

3Dプリンタの 医療応用最前線 利活用法から作製法まで

企画協力: 森 健策

名古屋大学情報連携統括本部情報戦略室 / 大学院情報科学研究科メディア科学専攻教授

シリーズ特集“新潮流—The Next Step of Imaging Technology”第4弾では、医療分野でも注目を集めている3Dプリンタに焦点を当てます。3Dプリンタは、技術革新に伴い骨や臓器の立体モデルを高い精度で作製できるようになり、臨床現場や医学教育への応用が期待されています。本特集では、3Dプリンタの利活用の現状から作製のノウハウに至るまで、医療応用の今と未来を探求します。



総論：3Dプリンタの医療応用の 現状と展望

森 健策 名古屋大学情報連携統括本部情報戦略室/
大学院情報科学研究科メディア科学専攻

さまざまな分野で3Dプリンタを用いた多様な取り組みがなされており、「3Dプリンタのブーム」が起きている。これは、3Dプリンタの低価格化、Anderson, C. 著の“Makers: The New Industrial Revolution”¹⁾などに代表される Makers ブーム、そして、2013年の米国・オバマ大統領の一般教書演説において3Dプリンタが取り上げられたことによって引き起こされたものと考えられる。

診断や治療の支援のために、CT画像やMR画像から臓器実体モデルを造形し、それを臨床の場で利用することも、多く行われるようになってきた。現在では、医療の場において3Dプリンタを利用すること

も、一つのブームになっているように見える。このブーム自体は、もちろん3Dプリンタ自体が世界的なブームになっていることもあるが、3Dプリンタによって造形される臓器実体モデルが持っている直感性に対して、多くの人々がその可能性に注目しているためであるとも考える。このことは、北米放射線学会 (RSNA) において2014年から3Dプリンタに関連した数多くのセッションが設けられるようになってきたことにも現れている²⁾。臓器実体モデルは手術応用で取り上げられる場面が多いが、放射線科の領域においても3Dプリンタをホットピックスとして取り上げるようになったのは注目に値する。これはま

さしく、臓器実体モデルが持っている直感性に対して、多くの人々がその可能性に期待している表れであろう。

多くの注目を集めている3Dプリンタであるが、現在は第三次3Dプリンタブームにあると言われる。第一次ブームは、光造形法が登場してしばらく経った1990年頃である。第二次ブームは、粉体造形法を利用してフルカラープリントが可能なプリンタが注目されるようになった2006年頃である。現在の第三次ブームは、熱溶解積層法 (fused deposition modeling: FDM) の低価格化によってもたらされている。3Dプリンタを用いた立体造形、あるいは rapid prototyping は、工業分野で

の設計確認などで光造形法の登場とともに行われるようになった。今回の第三次ブームでは、3Dプリンタが利用される場面がこれまでとは異なり、「面の広がり」を持っていることが特徴である。第二次ブームまでは特殊な装置であり、企業、大学の研究室などでしか利用できなかったものが、ホビーユースなど家庭でも利用できるようになってきたことは特筆に値する。利用場面の面的な広がりは、医療分野における3Dプリンタの利用にも、いずれ好影響を与えるものと期待される。

そこで、本特集では、3Dプリンタの医療応用について数多くの臨床例を取り上げるとともに、どのような処理を経れば臓器実体モデルを作製できるのかを眺めることにしたい。また、3Dプリンタ関連の商用製品についても各社からの報告を示したい。

なぜ今、医療分野における3Dプリンタブームなのか？

先述のように、医療分野においても3Dプリンタによる造形、特に臓器実体モデルの造形が世間の耳目を得ている。しかしながら、臓器実体モデルを作る試み、あるいはそれを医療分野で応用する試みは、つい最近始まったものではない。特に、光造形法によって臓器実体モデルを造形する研究は、1990年代初頭いくつか行われている^{3),4)}。これらは、三次元CT画像やMR画像をコンピュータ画面上で立体的に表示する研究が盛んに行われていた時期とも重なる。参考までに記すと、Lorenzenらによるmarching cubes法のSIGGRAPHでの発表は87年⁵⁾、Levoyによるボリュームレンダリングの発表は88年である⁶⁾。90年代当初から半ばにかけての研究としては、丸谷らの研究³⁾、木原らの研究⁴⁾がある。前者では光造形法により頭蓋実体モデルを作製、後者では血管実体モデルを作製し、診断支援などに活用できるかの検討を行っている。90年代後半には、国内では光造形モデルによる手術シミュレーションが小林らによって研究されている⁷⁾。

このように、3Dプリンタの医療応用はつい最近始まったわけではない。それでは、なぜ医療分野においても3Dプリ

ンタがこのようなブームになっているのであろうか？ これらの原因を筆者なりに整理すると、①プリンタの低価格化、②医用画像処理手法の進化、③医用イメージング装置の進化、④コンピュータの進化が挙げられる。

①の低価格化であるが、やはり熱溶融積層系プリンタの驚異的な低価格化は、すべての分野における3Dプリンタ利活用の活性化につながっており、その一つとして医療応用があると考えられる。

②の医用画像処理手法の進化であるが、診断治療支援を目的とした3Dプリンタによる臓器実体モデルの造形には、医用画像処理が欠かせない。医用画像処理ソフトウェア、医用画像処理ワークステーション、あるいはWeb上で公開されている医用画像処理ソフトウェアが3Dプリンタの普及に与えている影響は大きい。セグメンテーション手法、可視化手法は、第一次、第二次3Dプリンタブームの頃と比較して格段に進化しており、これも現在の3Dプリンタの医療応用を助けているのではないかと考える。

③の医用イメージング装置の進化も、今回の3Dプリンタのブームに大きな影響を与えている。高精細な臓器実体モデルを造形するには、その基となるCT画像などの医用画像も十分に高精細であることが求められる。90年代初頭は、ヘリカルCTが臨床の場に広がり始めた頃であり、体軸方向1mm間隔再構成が60枚程度のスライス画像を撮影することが先進的であった頃である。一方、現在では、マルチスライスCTを利用すれば1mmもしくは0.5mm間隔再構成で500~1000枚のスライス画像を簡単に得ることができるようになっている。広範囲にわたる微細な人体内部構造のイメージングが可能である。より詳細な臓器実体モデルを作成することが可能となったことで、より多くの医療関係者が3Dプリンタによる臓器実体モデルに引きつけられていると考える。

④のコンピュータの進化であるが、現在の3Dプリンタの普及にはコンピュータの進化も大きな役割を果たしている。例えば、3Dプリンタで臓器実体モデルを作製する場合、コンピュータの画面上でその形状をあらかじめ確認する必要が

ある。あるいは、臓器領域のセグメンテーション結果を画面上で逐一確認し、セグメンテーションパラメータをいろいろと変化させることで、造形したい臓器実体モデルのセグメンテーションデータを作成することになる。このような場面においては、ボリュームレンダリングを利用することもあるが、90年代において一般的なパーソナルコンピュータでボリュームレンダリングをリアルタイムに実行させることは難しかった。現在のCPUあるいはGPUを用いれば、誰でも簡単かつ安価にリアルタイムボリュームレンダリングを実行できる。このような環境が、医療関係者に対して3Dプリンタを使いたいという動機を与えていることも否定できないであろう。さらに、一般的なユーザー向けマイクロプロセッサならびにOSの64ビット化も、目立たない存在であるがこの分野の発展に貢献している。64ビット環境を利用するには、ミップス社製のマイクロプロセッサR8000、R10000などを搭載したシリコングラフィックス社製のワークステーションを利用しなければならなかったが、現在では64ビットCPU、OSが主流となり、大きな医用画像を容易に取り扱うことを可能としている。

3Dプリンタによって造形された臓器実体モデルの利用法と特徴

1. 利用法

医療向け3Dプリンタの利用法であるが、臓器に似た実体モデルを作製し、それを利用することにおいては、診断支援目的、治療支援目的、リハーサル目的、訓練目的、教育目的、インフォームド・コンセント目的などの利用目的があると考えられる。診断支援目的では、例えば、病変の存在位置を三次元的に確認するなど利用される。治療支援目的では、臓器実体モデルにて病変と血管の位置関係を確認しながら切除範囲を決定する、移植手術において幾何学的に臓器を移植できるかどうかを確認する、あるいは、術中に参考情報として解剖構造を確認する、などに用いられる。リハーサル目的では、実際に手術を予定する患者自