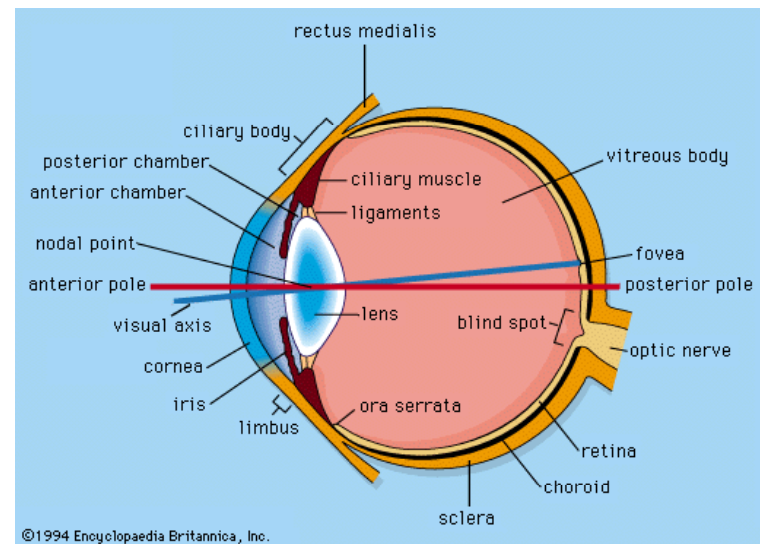
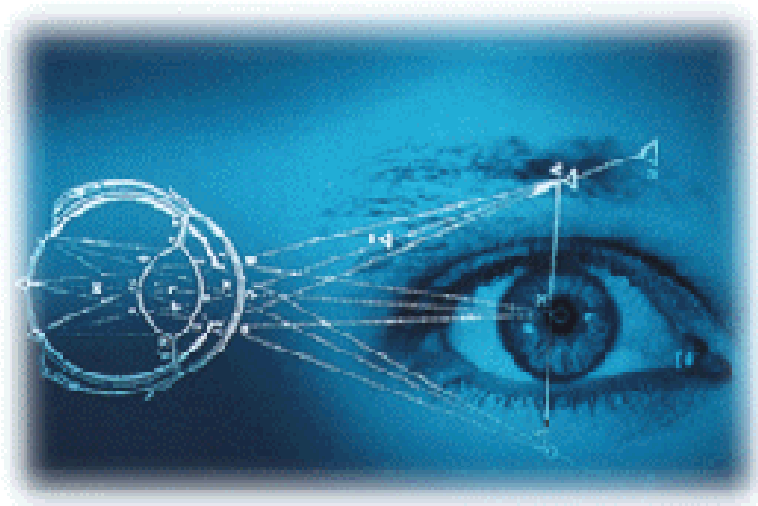


# 従来よりも高機能性を実現する 焦点調節機構導入型新画像処理法

群馬大学大学院工学研究科  
松井 利一



©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

# 背景（従来の画像処理と視覚系の画像処理の違い）

従来の画像処理よりも視覚情報処理の方が優れている

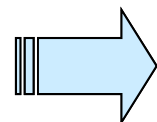
従来の画像処理 → 画像観測特性は無い

- (1) 合焦点画像を用いる（焦点調節機構は無視）
- (2) 画像解像度は一様（視細胞の不均一密度無視）

視覚系の画像処理 → 画像観測特性を含む

- (1) 提示画像にあわせて網膜像のボケが変化  
（焦点調節機構の特性）
- (2) 網膜像の解像度は中心が高く，周辺が低い  
（視細胞の不均一密度分布構造）

視覚系の優れた画像解析機能



画像観測特性が1つの要因の可能性

## 研究目的

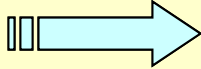
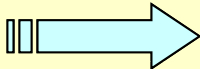
- (1) 視覚系の画像観測特性を明らかにする
- (2) 視覚系の画像観測特性を導入した新しい画像処理方法を開発する

## 研究方法

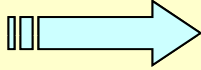
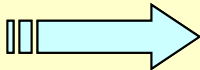
- (1) 視覚系の焦点調節特性を実測する
- (2) 視覚系の画像観測機構を数理的にモデル化
- (3) モデルを応用した画像処理法を開発する

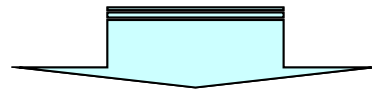
# (視覚系の画像観測特性) —現象論的解釈—

## (1) 文字などの細かい部分に注目 (高い空間周波数構造)

- ・ 微細構造が明確に見える  ボケが減少
- ・ 明確に見える範囲が狭くなる  視野が縮小

## (2) 画像の大まかな構造に注目 (低い空間周波数構造)

- ・ 画像の微細構造が見えにくい  ボケが増加
- ・ ぼけて見える範囲が広がる  視野が拡大



何を観測するかに依存して観測画像のボケと視野が変化

画像観測における視覚系の基本戦略, 拘束条件

画像観測特性は全ての視覚情報処理に関係している

# (ボケと視野の生理学的解釈)

(1) ボケ：眼球光学系の焦点調節誤差

(網膜像のボケ)

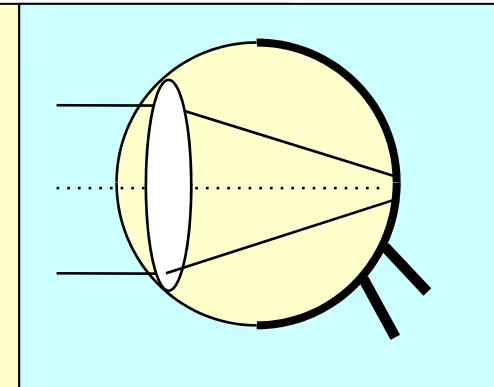
低域通過フィルター (Low-pass filter)

(2) 視野：視細胞密度の不均一分布

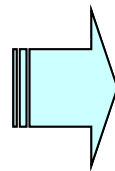
微細構造に注目：視細胞の密集した中心窩で観測

大まかな構造に注目：密度の低い周辺部でも観測可能

窓かけ操作 (Windowing operation)



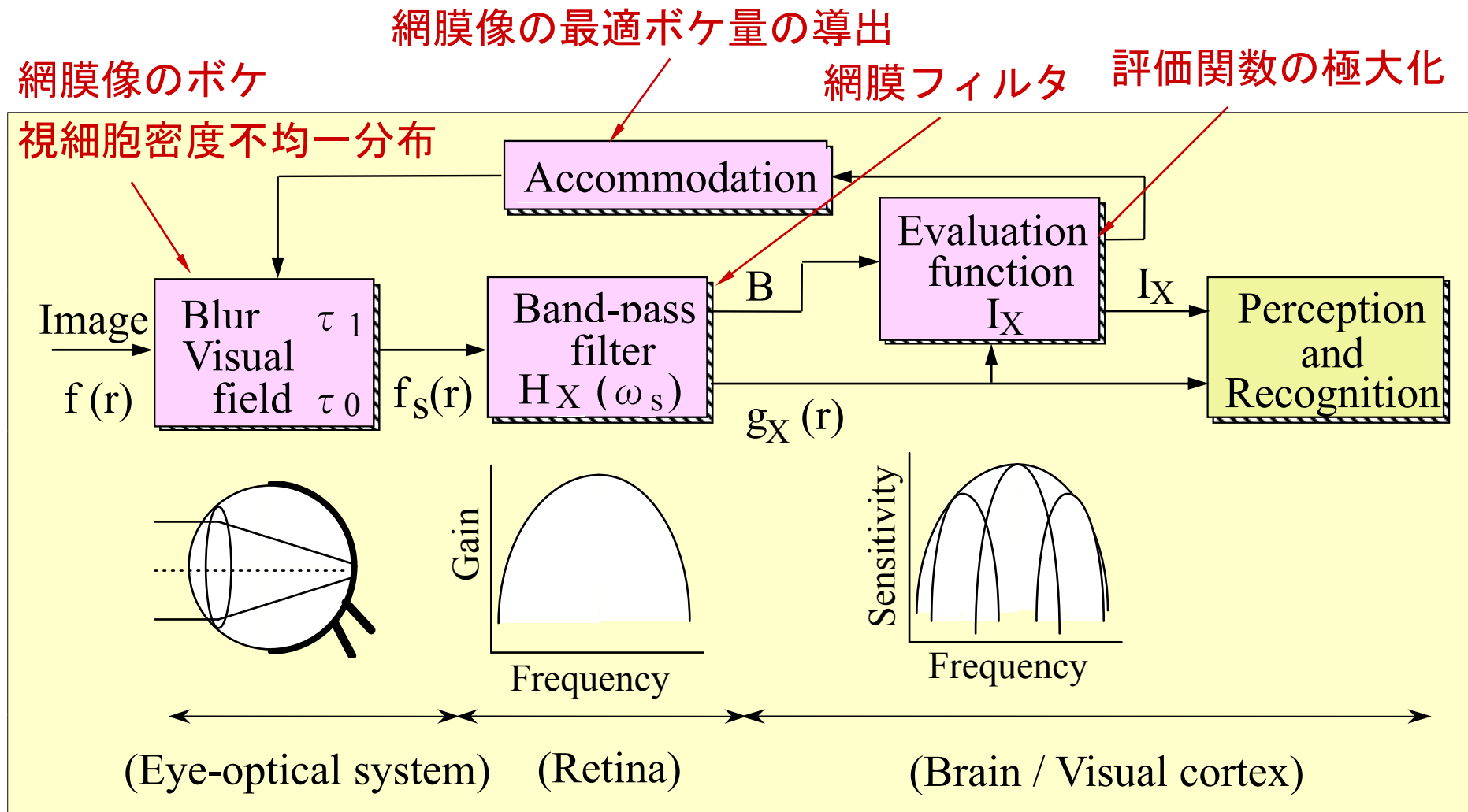
ボケと視野の  
相互依存関係



画像処理能力の上限の存在

(画像観測に於ける拘束条件)

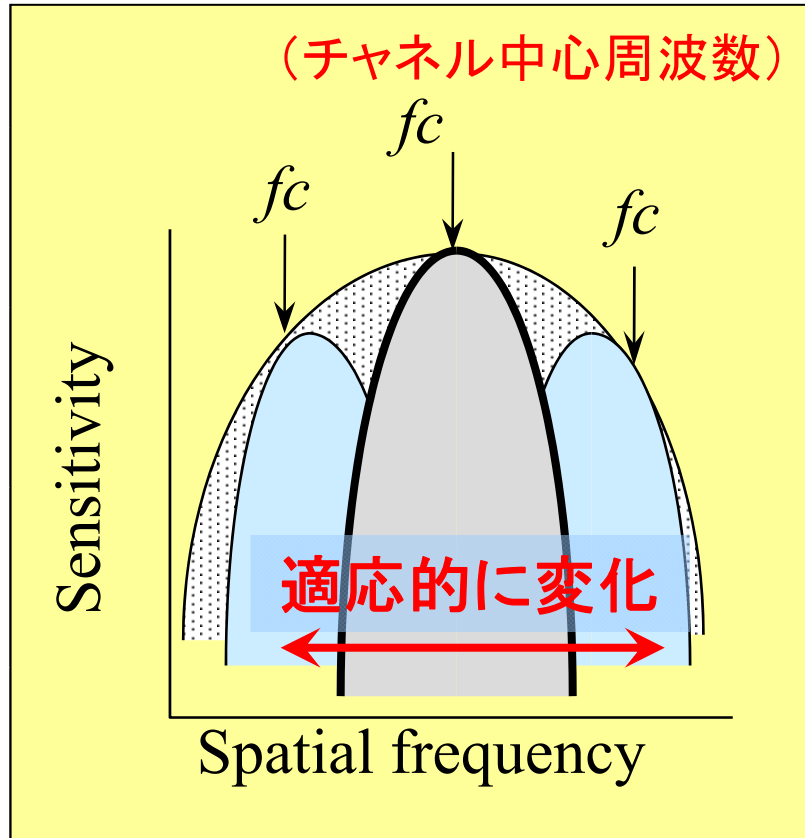
# 眼の自動焦点調節機構の数理モデル



提示画像に合わせて網膜像の最適ボケ量が導出可能

(画像に依存して焦点外れ量が変化: 視覚系と同じ特性)

# 焦点調節機構モデルの空間周波数特性



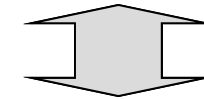
- ・多くの狭帯域フィルタの集合
- ・包絡線は正弦波コントラスト感度特性の実測値と一致

基本的特徴:

マルチチャンネル構造

(適応的画像観測特性)

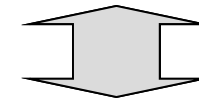
観測状態 ( $\tau_0, \tau_1$ ) の推定



狭帯域チャンネルの選択

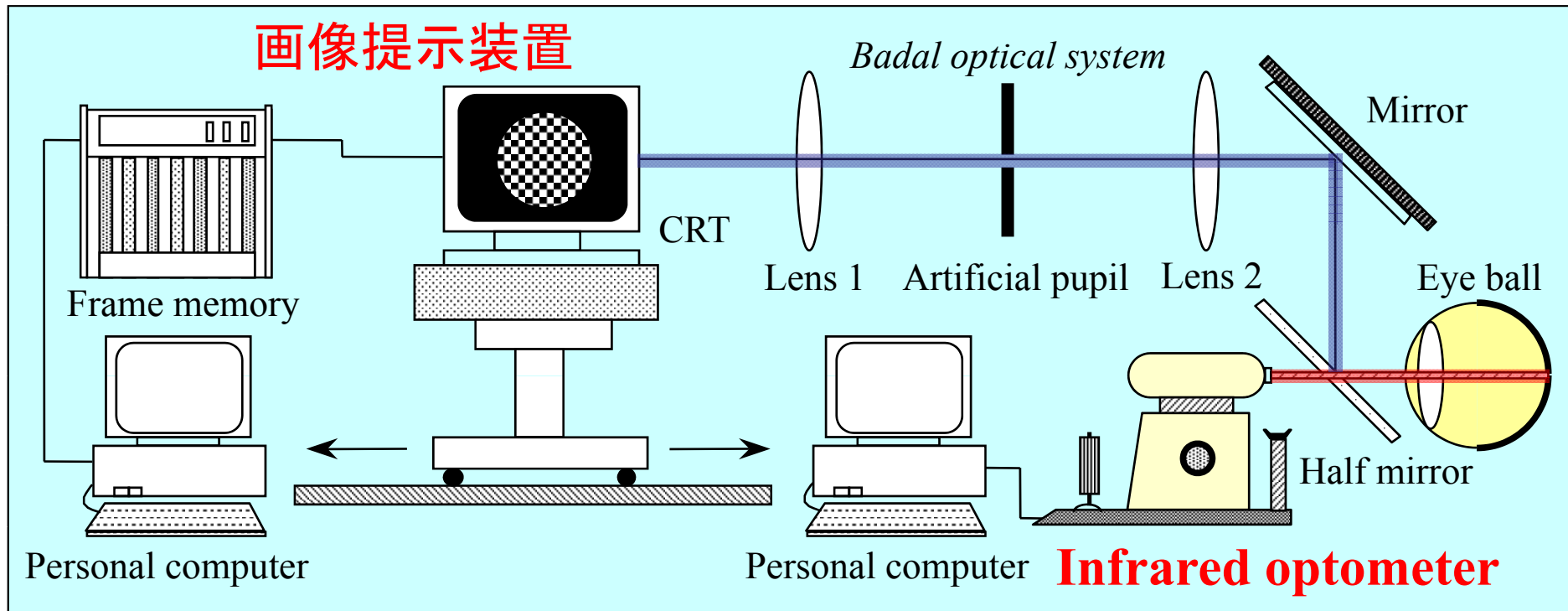
$$fc^2 = \frac{1}{16\pi^2 (\tau_0 - \tau_1)} \log_e \left( \frac{2\tau_0 - \tau_1}{\tau_1} \right)$$

狭帯域フィルタの中心周波数



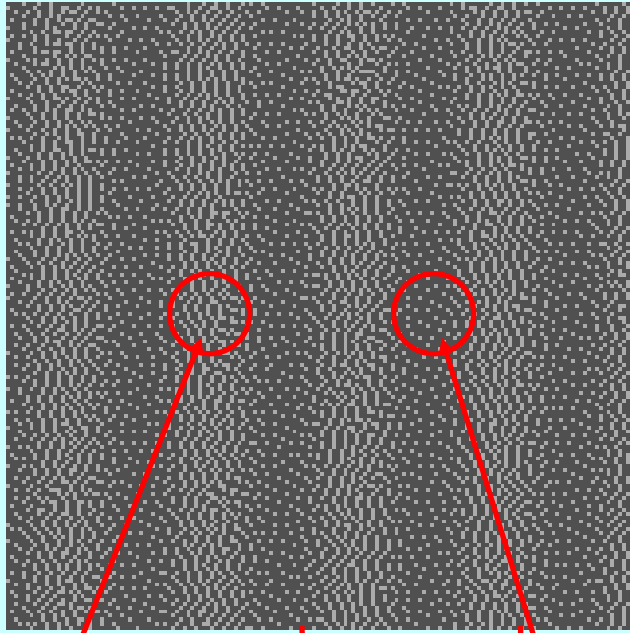
チャンネル中心周波数  $fc$

# 焦点調節応答実測システム





# 焦点調節応答の実測実験



① 画素を注意

② 正弦波信号成分を注意

③ 画素を注意

擬似中間調正弦波画像  
空間周波数 0.3cpd

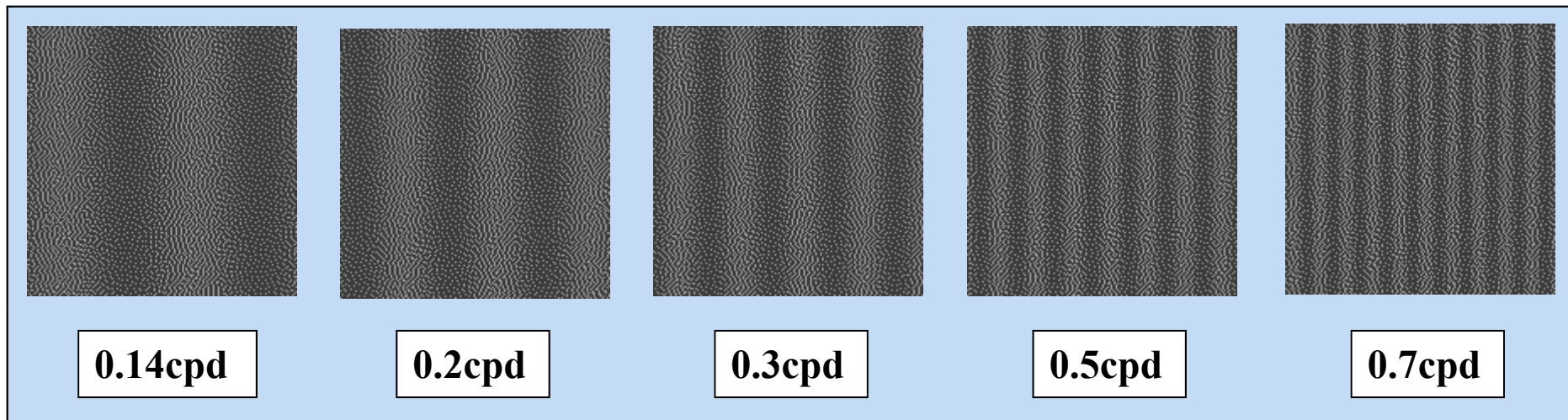
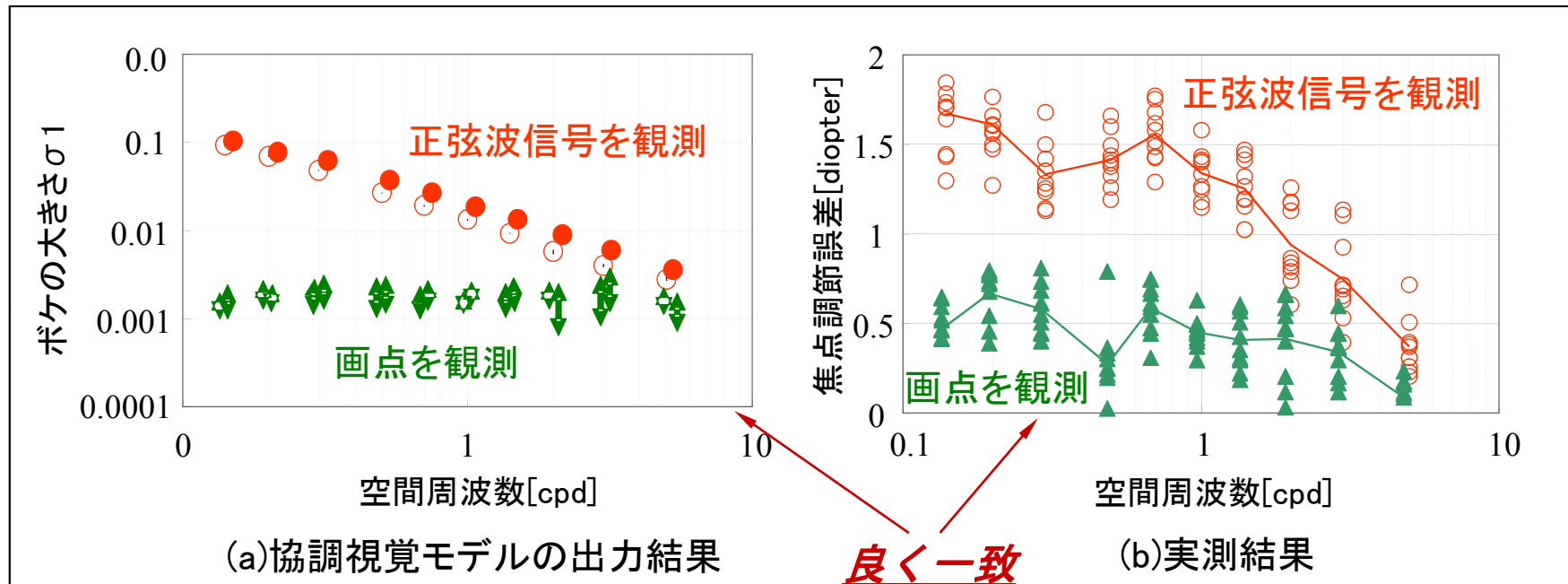
測定項目: 空間周波数依存特性

- ① 明るい部分の画素を注意
- ② 正弦波信号成分を注意
- ③ 暗い部分の画素を注意

条件

正弦波 空間周波数	0.14, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.4, 2.0, 3.0, 5.0 [cpd]
視距離	一定 (4 [diopter])
被験者	(a), (b), (c)

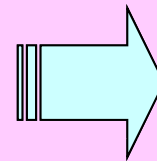
# 網膜像ボケ特性の理論と実測の関係



# 従来の自動焦点調節機構

## 自動焦点調節機構（従来技術）

- (1) Active 方式（赤外線投射 etc.）
- (2) Passive 方式（投影像を用いる）



焦点外れ  
検出センサ

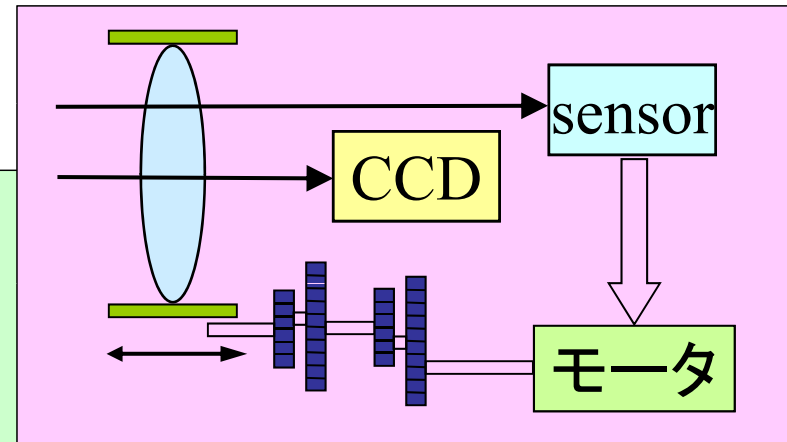
## 従来技術の課題

### (1) センサが組み込めない場合

内視鏡等の超小型カメラ  
電子顕微鏡 etc.

### (2) 視覚系の画像処理特性が再現できない

自動焦点調節機構が画像処理と独立



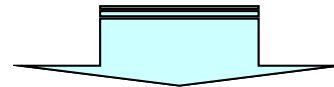
# 従来の自動焦点調節機構との比較

## (従来の自動焦点調節特性)

- (1) 焦点外れ検出センサあり
- (2) 合焦点像を作る  
(画像に依存せず焦点外れは無)
- (3) 入力画像の解像度は一様  
(撮像素子の解像度に依存)
- (4) 焦点調節機構の単独動作

## (視覚系の自動焦点調節特性)

- (1) 焦点外れ検出センサなし  
(脳で計算する)
- (2) 合焦点像は作らない  
(画像に依存して焦点外れ量に変化)
- (3) 入力画像の解像度は一様でない  
(視細胞密度の不均一分布に依存)
- (4) 脳と協調して動作

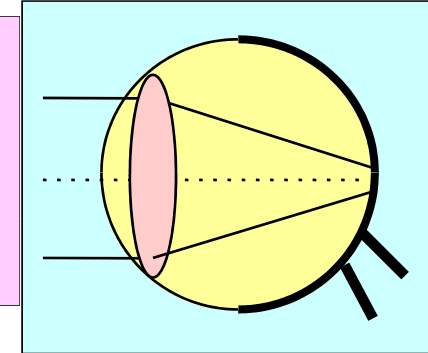


視覚系の高度な画像処理機能発現の要因

# 応用分野

## (A) 焦点外れセンサなしでの自動焦点調節機能

- (1)内視鏡等の超小型カメラなどの自動焦点調節
- (2)電子顕微鏡などの自動焦点調節
- (2)人工水晶体（眼内レンズ）の自動焦点調節



## (B) 視覚情報処理機構の再現機能

- (1)人間の眼と同様に動作するロボット視覚（Humanoid robot）  
パターン認識理解技術（認証，防犯カメラ，知能ロボット）
- (2)人間工学応用（**最適ディスプレイ環境の提供**）  
2眼融合式両眼立体視ディスプレイの最適設計  
画像品質の客観的評価法の開発  
文書画像最適表示法の開発（行間隔と文字間隔の最適値）  
老眼者，視覚障害者の見え方予測（最適表示法の開発）

# 画像ノイズの客観的評価への応用

## (目的)

ウィナースペクトル法と協調視覚モデル法の性能比較

## (方法)

ノイズ評価値と主観評価値を比較

## (評価画像)

デジタルカラー複写機

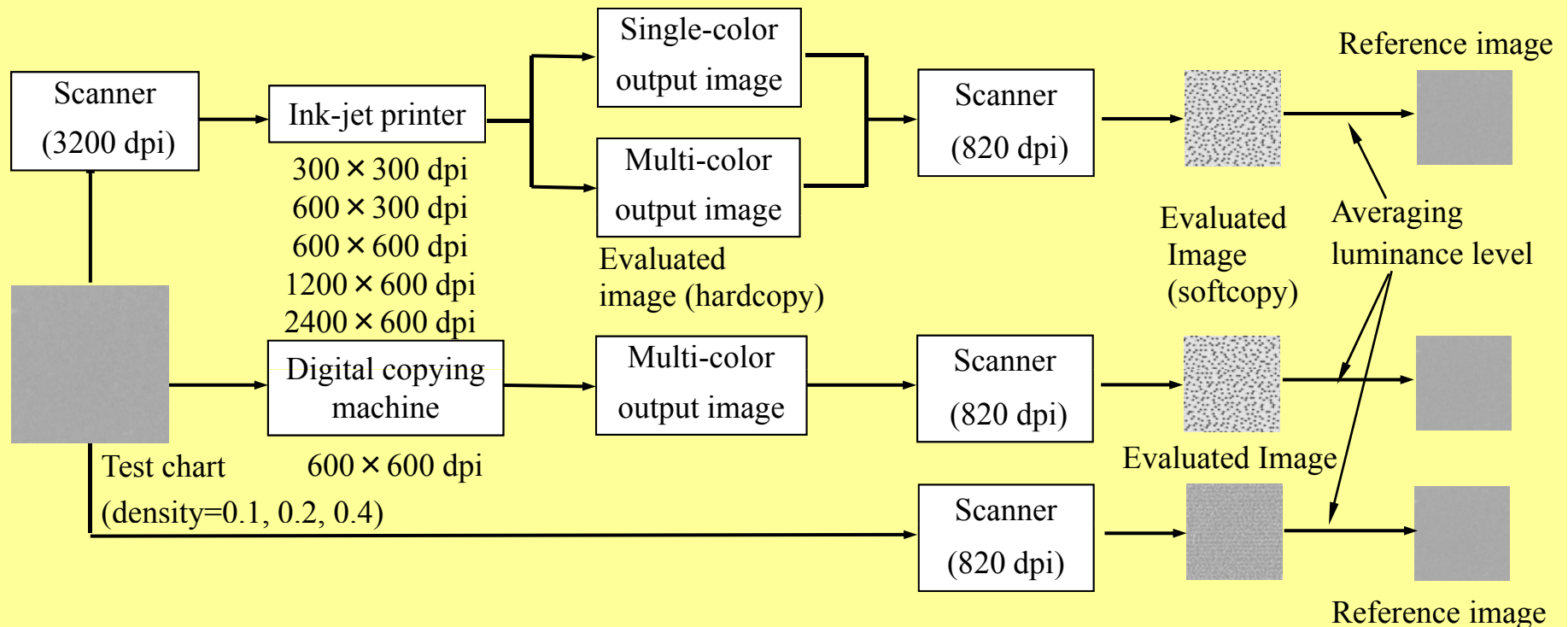
(解像度一定, 画点形成法が異なる)

インクジェットプリンタ

(解像度可変, 画点形成法は同じ)

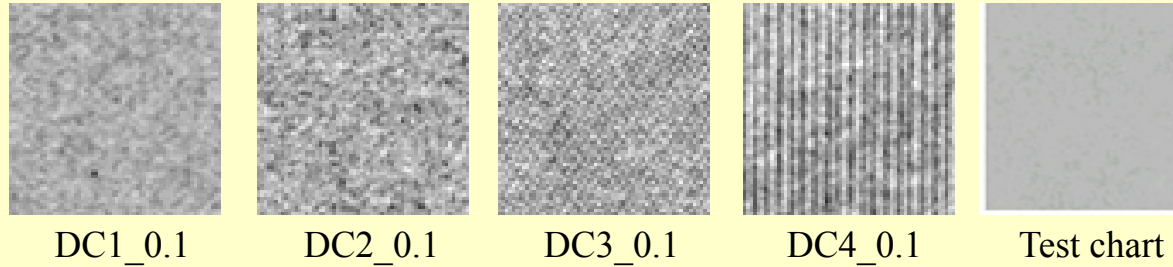
# 評価画像の種類と作成法

## インクジェットプリンタ(解像度可変, 画点形成法は同じ)

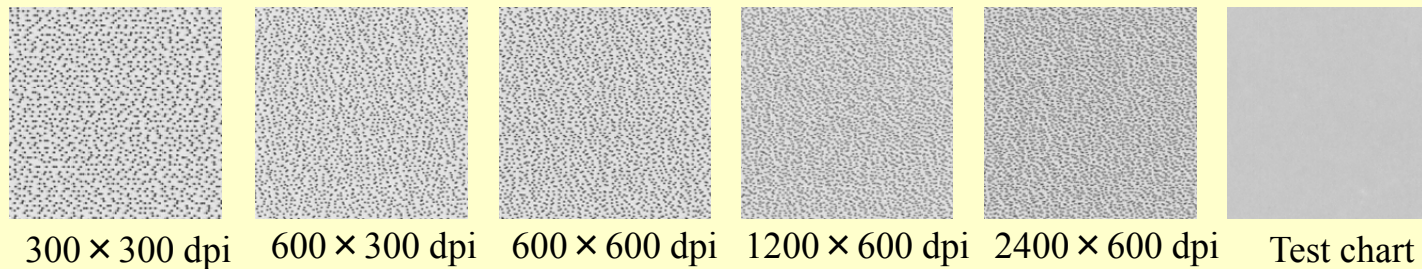


## デジタルカラー複写機 (解像度一定, 画点形成法が異なる)

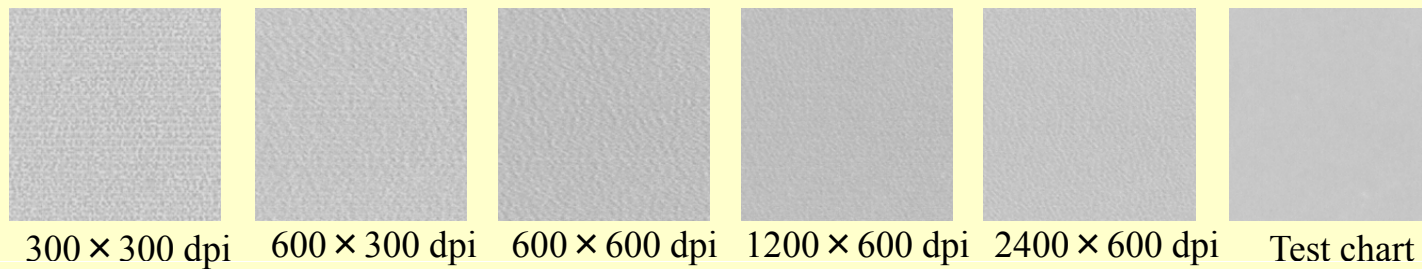
# 評価画像の例



(1) multi-colored images from four digital color copying machines (density=0.1)



(2) single-colored images from the color ink-jet printer (density=0.1)



(3) multi-colored images from the color ink-jet printer (density=0.1)



表1 各色画像に於ける主観評価値と協調視覚モデル法の相関係数値

	non-uniformity <i>MSL</i> uni				dot structure noise <i>MSL</i> dot			
	density=0.1	density=0.2	density=0.4	average	density=0.1	density=0.2	density=0.4	average
Yellow	-0.873	-0.943	-0.954	-0.923	-0.844	-0.920	-0.970	-0.911
Magenta	-0.966	-0.981	-0.962	-0.970	-0.869	-0.938	-0.969	-0.925
Cyan	-0.977	-0.977	-0.980	-0.978	-0.892	-0.954	-0.980	-0.942
Red	-0.952	-0.963	-0.967	-0.961	-0.926	-0.961	-0.961	-0.949
Green	-0.984	-0.979	-0.977	-0.980	-0.981	-0.985	-0.989	-0.985
Blue	-0.957	-0.958	-0.997	-0.971	-0.962	-0.989	-0.984	-0.978
Black	-0.976	-0.992	-0.993	-0.987	-0.973	-0.996	-0.992	-0.987

Ink-jet (single-color): -0.981 -0.985 -0.977 -0.914 -0.659 -0.854

Ink-jet (multi-color): -0.988 -0.986 -0.988 -0.989 -0.987 -0.966

表1 各色画像に於ける主観評価値とウィナースペクトル法の相関係数値

	noise wiener spectrum <i>GS</i>			
	density=0.1	density=0.2	density=0.4	average
Yellow	-0.854	-0.930	-0.871	-0.885
Magenta	-0.748	-0.834	-0.889	-0.824
Cyan	-0.757	-0.908	-0.941	-0.868
Red	-0.882	-0.933	-0.953	-0.923
Green	-0.898	-0.923	-0.969	-0.930
Blue	-0.869	-0.954	-0.968	-0.931
Black	-0.681	-0.803	-0.902	-0.796

Ink-jet (single-color): -0.972 -0.964 -0.923

Ink-jet (multi-color): -0.989 -0.956 -0.976

# 画像ノイズ評価の結果

## ウィナースペクトル法と協調視覚モデル法の性能比較

### 協調視覚モデル法の性能

- ・デジタルカラー複写機に適用可能
- ・インクジェットプリンタに適用可能

画点形成法や解像度が異なっても利用可能

### ウィナースペクトル法の性能

- ・デジタルカラー複写機に適用困難
- ・インクジェットプリンタに適用可能

画点形成法が異なると利用不可

解像度が異なっても利用可能

# 読みやすい文書構造の導出

- ・パソコン, インターネット, 電子書籍, 電子新聞など  
電子文書を目にする機会が増えている

➡ 電子的文書を読みやすい文書構造に変換する必要性

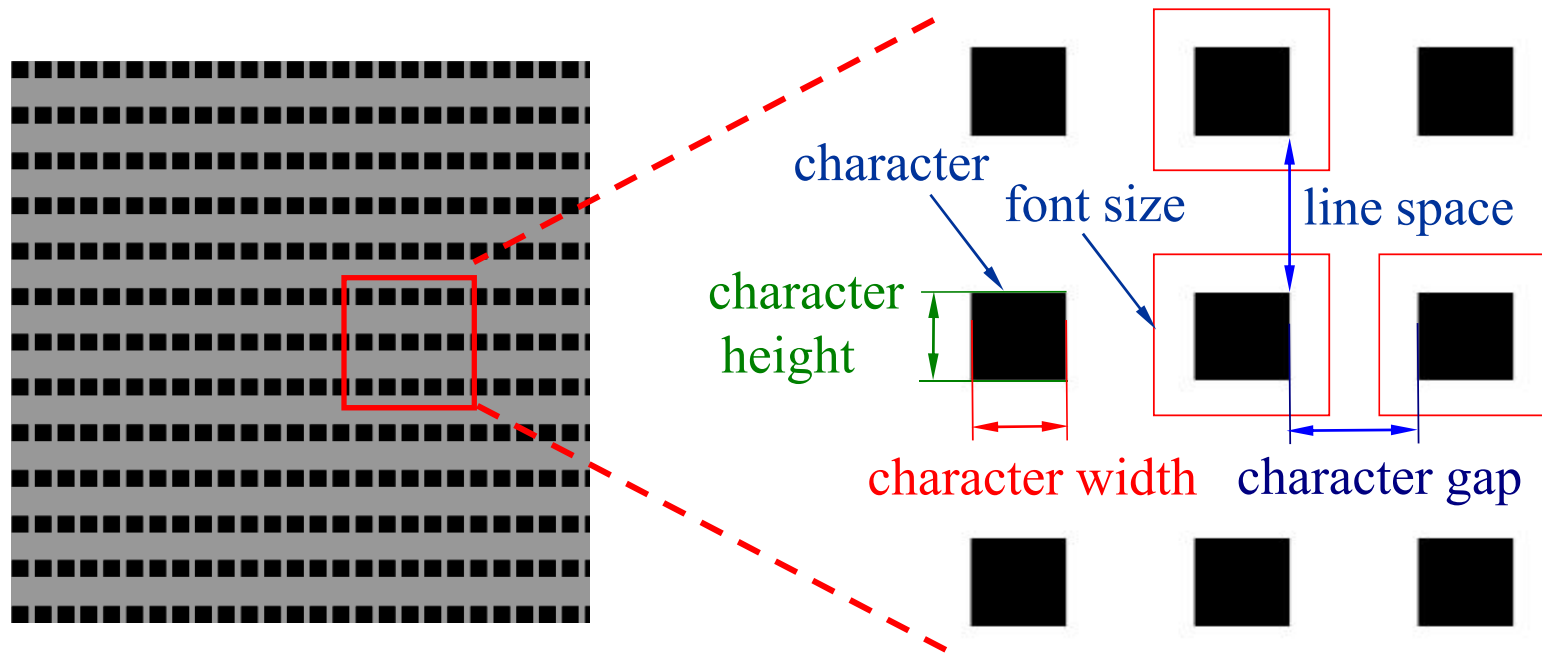
## (目的)

焦点調節という観点から, 文書を読む場合の  
行と行間隔の最適関係を理論的に導出する

## (方法)

自動焦点調節機構モデルが文書画像を観測  
した場合の応答を用いて, 最適行間隔を導出

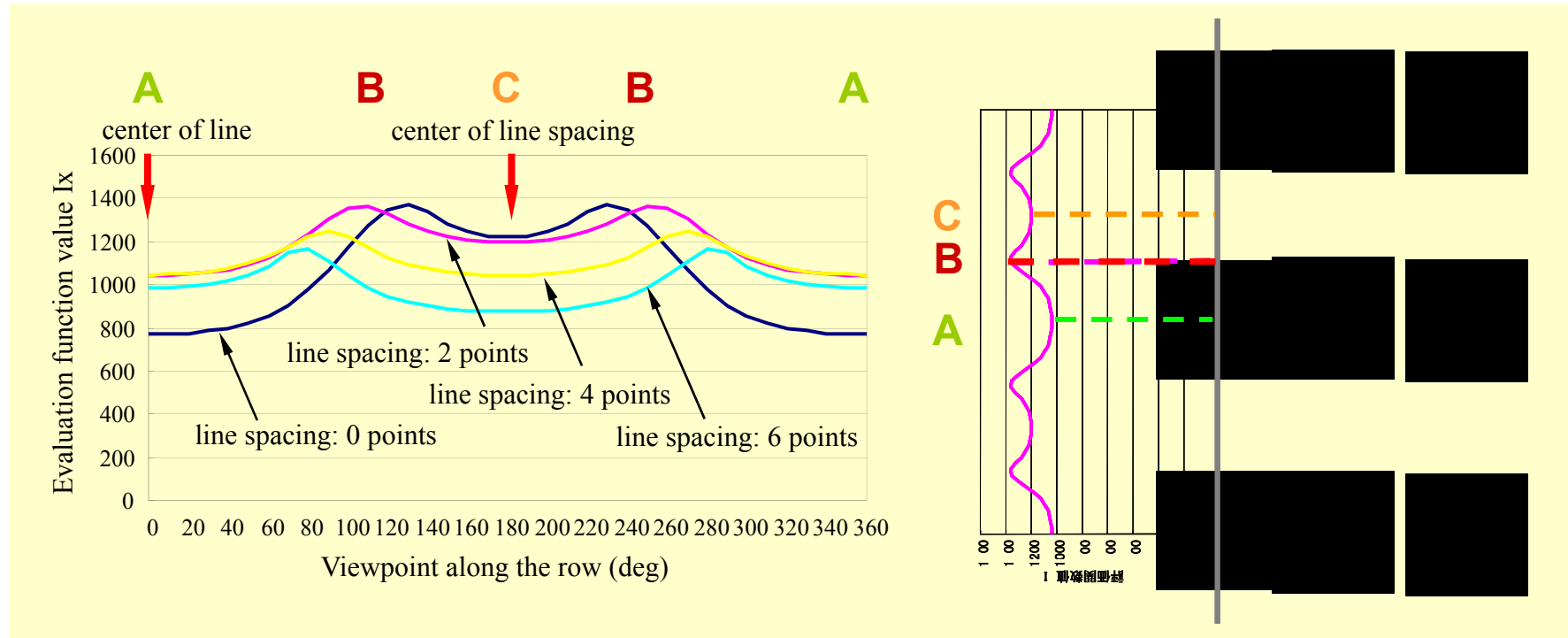
# 擬似文書画像



例 模擬文書画像

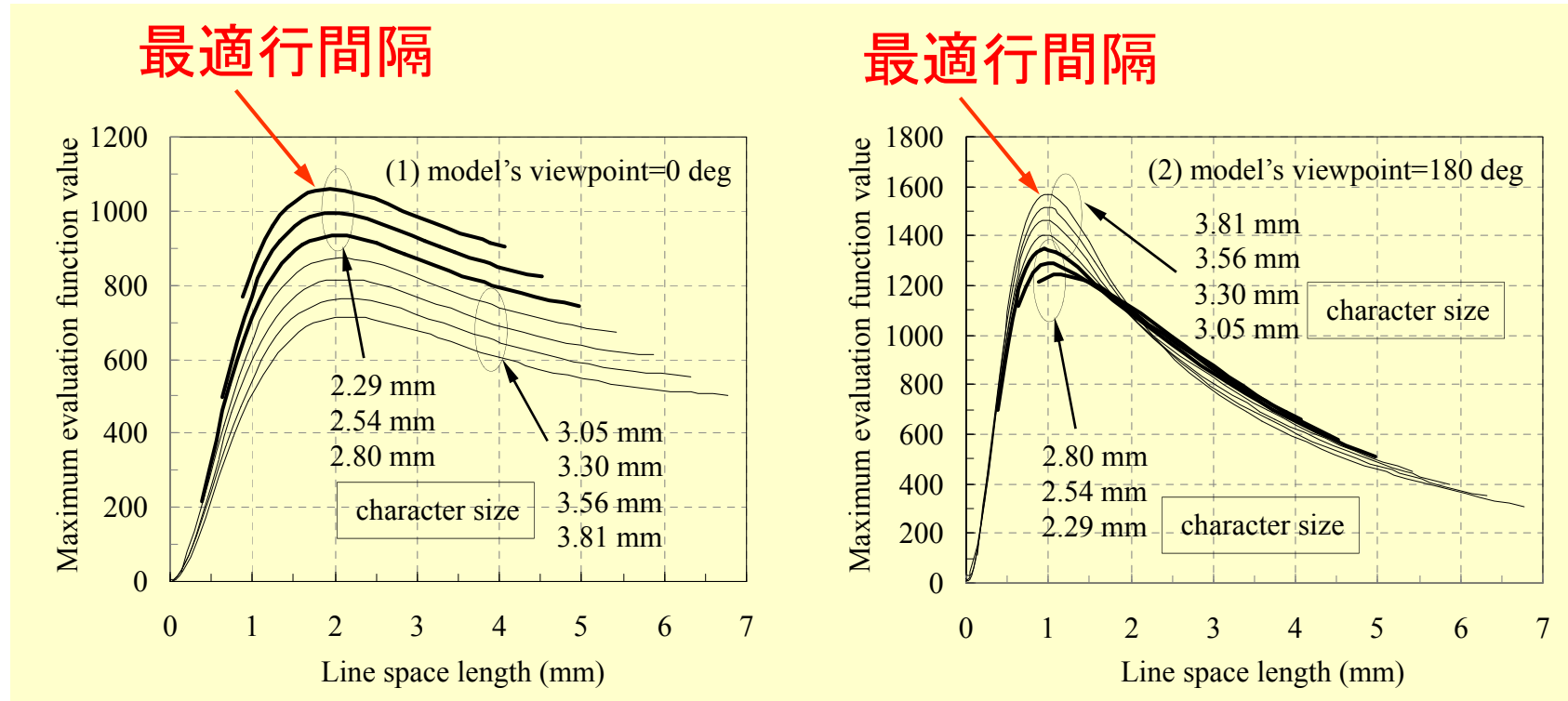
フォント15pt 行送り30pt 字送り10[1/1000em]

# 文書画像に対する焦点調節機構モデルの応答



- (1) 行の中心で評価関数は となる ( )
- (2) 行と行間隔の 目に於いて評価関数値は 大となる ( )
- ( ) 行間隔の中心 置で評価関数値は となる ( )
- ( ) 行と行間隔の中心で評価関数値を最大にする行間隔が存在

# 行間隔と焦点調節機構モデルの評価関数値



(1) 行の中心

(2) 行間隔の中心

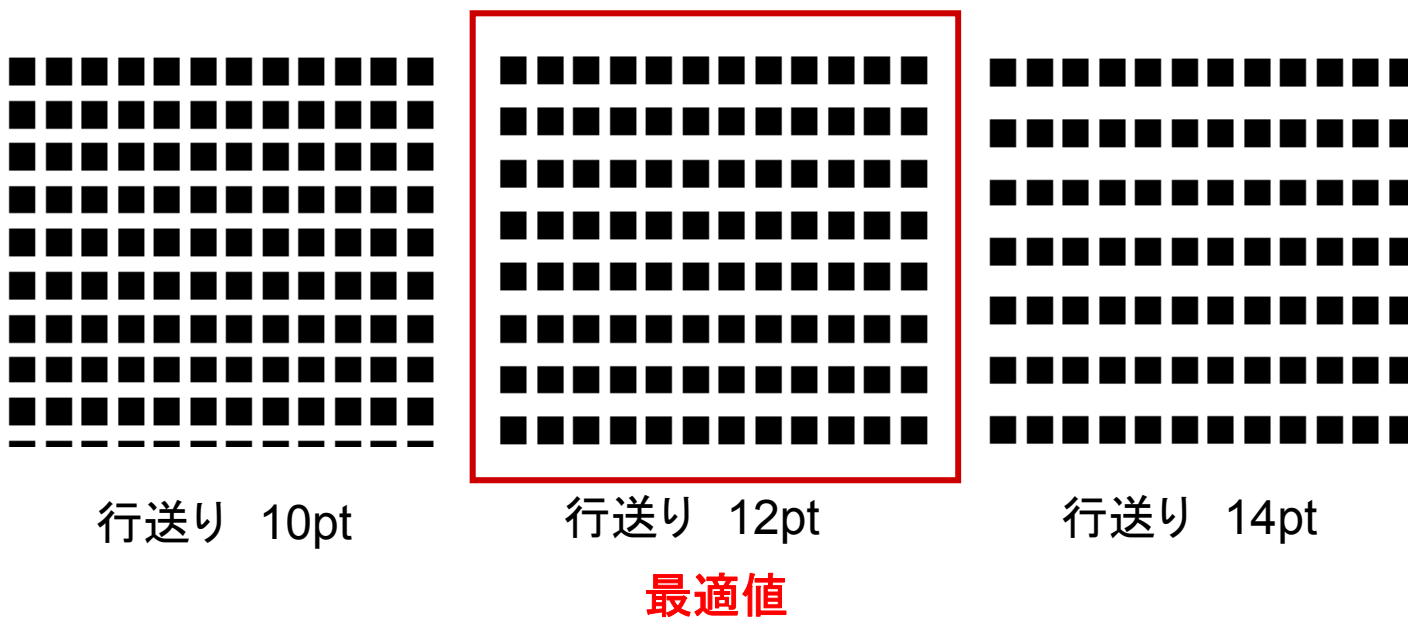
(1) 行の中心では、文字サイズの増加と共に最適行間隔は増加

(2) 行間隔の中心では、文字サイズが増加しても最適行間隔はほぼ一定

# 最適行間隔を用いた擬似文書画像の例

---

例：フォントサイズ9ptの場合（字送り10に固定）



# 自動焦点調節機構モデルの課題

---

(1) ハードウェア化, 専用LSI化

現在はソフトウェアで実現されている

(2) 計算速度の向上

最適化計算を行う為, 時間がかかる

(3) 人間工学応用に関するデータ整備

実用化に向けた詳細な検証実験