

# 気泡ノイズが存在する条件下での水中環境認識

加藤 進      山下 淳      金子 透  
静岡大学 工学部 機械工学科

水中観測では、状況によっては気泡がカメラ画像にノイズとして写り込み、観測に支障を来すことがある。また、撮像光学系において、空気と水の屈折率の違いによる光の屈折が起きるため、観測対象が実際の位置・形状とは異なって観測されるという問題点も存在する。本論文では、画像処理による気泡の識別・除去と光の屈折を考慮した3次元計測の2つを行うことで、これらの問題に対応したロバストな水中環境認識手法を提案する。

## 1. 序論

### 1.1 研究背景

近年、資源発掘や環境調査、レスキューやサルベージ等危険を伴う海底での作業が増え、人間に代わって活動する水中ロボット、無人潜水艇等の観測・作業システムの必要性が増してきた。これらのシステムは、目標地点まで正確に計測してたどり着き、水中の状況を認識しながら作業を遂行しなければならない。そのため、搭載したカメラから水中の様子を正確に観測するための技術が求められるようになってきた。しかし、水中の状態をカメラ画像から正確に観測するのは非常に困難である。

まず、防水の容器にカメラを収容して水中を撮影する場合の問題点として、屈折率の影響が挙げられる。この場合、カメラは防水された空気中に存在し、被写体は保護ガラス等を介して水中に存在することになる。このとき、光は屈折率の異なる物体間を通過することとなり屈折を起こす(Fig.1)。そのため、水中に存在する物体は、実際の位置・形状とは異なって観測されてしまう。



Fig.1 光の屈折による影響

また水中では、小魚やプランクトン等の微生物、さらに状況によっては気泡等が浮遊物として存在し、これらがノイズとなって水中観測を妨げることが多い(気泡ノイズの例をFig.2に示す)。



Fig.2 気泡ノイズの例

前者の問題に対しては、水中での3次元計測における屈折率の影響に関する研究が行われている<sup>(1)~(3)</sup>。これらは、空気、ガラス、水といった異なる屈折率を持つ物体間での光の屈折を考慮してカメラの光線追跡を行うことにより、水中での3次元計測を実現した研究である。これらの手法を用いれば水中での計測は原理的には可能であると考えられるが、そのためには、上記浮遊物ノイズや低透明度のために劣化した画像を処理して、いかに計測に必要な情報を精度良く抽出するかが重要となる。

ノイズ除去関連の研究としては、特に水中ノイズを対象としているわけではないが、降雪ノイズ、水滴ノイズを対象としたノイズ除去の研究が行われている。降雪ノイズを対象とした研究<sup>(4)</sup>では、時間方向にメディアンフィルタをかけることにより降雪ノ

イズを除去している。しかし、この手法では、精度の良い除去画像を作成するのに複数のフレームが必要となるため、実時間処理にはあまり向いていない。また、降雪ノイズ以外の動物体が存在する場合に十分対応できていないという問題点も存在する。

水滴ノイズを対象とした研究<sup>(5)</sup>では、カメラの保護ガラスに付着した水滴等をその画像特徴から識別し、除去している。しかし、この手法は、画面の静的ノイズを対象としたものであり、本研究が対象としている水中の動的な気泡に関しては適用が難しい。

## 1.2 研究の目的

本研究では、画像処理によって水中観測における気泡ノイズの影響を軽減することを第1の目的とする。気泡ノイズの影響を軽減する手段として、今回はクラスタリング(2.2.節参照)を用い、大きさや色等の特徴量を基に画像中の動物体を分類し、その中から気泡ノイズだけを識別・除去する。

次に、光の屈折を考慮した3次元計測を行うことを第2の目的とする。計測方法として、2台のカメラを用いてステレオ計測を行う。

最終的に、これら2つの手法を組み合わせることにより、ロバストな水中環境観測手法を実現する。

## 2. 気泡ノイズの除去手法

提案手法の概要を Fig.3 に示す。

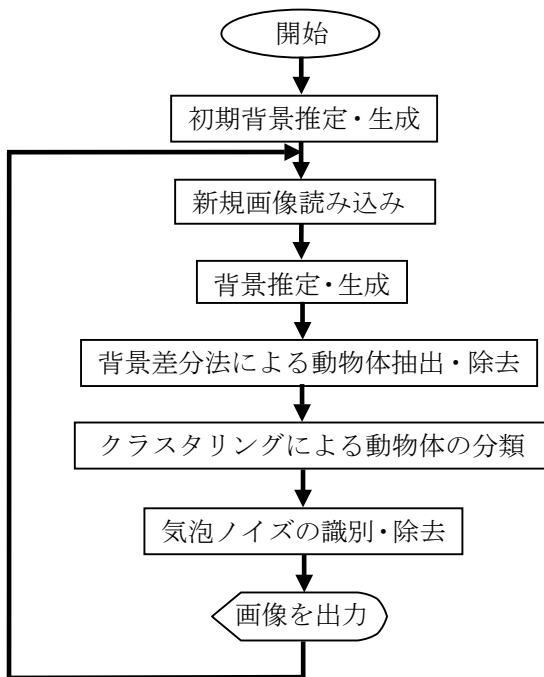


Fig.3 提案手法の概要

本手法では、背景差分法により撮影画像から動物体を抽出した後、その動物体をクラスタリングにより気泡ノイズとそれ以外の観測対象物に分類する。最終的に、その分類した中から気泡ノイズだけを識別・除去することで、気泡ノイズの存在しない画像を生成する。

### 2.1 背景差分法による動物体抽出

撮影した画像から動物体を抽出する。本研究では、動物体を抽出するのに背景差分法を用いる。

背景差分法に用いる背景画像は、予め用意、あるいは観測の途中で生成する必要がある。背景差分法に伴う背景画像の推定・生成に関しては、すでに様々な研究がされている<sup>(6)~(7)</sup>。本研究では、時系列輝度ヒストグラムを用いた背景推定・生成を行う。

時系列輝度ヒストグラムを用いた背景推定・生成は次のように行う。まず一定時間、画像データをR, G, B成分から成るカラーデータとして蓄積する。次に、この時系列画像データをグレースケール化したものを考え、各画素ごとに輝度値を時系列で累積していく。最終的に、各画素において横軸が輝度値、縦軸が各輝度値の発生頻度を表す時系列輝度ヒストグラムが作成できるので、このヒストグラムにおいて最も出現頻度の高い輝度値を背景画素の輝度値であるとするとする (Fig.4)。

本手法では、背景差分をカラー画像で行うので、グレースケールからカラーに変換しなければならない。ところが、各画素を時系列で見ていくと上記で求めた輝度値を持つ画素が複数個存在する。輝度値とR, G, B値の対応は一つ一つではないので、背景画素のRGB値の組は複数個存在する。本手法では、それらの平均値を背景画素のRGB値とする。

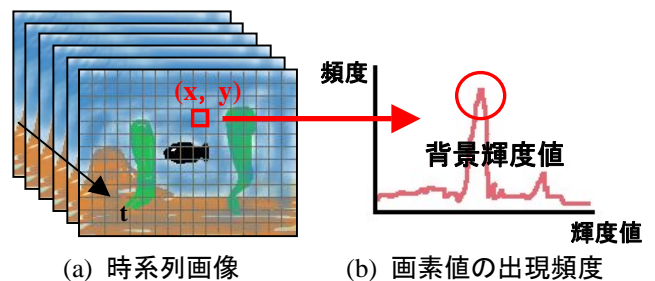


Fig.4 背景推定・生成

この時系列輝度ヒストグラムを用いた背景推定・生成手法では、ほとんど動かないような遅い移動速度の動物体は、その動物体の一部が背景画像として残ってしまうことがある。本手法では、1つ前に生

成した背景画像との時間方向差分をとることにより、この部分を抽出・除去している。そのため、最初の背景については、移動速度の遅い動物体が存在しない状態で生成することを前提としている。

## 2.2 クラスタリングによる動物体の分類

本研究では、クラスタリング手法の中でも非階層クラスタリング手法 (ISODATA法<sup>(8)</sup>: Iterative Self Organizing Data Analysis techniques A, Fig.5) を用いる。

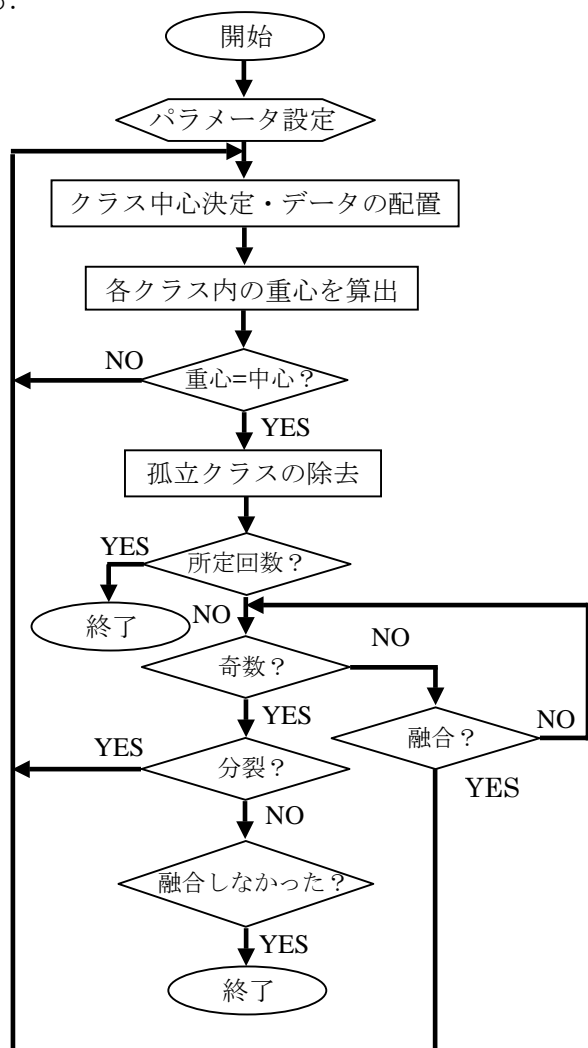


Fig.5 ISODATA法

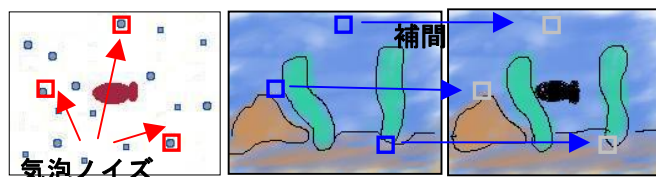
一般的に、クラスタリング手法を用いる際には、最適クラス数 (与えられたデータを最終的にいくつに分類すべきか)、初期クラス中心 (分類したい各クラスの初期サンプル値) を最初に設定する必要がある。このISODATA法の特徴は、最適クラス数が指定値の約2分の1から2倍まで可変で、初期クラス中心さえ正しく与えれば、最適クラス数の設定があ

る程度曖昧な場合でも、与えられたデータを適当なクラス数で分類可能な点である。

クラスタリング手法でデータとして与えるのは、分類対象の情報であり、大きさ、色、動き等の特徴量が考えられる。本手法では大きさと色に関して、各動物体の大きさ (ラベリングされた各々の連結成分ごとの総画素数)、周囲長、 $L*a*b$ 表色系の各濃度の平均値の3つを与える。

## 2.3 気泡ノイズの識別・除去

ここでは、画像中で気泡ノイズはそれ以外の動物体に比べて個数が多いということを前提としている。そこで、クラスタリングにより分類されたクラスの中で、要素数が一定値以上のクラスを気泡ノイズのクラスとし、そのクラスに属する動物体を気泡ノイズであると認識させる (Fig.6 (a))。そして、そのクラスの画素に対応する元の対象画像の部分から背景画像 (Fig.6 (b)) から抽出して補間する (Fig.6 (c))。



(a) 分類画像 (b) 背景画像 (c) 補間画像

Fig.6 気泡ノイズの識別・除去

以上の手法により、対象画像から気泡ノイズだけを除去する。

## 3. 光の屈折を考慮したステレオ3次元計測

3次元計測を行う際に光の屈折を考慮したカメラの光線追跡を行うことで、観測対象物の正確な計測を可能にする。3次元計測の手法には、レーザー光等を用いたスポット光投影法やスリット光投影法が存在するが、これらの手法の場合、観測対象物が動くときそれを追跡して投影光を当てなければならない。本手法では、そういった面倒な操作が必要なく、カメラだけの簡単な構成で計測が可能なステレオ法を用いて3次元計測を行う。光の屈折の問題は、1.1節で示した光線追跡手法<sup>(1)~(2)</sup>を用いることで対処する。

### 3.1 左右画像の対応点探索

ステレオ計測を行うには、まず左右のカメラの画像から対応する点を探す必要がある。本手法では、対応点の探索に2章で行ったクラスタリングの結果

を用いる。左右の画像のクラスタリングによって気泡以外の動物体と識別された部分に関して、一方の画像をテンプレートとしてもう一方の画像でマッチングを行い、左右の画像の対応を取る。

### 3.2 カメラの光線追跡

空気中からガラスへ、ガラスから水中へと屈折率が変化する部分においては、入射角と屈折角、屈折率の関係をスネルの法則を用いて求め、それを光線追跡に反映させることで、光の屈折の影響を考慮した計測を行う。

Fig.7に示すように、空気とガラスの屈折率を $n_1$ ,  $n_2$ とし、空気からガラスへの入射角を $\theta_1$ とする。また、空気中のカメラの単位光線ベクトルを $\{\alpha_1, \beta_1, \gamma_1\}^T$ , ガラス面の法線ベクトルを $\{\lambda, \mu, \nu\}^T$ とすると、ガラス中を進む単位光線ベクトル $\{\alpha_2, \beta_2, \gamma_2\}^T$ は、

$$\begin{Bmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \\ \gamma_2 \end{Bmatrix} = \frac{n_1}{n_2} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \\ \gamma_1 \end{Bmatrix} + \left( \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \sin^2 \theta_1} - \frac{n_1}{n_2} \cos \theta_1 \right) \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ \mu_1 \\ \nu_1 \end{Bmatrix} \quad \dots (1)$$

となる。また、水の屈折率を $n_3$ とし、ガラスから水への入射角を $\theta_3$ とすると、水中を進む単位光線ベクトル $\{\alpha_3, \beta_3, \gamma_3\}^T$ は、

$$\begin{Bmatrix} \alpha_3 \\ \beta_3 \\ \gamma_3 \end{Bmatrix} = \frac{n_2}{n_3} \begin{Bmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \\ \gamma_2 \end{Bmatrix} + \left( \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_3}\right)^2 \sin^2 \theta_3} - \frac{n_2}{n_3} \cos \theta_3 \right) \begin{Bmatrix} \lambda_2 \\ \mu_2 \\ \nu_2 \end{Bmatrix} \quad \dots (2)$$

となる。最終的に計測点の座標 $\{x_p, y_p, z_p\}^T$ は、水中側の水槽面の通過点を $\{x_2, y_2, z_2\}^T$ とすると

$$\begin{Bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{Bmatrix} = C \begin{Bmatrix} \alpha_3 \\ \beta_3 \\ \gamma_3 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{Bmatrix} \quad \dots (3)$$

となる。ただし $C$ は定数である。

この計測点は、左右2つのカメラにおいてそれぞれ求まる。本来、この2点は一致するはずであるが、実際はキャリブレーションによる誤差や画像中のノイズの影響などにより、2つの光線ベクトルは交わらないことが多い。そこで、この2点間の距離が最短になる点をそれぞれ求め、その2点の中点を計測

点とみなすこととする。

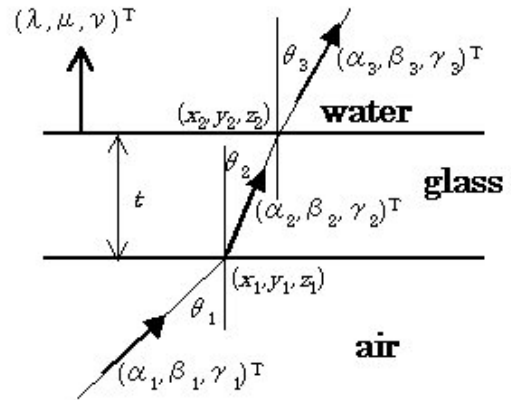


Fig.7 ガラス面での光の屈折

## 4. 実験

### 4.1 実験装置

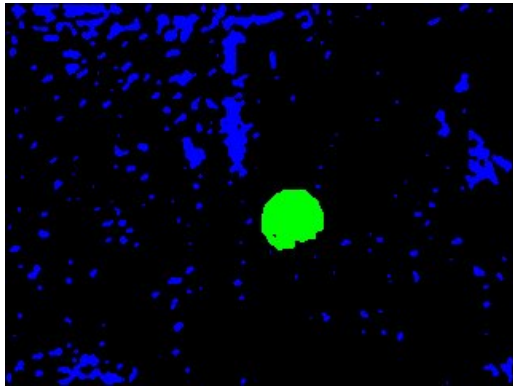
木製の球と赤い色のはさみを観測対象とし、背景に海藻等の写真が貼ってある水槽とエアシャワー（気泡発生装置）を使用して予備実験を行った。カメラは市販のデジタルビデオカメラ（310万画素、動画時有効画素64万画素、3CCD）を2台使用し、各種演算処理はPC（Celeron 2.5GHz, Memory 512MB, Windows2000）を使用した。動画のフォーマットは $320 \times 240$  pixel, 30fps, 撮影時間は60~120sとした。また、気泡ノイズ除去のための新たな背景の更新間隔は0.33sに1回とした。

### 4.2 気泡ノイズ除去結果

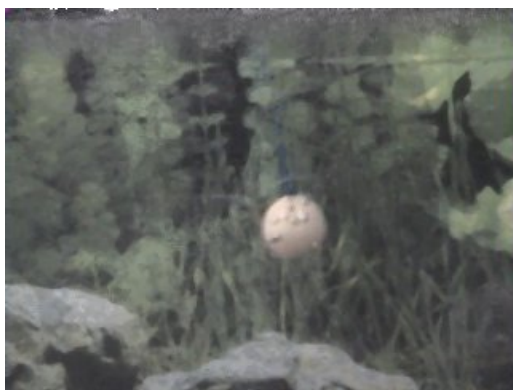
対象画像をFig.8(a)に示す。次に、画像中の動物体を識別・分類した画像をFig.8(b)に示す。最後に気泡ノイズを除去した画像をFig.8(c)に示す。1画像当りの処理時間は、0.5~1.0sであった。



(a) 対象画像



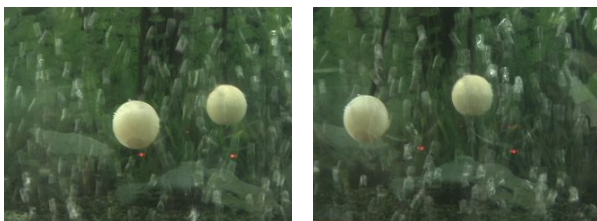
(b) クラスタリング画像



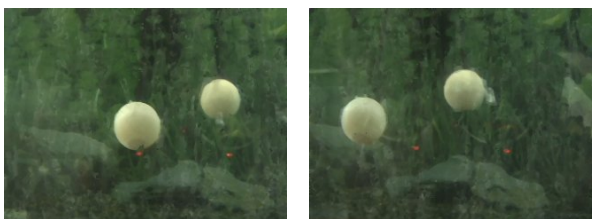
(c) 気泡ノイズ除去画像

Fig.8 実験結果 1

複数の木球が存在する場合について気泡ノイズ除去を行った画像を Fig.9 に示す. Fig.9 (a)が除去前の左右対象画像であり, Fig.9 (b)が左右の除去後の画像である.



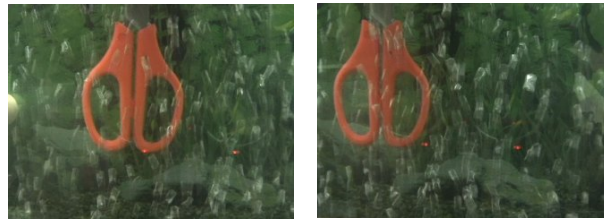
(a) 対象画像



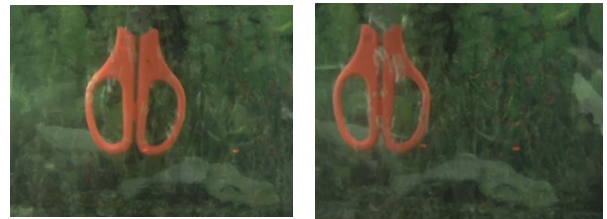
(b) 気泡ノイズ除去画像

Fig.9 実験結果 2

同様に, 赤い色のはさみを観測対象とした場合について気泡ノイズ除去を行った画像を Fig.10 に示す.



(a) 対象画像



(b) 気泡ノイズ除去画像

Fig.10 実験結果 3

### 4.3 光の屈折に関する予備実験

光の屈折を考慮した 3 次元計測の予備実験として, 屈折率による補正の効果についての検証を行った.

Fig.11(a)は, 屈折の影響を視覚的にわかり易くするために木球を水面に浮かべたもので, 空気中にある球の上半球に対して, 水面下にある下半球はその位置, 大きさに視覚的なずれが生じている. このように屈折の影響を受けている画像でも, 3.2 節に示した光線追跡をステレオ対に施すことにより, 正しい計測が可能となる.

Fig.11(b)は, 得られた 3 次元情報を用いて下半球部分の水を空気に置き換えた画像で, 上半球と下半球が一体となって復元されていることがわかる.

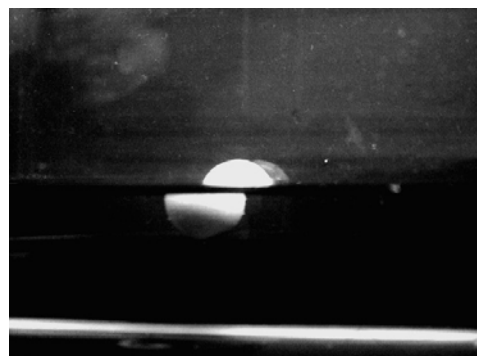
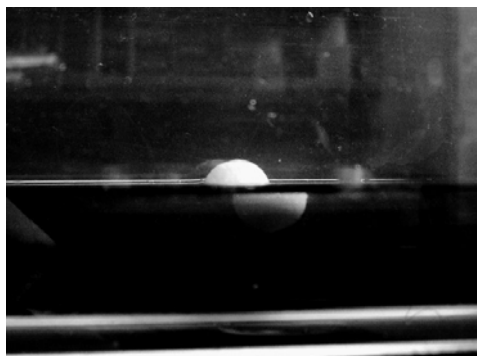
## 5. 結論

本論文では, クラスタリング手法を用いて画像中の動物体の中からノイズだけを識別・除去することで, ノイズに影響されない水中環境観測手法を提案した. 実験結果より, 比較的高い精度で気泡ノイズの認識と除去ができていることが確認できた.

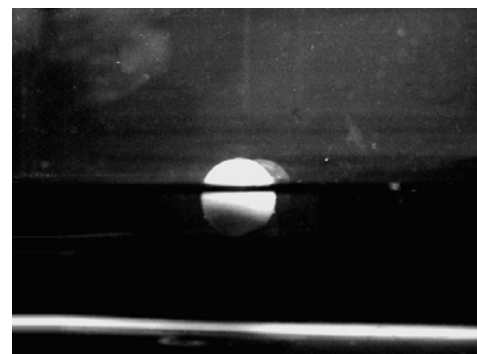
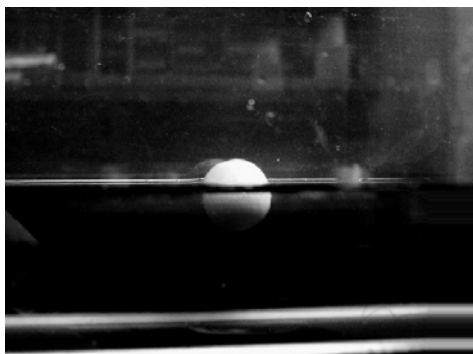
また, 光の屈折を考慮した 3 次元計測については, その予備実験ではあるが, 水中環境観測においての光の屈折を考慮することの重要性を検証することができた. 今後の課題としては, クラスタリングの精度を上げるための特徴量の追加, 気泡ノイズの識別条件の改良, 処理時間の短縮等が挙げられる.

## 参考文献

- (1) R.Li, H.Li, W.Zou, R.G.Smith and T.A.Curran: "Quantitative Photogrammetric Analysis of Digital Underwater Video Imagery", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.22, No.2, pp.364-375, 1997.
- (2) 中山大介, 中野敦史, 金子透, 三浦憲二郎, 久保高啓: "ステレオ視によるガラス水槽中物体の3次元計測のための観測パラメータ取得", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.12, pp.2684-2689, 2001.
- (3) Atsushi Yamashita, Etsukazu Hayashimoto, Toru Kaneko and Yoshimasa Kawata: "3-D Measurement of Objects in a Cylindrical Glass Water Tank with a Laser Range Finder", Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1578-1583, 2003.
- (4) 三宅一永, 米田政明, 長谷博行, 酒井充, 丸山博: "時間メディアフィルタによる降雪ノイズ除去", 画像電子学会誌, Vol.30, No.3, pp.251-259, 2001.
- (5) Atsushi Yamashita, Masayuki Kuramoto, Toru Kaneko and Kenjiro T. Miura: "A Virtual Wiper-Restoration of Deteriorated Images by Using Multiple Cameras-", Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3126-3131, 2003.
- (6) 島井博行, 栗田多喜夫, 梅山伸二, 田中勝, 三島健稔: "ロバスト統計に基づいた適応的な背景推定法", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.6, pp.796-806, 2003.
- (7) 長屋茂喜, 宮武孝文, 藤田武洋, 伊藤渡, 上田博唯: "時間相関型背景推定法による移動物体抽出", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J79-D-II, No.4, pp.568-576, 1996.
- (8) 高橋圭子, 阿部圭一: "ISODATA クラスタリング法を用いたカラー画像の領域分割", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No.4, pp.751-762, 1999.



(a) 屈折率の補正なし



(b) 屈折率の補正あり

Fig.11 屈折率の補正の有無による画像の違い