

スペクトルメータを用いたのり面植生評価方法の提案

日大生産工(非常勤) ○大木 高公 日大生産工 大木 宜章
日大生産工(院) 青木 忠尚

1. はじめに

我が国では山岳や丘陵が多く、鉄道や道路の建設・整備に伴い、工事費の面から、のり面を採用する機会が多い。のり面には表面の浸食防止と表層土強化のため、のり面工が施工される。のり面工には単なるのり面の崩壊防止対策だけでのり面防護でなく、景観・環境への配慮を行なうことが必要とされている¹⁾。のり面工の選定として、道路²⁾、および、鉄道³⁾の基準では植生が施工可能ならば植生工を採用するようになっている。しかしながら、いずれの基準でも、のり面植生の生育状態については具体的な数値として明確化されていない。

さて、植生の緑葉は光合成によりCO₂を吸収し、O₂を発生している。緑化した道路のり面での自然環境復旧手法とCO₂固定機能についての研究⁴⁾がある。

本研究の目的は、この光合成に着目して、のり面植生の生育状況を客観的に評価することである。従来から用いられている反射率に代えて、スペクトルメータによる植生反射スペクトルによる方法を提案した。その結果から、植生反射スペクトルは植生の葉緑素による光合成の程度をよく表しており、のり面植生の生育状況を客観的に評価する一手法となり得ることを明らかにした。

2. のり面植生の生育状態把握に対する検討

(1) 生育状態の把握

のり面植生の生育状態を把握するため人工衛星からのデータが利用できないか検討した。人工衛星からのデータは空間分解能(Landsat では30m)の点で個々ののり面への適用は難しい。しかしながら、のり面の位置する地域の自然環境の把握には役立つ⁵⁾とされている。また、のり面植生の生育状態を把握するためにスペクトルメータを使用した研究⁶⁾も存在する。従って、本研究ではのり面植生の生育状態を客観的に把握するため、より狭い範囲を計測できるスペクトルメータを使用することとした。

(2) スペクトルメータのシステム

スペクトルとは、一般に雑多なものをその成分の波長や、その他の性質に従って順に並べたものをいう⁷⁾とされている。

ここで使用した、スペクトルメータはオーシャン 옵ティクス社製USB 2000のハンディタイプで、センサ先端部(直径0.3 mm)を対象面に向けてることにより簡単に計測できる。出力は波長域 340~1,025nm, 0.34nm 間隔に設定した。既往の報告では、波長域 350~800nm, 5nm 間隔とされているので、今回の計測の方が広い波長域でかつ細かい間隔で計測できる。また、既往の報告では試料を採取しアイスボックスに入れて研究室に持ち帰り直ちに計測が行なわれている^{8),9)}。今回の計測では現場の植生を傷つけずその生育状態のまま計測する非破壊検査であり、かつ瞬時に計測できるという特長がある¹⁰⁾。

このスペクトルメータでは、複数のCCD(Charge Coupled Device)イメージセンサーで同時に受光した反射光は光から電気信号に変えられ、専用のソフトウェアで解析された後、成分を波長順にならべて数値として出力される。波長順に並べて出力された数値を市販の表計算ソフトでグラフ化することにより、反射スペクトルが表示される。なお、CCDはシリコンから製作されており、シリコンの特性上、計測できる波長は約1,100nm以下となる¹¹⁾。

(3) 計測対象

計測対象地は写真-1 に示す本学既存ののり面実験装置とし、のり面実験装置に自生した「ススキ」を選定した。ススキを対象にした主な理由は次のとおりである。

1) 日本中ほぼ至る所に自生しており、ススキの変化状況を把握することにより、のり面の安定性の把握に役立てたい

2) 新たな種類を採用して種まきをするより、自生している種類を採用することによりコスト削減を図った

(4) 計測方法

計測方法として、図-1 に示すようにスペクトルメータを、実験装置から1.0 m離れ、地上高1.0 mとして設置

することを標準とし、水平に計測した。そのため計測範囲は図-1に示すとおり直径44cmの円形空間となる。なお、センサー先端部を計測対象に近づければ、葉1枚毎に計測することが可能である。

計測に先立ち、CCDの特性上光の入力が無くとも電流が流れるため、この影響を除去することを目的として、予め、センサー先端部を黒い布で覆って光を遮断して計測し、ダークスペクトルを取得する。

次に、センサー先端部を標準校正白色板へ向け、反射スペクトルを取得した。この反射スペクトルからダークスペクトルを差し引いた値を、「基準反射スペクトル」と記述する。その後、センサー先端部を計測対象へ向け計測した。得られたサンプル反射スペクトルから、予め得られているダークスペクトルを差し引いた値を、「植生反射スペクトル」とした。

この植生反射スペクトルの基準反射スペクトルに対する比を反射率として式(1)より求めた。

$$\begin{aligned} \text{反射率} &= \frac{\text{植生反射スペクトル}}{\text{基準反射スペクトル}} \\ &= \frac{S\lambda - D\lambda}{R\lambda - D\lambda} \quad \dots\dots (1) \end{aligned}$$

ここに

S_λ : 波長 λ におけるサンプル反射スペクトル強度,

D_λ : 波長 λ におけるダークスペクトル強度,

R_λ : 波長 λ における反射スペクトル強度

である。

(5) 植物の吸収、及び、反射スペクトル

植生の葉の吸収スペクトルでは、400～500nm(青紫)、及び、670～680nm(赤)に吸収帯があり、これらの中間の550nm(黄緑)付近ではほとんど吸収がない(増田, 1988)といわれている。すなわち、反射スペクトルでは、400～500nm、及び、670～680nmにて反射が少なく、550nm付近では反射が多くなる。

秋期の変色した葉では、光合成機能領域である680nm付近の波の吸収が非常に低下する。さらに、葉の色を問わず680nmから近赤外域での反射率は植生の葉の重なり、密度が高いほど高くなる。次に、秋期に植物の生理変化に伴い、植物色素の生成・分解により葉の光吸収特性が変化する。このことから、分光反射スペクトルが変化し、この変化を人間が色彩の変化として認識している⁸⁾といわれている。

(6) 反射率計測上の問題点

のり面崩壊を引き起こす要因は降水(地下水を含む)、地震、および人為的なものである。この中で最も大きな要



写真-1 のり面実験装置

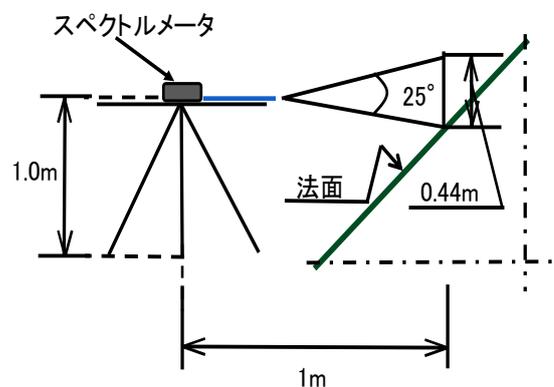


図-1 スペクトルメータ計測概念図

因は水によるものである。したがって、のり面崩壊に最も関与する水の状況を確認するには、のり面の検査時期としては降雨時や降雨直後がよい。のり面植生の生育状況の把握はのり面検査時に行なわれる。

現場での計測では、図-2に示すように、反射スペクトルは気象条件により計測中、刻一刻と変化して安定しない。すなわち、現場での計測では分母が計測時間中一定ではなく、天候が安定している場合以外には計測中にその変化を予測することは不可能である。従って、その都度同時に分子・分母を計測しなければ大きな誤差が生じることとなる。しかしながら、分子・分母を同時に計測することは非常に困難である。

3. 提案する方法とその実例

前記反射率計測上の問題を解決するため、前記式(1)の分子に注目する方法を提案するものである。すなわち、のり面植生の生育状態の状態を表す方法として、従来の反射率に代えて植生反射スペクトルにより植生の評価を行なうものである。

反射スペクトル変化の実例として、**図-3** に夏と秋の日ににおける植生反射スペクトルを示す。また、**写真-2** に夏、**写真-3** に秋でののり面の状態を示す。夏期にはのり面植生は緑色を保っている。一方、秋期には植生が枯死している。なお、クロロフィルの反射率は波長 850nm 付近にて最大となる¹²⁾とされている。このことを明らかにするために、**図-3**に波長980nmまで表示した。

(1) 夏期と秋期の差違の比較

植生反射スペクトルでは秋期に、夏期と比較して680nm付近での反射が増加している。このことは、前述した、秋期に変色する葉では680nm付近の吸収が非常に低下する、に対応し光合成が低下していることを示している。また、近赤外域での反射が低下している。このことは、秋期における植生の葉の重なり、密度の減少を示している。

以上のことから、植生反射スペクトルはのり面植生の生育状態をよく表している。

(2) クロロフィル反射指数の提案

光合成の状態を評価するために、**図-4** に示すように、光合成機能領域である680nm付近の面積を台形公式による数値積分にて求めてScとし、全体の面積をS₀とする。Sc/S₀をクロロフィル反射指数(以下「反射指数」と定義し、この反射指数を植生の活力度を示す指標として提案する。

(3) 二次微分吸光度との比較について

スペクトル画像より二次微分吸光度(式-2)を用いた研究¹³⁾がある。二次微分は、差分を二回繰り返して二次差分として近似し¹⁴⁾、二次微分吸光度は二次差分の差分商として求めている。

$$\text{二次微分吸光度} = d^2A(\lambda)/d\lambda^2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、A=LOG(1/r) : 吸光度, r : 反射率,
λ : 波長

である。

ここで、二次微分吸光度と提案する反射指数を比較検討する。

1) 二次微分吸光度の計算には、反射率 r が必要である。現場計測では、前記のとおり、天候の影響を受け、精度の高い値を求めることは非常に困難である。一方植生反射スペクトルでは天候の影響を受けない。したがって、反射指数の方が優位である。

2) 二次微分吸光度は、(長さ)² という次元を持っている。一方反射指数は無次元である。数値計算に入る前に、無次元の関係式にして、パラメータをなるべく少ししか含まないようにしておくべきである¹⁵⁾、とされているので、反射指数の方が優位である。

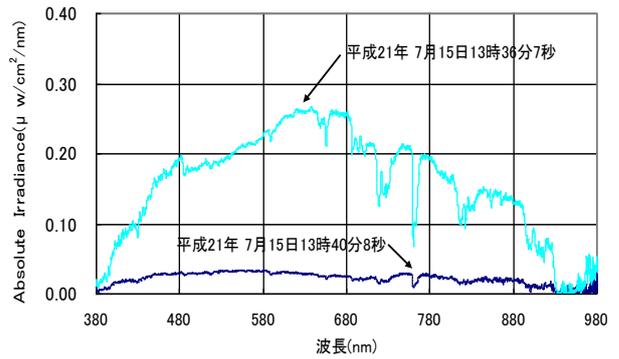


図-2 反射スペクトルの変化



写真-2 夏期でののり面の状態



写真-3 秋期でののり面の状態

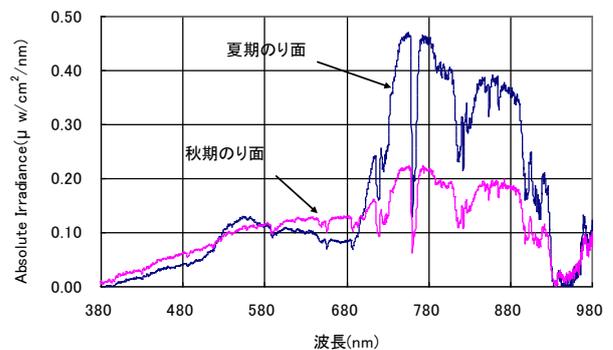


図-3 のり面の植生反射スペクトル

以上のことから、現場計測では、二次微分吸光度より反射指数の方が優位である。

(4) 反射指数の時系列的推移

図-5に四季を通じたのり面の反射指数の推移を示す。この図より、春には反射指数が年間の平均値に近く(4.0×10^{-4})、夏には低くなり(2.0×10^{-4})、秋には高くなり(8.0×10^{-4})、冬期には低下していくという周期が見られる。

この変化は、植物生理学での、芽生えは光が継続してあたると大量のクロロフィルの合成がはじまり緑色に変わる。葉が成長すると単位面積あたりの光合成活性が上昇する。老化の末期にはクロロフィルが退化して黄色または赤色の色素が現れる¹⁶⁾、と一致する。

5. まとめ

これらの結果から、以下のことがいえる。

- 1) 680nm付近にて、植生反射スペクトルは光合成をよく表している。
- 2) スペクトルメータを用いることにより、のり面植生の生育状態が客観的に把握できる。
- 3) 提案する反射指数と二次微分吸光度とを比較すると、反射率 r の計測が不必要なこと、および、無次元であること、から現場計測では反射指数の方が優位である。

以上のことから、提案するスペクトルメータを用いた植生反射スペクトルはのり面植生の生育状態、及び、葉緑素による光合成の程度を把握できることがわかった。さらに、反射指数は、現場計測では、二次微分吸光度より優位であることを示した。これらのことから、前記方法により、のり面植生生育状態の評価が客観的に行なえた。今後は、計測データを蓄積することにより、のり面植生評価方法の精度をさらに向上したい。

引用文献

- 1) 日本道路協会編：道路土工—のり面工・斜面安定指針，日本道路協会，p 4, 1999.
- 2) 文献 1), p. 208
- 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説—土構造物，丸善株式会社，p.67,p.98,1992.
- 4) 大窪克巳・小澤徹三・柴田知己：道路法面における生態系保全手法と評価。土と基礎，Vol. 55, No. 7, pp. 4~7, 2007.
- 5) 森本幸裕：画像による緑化状況のモニタリング。『のり面緑化の最先端～生態，景観，安定技術～』(小橋澄治・村井 宏 編著)，pp.65~66, 株式会社ソフトサイエンス社，1995.
- 6) 大木高公・石田哲朗・大木宜章・高橋岩仁：複数の廃棄物を混合した緑化基盤材の施工事例から見た再資源化への取り組み。土と基礎，Vol. 55, No. 10, pp. 17~19, 2007.

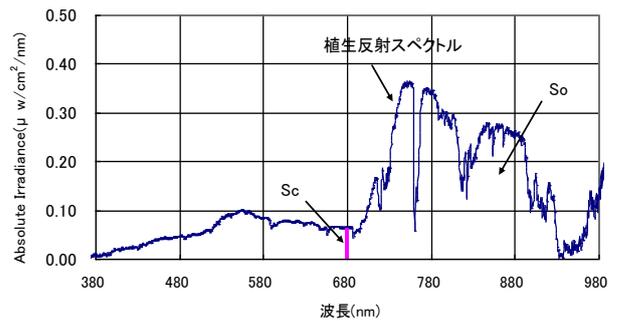


図-4 クロロフィル反射指数

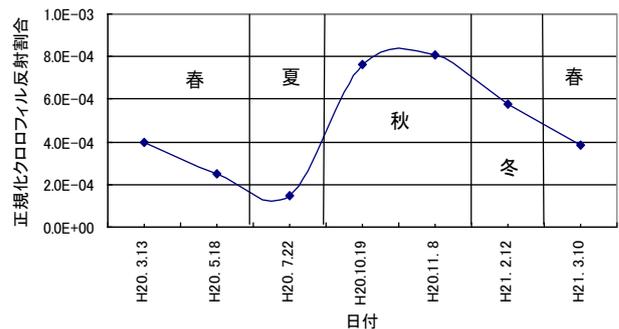


図-5 のり面反射指数の推移

- 7) 土木学会：土木用語大辞典，p.659, 技法堂出版株式会社，1999.
- 8) 吉村晴佳・小橋澄治・大手桂二・妹尾俊夫：樹葉の分光反射特性変化及びその生育状態の数値解析についての研究。日本リモートセンシング学会誌，Vol. 11, No. 2, pp.5~7,1991.
- 9) 吉村晴佳・石田雅士・小橋澄治・大手桂二：樹葉の季節的視域分光特性変化におよぼす植物色素の影響。日本緑化工学会誌，Vol. 20, No. 2, pp.99~110,1994.
- 10) 岩原廣彦・佐々木勝教・武藤吉範・野々村敦子・山中 稔・増田拓朗：石炭灰粒状材の緑化基盤材としての性能評価、土地と基礎，Vol.55, No.7, pp.24~27, 2007.
- 11) 米本和也：CCD/CMOSイメージセンサの基礎と応用。pp.37~38 CQ出版社，2003.
- 12) 文献 7), p. 285
- 13) 白石貴子・後藤真太郎・崎尾 均：ハイパースペクトル画像における林冠下の構造の影響評価に関する研究—立正大学構内のソメイヨシノ並木の解析事例—。環境情報科学論文集20, pp. 339~344, 2006.
- 14) 岩元睦夫・河野澄夫・魚住 純：近赤外分光法入門。p. 72, 株式会社幸書房，1994
- 15) 伊理正夫・藤野和建：数値計算の常識。p. 37, 共立出版株式会社，1985.
- 16) 増田芳雄：植物生理学 [改訂版]。p180 ,p.108, 株式会社培風館，1988