

Title	テクスチャの変化する自転球体の単一カメラによるステレオ立体視化に関する研究
Author(s)	北岡, 良之
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1238
Rights	
Description	Supervisor:小谷 一孔, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

テクスチャの変化する自転球体の 単一カメラによる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

北岡良之

1999 年 2 月 15 日

要 旨

天文学の分野では、太陽の活動を知るための手がかりとして、太陽観測衛星「ようこう」が撮影した 2 次元の X 線画像データから、太陽コロナなどの 3 次元的な情報を再現して観測することが望まれている。

「ようこう」が撮影した画像は単一の固定カメラからの画像であるが、太陽の自転によって異なる視角を得て、ステレオ立体視法により立体画像を得ることができる。しかし、太陽表面のテクスチャは自転の間に変化するため、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。

そこで、本研究では「ようこう」が撮影した X 線太陽画像から良好な立体画像を構成するため、モルフォロジー処理とアフィン変換を用いて太陽表面のテクスチャの変化を補正する手法について検討する。

目次

1	序論	1
2	太陽 X 線観測衛星「ようこう」の撮影画像	3
2.1	X 線太陽画像	3
2.2	自転球体と単一カメラによるステレオ画像	4
3	太陽表面のテクスチャ変形のモデル化	5
3.1	自転による見かけの変化とテクスチャ自身の変形	7
3.2	モルフォロジー演算による平行移動、拡大・縮小のモデル化	7
3.3	アフィン変換による回転のモデル化	9
3.4	基本変形操作	10
4	テクスチャ変形の抽出と補正	11
4.1	テクスチャペアの抽出	11
4.2	自転による見かけの変化分の推定	13
4.2.1	HSRA モデルによる推定	13
4.2.2	画像データからの推定	14
4.3	テクスチャ自身の変形の補正	15
4.3.1	補正処理の探索範囲の設定	15
4.3.2	最適な補正処理の探索	15
5	実験結果	17
5.1	CG モデルに対する補正実験	17
5.1.1	平行移動、拡大・縮小に対する補正結果 (1)	17
5.1.2	平行移動、拡大・縮小に対する補正結果 (2)	19
5.1.3	回転に対する補正結果	20

5.1.4	回転 + 平行移動に対する補正結果	21
5.1.5	補正効果の主観評価	23
5.2	実画像に対する実験結果	23
5.2.1	「ようこう」による X 線太陽画像に対する補正結果	23
5.2.2	補正効果の主観評価	27
6	結論	28
	謝辞	29

第 1 章

序論

天文学の分野では、太陽の活動を知るための手がかりとして、太陽観測衛星「ようこう」[1] が撮影した 2 次元の X 線画像データから、太陽コロナなどの 3 次元的な情報を再現して観測することが望まれている。

3 次元化する方法として代表的なステレオ立体視法では異なる視角からの複数の画像が必要である。異なる視角を得る方法には、

- 複数の固定カメラを用いる方法
- 単一のカメラを移動させる方法
- 単一のカメラを固定して物体を移動あるいは回転させる方法

の 3 つがあるが、「ようこう」が撮影した画像を用いる場合、3 番目の方法を用いるしかない。なぜなら「ようこう」が撮影した画像は単一の固定カメラからの画像であり、異なる視角を得るには太陽の自転を利用して、ある時間差をつけて撮影した画像を用いるしか方法がないからである。3 番目の方法は、このように複数のカメラの設置が困難な場合には有効な方法であり、複数のカメラによる場合と比べてキャリブレーションの必要がないという利点もある。しかし、対象となる天体が剛体の場合には、自転の間に表面のテクスチャが変化しないので正確なステレオ画像ペアが抽出できるが、太陽のように表面のテクスチャが変化すると、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。

そこで、本研究では「ようこう」が撮影した X 線太陽画像から良好な立体画像を構成するため、太陽表面のテクスチャの変化を補正する手法を検討する。ここで重要なのは、テクスチャの変形には自転による見かけの変化とテクスチャ自身の変形が混在していることである。このため、補正を行う前に自転による見かけの変化分を推定し、これを分離してテクスチャ自身の変形のみを補正する。

研究の手順としては、まず太陽表面のテクスチャ変化を平行移動、拡大・縮小、回転の 3 種類の変形の組合せでモデル化し、これらの変形をモルフォロジー処理とアフィン変換を用いて補正する。次に、太陽表面のテクスチャ変形の補正手法について検討する。

最後に、本手法の有効性を検証するため、まずコンピュータグラフィクスで (CG) 作成したモデル画像に対して補正実験を行い、次に「ようこう」が撮影した実画像に対して適用する。

第 2 章

太陽 X 線観測衛星「ようこう」の撮影 画像

2.1 X 線太陽画像

「ようこう」[1] が軟 X 線望遠鏡で撮影した太陽コロナの例を図 2.1 に示す。

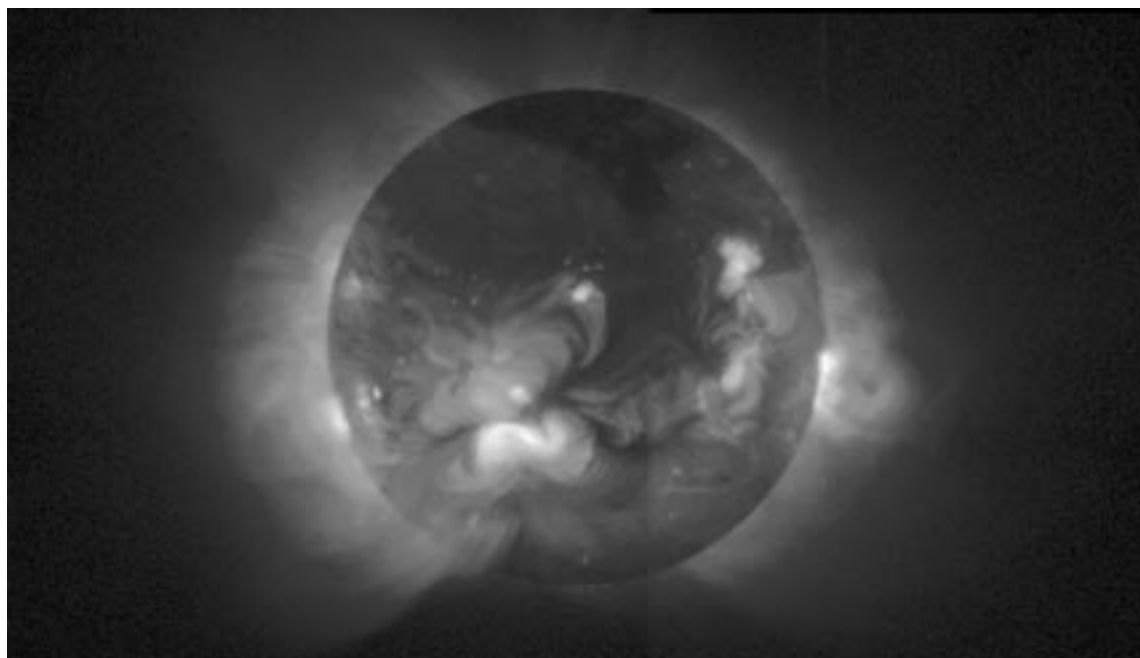


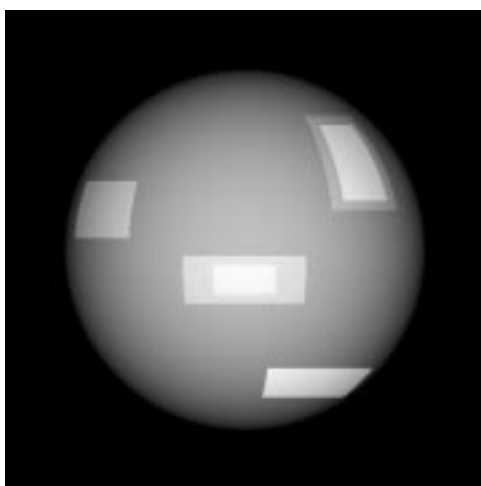
図 2.1: 「ようこう」が軟 X 線望遠鏡で撮影した太陽コロナ

太陽 X 線観測衛星「ようこう」は、太陽コロナや太陽フレアなどの様々な高エネルギー現象を X 線や γ 線で観測するため、1991 年 8 月に鹿児島宇宙空間観測所から打ち上げられた。

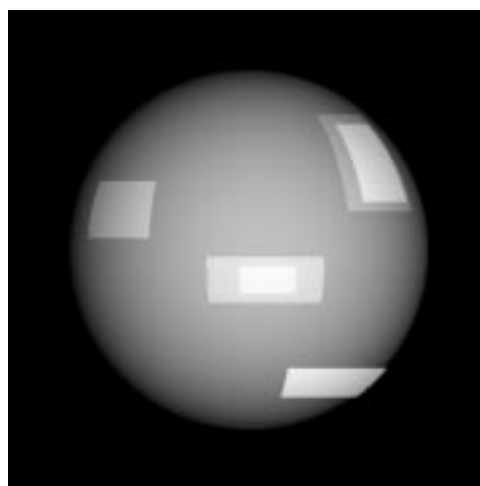
コロナの可視光領域での光は大変弱く、皆既日食時以外では肉眼で捉えることは難しいが、コロナやフレアは X 線を強く放射するため X 線画像中では明るく表れる。さらに大気による吸収の影響がない大気圏外から、人工衛星によって X 線を観測することで、鮮明な画像を得ることができる。

2.2 自転球体と単一カメラによるステレオ画像

「ようこう」が撮影した太陽の画像は、自転球体を単一の固定カメラから撮影した画像と考えることができる。自転する球体を、ある時間差をつけて撮影することにより、ステレオ画像ペアが得られる。これをグラフィックスで表すと図 2.2（例）のようになる。



(1) 左画像（自転前）



(2) 右画像（自転後）

図 2.2: CG により作成したモデル画像（ステレオ画像ペア）

左右画像間の自転角度（ y 軸を中心とする）は、David らの提案 [6] から 5° とした。自転球体が剛体であれば正確なステレオ画像ペアが得られるが、自転に伴って、自転球体表面上に浮いているテクスチャが移動したり、形状が変化したりすると誤差を生じ立体感を損ねる。太陽表面のコロナやフレアは剛体ではないので、これを推定・補正しなければ正確な立体画像が得られない。

第 3 章

太陽表面のテクスチャ変形のモデル化

「ようこう」により撮影された太陽 X 線画像の例を図 3.1 に示す。時間経過に伴って変形するテクスチャの正体は、コロナと呼ばれる太陽の外層大気より放射された X 線である。濃淡の白い部分は黒い部分よりも X 線の強度が強いことを表している。

コロナの形状は太陽内部に存在する磁場の影響により大きく変化する。また太陽活動の活発な時期には「フレア」と呼ばれる突発的な爆発現象が観測される。この現象は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。

このようなテクスチャの変形を補正するために、変形のモデル化を行う。まず、自転による見かけの変化とテクスチャ自身の変形を区別し、次にテクスチャ自身の変形について、モルフォロジー処理とアフィン変換を用いてモデル化を行う。

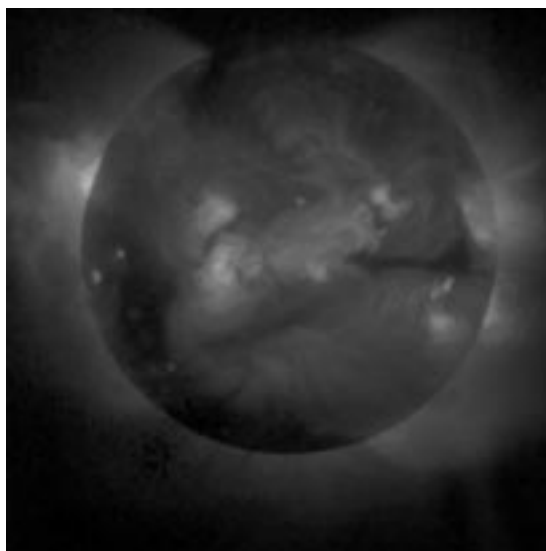
テクスチャ自身の変形のモデル化に際して、変形は平行移動、拡大・縮小、回転の 3 種類の組合せと考え、その補正は各変形に対する補正の組合せで行う。ただしテクスチャの発生、消滅についてはステレオ画像ペアを作れないので範囲に含めない。

表 3.1: モルフォロジーとアフィン変換の利点と欠点

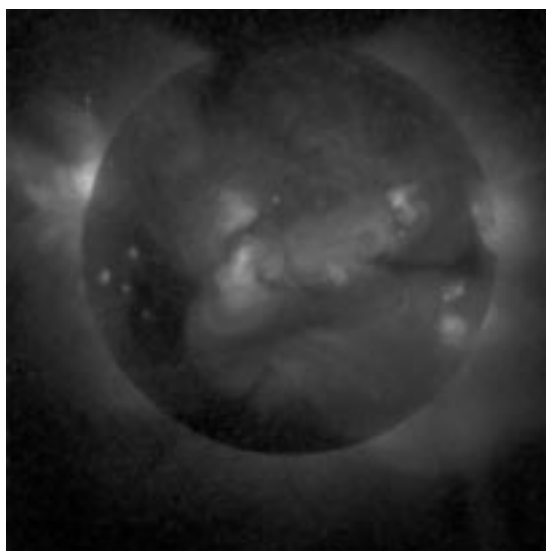
	モルフォロジー	アフィン変換
利点	・変換前後で画素の対応が多対一 ・非等方的な変形の記述が容易	・3 種の変形の全てを記述できる
欠点	・回転の記述が不可	・変換前後で画素の対応が一对一

本研究で扱うテクスチャの変形は、変形前と後でテクスチャを構成する画素が 1 対 1 に対応しない、拡大・縮小といった変形を含むため、アフィン変換のように変形前と後で、点が 1 対 1 で対応するような処理は望ましくない。このため、拡大・縮小は集合演算で

定義されるモルフォロジー処理を用いる。モルフォロジーは変形前後で多対1で対応するような変形や、非等方的な変形を構造要素を変えるだけで簡潔に記述することができる。平行移動についても同様に構造要素を変えるだけで記述が可能である。しかし、回転についてはモルフォロジー処理では実現できないため、アフィン変換で記述する。



(1) 1993 年 5 月 16 日 04:52:39 の画像データ



(2) 1993 年 5 月 16 日 10:50:09 の画像データ

図 3.1: 太陽観測衛星「ようこう」による X 線太陽画像

3.1 自転による見かけの変化とテクスチャ自身の変形

「ようこう」が撮影した画像を用いて立体視を行うには、ある時間差をつけて撮影した 2 枚の画像をステレオ画像ペアとする。時間経過に伴って、太陽表面のテクスチャが変化することによって生じる画像ペア間の差は、

- 自転による見かけの変化
- テクスチャ自身の変形

の 2 つの組合せである。つまり、

画像ペア間の差 = 自転による見かけの変化 + テクスチャ自身の変形

と考えることができる。誤差のない良好なステレオ画像を得るには、自転による見かけの変化は残したままで、テクスチャ自身の変形のみを補正することが必要となる。

3.2 モルフォロジー演算による平行移動、拡大・縮小のモデル化

平行移動と拡大・縮小は、モルフォロジーの基本演算である dilation、erosion で記述する。その定義は、濃淡画像では以下ようになる [7][8][9]。

dilation :

$$[f \oplus g^s](i, j) = \max_{\substack{i+u, j+v \in F \\ u, v \in G}} \{f(i+u, j+v) + g(u, v)\} \quad (3.1)$$

erosion :

$$[f \ominus g^s](i, j) = \min_{\substack{i+u, j+v \in F \\ u, v \in G}} \{f(i+u, j+v) - g(u, v)\} \quad (3.2)$$

ただし $f(i, j)$ は対象画像であり、 $g^s(i, j)$ は、構造要素 $g(i, j)$ の逆関数 ($g^s(i, j) = g(-i, -j)$)、 F, G は f, g の定義域である。

さらに、構造要素の値がその定義域で 0 であるとき ($g(i, j) = 0, i, j \in G$) には、以下のような、単純な最大値演算と最小値演算になる。

dilation :

$$\begin{aligned} [f \oplus g^s](i, j) &= (f \oplus G^s)(i, j) \\ &= \max_{\substack{i+u, j+v \in F \\ u, v \in G}} \{f(i+u, j+v)\} \end{aligned} \quad (3.3)$$

erosion :

$$\begin{aligned} [f \ominus g^s](i, j) &= (f \ominus G^s)(i, j) \\ &= \min_{\substack{i+u, j+v \in F \\ u, v \in G}} \{f(i+u, j+v)\} \end{aligned} \quad (3.4)$$

この2つの式(3.3)、(3.4)において、定義域 G^s を変化させることにより、平行移動や、様々な種類の拡大・縮小変形を行うことができる。

本研究では、図 3.2に示す 12 種類の定義域をもつ構造要素によって、4 種類の平行移動と、8 種類ずつの拡大・縮小を基本変形操作として用いた。図中の 3×3 のブロックの中央が座標 $(0,0)$ であり、色のついた部分がその構造要素の定義域である。例えば、elastic-U は定義域が $G^s = \{(0,0), (0,1)\}$ の構造要素であることを示す。これらは全て 1 画素単位の変形である。構造要素の定義域の範囲を広げることによって変形量を増やすこともできるが、本研究では 2 画素以上の変形は、1 画素の変形を単純に繰り返すことによって行うこととする。

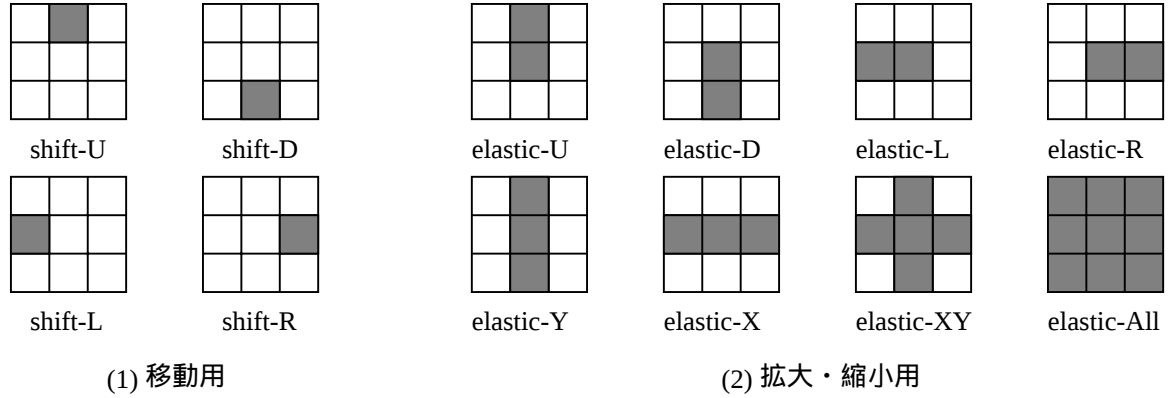


図 3.2: 本研究で使した構造要素の定義域

また変形の一例として、右方向への非等方的な拡大を挙げる。

例) 右方向への非等方的拡大

構造要素 elastic-R  による dilation。

$$[f \oplus G^s](i, j) = \max_{\substack{i+u, j+v \in F \\ u, v \in G}} \{f(i+u, j+v)\} = \max\{f(i, j), f(i+1, j)\} \quad (3.5)$$

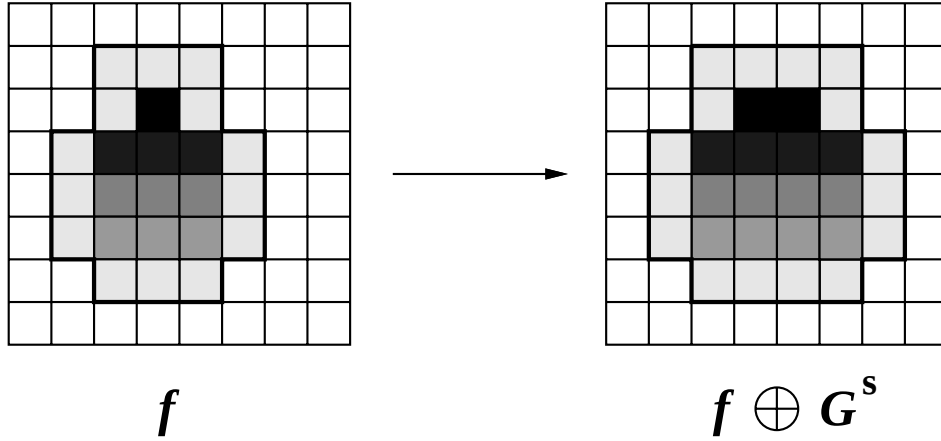


図 3.3: 構造要素 elastic-R による dilation

3.3 アフィン変換による回転のモデル化

前節では、dilation、erosion の 2 つのモルフォロジー演算で構造要素を変えることにより、平行移動、拡大・縮小を記述したが、モルフォロジーでは、「回転」を記述することができないため、本研究ではアフィン変換 [10] によって回転を記述する。

点 (C_x, C_y) を中心とする反時計回りに θ の回転を、式 3.6 に示す。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - X_c \\ y - Y_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

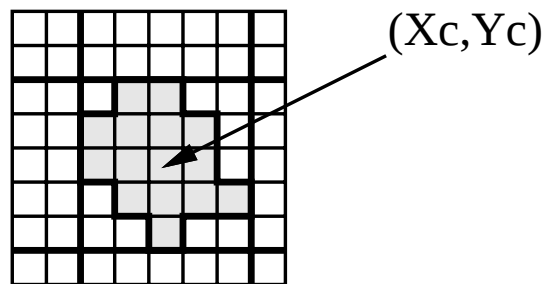


図 3.4: 回転の中心

基本変形操作としては、時計回り方向の回転、反時計回り方向の回転を基本変形操作とする。回転角度については、SURYONO らの研究 [3] におけるテクスチャの変化量と補正効果についての考察から $1 \sim 5^\circ$ までとした。

3.4 基本変形操作

本研究で使用する基本変形操作をまとめると、以下のようになる。

- 平行移動
 - － 移動用の構造要素（４種類）による dilation もしくは erosion。
- 拡大・縮小
 - － 拡大：拡大・縮小用の構造要素（８種類）による dilation。
 - － 縮小：拡大・縮小用の構造要素（８種類）による erosion。
- 回転
 - － 時計回り：１～５（５種類）
 - － 反時計回り：１～５（５種類）

これらの基本変形操作の組合せによって変形の補正を行う。

第 4 章

テクスチャ変形の抽出と補正

テクスチャ変形の補正手順を図 4.1 に示す。大別すると次の 3 段階の処理を行う。

1. 前処理 (テクスチャペアの抽出)
2. 自転による見かけの変化分の推定
3. テクスチャ自身の変形の補正

補正は、対応する 1 対のテクスチャ毎に行う。このため、まず前処理として、複数のテクスチャが存在するステレオ画像ペアから、対応するテクスチャ毎に手動で左右画像を生成する必要がある。テクスチャペアを切り出したら、次に自転による見かけの変化分の推定を行う。

2.1 節で述べたように、ステレオ画像ペア間に生じる見かけのテクスチャの変形には、自転による見かけの変化とテクスチャ自身の変形が混在している。これを分離して別々に扱い、テクスチャ自身の変形のみを補正するため、まず自転による見かけの変化分の推定を行う。天文学的知識を用いて推定する方法と、画像から推定する方法が考えられる。

最後のテクスチャ自身の変形の補正は、変形を最も良く補正する基本変形操作の組合せを探索して行う。

以下、それぞれの処理について説明する。

4.1 テクスチャペアの抽出

前処理として、ステレオ画像ペアからテクスチャペアを切り出す。まず閾値を調整して、立体感に影響を及ぼす輝度値の高いテクスチャ領域を残し、それ以外の領域の輝度値を 0 とする。

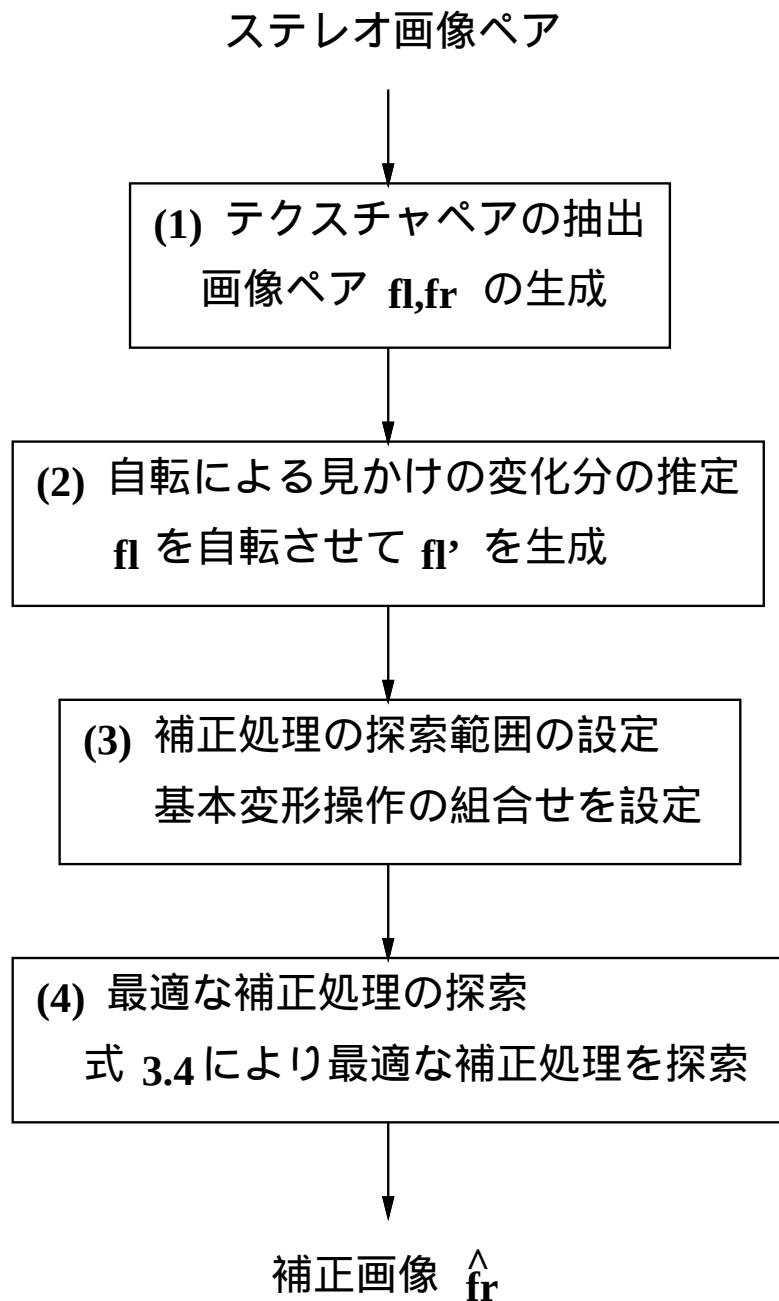


図 4.1: 補正手順

次に左右画像間で、残った複数のテクスチャの対応付けを手動で行い、対応する 1 組のテクスチャだけを残して、他のテクスチャの輝度値は 0 とし、左画像 $f_l(x, y)$ と右画像 $f_r(x, y)$ を生成する。

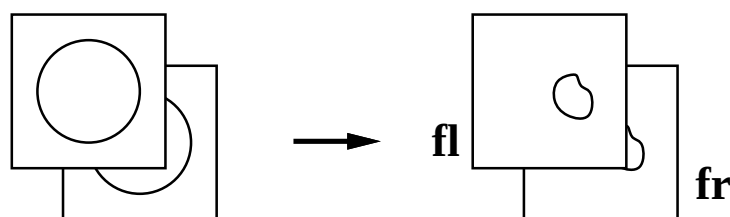


図 4.2: テクスチャの抽出

4.2 自転による見かけの変化分の推定

自転による見かけの変化を残し、テクスチャ自身の変形のみを補正するため、自転による変形を推定する。実際には左画像 f_l における奥行き情報を推定し、その情報を用いて f_l を自転させた画像 f_l' を計算で求める。モデル画像の場合、あらかじめ f_l の奥行き情報が分かっているので、この情報を用いて f_l' を生成することができる。しかし、「ようこう」が撮影した実画像の場合には、 f_l の奥行き情報は分からないため、なんらかの方法でこれを推定しなければならない。

4.2.1 HSRA モデルによる推定

天文学の知識を用いて実画像の各画素における輝度情報から、コロナの高度を推定し、左画像 f_l における奥行き情報を与える。コロナを含む太陽大気の研究は以前から盛んに行われており、多くの理論が提唱されてきた。その内で太陽大気の温度とプラズマ密度の両高度分布を示すものに、HSRA モデルという理論がある [2]。

HSRA モデルによりある程度コロナの高度を推定することができると考えられるが、この理論は、太陽を完全に理想的な状態とみなし、太陽活動と密接な関係があるとされている太陽内部の磁場について全く考慮していない上、コロナのプラズマは光学的に薄い（つまり透明）ため、視線方向に積分されていること、また、高さ方向の変化より場所による変化（活動領域か静穏領域かコロナルホールか）の影響が大きいこと、などが原因で、輝度値情報から高さ情報を抽出するのは著しく信頼性が低いと考えられる。

そこで本研究では、1枚の画像データからではなく2枚の画像（ステレオ画像ペア）から奥行き情報を推定する手法を用いる。

図 4.3: HSRA モデル

4.2.2 画像データからの推定

ステレオ画像ペアの左画像 f_l における奥行き情報を推定するために、右画像 f_r を用いる。太陽の自転速度が1時間に約 0.54° であるので、2枚の画像が撮影された時刻 (T_1, T_2) から、その間の太陽の自転角度 θ [degree] を式 4.1 で求めることができる。

$$\theta = (T_1 - T_2) \times 0.54 \quad (4.1)$$

次に左画像 f_l のテクスチャにある高さ h を与え、 θ だけ回転させた画像 f_l' を作成する。この f_l' と右画像 f_r から式 4.2 で示す評価値を算出し、これを最小化する h を左画像 f_l における高さ $\hat{h}$ と推定する。

$$D_o(h) = \sum_{(x,y) \in W} |f'_l(h, x, y) - f_r(x, y)| \quad (4.2)$$

$$\hat{h} = h \mid_{D_o(h) \rightarrow \min} \quad (4.3)$$

実際には、画像 f_l のテクスチャの太陽表面に対する高さ h は 10 ~ 200 [pixels] の範囲で 10 [pixels] ずつ変動させ、最も良いものを選択した。

4.3 テクスチャ自身の変形の補正

テクスチャ自身の変形の補正は、2.4 節で定義した基本変形操作の組合せで行う。変形を最も良く補正する基本変形操作の組合せは、ある組合せの範囲を設定し、評価式を用いて全探索で求める。

4.3.1 補正処理の探索範囲の設定

テクスチャの変形を補正する、最も良い基本変形操作の組合せを探索するため、その探索範囲を設定する。

図 4.4 に示すように、探索範囲は前節で示した平行移動、拡大・縮小、回転の 3 種類の変形のうち、2 つ以下の全ての組み合わせ（回転は 2 回繰り返すことができない）であり、平行移動と拡大・縮小については最大 5 回まで繰り返すことができる。ただし、順番が異なるだけで、結果が重複する組合せは探索範囲から除いてある。

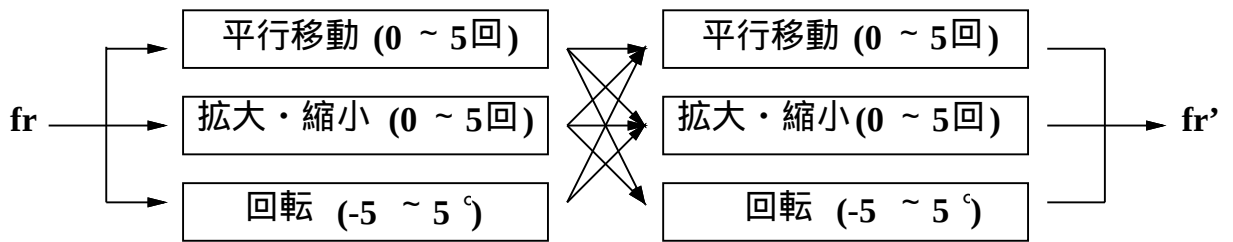


図 4.4: 補正処理の探索範囲

4.3.2 最適な補正処理の探索

前節で設定した探索範囲内の全ての補正処理を右画像 f_r に行って補正画像 f_r' を次々と求め、その中で式 (4.4) を最小化するものを最適な補正画像 $\hat{f}_r$ とする。

$$D_c(f_r') = \sum_{(x,y) \in W} | f_l'(x,y) - f_r'(x,y) | \quad (4.4)$$

$$\hat{f}_r = f_r' \mid_{D_c(f_r') \rightarrow \min} \quad (4.5)$$

ここで、 W は画像サイズである。

第 5 章

実験結果

5.1 CG モデルに対する補正実験

CG によりモデル画像ペア（左右の画像ペア間で球体は 5 °自転）を作成し、前節で説明した手順にしたがって補正実験を行う。モデル画像は 512×512 [pixels] の濃淡画像 (8bit/pixel) である。また、評価値として式 (5.1) に示す補正率 R [%] を求めた。

$$R = \left(1 - \frac{D_c}{D_o}\right) \times 100 \quad (5.1)$$

ここで D_o は、 f_l' と f_r の残差絶対値和、 D_c は、 f_l' と $\hat{f}_r'$ の残差絶対値和で表される。

$$D_o = \sum_{(x,y) \in W} |f_l'(x,y) - f_r(x,y)| \quad (5.2)$$

$$D_c = \sum_{(x,y) \in W} |f_l'(x,y) - \hat{f}_r'(x,y)| \quad (5.3)$$

つまり、補正率 R が 100% に近いほどテクスチャの変形を補正できたといえる。

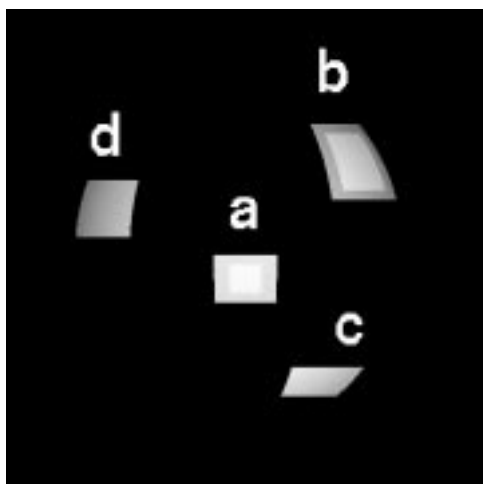
5.1.1 平行移動、拡大・縮小に対する補正結果 (1)

作成したモデル画像を図 5.1 に示す。

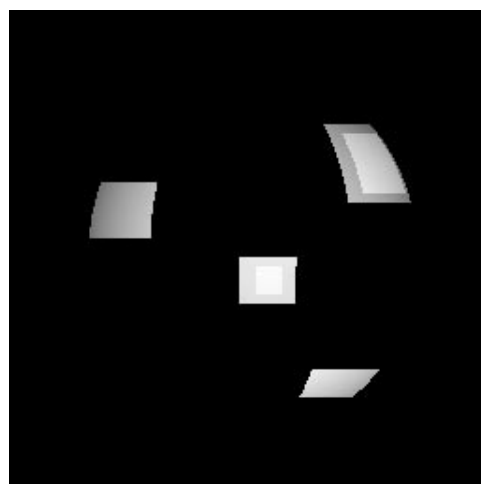
テクスチャは左右の画像ペア間で、自転に伴って平行移動、拡大・縮小変化をしている。

4 つのテクスチャに起こった変化の種類と、それに対する最適な補正処理として選択した変形操作を表 5.1 に示す。また補正した右画像 $\hat{f}_r$ を図 5.2 に示す。

テクスチャ d には、変形のモデル化に際して定義していなかった奥行き方向の変化を与えた。



(1) 左画像 f_l



(2) 右画像 f_r

図 5.1: CG により作成したモデル画像



図 5.2: 補正後の右画像 $\hat{f}_r$

表 5.1: 平行移動、拡大・縮小に対する実験結果

	テクスチャの変形	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
a	上下左右 1 画素縮小	8 方向拡大 1 回 + 左右拡大 2 回	111405	10815	90
b	上下左右 1 画素拡大	右へ縮小 1 回 + 上下左右縮小 1 回	79250	14609	82
c	左に 1 画素移動	右へ移動 1 回 + 右へ縮小 1 回	19504	3832	80
d	高さ 1 画素増加	補正なし	5788	5788	-

テクスチャa、b、cについては、それぞれの変形に対して、ほぼそれを打ち消すような補正を正しく選択し、80%以上の補正率が得られた。奥行き方向の変化が起こったテクスチャdには何も補正を行わなかった。

5.1.2 平行移動、拡大・縮小に対する補正結果 (2)

次に、同様のテクスチャ変化で変化量だけを2画素に変えた場合の実験結果を表5.2に示す。また補正した右画像 $\hat{f}_r$ を図5.3に示す。



図 5.3: 補正後の右画像 $\hat{f}_r$

表 5.2: テクスチャの変化量を変えた場合の実験結果

	テクスチャの変形	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
a	上下左右2画素縮小	8方向拡大2回 + 左右拡大5回	210138	14090	93
b	上下左右2画素拡大	右へ縮小3回 + 上下左右縮小2回	162390	22964	86
c	左に2画素移動	右へ移動2回 + 右へ縮小2回	39022	6777	83
d	高さ2画素増加	補正なし	10672	10672	-

変化量が増加した分、補正処理の適用回数が増えているが、変化量が1画素の場合と同様に、テクスチャa、b、cについては、それぞれの変形に対して、それを打ち消すような補正を正しく選択し、補正率は83%以上であった。

またテクスチャd に対しては補正を行わなかった。これは変化量が小さいので高さ変化による見かけの変化が現れてこないためと思われる。

5.1.3 回転に対する補正結果

作成したモデル画像を図 5.4 に示す。

テクスチャは左右の画像ペア間で、自転に伴って反時計回り方向に $1 \sim 5^\circ$ 回転する。
(f_r は回転角の違う 5 枚用意する)



(1) 左側 f_l

(2) 右側 f_r (回転角 5°)

図 5.4: CG により生成したモデル画像 (回転成分)

テクスチャの回転角 θ に対して、最適な補正処理として選択した変形操作を表 5.3 に示す。また補正した右画像 $\hat{f}_r$ を図 5.5 に示す。

表 5.3: 回転に対する補正結果

回転角 [deg]	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
1	補正なし	1457	1457	-
2	回転 (時計回り) 1°	11510	11377	1
3	回転 (時計回り) 2°	21980	11553	47
4	回転 (時計回り) 3°	34878	13302	62
5	回転 (時計回り) 5°	48487	13814	72

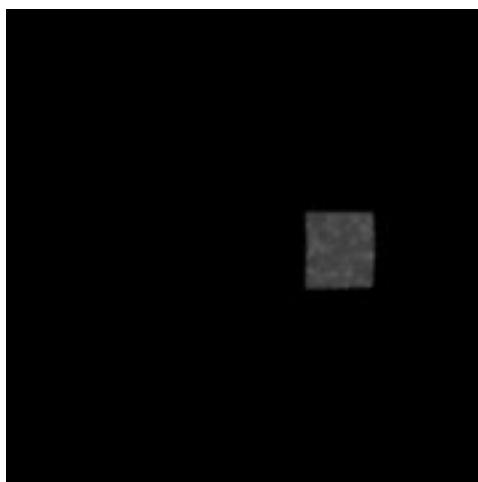


図 5.5: 補正後の右画像 $\hat{f}_r$ (回転角 5°)

回転角度が 1° の場合には補正処理を行わなかったが、これは、 D_o の値が小さい (補正すべき誤差が小さい) ため問題ないと考えられる。回転角度が $2 \sim 5^\circ$ では、反時計回りのテクスチャ変化に対して、時計回りの回転で正しく補正ができた。補正率は回転角が大きい方が高かった。

5.1.4 回転 + 平行移動に対する補正結果

作成したモデル画像を図 5.6 に示す。

テクスチャは左右の画像ペア間で、自転に伴って反時計回り方向に $1 \sim 5^\circ$ 回転し、さらに上方向に 4 画素分移動する。(f_r は回転角の違う 5 枚用意する)

テクスチャの回転角 θ に対して、最適な補正処理として選択した変形操作を表 5.4 に示す。また補正した右画像 $\hat{f}_r$ を図 5.7 に示す。

表 5.4: 回転 + 平行移動に対する補正結果

回転角 [deg]	選択した補正処理	D_o	D_c	$R[\%]$
1	下へ移動 4 回	67781	10267	85
2	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 1°	70315	14118	80
3	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 2°	72153	13184	82
4	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 4°	74800	14316	81
5	下へ移動 4 回 + 回転 (時計回り) 5°	78610	14431	82

上方向への4画素の平行移動分は、下への移動4回で正しく補正できた。回転分についても、回転角度が1°の場合以外は逆方向の回転によって正しく補正でき、補正率も80%以上であった。



(1) 左側 f_l

(2) 右側 f_r (回転角 5°)

図 5.6: CG により生成したモデル画像 (回転 + 移動成分)

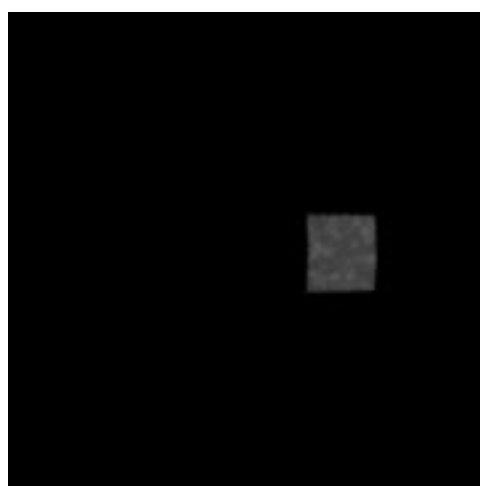


図 5.7: 補正後の右画像 $\hat{f}_r$ (回転角 5°)

5.1.5 補正効果の主観評価

液晶シャッタ付き眼鏡を用いてステレオ立体視を行い、本手法のCGモデル画像に対する補正効果の主観評価を試みた。平行移動、拡大・縮小、回転、回転+平行移動、それぞれに対する補正実験で得た、補正後の右画像 $\hat{f}_r$ を用いた場合と、補正前の右画像 f_r を用いた場合との主観的比較を行った。

その結果、全ての補正実験で補正前後での立体感の向上が感じられた。特に、回転+平行移動に対する補正で立体感の向上がよく感じられた。これより、 y 軸方向の誤差に対する補正が、主観的立体感の向上に影響が大きいのではないかと考えられる。

5.2 実画像に対する実験結果

5.2.1 「ようこう」による X 線太陽画像に対する補正結果

実画像として、図 5.8 に示す「ようこう」が撮影した 2 枚の X 線太陽画像を用いる。これをステレオ画像ペアとして実験を行った。

図 5.9 に実画像から抽出した左画像 f_l 、右画像 f_r を示す。

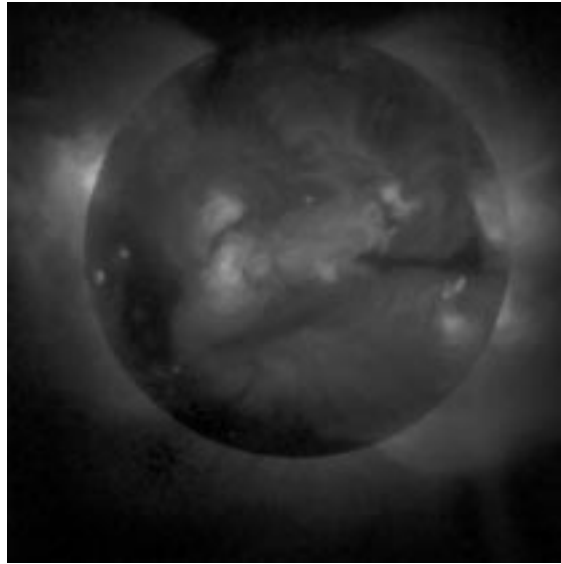
各テクスチャに対して、推定した太陽表面からの高さ $\hat{h}$ 、最適な補正処理として選択した変形操作を表 5.5 に示す。また推定した左画像 f_l' と補正した右画像 $\hat{f}_r$ を図 5.10 に示す。

表 5.5: 実画像に対する実験結果

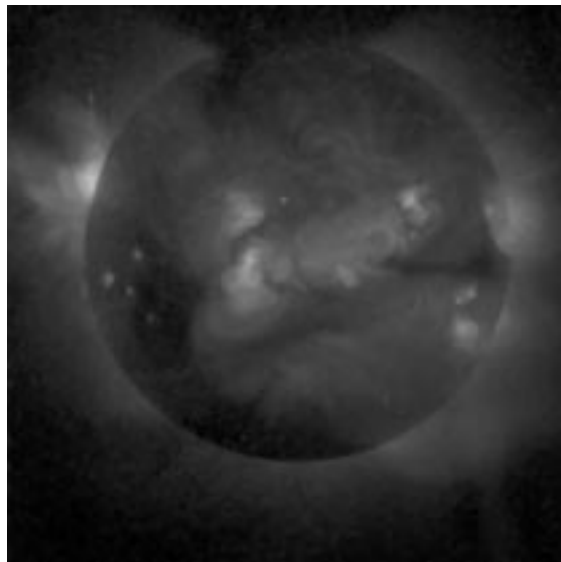
	選択した補正処理	$\hat{h}$	D_o	D_c	$R[\%]$
a	右へ移動 1 回 + 左へ拡大 3 回	180	27136	23239	14
b	上へ移動 2 回 + 右へ拡大 1 回	160	54893	42269	23
c	上へ縮小 3 回 + 回転 4 °(反時計回り)	100	17293	10438	40
d	上へ移動 2 回 + 左へ縮小 3 回	40	15671	5844	63
e	補正なし	-	-	-	-

テクスチャ a、b の補正率が特に低かった。この原因はテクスチャの変形が激しいこと、形状が複雑なこと、が考えられる。テクスチャ c、d についてはテクスチャが小さく、変形量も少ないためか、a、b に比べて補正率は高かった。また、テクスチャ e は太陽表面上にない(縁からはみ出している)ため、 f_l' を推定することができず、補正を行えなかった。

図 5.11 に推定した f'_i と補正後の右画像 $\hat{f}_r$ の差分画像（濃淡を反転した）を示す。また図 5.12 にそのヒストグラムを示す。補正前と比べて差分（誤差）が小さくなっていることが分かる。

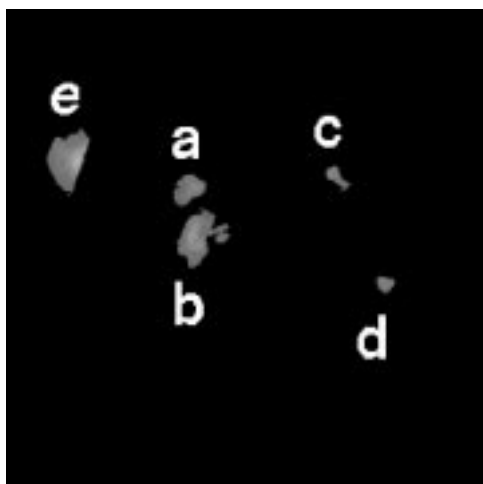


(1) 1993 年 5 月 16 日 04:52:39 の画像データ



(2) 1993 年 5 月 16 日 10:50:09 の画像データ

図 5.8: 太陽観測衛星「ようこう」による X 線太陽画像

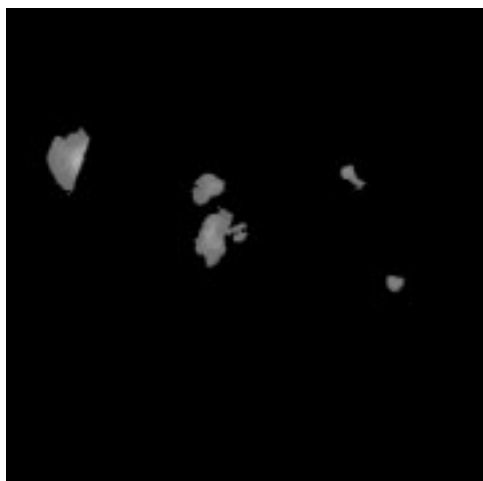


(1) 左側 f_l

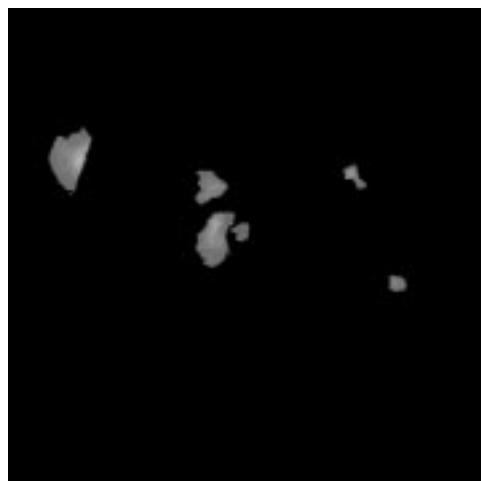


(3) 右側 f_r (補正前)

図 5.9: 実画像から抽出したテクスチャペア



(3) 推定した f'_l



(4) 右側 $\hat{f}_r$ (補正後)

図 5.10: 抽出したテクスチャと補正結果



図 5.11: 推定した f_l' と補正後の右画像 $\hat{f}_r$ の差分 (濃淡反転)

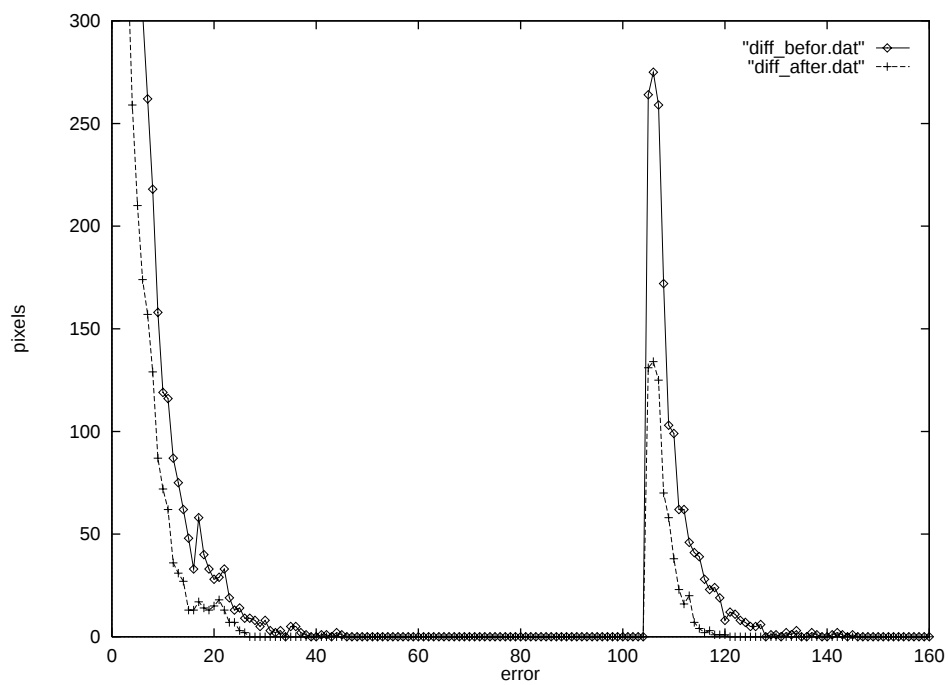


図 5.12: 補正前後での誤差のヒストグラム

5.2.2 補正効果の主観評価

液晶シャッタ付き眼鏡を用いてステレオ立体視を行い、本手法の「ようこう」による X 線画像に対する補正効果の主観評価を試みた。各テクスチャに対する補正実験で得た、補正後の右画像 $\hat{f}_r$ を用いた場合と、補正前の右画像 f_r を用いた場合との主観的比較を行った。

その結果、本手法による補正によって、補正前の立体視における違和感(テクスチャの形状の違いが原因と考えられる)が軽減されたように感じた。しかし、立体感という点では、全体的には CG モデルに対する補正実験ほど、補正による立体感の向上は感じられなかった。

第 6 章

結論

太陽 X 線観測衛星「ようこう」が撮影した画像から良好な立体画像を構成するため、太陽表面のテクスチャ変形をモルフォロジー処理とアフィン変換を用いてモデル化し、これを補正する手法について検討した。

CG で作成したモデル画像に対する実験では、平行移動、拡大・縮小、回転の変形に対してその変形を打ち消すような補正を正しく選択し、平行移動、拡大・縮小、回転 + 平行移動に対する補正では、80% 以上の補正率が得られた。回転に対する補正ではやや補正率が低かったが、この原因は D の値が小さい (補正すべき誤差が小さい) ため問題ないと考えられる。また補正前後での立体感の向上もよく感じられた。

実画像に対する実験では、モデル画像に対する実験よりも補正率が低かった。またモデル画像ほどではないが、立体感の向上も感じられた。補正率低下の原因はテクスチャの変形が激しいこと、形状が複雑なこと、が考えられる。これに対応するには補正処理の探索範囲を広げ、より複雑な基本変形操作の組合せを許すことが考えられるが、探索範囲を広げると処理時間も増大するので探索方法の工夫が必要となってくる。立体感については、 f'_l の推定に際してテクスチャに与える高さが影響すると考えられる。現段階では、与える高さは各テクスチャごとには異なっているものの、ある 1 つのテクスチャに注目すると一定である。実際の太陽コロナでは当然高さは一定でないので、これは改善が必要である。

残された課題としては、先に述べた f'_l の推定方法の改善や、現在、主観的にしか評価していない立体感を、ある程度定量的に示すこと、また、立体感と補正率 R との関係を明らかにすることなどが挙げられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心な御指導をいただいた小谷一孔助教授に深く感謝致します。また御指導と御助言をいただいた宮原誠教授に深く感謝致します。

国立特殊教育総合研究所の勝間豊さんには、主に天文の物理現象について貴重な御意見、御指導をいただきました。深く感謝致します。インドネシア宇宙開発研究所の SURYONO さんには、処理手法全般について御指導をいただきました。深く感謝致します。本研究室の剣持雪子助手には、研究全般、論文の作成などについて助言をいただきました。深く感謝致します。

最後に、日頃から御助言、激励をいただいた本研究室の学生諸氏の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 小杉健郎, “「ようこう」が見た太陽の X 線像”, パリティ, 7(2), pp.48-51, 1992.
- [2] 桜井邦朋, “太陽大気とその外延”, 東大出版, 1979.
- [3] SURYONO, 小谷一孔, “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”, 修士論文, 1997.
- [4] 勝間豊, 小谷一孔, “太陽の軟 X 線画像データ処理・解析システムの研究”, 修士論文, 1994.
- [5] 北岡良之, 剣持雪子, SURYONO, 小谷一孔, “テクスチャの变化する自転球体の単一カメラによるステレオ立体視化に関する研究”, 信学技法, IE98-95, 1998.
- [6] David F. McAllister, “Stereo Computer Graphics and Other True 3D Technologies”, Princeton University Press, 1993.
- [7] 間瀬茂, 上田修功, “モルフォロジーと画像解析 [I]”, 信学誌, vol.74, No.2, pp.166-174, 1991.
- [8] 間瀬茂, 上田修功, “モルフォロジーと画像解析 [II]”, 信学誌, vol.74, No.3, pp.271-279, 1991.
- [9] 小畑秀文, “モルフォロジー”, コロナ社, 1996.
- [10] 八木伸行, “C 言語で学ぶ実践画像処理”, オーム社, 1992.