顎顔面骨の3次元形態再現に関する研究

第3報：パーソナルコンピュータによる画像再現 (DIM 3)

三 原 学

Studies on three-dimensional reproduction of maxillofacial cranium shape

3. Personal computer graphics image (DIM 3)

Manabu MIHARA

Abstract: The three-dimensional personal computer graphics (DIM 3) was developed by the auther.

Input data were traced out of the maxillofacial cranium shape of the CT films by the cursor pen on the digitizer, and the computer graphics image was reproduced on the CRT and X-Y plotter.

The reproducible accuracy of the graphics was satisfactory for use in diagnosis, surgical therapy planning and morphological studies in the field of maxillofacial surgery.

Key words: Three-dimensional reproduction, computer graphics, maxillofacial cranium shape

I. 緒 言

著者はこれまで、顎顔面骨の3次元形態再現について、X線写真や Computed tomography (CT) を資料として、模型再現による3次元形態再現法を考案、報告してきた^{1)~2)}。模型による形態再現は、病状の形態把握や移植物および義顎の設計や手術計画などに、ただちに臨床応用が可能で、実体として手にすることができ、実際臨床で有用な点が多い。しかし一方で、資料として分析検討するには、模型作製に要する労力や手技の誤差も無視できない問題と思われる。本編では、これまでの研究過程やその結果を応用し、パーソナルコンピュータによる画像再現を試みたところ、有用な所見が得られたので報告する。

II. 使 用 機 器

本研究に使用した機器を以下に示した。

1) NEC PC-8801 パーソナルコンピュータ

愛知学院大学歯学部第1口腔外科学教室

(主任：深谷昌彦教授)

First Department of Oro-Maxillo-Facial Surgery,
School of Dentistry, Aichi-Gakuin University
(Chief. Prof. Masahiko Fukaya)

受付日：昭和59年11月26日

- 2) NEC PC-8881 ディスクユニット
- 3) NEC PC-8852 カラーディスプレイ
- 4) NEC PC-8822 ドットマトリックスプリンター
- 5) オスコン グラフィックデジタイザーモデル AC-10
- 6) グラディモート RS 232 C アダプター
- 7) 岩通 SR-6602 パーソナルプロッター

III. プ ロ グ ラ ム

表1に、考案、作製した顎顔面骨3次元画像システム DIM 3 のプログラムを示した。

IV. 資 料

資料は本研究第2報²⁾で行ったCTの実験結果より、GE製CTT(8800, X2)第3世代CTスキャナーにて、FOP=25cm, 管電圧120kV, 320mA, 2.2msec (pulse x-ray) 下にて、スライス幅5mm, 1スキャン時間9.6msec, 1.8倍したhigh resolutional programによる骨target像により、Window Width 1,200, Window Level 1,000とし、Gridを描記させ、マルチフォーマットカメラのdensity 650で、半切大CTフィルムに4分割で再現したCTフィルム画像を原則として用いた。

表 1 DIM 3 のプログラム

```

ff100 '*****
200 ' 82.08.09
300 ' PROGRAM NAME "DIM3"
400 ' PROGRAMMED BY K.TOMARI AND M.MIHARA
500 '*****
600 DEFINIT I=N:DEFSTR O=W:DIM U(49)
700 OPEN "COM1:N83X" FOR INPUT AS #1
800 ON COM GOSUB 9600
900 FOR I=1 TO 10:KEY I,CHR$(64+I):NEXT I
1000 FOR I=0 TO 5:K(I)=0:NEXT I
1100 IOF=1:JJ=1:IWAITSW=0:IEOFSW=0:TILE$=CHR$(&H55)+CHR$(&H0)
1110 TI1=CHR$(&HFF):TI2=CHR$(&H0)
1200 E$=CHR$(&H1B)
1300 P$="A" : L$="B" : R$="C"
1400 ST$="D" : SP$="E"
1500 A$="F"
1510 FOR I=1 TO 49:U(I)=CHR$(48+I)
1512 IF I>9 AND I<20 THEN U(I)="1"+CHR$(38+I)
1513 IF I>19 AND I<30 THEN U(I)="2"+CHR$(28+I)
1514 IF I>29 AND I<40 THEN U(I)="3"+CHR$(18+I)
1515 IF I>39 AND I<50 THEN U(I)="4"+CHR$(8+I)
1516 NEXT
1518 UX="2:data"
1600 ' initialize interface
1700 PRINT #1,E$+A$
1800 '
1900 WIDTH 80,25
2000 CONSOLE 0,25,0,0
2100 SCREEN 2,0:CLS 3
2200 WINDOW (-150,-150)-(150,150)
2202 IXYZ=0
2300 '
2400 PRINT #1,E$+R$ : PRINT #1,E$+ST$
2500 '
2600 '
2700 COM ON
2800 '
2900 S=INKEY$
2902 IF S="H" THEN IXYZ=0:IOF=1:LOCATE 30,22:INPUT "Z: ";Z:CLS 1
2904 IF S="I" THEN IXYZ=1:IOF=1:LOCATE 30,22:INPUT "X: ";X:CLS 1
2906 IF S="J" THEN IXYZ=2:IOF=1:LOCATE 30,22:INPUT "Y: ";Y:Y=-Y:CLS 1
3000 IF S="A" THEN SS="A":OPEN UX+U(JJ) FOR OUTPUT AS #2:IOSW=1:Z=0
3100 IF S="B" THEN SS="B":IOF=1
3200 IF S="D" THEN 13200
3300 IF S="C" THEN SS="C":IOF=1:JJ=JJ+1:CLOSE #2:OPEN UX+U(JJ) FOR OUTPUT AS #2:
JMAX=JJ:PRINT JMAX:IF IXYZ=0 THEN Z=Z+10 ELSE IF IXYZ=1 THEN X=X+10:X=X*.8 ELSE
Y=Y-10 ELSE ELSE
3400 IF S="E" THEN JJ=1:GOTO *HYOJI
3500 IF S="F" THEN GOSUB *ZAHYO
3600 IF S="G" THEN GOSUB *ZAHYOKL
3700 'IF S<"8" AND S>"0" THEN JJ=INT(VAL(S))
3800 IF S=CHR$(&H1E) THEN K(0)=K(0)+15
3900 IF S=CHR$(&H1F) THEN K(0)=K(0)-15
4000 IF S=CHR$(&H1D) THEN K(1)=K(1)+15
4100 IF S=CHR$(&H1C) THEN K(1)=K(1)-15
4200 IF S="," THEN K(2)=K(2)+15
4300 IF S="." THEN K(2)=K(2)-15
4400 IF S=CHR$(&HC) THEN CLS 2
4450 IF S="K" THEN CLOSE #2
4500 GOTO 2900
4600
4700 *HYOJI:JJJ=2
4800 T=INKEY$
4900 IF T="0" THEN WINDOW (-150,-150)-(150,150):GOTO 5600
5000 IF T="1" THEN WINDOW (0,-150)-(150,0):GOTO 5600
5100 IF T="2" THEN WINDOW (0,0)-(150,150):GOTO 5600
5200 IF T="3" THEN WINDOW (-150,0)-(0,150):GOTO 5600
5300 IF T="4" THEN WINDOW (-150,-150)-(0,0):GOTO 5600
5400 IF T="5" THEN WINDOW (-75,-75)-(75,75):GOTO 5600

```

(表 1 つづき)

```

5500 GOTO 4800
5600 IO=1
5700 IF IOSW=1 THEN CLOSE #2:OPEN "2:data0" FOR OUTPUT AS #2:WRITE #2,JMAX:CLOSE
#2:IOSW=0
5750 OPEN "2:data0" FOR INPUT AS #2:INPUT #2,JMAX:CLOSE #2
5800 OPEN UX+U(JJ) FOR INPUT AS #2
5900 'IF K(0)=0 AND K(1)=0 AND K(2)=0 THEN *HYOJI2
6000 AR=K(0)*(3.14159/4)/45:ASX=SIN(AR):ACX=COS(AR)
6100 AR=K(1)*(3.14159/4)/45:ASY=SIN(AR):ACY=COS(AR)
6200 AR=K(2)*(3.14159/4)/45:ASZ=SIN(AR):ACZ=COS(AR)
6300 IF EOF(2) THEN IF JMAX=JJ THEN IEFSW=1:GOTO 6700 ELSE CLOSE #2:IWAITSW=1:G
OTO 6700 ELSE INPUT #2,X,Y,Z,KA,JX:GOTO 7400
6700 T=INKEY$
6800 IF T='L' THEN KKK=1:XW3=X:YW3=Y
6900 IF T='K' THEN KKK=0:XW3=X:YW3=Y
7000 IF T='P' THEN PAINT(XW2,YW2),TILE$,1
7100 IF T='S' THEN IF IEFSW=1 THEN IEFSW=0:CLOSE #2:GOTO 2900 ELSE JJ=JJ+1:OPE
N UX+U(JJ) FOR INPUT AS #2:GOTO 6300
7200 IF T='O' THEN LINE (XW3,YW3)-(XW2,YW2),KKK
7210 IF T='M' THEN LOCATE 77,24:INPUT JW:CLS 1:OPEN UX+U(JW) FOR INPUT AS #2:GOS
UB *MHYOJI
7220 IF T='C' THEN PAINT(XW2,YW2),TI1,1,TILE$:PAINT(XW2,YW2),TI2,0,TI1
7300 GOTO 6700
7400 GOSUB *HYOJI3
8200 GOTO 6300
8300 '
8400 *HYOJI1
8500 IF IO=1 OR KA=1 THEN PSET(X,Y),1:IO=0:RETURN
8600 IF IO=0 THEN LINE -(X,Y),1
8700 RETURN
8800 '
8900 *HYOJI2
9000 IF EOF(2) THEN CLOSE #2:GOTO 2900
9100 INPUT #2,X,Y,Z,KA,JJ
9200 X=X+K(3):Y=Y+K(4):Z=Z+K(5)
9300 GOSUB *HYOJI1
9400 GOTO 9000
9500 '
9600 COM OFF
9700 IF IWAITSW=1 THEN PRINT #1,E$+P$:GOTO 9900
9800 PRINT #1,E$+R$:PRINT #1,E$+ST$
9900 PRINT #1,E$+SP$
10000 XW1=X:YW1=Y:INPUT #1,X$:INPUT #1,Y$
10100 BX=(VAL(X$)/10)-150:BY=(VAL(Y$)/10)-150
10200 BX=BX*1.23:BY=-BY*2
10300 IF IWAITSW=0 THEN 11000
10350 X=BX:Y=BY
10400 XW2=X:YW2=Y
10500 IF POINT (MAP(X,0),MAP(Y,1))=0 THEN LL=1:LLL=0 ELSE LL=0:LLL=1
10600 PSET (X,Y),LL
10700 FOR II=0 TO 300:NEXT II
10800 PSET (X,Y),LLL
10900 GOTO 11400
11000 IF (SS='A' OR SS='B' OR SS='C') AND IXYZ=1 THEN Y=-BX*1.55:Z=-BY
11001 IF (SS='A' OR SS='B' OR SS='C') AND IXYZ=2 THEN Z=BX*1.6:X=-BY*.6
11002 IF (SS='A' OR SS='B' OR SS='C') AND IXYZ=0 THEN X=BX:Y=BY
11010 IF SS='A' OR SS='B' OR SS='C' THEN WRITE #2,X,Y,Z,IOF,JJ
11100 IF IOF=1 THEN PSET (X,Y): IOF=0 : GOTO 11300
11200 LINE (M,N)-(X,Y),1
11300 M=X : N=Y
11400 A=LOF(1)
11500 IF A<255 THEN 10000
11600 PRINT #1,E$+ST$
11700 COM ON : RETURN
11800 '
11900 *ZAHYO
12000 LINE (0,-150)-(0,150)
12100 LINE (-150,0)-(150,0)
12200 FOR L=-260 TO 200 STEP 13:CIRCLE (L,0),.4:NEXT

```

(表 1 つづき)

```

12300 FOR L=-200 TO 200 STEP 20:CIRCLE (0,L),.4:NEXT
12400 RETURN
12500 /
12600 *ZAHYOKL
12700 LINE (0,-150)-(0,150),0
12800 LINE (-150,0)-(150,0),0
12900 FOR L=-260 TO 200 STEP 13:CIRCLE (L,0),.4,0:NEXT
13000 FOR L=-200 TO 200 STEP 20:CIRCLE (0,L),.4,0:NEXT
13100 RETURN
13200 LOCATE 30,22:INPUT "+X,+Y,+Z";XX,YY,ZZ
13300 K(3)=K(3)+XX
13400 K(4)=K(4)+YY
13500 K(5)=K(5)+ZZ
13600 CLS 1
13700 GOTO 2900
14000 *MHYOJI
14010 IF EOF(2) THEN CLOSE #2:RETURN
14020 INPUT #2,X,Y,Z,KA,JX
14030 GOSUB *HYOJI3
14040 GOTO 14010
15000 *HYOJI3
15010 X=X+K(3):Y=Y+K(4):Z=Z+K(5)
15020 IF K(0)=0 THEN 15040
15030 BX=Y*ACX-Z*ASX:BY=Y*ASX+Z*ACX:Y=BX:Z=BY
15040 IF K(1)=0 THEN 15060
15050 BX=Z*ACY-X*ASY:BY=Z*ASY+X*ACY:Z=BX:X=BY
15060 IF K(2)=0 THEN 15080
15070 BX=X*ACZ-Y*ASZ:BY=X*ASZ+Y*ACZ:X=BX:Y=BY
15080 GOSUB *HYOJI1
15090 RETURN

```

V. 操 作 方 法

資料とした CT フィルムもしくは、その顎顔面骨形態をトレースしたものを、デジタイザ上の直交座標軸と CT 像における Grid の直交座標軸を重ね、セロテープで固定し、スライスごとに順次、顎顔面骨形態をカーソルペンでゆっくりとトレースし入力した。

操作方法を以下に示した。

1. 準 備

1) ディスク、ディスプレイおよびデジタイザの電源を on にする。

2) ディスクのドライブ 1 にプログラムファイルをセット、ドライブ 2 にデータ用ディスクセットをセットする。

3) 本体の電源を on にする。

4) How many files (0-15)? が表示されたら、キーボードより 2 と打ち込む。

5) キーボードより RUN "DIM 3" と打ち込む。

2. 入 力

1) キーボードより A と打ち込む。

2) x, y 平面で入力するには H と打ち、z 座標の初期値を入力する。y, z 平面で入力するには I と打ち、x 座標の初期値を入力する。z, x 平面で入力するには J と打ち、y 座標の初期値を入力する。

3) 同一スライス平面上で、2 つ以上の閉図形が存在するときは、1 つの閉図形トレース後、キーボード B を打ち込む。

4) 次のスライス平面に移る際に (座標平面を変えるときも) キーボード C を打ち込む。

5) データの入力の終りは K を打ち込む。

6) x, y, z 方向に平行移動させたいときは、D を打つことにより画面に +x,+y,+z と表示されるので、x, y, z について数値を入力し ↵ を打つと平行移動する。

3. 入力したデータの表示

1) 入力したデータを認意に回転させたいときは、↑ を打つと x 軸に対し 15° 回転、↓ を打つと x 軸に対し -15° 回転、← を打つと y 軸に対し 15° 回転、→ を打つと y 軸に対し -15° 回転、, を打つと z 軸に対し 15° 回転、. を打つと z 軸に対し -15° それぞれ回転する。

2) 表在表示されている図形を消したいときは HCL を打つ。

3) 表示させるには、キーボード E を打つ。

4) 通常象限で表示させたいなら 0 を入力、第 1 象限のみ表示させたいなら 1 を、第 2 象限のみを表示させたいなら 2 を、第 3 象限のみを表示させたいなら 3 を、第 4 象限のみを表示させたいなら 4 を、中央部のみを表示させたいなら 5 を入力する。

5) 1 つのスライス平面を表示させたら、作図は一時停止する。このとき以下の入力が可能である。L は線の

描記, Kは線の消去を可能とし, $\bar{o}$ は線を画面に引いたり消したりする. すなわち, L を押して $\bar{o}$ を押すか, K を押して $\bar{o}$ を押す. P は線で囲まれた部分をペイントし, C はペイント部を消去する. ただし, L, K, $\bar{o}$, P, C はデジタイザー上にてカーソルペンにて入力する. M は指定したスライス面を再度表示させることができる.

6) トレースした図形の, 次へのスライス面の表示にはSを打つ. Sを続けて打ち込むことにより最後のスライス面まで続けて表示される.

7) 直交座標軸を画面に表示するにはFを入力し, Gを入力することにより直交座標軸は消去する.

VI. 再現画像

1. 乾燥頭蓋骨の再現画像

乾燥頭蓋骨を, 先に述べた条件でエアスキャンしたCT写真を資料とし, DIM 3 によるパーソナルコンピュータ画像再現を行った. 写真1に axial CT を資料とした再現画像, 写真2に coronal CT を資料とした再現画像を示した. また, axial CT およびそれに直交する coronal CT を資料とし, scout view にて描記されたスライスを規準として, それぞれを平行移動して再現した画像を写真3に示した.

これら再現画像について検討すると, axial CT およびそれに直交する coronal CT を資料とした画像が, 3次元的なイメージや形態計測について優れていると思われた. しかし, axial CT もしくは coronal CT 単独の資料による再現画像においても, 十分に3次元的イメージが満たされており, 両者を比較すると, coronal CT を資料とした再現画像がよく顎顔面骨形態を再現しており, 形態計測に耐えうるものとみられた.

2. 臨床応用

臨床的には生体に対し, 直交し合う axial CT および coronal CT をスキャンすることは困難な場合が多い. このことから, 任意の方向にスキャンした axial CT および coronal CT の交わる角度を正側2方向の scout view より算出し, 一方のスライス面を角度変換(回転)させて画像再現する方法を検討したところ, それぞれの撮影 positioning の変換の際に, 規準となる軸の複雑な3次元的ずれが生じ, その補正は必ずしも容易でなく, 放射線被曝量の問題^{3,4)}を加味し, さらに検討を重ねる必要があると思われ, axial CT および coronal CT 2方向よりの資料による再現は今回は見合わせた.

写真4は左下顎骨エナメル上皮腫の coronal CT を資料とした再現画像で, 任意の回転を与え, 骨形態の3次元的イメージを把握でき, XYプロッターより認意の方向から形態計測が可能で有用と思われた.

写真5は左上顎癌切除, 放射線治療後10年を経過し,

写真1 axial CT を資料とした再現画像
(乾燥頭蓋骨)

頬骨に放射線性顎骨骨髓炎を発症した症例で, 頬骨部の分離した腐骨除去後の coronal CT を資料とした再現画像で, 通常のX線写真およびCT読影のみでは困難であった, 残留した分離腐骨の3次元的形態イメージが得られた.

これらのことから, DIM 3 によるコンピュータ画像再現は臨床的にきわめて有用と思われた. なお, 臨床応用における詳細な検討は後の機会に報告する.

VII. 考察

これまで, 生体の顎顔面骨形態については頭部X線規格写真などの2次元的資料をもとに, 臨床的検討や基礎的研究が重ねられ, 多くの知見を供給してきたが, 3次元的顎顔面骨を2次元的資料で論ずるには, 何かと不都合を生じてきたのが現状と思われる.

近年, 種々の医用機器の開発も相まって, とくに医用画像を用いて, 生体の3次元的立体表示が大きなテーマとなっている. 現在では Mayo clinic の Dynamic spatial reconstruction (D.S.R.) が最も進んだ再現装置とされ, CT を数十台組み合わせた形式で, 28本のX線管

写真 2 coronal CT を資料とした再現画像（乾燥頭蓋骨）

写真 3 axial CT とそれに直交する coronal CT を資料とした再現画像（乾燥頭蓋骨）

球の円弧状に配列させた装置を用いてスキャンし、これをコンピュータで合成し、CT の画素よりもはるかに優れた映像を立体的に観察する装置が完成している⁹⁾。しかし、この装置はあまりにも高価で、分析に1週間を要し、放射線被曝量も多いことから臨床使用には至ってい

ない。本邦においては、松尾ら⁶⁾が KOBETOIPS (Total Image Processing System) を用いて、種々の医用画像、とくに CT を処理し、3次元構築と3次元表示 CRT による3次元立体表示を行い、診断や放射線治療の照射野設定に用いており、本研究分野における先駆的立場にあ

A: 正面

B: 後方面

写真 4 左下顎骨エナメル上皮腫症例の coronal CT を資料とした再現画像

写真 5 左頬骨部の放射性線性骨髄炎症例の coronal CT を資料とした再現画像。左頬骨部に分離した腐骨が再現されている。

と思われる。また、丸茂⁷⁾は下顎骨の断層撮影写真を大型コンピュータにより図形解析処理システムを用い、XYプロッター上に形態再現図を描かせる方法を報告している。

著者は、顎顔面骨の3次元的形態再現について、これまで模型による再現方法を報告してきた^{1)~2)} 3次元的形態再現法の理想は、即座に入取可能な精密再現模型であるが、検討の結果、臨床的要求精度をほぼ満たすものの、労力や手技的誤差を現状では無視できない。そこで、資料として分析するに有利なコンピュータ画像再現を行った。

現在 computer graphics の医学利用自体が、まだ発展途上のため、今後どのような利用法が開発されるか予測は困難とされている⁸⁾。また再現精度や入力方法、とりわけ経費を無視すれば、コンピュータによる顎顔面骨の3次元的画像再現は理論的に可能とされている。留意すべきは、臨床や研究の場に即した再現方法で、要求を満

たすものでなければならない。近年、パーソナルコンピュータの普及は目覚しく、機能的にも10年ほど前の大型コンピュータと損色のない面も具備してきており、それぞれの教室や研究室でパーソナルコンピュータを用い、著者の考案したソフトウェア DIM 3 を使用し、検討することは比較的容易なものと思われる。さらにニーズに応じたソフトウェアの改良、添加が重ねられれば幸いである。今後さらに、入力方法、CRT 縦横画素数の違いによる画像の歪み、3次元的画像に対する視点の設定、形態計測の自動化、再現性の向上などについて、検討を進める必要があると考えている。

VIII. 結 語

CT 写真を資料として、デジタイザー上でトレースし入力、パーソナルコンピュータによる顎顔面骨の3次元的画像再現を、作製したプログラム DIM 3 にて実施したところ、再現性は、乾燥頭蓋骨および臨床応用例についてもほぼ満足のゆくものであった。今後さらに、入力方法や再現性の向上について、検討を進める必要性もあると考えられた。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導ご校閲を賜った教室主任深谷昌彦教授に深く感謝いたします。また、ご協力ご援助いただきました本学第1口腔外科学教室各位に感謝の意を表します。さらにプログラム作製にあたり協力いただきました泊賢司氏に謝意を表します。

本論文の要旨は、昭和58年第37回日本口腔科学会総会(於：大阪)、昭和59年第19回日本形成外科学会中部地方会にて発表した。なお本研究は、文部省科学研究費の助成を受けて行われた。

引用文献

- 1) 三原 学：顎顔面骨の3次元的形態再現に関する

- る研究 第1報：下顎骨形態再現模型の1作製法. 日口外誌 29: 1363-1369 1983.
- 2) 三原 学：顎顔面骨の3次元の形態再現に関する研究 第2報：Computed tomography(CT)を応用した再現模型. 日口外誌 30: 1304-1311 1984.
- 3) McCullough E.C. and Payne, J.T.: Patient dosage in computed tomography Radiology 129: 463-475 1978.
- 4) 真野 勇, 金子昌生, 他：Computed Tomography 装置の基礎的研究(第8報)——頭部撮影における被曝線量(8機種について)——. 日本医放会誌 39: 528-535 1979.
- 5) 池田茂人：医学における三次元立体像としてのホログラフィーについて. 映像情報メディカル 15: 273 1983.
- 6) 松尾導昌, 藤井 進, 他：CT 画像の3次元立体表示システムの開発. 映像情報メディカル 11: 465-475 1979.
- 7) 丸茂一郎：断層撮影による下顎骨骨体の立体的再現法. 日口外誌 22: 605-623 1976.
- 8) 松尾導昌, 杉村和朗：喉頭および Computer Graphics のホログラム. 映像情報メディカル 15: 254-255 1983.