

Study on the classification of typical tree species in rural satoyama forests based on seasonally changed leaf color and canopy height by aerial survey

瀬戸島, 政博

<https://doi.org/10.15017/459025>

出版情報 : Kyushu University, 2005, 博士 (芸術工学) , 論文博士
バージョン :
権利関係 :



第2章 適用手法

2.1 航空から葉色変化を把握するための適用手法

2.1.1 代表的な樹種の葉色変化とその特徴

(1) 春季での常緑広葉樹の葉色変化

暖地に多い常緑広葉樹林は冬の間も常に葉をつけているが、わずかな光合成をするだけでほぼ休眠状態になっている。春には冬芽が伸びて開いた葉が鮮緑色や黄緑色を示すとともに古葉を落葉する。そのため常緑広葉樹林の樹種区分には春季の葉色変化が決め手となり、これを面的に時系列に観測したカラー航空オルソ画像が最適となる。

スダジイ(*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*)は、日本の常緑広葉樹林帯を代表する自然植生であり、葉に照りのある樹木で構成されることから照葉樹林とも呼ばれる。春になると長く伸びた花序についた雄花が咲きそろい、淡褐色の細毛が密に生えた若葉とともに樹葉全体が鮮やかな黄緑色に染まる(中村, 2004)。図-2.1に春季の葉色変化の観測例を示す。同図(1)のように4月初旬では樹葉全体には大きな葉色変化は見られないが、5月初旬(同図(2))には黄緑色の花序が伸展し黄褐色の葉裏と相俟って樹葉全体が鮮やかな黄緑色(時には黄金色)に染まる。さらに、このような葉色変化は5月中旬(同図(3))にはなお一層鮮やかになる。6月初旬(同図(4))では黄褐色の葉裏のみの葉色が全体を被い、それ以降はスダジイ本来の深緑色の安定した葉色を示す(同図(5), (6))。したがって、スダジイを葉色変化から区分していくには、5月初旬から中旬が重要になってくる。

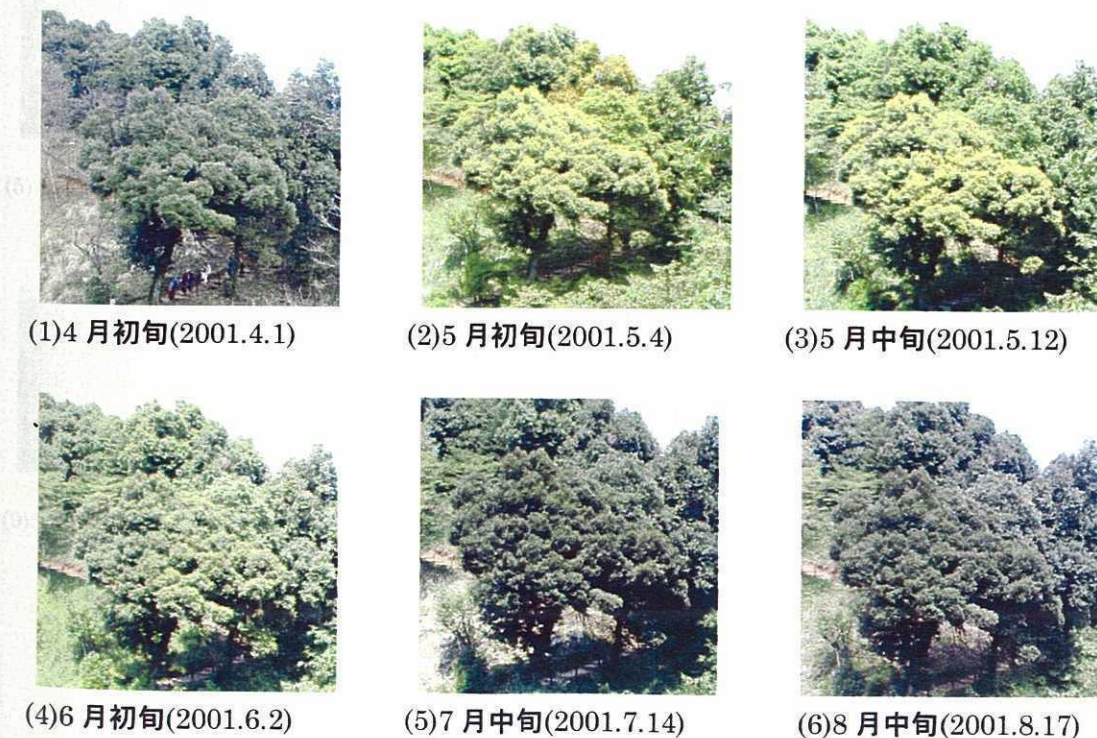


図-2.1 スダジイの春季における葉色変化(森林総合研究所多摩森林科学園内)

アラカシ(*Quercus glauca*)は、寒さには弱い乾燥にはとても強く、比較的寡雨の地域や河岸の岩角地などで個体数が最も多い優占林を形成する。二次林の中にいち早く侵入し、定着することでも知られ、放置しているとコナラなどの雑木林などによく出現する(中村, 2004)。春季には、古葉の深緑色と新葉、花序の黄金色のコントラストが鮮明となる。

クスノキ(*Cinnamomum camphora*)は、春先の4月中旬から下旬に新緑を迎え、古葉を一斉に落葉して新葉を展開し、橙黄色から淡緑色に葉色を変化させる(中村, 2004)。展開したばかりの若葉は橙黄色の葉色であるが、しだいに緑色に変化していく。また、春の終わりから梅雨時に、黄緑色の小さな花序を樹冠全体につける。クスノキは新葉が展開してから前年の葉をすべて落葉してしまうが、まれに新葉が展開する前に樹葉をすべて落葉してしまうこともある(堀ら, 2004)。図-2.2には春季の葉色変化の観測例を示す。



(1)3月中旬(2001.3.11)



(2)3月下旬(2001.3.24)



(3)4月初旬(2001.4.1)



(4)4月上旬(2001.4.7)



(5)4月中旬(2001.4.14)



(6)5月初旬(2001.5.4)



(7)5月中旬(2001.5.12)



(8)5月中旬(2001.5.20)



(9)5月下旬(2001.5.26)



(10)6月初旬(2001.6.2)



(11)6月中旬(2001.6.9)



(12)6月下旬(2001.6.24)

図-2.2 クスノキの春季における葉色変化(東京都小平市中央公園内)

同図(1)~(2)までの3月中旬から3月下旬までの間では葉色の大きな変化は見られない。4月初旬から上旬(同図(3)~(4))になると橙黄色の新葉が展開して樹葉全体が淡い橙黄色を

示し、4月中旬(同図(5))には新葉は橙黄色から黄緑色の葉色に変化する。5月初旬から中旬(同図(6), (7), (8))には最も大きく葉色を変化させる時期にあたり、樹葉全体が鮮やかな黄緑色の葉色で被われる。5月下旬(同図(9))には一端安定した深緑色の葉色を示すようになるが、6月初旬(同図(10))には小さな花序が樹冠全体を被い、再び鮮やかな黄緑色を示す。6月中旬(同図(11))から6月下旬(同図(12))に移るにつれて、花序は落ちて安定した深緑色のクスノキの葉色に変化する。したがって、葉色変化からクスノキを区分していく場合には、5月初旬～中旬の新葉と古葉の入れ替え時期と6月初旬の花序の展開する時期が重要となる。

(2) 秋季での落葉広葉樹の葉色変化

落葉広葉樹は、その年の秋季になると紅葉・黄葉に葉色を変化させ、やがて樹葉の全部を落として、翌年の春季になると新しい樹葉を出し直す。

紅葉は秋季になると葉中の栄養分の多くが茎の方に集まり、葉緑素中のクロロフィル(chlorophyll)やタンパク質(protein)が分解されてできるアミノ酸(amino acid)と、糖分は落葉前に葉柄と枝との境界にできる特殊な組織である離層(abscission layer)によって、それまで養水分が通っていた道管(vessel)が遮断され移動が阻止されて、葉中に蓄積される。この糖分にアミノ酸が加わったアントシアン(anthocyan)の一種の色素が形成されるため紅葉となる(堀ら, 2004)。

一方、黄葉はもともと樹葉に含まれていて、葉緑素の色に隠れていたカロチノイド(carotenoid)の一種の黄色の色素がクロロフィルの分解と消失によって表面に浮き出てくる。また、里山林を代表するコナラ、ケヤキ、クヌギなどの樹葉では、褐色に葉色が変わった褐葉の状態になる。この褐葉は、葉中の物質が分解するときにタンニン(tannin)類が酸化されて、赤褐色の色素が表面に浮き出て褐色の葉色に変化するためである(堀ら, 2004)。すなわち、春季に若草色の新芽は、日差しを浴びてクロロフィルができるにつれて、初夏には濃緑色の葉色となる。秋季を迎えると、老化によってクロロフィルが分解され、隠れていたカロチノイドの黄色が現れ黄葉となる。同時に、離層ができて転流されなくなった糖分から赤い色素であるアントシアンがつくられ紅葉となる。

平野ら(2004)によれば、美しい紅葉の条件として、a)十分な日当たり、b)きれいな空気、c)8℃以下の冷気(とくに夜間の急激な冷え込み)、d)適度な湿度、などを挙げている。堀ら(2004)も、美しい紅葉の条件として、夏から初秋にかけて好天が続く、秋に急に冷え込むことを挙げ、夏や初秋に降雨が多いと、葉中の糖分濃度が低くなり、鮮やかできれいな紅葉にならないことを指摘している。

紅葉や黄葉は、同じ樹種であっても樹葉の位置によって葉色の変化やその時期が異なる。樹冠上部の常に日差しがよく当り、気温や湿度の変化が大きい箇所にある樹葉は、比較的早く紅葉(黄葉)して、落葉も早い。下枝や中枝などで陰になる樹葉は、気温や湿度の変化が小さく、紅葉(黄葉)の時期が遅れ、鮮やかさにも欠ける。このような差異は、蓄積した糖分やアミノ酸の量が異なるためで、日照の多い箇所の樹葉ほどたくさんの糖分やアミノ酸をもつ。コナラ、ケヤキ、クヌギなどでは、単木の中で紅葉、黄葉、褐葉がすべて

現れることがある。

ケヤキ(*Zelkova serrata*)は、日本の照葉樹林帯から冷温帯落葉広葉樹林帯にかけての山地や丘陵地に広く自生するが、とくに谷沿いの比較的湿った斜面や肥沃地に優占群落を形成する。武蔵野台地のケヤキの多くは江戸時代の建築資材(船材や橋桁材)などのために幕府がその植栽を奨励したからと云われている。また防風用の屋敷林としても広く植林されてきた。このような利用価値の高さと同時に、春の芽吹き、夏の緑陰、秋の黄葉、冬枯れの立ち木など、四季を通して美しい樹林景観を映し出している。春には、花芽と葉芽とが入っている混芽から黄色味を帯びた薄緑色の花が小さな葉の展開とともに開花する。雄花が役割を終えて地上に落下する頃には新緑の季節に移る。夏になると、ケヤキの葉はやや黒味を帯びた葉色に変化し、しっかりした葉に生長する。秋になると、果実をつけた着果枝が枯葉をつけたまま落下し、役目を終えた葉は枯色から朽葉色さらには黄朽葉色に変化して落葉する(新井, 2004)。図-2.3 に秋季におけるケヤキの葉色変化の観測例を示す。8月中旬(同図(1))では緑色の葉色であったものが、10月中旬頃(同図(2))にはやや枯色の葉色変化が現われ始め、さらに11月初旬(同図(3))には樹葉全体が朽葉色の葉色に変化し、11月下旬(同図(4))には黄葉の最盛期に達して、樹葉全体が鮮やかな黄朽葉色の葉色に変化する。12月初旬(同図(5))には樹葉のほとんどが落葉し、褐色の葉色に変化した樹葉が樹冠最上部にわずかに残る程度となる。さらに、春を迎えた4月中旬頃(同図(6))には芽吹きにより樹冠最上層が薄紅梅色に映る。したがって、葉色変化からケヤキを区分していく場合には、11月初旬～下旬の黄葉時期が重要となる。



(1) 8月中旬(2001.8.17)



(2) 10月中旬(2001.10.13)



(3) 11月初旬(2001.11.4)



(4) 11月下旬(2001.11.23)



(5) 12月初旬(2001.12.4)



(6) 4月中旬(2002.4.13)

図-2.3 ケヤキの秋季における葉色変化(森林総合研究所多摩森林科学園内)

コナラ(*Quercus serrata*)は、関東の雑木林の代表種であり、関東地方ではクヌギと、中部地方や西日本ではアベマキ、アカマツとともに雑木林を形成する。山地のやや乾燥気味の土地に生育する種であるが、落葉が燃料や堆肥に適していたため植林されたところも多い。武蔵野台地に広がるコナラ・クヌギ林の多くは植林し、人手による除間伐などにより管理されてきたものが多い(中川, 2004)。春 4 月頃になると花期となり雌雄異花(雌花は軟毛が密についた総ほうに包まれ、新枝の上部から出る短い花序に数個ずつつく。雄花は軟毛の下部から垂れ下がる長さ 2~6cm のひも状の花序に多数つく)をつける(中川, 2004)。また、花期には展開したばかりの若葉の表面には絹状の細毛が生え、白味がかった淡緑色の葉色を示し、さらに花期が終わると鮮やかな萌葱色の葉色に変化する。一方、秋季になると、樹葉全体が枯色の葉色に変化し、晩秋の頃になると朽葉色から鮮やかな赤朽葉色の葉色になり樹冠全体が紅葉・黄葉する。そして初冬の頃には落葉する。図-2.4 に秋季におけるコナラの葉色変化の観測例を示す。8 月中旬(同図(1))から 11 月初旬(同図(2))までは葉色の変化がほとんど分らないが、11 月下旬(同図(3))になると樹葉の一部に紅葉や黄葉が見られるようになる。さらに、12 月上旬(同図(4))には紅葉の最盛期を迎える。12 月中旬(同図(5))でも樹葉の一部は残るが、それ以降は完全に落葉してしまう。春を迎える 3 月下旬ともなれば徐々に若葉の展開を始める。したがって、葉色変化からコナラを区分していく場合に、秋季の紅葉・黄葉変化が重要となり、11 月中旬~12 月上旬の紅葉・黄葉時期が重要となる。



図-2.4 コナラの秋季における葉色変化(森林総合研究所多摩森林科学園内)

クヌギ(*Quercus acutissima*)は、関東の雑木林の中核をなす樹種で、コナラに比べて生長量が大きく薪や木炭用として経済的であるばかりか、伐採直後の初期生長がよく、草刈りの手間がかからないことから有用林とされてきた。クヌギは4月～5月に花期を迎え、新枝全体に黄色い雄花序を垂らし、花序と葉が同時に展開する(中川, 2004)。クヌギは落葉するための離層がなかなか形成されず、枯れた葉が冬季についたままになる。したがって、コナラとの葉色による区分は晩秋から初冬の時期が重要となる。

(3)冬季のスギ人工林の葉色変化

スギ(*Cryptomeria japonica*)は、常緑樹であるが、その葉は冬季になると赤褐色に変化する。しかし枯れ葉ちるわけではなく春に再び緑色に変る(河原, 2004)。堀ら(2004)によれば、冬季になると葉中の緑色の葉緑素が分解して少なくなり、それまで隠れていたカロチノイドの一種のロドキササンチンという色素の赤味が現われてくるためとされている。春になると再び葉緑素が増えて緑色が戻ってくる。また、花期は2～4月となり、同じ個体に雄花と雌花をつける雌雄異花(雌花は前年の秋にできた短い葉をつけた小枝の端に小さな花序が1個ずつつく。雄花は淡黄色で前年枝の先に多数の花序がつく)となる(河原, 2004)。図-2.5に冬季おけるスギの葉色変化の観測例を示す。11月初旬(同図(1))では樹葉の葉色変化は認められないが、12月上旬(同図(2))になると樹葉中に赤味を帯びた葉色変化が認められ、1月中旬(同図(3))には樹葉全体に広がり、2月下旬(同図(4))では赤褐色の葉色変化を示す。3月中旬(同図(5))には樹葉の赤味は少し薄れ、樹葉中には緑色の葉色が見られるようになる。サクラが開花している4月中旬(同図(6))にはわずかに樹葉中に淡赤味を帯びた葉色が認め



(1)11月初旬(2001.11.4)



(2)12月上旬(2001.12.8)



(3)1月中旬(2002.1.12)



(4)2月下旬(2002.2.23)



(5)3月中旬(2002.3.17)



(6)4月中旬(2002.4.13)

図-2.5 スギの冬季における葉色変化(森林総合研究所多摩森林科学園内)

られるが、樹葉全体は緑色のスギの一般的な葉色になる。したがって、このような葉色変化からスギを区分していくには、冬季の1月中旬～2月下旬までの間の葉色変化が重要になってくる。

2.1.2 時系列なカラー航空オルソ画像を用いた葉色変化の把握手法

(1) 時系列なカラー航空オルソ画像上の色調変化と葉色変化

季節的な樹葉の葉色変化は、面的にかつ時系列に観測されたカラー航空オルソ画像上でも色調変化として捉えることができる。図-2.6には福岡市北西部に位置する里山林の春季と秋季に観測したカラー航空オルソ画像を時系列(1999年4月～12月)に比較したものを示す。春季の時系列なカラー航空画像はスダジイ林の例を示す。2.1.1でも触れたように、スダジイは、4月初旬では樹葉全体には大きな葉色変化がみられたかったものが、4月下旬には黄緑色の花序が展開し、黄褐色の葉裏とともに樹葉全体を鮮やかな黄緑色ないしは黄金色に染め、5月中旬には一層この傾向を鮮明にしている。同図でもこのような葉色変化が認められる。すなわち、4月上旬(4月8日観測)では、落葉広葉樹の芽吹きや葉の展開と常緑広葉樹の花序や新葉などの葉色に大きな違いはなく、両者の区分は判然としない。それから20日ほど経った4月下旬(4月27日観測)になると落葉広葉樹・常緑広葉樹ともに全てが新葉となり鮮やかさが増す。この時期、広葉樹とスギ・ヒノキ人工林ははっきり区分できる。さらに、5月中旬(5月12日観測)になると、尾根や斜面が淡緑色に埋め尽くされた箇所が見られ、これがスダジイ林である。これはスダジイの黄緑色の花序や葉裏の黄褐色が画像上に写し出された結果である。その後、同図中央に示す6月中旬(6月14日観測)になると、スダジイ林の特徴的な葉色を示す色調も退化して、次第に深緑色に変わり、盛夏にはすべて濃緑色の葉色になる。したがって、春季に観測した時系列なカラー航空オルソ画像上の色調変化から、スダジイ林(スダジイ林を含む常緑広葉樹林)を区分することができることを示唆している。

一方、秋季の葉色変化は落葉広葉樹林の樹種区分に最適となる。すなわち、11月上旬(11月5日観測)ではヤマハゼやヤマザクラなどの紅葉がわずかに認められる程度であったものが、11月中旬(11月22日観測)過ぎになると、ヤマハゼやヤマザクラは落葉し、エノキやノグルミなどの黄葉が主体で、一部コナラの黄葉も始まる。12月上旬(12月8日観測)になると、黄色や薄紅色を帯びた黄色の色調が尾根や斜面を広く被う。これがコナラ林(一部クヌギ林も含む)である。このように秋季に観測した時系列なカラー航空オルソ画像上の色調変化から、コナラ林をはじめ落葉広葉樹を区分できる可能性を示唆している。

(2) 時系列なカラー航空写真の撮影方法

季節的に観測したカラー航空オルソ画像上の色調変化(葉色変化)は、里山林の樹種区分のための重要なファクターとなる。季節的あるいは年間にわたり同一地域を複数回にわたりカラー航空写真(現在では航空デジタルカメラ)の撮影を実施していくためには、撮影時の機体位置や傾きなどの標定要素を正確に把握しておく必要があり、それによって同一地域を

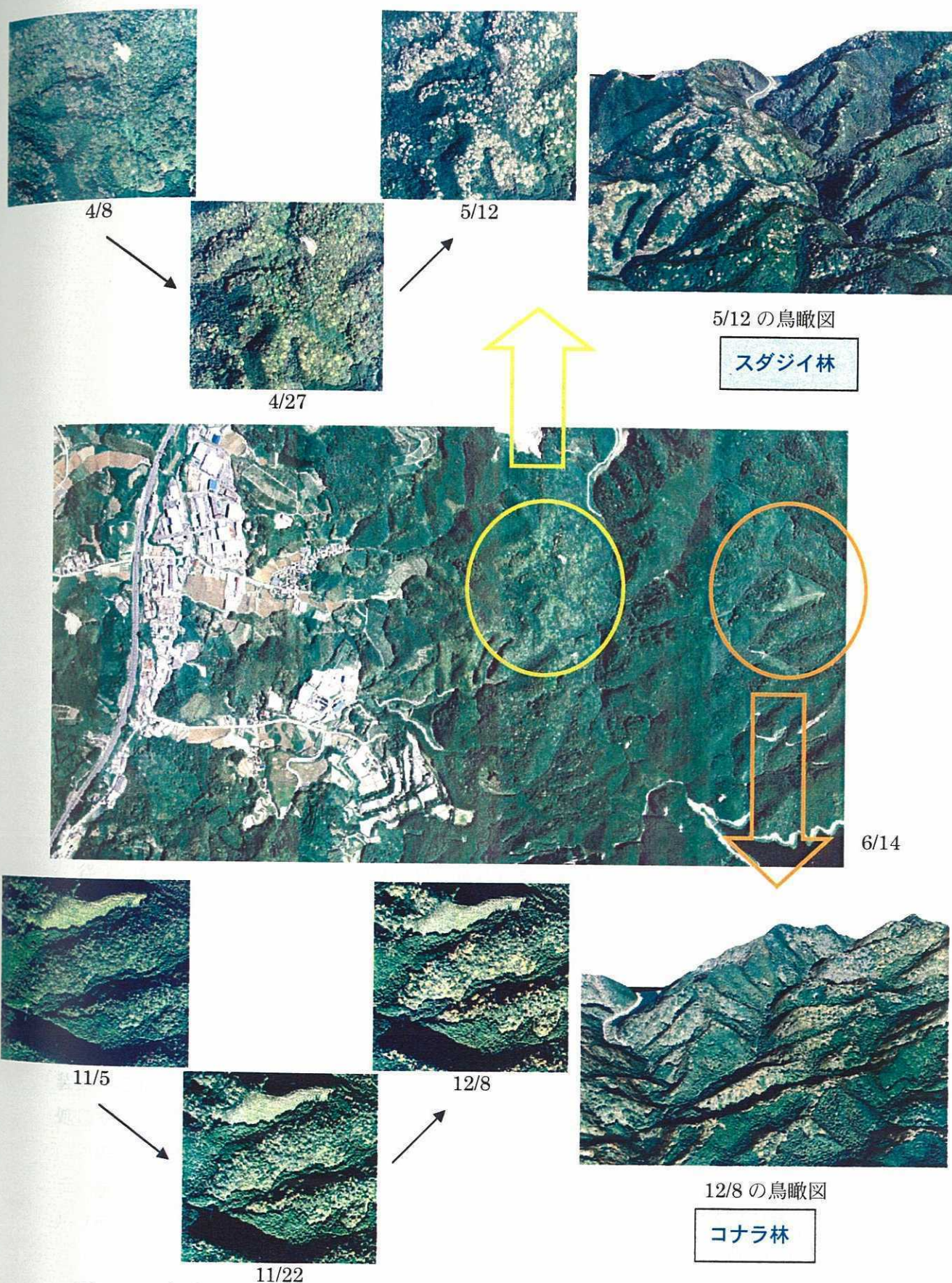


図-2.6 春季・秋季の時系列なカラー航空画像上のスダジイ林・コナラ林の葉色変化

網羅した各時期撮影のカラー航空写真を比較照合することができる。このような撮影時点の航空機の位置や傾き²⁾、使用カメラの位置や傾きを正確に知るために POS(Position and Orientation Solution)処理(図-2.7)が利用されている。

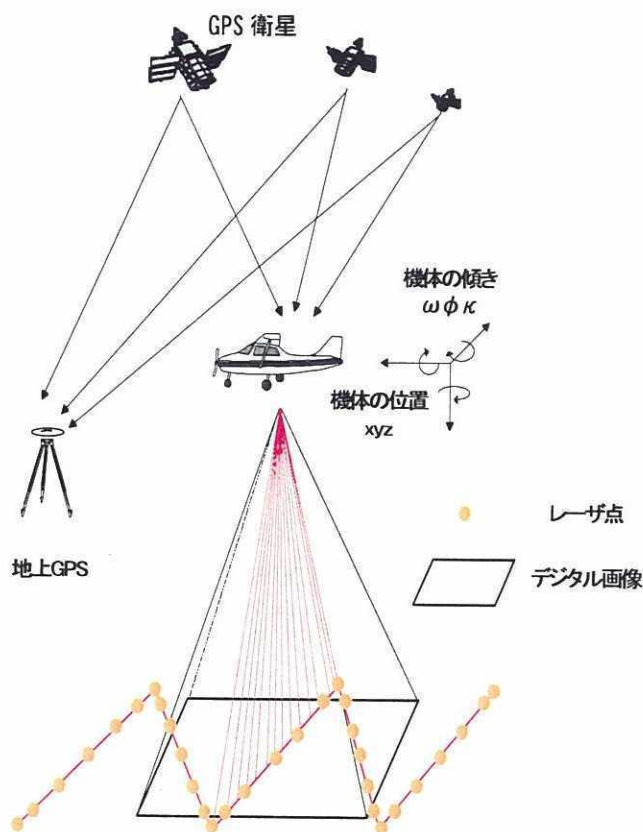


図-2.7 POS 処理によるカラー航空画像の撮影概念 (小田ら, 2002)

従来の航空三角測量³⁾において、撮影時の機体位置や傾きは未知数であったために、写真1枚について6つの未知係数を解く必要があった。未知係数を解くためには3点以上の基準点が必要になり、地上に対空標識⁴⁾を設置していた。対空標識は撮影地域に対してバランスよく配置することが必要とされ、そのための選定に労力と多々な経費が必要とされた。

本研究で使用した POS システムでは、航空写真の撮影位置を決定するために GPS(Global Positioning System: 汎地球測位システム)⁵⁾と IMU(Inertial Measurement Unit: 慣性航法装置)⁶⁾を航空機に装備し、地上に設置した GPS による同時位置計測のデータを併せて計算処理することによって、撮影時の機体の位置、傾きを求めることができる。

このような POS 処理を施すことにより、同一地域を同じ撮影条件で網羅した時系列なカラー航空写真の撮影が可能になるばかりか、中心投影⁷⁾の航空写真から正射投影⁸⁾の航空オルソ画像⁹⁾の作成が極めて容易になる (小田ら, 2002)。

1) 標定要素：一対の航空写真の相互位置や地表に対する位置を調整するために使われる X, Y, Z 3 軸の

平行移動とそれらの軸のまわりの回転についての要素のこと。

2)航空機の傾き：撮影中の航空機体に生じる3軸の傾き(ローリング、ピッチング、ヘディング)のこと

3)航空三角測量：1コースの航空写真のうち、最初のモデルだけは基準点によって標定(絶対標定)を行い、あとは次々と前のモデルに接続標定を行って基準点を用いずに標定を行う方法。

4)対空標識：基準点の位置を航空写真上に明瞭に表示するため、基準点の上に設置する目標のこと。

5)GPS：Global Positioning System(汎地球測位システム)の略。

6)IMU：Inertial Measurement Unit(慣性航法装置)の略。航空機の3軸方向の傾きと加速度を計測する装置

7)中心投影：各点から出た光線がすべて1点を通してある面上に投影されることで、写真像はレンズの光心を投影中心とした中心投影である。

8)正射投影：対象を平面上に、平面に垂直な方向から平行に投影すること。

9)(航空)オルソ画像：中心投影像である写真像を正射変換して平行投影像にした写真図(写真画像)をいう。オルソフォト(オルソフォトマップ)あるいはオルソ画像と呼ばれる。

(3) カラー航空オルソ画像の作成方法

中心投影である航空写真は、地形の標高の影響により歪んだ形状で写るため、位置関係が実際の地形とは異なり、そのため距離や面積が正しくなく、地形図とも整合しない。すなわち、航空写真は被写体から反射された光がレンズを通して投影された中心投影であり、地形図は無限光から投影された正射投影のため、両者は整合しない。中心投影から正射投影に変換することを正射変換と呼ぶ。中心投影の航空写真画像(アナログフィルムからデジタル画像に変換)を正射変換したものがオルソ画像である。

図-2.8において、地上のA地点はオルソ画像上においてはA'の地点(航空写真上のa'地

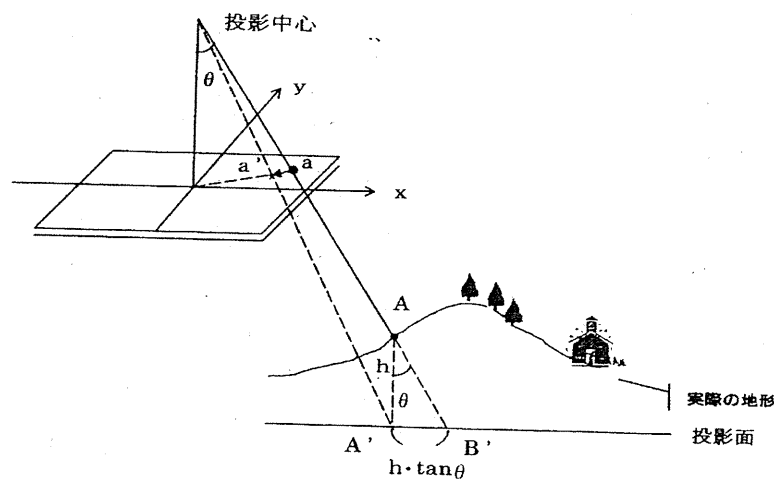


図-2.8 正射変換の概念(津留, 2004)

点)に投影されることになるが、航空写真上での a 地点(投影面での B'の地点)に投影されている。A 地点の写真画像を a'地点へ再配列することにより、中心投影から正射投影に正射変換できることになる。この写真画像上での再配列の距離は、鉛直写真では A 地点から A'地点までの標高と投影中心の鉛直線から A 地点への角度 θ によって得られる $h \cdot \tan \theta$ を航空写真上の縮尺に換算することによって得られる(津留, 2004)。

そのために本研究では、時系列に撮影された各時期のカラー航空写真をデジタル画像(アナログの航空写真を RGB 別に階調をもつ画像データ)に変換した。その後、これらの中心投影の画像から正射投影の画像に標高データを用いて偏位修正を施した(正射変換)。これは正射変換により航空写真がもつ標高に起因した水平位置のズレを除去することである。この補正を施すことにより時系列に撮影された航空写真は相互に重ね合わせることや比較照合が容易となり、これによって季節的な樹葉の色調変化を面的に抽出でき、樹種区分の解析が可能となる。

(4) 葉色変化特性と樹種区分のための適用手法

(3)によって作成された時系列なカラー航空オルソ画像を用いて樹種別の葉色変化特性を把握した。葉色変化特性の把握に際しては、カラー航空オルソ画像の RGB データだけでなく、人間の色知覚を直接表すことができる HIS データにも変換し、樹種別の葉色変化特性の分析に用いた。また、樹種別の葉色変化特性を把握するために時系列な各時期のカラー航空オルソ画像の重ね合わせや、その比較照合のために画像のオーバーレイ解析を適用した。さらに、樹種別の葉色特性を用いて樹種区分するためにクラスタリング手法を適用した。

① HIS 変換(HIS conversion)

画像表示における三原色(R: 赤, G: 緑, B: 青)を画像の有する色彩の3つの属性(色相: Hue, 彩度: Saturation, 明度: Intensity)を用いて合成表示する方法であり、色相は色名に対応する色知覚を表し、彩度は色の鮮やかさの程度を示す尺度、明度は各色相の明るさを示す尺度である。

RGB 信号を擬似的な表示である色相、彩度、明度に変換したうえで、明度や彩度を調整し、再び RGB 信号に戻してカラー合成するといった処理がなされる。このように RGB 空間と HIS 空間の間関係をモデル化し、相互変換をすることを HIS 変換という(日本リモーセンシング研究会編, 2001)。

② 画像のオーバーレイ処理

画素(ピクセル)を単位とする画像相互のオーバーレイ処理は、ある一定の基準で画像化された複数のデータを目的に応じて重ね合わせることである。重ね合わせの際、各入力値に対して優先度を指定し、組み合わせに応じた任意の出力値を規定することによって目的とする画像を得ることができる。画像相互のオーバーレイ処理は、その目的と用途に応じて、さまざまな手法が考えられるが、マトリックス形式によるオーバーレイとインデック

ス形式によるオーバーレイが代表的な処理方法である。

マトリックス形式のオーバーレイは、2つの異なる画像間の2次元のマトリックス表をつくり、それぞれの組み合わせに応じた任意の値からなる新たな画像を作成していくものである。一方、インデックス形式のオーバーレイは、重ね合わせ手法のうちで、最も複雑で多岐にわたる処理が可能なものである。種類の異なる多次元画像に対し、それぞれの画像間の重み付けや画像内のカテゴリ間の重み付けをした上で、画像間の加減乗除を行い、全く新たな内容の画像を出力していくことができる。

③ クラスタリング(Clustering)

クラスタリングは、特徴の類似したデータを「似たものどうし」としてグループ(クラスタ)化していく手法で、教師なし推定や分類に利用されている。

クラスタリングでは、個々のデータ間の類似の度合いを距離で評価し、距離の近いものから同一のクラスタと判定し融合していく階層的クラスタリング(Hierarchical clustering)と、初期状態として適当なクラスタを与え、そのメンバをクラスタ間で組み替えることにより、より分離度の高いクラスタを求めていく非階層クラスタリング(Non-Hierarchical clustering)に分けられる(日本リモートセンシング研究会編, 2001)。

本研究では、非階層クラスタリングを適用し、個々データと初期クラスタの重心との距離を計算したうえで、最も近いクラスタにそのデータを配置して再配置された新しいクラスタの重心を計算し直し、これらの過程を繰り返すことで再配置された個々のデータの数がある閾値以下であれば収束と見なしてクラスタを統合した。

2.2 航空から樹冠高変化を把握するための適用手法

2.2.1 航空機搭載型レーザスキャナによるデータ取得

航空レーザスキャナは、航空機やヘリコプタなどのプラットフォームから地上に向けてレーザパルスを進方向に直交(左右に走査しながら)に照射し、地上から反射してくる光を受光盤で捉え、その往復時間によって距離を測定することにより高密度な3次元デジタルデータを取得するシステムであり、LIDAR(Light Detection and Ranging)とも呼ばれている。本研究では航空機に搭載したレーザスキャナ(航空機搭載型レーザスキャナ)を使用した(図-2.9)。

航空機搭載型レーザスキャナは、GPS、IMU、レーザ測距装置からなる計測システムである(航空レーザ測量 WG 編, 2004)。GPS は地上に設置した GPS と航空機に装備された GPS により高速で移動する航空機の位置を求めるための装置であり、IMU は航空機の姿勢と加速度を求めるための慣性計測装置、レーザ測距装置はレーザを送受光して地上の測点までの距離を求めるものである。本研究で使用了航空機搭載型レーザスキャナの GPS 装置、IMU 装置、レーザ測距装置の各仕様は次のとおりである。

○ GPS・IMU 装置： 位置精度 0.05~0.3m

ロール、ピッチの読み取り角度 0.005°

ヘディングの読み取り角度 0.008°

○ レーザ測距装置：	使用レーザ	近赤外線(波長 0.7~1.3μm)
	レーザ規格	クラス4 レーザ
	計測高度	対地高度 600~3,000m
	走査幅	200~2,000m
	走査角度	5°~45°
	パルスレート	最大 15kHz
	水平精度	±30cm
	垂直精度	±15cm

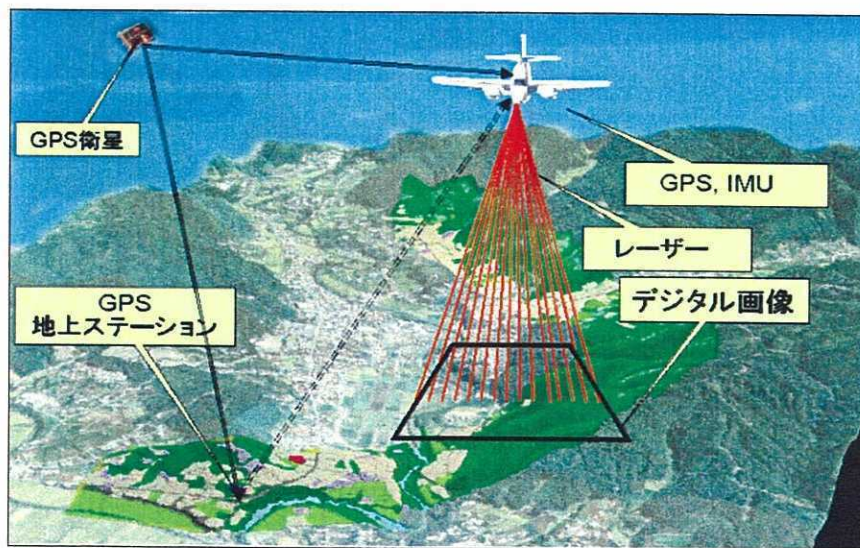


図-2.9 航空機搭載型レーザスキャナの観測概念

2.2.2 航空機搭載型レーザスキャナによる樹冠高の計測

航空機搭載型レーザスキャナによる樹林の計測は、図-2.10 に示すように樹冠部から最初に反射して戻ってくるファーストパルスと地表面付近に達して戻ってくるラストパルスが観測できる。両者の差分が樹冠高となる。

航空機搭載型レーザスキャナは地表面をランダムに照射観測するもので、取得されたデータはランダムな点群データとなる。面的に一定な範囲について解析していくには、一定の密度でデータを扱う必要があり、多くの場合、メッシュ状のデータを作成している。このメッシュ状のデータを作成するためには、ランダムに分布したレーザ点群から発生させた不整の三角形群(Triangulated Irregular Network : TIN)により、任意点の高さデータを三角形平面から内挿していく。

このようにして作成されたものが数値地形モデルであり、樹冠などの表層部の高さデータを数値表層モデル(Digital Surface Model : DSM)と、地物(樹木や建物など)を除去した地

盤面の高さデータを数値標高モデル(Digital Elevation Model : DEM)と呼んでいる(図-2.11)。

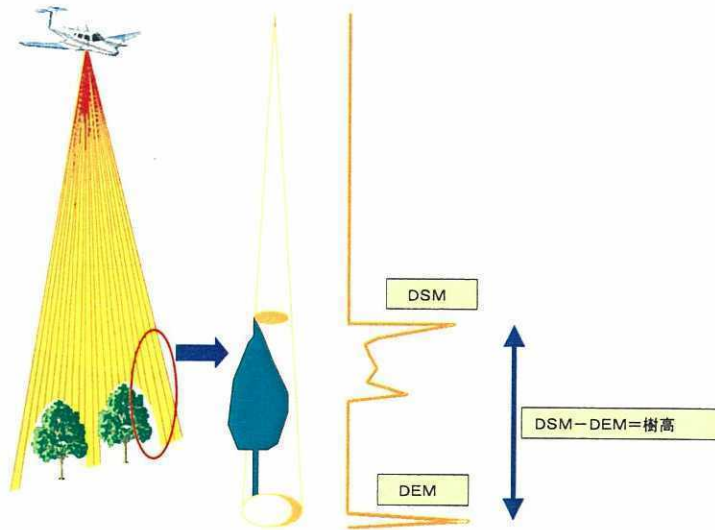


図-2.10 航空機搭載型レーザスキャナによる樹冠高の計測

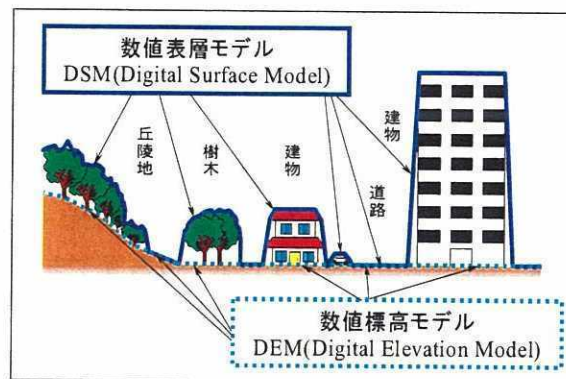


図-2.11 数値地形モデルの種類 (栗崎(2002)による)

航空機搭載型レーザスキャナデータによって作成される DSM は樹木梢端の標高値とは一致しない。すなわち、レーザデータはランダムに照射された点群であり、常に樹木梢端の樹頂部に照射されていないためである。樹木梢端を含む樹冠部を面的に捉えた高さデータである。そのため、樹頂高と区別して樹冠高と呼称している。

2.2.3 落葉期間の樹冠高変化に基づく階層構造および落葉推移の把握

落葉広葉樹林に限れば、落葉前後に観測した航空機搭載型レーザスキャナによる DSM は、図-2.12 に示すように、落葉前であれば落葉広葉樹高木林の樹冠部表面の高さを捉えていることになり、落葉後であれば落葉広葉樹高木林下に繁茂している常緑広葉樹の亜高木や低木の樹冠部表面の高さを捉えていることになる。

もし、落葉広葉樹高木林下に亜高木や低木が未発達であれば、落葉後の DSM は地盤面あるいはその付近の高さを捉えることになる。そのため、落葉広葉樹高木林下に亜高木・低木が発達する場合としない場合では、落葉前後の両 DSM の差分量が異なることになる。この差分量の変化を用いることによって落葉広葉樹林の階層構造を把握することができる。

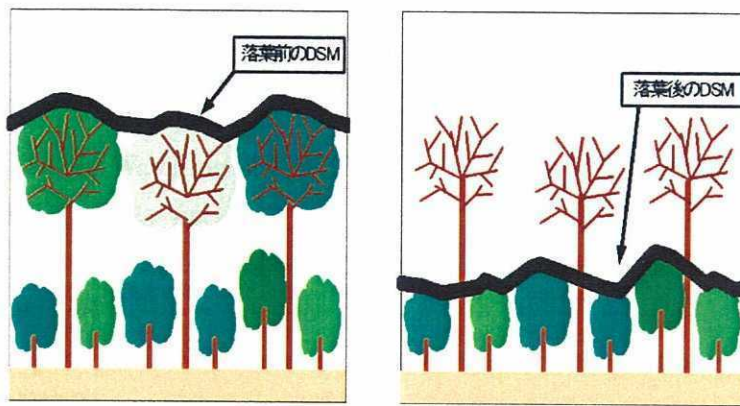


図-2.12 DSM の変化量による落葉広葉樹林内の階層構造の把握

また、航空機搭載型レーザスキャナによる観測を落葉期間中に時系列に行えば、高木林の樹冠部を被う樹葉の変化(落葉の推移)を把握することが可能となる。すなわち、落葉前の DSM と落葉進行中の DSM を比較すれば、落葉が進行している時期の DSM の方が低くなる(レーザ光が樹林下まで到達して戻ってることが多い)。さらに、落葉進行中の DSM と落葉後の DSM を比較すれば落葉後の DSM が低くなる。このように、落葉前～落葉中、落葉中～落葉後の DSM の差分量を算定することで落葉の移り変わり(落葉の推移)を知ることができる。これによって、落葉期間中の比較的早い時期に落葉してしまう樹種と、期間中の比較的遅い晩秋頃に落葉する樹種との区分がある程度は可能となり、落葉広葉樹林の樹種細分化に利用できる情報となる。

参考文献(第2章) アルファベット順に表記

- 新井孝次郎(2004): Watching 樹木図鑑, ケヤキ, 週刊日本の樹木 13, ケヤキ, 学習研究社, 東京, pp.14-17.
- 平野隆久, 片桐啓子(2004): 紅葉と落ち葉, 95p, 山と溪谷社, 東京
- 堀大才, 岩谷美苗(2004): 図解樹木の診断と手当て, pp.94-102, 農山漁村文化協会, 東京
- 河原輝彦(2004): Watching 樹木図鑑, スギ, 週刊日本の樹木 22, スギ 2, 学習研究社, 東京, pp.14-17.
- 航空レーザ測量WG編(2004): 図解航空レーザ測量ハンドブック, 日本測量調査技術協会, 118p.
- 栗崎直子(2002): 航空レーザ測量データと3次元都市モデルの作成, 日本写真測量学会編, 空間情報技術の実際, 日本測量協会, pp.23-29.
- 中川重年(2004): Watching 樹木図鑑, コナラ・クヌギ, 週刊日本の樹木 20, コナラ・クヌギ, 学習研究社, 東京, pp.14-17.
- 中村幸人(2004): Watching 樹木図鑑, スダジイ・アラカシ, 週刊日本の樹木 09, シイ・カシ 1, 学習研究社, 東京, pp.14-23.
- 中村幸人(2004): Watching 樹木図鑑, クスノキ, 週刊日本の樹木 21, クスノキ, 学習研究社, 東京, pp.14-17.
- 日本リモートセンシング研究会編(2001): 改訂版図解リモートセンシング, 325p, 日本測量協会
- 小田三千夫, 織茂郁, 松田健也(2002): 航空機レーザスキャナによる数値標高データの取得, 日本写真測量学会(編), 空間情報技術の実際, pp.3-10, 日本測量協会
- 津留宏介(2004): オルソ画像の作成手法, 村井俊治・近津博文監修, 日本写真測量学会動体計測研究会(編), デジタル写真測量の理論と実践, pp.117-130, 日本測量協会