

ヒストグラムインタセクションを用いたクラスタリングによる マルチスペクトル画像の土地被覆分類

Land Cover Classification with Multispectral Image by Clustering Method Based on Histogram Intersection

平岡 透*・桃寄 真悟*・越智 達郎*・井上 光平**

Toru HIRAOKA, Singo MOMOSAKI, Tatsuro OCHI and Kohei INOUE

Abstract: In this technical report, we propose a new clustering method based on histogram intersection. We prove the effectiveness the proposed method through experiments of land cover classification with multispectral image. Finally, we comment on the respects in which the proposed method is improved and on future prospects.

Keywords: ヒストグラムインタセクション, クラスタリング, マルチスペクトル画像, 土地被覆分類

1. はじめに

クラスタリングは、データ解析方法の一つで、教師情報を用いずにデータを分類する方法である。クラスタリングには多くの方法が提案されており、大きく分けると、特定のクラス数に分類する分割最適化法とデータの分類が階層的になされる階層型法がある。分割最適化法は予め決められたクラス数の数を設定することで実行されるが、階層型法は計算によってクラス数を求めることができる。分割最適化法の代表的な例として k-平均法やファジィc-平均法(宮本ら, 1998)などがあり、階層型法の代表的な例として最短距離法やワード法, 逐次ファジィクラスタリング(Inoue et al., 1999)などがある。このようなクラスタリングは、現在様々な分野で活用されており、リモートセンシングの分野でも土地被覆分類に活用されている(小澤ら, 2001; 新井ら, 2002; Hiraoka et al., 2003; Arai, 2004; リモートセンシング研究会編, 2004)。

以上のようにクラスタリングには様々な方法が提案されているが、本技術報告では、ヒストグラムインタセクション(Yoshimura et al., 2001; 井上ら, 2003)を用いた階層型法の新しいクラスタリングを提案す

る。ヒストグラムインタセクションは、辞書データとテストデータの正規化されたヒストグラム間の類似度をヒストグラムの構成の割合を重視して求める。ヒストグラムインタセクションの利用としては、既知の画像(辞書データ)と複数の画像(テストデータ)の類似検索や画像内(辞書データ)の指定領域と画像内の類似領域(テストデータ)の抽出などで、予め辞書データが与えられている場合が殆どであり、辞書データを自動で抽出するヒストグラムインタセクションを用いたクラスタリングは筆者らの調べる限りではまだない。

また、本技術報告では、提案法の有効性を検証するために、まずは簡単なサンプルデータを用いて実験を行い、その後マルチスペクトル画像による土地被覆分類に応用する。マルチスペクトル画像の各バンドは、植生やコンクリート、海、川などで特徴的な値を持つため、マルチスペクトル画像の画素における各バンドをヒストグラムの横軸、各バンドの値をヒストグラムの縦軸とすれば、土地被覆による特徴的なヒストグラムが作成できる。このとき、各バンドの値の和が1となるように正規化するため、各バンドの値の比率に応じたクラスタリングを行うこととなる。マルチスペクトル画像による土地被覆分類の結果を評価するために、国土数値情報KS-202(1/10細分メッシュ土地利用)と比較する。

以下、2章でヒストグラムインタセクションを用いたクラスタリングとそのマルチスペクトル画像の土地

* 株式会社東京建設コンサルタント環境防災部

**九州大学大学院芸術工学研究院コミュニケーションデザイン科学部門

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 49, NO. 5, 2010

被覆分類への適用の方法を説明し、3章で簡単なサンプルデータ及びマルチスペクトル画像の土地被覆分類による提案法の実験を行い、4章で本技術報告のまとめと今後の課題、展望について述べる。

2. 方 法

本章では、まずヒストグラムインタセクションを用いたクラスタリングの方法を説明し、次に提案法をマルチスペクトル画像の土地被覆分類へ適用する方法を説明する。

2.1 ヒストグラムインタセクションを用いたクラスタリング

I 個のデータがあり、各データのヒストグラムが J 個のビン (区間) からなる場合において、 i 番目のデータの j 番目のビンの値を $f_{i,j}$ とする (図1参照)。ここで、ビンの値 $f_{i,j}$ は $\sum_{j=1}^J f_{i,j} = 1$ となるように正規化されている。 i' 番目と i'' 番目のデータのヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}$ を

$$s_{i',i''} = \sum_{j=1}^J \min(f_{i',j}, f_{i'',j}) \quad (1)$$

で定義する。ヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}$ の値が大きい程、 i' 番目と i'' 番目のデータが類似していることを意味する。

I 個のデータの中からクラスタの中心を、式(2)に示すように、全てのデータにおいてヒストグラムインタセクションの総和 (以下、SHI (Sum of Histogram Intersection) と呼ぶ) が最大となるデータとする。

$$\max_i \sum_{k=1}^I s_{i,k} \quad (2)$$

まず、第1クラスタの中心として、ヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}$ のSHIが最大となる i_1 番目のデータが選ぶ。

次に、第2クラスタの中心を求める際、 i_1 番目のデータの影響を取り除くため、 i_1 番目と i 番目のデータの非類似度 $t_i^{(1)}$ を $1 - \sum_{j=1}^J \min(f_{i_1,j}, f_{i,j})$ とし、 i' 番目と i'' 番目のデータのヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}^{(2)}$ を

$$s_{i',i''}^{(2)} = \sum_{j=1}^J \min(t_i^{(1)} f_{i',j}, t_i^{(1)} f_{i'',j}) \quad (3)$$

で求める。第2クラスタの中心は、ヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}^{(2)}$ のSHIが最大となるデータ (i_2 番

目)である。非類似度 $t_i^{(1)}$ は、 i_1 番目と i 番目のデータのヒストグラムインタセクション $s_{i_1,i}$ が大きい (類似している) 程、小さな値となる。式(3)において非類似度 $t_i^{(1)}$ をデータの各ビン j の値に掛けることで、第1クラスタの中心のデータ i_1 と類似したデータ i のビンの値を小さくし、ヒストグラムインタセクション $s_{i_1,i}$ を小さくすることで、第2クラスタの中心として第1クラスタの中心として既に選ばれたデータ i_1 と類似したデータ i が選ばれないようにしている。

更に、第3クラスタの中心を求める際、 i_1 番目と i_2 番目のデータの影響を取り除くため、 i_2 番目と i 番目のデータの非類似度 $t_i^{(2)}$ を $1 - \sum_{j=1}^J \min(f_{i_2,j}, f_{i,j})$ とし、 i' 番目と i'' 番目のデータのヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}^{(3)}$ を

$$s_{i',i''}^{(3)} = \sum_{j=1}^J \min(t_i^{(1)} t_i^{(2)} f_{i',j}, t_i^{(1)} t_i^{(2)} f_{i'',j}) \quad (4)$$

で求める。第3クラスタの中心は、ヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}^{(3)}$ のSHIが最大となるデータ (i_3 番目) である。

同様に、第 o クラスタの中心を求める際、 i_1 番目から i_{o-1} 番目のデータの影響を取り除くため、 i_{o-1} 番目と i 番目のデータの非類似度 $t_i^{(o-1)}$ を $1 - \sum_{j=1}^J \min(f_{i_{o-1},j}, f_{i,j})$ とし、 i' 番目と i'' 番目のデータのヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}^{(o)}$ を

$$s_{i',i''}^{(o)} = \sum_{j=1}^J \min\left(\prod_{l=1}^{o-1} t_i^{(l)} f_{i',j}, \prod_{l=1}^{o-1} t_i^{(l)} f_{i'',j}\right) \quad (5)$$

で求める。第 o クラスタの中心は、ヒストグラムインタセクション $s_{i',i''}^{(o)}$ のSHIが最大となるデータ (i_o 番目) である。

以上の処理を実行すると、クラスタの o の値が大きくなるに従い、SHIは単調に減少し、0に近づく。このような既出のクラスタの中心を取り除く考え方は、逐次ファジィクラスタリング (Inoue et al., 1999) を模倣したものである。

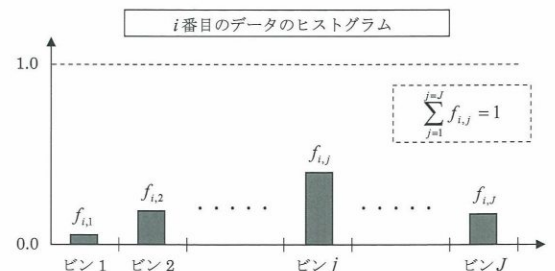


図1 ヒストグラムの変数の定義

2.2 マルチスペクトル画像の土地被覆分類

画素数が M 個で、バンド数が N 個のマルチスペクトル画像 $G_{m,n}(m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N)$ に対して、土地被覆分類を行う。まず、マルチスペクトル画像の各画素における各バンドの値 $G_{m,n}$ の和が 1 となるように正規化し、正規化後の値を $g_{m,n}$ とする(式(6)参照)。

$$g_{m,n} = \frac{G_{m,n}}{\sum_{n=1}^N G_{m,n}} \quad (6)$$

正規化後の値 $g_{i,j}$ を 2.1 節の $f_{i,j}$ とすること (図 2 参照) でクラスタリングを行い、SHI が T 以上のクラスタの中心を抽出する。ここで、 T は正定数であり、0 に近い値を設定すれば良い。または、 T の変化を見て判断しても良い。以下の実験では、 T の大きさと変化を見て、人がクラスタの数を決定した。これによって得られたクラスタ数を U 個とし、クラスタの中心を $C_u(u=1, 2, \dots, U)$ とする。

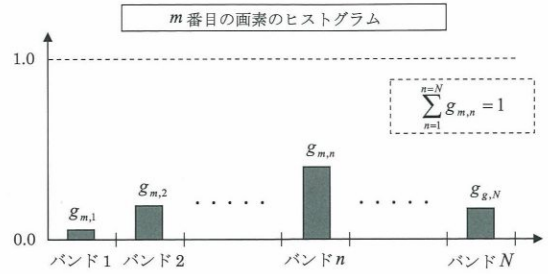


図 2 マルチスペクトル画像の変数の定義

最後に、マルチスペクトル画像の各画素 $g_{m,n}$ と各クラスタの中心 C_u とのヒストグラムインタセクションを求め、マルチスペクトル画像の各画素 $g_{m,n}$ を最もヒストグラムインタセクションが大きくなるクラスタに分類する。

3. 実験

本章では、提案法の有効性を検証するために、まず

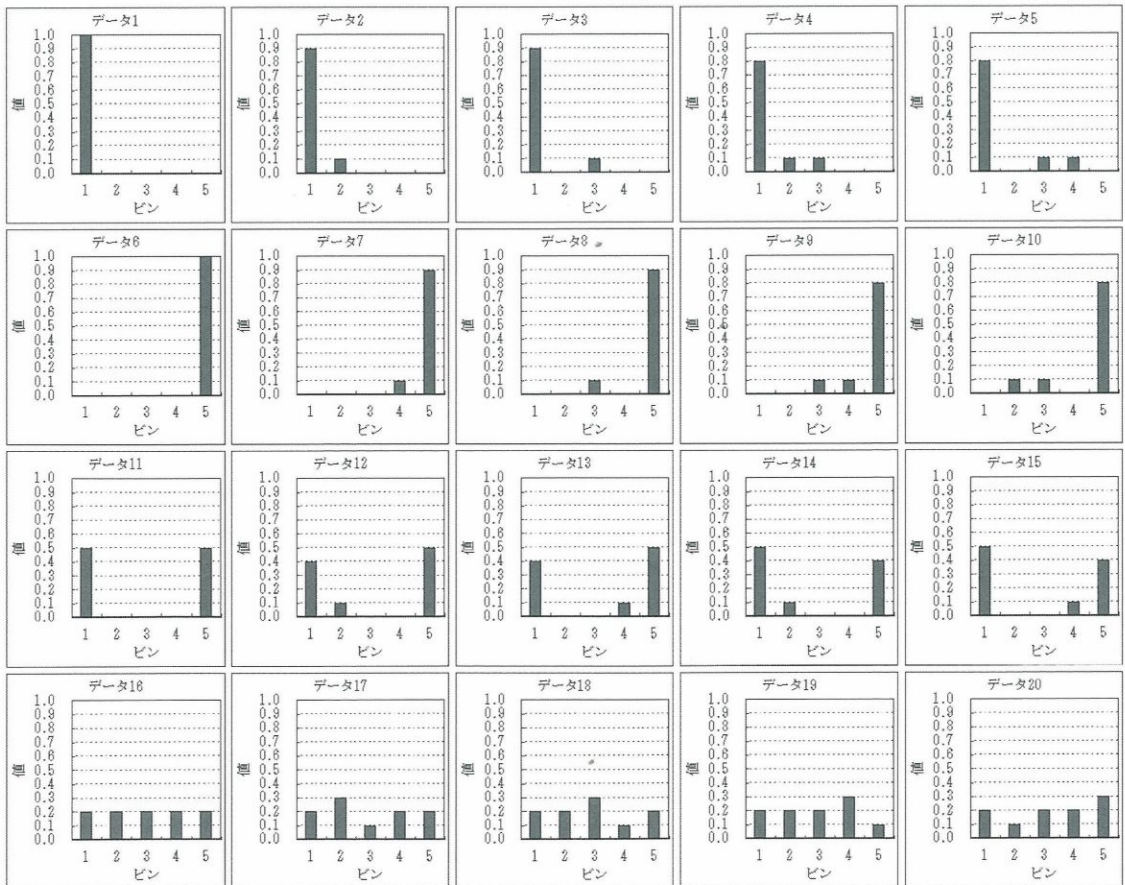


図 3 サンプルデータ

簡単なサンプルデータを用いて実験を行い、次にマルチスペクトル画像の土地被覆分類による実験を行う。

3.1 サンプルデータを用いた実験

提案法を図3に示すデータ1からデータ20までの20個のサンプルデータ（ビン数5）に適用した。サンプルデータは、データ1からデータ5がクラス1、データ6からデータ10がクラス2、データ11からデータ15がクラス3、データ16からデータ20がクラス4となる4つのクラスに分類できるように設定している。

提案法を用いて順次抽出された各クラスタのデータ名、クラス名、クラスタ中心のSHI、SHIの変化量を表1に示す。表1より、4番目のクラスタまで求めれば、4つクラスからクラスタの中心がそれぞれ抽出さ

表1 提案法を用いて順次抽出されたクラスタの緒言

クラスタ ナンバー	データ名	クラス名	クラスタ 中心の SHI	SHI の 変化量
1	データ13	クラス 3	10.800	6.950
2	データ16	クラス 4	3.850	2.206
3	データ 3	クラス 1	1.644	0.550
4	データ 8	クラス 2	1.094	0.885
5	データ14	クラス 3	0.209	0.136
6	データ19	クラス 4	0.073	0.041
7	データ 7	クラス 2	0.032	0.006
8	データ 2	クラス 1	0.026	—

※SHIの変化量は、注目しているクラスタ中心のSHIから次のクラスタ中心のSHIを引いた値である。

れていることが分かる。また、クラスタを順次抽出するに従い、SHIも単調に減少していることも確認でき、更にSHIがある程度の大きさを持ち、変化量が小さくなるのは、4番目のクラスタまでであることが分かる。以上より、提案法の基本的な処理を通して、良好なクラスタリングが行えることが確認できた。

3.2 マルチスペクトル画像の土地被覆分類の実験

提案法を2次メッシュコード503023（福岡南部）の約10×10kmの範囲のLANDSAT-TM画像（2004年4月撮影、338×300pixl、バンド数7、階調数255、地上分解能約30m）に適用した。この範囲には、河川や湖沼、市街地、宅地、森林などの土地被覆が存在する。実験で使用したLANDSAT-TMの7つのバンドの画像を図4に、2次メッシュコード503023の地形図（国土地理院2004年4月刊行の数値地図25000）を図5に示す。

提案法を用いて順次抽出された各クラスタ中心のSHI、SHIの変化量、各バンドの画素値を表2に示す。表2より、第4クラスタまでSHI及びSHIの変化量がある程度大きな値を持っているため、第4クラスタまでのクラスタの中心を用いて土地被覆分類を行った。土地被覆分類の結果を図6に示す。図6において、分類された画素をクラスタ1は黄色、クラスタ2は青色、クラスタ3は緑色、クラスタ4は赤色で表現している。図6の土地被覆分類の結果と図5の地形図を比較すると、クラスタ1は建物密度が疎な地域、クラスタ2は水部、クラスタ3は森林部、クラスタ4は建物

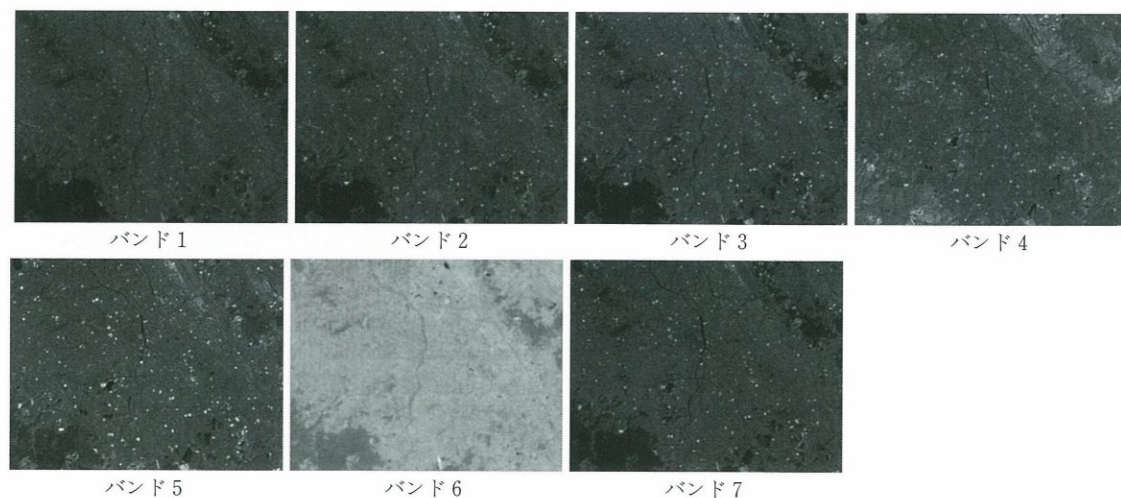


図4 実験で使用した LANDSAT-TM 画像

表2 提案法を用いて順次抽出されたクラスタの緒元

クラスタ ナンバー	クラスタ 中心の SHI	SHI の 変化量	各バンドの画素値						
			1	2	3	4	5	6	7
1	97965.717	81253.239	30	33	36	46	49	167	33
2	16712.478	11712.147	19	20	22	41	33	159	19
3	5540.331	3384.224	4	6	5	70	22	115	7
4	2156.107	1568.869	57	53	62	48	43	156	29
5	587.238	278.249	33	44	40	10	7	141	3
6	308.998	190.846	12	19	16	147	59	146	19
7	118.152	75.329	7	9	7	85	69	104	33
8	42.823	—	17	19	13	4	3	137	1

※SHIの変化量は、注目しているクラスタ中心のSHIから次のクラスタ中心のSHIを引いた値である。

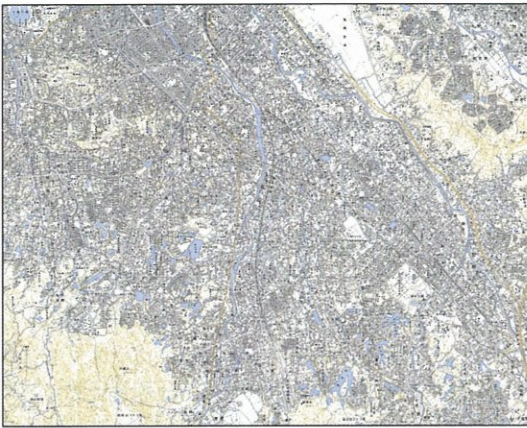


図5 LANDSAT-TM 画像の範囲の地形図（国土地理院発行の数値地図25000）

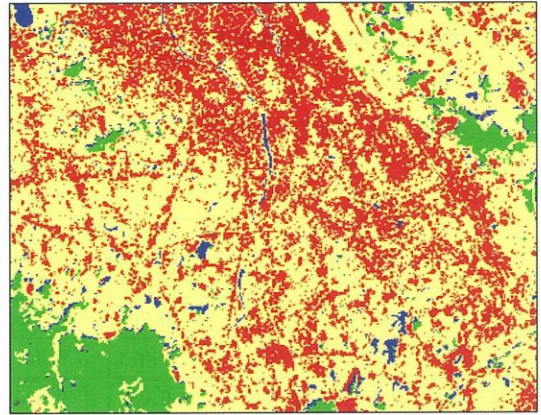


図6 提案法を用いた土地被覆分類

密度が密な地域を表していると推測できる。

また、土地被覆分類の結果を定量的に判断するために、国土数値情報KS-202（平成18年（2006年）土地利用メッシュ）を用いて、マルチスペクトル画像の画素の中心に最も近い土地利用メッシュの中心を対応付けることで比較検証を行った。土地被覆分類の結果と比較の対象とした土地利用メッシュの範囲を図7に示す。土地利用メッシュは、10m 間隔のメッシュで構成され、12種類の属性（田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他の用地、河川地及び湖沼、海浜、海水、ゴルフ場、解析範囲外）を持っている。そこで、土地被覆分類の結果と土地利用メッシュの属性が表3に示す組み合わせにおいて正解の対応付けが行われたとして、土地被覆分類の結果得られたクラスタ1からクラスタ4までの正解率を求めた。

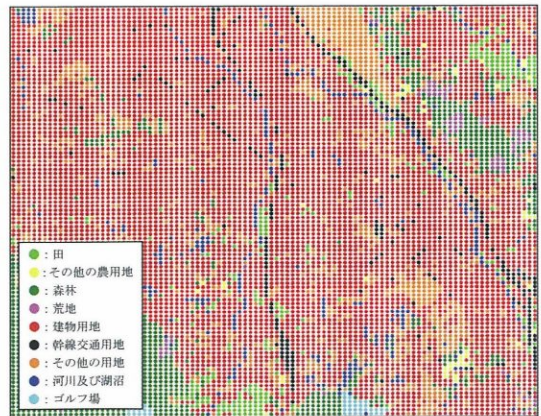


図7 国土数値情報 KS-202（平成18年（2006年）土地利用メッシュ）

正解率は、各クラスタにおいて、全画素数における正解の画素数の割合である。各クラスタの正解率を表4

表3 土地被覆分類の結果と土地利用メッシュの属性の対応付け

クラスター ナンバー	推測される 土地被覆	対応付けられる 土地利用メッシュの属性
1	建物密度が 疎な地域	田, その他の農用地, 荒地, 建物用地, 幹線交通用地, その他の用地
2	水部	河川地及び湖沼
3	森林部	森林
4	建物密度が 密な地域	建物用地, 幹線交通用地, その他の用地

表4 土地被覆分類の結果と土地利用メッシュの属性との関係

クラスター ナンバー	推測される土地被覆	正解率 [%]
1	建物密度が疎な地域	88.553
2	水部	59.313
3	森林部	80.215
4	建物密度が密な地域	89.763

に示す。土地被覆分類の結果において水部と推測されるクラスター以外は土地利用メッシュの属性との対応付けが80%以上で行われたことから、比較的良好な結果が得られたと判断した。

4. おわりに

ヒストグラムインタセクションを用いた新しいクラスタリングを提案し、まずは簡単なサンプルデータを用いた実験により提案法の動作確認を行い、その後マルチスペクトル画像による土地被覆分類の実験を行うことで、提案法の有効性を検証した。提案法は、サンプルデータのみでなく、マルチスペクトル画像の土地被覆分類においても比較的良好な結果が得られると評価する。今後の課題は、クラスター数を自動で決定する基準を確立することと、より多くの場所で実験を行い、検証を重ね、提案法の性能を向上させることと、提案法は現在全探索で処理を実行しているため、提案法の処理の削減を図ることである。また、本クラスタリングは、マルチスペクトル画像の土地被覆分類以外にも様々な分野でも応用できると考えるため、多くの分野で活用することも今後の課題である。

(受付日2010.4.7, 受理日2010.9.15)

参考文献

- 新納浩幸, 2007. R で学ぶクラスタ解析, オーム社, 東京.
- Kohei Inoue and Kiichi Urahama, 1999. Sequential fuzzy cluster extraction by a graph spectral method, Pattern Recognition Letters., Vol. 20, No. 7, pp.699-705, 1999.
- 宮本定明, 馬屋原一孝, 向殿政男, 1998. ファジィc-平均法とエントロピー正則化における分類関数, 日本ファジィ学会誌, Vol. 10, No. 3, pp.548-557.
- 宮本定明, 1999. クラスタ分析入門-ファジィクラスタリングの理論と応用, 森北出版, 東京.
- 小澤憲秋, 青木俊徳, 加藤 寧, 根元義章, 2001. 局所領域でのクラスタリングによる衛星画像の雲域自動分類, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D2, No. 8, pp.1608-1617.
- 新井康平, 芳沢 聡, 建野耕一, 2002. 衛星画像クラスタリングへの Messy 遺伝アルゴリズムの適用, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 41, No. 5, pp. 37-41.
- Toru Hiraoka, Kohei Inoue and Kiichi Urahama, 2003. Data reduction by sample clustering for Fuzzy Segmentation of Multispectral, International Workshop on Advanced Image Technology 2003, pp.55-60.
- Kohei Arai, 2004. Learning processes of image clustering method with density maps derived form Self-Organizing Mapping (SOM), 写真測量とリモートセンシング, Vol. 43, No. 5, pp.62-67.
- Kohei Arai, 2004. Non-linear merge and split method for image clustering, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 43, No. 5, pp.68-73.
- リモートセンシング研究会編, 2004. 改訂版図解リモートセンシング, 社団法人日本測量協会, 東京.
- Tetsuya Yoshimura, Tadashi Ichikawa, Shigeo Morishima and Kiyoharu Aizawa, Takahiro Saito, 2001. A Human Face Tracking Using Color Histogram Intersection Matching Method, 映像情報メディア学会誌, Vol. 55, No. 3, pp.412-416.
- 井上光平, 浦浜喜一, 2003. ヒストグラムインタセクションの上限と下限に基づくフィルタリング検索, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-D2, No. 2, pp. 358-370.