

時系列 LANDSAT データを用いた 足尾荒廃地における緑被率の推移と治山事業

関東森林管理局 計画保全部 治山課 田中裕貴 諸星智之

1 背景・対象地

銅の生産で発展した栃木県日光市足尾町は、燃料木や坑木の採取、山火事による森林の消失、ベッセマ一式精錬法に伴う大量の亜硫酸ガスによる煙害で緑化が困難な荒廃地が広がっていました。今回、調査対象とした松木沢・久蔵沢・仁田元沢も森林が大きく荒廃した流域になります(図-1)。調査対象地の合計面積は約 5600ha であり、そのうち 92%が国有林です。対象地における本格的な緑化対策は、1956 年の自溶精錬法の導入による煙害解消を契機として開始しました。緑化作業は足尾町の女性たちが担い手として活躍し、技術開発の観点からは植生盤の開発や全国に先駆けた航空実播工の施工が行われてきました。このように足尾荒廃地は、多くの人の手によって緑が復元しており、技術者達が困難に立向い、治山技術を発展させた場でもありました。この長きにわたる治山事業と自然の回復力により、現在は広い範囲において緑が蘇り、治山事業も大面積の緑化から新規崩壊の復旧にシフトしています。今後は復旧した森林をどのように管理していくのか、議論の深化が必要です。

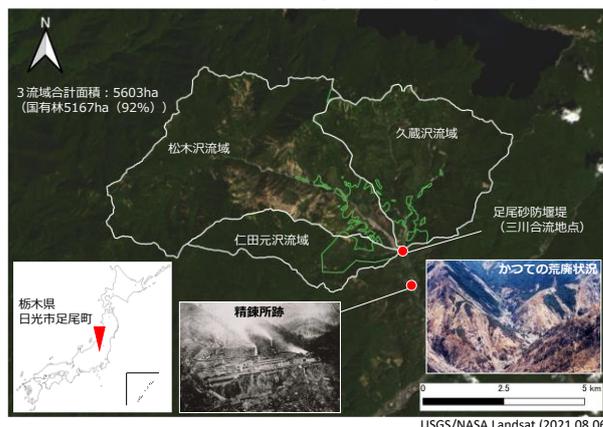


図-1 対象地の現在と過去

2 先行研究・目的

このような背景を基に、リモートセンシング技術を用いた足尾荒廃地における植生モニタリングと復旧事業の評価が行われています。本多ら(1995)は、空中写真と LANDSAT データを用いた植生回復のシミュレーションを行っており、1957年から1992年までの観測データを基に200年間の回復予測を行っています。松英・執印(2021)は、1984年から2020年の時系列 LANDSAT データにより植生動態を明らかにし、本多らのシミュレーション結果を検証するとともに、復旧事業を評価しています。

本取組はこれらの先行研究を踏まえ、治山事業の実施主体として、今後の足尾の森林管理や環境教育の研修等の教材に資するデータの蓄積を目的としました。具体的には、①～③に取り組みました。

- ① 先行研究を参考に技術研鑽のため、職員実行で LANDSAT データを解析
- ② 民国の治山事業の施工履歴を整理・GIS データ化し、分かりやすい指標で効果を考察
- ③ 自然回復に着目し、群落の構成・植生の侵入時期を調査

3 使用データ・方法

本取組で使用したデータは、アメリカ地質調査所(USGS)が提供している LANDSAT データです。ダウンロードサイト(Earth Explorer)より、表-1に示す1978年～2021年の6時期のデータを取得しました。LANDSAT は光学衛星であり、青・緑・赤・近赤外の波長帯のデータを解析に使用しています。各時期の植生分布の把握については、一般的な指標

表-1 使用データの緒元

撮影日	人工衛星	メッシュ(m)
1978.07.29	Landsat-3	60×60
1985.08.26	Landsat-5	30×30
1995.07.30	Landsat-5	30×30
2006.08.04	Landsat-5	30×30
2015.07.12	Landsat-8	30×30
2021.08.06	Landsat-8	30×30

である正規化差植生指数（以下：NDVI）を用いました。各時期の Landsat データを使用し、True Color 画像より河床裸地を判読するとともに、NDVI を計算して閾値を設定することで土地被覆分類図を作成しました（図-2）。その後、一般の方にも理解しやすい指標での植生回復を表現するため、対象地に占める植生域の割合である緑被率を求めました。なお、治山事業の施工履歴は、関東森林管理局と栃木県が実施した事業のうち、山腹工と航空実播工を対象として整理・GIS データ化を行いました（図-3）。

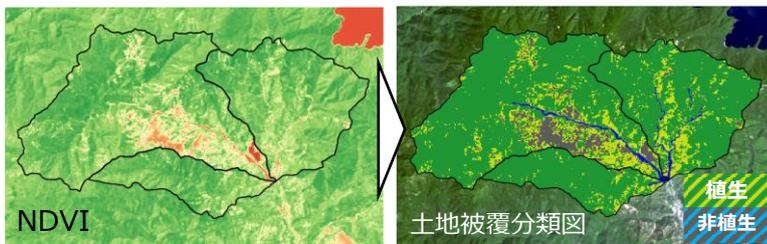


図-2 土地被覆分類図の作成（2021年）

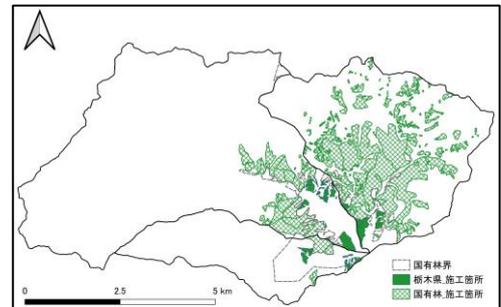


図-3 施工履歴（山腹工・航空実播工）

4 結果・考察

（1）緑被率の推移と治山事業

各時期の土地被覆分類図は図-4に示すとおりであり、緑化が着実に進んできたことがわかります。雲及びその影の範囲は白抜きで示しており、緑被率の計算に際しては、雲のない年代のデータを補正・補完しています。

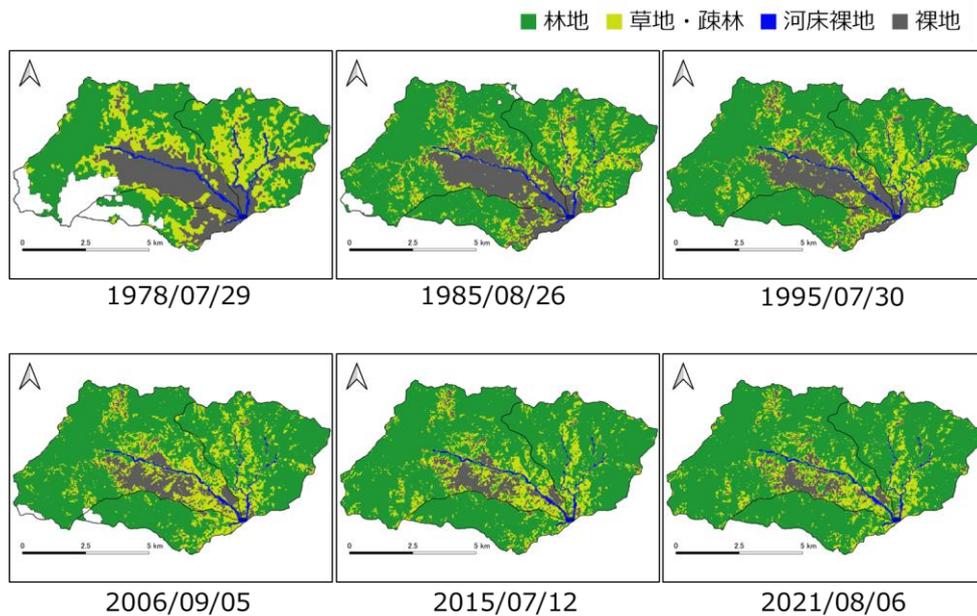


図-4 各時期の土地被覆分類図

緑被率の推移は、1978年で78.4%、1985年で80.4%、1995年で83.7%、2006年で90.0%、2015年で91.9%、2021年で93.1%と、43年間で14.7%上昇しています（図-5）。施工面積の累計は957haに上り、施工面積が最大となった1980年代には、年平均で22.6haが施工されました。また、緑被率の変化の傾きを緑化速度と定義し、施工トレンドと併せて表したものが図-6になります。緑化速度が最大となった1995年から2006年にかけては、0.57%/yearとなっており、1年で約32haが緑化したことを表します。施工

トレンドは、1965年に航空実播工が全国に先駆けて開始され、1980年代のピークにかけて山腹工にとって代わっていきます。2000年代には緑化が進んだこともあり、再び山腹工の施工が優勢となり、現在にかけてはポイントを絞った施工にシフトしています。このトレンドを踏まえ、1995年から2006年にかけて緑化速度が最大となった要因は、a.航空実播工による施工効果のタイムラグ b.1980年代に対象地内の民有林治山が本格化したこと c.復旧した森林からの種子供給による自然回復の3つが影響したと推察します。現在は自然回復に期待する荒廃地も多いことから、これに着目して植生調査を行うと、治山事業が未施工地に与えた影響が明らかになりました。

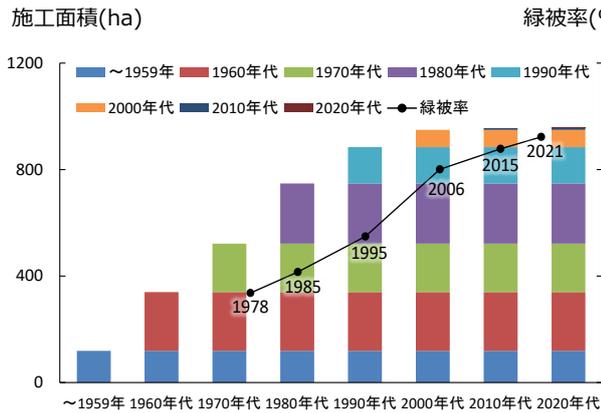


図-5 施工面積の累積と緑被率の推移

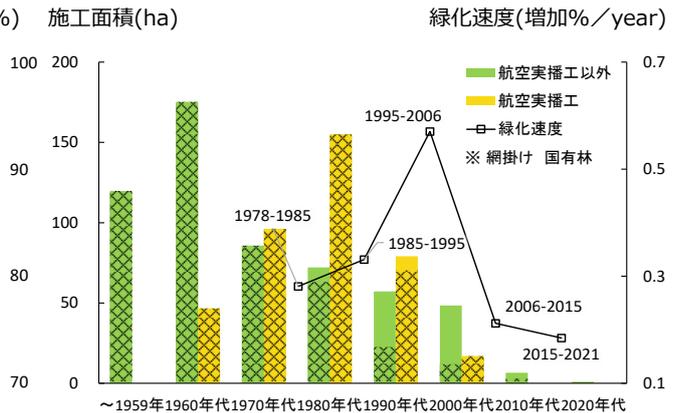


図-6 施工のトレンドと緑化速度

(2) 自然回復地における植生調査

松木沢沿いの自然回復地を対象として、侵入時期の異なる林分にプロットを設置し植生調査を行いました。1995年から2006年に自然緑化した plot3/4 について、種構成は胸高断面積割合でヤシャブシが 86.2%、リュウブ 13.8%となっており（図-7）、ヤシャブシの侵入年代は2000年頃と推定されました。ヤシャブシは5-7年生以上で種子供給源となることから（吉野ら、2001）、1995年以前に復旧したヤシャブシ林が種子を供給し、成立したと推察されます。加えて、plot3/4 よりも早期に自然回復していた plot1/2 と種構成を比較すると、「ウダイカンバの有無」と「リュウブとヤシャブシの比率」の違いがありました。plot1/2 の林分は1980年頃に侵入したと推定され、それ以前の植生からの種子供給によって成立しています。斜面位置や年代によるシカ密度の違いはあるものの、1980年代の治山事業最盛期によりヤシャブシが増加し競争力が増したことで、侵入年代の異なる自然回復地の種構成に違いが生まれたと推察します。

また、本調査地の崖錐性堆積地は、斜面下部から植生が侵入し漸次上昇する回復型を示しています。現

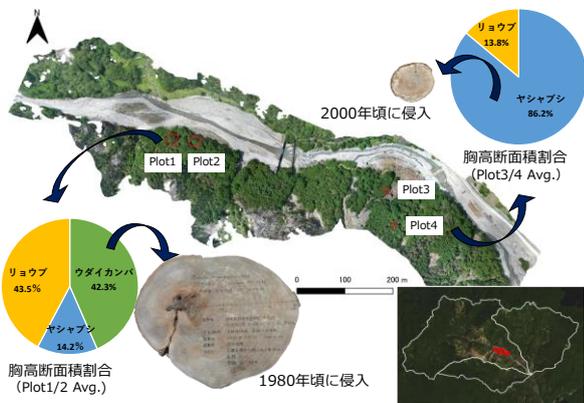


図-7 異なる侵入年代による種構成の違い

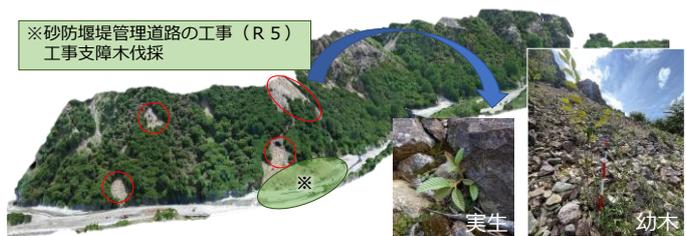


図-8 裸地への植生侵入について

在も残る裸地については、ヤシャブシの実生や幼木が確認されており、周囲と同様にヤシャブシを主体とする林分になると予想します（図-8）。

5 まとめ

① 職員実行による LANDSAT データ解析について

LANDSAT データの解析については、先行研究を参考にしつつ、職員でも取組のハードルが低くなるような手法を取りました。本手法では、緑化の推移を俯瞰的に表現できたものの、林地と草地・疎林の区分や草地・疎林と裸地の区分について、実態をうまく表現できていない箇所もありました。精度の向上には、LANDSAT データの補正や機械分類の採用など、更なる技術研鑽が必要です。一方で、リモートセンシング技術を利用した解析に取り組むことで、その仕組みや解析手法などの知識を習得することができました。調査業務委託の発注や研究機関との共同研究はもちろん重要ですが、今回のように職員が自ら取り組み、業務委託等の際に議論できる知識や技術力を身に付けることが重要であると考えます。

② わかりやすい指標による治山事業の評価について

緑被率の推移と治山事業の施工履歴については、一般の方にもわかりやすい指標で、整理することができました。今回の成果については、民有林のデータを提供してくださった栃木県に共有するとともに、足尾荒廃地における研修で使用できる教材の作成に取り組んでいきたいと思えます。

③ 未施工地の自然回復について

植生調査の結果からは、治山事業が未施工地の自然回復に与えた影響が明らかになりました。大規模な災害が多発する近年の事例においても、広域の荒廃地の復旧には、自然の回復力も期待した施工順序の検討が重要と示唆されます。

最後に、復旧した森林の管理については、単一樹種で構成される森林が各所に分布することから、森林の成立過程も尊重しつつ生物多様性を目指した誘導的な森林整備が必要です。現在進行中の治山事業の計画と並行し、「どの森林を、どのような手段で誘導するのか」という具体的なゾーニングが重要と考えます。その際には、今回の成果も活用しつつ、令和3年に実施した航空レーザ測定の成果や作業路網データを使用した立地環境図を作成することが有効と考えます。

— 謝辞 —

本取組に使用した LANDSAT データは、アメリカ政府が所有し、アメリカ地質調査所（USGS）が提供しています。また、民有林治山事業のデータを栃木県にご提供いただき、現地調査に際しては日光森林管理署と治山課の皆様にご協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

— 参考文献等 —

本多潔・柴崎亮介・村井俊治（1995）足尾銅山における植生回復シミュレーションと治山事業の評価

松英恵吾・執印康裕（2021）時系列 LANDSAT データによる足尾荒廃山地における植生回復モニタリング

吉野知明・逢坂興宏・土屋智・花岡正明（2001）富士山大沢扇状地におけるヤシャブシ（*Alnus firma*）林の形成過程