

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——

丸 山 宏

Studies on the Colorimetical Features of the Tree Leaves (I)

——on the patterns of seasonal changes of leaf colors——

Hiroshi MARUYAMA

要 旨

京都大学芦生演習林の標高 650 m にある 41 樹種を対象に、樹木の葉色に関して色彩学的視点から樹種特性の類型化を試みた。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) を分析の軸とした。各軸に対する葉色の変化は、概して開葉期、紅葉期に顕著で、夏期は安定した状態がつづく。この開葉期、紅葉期の変化の度合いを基礎に、各軸で 4 つのパターンに分類した。類型の組合せとして 15 の組合せが認められた。

1. は し め に

樹木の葉色はいうまでもなく、その含有色素により決定される。植物色素には、クロロフィル、カロチノイド、キサントフィル、アントシアニン、フラボノールなど多く知られている。たとえば、緑色はクロロフィルにより、赤色はアントシアニンの生成に関連している。春先の幼葉ではクロロフィルの生成に比べカロチノイドの生成が速く、緑黄色を呈し、気温の上昇とともにクロロフィルの生成が高まり緑が濃くなる。また、紅葉期には、アントシアニンの生成、クロロフィルの分解等が紅葉に関連している¹⁾。植物固有の色彩は季節変化とともに、これら植物色素の微妙な生成、分解の過程によるものである。

植物の色彩の化学は植物生理学により明らかにされつつあるが、色彩そのものについて論じている研究はあまりないように思われる。

本報告では上述の化学的なアプローチとはまったく異なった、色彩学から樹木の特性に言及するものである。葉色の色彩の変化はある意味で自然環境の変化の反映であるともいえる。とくに気温、日射などは大きくその変化に影響をあたえる。環境の変化を鋭敏に葉色に現わす樹種、あるいは比較的鈍感であるものもある。これらの種特性をマクロ的あるいはミクロ的に分析することは、今後、フェノロジーの指標として重要になると思われる。また、都市的環境圧下にある樹木と自然環境下にある同一樹木とを比較分析することは環境指標としてその葉色の変化を位置付けることも可能であろう。

近年、光学機器の発達にとともに、色彩学分野でも数量的な分析が可能となり、また客観的

な色彩空間も提唱されている。本報告では光学的な観点から色彩学的分析により樹種特性の類型化をこころみる。

2. 調査地および調査方法

1986, 87年の2カ年間にわたり, 京都大学芦生演習林の天然林を対象に開葉期から落葉期にかけて樹木の葉色の測定を色彩色差計(ミノルタ CR-100, 物体色測定用, 以下色彩計とよぶ)によりおこなった。1986年は標高別(650, 700, 750, 800, 850 m)に, 87年は主として標高 650 m における測定樹種を増やしておこなった。

今回の報告では87年の調査対象の41の樹種について考察する。

測定方法は選定した樹種の葉を1樹種に対し, 5から25枚採取し持ち帰り, ただちに色彩計により測定した。試料葉は標準的なものを選び, ばらつきがあるときは枚数を増やした。計測には色彩計にデータプロセッサを接続し, 1試料に対し, マルチ測光モード(3回測定の平均)により測定した。

測定頻度は前年の測定結果を考慮し, 色彩変化の著しい開葉期, 紅葉期に頻度を多くした(測定日: 4. 22, 28, 5. 7, 19, 29, 6. 11, 7. 8, 8. 7, 9. 4, 24, 10. 6, 22, 29, 11. 11)。また, 色彩計の測定可能径は $\phi 8$ mm 以上であった。

色彩表色系は $L^*a^*b^*$ 表色系(CIELAB)²⁾ によった。ただし, 本報告では季節変化の分析に時間軸が必要なため C^* (彩度), H° (色相角度, radian) により表現している。

3. 結果と考察

(1) 樹種別の葉色変位

測定樹種の41種の全般的特性を知るために樹種別に測定期間内の変位域を求めた。樹種間の相対的な位置関係が理解される。各図は変位幅順に小さいものから並べたものである(値は平均値

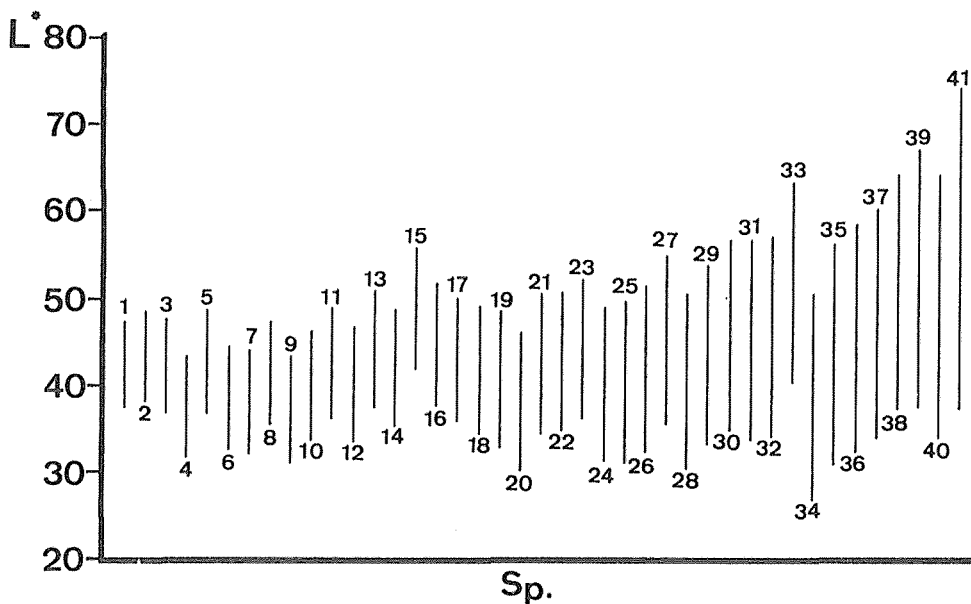


Fig.1 Total changeable bounds of L^* in each species.

Table 1 Tree number of Fig. 1

1	ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i>
2	コミネカエデ	<i>Acer micranthum</i>
3	ツルシキミ	<i>Skimmia japonica f. repens</i>
4	マユミ	<i>Euonymus Sieboldianus</i>
5	ムシカリ	<i>Viburnum furcatum</i>
6	ナナカマド	<i>Sorbus americana ssp. japonica</i>
7	イヌツゲ	<i>Ilex crenata</i>
8	ヤマボウシ	<i>Cornus Kousa</i>
9	クマシデ	<i>Carpinus japonica</i>
10	コハウチワカエデ	<i>Acer Sieboldianum</i>
11	ミズナラ	<i>Quercus mongolica var. grosseserrata</i>
12	ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i>
13	コマユミ	<i>Euonymus alatus f. ciliatodentatus</i>
14	ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i>
15	アセビ	<i>Pieris japonica</i>
16	ツリバナ	<i>Euonymus oxphyllus</i>
17	ブナ	<i>Fagus crenata</i>
18	オオバアサガラ	<i>Pterostyrax hispida</i>
19	クリ	<i>Castanea crenata</i>
20	ミズキ	<i>Cornus controversa</i>
21	ヤマグルマ	<i>Trochodendron aralioides</i>
22	シナノキ	<i>Tilia japonica</i>
23	サワフタギ	<i>Symplocos chinensis var. leucocarpa</i>
24	カヅラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>
25	トチノキ	<i>Aesculus turbinata</i>
26	マルバマンサク	<i>Hamamelis japonica var. obtusata</i>
27	ソヨゴ	<i>Ilex pedunculosa</i>
28	リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>
29	ミズメ	<i>Betula grossa</i>
30	アカシデ	<i>Carpinus laxiflora</i>
31	ウワミズザクラ	<i>Prunus Grayana</i>
32	ヒメアオキ	<i>Aucuba japonica var. borealis</i>
33	アズキナシ	<i>Sorbus alnifolia</i>
34	キンキマメザクラ	<i>Prunus insisa ssp. kinkiensis</i>
35	ウスギヨウラク	<i>Menziesia ciliicalyx</i>
36	エゾユズリハ	<i>Daphniphyllum macropodum ssp. humile</i>
37	コナラ	<i>Quercus serrata</i>
38	クロモジ	<i>Lindera umbellata</i>
39	オオモミジ	<i>Acer palmatum ssp. amoenum</i>
40	アカイタヤ	<i>Acer Mono ssp. Mayrii</i>
41	ホツツジ	<i>Tripetaleia Paniculata</i>

によっている)。

i) L* (明度) における分析

変位幅が大きいものはホツツジ, アカイタヤ, オオモミジ, クロモジ, コナラとつづく。もっとも小さいものは左端のハウチワカエデである。また常緑樹でもエゾユズリハ, ヒメアオキなどが、変位幅は大きいところに位置しているが、これは落葉前の黄色になったものが含まれているためである。また、ホツツジ, オオモミジ, クロモジ, アカイタヤ, アズキナシなど L* の値の高いものは落葉期後半に葉の退色がみられるものである。値の低いものはキンキマメザクラ, ミズキ, クマシデ, リョウブ, マユミとつづく、ようやく常緑のイヌツゲがあらわれる。86年測定の同一樹種 (アカイタヤ, クロモジ, ヒメアオキ, ミズメ, マンサク, トチノキ, ミズキ, マユミの8種) と比較すると変位幅にそれほど差のないものは順位が逆転しているが、相対的に変位幅が大きいものの順位は変わらない。(Fig. 1 および Table 1 を参照)

ii) C^* (彩度) における分析

変位幅の大きいものはアカイタヤ, エゾユズリハ, クロモジ, オオモミジ, ウスギヨウラクとつづく。アカイタヤは変位幅のみならず, 最も C^* の最高値も高い。変位幅の小さいものはツルシキミ, ムシカリ, アセビ, ツリバナ, イヌツゲ, ソヨゴ, ヒサカキとつづき, 5種の常緑樹が含まれている。彩度の最高値の高いものはアカイタヤ, オオモミジ, クロモジ, エゾユズリハ, アズキナシとつづき, カエデ類が以外と少ない。常緑樹のうち最も彩度の最低値が低いものはイヌツゲであるが落葉樹のミズキ, クマシデはさらに低い値を示している。(Fig. 2 および Table 2 を参照)

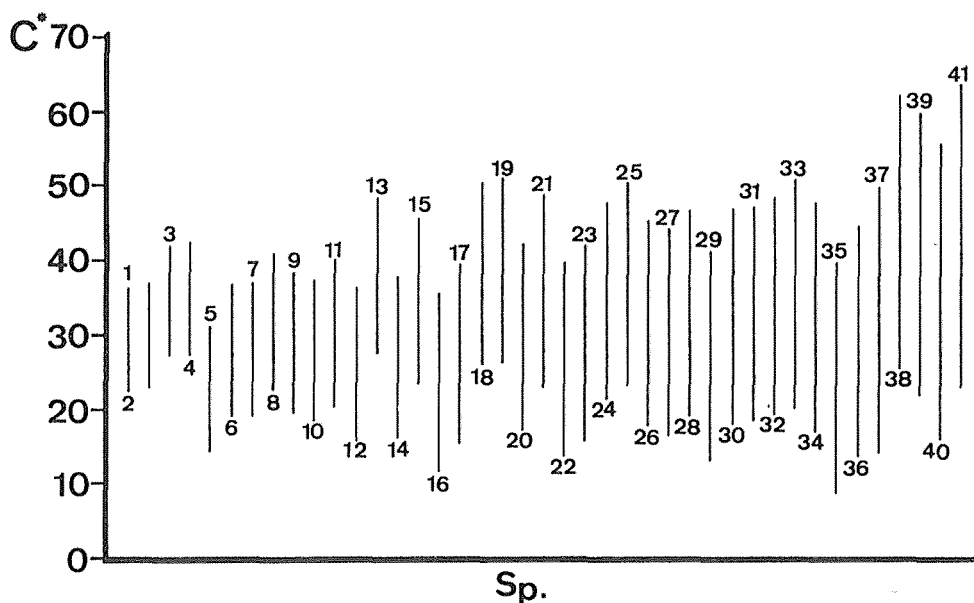
Fig. 2 Total changeable bounds of C^* in each species

Table 2 Tree number of Fig. 2

1 ツルシキミ	15 ミズナラ	29 オオバアサガラ
2 ムシカリ	16 クマシデ	30 ハウチワカエデ
3 アセビ	17 クリ	31 ヒメアオキ
4 ツリバナ	18 ホツツジ	32 サワフタギ
5 イヌツゲ	19 アズキナシ	33 ブナ
6 ソヨゴ	20 マルバマンサク	34 リョウブ
7 ヒサカキ	21 シナノキ	35 ミズギ
8 コハウチワカエデ	22 カツラ	36 キンキマメザクラ
9 ウリハダカエデ	23 トチノキ	37 ウスギヨウラク
10 コナラ	24 ウワミズザクラ	38 オオモミジ
11 ヤマボウシ	25 アカシデ	39 クロモジ
12 マユミ	26 ミズメ	40 エゾユズリハ
13 コミネカエデ	27 ヤマグルマ	41 アカイタヤ
14 ナナカマド	28 コマユミ	

iii) H° (色相角) における分析

色相変位の大きいものはキンキマメザクラ, コマユミ, ナナカマド, カツラ, ハウチワカエデ, ヤマボウシの順である。色相角の変位は0.50から2.33 (radian) の範囲である。(色相角0は赤, $\pi/2$ は黄色, π は緑の色相である。) 常緑樹はほぼ左側にあり変位幅が小さい。落葉のサワフタ

ギ, オオバアサガラもその変位幅は小さい。また最高値のばらつきに比較し, 最低値のばらつきははるかに大きい。(Fig. 3 および Table 3 を参照)

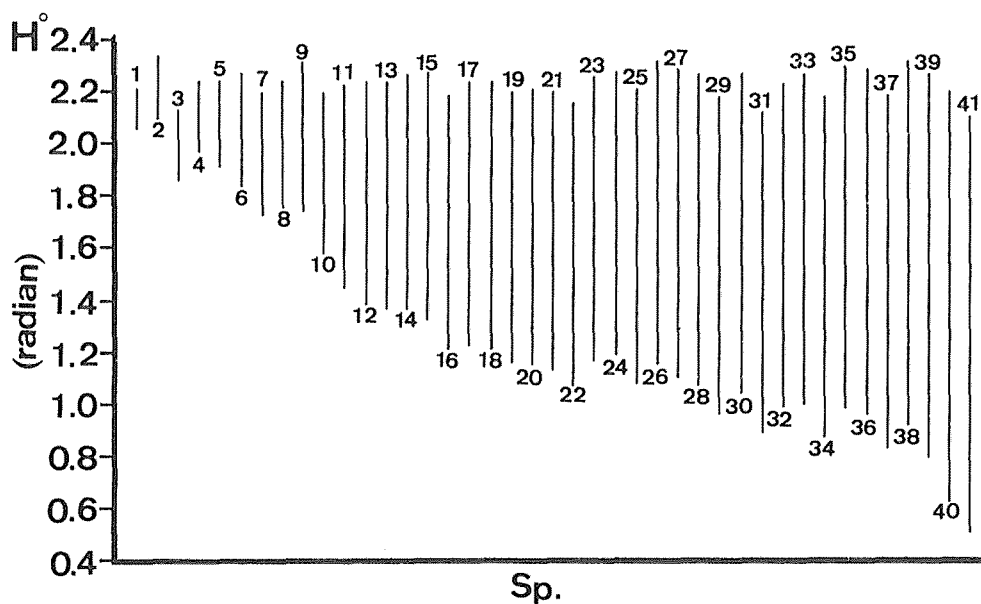


Fig. 3 Total changeable bounds of H° in each species

Table 3 Tree number of Fig. 3

1 ツルシキミ	15 ウワミズザクラ	29 アズキナシ
2 イヌツゲ	16 ムシカカリ	30 クリ
3 アセビ	17 ウリハダカエデ	31 ウスギヨウラク
4 ヤマグルマ	18 コハウチワカエデ	32 コナラ
5 サワフタギ	19 オオモミジ	33 クマシデ
6 ヒメアオキ	20 ミズナラ	34 コミネカエデ
7 オオバアサガラ	21 ツリバナ	35 マルバマンサク
8 ヒサカキ	22 ホツツジ	36 ヤマボウシ
9 エゾユズリハ	23 マユミ	37 ハウチワカエデ
10 ソヨゴ	24 ブナ	38 カツラ
11 シナノキ	25 アカシデ	39 ナナカマド
12 ミズキ	26 トチノキ	40 コマユミ
13 クロモジ	27 リョウブ	41 キンキマメザクラ
14 アカイタヤ	28 ミズメ	

(2) 葉色の季節変化のパターン

基本的には葉色は開葉期と落葉期に変化が著しいといえる。夏期は比較的安定した状態がつづく。ここでは41樹種を各軸において4タイプに類型化した。

i) L^* による分析

A類型: 常緑樹に典型的なもので6月から7月にかけて少し値が高くなりあとはほぼ変化がないもの。 L^* の値は40前後である。ただし, アセビがほかに比べ少し高く50前後である。(ソヨゴ, エゾユズリハ, ヤマグルマ, ツルシキミ, イヌツゲ, ヒサカキ, ヒメアオキ, アセビ)(Fig. 4-1を参照)

B類型：開葉期と紅葉期に値が上昇するが、紅葉期のほうがより高い値を示すもの。また、概して紅葉期の変化が急激である。6月下旬から10月頃までは安定している。(アカイタヤ、オオモミジ、カツラ、ミズメ、アズキナシ、アカシデ、マルバマンサク、ウワミズザクラ、ホツツジ、トチ、クロモジ) (Fig. 4-2 を参照)

C類型：B類型同様、開葉期と紅葉期に高い値を示すが、春先のほうがより高い値になるもの。概して、その変化率は低く、季節変化には鈍感である。(ナナカマド、ミズキ、オオバアサガラ、ウスギヨウラク、サワフタギ、コナラ、ブナ) この類型のうちコナラが最も開葉期の値が高い。(Fig. 4-3 を参照)

D類型：B、C類型に比べ開葉期、紅葉期の値の差はあまりなく、概して季節変化が緩慢であるもの。(ヤマボウシ、ツリバナ、ウリハダカエデ、コミネカエデ、コハウチワカエデ、ハウチワカエデ、クマシデ、ミズナラ、リョウブ、クリ、キンキマメザクラ、マユミ、コマユミ、クマシデ、ムシカリ、シナノキ) (Fig. 4-4 を参照)

ii) C* による分析

A類型：常緑樹にみられるタイプで、開葉期、6月から7月にかけてピークをもち、新葉あるいは落葉前の葉色を除けば、概して変位幅は小さい。ソヨゴはこのうち最も変位幅が小さい。落葉樹のウスギヨウラク、ミズキがこの類型に属す。(アセビ、ツルシキミ、ヤマグルマ、エゾユズリハ、イスツゲ、ヒメアオキ、ヒサカキ、ソヨゴ、ウスギヨウラク、ミズキ) (Fig. 5-1 を参照)

B類型：開葉期および紅葉期にピークをもち、紅葉期のほうがより高い値を示す。(アカイタヤ、ハウチワカエデ、オオモミジ、ミズメ、トチノキ、クロモジ、マルバマンサク、ツリバナ、アカシデ、アズキナシ) (Fig. 5-2 を参照)

C類型：開葉期、紅葉期にピークがあるが、開葉期のほうがピークが高い。コナラ、ミズナラ、ナナカマドの紅葉期のピークはとくに小さい。(ミズナラ、コナラ、コハウチワカエデ、オオバアサガラ、リョウブ、シナノキ、サワフタギ、ナナカマド、クリ、ブナ) (Fig. 5-3 を参照)

D類型：B、C類型ほど開葉期、紅葉期のピークに差のないもの。概して変化幅は小さい。(カツラ、ヤマボウシ、ウリハダカエデ、コミネカエデ、ムシカリ、ホツツジ、コマユミ、マユミ、ウワミズザクラ、クマシデ、キンキマメザクラ) (Fig. 5-4 を参照)

iii) H° による分析

A類型：開葉から落葉期まではほぼ同じ値をとっているもの。常緑樹に典型的にみられるタイプである。落葉樹オオバアサガラ、サワフタギもこのタイプである。(アセビ、ヒメアオキ、ヒサカキ、イスツゲ、ソヨゴ、ツルシキミ、ヤマグルマ、エゾユズリハ、オオバアサガラ、サワフタギ) (Fig. 6-1 を参照)

B類型：開葉期から成葉期にかけて変化がほとんどなく、紅葉期に値が減少するもの。(アカシデ、クマシデ、クロモジ、アズキナシ、コマユミ、マユミ、ツリバナ、ウスギヨウラク、ヤマボウシ、ミズキ、ミズメ、コミネカエデ) (Fig. 6-2 を参照)

C類型：開葉期から成葉期にかけて少し値が上昇し、紅葉期に減少するもの。(オオモミジ、ウリハダカエデ、アカイタヤ、コハウチワカエデ、コナラ、ミズナラ、クリ、マルバマンサク、ウワミズザクラ、キンキマメザクラ、ブナ、リョウブ、シナノキ、ホツツジ、ナナカマド) (Fig. 6-3 を参照)

D類型：開葉期、紅葉期ともに変化が比較的大きいもの。(トチノキ、ムシカリ、ハウチワカ

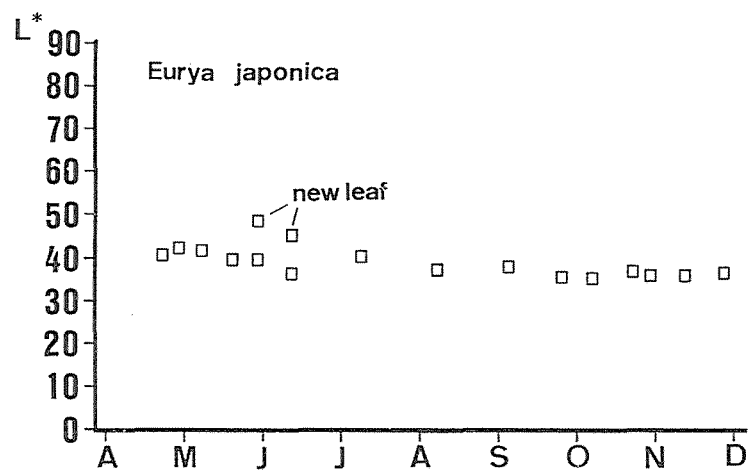


Fig. 4-1 Type A, seasonal change of $\bar{L}^*$ of *Eurya japonica*

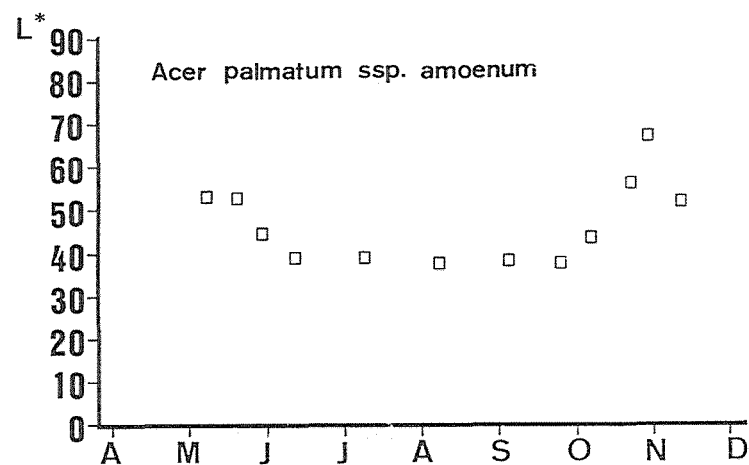


Fig. 4-2 Type B, seasonal change of $\bar{L}^*$ of *Acer palmatum ssp. amoenum*

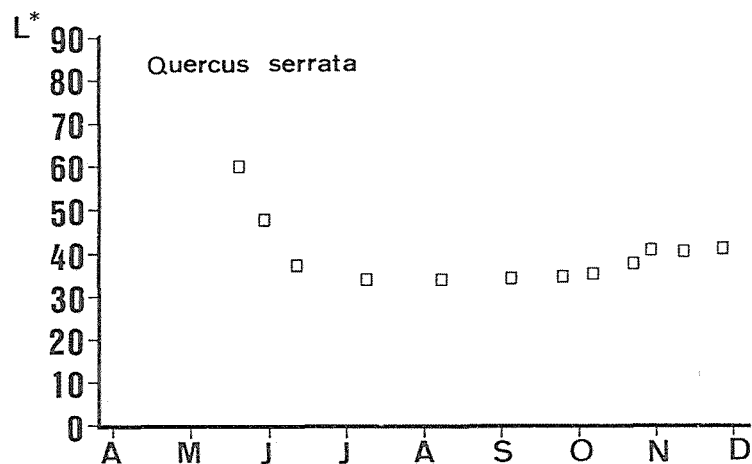


Fig. 4-3 Type C, seasonal change of $\bar{L}^*$ of *Quercus serrata*

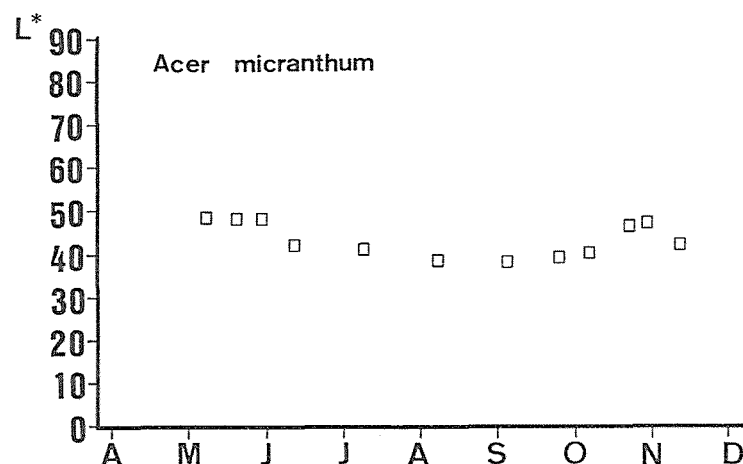
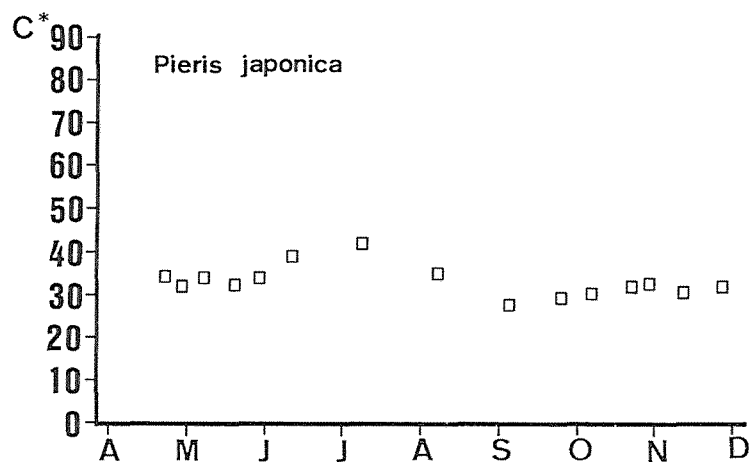
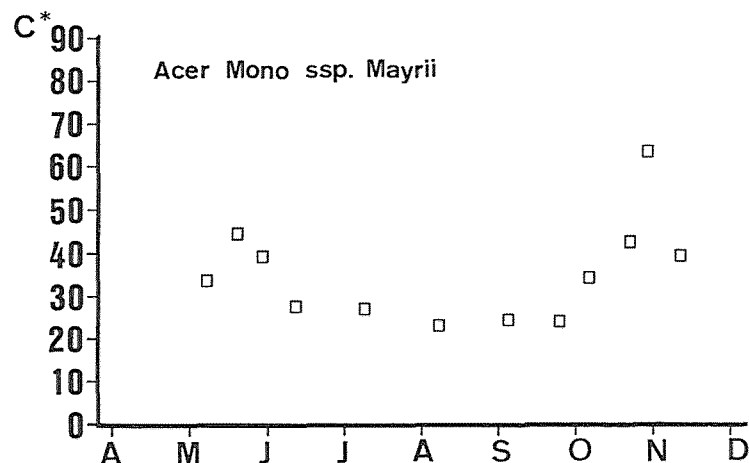
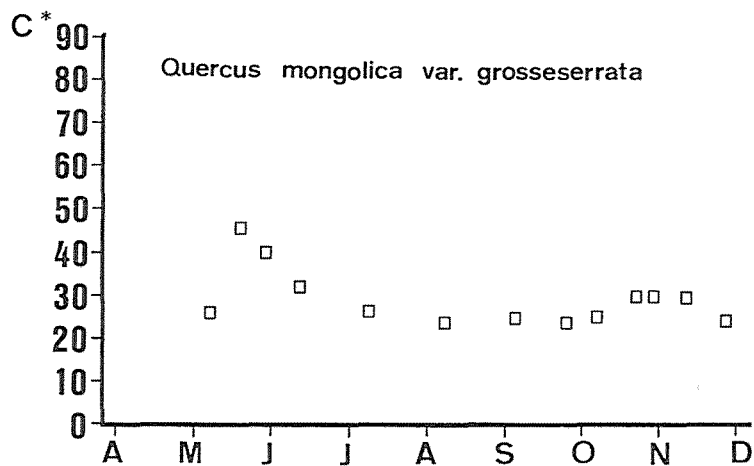
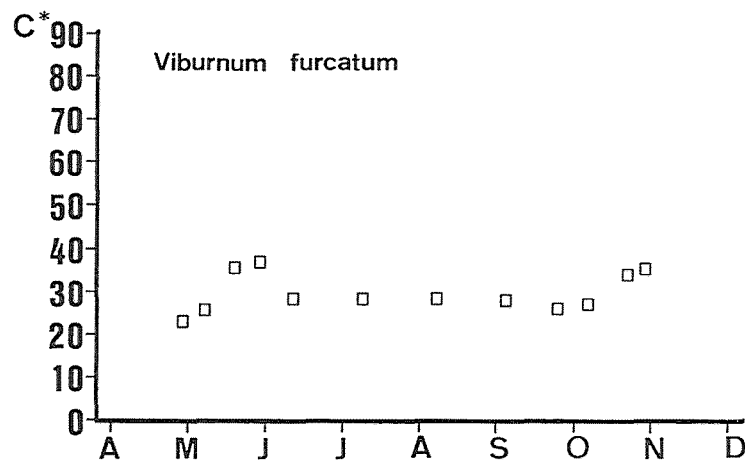


Fig. 4-4 Type D, seasonal change of $\bar{L}^*$ of *Acer micranthum*

Fig. 5-1 Type A, seasonal change of $\bar{C}^*$ of *Pieris japonica*Fig. 5-2 Type B, seasonal change of $\bar{C}^*$ of *Acer Mono ssp. Mayrii*Fig. 5-3 Type C, seasonal change of $\bar{C}^*$ of *Quercus mongolica var. grosseserrata*Fig. 5-4 Type D, seasonal change of $\bar{C}^*$ of *Viburnum furcatum*

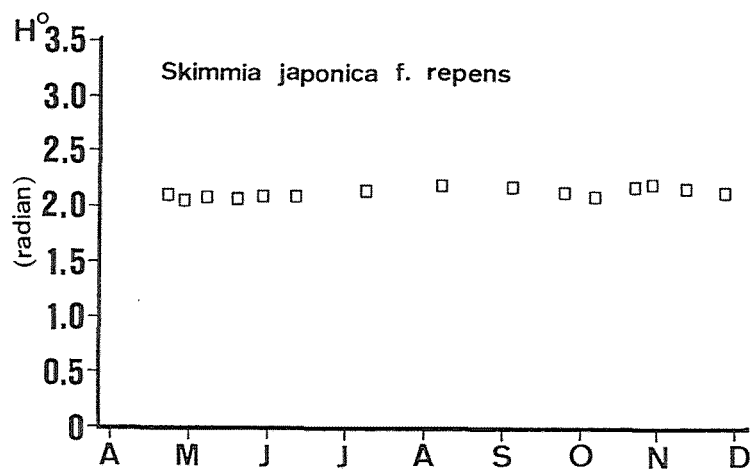


Fig. 6-1 Type A, seasonal change of $\overline{H}^\circ$ of *Skimmia japonica f. repens*

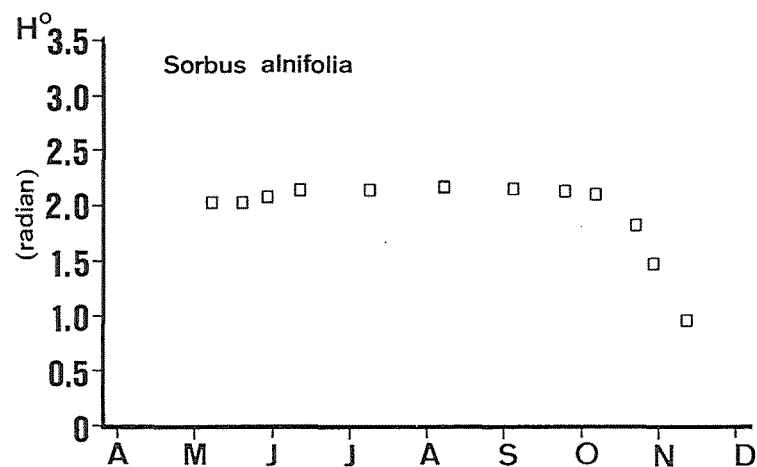


Fig. 6-2 Type B, seasonal change of $\overline{H}^\circ$ of *Sorbus alnifolia*

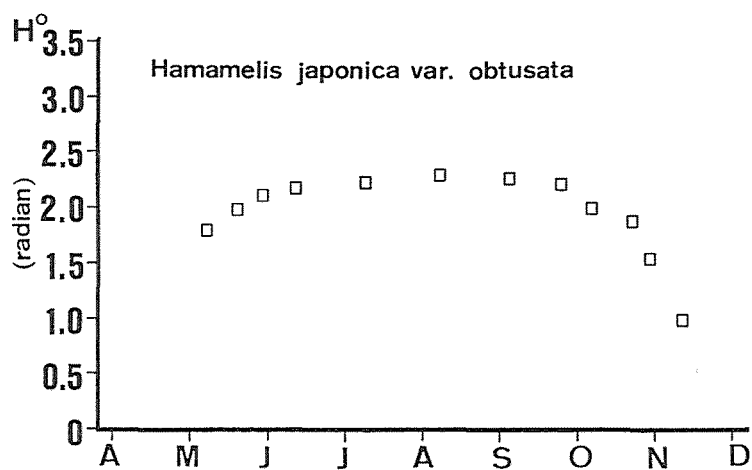


Fig. 6-3 Type C, seasonal change of $\overline{H}^\circ$ of *Hamamelis japonica var. obtusata*

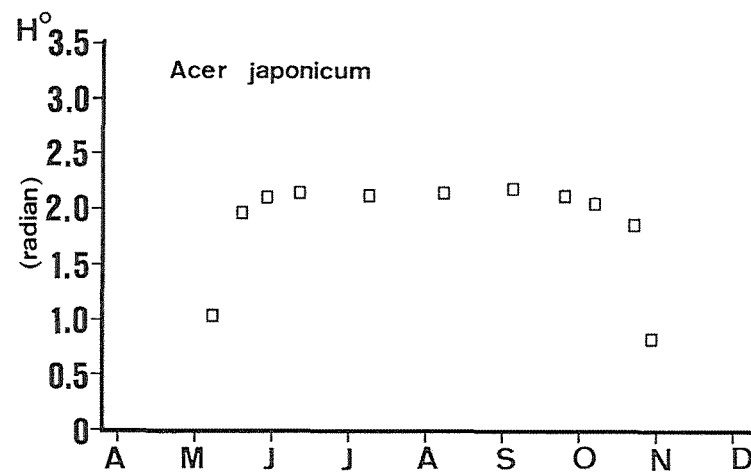


Fig. 6-4 Type D, seasonal change of $\overline{H}^\circ$ of *Acer japonicum*

エデ、カツラ) (Fig. 6-4 を参照)

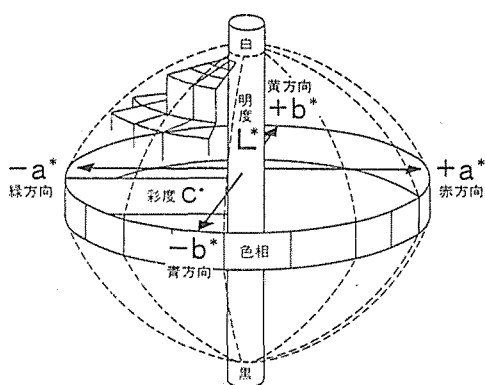
以上, L^* , C^* , H° の季節パターンをそれぞれ4類型化した。この4類型を分析手段として各樹種の分類をこころみた。結果は以下15の組合せとなった。

- AAA: 8種 (ツルシキミ, イヌツゲ, アセビ, ヤマグルマ, ヒメアオキ, ヒサカキ, エゾユズリハ, ソヨゴ)
- DCC: 5種 (シナノキ, コハウチワカエデ, ミズナラ, リョウブ, クリ)
- DDB: 5種 (マユミ, コマユミ, クマシデ, コミネカエデ, ヤマボウシ)
- BBB: 4種 (クロモジ, アカシデ, アズキナシ, ミズメ)
- BBC: 3種 (アカイタヤ, オオモミジ, マルバマンサク)
- CCC: 3種 (ブナ, コナラ, ナナカマド)
- BDC: 2種 (ウワミズザクラ, ホツツジ)
- CCA: 2種 (サワフタギ, オオバアサガラ)
- CAB: 2種 (ミズキ, ウスギヨウラク)
- DDC: 2種 (ウリハダカエデ, キンキマメザクラ)
- BBD: 1種 (トチノキ)
- BDD: 1種 (カツラ)
- DBB: 1種 (ツリバナ)
- DBD: 1種 (ハウチワカエデ)
- DDD: 1種 (ムシカリ)

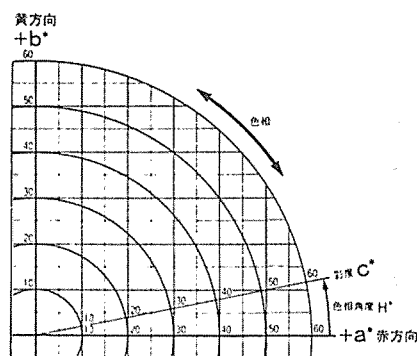
理論的な組合せは $4^3=64$ 通りあるが, 実際には考えられないものが多いと思われる。本報告では対象にした種数が41種ということもあり, さらにその組合せは限定される。今後の問題として対象種数を増やす必要がある。また, 上記15の組合せのうち最初の6通りは恒常的にありそうであるが, それ以下は類型化の誤差の範囲の可能性が高いと思われる。

引用 および 註

- 1) 大谷俊二: 紅葉の化学. 化学と生物. **23** (11). 701~708, 1985
- 2) 1976年に CIE (国際照明委員会) が推奨した均等知覚色空間。物体色の表示方法はこれ以外にも RGB



参考図-1



L^*明度
 C^*彩度
 H°色相角度

参考図-2

表色系, XYZ 表色系, マンセル表色系等がある。これらのうち, たとえばマンセル表色系は色相, 明度, 彩度の 3 要素により表示し, 人間が感覚的に理解する上ではすぐれたものとされている。「色立体」としてなじみがあるものである。しかしながら, その色彩空間は均等でなく色彩を数量的に把握し, 分析するには十分とはいえなかった。1976年に提唱された $L^*a^*b^*$ 表色系ならびに $L^*u^*v^*$ 表色系によりある程度の均等な色彩空間の表示が可能になった。ここでは $L^*a^*b^*$ 表色系についてのべる。参考図を見てもらうと縦軸が明度を表す L^* , a^*b^* 平面で色相と彩度を表すことがわかる。 a^*b^* 平面上で, 極座標 (C^* , H°) により彩度, 色相を表示する。 C^* (彩度) は $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ で求めることができる。図表では H° (色相角度) をラジアンで表示する。ここで注意しなければならないのは $L^*a^*b^*$ 表色系での明度, 彩度, 色相の軸として L^* , C^* , H° が用いられていることであり, マンセル表色系とは異なるものである。詳しくは池田光男「色彩工学の基礎」(1980), 納谷嘉信「産業色彩学」(1980), 川上元郎「色の常識」(1981) 等参照されたい。また, 欧文では Alan R. Robertson: The CIE 1976 Color-Difference Formulae, COLOR research and application, 2(1), 7-11, 1977. が簡潔にその特徴を述べている。

[付記] 調査に際し, 芦生演習林の教職員の方々には御協力いただき, また京都大学農学部の高木義彦氏にはデータ処理に関し再三お手数をかけた。また, 京都大学造園学研究室の吉田博宣助教授には原稿を閲読していただき, あわせて有益な助言をいただいた。ここに記してお礼申し上げたい。なお, 本研究は昭和61年度文部省科学研究費補助金(奨励研究A)の助成を受けたものである。

Résumé

The author tried to classify the properties of 41 species of trees, which were in 650 m above the sea in Kyoto University forest in Ashiu, analyzing the leaf colors by the colorimeter.

The color of an object can be specified by its three values L^* , a^* and b^* (or L^* , C^* and H°), which are so called CIE1976 (L^* , a^* , b^*)-Color Space.

Using this color-space in this study, patterns of seasonal changes could be characterized in regard to leaf colors. Leaf colors were especially changeable in new leaf and autumn leaf season. Based on these features, they could be classified 4 patterns in each axis, that is to say, L^* , C^* and H° . As a result 15 combinations could be found out among these patterns.