

発掘された陶磁器の図上復元資料の電子化とその利用

坪川武弘¹・荻野繁春²

福井工業高等専門学校(一般科目・自然系)¹

福井工業高等専門学校(一般科目・人文系)²

発掘された壺や甕などの陶磁器図面をイメージスキャナーで電算機に取り込み、その大きさ、容量、粘土量等の数値データを簡便に得る手法の開発を行った。電子化された画像データは時代の自動判別や構造力学的な解析など様々な分析のために利用可能となった。さらに陶磁器の年代・産地等の情報とともに画像を載せたデータベースを構築することとした。このデータベース化は今後の図面保管と新たな考古学研究の基礎資料作りを意味する。

Computing and Utilizing the Image Data of Ceramic Drawings

Takehiro TSUBOKAWA¹, Sigeharu OGINO²

Fukui National College of Technology, General Education, Natural science¹

Fukui National College of Technology, General Education, Human science²

We have developed the FNCT-VCal System which it scan the drawings of ceramics excavated at the sites into the computer memory and calculate vessel volume and clay volume, vessel height and so on. The computerizing image data of drawings has made it possible to utilize as data for a variety of method to establish a chronology for ceramics and analyze the strength and structure of ceramics using the Structural mechanics. Furthermore, we have created the database of drawings and the information of dates and production centres of ceramics. This database will be useful for storing the information of drawings and utilizing as a fundamental data for an archaeological study in the future.

1. はじめに

考古学において発掘される壺や甕などの陶磁器は、用いられた時代と地域についての生活と文化との全般にわたる重要な情報をもたらす貴重な資料である。発掘される陶磁器のほとんどは膨大な分量の破片の状態であるが、破片の中から人手を経てその一部が図上復元されている。さらに図上復元された中の特徴的と見なされた一部の陶磁器が報告書等で公開されている。公開されている資料からも、その大きさ・容量・粘土量・形・文様などを通じて多くの情報をもたらされる。このように図上復元された陶磁器のごく一部だけが研究者の目に触れるのであるが、作成された多くの図面は発掘を行った教育委員会等の関係部署にそっと保管されたままになっている。これらの図上復元された多数の陶磁器は、一点一点が多くの労力と人手をかけた貴重な文化遺産と言えるものである。これらの図面を広く公開しまた保存し

ていくことは今後の研究のための大切な基礎資料となるものである。

筆者等は文部省科学研究費・重点領域研究「人文科学とコンピュータ」(1995年度～1998年度)の補助をうけ、陶磁器の図面データをコンピュータに取り込み分析するシステムの作成を手掛けた。同時にこれらのデジタルデータを蓄積し多くの研究者がアクセスできるためのデータベースの構築を行ってきた。また、この開発期間に実用的なシステムとしても稼働させることができ、縄文時代の典型的な大型遺跡である青森県三内丸山遺跡の土器データ分析に使用することができた。この論文では現在までの本研究の到達点と今後の標準化データ保存について議論する。

2. 本研究開始当初の問題意識

発掘された陶磁器の破片は、可能なかぎり例えば壺や甕として立体的に復元される。復元された陶磁器は正確に図面として記録される。復元が不完全な場合にも不足する部分を破線等で補うなどして図面化される。この図上復元された陶磁器が研究の最も基礎的な資料となっている。各遺跡の発掘報告書には特徴的な陶磁器を選び同種の点数とともに掲載される。図面は陶磁器を立てて正面から見た図(正面図)の場合が多いが、真上から見た図とセットにしている場合もある。図面は方眼紙または白紙を用いて手書きされるもので、作図に用いた補助的な数値や線が記入されている場合もある。報告書にはこの図面とともにその縮尺を示す目盛りとが示されている。筆者の一人(荻野)は1980年代からこのような図面を手作業で計測しその体積等を求めていた。近年は各地域で多くの発掘が実施されるようになり、それに応じて膨大な陶磁器の図面が作成されている。公表される図面の点数も飛躍的に増加する中、手作業での計測では追いつかない状態であった。

そこで私たちの最初の目標は、図上復元された陶磁器から各種の必要な容量を自動的に計算するための効率のよい方法を探ることであった。そのための道具として着目したのが高精度のイメージスキャナーとコンピュータであった。1995年当時これらはかなり安価に手に入るようになっていた。約1年程度の試行錯誤で図面の電子化と計測を行う初歩的なシステムができた[1]。その後実用的なシステムへの改良とともに、陶磁器を解析するいくつかのツールの開発に取り組んできた[2][3][4]。一連の研究の中で一旦電子化されたデータはさまざまな利用が可能であることが分かってきた。同時に、今後の陶磁器研究のためには多くの発掘結果を集約し電子的に保存していくこと、利用しやすい形にそれらをデータベース化することが必要であることを痛感するに至った。

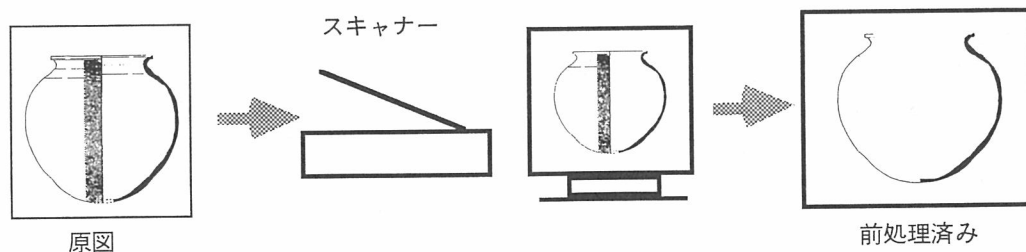


図1. 図面の読み込みから前処理まで

3. 図面データから体積等を得る解析手法

図面を電算機に読み込み輪郭線を得る必要な数値を得るための方法を順をおって説明する。作業の流れを図1に示す。

(1) 陶磁器の図面(立面図)は表面の文様とともにその中心を通る切断面が極めて精密に描かれている。私たちの手に入る図面は元の陶磁器の原図を1/1から1/20程度にコピー機で縮小した図である。これを300~600DPI(dots per inch)の機械精度をもつA4版スキャナーで読み取る。ソフトウェア補間ではあるが機械精度内でDPI値が細かく設定できる。この機器を用いて、白黒2値データとして図面を読み取る。描かれた図面のペン幅は誤差として許容せざるを得ないので、読み取った1つの点が0.5ミリ程度は精度をもつようにDPI値を設定する。しかもファイルの容量があまり大きくならならないようにすることも後の処理にとって大切である。そのような調整により、A4判イメージスキャナーを用いると原寸で2メートル超の大きさから数センチの大きさまでの陶磁器を処理できるようになった。報告書で縮尺に際し目盛りも一緒に載せている場合、その目盛りのドットの数から逆に1つの点の大きさを求めるようにしている。光学的な部分で発生する鏡面収差等の誤差がどの程度になるかは、実際に用いる機器を使って実験してみた。この研究を開始した時期(1995年)の数十万円程度のアナログコピー機や高精度と称するスキャナーなどを用いた実験では、結果に影響を与える誤差はほとんどなかった。ただ、同じ図面を用いて実験するとイメージスキャナーはメーカーや機種によって微妙な差異があった。

(2) 壺・甕の図面は中心線に対してほとんど左右対称である。つまり立体的には回転対称と見なせる。ロクロを用いて作成したものは回転対称としてよいであろう。しかし、手びねりで作られた1メートルもの大きな壺・甕でも回転対称かという疑問もある。例えば中世以降、かなり厳格に大きさを定めていたということと考慮すると、対称性を仮定してもよいと判断できる。従って私たちが扱う時はほとんどの場合、「図面は左右対称で立体的には軸対称の回転体」と仮定することとした。この仮定にあてはまらない図面もあるが少数である。それらは別に処理しなければならない。

(3) 読み取った原図から文様を消去したり欠落部分を補間するなどの操作を施して輪郭線を得るための計算用図面を作る。この作業は手書きの線が描かれている原図まであって差異が大きく、プログラム化できるような一般的なアルゴリズムを考え

```
=====
k (cm/dot) = 0.0755668
Height      = 80.5542
Top Width   = 50.7809
Bottom Width = 36.4988
Bottom Thick = 1.8136
Outer Volume3 (cm^3) = 261470.
Inner Volume3 (cm^3) = 232371.
Clay Volume  (cm^3) = 29099.7
=====
```

図2. FNCT-VCal System 出力

ることができなかった。そのため、この前処理を汎用の画像処理ソフトウェア (Adobe Photoshop)を用いて人手で行うこととした。

(4) 前処理がすんだ画像ファイルを対象として、本処理を数式・数値処理システムのMathematica上にてプログラムを組んで行っている。本処理では最初に内側と外側の輪郭線の抽出を行う。容器の大きさ(高さ、口径、最大径など)は輪郭線の座標から直接得ることができる。次に軸対称の回転体と見なして体積を求めるが、薄い円すい台を積み重ねて計算する。外側の輪郭線を回転させた体積と内側の輪郭線を回転させた体積を求めその差として粘土量を求めている。求めた諸量と図面のグラフを計算後表示させるようにしている。結果の出力例を図2に示す。

(5) このシステムを用いて、破損の無い完形品でその図面から求めた容量と実際に水を入れて計った容量との比較をいくつか行った。その結果によると誤差は3%程度であった。十分実用に耐える精度であるといえる。この精度を生み出しているのは図面の正確さに負うところがおおきいと私たちは考えている。この一連の処理システムをFNCT-VCal Systemと命名している。

4. 得られた電子化されたデータの利用とその管理

FNCT-VCal Systemで得られた輪郭線その他の電子化された数値を加工するためのプログラムはMathematica上で簡単に付加することができる。陶磁器の大きさや体積などの基礎資料を得ることに加えて、次のようなデータの利用法を考案しプログラムとして実現してきた。

(1) 形-高さ-容量関係のグラフ化と関数化

容器の底から口までの最大容量だけでは不十分である。実際にそれらの容器が用いられた場合の「使用容量」をこそが知りたいのである。そのためにはどこまで物を入れたのかが分かっていることが望ましいが陶磁器からは手がかりが得られない場合が多い。実は何を入れるのに用いたかも判明していない容器もある。従って容器の形状を見ながらどのあたりまで入れたのかを判定できるような工夫が必要である。そのような予測がつくように、底からの高さで容量の関係の形とともに表すのが实际的である。そのためのグラフィカルな表示法を採用した(図3参照)。また、底から高さを与えた時、その容量を得るために、容量を高さのn次関数として表現す

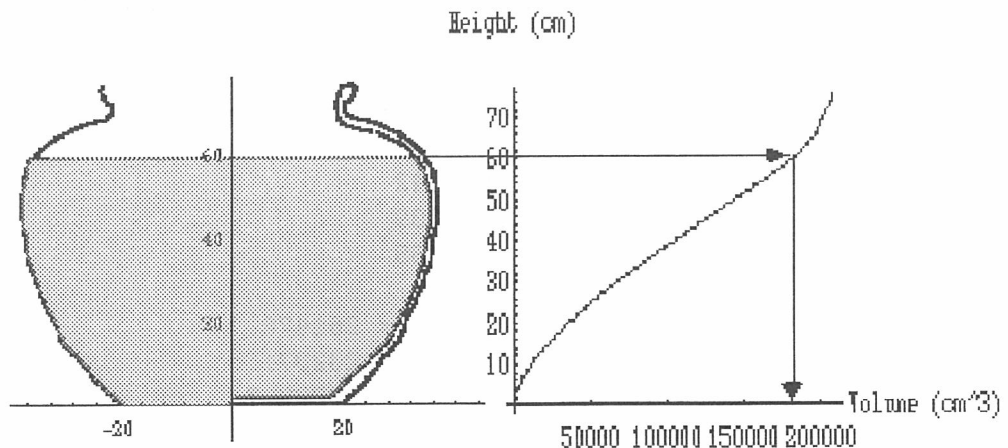


図3 底部からの高さで容量

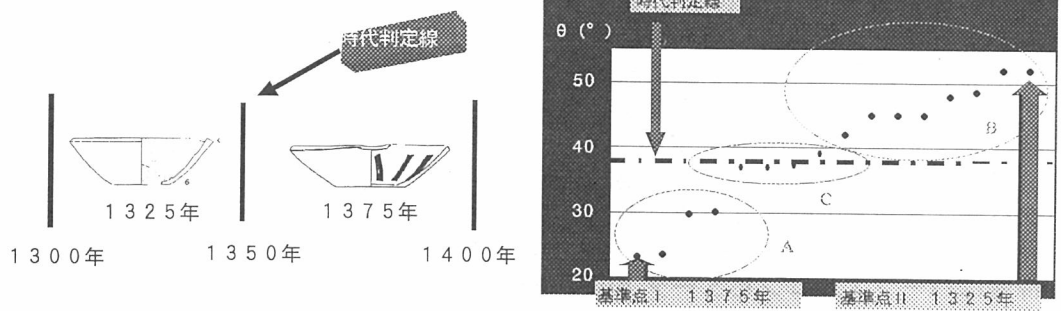


図4 口縁部に着目した播鉢の時代判定

ることとした。陶磁器の形状にもよるが、概ね n は7~9程度が適当である。また、用いる単位も容易に変更できるようにしている。

(2) 形状-時代の判定法

専門の考古学者が陶磁器の形状を見て生産年代と産地を判断することができるのであるが、電子的にそのような判定を行うことは基準の普遍化を可能とするものである。その試みの1つとして、比較的簡単な例としてすり鉢の口の形状を数値化し、時代判定を統計的に行う方法を開発した。これは容器の口縁部に着目してその時代変化を数値化するものである(図4参照)。

(3) 陶磁器の構造力学的特性の数値化

数百リッターの容量を有する大きな壺や甕のもつ物理的な強さを数値的にとらえてその形状の変遷と合理性を調べるために、構造力学的な特性を有限要素法によって数値化する手法を開発中である。

(4) 電子化された図面データの管理

数千点から数万点に及ぶ陶磁器の図面が存在し利用可能であるが、私たちが電子化しているのは三内丸山遺跡の図面約500点を始め中世の陶磁器数百点である。現在の図面処理システム(FNCT-VCal System)の全体像は、読み取り用スキャナーと処理作業用のコンピュータ5セットをLANで接続し加えて数台の本処理用コンピュータで作業を分担するものである(図5参照)。これによって最大で1時間あたり100枚程度の処理が可能となっている。前述の三内丸山遺跡の図面処理は1996年の夏に3セットの読み込みと2台の計算用コンピュータを使用して実質3日間で処理したものである。読み込んだ画像データは各図面2種類(処理前の図と計算用の図)保存している。数値データや属性は別に表形式で保存している。このシステムでの処理が増えるに伴い膨大な画像と関連する属性をうまく管理し保管する作業が不可欠となってきた。

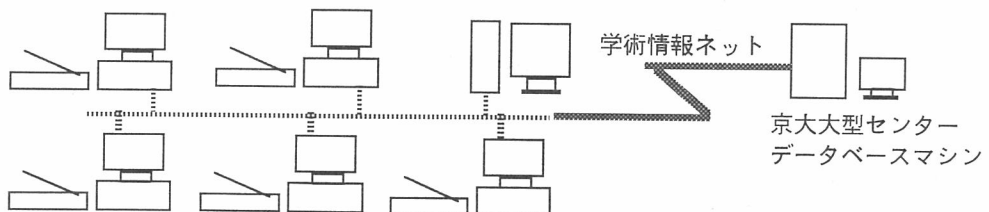


図5.FNCT-VCal Systemと大型センター

5. 図面の画像データを含むデータベースの構築

ネットワークを利用した大型機をサーバーとするデータベース化は、今後の発掘陶磁器データの研究を行う上で決定的な重要性を持つものと思われる。以下、データベース構築の現状と今後の展開についてのべる。

(1) 現在利用しているデータベース

発掘された陶磁器について主要な結果をほぼ網羅した文字・数値を中心とするデータベースを筆者の一人はすでに開発し活用している。これは、産地・年代・形式・発掘点数等250以上のフィールドをもつ収容レコード一万点近いデータベースである。稼働はパーソナルコンピュータ上のデータベースソフト(File Maker)で行い、表計算ソフト(Excel)と連携させて複雑な抽出・検索作業をこなしている。手元の計算機環境で定型業務を多くのスクリプトとして自動化している。このデータベースの基礎資料の一つとしてFNCT-VCal Systemの結果が用いられている。これは陶磁器データ分布解析用の研究者向きデータベースである。

(2) 大量の図面データ処理の必要性

規格化された陶磁器はその代表的なものを何点か読み込んで検討をくわえればよいので、そう多くの図面処理は必要ないように思われる。が実はそうではない。壺・甕などの陶磁器はその種類と大きさの多様さ、産地毎の窯の多さ、年代による変化などを考慮するとやはり膨大な点数となる。統計的にも有為な結果を得ようとすると数千点にのぼる図面を処理する必要性がでてくる。「規格化」がなされているのは狭い地域と年代であって、陶工が代替わりをすると違ったものになることも珍しくはない。

(3) ネットワーク利用を前提としたデータベースの開発状況

電子化された図面データは点数が増えるに従ってその管理が困難になる。電算機の更新に伴って散逸する危険性も無視できない。私たちは汎用性のある画像を含むデータベースを京大大型計算機センターの支援をうけて開発中である。このデータベース開発のねらいは、① 図面データの管理と保管、② 他の研究者・研究機関とのデータの共有、③ 専門家以外への文化遺産の公開である。陶磁器を中心にした研究者用に公開されているデータベースは現在のところ見当たらない。どちらかという土地味なデータベースなので、最初の開発目標はすでに電子化している三内丸山の縄文式土器を基に行うこととした。

(4) データ標準化の基本方向

上記(3)のねらい①と②にとって重要なのは、データベース概念の明確化とその下の基本的な入力データの標準化やデータ構造の設計である。私たちが描く汎用陶磁器データベース活用の理想は、図6に概念を示す次のようなものである。

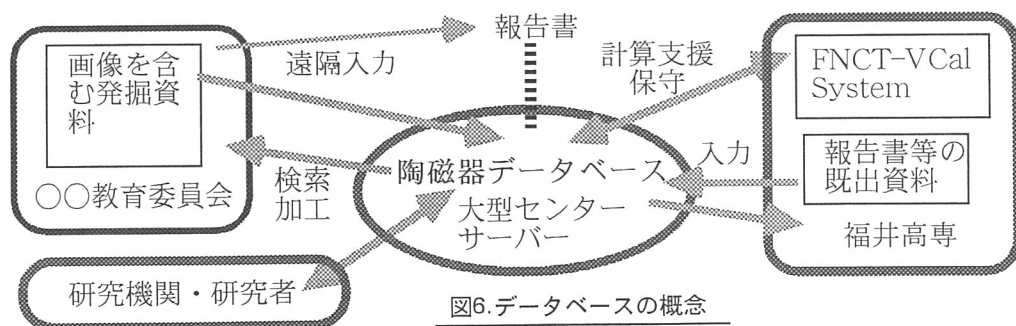


図6. データベースの概念

直接発掘と図面作成を行う教育委員会等の研究機関がその研究所から陶磁器データベースへアクセスし、画像も含めてデータ入力を行う。その入力したものが報告書の一部と見なされる。それらの画像データをFNCT VCal Systemで計算を行い、結果を特徴として付加していく。データを利用する研究者は陶磁器データベースから必要なデータを引きだし分析する。分析して得られたもので他の利用者にも有用と思われる性質は再び陶磁器データベースに付加してもよい。

私たちが現在使用しているデータベース(SymfoWare)とウェブ上の操作プログラム(Weblink)を用いて上記の概念を実現するにはまだ技術的な障壁がある。主な問題点は、画像データの遠隔地からの入力、とりわけウェブ上からの入力の困難なこと。逆にデータベースからの検索結果等の要求をファイルで利用者へ送ることの困難なこと等があげられる。しかし、画像はメールで送り管理者が入力をするなどの方法によって回避も可能である。

さて、汎用陶磁器データベースが研究のためのツールとして重宝するためには、可能な限り多くの情報が収録されていることが望ましいが、データの分析のしやすさも極めて大切な点である。この「使い勝手のよい」データベースはユーザー・インターフェースの問題というよりは、データを様々な角度から分析し加工することの容易さにある。分類できないものの取り扱い、新たに分類せねばならない場合の拡張など、研究の進展とともにデータベースは改変されていく。

実際の汎用陶磁器データベースは、単一のデータベースですべての発掘物を網羅する形はとらない。共通のフィールドと独自のフィールドの両方をもったデータベースの集合体として陶磁器データベース群を構築することとなる。縄文時代・弥生時代・古墳時代・中世等のいくつかのデータベースの基本群と、更にその中の細分化されたデータベースとをもつデータベースの集合体形式とする(図7参照)。このための共通フィールドの設定は、産地・年代・陶磁器分類・その他、(1)の既存データベースをもとにして各項目を細分化して行う。独自フィールドは個々のデータベースが対象とする陶磁器に特徴的なものを扱う。縄文式土器ならば、他の時代とは異なり「東北北部型式」「東北南部型式」などのフィールドが必要となる。

画像の取り扱いについては、電子化された図面を将来にわたって残すことを基本とし、図上復元された図面を1/1~1/20に縮小コピーしたものを300DPIを標準としてイメージスキャナーで取り込む。この図(原図)をもとにFNCT-VCal Systemで利用する計算用の図面を作成するが、原図と計算図は正確さのため画像劣化を招かない形式で保存する。ネットブラウザ用の圧縮した図面等も保存可能とする。

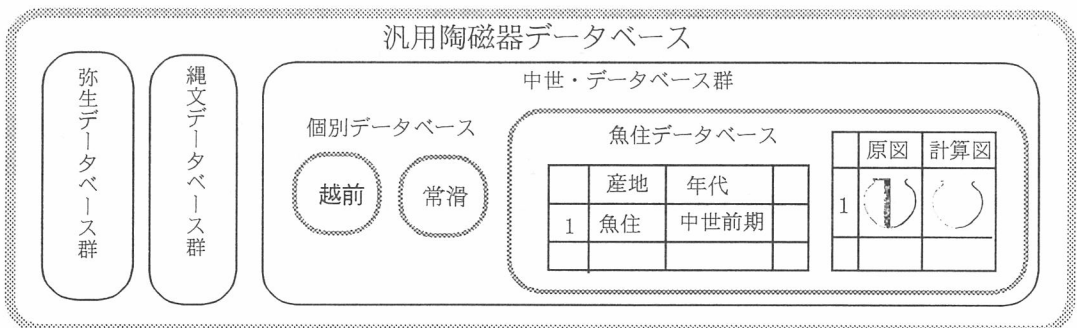


図7 データベース群の関係

一般公開用のデータベースは「見て楽しい」ものとして準備する。現在作成中の三内丸山縄文式土器データベース作成は、研究用と一般公開用の両方のための試行である。

6. まとめと今後の課題

私たちは多くの図面を素早く大量に電子化し体積等を計算するシステムを構築してきた。このシステムFNCT-VCal Systemは当初の目的を基本的に満たすものである。得られた情報のデータベース化は現在着手中である。画像のいろいろな方面からの解析は今後も続けていく。電子化された図面データの収集とその利用に関する規格化を現在利用しているデータベースをもとに行っている。考え方の基本点は5の(4)に示した通りである。データベースの発展方向その実現方法を今後提案していきたい。

7. 参考文献

- [1] 荻野繁春, 坪川武弘, 「重点領域 人文科学とコンピュータ 一壺・甕にどれだけ入るか画像から計測するシステムの開発とデータベースの構築一」, 文部省科学研究費補助金1995年度研究成果報告書, pp543-552 (1996)
- [2] 荻野繁春, 坪川武弘, 「容量・粘土量をコンピュータで計測する」, 文部省科学研究費・重点領域研究「人文科学とコンピュータ」総括班(総合研究大学院大学) 『シンポジウム 考古学とコンピュータ 一三内丸山をコンピュータする一』, pp39-44 (1996)
- [3] 荻野繁春, 坪川武弘, 「壺・甕の容量・粘土量を画像から自動算出するプログラムの開発」, 文部省科学研究費・重点領域研究「人文科学とコンピュータ」イメージ処理班(立命館大学) 『シンポジウム 人文科学とコンピュータ』, pp33-40 (1996)
- [4] 荻野繁春, 坪川武弘, 「重点領域 人文科学とコンピュータ 一壺・甕の容量・粘土量を画像から自動算出するプログラムの開発一」, 『文部省科学研究費補助金1996年度研究成果報告書』総合研究大学院大学CD-ROM., (1997)
- [5] 荻野繁春, 坪川武弘, 「重点領域 人文科学とコンピュータ 一壺・甕の容量・粘土量を画像から自動算出するプログラムの開発一」, 『文部省科学研究費補助金1997年度研究成果報告書』総合研究大学院大学CD-ROM, (1998)
- [6] 荻野繁春, 坪川武弘, 「重点領域 人文科学とコンピュータ 一壺・甕の容量・粘土量を画像から自動算出するプログラムの開発一」, 『文部省科学研究費補助金1998年度研究成果報告書』総合研究大学院大学, pp259-268 (1999)