

【森林保全部門】

微地形表現図による林内歩道把握の試み

安芸森林管理署 東川森林事務所 森林官 渡邊雄太

1. 背景・目的

急峻な山の多い四国において、国有林野の境界管理を始めとする現地調査・林内作業や森林資源量調査等に、事前に既設歩道を把握し、活用していくことは、安全性や効率性の面から重要であると考えられます。しかし、現場系職員も多く含まれるベテラン職員の退職により、歩道の位置や状況を知る職員が減少しており、歩道の把握・継承が困難になってきています。近年、より詳細な DEM (Digital Elevation Model, 数値標高モデル) データを活用して作成した歩道を含む微地形を判読することが可能な CS 立体図や陰陽図といった微地形表現図の登場によって、図面から既設歩道の有無や配置を読み取ることができるようになってきたことから、事前に歩道の所在を知り、調査・作業計画に組み込むことが可能になってきています。しかしながら、現在の微地形表現図では、林内歩道を完璧に把握することは難しく、一部の歩道が識別できるのみであるのが現状です。

そこで、微地形表現図上に現れる歩道と現れない歩道の違いを生む要因はどのようなものが考えられ、その要因がどのような影響を与えているのかを調査・検証することで、微地形表現図に現れる歩道の位置や状況を読み解き、作業・調査の事前計画の参考にするなど、入山を伴う業務に活用することができるのかを検討することとしました。

2. 取組の概要

図面上での歩道の識別可否に影響を与えていると考えられる「微地形表現図自体の精度」、「歩道周辺の傾斜」、「歩道幅」の3つの因子を中心とし、林内踏査、机上での図面確認、統計解析により、その他の因子も含めて、各調査結果から最も当てはまりの良いモデルを作成し、検証することとしました。

(1) 主な要因だと考えられる3つの因子

ア 微地形表現図自体の精度

微地形表現図を作成する際の実データとなる DEM データの精度や微地形表現図を作成する際の手法によって生じる微地形表現図の種類ごとの差異は基より、同一図面上でも精度に差が生じます。その差は、図面を表現するポリゴンのサイズによって現れ、図面上での歩道の識別可否に影響を与えることが考えられます【視点①】(図1)。

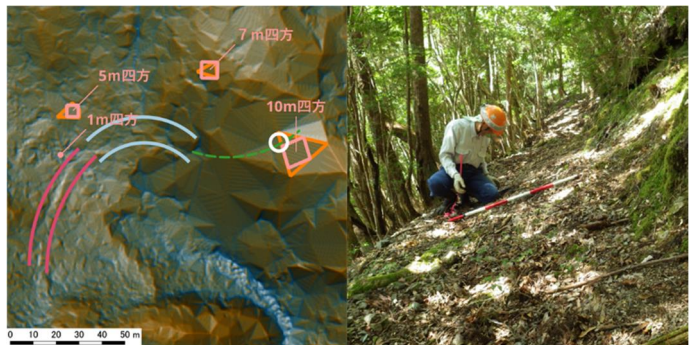


図1 陰陽図の精度による図面表現の違い

歩道の周囲にあるポリゴンサイズによって、図面の明瞭さが異なる(ピンク線付近ではポリゴンサイズが概ね5m四方サイズ以下。水色線付近では同5~7mサイズ程度。緑破線付近では同7mサイズ以上。上述のすべての箇所において、現地では歩道が通っている。)

右の写真は、左図白丸の箇所でも撮影したもの。

オレンジ色の図形はその地点におけるポリゴンの1つを囲ったもの。ピンクの四角形は、各長さ四方の正方形。

イ 歩道周辺の傾斜

多くの微地形表現図では、特性上、傾斜が緩い箇所は歩道と山の斜面との色調の差が小さく、傾斜がきつい箇所は色調の差が大きく表現されます。こうした特性から歩道周辺の傾斜により、歩道の識別のしやすさが異なると考えられます【視点②】(図2)。

ウ 歩道幅

一般的な図面と同様に、地物のサイズが大きければ大きいほど明瞭に表現されるため、歩道幅も広くなるほど、微地形表現図上でも識別しやすくなるように感じられます【視点③】(図3)。

(2) 具体的な調査方法

ア 現地踏査(図4)

実際に林内の既設歩道について、歩道幅【視点③】、歩道の傾斜(横断、縦断)、歩道法面の傾斜(山側、谷側)【視点②】を測定しました。なお本調査では、0.5mメッシュ DEM データを使用して作成された微地形表現図を使用しました。歩道幅は、5 cm区切りの切捨てで測定しました。歩道の傾斜は、前後平均的な箇所を測点として横断勾配を測定し、同一箇所における歩道の中央部分で縦断勾配を測定しました。歩道法面の傾斜は、歩道の縦横断を測定した個所を中心として、前後5 m程度以内の3か所において、歩道法面(山側と谷側)の傾斜を測量ポールを使用して測定、平均化しました。

イ 机上での図面確認

現地踏査時に歩道の横断勾配を測定した地点をGPSにより記録し、その地点において、微地形表現図上で、歩道が識別できるのか否か、また測点周囲のポリゴンが細かいか粗いか【視点①】を確認しました。

本調査で使用した微地形表現図は、四国森林管理局

治山課が作成した陰陽図と高知県が作成したそれぞれ0.5mメッシュサイズのCS立体図です。微地形表現図上での歩道の識別可否は、筆者の目視により判断し、縮尺1/1,000に固定した図面において、測点の前後5m程度まで白く映る線が続いている場合を識別可能としました。測

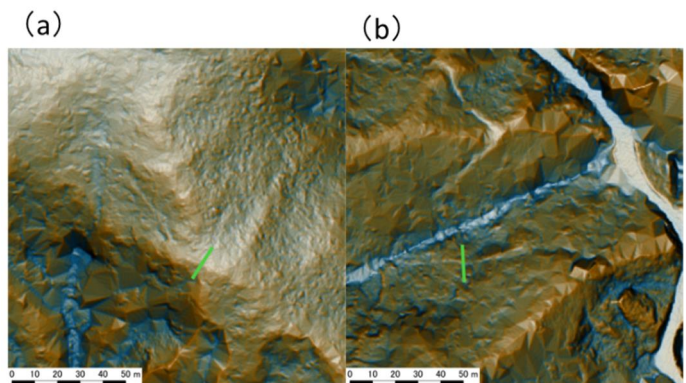


図2 陰陽図における、傾斜による見え方の違い

- (a) 傾斜が緩い山と歩道の色調が似ており、識別がしにくいように感じられる。緑実線における山の傾斜は 17.7° 。
(b) 傾斜がきつい山と歩道は色調が異なり、くっきり見える。緑実線における山の傾斜は 42.8° 。

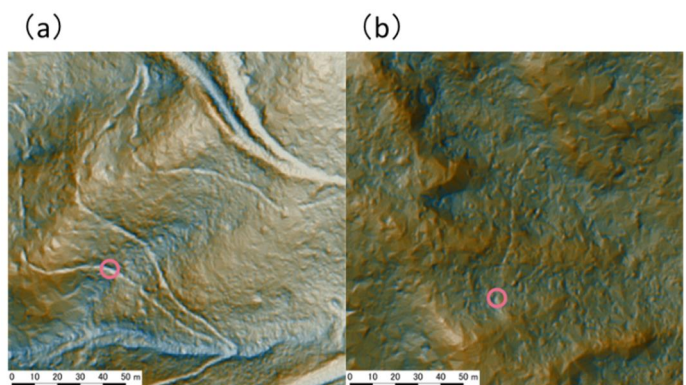


図3 歩道幅による見え方の違い

- (a) ピンク円の箇所における歩道幅は、130 cm。続く歩道についても同様に、歩道幅は概ね100 cmを超える。
(b) ピンク円の箇所における歩道幅は、45 cm。図中上部に続く線で現れる歩道も同様の歩道幅であった。

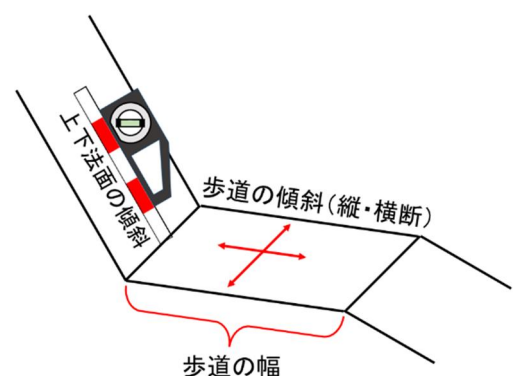


図4 現地踏査方法のイメージ図

点周囲のポリゴンが細かいか粗いかの識別は、測点周囲のポリゴンが概ね 5 m 四方サイズ以下で構成されており、微地形まで明瞭に判断することが可能だと考えられる地点をポリゴンサイズが小さい（＝細かい）とし、周囲のポリゴンが概ね 5 m 四方サイズ以上で構成されており、微地形が不明瞭だと考えられる地点においてポリゴンサイズが大きい（＝粗い）として判断しました。

ウ 統計解析

現地踏査及び机上での図面確認を経て得られたデータより、測点における歩道の識別可否を目的変数として、ロジスティック回帰分析により、最も当てはまりの良いモデルを作成しました。解析には、表計算ソフトの R を使用し、モデルの当てはまりの良さは AIC 値と AUC 値によって判断しました。

3. 実行結果

高知県東部に所在する、安芸森林管理署魚梁瀬地区合同事務所管内の国有林野を中心とし、7つの林班 115 地点において測定と机上での図面確認をおこないました。図面上で歩道の識別が可能であった点は、115 地点のうち、陰陽図上では 55 地点、CS 立体図上では 57 地点でした。

統計解析の結果、陰陽図・CS 立体図の両図面上ともに、ポリゴンサイズ、法面傾斜（山側）、歩道幅を説明変数とした場合に、最も当てはまりの良い結果となり（表 1 および表 2）、それぞれ AUC は 0.735、0.763 となりました。オッズ比より、オッズの変化率をそれぞれ算出すると、陰陽図の場合、ポリゴンサイズが小から大になる際に-85.2%、歩道の法面傾斜（山側）および歩道幅はそれぞれ 1 単位増加するごとに、-3.5%、+1.4%変化し、CS 立体図の場合、それぞれ同様に、-91.8%、-3.0%、+2.6%変化することが分かります。なお、歩道幅は 5 cm 毎に切捨てで測定していますが、連続変数として解析を行ったため、1 単位 1 cm とした場合の変化率です。

表 1 陰陽図によって歩道の識別可否を判断した場合のロジスティック回帰分析

因数名	回帰係数	標準誤差	p値	オッズ比（95%信頼区間）
切片	1.188	0.9424	0.207	3.281(0.517-20.80)
ポリゴンサイズ	-1.907	0.562	0.001*	0.148(0.049-0.447)
法面傾斜（山側）	-0.036	0.019	0.061	0.965(0.929-1.002)
歩道幅	0.014	0.007	0.039*	1.014(1.001-1.028)

*：p<0.05

表 2 CS 立体図によって歩道の識別可否を判断した場合のロジスティック回帰分析

因数名	回帰係数	標準誤差	p値	オッズ比（95%信頼区間）
切片	0.69	0.999	0.490	1.993(0.281-14.113)
ポリゴンサイズ	-2.504	0.611	<0.001*	0.082(0.025-0.271)
法面傾斜（山側）	-0.031	0.021	0.141	0.970(0.931-1.010)
歩道幅	0.026	0.008	0.001*	1.026(1.010-1.042)

*：p<0.05

また、そのモデルによって図面上での歩道の識別可能確率を予測しました（図5）。

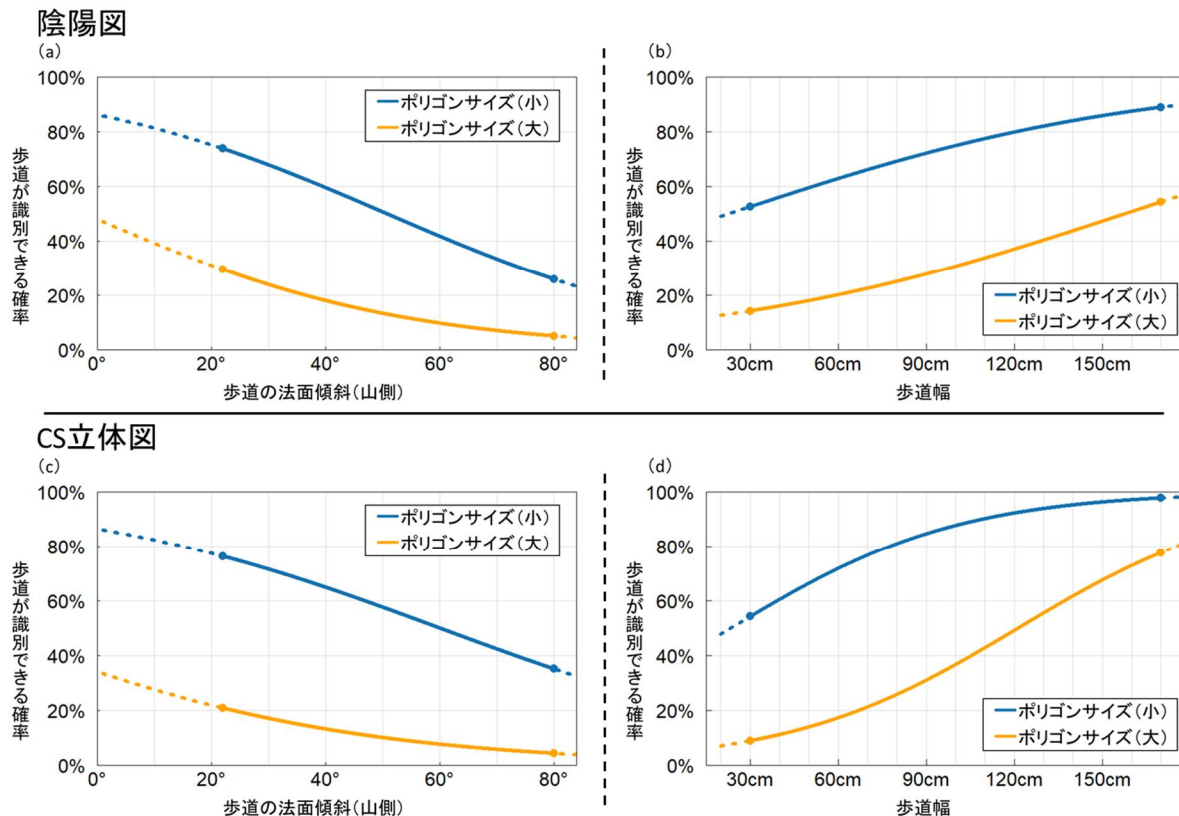


図 5 各因子と歩道が識別できる確率

当てはまりの良かったモデルにおいて、各因子の増加によって予測される、各図面上で歩道が識別できる確率を示したグラフ。各因子は以下のとおりである。陰陽図における歩道の法面傾斜（山側）(a)、同歩道幅（b）、CS立体図における歩道の法面傾斜（山側）(c)、同歩道幅（d）。

それぞれグラフに現れない(a)(c)における歩道幅、(b)(d)における歩道の法面傾斜（山側）は、それぞれの中央値（歩道の法面傾斜(山側)は42°、歩道幅は45cm。）で固定している。

測定したデータ範囲において実線で表現、それ以外を破線で表現している。

4. 考察

説明変数として当てはまりの良かった因子のうち、ポリゴンサイズと歩道幅の大小は、予想したとおり、ポリゴンサイズが大きくなる場合に歩道が見つかりにくく、歩道幅が大きくなるほど歩道が見つけやすくなることを示唆する結果となりました。ポリゴンサイズが大きくなると、微地形表現図の特性が活かされなくなり、微地形である歩道が識別しにくくなること、歩道幅が大きくなると図面上ではより大きな地物として表現されるようになるため識別しやすくなることが考えられます。一方で、歩道の法面傾斜（山側）は、当初の予想に反し、歩道の法面傾斜がきつくなるほど、歩道が見つけにくくなることを示唆する結果となりました。これは、歩道自体の局所的な断絶や歩道への落石等によって完全な歩道が続きにくいことや、図面上において歩道と歩道周辺との間に見られる色調の差異の大小は識別の可否にあまり影響がなかったことなどが原因として考えられますが、別途検証が必要です。なお、歩道の法面傾斜（谷側）の当てはまりが悪かった要因として、山側法面と比較して、歩道法面の欠けによる影響を受けやすかったことが考えられます。

モデルから推定されるグラフより、図面上での周囲ポリゴンサイズが小さい場合、歩道の法面傾斜（山側）が35°以下の場合には、陰陽図上では70～80%程度で、CS立体図上では65～75%程度の高

確率で図面上でも識別できることが示唆されます。また、現地で歩道があると識別できる 40 cm 程度以上の歩道幅があれば、陰陽図上で 60% 以上、CS 立体図で 55% 程度以上の確率で図面上でも識別できることが示唆されます。これにより、歩行する際に比較的安全な歩道の多くは、図面上でもその存在が識別できることが考えられます。また、歩道の法面傾斜が 35° 以上の歩道についても、陰陽図上では 60° 程度まで、CS 立体図上では 55° 程度まで識別できる確率が 50% 以上あり、急峻で 35° 以上の傾斜をもつ山が多い四国でも十分に識別できることが考えられます。なお、図 5 において破線で表される区間においては、モデル上での推定値であり、例えば、歩道の法面傾斜が 10° 未満の歩道や歩道幅が 10 cm 未満の歩道など、そもそも現地でも識別しにくい・できなかったために欠損している範囲であり、結果の解釈や歩道の利用には注意が必要です。一方で、周囲ポリゴンサイズが大きい場合には、歩道幅 45 cm の際、歩道の法面傾斜（山側）の値に関わらず識別確率が 30% を切り、歩道の法面傾斜を 42° の際、識別可能確率がより高い CS 立体図上においても、歩道幅が 110 cm を超えてようやく識別確率が 40% を超えるなど、図面を問わず識別確率が低いことから、周囲ポリゴンサイズが大きい地点だけを見た場合には、両図面上ともに歩道の識別がかなり難しいと考えられます。

以上より、ロジスティック回帰分析の結果から、今回使用した両図面共に、図面上で歩道が見つかる可能性が上がるのは、ポリゴンサイズ小さい（図面を構成するポリゴンが細かく、微地形まで明瞭に確認できる）とき、歩道の法面傾斜（山側）が緩いとき、歩道幅が広いときであることが分かります。これにより、歩行者にとって歩きやすいであろう歩道であるほど、図面上でも歩道を識別できる可能性が上がると考えられます。ただし、図面自体の精度がかなり大きな影響を与えており、注意が必要です。

5. 現場での活用に向けて

微地形表現図を用いることで、机上において歩道の位置や続く先などの情報が得られ、従来の伝達や経験により得られてきた歩道の情報に、伝達されていない・歩行経験のない歩道の情報が追加されることで、現地歩道に対する解像度が上がり、より詳細な事前検討が可能となります。詳細な事前検討は、より効率的な現地踏査・作業に資することが考えられます。また結果より、歩行者にとって歩きやすいであろう歩道ほど、図面上でも歩道を識別できる可能性が上がる考えられました。これにより、微地形表現図上で歩道が識別できることは、ある程度歩きやすい歩道があることの指標になるとも考えられ、より安全だと考えられる踏査ルートの検討・作成が可能となると考えられます。

一方で、現地での状況や図面上での表現などにより、微地形表現図上ですべての歩道が完璧に識別、把握できるわけではないことが現状です。しかしながら、歩道の一部を図面上で確認できるだけでも、その確認できた一部分を元に、続く歩道の線形や位置を推定し、歩道の状態を予測することで踏査の効率化、不安全箇所除去に資すると考えられます。不完全な線形を基に推測も交えて検討する必要があること、また、従来の図面と異なることで使用に慣れない職員も多いことから、実際に活用するためには普及の方策が必要であり、今後の課題であると考えます。