

高解像度衛星画像における 日影の抽出と補正法の提案

リュウ ウェン¹・山崎 文雄²

¹非会員 千葉大学大学院生 工学研究科建築・都市科学専攻
日本学術振興会特別研究員DC
(〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail: wen_liu@graduate.chiba-u.jp

²正会員 千葉大学大学院教授 工学研究科建築・都市科学専攻
(〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail: fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

太陽光の反射を観測する光学画像には必ず「影」となる領域ができる。リモートセンシング画像解析を行う際、日影の部分での地表情報が得られなかったり、日影の変化が誤差として抽出されたりすることが多くある。そのため、日影部分の輝度値を日向と同じレベルになるように補正し、影のない画像を作成することは、光学画像をより有効に活用することに繋がる。本研究では、光学画像から日影部分を抽出し、その輝度値を補正する手法を提案した。まず、画像からオブジェクトベースの分類手法により、輝度値と近隣関係をもとに影となる部分を抽出した。そして、影の特性を分析し、影の濃さが日影と日向の明度比に影響することから、濃さを考慮した3段階補正式を提案した。抽出された日影部分を、提案された補正式により補正し、影なし画像を作成した。

Key Words : *high-resolution satellite image, shadow detection, object-based classification, radiance value, shadow correction*

1. はじめに

近年、高解像度光学センサを搭載した衛星が次々に軌道に乗って、市街地把握などの詳細な空間情報収集に使用されている。しかし、画像の撮影時期や環境条件によっては、その後の解析に支障をきたす場合がある。たとえば、日影の領域を含む画像においては、「影」という土地被覆ではない分類が必要となったり、影の季節変化が土地被覆の変化として誤抽出されたりする問題がある。とくに高解像度衛星画像や空中写真など、高解像度のリモートセンシング画像においてこれが顕著である。

一方、高解像度光学センサは高い量子化レベルを持ち、撮影された画像の明るさ等を自由に加工処理することができる。これにより、画像の中に影を含む場合でも明るさを補正すれば、影の中にある物体を識別できる可能性が出てきた。

これまで、衛星画像における日影の抽出・補正に関する研究は幾つか存在する。日影の抽出手法は、主に2つに分けられる。1つは画像における輝度値ヒストグラムの閾値により抽出する手法である。そのうち、ヒストグ

ラムの閾値による影の抽出が最も多く、この手法では、空中写真¹⁾、SPOT衛星画像²⁾や高解像度のIkonosやQuickBird(QB)衛星画像³⁾における日影部分の抽出が行われた。またSarabandiら⁴⁾は、マルチスペクトルバンドR,G,Bの比率を用いて画像の非線形変換を行い、3×3ピクセルの空間フィルターを使用して、影の境界線の抽出に成功した。もう1つは3次元地理情報により、日照モデルを用いて日影の位置を推測する手法であり、Rauら⁵⁾は空中写真のMulti-View画像を用いて都市地域の影を抽出した。またLiら⁶⁾はデジタル地表面モデル(DSM)を用いて空中写真から、中島ら⁷⁾は航空機レーザースキャナ(ALS)データを用いてIkonos衛星から建物の影を抽出した。しかしこの手法では、都市3Dモデルが必要のため使用できる地域が限られる。

日影の補正に関しては、中解像度の光学センサ画像における雲の影を補正する研究が多く行われている。Kouchi and Yamazaki⁸⁾は日向の輝度値を用いて、Terra-ASTER画像上の雲による地表の影の輝度値を補正した。Hoan and Tateishi⁹⁾はSAR画像に基づき、日影部分と同じ後方散乱強度を持つ日向部分の輝度値を用いて、ALOS画

像から雲と雲の影を除去した。Wangら¹⁰⁾は他時期の雲なし画像から影なし時の輝度値を抽出し、雲の影を補正した。高解像度の衛星画像を用いた都市域における影補正に関する研究も幾つかあり、最も多く使われる手法は、ガンマ補正、線形補正とヒストグラムマッチングによる補正である⁹⁾。

本研究では、オブジェクト分類法を用いて高解像度光学センサ画像から日影領域を抽出し、影の濃さを考慮した3段階式による補正手法を提案する。この手法をタイ・バンコク市のQB衛星画像に適用し、精度の検証を行う。

2. 使用データ

使用した画像は、QB衛星が2002年11月7日の午前10時53分にバンコク市中心部を撮影した画像であり、撮影時の太陽仰角は 55.54° 、太陽方位は北から時計周りに 149.89° である。画像は11bitで、パンクロマティック(PAN)画像の解像度は0.6m、4バンドのマルチスペクトル(MS)画像の解像度は2.4mである。バンコク市中心部を含む 3000×2000 ピクセル数の画像の地域(約 2.16km^2)を検討対象とした(図-1)。PC spectral sharpening法¹¹⁾を用いたパンシャープン後の画像を図-2に示す。この方法は、MS画像を主成分分析(PCA)変換後の第1バンドをPAN画像に置き換えてパンシャープンするもので、ピクセルの光学特性を保つことができる。バンコク市の中心部では、高層建物が密集しているため、撮影された画像上ではかなりの範囲が建物の影に入っており、この中では詳細な地表面情報は得られない。

まずオリジナル画像を用いて、最尤法による教師付き分類を行った。水域(池と湖)、樹木、芝生、鉄道、道路、代表的な2色の屋根(白、赤)と影の9つのクラスに対して、2箇所ずつ計18箇所の教師データを選択した。教師付き分類結果を図-3(a)に示すが、画像全体の10%の範囲が影として分類された。人工被覆では分光特性が近似しているため、道路と屋根の区別は難しかった。そのため、道路を示す紫色と屋根を示す赤色のピクセルが混在した結果となっている。

3. 日影の抽出

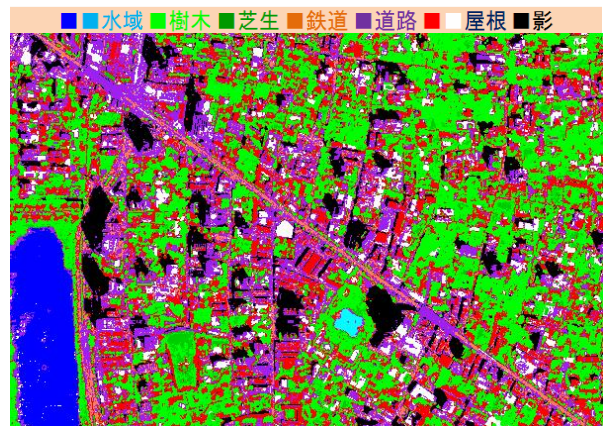
既往の研究では、ピクセル単位でヒストグラムの閾値による影抽出が多く行われている。しかしこの方法では、一部分の黒い屋根や車両が影に誤分類されたり、影中にある白い物体が抽出されなかったりする問題点がある。より正確に影を抽出するために、本研究ではオブジェク



図-1 対象地域とするタイ・バンコク市の中心部



図-2 パンシャープン後の画像のフォースカラー表示



(a) オリジナル画像の分類結果



(b) 補正後影なし画像の分類結果

図-3 同じトレーニングデータよりオリジナル画像と補正後影なし画像の教師付き土地被覆分類結果

トの概念を導入した抽出手法を提案し、ピクセル単位での閾値による抽出結果との比較を行う。

オブジェクト解析に用いたソフトウェアは、Definiens Imaging社のDefinience Professional 5.0である。オブジェクトを生成することでピクセル単位の微小な誤分類をなくし、精度の良い分類を行なうことが期待できる。生成したオブジェクトには、スペクトルや形状に関する様々な特徴量(スペクトルの平均値や標準偏差、オブジェクトの面積や周長等)が含まれるので、これらの特徴量に関する解析を行なうことも可能となる。

(1) 日影抽出の流れ

衛星画像からオブジェクト分類により日影領域を抽出する流れを図-4に示す。オリジナルのPAN画像と4バンドMS画像の計5バンドの画像を用いる。日影抽出は、セグメンテーション、日影の分類、結果の修正の3つのステップに分けられる。

まず、PAN画像の情報だけを用いて、画像をピクセル単位からオブジェクト単位に分割するセグメンテーションを行う。生成されたオブジェクトの平均デジタルナンバー(DN値)を用いて、ピクセルベースの場合と同様に、閾値により影にあるオブジェクトを抽出する。本研究の目的は、建物などによる大きい影を補正することであるため、抽出された影中にあるオブジェクトから車両程度の大きさに相当する20ピクセル以下のものを影から外す。濃い日影、薄い日影と日向における白板の分光観測の結果¹²⁾により、影の濃さが影の相対明度比に影響することが分かっている。影の相対明度比は、日影における白板の反射量と日向における白板の反射量の比を指し、影の反射率である。観測結果では、建物でできた濃い影は空中の梁でできた薄い日影より、相対明度比が低くなる傾向がみられた。そのため、影に分類されたオブジェクトをDN値によって異なる濃さに再分類する。建物に囲まれる濃い影と、日向に隣接する薄い影に注目し、日影部分を3つのクラス(濃い影、中間影、薄い影)に分類する。また、黒い車両などで生じた誤抽出は、オブジェクトの近隣関係を用いて修正する。もし薄い影や日向にあるオブジェクトが中間影と90%以上の輪郭を共有しているなら中間影に再分類し、濃い影と90%以上の輪郭を共有するオブジェクトは濃い影に再分類する。抽出された日影と日向の画像が、1つオブジェクト内に同じ材質のものしか含まないように、MS画像の4バンド情報を用いて、再セグメンテーションを行う。4バンドを持つ分類後の画像から、各クラス内のオブジェクトをピクセルに戻す。日影にある物体の明度差は日向にある時より小さいため、再セグメンテーションを行う時は影の影響を考慮して、日向・薄い影と中間影・濃い影に対し、それぞれ違うパラメータを用いる。

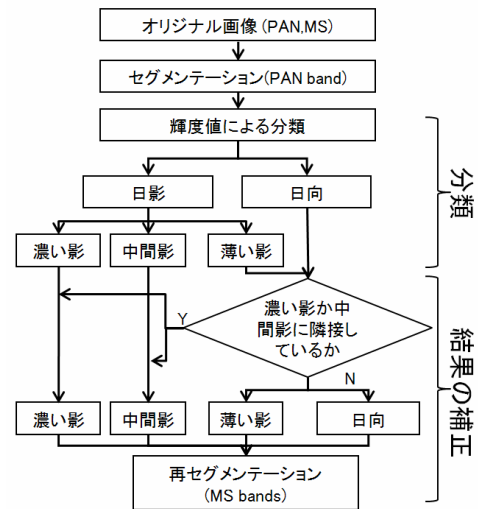


図4 提案した影抽出手法の流れ

(2) セグメンテーション

セグメンテーションは、スペクトル特性(color)と形状(shape)に基づき、ピクセルをグループ化しオブジェクトを生成する作業である。Scale Parameter, Layer Weight, Shape Factor, Compactnessの4つのパラメータがあり、Scale Parameterは生成されるオブジェクト内で許容される不均質性の大きさで規定されるもので、Layer Weightは各バンド情報の重みを表す。Shape Factorはオブジェクトを生成する際のスペクトル特性と形状特性の重みを表し、Compactnessは生成されるオブジェクトの形状が持つ細かさを決定する指標である¹³⁾。

セグメンテーションの仕組みと算出方法を式(1)-(6)に示す。スペクトルと形状の特徴量(h_{color} , h_{shape})にShape Factor (w)によって重み付けをした式(1)を用いて、オブジェクトを決定する指標となるFusion Value (f)を算出する。 h_{color} は、式(2)に示すように生成されたオブジェクトのピクセル数(n)とスペクトルの標準偏差(σ_c)で算出され、各スペクトルバンドのLayer Weight (w_c)によって重み付けをすることができる。ここで、近隣する2つのオブジェクト(obj 1とobj 2)が結合した場合に生成されるオブジェクトは添え字mergeが付く。 h_{shape} は、式(3)に示すように $h_{compact}$ と h_{smooth} をCompact Weight ($w_{compact}$)によって重み付けをして算出される。 $h_{compact}$ と h_{smooth} は、式(4), (5)で算出される。最終的には、式(6)のように設定したScale Parameterの2乗とFusion Valueを比較し、Fusion Valueがそれを超えるまでピクセルの結合を繰り返す。

$$f = w \cdot h_{color} + (1 - w) \cdot h_{shape} \quad (0 \leq w \leq 1) \quad (1)$$

$$h_{color} = \sum_c w_c (n_{merge} \cdot \sigma_c^{merge} - (n_{obj1} \cdot \sigma_c^{obj1} + n_{obj2} \cdot \sigma_c^{obj2})) \quad (2)$$

$$h_{shape} = w_{compact} \cdot h_{compact} + (1 - w_{compact}) \cdot h_{smooth} \quad (0 \leq w \leq 1) \quad (3)$$

$$h_{compact} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - \left(n_{obj1} \cdot \frac{l_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} \cdot \frac{l_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}} \right) \quad (4)$$

$$h_{smooth} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj1} \cdot \frac{l_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} \cdot \frac{l_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}} \right) \quad (5)$$

$$\begin{cases} f \leq (\text{Scale_Parameter})^2 \Rightarrow \text{領域結合} \\ f \geq (\text{Scale_Parameter})^2 \Rightarrow \text{結合停止} \end{cases} \quad (6)$$

ここで、式(4)中の l は、生成されたオブジェクトの周長を表す。式(5)中の b はオブジェクトを含む最も小さい四角枠の周長である。

本研究では、セグメンテーションにより生成された1つのオブジェクト内に同じ材質のものしか含まないように、Scale Parameterを小さめに設定する必要がある。しかし、Scale Parameterをあまり小さくしすぎると、生成されるオブジェクトが多くなり処理の時間を要する。そのため、本研究では、黒い車が1つのオブジェクトになるように、Scale Parameterを20に設定した。また、スペクトルと形状を同等の重みで考慮するようにShape Factorを0.5、Compact Weightも0.5に設定した。影を抽出するためのセグメンテーションを行う時には、PAN画像のみ使用した。すなわち、PAN画像のLayer Weightを1.0、MS画像のそれを0に設定した。Scale Parameterの設定が小さいため、全体の画像が細かく分割され、使用した画像全体で計73,888個のオブジェクトが生成された。

(3) 日影の分類と結果の補正

セグメンテーション後の画像から、PANバンドのDN値ヒストグラムを用いて日影部分を抽出した。使用したバンコク市中心部のQB画像における影部分のピクセルベースのヒストグラムを図-5に示す。図-5から閾値(c)を217に設定した。オブジェクトの平均DN値が閾値以下のものを影にあると見なすことにし、日影に分類されたオブジェクトを平均DN値により3つのクラスに再分類した。再分類する際に、図-6に示すように、濃い影と薄い影にあるオブジェクトに0から1までの影の濃さを示す係数 f_s をつけ、次章における影の補正に使用する。しかし、影の濃さを画像から直接に測ることはできないため、本研究ではDN値を濃さとして使用した。再分類に用いる閾値(a, b)は、PAN画像のヒストグラムから決定する。影に分類されたオブジェクトのうち、DN値の累積率5%までのオブジェクトを濃い影、DN値が上位5%の範囲を薄い影にあると見なす。

使用したバンコクのQB画像における影部分のヒストグラムを図-6に示す。これより、オブジェクトの平均DN値が165 ($a=165$)以下のオブジェクトを濃い影、165から208 ($b=208$)までを中間の影、208から閾値217 ($c=217$)ま

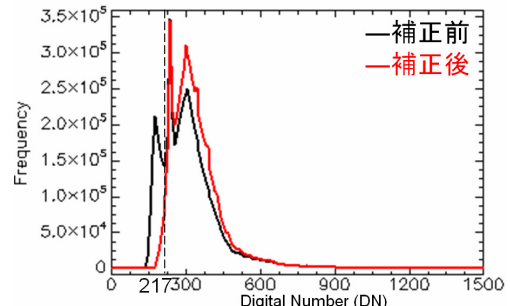


図-5 補正前後のPAN画像のピクセルベースのヒストグラム

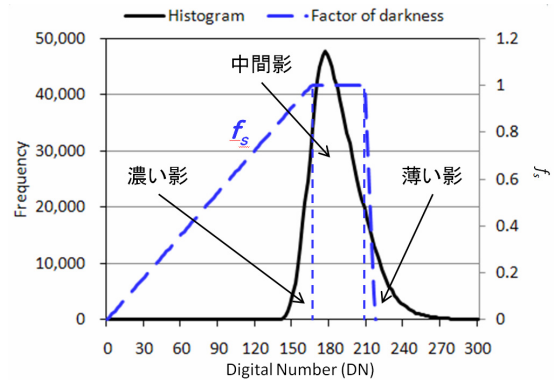


図-6 日影部分におけるオブジェクトのヒストグラムと影の濃さを表す係数 f_s



図-7 抽出された日影部分の3段階濃さ分類結果

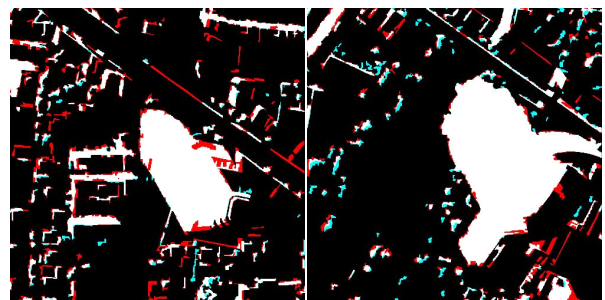


図-8 オリジナル画像から目視より抽出した日影部分と自動抽出の結果をカラー合成した画像 (A,Bは図-7の□に対応する小領域)

で薄い影に分類した。

分類後の画像を用いて、オブジェクトの近隣関係によ

り誤分類の修正を行った。その結果を用いて、各クラス内のオブジェクトのピクセル化を行い、MS画像の4バンド情報を用いて再度セグメンテーションを行った。濃い影と中間影におけるDN値のヒストグラムは0から208までであるのに対し、薄い影と日向におけるヒストグラムは208から700前後までと、その範囲は濃い影と中間影の範囲の約2倍になる。同じ材質のものが日向にある場合、DN値の変動幅は、日影における場合の2倍と考えられる。そのため、薄い影と日向クラスのScale Parameterは最初のセグメンテーションと同じく20に、濃い影と中間影クラスは日向の半分10に設定した。再セグメンテーション後のオブジェクトが持つ情報は、影を補正する時に使用する。

影抽出の結果を図-7に示すが、全体画像の18%が影として抽出された。図-3(a)の10%と比べると、全体画像における日影の割合は8%多くなった。薄い影として抽出された領域は、土地被覆分類でほとんど影に分類されなかった。薄い影の中のものには透けて見える場合もあるが、土地被覆分類では明度が暗い別の土地被覆に分類されることが多かった。

(4) 抽出結果の比較

提案したオブジェクト分類による手法を評価するため、ヒストグラムの閾値によるピクセル単位での日影抽出を行った。PAN画像における閾値217以下のピクセルを影とした結果、オブジェクトによる抽出と同じく全体の18%が日影として抽出された。

しかし、ピクセル単位の抽出では、樹木の小さい影や暗い車などの補正が必要ない誤抽出が多く含まれている。また、日影内にある高い反射率の物体など、抽出できない箇所がある。とくに、建物の影にある白い車両や明るい色の屋根が抽出できなかった。一方、提案したオブジェクト分類に基づく抽出手法では、オブジェクトの平均DN値で判断するため、細かいノイズが少なかった。オブジェクトの近隣関係を用いて、ピクセルベースで抽出できなかった日影部分にある明度の高い物体も抽出されるようになった。

提案した手法により抽出した日影の範囲は、オリジナル画像と目視比較を行ったところ、日影をほとんど抽出していることが分かった。また、全体画像の10%のエリアに対して、目視による影の抽出を行った。その一部分を図-8に示す。目視抽出と比較したところ、日影抽出のoverall精度が94%であった。一部分、薄い影にある白い屋根など抽出できなかった箇所もあるが、衛星画像上の分光情報からでは、これ以上の正確な抽出は困難と考えられる。

4. 日影の補正

影領域の明度補正に最も多く使われる手法は、ガンマ補正と線形補正である。既往の研究から、ガンマ補正より線形補正の方が補正後に自然な影なし画像が得られることがわかった。線形補正には、2つの補正式がある。1つは式(7)のように、日向と日影部分の平均DN値と標準偏差を用いて日影の輝度値を補正する手法である。

$$y = \frac{\sigma_{sunlit}}{\sigma_{shadow}}(x - \mu_{shadow}) + \mu_{sunlit} \quad (7)$$

ここで、 x は日影にある物体のDN値、 y は同一物質が日向にある時のDN値を示す。 μ は画像上にある日向や日影部分のDN値の平均値であり、 σ は日向と日影部分におけるDN値の標準偏差を表す。この手法では、日影部分のヒストグラムを日向部分のヒストグラムに合わせるように日影部分のDN値を補正する。

もう1つは、画像から同一物質が日向と日影における教師データを幾つか人為的に選択し、統計的に求められた近似線形関数を用いる補正手法である¹⁴⁾。この手法では平均値と標準偏差を用いる手法より作業時間がかかるが、より自然な補正後画像が得られる。しかし、補正に用いる線形関数は教師データから求められるため、補正結果が人為的要素に影響される問題点がある。

また、既往の研究で用いた線形補正は、画像全体の影部分に対して均一の濃さで補正を行っているが、均一濃さでの補正では、濃い影を充分には補正できず、薄い影を明るく補正しすぎるといった問題がある。そこで本研究では、影の濃さを3つのクラスに分類し、影の相対明度比における濃さの影響を考量した補正法を試みた。

本研究では、2つの線形補正手法を改良し、影の濃さをを用いた式(8)を使用する。

$$y = \theta \cdot \frac{1}{r}(x - \mu_{shadow}) + \mu_{sunlit} \quad (8)$$

$$\theta = \begin{cases} f_s = \frac{x}{a} & (0 < x \leq a) \\ 1 & (a < x \leq b) \\ 2 \cdot f_s - 1 = \frac{b+c-2x}{c-b} & (b < x < c) \end{cases} \quad (9)$$

ここで、 x は日影にあるオブジェクトのDN値、 y は日向にあるオブジェクトのDN値、 μ は画像上の日向や日影部分のDN値の平均値、 r は各バンドにおける日影の相対明度比を表す。 θ は影の濃さによって変換する補正係数である。影のDN値によって、 θ は式(9)に示すような異なる数値となる。 f_s は前章で求められた影の濃さを表す係数であり、 a, b, c は影を分類する際に用いた閾値である。

本研究で提案した補正手法では、中間影における対象物が日向における対象物と近似したDN値になるように補正を行う。そのため、濃い影と薄い影における対象物

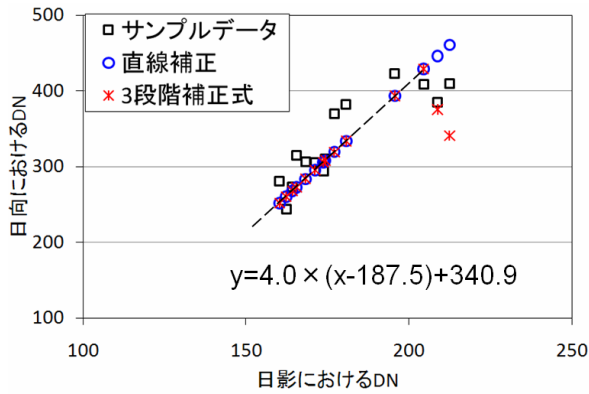


図-9 均一濃さの直線補正式と提案した3段階補正式で補正した結果の比較



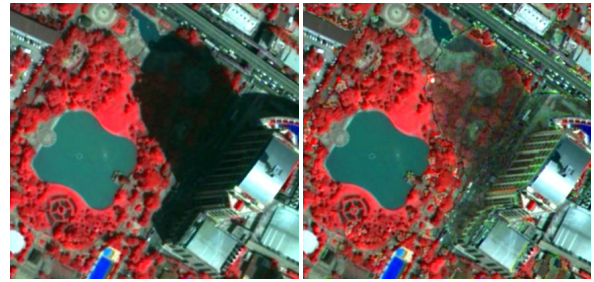
図-10 影補正後のパンシャープン・フォースカラー画像

を補正する際、中間影との関連性が必要となる。係数 f は中間影の濃さを基準にして、濃い影と薄い影に対する中間影との違いを示す係数である。濃い影や薄い影におけるDNが中間影にあたる閾値(a と b)に近いほど係数が1に近づき、中間影とはほぼ同じ補正を行う。それに対して、DNが0や日影の閾値 c に近いほど係数が0に近づき、中間影と異なる補正を行う。

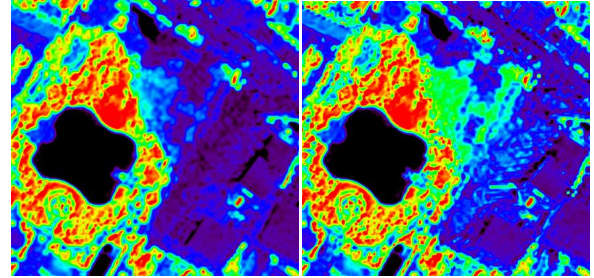
本来日影の相対明度比は、画像撮影時の太陽高度、大気の状態、天空率などにより決まる。本研究では、 $1/r$ は教師データから求めた回帰直線の傾きを使用する。

濃い影のオブジェクトに対しては、すべてのDN値が平均値 μ_{shadow} 以下であり、1以下の θ をかけることでより明るく補正することができる。薄い影のオブジェクトに対しては、すべてのDN値が平均値 μ_{shadow} 以上であり、-1から1までの θ を乗ずることで、中間影に近い部分を中間影の補正結果と近似したDN値に、日向に近い部分を日向と近似したDN値に補正することができる。

日影抽出の結果より、バンコク中心部のQB画像における日向領域の平均DN値は340.9、日影領域の平均DN値は187.5であった。日影の明度比を求めるために、オリジナル画像から同一物質が日影と日向にある部分をサンプルデータとして14箇所のペア(中間影から12箇所、薄い影から2箇所)を選択した。サンプルデータのPANバ

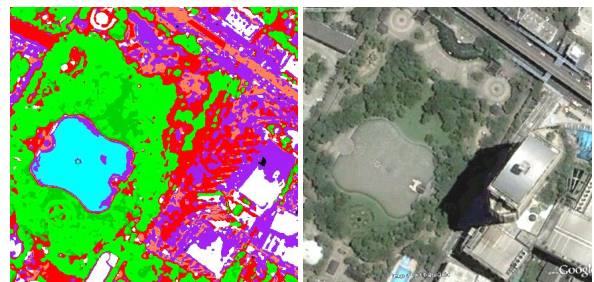


(a) (b)



(c) (d)

図-11 オリジナル画像(左)と影補正後の画像(右)の一部のフォースカラー表示(a-b)とNDVI値(c-d)での比較



(a) (b)

図-12 影補正後画像の土地被覆分類結果(a)と2006年8月12日に撮影された影の短いQuickBird衛星画像

ンドにおけるDN値を図-9に示す。濃い影は大きい影の中心部にあるため、対応する日向の物質が不明であり、サンプルデータとして選択することができなかった。中間影の12ペアのサンプルデータのDN値から回帰直線を求め、その傾き4.0をPANバンドにおける日影の明度比の逆数として使用した。

明度比を均一した直線補正式と3段階補正式を用いた補正結果も図-9に示す。2つの結果を比較すると、中間影においては同じ補正式を用いるため、補正結果は同じである。しかし、3段階補正式を用いた補正結果では、薄い影部分において日向のサンプルデータと近似したDN値に補正することができた。これらの比較より、影の濃さを考慮した3段階補正式の方が、より自然な影なし画像を作成できることが分かった。

3段階補正式を用い補正したバンコクのPAN画像のヒストグラムも図-5に示す。これより、DN値が影閾値(217)以下の部分は3段階補正法により日向の値(217以上)

へ移動したことが分かる。補正後のパンシャープン画像を図-10に示す。影部分の輝度値は全体的に補正され、日影と日向の隣接部分も自然に繋がっている。補正前後のQB画像の一部分の拡大比較を図-11(a), (b)に示す。これより、影に隠れた屋根や車両が、補正後は判読できるようになった様子が読み取れる。

5. 補正結果の評価

本研究で提案した3段階影補正の結果を評価するために、NDVI変換と教師付き土地被覆分類を行った。Yamazakiら¹²⁾は白板を用いて太陽光の反射量を測定し、各季節での日影における白板の反射量と日向における反射量の比を影の相対明度比として求め、この比が波長が長くなるにつれ減少する傾向にあることを示した。日影による影響は、波長の長い近赤外バンドで最も大きいため、NDVI画像では、日影における値が日向のものより小さくなる。NDVI値による植生抽出を行う時、日影にある植生のNDVIが小さく評価され、正しく抽出されないことがある。そこで、影補正後の画像を用いて算出されたNDVIが、日向における値と同程度に回復するかどうかを影補正結果の1つ評価基準とした。

補正前後の画像から算出されたNDVIを図-11(c)と(d)に示す。オリジナル画像のNDVIでは、日影部分のNDVIは水域以外では最も低い数値を示していたが、補正後では、ほとんどの日影部分でNDVI値が回復され、日影にある植生も高いNDVI値を示すようになった。補正された日影にある植生のNDVIは、その周辺の日向にある植生のNDVIと近い数値となっている。

補正結果を評価するもう1つの基準として、影補正後の画像を用いた教師付き土地被覆分類を行い、輝度値を回復した日影部分が日向と同じように分類されるかどうかを試した。

2章ではオリジナルのQB画像を水域(池と湖)、樹木、芝生、鉄道、道路、2色の屋根と影の計9クラスに分類したが、影補正後の画像では同じトレーニングデータを用いて分類し、結果を図-3(b)に示す。補正後の画像には、1,216 m²(全画像の0.05%)のエリアが影として分類され、主に樹木の小さい影など補正の必要がないものであった。その一部分を拡大し、図-12(a)に示す。図-12(a)からは、本来の日向と日影の境界が見られなくなり、日影部分が自然に補正されたことが分かる。補正前に影と分類された部分に関しては、約34%が屋根に、約37%が道路に分類された。

さらに、図-12(b)に示すGoogle Earthから得られた2006年8月12日にQuickBird衛星が撮影した影の短い画像により、一部分の目視被覆分類を行った。オリジナル画像の日向と日影における同じ土地被覆エリアを抽出し、影補

表-1 影補正後画像内の同じ土地被覆における日向部と日影補正部の分類結果の比較

		サンプルエリア											
		池		公園内の道		小屋		空き地		樹木		花壇	
		日向	日影	日向	日影	日向	日影	日向	日影	日向	日影	日向	日影
土地被覆分類結果(%)	水	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	樹木	1.8	0.0	0.6	0.7	81.4	3.1	2.8	0.7	83.9	72.2	0.0	0.0
	芝生	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	13.1	2.2	0.0	0.0
	道路	95.5	66.7	34.4	34.0	1.4	0.6	0.4	19.3	0.1	0.7	4.3	26.8
	鉄道	1.7	14.6	20.5	39.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	3.3	63.2
	屋根	1.0	18.7	44.4	26.2	17.1	96.3	88.8	74.1	2.9	24.9	92.4	9.9

正後の土地被覆分類結果を比較した。その一部を表-1に示す。表-1における6つのサンプルエリアでは、3つのエリアが影補正後、日向とほぼ同じ分類になった。道と花壇エリアは分類が一致しなかったものの、分光特性が近似している人工被覆(鉄道と屋根)に分類された。また、日向における小屋が間違って樹木に分類されて、日影の小屋が補正後に屋根として正しく分類された。図-12(a), (b)を比較すると、影補正後の土地被覆分類がほぼ正しいことが分かる。

6. まとめ

本研究では、高解像度光学センサ画像上の日影に隠された情報を回復するために、日影の抽出とその補正手法を提案した。まずPAN画像からオブジェクト分類法を用いて、DN値が低い部分を日影として抽出した。次に、影の濃さを考慮して日影を3段階に再分類した。分類結果に基づき、一つのオブジェクト内が同じ土地被覆になるように、MS画像を用いて再セグメンテーションを行った。また、影の線形補正式を改良し、抽出された日影部分と日向部分の平均DN値と教師データから得られた影の相対明度比を用いて、日影部分のDN値の補正を行った。提案した手法をバンコク市中心部のQB衛星画像に適用したところ、自然な影なしの画像が得られ、補正前には影に分類された部分が、補正後は植生や人工被覆に正しく分類された。本研究で提案した影抽出と補正の手法は、高解像度衛星やデジタル航空カメラなどによる光学センサ画像の前処理として、役立つことを期待している。

参考文献

- 1) Shu, J. S. and Freeman, H.: Cloud shadow removal from aerial photographs, *Pattern Recognition*, Vol.23, No.6, pp.647-656, 1990.
- 2) Shettigara, V. K. and Sumerling, G. M.: Height determination of extended objects using shadows in SPOT images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.64, No.1, pp.35-44, 1998.

- 3) Dare, P. M.: Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.71, No.2, pp.169-177, 2005.
- 4) Sarabandi, P., Yamazaki, F., Matsuoka, M. and Kiremidjian, A.: Shadow Detection and Radiometric Restoration in Satellite High Resolution Images, *Proc. of the IEEE 2004 IGARSS*, CD-ROM, 2004.
- 5) Rau, J. Y., Chen, N. Y. and Chen, L. C.: True orthophoto generation of built-up areas using multi-view images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.68, No.6, pp.581-588, 2002.
- 6) Li, Y., Sasagawa, T. and Gong, P.: Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.26, No.18, pp.3911-3929, 2005.
- 7) Nakajima, T., Guo, T. and Yasuoka, Y.: Simulated recovery of information in shadow areas on IKONOS image by combing ALS data, *The 23rd Asian Conference on Remote Sensing*, CD-ROM, 2002.
- 8) Kouchi, K. and Yamazaki, F.: Characteristics of Tsunami-Affected Areas in Moderate-Resolution Satellite Images, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.45, No.6, pp.1650-1657, 2007.
- 9) Hoan, N. T. and Tateishi, R.: Cloud removal of optical image using ALOS Applications. Experimenting on simulated ALOS data, *Journal of The Remote Sensing Society of Japan*, Vol.29, No.2, pp.410-417, 2009.
- 10) Wang, B., Ono, A., Muramatsu, K. and Fujiwara, N.: Automated detection and removal of clouds and their shadows from Landsat TM images, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol.82, No.2, pp.453-460, 1999.
- 11) Welch, R. and Ahlers, W.: Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TMData, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.53, No.3, pp. 301-303, 1987.
- 12) Yamazaki, F., Liu, W. and Takasaki, M.: Characteristics of shadow and removal of its effects for remote sensing imagery, *Proc. of the IEEE 2009 IGARSS*, CD-ROM, IV426-429, 2009.
- 13) Navulur, K.: *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*, pp. 20-21, CRC Press, 2007.
- 14) Zhan, Q., Shi, W. and Xia, Y.: Quantitative analysis of shadow effects in high-resolution images of urban areas, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.36, No.8/W27, 2005.

(2010. 12. 10 受付)

SHADOW DETECTION AND CORRECTION FROM HIGH-RESOLUTION SATELLITE IMAGERY

Wen LIU and Fumio YAMAZAKI

Shadows in remote sensing images often result in problems for various applications such as land-cover classification, change detection, and damage detection in disasters. Due to these reasons, it is very useful if the radiance of shadowed areas is corrected to the same radiance as shadow-free areas. In this study, a shadow detection and correction method was proposed. Shadowed areas were detected by object-based classification, using brightness values and a neighbor relationship. Then the detected shadowed areas were corrected by a liner function to produce a shadow-free image. The shadowed areas with different darkness were corrected with different ratios to improve the accuracy of the result. The spectral characteristics of sunlit and shadowed areas in a QuickBird image were studied and then the shadow-free radiance was obtained.