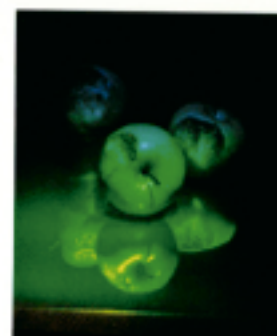
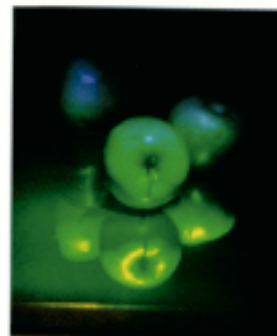
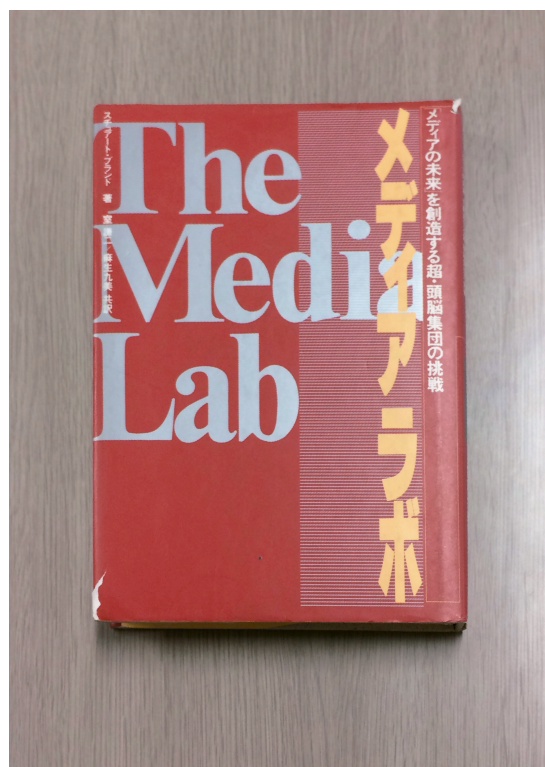


電子ホログラフィの発展と展望

ホロビデオ Mark-I から始まった

北海道大学 情報科学研究科
坂本 雄児



〈写真左〉 この林檎のホログラムを顔を横に動かして見ていくと、林檎がだんだんと芯まで食べられていくように見える。時間的変化が一枚のホログラムに刻み込まれている。メディアラボのホログラフィー研究の責任者はスティーブン・ペントンで、彼の開発したホログラムは、クレジットカードに印刷されて、世界中に広まっている。



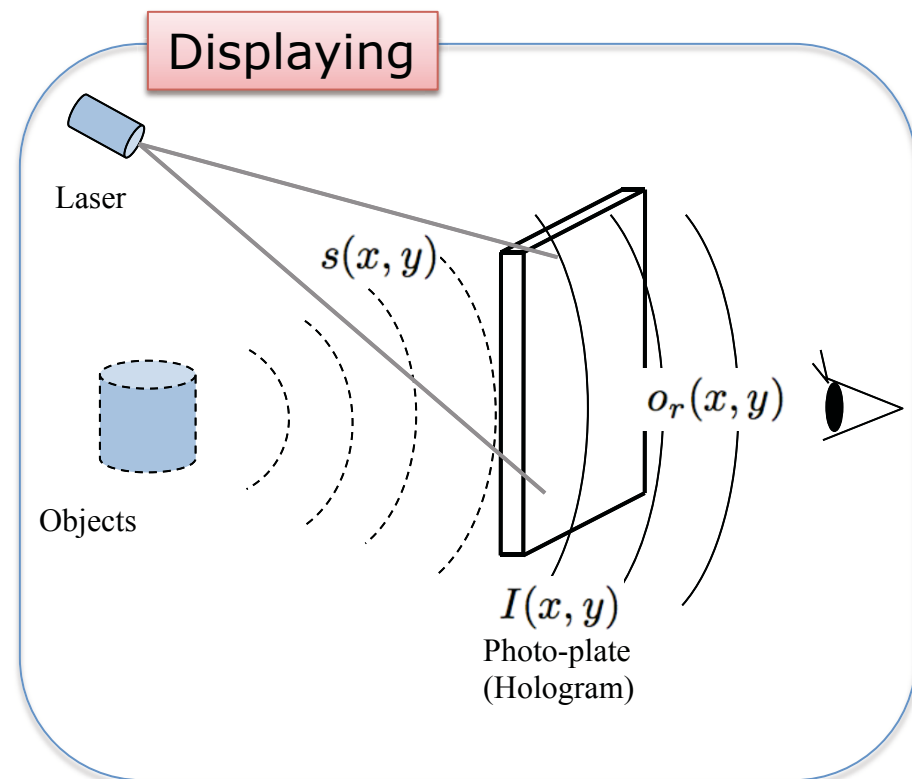
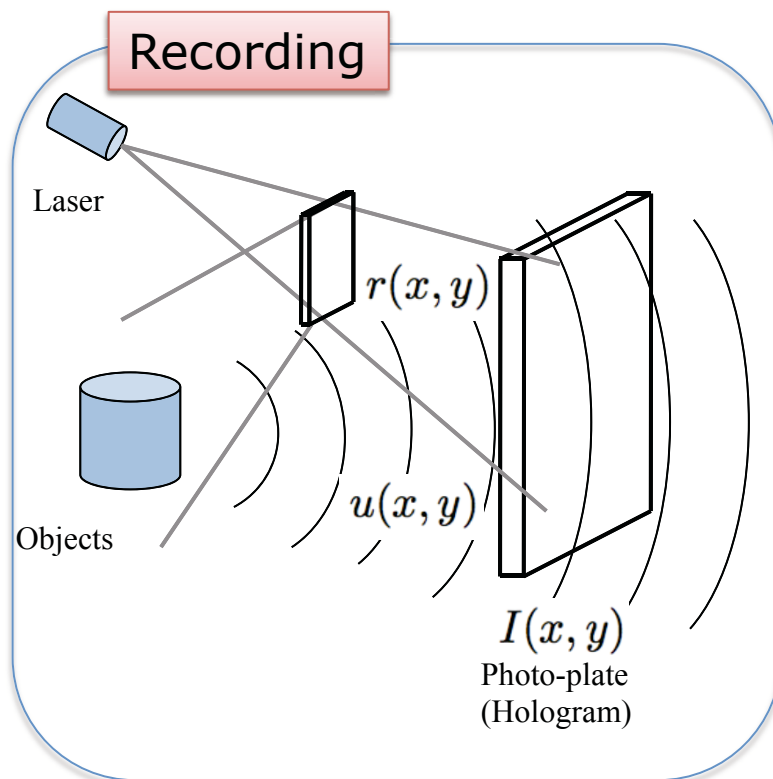
〈写真上〉 ペントン教授の手の上にあるカマロは、世界で初めてつくられた投影型のホログラムである。背景にはボストンの街並みがおかれている。これはGMの依頼によって、新しい車をデザインするときに、粘土でモデルを作るかわりの技術として開発された。立体的に見えるカマロの像は空中に浮かんでいて、触ろうと手を伸ばしても、つかむことはできない。ペントン教授はボロロイドのランド研究所でこのホログラフィーの技術を研究開発した。その過程で多くの芸術家たちといっしょに仕事を行なった。科学者が芸術家といっしょに仕事を行なうという考えは、メディアラボでも生かされている。

〈写真上〉 X線、CATスキャンなどの医療データから作りだされるホログラフィーのイメージは、医学的な診断に役立つことが見込まれている。これはハーバード大学医学部のピーター・キシュウスキー教授によって得られた、女性の大腿骨と骨盤の関節のCATスキャンのデータをもとに作られたホログラムである。

〈写真上〉 スペシャル・イメージング・グループで開発中のタッチセンシティブな地球儀。地球儀の表面に触ることで、対話的に、非常に幅広い地理学的情報を表示することができる。

ホログラフィの原理

ホログラムには干渉縞として、物体からの波面を記録する



電子ホログラフィ

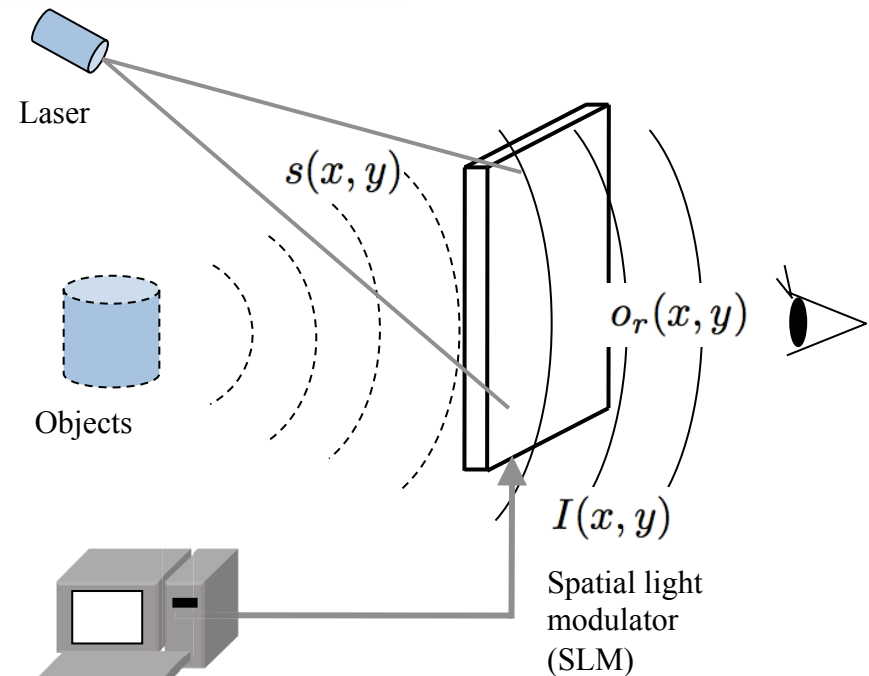
ホログラフィを電子化、通信、編集、記録を電子的に

➤ どのようにホログラムの干渉縞を表示するか？

Spatial light modulator (SLM)
LCD, DMD

➤ どのように干渉縞を得るか？

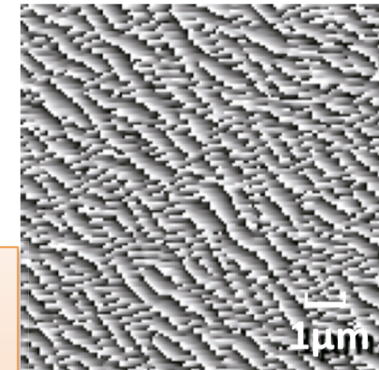
Digital Holography
計算による生成



問題点

ホログラムデータは1mmあたり
2000本の解像度が必要

- 撮影と表示に超高解像度なデバイスが必要
- データ量が膨大でデジタル処理が不可
- 通信量が膨大
- デジタル処理アルゴリズムの理論が未確立



ホログラムデータ

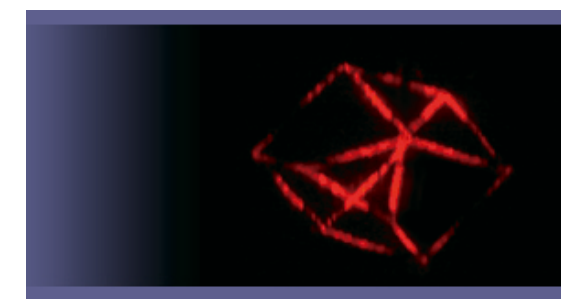
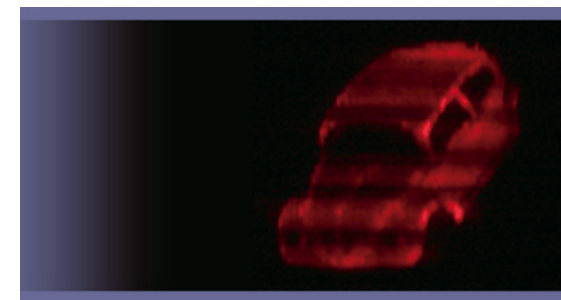
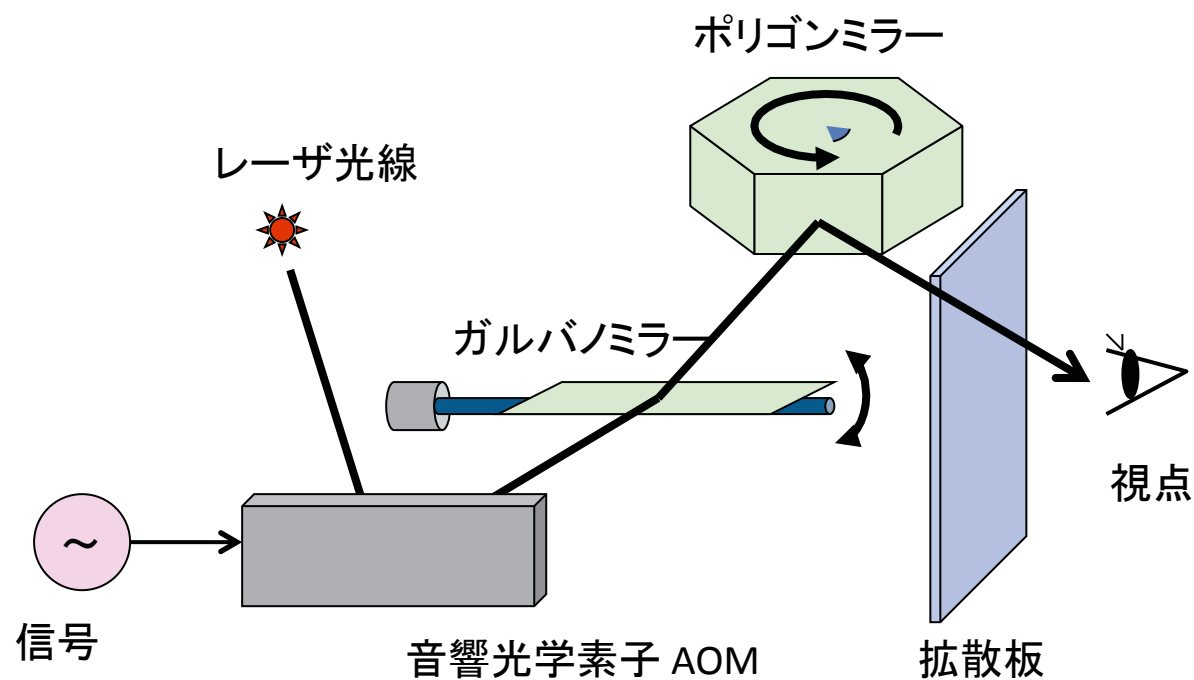
1966 AT&T ベル研究所で伝送実験が行われた
実現は遠い将来と考えられた

ホロビデオ Mark I

1990年代初頭

MIT ベントン博士のグループ

初めて電子的なホログラフィ動画を実現



MIT Media Lab HPより

計算機合成ホログラム

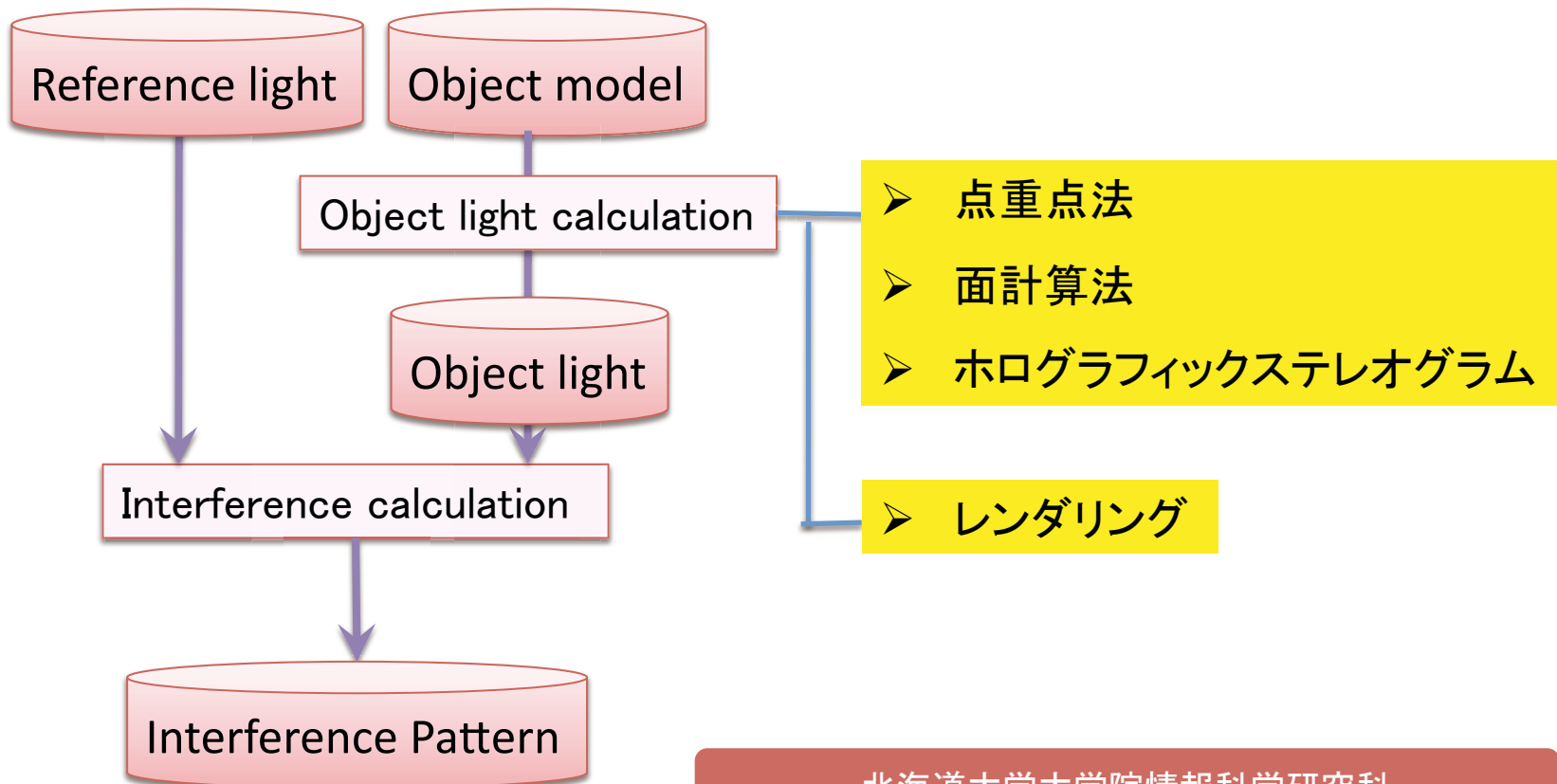
Computer-generated hologram (CGH)

計算によって干渉縞を得る方法

- 仮想シーンの生成
- サイエнтиフィック・ビジュアライゼーション
- デジタル技術との融合

レンダリング手法

ホログラフィの記録課程を計算シミュレーションすることによって干渉縞を得る



計算機合成ホログラム

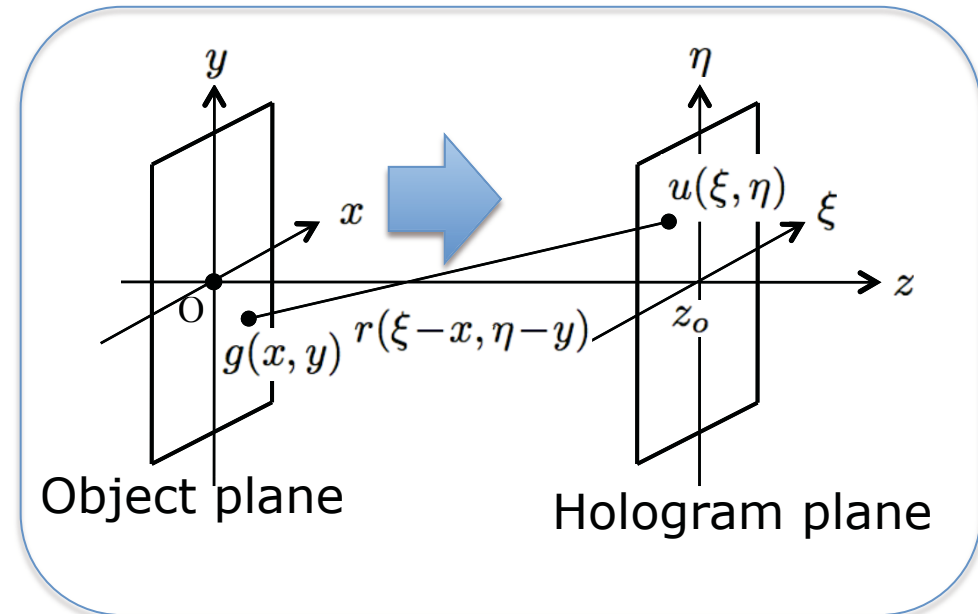
物体からホログラム面への
光の伝搬は、フレネル・キ
ルヒホッフ回折積分式で、
表される。

$g(x, y)$ 物体面上での
光分布

$u(\xi, \eta)$ ホログラム上での
物体光

$$u(\xi, \eta) = \frac{j}{\lambda} \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{-jk r} dx dy$$

$$r(\xi - x, \eta - y) = \sqrt{z_0^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}$$



$k=2\pi/\lambda$: Wave number
 j : Imaginary unit

点光源法

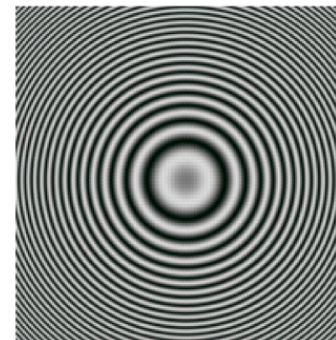
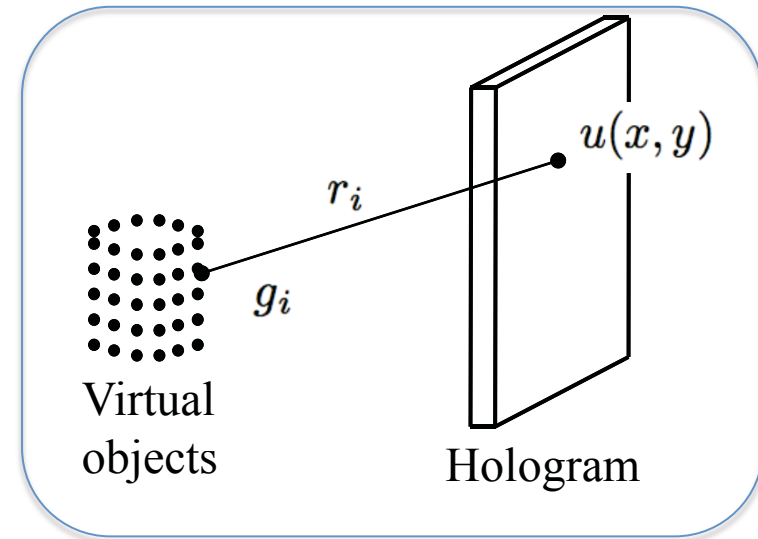
物体を点光源の集まりとして表す。

g_i 点光源の明るさ

r_i 点光源とホログラム上の点の距離

$$u(x, y) = C \sum_i^{N_p} g_i \underline{e^{-jkr_i}}$$

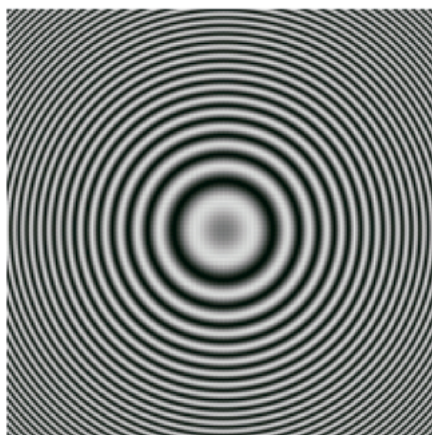
フレネル-キルヒホッフ回折積分の空間的離散化



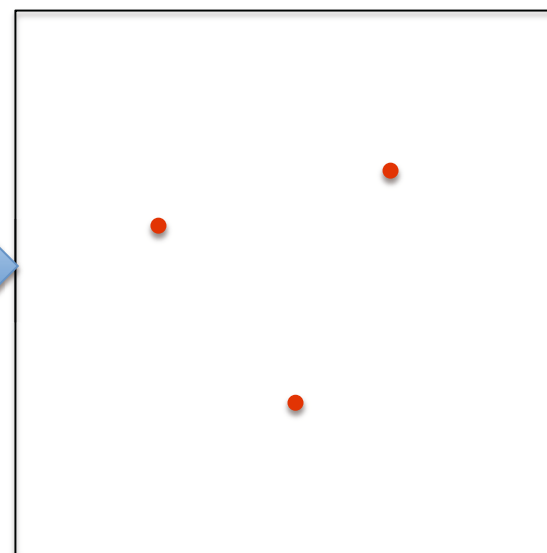
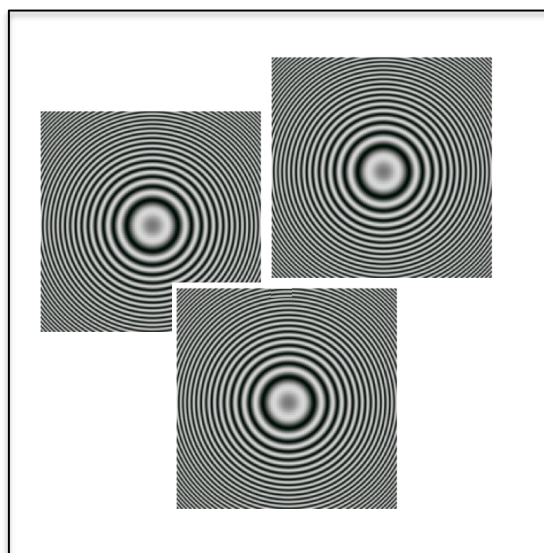
Fresnel zone plate (FZP)

点光源法

物体とFZPの畳み込みによって計算される。



Fresnel zone plate
(FZP)



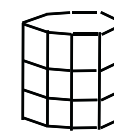
非常に簡単で、広く使われている反面、計算時間がかかる

面計算法(パッチモデル)

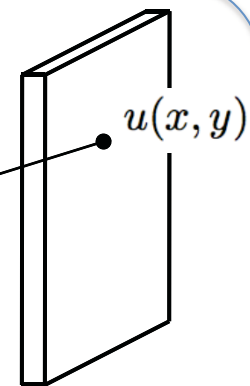
物体の表面が、小さな面(パッチ)で構成されている

高速計算のための近似

フレネル・キルヒ
ホッフ回折積分



Virtual
objects



Hologram

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &\approx C \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{\left[-jk \frac{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2}{2z_0} \right]} dx dy \\ &= C g(\xi, \eta) * p(\xi, \eta), \end{aligned}$$

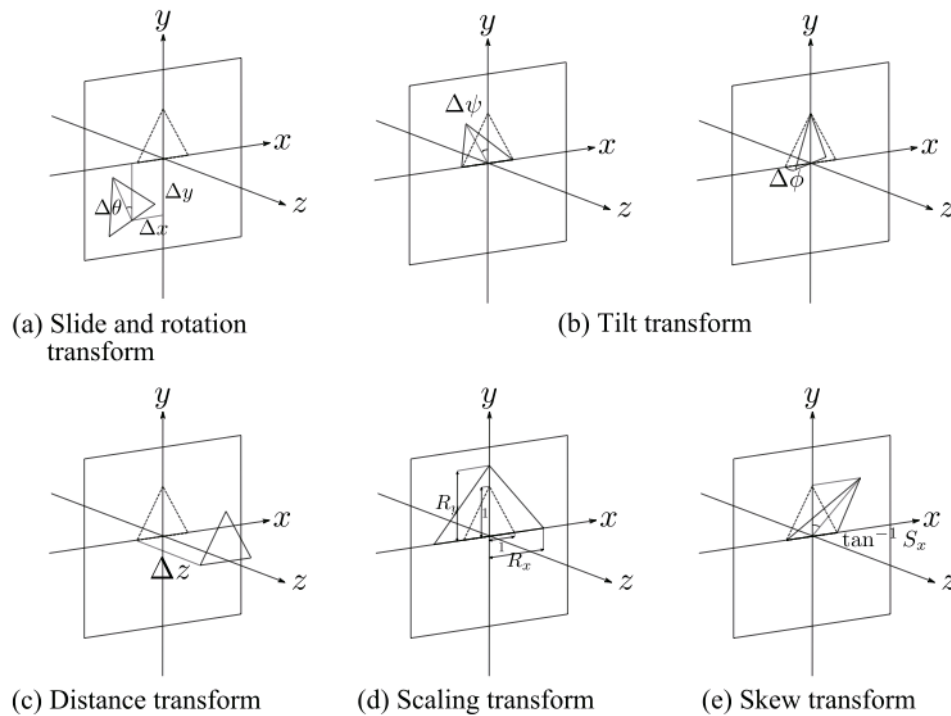
ただし

$$p(\xi, \eta) = e^{\left[-jk \frac{\xi^2 + \eta^2}{2z_0} \right]}$$

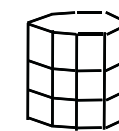
高速フーリエ変換を用いた畳込み (FFT).

面計算法(パッチモデル)

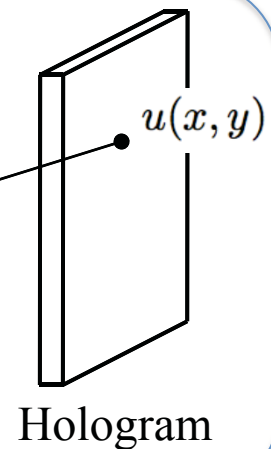
パッチは様々な形状、傾き、大きさ、位置がある



フレネル・キルヒ
ホッフ回折積分



Virtual
objects

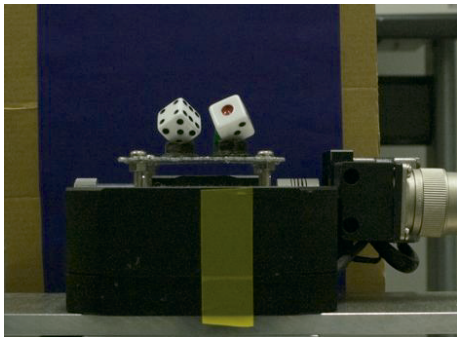


様々なパッチからの計算が提
案されている

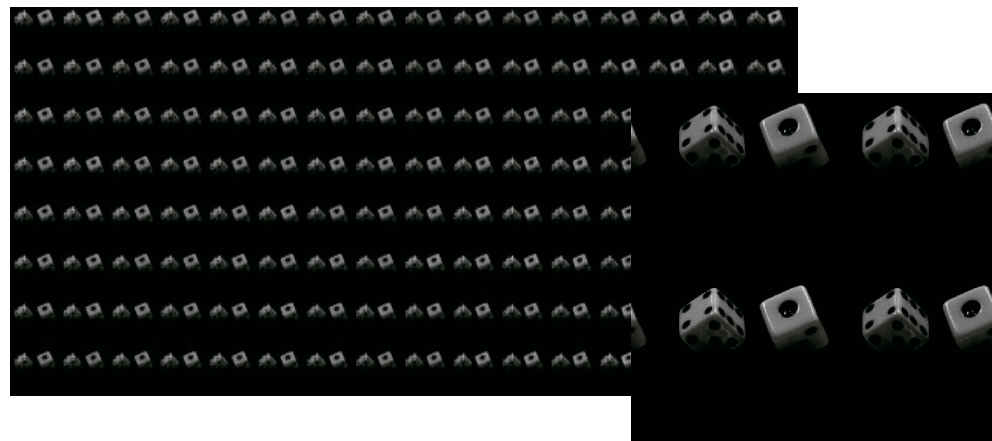
ホログラフィックステレオグラム

様々な方向からの画像から、小さなホログラムを計算し、張り合わせる

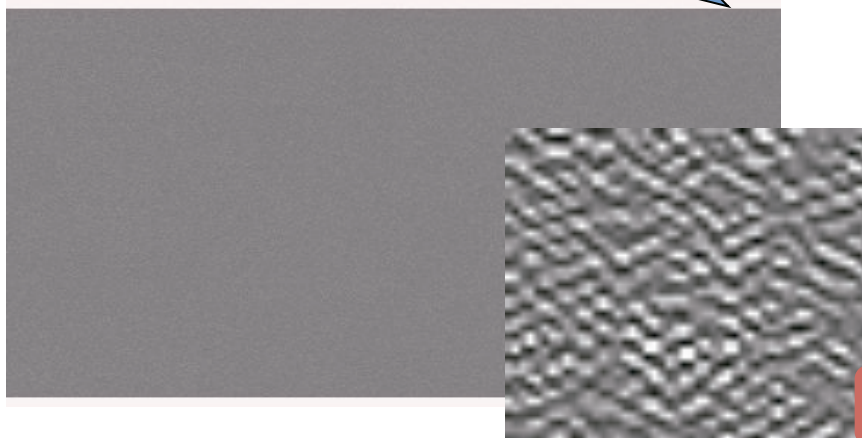
Objects



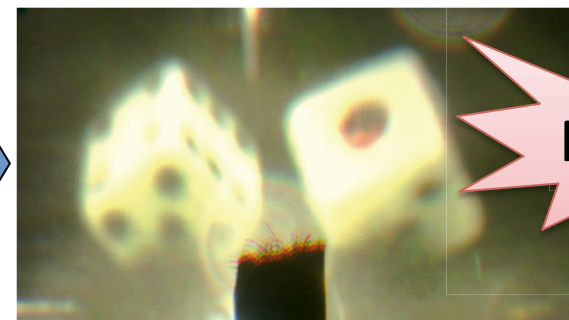
Photos



Hologram data



Reconstructed 3D image

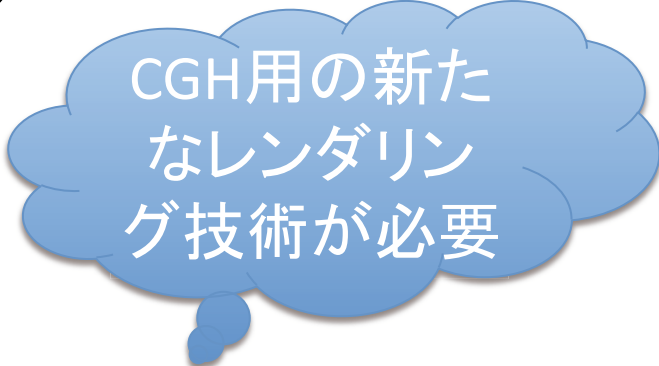


Mark I

レンダリング手法

レンダリングはリアルな3D映像を作るのには重要な技術

- 隠面消去
- 反射(物体の質感、鏡、多重反射)
- 陰影付け



CGH用の新たなレンダリング技術が必要

CGHではCGのレンダリング技術を用いることができない

レンダリング手法

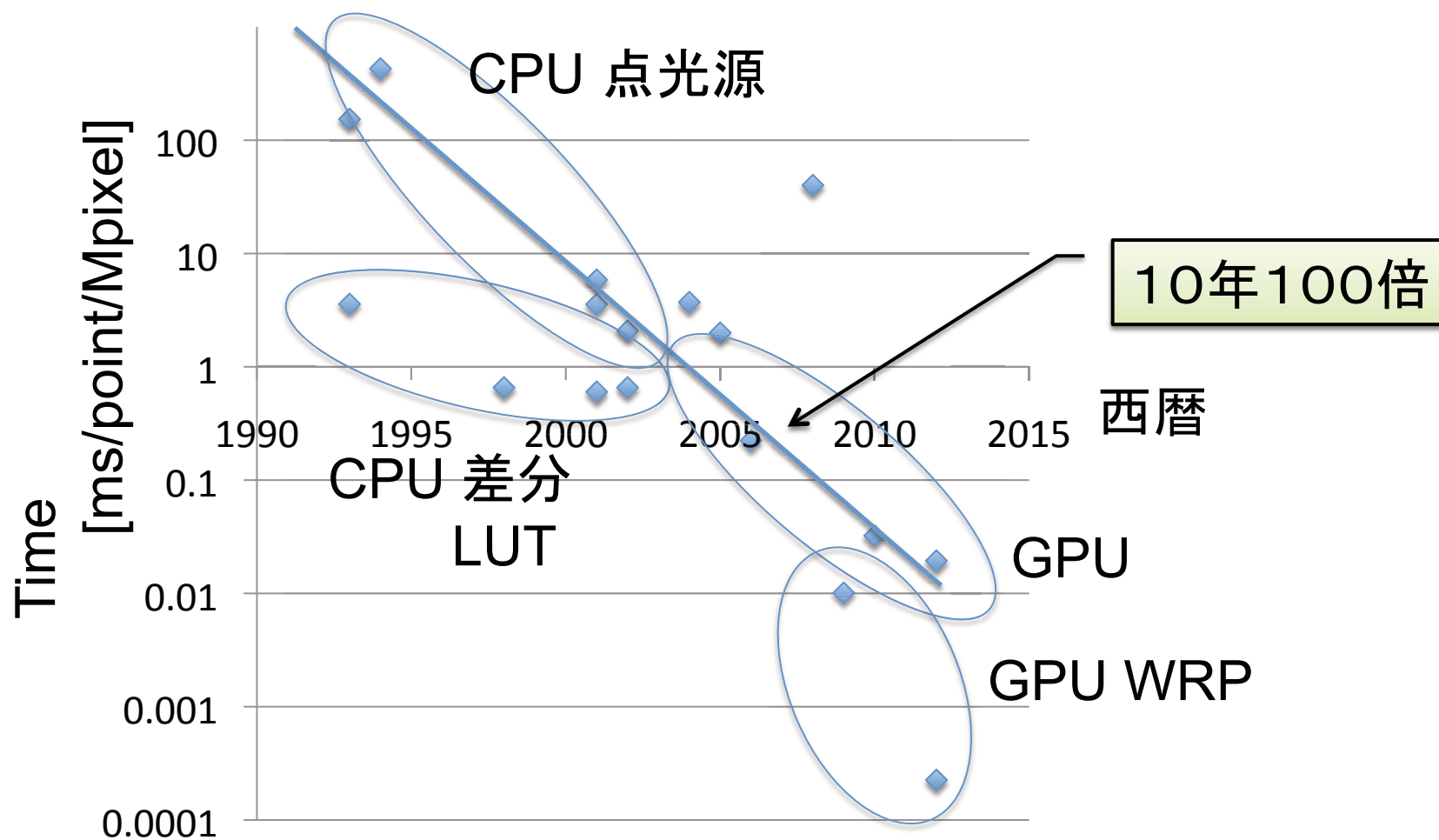
	計算時間	隠面消去	質感、鏡、陰影付け	備考
点光源法	× 非常に遅い	△	△ 研究中 (高木、坂本)	実装が簡単
面計算法	○ 広い面積に向く	△ 研究中 (松島、坂本)	△ 研究中 (松島、坂本)	
ホログラフィック・ステレオグラム	◎ 速い	○ CGの技術	○ CGの技術	奥行きの深い表現ではボケる

この10年で様々なレンダリング技術が開発された

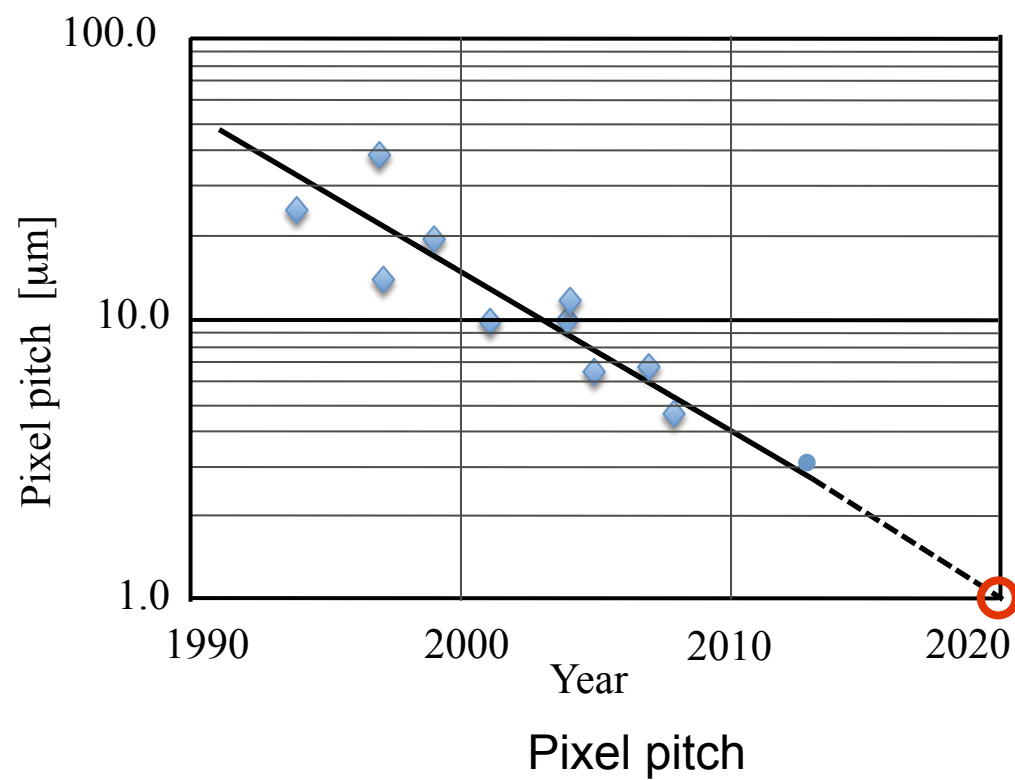
レンダリング手法



点光源法の計算時間

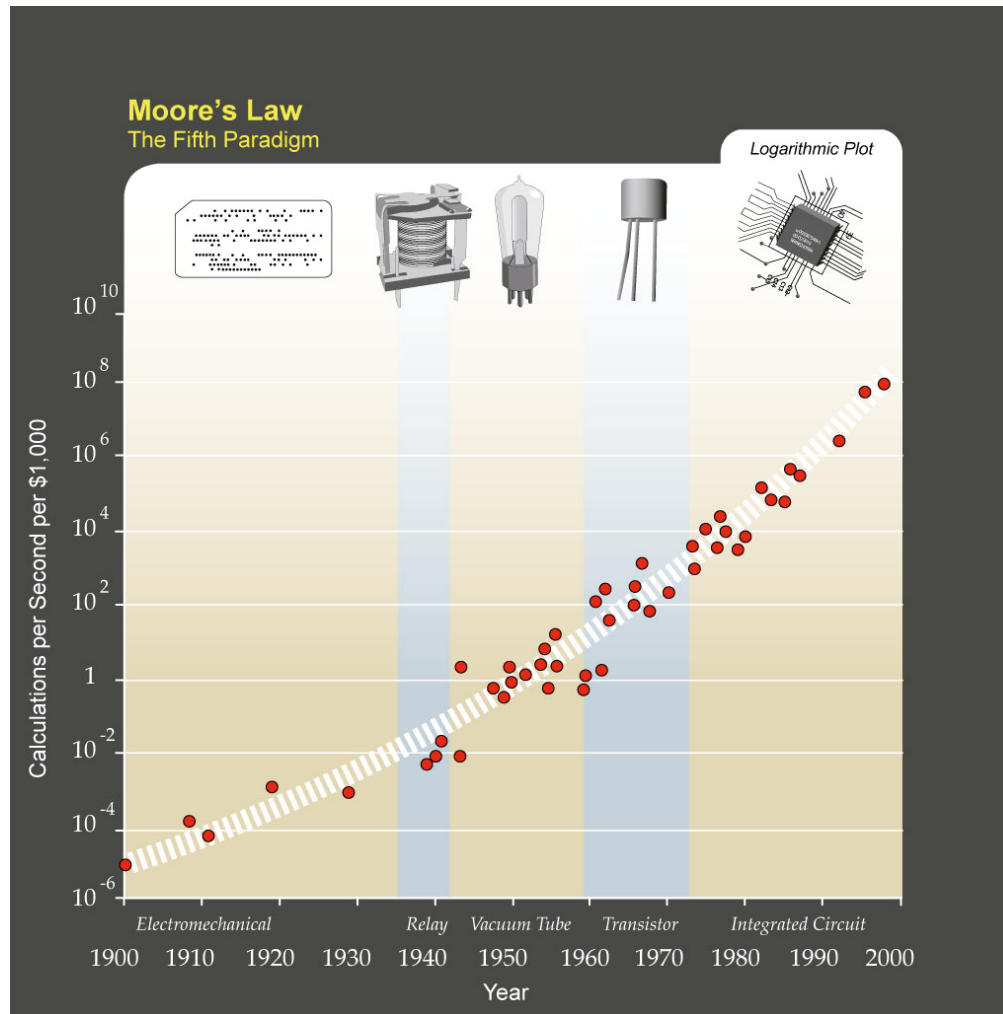


将来



About 1μm

将 来



約10年で100倍の計算能力

CGHには
1万倍程計算能力が必要

Wikipedia Moore's law

北海道大学大学院情報科学研究科

ホロTVの将来への課題

- 液晶は10年後には実用化範囲に入るかもしれない
- CGHの計算時間は1万倍の高速化が必要→20年
高速計算法の研究が必要
- 立体映像の撮影技術が確立していない。
撮影技術の研究が必要
- モデルからの計算法ではレンダリング技術が不十分
隠面消去、物体の質感の計算法の研究が必要