

足尾地域における植生の回復と治山・緑化活動の ゾーニングに関する基礎的研究

田中 洋¹・池田 裕一²・大田 為倫³・戸舘 光⁴

¹学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 学際先端システム学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)
E-mail: mt106655@cc.utsunomiya-u.ac.jp

²正会員 宇都宮大学 工学研究科 学生先端システム学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)
E-mail: ikeda@cc.utsunomiya-u.ac.jp

³沖縄県土木建築部 (〒904-2155 沖縄県沖縄市美原1-6-34)
E-mail: mt106655@cc.utsunomiya-u.ac.jp

⁴宇都宮大学 工学部 建設学科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)
E-mail: mt106655@cc.utsunomiya-u.ac.jp

足尾地域の山林は、銅山開発に伴い荒廃し、はげ山化していった。1956年から治山・緑化事業が本格化して50年の節目を過ぎた現在、植生回復と治山・緑化事業の評価および今後の方策の検討が必要と考えられる。本研究では、足尾ダム流域56km²を対象として、500m四方のメッシュごとに、1976年および2003年の空中写真を判読し、植生量の回復・減少の傾向を調べた。つぎにそれと地形データおよび各種事業データとの関連性を重回帰分析および主成分分析を用いて検討した。その結果、全体で植被率の18パーセントの増加が確認された。また、流域を「今後も豊かな植生が期待できる地域」、「本格的な技術が必要な地域」、「ボランティア等一般の緑化推進地域」に分けてゾーニングを行った。

Key Words: Ashio, vegetation, restoration, erosion control, zoning

1. はじめに

現在の日光市足尾地区(図-1)では、江戸時代に銅の鉱脈が発見されてから銅の生産が盛んに行われるようになった¹⁾。1881年(明治14年)に新鉱脈が発見されてから徐々に第鉱脈が発見されるようになり、足尾での銅の生産量は明治20年代には日本国内の銅の生産量の40パーセントを占めるほどにまでなった。しかしそれに伴って足尾の自然は次第に荒廃していった。荒廃の主な原因は森林の乱伐、山火事、亜硫酸ガスによる植物の枯渇である。

森林の伐採面積は1881年(明治14年)から年を重ねるごとに増加し、足尾官林(現在の国有林)では1893年(明治26年)までの20年足らずの間に累計で6760町歩(ha)まで及びんだ。足尾官林の約半分が伐採されたことになる。

また同時期に足尾官林は数回に渡り山火事に襲われた。山火事の原因は春先の入会地からの野火の延焼や入山者の失火などである。特に1887年(明治20年)に発生した松本大火では1100haもの森林が消失された。

さらに1893年(明治26年)から1956年(昭和31年)の60年間ベッセマー式製錬法により発生し続けた亜硫酸ガスによる煙害により、残った木々は枯渇し、足尾地域の森林の自然回復能力を奪ってしまった。

1956年(昭和31年)自熔精錬法の導入によるベッセマー式製錬法の廃止と同時に足尾地域で治山・緑化活動が本格化し始めることになる。そして治山・緑化活動の本格化から50の節目を過ぎた現在において、植生回復の実績を評価し、今後の治山・緑化活動の方針を提案することは重要と言える。

この種の研究としては、本多ら²⁾のものが先駆的である。本多らはリモートセンシングにより1979年(昭和54年)から1992年(平成4年)の植生活性度変化を検討し、植生の成長曲線と各種要因との関連性を検討し、植生回復に対する今後の砂防事業の効果を予測している。³⁾ただし、使用したデータは現在より11年前のもので最新ではない。また成長率は表面的な経験式を経験的にあてはめたものなので、今後、気候変動を考慮して予測する際には、より生態学的な裏付けのある予測式を用いる必要であろう。さらに最近では、NPOなど行政機関以外による植樹活動

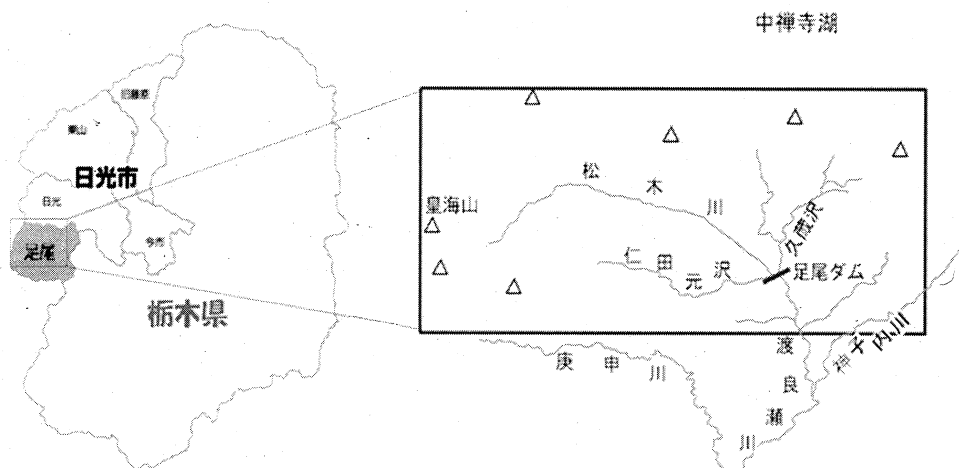


図-1 対象地域の概要

表-1 使用したデータ

種類	時期	出典
オルソ化空中写真（カラー）	1976 年	国土交通省
オルソ化空中写真（カラー）	2006 年	アクリーグ(株)
渡良瀬川砂防工事平面図	2002 年	渡良瀬川工事事務所
標高・斜面方位・斜面傾度データ	1981 年	国土数値情報 1/4 メッシュデータ
国有林復旧箇所	1997 年	林野庁

も盛んであり、さまざまな活動を重点的に行う地区の検討も重要になってきている。

そこで本研究では、最近のデータも交えて、過去からの植生の回復量と各要因との関係を評価するとともに、統計的分析からゾーニングを行い、今後の治山・緑化活動の策定に資することを目的とした。

表-2 植生の被度の空中写真判読の目安

被度	メッシュ占有率	植被率
5	3/4～	87.5%
4	1/2～3/4	62.5%
3	1/4～1/2	37.5%
2	1/10～1/4	17.5%
1	～1/10	5.0%

2. 使用データと解析の方法

(1) 対象範囲と使用したデータ

対象範囲は足尾ダム上流の松木川、仁田元川、久蔵川の流域を含む領域 56km²とした。ただし、実際には、北緯 36° 43' 40.0" 東経 139° 20' 0.0" の地点を起点に、北へ 7km、東に 14km の矩形領域（図-1 右側の太い枠線）に 500m 四方のメッシュを被せて、それぞれのメッシュの属性について、解析を行った。

使用したデータを表-1 に示す。このうち空中写真は、カラー撮影のため判読が容易で、位置座標データも付属してオルソ化されているので容易に GIS に読み込むことが可能である。砂防工事平面図には、砂防ダム、山腹工施工地と砂防指定地の位置が記載されている。国有林復旧事業箇所は林野庁が 1958 年(昭和 33 年)から

行っている国有林復旧事業の位置を青木が地図上にまとめたものを用いた³⁾。

(2) 空中写真による植生量の判読

それぞれのメッシュについて、植生の被覆状態に応じて被度を 5 段階に分けて判読し、植被率に換算した（表-2）。そのうえで、2003 年の植被率から 1976 年の植被率の差をとり、植生の変化量を算出した。

(3) 植生量変化に関する重回帰分析

植生量の変化が、各種要因とどのような関連性があるか、重回帰分析で検討した。地形的要因は、国土数値情報 1/4 メッシュデータを本研究で設定したメッシュ上に補間した。治山・緑化事業については、国有林復旧箇所のマップから復旧事業領域がそれぞれのメ

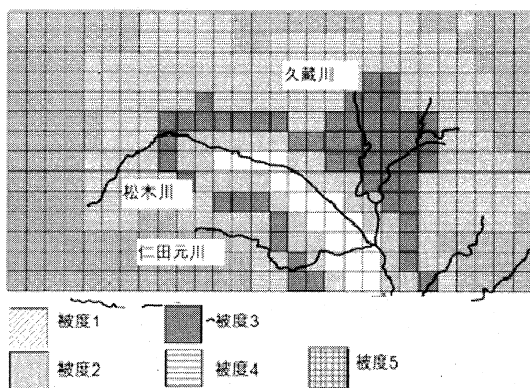


図-2 1976年被度

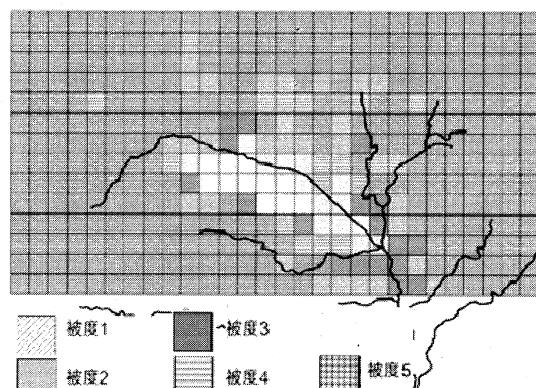


図-3 2003年被度

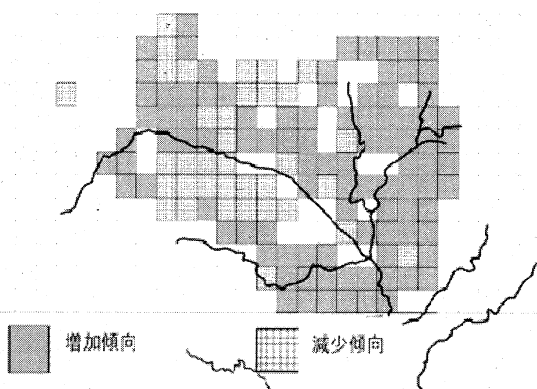


図-4 植生の増減

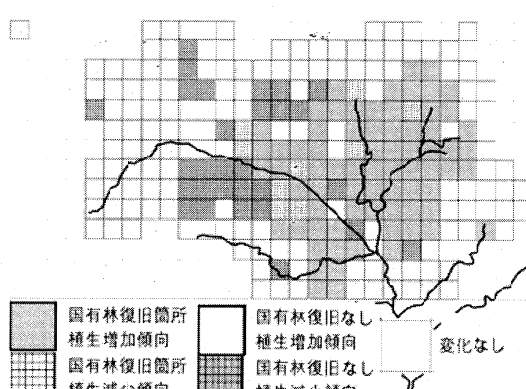


図-5 国有林復旧箇所と植生の増減

シュで占める面積率を、渡良瀬川砂防工事平面図から砂防指定地および山腹工の面積率および砂防ダムの位置情報を入力した。

そのうえで、植生変化量を目的変数として、重回帰分析を実施し、各要因の影響の度合いを検討した。

(4) 主成分分析によるゾーニング

(3)で植生との関連性が高かったデータを用いて主成分分析を実施し、データの構造を検討した。主成分分析の結果に基づいて、第一主成分と第二主成分の意味づけを行い、それを地図上に表示することで、各地域の位置づけを把握した。そのうえで、今後の事業を進めるに当たってのゾーニングのあり方を検討した。

3. 空中写真判読による植生変化量

図-2, 3にそれぞれ1976年および2003年の植生の被度の判読結果を、図-4に1976年から2003年の間の植生量の増減

の傾向を示す。結果として対象領域全体で約18パーセントの植生の回復が確認された。大きな増加の確認された地域は松木川上流、久蔵川であった。松木川上流は足尾ダムから遠方に位置しているため人の手が入りにくい場所ではあるため森林の伐採も無く、亜硫酸ガスの被害も小さい為に植生の回復能力が失われていなかったのではないかと考えられる。また久蔵川上流は当初より国有林復旧事業が行われていた地域であり、ほとんどのメッシュで増加傾向であることから、事業の効果が出ていると考えられる。(図-5)

図-4からは松木川中流沿いに植生の減少している地域も確認できる。減少の要因として、この地域は土砂が崩れやすくなっているため砂防ダムが多く分布している等、人の手が入っているために一時的に植生が減ってしまったことが挙げられる。さらに土砂が崩れやすく植生の定着が良くない、北向きの斜面が大部分を占めているという理由から植生が非常に増えにくい環境と考えられる。

表-3 重回帰分析の条件

ケース	目的変数	説明変数	対象範囲
1.	植被率変化	標高・斜面方位・傾斜角度データ, 国有林復旧箇所, 砂防指定地	対象地域全体
2.	植被率変化	ケース1の説明変数 + 2003年植被率	対象地域全体
3.	植被率変化	ケース2と同じ	国有林復旧事業箇所のみ

表-4 重回帰分析の結果

ケース	重相関係数 R	決定係数 R^2	偏回帰係数						
			切片	国有林 復旧地 (%)	標高 (m)	傾斜 角度	斜面 方向	砂防 指定地 (%)	2003年 植生量 (%)
1	0.48	0.22	2076.	0.15	-0.01	-0.17	0.58	0.10	—
2	0.65	0.43	-0.47	0.20	-0.02	0.10	-0.07	0.23	0.34
3	0.81	0.66	30.40	-0.03	-0.05	0.52	-0.41	0.14	0.50

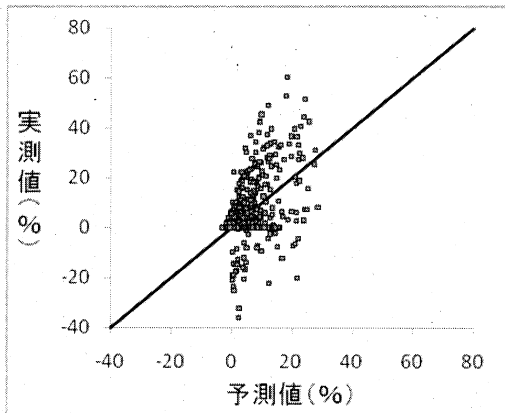


図-6 ケース1結果

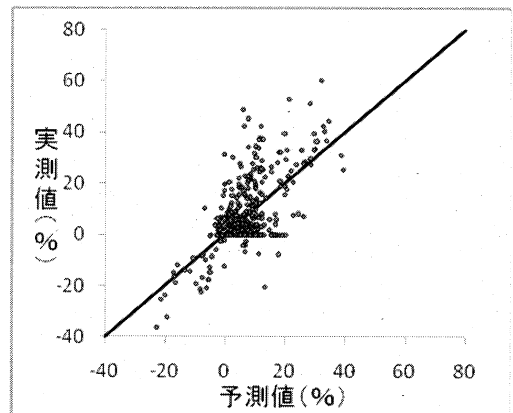


図-7 ケース2結果

4. 植生変化に関する重回帰分析

1976年から2003年の植生量変化を目的変数とし、表-3のように説明変数の組み合わせ等を変えて重回帰分析を行った。その結果の概要を表-4に示す。

ケース1では、まず地形と人間活動が植生の育成に多大な影響を及ぼすと考え、標高・斜面方位・傾斜角度、それに砂防指定地および国有林復旧箇所の面積率を説明変数とした決定係数 R^2 が0.22程度だった(図-6)。

ケース2では、ケース1で挙げた要因に加えて、そのメッシュに存在する植生量も説明変数とした。これは、植生が多く生えている場所の近辺ほど植生が増えやすい傾向にあるとの考えに基づくもので、本多の研究では25mメッシュを用いて、近隣植生の影響が非常に大きいことを見出している。本研究ではメッシュのサイズが500mと大きいので、近隣メッシュではなく対象メッシュでの植被率を説明変数に加えることにした。その結果、決定

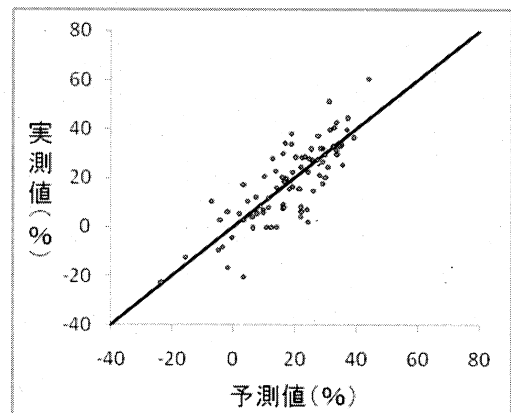


図-8 ケース3結果

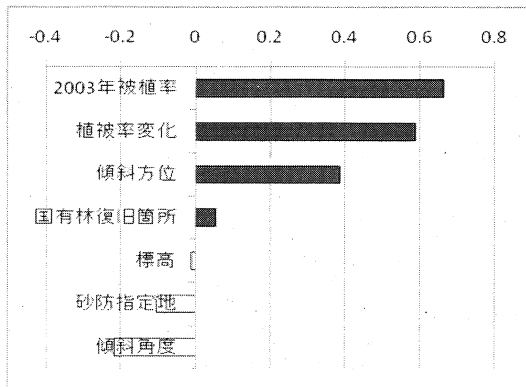


図-9 第一主成分

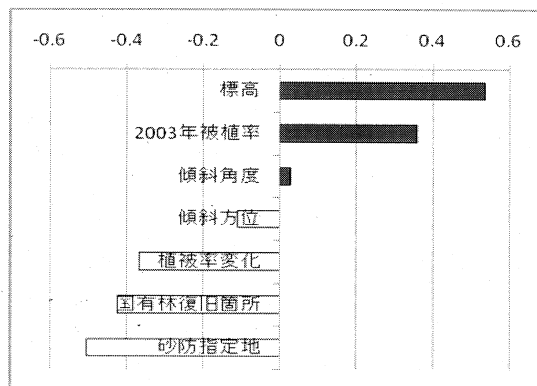


図-10 第二主成分

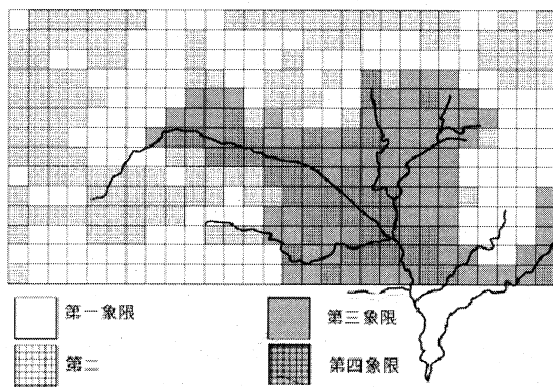


図-11 主成分分析の各現象の割り当て

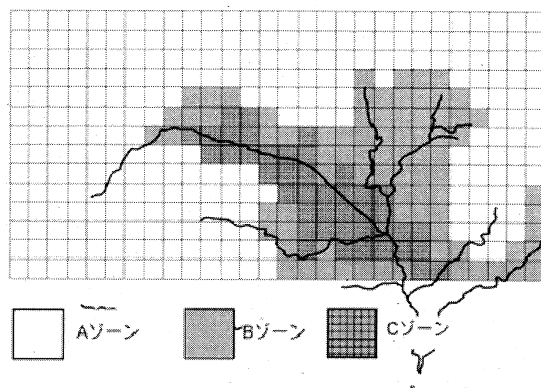


図-12 ゾーニングによる分類

係数は $R^2=0.42$ と、本多の研究結果と同程度になった(図-7)。

またケース3では、煙害被害が大きく国有林復旧事業を行ったメッシュを対象に同様の設定で重回帰分析を行った。その結果、決定係数 $R^2=0.66$ まで相関が高くなった(図-8)。これより、復旧箇所では同質の植生回復がなされており、各要因によるばらつきが小さいものと考えられる。

5. 主成分分析によるゾーニングの概要

4で相関の高かった植被率変化、2003年の植被率、砂防指定地、国有林復旧箇所、標高、傾斜角度、斜面方位で主成分分析を行った。その結果、第一および第二主成分合わせた寄与率が51.0%となり、この2つの主成分でおおよそそのデータ構造を考えることができることがわかった、図-9、10にこれらの主成分のベクトル図を示す。

第一主成分は負のベクトルに砂防指定地、国有林復旧箇所、植被率変化が大きく表れ、これらは被害の大きかった地域であり、被害の小さい標高の高い部分が正に大きく現れたので「土地の自然回復能力の高さ」を示しているものといえる。また、第二主成分は植生量と斜面方位が高かったので、「植生の育ちやすい地形」を示しているものといえる。

図-11は、第一主成分を横軸に、第二主成分を縦軸にとり、第一、二、三、四象限に分けて対象領域を象限毎に色分けしたものである。この図より、それぞれの象限が、ある程度まとまった領域として現れていることがわかる。そこで、第一象限と第二象限を「Aゾーン：今後も豊かな植生が期待できる地域」、第三象限を「Bゾーン：ボランティア等一般の緑化推進地域」、第四象限を「Cゾーン：本格的な技術が必要な地域」として、本研究でのメッシュより大きなスケールから見てゾーン分割を試みたものを、図-12に示すことにする。

6. おわりに

本研究で1976年(昭和51年)から2003年(平成15年)の間に足尾地域での植生が全体として増加傾向にあることがわかった。また重回帰分析の結果、植生の回復と各治山事業が高い結びつきを持っていることを検証することができた。特に国有林復旧事業の効果は非常に高く、松木川周辺の北向き斜面では地形的な要因から植生の増加がほとんど見られないことがわかった。

主成分分析でも地形的な成分がはっきりと表れていた。もう一方の成分には過去の足尾地域での被害が大きく関係して見えた。これらの成分からゾーニングを行い、足尾を3つのゾーンに分けることができた。

足尾地域では長い年月をかけ、ようやく緑が戻ってきてつつある。が、1976年(昭和51年)から2003(平成15年)年の間に植生が減少している地域もあり今後も注意を怠ることができない状況だと思われる。本研究が足尾地域の一助となることができれば幸いである。

謝辞など：本研究を進めるにあたり宇都宮大学特定重点推進研究会、日光市教育委員会生涯学習課より協力を頂いた。また国土交通省渡良瀬川河川事務所より資料の提供及び指導を頂いた。ここに記し感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 秋山 智英：森よみがえれ 足尾銅山の教訓と緑化作戦、農文協、1990。
- 2) 本多 潔：足尾銅山における植生回復シュミレーションと治山事業の評価、「写真測量とリモートセンシング」Vol.34, No.5, pp.25-35, 1995。
- 3) 青木 達也：足尾銅山における山林荒廃とその対策に関する歴史の変遷-松木地区の保存・復旧、活用に関する考察、土木学会論文集 Vol.66, No.2, pp. 197-216, 2010
- 4) 社団法人日本写真測量学会編：空中写真の判読と利用、鹿島出版会 1970

FUNDAMENTAL SYUDY ON VEGETATION RECOVERY IN THESE 30 YEARS AND ZONING FOR AFFORESTATION ACTIVITIES IN ASHIO BASIN.

Hiroshi TANAKA, Hirokazu IKEDA, Tametomo OOTA and Hikaru TODATE

In Ashio Basin, mountains and forests became waste land with earnestly exploitation of copper mine from 1884. Eagerly afforestation activities were performed for over 50 years in Ashio Basin, then, it is important to estimate the effect of afforestation activities and examine the future plan of various activities in Ashio Basin. This study decipher aerial photographs snapped in 1976 and 2003 in every 500m size mesh and analyze trend of vegetation recovery. And multiple regression analysis and principal component analysis were carried out with topography datas, afforestation activities datas and result of aerial photography analysis. Consequently vegetation increased by 18 percent in all over Ashio dam basin. Finally the basin can be divided into three zones, "Promised Rich Vegetation Area", "Promote Volunteer Activities Area" and "Demand Professional Work Area".