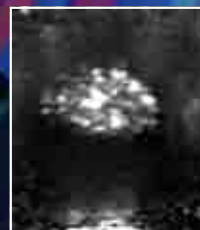
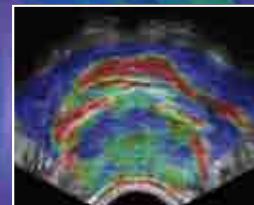


超音波エラストグラフィの クリニカルメリット

—適応の広がりと可能性—

超音波診断装置で組織の弾性を画像化する技術であるエラストグラフィ (Elastography) は、2003年にわが国で初めて製品化され、新しい診断法として注目を集めた。当初、乳腺領域で使用されたエラストグラフィは、技術の進歩に伴い適応が広がり、最近では上腹部、甲状腺、前立腺、整形、外科領域なども対象としている。非侵襲的な検査が可能な超音波エラストグラフィは、今後、画像診断のストラテジーを変える可能性を有している。そこで“新潮流”シリーズの第2弾では、エラストグラフィに焦点を当て、各社の技術を整理した上で、各領域の臨床的有用性について臨床現場からご報告していただく。



I 超音波エラストグラフィとは：その原理と有用性

〈総論〉超音波エラストグラフィの 技術の開発と臨床応用

植野 映 筑波メディカルセンター・プレストセンター

技術の開発

1980年代に、日本超音波医学会には基礎研究部会があり、年に4回研究発表が行われていた。83年に東京工業大学で開催されたときに、佐藤拓宋研究室の試みを披露していただいた。そのときの装置は、サイドから大きな出力で音を発生させ、その影響を超音波で観察する装置であった。これは、地質調査に使われている技術で発破をかけ、その振動によるズレを超音波で観察していたようである。実際、その装置を見て、臨

床に応用可能とは想像さえできない状態であった。その後、群馬大学の山越、埼玉医科大学の小林らが低周波（横波、S波）の剪断弾性波を利用した加振映像法を開発し、子宮筋腫の映像化に成功した¹⁾。

そのころ、植野、東野、Bamberらは、乳がんの硬さをリアルタイムで観察することに注目し、動的検査 (dynamic study) を考案した。これは、外部より乳房組織を圧迫し、腫瘍の可塑性と可動性を評価する検査方法である。これらの成果は、87年にニューオーリンズで開催された国際乳房超音波診断会議で発表

した²⁾。しかしながら、この方法は、検査者がリアルタイムに可塑性と可動性を十分に認識できるものの、第三者にはその所見を示すことができない難点があった。その後、共同で超音波の研究をしていた筑波大学情報工学系の椎名が、Royal Marsden HospitalのInstitute of Cancer Researchに留学し、Bamberとともに組織弾性映像法の研究に取り組み、複合自己相関法 (combined autocorrelation method) を独自に考案した³⁾。

複合自己相関法では、まず、変形により生じた組織の各部位の変位分布を、加圧の前のフレームと後のフレームとを

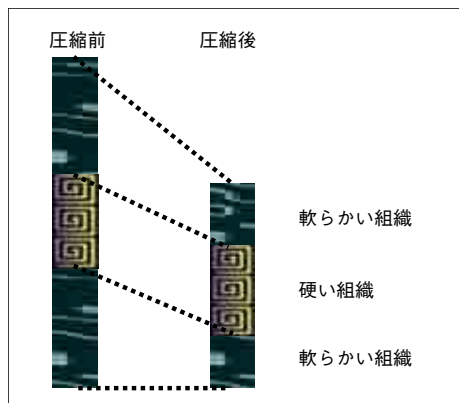


図1 圧迫による組織変形の違い
硬い組織は歪みが小さい。

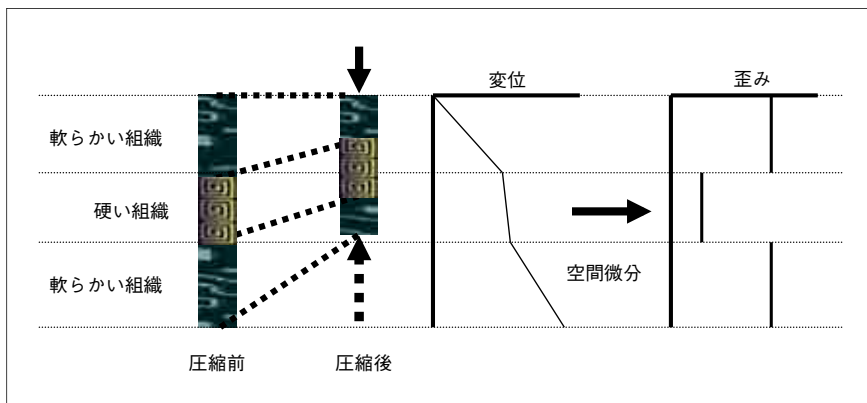


図2 圧迫による組織の変位
変位を空間微分することにより、歪みが求められる。硬い組織は歪みが小さい。

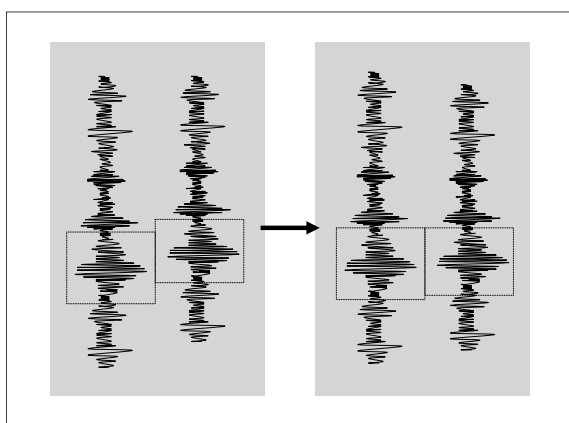


図3 複合自己相関法の原理
あるフェーズと次のフェーズを比較し、似通った包絡線を見つけ、その包絡線内で位相のズレを検出する。このように、2段階に分けて自己相関させているため、複合自己相関法と命名された。

比較して、歪みの程度を求めることによって画像化される。この際、加圧の方向は、ビーム方向にごくわずか(1%程度)行くとすれば、変位の方向も超音波パルスの伝搬方向と同一な成分が大部分となる。このため、組織の変形は、図1に示すように一次元バネ群のモデルで近似できる。弾性係数 E は、組織を圧迫した力、すなわち応力 S を歪んだ量 ϵ で除したものである。

$$\text{弾性係数}(E) \\ = \text{圧迫応力}(S) / \text{歪み量}(\epsilon)$$

したがって、圧迫した応力が各組織に均等であるとする、弾性係数は歪み量 ϵ と反比例の関係となり、歪みが少ないと弾性係数は大きいということになる。この歪みを求めるにあたっては、Aモードのビーム方向のRFデータを利用して、このAモードの中で変位を軸方向に微分することによって、歪み量が得ら

れる(図2)。

この変位を検出するには、はじめにRFの包絡線を合わせ、次にその包絡線内での超音波のズレを検出する(図3)。これは、例えば、高速で走っている電車の内部の人を観察することは難しいが、並んで走行している場合にはその内部の人の動きを観察することができる、それとよく似た手法である。これが複合自己相関法である。複合自己相関法は、計算速度が速く、かつ正確なことから、質の高い解像度とリアルタイム性を所有すると予想されたが、その当時ほどの程度臨床に役立つか想像できなかった。

椎名が留学先から筑波大学に戻り、再度、臨床医学系との共同研究が始まった。筑波大学附属病院で摘出した乳房組織を情報工学系の研究室に搬送し、複合自己相関法を用いて摘出標本の組織弾性映像の描出を試みた。はじめは浸潤性乳管癌から行ったが、これは難

なく描出はされたものの、解像度は当然のことながら通常のBモードを凌駕するには至らなかった。ところが、あるときに、Bモードでは診断が難しいcarcinoma in situ(非浸潤性乳管癌)が描出され、初めて組織弾性映像法の有用性が認識された。

その後、日立メディコ社と共同で開発することとなった。日立メディコ社の松村は、歪みの程度をカラー化し、その画像をBモードに重畳し、Bモードを参考にしながら観察するなど、多くのアイデアを提供した。当初のカラーモードは、硬いがんの部分が目立つように赤にし、正常軟部組織は青と設定した。しかしながら、このモードでは重ね合わせた後方の病変部が透見できないため、硬い部分は青に、軟らかい部分は赤になるように設定を変更したところ、がん組織のBモード画像がエラストグラフィ画像を介して透見できるようになり、現在の装置の原型が完成した。

臨床応用に向けて

臨床試験を行うにあたり、筑波大学附属病院乳腺甲状腺内分泌外科レジデントの伊藤にレジデント臨床研究の課題として与えられ、植野と東野が指導することとなった。その際に、いままで集積したデータの解析を行い、乳がんの場合には、低エコー域がほとんど青くなることが判明し、現在のTsukuba Elasticity Scoreの原型を日立メディコ社の松村が立案した(図4)。

その原型のスコアに沿って、レジデント