

計算機トモグラフィ技術の応用

随 想
~~~~~

井 上 多 門\*

計算機トモグラフィ (Computerized Tomography, CT) の技術が世に現れたのは 1972 年のことである。ビートルズのレコードで有名な英国の EMI 社が英国放射線学会で人間の頭の輪切りを写し出す不思議な医学診断用装置を発表し、参加者を驚かせた。その後の発展の様子はよく知られているとおりであるが、とくに新しもの好きの傾向がある日本での X 線 CT の普及の速さは驚くべきものであつた。1 台 1 億円程度の高価な商品であるにもかかわらず、すでに 1200 台以上も設置され、大きな病院では、もはや必須の診断装置となつていようである。

このようなインパクトの大きな商品が現れたときによく聞かれるのであるが、関係技術分野の研究者に対して“なぜお前達に思いつかなかつたのか”と非難が出る。一方、研究者の側からは“自由な研究をする雰囲気があれば、そのような独創的な製品はなかなか現れない”という返事となるのである。このようなやりとりの後、多くの ME (Medical Engineering) 関係の企業で X 線 CT の開発が開始され、世界的な規模の CT 技術開発競争に発展したのである。数年にわたる厳しい競争の後、現在の X 線 CT は工学的には一応の完成段階に達した。どの会社の製品も驚く程よく似た形態と性能を示しているのも、その一つの証拠なのであろう。筆者らも、この X 線 CT の開発競争に参加して来たのであるが、研究者の側から見ると X 線 CT 装置は、他の種々の技術の先端を行く装置とは少々違つた性格を持つていよう思われるのである。一般に画期的と言われる商品は、ある特定の要素技術における研究開発上の大きな進歩があり、これにもとづいて従来不可能であつた機能が得られ誕生するのが普通である。しかし、X 線 CT においては、少々大袈裟に言えば、こういつた要素技術の発展が何も存在しなかつたのである。X 線 CT では X 線管から発生した X 線に対する被写体の影絵の信号を検出器で測定する。各方面から得られたこの投影情報をもとに、観測された投影信号を与える X 線吸収係数の空間分布を電算機により計算するのであるが、ここで用いられる個々の技術は、すでに古くから得られているのである。例えば、X 線の発生はレントゲンにより 19 世紀に得られている。X 線検出器として NaI や Xe 検出器などが用いられているが、これらは一般の放射線測定技術としてよく知られたものであり、特に目新しいものでない。さらに、これに続くデータ収集系においても、特に新しい手法が CT の

ために考案された訳でなく、データ処理の分野で普通に用いられているものである。このようなデータが電算機に入力され、画像再構成法を主とするアルゴリズムにより原像が復元されるのであるが、この方面でも事情は全く変わらないのである。投影の集合から原像を復元する、いわゆる画像再構成アルゴリズムは、他分野の専門の方々からは、何かきわめて高度で、また、複雑な計算手法のように思われるかも知れない。しかし実際は、簡単な多次元のフーリエ変換の基本的な関係式を少々変形するだけで得られるものであり、二三の数式だけで、その内容を十分書き表すことができるのである。また、このような数学を見出したプライオリティは誰にあるのかと調べて行くと、実に 1917 年のドイツの文献にまで溯るのである。ただし、この論文の内容は、あくまでも画像再構成の数学と等価であるということにすぎず、著者もまさか半世紀以上もたつて CT に使われるとは夢にも思わなかつたことであろう。このような訳で X 線 CT の開発にたずさわつた研究者達は、その内容を知つて少々がっかりし、また一方では自分達がこのような装置を思いつかなかつたことを恥じ、さらに CT とは Columbus no Tamago の略と知つたのである。

さて、X 線 CT が華やかに登場すると、もつと異なつた原理の CT が医学診断に利用できるのではないか、あるいは、この技術を医学診断以外の分野に応用できるのではないかと皆が考えるのは当然である。このようにして医学診断分野では、X 線 CT より以前から研究が進められていた放射型 CT への応用や、超音波 CT、さらには核磁気共鳴を利用した NMR (Nuclear Magnetic Resonance)-CT の研究などが始められたのである。特に NMR-CT の研究では、従来到底不可能と思われていた細胞の状態の画像表示まで得られる望みが出て、現在医学診断分野では NMR フィーバーと呼ばれるような関心が示されている。一方また、CT の技術を医学診断のみでなくもつと広く、いろいろな分野で利用しようとする試みも種々行われている。もともと非破壊検査の分野では X 線やガンマ線などによる透視の方法が盛んに用いられていたが、これらの分野ではそのまま X 線 CT の技術が利用できる。ある燃焼現象の研究者は、人体診断用の X 線 CT の測定部に石炭の塊を置き実際に燃焼させて、時間とともにその内部がいかに変化するかを観察した。また、ある人は空港のハイジャック防止用荷物検査に X 線 CT を用いたらいかがと実験を行つた。この技

\* 東京芝浦電気(株)総合研究所 工博

術者は武器には火薬が使われることに着目し、TNT などの火薬の X 線吸収値を持つ領域を写し出すことを試みたのである。後日このアメリカの技術者と会い、その結果を聞いたところ、試みは不成功とのことであつた。理由は欧米の人達は好みのチーズを荷物の中に入れていることが多いそうであるが、このチーズと火薬類とがほとんど同じ X 線吸収値を示し、また大きさもよく似ているので区別がつけられないからとのことであつた。

さて、CT 技術の応用を考えるには、出発点に立ち戻ってその原理を考えることが有効である。すなわち、CT とはある物理量の空間分布から、その投影を得て、これをもとに原分布を計算により求める手法である。したがって、この技術が応用できるためには測定対象物理量の空間分布が、投影すなわち、ある方向への直線にそつた積分として得られなければならない。X 線 CT の場合では、この物理量は物質の X 線吸収係数であるが、X 線が物質を直線的に通過することから、この物理量に関する投影を表す積分を精度良く求めることができる。また、ガンマ線などを放射する線源強度の分布に関してもコリメーションが精度良く行われれば直線の方法を指定できるので、同様な応用が可能である。もともと、この現象を利用した放射型 CT の研究の方が盛んであつたので、この方面で最初に CT 技術が実現していてもよかつた様に思われるのである。しかし、放射型 CT では測定データの精度が十分でなく、このため、画像再構成計算の意義が認識されずに来たので、X 線 CT として最初の CT 技術の実現を見たのであろう。この様に CT の手法が応用できるには、ある直線にそつた空間物理量の積分として投影が得られなければならないので、もともと物質を直線的に通過する放射線を利用した計測に関係した分野に適していると言えよう。このため、X 線 CT や放射型 CT がまず現れ、さらに放射線と同様な透過の性質を示す超音波や磁力線を利用した超音波 CT や、NMR-CT が試みられているのであろう。この超音波を応用した CT では、物質の境界で超音波が反射して減衰するので、X 線 CT における X 線吸収係数に対応した超音波の吸収量を対象とすることはできない。比較的正直に超音波の通路にそつた空間物理量の積分が得られると思われるのは超音波の所要時間に関するものである。すなわち、超音波の通過時間は被写体中の各微小体積を通過する時間の総和であるので、音速という物理量の逆数に対する積分については投影関数が得られる。この関係を利用した超音波 CT では、被験体内の音速分布に相当した情報が表示されるので、組織の硬度の変化などに対応した信号が検出できることになる。この性質を利用して金属材料の組織の変化を知ろうとする試みも行われ、例えばタービン翼の材料の検査などを超音波 CT の原理を用いて行つた例など報告されている。この場合、音波の到達時間のわずかな差を検出しなければならないので、きわめて高速な測定技術が必要とされるが、現在の技術で音速の

0.15% 程度の変化まで検出できた例が報告されている。

一方、筆者らは現在核磁気共鳴を利用した NMR-CT の研究に従事している。この CT の場合、前述の測定対象の物理量は磁気モーメントを持つ原子核が静磁場中で行う歳差運動との共鳴の強さであり、一般的には対象となる原子核の濃度に比例した量である。医学診断の目的に対しては被験体の観測時間など種々の制約があり、CT のようなイメージングが可能なのは実際上水素原子核 (陽子) に対する場合のみであるとされている。しかし、この水素原子核に対する場合でさえ NMR の信号はきわめて微弱であり、X 線 CT などと比較して、測定情報の SN 比は桁違いに低いのである。このため、この方面の研究者は NMR 信号の SN 比を少しでも改善しようとするふりをこらし、実用的な製品としての完成を急いでいるのであるが、いまだ X 線 CT や放射型 CT と比較され得るような実用性を備えた NMR-CT はでき上がつてはいない。しかし、人間を計測するのに必要な条件のもとで、診断に有効な情報を抽出するために制約となる問題であつても、一般に無生物が対象となる他の工業分野では全く制約とならないことも多いであろう。このため、各種の有機物に関する非破壊検査など多くの工業分野で NMR-CT の手法が利用されてもよいのではないかと思われるのである。

さて、測定方法の違いによる種々のタイプの CT について述べたが、一方得られた情報の処理方法の面から CT 技術の特徴を考えることもできる。CT における情報処理のアルゴリズムの主体となるものは、前述のように投影から原像を復元する画像再構成の部分であるが、この内容は数学的にも大変興味のあるものである。具体的には、現在用いられている解析的な画像再構成の定式は、計算の内容に大きな冗長性があり、このため入力信号に少々の変動成分が含まれていても比較的安定した結果が得られるという有難い性質がある。一般にデータの質が良い X 線 CT の画像がきわめて鮮明なのも実はこのような事情が関係しているのであるが、この事実は CT の研究者にもあまり認識されていないようである。

以上述べたように CT の技術は情報を抽出する手法としても、また情報を処理する面からも多くの特徴を持ち、物理的計測手段として非常にすぐれたものと考えられる。その内容から見れば、この技術は多くの分野でもつと広く利用されて良いのではないかと思われるのであるが、現在医学診断用以外にはいまだほとんど利用されていない。これは CT 技術における計算処理などが実際にはかなり面倒であり、医学診断の目的のように高価な電算機を専用で用いることができる場合以外には実際上応用が困難なことによるのであろう。しかし、最近ではマイコンやパソコンなどの性能が飛躍的に向上し、かなり高度な計算を研究者が直接、容易に実行できるようになつている。このような情報処理手法の進歩にとともに、CT の技術は、より一般的な計測方法として盛んに利用されるようになるものと期待されるのである。