

平成19年度

筑波大学第三学群情報学類

卒業研究論文

題目 景観画像によるコンテキスト取得ツールの
開発とその利用に関する研究

主専攻 情報科学主専攻

著者 鈴木 茂徳

指導教員 田中二郎 高橋伸 三末和男 志築文太郎

要 旨

「人がどこにいるか」、「いつ出来事が起こったか」といった、状況を表す概念をコンテキストと呼ぶ。近年コンテキストウェアネスという技術や概念が普及してきたことによって、我々はその状況に適切に合致したサービスを受けることができるようになってきている。ここで我々は、「ユーザから何が見えるか」というものも同様に重要なコンテキストであると考ええる。

本研究ではこのような情報をコンテキストとして取り扱うことを目指し、景観画像からユーザの周囲に広がる景観の状況を解析する手法を提案、試作を行う。またこのコンテキスト取得ツールについての評価を行い、今後の改善点やこのツールを利用したアプリケーションについて考察する。

目次

第1章 序論	1
1.1 コンテキスト・アウェアネスを持つシステム	1
1.1.1 コンテキスト・アウェアネスを持つシステムの設計方針	1
1.1.2 カメラから得られるコンテキストについて	2
1.1.3 景観情報の利用	3
1.2 本論文の目的	3
1.3 本論文の構成	3
第2章 関連研究	4
2.1 景観の定量的評価を試みている研究	4
2.2 画像からのコンテキスト取得に関する研究	4
第3章 景観とコンテキスト情報	6
3.1 景観の定量化	6
3.1.1 景観画像に含まれる情報	6
3.1.2 景観画像とコンテキストに関するアイディア	8
3.2 本研究で用いる景観評価手法	8
3.2.1 パワースペクトルとゆらぎ係数	8
3.2.2 緑視率	9
3.3 コンテキストの抽出	10
第4章 景観画像の解析	11
4.1 画像が持つ情報の解析	11
4.1.1 HSV 変換	11
4.1.2 2次元フーリエ変換とパワースペクトルの導出	12
4.1.3 ゆらぎ係数の導出	13
4.1.4 緑視率の計算	14
第5章 コンテキスト取得ツールの実装	16
5.1 コンテキスト取得ツールの概要	16
5.2 画像のキャプチャ	17
5.3 ゆらぎ係数の解析	19
5.4 緑視率の解析	19

5.5	解析結果によるコンテキストの割り当て	20
5.6	利用シーン	23
	インテリジェントな自動撮影システム	23
	景観イメージにマッチする楽曲推薦システム	23
	風景の撮影支援エージェント	23
第 6 章	評価	25
6.1	実験と結果	25
6.1.1	実験内容	25
6.1.2	結果	26
6.1.3	考察	27
第 7 章	結論	28
	謝辞	29
	参考文献	30

図目次

1.1	画像センサの例	2
2.1	画像の類似度によって画像の検索を行うシステム	5
3.1	様々な景観	7
3.2	景観の定量化手法	7
3.3	様々なスペクトルグラフの例	9
4.1	変換の様子	13
4.2	中間混色の例	15
4.3	解像度変換 (縮小) による平均色への変換	15
4.4	実際の景観 (左) と人間が景観から受ける色彩上のイメージ	15
5.1	システムの概観	17
5.2	入力画像の整形	18
5.3	色相環と今回緑とカウントした色相領域	19
5.4	ローレンツ型の分布を見せた画像の例	20
6.1	「明らかに自然的な景観」 (左) と「明らかに人工的な景観」の例	25
6.2	緑視率の認識。左から緑視率 56%、緑視率 53%	27
6.3	緑領域の認識の失敗例。緑視率 0.2% と認識	27

表 目 次

6.1	人工的な景観画像のパワースペクトルに対するツールの出力結果	26
6.2	自然的な景観画像のパワースペクトルに対するツールの出力結果	26

第1章 序論

1991 年 Mark Wiser は「あらゆる場所や物にコンピュータが存在し、人間はコンピュータの存在を意識せずにコンピュータの恩恵を得ることができる」という状況を指してユビキタス・コンピューティング環境という概念を提唱した [1]。それから 15 年以上たった現在、その当時は考えられなかった情報やサービスを我々は受けることが可能になった。情報端末の急激な小型化や、あらゆる場所・デバイスからのネットワーク接続の浸透などがコンピュータの遍在性を実現してきた一方、「人間がコンピュータの存在を意識しない」という部分の実現に貢献してきたのがコンテキスト・アウェアネスという技術である。

1.1 コンテキスト・アウェアネスを持つシステム

1.1.1 コンテキスト・アウェアネスを持つシステムの設計方針

コンテキストとはもともと「文脈」や「背景」などといった意味を持つ単語で、広く「状況」を示す言葉である。例えば、自分が誰か、相手が誰かという身元に関する情報、自分がどこにいるかという場所に関する情報、人が何をしているかという行動に関する情報、時刻に関する情報、これらはいずれもコンテキストと呼ぶことができる。このような「状況」をコンピュータが情報として認識・処理し、それに対応する動作を行うようにさせようというのがコンテキスト・アウェアネスの概念である。この技術の実現によって初めて、前述のような「人間がコンピュータの存在を意識せずに」コンピュータの恩恵を受けることが可能になったと言える。

コンテキスト・アウェアネスを持つシステムはこのような「状況」を何らかの形で取得する機能を持つ。これを Indulska らは広い意味で「センサ」として説明している [2]。これはつまりセンシング・ハードウェアに限らず、利用可能なコンテキスト情報を与えるものはセンサという意味で同列に捉える事ができるということである。コンテキストの収集方法によって、これらは3つの分類が可能であるとされる。

1つ目は *physical* なセンサである。これはある環境を計測するために作られた物理的なデバイスであり、現在非常にたくさんの種類のものが存在している。その例としては光情報を取得する光センサや色センサ、視覚情報を取得するための各種のカメラ、動き情報を取得する加速度センサ、位置情報を取得する GPS や RFID、温度を計測する温度センサなどがある。また皮膚抵抗や血圧などを計測する生体センサもここに含まれる。

2つ目は *virtual* なセンサである。ここに属するセンサはユーザのソフトウェアのアプリケーションやオペレーション・システムのイベント、ネットワークの利用状況などを検知する。例

例えばログインユーザによってマウスやキーボードが使用された場合、ほとんどの場合そのユーザ自身が操作しているものと推定することができる。

3つ目は *logical* なセンサである。この領域のセンサは情報の組み合わせを作り、また *physical* と *virtual* なセンサからの情報をデータベースやほかの情報ソースなどと結びつける。例えば、*logical* なセンサは従業員の PC のログイン情報とデバイスの位置を格納したデータベースから従業員の現在の位置を検出しようとするときに構成される。

このように、コンテキスト・アウェアネスに基づくシステムやアプリケーションを構成するにはどのようなものをコンテキストとして用いるかを考えることが肝要である。Indulska が示す「コンテキストを取得するもの=センサ」という考えは、その設計において大きな指針となる。

1.1.2 カメラから得られるコンテキストについて

コンテキスト・アウェアネスにおいて、人が見るような視覚的な情報をコンテキストを扱う場合には各種のカメラが用いられる。しかし映像は位置や時間といったコンテキストに比べて圧倒的に多くの情報を含んでいることから、その利用に際しては必要なコンテキスト情報をコンピュータが認識することができるように入力画像に対し画像処理を施したものがよく用いられる。このようにある特定の視覚情報のセンシングに特化したカメラは画像センサや視覚センサなどと呼ばれることがある。これらは一般に高精度・高価格であるため、工業用途で用いられているケースが多い(図 1.1¹)。



図 1.1: 画像センサの例

¹オムロン株式会社センシングコンポ:FZ2 シリーズ http://www.fa.omron.co.jp/product/family/1759/index_p.html

以上のようなことから映像からコンテキストを得るためにはどんな視覚情報をコンテキストとして取得するか、またそのためにはどんな画像処理を施す必要があるかなどを検討することが重要である。

1.1.3 景観情報の利用

これまでカメラを利用してコンテキストを取得を試みている研究やシステムは、特定の被写体のセンシングに特化したものがほとんどであった。しかしここで、カメラを用いて特定の被写体ではなく景観を被写体としてコンテキスト情報を得ることを考えてみる。もしこのようなものの解析が可能であれば、風景や景観の視覚的な状況に即したシステムなど、新たな要素に対してコンテキスト・アウェアネスの実現が可能になると思われる。しかしながら景観を構成するものは自然物、建築物、生物などさまざまであり、「どんな景観か」というコンテキストは容易に取り出すことはできない。

1.2 本論文の目的

本研究では、景観からコンテキストを取得して動作するアプリケーションを想定し、どのような情報をコンテキストとして取得するのか、またそのコンテキストの取得方法について検討を行い、実際に景観からそのようなコンテキストを取得する機能を実装する。また取得したコンテキスト情報をもとに動作するアプリケーションをについて提案を行う。

本研究のコンテキスト情報取得手法の設計方針として、我々は景観に対して個々の事物の情報だけでなくそれらの形状や配色などによって様々な印象を受けることに着目し、景観をなす構成物の総合的な情報として「景観が自然か人工的か」ということの取得を実現することを図る。そしてこのような情報をコンピュータ上で定量的なデータとして取得・利用することを試みる。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。まず次章において、本研究に関連する研究を述べる。第3章では景観画像に含まれる情報について考察し、そこから得られるコンテキストについて述べる。第4章では第3章の考察の基づき、景観画像を認識・処理しコンテキスト情報を取得する手法について述べる。第5章では第4章において提案した手法を実装の実装を行い、またこのツールを利用するアプリケーションについての提案を行う。第6章では実際に景観画像を入力し出力結果について検討を行い、今後の展望について述べる。最後に第7章で結論とする。

第2章 関連研究

2.1 景観の定量的評価を試みている研究

景観評価に関する研究は数多くあり、その中で景観評価を定量的に行う手法についての研究も少なからず行われている。景観の定量化手法は対象の視覚属性、視点と対象の関係などによるいくつかの解析方法とその分類が存在する。近藤は都市景観の色彩に関する特徴の分析を行い、その分布の表現方法について考察を行っている [3]。この研究では景観中の色彩を $L^*a^*b^*$ 表色系に変換し、その分布の最も適切な表現方法として回帰分析、主成分分析、クラスター分析の3つの分析法で検討を行っている。中でもクラスター分析は色彩の分布を直感的・定量的に認識する指標として利用できる可能性が示されている。また三原、大野らはフラクタル解析を利用した景観解析に着目している [4, 5]。フラクタルとは、1975年マンデルブロが提唱した言葉で、ある部分がそれと相似な部分から成り立つという構造で成り立っている図形、構造、現象、分布を指す言葉である。三原は道路景観中の人工物の量によってフラクタル次元が異なることから、道路附属物の評価におけるフラクタル解析の有効性を示唆している。大野は色彩・形状の面からいくつかのフラクタル解析手法の景観評価への有効性について分析を行っており、その中でいずれの解析手法においても自然な景観と人工的な景観のフラクタル次元が異なった分布を見せることが示されている。

2.2 画像からのコンテキスト取得に関する研究

画像からユーザの行動の解析を試みた研究として青木らによる人物の行動パターンに関する研究 [6] がある。彼らは全方位視覚センサから取得した画像をまず肌色抽出を行って人物の姿勢・位置推定を行い、人物の動作の分類・学習と行動パターンの認識を試みている。この研究では Hidden Markov Model を用いることによって、動作や行動のモデルを事前に用意する必要のない手法を実現している。この例は画像から何をしているかというコンテキストを取得している例と言える。一方視覚を用いたロボットの移動を試みた研究として桂らによる移動ロボットの屋外ナビゲーションに関する研究 [7] がある。この研究ではロボットの移動時に得られる現在の場所の画像を解析し、画像中の領域を人工物、空、木の葉や枝などの領域に分割を行っており、その意味で景観の認識を行っていると言える。しかしこれらの認識結果は基本的に自己位置認識に用いられ「どんな景観か」という情報を人間にフィードバックすることは考慮されていない点、また完全に未知の景観に対しては解析手段を持たない点などが、人間を支援するコンテキスト情報として不十分な点である。

また藤田は、車に取り付けられたカメラから一定時間ごとに写真を撮影しその画像を解析することによって、その道がどのような風景中のものであるかを解析している [8]。これによって景観を利用したナビゲーションや同じ景色が続いた際の対処など新たなサービス可能になり、運転サポートシステムがより向上するものと思われる。一方 Gupta らが説明しているような類似画像検索に関する研究 [9] も画像中の特徴を解析している点で関連がある。しかしながらこれらの研究は、ウェブ上の画像情報や大きなデータベース中の画像を対象にしている場合が多く、移動中の利用に対しては応用しにくいというのが現状である。



図 2.1: 画像の類似度によって画像の検索を行うシステム

第3章 景観とコンテキスト情報

本章では本研究において景観画像からどのようなコンテキストを取得するかについて説明する。

本研究の目的は、景観の定量評価手法を用いて景観画像からそれがどんな景観であるかを解析し、それをコンテキスト情報として利用しようというものである。そのために、ここではまず景観を撮影した画像に含まれる情報について考察を行い、景観評価方法によってどのようなコンテキストが取得できるかについて説明する。次にその考察に基づいて景観の評価手法を検討し、最後にそこから得られるコンテキスト情報について説明する。

3.1 景観の定量化

3.1.1 景観画像に含まれる情報

篠原 [10] は景観を「対象の全体的な眺めであり、それを契機にして形成される人間の心的現象である」と述べ、中村 [11] は景観を「人間をとりまく環境のながめ」と述べている。これらの景観を定義する視点はさまざまであるが、三浦 [12] の言うようにこれらの例から景観は客観的な現象として捉えるべきものだということが分かる。

一方個々の構成物から見たとき、景観は山や川あるいは植物などのような自然と、建築物や道路などの人工物、またそこに住まう人や動物すべてから構成されている (図 3.1)。これを物理的な側面から見れば、景観はそれぞれの大きさ、形、色彩を持った構成物と、その位置などの関係性によって成り立っていると言える。三原 [4] は篠原 [10] の考え方をもとに景観の定量化手法を以下のように分類している (図 3.2)。

ここで篠原 [10] によればシーン景観とは「固定的な視点からの写真的な眺めであり、時間的には比較的短時間の現象である。眺め、眺望、展望、景色、構図、透視形態などをいう」とされ、シーケンス景観とは「視点を移動させながら次々と移り変わるシーンを継続景観的に体験していく場合をいう。」と定義される。



図 3.1: 様々な景観

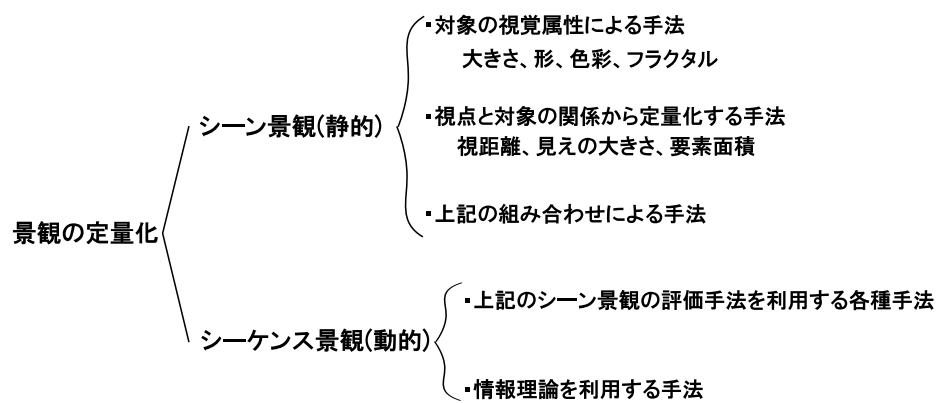


図 3.2: 景観の定量化手法

3.1.2 景観画像とコンテキストに関するアイデア

これまでの考察から、景観を構成するものの大きさ、形、位置関係、色彩などをコンピュータによって解析することによって、景観がどのように構成されているかを認識することが可能であると考えられる。しかし、限定的な事物の認識には色彩の閾値による抽出やある画像パターンと対象画像中とのマッチングなどの手法が存在する一方、広く景観をその対象とした場合は構成物の多様性によって何が写っているのかをコンピュータが判別することは非常に難しい。

一方、土木や建築などの分野において、景観評価(景観アセスメント)の定量化手法が着目されている。近代以降の急激な開発によって無秩序に建築物が立ち並ぶような景観が数多く生まれてしまった反省から、近年景観を評価する必要性が叫ばれ始め、現在様々な評価方法が研究されまた実践され始めている。しかしながらこれらの評価は一般的に評価を行う人間がどのような印象を受けるかによって決定されるため、定性的な評価しか与えられないという側面があった。これを定量的に評価しようというのが景観評価の定量化の研究の背景にある。そしてこれらの研究によって、対象とする景観が自然か人工的かということがある程度定量的に評価できるということがわかってきた。

本研究で我々はこの景観評価の定量化手法に着目し、これに基づいて人が見ている映像に対してこの解析を行うシステムを作成することによって「ユーザの周囲に広がる景観の自然さ」というコンテキスト情報を取得することを目標とする。

3.2 本研究で用いる景観評価手法

次に景観評価方法について検討を行った。前節図 3.2 に挙げられた手法を考慮すると、絶えず変化する状況からコンテキスト情報を利用するという側面に最も合致するのはシーケンス景観であると考えられる。しかしそのシーケンス景観はシーン景観の連続と捉えることも可能である。そこで本研究ではその基礎技術としてシーン景観のフラクタル解析、要素の面積比率による解析に着目し、景観画像からのコンテキスト抽出を試みる。

3.2.1 パワースペクトルとゆらぎ係数

フラクタル解析の方法は大野ら [5] によって様々なものが試みられているように、いくつかの手法が存在する。本研究ではこの中で配色に関する複雑さの定量化手法であるパワースペクトル解析を用いて解析を行うとする。

画素の値を画像の強度信号として2次元離散フーリエ変換を行うと、それらは周波数成分に変換される。この周波数の成分ごとの強さを表したものをパワースペクトルと呼ぶ。周波数とパワースペクトルの関係を両対数グラフにプロットすることで、画像が持つ特徴を解析することができる。

パワースペクトルを調べることは、武者によれば、自己相関関数を求めることに等しく、ある一つの変化がその後どの程度影響していくかを調べるということである [13]。武者はこれをゆらぎの解析と呼んでいる。

ゆらぎの種類はいくつかに大別される (図 3.3)。周波数とパワースペクトルに何の相関も見られないとき、グラフは平らになる。これをホワイトノイズと呼び、グラフの傾きを表すゆらぎの係数は 0 に近いものとなる。これに対して周波数とパワースペクトルに相関がみられる場合、パワースペクトル密度の値は低周波数に向かって増加する。これはつまり元のゆらぎに記憶効果があることを意味し、その記憶が強いほど傾きは急峻になっていくことになる。また傾きが線形的にならない分布も存在する。これはローレンツ型と呼ばれるスペクトルで、高周波においては $1/f^2$ のような減衰を見せるものの低周波ではホワイトノイズ型になる。このときゆらぎは指数関数的な減衰となっていると言える。

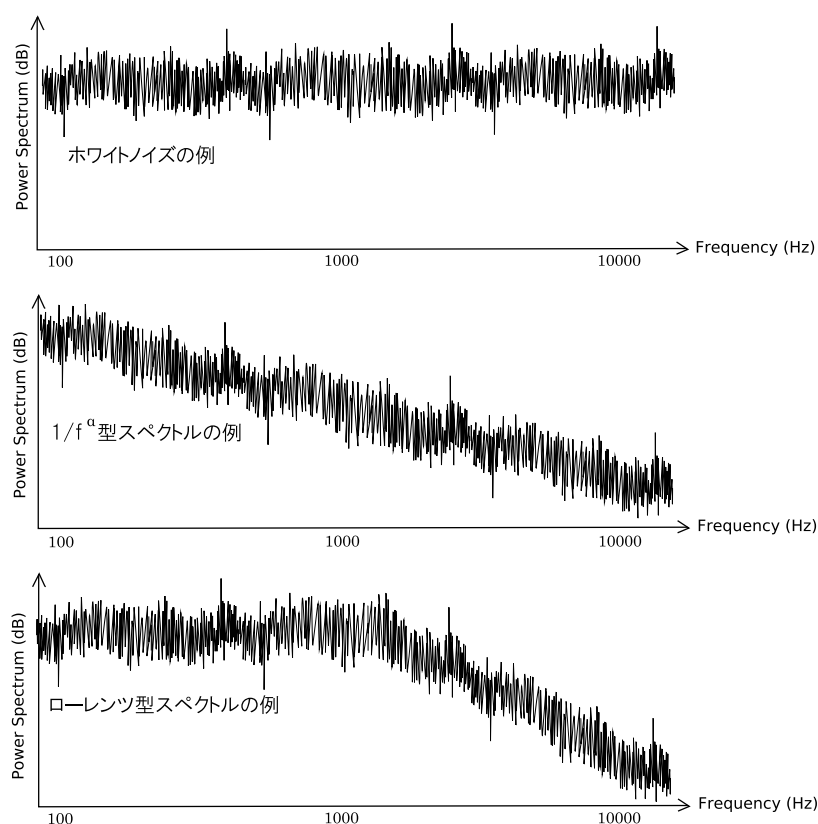


図 3.3: 様々なスペクトルグラフの例

3.2.2 緑視率

「景観が自然であるかどうか」というコンテキストに着目するに当たり、景観評価でも重視される緑視率も同時に計算し、この指標からも同時にコンテキストを得ることを試みる。緑

視率は「撮影されたある景観中のなかで緑が占める割合」ほどの意味で説明される。緑視率は本来は標準的な人の高さから 360 ° 周囲を撮影した画像に対して「緑」すなわち緑景観に当てはまる領域の判定を人間が行ってから、その領域が占めるドット (ピクセル) の数をカウントすることによって計測される。よって色座標で表されるような厳密な「緑」の色の定義は現状では存在しないと言えるが、緑や深緑のような色から我々が植物をイメージするように、景観中に「緑」らしい色が存在すればそれを「緑」とする方法も一定の効果があるものと考えられる。そこでここでは色相環上で緑らしいと判断できる色であり、彩度、明度が一定以上である色は対しては「緑」とカウントすることとする。またシーケンス景観の一部分としてシーン景観を捉えるとき、人間に影響を与える緑視率として進行方向の景観画像だけを解析することも十分意味があると考え、今回は全方位画像ではなく一方向をとらえた景観画像によって計算を行った。このようにして「緑」とカウントされたピクセルが画像の全ピクセル数に占める割合を本研究における緑視率として定義する。

3.3 コンテキストの抽出

以上のようにして求められるゆらぎの係数と緑視率の数値は、それぞれ「自然らしさ」の指標と捉える事ができると考えられる。今回はこの指標を一定の値で分類することによりコンテキスト情報としての抽出を行う。

武者 [13] はゆらぎ係数が $1/f$ となる相関は自然界によくみられ人にとって心地よいものであることを述べており、また一般的にもそのようなものとして知られている。また大野らは事前に自然な景観と人工的な景観に分類した画像を用いてパワースペクトルを解析したところフラクタル次元が小さい、つまりゆらぎ係数が大きいほど (フラクタル次元を D 、ゆらぎ係数を λ とするとき両者は $2D - 5 = \lambda$ で与えられる) 自然な景観となる傾向が強いことを分析している [5]。一方緑視率の値が大きいほど人が景観に対し潤いを感じたり自然らしさを感じたりすることは三浦 [12] や国土交通省が行った調査 [14] によって示されている。今回はこれらの知見に基づき、コンテキストを抽出するアルゴリズムを設定した。

これにより入力画像に対するコンテキスト情報の出力を実現する。

第4章 景観画像の解析

本章では前章で提案した景観画像の色彩からコンテキストを取得するための画像解析の方法を説明する。

4.1 画像が持つ情報の解析

景観画像の解析を行いゆらぎ係数と緑視率を計算する手順を説明する。

4.1.1 HSV 変換

色相、彩度、明度を色の三属性と呼ぶが、これらは人間が色をイメージするやり方にマッチしているので、色彩に対する操作も容易である。色の三属性は R、G、B それぞれの値によって操作することができるが、R、G、B 値と色相、明度、彩度との関係が明らかではないので直感的に扱うことができない。そこでまず入力画像の RGB による画素値を色の三属性に基づいた表色系である HSV 表色系へと変換を行う。

$$\begin{aligned} H &= \begin{cases} 0, & \text{if } MAX = MIN \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0^\circ, & \text{if } MAX = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360^\circ, & \text{if } MAX = R \text{ and } G \leq B \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120^\circ, & \text{if } MAX = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240^\circ, & \text{if } MAX = B \end{cases} \\ S &= \begin{cases} 0, & \text{if } MAX = 0 \\ \frac{MAX - MIN}{MAX} = 1 - \frac{MIN}{MAX}, & \text{otherwise} \end{cases} \\ V &= MAX \end{aligned}$$

ここで MAX は RGB 値の中で最大のものの、 MIN は RGB 値の中で最小のものを表す。

4.1.2 2次元フーリエ変換とパワースペクトルの導出

変換した HSV 値のうち色相の値を用いて、グレイレベル画像を作成する。ここで色相の値を用いるのは、日照などの変化に対してもある程度不変であると考えられるからである。色相値の取りうる角度は $[0, 360]$ であるため、これをある基準角からのなす角として次の 2 式を用いて変換し、これをそのままグレイレベルに変換する。

$$\begin{aligned} H' &= H - 180^\circ \\ H'' &= \frac{|H'|}{2} \times \frac{255}{180^\circ} \end{aligned}$$

次に色相に関してグレイ化した画像に対して 2 次元フーリエ変換を行い、パワースペクトルを求める。

取り扱う画像を $M \times M$ 画素の画像とし、その 2 次元画素信号が $f(x, y)$ で表わされているとき、2 次元離散フーリエ変換は

$$F(u, v) = \frac{1}{M^2} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M f(x, y) e^{-\frac{j2\pi}{M}(ux+vy)}$$

で与えられる。ここで u, v は x, y に対応する周波数であり、 $j = \sqrt{-1}$ である。

複素関数 $F(u, v)$ の実部を $F_r(u, v)$ 、虚部を $F_i(u, v)$ と表すとき、パワースペクトル $P(u, v)$ は

$$P(u, v) = \{F(u, v)\}^2 = \{F_r(u, v)\}^2 + \{F_i(u, v)\}^2$$

で表わされる。

景観画像から色相に関してグレイレベル表示し、パワースペクトルへと変換した様子を図 4.1 に示す。

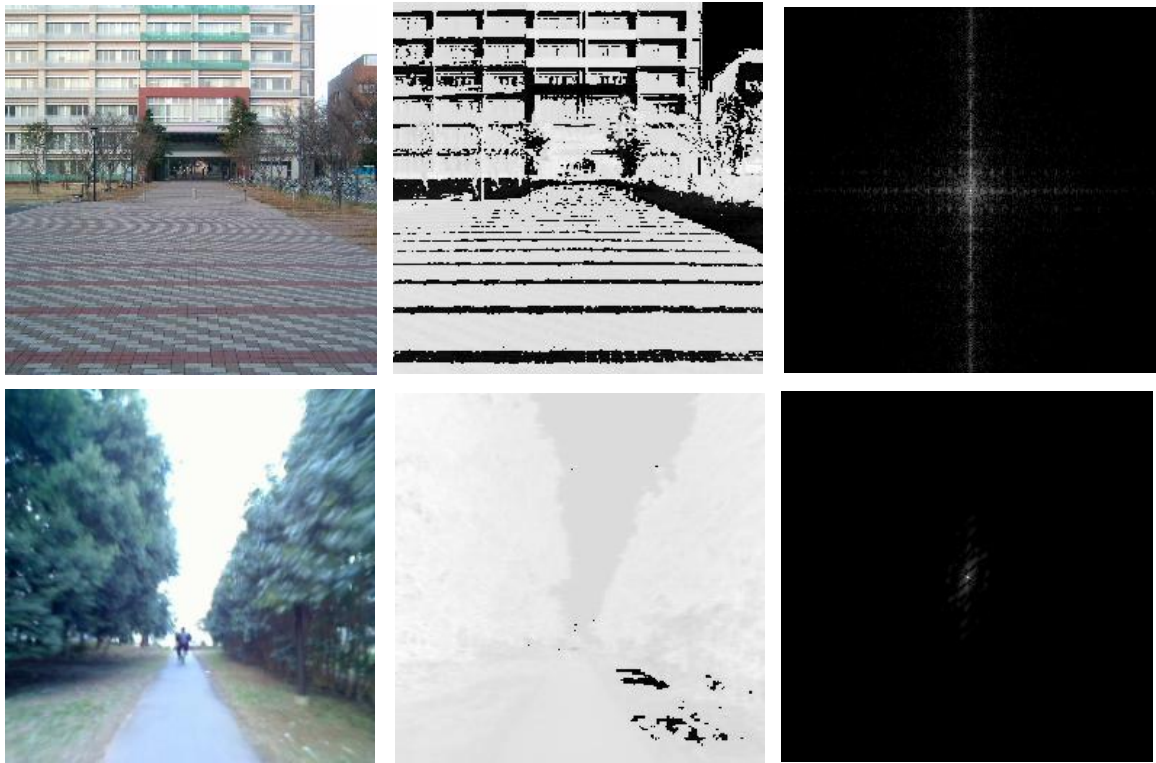


図 4.1: 変換の様子

4.1.3 ゆらぎ係数の導出

次に求めたパワースペクトルを解析しゆらぎ係数を導出する。

$P(u, v)$ を (u, v) 平面における極座標表示を用いて $P(r, \theta)$ と表すとき、動径方向の分布は、スペクトルの対称性より

$$P(r) = 2 \sum_{\theta=0}^{\pi} P(r, \theta)$$

となる。半径 r は $\sqrt{u^2 + v^2}$ であるからこれを (u, v) の合成周波数 f とおく。もし f と $P(f)$ の間にフラクタル性があれば以下の式が成り立つ。

$$P(f) = k f^{-\lambda}$$

この式の両方の対数と取るとさらに次式が得られる。

$$\log P(f) = -\lambda \log f + \log k$$

ここで k は定数である。 $P(f)$ と f の両対数上のグラフ上の傾き λ からゆらぎ係数が求められる。

傾きの導出には最小二乗法を用いた。平面上にデータが

$$(x, y) = (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

のように分布しているとき、求めたい一次方程式を

$$y = ax + b$$

とすると、 a, b は以下の式であらわされる。

$$a = \frac{n \sum_{k=1}^n x_k y_k - \sum_{k=1}^n x_k \sum_{k=1}^n y_k}{n \sum_{k=1}^n x_k^2 \sum_{k=1}^n y_k - \left(\sum_{k=1}^n x_k \right)^2}$$

$$b = \frac{n \sum_{k=1}^n x_k^2 \sum_{k=1}^n y_k - \sum_{k=1}^n x_k y_k \sum_{k=1}^n x_k}{n \sum_{k=1}^n x_k^2 \sum_{k=1}^n y_k - \left(\sum_{k=1}^n x_k \right)^2}$$

これより傾き λ を求める。

しかし対数グラフ上の分布が前章で説明したローレンツ型である場合は一次線形的な分布にはならないため、最小二乗法による傾きの導出では実際の分布との誤差が大きくなってしまふ。そのため傾きの導出をいくつかの定義域に分けて求めることとする。これにより、ある程度一次線形的な分布と指数関数的な分布を区別することができる。

4.1.4 緑視率の計算

前節で定義したイメージの緑視率を計算する。

コンピュータが画像中の色を解析するとき、1 ピクセルごとの RGB 値などを分析することになる。しかし、赤と黄色のドットによる印刷物を我々はオレンジとしか認識できないように (図 4.4)、ピクセルごとに色彩を解析することは一般に人間の視覚とマッチしない場合が多い。これを中間混色と呼ぶ ([15])。そこでまず実際に人が知覚している色彩に近づけるために、数ピクセル分の画素を平均し解像度を低下させることによって人間の色彩の知覚イメージに近づける処理を施す。ここでは右 N ピクセル、下 M ピクセルの領域を領域中の平均の RGB 値で置き換え、これを 1 ピクセルにまとめるという処理を画像全体に対して施すことによって計算する。

さらに、人が植物の色として認識する色を取り出すため、色相、彩度、明度に閾値を設定し、これらを満たすピクセルを緑地としてカウントする。これら緑地とカウントされたピクセルが全ピクセル中に占める割合を緑視率 (R_{gs}) とする。

$$R_{gs} = Pixel_{green} / Pixel_{all}$$

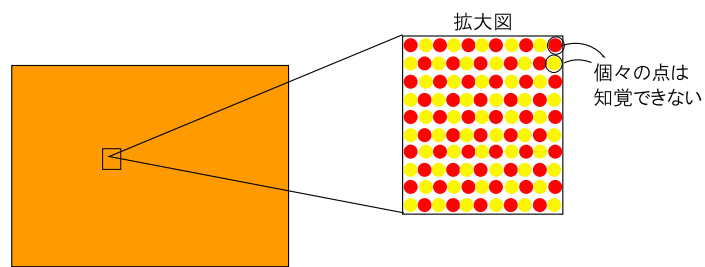


図 4.2: 中間混色の例

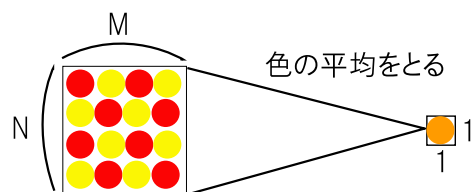


図 4.3: 解像度変換 (縮小) による平均色への変換

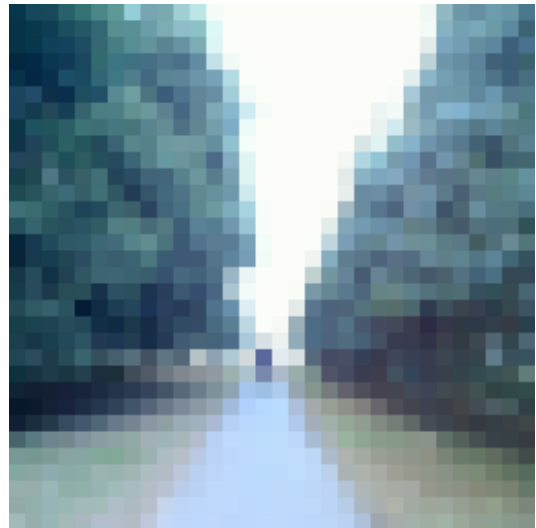


図 4.4: 実際の景観 (左) と人間が景観から受ける色彩上のイメージ

第5章 コンテキスト取得ツールの実装

前章において述べた解析手法を用いて解析を行い、景観画像に対するコンテキスト情報の設定を行う。なお、本システムの開発環境及び実行環境は以下のとおりである。

- コンピュータ: Inter(R) Pentium(R) 4, CPU 3.33GHz, Memory 0.99GB
- システム: Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 2
- 開発言語: Visual C#
- 開発環境: Microsoft Visual Studio 2005

5.1 コンテキスト取得ツールの概要

本研究で提案するコンテキスト取得ツールの概要を述べる。

まず、ユーザはコンピュータに接続されたカメラを通して現在いる地点の景観の画像をキャプチャする。次にシステムは入力された景観画像から2種類の処理を行う。一つは画像の2次元フーリエ変換によるパワースペクトルの分布からゆらぎ係数を求める処理であり、もう一つは景観画像中の緑領域が占める割合を緑視率として求める処理である。これらの解析結果をもとにシステムはどのような景観かを判定し、それをコンテキスト情報として出力する。

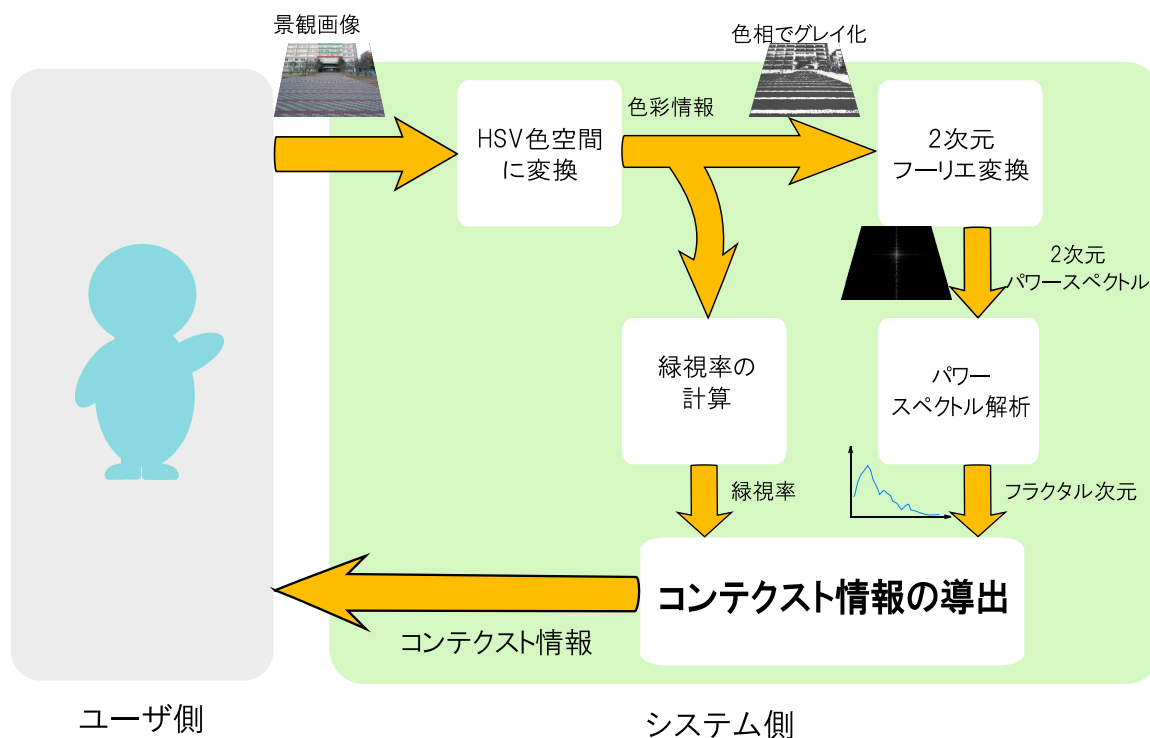


図 5.1: システムの概観

5.2 画像のキャプチャ

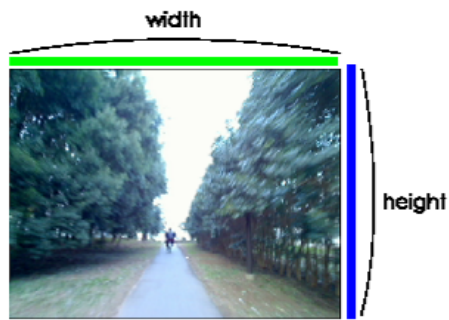
画像のキャプチャには USB カメラを用いる。撮影はユーザがコンテキスト情報を得たい場所で景観画像をキャプチャするかタイマーで一定間隔に景観を撮影することによって行われる。また景観画像の画像ファイルとしてシステムに読み込ませることによっても動作する。

ここで、画像解析における高速化のため、1 辺が 2 の倍数である正方形画像に変換を行う。しかしここでは対象が景観であるために総合的な構成を崩さずに変換を行わなければならない。よって入力画像をそのサイズに対し最も大きくとることができる正方形のサイズへの変換を行うこととした。その変換アルゴリズムを以下の図 5.2 に示す。

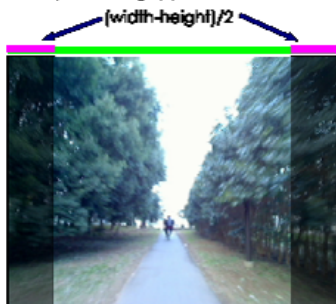
システムはまず画像が正方形であるかどうかを認識する。ここで画像の幅と高さが異なるとき、その長さの差 $|width - height|$ を用いて正方形へと整形を行う。画像の高さが幅よりも大きいときも同様にして変換を行う。このようにして整形した画像に対しそれを既定サイズへの拡大/縮小を行う。

以上のような変換を行った画像を用いて解析を行う。

case1: width > height



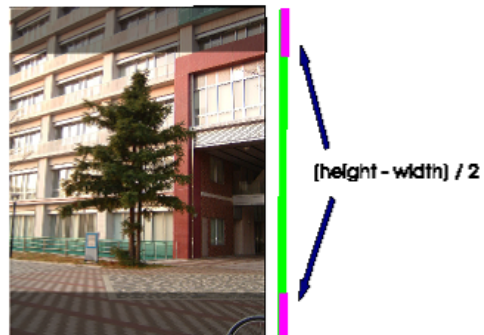
- i) widthをheightと同じ長さになるまで両側からトリミング
 $\times (\text{width} - \text{height}) / 2$ ずつ両側をカット
- ii) 出来た正方形を1辺が2の倍数となるように拡大・縮小



case2: height > width



- i) heightをwidthと同じ長さになるまで両側からトリミング
 $\times (\text{height} - \text{width}) / 2$ ずつ両側をカット



- ii) 出来た正方形を1辺が2の倍数となるように拡大・縮小



図 5.2: 入力画像の整形

5.3 ゆらぎ係数の解析

前章の手法に従い、まず整形された景観画像を色相に関するグレイ画像に変換する。その後変換された画像を2次元フーリエ変換し、パワースペクトルに変換することによって景観画像のゆらぎ係数を解析する。また前章での考察に従い、定義域の前半部分と定義域全体の2種類の傾きを求めた。これらの差によりローレンツ型とそうでないパワースペクトル分布の区別を試みる。

5.4 緑視率の解析

同様に前節の手法に従って画像の解像度を低下させ人が色として受けるイメージに近づける処理を施す。このうち緑の景観に相当する色を閾値によって設定し、これに該当するピクセルが全体に占めるピクセルに占める割合を緑視率として求めた。今回は色彩情報のみで緑領域を設定することとしたので、解像度変換を行った後の画像のうち緑景観を含む画像30枚をサンプルとし、緑の領域が持つ色彩の予備実験を行ったところ、緑景観が持つ色彩は色相は概ね $50^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 、彩度は30/255以上、明度は30/255以上200/255以下程度とすれば十分であることがわかった。これに基づき、HSV色相系を利用して緑とカウントする閾値の設定を行った。具体的には色相 $50^{\circ} \sim 180^{\circ}$ (図5.3)、彩度の値の範囲を[0.0,1.0]とするとき0.1以上、明度が[0.0,1.0]の間の値をとるとき0.1以上0.9以下となるものを緑とした。

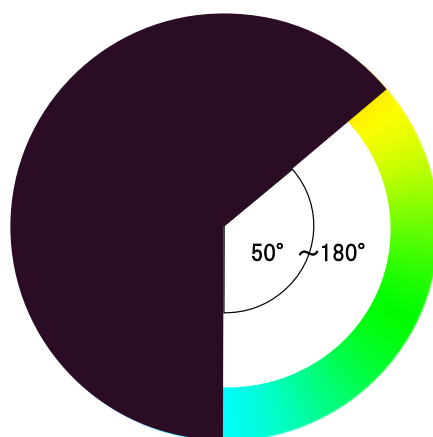


図 5.3: 色相環と今回緑とカウントした色相領域

5.5 解析結果によるコンテキストの割り当て

事前に行った予備実験において、ローレンツ型の分布を見せる画像の多くは一部が自然で一部が人工的という特徴をもった景観であった(図 5.4)。よってまずローレンツ型か $1/f$ 型の分布かをパワースペクトルの低周波における分布を利用して区別を行う。また既往の研究の分析結果に従い、パワースペクトルに対するゆらぎ係数が大きいほど自然な景観とし、その大きさによって分類を行った。これらの分析を入力画像に対して行い、コンテキストの割り当てを行った。



図 5.4: ローレンツ型の分布を見せた画像の例

ゆらぎ係数、緑視率それぞれの数値からコンテキストを割り当てるアルゴリズムは以下アルゴリズム 1 のように設定した。本研究のアルゴリズムの設計方針としてローレンツ型のパワースペクトル分布と $1/f^\alpha$ 型のパワースペクトル分布を分離する最も適切な閾値をまず置くこととする。そしてその後全周波数領域におけるゆらぎ係数によって詳細な景観の情報を設定する。この閾値の設定は実際の景観画像を用いて試行錯誤的に行った。

アルゴリズム 1 では全体的な色彩の分布の状況を決定する。最初の if において低周波数領域でゆらぎ係数 < 0.5 となる場合、ホワイトノイズ型かローレンツ型の波形であるとみなす。それらの画像のうち全周波数領域において低周波数から高周波数に向かってはっきりと減少傾向を示しているものはローレンツ型とする。ローレンツ型のパワースペクトルとなる画像は自然と人工的な建築物などが混じり合って構成されているものとみなし、係数の大きさによって自然と人工の割合がどの程度なのかを判定する。一方高周波数領域においても減少を示さなかった波形はホワイトスペクトルに相当するとし、人工度が非常に高い景観とみなす。また最初の if において低周波数領域でゆらぎ係数 < 0.5 とならなかった場合 $1/f^\alpha$ 型のスペクトルであるとみなし同様に係数の大きさによって分類する。ここに含まれる画像は自然度が特に高いものとするが、全周波数領域を見ても係数が大きくならなかった場合ホワイトノイズ型と判定する。

次に緑視率を用いたアルゴリズムの設定を行う。緑視率は第 3 章で述べたように緑視率は人間の景観に対する印象を向上させる効果がある。よって緑視率による景観の自然らしさを補正するアルゴリズムとしてアルゴリズム 2 を定義する。

ここで、緑視率は対象との距離などにも大きく左右されるため、今回は過大評価を避けるために 2 種類の分類にとどめた。

以上のようなアルゴリズムによって景観画像に対するコンテキストを割り当てる。

Algorithm 1 波形タイプの分類

```
if 低周波数領域でゆらぎ係数 < 0.5 then
  if 全周波数領域でゆらぎ係数 > 2.0 then
    ローレンツ型 I:自然度高い
  else if 全周波数領域でゆらぎ係数 > 1.25 then
    ローレンツ型 II:ある程度自然度あり
  else if 全周波数領域でゆらぎ係数 > 0.75 then
    ローレンツ型 III:やや人工的
  else
    ホワイトノイズ型 I:人工的
  end if
else
  if 全周波数領域でゆらぎ係数 > 2.0 then
     $1/f^\alpha$  型 I:自然度高い
  else if 全周波数領域でゆらぎ係数 > 1.25 then
     $1/f^\alpha$  型 II:ある程度自然度あり
  else if 全周波数領域でゆらぎ係数 > 0.75 then
     $1/f^\alpha$  型 III:やや人工的
  else
    ホワイトノイズ型 II:人工的
  end if
end if
```

Algorithm 2 景観の自然らしさの補正

```
if 緑視率 > 0.1 then
  if 景観がローレンツ型 II である then
    景観をローレンツ型 I に修正
  else if ローレンツ型 III である then
    景観をローレンツ型 II に修正
  else if 景観がホワイトノイズ型 I である then
    景観をローレンツ型 III に修正
  else if 景観が  $1/f^\alpha$  型 II である then
    景観を  $1/f^\alpha$  型 I に修正
  else if 景観が  $1/f^\alpha$  型 III である then
    景観を  $1/f^\alpha$  型 II に修正
  else if 景観がホワイトノイズ型 II である then
    景観を  $1/f^\alpha$  型 III に修正
  end if
end if
```

5.6 利用シーン

本研究で提案したコンテキスト情報を用いたアプリケーションとして以下のようなものを提案し、その利用シーンについて説明する。

インテリジェントな自動撮影システム

このアプリケーションは自動車や自転車に搭載されることを想定していて、ユーザに負担をかけさせずにユーザが好むような景観を自動的に撮影を行ってくれるアプリケーションである。アプリケーションはユーザがそれらの乗り物に乗って移動している間一定時間ごとに画像をキャプチャし続け、その都度コンテキスト取得ツールを通じて景観のコンテキスト情報を取得する。もしそのコンテキスト情報がユーザが設定した(ユーザが好む)ものであった場合、それをデータフォルダ中に格納する。

このシステムの利用シーンは以下ようになる。休日の晴れた日、ユーザはこのアプリケーションが搭載された自転車に乗って様々な場所を通過するサイクリングに出かける。このときユーザはアプリケーションを意識せずサイクリングを楽しんでいるのだが、システムは周囲の景観がどれほど自然的かというコンテキストを自動的に認識し、美しい景観に対して自動的に撮影を行ってくれる。サイクリングから帰ってきたユーザはシステムによって撮影された美しい景観の画像を楽しむことができる。また、次回以降のサイクリングにおいて、前回のルートで撮影された画像を見ながらサイクリング計画を立てることができる。

景観イメージにマッチする楽曲推薦システム

このアプリケーションは徒歩や車上での利用を想定しており、ユーザの周囲の状況をシステムが自動的に認識し、その状況に合った楽曲の推薦を行ってくれるアプリケーションとして動作する。このアプリケーションもバックグラウンドで自動的にユーザの周囲の景観をキャプチャし解析を行って、今ユーザのいる場所に合わせた楽曲を推薦するという機能を持つ。

利用シーンとしては以下のような状況を想定している。ユーザはポータブルミュージックプレイヤーを持って様々な場所を散策している。あるときユーザは市街地に服を買いに向かった。当然ユーザの周囲にはビルなどの人工的な街並みが広がっている。システムはそれを認識し人工的でモダンな楽曲をユーザに推薦を行い、ユーザはその状況に合った楽曲を楽しむことができる。

風景の撮影支援エージェント

このアプリケーションは撮影システムと一体となっていて、ユーザが撮影した景観に対してその景観の自然らしさやユーザが撮影目標とするイメージとの差を提示してくれるアプリケーションである。デジタルカメラの普及により「試しに撮影する」という撮影スタイルが

一般的になってきたことから、その撮影においてユーザをサポートする情報を与えることを想定している。

利用シーンとしては以下のようなものになる。

ユーザはこのアプリケーションを搭載した撮影システムを持って風景を撮影するためにいろいろな場所に散策に出かける。その途中、気になる場所があったのでユーザはふとその景観をカメラに収める。すると撮影支援エージェントは今撮影した写真に対し景観に対する評価を提示を行う。ユーザはそれを踏まえてさらに撮影を続けることも、撮影した画像を破棄することもできる。

第6章 評価

本研究で作成したコンテキスト取得手法の非公式な評価実験を行った。本章ではこの実験の概要と結果を述べ、取得コンテキストに関して評価を行う。

6.1 実験と結果

6.1.1 実験内容

今回、実際に大学構内を散策しながら撮影した風景とウェブ上で公開されている風景画像をコンテキスト取得ツールを用いて分析を行い、この分析結果が入力画像に対してどの程度妥当なのかについて評価を行った。本来入力画像が自然か人工的かというのは、SD法をはじめとする分析を景観画像に対して行い因子分析などを経て設定可能なものであるが、この実験では「明らかに自然的な景観」と「明らかに人工的な景観」と判断できる画像を用いて評価を行うこととした(図 6.1)。本実験で用いた「自然的な景観の画像」は36枚、「人工的な景観の画像」は29枚で合わせて65枚である。



図 6.1: 「明らかに自然的な景観」(左)と「明らかに人工的な景観」の例

6.1.2 結果

「人工的な景観の画像」29枚に対しコンテキスト取得ツールが出力したゆらぎ係数の解析結果は表 6.1 のようになった。ここでは、前章のアルゴリズム 1 においてそのスペクトル分布がローレンツ型 I と $1/f^\alpha$ 型 I に該当するものを自然的な景観、ローレンツ型 II と $1/f^\alpha$ 型 II に該当するものをある程度自然的である景観、ローレンツ型 III と $1/f^\alpha$ 型 III に該当するものをある程度人工的である景観、ホワイトノイズ型 I、II に該当するものは人工的な景観として分類した。

また、ローレンツ型の波形を見せる景観はアルゴリズムにより「人工と自然の混じった空間」として認識されるが、そのような画像は 1 つだけ判定された。すなわちほとんどの画像は $1/f^\alpha$ 型であり、自然と人工が混じるような景観とは判定されなかったということである。これは今回の実験では、人によって評価が分かれてしまう人工的景観と自然的な景観の境界に触れるような画像は扱わないようにした前提と合致しており、概ね期待通りとなった。

パワースペクトルに対する判定	
人工的と判断された画像数	16
ある程度人工的と判断された画像数	6
ある程度自然と判断された画像数	6
自然的と判断された画像数	1
合計	29

表 6.1: 人工的な景観画像のパワースペクトルに対するツールの出力結果

一方「自然的な景観の画像」36枚に対しコンテキスト取得ツールが出力したゆらぎ係数の解析結果は表 6.2 のようになった。ただしここでも $1/f^\alpha$ 型 I とローレンツ型 I、 $1/f^\alpha$ 型 II とローレンツ型 II は同じカテゴリとしている。

こちらでも「人工と自然の混じった空間」として認識された結果は 1 件のみで、条件設定にほぼ合致した結果となっている。

パワースペクトルに対する判定	
自然的と判断された画像数	20
ある程度自然と判断された画像数	13
ある程度人工的と判断された画像数	1
人工的と判断された画像数	2
合計	36

表 6.2: 自然的な景観画像のパワースペクトルに対するツールの出力結果

6.1.3 考察

ゆらぎ係数の出力結果に対し考察を行う。どちらの出力結果も入力画像の内容に対し概ね合致する結果を出力できた。しかしながら「明らかに自然的な景観」と「明らかに人工的」な景観という極端な条件設定を考えると、「ある程度自然」「ある程度人工的」のような中間領域に該当する画像が多くなってしまったのはよい動作とはいえなかった。しかしこれらは判定アルゴリズムの閾値の再設定により改善することができるものと思われる。

またこの中で行われる緑視率による景観中の「緑」の量の判定であるが、人間が「緑」が存在すると判断できる景観に対してシステムもほとんどの場合緑視率を取得することができた(図 6.2)。しかしながら画像中のどの部分を緑と認識しているかをシステムが提示しない限り人が認識する緑領域との一致を断言することはできないので、人が「緑」と認識する領域を取得するさらなる手法の確立が望まれる。また露光条件などによって葉の色が青味がかったり黄味がかったりするので、時間帯や季節によって提案した閾値の条件では緑領域とみなされない場合もあった(図 6.3)。これらの知見を踏まえて、評価方法やアルゴリズムの改善を行う。



図 6.2: 緑視率の認識。左から緑視率 56%、緑視率 53%



図 6.3: 緑領域の認識の失敗例。緑視率 0.2%と認識

第7章 結論

本研究ではまずユビキタス・コンピューティングにおけるコンテキスト・アウェアネスの位置づけを述べ、コンテキストを取得するものとしてのセンサの概念について述べた。またその中でカメラをセンサとして用いた技術はこれまでいくつか存在したが、それらは限定された対象の抽出に限定しているものが多く、景観のような広大な被写体を対象としたセンシング技術はこれまであまり存在しなかった点に着目した。そこで本研究ではカメラを景観の情報を捕らえるセンサとして利用するために、景観評価で用いられるフラクタル解析と緑視率の分析を用いて景観の情報というコンテキストを取得する手法を開発した。また本手法を用いるアプリケーションについていくつかの提案を行った。

今後の展望として提案したアプリケーションの実装、また景観からより精度よく多様なコンテキストを取得するために研究を重ねていく。またより一般的な画像に対してもコンテキスト取得アルゴリズムが正常に動作するように、景観画像を統計的手法によって自然か人工的に分類した画像を用いてコンテキスト取得ツールと作成したアプリケーションの運用・評価を予定している。

謝辞

本研究を行うに際しまして、丁寧な指導と多大なる助言を与えてくださった指導教員の田中二郎教授に心より感謝し、お礼申し上げます。そして、チームの担当教員である高橋伸講師を始め、同研究室である三末和男准教授、志築文太郎講師にも数多くのアドバイスを頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。

また同じ田中研究室のメンバーには研究に関する部分のみならず様々な面でお世話になりました。本当に有難うございました。

そして最後に、入学当初より現在に至るまで力になってくださった家族、友人、サークルのメンバーにも心より感謝申し上げます。有難うございました。

参考文献

- [1] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific American*, 1991.
- [2] Jadwiga Indulska and Peter Sutton. Location management in pervasive systems. In *ACSW Frontiers '03: Proceedings of the Australasian information security workshop conference on ACSW frontiers 2003*, pp. 143–151, Darlinghurst, Australia, Australia, 2003. Australian Computer Society, Inc.
- [3] 桂司近藤. 都市景観の色彩の特徴分析：色彩情報の計量分析と分布の表現方法. 日本色彩学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 24–30, 20050301.
- [4] 道路景観の定量評価に関する一考察. 三原慎弘, 松田泰明, 加治屋康彦. 第 50 回（平成 18 年度）北海道開発局技術研究発表会, 2006.
- [5] 大野研, 大野博之, 鈴木勝士, 葛西紀巳子. 色彩、形状の観点からみた数値的景観評価の試み. 土木学会論文集 No.695, 2002.
- [6] 茂樹青木, 嘉男岩井, 正輝大西, 篤博小島, 邦雄福永. 人物の位置・姿勢に注目した行動パターンの学習・認識と非日常状態検出への応用 (画像認識, コンピュータビジョン). 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理, Vol. 87, No. 5, pp. 1083–1093, 20040501.
- [7] H. Katsura, J. Miura, M. Hild, and Y. Shirai. 季節や天候の変化にロバストな視覚認識に基づく移動ロボットの屋外ナビゲーション. 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 1, pp. 75–83, 2005.
- [8] Yujiro Fujita. A roadscape analysis system of vehicle mounted camera-image. *ICCE2006*, 2006.
- [9] Amarnath Gupta and Ramesh Jain. Visual information retrieval. *Commun. ACM*, Vol. 40, No. 5, pp. 70–79, 1997.
- [10] 篠原修. 新体系土木工学 59 土木景観計画. 技法堂出版, 1982.
- [11] 中村良太ほか. 土木工学体系 13 景観論. 彰国社, 1976.
- [12] 三浦利夫. 緑空間の機能と評価法の体系化に関する実証的研究. 三重大学生物資源学部演習林報告 22 号, pp. 1–100, 1998.

- [13] 武者利光. ゆらぎの発想. NHK 出版, 1994.
- [14] 国土交通省. 都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について. http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040812_3/01.pdf.
- [15] 東京商工会議所: カラーコーディネーター検定試験 3 級公式テキスト /東京商工会議所編. カラーコーディネーションの基礎. 中央経済社 (発売), 2001.