

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330308

研究課題名(和文) 焦点調節誤差の観点に基づく老眼者の為の適応的視覚インターフェース設計に関する研究

研究課題名(英文) Adaptive Design of Visual Interface for presbyopic people in Terms of Accommodation Error

研究代表者

松井 利一 (Matsui, Toshikazu)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：20302458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：健常者と老眼者の視知覚特性に及ぼす焦点調節誤差の影響を実験的に明確化するため、瞬間提示画像知覚実験と情報単語間隔最適値導出実験を行った。さらに、焦点調節機構モデルを用いた最適文書構造の理論的導出と、CT画像の最適表示法の基礎検討(視覚インターフェース)も行なった。その結果、画像知覚・認識には焦点調節誤差の存在が重要な役割を果たすこと、読み易い情報単語間隔には最大値が存在すること、焦点調節機構モデルから導出した最適文書構造が実測とよく一致し、CT画像表示サイズに最適値が存在する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：This research has conducted two experiments to clarify the influence of accommodation error on perceptual responses to healthy and presbyopic people. One is to switch instantaneously two images and examine the relation between the presentation time and the recognition rate for the second image; the other is to determine the optimal interval between information words composed of series of numbers. Furthermore, this research has accomplished a framework to develop visual interface systems based on the accommodation model by applying it to derivation of the optimal display condition for document and CT images. Consequently, the following results have been obtained. (1) Accommodation error plays an important role in image recognition; (2) There exists the maximum interval to make it easier to understand information words; (3) The theoretical optimal document display condition is almost the same as the experimental one; (4) There can exist the optimal display condition for CT images.

研究分野：視覚インターフェース

キーワード：感性情報学 焦点調節誤差 最適文書構造 焦点調節機構モデル 瞬間提示 情報単語間隔 視覚インターフェース CT画像最適表示

## 1. 研究開始当初の背景

次世代テレビ方式(スーパーハイビジョン、立体TV)の検討が進み、インターネット分野でも、スマートフォン、電子図書、電子辞典、電子新聞など何らかの電子ディスプレイに情報を表示する環境が今後ますます増加すると予想される。また、高齢化社会の進行により、老眼者の数も確実に増加すると予想される。このような状況の中で、電子ディスプレイの解像度、文書表示における最適行間隔・最適文字間隔、色再現法などの視覚インターフェースは、老眼者の視覚機能に適合していることが必要不可欠である。これは、将来の高齢者(老眼者)の豊かな知的生活環境の構築や生活の質(Quality of life)を向上させるためにも重要である。しかし、老眼者に適合した視覚インターフェース(適応的視覚インターフェース)としては、色の見え方を改善する方法以外は見当たらない。そもそも健常者と老眼者の視知覚特性(見え方特性)の違い自体が明らかになっている訳ではない。上記問題点の解決には、健常者と老眼者の視知覚機能の違いとその原因を明確化すると同時に、老眼者の視知覚機能を定量的にシミュレート可能な視覚系モデルを開発し、このモデルの応答出力に基づき、老眼者の為の適応的視覚インターフェースの設計法を確立することが一つの有効策と考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、健常者と老眼者の焦点調節誤差特性の違いから生じる両者の視知覚特性(見え方特性)の違いを明確化し、この違いを定量的にシミュレート可能な視覚系モデルに基づいて老眼者のための適応的視覚インターフェースの設計法を確立することにより、将来の高齢者の豊かな知的生活環境の構築や生活の質(Quality of life)の向上に寄与することにある。具体的には以下の2点を目指す。

- (1) 健常者と老眼者の焦点調節誤差特性の違いに着目し、この違いが両者の視知覚特性(見え方特性)にどのような違いを生じさせるかを多彩な画像刺激を用いた心理学的実験により明確化する。
- (2) 既に開発した焦点調節機構モデルを、上記(1)の実験結果のシミュレートが可能なモデルに拡張し、このモデル応答に基づいて老眼者に適合した視覚インターフェースの設計法を確立し、適応的表示システムに応用する。

## 3. 研究の方法

以上の観点から本研究では、以下の2点に従って研究を進める。

### (1) 健常者と老眼者の視知覚特性(見え方特性)の違いに関する心理学的実験

老眼者のための適応的視覚インターフェースの開発には、健常者と老眼者の視知覚特

性(見え方特性)における違いを明確化することが必須である。健常者と老眼者の視覚機能の一つの違いとして、健常者では提示画像の性質に依存して網膜像のボケの程度が適応的に変化するのに対し、老眼者では網膜像のボケの程度は変化しないことが挙げられる。本研究では、両者の焦点調節誤差特性の違いに着目し、この違いが両者の視知覚特性に及ぼす影響を明確化する。焦点調節誤差特性と視知覚特性の因果関係を踏まえた研究手法により、老眼者に適合した視覚インターフェース開発においてより多くの情報提供が可能となり、老眼者への適合度がそれだけ向上すると予想される。具体的には、瞬間提示画像知覚実験と情報単語間隔最適値の導出と文書画像の最適表示条件(最適行間隔及び最適文字間隔)の導出により両者の違いを心理学的に明確化する。

### (2) 視覚インターフェースの最適設計への適用

健常者と老眼者の焦点調節特性の違い、即ち、提示画像の性質に依存して網膜像のボケが適応的に変化するか、しないかという焦点調節誤差特性に着目し、この特性の違いから生じる両者の視知覚特性(見え方特性)の違いに基づいて老眼者のための適応的視覚インターフェースを設計する。視覚インターフェースの最適設計の例として、文書画像を読み易くするための最適表示条件(文字と文字間隔、行と行間隔の最適関係)の理論的導出と医療分野で頻繁に使用されるCT画像を撮影する際の最適表示サイズの理論的導出に適用し、焦点調節機構モデルが視覚インターフェースの最適設計の為の基盤技術になりうることを検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 瞬間提示画像知覚実験による視知覚特性(見え方特性)の解明

本研究では、焦点調節誤差と画像知覚・認識の関係性、さらに、画像が瞬間的に切り替わる際の画像知覚・認識特性を明らかにするために、異なる焦点調節誤差を誘導する2枚の画像(第一、第二画像)を瞬間的に切り替え、第二画像の提示時間と画像知覚・認識の正確さ(正答率)の関係を調べる。具体的には、3点並び画像と誤差拡散画像(英文字と図形)で構成された第一画像と第二画像を瞬間的に切り替えて提示した後、第一画像と第二画像の内容(3点の並び方向、英文字、図形の長軸)を答えてもらい、その正答率を導出する。図1は、実験に用いる3種類の画像例である。図1(1)(a)は、1画素の黒点を2画素間隔で3点並べた3点並び画像の例であり、(1)(b)は、3点並び部分の拡大画像である。3点の並び方は、縦、横、右斜め、左斜めの4種類である。図1(2)は、6種類の英文字(E, F, I, J, U, V)の白黒画像を誤差拡散画像に変換した画像例であり、(a)、(b)は

355 point の英文字 E と U の誤差拡散画像例（誤差拡散画像大）である。図 1 (3) は、2 種類の図形（縦長と横長の楕円と長方形）の白黒画像を誤差拡散画像に変換した画像例であり、(a) は縦長楕円図形の誤差拡散画像例（誤差拡散画像大）、(b) は横長長方形図形の誤差拡散画像例（誤差拡散画像大）である。

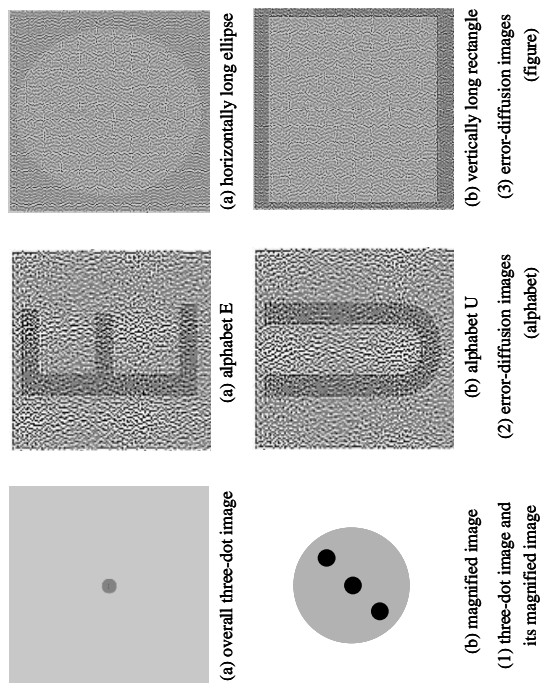


Fig. 1 Image samples used in the experiment

図 2 は、第二画像に対する正答率と第二画像の提示時間の関係を表わし、被験者 10 人の正答率とそれらの平均値（緑プロット）が重ねられている。図 2(1) は 3 点並び画像から 3 点並び画像へ切り替わる場合である。図 2(1)（3 点並び画像 > 3 点並び画像）から、以下の結果が得られた。

- (1) 第二画像に対する正答率は、第二画像への切り替わり直後はかなり低下するが、第二画像の提示時間の増加に伴い回復し、提示時間 50 ms 以上で 90 % 以上の平均正答率に到達した。
- (2) 第二画像の提示時間が短い場合は被験者の違いによる正答率のばらつきが大きい、第二画像の提示時間の増加に伴い正答率のばらつきは減少した。

図 2(2)（誤差拡散画像大 > 3 点並び画像）から、以下の結果が得られた。

- (1) 第二画像に対する正答率は、第二画像への切り替わり直後はかなり低下するが、第二画像の提示時間の増加に伴い回復し、提示時間 160 ms 以上で 90 % 以上の平均正答率に到達した。
- (2) 第二画像に対する平均正答率が 90 % に達する時間（認識時間）は、第一画像と第二画像が同種類の画像（図 2(1)）の場合よりも明らかに増加した。
- (3) 第二画像の提示時間が短い場合は被験者の違いに基づく正答率のばらつきが大

きいが、第二画像の提示時間の増加に伴い正答率のばらつきは減少傾向を示した。以上のように、同程度の焦点調節誤差が誘導される画像同士を切り替える（図 2(1)）よりも、異なる焦点調節誤差が誘導される 2 枚の画像を切り替えた（図 2(2)）の方が第二画像に対する認識時間が長くなるのは、焦点調節誤差が画像の知覚・認識特性に影響を及ぼしているからであり、焦点調節誤差と画像知覚・認識の間関係性の存在を示唆すると考えられる。

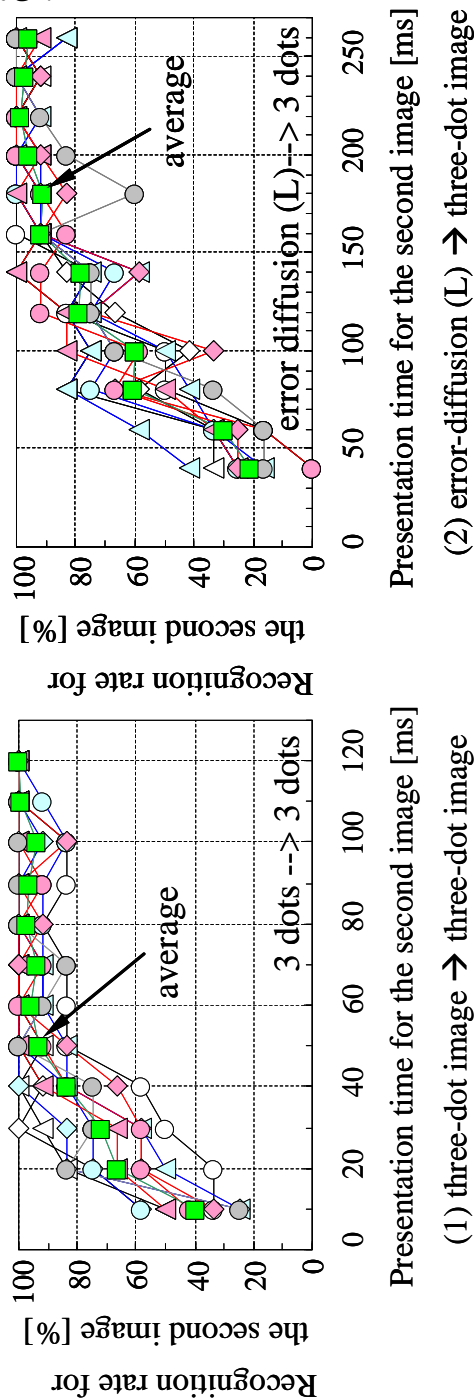
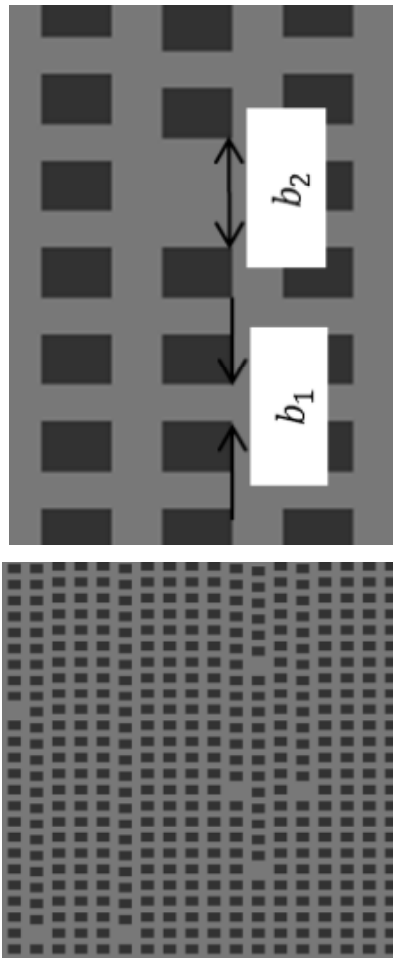


Fig. 2 Ten-subjects' recognition rate for the second images as a function of the second image's presentation time

(2) 情報単語間隔最適値の導出による視知覚特性(見え方特性)の解明

車のフロントパネルの液晶ディスプレイには、搭乗者へ情報を提供するために様々な数字情報が表示されており、車内空間の快適性に関する研究開発が進展して行くのに伴い今後さらに提供される情報量は増加すると予想される。しかし、比較的小さなディスプレイにわかりやすく情報表示する方法論に関しては必ずしも明らかではない。本研究では、わかり易い情報表示のための方法論を確立するための第一歩として、数字情報をわかりやすく表示するための最適配置間隔を心理実験に基づいて明確化することを試みる。



(a) 全体画像 (b) 一部拡大図  
図 実験に用いた表示画像例

図 3 は、数字の「8」を模擬した長方形の黒を一定の文字間隔 ( $b_1$  [mm]) をあけて並べ、さらに、数箇所文字間隔の幅を  $b_2$  [mm] (数字情報間隔) に変化させた画像例であり、図 3(a) は全体図、(b) は一部を拡大した図である。1 枚の画像の中に、文字間隔 ( $b_1$ ) < 数字情報間隔 ( $b_2$ ) となっている箇所が 7 つ存在し、この 7 箇所を知覚するのに必要な探索時間を実測することにより、数字情報間隔の最適値 (最適配置間隔) を導出する。数字「8」を模擬した長方形の大きさは小、中、大の 3 種類、長方形の高さ (文字高さ) は  $h$

[mm]、長方形の幅 (文字幅) は  $w$  [mm] とする。文字間隔  $b_1$  は、3 種類の長方形の各々に対して 4 種類ずつ用意した。数字情報間隔  $b_2$  は、0.31 mm から  $w$  と  $b_1$  の和の 2 倍までの長さを約 10 等分した間隔を設定した。画像は白黒画像であり、長方形内の輝度レベルを 53、背景の輝度レベルを 55 とした。実験手順は、(1) 「8」を模擬した長方形の大きさと文字間隔  $b_1$  を固定し、(2) 数字情報間隔  $b_2$  が異なる 10 枚の画像を 1 枚ずつランダムに表示し、(3) 文字間隔 ( $b_1$ ) < 数字情報間隔 ( $b_2$ ) または  $b_1 < b_2$  となっている 7 か所を、被験者がすべて探索し終わるまでの探索時間  $t_s$  [sec] を測定し、(4) 以上の実験を、長方形の大きさ 3 種類と文字間隔  $b_1$  の 4 種類の合計 12 回繰り返した。

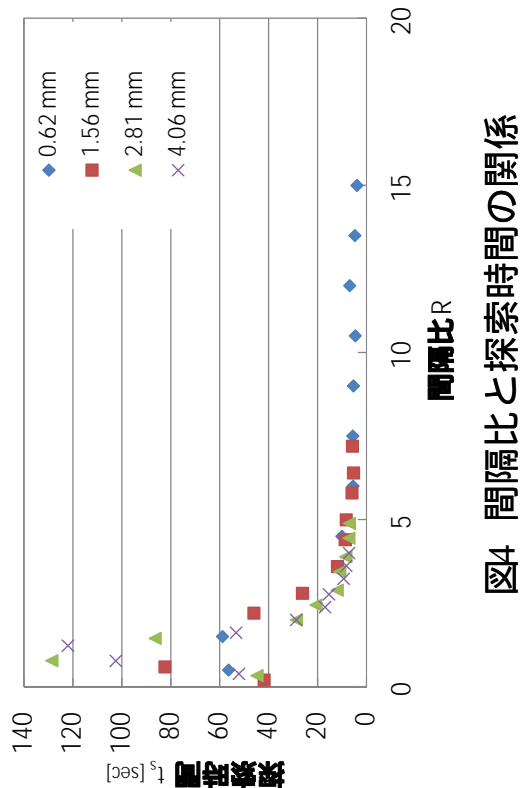


図 4 は、数字の「8」を模擬した長方形の大きさが中の場合で、文字間隔  $b_1$  をパラメータ (0.62, 1.56, 2.81, 4.06 mm) として表示した間隔比  $R$  (数字情報間隔  $b_2$  / 文字間隔  $b_1$ ) と探索時間  $t_s$  の関係である。長方形の大きさが小、大のときも概ね同様の結果となった。図より、文字間隔  $b_1$  に関係なく、(1) 間隔比  $R$  が 1 未満では、間隔比  $R$  の増加に伴い探索時間が増加し、(2) 間隔比  $R$  が 1 ( $b_2 = b_1$ ) の近辺で探索時間が最大となり、(3) 間隔比  $R$  が 1 より大きい場合、間隔比  $R$  の増加に伴い探索時間が減少し、ほぼ一定値に収束することがわかる。間隔比  $R=1$  の近辺で探索時間が最大になるのは、この条件で文字間隔と数字情報間隔がほぼ等しくなり、区別が付きにくいからである。間隔比  $R$  が減少または増加すると探索時間が減少するのは、この条件で文字間隔と数字情報間隔の差が



大きくなり、数字情報間隔が目立つからである。数字情報間隔が目立つことは、数字情報が分離して見えることを意味するので、それだけ情報提示に適した条件であることを意味する。探索時間がほぼ一定値から増加し始めるときの間隔比  $R$  の値は、長方形の大きさが小中大の順に  $R = 4, 3.5, 3$  であり、これらの数値はこれ以上の値は必要ないという観点から最大配置間隔と考えられる。

(3) 文書を読み易くするための最適表示条件の導出(行と行間隔の最適関係)

既に定式化してある焦点調節機構モデル(図5)の視覚インターフェースへの応用の一環として、文書を読み易くするための最適表示条件(行と行間隔及び文字と文字間隔の最適関係)を理論的に導出する計算方法の枠組

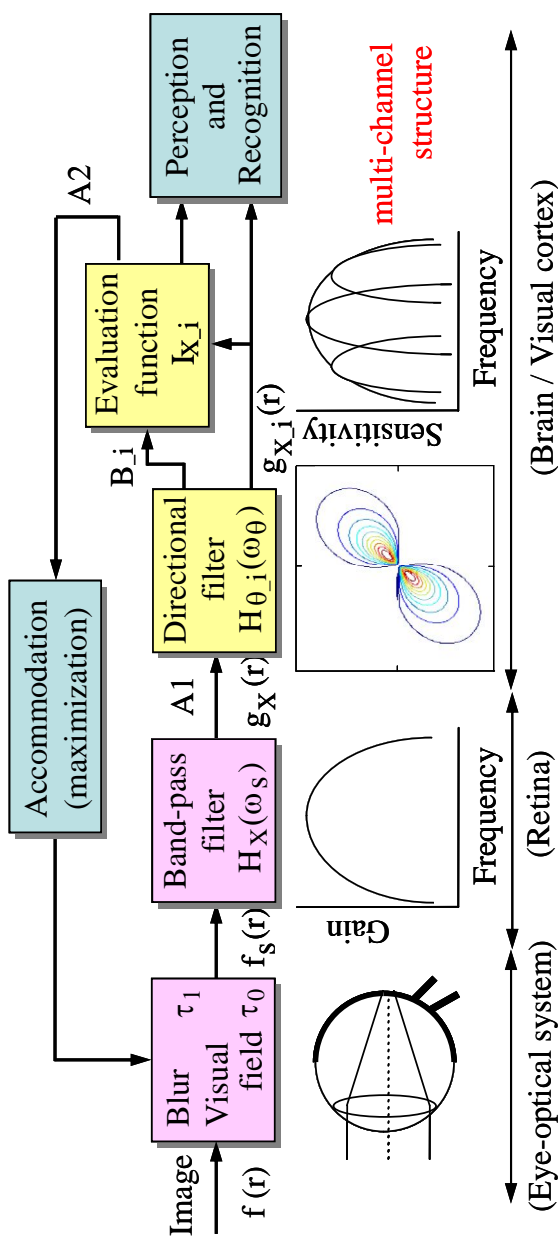


図5 2次元焦点調節機構モデルのブロック図

みを確立した。具体的には、文字を四角形の升目(黒)で単純表現した文書画像(擬似文書画像)を解析対象とし、行と行間隔または文字と文字間隔の関係を变化させた場合の焦点調節機構モデルの応答特性を計算した。その結果、評価関数値は、視点位置 0 deg(行中心)で極小になり、文字を模擬した黒のエッジ位置で極大になること、行中心では、評価関数値が極大になる行送りが存在することがわかった。評価関数値は、その視点位置における画像の目立ちやすさの程度(印象の強さ)を表す数値として定義されており、大きくなるほど目立つと解釈される。従って、これは、行中心を見た場合、行として最も目立つ行間隔が存在すること、即ち、行と行間隔の最適関係(最適行間隔)が存在することを意味すると考えられる。同様に、文字と文字間隔の最適関係の存在も導出可能である。これは、文書画像の最適表示条件が焦点調節機構モデルから理論的に導出可能であることを意味する。図6は、焦点調節機構モデルを用いて理論的に導出した(最適行間隔/文字高)値と文字高さの関係と心理実験で求めた関係の比較である。文字種は、黒と漢字「国」であり、心理実験は「白抜き黒」「ひらかな」「漢字+ひらかな」「実文書」の結果、及び従来の進路実験結果も追加した。図5から、理論的に導出した最適文字間隔が実測結果とほぼ同様の特性であり、最適文字間隔に及ぼす焦点調節誤差の影響が理論的に議論できることが確認できた。以上は、焦点調節

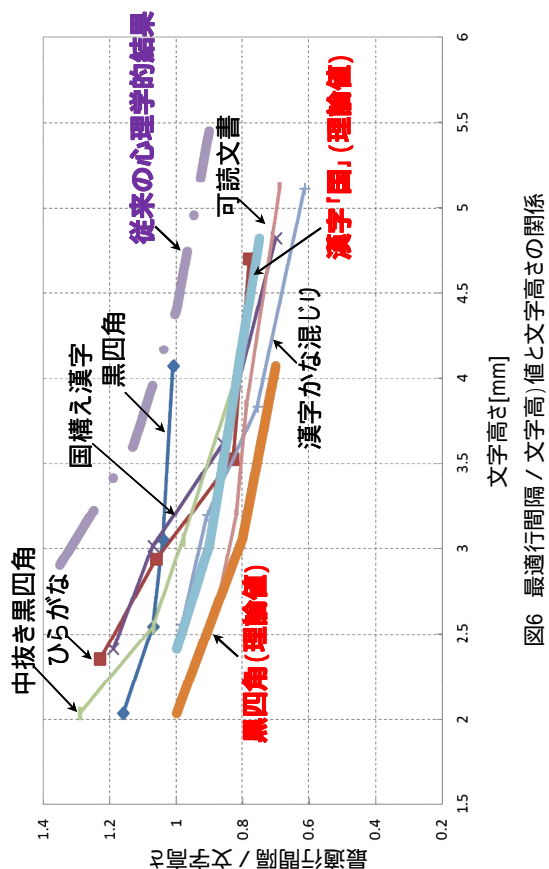


図6 最適行間隔/文字高さ値と文字高さの関係

機構モデルの有効性・正当性を示すものであり、視覚インターフェースの最適設計法を確立する為の基盤技術になり得ると考えられる。

**(4) CT 画像を読影する際の最適表示サイズの理論的導出(視覚インターフェースの最適設計)**

本研究では、CT 画像を読影する際の最適表示サイズを理論的に導出することを目的に、ヒトが CT 画像を観察した場合の読影し易さを表わす主観的判断を焦点調節機構モデルを用いて定量化する客観的医療画像評価法開発の基本的枠組みを開発する。

正常患者の肺実質内に実測で 5mm, 10mm, 20mm となる結節(円画像)を画像処理ソフトで作成したファントム画像を用意した(図 7 a)上段)。また、5 ピクセルの範囲で結節の境界を選択し、ガウシアンフィルタ処理により辺縁をぼかした画像も作成した(図 7 a)下段)。モニタの解像度を 96 dpi、視距離を 60 cm に固定したので、96 dpi のモニタ上の画像が網膜上では 410 dpi の解像度で観察されるように提示画像を拡大処理して焦点調節機構モデルへの入力画像とした(網膜中心窩での視細胞間隔が約 1.73 μm)。その結果、20mm の結節では、結節の辺縁部において評価関数に 2 つの明瞭なピークが現れること(図 7 d)下段)、これに対し、5mm の結節では 1 ライン分の画像の輝度値に明瞭なコントラスト差が認められた(図 7 c)上段)が、焦点調節機構モデルによる評価関数値ではあまりはっきりした変化は認められなかった(図 7 c)下段)。さらに、ボケ処理を施した結節については、非常に低い評価関数値を示

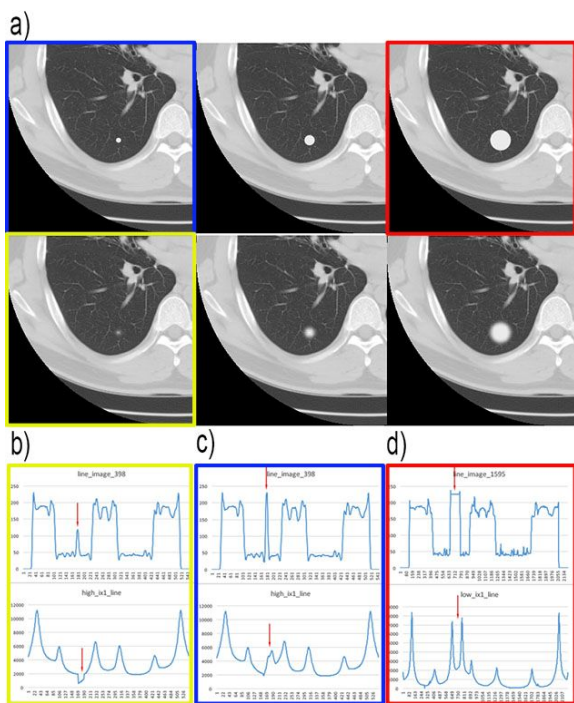


図 7 CT 画像の例と焦点調節機構モデルの評価関数値

すなど、焦点調節機構モデルの評価関数値が結節の大きさや表示画像サイズに依存して変化することが明確化され、CT 画像の最適表示条件が理論的に議論できる可能性を示す。

**5. 主な発表論文等**

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- [雑誌論文](計 0 件)
- [学会発表](計 3 件)
- (1) 松井利一, 梁島直人: “画像切り替わり時の画像知覚特性に及ぼす焦点調節特性の影響”, 電子情報通信学会技術研究報告ヒューマン情報処理研究会 HIP2016-53, Vol. 116, No. 229, pp. 51-56, (2016), 9月28日 奈良県新公会堂, 奈良
- (2) Yugo Yonezu, Taiki Tokui, Naoto Ishikawa, and Toshikazu Matsui: "Psychological Derivation of Optimal Line Space for Legible Japanese Documents Based on Scheffe's method of paired comparison", Proc. of the 21th International Display Workshops (IDW'14), VHF4-3, pp. 996-999, December 3-5, 2014, TOKI MESSE Niigata Convention Center, Niigata, Japan.
- (3) 米津 有吾, 石川 直人, 松井 利一: “心理実験に基づく日本語文書を読み易くする最適行間隔の導出”, 電子情報通信学会技術研究報告ヒューマン情報処理研究会 HIP2014-57, Vol. 114, No. 226, pp. 75-80, (2014), 9月26日 奈良県新公会堂, 奈良

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]  
ホームページ等

**6. 研究組織**

- (1) 研究代表者  
松井 利一 (MATSUI TOSHIKAZU)  
群馬大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20302458

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号:

(3) 連携研究者