

## 地下水流速場計測へのランク相関ステレオの応用

北海道大学工学部 ○ 流郷 達人 金子 俊一 五十嵐 悟  
レアックス 亀和田俊一

### 要旨

地下水変動流水物の3次元計測するためのシステム及び処理ソフトウェアを提案する。ここで必要となるステレオ照合では、地下水の特性によって様々な問題がある。本研究では特にハイライトや不良照明、汚水パターンに対応するためについてランク相関に基づく対応処理を提案する。

### 1 はじめに

地下水は重要な水資源の一部であり水道用、農業用、漁業用あるいは工業用に用いられている。そのため、現在では地下水調査の方法も大いに進歩し地下水探査が非常に容易になった。しかし、地下水の過剰な汲み上げのために様々な障害がでてきている。ひとつには地盤沈下であり、また地下水汚染なども発生する。そのために予め十分な調査と対策をしなければならない。地下水変動の状態はコンピュータにより現実の姿をモデル化することによりとらえるようになってきた。そこで水理量を測定、観測の結果等のデータが必要となってきた [1]。

本研究では、地下水変動の3次元構造を計測するための処理ソフトウェアを提案し、ステレオ画像照合にランク相関を用いる手法を提案する。

### 2 システムの概要

ここでは、計測システムと流速場計測の処理ソフトウェアの概要を述べる。

計測システムは、図1のように孔内にステレオカメラを設置し、予め赤く色づけし水中内に出しておいた油滴を撮影していく。本研究では、撮影された画像から油滴をみつけだし、左領域と右領域とのステレオ対応をとり、油滴の軌跡をだすことにより流速場の測定を行う。

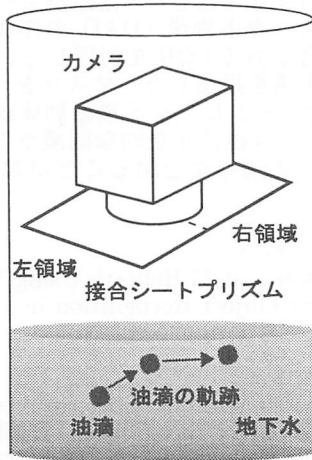


図1: 計測システム

流速場の処理ソフトウェアの概要は以下の1から7の手順により行う(図2参照)。

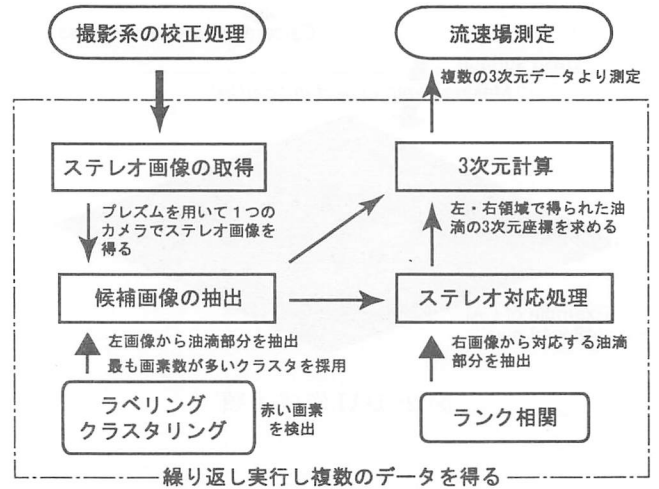


図2: 処理の流れ

1. 撮影系の校正処理  
適当な校正のための3次元カラー格子を設置し左右の等価座標系のパラメタを算出しておく。
2. ステレオ画像の取得  
地下水のステレオ画像を得る。赤く色づけした油滴を含む地下水観測領域のステレオ画像を得る。
3. 候補画像の抽出  
左領域より油滴部分を抽出し、候補画像を作成する。赤く色づけした油滴を検出するために、左領域に対応する画像内から赤画素を検出しラベリングする。このとき、画素の色成分値に対して次の評価式を用いる。  
$$R \geq 210 \text{ かつ } G + B \leq 150 \quad (1)$$
隣接する画素数によりクラスタリングし、最も画素数の多いクラスタを油滴部分とする。
4. ステレオ対応処理  
右領域において、対応する油滴位置を探索する。照合評価値として、ランク相関を用いる。ランク相関については4章で記述する。③で作成した候補画像を用いて、対応する油滴部分を右領域において抽出する。
5. 3次元計算  
油滴の3次元位置を算出する。③と④の結果から、得られた油滴の2つの2次元位置(左・右領域における)から、その3次元位置を算出する。データを表示する。
6. 2から繰り返す

## 7. 流速場測定

得られた各時刻での3次元データから、油滴の移動軌跡や流速に関する統計を算出し、表示する。

## 3 3次元計測

本研究では、3次元情報を得るためにプリズムを用いて1つのカメラでステレオ画像を得る。図3では、1つのカメラと2つのカメラを用いたステレオ照合との対応を示した。2つの仮想カメラより左右の等価座標系のパラメータを算出し、3次元計測を行う[2]。

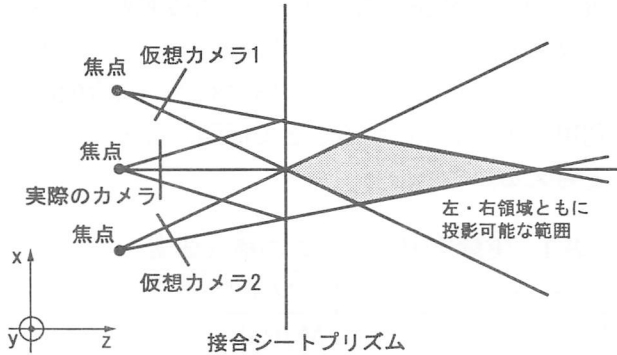


図3: ステレオカメラの構成

## 4 ランク相関

従来のステレオ対応処理においては、正規化相関や増分符号相関が用いられる。今回は地下水画像を扱う場合の次のような問題があると考えている。

- 地下水は清水とは限らず、濁水の場合の不良画像においても精度を保持しなければならない。
- カメラに対して対向する照明系であるため、油滴表面の明度変化が顕著になうことが予想される。

これらに対処するために、明度変化に対してロバスト性をもつランク相関を提案する。

左領域及び右領域における候補画像のそれぞれを、1次元の明度列  $G^L = \{g_n\}_{n=1}^N$ ,  $G^R = \{g'_n\}_{n=1}^N$  とする。それぞれの系列における個々の明度の順位列を  $S^L = \{s_n\}_{n=1}^N$ ,  $S^R = \{s'_n\}_{n=1}^N$  とする。

$$r_{LR} = 1 - \frac{6 \sum_{n=1}^N d_n^2}{l(l^2 - 1)} \quad (2)$$

ここで、 $d_n = \|s_n - s'_n\|$  で定義されるランク相関を用いた。このランク相関は系列  $S^L$  及び  $S^R$  の類似度を評価する関数と考えることができる。すなわち、2つの明度列が互いに相似であれば、相関値も高い値 ( $r_{sup} = 1$ ) となり、相似でなければ低い値 ( $r_{inf} = -1$ ) となる。

$$-1 \leq r_{LR} \leq 1 \quad (3)$$

ただし、明度列を反映せずに計算される。言い方をかえれば、順位の隣接する画素の明度差は常に(強制的に)1とし、明度値自体の影響を低減している。

## 5 実験

模擬実験によって撮影した模型画像を対象として、油滴部分を含む候補画像を抽出しランク相関と正規化相関により対応箇所の検出を行い比較実験を行った。画像サイズは  $710 \times 475$  であり、RCはランク相関、CCは正規化相関である。図4は処理例を示し、表1は実験結果をまとめたものを示す。実験は26枚の画像で行い、ランク相関の失敗は2つ、正規化相関は4つの失敗があった。表1の結果は26枚の画像の結果の平均である。格子サイズは、ステレオ画像ごとに異なり、ラベリング及びびクラスタリングして抽出した部分を含む外接正方形としている。

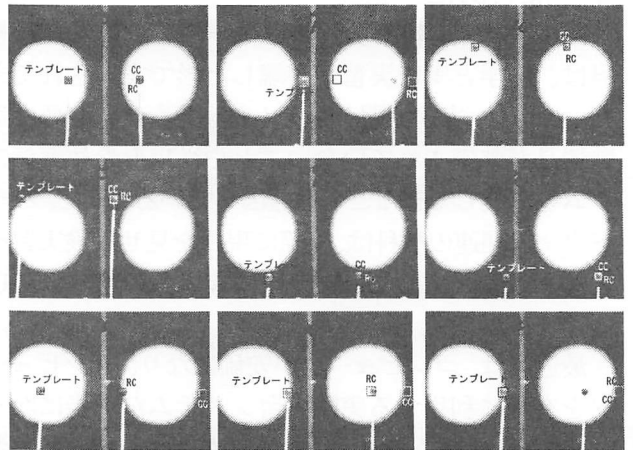


図4: ステレオ対応処理の実例

表1: 実験結果

	照合評価値	ランク相関	正規化相関
成功	相関値	0.850	0.885
	候補画像 Size	$27.2 \times 27.2$	$26.4 \times 26.4$
	y軸のずれ	1.44(pixel)	4.31(pixel)
失敗	相関値	0.410	0.490
	候補画像 Size	$29.3 \times 29.3$	$29.1 \times 29.1$
	計算時間	2.14(s)	1.93(s)

## 6 まとめ

地下水変動の3次元構造を計測するための処理ソフトウェアを提案し、ステレオ照合にランク相関を用いて模擬実験を行った。ランク相関では26枚中24枚成功し、正規化相関では22枚成功した。また成功時でのy軸のずれの平均はそれぞれ1.44, 4.31(pixel)であった。実験によりハイライトによる全体的な明度変化に対し、ランク相関がロバストであることを示した。

## 参考文献

- [1] 福岡正巳. 地下水ハンドブック, 建設産業調査会(1989).
- [2] 本多庸悟他. 画像処理と視覚認識, オーム社, pp.100-102(1995).