

# 国立国語研究所学術情報リポジトリ

## Scanning of 3D palate shape and application to measurement of articulatory movement by WAVE

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-01-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 能田, 由紀子, 北村, 達也 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15084/00003486">https://doi.org/10.15084/00003486</a>

## 口蓋 3次元データの作成と WAVE での発話計測実験への応用

能田 由紀子 (国立国語研究所) †

北村 達也 (甲南大学)

### Scanning of 3D palate shape and application to measurement of articulatory movement by WAVE

Yukiko Nota (National Institute for Japanese Language and Linguistics)

Tatsuya Kitamura (Konan University)

#### 要旨

WAVE は舌などの調音器官の上に置いたセンサ位置の変動を計測する装置で、調音運動の分析に用いられている。その分析には口蓋の形状データが必要なため、従来は WAVE のプローブセンサを用いて例えば口蓋の正中矢状断面をトレースするなどの計測が行われていた。しかし、口蓋の正中矢状断面の決定に恣意性があるなどの問題があった。そこで本研究では、まず WAVE センサを設置した歯科用トレイを用いて、歯列と口蓋の印象を採取すると同時にセンサ位置も取得した。次に、トレイを脱着後、3D スキャナで印象とセンサ位置を光学計測した。最後に、センサの光学座標を WAVE 座標に対応させる剛体変換行列を求めて、光学計測した歯列と口蓋の形状データを WAVE の座標系に移動した。これにより、従来利用されていた口蓋の正中矢状断面に加えて、歯列や口蓋の 3次元形状データを分析で利用することが可能になった。

#### 1. はじめに

発話運動は口唇や舌などの発話器官の複雑な運動によって行われるが、舌や口蓋などは、外部から直接観測することが容易ではないため、発話運動の計測を行うためには磁気共鳴画像法 (MRI : Magnetic resonance imaging) をはじめ様々な計測機器が使われてきた(鍋木他 2010)。その一つである磁気センサシステム (EMA : electromagnetic articulography) は、磁場を発生させた計測エリアの中の調音器官に装着したコイルの位置をトラッキングすることで調音器官の位置を計測するものである (北村 2015)。

われわれは、EMA の 1 種である Northern Digital Inc. の Wave speech research system (WAVE) を使って調音運動を計測してきた。データとして得られるのは毎秒 100 サンプルで計測されるセンサ (サイズ: 3mm×3mm×2mm) の空間座標のみで、MRI のように発話器官の形状が取り出せないため、表示や解析結果の検討にあたっては、咬合面や口蓋の正中矢状断面の形状が必要である。装置の規格としては、口蓋の正中矢状断面は、実験参加者自身がプローブセンサで自らの口蓋面の正中と思われる場所をトレースすることによって取得することとなっていた。しかしこの方法では実験参加者の触覚に依存しておりプローブを左右のぶれなく正中線上をトレースさせることが難しいため、恣意性が高く再現性が低くなる可能性が高かった。また、正中以外の口蓋面の形状を知ることは難しかった。そこでわれわれは、歯科用の印象剤を用いて採取した実験参加者の口蓋と歯列の形状の印象を用いることで、咬合面や口蓋の正中矢状断面の形状を計測する手法を開発した(北村他 2014)。この方法では、まず、実験参加者の印象を採取して固化した後、センサを内蔵したバイトプレートに接着して実験参加者に再装着させて、その位置情報から咬合面を決定した。その後、脱着した印象について目視で正中矢状面を決定し、それをプローブセンサでト

† ynota@mnjal.ac.jp

レースすることによって口蓋の正中矢状断面形状の情報を取得していた。しかし、この方法では、口蓋の正中矢状面を目視でトレースするため、まだ恣意性が残る。また、実験参加者が印象やバイトプレートを複数回にわたり着脱する必要があり、衛生面に問題があった。

今回、これらの問題を解決する手法を考案したので報告する。この手法は、印象を採取後、その位置情報をセンサで取得しておき、3D スキャナで計測した印象から抽出した口蓋の正中矢状断面の形状などを剛体変換により WAVE の座標系に移動させるものである。

## 2. 方法

### 2.1 バイトプレート作成と口蓋印象採取

本研究のために新しくバイトプレートを作成した。このバイトプレートは、印象を採取するための歯科用印象トレイと、トレイの位置を計測するための上、右、左、左横の4つのセンサ(それぞれ T, R, L, LS と呼称)を配置したセンサプレートから構成されている(図 1)。印象トレイとセンサプレートはビスで結合されているため、実験参加者ごとにトレイ部分のみを交換可能である。印象用トレイに印象剤を盛り、実験参加者の上顎の歯列と口蓋に圧着して固化させることにより、歯型と口蓋形状を採取した。今回は位置合わせの結果の検証に用いるため印象トレイの上にもセンサ一つ (IT) 装着した。



図1 バイトプレート

### 2.2 WAVE 計測

実験参加者は日本人成人女性1名である。実験は国語研究所の倫理審査を受けて行われ、実験参加者は文書による説明を受けたのち同意書に署名した。

センサプレート上の4つのセンサに加えて、北村ら(2014)と同様にナジオンにリファレンスセンサ、舌上の正中線付近の前後に2つ、下唇に1つセンサを装着(それぞれ Ref, T1, T2, LL と呼称)して以下の計測を行った。舌尖から T1, T2 までの距離はそれぞれ 12.7 mm, 36.9 mmであった。なお、すべての計測でセンサの座標は Ref に対する相対座標として標準化周波数 100 Hz で記録した。計測条件は以下の通り。

- ① 実験参加者にバイトプレートを装着した状態でセンサプレート上および印象トレイ上の5つのセンサの座標を5秒間取得し、その平均座標をそれぞれ  $W_t$ ,  $W_r$ ,  $W_l$ ,  $W_{ls}$ ,  $W_{it}$  とした。
- ② 実験参加者からバイトプレートを脱着し、舌を口蓋につけた安静状態で T1, T2, LL センサの位置を5秒間計測し、その平均座標を求めた。
- ③ 実験参加者が発話している間の T1, T2, LL センサの位置を計測した。発話課題はア、カ、サ、タ、ナ行の単一モーラを区切って読み上げた。

### 2.3 バイトプレートの3次元計測

WAVE 計測の後、バイトプレートを3次元スキャナ(SCAN in a BOX: Open Technologies

社)で計測し、3次元の点群データを得た。3次元データ解析ソフト MeshLab を用いて、センサプレート上の4点 T, R, L, LS および印象トレイ上の1点 IT の3次元座標 Mt, Mr, Ml, Mls, Mit と、図2にあるように、上顎の左右の中切歯の外側の2点 P1, P2 および左右の第一大臼歯の外側の2点 P3, P4 の座標を計測した。その際、スキャナで計測した場合の計測点はセンサの表面にあるのに対し、WAVE ではセンサの中心の位置座標が計測される。そのためスキャンでの計測と WAVE での計測では、プレートに対するセンサの位置情報に、センサの厚み(2mm)の半分の1mmの差が生じることになる。そこで位置合わせに用いる Mt, Mr, Ml, Mls の4点の座標は、スキャナで計測したセンサ表面の座標をセンサの中心方向に1mmずらしたものとし、それをもとにして変換行列を求めた(ITの座標については、センサの中心方向を座標系の中で特定することが困難なため、スキャナで計測した座標をそのまま用いた)。

計測した P1, P2 の中点を Pa, P3 と P4 の中点を Pp とした。Pa, P3, P4 で決定される平面を咬合面とし、咬合面と垂直で Pa と Pp を通る直線を含む面を正中矢状面とした。P1 ~ P4 の座標の計測誤差により、口蓋における正中矢状断面の位置がどの程度変動するか検討するために、座標の計測は4回行って結果を比較した。

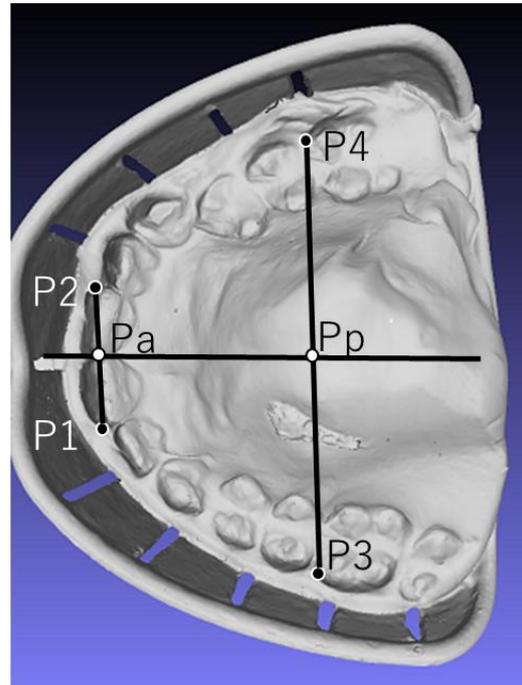


図2 スキャンした口蓋印象と歯列の計測点

## 2.4 口蓋形状の WAVE 座標系への移動

センサプレート上の、スキャナで計測した4座標 Mt, Mr, Ml, Mls を、それと対応する WAVE で計測した4座標 Wt, Wr, Wl, Wls に写像する行列を反復最近接点(ICP)アルゴリズムを用いてもとめた。本研究では Matlab の関数を用いた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 口蓋形状の移動

変換行列を用いて Mt, Mr, Ml, Mls, Mit を WAVE 座標系に移動させた結果、Wt, Wr, Wl, Wls, Wit との誤差(距離)はそれぞれ 0.31mm, 0.34mm, 0.29mm, 0.34mm, 1.38mm であった。

T, R, L, LS は、それ自身の座標を使って位置合わせの行列を求めたので誤差が小さいことは当然である。それ以外の点である IT については、誤差が 1.38mm と若干大きくなっている。口蓋上に配置した IT は誤差を計算するにあたって、スキャンで計測したセンサの表面座標から WAVE で計測されるセンサの中心座標への補正を行うことができなかったため、正しく移動されていても理論上 1mm 程度の誤差が生じる可能性がある。したがってここで計算された距離の誤差が 1.38mm というのはかなり近いところに移動されたと考えてよいであろう。そこで今回の手法によってスキャンで計測された口蓋形状の WAVE 座標系への移動は十分な精度を持って行われたと判断した。

### 3.2 正中矢状断面の決定

図3は WAVE 座標系に移動した口蓋形状と、4回の計測により得られた P1~P4 から計算した正中矢状断面の位置を示す4本の線を重ねたものである。色の違いがそれぞれの計測時の正中矢状断面の位置を表す。4回の計測による正中矢状断面の位置は、口蓋上では側方に最大 1.0 mm の幅のばらつきがあった。WAVE で計測したセンサの座標には最大 1 mm 程度の誤差がある (Berry 2011) ことを考慮すると、スキャンデータの目視での P1~P4 の座標計測から求められた正中矢状断面の位置の各計測間でのばらつきは許容範囲であり、再現性高く正中矢状断面を決定できると考える。

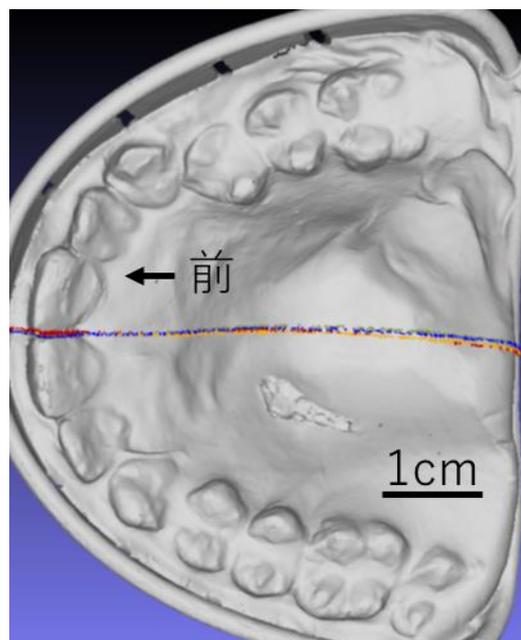


図3 正中矢状断面の推定位置

### 3.3 安静及び発話条件でのセンサ位置

図4は、4回の P1-P4 計測の平均値で得られた口蓋の正中矢状断面における形状と、2.2 節②および③で計測した、安静状態とア行およびカ行の発話時における T1, T2, LL の位置を示す (見やすくするために口蓋面を半透明で表示し、正中矢状面の線を灰色で、安静時のセンサの位置を赤丸で、発話時の 10ms ごとのセンサの位置を青丸で表記した)。安静時には舌上につけた T1T2 センサはおおむね口蓋についた状態で、発話時には調音運動に伴ってセンサ位置が移動している様子が観察できる。カ行の発話で T2 が口蓋線よりも上部に位置している計測点がみられるが、それはほぼ軟口蓋部分に位置しており、発話時の軟口蓋は印象を採取した安静呼吸時に比べて挙上するため、図のような表示になると考えられる。図ではわかりにくいですが、実際の表示では 3 次元区間にプロットされているため、様々な角度から観察・分析することが可能である。

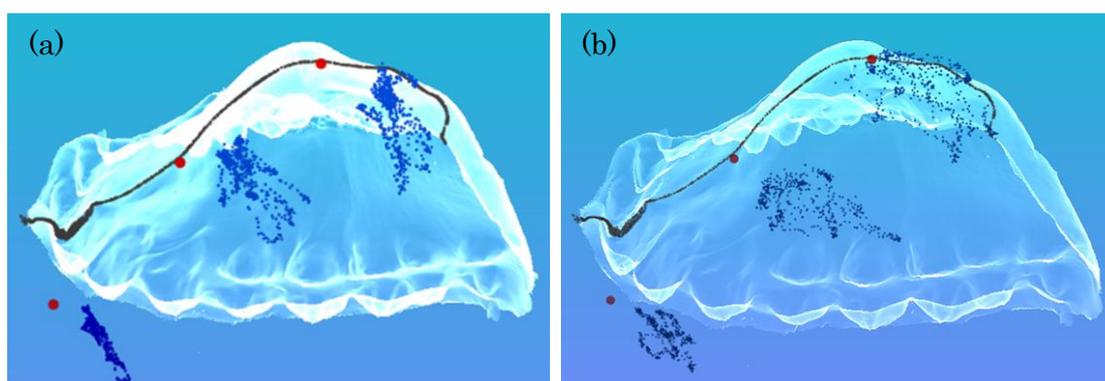


図4 安静時及びア行 (a) およびカ行 (b) 発話時のセンサ位置の 3 次元表示

これまで多く利用されている VisArtico (Ouni 他, 2012) などの EMA の表示ソフトでは、口蓋の正中断面上での口蓋の形状と発話時のセンサの位置のみが表示されるものがほとんどであった。今回の手法を使えば、3次元の詳細な口蓋形状や咬合面の位置関係を加味して

発話中の舌や口唇の動きを表示・解析することが可能になる。側面音や口蓋化子音の調音などの発話運動を計測するにあたっては、舌の正中線上に装着されたセンサに加えて側方に装着したセンサの動きを扱うことでより詳細な発話運動の分析が可能となる。

#### 4. おわりに

本研究では WAVE を用いた発話計測実験時に、口蓋を計測するための新しいバイトプレートを開発し、印象採取時に口蓋形状を WAVE 座標系に移動させるための情報も取得できるようにした。これにより複数回の着脱による衛生問題を解決した。また印象を 3 次元スキャナで計測することで口蓋の 3 次元データを取得し、正確な咬合面や口蓋の正中矢状断面の形状をより簡単に取り込むことができるようになった。3 次元で口蓋データを取得することで、発話運動の表示や分析を 3 次元で行うことが可能になる。今後は口蓋の 3 次元データを取り込んだ WAVE のビューワーソフトの作成を行う予定である。

#### 謝 辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究 B 17H02339, 「リアルタイム MRI および WAVE データによる調音音声学の精緻化」(代表者: 前川喜久雄), JSPS 科研費基盤研究 B 20H01265 「リアルタイム MRI 動画による日本語調音運動データベースの構築と公開」(代表者: 前川喜久雄), および国語研コーパス開発センタープロジェクト「コーパスアノテーションの拡張・統合・自動化に関する基礎研究」(代表者: 浅原正幸) の助成を受けた。

#### 文 献

- 鎌木時彦・正木信夫・元木邦俊・松崎博季・北村達也 (2010) 「音声生成の計算モデルと可視化」(コロナ社).
- 北村達也 (2015) 「磁気センサシステムによる調音運動のリアルタイム観測」日本音響学会誌, 71:10 pp. 526-531
- 北村達也・能田由紀子・吐師道子・波多野博頭 (2014) 「磁気センサシステムによる発話観測における調音空間の計測」電子情報通信学会技術研究報告, 114:303, pp. 89-93
- J. J. Berry. (2011) "Accuracy of the NDI wave speech research system", *J. Speech Lang Hear Res*, 54:5, pp. 1295-1301.
- Slim Ouni, Loïc Mangeonjean, Ingmar Steiner. (2012), "VisArtico: a visualization tool for articulatory data," *Proc. Interspeech2012*, pp. 1878-1881.

#### 関連 URL

メッシュ処理ソフトウェア Meshlab <https://www.meshlab.net/>.