

山地災害リスクを低減する技術の開発

戸田堅一郎

地域の森林をどのようにするか意思決定は、災害発生リスク、木材生産性など様々な判断要素を揃えて、その地域にかかわる人々が情報を共有し、納得したうえで行われることが望ましい。本研究では、地域の意思決定の判断材料となりうる個別要素として、山地災害リスクを可視化する手法の開発を目的とし、既存のCS立体図の改良と、地形の複雑さを定量化する新たな指標としてSHCの開発を行った。

CS立体図については、従来方法の欠点であった、市町村ごとの色調の違いや図郭端部のノイズを解消した。また、タイル形式で配信することで、汎用性を向上させた。また、AI解析によるCS立体図からの路網自動判読においても連続性のあるデータを作成することができた。SHC図については、その作成方法を確立するとともに、実際の災害発生地における検証と、過去の森林整備事業実施地との照合から、現地での適用性を検証した。

キーワード：山地災害リスク、CS立体図、SHC、ゾーニング

1 はじめに

森林には土砂崩壊や土砂流出を防止するなどの公益的機能が期待されている。人工林においては間伐などの保育作業を適切に行い健全な森林・立木を維持することで、これらの公益的機能が充実することを前提としている。一方で、近年の気候変動に伴う豪雨の増大等により山腹崩壊や土石流などの山地災害の増加が懸念されている。主伐期を迎えた森林においては、伐出作業による斜面の不安定化と、伐採により一時的に立木がなくなること、山地災害リスクが高くなることが懸念される。

山地災害リスクの低減と林業経営を両立させるためには2つの方法がある。1つ目は、山地災害リスクが高い場所を把握し、これらを避けて木材生産林をゾーニングするという方法である。もう1つは、路網開設や伐採搬出等の作業方法を改良・変更することで、斜面の不安定化に与える影響を小さくすることである。これらの2つの方法は、択一的なものではなく、両者を統合して行うべきものである。いずれの方法においても、地形地質や過去の災害履歴等から、その場所の災害発生リスクを把握することが重要である¹⁾。

また、最終的に地域の森林をどのようにするか意思決定は、災害発生リスク、木材生産性、法的規制、地域の歴史など様々な判断材料を揃えて、森林所有者、地域住民、行政、林業事業者など、その地域にかかわる人々が情報を共有し、納得したうえで行われることが望ましい。

本研究では、地域の意思決定の判断材料となりうる個別要素として、災害リスクを可視化する手法の開発を目的とする。

なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「山地災害リスクを低減する技術の開発」(2016

～2020年度)により(国研)森林総合研究所等と共同で実施した。

2 地形判読を容易にするCS立体図の改良

2.1 目的

その場所の崩壊危険度を示す重要な指標として地形の傾斜がある。傾斜が急な場所ほど崩壊発生の危険性が高いことは明らかである。しかし、同じ傾斜の場所であっても、地すべりブロックの中と外では崩壊危険度が異なるように、定性的な地形種の判読も山地災害リスクを把握するうえでは重要である。既往の研究成果では、地すべりや0次谷などの地形種の判読を容易にするためにCS立体図²⁾を開発し、県内の私有林全域においてCS立体図を作成して公開した。しかし、現在公開中のCS立体図は市町村毎に作成したため、市町村毎に色調が異なることや、図郭端部に筋状のノイズが生じる等の欠点があった。また、GISソフトを用いて手動でCS立体図を作成するには、ある程度のソフトウェア操作知識と長時間の処理時間が必要であった。その後、CSMapMaker for ArcGIS((国研)森林総合研究所 大丸裕武氏)や、CSMapMaker for QGIS(株MIERUNE 朝日孝輔氏)の開発により、作成手順が自動化されたため、作成作業はある程度容易になったものの、これらの欠点はなお残った。さらに、公開している画像ファイルを扱うためにはGISソフト等が必要であるため、森林技術者への現場普及には限界があった。そこで、これらの欠点を改善した統一規格のシームレスCS立体図を作成し、GISの知識が無い利用者もスマートフォンアプリなどで表示できるxyzタイル形式ファイルでの公開を行った。

また、新たに作成したシームレスCS立体図を使用して、AI解析による森林路網線形の自動抽出

を行った。森林のゾーニングを行う際には、路網からの距離は木材生産性にも直結する重要な要素であるが、樹木下の路網線形は空中写真からの判読が難しく、地形図に正確な位置が掲載されていないことがある。また、森林作業道等の低規格道路は線形自体が把握されていない場合も多い。CS 立体図を用いると、人間の目視判読により路網線形を認識することはできる。しかし、GIS データとして扱うためにはマウスを使って路網線形をトレースする必要があり、全県分の作業には膨大な時間を要する。そこで、図郭線等のノイズがなく、全県が同じ色調で彩色されているシームレス CS 立体図を使って、AI 解析による路網線形の抽出を試みた。

2.2 方法

CS 立体図の作成には、Safe Software 社（カナダ）のデータ変換ツールである FME を使用し、共同研究者である Pacific Spatial Solutions（株）の協力により作成手順の自動化を行った。カラーパレットやレイヤ透過率等の作成パラメータは従来の設定通りとし、起伏の小さい斜面での判読性を向上させるためにコントラストをやや強く設定した。図郭端のノイズを無くすために、近傍 8 図郭を同時に処理し、中心図郭のみを切り取って使用した。以上の手順で作成した CS 立体図をシームレス CS 立体図と呼ぶ。

完成したシームレス CS 立体図を用いて、全県民有林の範囲において、AI 解析による林内路網線形の自動抽出を行った。AI 解析は共同研究者である（株）ノーザンシステムサービスが行った。

2.3 結果

作成した全県民有林のシームレス CS 立体図を宮崎県のひなた GIS に表示して図 2-1 に示した。左上の QR コードから同サイトにアクセスが可能である。シームレス CS 立体図は、市町村間の色調の違いや、図郭端部のノイズが解消された（図 2-2）。また、データ変換処理に特化したツールである FME を使用したことで作成にかかる処理時間が大幅に短縮され、従来の手動による方法では数か月かかった長野県全域の作成が 24 時間程度で実施できた。作成した全県域の CS 立体図は xyz タイル形式に変換し、G 空間情報センター（<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/nagano-csmap>）から公開した。公開した xyz タイル形

式ファイルは、ArcGIS, QGIS やひなた GIS 等の XYZ タイル形式に対応した GIS ソフトや、スマートフォン用の地図アプリでも背景図として設定可能なものがあり、GIS の知識が無くても利用することができる。

AI 解析により作成した全県の森林路網図の一部拡大図を図 2-3 に示した。シームレス CS 立体図では、市町村による色調の違いや図郭端部のノイズが無いため、AI 解析においても連続性のあるデータを作成することができた。しかし、抽出したラインデータには、尾根谷線や地すべりクラック等を路網と誤判読したデータも含まれている可能性があるため、今後、人間の目視判読により確認作業を行ったうえで公開する予定である。

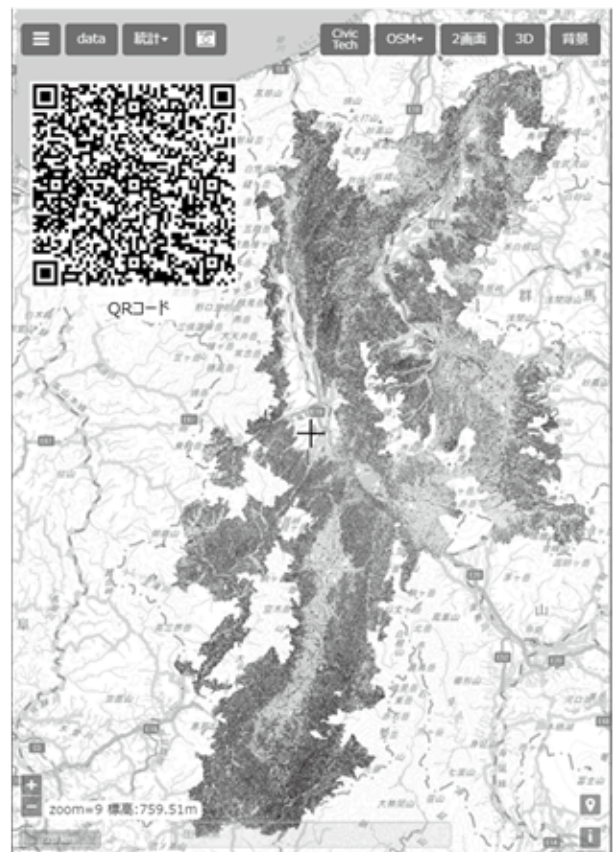


図 2-1 シームレス CS 立体図
左上の QR コードからアクセス可能

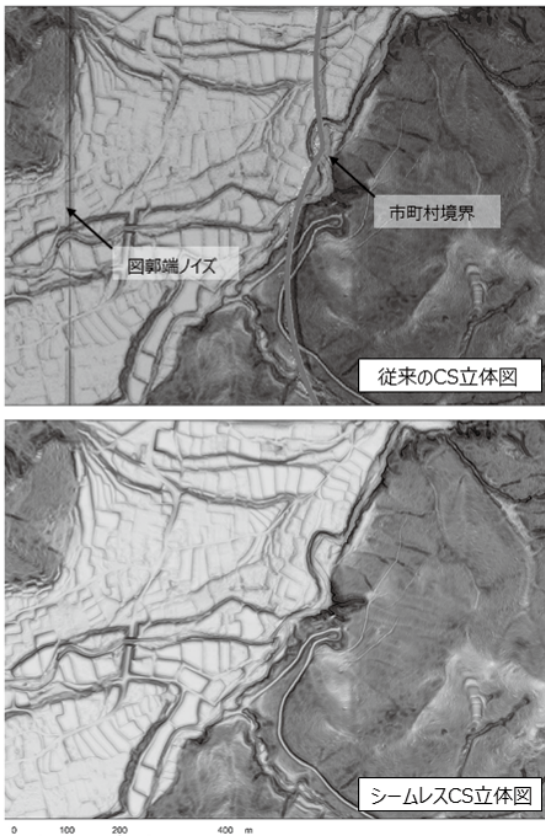


図 2-2 従来の CS 立体図（上）と
シームレス CS 立体図（下）

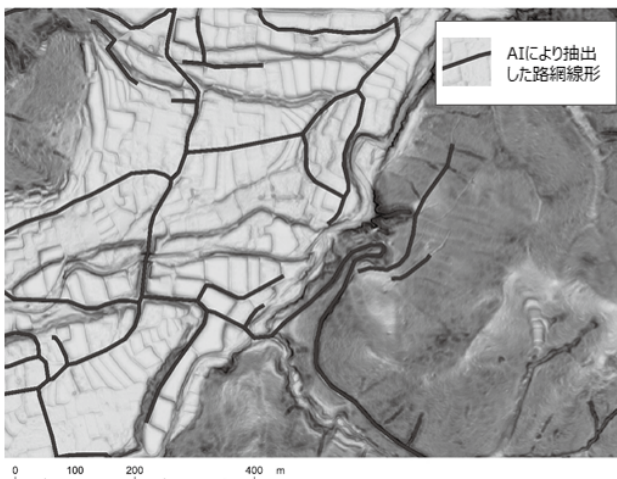


図 2-3 AI 解析により自動抽出した路網線形

3 地形の複雑さを定量化する新たな指標 (SHC)

3.1 目的

地形の定性的な判読性を向上させるために CS 立体図を開発したが、ゾーニングを行う際には、地形種の判読と傾斜に加えて、地形の複雑さを表

す定量指標も必要になると考え、新たな地形量として SHC を考案した。SHC とは、平面曲率の標準偏差 (Standard deviation of Horizontal Curvature の略) で、間接的に尾根谷の密度と深さを表す。過去に崩壊が多発した場所では、谷密度が高くなり、SHC も高い値になる。SHC の概念を図 3-1 に示す。同一面積で傾斜が等しく (等高線の数と同じ)、斜面形状が異なる 4 つの斜面を想定する。谷型斜面での平面曲率を負の値とすると、尾根型斜面では正の値となり、直線斜面では 0 となる。一方、尾根と谷が混在する波型斜面では、平面曲率の値は、正と負の値が混在することになる。そこで、一定範囲内の平面曲率の標準偏差 (もしくは分散) を計算すると、波型斜面だけが大きな値をとることになり、他の斜面形状と区別することができる。地質が脆弱で、過去の豪雨などにより面的に侵食が激しい場所では、波型の地形を呈していることから、SHC の高い場所は、崩壊跡地形の密度が高い場所と一致することが推測できる。本章では、SHC 図の作成方法を確立し、作成した SHC 図の現場での適用性について検証する。

斜面形状	谷型斜面	直線斜面	尾根型斜面	波型斜面
模式図				
傾斜	同じ			
平面曲率	-	0	+	-+-+-
SHC	小	小	小	大

図 3-1 SHC の概念図

3.2 方法

SHC は、DEM (Digital Elevation Model, 以下 DEM) を基に GIS ソフトで作成することができる。本研究では、県森林づくり推進課治山係が所有する航空レーザー測量成果の DEM を用いた。航空レーザー計測は 2014 年から 2015 年に実施しており、民有林全域の 0.5m メッシュ DEM が存在する。解析ソフトには esri ジャパン (株) 社製 ArcGIS10 を使用した。

以下に ArcGIS10 の使用を想定して、SHC 図を作成する手順の概要を記載する。

① DEM の準備

DEM の解像度は問わないが、以降の手順は、1m メッシュの DEM (GeoTiff 形式) の使用を想定する。例えば、XYZ テキスト形式で納品された航空レー

ザー測量データは、下記の手順で GeoTiff 形式に変換する。

ArcGIS10 でのコマンド：XY データの追加，ポイント→ラスタ (Point to Raster)，データのエクスポート

② Null 値 (水部や計測範囲外に入力されている特殊値) の穴埋め

航空レーザー測量の成果品は、水部や計測範囲外の標高値に-9999 などの Null 値が入れてあることが多い。地形解析を行う上では深い窪地として認識されて計算に不都合なため、穴埋めを行う

ArcGIS10 でのコマンド：サーフェスの平滑化 (Fill)

② DEM の平滑化

計測のノイズや微地形の影響を排除して 10~20 m の谷地形を検出するため、DEM の平滑化を行う。

ArcGIS10 でのコマンド：フォーカル統計 (Focal Statistics)。近傍解析 (オプション) はウェイト， $\sigma = 3.0$ のガウシアンフィルタ (別途用意)，統計情報の種類 (オプション) は MEAN

③ 平面曲率の計算

等高線方向の曲率を計算する。

ArcGIS10 でのコマンド：曲率 (Curvature)，出力平面曲率ラスタ (オプション) にファイル名を入力する

④ 標準偏差の計算

中心セルから半径 100m 円内の平面曲率のばらつきを計算する。

ArcGIS10 でのコマンド：フォーカル統計 (Focal Statistics)，近傍解析 (オプション) は円形_100 m，統計情報の種類 (オプション) は STD

⑤ シンボル設定 (表示)

水部やデータ端部などは過大な異常値となっているため、表示設定を適宜調整する。

ArcGIS10 でのコマンド：レイヤのプロパティにて、シンボル設定をストレッチタイプ (最小値 0.0，最大値 1.0 など)

作成した SHC 図と実際の災害発生位置との適合性を検証するため、2019 年に発生した台風 19 号災害直後の現地踏査結果を SHC 図上に重ねて関連

性を精査した。また、林業現場における適合性を検証するため、南佐久郡南相木村において南佐久中部森林組合が 2011 年度から 2018 年度に実施した搬出間伐、皆伐、更新伐の事業実績地をマッピングし、森林整備事業実施地の SHC 値を参照した。なお、森林組合の作業員からの聞き取りでは、各事業実施地の作業性は概ね良好であったとのことである。さらに、崩壊危険地として、森林 GIS データから土砂流出防備保安林と土砂崩壊防止保安林を抽出し重ねて表示した。

3.3 結果

図 3-2 から図 3-4 に台風 19 号災害の踏査結果を SHC 図上に記載して示した。SHC の値が高い場所ほど濃い色で着色している。図 3-2 では、面的に斜面侵食が発生しており、その場所は周囲よりも SHC の値が高かった。図 3-3 では斜面上部で発生した崩壊が土石流化して流下しているが、発生源となった斜面上部は周辺より SHC の値が高かった。図 3-4 では溪流全体が荒廃しているが、荒廃溪流は周辺の溪流よりも SHC が高かった。他に、崩壊の発生形態によっては、ピンポイントの湧水型や地すべり型など、SHC の値とは関連が見られないものもあったが、多くの被災箇所では SHC の値が高い傾向が見られた。



図 3-2 面的に斜面侵食が発生

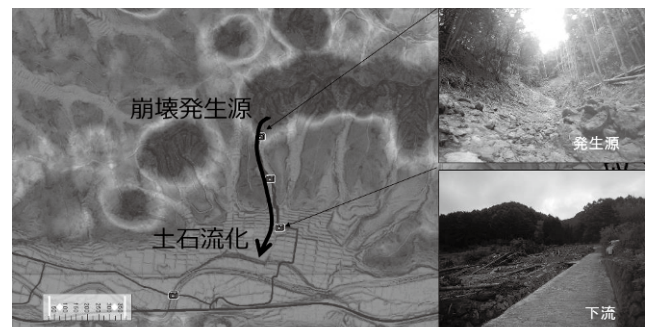


図 3-3 斜面上部で発生した崩壊が土石流化

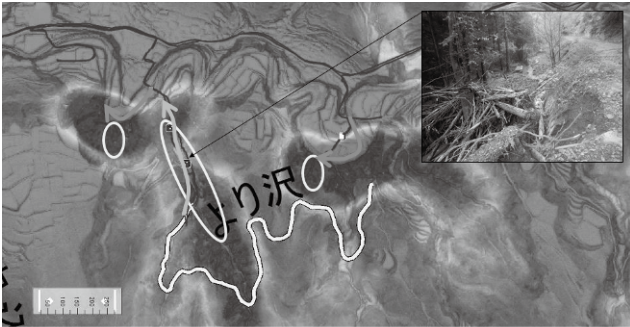


図 3-4 荒廃した溪流

図 3-5 に、南相木村全域の SHC 図に森林整備事業実施地と保安林を重ねて示した。過去の森林整備事業は、SHC 値が 0.3 以下の場所で多く行われている傾向があった。搬出を伴う森林整備事業を実施する場合には、傾斜に加えて尾根谷の起伏が少ない場所の方が効率的に施業を実施できると推測できる。このことから、SHC は崩壊発生危険地の把握のみならず、効率的な伐採・搬出作業の適地の把握にも適用できることが示唆された。また、保安林指定地は概ね SHC 値が 0.5 より大きい場所に分布していた。

以上から、南相木村の解析結果による SHC 図では、 $SHC \leq 0.3$ の場所を、安全で施業性の良い木材生産候補地とし、 $SHC > 0.5$ の場所は、保安林の指定の有無に関わらず、木材生産林不適として判断した。南相木村では、上記に加えて、森林資源情報と既設路網からの距離を勘案して、森林ゾーニング図を作成し、2019 年度からの市町村森林整備計画に反映させた。

4. おわりに

本研究では、地域的意思決定の判断要素となりうる個別要素として、既存の CS 立体図の改良と、新たな地形指標として尾根谷の密度を間接的に表現する SHC の開発および検証を行った。

CS 立体図については、従来方法の欠点であった、市町村ごとの色調の違いや図郭端部のノイズを解消し、タイル形式で配信することで、汎用性を向上させた。また、ノイズを除去したことで AI 解析においても連続性のあるデータを作成することができた。

SHC 図については、作成方法を確立するとともに、実際の災害発生地における検証と、過去の森林整備事業実施地との照合から、現地での適応性を検証した。

地域的意思決定を行う際には、全ての関係者が納得しやすいように、あらゆる情報を可視化し、取り扱いやすいデータ形式で提供されることが望ましい。本稿で紹介した、シームレス CS 立体図と SHC が、今後、多くの地域で意思決定のための判断材料の一つとして活用されることを期待する。

引用文献および Web サイト

- 1) 斎藤仁志・當山啓介 (2021) 山地災害リスクを考慮した森林計画の手引き (第 2 版), 46pp, google 電子書籍 (<https://play.google.com/store/books/details?id=9q1NEAAAQBAJ>)
- 2) 戸田堅一郎 (2014) 曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図) を用いた地形判読. 森林立地 56(2): 75-79

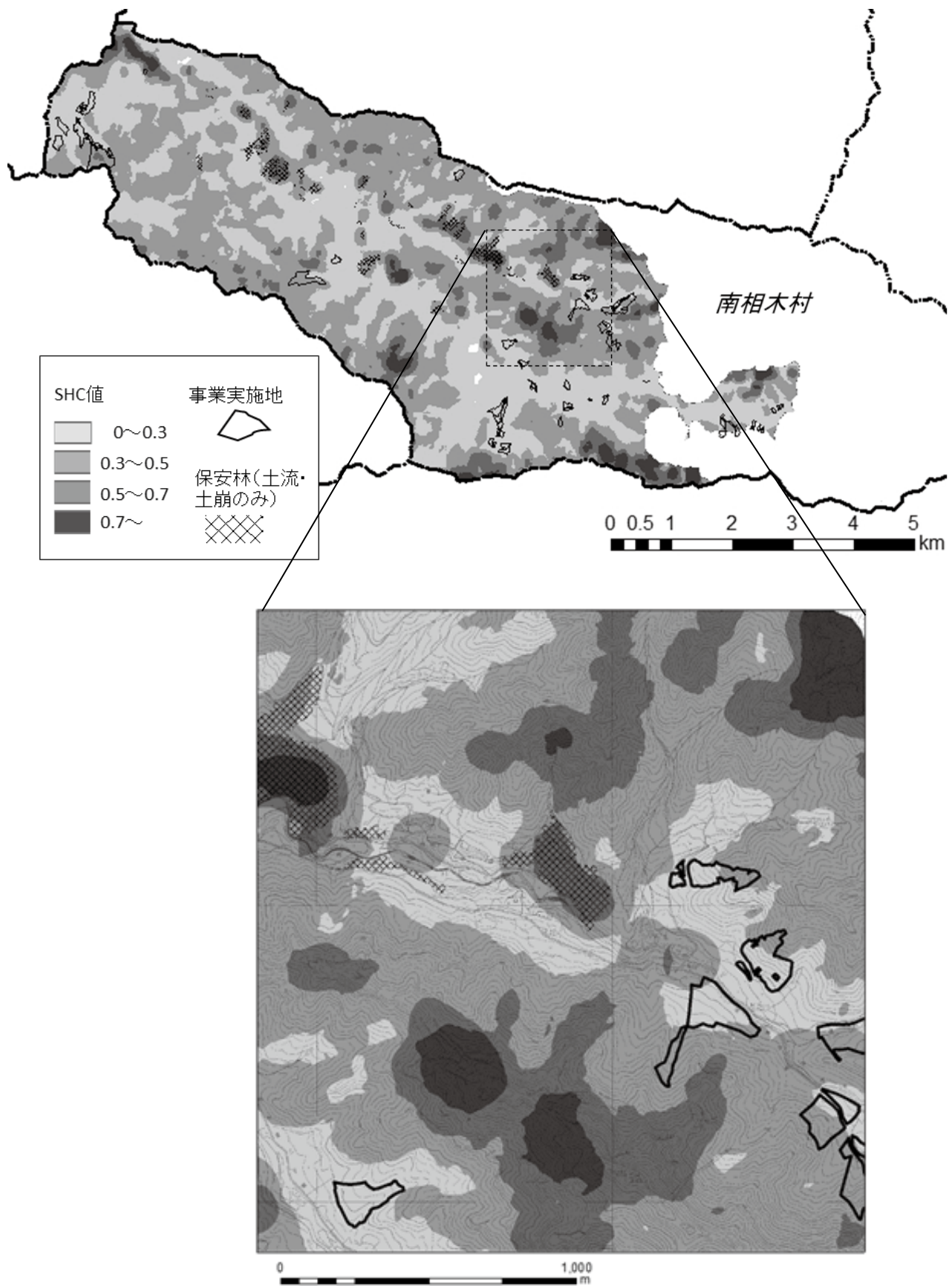


図 3-5 南相木村全体の SHC 図に森林施業実績と保安林を重ねて表示