

短 報

各種医用画像診断装置の一般向け原理説明のための原理模型の開発 2*

市川 真史

富山市科学文化センター

〒939-8084 富山県富山市西中野町 1-8-31

Development of Basic Models to Explain each Mechanism of various Medical Imaging Equipments to Nonprofessionals, 2

Shinji Ichikawa

Toyama Science Museum

Nishinakano-machi, Toyama-shi, Toyama 939-8084, Japan

これまで富山市科学文化センターでは、学芸員が独自に新しい展示装置を考案してきており、現在筆者は、近年普及してきた、医用 X 線 CT 装置 (CT) や磁気共鳴画像診断装置 (MRI)、超音波エコー診断装置 (US) の原理を科学博物館で一般向けにわかりやすく説明するための、体験型展示装置の開発を行っている。これらの装置は体の断層画像が得られる点では共通しているが、断層画像を得る方法は全く異なる (岩井・斎藤・今里; 1988, 遠藤; 2001)。この違いに焦点を当て「情報の再構成によって見えないモノのカタチを知ることができる」ということが理解できる展示装置を製作した。

前号に引き続き、今回は主に製作した体験装置について報告を行う。

1. 医用 X 線 CT 装置 (CT)

医用 X 線 CT 装置 (CT) の動作原理である「投影データを取得し、投影データから断層画像が復元できる」という点を理解できるような展示装置として、前号において「ハニカムパズル」という原理模型を考案し、報告した。7つの六角形が図1のように並んであり、その周りに配置されている数字を手がかりに、六角形を塗り分けるパズルである。(図1)。

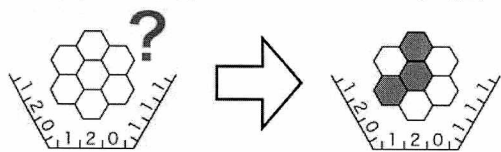


図1 ハニカムパズル

これを基に製作した体験装置が図2である。図2-Aは通常の状態, 図2-Bは頭頂部のふたをとって中の様子が見えるようにしたものである。ハニカムパズルにおける7つの六角形は、7本の透明アクリル製六角柱として装置内部に組み込まれている。これを挟み込む形で、投影データ取得のためのLED光照射部と観察窓が配置されている。

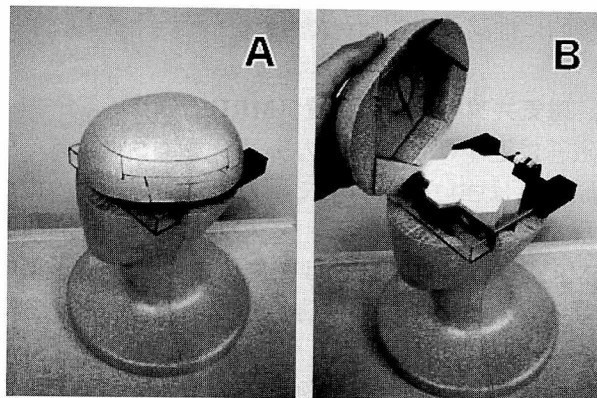


図2 ハニカムパズルの体験装置

上図では、右上の黒い部分がLED光照射部で3個のLEDが配置してあり、左手前部分に3つの観察窓が配置してある。この投影データ取得パーツは、挟み込み部分が大きく開き、挟み込み位置を回転することが出来る。それによって、ハニカムパズルの通り投影データを3方向から取得することが出来る。

透明アクリル製六角柱には、それぞれ上半分もしくは下半分にグレーの半透明フィルムが貼ってある。投影データの観察は、これら六角柱の上半分に対して行う。この六角柱の上下を入れ替えることで、様々なパターンのパズルを試すことが出来る。

7つの六角形を覆う白いカバーは、六角形の塗り分けパターンを外部から見えにくくするためのものである。

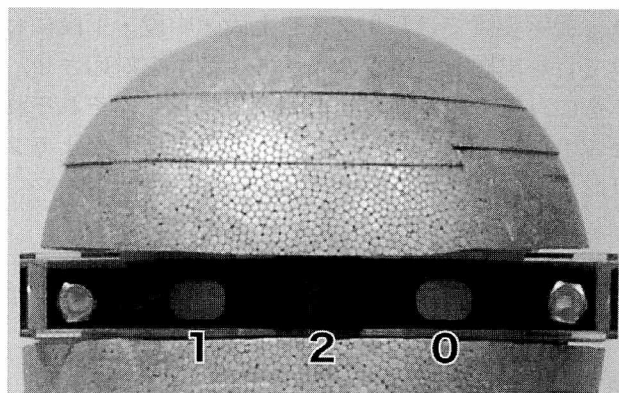


図3 ハニカムパズルの投影の様子

*富山市科学文化センター研究業績第340号

図3は、図2の左手前から見た観察窓の様子である。内部の六角柱は、図1右の塗り分けパターンの通りに配置されており、左端の(1, 2, 0)の状態を観察したところである。窓の明るさから透過光の強弱がわかり、投影データとして(1, 2, 0)が取得できることがわかる。このようにして投影データを3方向から集め、六角柱の塗り分けパターンを体験的に推測することができた。

2. 磁気共鳴画像診断装置 (MRI)

磁石に近づけた鉄が磁力を帯びるように、ある種の原子核は強い磁場の中で磁力を帯び、特定の電波に反応するようになる。この現象は核磁気共鳴(NMR)と呼ばれ、MRIは主に体内の(水分子に含まれる)水素原子核の核磁気共鳴現象に由来する電波(NMR信号)を観測している。このNMR信号の周波数は磁場の強さに比例するので、その強度と周波数のデータをフーリエ変換という数学的处理することで断層画像が得られる。

これらの原理のうち、今回の展示装置化ではNMR信号の発生は取り扱わず、「位置情報が周波数として含められた信号から周波数成分をとりだし、断層画像に変換する」部分について、装置化を行った。

ある信号から周波数成分を分離する作業は、「音」の音階を聞き分けることと数学的に同じである。ゆえに、場所ごとに異なる音階の音を割り当てておき、その音を聞き分けることで位置情報を知るという体験を提供することで、「位置情報が周波数として含められた信号から周波数成分をとりだし、断層画像に変換する」ことを体験できる。

そこで以下のような、正方形が9マス集まった枠を塗り分けるパズルを考案した。どのマスを塗り分けるかは、和音を聞いて音階を聞き分けることで行う。展示装置では、9マスを上段・中段・下段にわけて音を出題し、各段の3マスを音階を対応させ、3音の有無の組み合わせの和音を鳴らし、それぞれ3音の有無を聞き分けて塗り分ける。「ここだよカンコン」と名付けた。

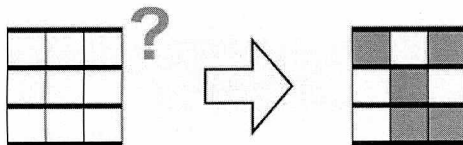


図4 ここだよカンコン

これを基に製作した体験装置が図5である。タッチパネル式モニタとパソコン、頭部模型の中に組み

込んだスピーカーで構成されており、頭部の断面を推測する、という形式になっている。

制御ソフトは最終的にはFlashを予定しているが、現段階では、プレゼンテーションソフトのKeyNoteで動作している。

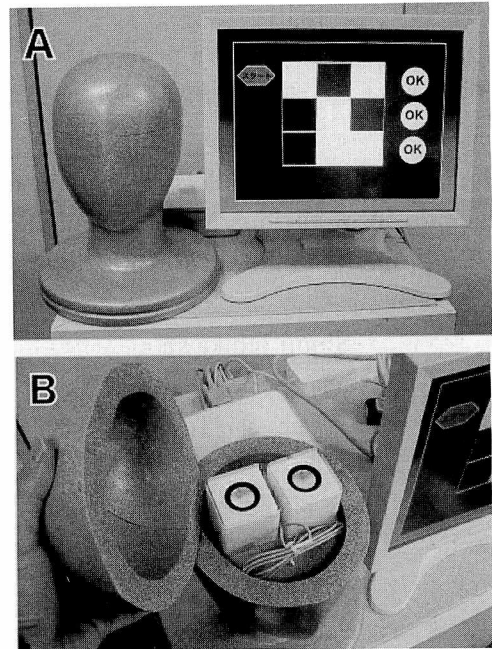


図5 ここだよカンコンの体験装置

操作方法是次のとおりである。始めにスタートボタンを押す(図6-1)と、上段の出題となる。左端のマスが「ド」中央が「ミ」右端が「ソ」に対応する。ここで鳴る和音を聞き取り、鳴ったと思う場所を押す(図6-2)。同じ場所をもう一度押すとキャンセルとなる(図6-3)。鳴った場所のセットが終われば、OKボタンを押す(図6-4)。すると次は中段の出題となる。出題と回答の流れは上段のときと同じで、以下、下段も同様である。下段のOKボタンを押した時点で正誤の解答が表示される。

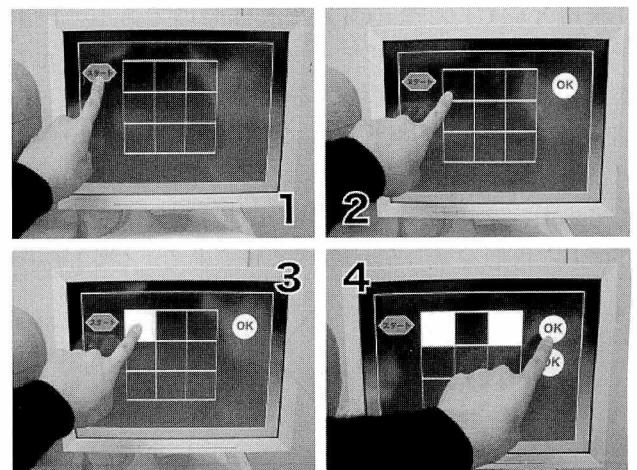


図6 ここだよカンコンの操作の様子

今回の製作では行っていないが応用として、上段・中段・下段の音に「うなり」を加えることで、3つの段を区別せずに、まとめて9マスを同時に聞き分ける体験も提供できる。また、各出題を「ドレミファソ」の5音とし、 5×5 の25マスに拡張することもできる。この場合、より細かい絵を取得できる一方、測定の高難度も高くなるが、このことは実際のMRI装置においても同様である。

3. 超音波エコー診断装置 (US)

この装置は、魚群探知機やコウモリなどと同じく、音の反射時間でモノのカタチを探る。超音波エコー診断装置 (US) で利用する信号は音である。音は有限の速度で進み、反射 (エコー) して戻ってくる。その反射して戻る時間から、反射した位置までの距離が計算できる。

この「反射時間を測定し、反射時間から断層画像を復元する」という点を理解できるような展示装置の製作を行った。

実際の装置化では、音を聞くことはできるが、音の反射時間の違いを認識するのは難しいので、音の代わりに、ボールの反射時間を測定することで、壁面までの距離を推測する、というゲームを考案した。

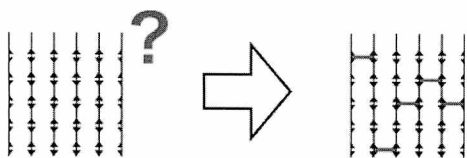


図7 かけっこ着順距離当てゲーム

これを基に製作した体験装置が図8である。5つのレーンにボール (ビー玉や鉄球) を同時に転がし、ゴールに戻ってきた着順を判定し、その結果から反射板の位置を推測する。通常は図8-Aのようにボールがレーンを走る様子は見えないようにしておく。図8-Bはカバーを取り除いたところで、各レーン上の異なる位置に反射板が取り付けられている様子がわかる。これらの反射板は6段階に前後に移動して取

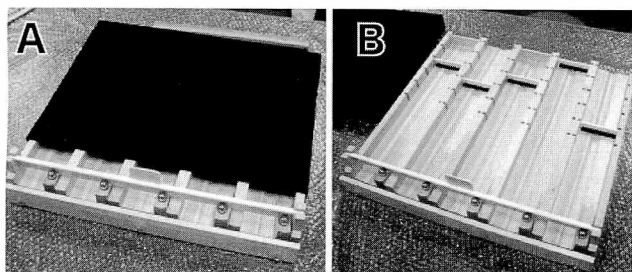


図8 距離当てゲームの体験装置

り付けることができる。ボールのスタート位置は、手前側に見える横板 (図8では白い棒の様に见えている) で、ここに5個のボールが置かれている。

各レーンはそれぞれ「人」の字のような2本のレーンが交わる形になっている。スタート時は右払いの位置で、手前から奥に向かって下り坂になっている。交点で左払いのレーンに合流し、反射板で跳ね返った後は左払いのレーンに戻る。

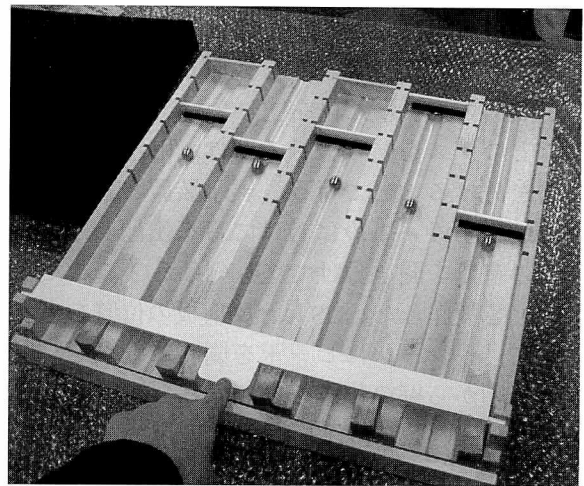


図9 ボールの動く様子 (スタート後反射前)

図9は、ボールをスタートさせた後、反射板で跳ね返る前の様子である。スタートはボールを留めている白い横板を指で跳ね上げることで行う。ボールが一直線に並んで進んでいるのが分かる。

その後、ボールはそれぞれのタイミングで跳ね返るが、跳ね返り後のボールの速度が同じでないと、ゴールの着順が入れ替わってしまう。跳ね返り速度の揺らぎを減らすために、反射板には5mmの鉄板を用い、跳ね返りクッションの取り付け位置は、試行錯誤によってボールの下半分くらいの高さに調節してある。ゴールには鉄琴の鍵盤がセットしてあり、ボールの到着時に音が鳴る。音は左から順に「ドレミファソ」の異なる音階に設定されていて、着順に応じてメロディーのように鳴り、音階の鳴った順番から、反射位置が推測できるようになっている。推測した位置の回答は黒いカバーの上に直接マーカーを置くことで行う。正解は、カバーを外して反射板の位置を確認することで行う。

まとめ

医用画像診断装置として多くの場面で用いられている磁気共鳴画像診断装置 (MRI) と医用X線CT装置 (CT) と超音波エコー診断装置 (US) につい

て、人体を傷つけることなく内部の断層画像が撮影できる原理を、よりよく理解させるために、対象としている三つの医用画像診断装置の情報再構成の方法を体験でき、その違いを際立たせるような、「絵」を完成させるパズルを三つ考案した。さらに、これらのパズルを体験的に行える展示の試作装置を作った。CTについては、正六角形が7マス集まった枠を塗り分けるパズルを考案した。展示装置として、半透明および透明の六角柱を7本束ね、LEDの透過光を3方向から観察し、その明暗度から7マスを塗り分ける「ハニカムパズル」を製作した。MRIは、正方形が9マス集まった枠を塗り分けるパズルを考案した。どのマスを塗り分けるかは、和音を聞いて音階を聞き分けることで行う。展示装置として、9マスを上段・中段・下段にわけて音を出題し、それぞれ3音の有無を聞き分けて塗り分ける「ここだよカンコン」を製作した。USは、反射板の位置を当てるゲームで、5レーンにビー玉を同時に転がし、戻ってきた着順から壁の位置を推測する「かけっこ着順距離当てゲーム」を製作した。

各装置の原理模型は今回の目的を達したが、今後は実際に展示室で運用するための改良が必要である。また今回は、画像再構成部分のみに絞って開発を行ったので、情報取得部分、特にNMR信号の取得の原理をよりよく体験的に説明する方法の開発も今後の課題である。

謝 辞

なお、この研究は文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)「各種医用画像診断装置の一般向け原理説明のための原理模型の開発」(課題番号16700549)の補助を受け実施している。

文 献

- 市川真史, 2006. 各種医用画像診断装置の一般向け原理説明のための原理模型の開発 1. 富山市科学文化センター研究報告, 29:117-120.
- 岩井喜典・斎藤雄督・今里悠一, 1988. 医用画像診断装置—CT MRIを中心として—. コロナ社, 東京.
- 遠藤真広, 2001. 医療最前線で活躍する物理. 裳華房, 東京.