

航空レーザ測量を用いた土砂移動調査 —足尾国有林の「観測監視地区」のこれからに向けて—

日光森林管理署 田中 裕貴・諸星 智之

1. 背景・目的

はじめに、国内最大規模の銅の生産を誇った栃木県足尾地域は、燃料材や坑木の採取、山火事による森林の焼失、精錬に伴う亜硫酸ガスにより、緑化が困難な荒廃地が広がっていました。昭和31年より関係機関が協同した本格的な緑化事業が開始され、現在は広い地区に緑が蘇り、環境学習等のフィールドとなっています。平成15年には、公害の歴史を後世に伝えること等を目的として、治山事業実施の可能性を排除しない形で、下流への影響が心配されない荒廃地の一部を保存する「観測監視地区」を設定しました¹⁾。

令和5年には、「観測監視地区」が設定され20年の節目となることから、「観測監視地区」のこれからの検討する必要があります。そのためには、「観測監視地区」を設置したことによる下流への土砂流出等の影響調査が求められることから、これを本発表の目的としました。調査には、航空レーザ測量のデータを使用し「荒廃地と地形の関係」及び「地表面の土砂移動」を把握しました。



写真1. 観測監視地区の全景（平成17年撮影）

2. 対象地

対象地である「観測監視地区」は、栃木県日光市（旧足尾町）の松木沢に位置し、面積は491.3haです。松木沢には6基の砂防堰堤が設置されています（図1）。年平均降水量1739mm（2012～2021年）は全国平均と同程度であり、令和元年東日本台風の際には、日最大雨量424mmを観測しました。

「足尾地区航空レーザ測量業務（R2三次補正）」による荒廃地データ（一部欠落部分に関しては新たに判読）より、「観測監視地区」の荒廃地を抽出すると荒廃地は136.3ha、荒廃率（観測監視地区に占める割合）は27.7%となっています（図2、表1）。



図1. 対象地の位置



□: 観測監視地区 □: 荒廃地

図2. 荒廃地の分布

表1. 荒廃地の面積と荒廃率

観測監視地区	荒廃地	荒廃率
491.3ha	136.3ha	27.7%

3. 荒廃地と地形の関係について

先ほどの荒廃地データと「足尾地区航空レーザ測量業務（R2 三次補正）」により取得したDEM（Digital Elevation Model；以下，DEM_R3）より荒廃地と地形の関係について調べました。DEM_R3より標高図，傾斜図，TPI図（地形の凹凸，つまり尾根谷を示す地形指数）を作成しました。これにより観測監視地区の地形分布を把握し，荒廃地データを重ね合わせることで荒廃地の地形的な特徴を考察しました（図3）。

【標高】

観測監視地区の平均標高は1,306m，荒廃地の平均標高は1,378mでした。観測監視地区の標高100mごとの分布（10クラス）と荒廃率（クラス全体の面積に占める荒廃地の割合）を求めると，1401m～1600mの範囲において荒廃率が約50%と高くなっています。地区内の斜面上部付近は，風衝地となっていることから植生の侵入が遅れていると考えられます。

【傾斜】

観測監視地区の平均傾斜は43.9°，荒廃地の平均傾斜は44.5°でした。観測監視地区の傾斜10°ごとの分布（9クラス）と荒廃率を求めると，31～60°の範囲で全体の荒廃率（27.7%）を超えており，急斜面の表土が移動しやすい条件で荒廃率が高くなると考えられます。また，61～90°の範囲で荒廃率の低下が見られ，これは急崖地で露岩地が多いことから荒廃地となる崩壊の発生が少ないと考えられます。

【TPI（尾根・谷）】

TPIという地形指標は，周辺標高の平均値と中心のセルとの位置関係を示しており，正の値が尾根，負の値が谷となっています。-9～-3mの比較的浅い谷において，荒廃率が全体の荒廃率を超えています。これは0～1次谷に水が集まり，表土が移動しやすいためであると考えられます。

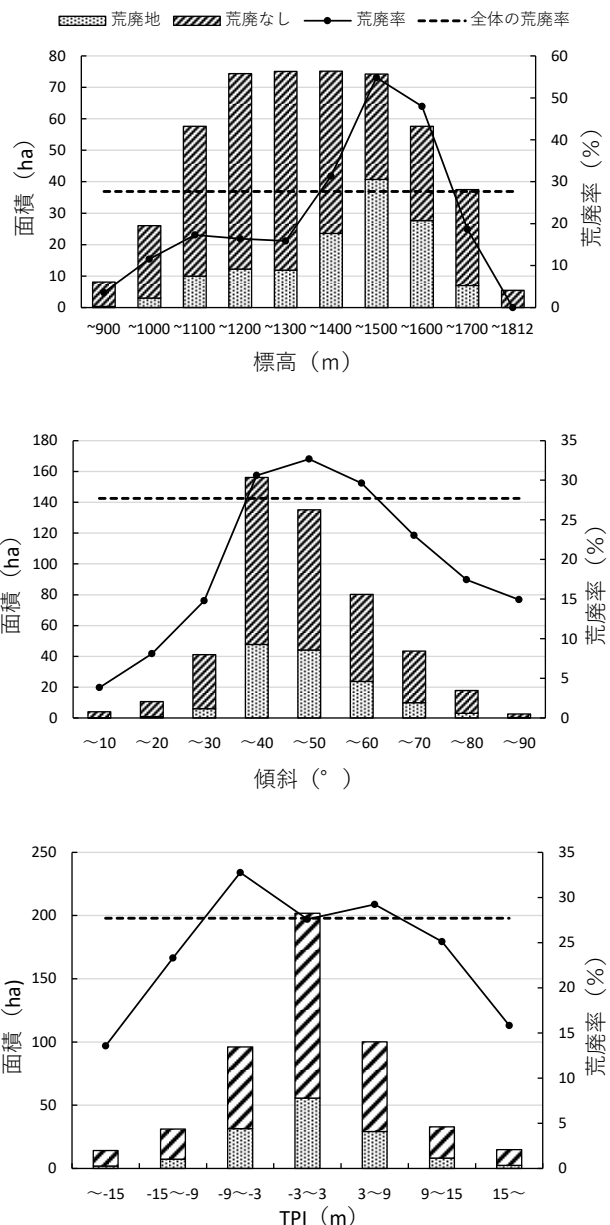


図3. 荒廃地と地形の関係（標高，傾斜，TPI）

以上をまとめると，観測監視地区の荒廃地は，斜面の上部付近の風衝地，31～60°の急傾斜地，0～1次谷の集水地に多く分布する傾向が確認されました。

4. 地表面の土砂移動について

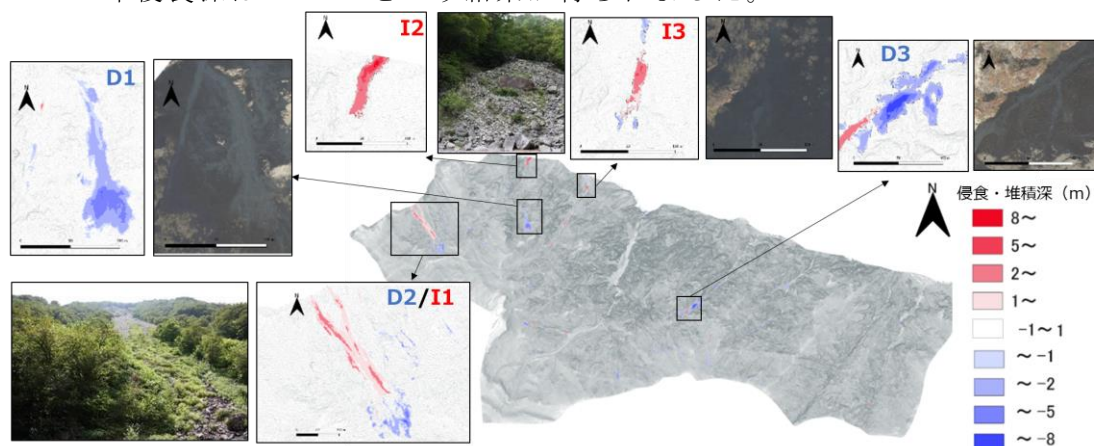
4-1. 方法と留意点

この解析では、「平成 19 年度三川支流域地区松木沢観測監視地区地形測量業務」により取得した DEM（以下、DEM_H19）と DEM_R3 の 2 時期の DEM を使用し、QGIS を用いて処理を行いました。まず、2 時期の DEM について、東日本大震災によるズレが生じていたため、人口構造物を参考に DEM_H19 を南に 0.5m、東に 0.5m 移動させました。次に、DEM_R3 より DEM_H19 を減じる差分処理を実行し、14 年間の標高変化量を得ました。ここで得られた標高変化箇所から土砂移動箇所を抽出しました。まず、航空レーザ測量の精度と判読の現実性を考慮し、変化量 1m 以上かつ 5m² 以上の標高変化を顕著な標高変化として抽出しました。その後、2 つの DEM の地表面処理の違いにより発生したと考えられる急崖地等の顕著な標高変化について、航空写真及び等高線を参考に土砂移動ではないと判断し、除去することで土砂移動箇所を抽出しました。

次に結果を示しますが、航空レーザ測量を用いた差分処理には、①～④のような誤差があることから、結果を見る際には留意してください。①異なる測量時期による DEM のズレ ②急崖地等における航空レーザ測量の精度悪化による誤差 ③地表物除去の処理の違いによる誤差 ④東日本大震災による地形変動（水平移動・隆起）

4-2. 結果

14 年間の累積土砂移動が大きかった上位 3 カ所について、減少（Decrease）を上位から D1, D2, D3, 増加（Increase）を上位から I1, I2, I3 とし、拡大表示します（図 4）。図中の青色が地形の侵食や崩壊、赤色が土砂の堆積を表しています。平成 19 年時点ですでに崩壊していた箇所の拡大崩壊や、溪床の侵食が顕著であり、その土砂発生源の下流や谷の出口に堆積があると考えられます。荒廃地（図 2）と侵食箇所の関係を見てみると、約 7 割の侵食箇所が荒廃地に位置していました。侵食・堆積箇所の面積は 5.5ha、観測監視地区に占める割合は 1.1% となります。また、観測監視地区から流出する土砂量は、青色の土砂発生から地区内に留まる赤色の堆積を減じた量となります。今回、年間 3124m³ の土砂が観測監視地区外へ流出しており、土砂移動箇所 5.5ha の年侵食深は 56.6mm という結果が得られました。



※写真は令和3年10月航空写真及び令和4年8月調査写真

観測監視地区	侵食・堆積箇所	面積率	年土砂流出	年侵食深
491.3ha	5.5ha	1.1%	3124m ³	56.6mm

図 4. 観測監視地区の土砂移動について

4-3. 観測監視地区全体の侵食深に係る試算

先の結果を踏まえ、観測監視地区全体の侵食に関する試算を行いました。地区全体の試算には、土砂移動箇所として抽出されなかった箇所の侵食を考慮する必要があります。そこで、平成 17 年に実施された観測監視地区内の斜面の被覆状態の違いによる斜面侵食調査²⁾の結果をもとに、荒廃地に年侵食深 0.53mm、森林等に年侵食深 0.21mm を適用して試算しました。表 2 のように計算した結果、観測監視地区全体の年土砂流出量が 4552m³、年侵食深が 0.93mm という結果が得られました。一般的な年侵食深のオーダーが農耕地で 10⁰~10⁻¹mm、草地・林地で 10⁻¹~10⁻²mm と言われている³⁾ことから、試算結果の年侵食深 0.93mm は、農耕地~草地・林地と同程度の侵食であると評価できます。つまり、この 14 年間で「観測監視地区」からの土砂流出は下流域へ大きな影響は与えていないと考えられます。

表 2. 観測監視地区全体の年侵食深

	面積 (ha)	侵食深事例 (mm)	年土砂流出 (m ³)	年侵食深 (mm)
全体	491.3	—	4552	0.93
土砂移動箇所	5.5	—	3124	56.59
荒廃地	133.0	0.53	705	0.53
森林等	352.7	0.21	723	0.21

4-4. 現地調査

これらの結果は、机上で得られたものであり、地表物の状態が不明であることから、現地調査を行いました。松木沢沿いに最奥の拡大崩壊地 (D2/I1) まで踏査し、土砂移動箇所や植生の観察を行いました。最奥の拡大崩壊地の植生は、ススキやヨモギ等の先駆植物に加え、鹿の不嗜好性植物であるテンニンソウが群生し、リョウブには鹿の食害痕が見られました。このように安定した堆積箇所には、遷移の初期植生が成立していました (写真 2)。



写真 2. 拡大崩壊地の斜面下部の植生

5. まとめ

以上の結果より、平成 19 年~令和 3 年の 14 年間に於いて、観測監視地区から下流へ顕著な土砂流出はなかったと考えられます。この結果は、令和元年東日本台風の激甚な降雨を経た結果であること、また松木沢には複数の砂防堰堤が配置されていることを踏まえて、観測監視地区を今後継続することの下流域への懸念は少ないと判断できます。この判断を踏まえ、観測監視地区のこれからに向けた課題は、観測監視地区を設置した当時から変化した緑化状況等を考慮し、現在における観測監視地区の意義を再整理した上で治山や環境の学習の場として効果的に提供すること、また鹿の食害が出ていることを踏まえた植生回復への影響を検討する必要があると考えます。

参考文献等

- 1) 関東森林管理局：【プレスリリース】足尾国有林における観測監視地区の設定について、2003
- 2) 関東森林管理局：森林の多面的機能活用を目指した足尾地区基本構想策定調査、2006
- 3) 川口武雄：山地からの土砂流出対策としての森林・治山工を考える、2002