

カラー画像データシステムを用いた二・三の 土壌物理性の判定

谷 脇 憲*

Measurement of some soil condition using the colour frame data system

Ken TANIWAKI

Agricultural Research Center

はじめに

今日の日本の農業においては、稲作に関する農作業の機械化一貫作業体系は一応完成していると言ってよい。しかし、重量機械の走行による鎮圧土層の形成、また、これら機械の走行安定性のために深耕を行なわないといったような作物の生育上には好ましからざる状態が生起している。これらの機械化技術の普及とその栽培上の影響の問題は、精確に研究された例は少ない。

農業研究センターにおいては、これらの機械作業の、土壌や作物栽培上の問題への影響や、農作業上の問題の要因の解析、さらに新たな農作業機械開発のためのテストプラントとして、装置化された圃場と、その上で各種の農作業のために用いられるガントリー（門型クレーンの一種、図-1）を試作し、これらの研究に用いている。

ガントリーは用排水設備の整った4枚の圃場（50×10 m）を管理している。今回はこの圃場で、耕うん砕土作業の自動化及び播種作業管理のために、このガントリー

のカラー画像データシステムを利用して、土壌水分と砕土率の測定を行なった例を報告する。

1. 測定装置

(1) 測定装置の概要

ガントリーを含む計測処理装置及び制御装置の全システム図を図-2に示す。

中央のホストコンピュータは2 M byteの主記憶容量、16 M byteの仮想記憶容量をもち、外部記憶媒体として、システム用680 M byte、ユーザ用に80 M byteの取り外し可能な、磁気ディスク装置と、システムのバックアップや、プログラムの移送用に9トラックの磁

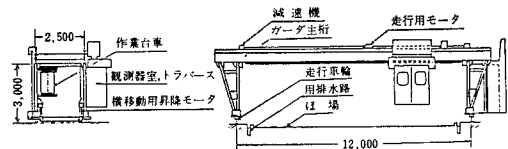


図-1 ガントリーの概要図

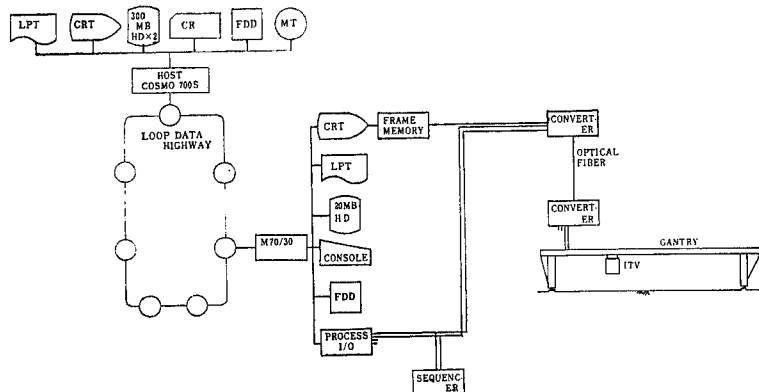


図-2 ガントリーを含む計測処理システムの構成

* 農業研究センター

気テープ装置を備えた中位メインフレームである。ガントリーの計測制御用のミニコンピュータ（以下ミニコン）は、他の5台のミニコンとともに、高速のデータハイウェイを通して、このホストコンピュータに接続されている。これにより、カードリーダーやラインプリンタ等のハードウェア資源の共有とともにプログラムやデータ等のソフトウェア資源も共有できる。

以上のシステムを背景にガントリーには各種の計測装置を取りつけることができるとともに、これらの計測結果から得られるパラメータによってフィードバック制御することが可能である。また、このようなミニコンによる自動運転の他に、シーケンサによる半自動運転、手動運転も可能である。また、作物や土の状態をとらえるためにテレビカメラを1台備えており、4枚の圃場の任意の位置の上方からのカラー画像をとり出すことが可能である。

(2) 画像のとり込みとその校正

画像は撮影管を用いたテレビカメラによってとり込んでいる。得られたビデオ信号は、高速でAD変換され、512×512ピクセル（画素）のフレームメモリ（画像記憶装置）上に蓄えられる。1ピクセルはRGB（赤緑青）それぞれ4bit、計12bitの分解能を持つ。このフレームメモリ上の画像データは、プログラム制御によってミニコンの固定ディスクにとり込まれる。ミニコンの主記憶空間は、256Kbyteでユーザには44Kbyteしか開放されていないため、1画面（512Kbyte）全てを実メモリ上で処理することはできない。このため固定ディスク上に一時保存している。ミニコンの固定ディスク上の画像データは、データハイウェイを通してホストコンピュータに送られ80Mbyteの個人用のディスクパックに保存される。この中に約160枚分の画像を保存することができる。

以上のようにとり込まれた画像データから色を測定する。色の測定は歴史的にも論争が多いが、CIE（国際照明委員会）では参照色に対する比色測定法をとっている¹⁾。ここでは全天からの自然光に対して、マンセルの標準色票のうち、白色と5R4/14の赤色をカメラに見せ、その時の絞りの調整によってRGBの色度座標を校正した。本来は色温度補正をすべきところではあるが、カメラにこの校正装置がないこと、自然光のものである程度の再現性が確保できたことにより、色温度補正は行わなかった。ただ明度を計算する上で、フレームメモリのビット幅が4bitと小さいため16階調の明度レベルしか得られず、校正に手間どった。カメラが撮影管を用いているため、視野に極端に明るいところが現れると、視野内の他の点にも影響が及ぶといったクロストークが大きくなり、正確な測定ができなくなるため、こ

れらは測定対象から除いた。最近普及してきている固体素子カメラ（CCDもしくはMOSカメラ）等を用いればこの問題は少なくなる。

2. 土壌状態の計測

以上のような装置を用い、画像データからいくつかの土壌の状態の観測を行なった。

(1) 土壌水分の計測

耕うんと砕土作業は、実際には天候や労働時間などによって制約を受けるが、土壌がこわれやすいときに行なうことが必要である。

土壌の力学的な強さは履歴的な条件を除けば土壌水分に大きく依存し、土によっても異なるが塑性限界付近にこわれやすい点がある。

このような土壌水分以外の時に耕うんや砕土作業を行なうと、土をねり返したり、土がガチガチの状態の時は砕土できなかつたりして能率が悪くなる。

この耕うん砕土適期の判定に土壌の表面色の変化から推定した土壌水分を用いた。

まず、前記の方法でとり込んだ土壌表面の画像を用い、度数の多い主要な30色を算出し、赤(R)、緑(G)、青(B)の比率の計算を行なった。そして次に、この30色の度数で重みをつけた平均の輝度を計算した。こうして土壌水分の異なる同じ圃場の土について測定した例を表-1に示す。

表記の水分は炉乾法で得られたものである。ここに示した度数は画面内の160×200ピクセルの領域内でのその色の数を示す。この表では主要な3色のみを挙げてある。こうしてみると土の色はrgb色度座標では水分が変わってもあまり大きな変化はなく、輝度に大きな変化が見られることが分る。この様子をグラフで表わすと、色度座標では図-3のようになる。

土の色については近接しており、ワラが離れているようすが分る。次に図-4に水分と輝度の相関を示す。

水分の増加に従って輝度が小さくなる傾向が分る。

実際の圃場での測定では、雑草やワラなどの土以外のものやそのかけなどがあって生の画像データから計算すると大きな誤差となる。

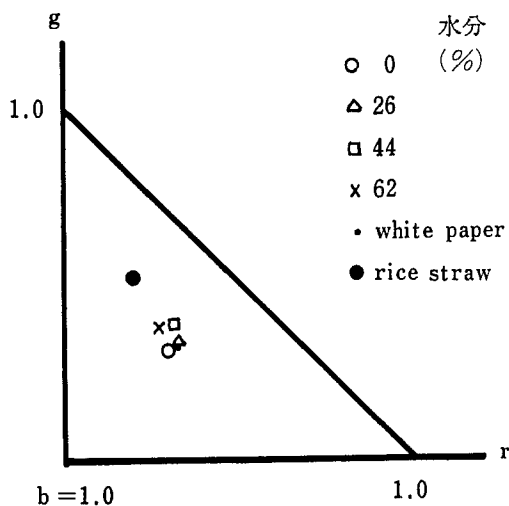
ここでは、土の示す色度座標からかけ離れているものは、論理的なフィルタをかけて除いている。ただ、土以外のものが表面を覆う割合が50%以上になると、クロストークが過大となるので、トラバースを動かして測定点を変更して測定しなおした。

こうして得られる土の状態についての指標は人間の目で見た感覚に近いものである。

ただ、この測定では水稻作後の水田で、表面に若干のひび割れ等の起伏はあるものの、ほぼ平らな状態の土の

表一 土壤水分の違いによる RGB の度数

水分 Wb (%)	R	G	B	度数	輝度	r	g	b
0	13	15	13	8176	0.902	0.325	0.325	0.350
	13	13	13	7653				
	14	15	14	3734				
26	7	6	6	4855	0.438	0.331	0.355	0.314
	7	6	7	3544				
	7	7	7	2035				
44	6	6	6	4116	0.426	0.328	0.344	0.328
	7	6	6	3010				
	7	7	7	2833				
62	5	4	4	9384	0.278	0.275	0.381	0.345
	5	5	4	5658				
	4	4	2	5012				
白紙	15	15	15	31360	1.000	0.333	0.333	0.333



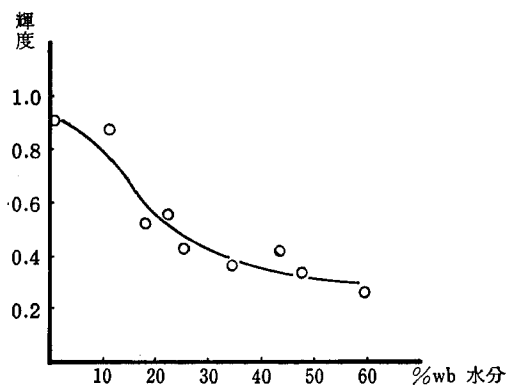
図一 色度座標上の土壌の色

場合に有効であり、畑土壌のように団粒や粒子状の土の集まったものについては困難が多い。

(2) 碎土率の測定

耕うん碎土した後の土の碎土状態は、作物の発芽・苗立といった初期生育に大きな影響を与える。碎土状態が良くない場合には、ロータリをもう一度かけるとか、ドライブハローで細かくするなどして好適な播種床にする必要がある。こういう播種床の状態の適否を判別して作業を決定するために画像データを用いて碎土率の測定を行なった。碎土率の測定には白黒の画像データを用い、これを2次元フーリエ変換²⁾して得られるスペクトル密度の高周波成分と低周波成分の比によって求めた。

この2次元フーリエ変換は、作物の形状認識等のため



図一 輝度の変化

に用いているもので、ロータリによる碎土後の圃場のよりに土壌の表面が方向性を持たない(等方性)場合には一次元のフーリエ変換でよい。計算機上でのフーリエ変換のアルゴリズムは、離散型の有限フーリエ変換であり、サンプルの点数が 2^n (n は整数)であれば高速フーリエ変換法³⁾(FFT)が使えるので、画像は 256×256 の領域を用いた。このFFTを用いて碎土率を導き出した過程を次に示す。

まず、光が斜めから土塊に当たる場合を考える(図一5)。一連の土塊の表面には明るい所と暗い所ができ、これを映す撮像管には輝度レベルの波ができる。この輝度レベルの波の位置についての周波数を空間周波数といい、光源の角度が変わっても空間周波数は変わらない。この波の空間周波数についてのフーリエ変換によって級数展開を行えば、低周波から高周波にかけてのスペクトル分布が得られる。画像の1ピクセルの大きさを a mm とする

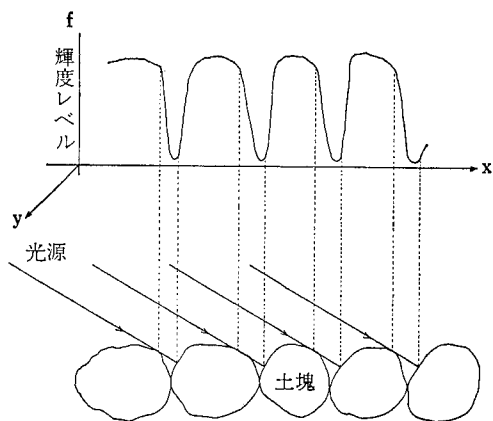


図-5 輝度の波の模式図

と、空間周波数が $10/a$ 以上のものの全体に対する比率によって、10 mm 以下の碎土率が決定される。

以上は一次元の級数展開によって碎土率を得る方法で、2次元FFTでは、得られたフーリエ変換値に次の範囲をマスクして計算した。

$$\begin{cases} 0 < u \leq 16.7 & \text{かつ} & 0 < v \leq 1 \\ 0 < v \leq 16.7 & \text{かつ} & 0 < u \leq 1 \end{cases}$$

ここで u は x 軸方向の、 v は y 軸方向の空間周波数であり、 $a=0.6$ mm より $10/0.6=16.7$ を得ている。

このようにして得られた碎土率と、従来のフルイを用いて測定して得られた碎土率を比較したものが表-2である。

表-2 フルイとの比較

	碎土率 (1 cm 以下の土塊の割合) %				
	1	2	3	4	5
フルイによるもの	90	78	65	56	44
画像を用いたもの	82	74	63	58	56

ここでは目の粗さが1 cmのフルイを用いた。この表を見ると番号2・3・4のものについてはある程度良い対応を示すが、1と5についてはかなりかけ離れた値を示している。これは1については土がサラサラの状態、表面の明暗が1ピクセル0.6 mmという画像システムの分解能よりも細かい土粒があるために、誤差が出るものと考えられる。また、5の土が粗い場合についてはフルイで測定する場合には一つの土塊となるものの、土塊の表面に凸凹があって、このため細かい土塊の成分が増えるために精度が悪くなると考えられる。

また、土塊が降雨後のように湿りすぎて小さな水たまりができるような状況では精度が悪化した。

以上のように碎土率の測定は、必ずしも満足のいくも

のではないが、従来の採土による方法に比べて簡便である。また、播種床に必要とされる碎土率は1 cm以下の土塊の割合が60%以上という従来の指標に従えば、この領域での測定で精度はそれほど悪化しないので実用上は大きな問題はないと思われる。

以上、ガントリーとそのカラー画像データシステムを用い、画像の色から土壌水分を、その表面のテクスチャから碎土率を求める方法を紹介した。このソフトウェアは6月と11月の耕うん碎土時に用いられ、作業判断の際の従来の人間の目を代替してきている。ただこのシステムは計算に多大の容量と時間を要する。簡便なカラーセンサや、BSO素子などを用いた画像処理法の実用化がなされれば、計算時間や容量の大幅な低減が可能であり、実用上の問題も少なくなるとと思われる。

引用文献

- 1) 池田光男 (1980) : 色彩工学の基礎, p.54~58, 朝倉書店.
- 2) William. K. Pratt (1978) : Digital Image Processing, p.235, John Wiley Sons, New York.
- 3) 三菱電気 (1977) : 数値計算サブルーチン・パッケージA, p.141~142.
- 4) 吉田健一, 小野公三, 西脇由和, 津野浩一 (1980) : 住友電気第117号, p.148~156.

質疑応答

川島 (農技研) 2次元フーリエ変換の意味とその解釈のしかたをもう少し詳しく説明してほしい。

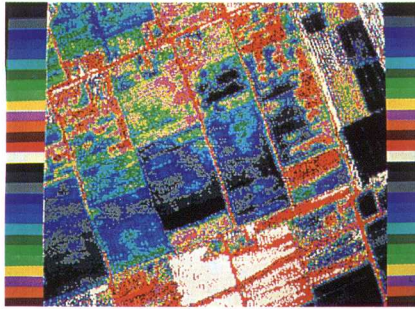
谷脇 今の場合、高周波成分を用いたが、本来は低周波成分を用いる。画像の特徴の抽出に使われる。

井上 (鳥取大) 真上から見る装置を用いて土壌水分を土壌の色で判定しようということだが、太陽光の影についてはどう対処して土壌水分の補正を行うのか。

谷脇 高周波成分を除いた後のデータで処理しようと考えている。変化が無いときの対応表と変化するときの輝度の分布からみたい。土壌水分は、碎土後より碎土前のものを知る必要がある。このとき、田面は一般に平坦で、表面はワラが有るぐらいで、ある程度平面と考えている。作物の影は明らかに暗い輝度が出るので除去できる。逆に、明るいものがくるとその周辺の土が暗くなるので、このノイズは問題である。

寺沢 (農技研) 関連したことであるが、土壌物理でマイクロストラクチャー (微細構造) を顕微鏡でみて写真とり一次鉱物やアグリゲートなどを判別しているが、その数量化に應用できるのではないか。

長野間 (農研センター) 偏光顕微鏡でみたときの数とか面積などを画像処理できないか。



White	:	-----	2.1%
Red	:	2.1-----	7.5
Orange	:	7.5-----	8.5
Dark brown	:	8.5-----	10.7
Pink	:	10.7-----	11.8
Yellow	:	11.8-----	12.9
Light green	:	12.9-----	15.0
Green	:	15.0-----	16.1
Dark green	:	16.1-----	18.2
Light blue	:	18.2-----	20.4
Blue	:	20.4-----	23.6
Dark blue	:	23.6-----	27.9
Purple	:	27.9-----	34.4
Gray	:	34.4-----	41.9
Dark gray	:	41.9-----	61.3
Black	:	61.3-----	

Photo. 1 Distribution map of soil moisture ratio using SI.
(by aircraft MSS data, 1980.6.28)

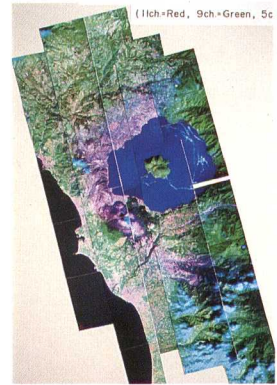


Photo. 4 False-color image around Mt. Usu.
(by aircraft MSS data, 1977.8.30)



Yellow	:	Rice
Red	:	Wheat
Pink	:	Beet
Sky blue	:	Bean
Dark blue	:	Onion
Yellow green	:	Grass
Blue	:	Water
Green	:	Tree
White	:	Strip ground
Black	:	others

Photo. 2 Land-cover classification in dry fields area
converted from paddy fields.
(by digital image data from aerial infrared-color film)

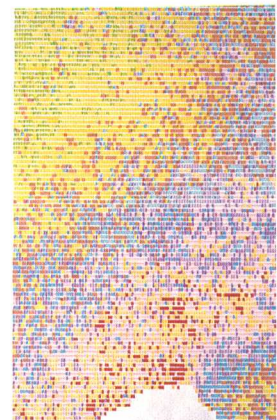
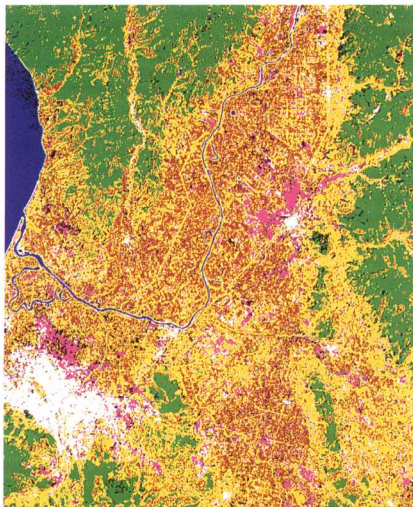


Photo. 5 Distribution map of ash-fall formed by
Mt. Usu eruption. (Mukodoya district,
by aircraft MSS data, 1977.8.30)



Red	:	Paddy fields	White	:	City or town
Yellow	:	Dry fields, Grass land	Blue	:	Water
Purple	:	Strip ground	Black	:	others
Green	:	Forest			

Photo. 3 Land-use classification in Ishikari plain.
(by LANDSAT MSS data, 1980.9.19)



Red	:	less than 350kg/10a
Yellow	:	350~400kg/10a
Green	:	400~450kg/10a
White	:	more than 450kg/10a

Photo. 6 Distribution map of rice yield in Ishikari plain.
(by LANDSAT MSS data, 1980.9.19)

谷脇 数をかぞえるのは容易だが、キャリブレーション上、どういふ写真を用いるかが問題である。たとえば、参照光が当たる色がかかっているとその色が反射光に入ってくる。その写真の見方がむずかしい。その後の入ってきたデータの処理は容易である。4096色の表現ができ、その全部をソーティングするプログラムをつくっており、それにかかる時間は5分間くらいである。

雨宮 (東京大) 画像処理装置は今いろいろなものが出ているが、ここでの 512×512 ピクセル (画素) のも

のが多いと思う。この装置は深さが4ビット16段階と思うが、この場合、たとえば土について (処理を) 行うとどの程度まで判別できるか、またはこの程度のもので十分かどうか教えてほしい。

谷脇 正直いって今の装置ではビット巾が少し足りない。画素数よりもビット巾を大きくした方がよい。それと共に、撮像管の特性が大きく効くため、オートレンジングを考えており、参照光に対して判断して絞りを決めるようにしたい。