ライトフィールドカメラを用いた三次元計測

蚊野研究室
中島　弘喜

研究内容

- ライトフィールドカメラにおける新たなアプリケーションの提案
- Lytro社のライトフィールドカメラで実距離を測定する
- カメラキャリブレーションでその精度を検証

ライトフィールド

- ライトフィールド
  - 三次元空間の光線集合
  - プレノティック関数(全光学関数)
    - $I = P(X,Y,\theta,\Phi)$
    - (X,Y): 光線が通過するある平面上での一点
    - (θ,Φ) : 光線方向

ライトフィールド

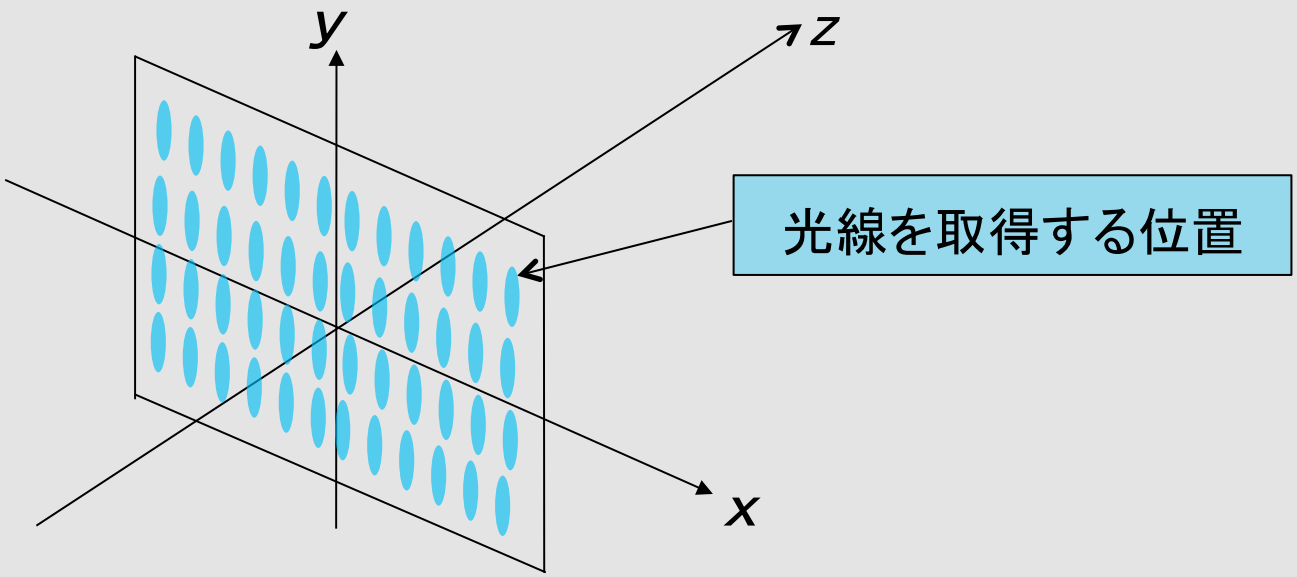
無数の光線が空間中を飛び交っている

つまり

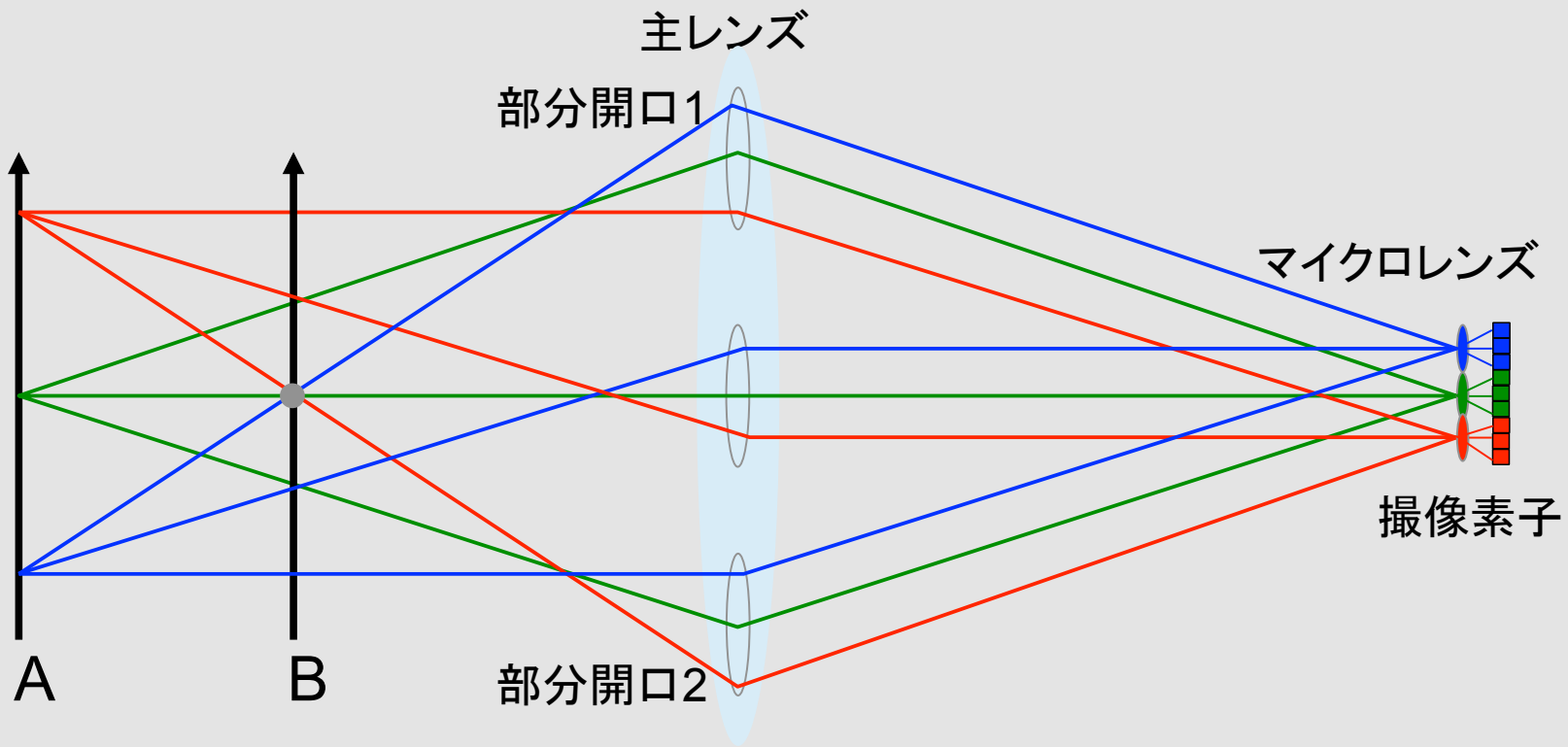
プレノティック関数で表されるような
光線で埋め尽くされた空間
||
ライトフィールド（光線空間）

ライトフィールドカメラ

- ライトフィールドカメラ(LFC)
  - ライトフィールドを取得し、それをもとに写真画像を生成するカメラ
  - ライトフィールドを観測する平面上で光線を密に取得



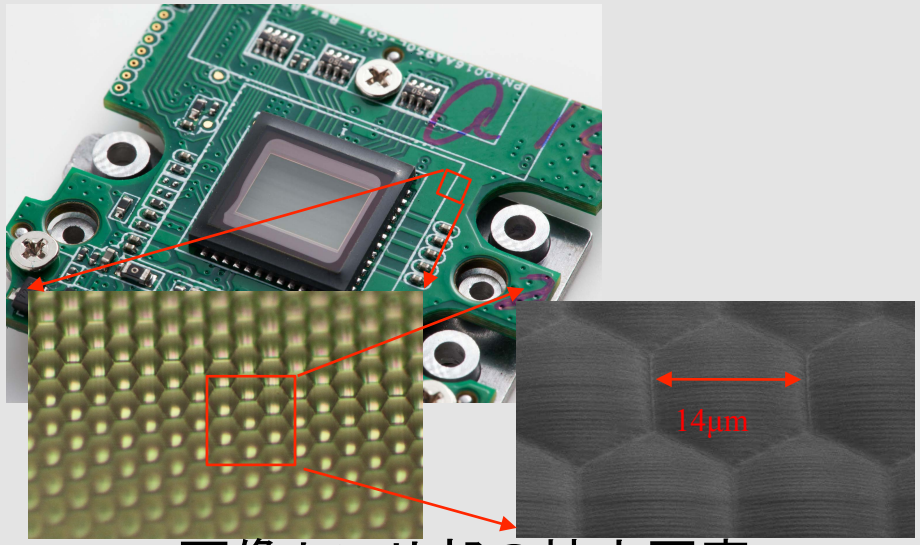
マイクロレンズ方式のLFC



ライトフィールドカメラ

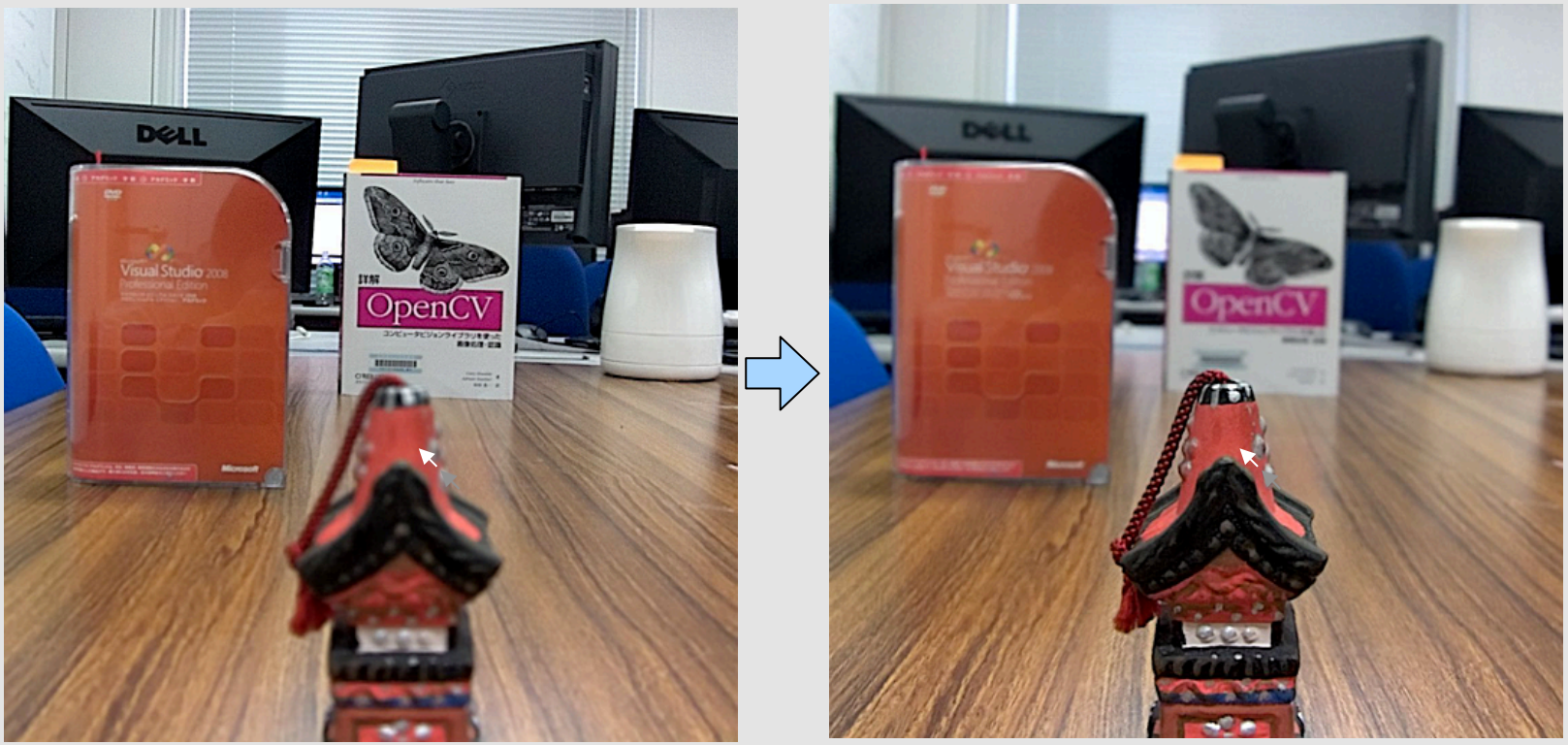
- 米Lytro社のLFC

Lytro社のLFC



画像センサ部の拡大写真
（写真：日経BP社，
豊通エレクトロニクス　ヴァン・パートナーズ）

Lytroアプリケーション



Lytroからのステレオ画像の作成

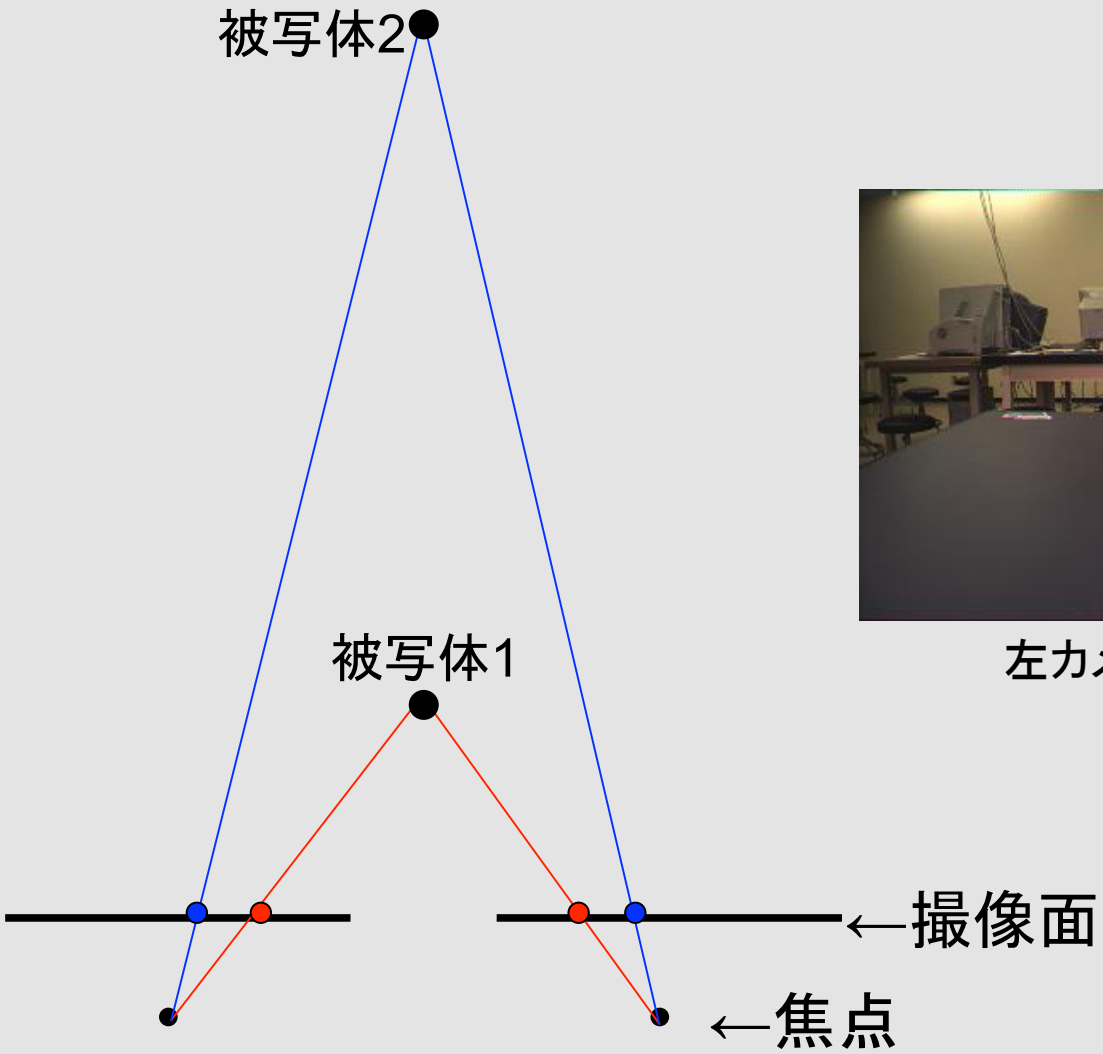
従来技術の課題と提案手法のメリット

- 従来研究
  - 複数台カメラを用いた三次元計測
    - 一例:スバルのアイサイト
  - カメラが2台必要
  - 精度良く配置する必要あり
  - 手間がかかる

スバルのアイサイト

- 本研究
  - 1台でOK
  - 1ショットで撮影できる
  - お手軽

平行ステレオ



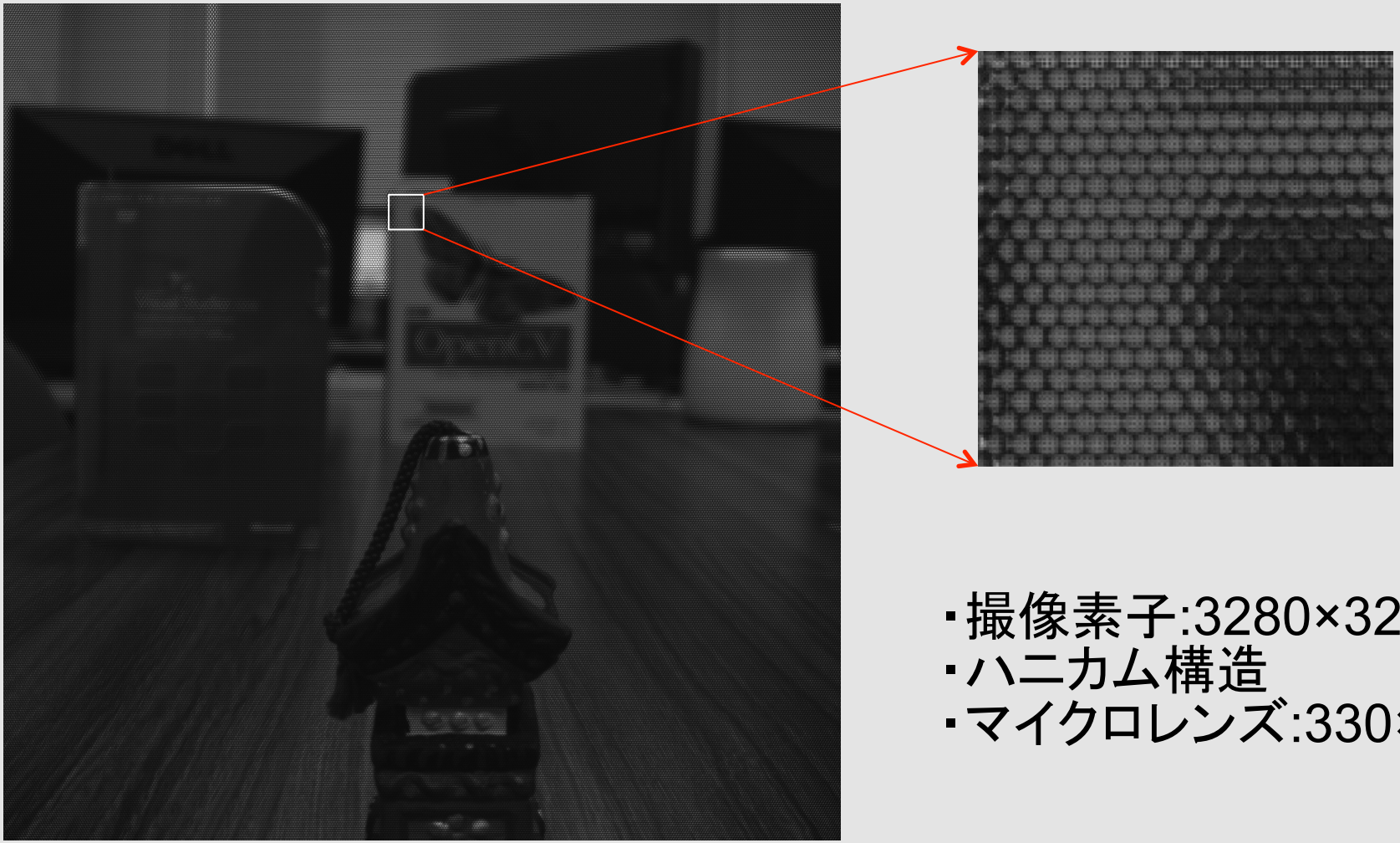
左カメラ画像

右カメラ画像

・視差が小さい：遠くの物体
・視差が大きい：近くの物体

画像参照；http://www.image.esys.tsukuba.ac.jp/range_finder/stereo/index.html

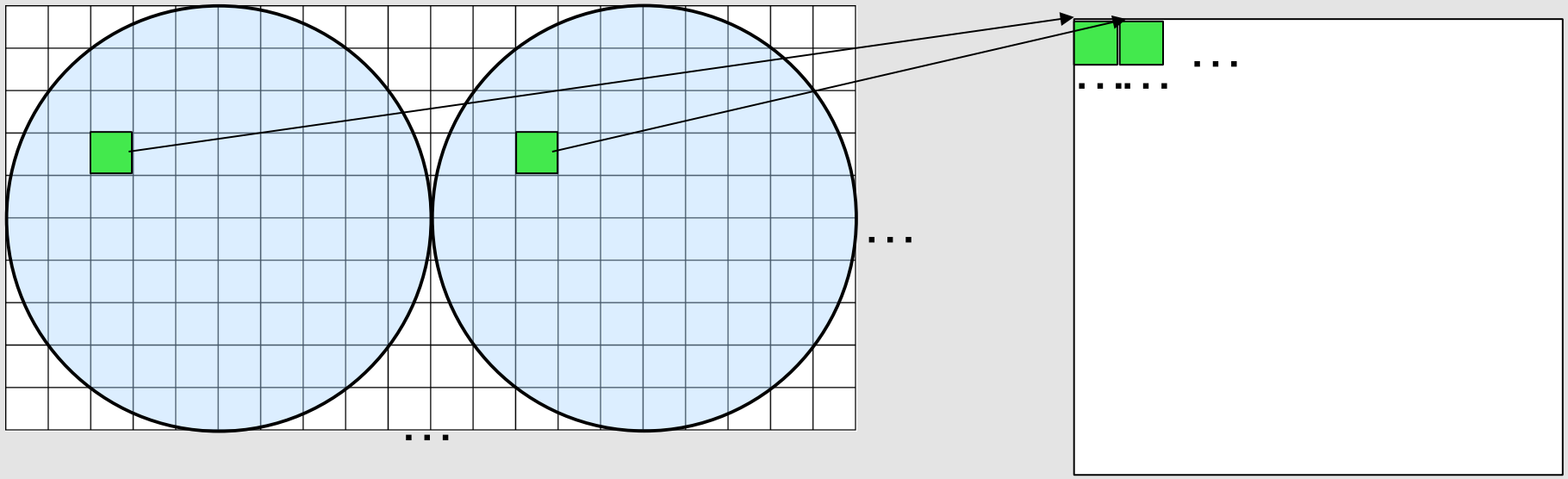
Lytroで撮影した生画像



・撮像素子:3280×3280
・ハニカム構造
・マイクロレンズ:330×380

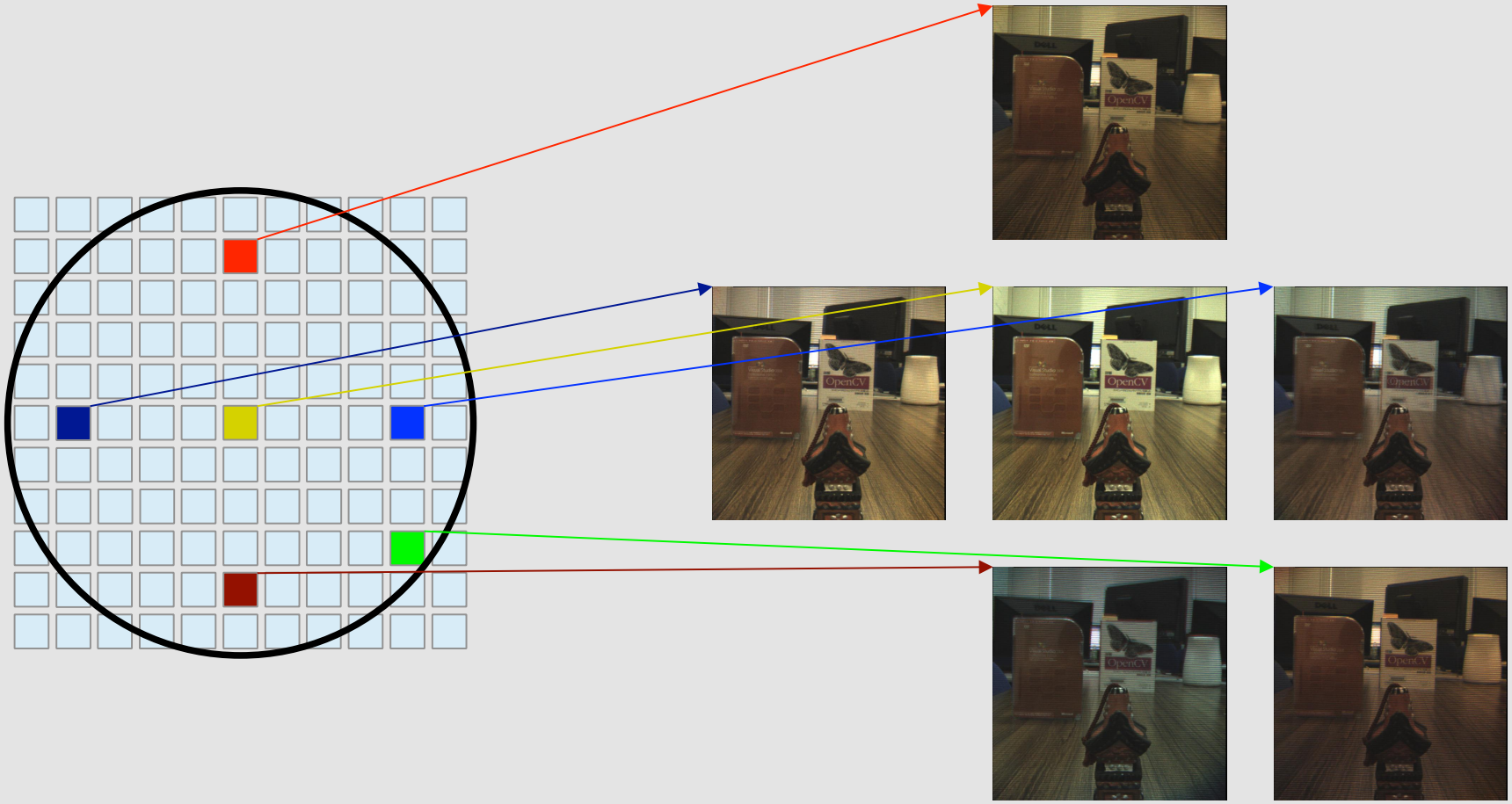
Lytroからのステレオ画像の作成

- 各マイクロレンズの同じ位置の画素を抽出
- 画素を並べ直し画像を再構成



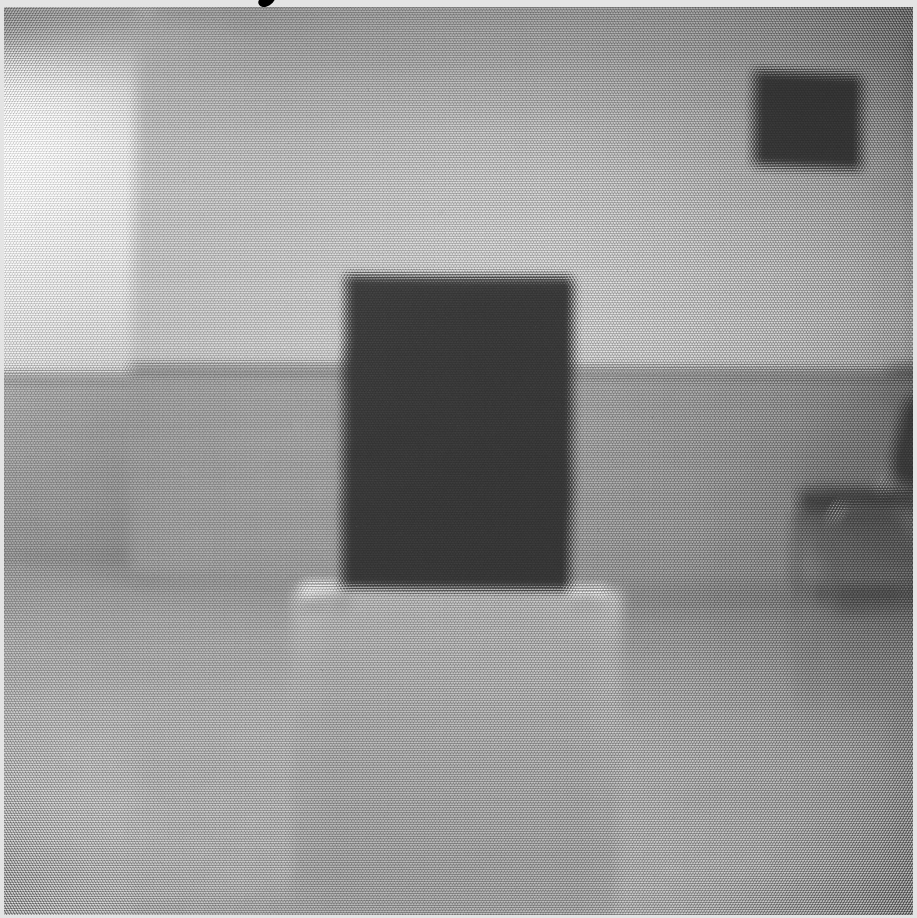
Lytroからのステレオ画像の作成

- 各マイクロレンズ位置におけるステレオ画像



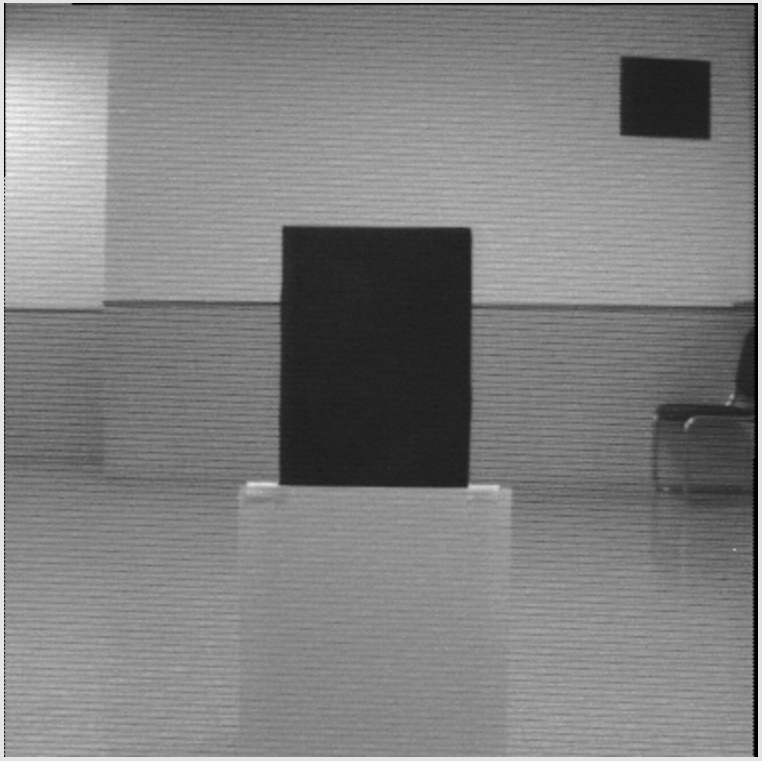
Lytroを用いた実距離測定

Lytroの生画像

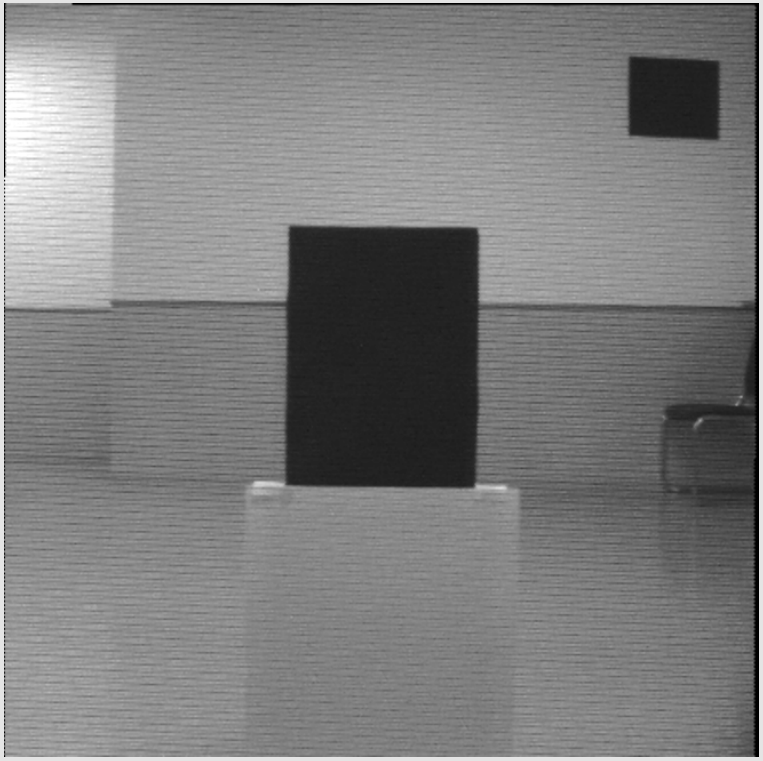


Lytroを用いた実距離測定

- マイクロレンズの同じ位置から画素を取得し画像を再構成(*x*軸方向に二枚再構成)



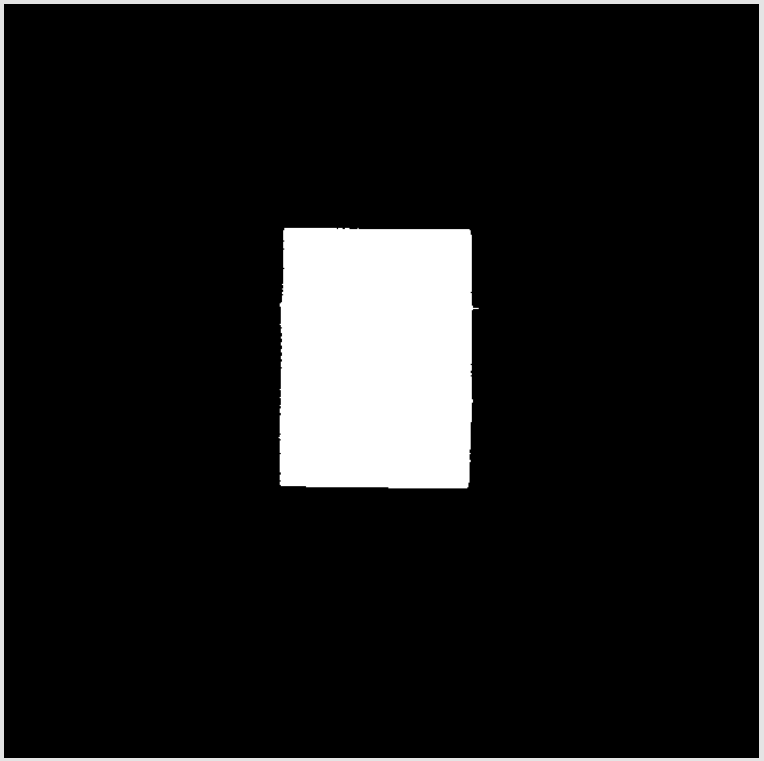
左ステレオ画像



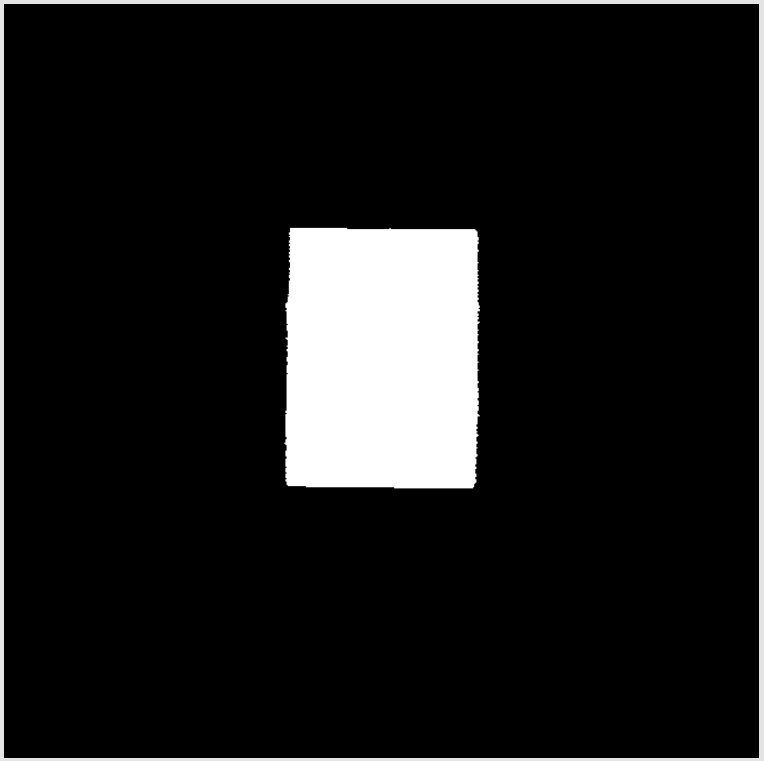
右ステレオ画像

Lytroを用いた実距離測定

- 被写体を白とする二値化、ノイズ除去



左2値画像

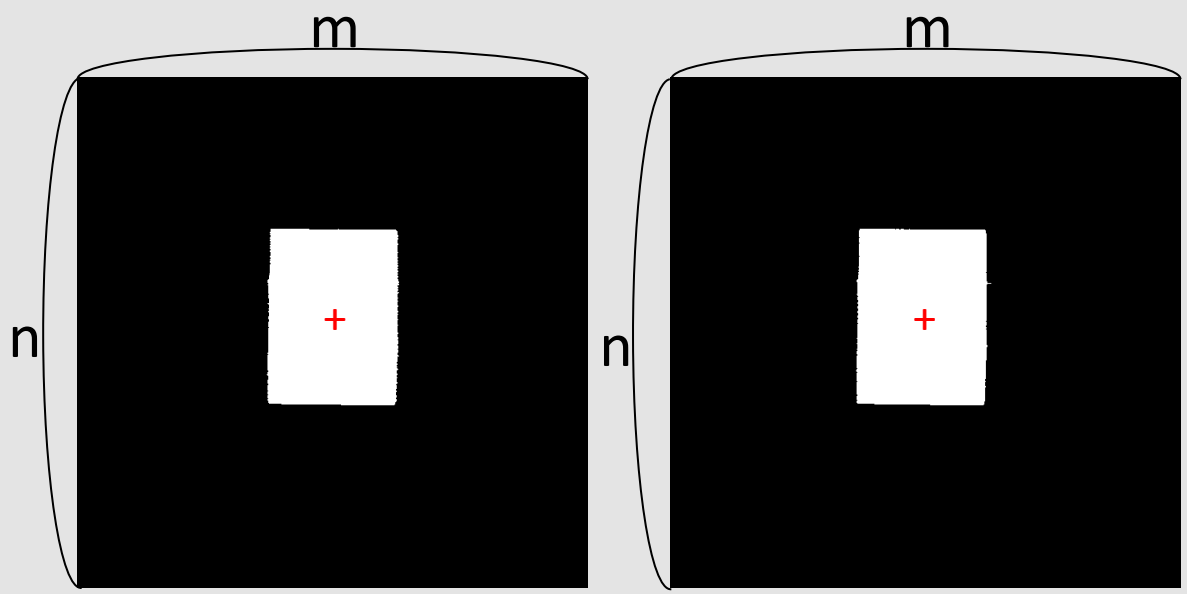


右2値画像

Lytroを用いた実距離測定

- 画像における被写体のx軸方向の重心を計算
- それを用いて視差を求める

$$x_g = \frac{\sum_{y=1}^{n}\sum_{x=1}^{m} x f(x,y)}{\sum_{y=1}^{n}\sum_{x=1}^{m} f(x,y)}$$



+ : 重心

Lytroを用いた実距離測定

- 重心を用いて視差を求める理由
  - 被写体位置を高精度化できる
    - サブピクセル精度で測定できる
  - 小数第二まで求めている

Lytroを用いた実距離測定

Lytro前面から60.6cm離れた位置に被写体を設置30.3cm間隔で被写体を遠ざける
60.6cm～484.4cmまで15枚撮影

- その視差を算出
- 視差をもとに距離を推定

Lytroを用いた実距離測定

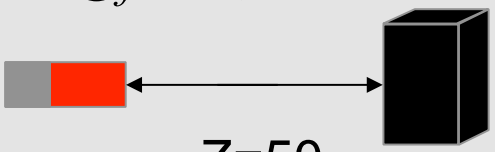
- 実距離測定

$$f\,b = Z\,(x_l - x_r)$$

f :カメラの焦点距離
b :カメラ間隔
Z :被写体との距離
$(x_l - x_r)$: 視差

例

①fb定数を求める



Z=50

この時の視差を$(x_l - x_r)_{50}$ とする
定数は $f\,b_{50} = 50\,(x_l - x_r)_{50}$

②定数を用いて距離推定を行う

Z=d

この時の視差は $(x_l - x_r)_d$ となるので
よって、この時の距離は

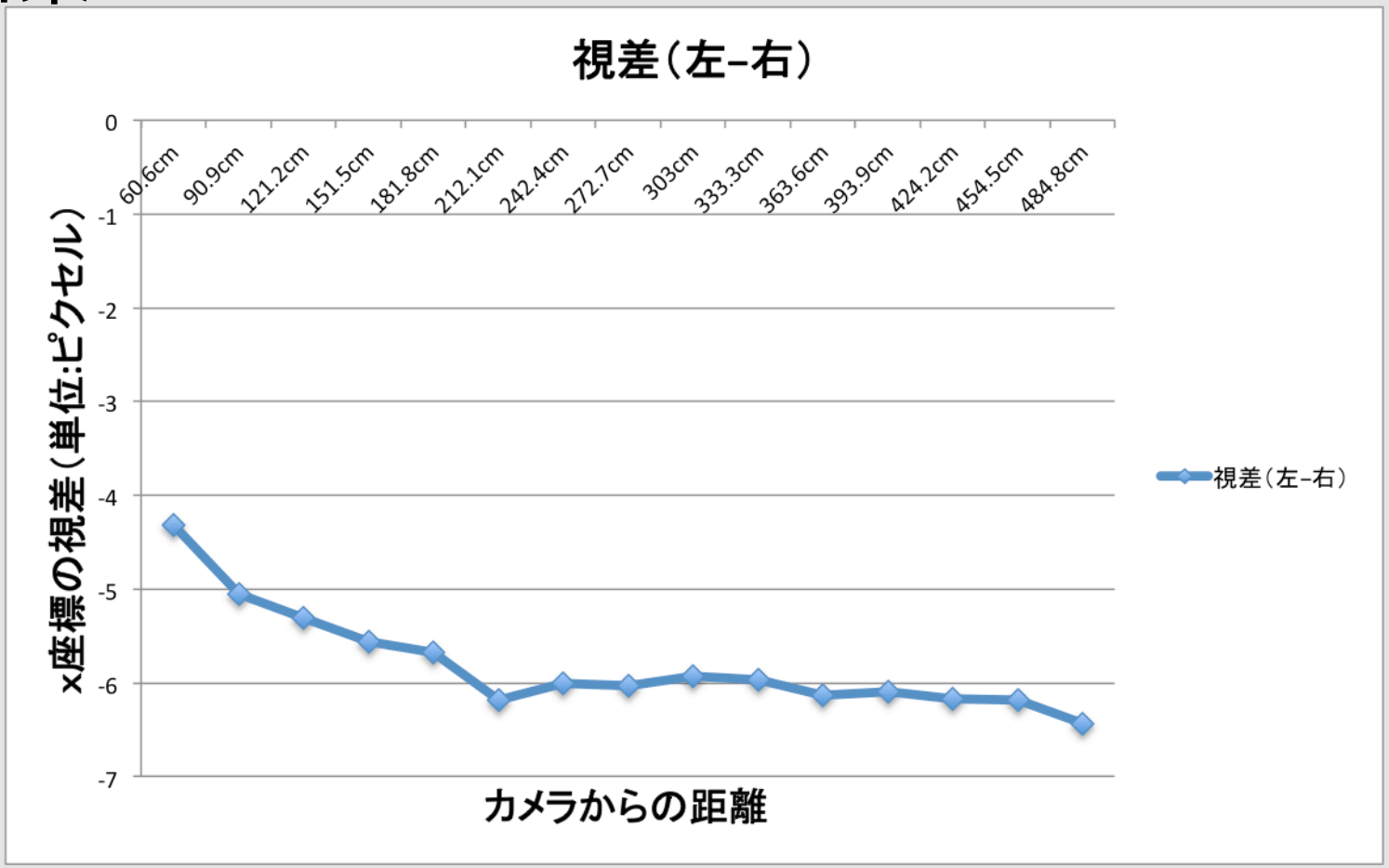
$$d = \frac{f\,b_{50}}{(x_l - x_r)_d}$$

で推定できる。

今回は272.7cm地点の定数を利用

Lytroを用いた実距離測定

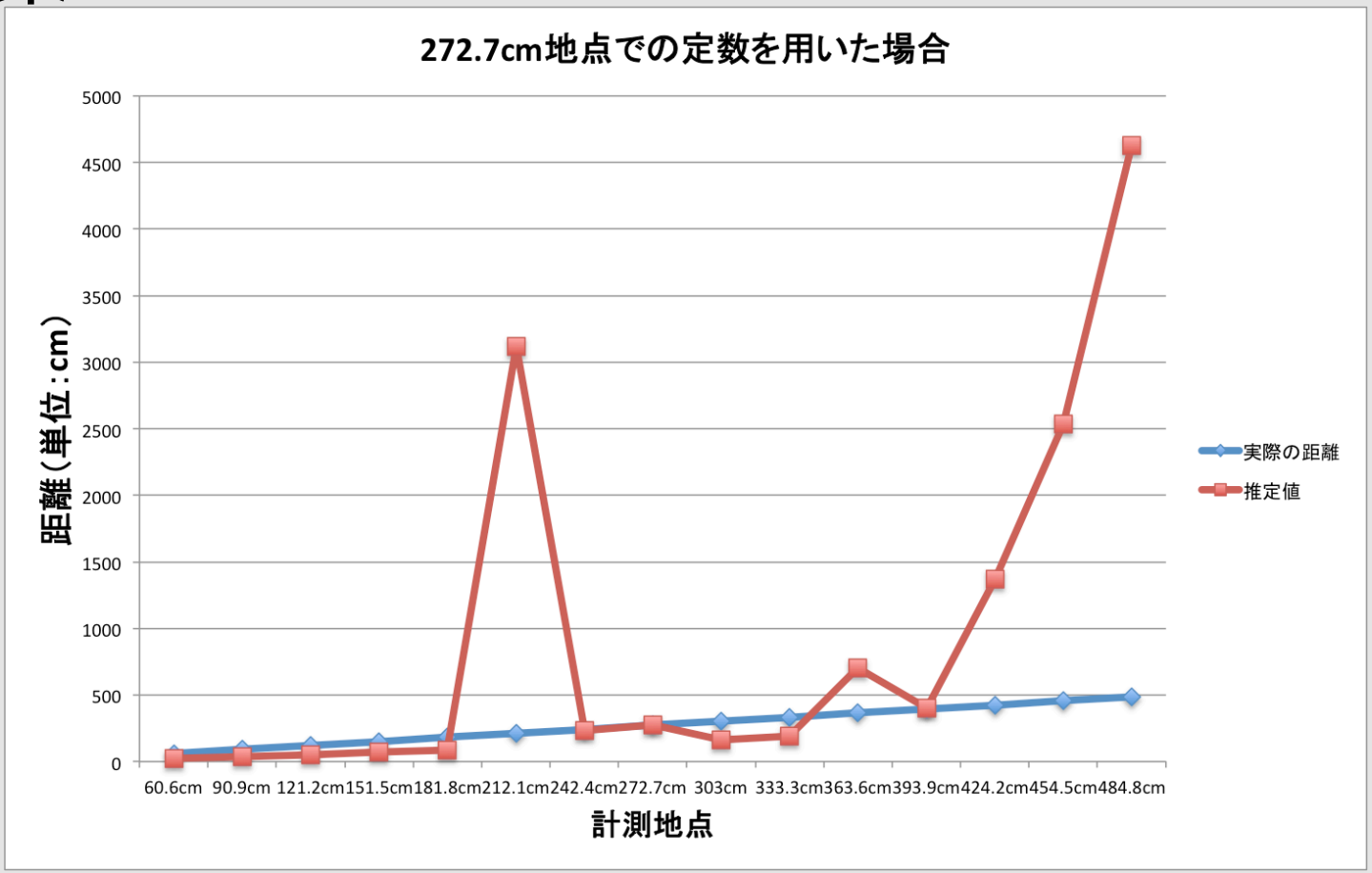
- 結果



6.44画素縦軸方向にシフトして実距離測定を行う

Lytroを用いた実距離測定

- 結果



6.44画素縦軸方向にシフトして実距離測定を行った

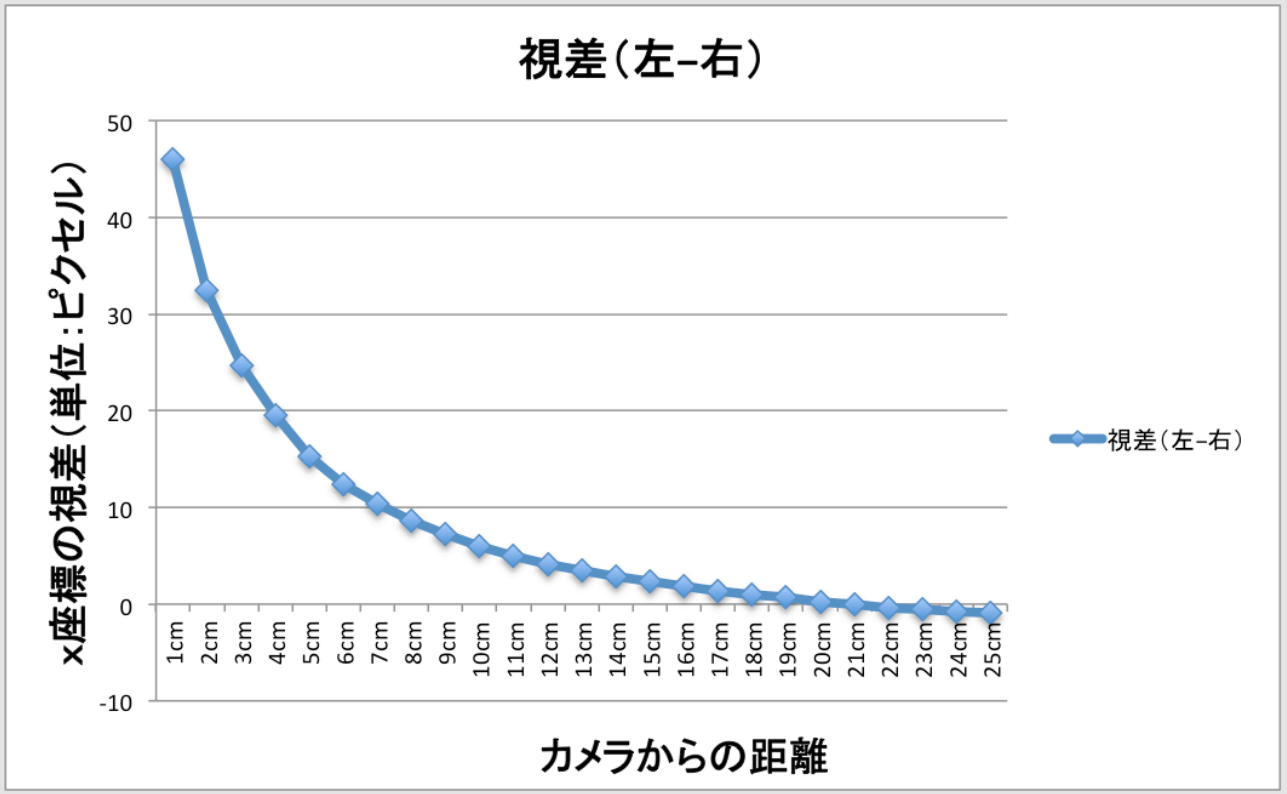
Lytroを用いた実距離測定

- 視差
  - 反比例のグラフである
  - 200cmを超えると約-6画素に収束
    - 無限遠で視差が0にならない

- 実距離測定
  - この距離では誤差が大きい
- もっと短い距離で計測
  - 1～25cmで測定

Lytroを用いた実距離測定

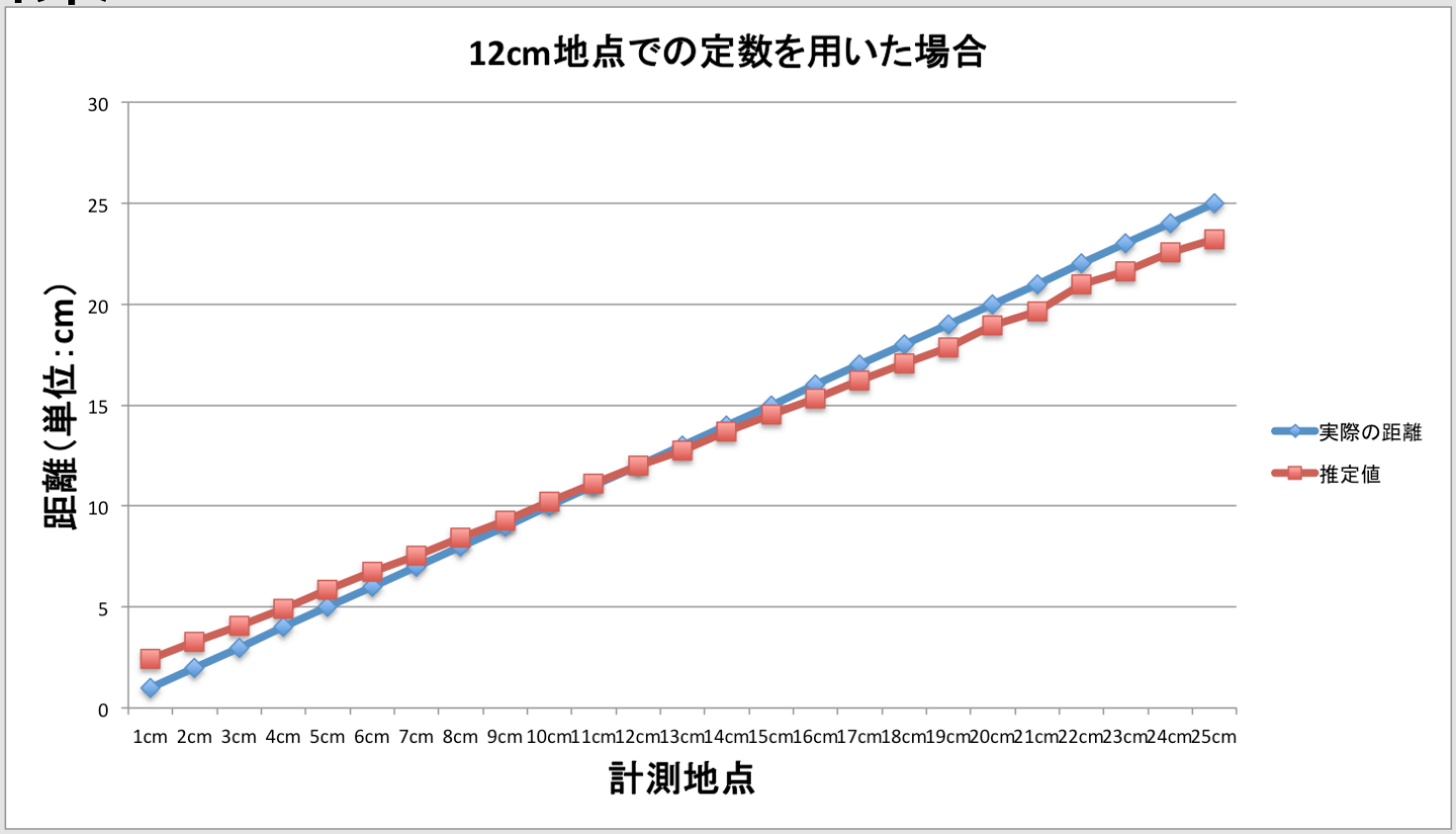
- 結果



– 21cmと22cmの間で視差が0となった

Lytroを用いた実距離測定

- 結果



– 1cm地点で誤差1.4cm，25cm地点で誤差1.8cm

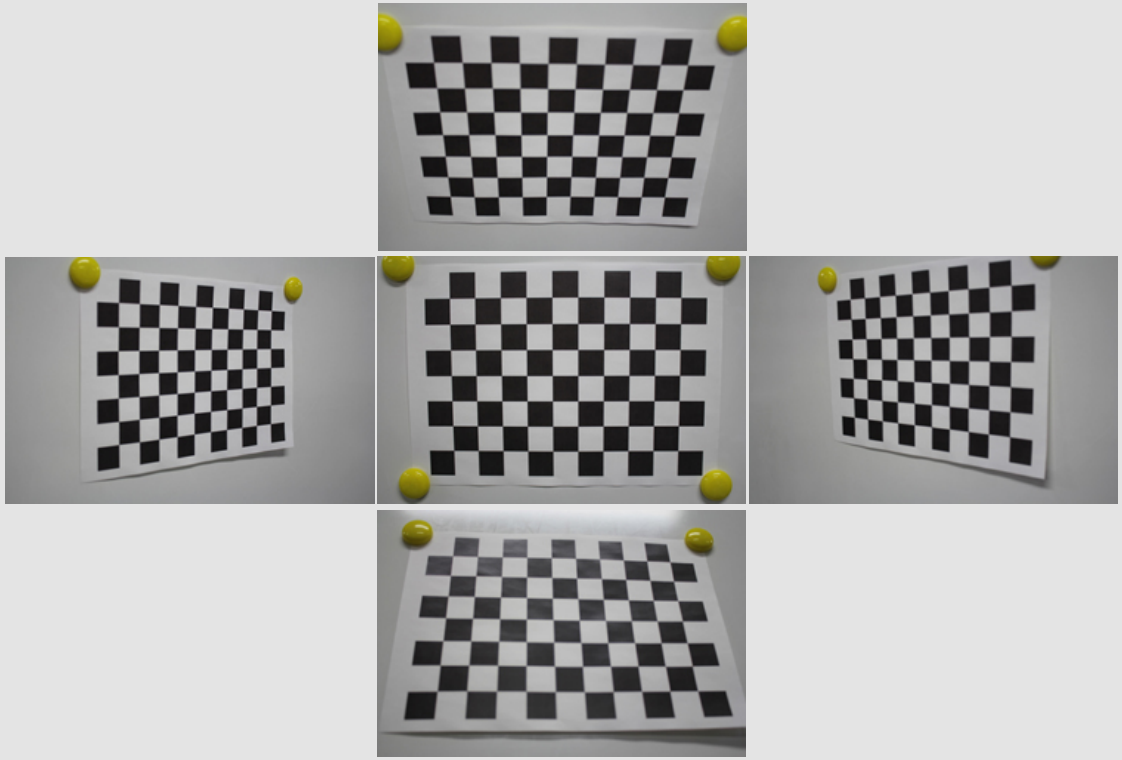
Lytroを用いた実距離測定

- 結果
  - 200cmより手前では視差の誤差による影響がが軽微
  - 200cmより遠い所では視差の誤差による影響が大きい
  - 定数を求めた距離の近辺は誤差が少ない

  - 1～25cmでの測定最大誤差は1.8cm

カメラキャリブレーション

- OpenCVの関数を利用
- 入力画像
  - 1マス24mm，10×7のチェスボードパターン，44枚



10×7チェスボードパターン

内部パラメータ

右内部パラメータ	x軸	y軸
焦点距離(画素)	940.20	941.45
画像中心(画素)	322.98	308.47

左内部パラメータ	x軸	y軸
焦点距離(画素)	939.59	941.65
画像中心(画素)	312.59	308.53

- 画像中心が10画素分水平方向にずれており、意図的にずれていることが示唆される

外部パラメータ

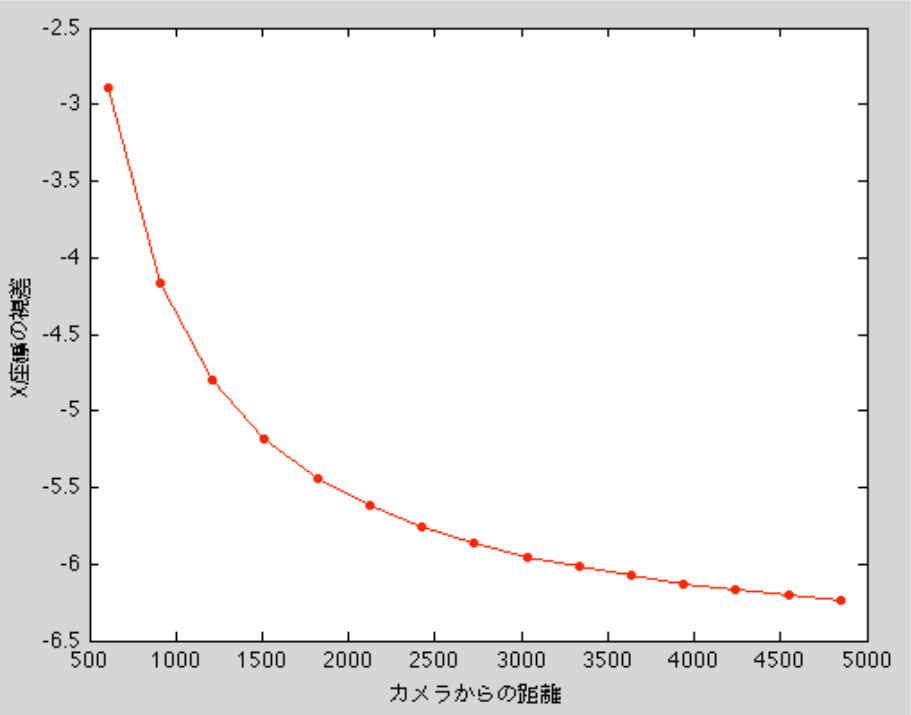
右外部パラメータ	x軸	y軸	z軸
平行移動量(mm)	110.45	89.10	502.36
回転量(ラジアン)	-2.1779	2.2226	0.2100

左外部パラメータ	x軸	y軸	z軸
平行移動量(mm)	114.84	89.06	501.69
回転量(ラジアン)	-2.1812	2.2259	0.2115

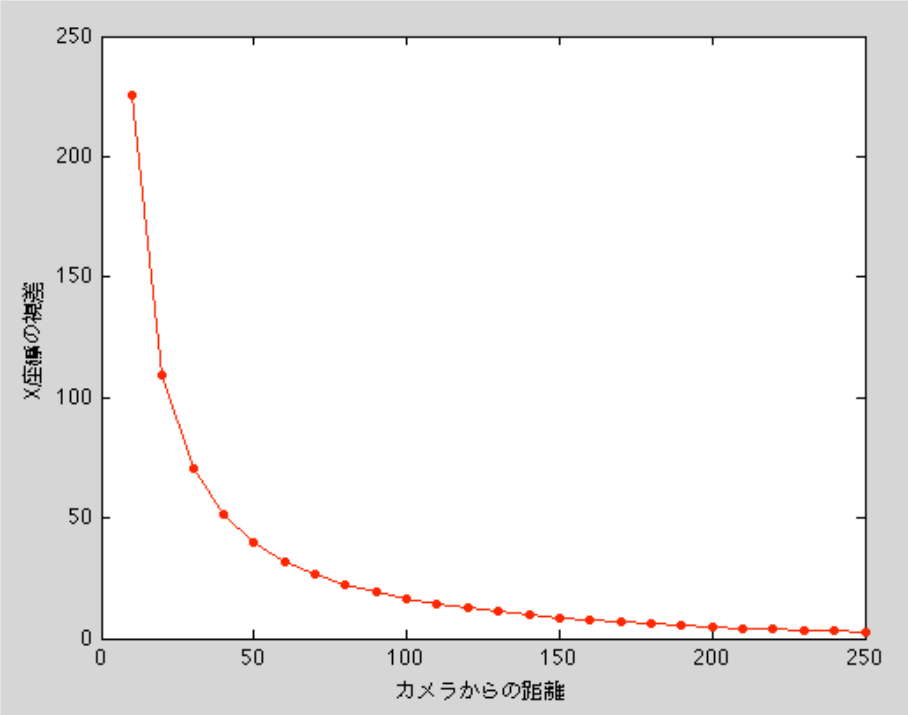
	差
x軸方向	4.34
y軸方向	0.04
z軸方向	0.67

- 回転量から、相対的なずれが0.28度
- これらのパラメータを用いて計算上で視差-距離の関係をプロット

内部・外部パラメータを用いた推定



60.6～484.8cmの
視差-距離グラフ

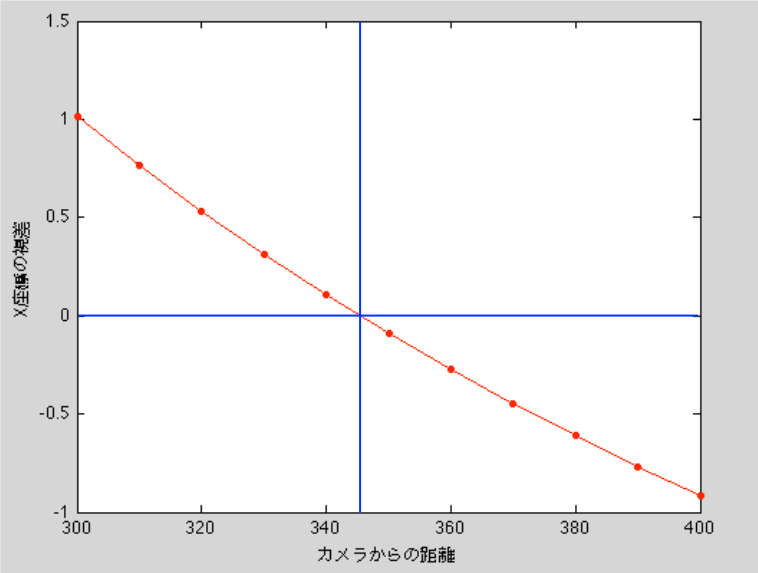


1～25cmの
視差-距離グラフ

＊単位はmm

内部・外部パラメータを用いた推定

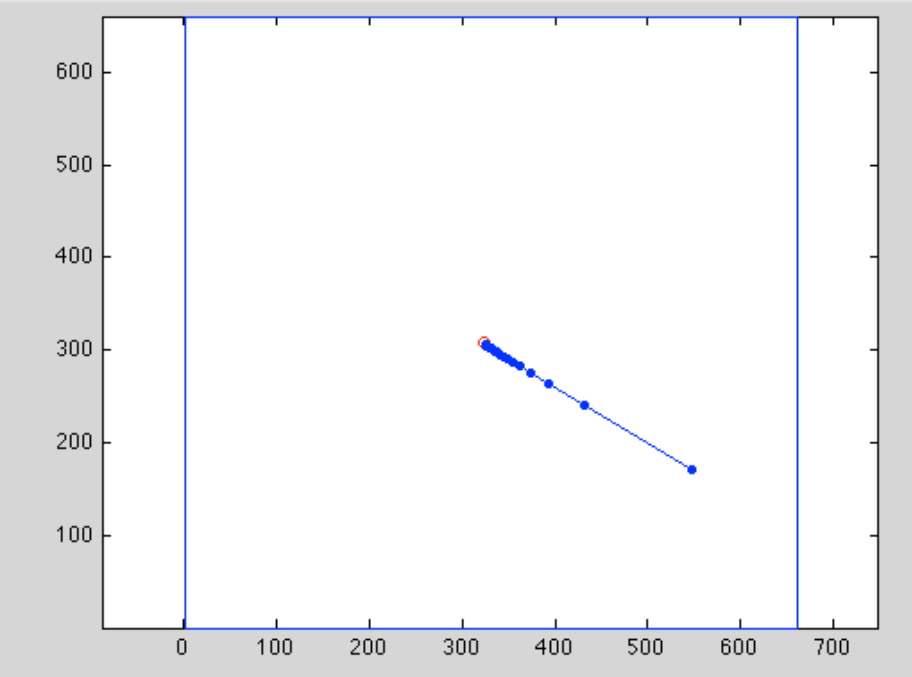
- 結果
  - 無限遠での視差が-6.7画素
  - 視差は34.5cm地点で0になった



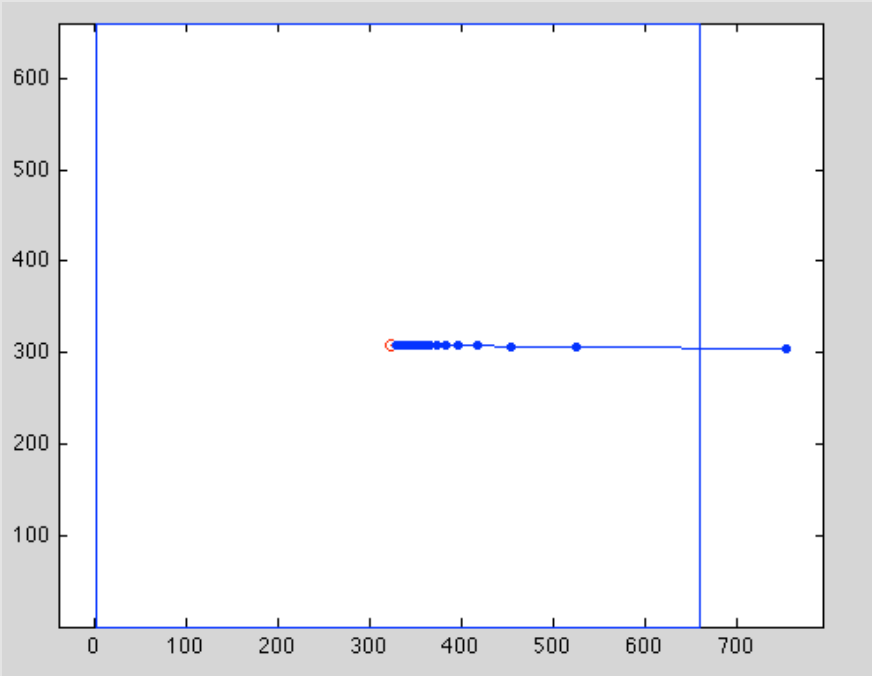
＊単位はmm

光軸の観察

- 右カメラ光軸上でカメラから1～25cmで左カメラで観察した位置の変化



回転行列そのまま



回転行列そろえた

＊単位はmm

まとめ

- 視差を用いた測定
  - 実距離測定は200cm以降での推定は困難
  - 21～22cmで視差が0になる
- カメラキャリブレーション
  - 画像が平行移動されていることがキャリブレーションでも確認できた
  - 34.5cmで視差が0になる