

# 高分解能衛星画像を用いたスギ人工林におけるテクスチャからの目視判読の可能性

青木孝宏<sup>1</sup>・阿部信行<sup>1\*</sup>

(平成17年7月4日受付)

## 要 約

高分解能衛星画像 (IKONOS 衛星の PAN 画像、分解能 1 m × 1 m) を利用して、スギ人工林における林分要素の目視判読を試みた。目視判読は、画像のテクスチャの違い - キメ細かく見えるか、粗く見えるか - に注目して行った。

始めに、目視によるテクスチャの違いと輝度値の変動係数を比較した。その結果、キメ細かく見えた画像ほど輝度値の変動係数は低く、粗く見えた画像ほど輝度値の変動係数は高い値をとっていた。

次に、現地調査を行ったプロットについて、衛星画像のテクスチャの違い及び輝度値の変動係数と、平均樹高及び平均胸高直径の関係を調べた。その結果、目視によってテクスチャがキメ細かいと判別したプロットほど平均樹高・平均胸高直径ともに低く、粗いと判別したプロットほど平均樹高・平均胸高直径ともに高くなっていった。また、輝度値の変動係数は、平均樹高・平均胸高直径のどちらの場合も高い相関を示した。

以上のことから、高分解能衛星画像を目視することで、テクスチャの違いから平均樹高・平均胸高直径を推定することが可能である。また、輝度値の変動係数を利用して判別指標となる凡例画像を作成すれば、目視判読の精度の向上が期待できる。これらのことは、林分が成長するに従って個体量の増加と個体差の拡大が進み、樹幹層表面の凹凸が激しくなることで、衛星画像のテクスチャがキメの粗いものになっていくからであると考えられる。

新大農研報, 58(1):71-78, 2005

キーワード：高分解能衛星画像、目視判読、テクスチャ、輝度値の変動係数

近年、リモートセンシングに用いられる人工衛星は 1 m × 1 m 以下の高い分解能を持つようになった。それ以前の人工衛星でよく知られている LANDSAT は 30 m × 30 m の分解能であったから、技術の進歩には改めて驚くところである。

高分解能衛星画像では、目視によって判読が可能なものが増えてきた。被写体の大きさや周囲の状況にもよるが、建物や車などは目視によってはっきりと確認することができる。樹木も数本程度で植えられているものならば、単木ごとの識別が可能なのである。

また、高分解能衛星画像の特徴として、一つの物体が複数のピクセルで表現されることから、輝度値を使うことでより詳しく性質を表現できる、ということが挙げられる。高分解能衛星画像ではピクセルサイズが小さいので、画像上で注目したい物体のところには複数のピクセルが存在する。低分解能衛星画像では逆に、物体と周囲も含めた一つのピクセルが代表値として存在するだけであったから、高分解能衛星画像の方がより正確に、詳しく被写体の性質を表現できているのである。

森林分野において、このような高分解能衛星画像を用いた様々な研究が行われている。高分解能衛星画像のための新たな解析方法も幾つか試みられている。しかし、その一方で高分解能衛星画像の解析に未だ平均輝度値が用いられているのが現状である。なぜなら、現在試みられている新しい解析手法も確かなものとはなっておらず、まだまだ検討が必要とされていることと、平均輝度値を利用することで、これまで利用されてきた低分解能衛星画像の解析と同様な手法が高分解能衛星画像でも利用できることが理由である。

平均輝度値を用いる解析手法では、せっかくの高分解能画像を低分解能画像として扱っているようなものである。これでは、高分解能になったことを十分に活かしているとは言えない。

そこで高分解能であることを活かした、平均輝度値を用いない解析法、利用法の検討が必要とされている。

本研究では、高分解能衛星画像を利用して、目視による林分因子の判読が可能であるか検討を行う。また、目視判読を行う上で、輝度値データの活用についても考察を行う。

## 使用データ及び解析方法

### 1. 使用データ

本研究の解析対象地は、新潟県東蒲原郡津川町・鹿瀬町のスギ人工林である。

使用する衛星画像は、2002年5月29日に撮影された UL-Latitude 37.712°・UL-Longitude 139.56° のデジタルジオ画像 (津川町・鹿瀬町) のパンクロマチック画像 (分解能 1 m × 1 m) である。画像の処理に当たっては、画像処理ソフト ERDAS IMAGINE 8.7 を使用した。

また、現地調査は、衛星画像に写っているスギ人工林の中から、20 m × 20 m のプロットを 8 プロット設定し、胸高直径、樹高、立木位置について毎木調査を行った。尚、プロットの設定にあたっては、プロット内にギャップや広葉樹の進入の見られないものを選んだ。毎木調査では、胸高直径は直径テープを用いて測定し、樹高はパーテックスを用いて測定した。さらに、画像上での立木位置を知るため、DGPS を用いてプロット内の基点位置を測定し、そこからレーザーエースを用いて樹木までの距離を測定して立木位置に座標を持たせた。

### 2. 解析方法

まず、はじめに、衛星画像の目視判読についての研究は前例がないため、航空写真の判読手法を参考にして、何が判読可能

<sup>1</sup>新潟大学農学部

\*代表著者：tomiko@agr.niigata-u.ac.jp

であるかの検討から始める。

航空写真による判読では、主に①樹高、②単木樹冠の大きさ・形状、③テクスチャ (=キメの細かさ・質感) の3つの要素を判読する (渡辺、1993)。そこで高分解能衛星画像においても、目視によってそれらの判別が可能かどうかを検討した。

画像処理ソフトを使い、衛星画像上に、任意で20m×20mの大きさの範囲を複数設定し、1つの範囲内で先の3つの要素が判別可能であるか、また、各範囲の間での違いが判別可能かを確かめた。

尚、目視を行うにあたって、画像を画像処理ソフトによってパソコンの画面に表示するのであるが、その際の画像の縮尺は、見やすいことと、周囲の状況と比較がしやすいことの2つの理由から、1:1500 (1500分の1) の表示倍率を利用することとした。また、必要に応じて大縮尺と小縮尺も使うこととした。尚、表示倍率は画像処理ソフトで自由に変えることができる。

次に、現地調査で得られた胸高直径、樹高については、プロット毎に一次統計量 (平均値、中央値、最頻値、標準偏差、分散、尖度、歪度、最大・最小値) を求め、同様に衛星画像の輝度値データも、プロット毎に一次統計量を求めた。さらに、平均値と標準偏差から変動係数を求めた。また、立木位置は画像処理ソフトを使って、衛星画像上に重ね合わせた。

次に、現地調査を行ったプロットにおいて、目視判別可能と思われる要素について衛星画像で目視判別し、現地調査のデータや衛星画像の輝度値の解析結果と比較して林分因子の推定が可能であるか検討を行った。また、必要に応じて衛星画像は現地調査を行っていない部分においても適宜参照した。

## 結 果

### 1. 目視による判別項目の検討

#### ①樹高の判読

衛星画像は、航空写真と違い立体視ができないため、樹高の推定を行うことができない。

また、高分解能衛星画像といっても現在の分解能では、林分内の樹冠粗密度がよほど低くない限り、単木の識別すらできない。よって、目視による樹高の判読は不可能である。

#### ②樹冠形状の判読

樹冠形状も、単木の識別ができないため目視による判読はできない。衛星画像上に立木位置をのせた。図中の点が立木位置を表しているが、点の周りを見ても樹冠の境界と思われるものを確認することはできない (図1)。

#### ③テクスチャの判別

テクスチャは、キメの細かさや質感のことを指す。キメの細かいものから粗いものまで、その違いが確認できた。

キメの細かいものは、表面の凹凸が少なく平らな質感をしている。キメの粗いものは、陰の部分が大きくはっきりとしていて、表面の凹凸が大きく感じられる。また、キメが粗いか、細かいかというだけでなく、粗さ・細かさの程度の違いも判別することができた (図2)。

#### ④その他、目視で確認できたもの

目視だけですぐに確認できるものもある。図3では、縦に縞模様が入っているのが確認できる。これは列状間伐の跡である。衛星画像から目視で列状間伐の跡が確認できることは、既に報告がなされている。また、図4では、黒い点が基盤の目のように並んでいるのが確認できる。これは、列状に植え付けした跡である。

これら2つは、特に森林の管理が行き届いていて、間伐や植林後、あまり年数が経過していない場合の特殊な状態であり、限られた場所では確認できなかった。そのため、今回の研究

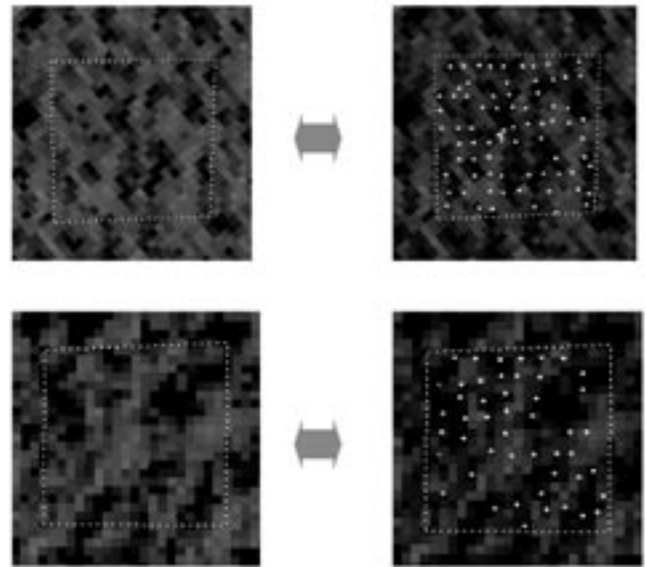


図1. プロットの画像(左)及び、立木位置の重ね合わせ画像(右)

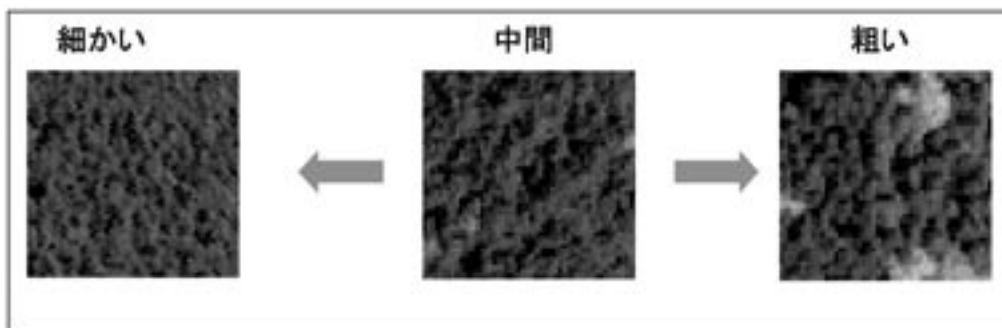


図2. テクスチャ (キメの細かさ) の比較

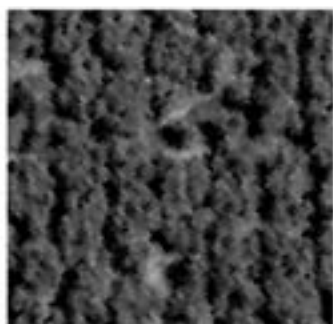


図3. 列状間伐の跡



図4. 列状に植え付けした跡

対象からは除くこととした。

## 2. 目視によるテクスチャの違いとデータの比較

### 【現地調査プロットについて】

現地調査を行った8プロットについて、衛星画像を目視し、テクスチャの判別を行った。そして、キメの細かいものから粗いものへと順に並べ替え、細かい方から順に、Plot A、Plot B、Plot C、・・・Plot H、とした(図5)。尚、図中の数値は、プロット内の輝度値の変動係数であるが、これについては後述する。

全体を大まかに区分すると、はじめの2つのPlot A、Plot Bはキメが細かく、後半4つのPlot E~Plot Hはキメが粗い。また、Plot C、Plot Dは中間のキメの細かさである。

以下では、このキメの細かさ順に並べたPlot A~Plot Hをもとに、現地調査データや各統計量との関係を検討していく。

### ①立木本数

ヘクタールあたりの立木本数を見ると、Plot A、Plot B、Plot Dで170本以上と多くなっている(表1)。

キメの細かさと比較すると、立木本数が多いものは、Plot A、Plot Bのキメが細かいプロットであり、キメの粗い、後半4つ

のPlot E~Plot Hには見られない。また、中間のキメの細かさのPlot C、Plot Dについては、Plot Cは立木本数が少なくPlot Dでは多いといった、全く別の結果を示した。Plot GではPlot C~Plot Fよりも立木本数が多いにもかかわらず、キメは粗くなっていた(図5)。

この結果から、キメの細かいものと粗いものとで大別して、ヘクタールあたりの立木本数を推定することは可能である。しかし、それ以上の詳細な本数推定や、キメが中間のものについては全く判読できない。

### ②輝度値の変動係数

衛星画像のテクスチャは、輝度値の一次統計量である、ヒストグラムや累積ヒストグラム、平均・分散、尖度・歪度などの値によって特徴づけられる。

そこで、本研究ではプロット内における輝度値の変動係数を比較した。変動係数は、標準偏差÷平均値のパーセンテージとして求められ、値のばらつきを示す。

求めた輝度値の変動係数をPlot A~Plot Hと比較した(図5)。キメの細かいものほど変動係数の値も低く、キメが粗くなるのに従って、変動係数の値も増加していることが分かる。

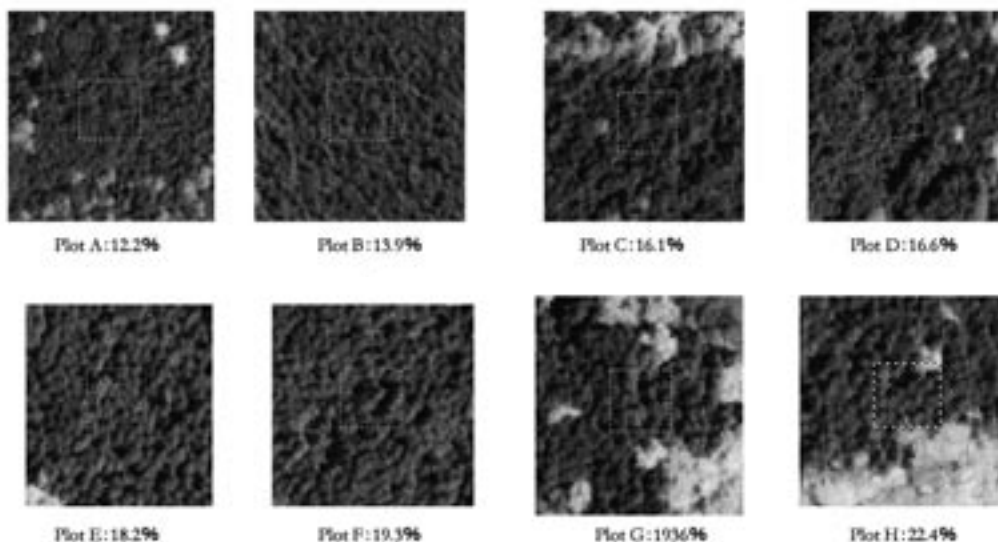


図5. Plot A~Hの衛星画像(点線の四角がプロット)及び、プロット内輝度値の変動係数

表1. プロット毎の各統計量

|                  | plot A | plot B  | plot C  | plot D  | plot E  | plot F  | plot G  | plot H  |         |
|------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 林齢               | 39     | 23      | 41      | 36      | 40      | 40      | 76      | 44      |         |
| 標本数              | 68     | 72      | 47      | 73      | 40      | 49      | 56      | 40      |         |
| ヘクタールあたり<br>立木本数 | 170    | 180     | 117.5   | 182.5   | 100     | 122.5   | 140     | 100     |         |
| 胸<br>高<br>直<br>径 | 平均     | 17.97   | 20.62   | 25.03   | 21.81   | 26.46   | 25.10   | 27.41   | 28.64   |
|                  | 標準誤差   | 0.67    | 0.60    | 0.95    | 0.69    | 1.36    | 1.10    | 1.51    | 1.14    |
|                  | 中央値    | 17.9    | 20.25   | 25.2    | 22.3    | 26.1    | 25.5    | 27.55   | 27.7    |
|                  | 最頻値    | 19.6    | 27.2    | 28.7    | 22.3    | 24.9    | 27.2    | 39.9    | 23.9    |
|                  | 標準偏差   | 5.56    | 5.10    | 6.53    | 5.89    | 8.63    | 7.71    | 11.30   | 7.23    |
|                  | 分散     | 30.90   | 26.00   | 42.65   | 34.65   | 74.52   | 59.51   | 127.65  | 52.20   |
|                  | 尖度     | 2.63    | -0.67   | -0.64   | 0.02    | 2.44    | -0.64   | -0.70   | -0.20   |
|                  | 歪度     | 1.01    | 0.27    | -0.11   | 0.20    | 1.05    | -0.31   | 0.32    | -0.09   |
|                  | 範囲     | 33.2    | 21.1    | 27      | 31.8    | 43.5    | 31.1    | 45.3    | 32.4    |
|                  | 最小     | 6.3     | 10.6    | 13.5    | 7.5     | 12.3    | 8.7     | 7.7     | 12.7    |
|                  | 最大     | 39.5    | 31.7    | 40.5    | 39.3    | 55.8    | 39.8    | 53      | 45.1    |
| 樹<br>高           | 平均     | 14.38   | 17.30   | 18.80   | 19.85   | 21.91   | 19.93   | 21.79   | 23.98   |
|                  | 標準誤差   | 0.28    | 0.26    | 0.75    | 0.41    | 0.40    | 0.42    | 0.42    | 0.78    |
|                  | 中央値    | 14.7    | 17.6    | 20.6    | 20.2    | 22.4    | 20.6    | 22.7    | 25.4    |
|                  | 最頻値    | 15.4    | 17.7    | 22.2    | 22.5    | 22.0    | 21.1    | 24.8    | 25.7    |
|                  | 標準偏差   | 2.27    | 2.23    | 5.14    | 3.49    | 2.54    | 2.96    | 3.13    | 4.93    |
|                  | 分散     | 5.17    | 4.98    | 26.42   | 12.19   | 6.46    | 8.75    | 9.77    | 24.29   |
|                  | 尖度     | 0.79    | 1.10    | -0.05   | 1.22    | 0.01    | 1.11    | 0.51    | 2.51    |
|                  | 歪度     | -0.42   | -0.56   | -1.06   | -0.98   | -0.48   | -1.22   | -0.92   | -1.53   |
|                  | 範囲     | 12.8    | 12.6    | 19.2    | 17.2    | 11.5    | 12.4    | 13.5    | 23.1    |
|                  | 最小     | 7.2     | 10.5    | 5.4     | 8.5     | 15.7    | 11.4    | 12.6    | 8.6     |
|                  | 最大     | 20.0    | 23.1    | 24.6    | 25.7    | 27.2    | 23.8    | 26.1    | 31.7    |
| 輝<br>度<br>値      | 平均     | 276.02  | 275.00  | 255.00  | 266.60  | 290.20  | 271.29  | 268.66  | 291.65  |
|                  | 標準誤差   | 1.60    | 1.86    | 1.98    | 2.09    | 2.52    | 2.62    | 2.51    | 3.19    |
|                  | 中央値    | 279     | 275     | 256.5   | 268     | 293     | 270     | 267     | 286     |
|                  | 最頻値    | 287     | 239     | 233     | 296     | 275     | 267     | 322     | 275     |
|                  | 標準偏差   | 33.61   | 38.24   | 40.99   | 44.14   | 52.88   | 52.41   | 52.73   | 65.45   |
|                  | 分散     | 1129.54 | 1462.29 | 1680.09 | 1948.20 | 2796.49 | 2746.74 | 2780.64 | 4283.94 |
|                  | 尖度     | -0.01   | -0.21   | -0.45   | -0.60   | -0.27   | -0.83   | -0.68   | 2.69    |
|                  | 歪度     | -0.25   | -0.17   | 0.00    | -0.18   | -0.14   | 0.13    | 0.17    | 1.18    |
|                  | 範囲     | 207     | 232     | 205     | 214     | 294     | 227     | 254     | 415     |
|                  | 最小     | 172     | 141     | 158     | 156     | 134     | 170     | 154     | 152     |
|                  | 最大     | 379     | 373     | 363     | 370     | 428     | 397     | 408     | 567     |
|                  | 変動係数   | 12.18   | 13.91   | 16.07   | 16.56   | 18.22   | 19.32   | 19.63   | 22.44   |

## ③キメの細かさと平均 DBH・平均樹高

現地調査を行った Plot A~Plot H について、キメの細かさを現地調査によって得られた平均胸高直径と平均樹高のそれぞれについて比較した (図6、7)。

いずれも、キメが粗くなるに従って、平均胸高直径・平均樹高の値が増加していることが分かる。

## ④輝度値の変動係数と平均 DBH・平均樹高

キメの細かさと輝度値の変動係数に関係が見られた。また、キメの細かさと平均胸高直径及び、平均樹高それぞれに関係が見られたことから、輝度値の変動係数を、平均胸高直径と平均樹高のそれぞれについて比較することにした (図8、9)。

輝度値の変動係数は平均胸高直径、平均樹高のどちらにおいても高い相関を示し、相関係数も非常に高い値が得られた。

比較のために、平均輝度値との相関係数を求めた (表2、表3)。

平均輝度値は、平均胸高直径、平均樹高のどちらの場合も相関係数は非常に低い値になった。

よって、平均胸高直径、平均樹高と輝度値の関係を見る場合、変動係数を用いる方が、はるかに有効であることがわかる。

## ⑤輝度値の変動係数とテクスチャ

キメの細かさと輝度の変動係数の間に関係が見られたので、現地調査を行った8プロット以外に、衛星写真上からキメの細か

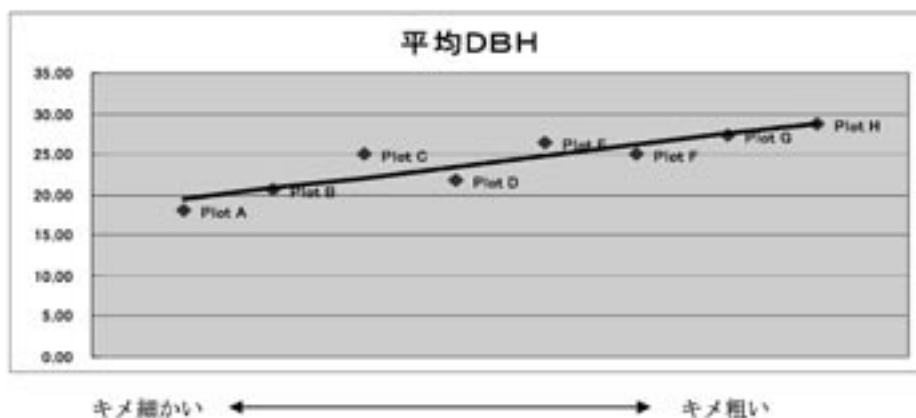


図6. テクスチャのキメの細かさと平均 DBH のグラフ

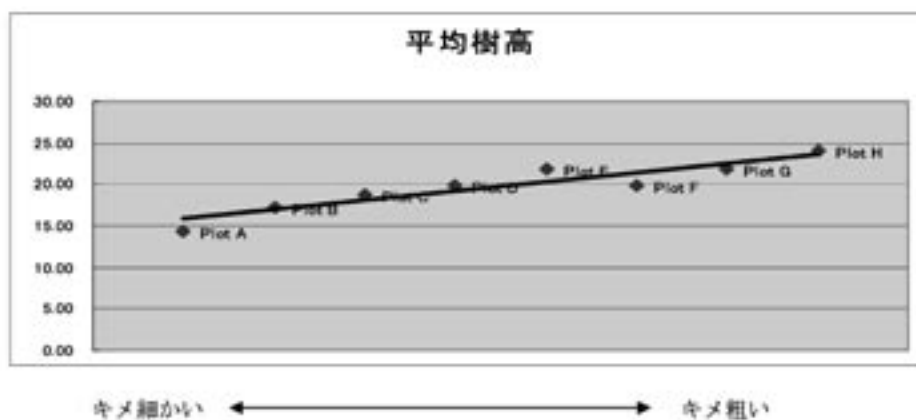


図7. テクスチャのキメの細かさと平均樹高のグラフ

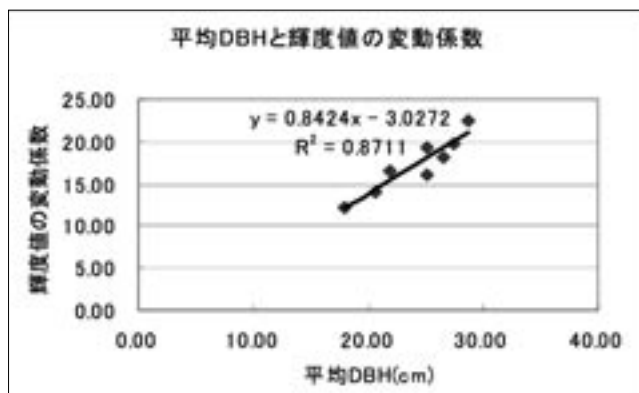


図8. 輝度値の変動係数と平均 DBH のグラフ

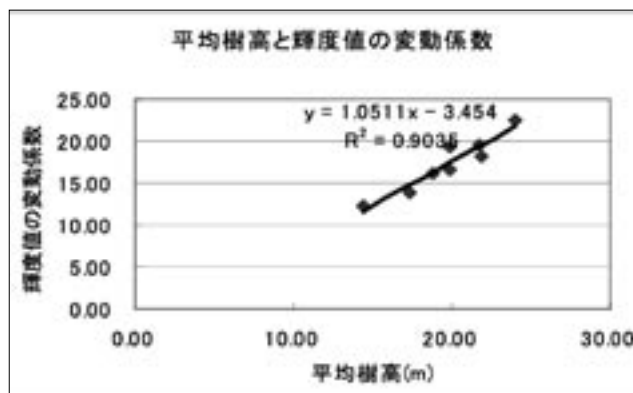


図9. 輝度値の変動係数と平均樹高のグラフ

表2. 平均胸高直径及び平均樹高と輝度値の変動係数との相関表

|         | 平均 DBH | 平均樹高  |
|---------|--------|-------|
| 輝度値変動係数 | 0.933  | 0.951 |

表3. 平均胸高直径及び平均樹高と平均輝度値との相関表

|       | DBH 平均 | 平均樹高  |
|-------|--------|-------|
| 平均輝度値 | 0.262  | 0.403 |

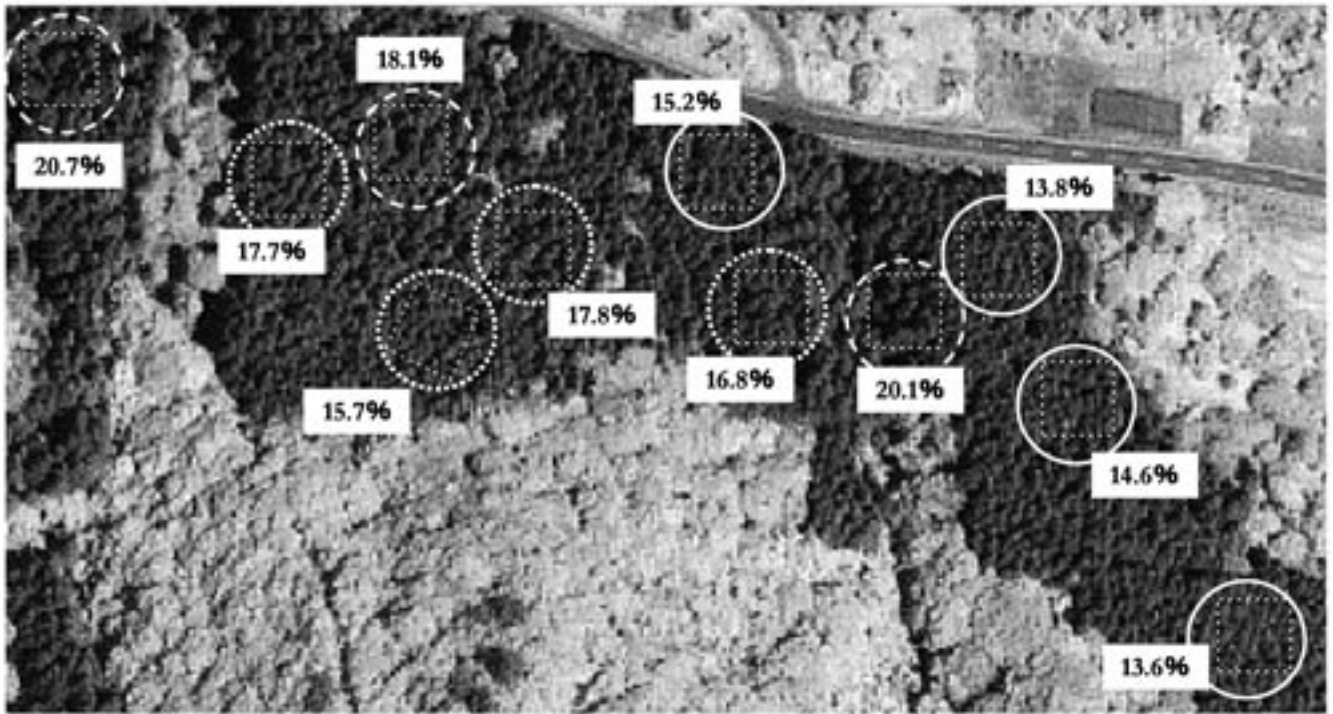


図10. テクスチャと輝度値の変動係数

さの異なる任意のプロットを20m×20mの大きさで50カ所選び、キメの細かさを目視で判別し、その後、輝度値の変動係数を比較した。

そのうち11カ所について示す(図10)。図中の実線で丸く囲んだ所は、キメの細かいと判別したもの。破線で囲んだ所は、キメが粗いと判別したところ。点線で囲んだ所は、中間のキメと判別したところである。

いずれの場合も、キメが細かいものでは、輝度値の変動係数は小さな値を示し(14%以下)、キメの粗いものは大きな値を示した(18%以上)。中間のものは判別が難しいものもあったが、輝度値の変動係数もおおよそ14%~18%の範囲にあった。

また、キメの細かいもの、粗いもの、中間のものと3つのグループに大別し、それぞれのグループ内でキメの細かさと輝度値の変動係数を比較したところ、同じグループ内でもキメの粗いものほど輝度値の変動係数が大きくなる傾向が見られた。同様の傾向が、ここには示さなかった他の箇所についても見られた。

## 考 察

本研究で用いた高分解能衛星画像では、目視によってキメの細い・粗いといった、違いと程度を捉えることが可能であったので、判読にはテクスチャ(=キメの細かさ)が有効である。

テクスチャ(=キメの細かさ)と輝度値の変動係数との関係を見ると、キメの細かいものは14%以下、粗いものは、18%前後から大きいもの、その間は中間のキメになっていた。このことから、画像上の輝度値からキメが推定可能であり、また、輝度値の変動係数を基準にした凡例画像を作成すれば、目視判読の際により客観的な判読が行える。



図11. 模式図

また、キメの細かさと平均胸高直径及び平均樹高に関係が見られた。これは、林分が生長するにつれて、個体量の増加や個体差が拡大し、林分の樹冠層表面の凹凸が大きくなっていくためであると考えられる(図11)。

よって、高分解能衛星画像において、テクスチャの違いから目視による林分因子の推定が可能であり、輝度値の変動係数と林分因子の関係式からさらに詳しい推定が可能である。

本研究では、高分解能衛星画像の目視判読を試み、テクスチャから平均胸高直径及び平均樹高の推定が可能であるとの結論を得た。

このことが、実用化されれば、衛星画像を見ただけで林分の成長を把握することができる。たとえば現地調査を行うプロットの選考に役立てることができる。また、リモートセンシングのもっとも重要な役目である、現地に行かなくとも離れた場

所から林分状況の把握が行えるということが可能になるであろう。今後、現地調査のデータを増やして、さらなる精度の向上を期待するものである。

#### 引用文献

渡辺 宏. 1993. 森林航測テキストブック. pp.1-263. 日本林業技術協会.

# Visual Interpretation of Sugi-stands using High Spatial Resolution Satellite Data

Takahiro AOKI<sup>1</sup> and Nobuyuki ABE<sup>1\*</sup>

(Received July 4, 2005)

## Summary

We examined the usefulness of visual interpretation of the stand factor of a sugi plantation using high spatial resolution (1m x 1m) PAN images of IKONOS. In the visual interpretation, we focused on the difference of texture of the image: whether it was smooth or rough. First we compared the difference in texture by visual interpretation with the coefficient of variation for the digital number. The plots visually interpreted to have a smoother texture had a smaller coefficient of variation of digital number, and vice versa. We examined the relationship between texture on high spatial resolution and coefficient of variation, average height and average diameter. The plots visually interpreted to have a smooth texture had a lower average height and average diameter, and vice versa.

These results indicated the possibility of estimating the average height and average diameter from the difference in texture by the visual interpretation of high spatial resolution images

*Bull. Facul. Agric. Niigata Univ., 58(1):71-78, 2005*

**Key words:** visual interpretation, texture, coefficient of variation of digital number, average height, average diameter, high special resolution

---

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Niigata University

\*Corresponding author: tomiko@agr.niigata-u.ac.jp