■ 研究論文

植物の葉の色度領域を用いた緑視率の新たな計測手法に関する基礎的研究

Research on the New Measurement Method of the Ratio of Vertical Green Coverage with Leaf Colors

外崎 公知*
Kochi TONOSAKI

Abstract : The ratio of vertical green coverage has generally been used in landscape evaluations. Until now, measurements of this ratio were calculated manually by researchers. However, it was difficult to obtain accurate data by this method due to the excessive time and effort required in the measurements and human error. This paper aims to clarify a new method of measuring the ratio of vertical green coverage using leaf colors. First, the author focused on leaf colors (in particular, chlorophyll) and specified the region of those colors in the CIE1976u'v' chromaticity diagram in a sample survey of urban parks. Using the minimum value and maximum values from the CIE1976u'v' chromaticity values of the leaf colors in photographs taken at the same points, the region for calculation was decided as an inside ellipse formed by the u' axis (0.14 ~ 0.23) and v' axis (0.49 ~ 0.56), excluding the area of gray in the field of the categorical color. The effectiveness of the approach using this region was validated in a 1-year field test. The results of a correlation analysis of 23 samples from these image data for the values calculated by this method and the values obtained manually showed a very high correlation coefficient (0.981). In conclusion, the use of this measurement method will enable easy, objective, correct, and useful calculation of the ratio of vertical green coverage, reflecting the differences of tree species and seasons.

Keywords: chromaticity, ratio of vertical green coverage, landscape, uniform color space, categorical color
キーワード：色度、緑視率、景観、均等色空間、カテゴリカルカラー

1. 背景と目的

(1) 背景

居住環境における緑は、景観を構成する重要な要素の一つである。やすらぎ、落ち着き、美しさなど人間の心理に直接及ぼす効果によるものである。この人間の知覚を通して把握される緑は、立体的に存在する緑であろう。知覚の中心となる視覚については、視覚量として写真の緑視量を用いて分析され、緑の多少感との間に密接な関係があることが数多く報告されている^{1), 2)}。外崎 (1980)³⁾ は住宅地の樹木地率、緑視率 (50 地点平均) と住民が感じる地区の緑の多さとの関係を重回帰分析し、緑の多少感は平面的な緑よりも立体的な緑の方が数倍の効果があることを報告している⁴⁾。

都市における緑景観については、景観緑三法や環境性能表示等を契機に、社会的な関心が高まってきている。都市緑地法に基づく「緑の基本計画」に、市民が生活の中で緑の豊かさが実感できる指標として緑視率の計画目標を定めている地方公共団体に仙台市、横浜市、杉並区等があり、景観法に基づく「景観計画」に、緑視率の向上を明記している地方公共団体に大阪府、西宮市、宝塚市等があり、その数は確実に増えてきている。

また、日本学術会議の「魅力ある都市構築のための空間緑化—近未来のアーバン・グリーンング—」(平成 19 年 9 月)、産業構造審議会の「工場立地法の課題と今後のあり方について」(平成 19 年 10 月)、(独)都市再生機構の「みどりのちから〜緑景観の不動産価値〜」(平成 20 年 3 月)、(社)プレハブ建築協会の「まちなみ景観評価の提案」(平成 20 年 3 月)等の中でも、緑視率の重要性・有効性が指摘されている。

脳波の研究では、リラックスと関係が深いとされる安静覚醒時の優勢成分である α 波帯域や、快適性との関係が深いとされる生体リズムの 1/f ゆらぎが、生理的測定に多くに用いられている。加藤 (2005)⁵⁾ は、2 色配色に対する心理的・生理的反応実験を行い、基本色緑みの青 (5B4/8) や緑 (5G5/10) との配色にお

いて脳波の α 波含有率が高く、基本色赤 (5R5/14) との配色では低くなる、また、基本色緑を含む全ての配色において、生体リズムの 1/f ゆらぎが多く認められ生理的負荷が軽減したと報告している。以上のことから、緑視率に配慮した都市緑化が、都市景観における精神的負荷の軽減や快適性の向上に有効な手段であることが示唆されている。

今後、地球温暖化対策や生物多様性保全への対応から都市における緑被率の拡大は言うまでもないが、居住環境のやすらぎや都市景観の美しさの向上などの観点から緑視率の確保も同時に求められており、それぞれ性格を異にする計画指標ではあるが、緑の空間配置や関係性を統合的に捉え、相互に補完し効果的・効果的な都市緑化の推進が必要である。

しかしながら、この緑視率については検討すべき課題がいくつかあり、緑視率に含める緑の範囲又は緑視率の定義に関するものと、緑視率の計測方法に関するものがあり、これらが密接に関連し「緑視率」の環境指標としての一般化を困難にしている。中でも画像に占める緑の面積を計測する方法については、画像処理ソフト (例えば Photoshop) による緑色指定法^[1]、写真切片を計量する重量法、プランメーター法、方眼法、点格子板法などの方法があるが、いずれも人間による目視計測のため、多くの時間と労力を要するだけでなく、測定者による誤差が生じ、正確で客観的なデータを取ることが容易ではないのが現状である。

(2) 目的

緑視研究に関しては、三浦 (1997)⁶⁾ が、緑空間の機能と評価法の体系化を実証的に試みるとともに、青木 (2006)¹⁾ が 1974 年頃から始まった緑視の研究について、年次による変化の歴史についてまとめている。緑視率を用いた景観等の評価に関する研究事例は数多くあるものの、緑視率の計測方法に関する研究事例は少なく、植物の葉の色度領域に着眼した研究事例は見あたらない。こうした背景を踏まえ本研究では、樹木などの植物の葉の色は、クロロフィ

* (財)都市緑化技術開発機構

ルの反射特性に起因して緑に見えること^{7), 8)}に着目し、植物の葉の定点観測の結果等により、緑に見える範囲（以下、「緑視領域」という。）を精度よく識別することを試みる。その上で、葉の緑視領域を画像の識別基準に用い、緑視率を客観的な定量データとして、正確・迅速に計測できる計測方法を提案するものである。

2. 研究の方法

本研究は、国営昭和記念公園（立川市、昭島市）の樹木等を対象とし、定点観測（葉の活動期で葉の量や色が安定している6月～9月）により画像を撮影し、植物の葉の色がCIE1976 u'v' 色度図上でどのように変化するかを求め、葉の色度の範囲をCIE1976 u'v' 色度図上で傾斜楕円形として特定し、これを緑視率の識別基準としようとするものである。24地点の定点観測地点と植栽されている主な植物は、表－1のとおりである。

表－1 定点観測地点と主な植物

観 測 地 点	主 な 植 物
あけぼの口付近(3点)	トチノキ
みどり橋付近	ケヤキ, イチョウ
カナル噴水並木 ※1	イチョウ, マメツゲ
であいの広場付近(2点)	イチョウ
ふれあい橋付近 ※2	ヒマラヤスギ, ツツジ
イチョウ並木(2点) ※3	イチョウ
うんどう広場付近 ※4	トチノキ
西立川駅前 ※5	トチノキ
眺めのテラス付近	ケヤキ
水鳥の池付近(3点) ※6 ※7	ケヤキ, プラタナス
いちよう橋付近	イチョウ
みんなの原っぱ ※8	ケヤキ, 芝
桜の園 ※9	サクラ, 芝
日本庭園	マツ
立川口駐車場 ※10	マデバシイ
霧の森 ※11	シラカシ, クスノキ
地底の泉 ※12	ケヤキ, シラカシ

※ 2008年6月～2009年5月の1年間観測した12地点

撮影方法は、緑視率に関する文献に記された知見^{6), 9)}をもとに、人間が広い場所で全体を見渡す感じのする自然な視野範囲とし、デジタルカメラ（35mm フィルム換算で焦点距離 28mm 相当）で、人の視線に相当する高さ 1.5m で撮影した。詳細は次の通りである。

- ・撮影日時：2008年6～9月の毎月中旬1回、10時～14時
- ・天候条件：快晴、薄曇り
- ・撮影条件：三脚を使用し水平に、出来るだけ順光下で撮影^[2]

次に、これらの画像データを基に葉の色度領域を特定する具体的方法について示す。

定点観測地点で撮影した24画像／月を用いて、1画像当たり約5～10箇所の緑色の葉の測点（大きさ25～100ピクセル相当）を抽出し、各月約200箇所の測点のRGBデータ（JPEG, sRGB色空間）をCIE1976 u'v' 色度に変換する^[3]。これを葉の色度データとして取得した。多くの緑の要素が含まれるように目視により枝や幹等の情報ノイズを除去する方法として、樹冠等で属性が同一の部分の円形（大きさ25～100ピクセル相当）に測定しその平均値を用いた。

CIE1976 u'v' 色度データの計測には、環境の色彩分布をデジタルカメラとデジタル画像処理技術により瞬時に計測できる「カラーコンフォートメータ」（アドバンスシステムズ株式会社製）を使用した。この装置は、デジタルカメラから取り込んだ色彩画像を色度分析し、色彩環境の快適度を数値化するものである。色彩分析は、CIE1976 u'v' 空間でカテゴリカルカラーを用いて分析しており、この分析機能を緑視領域の測定に使用した。カテゴリカルカラーの提唱者であるBerlin and Kayによれば、カテゴリカルカラーの基本分類は、赤、橙（オレンジ）、黄、緑、青、紫、

茶、桃（ピンク）、白、灰、黒の11色となる¹⁰⁾。各月の色度データをCIE1976 u'v' 色度図にプロットした上で、u'v'の最大値、最小値、平均値を求め、6～9月における葉の色度が分布する領域（以下「緑視色度領域」という。）を特定した。CIE1976 u'v' 色度図は均等色空間であり色差感覚が色度図内の距離とほぼ等しいことから、葉の色度領域を楕円形で指定することができる。

なお、樹木の葉色については、丸山（1988）¹¹⁾、大西等（1993）¹²⁾が、京都大学芦生演習林にある41樹種を対象に、色彩学的視点から樹種特性の類型化を試みている。1樹種当たり数枚の葉色の季節変化を色彩色差計で計測し、L*a*b*表色系によりL*（明度）、C*（彩度）、H*（色相角度）を軸に分析し、葉色の変化は、概して開葉期、紅葉期に顕著で夏季は安定した状態が続くこと、常緑樹は夏季の変化が紅葉期より大きいものが多いことを報告している。

次に、緑視率の測定データを取得するため、表－1の定点観測地点から12地点（※印）を選択し、2008年6月～2009年5月の12箇月間に撮影した画像を用いて、目視による方眼法により緑視率を測定した。一般に緑視率に含める“緑”については、緑被率との関連から植物の属性（樹木の幹・枝・葉・花）や水面等を含めることが多い（属性緑視率）が、本研究では心理学的・統計学的に有意と考えられる葉の緑視領域に限定する（色度緑視率）。

具体的には、モニター上で計測画像に方眼（45×30）を重ね、肉眼で一法眼中の緑の割合が50%以上と判定できる場合に当該方眼に1を入力し、全て判定後に文字カウント機能を利用し総数の集計を行い、全方眼数（1,350メッシュ）に対する割合として緑視率を算定した。これを3回行い、その平均値を緑視率の測定データとした。

上記の画像を用いて、同様にCIE1976 u'v' 空間の緑視色度領域による緑視データ（緑視率）を算出するとともに、緑視率の計測方法として画像RGBデータをG（green）>R（red）、B（blue）として緑視領域を識別している事例があることから、G>R、Bによる緑視データ（緑視率）を算出した。なお、G>R、Bの測定にはカラーコンフォートメータの分析機能を使用した。

その上で、葉の量や色が比較的安定する7月の12地点の画像、及び葉色の変化特性が異なる常緑樹、落葉樹、芝を含む「カナル噴水並木」の12箇月の画像を対象に、方眼法で測定した緑視率、CIE1976 u'v' 空間の緑視色度領域による緑視データ、RGBデータのG>R、Bによる緑視データで相関分析を実施した。次に、この相関分析結果を吟味し、7月の「カナル噴水並木」画像の重複を除く全23画像のデータを用いて回帰分析を実施した。

3. 各種データの算出結果

（1）植物の葉の色度データの整理

本研究で用いた葉の色度データの一部を紹介する。色度データについては、国営昭和記念公園内の24地点の観測地点で撮影した画像から、1画像当たり5～10箇所の測点を抽出し測点の平均色度を求めた。その約200の測点のRGBデータをCIE1976 u'v' 色度に変換し、CIE1976 u'v' 空間にプロットする。図－1は、7月における葉の色度分布をCIE1976 u'v' 色度図上に示したものであり、色度図上の境界線（区分線）はカテゴリカルカラー分類による11色境界線である。また、図－1の一部を拡大したものが図－2である。葉の色度がカテゴリカルカラーのGreen領域内に分布し、しかも比較的狭い範囲に集中している。なお、緑視率に関連するカテゴリカルカラーの境界線は、Green / Blue、Gray、White（ $v=0.840u+0.350$ ）、Green / Yellow（ $v=0.2$ ）である。

次に、7月の定点観測地点で撮影した画像（図－3；表－1※1、図－6；表－1※2）から、「緑視色度領域」に含まれるピクセル（N＝約3万箇所）を抽出し、色度u'v'値のヒストグラム（図－4、図－5、図－7、図－8）を作成した。画像毎の色度u'v'値は、樹種の組合せにより最頻値等は異なるものの、ほぼ同

表－2 定点観測地点で撮影した画像中の植物の葉の色度 $u'v'$ 値

	6月		7月		8月		9月	
	u'	v'	u'	v'	u'	v'	u'	v'
平均値	0.185	0.523	0.186	0.522	0.188	0.523	0.193	0.526
最頻値	0.178	0.528	0.187	0.53	0.189	0.53	0.189	0.53
標準偏差	0.009	0.013	0.007	0.01	0.008	0.01	0.009	0.01
最小値	0.134	0.494	0.167	0.499	0.137	0.501	0.143	0.501
最大値	0.211	0.557	0.221	0.541	0.212	0.556	0.223	0.555
標本数	185	185	173	173	171	171	198	198

様に分布である。表－2にCIE1976 $u'v'$ 空間における葉の色度の基本統計量を示す。

図－1 CIE 1976 $u'v'$ 色度図上の葉（7月）の色度分布

図－2 図－1の色度分布拡大図

(2) 葉の色度領域の特定

葉の色度がCIE1976 $u'v'$ 色度図上でどのように変化するかを求め、葉の色度の範囲をCIE1976 $u'v'$ 色度図上で傾斜楕円形として特定し、これを緑視率の基準としようとするものである。

表－2より各月の平均色度 $u'v'$ 値がカテゴリカルカラーのGreen領域内にあることから、6～9月までの各月の平均色度 $u'v'$ 値より、葉の色度の均等色度図上の中心点（以下、「緑視色度中心」という。）を求める。

6～9月の平均色度 $u'v'$ 値

u' 値 0.188 v' 値 0.523 ①

緑視色度中心を軸とする傾斜角度は約 10° である。

また、6～9月までの各月の色度 $u'v'$ 値の最小値と最大値から、葉の色度の均等色度図上における距離を求め、緑視色度中心からの平均距離を求める。

u' 値 0.045 v' 値 0.032 ②

図－1に示す楕円に囲まれた色度 $u'v'$ 値の範囲が、葉の色度の均等色度図上における範囲、緑視色度領域である。

u' 値 0.14 ～ 0.23 v' 値 0.49 ～ 0.56 ③

図－3 カナール噴水並木（7月）の画像

図－4 図－3の u' 値のヒストグラム（N=26, 456）

図－5 図－3の v' 値のヒストグラム（N=26, 456）

(3) 緑視率・緑視データの整理

12地点の定点観測地点において2008年6月～2009年5月の12箇月間に撮影した画像を用いて、方眼法により緑視率を測定するとともに、CIE1976 $u'v'$ 空間の緑視色度領域による方法（以下、「緑視色度領域法」という。）及び画像RGB色度の $G>R,B$ による方法（以下、「色度 $G>R,B$ 法」という。）で緑視データを取得した。

緑視率及び緑視データを表－3、表－4に示す。

図－6 ふれあい橋付近（7月）の画像

図－7 図－6のu'値のヒストグラム（N=30, 698）

図－8 図－6のv'値のヒストグラム（N=30, 698）

表－3 定点観測地点の緑視率・緑視データ（％）

観測地点	方眼法	緑視色度領域法	色度G>R,B法
1	34.86	34.94	40.6
2	36.15	35.53	49.12
3	53.95	55.21	63.79
4	52.2	55.27	57.33
5	31.31	31.7	36.06
6	36.03	38.84	40.01
7	40.42	40.26	42.04
8	43.9	45.39	41.69
9	63.8	63.4	64.97
10	12.54	10.32	19.15
11	37.42	50.12	39.15
12	46.07	45.36	59.17

観測時期:2008年7月, 観測地点番号は表－1の※番号に対応

（4）緑視率・緑視データの相関分析結果

緑視率と各緑視データの相関分析の結果を、表－5、表－6に示す。方眼法による緑視率の測定値と各緑視データの相関はいずれも高く、特にカナル噴水並木の緑視色度領域法による緑視データとの相関が高い値を示した。

表－4 カナル噴水並木の年間緑視率・緑視データ（％）

観測時期	方眼法	緑視色度領域法	色度G>R,B法
6月	36.69	35.81	41.72
7月	34.86	34.94	40.6
8月	37.04	35.35	40
9月	36.66	36.48	37.45
10月	35.36	36.15	34.97
11月	18.99	21.47	18.81
12月	12.64	11.81	15.2
1月	11.65	11.49	9.21
2月	12.3	12.14	9.81
3月	14.81	13.53	11.77
4月	30.27	31.4	22.58
5月	40.05	38.44	35.4

表－5 定期観測地点の緑視率・緑視データの相関分析結果

	方眼法	緑視色度領域法	色度G>R,B法
方眼法	1		
緑視色度領域法	0.961	1	
色度G>R,B法	0.936	0.868	1

表－6 カナル噴水並木の緑視率・緑視データの相関分析結果

	方眼法	緑視色度領域法	色度G>R,B法
方眼法	1		
緑視色度領域法	0.994	1	
色度G>R,B法	0.955	0.945	1

（5）緑視率・緑視データの回帰分析結果

緑視率と各緑視データの相関分析結果をもとに、方眼法による緑視率の測定値を目的変数とし、緑視データを説明変数に用いて回帰分析を実施した。表－3、表－4から、重複を排除し23データを使用した。

回帰分析の結果、表－7に示すようにP値及び相関係数から緑視色度領域法の方が色度G>R,B法より精度よく識別できることが判明した。この結果から以下に示す回帰モデルが求められた。

$$Y = 0.928X + 1.803 \quad (\text{決定係数: } r^2 = 0.962)$$

ここで、Y：方眼法の緑視率（％）、X：緑視色度領域法の緑視データ（％）である。

表－7 緑視率・緑視データの回帰分析の結果

	色度測定方法	
	緑視色度領域法	色度G>R,B法
説明変数	係数	係数
緑視データ（％）	0.928	0.817
切片	1.803	4.222
相関係数(r)	0.981	0.955
P値	2.00E-16	1.58E-12
観測数	23	23

4. CIE1976 u'v' 色度図を用いた緑視率の計測方法の考察

（1）緑視率の計測方法

CIE1976 u'v' 色度図は均等色空間であるため色差感覚が色度図内の距離とほぼ等しいので、樹木など植物の「緑視色度領域」を楕円形で指定できる。このことから、CIE1976 u'v' 色度図を用いて「緑視色度領域」を傾斜楕円形で指定すれば、明度に影響されずに植物の葉の部分を画像の中からより正確に特定することができると期待される。

CIE1976 u'v' 色度図空間における、「緑視色度領域」の範囲は、次の式(1)となる。

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^2 \theta / Ga^2 + \sin^2 \theta / Gb^2 \\ \beta &= \sin^2 \theta / Ga^2 + \cos^2 \theta / Gb^2 \\ \gamma &= \sin \theta \times \cos \theta \times (-1 / Ga^2 + 1 / Gb^2) \end{aligned}$$

$$\alpha Gu'^2 + \beta Gv'^2 + 2\gamma Gu' Gv' \leq 1 \quad (1)$$

Gu'はCIE1976 u'v' 色度図 u'軸上で「緑視色度中心」からの距離、Gv'はCIE1976 u'v' 色度図 v'軸上で「緑視色度中心」からの距離、Gaは「緑視色度中心」からのu'軸上の距離、Gbは「緑視色度中心」からのv'軸上の距離、θは「緑視色度中心」を軸とした傾斜角度である。

遠景の樹木などの緑は空気中の水分などにより彩度が低くなる（無彩色領域に向かう）ため、その色度は均等色度図（CIE1976 u'v' 色度図）において、「緑視色度中心」から光源方向へ移動する。この点を考慮し、均等色度図（CIE1976u'v'色度図）空間でカテゴリカルカラー分類の無彩色領域（グレイ領域）にある「緑視色度領域」を取り除き「緑視率」を計測する。

緑視率の算出方法は、デジタル画像処理により、画像中からグレイ領域を除いた「緑視色度領域」を緑視量として抽出し、画像データ全体に占める緑視量の割合を緑視率として算出するものである。この計測方法は画像中の「緑視色度領域」を緑と識別することから、以下の点に留意する必要がある。

（緑と識別しないもの）

ペニカナメモチヤクス等赤い若葉の葉、赤や黄色に紅葉した葉、花や樹幹の部分、光が反射しない影の部分、遠景の樹木等

（緑と識別するもの）

水面や鏡等に反射した樹木の緑、樹木トンネル下の道路面等の葉群下部（可視光の内、緑の光がやや多くなる）、「緑視色度領域」内の色で被覆された人工物（塗装、タイル等）等

なお、表－3の観測地点11（霧の森；表－1※11）では、緑視色度領域法の緑視データ（50.12%）が方眼法の緑視率（37.42%）と大きく異なり画像を注意深く吟味したところ、人工霧によりシラカン等の幹や枝に苔が生え暗緑色を呈していることが判明した。目視では除外した部分である。

（2）ホワイトバランスによる差異の確認

ホワイトバランスとは、デジタルカメラ等において、基本的には色温度が異なる光源状態でも白色を正確に白く写し出すように補正する機能である。適正な色温度が設定されていない場合、正確な色が出ないことがある。デジタルカメラでの撮影時は、太陽光の光源にあわせて、白紙の代わりに Expoimaging 社の ExpoDisc を使用してマニュアルでホワイトバランスを設定した。

デジタルカメラでは一般的に、太陽光、電球、蛍光灯などの光源にあわせて、白紙等を使用しマニュアルでホワイトバランスを設定することができ、より正確な色再現が可能である。最近ではいろいろな光源に対して自動的にホワイトバランスを調整してくれる「オートホワイトバランス」機能が付いているものもある。

ホワイトバランスの差異により、緑視率がどのように変化するかを確認するため、平成21年11月13日に定点観測地点で、「マニュアルホワイトバランス（MWB）」と「オートホワイトバランス（AWB）」により画像を25地点撮影し、緑視率に関して平均値のt検定を行ったが有意差は認められなかった。

表－8 MWB撮影とAWB撮影の比較

	緑視率の平均値	標準偏差
MWB撮影	28.10%	13.44
AWB撮影	28.80%	12.96

（3）天候による差異の確認

天候による差異により、緑視率がどのように変化するかを確認するため、平成20年11月12日（曇・小雨）、13日（快晴）定点観測地点で、「マニュアルホワイトバランス（MWB）」により画像を23地点撮影し、緑視率に関して平均値のt検定を行ったが有意差は認められなかった。

表－9 曇・小雨の日と快晴の日の比較

	緑視率の平均値	標準偏差
曇・小雨の日	32.10%	13.55
快晴の日	30.60%	14.41

（4）色度の年間変化

図－9は、定点観測地点で計測した植物の葉の月平均色度u'v'値が、年間を通じてどのように変化したかを示したものである。植物の葉が1年間を通じてその色度を少しずつ変化させているのが分かる。

1年間の平均色度値 : ave1

u'軸 0.196 v'軸 0.521

6, 7, 8, 9月の平均色度値（前述）: ave2

u'軸 0.188 v'軸 0.523

図－9 月平均u'v'と平均値の分布状況

また、定点観測撮影した画像から代表的な樹種を選び、6, 7, 8, 9月における葉の色度を画像中の同一測点で計測した。イチョウ、ケヤキ、トチノキについては各10測点、ヒマラヤスギ、プラタナス、サクラ、マテバシイについては各5測点で実施した。表－10は、樹種ごとの月平均色度u'v'値である。葉の活動期で葉の量や色が比較的安定している期間とはいえ、樹種により葉の色度が微妙に変化していることが分かる。^{11), 12)}

表－10 代表的な樹種の月平均u'v'

	6月	7月	8月	9月	平均	
イチョウ	u'	0.182	0.184	0.185	0.193	0.186
	v'	0.523	0.525	0.526	0.527	0.525
ケヤキ	u'	0.187	0.192	0.19	0.197	0.192
	v'	0.491	0.519	0.505	0.509	0.506
トチノキ	u'	0.187	0.192	0.192	0.197	0.192
	v'	0.519	0.52	0.512	0.52	0.518
ヒマラヤスギ	u'	0.183	0.188	0.191	0.196	0.19
	v'	0.505	0.506	0.501	0.504	0.504
プラタナス	u'	0.187	0.186	0.185	0.195	0.188
	v'	0.505	0.508	0.505	0.518	0.509
サクラ	u'	0.185	0.186	0.186	0.195	0.188
	v'	0.517	0.517	0.509	0.515	0.515
マテバシイ	u'	0.194	0.191	0.205	0.202	0.198
	v'	0.519	0.506	0.518	0.518	0.515

5. まとめ

一連の調査・分析により得られた結果を次にまとめる。

1) 植物の葉の色度は、CIE1976 u'v' 色度図上のu'値 0.188, v'値 0.523を中心とする傾斜角約10°の楕円の範囲内（緑視色度領域）にほぼ含まれる。

- 2) 緑視色度領域（グレイ領域を除く）によりデジタル画像から緑視領域を識別するアルゴリズムとデジタル画像処理技術の組合せにより、色度緑視率を速やかにかつ正確（方眼法による緑視率との相関係数 0.981）に計測できることが確認された。
 - 3) 緑視色度領域による計測方法は、デジタルカメラのホワイトバランスや天候による有意差が認められないことから、これらの影響は少ないものと考えられる。
 - 4) 画像の色度領域を基準にしていることから、水面等に写った樹木、遠景の無彩色化した森林、苔の生えた樹幹等緑視率における“緑”の取扱いに定義上の課題である。
- なお、この手法は紅葉期（や新緑）の一時期を除外した通常の緑葉期において適用されるものであり、紅葉期については別途考える必要がある。
- 5) 葉の色度変化をほぼ正確に計測できることから、樹種や時期による葉の色度標準を定めることにより、緑の健全性を加味した緑視率の検討に役立つ可能性等を示唆している。

6. 今後の課題

緑視率の簡易計測には、上記の手法で概ね十分だと考えられるが、プランニングや政策立案などの実務において本手法を用いるためには、環境評価指標としての「緑視率」の定義・計測方法を学会等で明確化することが大変重要である。また、実用面や応用面から計測方法の精度を更に向上させるには、解決すべき課題が幾つかある。

- 1) 緑視色度領域の精度の向上については、植物の種類や季節により葉の色度が異なること、またクロロフィル濃度の季節的变化が樹種間等で著しい違いがあることから、樹種ごとにより多くサンプル数の確保が必要である。
 - 2) 同一緑視色度領域の人工物の識別については、植物の葉が緑色光（550nm 付近）よりも大きな反射率を示す近赤外線（波長 750nm～1100nm）や葉群が持つ色度のゆらぎの活用等により除外する方策を検討する必要がある。
 - 3) 水面等の反射による緑視領域の識別については、偏向フィルターの活用等を検討する必要がある。
- また、本研究では緑視率を二次元の画像上で静的な知覚情報として計測しているが、計画や設計への展開を考える三次元の知覚空間に占める緑量や移動空間における動的な知覚情報という観点でのアプローチも必要である。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、財団法人札幌市公園緑化協会の浅川昭一郎理事長（北海道大学名誉教授）および前独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門上席研究員（現日本女子大学家政学部特任教授）の佐川賢博士には、様々な面からご教授をいただき大変お世話になりました。アドバンスシステムズ株式会社の齋藤正祐代表取締役を始め、斎藤建雄、瀧澤惣一、森隆智の皆様には、緑視率測定の際に大きなご協力を頂き大変お世話になりました。また、国営昭和記念公園事務所、財団法人公園緑地管理財団昭和管理センター、及び財団法人都市緑化技術開発機構の皆様には、現地調査等において大きなご協力を頂きました。皆様に深く御礼を申し上げます。

補注

- [1] 画像処理ソフト(Photoshop)を用い色域指定により緑のピクセル数を任意に抽出し、画像の全ピクセル数に対する割合を算出する方法である。
- [2] 撮影デジタルカメラ (EOS Kiss Digital N) 設定条件 ① ホワイトバランス：マニュアル (ExpoDisc Filter) ② 絞り

(Av Mode)：F11 ③ レンズ焦点距離：18mm (35mm フィルム換算で焦点距離 29mm 相当、視野角：65.5° [水平画角] × 46.4° [垂直画角] × 75.4° [対角線画角]) ④ ピクチャーモード：忠実設定 ⑤ 撮影データ：JPEG, sRGB ⑥ ISO 感度：200 ⑦ オートフォーカス (AF) モード：One Shot ⑧ 測光モード：評価測光

- [3] XYZ-Y u'v' 変換については、CIE (Commission Internationale de l'éclairage :国際照明委員会) の技術資料による。
- [4] 色を数値で表す方法には、大きく XYZ 表色系と L*u*v* 表色系とがある。XYZ 表色系は、国際照明委員会 (CIE) が 1931 年に定めた統一的な表示基準である。X, Y, Z の三刺激値は、光刺激のエネルギーに比例する尺度である。一般に人間の感覚量と物理量の関係は非線形であることが多く、光や色の感覚においても例外ではない。したがって、物理量に比例した尺度で表される XYZ 色空間は人間の感覚量のスケールに対応していない。一方、L*u*v* 表色系は、CIE が 1976 年に定めた均等色空間の一つである。3 次元直交座標を用いる色空間を L*u*v* 色空間といい、この色空間を用いた表色系を L*u*v* 表色系という。XYZ 表色系の xy 色度図は、均等な知覚尺度を持っていないが、u*v* 色度図は、人の眼による等しい色差感を表したものである。L*u*v* 表色系は感覚的に均等な色差を表すことができ、明るさ (L* 軸) と色相及び彩度 (u'v' 平面) の混合系の表色系である。

引用文献

- 1) 青木陽二 (2006) : 1974 年からの緑視研究の歴史：環境情報科学 34(4), 46-49
- 2) 国土交通省都市・地域整備局 (2006) : 都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について：国土交通省ホームページ http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812_3_.html, 2009.5.15 更新, 2009.5.16 参照
- 3) 外崎公知 (1980) : 住環境における緑地景観に関する研究－札幌市をケーススタディとして－：北海道大学大学院農学研究科修士論文
- 4) 外崎公知 (2009) : 緑視率と景観評価について：グリーン・エイジ 432, 27-31
- 5) 加藤雪枝 (2005) : 2 色配色に対する心理的及び生理的反応：日本色彩学会誌 29(3), 210-219
- 6) 三浦利夫 (1998) : 緑空間の機能と評価法の体系化に関する実証的研究：三重大学生物資源学部演習林報 22, 1-100
- 7) Inada, K. (1985) : Spectral Ratio of Reflectance for Estimating Chlorophyll Content of Leaf: Japan J. Crop Sci. 54(3), 261-265
- 8) 吉川賢・井上雄介・嶋一徹・千葉喬三・坂本圭児 (1994) : 樹木の葉のクロロフィル濃度の季節的变化：日本緑化工学会誌 19(4), 215-222
- 9) 青木陽二 (1987) : 視野の広がり緑量感の関連：造園雑誌 51(1), 1-10
- 10) 佐川賢 (2005) : 年齢を考慮した色の組合せ：産総研 TODAY 15(9), 36-37
- 11) 丸山宏 (1988) : 樹木葉の色彩学的特性に関する研究 (I)－葉色の季節変化のパターン：京都大学農学部演習林報告 60, 239-249
- 12) 大西健司他 (1993) : 樹木葉の色彩学的特性に関する研究 (II)－紅葉期の葉色の変化について－：京都大学農学部演習林報告 65, 277-288

(2009.9.26 受付, 2010.5.7 受理)