

ドッピーさん物語り(1)

旭医大腎泌尿器外科学講座講師
(現・旭医大病院臨床研修支援センター) 松本成史



われわれは世にも稀なる全く新しい概念の面白い医療機器を自ら着想、開発し、製品化までしてしまっただけで、それがここで紹介する空中超音波CWD方式の外測ウロダイナミクス装置「ドッピー」で、それは非常に長いが一瀉千里の突破物語りであった。まずプロジェクトコード「ドッピー」だが、過日の本紙記事^[1]の通りで、これはドイツ語の「ドブラ」(Doppler、人名^[2])と英語の「ピー」(pee、「おしっこをする」の幼児語)の合成語である。これがプロジェクトチーム内で、ある時自然発生し、「さんづけ」で愛称するようになってしまった(「ドッピー」は商標登録済みである)。

ドブラ(古くはドップラー^[3])効果とは高校の物理に出て来るが、歴史の源流に関しては^[2]を検索していただきたい。ドブラ計測の医療への応用は我が国が発祥で、また世界に冠たる技術を堅持するものであり、これは読者の方々に知って

いただきたい事実である^[4]。その開闢以来、医用超音波ドブラは体内に向けて超音波を送受信し体内臓器を観測して来たが、われわれはこれを完全に意識転換し、体外において応用、特に放尿(排尿)される尿の流れ(尿流)を観測することに転用もしくは先祖帰りさせたものが「ドッピーさん」である。

そこで「何故それを」であるが、泌尿器科学において尿流動態(ウロダイナミクス)の計測は、下部尿路機能やその病態把握のための重要な

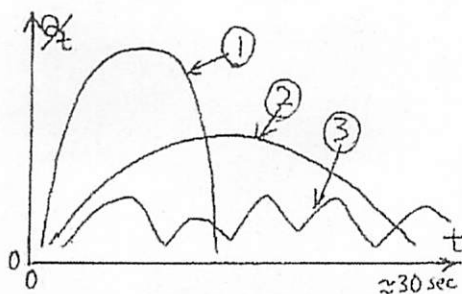


図1-1: 尿流曲線(排尿)のパターン ①若年層「シャーツ」、②中高年層「ジャアア」、③排尿障害の一例(腹圧排尿)「チビリチビチビ」

一角を占め、特に放尿過程における尿流速や排尿量の時系列推移が重要となる。排尿量は個々の膀胱容量や排尿時の環境等さまざまな要因に依存するため、放尿ごとに異なり、参考にはなるが決定的に重要な観測項目ではない。診断上決定的に重要なのは図1-1のごとく、排尿過程における尿流曲線(パターン)なのだが、従来システムでは工業計測と同様の手法で尿流速、排尿量等を計測してきた。その計測装置は誠に原始的即物的で、図1-2のごとく、要するにトイレ(尿器)のような構造物に尿受けカップとカップ

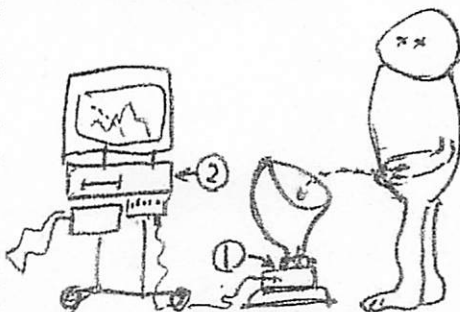


図1-2: 従来(現行)型装置は①メスカップセンサが、②記録システムに繋がるフロアマウント構造

の中に溜まる尿の重量を測る秤(はかり)が付いていて、秤の計測値を時間微分すると刻々の尿流量すなわち尿流曲線となる。多少進歩した装置ではカップと秤に代えて、高速応答水流タービンが刻々の尿流量を直接センサする。そこで何が問題かと言うと……(続く)。

参考文献:

- [1] 北海道医療新聞 2015年9月4日付3面
- [2] 検索語(人名)=Christian Doppler
- [3] 古代用語「ドップラー」はある時代を境に標準語「ドブラ」に改正統一された
- [4] 検索語=里村+ドブラ、仁村+ドブラ

【略歴】1969年3月7日生まれ。近畿大94年卒。同大講師などを経て、2010年に旭医大腎泌尿器外科学講座講師。16年4月から旭医大病院臨床研修支援センター講師

ドッピーさん物語り(2)

旭医大腎泌尿器外科学講座講師
(現・旭医大病院臨床研修支援センター) 松本成史

われわれの希世の面白い医療機器「ドッピーさん」は、放尿され空中を走行しつつある尿滴流を空中超音波CWドプラ方式で計測する装置であり、患者自身がウェアラブルセンサを用いて「何時でも何処でも何回でも」自分自身の放尿を計測できるごく簡素な装置システムである。

それでは何が問題かと言うと、前回示したようなフロアマウントの装置(医療施設にある現行の尿流測定装置)では放尿を診断してもらうには患者が医師の指示で医療施設内の装置の許へ歩み寄って「恐れながら放尿し奉らなければならない」ことである。そのような非日常的な環境で1

回だけ放尿したのでは決してその患者の自然な生活環境での放尿の常態を観察したことにはならない。その計測はいわゆる「白衣高血圧」現象と同じ問題である。そこで正当な外測ウロダイナミクス計測を実現するには、また患者自身の自律、自己管理の可能性も含め、患者自身が「何時でも何処でも何回でも」自分で自分の放尿を計測できるごく簡素な装置が必要になる。この主旨でわれわれはドプラ速度計で空中を走って行く尿滴流を観測し、必要な計測を行うことにした。ドプラ速度計と言うとい

図2-1

わゆる野球で投手の投球速度を計測するスピードガンや高速道路の限で待ち受けるネズミ捕りレーダーを想起するだろうが、「ドッピーさん」のご先祖様はむしろ電磁波、超音波を含む幅広いドプラ応用計測の中の至近距離CWドプラレーダー^[1]である。最近では、古典的な転倒升式雨量計^[2]から、マイクロ波CWドプラ方式降雨計ないし雨量計^[3]に置き換えられつつあり、「ドッピーさん」はこれを超音波に置き換えた物だと理解してもらえれば良い。

最終プロトタイプ(図2-1)を見ていただこう。送受信両トランスデューサーが搭載された小さなドプラセンサは患者の指にはめる指輪の構造をした装置で、これを放尿時に走り去る尿の方に向ける(図2-2)。観測超音波は周波数40KHz、波長8.5mm、放射パワー数mWで、観測可能立体角は60度と非常に広いので放尿に向けて「ねらいを定める」必要はなく、この装置が完璧にそっぽ(放尿側とは全く別方面)を向いていないことだけが必要事項である。走行する尿滴からの反射波は検波されオーディオ領域の低周波信号となり、周波数分析され、ドプラスペクトラムの時系列パターンになる……(続く)。

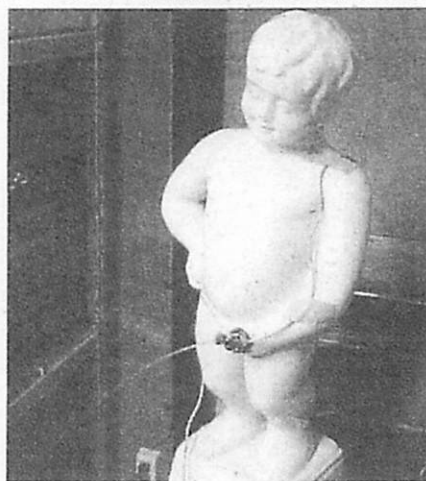


図2-2: 小便小僧ファントムで評価試験中

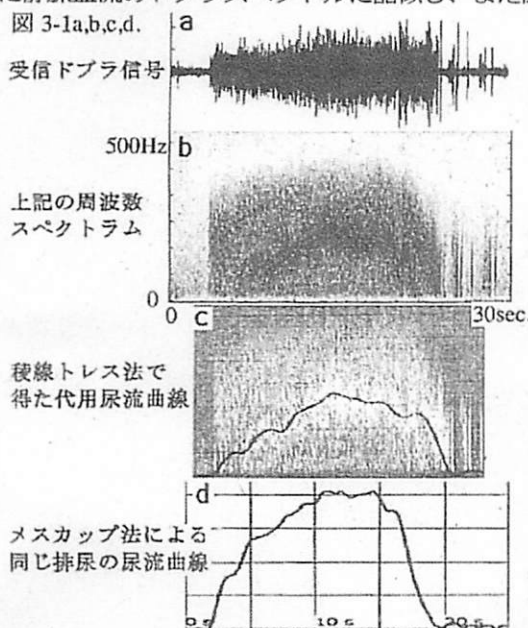
参考文献:

- [1] マイクロ波ドプラはかつて自動ドアに大量に採用されていたが、コストと消費電力の点で空中超音波ドプラに負けて完全撤退した。しかし、その後空中超音波ドプラがまた焦電式パッシブ赤外線センサ(パイロセンサ)に同じ理由で負けて完全撤退した。この歴史は実に面白い
- [2] 例えば、気象庁 http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kansoku_guide/bl.html
- [3] 例えば、横河電子機器 <http://www.yokogawa.com/jp-ydk/ie/env/hyd/pdf/gswj7651-00.pdf>

ドッピーさん物語り⁽³⁾

旭医大腎泌尿器外科学講座講師
(現・旭医大病院臨床研修支援センター) 松本成史

われわれの希世の面白い医療機器「ドッピーさん」は、空中を走行する尿滴流を空中超音波CWドプラ方式で計測し、排尿行程全体のドプラ信号(図3-1a)とそのドプラスペクトラム(図3-1b)を提供する。このシステム全体は、観測相手の空間が空気中であることと周波数が2桁低いことを別にすると、いわゆる胎児心拍発見器や胎児監視装置のCWドプラシステムと本質的に同じ物である。最近では特定部位の血管の血流を選択的に観測するには距離選択性が必要なので専らパルスドプラが使用されているが、古くは血流観測も同じようなCWドプラが使用されていた。この尿流ドプラ信号のスペクトラムは意外に静脈血流のドプラスペクトルに酷似し、また聞こえる「ゴワーオーウ」とい



うドプラ音も遅目の静脈血流ドプラ音とそっくりである。最初の試作機がこのスペクトラム像を見せてくれた時、われわれはその時点で既に全てを直感的に見通して理解できた。つまり、この中に欲しい情報は全て存在する、外測ウロダイナミクス計測にはこれ以上何も必要ない、このパターンで視覚的に全てが診断できる、と。しかしながら、それは血流や心拍の超音波ドプラ計測全体を見慣れた者の目で見ることから、臨床現場において泌尿器科医一般には通用しないのも事実である。この信号データから伝統的な尿流曲線に相当する、診断学上、定性的にではあってもアプリケーションコンパチブルなグ

ラフを抽出する要求が出て来ることは火を見るより明らかであった。

代用尿流曲線を抽出する作業は比較的素直に片付いた。一つの手法として、例えばこのスペクトラム像(図3-1b)のドプラ特有のスペックル性を徹底除去するように2次元平滑化した上で、その稜線をトレースするという手法でほぼ満足できた(図3-1c,d)。エッジトレース法、ゼロクロス法などの他の手法もあるが、この稜線トレース法が計算量は多いが一番素直な手法である^[1,2]。信号処理はこれで一段落したかに見えたが、しかしその次に多少精度は悪くとも従来(現行)のフロアマウントの装置と同様に、尿排出総量(総排尿量)が欲しいという要求が待ち構えていた。これは実務上の従来装置とのユーザー親和性もさることながら、後述のごとく、従来装置と同機能・同目的という段取りで薬事認可を得るために必須なステップであった……(続く)。

参考文献:

- [1] Matsumoto S, et al., Development and utility evaluation of new uroflowmetry using wearable airborne ultrasound Doppler system. J Urol. 2013; 189(4): Supplement, e341.
- [2] Matsumoto S, et al., Airborne ultrasound Doppler systems for biomedical and other applications. Yongnum-Kyushu Joint Conference on Acoustics 2013. Session A-1, paper #203.

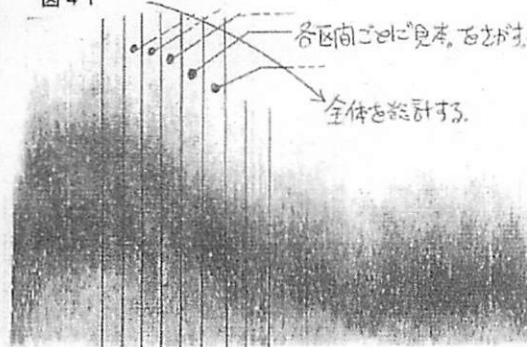
ドッピーさん物語り(4)

旭医大腎泌尿器外科学講座講師
(現・旭医大病院臨床研修支援センター) 松本成史

われわれの希世の面白い医療機器「ドッピーさん」は、放尿され空中を走行しつつある尿滴流を空中超音波CWドプラ方式で計測する装置であり、患者自身がウェアラブルセンサを用いて「何時でも何処でも何回でも」自分の放尿を計測できるごく簡素な装置システムである。尿流ドプラ信号とその周波数スペクトラムが得られたのち、稜線トレス法代用尿流曲線に加えて尿排出総量推定値を算出することが次の課題になった。ところがドプラ計測一般やその背景となるエコー計測一般の出発点である、系全体がエコー源の反射能まで含め正しく校正できれば、

(1) 受信信号の電力総量は反射源の質量総量に比例する。

図 4-1



(2) 視線速度から実速度を得て上記質量を乗ずれば瞬時流量になる。

(3) 瞬時流量を積分すれば総量すなわちこの場合尿の排出総量になる。

と言う大前提で臨むと、どのように工夫しても実用的に正しい結果が得られないことが分かってきた。原因としていくつかのことが考えられたが、送受波器から見える

尿滴の走行角度(ドプラ見込み角)があまりに分布し過ぎているのも一因かと思われた。どの領域でもドプラ計測はこの定量化が最後の鬼門であることが分かっていたので、ここで深追いすると学位論文研究になってしまうと思い、

支援企業の提案に従い「カンニング」することにした。すなわち図 4-1 のごとく、あらかじめ流量が分かっている定常流のスペクトラムのデータを多数溜め込んで控えておき、計測したい信号のスペクトラムを小区間ごとに見本群の中のどれに一番似ているかを探し、その小区間はその見本の瞬時流量を採用して全体を総計する。結局この姑息的手法で通常の排尿ならば前後 5%程度の精度と再現性に追い

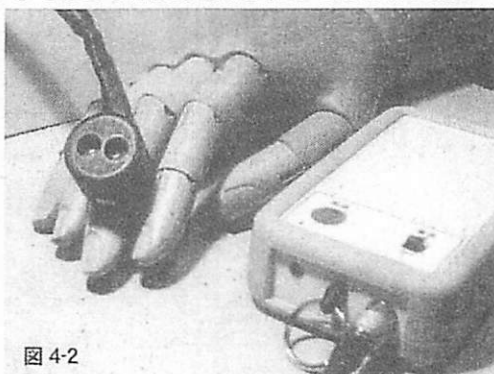


図 4-2

込むことができた。これで役者が揃ったのでプレクリニカルテスト^[1]とともに商用機の設計に移り、製品版装置をPMDA審査試験の場に提出し、薬事認可を得ることができた。

製品版のドッピーさんの外観を図 4-2 に示す。現時点では指嵌めセンサと信号処理装置は有線接続、信号処理装置から近隣のホストPCへは無線接続であるが、追って指嵌めセンサそのものからの無線化、信号処理の質的向上、またデータのアーカイブや初期段階の自動診断など宿題も多いので、順次取り組みたいと思っている。(おわり)

参考資料:

[1] 松本成史ほか、空中超音波ドプラシステムを用いた新規尿流測定装置の開発とその有用性、泌尿器科紀要、2012; 58(9): 465-9.

* 1 公開実演: YouTube "Pissing Boy Doppler in Innovation Japan 2012", <https://www.youtube.com/watch?v=CarotW-3Jfw>

: YouTube "ABUS Urodynamics Team (NSX Challenge 2013)", <https://www.youtube.com/watch?v=ZJedGRKDtG>

* 2 FAQ: 女性の場合はどうするのかという質問が必ずあるが、女性の場合も尿道口の後方にセンサを置き、尿が飛んで行く方向に向けられれば同様に計測できる