

MODIS データによる森林被覆率推定値の最適利用に関する研究

環境リモートセンシング研究室 本田 広司

指導教官 向井 幸男

力丸 厚

1. はじめに

グローバルな森林資源観測においては、NOAA、SPOT-VEGETATION、MODIS 等の広域高頻度観測衛星の利用が、観測諸条件及び経済性から必須と考えられている。現段階におけるグローバルな森林資源観測収集技術として、LANDSAT 等の従来型の地球観測衛星を用いた森林資源情報収集については、樹冠密度推定(FCD)モデル¹⁾を含め多くの研究がなされている。また、広域高頻度低空間分解能観測衛星を利用した地球規模の森林資源情報の収集には、画素内推定による土地被覆推定手法²⁾も提唱されている。しかしながら、広域高頻度観測衛星における既往の研究では、中分解能及び高分解能衛星の教師データが必要となり、広域高頻度観測衛星の利点を活かしきれていない。

そこで本研究では、広域高頻度低空間分解能観測衛星である MODIS データのグローバルな森林資源観測への有効利用を目的とし、MODIS データから得られた森林資源情報の検証を行なうと共に、中分解能及び高分解能衛星の教師データを必要としない、森林資源観測結果の妥当性自己診断手法の開発を検討した。

2. 対象領域及び使用データ

本研究では、新潟県の森林地域を解析対象領域とした。TERRA/MODIS データから得られた森林資源情報の検証のために、2000 年 7 月 23 日、24 日撮影の空中写真(デジタルオルソ)、2003 年 9 月 5 日観測の SPOT5/HRG Multi-Spectral データ、2002 年 9 月 2 日観測の LANDSAT-ETM+データ及びTERRA/MODIS データ(図 1)を使用した。また、自己診断の検討には、2002 年 9 月 2 日観測の LANDSAT-ETM+データ及びTERRA/MODIS データを用いた。LANDSAT-ETM+データは、教師データとして用いる。また、昼夜地表面温度差データ作成において、TERRA/MODIS - LST データ(図 2)を用いた。

3. 解析手法

衛星データからの森林資源情報把握には、国際熱帯木材機関 (ITTO) で活用されている森林樹冠密度(FCD: Forest Canopy Density)推定モデルを用いて推定した森林樹冠密度(FCD)推定値及び森林被覆密度(FCD: Forest Cover Density)推定値を用いる。FCD モデルは、衛星データから得られる植生、裸地、陰影、熱の 4 指標を用いて、植生密度及び森林内の正規化陰影指標を算出し、森林樹冠密度(FCD)推定値

分布図を導出する手法である。TERRA/MODIS データにおける FCD 推定値を図 3 に示す。FCD モデルにおける FCD 推定値算出手順を図 4 に示す。衛星データから得られた FCD 推定値の検証は、現地調査データである空中写真データから半自動により算出した樹冠密度との比較により行なう。また、MODIS データのみで FCD 推定値の妥当性を自己診断するための手法の検討を FCD 推定値と MODIS - LST データから作成した昼夜地表面温度差データを用いて行なう。解析手順を図 5 に示す。



図 1 解析対象領域

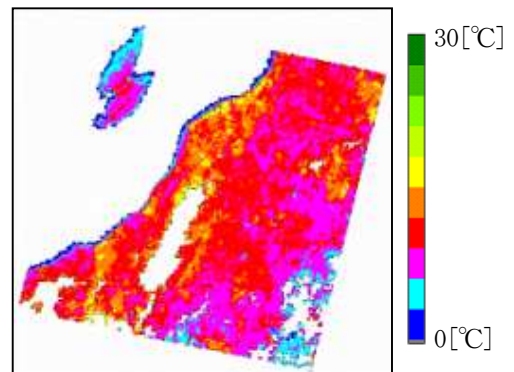


図 2 昼夜地表面温度差分布画像

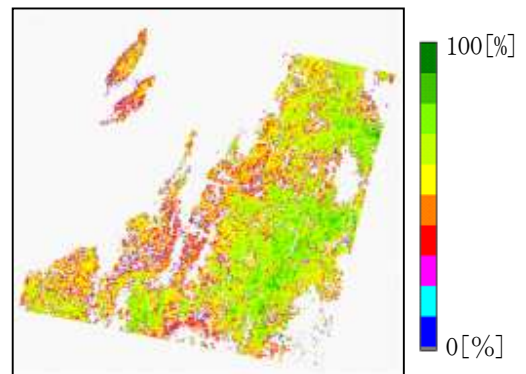


図 3 FCD 推定値分布画像

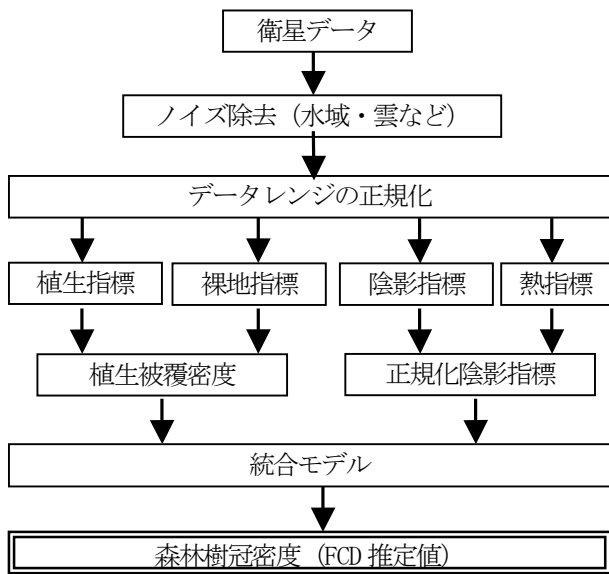


図4 FCDモデルにおけるFCD推定値算出手順

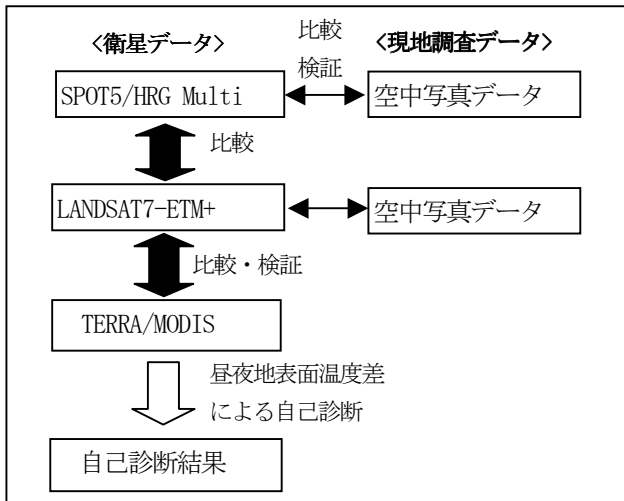


図5 解析手順

4. 各衛星データと空中写真データの比較

4-1. 空中写真データからの樹冠密度算出

各衛星データへのFCDモデル適用により算出されたFCD推定値の検証を目的として、空中写真データから樹冠密度を算出した。本研究においては、主観的要因の低減及び検証データ作成の効率化を目的として、空中写真データから半自動的に樹冠密度を算出する手法を試みた。また、G(緑)バンドを強調化する指標により、樹冠内の陰影部の画素値を強調し、樹冠面積が過小評価されるのを防ぐ処理を行なった。樹冠密度算出に用いた指標の算出式を式1と式2に示す。

$$\text{陰影指標 (SI)} = \{(256 - R) \times (256 - G) \times (256 - B)\}^{1/3} \quad (\text{式1})$$

$$G(\text{緑}) \text{バンド強調化指標} = \{G / (R + G + B)\} \times 600 \quad (\text{式2})$$

*R, G, B; 可視域の赤・緑・青バンド

算出手順としては、まず空中写真データから約30箇所のサンプルサイトを選定する。サンプル領域の大きさは、比較する衛星データの画素サイズの3×3と等しい大きさとした。次に、各サンプルサイト領域において、陰影指標(SI)を用いて、分類対象を限定する目的で樹冠部以外の陰影部を除去する。その後、SIとG(緑)バンドを強調化した指標を用いて、教師なし分類(クラスタリング)処理を施し、樹冠部と樹冠内の陰影部に分類されたクラスを目視で選択するというものである。樹冠密度算出においては、樹冠部とその他の画素を二値化し、全画素数に対する樹冠部の割合から樹冠密度を算出した。図6に空中写真のサンプルサイトの一例を示す。また、図6におけるSI及びGバンド強調画像をそれぞれ図8、9に示す。また、樹冠部選択後の二値化画像を図10に示す。

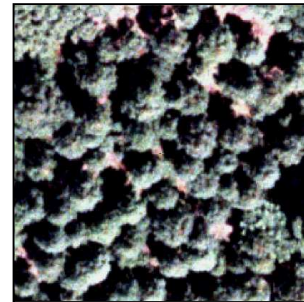


図6 空中写真サンプルサイト一例

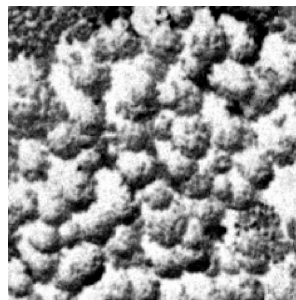


図7 SI画像

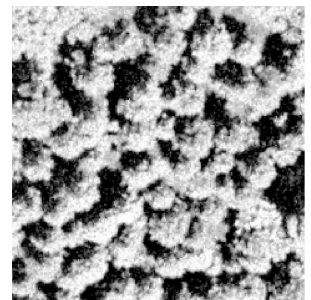


図8 Gバンド強調画像

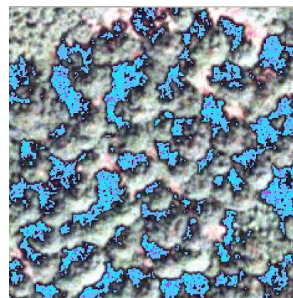


図9 陰影部除去

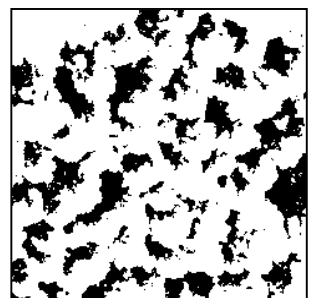


図10 樹冠部二値化画像

本手法により、空中写真からの樹冠密度算出を半自動化することで、処理効率が向上した。また、作業者の主観による誤差を低減することが可能になった。

4-2. 空中写真データによる検証

衛星データにFCDモデルを適用することで得られたFCD推定値の妥当性を検証するために、FCD推定値と空中写真から算出した樹冠密度との比較を行なった。本解析においては、SPOT5/HRG Multi-Spectral データと空中写真データから算出した樹冠密度(図11)、LANDSAT-ETM+データから算出したFCD推定値と空中写真データから算出した樹冠密度(図12)をそれぞれ比較した。また、図11及び図12の散布図において、最適な近似式を求めることで、衛星データにおけるFCD推定値を較正することが可能であると考え、それぞれ近似式を求めた。TERRA/MODIS データから算出したFCD推定値の検証に関しては、TERRA/MODISデータの空間分解能が500mと低いため、空中写真との直接比較は困難であると考えた。

図11において、切片を0として得られた最適な近似式は、

$$y=10.928 \sqrt{x} \quad (\text{式4})$$

となった。この平方根を用いた近似曲線式からのRMS(平均自乗誤差)を算出した結果、9.33となった。図12において、切片を0として近似直線式をあてはめて得られた最適な近似式は、

$$y= 1.8566x \quad (\text{式5})$$

となった。両データの相関係数は0.78である。この一次の近似直線式からのRMS(平均自乗誤差)を算出した結果、11.05となった。T検定の結果、有意水準0.05%で有意であった。これらの結果から、各比較において両データ間に関係性がみられ、FCD推定値の妥当性が証明された。

しかしながら、全体的に空中写真から算出した樹冠密度の値が、FCD推定値よりも大きくなる傾向がみられた。これは、FCDモデルと空中写真からの樹冠密度算出手法の相違によるものであると考えられる。これにより、両データの散布図における近似式を用いて、衛星データにおけるFCD推定値を較正する際に、衛星データ側の値が飽和してしまうという問題が生じることがわかった。

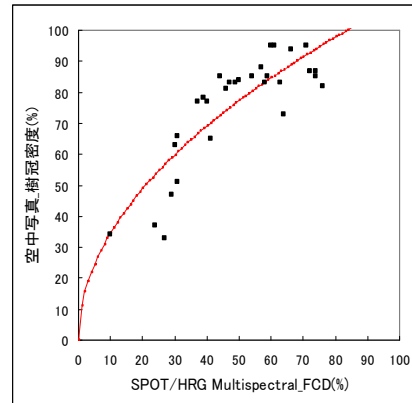


図11 SPOT データと空中写真データにおける樹冠密度の比較

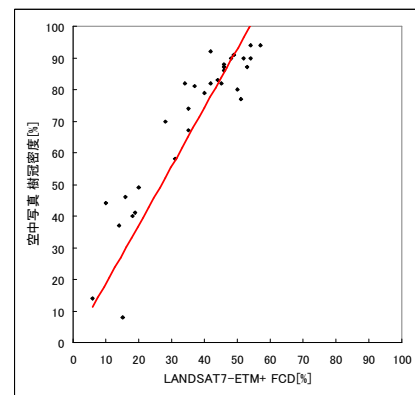


図12 LANDSAT7-ETM+データと空中写真データにおける樹冠密度の比較

4-3. TERRA/MODIS データにおけるFCD推定値の検証

TERRA/MODISデータにおけるFCD推定値の妥当性を検証するために、4-2で既に検証済みのLANDSAT-ETM+データから算出したFCD推定値との比較を行なった(図13)。比較においては、両データの差分画像を作成し、差分画像における平均値(μ)と標準偏差(σ)を求め、 $\mu - \sigma$ 以下もしくは $\mu + \sigma$ 以上の差分値を持つ画素をノイズとして除去した。差分画像作成において、基準データをLANDSAT-ETM+データ、精度を検証される側のデータを低空間分解能衛星データとした。その結果、差分画像における平均値(μ)は-1、標準偏差(σ)は14.92となり、相関係数は0.86となった。これにより、TERRA/MODISデータにおけるFCD推定値の妥当性が証明された。また、同様の方法により、SPOT5/HRG Multi-Spectral データとLANDSAT-ETM+データ間においても比較を行なった(図14)。差分画像における平均値(μ)は16、標準偏差(σ)は12.45となり、相関係数は0.78となった。これにより、空中写真データから

TERRA/MODIS データまでのスケールアップの可能性が示唆された。

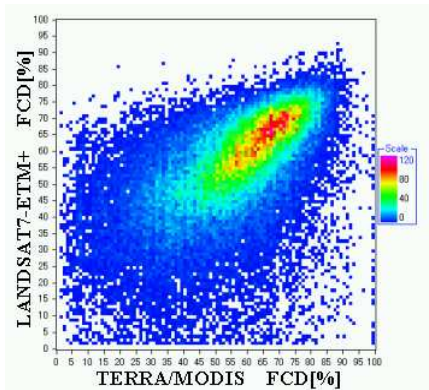


図 13 LANDSAT7-ETM+データと TERRA/MODIS データの FCD 推定値の比較

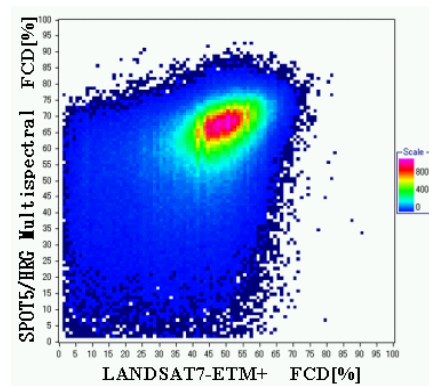


図 14 SPOT5/HRG Multispectral データと LANDSAT7-ETM+データの FCD 推定値

5. TERRA/MODIS データにおける自己診断手法の検討

TERRA/MODIS データから得られた FCD 推定値の最適利用のために、TERRA/MODIS データのみで FCD 推定値の妥当性を自己診断する手法についての検討を行なった。自己診断手法とは、中空間分解能及び高空間分解能衛星の教師データを用いず、広域高頻度観測衛星データ自身の情報で、そのデータ画素内の森林資源情報の信頼性を判断するため手法である。自己診断結果の利用により、信頼性が高いと診断された地域においては、TERRA/MODIS データのみでの解析が可能であると判断できる。また、信頼性が低いと診断された地域については、別途に処理を加えるか、中・高空間分解能データの使用を検討する必要がある。このように、広域高頻度観測衛星データからのみ情報から、そのデータの信頼性を判断することで、広域高頻度観測衛星データから得られる森林資源情報の効率的利用につながると考えられる。

本解析では、自己診断要素として、TERRA/MODIS - LST データから得られる昼夜地表面温度差に着眼した。

5-1. FCD 推定値と昼夜地表面温度差の比較

森林被覆率の違いにより温度差が生じるか否かを調べるため、同一の TERRA/MODIS FCD 推定値ごとに昼夜地表面温度差の平均値を算出した。また、各平均値からの差の平均を差分平均値として求めた。この結果から、同一の FCD 推定値において差分平均値を閾値とし、閾値を超える温度差がみられた森林地域になんらかの土地被覆的要因があると考えた。そこで、それらの地域を FCD 推定値の信頼性が低い地域と仮定して抽出した。その結果を図 16 に示す。また、それ以外の FCD 推定値を有する地域は、昼夜温度差を用いた自己診断においては FCD 推定値が妥当であると考えた。更に、自己診断よって信頼性が低い地域と診断された地域を、LANDSAT-ETM+データを用いて詳細に確認した。その結果、昼夜地表面温度差が残差平均値よりも小さな地域において森林域と非森林域の混在がみられた。この様な地域においては、TERRA/MODIS データの 1 画素内において、森林域と非森林域のミクセルが生じていることが考えられる。また、昼夜地表面温度差が残差平均値よりも大きな地域は、山間部の起伏の大きな地域であることがわかった。この地域では、TERRA/MODIS データの 1 画素内での起伏変化が見られた。それぞれの地域の代表例を図 17、18 に示す。

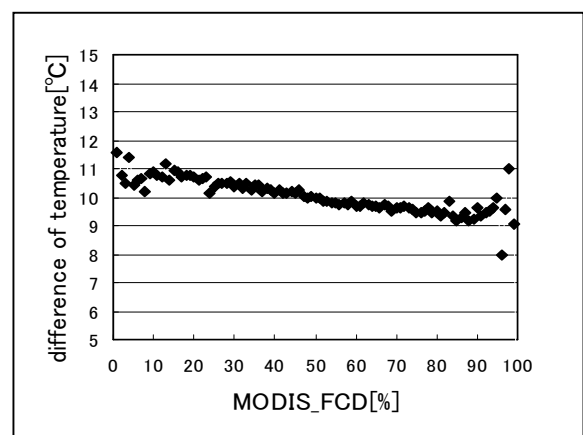


図 15 TERRA/MODIS FCD 推定値と昼夜地表面温度差の平均値の関係

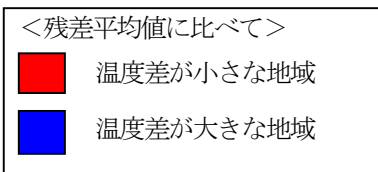
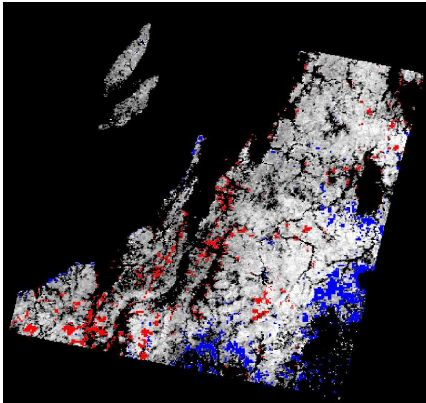


図 16 自己診断により、FCD 推定値の信頼性が低いと診断された地域

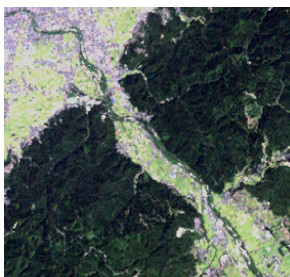


図 17 森林域と非森林域の境界

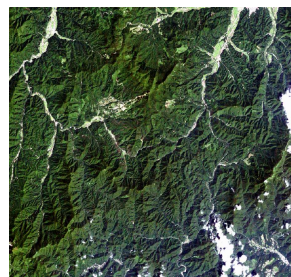


図 18 山間部の起伏が大きな地域

5-2. LANDSAT-ETM+データとの比較による自己診断結果の検証

LANDSAT7-ETM+データにおける FCD 推定値データを教師データとして、TERRA/MODIS データにおける FCD 推定値データの精度検証を行ない、TERRA/MODIS データにおける昼夜地表面温度差を用いた自己診断結果の検証を行なった。また、本解析においては、観測角度の違い及びデータ間の重ね合わせの精度の問題に起因しない、空間分解能の違いがもたらす純粋な影響を調べるために、LANDSAT7-ETM+データの空間分解能を擬似的に TERRA/MODIS データ相当に低下させたデータと、LANDSAT7-ETM+データの比較も行なった。これらの解析結果について、(1)、(2)で詳細に記す。

(1) 空間分解能の違いがもたらす影響

ここでは、空間分解能 30m の LANDSAT7-ETM+画像と擬似的に TERRA/MODIS 相当の空間分解能 500m に低分解能化処理を施した LANDSAT7-ETM+データから算出した FCD 推定値を比較した。この比較により、観測角度の違い及びデータ間の重ね合わせの精度の問題に起因しない、分解能の違いがもたらす純粋な影響を調べる事が可能であると考えた。ここでは、4.3 の手法を用いて、両データの差分画像における平均値(μ)と標準偏差(σ)を求め、 $\mu - \sigma$ 以下もしくは $\mu + \sigma$ 以上の差分値を持つ画素を FCD 推定値の精度の低い地域として抽出した(図 16)。この比較における差分画像の平均値(μ)は 6、標準偏差(σ)は 18.36 であった。

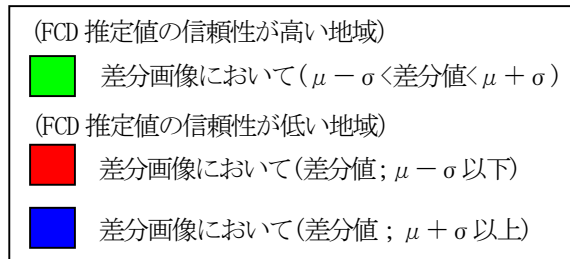
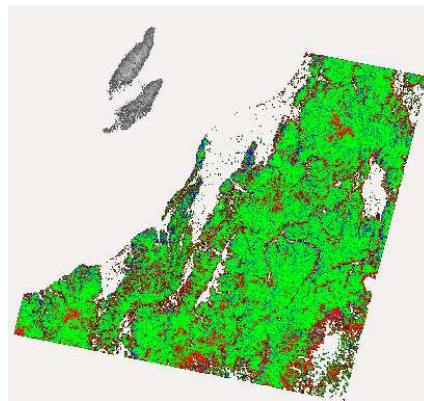


図 19 LANDSAT7-ETM+データを擬似的に TERRA/MODIS 相当の分解能に処理したデータにおける FCD 推定値の誤差分布図

(2) LANDSAT7-ETM+FCD 推定値データと TERRA/MODIS FCD 推定値データの比較

LANDSAT7-ETM+データにおける FCD 推定値を教師データとして TERRA/MODIS データにおける FCD 推定値データとの比較を行ない、FCD 推定値の精度の低い地域として抽出した(図 17)。両データから作成した差分画像の平均値(μ)は-1、標準偏差(σ)は 14.92 である。

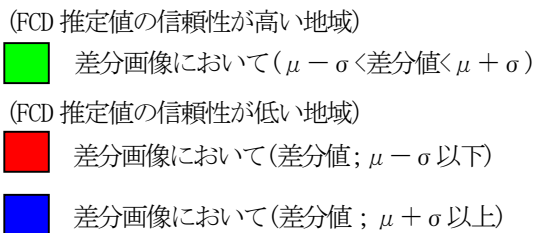
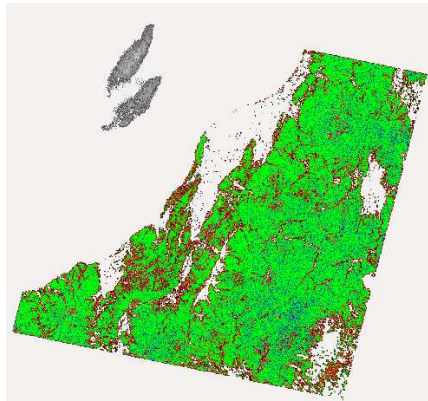


図 20 TERRA/MODIS FCD 推定値データの誤差分布図

(3) 検証結果まとめ

5-2 の(1)、(2)の結果と、5-1 において抽出された地域を比較することで自己診断結果の検証を行なった。その結果、両データにおける信頼性の低い箇所とその土地被覆特徴が概ね一致した。

したがって、TERRA/MODIS データにおいて、FCD 推定値の信頼性の低くなる箇所の特徴は、森林地域と非森林地域の境界及び山間部の起伏の大きな地域ということがわかった。また、自己診断手法により、MODIS データにおいて信頼性が低いと考えられる地域の一部が抽出できたことが証明された。これにより、MODIS データにおける昼夜地表面温度差を用いた FCD 推定値の自己診断手法の妥当性が示唆された。

6. まとめ

本研究により、MODIS データにおけるグローバルな森林資源情報把握手法の基礎的部分の構築を行なうことができたといえる。また、自己診断手法の開発により、MODIS データの効率的利用手法の提案を行なうことができた。以下に本研究結果をまとめる。

- 空中写真からの樹冠密度算出の半自動化により、処理効率が向上した。また、樹冠内の陰影が過剰に削られるのを防ぐ処理を行なった。
- LANDSAT データへの適用を前提に構築された森林樹冠密度(FCD)モデルの SPOT5/HRG Multi-Spectra

データへの適用の妥当性を証明するために、空中写真データを現地調査データとして検証を行なった。その結果、両データの比較において関係性がみられ、FCD モデルの SPOT5/HRG Multi-Spectral データへの適用の妥当性が示唆された。

- 空中写真データと SPOT5/HRG Multi-Spectral データの比較及び、空中写真データと LANDSAT7-ETM+データの比較、SPOT5/HRG Multi-Spectral データと LANDSAT7-ETM+データの比較、LANDSAT7-ETM+データと TERRA/MODIS データの比較でそれぞれ個別に関係性がみられ、空中写真データから TERRA/MODIS データまでの樹冠密度情報のスケールアップの可能性が示唆されたと同時に、TERRA/MODIS データへの FCD モデル適用の妥当性が示唆された。
- MODIS データにおける、昼夜地表面温度差を用いた FCD 推定値の自己診断手法の妥当性が示唆された。

参考文献

- 1) A. Rikimaru, Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow, The 18th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.E6.1-6, 1997
- 2)
 - 須崎純一ら, ミクセルの存在とトレーニングデータの代表性を考慮した時系列低空間分解能画像を用いた土地被覆分類手法, 写真測量とリモートセンシング, vol140, 3, 2001
 - 竹内渉ら, Terra MODIS と ASTER のスケーリングによる西シベリア北方湿原からのメタン発生量の推定, 日本写真測量学会 平成 14 年度春季年次講演会論文集