

概要

人間が外界から得る情報の大部分は視覚によるものであり，生活する上において大変重要な役割を果たしている．その視覚機能を自律移動ロボットに持たせようとする研究が近年，盛んに行われている．環境内に存在する物体の形状認識を画像計測により実現することは，自律移動ロボットの視覚システムで必要不可欠な要素技術である．

自律移動ロボットが屋外環境において作業する場合，環境内において対象物または障害物となる物は，大別して人工物と自然物に分けられる．本研究では，屋外環境に存在する自然物を対象とし，対象とする自然物は，公園や歩道などでよく見られる植生を対象とする．本研究では，画像を取得する外界センサとして，光軸が平行な2つのカメラから左右2枚の画像を取得するステレオカメラを用いる．そして，この得られた2枚の画像間で，左画像上での点が右画像上でのどの点に対応するかを決定し，そして三角測量の原理により計算することにより，対象までの距離情報を取得することを目標にする．しかし，本研究で対象とする植生は，同じ形・色をした葉を多数持っているため，画像上では類似した特徴が多く，近辺の点と区別が付き難い．そのことにより，ステレオカメラで撮った2枚の画像間で対応する点の決定が困難であると思われる．

武田ら[5]が行った植生に対しての研究では，対応点の決定方法としては，正規化相関により対応点を求める手法が用いられた．その手法は，2枚の画像から同じサイズを切り出し，その濃淡値のベクトルによる正規化相関の値が，類似度を評価する値として使われた．しかし，今回対象とする植生の濃淡パターンは，同種の植生上では，大きく変化しない．そのことにより，対応点の決定の信頼性が低くなると考えられる．そこで本研究では，この対応点の決定をよりロバストなものにするために，画素の濃淡値の近傍明度を統計的にとらえ，評価値を求める増分符号相関を用いる．

増分符号相関は，濃度値の増加の傾向を評価値にするので，本研究で対象とする植生のような濃度値が大きく変化しないものでも，適用できると考えた．まず自己相関により，正規化相関と増分符号相関を比較し，増分符号相関の有効性を示し，増分符号相関を用いた相互相関により2枚の画像間での対応する点を求める．その求まった対応点から三角測量の原理を用いて，対象物までの距離を計測し，その得られた奥行き情報から，奥行きを濃淡値であらわす距離画像として表示する．そして，その距離画像の濃淡値の変化を利用し，ラベリング処理をすることにより，重なり合う植生を個々の植生の領域に分割する．個々の植生に分割することにより，植生が混在する環境下においても，自立移

動ロボットが何らかの作業をする場合に，それぞれの植生に対して作業ができると考えられ，ガーデニング分野などのロボットの視覚として利用することができると考えられる．

1 序章

1.1 はじめに

人間が、外界から得る情報の大部分は視覚からであり、生活する上において非常に重要である。そして、この視覚機能を自律移動ロボットに持たせようとする研究が近年、盛んに行われている。自律移動ロボットが環境内で作業を行うためには、作業環境を3次的に理解し、その環境の中で、自己位置・姿勢を理解し、移動し、作業を遂行しなければならない。その環境の中で、自己位置・姿勢を理解するためには、作業環境に対応する3次元地図が必要となる。ここで、考えられるのは、「作業の前に作業環境の3次元地図をロボットに与え、それを基に、作業を遂行する」方法と「未知の環境に対して、センサ情報を利用して、作業地図を作成しながら、移動し作業を遂行する」という2つの方法がある。作業前にロボットに地図を与える方法は作業環境が変化するとともに、地図を更新する必要があるので、環境の変化に十分対応できない。それに対して、未知の環境に対してセンサ情報を利用する方法は、その場でセンサ情報から環境を判断することにより、環境の変化に対応することができる。

次の図1にあるように、自律移動ロボットがセンサ情報を利用して環境を理解して作業をする際、まず自律移動ロボットに対して、何らかの作業を与える。そして、外界センサを用いて作業環境を理解する。ここでの作業環境全体は、「人工物」と「自然物」に大別される。次に、与えられた作業を遂行する際に、「人工物」、「自然物」が作業対象もしくは障害物として存在する場合、「人工物」、「自然物」の形状理解が必要になる。

まず、「人工物」については、人工的な物体を制御可能な撮像環境内つまり生産・流通工程などで実用的なロボット視覚システムとして、高信頼度、高精度、そして経済性の観点からできるだけ簡潔な装置構成を目的とした研究が行われている[1]。

次に、「自然物」については、コンピュータビジョンの分野では、外界センサから「自然物」を観測し、それを基に、「自然物」の形状モデリングを行う。この場合、「ステレオ法」が有効であると考えられる。本研究では、歩道や公園などで多く見られる低木、植え込みなどの植生を対象として、その植生のステレオマッチングを行う。

本研究では外界センサとしてステレオカメラを使用する。屋外環境の理解には距離情報の獲得が不可欠である。そこで、屋外環境における植生のような複雑な対象について、ステレオマッチングを行う手法を提案する。

1 . 2 従来の研究

植生に対しての従来の研究として、武田らが行った研究がある。武田ら[5]は、植生に対してステレオ法を用いて植生形状を再構成する研究を行った。武田らが行った研究では、植え込みなどを対象とし、それらを2枚のステレオ画像から再構成することを目的として行った。武田らが行った研究では、対応点探索を正規化相関によって行った。しかし、植物のような複雑な特徴をもつ対象について、対応点探索を行う場合には、正対応と誤対応を判別させることが重要である。そのため、マスクサイズによる影響について検討を行った。マスクサイズが小さい場合、偽りのピークが多数存在し、誤対応を起こす可能性が高く、大きいマスクの場合、偽りのピークが減ることを示した。また、オクルージョンが発生している箇所に対応点の決定に矛盾が生じることに対処するために、一方の画像中のある点に着目し、もう一方の画像に対して、対応点探索を行う。次に、その対応点に着目し、最初の画像に対して、対応点探索を行う。このような双方向ステレオマッチングを行うことにより、確実な対応付けを可能にした。この双方向ステレオマッチングを用いて、オクルージョンを検出し、視差マップを作成し、その視差マップを基に形状を再構成した。

しかし、武田らは対応点の探索する評価値として正規化相関による双方向ステレオマッチングを用いたが、対象とする植生は、同じ形・色をしたものを多数持っているので、濃淡値のベクトルによる正規化相関の値には、大きな変化がなく対応点の決定の信頼性に欠けると考えらる。よって、本研究では、対応点決定の信頼性をよりロバストなものにするために、対応点探索を増分符号相関を用いて行い、その信頼性について説明する。

1.3 ステレオ法

本研究で用いるステレオ法について簡単に説明する[7]～[9].ステレオ法とは，異なる位置に置かれた2つのカメラ（ステレオカメラ）から，三角測量の原理を使って対象物体までの距離を測定することができる．（カメラのキャリブレーションは行われているとする．）カメラのキャリブレーションとは，外部キャリブレーションと内部キャリブレーションを決定することを指す．外部キャリブレーションは，物体固有の座標系からカメラ座標系への変換し，原点位置のずれと座標軸の回転量が変換パラメータとなり，このパラメータは物体座標系に対するカメラの位置・姿勢を表す．内部パラメータは，カメラ座標系での投影は，焦点距離やレンズの収差などカメラ自身の特性に関係する．

簡単なステレオカメラシステム（透視変換）を示す．物体上の点 (x, y, z) は，それぞれ左右の画像上の位置 $(x_l, y_l), (x_r, y_r)$ に投影されているものとする．透視変換では次の式が成り立つ．

$$\begin{aligned} x_l &= f \frac{x \times b}{z}, y_l = f \frac{y}{z} \\ x_r &= f \frac{x - b}{z}, y_r = f \frac{y}{z} \end{aligned} \quad (1.1)$$

（ f 、 $2b$ はそれぞれ焦点距離，基線長と呼ばれる）

この2式を連立させると次式が得られる．

$$\begin{aligned} x &= \frac{b}{x_l - x_r} \frac{y_l \times x_r}{y_r} \end{aligned} \quad (1.2)$$

物体上の点の座標値を得るには，一方の画像上に投影された物体面上の点が，他方の画像上ではどの位置に投影されているかを知る必要がある．（ステレオ画像の対応点探索問題）物体上の点は，一方の画像上の投影点と視点を結ぶ直線上にあるはずである．

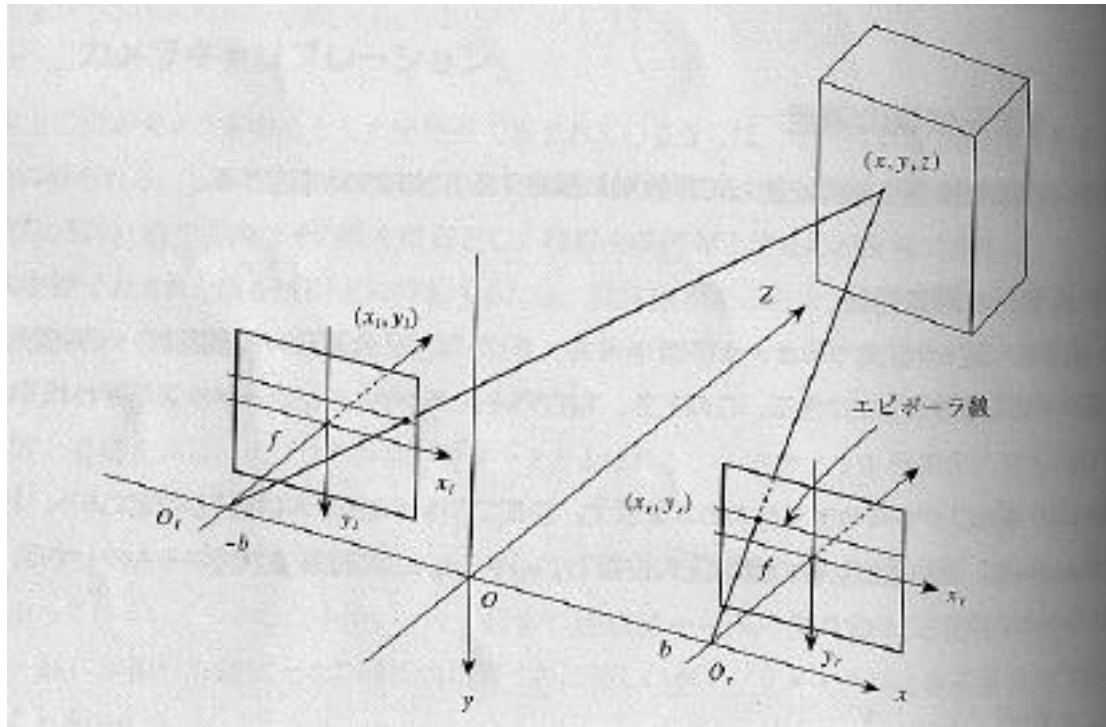


図 1.3 ステレオ法

2 屋外環境における植生の性質

2.1 植生の定義

一般に屋外環境には、様々な対象が含まれているが、ここでは、3次元環境理解を目的として、対象の性質により分類を行う。屋外環境の構成する要素としては、建物、道路、空、山、樹木（幹、枝、葉のような構造がはっきりしたもの）、植物（大きな葉を持つもの）がある。まず、建物、道路については、基本的に平面と曲面で表す事が多いので、特徴の変化が大きい部分(エッジ部分)を基に形状の骨格を理解し、その後、面補間により、3次元環境理解が行われる。空、山に関しては3次元環境理解という目的からは外れる。そして屋外環境に存在する植物については、多種多様なものが考えられるが、樹木や大きな葉をもつ植物についてはエッジベースの認識が使えるので、技術的な面では、建物、道路に近いと考えられる。しかし、このような植物以外に、公園や歩道などでよく見られる草や植え込みのようなものがある。このような植生は、同じ色・形をした葉を多数持っているので、類似した特徴を多数持つということができる。そのため、エッジベースの手法では認識できない。

ここでの植生とは、樹木等の植物の総称であり、今回は公園や歩道でよく見られる植え込みを対象にする。図 2.1、図 2.2 に植生の一例を示す。また、実験環境を図 2.3、図 2.4 に示す。

このような植生は、人間にとっても、画像中に類似点が多く、近辺の点との区別をするのは難しい。しかし、人間は、このような植生を目の前にしても、その形状の認識が可能である。



図 2.1 植生の一例



図 2.2 植生の一例



図 2.3 実験環境



図 2.4 実験環境

2.2 対応点探索についての検討

ステレオ法は、2枚の画像間で対応する点を決定し、三角測量を用いて距離情報を取得する。ここでは、対応点探索を行うために、植生が画像上において、どのような性質を示すかを明らかにする。まず、ある着目点について、相関値により周辺の特徴との類似度を比較し、特徴の性質を明らかにする。

2.2.1 正規化相関についての検討

樹木などの屋外環境において、人間にとって、類似した特徴が多数存在する場面が見られる。これらを画像で見ると、それぞれ単一画像中において、類似した特徴が多く、特徴に独自性がないように思える。そのため、ステレオ画像間でも、マッチングが困難であると予想される。これらの特徴に独自性のない植生において、その植生が画像上でどのような性質を持っているかを明らかにする。

まず、画像中のテンプレートに着目し、その特徴の性質を検討する。ここでは、1枚の画像に対して、着目点を決め、 $m \times n$ のテンプレート画像を決め、それに対して横1ライン自己相関の計算を行う。

このとき、着目点のテンプレート、対象テンプレート共に、範囲を $m \times n$ とする。着目点のテンプレートに対応する画像の濃淡値を $f(i, j)$ 、相関計算を行う対象点のテンプレートに対応する画像の濃淡値を $g(i, j)$ とする。ここで、それぞれの関数を $m \times n$ 次元のベクトルと捉え、それらに対応するベクトルを f, g とすると、

$$\begin{aligned} f &= [f(1,1), f(1,2), \dots, f(m, n-1), f(m, n)] \\ g &= [g(1,1), g(1,2), \dots, g(m, n-1), g(m, n)] \end{aligned} \quad (2.1)$$

で表される。このとき、 $m \times n$ 次元空間において、ベクトル f と g の成す角が小さければ、2つの範囲内での類似度が高く、成す角が大きければ、類似度は低いことを示す。そこで、その成す角は次の式から求められる。

$$f \cdot g = |f| |g| \cos \theta \quad (2.2)$$

そこで、 $\cos \theta$ を評価関数とすると、評価値 E は、

$$E = \frac{\sum_{i,j} f(i,j)g(i,j)}{\sqrt{\sum_{i,j} f(i,j)^2} \sqrt{\sum_{i,j} g(i,j)^2}} \quad (2.3)$$

で計算される。この評価値 E は[0.0 ~ 1.0]の値をとり、1.0 に近ければ類似が高いことを示す。

ここでは、評価関数として、式(2.3)を用いて植生の特徴の性質を明らかにする。まず、自己相関による検討を行う。自己相関とは、見本(左)画像の

中から着目点を決め，テンプレートとなる範囲の画像を切り出し，その相関値を調べることにより，単一画像上における植生の性質を明らかにするためを行う．ここでは，横 10[pixel]x 縦 10[pixel]の切り出し画像を横 1 ラインつまり y 座標が同じラインを走査し，検討する．また，見本画像のサイズは，横 720[pixel]，縦 486[pixel]の pgm ファイル形式とする．また自己相関のグラフは，横軸に画素数を取り，縦軸に相関値をとる．

2 . 3 正規化相関を用いての自己相関の結果



図 2.3 見本（左）画像(720X486)
着目点(350,100)

図 2.4 テンプレート
画像(10X10)

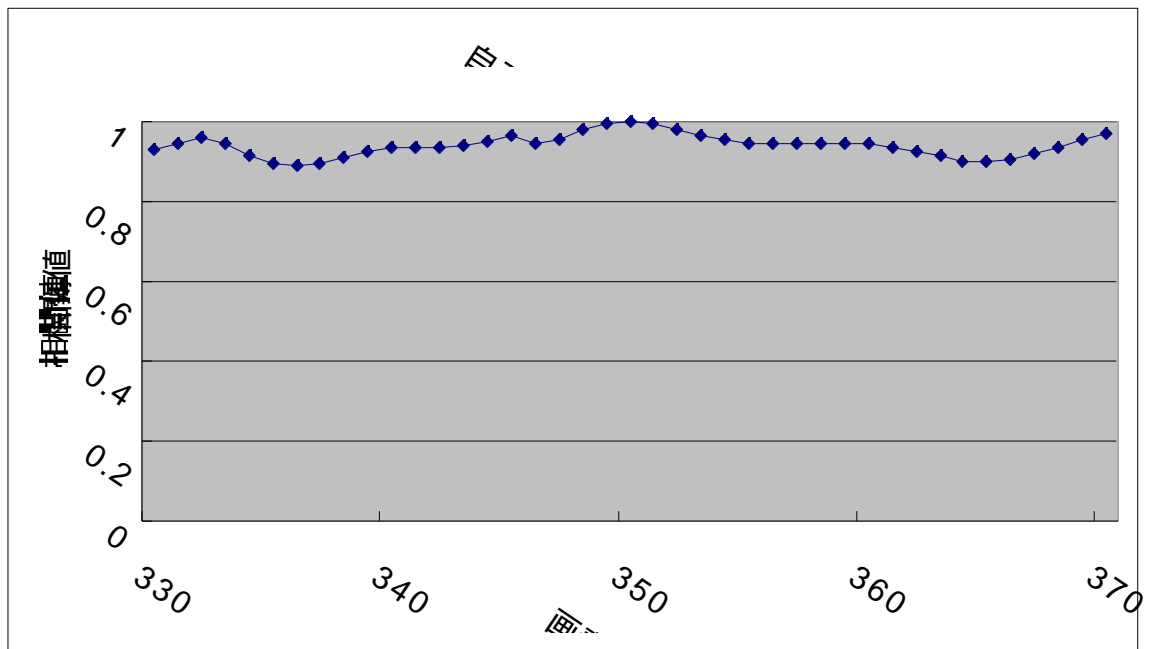


図 2.5 自己相関グラフ(10X10)

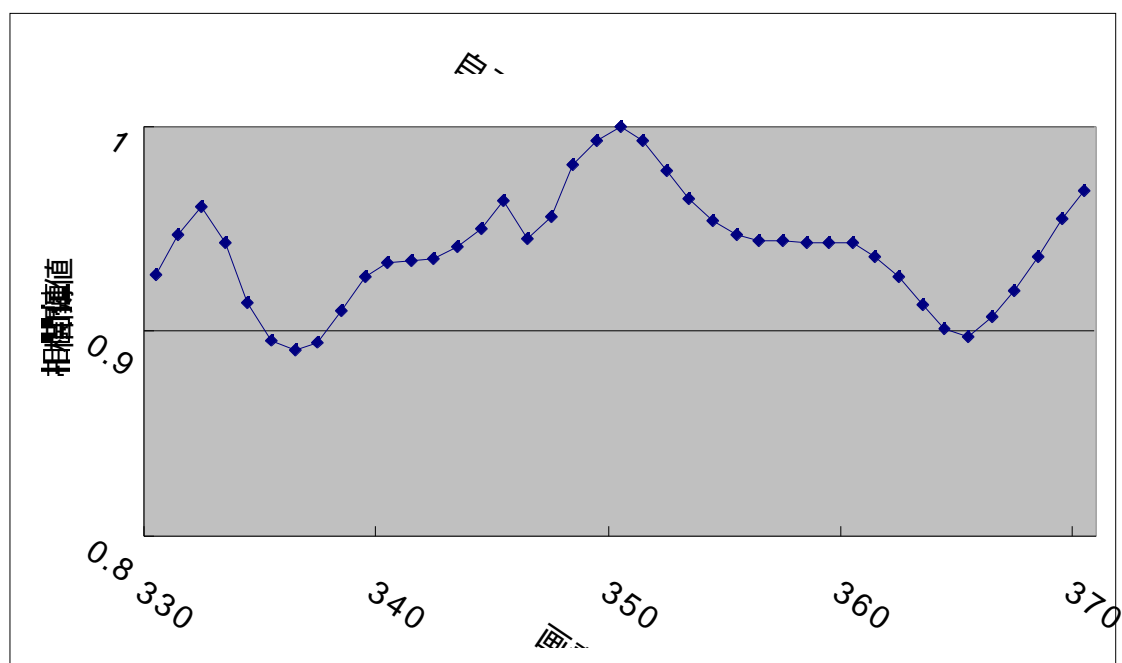


図 2.6 自己相関グラフ(10X10)

ここでは、左画像から画素数（x座標）250、（y座標）100 を着目点とするテンプレート画像で横 1 ライン自己相関をとってみる．その結果、テンプレートの切り出し座標で相関値は予想通り 1.0 になった．しかし、切り出し点以外の点であっても相関値が高く、偽のピークが見られる．このことは、テンプレート画像のサイズを横 20(pixel)x 縦 20(pixel)、また横 30(pixel)x 縦 30(pixel)に変えることによって同等の結果が得られた．テンプレート画像のサイズを 20x20 にした結果を図 2.7 に示す．また同様に 30x30 のものを図 2.8 に示す．結果として、相互相関をとった時、正確な対応点を求めることを困難にするとと思われる．図 2.6 は相関値の値域[0.8～1.0]の範囲を拡大したものである．図 2.7,2.8 にテンプレート画像のサイズ横 20(pixel)x 縦 20(pixel)、横 30(pixel)x 縦 30(pixel)のグラフを示す．

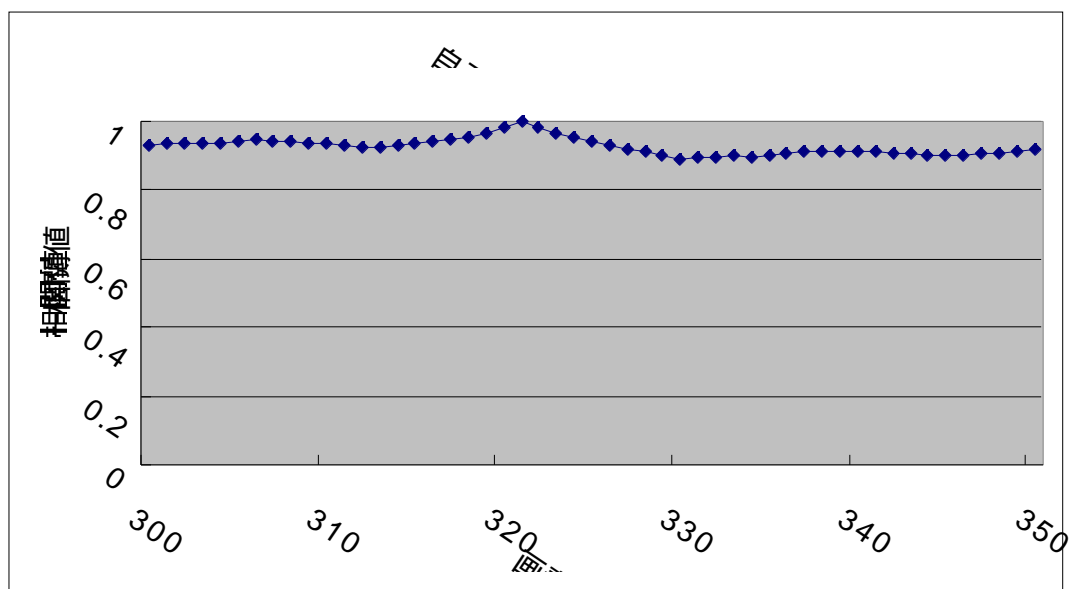


図 2.7 自己相関グラフ(20X20)

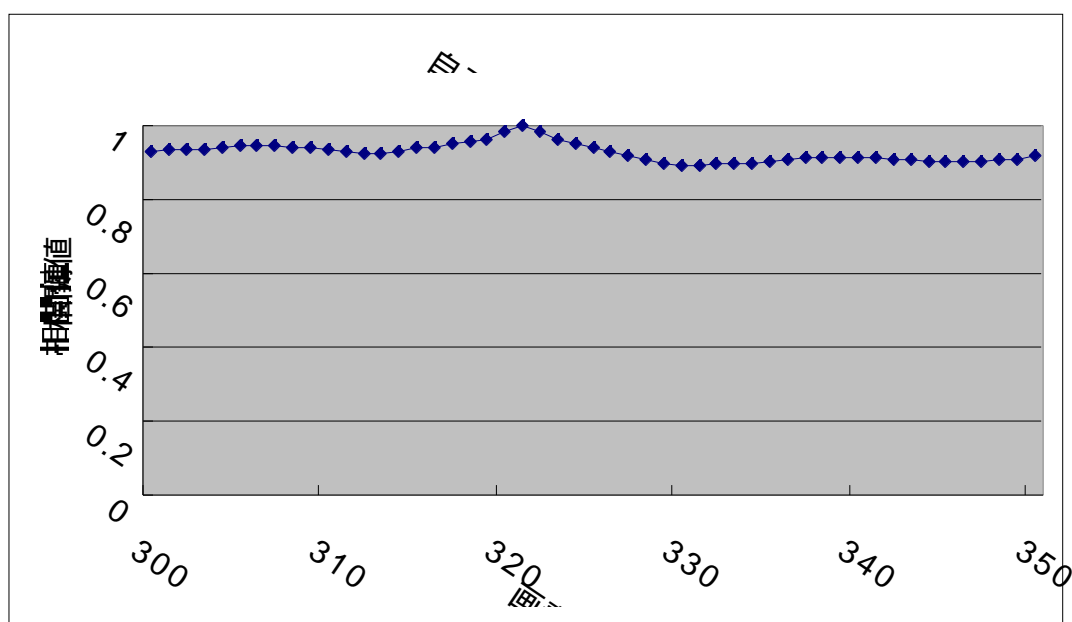


図 2.8 自己相関グラフ(30X30)

また，同じように対象とする画像を変えて，正規化相関を用いる自己相関の結果を次に示す．

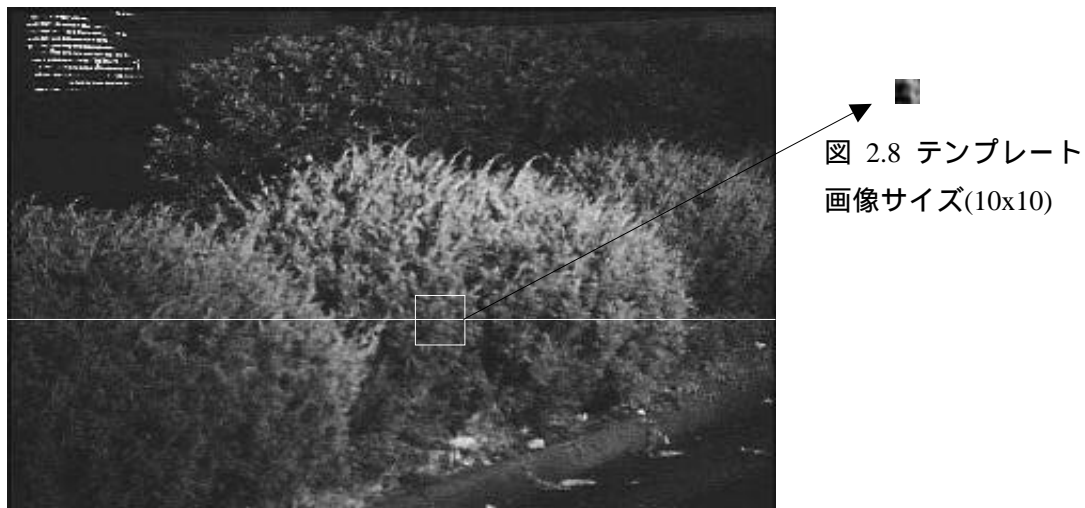


図 2.9 見本（左）画像(720X486)
着目点(350,250)

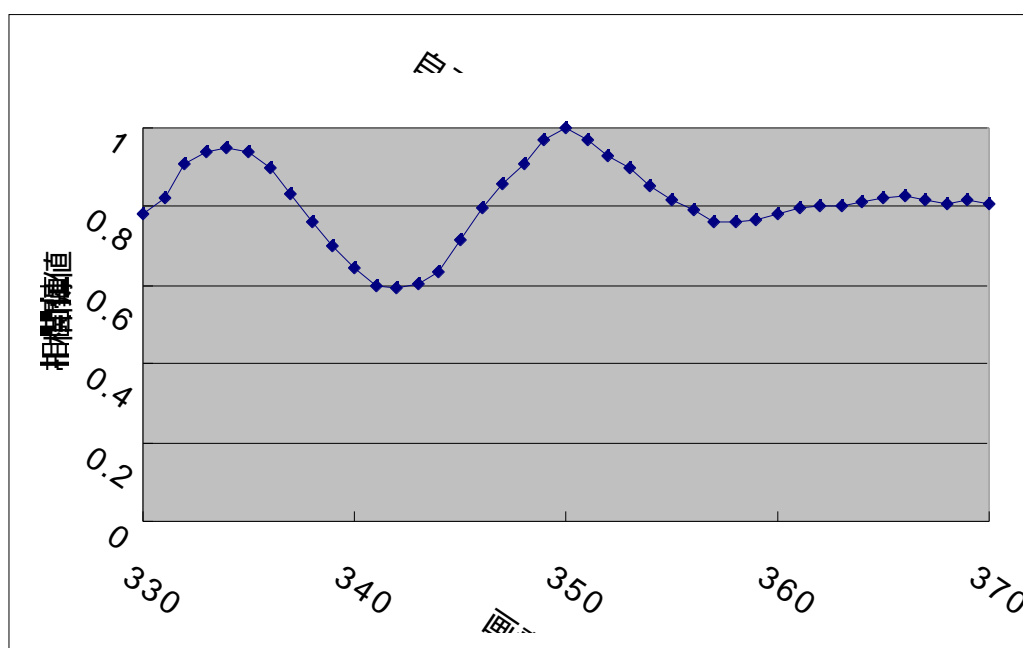


図 2.10 自己相関グラフ(10X10)

先ほどの画像と同じように今回対象となる画像においてもテンプレート画像のサイズを 20x20,30x30 にしても同じ結果が得られた．

3 増分符号相関による植生の性質

3 . 1 増分符号相関

増分符号相関とは，濃淡画像において，近傍明度の増分傾向を統計的にとらえるものである．増分符号相関は，対象の情報をより多くを含む濃淡画像を扱い，大きな例外ノイズや対象物の隠蔽などに対してロバストに照合評価を行うことができる[10]．

3 . 1 . 1 増分符号相関の基本アルゴリズム

見本画像 G 及び対象画像 G' をはじめに増分符号化処理を行う．

$$b(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } g(x,y) \geq g(x-1,y) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

上式で 2 値画像に変換する．このとき，増分符号相関 E_{isc} を双方のビット列の“1”ビット同士及び“0”ビット同士の一致の割合として次式で定義する．

$$E_{isc} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{b_n b'_n + (1-b_n)(1-b'_n)\} \quad (3.2)$$

このとき，相関値の代わりにビット一致数によって照合判定を行うことができる．現在最大値を超える場合には，位置と現在最大値を更新する．以上を繰り返し，対象画像全体の走査を終了したとき，最大値と対応する位置を報告する．以上が基本的なアルゴリズムである．

3 . 1 . 2 増分符号相関についての検討

ここでは，評価関数として，式 (3.2) を用いて植生の特徴の性質を明らかにする．まず，自己相関による検討を行う．見本画像のサイズは，正規化相関に用いたものと同じである．

3.2 増分符号相関による自己相関の結果



図 3.2 テンプレート

画像(10x10)

図 3.1 見本 (左) 画像(720x486)
着目点(250,100),

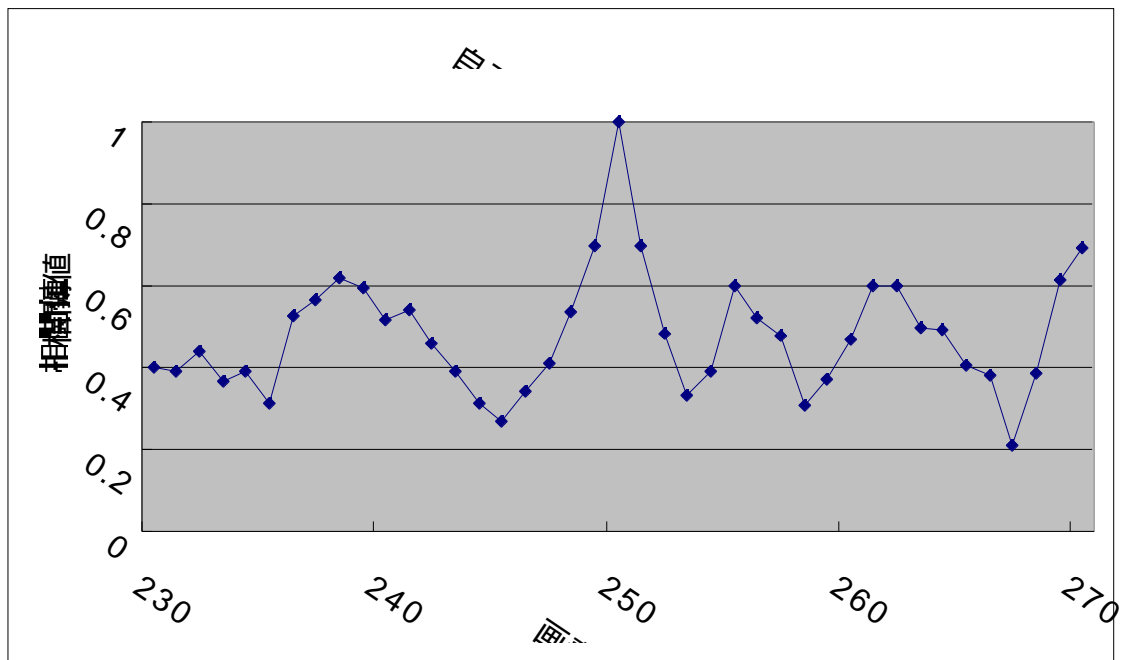


図 3.3 自己相関グラフ(10x10)

同じように切り出し画像のサイズ (20x20) で，増分符号相関を用いて自己相関を求めた結果を表示する．



図 3.5 テンプレート
画像(20x20)

図 3.4 見本 (左) 画像(720x486)
着目点(250,100)

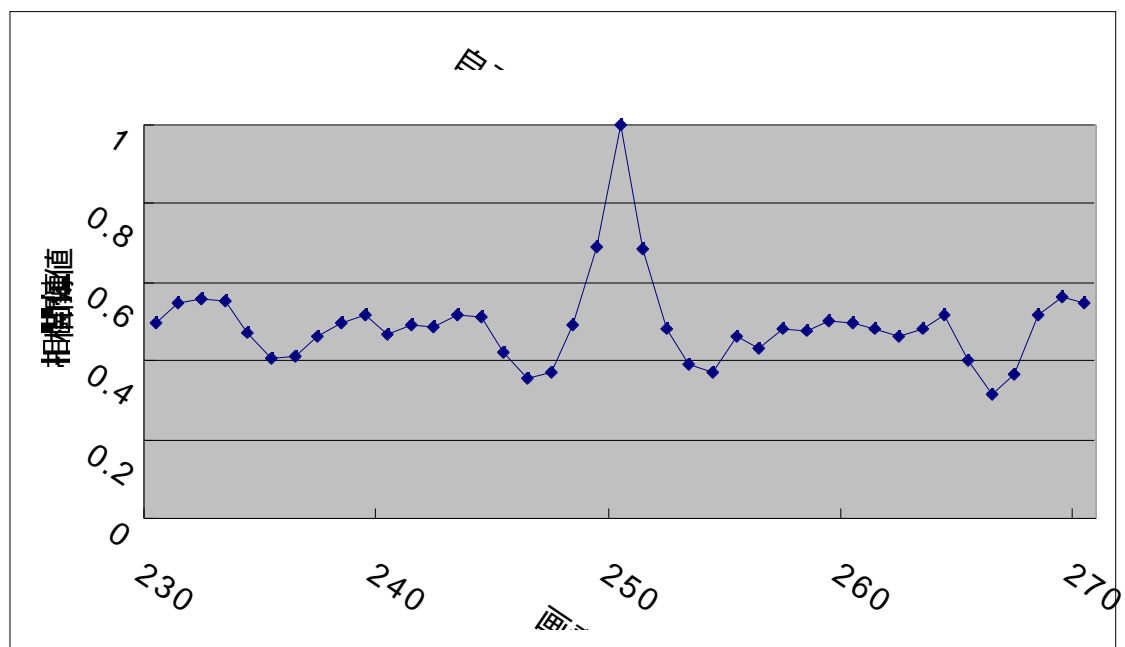


図 3.6 自己相関グラフ(20x20)

ここでは、正規化相関と同じように左画像から画素数（ x 座標）250,（ y 座標）100 を着目点とするテンプレート画像で横 1 ラインを増分符号相関により自己相関をとってみた。結果として、着目点である画素数 (250,100) で相関値が 1.00 になり、その他の点よりピークが際立っている。また、グラフの範囲外にも相関値が 0.6 以上の点は見られなかった。このことより、着目点の独自性が強くなり、ステレオマッチングの対応点探索が行いやすくなると言うことができる。また、対象となる画像を変えて増分符号相関を用いて、着目点を(350,250) として、自己相関の結果を示す。



図 3.7 見本（左）画像(720x486)
着目点(350,250)

図 3.8 テンプレート
画像(10x10)

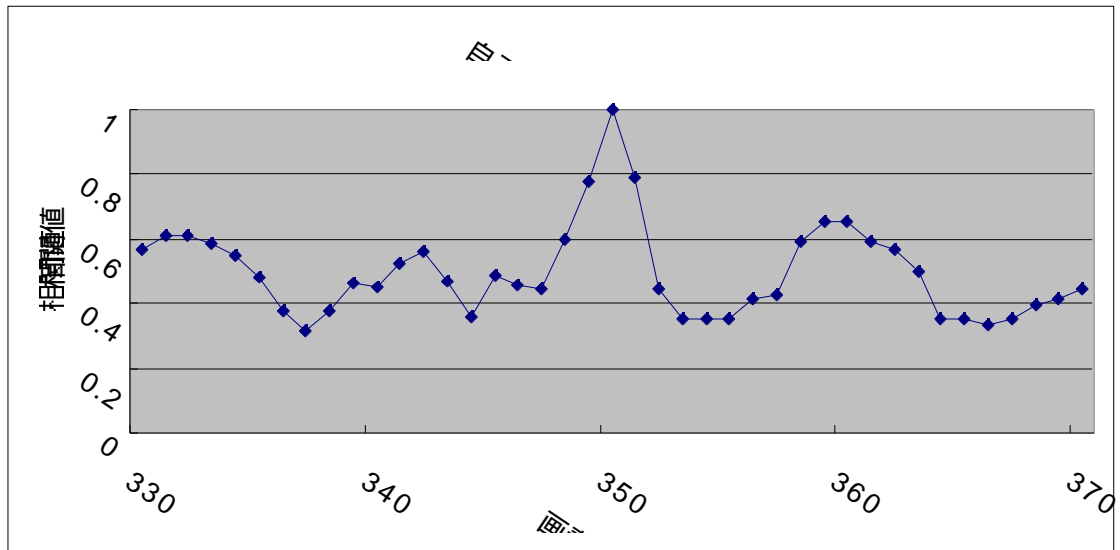


図 3.8 自己相関グラフ(10x10)

同様にして，テンプレートサイズを横 30x 縦 30，横 40x 縦 40 にして，着目点を
変えずに自己相関をとってみた結果を図 3.9，3.10 に示す．

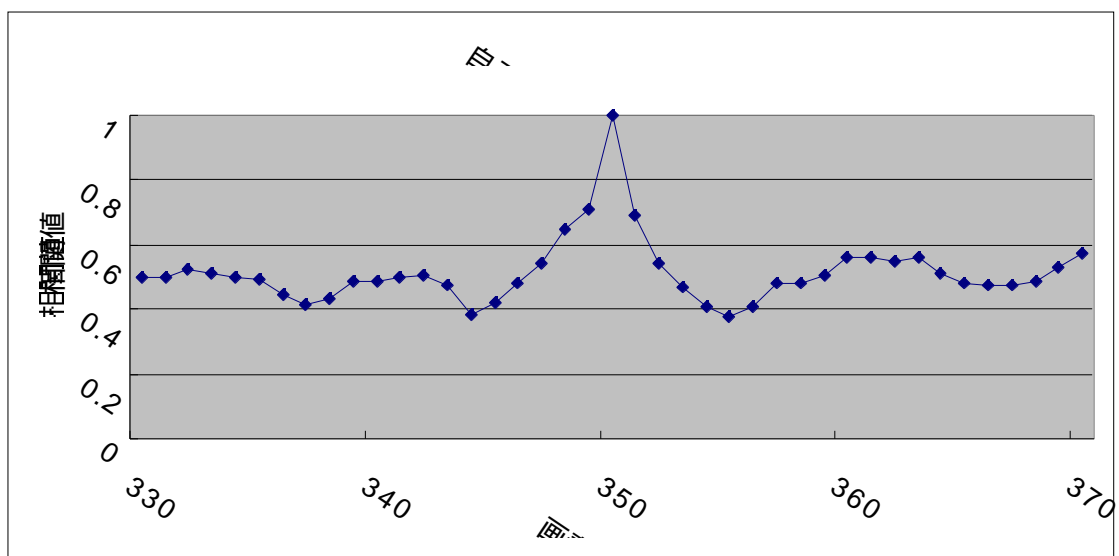


図 3.9 自己相関グラフ(30x30)

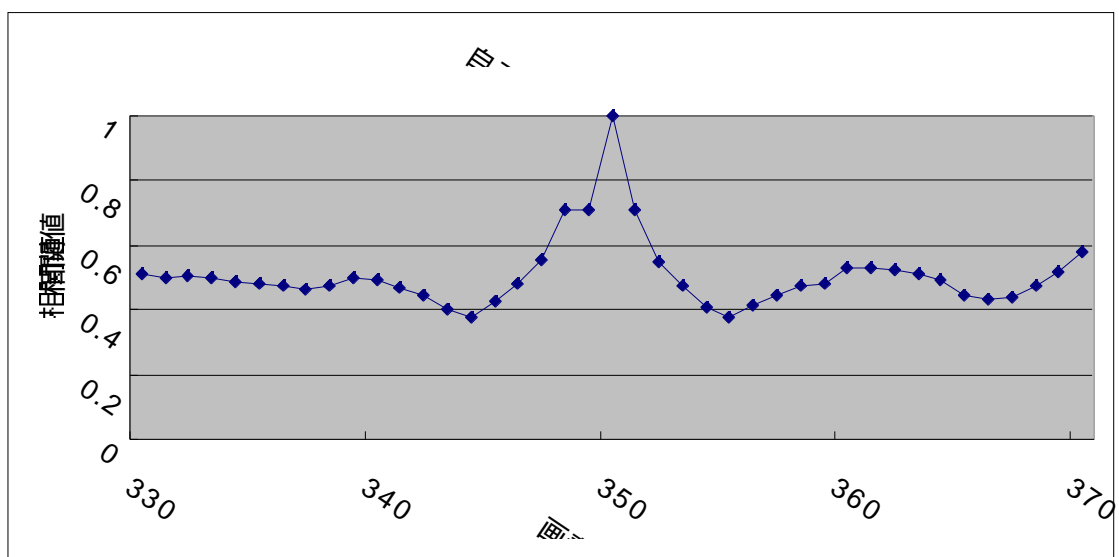


図 3.10 自己相関グラフ(40x40)

以上の結果より本研究では，正規化相関と増分符号相関を比較した結果，増分符号相関を用いる事にする．

4 植生におけるステレオマッチング

4.1 状況設定

ここでの、状況としては、自律移動ロボットが建物・植物等が混在する環境の中を環境認識しながら、移動していくことを考える。このとき、外界センサは、静止した状態での 2 眼ステレオカメラとする。ここでの 2 台のカメラの位置関係・カメラキャリブレーションは厳密にわかっているものとする。このような装置を用い、屋外環境で植生を観測した画像の一例を図 4.1，図 4.2 に示す。

これら 2 枚の画像をステレオ画像として、以後の処理で使用する。そして、この 2 枚の画像間で対応点が取れることを目的にする。

4.2 カメラキャリブレーション

物体上の点がカメラを中心として座標系で表されているならば、その投影位置はカメラモデルから容易に得られる。しかし、物体の座標値は物体固有の座標系で表すほうが便利である。

物体座標で表された点を画面上に投影するには、物体座標系からカメラ座標への座標変換と、カメラ座標から画像面への投影が必要になる。物体座標系からカメラ座標系への変換は、原点位置のずれと座標軸の回転量が変換パラメータになる。このパラメータは物体座標に対するカメラの位置と姿勢を表し、カメラの外部パラメータと呼ばれる。一方カメラ座標系での投影は、焦点距離やレンズ収差などカメラの特性に関係し、これらは内部パラメータと呼ばれる。この内部と外部パラメータを決定するのがカメラキャリブレーションである。



図 4.1 植生の画像（左画像）



図 4.2 植生の画像（右画像）

4 . 3 ステレオ視における植生の性質

前章では，単一画像上における植生の特徴の性質について，自己相関を用いて明らかにした．本章では，視点が異なる 2 枚の画像間つまりステレオカメラでの植生の特徴の性質を明らかにし，対応点を求める．

4 . 4 ステレオ視における見え方の違い

カメラ間のベースラインに比べ，対象までの距離は十分に遠く，2 視点間で局所的な特徴には見え方の変化は微小とする．しかし，視点の違いにより，見え方は微妙に変化するので，局所的な相関により，対応点を決定する際，正しい対応点でも，評価値は 1.00 にはならない．それでも，オクルージョンが起きていない場合，ローカル・テクスチャの変化は微小であるために，対応付けは可能であると考えられる．

5 相互相関による対応点探索

5.1 相互相関についての検討

切り出し画像のサイズにより相関値がどのような影響を受けるかを検討する．増分符号を用いた自己相関については前章に示した通り，範囲のサイズにほとんど関係せず偽のピークは存在しなかった．本章では，相互相関による検討を行う．

相互相関とは，自己相関と同じ様にまず見本画像（左画像）から着目点の切り出し画像を切り出す．カメラの高さは，2つのカメラ間で等しいので，対象画像（右画像）に対して，見本画像と同じ y 座標について横 1 ライン走査を行い，相関値を求める．その求められた相関値について，切り出し画像のサイズを何種類かについて，オクルージョンが発生していない場合について検討してみる．

図 5.1，図 5.4 の切り出し画像の着目点は，自己相関の時と同じで，左画像の(250,100)である．

5 . 2 増分符号相関による相互相関の結果



図 5.1 左画像

図 5.2 テンプレート
画像(10x10)



図 5.3 右画像

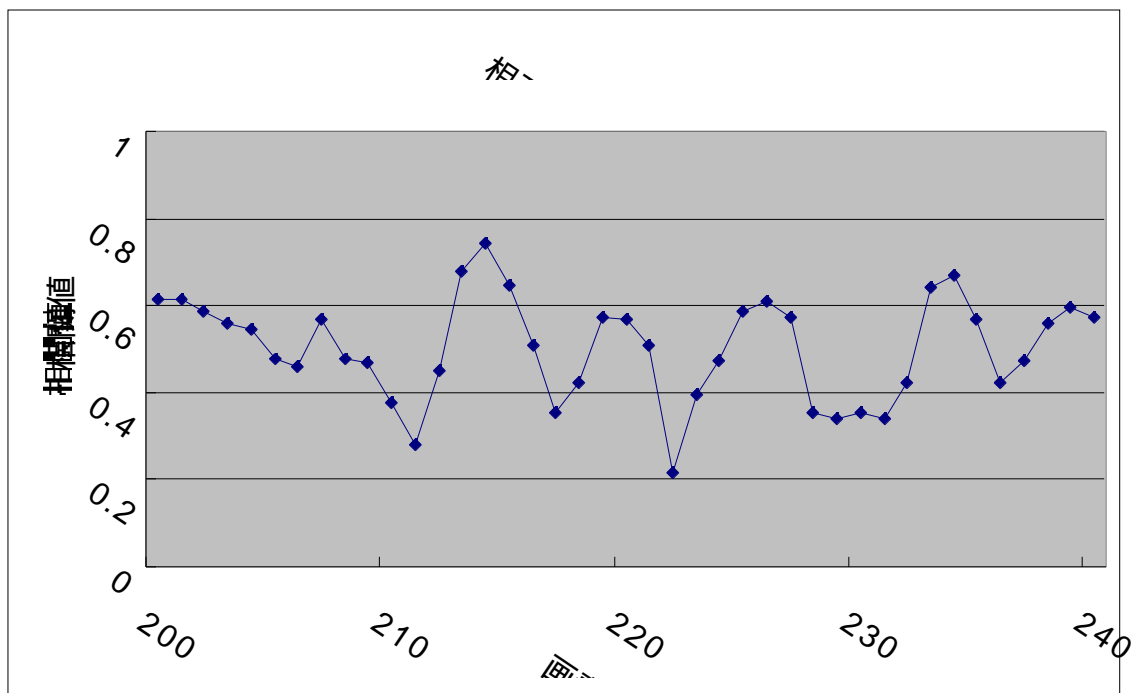


図 5.3 相互相関グラフ(10x10)

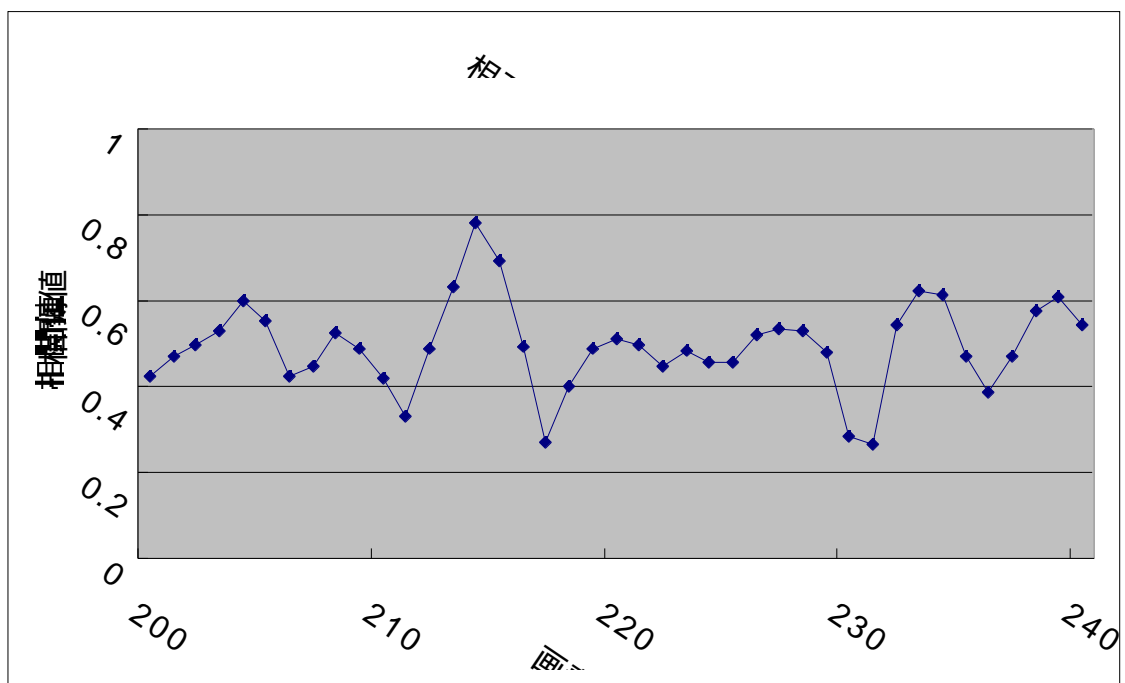


図 5.6 相互相関グラフ(20x20)

同様にして ,テンプレート画像のサイズを横 30(pixel)x 縦 30(pixel) ,横 40(pixel)x 縦 40(pixel)の相互相関のグラフを下に示す .

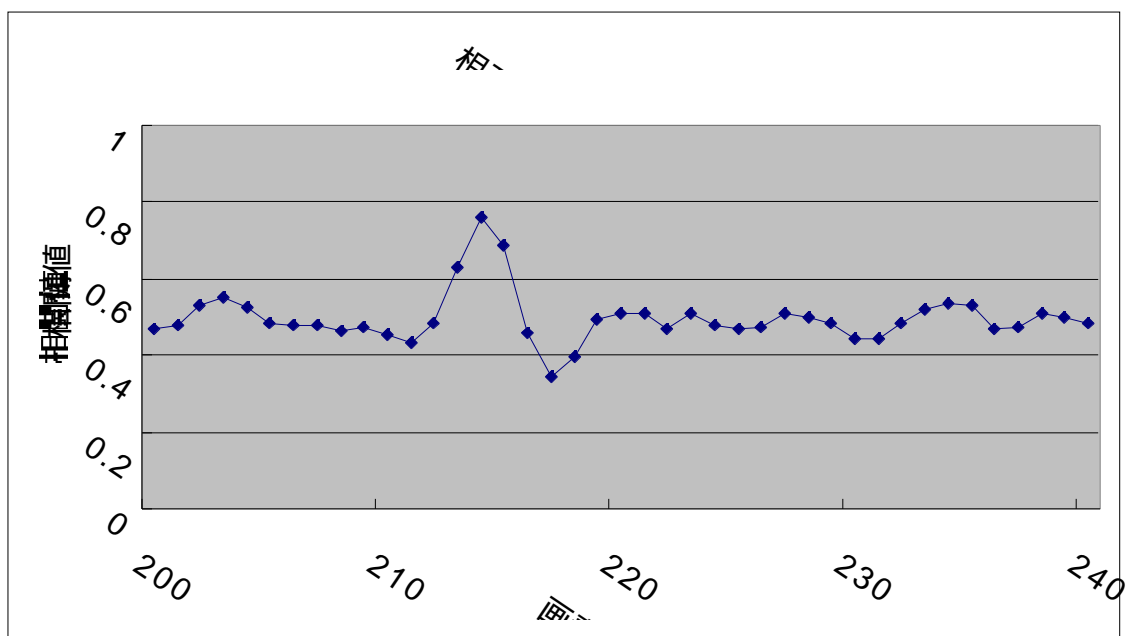


図 5.7 相互相関グラフ(30x30)

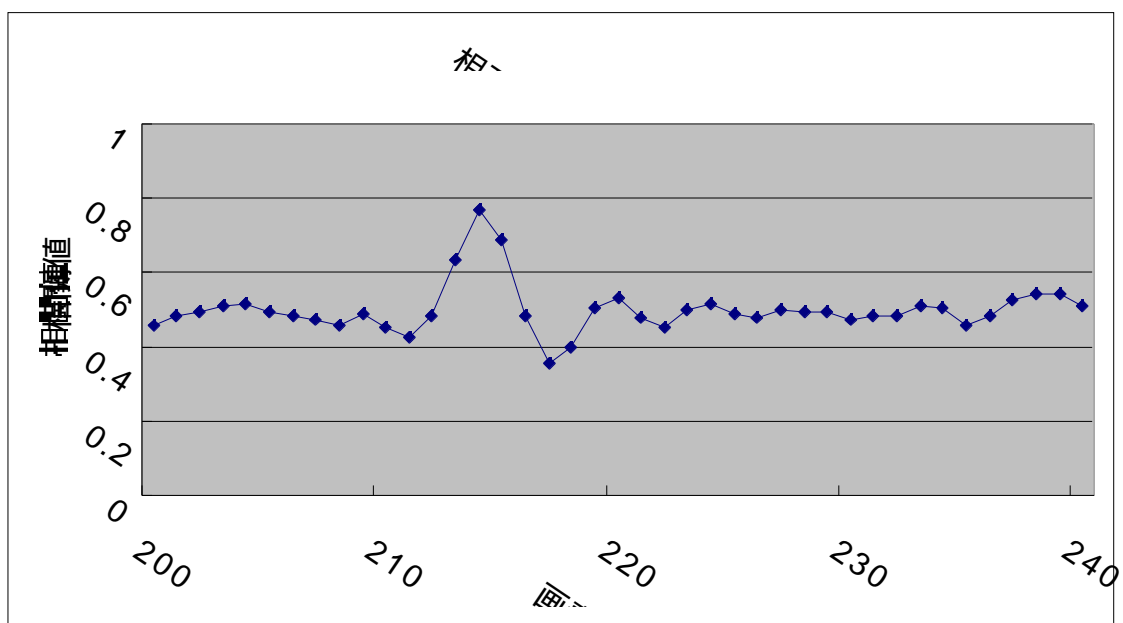


図 5.8 相互相関グラフ(40x40)

5.3 テンプレート画像のサイズによる影響

テンプレート画像のサイズを横，縦それぞれ(10x10),(20x20),(30x30),(40x40)で相互相関を計算したグラフから，小さいテンプレート画像のサイズの場合，偽りのピークが多数存在し誤対応を起こす可能性が高い．また大きいテンプレート画像のサイズの場合，大きくしていくごとに偽りのピークが減り，またピークが際立ってくる．このことにより対応点を決定する信頼度が増す．しかし，テンプレート画像のサイズが大き過ぎると，広範囲の特徴を利用することになり，視点移動による見え方の変化を受け易くなる．そこで，確実に正しいマッチングを行うためには，マッチングに対する信頼性を保ちながら，極力小さいテンプレート画像のサイズで探索を行う必要がある．このことより，本研究では，テンプレート画像のサイズを横 30(pixel)x 縦 30(pixel)にし，相関値が最も高い点を対応点として決定することにする．

次に，相互相関の有効性を示すためにテンプレート画像の着目点を変えて検討する．着目点を x 座標(400),y 座標(140) ,テンプレート画像のサイズ横 30(pixel)x 縦 30(pixel)での相互相関の結果を示す．

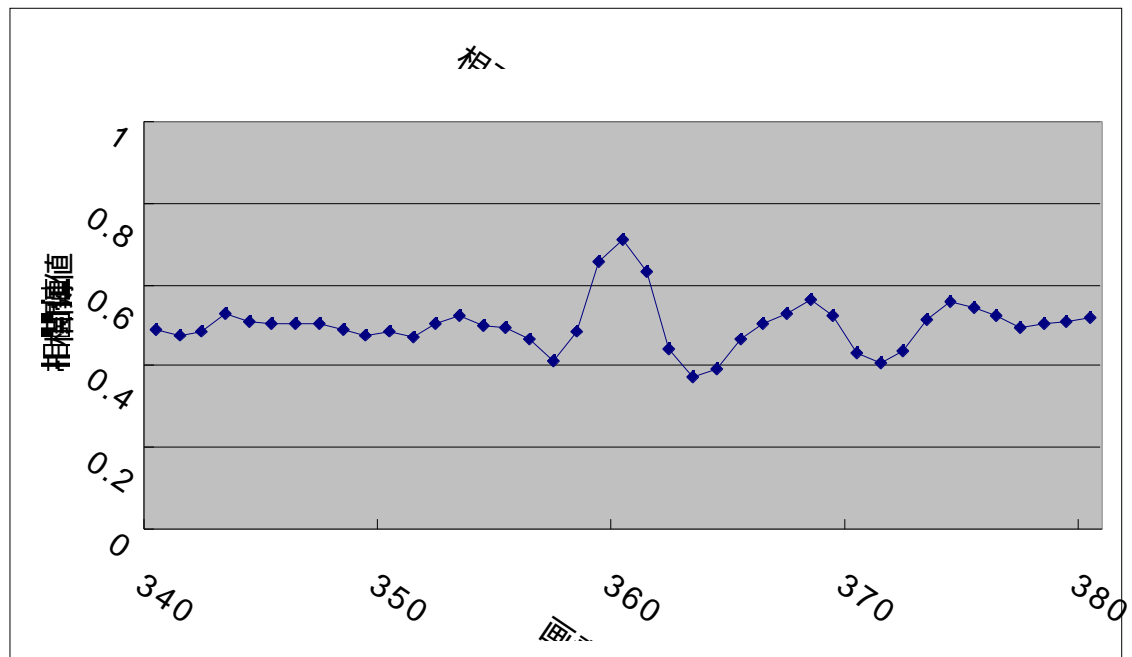


図 5.9 相互相関グラフ(30x30)

同様に対象とする画像を変え，テンプレート画像のサイズの影響と対応点探索について検討する．左画像の注目点の座標 (350,250) からテンプレート画像のサイズ (10x10), (30x30) の画像を切り出し，左画像と同じ y 座標について横 1 ライン走査して相関値を調べる．



図 5.10 左画像



図 5.12 右画像

図 5.11 テンプレート
画像(10x10)
切り出し座標(350,250)

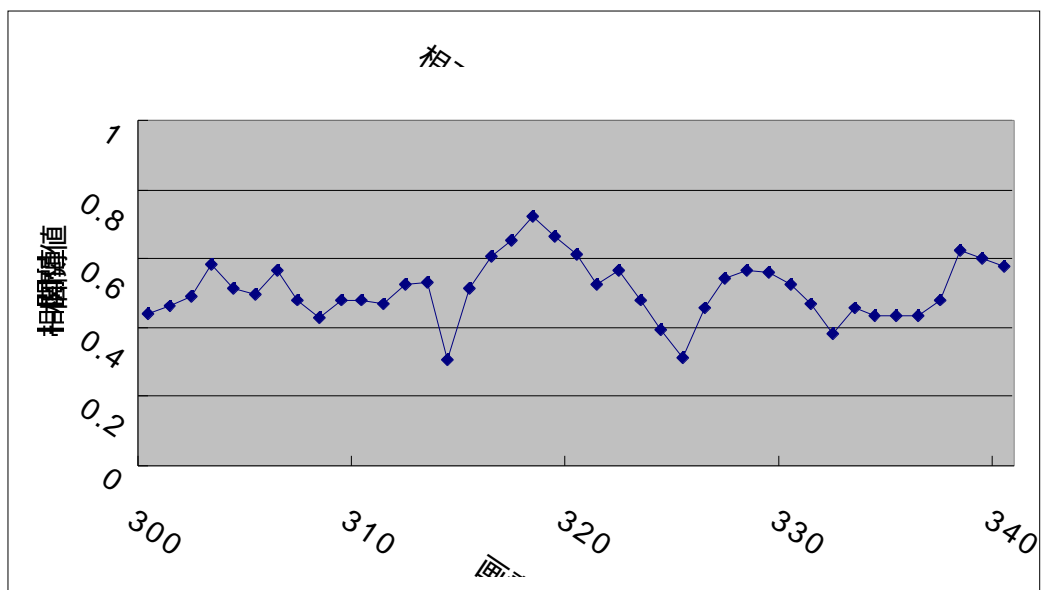


図 5.13 相互相関(10x10)

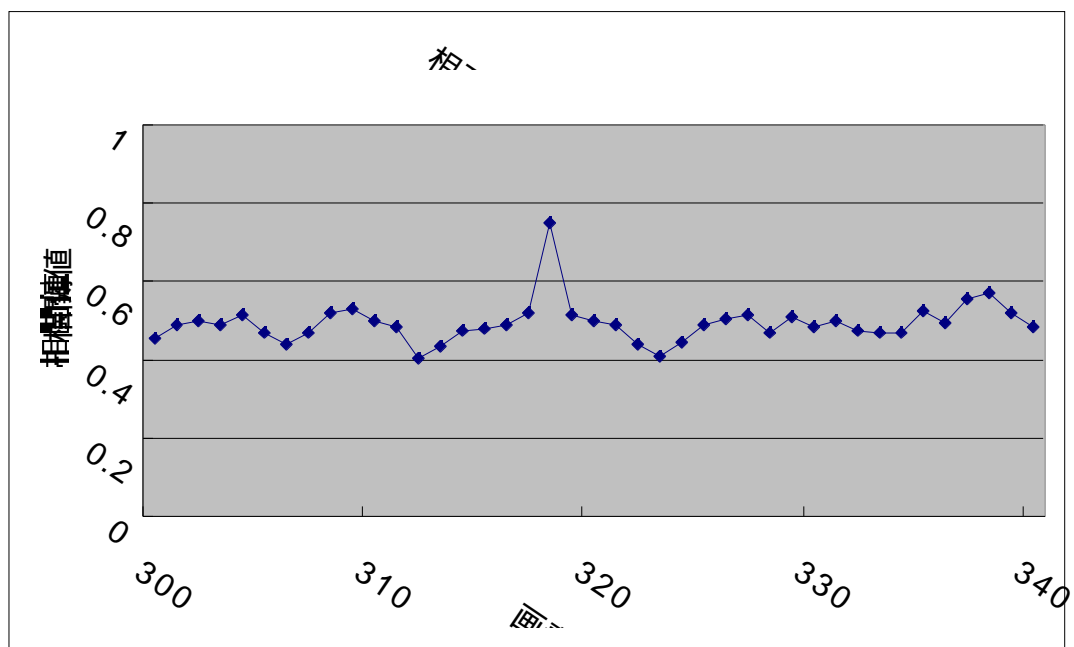


図 5.14 相互相関(30x30)

6 距離画像出力

6 . 1 距離データの取得

前章までに、増分符号相関を用いた相互相関により対応点の探索・決定を行った．その求まった対応点より距離データを取得する [11]．ステレオカメラを用いているので、左画像の点 (x_L, y_L) が右画像の点 (x_R, y_R) に対応する時、植生上のワールド座標 (x, y, z) は

$$x = \frac{b(x_L \times x_R)}{2d} \quad (6.1)$$

$$y = \frac{b(y_L \times y_R)}{2d} \quad (6.2)$$

$$z = \frac{bf}{d} \quad (6.3)$$

ここで、 f は焦点距離、 b は基線長、 d は視差で、

$$d = x_L - x_R \quad (6.4)$$

である．したがって、 f, b が本研究では既知なので、植生の3次元位置 (X, Y, Z) が計算される．また本研究では

$$y_L = y_R \quad (6.5)$$

が成り立っている．

上式から得られた距離情報から距離画像を出力する．

6 . 2 距離画像の出力

前章で得られた奥行き値 (Z) を，奥行きの最小値を 1000[mm]，最大値を 8000[mm]として，手前の点ほど白い画素として表現した 256 階調の距離画像として出力する．



図 6.1 左画像



図 6.2 右画像

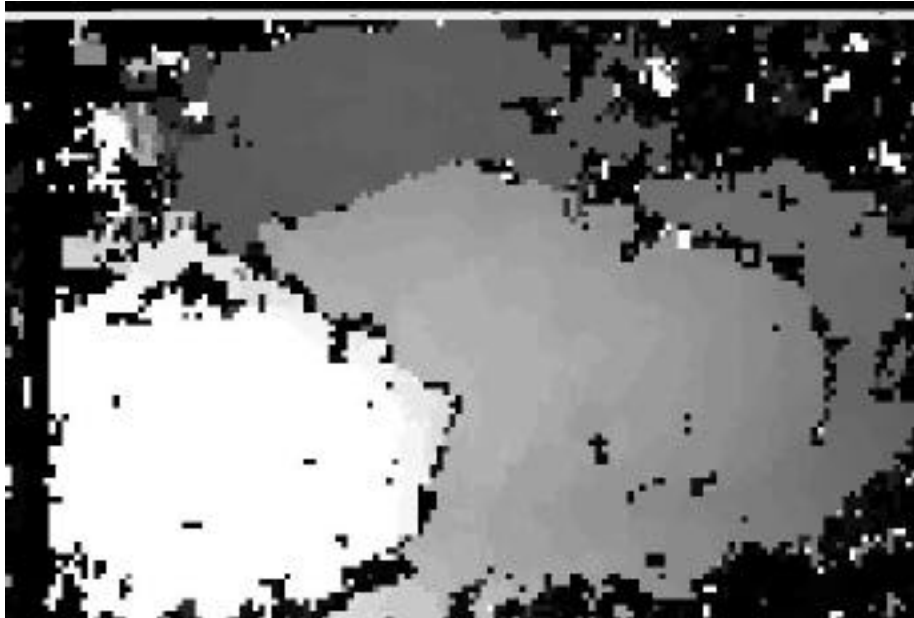


図 6.3 距離画像

この結果より、植生について対応点が決定されており、また奥行きが遠くなるにつれて、距離画像が次第に白色から黒色に変化していく様子が得られている。よって、植生について距離データを取得することができたと言える。

6 . 3 領域分割

領域分割の目標は、画像の特徴を用いて、ここの画素を領域と呼ばれる画素の集合に対応付けることである [12]。領域分割は、最も簡単な種類から始めてより複雑なものへと進めることにする。最も基本的な領域分割法は、領域を求めるために、画素の局所的な性質の集合を行う方法である。より工夫された手法は、より基本的な領域を併合させることによって、領域を“成長”させるものである。構造化された方法で、これを行うためには、領域と境界に手の込んだ表現を与える必要がある。さらに、併合を決定することは複雑でありうるし、また領域の意味に加えて領域を分割する境界の構造の記述法にも依存しうることである。本研究では、前章で出力した距離画像において滑らかな濃淡が変化する領域には同じラベルを付け、また濃度値を閾値として、急激に濃淡値が変化する領域に違うラベルを付けていくというラベリングを行う。また濃淡値が同じ領域の中でも急激に変化し、また滑らかな変化をする場合には、同じ領域の中で最小のラベルつけていく。このラベリング処理を繰り返し行い、それぞれの領域を色によって分けることを行う。その結果を図 8.2 に示す。

図 8.2 の結果より、同一の植生では、濃度値は滑らかに変化していくので、同じ色がつけられ、急激に濃度値が変化する別の植生では、違う色がつけられた。このことより、重なり合う植生を個々の植生と認識できたということができる。

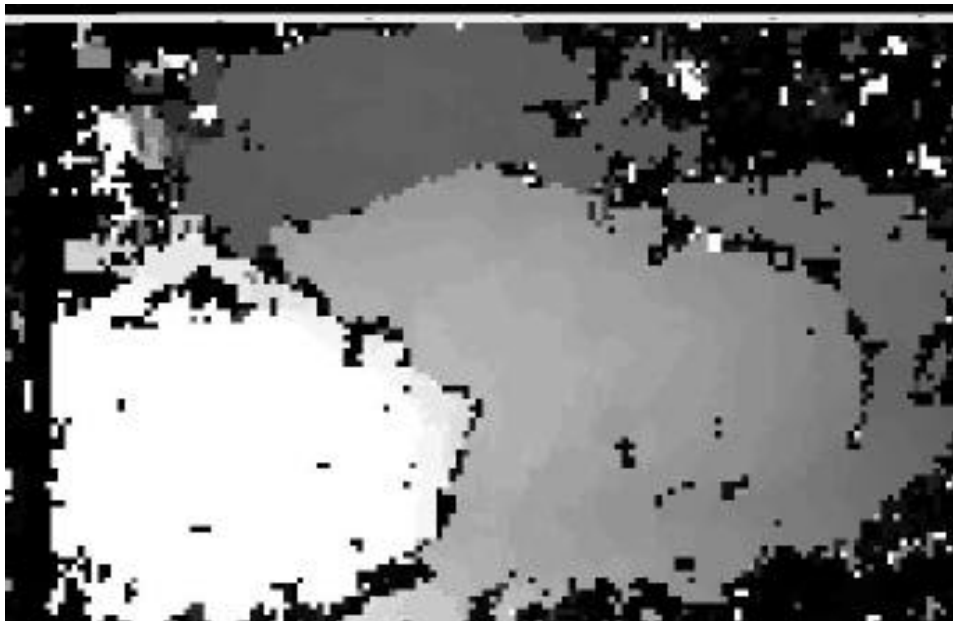


図 6.4 距離画像

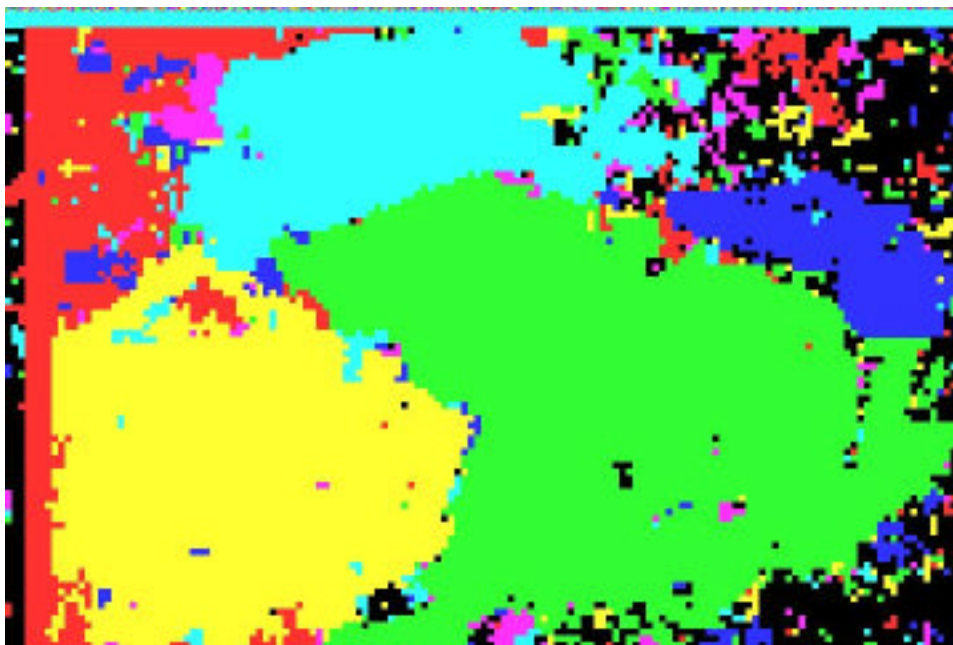


図 6.5 領域分割結果

7 むすび

本研究では、屋外環境における植生の形状の認識を行うための検討を行った。第2章では、屋外環境における植生の定義を行った後に植生の画像上における特徴の性質を明らかにするために、正規化相関により検討を行った。しかし、今回対象とする植生は、類似した特徴を多数持っているため、正規化相関で、自己相関をとってみた結果は着目点以外にも相関値が高い点が多数見られ、着目点におけるピークが際立たず、その結果として、ステレオ画像間で対応をとる事を困難にすると考えられる。そこで、第3章では増分符号相関を用いて自己相関をとってみることにする。増分符号相関は、近傍明度を統計的にとらえるものであり、今回対象としたような植生のように類似した特徴を多数もつものでも相関値が際立つと考えた。結果として増分符号相関を用い自己相関をとった結果、相関値が着目点でピークが際立った。この結果より、増分符号相関を用いる手法の方が、正規化相関を用いるよりも、着目点のピークが鋭くなり、対応点を探索する時に、誤対応を引き起こす確率が低くなると考えられる。

次に第4章では、単一画像上ではなく、ステレオ画像つまり2枚の画像間で植生がどのような性質をもっているかを検討した。第5章では、第3章で述べた増分符号相関を用いて、相互相関による対応点探索を行った。相互相関において、局所的な見え方の変化があるので相関値は1.0にはならない。相関値の値は0.6~0.8の間であった。また切り出し画像の範囲によっても、相関値のグラフが大きく変化することについて検討を行った。切り出し画像の範囲が局所的つまり横10画素 x 縦10画素(10x10)や(20x20)のような場合、偽りのピークが多数存在し、相関値が最も高い点でピークが際立たず、また他の点でもピークが見られた。このことは、自己相関の場合と同じで対応の信頼性が低いと考えられる。そこで本研究では、切り出し画像のサイズを(10x10),(20x20),(30x30),(40x40)の5つのパターンで試してみた。その結果切り出し画像のサイズを大きくしていくにつれて、ピークが際立っていくことが確認された。このことは、対応点の探索・決定の信頼性が高くなるということが言える。しかし、切り出し画像のサイズを大きすぎると、高範囲の特徴を利用することになり、視点移動による見え方の変化を受けやすくなるので、本研究では、切り出し画像のサイズを横30画素 x 縦30画素にして、増分符号相関を用いて対応点を決定した。

第6章では、第5章で求めた対応する点から三次元データを取得した。そして、その距離データを使い、手前の点ほど白い画素として表現した256階調の距離画像として出力した。そして、出力した距離画像を、濃度値を閾値に設

定して，ラベリング処理による領域分割を行った．その結果，重なり合っている植生を分割することができた．植生を分割することにより自律移動ロボットが屋外環境を移動する際に，植生を認識することができるようになると思われる．

今後の課題としては，様々な実験環境 において実験を行ってみることや，対象となる植生を変えてみるものがあげられる．

謝辞

本研究を行うにあたり，親身になって多くの有用な助言をくださいました大島正毅教授，そして実験・発表について助言をくださいました本多健二技官，研究発表のたびに多くの助言をくださった研究員の長谷川為春さん，また増分符号相関を用いるというアイデアと助言をくださった修士の馬原徳行さん，そしてコンピュータや実験機材の使い方の説明から実験の手伝いまで行ってくれた修士の天野敬久さんを始め，修士の平澤雅人さん，そして他の情報システム研究室のみなさんに，心から感謝しております．

参考文献

- [1]橋本学，丹下哲司，鷺見和彦：“低解像度距離画像と濃淡画像を用いた物体移載ロボット用視覚システムの構築”，電子情報通信学会論文誌，D-，Vol.84,No.6,pp985-993
- [2]河井良浩，植草俊夫，吉見隆，大島正毅：“多視点レンジデータからの3次元形状復元”，電子情報通信学会論文誌，D-，Vol.J75-D-，No.4,pp737-748
- [3]浅田 稔，“センサ情報の統合と理解による移動ロボットのための世界モデルの構築” JRSJ,Vol.8,No.1,pp.28-38
- [4]田尻大地，大島正毅：“ロボット作業のための面・エッジを用いる位置・姿勢の教示に関する研究”，東京商船大学修士学位論文,2000 年度
- [5]武田浩志，全炳東，大島正毅：“植生形状再構成のためのステレオマッチング”，第26回画像工学コンファレンス，東京.1995.
- [6]星野准一，“局所的な輝度変動に安定なステレオ法”，電子情報通信学会論文誌，D-，Vol.;J82-D-，No.9,pp1536-1538,1999.
- [7]画像処理標準テキストブック，pp271-273
- [8]石山豊，角保志，河井良浩，植草俊夫，富田文明：“セグメントベーストステレオにおける対応候補探索”，信学技報，Vol.96,No.136,1997.
- [9]奥富正敏：“ステレオ法がなぜ難しいか”，日本ロボット学会誌,Vol.16,No16,pp.773-777,1998.
- [10]村瀬 一郎，金子 俊一，五十嵐 悟，増分符号相関によるロバスト画像照合，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.J83-D- no.5 pp.1323-1331
- [11]奥富正敏：“ステレオ視”
- [12]将東波，大島正毅：“植生の3次元情報による領域分割”，東京商船大学修士学位論文