

IKONOS 高解像度衛星による高齢アカマツ大径木の 樹勢区分とバンドおよび輝度値の特徴

澤口 勇雄^{*1}・前田 朋美²・立川 史郎¹

澤口勇雄・前田朋美・立川史郎：IKONOS 高解像度衛星による高齢アカマツ大径木の樹勢区分とバンドおよび輝度値の特徴 日林誌 88：33~36, 2006 IKONOS 高解像度衛星画像を用いて高齢アカマツ大径木の樹勢区分とバンドおよび輝度値の関係について解析した。DN 値はすべてのバンドにおいて健全な個体グループほど高い値を示した。分散分析の結果からいずれのバンドも樹勢間で有意差が認められ、樹勢区分のためのバンドの優位性はバンド 4>バンド 2, 3>バンド 1 の順であった。各バンドの DN 値を変数に判別分析により目視による樹勢区分と比較したところ、変数が増大するにつれて判別の中率は向上した。最高の判別の中率は樹勢の違いが最も大きい樹勢 1 と樹勢 3 の 81%, 最低は樹勢 1 と樹勢 2 の 56%だった。

キーワード：アカマツ, IKONOS, 樹勢, リモートセンシング

Sawaguchi, I., Maeda, T., and Tatsukawa S.: Characteristics of Band and Luminance and Classification of the Tree Vigor of Aged, Large-diameter Japanese Red Pine (*Pinus densiflora*) Using High-resolution IKONOS Satellite Data. J. Jpn. For. Soc. 88: 33~36, 2006 The relationships between characteristics of band and luminance and classification of the tree vigor of aged, large-diameter Japanese Red Pine was performed using high-resolution IKONOS satellite data. The digital number (DN) was higher with individual groups of healthy trees in all bands. Based on results of ANOVA, there was a significant difference in tree health at every band. The predominance of bands for classification of the tree vigor were band 4 > band 2, band 3 > band 1, in order. When tree health was diagnosed through discriminant analysis of the DN for individual bands in the amount of variance, discriminant accuracy improved with an increase in the amount of variance. Maximum discriminant accuracy was 81% between the group with the healthiest trees and the group with the least healthy trees, and the minimum was 56% between the group with the healthiest trees and the group with the second healthiest trees.

Key words: IKONOS, Japanese red pine, remote sensing, tree vigor

I. はじめに

岩手大学農学部附属滝沢演習林の高齢アカマツ林分は、武藤ら (9, 10) が母樹保残によるアカマツ保残木作業法を確立したことで著名である。樹齢は 160 年に及び、南部アカマツの代表的林分である (15, 17)。岩手県においても、松枯れ被害地の拡大や国有林, 民有林における伐採が進んだことにより、高齢のアカマツ大径木は次第に減少しており、本演習林の高齢アカマツ林分は今や貴重な存在となっている。しかしながら、最近、高齢アカマツ大径木の枯損や枝葉量の減少により樹勢が低下している個体が顕在化してきた。高齢アカマツ大径木は貴重な有用資源であり、樹勢区分を効率的に行うことにより、資源の有効利用を図る手法の開発が望まれている。なお、本演習林では、松食い虫による松枯れ被害は、2005 年 3 月時点において確認されていない。

物体の分光反射率は物体の種類によって異なり、植物は近赤外領域で反射率が高い (7, 11)。特に健全な樹木は多くの赤外線を反射しており、これは植物のクロロフィル

によるものとされている (7, 11, 19)。このことを応用して樹勢区分を行う方法は、1970 年台中葉に赤外カラー写真やマルチバンド写真が撮られるようになって可能となった (2, 19)。植物の活性度の空中写真による判読は、赤外カラー空中写真は解像度が高いことから、現在でも森林衰退調査に用いられており、その有効性を失ってはいない (18)。

本格的な地球観測衛星 LANDSAT が 1972 年に打ち上げられ、森林分野での衛星リモートセンシングが開始された。しかしながら、LANDSAT の TM センサの解像度は 30 m だったことが示すように、空中写真に比べて解像度が低いことが、樹木個体レベルでの衛星リモートセンシングの利活用のネックとなっていた。1999 年に打ち上げられた米国の商業衛星 IKONOS の解像度はマルチスペクトル 4 m, パンクロマチック 1 m, 各センサ 1 画素あたりの情報量は、LANDSAT の 8 ビットに対して IKONOS は 11 ビットであり、より鮮明な画質の画像を得ることができることから、樹木個体レベルでの高解像度衛星によるリモートセンシングの活用が期待できる (7)。IKONOS

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: sawai@iwate-u.ac.jp

¹ 岩手大学農学部 (020-8550 盛岡市上田 3-18-8)

Faculty of Agriculture, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka 020-8550, Japan.

² 青森県庁 (030-8572 青森市長島 1-1)

Aomori Prefectural Government, 1-1 Nagashima, Aomori 030-8572, Japan.

(2005 年 4 月 19 日受付; 2005 年 8 月 17 日受理)

表-1. 樹勢評価基準とサンプル数

樹勢区分	観測項目		高齢アカマツ 調査本数	樹勢区分 サンプル数
	樹形	枝葉密度		
1 (健全)	自然樹形	正常	579	50
2 (やや衰弱)	やや乱れ	やや疎	188	50
3 (衰弱)	乱れ	疎	34	20
4 (枯死)			0	0
合計			801	120

画像を用い加藤 (5) は、単木判読の可能性は空中写真の判読精度に近づいたと報告している。さらに、Kato (6) は IKONOS 画像を用いて樹種分類を行い、21 樹種の分類精度は 62% だったとしている。堀ら (1) も同様に樹種分類を試みている。

本研究では、植生の活性を示すといわれている近赤外線センサを有する IKONOS 衛星に着目し、健全性の異なるアカマツのスペクトル特性から高解像度衛星画像による樹勢区分の可能性について検討した。リモートセンシングによる樹木の活力評価は、航空機 MSS センサにより、昭和 50 年代中葉にはその可能性が確かめられているが (16)、衛星リモートセンシングによる樹木個体レベルでの樹勢区分の研究例はない。

II. 材料と方法

1. 対象地の概要

対象地は岩手県岩手郡滝沢村に所在する、岩手大学農学部附属滝沢演習林である。同演習林は、盛岡市から北方に約 10 km で、海拔高 170~274 m、気候は年平均気温 9.5°C、最暖月平均気温 22.5° (8 月)、暖かさの指数 77.7、年降水量 1,216.9 mm であり、東北地方北部における太平洋型気候の特徴を有している (4)。対象林小班は、5 林班に、へ、る、わ小班である。演習林の森林調査簿によると、高齢アカマツの林齢は 157 年生 (2002 年) とされている (4)。対象地の地形は起伏が小さく、ほとんど平坦である。

2. 解析方法

解析には、解像度 1 m の 4 バンドカラー (近赤外/R/G/B) のパンシャープンの IKONOS 画像 (2002 年 10 月 24 日撮影) を用いた。IKONOS 衛星のセンサの波長域は LANDSAT TM のバンド 1~4 と同じである。バンドと波長帯の関係はバンド 1 は Blue, バンド 2 は Green, バンド 3 は Red, バンド 4 は近赤外で、センサは 11 ビットのダイナミックレンジである。幾何補正のための GCP (Ground Control Point) は、DGPS (Trimble 社製ビーコン内蔵型 DGPS 機; AgGPS124) 測位によって取得した。測位は 1 秒間隔で 5 分間連続測位して中心座標を求め GCP とした。GCP の総数は 11 地点で、座標系は平面直角座標系 (東京測地系) による。GCP の測位精度 (精密度) は 1 m 以内である (13, 14)。画像座標と GCP の対応付けは、座標変換式 (3 次多項式) による。幾何補正の変換誤差は 0.73 m だった。画像解析ソフトウェアは ERDAS 社の IMAGINE 8.6、測地系の座標変換には tky 2

表-2. アカマツの胸高直径および樹高

区分	調査本数	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)
樹勢 1	50	59.4	27.2
樹勢 2	50	56.7	27.2
樹勢 3	20	56.5	25.9
高齢アカマツ全体	801	57.6	28.0

wgs (ver 3.5 (8)) を用いた。

3. 樹勢区分木の抽出

1) アカマツ個体のグラウンドデータの取得

アカマツ個体の位置および樹勢区分を行うための現地調査は、2001 年春~同年秋にかけて、胸高直径 50 cm 以上のアカマツ大径木を対象木に行った。胸高直径は輪尺、樹高は Vertex III (Haglöf 社) によって測定した。調査総本数は 801 本でアカマツの平均胸高直径は 57.6 cm、平均樹高は 28.0 m だった (表-2) (15)。調査アカマツの大部分を占める 5 林班の小班、わ小班の胸高直径 50 cm 以上のアカマツ立木密度は 111, 130 本/ha、胸高断面積合計は同様に 24.2, 19.3 m²/ha だった (15)。

樹木位置座標は、GCP と同一の DGPS 機を用いて根元位置を測位した。アカマツ個体の樹勢区分は目視によった。樹勢は、樹木活力調査の評価基準例 (12, 19) を参考に、樹形と枝葉密度から 4 段階で相対評価した (表-1)。樹勢「1」は自然樹形で枝葉密度が正常な「健全」個体、樹勢「2」は樹形にやや乱れがあり枝葉密度が「1」に比べやや疎の「やや衰弱」個体、樹勢「3」は樹形が乱れ枝葉密度が疎の「衰弱」個体、樹勢「4」は枯死個体である。樹勢別の本数割合は、樹勢 1 が 72.2%、樹勢 2 が 23.5%、樹勢 3 が 4.3% で樹勢 4 はなかった (表-1)。樹勢別の胸高直径、樹高は表-2 に示すように樹勢 1 の胸高直径が樹勢 2、樹勢 3 に比較して約 3 cm 大きく、樹勢 3 の樹高が樹勢 1、樹勢 2 に比較して約 1 m 低いものの、樹勢間の樹木サイズはほぼ等しい。

2) 樹冠画像の取得

幾何補正後の IKONOS 画像に、現地調査で得たアカマツ個体の位置座標を重ね合わせ、樹冠中心部から円形 (半径 2 m) に樹冠画像 (12~13 画素) を切り出した。IKONOS 画像と樹冠画像を図-1 に示す。樹勢画像のバンド 4 のデジタルナンバー (DN 値) は、樹勢 1 が 502.5、樹勢 2 が 450.7、樹勢 3 が 411.8 である。アカマツ個体は樹高方向が鉛直とは限らず、樹冠が偏倚することもあるので、DGPS により取得した位置座標が必ずしも樹冠中心部に一致するとは言いえない。この場合、隣接する複数のアカマツ個体の位置座標から画像判読により中心部を推定した。樹勢区分を行うために切り出した樹冠画像のサンプル数は樹勢「1」50 本、樹勢「2」50 本、樹勢「3」20 本である (表-1)。

III. 結果と考察

樹勢別のスペクトル特性を明らかにするために、バンド別のデジタルナンバーを図-2、表-3 に示す。バンド別の

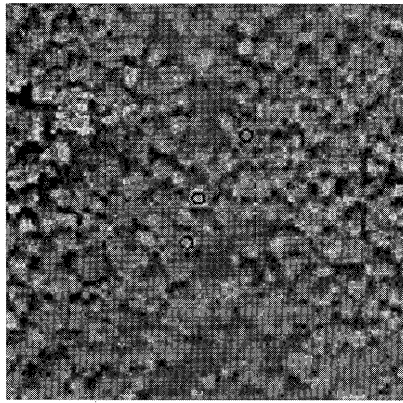


図-1. 樹勢区分アカマツ林の IKONOS 画像
樹冠画像 (樹勢 1, 中央円; 樹勢 2, 左下円; 樹勢 3, 右上円)。

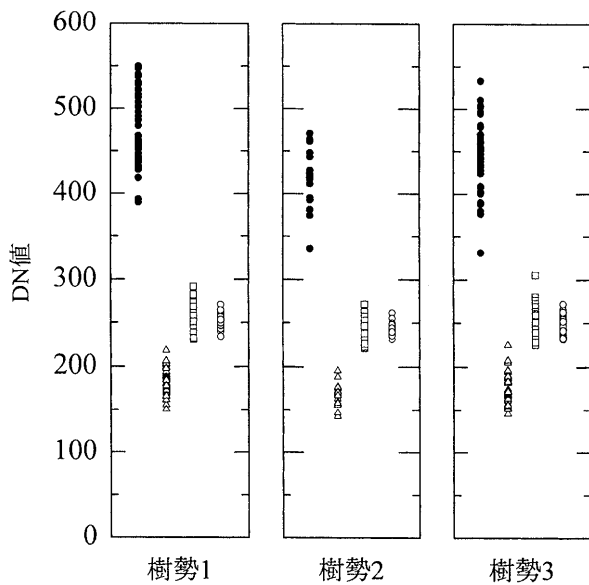


図-2. 樹勢別の DN 値

●, バンド 4; △, バンド 3; □, バンド 2; ○, バンド 1。

表-3. 樹勢のバンド別の DN 値

区分		樹勢 1	樹勢 2	樹勢 3
バンド 1	最大	270.7	272.1	261.4
	最小	234.3	232.2	231.7
	平均	252.5	249.3	245.3
	変動係数	2.69	3.47	2.65
バンド 2	最大	291.4	305.8	271.5
	最小	230.7	225.2	221.2
	平均	259.0	252.5	243.5
	変動係数	4.57	6.12	5.14
バンド 3	最大	218.3	225.1	195.7
	最小	150.5	145.5	142.5
	平均	183.6	177.4	166.6
	変動係数	7.25	9.03	7.53
バンド 4	最大	549.5	533.5	470.6
	最小	389.4	331.2	335.6
	平均	474.3	446.1	415.1
	変動係数	8.34	9.13	7.91

表-4. 分散分析表 (2元配置)

要因	偏差平方和	自由度	分散	分散比	p 値
バンド	5006627	3	1668876	3301.3	<0.001
樹勢	36910	2	18455	36.5	<0.001
交互作用	25577	6	4262	8.4	<0.001
誤差	236581	468	505		
全体	5305696	479			

表-5. 樹勢間の分散分析

バンド	分散比	p 値
バンド 1	6.65	<0.01
バンド 2	9.47	<0.001
バンド 3	9.90	<0.001
バンド 4	17.26	<0.001

表-6. Scheffe の方法による多重比較

p 値	水準	樹勢 2	樹勢 3
<0.001	樹勢 1 樹勢 2	—	バンド 2, 3, 4
<0.01	樹勢 1 樹勢 2	バンド 4 —	バンド 1
p 値	水準	樹勢 2	樹勢 3
<0.05	樹勢 1 樹勢 2	—	バンド 2, 3, 4

DN 値はバンド 4 が 335.6~549.5 の範囲で最も高く、レンジは 213.9 で最大だった。バンド 2 は 221.2~305.8, バンド 1 は 231.7~272.1 でバンド 2 とほぼ近い DN 値を示したが、バンド 2 のレンジはバンド 1 の 2 倍を上回った。バンド 3 の DN 値は最も低く 142.5~225.1 だったが、レンジはバンド 2 とほぼ同じ値を示した。DN 値は、吸収域のバンド 3 で低く、反射域のバンド 4 で高いのが確認できた (5, 6)。バンド 4 の DN 値のレンジは、バンド 2, 3 の 3 倍、バンド 1 の 5 倍近くに及んだことから、バンド 4 が樹勢区分に有用であることが推察される。しかしバンド 4 の変動係数は、バンド 1 の 3 倍に達していることから明らかかなように、デジタルデータのばらつきが最も大きいことにも留意する必要がある。樹勢と DN 値の関係は、すべてのバンドにおいて、健全なグループほど DN 値は高くなった。

バンド間、樹勢間の差の検定を行うために 2 元配置の分散分析を行った。結果を表-4 に示す。いずれの因子 (バンド 1, 2, 3, 4), (樹勢 1, 2, 3)) にも $p < 0.001$ で水準間に差が認められた。二つの因子間に交互作用は認められず、互いに影響を及ぼしていない。樹勢とバンドの関係を明らかにするために一元配置の分散分析を行った。いずれのバンドも樹勢間で有意差が認められた (バンド 2, 3, 4 ($p < 0.001$), バンド 1 ($p < 0.01$)) (表-5)。Scheffe の方法 (3) による多重比較の結果を表-6 に示す。樹勢 1 と 3 ではバンド 2, 3, 4 が $p < 0.001$, バンド 1 が $p < 0.01$ で有意だった。同様に樹勢 1 と 2 ではバンド 4 が $p < 0.01$, 樹勢 2 と 3

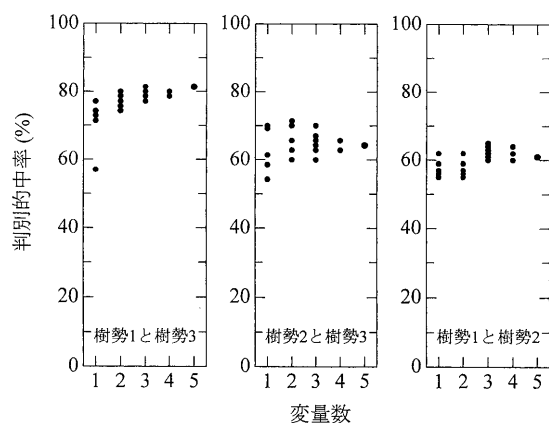


図-3. 判別分析による樹勢区分

ではバンド 2, 3, 4 が $p < 0.05$ で有意差が認められた。この結果から、樹勢区分におけるバンドの優位性はバンド 4 > バンド 2, 3 > バンド 1 の順といえた。

スペクトルによる樹勢区分の可能性を明らかにするために判別分析を行った。変量はバンド 1~4 および NDVI の 5 変量とした。バンドの組み合わせ数は 1 変量が 5 パターン、2 変量と 3 変量が 10 パターン、4 変量が 5 パターン、5 変量が 1 パターンである。結果を図-3 に示す。変量が増大するにつれて樹勢間における判別率が高まる傾向がみられた。1 変量の場合バンド 4 による判別率が高くて (樹勢 1 と樹勢 3 ; 77.1%, 樹勢 1 と樹勢 2 ; 70.0%, 樹勢 2 と樹勢 3 ; 62.0%), NDVI がいずれの場合も最低だった (同様に 57.1, 54.3, 55.0%)。変量数と NDVI による判別率を無視すると、樹勢の違いが最も大きい樹勢 1 と樹勢 3 の判別率は 71~81% を示したが、樹勢 2 と樹勢 3 は 58~71%, 樹勢 1 と樹勢 2 は 56~66% に過ぎなかった。以上の結果は、高解像度衛星により、健全木 (樹勢 1) と衰弱木 (樹勢 3) の樹勢区分の可能性を示したが、やや衰弱木 (樹勢 2) と健全木 (樹勢 1) あるいはやや衰弱木 (樹勢 2) と衰弱木 (樹勢 3) を精度よく判別することは困難といえた。

IV. おわりに

本研究では、IKONOS 高解像度衛星により、高齢アカマツ大径木の樹勢区分を試みた。この結果、高解像度衛星により、健全木と衰弱木の樹勢区分の可能性が示されたが

問題が残った。すなわち、グランドツルースとしての樹木の樹勢評価は目視による樹勢区分によったが、スペクトルを用いた樹勢区分の精度評価の検証には落葉、落枝量や着葉量などの物理量測定に基づく方法による樹勢評価が欠かせない。地上における樹勢区分技術の向上が望まれる。

引用文献

- (1) 堀 隆博・澤口勇雄 (2003) 高解像度衛星画像による樹種スペクトル特性. 日本学術講 114 : 791.
- (2) 稲垣恒夫 (1978) マルチスペクトル空中写真による虫害木の判読. 造園雑誌 41 : 23-26.
- (3) 石村貞夫 (1994) すぐわかる統計処理. 224pp, 東京図書, 東京.
- (4) 岩手大学農学部 (2002) 滝沢演習林第 1 次森林管理計画書. 57 pp, 岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター, 盛岡.
- (5) 加藤正人 (2002) 高分解能 IKONOS 画像による単木判読可能性の比較. 日林誌 84 : 221-230.
- (6) Katoh, M. (2004) Classifying tree species in a northern mixed forest using high-resolution IKONOS data. J. For. Res. 9 : 7-14.
- (7) 加藤正人編著 (2004) 森林リモートセンシング—基礎から応用まで—. 273 pp, 日本林業調査会, 東京.
- (8) 建設省国土地理院 (1998) 座標変換プログラム TKY2WGS Ver3.5. 20 pp, 日本測量協会, 東京.
- (9) 武藤益蔵 (1943) 赤松林の天然更新及保残作業に就いて. 赤松林施業法研究論文集 : 109-116.
- (10) 武藤益蔵・千葉宗男・沢藤雅也 (1954) 滝沢演習林におけるアカマツ保残作業について. アカマツに関する論文集. 日本林学会関西支部, 大阪営林局, 大阪. 328-335.
- (11) 日本リモートセンシング研究会 (1992) 図解リモートセンシング. 322 pp, 日本測量協会, 東京.
- (12) 林野庁監修 (1998) 林業技術ハンドブック. 1969 pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- (13) 澤口勇雄 (2000) 森林地帯におけるリアルタイム DGPS の実務性. 森林航測 191 : 1-3.
- (14) Sawaguchi, I., Nishida, K., Shishiuchi, M., and Tatsukawa, S. (2003) Positioning precision and sampling number of DGPS under forest canopies. J. For. Res. 8 : 133-137.
- (15) 澤口勇雄・西嶋久雄・立川史郎・猪内正雄 (2003) 滝沢演習林 5 林班におけるアカマツ大径木の分布構造. 岩大演報 34 : 65-70.
- (16) 妹尾俊夫・本城尚正 (1982) リモートセンシングによる樹木の活力評価のための基礎研究. 京都府大演報 26 : 1-15.
- (17) 杉田久志 (1984) 岩手地方のアカマツ林の成立過程 (I). 岩手大学滝沢演習林のアカマツ老齢単純林分の場合. 岩大演報 15 : 51-64.
- (18) 鈴木 圭 (2002) 赤外カラー空中写真判読による森林衰退調査—霧島山系地域での調査事例—. 森林航測 198 : 1-5.
- (19) 渡辺 宏 (1975) 樹木活力の考え方と空中写真の利用. 林業技術 399 : 14-17.