

他 2 県の実証サイトの結果と同様、3 種のガイドカーブはほぼ同様の軌跡となり、リチャーズ式が最も AIC が低い結果となった。作成したガイドカーブと、新潟県で使用されている既存の林分収穫表との比較を示す（図 39）。

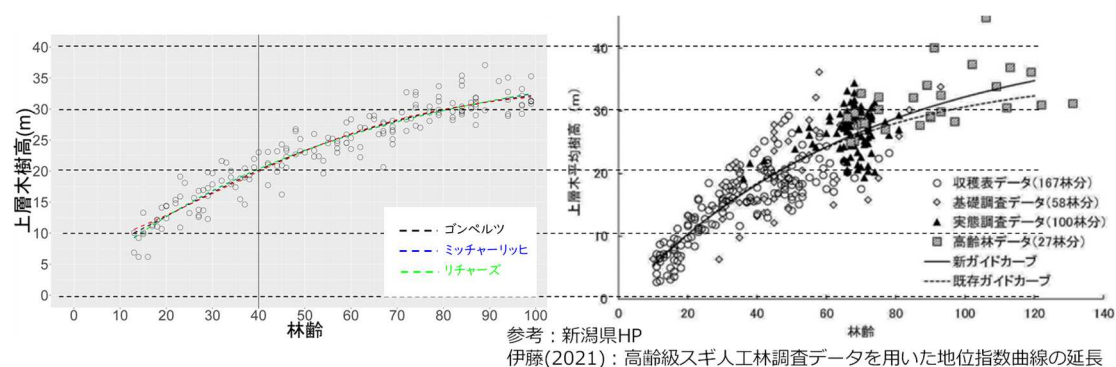


図 39 作成したガイドカーブ（左）と既存の林分収穫表（右）

作成したガイドカーブは 40 年生時点の樹高が 20.1m となり、既存の林分収穫表の約 18m と比べ、樹高がやや高い傾向であったが、高齢級となっても成長が衰えないなどの共通点がみられた。

(2) 地位指数分布図

作成したガイドカーブをもとに、20m メッシュ単位での地位指数図を作成した（図 40）。

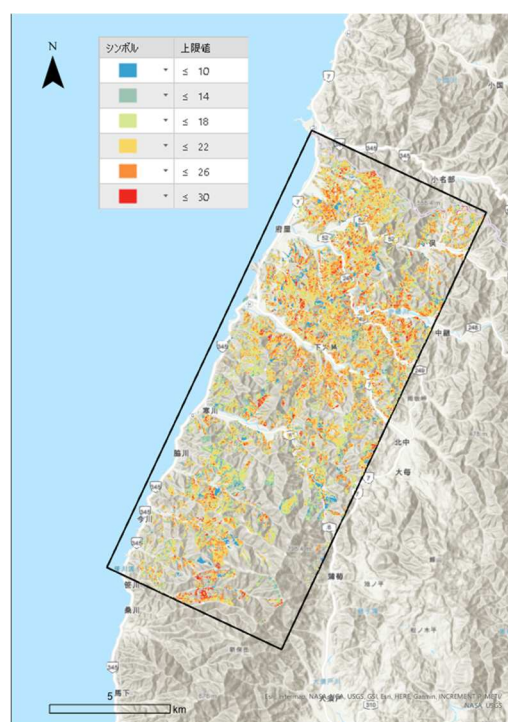


図 40 作成した地位指数図（村上地区）

作成した地位指数図は、現行の森林簿の地位と比較すると、村上地区における北部の値がより高い傾向を同様に示していた（図 41）。

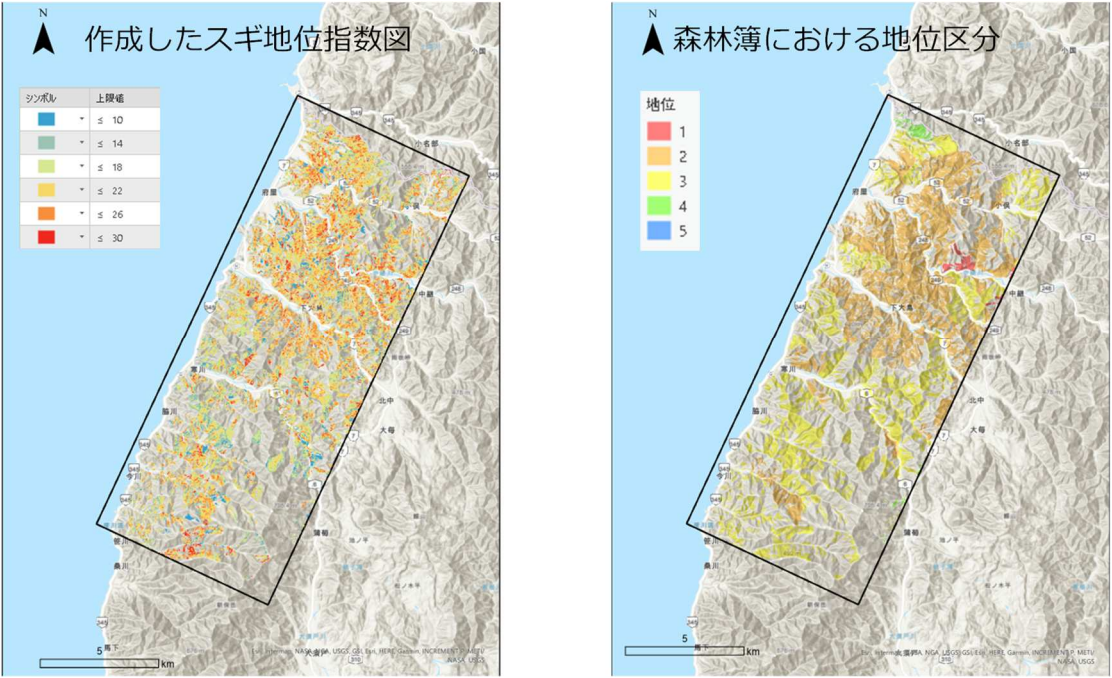


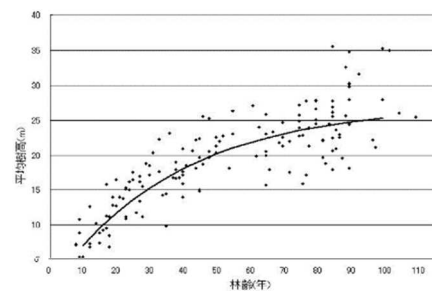
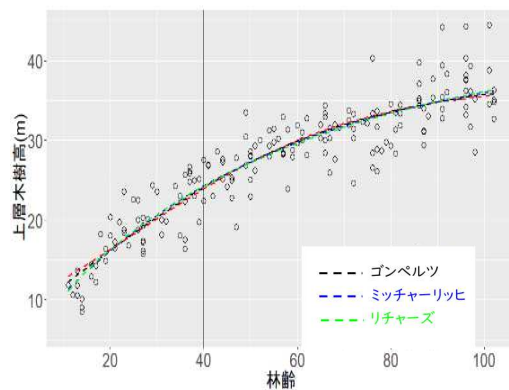
図 41 作成した地位指数図と森林簿地位区分の比較

2.3.3.5. 実証サイトの比較

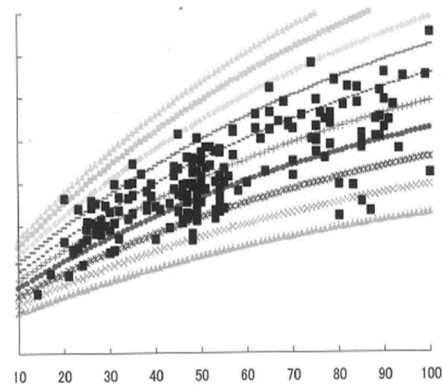
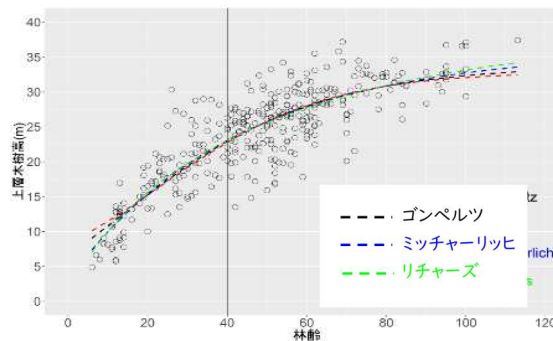
本事業で実証調査したサイト3県について、地位指数曲線を比較すると（図42）、新潟県実証サイトにおいて作成した地位指数曲線は徳島県および茨城県の実証サイトの事例と比べると、以下のような特徴が見られた。

- ・新潟県の地位指数曲線は初期成長が比較的遅い
- ・新潟県の地位指数曲線は高齢級（80年生以上）でも樹高成長の鈍化がみられない

1. 徳島県実証サイト



2. 茨城県実証サイト



3. 新潟県実証サイト

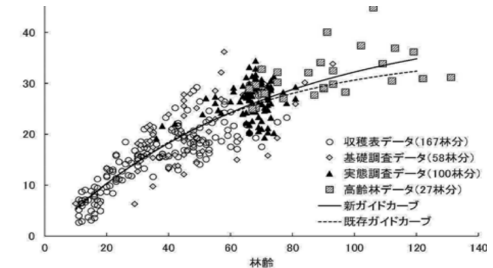
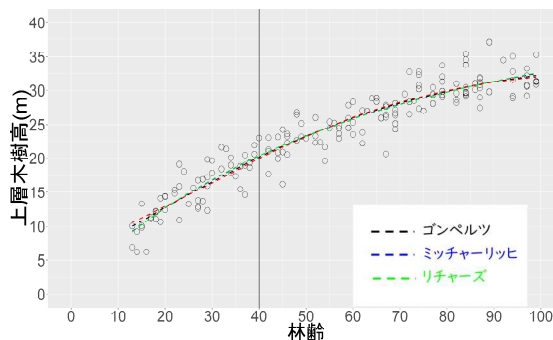


図42 実証サイトにおける地位指数曲線の比較（左図：航空機LiDAR計測データをサンプリングして作成、右図：既存の地位指数曲線）

こうした傾向は、日本海側人工林の初期成長が遅い特徴を反映していると言える（[Nishizono, ほか, 2018]）、異なる地域特徴においても、本実証の手法が有効と考えられる。

試行的に航空機 LiDAR データをサンプリングして作成した地位指数曲線については、いずれの事例においても既存の収穫表と比較し地位指数が高くなる傾向があるが、地域的な地位の高低や、地形による地位の変化は十分に反映できている結果となった。

2.3.4. まとめ

調査手法の開発・実証における検討課題から以下の結果が得られた。

- ① 上層木平均樹高の推定方法：10m細分化メッシュの最大値を抽出し、20mメッシュで推定。精度が高く容易な方法である。
- ② LiDAR 計測点密度 1 点/m² データの利用：による地位指数分布図の作成は可能である。ただし、谷や尾根などの地形が急に変わる箇所では DTM の再現が不十分である可能性があるので地位指数が過大・過小に推定される点に留意する必要がある。
- ③ 航空機 LiDAR データを使った地位指数曲線（ガイドカーブ）の作成：上層木平均樹高及び森林簿 GIS 情報をもとにサンプリングすることで作成可能である。サンプリングでは、まずスクリーニングが必要で、そのあとで無作為サンプリングする。スクリーニングでは特に齢級ごとに満遍なく抽出する。

2.3.5. 地位指数分布図の活用例：実務での活用

航空機 LiDAR のデータから地位指数分布が作成できれば、森林簿とそれに付随する森林計画図に地位指数を関連付けることで、森林簿の地位の精度を向上させ、より実態を反映した森林計画及び森林施業の実施につながると考えられる。本節では地位指数の森林簿及び森林計画図との情報結合の方法について検討した。主な流れを以下に示す（図 43）。

- ① 森林ポリゴンと LiDAR の地位指数メッシュを空間結合する。各都道府県の森林簿或いは森林計画図を森林簿ポリゴンとして管理されている GIS の空間結合機能を通して両者の位置関係が特定する。
- ② LiDAR メッシュの森林簿ポリゴンの林小班単位の最多地位指数を算出する。都道府県の管理上の最小単位は小班より詳細な枝番等に細分することも想定されるが、使用しやすい単位で算出して良い。また、林小班の代表地位指数を算出する際に、メッシュの平均値を使用することも想定されているが、同じ林小班に尾根、谷が入る場合に、単純平均すると、実情を反映しない恐れがある。
- ③ 上記の②で計算された地位指数を属性として森林簿ポリゴンに付与する。森林簿にある地位と地位指数との結合度の分析で、森林簿の地位の適切性判断の材料として使用できる。森林簿上の地位と LiDAR による地位指数との乖離の程度により森林簿のほかの属性（例えば林齢）を確認するか、地位指数を採用して森林簿の地位を更新するかが選択できる。

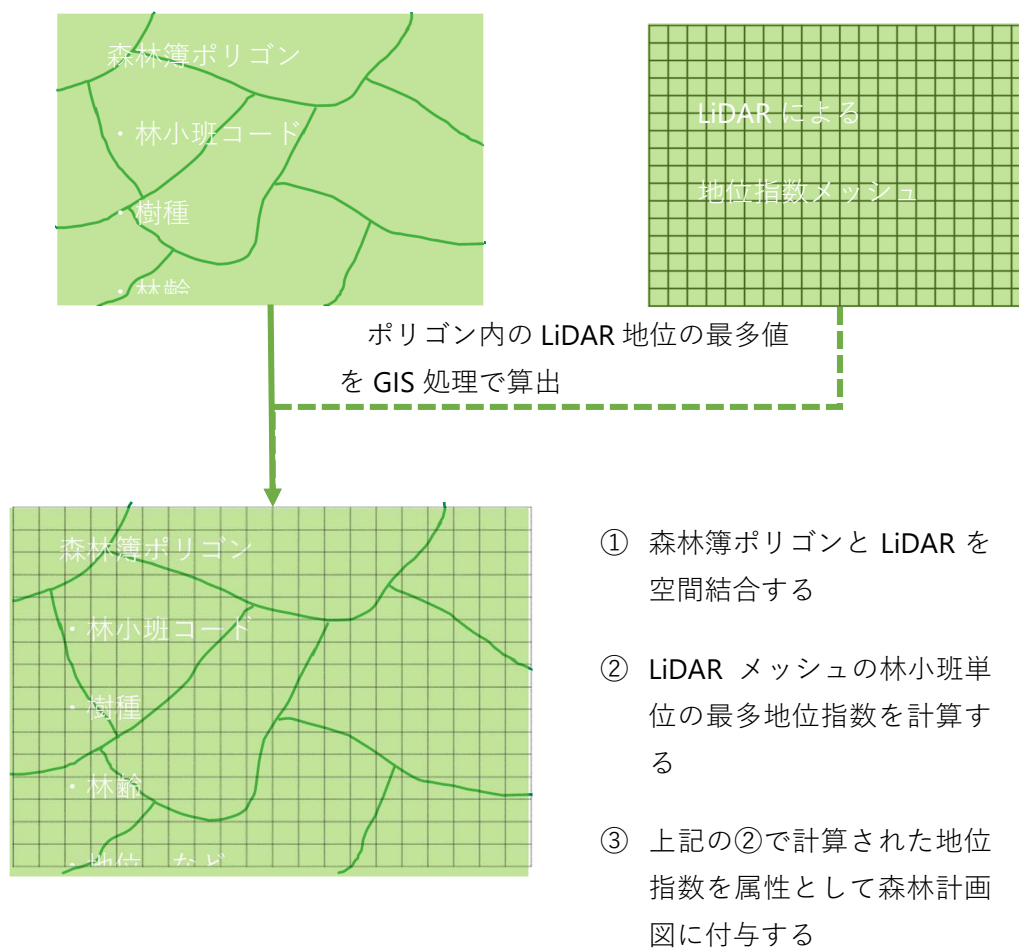


図 43 森林簿に地位指数を反映するイメージ

※ 1 森林簿は、林班や小班単位とし、樹種・林齢・面積・材積・成長量・地位等の森林資源情報を取りまとめた帳簿

※ 2 森林計画図は、森林計画界・林班界・小班界等を記入した図面

2.4. 調査手法の普及

2.4.1. 地位指数分布図作成の手引き

本事業での成果を普及するため、都道府県の計画担当者や市町村担当者の利用を想定した「航空機 LiDAR データを使った地位指数分布図の作成の手引き」を作成した。表紙のイメージ図を図 44 に示す。手引き本体は、巻末資料として添付する。

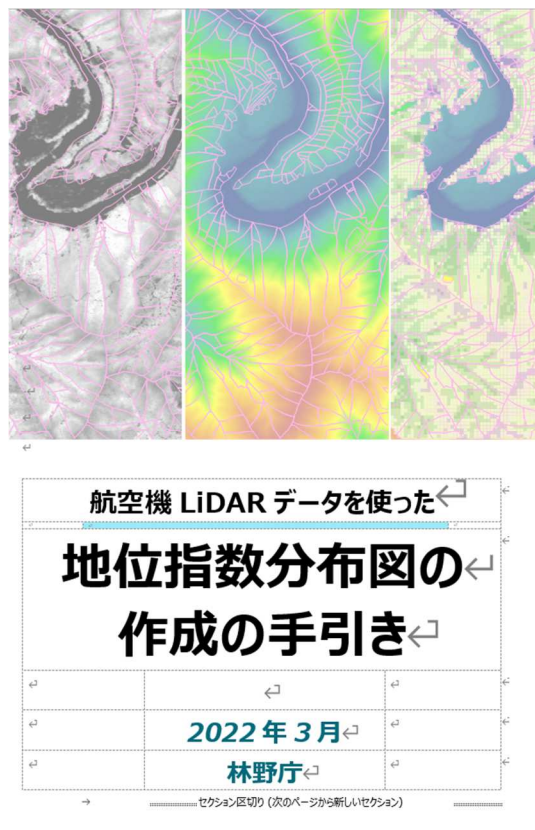


図 44 手引きの表紙

都道府県によって、データの所持状況や今後の航空機 LiDAR 計測の有無、地位指数曲線の更新の希望など状況が異なることを想定し、なるべく要望に沿えられるよう作成した。

具体的なソフトウェアの操作方法もマニュアル形式で掲載している。使用するソフトウェアは無料の GIS ソフト QGIS (Version 3.16 の安定版) と EXCEL である。

2.4.2. 手引きを使った講習会の実施

徳島県職員対象の講習会を令和4年（2022年）3月11日にWeb形式で実施した（図45）。徳島県からはGISソフトを使用したことがある4名の職員にご参加いただいた。

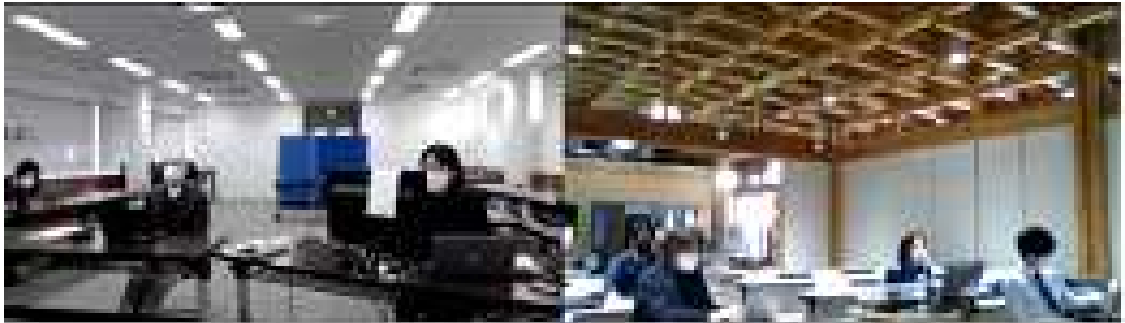


図45 Web形式での航空機LiDARデータを用いた地位指数分布図作成に係る講習会

研修では手引きに掲載した下の作業のうち、特に重要な作業02、05、07、08に絞り、地位指数分布図の作成方法について実習形式で説明した。

手引き記載の作業	使用するソフト
作業01：20mメッシュ必要なエリアを抜き出し	QGIS
作業02：DCHMから上層木平均樹高を計算	QGIS
作業03：DSMとDTMの差分	QGIS
作業04：TIF画像への変換	QGIS
作業05：GISの樹種・林齢を20mメッシュで作成	QGIS
作業06：樹高成長曲線作成のためのサンプリング	QGIS、ほか
作業07：樹高成長曲線を作成	Excel
作業08：地位指数曲線式の適用	QGIS

手引きの活用として、徳島県内のいくつかの地方事務所管轄エリア内で、広い面積で航空機LiDAR計測が実施されており、事務所職員を対象とした利用を想定しているとのことであった。

手引きに記載した地位指数分布図の作成の作業については、GISの操作そのものについては難しい部分はないとのことであった。本事業での対象者は地位指数をある程度利用されている職員を想定していたが、地位指数を普段使っていない職員の地位指数分布図の作成を想定されているとのことで、手引きを今後改訂する場合は、地位指数そのものの詳細な説明に加え、各作業で求める数値などの補足説明を加えることが勧められる。

処理時間について、参加者はノートPCであったが対象エリア約183 km²処理において、各プロセスで最も処理時間を要した作業では10分程度であったため、現在の一般的なノートPCでも耐えうる作業と考えられる。

第3章 今後の課題

本事業では、近年データの整備が進んでいる航空機 LiDAR 計測データを活用し、森林の機能別調査のうち、木材等生産機能の評価に必要な地位指数の分布を簡易に求める手法の開発に向けた調査を行った。今後、より高精度な地位指数推定手法を検討するならば、①樹高推定の精緻化、②林齢の不確実性に対する検討、③実証サイトの拡大の3つの項目について調査されることが望ましい。

3.1. 上層木平均樹高推定における精緻化

今回提案した上層木平均樹高の推定では、林冠高 DCHM の 10m メッシュ最大値を抽出して 20m メッシュで平均する手法を用いているが、徳島県実証サイトの現地調査で述べたように、樹木サイズが不均一な林相では最大値を使うことで過大に地位指数を推定する可能性がある。

上層木平均樹高を精緻化する方法の一つとして、メッシュ内の適したパーセンタイル値（全体を 100 として小さい方から数えて何番目になるのかを示す数値）を抽出する方法があげられる。パーセンタイル値を算出する作業手順が難易であるため本事業ではこの手法を検討していないが、容易な作業手順が開発されれば、この方法を検討し精緻化に繋げることが可能と考えられる。[高橋, 栗屋, 田中, 2013]らによれば、超高密度での航空機 LiDAR 計測では 80 パーセンタイル値が適しているという報告があるが、より一般的な点密度の 1 点/m² や 4 点/m² における適切なパーセンタイル値を検討し、それを実装することでより精度が高い上層木樹高の推定が期待できる。

3.2. 林齢の不確実性に対する検討

本事業における地位指数の推定は林齢に依存する手法である。林齢は森林簿といった帳簿から参照するが、林齢精度が不確実である場合も多い。この課題について、林齢情報の更新、または林齢を使わない手法による対応が考えられる。

前者については、過去の空中写真や衛星画像を使った主伐時点の情報を入手し、現時点のより正確な林齢を得るという手法が考えられる。衛星画像を使った過去の伐採履歴については、図 46 に示したように Google Earth Engine にて Landsat 画像を用いた方法が開発されており、1980 年代からの伐採履歴情報を入手することができる（[Shimizu Saito, 2021]）。

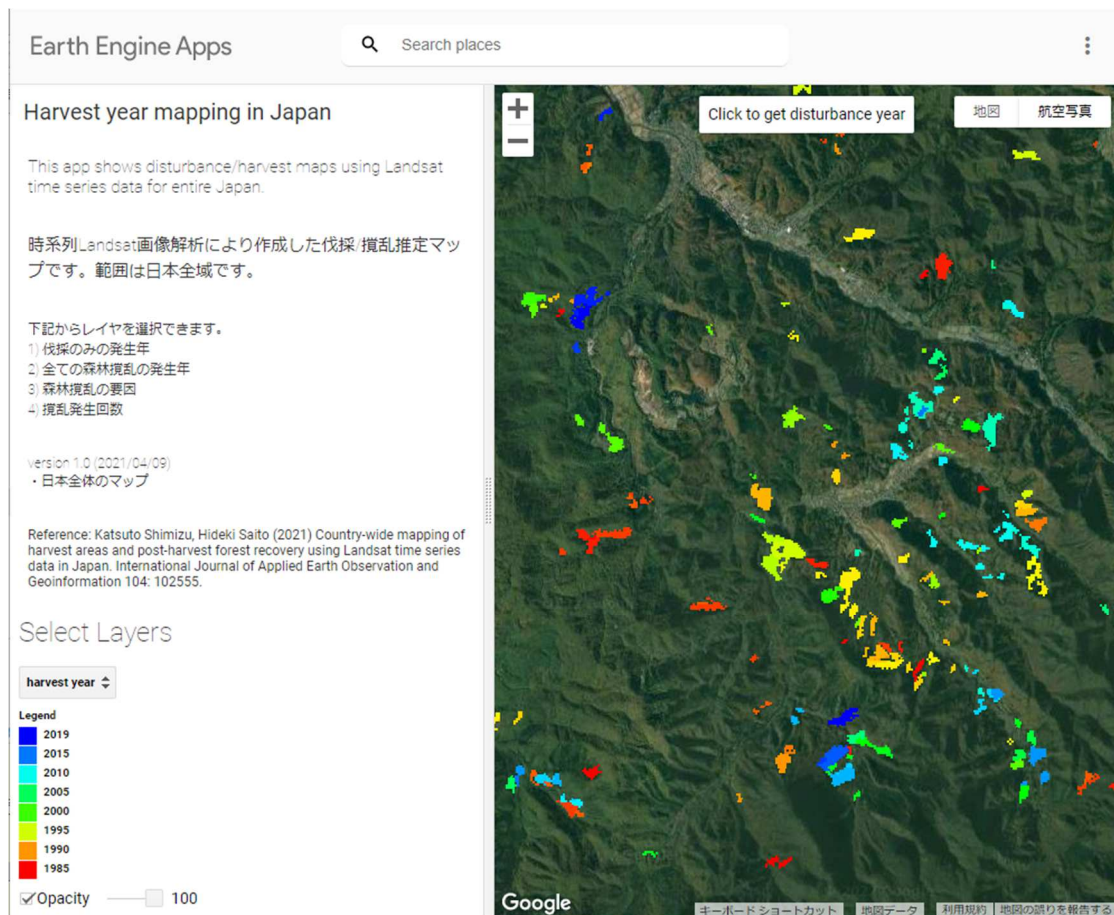


図 46 [Shimizu Saito, 2021]らによる Google Earth Engine を使った主伐地の抽出

3.3. 実証サイトにおけるより詳細な検討

試行した地位指数分布図に対して、徳島県や新潟県でのヒアリングにより妥当であろうという回答は得ているが、詳細な精度検証は実施していない。現地での地位指数の精度評価には相応の時間を要するが、どのような方法での精度を評価できるのかの検討があれば、都道府県担当者も作成された地位指数分布図の評価がしやすいと考えられる。

また、実証エリアについては、徳島県、茨城県、新潟県の3県であったが、より多くの都道府県に拡大とすることで本事業の方法論を評価でき、また普及にもつながると考えられる。

第4章 引用文献

NishizonoTomohiro, ZushiKotaro, HiroshimaTakuya, ToyamaKeisuke, KitaharaFumiaki, TeradaFumiko, . . . SaitoSatoshi. (2018). Latitudinal variation in radial growth phenology of *Cryptomeria japonica* D. Don trees in Japan. *Forestry*, 91, 206 – 216. doi:10.1093/forestry/cpx055

ShimizuKatsuto, SaitoHideki. (2021). Country-wide mapping of harvest areas and post-harvest forest recovery using Landsat time series data in Japan. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104. doi:10.1016/j.jag.2021.102555

伊藤幸介, 塚原雅美. (2021). 高齢級スギ人工林調査データを用いた地位指数曲線の延長. 新潟県森林研究所研究報告(61), 28-31.

光田靖, 鹿又秀聡, 松本光朗. (2013). 森林炭素動態シミュレーションシステムを用いた気候変動が森林炭素吸収量に及ぼす影響評価の試行. *統計数理*, 61(2), 181 - 188.

高橋與明, 栗屋善雄, 田中真哉. (2013). 航空機 LiDAR によるスギ・ヒノキ林分の平均樹高推定— レーザ点密度を変えた場合の事例 —. *九州森林研究*, 66, 6-9.

大分県. (2019). 大分県収穫表改訂調査報告書.

竹下敬司. (1964). 山地の地形形成とその林業的意義. *福岡県林業試験場時報*, 17, 2-109.

徳島県農林水産部林業飛躍局林業戦略課. (2012). 徳島県スギ林分収穫表. 徳島県.

徳島県農林水産部林業飛躍局林業戦略課. (2013). 徳島県ヒノキ林分収穫表. 徳島県.

独立行政法人森林総合研究所. (2005 年 3 月). 平成 16 年度森林吸収源データ緊急整備事業調査報告書. 39.

日本林業技術協会. (1999). 林野庁監修 人工林林分密度管理図解説書.

標準化事業検討委員会, 解析・管理分科会, 計測分科会. (2022). 森林資源データ解析・管理標準仕様書案 Ver1.2.

福井翔宇. (2019). 低密度航空レーザ計測データによる地位指数の推定とその課題. 第 130 回日本森林学会大会学術講演集原稿, 130, 110. doi:10.11519/jfsc.130.0_110

令和 3 年度
リモートセンシング技術等を用いた森林の機能別調査の手法に関する調査事業

報告書
令和 4 年 3 月

業務受託：一般社団法人日本森林技術協会

〒102-0085 東京都千代田区六番町 7 番地 TEL：03-3261-5281（代表）

担当者 金森匡彦