

Title	表面が連続的に変化する自転球体のステレオ立体視化に関する研究
Author(s)	SURYONO
Citation	
Issue Date	1997-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1106">http://hdl.handle.net/10119/1106</a>
Rights	
Description	Supervisor:小谷 一孔, 情報科学研究科, 修士

# 修 士 論 文

## 表面が連続的に変化する自転球体の ステレオ立体視化に関する研究

指導教官 小谷一孔 助教授

北陸先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科情報処理学専攻

SURYONO

1997年8月14日

## 要 旨

物体の3次元情報(奥行き)を得たいと考える者が一つの方法を思い付くのは、左眼の像と右眼の像との違いを利用して奥行きを判断しているというものである。普通には、この方法をステレオ立体視と呼ぶ。2台のカメラ、もしくは1台のカメラを平行に保ちつつ距離(基線長)を離し、異なる視点の2枚画像ペアを作成する。この2枚の画像上における座標の視差(ディスパリティ)を計算し、画像の3次元奥行きの情報を得ることが出来る。しかし、最も難しいのは2枚の画像中の対応点の決定である。複数の基線長を利用したステレオマッチング法[1]、動的計画法を用いたステレオマッチング法[8]、回転によるステレオ視[7]方法などが提案されていた。従来のステレオ立体視に関する研究は、大部分が画像間のディスパリティを求めるためのステレオマッチング法やカメラの動きによるステレオ画像ペアの推定に関するものである。これらの方法は複数のカメラを利用した立体視化であり、観測衛星のように必要な視差が得られるよう複数カメラを設置するのが困難な場合には、これらの方法は無効になる。

立体画像を入力する方法には複数の固定カメラにより異なる視角を得る方法と単一のカメラを移動あるいはカメラを固定して物体を回転させる方法などがある。ステレオ立体視による方法では、観測衛星のように必要な視差が得られるよう複数カメラを設置するのが困難な場合には単一のカメラを軌道上で移動させるか、静止しておいて対象物体が自転するのを利用するなどの方法がとられる。この場合、対象物体が剛体であれば、カメラを移動している間、または物体が自転している間に形状が変形しないので正確な立体画像が表示できるが、変形する物体ではステレオ画像ペア間に誤差が生じて立体感を損ねてしまう。ディスプレイ上に立体画像観察するための液晶シャッターメガネで画像を見るときに、画像の変形した部分の立体感を損なう。

そこで本論文では、時間空間的に物体の表面が滑らかに変化するための画像ペアの誤差を補正について提案する。また補正された画像ペアを用いて立体画像表示を行う。本手法は、まず表面が滑らかに変化する自転球体をコンピュータグラフィックス (CG) でモデル化を行い、異なる時刻あるいは異なる回転角度において撮影された 2 枚のステレオ画像ペアを構成する。本研究で扱う対象物体としては自転する球体を制限し、画像ペアの入力方法は単一の固定カメラを利用する仮定である。また扱う実画像は X 線太陽観測衛星「ようこう」から撮影された X 線画像データである。

本研究の具体的な内容は以下の通りである。

- 物体表面の変形と自転球体のモデル化を行う

実動物体の中では剛体と非剛体という物体が存在する。単一固定カメラで画像ペアを作成するとき、異なる時刻で左右画像を取る込むので、自転球体は非剛体球体の場合、変形する球体の部分を立体表示することが出来なくなる。そこで上記で述べた時間空間的に滑らかな非剛体球体の動き・変形をモデル化する。具体的には、X 線太陽観測衛星「ようこう」の X 線太陽画像に基づき、モデル化して研究を行う。太陽のコロナの動き・変形を中心にして、移動・拡大縮小という 2 つの変形がある球体の表面をモデル化に反映させる。また球体モデルの表面の変形は時間空間的に滑らかに変形し、時間空間的に不連続な変形が含まないと仮定する。消滅・発生、複雑な変形と照明の影響がないと仮定する。モデル化については 2. に詳しく述べる。

- 画像ペア間の立体感誤差を補正するためのモルフォロジー処理法を提案する

上記で述べたように、自転非剛体球体の場合、異なる時刻で左右画像を撮影するので球体の表面の変化部分にはミスマッチングが生じる。また、立体画像表示する時にも変形する部分のところには立体感を失ってしまう。この問題を解決するために、いくつかのモルフォロジー処理 (erosion、dilatation) の構造化要素 (マスク) を用いて画像ペアの補正を行う。表面変化によって、適当な構造化要素を選んでフィルタリングを行う。この dilatation, erosion の処理の回数と構造化要素間の組合せの決定方法は、SSSD の値によるパターンマッチング法を使用する。Erosion と dilatation の構造化要素については 4 に詳しく述べる。

- 画像ペア間の対応付けを決定するためにパターンマッチングを行う

画像ペアの誤差を補正するために、数回の dilatation, erosion の処理を行い、表面の変

化によって適当な構造化要素間の組み合わせる。その処理回数と構造化要素の類を決定方法は、残差逐次検定法 (SSDA、Sequential Similarity Detection Algorithm) によるパターンマッチング法を行い、各画素に対する SSSD の値を最小化する処理が、回数とマスクの種類と決定される。マッチング法は、通常適当なサイズのテンプレートを選び、異なる時刻の画像ペアでの対応付けを行う。本研究で扱うテンプレートサイズは  $3 \times 1$  画素である。SSDA については 5. に詳しく述べる。

- X線太陽観測衛星「ようこう」から撮影された実画像に対する本手法を適用する最後に X線太陽観測衛星「ようこう」から撮影された実画像に対して本手法の適用する。モルフォロジー処理で補正した 2 枚の X線太陽画像を使用してディスプレイ上に立体画像を表示し、液晶シャッターメガネで観察して、本手法の有効性を評価する。

本研究の今後の課題として、より高精度の画像ペアの補正方法の検討が必要となる。

# 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	1
<b>2</b>	<b>ステレオ立体視</b>	<b>3</b>
2.1	用語の定義	3
2.2	両眼立体視	5
2.2.1	2枚の画像間の視差 (Disparity)	5
2.2.2	回転によるステレオ立体視	6
2.3	単眼立体視	8
<b>3</b>	<b>対象物体モデル</b>	<b>11</b>
3.1	モデル化の背景	11
3.2	対象物体の範囲の定義	12
3.3	自転球体モデルの作成	13
<b>4</b>	<b>パターンマッチングによる画像ペアの対応付けの決定法</b>	<b>16</b>
4.1	モルフォロジー処理による画像ペアの補正	16
4.1.1	dilationとerosion	17
4.1.2	dilationerosionの構造化要素	19
4.2	残差逐次検定法	28
4.3	観測者の距離を用いた奥行き調整	29
<b>5</b>	<b>実画像データ</b>	<b>31</b>

5.1	太陽	31
5.2	YOHKOH の X 線画像データ	34
5.2.1	太陽画像	34
5.2.2	太陽の回転角度の計算仕方	37
<b>6</b>	<b>実験結果</b>	<b>38</b>
6.1	システム構成	38
6.2	自転球体モデルの実験結果	39
6.2.1	モルフォロジー処理による画像ペアの補正結果	39
6.3	実画像での実験結果	64
<b>7</b>	<b>まとめ</b>	<b>70</b>

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究の背景

立体画像を視覚的に再現する方法には、視差を利用した両眼立体視（ステレオ立体視）と大きさやきめの勾配、動き速度の違いなどを利用した単眼立体視とがある。また、立体画像を入力する方法にも複数の固定カメラにより異なる視角を得る方法と単一のカメラを移動あるいはカメラを固定して物体を回転させる方法などがある。

ステレオ立体視による方法では、観測衛星のように必要な視差が得られるよう複数カメラを設置するのが困難な場合には単一のカメラを軌道上で移動させるか、静止しておいて対象物体が自転するのを利用するなどの方法がとられる。この場合、対象物体が剛体であれば、カメラを移動している間、または物体が自転している間に形状が変形しないので正確な立体画像が再現できるが、変形する非剛体物体ではステレオ画像ペア間に誤差が生じ、立体感を損ねてしまう。異なる視角の画像の変形した部分からモルフォロジー処理により正確なステレオ画像ペアを補正し、視覚的な立体感を良好に再現することが必要となっている。

### 1.2 研究の目的

本研究では、自転する非剛体物体（変形・動きが緩やかで滑らかな物体）を単一の固定カメラで撮影したデジタル画像から正確なステレオ画像ペアを補正し、液晶シャッタ付き眼鏡を使用し、コンピュータのディスプレイ上で立体画像を表示する。



検討の手法として、まず、対象物体をコンピュータグラフィックス (CG) でモデル化し、物体の表面を変化させることによって、ディスパリティ誤差を補正する。また、物体の回転角度を  $5^\circ$  を決め、回転角度 (時刻) の異なる 2 枚の画像ペア (左右画像) を生成する。次にモルフォロジー処理を用いてステレオ画像ペアを補正し、誤差のために失った立体感を復元する。左右の画像中の、対応する点同士の位置の差である視差) ディスパリティ (disparity) を計算することによって、モルフォロジー処理の回数と構造化要素を決定する。補正画像とパターンマッチングによる求めたディスパリティ値を用いてステレオ左右画像を再構成する。最後の処理は、液晶シャッター付けメガネを用いたディスプレイ上の立体表示と解析的な立体表示を行う。X 線太陽観測衛星「ようこう」で得られた X 線実画像に適用して本手法の有効性を評価する。

## 第 2 章

# ステレオ立体視

### 2.1 用語の定義

- 両眼視差 (binocular parallax) 両眼非対応 (binocular disparity)  
同じ対象を見ている際にも、観察位置が異なれば、やや違った映像が網膜に投影される。人間の両眼は 6cm ほど左右にずれているから、同じ対象でも両眼に投影される網膜像は異なっている。両眼視差を数量的にしめすには、2 対象間の視角が左右眼でどれだけ違うかを示せばよい。
- 基線 (baseline) エピポーラ線 (epipolar line)  
2 つのカメラのレンズ中心を結ぶ線を基線 (baseline) と呼ぶ。左画像の特定の 1 点に対応する右画像の 1 点はある特別な直線上になければならない。なぜならば、2 点は同じ  $y$  座標をもつからである。この線がエピポーラ線 (epipolar line) である。
- 画像スケーリング (Image Scaling)  
図 2.1 に示すように、ステレオ画像を表示するとき画像の奥行きはディスプレイ画面から観測者までの距離に依存する。観測点の位置を固定して、ディスプレイ画面から観測者の位置が離れば離れるほど画像上の視差が減少する。逆に、観測者はディスプレイ画面の方へ近付くれば、画像上の視差が増加する。図 2.2 の場合は画像上の視差を固定して、観測者の位置を変化する。観測者の位置はディスプレイ画面から立ち去ると、画像の奥行きが引き延ばし、逆にディスプレイ画面へ近付くと、画像の奥行きが引き締める。

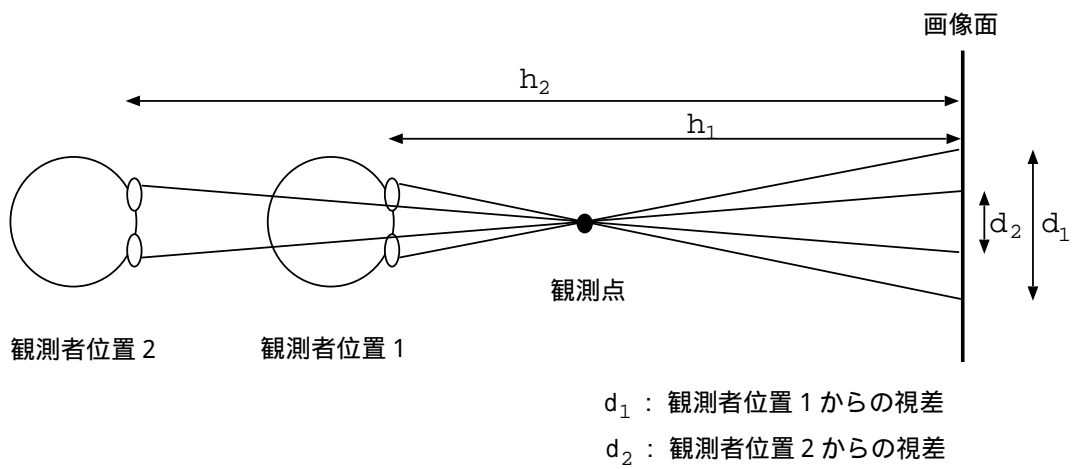


図 2.1: 観測者の位置による視差の変化

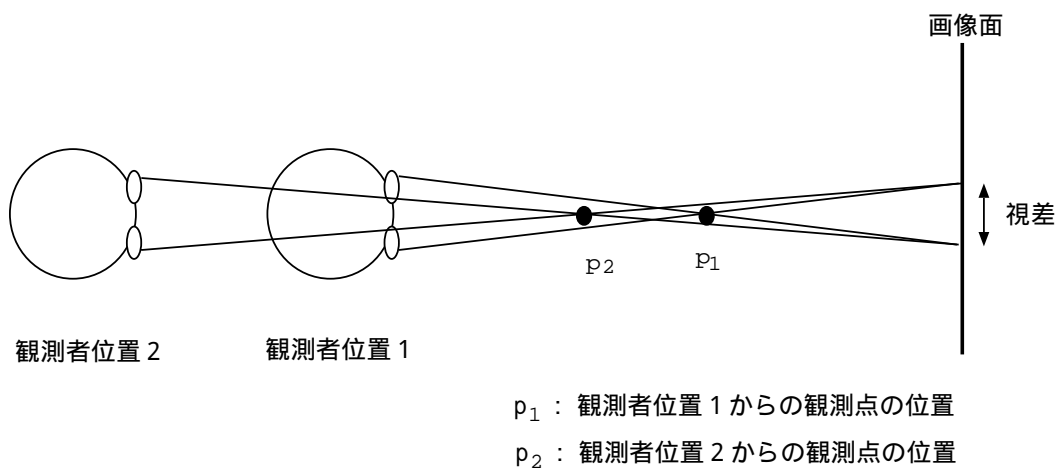


図 2.2: 観測者の位置による奥行きの変化 (視差の固定)

## 2.2 両眼立体視

基本的な両眼画像の撮像の幾何学を図 2.3 に示す。2 つの視点を平行に保ちつつ距離  $e$  だけ離して、 $z$  方向の無限遠点を向いている。2 つの視点中心を結ぶ線を基線 (baseline) とよぶ。ある点についての奥行き情報は、2 つの撮像面上でのその点に対応する画像点の位置の差、すなわち両眼視差によってのみ符号化されている。

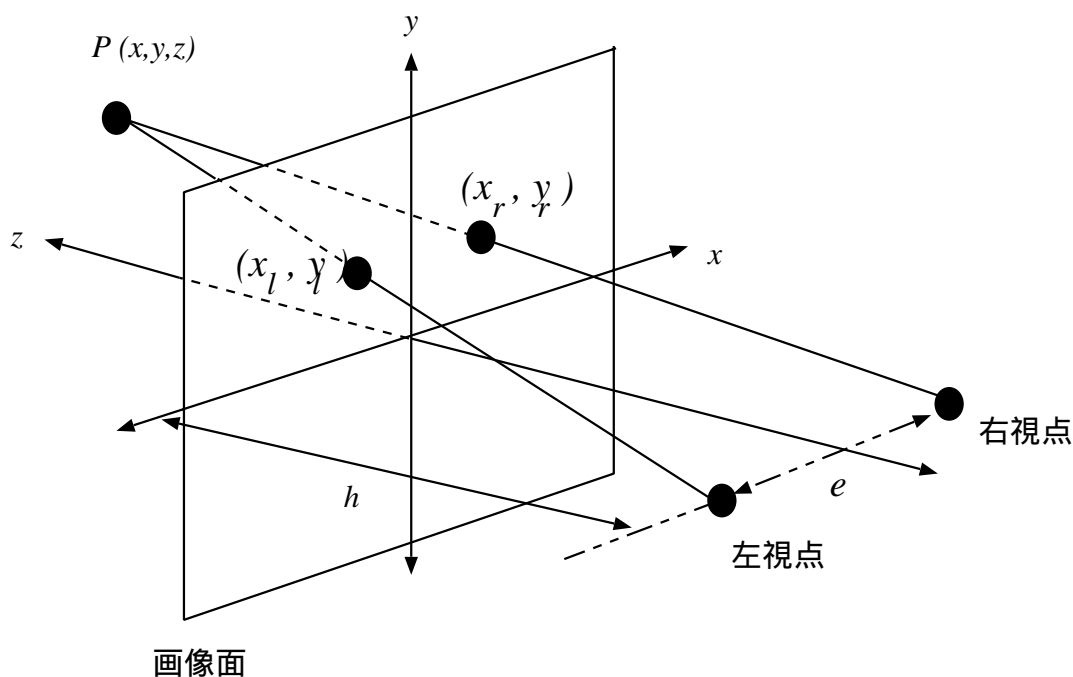


図 2. 3: 両眼立体視

### 2.2.1 2枚の画像間の視差 (Disparity)

図 2. 3 に示すように、空間中の点  $(x, y, z)$  の座標を 2 つ視点の中心の midpoint を原点として定めることが出来る。左右の画像上の座標をそれぞれ  $(x_l, y_l), (x_r, y_r)$  とし、また視点から画像面までの距離  $h$  とする。このとき、

$$x_l = \frac{h(x + \frac{e}{2})}{z} - \frac{e}{2}$$

および

$$x_r = \frac{h(x - \frac{e}{2})}{z} + \frac{e}{2}$$

が成立し、一方、

$$y_l = y_r = \frac{y^s}{z}$$

である。これらの式を用いて以下のように成り立つ。まず、

$$(x_l - x_r) + e = \frac{eh}{z}$$

であることに注目する。画像上における座標のずれ  $(x_l - x_r)$  を視差 ( disparity) と呼ぶ。最終的に、

$$z = \frac{eh}{d + e}$$

を得る。ここで、 $d = x_l - x_r$ 、 $z$  は普通に画像の奥行きと呼ぶ。

## 2.2.2 回転によるステレオ立体視

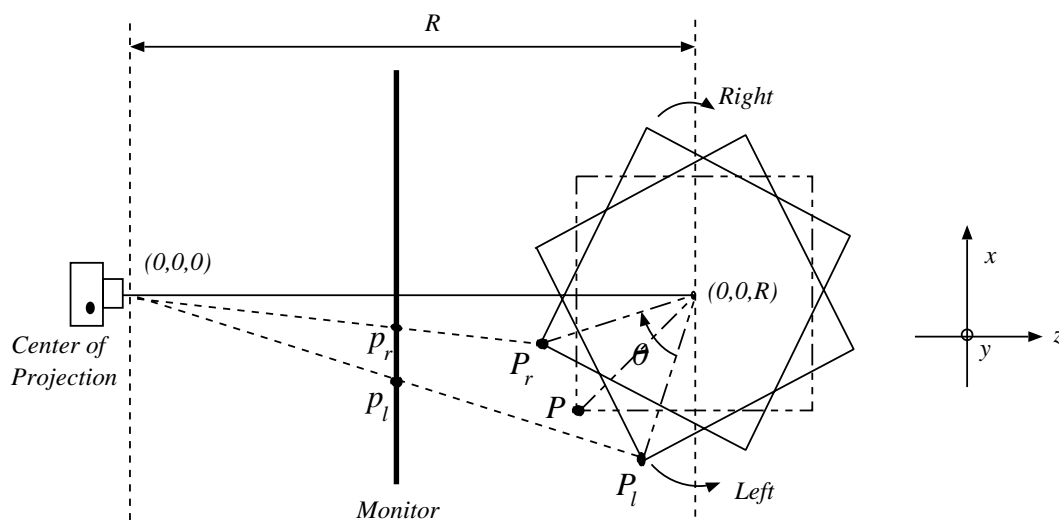


図 2.4: 回転による立体視

ステレオ立体視では、2次元画像から3次元画像を構成するために、2枚の画像(左右の画像)が必要である。(図1より)単一カメラを利用するステレオ立体視の場合では、シーン

中の点  $P$  を回転角度  $\theta/2$  で左右方向へ回転することによって、ステレオの左画像の点  $p_l$  と右画像の点  $p_r$  を得られる。また、観測者と対象物体の中心との距離  $R$  と、観測者とモニタとの距離 ( $h$ ) を与えて、最も良い回転角度値の範囲の計算については David によって提案されている ( $h = 50\text{cm}, 4^\circ \leq \theta/2 \leq 7^\circ$ )[6]。

本研究では、利用する対象物体としては自転している球体である。ここでは、 $R$  と  $h$  の値は同じく設定する。つまり球体の奥行きのちょうど真中にはモニタの表面となる。また観測可能である奥行きはモニタの表面 ( $z = 0$ ) より小さい。図 24 より、空間中の点  $P(x, y, z)$ 、画像上の  $P$  点の座標  $(x', y')$ 、左右の画像上の座標をそれぞれ  $(x_l, y_l), (x_r, y_r)$  とする。回転後の  $P_l, P_r$  点の座標は次式のように示す。

$$P_l = (x \cos(\theta/2) + (R - z) \sin(\theta/2), y, R - (R - z) \cos(\theta/2) + x \sin(\theta/2)) \quad (1)$$

$$P_r = (x \cos(\theta/2) - (R - z) \sin(\theta/2), y, R - (R - z) \cos(\theta/2) - x \sin(\theta/2)) \quad (2)$$

このとき、

$$x_l = \frac{R(x \cos(\theta/2) + (R - z) \sin(\theta/2))}{R - (R - z) \cos(\theta/2) + x \sin(\theta/2)} \quad (3)$$

$$x_r = \frac{R(x \cos(\theta/2) - (R - z) \sin(\theta/2))}{R - (R - z) \cos(\theta/2) - x \sin(\theta/2)} \quad (4)$$

画像上における座標のずれ ( $x' - x_r$ ) を視差  $d(\text{disparity})$  とすると

$$z = \frac{R^2((x' - d)(1 - \cos(\theta/2)) + R \sin(\theta/2))}{x'(R \cos(\theta/2) + (x' - d) \sin(\theta/2)) + R(R \sin(\theta/2) - (x' - d) \cos(\theta/2))} \quad (5)$$

$$x_r = x' - d$$

が成立する (付録 A. の参照)。この  $z$  は画像の奥行き (depth) と呼ぶ。画像の奥行きを求めるためには画像上のディスパリティの情報が必要となる。ディスパリティの推定については次の節に述べる。

## 2.3 単眼立体視

- 単眼画像の形式 (monocular imaging)

点投影 (point projection) は人間の眼球、カメラ、あるいは他の多くの撮像装置によって行われる変換の基本となるモデルである。画像は情景中の各点を、単一の点をとおして画像面 (image plane) へ投影することによって得られる。数学的には同じことだが、この場合は視点は  $z$  軸上の  $+h$  の点にあり、 $z = 0$  が画像の投影される画像面となる。 $(h$  はこのような状況では、焦点距離 (focal length) と呼ばれることがある。図 2.5 で、 $(x', y')$  は物体の画像面上の座標点で、これは空間の座標点  $(x, y, z)$  と次式で関係づけられる。ここに、 $h$  は焦点距離である。

$$\frac{y}{z} = \frac{y'}{h} \qquad \frac{x}{z} = \frac{x'}{h}$$

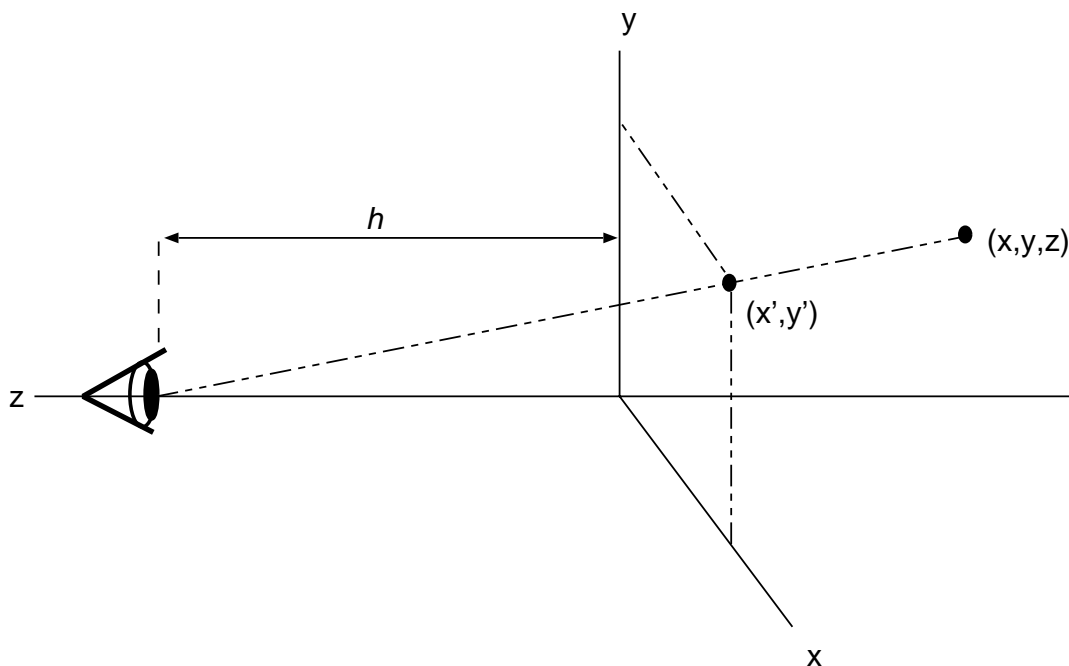


図 2.5: 透視投影

- 単眼運動視差 (monocular movement parallax)

単眼であっても、観察者が、あるいは観察対象が運動すると、時間とともに視点が移動し、継時的に視差が生じる。図 2.6(a) のように、ある対象が観察者から  $D$  の距離で視線に対して直角の方向に  $v$  の速度で移動している際に、その対象から  $\Delta D$  だけ遠方を同じ速度で平行移動する第二の対象との間には次の式のような運動視差  $\omega$  が生じる。ここで、図 2.6(a) に示されるように、 $\Delta\theta$  は  $\theta_1$  と  $\theta_2$  の差である。

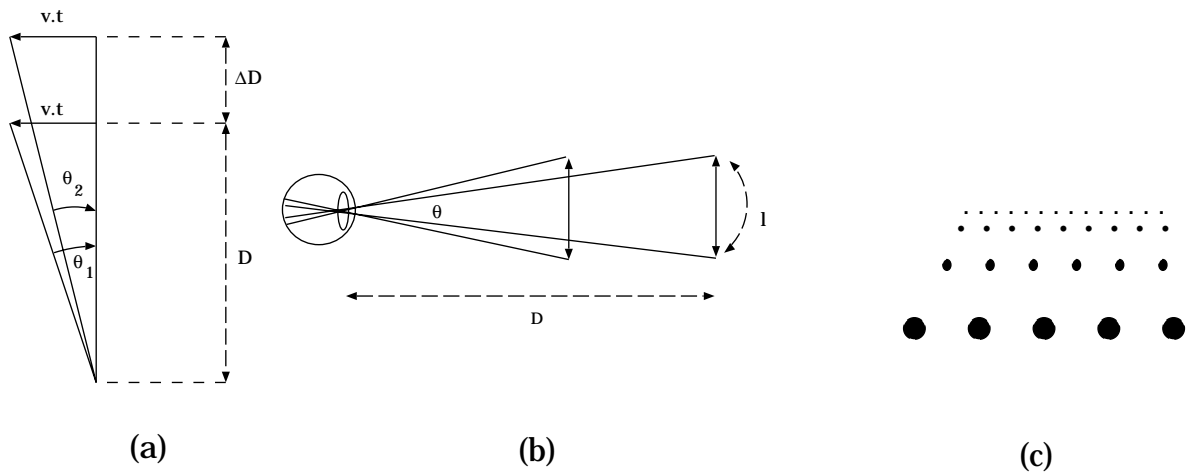


図 2.6: (a) 単眼運動視差 (b) 網膜像の大きさ (視角) (c) きめ勾配

$$\omega = \frac{d(\Delta\theta)}{dt} = \frac{v \cdot \Delta D}{D^2} \text{ (rad)}$$

ここで、 $v$  は、観察者と対象の相対運動を示すものであるから、対象が静止し、観察者が動いている場合も、まったく同様である。

- 網膜像の大きさ (視角) (retinal size)

図 2.6(b) に示すように、各客的に一定の大きさでも、眼から遠くにあるものの網膜像は小さい。網膜像の大きさは視角によって表すことができる。眼から  $D$  の距離にあり、視線に垂直方向に  $l$  の長さをもつ対象の視角  $\theta$  は、近似的に、

$$\theta = \frac{l}{D} \text{ (rad)}$$

となる。すなわち、網膜像の大きさは観察距離に反比例する。したがって、物理的な大きさが分かれば、視角  $\theta$  は距離  $D$  に依存する。また、物理的な大きさがとも



に  $l$  で、距離が  $\Delta D$  だけ違う二つの対象の視角の差  $\Delta\theta$  は、

$$\Delta\theta = \frac{l}{D} - \frac{l}{D + \Delta D} = \frac{l\Delta D}{D^2} (\text{rad})$$

となる。つまり、網膜像の大きさ (視角) の差を手がかりにして奥行き距離を弁別する場合にも、その精度は、距離  $D$  の 2 乗に反比例することになる。

奥行き感、対象の大きさの知覚にも影響を与える。10m の距離にいる人の網膜像の大きさは、5m の距離にいる同じ身長の人々の網膜像の半分のはずである。それにもかかわらず、われわれは、ほぼ同じ身長の人と感じる。このように、われわれが知覚する大きさが一定の場合は、遠くにあるものは大きく、近くあるものは小さく感じる。物理的大きさが一定のものは、その位置の変化により網膜像の大きさが変化しても、ほぼ一定の大きさに知覚される傾向がある。これを大きさの恒常性とよぶ。

- きめ勾配 (text gradient)

直線や直角からなる人工的建造物でなくても、線遠近法 (line perspective) に類似した奥行きの手がかりがある。たとえば草原や砂利の川原でも図 2.6(c) のような、きめ (text) の密度が距離とともに変化する勾配が形成される。この場合も模様が平面上に均等に分布しているのであれば、その網膜像の密度は視線と平行な方向成分に関しては (2 式に従い、 $D$  の 2 乗に反比例し、視線に直角な方向成分に関しては (3 式に従い、 $D$  に単純に反比例する。

## 第 3 章

# 対象物体モデル

対象物体モデルについては、X 線太陽画像がモデル化の背景として、自転非剛体球体のモデル化を行う。一般的な非剛体物体とは物体の形が滑らかに変形するものからブラウン運動のようなランダム変形するものまで幅広く存在する。本研究で扱った自転非剛体球体の範囲は表面が時間空間的に滑らかに変化する自転球体と仮定する。このような対象物体を以下のようにモデル化を行う。

### 3.1 モデル化の背景

1991 年に太陽活動の X 線観測を目的として科学衛星「ようこう」が打ち上げられた。様々な太陽のアクティビティを 2 次元画像上に撮影することができた。専門家らは目視観測によって、太陽のアクティビティの解析方法を行っている。目視観測では、X 線画像を観測するとき太陽の立体感を見ることができない。そこで、太陽フレアやコロナをより視覚的に観測できるように立体視化が必要となる。専門家の目視観測における着目点は太陽のフレアやコロナの形状、強度変化と移動方向であった。しかし、太陽のフレアは時間的に変化が激しいので、フレアの形状を立体視化するのは困難である。コロナの場合は太陽の回転に対する時間空間的な変形が滑らかなので、コロナの形状を立体視化するのは可能である。ただし、コロナにある発生・消滅の変化はないと仮定する。

本節では、太陽のような自転非剛体球体を以下のようなモデル化の範囲を述べる。

## 3.2 対象物体の範囲の定義

本研究で扱う対象物体としては自転 ( $y$ 軸中心にして連続的的回転) する球体である。ここでは、球体が自転する間に球体の表面が滑らかに変化すると仮定する。球体の表面については以下のようにモデル化を行う。

- 球体の表面の変化球体の表面は時間空間的に滑らかに変化する。表面には  $y$ 方向、 $z$ 方向の移動、伸縮、拡大・縮小という変化がある。(図 3.1に示す)

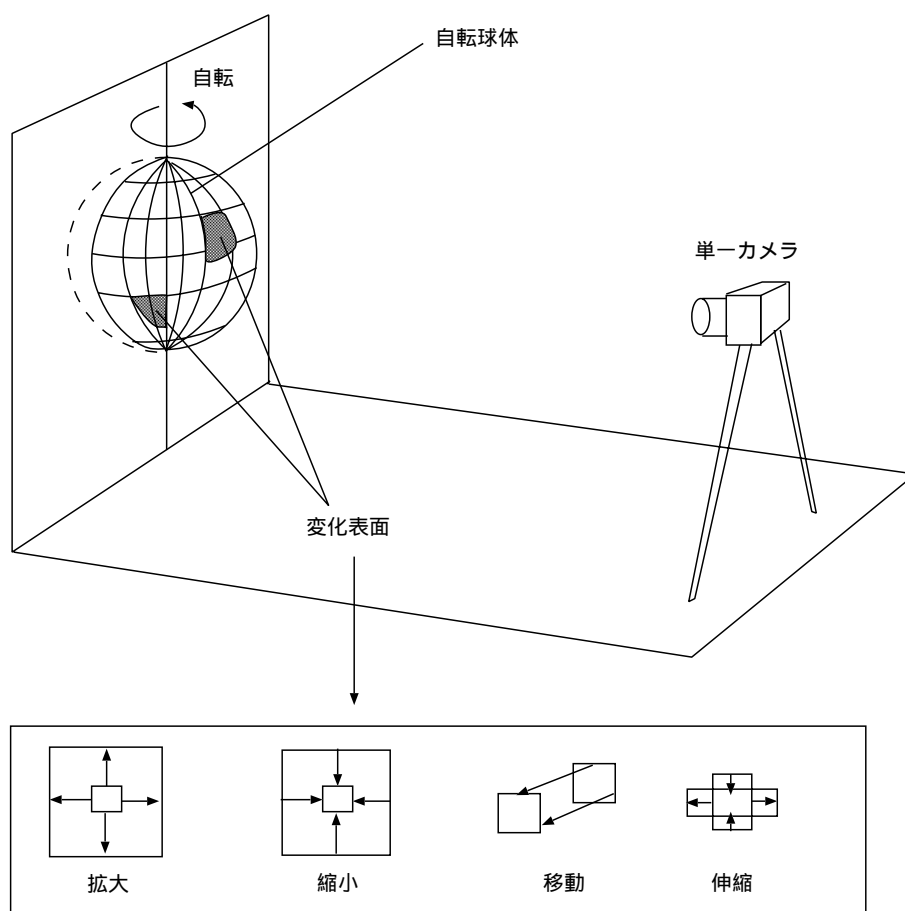


図 3.1: 立体画像の入力システム

- 球体の表面の輝度値は空間的に滑らかに変化し、不連続な変化が含まない。

- 球体には発生・消滅する表面がない。また球体の半径は変化しない。
- 表面の動きは以下のような式に表すことができる。

$$p' = R(\theta)p + T \quad (6)$$

$R$ は  $y$ 軸を中心する回転(自転)と  $T$ は拡大・縮小・移動変化を表す。

つまり、表面の動きは

$$\text{表面の(動き)} = \text{球体の自転} + \text{表面の(拡大・縮小・移動)変化}$$

本研究は、この表面の変化  $T$ をパラメタとして、 $x, y, z$ 方向へ 1~5 画素までに変化させ、1~5 画素までの表面変化量と呼ぶ。

### 3.3 自転球体モデルの作成

図 3.2に示すように、コンピュータグラフィックス(CG)で自転非剛体球体モデルを作成する。以下のように自転非剛体球体のモデルを作成した。

- ステレオ画像の表示は左画像と右画像の間に対応しない部分があると、立体画像を正確に表示することが出来ない。単一カメラでステレオ画像ペアを入力する時に異なる時刻に左画像と右画像を撮影するので、自転対象球体が時間空間的に変化するとその問題が起こる。図 3.2に示すように、対象球体が自転している間に、球体の表面が拡大・縮小、移動する物体モデルを行った。球体の表面の動きは回転するだけでなく、拡大・縮小、移動する。
- Davidらは単一カメラ固定して、対象物体を回転させるステレオ画像入力方法はカメラと画像面の距離  $h$  と回転角度  $\theta$ を決めることによって立体画像を表示する手法を提案している。 $(h = 50\text{ cm}, 4^\circ \leq \theta/2 \leq 7^\circ)$ [6]。本研究でも、時間  $\Delta t(\text{frames})$ が増加する共に回転角度を  $1^\circ$ ごとに増加させる。図 3.3に示すのは画像モデル  $t = 0$  (frame) と画像モデル  $t = 5$  (frame) である。 $t = 0 \sim t = 5$  (frame) は球体を  $5^\circ$ 回転角度で回転させる。
- 画像モデルのサイズは  $512 \times 512$  画素、濃淡画像である。

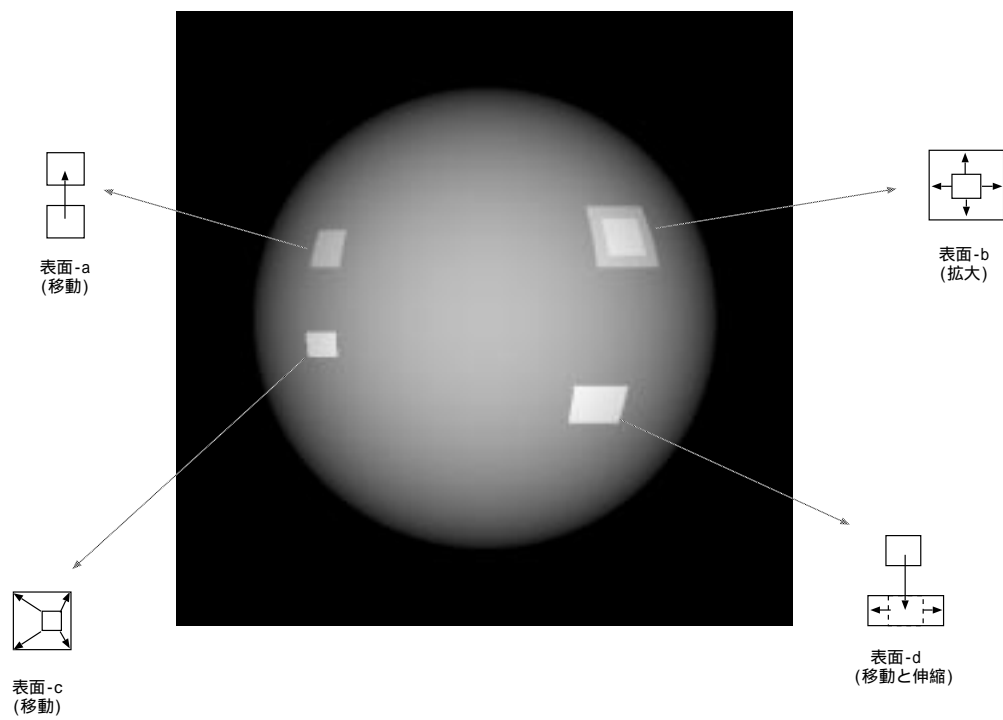
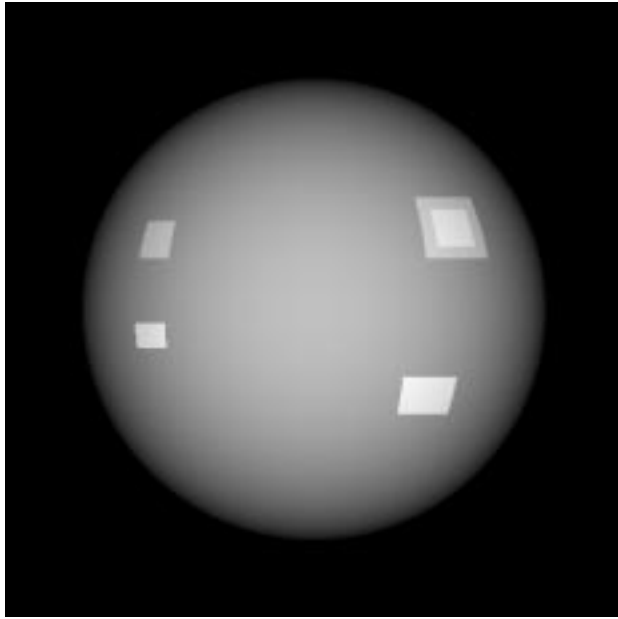
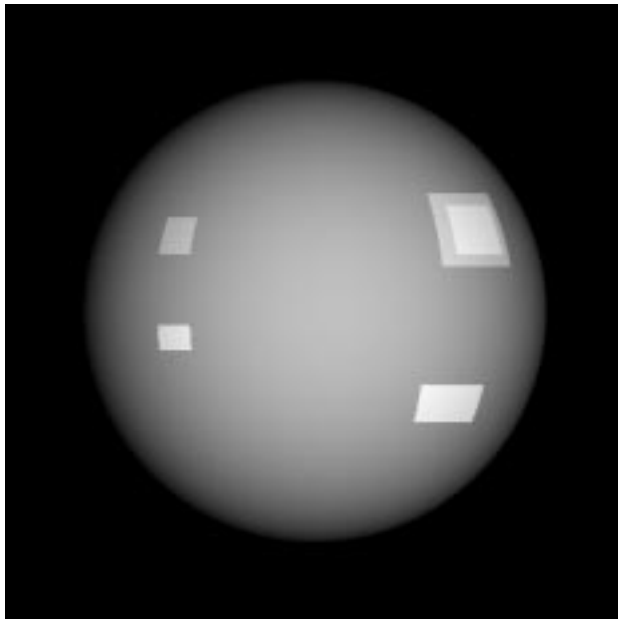


図 3.2: 画像モデル ( $t=0$ )



(a)



(b)

図 3.3: (a) 画像モデル ( $t=0$ )、(b) 画像モデル ( $t=5$ )

## 第 4 章

# パターンマッチングによる画像ペアの対応付けの決定法

コンピュータビジョンでは、2次元画像から3次元情報を求める方法が重要である。3次元奥行き分布解析や物体形状もしくはカメラの運動の解析などの3次元情報を復元する研究[1][3]が多く提案されている。本研究では、残差逐次検定法(SSDA、Sequential Similarity Detection Algorithm)を用いて、時刻の異なる2枚の画像でのマッチングを行う。上記に述べたように、自転する間に球体の表面が変形するために、ステレオ画像ペアの対応しない部分にステレオマッチングが取れなくなる。このとき、誤差が生じる部分をモルフォロジー処理で補正を行って、正確なステレオ画像ペアを作成する。液晶シャッターメガネを用いた立体画像表示では、画像の立体感を観察することは出来るが、誤差の定量的な情報あるいは補正した立体画像の正確さが分からない。このために、補正画像ペア間のマッチングを行い、ウィンドウ内の画素値の残差の2乗和(SSD)を計算し、SSD(Sum of SSD)の値が最小になるような画像ペアを求め、最適なdilation,erosionの処理の回数と構造化要素の種類を決定する。画像の奥行きは観測者の位置により調整が可能である。

### 4.1 モルフォロジー処理による画像ペアの補正

モルフォロジー画像処理は画像にある対象の構造あるいは空間的な形を修正する。dilation,erosionとskeletonizationの3つの基本的なモルフォロジーの操作がある。dilationは画像にある対象を拡大・成長させるオペレータである。一方、erosionは画像にある対象

を縮ませるオペレータである。

本研究は、dilation オペレータと erosion オペレータを用いて、ステレオの右画像と左画像に対応しない部分を補正する。dilation オペレータと erosion オペレータについて、次に述べる。

#### 4.1.1 dilation と erosion

dilation は画像にある対象の輪郭に画素を追加して拡大するオペレータである。逆に、erosion は画像にある対象の輪郭に画素をそこなう (removing or eroding)。dilation と erosion の処理方法はマスク (構造化要素と呼ぶ、付録 C. の参照) を利用する方法 (masking technique) と閾値を利用する方法 (threshold technique) とがある。本研究はマスクを用いて、dilation と erosion フィルタリングを行う。濃淡画像は  $F(j, k)$  として、dilation が行われた濃淡画像  $H(j, k)$  はを (7) 式に示す。

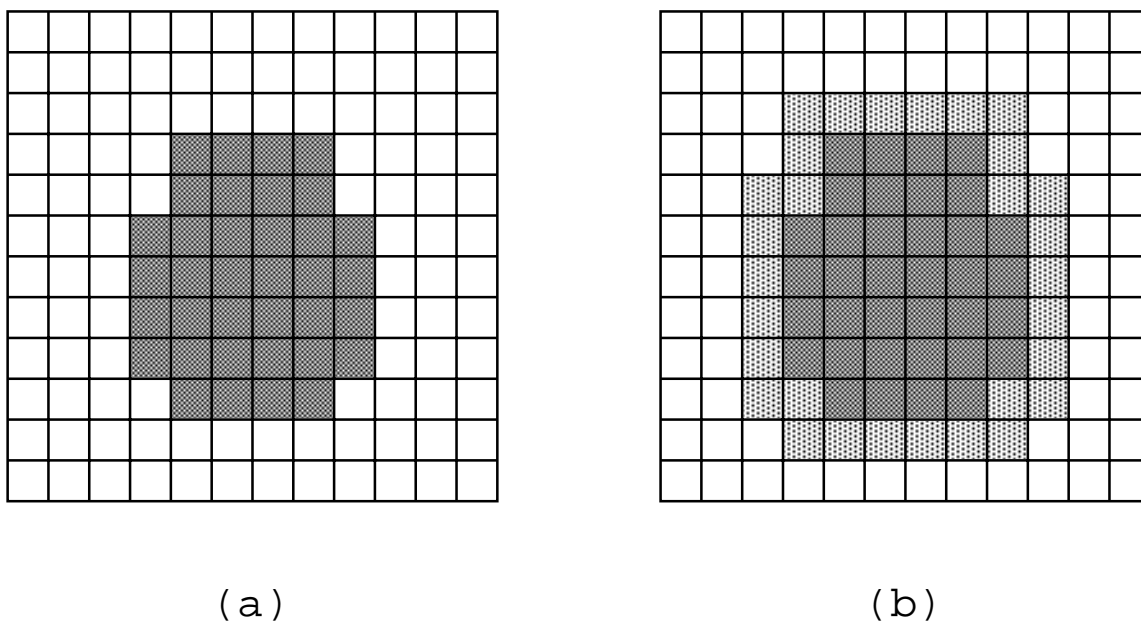


図 4.1: (a)Original Image, (b)Dilation result

$$H_{dilate}(j, k) = \max[ F(j-1, k-1), F(j-1, k), F(j-1, k+1), \dots, F(j+1, k+1) ] \quad (7)$$

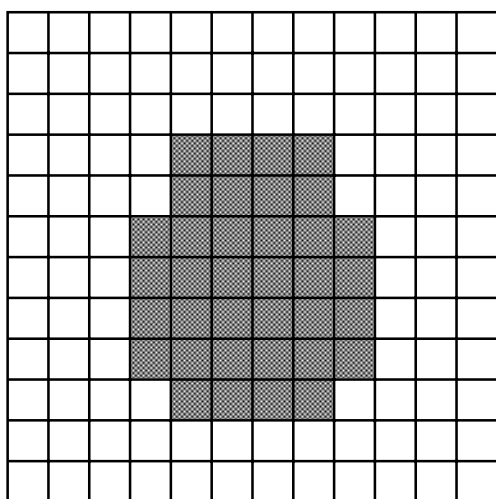


ここで、 $\max[S_1, \dots, S_9]$  は  $3 \times 3$  画素の近傍値の 9 点にある画素の最大値を生成する。図 4.1 に示すのは dilation を行う前の画像と行った後の画像である。マスクによって、等方的な拡大と非等方的な拡大を行うことができる。

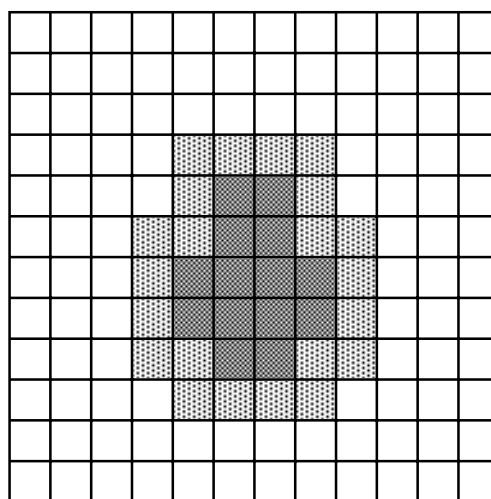
一方、erosion を行われた濃淡画像  $H(j, k)$  は次のような式に表す。

$$H_{erode}(j, k) = \min[F(j-1, k-1), F(j-1, k), F(j-1, k+1), \dots, F(j+1, k+1)] \quad (8)$$

ここで、 $\min[S_1, \dots, S_9]$  は  $3 \times 3$  画素の近傍値の 9 点にある画素の最小値を生成する。図 4.2 に示すのは erosion を行う前の画像と行った後の画像である。マスクによって、等方的な縮小と非等方的な縮小を行うことができる。



(a)



(b)

図 4.2: (a) Original image, (b) Erosion result

### 4.1.2 dilation、erosion の構造化要素

dilation,erosion 処理方法は閾値を用いた処理方法 (threshold technique) と構造化要素を用いた処理方法 (masking technique) がある [9]。本研究では、後者の処理方法を用いて、画像ペアにある誤差を補正を行う。マスクを用いた処理方法は、dilation と erosion の方向をコントロールすることも出来る。

マスクを用いた処理方法は

- $3 \times 3$  のマスクを画像に置き、 $3 \times 3$  の要素の中心を画像の輪郭と対応する
- 画像をマスクによって動かす

本研究では以下のような dilation,erosion のマスクを用いた。

- 移動マスク球体の表面が移動したために、左画像にある対象と右画像にある対象は上下に外れて、誤差が生じる。このために、以下のような移動マスクを用いて誤差の補正を行う。

– 水平移動

0	1	0
0	0	0
0	0	0

(1)

0	0	0
0	0	0
0	1	0

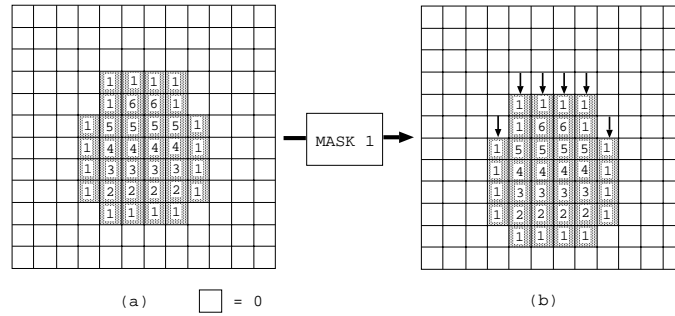
(2)

(1) : 下への移動のマスク (mask 1)

(2) : 上への移動のマスク (mask 2)

\* Mask 1

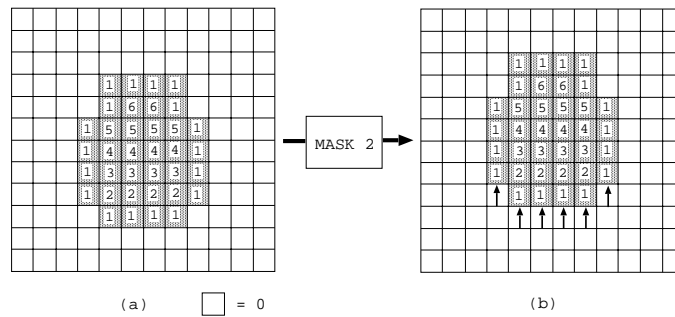
$$H(j, k) = F(j - 1, k) \quad (9)$$



⊗ 4.3: (a)Original greyscale image, (b)Down translation result

\* Mask 2

$$H(j, k) = F(j + 1, k) \quad (10)$$



⊗ 4.4: (a)Original greyscale image, (b)Up translation result

— 垂直移動

0	0	0
1	0	0
0	0	0

(3)

0	0	0
0	0	1
0	0	0

(4)

(3) : 右への移動のマスク (mask 3)

(4) : 左への移動のマスク (mask 4)

\* Mask 3

$$H(j, k) = F(j, k - 1) \tag{11}$$

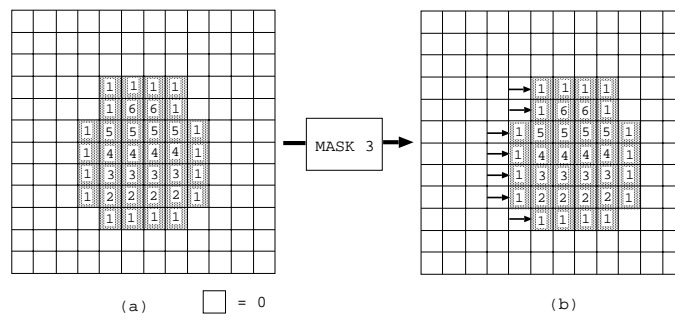


図 4.5: (a) Original grayscale image, (b) Right shifted result

\* Mask 4

$$H(j, k) = F(j, k + 1) \quad (12)$$

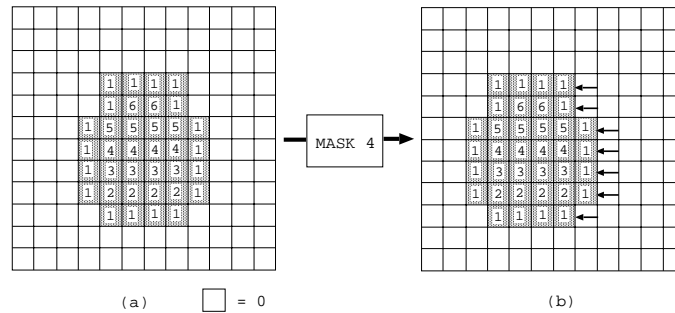


図 46: (a)Original grayscale image, (b)Left translation result

● 拡大・縮小マスク

球体の表面が拡大・縮小したために、左画像にある対象と右画像にある対象は対応しなくなって、誤差が生じる。このために、以下のような拡大・縮小マスクを用いて誤差の補正を行う。拡大・縮小の変形には等方的な拡大・縮小の変形と非等方的な拡大・縮小の変形がある。

－ 非等方的な拡大・縮小

マスクを変えることによって、dilation と erosion の方向が変わる。例えば、画像を左の部分だけを浸食 (erode) したい。あるいは画像を右の部分だけを拡大 (dilate) することもできる。以下には非等方的な拡大・縮小マスクを示す。

0	0	0
1	1	0
0	0	0

(5)

0	0	0
0	1	1
0	0	0

(6)

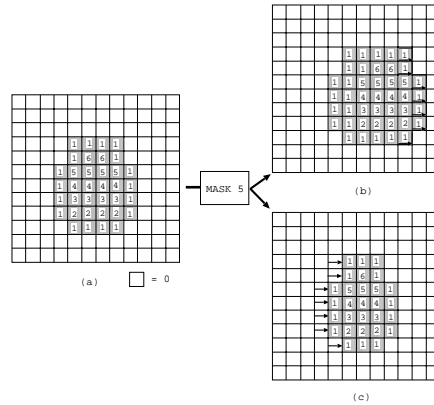
(5)： 右の部分拡大・侵食のマスク (mask 5)

(6)： 左の部分拡大・侵食のマスク (mask 6)

\* Mask 5

$$H_{dilate}(j, k) = \max[F(j, k - 1), F(j, k)] \quad (13)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[F(j, k - 1), F(j, k)] \quad (14)$$

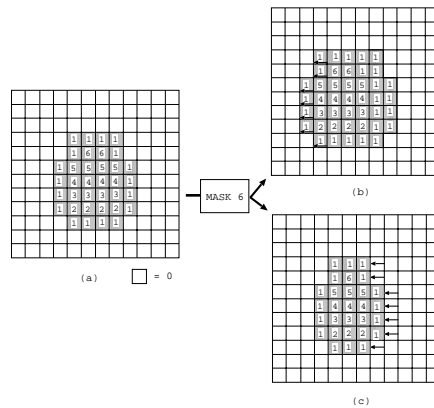


☒ 4.7: (a) Original grayscale image, (b) dilated image, (c) eroded image

\* Mask 6

$$H_{dilate}(j, k) = \max[F(j, k + 1), F(j, k)] \quad (15)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[F(j, k + 1), F(j, k)] \quad (16)$$



☒ 4.8: (a) Original grayscale image, (b) dilated image, (c) eroded image

0	1	0
0	1	0
0	0	0

(7)

0	0	0
0	1	0
0	1	0

(8)

(7): 下の部分を拡大・侵食のマスク (mask 7)

(8): 上の部分を拡大・侵食のマスク (mask 8)

\* Mask 7

$$H_{dilate}(j, k) = \max[F(j-1, k), F(j, k)] \quad (17)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[F(j-1, k), F(j, k)] \quad (18)$$

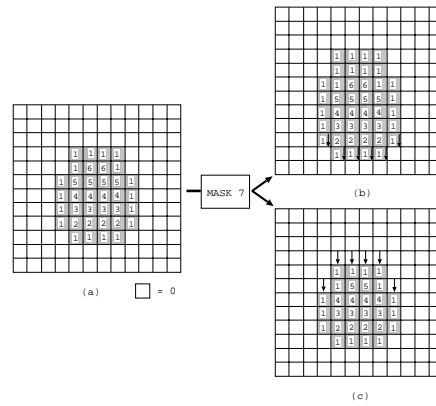


図 4.9: (a)Original grayscale image, (b)dilated image, (c)eroded image

\* Mask 8

$$H_{dilate}(j, k) = \max[F(j+1, k), F(j, k)] \quad (19)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[F(j+1, k), F(j, k)] \quad (20)$$

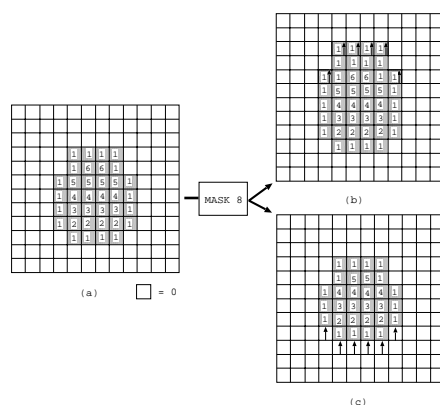


図 4.10: (a)Original greyscale image, (b)dilation result, (c)erosion result

— 等方的な拡大・縮小

画像にある対象が全体的に拡大・縮小するために、以下のようなマスクを用いて、ステレオ画像ペアに生じる誤差を補正する。

0	1	0
1	1	1
0	1	0

( 9 )

1	1	1
1	1	1
1	1	1

( 1 0 )

( 9 ) : 水平・垂直からの等方的な拡大・侵食のマスク (mask 9)

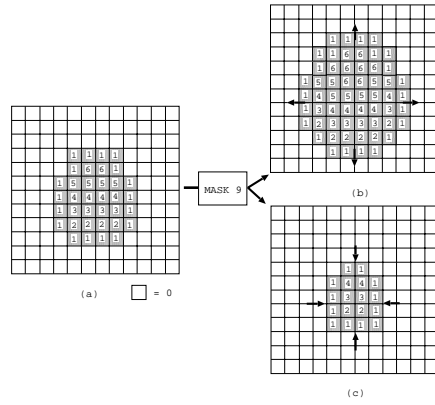
( 1 0 ) : 全方向からの拡大・侵食のマスク (mask 10)

\* Mask 9

$$H_{dilate}(j, k) = \max[ F(j-1, k), F(j, k), F(j+1, k), F(j, k-1), F(j, k+1) ] \quad (21)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[ F(j-1, k), F(j, k), F(j+1, k), F(j, k-1), F(j, k+1) ] \quad (22)$$



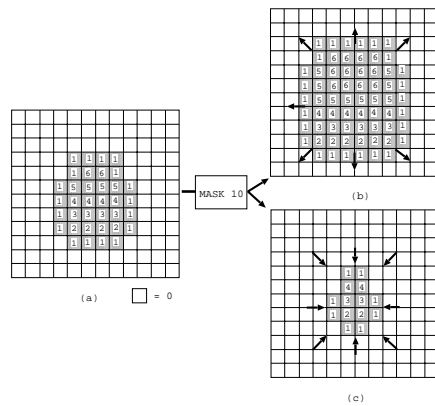


☒ 4.11: (a) Original grayscale image, (b) dilated image, (c) eroded image

\* Mask 10

$$H_{dilate}(j, k) = \min[F(j-1, k), F(j, k), F(j+1, k), F(j, k-1), F(j, k+1), F(j-1, k-1), F(j-1, k+1), F(j+1, k-1), F(j+1, k+1)] \quad (23)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[F(j-1, k), F(j, k), F(j+1, k), F(j, k-1), F(j, k+1), F(j-1, k-1), F(j-1, k+1), F(j+1, k-1), F(j+1, k+1)] \quad (24)$$



☒ 4.12: (a) Original grayscale image, (b) dilated image, (c) eroded image

- 伸縮のマスク

画像にある対象が伸びたり縮んだりするために、ステレオ画像ペアに誤差が生じる。これを補正するためのマスクを次に示す。

0	1	0
0	1	0
0	1	0

( 1 1 )

0	0	0
1	1	1
0	0	0

( 1 2 )

( 1 1 ) : 垂直への伸縮のマスク (mask 11)

( 1 2 ) : 水平への伸縮のマスク (mask 12)

- Mask 11

$$H_{dilate}(j, k) = \max[ F(j, k), F(j - 1, k), F(j + 1, k) ] \quad (25)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[ F(j, k), F(j - 1, k), F(j + 1, k) ] \quad (26)$$

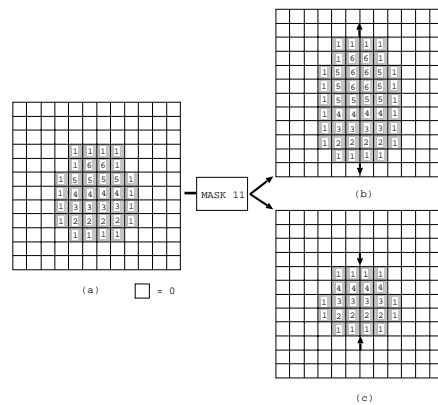


図 4.13: (a) Original grayscale image, (b) dilated image, (c) eroded image

- Mask 12

$$H_{dilate}(j, k) = \max[ F(j, k), F(j, k - 1), F(j, k + 1) ] \quad (27)$$

$$H_{erode}(j, k) = \min[ F(j, k), F(j, k - 1), F(j, k + 1) ] \quad (28)$$

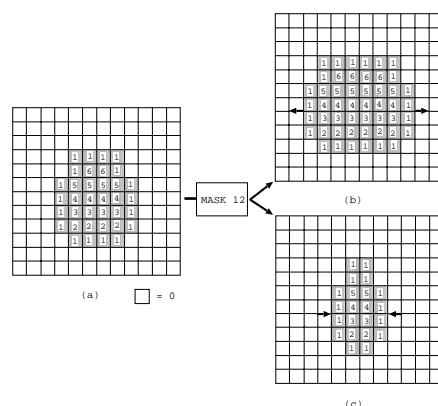


図 4.14: (a)Original grayscale image, (b) dilated result (c) eroded result

## 4.2 残差逐次検定法

パターンマッチングは、画像内である特定の対象を認識したり、複数枚の画像を対象に部分画像が入力画像のどの部分に対応し、一致するかを調べる。探索する画像領域の対象部分との類似度を調べることによって一致する位置を求める手法がテンプレートマッチングである。このテンプレートマッチングの代表的な手法の一つに残差逐次検定法 (SSDA) がある。本研究では、以下のような手順で処理を行う。異なる時刻で得る 2 枚の画像を用いてパターンマッチングを行う。最適なサイズ  $1 \times 3$  画素テンプレートの  $x$  方向に小領域を選び、ステレオマッチングを行う。ステレオマッチング法は、異なる時刻で撮られたステレオ画像ペアに対して、まずウィンドウ内の画素値の残差の 2 乗和 (SSD) が計算される。SSSD (Sum of SSD) の値が最小になるような画像ペアを求め、最適な dilation, erosion の処理の回数と構造化要素の種類を決定することが出来る。マッチング処理は次のように行う。

- 最初の球体の画像 ( $t=0$ )  $I_0$  と回転角度  $5^\circ$  で撮られた自転球体の画像 ( $t=5$ ) の補正画像  $H_5$  とのマッチングをとることで画像上のディスパリティを計算する。
- 球体の表面の変形がある画像フレームに対するマッチングを取れないので、モルフォロジー処理を用いた画像補正し、マッチングを行う。

- パターンマッチング法について、画像点  $(x, y)$  における、ディスパリティの候補  $d$  に対する、ウィンドウ内の画素値の残差の絶対値  $D_d$  の値は次式で与える。

$$D_n(x, y, d) = \sum_{i \in W} \sum_{j \in W} |I_0(x + j, y + i) - H_5(x + j + d, y + i)| \quad (29)$$

ここで、各画素  $(x, y)$  に対して、 $D$  の値を最小化する  $d$  が、 $(x, y)$  画素でのディスパリティの推定値と決定される。

$$d(x, y) = \min(D(x, y, d)) \quad (30)$$

また、SSD (Sum of SSD) の値が最小になるような  $H(x, y)$  を求め、最適な dilation, erosion の処理の回数と構造化要素の種類と決定される。ここで、 $H(x, y)$  は次のように表される (付録 C.)。

$$H_{dilate}(x, y) = f \oplus g = (\dots ((f \oplus g_1) \oplus g_2) \oplus \dots \oplus g_k)$$

$$H_{erode}(x, y) = f \ominus g = (\dots ((f \ominus g_1) \ominus g_2) \ominus \dots \ominus g_k)$$

### 4.3 観測者の距離を用いた奥行き調整

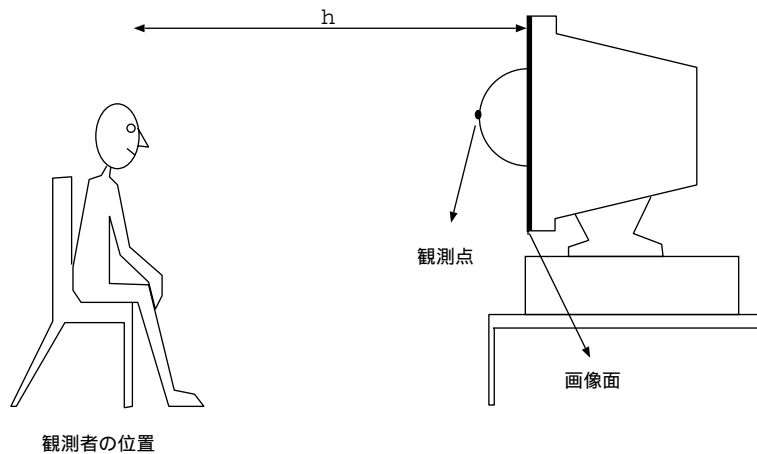


図 4.15: Disparity change with head movement

画像の奥行きは観測者の位置からディスプレイまでの距離や画像上のディスパリティに依存する。図 2 に示すように、画像の奥行きを固定して、観測者の位置に変化することに

よって画像上のディスパリティが変わる。逆に、画像上のディスパリティを固定して、観測者の位置を変えることによって画像の奥行きが変化する。本研究では観測者の位置を変えることによって画像の奥行きを推定する。

画像上のディスパリティを  $d$  とし、観測者からディスプレイまでの距離  $R$ 、観測者の両眼の間の距離は  $e$  とすると、画像の奥行き  $z$  は

$$z = \frac{eh}{d + e} \quad (31)$$

## 第 5 章

### 実画像データ

#### 5.1 太陽

- 太陽コロナ

毎日東の空から登り、西の空へ降りていく星「太陽」。我々にとって一番馴染み深く、一番近い星でもある。しかし、この「太陽」、実はまだまだ謎に満ちた星なのである。

図 5.1のように太陽の外層大気(コロナ)からの光を観測することができる。この

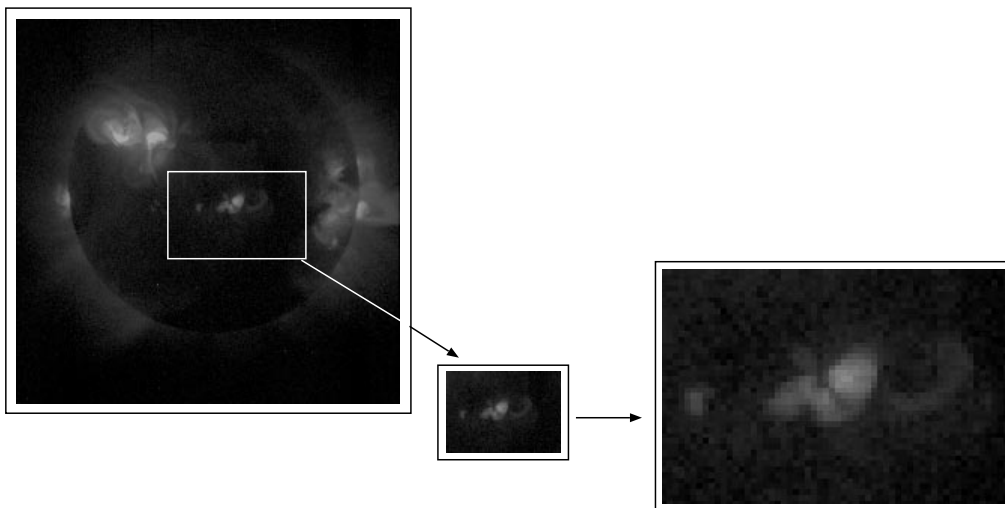


図 5.1: 「ようこう」が見た (7-MAY-93 20:54:31)のコロナ

コロナの温度はいろいろな観測から 100 万度以上であると測定されている。ところが、太陽表面の温度は 6000 度であることがわかっている。ここで不思議なことである。冷たいものの回りに熱いものを取り囲んでいるのである。その温度の分布をより詳しく書くと、上のグラフに示しているように、太陽では高度 500km あたりから温度が上昇し始め、高度 2000km を境に 1 万度から 100 万度まで急激に上昇する。この温度上昇の原因は、太陽表面の運動がひき起こした波が衝撃波になって温度を上げている、コロナ中の小さな爆発現象が温度を上げている、などの説があるがいまだ解かれていない問題なのである。ちなみに、太陽表面から温度が最低になるところまでを光球、温度最低点から急激に温度が上がるまでを彩層、温度が急激に上がっている層を遷移層、温度が 100 万度以上の所をコロナとそれぞれ呼んでいる。

それではどうやってコロナを観測したら良いでしょうか。一番上の写真のように皆既日食の時に観測したり、望遠鏡の前に円盤を置いて人工的に日食を起こしコロナを観測するコロナグラフという観測装置を使う方法がある。しかし、写真のように太陽の縁より外のコロナしか見ることができず、太陽表面で発生している現象とコロナの関係を知ることができない。実は、太陽全面のコロナを観測したい場合は宇宙に出なければならない。100 万度のガス(コロナ)はX線を放射するが、6000 度のガス(光球)はX線を放射しないので、X線だけを観測すればコロナだけを観測することができない。しかし、地球上ではX線は大気によって吸収されてしまうので、X線観測用の望遠鏡を宇宙へ持って行かなければならない。

- 太陽フレア

太陽には黒点のあたりで、突然、輝きをまし、大量の高エネルギー粒子が、惑星間空間にふりまかれる現象がある。これが太陽大気中の最大の爆発、太陽フレアである。太陽フレアは、黒点上空のコロナの磁場に蓄えられたエネルギーが、短時間のうちに解放される現象であると理解されている。しかし、なぜ、短時間に急激な爆発が起こるのか、まだわかっていない。フレアの爆発過程の中で、特に急激な現象が、フレア発生初期の時間帯に観測される「粒子加速」現象である。この時解放されるエネルギーの大部分が粒子の加速に費やされ、大量の太陽宇宙線が数秒から数十秒で作られ出される。光速度近くまで、加速された電子が密度の高い彩層に飛込むと硬X線が放射される。「ようこう」の硬X線望遠鏡ではこれを狙っています。

図 5.2の右下に 1991 年 11 月 5 日に硬X線望遠鏡が観測したフレアを示している。

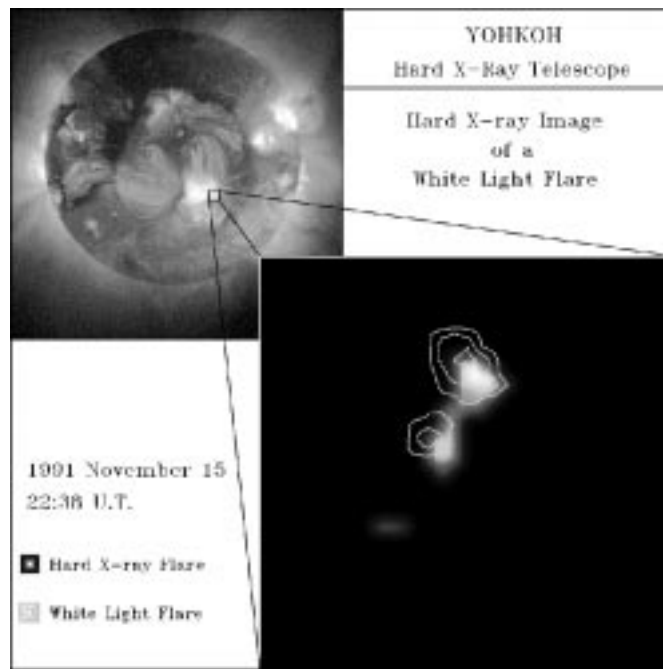


図 5.2: 「ようこう」が見た 1991 年 11 月 15 日のフレア

青いのが、硬 X 線で見えたフレア。白の等高線で示しているのは、白色光フレアといって、加速された電子が、光球面まで達して光ったものである。両者とも、二つ目玉になっているのが特徴である。これは、フレアが、コロナ中の時期ループの中で生じ、硬 X 線で見えたフレアや白色光フレアが、ループの根元部分を見ているためだと言われている。このフレアが太陽のどこで起こったか、その日の太陽全面像の中に示している。フレアは、軟 X 線望遠鏡でも観測されている。軟 X 線望遠鏡では、フレアの際に生じた高温プラズマの部分を見ている。ここでは、フレアが起こったあとによく見られるフレアループを示す。



## 5.2 YOHKOH の X 線画像データ

### 5.2.1 太陽画像

文部省宇宙科学研究所は、太陽の X 線観測を目的として X 線太陽観測衛星「ようこう」<sup>1</sup>。を、太陽活動極大期にあたる 1991 年 8 月 30 日に鹿児島宇宙空間観測所から、M-3 SI 型ロケット 6 号機によって打ち上げた。この衛星で様々な太陽の活動を X 線画像に撮ることが出来る。IDL ソフトを利用して、太陽画像の情報を見ることが出来る。撮影された画像サイズは 512×512 と 256×256 (画素) である。256×256 (画素) のサイズは時間的には撮られた画像の数が多かった。時間的な連続性は 512×512 (画素) のサイズのより良い。以下には IDL ソフトで出した「ようこう」データの配列情報 (information) である。

```
015- MX- 93 17:23:00 QT/H Open / AlMg Hal Nor mC 25 5338.0512x512
115- MX- 93 17:40:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
215- MX- 93 18:36:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
315- MX- 93 19:02:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
415- MX- 93 19:23:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
515- MX- 93 20:17:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
615- MX- 93 20:42:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
715- MX- 93 20:50:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
815- MX- 93 20:59:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
915- MX- 93 21:52:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
1015- MX- 93 23:54:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
.
.
.
5517- MX- 93 11:53:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
5617- MX- 93 13:13:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
5717- MX- 93 13:21:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
5817- MX- 93 13:34:00 QT/H Open / Al Mg Hal Nor mC 25 5338.012x512
```

<sup>1</sup>[10][1] は「ようこう」について詳しく述べている

上記のリストのように、「ようこう」は24時間に太陽活動を連続的に撮ることが出来ない(完全なリストは付録 A. に示す)。この中から2枚の画像を用いて立体画像を作成する。画像の真中にある太陽のコロナを立体画像表示システムを作る。4章に述べたモルフォロジー処理を用いて、ステレオ画像ペアを補正する。

図 5. 4に示すのは 7-MAY-93 20:54:31から 10-MAY-93 19:26:28までに「ようこう」に撮られた太陽画像である。図 5. 3に示すのは空間的に太陽のコロナの変化である。

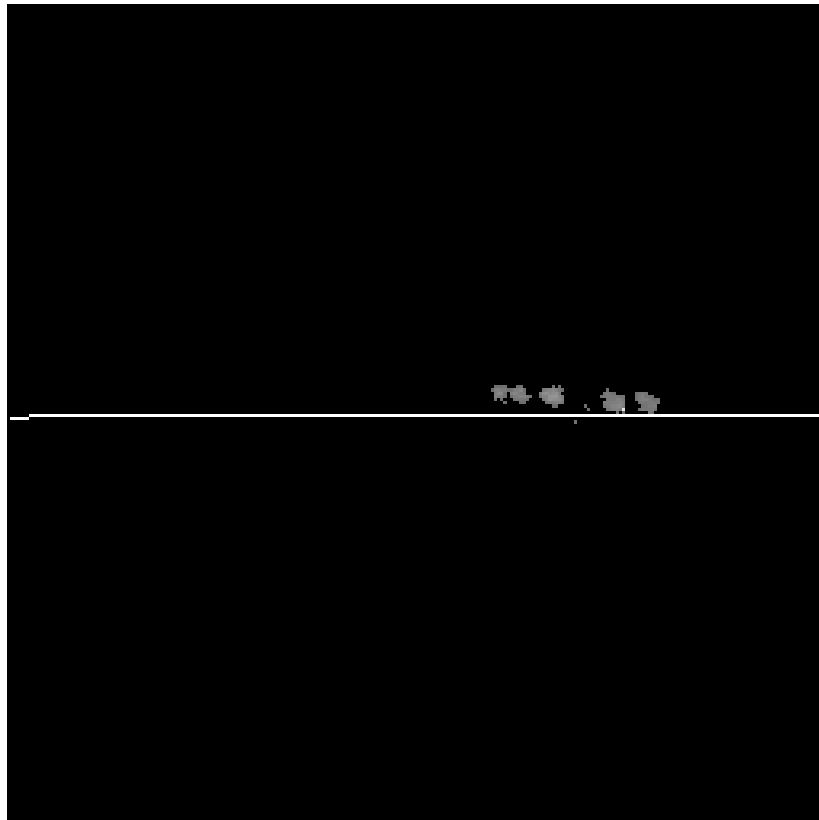
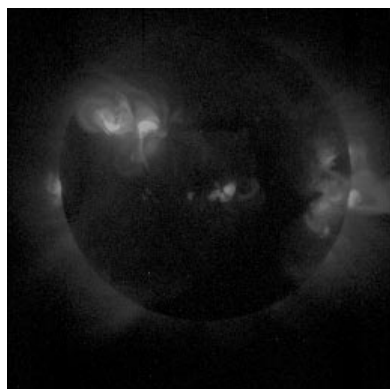
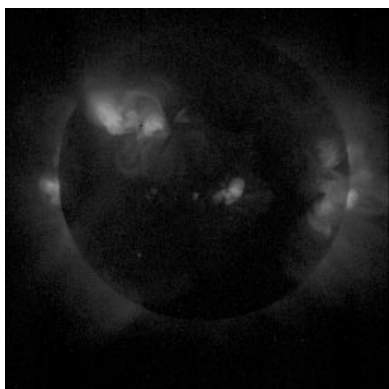


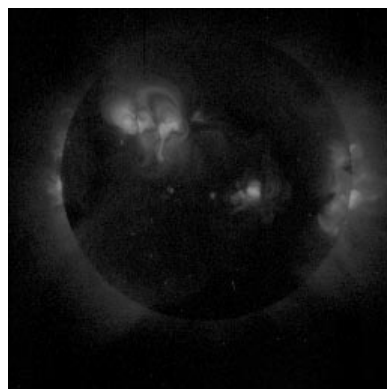
図 5. 3: 太陽のコロナの変形



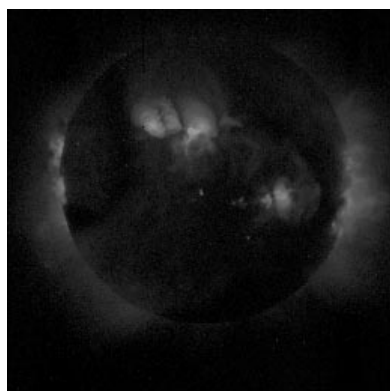
(7-MAY-93 20:54:31)



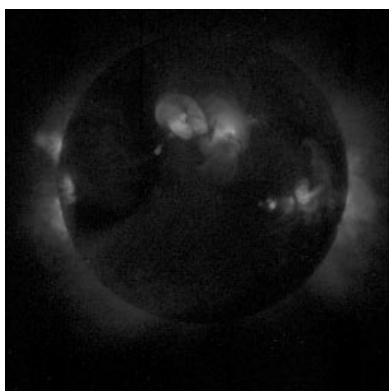
(8-MAY-93 02:00:41)



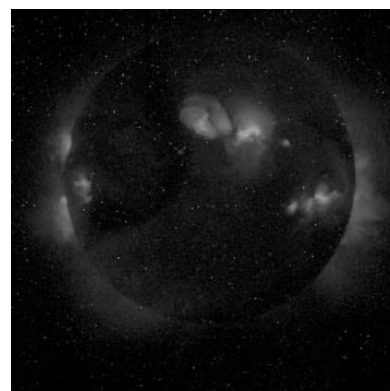
(8-MAY-93 12:04:16)



(9-MAY-93 10:05:58)



(10-MAY-93 07:11:02)



(10-MAY-93 19:26:28)

図 5.4: YOHKOH に撮影された太陽画像

## 5.2.2 太陽の回転角度の計算仕方

3章に述べたように、画像の奥行きは観測者の位置と物体の回転角度に依存する。本研究は左画像と右画像を撮れるために、球体モデルを回転角度  $4^{\circ} \sim 5^{\circ}$  で回転させる。そのために、本手法を実画像へ適用するときには実物体の回転角度も分からなければならない。本節には太陽の回転角度について説明する。

太陽は約一ヶ月で一周する。つまり約 28 日 (太陽は軸付近では回転周期 30 日、赤道付近は約 26 日くらいであり、中をとって 28 日くらいとする。) くらいで 360 度回転する。一日当たりの回転角度は  $360 \text{ 度} / 28$  である。更に、1 時間当たりの回転角度は  $(360 \text{ 度} / 28) / 24$  時間 ( $= 0.5357^{\circ}$ ) である。

例：

```
33 17-MAY-93 01:21:51 QT/H Open /AMg Half Norm C 25 5338.0 512x512
54 17-MAY-93 11:36:49 QT/H Open /AMg Half Norm C 25 5338.0 512x512
```

この場合、(01:21:51) (11:36:49) の間の時間差は 10 時間である。この間に太陽は回転角度  $(10 \times 0.5357) = 5.357^{\circ}$  で自転したことが分かる。

## 第 6 章

### 実験結果

本章では、前章で提案したマスクを用いたモルフォロジー処理で画像ペア上の誤差を補正を行う。SSSD の値による dilati on/erosi on処理の回数を決定する。補正ステレオ画像ペアを用いて、パターンマッチング法による画像上のディスパリティの計算を行う。本研究で扱った画像モデルのサイズは  $512 \times 512$  画素、256 階調の濃淡画像で、マッチングで利用したテンプレートサイズは  $1 \times 3$  画素である。また dilati on/erosi on処理で利用したマスクは  $mask_1, mask_2, \dots, mask_k$  である。また、本研究のシステム構成について述べる。

#### 6.1 システム構成

実験に利用したシステム構成を図 6. 1 に示している。本研究の構築した実験システムは三つのステップからなる。

1. 画像入力システム
2. 補正・再構成処理システム
3. 立体画像表示システム

である。画像入力システムは、X 線太陽観測衛星「ようこう」である。「ようこう」のデータから raw 画像形式へ変化するために IDL ソフトウェアを使用する。補正・構成処理システムは、モルフォロジー処理とパターンマッチング法を使う。

立体画像表示システムは、Onyx シリコングラフィックス・ワークステーション、24 インチのディスプレイと液晶シャッターメガネシステムを利用する。

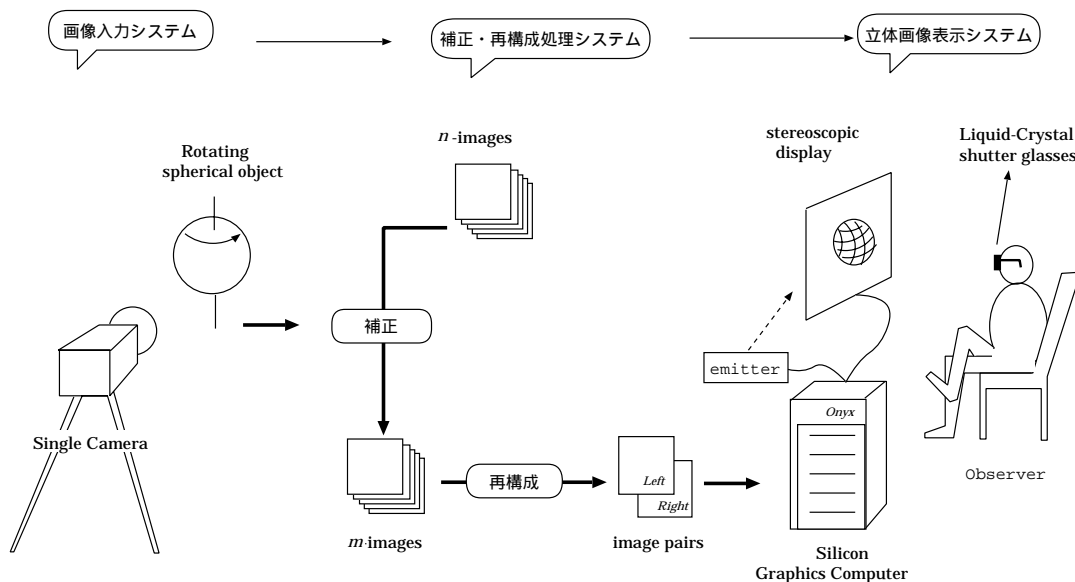


図 6.1: システム構成

## 6.2 自転球体モデルの実験結果

### 6.2.1 モルフォロジー処理による画像ペアの補正結果

4章で述べたように、ステレオ画像ペア間の誤差を補正するために、12種類の dilation/erosion のマスクを利用した。本節では各表面の変化に対して、以下のような補正結果を示す。

- 移動の変化に対する誤差の補正球体の表面は移動したために、左画像と右画像は対応しない部分が生じた。この部分が立体感の誤差である。正確な立体画像を表示するために、誤差の補正を行った。図 6.2 は扱った画像モデル、(a)  $t = 0$  の画像、 $t = 5$  の画像と (c) 移動した表面を示している。

図 6.3 に示した画像について、(a) は球体が静止している時の a-表面の状態を示し、

(b) は球体が自転して自転角度  $5^\circ$  の時の a-表面の状態を示している。(c) は (b) に示した画像の補正画像であり、補正処理で利用したマスクは mask 1 と mask 7 で、2 回の translation(mask 1) と 1 回の dilation(mask 7) の処理を行った。

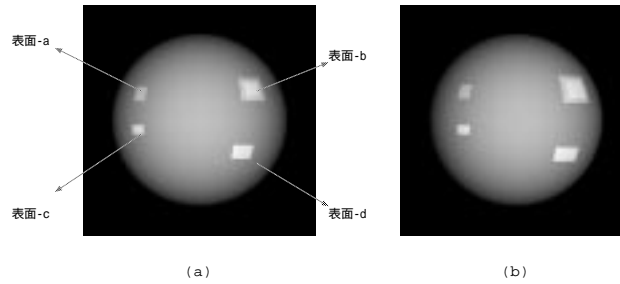


図 6.2: 画像モデル、(a)  $t = 0$  の画像、(b)  $t = 5$  の画像

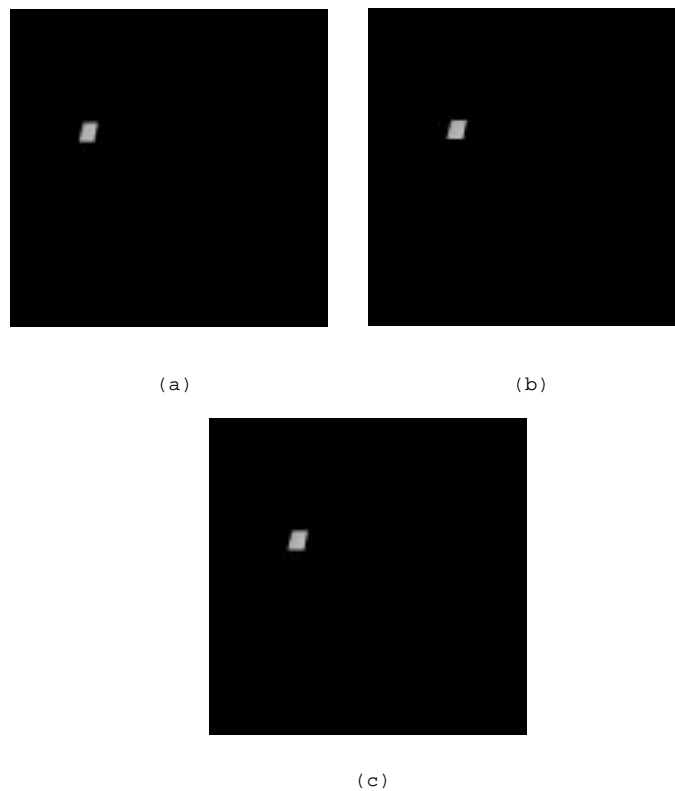


図 6.3: (a)  $t = 0$  の  $\alpha$ -表面、(b)  $t = 5$  の  $\alpha$ -表面、(c) 補正  $\alpha$ -表面

- 拡大・縮小の変化に対する誤差の補正

- 等方的拡大・縮小マスクによる誤差の補正球体の表面は拡大したために、左画像と右画像は対応しない部分が生じ、画像の立体感が損なってしまう。正確な立体画像を表示するために、誤差の補正を行った。図 6.4に示した画像について、(a) は球体が静止している時の b-表面の状態を示し、(b) は球体が自転して自転角度  $5^\circ$  の時の b-表面の状態を示している。(c) は (b) に示した画像の補正画像であり、補正処理で利用したマスクは mask 9 で、2 回の `erosion(mask 7)` の処理を行った。

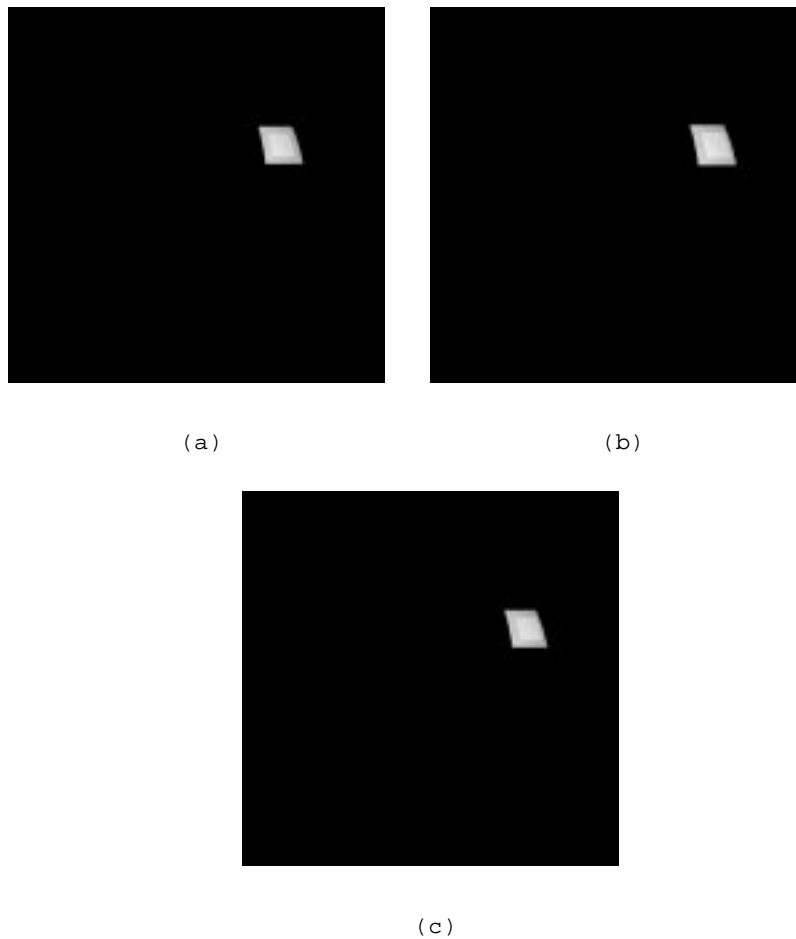


図 6.4 (a)  $t = 0$  の b-表面、(b)  $t = 5$  の b-表面、(c) 補正 b-表面



– 伸縮と移動の変化に対する誤差の補正

球体の表面は移動しながら拡大したために、左画像と右画像は対応しない部分が生じ、画像の立体感が損なってしまう。正確な立体画像を表示するために、誤差の補正を行った。図 6.5 に示した画像について、(a) は球体が静止している時の c-表面の状態を示し、(b) は球体が自転して自転角度  $5^\circ$  の時の c-表面の状態を示している。(c) は (b) に示した画像の補正画像であり、補正処理で利用したマスクは `mask_12` と `mask_2` で、2 回の `erosion(mask_12)` と 4 回の `translation(mask_2)` の処理を行った。

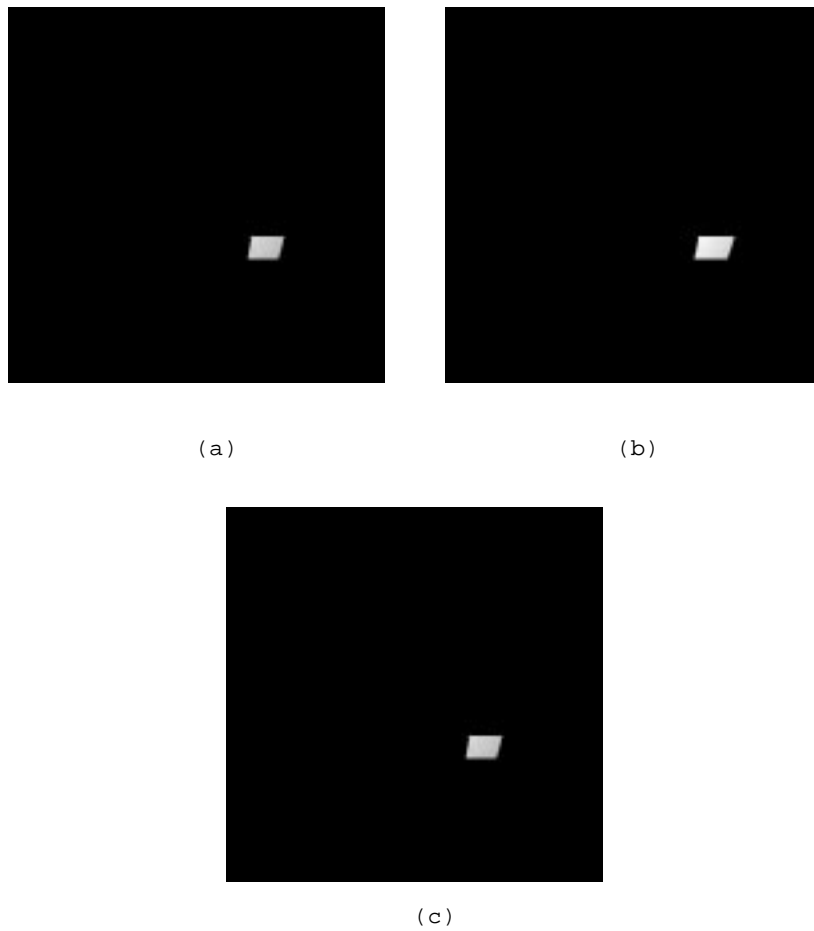


図 6.5: (a)  $t = 0$  の c-表面、(b)  $t = 5$  の c-表面、(c) 補正 c-表面

– 画像の奥行き方向へ移動の変化に対する誤差の補正

図 6.6 に示した画像について、(a) は球体が静止している時の d-表面の状態を示し、(b) は球体が自転して自転角度  $5^\circ$  の時の d-表面の状態を示している。(c) は (b) に示した画像の補正画像であり、補正処理で利用したマスクは mask 4 で、2 回の `translation(mask 4)` の処理を行った。

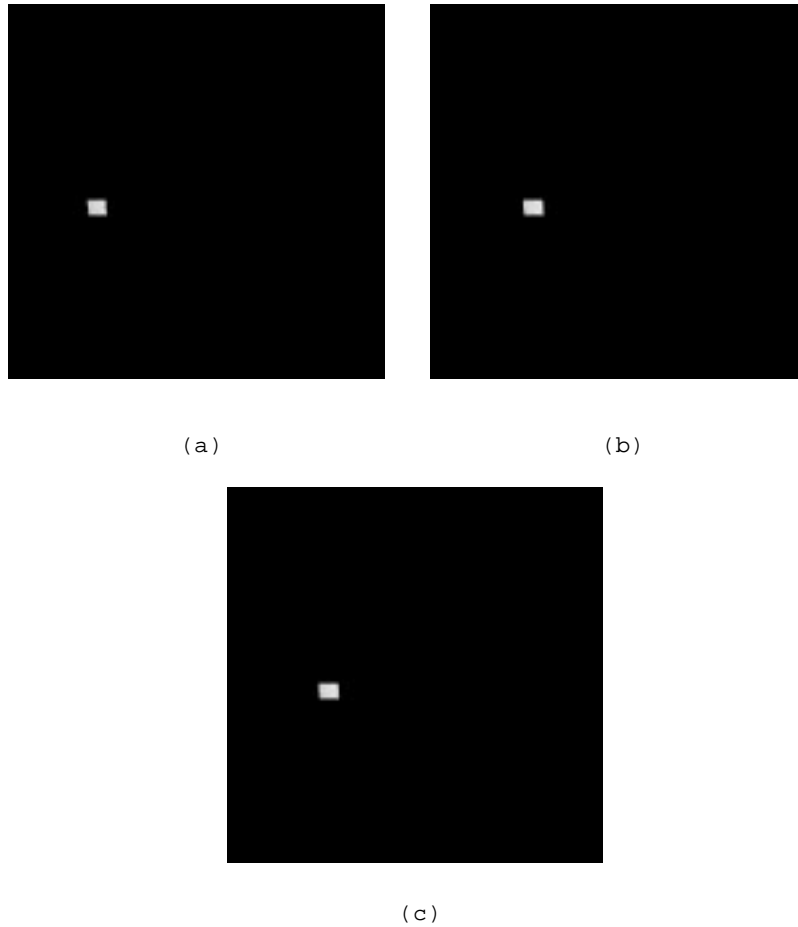


図 6. 6: (a)  $t = 0$  の d-表面、(b)  $t = 5$  の d-表面、(c) 補正 d-表面

- 非等方的拡大の変化に対する誤差の補正

図 6.7 に示した画像について、(a) は球体が静止している時の e-表面の状態を示し、(b) は球体が自転して自転角度  $5^\circ$  の時の e-表面の状態を示している。(c) は (b) に示した画像の補正画像であり、補正処理で利用したマスクは mask 8 と mask 6 で、2 回の  $\text{erosion}(\text{mask } 8)$  と 2 回の  $\text{erosion}(\text{mask } 6)$  の処理を行った。

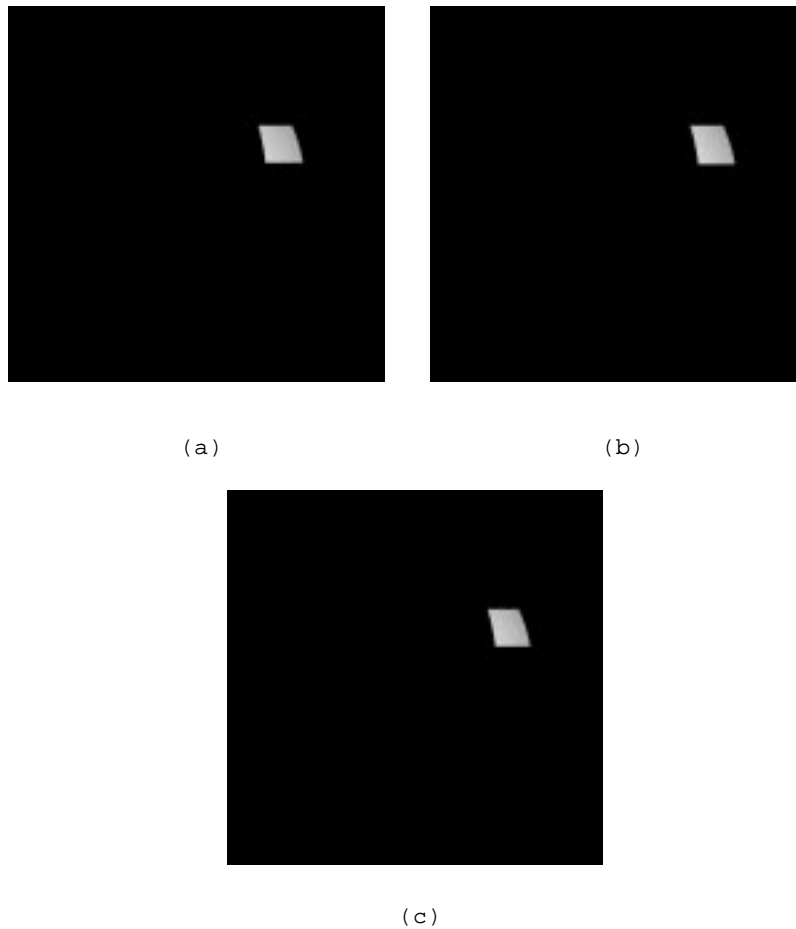


図 6.7: (a)  $t = 0$  の e-表面、(b)  $t = 5$  の e-表面、(c) 補正 e-表面

- 伸縮マスクによる誤差の補正

図 6.8 に示した画像について、(a) は球体が静止している時の f-表面の状態を示し、(b) は球体が自転して自転角度  $5^\circ$  の時の f-表面の状態を示している。(c) は (b) に示した画像の補正画像であり、補正処理で利用したマスクは `mask 11` で、2 回の `erosion(mask 11)` の処理を行った。

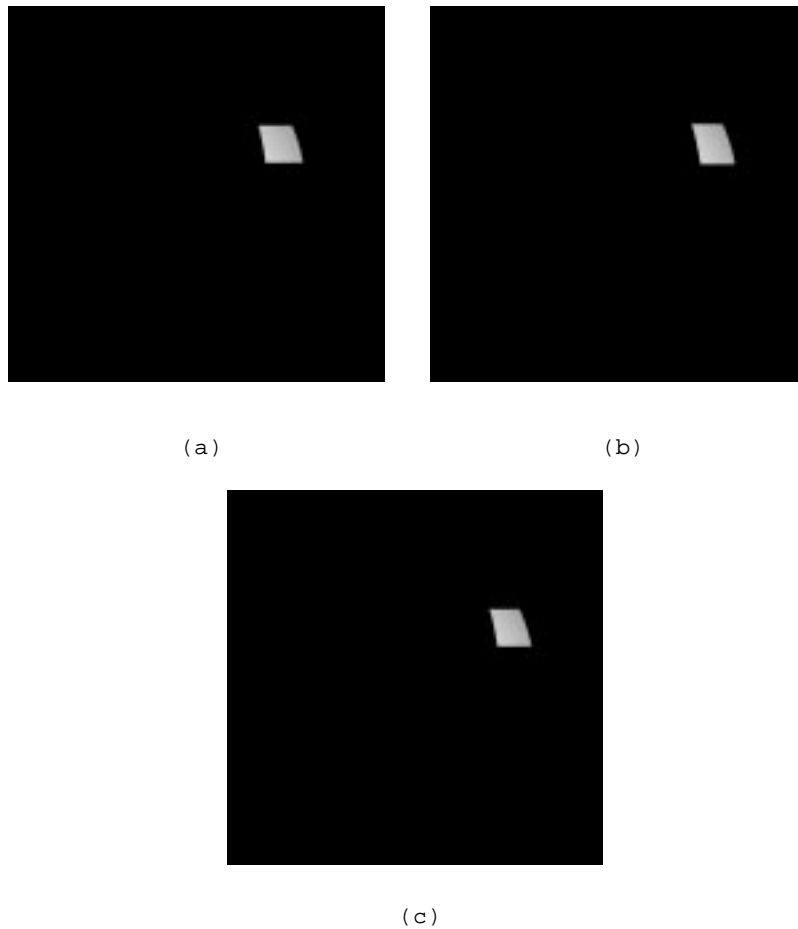


図 6.8: (a)  $t = 0$  の f-表面、(b)  $t = 5$  の f-表面、(c) 補正 f-表面

- 球体モデルに対する立体画像の復元結果

前節に述べた補正表面を用いてステレオの補正右画像を構成する。図 6.9は補正した後の  $t=5$ (自転角度  $5^\circ$ ) の球体モデル画像を示している。

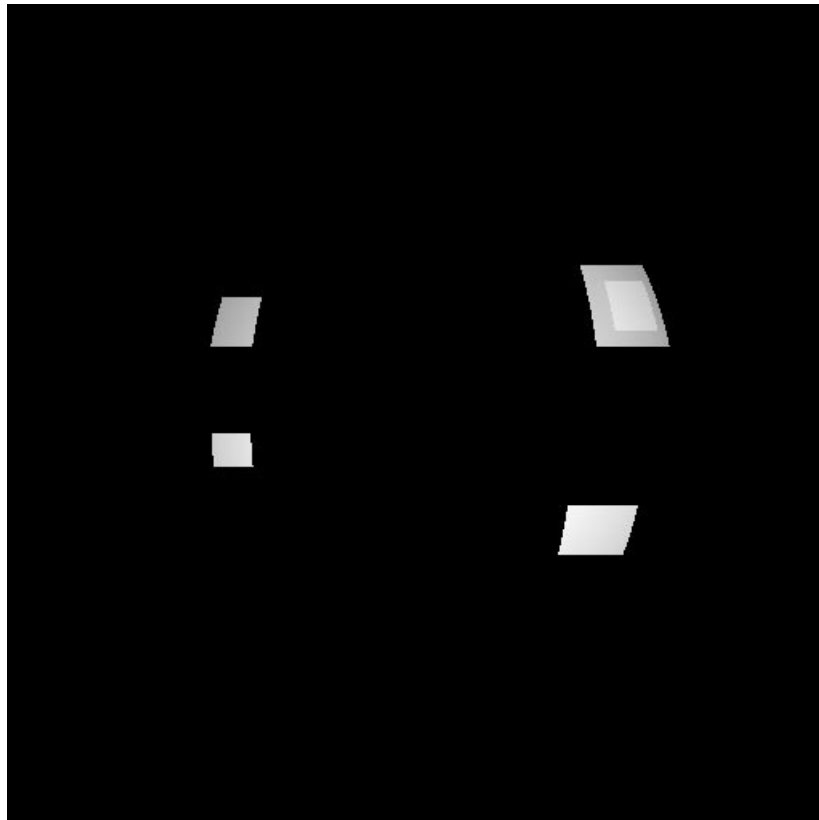
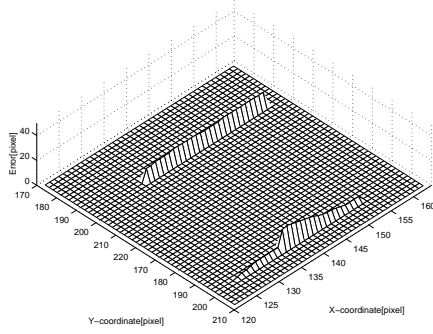


図 6.9: 補正画像 ( $t=5$ 、変化量 : 3 画素)

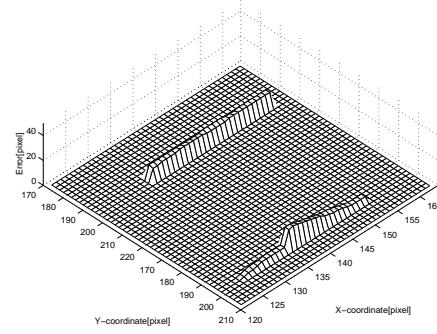
- 変化量と補正誤差との関係

4.1節に述べたように、dilatationとerosionの回数が多ければ多いほど、補正対象の構造要素は、原対象の構造要素とだんだん違って来、形状的に原対象と同じであるが、構造要素的には少しく変わっているので、ステレオマッチング処理に誤差が生じる。また、この誤差は定量的に増加すると、立体画像表示に影響し、正確な立体感を損なってしまう。変化量と補正の効果について、定量的な評価を以下のように行った。

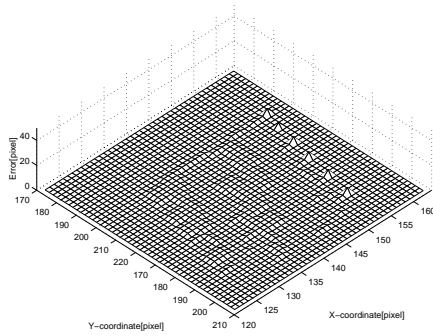
(a) 移動変化量と補正の効果



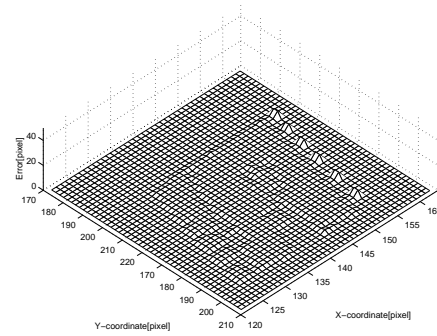
(a-1) 補正する前の誤差(変化量: 1画素)



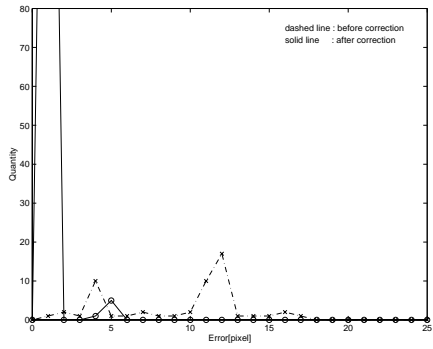
(a-2) 補正する前の誤差(変化量: 2画素)



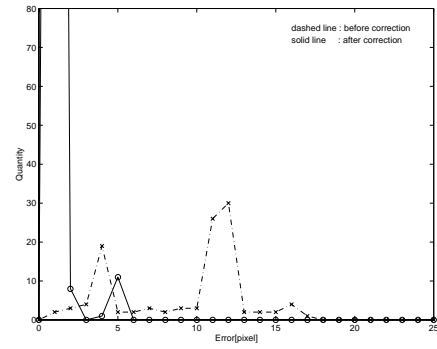
(b-1) 補正した後の誤差(変化量: 1画素)



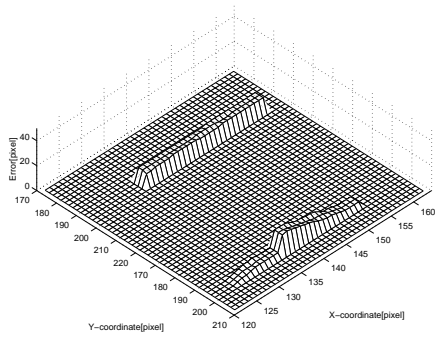
(b-2) 補正した後の誤差(変化量: 2画素)



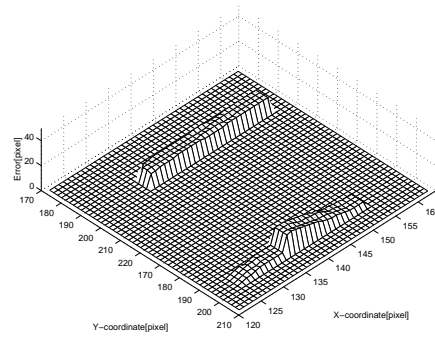
(c-1) 誤差の分布(変化量: 1画素)



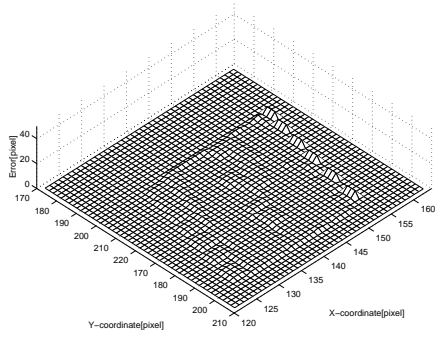
(c-2) 誤差の分布(変化量: 2画素)



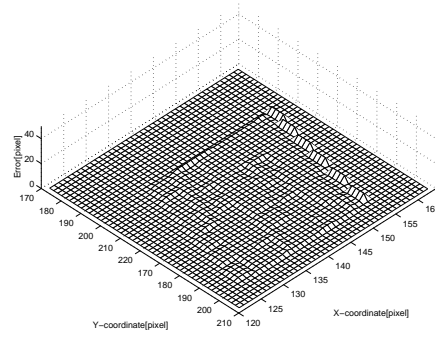
(a-3) 補正する前の誤差(変化量: 3 画素)



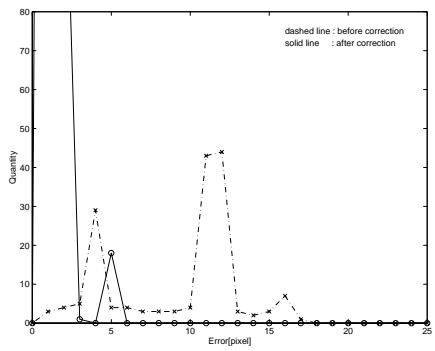
(a-4) 補正する前の誤差(変化量: 4 画素)



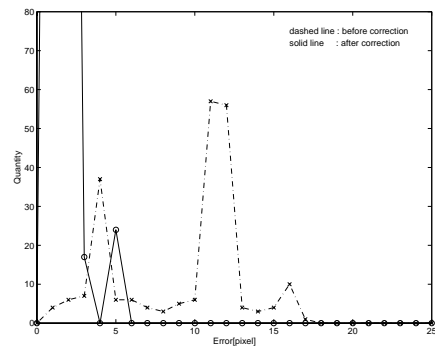
(b-3) 補正した後の誤差(変化量: 3 画素)



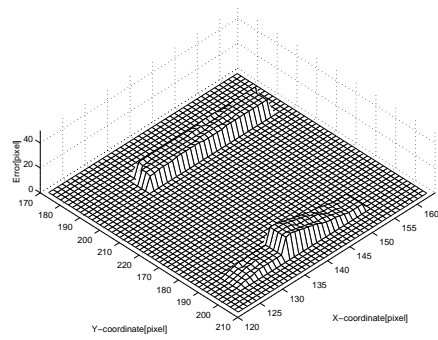
(b-4) 補正した後の誤差(変化量: 4 画素)



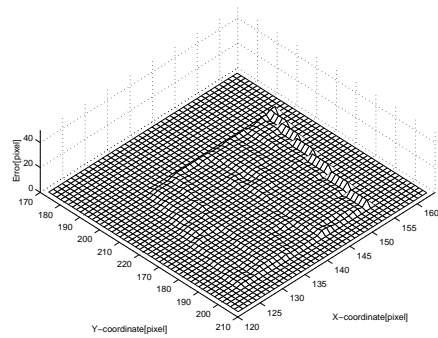
(c-3) 誤差の分布(変化量: 3 画素)



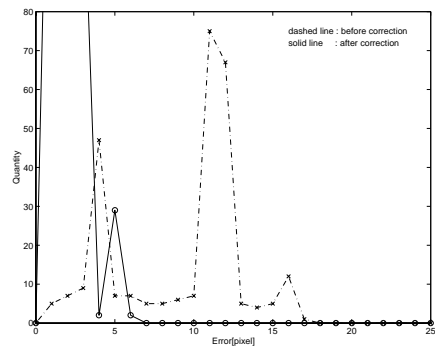
(c-4) 誤差の分布(変化量: 4 画素)



(a-5)補正する前の誤差(変化量：5画素)



(b-5)補正した後の誤差(変化量：5画素)

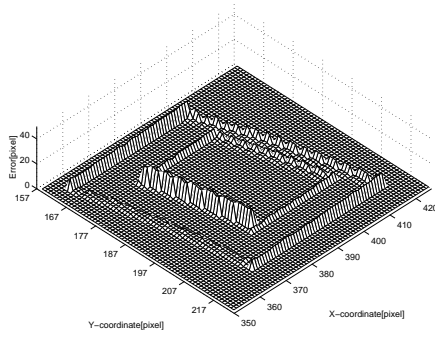


(c-5)誤差の分布(変化量：5画素)

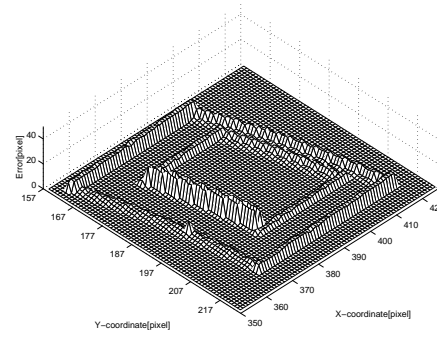
図 6.10: 表面-a の補正結果 ((a-1,b-1,c-1) ~ (a-5, b-5, c-5))



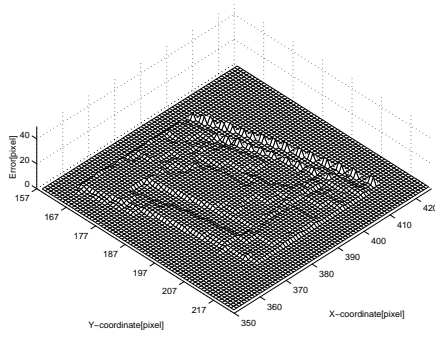
(b) 拡大・縮小変化量と補正の効果



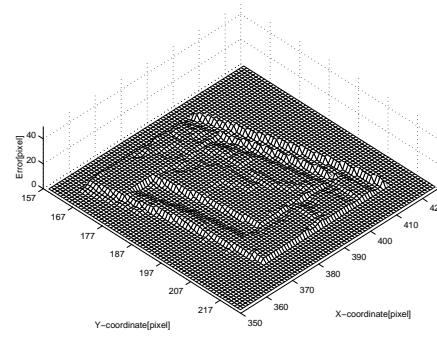
(a-1) 補正する前の誤差(変化量：1画素)



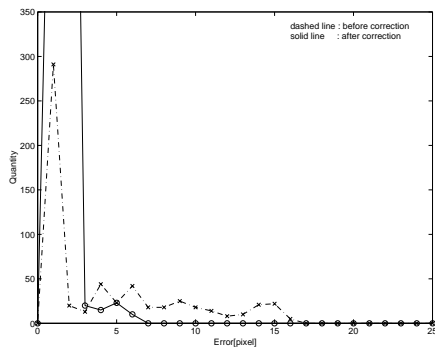
(a-2) 補正する前の誤差(変化量：2画素)



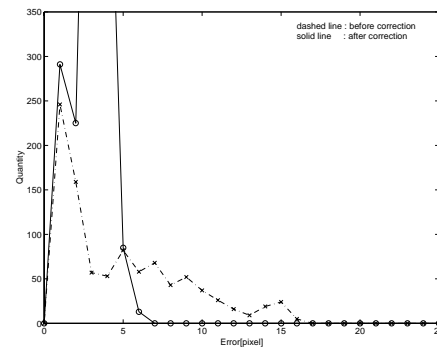
(b-1) 補正した後の誤差(変化量：1画素)



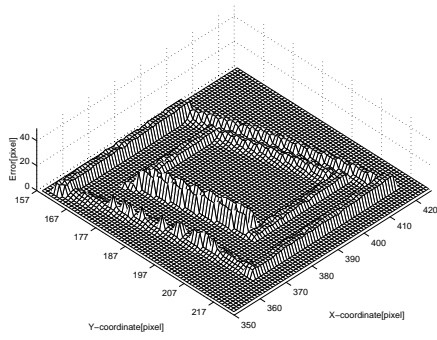
(b-2) 補正した後の誤差(変化量：2画素)



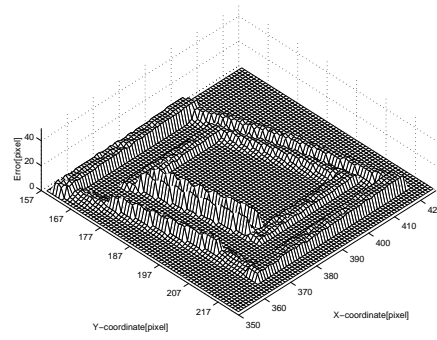
(c-1) 誤差の分布(変化量：1画素)



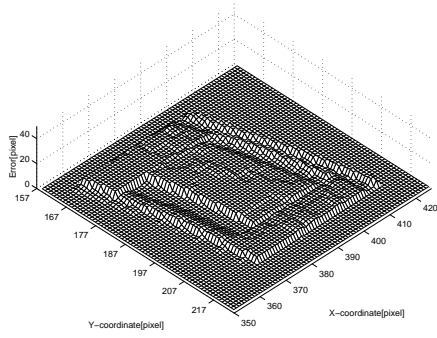
(c-2) 誤差の分布(変化量：2画素)



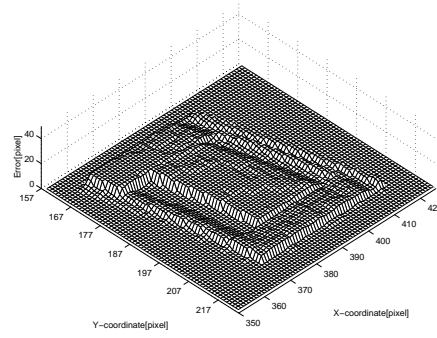
(a-3) 補正する前の誤差(変化量: 3 画素)



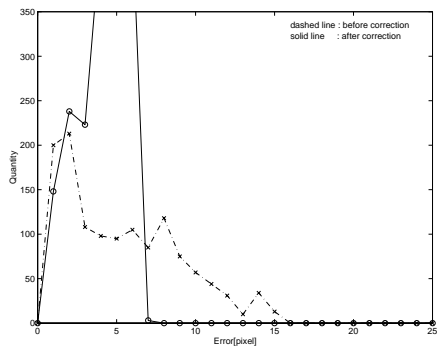
(a-4) 補正する前の誤差(変化量: 4 画素)



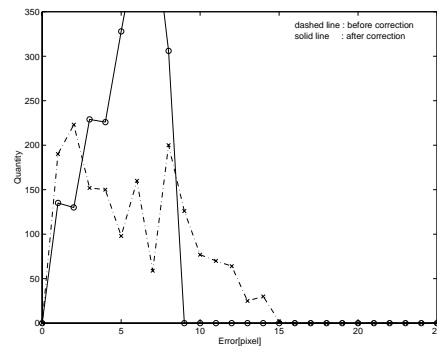
(b-3) 補正した後の誤差(変化量: 3 画素)



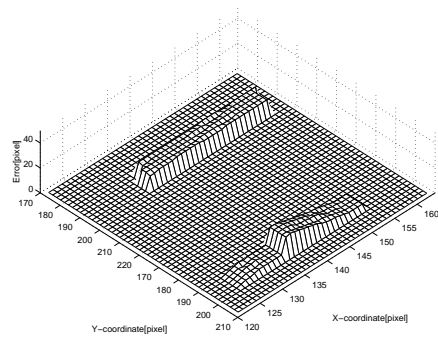
(b-4) 補正した後の誤差(変化量: 4 画素)



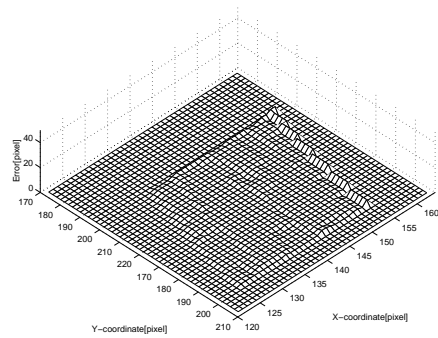
(c-3) 誤差の分布(変化量: 3 画素)



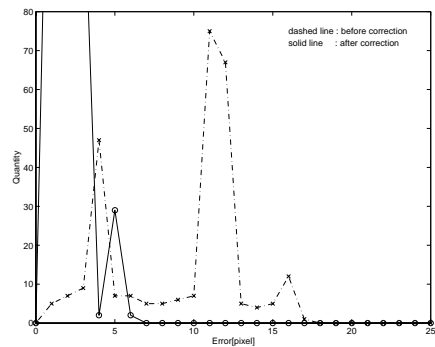
(c-4) 誤差の分布(変化量: 4 画素)



(a-5)補正する前の誤差(変化量：5画素)



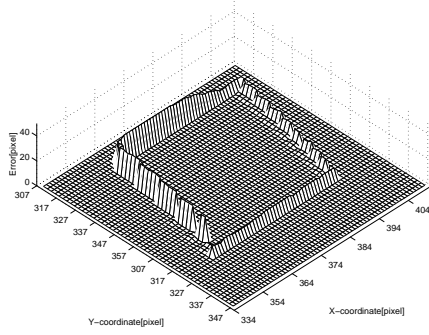
(b-5)補正した後の誤差(変化量：5画素)



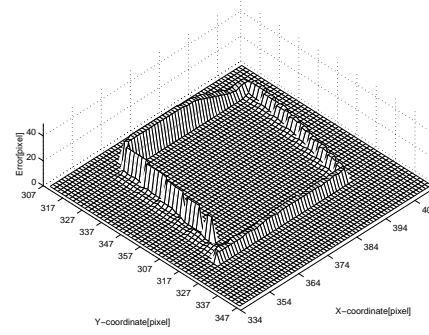
(c-5)誤差の分布(変化量：5画素)

図 6.11: 表面-b の補正結果 ((a-1, b-1, c-1) (a-5, b-5, c-5))

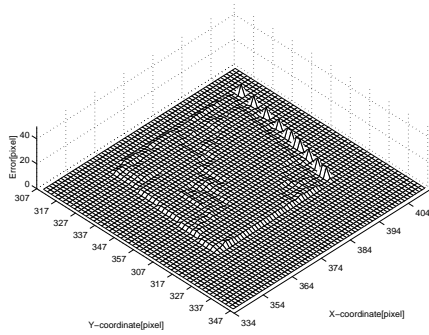
(c) 移動・伸縮変化量と補正の効果



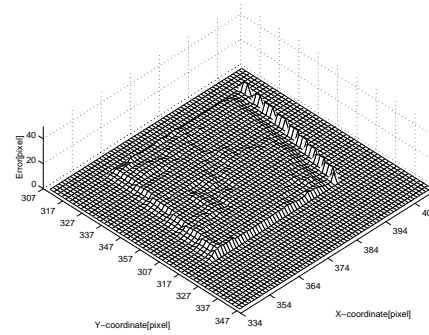
(a-1) 補正する前の誤差(変化量：1画素)



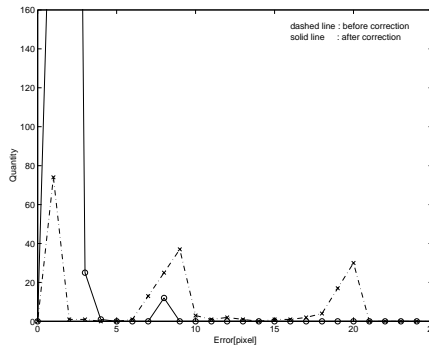
(a-2) 補正する前の誤差(変化量：2画素)



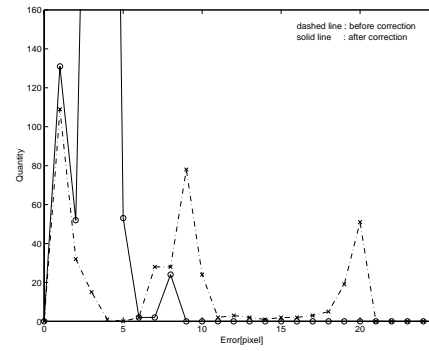
(b-1) 補正した後の誤差(変化量：1画素)



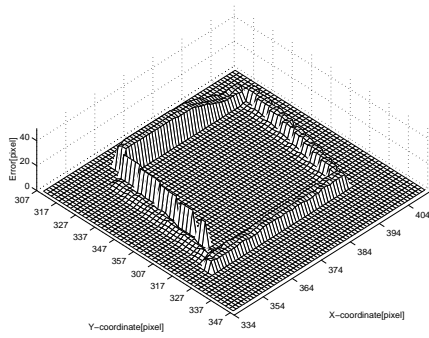
(b-2) 補正した後の誤差(変化量：2画素)



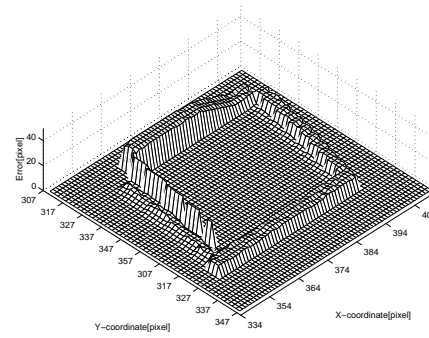
(c-1) 誤差の分布(変化量：1画素)



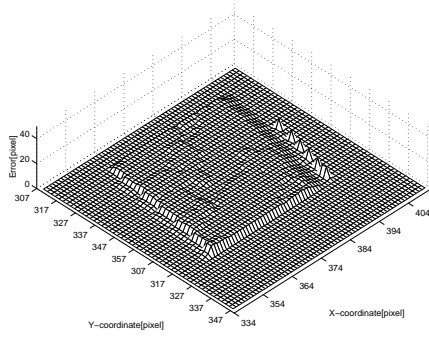
(c-2) 誤差の分布(変化量：2画素)



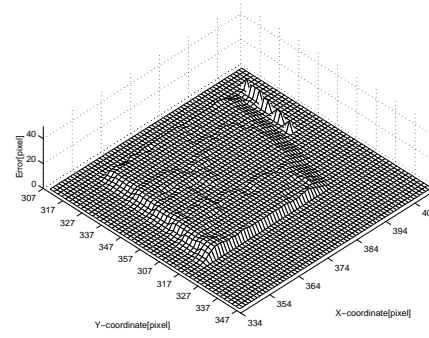
(a-3) 補正する前の誤差(変化量：3画素)



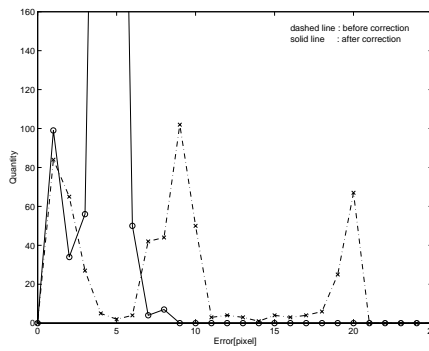
(a-4) 補正する前の誤差(変化量：4画素)



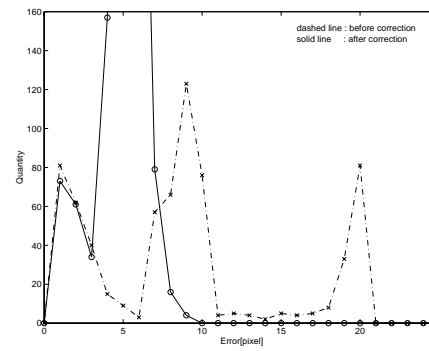
(b-3) 補正した後の誤差(変化量：3画素)



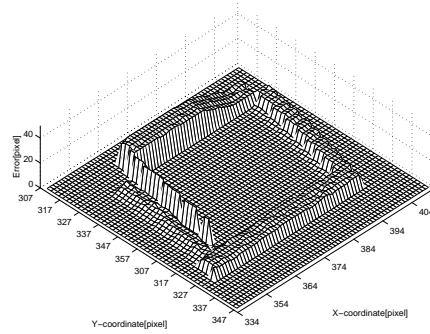
(b-4) 補正した後の誤差(変化量：4画素)



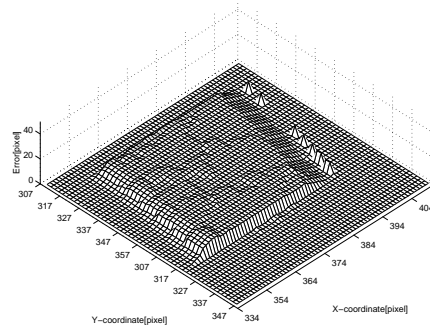
(c-3) 誤差の分布(変化量：3画素)



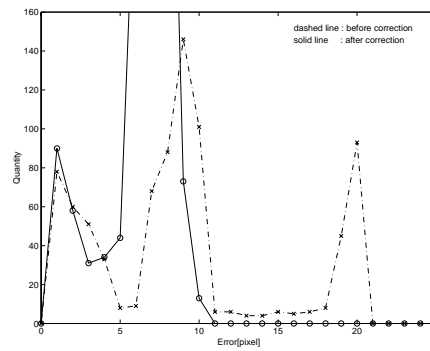
(c-4) 誤差の分布(変化量：4画素)



(a-5)補正する前の誤差(変化量：5画素)



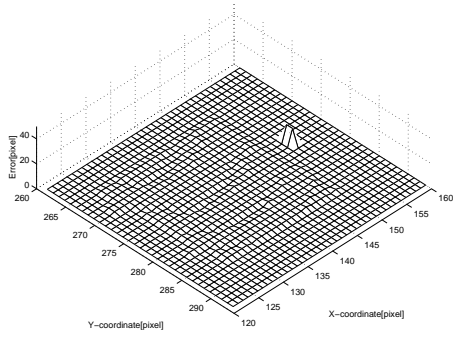
(b-5)補正した後の誤差(変化量：5画素)



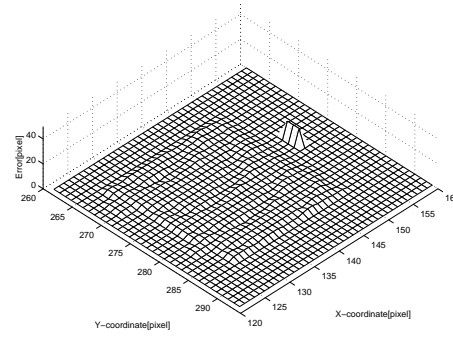
(c-5)誤差の分布(変化量：5画素)

図 6.12: 表面-c の補正結果 ((a-1,b-1,c-1) ~ (a-5, b-5, c-5))

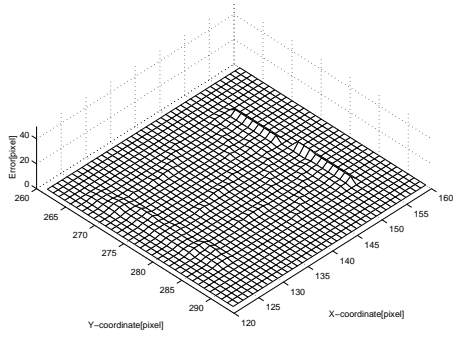
(d) z-方向移動変化量と補正の効果



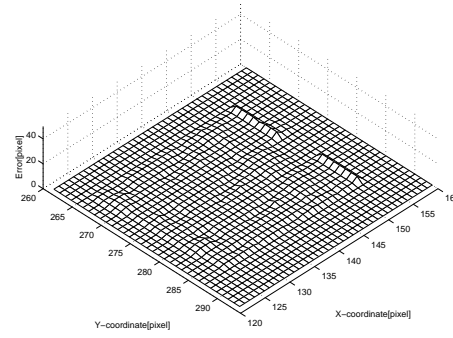
(a-1) 補正する前の誤差(変化量: 1 画素)



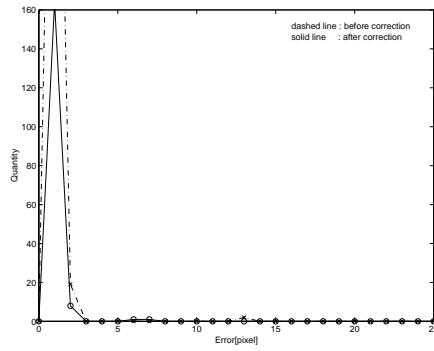
(a-2) 補正する前の誤差(変化量: 2 画素)



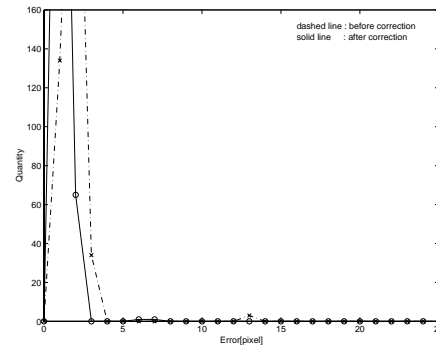
(b-1) 補正した後の誤差(変化量: 1 画素)



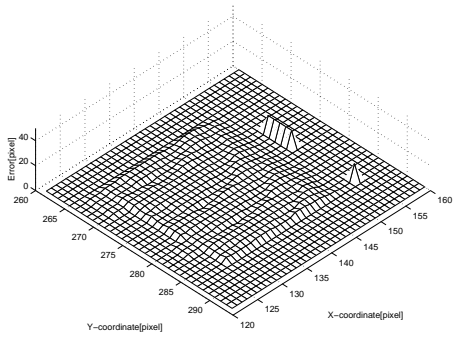
(b-2) 補正した後の誤差(変化量: 2 画素)



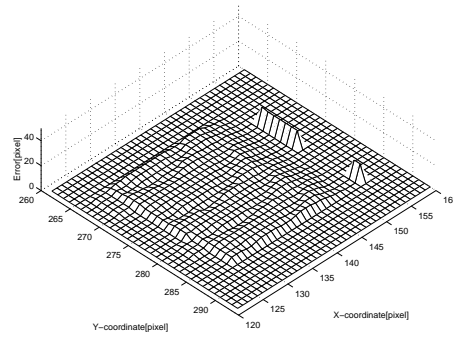
(c-1) 誤差の分布(変化量: 1 画素)



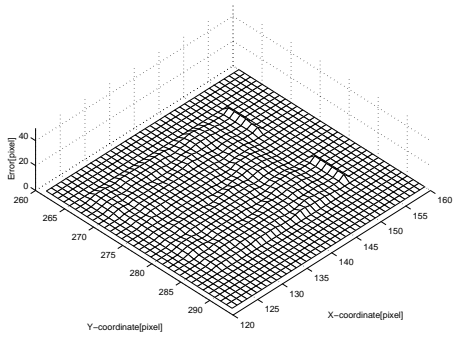
(c-2) 誤差の分布(変化量: 2 画素)



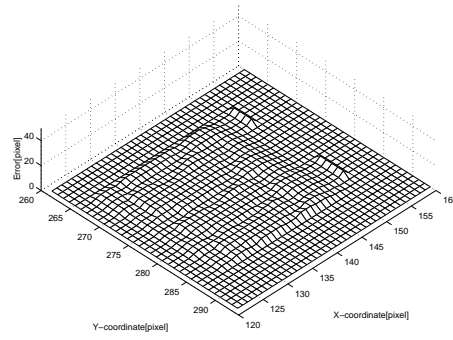
(a-3)補正する前の誤差(変化量：3画素)



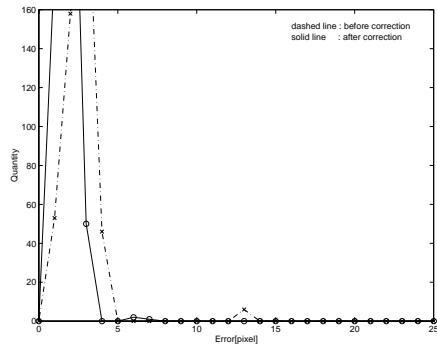
(a-4)補正する前の誤差(変化量：4画素)



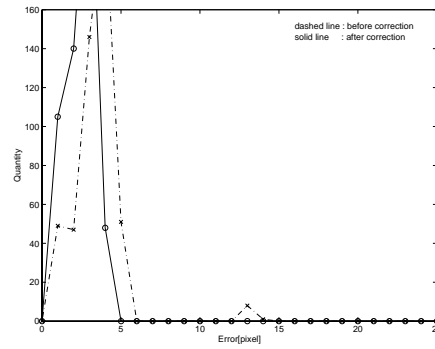
(b-3)補正した後の誤差(変化量：3画素)



(b-4)補正した後の誤差(変化量：4画素)

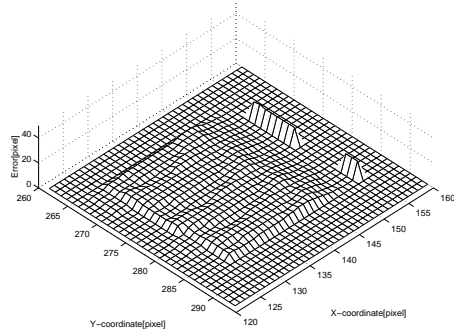


(c-3)誤差の分布(変化量：3画素)

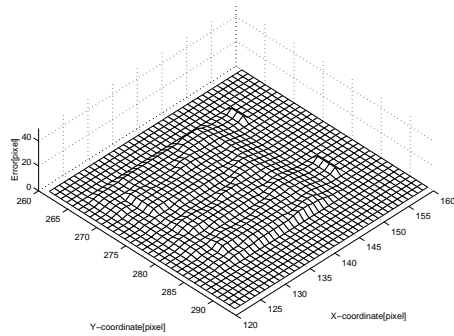


(c-4)誤差の分布(変化量：4画素)

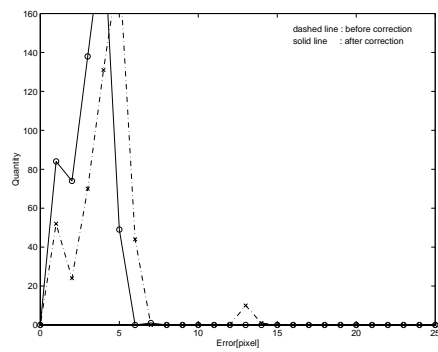




(a-5)補正する前の誤差(変化量：5画素)

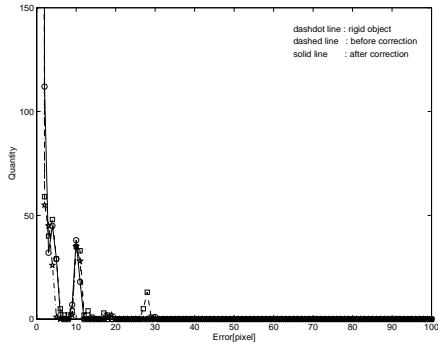


(b-5)補正した後の誤差(変化量：5画素)

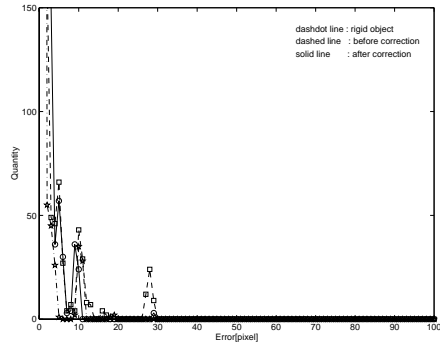


(c-5)誤差の分布(変化量：5画素)

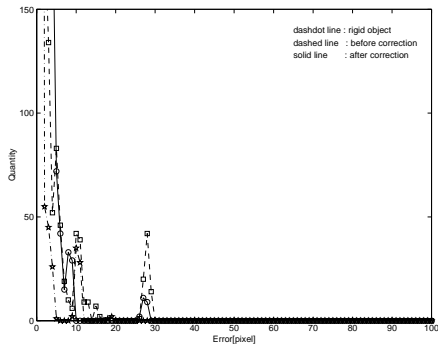
図 6.13: 表面-d の補正結果 ((a-1,b-1,c-1) ~ (a-5, b-5, c-5))



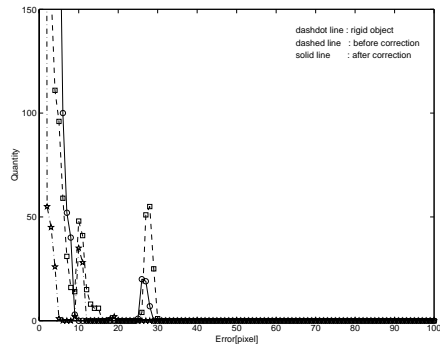
(a)変化量：1画素



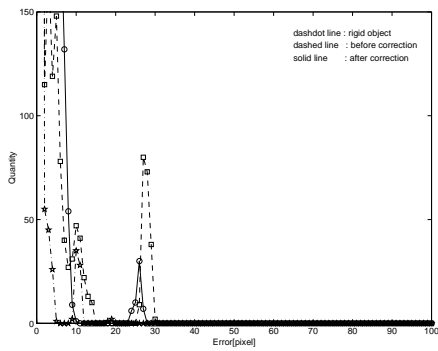
(a)変化量：2画素



(a)変化量：3画素



(a)変化量：4画素



(a)変化量：5画素

図 6.14: ステレオ画像ペアの再構成誤差の分布

- 自転球体表面の変化量による実験結果

- 移動変化量と補正の効果

図 6.10 に示すのは、自転球体表面を定量的に移動変化することによって補正効率が変わる。まず、図 6.10 の (a-1)、(b-1)、(c-1) について、それぞれは補正を行う前の奥行き誤差、補正を行った後の奥行き誤差とその奥行き誤差の分布の図を示している。移動変化量は、1 画素である。同様に、6.11 の (a-2)、(b-2)、(c-2)~(a-5)、(b-5)、(c-5) は、移動変化量は、1 ~ 5 画素である。

- 拡大・縮小変化量と補正の効果

図 6.11 に示すのは、自転球体表面を定量的に拡大変化することによって補正効率が変わる。まず、図 6.11 の (a-1)、(b-1)、(c-1) について、それぞれは補正を行う前の奥行き誤差、補正を行った後の奥行き誤差とその奥行き誤差の分布の図を示している。拡大変化量は、1 画素である。同様に、図 6.11 の (a-2)、(b-2)、(c-2)~(a-5)、(b-5)、(c-5) は、拡大変化量は、1 ~ 5 画素である。

- 移動・伸縮変化量と補正の効果

図 6.11 に示すのは、自転球体表面を定量的に移動・伸縮変化することによって補正効率が変わる。まず、図 6.11 の (a-1)、(b-1)、(c-1) について、それぞれは補正を行う前の奥行き誤差、補正を行った後の奥行き誤差とその奥行き誤差の分布の図を示している。移動・伸縮変化量は、1 画素である。同様に、図 6.11 の (a-2)、(b-2)、(c-2)~(a-5)、(b-5)、(c-5) は、移動・伸縮変化量は、1 ~ 5 画素である。

- z-方向移動変化量と補正の効果

図 6.11 に示すのは、自転球体表面を定量的に奥行き方向へ移動変化することによって補正効率が変わる。まず、図 6.11 の (a-1)、(b-1)、(c-1) について、それぞれは補正を行う前の奥行き誤差、補正を行った後の奥行き誤差とその奥行き誤差の分布の図を示している。奥行き方向への変化量は、1 画素である。同様に、図 6.11 の (a-2)、(b-2)、(c-2)~(a-5)、(b-5)、(c-5) は、奥行き方向への変化量は、1 ~ 5 画素である。

- ステレオ画像ペアの再構成

補正処理の画像結果を用いてステレオ画像ペアの再構成を行う。ステレオ左右モデル

画像の構成は、まず、2枚の補正画像(左右画像)のディスパリティ値をSSDAパターンマッチング法で計算し、補正右画像と計算したディスパリティ値を用いて新左画像を作成する(2章に参照)。この補正した後の再構成左画像と補正する前の再構成左画像は、剛体物体モデルの再構成左画像に比較する。その結果は図6.14に示している。

- 考察

上記で示した4種類の定量的な表面変化の実験結果から本手法の有効性を検討する。

- まず、自転球体表面の移動変化に対する補正結果の場合、移動マスクでモルフォロジー処理しか行わないので、対象表面は、構造的に変わらず、対象表面の位置だけを場所的に変えることができるので、自転角度 $5^\circ$ での変化量を5画素までに増加させても誤差が少なく、図6.1dに示しているような補正結果が得られる。この補正画像を用いてステレオ画像ペアの再構成を行う。解析的な立体画像の再現結果は表6.1に示している。
- 次に、表面の拡大・縮小変化に対する補正結果の場合、4.1.節で述べたように、拡大・侵食マスクでモルフォロジー処理を行うので、対象表面は、構造的に少しずつ変わって、自転角度 $5^\circ$ での変化量を3画素以上に増加させると、図6.10に示すように誤差補正結果が悪くなり、解析的な立体画像の表示率も落ちて来る。(表6.1に参照)
- 表面の移動・伸縮変化に対する補正結果の場合、横拡大変化と移動変化の組み合わせであるので、移動マスクと拡大・侵食マスクでモルフォロジー処理を行う。対象表面は、構造と位置的に少しずつ変わるために、自転角度 $5^\circ$ での変化量を3画素以上に増加させると、図6.10に示すように誤差補正結果が悪くなり、解析的な立体画像の表示率も落ちて来る。(表6.1に参照)
- 表面の奥行き方向への移動変化に対する補正結果の場合、表面の自転速度が早くなるので、横侵食マスクでモルフォロジー処理を行う。対象表面は、位置的に少しく外れるだけで、誤差もより少ない。解析的な立体画像の再現結果は表6.1に示している。

上記で述べたように、ステレオ画像ペアの再構成誤差分布の図を見ると、変化量の3画素までには、良いステレオ画像ペアを再構成することが出来る。補正左右画像は剛体物体モデルの左右画像に比較し、表6.1のような結果が得られた。本研究で定義し

た滑らかに変化する自転球体表面の変化量は1~3画素であれば、本手法の解析的な有効性は78%以上であることを確認した。表6.1に示しているのは、(再構成した補正左右画像(非剛体)の奥行き / 正確な左右画像(剛体)の奥行き) × 100%の立体表示率である。

表 6.1: 立体画像の再現結果

変化種類	変化量 (画素)	立体表示率
移動変化	1	96%
	2	95%
	3	92%
	4	90%
	5	88%
拡大・縮小変化	1	80%
	2	78%
	3	76%
	4	68%
	5	60%
移動・伸縮変化	1	91%
	2	84%
	3	78%
	4	72%
	5	64%
奥行き方向への移動変化	1	92%
	2	90%
	3	88%
	4	84%
	5	80%

### 6.3 実画像での実験結果

5 節に述べたように、本研究では X 線観測衛星「ようこう」で得られた X 線太陽画像へ本手法の適用し、その有効性を検討する。前節では、自転球体のモデルに対する実験を行った。自転球体のモデルでの実験では、各表面に対する補正を行い、正確なステレオ画像ペアを構成する。液晶シャッターメガネを使い、コンピュータディスプレイ上に立体画像表示を行う。本節では実画像に対する実験を次のような補正結果を示す。

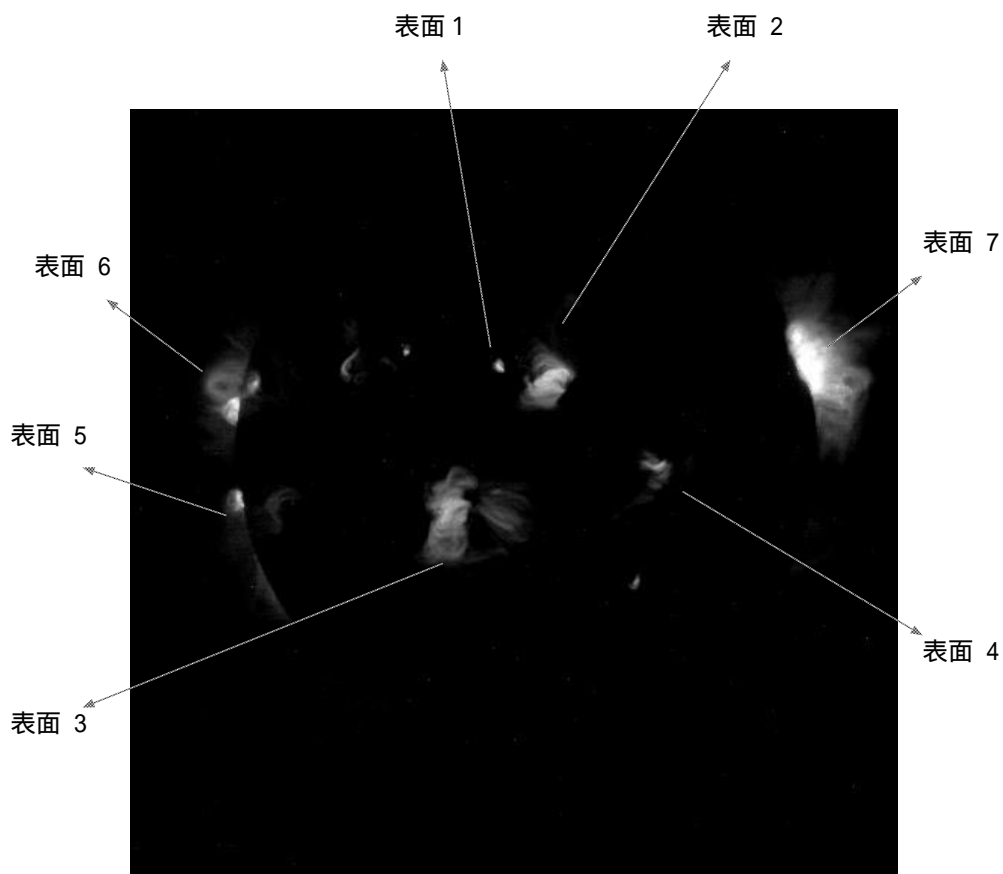


図 6.15: 17-MAY-93 01:21:51 に「ようこう」で撮影された太陽の表面

- 補正処理実験

まず、図 6.15 に示すように、それぞれの太陽表面が別々な変形を持っている。このような表面を表面 1 ~ 表面 7 に分けられる。5 節に述べたように、扱う「ようこう」

データは 17-MAY-93 01:21:51( 左画像) と 17-MAY-93 11:36:49( 右画像) のデータであり、自転角度  $5.357^\circ$  である。以下には、各表面に対する補正を行った。

– 表面 1 に対する誤差の補正

表面 1 は太陽が自転する間に移動と拡大する太陽表面である。正確な立体画像を表示するために、左右画像の補正を行った。補正処理で利用したマスクは mask 2 と mask 10 であり、3 回の translation(mask 2) と 1 回の dilation(mask 0) で左画像の補正処理を行った。

– 表面 2 に対する誤差の補正

表面 2 は太陽が自転する間に移動と拡大する太陽表面である。正確な立体画像を表示するために、左右画像の補正を行った。補正処理で利用したマスクは mask 7 と mask 2 で、左画像を 3 回の translation(mask 2) の処理と 5 回の erosion(mask 2) の補正処理を行った。

– 表面 3 に対する誤差の補正

表面 3 は太陽が自転する間に移動と拡大する太陽表面である。正確な立体画像を表示するために、左右画像の補正を行った。補正処理で利用したマスクは mask 8 と mask 2 で、左画像を 1 回の translation(mask 2) の処理と 5 回の erosion(mask 2) の補正処理を行った。

– 表面 4 に対する誤差の補正

表面 4 は太陽が自転する間に拡大する太陽表面である。正確な立体画像を表示するために、左右画像の補正を行った。補正処理で利用したマスクは mask 2 であり、左画像を 2 回の erosion(mask 2) の補正処理を行った。

– 表面 5 に対する誤差の補正

表面 5 は太陽が自転する間に移動と拡大する太陽表面である。正確な立体画像を表示するために、左右画像の補正を行った。補正処理で利用したマスクは mask 2、mask 8 であり、左画像を 2 回の erosion(mask 2) の処理と 2 回の erosion(mask 8) の補正処理を行った。

– 表面 6 に対する誤差の補正

変化が少ないので、1 回の close 処理しか行わなかった。



– 表面 7 に対する誤差の補正

変化が少ないので、1 回の closing 処理しか行わなかった。

● ステレオ画像ペアの再構成

次のステップは、補正処理の画像結果を用いてステレオ画像ペアの再構成を行う。ステレオ左右画像の構成について、次のような処理を行う。

– まず、2 枚の補正画像 (左右画像) のディスパリティ値を SSDA パターンマッチング法で計算する。

– 補正右画像と計算したディスパリティ値を用いて新左画像を作成する。

– 補正左画像と計算したディスパリティ値を用いて新右画像を作成する (2 章に参照)。

再構成処理を行ったステレオ画像ペア結果は図 6.17 に示している。

● 実画像への本手法の有効性の評価

実画像での実験は、自転球体のモデルでの実験と同様に、X 線太陽画像をいくつかの表面部分に分ける。X 線画像を明るさによって閾値処理を行い、図 6. 1 に示すように 7 つの表面に分割する。図 6. 1 を見て分かるように、太陽の表面の変化が自転する間に各表面が別々な変化を持っている。表面 1 と表面 4 はそれぞれ移動・拡大と移動の変化する表面である。図 6. 17 に示すように正確に補正することが出来た。表面 6 と表面 7 は変化量が少ないために closing 処理を行っただけである。表面 2、表面 3 と表面 5 の変化は激しくて、また発生・消滅する部分が多いので、正確に補正することが困難である。表面 2 に関しては、左画像の表面 2 の上部分と表面の位置の補正を行った。表面 3 に関しては、左画像の表面 3 の下部分と表面の位置の補正を行った。右画像の表面 5 には発生する部分が多いので、縮小補正を行った。

上記で述べた補正処理の画像結果を用いてステレオ画像ペアの再構成を行った。ステレオ左右画像結果は図 6. 17 に示している。図 6. 16 と図 6. 17 のそれぞれ処理前のステレオ画像ペアと処理後のステレオ画像ペアを用いて本手法の有効性を検討する。まず、人間の視覚的な検討は、液晶メガネシャッタを利用し、2 枚の左右画像をコンピュータディスプレイ上で 1/60 秒に切替えて表示する。解析的な検討は、再構成した左右画像と原左右画像の誤差を計算し、処理前の誤差と処理後の誤差を比較する。この

誤差の分布は図 6.18に示している。解析的な数値データでは、補正処理後の立体画像表示は、補正処理前に比べて良い結果が得られた。また、処理後の(再構成した左右画像 / 原左右画像) × 100%の計算は、75%以上に立体表示することが出来た。

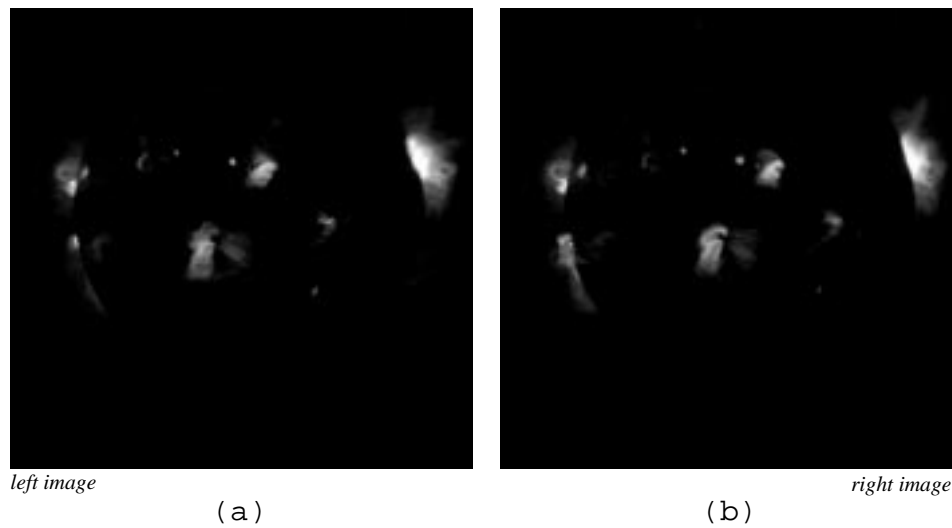


図 6. 16: (a) 17-MAY- 93(01: 21: 51)の「ようこう」データ、(b) 17- MA Y- 93( 11: 36: 49)の「ようこう」データ

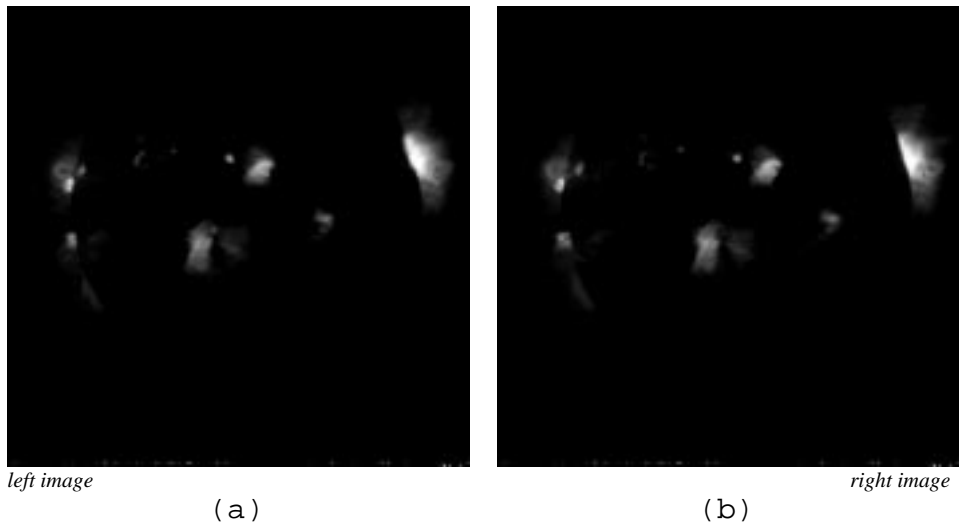
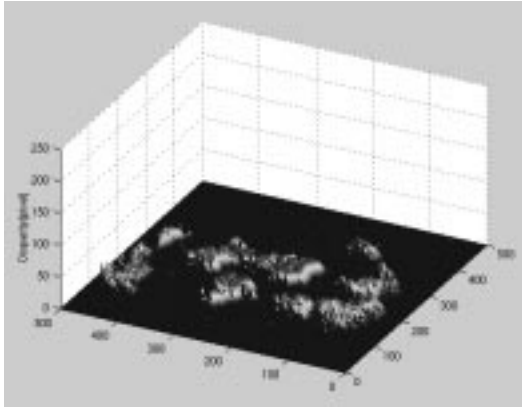
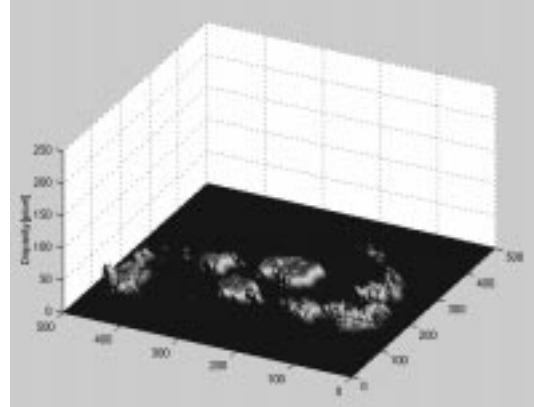


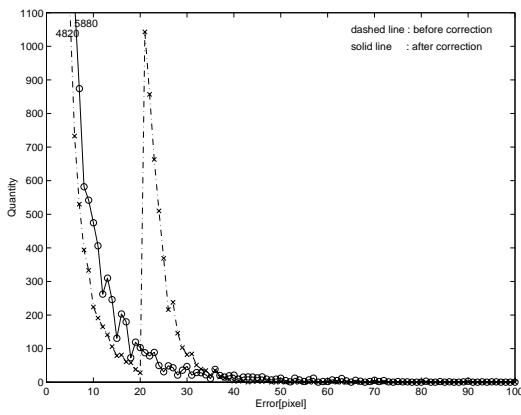
図 6.17: 補正ステレオ画像ペア (a) 左画像、(b) 右画像



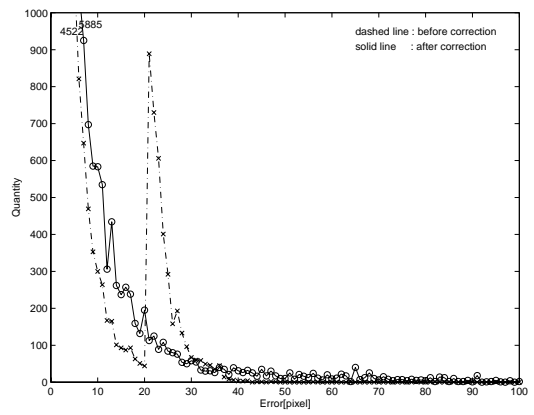
(a)



(b)



(c)



(d)

図 6.18: (a)(b) 処理前と処理後の視差値、(c) 左画像の再構成誤差 (d) 右画像の再構成誤差

## 第 7 章

### まとめ

単一の固定カメラを利用するステレオ立体視の場合では、対象物体が滑らかで緩やかな変形・動くときに、どの程度までに正確な立体画像を表示することが出来るかを本研究の目的である。液晶シャッタ付き眼鏡などを使用し、コンピュータのディスプレイ上で立体画像の表示を行った。まず、対象物体をコンピュータグラフィックス (CG) でモデル化し、物体の表面を変化させることによって、ディスパリティ誤差を補正する。また、物体の回転角度を  $5^\circ$  を決め、回転角度 (時刻) の異なる 2 枚の画像ペア (左右画像) を生成する。単一カメラで撮影した球体の左右画像の誤差 (表面が変化するための誤差) を補正と正確な立体画像を表示するために、次のような 3 つの処理システムを新しく考えた。

- モルフォロジー処理を用いて左右画像の誤差を補正する。
- 補正した左右画像のディスパリティ値を SSDA パターンマッチングによる新左右画像を再構成する。
- 新左右画像を用いて液晶シャッタ付けメガネを利用する立体画像表示と数値データ的な立体表示を行う。

最後に X 線太陽観測衛星「ようこう」で得られた X 線太陽画像に適用して本手法の補正成功率を評価する。

物体のモデルと実画像での実験では、物体の表面が滑らかに変形するときに正確な画像ペアを補正することが出来たが、物体の表面が激しく変形して発生・消滅する部分が生じるときに補正処理が困難になった。本研究で定義した滑らかに変化する自転球体表面モ

デルの変化量は1～3画素であれば、本手法の解析的な結果は78%以上の補正成功率が得られた。

実画像での実験では、「ようこう」で撮影した太陽の活動を視覚的な立体表示と解析的な立体表示が行った。液晶シャッタ付けメガネで観測するときに、処理前の立体感と処理後の立体感の違いも良く感じた。また、解析的な表示にも、良い結果が得られた。実画像へ本手法の適用では、補正処理後の立体画像表示は、補正処理前に比べ、良い誤差補正結果が得られた。また、本手法の解析的な結果は75%以上の補正成功率が得られた。

今後の課題としては、発生・消滅変化を持っている自転球体に対するステレオ左右誤差の補正が必要となる。また、より正確な立体画像表示システムと本手法の精度率を上げることが必要となる。

# 謝辞

本研究をすすめるにあたり、指導教官の小谷一孔助教授には、熱心に御指導して頂き、深く感謝します。また、日頃から貴重な御意見、励ましを頂いた本講座の宮原誠教授に感謝します。国立特殊教育総合研究所の勝間豊研究員には、遠距離にも関わらず貴重な御意見、励ましを頂き、感謝します。

最後に日頃から昼夜をとわず討論して下さった宮原・小谷研究室のメンバーに感謝します。そして、「ようこう」の開発・打ち上げた全ての方々に感謝します。

## 参考文献

- [1] 奥富正敏, 金出武雄: “複数の基線長を利用したステレオマッチング”, 電子情報通信学会論文誌, D-II Vol. J75-DII No.8 pp.171-177 1992年8月
- [2] 三池秀敏, 古賀和利: “パソコンによる動画像処理”, 森北出版株式会社, 1993
- [3] Muhamed Abdel M. R. Chellappa, Arid Rosenfeld: *Binocular Motion Stereo using MAP Estimation* Int. J. Computer Vision 1993
- [4] John Ellis and Ze-Nan Li: *Real-time Motion Stereo*, Int. J. Computer Vision 1993
- [5] Ferdinand van der Helm: *Image Based Measurement Systems, (object recognition and parameter estimation)* 1994 by John Wiley and Sons Ltd
- [6] David F. M. Lester: *Stereo Computer Graphics and Other True 3D Technologies* Princeton University Press, 1993
- [7] J. A. Bese and L. E. McLeary, “Stereoscopic Computer Graphics for Simulation and Modeling”, *Computer Graphics (Proc. Siggraph)*, Vol. 13, No. 2, Aug. 1979, pp. 44-47.
- [8] 藤井実, 松山泰男: “動的計画法を利用したステレオマッチングにおける順序逆転問題の一解法”, 電子情報通信学会論文誌, D-II Vol. J79-DII No. 5 pp. 775-784 1996年5月
- [9] Dwayne Phillips *Image Processing: “Analyzing and Enhancing Digital Images”*, R D Technical Books.
- [10] 勝間豊: “太陽の軟 X 線画像データ処理・解析システムの開発に関する研究”, 北陸先端科学技術大学院大学, 情報処理専攻, 修士論文 1994年2月15日



[11] 佐藤圭：“硬 X 線太陽フレアの画像解析に関する研究”，北陸先端科学技術大学院大学，  
情報処理専攻，修士論文 1994 年 2 月 15 日

[12] Ioannis Pitas: “Digital Image Processing Algorithms”, Prentice Hall, 1993

# 付録

## A. 「ようこう」データの配列情報

Compiled modul eHIS-EXI S T.

015-	MA-9317:23:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.012x512
115-	MA9317:40:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
215-	MA9318:36:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
315-	MA9319:02:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
415-	MA9319:23:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
515-	MA9320:17:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
615-	MA9320:42:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
715-	MA9320:50:	QB/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
815-	MA9320:59:	QB/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
915-	MA9321:52:	QB/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1015-	MA9323:54:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1116-	MA9300:03:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1216-	MA9300:19:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1316-	MA9303:13:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1416-	MA9303:30:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1516-	MA9304:52:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1616-	MA9305:01:	QT/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1716-	MA9305:09:	QB/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1816-	MA9306:05:	QB/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512
1916-	MA9306:22:	QB/H	Open/AlMgHalNo r mC	25	5338.5012x512

20	16-MAY-93	06:30:55	Q/T/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
21	16-MAY-93	06:39:27	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
22	16-MAY-93	08:01:39	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
23	16-MAY-93	08:17:57	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
24	16-MAY-93	08:26:29	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
25	16-MAY-93	09:10:17	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
26	16-MAY-93	09:40:09	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
27	16-MAY-93	09:48:45	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
28	16-MAY-93	09:57:13	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
29	16-MAY-93	10:05:45	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
30	16-MAY-93	10:50:09	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
31	16-MAY-93	11:28:33	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
32	16-MAY-93	11:37:05	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
33	17-MAY-93	01:21:51	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
34	17-MAY-93	01:59:23	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
35	17-MAY-93	02:07:59	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
36	17-MAY-93	02:16:27	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
37	17-MAY-93	03:00:17	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
38	17-MAY-93	03:33:43	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
39	17-MAY-93	03:50:47	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
40	17-MAY-93	05:09:17	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
41	17-MAY-93	05:17:49	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
42	17-MAY-93	05:26:21	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
43	17-MAY-93	06:45:17	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
44	17-MAY-93	06:53:49	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
45	17-MAY-93	07:52:51	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
46	17-MAY-93	08:31:15	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
47	17-MAY-93	08:39:47	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
48	17-MAY-93	08:48:19	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
49	17-MAY-93	09:30:59	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512

50	17-MAY-93	10:00:51	Q/T/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
51	17-MAY-93	10:09:23	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
52	17-MAY-93	10:17:55	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
53	17-MAY-93	10:26:27	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
54	17-MAY-93	11:36:49	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
55	17-MAY-93	11:53:53	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
56	17-MAY-93	13:13:21	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
57	17-MAY-93	13:21:53	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512
58	17-MAY-93	13:34:41	Q/H	Open	/AM	Half	Norm	C	25	5338.0	512x512

Total Number of Images = 59

## B. 式の導出

- (5) 式の導出

$$P_l = (x \cos(\theta/2) + (R - z) \sin(\theta/2), y,$$

$$R - (R - z) \cos(\theta/2) + x \sin(\theta/2))$$

$$P_r = (x \cos(\theta/2) - (R - z) \sin(\theta/2), y,$$

$$R - (R - z) \cos(\theta/2) - x \sin(\theta/2))$$

$$x_r = \frac{R(x \cos(\theta/2) - (R - z) \sin(\theta/2))}{R - (R - z) \cos(\theta/2) - x \sin(\theta/2)}$$

$$x_r = x' - d$$

$$x_r(R - (R - z) \cos(\theta/2) - x \sin(\theta/2)) = R(x \cos(\theta/2) - (R - z) \sin(\theta/2))$$

$$x_r R - x_r R \cos(\theta/2) + x_r z \cos(\theta/2) - x_r x \sin(\theta/2) = R x_0 \cos(\theta/2) - R^2 \sin(\theta/2) + R z_0 \sin(\theta/2)$$

$$x' = (x/z)R$$

$$y' = (y/z)R$$

$$[x_r R(1 - \cos(\theta/2)) + R^2 \sin(\theta/2) = x(R \cos(\theta/2) - x_r \sin(\theta/2) + z(R \sin(\theta/2) - x_r \cos(\theta/2)))] \times R/z$$

$$R/z(x_r R(1 - \cos(\theta/2)) + R^2 \sin(\theta/2)) = x'(R \cos(\theta/2) - x_r \sin(\theta/2) + R(R \sin(\theta/2) - x_r \cos(\theta/2)))$$

$$z = \frac{R^2((x' - d)(1 - \cos(\theta/2)) + R \sin(\theta/2))}{x'(R \cos(\theta/2) + (x' - d) \sin(\theta/2)) + R(R \sin(\theta/2) - (x' - d) \cos(\theta/2))} \quad (5)$$

## C. モルフォロジーの式の導出

- Greyscale Morphology

Morphological operations can be extended to function and, therefore, to greyscale images. The tools for greyscale morphological operations are simple function  $g(x)$  having domain  $G$ . They are called structuring functions. Their symmetric counterparts are given by:

$$g^s(x) = g(-x)$$

The greyscale dilation and erosion of a function  $f(x)$  by  $g(x)$  are defined by:

$$[f \oplus g^s](x) = \max_{z \in D, z-x \in G} f(z) + g(z-x)$$

$$[f \ominus g^s](x) = \min_{z \in D, z-x \in G} f(z) - g(z-x)$$

where  $D$  is the domain of  $f(x)$ . An important property is greyscale morphological pipelining that used for the implementation of morphological operations. Let us suppose that the structuring function  $g(x)$  can be decomposed as follows :

$$g = g_1 \oplus g_2 \oplus \dots \oplus g_k$$

In this case, greyscale dilation and erosion can be implemented in pipeline:

$$f \oplus g = (\dots((f \oplus g_1) \oplus g_2) \oplus \dots \oplus g_k)$$

$$f \ominus g = (\dots((f \ominus g_1) \ominus g_2) \ominus \dots \ominus g_k)$$

Let us suppose that the structuring function  $g(x)$  is zero and that its domain is given by  $G = [-m, \dots, 0, \dots, m]$ . In this case, greyscale dilation and erosion are called *dilation* and *erosion of function by a set* :

$$[f \oplus G^s](x) = [f \oplus g^s](x) = \max f(i-m), \dots, f(i), \dots, f(i+m) \quad (7)$$

$$[f \ominus G^s](x) = [f \ominus g^s](x) = \min f(i-m), \dots, f(i), \dots, f(i+m) \quad (8)$$

Dilation and erosion of a function by a set are essentially local max and min filtering operations respectively.