

天竜川流域における地域環境の変容に関する基礎的研究

石澤 孝¹⁾・高木直樹²⁾・土本俊和²⁾

¹⁾ 信州大学教育学部 ²⁾ 信州大学工学部

Basic study on Areal Changes in Tenryu Basin

ISHIZAWA Takashi, TAKAGI Naoki and TSUCHIMOTO Toshikazu

I はじめに

天竜川流域の水質変化の要因をさぐるために、自然的・人文的環境の変容という観点から解明を進めた。以下、研究進展の状況について報告する。

II 現地調査による居住環境に関する考察

1. 居住環境の変容に関する考察

天竜川上流域の辰野町宮木・小野において、昭和初期の水利用と水環境を中心とするコミュニティの形態と規模に関する考察をおこなった。この考察は、水環境においても同様に維持管理システムをになう社会的共同体とそれを実行する伝統的慣習が存在するという想定にもとづく。そのなかでも、水環境において維持管理システムをになう社会的共同体を「水系コミュニティ」とする。また、辰野町宮木・小野は、伊那街道にそって連続したふたつの宿場町で、開渠の用水と湧水や井戸が混在する集落である。

まず、対象とする時代を各戸別に利用できる上水道施設の普及以前の昭和初期とし、現地調査や文献調査から当時の水資源の利用状況を把握することによって、水系コミュニティの規模とそれともなう水資源の種類や維持管理システムの形態を明確に関連づけた。現地調査として、宮木・小野両集落において、被験者の属性、自宅の敷地内における井戸あるいは用水などの水利施設の有無、昭和初期当時の生活用水の主水源、水の利用

法、利用の際の規則・注意点、利用期間、水に関する風習・言い伝えなど、7種類13項目からなる水利用についてのヒアリング調査をおこなった。くわえて、小野については、事前調査としてヒアリング調査と一部の住宅について配置図を作成した。宮木では46軒、小野では16軒（うち事前調査としては10軒）の調査回答をえた。

2. 共同利用の水源地を基盤とするコミュニティ

現地調査より、宮木においての昭和初期の生活用水の主な水源は、湧水や共同の井戸や簡易水道の共同栓であることがあきらかになった。かわって、小野では、同時期において各戸別に井戸を所持し生活用水にあてており、宮木の例とことなる形態を示している。ここでは、宮木の利用例を中心に考察を行う。

宮木においての共同利用の水源地の利用者の分布をみると、水源を中心としてえがいた円に分布がおさまり、その円のつらなりが集落全体をおおう様子があらわれた。ここで、その円が水系コミュニティの規模をあらわしていると仮定する。ヒアリング調査の結果をもとに、共同利用の井戸の利用についての規則や、簡易水道の共同栓ごと鍵をかける利用法、水源ごとに水神をまつる祭事などがあることがあきらかとなった。これは、利用上の規則や水源と関連のある祭事などの住民の意識がたばねられる慣習が存在し、その一部の慣習は地域に根付きシステム化している状況がみられた。

したがって、先に仮定した円状の水系コミュニティの規模とヒアリング調査よりあきらかとなった慣習や祭事を取りおこなうコミュニティの規模が重複していることより、宮木においては円状の水系コミュニティが形成されていた、とかがえられる。

3. 用水を基盤とするコミュニティ

つぎに、小野では、宮木と異なり湧水や共同利用の井戸が存在せず、円状の水系コミュニティはみいだせない。しかし、伊那街道の両側に連なる町家の裏側には、南北に集落を縦断する町裏用水が存在している。

この用水の特徴は、〈母屋-（用水）-土蔵-畑〉や〈母屋-土蔵-（用水）-畑〉というように各住宅の敷地をつらぬき、それぞれの敷地境界に戸や壁などの境界をへだてる装置をもうけている住宅がすくないことがあげられる。ここに、用水のもつ公共性とつよい横の連なりをふまえて、用水を基盤とした水系コミュニティが成立していたと仮定する。ヒアリング調査の結果より、小野におけるコミュニティの形成には江戸期に起きた二度の大火が要因のひとつである、とかがえられる。まず、防火の意識を高める慣習として、秋葉講が集落の一部で現代でもつづけられている。また、大火を契機に整備されたつたえられる町裏用水は、用水組合が組織され管理される形態を取り、水神の祭事のない小野においては、用水組合の総会が祭事的な役割をはたしている。これは、小野において防火のとりくみから派生した慣習が存在し、くわえて、用水を管理するシステムが形成されている様子をしめしている。

したがって、先に仮定した帯状の水系コミュニティ規模と、ヒアリング調査よりあきらかとなった慣習と用水管理システムを行うコミュニティの規模が重複していることより、小野では帯状の水系コミュニティが形成されていた、とかがえられる。

以上より、宮木では共同利用の水源を基盤

とした円状の水系コミュニティ、小野では用水を基盤とした帯状の水系コミュニティがみられた。これは、それぞれの集落において、水利施設の形態にくわえて、慣習や管理システムの運営体系に即して、それぞれことなつた水系コミュニティが形成されていたことをあらわしている。さらに、水環境における維持管理システムは、水系コミュニティと水を取りまく慣習によって成立していたのは明確である。

II 地理情報処理による地域的変容に関する考察

天竜川流域の地域的変容に関してこれまで、年代別の地形図を比較することによる地域的変容を把握するための手法の開発、明治初期における人口分布の復元という2つの作業を行ってきた。これらの成果をふまえて本年度は統計資料の地図化を試みた。

さて、近年、多くの統計資料がウェブ上で公開されるようになってきた。これらの資料は地図化することによりその空間的配置を分析しやすくなる。従来、そのような地図は手作業によって作製されてきた。ここでは、GIS的手法を用いることによって簡便に地図を作製することを試みた。GISのためのソフトにはフリーのものから数百万円のものまで様々なものがあるが、ここでは気軽に用いることができるものとしてフリーソフトの「マンダラ」を用い、地図を作製してみた。作成したのは長野県における市町村別データであり、①1990-2000年の人口数、②1990-2000年の高齢化率、③1990-2000年の産業別人口比率（第一次、第二次、第三次）、④1991-2001年の農業従事者特化係数、⑤1991-2001年の製造業従事者特化係数について図化を試みた。以下に、①、②、③（二次を除く）⑤を示すことにする。

なお、分析データの処理に際し、教育学研究科院生の吉池直樹君の協力を得た。

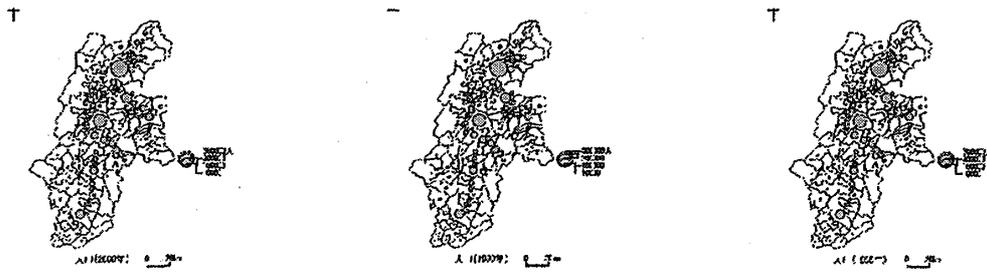


図1 人口の変化

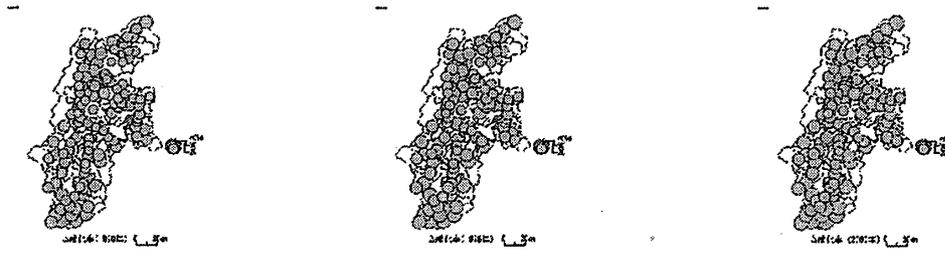


図2 高齢化率の変化

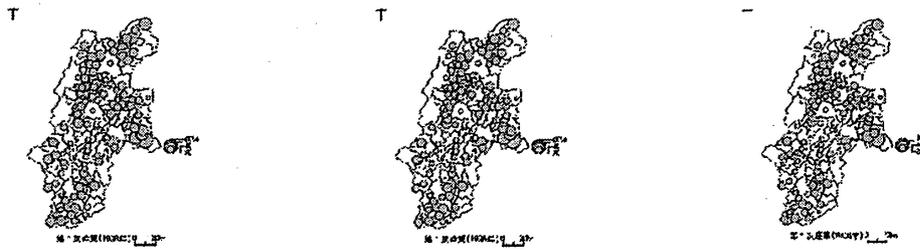


図3-1 第一次産業比率の変化

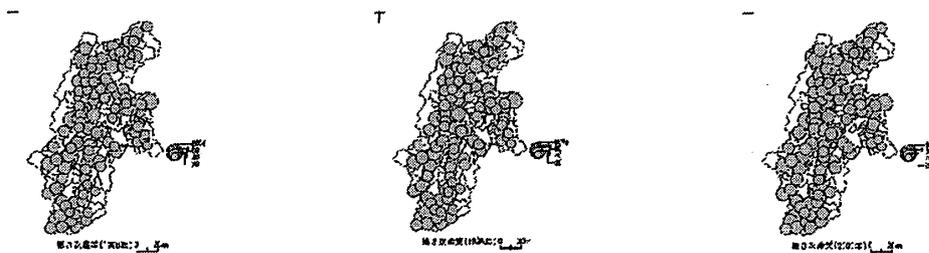


図3-3 第三次産業比率の変化

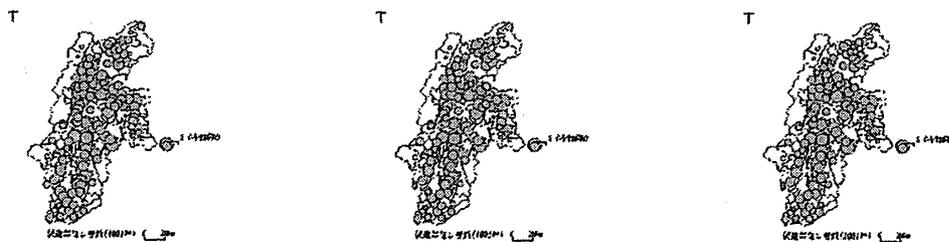


図4 製造業従業者特化係数の変化

II リモートセンシングによる地域的変容に関する考察

1. ハイパースペクトルデータ AVIRIS を利用した都市域土地被覆分類精度に関する研究

植物は自然の循環系のなかで中心的な役割を果たしていることは言うまでもない。森においては空気の浄化、水源の確保、二酸化炭素の固定など、我々を取り巻く様々な問題に密接に関わっている。我々はこれまでに人工衛星データを用いて植生の把握、樹種分類を試みてきた。そして、広葉樹・針葉樹の分類は可能であるが、山間部で斜面傾斜が大きい場合には誤差が大きくなることなどを示してきた。

リモートセンシング技術による植生分類を行う際に、解析精度が下がる原因として、(1)衛星データの地上分解能が15m程度である場合は樹木のサイズと比較して大きすぎること、(2)周波数分解能が大きく、多くの衛星で4から15バンド程度のバンド数で地上の観測を行っているため、植物の持つ微少な反射特性の違いをとらえることができない、などの理由が考えられた。

近年地上分解能1m以下の分解能を持つ衛星 (IKONOS や Quick Bird など) が運用を開始し、(1)の問題に関しては大きく改善されたが、(2)の問題に関しては残されたままである。そこで今回は米国コロラド大学の協力により、航空機搭載型リモートセンシングデータである AVIRIS データを用いて解析を試みた。高空間分解能、高波長分解能である AVIRIS データによる植生分類の可能性を検討することを目的とした。また都市域の建物に関する検証も併せ行った。解析対象地区は米国コロラド州 Boulder 市である。地上調査の制約のために、山間部の調査を行うことができなかったため、都市域内の植生の分類を試みている。また現地実測の際に、地上調査だけではなく分光放射計によるスペクトル測定も行い、従来の解析手法とは違う SAM 分類という新しい解析手法を試行した。比較対象データとして同時期の Quick Bird データを解析し、両データの相違についても検討を加えた。

2. 解析準備

AVIRIS とは Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer の略で NASA が 1992 年から運用を始めた航空機搭載型のハイパースペクトルセンサである。波長帯は 400-2500nm であり約 10nm 間隔に 224 バンドの周波数分解能を持つ。放射輝度は 0~32767 (15bit) の Digital Number (以下 DN) で表される。空間分解能は航空機の飛行高度により決定され、約 3~17m である。データは Boulder 市内を南北方向に 3 枚に渡って撮影している (図 1)。

高分解能衛星 Quick Bird は、バンド数がマルチスペクトル 4 バンドにパンクロマチック 1 バンドの計 5 バンドである。放射輝度は 0~4095 (11bit) の DN で表される。本研究では、画像中央座標が北緯 40.004 度、西経 105.2731 度の Boulder のデータを使用する (図 2)。

実測・解析対象地域は商業地兼住宅地として Boulder The Hill 周辺 (図 1,2(A))、緑地としてコロラド大学キャンパス周辺 (図 1,2(B))、低層住宅地として Baseline 住宅地 (図 1,2(C))、Manhattan 住宅地 (図 1,2(D))、商業地として Parl St.(図 1,2(E)) の合計 5 地域とした。データ観測日前 1 週間は降水がなかったため、降雨の影響はないものとする。グラウンドトゥールズは現地で行った植生調査により作成した実測植生図を参考にする。

3. データ補正

1) 輝度補正

AVIRIS データは 3 日間にわたり撮影されたため、天候、大気の影響を考慮にいれ、各画像間で輝度補正を行った。まず初めに、隣接する画像間で同じ場所 (Boulder1,2 の間ではコロラド大学キャンパス周辺、Boulder2,3 の間では Baseline 住宅地周辺) を 200×180 ピクセルで切り出しそこに含まれる平均 DN を算出した。そして Boulder2 を基準とし、各スペクトルの DN の差を補正值として輝度補正を行った (表 2)。この際、各データは同時帯に撮影されているため陰影の影響は考慮しないこととする。

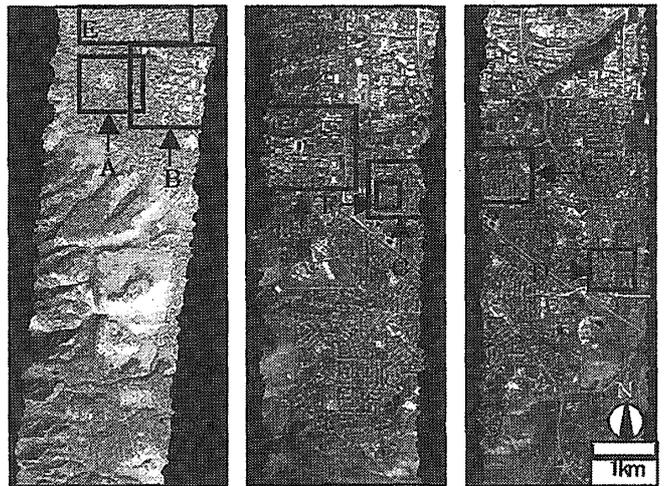


図 1 AVIRIS のフルシーン画像 (左より Boulder1, 2, 3)

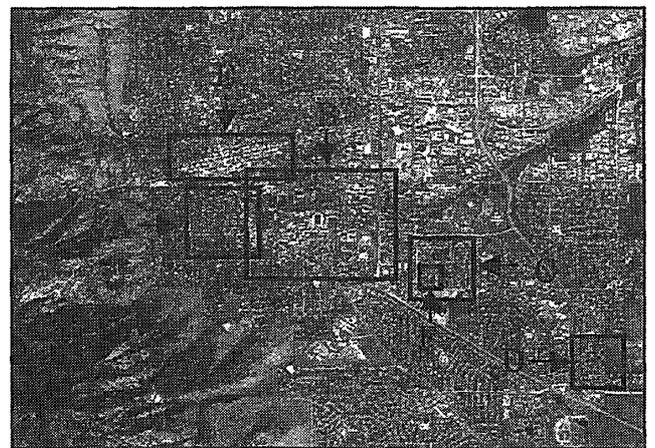


図 2 解析対象地域(Quick Bird) N 1km

表 1 観測詳細データ

	Quick Bird	AVIRIS
撮影日	10月5日	10月11,12,14日
観測時刻	10:00	11:30
空間分解能	2.56m(0.64m)	3.6m
観測高度	450Km	5Km
観測角度	14°	0°
観測画素数	13200×13200	805×2048
天候	晴天	晴天

表2 Boulder2を基準とした各画像の輝度補正值の例

	Band1	Band51	Band101	Band151	Band201
Boulder1	-11	-148	-58	-51	-10
Boulder2	0	0	0	0	0
Boulder3	48	208	100	11	13

2) 大気補正

大気にはCO₂やH₂Oなどのスペクトル吸収帯が存在している。この影響を除去するために今回は大気補正ツールFLAASHを使用し、DNを放射輝度から反射率に変換した。

3) 幾何補正

今回使用するAVIRISデータは前述のように配布時に幾何補正がなされているが、比較対象データであるQuick Birdデータとの相互の位置あわせを行う必要がある。今回は配布時に既に座標データが付属しているQuick BirdデータをベースにImage to Imageの幾何補正を行うこととした。航空機データは画像のひずみが大きいので、Ground Control Point(G.C.P)を130ポイント利用した3次多項式関数変換により幾何補正を行った。内挿法はNearest Neighbor法とし、データ間の平均許容誤差(RMSE)は1ピクセル以内とした。また解析の際に双方のデータサイズを合わせるため、幾何補正する際にQuick Birdの空間分解能2.6mに合わせてAVIRISのデータを分割しリサイズした。

4. Quick Birdデータによる土地被覆分類

分類カテゴリーをアスファルト、コンクリート、水域、芝生、樹木、住宅、建物(金属の屋根)、大学の建物(瓦)、土壌、岩石の10種類とした。解析に使用するバンドはバンド1から4およびNDVIの5バンドとした。NDVIは市街地の建物や里山の起伏等による日射環境の差異を簡易に補正し、緑被とそれ以外の差を強調できるように考えられた指標である。バンド3(可視域赤:600~690nm)とバンド4(近赤外域:760~900nm)から作成し、DNが0から2047の間に収まるように算出した値を整数化した(式1)。

$$NDVI = \left\{ \left(\frac{X_{b4} - X_{b3}}{X_{b4} + X_{b3}} \right) + 1 \right\} \times 1024 \dots \dots (1)$$

実測調査から教師データを作成し、最尤法により分類した。分類結果とクラスター解析の結果を比較して、同じカテゴリーに分類されたピクセルを抽出し、再度教師データを選定しなおした。

既往の研究より、「分類精度向上のために対象以外のカテゴリーを除去し、再分類をかけると誤分類が減少する」ということが実証されているため、解析結果から緑被(芝生、樹木)のみを抽出し、他のカテゴリーのピクセルはすべてDNが0になるように処理した。(以下この過程のことを「マスクをかける」と記述する)

マスクをかけて抽出された緑被をNeedle(針葉樹)、Grass(芝生) Broad(広葉樹)、Autumnal(紅葉している樹木)に詳細分類する。分類結果からBaseline住宅地(C)を100×100ピクセルで切り出し(図2(F)) AVIRISとの比較対象とする。今回Baseline住宅地を比較対象地域としたのは、街路樹や庭木、芝生などの植生が細かく分布し、建物の屋根の材質、形状が異なっているからである。Quick Birdによる植生分類図を図3に示す。

5. AVIRISデータによる植生分類

1) 最尤法による緑被の抽出

Quick Birdと同じ最尤法による緑被マスクの作成を試みる。分

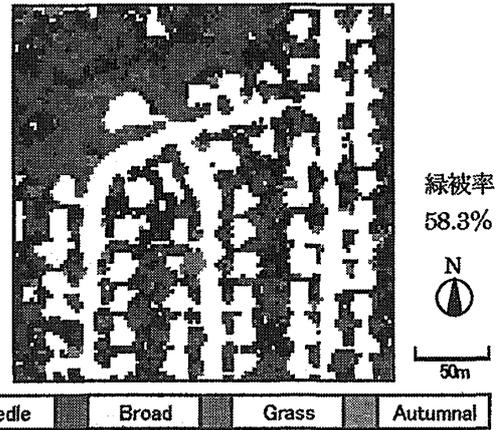


図3 Quick BirdによるBaseline住宅地植生分類図

表2 Baseline住宅地における植生一致率

	実測面積(m ²)	一致面積(m ²)	一致率(%)
Needle	4516	1675	37.1
Broad	31216	19822	63.5
Grass	2517	1829	72.7
Autumnal	3953	1115	32.8

類カテゴリーは4章の解析と同じ、アスファルト、コンクリート、水域、芝生、樹木、住宅、建物(金属の屋根)、大学の建物(瓦)、土壌、岩石の10種類とした。解析に使用するバンドはQuick Birdのバンド1~4に対応するAVIRISのバンド1~70と水蒸気の吸収帯1100nm付近の影響を考慮したバンド71~99の合計100バンドとした。そしてAVIRISのNDVI算定式をQuick Birdのバンド3と4に対応するAVIRISのバンド29と51(中心波長:645.38nm、826.67nm)から作成した。NDVIのDNが各カテゴリーのスペクトルの平均DN(2000前後)に近い値に収まるよう算出した値を整数化した。

分類結果と作成したNDVIを比較し、NDVIのDNが2048以上になる部分、かつ緑被に分類されたピクセルを植生として抽出した。なおこの解析では、枯れた草原、土壌、芝生がどのように分類されるかを調べるために土壌のカテゴリーであってもNDVIが2048以上のときは緑被にこのピクセルを加え、緑被マスクを作成した(図5)。

2) スペクトルの分光特性とSAM分類

物質は固有のスペクトルを持っているが、AVIRISデータはそのバンドの多さから物質の連続したスペクトルを把握することができる。しかし、最尤法では植生を細かく分類するのは難しい。そこで今回はSAM分類(Spectral Angle Mapper Classification)で植生を分類した。SAM分類はデータのDNを分光放射計で測定した反射率と比較し、両者のスペクトル角を計算することで類似度を判定し分類する方法である。今回はAVIRISデータの中から実測調査した地域を抽出し、教師スペクトルを算出した。この解析手法ではAVIRISデータに対しての水蒸気やCO₂などの吸収帯による大気補正は不要になる。

植生調査から占有面積の大きい植生を調べて分類のカテゴリーをGrass(芝生)、Needle-Leaf(針葉樹)、Ash(トネリコ)、Willow(ヤナギ)、Maple(カエデ)、Cotton tree(カボック)、Elm(ニレ)、Soil with Grass(芝生と裸地の混合)、Soil without Grass(裸地とまばらな芝生)の9種とした。ボウルダーでは針葉樹はPine(マツ)、Tsuga(ツガ)、Spruce(スギ)が生育している

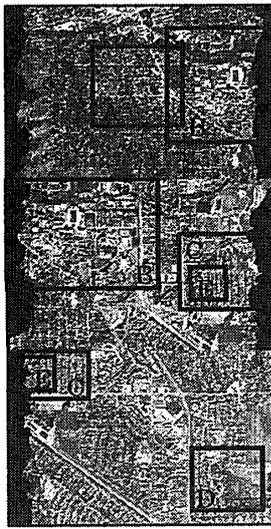


図4 解析用 AVIRIS 画像

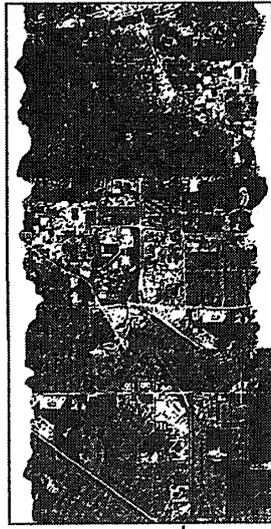


図5 緑被マスク
(黒:緑被)

がスペクトル形状が似ているために同じカテゴリーとした。実測調査の結果をふまえ、明らかにそのカテゴリーと考えられるピクセルを AVIRIS のデータから抽出して教師スペクトルを作成した (図6)。そして、個々のスペクトル特性を把握する。

SAM 分類を行う際には閾値の設定が重要である。そこで検証のために閾値を 0~0.5 まで 0.025 ごとに変化させ Baseline 住宅地に対して SAM 分類を試行した。分類結果を考慮し、本研究では 0.2 を閾値として使用することとした。図6のスペクトルを教師スペクトルとして、抽出した緑被に対して閾値 0.2 を使用し SAM 分類を行った。水蒸気や CO₂ による吸収帯域は解析に使用せず、Band1~99, 127~145, 171~224 の合計 171 バンドを解析バンドとした。次に、作成した土地被覆分類図から Baseline 住宅地を 100×100 ピクセルで切り出し (図2,4(F)) 各カテゴリー別の詳細分類図を作成した。解析結果の一部である広葉樹分類図を図7に示す。

3) 考察

図7は Maple, Ash, Willow の広葉樹3種類の分類図である。この3種は樹冠が比較的大きいため個体の抽出が可能であった。また、実測植生図の中に同じカテゴリーの AVIRIS の解析結果が含まれる割合を一致率として算出した(表3)。実測結果と解析結果の本数はともに近い値を示したが、一致率は Maple が 48.4% と低い。この原因として幾何補正とリサイズの際にピクセルを内挿する過程で樹冠辺縁部のスペクトルが変化したことが考えられる。そのため解析結果の樹冠の面積は実測結果よりも減少した。詳細植生図を作成する段階で樹冠辺縁部の補正が必要となることが分かった。

Grass、Soil with Grass、Soil without Grass の芝生の比較では芝生の活性度の違いが示された。目視による実測では把握できない植生の状態もスペクトルから定量的に判別できる。Needle-Leaf、Cotton Tree、Elm の3種の分類図では、植生の陰影の部分はバンド40以降のスペクトル形状が Elm と酷似しているために(図8)、陰影を示す部分に Elm が多く分類されている。また、AVIRIS、Quick Bird ともに陰影の部分は他の植生よりも低い分類精度を示した。

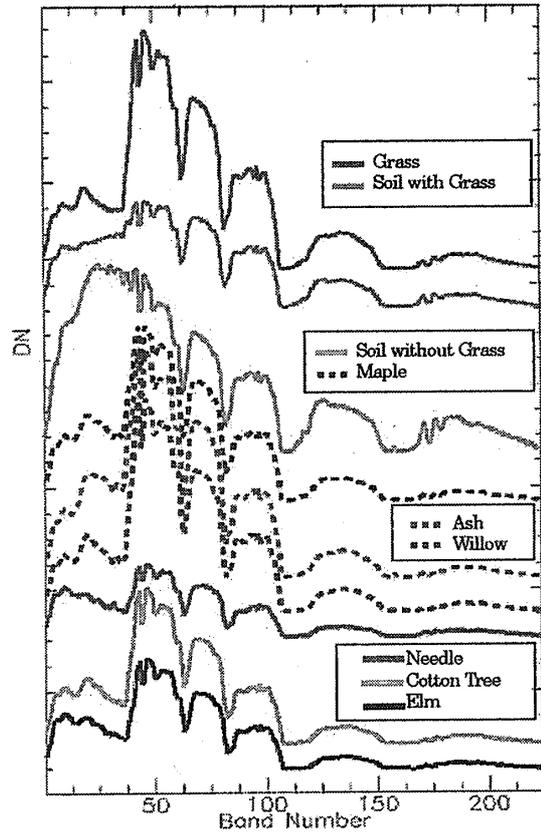


図6 教師スペクトルの形状

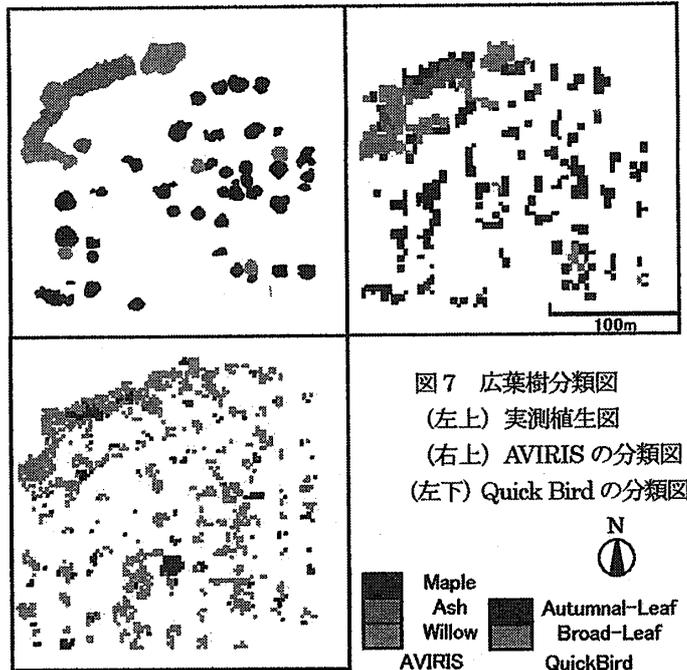


図7 広葉樹分類図
(左上) 実測植生図
(右上) AVIRIS の分類図
(左下) Quick Bird の分類図

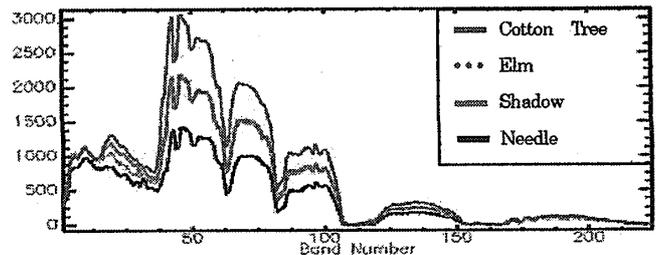


図8 Needle-Leaf、Cotton Tree、Elm、Shadow のスペクトル

表3 実測結果と解析結果との比較

	実測本数	解析本数	実測面積(m ²)	一致面積(m ²)	一致率(%)
Maple	39	43	17740	10075	48.4
Ash	5	4	3953	3888	83.8
Willow	13	18	7838	6382	69.4
Needle	19	37	4516	1892	35.7
Cotton	6	28	2286	1113	41.5
Elm	7	31	3352	1028	26.2

5. AVIRIS データによる材質分類

1) 分光放射計によるスペクトル測定

本研究では、分光放射計「Field Spec Pro」を使用したスペクトルの実測調査を行った。今後続くハイパースペクトルデータの解析において、このようなデータの蓄積は重要なためできるだけ多くのスペクトルを計測することとした。

2) 分光放射計スペクトルを教師データとした材質分類

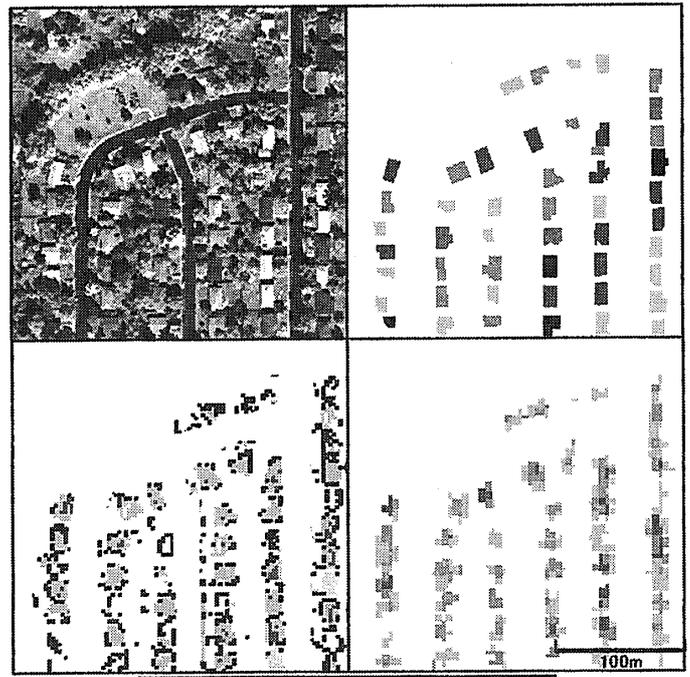
各実測調査地において、占有面積の多いものは、植生、アスファルト（道路の舗装）、屋根である。材質分類をする対象物を屋根材とする。なぜなら、屋根材分類は他の物質分類を行うより、実測が正確にでき解析もスムーズに行えるからである。また、Boulderの住宅地の屋根材は日本ほど種類が多くなく6、7種類である。これらを考慮に入れ、分類カテゴリーをONIXBLACK（黒・こげ茶）、SHASTAWHITE（白・明灰色）、DESERTTAN（薄茶）、SIERAGRAY（濃灰・濃茶）、TERRACOTTA（灰色・茶色）、瓦（赤茶）、コンクリート、アスファルト、土壌の9種類とした。また、5章での分類結果よりマスクによる植生の除去を行った。また植生解析では閾値を0.2に設定したが、材質分類を試みる際に0.2、0.225、0.25、0.275、0.3と推移させたところ0.275が最も良い結果であったため、本解析では閾値を0.275とした。解析バンドは水蒸気の吸収帯のみを考慮した、Band6~31、Band35~106、Band113~153、Band166~224の合計203バンドとする。次に、作成した土地被覆分類図からBaseline住宅地を100×100ピクセルで切り出し（図2.4(E)）各カテゴリー別の詳細分類図を作成した。解析結果を図に示す。

3) 考察

実測結果よりBaseline住宅地ではSHASTA WHITE、DESERT TAN、TERRA COTTAの3種類の屋根材が多く存在している。図9より一軒に含まれるカテゴリーで最大数のものをその住宅のカテゴリーとし各軒数と一致率を算出した。またAsphaltは削除してある。Quick Bird分類図ではほとんどがTERRA COTTA（灰色・茶色）として分類されているが、一致率は全体が25%以下と低い（表4）。Quick Birdでは細かな分類は難しいことが示唆される。

AVIRIS分類図において、先述の3種類の材料分類図一致率を見ると58%、77%、88%と高い一致率であった。住宅数の抽出においても高い精度を示した。しかしONIX BLACKとSIERA GRAYは分類されなかった。これはONIX BLACKはAsphaltとして、SIERA GRAYはTERRA COTTAとConcreteとして誤分類されたためである。

また、他の解析対象地について考察すると、コロラド大学キャンパス周辺の大学の建物は一部を除き瓦屋根で統一されている。このエリアの瓦屋根の一致率はQuick Birdが70%で、AVIRISが57%であった。AVIRISの一致率が低い原因として、屋根が陸屋根ではないために、日射の角度などの条件により可視域のスペクトルが屋根面の方向に対して変化しやすいことが考えられる。



ONIX	DESERT	TERRA
SHASTA	SIERA	瓦

図9 Baseline住宅地材質分類図

(左上: PAN画像, 左下: Quick Bird分類図, 右上: 実測図, 右下: AVIRIS分類図)

表4 Baseline住宅地屋根材一致率

カテゴリー	実測軒数(軒)	AVIRIS分類軒数(軒)	QB分類軒数(軒)	AVIRIS一致率(%)	QB一致率(%)
ONIX BLACK	4	0	3	0	25
SHASTA WHITE	12	9	4	58.3	16.7
DESERT TAN	13	17	0	76.9	0
SIERA GRAY	3	0	0	0	0
TERRA COTTA	17	17	21	88.2	23.5
瓦	0	0	2	-	0
その他	0	2	0	-	0
合計	49	45	30	-	-

一致率は実測結果に対し同じカテゴリーのAVIRIS分類結果が含まれる軒数の割合

6. まとめ

以上の分析より以下の知見を得た。

- (1) 植生抽出精度に関してはAVIRISではQuick Birdと同様に都市域の数m四方の小さな植生を抽出することができる。
- (2) 植生分類・材質分類双方において、AVIRISの解析結果はQuick Birdの解析結果より高い精度で分類可能であることが分かった。幾何補正の際にリサイズしデータを内挿する過程でスペクトルの変化があり、誤判別が多くなった。データ補正の際にこれを減らす手法の確立が求められる。
- (3) スペクトル角から類似度を判定し分類するSAM分類による土地被覆分類を試行した。この結果、ハイパースペクトルデータを利用した分類においてSAM分類は有効であることを確認した。
- (4) 分光放射計で実測したスペクトルから教師データを作成する手法において高い分類精度が確認された。今後各種補正の技術が向上することにより精度の向上が期待される。

なお、本研究においては天野雄一朗君の協力を得た。

研究成果

天野雄一朗・高木直樹「ハイパースペクトルデータ AVIRIS を利用した都市域植生分類精度に関する研究」(日本建築学会環境系論文集, No.590, 2005.4 掲載予定)