

長岡技術科学大学大学院  
工学研究科修士論文

題 目

領域分割を用いた屋外画像に含まれる  
影除去の高精度化に関する研究

指導教員

准教授 杉田 泰則

著 者

16315483 近藤泰介

令和 2 年 2 月 7 日

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	2
1.3	論文の構成	2
<b>第 2 章</b>	<b>既存の影除去手法</b>	3
2.1	影検出	3
2.2	影除去	4
2.3	エッジ処理	4
2.4	問題点	4
<b>第 3 章</b>	<b>提案法</b>	5
3.1	提案手法概要	5
3.2	領域分割	5
3.2.1	XYZ 色空間	5
3.2.2	$L^*a^*b^*$ 色空間	6
3.2.3	XYZ 色空間と $L^*a^*b^*$ 色空間の特性	6
3.2.4	領域分割手法	7
3.3	影補正	9
3.3.1	HSV 色空間	9
3.3.2	補正	10
3.4	エッジ補正	10
3.4.1	バイラテラルフィルタ	10
3.4.2	グローバルな画素値	11
3.4.3	補正	11
<b>第 4 章</b>	<b>実験</b>	13

---

4.1	実験条件	13
4.2	評価指標	13
4.3	結果	14
4.3.1	影除去	14
<b>第5章 おわりに</b>		19
5.1	まとめ	19
<b>謝辞</b>		20
<b>付録</b>		21
A	使用画像	21
B	エッジ処理結果	24
<b>参考文献</b>		25

# 第1章 はじめに

本章では、本論文の研究背景及び目的、本論文の構成について述べる。

## 1.1 研究背景

画像処理は交通監視や顔認識など様々な分野で応用されている。画像中に存在する影は物体の移動や位置の検出の重要な情報となる一方で、物体検出では影を含めて1つの物体として検出されたり、領域分割を行う際に1つの領域として分割されたりしてしまうなど、物体検出・認識処理を行う上で誤検出・誤認識の原因となることがある。そのため、影の検出・除去に関する研究が盛んに行われている。

影の除去手法として、ニューラルネットを用いたもの [1], [2] やカメラや環境等の外部パラメータを用いるもの [3]- [5]、これらを用いないもの [6]- [10] がある。ニューラルネットを用いるものは高精度であるが、計算コストが高く、データセットの収集も必要となる。また、外部パラメータを用いるものは高精度ではあるが使用するカメラや撮影環境に依存してしまうため、汎用性に劣り、画像ごとに人の手による設定を必要とする。これらを用いない手法には、複数の画像を用いるもの [6]、Retinex を用いるもの [7]、スパース表現を用いるもの [8] などがある。複数画像を用いるものは高精度であるが、画像を撮影する際に制約がかかるため、汎用性に劣る。Retinex を用いるものは影領域の影響は低減されるが、完全に影を除去することは非常に困難である。また、影以外の領域が劣化してしまうという問題もある。スパース表現を用いるものは細かいエッジ情報なども復元可能であるが、インデックスの作成と対応付けが必要になるため、計算コストが高くなる。

文献 [9] では、屋外画像に含まれる影領域を対象に、低計算コストかつ高速な影検出・除去手法が提案されている。この手法では、屋外画像の影に含まれる特徴を利用することで、外部パラメータを用いることなく高速な影検出が可能である。しかし影除去では、影領域と非影領域の色相の違いが考慮されていないため、除去後の領域と周辺領域とで色ずれを生じることがある。また、この問題を解決しようとした文献 [10] では影除去処理後に周辺領域のうち色相が近い領域に色を合わせているが、かなり計算コストが高くなっている。

## 1.2 研究目的

従来のニューラルネットおよび外部パラメータを用いない影除去手法 [9] における除去性能の低さを改善し、従来の改善手法 [10] より計算コストを抑えることを目的とする。本論文では影の除去に注目するため、影の検出には従来手法 [9] を用いる。影の除去では、領域分割を行い、色相の類似している領域ごとに分割し、影領域と非影領域のうち色相が類似している領域を比較することで色相ずれの起こりにくい高精度な除去を行う。また、影領域のエッジの処理を明るさに応じて補正することでエッジが目立たないように補正する。さらに、本論文では実験により提案手法と従来手法の比較を行い、提案手法の有用性についても検証する。

## 1.3 論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。第2章では、既存の影除去手法および問題点について述べる。第3章では、提案法である領域分割をもちいた影除去の手法について述べる。第4章では、実験による提案法と既存手法の比較結果を示す。最後に、第5章では本論文の結論を述べる。

# 第2章 既存の影除去手法

本章では影除去手法 [9] の手法を説明する。

影除去は影の検出と除去の2つの手順に分けられる。

## 2.1 影検出

影の検出は次の手順で行う。

- ① 画像を  $L^*a^*b^*$  色空間へ変換する。
- ②  $L^*a^*b^*$  色空間で  $L^*$  および  $b^*$  が閾値より小さいピクセルを影ピクセルとして割り振る。
- ③ 収縮・膨張処理を行う。
- ④ ピクセル数が閾値以上の領域を影領域とする。

$L^*a^*b^*$  色空間では  $L^*$  は輝度を表す。そのため、 $L^*$  の値が小さいピクセルは影として扱う。また、屋外画像の特徴として影領域はほかの領域と比較して青みがかる。そのため、 $L^*$  および  $b^*$  の値が小さい領域を影領域とすることで暗い色のオブジェクトを影と識別することを抑制する。この時、 $L^*$  および  $b^*$  の閾値は画像ごとに異なるため、画像ごとにユーザーが設定する必要がある。その後、ノイズ除去のために収縮・膨張処理を行い、最後にピクセル数が閾値以上の領域のみを影領域とすることで、誤検出だと考えられる小さい領域や収縮・膨張処理によって除去しきれなかったノイズを削除する。

## 2.2 影除去

影の除去は RGB 個別に処理を行う。影領域全体に定数をかけることで行う。定数  $f$  は式 (2.1) で決定される。

$$f_i = \frac{\text{average}(I_{\text{nonshadow}_i})}{\text{average}(I_{\text{shadow}_i})} \quad (2.1)$$
$$i \in [R, G, B]$$

ここで、 $I_{\text{nonshadow}_i}$  は非影領域における  $i$  の画素値、 $I_{\text{shadow}_i}$  は影領域における  $i$  の画素値、 $\text{average}(n)$  は  $n$  の平均を表している。

## 2.3 エッジ処理

影領域の明るさは均一ではなく、影全体を同じ定数で補正すると影の境界付近が過度に明るくなる。そのため、境界付近にメディアンフィルタをかけることで過度に明るい領域を取り除く。

## 2.4 問題点

本論文では影除去に注目するため、除去に関する問題点を述べる。

影領域と非影領域ではその領域に含まれる物体や背景が異なることが多い。そのため、影領域と非影領域でそれぞれ平均をとっても影領域と非影領域で異なった物体や背景の平均となってしまう。これでは影領域と非影領域の平均の色相は異なったものになってしまふ。それゆえ、影領域と日陰領域の色相の差が考慮されていないこの手法では、影領域とその周辺領域で色相に差がでてしまう。

# 第3章 提案法

本章では提案手法の詳細を述べる。

## 3.1 提案手法概要

本論文では影の除去に注目するため、影の検出は影除去手法 [9] の手法を用いる。影除去は次の手順で行う。

- ① 画像を領域ごとに分割する。
- ② 影内の領域と影外の領域で色相の近い領域をマッチングする。
- ③ マッチングした領域を用いて影領域を補正する。
- ④ エッジを補正する。

## 3.2 領域分割

### 3.2.1 XYZ 色空間

XYZ 色空間は知覚可能であるが RGB 色空間によって表すことができない色を表すことのできる空間である。Y が輝度を、Z がおおむね青みの度合いを、X がその他の要素を持つ。本論文では Python の `skimage.color.rgb2xyz` 関数によって変換を行った。この関数は入力を sRGB 色空間と仮定し、そこから XYZ 色空間へ変換する関数である。sRGB 色空間から RGB 色空間への変換は式 (3.1) によって行うことができる。

$$i = \begin{cases} \frac{si}{12.92}, & si \leq 0.04045 \\ \left( \frac{si + 0.055}{1.055} \right)^{2.4}, & si > 0.04045 \end{cases} \quad (3.1)$$

$i \in [R, G, B]$   
 $i$  : RGB 色空間における  $i$  の値  
 $si$  : sRGB 色空間における  $i$  の値

ここで、sRGB 色空間の値は 0~1 の範囲である。

RGB 色空間から XYZ 色空間への変換は式 (3.2) ~式 (3.4) によって行うことができる.

$$X = 0.412453R + 0.357580G + 0.180423B \quad (3.2)$$

$$Y = 0.212671R + 0.715160G + 0.072169B \quad (3.3)$$

$$Z = 0.019334R + 0.119193G + 0.950227B \quad (3.4)$$

### 3.2.2 L\*a\*b\* 色空間

L\*a\*b\* 色空間は知覚的にほぼ均等な特性を持ち色空間である. L\* が輝度を, a\* が正にいくほど赤, 負にいくほど緑を, b\* が正にいくほど黄, 負にいくほど青を示す. XYZ 色空間から L\*a\*b\* 色空間への変換は式 (3.5) ~式 (3.8) によって行うことができる.

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (3.5)$$

$$a^* = 500 \left\{ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right\} \quad (3.6)$$

$$b^* = 200 \left\{ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right\} \quad (3.7)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, & t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29}, & t \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \end{cases} \quad (3.8)$$

### 3.2.3 XYZ 色空間と L\*a\*b\* 色空間の特性

図 3.1 に RGB 色空間で等間隔に並べたものを XYZ 色空間と L\*a\*b\* 色空間へ変換したものを見た. この時, 同じ色の点がそれぞれの色空間で対応する点である.

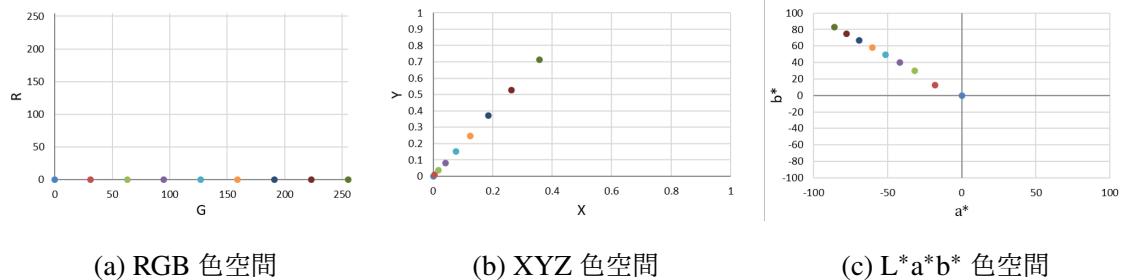


図 3.1: 色空間の特徴

これより, XYZ 色空間では RGB 色空間での値が大きいほど座標の間隔が大きくなる特徴を持つ空間であることがわかる. つまり, RGB 色空間での値が大きいほど XYZ

色空間で特徴が出やすくなっている。また、 $L^*a^*b^*$  色空間では RGB 色空間での値が小さいほど座標の間隔が大きくなる特徴を持つ空間であることがわかる。つまり、RGB 色空間での値が小さいほど  $L^*a^*b^*$  色空間で特徴が出やすくなっている。

### 3.2.4 領域分割手法

領域分割では細かく分割してしまうと領域のマッチング処理に時間がかかり、正しいマッチングも難しくなる。そのため、大きな領域へ分割を行う。

領域分割は以下の出順で行う。

- ① 画像を  $L^*a^*b^*$  色空間と XYZ 色空間に変換する。
- ② それぞれの色空間で主成分分析を行い、1次元のヒストグラムを作成する。
- ③ 極小値で分割する。
- ④ 分割した部分で②、③を分割不可になるまで繰り返す。
- ⑤  $L^*a^*b^*$  色空間、XYZ 色空間の結果の論理積をとる。
- ⑥ 閾値以下のピクセル数の小さな領域を周辺へ丸める。

まず、 $L^*a^*b^*$  色空間と XYZ 色空間に変換する。この2空間を選択したのは 3.2.3 に示した特性から、それぞれ暗い部分、明るい部分で特徴を得やすいためである。

次に主成分分析を行い、ヒストグラムを作成する。主成分分析を用いることで分散が最大となるよう1次元に圧縮することで領域ごとの特徴が現れやすいうようにした。この際、BINの幅を主成分分析で得られた値の（最大値-最小値）/255とした。極小値での分割は図3.2に示すように隣接する極値との差が閾値以上の極値を用いることで過剰な分割をしないようにした。この時の閾値は（ヒストグラムの総数）×0.001とした。

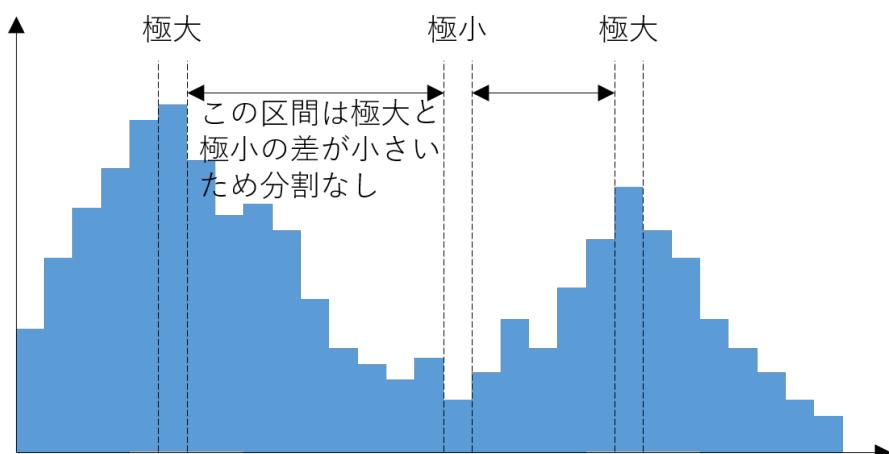


図 3.2: ヒストグラム

前述したとおり,  $L^*a^*b^*$  色空間は暗い領域を分割しやすく,  $XYZ$  色空間は明るい領域を分割しやすい. そのため,  $L^*a^*b^*$  色空間,  $XYZ$  色空間の結果の論理積をとることで図 3.3 のように暗い領域, 明るい領域の両方で分割された領域を得ることができる. ここで, 図 3.3 の分割結果は同一色が同一領域に分類されたことを示す.

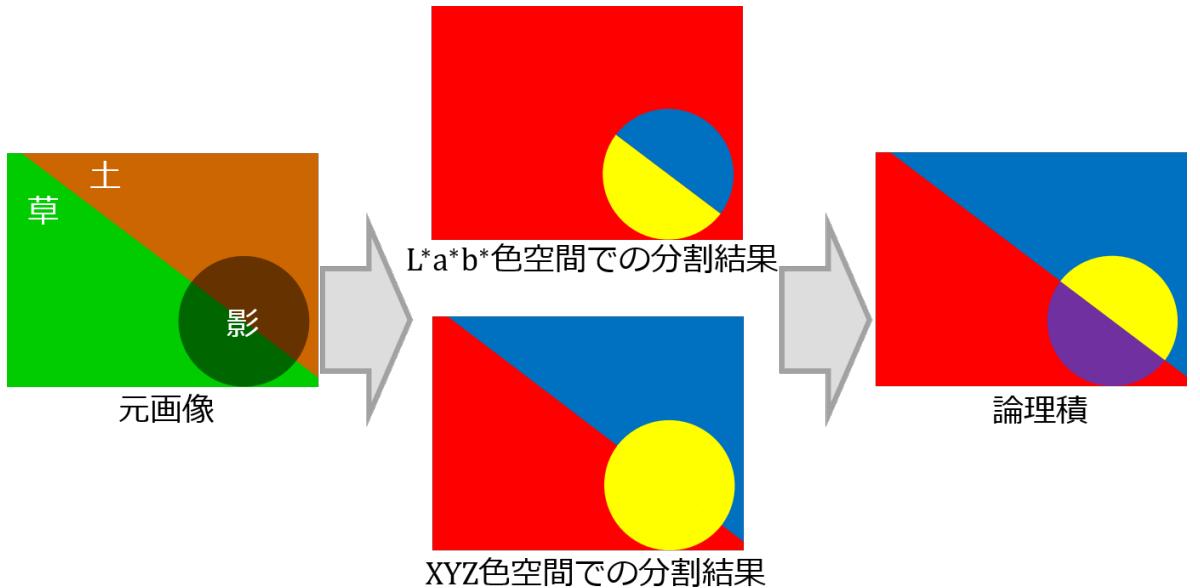


図 3.3: 理想の領域分割

実際の画像では誤分類が存在するため, 最後に閾値以下のピクセル数の小さな領域を周辺へ丸める. この時の閾値は 500 ピクセルとした.

実際の処理結果図 3.4 に示す.

これより, 理想に近い分割となっていることが確認できる.

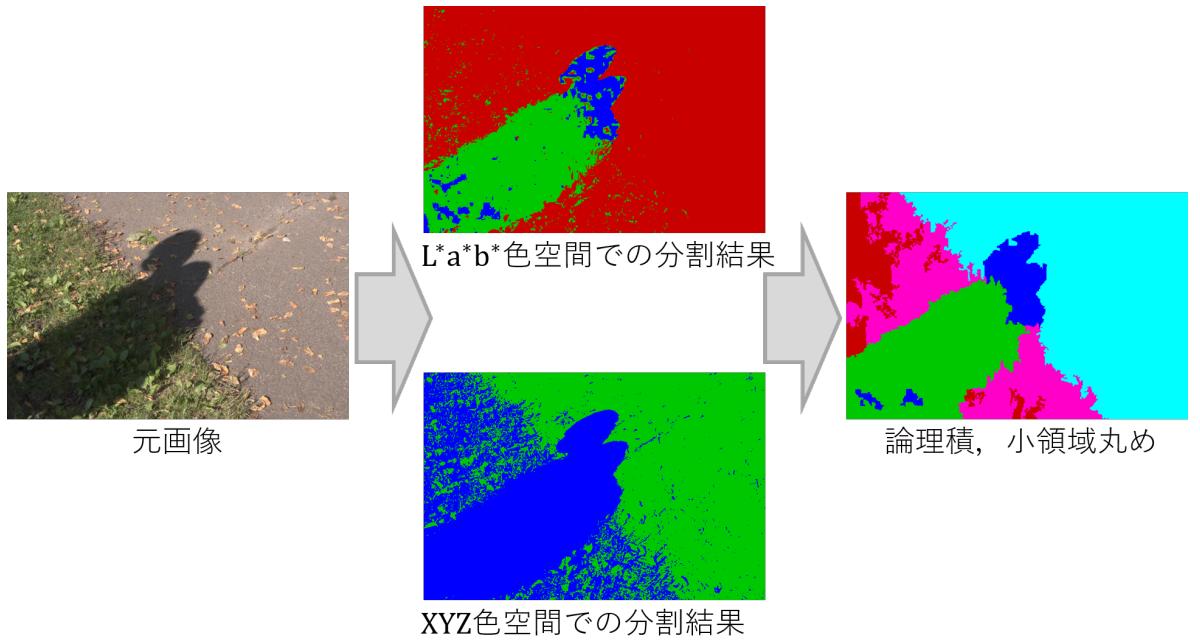


図 3.4: 領域分割適用例

### 3.3 影補正

#### 3.3.1 HSV 色空間

HSV 色空間は色相 (H), 彩度 (S), 明度 (V) からなる色空間である. RGB 色空間から HSV 色空間への変換は式 (3.9) ~式 (3.11) によって行うことができる.

$$H = \begin{cases} 0, & \text{MAX} = \text{MIN} \\ 60 \times \frac{G - R}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 60, & \text{MIN} = B \\ 60 \times \frac{B - G}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 180, & \text{MIN} = R \\ 60 \times \frac{R - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 300, & \text{MIN} = G \end{cases} \quad (3.9)$$

MAX : その色が持つ R,G,B の最大値

MIN : その色が持つ R,G,B の最小値

$$V = \text{MAX} \quad (3.10)$$

$$S = \frac{\text{MAX} - \text{MIN}}{\text{MAX}} \quad (3.11)$$

ここで, RGB 色空間の値は 0~1 の範囲である.

### 3.3.2 補正

まず、影領域と非影領域のマッチングを行う。マッチングには HSV 空間を用い、影領域と非影領域で色相 (H) と彩度 (S) を極座標としたときの座標間の距離が最も短い領域同士をマッチングした。この時の座標間距離  $L$  の計算を式 (3.12) に示す。この  $L$  が最も小さい空間同士をマッチングする。

$$L_{ij} = \text{average}(S_i \cos(H_i)) - \text{average}(S_j \cos(H_j)) \quad (3.12)$$

$i$  : 影領域番号  
 $j$  : 非影領域番号

影の除去は RGB 色空間で RGB 個別に処理を行う。影領域の各領域ごとに定数をかけることで行う。定数  $f$  は式 (3.13) で決定される。

$$f_{ni} = \frac{\text{average}(I_{\text{nonshadow}_{ni}})}{\text{average}(I_{\text{shadow}_{ni}})} \quad (3.13)$$

$i \in [R, G, B]$

ここで  $I_{\text{shadow}_n}$  は注目している影領域、 $I_{\text{nonshadow}_n}$  は注目している影領域とマッチングした非影領域を示す。

## 3.4 エッジ補正

### 3.4.1 バイラテラルフィルタ

エッジを残したまま画像を平滑化するフィルタである。このフィルタは式 (3.14) によって表される。

$$g(i, j) = \frac{\sum_{n=-(d-1)/2}^{(d-1)/2} \sum_{m=-(d-1)/2}^{(d-1)/2} I(i+m, j+n) h(i, j)}{\sum_{n=-(d-1)/2}^{(d-1)/2} \sum_{m=-(d-1)/2}^{(d-1)/2} h(i, j)} \quad (3.14)$$

$$h(i, j) = \exp \left( -\frac{m^2 + n^2}{2\sigma_s^2} \right) \exp \left( -\frac{(I(i, j) - I(i+m, j+n))^2}{2\sigma_c^2} \right) \quad (3.15)$$

ここで、 $g(i, j)$  はフィルタ処理後の画像、 $I(i, j)$  は処理前の画像、 $h(i, j)$  は各カーネルの重み、 $d$  はカーネルサイズ、 $\sigma_s$  と  $\sigma_c$  はそれぞれ空間方向と色方向におけるガウス関数の  $\sigma$  を示す。

### 3.4.2 グローバルな画素値

エッジの補正では文献 [11] で提唱されたグローバルな輝度値を参考として用いる。文献 [11] では RGB 画像から輝度 (XYZ 色空間の Y の値) を求め、そこからグローバルな輝度値を得ていたが、本論文では RGB 個別にグローバルな値を計算するため、これをグローバルな画素値と定義する。

グローバルな画素値は次の手順で求められる。

- ① バイラテラルフィルタを適用する
- ② 最大値フィルタを適用する
- ③ 最小値フィルタを適用する
- ④ バイラテラルフィルタを適用する

これらの処理の適用例を図 3.5 に示す。

まず、初めのバイラテラルフィルタによってエッジをぼかすことなく画像に含まれるノイズとなる値を低減する。図 3.5a と図 3.5b を比較すると、路面の凹凸による影響が低減されていることがわかる。次に最大値フィルタおよび最小値フィルタを適用することで画像に含まれる細かい変化が消え、各面ごとのグローバルな値が得られることが図 3.5c より確認できる。最後に、バイラテラルフィルタを適用することによって同一表面でグローバルな値に変化がある場合のエッジを滑らかにする。本論文では②、③におけるフィルタサイズは  $7 \times 7$  とした。また、①のバイラテラルフィルタは  $d = 9, \sigma_s = 3, \sigma_c = 25$ 、④のバイラテラルフィルタは  $d = 9, \sigma_s = 3, \sigma_c = 60$  とした。

### 3.4.3 補正

3.4.2 で求めたグローバルな画素値を用いて補正係数  $f_e$  を決定する。影領域のエッジ周辺 7 ピクセルをエッジとして処理を行った。

$$f_{exy} = \frac{\max(E_{xy})}{\min(E_{xy})} \quad (3.16)$$

ここで、 $E_{xy}$  は注目画素を中心とした  $19 \times 19$  の領域、 $\max(n)$  は  $n$  の最大値、 $\min(n)$  は  $n$  の最小値を表す。この  $f_{exy}$  をかけることでエッジを補正した。

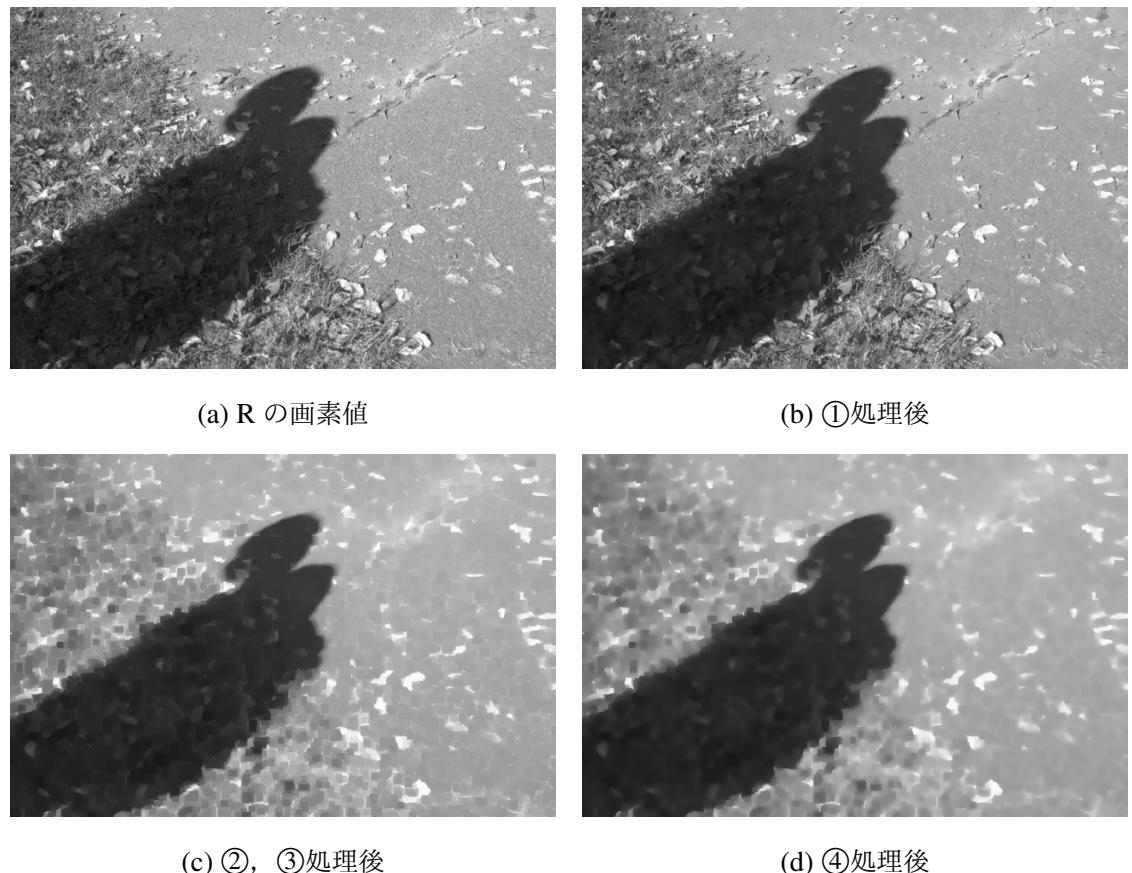


図 3.5: グローバルな画素値

# 第4章 実験

## 4.1 実験条件

図 4.1 に本実験で用いた画像を示す.



図 4.1: 使用画像

## 4.2 評価指標

評価指標には SSIM(Structural Similarity) およびピーク信号対雑音比 (Peak Signal to Noise Ratio : PSNR) を用いた. ただし, これらの評価指標は比較用の正解画像が必要なため, 正解画像を用意できたものに対してのみこれらの指標で評価をした.

SSIM は式 (4.1) を  $16 \times 16$  のカーネルごとに行い, 全カーネルの平均をとることで求めた. この時, 影を除去した画像と影のない画像を比較する.

$$\text{SSIM}_j = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (4.1)$$

$j$  : カーネル番号  
 $\mu_i$  :  $i$  の平均 ( $i \in x, y$ )  
 $\sigma_i^2$  :  $i$  の分散 ( $i \in x, y$ )  
 $\sigma_{xy}$  :  $xy$  の共分散  
 $c_1$  :  $(k_1 L)^2$  ここで  $k_1 = 0.01, L = 255$   
 $c_2$  :  $(k_2 L)^2$  ここで  $k_2 = 0.03, L = 255$

また, PSNR は式 (4.2) で求めた.

$$\text{PSNR} = 10\log_{10} \left( \frac{255^2}{\text{MSE}} \right) \quad (4.2)$$

ここで、MSE は平均二乗誤差 (Mean Squared Error) であり、式 (4.3) で求められる。

$$\text{MSE} = \frac{1}{w \times h} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (I(i, j) - I'(i, j))^2 \quad (4.3)$$

ここで  $I(i, j)$  は影のない画像、 $I'(i, j)$  は影を除去した画像、 $w$  および  $h$  は画像の幅と高さである。

## 4.3 結果

### 4.3.1 影除去

提案手法の有効性を示すため、既存手法 [9] とその改良型である既存手法 [10] との比較を行った。図 4.2～図 4.4 に処理結果を、表 4.1 に処理時間と影なしの画像が用意できた画像の SSIM および PSNR を示す。

図 4.2 より、既存手法 [9], [10] では影領域路面の色相が非影領域と異なってしまっているが提案手法では再現されていることが確認された。また、図 4.3 より、既存手法 [9], [10] ではベンチの影がほとんど補正されていないが、提案手法では補正されていることが確認された。さらに、図 4.4 より、既存手法 [9], [10] で十分に除去できている影は提案手法でも同等に除去可能であることが確認された。しかし、図 4.5d では、路面の影はきれいに除去されているが、柱のようなオブジェクトは色が路面と同一になってしまっている。これは、非影領域に柱のようなオブジェクトと色相の近い領域が存在しないため、影除去の際に誤った領域とマッチングしてしまったことが原因と考えられる。

表 4.1 より処理時間を比較する。既存手法 [9] の改良型である既存手法 [10] では画像のサイズが大きくなると大幅に処理時間が長くなる傾向がみられる。しかし、提案手法では既存手法 [10] ほど顕著に画像サイズの影響を受けておらず、ほとんどの画像に対して既存手法 [10] よりも処理時間が短いことが確認された。また、SSIM および PSNR を比較すると、今回正解画像を用意できた画像に対しては、SSIM と PSNR ともに提案手法が最も良い結果となっており、精度は既存手法 [10] と同等以上であることが確認された。

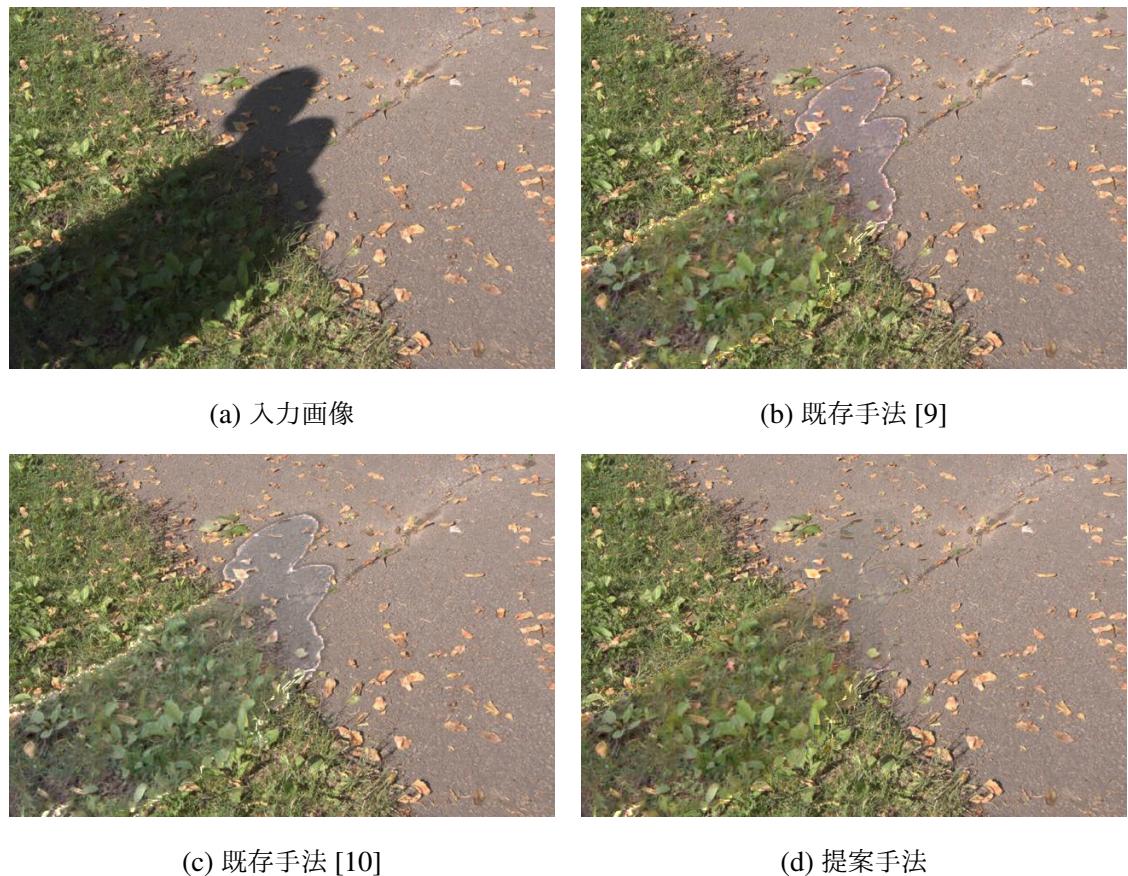


図 4.2: 影除去結果 1

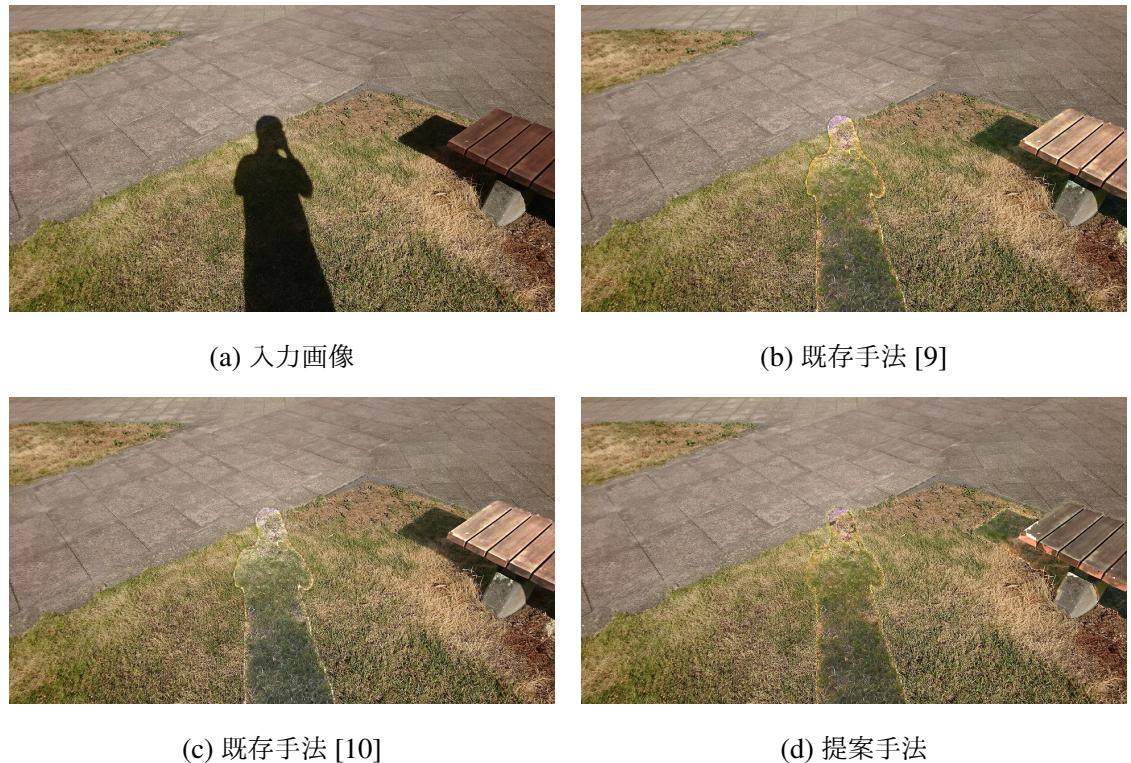


図 4.3: 影除去結果 2

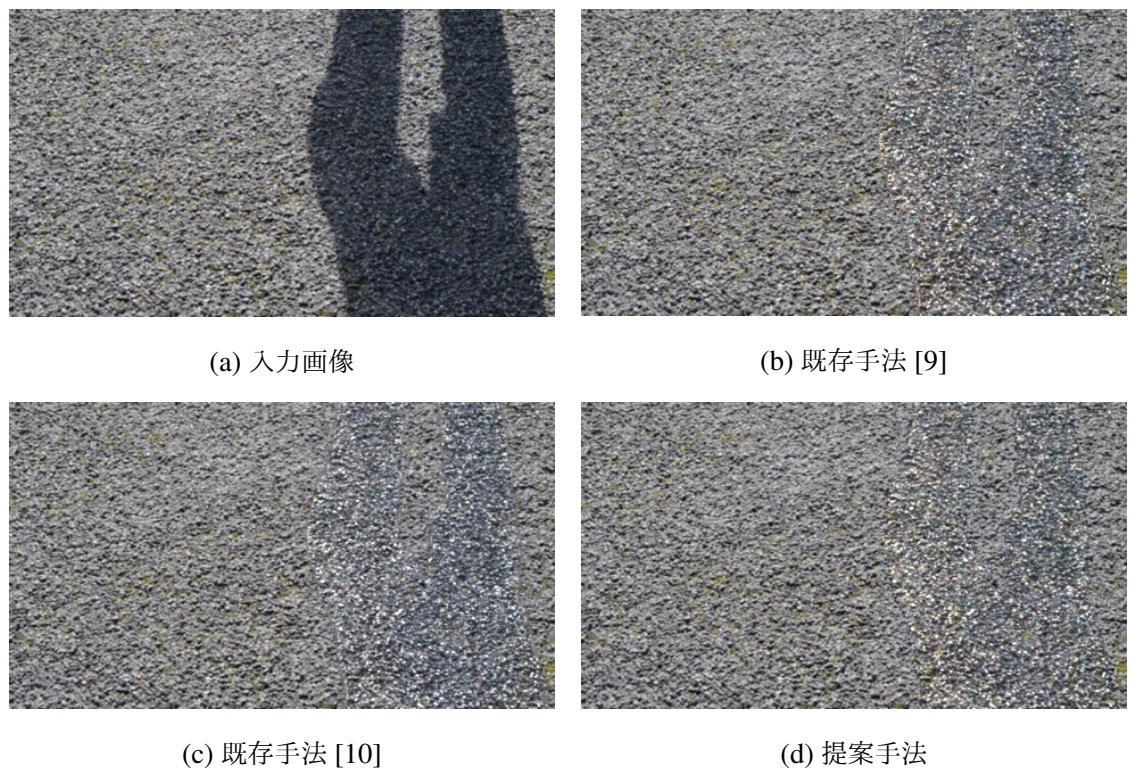


図 4.4: 影除去結果 3

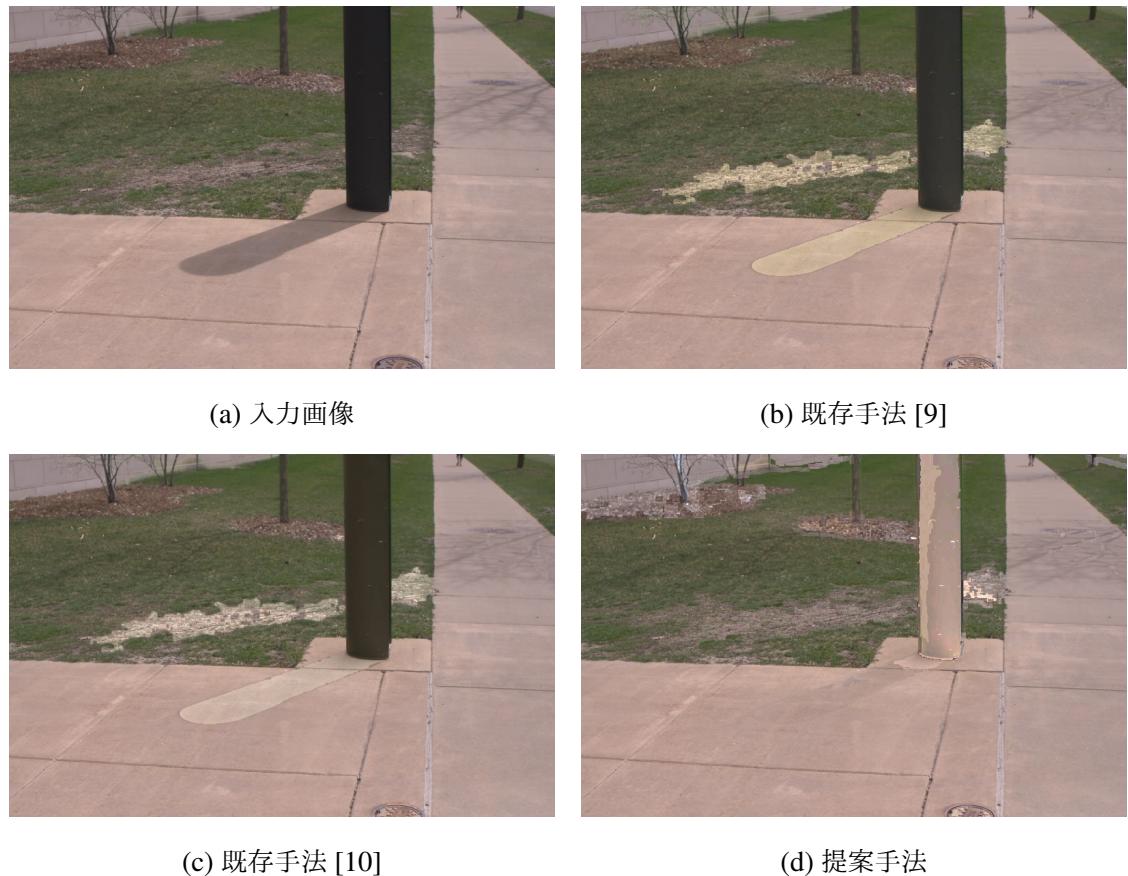


図 4.5: 影除去結果 4

表 4.1: 実験結果

No.	画像サイズ	Time[sec]			SSIM			PSNR		
		既存手法[9]	既存手法[10]	提案手法	既存手法[9]	既存手法[10]	提案手法	既存手法[9]	既存手法[10]	提案手法
1	900 × 600	2.05	867.58	36.80	↓			↓		
2	565 × 452	0.69	7.15	12.05	↓			↓		
3	1280 × 914	4.80	3222.28	31.44	↓			↓		
4	1280 × 763	1.93	1814.45	49.15	↓			↓		
5	1280 × 848	2.61	1403.24	155.57	↓			↓		
6	1196 × 673	4.92	775.29	17.06	↓			↓		
7	960 × 540	1.25	96.70	22.52	↓			↓		
8	640 × 425	0.60	41.72	12.65	↓			↓		
9	760 × 424	0.90	135.51	24.23	↓			↓		
10	960 × 540	1.66	21.84	40.09	↓			↓		
11	960 × 540	2.69	98.37	12.17	↓			↓		
12	800 × 532	1.30	37.80	31.05	↓			↓		
13	800 × 532	1.50	85.55	33.20	↓			↓		
14	532 × 800	1.55	121.77	32.23	↓			↓		
15	480 × 270	0.42	31.98	5.18	0.848	0.847	0.873	21.46	21.62	23.95
16	480 × 270	0.31	4.46	6.02	0.868	0.868	0.880	22.76	22.81	25.12
17	480 × 270	0.32	6.17	3.66	0.942	0.943	0.949	24.99	25.10	25.78
18	960 × 540	1.47	169.66	24.09	0.845	0.845	0.853	20.36	20.44	21.08
19	960 × 540	3.17	964.01	28.71	0.845	0.847	0.860	18.50	18.57	19.14

# 第5章 おわりに

## 5.1 まとめ

本論文では、ニューラルネットおよび外部パラメータ等を必要とせず、単画像から影を除去する方法を提案した。第2章では、ニューラルネットおよび外部パラメータを用いない既存手法について具体的な処理を述べ、生じている問題を明らかにした。第3章では、本論文の提案手法について述べ、新たな領域分割手法を用いた影除去手法の提案とエッジ処理について説明した。領域分割手法では主成分分析を用いることで分散が最大となるように次元を圧縮し、領域ごとの特徴が表れやすいようなヒストグラムを作成した。このヒストグラムの大きな変化のみを考慮することで背景や物体といった大きな領域に分割した。エッジの処理では、グローバルな画素値を求めることでエッジの明るさに応じた補正值を決定した。これにより、影の境界付近においても過度な補正が行われない。第4章では、実験により提案手法の有効性を確認した。比較対象として第2章で説明した手法およびその改良手法を採用した。結果として既存の手法では影領域と非影領域の色相が異なってしまう場合でも提案手法は問題なく影の除去を行え、影領域と非影領域の色相が似たものになることが確認された。しかし、影領域と類似する領域が非影領域に存在しない場合、提案手法では間違えた補正をしてしまうことも確認された。SSIM や PSNR といった数値評価において、提案手法は既存手法よりも良い結果となることが確認された。また、実行時間は第2章で説明した手法よりは長くなるが、その改良型よりはほとんどの場合で短くなることが確認された。エッジの処理は既存手法では影領域の境界に不自然なピクセルが確認されたが、提案手法には不自然なピクセルは確認さなかった。以上の結果より、影領域と類似する領域が非影領域に存在する場合において、提案手法の有効性が確認された。

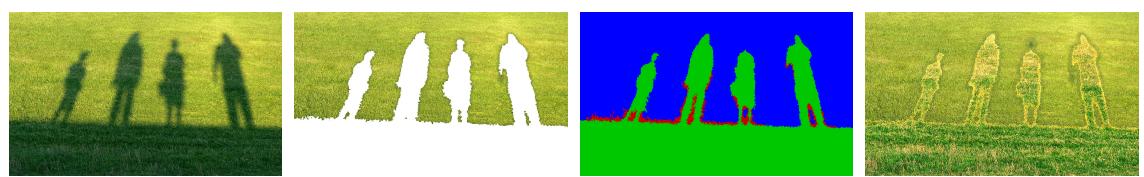
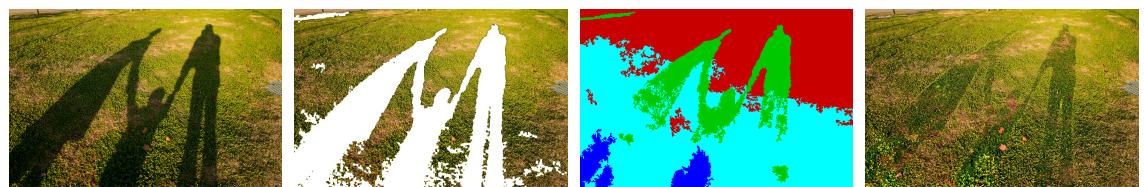
## 謝辞

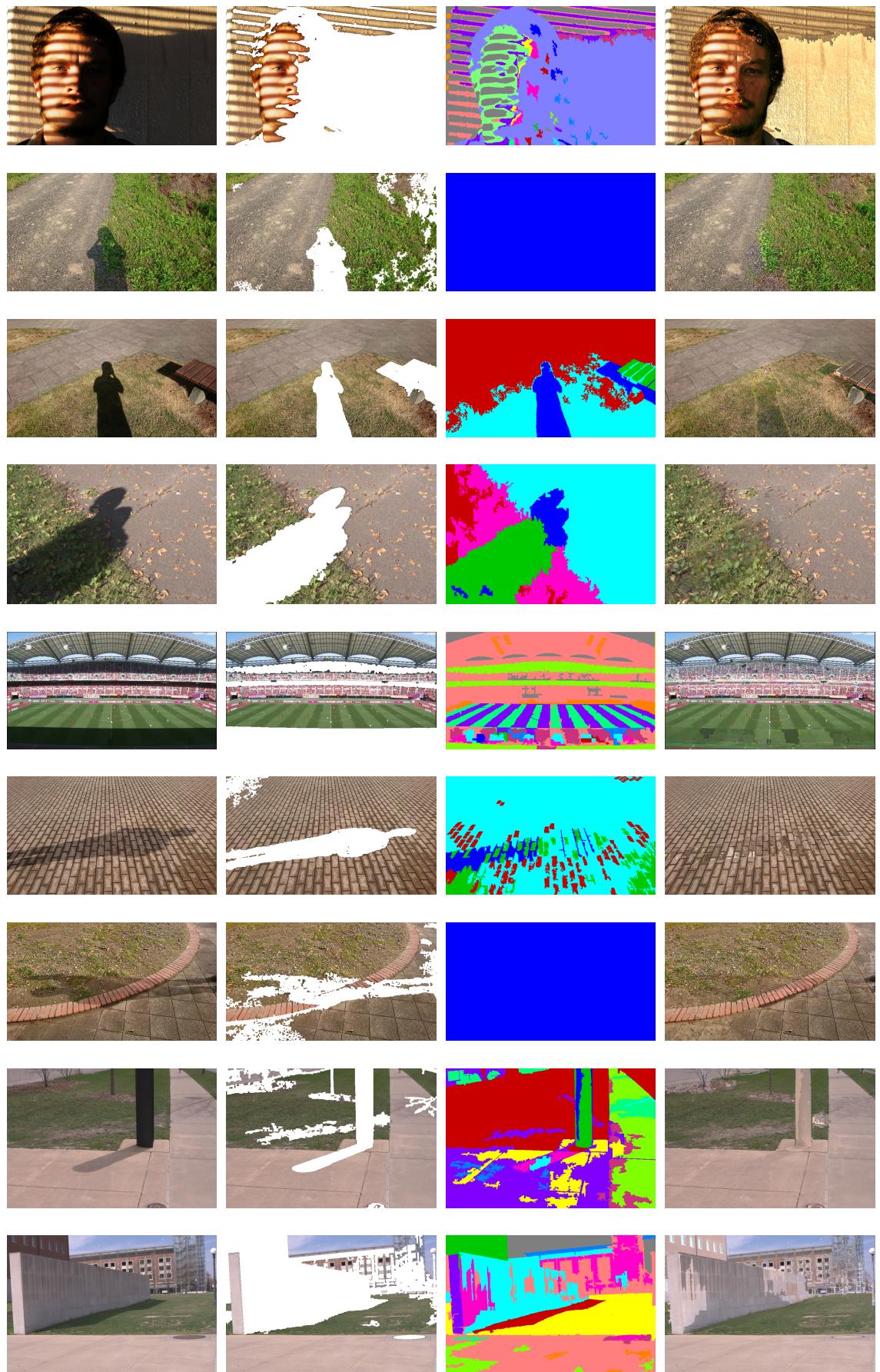
本研究を行うにあたり、適切なご指導ご鞭撻頂いた、杉田泰則准教授に深く感謝いたします。また、本論文の審査において、貴重な助言を賜りました本学電気電子情報工学専攻岩橋政宏教授ならびに圓道知博准教授に感謝いたします。また、苦楽をともにしてきた信号処理応用研究室の皆様に感謝の意を表します。最後に、私をここまで育て、支えて下さった両親に深く感謝いたします。

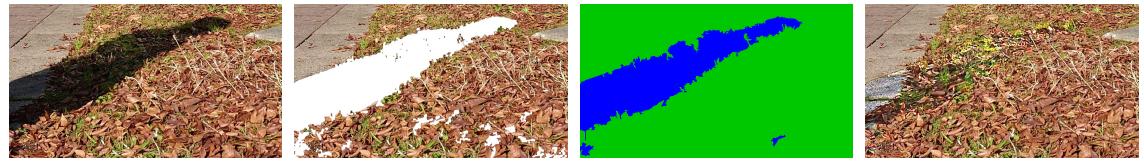
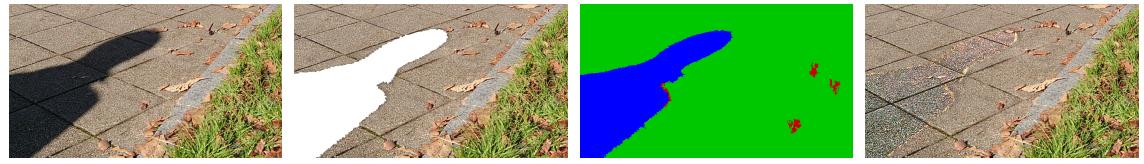
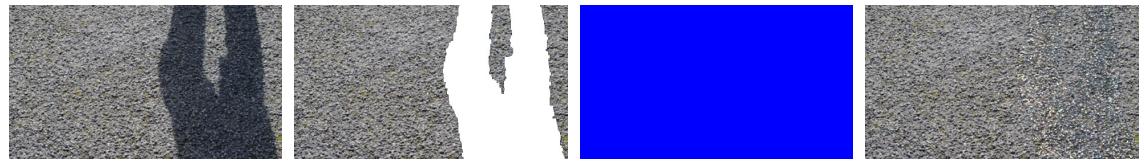
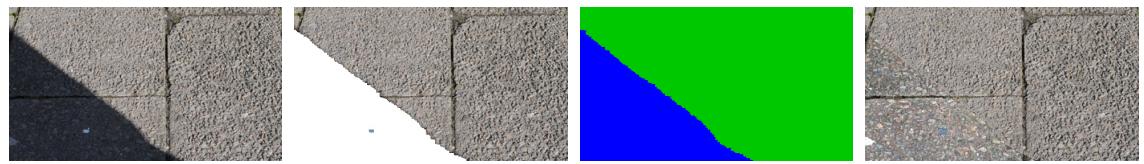
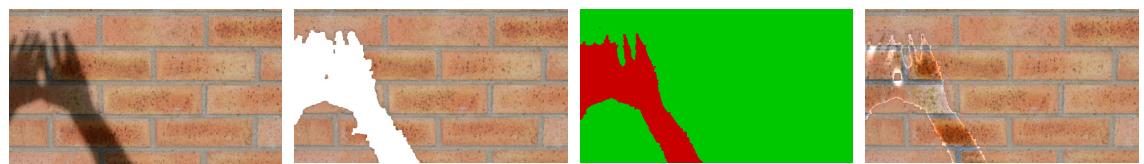
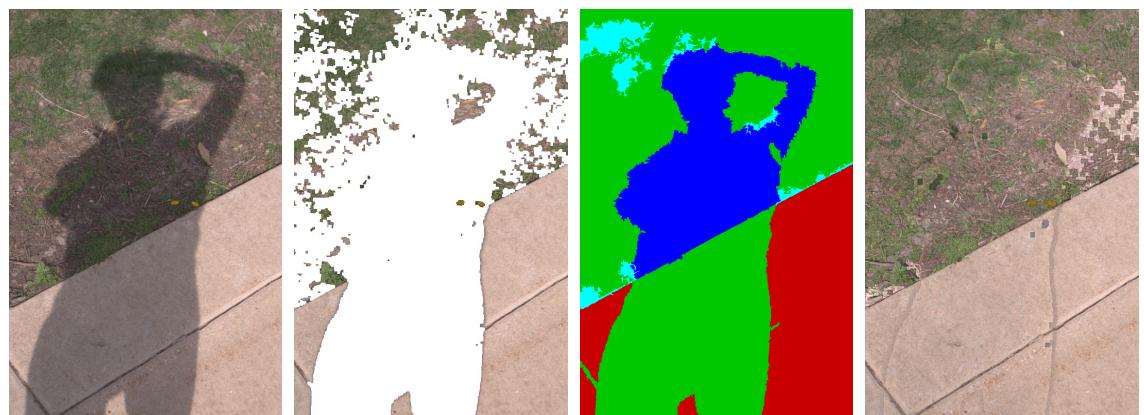
# 付録

## A 使用画像

「使用画像」, 「影検出の結果」, 「領域分割の結果」, 「影除去結果」をすべて載せます







## B エッジ処理結果

エッジ処理の有効性を確認する。図 B.1 は図 4.4 のエッジの一部を拡大したものである。

図 B.1 より、既存手法では影領域と非影領域の境界に不自然なピクセルが並んでいることがわかる。一方、提案手法では影領域と非影領域の境界は滑らかにつながっていることがわかる。そのため、提案手法のエッジ処理の有効性が確認された。



(a) 入力画像



(b) 既存手法 [9]



(c) 既存手法 [10]



(d) 提案手法

図 B.1: エッジ処理

## 参考文献

- [1] Bin Ding, Chengjiang Long, Ling Zhang, Chunxia Xiao, "ARGAN: attentive recurrent generative adversarial network for shadow detection and removal", IEEE International Conference on Computer Vision, pp.10213-10222, 2019
- [2] Liangqiong Qu, Jiandong Tian, Shengfeng He, Yandong Tang, Rynson WH Lau, "Deshadownet: A multi-context embedding deep network for shadow removal", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.4067-4075, 2017
- [3] Graham D. Finlayson, Steven D. Hordley, Cheng Lu, and Mark S. Drew, "On the Removal of Shadows from Images" , IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, No. 1, January 2006
- [4] G.D. Finlayson, M.S. Drew, and C. Lu, "Intrinsic Images by Entropy Minimisation," , Proc. European Conf. Computer Vision, 2004
- [5] L Qu, J Tian, Z Han, Y Tang, "Pixel-wise orthogonal decomposition for color illumination invariant and shadow-free image" , Optics express, 2015
- [6] M. Drew, C. Lu, G. Finlayson, "Removing shadows using flash/no-flash image edges", Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Expo Toronto ON Canada, 2006.
- [7] G.D.Finlayson,S.D.Hordley,M.S.Drew, "Removing shadows from images using retinex" Color and imaging conference, Vol. 2002, No. 1, pp.73-79, 2002
- [8] Nan Su, Ye Zhang, Shu Tian, Yiming Yan, Xinyuan Miao, "Shadow detection and removal for occluded object information recovery in urban high-resolution panchromatic satellite images", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 9.6, pp.2568-2582, 2016
- [9] S. Murali and V. K. Govindan, "Removal of Shadows from a Single Image" , Proceeding of International Conference on Futuristic of Computer Science Engineering & Information Technology - ICCT2012
- [10] A.H. Suny and N.H. Mithila, "A Shadow Detection and Removal from a Single Image Using LAB Color Space" , International Journal of Computer Science Issues, Vol. 10, Issue 4, No 2, July 2013

---

- [11] Baba Masashi, Masayuki Mukunoki, and Naoki Asada. “Shadow removal from a real image based on shadow density.” SIGGRAPH Posters. 2004.