

スペクトルメータを用いたのり面植生の色彩変化の評価に関する研究

日大生産工(非常勤) ○大木 高公 道都大学 大沢 吉範

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、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。のり面工の選定として、道路¹⁾、および、鉄道²⁾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、上記いずれの基準でも、播種後の、のり面植生の生育状態を把握し評価する具体的な方法および数値は明確化されていない。このことは、植生の生育状態を把握する方法が必ずしも明確化されていないことによるものと考えている。

本研究の目的は、スペクトルメータを用いて、のり面植生の生育状況を植生の色彩から客観的に把握し評価することである。そのために、スペクトルメータによる植生反射スペクトルから色彩を客観的に把握し評価する方法を提案する。計測結果から、提案する方法は、のり面植生の生育状況を客観的に把握し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³⁾とされている。

さて、雲があると太陽光が肉眼で観察できない現象や、雲の上から地表を眺めても地表の状態が観察できない現象⁴⁾から、のり面の崩壊に対する安全性を把握するために最も適した降雨時や降雨直後での人工衛星からのデータは入手困難である。

のり面植生の生育状況や色彩の把握はのり面検査時に行なわれる。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、のり面を降雨時や降雨直後にも計測できるスペクトルメータを使用することとした⁵⁾。

(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⁶⁾とされている。

今回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である。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。

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。

(3) 計測対象

計測対象植生は次のとおりである。

1) 緑化のり面(以下「緑化のり面」)植生

開発により一度手を加えたのり面に、新たに緑化した常緑(寒地型)の草本類

2) 無施工のり面(以下「隣接のり面」)植生

1)の現場に隣接する何ら手を加えられていないのり面に自生する草本類

(4) 計測方法

標準的な計測方法として、図-1に示すようにスペクトルメータを、対象のり面から2.0 m離れ、地上高1.2 mに設置し、水平に計測した。

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、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した。

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。その後、センサー先端部を計測対象へ向け計測する。得られた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」と記述する。

(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⁷⁾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。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。

3. 提案する方法とその実例

(1) 人が色を知覚すること

明所視の分光視感効率を図-2⁹⁾に示す。なお、明所視とは、比較的明るい所で色を知覚する細胞(錘状体)のみが働いている視覚の状態をいう。ここに、視感度とは波長 λ での目の感度である。次に、波長 λ を変化させ視感度を波長の関数としたものを分光視感度という。分光視感度の最大値を最大視感度といい、分光視感効率とは分光視感度と最大視感度の比をいう。

人が色を知覚することを説明する試みは数多くなされている。その中で有力なものは二つである。一つはヤング・ヘルムホルツの三原色説であり、他の一つはヘーリングの反対色説である。三原色説は赤色、緑色、青色光の適当な混合でほぼすべての色が再現されるという実験に基づくものである。一方、反対色説は基本的な色として、赤色、緑色、黄色、青色の四種を考えているので、四色説ともいわれている。現在では、錘状体にて三原色説、その後四色説が成立するという段階説が最も有力である。しかしながら、段階説の色覚モデルには多少相違がある。したがって、以下三色説により記述する。

国際照明委員会(CIE)では、原刺激 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ は $\lambda_R=700.0\text{nm}$ 、 $\lambda_G=546.1\text{nm}$ 、 $\lambda_B=435.8\text{nm}$ の単色光として、1931年標準的な等色関数を定めた。

このようにして得られた等色関数には負の部分がある。そのため、CIEでは1931年、等色関数の値が負とにならないように原刺激 $[X]$ 、 $[Y]$ 、 $[Z]$ を定めXYZ表色系を導入した。

すなわち、XYZ表色系とは実在の色R、G、Bに対して、X、Y、Zという原刺激を仮想し、この正量混合により色の表示を行なう体系である。XYZ表色系は等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ のうち、 $\bar{y}(\lambda)$ を前記図-2に示す明所視の分

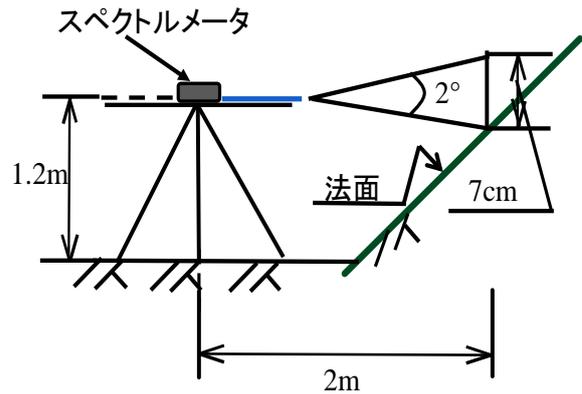


図-1 スペクトルメータ計測概念図

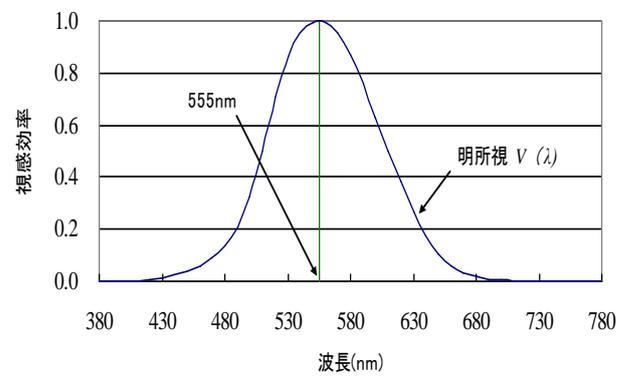


図-2 明所視の分光視感効率⁹⁾

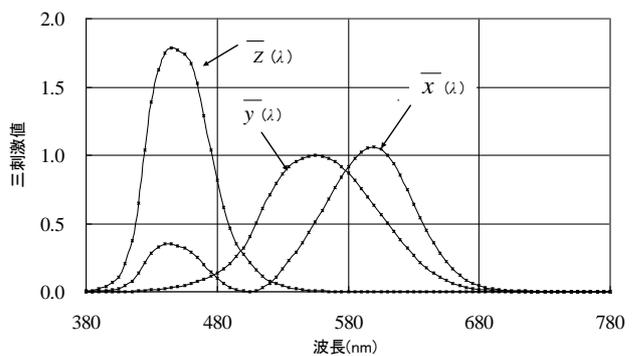


図-3 等色関数のグラフ

光視感効率 $V(\lambda)$ に等しくしている。したがって、三刺激値の一つであるYは測光量と一致している。

測光の目的は放射の量を測定し、人間の感覚と対応つけた測光量を決定することであり、XYZ表色系は測光量と一致しているため、測光の目的を満足している。等色関数のグラフを図-3に示す。

物体色についてのCIEの三刺激値X、Y、Zは、

$$\left. \begin{aligned} X &= k \int_{vis} R(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{vis} R(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{vis} R(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} (2)$$

と示される。なお、定数 k は

$$k = 100 / \int_{vis} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

である。ここに

$R(\lambda)$: 分光反射率

$P(\lambda)$: 光の分光分布

である。積分 \int_{vis} の範囲として日本工業規格(JIS)¹⁰⁾ で

は、光源の測光・測色目的では380～780nmで十分であるとしている。のり面植生の色彩をより客観的に把握するため、得られた植生反射スペクトルから色の三刺激値 X, Y, Z を求め、XYZ表色系にて表現する。

(2) 提案する方法

色の三刺激値 X, Y, Z による表現は、色の三次元表示である。これらの値だけではどんな色か見当がつけにくい。そのため、CIEでは色の見当をつける二つの方法を示している。すなわち、a) 色度座標 $x, y, z^{(1),(2)}$ による方法、および b) 主波長¹²⁾ による方法である。

a) 色度座標 $x, y, z^{(1),(2)}$ による方法

CIEでは三刺激値 X, Y, Z の相対比率として色度座標 x, y, z を導入した。

すなわち、

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned} \right\} (3)$$

である。

$x + y + z = 1$ だから、 x と y を定めれば自動的に z が定まるので、 x, y と先に示した Y の三つを使用して物体色を表すことにしている。

b) 主波長¹²⁾ による方法

主波長とは、JISZ8105¹³⁾ によれば、『特定の無彩色刺激と適当な比率で加色混合することによって、資料色刺激



写真-1 緑化のり面植生の状態



写真-2 隣接のり面植生の状態

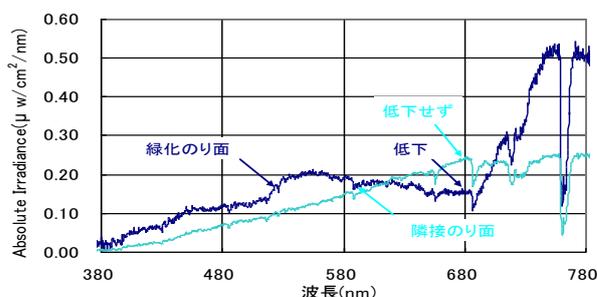


図-4 各のり面の植生反射スペクトル

に等色するような単色光刺激の波長』と定義されている。この主波長により物体色を表すこととしている。なお、JISZ8110¹⁴⁾では、主波長と色とを対応させた参考付図を掲載している。

今回提案する方法は、JISZ8110¹⁴⁾を参考に、のり面植生の色彩を主波長により把握し、のり面植生の色彩変化を主波長の推移によって評価しようとするものである。

(3) 各のり面植生反射スペクトルの比較

反射スペクトル変化の実例として、図-4に植生の状態が最も異なっている秋期での各のり面植生の反射スペクトルを示す。また、写真-1に秋期での緑化のり面、写真-2に秋期での隣接のり面の状態を示す。緑化のり面植生は緑色を保持しており四季を通じて色の変化が少ない。一方、隣接のり面では植生が枯死しており、色の変化が多い。

図-4に示すとおり、緑化のり面では植生反射スペクトルが680nm付近で曲線が低下している。一方、隣接のり面では680nm付近で曲線が低下していない。すなわち、

隣接のり面では、前記、秋期では 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。

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。

(4) 主波長の時系列的推移

色の三刺激値 X, Y, Z はオーシャンオプティクス社のソフトウェア SPECTRASUITE を用いて計測した。計測条件として、反射光、2° 視野(図-1に示す直径 7cm の円形空間)、CIE 昼光標準の光¹⁵⁾ D₆₅ および露光時間 100msec と各々設定し、各のり面を 3 回計測し平均値を求めた。式(2)および式(3)の計算は同じソフトウェアにて行なった。

図-5 に秋期における各のり面植生の主波長を示す。図-5 は各のり面植生の色彩の相違を数値により客観的に表している。図-6 に計測期間(3年7ヶ月)での各のり面の主波長の推移を示す。図-6 より、緑化のり面では黄緑から黄の範囲にて色が推移し、隣接のり面では黄緑から黄赤の範囲にて色が推移していることを示している。すなわち、緑化のり面植生の方が計測期間(3年7ヶ月)を通じて隣接のり面植生より色の変化が少ない。

表-1 に計測期間(3年7ヶ月)での各のり面の主波長推移の統計量を示す。変動係数とは標準偏差を平均値で割った値でこの値が小さいほど主波長の変動が少ないことを示す。表-1 の数値は、緑化のり面植生の方が隣接のり面植生より色彩の変動が少ないことを示しており、各のり面植生の色彩変化状況と合っている。すなわち、主波長の時系列な推移により、のり面植生の生育状況が客観的に評価できる。

4. まとめ

以上のことから、提案する主波長による方法は、のり面植生の色彩および色彩変化を数値により客観的に評価しており研究の目的を達成した。今後は、この方法を景観・環境への応用を図って行きたい。

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. 208, 1999.
- 2) 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.
- 3) 村上 温，野口 達雄監修：鉄道土木構造物の維持管理，pp.428-442，日本鉄道施設協会，1998.
- 4) 星 仰：リモートセンシング工学の基礎，p.49，森北出版株式会社，1984

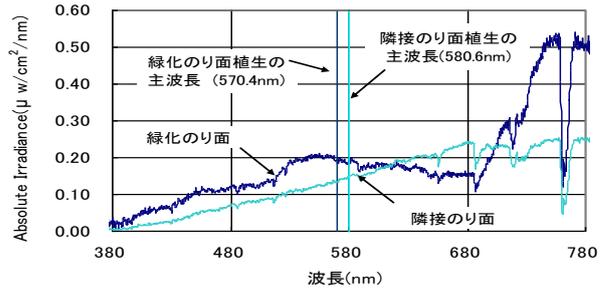


図-5 各のり面植生の主波長

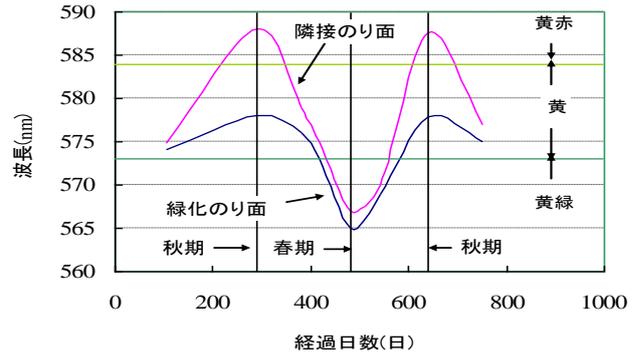


図-6 各のり面植生の主波長の推移

表-1 各のり面植生の主波長推移の統計量

	平均値	標準偏差	変動係数
緑化のり面	573.5nm	0.6364nm	0.0011
隣接のり面	577.3nm	1.4849nm	0.0026

- 5) 大木 高公・大木 宜章・高橋 岩仁・大松沢 季宏：複数の廃棄物を混合した緑化基盤材の鉄道盛土への適用例とりのり面植生の景観・環境評価方法の提案，土木学会論文集 G(環境)，Vol.68, No.1, PP.48 ~59, 2012.
- 6) 土木学会：土木用語大辞典，p.659，技法堂出版株式会社，1999.
- 7) 増田芳雄：植物生理学 [改訂版]，pp.178~179，株式会社培風館，1988.
- 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) 大田 登：色彩工学 第2版，p.39，東京電機大学出版局，2003.
- 10) 日本規格協会：色の測定方法 - 光源色，p.34, JISZ8724, 1997.
- 11) 側垣 博明：色度座標と色度図，色彩科学事典(普及版)，p143，株式会社朝倉書店，2007
- 12) 千々岩 英彰：色彩学概説，pp58-59，財団法人東京大学出版会，2001.
- 13) 日本規格協会：色に関する用語，p.19, JISZ8105, 2000.
- 14) 日本規格協会：色の表示方法- 光源色の色名，p.5, JISZ8110, 1995.
- 15) 森 礼於：CIE標準の光，CIE標準光源，色彩科学事典(普及版)，p.128，株式会社朝倉書店，1991