

# Surface-Based Registrationを利用した 3次元CBCT imageの重ね合わせとその応用例(2)

池田美和<sup>1</sup> 高木雅人<sup>1</sup> 高山愛子<sup>1</sup> 佛坂育社<sup>2</sup> 三島克章<sup>3</sup> 田井規能<sup>4</sup>

1 たい矯正歯科(岡山市) 2 長崎大学大学院医歯薬総合研究科歯科矯正学分野 3 山口大学大学院医学系研究科歯科口腔外科学分野

4 たい矯正歯科(岡山市)/アリゾナATS大学Post Graduate矯正課程客員臨床准教授

(前号のあらすじ)

近年、3次元Cone-Beam Computed Tomography (CBCT)の画像構築のソフトの発展はめざましく、歯科矯正の分野においても、治療や治療のシミュレーションにしばしば応用されるようになってきた。一方、側面セファロの重ね合わせに代表されるように、2次元の評価に慣れ親しんだ矯正臨床家にとっては、精通するのに時間がかかることは否定できない。

そのため、すでに報告された我々の研究では、あくまでも重ね合わせ精度を上げるためにのみ治療前後の3次元画像を利用し、2次元画像上で形態変化などを評価するシステムを構築した。つまり、正確に融合させた3次元の物体(画像)を2次元のmulti planar reconstruction (MPR)画像に変換し、その2次元のMPR画像で従来の2次元の重ね合わせを行い、治療による形態の変化や成長発育の変化を評価する方法を開発した(Tai-Park registration technique、以下、T-P法)。

## はじめに

混合歯列期の治療として、近年までは、シュワルツの装置のような拡大ネジを用いた上下顎歯列弓の拡大装置はあまり注目されていなかった。その理由は、上顎の急速拡大装置により縫合部を分

離することで、上顎の側方への寸法の増加を行うことを可能にすることに對し、下顎は縫合を持たず拡大は歯槽骨に局限した効果にとどめられ、主として歯の傾斜にすぎないというためである。

理論的には困難な下顎の拡大も、臨床的にはよい結果を得られることを認識する臨床医も少なくはないものの、その拡大に伴う上下顎の形態変化を解析する方法は模型分析やX線規格写真を用いた解析方法の報告に限られてきた。そこで、今回我々は、コーンビームCT撮影の画像を利用し、Tai-Park registration法を使って、シュワルツ装置(図1)の効果を解析すると共にその有用性を検証した。

## 対象と方法

平均年齢7歳11ヵ月、Angle Class Iの叢生症例28名に対して、咬頭嵌合位にて日立メディコ社製マーカーキューレ-CBCTを用いて3次元CTの撮影を行った(T0)。シュワルツの拡大床装置による拡大群14名と未装着群14名の2群に分け、平均9歳8ヵ月時点で、再度、同一条件で、CBCTの撮影を行った(T1)。なお、拡大群のT1は6~12ヵ月の側方拡大の後、9ヵ月の保定期間を設けている。

撮影された3次元画像(Digital Imaging and Communication in Medicine=DICOM)データからポリゴンデータを作成し、重ね合わせを行った。こ

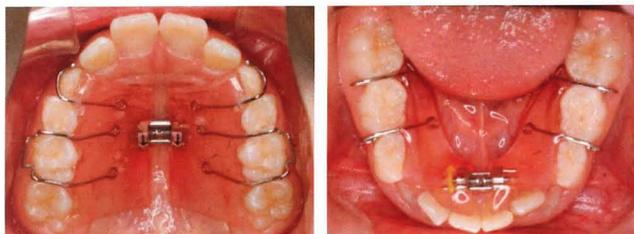


図1 今回の研究で使用した上下シュワルツの装置

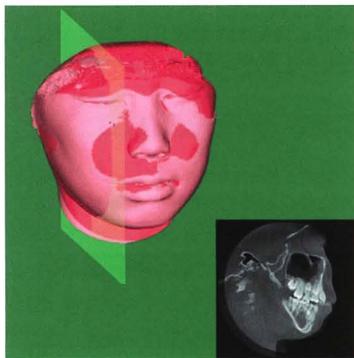


図2 成長のある患者の異なる時期の3D画像の重ね合わせと任意の平面で切り出されたMPR画像  
桃色と赤色は、それぞれ、T0とT1を示す。図中右下のレントゲン画像は、T0とT1のMPR画像が重なっているために二重に見える。この2枚の画像は、互いに位置をずらし、評価したい部位で、画像を合わせれば、形態変化が確認できる。これは、あたかも成長変化のある2枚の側面セファロをANS-PNSのANSで合わせて、変化を評価する操作とまったく同じである。また、“SN平面のS点で重ね合わせ評価する”というような、矯正医なら常識のリファレンスポイントがMPR画像上ではいまだ定義されていないので、このT-P法の普及に伴い、今後、効果的なリファレンスポイントの設定に関する報告も待たれる。

の作業には5つのソフトウェアVolume-Rugle (メディックエンジニアリング)、MicroAVS (KGT)、VVD2RGL、Point-Rugle、3D-Rugle (メディックエンジニアリング)を用いて行った(前号参照)。

重ね合わせには、Iterative Closest Point (ICP) 法を利用して、T0とT1の2画像の位置合わせを行い、比較検討を行った(図2)。つまり、T1ポリゴンデータをT0ポリゴンデータに位置合わせし、このときの位置合わせを行列で表現した。そして、この行列を使ってT1のポリゴンデータを、T0のポリゴンデータに位置合わせし、この2つのポリゴンデータを重ね合わせることで断面比較を行った。なお計測には、Volume-Rugle (メディックエンジニア

リング社製)を利用した。

ICP位置合わせには成長変化の大きい辺縁部を除外し、比較的成長の影響が小さい頭蓋底の対応点を使用した。対応点の決定にはPoint-Rugleの機能を用い、半自動的にその対応点同士が最も近い距離になるように変換を行った。この方法はポイント画像重ね合わせ法に比べ、はるかに多くの点群を扱うため、より精度が高く、安定して解を得ることができる。

### シュワルツ拡大床装置の有用性検証のための患者の計測部位

咬合平面に垂直で、左右上(下)顎第一大臼歯近

表1 計測点と関連基準線の概要

Landmark for parameter	Measured landmarks
UM1/LM1Crown	上(下)顎左右第一大臼歯の舌側の最大豊隆部間距離：歯頸部より3mmの歯冠側の位置
UM1/LM1CEJ	上(下)顎左右第一大臼歯の舌側歯頸部間距離
UM1/LM1LAP (lingual-alveolar process)	上(下)顎左右第一大臼歯の歯槽突起舌側部間距離：歯槽頂より2mm根尖側の位置
UM1/LM1BAP (buccal-alveolar process)	上(下)顎左右第一大臼歯の歯槽突起頬側部間距離：歯槽頂より2mm根尖側の位置
UM1/LM1Root	上(下)顎左右第一大臼歯の舌側歯根間距離：歯頸部より7mm根尖側の位置
MT (middle turbinate)	中鼻甲介左右最外側部間距離
IT (inferior turbinate)	下鼻甲介左右最外側部間距離
UZyg/LZyg (zygomatic bone)	上(下)顎第一大臼歯頬側咬頭頂を通る平面上で、左右頬骨の最外側部間距離
LM1IMB (inner mandibular body)	左右下顎骨体の内側面間距離：歯頸部より13mm根尖側の位置
LM1OMB (outer mandibular body)	左右下顎骨体の外側面間距離：歯頸部より13mm根尖側の位置
CoO (outermost condylar head)	下顎枝の長軸に平行で、左右の下顎頭の中心を通る平面を作成。その平面上で、左右の下顎頭の最外側部間距離を測定
Ag (antegonial notch)	下顎枝の長軸に平行で、左右の下顎角を通る平面を作成。その平面上で、左右の下顎角間距離を測定

UM1, the maxillary first molars; LM1, the mandibular first molar.

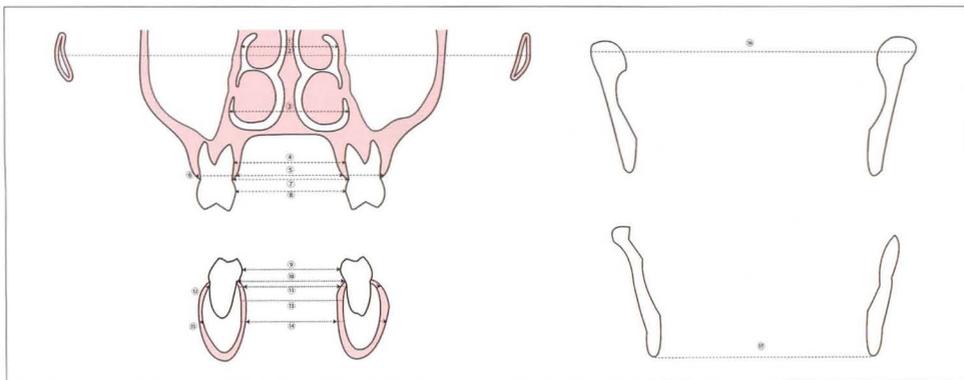


図3 計測点と基準面

1：中鼻甲介、2：頬骨、3：下鼻甲介、4：上顎第一大臼歯根、5：上顎第一大臼歯歯槽突起舌側部、6：上顎第一大臼歯歯槽突起頬側部、7：上顎第一大臼歯舌側歯頸、8：上顎第一大臼歯舌側歯冠、9：下顎第一大臼歯舌側歯冠、10：下顎第一大臼歯舌側歯頸、11：下顎第一大臼歯歯槽突起舌側部、12：下顎第一大臼歯歯槽突起頬側部、13：下顎第一大臼歯歯根、14：下顎骨体の内側面、15、下顎骨体の外側面、16：下顎頭の最外側、17：下顎角

心咬頭頂を通る平面を計測平面とする。この平面上で、T0とT1の両方の時期に、以下の距離について計測した(表1)。計測には、3D-Rugleを利用した。

その後、第一大臼歯を計測した平面に平行で、

上顎では16mm、下顎では18mm前方の平面を計測平面として決定した。その平面上で、第一乳臼歯の、歯冠、歯頸、頬舌側歯槽突起、中鼻甲介、下鼻甲介、下顎骨体間距離を同様に計測した(図3～5)。

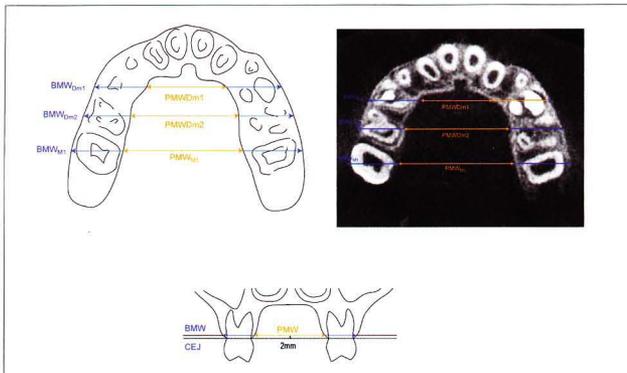


図4 下顎第一大臼歯の歯頸部(CEJ)から2mmの計測面を示す  
BMW (Buccal mandibular width) : 左右頬側皮質骨間距離、LMW (Lingual mandibular width) : 左右舌側皮質骨間距離

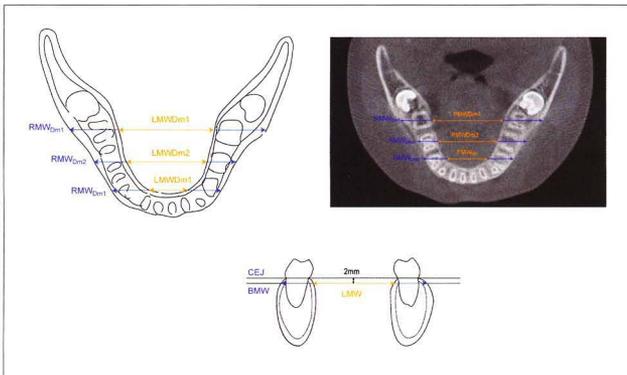


図5 上顎第一大臼歯の歯頸部(CEJ)から2mmの計測面を示す  
BMW (Buccal maxillary width) : 左右頬側皮質骨間距離、PMW (Palatal maxillary width) : 左右口蓋側皮質骨間距離

T0とT1でその変化量を求め、拡大群と非拡大群の両群で比較検討を行った。

### 統計分析

データは統計ソフトパッケージ (SPSSのバージョン16.0) を使用して分析した。拡大群とコントロール群およびT0とT1間の有意差は、Mann-Whitney U-testで検定した ( $P < 0.05$ )。

結果は図6～8の通りである。下顎におけるコントロール群と拡大群間の拡大量を比較すると、シュワルツの拡大装置は下顎第一大臼歯、下顎第一乳臼歯に対して主に傾斜移動で歯を拡大させた。さらに、歯槽突起と根尖をわずかに拡大した。下顎骨体、頬骨、下顎頭、下顎角には影響を及ぼさなかった(図6)。

上顎におけるコントロール群と拡大群間の拡大量の比較では、シュワルツの拡大装置は上顎第一

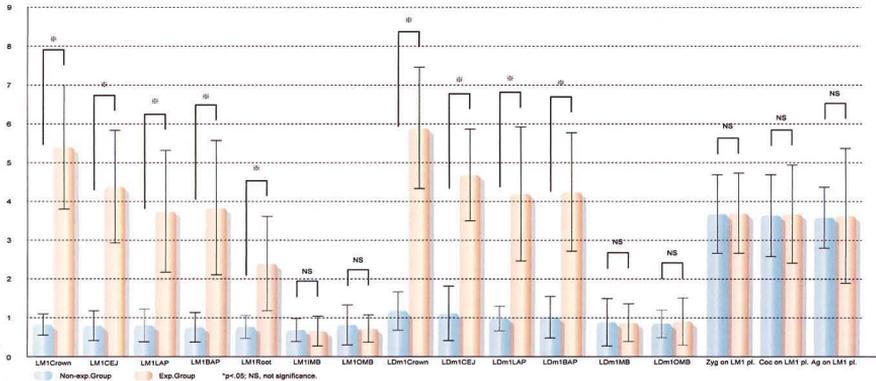


図6 下顎におけるコントロール群と拡大群間の拡大量の比較

下顎のシュワルツ拡大装置は下顎第一大臼歯、下顎第一乳臼歯に対して主に傾斜移動で歯を拡大させた。さらに、歯槽突起と根尖をわずかに拡大した。下顎骨体、頬骨、下顎頭、下顎角には影響を及ぼさなかった。

大白歯、上顎第一乳臼歯に対して主に傾斜移動で歯を拡大させた。さらに、歯槽突起、根尖、下鼻甲介相当する鼻腔側壁をわずかに拡大した。頬骨、中鼻甲介相当する鼻腔側壁には影響を及ぼさなかった(図7)。

拡大群における上下顎それぞれの第一大臼歯部の冠状面MPR画像をみると、上下シュワルツの拡大装置により、歯槽突起の先端部は頬側にバンドされ、歯も同様に、頬側に傾斜移動された。拡大後を赤の点線で示す。拡大量は成長を含む拡大群での変化量を表した(図8)。

## 考察

Tai-Park registration法を利用し、シュワルツの拡大装置による歯・歯槽骨等の形態変化を検証すること、およびこの重ね合わせ法の有用性を検証することを本研究の目的とし、American Journal of

Orthodontics and Dentofacial Orthopedics (AJODO) に原稿を送った。提出の約1か月後に、3人の査読者のうち、1人のアクセプトは得たものの、1人はリジェクト、もう一人は、大きな修正を伴うアクセプトというかなり、厳しい結果であった。修正には1か月以上かかり、内容は、大幅な変更を余儀なくされた。

特に、話題は、こちらが期待していた重ね合わせに関することではなく、早期治療の是非、下顎の拡大の是非、もしそれを肯定するならば、拡大の限界量についての十分な考察を求められた。私たちは、非抜歯論者でも、拡大推進派でもないが、それらの考えをすべて全否定する根拠も持ち合わせていない。しかし、下顎の拡大に関しては、特に慎重に行わなければならないことが再認識されて、非常によい経験となった。今後は、症例数を増やして、拡大の限界量についての報告、将来的には長期の予後についての報告もリクエストされた。

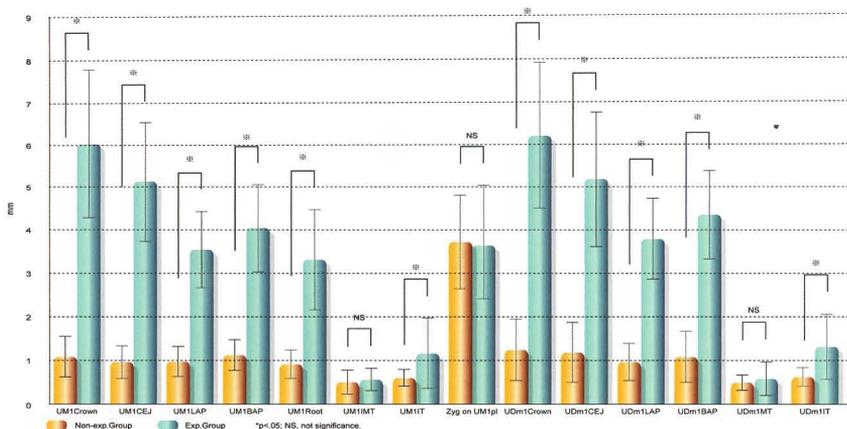


図7 上顎におけるコントロール群と拡大群間の拡大量の比較

上顎のシュワルツの拡大装置は上顎第一大臼歯、上顎第一乳臼歯に対して主に傾斜移動で歯を拡大させた。さらに、歯槽突起、根尖、下鼻甲介に相当する鼻腔側壁をわずかに拡大した。頬骨、中鼻甲介に相当する鼻腔側壁には影響を及ぼさな

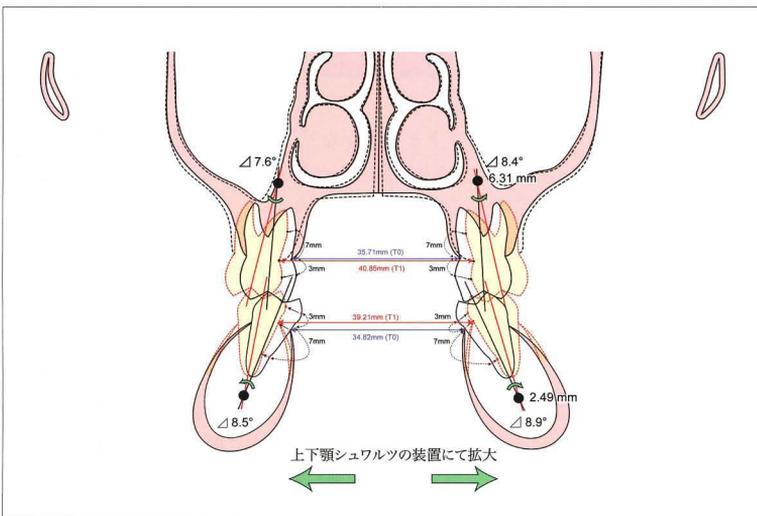


図8 拡大群における上下顎それぞれの第一大臼歯部の冠状面MPR画像での模式図

上下シュワルツの装置により、歯槽突起の先端部は頬側にベンドされ、歯も同様に、頬側に傾斜移動された。拡大後を赤の点線で示す。拡大量は成長を含む拡大群での変化量を表した。

シュワルツの拡大装置をテーマにした論文は、これまで米国ではあまり見られない印象であったが、少なくとも同様の論文の投稿を検討している研究者に対して、一つの指標になればこの上ない。さらに、これは上顎に関してではあるが、急速拡大やクワッド・ヘリックス等の他の拡大装置との効果を比較検討することも今後の研究テーマとして与えられた。

なお、現状を報告すると、症例数を増やし、上下シュワルツの拡大装置の効果について、歯、歯槽骨、歯列弓の形態変化をさらに細かく計測後分析を行い、あるジャーナルに提出している。他のリクエストの内容については、倫理委員会の承認を得て、随時進めていているところである。

## 結論

結論をまとめると、以下ようになる。

1. MPR画像によって、シュワルツの拡大装置は、上下顎の第一大臼歯、上下顎第一乳臼歯に対して、主に傾斜移動によって拡大されたことが認められた。さらに、それは歯槽突起と根尖をわずかに拡大していた。左右の下顎骨体、頬骨弓、下顎頭、下顎角部間距離は影響を受けなかった。いくつかの症例で、正中口蓋縫合部の拡大はわずかながら認められた。
2. 下顎骨の幅はシュワルツの拡大装置によって広げられなかったが、上顎骨の幅は拡大された(図4、5)
3. シュワルツの拡大装置による下顎第一大臼歯の回転中心は歯軸方向の根尖側の2.49mm下方に位置していた。一方、上顎の第一大臼歯の、回転中心は根尖(歯軸と舌頬側のそれぞれの根尖およ

び歯軸の交点)より6.31mm上方に位置していた。

4. 正中口蓋縫合の離開を予測することはできなかった。しかし、正中口蓋縫合の離開を認めた症例では、鼻腔側壁下部での鼻腔の拡大を認めた。

## まとめ

シュワルツの装置による拡大の特徴は、過去の論文では、X線セファロ写真、歯列模型による評価のみで、その拡大効果は歯槽骨内に限局し、傾斜主体であろうと報告されている(Haas, 1965; Motoyoshi et al., 2002)。さらに、上顎に比べて、下顎は縫合がないために拡大は否定されている(Sandstrom et al., 1988)。一方、Walterは1962年に、下顎歯列弓の拡大は可能で、それは永久に維持することが可能であると述べている。

実際、我々は日常診療の中で、図9のように、拡大後9年以上になるが、リテーナーを使用することなく拡大(シュワルツの装置による拡大後、マルチブラケットシステムによる治療は行われている)が維持されている症例もあるが、リテーナーを使用しなければ、拡大後数カ月で、もとに戻ってしまった症例も経験している。

また、図10に示すように、成人症例においても拡大可能で、さらに幅径維持のためのリテーナーを使用せずに、術後5年間後戻りを認めない症例も経験している。現在でも、拡大に対しては賛否両論あるが、今回の研究は、その答えを導くためにも、CBCTを用いてより正確に拡大の形態変化を評価できたと考えている。

今回の研究より、拡大に対するコンセプトは、拡大可能 vs 不可能や早期治療vs晚期治療だけではなく、ターゲットにしている拡大部位により、今後変

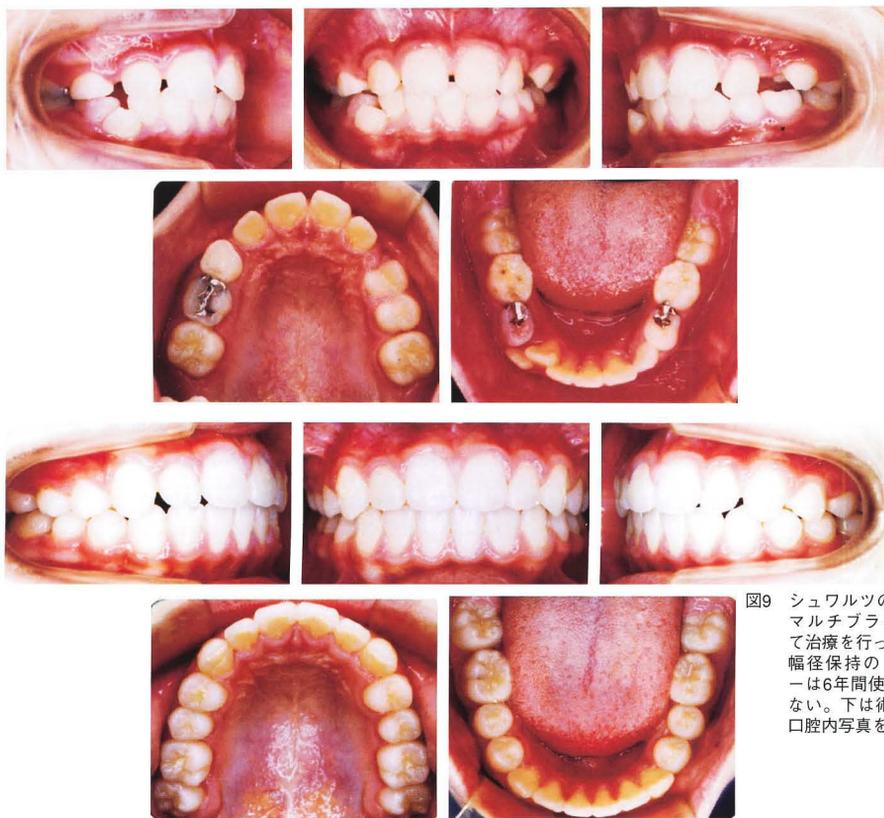


図9 シュワルツの拡大後、マルチブラケットにて治療を行った症例。幅径保持のリテーナーは6年間使用していない。下は術後9年の口腔内写真を示す。

わってくる可能性が示唆された。その部位ごとに適正時期や力系の検証ができれば、従来とは異なる議論が展開されるのではないかと推測された。

#### 参考文献

1) Tai, K., Park, J.H., Hotokezaka, H., Mishima, K. : Using superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography images with surface-based registration in growing

patients, *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 34 (4) : 361-368, 2010.

2) Tai, K., Hotokezaka, H., Park, J.H., Tai, H., Miyajima, K., Choi, M., Kai, L., Mishima, K. : Preliminary cone-beam computed tomography study evaluating dental and skeletal changes after treatment with a mandibular Schwarz appliance, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 138 : 262.e1-262.e11, 2010.

3) Tai, K., Park, J.H. : Dental and skeletal changes in the upper and lower jaws after treatment with Schwarz appliances using cone-



図10 成人症例において、拡大後、幅径維持のリテーナーを使用することなく、術後5年間幅径が維持されている症例。

beam computed tomography, *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 35 (1) : 111-120, 2010.

- 4) Park, J.H., Tai, K., Takagi, M., Miyajima, K., Kojima, Y., Joo, B.H. : Esthetic orthodontic treatment with a Double J Retractor and temporary anchorage devices, *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics* (in press)
- 5) Tai, K., Park, J.H., Okadake, S., Mori, S., Sato, Y. : (Case report) Orthodontic treatment of a unilateral cleft lip and palate patient with congenitally missing maxillary lateral incisors and a

maxillary left second premolar, *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics* (in press)

- 6) Tai, K., Park, J.H., Mishima, K., Je-Won, Shin. : 3 dimensional cone-beam computed tomography analysis of transverse changes with Schwarz appliances, *Angle Orthodontists* (in press)
- 7) Tai, K., Park, J.H., Ikeda, K., Nishiyama, A., Sato, Y. : Severe facial asymmetry and unilateral lingual crossbite treated with orthodontics and two-jaw surgery : 5 year follow-up, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* (in press)