

新しいデジタルアートとしてのコンピュータホログラフィ

松島 恭治

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

E-mail: matsu@kansai-u.ac.jp

あらまし ポリゴン法・シルエット法・レーザーリソグラフィ技術の組み合わせによって制作される計算機合成ホログラムは、表面モデルの物体からなりオクルージョンのあるシーンを再生するホログラムである。これらは完全にデジタル的にデザインされたコンピュータホログラフィであり、最近にはさらに実在物をデザイン素材として取り込むことができるようになりつつある。新しい形態のデジタルアートとして発展する可能性が高いこれらコンピュータホログラフィの作品を紹介する。

キーワード CGH, シルエット法, ポリゴン法, レーザーリソグラフィ, デジタルアート, デザイン, 展示

Computer Holography as a New Digital Art

Kyoji MATSUSHIMA

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680, Japan

E-mail: matsu@kansai-u.ac.jp

Abstract High-definition CGHs, computed by the polygon-based method and silhouette method and fabricated by laser lithography technology, are synthetic holograms that reconstruct the occluded 3D scene including surface modeled objects. These are called computer holography in this paper, because the style of designing is similar to that of modern computer graphics and digital imaging. Several works of these computer holography, that has a potential of yielding a new digital art, are demonstrated.

Keyword CGH, silhouette method, polygon method, laser lithography, digital art, design, exhibition

1. はじめに

インターネット百科事典ウィキペディアで「デジタルアート」を検索すると、『デジタルアート(Digital Art)は、コンピュータを使ってデジタル形式で芸術作品を作ること。デジタル芸術、デジ絵などと呼ばれることもある』と表示される¹。さらに解説を読むと、「完全にコンピュータで生成するもの」だけではなく、「写真を取り込むなどして元の素材を用意したもの」、あるいは「何らかの計算処理によって修正を施したもの」も含まれるようである。ただし、「単にテキストや画像や音声コンピュータに取り込んだだけではデジタルアートとは呼ばないが、それらを素材とすることはある」とのことである。これらの定義をホログラフィに適用してみると、残念ながら、単に被写体を撮影したホログラムはデジタルアートとは呼べないようであるが、多視点画像をデジタルカメラで撮影して作成するホログラフィックステレオグラムはデジタルアートに分類されると考えてよいであろう。

ただし、本稿で述べるコンピュータホログラフィ(Computer Holography)は、このようなホログラフィックステレオグラムではない。ウィキペディアの定義するところの「コンピュータを使ってデジタル形式で」作成されるアートである、あるいは「写真を取り込むなどして元の素材を用意したもの」も含んでいる。もう少し厳密に定義すると、『デジタル干渉縞データから光の回折によって再生されるすべての映像作品』となる。当然ながら、「デジタル干渉縞データ」が作品の本体であるので、デジタルメディアへのアーカイブやネットワークを通じた伝送や配布、放送などが可能である。

¹ この原稿の執筆時点の2011年1月末の検索結果である。

著者は、2009 年にアメリカのサンノゼで行われた国際会議 “Practical Holography XXIII: Materials and Applications” において、“The Venus” と名づけたコンピュータホログラムを公開し、大変な好評を博した(Fig.1)。これは、CG 用に作成されたポリゴンモデルの物体を、デジタル画像を背景とする仮想シーンの中心に配置して純粋にコンピュータによってのみ合成したホログラムである。技術的なデモとして作成したため非常に単純なシーンであり、これがアートかと言われるればクエスチョンマークが付くが、製作に用いたレーザーリングラフィ技術のお陰もあって大変見やすく、従来の CGH とは一線を画した美しく奥行き感の強い空間像を再生する作品となっている。以来、The Venus で用いた技術をベースとし、デザイン上の制約を取り除くこと、CG と同様の種々のレンダリング技術を開発すること、あるいは、CG モデルの物体だけではなく実在物を撮影してシーン構成を行うことなど、様々な技術的課題のデモとして一連のコンピュータホログラムを制作している。これらはすべて作品としての名前を有し、種々の学会等で展示され好評を博している。これら自体が芸術作品であるかどうかはさておき、少なくとも近い将来のデジタルアートの基礎であることは間違いない。



Fig. 1 The Venus の最初の展示

本稿では、技術的な内容は文献[1]に任せ、現在までに製作されたこれらの作品とそれが解決を目指した課題を紹介させていただき、あわせてこの種のコンピュータホログラフィのデジタルアートとしての将来を考えてみたい。なお、これらの技術は現在進行形で発展中であり、学会発表の順序の問題や製作上の問題でここではまだ紹介できない作品もあるが、ご容赦願いたい。

また本稿では、印刷の都合上、再生像写真はすべてモノクロに変換している。より詳細な再生像については、下記の既存ウェブサイト²に併設する形でギャラリーを開設し、再生像のカラー写真やビデオ画像のみならず、その干渉縞データ(作品本体)や実在物の撮影波面データを一定の条件下で再利用できる形で公開する予定にしている。興味がある方はそちらをご覧くださいければ幸いです(2011 年 3 月末公開開始予定)。

<http://www.laser.ee.kansai-u.ac.jp/WaveFieldTools/>

本稿の執筆時点のこのサイトでは、本稿で紹介するコンピュータホログラムを計算するのに必要なライブラリやツール、シミュレーション再生アプリ等のソフトウェアを公開している。それなりのスキルは必要であるが、これらのライブラリとツールを利用し、配布ドキュメントに掲載しているサンプルソースに従ってプログラミングしていただければ、基本的なコンピュータホログラムは全て計算できる。なお、質問・要望等を受け付けるフォーラムも開設している。

2. コンピュータホログラフィ

このコンピュータホログラフィという造語は、もちろんコンピュータグラフィックス(Computer Graphics, CG)を意識したものである²。ここで用語を整理しておく、まず、計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram, CGH)という用語がしばしば用いられる。これはホログラムの干渉縞データを計算機で発生することからきた言葉と思われるが、必ずしも 3 次元立体画像を再生するホログラムを指すものではなく、分野によってはしばしばレンズやフィルタ、ビーム整形素子などの光学素子用途のホログラムを指す場合に使われる。

次によく用いられる用語として、デジタルホログラフィ(Digital Holography, DH)がある。こちらは、特に日本では、イメージ

² 「コンピュータホログラフィ」が著者のオリジナルな造語かどうかは判然としない。もしかするとすでに同じ言葉を使われているかもしれない。少なくとも、英語で Computational Holography という用語は文献などでも目にするがある。

センサを用いてデジタル的に干渉縞を記録する技術を指す。DHで取得された干渉縞は、一般に光学的には再生されず、数値的にコンピュータディスプレイ上に再生されるため、そもそも3次元立体画像ではない。この技術は光波を記録するので、古典的ホログラフィでの撮像側にあたり、CGHが再生側と考えることもできる。しかし、このような使い分けは日本ではわりと厳密に行われているが、諸外国ではあまり厳密ではなく、すべてをさしてデジタルホログラフィと呼ぶことも多く、またCGHに相当する言葉として Synthetic Hologram (合成ホログラム)という言葉もしばしば耳にする。なお、本稿の中では、さらにデジタイズドホログラフィ(Digitized Holography)という言葉を用いる。これは完全に著者の造語と思うが、上記のDHを用いて被写体を撮影し、デジタル編集を行って(CGモデルの物体等との混合もおこなって)、仮想的な3Dシーンを再生する技術を指している。

3. 作品紹介

本節では、実際の作品を紹介する。なるべく発表順に並べているが、技術的な課題の近いものを組み合わせたため必ずしもそうならない場合がある。

The Venus

ポリゴン法とシルエット法を用いた超高解像度コンピュータホログラムの最初の作品。シーンおよび再生像をFig. 2とFig. 3に示す。2008年11月頃から2009年1月にかけて制作を行った。本稿で紹介するコンピュータホログラムはすべて、(1)ポリゴン法による表面モデル物体光波合成技術、(2)シルエット法による光波遮蔽技術(隠面消去技術)、(3)レーザーリソグラフィによる干渉縞描画技術[2]、を用いている。この作品までもこれらの技術を個別に用いてホログラムを作成したことはあったが、これらすべてを統合してひとつのホログラムを作成したのはThe Venusが初めてであった。The Venus以前にそれができなかった理由は、The Venusのような大きなホログラムは単一のコンピュータのメモリに納まりきらず、ポリゴン法とシルエット法を用いて計算する手段がなかったためである。

コンピュータホログラムが作品として鑑賞できるレベルかどうかは、そのサイズと視域に大きく依存している。視域はピクセルピッチが細かきほど広がるので、サイズが大きくて視域が広いホログラムはすなわち大きなピクセル数を有するホログラムということになる。実際、The Venusでは、ピクセル数が64K×64Kであり(ここで1K=1024)、その総ピクセル数は40億ピクセルを超える。ピクセルピッチは1μmであるので、サイズは6.5cm角であり、視域角は37度程度である。

ポリゴン法やシルエット法のような波動光学的計算では光波の1サンプリング点(ホログラムの1ピクセル)の表現には最低8バイトが必要であるため、The Venusの物体光波を保持するだけで32G Bytesのメモリを使う計算になる。当時著者が利用可能であった最大のコンピュータでもメモリ容量が32G Bytesしかなかったため、このような巨大光波の伝搬計算や各種計算処理は不可能であった。これを解決したのはシフテッドフレネル計算法[3]の導入である。シフテッドフレネル計算法の利用により光波を部分的にメモリ内に保持し、2次メモリとスワップしながらThe Venusの計算を実行することが可能になっ

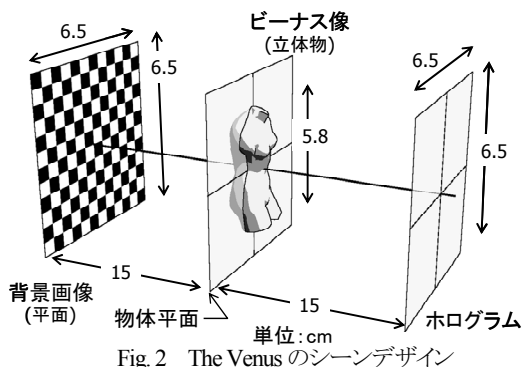


Fig. 2 The Venus のシーンデザイン

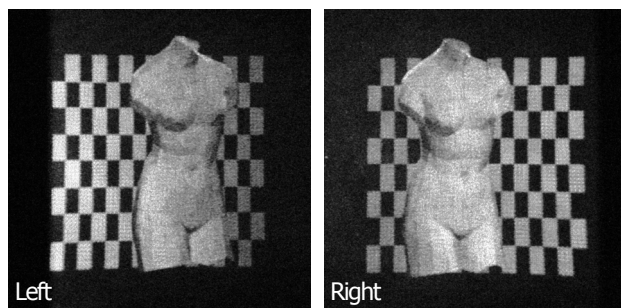


Fig. 3 The Venus の光学再生像

た。The Venusの計算時間は、当初の32 G Bytesメモリのコンピュータでは約45時間であり、およそ2日間が必要であった。その後、メモリ96 G Bytesのコンピュータで再計算したところ約7時間まで計算時間が短縮した。コンピュータハードやソフト自体の進歩もあり、本原稿執筆時点では、3時間以下で計算できる。

The Venusのメインオブジェクトであるミロのビーナスを模した物体の3次元データ(ポリゴンメッシュデータ)は、AIM@SHAPEというウェブサイトのShape Repository (<http://shapes.aimatshape.net/>)から借用した。ここには様々な物体モデルが集められており、誰でもそれを研究に利用することができるので大変便利なサイトである。このサイトのことは、ポリゴン法の速度向上を目指すアルゴリズムを研究していたLukas Ahrenberg氏から教わった。

メインオブジェクトだけではオクルージョンが生じず、運動視差がわかりづらく立体感が乏しいため、ビーナス像の背後にモノクロ市松模様の背景(壁紙)を置いたデザインとした。シルエット法を用いてビーナス像の断面で光波遮蔽を行い、ビーナス像が半透明に再生されることを防いでいる。市松模様は著者が自分で作成したデジタル画像データである。なお、Fig. 3の再生像をよく見ると市松模様が正方形ではなく縦長となっている。それに気が付いて理由を質す人が時折いるが、これは単純なプログラム上のバグである。

なお、The Venusは平面波参照光で数値的干渉を行って干渉縞を算出しているが、通常の展示では準球面波のLEDで再生するため、ビーナス像や壁紙の再生像はオリジナルの3Dシーンに比べて若干縮んで再生されている。

Moai I & Moai II

The Venusに続いて制作したのがFig. 4とFig. 5(a)のMoai Iである。制作は2009年4月末～6月初旬。夕日に映えるモアイ像というコンセプトであった。壁紙には著者が自分で描いたグレースケールのへたうま画像(?)を用い、物体数を2体を増やした構成であった。モアイ像のメッシュデータはThe Venusと同じくAIM@SHAPEから借用している。壁紙がホログラムから遠ざかり小さく見えるため、壁紙のサイズをホログラムサイズより大きくしている。しかし、このホログラムには問題があった。The Venusに比べると見にくく、物体の実在感が乏しいのである。その理由の一つは、Fig. 5(a)に示すとおり、3Dシーンの奥行きが55 cmとホログラムサイズ6.5 cm角に比べてあまりにも深く、あたかもホログラムの窓から井戸の底をのぞいているようになり、シーンの奥を両眼で観察することができないためと考えられる。

ならば初めからモアイ像同士や壁紙を接近させて浅いシーンにしておけば良いわけであるが、The Venusを実現に導いたシフトドフレネル計算法の制約によりこれができなかった。シルエット法では、シーンの奥から順に物体間距離に応じた伝搬計算を行う必

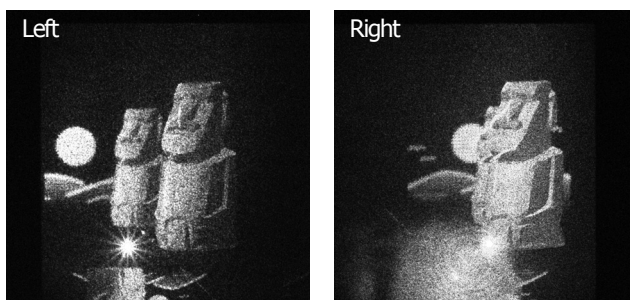


Fig. 4 Moai I の光学再生像

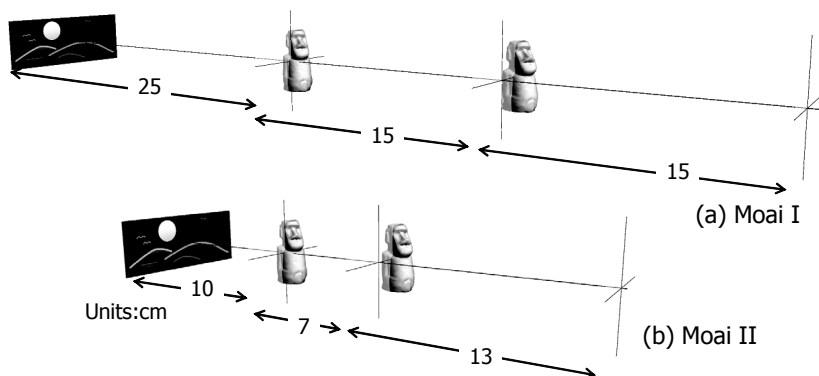


Fig. 5 Moai I と Moai II のシーンデザイン

要があり、ここにシフトドフレネル計算法を用いているのであるが、この計算法には伝搬距離がある程度長くないとエイリアシングエラーを起こし多重像が発生するという重大な問題点があった。そのため、物体間の距離をある値以下に設定することができなかったのである。

この問題を解決するのは簡単ではなく、最終的に独自にシフトド角スペクトル法という計算手法を工夫する必要があった。シフトド角スペクトル法自体が波動光学計算理論の大きな成果であり、その理論だけで論文を一報ものにしたが[4]、実は単純にコンピュータホログラムのシーンデザインの自由度を増すためだけに工夫された計算法であった。

この新しい計算法で制作したのが Fig. 4 (b) の Moai II であり、Moai I と同じ物体モデルを用いてシーンの奥行きを 30 cm と大幅に短くしたものになっている。制作は 2009 年の 8 月～10 月。苦勞して制作した Moai II であるが、残念なことに、両方を並べて展示すると Moai I の方が良いという人が多い。これは、やはり深い奥行きを感じる方が見る側にとってインパクトが強いためではないかと思う。

なお実際には、公開している Moai I & II 以外にコーディングを平面波に変えたバージョン(Moai I & II は球面波コーディング)や物体位置を少しだけ変えたバージョン等がある。さらには、再生像撮影中にホログラムを落として破損するなどの事故もあり、けっこうな枚数のホログラムを作製している。

The Moon

ポリゴン法で物体をレンダリングする技術を wave-field レンダリングと呼んでいるが、wave-field レンダリングのひとつの手法としてテクスチャマッピングを試みたホログラムである。シーンと再生像を Fig. 6 と Fig. 7 に示す。ポリゴンで構成した球体に月面写真(ネットで有料で購入した天文画像データ)をテクスチャマッピングしている。制作は 2009 年 11 月～2010 年 3 月頃。テクスチャマッピング以外にも、乱数で配置した 300 個の点光源で星空を構成するという手法を試している。またこの星空の光はナビネの原理を用いて光波遮蔽している。

点光源法とポリゴン法を共存させた初めてのホログラムであったが、この両方で計算される光の強度レベルのバランスが思いのほか難しく、星空を明るくすると月面が暗くなり、月面を少し明る目にするとうと星空が見えなくなるという繰り返しで、何度も計算を繰り返した。シミュレーションだけではなかなかこのバランスがわからず、試作も何度か行っているため長い制作期間がかかった。The Moon は 128K × 64K でピクセルピッチ $0.8\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ で製作したため、そのサイズは $10 \times 6.5\ \text{cm}^2$ であり、水平方向視域角は 46 度に達している。

Shion

The Moon と同じく、テクスチャマッピングを行ったホログラムである。しかし、この作品の眼目はそれではなく、実在の物体のコンピュータホログラムという点である。3D レーザースキャナを用いて立体物の形状を測定し、同時に撮影したデジタル画像をその形状のポリゴンメッシュにテクスチャマッピングして

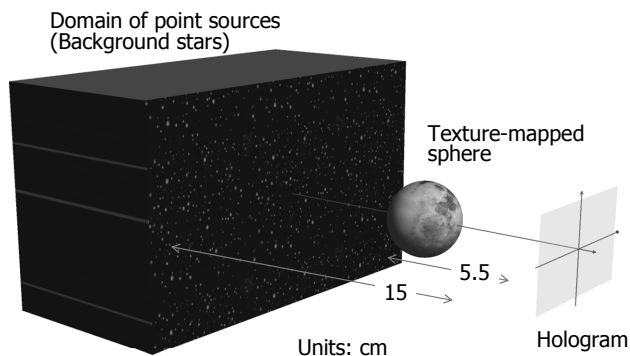


Fig. 6 The Moon のシーンデザイン



Fig. 7 The Moon の光学再生像

いる。撮影する被写体としては人の顔を選んで、本人は覚えておられないようであるが、これは NICT の山本氏のアイデアである。用いた 3D レーザースキャナはコニカミノルタの Vivid 910 である。このスキャナは顔の形状をスキャンするのに約 2.5 秒かかるので、モデルはその間静止している必要がある(Fig. 8)。この装置はレーザービームを上下左右にスキャンして形状を取り込むタイプであるが、困ったことに黒髪ではレーザーが吸収されてしまい測定がうまくいかない。そのため、髪の毛に白いパウダー(シッカロール)を大量に降りかける必要があった。またもう一つの問題点は、当然であるが、レーザーが届かない部分、例えばあごの下などはスキャンされず、ポリゴンメッシュが穴だらけで出力されることである。もちろん、そのような場所にはテクスチャ用画像データも存在しないため(Fig. 9)、実在物のコンピュータホログラムと称しつつ、実はかなりの部分に人為的な手を加えて補っている。



Fig. 8 顔形状スキャンの様子

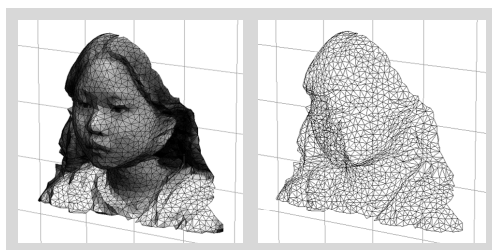


Fig. 9 メッシュとテクスチャマッピング

顔形状の取り込みは 2010 年 3 月末に行った。7 月の SIGGRAPH に間に合わせる予定であったが、多忙にまぎれて制作が進まず、また Polygon Source ライブラリ[5]のバグのためにこのような大量のポリゴンの計算に時間がかかり、結局、完成は 12 月になった。最新の大容量コンピュータを用いた計算時間は 8 時間ほどである。またこのレンダリングでは、院生の西寛仁君が完成してくれていたグーローシェーディングを用いたため、Fig. 10 に示すように、ほとんどポリゴンの継ぎ目がわからない再生像ができています。ホログラムは、128K×64K でピクセルピッチ $0.8\mu\text{m} \times 0.8\mu\text{m}$ であるため、水平垂直とも視域角は 46 度である。なお、モデルは著者の娘である。



Fig. 10 Shion の光学再生像

Aqua 1 & Aqua 2

シルエット法による光波遮蔽(隠面消去)では物体の数だけ伝搬計算を繰り返す必要があり、多数の物体が存在する 3D シーンでは極めて計算が遅くなる。物体が小さい場合には、この伝搬計算が非効率であるため、多数の小物体が存在す

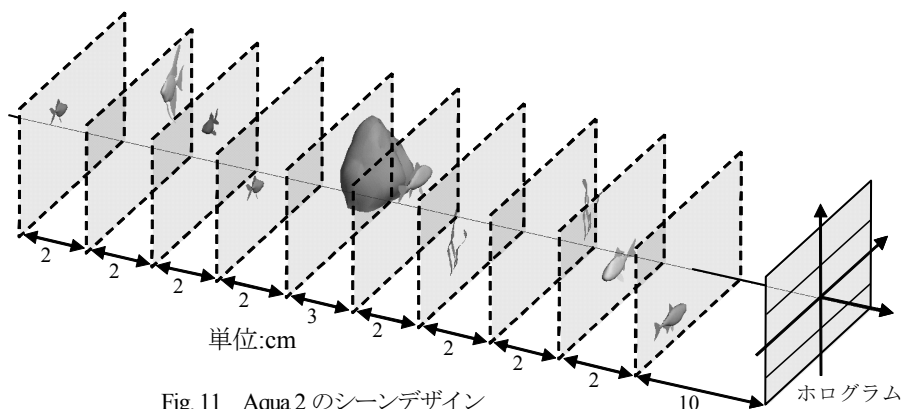


Fig. 11 Aqua 2 のシーンデザイン

という疎な(スパースな)シーンを効率よく計算するための研究の一環として制作したホログラムである。3D シーンや個々の物体のデザイン、プログラミングなどはすべて院生の中村将樹君が行った。水族館をイメージしたとのことである。個々の物体のデザインには CG 用のモデリングソフトであるメタセコイアを用いている。

Aqua 1 は、中村君が考案したアルゴリズムを検証するために作成したプロトタイプホログラムである。そのため、ピクセル数が $32K \times 32K$ と小さなホログラムとなっている。また、Aqua 1 作成の時点ではシフテッド角スペクトル法が未完成であったため、物体の配置に制約があり、ホログラムサイズ 3.2 cm 角に対してシーンの奥行きが 30 cm もあり、とても両眼ではシーンの奥が観察できないホログラムとなっていた。しかし、意外にも、実際の展示ではこのホログラムは大変好評であった。やはり、奥行きの高さにインパクトを受ける方が多かったようである。

Fig. 11 にシーンを示した Aqua 2 は、Aqua 1 で検証されたアルゴリズムに基づき作成された本格的超高解像度ホログラムで、The Moon と同じ $128K \times 64K$ でサイズ $10 \times 6.5 \text{ cm}^2$ である。Fig. 12 に示すように、相互オクルージョンを示す 10 個の物体が存在するシーンを見ることができる。

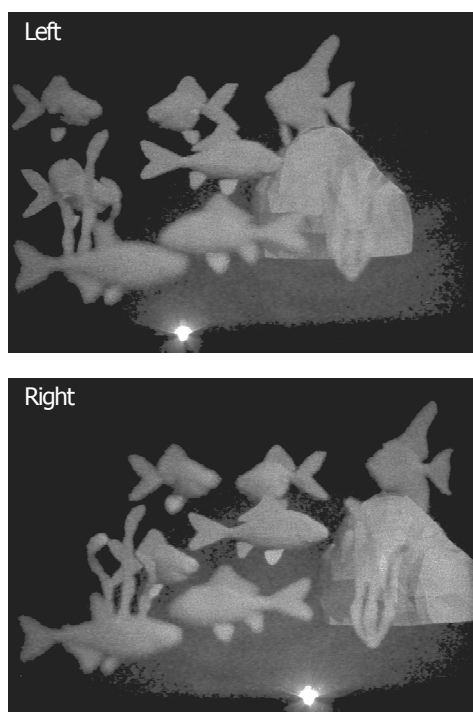


Fig. 12 Aqua 2 の光学再生像

Bear & Bear II

Shion と同じく、実在物のホログラムを意図して制作をおこなったが、原理は全く異なっている。こちらは、実在物の物体光波を DH(デジタルホログラフィ)の技術を用いて、イメージセンサによって干渉縞データとして取り込んでいる。Bear はプロトタイプホログラムであり、取り込んだ物体光波データに対して再び数値的に干渉計算を行い、その干渉縞データをレーザーリソグラフィで描画しただけの、まさに古典的なホログラムをデジタル化しただけのホログラムであった。なお、現在入手できるイメージセンサでは、そのサンプリングピッチもサンプリング数も、超高解像度ホログラムの作成に必要なレベルには到底達しないため、レンズレス合成開口デジタルホログラフィの手法を用いて大面積で高密度な光波取得を行っている。

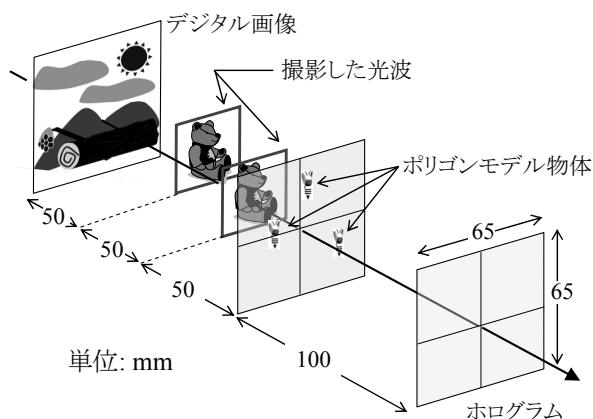


Fig. 13 Bear II のシーンデザイン

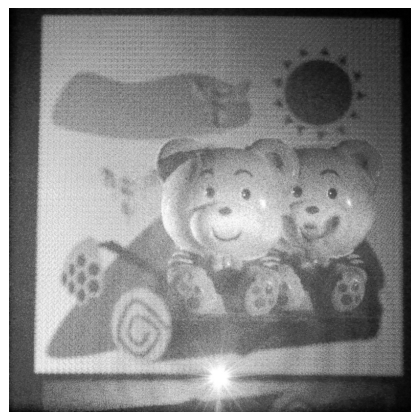


Fig. 14 Bear II の光学再生像

撮影実験とホログラム制作を行ったのは院生の有馬恭旭君である。撮影時間は約 50 分である。

撮影実験光学系を改良して物体光波の再取得を行い、CG モデルの立体物やデジタル画像の壁紙等からなる仮想の 3D シーンに、撮影した実在物光波を埋め込んで構成したのが、Fig. 13 の Bear II である。しかも、Bear II では撮影した物体(クマの置物)をシーンの中に 2 回登場させている。必要であれば、1 度の撮影で得たデータを何回でもコピーしてシーンを自由に編集できるのは、まさにデジタルアートの醍醐味であろう。なお、著者らは、このように DH を用いて実在物の光波を取り込み、それをデジタル編集し、再び干渉縞を作成して光学再生するホログラフィを、すべてデジタル化したホログラフィという意味で「デジタイズドホログラフィ」と称している。デジタイズドホログラフィの技術を用いると、現代のデジタル画像技術が写真画像に加えている様々な編集や修正作業がそのままホログラフィでも可能になる。

Bear II は 64K × 64K でピクセルピッチ $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ で製作されている。再生像を Fig. 14 に示す。撮影と全体のプログラミングは有馬恭旭君で、壁紙画像および蜂の物体形状デザインは西寛仁君である。なお Bear II には、シルエット法による実在物の光波遮蔽プログラミングに若干のバグがあり、クマを斜めから見たとき、その周辺に本来は見えないはずの黒線(オクルージョンエラー)が見える。

The Metal Venus I

ポリゴン法は、任意の傾いたポリゴン形状の面光源から光波を計算する手法である。この面光源は一般には拡散面であるので、どのような方向からこれを観察しても同じ明るさに見える。しかし、実際にこのような拡散面としてレンダリングされた物体のコンピュータホログラムを見ても、その物体の素材が何であるかは観察者には判然としない。つるつるした感じやキラキラした感じなどの素材感を観察者に伝えるためには、鏡面反射の要素が必要である。そのようなレンダリングアルゴリズムの原理確認のために製作されたのが、The Metal Venus

I である。このホログラムの 3D シーンはほぼ The Venus と同じであるが、ビーナス像が鏡面反射を起こすようにレンダリングされている。つまり、「金属製」ビーナスである。

The Metal Venus I は 64K × 64K でピクセルピッチ $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ で製作されている。アルゴリズムの考案とプログラミングは西寛仁君である。再生像を Fig. 15 に示す。この再生像を Fig. 3 の The Venus と見比べていただくと違いは明らかである。

なお、The Metal Venus I のようなフラットな鏡面のできた物体ではなく、スムーズな曲面を再生するものもすでに制作されているが、まだ発表されていない。

Mountain

このホログラムは、32K × 32K のプロトタイプホログラムである。制作の意図は、ホログラムという窓を通して見た風景を再生することである。Mountain では、その風景は山岳風景となっている。このようなコンピュータホログラムが難しいのは、窓から見渡す限り見える風景、すなわち地形は一般に連続的なひとつながりの大きな物体となることである。しかも、一般にその物体には自己オクルージョンがある。物体を遮蔽単位とした従来のシルエット法では自己オクルージョンは処理できないため、Mountain では物体(地形)を複数に分割し、その断面形状のマスクを挿入して光波遮蔽を行っている。

Fig. 16 に示す Mountain の物体モデルは、Terragen という地形生成ソフトを用いて作成したポリゴンメッシュをメタセコイア

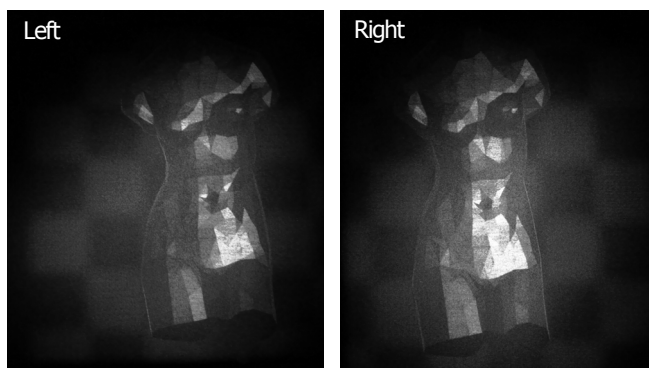


Fig. 15 The Metal Venus I の光学再生像

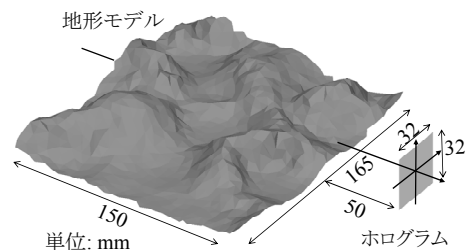


Fig. 16 Mountain のシーンデザイン

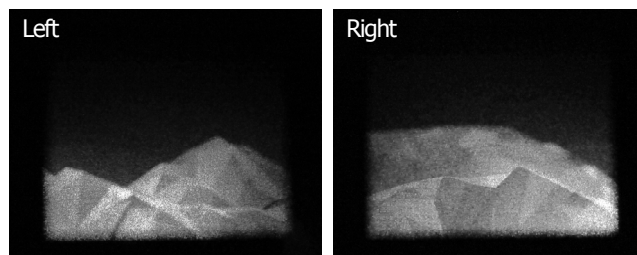


Fig. 17 Mountain の光学再生像

に読み込んで加工したものである。残念ながら自動化アルゴリズムが完成しておらず、現状ではマスクを入れる位置や必要な枚数などは人が判断している。デザインとプログラミングは院生の東健太郎君である。再生像を Fig. 17 に示す。この小さなプロトタイプでも計算時間が 23 時間もかかっており、これ以上大きなものが計算できるかどうかは今のところ不明である。

4. 再生照明光と展示方法

本稿で紹介したコンピュータホログラフィの作製に用いているレーザーリソグラフィ技術では、ガラス基板上のクロム膜のパターンとして干渉縞が描画されている。これは、コントラストと反射率が非常に高い振幅型ホログラムであるので、透過でも反射でも同様に美しい像を再生する。ただ、透過で再生するとホログラム背後が透けて見えてしまい、立体感が減じる。それに、展示ではやはりホログラムの前面側に光源がある方が都合がよいので、通常の展示では反射型として再生している。しかし、本稿で示しているような再生像の写真撮影はレーザーを用いた透過で行っている。

なお、いわゆる薄いホログラムであるので白色光では再生できず、美しい再生像を得るためには、できるだけ狭帯域で空間コヒーレンスの高い照明光源が必要である。そのため、現在では赤色 LED 光源で展示を行うのが普通になっている。この LED には、日大の山口先生が苦心して探し出した光源サイズが小さいものを使用している。当初は、Fig. 1 に示すように、携帯可能のように紙で作ったフレームに入れていたが、現在では、Fig. 18 に示すように通常の写真フレームにアルミパイプを取り付けて展示している。

5. まとめと雑感と夢

The Venus の完成以来およそ2年間が経過した。本稿では、その間に完成したコンピュータホログラフィを紹介させていただいた。各所での展示や取材その他で、様々な人にこれらの作品を見ていただいた。一見した時の反応は、まず、その深い奥行きに驚くというのが普通であった。3D の研究者で明らかに光学の専門家と思われる人々でも、著者らのコンピュータホログラムの裏側をのぞきこみ、ホログラム自体に本当に厚みがないのか確認する光景をしばしば眼にした。そのためか、アートの側面はいまのところあまり関係なく、とりあえず深い奥行きを感じるシーンを再生する作品に人気が出るよ

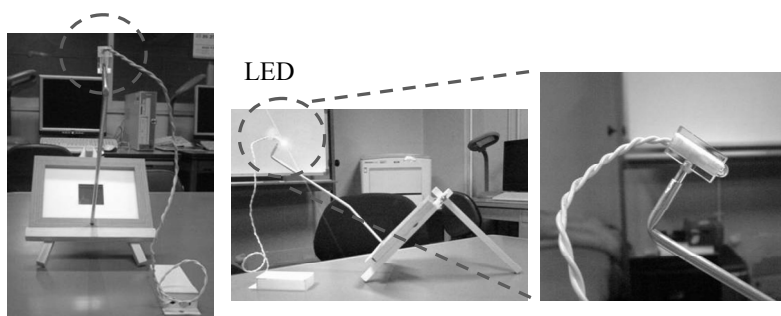


Fig. 18 ホログラムの展示

うである。

ただし、我々研究者としては、シーンのデザインに限界を感じているのも事実である。なんとなくこんなシーンと思ってはみても、それを造形するデザイン技術がなければなかなか面白いホログラムを制作できない。そのため、この分野にアーティストの参加が待たれるところである。しかし、今のところ一つ一つのコンピュータホログラム作品の制作にはそれ専用のプログラムを組んでいる状態であり、プログラミング技術がないと制作ができない。その点については問題を痛感しており、なんとかプログラミング不要でデザインに専念できるソフト環境を構築し、近いうちにパブリックドメインソフトとして公表したいと考えている。

なお、もしもプログラミング作業を厭わなければ、序論で述べたように本稿で紹介したホログラムを計算するために必要なプログラミングライブラリは、すでにウェブサイトで公開している。マニュアルに記載したサンプルソースに基づいてプログラミングを行っていただければ、コンピュータホログラム作品を計算することができる。

ソフトウェア以上に大きな問題は、コンピュータホログラムを描画・製作するのに特別な設備が必要なことである。本稿で紹介した作品を描画した装置はドイツのハイデルベルグ社が製造しており、その価格はおよそ 5000 万円である。またそのランニングコストも馬鹿にならない。このような装置を備え、それを扱う専門の技術者が常駐し、アーティストや研究者が共同で使えるコンピュータホログラフィ研究センターみたいなものが、近い将来設立できぬものと夢を見ている。

6. 謝辞

レーザーリソグラフィシステム(レーザー直接描画装置)を駆って、様々なコンピュータホログラムを製作していただいた共同研究者の関西大学機械工学科の中原先生に深謝いたします。また末筆ですが、Vivid 910 スキャナを用いて顔形状のスキャンをして頂いた大阪大学の金谷先生、また再生照明光源として適切な LED をご教示いただいた日本大学の山口先生にお礼申し上げます。

本研究は日本学術振興会の科研費(21500114)の助成を受けたものである。

The mesh data for the Venus and moai objects are provided courtesy of INRIA and Yutaka_Ohtake by the AIM@SHAPE Shape Repository, respectively.

7. 文献

- [1] 本稿で紹介した作品に関する学術的な文献で著者らが著したものはほとんど下記のサイトから入手できる。
<http://www.laser.ee.kansai-u.ac.jp/Publish.html>
- [2] 中原、仲市、川原、土谷、鳥取、久田、藤田: “レーザ直接描画装置を用いた大型 CGH の作製”, Hodic Circular 25, 4, 8-11 (2005).
- [3] R. P. Muffoletto, J. M. Tyler, and J. E. Tohline, “Shifted Fresnel Diffraction for Computational Holography”, Opt. Express 15, 5631–5640 (2007).
- [4] K. Matsushima: “Shifted Angular Spectrum Method for Off-Axis Numerical Propagation”, Opt. Express 18, 18453–18463 (2010).
- [5] 松島: “波動光学シミュレーションツールキット: WaveField Tools”, Optics & Photonics Japan 2010 講演予稿集, 9aC2 (2010).