

05.

産婦人科

# 年表（産婦人科）

1966年	複合走査方式による画像の報告.
1967年	断層像を写真にとって診断する手法が考案され、胎盤位置の診断への応用の報告. 新生児の脳を観察しようとする試み、また胎児心機図・胎児弁信号に関する報告.
1960年代後半	A-mode法による児頭大横径計測, B-mode法（single scan）による胞状奇胎診断, また婦人科腫瘍診断に関する演題.
1968年	産科領域にとり断層像以外の超音波の応用の大きな柱である胎児の心臓の動きの検出に関する演題.
1970年代前半	超音波ドブラ法による胎児心機図から胎児、胎盤の循環動態の解析研究. 複合走査方式による画像の改善により産科、婦人科領域の画像診断が盛んになったが、まだ一部の先進的な施設における研究レベルの医療.
1973年	超音波の安全性にたいする研究の開始され、1979年には培養細胞や動物胎仔への照射による研究の報告. 妊娠初期の胎児を計測して、胎齢を確認しようとするアイデア.
1975年	感度断層法が登場したが、すぐに階調性をもつ画像という大きな技術革新の出現.
1976年	電子スキャンによる診断の報告.
1977年	胎児の血流という新たなフィールドの診断が可能となり、胎児の大動脈血流計測が報告. 不妊領域への断層画像の応用も開始され、卵胞を直接観察して排卵を診断するという診断法の提唱. 陣痛心拍数計において、胎児心拍信号の取得を超音波により扱うことの優位性が確立. 電子スキャン（動画像）を用いて、胎児の動きと心拍数変化の関係に関する研究報告. 胎児の生存（流産）、発育に始まり、胎児の疾患（奇形）や胎盤の異常（前置胎盤）といった産科学の懸案事項に関する多くの発表.
1980年代前半	電子スキャン方式の優位性が確立. 胎児異常をスクリーニングするというコンセプト. 妊娠から分娩までの胎児を一連の流れとして管理するという考えかたの提唱. その最初の基準となる胎齢の診断法としてCRL計測が開始.

1983年	超音波画像による卵胞発育の観察が直接に診断可能な方法として発表。超音波画像ガイド下の採卵（経腹的）の報告。 ----- 新生児頭蓋内出血の超音波診断の報告され、新生児領域への応用がスタート。 ----- 超音波の安全性の研究の重要性が再確認され、初期胚への超音波照射研究、電子スキャン胎児への影響に関する疫学調査の研究の報告。
1980年代中頃	超音波画像の画質向上により胎児の臓器の診断の精度が飛躍的に向上。Mモード法による胎児心機能診断、不整脈診断。
1985年	超音波画像ガイド下の胎児採血。
1986年	胎児の三次元表示に関する研究が1984年頃より開始され、子宮内胎児の三次元超音波画像が報告。 ----- 経膈プローブの臨床応用の報告。経膈プローブ下超音波採卵の報告。
1980年代後半	血流速度波形解析による胎児のwell-being診断の研究。
1990年代	経膈超音波法の普及。
1990年代前半	経膈プローブによる研究、カラーフロー画像を用いた研究、経膈プローブによるカラーフロー画像を用いた研究。
1991年	胎児下大静脈血流波形と心機能に関する発表。 ----- カラーフロー画像による双胎間輸血症候群（TTTS）の血管吻合の可視化。 ----- 超音波キャビテーションによるフリーラジカル発生と胚への影響に関する研究。 ----- 新生児における臓器血流の研究。
1992年	卵巣腫瘍診断の標準化が企画。
1993年	血流速度波形による卵巣腫瘍の診断。
1990年代中頃	経膈超音波画像による子宮体癌スクリーニングとのコンセプト。
1995年	生食注入による子宮腔内の観察、子宮頸管長と早産の関係についての研究。
1997年	臍帯過捻転の持つ臨床的意義。
1990年代後半	画像の三次元再構築の時間が短縮され実用的となる。 ----- 超音波画像による胎児の染色体異常のスクリーニング。
1998年	妊娠週数推定において胎児頭臀長計測の高い精度が報告。 ----- 妊娠早期における胎児中枢神経系病変の超音波スクリーニング。
1999年	胎児体重推定式標準化部会の発足。
2001年	日超医分類「卵巣腫瘍エコーパターン分類2000」の発表。 ----- 胎児計測の標準化に関する案が公示。
2002年	Tissue Harmonics Imageの普及。
2006年	強力超音波の子宮筋腫への治療応用
2008年	妊娠初期における：高い精度での胎児診断

05.

産婦人科

# 産婦人科領域について

名取 道也

(国立成育医療研究センター)

## はじめに

1992年に日本超音波医学会30周年を記念する事業の一環として、「超音波医学の発展をもたらした人達」が発刊されたが、それから20年の時を過ぎ、この度は50周年を記念して歴史をひもとくこととなった。

私が超音波医学の世界の仲間にさせていただいたのは1970年代であり、50年の歴史の最初の10年については、30年の記念誌以上の知識はなく、それを参照いただくことでお許しをいただきたい。

超音波が映し出す体内の映像は医学に関連する全ての領域において、驚きと感動を与えてきたと思われる。産科領域において子宮内の胎児の姿を見るということは、まさに神の領域に踏み込んだかのような、驚きと疑いの目を持って迎えられた技術であった。1970年代前半の一般的な画像技術は放射線画像(単純写真、シンチグラム、造影写真)であり、妊娠後期に行われた児頭骨盤不均衡を診断する目的での撮影、胎児造影などの特殊な場合を除いて胎児の画像を見ることはなかった。

産科領域における超音波技術の最初は、胎児の頭部の大横径を正確に計測したいとのニーズに答えて、Aモード法による計測が行われた。これはAモード法が2点間の距離しか計測できないという技術的制約と、胎児頭部の大横径を計測したいとのニーズがかみ合った結果である。1970年代前半からBモード法が登場したわけであるが、2次元のいわゆる「画像」を描出する技術の出現は、全くのブラックボックスであった子宮内部の画像

を観察するという、想像もできなかった世界を我々に提供することとなった。他の臓器では放射線による「画像」が提供されるが、子宮内の「画像」は超音波により歴史上初めて提供可能となった画像であり、そのインパクトの大きさは他の領域より大きかったと思われる。

しかし、超音波画像は妊娠早期の胎児の描出も可能とする技術であったため、超音波エネルギーの胎児への影響についても重要な研究の課題となった。これは放射線エネルギーの胎児への影響が産婦人科医にとり周知の知識であったことから、他の領域に先んじて、重要視されたわけである。

昔も今も、産婦人科領域における超音波診断の対象は産科領域、婦人科領域、不妊医療領域の3領域である。産科領域における主たる対象は胎児、胎盤、臍帯であり、婦人科領域では子宮及び卵巣の腫瘍、また最近では骨盤の筋肉も対象とされている。不妊医療では子宮(内膜)、卵巣、卵管が対象となる。50年の歴史を通じてこれらの対象となる臓器に変わりはなく、新しい技術が開発されることにより、それまでの診断基準のリファインが繰り返されてきたわけである。

超音波医学は進歩を重ね現在に至るわけであるが、産婦人科領域における発展を、本学会の学術集会講演論文集を紐解きながら紹介したい。なお以下の年号は、学術集会時に産婦人科領域においてその技術やアイデアを用いた最初の発表が認められた年であり、新しく技術開発がなされて発表された年とは異なることをご了承ください。

## 1960年代後半～1970年

1960年代後半には、A-mode法による児頭大横径計測から始まり、B-mode法（single scan）による画像診断が開始された。婦人科領域における胞状奇胎診断、腫瘍診断に関する研究も開始されている。

1966年にはプローブの位置検出機能により可能となった複合走査方式（Contact Compound Scan）による画像が登場し、Single Scan画像から一段の進歩があった。1967年には断層像を写真にとって診断する手法が考案され、当時から今に続く臨床上の問題である胎盤位置の診断への応用が試みられた。また新生児の脳を観察しようとする動きも始まっている。

1967年には胎児心機関・胎児弁信号を検出する試み、1968年には、産科領域にとり超音波の応用の大きな目的の一つであった、胎児の心臓の動きを検出する試みが成功を収めた。

## 1970年代

1970年代は産婦人科領域にとっては、超音波医学のその後の大きな進歩の最初の一步がスタートした10年間である。

超音波医学というと断層像のみに目がいきがちであるが、1970年に超音波ドプラ胎児心拍数計の発表がある。この装置は産科領域に独自のものであるが、医師や助産師、看護師が妊婦のベッドサイドに持ち歩いて、その後40年以上にわたり装置の変化無しに産科医療に貢献しつづけているものである。さらに超音波ドプラ法は安定した胎児心拍数の連続計測を可能にし、陣痛との同時表記という、いわゆる分娩監視装置の開発も1970年代後半に大きな進歩を遂げた。また超音波ドプラ法による心臓の信号を解析して胎児、胎盤の循環を解析しようとする研究が最初の隆盛期を迎えた。

一方複合走査方式による画像の改善にもとづ

き、産科、婦人科領域の画像診断が盛んになったが、まだ一部の先進的な施設における研究レベルであった。1975年頃からは感度断層法が登場したが、すぐに階調性をもつ装置が開発された。当然これらは全て診断能力の向上につながった。1960年代から1970年代前半では、胎児の画像は、ブラックボックスといわれてきた子宮の中を画像化した点で産科学を一変させた。しかしまだ静止画像であった。

ここで特筆するべきは、1973年頃から超音波の安全性にたいする研究が開始されたことである。1979年には培養細胞や動物胎仔への照射による研究が報告された。また妊娠初期の胎児を計測して、胎齢を確認しようとする研究も開始されている（前田先生原稿）。

1976年になって電子スキャンによる診断が登場し、これは、子宮の中がブラックボックスでは無くなったことと同じく、産科領域にとり大きなインパクトを与えた出来事であった。電子スキャンにより画像上で動きが観察されることは、産科診断学を一変させた（岡井先生原稿）。胎児の生存の診断が可能となり、胎児の動きが確認可能となった。電子スキャンの登場は最初に、流産の診断との点でそれまでの教科書を書き換えることとなった。その後胎児の動きと心拍数変化の関係が研究されたが、これも電子スキャンがあればこそであった。その後超音波画像は、一部のプローブがメカニカルセクター方式を採用した以外は、全て電子スキャン方式となっていった。また不妊領域への断層画像の応用も始まり、卵胞を直接計測して排卵の有無を診断するという画期的な進歩の第一歩が始まった。

さらには新たなフィールドの診断が可能となった。一つは1979年のWFUMBに発表された胎児の大動脈血流計測であり、産科領域の血流計測のスタートと言えるイベントであった（千葉先生原稿）。

## 1980年代

1980年代には電子スキャン方式の優位性が確立した。名人芸的な複合走査（コンパウンドスキャン）画像に比較して、プローブを置けば画像が得られることの優位性は明白であった。また電子スキャン法の進歩と相まって、特に階調性の観点から超音波画像は大きく進歩していった。電子スキャン法のメリットの一つは、今この瞬間にプローブが胎児のどこの画像を撮っているかがわかることである。今となつては当たり前この画期的な進歩が、1例をあげれば、心臓のどの弁の動きを撮っているかがわかるからこそ、Mモード法による胎児心機能診断や不整脈診断への道を開いたわけである。

1980年代前半には、現代の産科医にとっては当たり前のことである。妊娠から分娩までの胎児を管理することが可能となった。すなわち流産の診断、子宮外妊娠の診断、胎児発育診断の研究がスタートした。その基準となる胎齢の診断法として頭殿長（CRL）計測が開始された。胎齢の確定の延長として、胎児体重の推定による発育診断への基礎が築かれていった。また産科医の多くが超音波断層装置を用いるようになり、胎児異常を「発見する」のではなく「スクリーニングする」という概念が出てきた。

1983年頃には技術的な実用性を持って卵胞発育の観察が開始され、超音波画像の不妊領域への応用として大きな進歩となった。またこの頃には、それまで腹腔鏡下であった採卵操作が、より侵襲の少ない超音波画像ガイド下（経腹的）行われ、「より侵襲の少ない医療へ」というトレンドの先駆けとなった。1986年には、不妊領域においてその後の大きな進歩の原動力となった、経腔プローブの臨床応用が開始され、すぐに経腔プローブガイド下超音波採卵へと発展していった。1989年には、その後臨床家から高い評価を得た経腔のメカニカルセクタープローブが登場した。

1984年は胎児の立体視（三次元表示）の研究

報告があり、1986年には子宮内の胎児の三次元画像が報告された（馬場先生原稿）。

1980年代には胎児のwell-being診断への血流速度波形解析に関する研究が盛んとなった。また1985年には超音波画像下の胎児採血の報告がみられる。

新生児頭蓋内出血の超音波診断が報告され、臨床的な実用性を持って新生児領域での超音波画像診断が開始されたのもこの時期である。

1986年には経腔プローブの臨床応用の報告がなされたが、経腔プローブが開発されたことは大きな進歩であった。また経腔プローブ下超音波採卵の報告がなされた。1989年には経腔のメカニカルセクタープローブの商品化があり、普及の観点から大きな意義をもつものであった。

超音波診断が不可欠のツールとなったこの時期にも、超音波の安全性への意識は、一部の研究者に限られてはいたが、引き続き維持され、初期胚への超音波照射研究に加えて、電子スキャン胎児への影響に関する疫学調査の演題もあり、超音波の胎児への安全性に関する研究が継続して行われた（赤松先生原稿）。

## 1990年代

1990年代に入ると経腔プローブによる研究、カラーフロー画像を用いた研究、経腔プローブによるカラーフロー画像を用いた研究が多く報告されるようになった。産婦人科領域においては対象とプローブの距離が、良好な画像を得ることが困難な理由の最大の問題であったが、経腔プローブはこの問題を解決し、高い周波数の使用を可能とした。経腔プローブの持つもう一つの大きな意義は、産婦人科のクリニックにおいても超音波診断が急速に普及したことである。特に不妊領域、健康診断において画期的なレベルアップをもたらした意義は大きい。

胎児の循環動態に関する研究としては、成人や小児に比較して得られる情報に制限がある中、動

脈系の血流速度波形解析に目が向けられていたが、胎児大静脈血流波形と心機能に関する研究は注目された。またそれまで治療法がなかった双胎間輸血症候群にたいしてレーザーによるシャント血管の凝固という新しい治療法が提唱され、その病態にたいする研究も多く行われた。TTTSの血管吻合の可視化の報告も超音波技術の進歩の成果と言えよう。

超音波の生体作用に関する研究は、数が少なかったが、定量化された超音波出力を基準として、超音波キャビテーションによるフリーラジカル発生と胚への影響に関する研究が報告されている。また新生児における臓器血流の研究も多く行われた。

1990年代の中頃には、その後にスタンダードとなる手法や考え方が発表された。一つは子宮腔内に生理食塩水を注入して子宮内腔を観察するとの、後にスタンダードな方法となる発想、二つ目は早産の早期診断や予知に子宮の頸管長をマーカーとする発想、また経陰超音波画像による子宮内膜の厚さの計測を子宮体癌スクリーニングに用いるとの発想である。また1997年に発表された臍帯の過捻転の診断の持つ臨床的意義も、その後広く認められることとなった。また胎児の超音波画像所見により、染色体異常をスクリーニングしていくとの考え方が、ポピュラーになってきたのもこのころであり、1998年には妊娠早期に胎児中枢神経系の超音波スクリーニングを可能とする報告が発表されている。

卵巣腫瘍の血流波形診断は1993年から1998年ころまで積極的に研究されたが、悪性腫瘍にたいして高い感度を得るには至らなかった。1990年代後半では、三次元画像再構築の時間短縮が大きく進み、臨床的にストレスの無い時間での再構築が可能となったことも大きな進歩と言えよう。

1998年からの20世紀最後の数年は、ここまでの数十年間の超音波医学の急速な進歩の中で後回しにされてきたとも言える、診断の標準化のモチベーションが高まってきた（赤松先生原稿）。1999年に胎児体重推定式標準化部会がスタート

したが、その前年には胎児頭臀長計測による妊娠週数推定がBPDより精度高いことが報告されており、胎齢の基準をどこに置くかについて共通の認識が確立されたと考えている。

## 2000年代

2001年になり胎児計測の標準化に関する案が公示された。2002年頃より Tissue Harmonics Image が普及したが、プローブから遠距離の対象を観察する場合の多い産婦人科領域においては、雑音の低下による画像の改善は非常に大きいシンボと感じられる技術革新であった。さらにモニターなどの画像の表示性能の向上、装置の小型化、診断機能の使いやすさの向上などは大きく進歩し、や家族にとってもわかりやすく説得力のある画像が低虚されるようになった。

2000年代の後半は、超音波装置が一つのイノベーションを終えて、新しい能力を備えた装置として臨床への応用が進んだ時期と言える。同じことは、1980年代にもあったのではないかと感じている。

2006年は、双胎間輸血症候群（TTTS）の診断と治療がセットとして患者に提供できる医療となったことが示された。また深部静脈血栓症の診断も一般的な手法となってきている。

この次期は超音波医学における大きなテーマの一つが、超音波造影剤の基礎と臨床に関することであるが、産科領域では造影剤の使用が困難なこともあり、産婦人科領域だけがこの方面の進歩に取り残される印象を否めない。

2000年代における大きなもう一つの新しいテーマは、いわゆる強力超音波の治療への応用である。婦人科領域では子宮筋腫の治療への応用の報告がなされている。また、婦人科疾患の診断法として経会陰のアプローチという手法が報告された。強力超音波の治療への応用は、当然のことながら生体作用の重要性を再認識させることとなった。

2008年頃には、初期の胎児スクリーニングが

高い精度で実施可能となり、またその普及により、超音波による出生前診断、とのイメージを持たれる状況となり、倫理面での議論が要求される方向となった。

## 終わりに

2011年の学術集会において、学会とは何か、日本超音波医学会の役目は何か、との課題が竹中会長から提案され討議された。この50周年誌は日本超音波医学会の役目は何かの問に答え、今後の方向を模索する上で多少なりともお役に立てればと考える。

05.

産婦人科

# 1973年：我が国における 超音波の安全性研究の歴史

前田 一雄

(鳥取大学名誉教授)

Ian.Donaldが1950年代に超音波Bモードの産婦人科臨床への応用を開拓し、やがて胎児診断に超音波が利用されると胎児への超音波照射の影響が論じられた。筆者は、1967年ストックホルムの国際ME学会に際して入手したDoptone（連続波ドプラ胎児心拍診断装置）を九州大学で中野仁雄らと臨床応用して妊娠12週以前の胎児生存を診断し、胎児心臓ドプラ弁膜信号を解析し、胎児動脈血流信号による最初の胎児動脈血流曲線を報告した<sup>1)</sup>。それまで胎児心拍は聴診器でも胎児心電心音図でも妊娠中期にしか判明しなかったが、連続波ドプラ診断装置では妊娠初期から確認でき、その客観性は近代産科学の基礎を築いた。超音波Bモードでは接触複合走査で胎児静止画像を得たが、その後の胎児画像診断の発展が予想された。

超音波の安全について我が国では1970年頃100mWの連続超音波を妊娠動物に照射して胎仔奇形の発生を見た報告があり<sup>2)</sup>、一時は胎児器官形成期にドプラ使用を中止するに至ったが、我々は超音波生体作用研究を目的として厚生省超音波生体作用研究班を設立し、井出正男の指導で実験的疫学的協同研究を開始した。鳥取大学産婦人科では超音波照射による培養細胞発育曲線の抑制を指標として村尾文規や津崎恒明らにより生体作用の有無を研究した。実験には井出正男考案の研究班共通の超音波照射装置を用いた。本装置では超音波強度が既知で、37℃恒温水中で対象を振動子から離して照射し振動子が加熱しても対象は加熱されなかった。連続波研究班長は坂元正一、パ

ルス波班長は前田一雄で、疫学的には超音波診断導入後も先天異常は増加しなかったし、妊娠動物を超音波照射しても胎仔奇形は発生しなかった。鳥取大実験では、羊膜起源JTC-3細胞の超音波による発育曲線抑制に閾値があり、抑制の下限は連続波で $1\text{ W/cm}^2$ 、パルス幅 $3-5\mu\text{S}$ 、繰返し周波数 $250-1,000\text{ Hz}$ のパルス波でSPTA $240\text{ mW/cm}^2$  (SPTP $20\text{ W/cm}^2$ )で、閾値未満の超音波では細胞発育は抑制されなかった(図1)<sup>3)</sup>。

1976年11月に第30回日本超音波医学会研究発表会(会長前田一雄)が開催され、シンポジウムは「超音波生体作用研究の現況」とし、研究班員が講演した。座長は井出正男と坂元正一、演者は清水哲也、原量宏、立花仁史、前田一雄、赤松信雄、末原則幸、竹内久彌、厩橋正であった。その後上記閾値は超音波医学会に承認され<sup>4)</sup>、連続波 $1\text{ W/cm}^2$ 、パルス波 $240\text{ mW/cm}^2$ の閾値に満たない超音波強度では生体作用を生じないとされた。さらに日本工業規格(JIS)の超音波機器では、A及



図1. 超音波振動子を装着して実験に用いた恒温水槽(右)とパルス波発振器USP-1(左)。

びMモードを除き超音波出力強度を $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 未満に制限した<sup>5)</sup>。超音波強度は音場条件によっては増大するが、出力強度が $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 未満では数倍に増強しても作用閾値に達しないので安全であった。

JIS規格によりドプラ聴診装置やBモード断層装置の安全性は確保され、実時間Bモード超音波診断装置や超音波分娩監視装置が急激に普及した。WHOは1982年出版のEnvironmental Health Criteria 22で超音波を論じたが<sup>6)</sup>、前田はジュネーブのWHO出版委員会に参加して日本の研究成果と超音波診断装置の安全性を主張した。

その後、超音波診断には音響強度の高いパルスドプラ血流計測やカラー・パワードプラ法が胎児診断にも導入されるに及んで、アメリカ超音波医学会(AIUM)は超音波の熱作用を指標とするthermal index (TI) や機械作用を指標とするmechanical index (MI) による装置使用者の自己規制をfoods and drug administration (FDA) に承認させた。FDAは診断装置出力強度を $720\text{mW}/\text{cm}^2$ まで許容した。世界超音波医学会連合(WFUMB)は診断用超音波の生体作用と安全の委員会でTIとMIによる診断用超音波安全を検討し、井出、竹内康人、竹内久彌、穂垣、近藤、前田らは同委員会シンポジウムに参加し審議した。同委員会では、単純なBモード装置は出力が低いので超音波熱作用に関する規制は不用としたが、発熱患者では特にTIに注意し、また経膈超音波プローブの表面温度は $41^\circ\text{C}$ 未満であることとし、MIは一般に1以下とされた。

疫学研究で、超音波検査群の左利き頻度は対照と有意差がないとされ、照射群で出生体重が小さいというのは、小さい胎児ではより頻繁に超音波検査が行われることで説明された。

超音波生体作用研究班を指導しWFUMB委員会で活躍された井出正男、研究班長の坂元正一、TIを推進されたVermont大学のW. Nyborgは他界されたが、1994年に宇都宮で開催のWFUMB超音波安全委員会開催を主催された竹内久彌、同

委員会で活躍された竹内康人、穂垣正暢は健在、近藤隆はIEC・TC87で活躍され、前田は現在この原稿を執筆中である。IECでは現在さらに種々の医用超音波国際規格が検討されている。



図2. 1994年に宇都宮で開催の第5回WFUMB超音波生体作用と安全委員会シンポジウムに参加し日光の華厳滝を訪れたメンバー。中央に井出正男、後方に近藤隆、左端に竹内久彌、撮影は前田。

超音波画像診断装置は実時間Bモード開発後に急激に普及し、3D、4D超音波も広く利用され、カラー・パワードプラ、パルスドプラによる血流診断が胎児領域でも発展している。筆者は、パルスドプラ法の安全に関して、高めのTIのときの照射時間制限を提唱し、 $\text{TI}=2$ なら検査は5分以内とし、 $\text{TI}>3$ は不可としたが<sup>7)</sup>、イギリス超音波医学会でも同様の見解が発表された。

実時間Bモード超音波診断装置の長時間照射で胎仔脳ニューロン移動が障害されたとの報告<sup>7)</sup>では妊娠動物に直接接触するプローブの温度に関する追試が必要かと思われるが、超音波関係者の対策は、超音波Bモード胎児診断を30分未満とするに止めた。

最近の、動物胎仔のパルスドプラ超音波照射で胎仔肝細胞のアポトーシスが増加するとの報告<sup>9)</sup>は慎重に関係方面で検討されているが、ISUOG<sup>10)</sup>など関係団体の見解では、妊娠11～13週+6日の間にはパルスドプラやカラー・パワードプラをルーチンに使用しないで、胎児トリソミーのリスク程度を諸検査ののちさらに的確に

判定したい場合などに限定して使う。パルスドプラ使用時には、画面表示のTIを1未満に下げ、5～10分の短時間に検査を終了する。60分を越えてはならない。研究・教育・トレーニングにパルスドプラを施行するときも5～10分の照射に止め、60分を越えてはならないし、インフォームド・コンセントをとる。妊娠第一3半期の超音波ドプラの講義には、超音波安全と生体作用（TI、検査時間、超音波強度低下法など）を含める。子宮動脈血流のドプラ検査では超音波音束が胎芽や胎児にかからない限り、胎児安全への影響はない。

超音波生体作用研究における実験で注意が必要なのは偽陽性成績である。例えば超音波振動子を直接妊娠動物に接触させると超音波作用ではなく振動子の加熱で胎仔に異常を発生する可能性があり、あるいは細胞浮遊液の容器が超音波照射によって分解し、超音波ではなく分解産物が細胞に作用して姉妹染色体交換を発生した実例などがそれに相当する。前者では超音波振動子と対象動物の間に恒温水を置いて振動子が対象を加熱しない実験を追加し、後者では細胞をいれないで浮遊液のみを照射して照射後に細胞を浮遊液に加えて変化の有無を確かめるなどの注意が、偽陽性除外に必要であろう。

超音波映像の産婦人科応用では、3D超音波が馬場一憲により開発され、高度に電算化し、さらに4Dで胎動も観察でき、胎児疾患や胎児行動の診断に広く使われている。超音波診断装置の産科用設定ではTI、MIが1未満に設定されて安全性を高めている。超音波診断装置は超音波生体作用や安全対策を熟知した超音波検査の専門者が医学的理由のもとに使用すべきで、医学医療以外の目的で超音波診断装置を使用することは超音波安全の観点から許されない。

今後の超音波診断・治療両面にわたるさらに高度な成長と発展を期待して稿を終わる。

## 文献

- 1) Maeda K, Kimura S, Nakano H, et al. Pathophysiology of Fetus. Fukuoka, Fukuoka Printing, 1969.
- 2) 清水哲也, 福島務, 東海林隆次郎. 超音波と催奇形性の有無について. 産科と婦人科 1970;37:1339-43.
- 3) Maeda K, Murao F, Yoshiga T, et al. Experimental studies on the suppression of cultured cell growth curves after the irradiation of CW and pulsed ultrasound. IEEE Transactions on Ultrasonics, ferroelectrics and frequency control 1986;UFFC-33:186-93.
- 4) Maeda K(eds). Special edition: Studies on the safety of pulsed ultrasound in the diagnosis of the fetus during pregnancy. Japanese J Med Ultrasonics 1981;8(4):265-99.
- 5) Maeda K, Ide M. The limitation of the ultrasound intensity for diagnostic devices in the Japanese Industrial standards. IEEE Trans Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control 1986;UFFC-33:241-4.
- 6) World Health Organization. Environmental Health Criteria 22 Ultrasound. WHO Geneva 1982.
- 7) Maeda K. Proposals of appropriate exposure time to Doppler ultrasound estimated from the thermal effect. Ultrasound Rev Obstet Gynecol 2003;3:39-42.
- 8) Ang ESBC, Gluncic V, Duque A, et al. Prenatal exposure to ultrasound waves impacts neuronal migration in mice. PNAS USA 2006;103:12903-10.
- 9) Pellicer B, Herraiz S, Taboas E, et al. Ultrasound bioeffects in rats: quantification of cellular damage in the fetal liver after pulsed Doppler imaging. Ultrasound Obstet Gynecol 2011;37:643-8.
- 10) Bioeffects and Safety Committee, ISUOG. ISUOG statement on the safe use of Doppler in the 11 to 13+6-week fetal ultrasound examination. Wiley Online Library. DOI: 10.1002/uog.9026.

05.

産婦人科

# 1976年： 産婦人科と電子スキャン

岡井 崇

(昭和大学産婦人科)

羊水中を遊泳する胎児の超音波画像を目の当りにできた1976年の幸運がなかったなら、私は今頃別の道を行んでいたに違いないと思っています。当時2台輸入されたデモ機の一つを、ATL社の営業マンがビデオ画像と共に東大に持ち込んだのです。幸いなことに、それは私が出張病院から大学に戻った直後で、しかも、出張病院の指導医のおかげで多少超音波に興味を持ち始めた頃でした。

ビデオ映像を初めて見た時の衝撃は尋常ではありませんでした。“電子スキャン”で撮影された“ヒトの胎児”が動いているのです。瞼を閉じて記憶を辿れば、今でもその画像は脳裏に蘇ります。まるで未来から降ってきたような動画に目を奪われながら、私は、「これで、産科医療は全く変わってしまう」と確信しました。恩師の坂元正一教授から頂戴した研究のテーマを傍に追い遣り、超音波 real time 断層法の研究に没頭してゆきます。実に楽しい毎日でした。実時間で画像を見ることが出来る優位性は対象が動いてなくとも存在します。様々な角度から scan すれば対象の解剖学的構築を速く立体的に把握出来るので、胎児だけではなく、胎盤や臍帯、また婦人科腫瘍の診断にも威力を発揮しました。

電子スキャンの、特に産科領域における有用性は従来の静止画像とは比較になりません。以下に、電子スキャンがもたらした産科臨床の進歩の例をいくつか紹介させて頂くことにします。まず、妊娠の早い時期から胎児の心拍動を直接視認出来るという利点は、妊娠中期まで胎児の生死が確認が

出来ないまま行われて来た従来の産科診療を一変させることになりました。それは、診断能力の向上のみならず病態の解明にも有益で、例えば、妊娠初期の“切迫流産”に関しては疾患概念そのものを変更させるまでに至っています。一般診療における電子スキャンの実用化により妊婦健診の内容も変わってしまいました。動いている胎児の特定の断面像を得ることが容易になり、それを利用して、今では、初期に胎児の頭殿長を計測して分娩予定日を算定することが日常的に行われています。更に、中期以降には胎児の各部の計測値から推定児体重が計算出来る様になり、それが胎児管理の著しい進歩をもたらしたことは言うに及びません。胎児の心臓を real time で描写できることが心疾患の出生前診断を可能としましたし、またその後が開発されたパルスドプラ、カラードプラを活用した胎児循環機能評価なども、特定の胎児断面を実時間で捉えることが可能な電子スキャンの機能の上に成り立っているのです。その他、胎児の形態異常や、胎盤・臍帯異常の診断などが進歩したのも、電子スキャンの上記機能による所が大きいと言えます。

電子スキャンの登場が産科医療を変貌させたことは前述の通りですが、その普及によって妊産婦死亡率と周産期死亡率の低下が達成されたという事実は、まさに電子スキャンの開発が臨床医学にもたらしたインパクトの大きさを物語るものです。我が国に優秀な超音波機器メーカーが複数社存在し、より高性能の機種の開発に凌ぎを削った結果として最新の機器が逸早く広般に行き渡った

ことが、日本の周産期医療が世界一の好成績を収めるに至った最大の寄与因子である、と考察して間違いはないでしょう。

退職を間近に控えた私個人としては、松下技研による日本の電子スキャン第1号の開発に際して臨床家の立場から協力できたこと、そして、その

後の研究を通して、産科医療の向上と進歩に関わって来られたことの喜びを日毎により強く感じる此頃であります。研究を遂行する時宜と環境に恵まれた幸運に、また、共に研究生活を送ってくれた仲間の皆さんに深甚の感謝を捧げる次第です。

05.

産婦人科

# 1977年： 胎児血流計測へのチャレンジ

千葉 喜英

(千葉産婦人科)

胎児の血流計測，それは胎児医療がヒトの医療と同じ次元で語られるために，ぜひとも必要な計測だった。当時の胎児からの情報は胎児心拍数図と超音波画像だけである。いずれも開発されたのは1960年代初頭であり，1972年当時是一部の専門家のみが胎児心拍数による監視や超音波画像による胎児発育診断を提唱していたに過ぎない。1972年は私が医者になった年である。その私たちに，竹村晃はいつまでも心拍数だけではいかならう，胎児の血圧は測れんのか，胎児血の採血は無理でも絨毛間腔の採血ぐらいできんのか，と激を飛ばした。竹村晃とは当時大阪大学産婦人科の講師で，産婦人科ME研と呼ばれる研究室を立ち上げていた。彼が世に出たのは胎児心拍数の研究であり，その彼が心拍数の価値を否定するような言い方をするので驚いたのを覚えている。彼は方向指示型ドブラと呼ばれる装置を用いて胎児の血流情報を何とか得ようとしていた。彼の残した

スライドの中に，これが臍帯動脈から得られた血流波形だと称している写真がある（図-1）。

ここから数年後に竹村晃は早世した。彼の、「胎児もヒトと同じ医学の恩恵受けるべき」との強烈な思想は受け継がれ，胎児循環動態の研究は続けられていった。当時はドブラ法は連続波，断層法はパルス波と言うのが常識であり，断層法はパルス法とも呼ばれていた。そこにパルスドブラ法が開発された。パルス波であるので，時間ゲートを設ける事が可能であり，深さを同定した血流信号が得られる事になる。これに断層法を組み合わせる事ができれば，二次元画像上の特定部位の血流計測ができる。当初はバラックの自作装置での実験であった。リニアプローブの横にパルスドブラのプローブを固定した。当時のパルスドブラの測定部位の深度はダイヤルで指定する。画像上にはなんの情報も表示されないため，ポラロイド写真を撮影し，写真上に作図し，ダイヤル表示の深度が関心領域であるとした。その当時に世界で初めて得た胎児大動脈の血流波形の写真がある。この写真は1979年第2回WFUMB（宮崎），第9回世

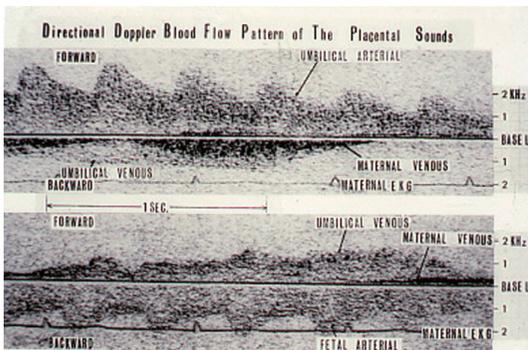


図-1 方向指示型ドブラによる，臍帯動静脈の血流記録とされるデータ，1972年頃，竹村晃のスライドファイルより。

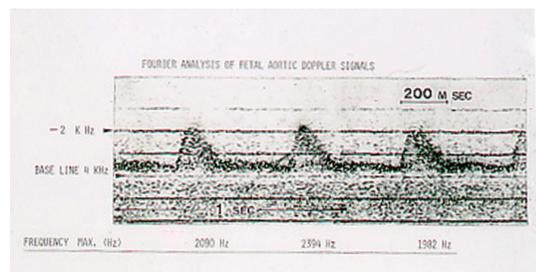


図-2 初めて得られた胎児大動脈の血流波形<sup>1)</sup>

界産婦人科学会（東京）で発表されたものである（図-2）。この血流表示はサウンドスペクトログラムを用いて後で解析されるもので、実時間表示ではない。

この時同じアイデアによる胎児血流計測の発表があった。オーストラリアからの発表でOCTSONと呼ばれた大型の装置を用い、臍静脈の血流を計測したものである。当然、議論の応酬となった。発表後の会場で押しの強い物言いをする少し年配の親父が議論を吹きかけてきたので、あんた誰と言ったら、その人がGeorge Kossoffだった。この後、彼らオーストラリアのグループとはとっても仲良くなる。この胎児血流計測の研究にメーカーも興味を示した。東芝医療技術研究所の小松、瀬尾、佐藤らによる、パルスドプラ装置は世界で初めての超高速のFFTを備えたものであり、ドプラサンプルボリュームの位置も断層法の画像に描写された。これにより実時間のガイドによる、血流の実時間表示が可能となった。現在の断層法・ドプラ複合装置の基本がここに出来上がった。装置の大きさは、ドプラ部分だけで小型の冷蔵庫ぐらいの大きさであり、断層法部分と合わせると、一人の検査者ではダイヤルに手が届かず、操作には助手が必要であった。記録はラインスキャンレコーダを用い、膨大な量の紙記録を持つ事になる。プローブ部分も当初のプロトタイプ（図-3）から、しだいにリニアプローブ、セクタプローブに組込まれるようになる。

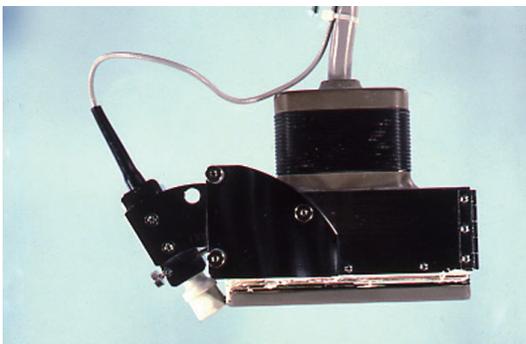


図-3 東芝医療技術研究所による最初の断層法、パルスドプラ複合装置のプローブ、プロトタイプ。

実時間ガイドの実時間血流データが得られる事により、胎児循環の変動が手に取るように理解されるようになった。臍静脈の呼吸様運動による変動（図-4）や、心拍数と同期した拍動や子宮収縮による変化などが観察された<sup>2)</sup>。

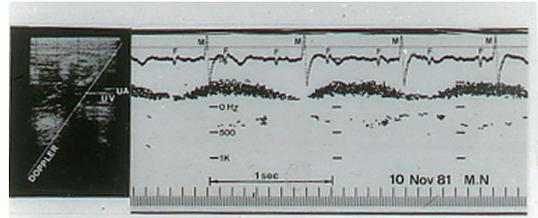


図-4 胎児呼吸様運動による臍静脈血流の変動。上の信号は腹壁誘導の胎児心電図、母体の心電図と胎児の心電図が記録されている。血流の変動はいずれの心電信号とも同期していない。

この静脈血流の観察は、後になって、下大静脈の血流波形から算出するPre-load Indexを提唱する事につながり、胎児の心不全の概念を持つにいたった<sup>3)</sup>。

竹村晃が、激を飛ばした胎児血流計測や、胎児採血はすべて現実の医療となり、ヒトの医療と同じように、胎児を治療し、ICUのように集中監視ができるようになった。この胎児医療の分野に超音波医学が果たした役割はきわめて大きい。

## 文献

- 1) Chiba Y, Miyake K. Measurements of the fetal blood flow, using a pulse Doppler flowmeter, by the guidance of a real-time B-scan. In: Sakamoto S, Tojo S, Nakayama T (eds). Excerpta Medica, Amsterdam-Oxford-Princeton 1979;752-5.
- 2) Chiba Y, Utsu M, Kanzaki T, et al. Changes in venous flow and intra tracheal flow in fetal breathing movements. *Ultrasound Med Biol* 1985;11(1):43-9.
- 3) Kanzaki T, Chiba Y. Evaluation of preload condition of the fetus by inferior vena caval blood flow pattern. *Fetal Diagnosis and Therapy* 1991;5:168-74.

05.

産婦人科

# 1983年：診断用超音波の安全性に関する見解の公示

赤松 信雄

(姫路赤十字病院)

頻回の放射線検査で二次的発癌が起こっていることが警告されている。ところで、診断用超音波を日常的に用いて安全であるかは、ブラックボックスであった子宮内の胎児の状態が観察できる超音波検査を行う産科医にとって是非とも知っておきたいことである。

厚生省の科学研究の一つ、厚生省心身障害研究としてこの問題が研究され始めた（胎児環境研究班（班長は坂元正一東京大学教授）、続いて、母胎外因研究班（班長は鈴木雅洲東北大学教授）。昭和49年度よりの心身障害発生防止に関する胎児環境的研究、昭和52年度よりの母体及び胎児に対する外的因子に関する研究として、井出正男班員により超音波音場の強さの測定方法が確立された。さらその指導により診断用超音波よりも強力な超音波を発生する装置が作成された。この強力超音波発生装置と超音波の強さ測定装置を用いて診断用超音波の作用と安全性が研究された。

その結果、強力超音波では、胎仔に胎内死亡や奇形が増加すること、受精卵の発育遅延や死滅が増加することが明らかとなった。しかし、診断用超音波ではキャビテーションの発生や熱作用による異常は増加しなかった。

これらの成果と海外での報告をまとめ、超音波医用機器に関する委員会から診断用超音波の安全性に関する見解を公示することとなった。研究班班員であった井出正男武蔵工業大学教授が委員長、前田一雄鳥取大学教授が委員となられた。そこに班研究に協力していた赤松信雄（岡山大学非常勤講師）が原案を作成する委員として参加した。拙い語学力で海外の報告を読破し、素案を医用超音波の安全性に関する委員会に提出し、多々修正の上、昭和58年12月14日に井出正男委員長名で、会告「診断用超音波の生体に対する安全性の見解」は発表された。

05.

産婦人科

# 1986年：産婦人科領域の3次元超音波の開発

馬場 一憲

(埼玉医科大学総合医療センター 総合周産期母子医療センター)

超音波診断装置の出現は、産婦人科に革命的ともいえる変革をもたらした。しかし、断面から胎児体表の立体構造を把握することは、ベテランにとっても容易ではない。

著者が3次元超音波開発に関与し始めたのは、国産の産婦人科用超音波診断装置が出始めた1980年代初頭であった。開発研究の協力を得るため、いくつかの超音波診断装置メーカーに話をしたが、当時のメーカーは、断層像の画質向上と、発表されたばかりのカラードブラ法の商品開発に力を注いでいた時期であり、3次元超音波に関しては全く関心を示さなかった。そこで、メーカーの協力はあきらめ、独自のシステムを作ることにした。

基本的な考えは、多数の超音波断層像と、その位置情報をコンピュータに取り込み、コンピュータ内で3次元構築を行えば、3次元像を得ることができるであろうというシンプルなものであった。

超音波断層像は、東京大学産婦人科で使用されていたリニア電子走査型の超音波診断装置を用いれば得られるが、そのリニアプローブの位置をどのようにして検出するかが最初の課題であった。思いついたのが、マニュアルコンパウンドスキャナーで使用されている大きなアーム状の機械的ポジションセンターである。当時はマニュアルコンパウンドスキャナーから電子走査への転換期であり、科研費を使って某メーカーから中古のポジションセンターを購入することができた。大学から歩いて行ける秋葉原でアルミの板を購入して加工し、アームの先端にリニアプローブを脱着できる

ようにした。

ポジションセンターを分解すると、プローブのX、Y、傾きの3つのアナログ信号を取り出せることが分かった。この3信号を超音波断層像と組み合わせる方法として考えついたのは、断層像にこれらをスーパーインポーズする方法であった。当時としては珍しいビデオ画像を合成することができるパーソナルコンピュータ(PC)とADコンバータを購入して、BASICという言語でプログラムを自作し、プローブのX、Y、傾きの3つの位置情報をそれぞれの長さで表す3本のバーをPCで作って断層像に合成した。

しかし、実際にやってみて思わぬことが分かった。PCの処理速度が遅く、3本のバーの動きが、プローブの動きに追従しない。すぐに思いついたのは、昔、某技術研究所のアルバイトで使っていたアセンブラ言語であった。プログラム作成はたいへんであるが、これなら処理速度が上がるのではないかと、さっそく、秋葉原で、そのPC用のアセンブラ言語の本を買ってきた。臨床の合間にアセンブラ言語を独学するのは苦労したが、完成したプログラムは期待通りのスピードを実現してくれた。

最後のコンピュータによる画像構築は、処理時間を考えると当時のPCはとても使えたものではなかった。幸いなことに、東京大学医学部が所有していた、いわゆるスーパーミニコンと呼ばれる大型冷蔵庫ほどの大きさのコンピュータが無料で使用でき、しかも、そのスタッフであった石井繁夫氏が作った3次元像構築のためのプログラム

を使用することができることになった。

その頃、埼玉医科大学総合医療センターに異動になっていたため、川越の医療センターで断層像と位置情報を合成してUマチックのビデオテープに記録し、それを東大まで運び、そこで画像として記録された位置情報を基に、コンピュータに1枚1枚断層像を取り込んだ。1つの症例の断層像を入力するのに10分以上の時間がかかり、さらにコンピュータが3次元像を構築するのに数分を要したが、世界で初めて子宮内の生きた胎児の3次元像を作ることに成功し、1986年の日本産科婦人科学会学術集会で発表した。

1990年までに、カラードブラ法で胎盤・臍帯血流を捉えて血流の3次元像を表示したり、白黒反転して嚢胞部分の3次元像（今でいうinversion mode）を描出したりすることができた。これらの成果は、1992年に自著「超音波像による産婦人科の飛躍 - 経腹法から経陰法へ、断層像から3次元像へ」（永井出版）という本の中にまとめた。

話は戻るが、1986年以降、胎児の3次元像は、発表を聞いた産婦人科医やマスコミなどにはたいへん興味を持ってもらえたが、国内メーカからは表だった反応はなかった。ところが、この3元超音波を1987年3月、オーストリアのウィーンで開催された第1回世界周産期コンピュータシンポジウムで発表した2年後の1989年、突如、オーストリアの超音波メーカであるKretzが、3次元超音波診断装置Combison330を出してきた。この装置は、単独では3次元像を表示できないものの、断層法用のプローブを内蔵した3次元超音波プローブを用いて連続した断面を自動的に取り込み、直交3断面表示するものであった。この装置は、やがて、時間はかかるものの3次元像を表示できるようになり、特にKretzが1996年にMedison傘下に入って以降、機能向上と普及が進んだ。

1997年にイギリスのParthenon出版社から「Three-dimensional Ultrasound in Obstetrics and Gynecology」（Edited by K. Baba and D. Jurkovic）が出版されたが、この中で主として使われていたの

は、この装置であった。また、同年、ドイツのマインツで開催された第1回世界3次元超音波会議で、著者以外の発表者が使用していたのは、主としてこの装置であった。

1990年代に入り、国内メーカも3次元超音波開発に眼を向けるようになった。当時のコンピュータは3次元像を構築するのに長時間を要したため、リアルタイム性を追求して、拡散音響レンズをプローブ表面に張り付けて厚いスライス幅の画像を表示することによって胎児を3次元的に見せる方法や、コンピュータを使わず超音波ビームを受信しながらリアルタイムに処理して3次元像を構築するリアルタイム超音波ビームトレーシング法が開発され商品化された。しかし、コンピュータの驚異的な進歩によって、3次元像構築がほぼリアルタイムで行えるようになったため、しだいにコンピュータによって画像構築する方法が主流になっていった。

2005年には、超音波診断装置の主たるメーカすべてから現在のような3次元超音波診断装置が販売されるようになり、近年、産科を中心に、超音波を専門としない一般開業医にも3次元超音波が普及するに至った。



図1 妊娠19週の胎児の3次元像

05.

産婦人科

# 1992年：卵巣腫瘍のエコーパターン分類の公示

赤松 信雄

(姫路赤十字病院)

卵巣腫瘍のエコーパターン分類には、悪性腫瘍・境界悪性腫瘍である可能性がエコーパターン毎に表示されていることが、他の超音波診断基準にみられない大きな特徴である。他の超音波診断基準では悪性腫瘍に多いと超音波所見が記載されているが、その所見が観察されると悪性腫瘍である可能性が何%程度であるかは判らない。各所見の悪性腫瘍・境界悪性腫瘍に対する重みが不明な診断基準が多い。

一方、卵巣腫瘍のエコーパターン分類ではエコーパターン毎に悪性腫瘍・境界悪性腫瘍である可能性が表示されている。即ち、I型・II型・III型では3%以下、IV型では約50%、V型では約70%、VI型では約30%と注記されている。

この卵巣腫瘍のエコーパターン分類が引き金となって、その後の超音波診断基準で、各所見の(境界)悪性腫瘍である可能性が表示されることを期待していたが、そのような診断基準がでてこないことは残念至極である。

卵巣腫瘍のエコーパターン分類での(境界)悪性腫瘍である可能性の表示に使用された元データは、1988年から1992年までの経腹走査超音波像に基づいている。この年当期の診断基準委員会委員と前期の診断基準委員会委員うち産婦人科領域を専門とする以下のメンバーが広島に集合した。順天堂浦安病院の竹内久彌教授、東京大学の岡井崇助教授、香川県立津田病院の高柳真院長、九州大学の中野仁雄教授と岡山大学の赤松信雄であった。

委員の殆どは既に卵巣腫瘍の超音波診断基準を

報告していたので、それらを参考にして、診断基準の表現を超音波所見として表記するのか、エコーパターンとして表記するのかをまず検討し、後者が選択された。次に充実性パターンを1つとすることが決まった。次いで混合パターンに皮様囊腫(成熟嚢胞性奇形腫)を特殊桂として加えることが決まった。最後に嚢胞性パターンを2つに分けることが決まったが、子宮内膜症性嚢胞など内部エコーを有する嚢胞性腫瘍を分別したいという岡井崇委員の意見が強かったと記憶している。

加えて、各エコーパターンが悪性腫瘍や境界悪性腫瘍である確率を示すことが、診断基準の有用性を高めるということになった。そこで、1988年までさかのぼって、卵巣腫瘍の超音波像からエコーパターンの明瞭なものを選択するとともに、新しい症例の超音波像を6型のエコーパターンに分類した。これらを集計して、1992年に日本超音波医学会で発表した。

同じ1992年に卵巣腫瘍のエコーパターン分類案が、超音波診断基準委員会から公示された。その注には悪性腫瘍、境界悪性腫瘍である確率が、エコーパターンI型、II型、III型では3%未満、IV型では約50%、V型では約70%、VI型では約30%と記載されていた。

会員からの意見を求め、卵巣腫瘍のエコーパターン分類案から「案」が取れたのは、8年後の2000年で、岡井崇先生が委員長をされていた時期であった。それまでなぜか委員会審議が進まなかった。

05.

産婦人科

# 1998年：胎児計測の標準化と日本人胎児の基準値の公示

赤松 信雄

(姫路赤十字病院)

超音波での胎児計測，特に胎児体重推定法を標準化しようという考えが，多くの会員に浮かんできた時期，1998年に千葉喜英先生（国立循環器病センター）を代表として胎児診断評価の標準化研究部会が発足した．幹事には竹内久彌先生（順天堂浦安病院），名取道也先生（慶応大学），岡井 崇先生（昭和大学），岡村州博先生（東北大学），竹内康人先生（GE横河メディカルシステムズ），佐藤昌司先生（九州大学），小林浩一先生（東京大学），村上典正先生（国立循環器病センター）が名を連ねていた．

胎児推定体重のデータ収集は，産婦人科領域の超音波専門医が所属している施設に依頼を行い，35施設から1997年9月から1998年12月までに分娩したデータが送られてきた．457例の超音波計測値を10の胎児体重推定式に入れて検討した結果，青木式，篠塚式が海外の推定式よりも小さい絶対%誤差であったが，青木式の方が実際の生下時体重よりも2，3%大きく推定された．

胎児超音波Doppler計測におけるインデックスのうち臍帯動脈および中大脳動脈のRI，PI，S/D，PLIについて既報のデータを集積し，解析することで正常値が作成された．

CRL（頭殿長）は，11施設より216例のデー

タが集められた．更には用語・診断基準委員会に日本人胎児の妊娠週数毎の超音波計測標準値に関する小委員会（赤松信雄小委員長）を設けて公示していくこととなった．最終的には12施設427例の超音波計測値により胎児頭殿長の標準曲線が作成された．

トレース法による胎児腹囲はトレース法による腹囲より3，0%大きく計測されていたが，面積比では0，9%の差違であり，施設毎の測定差2，0%よりも小さく，トレース法で測定した腹囲を篠塚式に代入することに問題がないことが確認された．

これらを用いた「胎児計測の標準化と日本人胎児の基準値案」が2001年に超音波診断基準委員会から公示された．

32頁と膨大な量の解析がなされた．これらに用いた計算式などの記述の修正ができ，2001年に案が取れ，正式に公示された．その膨大なチェックと訂正作業は委員長になられた岡井 崇先生のご尽力によるものであった．

正確を期したと思っていた計算式に誤りがみられ，2010年に訂正がなされたが，その骨子には何ら変更はなされていない．