

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—

大西 健司・丸山 宏・柴田 昌三・吉田 博宣

Studies on the Colorimetric Features of the Tree Leaves (II)

-on the leaf-color changes in red leaves season-

Kenji OHNISHI, Hiroshi MARUYAMA, Shozo SHIBATA and Hironobu YOSIDA

要 旨

京都大学北部構内に植栽された24種の樹木を対象に、落葉樹・常緑樹の紅葉期の葉色の変位特性を夏期の変位と比較することにより相対的な変位度を検討した。葉色を色彩色差計により計測し、CIE ($L^*a^*b^*$) 表色系に準拠し、 L^* (明度)、 C^* (彩度)、 H° (色相) を分析の軸とした。概して紅葉期に落葉樹は常緑樹に比べ3軸とも紅葉期の変位が大きい。常緑樹は夏期の L^* 、 C^* の変位が紅葉期より大きいものが12種中8種に及んだ。また、紅葉期の葉色の総合的な変位指標として“変位指数”という相対評価値を求めてみた。

1 はじめに

第1報では京都大学芦生演習林内の天然林から41樹種を対象に初春の開葉期から落葉期まで、葉色の季節的变化について (L^* 、 C^* 、 H°) の3次元色彩空間における樹種の色彩特性の類型化を検討した。¹⁾今回は京都大学農学部構内に植栽された造園樹木を対象に、第1報と同様 $L^*a^*b^*$ 表色系による色彩の3次元空間の分析により、とくに紅葉期の落葉樹、常緑樹の色彩的特性について計測頻度を増し詳細な検討を試みた。

2 調査地および調査方法

京都大学北部構内に植栽された樹木から Table 1 にある落葉樹12種12個体、常緑樹12種13個体 (アラカシは個体差を検討するため2個体を試料木とした。ナギ及びユズリハは同一個体の新葉・旧葉である。) を選定し、1回1個体につき5枚の葉を採取し (ナギ・ユズリハは10枚)、研究室へ持ち帰り、色彩色差計 (ミノルタ CR-100) にデータプロセッサ (ミノルタ DP-100) を接続し、1試料につきマルチ測光モード (3回測定の平均) より測定した。測定期間は1991年の7月末から12月初めにかけての約4ヶ月であった。測定頻度については落葉樹はほぼ週2回、常緑樹は週1回の割合で計測した。試料葉はその時期における樹木の葉色の標準的なものを選定し、個体の色彩変位に注意して採取した。色彩表色系は $L^*a^*b^*$ 表色系 (CIELAB) を使用し、本報告では前回同様、色彩空間を (L^* 、 C^* 、 H°) により表現した。 L^* はマンセル表色系では明

度にあたり, C^* は彩度, H° は色相に相当する。 H° は弧度法 (radian) による色相角である。²⁾

Table 1 Tree Number and Species.

落葉樹	Deciduous Trees	常緑樹	Evergreen Trees
1 マユミ	<i>Euonymus Sieboldianus</i>	15 ナギ(新葉)	<i>Podocarpus Nagi</i>
2 マンサク	<i>Hamamelis japonica</i>	16 ナギ(旧葉)	<i>Podocarpus Nagi</i>
3 エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	17 クスノキ	<i>Cinnamomum Camphora</i>
4 ムクノキ	<i>Aphananthe aspera</i>	18 ヤブツバキ	<i>Camellia japonica</i>
5 ヤマモミジ	<i>Acer palmatum ssp. Matsumurae</i>	19 キンモクセイ	<i>Osmantus fragrans</i> var. <i>aurantiacus</i>
6 トウカエデ	<i>Acer Buergeriana</i>	20 ツブラジイ	<i>Castanopsis cuspidata</i>
7 カツラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	21 マテバシイ	<i>Pasania edulis</i>
8 アキニレ	<i>Ulmus parvifolia</i>	22 ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i>
9 ブラタナス	<i>Platanus occidentalis</i>	23 キョウチクトウ	<i>Nerium indicum</i>
10 イチョウ	<i>Ginkgo biloba</i>	24 ユズリハ(新葉)	<i>Daphniphyllum macropodum</i>
11 モミジバフウ	<i>Liquidamber styraciflua</i>	25 ユズリハ(旧葉)	<i>Daphniphyllum macropodum</i>
12 フウ	<i>Liquidamber formosana</i>	26 カナメモチ	<i>Photinia glabra</i>
13 アラカシ1	<i>Quercus glauca</i>	27 オオカナメモチ	<i>Photinia serrulata</i>
14 アラカシ2	<i>Quercus glauca</i>		

3 結果と考察

1. L^* , C^* , H° 変位値の検討

ここでは全測定期間中の L^* , C^* , H° の変位値 (ここでは最高値と最低値の差を意味する) について検討する。グラフの Fig. 1~3 は各樹種の L^* , C^* , H° の変位値を表したものである。なお, 各樹種の最高・最低値及び変位値の数値については Table 2 を参照されたい。

落葉樹と常緑樹の差が明確に表れているのは H° (色相) のグラフである (Fig. 3)。12種類の落葉樹のうち値の高いものは順にマユミ (No. 1) 1.76, フウ (No. 12) 1.25, ヤマモミジ (No. 5) 1.14であった。紅葉する樹種である。常緑樹で最も値の低いものはネズミモチ (No. 22), ユズリハの新旧葉 (No. 24, 25) の0.05であった。常緑樹中最も高いものでも0.20のナギの新葉 (No. 15) であった。変位値からみると常緑樹の色相はそれほど変化しないことが確認できる。

L^* (明度) (Fig. 1 参照), C^* (彩度) (Fig. 2 参照) の変位値は概して落葉樹の方が高い値を示すが樹種により H° ほど明確ではない。例えば H° では高い値を示したフウ (No. 12) は L^* では常緑樹のナギ (新葉) (No. 15), マテバシイ (No. 21) よりも値が低い。また, C^* でもフウとナギ (新葉) とマテバシイの差はそれほど明確ではない。なお L^* , C^* の最高値はともにイチョウ (No. 10) であった。 L^* , C^* の最低値はともにユズリハ (旧葉) (No. 25) であった。

2. L^* , C^* , H° 変位域の検討

上記 H° (色相) の変化に注目し, 値が安定している時期 (9月27日以前の2ヶ月) を便宜的に夏期とし, その後の2ヶ月を紅葉期とした。各樹種について, L^* , C^* , H° の各変位の大きさを相対的に比較するため, 夏期と紅葉期の L^* , C^* , H° の変位域 (測定期間内に変位した領域) を Fig. 4~9 に表した。

(i) L^* (明度) による分析 (Fig. 4, 5 参照)

まず2つのグラフの全般的な検討からはじめる。概して夏期における L^* の変位は落葉樹 (No.

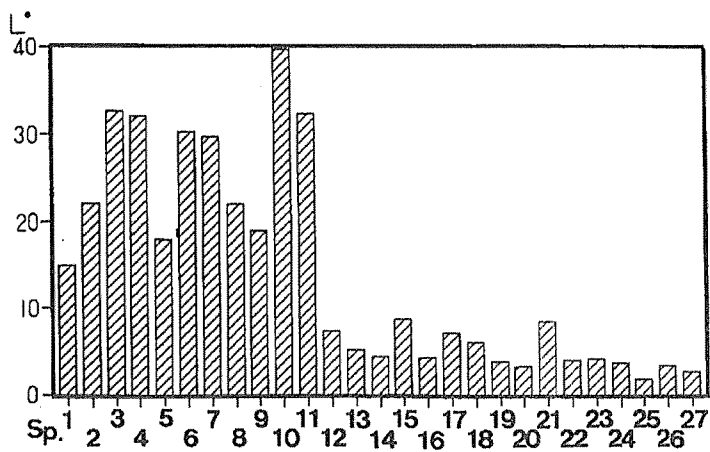


Fig. 1 Total changeable range value of L^* in each species.

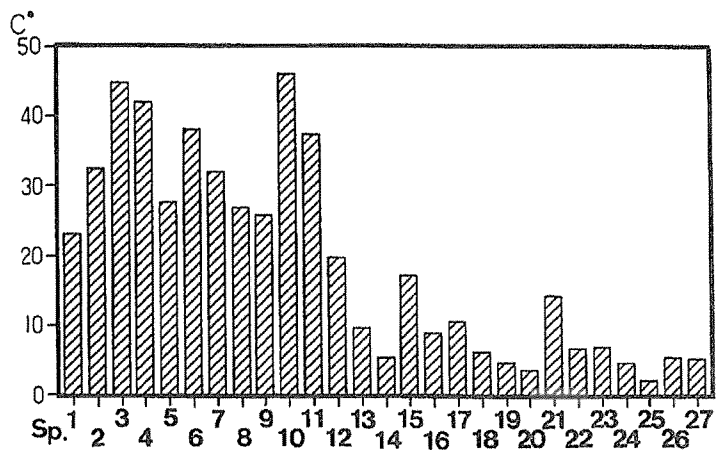


Fig. 2 Total changeable range value of C^* in each species.

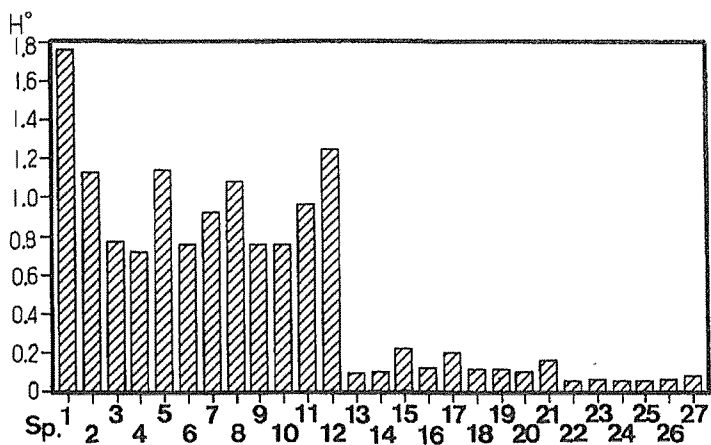


Fig. 3 Total changeable range value of H^* in each species.

Table 2 MAX. & MIN. Value and Changeable Range Value of L*, C*, H* in each Species.

No.	L*(MAX)	L*(MIN)	L*(MAX-MIN)	L*INDEX	C*(MAX)	C*(MIN)	C*(MAX-MIN)	C*INDEX	H*(MAX)	H*(MIN)	H*(MAX-MIN)	H*INDEX	T.C.R.-INDEX
1	48.84	34.00	14.84	37.38	39.14	16.06	23.08	50.04	2.25	0.49	1.76	100.00	62.47
2	53.82	31.88	21.94	55.26	47.01	14.51	32.50	70.47	2.33	1.20	1.13	64.20	63.31
3	63.77	31.15	32.62	82.17	55.18	10.40	44.78	97.09	2.32	1.55	0.77	43.75	74.34
4	62.14	30.13	32.01	80.63	54.38	12.33	42.05	91.18	2.32	1.60	0.72	40.91	70.90
5	53.78	35.96	17.82	44.89	46.53	18.91	27.62	59.89	2.20	1.06	1.14	64.77	56.52
6	63.27	33.06	30.21	76.10	51.74	13.60	38.14	82.70	2.32	1.56	0.76	43.18	67.32
7	66.96	37.25	29.71	74.84	57.31	25.15	32.16	69.73	2.23	1.31	0.92	52.27	65.61
8	55.16	33.16	22.00	55.42	39.05	12.12	26.93	58.39	2.30	1.22	1.08	61.36	58.39
9	55.24	36.31	18.93	47.68	44.76	19.01	25.75	55.83	2.22	1.46	0.76	43.18	48.90
10	72.86	33.16	39.70	100.00	63.02	16.90	46.12	100.00	2.30	1.54	0.76	43.18	81.06
11	67.00	34.68	32.32	81.41	54.41	17.00	37.41	81.11	2.28	1.32	0.96	54.55	72.36
12	43.36	35.98	7.38	18.59	36.25	16.47	19.78	42.89	2.22	0.97	1.25	71.02	44.17
13	38.06	32.83	5.23	13.17	21.98	12.32	9.66	20.95	2.29	2.20	0.09	5.11	13.08
14	35.45	31.04	4.41	11.11	17.32	12.05	5.27	11.43	2.31	2.21	0.10	5.68	9.41
15	41.71	33.04	8.67	21.84	30.24	13.17	17.07	37.01	2.38	2.16	0.22	12.50	23.78
16	36.67	32.40	4.27	10.76	21.25	12.31	8.94	19.38	2.37	2.25	0.12	6.82	12.32
17	41.97	34.90	7.07	17.81	25.00	14.57	10.43	22.61	2.21	2.01	0.20	11.36	17.26
18	40.17	34.06	6.11	15.39	25.72	19.61	6.11	13.25	2.24	2.13	0.11	6.25	11.63
19	36.17	32.29	3.88	9.77	15.35	10.76	4.59	9.95	2.24	2.13	0.11	6.25	8.66
20	35.62	32.30	3.32	8.36	18.59	15.16	3.43	7.44	2.28	2.18	0.10	5.68	7.16
21	43.65	35.20	8.45	21.28	29.04	14.76	14.28	30.96	2.24	2.08	0.16	9.09	20.45
22	34.77	30.77	4.00	10.00	17.12	10.39	6.73	14.59	2.31	2.26	0.05	2.84	9.17
23	36.61	32.50	4.11	10.35	17.46	10.62	6.84	14.83	2.30	2.24	0.06	3.41	9.53
24	37.50	33.87	3.63	9.14	19.14	14.49	4.65	10.08	2.28	2.23	0.05	2.84	7.36
25	38.39	34.66	1.73	4.36	16.51	14.42	2.09	4.53	2.27	2.22	0.05	2.84	3.91
26	37.04	33.65	3.39	8.54	18.87	13.55	5.32	11.54	2.21	2.15	0.06	3.41	7.83
27	36.20	33.54	2.66	6.70	19.36	14.27	5.09	11.04	2.28	2.20	0.08	4.55	7.43

T.C.R.-INDEX (TOTAL CHANGEABLE RANGE INDEX)

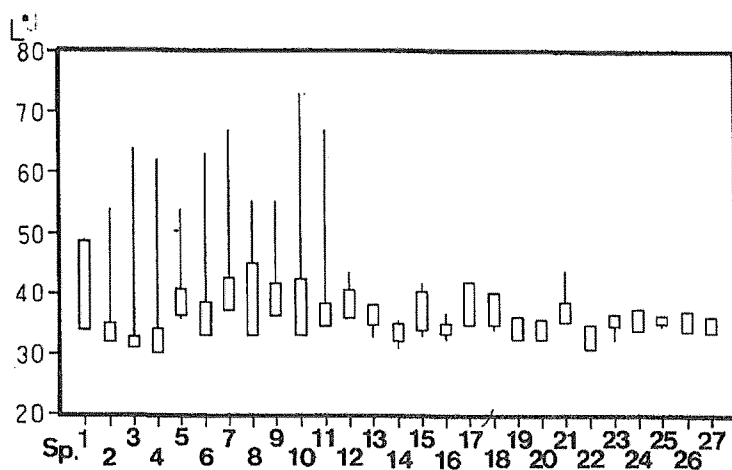


Fig. 4 Changeable range of L^* in summer season
(box shows changeable range of L^*)

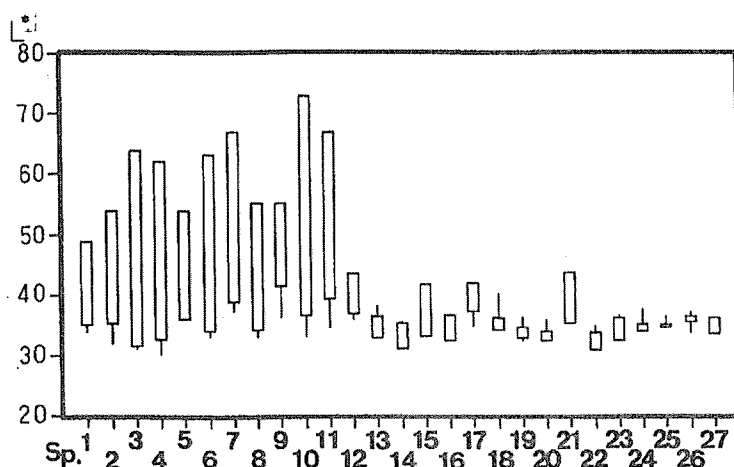


Fig. 5 Total changeable range value of L^* in real leaves season

1～12) と常緑樹 (No.13～27) の差はそれほど明確ではない。例えば常緑のクスノキ (No.17), ナギ (新葉) (No.15), ヤブツバキ (No.18) 等はグラフから明らかなように落葉樹の変位域の中間的な位置を占める。一方紅葉期については、例外としてフウ (No.12) があるが、明かに落葉樹の変位域が常緑樹に比べて大きい。

次に落葉樹・常緑樹別に検討する。

落葉樹 (No. 1～12) は概して夏期の変位に比べ、紅葉期は大きいものが多い。夏期において変位が大きく、目だつものは順に、マユミ (No. 1), アキニレ (No. 8), イチョウ (No.10) である。夏期において変位の小さいものを順にあげると、エゴノキ (No. 3), マンサク (No. 2), モミジバフウ (No.11) 等である。

紅葉期において変位が大きいものを5つ順にあげると、イチョウ (No.10), エゴノキ (No. 3),

ムクノキ (No. 4), トウカエデ (No. 6), カツラ (No. 7) の順である。紅葉期に小さい変位のものにはフウ (No.12) である。

同一樹種内における紅葉期と夏期の変位域について比較すると、夏期に変位が小さいため、エゴノキ (No. 3) は紅葉期の変位域は夏期の19.4倍と最もその比率が高い。それに続くのは、モミジバフウ (No.11) 7.5倍, ムクノキ (No. 4) 7.2倍となっている。落葉樹ではマユミ (No. 1) を除いて、すべて紅葉期の変位が夏期の変位にまさっている。マユミは紅葉期の変位が夏期の95%である。

常緑樹はL*では夏期と紅葉期の変位は落葉樹ほど明かな傾向は認められない。紅葉期の変位が大きいものとして、ナギ (新葉) (No.15), マテバシイ (No.21) で、変位の小さいものはユズリハ (旧葉) (No.25), カナメモチ (No.26), ユズリハ (新葉) (No.24), ツブラジイ (No.20), キンモクセイ (No.19) 等である。

同一樹種内の紅葉期と夏期の変位の比較をすると、測定常緑樹12種中8樹種が夏期の変位が大きい。紅葉期で最も大きいものはマテバシイ (No.21) の2.5倍である。夏期の方が変位が大きいものはカナメモチ (No.26) 0.2倍, ユズリハ (旧葉) (No.25) 0.3倍, ユズリハ (新葉) 0.3倍, ヤブツバキ (No.18) 0.4倍である。([紅葉期の変位] / [夏期の変位]) の比で表しているため、1未満は夏期の変位が大きいことになる。)

(ii) C* (彩度) による分析 (Fig. 6, 7 参照)

2つのグラフを概観すると、夏期におけるC*の変位はマユミ (No. 1) とアキニレ (No. 8) を除けば落葉樹と常緑樹の差はそれほど明確ではない。クスノキ (No.17) の値は落葉樹のアキニレ, マユミ, イチョウ (No.10) に次ぐものである。逆に紅葉期については、ナギ (新葉) (No.15) とマテバシイ (No.21) が12種の落葉樹に続く値をとり、その他は概して変位域は小さい。

次に落葉樹・常緑樹別に検討する。

落葉樹 (No. 1~12) は概して夏期の変位に比べ、紅葉期は大きいものが多い。ただ、マユミ (No. 1) とアキニレ (No. 8) は夏期・紅葉期の変位はほぼ同程度である。夏期において変位が大きいものは、アキニレ (No. 8), マユミ (No. 1), イチョウ (No.10) の順である。L*と同樹種である。夏期において変位の小さいものを順にあげると、マンサク (No. 2), モミジバフウ (No.11), フウ (No.12) である。

紅葉期においてはほとんどの樹種が大きい変位域を示す。大きいものを5種、順に示すと、エゴノキ (No. 3), イチョウ (No.10), ムクノキ (No. 4), トウカエデ (No. 6), カツラ (No. 7) である。L*と同種の樹木である。落葉樹内において紅葉期にとくに小さい変位を示すものはない。

同一樹種内における紅葉期と夏期の変位域について比較すると、その比が5倍以上のものは、エゴノキ (No. 3) 6.8倍, マンサク (No. 2) 6.5倍, ムクノキ (No. 4) 5.5倍, モミジバフウ (No.11) 5.4倍であった。C*においてもマユミ (No. 1) 0.9倍を除く他の樹種は、すべて紅葉期の変位が夏期の変位にまさっている。アキニレ (No. 8) は1.1倍とわずかに紅葉期がまさっている。

常緑樹はC*においても夏期と紅葉期の変位は落葉樹ほど明かな傾向は認められないが、紅葉期の変位が大きいものとして、ナギ (新葉) (No.15), マテバシイ (No.21) があげられる。また紅葉期に変位の小さいものは順にカナメモチ (No.26), ツブラジイ (No.20), ユズリハ (旧葉) (No.25), ヤブツバキ (No.18), ユズリハ (新葉) (No.24) 等である。

同一樹種内の紅葉期と夏期の変位の比較をすると、測定常緑樹種12種の内、夏期に変位の方が

大きく、紅葉期の変位が小さいものはL*と同数の8樹種を数える。順にカナメモチ (No.24) 0.2倍、ヤブツバキ (No.18) 0.3倍、クスノキ (No.17) 0.4倍、ツブラジイ (No.20) 0.5倍、ユズリハ (新葉) (No.24) 0.7倍等である。紅葉期の変位が大きいものはマテバシイ (No.21) 3.7倍、ナギ (新葉) (No.15)、2.4倍、ナギ (旧葉) (No.16) 2.3倍である。

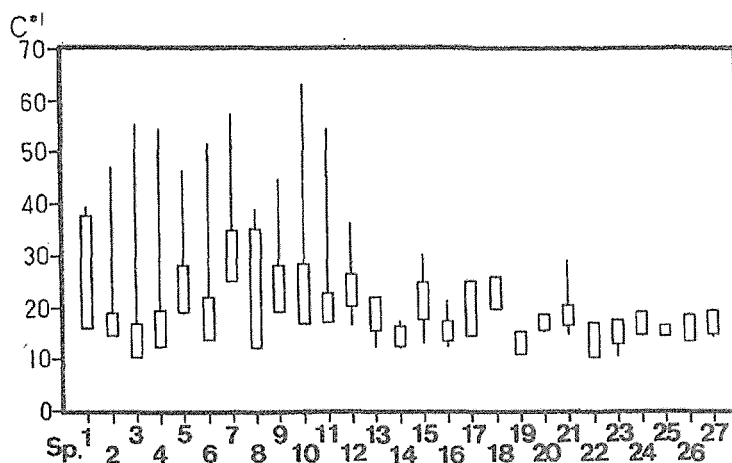


Fig. 6 Total changeable range of C^* in summer season (box shows changeable range of C^*)

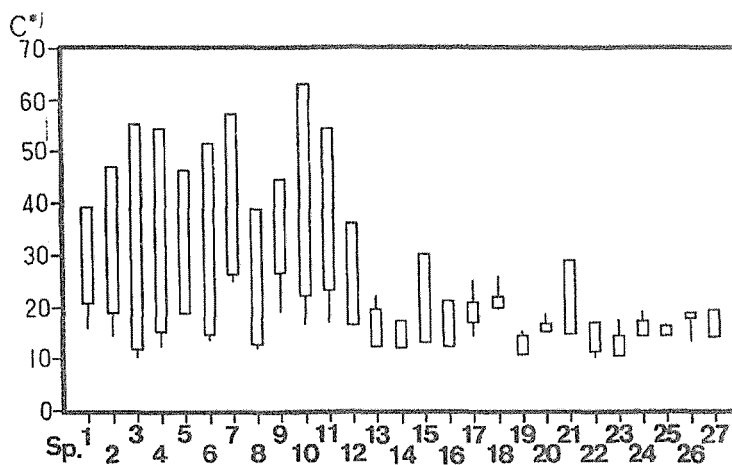


Fig. 7 Total changeable range value of C^* in red leaves species.

(iii) H° (色相) による分析 (Fig. 8.9 参照)

2つのグラフを概観すると、夏期における H° の変位は落葉・常緑樹とも同じぐらいの変位域にあり、明確な相違は見られない。いずれも H° 値が2.05から2.33 (radian) の間に位置している。最も変位域の大きいのはマユミ (No. 1) 0.2であり、小さいのはナギ (旧葉) (No.16) 0.03である。それに比べ紅葉期は常緑樹の変位域がそれほど変化しないのに対し、落葉樹の変位域は

すべての樹種で大幅に大きくなる。測定樹種全樹種の紅葉期の変位域の範囲は0.49から2.3 (radian) である。

次に落葉樹・常緑樹別に検討する。

落葉樹 (No. 1~12) のうち夏期の変位が比較的大きいものは順に、マユミ (No. 1), イチョウ (No.10), トウカエデ (No. 6), アキニレ (No. 8) である。夏期において変位の小さいものは, エゴノキ (No. 3) とヤマモミジ (No. 5) である。

紅葉期においてはすべての落葉樹種が大い変位域を示す。大きいものを5種, 順に示すと, マユミ (No. 1), フウ (No.12), ヤマモミジ (No. 5), マンサク (No. 2), アキニレ (No. 8) である。

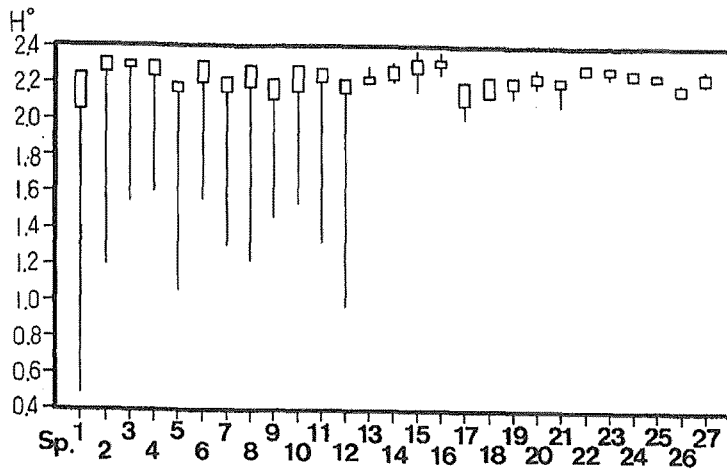


Fig. 8 Changeable range of H° in summer season
(box shows changeable range of H°)

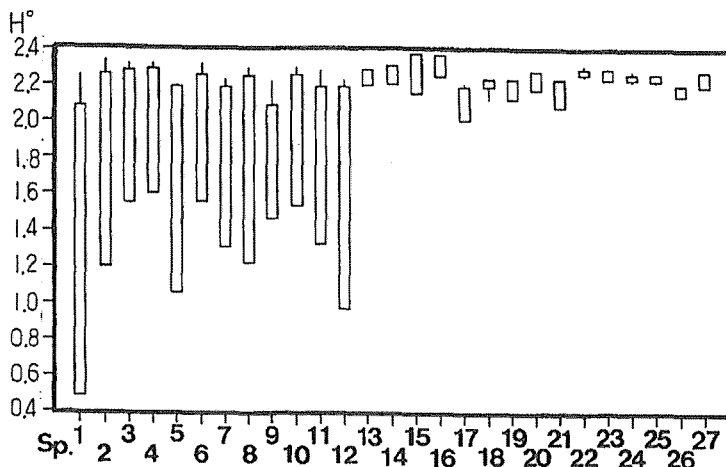


Fig. 9 Changeable range of H° in red leaves season

同一樹種内における紅葉期と夏期の変位域について比較すると、その比が10倍以上のものは、ヤマモミジ (No. 5) 22.6倍, エゴノキ (No. 3), 18.3倍, フウ (No.12) 17.4倍, マンサク (No. 2) 15.1倍, モミジバフウ (No.11) 12.4倍, カツラ (No. 7) 11.0倍である。

常緑樹はH°においても夏期と紅葉期の変位は落葉樹ほど明かな傾向は認められない。紅葉期の変位が比較的大きいものとして、ナギ (新葉) (No.15), クスノキ (No.16) があげられる。また紅葉期において変位の小さいものはネズミモチ (No.22), ユズリハ (新葉) (No.24), ユズリハ (旧葉) (No.25), ヤブツバキ (No.18) 等である。

同一樹種内の紅葉期と夏期の変位の比較をすると、測定常緑樹種12種の内、夏期に変位の方が大きく、紅葉期の変位が小さいものは3樹種ある。順にヤブツバキ (No.18) 0.5倍, ネズミモチ (No.22) とユズリハ (新葉) (No.24) が0.6倍であった。それ以外は紅葉期の変位の方が大きい。順に、ナギ (旧葉) (No.15), マテバシイ (No.21), ナギ (新葉) (No.14) であった。

4 変位指数による検討

樹木の葉色についてL*, C*, H°の3軸による分析を見てきたが、一方で軸別の分析を総合する色彩変位の指標について検討したい。

まず、3軸の相関について見てみると、L*とC*にはFig.10のカツラの例のごとく、ほぼすべての樹種について正の相関がみられる。しかし、L*とH°については樹種により負の相関が見られるものもあるが (Fig.11), どちらともいえないものもあった。(Fig.12) C*とH°についても同様である。(Fig.13)

総合指標を考える上で、上記の相関から軸の重み付けを考慮する必要があるが、現段階ではまだ、データの蓄積も十分ではなく、下記のような一応軸ごとの指数は等価とし、その合算から暫定的な相対評価を求めてみた。

$$\begin{aligned} \text{樹種 (i) の変位指数} = & 1/3 \{ L^* i(\text{MAX-MIN}) / L^* \text{max}(\text{MAX-MIN}) \times 100 \\ & + C^* i(\text{MAX-MIN}) / C^* \text{max}(\text{MAX-MIN}) \times 100 \\ & + H^\circ i(\text{MAX-MIN}) / H^\circ \text{max}(\text{MAX-MIN}) \times 100 \} \end{aligned}$$

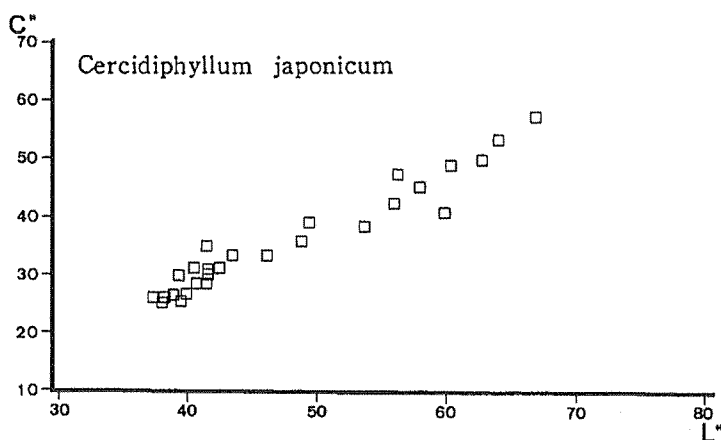


Fig.10 Correlation between L* and C*

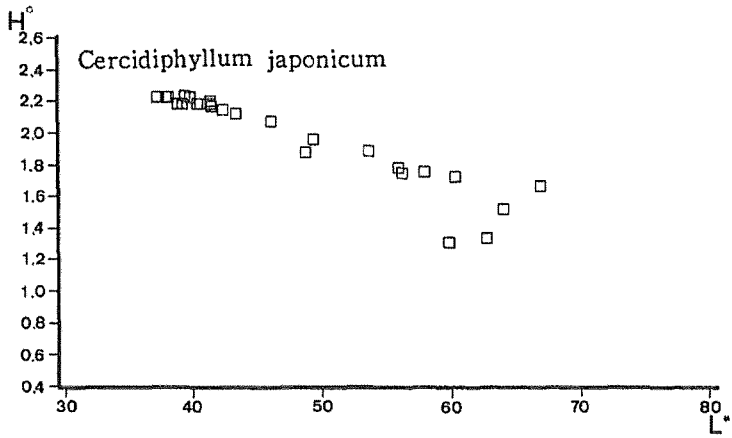


Fig.11 Correlation between L* and H°

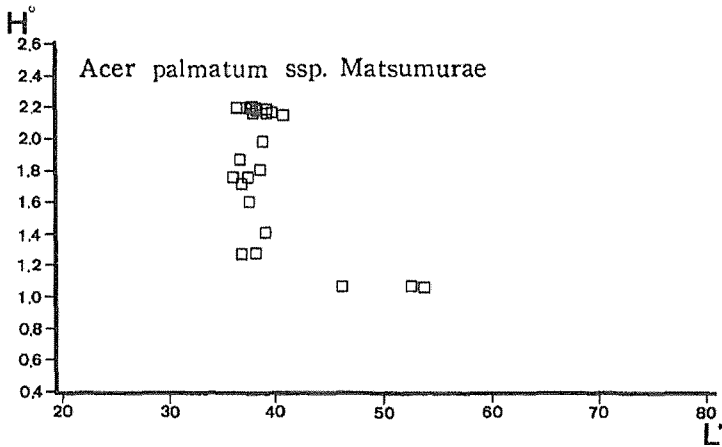


Fig.12 Correlation between L* and H°

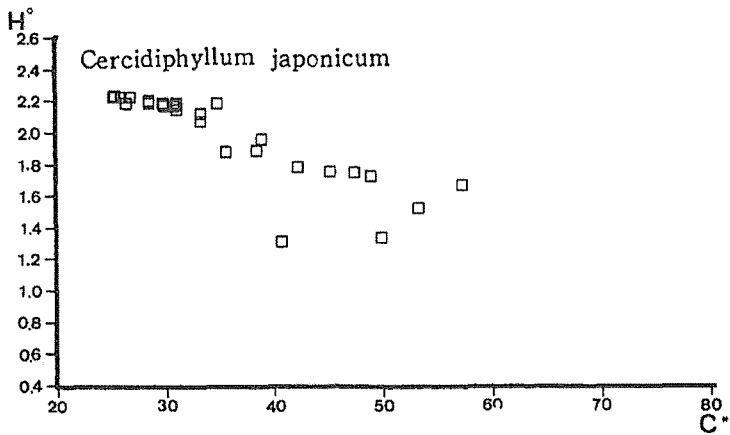


Fig.13 Correlation between C* and H°

Fig.14は測定樹種の変位指数を数値の高い順に並べたものである。左側の12種はすべて落葉樹である。L*あるいはC*ではいくつかの常緑樹と比べて、それほど差が明確でなかったフウ(No.12)も変位指数では明らかにその差が表れていることがわかる。なお、Fig.14ではL*, C*, H°の3指数の占める割合も明示した。例えばマユミ(No.1)はH°指標が5割以上寄与しており、イチヨウ(No.10)はL*とC*指標がH°指標よりも寄与していることがわかる。今回L*, C*, H°の3軸は等価であるとしたが、今後の問題として人間の視覚特性を反映した3軸の重み付けが検討されなければならない。

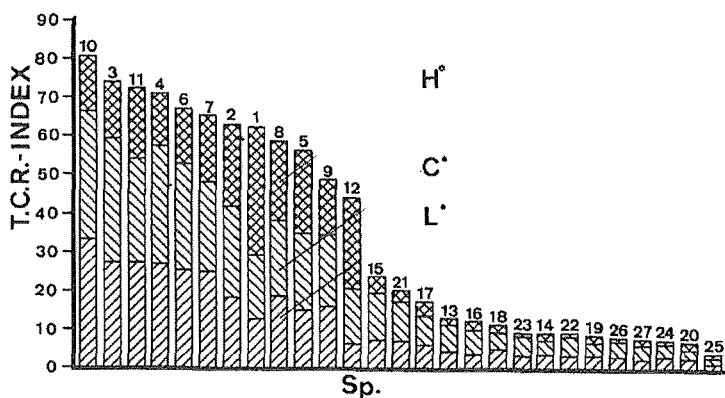


Fig.14 T.C.R.INDEX (Total changeable range-Index) in each species.

引用文献

- 1) 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 -, 京大演報. 60. 239~249.
 - 2) CIE (国際照明委員会) が1976年に推奨した色彩空間で、3軸はもともと (L*, a*, b*) であるが、a*b*平面に極座標 (C*, H°) を用いたものである。C* = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ である。H° = $\arctan(b^*/a^*)$ である。なお詳しくは 文献1) の注を参照のこと。
- 【付記】本論文の閲読については吉田鐵也講師の手を煩わした。ここの記してお礼申し上げる。

Résumé

Selecting 24 species of trees, which had planted in the northern campus of Kyouto Univ., we analyzed their leaf colors by using the colorimeter (MINOLTA CR-100) during about four months (the end of July to the beginning of December in 1991).

We tried to characterize leaf color changes between deciduous trees and evergreens mainly in red leaves season by L*, C* and H°, that is to say, three axes of CIE1976 (L*, a*, b*) -Color Space.

Generally in each axis, color changeable range of deciduous trees are wider than evergreens in red leaves season. But 8 out of 12 species of evergreen trees were wider changeable range in summer season than red leaves season on axes of L* and C*.

As a total changeable range index of leaf color in red leaves season, we showed the following formula.

T.C.R.-INDEX (TOTAL CHANGEABLE RANGE INDEX) of tree species (i)

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{3} \{ L^* i (\text{MAX} - \text{MIN}) / L^* \text{max} (\text{MAX} - \text{MIN}) \times 100 \\ &\quad + C^* i (\text{MAX} - \text{MIN}) / C^* \text{max} (\text{MAX} - \text{MIN}) \times 100 \\ &\quad + H^* i (\text{MAX} - \text{MIN}) / H^* \text{max} (\text{MAX} - \text{MIN}) \times 100 \} \end{aligned}$$