

Remote sensing ground truth in snowy areas

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Muramoto, Kenichiro メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00034827

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



KAKEN
2000
72

金沢大学

降雪地域用リモートセンシング グランドトゥースの確立

(研究課題番号 10450158)

平成10年度～平成12年度 科学研究費補助金〔基盤研究(B)(2)〕

研究成果報告書

平成13年3月

研究代表者 村本 健一郎

(金沢大学工学部)

金沢大学附属図書館



8000-96499-6

学

REMOTE SENSING GROUND TRUTH IN SNOWY AREAS

(PROJECT NUMBER 10450158)

REPORT OF RESEARCH PROJECT — GRANT-IN-AID FOR SCIENTIFIC RESEARCH —

CATEGORY : Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (2)

TERM OF PROJECT : April 1998 – March 2001

March 2001

Head Investigator: **Ken-ichiro Muramoto**

Department of Information and Systems Engineering
Faculty of Engineering
Kanazawa University

目次

まえがき	1
研究組織・研究経費・研究成果等	3
第1章 研究の概要	6
第2章 地上観測	8
第3章 ヘリコプタ観測	62
第4章 衛星画像解析	73
付録 参考成果	103

Chen, F., Kubo, M., Muramoto, K.:

Analysis of topographic effects and correction degree in mountainous vegetation data using Landsat TM data,
IEICE Technical Report, IE99-176, pp.45-50, 1999.

Muramoto, K., Komura, R., Chen, F., Kubo, M.:

Analysis of temporal changes in vegetation in central Japan by remote sensing and ground data,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 2, pp.1090-1092, 1999.

Komura, R., Kubo, M., Muramoto, K.:

Temporal analysis of forest activity using remote sensing and DEM,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 1, pp.316-318, 2000.

Muramoto, K., Kamata, N., Kawanishi, T., Kubo, M., Komura, R.:

Comparison of vegetation measured from three different distances,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 1, pp.423-425, 2000.

Chen, F., Muramoto, K., Kubo, M.:

Study of topographic factor effect and correction effectiveness using Landsat TM data,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 2, pp.618-620, 2000.

まえがき

地表から放射または反射してくるさまざまな電磁波を人工衛星や航空機を用いて観測する方法がリモートセンシングである。これらに搭載されているセンサのスペクトル帯域は可視光から近赤外線さらに熱赤外線までの範囲におよび、各スペクトルバンドにより地表の状態の分光的特性が観測できる。ランドサットのTMセンサでは7バンドが搭載されており、これらのデータと実際の地表の様子 (ground truth) との対応が確立すれば、衛星リモートセンシングにより得られた地表のデータを解釈できることになる。しかしながら、衛星に搭載されたセンサにより得られるデータが地表の何を意味しているかは、現在までの技術では未だ十分に解明されていないのが実情である。従って、現段階では地表の実際の様子との対応を調べる方法が最も確実な方法といえる。

森林は、地球上の生物の生存環境を保つ上で重要な役割を果たしている。この森林が開発や環境変化などの理由により年々減少しているといわれているが、その定量的な解析は十分に行われていない。森林の広域の変化を長期的かつ定量的に観測するには衛星を用いたリモートセンシングが有効である。衛星搭載センサは設定された幅で光や電磁波の反射の強さを走査しながら測定するので、得られるデータは2次元多重分光画像となる。この画像データから情報を抽出して、地上の状況を判断する方法には、各画素の反射値の強さを独立に調べる方法と隣接する画素との空間的な変化割合を調べる方法とがある。前者を用いる代表的な方法に、可視域から近赤外域の範囲のスペクトル反射特性より計算される正規化植生指数 (NDVI) があるが、この値により、植生活性度を評価する場合には、実際の地上の植生状況との相関、すなわち、グラントルースの検証が不可欠である。一方、後者の代表的な方法には、画像のテクスチャ解析があり、植生変化に伴って個々の画素の空間的パターンが変化することを利用する方法である。

以上のいずれの解析方法も測定単位 (1画素) 内に対象物が一様に分布していることを仮定しているが、実際には種々の植生が混在している場合がほとんどで

ある。従って、最初にスペクトル反射特性と解像度（1画素の大きさ）との関係を調べ、次に分光画像を解析するという手順が必須となる。

また、衛星搭載の受動センサによる観測では、雲が存在する場合には地表を観測できないという問題がある。更に、降雪地域では、雪と雲は、可視域では、いずれも白色であるので、アルベド（反射率）は同程度に高く、また、赤外域では、いずれも温度がかなり低いために、ほとんど差がなく、雲と地表面の識別は容易ではない。

本研究では、まず、地上ならびにヘリコプターから、同一領域の樹木のスペクトル反射特性をスペクトロメータ（分光測定器）を用いて測定した。この測定値から正規化植生指数を算出した結果、個々の葉、葉の集合ならびに樹木の集合には相関が見られたが、広い領域で測定するほど、樹木の陰（太陽光の当たらない部分）の影響が大きくなることが明らかになった。この結果は、衛星データを用いて地上の正規化植生指数を評価する場合には、両者の相関を十分に解明することの重要性を指摘しているといえる。次に、雲の温度と地表温度の差を月ごとに調べて、変動閾値法により、衛星画像から雲を抽出する手法を開発した。これにより、雲に覆われていない地域のみでの正規化植生指数を求めることが可能になった。

地球環境問題の中でも、地球温暖化は、二酸化炭素等の温室効果ガスの増加が原因であり、最も深刻な地球環境問題の一つといえる。その対策としては、温室効果ガス発生源からの排出量の削減対策法があるが、この方法には限度があり、森林による二酸化炭素の吸収量は重要である。従って、森林の広域の変化を長期的かつ定量的に観測するためにも、本研究の成果の活用が期待される。

また、近い将来、新しいセンサを搭載した次世代地球観測衛星の打上げが予定されており、衛星から得られるデータは、ますます多様化し、増大することが予想される。本研究は、それらのデータの有効的な活用の研究にも多大な貢献をするものと期待される。

本研究を進めるにあたり、フィールド観測には、金沢大学理学部助教授鎌田直人氏、同大学薬学部教授御影雅幸氏の援助を頂きました。また、観測並びにデータ解析には、金沢大学大学院自然科学研究科（村本研究室）博士後期課程の陳峰氏、小村良太郎氏、博士前期課程の轡田大介氏、同大学工学部の加藤裕輔君、萩原弘志君のご協力を頂きました。ここに、これらの方々から心から感謝申し上げます。

平成 13 年 3 月 26 日

村本 健一郎

研究課題

降雪地域用リモートセンシンググラウンドトランスの確立

課題番号

10450158

研究期間

平成10年度～平成12年度

研究種目

基盤研究(B)(2)

研究組織

研究代表者	村本 健一郎	(金沢大学・工学部・教授)
研究分担者	長野 勇	(金沢大学・工学部・教授)
	川西 啄也	(金沢大学・工学部・助教授)
	久保 守	(金沢大学・工学部・助手)
	中村 浩二	(金沢大学・理学部・教授)
	川平 浩二	(福井県立大学・生物資源学部・教授)
	高橋 教夫	(山形大学・農学部・教授)

研究経費

平成10年度	5,900千円
平成11年度	2,100千円
平成12年度	2,700千円
計	10,700千円

研究発表

[1] 学会誌等

- (1) Chen, F., Servomaa, H., Kubo, M., Muramoto, K.:
Analysis of topographic effects and correction degree in mountainous vegetation data using Landsat TM data,
IEICE Technical Report, IE99-176, pp.45-50, 1999.
- (2) Muramoto, K., Komura, R., Chen, F., Kubo, M.:
Analysis of temporal changes in vegetation in central Japan by remote sensing and ground data,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 2, pp.1090-1092, 1999.
- (3) Komura, R., Muramoto, K., Kubo, M.:
Temporal analysis of forest activity using remote sensing and DEM,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 1, pp.316-318, 2000.
- (4) Muramoto, K., Kamata, N., Kawanishi, T., Kubo, M., Komura, R., Fujita, M.:
Comparison of vegetation measured from three different distances,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 1, pp.423-425, 2000.
- (5) Chen, F., Muramoto, K., Kubo, M.:
Study of topographic factor effect and correction effectiveness using Landsat TM data,
Proc. IEEE Int. Conf. Geosci. Remote Sensing, 2, pp.618-620, 2000.
- (6) 川西琢也、林 良茂、戸田任重、川島博之：
休耕田土壌・植生ポットによる硝酸態窒素除去
システム農学, 16, 1, pp.79-82, 2000.
- (7) Kubo, M., Kamata, N., Kawanishi, T., Komura, R., Muramoto, K.:
Vegetation measured at there different scales at Kanazawa University, Kakuma Campus,
Proc. Int. Symp. Environmental Monitoring in East Asia, pp.123-124, 2000.
- (8) 小村良太郎, 久保 守, 村本健一郎：
ヘリコプタおよび地上観測データを用いた人工衛星画像の画素成分解析
電子情報通信学会技術研究報告, IE2000-105, pp.49-54, 2000.
- (9) Chen, F., Muramoto, K., Kubo, M.:
Improved topographic correction for satellite imagery,
IEICE Trans. Inf. & Syst., E83-D, 2001 (Accepted).
- (10) Nakamura, K.,:
The Kakuma “Satoyama” Nature School – a concept and a practice conserving “Satoyama”
in Kanazawa
Proc. Int. Symp. Environmental Monitoring in East Asia, p.120, 2000.

- (11) 中村浩二：
角間キャンパスの自然：森林観測タワーと環境モニタリング
金沢大学環境保全センター広報, 13, pp.11-14, 1999.
- (12) Kawahira, K., Iwasaka, Y., Shi, G-Y.:
Ozone distribution in Asia-Pasific ocean observed by satellite,
Int. Workshop on Environment in Asia, pp.12-22, 2001.
- (13) 野堀嘉裕, 高橋教夫, 尾形俊成：
ブナ年輪幅の変動に及ぼす環境要因について－北日本 8 地域における標準年輪
曲線の作成と気象要素の解析－
日本林学会論文集, 109, pp.317-320, 1998.

[2] 口頭発表

- (1) 小村良太郎, 古川明子, 陳峰, 久保守, 村本健一郎, 平井英二：
衛星データと現地調査データを用いた植生分布解析,
第 5 回エコテクノロジーに関するアジア国際シンポジウム-富山, 2, 1999.
- (2) Chen, F., Servomaa, H., Kubo, M., Muramoto, K. :
Study of Topographic Impact and Correction in Landsat TM Mountainous Forest Data,
第 5 回エコテクノロジーに関するアジア国際シンポジウム-富山, 2, 1999.
- (3) Komura, R., Kubo, M., Muramoto, K.:
Temporal analysis of forest activity using remote sensing and DEM,
第 6 回エコテクノロジーに関するアジア国際シンポジウム-富山, 11, 1999.
- (4) 佐久間陽之, 野堀嘉裕, 野呂瀬幸政, 高橋教夫：
GIS を用いたブナ生育地の地形解析－東北地方における経緯度が異なる 6 カ所
での事例－
東北森林科学会第 5 回大会講演要旨集, 11, 2000.
- (5) 福士亮太, 高橋教夫, 野堀嘉裕：
ランドサット TM データを利用した土地被覆別熱特性の把握－山形県庄内地域
の事例－
東北森林科学会第 5 回大会講演要旨集, 13, 2000.

第1章 研究の概要

1.1 研究の背景

森林は地球上の生物の生存環境を保つ上で重要な役割を演じている。この森林が開発や環境変化などの理由により年々減少していると言われているが、その定量的な解析は十分になされていない。森林活性の定量的解析が進んでいない理由の一つに森林は気候の季節的变化と気象や土壌などの環境要因による長期的な変化との両者の変化による影響を受けていることがあげられる。すなわち森林の観測には、四季を通じた観測を長期的に行うことが重要である。地球の情報を広域かつ長期的に収集するには、人工衛星等を利用したリモートセンシングが最適と言える。しかし、リモートセンシングデータを用いる場合はグラントルース (ground truth) が不可欠である。

1.2 研究の目的

地表から放射または反射してくる様々な電磁波を人工衛星や航空機を用いて観測する方法がリモートセンシングである。比較的によく用いられる衛星は、ランドサット (Landsat) とノア (NOAA) である。解像度は、ランドサットが $30\text{m} \times 30\text{m}$ 、ノアが $1.1\text{km} \times 1.1\text{km}$ であり、ランドサットは地域的なモニタリングに、ノアは大陸レベル、全球レベルのようなモニタリングに適している。これらの衛星に搭載されている TM や AVHRR などのセンサのスペクトル帯域は、可視光から近赤外線さらに熱赤外線までの範囲に及び、各スペクトルバンドにより地表の状態の分光的特性が観測できる。これらのセンサにより得られる情報と実際の様子 (グラントルース) との対応が確立すれば、衛星リモートセンシングにより得られた地表のデータを解釈できることになる。

そこで、本研究では、衛星データと地表の実際の様子との対応を確立することを目的として以下の課題を行った。

- (1) ヘリコプタに赤外線ビデオカメラ撮影システムならびにスペクトロメータを搭載し，上空から植生を観測した。観測されたビデオ映像を画像処理した。
- (2) 同時に地上でスペクトロメータを使用して植生の波長反射特性を観測した。
- (3) ノア衛星 AVHRR 画像から雲を抽出し，地表の植生分布を解析した。

1.3 研究成果の概要

第2章では，スペクトロメータとビデオカメラを使用して行った地上植生観測について述べる。樹木(葉の集合)と個々の葉の観測結果を比較し，特に樹木の陰に注目し，その影響を解析した。樹木の陰の正規化植生指数(NDVI)が大きく，個々の葉のNDVIが小さいときには，樹木のNDVIに大きく影響することが明らかになった。第3章ではヘリコプタによる観測について述べる。地上観測と同じスペクトロメータとビデオカメラを上空から衛星と同じ方向に光反射特性を測定した。ビデオ画像を広い全体画像にマッピングすることにより植物種毎のスペクトルデータと画像データを比較することができた。ヘリコプタからのNDVIと採取した葉のNDVIには相関が見られた。同一植物種でも個々の葉のスペクトル特性に違いがあり，ヘリコプタから撮影したビデオ画像データからも明らかになった。第4章では当研究室に設置されているNOAA衛星画像受信機で毎日受信しているAVHRR画像の解析について述べる。地表の植生分布を解析するためには，まず，雲を抽出する必要がある。月平均気温を基にした変動閾値法により衛星画像から雲を抽出した。さらにNDVI画像を作成し，データベースを構築した。毎日自動的に解析処理およびデータベース登録が行われ，ブラウザによる検索も可能となった。

本研究により，衛星データの利用と地上観測とを併用したグラントルースの確立のための本手法の有効性が明らかになった。しかしながら，ほとんどの植生は，さまざまな時間的・空間的スケールで変動しているので，さらに長期的な測定が必要である。また，ランドサット衛星の回帰は，16日間であるので，雲のない晴れた日のデータを地上と同時に得られる割合は極めて少なく，解析に利用できた観測データは十分とは言えない。今後，更に精度の高いリモートセンシンググラントルースを確立するために，各種観測方法の改良や開発を行い，長期間の観測データから様々な条件のデータの抽出が必要であり，本研究の継続が望まれる。

第2章 地上観測

2.1 まえがき

地球温暖化防止の国際的な取り組みにおいて、森林の二酸化炭素 (CO₂) 吸収量の解明が注目されている。しかし、温暖化防止に対する森林の役割を評価するという社会的な要請に応えるだけの蓄積がまだされてはいない。昨年開かれた地球温暖化防止ハーグ会議が難航したのも、森林による二酸化炭素の吸収量についての考え方が各国で異なっていたためである。

森林による大気中の二酸化炭素の吸収は、森林が成育している面積や植物の活性度に依存しており、その森林の活性度の定量的測定が求められている。そのために植物の活性度を測るための様々な植生指標が提案されている。また、観測方法も LANDSAT や NOAA のような地球観測衛星を用いた全球レベルでの観測、国レベルでの観測から葉1枚の観測にいたるまで様々である。こうした様々な観測レベルにおける植生の光反射特性を解析し、その特徴や関連をとらえることが重要である。

本章では、可視カメラ、赤外線カメラ、スペクトロメータを用いて得られる葉の集合と個々の葉の光反射特性から、個々の葉レベルと葉の集合レベルにおける植生指標の適用法や有効性等を考察し、その特徴や関連を解析することを目的とする。

まず、樹木のスペクトルデータなどの研究に必要なデータを得るために行った観測方法について述べる。次に、観測データの解析方法について述べ、得られた結果を考察をする。

2.2 観測方法

観測には、可視カメラ、赤外線カメラ、スペクトロメータ、距離測定器を使用した。

2.2.1 可視カメラ

ソニー

デジタルビデオカメラレコーダー

Digital Handycam

DCR-PC100

カメラ

ファインダー 電子ファインダー:カラー

撮像素子 1/4 インチ CCD 固体撮像素子
(静止画像有効画素数:約 100 万画素)

ズームレンズ カール ツァイス

10 倍 (光学), 40 倍 (デジタル)

f=4.2~42mm

(35mm カメラ換算ではカメラモード時: 48~480mm

メモリーモード時: 40~400mm)

F1.8~2.2

フィルター径 37mm

液晶画面

画面サイズ 2.5 型

総ドット数 200, 640ドット

横 880 × 縦 228

電源部、その他

電源電圧 バッテリー挿入口入力 7.2V

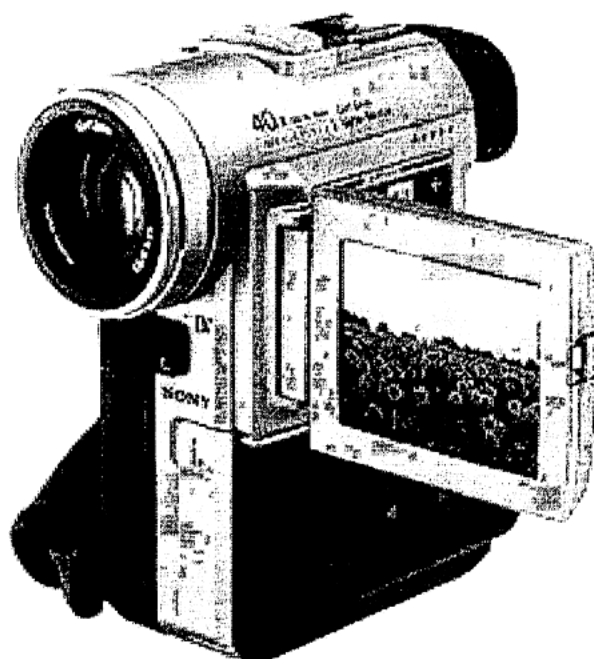
DC 入力端子 8.4V

消費電力 3.9W(ファインダー使用時)

4.4W(液晶画面使用時, 明るさ標準)

外形寸法 幅 61 × 高さ 127 × 奥行き 123 mm

本体質量 約 550g



2.2.2 赤外線カメラ

浜松ホトニクス

BEAM FINDER III

C5332 シリーズ

電源入力	AC 100, 120, 220, 240V 50/60Hz DC 12V (11~15V)
使用撮像管	2/3 インチビジコン (8844 タイプ)
走査周波数	水平 15.734kHz 垂直 60Hz
走査線数	525 本
走査方式	2:1 インターレース
水平解像度	700 本以上
信号対雑音比	45dB 以上
消費電力	8W 以下
レンズマウント	C マウント (F・B 調整± 2mm)
質量	550g
外形寸法	55mm × 80mm × 142mm



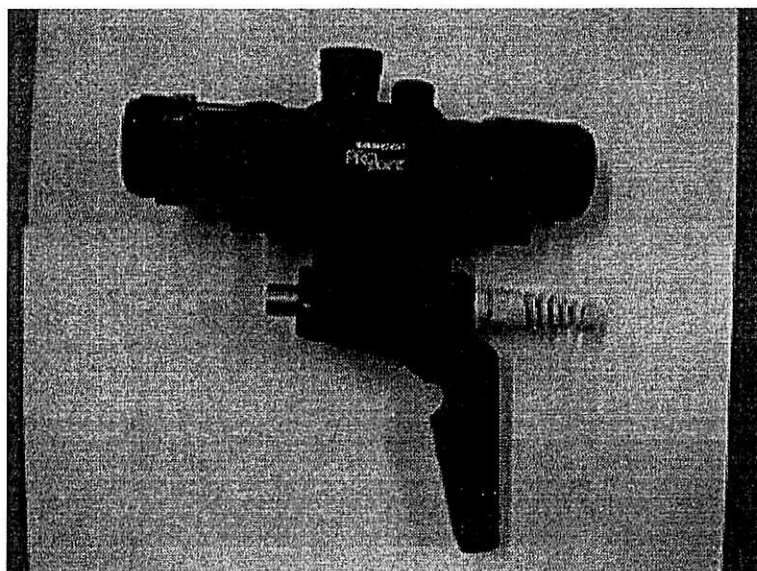
2.2.3 スペクトロメータ

Analytical Spectral Devices, Inc.

FieldSpec Pro

Fieldspec Pro FR

Spectral range	350 - 2500nm
Sensors	512 素子のフォトダイオード
Sensor linearity	± 1%
Sampling interval	1.4nm (350-1000nm) 2.0nm (1000-2500nm)
Spectral resolution	3nm @700nm, 10nm @1500nm, 10nm @2100nm
Wavelength accuracy	± 1nm
Wavelength repeatability	± 0.3nm 以上
Data storage	ハードディスクにバイナリ形式で保存
Operational weight	8kg
Operational size	33x12x41



2.2.4 距離測定器

BUSHNELL

光学距離測定器

ライトスピード 1000 (携帯型)

原理

装置から赤外線エネルギー・パルスが放射され、目標物に達し、戻ってくるのに要する時間を測定し、距離を計算する。

精度 ±1メートル/ヤード

測定可能距離 20~1000メートル/ヤード (目標物の反射率による)

電源 9Vアルカリ乾電池 1本

光学設計

Perma Forcus 単眼光学システム

倍率 6倍

視界 5.6度

アイレリーフ 19mm

ひとみ径 3.3mm

レーザークラス 1クラス



2.2.5 観測方法

多くの種類の樹木が成育する場所へ行き観測を行う現地観測と、現地観測の際に採集した樹木の葉を持ち帰り、研究室の暗室内で観測を行う室内観測の2種類の方法で行った。現地観測では樹木種毎にある程度の葉の集合を観測し、室内観測では樹木種毎に個々の葉を観測した。

2.2.6 現地観測

現地観測は、2000年7月10日、8月25日、9月29日、11月23日と約40日毎に計4回、いずれも午前中に行った。

観測の対象とした場所は金沢大学角間キャンパス敷地内の里山である。今回観測した樹木はアオハダ、アオメガシワ、アカシア、アベマキ、ウラジロガシ、ウワミズザクラ、エゴノキ、エノキ、カエデ、カラスザンショウ、クズ、クリ、ケンボナシ、コナラ、ゴンズイの16種類である(付録参照)。

実際に観測を行った樹木は、7月が15種類、8月が15種類、9月が16種類、11月が8種類である。観測には可視カメラ、赤外線カメラ、スペクトロメータを用いた。可視カメラ、赤外線カメラでは空間解像度の高いデータを得ることができ、スペクトロメータでは各波長における植物の光反射強度を得ることができる。観測装置と観測する樹木との距離は約50mとした。

2.2.7 室内観測

室内観測も現地観測と同様に、2000年7月10日、8月25日、9月29日、11月23日の計4回、現地観測の終了後に、現地観測の際に採集した樹木の葉を研究室の暗室内で行った。現地から室内に移動する際には、クーラーボックスに採集した葉を入れて運んだ。これは、移動している間に採集した葉の活性度が変化することを防ぐためである。

採集し、観測した樹木は7月が13種類、8月が13種類、9月が14種類、11月が8種類である。樹木の採集は、実際に里山に入って高枝切りバサミ等を用いて採集をしたが、樹木によっては葉が高い位置にあつたり、樹木種を特定することが困難であったため採集できないものがあった。特に、11月は紅葉のために多くの樹木がすでに葉を落しており、他の月よりも採取した樹木は少なかった。観測



図 2.1: 観測場所 (金沢大学敷地内)

にはスペクトロメータを使用し、各樹木に対して5枚の異なる葉を使用した。葉1枚について5回の観測を行い、1種類の樹木について合計25回の観測を行った。

観測の条件は、光源を250Wのハロゲンランプとし、観測時の葉とスペクトロメータとの距離を3cmとした。

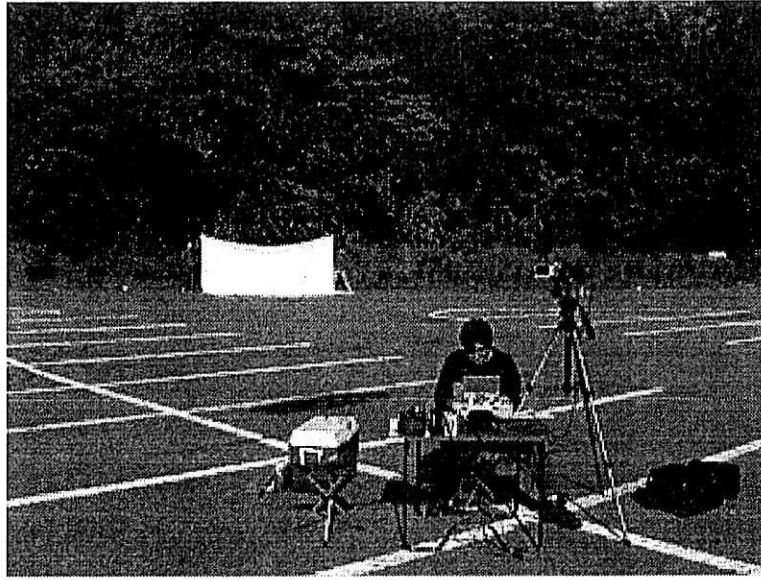


図 2.2: 現地観測

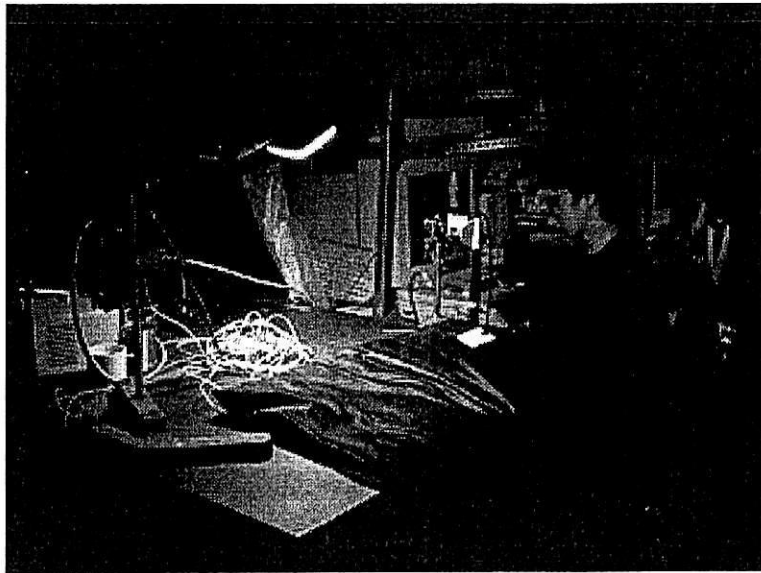


図 2.3: 室内観測

2.3 解析方法

2.3.1 植生指数

植物の量，活性度を測る尺度として，様々な指標が提案されている。その中で簡単ではあるが比較的有効とされているのが正規化植生指数 (NDVI:Normalized Difference Vegetation Index) である。NDVIは式(2.1)で示されるように，可視の赤領域 (RED) と近赤外領域 (NIR) の光反射強度の差を用いている。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.1)$$

植物のスペクトルは，可視域では色素による光の吸収が卓越し，近赤外域では葉の構造による光の透過・反射が卓越するという特徴を持つ。また，植物の背景にある土壌などは，可視域で反射が大きくなる。したがって，可視域と近赤外域の差をとることで植生を強調することができ，植生の活性度を測るのに有効な指標である。

NDVIの値は-1.0から1.0に正規化され，雲や水など非植生のものは負の値を示し，植生が増すにつれて，また，活性度が大きくなるにつれてNDVIの値は大きくなる。図4.21は，植生および土壌の波長に対する反射強度の特性を表したものである。

2.3.2 スペクトルデータによるNDVIの算出方法

現地観測，室内観測により得られたスペクトルデータからそれぞれNDVIを算出し，その関係を解析した。

図2.5，2.6はそれぞれ現地で葉の集合を観測したときと室内で個々の葉を観測したときの各波長に対する樹木の反射強度である。

図2.5，2.6は同じ樹木を観測した結果であるが，各波長に対する反射強度の特性は異なっている。この理由の1つとして，現地観測と室内観測での光源の違いが考えられる。現地観測の際の光源は太陽光であるが，室内での観測には，前節で述べたように250Wのハロゲンランプを使用している。そこで，現地観測と室内観測のNDVIを比較をする際に両方の観測での光源を補正する必要がある。

光源の補正の方法は，現地観測の場合は，現地で観測をした白色シートのスペクトルを基準とし，観測した各樹木の反射スペクトルの最小値を0とした後，白

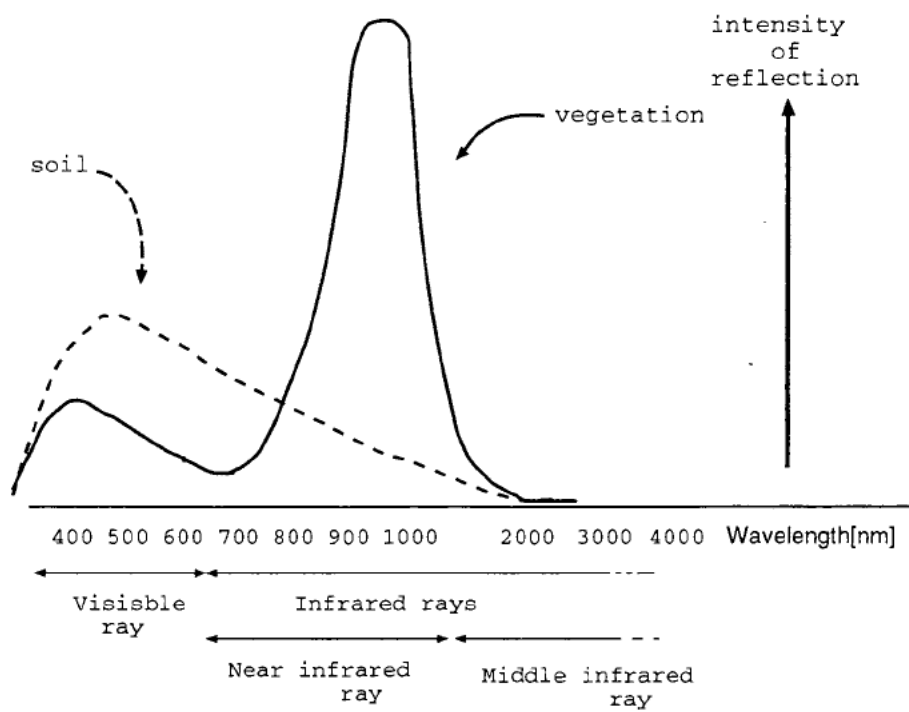


図 2.4: 各波長帯における植物, 土壌の反射特性

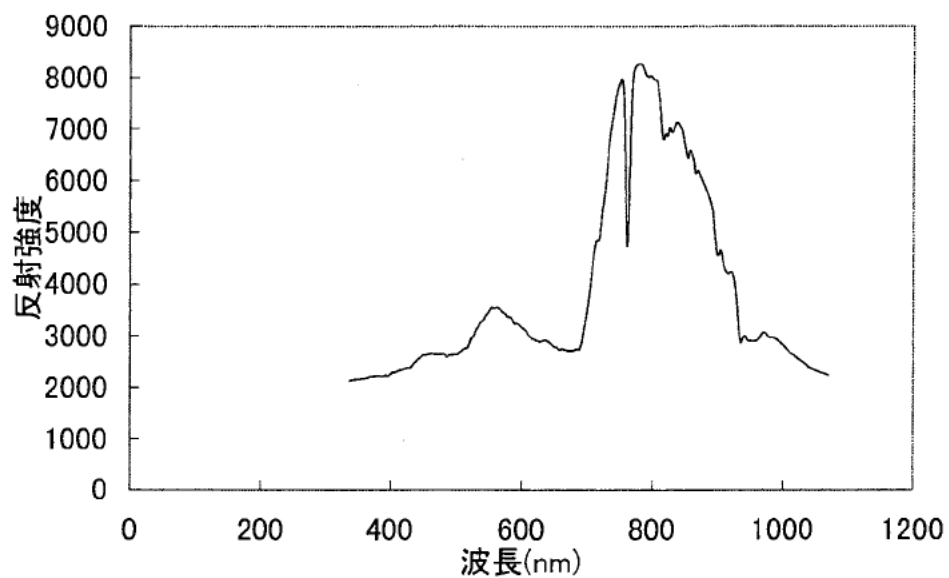


図 2.5: 現地観測の反射特性

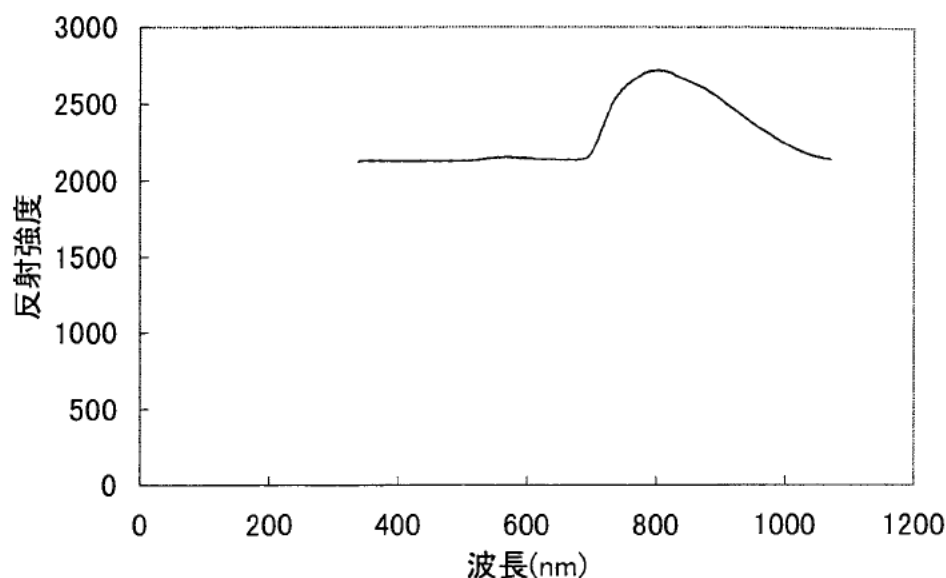


図 2.6: 室内観測の反射特性

色シートのスペクトルを基準として、各波長について1となるようにそれぞれの樹木のスペクトルデータを補正した。室内観測の場合は、標準白色板の反射スペクトルを基準として、観測をした各樹木の反射スペクトルの最小値を0とした後、白色板のスペクトルが各波長について1となるように樹木のスペクトルデータを補正した。

補正後のスペクトルから、現地観測、室内観測とも各樹木についてNDVIを算出した。可視域を630nm～690nmとして、その波長間での反射強度の平均値をRED、近赤外域を760～900nmとして、その波長間での反射強度の平均値をNIRとして式(2.1)により算出した。

次に算出された各樹木の現地観測と室内観測によるNDVIの相関の有無を評価するために決定係数を求めた。決定係数とは、相関係数を2乗した値(0から1)である。この値は、分布の全変動のうち回帰直線によりどのくらい説明できるかを表している。決定係数が1ならば、分布の全変動が回帰直線によりすべて表される、つまり完全な線形相関をもつということである。

2.3.3 画像処理

現地観測で撮影した画像を解析するために、まずNDVI画像を作成する。NDVI画像とは赤外画像と可視画像において各画素毎に式(2.1)の演算を行って得られる画像である。

原画像

図 2.7, 2.8はクリを観測したときの可視画像, 赤外画像であるが, 両者の解像度および分解能は異なっている。



図 2.7: 可視画像

1152x864 pixel(観測範囲 4.0 × 2.5m)



図 2.8: 赤外画像

640x480 pixel(観測範囲 5.5 × 3.0m)

形式変換

前処理として、まず、可視画像を PPM 形式から PGM 形式に変換をした。PPM はフルカラー画像、PGM はグレースケールのモノクロ画像を扱う形式であり、それぞれ以下に示す通りである。

- PPM(Portable Pix Map) 形式

P6

画像の縦サイズ 画像の横サイズ

量子化レベルの最大値

(0, 0) の Red 値, (0, 0) の Green 値, (0, 0) の Blue 値, (1, 0) の Red 値,
(1, 0) の Green 値, …

- PGM(Portable Gray Map) 形式

P5

画像の縦サイズ 画像の横サイズ

量子化レベルの最大値

画素 1, 画素 2, 画素 3, …

図 2.9 のように 1 枚の PPM 形式のフルカラー画像から R, G, B の 3 枚の PGM 形式のグレースケール画像が作成される。本研究では、NDVI 画像作成のために R 成分の PGM 画像を用いた。

画像領域の一致

原画像では、赤外画像の方が可視画像よりも撮影範囲が広い。NDVI 画像を作成するためには、まず、赤外画像から可視画像の撮影範囲と同じ領域を抜き出す必要がある。

可視画像の撮影範囲と同じ赤外画像の領域は、640x480 pixel 中 445x360 pixel であった。次に可視画像と赤外画像の解像度を合わせる。画像のサイズを合わせるために後に述べる線形補間法という手法を用いる。

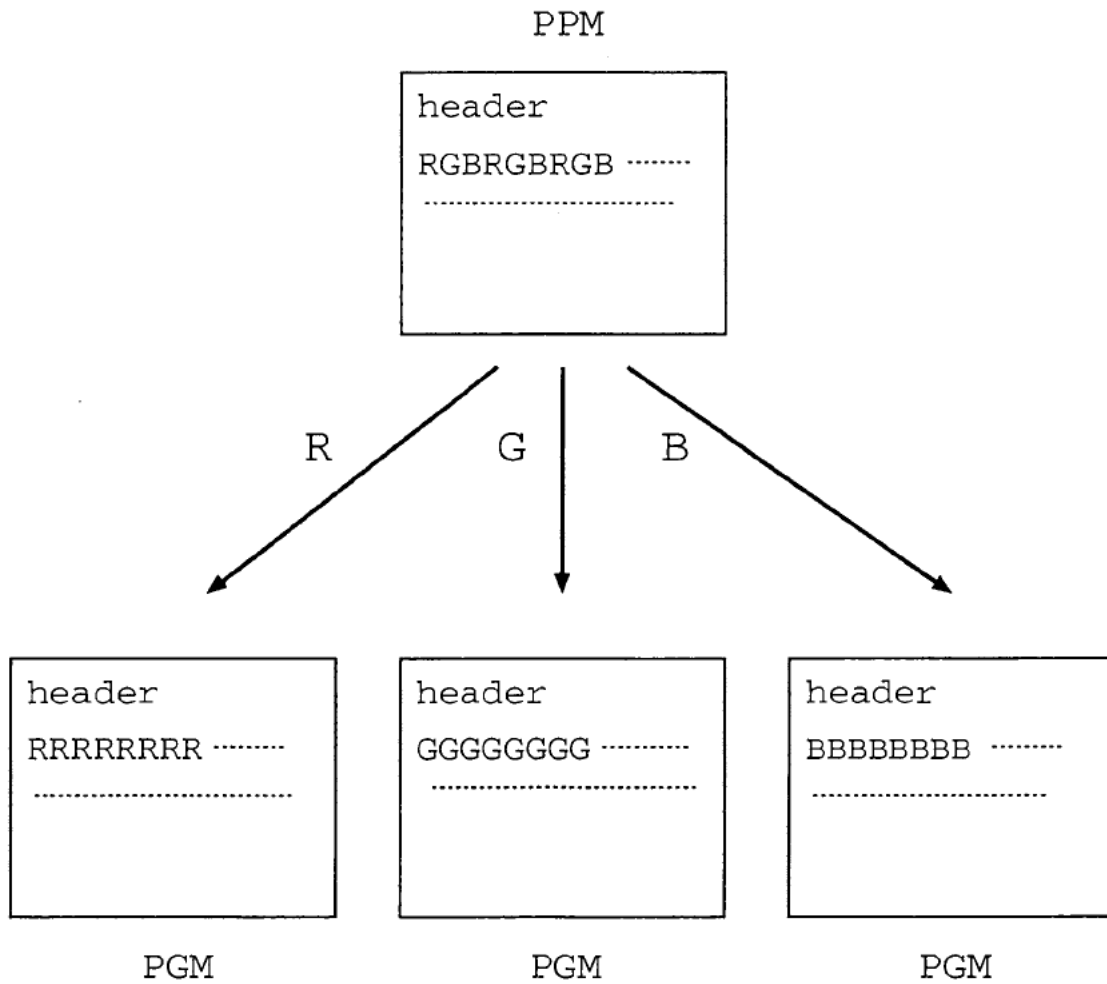


図 2.9: PPM 形式から PGM 形式への変換

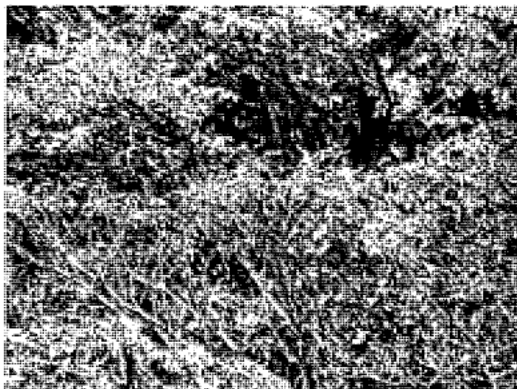


図 2.10: 可視画像 (R 成分のみ)
1152x864pixel(撮影範囲 4.0 × 2.5m)



図 2.11: 赤外画像
640x480 pixel(撮影範囲 5.5 × 3.0m)

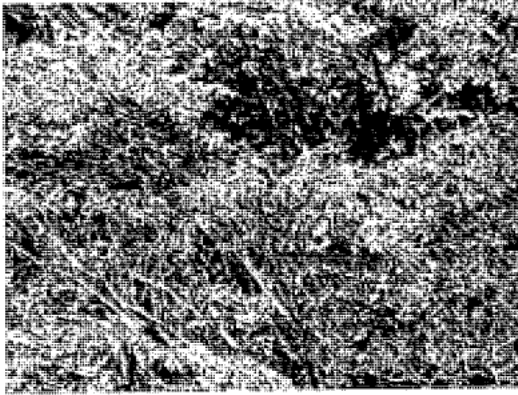


図 2.12: 可視画像
1152x864pixel(撮影範囲 4.0 × 2.5m)

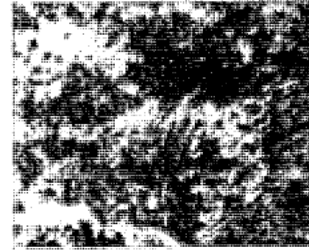


図 2.13: 抜き出した赤外画像
445x360 pixel(撮影範囲 4.0 × 2.5m)



図 2.14: 可視画像
(赤外画像の解像度に合わせ縮小)
445x360 pixel

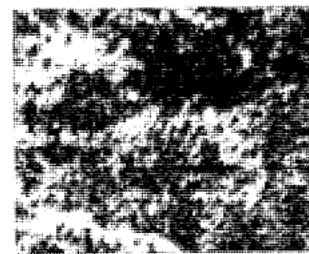


図 2.15: 抜き出した赤外画像
445x360 pixel

線形補間法 (双一次内挿)

画像の拡大・縮小で、 x 方向に a 倍、 y 方向に b 倍の拡大率で拡大・縮小が行われるとすると、入力画像 (x, y) から出力画像 (X, Y) へのマッピングは、

$$\begin{cases} X = ax \\ Y = by \end{cases} \quad (2.2)$$

の関係がある。これを整理した逆変換式は

$$\begin{cases} x = X/a \\ y = Y/b \end{cases} \quad (2.3)$$

となる。 a, b が 1 より大きいときは拡大され、 a, b が 1 より小さいときは縮小される。このような方法で出力画像の各画素の位置 (X, Y) に対応する入力画像の位置 (x, y) を求め、その位置にある画素を読み出せばよい。しかし、 (x, y) は、拡大・縮小率によっては整数値にならない場合があり、対応する入力画像の画素が存在しないため、内挿によって画素値を求める必要がある。近傍画素の値を使って対応する画素の値を求める方法に線形補間法 (双一次内挿) がある。線形補間処理は、図 2.16 のように逆変換して求めた位置 (x, y) の近傍 4 画素のデータを用いて処理が行われる。近傍 4 画素の重み付けの比率は、 (x, y) の四つの画素 g との各距離によって求められ、 (x, y) における画素データ $G(x, y)$ は、以下の式から計算される。

$$\begin{aligned} G(x, y) = & (1-p)(1-q) \cdot g([x], [y]) + p(1-q) \cdot g([x]+1, [y]) \\ & + (1-p)q \cdot g([x], [y]+1) + pq \cdot g([x]+1, [y]+1) \end{aligned} \quad (2.4)$$

ここで、 $[x], [y]$ はそれぞれ、 x, y を超えない整数である。

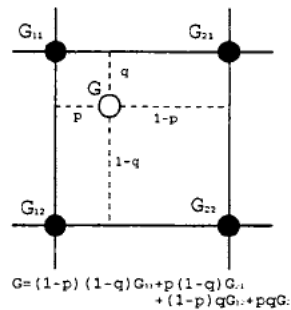


図 2.16: 画素の補間処理

2.3.4 NDVI画像の作成と解析

作成された可視画像と赤外画像を各画素毎に演算を行い、NDVI画像を作成する。このとき、NDVIは-1.0から1.0で正規化された値となるため、式(2.5)を用いて、0から255までの値に変換し、NDVI画像とする。NDVIの値が大きいほど白く、小さいほど黒くなるようにした。

$$NDVI(\text{画素値}) = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} + 1 \right) \times 127.5 \quad (2.5)$$

NIR:赤外画像の画素値 RED:可視画像の画素値

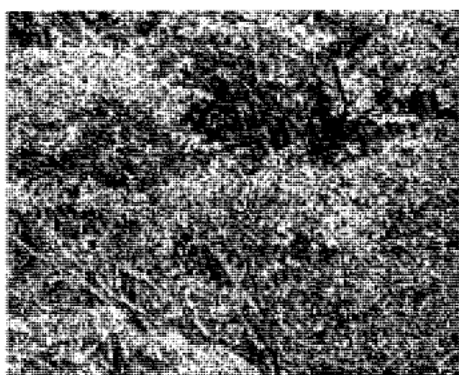


図 2.17: 可視画像
445x360 pixel

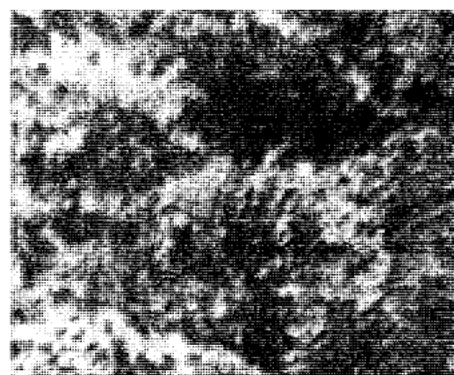


図 2.18: 赤外画像
445x360 pixel



図 2.19: NDVI 画像
445x360 pixel

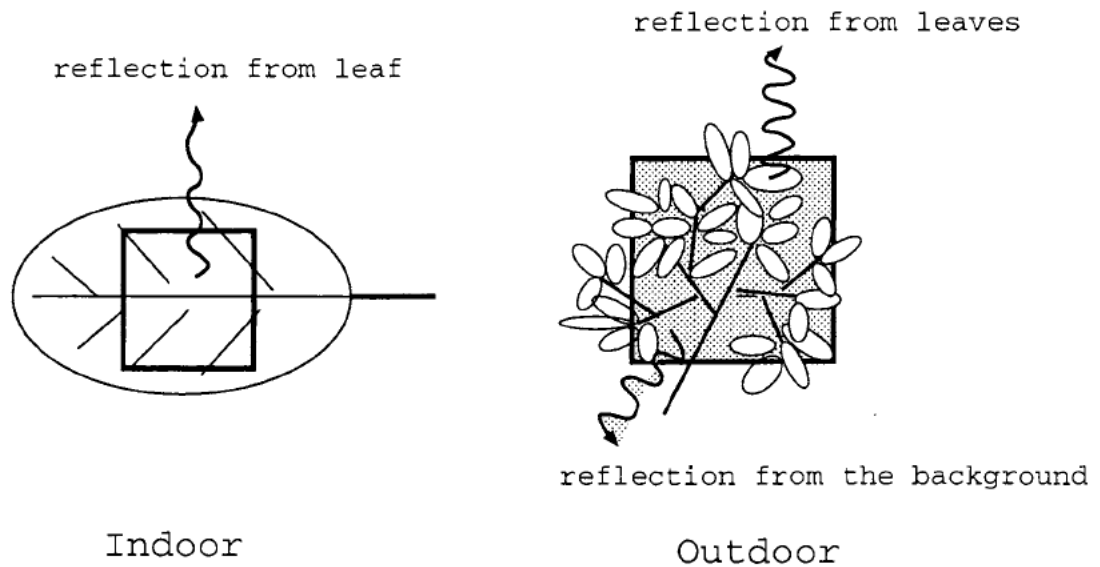


図 2.20: 現地観測と室内観測の違い

スペクトロメータで個々の葉を観測する場合と葉の集合を観測する場合とは、同じ樹木を観測していても、得られる光反射は異なる。つまり、図 2.20 のように現地で葉の集合を観測する場合には、個々の葉を観測する場合とは異なり、葉の反射のほかに陰や枝の影響がある。

そこで、陰の部分に着目して、可視画像と赤外画像、NDVI 画像における陰の部分の特徴や葉の部分との違いについて解析を行った。

また、各 NDVI 画像から、同時にスペクトロメータで観測した範囲を抜き出し、スペクトロメータにより算出した NDVI と画像により算出した NDVI の比較を行った。スペクトロメータで観測した範囲は、その視野角から図 2.21 に示すように、画像の縦幅の約 1/3 正方とした。

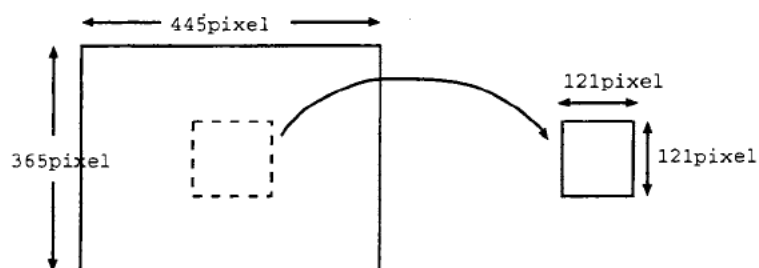


図 2.21: スペクトロメータの観測範囲

以上の解析から、個々の葉を観測した場合と葉の集合を観測した場合の2つの異なる観測レベルで算出したNDVIの特徴や関係の考察を行った。

2.4 結果と考察

2.4.1 スペクトルデータの解析結果

図 2.22, 2.23, 2.24, 2.25はそれぞれ2000年7月, 8月, 9月, 11月のスペクトロメータによる観測データについて横軸を現地における葉の集合の観測から得られたNDVI, 縦軸を室内における個々の葉の観測から得られたNDVIにしてその関係を表している。図の各点は1種類の樹木を表しており, 7月は12種類, 8月は12種類, 9月は14種類, 11月は9種類の樹木を観測した結果である。

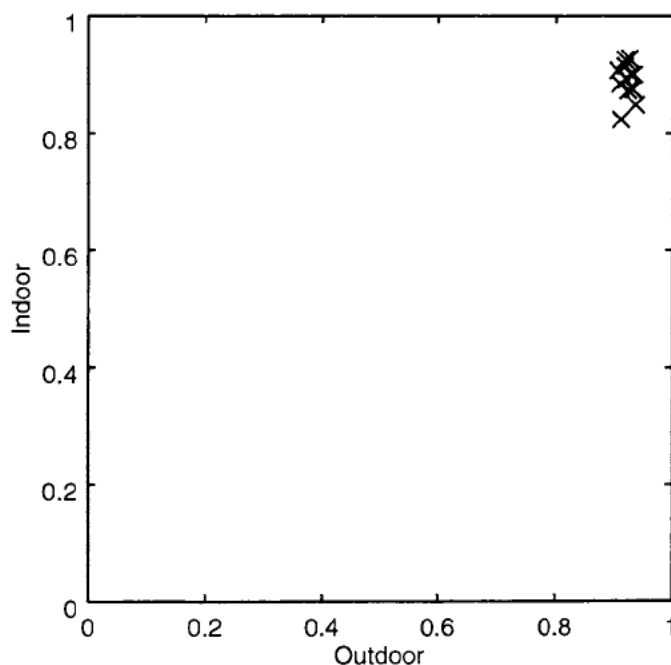


図 2.22: 7月の現地観測と室内観測によるNDVIの関係

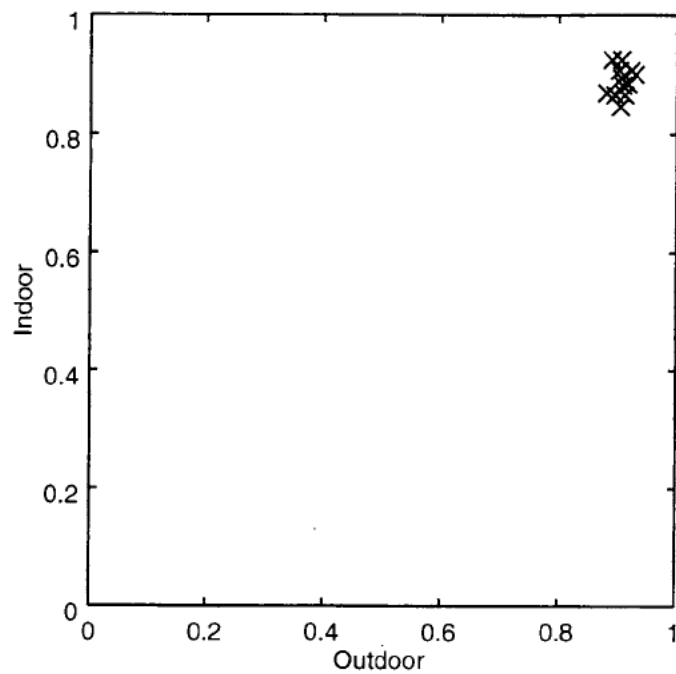


図 2.23: 8月の現地観測と室内観測による NDVI の関係

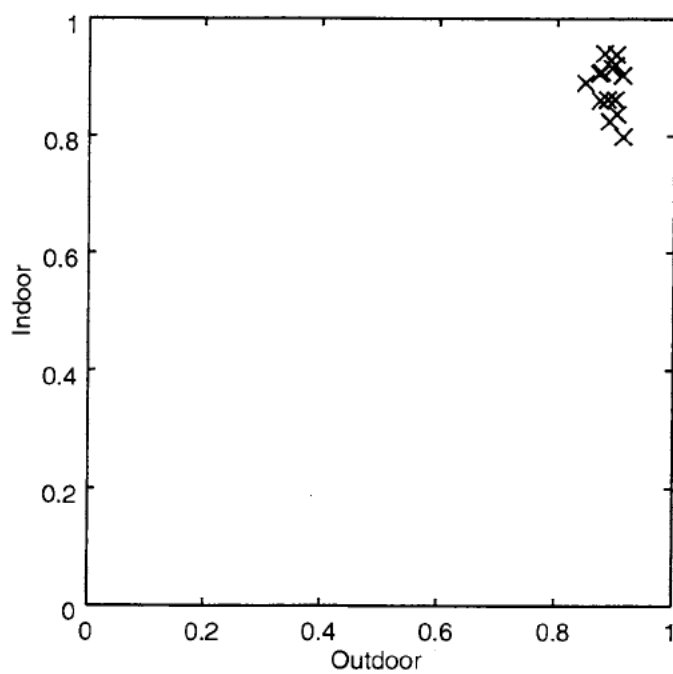


図 2.24: 9月の現地観測と室内観測による NDVI の関係

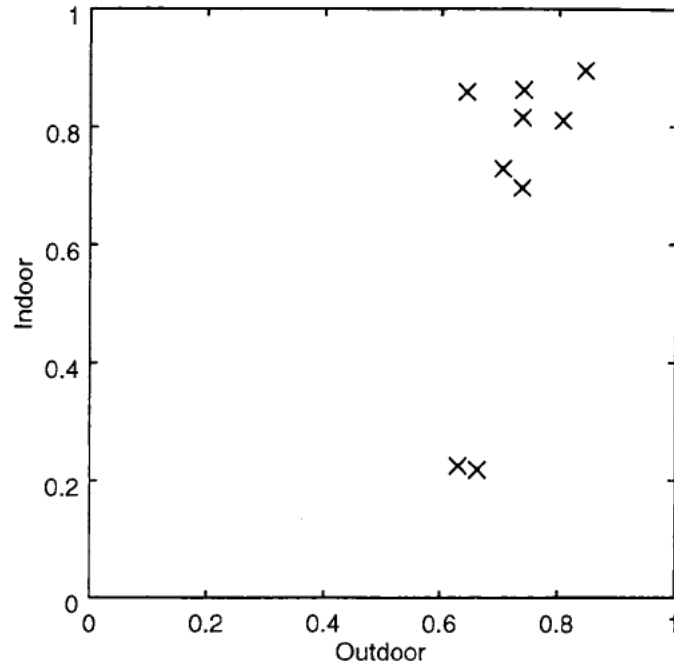


図 2.25: 11月の現地観測と室内観測による NDVI の関係

7月, 8月, 9月はどの樹木についても, 現地観測から算出した NDVI の値, 室内観測から算出された NDVI の値が 0.8 以上と共に大きいという点で共通した結果を示している。しかし, 樹木毎に現地観測と室内観測の NDVI の相関関係は見られない。各月の決定係数は, 7月は 0.001, 8月は 0.023, 9月は 0.058 であり, いずれも小さな値である。7月, 8月, 9月はどの樹木に関しても最も活性度が高い時期で, 樹木間の NDVI にはあまり差がないためである。したがってこの時期に現地観測と室内観測による樹木毎の相関を調べることは困難である。

11月の室内観測における NDVI は他の月と比べて樹木間の差が大きい。決定係数は 0.40 となり, 他の月に比べ決定係数が大きい。このように 11月が 7月, 8月, 9月と異なる結果を示した理由は, 観測対象としている樹木の中にはこの時期に紅葉しているものがあり, 紅葉しない常緑樹の葉との活性度の違いが樹木間の NDVI の差として表れたためである。しかし現地観測と室内観測の NDVI の値を樹木毎に比べてみると, その値が大きく異なる樹木があり, 同じ樹木を観測しても個々の葉の NDVI と葉の集合の NDVI の値が必ずしも比例しない。この理由については, 後述する画像解析による結果から考察する。

図 2.26, 2.27 は, 現地観測と室内観測における NDVI の月変化で, 現地観測, 室

内観測とも8種類の樹木の月変化を示している。

現地観測、室内観測に共通していることは、どちらも7月、8月、9月の間ではNDVIはほとんど変化していないが、11月になるとNDVIがいずれの樹木も小さくなる傾向が見られることである。特に室内観測でその傾向が顕著に表れている。7月、8月、9月は樹木の活性度が最も大きい時期で、樹木間または月ごとのNDVIに変化が見られず、11月になると全体的に葉の活性度が小さくなり、また樹木によって活性の落ち方に違いがある。

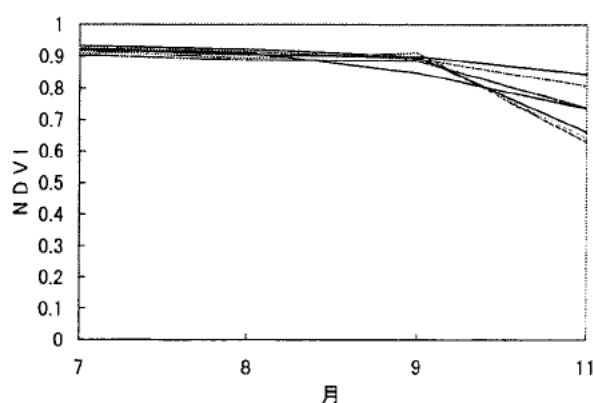


図 2.26: 現地観測による NDVI の月変化
(観測日 7月10日, 8月25日, 9月29日, 11月23日)

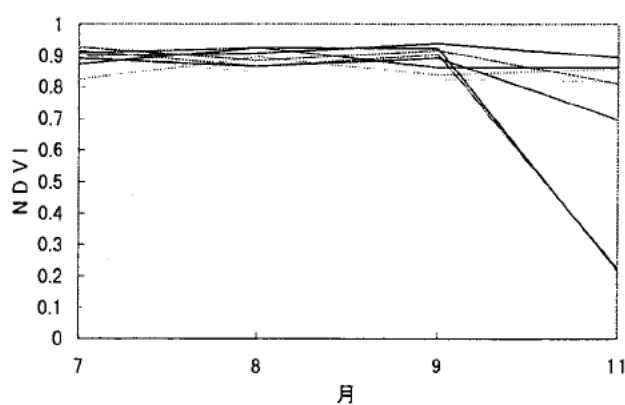


図 2.27: 室内観測による NDVI の月変化
(観測日 7月10日, 8月25日, 9月29日, 11月23日)

2.4.2 画像データの解析結果

現地観測で撮影された可視カメラ、赤外線カメラの画像を使って、画像中の陰の部分に着目し解析を行った結果を示す。

図 2.28, 4.22 はそれぞれクズを観測したときの可視画像と、前節の方法により作成した NDVI 画像である。

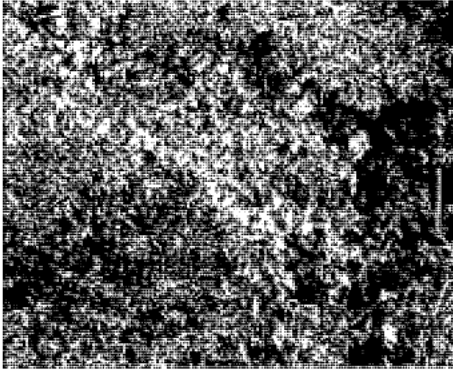


図 2.28: 可視画像 (クズ)

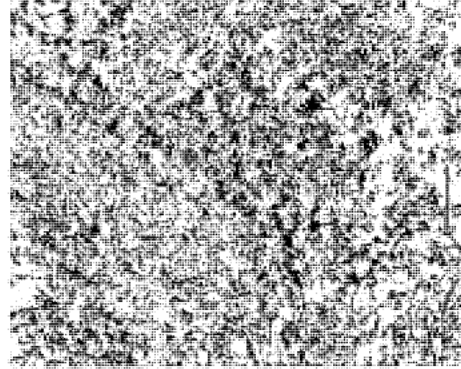


図 2.29: NDVI 画像 (クズ)

可視画像の陰の部分は、NDVI 画像では葉などの部分に比べて白く、NDVI が大きいことが分かる。次に、可視画像と赤外画像の関係を考える (図 2.30, 2.31)。

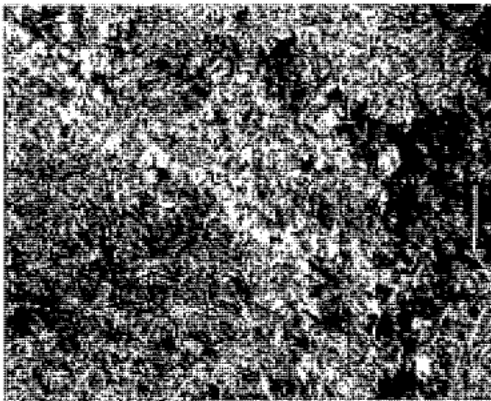


図 2.30: 可視画像 (クズ)

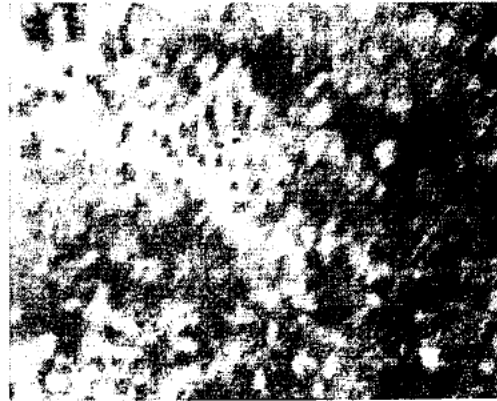


図 2.31: 赤外画像 (クズ)

可視画像で暗いところは赤外画像でも暗く、逆に可視画像で明るいところは赤外画像でも明るい、といった傾向がある。横軸を可視画像の画素値、縦軸をその画素に対応している赤外画像の画素値とした散布図を 2.32 に示す。

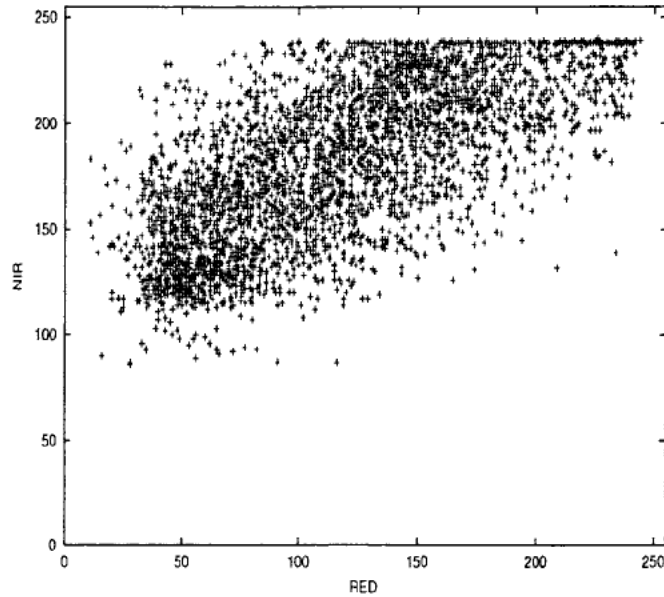


図 2.32: 可視画像と赤外画像の画素値の関係 (クズ)

可視画像の画素値が大きいと赤外画像の画素値も大きいという傾向があることが分かる。

次に画像における陰の部分と葉の部分の NDVI について考える。

まず、可視画像において陰の部分と葉の部分分割する。陰と葉の分割は、閾値を用いて行った。閾値は経験的に決めた。図 2.34 は閾値 60 で 2 値化した画像で、閾値より画素値が小さい画素を陰、閾値より大きい画素を葉とした。

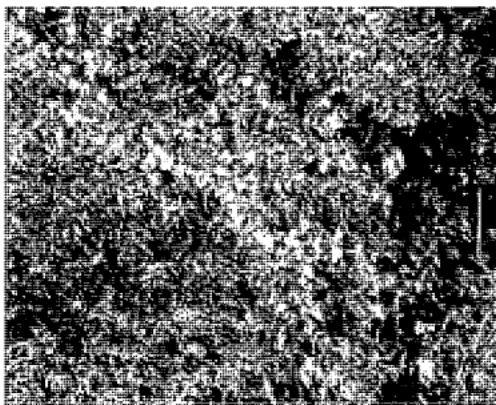


図 2.33: 可視画像 (クズ)



図 2.34: 2 値化画像 (クズ)

可視画像で陰とした領域に対応する赤外画像、NDVI 画像の領域を陰として、各

画像においても陰と葉の2つの領域に分割した。図 2.35, 2.37はそれぞれ可視画像, 赤外画像のヒストグラムである。図 2.36, 2.38は, それらを陰の領域と葉の領域に分割したときのヒストグラムであり, 色の濃い部分が陰, 色の薄い部分が葉である。赤外画像の陰の領域の画素値は, 葉の領域の画素値より小さな値のところに分布している。

図 2.39, 2.40はそれぞれ NDVI 画像のヒストグラムと, それを陰の領域と葉の領域に分割したヒストグラムである。図 2.40から, 陰の NDVI は葉に比べて大きくなっていることが分かる。これは, 陰の領域では葉の領域に比べて可視域と赤外域の反射強度が共に小さくなり, 式 (2.1) の NDVI 算出式において, 分母が小さくなるために NDVI としては大きくなるからである。

以上の解析を, 現地で観測した全ての樹木について行った。NDVI 画像と, それを陰の領域と葉の領域に分割したときのヒストグラムを図 2.41~図 2.56に示す。

どの樹木のヒストグラムも陰の領域の方が葉の領域よりも NDVI が大きい。

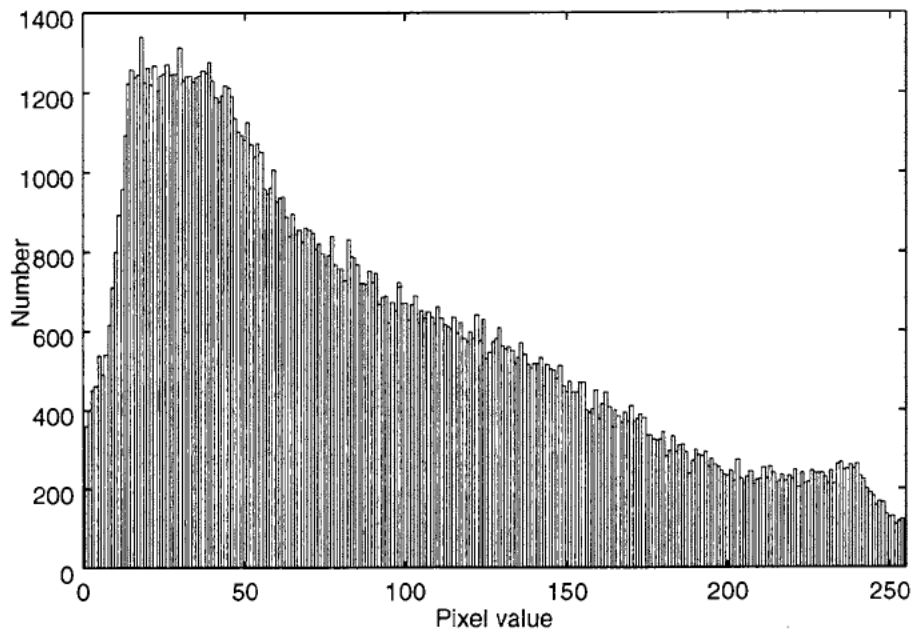


図 2.35: 可視画像のヒストグラム (クズ)

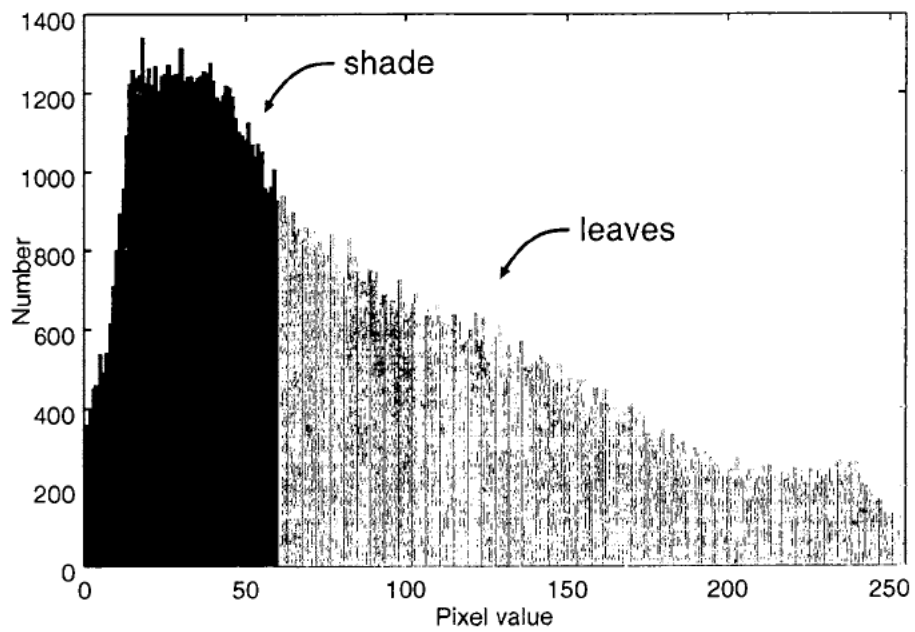


図 2.36: 可視画像のヒストグラム (陰と葉の分割)(クズ)

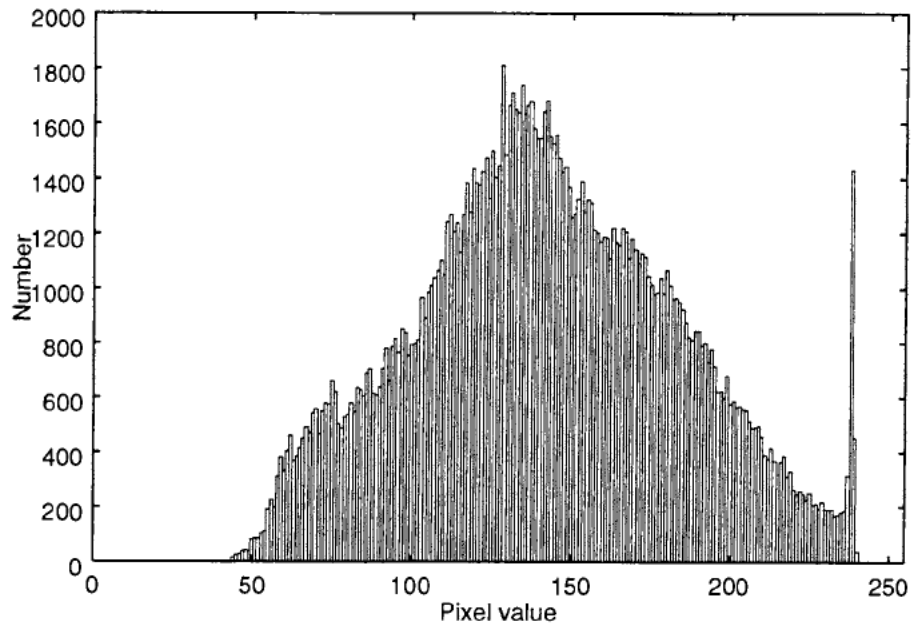


図 2.37: 赤外画像のヒストグラム (クズ)

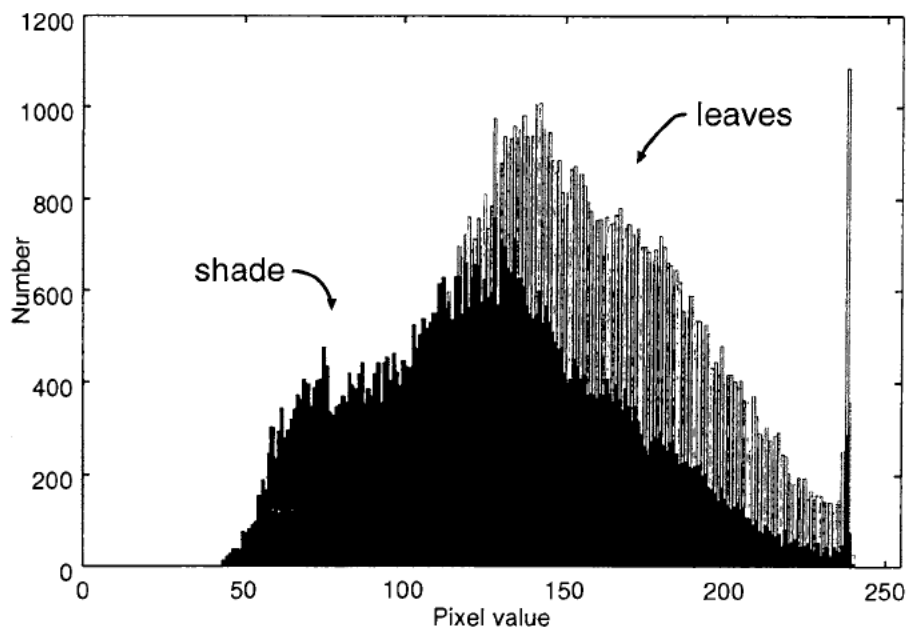


図 2.38: 赤外画像のヒストグラム (陰と葉の分割)(クズ)

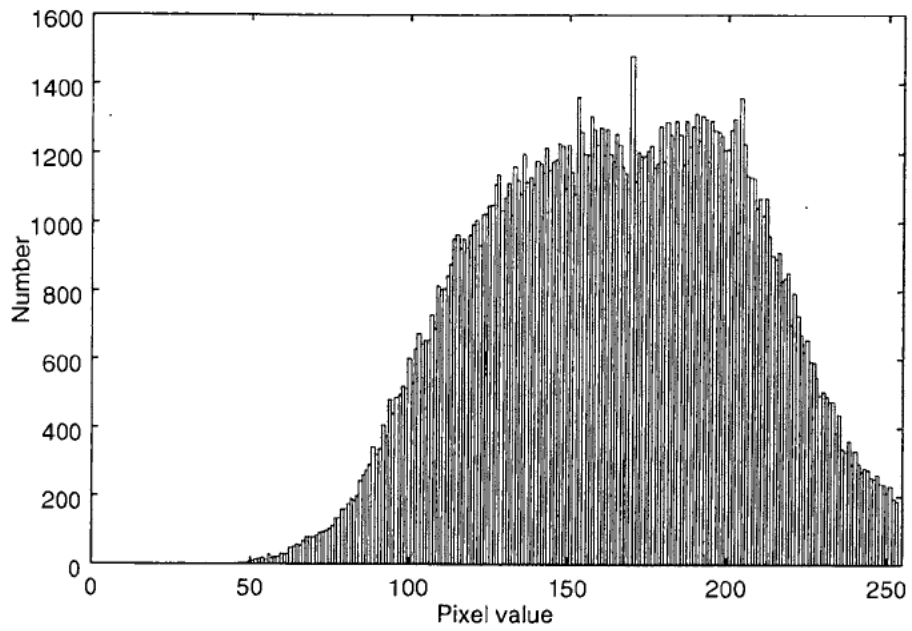


図 2.39: NDVI 画像のヒストグラム (クズ)

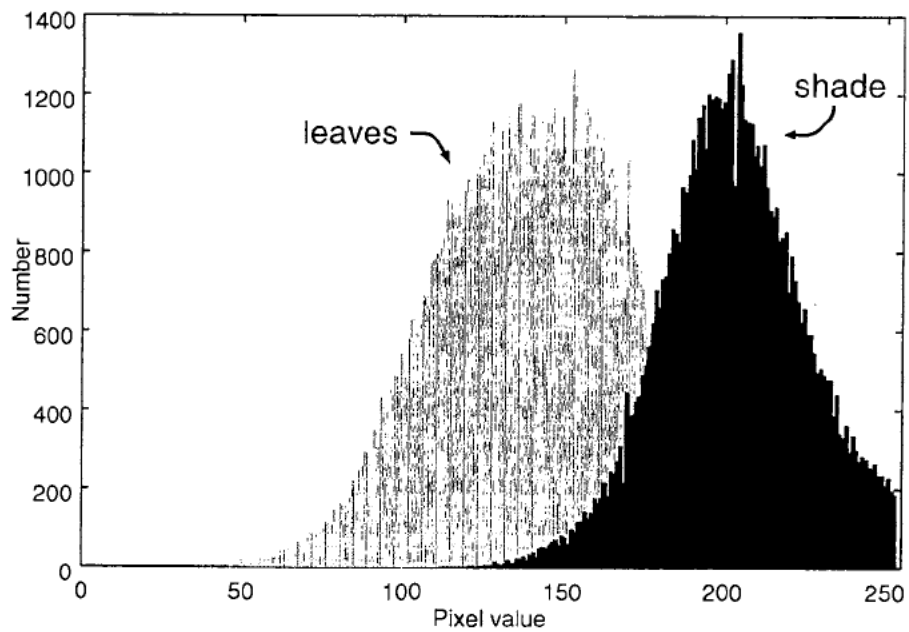


図 2.40: NDVI 画像のヒストグラム (陰と葉の分割)(クズ)

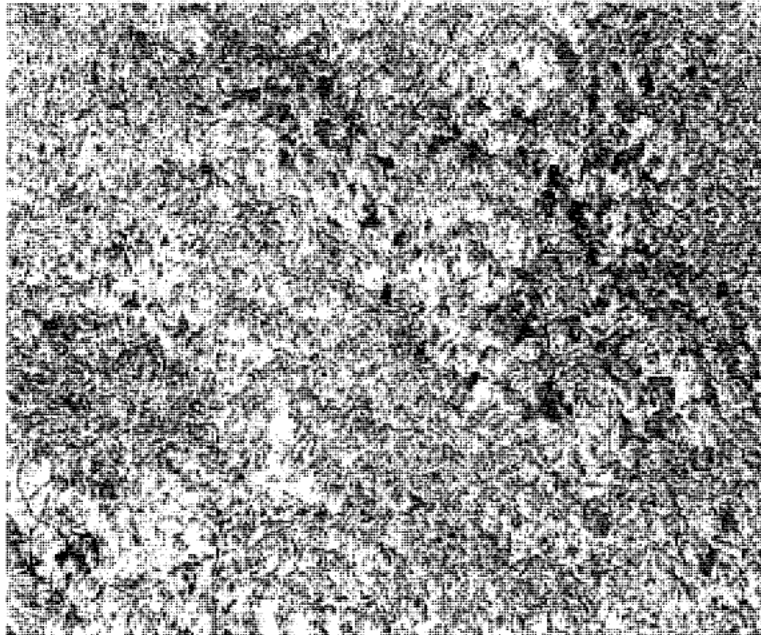


図 2.41: NDVI 画像 (ウラジロガシ)

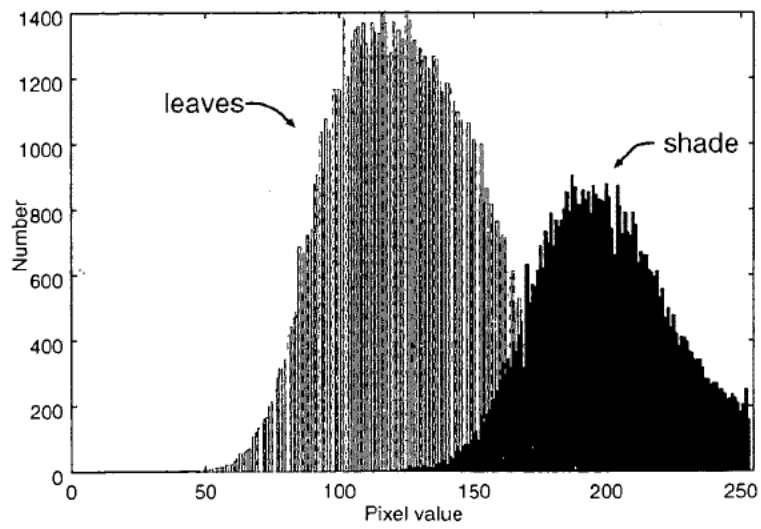


図 2.42: NDVI 画像のヒストグラム (ウラジロガシ)

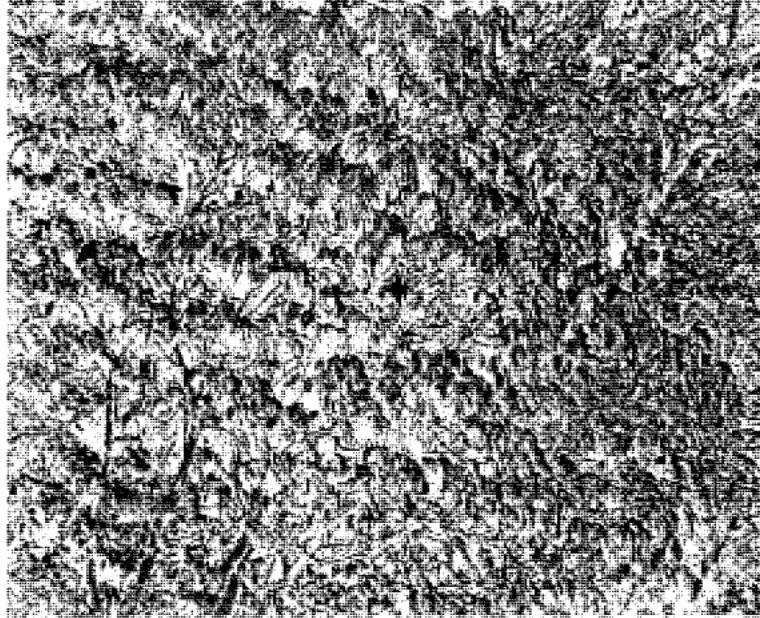


図 2.43: NDVI 画像 (ウワミズザクラ)

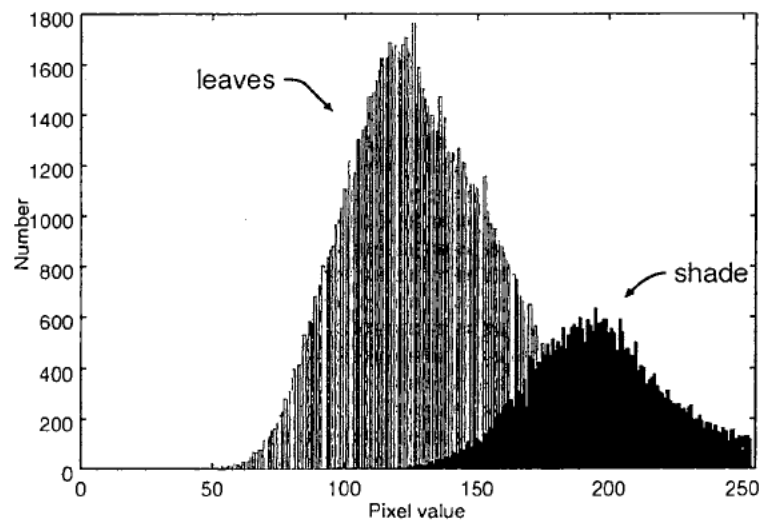


図 2.44: NDVI 画像のヒストグラム (ウワミズザクラ)

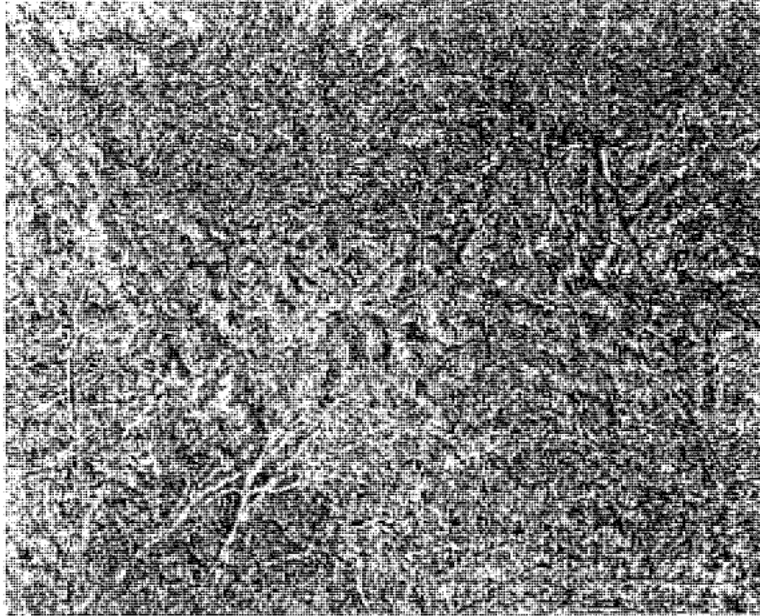


図 2.45: NDVI 画像 (カラスザンショウ)

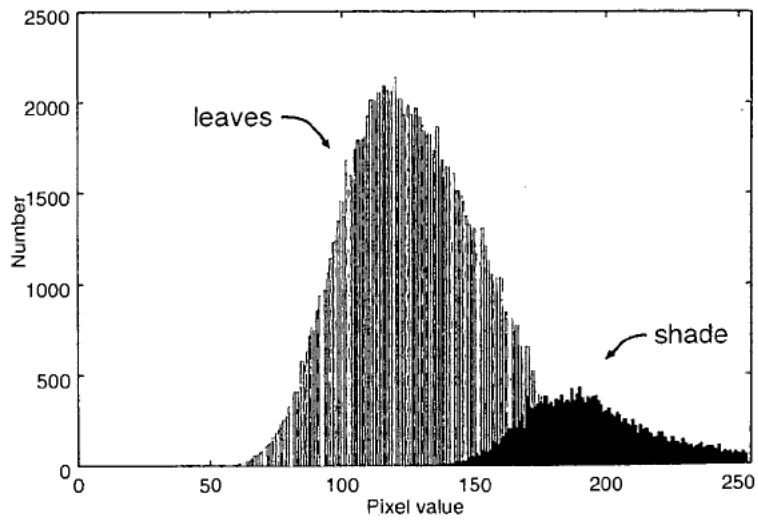


図 2.46: NDVI 画像のヒストグラム (カラスザンショウ)



図 2.47: NDVI 画像 (クリ)

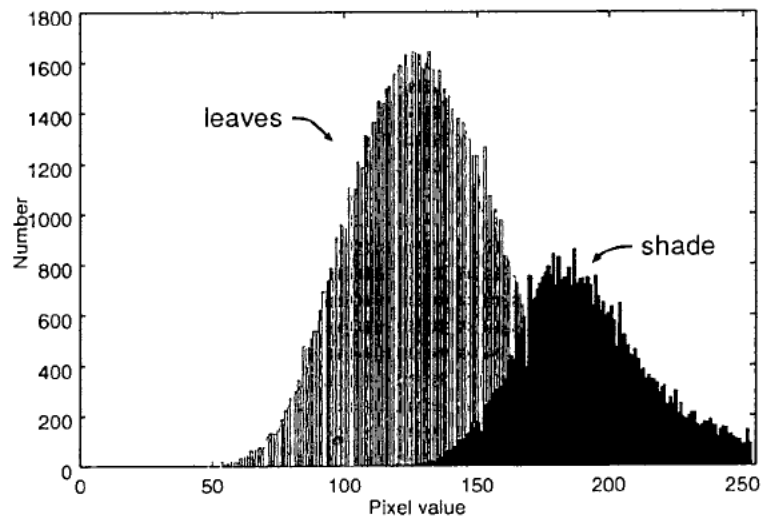


図 2.48: NDVI 画像のヒストグラム (クリ)

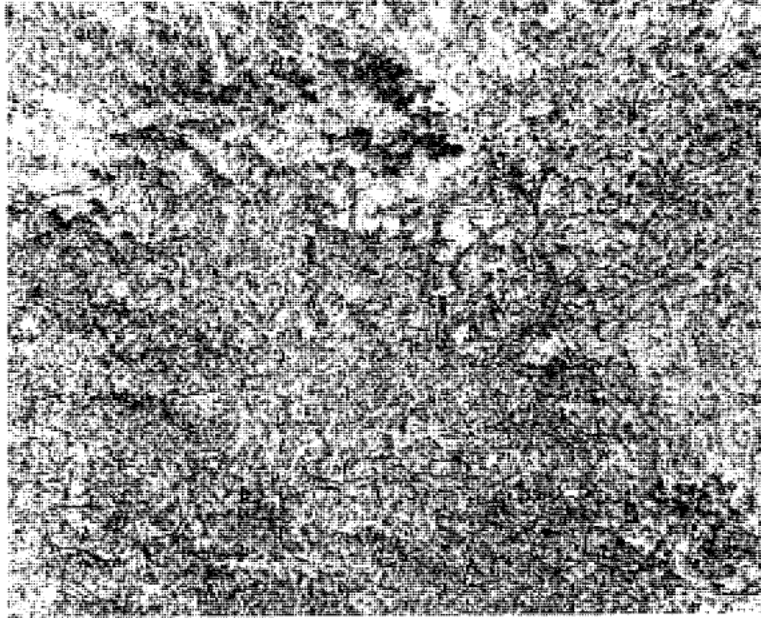


図 2.49: NDVI 画像 (ケンポナシ)

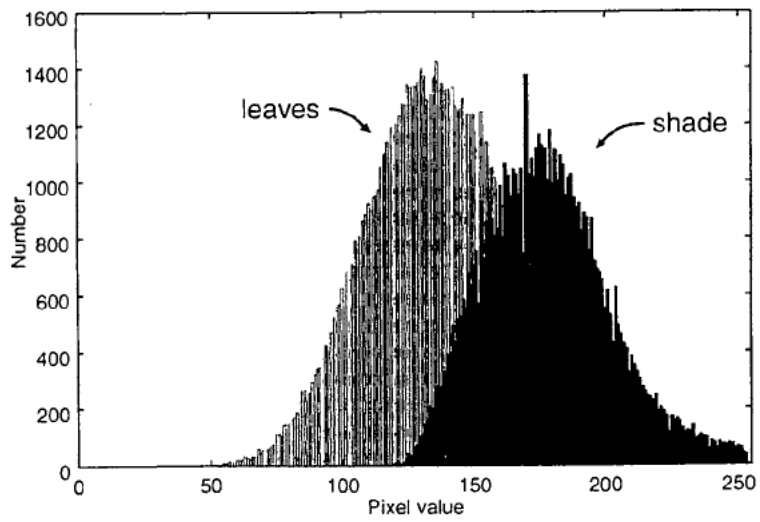


図 2.50: NDVI 画像のヒストグラム (ケンポナシ)

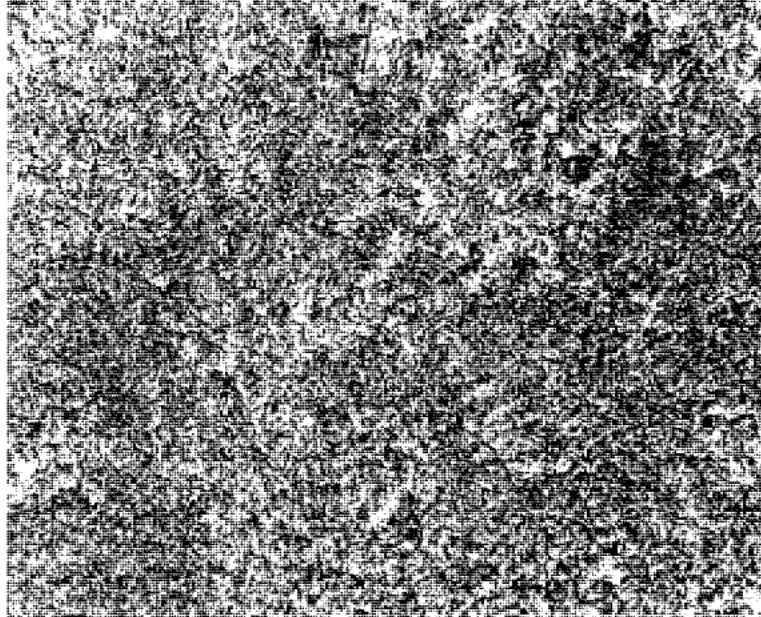


図 2.51: NDVI 画像 (コナラ)

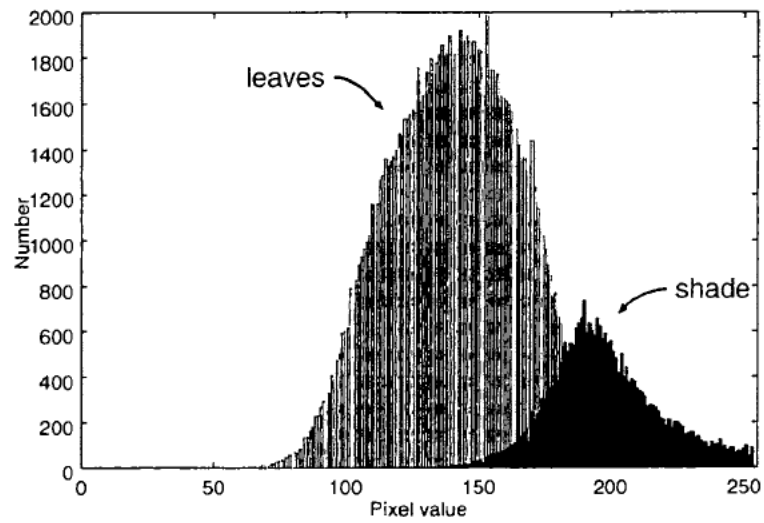


図 2.52: NDVI 画像のヒストグラム (コナラ)

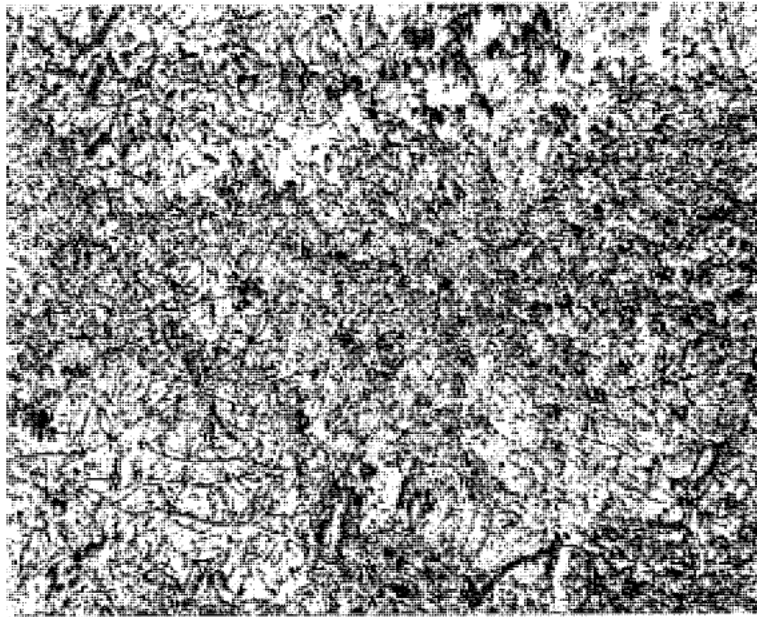


図 2.53: NDVI 画像 (ゴンズイ)

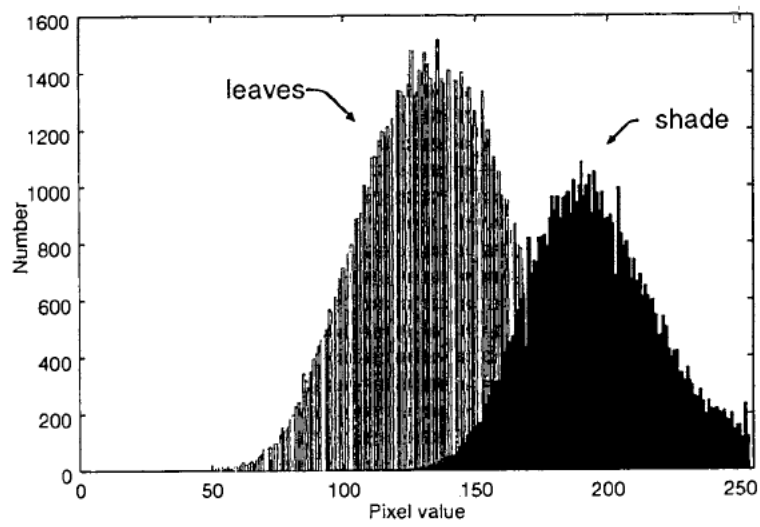


図 2.54: NDVI 画像のヒストグラム (ゴンズイ)

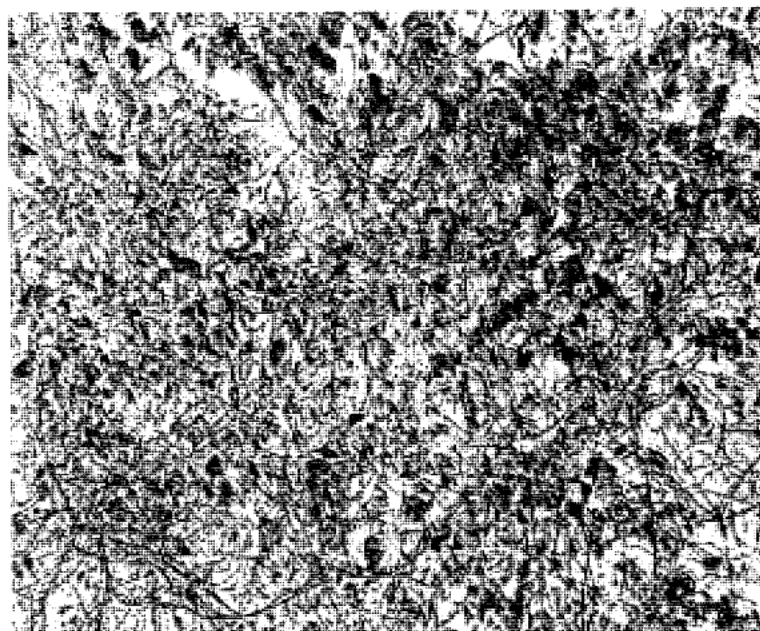


図 2.55: NDVI 画像 (ヌルデ)

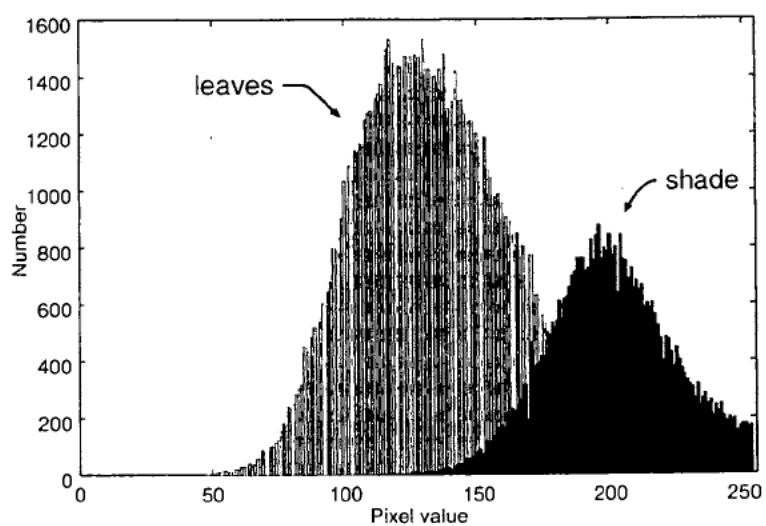
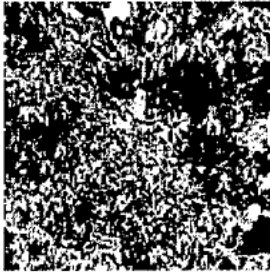
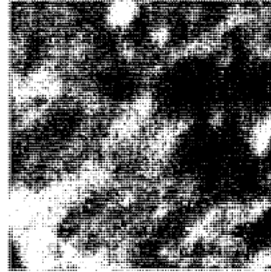


図 2.56: NDVI 画像のヒストグラム (ヌルデ)

図 2.57～図 2.65 は、可視画像、赤外画像、NDVI 画像において、同時に観測したスペクトロメータと同一範囲を抜き出した画像である。また画像に占める陰の割合も示している。



可視画像



赤外画像

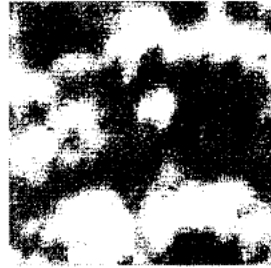


NDVI 画像

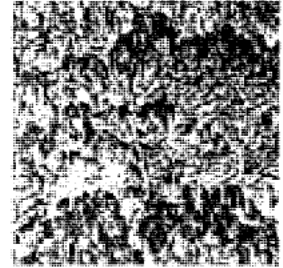
図 2.57: ウラジロガシ (陰 42%)



可視画像



赤外画像

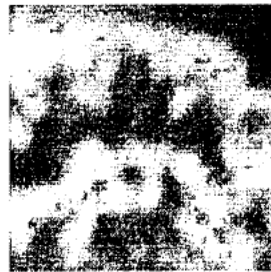


NDVI 画像

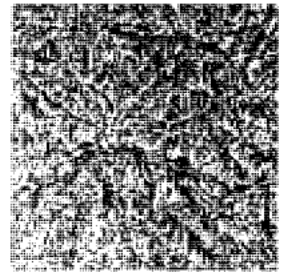
図 2.58: ウワミズザクラ (陰 27%)



可視画像



赤外画像



NDVI 画像

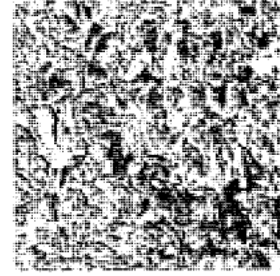
図 2.59: カラスザンショウ (陰 13%)



可視画像

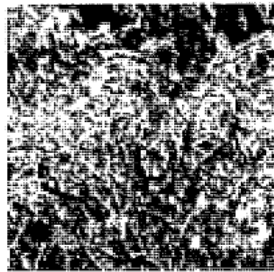


赤外画像



NDVI 画像

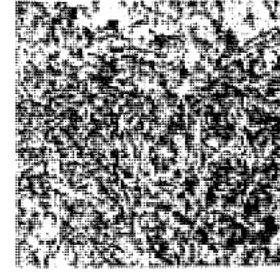
図 2.60: クズ (陰 26%)



可視画像

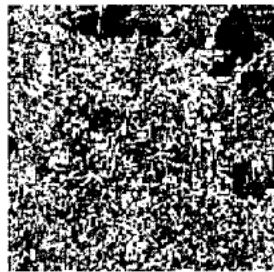


赤外画像



NDVI 画像

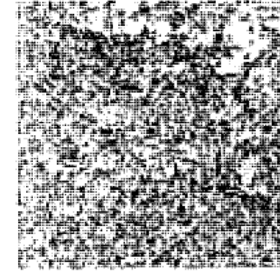
図 2.61: クリ (陰 28%)



可視画像



赤外画像

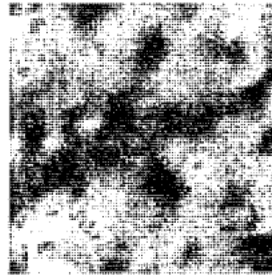


NDVI 画像

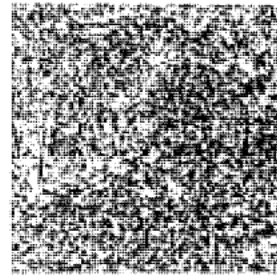
図 2.62: ケンポナシ (陰 26%)



可視画像



赤外画像



NDVI 画像

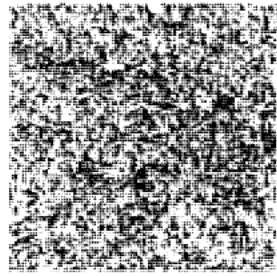
図 2.63: コナラ (陰 17%)



可視画像

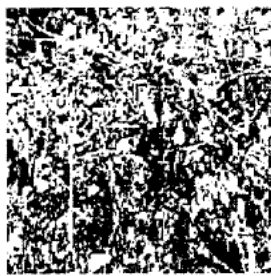


赤外画像



NDVI 画像

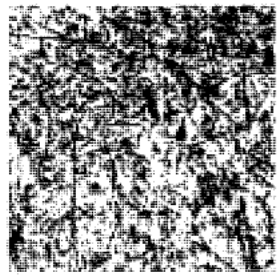
図 2.64: ゴンズイ (陰 23%)



可視画像



赤外画像



NDVI 画像

図 2.65: ヌルデ (陰 24%)

スペクトロメータから得られたNDVIと、図 2.57～図 2.65 に示したNDVI 画像を比較し、図 2.66 に示す。横軸はスペクトロメータによるNDVI、縦軸はNDVI 画像のNDVIの平均値である。また、図 2.66 中の a から i に対応したNDVI 画像のヒストグラムを図 2.67～図 2.75 に示す。

この結果から、スペクトロメータから求めたNDVIと画像から求めたNDVIにはある程度の相関関係があると言える。図 2.57～図 2.65 の画像から分かるように各画像には陰が含まれており、それが画像のNDVIに影響を与えているが、スペクトロメータから求めたNDVIと画像から求めたNDVIが相関関係にあることから、スペクトロメータで観測した場合にも、その観測範囲に陰が存在した場合、そこから得られる光反射特性には陰の影響が含まれていると考えられる。

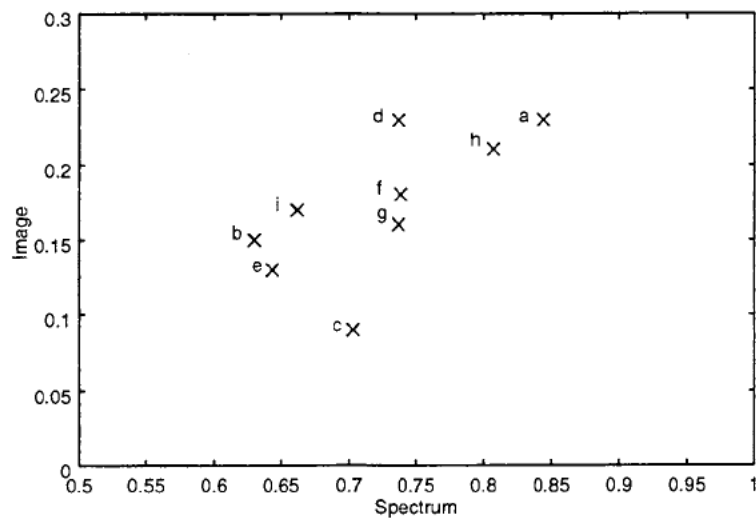


図 2.66: スペクトロメータと画像によるNDVIの比較

- a: ウラジロガシ
- b: ウワミズザクラ
- c: カラスザンショウ
- d: クズ
- e: クリ
- f: ケンポナシ
- g: コナラ
- h: ゴンズイ
- i: ヌルデ

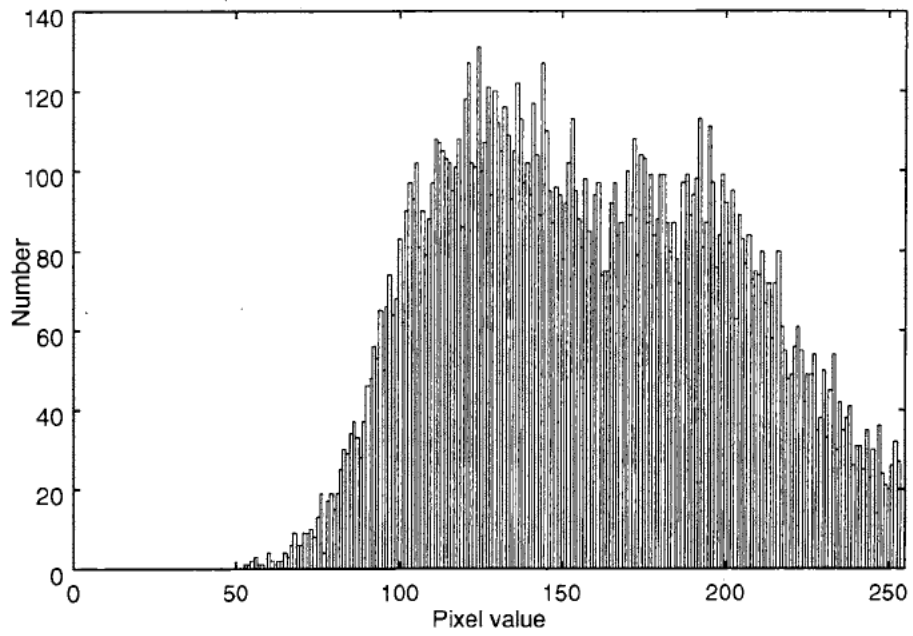


図 2.67: a:ウラジロガシ

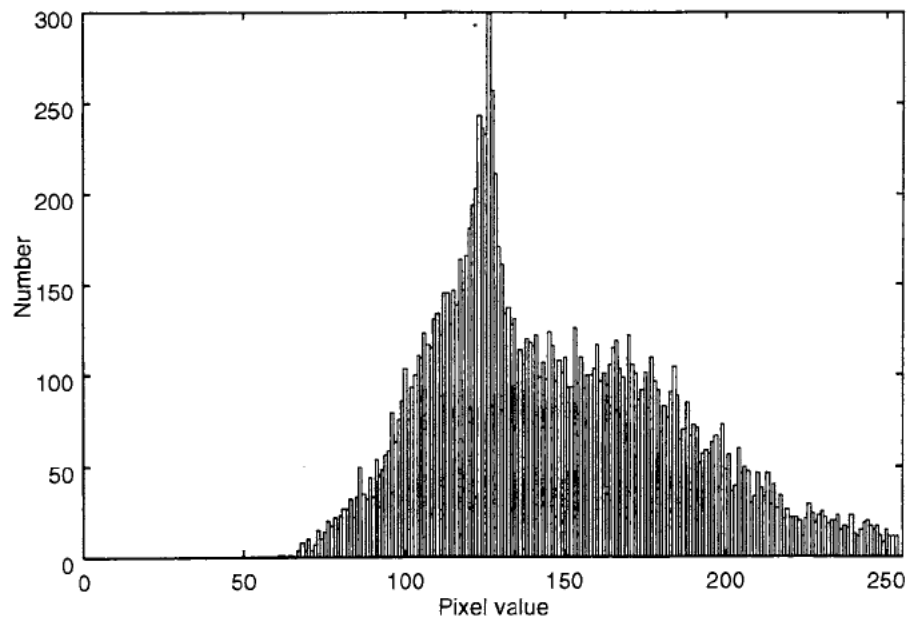


図 2.68: b:ウワミズザクラ

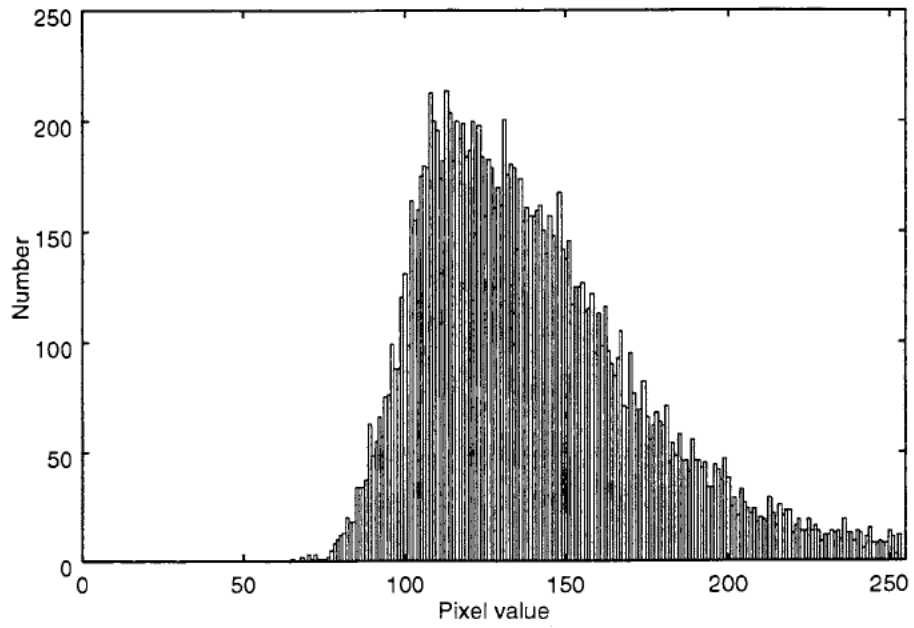


図 2.69: c:カラスガンショウ

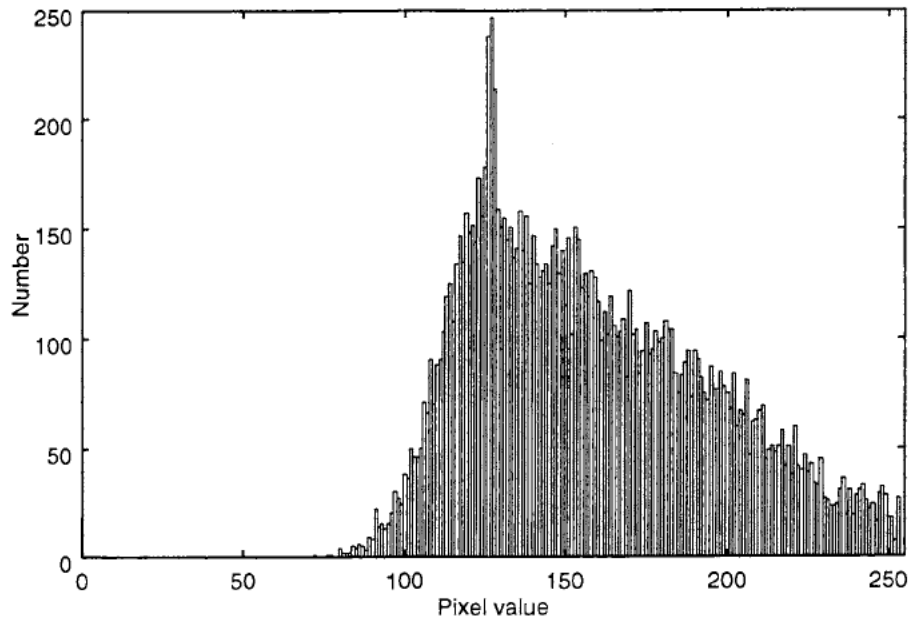


図 2.70: d:クズ

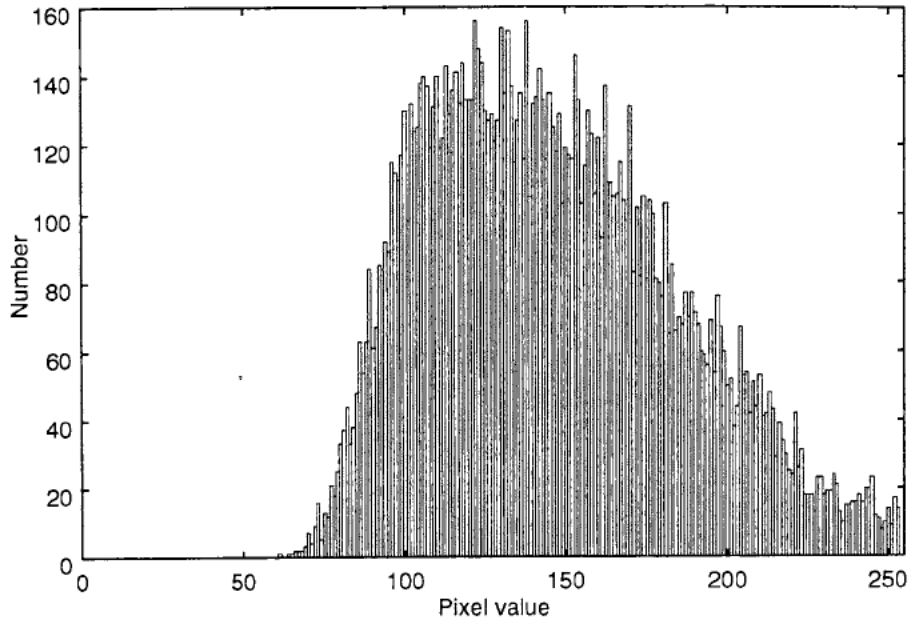


図 2.71: e:クリ

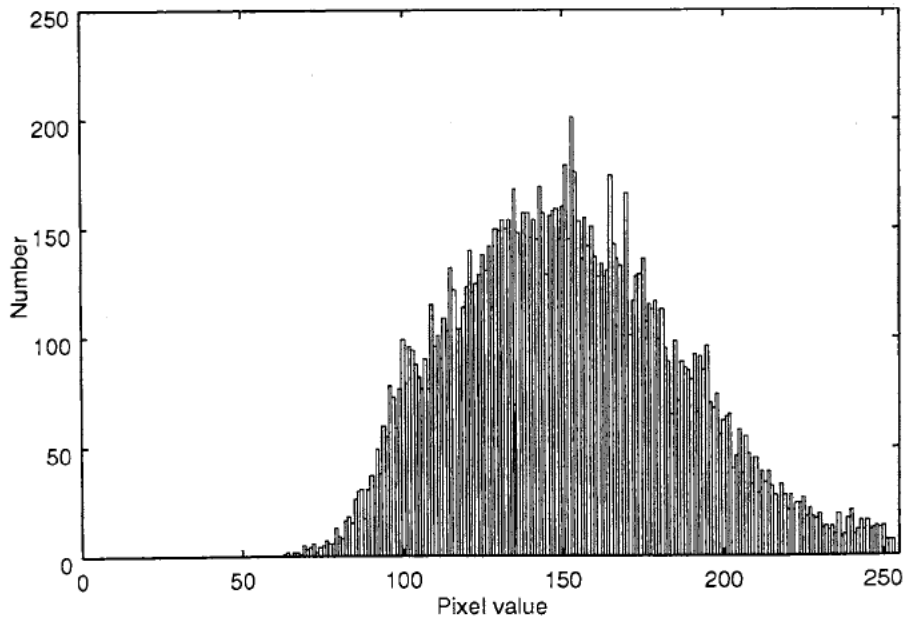


図 2.72: f:ケンポナシ

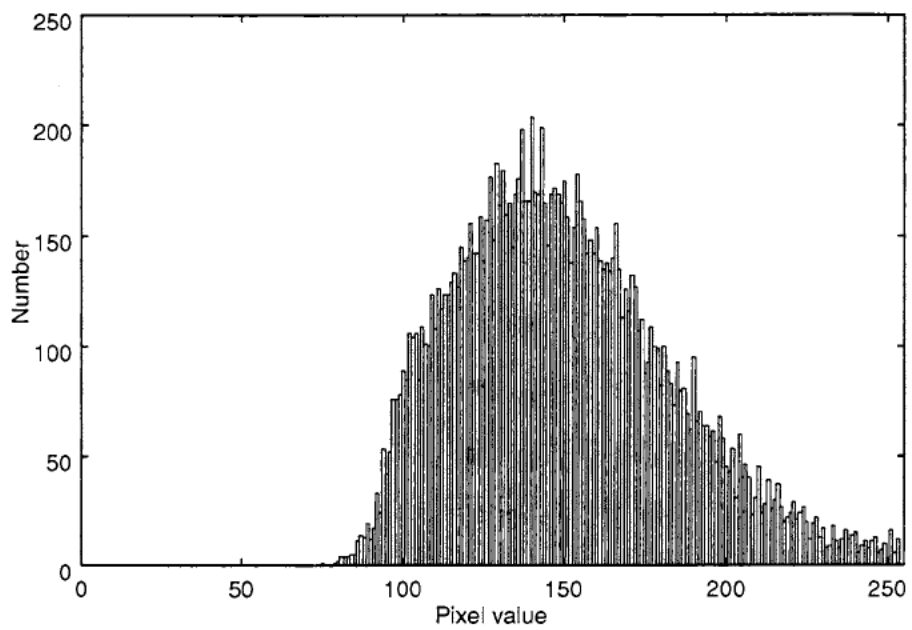


図 2.73: g:コナラ

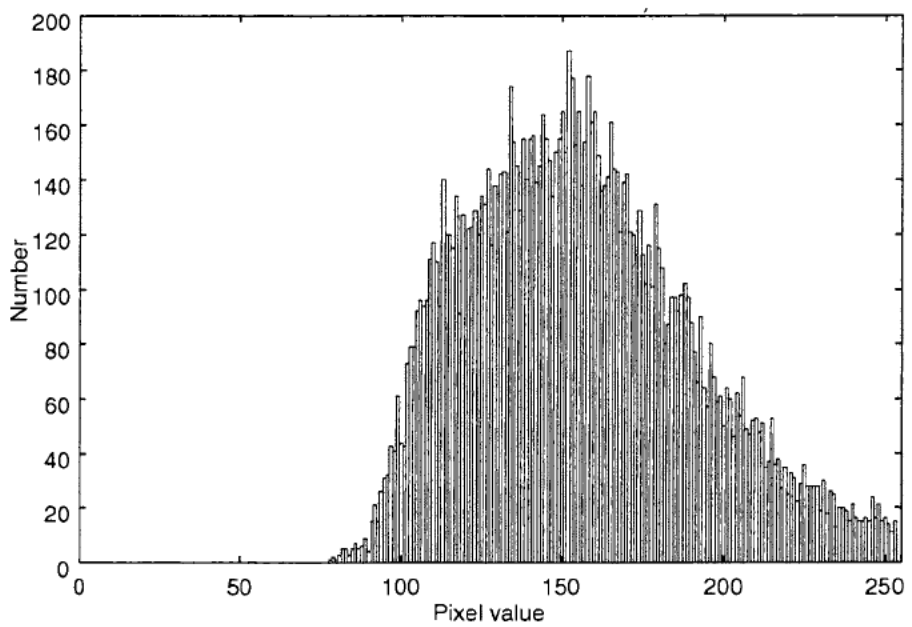


図 2.74: h:ゴンズイ

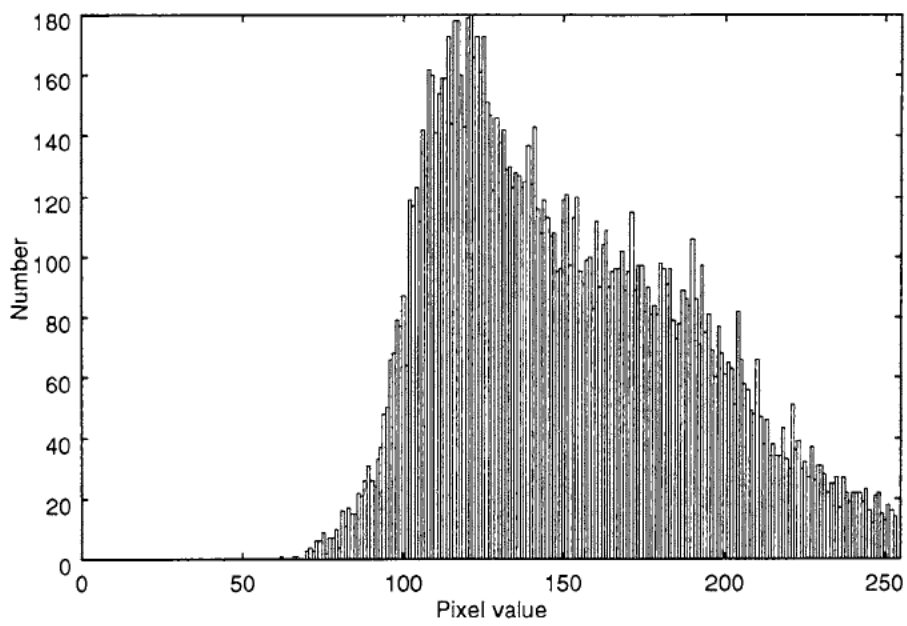


図 2.75: i:スルデ

ここで再びスペクトロメータにより観測した個々の葉と葉の集合のNDVIの関係を考察する。図 2.76 は 11 月にスペクトロメータにより、葉の集合と個々の葉を観測した結果である。横軸が葉の集合のNDVI、縦軸が個々の葉のNDVIである。葉の集合のNDVIと個々の葉のNDVIを比較するとウワミズザクラ (b)、ヌルデ (i) の2つの樹木は、個々の葉のNDVIが約0.2であるのに対して、葉の集合のNDVIが約0.6と大きくなっている。このことについて陰の影響を考えると、現地でのスペクトロメータによる葉の集合の観測では、図 2.57～図 2.65 に示すように、どの樹木を観測したときでもその観測範囲に陰が含まれており、その影響が生ずる。しかしウワミズザクラ (b)、ヌルデ (i) は室内観測による個々の葉のNDVIの値から、樹木自身の活性度が他の樹木に比べ特に小さく、葉の集合を観測をした際には、陰のNDVIの値が大きいため、その影響が他の樹木よりも大きくなり、葉の集合によるNDVIの値が個々の葉の観測によるNDVIに比べ、特に大きくなったと考えられる。一方、カラスザンショウ (c)、コナラ (g) は室内観測による個々の葉のNDVIから、ある程度、葉の活性度が大きく、また図 2.59、図 2.63 を見ても陰の割合が他の樹木に比べて少ないため、陰の影響が他の樹木に比べて小さく、個々の葉と葉の集合のNDVIの値が比較的近い値になったと考える。

しかし、葉の集合の観測から得られる光反射が、個々の葉の観測から得られる光反射と異なっている点は、陰の光反射だけではなく、その他にも枝の光反射、葉の向きによる反射の仕方の違いなど様々な要因が考えられる。したがって、今後の解析ではこのような陰以外の反射成分の解析をし、葉の集合と個々の葉のような、同じ対象物に対して異なった観測レベルにおける植生指数の関係を検討する必要がある。

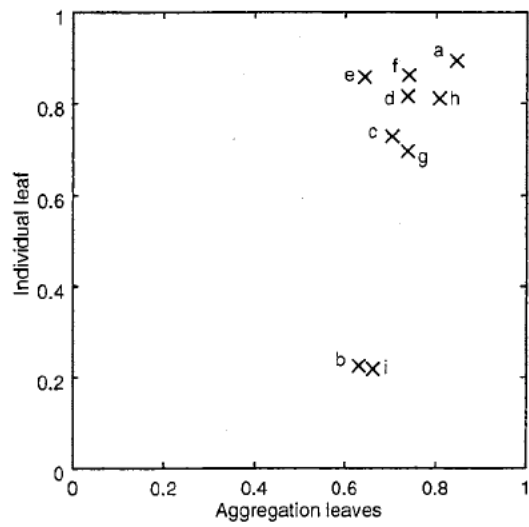


図 2.76: 葉の集合と個々の葉の NDVI の関係

- a: ウラジロガシ
- b: ウワミズザクラ
- c: カラスザンショウ
- d: クズ
- e: クリ
- f: ケンポナシ
- g: コナラ
- h: ゴンズイ
- i: スルデ

2.5 むすび

個々の葉を観測した場合と、葉の集合を観測した場合では、たとえ同じ樹木を観測していても両方の観測から得られる光反射は異なっている。つまり、葉1枚を観測した場合には、観測している葉の光反射特性のみを得ることができるが、葉の集合を観測した場合には、葉の光反射特性の他に陰の反射、枝の反射、土壌の反射など様々な反射を含んだ反射特性が得られる。本研究では、可視画像、赤外面画像から NDVI 画像を作成し、植生の光反射特性を解析することで、陰の部分の NDVI は葉の NDVI に比べて大きいという結果を得た。また、個々の葉の活性度が小さい場合は、葉の集合を観測したときに、その観測範囲に含まれる陰の影響が特に大きくなることが分かった。しかし、より詳しく個々の葉と葉の集合の観測による樹木の活性度の関係を調べるには、その他の要因による反射も考慮しなければならない。そこで今後は様々な反射特性を含んだ葉の集合の反射特性から、葉、陰、枝などの各反射成分に分け、観測レベルの違ったものを比較し、それぞれのレベルでの活性度を調べる必要がある。また、現在は NDVI という同じ植生指標で、個々の葉と葉の集合などの異なった観測レベルでの活性度を比べているが、それぞれの観測レベルに適した植生指標についても検討していきたい。

付録

● アオハダ

双子葉植物 離弁花類 モチノキ科 モチノキ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 2~5cm, 5~10cm
幅 : 2~5cm
形 : 卵形

花の特徴

形態 : 小さな花
開花期 : 5月, 6月
花の色 : 白色, 緑白色(緑色系, 白色系)

● アカシア

双子葉植物 離弁花類 マメ科 ネムノキ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 20~30cm
幅 : 2~5cm
形 : 羽状

花の特徴

形態 : 大きな花
開花期 : 6月, 7月, 8月
花の色 : 紅色, 淡紅色(赤色系)

● アベマキ

双子葉植物 離弁花類 ブナ科 コナラ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 10~15cm, 15~20cm
幅 : 2~5cm, 5~7cm
形 : 皮針形, 楕円形

花の特徴

形態 : 穂状の花
開花期 : 4月, 5月
花の色 : 黄緑色(緑色系, 黄色系)

● ウラジロガシ

双子葉植物 離弁花類 ブナ科 コナラ属
常緑高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 5~10cm, 10~15cm
幅 : 2~5cm
形 : 楕円形, 皮針形

花の特徴

形態 : 穂状の花
開花期 : 5月
花の色 : 黄緑色(緑色系, 黄色系)

● ウワミズザクラ

双子葉植物 離弁花類 バラ科 サクラ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 5~10cm, 10~15cm
幅 : 2~5cm, 5~7cm
形 : 楕円形, 羽状

花の特徴

形態 : 小さな花
開花期 : 4月, 5月
花の色 : 白色(白色系)

- エゴノキ

双子葉植物 合弁花類 エゴノキ科 エゴノキ属

落葉小高木

葉の特徴

葉序 : 互生

長さ : 5~10cm

幅 : 2~5cm

形 : 楕円形

花の特徴

形態 : 小さな花

開花期 : 5月, 6月

花の色 : 白色(白色系)

- エノキ

双子葉植物 離弁花類 ニレ科 エノキ属

落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生

長さ : 2~5cm, 5~10cm

幅 : 2~5cm, 5~7cm

形 : 卵形, 楕円形, 左右不相称

花の特徴

形態 : 地味な花

開花期 : 4月, 5月

花の色 : 黄緑色(緑色系, 黄色系)

- カラスザンショウ

双子葉植物 離弁花類 ミカン科 イヌザンショウ属

落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生

長さ : 5~10cm, 10~15cm, 30~40cm, 40cm以上

幅 : 2~5cm, 10~20cm, 20~40cm

形 : 羽状, 皮針形

花の特徴

形態 : 小さな花
開花期 : 7月, 8月
花の色 : 淡緑色 (緑色系)

● クズ

双子葉植物 離弁花類 マメ科 クズ属
落葉蔓性木本

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 10~15cm, 15~20cm, 20~30cm
幅 : 10~20cm, 20~40cm
形 : 羽状, 円形, 浅く3裂, 左右不相称

花の特徴

形態 : 小さな花
開花期 : 7月, 8月, 9月
花の色 : 紅紫色 (紫色系, 赤色系)

● クリ

双子葉植物 離弁花類 ブナ科 クリ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 5~10cm, 10~15cm
幅 : 2~5cm
形 : 楕円形, 皮針形

花の特徴

形態 : 小さな花
開花期 : 6月
花の色 : 緑白色 (緑色系, 白色系)

● ケンポナシ

双子葉植物 離弁花類 クロウメモドキ科 ケンポナシ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 10~15cm, 15~20cm
幅 : 5~7cm, 7~10cm, 10~20cm
形 : 卵形, 左右不相称

花の特徴

形態 : 地味な花
開花期 : 6月, 7月
花の色 : 淡緑色(緑色系)

● コナラ

双子葉植物 離弁花類 ブナ科 コナラ属
落葉高木

葉の特徴

葉序 : 互生
長さ : 5~10cm, 10~15cm
幅 : 2~5cm, 5~7cm
形 : 楕円形, 倒卵形

花の特徴

形態 : 穂状の花
開花期 : 4月, 5月
花の色 : 黄緑色(緑色系, 黄色系)

● ゴンズイ

双子葉植物 離弁花類 ミツバウツギ科 ゴンズイ属
落葉小高木

葉の特徴

葉序 : 対生
長さ : 5~10cm, 10~15cm, 15~20cm, 20~30cm
幅 : 2~5cm, 7~10cm, 10~20cm
形 : 羽状, 卵形

花の特徴

形態 : 小さな花
開花期 : 5月, 6月
花の色 : 黄緑色, 緑白色(緑色系, 白色系, 黄色系)

第3章 ヘリコプタ観測

3.1 まえがき

現在、広域的あるいは長期的に森林などの植生を調査するために航空機や人工衛星等を用いたリモートセンシングモニタリングが有効である。リモートセンシングではその目的や対象に応じてさまざまなセンサが用いられる。植生の状態について調査を行う場合、一般に光学的なセンサを用いる場合が多い。波長の異なるマルチスペクトルセンサで観測することにより植生活性度の違いを推定することが可能であるからである。Landsatに搭載されるTMセンサは7つの波長を捕らえることができる。得られるデータは30m四方の空間解像度を有しており、センサの値がその領域内の何を反映しているのかを把握することが重要である。これを知るためにはセンサがとらえている領域内の詳細な情報が必要である。本章ではLandsatに搭載されているTMセンサと同様のマルチスペクトルセンサであるスペクトロメータと、スペクトロメータがとらえている領域の特定を行うためにビデオカメラを用いてヘリコプタにより上空から森林の観測を行った。同時に地上で樹木の葉を採集し、葉のスペクトル特性の計測も行った。これらヘリコプタからのスペクトル、画像データ、個々の葉のスペクトルデータをそれぞれ解析し、スペクトルセンサによる値とビデオ画像の各画素との関係を調べた。

3.2 観測システム

図3.1に観測方法の概略図を示す。

3.2.1 ヘリコプタによる観測

ヘリコプタによる観測は2000年9月28日に、6名搭乗可能なヘリコプタを借り上げ、金沢大学角間キャンパス内の森林を観測領域として、ホバリングを行った状態で窓を開放し、斜め下を撮影する形で観測を行った。撮影のターゲットとな

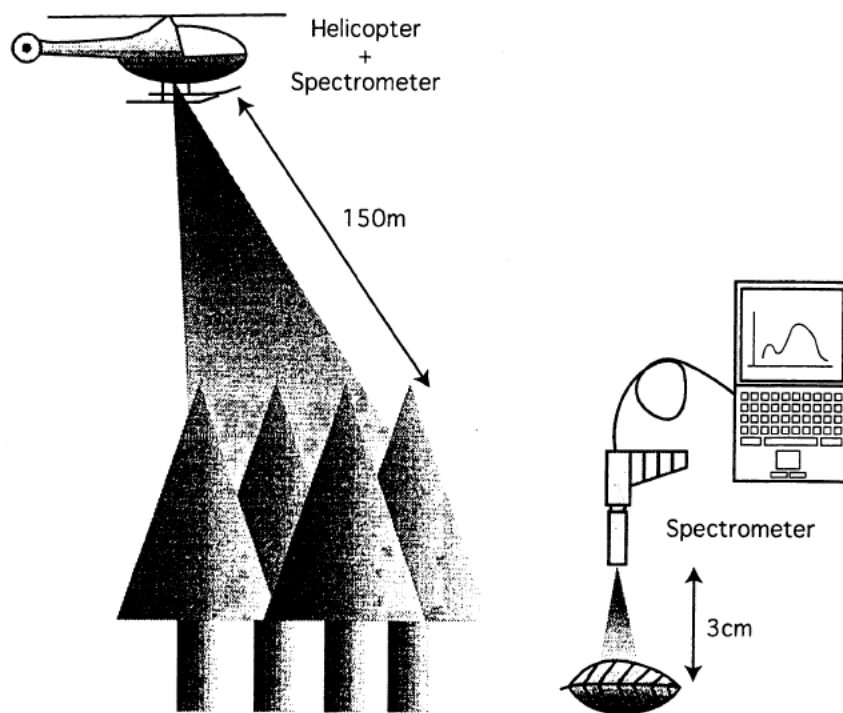


図 3.1: ヘリコプタによる森林観測概要図

る領域と撮影機器との距離は 150m とした。距離はレーザ距離計 (Bushnell 社製 YARADAGE PRO 1000) を用いて測定した。ヘリコプタからの観測に用いた機器はスペクトロメータとデジタルビデオカメラである。観測はスペクトロメータとビデオカメラを同時に用いて撮影箇所を連続的に移動させながら行った。

3.2.2 スペクトロメータ

スペクトロメータ (分光測定器) は電磁波の強度を波長の関数として測定する装置である。観測に用いたスペクトロメータは ASD 社製 FieldSpec UV/VNIR である。測定可能な波長は 350 - 1050 nm の範囲であり、512 のチャンネルで各波長の強度を計測できる。スペクトルの分解能は 1.4 nm 以内である。観測においては視野角が 1° となるレンズを装着した。これによりスペクトロメータが捉える地上の観測領域 (距離 150m) は半径 1.3m の範囲となる。また観測地点近くの駐車場に白色のシートを設置し、このシートの反射スペクトルを基準とした。データの取得間隔を 34 ms とし連続して測定を行った。データはスペクトロメータに接続された PC のハードディスクに保存した。

3.2.3 ビデオカメラ

ビデオカメラはSONY社製DCR-PC100を用いた。スペクトロメータとは事前に時刻合わせとターゲットとの中心軸合わせを行った。また撮影は、明るさ調整をマニュアル、ズームを光学10倍とし、カセットテープに記録した。観測領域全体の画像を得るためにカメラ内のメモリに観測領域全体を静止画像として記録した。カセットテープに記録されたデータは、研究室にてIEEE1394を通してPCにAVI形式で読み込み、各フレーム毎に画像を抜き出し保存した。カセットテープに記録された映像の各フレームの解像度は720x480 pixel、メモリに記録された画像の解像度は1152x864 pixelである。

3.2.4 葉の採集

2000年9月29日にヘリコプタによって観測した領域において、この地域の主な樹木の葉の採集を行った。採取した葉は変質しないように氷を入れたクーラーボックスに保存した。採取した植物種は計14種である。図3.2に植生の種類とその分布図を示す。

3.2.5 葉のスペクトル測定

採集した葉は研究室の暗室においてスペクトル測定を行った。安定した光に対するスペクトル測定を行うために、250 Wのハロゲンランプを光源として用いた。スペクトロメータにはヘリコプタ観測時と同じ視野角1°のレンズを装着した。ターゲットとスペクトロメータの距離を3 cmとした。各植生毎に5枚の葉を選別し各葉を5回ずつ測定を行った。スペクトロメータの観測時間はヘリコプタ観測時と同じ34 msとした。また基準スペクトルとして、ASD社の標準白色板のスペクトルを用いた。

3.3 解析方法

3.3.1 ビデオ画像マッピング

スペクトロメータが捉えている地点を特定するためにビデオテープに記録された各フレームを利用して特定し、マッピングを行った。図3.3にマッピングの概要

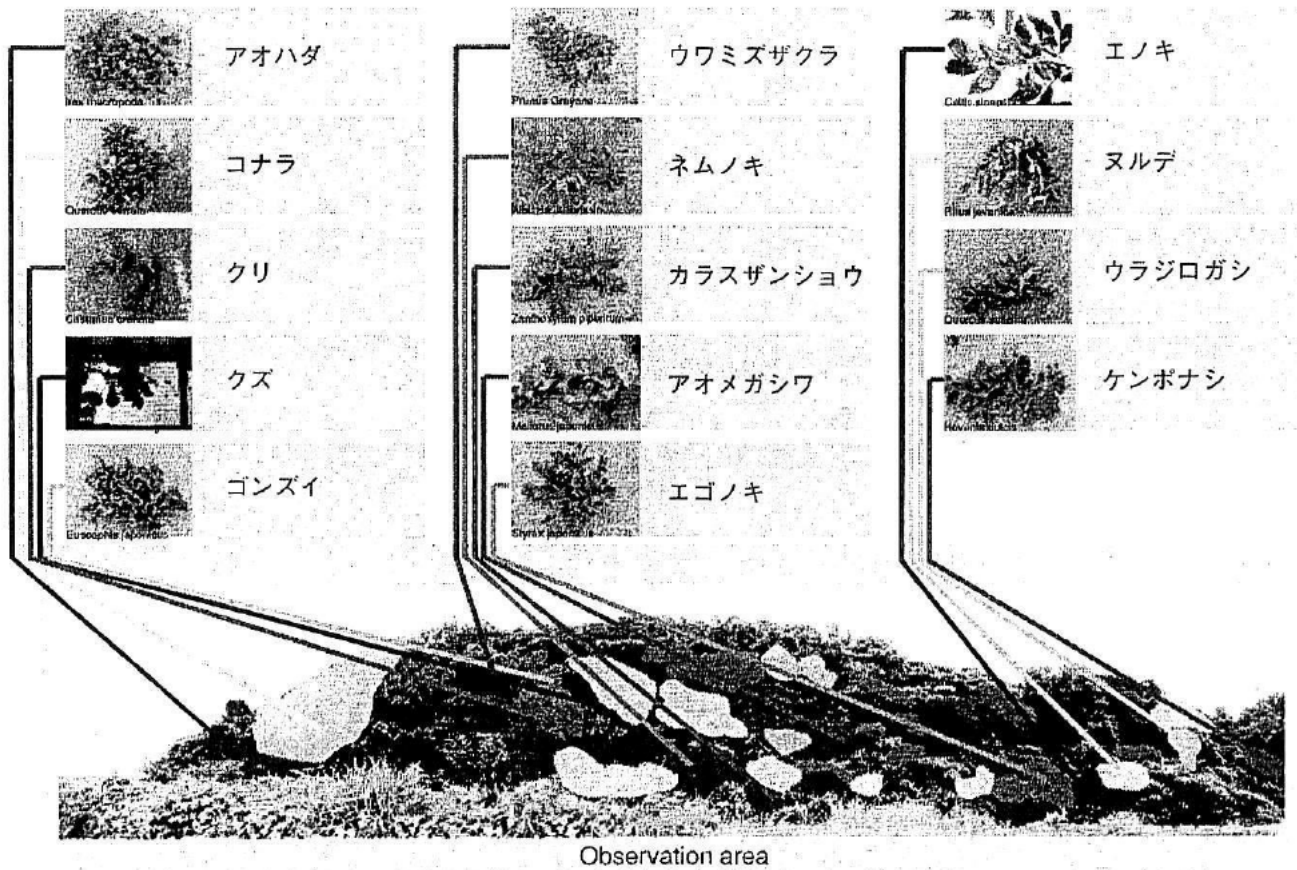


図 3.2: 植生分類図

を示す。前処理として、全体を撮影した静止画像にビデオテープの各フレームの画像解像度を合わせた。まず、目視により最初のフレーム画像と全体画像が一致する地点を特定し最初のマッピングを行った。次のフレームからは直前のフレームの位置情報を元にし新たに全体画像との最適な重ね合わせの位置を探索した。最適な重ね合わせ位置の探索には相関を用いた。対象とする画像の大きさを (TxT) とした場合、画像 $f(x,y)$ と画像 $g(x,y)$ との相関係数は以下の式で求めることができる。

$$r = \frac{\sigma_{fg}}{\sigma_f \sigma_g} \quad (3.1)$$

ただし、

$$\sigma_{fg} = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T f(x,y)g(x,y)dx dy - \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T f(x,y)dx dy \right) \cdot \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T g(x,y)dx dy \right) \quad (3.2)$$

$$\sigma_f = \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T (f(x,y))^2 dx dy - \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T f(x,y)dx dy \right)^2 \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

$$\sigma_g = \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T (g(x,y))^2 dx dy - \left(\frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T g(x,y)dx dy \right)^2 \right)^{1/2} \quad (3.4)$$

フレーム間の最大移動距離を上下左右に対して 27 pixel とし、その範囲を探索した。全体画像 (1152 x 864 pixel) とフレーム画像 (720 x 480 pixel) の解像度を合わせるとフレーム画像のサイズは 120 x 80 pixel に縮小された。

3.3.2 スペクトロメータの観測領域の特定

ビデオ画像マッピングを実行した後、スペクトロメータが測定している領域の特定を行った。観測の際のビデオカメラのズームの倍率は 10 倍であり、その際にスペクトロメータで視野角 1° で観測される領域はファインダの縦幅の約 $1/3$ であった。フレーム画像の縦幅が 80 pixel であることよりフレームの中心より半径 13 pixel の円状の領域とした。(図 3.4)

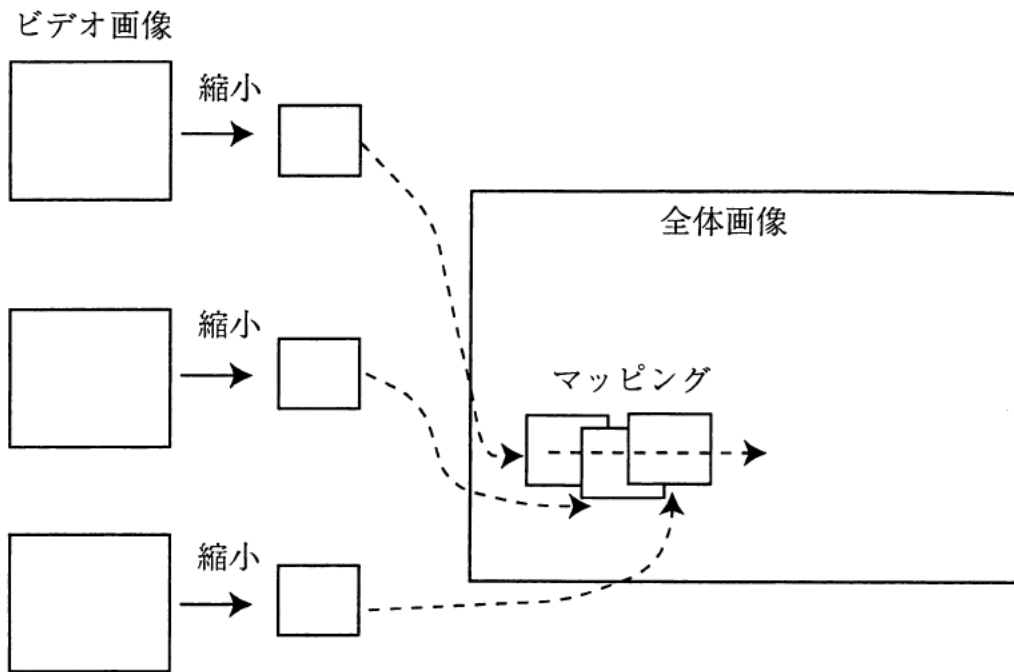


図 3.3: ビデオ画像のマッピング

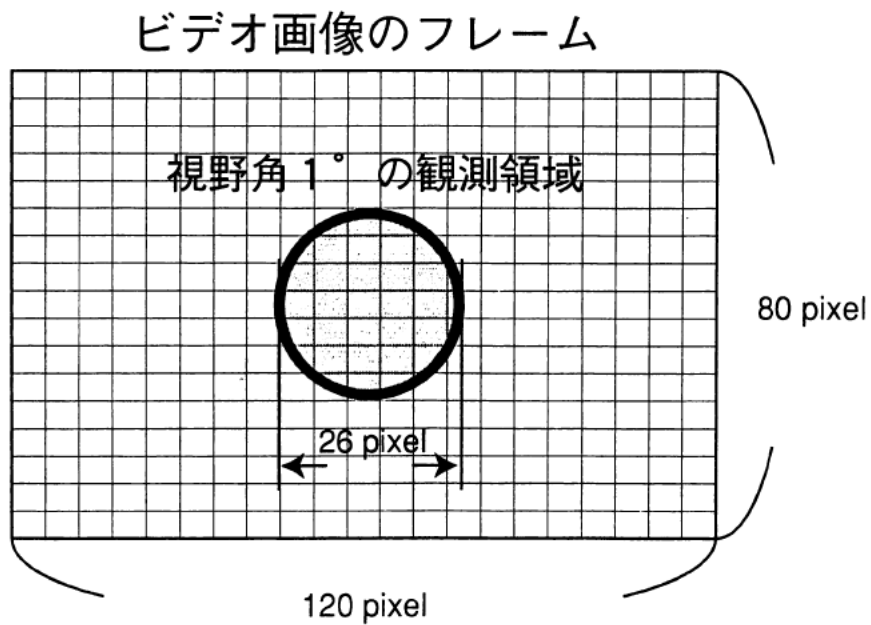


図 3.4: 画像フレームとスペクトロメータの観測領域

3.3.3 観測領域の画素要素

スペクトロメータによる観測は高分解な反射スペクトルの計測が可能であるが、空間的には観測領域の平均的なスペクトルを記録するため、観測領域に含まれる画像的な要素を知ることはできない。逆に、画像においては光のスペクトル反射の観測には不十分であるが、観測対象の詳細な2次元空間的情報を記録することが可能である。そこで、スペクトロメータで測定すると同時に、ビデオカメラで画像情報を観測した。スペクトロメータによる測定値と画像情報を比較するため、スペクトロメータの観測領域内に含まれる画素の輝度値の平均値と標準偏差を算出し、考察した。ビデオカメラによって観測した画像は可視画像であるが、光合成と関係がある赤成分のみ取り出して解析した。

3.3.4 ヘリコプタ搭載のスペクトロメータによる観測データ

ヘリコプタからスペクトロメータを用いて観測したデータでは、光源が太陽光であり、大気吸収によってスペクトルに偏りが生じるため地上に設置した白色のシートのスペクトルを基準として正規化を行った。正規化はスペクトルデータの各チャンネルに対して最低値である2100 Raw DN(digital number)を0とし、白色シートの反射スペクトルを1とした。画像データとの比較を行うために、赤の領域(波長:450 - 520 nm)で平均を求め、赤色光の値とした。また植生のスペクトル反射が大きい近赤外光の領域(波長:760 - 900 nm)においても平均値を算出し近赤外光の値とした。これら赤色光(RED)と近赤外光(NIR)より正規化植生指数(NDVI)の算出を行った。NDVIは式(2.1)で求められる。

NDVIは植生の活性の度合いを調べる指数として提案され、リモートセンシングでは広く用いられている。NDVI値は-1~1の値をとり、雲や水では負の値となり、植生が増すにつれて大きな値を示す。

3.3.5 地上のスペクトルメータによる観測データ

暗室において測定されたスペクトロメータのデータについても赤色光、近赤外光、正規化植生指数の各値を算出した。

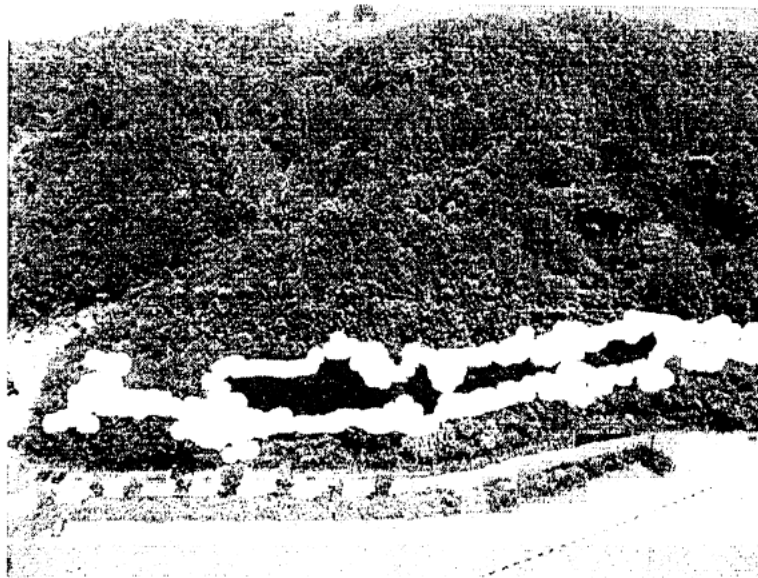


図 3.5: ヘリコプタによる観測領域

3.4 結果と考察

3.4.1 ヘリコプタより観測された領域

ヘリコプタに搭載したスペクトロメータによって観測された領域を図 3.5 に示す。マッピングを行ったフレーム数は 1190 フレーム（約 40 s）である。マッピングされた画像と撮影されたビデオの画像を目視により確認を行った結果、位置、動き共にほぼ撮影された通りにマッピングされていた。撮影時刻とスペクトロメータデータ取得時刻を同期させることによってスペクトロメータの観測領域の特定を行った。図中の白い部分が求められたスペクトロメータ観測領域である。

3.4.2 スペクトロメータと画素成分

スペクトロメータによる NDVI と観測領域の画素成分の比較を行った。図 3.6, 3.7 に結果を示す。図 3.6 はヘリコプタから測定を行ったスペクトルデータの赤色光成分とその観測領域に含まれる赤色画像の平均輝度値の比較を行ったグラフである。輝度の平均値とスペクトロメータより得られた赤色光成分には正の相関が見られる（相関係数 0.40）。これは同一の観測地点におけるビデオ画像とスペクトロメータの赤色光成分の比較であることから妥当な結果である。

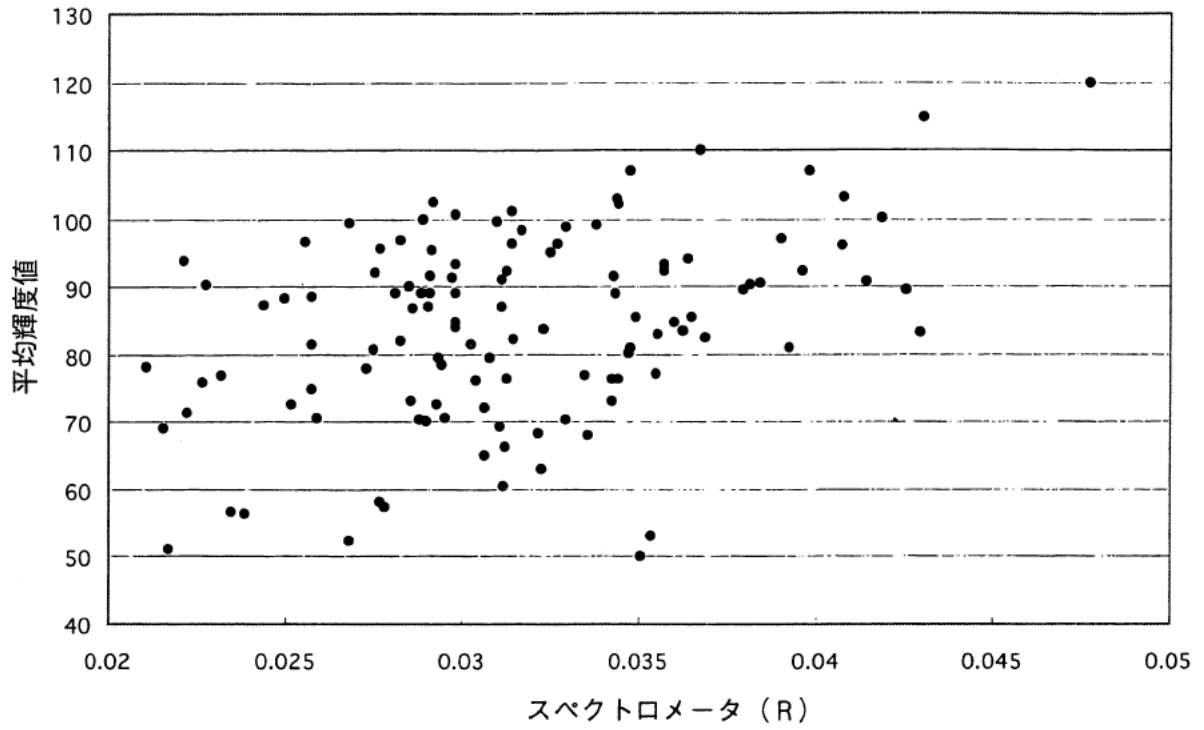


図 3.6: スペクトロメータによる NDVI と画素成分 (平均輝度値)

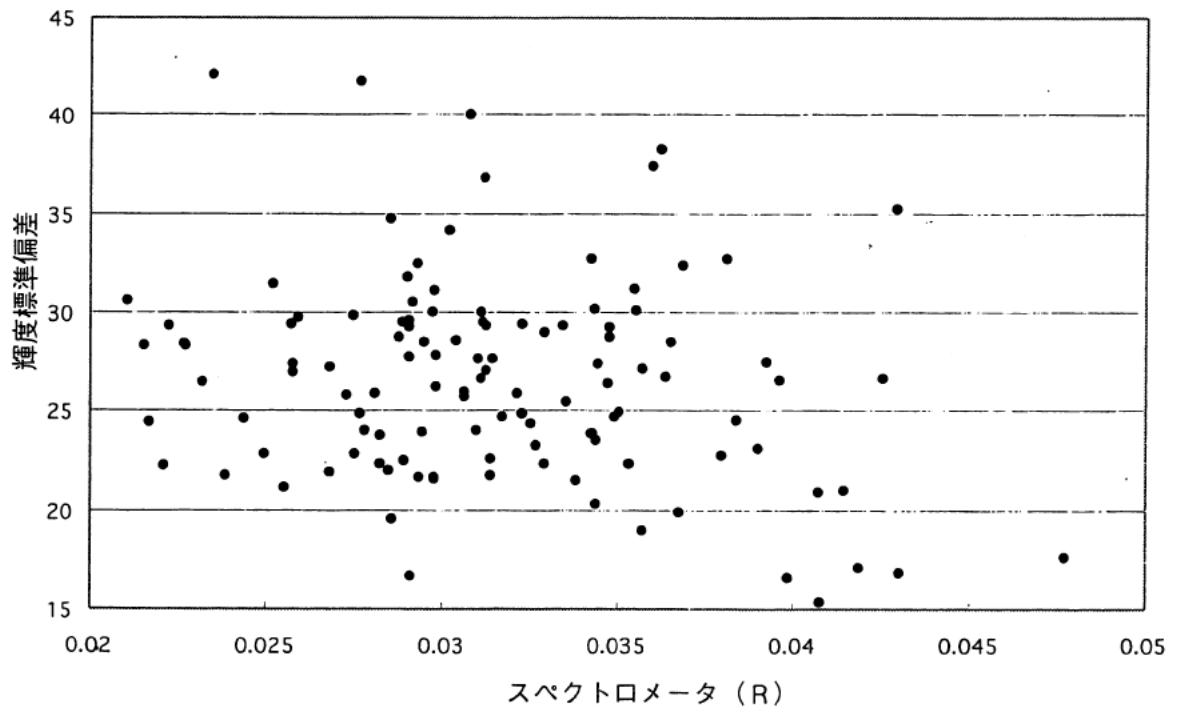


図 3.7: スペクトロメータによる NDVI と画素成分 (標準偏差)

図3.7は画像成分として観測領域に含まれる赤色画像の輝度値の標準偏差を算出し比較を行ったグラフである。スペクトロメータの値が同じでも観測範囲によって標準偏差が異なる。これは各観測範囲には不均一な成分が存在しており、この不均一な成分がスペクトル成分には反映されていないことを示している。不均一な成分として考えられるのは、各葉の反射特性、枝の正常状況、樹幹の形状等である。

3.4.3 葉のスペクトルと画素成分

スペクトロメータでは観測不可能である観測範囲の不均一成分を解析するため、樹木種毎に地上で採集を行った葉のスペクトルデータとヘリコプタの画素成分の比較を行った。植生の種類が判別可能であった、カラスザンショウ、コナラ、クズ、ウワミズザクラ、クリの5種類について行った。観測範囲の赤色画像の画素値の平均と葉の赤色光スペクトル成分の平均値との比較を行った結果を図3.8に示す。グラフより画素値の平均とスペクトロメータの平均値には正の相関が見られる（相関係数 0.89）。これはヘリコプタから観測したスペクトルデータと同様に妥当な傾向である。次に各樹木種毎に複数の葉の赤色光スペクトル成分を求め、その標準偏差を算出し、また同種が存在する観測範囲の赤色画像に含まれる画素の値の標準偏差との比較を行った結果を図3.9に示す。画素の標準偏差と各葉のスペクトルの標準偏差に正の相関が見られる。これは葉の反射のばらつきがヘリコプタからの画素値のばらつきに反映されていると考えられ、ヘリコプタから観測を行った際に、スペクトロメータでは観測が不可能であった不均一成分の一つが撮影範囲に含まれる各葉のスペクトルの違いであることが推察される。

3.5 むすび

本章ではヘリコプタにスペクトロメータとビデオカメラを搭載して植生の観測を行い、スペクトルデータとその観測領域画像の画素成分との関係を解析した。画素の赤色輝度値の大きさとスペクトルの値はほぼ同じ傾向を示した。観測領域の画素値の標準偏差の解析から、その値に観測領域毎に違いがあった。今後は可視光のカメラだけではなく近赤外画像を撮影できる機材を用いて観測を行い、更に画像とスペクトルの関係の解析を行う予定である。

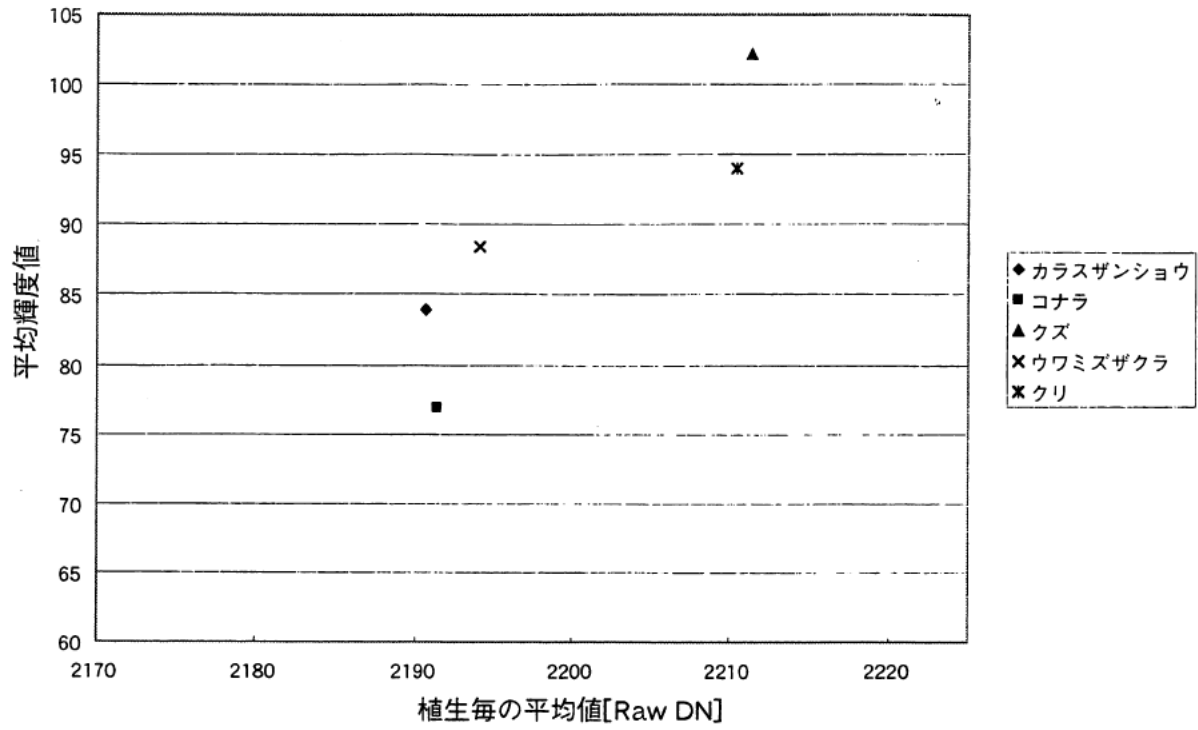


図 3.8: 葉のスペクトルと画素成分 (平均輝度値)

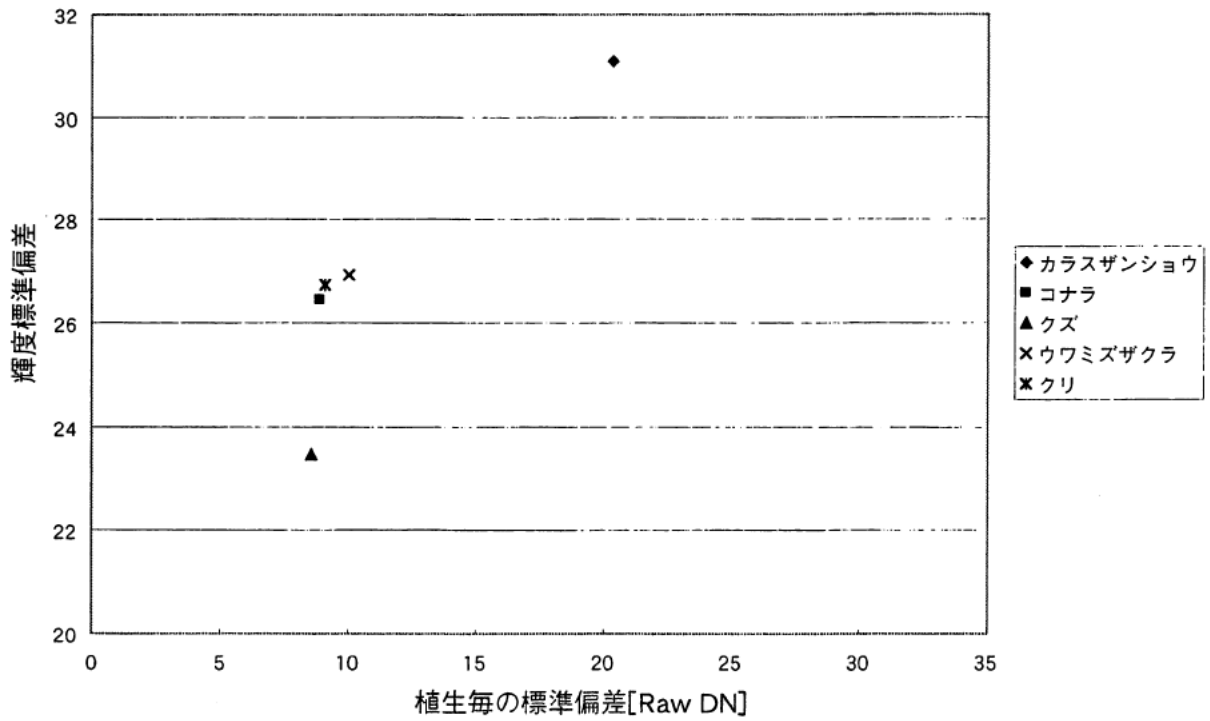


図 3.9: 葉のスペクトルと画素成分 (標準偏差)

第4章 衛星画像解析

4.1 まえがき

気象衛星によるリモートセンシングは、その観測の広域性や反復性および即時性を特徴とし、地球上の現象を動的に把握するために非常に有効な手段である。雲の動きを中心とする気象現象の把握はもとより、海流の流れや、流水の様子を含む海洋現象の把握、地上における積雪の状況、また、植物の分布や活性等々、そのデータは、学術研究においても有用な情報となる。

近年、地球規模での環境問題への関心が高まっている。地球環境をモニタリングするには、衛星による観測が不可欠であり、衛星画像に対する関心も高い。また、衛星画像を利用した温暖化防止等の環境問題に対する森林の役割の評価も注目されている。

当研究室には、NOAA 衛星画像の受信装置が設置されている。本章では受信した大量のデータを効率的に管理し、植生研究のためのデータベースを構築したので、その概要を述べる。

4.2 衛星画像データ受信解析システム

4.2.1 気象衛星 NOAA について

気象衛星 TIROS-N/NOAA シリーズは、アメリカ海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration) によって運用されている気象衛星である。

1978 年に TIROS-N (TIROS: Television and Infra-Red Observation Satellite) が打ち上げられて以来、NOAA-6~16 号が次々と打ち上げられ、各国の静止気象衛星等と相補的に機能して、宇宙からの全球観測を行っている。また、衛星の通過する国々に対して観測画像データの直接送信サービスを行っている。現在、NOAA-12, 14, 15 号が稼働中である。データは誰でも無料で受信することができ、雲分布、雪氷の識別などの気象データから漁業、植生分布 (グローバルな植生モニタリング、

森林火災のモニタリング等) に至る幅広い分野で利用されている。

NOAA の軌道

気象衛星 NOAA の軌道は、赤道に対して 98.7 度の傾斜を持つ太陽同期軌道 (sun synchronous orbit) である。平均高度は奇数号が約 870km, 偶数号が約 833km であり, 連続した 2 軌道間の経度差は約 23 度, 周期約 102 分の極軌道 (polar orbit) である。

極軌道とは, 軌道傾斜角が 90 度, あるいはそれに近い角度の軌道のことである。衛星がこの軌道を周回する間, 地球が自転するため, 極地を含めた地球全体を一定期間でカバーすることができる (図 4.1)。

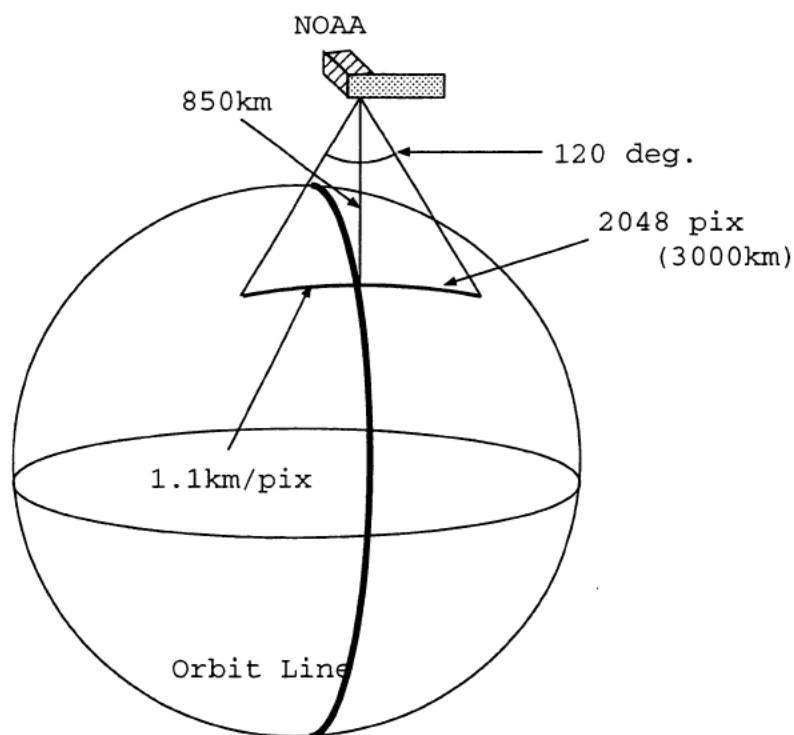


図 4.1: 気象衛星 NOAA の軌道

また, 太陽同期軌道とは, 衛星の軌道面の回転方向と周期 (1 日あたりの回転角) が地球の公転周期 (1 日あたりの回転角) に等しい軌道である。すなわち, 地球と回る衛星の軌道面全体が 1 年に 1 回転し, 衛星の軌道面と太陽方向が常に一定になる軌道のことである。この軌道は, 極軌道のみで可能である。しかし, 軌道傾斜角 90 度の完全な極軌道では, 衛星軌道面との回転は起こらず, 90 度以上の大き

な傾斜角の場合に地球と同じ方向に回転する。この軌道は、衛星から地表を観測する場合、地表にあたる太陽光線が常に一定の角度に保たれるため、同一の条件下で地球観測を行うことに適している (図 4.2)。

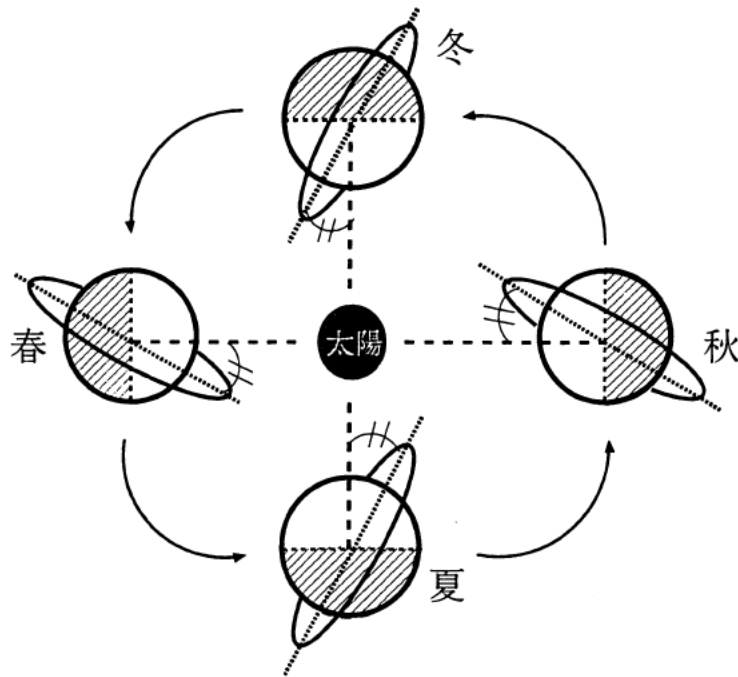


図 4.2: 太陽同期軌道

この軌道の組み合わせによって何日かの周期毎に同一地点の上空を、同一時間帯に通過するため同一の範囲を繰り返し観測するのに極めて有効である。

NOAA 各衛星の日本上空を通過する時間帯は、NOAA-12, 15号が7時前後と19時前後、NOAA-14号が3時前後と15時前後であり(いずれも日本標準時間(JST)), 衛星高度が5度以上の間、受信が行われる。各時間帯では1~2回データの受信が可能であり、1日では約10回の受信が可能となる。1回の受信で、10数分間、データを受信することが可能である。NOAA 衛星の軌道は、毎日約3度ずつ東へ移動し9日後にはほぼ同一の軌道を通過する。(回帰周期9日)

AVHRR センサ

AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer:改良型高解像度放射計) センサは、可視2チャンネル、赤外3チャンネルの計5チャンネルで構成されるマルチチャンネルセンサである。

各チャンネルの特性を表4.1に示す。

表 4.1: AVHRR センサ諸元

Ch	観測波長帯 (μm)	観測項目	分解能 (km)	観測幅 (km)
1	0.56~0.68(可視)	雲, 雪, 氷の領域	1.1	2,800
2	0.725~1.10(近赤外)	陸域, 水域, 陸域植生		
3	3.55~3.93(中間赤外)	表面温度, 雲の領域		
4	10.3~11.3(熱赤外)	表面温度, 雲の領域		
5	11.5~12.5(熱赤外)	表面温度, 雲の領域		

可視チャンネルで計測されるのは、地球上で反射された太陽光であり、雲、雪、氷等の分布がわかる。チャンネル2の波長は、海水面での吸収が大きいため、陸と海、湖等の識別にも用いることが可能である。赤外チャンネルで計測されるのは、地球上からの赤外線放射量であり、地球上(特に海面、雲頂)の温度分布がわかる。チャンネル3は、太陽反射光の影響が大きく、昼間は利用できない。チャンネル4, 5は、大気中の水蒸気による減衰が大きい場合、その影響を補正する必要がある。

AVHRRの走査方向は軌道に垂直で、地上解像度は衛星直下点で約1.1km、直下点から±55.4度の範囲を2048点で走査している。これは、地球上で約3000kmの幅となる。走査は1分間に360回(6line/sec)行われる。分解能は1.1kmであるので、雲や広域の植生変化観測に適している(図4.1)。

5種類の波長帯で観測した画像は単独での解析利用に加え、組み合わせによる情報処理で精度を高めたり、単独では解析できない多くの詳細な情報を入手できる。

4.2.2 システムの特徴

潮流や地表のわずかな温度差を捕らえられる NOAA の高解像度画像 (HRPT) は、漁海況情報はもとより、農林業、環境調査など広範な用途に貴重なデータを提供してくれる。これまでは誰もが衛星データを利用できるとはいえなかった。その原因はデータの入手や利用が困難だったことが大きいと思われる。その困難もインターネットが利用できるようになった現在、解消とまではいかないが少なくなった。

当研究室では NOAA の高解像度データを直接受信し、2000 年 4 月より受信データから北陸周辺の領域を切り出して記録している (図 4.3)。

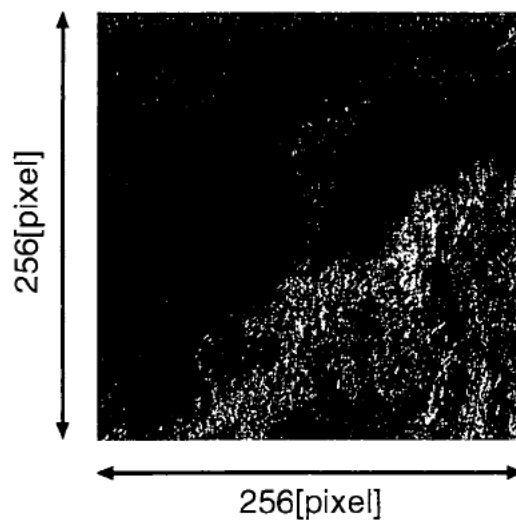


図 4.3: 受信領域画像

毎日蓄積される衛星画像データをデータベース化し、また、そのデータを植生研究利用のため解析し、その結果をデータベースに登録する。蓄積されたデータは、ブラウザを利用して衛星画像を検索し、利用者の計算機に表示することができる。検索パラメータのデータベース登録と同時に、WWW サーバのディスクスペースに受信した画像データをブラウザで閲覧可能な画像 (PNG 形式) に変換し保存する。また、各チャンネルの数値データリストも保存する。

なお、衛星から受信した画像データは地上分解能が約 1 km と細かいが、クイックルックと呼ばれる加工された粗い画像も作成し、WWW サーバのディスクスペースに保存している。解像度が低いため、この情報を詳しい解析に使うことは少ないが、視覚的な判断材料として有用な情報である。この概念図を図 4.4 に示す。

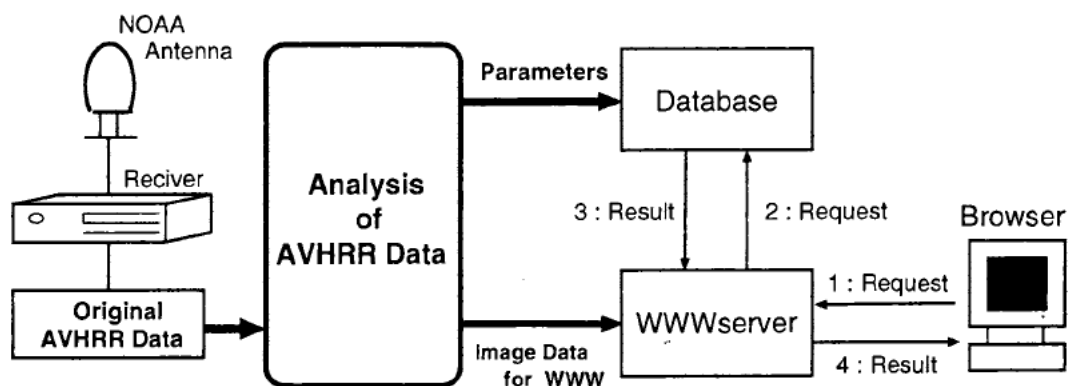


図 4.4: システム概念図

4.2.3 システムの構成

4.2.4 受信システム

当研究室では、本学科棟屋上に設置されているアンテナ (図 4.5) と研究室内の受信機 (図 4.6) によって NOAA の高解像度 (HRPT) データを直接受信している。仕様は以下の通り

メーカー SeaSpace Corporation(アメリカ)

(SeaSpace Corporation Homepage:<http://www.seaspace.com/> より抜粋)

Antenna

- Reflector Diameter: 0.46m (18in)
- Input Frequency: 1680 - 1720MHz
- Acquisition Elevation: 18 degrees (<math><1.0e-6</math> Bit Error Rate)
- LNA Gain: 38 db minimum LNA
- GainLNA Noise figure: <math><0.6</math> db
- RF Input Bandwidth: 40MHz
- Downconverter Gain: 22 db minimum
- Elevation Range: 0 to 90 degrees
- Azimuth Range: 265 degrees

- Elevation/Azimuth Tracking Rate: 18 degrees per second
- Position Accuracy: 0.5 degrees
- Temperature Range: -30C(-22F) to 70C (158F) - without heater Humidity: 0% to 100%
- Humidity: 0% to 100%
- Maximum Wind Force:161km/hour (100mph)
- Radome Dimension:0.53 m diameter by 0.68 m high
- Antenna/Radome Weight:21 kg (46 lbs)
- Antenna shipping Weight:28 kg (62 lbs)

Receiver

- IF input frequency range:128 - 145 MHz
- Programmable IF input frequency selection
- Demodulator Type: PSK - PLL
- Bit Rate: 665.4 Kbps
- Bit error rate within 1 db of theoretical

4.2.5 データベースと WWW サーバ

データベースとして、PostgreSQLを用いた。Webサーバおよびスクリプト処理系として、このPostgreSQLへのインターフェースを標準で備えているApacheとPHP(PHP:Hypertext Preprocessor)を用いた。PHPの特徴として、WWWサーバソフトのApatchのモジュールとして動作する。CGIと違って別プロセスとして起動されるわけではない。無駄なリソースを消費せず、処理も高速である。PHPはHTML(HyperText Markup Language)埋め込み型のサーバサイドスクリプト言語である。PHPがHTMLのみを出力している限りではブラウザに依存しない。こ



図 4.5: 受信アンテナ

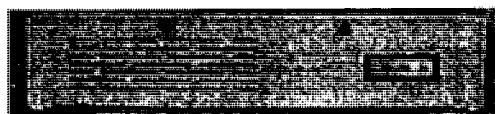


図 4.6: 受信機

のため PDA(携帯端末)など低スペックのクライアントに対してもサービスを提供することができる。大きなスクリプトを実行した場合でも、クライアント側には実行結果だけが送信されるので無駄な通信のオーバーヘッドがかからない。また、サーバへの負荷が CGI に比べて軽い等の利点がある。

4.3 解析方法

受信した AVHRR 画像データを効率よく管理し利用できるようデータベース化する。次に、植生研究利用に適した検索キーとなるパラメータを算出するための解析を行う。本節では、この解析について述べる。まず、解析の手順を図 4.7 に示す。

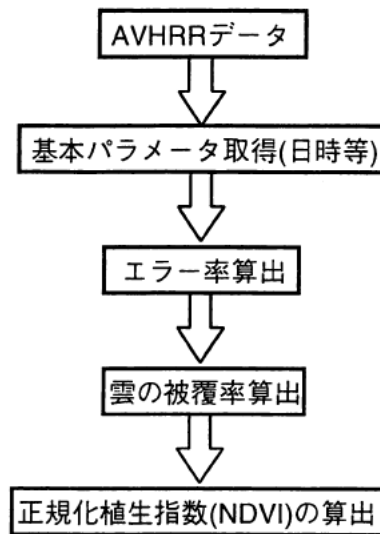


図 4.7: 解析の手順

4.3.1 基本パラメータ

衛星より受信したデータから、受信日時、衛星名、可視画像が取得できたか否かのファイルタイプを取得し、基本パラメータとしてデータベースへ登録する。

4.3.2 エラー率

受信データよりエラー率(画像に占めるエラーの割合)を算出する。エラーの種類には衛星の走査エラー、AVHRR 画像データ各チャンネルの異常値がある。まず衛星の走査エラーであるが、データから走査エラーの数を算出する。次に、異常値であるが、例えば、チャンネル 1, 2 が示す値はアルベドデータである。アルベドとは、入射波に対する反射波の割合である。この正常値は 0~100(%)である。この範囲外の数値は異常値である。チャンネル 3, 4, 5 は温度データである。絶対零度を下回るものは自然界に存在し得ない。よってこれを下回るものも異常値である。本研究では、クイックルックや後述する雲の被覆率算出に用いたチャンネル 4 のエラー率を算出し、データベースに登録している。

4.3.3 雲の被覆率

衛星リモートセンシングにおいて、植生研究のような陸地観測について研究する場合には雲の識別は欠かせない。

一般に雲は可視域では陸域ならびに海域に比べてアルベド (反射率) が高く、赤外域では低温となる特徴がある。

しかしながら、降雪地域では、雪と雲は、可視域ではいずれも白色であるのでアルベドは同程度に高く、また赤外域ではいずれも温度がかなり低いためにほとんど差がなく、雲と地表面の識別は容易ではない。さらに夜間は可視データを取得することができない。そこで、今回、雲を抽出し雲量を算出するにあたり、毎回取得できる赤外域のチャンネル4の温度データを用いて、雲の抽出方法を開発した。

雲の抽出

チャンネル4の輝度温度画像を2値化処理することにより、雲と地表を識別するための閾値を検討した。チャンネル1の可視画像を使って、目視により雲と地表を識別し、その結果に最も合うチャンネル4画像の閾値について、可視画像の取得できた2000年4月から2000年9月を中心に調べた。

次に、1967年から1996年まで30年間の金沢の月平均気温の傾向と前述の閾値との関係を調べたところ、両者は同様の傾向 (月平均気温-10度) であることがわかった。この傾向に基づき、10月から3月の冬季期間を含めて、金沢の月平均気温から10度低い温度を各月の雲抽出の閾値とした。これを図4.8に示す。

被覆率の算出

月平均気温に基づいた変動閾値によって、雲を抽出した。2000年4月、5月、6月、7月、8月、9月の各月から3例を図に示す。各温度分布を月毎に図4.9、図4.11、図4.13、図4.15、図4.17、図4.19に示す。各日時のデータについて、そのチャンネル1の可視画像と先に定めた雲抽出の閾値によってチャンネル4の画像を2値化したものを図4.10、図4.12、図4.14、図4.16、図4.18、図4.20に示す。なお、温度分布図中の横軸上の上矢印↑は、その月の閾値 (温度) であり、かっこ内の数値は可視画像を用いた目視による雲の被覆率 (10段階) である。月平均気温に基づいた変動閾値による雲被覆率は目視による値とほぼ一致している。なお、雲

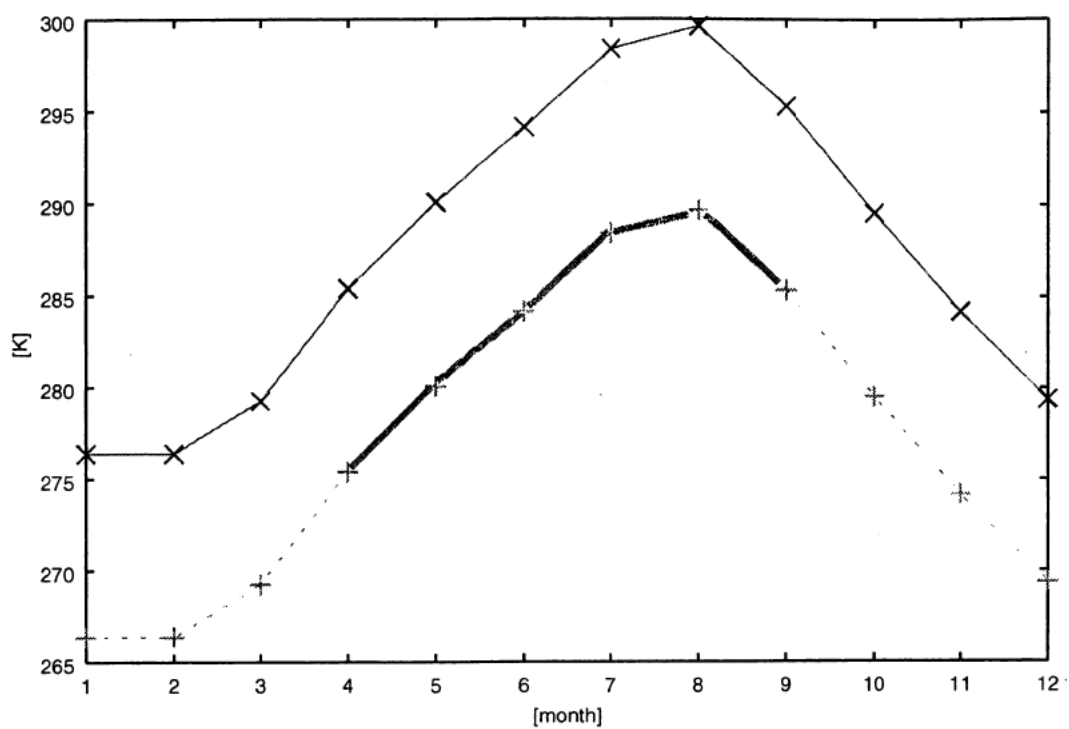


図 4.8: 金沢の月平均気温と雲抽出の閾値

太線： 経験的に求めた閾値

破線： 推定閾値

実線： 金沢月平均気温

被覆率の算出にはエラー領域は除いた。

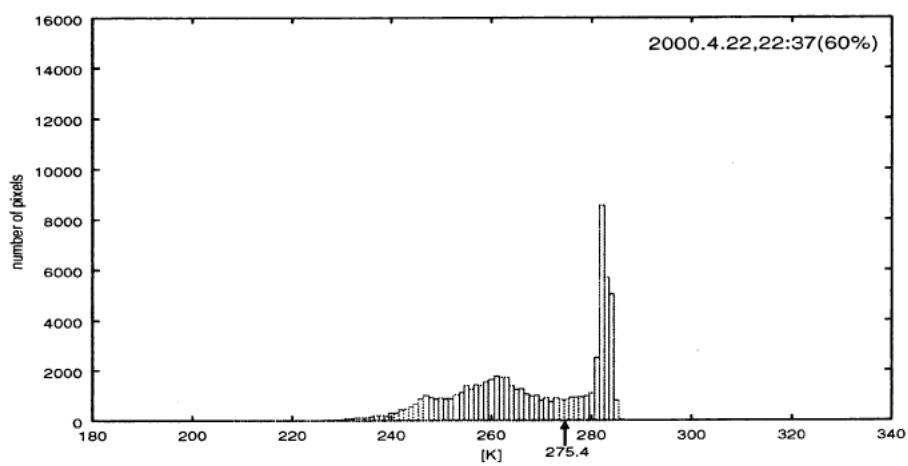
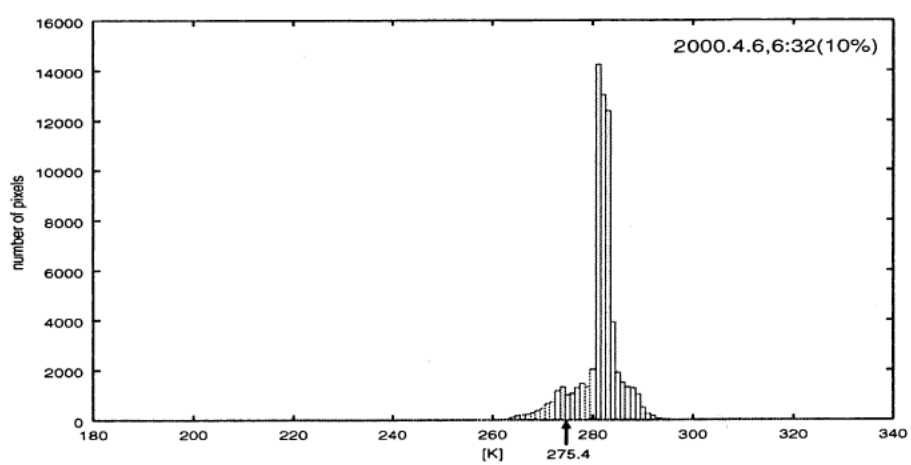
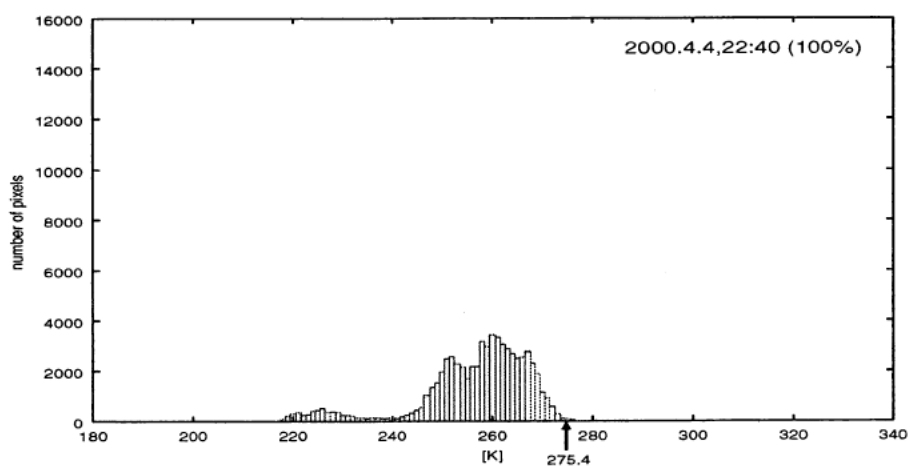
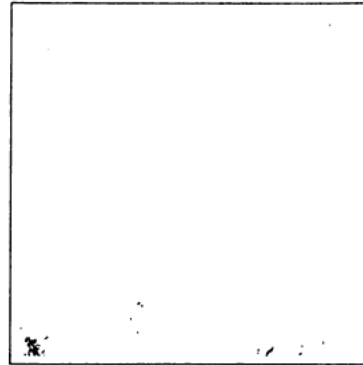


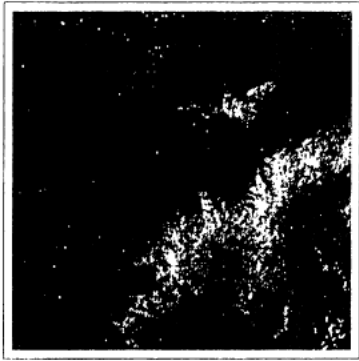
图 4.9: 温度分布 (2000 年 4 月)



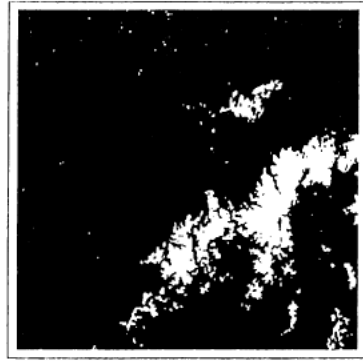
2000.4.4,22:40
ch1(可視) 画像



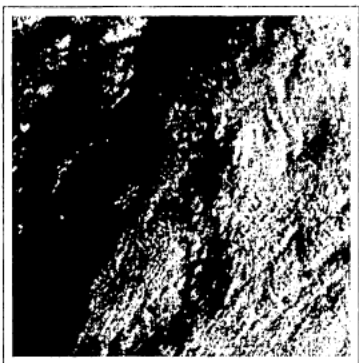
2000.4.4,22:40
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:99%)



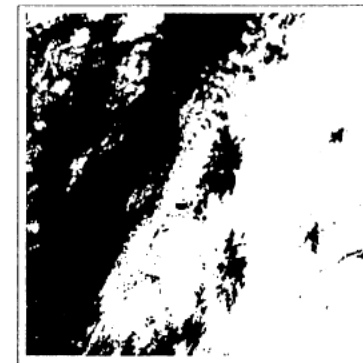
2000.4.6,6:32
ch1(可視) 画像



2000.4.6,6:32
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:9%)



2000.4.22,22:37
ch1(可視) 画像



2000.4.22,22:37
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:57%)

図 4.10: 雲抽出結果 (2000 年 4 月)

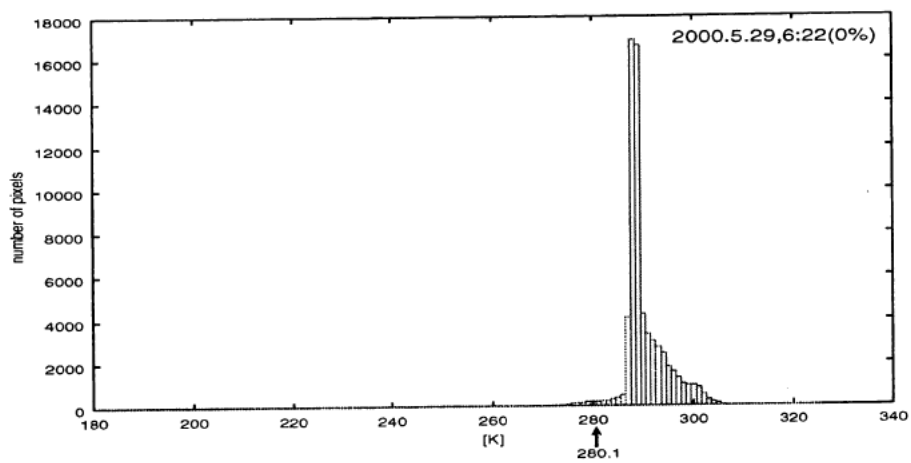
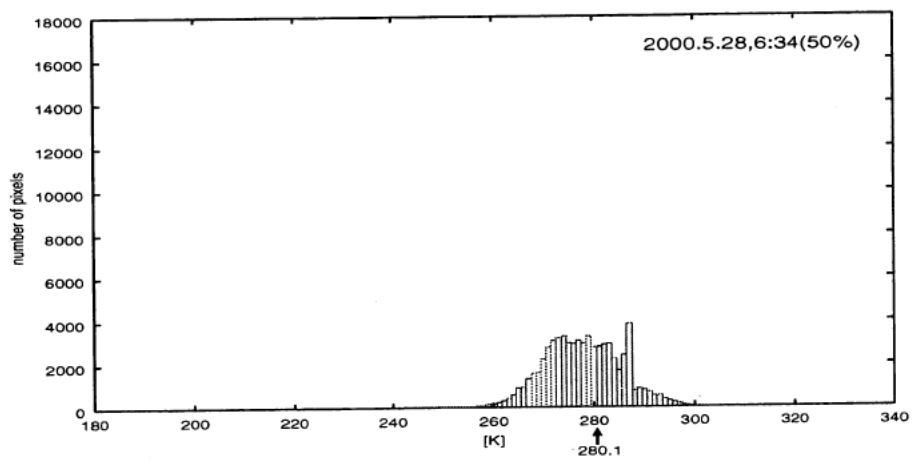
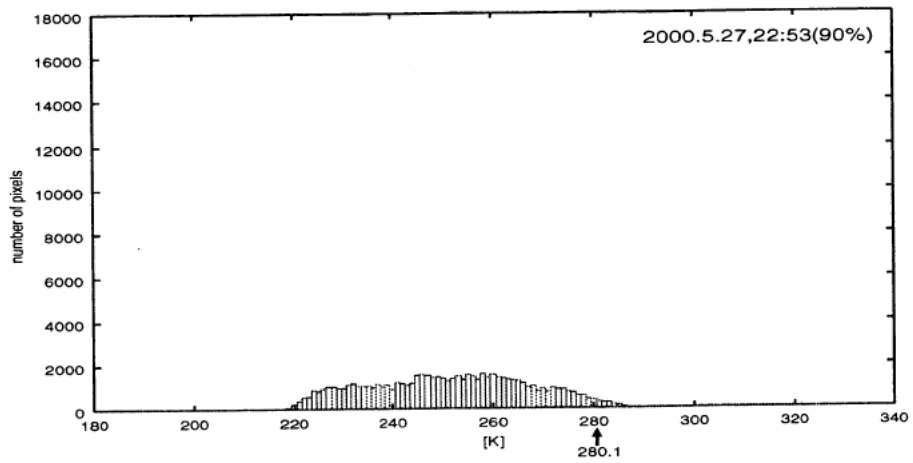
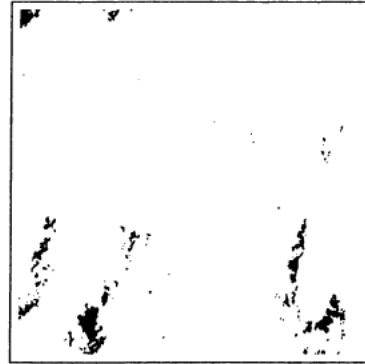


图 4.11: 温度分布 (2000 年 5 月)



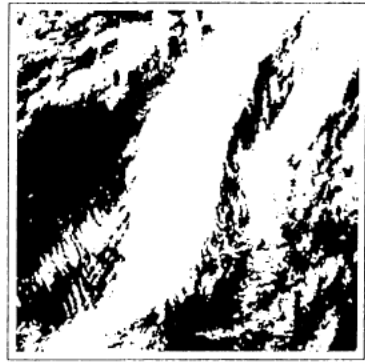
2000.5.27,22:53
ch1(可視) 画像



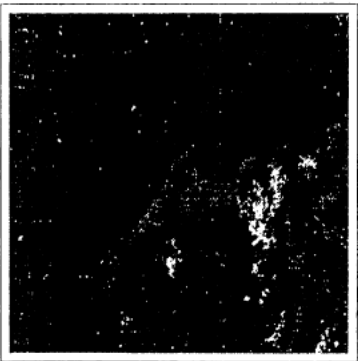
2000.5.27,22:53
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:97%)



2000.5.28,6:34
ch1(可視) 画像



2000.5.28,6:34
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:58%)



2000.5.29,6:22
ch1(可視) 画像



2000.5.29,6:22
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:1%)

図 4.12: 雲抽出結果 (2000 年 5 月)

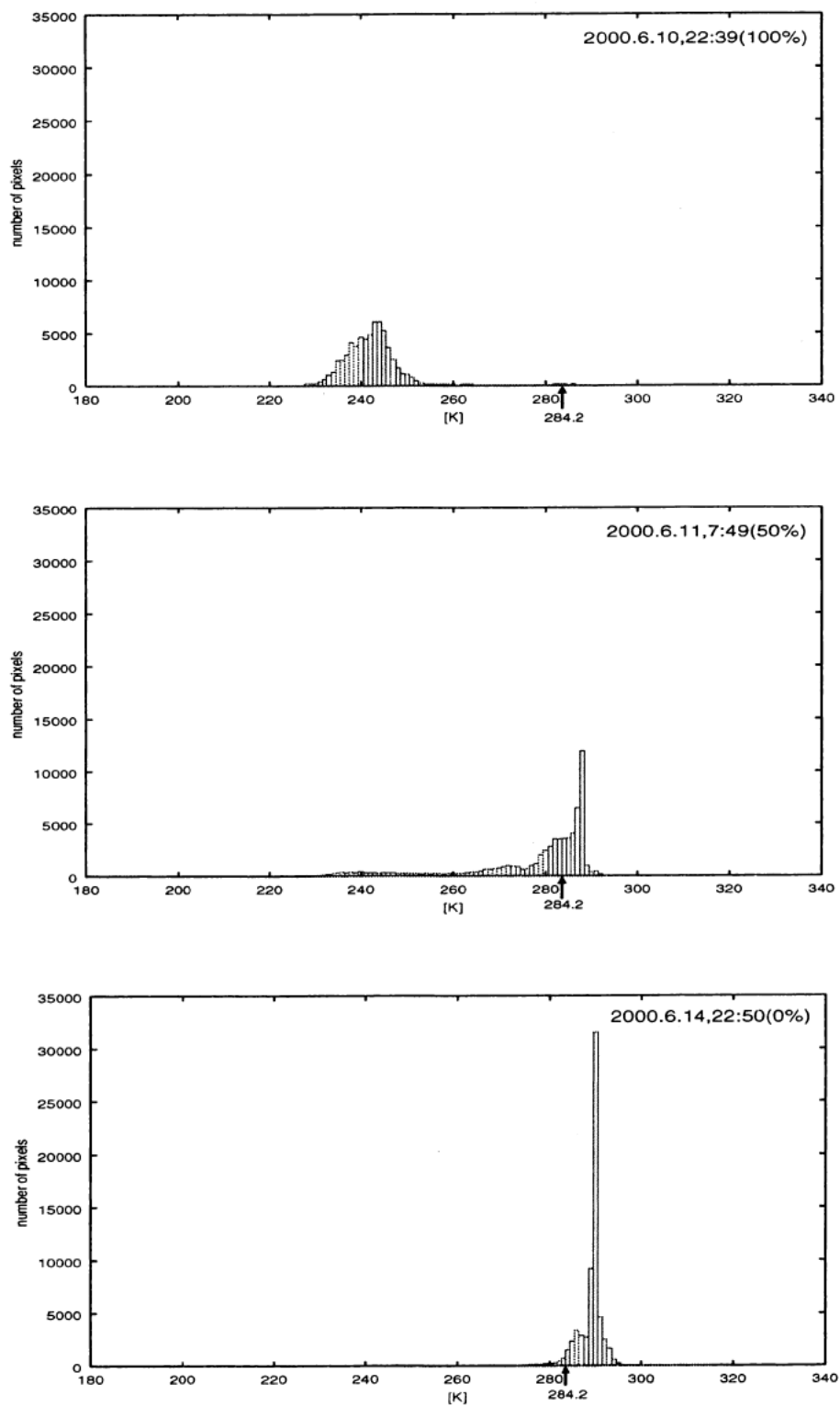
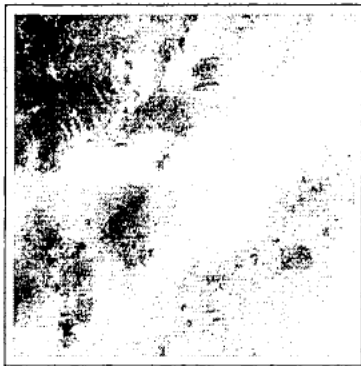
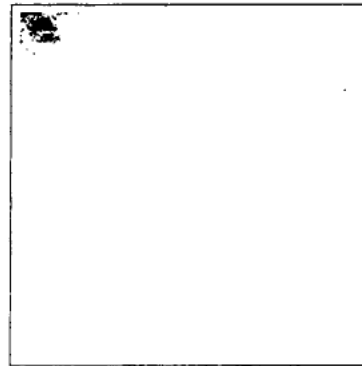


図 4.13: 温度分布 (2000 年 6 月)



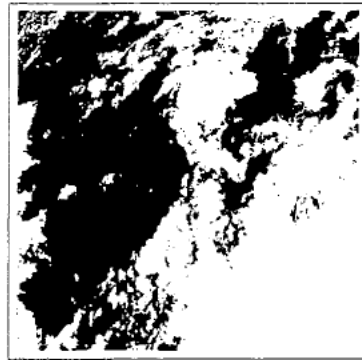
2000.6.10,22:39
ch1(可視) 画像



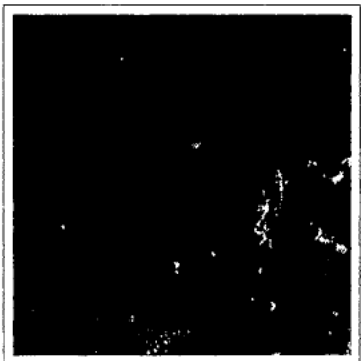
2000.6.10,22:39
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:99%)



2000.6.11,7:49
ch1(可視) 画像



2000.6.11,7:49
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:52%)



2000.6.14,22:50
ch1(可視) 画像



2000.6.14,22:50
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:4%)

図 4.14: 雲抽出結果 (2000 年 6 月)

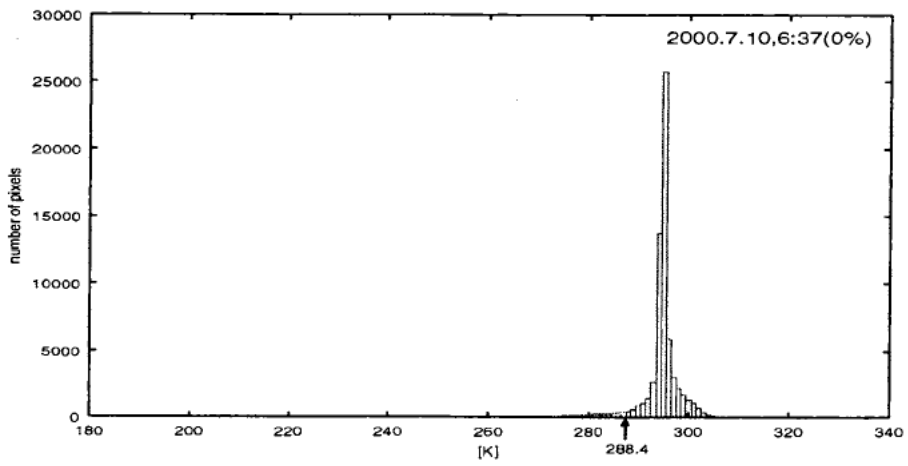
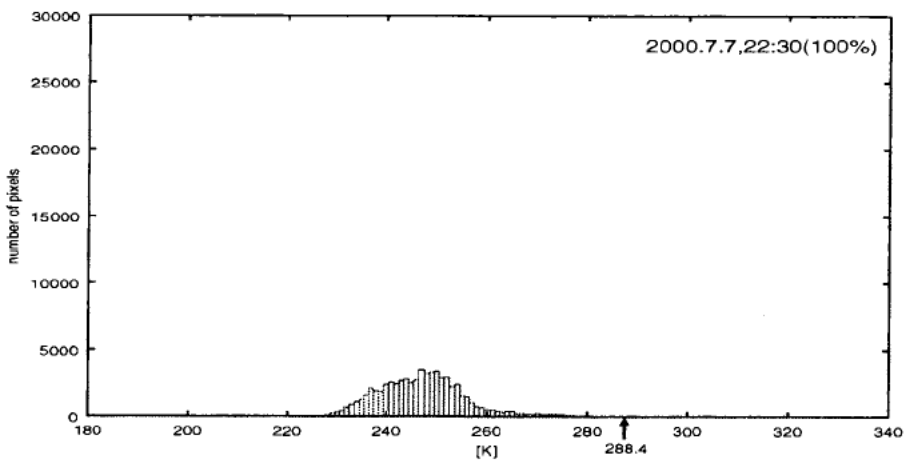
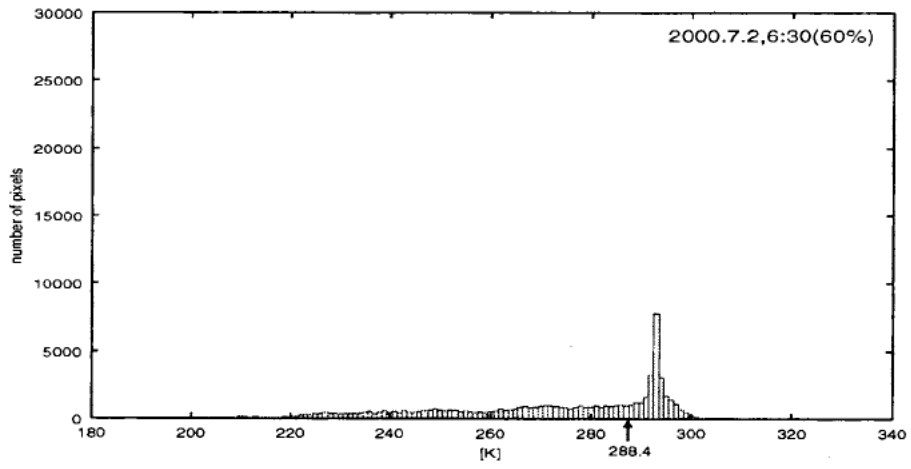
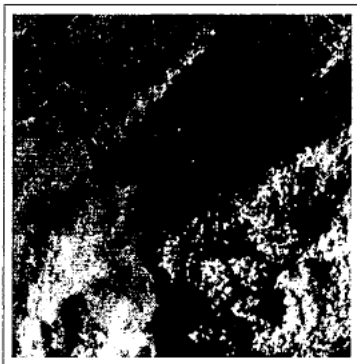


图 4.15: 温度分布 (2000 年 7 月)



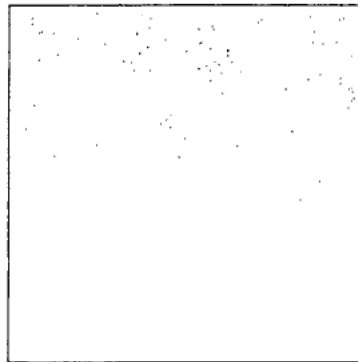
2000.7.2,6:30
ch1(可視) 画像



2000.7.2,6:30
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:63%)



2000.7.7,22:33
ch1(可視) 画像



2000.7.7,22:33
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:99%)



2000.7.10,6:37
ch1(可視) 画像



2000.7.10,6:37
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:4%)

図 4.16: 雲抽出結果 (2000 年 7 月)

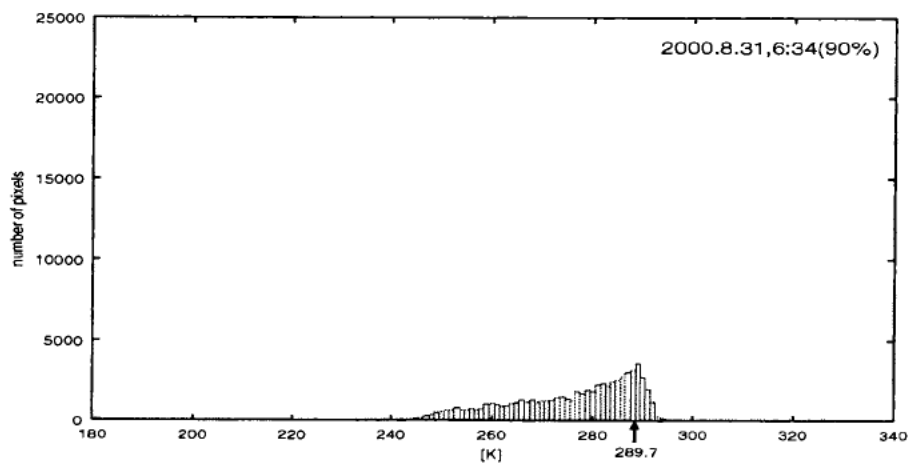
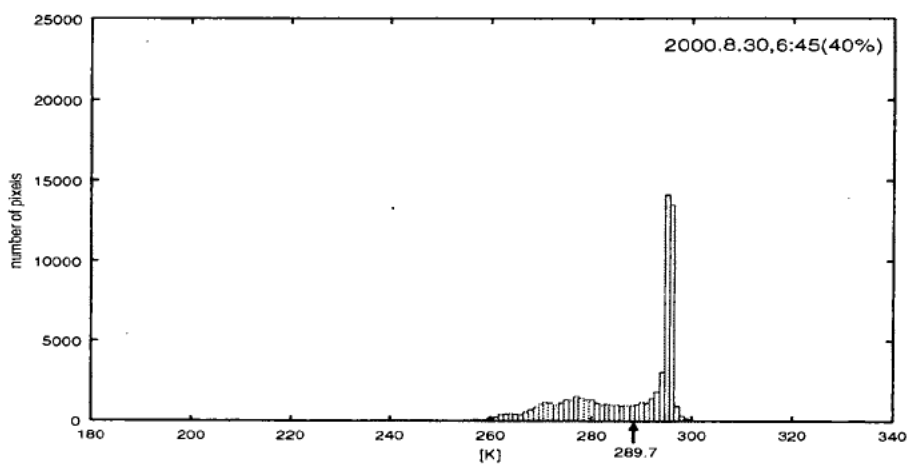
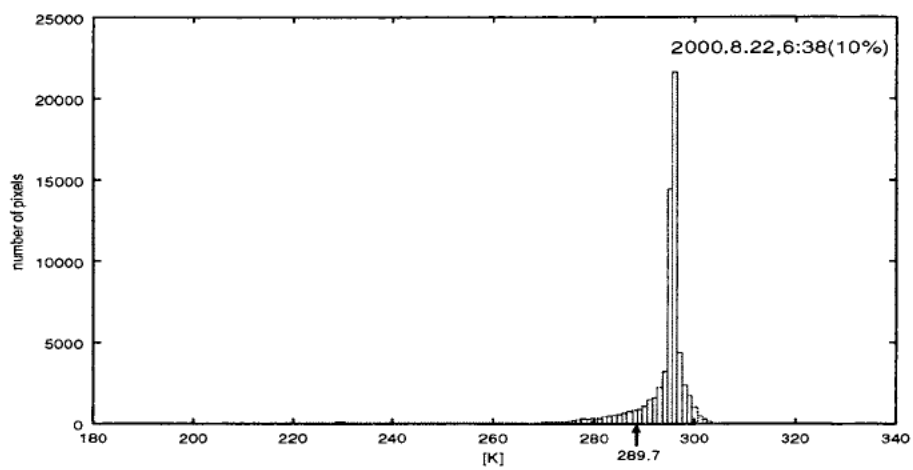


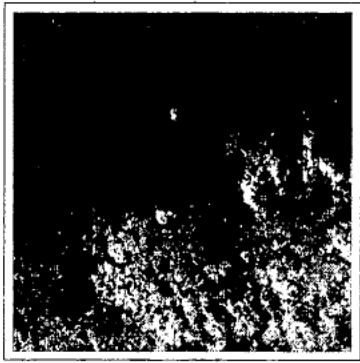
图 4.17: 温度分布 (2000 年 8 月)



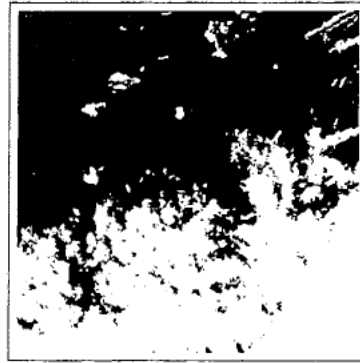
2000.8.22,6:38
ch1(可視) 画像



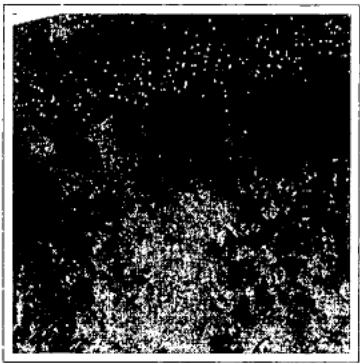
2000.8.22,6:38
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:14%)



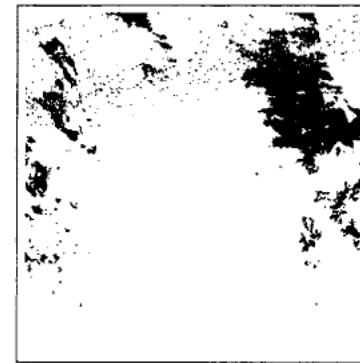
2000.8.30,6:45
ch1(可視) 画像



2000.8.30,6:45
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:42%)



2000.8.31,6:34
ch1(可視) 画像



2000.8.31,6:34
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:88%)

図 4.18: 雲抽出結果 (2000 年 8 月)

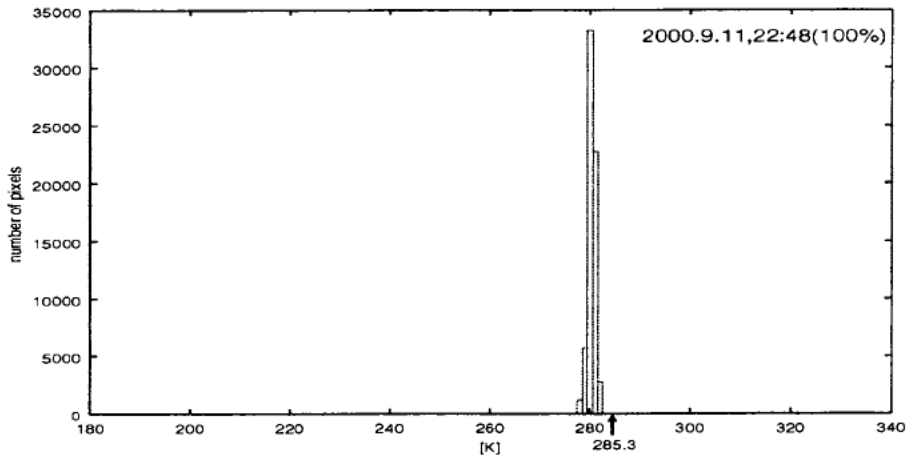
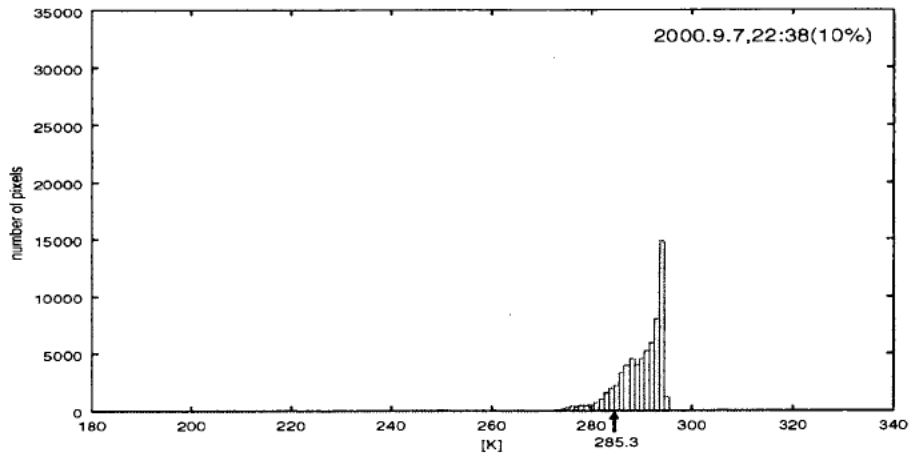
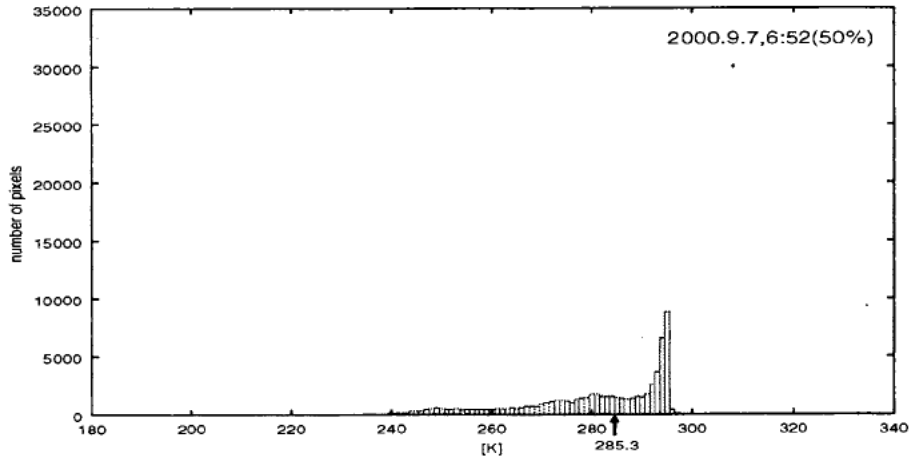
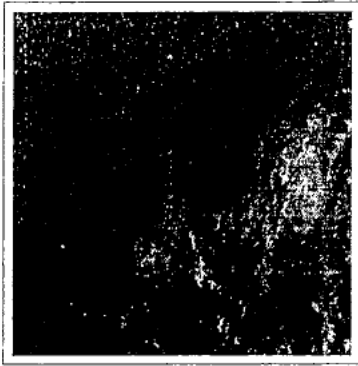
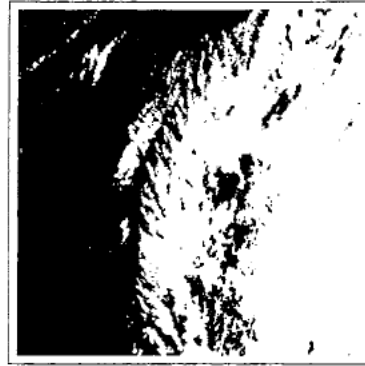


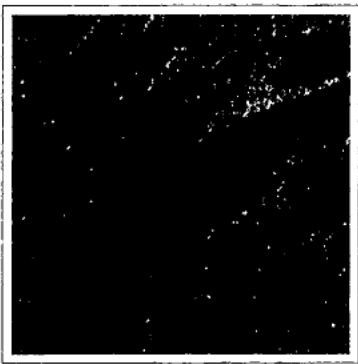
图 4.19: 温度分布 (2000 年 9 月)



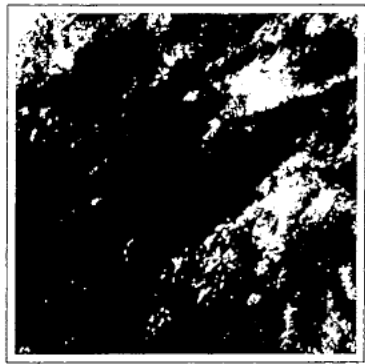
2000.9.7,6:52
ch1(可視) 画像



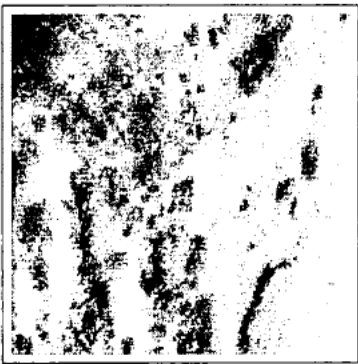
2000.9.7,6:52
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:51%)



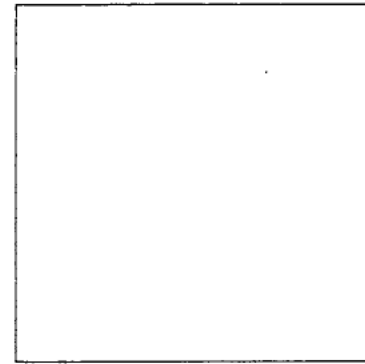
2000.9.7,22:38
ch1(可視) 画像



2000.9.7,22:38
ch4 の 2 値画像 (被覆率:12%)



2000.9.11,22:48
ch1(可視) 画像



2000.9.11,22:48
ch4 の 2 値画像 (雲被覆率:100%)

図 4.20: 雲抽出結果 (2000 年 9 月)

4.4 正規化植生指数 (NDVI)

4.4.1 植生指数とは

植生指数とは、衛星データを使って簡易な計算式で植生の状況を把握することを目的として考案されたもので、植物の量や活性度を表している。植物は普通緑色に見える。これは植物は太陽から届く光の中で、緑色の光を特に反射しやすく（反射率が高い）、特に赤色の光は反射しにくい（反射率が低い）という特徴があるためである。この結果、人間の目には緑色の光がより多く届き、植物が緑色に見える。この緑色の光以外にも植物には、一部の赤外線（近赤外域:800nm~1300nm）で高い反射率を示す特徴がある。

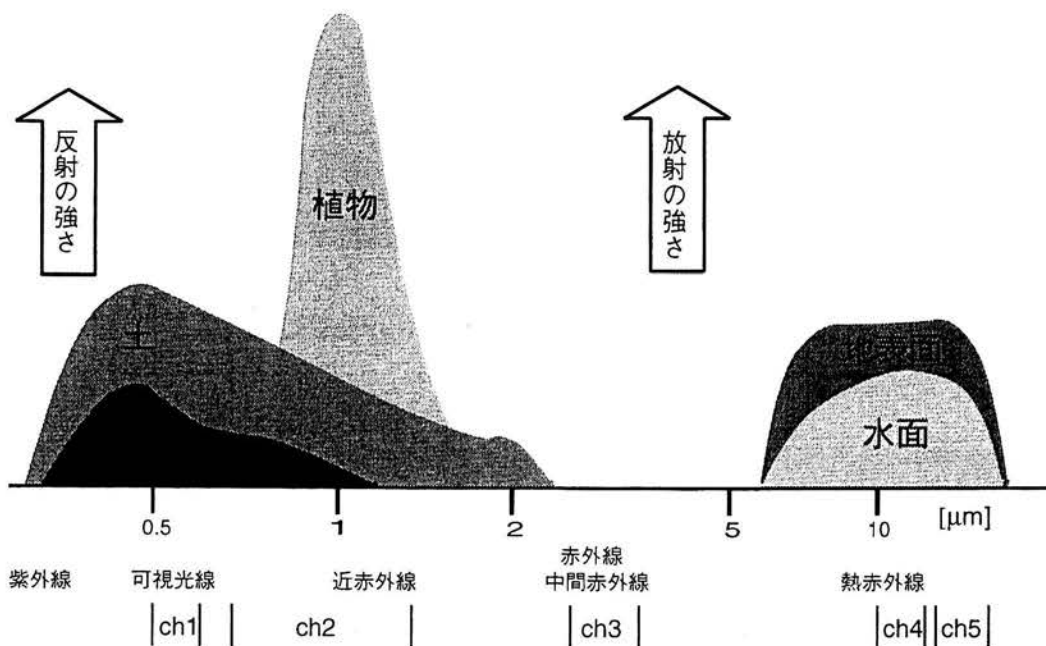


図 4.21: 反射特性

図 4.21 は、植物、土、水の反射・放射の強さを波長帯毎に表している。各波長帯における反射・放射の強さが、物質の種類によって異なる。さらに、植物の種類や植物の生育状況（弱っている、枯れている等）、水の濁り具合などといった物質の状態によっても、反射・放射の強さは異なる。NOAA 衛星の AVHRR センサは、これらの各波長帯における反射の強さや放射の強さをとらえる能力を有する。

これらの特徴をいかして計算されたものが植生指数である。

4.4.2 NDVI画像作成

NDVIとは、「正規化植生指数」(NDVI:Normalized Difference Vegetation Index)と呼ばれるもので、植物の量や活性度を調べるのによく用いられる。

図4.21からも判るように植物には、近赤外域(800nm~1300nm)で高い反射率を示す特徴がある。一方、可視域での反射は低い。NOAAの場合、この特性を生かし、近赤外の反射率はAVHRRのバンド2から、可視光赤の反射率はバンド1からNDVIは以下の式で求められる。

$$NDVI = \frac{ch2 - ch1}{ch2 + ch1}$$

NDVIは正規化され-1から1までの値をとる。値の高い方が植物の量が多く、活性度が高いことを示す。

NDVI画像作成には、チャンネル1(可視)とチャンネル2(近赤外)を用いる。このデータ値はアルベド(反射波/入射波)であるため0~100%の値を正常値と定める。各チャンネルの範囲外の値は、NDVI画像化する際、チャンネル2の場合、輝度値0に、次にチャンネル1の場合、輝度値255とした。(すなわち、チャンネル1,2が共に範囲外の場合は輝度値0)このため作成されるNDVI画像は、正規化植生指数(NDVI)のとり得る範囲(-1~1)に対し、1~254の輝度値とした。

図4.22からもわかるように、海域、雲域、都市部は植生が少ないため、NDVIが低く、暗い色になっている。一方、植物の多い山域ではNDVI値が高いため白くなっている。

4.4.3 調査領域の平均NDVI

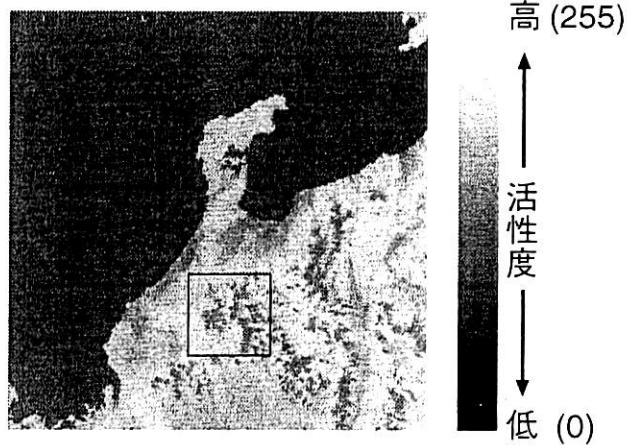
図4.22の枠内、白山周辺のおよそ50キロメートル四方から平均NDVI値を算出した。このとき、チャンネル4のエラーや雲の領域は除き、算出に用いたデータ数(=画素数)も平均NDVIと共にデータベースに登録した。



チャンネル 1 画像



チャンネル 2 画像



NDVI 画像
(枠内:NDVI 算出領域)

図 4.22: NDVI 画像の作成

4.5 結果と考察

気象衛星 NOAA の AVHRR 画像データと植生研究のために解析したパラメータを統合的に管理する画像データベースシステムが構築できた。データの解析からデータベースへの登録まですべて自動化されている。その過程を図 4.23 に示す。

また、ブラウザを用いることによって、日時、NDVI(正規化植生指数)、雲の被覆率(画像に占める雲の割合)、エラー率(画像に占めるエラーの割合)等のパラメー

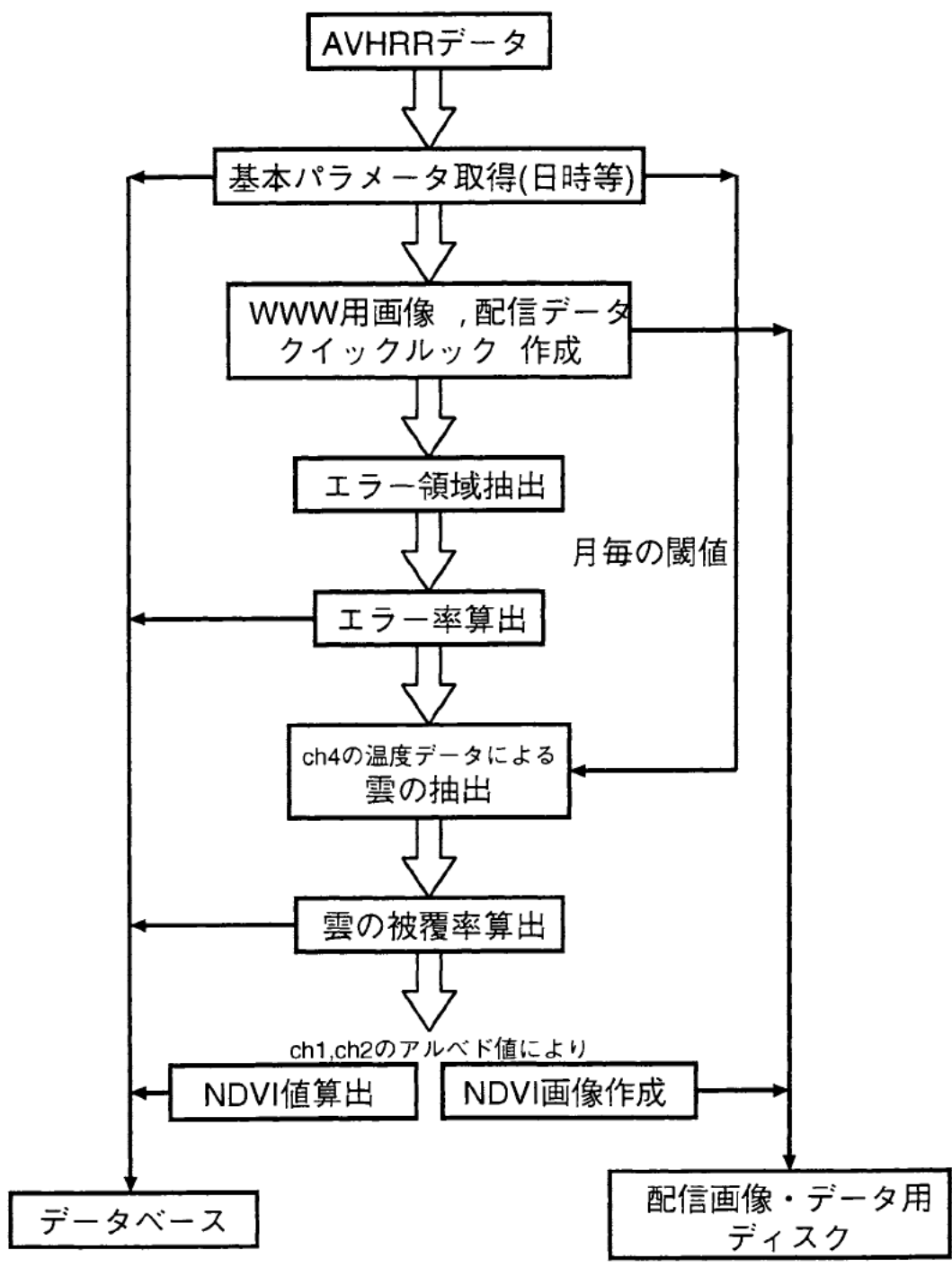


図 4.23: データベース登録までの流れ

タによる検索が可能である。(図 4.24, 図 4.25) さらに表示件数の制限を設けることにより, 検索結果表示の高速化も行っている。

The screenshot shows a web browser window with the title "NOAA IMAGE DATA SEARCH". Below the browser's address bar, there are two buttons: "SEARCH" and "CLEAR". The search criteria are as follows:

- DATE:** A range from 2000/04/01 to 2000/10/31, with a sub-range of 2000-01-01 to 2000/01/01.
- NDVI:** A range from 0.3 to (-1 - 1).
- Cloud Coverage:** A range from 50 to (%).
- Number of Output:** A value of 4.
- No:** Radio buttons for "All", "n12", "n14", and "n15".
- Day or Night:** Radio buttons for "ALL", "Day", and "Night".

図 4.24: 検索条件入力画面





Date	Time	No	Type	Error (%)	Cloud Coverage (%)	NDVI	NDVI-Pix	Image(CH4)
2000-05-25	07:35:00	n12	Day	0	1	0.303	2431	 chl chl chl chl NDVI DATA
2000-05-29	06:22:00	n14	Day	0	1	0.569	2445	 chl chl chl chl NDVI DATA
2000-05-29	07:44:00	n12	Day	0	1	0.479	2415	 chl chl chl chl NDVI DATA
2000-06-01	12:41:00	n15	Day	0	48	0.516	136	 chl chl chl chl NDVI DATA

図 4.25: 検索結果出力画面

このシステムの利用例を図に示す。図 4.26 は、「期間=現在まで，雲量= 30%以下，NDVI 算出領域= 40%以上」の条件で検索し，その結果をもとにグラフ化したものである。春や秋は NDVI が低く植物の活性度が低いことが判る，一方，新緑の頃 (6 月～7 月) は NDVI が高く植物の活性度が高いことがわかる。図 4.27 にこれまでで一番 NDVI の高かった 2000 年 6 月 14 日と NDVI の低い 4 月の NDVI 画像を示す。NDVI 算出領域のみならず，6 月の方が全体的にも白く，植物の活性度が全体に高いことがわかる。

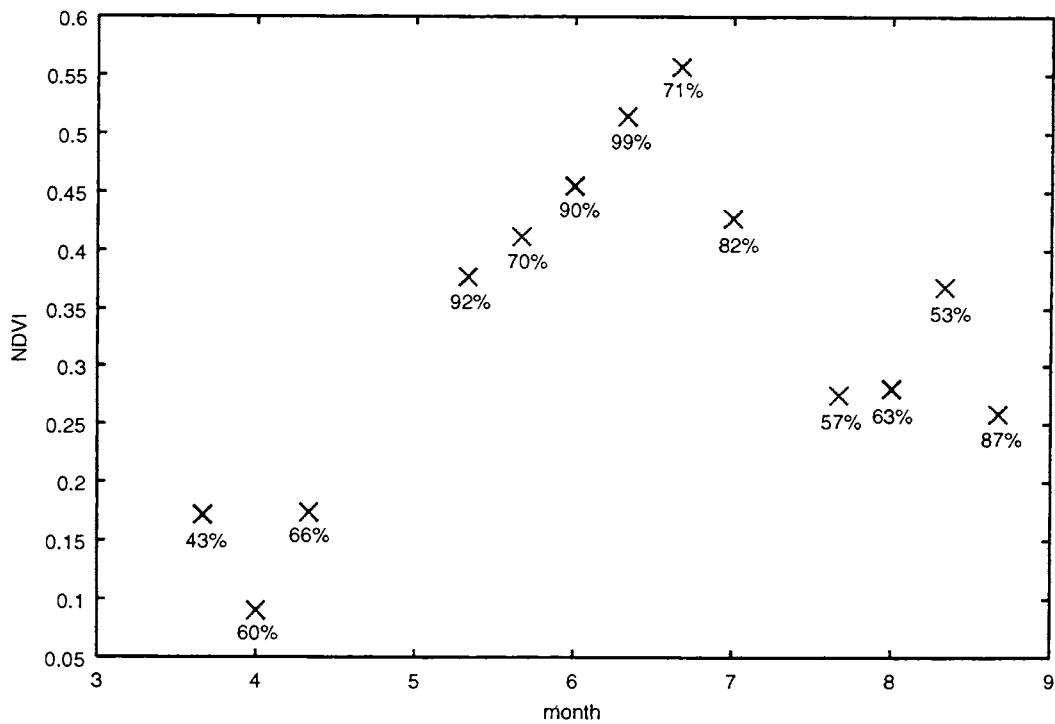
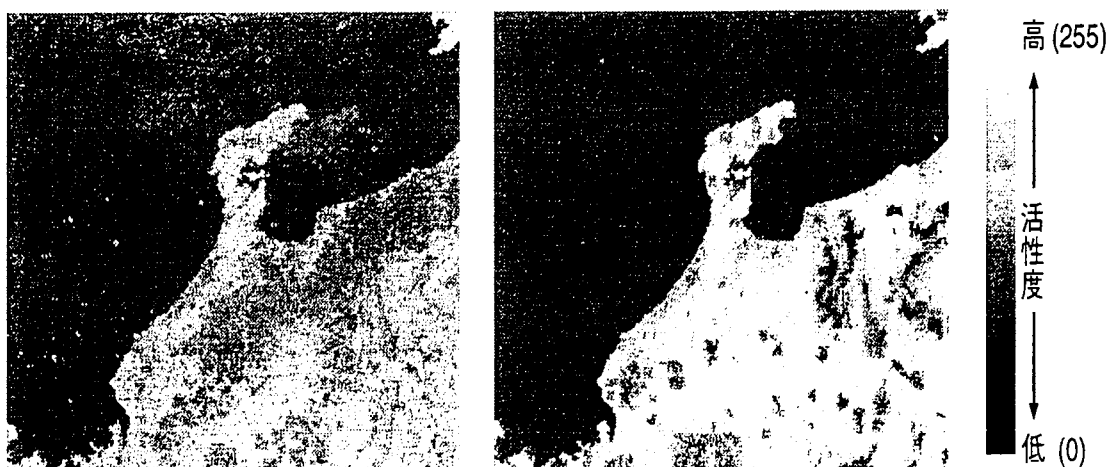


図 4.26: 白山周辺域の NDVI 月変化
各点の数値 (%) は,NDVI 算出に使用した画素数の割合



2000.4.6,6:32 (NDVI:0.15)

2000.6.14,22:50 (NDVI:0.60)

図 4.27: 4月と6月のNDVI画像

4.6 むすび

大量に蓄積されている気象衛星 NOAA の AVHRR データをデータベース化した。植生研究利用を目的に解析処理を加えデータベースに登録した。利用者側は、ブラウザを使用して日時、正規化植生指数 (NDVI)、雲の被覆率等のパラメータにより、衛星画像データの条件を指定して検索し、自分の計算機に表示して見ることができる。これにより、大量のデータの中から植生利用に適した雲の少ない画像データを容易に取得でき、植物の活性度の変化も簡単に知ることができる。以上より、本システムは植生研究利用に有用なシステムと言える。