Automatic Detection of Large Rocks by Image Processing

by Hiroshi TAKAHASHI¹ and Katsumi SANO²

1. Dept. of Geoscience and Technology, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-77

2. Graduate School of Tohoku University

This paper presents a detection method of large rocks in the rock pile using an image processing. In this study, the shadow of the large rock was used to distinguish the large rocks from the background. Therefore, in order to change the location of shadow of the large rocks, 4 light sources were set around the CCD camera and 4 images were obtained with changing the light sources. The thresholding was carried out for these images, and the common area of these images was obtained because the location of the large rocks was not changed even if the light sources were changed. Then, some large rocks were detected by the area analysis and shape factor analysis. However, some other large rocks were still remained in the image. Therefore, then the shrinking procedure was made for this image. After this procedure, the shape factor analysis was carried out again to detect the remaining large rocks. It was confirmed that this procedure works well to detect the large rocks in the rock pile.

KEY WORDS : Image Processing, Thresholding, Detection of Large Rocks

1. はじめに

石灰石は、日本国内で自給可能な貴重な鉱物資源であり、現在、数多くの石灰石鉱山が採掘を行っている。これらの現場のほとんどは、図1に示すように切羽で採掘した鉱石を立坑に投入し、鉱石をクラッシャに導いた後に粉碎し、さらに所定のサイズに分級するシステムを採用している。しかし大岩がクラッシャに入るとクラッシャを破壊する恐れがあるため、クラッシャ上にグリズリーバーと呼ばれる鉄格子を設置して大岩を受け止め、図1に示す「小割室」と呼ばれる小さな部屋で岩石を砕く作業、いわゆる「小割作業」を行っている。しかしながら、この小割室には粉塵が大量に舞うなど、作業員にとって決して良好な作業環境とはいえないことから、一部の鉱山では小割室にブレーカおよびカメラを設置し、カメラからの映像を基にブレーカを遠隔操作しているところもある。現在のこの方法は、オペレータが良好な環境で作業ができるという利点をもたらしているが、一方、熟練と長時間の連続した作業がオペレータに要求されるため、大岩の小割作業の自動化が求められている。

この大岩の小割作業は、石灰石鉱山のみならず、採石現場あるいはトンネル掘削現場などでも必要とされる技術である。これらの現場では、一般に発破で起砕された多数の岩石の山（以下、ずり山と記す）をホイールローダなどでトラックに積み込み、坑外

に排出しているが、起砕されたずり山中に大岩が存在すると、ハンドリングが困難になり、作業効率が低下することから、ずり山中の大岩をブレーカで破碎しているのが現状である。

さて、小割作業を自動化するための一手段としてロボットの導入が考えられる。製造業の分野では既にさまざまなロボットが導入され、多くの実績を挙げている。しかし、一定のパターンの繰り返し作業の多い製造業のロボットとは異なり、小割作業の現場に導入されるロボットにはより高度な機能が要求される。すなわち、対象物である大岩の位置は常に一定ではなく、かつ大きさおよび形状も不定であることから、これらのロボットには自ら対象物を含む周囲の環境を認識・判断し、作業を実行する機能を具備する必要がある。この機能の実現のためには、ロボットに視覚を持たせることが必要不可欠であり、著者らはこの視覚に対する画像の適用について検討してきた^{1)~4)}。画像の適用を考えている理由は、例えば CCD カメラなどを用いて撮影された画像は比較

図1 石灰石鉱山における鉱石破碎システムの概要

* 1996年7月10日受付 12月20日受理

1. 正会員 工博 東北大学助教授 工学研究科地球工学専攻

2. 東北大学大学院 工学研究科地球工学専攻

〔著者連絡先〕 FAX 022-217-7395 (東北大・地球)

キーワード: 画像処理, 2 値化, 大岩検出

図2 本研究で想定する大岩破碎システム

図3 4個の光源の設置状況

1/10	1/10	1/10
1/10	2/10	1/10
1/10	1/10	1/10

図4 重み付き8近傍フィルタ

の広範囲の情報を含み、かつ目的に応じた処理が可能なのである。しかし、岩石は形状が複雑であることから、例えば背景が白一色などの単純な環境における単一岩石に対しては、比較的簡単に認識可能であるが⁵⁾、ずり山中における大岩を認識するには、複雑な背景と大岩を自動的に区別する必要がある。中山ら⁶⁾⁷⁾は、発破で起砕された堆積物の大きさの分布を画像処理法を用いて推定する方法を提案しているが、画像上における大岩の位置の検出まで含めた画像処理法の検討はほとんど行われてなく、どのような処理法が有効であるかは明らかではない。

したがって、本研究では、画像により多数の岩石中における大岩を検出するための画像処理法について検討することを目的としている。

2. 大岩検出システムの概要

図2に想定されるシステム全体の概念図を示した。本システムでは、小割室に設置したカメラからの情報を解析して大岩を自動的に検出し、検出された大岩の位置をブレーカに伝え、さらにブレーカの先端を検出された大岩の重心位置に移動させ、自動的に大岩の破碎作業を実行するものである。なお、本研究では画像による大岩の検出のみを扱い、ブレーカの操作アルゴリズム等については次報で検討する。

2・1 撮影

いずれの画像処理についてもいえることであるが、画像から目的とする情報を抽出する際の結果の良否は、撮影された原画像に依存する部分が多い。すなわち、照明等を工夫し、情報を抽出しやすいような画像をまず画像処理装置に入力することが必要である。本研究では大岩の領域を検出し、画像上の重心位置を求めることが目的であるため、大岩の領域と背景とを分離しなければならず、この分離がスムーズに行われるような画像が入力されることが望ましい。

一般に、領域はエッジ検出により抽出されることが多いが⁸⁾、ほぼ同じ色彩の小さな多数の岩石で構成される背景から大岩の領域を検出する場合には、小さな多数の岩石による領域が大岩領域と融合してしまい、かつ大岩のエッジのみが連続して検出されることは極めて希である。そこで、本研究では大岩による影の利用を考える。すなわち、影は光源と反対方向にでき、かつ影の領域の画像強度は小さくなるが、大岩の部分は光があたるため影の部分に比べて画像強度が大きくなる。光源の位置を変えても大岩の位置は変化しないが、影は光源の位置の変化に従い変化する。したがって、光源の位置を変化させて数枚の画像を撮影し、それらの画像の共通領域を求めれば、その部分が大岩に相当する確率が高い。それゆえ、本研究では光源をカメラの上下左右4か所に設

置し、1個ずつ光源を点灯させて4通りの照明を行い、図3に模式的に示すような影のつけ方を変えた4枚の画像を撮影し、これらを合成して影により大岩を背景から分離する。

2・2 画像処理

画像から物体の輪郭情報を抽出する処理法の1つにエッジ検出がある。背景と物体の輝度差が比較的大きく、簡単な形状の物体の輪郭抽出には有効な手段であるが、前述したように多数の岩石中の大岩の検出では、岩石自体の形状が複雑なこともあり、エッジ検出で大岩の輪郭情報を得ることは極めて難しいと考えられる。そこで、ここでは2値画像を用いて大岩の検出を試み、エッジの利用は今後の課題とする。

さて、撮影した4枚の画像を2値化・合成して1枚の2値画像を得るまでの処理について以下に述べる。最初に画像から雑音を除去するために前処理として、図4に示すような重み付き8近傍フィルタ処理⁹⁾を行う。雑音除去後の画像に対して2値化処理を行うが、この2値化処理を行う際の最も重要な点は、しきい値の決定である。後述するように、サンプリングされた画像は画像処理装置により512×512画素に標本化されるが、ここでは、照明の不均一性に対処するため、32×32画素の正方形の領域により画像領域全体を256か所に分割して場所ごとに2値化を行う。しきい値を高めに設定すると、各領域の分割は確実に行われるが、大岩の領域まで消滅する危険性が高い。逆に低めに設定すると、大岩の領域は確実に残るが、小岩石による領域の融合（領域が分割されずに連結してしまう状態を、ここでは融合と呼ぶことにする）の度合いが強く、大岩の領域の検出が困難になる。本研究では、2値化のためのしきい値はその場所の輝度の平均値から算出することにした。詳細については後述するが、試行錯誤の結果、輝度値の平均値が約88以下ではそれよりやや高いしきい値を、また輝度値の平均値が約88以上ではそれよりやや低いしきい値を与えるようにすると、最初の2値化の段階で大岩領域を残し、かつ小岩石の領域をある程度分割できることが分かった。それゆえ、ここでは次式を仮定した。

$$a = \sqrt{88 \cdot m} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 a はしきい値、 m は32×32画素の領域における輝度値の平均値である。ただし、(1)式中の88という値は岩石の表面反射率に依存する。すなわち、同じ石灰岩でも採掘場所等が変わり、岩質が変化すればそれに応じて変化する値であるが、これについてはより多くの種類の岩石を用いて今後詳細に検討する必要がある。

なお、使用した画像処理装置は黒い領域に対して処理を行うので2値化後白黒反転を行い、石灰石を黒、影の部分を白とする。大岩の影を使って大岩と小岩石を分離するため、4枚の画像の合

成は、4枚の画像中のすべての黒の共通領域だけを黒のまま残し、その他の部分は白とする。すなわち、4枚の画像の論理積をとる。そのため4枚中1枚でも影が写っていれば合成の結果、その部分は白となる。

2・3 大岩の検出

画像中に生じる多数の領域は大きく分けて、1)大岩によるもの、2)小岩石によるもの、および3)壁の3つに分けられる。そこで本研究では各領域について面積、重心座標、形状係数を求め、これらを基に大岩の領域とそれ以外の領域とを区別する。最初に、面積による処理を行う。ここでは2通りの岩石の堆積状態が考えられる。すなわち、小岩石がすべてグリズリーバーを通過して、大岩のみがバーの上に存在する場合と、すべての岩石がグリズリーバー上に存在し、グリズリーバーを覆っている場合の2通りである。前者は破碎機的能力よりも鉱石の流れが少ない状態であり、逆に後者は破碎機的能力よりも鉱石の流れが多い状態である。グリズリーバーの1区画の大きさは既知であり、前者の場合、この1区画より小さい岩石はバーを通過し、バーの下部にあるが、1区画より大きい岩石は大岩としてバーの上に残ることになる。後者の場合は、すべての岩石がグリズリーバー上に存在するが、これらの岩石は破碎工程が進むにつれて下方に移動し、やがて小岩石はグリズリーバーを通過するが、大岩はバーに引っかかって、バーの上に残ることになる。したがって、1区画の面積を基にしたしきい値を用いて面積の小さい領域を消去し、消去されなかった領域を大岩と見なして検出する。ただし、カメラから遠い地点ほどグリズリーバー1区画の大きさは小さくなるので、図5に示すように場所ごとに面積のしきい値を設定し、領域の重心位置に応じた面積のしきい値を適用する。ただし、図中のyは、「画像処理装置に取り込まれ、デジタル画像に変換された画像上のy座標」を意味する。また、ここで「消去する」とは、その領域を白くすることを意味する。また処理領域の分割数が2値化処理の分割数に比べて少ないのは、2値化処理では多値画像を扱うのに対して、この面積処理では2値画像を扱い、さらに面積処理では岩石領域の面積を検討することになるため、個々の岩石全体の大きさを考慮すると分割数はさほど多くなくても済むためである。なお、図5中の最小画素面積 S_{min} は、後述する模型におけるグリズリーバーの大きさを考慮し、本解析では2,000とした。次に各領域の重心位置を求め、その重心位置より壁と考えられるものを除外する。すなわち、カメラの位置は固定されているので、あらかじめ予備実験を行い、左右の壁および正面の壁に相当する部分の画像上の領域を求めておき、実際の画像処理により検出された領域の重心位置がこの領域内に入った場合には、その領域は壁と判断し、除外する。なお、この際、壁際に大岩が存在した場合、同時に大岩も消去してしまう危険性があるが、これは上述のように4つの照明を用いて強制的に影を作ること、ほとんど回避可

S_{min}	y=0
$S_{min} \times 1.3$	y=150
$S_{min} \times 1.7$	y=260
$S_{min} \times 2.3$	y=370
	y=511

S_{min} : 最小画素面積

図5 面積のしきい値の設定

能である。

さて、以上の処理を施した画像には、小岩石の融合した領域およびこれらの領域と大岩領域が融合した領域などが存在するため、これらを区別しなければならない。小岩石が融合してできた領域は、形状の凹凸が大きいが、大岩の領域では形状の凹凸は小さい。したがって、凹凸の程度により、まず区別が可能であると考えられる。ここでは、凹凸の程度を表す指標として形状係数を用い、これを基に明らかに大岩とみなせる領域を検出する。形状係数は物体の形状の不規則さを示すものであり、ここでは次式で定義される形状係数¹⁰⁾を用いた。

$$K = \frac{4\pi \times S}{L^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 K は形状係数、 S は領域の面積、 L は周囲長である。すなわち、各領域に対して形状係数 K を計算し、形状係数 K が小さいものを大岩として残し、大きいものは多数の小岩石が融合してできた領域と判断し、消去する。なお、判断の基準となる形状係数のしきい値は、試行錯誤により6とした。

この処理を終えた画像には、大岩に小岩石が融合した領域および小岩石同士が融合してできた領域のうち前述の形状係数の処理をクリアした領域が残っている。そこで、これらの領域に対し縮退処理を行う。その結果、図6に模式的に示すように小岩石同士が融合した領域はいくつかの小領域に分離される。一方、大岩と小岩石が融合した領域は大岩の領域と小岩石による領域に分離される。その後、再び上述の面積処理に戻れば、大岩領域のみが検出され、小岩石の領域は消去される。なお、縮退を行うと画像中のすべての領域が縮小されるので、今までの処理における最小画

図6 小岩石による領域の分割

図7 画像処理の流れ

素面積をそのまま適用すると大岩領域も消去される可能性がある。そこで縮退の度に最小画素面積を小さく設定し直す必要がある。そのため、本研究では次のような関数を考え、縮退回数に応じて最小画素面積を設定した。

$$S'_{\min} = \frac{S_{\min}}{\sqrt[3]{N}} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $S'_{\min}$ は新しい最小画素面積、 $S_{\min}$ は最初の最小画素面積、 N は縮退回数である。

なお、画像処理の流れを図7に示した。

3. 実験装置および実験方法

本実験に用いた実験装置の概略を図8(a)に示した。実験装置は大岩の破碎現場および小割室を模擬した模型と光源（60ワット電球4個）、CCDカラービデオカメラ（SONY社製）、画像処理装置（PIAS社製LA-525およびNEC製パソコン）で構成されている。光源とカメラは図8(b)のように配置し、このユニット全体を水平軸から65度下向きに傾斜させて設置した。本実験で用いた画像処理装置では、入力されたアナログ画像は512×512画素に標本化され、おのおのの画素に対して256階調に量子化され、デジタル画像に変換される。

実験では現場を模擬した模型に複数の大岩を配置し、前章で述べた方法により大岩の検出を行った。配置する大岩の個数および位置は乱数により0個から6個の間でランダムに決定した。なお前章で述べた方法では、大岩同士が接触している場合はこれらの分離ができず、検出個数が不正確になる恐れがある。本実験では後述するように大岩の検出個数で実験結果を評価するので、簡単のため大岩が互いに接触している場合は考慮せず、大岩は互いに孤立して配置するようにした。なお、大岩同士の接触については今後の検討課題としたい。また、小割室は粉塵が多く舞うことから、粉塵に対する処理法の安定性についても評価したが、粉塵の程度を定量的に評価・再現することが困難であった。そのため、ここでは粉塵がない状態で撮影された画像をプログラムで加工することにより、粉塵の存在を模擬することにした。すなわち、粉塵が舞っている状態で撮影された画像中の画素の輝度値は、粉塵による光の乱反射のため粉塵がない状態での画素の輝度値より多少高くなる。それゆえ、粉塵のない状態を初めに撮影し、さらに画像全体の50%の画素にあたる12,880画素のX座標およびY座標を乱数で決定し、次式により粉塵が存在する状態での画像を模擬的に求めた。

$$P' = \alpha \times P \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 P' は粉塵の影響を受けた画素の輝度値であり、 P は粉塵のない元の画素の輝度値である。また、 α の値は予備実験で撮影された画像を基に、 $\alpha = 1.1$ に決定した。

本実験では、ここで提案する大岩の自動検出システムの妥当性

図8 実験装置の概要

を評価するため、次の4通りの条件について各10回の実験を行った。ただし、実験2の方が実際の状態に近いので、次章では実験2における結果のみを示すことにする。

・実験1 グリズリーバー上に多数の小岩石が堆積していない状態

- 1) 粉塵なし
- 2) 粉塵あり

・実験2 グリズリーバー上に多数の小岩石が堆積している状態

- 1) 粉塵なし
- 2) 粉塵あり

4. 実験結果および考察

図9(1)ないし図9(9)に各画像処理後の結果を示した。まず、図9(1)および図9(2)は4枚の原画像のうちの1つの原画像および重み付き8近傍フィルタにより雑音を除去した画像を示している。また、図9(3)および図9(4)は2値化後の画像および4枚の画像の合成後の画像を示している。図9(4)をみると、影により大岩と他の小岩石がかなり分離されていることが分かる。本研究では2値化後の画像の論理積をとって1枚の画像を作成し、その画像を基に大岩の検出を行っているため、大岩検出の成否に及ぼす2値化処理の影響は極めて大きい。2値化処理を行う際の最も重要な点は、しきい値の設定であり、これについては(1)式で与えることを既に述べた。図9(1)に示される原画像全体の輝度のヒストグラムを図10に示したが、このような双峰形の分布では、一般に谷間に相当する輝度（ここでは約120）をしきい値とする方法がとられる。そこで、120をしきい値とした場合の4枚の合成画像と、32×32の領域内の平均値 m をしきい値とした場合の4枚の合成画像を図11に示した。図11と図9(4)とを比較すると、平均値 m を用いた場合は、ほとんど大岩の検出が行われてなく、またしきい値を120とした場合は、右上の大岩の領域が消滅していることが分かる。これに対し、しきい値として(1)式を用いた場合は、大岩の領域がすべて残り、かつある程度背景との分離が既に行われていることが分かる。図10のヒストグラムより、88という値は2つのピークの内、輝度の小さい方のピークに相当しており、この輝度の小さい方のピークに相当する輝度を基準に、(1)式で与えられるしきい値を用いれば、なぜ大岩と背景との分離がうまく行くのかは不明であるが、ここではサンプリングされたすべての画像に対して、しきい値を(1)式で評価した。なお、4枚の画像における黒の共通領域のみを残しているため、大岩領域は原画像の大岩部分より多少小さくなるのが何度か観察された。

図9(5)に最小画素面積以下の領域、壁および面積のしきい値以下の領域を消去した結果を示した。さらに、残った領域で形状係数が6以下の領域を検出し、これを検出結果として別のフレームメモリ（本画像処理装置では4枚のフレームメモリを有する）にコピーした後に消去すると図9(6)(a)に示すような画像が得られる。図9(6)(b)には図9(5)より検出された大岩の領域が示されている。

さて、図9(6)(a)より大岩に小岩石が融合し、その結果、検出されない大岩が存在することが分かる。そこで、残された領域について縮退処理を行うと、図9(7)に示すような結果が得られる。この画像に対し、再び形状係数による判断を行うと大岩領域が検出され、小岩石による領域が消去される。その後、縮退した回数だけ膨張させると最終的に図9(8)に示すような画像が得られる。

図9(9)に比較のため検出された大岩領域を原画像に重ね合わせた結果を示した。なお、図中の黒点は計算された画像上におけ

図9(1) 原画像の一例

図9(2) 雑音除去後の画像の一例

図9(3) 2値化後の画像の一例

図9(4) 4枚の論理積を求めた画像

図9(5) 最小画素面積以下の領域を消去した画像

(a)大岩検出後の画像,

(b)検出された大岩領域

図9(6) 形状係数解析による結果

図9(7) 縮退処理後の画像

図9(8) 検出された大岩領域の最終結果

図9(9) 検出結果と原画像との比較

図10 図9(1)における画像強度値のヒストグラム

(a)しきい値:120

(b)しきい値:32×32画素の領域における画像強度値の平均値

図11 4枚の論理積を求めた画像

る重心位置を示している。検出された領域は実際の大岩よりも多少小さくなっている。これは、処理の性質上、大岩の周囲全体を縮退させるためであるが、検出された領域はおおむね大岩の領域と一致している。

続いて大岩の検出能力について評価した。大岩の個数を0個から6個の範囲内でランダムに決定し、また大岩の位置も乱数により決定して合計20枚の画像を撮影し、さらにこれらの画像に粉塵を加えた合計40枚の画像を用いて大岩の検出を行った。その結果を表1に示した。画像中における大岩の存在の有無および検出された大岩の個数について評価を行ったが、設定した大岩の個数だけ画像処理法により大岩が検出された場合には成功例としてカウントし、画像処理の結果、大岩が存在するという結果が得られても、検出された大岩の個数が設定した大岩の個数と異なる場合は、エラーとした。表1に示されるように4つの条件で大岩の検出性能に変化はないことが確かめられた。今回の実験では大岩以外のものが大岩として検出されることはなかったが、大岩を検出できないことが生じた。検出の失敗は図12のように大岩表面の凸凹に影が付き、領域の形状が不規則になり、その結果、検出されず縮退され、領域が分断されたために検出されないものであった。

また、図9(9)に示したように検出された大岩領域とその重心を原画像に重ね合わせて表示させた結果、検出された領域はおおむね画像の大岩部分と一致した。また、大岩同士が重なり合っていない場合には、大岩の重心が原画像の大岩部分から外れることは40回の実験中1回も見られなかった。ただし、比較のため大岩同士が重なり合った場合について大岩の検出を試みたが、大岩同士が融合して検出され、検出された個数が実際の大岩の個数より少なくなり、かつ重心位置が大岩の部分から外れる場合が数回見られた。大岩の重なりも実際の現場では観察される状態であるので、今後は大岩同士が重なり合った場合における処理法について検討する予定である。

なお、原画像の撮影から最終的に図9(8)の結果を出力するまでの処理時間は約8分であった。これは、平滑化処理と形状係数の算出に比較的時間を要するためであるが、より能力の高いコンピュータを使用し、かつこの処理の部分を回路化すれば、処理時間は大幅に短縮できるものと思われる。

5. む す び

本研究では大岩の破碎作業の自動化を目指し、作業現場における岩石群の画像から大岩を検出し、その重心位置を求めるための視覚情報処理法を提案し、その有効性について実験的に検討した。本研究で提案した方法は、主として2値化という比較的簡単な処

表1 大岩の個数の検出に関する実験結果

実験1(1)	堆積なし 粉塵なし	10回中1回エラー
実験1(2)	堆積なし 粉塵あり	10回中1回エラー
実験2(1)	堆積あり 粉塵なし	10回中1回エラー
実験2(2)	堆積あり 粉塵あり	10回中1回エラー

図12 検出の失敗例

理方法を基にしているが、照明の工夫により大岩と小岩石による背景をかなりの確率で分離できることが分かった。その結果、大岩が重なり合っていない状態では比較的高精度で大岩を検出できることが確かめられた。これに対し、本方法の欠点としては暗い色の岩石や、大岩表面の凹凸が大きく影がつきやすい大岩は検出が困難になることおよび重なり合った大岩を分離して検出できないことが挙げられる。今後の課題としては、これらの欠点を解決するとともに画像上の重心位置を実際の大岩表面の重心に変換する手法の開発に努める予定である。

最後に、本研究は(社)東北建設協会「建設事業の技術開発に関する助成金」および石灰石鋳業協会研究奨励金によったことを付記し、謝意を表する。また、石灰岩のサンプルを提供して頂いた秋芳鋳業(株)にお礼申し上げる。

引 用 文 献

- 1) 伊藤博樹・高橋 弘・益山 忠: 資源と素材, Vol. 110, No. 6, p. 505-509, (1994)
- 2) 高橋 弘・伊藤博樹・益山 忠: 資源と素材, Vol. 111, No. 2, p. 83-91, (1995)
- 3) Takahashi, H. et al.: Proc. of 3rd Int. Symposium on Mine Mechanization and Automation, Vol. 1, p. 33-44, (1995)
- 4) 高橋 弘・友成晃司・益山 忠: 資源と素材, Vol. 111, No. 11, p. 767-773, (1995)
- 5) 高橋 弘・小林喜代志・益山 忠: 地下環境認識のための視覚情報処理, 第2回建設ロボットシンポジウム論文集, p. 71-76, (1991)
- 6) 中山智晴・今井啓太: 石灰石, No. 271, p. 39-47, (1994)
- 7) 中山智晴・今井啓太: 石灰石, No. 272, p. 25-43, (1994)
- 8) 例えば, 舟久保 登: 視覚パターンの処理と認識, 啓学出版, p. 110-118, (1990)
- 9) 画像処理ハンドブック編集委員会編: 画像処理ハンドブック, 昭見堂, p. 264-314, (1987)
- 10) ビアス(株): ビアス画像処理装置マニュアル