

# 歯科矯正学における頭蓋骨図形処理について

金森吉成\* 増永良文\*\* 藤岡芳夫\*\*\* 城戸健一\*\*\*

(\* 東北大学歯学部, \*\* 通研, \*\*\* 応情研)

## 1. まえがき

歯科矯正学では、診断において顎顔面頭蓋の形態的特徴を把握することが重要な問題の一つになっている。通常この作業を頭部X線規格写真(セファログラム)を用いて行なっている。

頭蓋骨は15種類の骨から23個集まって構成された複雑な形をしている。セファログラム上から顎顔面の形態を正確に読み取ることは、かなりの熟練を必要とし、矯正学の専門医でなければ一般的に困難である。

従来、セファログラムからの顎顔面頭蓋の形態解析では、タブレットを用いて特定の特徴点を入力してパターンを解析するという方式が用いられてきた。これに対して、著者らは専門医がセファログラム上から透写した線図形(頭蓋骨図形)を入力して、特徴点、特徴量を自動抽出してパターンを解析するというシステムの開発を行なってきた[1, 2, 3]。当然のことながら、このシステムは特徴点、特徴量が研究の進展によって変更しても頭蓋骨図形から容易に再抽出できるので柔軟性がある。

矯正治療は症例によっては、10数年間にも及ぶ長期間の治療となるためにセファログラムの収集、症例管理が重要である。また、最近X線被爆量の観点からセファログラムの撮影をなるべく減らす方向にあり、過去に集めたセファログラムを有効に利用することが必要になってきた。このような状況から、頭蓋骨図形のデータベースを作成することが重要な課題となった。そこで、昭和54年度から頭蓋

骨図形の研究向きデータベースシステムの開発を始めた[4]。

本報告では、今までに研究してきた頭蓋骨図形のパターン処理と現在開発中である頭蓋骨図形のデータベースシステムについて概要を紹介する。

## 2. 頭蓋骨図形の処理過程[1, 2, 3]

入力する頭蓋骨図形の例を図1に、処理過程を図2に示す。

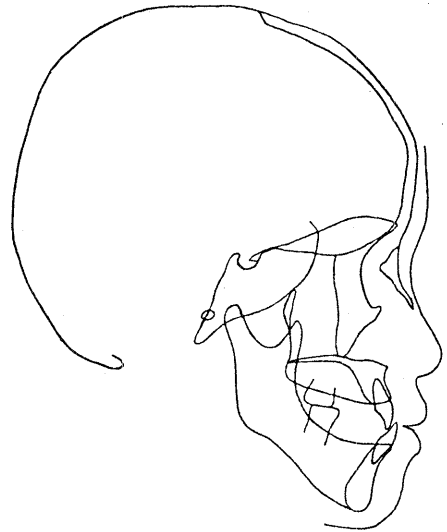


Figure 1 An example of skull line drawings

### 2.1 入力, 細線化, グラフ化

頭蓋骨図形はアセテート紙上に鉛筆で描いたものであり、比較的細い線分から成る。ドラムスキヤナを用いて、 $0.2 \times 0.2 \text{ mm}$ の精度で入力している。図形の大きさは、最大で約 $1050 \times 1500$ 点である。

入力図形は2値化される。

### Skull Line Drawings

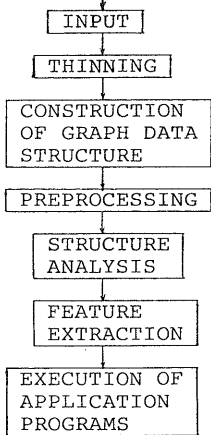


Figure 2 Outline of skull line drawings processing

ここで、値1画素が全画素数の約2%程度であることから、入力図形は値1画素の座標値のみをドラムスキナのスクリーン順に格納するというデータ構造にした。

細線化は、Helditchの3重結の方法で行なっている。

細線化図形から節と弧を抽出し、図形をグラフ表現する。グラフ表現した線図形は、(1)グラフ構造テーブル(2)節情報テーブル、(3)弧情報テーブル、(4)弧構成画素管理テーブルから構成される。(1)は節間の連結を示すデータを、(2)は節の座標値を格納する。(3)は弧の長さを格納し、(4)は弧を構成する画素を格納するファイルを管理する。このような表現でグラフの構造と線図形の平面上での配置、形状を容易に把握することができ、さらに、グラフの修正も簡単に行なうことができる。

### 2.2 前処理

この部分では、ゴミ、ヒゲの除去、端点間のごまの補間、微小ループの除去、直接した節の統合等8種類の処理

を行なう。これらの処理は適用順序が重要である。

### 2.3 対話による線図形の修正

前処理におけるノイズは図形上の局所的な判定で決定していき、しかも、図形全体に対して一律に適用するため前処理だけで線図形の補正を完全にすることはできない。補正できない部分はグラフィックディスプレイを用いて対話的に修正する。対話処理の起動がかなと図3に示すような処理範囲を指定するための座標が格子に表示される。対話処理には10種類の機能が用意されていて、どれを選ぶかはコマンドで指定する。

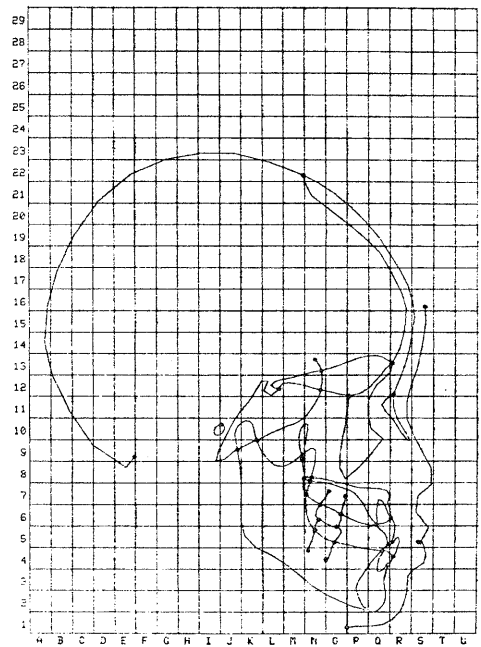


Figure 3 Output of man-machine interaction

### 2.4 構造解析

頭蓋骨の解剖学的な構成要素である下顎骨、上顎骨、脳頭蓋底等の11種類の輪郭線に、頭蓋骨図形を分割する。

図4に例を示す。このような分割の目的は、次の特徴抽出過程での特徴点、特徴量の抽出を容易にするためである。

構造解析は、前処理での図形の補正が完全であるとして、グラフの構造情報や弧の長さ、弧の形、さらに弧と弧の相対的な位置関係に関する情報を特徴パラメータを用いて、ボトムアップ的に解析していく方法である。

解析では、始めに安定な特徴パラメータを持っている弧(図4でA, B, およびCとEの一部)を取り出し、次により細部へと解析していく。

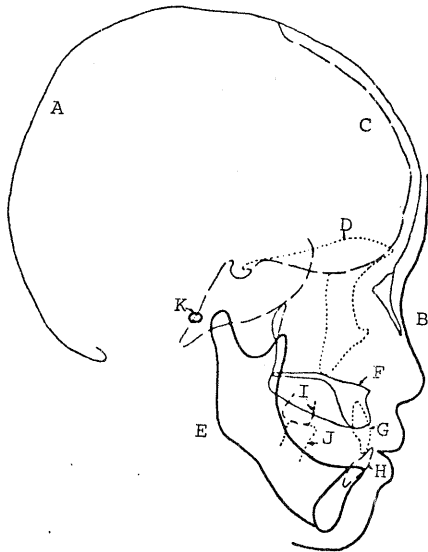


Figure 4 Eleven components of skull line drawing

## 2.5 特徴抽出および各種応用プログラムの実行

特徴抽出は図4で示す11種類の輪廓線毎に、または各輪廓線間に関係から求める。

特徴抽出と各種応用プログラムの実行過程は、歯科矯正学の研究に大きく依存する、専門医との共同作業になる。すなわち、顎顔面頭蓋の形態をどのような特徴量で表現すべきか、パターン

を何種類に分類すべきか、多変量解析の何を用いるべきか等は現在、研究を進めている段階である。

また、統計的な処理のためにはかなりの症例数が必要になる場合もあって、現在手持ちの症例数では不可能な解析もある。従って、今後長期間に渡って症例を蓄めながら研究をせざるを得ない。

今まびに行なった研究は、日本人に多い下顎前突症の下顎骨の“形”に関する特徴抽出と特徴量の評価、および顔の型と下顎骨の“形”との関係についての解析[5]である。

これらの研究では、応用プログラムとして、判別関数、主成分分析、クラスター分析等の統計処理を使用した。

下顎骨の形を表わす特徴量として、従来経験的に使用しているものの他に新たに定義したものも加えて有効な順に順序付けをした。さらに、特徴量の抽出精度について検討した。

下顎骨の特徴点、特徴量の例を図5に示す。特徴量は角度に関するもの的一部分を示してある。

下顎骨以外部分については、今後の研究課題である。

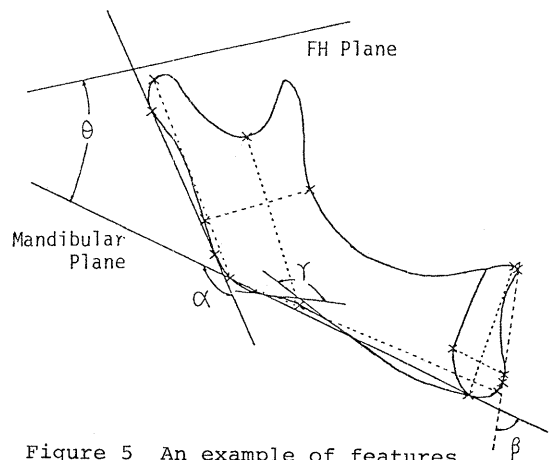


Figure 5 An example of features and feature points on mandible

以上の処理は、ドラムスキヤナによる図形入力の部分を除いてすべて Fortran でプログラミングされている。

### 3 頭蓋骨図形のデータベースシステムの設計

前述の頭蓋骨図形の処理システムの開発経験から、次のような問題点が明らかになった。

- (1) 年齢、性別等の条件を与えて、相当する頭蓋骨図形を簡単に検索できること。
- (2) 計算機に熟練していない専門医が自分の研究目的に応じて、アプリケーションプログラムを容易に作成すること。
- (3) 特徴抽出過程は研究の進展により、度々特徴量の変更、付加、削除といったことが起こる。その結果、アプリケーションプログラムも修正する必要が生じた。従って、このような特徴量の変更に対しアプリケーションプログラムが安定であること。
- (4) 頭蓋骨図形と症例、診断に関する情報とを結合して、アプリケーションプログラムが作成すること。

これらの問題点の他に、(1) 治療が10数年間に及ぶ長期間に存るのでセフアロプログラムも含めた症例管理が重要な課題になってきた。さらに、(2) X線被曝量に対する観点から、セフアロプログラムの撮影を減らす傾向にある。それ故、今までに収集したセフアロプログラムを有効に利用する、また各大学間で共同利用するといったことが重要になってくる。

以上のような問題を解決するためには、頭蓋骨図形のデータベースシステムの開発が必要である。

### 3.1 データモデル

データモデルとして、次の理由により関係モデルを採用した。

- (1) 計算機に習熟していない専門医でも容易にデータベースシステムを使用できるであろう。
- (2) 高度なデータ独立性。

頭蓋骨図形のデータベースとして、次の2種類に決めた。

- (1) 構造解析後の11種類の輪郭線のX, Y座標値(図4)
- (2) 特徴抽出後の特徴点座標値と特徴量の値(図5)

上で述べたように、特徴抽出以後は歯科矯正学の研究目的であり、特徴点特徴量の更新が度々起る。これに対して、構造解析の過程までは比較的工学的に処理できるから、これをデータベース化して同一のシステムに入れる必然性はほとんどない。線図形処理の手法やアルゴリズムの研究のためには入力した2値化図形を磁気テープに保存すれば充分である。

頭蓋骨図形は輪郭線を構成するX, Y座標値でなく、関数近似で表現することも考えられる。そして、データ量圧縮もできる。しかし、特徴点や特徴量の抽出で要求されている精度を考えると困難であり、万一可能になったとしてもかなり複雑な近似を要することになりデータ量圧縮の効果も薄れる(特徴量の精度として、図5の $\alpha$ は0.5度の値が要求される[2])

一般に図形検索では、図形の類似性をどのように定義するかが問題となるが、この研究では歯科矯正学での特徴量で頭蓋骨図形の類似度を表現する。

頭蓋骨図形に関連した診断、治療についてのデータの中でデータベース化するものは、専門医との討論に基づき決めた。決定に際しては、データベースシステムに予想される質問の分析や研究向きシステムとして将来必要になると考えられるものから選定した。

これらのデータを正規化した後、第3正規形表現による次の12種類の関係を導出した。

- (1) CASE MANAGEMENT (CASE NO., NAME, SEX, BIRTHDAY, CASE DIVISION, INTERRUPTION, COMPLETION, STORED X RAY FILMS)
- (2) DIAGNOSIS (CASE NO., DIAGNOSIS TIME, SEX, DIAGNOSIS AGE, HORIZONTAL FACIAL TYPE, VERTICAL FACIAL TYPE, FACIAL SYMMETRY, X RAY FILM NO.)
- (3) GROWTH (CASE NO., DIAGNOSIS TIME, SEX, AGE, BONE AGE, DENTAL AGE, BODY HEIGHT, CAST DATA NO., ORTHOPANTOMO, X-RAY FILM NO.)
- (4) OPERATION (CASE NO., OPERATION DATE)
- (5) TREATMENT INTERRUPTION (CASE NO., INTERRUPTION DATE)
- (6) TREATMENT COMPLETION (CASE NO., COMPLETION DATE)
- (7) ORTHODONTIC APPLIANCE (CASE NO., APPLIANCE NAME, START DATE, FINISH DATE)
- (8) TOOTH EXTRACTION (CASE NO., TOOTH NAME, EXTRACTION DATE)
- (9) FEATURE (X RAY FILM NO., GONIAL ANGLE, CHIN ANGLE, ---, BODY LENGTH, ---, F80)
- (10) FEATURE POINT COORDINATE (X RAY FILM NO., FEATURE POINT NAME, X COORDINATE, Y COORDINATE)
- (11) LINE DRAWINGS (X RAY FILM NO., COMPONENT NAME, LOCATION)
- (12) TRACER & X RAY FILM ENLARGEMENT FACTOR (X RAY FILM NO., TRACER NAME, FACTOR)

ここで、下線のある属性名はキーを示す。

関係(1)は症例管理であり、関係(2)は初診時の診断を表わす。関係(3)は、頭蓋骨の成長を表わし、ほぼ1年間隔での成長変化を示える。

関係(4)は手術症例を示す。関係(5)、(6)はそれぞれ治療が中断または完了したことを示す。

関係(7)は治療に用いる矯正装置の種類と使用期間を示える。関係(8)は治療時の抜歯の位置と年月日を示す。関係(12)はセブアログラム撮影時の拡大率と頭蓋骨図形作成者を示す。関係(9)~(11)は頭蓋骨図形に関するものである。

頭蓋骨図形の検索は、図形全体または下顎骨、上顎骨等の各成分毎にも行なわれる。しかし、輪郭線を構成するX、Y座標値を直接検索することは意味がない。従って、線図形関係(11)には、図形のX、Y座標値の属性はなく、属性LOCATIONを持ってゐる。このLOCATIONの値は、各輪郭線を構成しているX、Y座標値が格納されている線図形データベースでの始めの場所を示す。

特徴量関係(9)、特徴点座標値関係(10)は、更新、削除等が度々生じると対して他の関係ではほとんどこれらが起らない。これは、このデータベースシステムでの特徴の1つである。

関係(1)、(2)、(11)の例をそれぞれ図6、7、8に示す。

## 3.2 質問処理

データベースシステムで用いる質問言語は、INGRESのQUEL〔6〕に相当するものにした。

データベースシステムで質問処理をするときの重要な問題の1つは、如何にしてアプリケーションプログラムと検索結果とをリンクするかということである。このリンクは頭蓋骨図形処理においては最も重要な特徴となっている。

CASE NO.	NAME	SEX	BIRTHDAY	CASE DIVISION	INTERRUPTION	COMPLETION	STORED X RAY FILMS
1000	Tanaka Taro	M	1970.3.5	General	No	No	3
1001	Yamada Hanako	F	1965.5.1	General	No	No	6
1002	Nakamura Jiro	M	1966.9.6	Educational	Yes	No	4
1003	Suzuki Mariko	F	1957.1.9	Surgical	No	Yes	2
1004	Sato Akiko	F	1960.7.2	Research	No	No	1

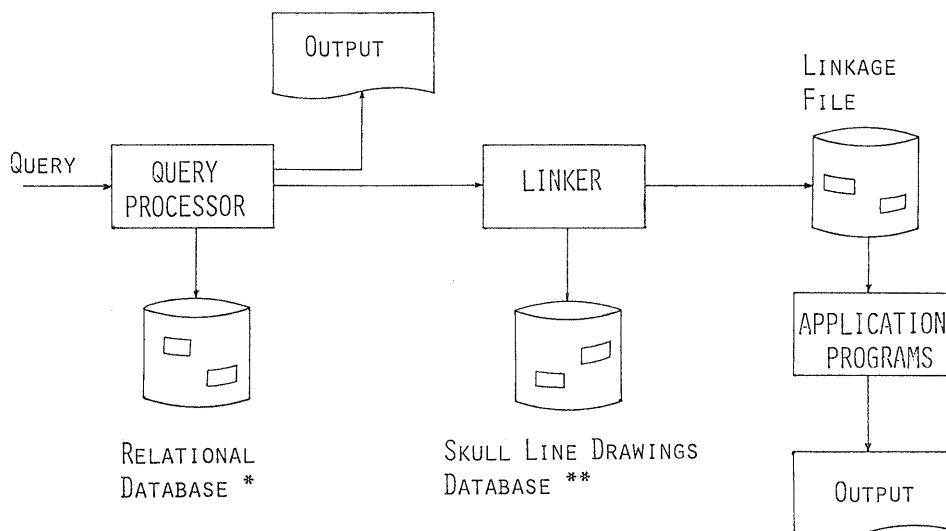
Figure 6 The relation CASE MANAGEMENT

CASE NO.	DIAGNOSIS TIME	SEX	DIAGNOSIS AGE	HORIZONTAL FACIAL TYPE	VERTICAL FACIAL TYPE	FACIAL SYMMETRY	X-RAY FILM NO.
1000	1	M	7.2	Class 3	Long	S	5300
1001	1	F	9.4	Class 3	Average	S	5303
1002	1	M	6.9	Class 1	Average	S	5309
1003	1	F	21.5	Class 3	Short	AS	5313
1004	1	F	18.7	Class 2	Average	S	5315

Figure 7 The relation DIAGNOSIS

X RAY FILM NO.	COMPONENT NAME	LOCATION
5300	Maxilla	9800
5300	Mandible	9801
:	:	:
5300	Soft Tissue	9810
5301	Maxilla	9811
5301	Mandible	9812
:	:	:
5301	Soft Tissue	9821

Figure 8 The relation LINE DRAWINGS



\* This consists of diagnosis and treatment data, features, feature point coordinates and location of skull line drawings.

\*\* This consists of the X and Y coordinates of skull line drawings.

Figure 9

Outline of query processing

図9に質問処理の概要を示す。質問処理の流れを説明するために、次の質問の例を示す。

“初診時年齢が14～25才，女性，Vertical Facial Type がAverage，Horizontal Facial Type がClass 3，Gonial Angle が $120^{\circ} \sim 140^{\circ}$ ，Chin Angle が $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ，これらの条件を満たす初診時症例の下顎骨を検索し，X軸がMandibular Planeで原点がMentonである平面上に下顎骨図形を重ね合わせて表示せよ”

下線の部分はアプリケーションプログラムである。

Mandibular Planeは特徴点GonionとMentonを結ぶ直線を意味する(図5参照)。それ故、特徴点GonionとMentonの座標値を検索することになる。

アプリケーションプログラムの部分を除く質問をQUELで書くと、次のようになる。

```
RANGE OF X1 IS D
RANGE OF X2 IS F
RANGE OF X3 IS FPC
RANGE OF X4 IS LD
RETRIEVE INTO Y(X1.XNO., X3.GOX, X3.GOY,
X3.MEX, X3.MEY, X4.LOCATION)
WHERE X1.DTIME="1" AND X1.HFT="CLASS 3"
AND X1.SEX="F" AND X1.VFT="AVERAGE"
AND "14" ≤ X1.DAGE ≤ "25" AND
"120°" ≤ X2.GOA ≤ "140°" AND
"70°" ≤ X2.CHA ≤ "85°" AND X3.FPN="ME" AND
X3.FPN="GO" AND X4.CN="MANDIBLE"
AND X1.XNO.=X2.XNO. AND X1.XNO.=X3.XNO.
AND X1.XNO.=X4.XNO.
```

where relations of DIAGNOSIS, FEATURE, FEATURE POINT COORDINATE and LINE DRAWINGS are expressed by D, F, FPC and LD respectively.

この質問が処理されると、アプリケーションプログラムを実行するために次のコマンドを入力する。

```
// LINK(A)
// MADISP
```

ここで、LINKコマンドはアプリケーションプログラム(MADISP)と検索結果とをリンケージさせる役割を持っている。

図9に於て、LINKERの役割は検索結果の関係性の属性LOCATIONの値を参照して、頭蓋骨図形データベースから下顎骨図形のX、Y座標値を検索し、特徴点Gonion, MentonのX、Y座標値と共に、リンケージファイルの中に格納することである。リンケージファイルの構造はアプリケーションプログラムによって異なる。上型のLINKコマンドの変数Aは、MADISPのファイル構造を示している。

図10に出力された結果を示す。

### 3.3 インプリメンテーション

データベースシステムのインプリメントは現在、テキサスインスツルメントのミニコンピュータ990モデル20において、DX10のオペレーティングシステムの下に行なっている。使用言語はPASCALである。

PASCALを選んだ理由は、研究向きシステムであるため将来システムを拡張したり、改良したりするときプログラムが読み易いといった事に重点を置いたからである。

前述の質問の例からも明らかのように、特徴量による図形検索かしばしば起きることが予想される。特徴量の中で良く使うものに対しては、検索効率を上げるために、インバーテッドファイルを用意する。Gonial Angleの例で見ると、 $100^{\circ} \leq GOA \leq 105^{\circ}$

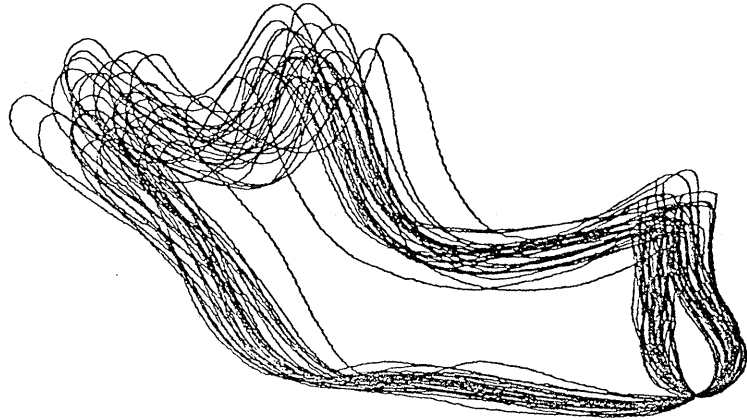


Figure 10 Output of query processing

といったように、5°間隔で特徴量を量子化してインバーテッドファイルを作成するのに向題向きになるが、むしろ専門医には使い易い。

#### 4. おちび

歯科矯正学で用いている頭蓋骨図形のパターン処理過程および研究向きデータベースシステムの概要について述べた。

頭蓋骨図形処理において、特徴抽出のような歯科矯正学の研究そのものと密接に関連する部分はかなり長期的な計画で研究を進めざるを得ない。従って、このような研究を能率的に行うために本報告のようなデータベースシステムが不可欠である。

データベースシステムは、高度なデータ独立性と専門医によるアプリケーションプログラムの開発の容易さと言った観点から、関係モデルを用いた。データベースシステムの概念スキーマとして、12種類の関係を導出した。システムは検索した結果とアプリケーションプログラムとのリンクを有するために、LINKERと呼ぶ機能を持っている。

データベースシステムは、PASCALで現在インポートしている。

#### 謝辞

東北大学歯学部菅原準二氏との討論から関係が導出された。また、坂本敏彦教授には研究を御支持戴いた。深く感謝する。

この研究は昭和55年度文部省科  
研費課題番号488027の援助による。

#### 文献

- [1] 藤岡, 金森, 城戸: ミニコンによる線図形処理のソフトウェア開発, 電子通信学会, PRL79-44, 1979
- [2] 瀬戸, 金森, 城戸: 歯科矯正学における下顎骨の形に随する特徴抽出, 電子通信学会, PRL79-45, 1979
- [3] 藤岡, 瀬戸, 金森, 城戸: 頭部X線規格写真のトレース図形のための構造解析の一方法, PRL78-45, 1978
- [4] Y. Kanamori, Y. Masunaga, K. Kido and S. Noguchi: Design of a database system for skull line drawings processing in Orthodontics based on the relational model, MEDINFO'80, 1980
- [5] J. Sugawara, Y. Kanamori and T. Sakamoto: Analysis of mandibular form in Orthodontics, MEDINFO 80, 1980
- [6] M. Stonebraker, E. Wong, P. Kreps and G. Held: The design and implementation of INGRES, ACM TODS, 1, 3 189-222, 1976