

口腔模型形態解析のためのモアレ縞結像撮影装置 および基準平面設定装置の試作

中原 寛子・手島 貞一・伊藤 秀美*
小幡 充男**・島田 平八**

東北大学歯学部口腔外科学第二講座 (主任: 手島貞一教授)

*東北大学歯学部歯科補綴学第二講座 (主任: 鹿沼晶夫教授)

**東北大学工学部金属加工学科金属力性学講座 (主任: 島田平八教授)
(昭和 57 年 11 月 2 日受付)

A New Moirétopographic System Using an Original Datum Plane Regulator

Hiroko Nakahara, Teiichi Teshima, Hidemi Itoh*,
Mitsuo Obata** and Heihachi Shimada**

Second Department of Oral Surgery, Tohoku University School of Dentistry, Sendai
(Chief: Prof. Teiichi Teshima)

**Second Department of Prosthetic Dentistry, Tohoku University School of Dentistry, Sendai*
(Chief: Prof. Masao Kanuma)

***Department of Metal Processing and Mechanical Metallurgy,
Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai*
(Chief: Prof. Heihachi Shimada)

内容要旨: 従来のモアレ縞写真撮影装置は高価であり、また撮影時の基準平面を設定する操作が煩雑であった。著者等はこれらの点に改良を試み、調音からみた口蓋形態を三次元的に解析する目的のもとで、モアレ縞結像写真撮影装置および口腔模型の基準平面設定装置を考案・試作した。

はじめに

調音における舌運動の役割は重要である。これまで著者等は、舌と口蓋の接触状態を示すパラトグラムを用いて調音時の舌運動を間接的に観察し、特にパラトグラム (= 舌運動) とそれに影響を与える口腔形態 (主として口蓋形態) との関係に着目し研究してきた¹⁾。この時の口蓋の形態的特徴を解析する方法であるが、歯学の分野においては従来より様々な方法が試みられてきた。例えば、口腔石膏模型 (以下 "模型" と呼ぶ) に水を注いでの容積計測²⁾、模型の分割あるいは印象材・金属線^{3)~5)}・等長鋼線⁶⁾・形状測定器⁷⁾等を用いての断面形態計測、および模型に直接描いたり⁸⁾ 立体写真⁹⁾

あるいはその他の装置¹⁰⁾を用いて得た等高線による形態解析、等である。このうちパラトグラムと対応させながら口蓋形態を三次元的に解析するという著者等の目的のためには等高線法が最も適している。しかし、従来の方法では模型を損傷したり手間や費用がかかり過ぎる等の欠点があったため、平面光投影による等高線写真撮影装置を考案し、利用してきた¹¹⁾。この方法によると、模型に非接触の状態でも容易に等高線を得ることが出来る。しかし、口蓋全面に明瞭な等高線を描くことが困難であるという欠点があった。

一方、1970年代に入りモアレトポグラフィ法による立体計測法が工学の分野で考案され、1970年代後半には歯学の分野にも積極的に取り入れられ始め

た^{12)~14)}。この方法によると、平面光と異なり投影する光線と現われる等高線とが平行ではないため、口蓋が深かったり凹凸が著しくても影になることが少なく、口蓋全面に明瞭な等高線が描かれる。従って、写真上から肉眼的に形態的特徴を捉えたりパターン分類を行ったり出来るだけでなく、面積および体積等の値をも算出できる。模型に非接触の状態でも等高線が得られ、装置の原理や操作も簡単で、維持費も安価である¹⁵⁾。しかし、装置そのものが高価であること、規格写真を得るための模型の基準平面設定操作が煩雑であること、等が現実的な問題として残っていた。

そこで著者等は、モアレポグラフィ法の利用を計画し、従来の研究^{10),12),16)}を参考にしながら上記の点について改善を試み、装置を試作したので報告する。

装置の仕様と操作方法

1. モアレ縞結像撮影装置

装置の全容を図1に示す。本装置は、光源(A)・カメラ(B)および格子駆動器(C)の3つの部分から構成され、それらは同一台上に取り付けられている。

光源(A)には透過型顕微鏡の光源(30 W)を用いている。その位置および角度は三次元的に移動できるようになっているため、光源-格子間距離および格子面に対する入射の方向を自由に調節し、模型上の等高線を最適な間隔に設定することが出来る。

カメラ(B)は、Nikon F2(レンズ:f=105 mm)を用いている。光源(A)と同様に、その位置および角度を調節することが出来る。

格子駆動器(C)の各部の名称を図2に示す。格子(a)は100 mm×100 mmの大きさのガラス板に描かれており、クッションを間に入れた金属棒(b)によって

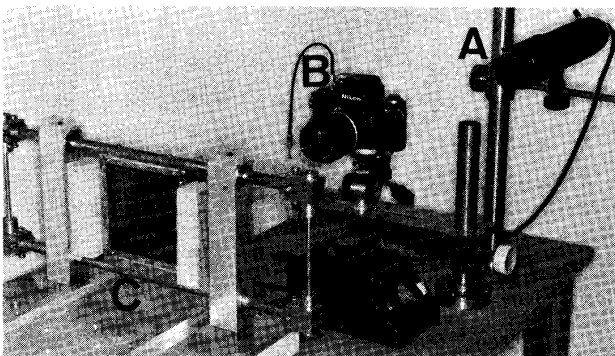


図1 モアレ縞結像撮影装置の全容
A: 光源 B: カメラ C: 格子駆動器

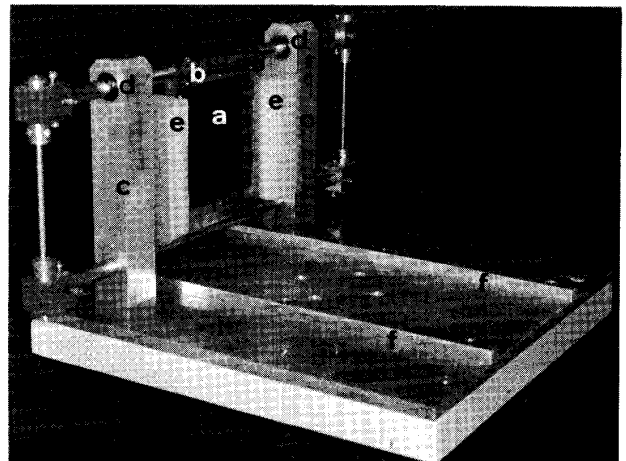


図2 格子駆動器(図1の)と各部の名称
a: 格子 b: 金属棒 c: 支柱 d: ボールベアリング e: クッション f: レール

固定されている。金属棒(b)の左右側にある2本の支柱(c)にはボールベアリング(d)が組み込まれている。そのため、格子の方向を一定に保ったまま、手動により容易に格子を振動して模型の表面に現われる偽似モアレを相殺することが出来る。その際に金属棒(b)が支柱(c)にぶつからないように、支柱(c)の金属棒側にクッション(e)がはられている。また、後に述べる模型固定器(図3のD)を格子面に対して垂直に移動・固定するためのレール(f)もついている。

2. 基準平面設定装置

図3に基準平面設定装置の全容および各部の名称を示す。本装置は、模型固定器(D)、3ヶの等長指針器(E)、および基準平面調整器(F)の3つの部分から構成されている。

模型固定器(D)は、ネイ社のサバイヤーの模型台(a)に80 mm×120 mmの鉄板(b)を取り付けたものを、更にL字型金属板(c)上に固定したものである。L字型金属板(c)の角度は、精密に90°に作られている。模型は、模型台(a)の模型固定ネジ(d)によって固定され、boll and socketの部分の角度調節ネジ(e)によってその角度調節を行なうことが出来る。

等長指針器(E)は、支柱(f)と支持棒(g)がT字型に組み合わされており、支柱上部の支持棒固定ネジ(h)によって支持棒(g)の回転および高さの調節を行なうことが出来る。支柱(f)の底部には磁石(i)が、また支持棒(g)の片側には等長指針(j)

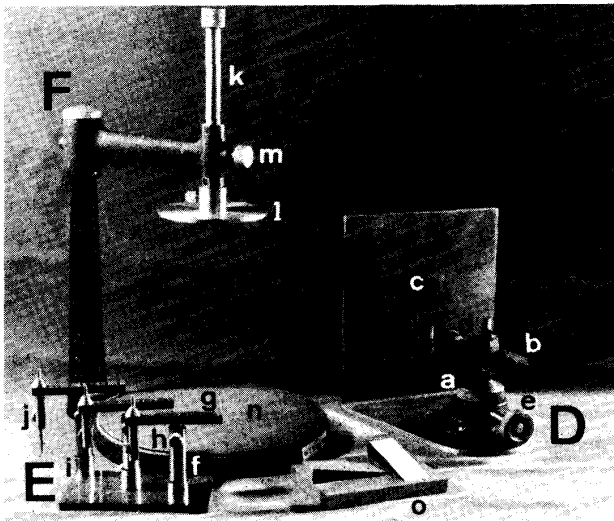


図3 基準平面設定装置の全容と各部の名称
 D: 模型固定器 E: 等長指針器 F: 基準平面調整器
 a: 模型台 b: 鉄板 c: L字型金属板 d: 模型固定ネジ e: 角度調節ネジ f: 支柱 g: 支持棒 h: 支持棒固定ネジ i: 磁石 j: 等長指針 k: ホルダー l: 金属製円板 m: ホルダー固定ネジ n: 定盤 o: モアレ縞間隔検定用金属板

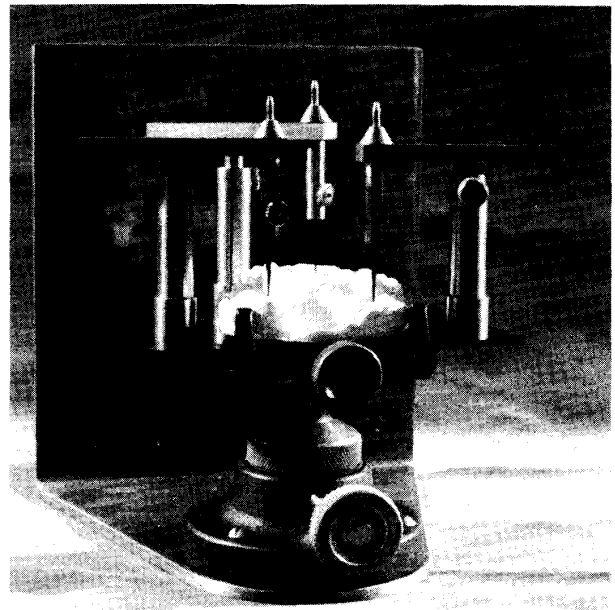


図4 等長指針の下部先端を3基準点に合わせたところ

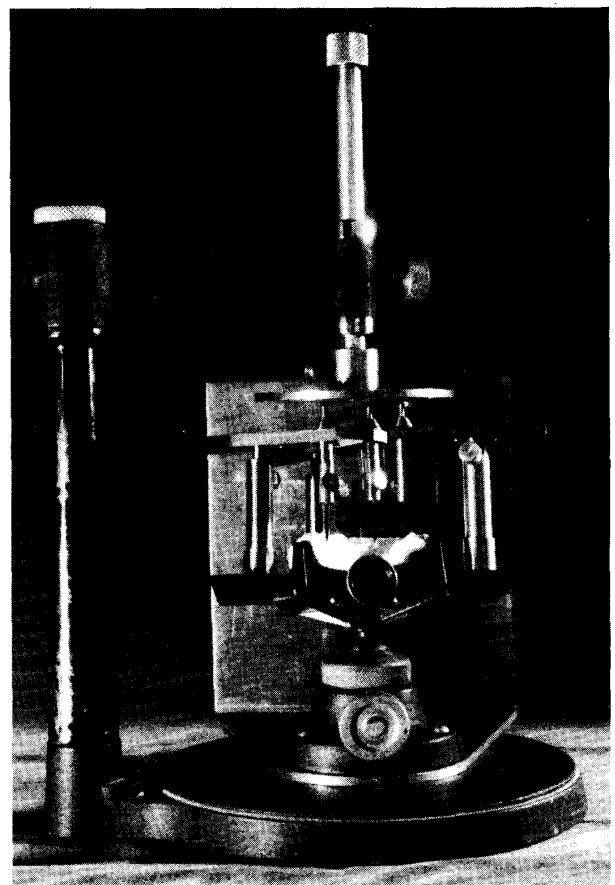


図5 模型の基準平面の設定が終了したところ

が取り付けられている。

基準平面調整器 (F) は、ネイ社のサベイヤー本体のホルダー (k) に、直径 80 mm の金属製円板 (l) を取り付けられたものである。金属円板 (l) は、定盤 (n) と平行で、ホルダー固定ネジ (m) による高さの調節を行なうことができる。

3. 操作方法

1) 口腔模型の基準平面の設定

(1) 等長指針の設置 (図4) 模型固定器 (D) に固定した模型上に、目的に合った基準点を3カ所 (以下 "3基準点" と呼ぶ) 定める。次に、模型固定器 (D) の鉄板上に等長指針器 (E) を取り付ける。その際の等長指針器 (E) の固定は磁石によって行なわれるため、その位置および移動は制約が少なく、操作も容易である。続いて、等長指針器 (E) の支持棒固定ネジをゆるめて支持棒の回転および高さの調節を行ないながら、等長指針の下部先端を各基準点に接触させる。等長指針の位置が決まったら、支持棒固定ネジを締める。

(2) 基準平面の設定 図4の組み合わせを、そのまま図5のように基準平面調整器 (F) の定盤 (図3の n) の上に置く。模型台の角度調節ネジをゆるめ、模

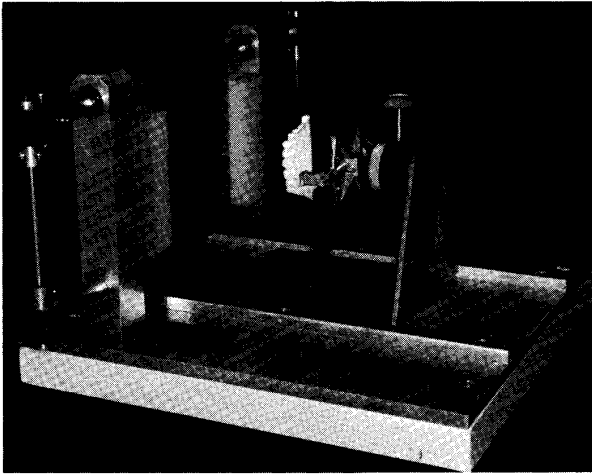


図6 模型の基準平面が格子と平行に置かれたところ

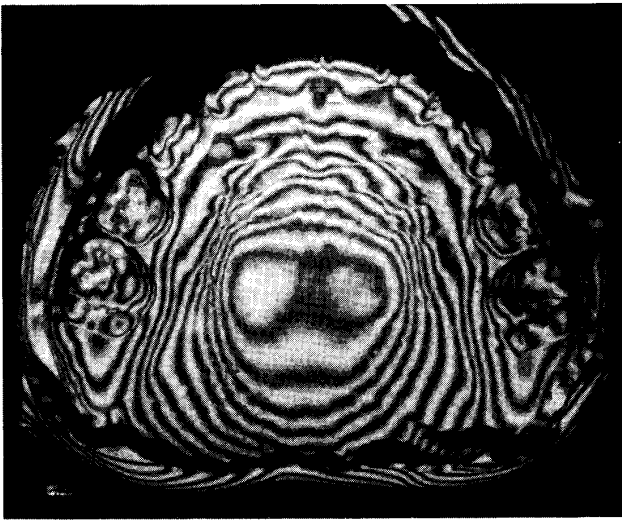


図7 試作した装置を用いて撮影した模型上のモアレ縞

型および等長指針を乗せた面の角度が自由に動ける状態にしておく。同時に、基準平面調整器（F）の円板を徐々に下げ、すべての等長指針の上端が接したところで角度調節ネジを締める。これで、3基準点のなす平面は円板および定盤と平行になり、基準平面の設定が完了したことになる。

2) モアレ縞結像撮影装置

(1) 口腔模型の設置 基準平面調整器（F）よりはずした模型固定器（D）から、等長指針器（E）を取り除く。模型固定器（D）のL字型金属板を90°回転させて図6のように格子駆動器（C）のレールにはめ込むと、模型の基準平面は格子と平行に位置する。次に格子と模型の距離が可能な限り小さくなるように、L字型金属板をレールに沿って注意深く移動する。

(2) 撮影 模型の位置が決まったら、模型および格子に光源（A）の光を当てる。偽似モアレを防ぐために手動により格子を動かしながら、カメラ（B）で撮影する。本装置を用いて撮影したモアレ縞の写真を図7に示す。

考 察

1. モアレ縞結像撮影装置

本装置を設計する際にまず考慮した点は、光源・格子およびカメラの位置関係である。それは、模型を上から写すような“縦型”および横から写す“横型”の2通りに大別できる。著者等の意図は安価で操作性の良い装置を得ることであったことから、“横型”を試作した。“横型”の場合は、設置面積が広がる欠点は持つものの、“縦型”にみられるような大がかりな支柱を必要としないこと、各部が独立しているためその位置関係を容易に変えられること、また各部とも操作の容易な高さに置けること、等があったからである。

次に考慮した点は、等高線の間隔およびその検定についてである。著者等の研究対象は、唇顎口蓋裂者等をも含む乳児から老人にまで互るため、それらの模型は大きさおよび形態ともに様々である。また研究目的によっては、口蓋形態全体の特徴を大まかに捉え、後にその一部を取り上げ詳しく論ずる必要もある。従って、それぞれの場合に応じて等高線間隔は容易に変えられること、およびその検定が容易にかつ正確に行なえることが要求される。そのため、本装置は各部が細部に互って調節でき、適当なモアレ縞間隔を得ることが出来るようにした。また同一条件内における等高線の間隔は、以下のような操作で検定できるようにした。すなわち、図3の○に示す検定用金属板の平面部を模型と同様の操作で格子面と平行にし、その斜面板上にモアレ縞を結像して撮影する。斜面板にはある一定の勾配が与えられていることから、写真上のモアレ縞間隔と斜面板の勾配とをかけ合わせることによって等高線の間隔が検定できる。検定用金属板としては、65 mm×90 mmの平面板に60 mm×20 mmで168/1000の勾配を持つ斜面板を2つT字型に取り付けたものを作成した。T字型にしたのは、等高線の間隔がどの方向に対しても等しいことを確認するためである。

2. 基準平面設定装置

著者等はこれまで、ネイ社のサベイヤーをそのまま

用いて基準平面を設定してきた。すなわち、サベイヤーの模型台に固定された模型上に3基準点を定め、それらとホルダーに固定された1本の指針との間隔がすべて等しくなるように、模型の角度を目測で調整する方法である。この方法の欠点は、① 間隔が等しいかどうかは目測および記憶に頼って推定するため、精度が悪いこと、② 3基準点のうち1つの間隔を調整するために模型を動かすと、同時に他の2つの間隔も変化してしまうため、結果的には3つの間隔変化を見込んで調整する必要があり、経験・時間および努力が要求されること、等である。①の欠点により模型の基準平面が不正確となることは、モアレ法の導入により形態測定精度を向上させても得られるデータの信頼性は低いことを意味しており、ぜひ改善する必要がある。一方②の欠点は、多数の模型を解析しようとする場合に大きな障害となる。

向井等¹⁶⁾は、主に①の欠点を補うことを目的として、3本の指針を配した基準面設定器を考案した。しかし彼等の装置でも、模型を動かす毎に指針と基準点の位置関係が“ズレ”でしまうため、その度に3本の指針の再調整を省くことは出来ず、②の欠点は改善されていない。そこで本研究では、①②の欠点を同時に補う基準平面設定装置の製作を試みた。

従来より基準平面設定のためにとられてきた方法は、模型上の3基準点のなす“資料平面”をある“設定基準平面”に平行になるように調整する方法であり、基本的には“平面”と“平面”の平行調整と考えることが出来る。これに対し、著者等および向井等¹⁶⁾を含む従来の方法の多くは、模型の3基準点(“資料平面”内の3点)を指針先端(“設定基準平面”内の1点あるいは3点)に合わせようとしており、“点”と“点”との対応で調整しようとしていた。そのため、基準点と指針先端との間に模型を動かす度に“ズレ”が生じ、指

針の再調整が不可欠となり、操作が煩雑となってしまっていた。

このような反省から著者等は、まず“設定基準平面”を3本の指針で置き換えることをやめ、図5のように円板を採用することにした。この円板は、つねに定盤と平行を保ちながら容易に高さが調整できる機構になっている。この円板に対して模型の3基準点のなす“資料平面”が一致または平行になるように調整すればよい。しかし、模型の“資料平面”は模型自身と交叉することが多く、円板の示す“設定基準平面”との直接接触は不可能である。そこで図4に示すように等長指針で“資料平面”と平行な平面を模型外に作り、それを円板の示す“設定基準平面”に一致させる手段を考えた。この際留意した点は、等長指針の形態および固定法である。すなわち指針を模型台側に取り付けるため、着脱が容易に行なえ、しかも模型と共に容易に動かせるコンパクトな形態でなくてはならない。また模型の大きさおよび基準点の位置は模型毎に異なるため、指針の固定方法はそのような変化に容易に対応できるものでなければならない。これらの点より著者等は磁石により指針を固定する方法を考えた。この方法によると指針器の着脱は容易であると共に、固定位置も複雑な支柱等に制限されることが少なく、模型に応じて任意に選択でき、また指針器自体の寸法も著しくコンパクトなものに出来る。

以上の結果、指針は模型台に固定され模型を動かしても指針と基準点との間に“ズレ”が生ずることはなくなり、かつ等長指針を一致させようとしているのが平面となったため、従来のように模型の調整毎に指針の位置を再調整する必要がなくなった。そして、3本の等長指針の先端がすべて円板に接触するように円板の高さおよび模型の角度を調整するだけの機械的操作とすることが出来た。その模型の角度調整の際も、サベ

表1. 著者等の従来の方法と試作装置を使用した場合の操作時間および精度

上顎歯 列模型*	操作時間**		精度(3基準点間の最大高度差)***	
	従来の方法	試作装置使用	従来の方法	試作装置使用
No. 1	2分10秒	1分50秒	0.74 mm	0.02 mm
No. 2	2分15秒	1分05秒	0.36 mm	0.08 mm
No. 3	3分15秒	1分25秒	0.36 mm	0.05 mm

* 3個の模型を計測した。

** 従来の方法にかなり習熟している著者の1人が操作した。

*** 精度を計測したノギスは1/50mmのオーダーの目盛りを持つ。

イヤの模型台の ball and socket 機構により円板を静かに下げていくとすべての指針が円板と接触するように自動的に動いてくれるため、その間の操作には経験を全く必要としない。そして、すべての等長指針が接触したことを確認後 ball and socket を締めることで操作は完了する。

模型台に固定した模型に対し、基準平面設定の操作が完了するまでの時間と精度を比較したのが表 1 である。表から判るように、著者等の従来の方法に比べ、本装置使用により約 1/2~1/3 の設定時間で約 10 倍の精度の基準平面を得ることが可能になった。更に、本装置においては経験に頼ることの少ない機械的操作のため、資料が多くなればその操作時間および精度の差は、より大きくなるものと予想される。

今後光源にレーザーを用いて、より明瞭なモアレ縞を得る¹⁷⁾ 等一層の改善・検討を加えていく心算である。

文 献

- 1) 山下真司, 中原寛子, 伊藤秀美: 聴覚印象に及ぼす口腔形態の影響. 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要 1: 119-128, 1981.
- 2) 佐藤峰雄, 秋山良三: 歯列弓並びに口蓋大さの比例的研究. 日本歯科学会雑誌 30: 347-354, 1937.
- 3) 光井敏郎, 山田早苗, 北上徹也, 斉藤和三, 八竹良清, 長沢隆雄: 同一個体における口蓋各部の増令的推移について. 歯科医学 22: 2688-2694, 1959.
- 4) 前田義信: 幼児期における口蓋の形態的研究. 九州歯会誌 28: 1-19, 1970.
- 5) 兼松一幸: 乳歯列弓の累年石膏模型による形態学的研究. 歯科学報 73: 528-585, 1973.
- 6) 荻谷至朗: 乳歯列期における口蓋の形状に関する研究. 小児歯誌 14: 98-111, 1976.
- 7) 吉田昊哲: 歯列, 歯槽部並びに口蓋の成長発育とそれらの関連性について, 特に乳歯列期における側方歯群部を中心として. 歯科学報 76: 1-27, 1976.
- 8) 片山宏: 咬合, 歯列弓, 口蓋の形態学的研究. 歯科学報 58: 1-21, 1958.
- 9) Savara, B. S.: Applications of photogrammetry for quantitative study of tooth and face morphology. Am. J. Phys. Anthropol. 23: 427-434, 1965.
- 10) Bloomer, H. H. and Arbor, A.: A palatograph for contour mapping of the palate. J. Am. Dent. Assoc. 30: 1058-1056, 1943.
- 11) Itoh, H. and Hiki, S.: Observation of personal characteristics of lingual articulation by use of electro-palatography. J. Acoust. Soc. Am. 61: Suppl. 1, p. S. 31, 1977.
- 12) 古田美子, 大里重雄: 乳歯列の三次元的検索. 第 1・2・4 報. 歯学 64: 337-346, 454-464, 1094-1140, 1976.
- 13) 市川泰右: モアレトポグラフィ法による乳幼児の上顎歯槽弓ならびに口蓋の成長発育に関する研究. 歯科学報 77: 107-147, 1977.
- 14) 前田隆秀: モアレ等高縞による小児の口蓋容積の研究. 小児歯誌 15: 180-188, 1977.
- 15) 寺田春水: モアレ等高線法による人体の立体計測. 医用電子と生体工学 11: 1-8, 1973.
- 16) 向井敏, 竹井哲司, 宮澤富雄, 丸山壽夫, 仲村博紀, 佐藤義博: 我が教室で考案せる口蓋モアレ写真撮影のための基準面設定器について. 日大歯学 51: 281-283, 1977.
- 17) 北村公一, 川島捷宏, 曾我弘, 渡辺準之, 大坪誠: レーザーモアレ法による熱間形状測定法の開発. 鉄と鋼 68: S 1146, 1982.