

平成 16 年度  
学士学位論文

濃度差分の統計的性質に基づいた  
特定色情報の補間法

Interpolation Method Based on Statistical  
Characteristics of Density Difference

1050300 稲垣 幸弘

指導教員 福本昌弘

2005 年 3 月 8 日

高知工科大学 情報システム工学科

# 要 旨

## 濃度差分の統計的性質に基づいた 特定色情報の補間法

稲垣 幸弘

画像は種々の要因により劣化や欠損が生じる。これまでに欠損画像に対する代表的な補間法は確立しておらず、一般的に欠損箇所の周囲の濃度値から予測することで復元を行う。しかし周囲の情報のみでは、補間に使用できる情報量の少なさから正確な復元は困難であり、復元精度を向上させるためには何らかの情報量を増加させる必要がある。カラー表示方式のひとつである RGB の各チャンネルの濃度値は類似していることが知られているため、1チャンネルの濃度値から他チャンネルの濃度値を予測することができると考えられる。

本論文ではフルカラー画像における RGB 各チャンネル間の濃度差分の相関係数を用い、回帰直線から予測値を算出することで局所的に連続して欠損した画像を補間する手法を提案している。本提案手法による補間を行った結果、比較的難しいエッジ部の補間においても輪郭をうまく復元できることを確認している。

キーワード 画像補間, 相関, 回帰分析

# Abstract

## Interpolation Method Based on Statistical Characteristics of Density Difference

Yukihiro INAGAKI

The degradation and loss will occur by various factors to the image. The standard interpolating method for the damaged image has not been established. Generally, the damaged images are interpolated from the density value around the loss part. But accurate restoration is difficult, because of few the volume of information can be used for interpolation. So, it is necessary to increase some information in order to accuracy restoration. It is thought that the density value of another channel can be forecast according to the density value of one channel, because the density value of each channel of RGB that is one of the method of displaying in colors is known to be similar.

In this research, we have proposed the method of interpolating for the damaged image based on the regression analysis from the strong correlation on difference among RGB channel's density, and we have confirmed that can be restored the edge.

***key words*** image interpolation, correlation, regression analysis

# 目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
第 2 章	補間法	3
2.1	はじめに	3
2.2	歪みに対する補間法	3
2.2.1	最近隣内挿法	3
2.2.2	共一次内挿法	4
2.2.3	三次畳み込み内挿法	4
2.3	欠損に対する補間法	5
2.4	まとめ	6
第 3 章	統計的性質と回帰分析について	7
3.1	はじめに	7
3.2	統計的性質	7
3.2.1	1 次微分処理	10
3.2.2	相関係数	11
3.3	回帰分析	12
3.3.1	単回帰分析	12
3.3.2	重回帰分析	13
3.4	問題点	13
第 4 章	回帰分析による補間	19
4.1	はじめに	19

## 目次

4.2	重回帰による補間 . . . . .	19
4.3	単回帰による補間 . . . . .	21
4.4	評価方法 . . . . .	22
4.5	まとめ . . . . .	23
<b>第 5 章</b>	<b>結論</b>	<b>30</b>
5.1	まとめと今後の課題 . . . . .	30
謝辞		31
参考文献		32

# 目次

2.1	最近隣内挿法	4
2.2	共一次内挿法	5
2.3	三次畳み込み内挿法	6
3.1	人物画 [lenna]	8
3.2	風景画 [landscape]	8
3.3	図 3.1 の R-G 間の相関	9
3.4	図 3.2 の R-G 間の相関	9
3.5	図 3.1 の R-B 間の相関	9
3.6	図 3.2 の R-B 間の相関	9
3.7	図 3.1 の G-B 間の相関	9
3.8	図 3.2 の G-B 間の相関	9
3.9	微分フィルタ	10
3.10	図 3.1 の R-G 間の Y 方向濃度差分値の相関	15
3.11	図 3.1 の R-B 間の Y 方向濃度差分値の相関	15
3.12	図 3.1 の R-G 間の Y 方向濃度差分値の相関	15
3.13	図 3.1 の R-G 間の X 方向濃度差分値の相関	15
3.14	図 3.1 の R-B 間の X 方向濃度差分値の相関	15
3.15	図 3.1 の R-B 間の Y 方向濃度差分値の相関	15
3.16	図 3.2 の G-B の Y 方向濃度差分値の相関	16
3.17	図 3.2 の G-B 間の X 方向濃度差分値の相関	16
3.18	図 3.2 の G-B 間の Y 方向濃度差分値の相関	16
3.19	図 3.2 の R-G 間の X 方向濃度差分値の相関	16
3.20	図 3.2 の R-B 間の X 方向濃度差分値の相関	16

## 図目次

3.21 図 3.2 の G-B 間の $X$ 方向濃度差分値の相関 . . . . .	16
3.22 相関が弱い画像 . . . . .	17
3.23 相関が弱い例 . . . . .	18
4.1 本研究で扱う欠損画像 . . . . .	20
4.2 本研究で扱う欠損画像 (R チャンネル) . . . . .	21
4.3 回帰平面 . . . . .	24
4.4 回帰平面 . . . . .	24
4.5 $X$ 軸方向補間画像 . . . . .	25
4.6 $Y$ 軸方向補間画像 . . . . .	25
4.7 R-G 間 $Y$ 軸方向差分に回帰直線を付加 . . . . .	26
4.8 R-G 間 $X$ 軸方向差分に回帰直線を付加 . . . . .	26
4.9 R-B 間 $Y$ 軸方向差分に回帰直線を付加 . . . . .	27
4.10 R-B 間 $X$ 軸方向差分に回帰直線を付加 . . . . .	27
4.11 R-G の $Y$ 軸方向補間画像 . . . . .	28
4.12 R-B の $X$ 軸方向補間画像 . . . . .	28
4.13 R-G の $X$ 軸方向補間画像 . . . . .	29
4.14 R-B の $Y$ 軸方向補間画像 . . . . .	29

# 表目次

3.1	図 3.1 の $Y$ 軸方向差分の相関係数	12
3.2	図 3.1 の $X$ 軸方向差分の相関係数	12
3.3	図 3.2 の $Y$ 軸方向差分の相関係数	12
3.4	図 3.2 の $X$ 軸方向差分の相関係数	12
3.5	図 3.23 における相関係数	14
4.1	重回帰の係数	20
4.2	単回帰の係数	22
4.3	補間画像の評価	23

# 第 1 章

## 序論

### 1.1 背景と目的

近年，情報化が進み個人がコンピュータを所有するようになった．さらにデジタルカメラや携帯電話のカメラの普及により誰でもデジタル画像を扱えるようになった．それに伴い，本来アナログ情報である写真や絵画などの画像はデジタル画像に変換され，さまざまな分野において使用されている．しかし，これらの画像は種々の要因により劣化や欠落などが生じ，画質が低下することがある．画質が低下する要因として，写真や絵画などのアナログ画像に変色が起きたり傷が付く場合やデジタル画像へと変換する場合，伝送路上でノイズの干渉を受ける場合などが挙げられる．これらの問題を解決するために画像補間技術が必要とされている．画像補間とは，本来存在していたデータが何らかの理由により欠落し，その欠落を何らかの画像モデルや欠落していない周囲の情報よりその欠落を補う技術である．歪みなどの劣化に対する画像補間技術はこれまでさまざまな研究が行なわれ，その成果を挙げている．このことからアナログ画像をデジタル画像へと変換する際に生じる歪みやボケなどを押えることができるようになっている．

しかし，写真や絵画などのアナログ画像に大きな傷がついてしまった場合，デジタル画像を伝送中に雑音の干渉を受けた場合やデジタル画像を圧縮する場合での情報の欠落では，すでにその箇所の情報は失われるため復元が非常に困難である．このような欠損に対する代表的な補間法はこれまで確立されておらず，一般的に欠損箇所の周囲の濃度値から欠損箇所を予測することで復元を行ってきた．しかし，従来手法ではエッジ部などの複雑な欠損は急激な濃度変化があるためエッジを再現することができず，原画像を復元することは困

## 1.2 本論文の構成

難とされている．そこで，24 ビットフルカラー画像における RGB 各チャンネルの類似性が高いことに着目し，1 チャンネルの濃度値を他チャンネルの濃度値から予測できるのではないかと考えた．

本研究では，フルカラー画像における RGB 各チャンネル間の統計的性質を利用し，RGB チャンネルいずれかに局所的に連続して欠損した画像に対して回帰分析に基づき欠損箇所の濃度差分値を予測し，この差分値を用いて復元を行う手法を提案する．

## 1.2 本論文の構成

本節では本論文の構成について述べる．

画像補間の流れとして欠損箇所の周辺における RGB 各チャンネルの濃度差分値を計算し，濃度差分の統計的性質を用いて回帰分析に基づいて欠損箇所の補間を行う．まず第 2 章では，これまでに研究が行なわれてきた画像補間の方法について，第 3 章では画像における統計的性質，回帰分析についての説明を行い，第 4 章では回帰分析に基づいた画像補間の手法についての説明を行ない，復元画像の評価を行う．最後に第 5 章では本研究の結論を述べ，今後の課題を報告する．

## 第 2 章

# 補間法

### 2.1 はじめに

アナログ画像は計算機で処理できる形態としてデジタル画像に変換される際、種々の要因により濃度歪み、幾何学的歪みやボケなどの劣化が生じ画質が低下する。そこで、画像に雑音が含まれている場合には、まず雑音を低減させる必要がある。本章では、これまで行われてきた代表的な補間の方法について説明を行い、問題点を述べる。

### 2.2 歪みに対する補間法

入力画像データは変換後の画像位置の順序に対応するよう並べ換えられる。しかし、変換後の出力すべき画像の各格子点は、一般には入力画像上の格子点に対応するとは限らない。そこで、対応点の濃度はその周囲の格子点の濃度から内挿補間によって求められる。

#### 2.2.1 最近隣内挿法

本節では、もっとも単純な補間法である最近隣内挿法の説明を行う。

図 2.1 のように内挿したい点  $f(u, v)$  に最も近い格子点の濃度値をその点の濃度値とする。この方法では、位置誤差は最大  $1/2$  画素生じたり、変換後の画像の境界線などに細かいジャギーが生じることがあるが、元のデータを壊さないこと、アルゴリズムが簡単であること等の利点がある。

## 2.2 歪みに対する補間法

### 2.2.2 共一次内挿法

最近隣内挿法では、変換後に境界線にジャギーが生じる。このため境界線を滑らかに表現できる共一次内挿法の説明を行う。

図 2.2 のように対応点の周囲の 4 点の濃度値を  $f(u, v)$  からの距離の比率により線形補間して濃度値を求める。  $i, j$  を  $u, v$  の値を越えない最大の整数とし、  $p = u - i, q = v - j$  とすれば、式 2.1 により濃度値が求められる。

$$f = \begin{bmatrix} q-1 & q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{i,j} & f_{i+1,j} \\ f_{i,j+1} & f_{i+1,j+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-p \\ p \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

この方法では変換後の画像に平滑化の効果があるが、画像がぼやけた感じになることがある。

### 2.2.3 三次畳み込み内挿法

次にもっとも自然な画像を得ることができる 3 次畳み込み内挿法について説明を行う。

図 2.3 のように対応点の周囲の 16 点の格子点における濃度値を用いて、式 2.3 の 3 次式

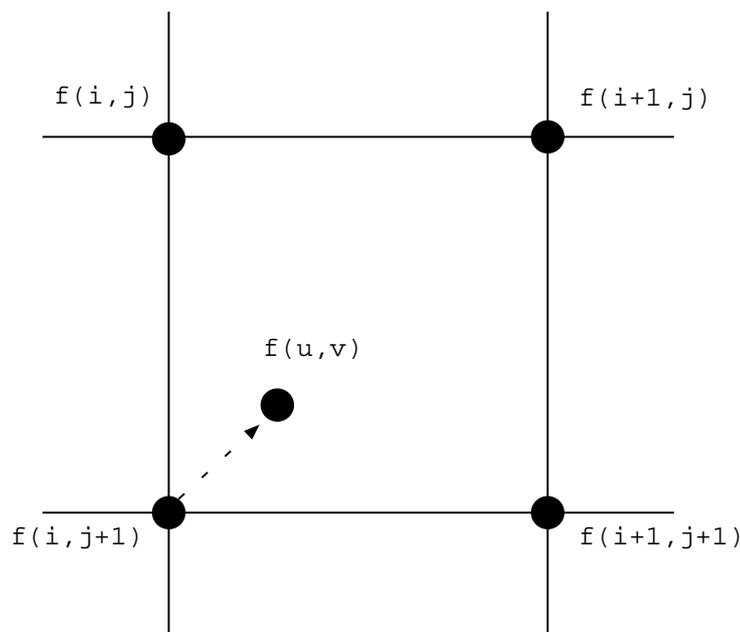


図 2.1 最近隣内挿法

## 2.3 欠損に対する補間法

によって補間を行う。

$$f(u_0, v_0) = \sum_k \sum_i f(u_k, v_i) C(u_k - u_0) C(v_i - v_0) \quad (2.2)$$

ここで,  $(u_k, v_1) : (u_0, v_0)$  の周囲の格子点

$$C(x) = \begin{cases} 1 - 2|x|^2 + |x|^3 & : 0 \leq |x| < 1 \\ 4 - 8|x| + 5|x|^2 - |x|^3 & : 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & : 2 \leq |x| \end{cases} \quad (2.3)$$

この方法における  $C(x)$  は標準化関数  $(\sin x)/x$  の 3 次式近似である。

この手法では情報の損失がもっとも少なく, 自然な画像が得られる。ただし, 複雑な演算を行うため処理に時間がかかるという問題もある。

## 2.3 欠損に対する補間法

前述した補間法は幾何学的歪みに対しては有効的であるが, 欠損が局所的に連続している画像では対応点に対する隣接 4 点, 16 点の画素情報が欠損し, 存在しない可能性があるため復元は極めて困難である。

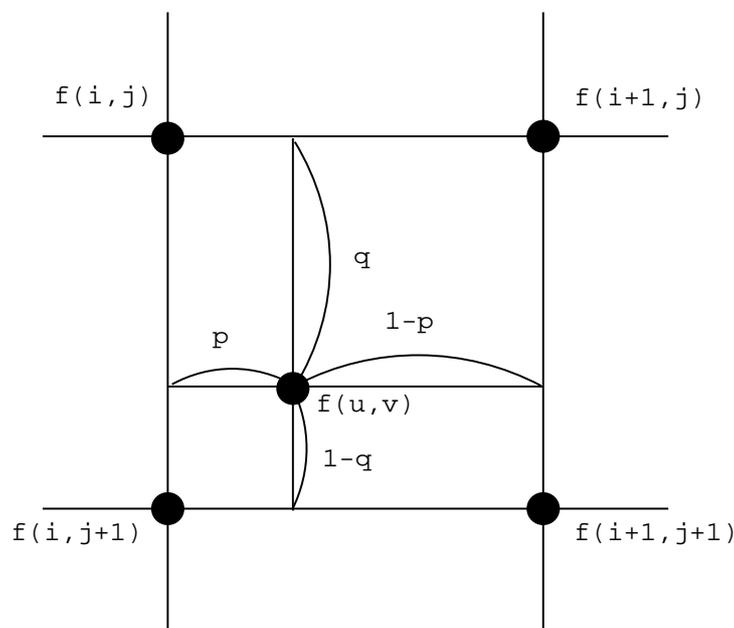


図 2.2 共一次内挿法

## 2.4 まとめ

ある箇所が局所的に連続して欠損した画像に対しての補間法は、一般的に欠損箇所の周辺情報から平均値などを用いて欠損部を埋めることにより行われる。欠損箇所が背景部のように周辺情報との濃度変化が少ない場合には平均値を用いた復元は有効的である。しかし、エッジ部を含む欠損箇所に対して周辺情報の平均値を用いた場合には、周辺情報との濃度変化が激しいためエッジの再現が困難であることが知られている。

## 2.4 まとめ

本章では、歪みや欠損に対する一般的な補間法について説明し、この問題点を述べた。

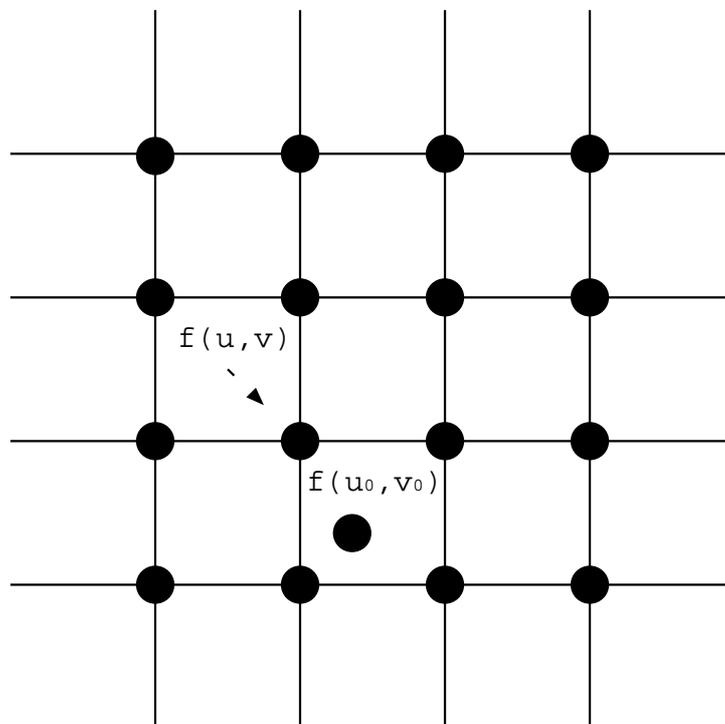


図 2.3 三次畳み込み内挿法

## 第 3 章

# 統計的性質と回帰分析について

### 3.1 はじめに

一箇所情報が連続して欠損している画像では、広範囲にわたって情報が抜け落ちていることから前章で述べた隣接画素をもとに補間を行うことはできない。また、エッジ部を含む箇所に対する周辺の濃度値を用いた補間法では、欠損箇所の周辺情報との濃度変化が激しいため復元がうまく行われなかったことがある。そのため、より精度の高い復元を行うためには周辺情報以外の情報が必要となる。

本章では、画像における統計的性質を補間に利用することを検討する。

一般的に RGB 各チャンネル間における統計的性質があることを検証を行うため、サンプル画像として図 3.1, 3.2 を用いた。

### 3.2 統計的性質

本節では、まず RGB 各チャンネルの濃度値における統計的性質の検討を行う。

サンプル画像である図 3.1, 3.2 における RGB 各チャンネル間の相関を図 3.3~3.8 に示す。

## 3.2 統計的性質



图 3.1 人物画 [lenna]



图 3.2 風景画 [landscape]

### 3.2 統計的性質

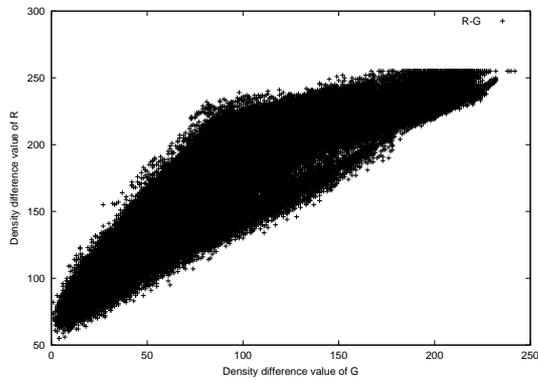


図 3.3 図 3.1 の R-G 間の相関

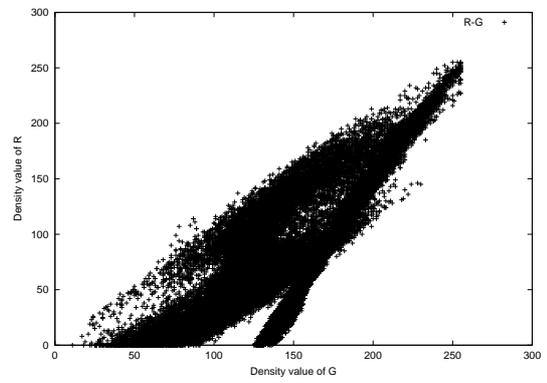


図 3.4 図 3.2 の R-G 間の相関

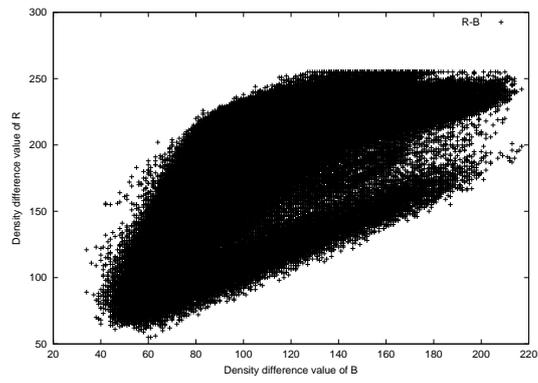


図 3.5 図 3.1 の R-B 間の相関

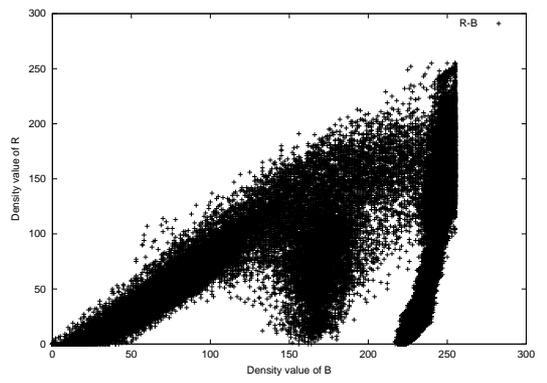


図 3.6 図 3.2 の R-B 間の相関

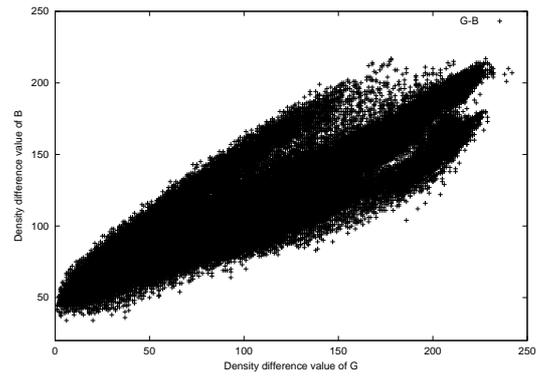


図 3.7 図 3.1 の G-B 間の相関

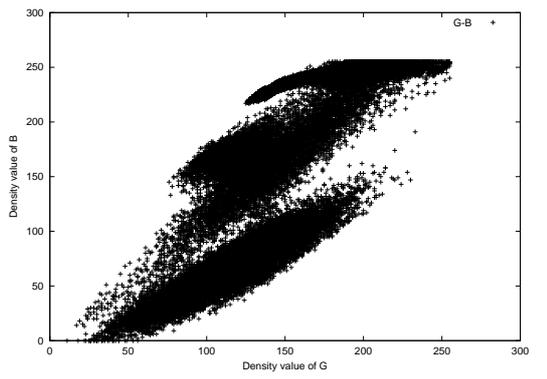


図 3.8 図 3.2 の G-B 間の相関

## 3.2 統計的性質

図 3.3~3.8 の結果より，2 変量の散布具合は全体に散らばっており，2 変量間には強い相関が見られない．これはエッジなどの急激な濃度変化があるためであり，分散が大きくなることが原因と考えられる．

そこで濃度値をそのまま扱うのではなく，濃度値に対してある処理を施して扱うものとする．

### 3.2.1 1 次微分処理

本節では，1 次微分処理について説明を行う．

1 次微分処理は画像から対象物の輪郭部の画素を取り出すためのエッジ検出の一手法である．一般に画像中の対象物は背景との濃度の差で分離できる．すなわち，濃度の変化点を抽出することによって対象物のエッジが検出できる．

1 次微分処理は濃度の変化点を抽出する処理で， $X$  軸方向微分と  $Y$  軸方向微分の 2 つがあり，具体的には 1 次微分は式 3.1 で定義される．

$$\begin{aligned} X \text{ 軸方向微分} &: \frac{\partial b_{x,y}}{\partial x} \\ Y \text{ 軸方向微分} &: \frac{\partial b_{x,y}}{\partial y} \end{aligned} \quad (3.1)$$

ここで  $f(x, y)$  は画素位置  $(x, y)$  における画像の濃度値である．式 3.1 を画素単位で表現すると式 3.2 のようになる．

$$\begin{aligned} X \text{ 軸方向微分} &: \Delta_x b_{i,j} = b_{i+1,j} - b_{i,j} \\ Y \text{ 軸方向微分} &: \Delta_y b_{i,j} = b_{i,j+1} - b_{i,j} \end{aligned} \quad (3.2)$$

また，これを空間フィルタで表現すると図 3.9 のようになる．

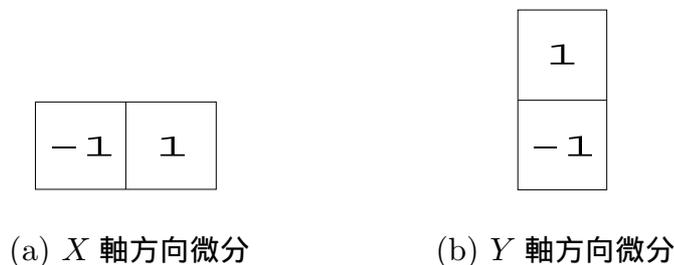


図 3.9 微分フィルタ

サンプル画像である図 3.1，3.2 の画像全体の濃度差分値の相関を図 3.10~3.21 に示す．

## 3.2 統計的性質

図 3.10～3.20 より，1 次微分処理を施した 2 変量間の濃度差分値にはある傾向が顕著に現れていることが分かる．相関を視覚的に評価した場合でも，2 変量間に何かしら傾向があることが分かったが，2 変量間の関係の強さを数値で判断する手法がある．

次に相関係数について説明を行う．

### 3.2.2 相関係数

相関係数は，2 変量間の関係の強さを表す係数である．相関を描き，2 つの変数が右肩上がりの傾向を示すときには正の相関があると言い，逆に右肩下がりの傾向を示すときには負の相関がある．相関係数が 0 に近づくほど 2 つの変数の間に因果関係が希薄であることになる．相関係数が取り得る値の範囲は  $-1$  から  $1$  までである．

R チャネルを  $X$ ，G または B チャネルを  $Y$  とした相関係数は

$$r_{XY} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.3)$$

となる．ここで， $N$  は標本数， $\bar{X}$ ， $\bar{Y}$  は各変量の平均値を表す．

このように定義された相関係数  $r_{XY}$  は次の性質を持っている．

$$-1 \leq r_{XY} \leq 1$$

$r_{XY}$  の値が  $1$  に近いほど正の相関が強く， $-1$  に近いほど負の相関が強いことを表している．また， $0$  に近いほど相関がないことを表している．

式 3.3 によって求められた相関係数を表 3.1～3.4 に示す．

表 3.1～3.4 を見ると，RGB 各チャネル間の濃度差分値にはそれぞれ強い相関があることが分かる．

### 3.3 回帰分析

表 3.1 図 3.1 の Y 軸方向差分の相関係数

図 3.10 の $r_{RG}$	0.951938
図 3.11 の $r_{RB}$	0.910266
図 3.12 の $r_{GB}$	0.956443

表 3.2 図 3.1 の X 軸方向差分の相関係数

図 3.13 の $r_{RG}$	0.958284
図 3.14 の $r_{RB}$	0.922733
図 3.15 の $r_{GB}$	0.960731

表 3.3 図 3.2 の Y 軸方向差分の相関係数

図 3.16 の $r_{RG}$	0.964555
図 3.17 の $r_{RB}$	0.922195
図 3.18 の $r_{GB}$	0.948274

表 3.4 図 3.2 の X 軸方向差分の相関係数

図 3.19 の $r_{RG}$	0.988714
図 3.20 の $r_{RB}$	0.978027
図 3.21 の $r_{GB}$	0.988727

## 3.3 回帰分析

これまでに画像中の濃度差分値には強い相関あることが分かった。この結果より、すべての標本点を近似する直線を描くことができれば 1 変量から他の変量を予測することが可能となる。

RGB いずれかのチャンネルの特定箇所にも局所的に連続して欠損した画像に対して、1 チャンネルの濃度値を残っている 2 チャンネルの濃度値から予測することで復元を行うことを提案する。

本節では、1 変量から他の変量を予測する手法である単回帰分析と重回帰分析について説明を行う。

### 3.3.1 単回帰分析

単回帰分析とは 2 変量  $x, y$  の資料の散布具合を直線で近似し、その直線で資料を調べる分析法で、直線は式 3.4 のような 1 次式で表される。

$$\hat{y} = a + bx \quad (3.4)$$

### 3.4 問題点

これを回帰方程式と呼び，方程式から得られる変量  $\hat{y}$  の値を予測値と呼ぶ． $a, b$  は係数であり， $a$  は切片を表し， $b$  は回帰係数を表す．

$a, b$  は最小 2 乗法により求められる．

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.5)$$

ここで， $\bar{y}, \bar{x}$  は  $x, y$  の平均値である．

$$b = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \quad (3.6)$$

#### 3.3.2 重回帰分析

単回帰分析は変量が 2 つの場合に，1 変量を他の変量の関係式で表現する分析法であるのに対して重回帰分析は 1 変量を他の 2 変量以上の関係式で表現する分析法である．

3 変量の場合の関係式は式 3.7 で示される 1 次式で表される．

$$\hat{y} = a + bx + cu \quad (3.7)$$

$a$  は定数項で切片を表し， $b, c$  は偏回帰係数で傾きを表す．単回帰分析では標本点を直線で近似したのに対して 3 変量の場合の重回帰分析は標本点を平面で近似する．

偏回帰係数  $b, c$  は式 3.8 の連立方程式を解いて得られる．

$$\begin{aligned} s_x^2 b + s_{xu} c &= s_{xy} \\ s_{xu} b + s_u^2 c &= s_{uy} \end{aligned} \quad (3.8)$$

また，回帰方程式の定数項  $a$  は式 3.9 の関係式から得られる．

$$\bar{y} = a + b\bar{x} + c\bar{u} \quad (3.9)$$

ここで， $\bar{y}, \bar{x}, \bar{u}$  は  $y, x, u$  の平均値である．

### 3.4 問題点

本章では，人物画や風景画などの自然画に対しての RGB 各チャンネル間における相関が極めて強いことを示した．この結果より，回帰分析を用いて 1 変量から他の変量の予測を行

### 3.4 問題点

い，補間する手法を提案する．しかし，世の中に存在する画像の中には相関が見られない画像も多く存在する．本節では相関が見られない例として図 3.22 を用いて説明を行う．

図 3.23 より，2 変量間の散布は全体に一様に散らばっていることが分かる．また，図 3.22 における各相関係数を表 3.5 に示す．

X 軸方向差分 $r_{RG}$	0.454286
Y 軸方向差分 $r_{RG}$	0.407409
X 軸方向差分 $r_{RB}$	-0.160106
Y 軸方向差分 $r_{RB}$	0.030857

表 3.5 より，図 3.22 における濃度差分値の各相関は極めて弱いことが分かる．人物画や風景画などの自然画に対しては極めて強い相関が見られたが，イラスト画や CG アートのよ  
うな人工的に作られた画像に対しての相関は弱いことが分かった．このため，今回提案する濃度差分の統計的性質を用いて補間する手法は適用できないこととなる．

### 3.4 問題点

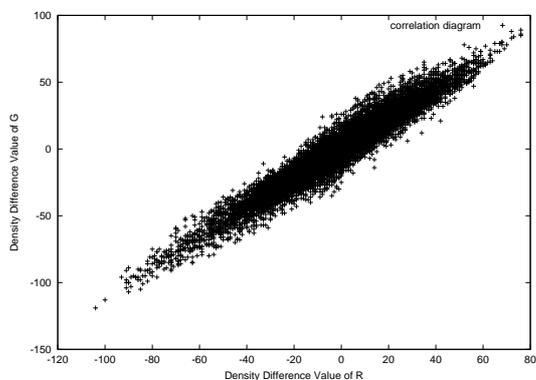


図 3.10 図 3.1 の R-G 間の Y 方向濃度差分値の相関

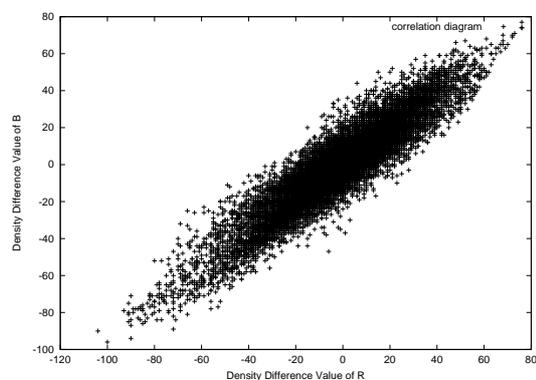


図 3.11 図 3.1 の R-B 間の Y 方向濃度差分値の相関

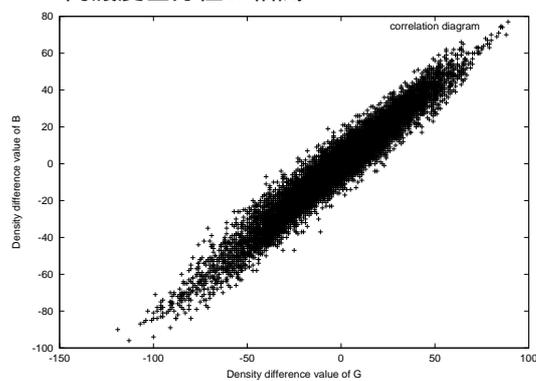


図 3.12 図 3.1 の R-G 間の Y 方向濃度差分値の相関

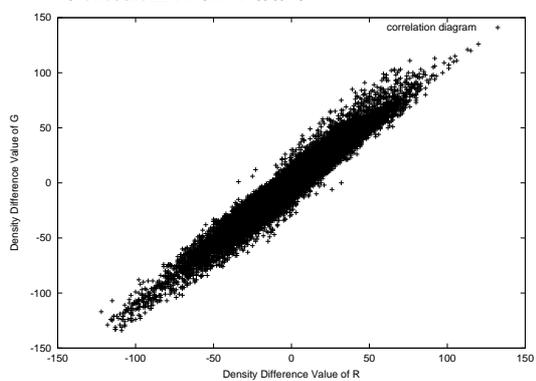


図 3.13 図 3.1 の R-G 間の X 方向濃度差分値の相関

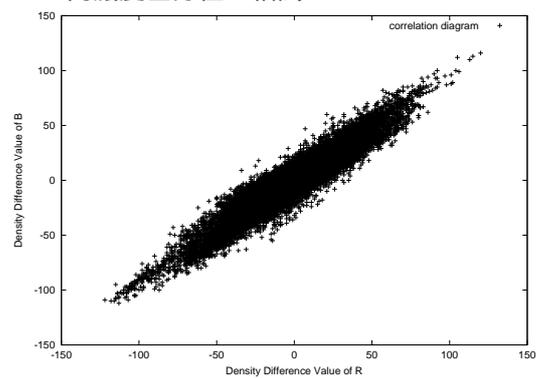


図 3.14 図 3.1 の R-B 間の X 方向濃度差分値の相関

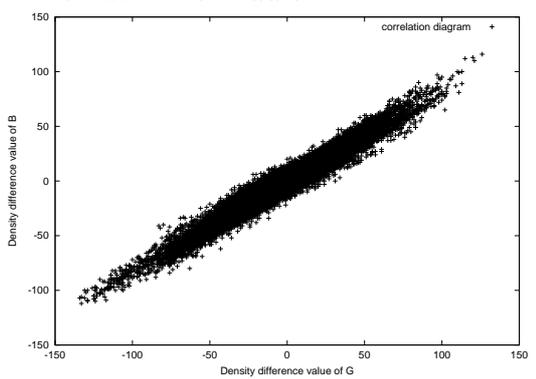


図 3.15 図 3.1 の R-B 間の Y 方向濃度差分値の相関

### 3.4 問題点

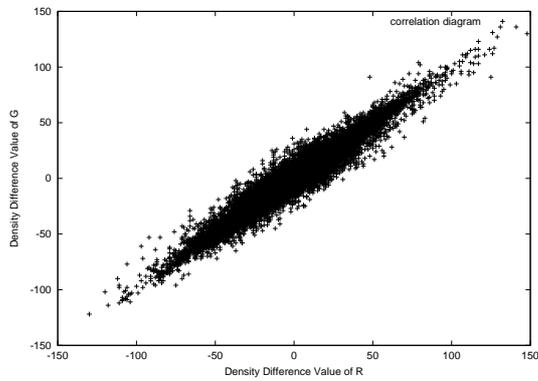


図 3.16 図 3.2 の G-B の Y 方向  
濃度差分値の相関

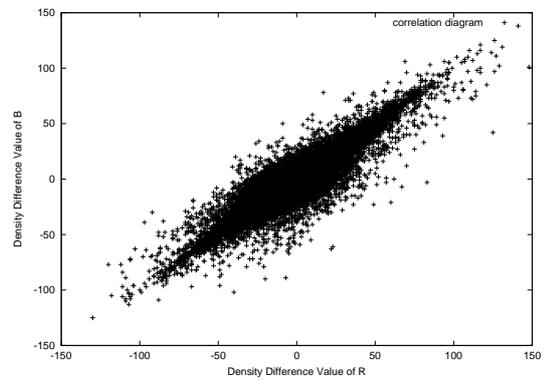


図 3.17 図 3.2 の G-B 間の X 方  
向濃度差分値の相関

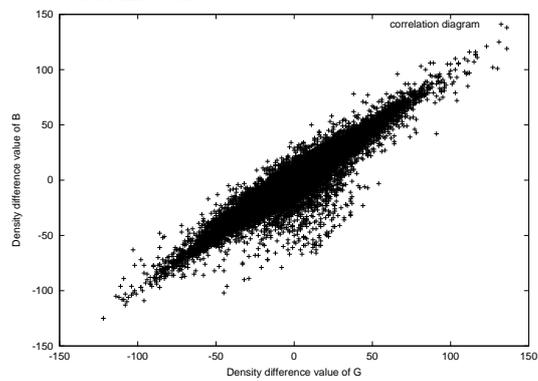


図 3.18 図 3.2 の G-B 間の Y 方  
向濃度差分値の相関

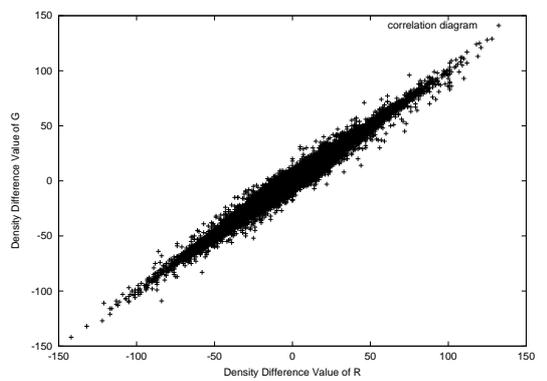


図 3.19 図 3.2 の R-G 間の X 方  
向濃度差分値の相関

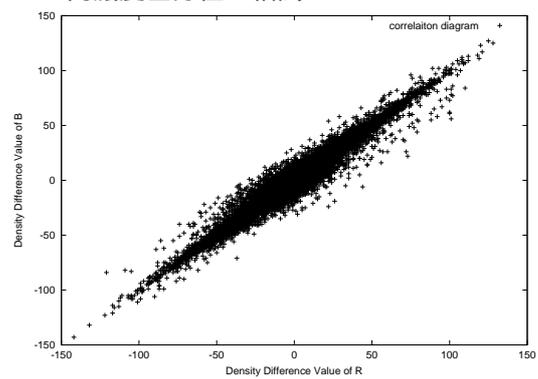


図 3.20 図 3.2 の R-B 間の X 方  
向濃度差分値の相関

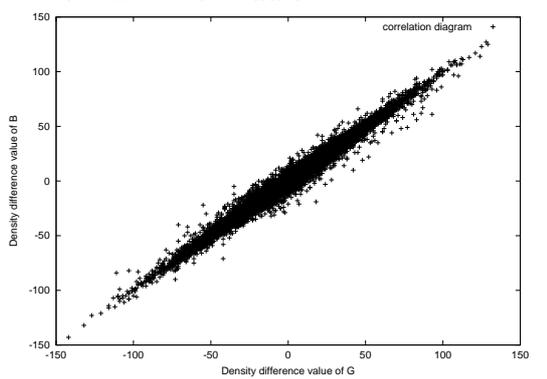


図 3.21 図 3.2 の G-B 間の X 方  
向濃度差分値の相関

### 3.4 問題点



図 3.22 相関が弱い画像

### 3.4 問題点

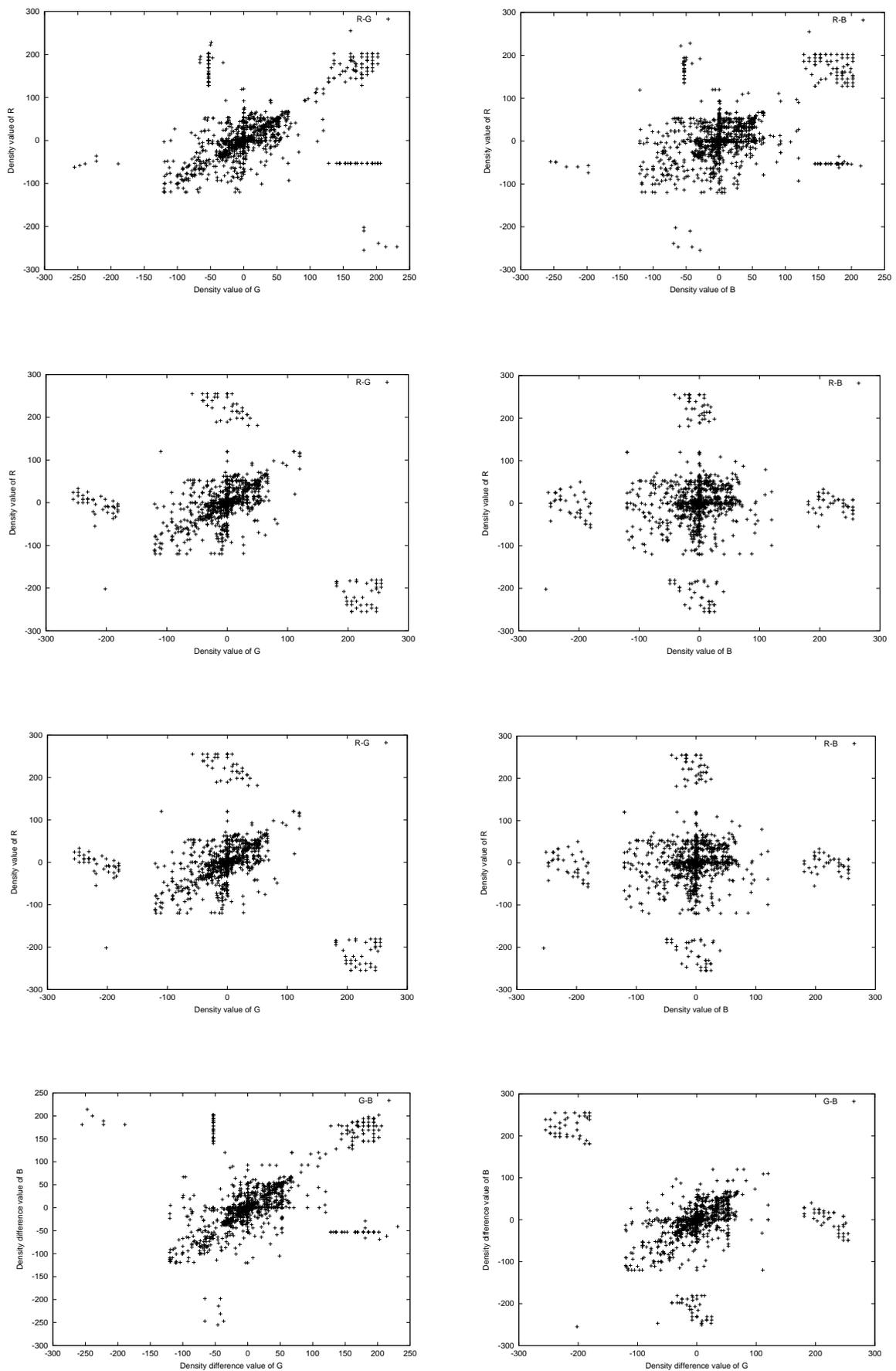


図 3.23 相関が弱い例

## 第 4 章

# 回帰分析による補間

### 4.1 はじめに

前章の結果より，画像の濃度差分値には強い相関があることが確認できた．このため R チャンネルの濃度差分値を G または B チャンネルの濃度差分値を用いて予測することで R チャンネルの補間を行う．

特定箇所が局所的に連続して欠損している場合での補間では，情報が欠損した箇所を埋めるために必要なものは周辺情報から導き出され，それをもって欠損箇所を埋めなければならない．また今回の欠損は画像の 1 チャンネル (R チャンネル) が欠損したという特殊な場合であるため，その他のチャンネル (G または B チャンネル) を利用し，より正確な復元を目指す．

本章では前章で説明を行った回帰分析に基づいた補間を図 4.1 に対して行い，その結果を示す．また原画像との比較評価を行った結果も併せて報告する．

### 4.2 重回帰による補間

まずは，RGB の 3 変量を用いた重回帰分析による補間を行う．

欠損箇所の周辺から RGB 各チャンネルの  $X$  軸方向， $Y$  軸方向それぞれに対して差分値を計算し，得られた値を用いて

$$\hat{R} = a + bG + cB \quad (4.1)$$

を導き出し，予測値を算出する．ここで， $\hat{R}$  は R チャンネルの濃度差分値の予測値， $G$  は G

## 4.2 重回帰による補間



図 4.1 本研究で扱う欠損画像

チャンネルの濃度差分値， $B$  は B チャンネルの濃度差分値である．

最小 2 乗法より求められた切片  $a$ ，偏回帰係数  $b, c$  の値を表 4.1 に示す．

表 4.1 重回帰の係数

	切片	偏回帰係数 1	偏回帰係数 2
X 軸方向濃度差分	-0.093545	0.733770	0.274685
Y 軸方向濃度差分	1.698351	0.263550	1.033255

式 (4.1) より算出された濃度差分値の予測値をもとに R チャンネルの濃度値を計算し，復元を行った画像を図 4.5，4.6 に示す．

### 4.3 単回帰による補間



図 4.2 本研究で扱う欠損画像 (R チャンネル)

### 4.3 単回帰による補間

前節では、RGB の 3 変量を用いて補間を行った。重回帰分析に基づいた補間では、R チャンネルの濃度差分値を G または B チャンネルの濃度差分値の 2 変量を用いて予測するため、誤差が大きくなるといった問題が生じる。誤差を小さくするため、G または B チャンネルのどちらかを用いて R チャンネルの濃度差分値を予測する。

本節では単回帰分析を用いて補間を行う。欠損箇所の周辺から RGB 各チャンネルの  $X$  軸方向、 $Y$  軸方向それぞれに対して濃度差分値を計算し、得られた値を用いて

$$\hat{R} = a + bx \quad (4.2)$$

により予測値を算出する。ここで、 $\hat{R}$  は R チャンネルの濃度差分値の予測値、 $x$  は G または B チャンネルの濃度差分値である。

最小 2 乗法により求められた切片  $a$ 、回帰係数  $b$  の値を表 4.2 に示す。

式 (4.2) より算出された濃度差分値の予測値をもとに R チャンネルの濃度値を計算し、復元

## 4.4 評価方法

表 4.2 単回帰の係数

	切片	回帰係数
R-G の X 軸方向差分	1.014639	-0.063599
R-B の X 軸方向差分	0.899736	-0.252658
R-G の Y 軸方向差分	1.225378	1.903903
R-B の Y 軸方向差分	1.280358	1.676393

を行った画像を図 4.11 ~ 4.14 に示す。

## 4.4 評価方法

人間の目は明るさの変化には敏感であるが、色の変化には鈍感であるという特性があるため画像を視覚的に評価することは極めて難しい。また、各個人では見方が異なり、どの画像がより原画像に近いかを評価することは難しい。つまり復元した画像がどれだけ原画像に近付いたか、どれだけ復元できたかを数値化して判断する必要がある。

本節では正規化ノルム 2 乗誤差を用いて復元画像の評価を行う。

具体的には正規化ノルム 2 乗誤差は次式で表される。

$$e = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n (b_{x,y} - b_{x,y}^*)^2}{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n b_{x,y}^2} \quad (4.3)$$

ここで、 $f(x, y)$  は原画像の濃度値、 $f'(x, y)$  は復元画像の濃度値を表す。また  $e$  の値は次の範囲を取る。このように定義された相関係数  $r_{XY}$  は次の性質を持っている。

$$0 \leq e \leq 1$$

$e$  が 1 に近いほど原画像との誤差が大きく、0 に近いほど原画像との誤差が小さいことを表している。つまり、0 に近いほどうまく復元できていることを示している。

式 4.3 によって求められた正規化ノルム 2 乗誤差を表 4.3 に示す。

## 4.5 まとめ

表 4.3 補間画像の評価

図 4.11 のノルム誤差	0.020717
図 4.12 のノルム誤差	0.021846
図 4.13 のノルム誤差	0.024784
図 4.14 のノルム誤差	0.020696
図 4.5 のノルム誤差	0.039340
図 4.6 のノルム誤差	0.200245

## 4.5 まとめ

本章では、まず RGB 各チャネルの濃度差分値の 3 変量を用いて重回帰分析に基づいて補間を行った。しかし、3 変量を用いた場合では回帰平面上における誤差が大きくなり、その結果として予測値である R チャネルの濃度差分値にも大きな誤差が生じた。この問題を回避するために、G または B チャネルのどちらかを用いる 2 変量での単回帰分析に基づいて補間を行った。2 変量を使用した場合では、3 変量を用いた場合に比べて誤差が小さくなり、その結果としてうまく復元されたことを確認した。

しかし、2 変量の場合では R-G 間、R-B 間のどちらを用いて補間を行うかといった問題がある。この問題に対しては補間結果より、相関が強い 2 変量を用いた場合の方が補間結果の誤差も小さくなることが分かった。また、1 次微分処理では  $X$ 、 $Y$  軸方向のどちらを用いた方が誤差が小さくなるかといった問題もある。今回扱った欠損画像には  $Y$  軸方向にエッジを含んでおり、エッジの方向が補間結果に影響したことが考えられる。

## 4.5 まとめ

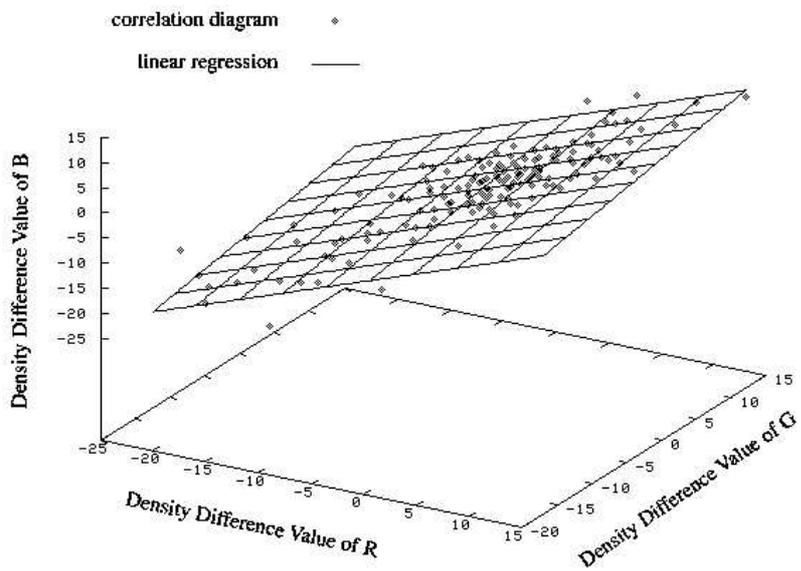


図 4.3 回帰平面

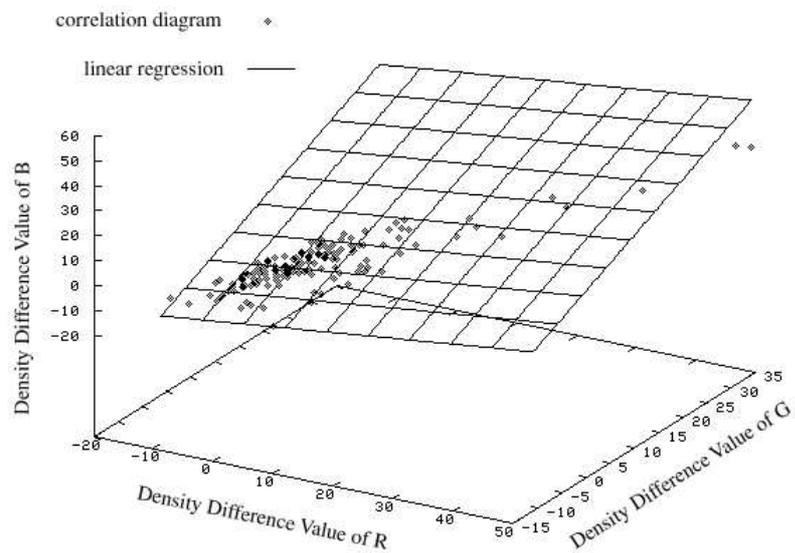


図 4.4 回帰平面

## 4.5 まとめ



図 4.5 X 軸方向補間画像



図 4.6 Y 軸方向補間画像

## 4.5 まとめ

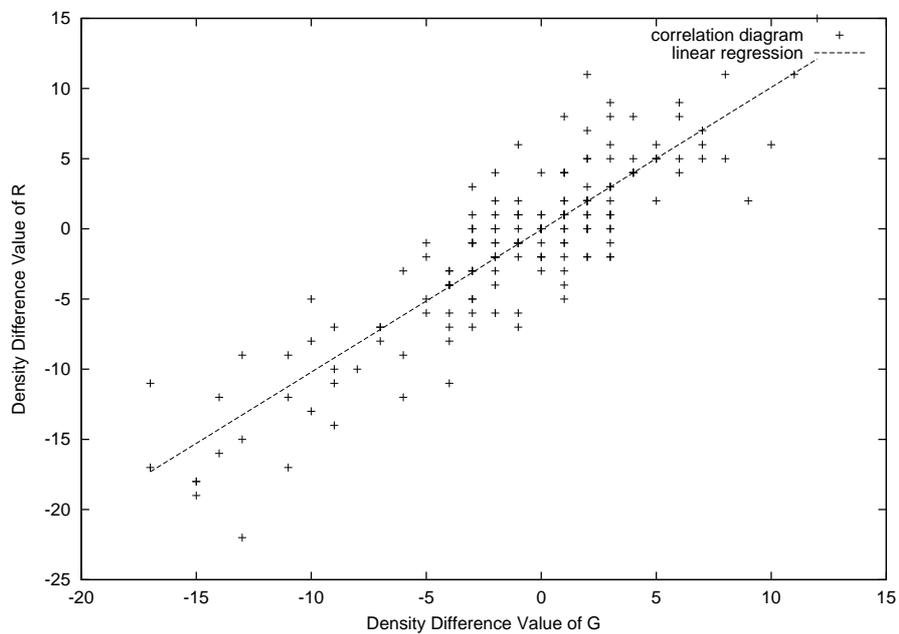


図 4.7 R-G 間 Y 軸方向差分に回帰直線を付加

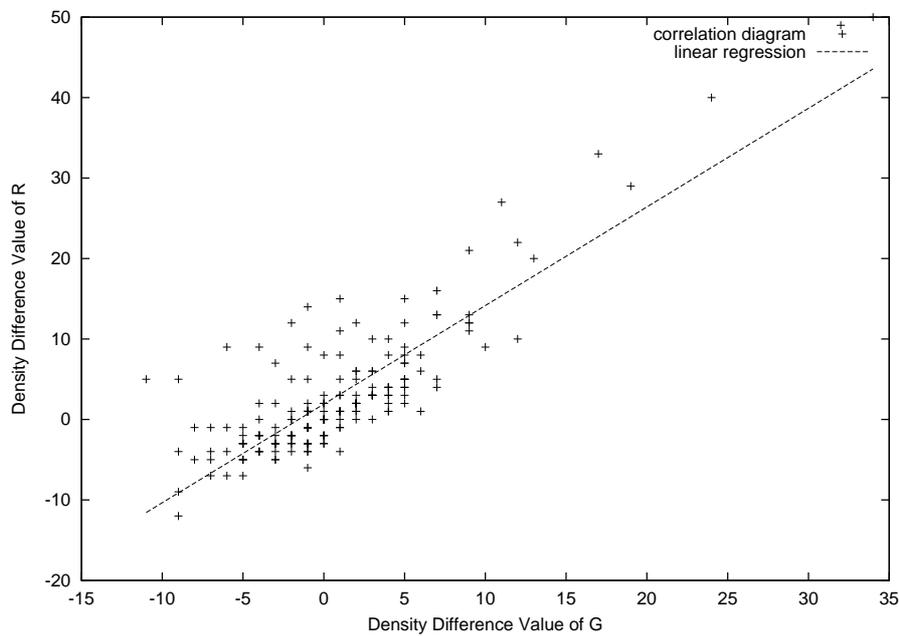


図 4.8 R-G 間 X 軸方向差分に回帰直線を付加

## 4.5 まとめ

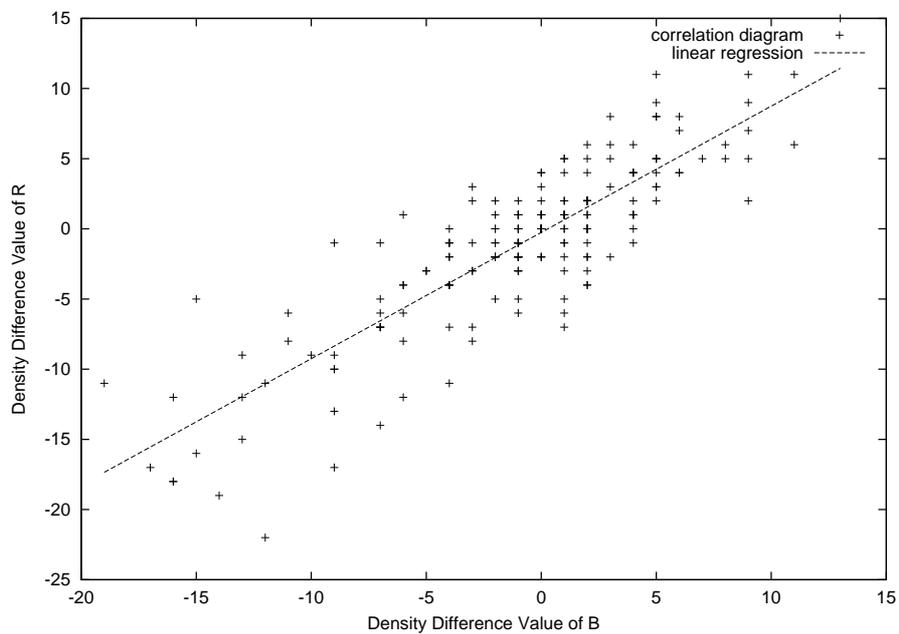


図 4.9 R-B 間 Y 軸方向差分に回帰直線を付加

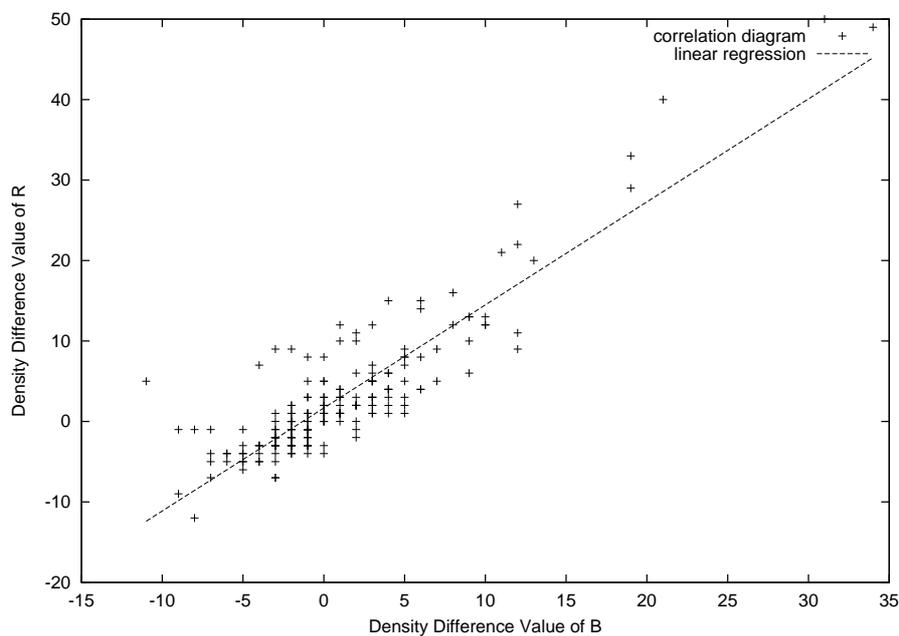


図 4.10 R-B 間 X 軸方向差分に回帰直線を付加

4.5 まとめ



図 4.11 R-G の Y 軸方向補間画像



図 4.12 R-B の X 軸方向補間画像

4.5 まとめ



図 4.13 R-G の  $X$  軸方向補間画像



図 4.14 R-B の  $Y$  軸方向補間画像

# 第 5 章

## 結論

### 5.1 まとめと今後の課題

本研究では，RGB 各チャンネル間における濃度値の統計的性質について検討を行った．濃度値を用いた場合，エッジなどの急激な濃度変化に対応できないという問題が生じ，そのため各画素に 1 次微分処理を施し，差分値による画像の統計的性質について検討を行った．その結果，RGB 各チャンネル間には強い相関が確認できたため，回帰分析に基づいた補間法を提案した．提案手法による補間を行うことで RGB いずれかのチャンネルが局所的に連続して欠損した画像に対しての有効性を確認できた．また，従来の補間法に比べて補間に使用できる情報量の多さから，比較的困難であるエッジ部分の復元においても輪郭をうまく再現できることを確認した．本研究では RGB 各チャンネル間の強い相関を利用することで補間を行ったが，本研究の結果より強い相関を利用することで精度の高い復元を行えることを確認できたため，RGB 各チャンネル間の相関に限らず，例えば時系列間の強い相関を利用することで精度の高い復元を行えると考えられる．

今後の課題として，補間結果より欠損箇所におけるエッジの方向と 1 次微分処理における差分方向には強い因果関係が存在することが分かった，このことより，1 次微分処理における  $X$  軸， $Y$  軸方向どちらの差分をとるかということのエッジの方向を踏まえて考慮する必要がある．エッジの方向に左右されない差分を用いた統計的性質を検討し，より強い相関を得ることも必要である．また，本研究では比較的単純なエッジを含む欠損を対象に補間を行ったが，エッジを複数含むなどのより複雑な欠損に対する場合や欠損箇所がより広範囲にわたる場合に提案手法による補間がどの程度有効であるのかを検討する必要がある．

# 謝辞

本研究を行なうにあたり，家庭を顧みず深夜まで御指導，御助言頂いた高知工科大学 情報システム工学科福本昌弘助教授に深く感謝致します．また，本研究を審議して下さいった木村義政教授，妻鳥貴彦講師，および情報システム工学科の先生皆様に感謝致します．そして，日々の研究活動の中でお互いを励まし合った福本研究室の皆様一同に深く感謝致します．

最後に，今の私を支えてくれているすべての方々に深く感謝致します．

## 参考文献

- [1] 村上 伸一, "画像処理工学", 東京電機大学出版局, 1996 年 .
- [2] 村上 伸一, "コンピュータグラフィックスの基礎", 東京電機大学出版局, 1999 年.
- [3] 斎藤恒雄, "画像処理アルゴリズム", 近代科学社, 1993 年 .
- [4] 涌井良幸, 涌井貞美, "図解でわかる 回帰分析", 日本実業出版社, 2002 年.
- [5] 加藤千恵子, 石村貞夫, "相関係数と回帰直線", 東京図書株式会社, 2003 年.
- [6] <http://www.usikai.com/index.html>