

医用超音波画像の分解能を大幅に向上

東北大学 長谷川 英之

発表情報

題名：振幅・位相推定に基づくビームフォーミング法の医用超音波イメージングへの応用
 原題：APES beamforming applied to medical ultrasound imaging
 著者：A.E.A.Blomberg, I.K.Holfort, A.Austeng, J.F.Synnevåg, S.Holm, J.A.Jensen
 発表された学会：2009 IEEE Ultrasonics Symposium
 開催年月日：2009年9月19～23日

1. はじめに

「医用超音波画像の空間分解能の向上」、これは永遠のテーマではないかと思われる。この目的のため、これまでも様々な研究開発が行われ、また今後も多くの試みがなされるものと思われる。今回、超音波画像の空間分解能向上に関して、学会で興味深い報告を見つけたので本稿で紹介させて頂く。

2. 研究の背景とねらい

この研究のねらいは前述したとおり医用超音波画像の空間分解能向上である。現在の超音波画像診断装置では、生体組織中の超音波の波長（超音波周波数5 MHzで0.3 mm）程度の幅の超音波振動子を並べた超音波アレイプローブを用いて超音波の送受信が行われている。この報告は、このアレイプローブを用いて送受信した信号から超音波画像を構成する際に必要となるビームフォーミング技術について述べている。

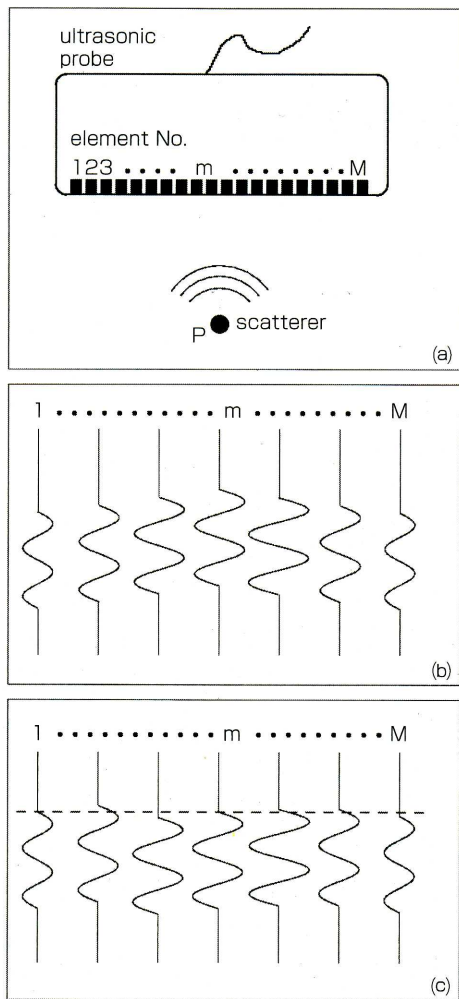
空間内のある点Pについてビームフォーミングを行う際、従来のビームフォーミング法ではアレイプローブの各素子とその点Pとの間の距離を考慮し、各素子で受信した散乱波の位相が整合するように受信信号の遅延時間を補正して加算している。この加算操作の際、サイドローブを抑えるなどの目的で、各素子で受信した信号に重みを掛けている。この重みは、従来は対象物によらず固定（通常は開口端に近づくにつれ重みが小さくなるHanning関数などが

用いられる）されている。この研究では、この重み関数を対象からのエコー信号をもとに逐次決定することにより超音波画像の空間分解能を向上させている点の特徴である。

3. 原理

いま、空間内のある点Pからの散乱波を第1図(a)のように超音波アレイプローブで受信したとする。そのときに得られたアレイプローブの各素子での受信信号を並べると第1図(b)のようになる。これらの信号を用いて点Pに関して受信ビームフォーミングを行う場合、各素子で受信された点Pからの散乱波の位相が揃うように受信信号に遅延をかけ（第1図(c)）、その後加算する。その際の遅延量は、ビームフォーミングを行う点（第1図では点P）と各素子との間の距離と、生体組織中の音速をもとに決定される。このとき一般的に音速は一定の値（1,540 m/sなど）が用いられているが、生体組織中の音速は一般的に不均一なため、第1図(c)に示すように受信波の位相が完全に揃わないことが多い。

この問題を解決するためこの研究では、受信信号を周波数領域で考えれば、遅延時間が位相として扱えるということを利用している。各素子の信号を周波数領域で扱い、加算する際に各素子の受信信号に掛ける重みを複素数にすることで、受信波の位相が整合するような複素重み（受信信号に複素重みを掛けることで位相が整合するように各素子の受信信号



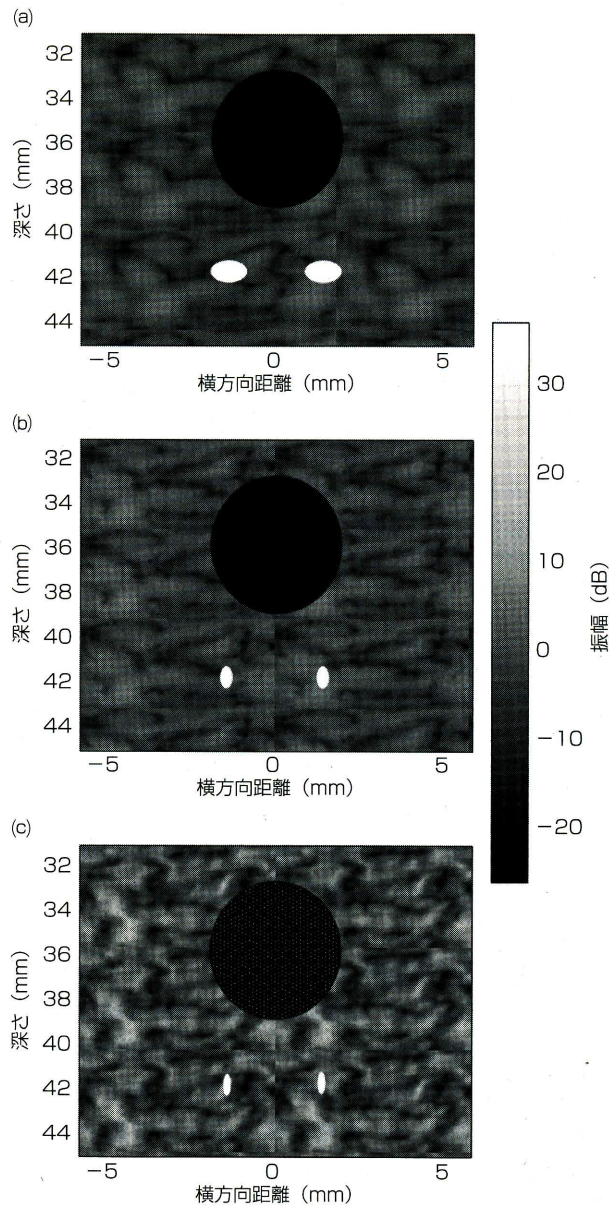
第1図 超音波アレイプローブによる散乱波の受信と各素子で受信された信号を用いたビームフォーミングの模式図

- (a) 散乱波の受信
- (b) 各素子で受信された信号波形
- (c) 遅延時間補正後の各素子で受信された信号波形

を遅延させる)を決定している。この複素重みの決定は、受信信号をもとに行われており、この点が、対象物によらず固定された重みを使用している従来のビームフォーミング法と異なる点であり、適応的なビームフォーマといえる。

4. 得られた結果

この報告では、提案手法の評価は計算機シミュレーションにより行われている。計算機で模擬した対象物は、生体軟組織中にある嚢胞1つおよび2つの強点散乱体である。第2図は、文献中のシミュレーション実験結果を模式的に示したものである。第2



第2図 報告された計算機シミュレーション実験により得られた断層像

- (a) 従来のビームフォーミング法 (DAS法)
- (b) 提案手法
- (c) Caponの手法

図(a)は、従来のビームフォーミング法 (Delay and Sum (DAS) 法、重みにHanning関数を使用) により得られた対象物の超音波画像である。画像上端から1~5 mm程度にある黒い領域が嚢胞に、画像上端から11 mm程度の深さにある2つの高輝度点が強点散乱体に対応している。第2図(b)は、提案手法により得られた超音波画像である。画像上端から11 mm

程度の深さにある2つの強点散乱体を見ると、第2図(a)の従来のビームフォーミング手法により得られた超音波画像に比べ、提案手法により得られた画像では方位分解能が大幅に向上していることが分かる。第2図(c)はCaponにより開発された適応ビームフォーミング法 (Minimum Variance (MV) ビームフォーマ⁽¹⁾) により得られた結果であるが、ノイズの多い画像となっている。この報告で提案されている手法は、Caponの手法を改良したもので、方位分解能はややCaponの手法に劣るものの、不要な成分が低減され、画質の良い断層像が得られている。

5. 今後への期待

前述したとおり、この報告において提案されているビームフォーミング法は従来の方法に比べ大幅に方位分解能を向上させることに成功しており、医用超音波画像の空間分解能向上が期待できる。この報告では計算機シミュレーション実験による評価のみにとどまっているが、今後は実際の計測による実験的な評価によりこのビームフォーミング法の有用性を示すことが望まれる。また、提案手法では、受信信号のフーリエ変換、(素子数)²の大きさの行列の逆行列演算など、計算量が多いことも難点の1つであり、実用性を考えると解決すべき問題の1つであると思われる。

<参考文献>

- (1) J.Capon: "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis", *Proc. IEEE*, pp.1408-1418 (1969)

紹介者の研究



長谷川 英之

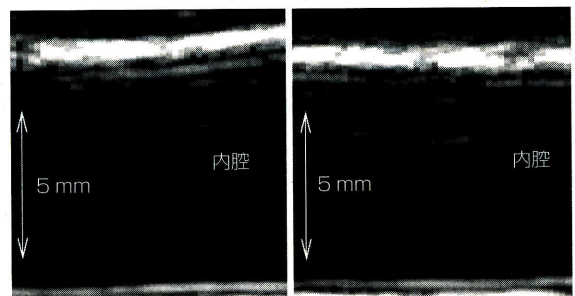
東北大学 大学院 医工学研究科 医工学専攻 准教授
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-05
連絡先: Tel. 022-795-7079 Fax. 022-263-9230
E-mail: hasegawa@ecei.tohoku.ac.jp
URL: <http://www.ecei.tohoku.ac.jp/hkanai/>

専門分野と目指すもの

我々の研究グループでは、従来の超音波診断では見逃されていた生体組織の微細な構造や肉眼では捉えることにできないほど微小かつ速い振動や変形、などの計測を可能とする超音波計測法を研究開発し、組織性状など医療診断に役立つ情報を得ることを目指して研究を行っている。このような計測を可能とするために、時間・空間分解能を向上させた超音波イメージング・計測法や生体器官の動態計測・解析方法など、また、そのために必要な信号処理・解析手法の研究開発を行っている。

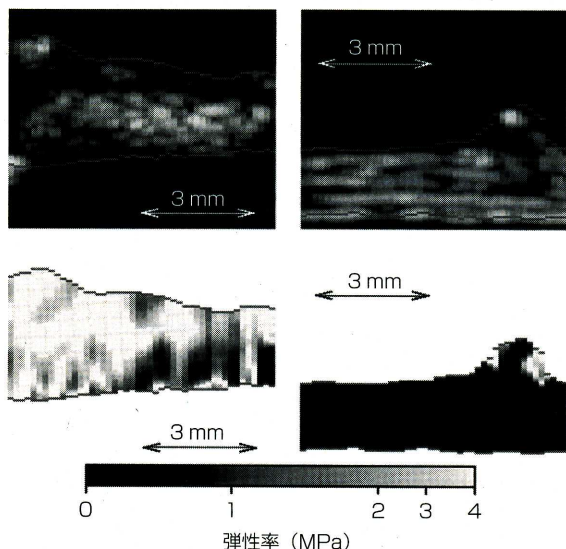
最近の主な研究テーマ

- ① 心臓・血管の動態計測のための超音波イメージング法に関する研究 (第1図)
- ② 動脈壁の振動・血流などの動態計測方法に関する研究



第1図 フレームレート3,000 Hzを超える高速超音波イメージング法による頸動脈のイメージング (第1図右) 従来法 (第1図左) と遜色ない断層像が得られている。

③ 動脈壁の粘弾性特性計測に関する研究 (第2図)



第2図

上段：従来の超音波断層像 下段：弾性率の断層像。
石灰化組織のある左側の動脈の方が石灰化の無い右側より硬いことが定量的に分かる。

研究室にある主な装置

- ① 超音波RF信号計測装置
- ② 波形編集可拍動流ポンプ

最近の主な論文・著書

- ① Y.Honjo, H.Hasegawa and H.Kanai : "Two-dimensional tracking of heart wall for detailed analysis of heart function at high temporal and spatial resolutions", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.49, No.7, pp.07HF14-1-07HF14-9 (2010)
- ② T.Sawada, H.Hasegawa and H.Kanai : "Line-focus array transducers for effective actuation of tissue", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.49, No.7, pp.07HF10-1-07HF10-6 (2010)
- ③ H.Hasegawa and H.Kanai : "Phase-sensitive lateral motion estimator for measurement of artery-wall displacement-phantom study", *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.*, Vol.56, No.11, pp.2450-2462 (2009)
- ④ K.Ikeshita, H.Hasegawa and H.Kanai : "Flow-mediated change in viscoelastic property of radial arterial wall measured by 22-MHz ultrasound", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.48, No.7, pp.07GJ10-1-07GJ10-5 (2009)
- ⑤ N.Saitoh, H.Hasegawa and H.Kanai : "Estimation of scatterer diameter using ultrasonic backscattering property for assessment of red blood cell aggregation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.48, No.7, pp.07GJ08-1-07GJ08-5 (2009)

視点を変えると見えてくる

エンジニアの眼

広井 和男 著 B6判・216頁 定価:1,260円

真のエンジニアを目指して努力を続けてきた「眼」で日常、自然、そして人々を見つめつつ、社会人として、さらにはエンジニアとして如何に生きるべきか・・・著者が自戒を込めて書き綴る。

日本工業出版(株)

フリーダイヤル  0120-974-250 netsale@nikko-pb.co.jp