



Ramesh との出会い



- 2006/6 : at NY
 - CVPR / PROCAMS の懇親会で雑談していて、研究の話で盛り上がり、お互いの研究を知る（京大での研究成果で認知される）
- 2007/6 : at Boston (MERL)
 - CVPR (Minneapolis)参加後に呼んでもらう
 - MERL で講演, MIT 見学
- 2007/12 Ramesh が MIT へ移る
 - すぐさまコンタクトし、渡航を決める



Ramesh Raskar, MIT



**Massachusetts
Institute of
Technology**

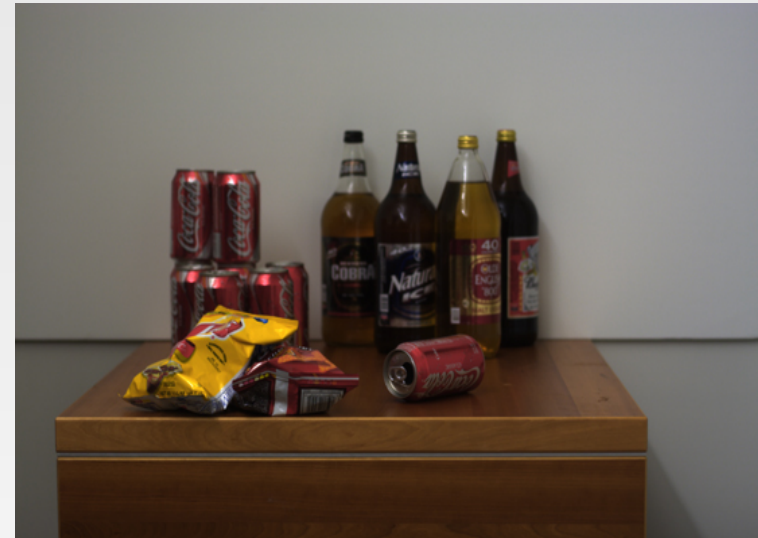
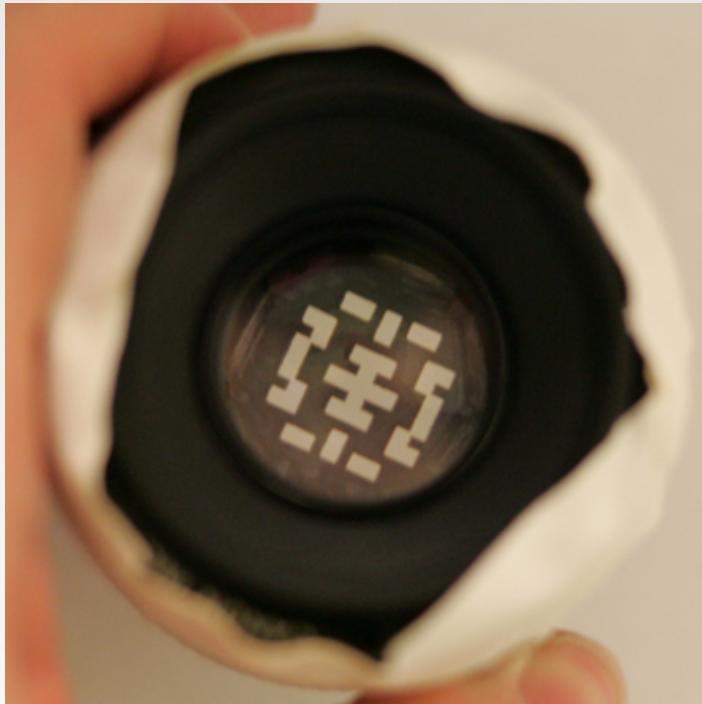


The Media Laboratory





Coded Aperture



- Levin@MIT(2007)
 - 1枚の画像からの距離推定とぼけの除去 (ただし, 少々の人手作業が必要)



Coded Aperture



- Levin@MIT(2007)

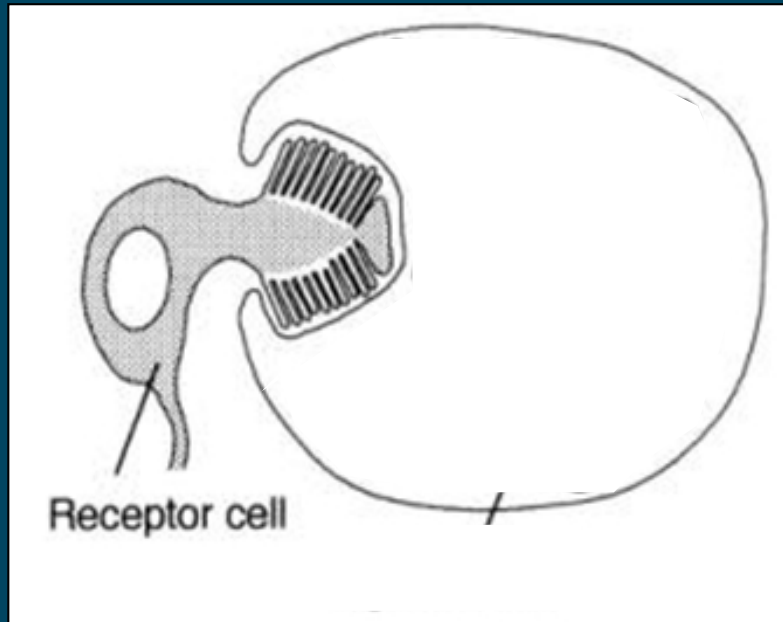


Coded Aperture



- Levin@MIT(2007)

Simplest Visual Organs

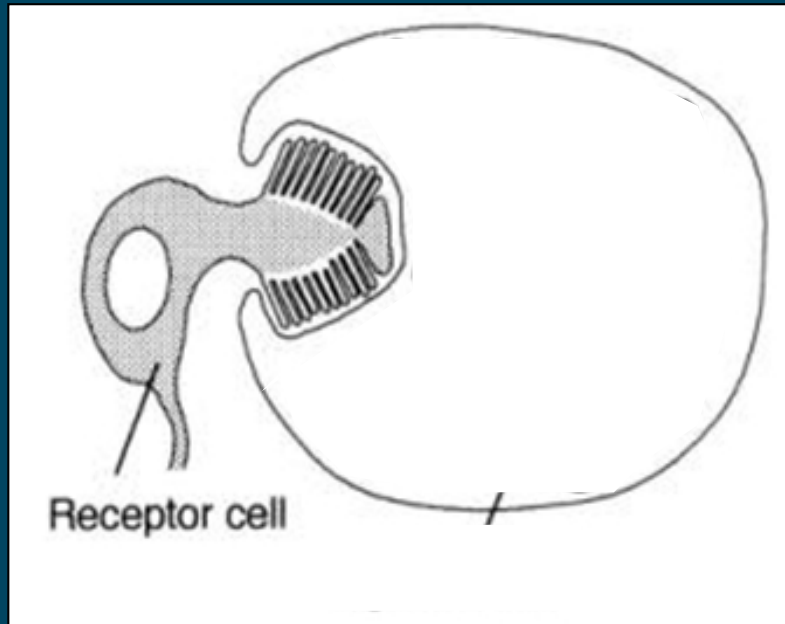


Larval Trematode Worm

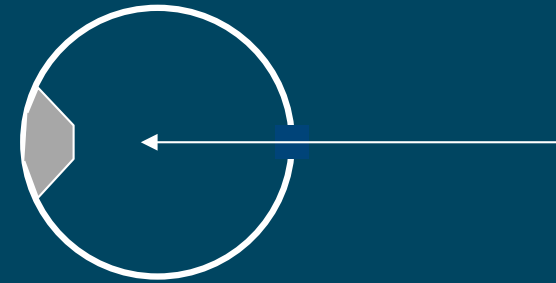


'Single Pixel' Camera

Simplest Visual Organs

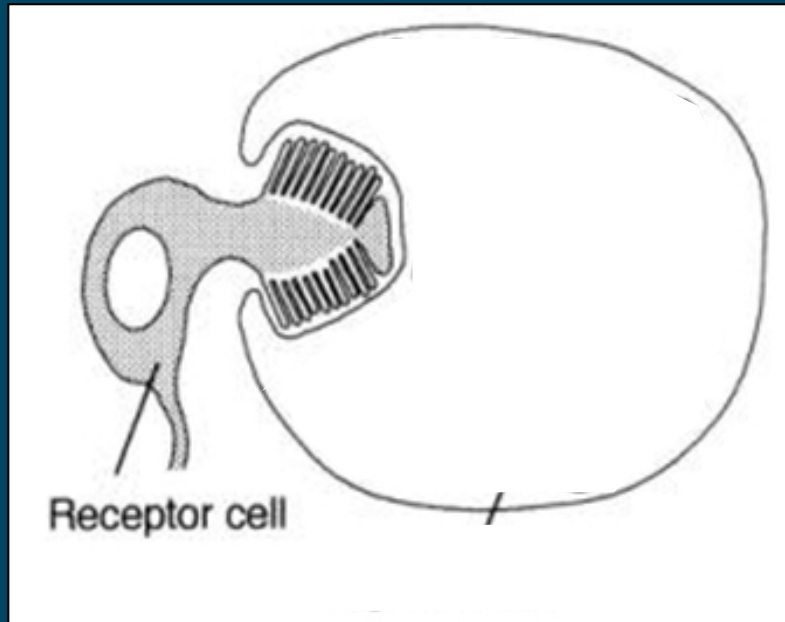


Larval Trematode Worm

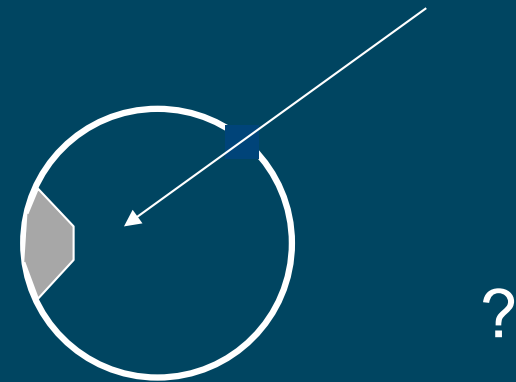


'Single Pixel' Camera

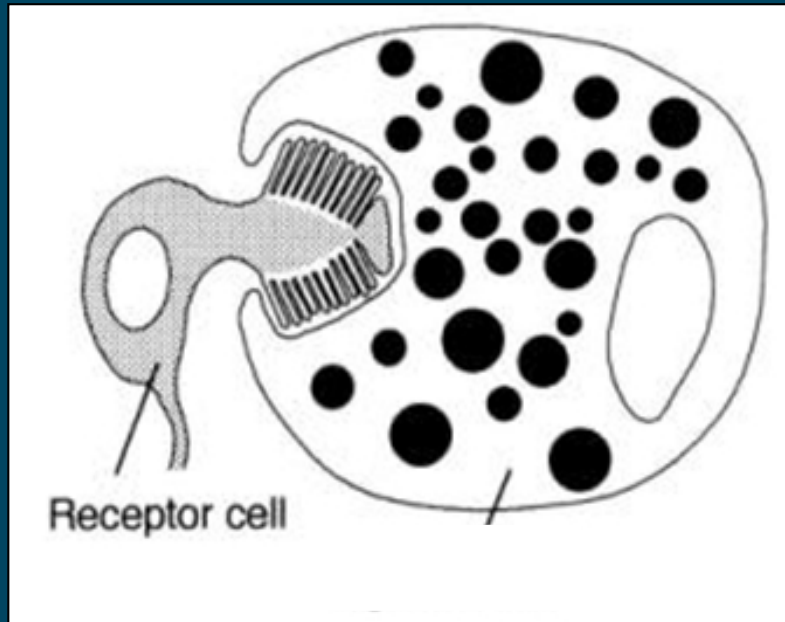
Simplest Visual Organs



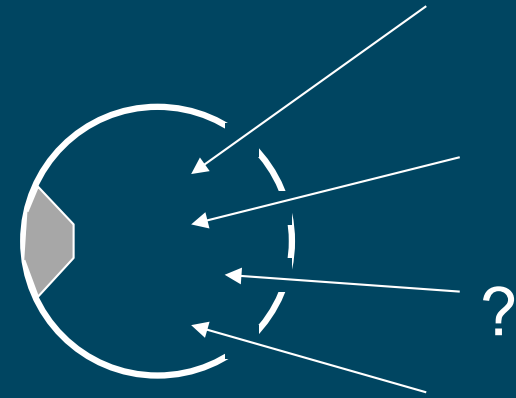
Larval Trematode Worm



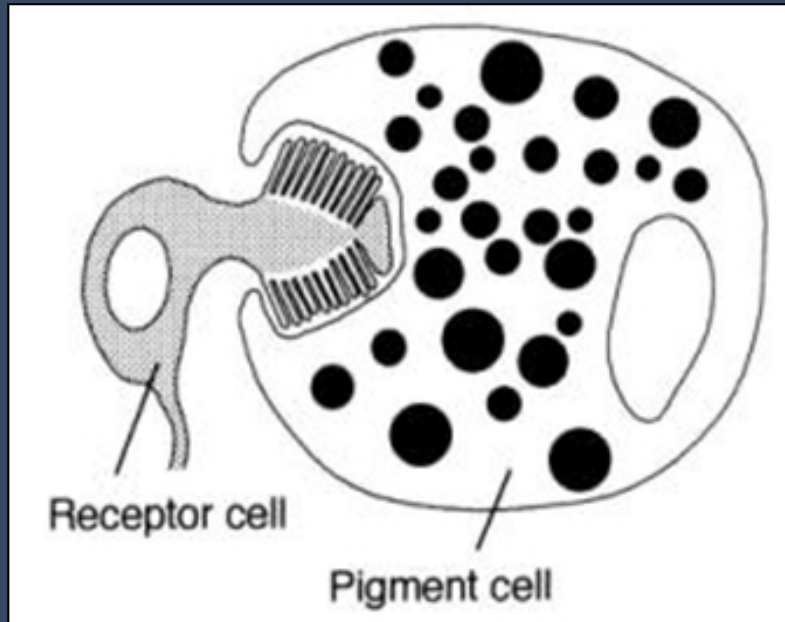
Special Aperture



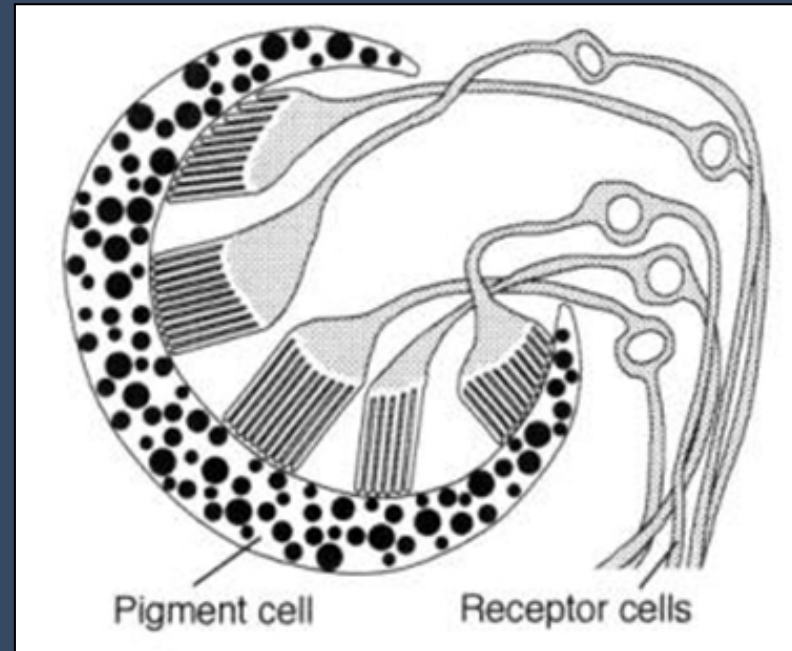
Larval Trematode Worm



Coded Aperture in Nature ?



Larval Trematode Worm



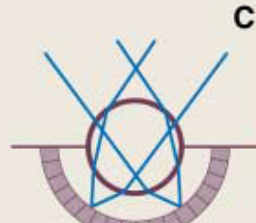
Turbellarian Worm

Chambered eyes (camera eyes)

Hiura, Mohan, Raskar



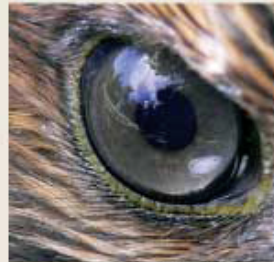
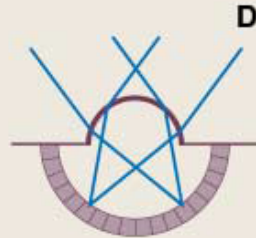
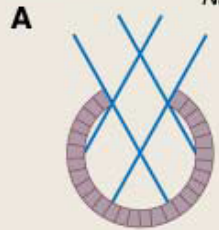
Nautilus



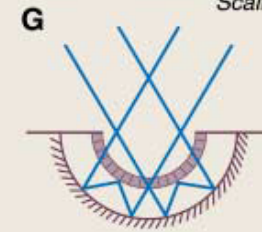
Octopus



Scallop



Red-tailed hawk



Shadow

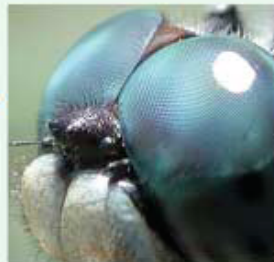
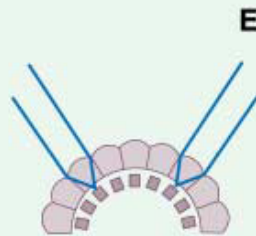
Refractive

Reflective

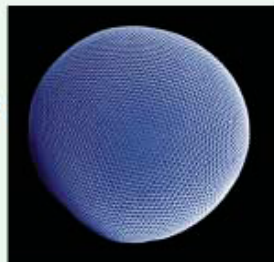
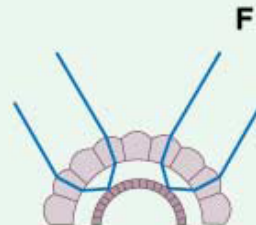
Compound eyes



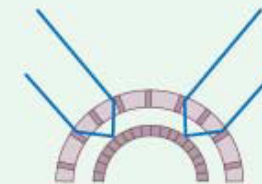
Sea fan



Dragonfly



Krill eye



Lobster

Why not learn from animals more?

We have explored possibilities to utilize compound eyes

ロブスター



- ボストンのうまいもん, といえはコレ

ロブスターの目

Compound eyes

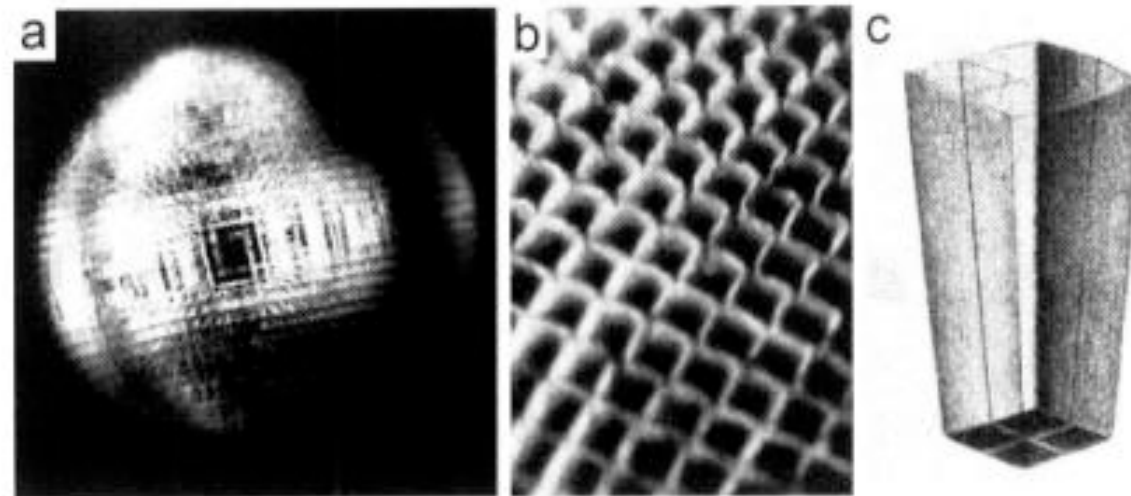
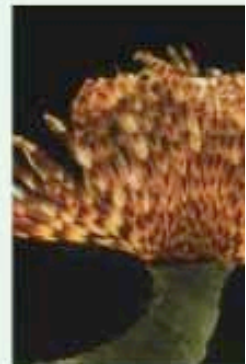
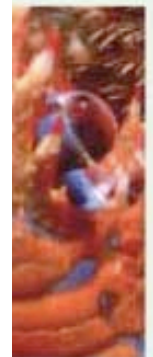


Fig. 8.13 Reflecting superposition eyes. (a) Eye of the decapod shrimp *Palaemonetes varians*. Note the square facet array, the silvery appearance, and the dark central facets of the region contributing to the image in the light adapted state. (b) Distal tips of the mirror boxes in the eye of a living crayfish. (c) Tapered mirror box in a shrimp (*Palaemon squilla*) drawn by Grenacher in 1879. The structure is $63\ \mu\text{m}$ deep and $30\ \mu\text{m}$ along each top edge.

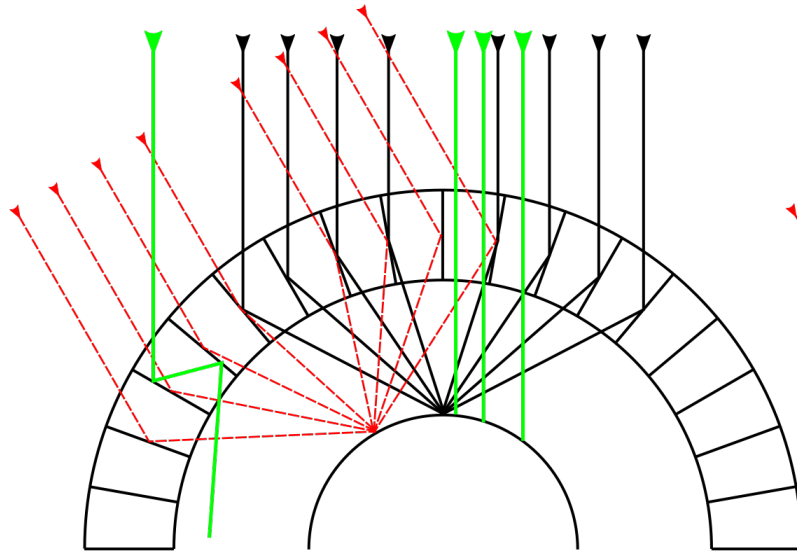


Lobster

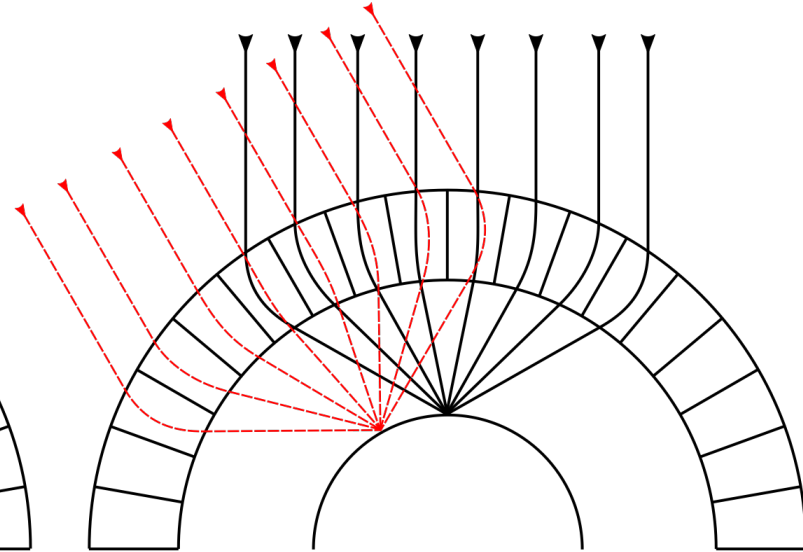


Krill eye

反射型 vs. 屈折型



反射型 - ロブスター

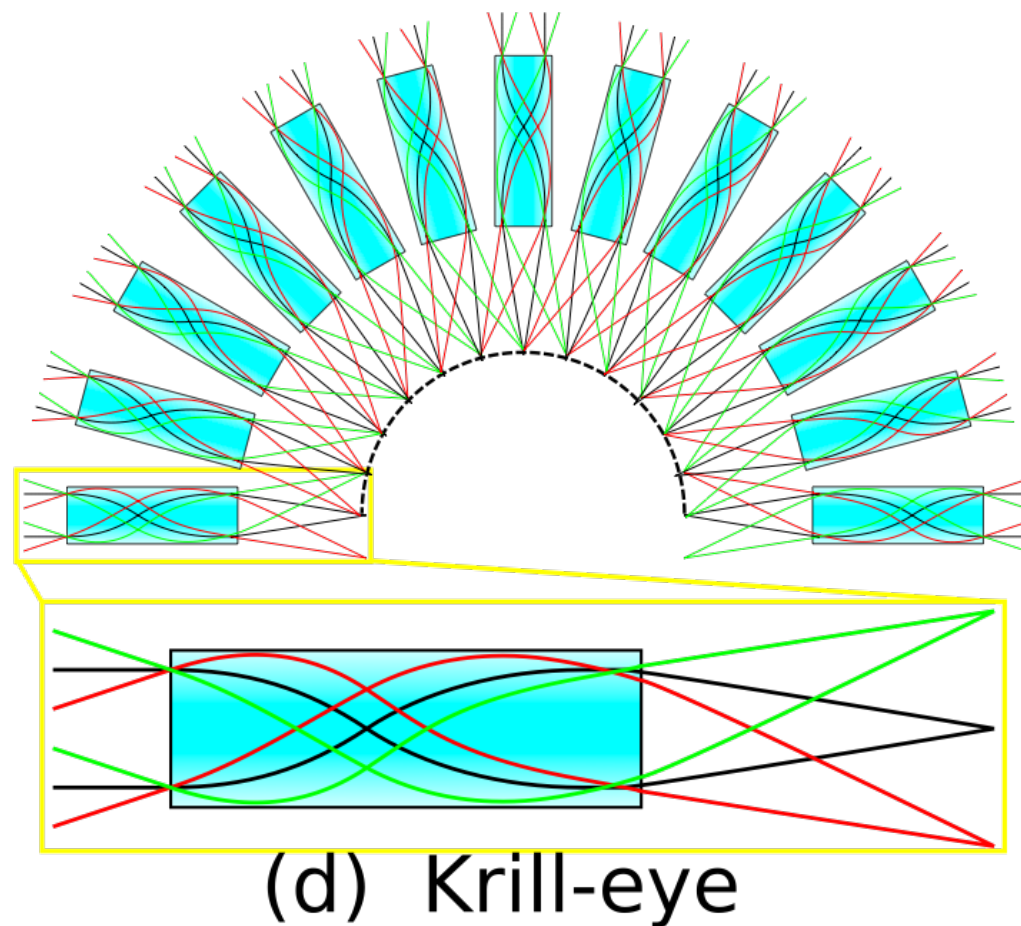
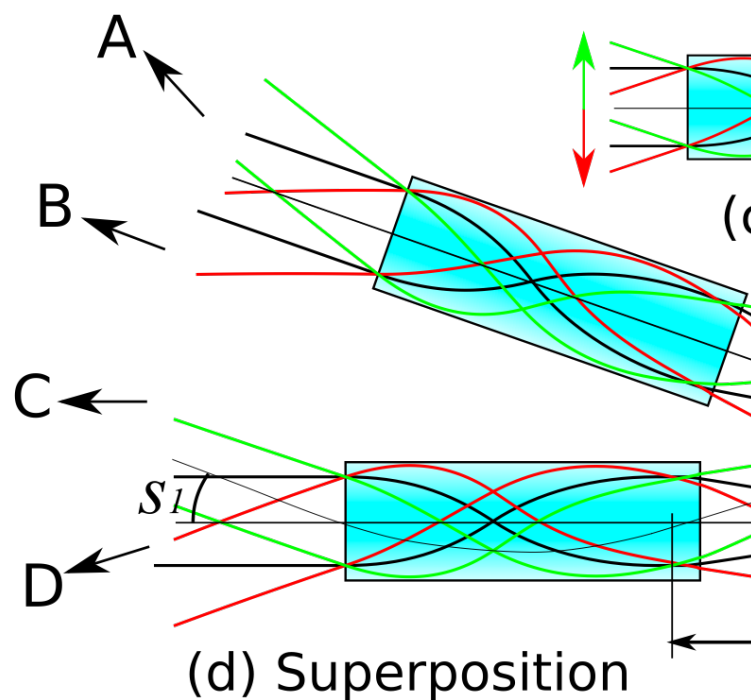


屈折型 - オキアミ

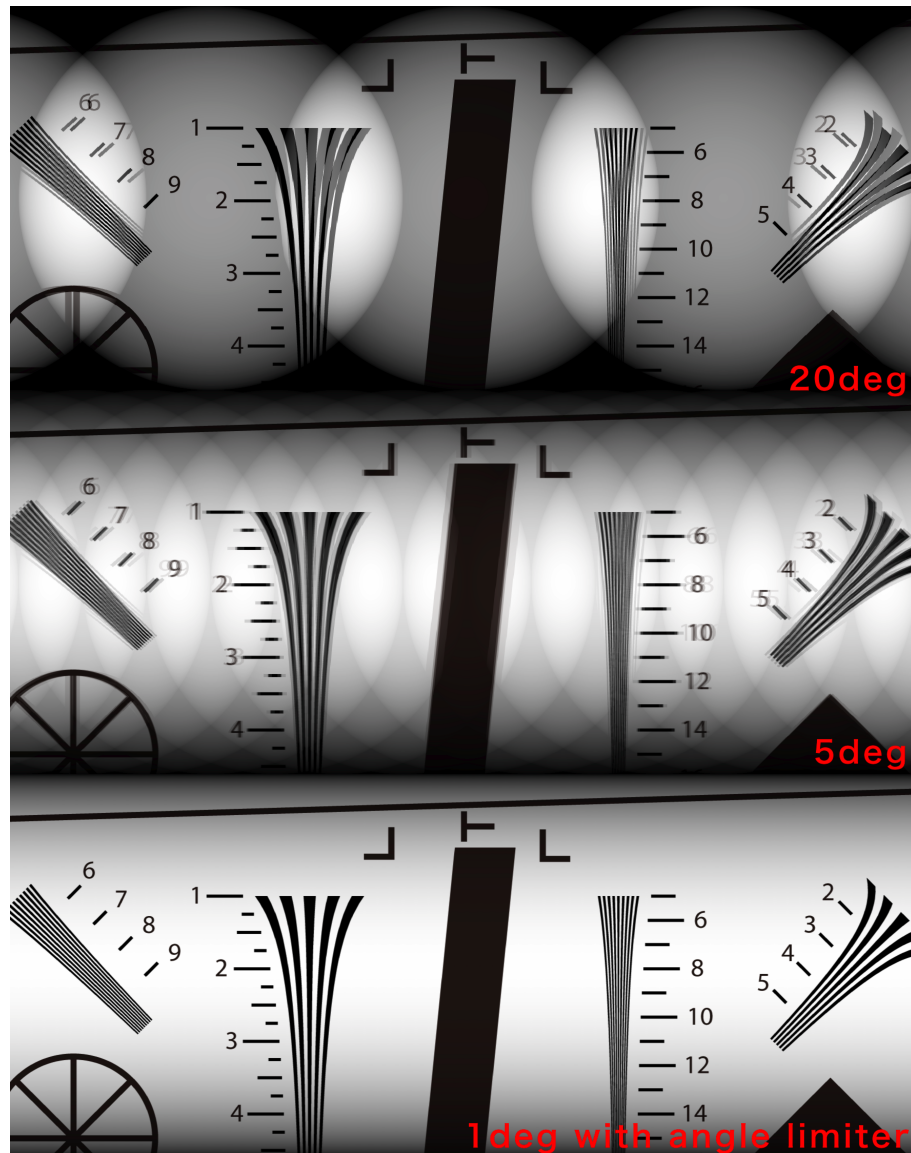
- 反射型連立像眼の利点と欠点
 - + 色収差がない
 - + X線を扱える
 - 不正な光路による像の乱れ
 - 低解像度



GRIN (gradient index) レンズによる屈折型連立像眼



画質シミュレーション

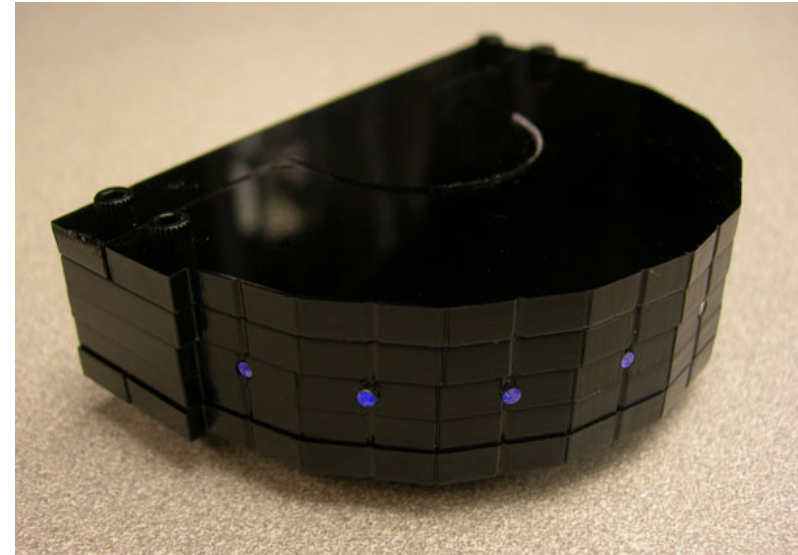
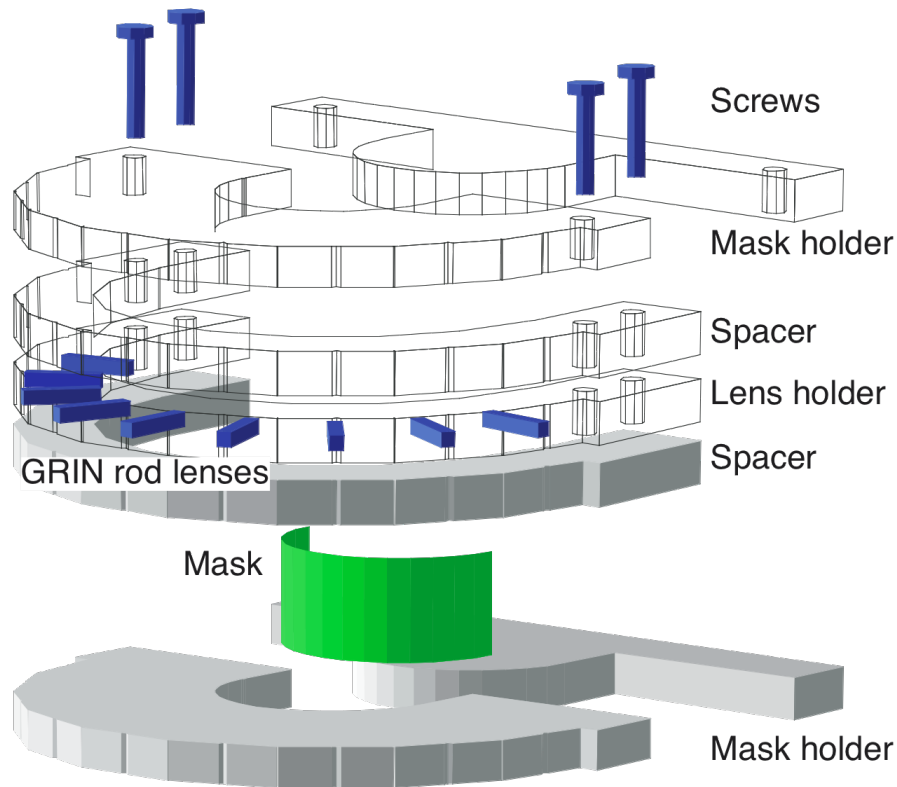


- 個眼の密度(隣り合った個眼のなす角)が小さいほど画質が高い
- 2~3度であれば十分な画質が得られる

Without
angle limiter

With
angle limiter

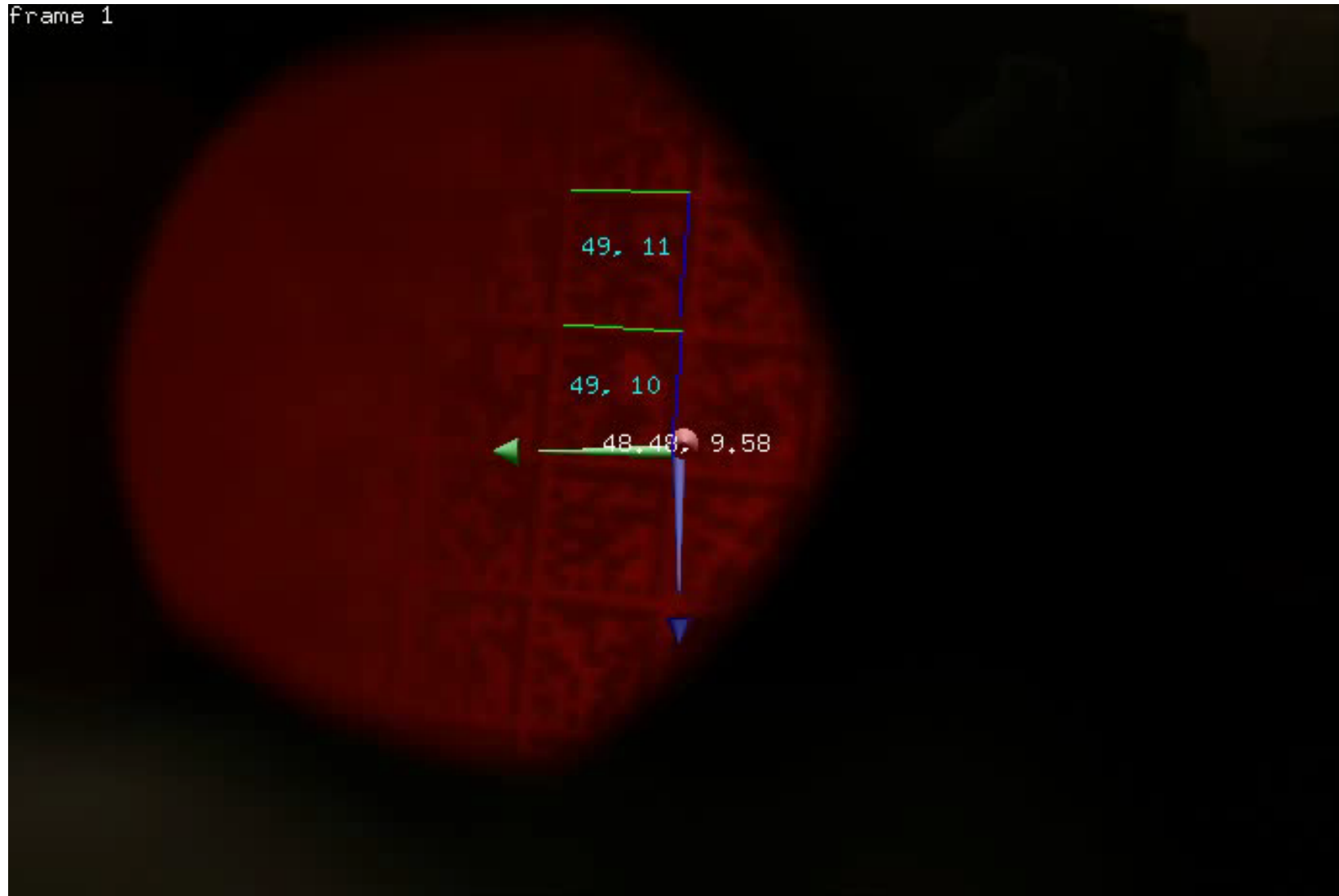
「オキアミの目」ビーコン



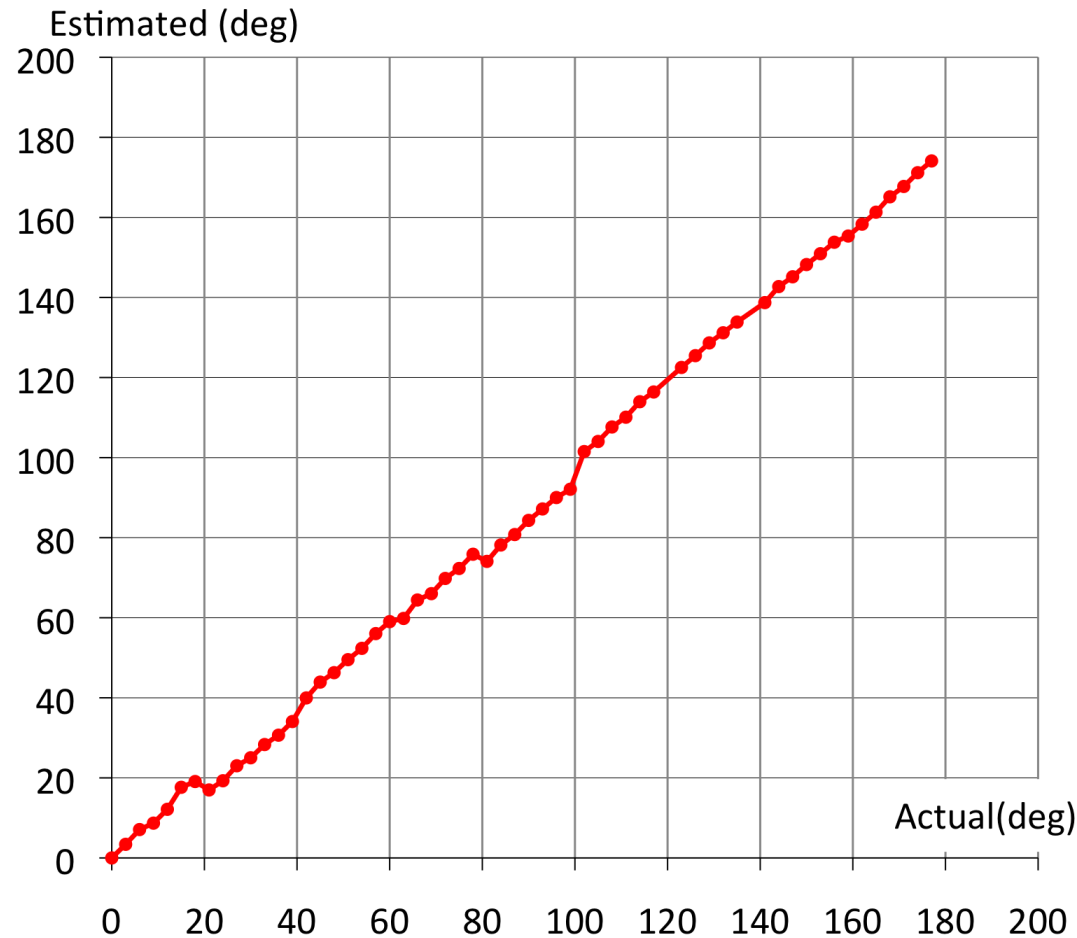
- カメラの代わりに、灯台(光源)として用いる
- 周囲から撮影することで、方位がわかる
- レンズ同士の角度 20deg



角度推定の結果



角度推定の結果



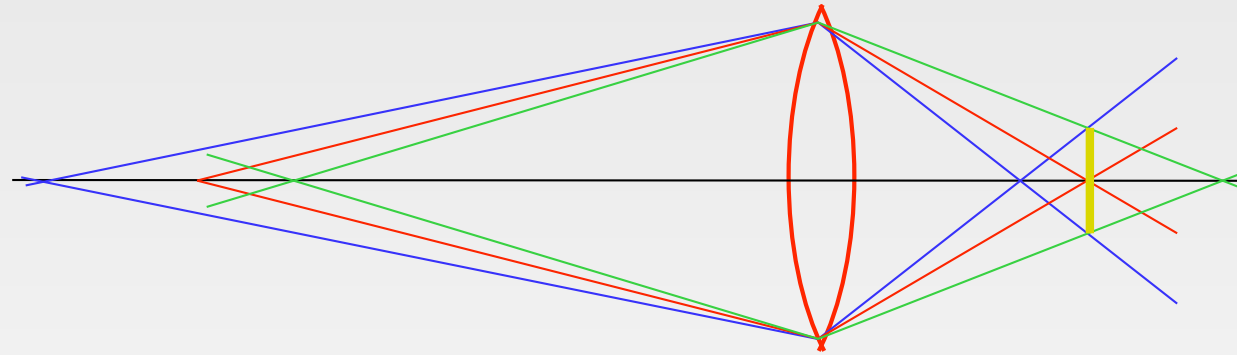
- 手作りのプロトタイプのため、レンズ装着時の角度誤差が現れている



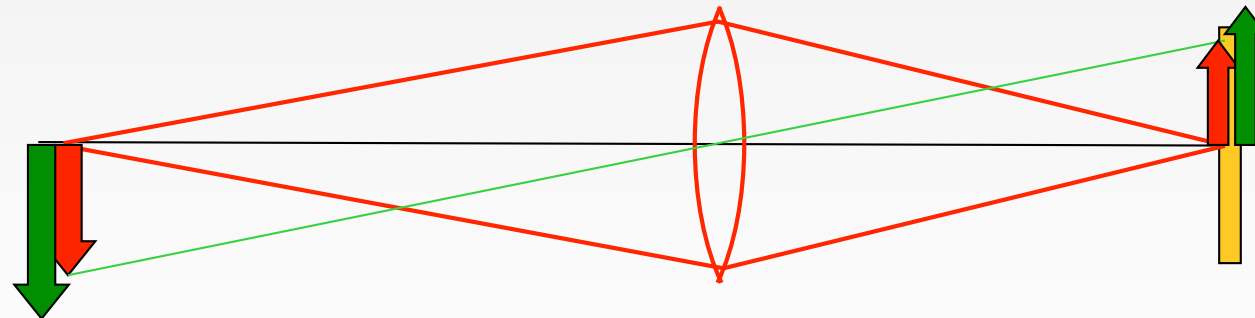
積分の不変量化



- 開口と距離によるぼけ：距離によってぼけの大きさが変化する



- 被写体の動きによるぶれ：被写体の速度によってぶれ量が変わる



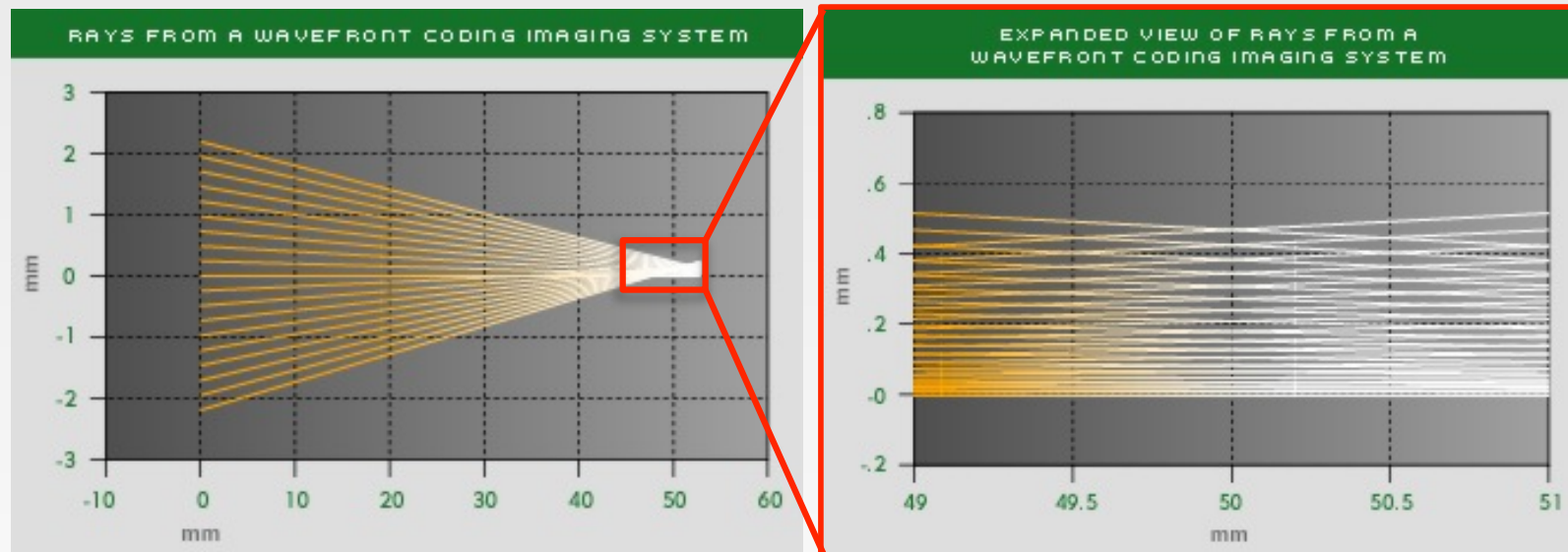
- 計算により元の画像を求めるときに問題になる
(速度や奥行きの推定が必要となる)
→ 奥行きや速度によって変わらないぼけやぶれは作れるのか？



積分の不変量化



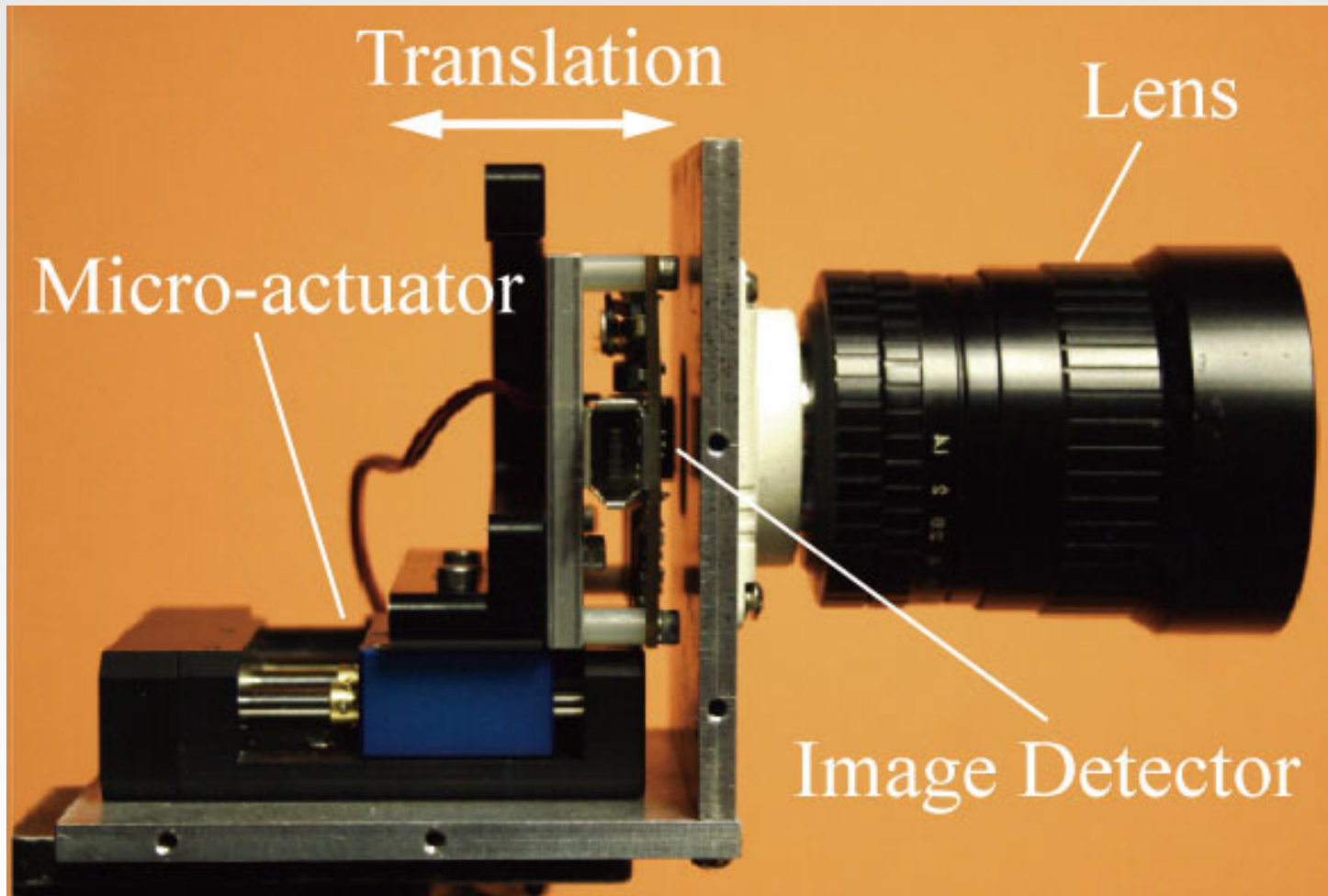
- 開口と距離によるぼけ：距離によってぼけの大きさが変化する
 - 光学系の工夫による解決：Wavefront Coding



CDM Optics, Inc.

- 露光中の撮像素子の移動による解決
- 被写体の動きによるぶれ：被写体の速度によってぶれ量が変わる
 - 露光中のカメラの往復運動による解決

撮像素子の移動による ぼけの不変量化

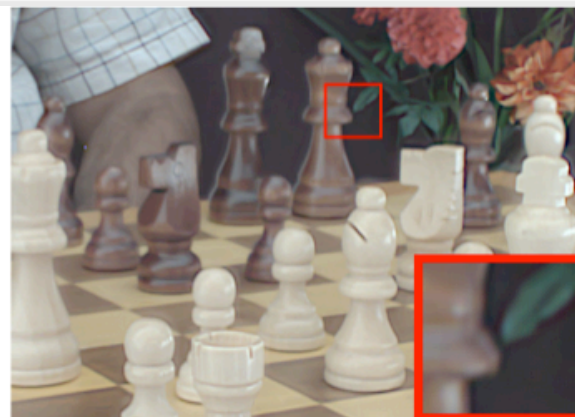


- H. Nagahara, S. Kuthirummal, C. Zhou, and S.K. Nayar, Flexible Depth of Field Photography, ECCV2008

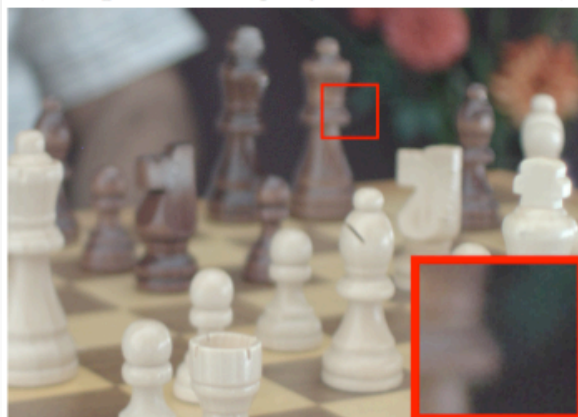
撮像素子の移動による ぼけの不変量化



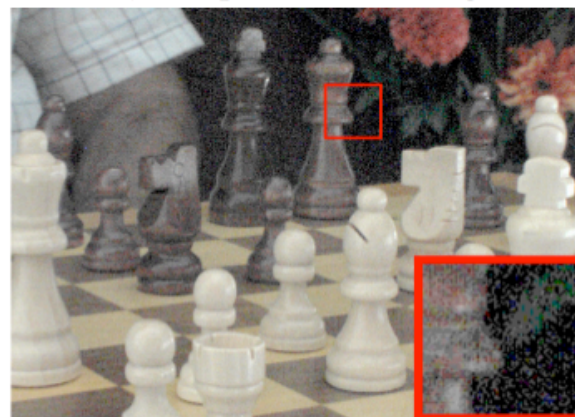
(a) Captured Image ($f/1.4$, $T=0.36\text{sec}$)



(b) Computed EDOF Image



(c) Image from Normal Camera
($f/1.4$, $T=0.36\text{sec}$, Near Focus)



(d) Image from Normal Camera
($f/8$, $T=0.36\text{sec}$, Near Focus) with Scaling

- H. Nagahara, S. Kuthirummal, C. Zhou, and S.K. Nayar, Flexible Depth of Field Photography, ECCV2008

カメラの往復運動による ぶれの除去



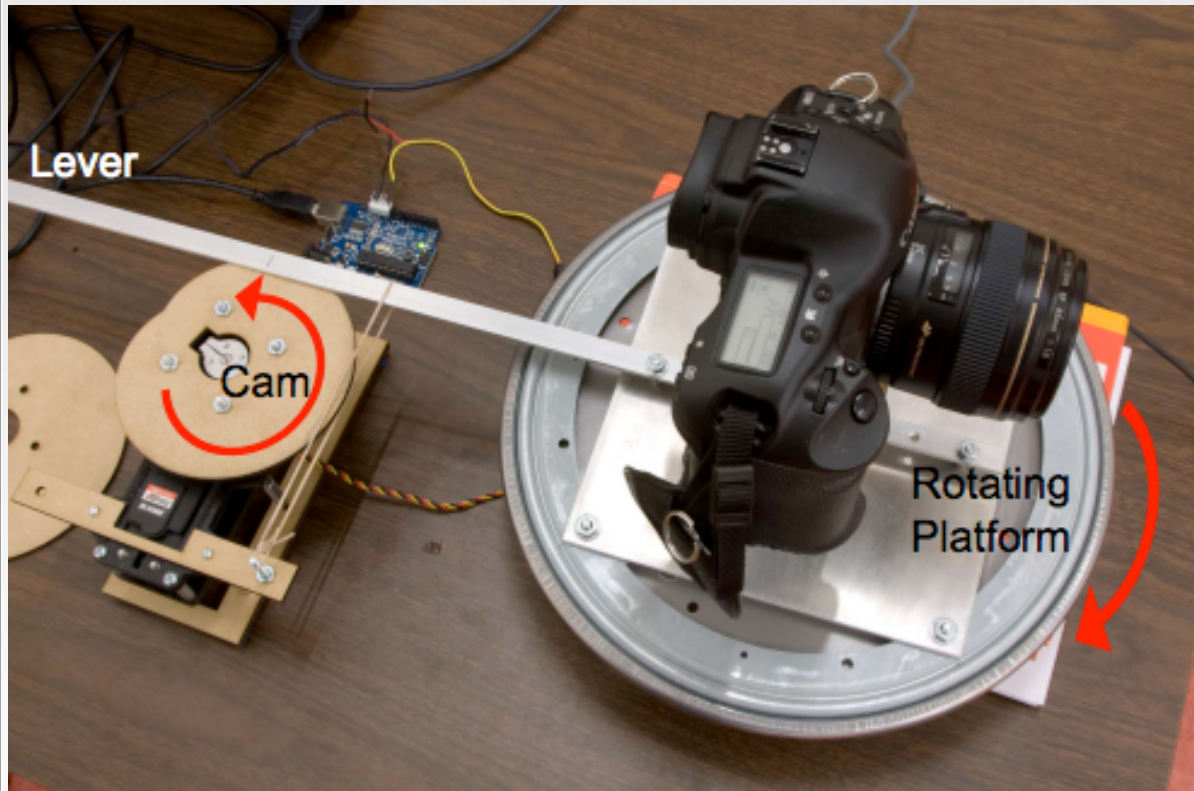
入力画像



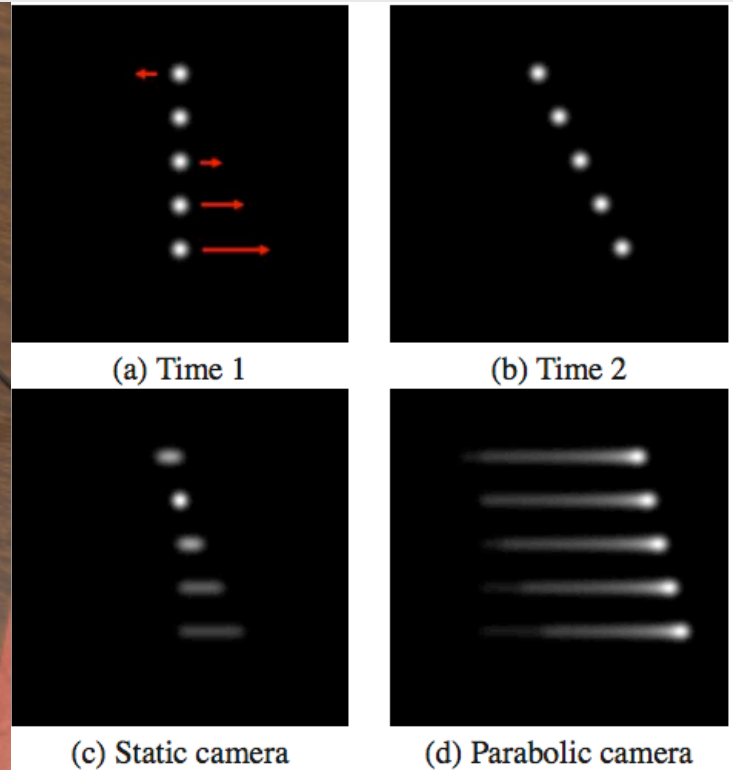
演算後の画像

- A. Levin, P. Sand, T. S. Cho, F. Durand, W. T. Freeman. Motion-Invariant Photography. SIGGRAPH2008.

カメラの往復運動による ぶれの除去



装置外観



(a) Time 1

(b) Time 2

(c) Static camera

(d) Parabolic camera

速度の異なる点光源に
関する概念図

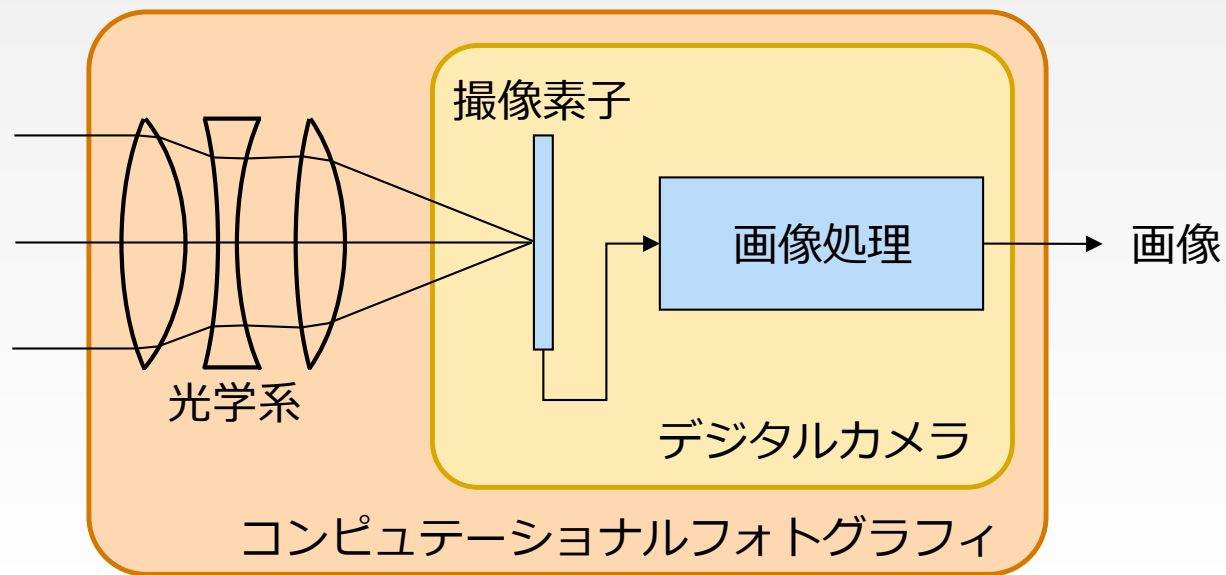
- A. Levin, P. Sand, T. S. Cho, F. Durand, W. T. Freeman. Motion-Invariant Photography. SIGGRAPH2008.



コンピューターショナル フォトグラフィとは？



- 計算機技術による、カメラ進化の第二幕
 - 第一幕：フィルムを撮像素子で置き換え（デジタルカメラ）
 - 「レンズが結んだ像」を高精度にデジタル記録する
 - 第二幕：カメラ全体（光学系，使い方）の再定義・再構築
 - 計算（画像処理）の結果，初めて画像が形成される



コンピューターショナルフォトグラフィ技術が変えようとする範囲



フィルムカメラ



デジタルカメラ



まとめ



- コンピュータショナルフォトグラフィについて
 - 計算機による演算を前提に光の記録方法そのものを再考することにより, 従来のカメラでは実現できなかったような機能を実現する
 - 「画像を撮影する」カメラから, 「光の分布を計測する」カメラへ
 - レンズの設計が変わる. レンズ単体で画像は完成されない
 - コード化 (符号化) の考え方が用いられる
 - テレビや電話: アナログ通信から, コードを用いたデジタル通信へ
 - 情報理論や統計理論が, カメラを変える
- 生物の目に学んだカメラ
 - 現在のカメラは, 人間の眼球によく似た構造
 - 他の生物の目に学んだカメラも, 工業応用などでは利用価値あり