

3-31 スペクトルメータを用いたのり面植生の評価に関する研究

日本大学 ○大木 高公 日本大学(院) 青木 忠尚
 東京都下水道サービス(株) 岩佐 行利
 J R 東日本 桐生 雄太

1 はじめに

鉄道や道路という線状の設備では、わが国では山岳や丘陵地形の多いため、のり面が施工されている。こののり面には、表面の浸食防止と表層土強化のためののり面工が施工される。のり面工の選択肢としては、植生が施工可能な場合、植生工が採用される。近年、市街地での構造物では環境への配慮が求められている。すなわち、のり面工では、単なるのり面の崩壊防止だけでなく、景観・環境を維持できることが必要とされている。しかしながら、のり面緑化における植生評価指標(特に景観について)は具体的な数値として未だ明確化されていない。

本研究の目的は、緑化したのり面と無施工ののり面での植生の景観の相違について、スペクトルメータを用いて、色彩変化の状態及び、光合成状態から、数値的に評価することである。

2 施工箇所と種子の選定

施工箇所はN市M区内の市街地にある鉄道盛土である。盛土の高さ2.4m、のり面の勾配は1:1.8、のり面長は4.0mである。

安定計算の結果、安全率は、常時 $1.32 > 1.3$ 、地震時 $1.16 > 1.1(kh=0.2)$ となり、必要安全率を満足している。

新たに緑化工事をしたのり面を以下「施工のり面」、隣接する何ら手を加えられていない無施工のり面を以下「隣接のり面」と記述する。

鉄道ののり面であるので、安全・安定輸送確保のため、施工する植生の種類を選定の上で設定した主な条件は次のとおりである。

- 1) 草丈が高いものは、信号・標識が見えなくなるおそれがあり、危険なので採用しない
- 2) 秋または冬に枯れる種類は火災の危険性があるので採用しない

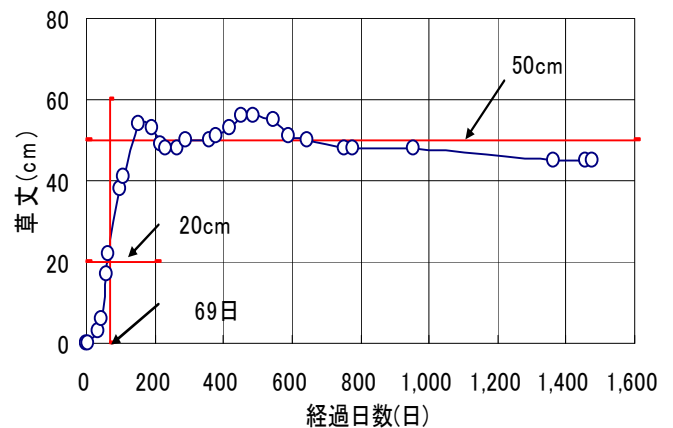
- 3) 生育旺盛で丈夫なもの

これらの条件に合致するものとして常緑(寒地)型の外来芝草類とした。さらに非発芽のリスクを分散させ、単一の種類にはない性質を補完するため、次に示す 4種類を選定した。

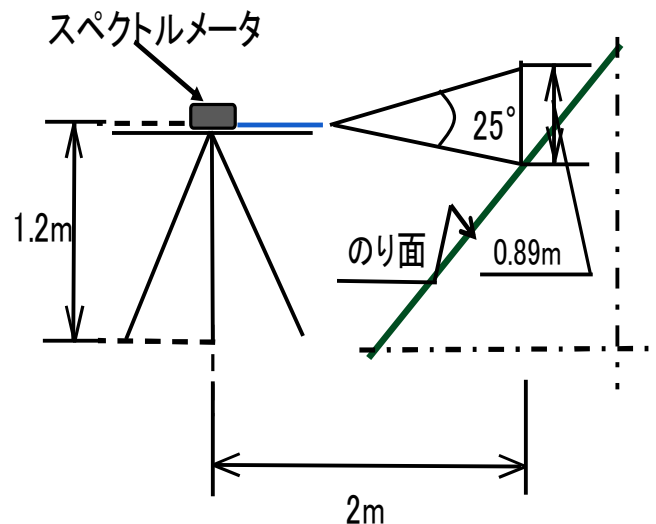
- a) クリーピングレドフェスク 7.51 g/m^2
- b) ケンタッキーブルーグラス 2.44 g/m^2
- c) ベントグラス(シーサイド) 0.59 g/m^2
- d) ベントグラス(ハイランド) 0.55 g/m^2

なお、施工面積は 160m^2 である。

この条件に合致しない種類は以下「雑草」と記述する。



図— 1 草丈の推移



図— 2 スペクトルメータ測定概念図

3 のり面植生の被覆状態に対する検討

(1) 草丈の成長

植生の生育状況については、草の根や茎などの長さ、その質量、及び、のり面の被覆率などにより客観的に表現してきたが、のり面の被覆状況については的確には伝えにくいと感じていた。例えば、図一 1に計測期間中の草丈の変化を示している。施工後64日で草丈22cmとなり、施工後69日にて草丈20cmという目標を満足している。また、草丈は年間を通じて50cm前後を推移している。以上の変化は前記の草丈の低いものの、秋冬に枯れないもの、及び、生育旺盛で丈夫なものという条件を満たしてはいる。しかし図一 1では、のり面植生の被覆状態は表されていない。従って、のり面植生の被覆状態を定量的に把握するためにスペクトルメータを利用することとした。

(2) スペクトルについて

スペクトルとは、土木用語大辞典によると、雑多なものをその成分の波長の順に並べたものをいうとされている。

測定に使用したスペクトルメータはOcean Optics社製のハンディタイプである。

データ出力範囲は波長 340～ 1,025nm、0.34～0.39nm間隔に設定した。このスペクトルメータでは複数のCCD(Charge Coupled Device)イメージセンサで同時に受光した光は電気信号に変換され専用のソフトウェアで解析されて、電気信号の成分を波長順に並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解析してグラフ化することにより、スペクトルが表示される。

(3) スペクトルの測定方法、及び、解析方法

測定方法としては、図一 2に示すとおり、スペクトルメータを対象のり面より 2m離れ、地上高1.2mの位置を標準として設置し、水平に測定した。そのため、測定範囲は直径0.89cmの円形空間となる。

測定に先立ち、予め、受光部からの光を遮断してダークスペクトルを取得した。これは、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する。

次に、センサー先端部を測定対象に向けて測定した。得られたスペクトルからダークスペクトルを差し引いて反射スペクトルを算出した。この反射スペクトル(以下「植生反射スペクトル」)はのり面植生評価指標として十分利用可能であることは既に報告した¹⁾。

(4) 植物の吸収、及び、反射スペクトル

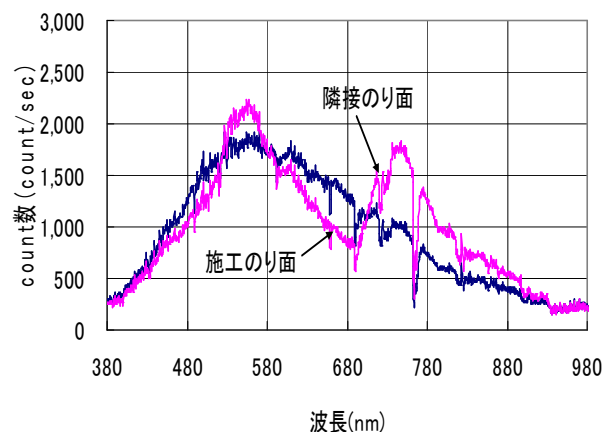
植物の葉の吸収スペクトルでは、400～500nm



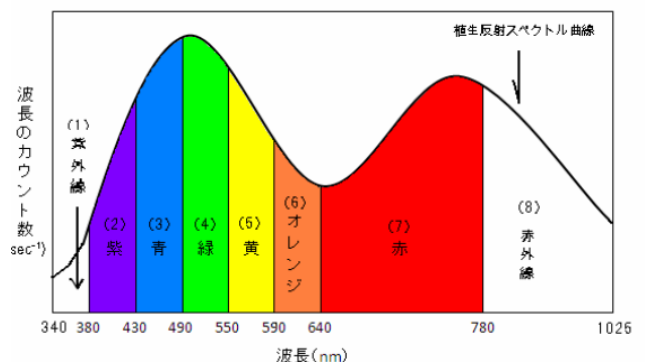
写真— 1 平成17年10月での施工のり面



写真— 2 平成17年10月での隣接のり面



図— 2 秋期での各のり面の植生反射スペクトル



図— 3 植生反射スペクトル曲線での色分け(JIS Z 8110より)

(青緑)及び、670～680nm(赤)にて吸収帯があり、これらの中間の550nm(黄緑)付近ではほとんど吸収がない。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。また、680nmから近赤外域にて反射が多くなる。

秋期での変色した葉では、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。すなわち、680nm付近の波の反射が増加する。また、近赤外域での反射も高くなる。なお、葉の色に関係なく葉の重なりが多い場合、近赤外域で反射が多くなる。

秋期の葉の色彩変化は、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し、それにより反射スペクトルが変化する。この変化を人間が色彩の変化として認識している¹⁾。

4 秋期での実例

写真— 1に平成17年10月(工事施工後1,364日目)での施工のり面の状態、写真— 2に同時期での隣接のり面の状態を示す。施工のり面では、植生は緑色をしている。すなわち、枯れないものという選定条件を満たしている。一方隣接のり面では、植生は枯死し、褐色化している。

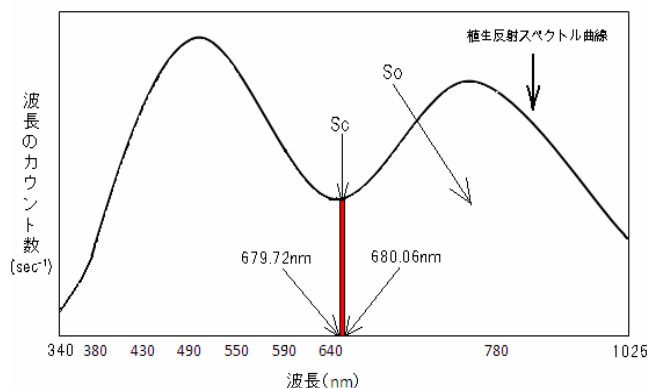
図— 2に上記の時期での各のり面の植生反射スペクトルを示す。この植生反射スペクトルでは、400～500nm、550nm付近、670～680nm、及び、近赤外域にて両のり面に差が生じている。すなわち色素の違い、葉の重なりの違いは明らかである。このことが、両のり面での景観の相違となって現れている。

5 今回提案する方法

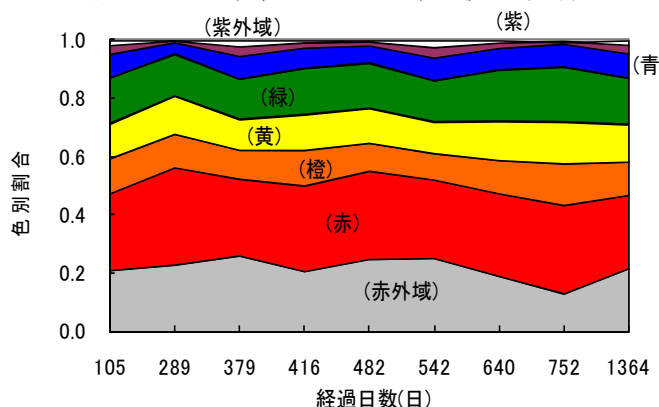
今回提案する方法は、まず植生の景観変化を色彩割合の推移によって評価しようとするものである。このため、測定範囲を、図— 3に示すように、紫外線、紫、青、緑、黄、赤、及び、赤外線に分けた。その後、各色別部分の面積を $si(i=1,2,...,8)$ とし、測定範囲内の全面積を s_0 とする。 $pi=si/s_0$ として、 pi を色彩割合と提案する。

次に、光合成の状態を規格化クロロフィル反射割合により評価しようとするものである。このため、図— 4に示すように、光合成機能領域である680nm付近(679.72～680.06nm)の面積を sc とし、 sc/s_0 を規格化クロロフィル反射割合と提案する。

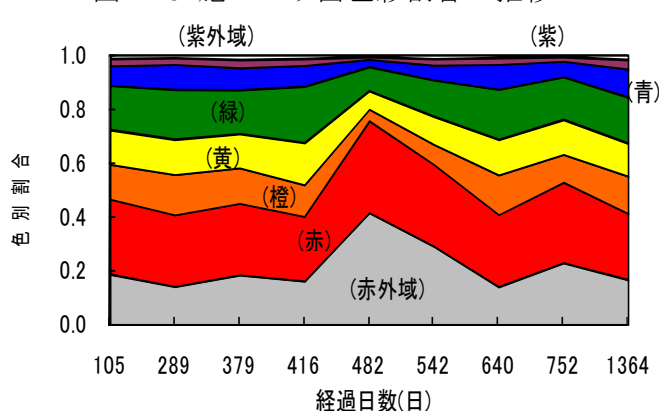
この色彩割合の推移から各のり面の植生の色彩変化の状態、及び、規格化クロロフィル反射割合の推移ならびに数値の大小にて光合成の状態を数値的に評価しようとするものである。



図— 4 規格化クロロフィル反射割合



図— 5 施工のり面色彩割合の推移



図— 6 隣接のり面色彩割合の推移

表— 2 各のり面色彩割合推移の統計量

色別	施工のり面			隣接のり面		
	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
紫外線	0.010	0.008	0.88	0.011	0.004	0.39
紫	0.023	0.011	0.49	0.025	0.008	0.31
青	0.071	0.015	0.21	0.073	0.023	0.32
緑	0.159	0.017	0.11	0.161	0.035	0.22
黄	0.122	0.012	0.10	0.122	0.024	0.20
橙	0.114	0.016	0.14	0.115	0.035	0.31
赤	0.285	0.026	0.09	0.282	0.031	0.11
赤外線	0.217	0.039	0.18	0.212	0.090	0.42

6 結果

図一 5に施工後 3年 7ヶ月間での施工のり面色彩割合の推移、及び、図一 6に施工後 3年 7ヶ月間での隣接のり面色彩割合の推移を示す。また、図一 7に施工後3年 7ヶ月間での各のり面での正規化クロロフィル反射割合の推移を示す。

表一 2に各のり面の色彩割合推移の平均値、標準偏差、及び、変動係数を、表一 3に各のり面での正規化クロロフィル反射割合推移の平均値、標準偏差、及び、変動係数を示す。変動係数とは、標準偏差を平均値で割った値で、平均値に対する相対的なばらつきの目安であり、変動係数が小さいほど相対的なばらつきが少ないことを示す。

これらの図、及び、統計量から次のことが言える。

1) 施工のり面と隣接のり面をくらべると、施工のり面の方が、青から赤の波長で色の変動係数が小さい。すなわち、人間の視力の感度が最も高い部分(波長555nm)にて変動が少ないため、人間の目には、施工のり面の方が色の変化が少ないと感じられるものと思われる。このことは、四季を通じて緑色を保っていることと合致する。

2) 施工のり面では紫外域、及び、紫域にて隣接のり面より変動係数が大きい。しかしながら、紫外域は可視域ではないため、人間の目には影響はないものと思われる。また、図一 8に示すとおり、紫域では人間の視力の感度が低下するため、人間の目には影響は少ないものと思われる。

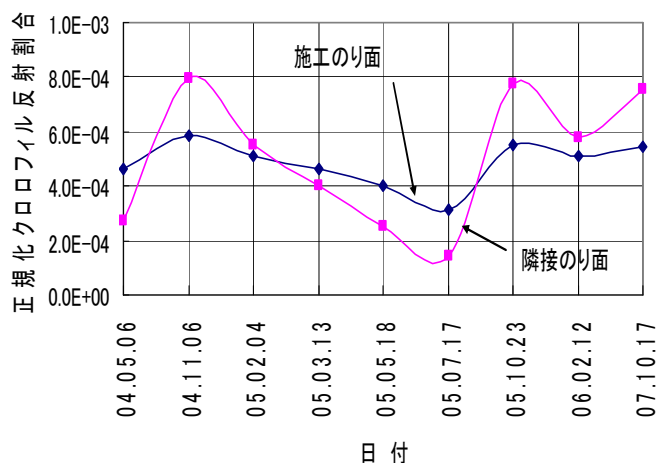
3) 上記1)、及び、2)から施工のり面の方が隣接のり面より景観の変化が少ないことが色彩割合の推移からいえる。

4) 雑草では、春には正規化クロロフィル反射割合が比較的高く(5.0×10^{-4})、夏には低くなり(2.0×10^{-4})、秋には高くなる(8.0×10^{-4})という周期が見られる。すなわち、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²⁾。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³⁾、と植物生理学でいわれていることに対応している。

5) 選定した種類では正規化クロロフィル反射割合の変動係数が、雑草の1/2未満となっている。すなわち、選定した種類では光合成の状態の変動が雑草より小さいことがいえる。

7 おわりに

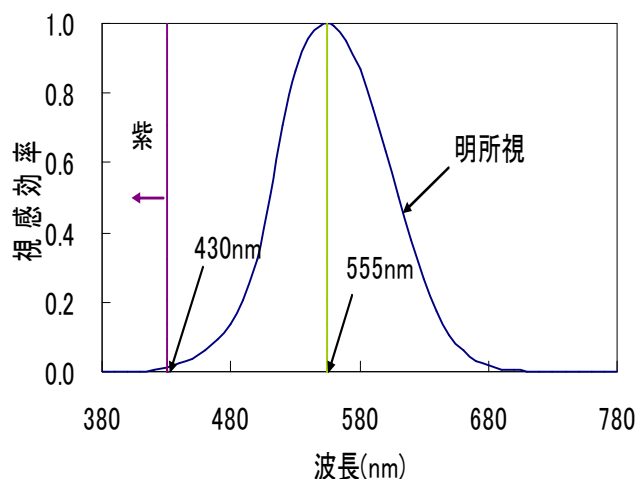
今回提案する方法にて、のり面植生色彩の推移が数値的に把握出来る。また、同じく提案する正規化クロロフィル反射割合にて、四季を通じた光



図一 7 各のり面正規化クロロフィル反射割合の推移

施工のり面			隣接のり面		
平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
0.00048	0.00009	0.18	0.00050	0.00025	0.50

表一 3 各のり面正規化クロロフィル反射割合推移の統計量



図一 8 光の波長と目の感度について
(国際照明委員会(1924)より一部加筆)

合成の状態が数値的に把握できる。

すなわち、各のり面での植生の景観の相違がスペクトルメータを用いて数値的に評価できる。

参考文献

- 1) 大木高公・大木宜章・高橋岩仁・岩佐行利：分光反射特性を用いたのり面景観の評価に関する研究、日本大学生産工学部第41回学術講演会土木部会講演概要、2008、pp143-146
- 2) 増田芳雄：植物生理学〔改訂版〕、株式会社培風館、1988、p180
- 3) 文献2)、p108