、その部分はポリゴンを区切って取得することで、時系列による整理がし易く整理。

②土砂流出箇所の抽出



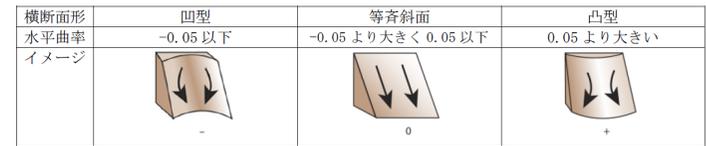
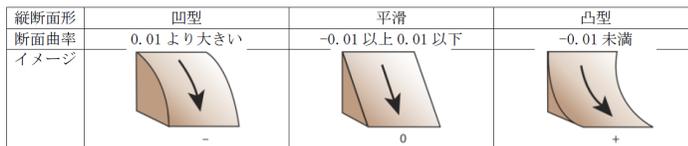
③土砂流出源頭部、集材路等、0次谷の判読



※分析に使用したデータ

	芦北町	球磨村南部
分析対象範囲	3,657.73ha	6,336.52ha
内 森林地域	3,326.75ha	4,989.74ha
森林変化地	184.69ha (130箇所)	1,087.01ha (460箇所)
内 伐採地	182.27ha (113箇所)	1,085.34ha (450箇所)
内 源頭部有	8箇所	23箇所
土砂流出地	55箇所	72箇所
源頭部ポイント	85点	85点

④地形解析データの付与 (左：縦断面形イメージ、右：横断面形イメージ)



令和5年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

(2) 土砂流出の発生と関連性が高い要因に関する分析結果

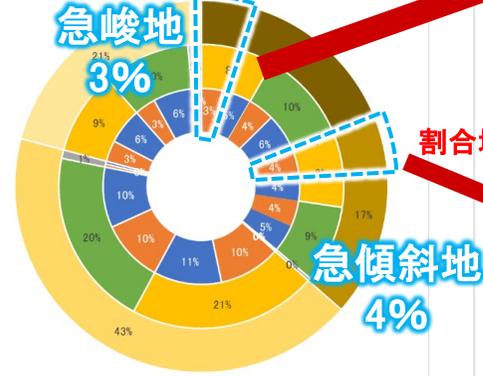
- ① **分析項目**: 森林変化地における土砂流出発生の要因を検証。令和4年度の検証項目(傾斜、地形、路網からの距離)に加え、「路網の条件(幅員、切土・盛土の有無等)」、「0次谷か否か」、「森林被覆状況(伐採の有無・規模、伐採前の林種・林齢等)」の影響を分析。
- ② **関連性の高い要因**: 球磨村南部では「急峻地または急傾斜地(傾斜)」かつ「凹地形(横断面)」かつ「路網から10m未満(路網からの距離)」の地点で相対的に高い割合で土砂流出の源頭部あり(図1)。芦北町でも同様の傾向。
- ③ **路網(集材路等)、谷次数の影響**: 路網と源頭部の関係をみると、切土よりも**盛土周辺で源頭部が多く存在**(図2)。源頭部と谷字数との関係をみると、**0次谷又は1次谷に源頭部が多く存在**(図3)。
- ④ **伐採規模の影響**: 球磨村南部では、伐採面積6ha以上(伐採規模)の箇所では土砂流出の源頭部の半数以上を占める。芦北町は源頭部のサンプルが少ないため、今後もサンプル数を増やす必要あり。



凡例

急峻地	横断凹	路網<10m
急傾斜地	横断凸	路網≥10m
中傾斜地	横断平滑	
緩傾斜地		

森林変化地全体



土砂流出源頭部のみ

割合増

割合増

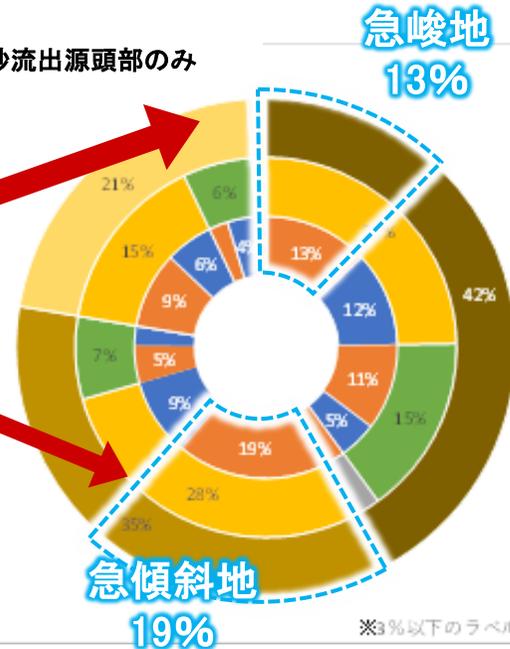


図1 地形要因の影響 (球磨村南部の例)

源頭部 球磨南n=85

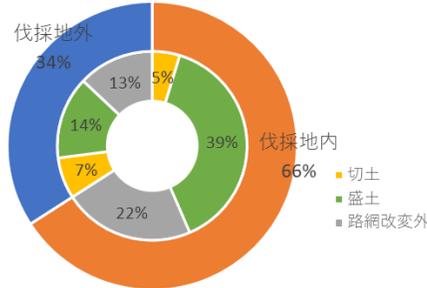
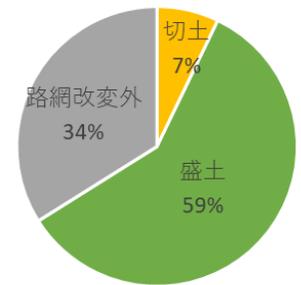
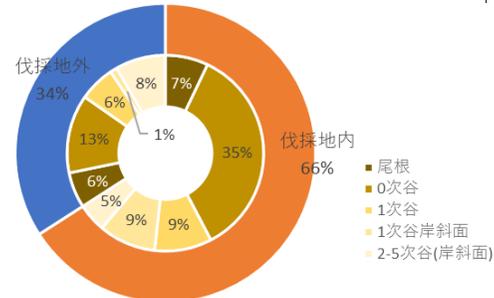


図2 土砂流出源頭部 切土・盛土等の割合(球磨村南部の例)

伐採地内の源頭部 球磨南n=56



源頭部 球磨南n=85



伐採地内の源頭部 球磨南n=56

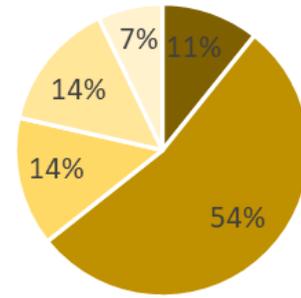


図3 土砂流出源頭部 各谷字数の割合(球磨村南部の例)

令和5年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

(3)「土砂流出しやすい地形条件下」における土砂流出発生と路網密度の分析結果

- ① **分析項目:**土砂流出の源頭部が発生しやすいと考えられる、「急峻地または急傾斜地(傾斜)かつ凹地形(横断面)」の地形条件下に限定して、路網密度と土砂流出の関係进行分析。
- ② **路網密度:**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、芦北町の地質区分が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。

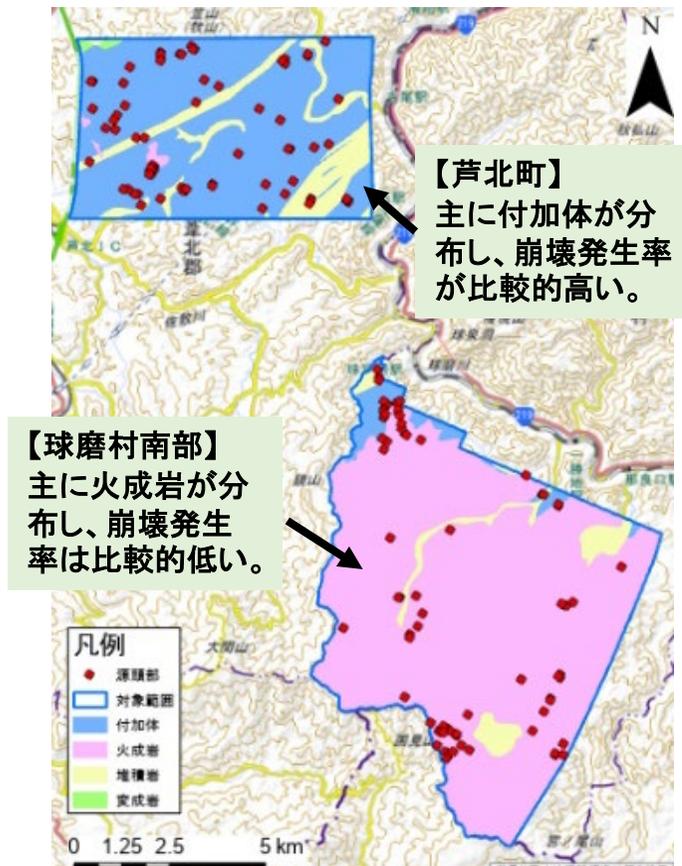


図4 地質区分

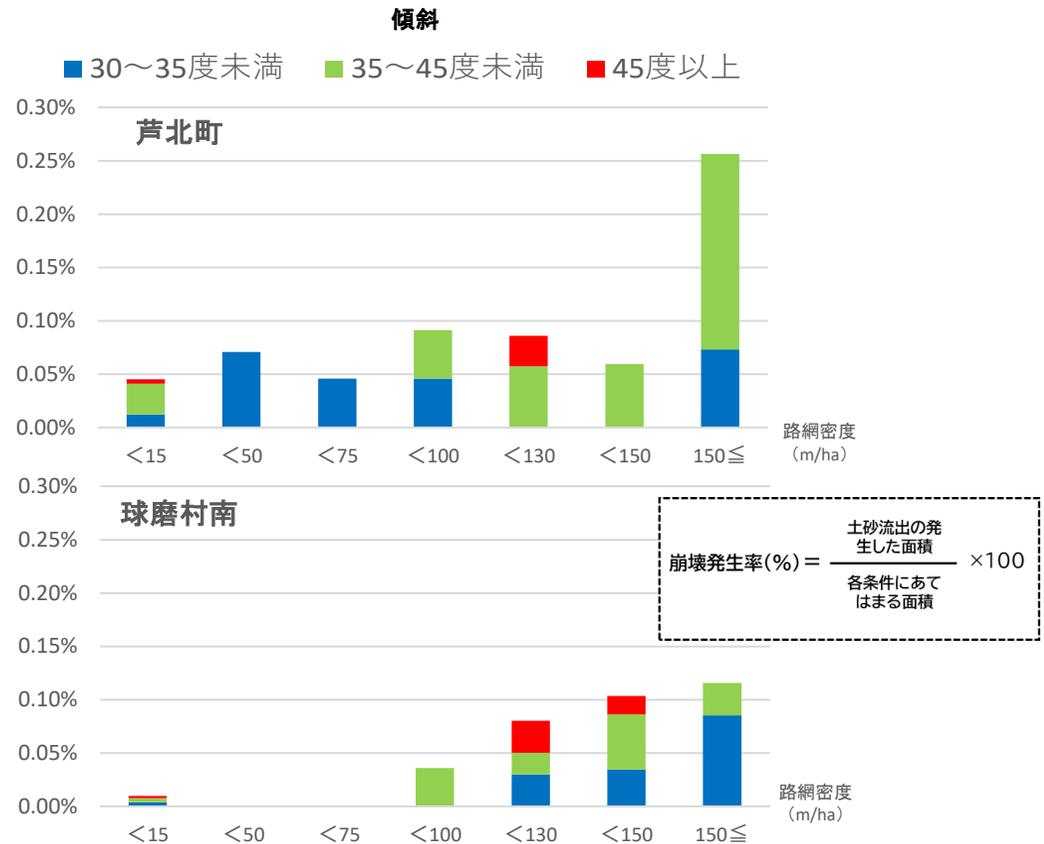


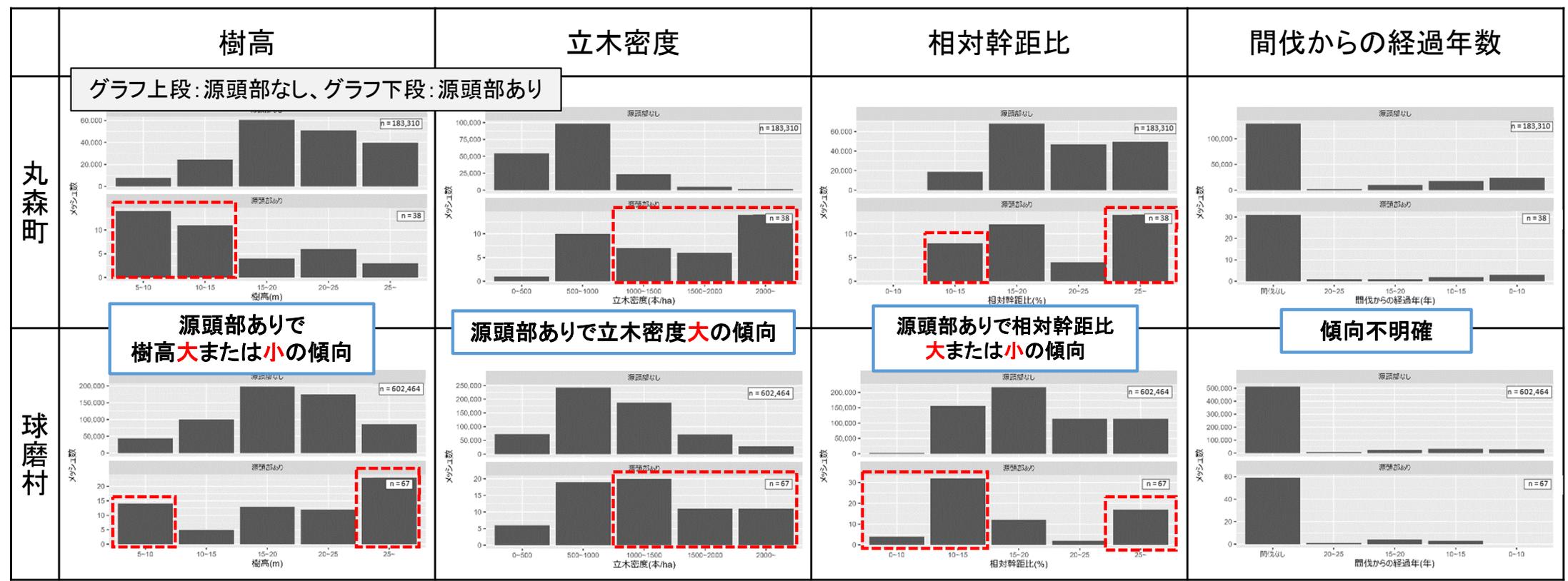
図5 路網密度別の崩壊発生率

令和6年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

- 目的** 近年の豪雨災害が発生した地域において、衛星画像や航空レーザ計測成果等を活用して土砂流出発生時の分布状況と立木密度等の森林の状況を解析し、**豪雨災害発生時における森林整備状況と土砂崩壊・流出との関係性**について傾向の分析を行う。また、各項目が土砂流出の発生しやすさに与える影響の大きさを定量化し、その土地の**土砂流出の発生しやすさを総合的に評価**する手法について検討する。

(1) 土砂流出の発生した箇所と発生していない箇所での森林整備状況の比較

- 土砂流出発生箇所の抽出**: 過去5年以内に豪雨災害の発生した静岡県伊豆市、浜松市、山口県岩国市、宮城県丸森町で対象範囲を設定し、衛星画像アーカイブデータおよび航空レーザ計測成果を参照して土砂流出範囲および土砂流出の起点となった「**源頭部**」を抽出。
- 森林整備状況の解析**: 宮城県丸森町※および過年度対象範囲の熊本県球磨村の対象範囲で災害発生後の航空レーザ計測成果を用いて解析された森林資源情報および森林簿の施業履歴より、人工林の森林整備状況として**樹高**、**立木密度**、**相対幹距比**、**間伐からの経過年数**を取得。
- 10m×10mメッシュでの集計**: 対象範囲を10m×10mのメッシュに細分し、メッシュ内で源頭部の有無と森林整備状況を集計。
- 土砂流出発生箇所と未発生箇所の比較**: 源頭部のあるメッシュとないメッシュで森林整備状況の分布割合を比較し、**森林整備と土砂流出発生**の傾向を検討。



※: ①の対象地で宮城県丸森町のみ10箇所以上人工林内で土砂流出が抽出できたため比較に使用

令和6年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

(2) 統計解析を用いた各項目の影響度の調査

① **統計手法:**「**数量化二類**」を用いて各項目の「**カテゴリスコア***1」を算出することにより、各項目が土砂流出の発生しやすさに与える影響の大きさを統計的に推測。カテゴリスコアの合計値である「**サンプルスコア***2」の値によってその土地の土砂流出の発生しやすさを評価する手法を検討。

※1:各項目の各区分に与えられる点数。(例:傾斜0°以上10°未満は1点、10°以上20°未満は2点…)

※2:メッシュの各項目のカテゴリスコアを合計した値。(例:メッシュAは傾斜0°以上10°未満で傾斜のカテゴリスコア1点かつ樹高10m以上15m未満で樹高のカテゴリスコア2点なのでサンプルスコアは1+2=3点)

② **使用した項目:**地形条件として、災害前の航空レーザ計測成果のある地域では**傾斜**、**横断曲率**、**縦断曲率**を、災害前の航空レーザ計測成果の無い地域では基盤地図情報数値標高モデルより作成した**傾斜**および**曲率**の代替として周囲半径40mの平均標高とメッシュの標高の差より求めた**凹凸値**を使用。森林整備状況の条件として、**樹高**、**立木密度**、**相対幹距比**、**間伐からの経過年数**を使用(共相関の影響を考慮し、森林整備状況の条件は同時に説明変数として使用しない)。

③ **算出結果:**傾向が2地域で**共通する**条件と**異なる**条件があった。地質等、土地の条件によって森林整備状況の影響が異なる可能性が考えられたため、今後、複数地域で解析を行い、傾向の共通する条件とそうでない条件を検討する必要がある。

	2地域で 森林整備状況の影響が共通した 傾向となった結果		2地域で 森林整備状況の影響が異なる 傾向となった結果		
使用した項目	傾斜 + 凹凸値 + 立木密度		傾斜 + 凹凸値 + 相対幹距比		
地域	丸森町	球磨村	丸森町	球磨村	
算出結果	<p>傾斜(°): 0~10: 0.0000, 10~20: 0.9305, 20~30: 1.6044, 30~40: 1.3757, 40~: 0.1372 凹凸値(m): ~-3: 0.9748, ~-3~-1: 0.4335, ~-1~-1: 0.0000, 1~-3: 0.5640 立木密度(本/ha): 0~500: 0.0000, 500~1,000: 1.2823, 1,000~1,500: 2.3607, 1,500~2,000: 3.4555, 2,000~: 3.7519</p>	<p>傾斜(°): 0~10: 0.0000, 10~20: 0.8474, 20~30: 1.9113, 30~40: 2.4341, 40~: 3.1971 凹凸値(m): ~-3: 0.9534, ~-3~-1: 0.6872, ~-1~-1: 0.0000, 1~-3: 0.6726 立木密度(本/ha): 0~500: 0.0000, 500~1,000: -0.0638, 1,000~1,500: 1.3754, 1,500~2,000: 1.5085, 2,000~: 1.7372</p>	<p>傾斜(°): 0~10: 0.0000, 10~20: 1.3454, 20~30: 2.5866, 30~40: 1.7871, 40~: -0.3357 凹凸値(m): ~-3: 0.4005, ~-3~-1: -0.0862, ~-1~-1: 0.0000, 1~-3: 0.6836 相対幹距比(%): 0~10: 0.0000, 10~15: 0.4412, 15~20: 0.0274, 20~25: -0.7696, 25~: 0.3295</p>	<p>傾斜(°): 0~10: 0.0000, 10~20: 0.5562, 20~30: 1.5682, 30~40: 1.8480, 40~: 2.4208 凹凸値(m): ~-3: 0.6290, ~-3~-1: 0.2896 相対幹距比(%): 0~10: 0.0000, 10~15: -1.5357, 15~20: -2.7399, 20~25: -3.2547, 25~: -1.4753</p>	
		<p>立木密度が大きくなるほど土砂流出しやすい</p>		<p>一様な傾向が見られない</p>	<p>相対幹距比が大きくなるほど土砂流出しづらくなり、25%以上の区分では比較的土砂流出しやすくなる</p>

令和6年度衛星画像等の活用による森林変化と土砂流出の関連性に係る調査(概要)

(3) 土砂流出の発生しやすさを評価するモデルの検証

- ① **精度検証手法:** (2)①で求めた各項目の「**カテゴリスコア**※1」および各メッシュのカテゴリスコアの合計値である「**サンプルスコア**※2」の値によってその土地の土砂流出の発生しやすさを評価する手法の検討。
 ※1: 各項目の各区分に与えられる点数。(例: 傾斜0° 以上10° 未満は1点、10° 以上20° 未満は2点・・・)
 ※2: メッシュの各項目のカテゴリスコアを合計した値。(例: メッシュAは傾斜0° 以上10° 未満で傾斜のカテゴリスコア1点かつ樹高10m以上15m未満で樹高のカテゴリスコア2点なのでサンプルスコアは1+2=3点)
- ② **判別精度の算出:** サンプルスコアの閾値を設定し、「**閾値以上のサンプルスコアとなり源頭部のあるメッシュ**」および「**閾値以下のサンプルスコアとなり源頭部のないメッシュ**」を**正解判定メッシュ**とし、源頭部のあるメッシュと無いメッシュを同数ずつ抽出したサンプル内でサンプル内メッシュ全数に占める正解判定メッシュの占める割合を**判別精度**として算出(メッシュの抽出および判別精度の算出は100通り行い、抽出による条件の偏りを考慮した)。
- ③ **検証結果:** いずれの地域においても地形の条件だけでなく**森林整備の条件を加えることにより判別精度が向上し、70%を超える判別精度となった**。また、災害前のデータとして航空レーザ計測成果ではなく基盤地図情報数値標高モデルを使って解析した結果でも高い判別精度が得られたため、**災害前の航空レーザ計測成果の無い地域に本解析手法を適用できる可能性**が高いと考えられた。

最も判別精度が高くなったモデル		
地域	丸森町	球磨村
使用した項目	傾斜 + 凹凸値 + 立木密度	傾斜 + 縦断曲率 + 横断曲率 + 相对幹距比
算出結果		
判別精度	85.11%	73.84%