

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5章 落葉前後の樹冠高変化による落葉広葉樹林の階層構造の区分に関する研究

5.1 概要

里山林のように多種多様な樹種で構成されている森林をリモートセンシングなどにより外観から面的に捉えていく場合には、マルチスペクトラルデータから解析していく方法(山形ら, 1996)や樹種ごとの季節的な樹葉の葉色変化から解析していく方法で研究が進められている(第3章参照)。樹高については、ヘリコプターや航空機に搭載したレーザスキャナを用いて面的な樹高計測が試みられている(大政ら, 2000)。また、樹冠の面的な把握には航空写真画像を用いた画像解析による自動抽出が試みられている(小村ら, 2003)。

これらに比べて、航空機搭載型レーザスキャナを用いて森林内部の階層構造(すなわち、高木、亜高木、低木、草本類等の垂直的な植生分布)の面的な把握は、武田ら(2003)、平田ら(2004)によって試みられているが、その研究事例は少ない。その主たる理由は、これまでは現地で森林内に立ち入り調査をすることによってのみ樹林の垂直的な階層構造が把握でき、他に有効な手法が確立されていなかったためと考えられる。現在でもすべてのタイプの森林の垂直的な構造、すなわち面的な階層構造を均一な精度で迅速に把握できる手法はない。落葉広葉樹林に限れば、落葉前後に観測した航空機 LS の数値表層モデル(Digital Surface Model: DSM, 以下 DSM と略す)の変化量から面的な階層構造を把握することが可能と考えられる。

そこで、本研究では落葉前後に観測した時系列な航空機 LS を用いて、落葉前・落葉中・落葉後の DSM の変化量(差分量)を算定し、その変化量から落葉広葉樹下における亜高木・低木・草本類の生育や被覆状況を捉え、階層構造の把握を試みた。

5.2 研究の構成

本研究では、航空機搭載型レーザスキャナにより取得した樹冠部の高さデータである DSM について、落葉前後を比較することで DSM の変化量を求め、そこから落葉広葉樹林の階層構造を面的に把握していく可能性を検討した。

そのためには、次の視点からの検討が必要とされた。

- (1) 航空機搭載型レーザスキャナで捉えられている DSM の連続面が樹木のおおよその部分に相当するかを、実測樹高と比較しながら検討すること。
- (2) ほぼ同じ時期に取得された航空機搭載型レーザスキャナの DSM が同一の連続面を示すか否かを検証し、DSM の再現性を検討すること。
- (3) 同一の観測時期の DSM に再現性があり、それと異なる時期に観測された DSM とに高さの差が認められれば、それが樹冠部の高さの変化と考えられるが、その仮説の妥当性を検討すること。

5.3 使用した航空機搭載型レーザスキャナと取得データ

使用した航空機搭載型レーザスキャナは、RAMS (Ener Quest Systems 社製)で、レー

ザスキャナ部から 15kHz のパルスレートで近赤外線レーザが発信され、対象物に当たって反射してくるレーザ光を受信する。観測測定高度は 300~3,000m まで可能で、スキャナの走査角は 5°~45°, 走査幅は 80~2,000m まで可変である。スキャナの測定精度は、水平方向で±30cm, 垂直方向で±15cm である。表-5.1 に使用した航空機搭載型レーザスキャナデータの諸元を示す。

表-5.1 使用した航空機搭載型レーザスキャナデータの諸元

観測 年月日	観測度 (m)	走査角 (°)	走査幅 (m)	照射密度 (点/m ²)
2000.10.11	2500	15	658	0.25
2001.2.12	2500	16	658	0.25
2001.12.3	2500	20	914	0.25
2002.10.4	2590	15	682	0.25

上記のデータセットは、第 6 章の研究(6.4)にも使用している。また、第 4 章の研究(4.4)においては、同データセットのうち、落葉前の 2000.10.11 と落葉後の 2001.2.12 を使用した。

これらの航空機搭載型レーザスキャナデータから作成した DSM を落葉前・落葉中・落葉後のものとして用いることの妥当性を検討するために表-5.2 に示すカラー航空写真を使用した。カラー航空写真は、Leica 社製カメラ RC-30 で撮影高度 2,000m, 撮影縮尺 1 万分の 1 で撮影し、そのネガフィルムから入力用スキャナにより 1 画素 0.25m×0.25m の画像データを作成した。この画像データから正射投影変換し、カラー航空オルソ画像を作成した。また、これらのカラー航空オルソ画像は、第 3 章 3.5.2 に記述した方法により各画像の相対的な色調補正を施した。すなわち、各航空オルソ画像上で、形状と色調とが明瞭に識別できる地物（例えば、赤色・白色・黒色の屋根、白色に写る道路など）の領域を抽出して、各 RGB データ値を計測し、2000 年 11 月 5 日撮影の航空オルソ画像の色調を基準に他 7 時期の画像の色調を整合させ、相対的な色調の比較ができるようにした。

表-5.2 使用したカラー航空オルソデータと色調補正用の相関係数

撮影年月日	撮影高度	画素サイズ	R 値	G 値	B 値
2000.11.05	2,000 m	0.25 m	基準	基準	基準
2000.11.19	2,000 m	0.25 m	0.990	0.986	0.983
2000.12.05	2,000 m	0.25 m	0.991	0.987	0.989
2000.12.26	2,000 m	0.25 m	0.956	0.958	0.968
2001.02.19	2,000 m	0.25 m	0.943	0.958	0.924
2001.04.02	2,000 m	0.25 m	0.937	0.934	0.944
2001.04.27	2,000 m	0.25 m	0.899	0.905	0.933
2001.05.15	2,000 m	0.25 m	0.732	0.793	0.862

上表のうち、第 6 章の研究ではこれらのすべてのオルソデータを使用した。また、第 5 章の研究では、2001.04.02, 04.27, 05.15 の 3 時期分のデータを除く、5 時期分のデータ

と、参考データとして 2001.9.23 のデータも使用した。

5.4 研究方法

5.4.1 解析対象樹林の選定と考え方

本研究では、東京都八王子市の独立行政法人森林総合研究所多摩森林科学園(以下、多摩森林科学園)内(2 地区)を解析対象とした(図-5.1)。

A 地区は、落葉広葉樹のケヤキ高木林が優占し、一部スダジイ・アラカシの高木林がみられる。ケヤキ高木林の林内には常緑広葉樹の亜高木・低木と草本類などが繁茂し、多層な構造を形成している。すなわち、自然状態にある落葉広葉樹林でケヤキ (*Zelkova serrata*) 高木林が優占し、一部スダジイ (*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*)・アラカシ (*Quercus glauca*) の高木林がみられる。

B 地区は、第4章の研究の検証箇所 ST-2 (4.3 参照) と同一地区である。この地区は、サクラ保存林として多種のサクラ (*Prunus yedoensis*, *Prunus lannesiana*, *Prunus grayana* など) の高木が植林されている。立木間隔は比較的疎で、林内は鑑賞などの目的から除間伐や剪定、除草がなされ、管理された落葉広葉樹高木林である。

上記 2 地区を選定した主たる理由は、A 地区では多様な階層構造(ケヤキ高木層下に常緑広葉樹の亜高木や低木、草本などにより構成)が時系列な DSM の変化からどのように把握できるかをねらいとした。また、B 地区では、林床が定期的に除草され、サクラ高木層下にはほとんど亜高木や低木が見られない単一の階層構造が時系列な DSM の変化からどのように把握できるかをねらいとした。



図-5.1 解析対象地区の位置(多摩森林科学園)

5.4.2 航空機搭載型レーザスキャナデータによる時系列な DSM の整備

7.4 時期（表-5.1 前掲）の航空機搭載型レーザスキャナデータから、以下の手順で DSM を作成した。本研究で利用した航空機搭載型レーザスキャナは、照射した各レーザに対して反射パルスを最大 5 パルスまで記録するため、まず、ファーストパルスを抽出した。次に、時系列比較をするため、ファーストパルスの点群データに対し、TIN (Triangulated Irregular Network) による補間を行い、1m 間隔のグリッドデータに変換した。

5.4.3 航空機搭載型レーザスキャナデータの取得時期と時系列比較のための検討

航空機搭載型レーザスキャナで取得した DSM の時系列な変化とその相互の比較に基づく階層構造の把握に先立ち、表-5.1(前掲)中で、2000.10.11 を落葉前、2001.12.3 を落葉中、2001.2.12 を落葉後の DSM として用いることの妥当性を検討した。

(1) 落葉前の DSM (2000.10.11) は、落葉直前の樹冠高を捉えているはずであり、これが基準となって落葉中の DSM、落葉後の DSM との差分から階層構造が把握できる。そのため、落葉前の DSM は同じく落葉前に捉えた他時期の DSM (表-5.1 中で 2002.10.4) と同一の樹冠高となるはずである。そこで、両 DSM を比較照合することで、落葉前の DSM の再現性を検討した。

加えて、現場での地形測量成果および樹高計測成果の整っている B 地区を対象として、上記 DSM と実測樹頂標高（梢端の標高。実測地盤高に樹高を加算した高さ）を比較し、DSM が表す樹頂部の高さについて検討した。

(2) 落葉後の DSM (2001.2.12) は、ほぼ同一時期に撮影されたカラー航空写真（DSM 作成に用いた航空機搭載型レーザスキャナの観測が 2001.2.12、カラー航空写真の撮影が 2001.2.19）の色調から、落葉後の時期として用いることの妥当性を判断した。

(3) 表-5.1 に示すように、落葉中の DSM として用いる 2001.12.3 のデータは、落葉前の DSM と落葉後の DSM の一連のシーズンとは取得時期が異なる。そのため、落葉中のデータとして用いることの妥当性を検討した。

5.4.4 落葉前の DSM の再現性と実測樹頂高との関連性

落葉前の樹葉が繁茂する状況において、データ取得時期がほぼ同様であれば、取得年が異なるデータであっても両者の示す DSM の連続面は同一であると考えられる。そのため落葉前の DSM(2000.10.11)と取得年の異なる落葉前の DSM(2002.10.4)の再現性について検討した。加えて、B 地区を対象として、上記 DSM と実測樹頂標高（梢端の標高。実測地盤高に樹高を加算した高さ）を比較し、DSM が表す樹頂部の高さについて検討した。

5.4.5 落葉広葉樹林の階層構造の把握

5.4.3 の(1)から(3)までの検討が妥当であれば、落葉前後に取得した DSM を時系列に比較することができる。ここでは A 地区と B 地区について、落葉前-落葉中、落葉中-落葉後、

落葉前・落葉後、の各時期間の DSM の差分量に基づく面的な階層構造の把握を試みた。また、ある地形断面を設定し、断面上での各時期間の DSM の差分量から階層構造を推定した。

その検証には現地調査に加えて、表-5.2(前掲)に示す 6 時期分のカラー航空写真を使用した。現地計測は、B 地区ではトータルステーション (トプコン製 GPT-1002) による実測で地盤高、樹頂高を求めた。樹頂高は、樹木の幹の根元から幹に沿って、その樹木が茂らせている葉の最も高いところまでの距離を計測した。A 地区は、既設の基準点から遠距離にあるため、調査向きのコンパクトなディファレンシャル GPS(DGPS)とレーザ測距儀 (MGL 社製 LaserAce300)、樹高計 (ティンバーテック社製 VERTEX) を用いた。

5.5 航空機搭載型レーザスキャナデータの取得時期と時系列比較のための検討

図-5.2~図-5.3 には、表-5.2(前掲)に掲げた 2000 年 11 月~2001 年 9 月までの間に撮影したカラー航空写真から作成した A 地区および B 地区のカラー航空オルソ画像を示す。

5.5.1 落葉前の樹冠高を示す DSM として用いるための検討

落葉前の DSM として、2000 年 10 月 11 日のデータを使用した。同日の気温 (多摩森林科学園での気象観測による) は、最高気温が 20℃、最低気温で 13℃、平均気温 17℃で、同日を含む 10 月上旬から気温が急激に低下していく。気温の低下傾向は 9 月下旬で大きく低下し、10 月早々には再びわずかに気温上昇が見られ、10 月上旬から低下が一気に進む。したがって、概ね紅葉・黄葉の始まる時期であり、落葉前の時期と考えられる。

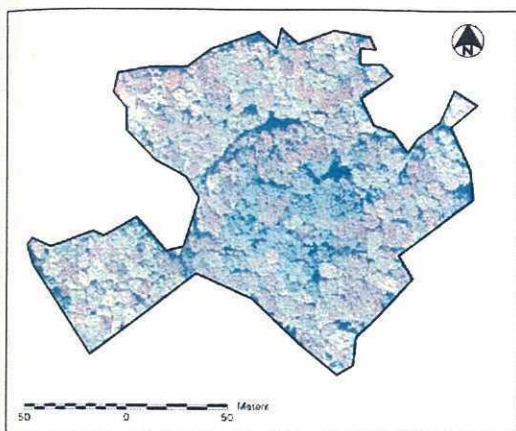
また、落葉前の DSM とは約 1 ヶ月間の隔たりがあるが、図-5.2(1)および図-5.3(1) (2000 年 11 月 5 日撮影) のカラー航空オルソ画像で、A 地区、B 地区での紅葉・黄葉の様子を判読できる。図-5.2(2)および図-5.3(2)の 11 月中旬 (11 月 19 日撮影) では、A 地区、B 地区とも紅葉・黄葉のピークに達している様子が分かる。また、参考までに撮影年は異なるが 10 月上旬に近い時期である図-5.2(6)および図-5.3(6)の画像 (2001 年 9 月 23 日撮影) をみると、A 地区では紅葉・黄葉はみられず、B 地区の一部に紅葉がみられる程度である。

以上の点から、2000 年 10 月 11 日観測のデータから作成した DSM を落葉前の A 地区および B 地区の樹冠表面を捉えたデータとして用いることは妥当と考えた。

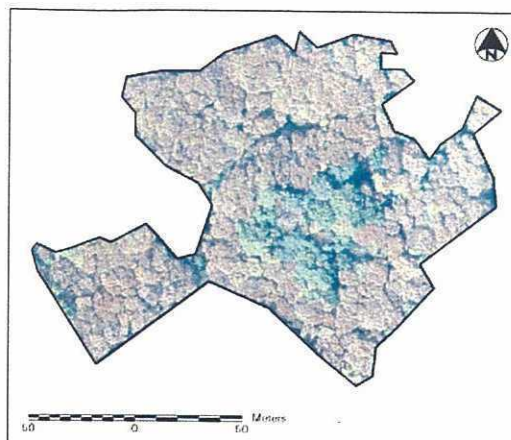
5.5.2 落葉後の樹冠高を示す DSM として用いるための検討

当該地区の最寒期は 1 月中旬に現れ、2 月中旬は最寒期を境に気温がわずかに上昇を示す時期にあたる。最寒期から約 20 日間経過した 2 月 12 日の 2000 年および 2001 年の最高気温は 8~10℃、最低気温 -2~2℃、平均気温 3~4℃であった (多摩森林科学園での気象観測による)。この気温からみても落葉後の時期であることは十分に想像できるが、図-5.2 および図-5.3 の (3)~(5) を比較すれば、その模様がより分かりやすい。

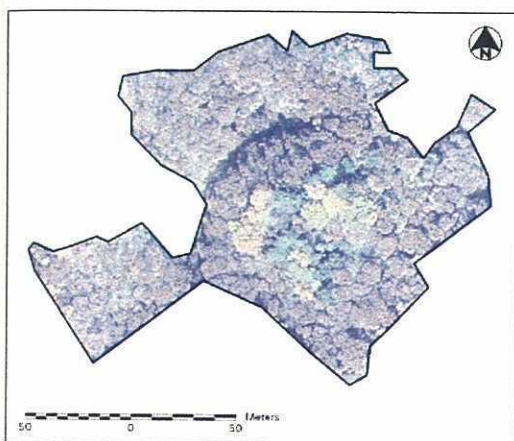
図-5.2(3)および図-5.3(3) (2000 年 12 月 5 日撮影) では、A 地区は少しずつ落葉が進み、B 地区でも落葉が進行していた。図-5.2(4)および図-5.3(4) (2000 年 12 月 26 日撮影) では、両地区とも完全に落葉しているのが分かる。図-5.2(5)および図-5.3(5)は、航空機



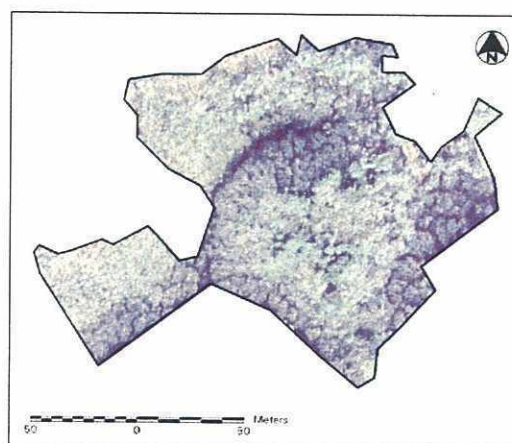
(1)2000.11.5 撮影



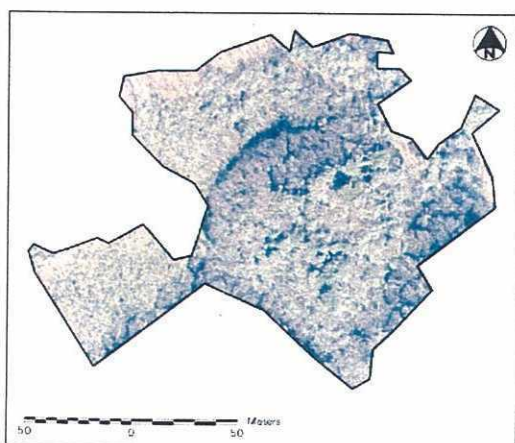
(2)2000.11.19 撮影



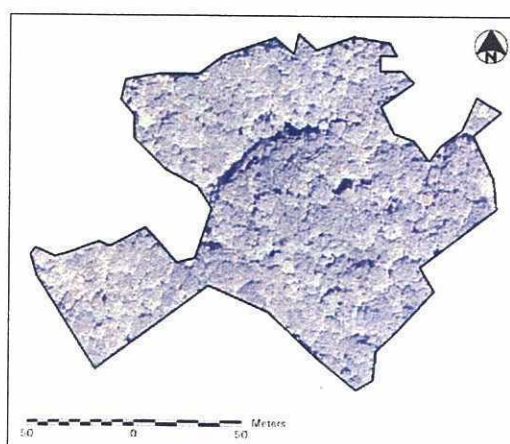
(3)2000.12.5 撮影



(4)2000.12.26 撮影

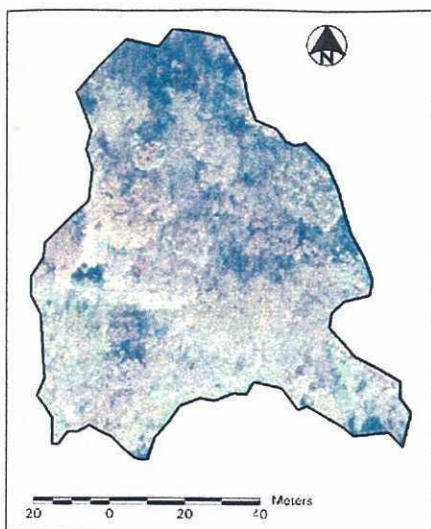


(5)2001.2.19 撮影

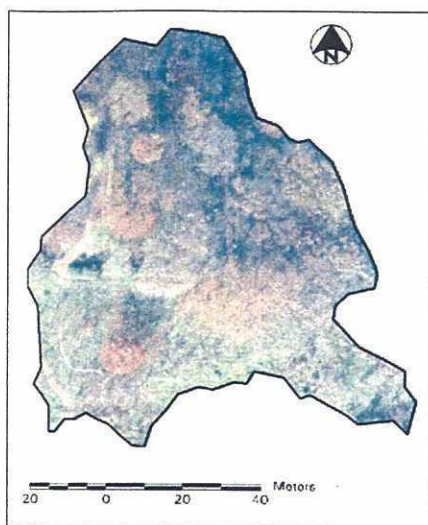


(6)2001.9.23 撮影

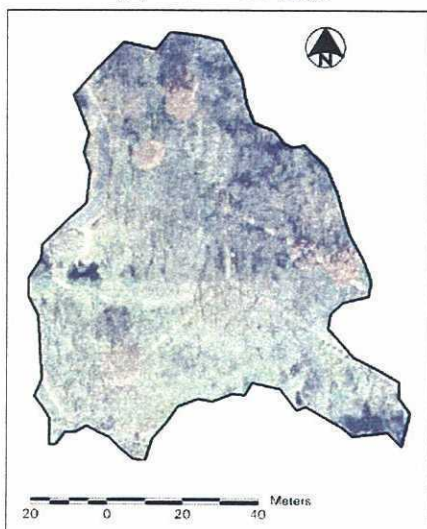
図-5.2 A地区における時系列なカラー航空オルソ画像



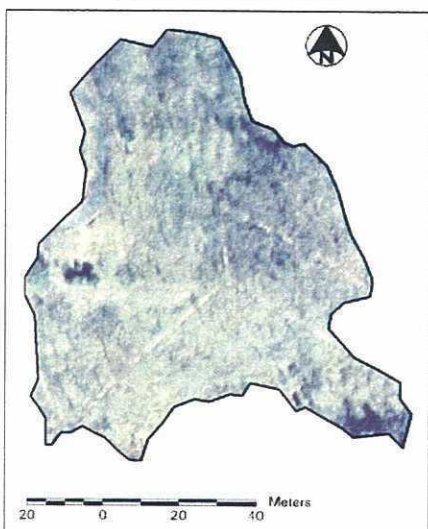
(1)2000.11.5 撮影



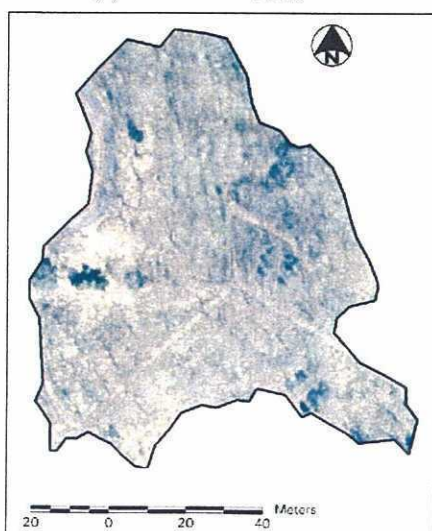
(2)2000.11.19 撮影



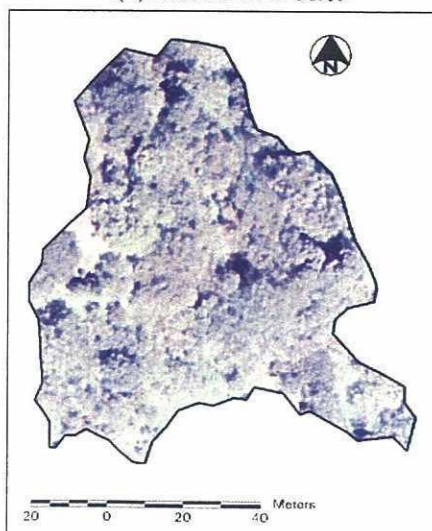
(3)2000.12.5 撮影



(4)2000.12.26 撮影



(5)2001.2.19 撮影



(6)2001.9.23 撮影

図-5.3 B地区における時系列なカラー航空オルソ画像

搭載型レーザスキャナの観測をした 2001 年 2 月 12 日から 1 週間を経た 2 月 19 日撮影の画像であり、より一層落葉状況が明確となる。

以上の点から、2001 年 2 月 12 日観測のデータから作成した DSM を落葉後の A 地区および B 地区の状態を捉えたデータとして用いることは妥当と考えた。

5.5.3 落葉中の樹冠高を示す DSM として用いるための検討

ここでは、1 シーズン異なる 2001 年 12 月 3 日取得の DSM を落葉前の DSM (2000 年 10 月 11 日) と落葉後の DSM (2001 年 2 月 12 日) の中間 (落葉中) を示すデータとして用いることの妥当性を検討した。撮影年は異なるが、カラー航空写真撮影をした 2000 年 12 月 5 日と 2001 年 12 月 3 日の気温を比較すると (多摩森林科学園での気象観測による)、最低気温で 2°C 程度 2000 年 12 月 5 日の方が低く、同日に撮影されたカラー航空オルソ画像上では、A 地区・B 地区とも落葉が進行している様子が分かる (図-5.2(3)および図-5.3(3), 前掲)。

このような気温の傾向とカラー航空オルソ画像上の色調変化を勘案すれば、2001 年 12 月 3 日取得の DSM は、落葉期間中に相当するものと考えることができる。

5.6 落葉前の樹冠高を示す DSM の再現性と実測樹頂高との関連性

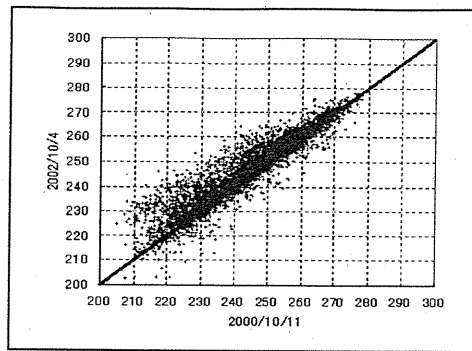
5.6.1 落葉前の樹冠高を示す DSM の再現性

ここでは、落葉前の DSM として用いる 2000 年 10 月 11 日と、この取得月日に近いが取得年の異なる 2002 年 10 月 4 日の DSM とを比較することによって、落葉前の DSM による樹冠部の高さの再現性について検討した。

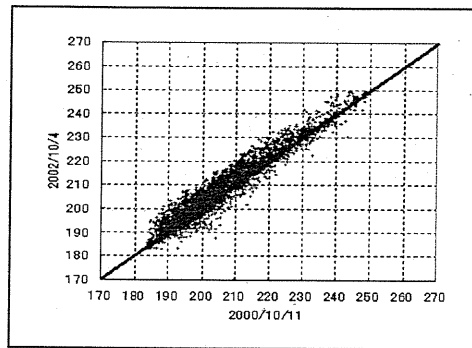
図-5.4 には、A 地区および B 地区における落葉前の DSM (2000 年 10 月 11 日と 2002 年 10 月 4 日) 間の相関を示す。

A 地区では 11,010 点を用いた両 DSM 間の相関係数が 0.959、B 地区では 4,025 点を用いた両 DSM 間の相関係数が 0.970 であり、観測時期に 2 年間の隔たりがあり、加えて今回使用したすべての航空機搭載型レーザスキャナの器械仕様では、高さ方向の測定誤差が $\pm 15\text{cm}$ であり (水平方向は $\pm 30\text{cm}$)、この誤差が加わっていても、両 DSM 間の相関は A 地区、B 地区とも高い。したがって、両 DSM の再現性は高く、ともにほぼ同一の高さ (樹冠高) を捉えていると考えられる。

また、A 地区に分布するケヤキ林は 1913 年に植林されたもので、すでに 90 年以上経過した老齢林であり、B 地区のサクラ保存林も種の保全を目的にして、1968 年に移植され約 40 年近くを経過した老齢林である。藤原ら (2002) の研究によれば、幼齢の落葉広葉樹において年間あたりの梢端部の成長速度は $0.38\sim 0.60\text{m}/\text{年}$ と報告されている。したがって、A 地区および B 地区の老齢林では成長速度は幼齢林に比較して相当遅いため、上記の 2 年間の樹冠高の変化は無視できる程度と考えられる。



A地区(ケヤキ林)における両 DSM の相関



B地区(サクラ保存林)における両 DSM の相関

図-5.4 落葉前(2000.10.11 と 2002.10.4)の DSM の相関

5.6.2 落葉前の樹冠高と実測樹頂高の比較

5.6.1 から 2000 年 10 月 11 日の DSM と 2002 年 10 月 4 日の DSM との相関が高いことが認められ、両 DSM とともに落葉前のほぼ同一の樹冠高を捉えていると考えられる。次に、落葉前の DSM (樹冠高) と実測樹頂高 (樹頂高) とを比較し、その相違を検討した。B 地区では、これまでに現地計測による成果 (第 4 章の研究による実測 DEM や実測樹頂高 (4.5.4 および 4.6.2 を参照)) があり、この地区で比較検討をした。図-5.5 は、図-5.10(3) に示した A-B 断面での落葉前の DSM と実測樹頂高を比較した結果である。なお、図-5.10(3) は A-B 断面を中心に左右 5m、計 10m の幅を対象として図示した。

B 地区のサクラ林で 2001 年 2 月 8~9 日に実測をした 20 本のうち、同図の地形断面には 16 本の実測樹頂高を示している。20 本の実測本数について、実測時期に近い 2000 年 10 月 11 日の DSM との RMS 誤差を見ると、1.5m であった。同図において、地形断面上で両者を比較すると、一部を除いてよく一致していることが分かる。一致している箇所は樹木がほぼ垂直に生育しているのに対し、差異の見られる箇所では樹木が倒伏している場合であった。

以上から、落葉前の DSM による樹冠高と実測による樹頂高では、1.5m 前後の差異を考慮する必要がある。

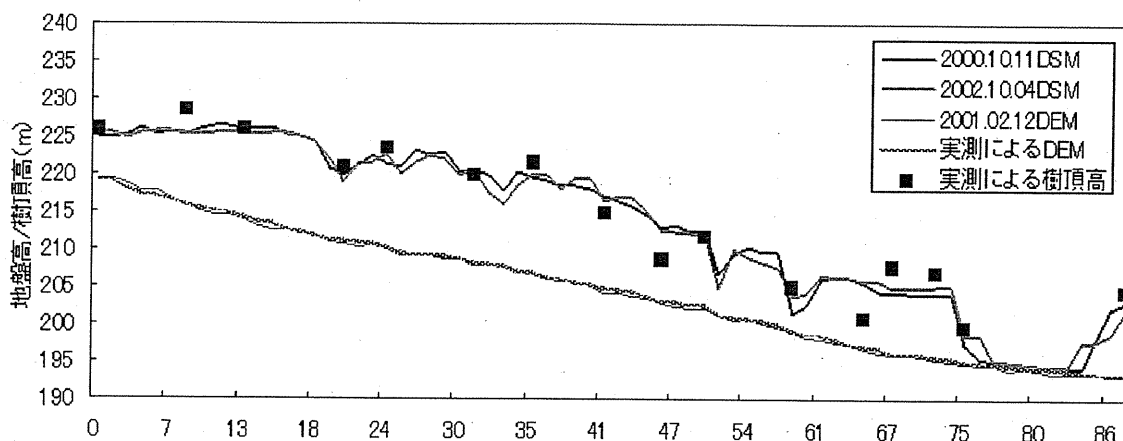


図-5.5 B地区（サクラ保存林）での落葉前 DSM と実測樹頂高の対応
(第4章図-4.14のST-2における地形断面上に、落葉前の両 DSM
と実測樹頂高を表示)

5.7 落葉広葉樹林の階層構造と樹林タイプの把握

落葉前の DSM は実測樹頂高と 1.5m 前後の差を生じているが、落葉前の樹冠高を面的に忠実に表現している。したがって、落葉前の DSM を基準にして、落葉中、落葉後の DSM の変化（すなわち樹冠高の変化）を求めることにより、相対的な落葉広葉樹林内の垂直的な構造（階層構造）を把握することができる。そこで、ここでは A 地区、B 地区について、落葉前から落葉後までの 3 時期の DSM の各差分量を求め、現地調査による検証を加えて、階層構造を把握した。

5.7.1 ケヤキ優占の高木林における階層構造と樹林タイプの把握

(1) 面的な樹冠高(DSM)の変化からみた階層構造の把握

図-5.6(1)~(3)は落葉の進行時期別に DSM の差分量を求めたものである。また、当該地区の面的な DSM の差分量の分布を詳述するため、図-5.7 のように地区全体を①~⑤に区分した。概ね尾根部と谷底部の地形に従って区分した。図-5.6(1)の期間（10月中旬~12月初旬）では、④の箇所（図-5.7に表示）以外で差分量が大きく、図-5.6(2)の期間（12月~2月）では地区の半分で差分量の変化が表れている（図-5.7中の②、③、⑤の箇所）。

図-5.6(3)は落葉前後の DSM の差分総量を示したもので、差分量 21m 以上からなる箇所が地区全体（1.94ha）の 25.5%（0.50ha）を占め、それに次いで差分量 16~20m の箇所が 24.1%（0.47ha）、差分量 11~15m の箇所が 16.4%（0.32ha）であった。

①の箇所は 2~5m、6~10m、11~15m の各差分量が混在し、一部に差分量が 16m 以上の箇所もある。これらの差分量からみて、大半の箇所ではケヤキ高木林下が常緑広葉樹の亜高木や低木で被われる階層構造であると推定された。現地検証により、ケヤキ高木林と

常緑広葉樹等の亜高木・低木に被われる箇所であることが分かった(図-5.8(1))。この箇所の高木の樹高が16~27m(実測した12本の平均樹高21.4m)、亜高木・低木の樹高が3~11m(実測した8本の平均樹高7.5m)であった。したがって、高木と亜高木・低木の樹高差は5~25mの間で、平均でみれば15m内外となり、DSMの差分量とよく整合していた。このことから、差分量16m以上の箇所は亜高木・低木のあまり発達しないケヤキ高木林、それ以外は常緑広葉樹の亜高木・低木の発達する階層構造を持つケヤキ高木林に大別できた。

②の箇所の大部分はDSMの差分量が16m以上からなる。現地検証から、この箇所の高木の樹高は15~27mであり、5~6mの樹高をもつ亜高木が急斜面上に疎らに分布していた。すなわち、急斜面上では、ケヤキ高木層下に低木・草本が広く被い、亜高木が疎らに分布する構造であり、尾根部や谷底付近では、ケヤキ高木層下に低木・草本が疎らに分布する構造であった(図-5.8(2))。

③の箇所は②の箇所と同様、ほとんどの箇所のDSM差分量が16m以上であり、亜高木・低木の発達していない高木林から形成される階層構造と推定された。現地検証により平均樹高23mからなるケヤキ高木林で被われ、亜高木・低木がほとんど発達していないことが確認された(図-5.8(3))。

④の箇所は、DSMの差分量0~1mを中心に、2~5m、6~10m、11~15mの各差分量をもつエリアがドーナツ状に分布する。この箇所は、常緑広葉樹高木林と落葉広葉樹高木林が分布する(図-5.8(4)、(5))。常緑広葉樹高木林はDSMの差分量0~1mを示す。この周縁には差分量2~5m、6~10mのエリアが広がり、落葉広葉樹高木林のすぐ直下に常緑広葉樹の亜高木が分布していると推定される。さらにその外縁には差分量11~15mのエリアがあり、その層下には常緑広葉樹の亜高木・低木が発達する階層構造であると推定された。現地検証から、この箇所の落葉広葉樹高木林の樹高は14~24m(実測した12本の平均樹高18m)に対して、亜高木・低木の平均樹高が11mに及び、常緑広葉樹の亜高木・低木の発達した林相であり、DSMの差分量からみた階層構造とよく整合していた(図-5.8(6))。

⑤の箇所は、DSMの差分量が16m以上の箇所が大半を占めている。この箇所は主としてケヤキ高木層から構成され、樹高差20m以上であった。

(2)地形断面上の階層構造からみた樹林タイプの把握

次に、A-B断面を図-5.9、図-5.10に示す(断面位置は図-5.6(c))。なお、図-5.10(図-5.9のDSMの垂直的变化と現地検証結果に基づく模式図表示である)での時系列なDSMの差分量をみると、谷地形を示す箇所に生育するケヤキ高木林では比較的早い時期から落葉し、その層下には亜高木・低木があまり発達しない階層構造を示す(②および⑤の谷地形部)。現地検証においても、アオキ(*Aucuba japonica*)などの低木とケヤキ高木林からなる階層構造を確認でき、アラカシなどの亜高木は見られなかった。④の箇所の尾根部にはアラカシなど常緑広葉樹の高木林が立地し、隣接する落葉広葉樹高木林は落葉の進行し

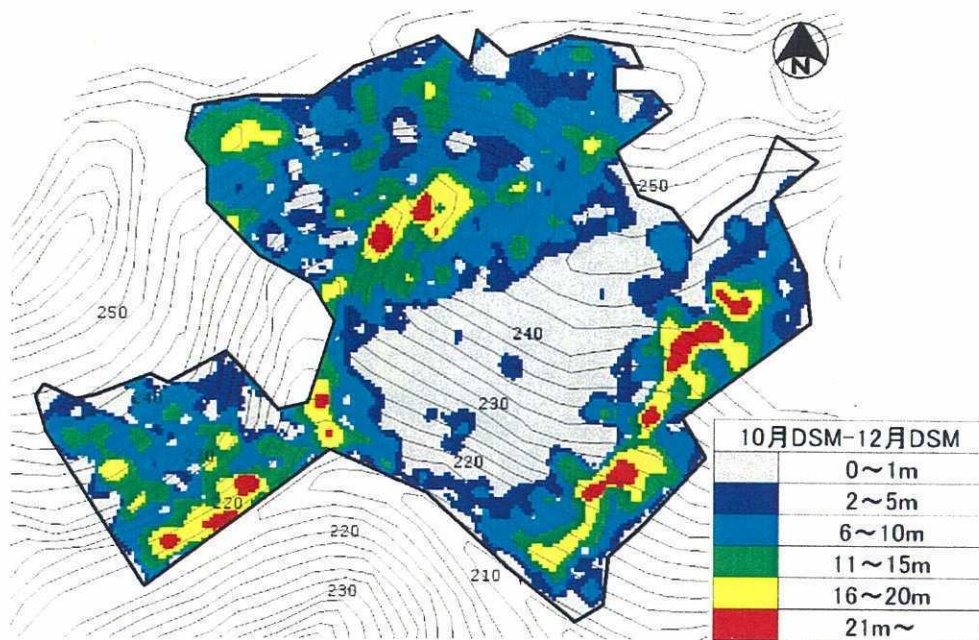


図-5.6(1) A地区の落葉前と落葉中のDSM差分量
(2000.10.11-2001.12.3)

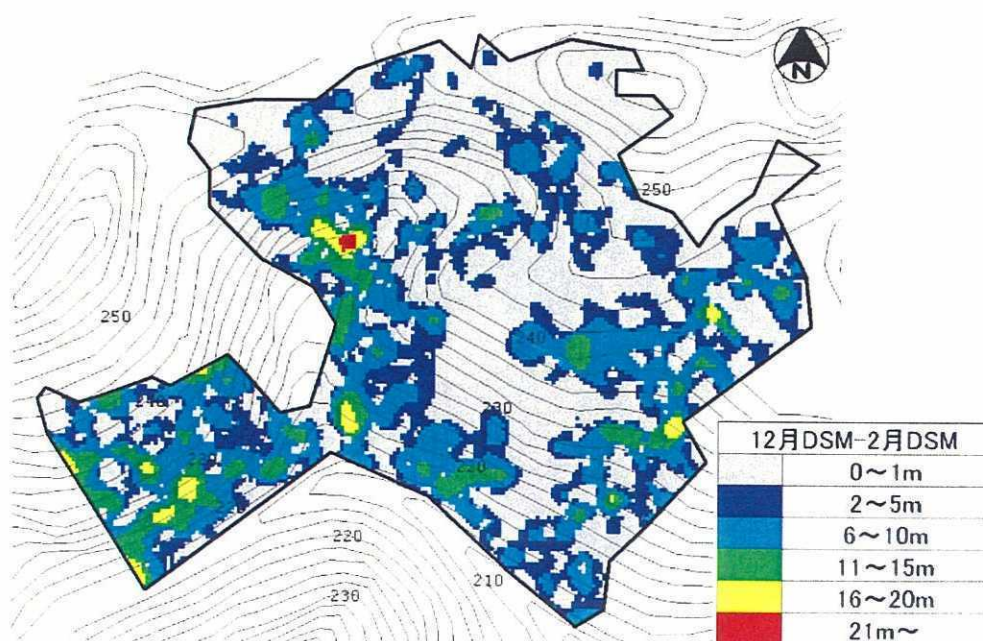


図-5.6(2) A地区の落葉中と落葉後のDSM差分量
(2001.12.3-2001.2.12)

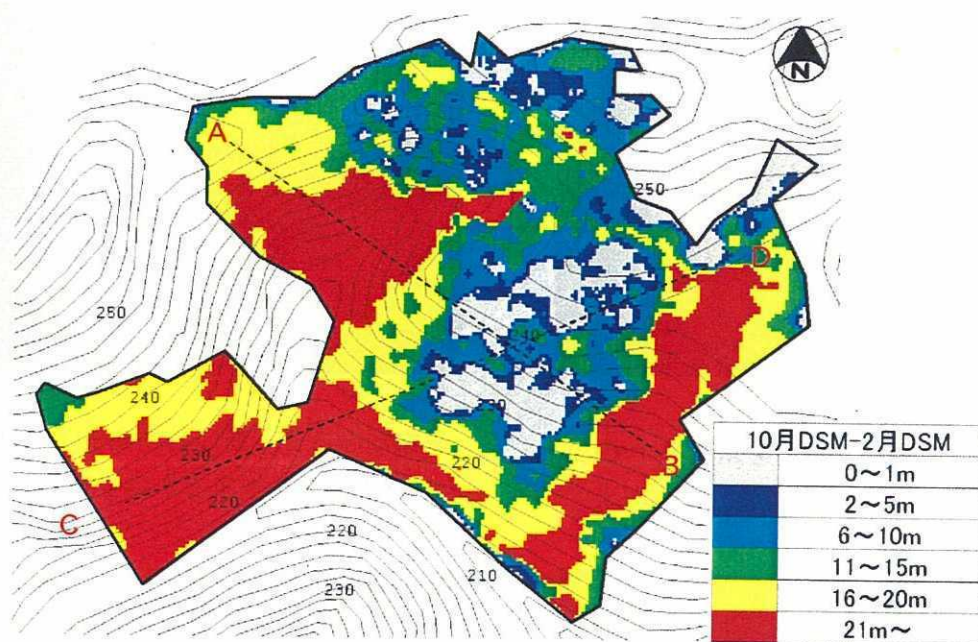


図-5.6(3) A地区の落葉前と落葉後のDSM差分量
(2000.10.11-2001.2.12)

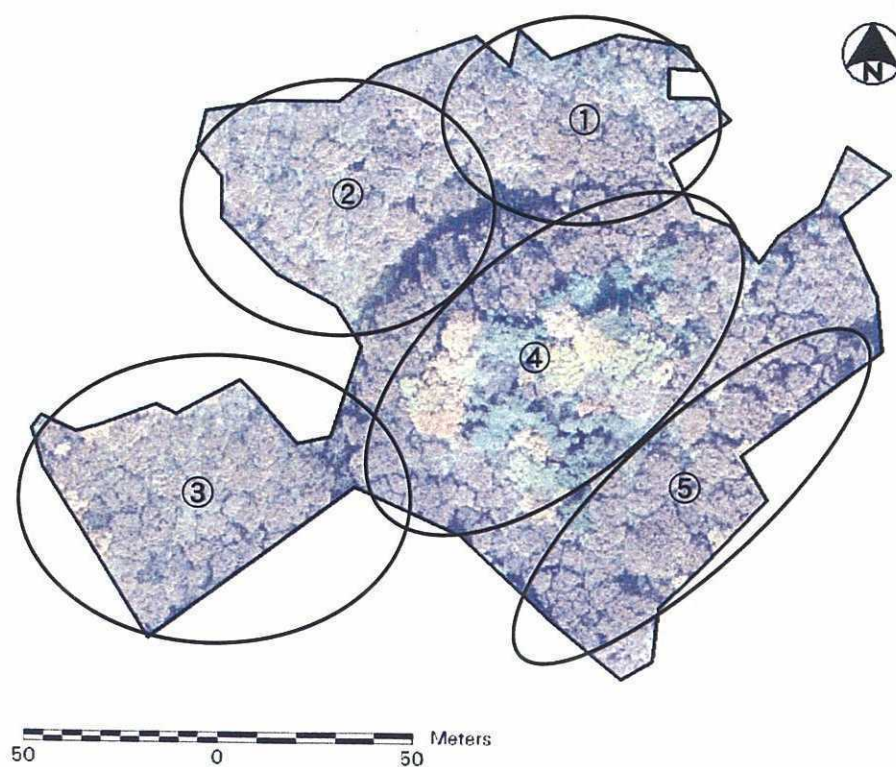


図-5.7 A地区のゾーニング



(1) ケヤキ高木林の直下を占める常緑広葉樹亜高木とアオキ等の低木



(2) ケヤキ高木を主体に、下層には低木が疎らに分布



(3) 斜面上に発達するケヤキ高木林



(4) ケヤキ優占の高木林にみられる常緑広葉樹の高木



(5) ケヤキ高木林内にみられる常緑広葉樹の高木



(6) ケヤキ優占の高木林にみられる常緑広葉樹亜高木

図-5.8 A地区における現地調査写真

た12月初旬以降に落葉している様子(図-5.6(b)参照)が認められ、ケヤキとは異なるコナラ (*Quercus serrata*) の高木林であることが現地検証で確認できた。その林内は、アラカシなどの常緑広葉樹の亜高木で被われていた。同様に②の箇所の急斜面上にも12月初旬以降に落葉が進行している高木林が認められ、その林内は常緑広葉樹の低木や草本類で被われていた。

以上から、A-B断面上の階層構造は、①亜高木・低木の発達が進んでいない落葉広葉樹高木林(主としてケヤキ高木林)、②低木・草本が下層に発達する落葉広葉樹高木林(主としてケヤキ高木林)、③常緑広葉樹の亜高木・低木が下層に発達する落葉広葉樹高木林(コナラ高木林・ケヤキ高木林)、④常緑広葉樹高木林(主としてアラカシ高木林)の4パターンに区分できた(図-5.10)。

同様に、C-D断面を図-5.11、図-5.12に示す(断面位置は図-5.6(3))。

なお、図-5.12(図-5.11のDSMの垂直的变化と現地検証結果に基づく模式図表示である)の時系列なDSMの差分量をみると、③の箇所と④の箇所の境をなす谷地形部では比較的早い時期に落葉し、その差分量も大きい。現地検証により、ケヤキ高木林とアオキの低木からなる階層構造であることが確認できた。③の箇所では、比較的早い時期に落葉する高木林と12月初旬以降に落葉するコナラの高木林があることが分かった。どちらもその下層に亜高木・低木はあまり発達していない。④の箇所の尾根部や斜面部は、アラカシなど常緑広葉樹林の高木林や亜高木に被われる階層構造であることを現地検証で確認した。

以上から、C-D断面上の階層構造は、①亜高木・低木があまり発達しない落葉広葉樹高木林(比較的落葉時期が早い林相とそれよりも落葉の遅い林相がある)、②常緑広葉樹の亜高木が下層を被う落葉広葉樹高木林(コナラ高木林・ケヤキ高木林)、③常緑広葉樹高木林(主としてアラカシ高木林)の3パターンに区分できた(図-5.12)。

5.7.2 サクラ高木林における階層構造と樹林タイプの把握

この地区はサクラ保存林であり、各地の多様なサクラの遺伝子を保存するために植栽されたものであり、開花時期は2月下旬から5月上旬まで及ぶ。

(1) 面的な樹冠高の変化からみた階層構造の把握

図-5.13(1)~(3)は、落葉の進行時期別にDSMの差分量を求めたものである。また、当該地区の面的なDSMの差分量の分布を詳述するために、図-5.14に示す地区全体を①~⑥に区分した。当該地区は東ないし南東向き斜面であり、傾斜の緩急に従って6箇所に区分した。図-5.13(1)の時期(10月中旬~12月初旬)では、地区全体(0.72ha)に対して差分量2~5mの箇所が60.4%(0.43ha)、また差分量6~10mの箇所が17.1%(0.12ha)認められる。したがって、地区全体の77.5%(0.57ha)で落葉していたものと考えられる。また、B地区での実測樹頂標高本数20本の平均樹高10.7mであることを勘案しても、落葉の進行途中と推定される。

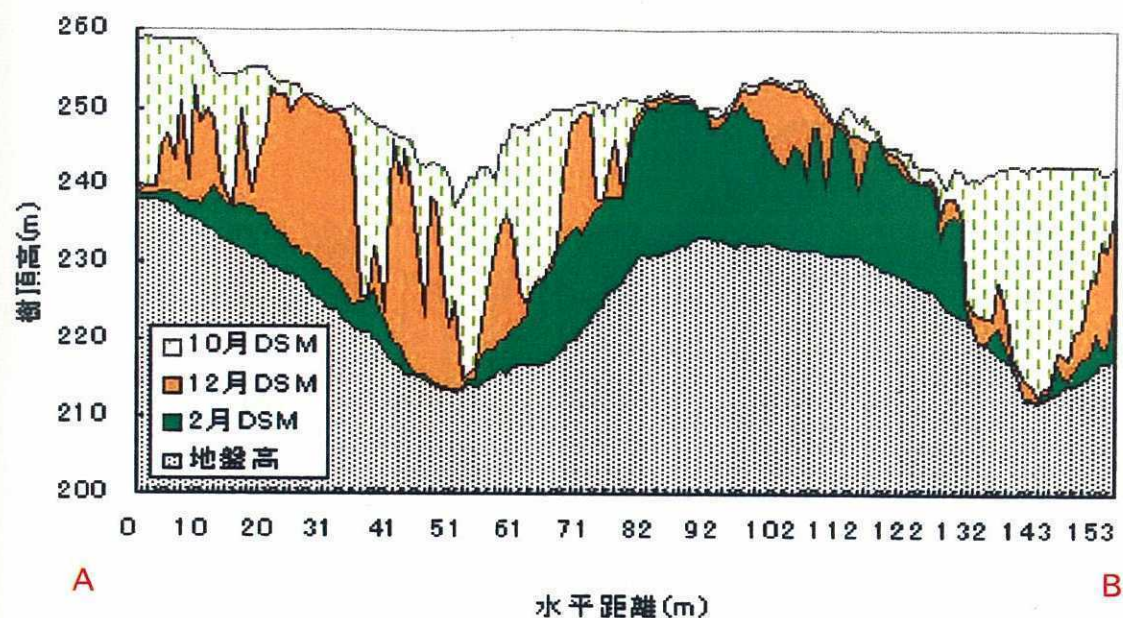


図-5.9 落葉前後の DSM の垂直的变化 (A-B断面の場合)

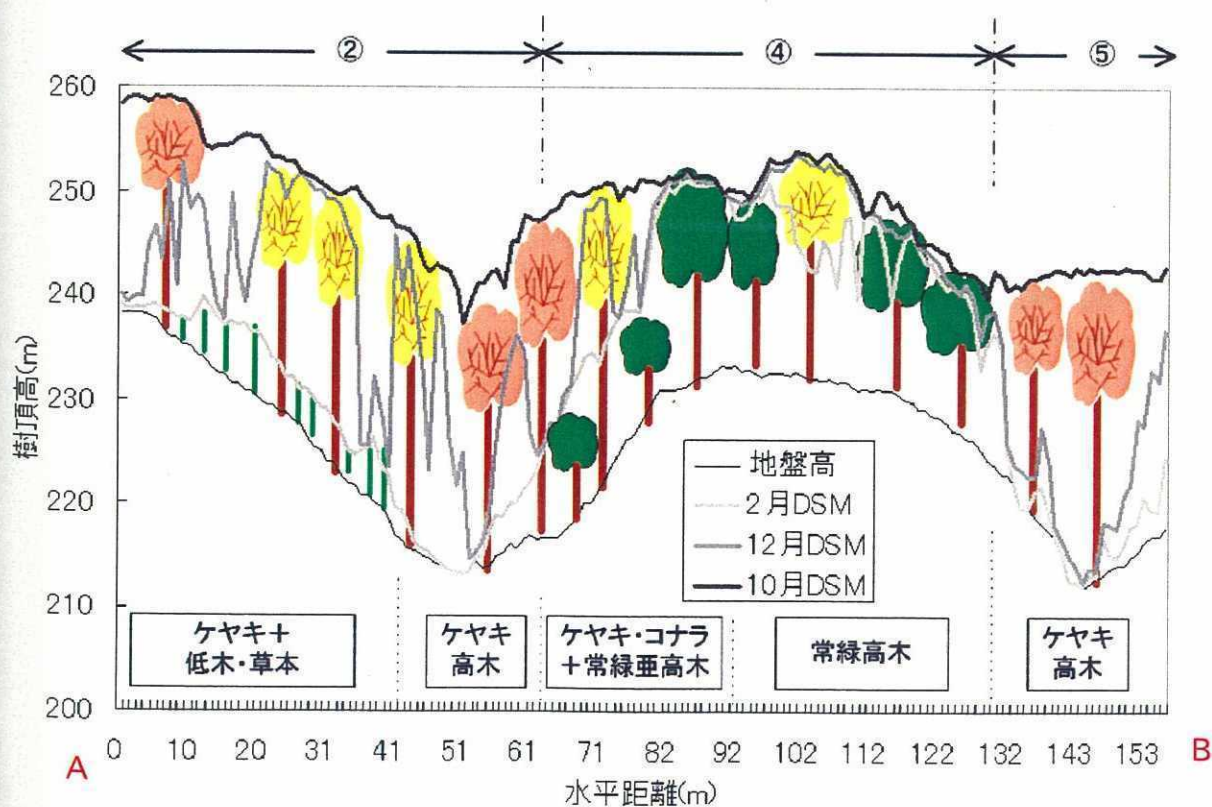


図-5.10 落葉前後の DSM による樹林内の階層構造 (A-B断面の場合)

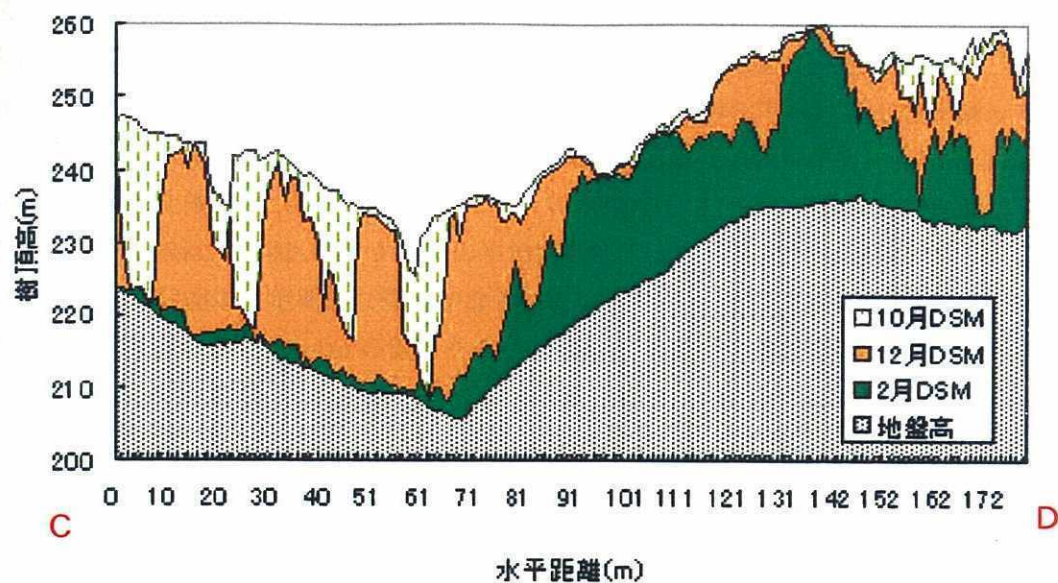


図-5.11 落葉前後の DSM の垂直的变化 (C-D断面の場合)

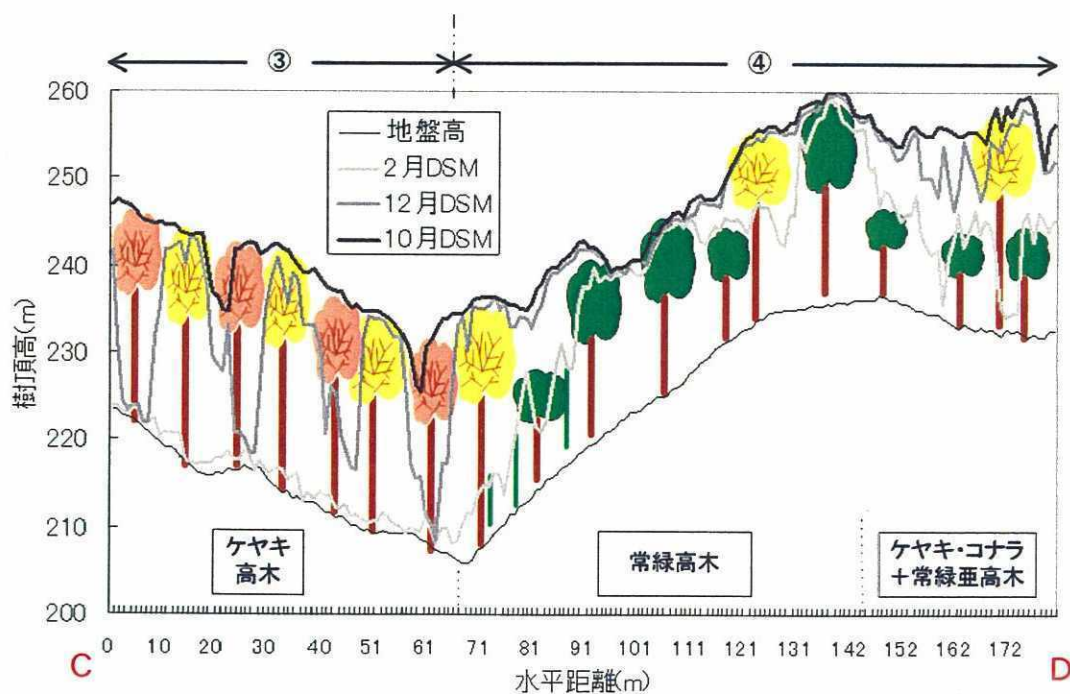


図-5.12 落葉前後の DSM による樹林内の階層構造 (C-D断面の場合)

図-5.13(2)の期間(12月初旬~2月中旬)では、差分量0~1mを示す落葉を終えた箇所(ただし、一部には常緑広葉樹が存在するため差分量0~1mを示す箇所も含まれる)が地区全体の45.3%(0.33ha)に相当し、この期間は落葉して差分量2~5mを示す箇所が地区全体の42.7%(0.31ha)を占めている。一部の箇所(図-5.14で⑥と示す箇所)では、差分量11~15mを示すところもあり、落葉がこの時期に集中していたことを物語っている。

図-5.13(3)に示すように、落葉前(10月中旬)と落葉後(2月中旬)の間での差分量でみると、地区全体の75.6%(0.54ha)で6~10mないし11~15mの差分量が認められた。これらの差分量は、B地区のサクラ林の平均樹高にほぼ相当し、サクラ林内の下層の草本類がほとんど未発達な(定期的な管理がなされているため)状態であることが分かる。ただし、一部では差分量が0~1mの箇所もあり、常緑広葉樹が生育している箇所もあった。

次に、図-5.13に示す①~⑥のゾーニング別に傾向をみる。

①の箇所(図-5.14に表示)では、大半が差分量6~10m、11~15mのエリアで占められている。前記の実測樹高(20本の平均樹高が10.7m)と比較してもサクラ林の下層に他の植生(例えば亜高木など)が発達していないことが分かる。現地検証でもススキ(*Miscanthus sinensis* Anderss)などが点在する以外は草丈の高い草本はみられなかった(図-5.15(1))。また、この箇所の西側に差分量16~20mのエリアがあるのは、カエデ類(*Acer mono* var. *marmoratum*, *Acer palmatum* var. *amoenum*)などの他の落葉広葉樹高木である(図-5.15(2))。

②の箇所も①とほぼ同様の傾向にあり、差分量11~15mのエリアが大半を占め、サクラ林の下層には草丈の高い草本類はほとんど発達していないことが分かる。ただし、図-5.12(c)中でC付近にはアラカシなどの常緑広葉樹高木やススキなどが分布していることを現地検証で確認した(図-5.15(3))。

③の箇所では、西側に差分量0~1mのエリアと中央部に差分量2~5mのエリアがみられる。差分量0~1mのエリアは林道に伴うオープンスペースと樹高約1mの常緑広葉樹低木(主としてヒサカキ(*Eurya japonica*))が分布していた。これ以外は差分量6~10m、11~15mのエリアであり、現地計測した平均樹高(10.7m)とほぼ同じ値を示し、現地でも草本類は認められるものの草丈の高いものはみられなかった(図-5.15(4))。

④の箇所では、中央に差分量0~1mのエリアが認められる以外は、差分量6~10mと11~15mのエリアからなる。差分量0~1mのエリアはサクラを鑑賞するための休息場であり、差分量6~10mおよび11~15mのエリアは現地計測した平均樹高(10.7m)とほぼ同じ値を示し、現地でもサクラ林下には草丈の低い草本類が分布していた。

⑤の箇所では、差分量0~1mと6~10mのエリアからなる。差分量0~1mのエリアでは、樹高1m前後の常緑広葉樹低木(主としてツバキ(*Camellia japonica*))が分布していた(図-5.15(5))。また、差分量6~10mのエリアでは、サクラ林下に草丈の低い草本類が疎らに分布していた。

⑥の箇所では、差分量0~1mと6~10mおよび11~15mのエリアからなる。差分量0

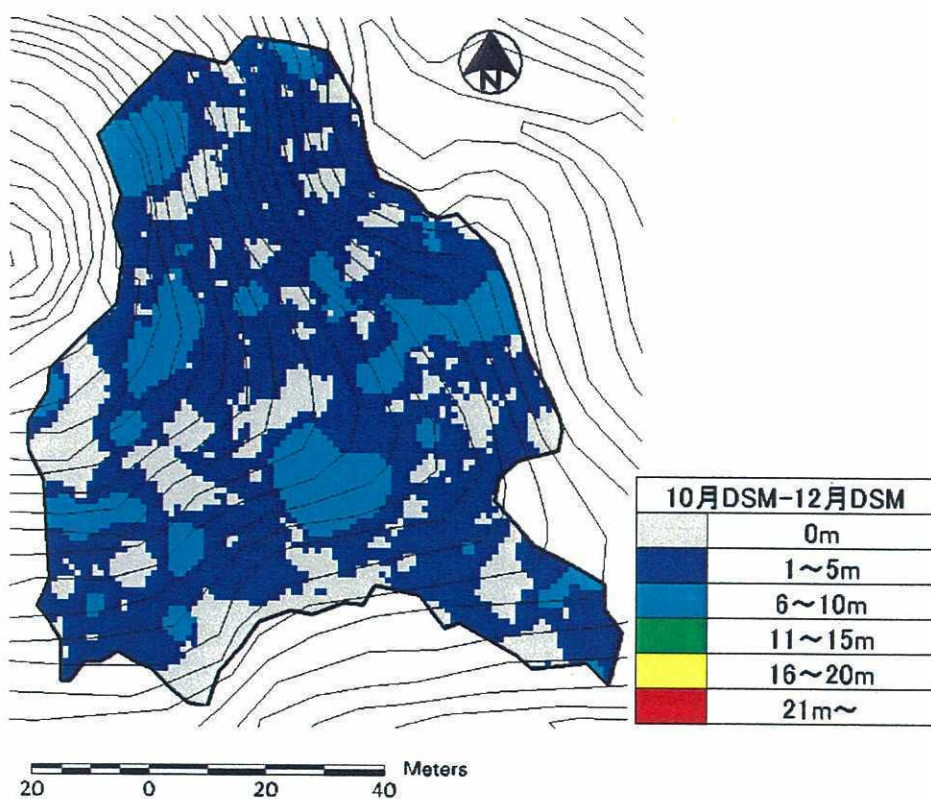


図-5.13(1) B地区の落葉前と落葉中の DSM 差分量(2000.10.11-2001.12.3)

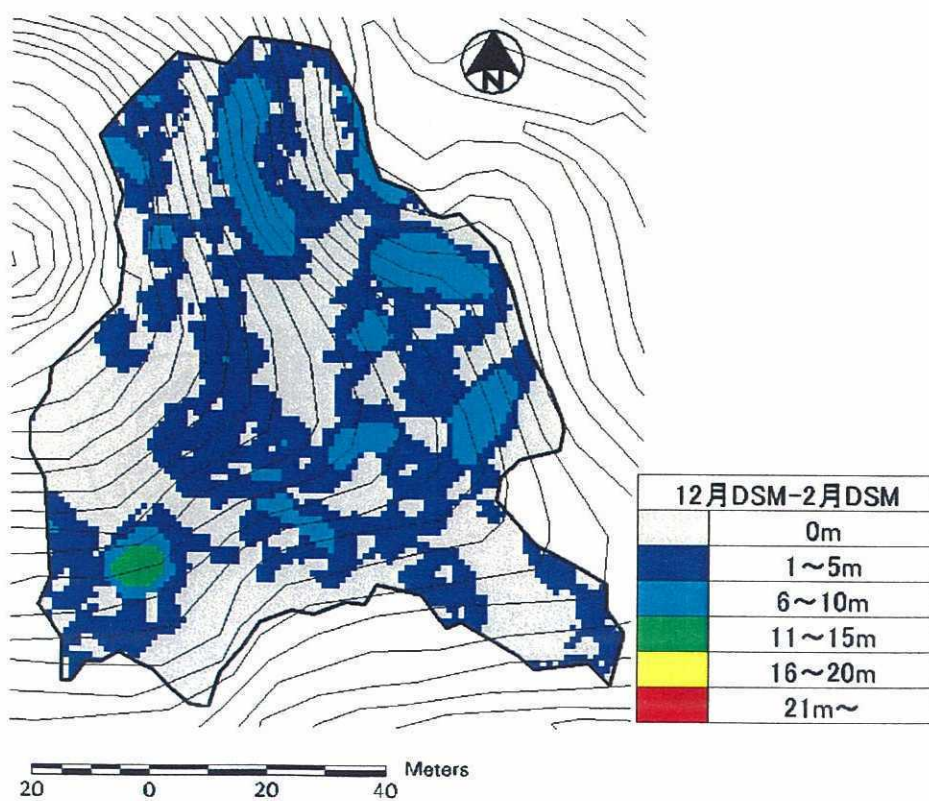


図-5.13(2) B地区の落葉中と落葉後の DSM 差分量(2001.12.3-2001.2.12)

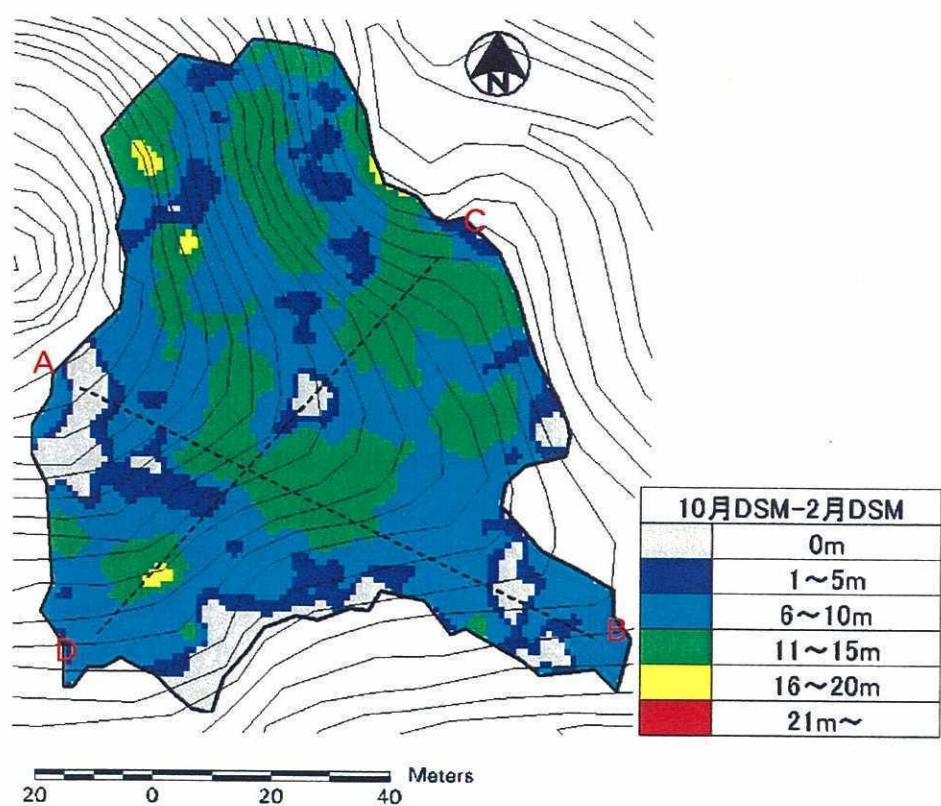


図-5.13(3) B地区の落葉前と落葉後のDSM差分量(2000.10.11-2001.2.12)

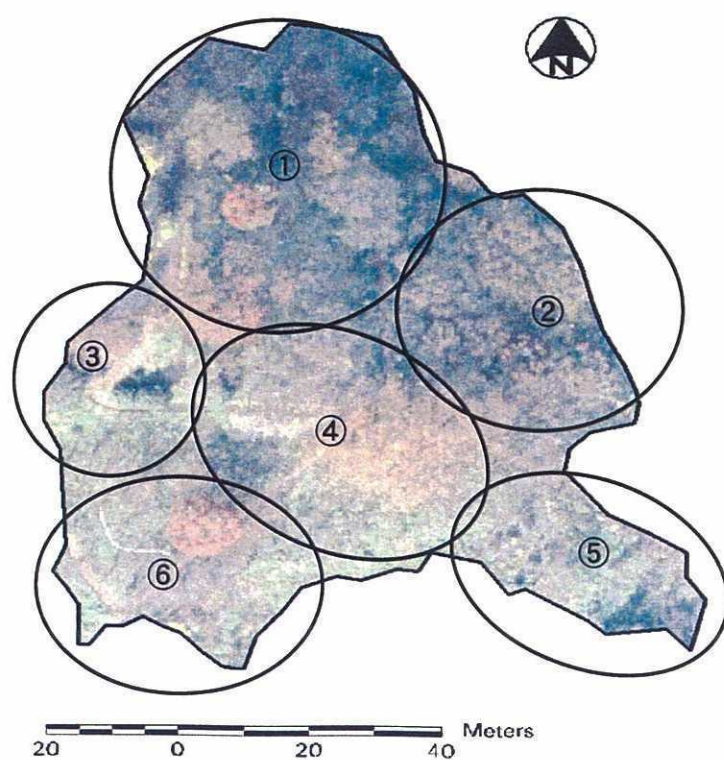


図-5.14 B地区のゾーニング

～1m のエリアには、樹高約 1m 以下の常緑広葉樹低木が疎らに分布し、それ以外は草丈の低い草本類が広く分布していた。差分量 6～10m および 11～15m のエリアでは、サクラ林下に一部ススキなどの分布がみられる以外は、草丈の低い草本類が疎らに分布していた(図-5.15(6))。また、差分量 16～20m の小エリアがあるが、これはカエデ類などの落葉広葉樹であった。

(2) 地形断面でみた階層構造の把握

A-B 断面を図-5.16, 図-5.17 に示す(断面位置は図-5.13(3))。なお、図-5.17 は図-5.16 の DSM の垂直的变化と現地検証結果に基づく模式図表示である)の時系列な DSM の差分量をみると、A 付近では、林道のオープンスペースが捉えられ、差分量 0～1m を示す。これに隣接して 8m 前後の樹高をもつアラカシ(常緑広葉樹)の高木が生育する。さらに、斜面中央部から斜面下部にかけては、サクラ高木林(10～15m)が厚く被い、その下層には常緑広葉樹の低木や草本類などが分布している状況が分かる(図-5.14, ⑤の範囲)。現地検証において、A から水平距離で 50～80m の間(図-5.14⑤の範囲)で樹高 10m 前後のサクラ高木林の下にツバキ(*Camellia japonica*)の低木が確認できた。B 付近は低木ないし亜高木のサクラ林からなり、下層の草本類の分布は少なかった。

C-D 断面を図-5.18, 図-5.19 に示す(断面位置は図-5.13(3))。なお、図-5.19 は図-5.18 の DSM の垂直的变化と現地検証結果に基づく模式図表示である)の時系列な DSM の差分量をみると、C 付近では常緑広葉樹の高木が分布している。急斜面上は 10m 前後の樹高を持つサクラ林で被われ、わずかにカラムシ(*Boehmeria nivea gaud*)、クサギ(*Cleradendron trichotomum thunb*)、ニワトコ(*Sambucus sieboldiana blume*)、ナキリスゲ(*Carex sendaica fanchet var. nakiri*)、ヒメカンスゲ(*Carex conica boott*)などが下層に見られた。断面のほぼ中央の尾根部には 10m 前後の樹高からなるサクラ林が分布し、その下層には草本類がわずかにみられる程度であった。D に近い箇所では 15m 前後の樹高を持つサクラの高木林(カエデ類の単木を含む)が分布し、その林内には、ススキ、アブラススキ(*Eccoilopus cotulifer A.cams*)、ニワトコ、クサギ、イヌワラビ(*Athyrium niponicum hance*)などがみられた。

以上のことから、B 地区ではサクラ保存林として定期的な管理(枝打ち、下刈りなど)が施され、ほとんどの箇所ではサクラ林のみの単層な階層構造を示しているが、一部では下層に常緑広葉樹の低木(ツバキ)などを交えるやや複層の階層構造を示す箇所や、常緑広葉樹の高木(アラカシ)が生育する箇所が存在することが時系列な DSM の差分量と現地検証で把握できた。

5.8 まとめ

(1) 航空機搭載型レーザスキャナによる DSM と実測樹頂標高との関係を B 地区(サクラ保



(1)サクラ林内にみられるススキ群落
などの草本類



(2)サクラ高木林にみられるカエデ高
木・ツバキ低木



(3)サクラ林内のアラカシ亜高木



(4)サクラ林内にみられる草本類



(5)サクラ林内にみられるツバキ低木



(6)サクラ林とカエデ高木・草本類

図-5.15 B地区における現地調査写真

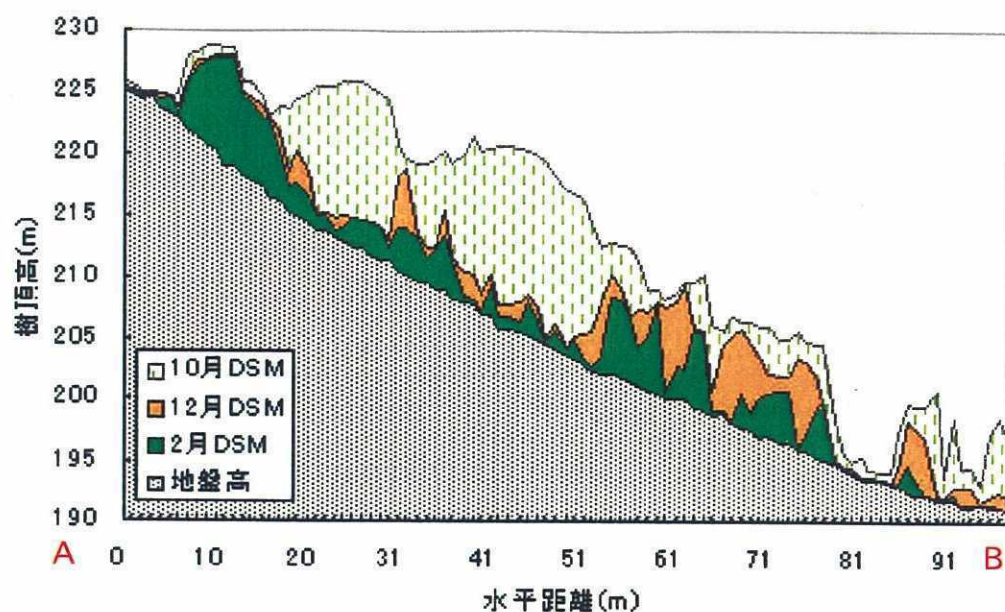


図-5.16 落葉前後の DSM の垂直的变化 (A - B 断面の場合)

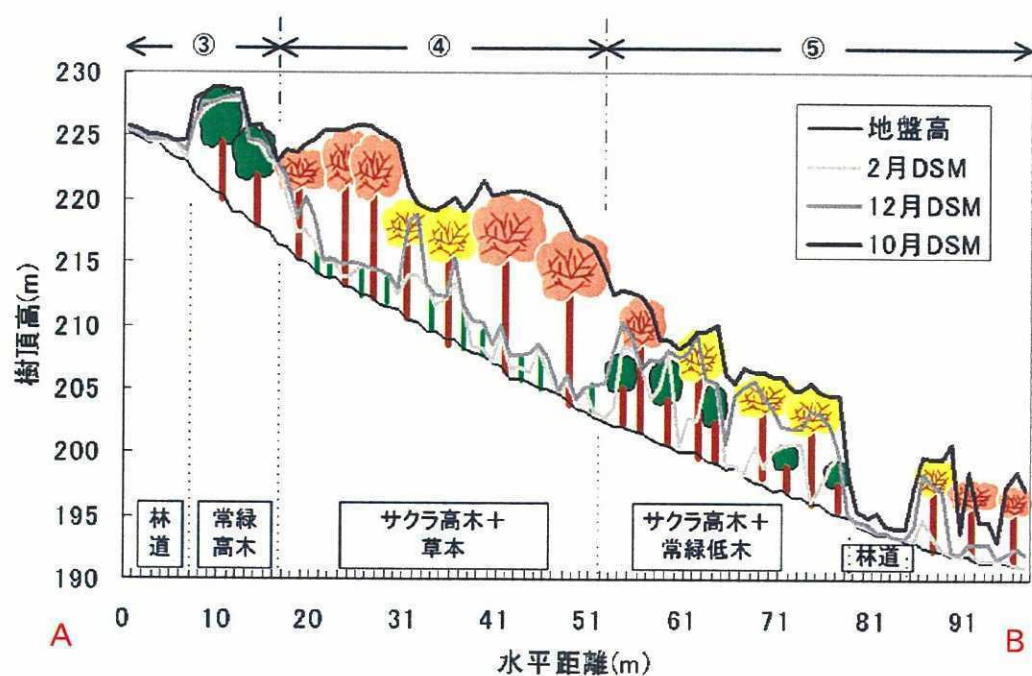


図-5.17 落葉前後の DSM による樹林内の階層構造 (A - B 断面の場合)

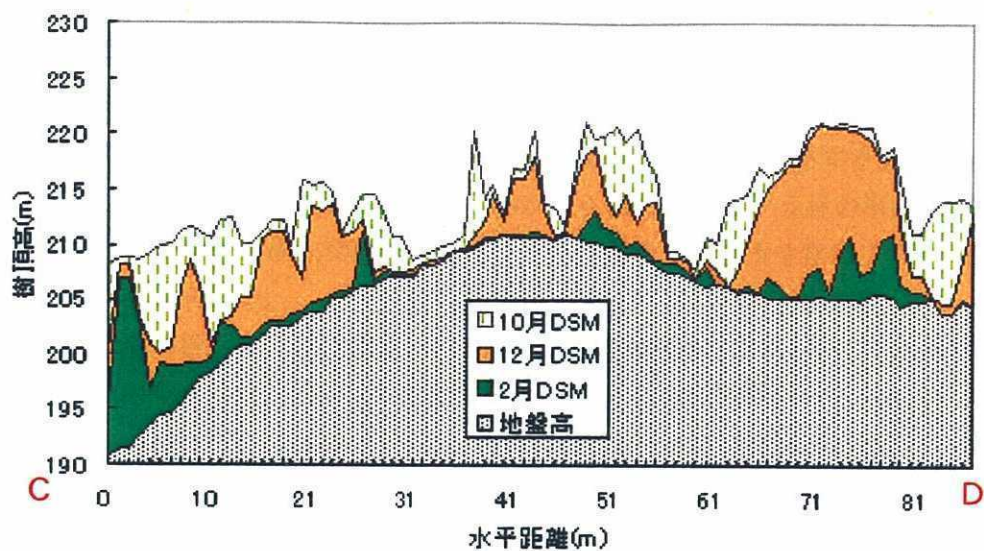


図-5.18 落葉前後の DSM の垂直的变化 (C-D断面の場合)

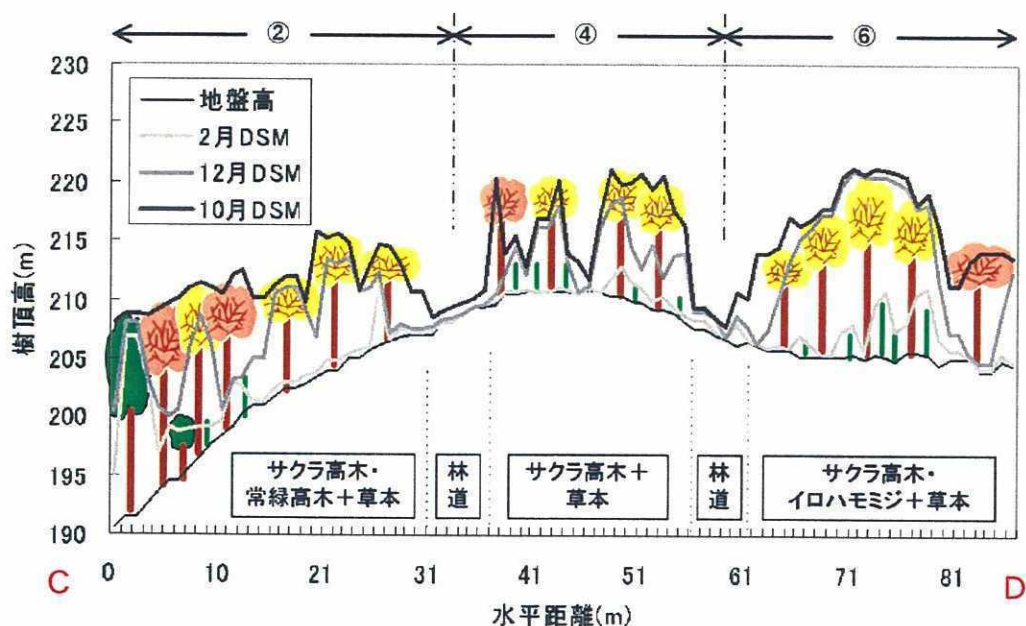


図-5.19 落葉前後の DSM による樹林内の階層構造 (C-D断面の場合)

- 存林)で検証した結果、実測値との誤差は RMSE で 1.5mであった。したがって、両者の差が 2m 以下であれば、落葉前の DSM を基準に、落葉中・落葉後の DSM との差分量から落葉広葉樹高木層の垂直的な階層構造を把握することが可能となった。
- (2) 落葉前後の DSM の差分量から、A 地区では、地区全体 (1.94ha) の 91.2% (1.76ha) が落葉広葉樹の高木林で占められ、一部常緑広葉樹高木林が分布する箇所が抽出できた。B 地区では、地区全体 (0.72ha) の 75.6% (0.54ha) がサクラ林の単層をなす階層構造を示すが、一部で常緑広葉樹の低木を交えた複層を示す箇所や常緑広葉樹高木が生育する箇所も認められた。
- (3) (2)による解析結果と現地調査から当該地区の階層構造を分析した。その結果、下層に低木・草本の発達が進んでいない落葉広葉樹高木林 (A 地区ではケヤキ高木林, B 地区ではサクラ高木林), 低木・草本が下層に発達する落葉広葉樹高木林 (A 地区ではケヤキ高木林, B 地区ではサクラ高木林), 常緑広葉樹の高木・低木が下層に発達する落葉広葉樹高木林 (A 地区ではコナラ高木林・ケヤキ高木林, B 地区ではサクラ高木林), 常緑広葉樹高木林 (主としてアラカシ高木林) の 4 パターンの階層構造に区分できた。

参考文献 (第 5 章) アルファベット順に表記

- 藤原宣夫, 山岸裕, 村中重仁(2002): 都市緑化樹木による CO₂ 固定量の算定方法に関する研究, 日本緑化工学会誌, 28(1), pp.26-31.
- 平田泰雅, 柴田銃江, 佐藤香織, 酒井敦, 倉本恵生, 古家直行(2004): 航空機レーザスキャナによる下層植生の把握, 第 115 回日本林学会大会学術講演集, pp.477.
- 小村良太郎, 久保守, 鎌田直人, 村本健一郎(2003): ヘリコプタ空撮画像による森林の樹冠解析, 第 114 回日本林学会学術講演集, pp.310.
- 大政謙次, 秋山幸秀, 石神靖弘, 吉見健司(2000): ヘリコプタ搭載の高空間分解能 Scanning Lidar システムによる樹冠高の 3 次元リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, 20(4), pp.34-46.
- 武田知己, 小熊宏之, 藤沼康実, 米康充(2003): サイドルッキングライダによる森林の LAD 計測技術の開発, 日本リモートセンシング学会第 35 回学術講演会論文集, pp.53-54.
- 山形与志樹, 安岡善文, 岩熊敏夫(1996): casi 画像と微細標高データの重ね合わせ解析による湿原モニタリング, 日本リモートセンシング学会誌, 16(4), pp.33-40.