

撮像画像による物体堆積量の推定に関する研究

深井越 情報工学専攻 樺澤康夫（田村仁）研究室

1. まえがき

現在、植物の量を測定するには、植物を手作業で抜き取り、質量を測定する方法が一般的である。より手間の少ない方法として、ビデオカメラで撮像した画像からそこに生えている植物の量が推定できれば有益である。クローバなど草丈の低い植物はイネ科雑草の葉や茎などの物体により覆い隠されてしまう。このような状態においても高精度に堆積量推定するには、物体の隙間から抽出可能な特徴が必要である。本研究では、物体の物理的な形状に由来する隙間を表す特徴である hollow や Contrast を抽出するフィルタ設計を行い、堆積量の推定を行なうことが目的である。

2. 関連研究

現在、大量の物体を撮像した一括画像計測は、ほとんどの研究が質量推定ではなく奥行推定である。画像から質量等を計測する研究には、対象物のシルエットの面積から推定する研究[1]や、魚が入った奥行きのある立体状の漁獲網の容量ならびに重量を、その周囲の任意の方向から見た平面的な画像を通して計測する研究[2]があるが、本研究のように複数物体の混合画像(図 3-1) をテクスチャ画像と見なし、テクスチャ特徴から質量を推定する研究は見あたらない。

3. 着目するテクスチャ特徴

3.1 テクスチャ分析の様々な手法

テクスチャ画像を分析する方法は、構造的手法と統計的手法に大別される[3][4]。構造的手法は、対象画像内の構成要素それぞれを別々に認識する手法である。そのため、構成要素の数が多い場合には計算量も比例して多量になってしまう。統計的手法は、統計値から対象画像全体を把握する手法である。統計的手法には周波数的な分析手法があり、テクスチャの方向の有無や垂直水平方向の濃度変化を知ることができる。本研究では、対象物の上に障害物が覆い被さるためテクスチャの構成要素が明瞭に分離できず、構造的手法は適



図 3-1 : サンプル画像(クローバ 5.5g, イネ科雑草 0.3g)

用できない。また、対象物や障害物は規則的でなくランダムに堆積させるため、それを撮像した画像自体も不規則的な画像となる。そのため、統計的手法では何らかの物体が存在することは識別できても、対象物と障害物とを分離することはできない。

3.2 微小形状特徴

撮像画像から特徴抽出する手法として、田村らはテクスチャ画像用形状通過型非線形フィルタ[5]を提案した。微小形状特徴は、形状通過型フィルタによって抽出する。形状通過型フィルタとは、自然なテクスチャ画像から微小な形状特徴を抽出する画像用非線形フィルタ群である。このフィルタ群は、図 3-2 のような基本形状特徴要素と「黒せん」、「黒つぶ」、「黒かど」、「黒みぞ」の白黒を反転させた形状特徴の合計 9 個の基本形状特徴要素で構成される。この 9 つの特徴を抽出し、その種類別の抽出量を画像の特徴とするものである。撮像画像をフィルタにかけると各特徴を抽出した出力画像が得られる。形状特徴の量を表す抽出量として R.M.S. (root mean square) 値を用いる。この抽出量のうち、堆積量と相関するものを選択することで、堆積量の推定の可能性が示されている[6]。

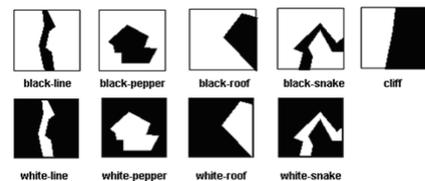


図 3-2 : 基本形状特徴要素

3.3 新フィルタの設計

著者は対象物堆積量の推定に有効な新たなフィルタを設計し、推定精度の向上を目指した。

人間は視覚から様々な情報を得ることができる。人間が堆積量を推定する際に用いる特徴として、物体が堆積した時に多く現れる物体の物理的な形状に由来する特徴が考えられる。例えば、人間は自然条件において物体の上面方向から光が当たり、物体の下側に影ができることを経験的に知っている。また、雑草のように細長い物体が積み重なった場合、雑草の間から見える地の部分は雑草によってできた影で暗くなることが考えられる。このことから、物体によってできる隙間を表す特徴として hollow フィルタを設計した(図 3-3)。また、画像全体ではなく局所領域における最大

明度と最小明度の差を表す Contrast フィルタも設計した。hollow フィルタは 0 度、90 度、180 度、270 度と形状を回転させた 4 つの角度で抽出し、最大値を抽出量として選択する。



図 3-3 : 新フィルタ (hollow)

4. 予備実験

自然に植生している植物堆積量を推定する前に、対象物に障害物が覆い被さった状態の撮像画像からその堆積量の推定を行い、そこから推定精度に及ぼす障害物の影響を評価した[7]。抽出した形状の種類と量により、堆積量の推定式構築を試みた。対象物には規格化された物体として画鋸とし、障害物は輪ゴムとした。理想的な環境である一定照明下で撮像した画像を用いて、障害物の堆積量推定への影響を評価する。

4.1 実験方法

対象物となる画鋸を指定の箱 (120mm×175mm) の中に堆積させ、その上に障害物である輪ゴムを乗せてデジタルカメラ (PENTAX OPTIO S55) で撮像する。実験に用いるサンプル画像として、輪ゴムを 50 個から 250 個まで 50 個刻みに増やしていった 5 段階、画鋸を 50 個から 400 個まで同様に増やしていった 8 段階の堆積段階に分け、それぞれの各段階を組み合わせた計 40 種類別に各 30 枚、計 1200 枚を用意した。対象となる輪ゴムの個数を目的変数とし、基本形状特徴 9 種類とマスクサイズ 5 種類 (5x5 画素, 7x7 画素, 11x11 画素, 15x15 画素, 21x21 画素) の組合せ、計 45 変数を説明変数とした重回帰分析を行う。F-in、F-out とともに 2 と設定し、増減法を用いる。その際、実値と推定値の散布や精度も同様に得られ分析もそれで行う。

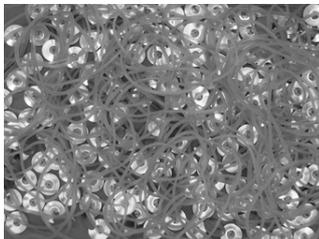


図 4-1 : サンプル画像 (画鋸 200 個, 輪ゴム 100 個)

4.2 障害物の影響評価

混合画像からの対象物堆積量を推定する際、障害物の堆積量による推定精度への影響を、重回帰分析で得られた自由度修正済み決定係数の推移により調べた。その結果、輪ゴムの堆積量が 150 個を超えた時点で推定が困難になる事が分かった。輪ゴム 150 個が画像中

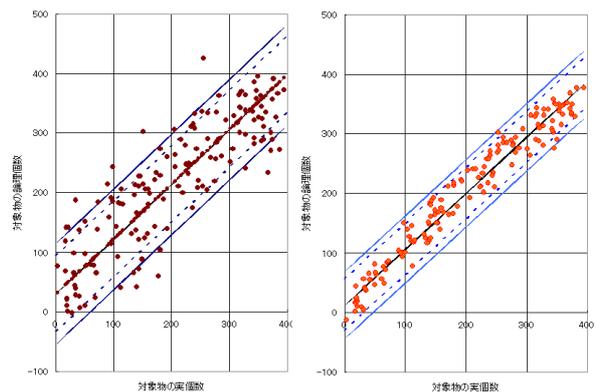
に占める面積の割合は 89.3%であった。このことから、障害物の堆積量が撮像画像の約 9 割程度を超えなければ対象物堆積量の推定が可能である。

5. 画鋸と輪ゴムでの推定

4 の予備実験より、障害物が 9 割以下であれば対象物堆積量の推定が可能であることが分かった。この条件を満たす画像において、基本形状特徴だけを使用して推定した場合と基本形状特徴に新フィルタを追加して推定した場合とで比較実験をする。

5.1 実験方法

4 の予備実験と同じ方法で撮像する。障害物の堆積量が 9 割以下で、堆積個数がまんべんなく散布した画像 328 枚を撮像し、半数の 164 枚をサンプル画像に残り半数を評価用画像に使用する (図 3-1)。画鋸の個数を目的変数としサンプル画像から抽出した rms 値を説明変数とした重回帰分析により推定式を構築し、評価用画像を使って精度を調べる。基本形状特徴だけを使用した場合と新フィルタを加えた場合とで推定実験をした結果、表 5-1 のように新フィルタを加えた場合の方が自由度修正済み決定係数と誤差がいずれも向上した。基本形状特徴のみで構築した推定式の回帰直線が図 5-1 (a)、新フィルタを加えて構築した推定式の回帰直線が図 5-1 (b) である。また、新フィルタを加えて構築した推定式の偏回帰係数と定数項が表 5-2 である。表 5-2 の*が付いている特徴量は新フィルタである。説明変数名の数字はマスクサイズを表している。contrast-11 であれば 11x11 画素を示す。



(a) 基本形状特徴のみ (b) 新フィルタを追加

図 5-1 : 画鋸個数の推定式の回帰直線

構築した推定式のうち、contrast-11, contrast-21 は共に画鋸を捉えているが、contrast-21 は画鋸の周囲を含めて捉えているのに対し contrast-11 は画鋸のある画素を捉え、それらが相殺して画鋸の周囲のみが残ると考えられる。w-hollow-11 は輪ゴムの隙間を捉えている。

表 5-1：画鋏と輪ゴムでの推定精度

	基本形状特徴	基本形状特徴 と新フィルタ
自由度修正済み決定係数	0.964	0.970
誤差(95%信頼区間)	±64.412個	±43.058個
誤差(99%信頼区間)	±84.459個	±56.459個
画鋏最大400個に対する誤差割合(95%信頼区間)	16.1%	10.8%

表 5-2：図 5-1 (b) の回帰直線の偏回帰係数と定数項

説明変数名	偏回帰係数	F値
contrast-21 *	345.5160601	90.26994627
b-snake-5	60.14255615	172.6300218
b-line-7	-15.15925105	25.51061966
b-roof-5	-12.721558	8.229596352
contrast-11 *	-276.677894	40.44104209
b-roof-21	3.824113378	5.533616546
w-pepper-11	4.900341865	6.312936119
w-roof-11	-4.499139975	7.437210023
b-snake-21	1.802323012	3.928520727
b-roof-7	-8.239464566	3.122687065
w-hollow-11 *	-4.443074432	2.054553708
定数項	38.59536842	

6. クローバとイネ科雑草での推定

5 の画鋏と輪ゴムでの推定では、一定照明下において対象物の形状や大きさが一定の理想的な状態で対象個数の推定をし、基本形状特徴だけの場合よりも新フィルタを追加した場合の方が誤差は少なくなることを示した。本研究の目的である実際に植生しているクローバとイネ科雑草において、同様の比較実験をする。

6.1 実験方法

自然に植生している状態のクローバとイネ科雑草を撮像した画像を用いる。撮像には、3 脚にデジタルカメラを固定するアームを取り付け、リモートコントローラを使用して撮像する。撮像条件は、地面からレンズまでの高さを 80.0cm、水平器を使用してカメラを水平に設置し、ストロボを使わずに内径 50.0x50.0cm の赤い枠が画像の中心になるように撮像する。日光の方向は考慮しない。倍率は 1x とし、図 3-2 のようにクローバとイネ科雑草が混同した画像を撮像する。撮影は、撮影期間を 6 月から 11 月と定め、雨天を除きストロボを使わずにはっきりと植物が撮影できる時間帯として、埼玉県と茨城県の公園等で行った。撮影した画像は赤枠内の自然物を全て刈り取り、クローバとイネ科雑草に分けおおよそ 3 日間自然乾燥させ重量を計測する。撮像した画像は、赤枠内部を切り取り、形状情

報が保持されるサイズ（本研究では 330x330）に縮小する。そして、その画像をグレースケール画像に変換し、明度分散値を一定に補正する。撮像した画像は 206 枚である。

6.2 基本形状特徴だけを使用した推定

撮像した 206 枚のうちサンプル画像として 179 枚を使用し、クローバの乾燥質量を目的変数としサンプル画像から抽出した rms 値を説明変数として重回帰分析をし、推定式を構築した。その結果、自由度修正済み決定係数がそのままでは 0.340 にしかなかった。

そこで、障害物であるイネ科雑草が 9 割を超えている画像を除外した 164 枚で重回帰分析を行ったが、自由度修正済み決定係数が 0.369 まで上昇したものの、有効であるとは言い難い結果となった。

推定を行ううえで悪影響を及ぼす原因を検討したところ、砂利や地面の割れ、木や建物の影といった対象物以外の特徴がある状況において推定が困難であるという可能性が高いと判断した。

障害物であるイネ科雑草が 9 割以下で地面の割れや木陰がなく、砂利が比較的少ない状況にある画像で、データ数が少ない重量領域の画像を除外したサンプル画像 100 枚を用意した（図 6-1）。

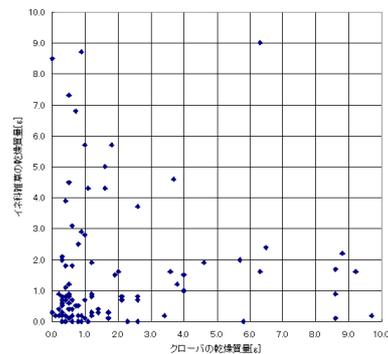


図 6-1：サンプル画像 100 枚のクローバとイネ科雑草の散布図

この 100 枚のサンプル画像で再度重回帰分析を行って推定式を構築し、サンプル画像と同じ条件にある評価用画像 25 枚で推定精度を分析した。その結果、表 6-1 のように自由度修正済み決定係数は 0.818 となり、誤差は 95%信頼区間では±3.292g となった。このときの推定式の回帰直線を図 6-2 (a) に示す。

6.3 基本形状特徴に新フィルタを加えての推定

基本形状特徴だけの場合と同じ、障害物 9 割以下で推定に悪影響を及ぼす原因を含む画像を除外したサンプル画像 100 枚と評価用画像 25 枚で推定を行なった。その結果、表 6-1 のように自由度修正済み決定係数は 0.825 となり、誤差は 95%信頼区間で±2.183g と基本形

状特徴だけの場合よりも向上した。このときの推定式の回帰直線を図 6-2 (b) に、具体的な係数を表 6-2 に示す。表 6-2 の*が付いている特徴量が新フィルタである。

新フィルタが抽出する特徴を図 6-3 に示す。構築した推定式のうち、b-hollow-15 はクローバの葉を捕らえ、w-hollow-5 は草の隙間を捉えている。w-snake-7, b-snake-11, b-roof5 は草全体を捉え、クローバ以外を相殺するように b-hollow-7 が太いイネ科雑草以外の草を、w-hollow-7 がイネ科雑草の隙間を捉えている。

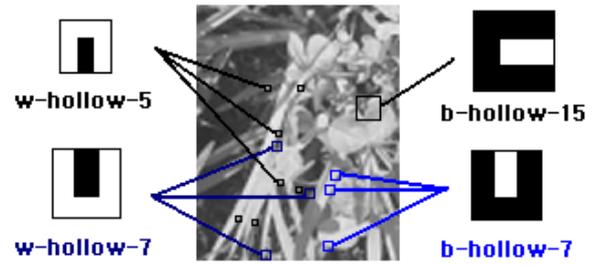
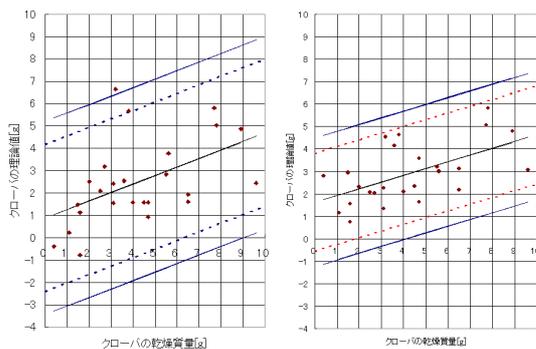


図 6-3 : 新フィルタが抽出する特徴

表 6-1 : クローバとイネ科雑草での推定精度

	基本形状特徴	基本形状特徴と新フィルタ
自由度修正済み決定係数	0.818	0.825
誤差(95%信頼区間)	±3.292g	±2.183g
誤差(99%信頼区間)	±4.317g	±2.863g
クローバ最大質量に対する誤差割合(95%信頼区間)	32.9%	21.8%



(a) 基本形状特徴のみ (b) 新フィルタを追加

図 6-2 : クローバ乾燥質量の推定式の回帰直線

表 6-2 : 図 6-2 (b) の回帰直線の偏回帰係数と定数項

説明変数名	偏回帰係数	F値
b-hollow-7 *	-0.99390	24.94627981
b-roof-21	0.24739	12.90034219
b-hollow-15 *	1.20731	17.98817216
cliff-11	-0.11880	10.94643213
b-hollow-11 *	-1.25270	13.11999529
w-line-5	-0.30677	18.87485444
w-snake-7	0.26782	9.421433021
w-hollow-5 *	0.94805	8.030087416
w-hollow-7 *	-0.56281	3.22046867
b-snake-11	0.17879	12.33946766
b-line-5	-0.47345	9.656640492
b-roof-5	0.16034	4.842106437
定数項	13.62632	

6. まとめ

本研究では、障害物に覆い隠される対象物堆積量の推定を目的とし、障害物の隙間から抽出可能な特徴として物体の物理的な形状に由来する隙間を表す特徴 hollow と Contrast を設計し、堆積量の推定を行なった。

画鋸と輪ゴムが混合した状態の基本形状特徴だけを使った予備実験では、障害物の堆積量が撮像画像の約 9 割程度の量までであれば推定可能であることが分かった。

障害物 9 割以下の画像において、画鋸と輪ゴムといった規格化された人工物においても高い精度で推定できることを示した。

基本形状特徴に新フィルタを加えたクローバとイネ科雑草の乾燥質量の推定では、障害物 9 割以下で砂利や木陰といった特徴が少ない画像を用いて推定した結果、誤差が 95%信頼区間で±2.183g と基本形状特徴だけの場合よりも高い精度で推定できることを示した。

参考文献

- [1] LIN Ta-Te, CHIEN Chung-Fang, LIAO Wen-Chi, CHANG Jen-Min, "Machine Vision Systems for Plant Growth Measurement and Modeling", Environ Control Biol, Vol.44 No.3, pp.181-187, 2006-09.
- [2] 白崎 智義, "船上つり下げ式漁獲網重量の画像計測", 電子情報通信学会論文誌, D-II Vol. J73-D-II No.6, pp.934-936, 1990-06.
- [3] R.M. Haralick, "Statistical and structural approaches to textures", IEEE roc. No.67, pp.786-804, 1979.
- [4] 出口 光一郎, 森下 巖, "テクスチャーの解析手法", 計測制御, vol.16, no.2, pp.184-194, 1977.
- [5] 田村 仁, 阿刀田中一, "自然なテクスチャの特徴抽出用形状通過型非線型フィルタバンク", 信学論 D-II, J82-D-II, 12, pp.2260-2270, 1999-12.
- [6] 田村 仁, 酒井憲司, "撮像画像による物体堆積量の計測手法", 電気学会論文誌C, Vol.124, No.3, pp.647-652, 2004
- [7] 深井 越, 田村 仁, "撮像画像による物体堆積量の推定手法の実験的検討", 第 10 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2007) 論文集, pp.780-785, 2007.