

研究課題終了時評価表

1. 研究課題名：航空レーザーデータを用いた土地の脆弱性に関する新たな土地被覆分類の研究
2. 研究期間：平成23年4月 ～ 平成26年3月 （3年間）
3. 予算：特別研究経費 31,144 千円（3年間の総額）

4. 成果の概要

樹高や植生の疎密度など土地の脆弱性に関連するとされる土地被覆データを、アーカイブの航空レーザ測量データを中心に把握する事と、その成果によって土地の脆弱性評価を高度化する手法の開発を行った。研究対象地域は、新潟県出雲崎・広島県庄原・山口県防府・愛媛県新居浜・熊本県阿蘇の5地区である。

（1）航空レーザデータによる土地の脆弱性の把握に資する土地被覆分類情報の抽出手法の開発

樹木根系の土壌保持効果が表層崩壊を防ぐ効果があるとされていることから、斜面の脆弱性評価に活用可能な土地被覆情報として、樹高と樹木の疎密度を取り上げた。

樹高については、航空レーザ測量のアーカイブデータからDCM(Digital Canopy Model)を作成し、毎木調査の結果（グランドトゥルース）と比較分析した。1～2m程度の比較的粗い解像度のデータを用いた場合でも、30mメッシュ程度でDCM値を平均化すると、DCM（補正值）＝樹高と考えて概ね問題はない事が分かった。樹高の補正については、航空レーザ計測から年数が経過している場合に樹種別の樹高成長曲線から推測して補正する方法と、落葉広葉樹林が斜上して成長する性質を斜面傾斜によって補正する方法が有用であった。補正が必要な落葉広葉樹林の抽出には、人工衛星画像（ALOS/AVNIR-2）を利用した二時期のNDVIからの抽出が有用であった。

樹木疎密度データの作成は、DCMから画像処理（最大値フィルタ）を用い、樹冠ピーク点密度（樹木本数密度に相当）を求める手法について検討した。この手法は落葉期の広葉樹林でも条件が良ければ適用可能であり、また手順が単純で汎用性がある。着葉した樹林の疎密度は、比較的グランドトゥルースとの相関が良く、正の相関が見られた。解像度の限界付近を超えると、実測値に対して過小評価になることが分かった。ただし、大きく過小評価になる密生地は、より細木が多く、根系の土壌保持効果については、過小評価分が相殺される可能性も高い。従って、疎密度についても、土地の脆弱性評価に補助的に用いる事はできると考えられる。なお、ウィンドウサイズや解像度の問題を避ける手段として、オルソフォトの利用についても検討した。条件の良いオルソフォトであれば、画像処理と水文分析の分水嶺抽出手法を転用する事によって、疎密度の把握ができることがわかった。

（2）土地の脆弱性評価の高度化

土砂災害発生前の航空レーザデータが広範囲に存在する防府地区を中心に検討した。斜面の脆弱性評価については、30m程度のウィンドウサイズで計算した斜面傾斜と凹凸度を中心に、樹高データと、根系強度を反映すると考えられる（樹高）×（疎密度平方根）データを加えて行った。

樹高データについては、森林の平均樹高が高くなると崩壊率が減少する傾向が見られた。これは地形的脆弱性とは独立な傾向であった。また、平均樹高がある高さ以上の区間で崩壊率がゼロになる統計結果が得られた。

各パラメータを閾値で区切り、場合分けして判別分析を行った。その結果、樹高データを加

えた場合、谷筋の急斜面で斜面崩壊の正答率が明瞭に向上していた。（樹高）×（疎密度平方根）データと崩壊率の関係は、明瞭な負の相関が得られ、斜面の脆弱性評価に役立つ新たなパラメータであることが示唆され、「根系強度指数」として提案した。

（３）作業マニュアルの作成

マニュアルはWeb公開を予定しており、平成21年度終了課題「高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法の開発」のマニュアルに、航空レーザデータから土地被覆情報を抽出する手法と、地形情報に土地被覆情報を加味して斜面の脆弱性を評価する手法について、解説を追加する形で公開する。フローチャート式にポップアップを用いた手順解説等、簡便なデザインを準備中である。

5. 当初目標の達成度

（１）当初計画における目標

既存の衛星リモートセンシング等による土地被覆分類では得られない樹高や植生の疎密度など、土地の脆弱性の把握などに資する新たな土地被覆分類手法を構築し、その土地被覆分類データにより土地の脆弱性の評価を高度化する手法を開発する。また、これらの手法を土地脆弱性評価に活用するためのマニュアルを作成する。

（２）最終達成度

航空レーザ測量のアーカイブデータから、樹高データや樹木疎密度データなど、従来の衛星リモートセンシングでは得ることが困難な斜面の脆弱性の把握に資する土地被覆情報について、現地の状況と矛盾のないデータを作成するための技術的な手法が確立できた。樹高や、樹高×（疎密度平方根）による指標が、崩壊率と相関がある事が明らかになった。斜面の脆弱性評価については、谷筋の急斜面など特定の斜面については、地形のみのデータで評価するより樹高等の土地被覆情報を加味して評価した方が、危険度予測の正答率が明瞭に向上することが明らかになり、土地の脆弱性の評価を高度化することができた。以上の知見については、過去の特別研究の成果としてWebで公開している斜面崩壊予測のマニュアルに追加する予定である。よって、当初計画における目標は達成されている。

6. 成果公表状況

研究報告書	3 件
発表論文 査読付き	2 件（予定 1 件を含む）
口頭発表	8 件

7. 成果活用の見込み

今回の特別研究により、谷筋の急斜面等では樹高等の土地被覆情報を加味することで脆弱性評価が向上することを示すことができた。過去の特別研究の成果である斜面の脆弱性評価手法については、既にWeb等で公開して斜面崩壊の研究者やコンサルタント等で活用されているが、本研究の成果を既存のマニュアルに追加することで、より高度化した評価手法を関係者に活用してもらえる環境が整備される。また、航空レーザ測量のアーカイブデータは全国広範囲に膨大なデータがあることから、航空レーザのオリジナルデータから樹高や樹木疎密度などの土地被覆植生情報を抽出する手法を開発して公開することにより、当初の目的であった斜面の脆弱性評価のみならず、森林の三次元構造を必要としている環境影響評価分野、森林施行管理、森林におけるCO₂固定量の評価、森林生態系の生物多様性の評価など、森林に関連した様々なフィールドで活用される可能性があり、研究成果の波及効果は大きいものとする。アーカイブデータを所有してい

る国土地理院としても、アーカイブの新たな活用方法として、防災情報支援活動への貢献が考えられる。

8. 達成度の分析

(1) 有効性の観点からの分析

本研究で開発したデータ作成法やその周辺の技術的知見については、航空レーザ測量アーカイブデータに関して広範囲に適用可能であり、本研究の成果は有効であると判断する。また、本研究の成果は、査読付き論文として公表されている。

(2) 効率性の観点からの分析

毎木調査は外部委託とし、研究者はデータ解析等に専念した。航空レーザ測量等の大容量のデータ解析にあたっては、汎用のGISソフトウェアや統計分析ソフトウェアを利用した。また、国土地理院内で航空レーザ分科会を開催して、応用地理部はじめ現場担当者の意見を聞くと共に、森林総研や国総研の研究者と意見交換の機会を持ち、様々な意見を頂き効率的に研究を進める事ができた。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

国土地理院が保有する航空レーザ測量アーカイブデータは、地形の計測を目的として広範囲に取得されたものであり、一般に、森林管理用に狭い範囲を高密度に計測されたデータと比較して、点群密度が低い。本研究の対象地区では、災害発生前の古い時期のデータは点群密度が低く、樹木疎密度の計測については課題が残った。しかしながら、航空レーザ測量データは高解像度化の一途をたどっており、年数の経過と共に改善するものと考えられる。

土地被覆が崩壊に与える影響に関しては、発災前のデータがきわめて少なく、今回作成したマニュアルをより高度化する意味でも、今後さらにケーススタディを蓄積していくことが必要である。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

11. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室

TEL : 029-864-1111(内8434) FAX : 029-864-2655

平成 23 年度～平成 25 年度特別研究
「航空レーザーデータを用いた土地の脆弱性に関する新たな土地被覆分類の研究」
に関わる成果公表リスト

[研究報告書]

国土地理院調査研究年報（平成 23 年度，平成 24 年度，平成 25 年度（予定））

[発表論文]

（査読付き）

岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛（2013）：新潟県出雲崎地区における航空レーザー計測データによる森林の 3 次元要素の抽出．写真測量とリモートセンシング，vol. 52，no. 2，pp. 56-68.

Junko Iwahashi, Takaki Okatani, Takayuki Nakano, Mamoru Koarai, Kosei Otoi（2014）：Landslide susceptibility analysis by terrain and vegetation attributes derived from pre-event LiDAR data: a case study of granitic mountain slopes in Hofu, Japan. InterPraEvent 2014（2014 年 11 月開催予定。アブストラクト受理済。フルペーパー投稿予定 4/30）

[学会等発表]

岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛（2012）：航空レーザー測量データを用いた植生の樹高を考慮した土地被覆分類の試行．日本地理学会 2012 年春季学術大会 2012 年 3 月

岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛（2012）：新潟県出雲崎地区における航空レーザー測量データと樹高・樹木密度の対応．日本地球惑星科学連合 2012 年大会 2012 年 5 月

岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛（2012）：斜面災害発生地における航空レーザー測量データと樹高・樹木密度の対応．第 4 回 GIS Landslide 研究会 2012 年 7 月

岡谷隆基（2012）：新潟県出雲崎地区における航空レーザー測量データと樹高・樹木密度及び斜面崩壊の対応について．国土地理院談話会 2012 年 7 月

岡谷隆基（2012）：航空レーザー測量データを用いた建物高図の作成．日本国際地図学会平成 24 年度定期大会 2012 年 8 月

岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛（2012）：新潟県出雲崎地区における航空レーザー測量データと樹高・樹木密度との対応．日本写真測量学会平成 24 年度秋季学術講演会 2012 年 11 月

岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛（2013）：航空レーザー測量計測データより導出される樹高・樹木密度と斜面崩壊との関係．日本地球惑星科学連合 2013 年大会 2013 年 5 月

岩橋純子・岡谷隆基・乙井康成・小荒井 衛・中埜貴元（2013）：航空レーザー測量アーカイブデータから推測した樹高・樹木本数と現地状況の比較．CSIS DAYS 2013 2013 年 11 月

航空レーザーデータを用いた 土地の脆弱性に関する 新たな土地被覆分類の研究

国土地理院地理地殻活動研究センター
地理情報解析研究室

【研究課題名】

航空レーザーデータを用いた土地の脆弱性に関する新たな土地被覆分類の研究

【研究期間】

平成23年4月～平成26年3月（3年間）

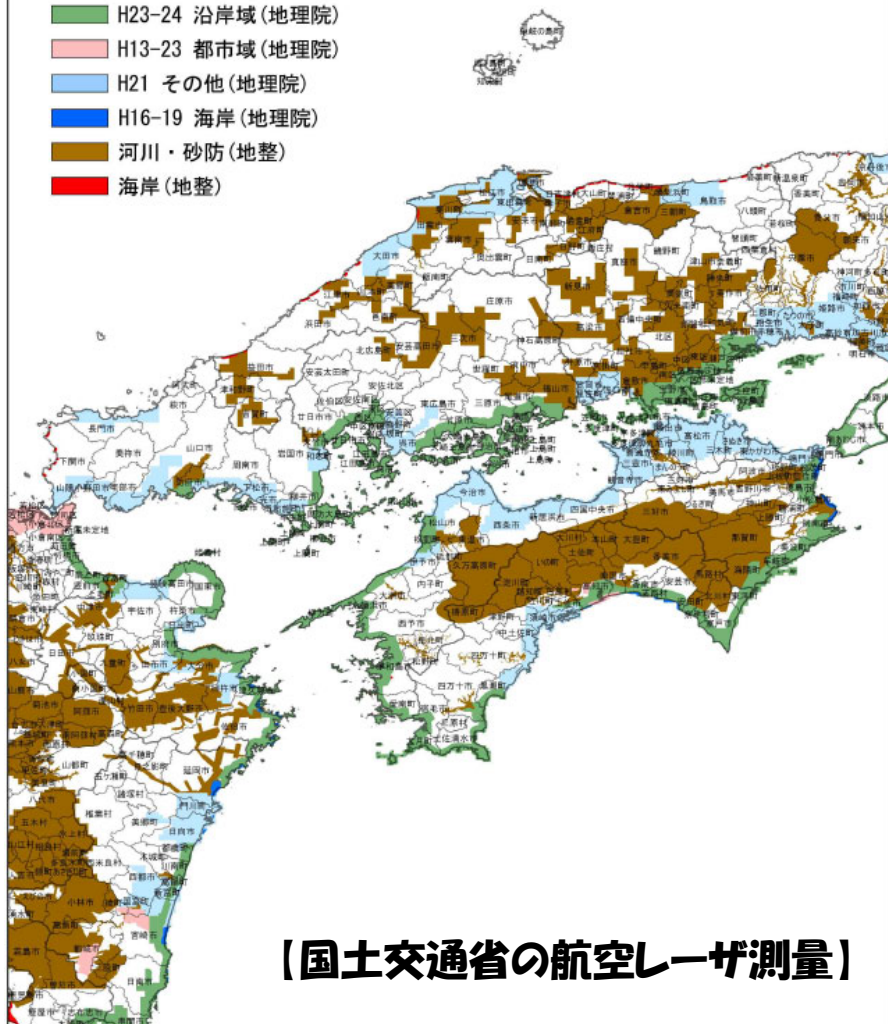
【予算】

特別研究経費 31,144千円（3年間の総額）

本研究の背景

航空レーザ測量による
陸域の地形データ提供範囲
〈中国・四国〉

- H23-24 沿岸域(地理院)
- H13-23 都市域(地理院)
- H21 その他(地理院)
- H16-19 海岸(地理院)
- 河川・砂防(地整)
- 海岸(地整)



【国土交通省の航空レーザ測量】

・航空レーザ測量データ(以後、LiDARデータ)を用いて傾斜・凹凸等による表層崩壊の分析を行ってきた。(H19~21年度特別研究 etc.)

→研究評価委員から「地形・地質以外に植生なども影響するはず」とのご意見あり

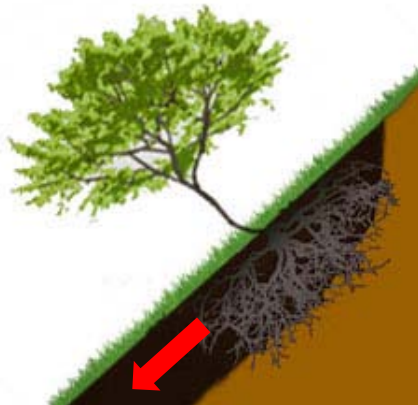


・国土地理院がアーカイブしているLiDARデータ(例:左図)から、パラメータを抽出できないか？

航空レーザ測量の原データに含まれる樹冠高と、標高データ(DEM)から求められる**推定樹高DCM(Digital Canopy Model)**に着目

「樹木根系の土壌保持効果」

樹木の根が、土壌を保持して表層崩壊を防ぐ効果があるとされている(阿部,1998 等)



すべり面を貫いて伸びた根の模式図

根株の引き抜き抵抗力は根株の直径と正の相関があり(上村ほか,2002;山場・佐野,2008 等)、胸高直径(根株直径と相関)は樹高と正の相関がある(島田,2011 等;本研究(Slide 29))

樹高が間接的に根の引き抜き強度を表している



森林の区別に有用とみられる指標

樹高

疎密度

※単木でなく林群として土壌保持効果を考える場合、樹木本数(密度)も考慮(小山内ほか,2011 等)

本研究の背景

【データ作成の課題】

- 林業分野でDCMが実測値と合っていると報告している論文（伊藤ほか, 2009 等）→ 主としてヘリコプターで計測された解像度数十センチのDCM利用。場所はほぼスギ・ヒノキ人工林に限られる。
- 国交省のデータは古いものでは2～5m、新しいもので1mメッシュ程度の解像度を想定。
- さらに、国交省のデータは大部分、落葉期のデータである。



【その他DCMに蓄積する誤差】

- 樹冠でレーザが反射したかどうか
- DEMの誤差（地上点が疎な場所がある）

国交省のLiDARデータを使って、スギ・ヒノキ人工林以外の所でも樹高等の把握が本当に可能??



現地で計測した樹高との比較・検証を行う

【植生を用いた土地の脆弱性評価に関する課題】

- ・森林が皆伐されているか、残っているか（1か0か）によって表層崩壊の起こりやすさが異なる事はよく知られている。

しかし・・・

- ・森林域に於いて、樹高等と実際に起きた崩壊の発生率との定量的関係は、まだよくわかっていない。（発災前のLiDARデータが近年までは無かったため）



発災前の樹高等と実際に起きた崩壊の比較を行う

本研究の目標

1

樹高や植生の疎密度など、土地の脆弱性の把握に資する土地被覆分類手法を構築

2

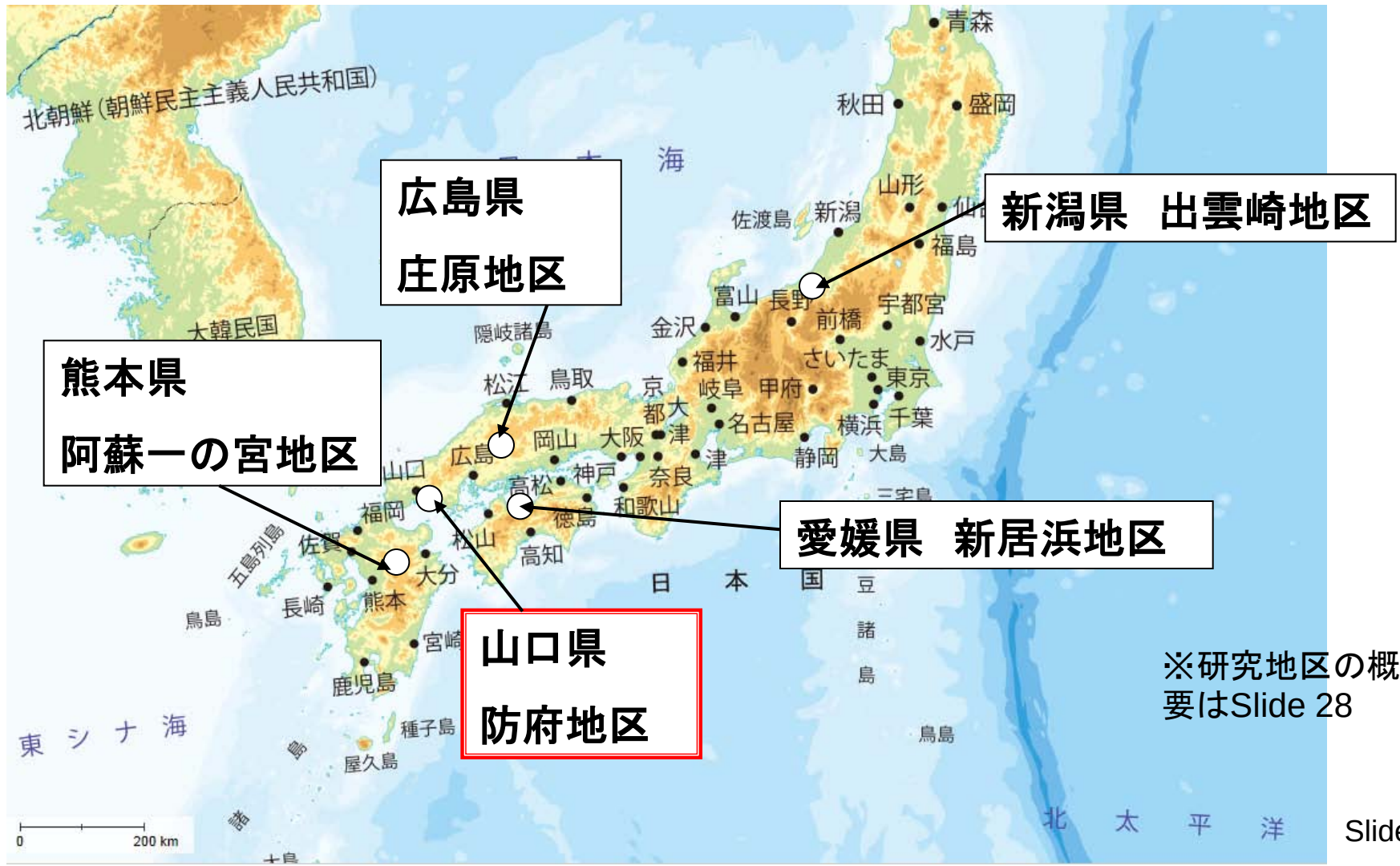
土地被覆分類データにより土地の脆弱性の評価を高度化する手法を開発

3

手法をまとめたマニュアルを作成

研究地区

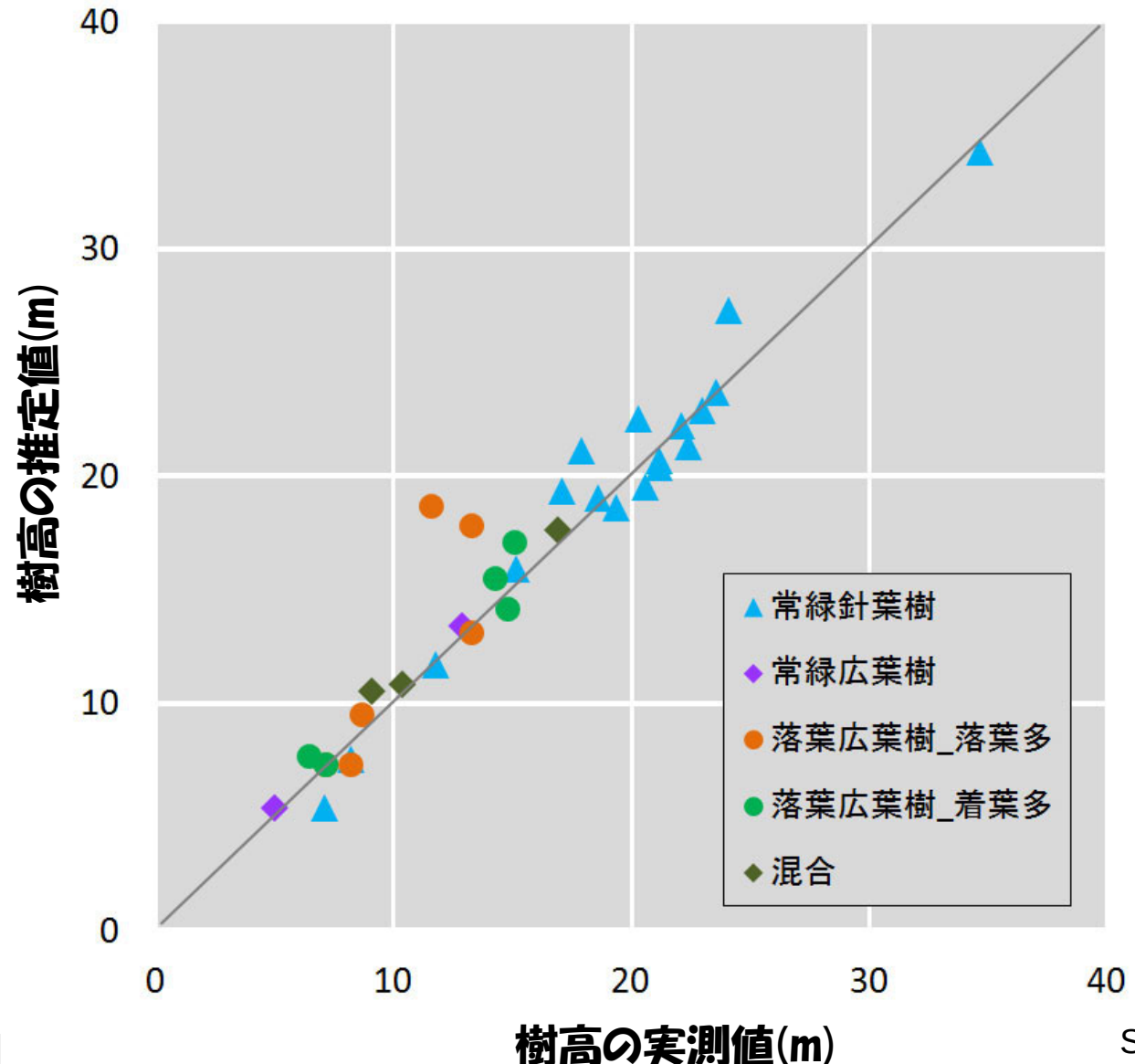
樹高や疎密度の抽出に関する分析は全地区を対象に行い、土地の脆弱性と樹高等の関係の分析は、発災前のデータが土砂災害発生域を広範囲にカバーする防府地区を中心に行った(Slide28参照)。



1-1. 樹高データの作成

全地区 毎木調査地区(30mメッシュ程度の面積)毎の平均樹高

※防府は2009年、阿蘇一の宮は2012年計測データ利用

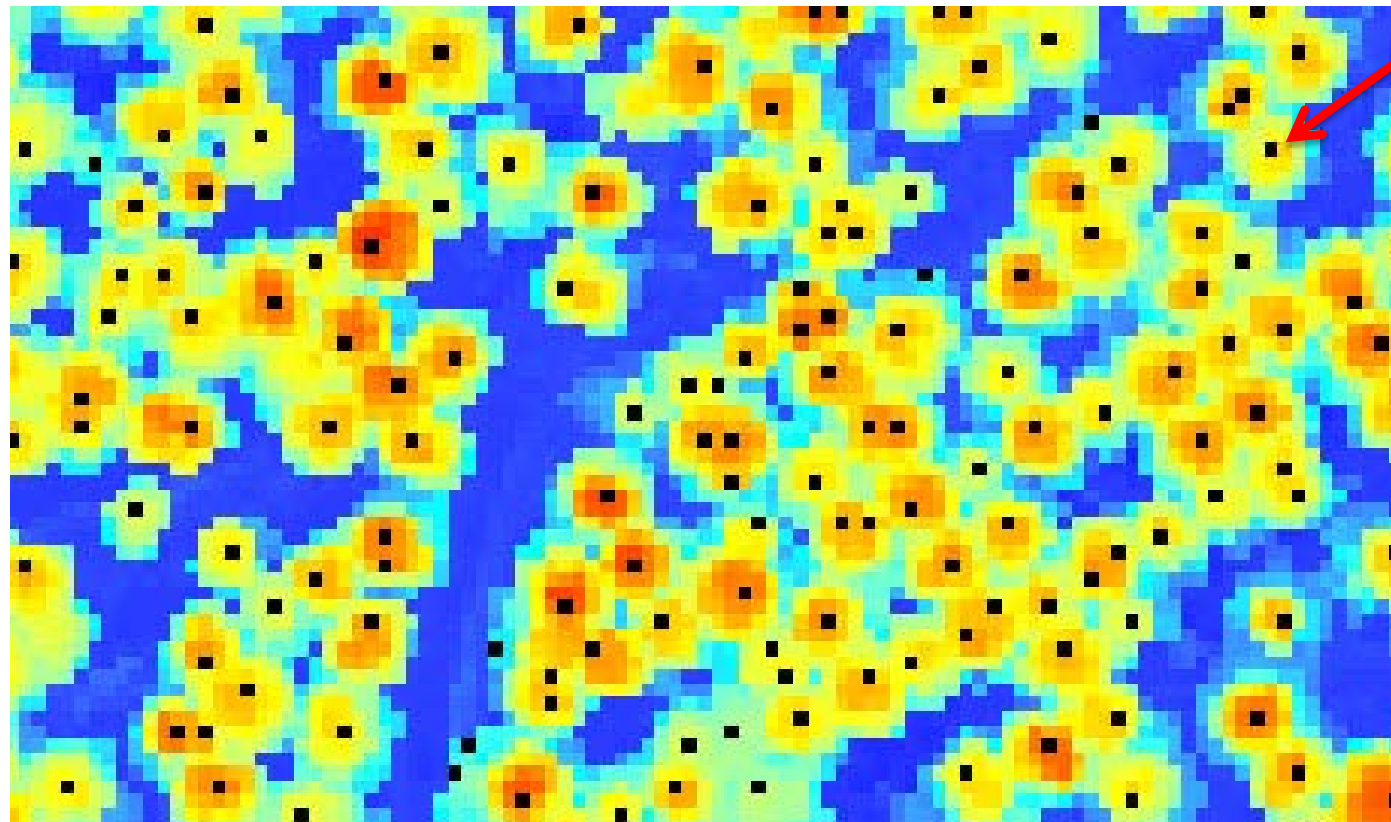


- 1～2m程度の比較的粗い解像度のデータを用いた場合でも、30mメッシュ程度でDCMの値を平均化すると、DCM(補正值)＝樹高と考えて概ね問題はない事が分かった。(右図)
- ただし、DCMは補正が必要である(経年変化の補正・落葉樹では斜面傾斜の補正)

※Slide 31-37に詳細

1-2. 樹木の疎密度について

画像処理(3×3最大値フィルタ)を用いてDCMのピーク(黒い点)を抽出した結果(庄原地区1mDCMの例) (岡谷ほか,2013aの手法)



抽出したピーク
＝樹冠の頂点

樹木疎密度
＝30mメッシュあ
たりのピーク点数

DCM樹高
30m
0

画像処理(3x3最大値フィルタ)→理論的に、ウィンドウサイズ(解像度1mなら3m四方)を
超える幅の樹冠のピークはすべて拾う

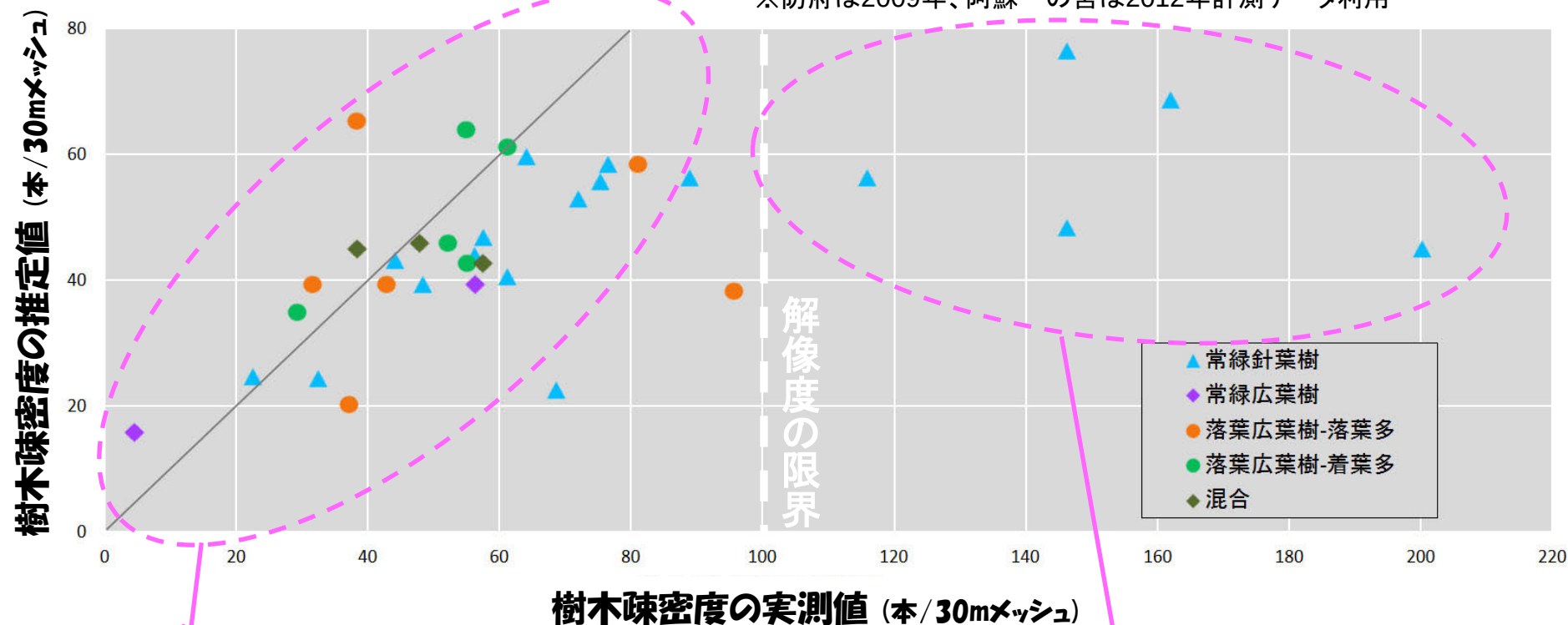
メリット: 計算が早い・汎用のラスタ画像処理ソフトに機能あり

デメリット: 拾えるピークの数ウィンドウサイズの大きさに依存する

1-3. 樹木の疎密度について

全地区 毎木調査地区(30mメッシュ程度の面積)毎の樹木疎密度 (1mDCM利用例)

※防府は2009年、阿蘇一の宮は2012年計測データ利用



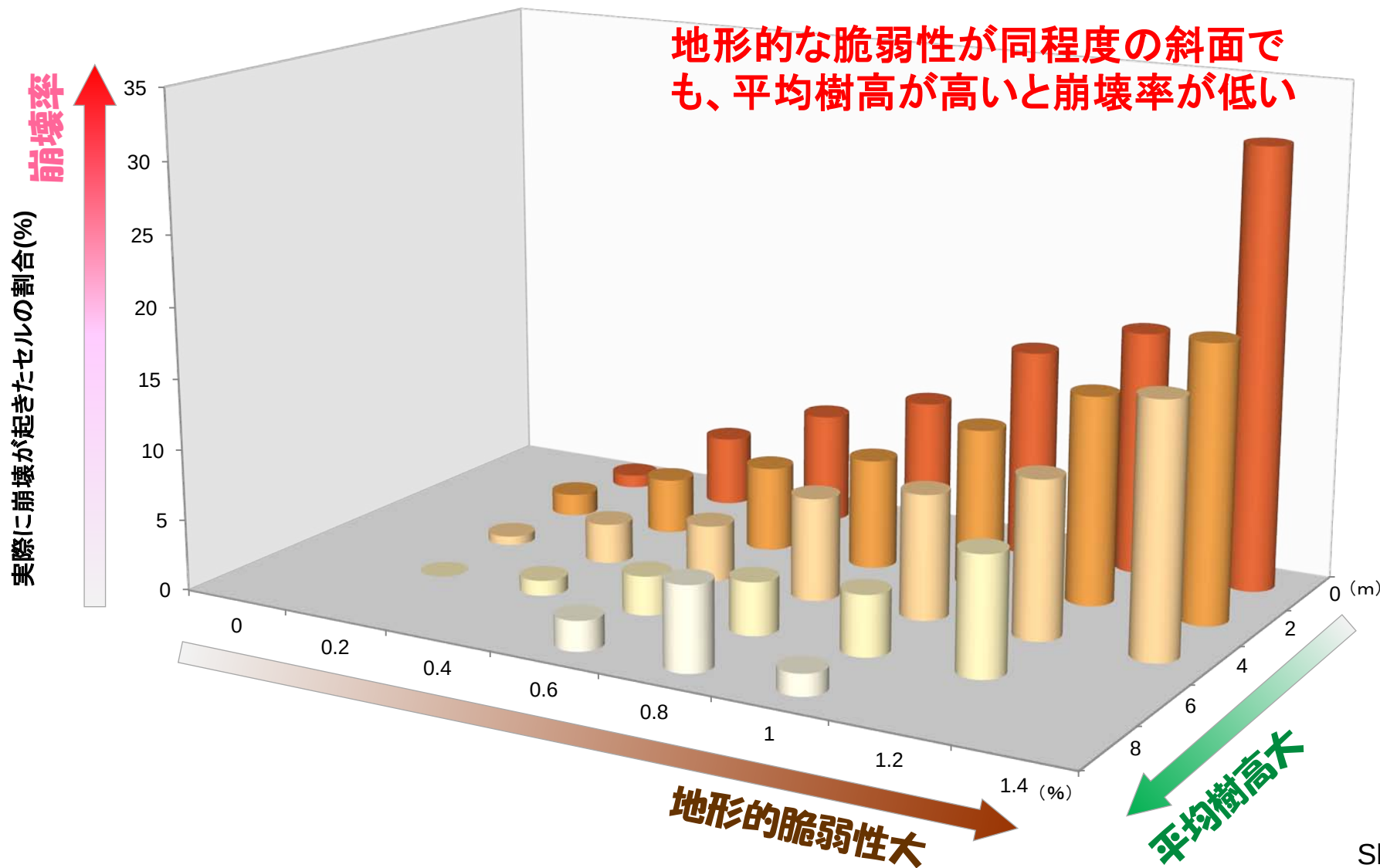
比較の実測値との相関が良い(特に着葉している広葉樹と、幼樹林を除く針葉樹)

LiDARデータから求めた樹木疎密度を、土地の脆弱性評価に補助的に利用する事は可能

- ・実測値に対して過小評価→解像度不足への対応策として、LiDARデータ付属のオルソフォトを用いる手法も開発(Slide 40)
- ・密生地では細木が多く、土壌保持効果については過小評価分が相殺される可能性

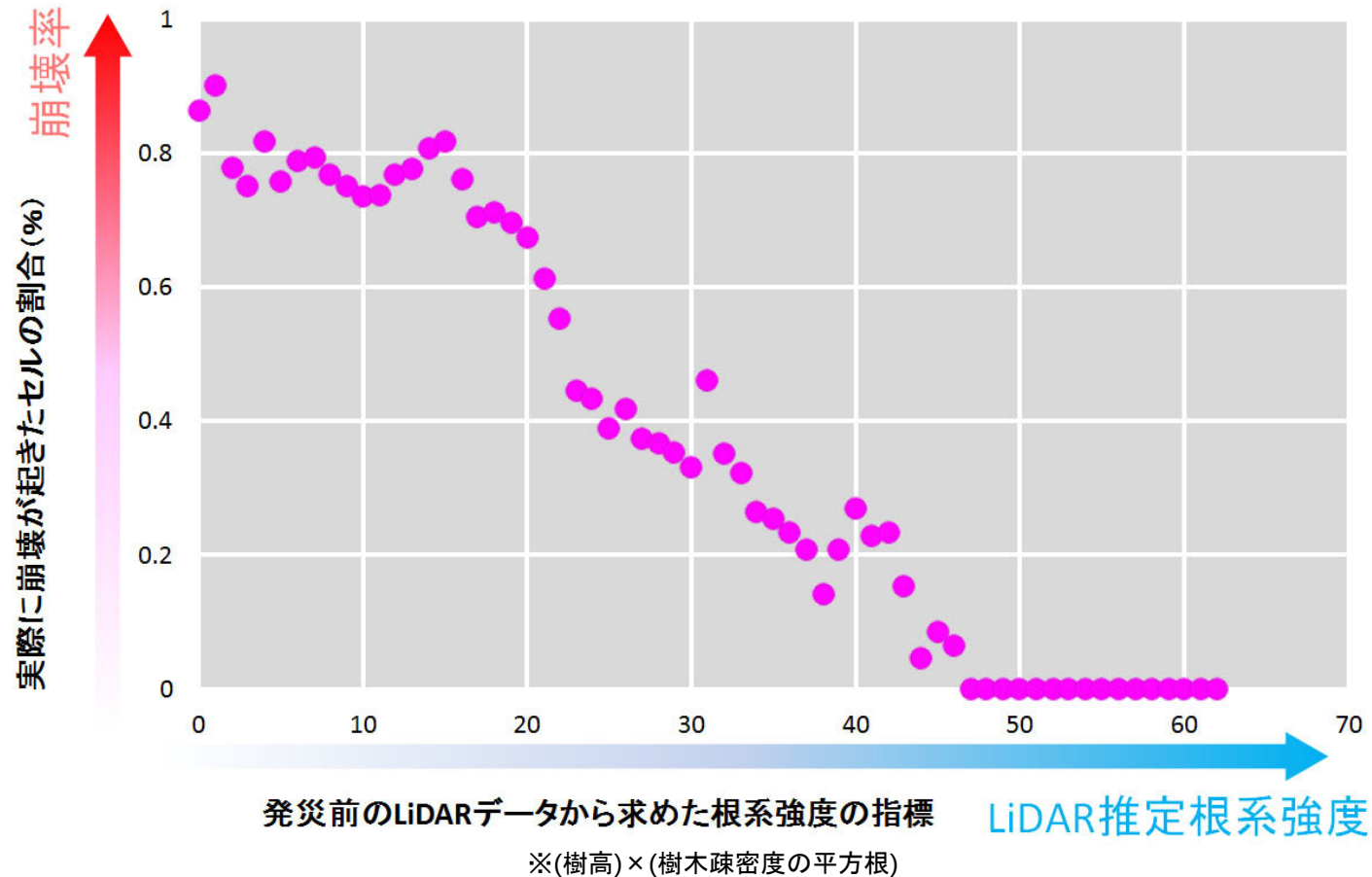
防府地区

地形的脆弱性(Slide 41)、樹高(以上、発災前の2005年LiDARデータから計算)と、2009年7月豪雨による崩壊率の関係 ※30mメッシュに集約したデータから計算



2-2. 樹高に樹木疎密度を加えた根系強度の指数

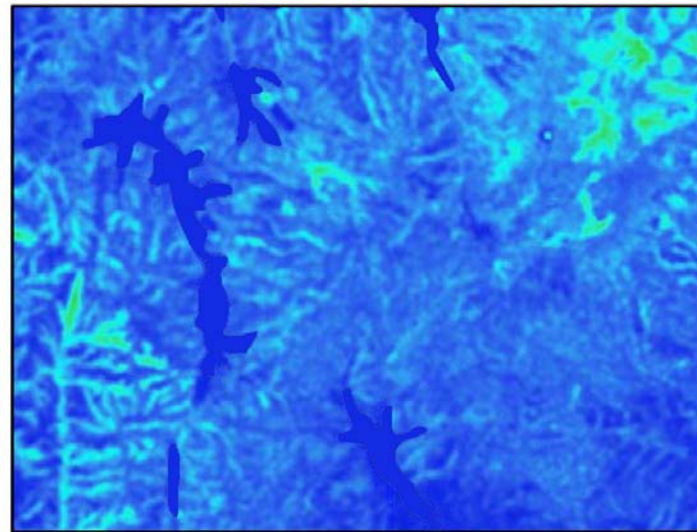
防府地区 根系強度指数(=(樹高)×(樹木疎密度の平方根):2005年
LiDARデータから)と2009年7月豪雨災害による崩壊率の関係



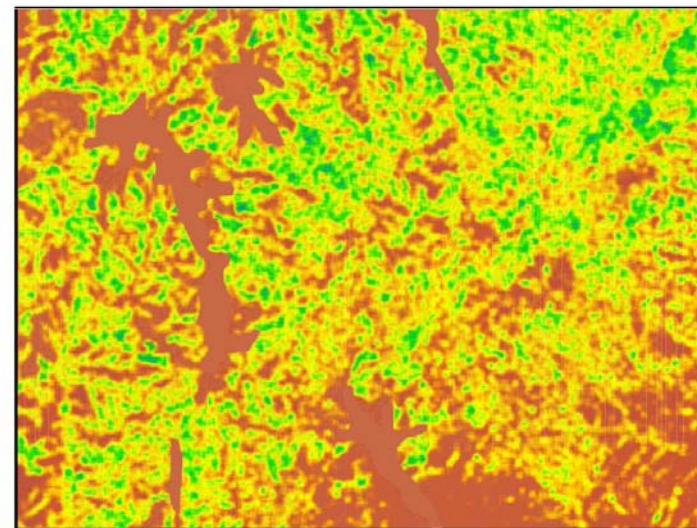
樹木の引き抜き強度は胸高直径÷樹間距離に比例(析本ほか,2010)。
胸高直径は樹高に比例。樹間距離の二乗は樹木本数密度に反比例。したがって

根系強度(樹根が土壌を保持する力) $\propto$ 樹高 $\times$ $\sqrt{\text{樹木疎密度}}$
と推定できる

2-3. 根系強度指数による土地被覆分類のイメージ

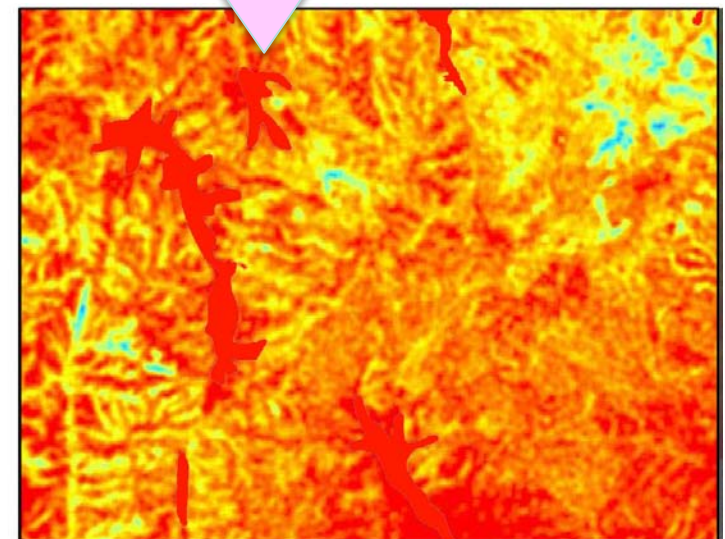
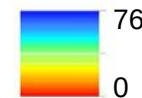


樹高データ



樹木疎密度データ

(平方根)



LiDARによる根系強度指数

土地の脆弱性評価に資する
新たな土地被覆分類

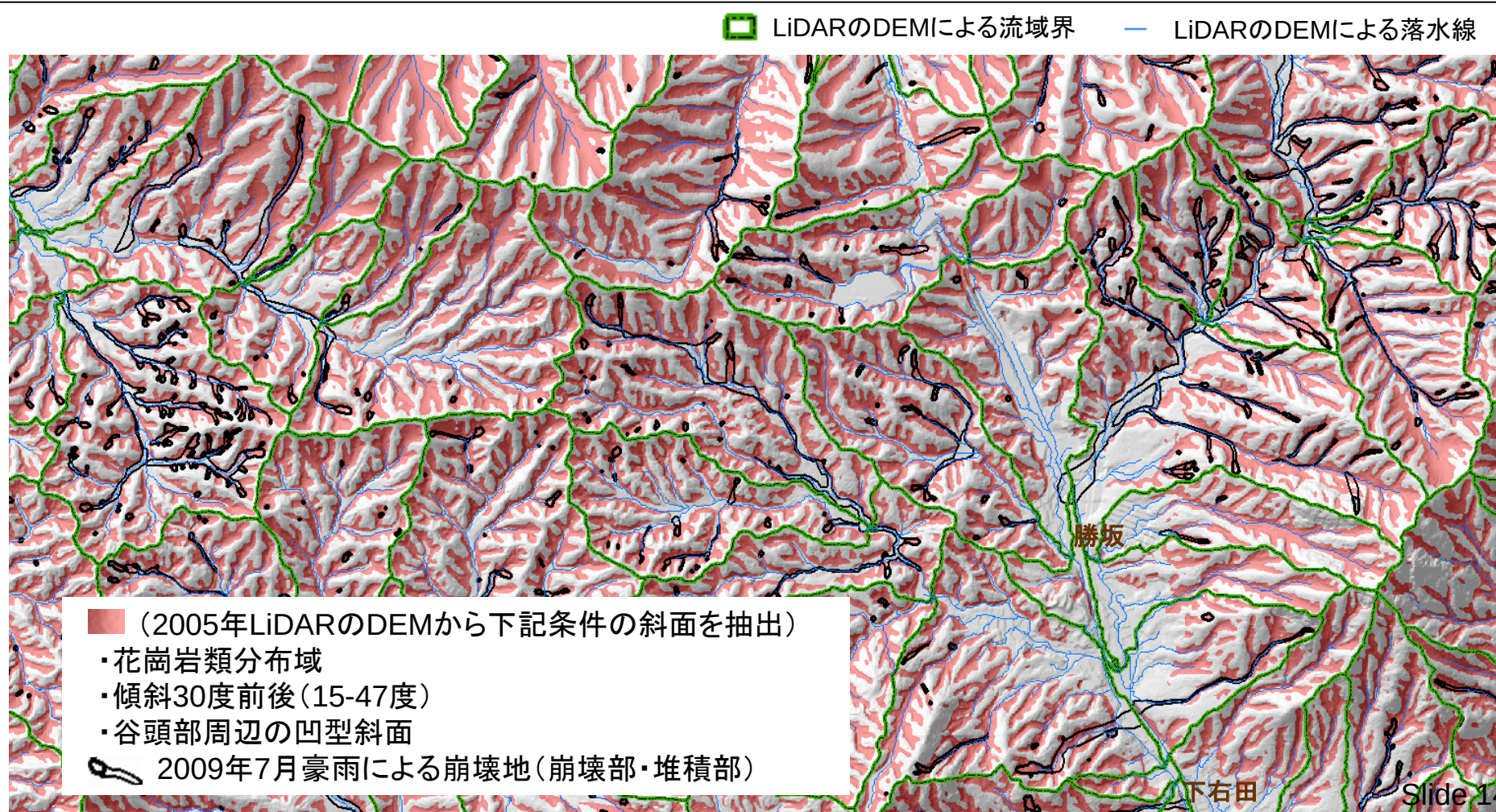
2-4-1. 根系強度指数追加の利点:①地形・地質のみでは？

表層崩壊の条件: 1. 表層崩壊が起き得る地形 & 雨量 ← 絶対条件

2. 崩土となる物質の存在 (地域の岩相が影響; 防府の場合、崩壊は風化に強い石英斑岩・変成岩等にはほとんど発生せず、花崗岩類に集中)

しかしこれだけでは調査候補地が膨大な量に・・・

(下図は防府地区の例)



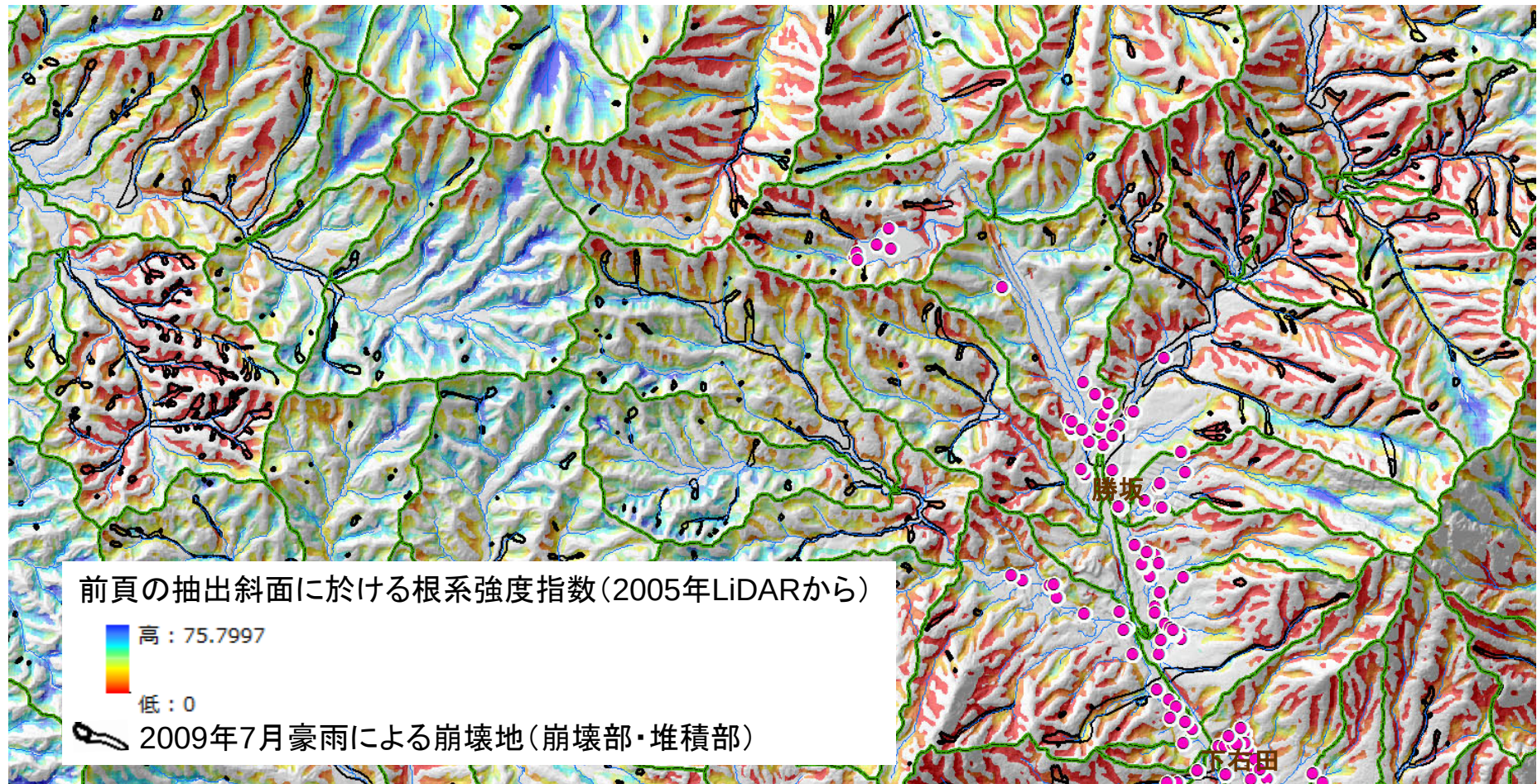
2-4-1. 根系強度指数追加の利点: ②地形・地質+根系強度指数

- ⇒ 植生から見て表層崩壊の可能性がより高い斜面をハイライトすることができる
- ⇒ 優先順位の高い流域を把握する

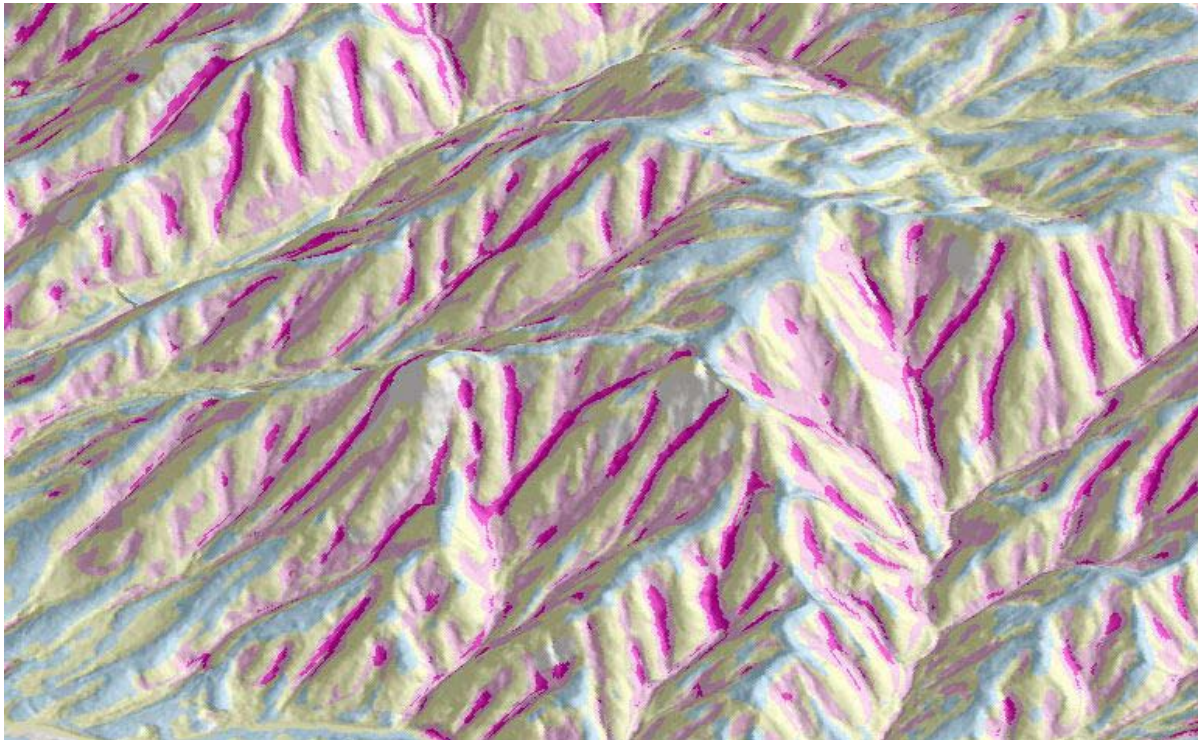
● 建築物(基盤地図情報から)

□ LiDARのDEMIによる流域界

— LiDARのDEMIによる落水線



※地形・地質の影響の方がずっと大きいので、植生のみでスクリーニングするのは危険ではあるが、パラメータの1つとして取り入れる事は可能



地形のみ(傾斜・凹凸度)で
予測したケースと比較した
崩壊予測正答率の増加

+12%

+ 3%

+ 1%

+ 0%

未分析(セル数少)



●防府地区の2009年7月豪雨による崩壊・非崩壊セルを目的変数とした判別分析を行い、説明変数が傾斜と凹凸度だけのケースと、根系強度指数を加えたケースの正答率の差を調べた。(説明変数は2005年のLiDARデータから作成)

- セル数が1000以上の区間について分析。
- 非崩壊セルは崩壊セルと同数、無作為抽出して分析。
- 傾斜は30度程度、凹凸度は-850程度(谷頭部)に崩壊率のピークがあるほか凹凸度0で谷・尾根が分かれるため、斜面をそれらの値で分けけて場合分けした。

谷筋の急斜面で
根系強度指数を
加える効果が高い

3-1. マニュアルの作成

高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法マニュアル | 国土地理院 - Windows Internet Explorer

http://www.gsis.go.jp/chirijoho/chi/

国土交通省 国土地理院 Geospatial Information Authority of Japan

地理院ホーム 国土地理院の紹介 基準点・測地観測データ 地図・空中写真 防災関連 GIS・国土の情報

地理院ホーム > 研究開発 > 地理地殻活動研究センター > 地理情報解析研究室 > 高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法マニュアル

高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法マニュアル

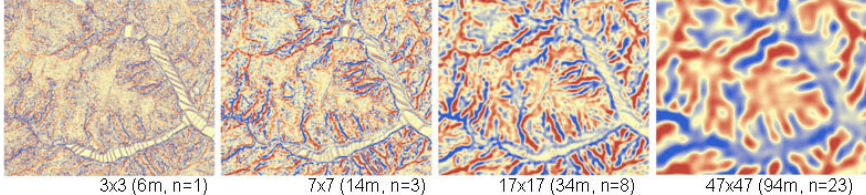
本マニュアルは、平成19～21年度に実施した特別研究「高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法の開発」による詳細な地形データを用いた斜面崩壊予測について、研究成果の概要の説明を中心に記述され、マニュアル末尾に示したリスト等を適宜参照してください。

1. マニュアル作成の背景

昨今でも、毎年のように土砂災害は頻発し、13年に土砂災害防止法が施行され、そのれ、基礎調査は1:2,500レベルの大縮尺で、指定されたのは平成18年の段階で全大縮尺地形図と対比できる数mグリッドの測量データの山地地形調査への利用例は、そこで、山地斜面のハザードマップ作成とを目的として本研究が行われた。本研究マップとして用いられる大縮尺地形分類図

凹凸度作成アルゴリズムについて

本マニュアルで用いた凹凸度の計算手法は以下のステップによっている。
航空レーザ測量による数値地形モデル(DTM)データをLOGフィルタ(Laplacian of Gaussian; 凸型斜面はプラス、凹型斜面はマイナスの値を返し、絶対値が凹凸の度合いを表す。
下図は2mメッシュDTMについて、それぞれカーネルの大きさを覚えて計算範囲を広げたもので、左

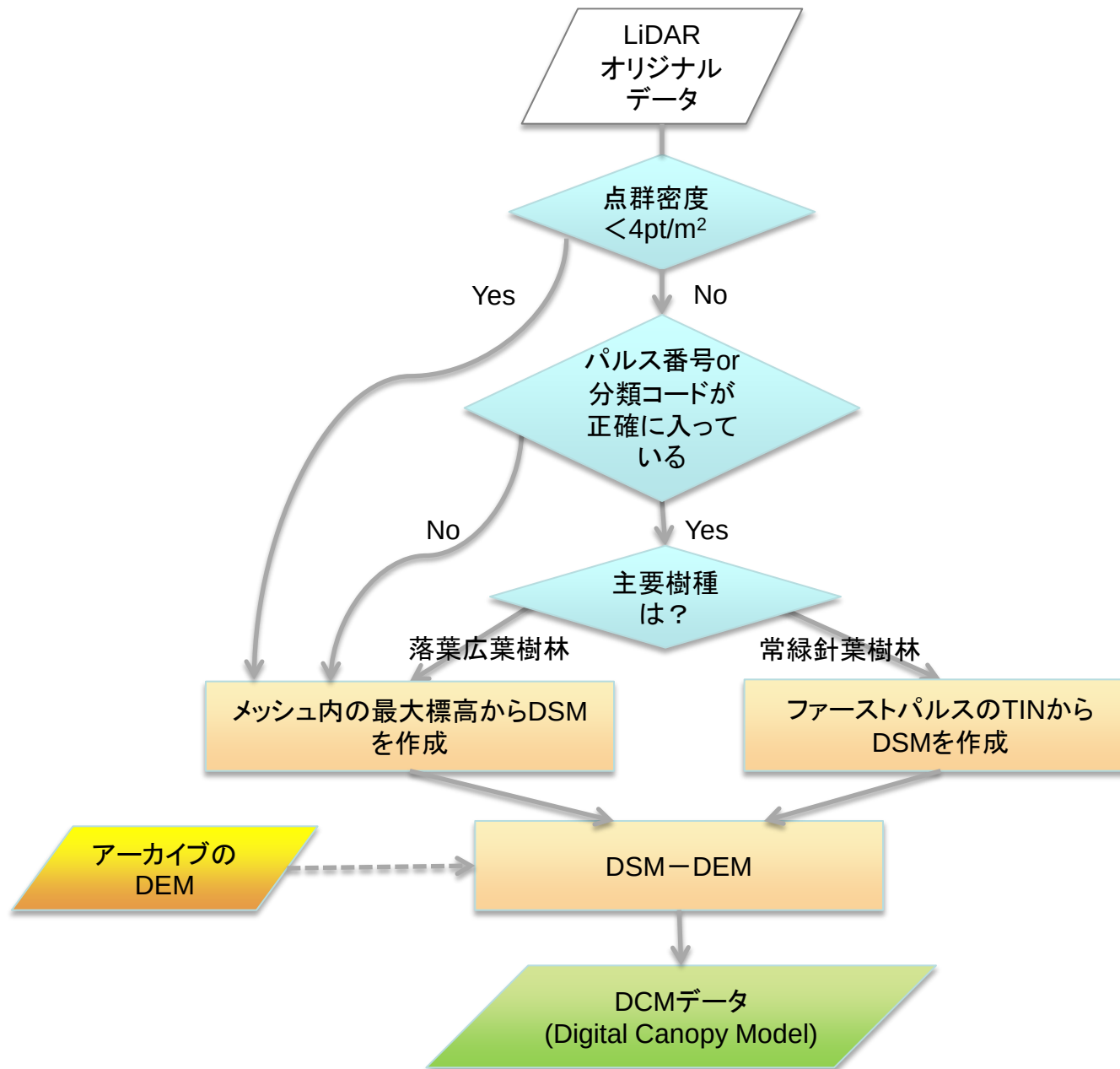
3x3 (6m, n=1) 7x7 (14m, n=3) 17x17 (34m, n=8) 47x47 (94m, n=23)

凸
平坦
凹

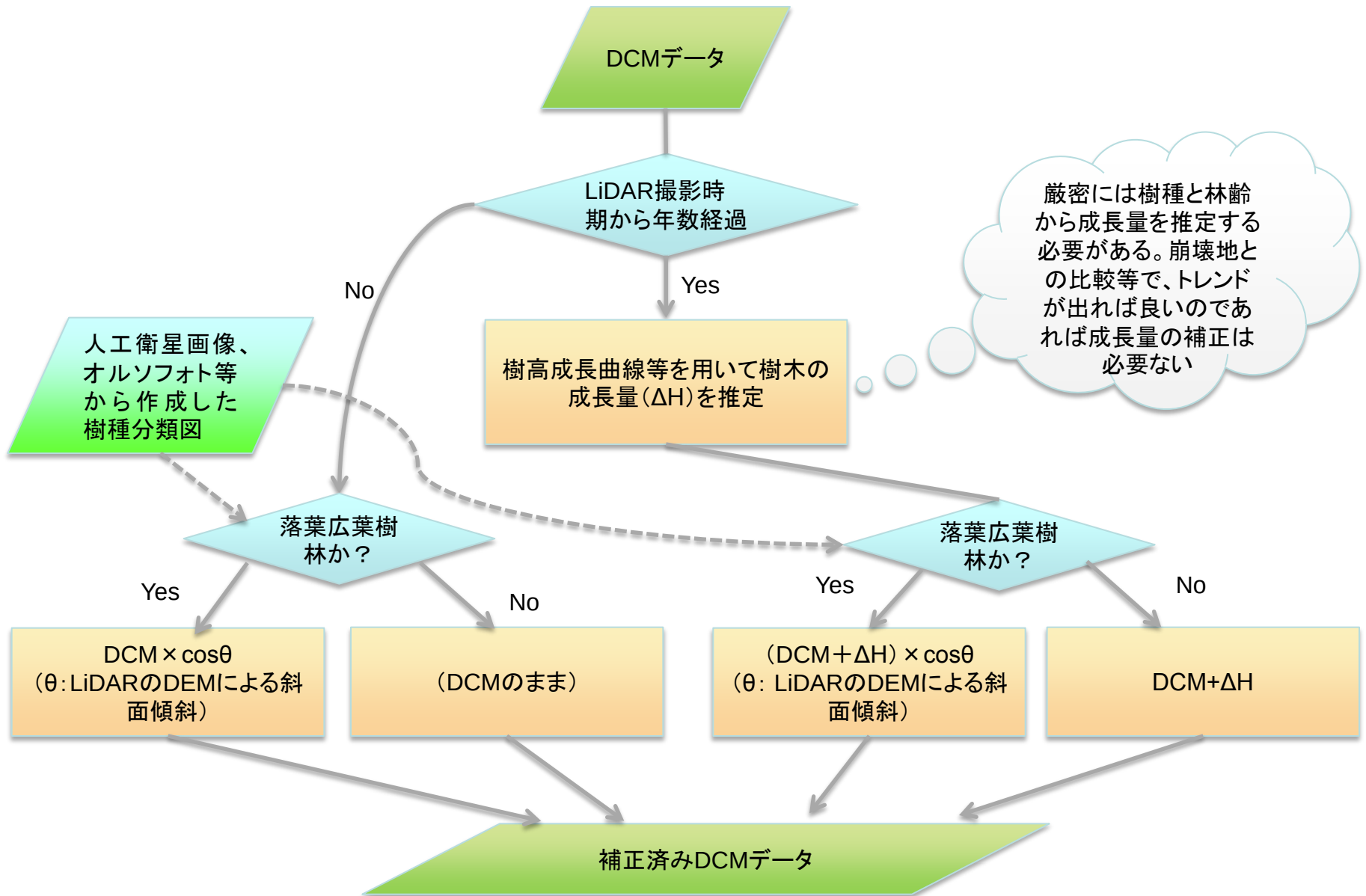
[トップページに戻る](#)

平成22年度終了課題「高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法の開発」のマニュアルに、航空レーザデータから土地被覆情報を抽出する手法と、地形情報に土地被覆情報を加味して斜面の脆弱性を評価する手法について、解説を追加する形で公開する。
フローチャート式にポップアップを用いた手順解説等、簡便なデザインを準備中。

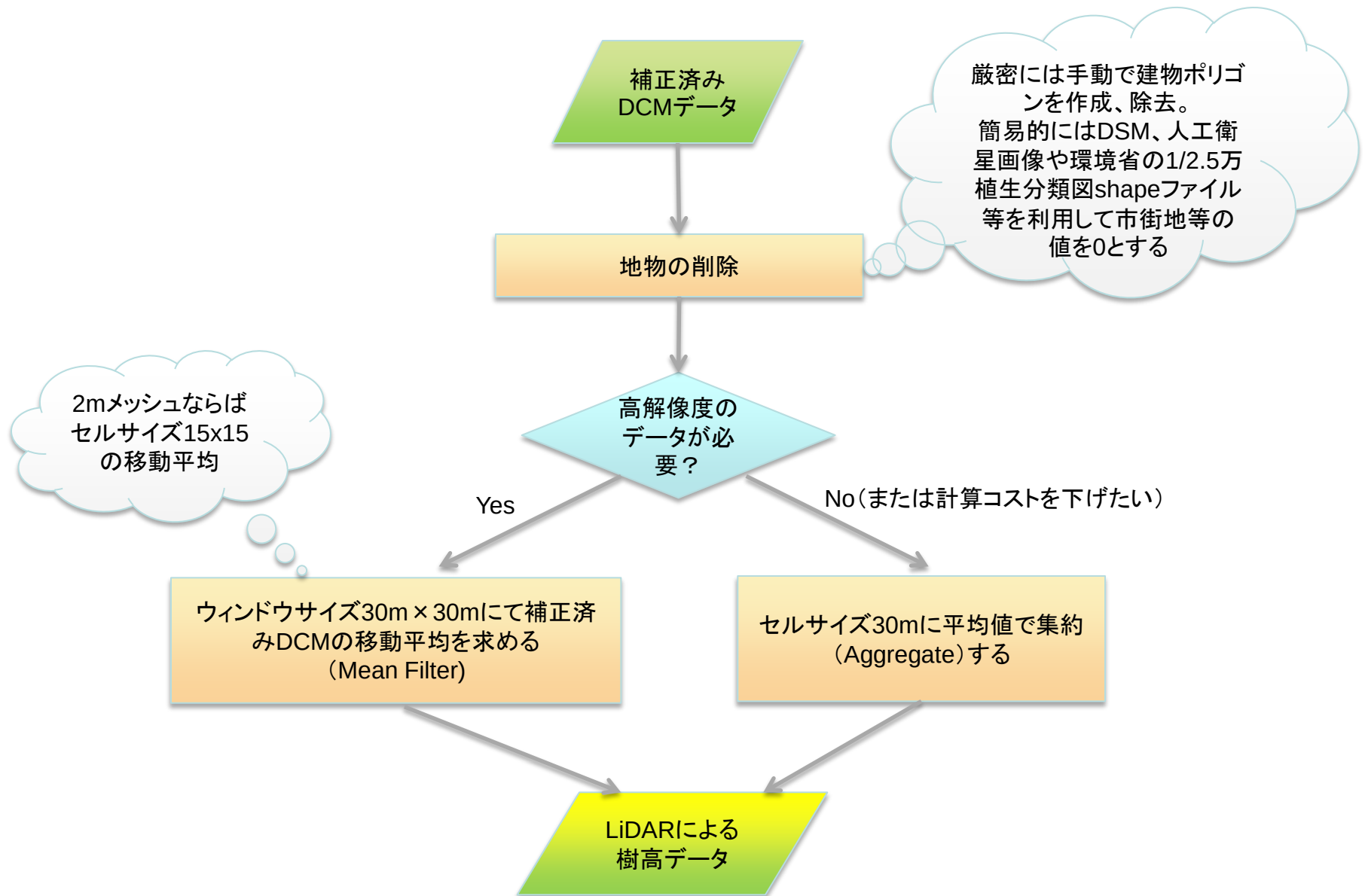
3-2. 樹高データの作り方: その1-DCM作成



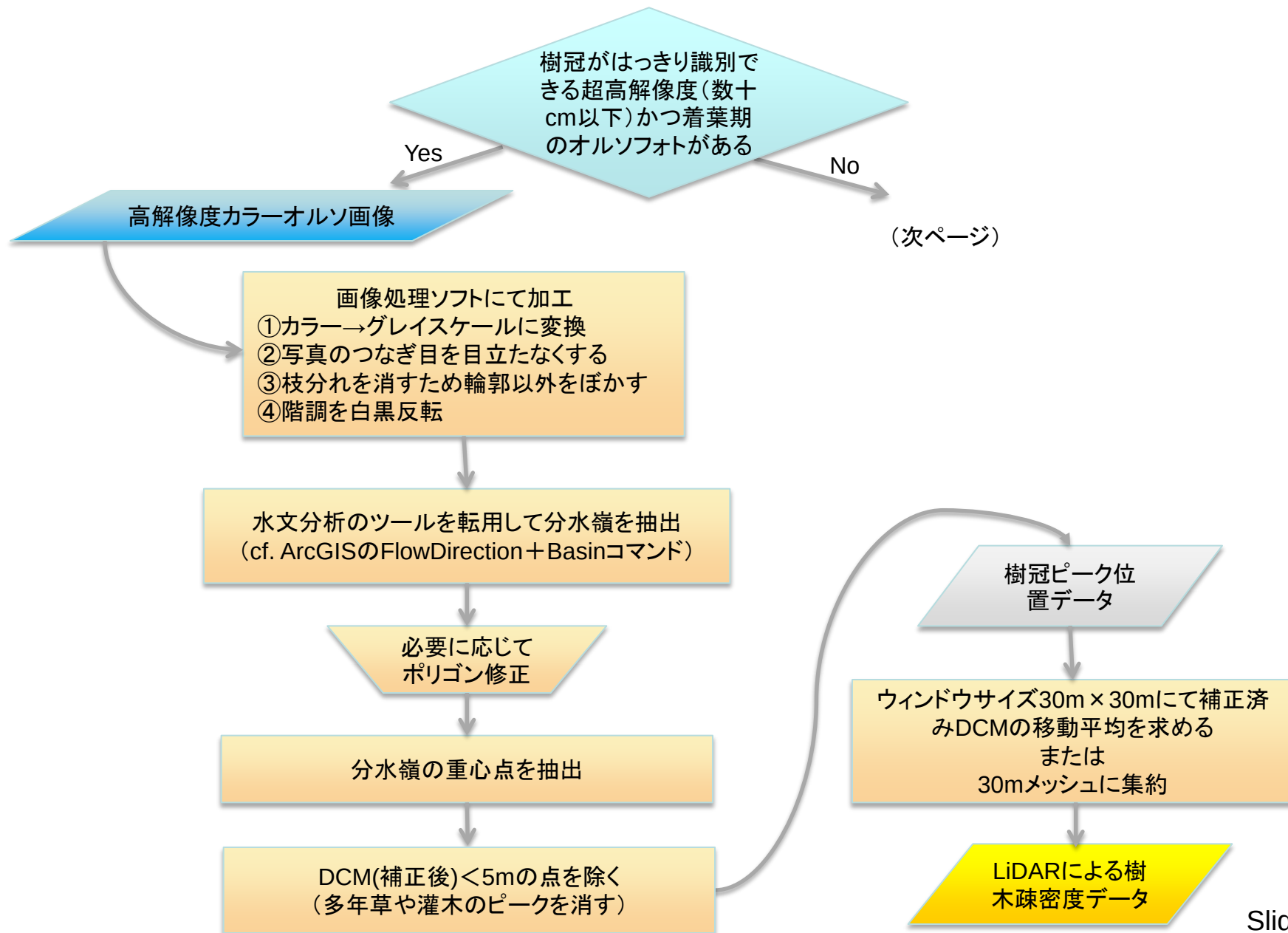
3-2. 樹高データの作り方: その2-DCM補正



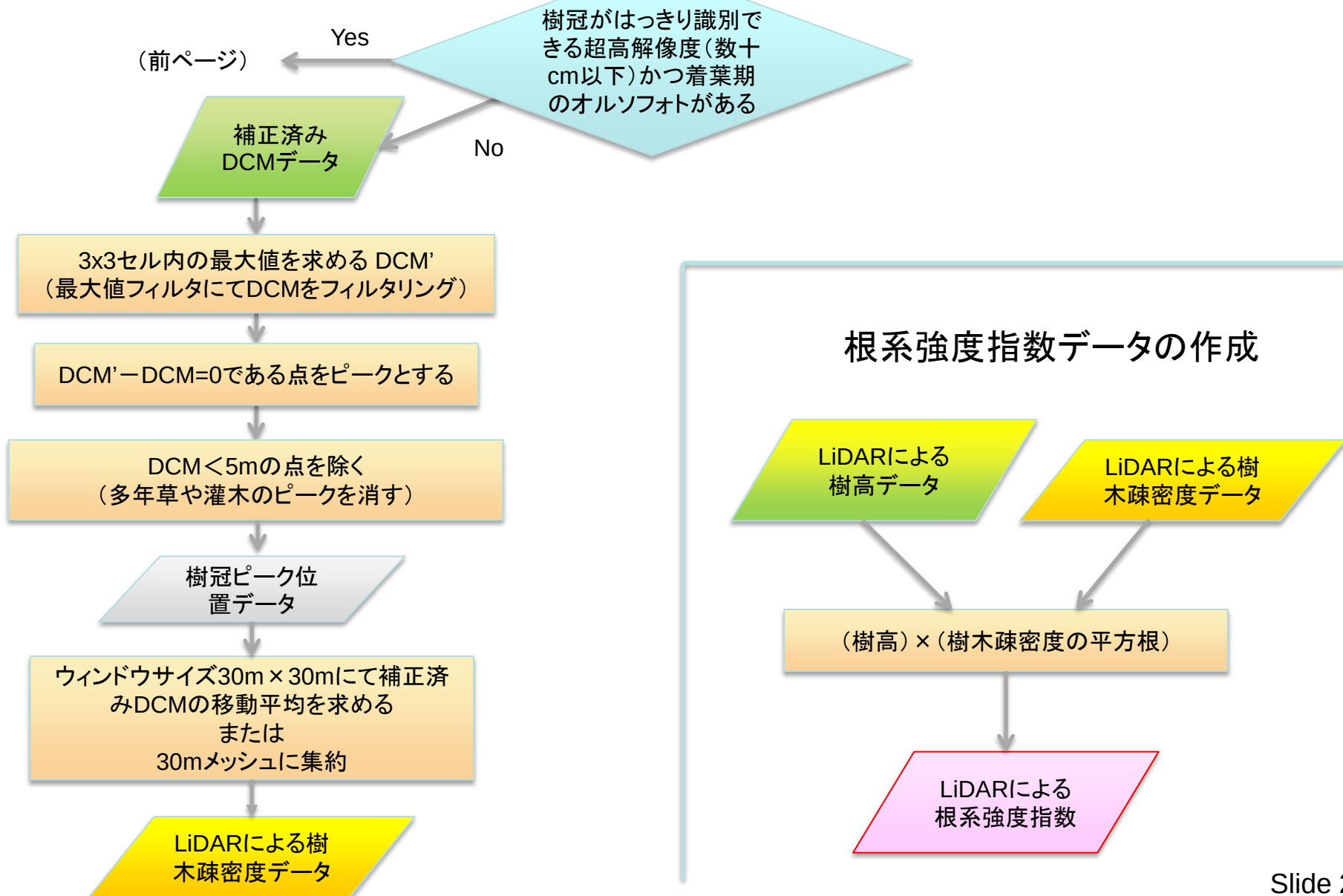
3-2. 樹高データの作り方: その3-樹高データ作成



3-3. 疎密度データの作り方: その1-オルソフォト利用の場合



3-3. 疎密度データの作り方:DCM利用の場合 および根系強度指数の作成



当初の目的は達成

1

樹高や植生の疎密度など、土地の脆弱性の把握に資する土地被覆分類手法を構築



国土地理院が所有するLiDARアーカイブデータから、樹高・樹木疎密度・根系強度指数データを作成するための技術的な手法を構築

2

土地被覆分類データにより土地の脆弱性の評価を高度化する手法を開発



- ・樹高や、根系強度指標が、崩壊率と負の相関がある事を確認
- ・谷筋の急斜面などでは、根系強度指数を加味して評価する方が、危険度予測の正答率が明瞭に向上する事が明らかに(地形のみのデータで評価する場合と比較して)

3

手法をまとめたマニュアルを作成



HP公開予定

【成果の活用】

樹高データ
樹木疎密度データ

根系強度
指数データ

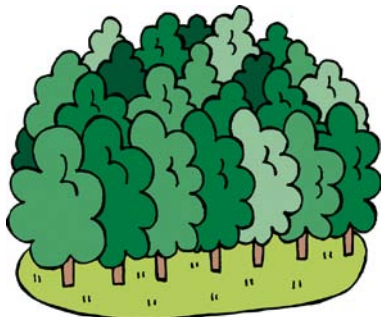
土地の脆弱性評価の高度化

(特に谷筋の急斜面で効果大)



【波及効果】

森林管理



LiDAR樹高データを用いたバイ
オマスやCO2吸収に関する評価
(Drake et al., 2002)



雪崩が起きやすい斜面の
抽出(一般に植被の無い急
斜面が危険とされている)



(1) 有効性の観点からの分析

- ・本研究で開発したデータ作成法やその周辺の技術的知見については、航空レーザ測量アーカイブデータに関して広範囲に適用可能。成果は有効であると判断。
- ・本研究の成果は、査読付き論文として公表されている。

(2) 効率性の観点からの分析

- ・毎木調査は外部委託とし、研究者はデータ解析等に専念。
- ・汎用ソフトを適宜利用。
- ・国土地理院内で航空レーザ分科会を開催して、応用地理部はじめ現場担当者の意見を聞くと共に、森林総合研究所・国土技術政策総合研究所・長野県林業総合センターの研究者と意見交換の機会を持ち、様々な意見を頂き効率的に研究を進める事ができた。

- 樹木疎密度について解像度の問題から課題あり。⇒航空レーザ測量のデータは高解像度化の一途をたどっており、年数の経過と共に改善すると考えられる。
- 発災前の高解像度なデータが極めて少なく、今回作成したマニュアルをより高度化する意味でも、今後さらにケーススタディを蓄積していくことが必要。