

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
国立大学法人兵庫教育大学
広島工業大学

航空レーザー測量データから 中世に造られた山城の地形と自然の尾根を見分ける手法を開発

航空レーザー測量のデータを使い、中世に造られた山城の地形と自然状態の尾根の地形を見分ける手法を開発しました。山地にある遺跡など過去に改変された地形を探索して改変量を評価したり、改変された斜面の崩壊リスクを推定したりする上で、本研究で提案した手法が役立つことが期待されます。

航空レーザー測量が普及したことで、日本の山地・丘陵地には多くの人工改変地形があることが分かってきました。しかし、中世などの古い時代に地形が改変されていた場合、それらの地形が自然状態からどの程度改変されているかについては、定量的な分析が十分に行われていませんでした。本研究では、斜面の傾斜と曲率の二つの指標を組み合わせることによって、中世の山城築造による改変地形と自然状態の尾根の地形を判別できることを明らかにしました。

本研究チームは、広島県の空間解像度1mの航空レーザー測量データを利用して、中世の山城39カ所と、それぞれの山城付近にある自然の尾根地形39カ所において、尾根から一定の領域内の地形を詳細に分析しました。その結果、山城は自然の尾根に比べて傾斜のばらつきが大きく、斜面の傾斜方向に凹凸が多く見られる傾向があることが明らかになりました。さらに、傾斜のばらつきが大きく、谷状や尾根状の斜面が多く見られる山城では、山城の領域内に斜面崩壊の痕跡が見られる割合が高いことも明らかになりました。

詳細な地形データが存在しない1940年代以前の地形改変を探索し、それらの地形の改変を量的に評価したり、過去に改変された地形の斜面崩壊リスクを推定したりする上で、本研究の成果が活用されることが期待されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

八反地 剛 准教授

筑波大学生命環境学群地球学類（研究当時）

照井 里紗

兵庫教育大学大学院学校教育研究科

小倉 拓郎 准教授

広島工業大学環境学部地球環境学科

猪股 雅美 助教

研究の背景

山がちで、平野が少ない日本では、古くから山地・丘陵地などの斜面もさまざまな目的で利用されてきました。このため、植生に覆われて自然な状態に見える場所でも、しばしば人為的に地形が改変された痕跡が見つかります。山地や丘陵地の場合、人為的な地形改変に伴う水の移動経路の変化や、盛り土など地盤の改変によって、斜面崩壊のリスクが高まっている場合があります。そのため地形改変の程度を知るとは、災害リスクを把握する上でも重要です。通常、地形改変の程度を把握するには、過去に作成された地形図や、過去に撮影された空中写真に基づいて復元された数値標高モデル^{注1)}などが用いられています。しかし、地形図や空中写真が存在しない古い時代に地形が改変されていた場合、地形改変の程度を把握することは困難でした。

研究内容と成果

本研究では、広島県南部において、中世に造られた 39 カ所の山城跡^{注2)}を抽出し、詳細な地形分析を行いました。また山城との比較のため、それぞれの山城の近隣に位置し、標高がほぼ等しく、地形改変を受けていない山頂部（以下、自然尾根）を 39 カ所選定して、同様の分析を行いました。具体的には、航空レーザー測量データから作成した 1 m メッシュの数値標高モデル（DEM）、傾斜量図^{注3)}、等高線図と、広島県による中世の山城に関する調査報告書に記載された縄張り図^{注4)}を比較しながら、山城を構成する平坦面・急崖（曲輪・切岸^{注5)}、図 1）を判読し、曲輪から外側に 20 m の範囲を地形改変領域として定義しました。自然尾根の場合も同様に、尾根から 20 m の範囲を分析対象領域としました。山城と自然尾根のそれぞれの領域について、傾斜、断面曲率^{注6)}、平面曲率^{注7)}の統計値を取得しました。傾斜の計算では 1 m メッシュの数値標高モデルを、曲率の計算では 5 m メッシュの数値標高モデルを使用しました。

上記の分析の結果、山城は自然尾根に比べて、傾斜の標準偏差と断面曲率の標準偏差（ばらつき）が大きい傾向がありました。そこで、傾斜量の標準偏差と断面曲率の標準偏差の二つの指標から、山城（改変地形）と非改変地形の判別を試みました。

解析によって得られた閾値に基づき、尾根地形を A（両指標がともに閾値より大きい）、B（両指標のいずれかが閾値より大きい）、C（両指標のいずれも閾値より小さい）の三つの区分に分類しました（図 2）。その結果、対象の山城 39 カ所のうち 28 カ所（72%）が A 区分に、自然尾根 39 カ所のうち 25 カ所（64%）が C 区分に分類されました。一部の山城は C 区分に分類されましたが、これらの山城の中には、戦の陣として一時的に利用された事例も含まれており、山城の利用状況の違いも地形指標の大小に影響したことが考えられます。さらに、傾斜の標準偏差と平面曲率の標準偏差を組み合わせると同様の分析を行ったところ、これら二つの指標が大きい山城では、地形が改変された領域内に崩壊跡地を含んでいるものが有意に多いという傾向があることが判明しました。

今後の展開

本研究によって、傾斜や断面曲率の統計分布を取得することにより、過去の人工改変の程度を評価できることが明らかになりました。同様の方法は日本国内の他の山城や人為的改変地形などに適用することができます。また、文献などに記載されていない遺跡と思われる地形が、人為的改変地形であるかどうかを判断する上でも、傾斜と断面曲率の標準偏差の二つの指標が有効である可能性があります。また、傾斜と平面曲率の標準偏差を用いることによって、崩壊リスクの高い改変地形を抽出できる可能性もあります。本研究チームは今後、他地域の山城やその他の人為的改変地形について同様の分析を進めていく予定です。

参考図

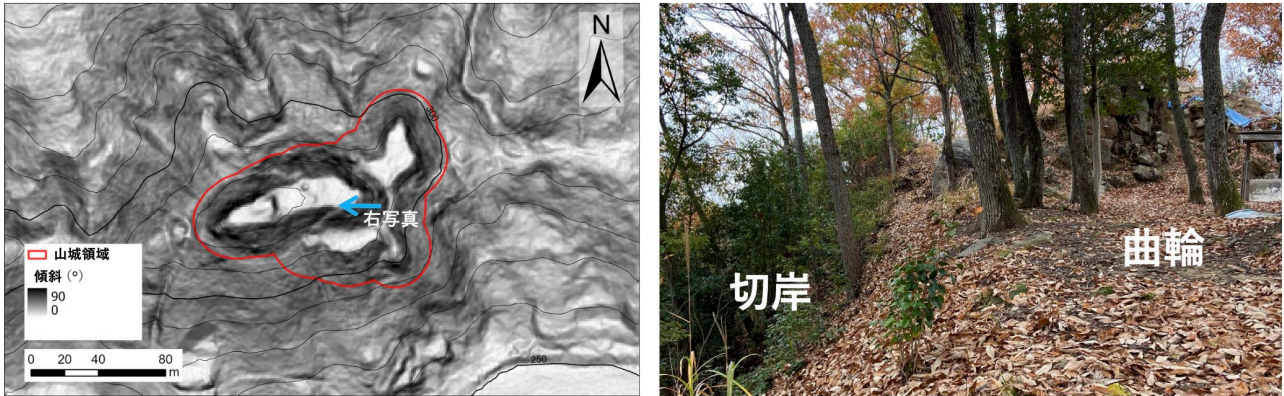


図1 山城の傾斜量図と現地写真

左図は広島県東広島市の鏡山城の傾斜量図である。傾斜が急であるほど濃い色で示している。赤枠で示した範囲は分析対象領域であり、白い部分が平坦面である曲輪、黒い部分が急傾斜の斜面である切岸に対応する。矢印の地点の現地の状況を右の写真に示している。

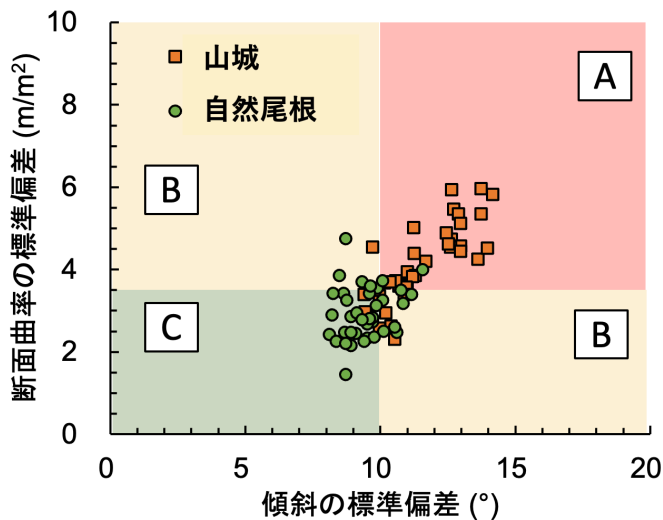


図2 山城と自然尾根の領域内における傾斜と断面曲率の標準偏差の分布

傾斜量の標準偏差の閾値は 10° 、断面曲率の標準偏差の閾値を 5 m/m^2 に設定して、尾根地形を図に示す三つの区分に分類した。調査対象の山城 39 カ所のうち 28 カ所 (72%) が A 区分に分類されていることが分かる。

用語解説

注1) 数値標高モデル (DEM)

一定の間隔を持ったメッシュによって地表の標高を表現した3次元データである。メッシュの間隔を小さくすることで、細かい地形を表現することができる。近年普及した航空レーザー測量データから 1 m メッシュの数値標高モデルを生成することが可能になり、本研究の分析にも活用されている。

注2) 山城跡

日本各地の大名などが山を利用して構築した城の跡である。主に鎌倉時代から戦国時代(室町時代後期)にかけて築造された。主として防御を目的としているため、山頂部を切り開いて構築されることが多い。

注3) 傾斜量図

白から黒までの濃淡を使って、斜面の傾斜を地図で示したもの。傾斜の緩い地点は白く、急な地点は黒く表示されており、地形の判読に用いられる。

注4) 縄張り図

中世城郭の構造を示した地図であり、詳細な現地調査によって作成される。

注5) 曲輪（くるわ）・切岸（きりぎし）

曲輪は原地形の切り取りや盛り土などによって作られた平坦な土地であり、城主の居所などの拠点として用いられていた。切岸は、曲輪の周囲に位置する急斜面であり、敵の侵入を防ぐための防御施設の一つであった。

注6) 断面曲率

曲率は地形の凹凸の程度を表す指標であり、断面曲率は、斜面の最大傾斜の方向における凹凸の程度を表している。斜面の傾斜方向の凹凸が激しい場合は断面曲率の絶対値が大きくなり、平滑な斜面の場合は小さくなる。山城の築造によって平坦面と急斜面が形成されると、斜面上に複数の傾斜の変換点が生じるため、断面曲率の標準偏差が増加すると考えられる。

注7) 平面曲率

平面曲率は、斜面を等高線に沿って水平方向に切った場合における凹凸の程度を表している。谷や尾根が多い場合には等高線の屈曲が多くなり、平面曲率の絶対値が大きくなる。逆に、平滑な斜面の場合は小さくなる。

研究資金

本研究は科研費による研究プロジェクト（JP22H00750）の一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 Evaluation of medieval land transformation for the construction of hilltop castles based on topographic analysis of LiDAR DEMs

(LiDAR DEMの地形解析に基づく中世山城の築造による地形改変の評価)

【著者名】 R. Terui, T. Hattanji, T. Kajita, T. Ogura, and M. Inomata

【掲載誌】 *Physical Geography*

【掲載日】 2026年3月13日

【DOI】 <https://doi.org/10.1080/02723646.2026.2643590>

問い合わせ先

【研究に関すること】

八反地 剛（はったんじ つよし）

筑波大学 生命環境系 准教授

TEL: 029-853-5687

E-mail: hattan@geoenv.tsukuba.ac.jp

URL: <https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000001096>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

兵庫教育大学広報室

TEL: 0795-44-2431

E-mail: office-koho@ml.hyogo-u.ac.jp

広島工業大学広報部

TEL: 082-921-3128

E-mail: kouhou@tsuru-gakuen.ac.jp