

高解像度衛星画像上での単木の把握において積雪のもたらす特徴

古家直行 (森林総研)・平田泰雅 (森林総研四国)・鈴木誠・山本博一 (東大農)

要旨: 降雪直後の高解像度衛星画像が取得され、樹冠部分にも雪が存在していた。可視域から短波長域においては雪の反射が大きいため、この冠雪によって樹冠部分が明るくなり、画像のコントラストが高まり、冠雪がないシーンと比べて、視覚的には単木樹冠の把握がより容易に行えるように思われた。そこで、本研究においては、高解像度衛星画像の冠雪シーンと非冠雪シーンとを比較することで、冠雪シーンの、1.シーン全体としての輝度分布、2.冠雪針葉樹単木樹冠の輝度分布特性、3.冠雪の単木梢端抽出に与える影響、について調べた。冠雪シーンにおいては、雪の影響で反射が高く、可視域から近赤外域までを観測しているパンクロマティックバンドにおいては、デジタルナンバー (DN) のレンジが3倍程度広がっていた。冠雪した針葉樹の単木樹冠では、雪の反射の影響で、DNは大きな値をとっていたが、梢端部分にて輝度値が高くなる明るさの分布傾向については冠雪シーンでも同様に見られた。そこで、単木梢端抽出を行った結果、冠雪シーンにおいても、梢端抽出結果と地上での測定結果の間に有意な直線関係が見られたが、傾きは大きかった。シーン間の梢端抽出の比較では、冠雪シーンにおいて梢端の検出度が高くなる傾向があった。

キーワード: 高解像度衛星画像、冠雪、単木抽出

I 背景と目的

これまでに著者らは、森林分野での日本国内における高解像度衛星画像の利用方法について、検討を行ってきた(1)。高解像度衛星画像は、99年にIKONOS衛星が打ち上げられ運用が開始されてから長らく経過した現在、航空写真を補完する情報としての利用も進んできているように思える。

さて、今回、偶然ではあるが、関東地方では珍しく大雪となった直後に、継続して研究対象地としている地域において、高解像度衛星画像が取得された。リモートセンシングでの雪の画像の利用については、水資源量把握やエネルギー収支の把握のための積雪の地域分布や季節変化の広域把握について、特に低分解能の衛星画像を中心として、研究されてきている(3,6)。これらの研究は、北方の長期間に渡って積雪が地表および植生被覆を覆う地域を対象としており、上ものの植生の被覆が衛星で観測される反射に及ぼす影響を考慮して取り除きながら、いかにして、林床に雪が堆積している地域及び期間を特定するかということに着目している。雪の反射の特徴としては、可視域から近赤外域での反射が高く、逆に中間赤外域においては、反射が非常に低いことが特徴とされ、この特徴を用いて、積雪地域を特定する指標 (積雪指数) なども提案されてきている(4,5)。ただし、雪の状態などによっても、反射スペクトル特性が大きく変異するため(2)、扱いは困難であるとされている。

今回取得された衛星画像はQuickBird衛星画像であり、

中間赤外域の観測バンドを持たないため、これらの雪と植生の反射スペクトルの違いを利用した解析を行うことは出来ない。しかしながら、取得された画像を見ると、樹冠についた雪の反射が強いことから、非常にコントラストが高く、冠雪のないシーンと比べて、視覚的に樹木の把握が容易に感じられた。また、解像度が非常に高いため、冠雪する単木の樹冠の把握も可能である。

高解像度衛星画像は非常に高価であり、複数の衛星からの観測によりアーカイブ画像が充実してきているとはいえ、最新の情報を得ようとする場合や何度も撮影されている都市地域以外のあまり画像の取得されていない森林地域などの画像を得たい場合には、新規の撮影を依頼することとなる。このため、今回のような冠雪シーンを利用しなければならない場合も想定される。一方で、冠雪シーンの高解像度衛星画像を用いて、単木樹冠抽出を検討した例は見られない。

そこで、本研究においては、高解像度衛星画像を利用して、1.冠雪シーンの輝度分布、2.冠雪単木針葉樹樹冠の輝度分布特性、3.冠雪の単木梢端抽出に与える影響、について、比較的観測状況に近い非冠雪シーンと比較しながら、明らかにすることを目的とした。

II 調査対象地

調査対象地は東京大学千葉演習林である。房総半島の中南部に位置している。面積のおよそ半分がスギ・ヒノキを中心とした針葉樹人工林となっており、100年生を

Naoyuki FURUYA (Dep. of Forest management, Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Yasumasa HIRATA (Shikoku Research Center, FFPRI), Makoto SUZUKI and Hirokazu YAMAMOTO (The Univ. of Tokyo) Snow fall effects in individual tree recognition using high-resolution satellite image

超す林分も存在している。

2006年1月21日に本州南岸を東進した低気圧の影響で、関東地方平野部を中心に大雪となり(2)、演習林でも降雪があった。この降雪の影響で、樹冠に積もった雪の重みで倒木などの被害も見られた。最寄りの坂畑の気象データによると、21日早朝から冷え込み、一日中0°前後で降雪があり、撮影が行われた22日の午前中にかけても気温が上がっておらず、冠雪が残ったままに画像が撮影されたと考えられる。

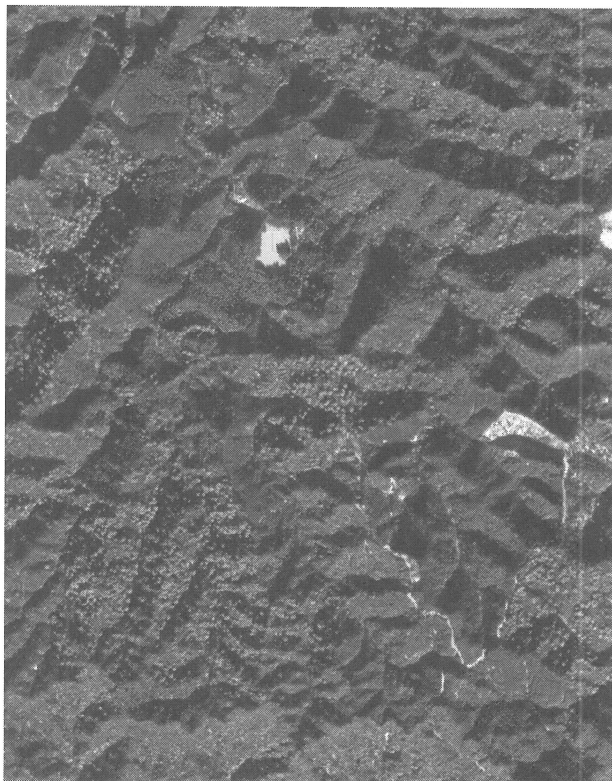


図-1 冠雪シーン

Ⅲ 材料

解析に用いた冠雪シーンは、2006年1月22日に取得されたQuickBird衛星画像(図-1)であり、比較する非冠雪シーンとして、同年2月4日に取得された同じくQuickBird衛星画像を用いた。それぞれの撮影の状況については、表-1に示した通りである。撮影された日付も近いことから、撮影時の太陽高度や太陽方位についてはほぼ等しくなっている。ただし、オフナディア角については、11度と20度と異なっており、この影響が現れることは考えられる。しかしながら、衛星の観測において、完全に撮影条件の一致した画像を得ることは難しく、今回はこの画像を使用することとした。

Ⅳ 手法

2つの衛星画像については、まず、冠雪シーンについて、LiDAR計測によって取得されたDSMを用いて

表-1 撮影状況

	冠雪シーン	非冠雪シーン
撮影日	2006/1/22	2006/2/4
太陽高度	32.3度	34.3度
太陽方位	160.5度	158.4度
観測高度	80.2度	64.4度
観測方位	21.2度	49.1度
オフナディア角	11.3度	20.0度

GCPを取得し、10mDEM(北海道地図作成)を使用して、オルソ補正を行った。次に、非冠雪シーンについて、オルソ補正を行なった冠雪シーンからGCPを取得し、同様に10mDEMを用いてオルソ補正を行なった。これによって、冠雪と非冠雪シーンの画像ペアを用意した。

1. 冠雪シーンの全体的な輝度分布特性について

まず、シーン全体の輝度分布について比較した。次に、森林域を対象として、それぞれの画像の輝度のレンジを比較した。

2. 針葉樹の単木樹冠の輝度分布特性について

針葉樹の単木樹冠の抽出には、樹冠形状に伴う輝度分布特性が利用されることから、画像ペアについて、パンクロマティックバンドのDNを標高と見立てた地形解析を行い、斜度や傾斜方位を算出した。

3. 冠雪の単木梢端抽出に与える影響について

単木梢端抽出について冠雪の与える影響を調べるため、針葉樹の樹冠梢端の抽出を行なう局所最大値フィルタ法(1)を冠雪シーンと非冠雪シーンの両方に適用し、その結果について比較を行なう。

まず、画像ペアに対して、ノイズを取り除くため、3×3のローパス(平均)フィルタをかけた。次に、各画像に対して、3×3の局所最大値フィルタを適用して単木梢端を抽出した。05-06年にスギ・ヒノキ人工林林分で実施した、地上での0.04haの円形プロットの調査結果を利用しながら、抽出結果の比較を行なった。

Ⅴ 結果と考察

1. シーン全体での輝度分布について 冠雪シーンと非冠雪シーンのパンクロマティックバンドのシーン全体の輝度値を比較すると、冠雪シーンで雪の反射の影響で、全体的にデータレンジが広がった。次に、具体的に針葉樹人工林の林分でのデータのレンジについて、冠雪シーンでは樹冠についた雪の反射による、およそ1300から、影の部分に当たる200程度までデータが分布した。これに対して、非冠雪シーンにおいては、スギやヒノキといった針葉樹の樹冠は暗く500程度から影で150くらい

までにデータが分布していた。このことから、冠雪シーンにおいてDN値のデータレンジは3倍程度に広がっていた。

2. 針葉樹の単木樹冠の輝度分布特性について 輝度の明るさを高さ方向にとって、位置座標を水平方向にとり、地形解析を行なった。まず、斜面方位について算出した(図-2)。オリジナルの画像で斜面方位を算出した場合には、不規則なノイズが発生するケースが多くみられた。このため、事前に 3×3 の平均フィルタをかけた。すると、ノイズ成分の多くが消え、梢端を示すと考えられる最も明るくなる部分を中心として周囲を斜面方位が $0-360$ 度まで時計回りに分布していた。これは、コーン状の針葉樹の樹冠形状に起因して、梢端付近で最も明るくなるという、輝度値の分布の特徴であり、この特徴を用いて局所最大値フィルタ法などを用いた梢端抽出は行なわれている。冠雪シーンにおいても全く同様にこの分布特性が見られたことから、冠雪シーンにおいても、針葉樹樹冠の梢端抽出手法は有効であると推察された。次に、斜度を算出した(図-3)。斜度の算出においては、パンクロマティックバンドのデータのダイナミックレンジが11ビットと広いことから、そのまま斜度を算出すると斜度が 90 度に近いところに分布してしまう。このため、スケールファクターを掛けてやる必要があった。スケールファクターをかけることで明るさの勾配、つまり、地形の傾斜が穏やかになるため、斜度のデータレンジは広がる。ただし、斜度の大きさの相対的な順位は変動しない。斜度の分布を見ると、冠雪シーンにおいて、特に高齢の疎な人工林林分において、単木の樹冠を囲うように、等しい斜度が分布していた(図-3, 左)。一方、非冠雪シーンにおいては、樹冠に反射が強い雪がないため斜度が大きく変化する箇所が少なく、複数の樹冠が連なったような斜度の分布を示すことが分かった(図-3, 右)。このことから、樹冠に雪がある場合に、単木の抽出に有利となる可能性について示唆された。ただし、若い林については、冠雪シーンにおいても、単木を斜度勾配が囲う場合もあるものの、複数の樹冠が連なる場合が多かった。以上のことから、冠雪シーンを用いて単木樹冠抽出を行う場合に冠雪がない場合と比べて、優位ないし同様にこなえることが示唆された。

3. 冠雪の単木抽出に与える影響について 最後に、冠雪シーンと非冠雪シーンを用いて、実際に単木梢端抽出手法である局所最大値フィルタ法を適用し、地上調査からの参照データと比較を行なった。地上調査プロットは、林齢が19年生から102年生、ha当たりの本数で300本から3,025本という広がりがある。陰斜面のプロットは今回の解析から除き、12プロットの調査結果を利用した。各画像での抽出結果と地上調査結果の散布図を描いたところ図-4および図-5のようになった。冠雪シーン、非

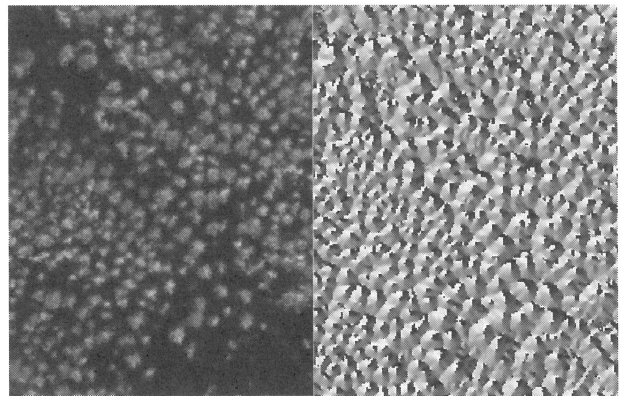


図-2 冠雪シーン輝度値の斜面方位 (オリジナル画像 (左) と斜面方位 (右), 斜面方位 $0-360$ 度が黒から白に対応)

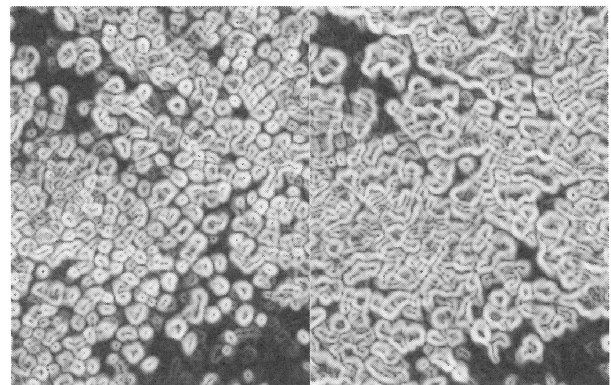


図-3 輝度値の斜度解析 (冠雪シーン (左) と非冠雪シーン (右), 斜度 $0-90$ 度が黒から白に対応)

冠雪シーンのいずれの場合でも線形回帰の結果は1%水準で有意となった。しかしながら、回帰直線の傾きはいずれも大きくなった。

次に、冠雪シーンと非冠雪シーンの抽出結果を散布図にプロットした(図-6)。各画像での抽出結果を目視にて確認したが、平均フィルタをかけたことで、影の箇所での誤抽出などは見られず、抽出結果は各画像における検出度を表わすと考えられた。観測角の影響も考えられるので単純に結論は出せないが、図のように冠雪シーンと非冠雪シーンの検出で、中央の $1:1$ の線の右側に点が落ちる場合が多く、冠雪シーンのほうが検出度は高くなる傾向があった。

V おわりに

今回は偶然取得された冠雪シーンを用いて、樹冠梢端の抽出について検討した。関東地方における珍しい大雪の直後の樹冠に雪が積もった画像の解析であり、一般的な積雪地域における、定常的に雪が地上にも存在しているような画像の解析とは異なるが、高解像度衛星画像の解析における雪の存在による効果を考える上でひとつの情報を与えることができたと考えられる。今回の画像は

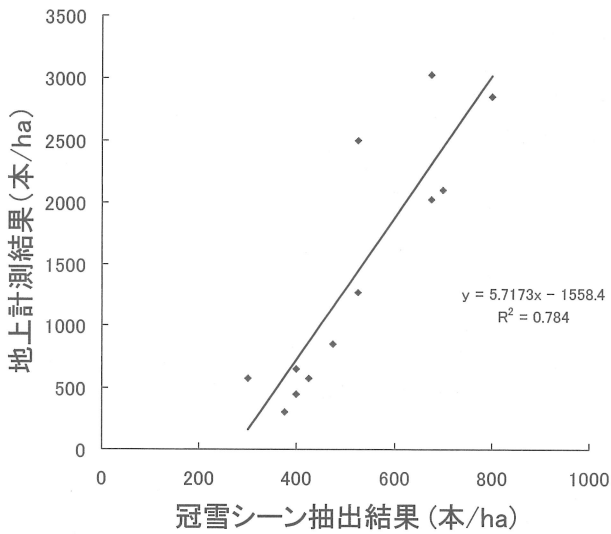


図-4 冠雪シーン抽出結果と地上計測結果の比較

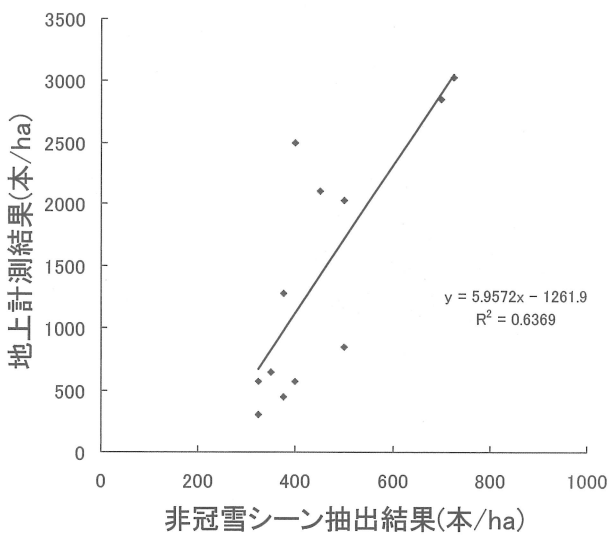


図-5 非冠雪シーン抽出結果と地上計測結果の比較

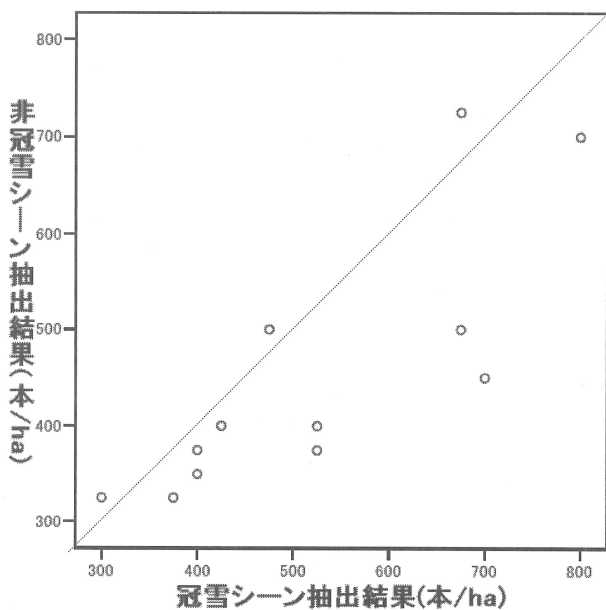


図-6 冠雪シーンと非冠雪シーンの抽出結果の比較

冬の画像であるため、太陽高度が低いことから、影も多くできており、雪の反射の強さと影というコントラストをより強くする効果もあったと考えられる。衛星画像の観測において、観測の条件を完全に合わせるのは困難であるが、観測角の違いによる影響は少なくないと考えられ、これについては今後の課題としたい。

参考文献

- (1) 古家直行 (2004) 単木樹冠. (森林リモートセンシング. 加藤正人編, 273pp, 日本林業調査会, 東京) 150-153
- (2) 気象庁ホームページ (2006) 1月の天候. (<http://www.data.kishou.go.jp/stat/tenko0601.pdf>)
- (3) 近藤昭彦・鈴木力英 (2005) ユーラシア大陸北部の積雪域マッピングと積雪域の年々変動. 水文・水資源学会誌18: 696-703
- (4) 本谷研 (2003) 2001年航空機搭載型分光走査放射計2高度観測におけるスペクトル特性に基づいた植生・積雪指標の各種地表面への適用. 水文・水資源学会誌16: 408-419
- (5) 斎藤篤思・山崎剛 (1999) 積雪のある森林域における分光反射特性と植生・積雪指標. 水文・水資源学会誌12: 28-38
- (6) 島村雄一・泉岳樹・中山大地・松山洋 (2003) 積雪指標を用いた積雪水当量・融雪量の推定-黒部湖集水地域を例に. 水文・水資源学会誌16: 331-348
- (7) SHUNLIN LIANG (2004) Soil and Snow Modeling. Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces, 534pp, John Wiley & Sons