

## 視覚的注意効能のマップ表現構築に向けて

神原 聡<sup>†1</sup> 大羽 成 征<sup>†1</sup> 石井 信<sup>†1</sup>

視覚的注意が向いた対象において、反応速度や知覚感度が向上する。我々はこの現象を一般に注意効能の向上と呼ぶ。近年まで、顕著度マップと視線方向との関係がさかんに研究されてきたが、視線と注意自体の方向は一般には一致しない。そこで本研究では、視野空間における注意効能の度合いの分布（注意効能マップ）を構築し、これが視線予測に成果のある顕著度マップなどの関連研究と異なることを示そうとしている。本発表では、視線方向と注意効能マップが一定の独立性を持つことを準備実験結果から示す。

### 1. 序 論

人間をはじめとする霊長類は、視覚的注意のおかげで生活環境における生存確率を高めている。たとえば、パートナーや食物となる獲物、自身を脅かす外敵の発見などは生活において重要であり素早く行われるべきである。しかし、我々が持つ視覚情報処理能力は限定されており<sup>10)</sup>、目から入力された膨大で複雑な視覚情報をすべて瞬時に処理することはできない。そこで、入力情報を選別し、その一部についてのみ情報処理リソースを重点配分することが合理的である。この配分プロセスを「視覚的注意」といい視覚情報処理において重要な役割を果たしているため、生物学や心理物理学、情報学など様々な分野で研究されている<sup>9)</sup>。

視覚的注意が向く先の捉え方は様々である。例えば、網膜座標上の位置（位置への注意）やひとかたまりの物体（オブジェクトへの注意）、色や形状など特定のモダリティ（特性への注意）などが考えられる。また、注意の向く先が単数である場合、複数である場合が考えられる。本研究では、網膜座標上の注意濃度マップによって視覚的注意の向き先を表現する。これは、複数位置への注意の大きさを、網膜座標上ピクセルの濃度数値で表現したものであり、特別な場合としてオブジェクトへの注意を含み、対象が単数である場合も複数である場合も一般に扱うことができる。特性への注意は含まないが、拡張は容易だと考えられる。

網膜座標上の濃度マップにより視線方向を予測する研究は以前から行われている。例えば Itti らによる「顕著度マップ<sup>8)</sup>」が有名である。顕著度マップは、「特徴統合理論<sup>13)</sup>」を元にしており、入力画像・動画の持つ色や輝度情報などの低次元特徴から算出された顕著度を網膜座標所マップとして表現することで、被験者の視線の選好方向を予測する。このことから顕著度マップはヒトの視覚のボトムアップ的注意のモデルとして妥当なものと考えられている。

しかし視線と注意自体の方向は一般には同一視できない。例えば Klein らは注意と眼球運動の関係を表現するモデルを作成し、相関はあるものの両者は独立であると実験結果より示した<sup>6)</sup>。後に Hunt らは注意と眼球運動の関係を調べた実験結果<sup>1)</sup> から、Klein の主張を支持している。また、眼球運動と注意に関連する脳部位は独立して存在するという研究も存在し<sup>2),7)</sup>、神経科学の観点からも両者の独立性は支持されている。また、複数位置や複数物体へ同時に向けられた注意を単一の視線方向から知ることは困難である。以上より視線と注意自体の方向は切り分けて考える必要がある。

視線によらずに注意自体の向く方向を知るために、本研究では注意自体の機能に着目する。人間が視覚的注意を特定の位置やオブジェクトに向けたとき、その位置やオブジェクトに関連して反応速度や知覚感度が向上するなどの心理効果が期待される。注意を向けたときにその対象に関連して観察されるこのような心理効果を一般に「注意効能」と呼ぶ。注意効能は網膜座標上の各点で異なると考えられる。例えば、「非注意による見落とし (inattentive blindness)<sup>3)</sup>」として知られる事例では、注意を向けている場所以外では知覚感度が著しく落ちる。困難な形状識別タスクでは、注意位置と非注意位置に表示されるターゲットでは正解率に大きな差が見られる。そこで、注意効能の空間的な強弱分布から注意自体の方向を知ることができる可能性がある。

本研究のゴールは、注意効能の濃度分布を予測するマップを作成することである。しかし、このゴールに至るために必要な検討事項は多い。重要なものとしては以下が挙げられる。

- (a) 注意位置を効率よく計測的に知るためには、どのような注意効能に着目すればよいか。どの程度の分量の観測が必要か。
- (b) 注意自体以外に注意効能に影響を与える要因にはどのようなものがあるか。
- (c) 視線方向は、注意効能にどの程度の影響を与えるか。
- (d) 視線方向の影響を、注意自体の影響と分離することは可能か。

そこで、ゴールへ向かう準備段階として、とくに視線方向を固視点に固定することを前提として、(c) (d) の論点について準備実験を行い、その結果を検討した。本発表では、この

<sup>†1</sup> 京都大学大学院 情報学研究所 システム科学専攻

結果として、視線方向の影響が大きいこと、しかし視線方向の影響を補正のうえで注意自体の影響が検出可能であることを示す。一方で、注意位置を知るための解像度を高めることが難しいことも示されたので、これを高める方法について議論し検討する。

## 2. 注意効能

本章では、本研究で我々が使用する注意効能とそのマップ化、そして注意方向と視線方向の関係について述べる。

### 2.1 注意効能とは

注意を向けることにより、限定された対象に対して情報処理リソースが重点配分されることで知覚速度や知覚感度などが上昇する。このような注意による知覚能力への影響を、我々は一般に「注意効能」と呼ぶ。注意効能は視覚タスクにおいて観測することができる。例えば特定の色や形状を持つターゲットを呈示し、被験者に解答を求めるタスクを行った場合、注意を向けている対象(位置)と向けていない対象(位置)の間には、正解率の差が生じる<sup>3)</sup>。注意効能は被験者がどの対象(位置)に注意を向けているかを知る手がかりとなる。

### 2.2 マップによる注意方向予測

ある瞬間の網膜像から、注意や視線が向く位置座標を予測する手法として濃度マップによる表現を考える。濃度マップは映像中、1ピクセル毎に濃度数値を持ち、数値が大きいほどその点に注意が向きやすい。この濃度値の決定方法に関する研究は多数あり、Itti らによる顕著度マップ(saliency map)<sup>8)</sup>が代表的である。顕著度マップは特徴統合理論<sup>13)</sup>に基づいて考案された顕著度による濃度分布マップである。様々なスケールで低次の特徴情報(色、輝度、向き)から複数枚の顕著度マップを生成し、それらを最終的に統合した一枚のマップから人の注意(視線)をひきつける強さを見積もる。実際の人の視線データとの比較では、良い性能を示している。

我々はこの視線の代わりに、注意効能によって濃度マップを評価し、注意方向の予測の良し悪しを評価する。前節で述べたとおり、注意効能の強弱は注意方向を知るための尺度として使用できる。具体的なデータとしてタスクの正解率や反応速度などから注意効能のマップを生成し、注意が視界中のどこに向きやすいかを予測する。ここで注意したいのは、顕著度マップなどとは異なり注意効能マップは視線方向ではなく注意方向を予測するという点である。顕著度マップでの性能検証は視線データのみを使用しているため、視線方向の予測の検証にはなっているものの、注意方向の予測として正しいかどうかの証明にはならない。

## 2.3 注意方向と視線方向

視線方向と注意方向の予測に関して議論する前に、まず眼球運動と注意の関係について述べる。眼球運動と注意に関する研究は多数あり、両者の関係性に対して様々な主張がなされている。例えば Hoffman らは実験から、サッカード眼球運動と注意は強い相関を持つと述べている<sup>5)</sup>。注意は眼球運動を行う際の副産物にすぎないという仮説も提唱されており、「注意の前運動理論<sup>12)</sup>」と呼ばれる。この様に、注意と眼球運動には非常に深い関係があると主張する研究がある一方で、関係性はそれほど強くなく、独立したものであると主張する研究も多数存在する<sup>1),6)</sup>。ただし、彼らは注意と眼球運動が完全に独立していると主張しているわけではなく、多少の相関があると結論づけている。

これらの議論を踏まえた上で、我々は注意と眼球運動は相関をもつが、独立に作用するものと仮定し議論をすすめる。これはつまり、眼球運動方向と注意方向とが必ずしも一致しないことと同義である。その結果、注意による注意効能と視線による注意効能は異なるものであり、独立に生じるのである。具体的に言えば、視線位置のタスク正解率は当然上がるが、視線と異なる位置に注意を向けた場合には、視線とは関係がないにもかかわらず正解率は上昇する。このような視線位置と注意位置における注意効能の違いを示すためには濃度マップによる表現が効果的である。本研究の目標である、視線データからではなく注意効能から濃度マップを生成するために、注意と視線の切り分けは重要である。

## 3. 実験方法

被験者実験から注意効能の濃度マップを作成するために注意効能の一例として識別タスクの正解率を測定する実験を行った。とくに濃度マップが以下の2点の影響を反映することを確かめることを第1の目的とする。

- (1) 注意位置の違いの影響
- (2) 固視点・注意点間距離の影響

また、得られる注意効能濃度マップの解像度を知ることを第2の目的とする。

### 3.1 実験設定

被験者は健常な20代男性1名である。被験者の頭をあご台に固定し、ディスプレイを見せる。被験者の視線を固視点位置に固定した上で、画面中のランダムな位置に一定時間表示される線分の向きを回答させ、その正誤を記録する。記録したデータを使用し、各タスクにおける正解率を算出し濃度マップを作成する。解析手法の説明は3.2節でおこなう。

本実験の1タスクは800トライアルからなり、1トライアルは以下のStep1からStep5

までの行程からなる (図 1, 2)。1 タスクは約 2 時間のうちに連続して行うが、途中適宜 5 分程度の休憩を 4, 5 回挟んでいる。固視点や注意点、ターゲットなどの呈示位置は、ディスプレイ左上を (0,0) 座標とする、縦 800 × 横 1280 の解像度で表現する。

### Step1 視線, 注意方向固定

固視点と注意点を呈示する。被験者は視線を固視点“+”に向け、注意を注意点“●”に向けるよう意識する (図 1)。固視点と注意点の位置は 1 タスク中変わらない。

### Step2 ターゲット呈示

固視点、注意点が呈示されてから 2 秒後、ターゲット画像を提示する。ターゲットは水平方向か垂直方向の線分であり、それぞれ 1/2 の確率でランダムに呈示される。また、ターゲットの中心座標は一律乱数より決定する。ディスプレイ内からはみ出ないように、x 座標は [15 1265], y 座標は [15 785] の範囲で乱数を選択した。ターゲット線分の長さは 1.193[度] である。

### Step3 視線方向検査

ターゲットが呈示された直後に、被験者の視線方向が固視点から大幅にずれていないか確認する。被験者の視線方向が固視点から x 座標か y 座標方向に 3.975[度] 以上ずれた場合、そのトライアルは破棄する。ただし、破棄されたトライアル回数分を全トライアル数に加算するため、トライアル数は破棄回数によらず変わらない。視線方向の検知には EyeLink CL<sup>4)</sup> を使用する。

### Step4 デストラクタ呈示

ターゲットが呈示されてから 0.15 秒後、ターゲット画像が呈示された位置にデストラクタ画像を呈示する。デストラクタにより、被験者はターゲットの知覚時間を限定される。デストラクタ画像は水平・垂直方向どちらの線分も呈示されたものである。

### Step5 被験者回答

呈示されたターゲット線分を被験者に答えさせる。回答はキーボードを用いて行う。回答時間は制限せず、被験者が回答し、確認キーを押すことによって次のトライアルに移る。

一人の被験者に対して視線位置と注意位置との距離が異なる 2 種類のタスク (“center”, “right”) を行う。“center” では視線方向と注意方向が一致し、“right” では固視点と離れた位置に注意点をおく。タスクの詳細を以下の表 1 にまとめる。

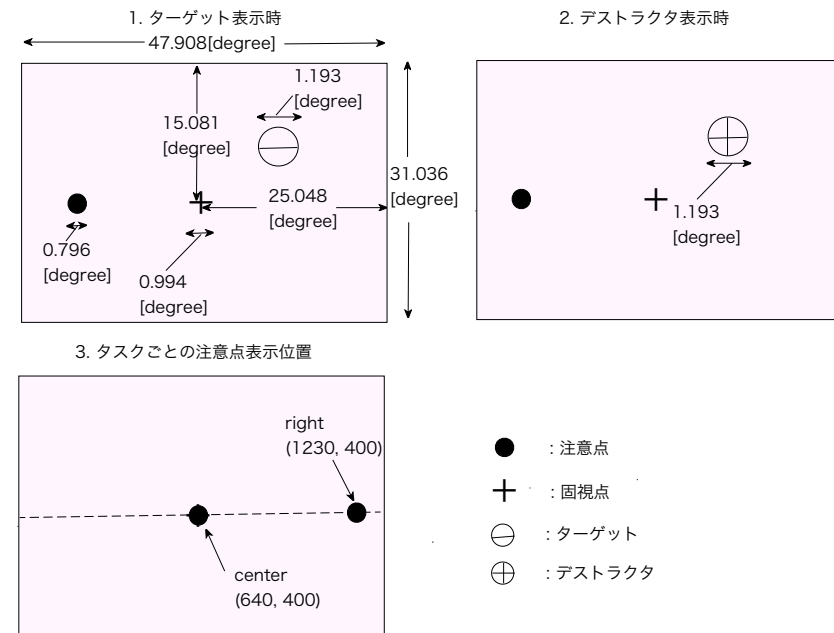


図 1 左上図: ターゲット呈示時のディスプレイの例。同時に、タスクで用いるディスプレイやターゲットなどのサイズを示したものである。右上図: デストラクタ呈示時のディスプレイの例。左下図: 2 つのタスクにおける注意点の位置。固視点の位置はタスクを通して変わらないが、固視点と注意点との位置関係の異なるタスクを 2 種類行い比較した。

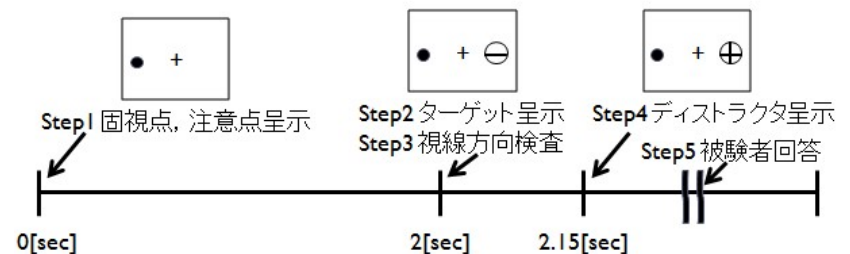


図 2 1 トライアルの時系列に沿った流れを説明した図。被験者が回答した後、Step1 に戻りトライアルを繰り返す。

表 1 タスクの詳細設定

タスクラベル	固視点座標	注意点座標	固視点・注意点間距離 [度]	トライアル数
center	(640, 400)	(640, 400)	0	800
right	(640, 400)	(1230, 400)	23.146	800

表 2 実験条件

被験者	健康な 20 代男性 1 名
ディスプレイ寸法	縦 204 × 横 271 [mm]
ディスプレイ視野角	縦 31.036[度] × 横 47.098[度]
ディスプレイ解像度	縦 800 × 横 1280 ピクセル
眼球運動計測機器	Eyelink CL II

### 3.2 正解率による濃度マップ

タスクごとに、全トライアル  $k = 1, \dots, N (N < 800)$  におけるターゲット座標  $x_k \in \mathbf{R}^2$  と正解不正解の記録ラベル  $l_k \in \{0, 1\}$  が得られる。ここで  $l_k = 1$  は第  $k$  トライアルで正解したことを意味する。以上のデータにもとづいて、タスク毎の正解率濃度マップ  $r_j$  を以下のように作る。

$$r_j = \frac{\sum_{k: x_k \in w_j} l_k}{\sum_{k: x_k \in w_j} 1}$$

ここで、 $j$  は正解率濃度マップ（解像度縦 20 × 横 32 ピクセル）上の第  $j$  ピクセルである。 $w_j$  は網膜座標上の領域であり、正解率濃度マップ上の第  $j$  ピクセルの中央にあたる箇所を中心とする半径  $\phi$  の円形ウィンドウである。上式での和は、円形ウィンドウの中に入ったトライアル数についてとる。ウィンドウ半径  $\phi$  は適当に設定するが、これが小さすぎるとウィンドウ内のトライアル数が小さくなるためバリエーションが大きくなり、大きすぎると解像度が低くなる。

## 4. 実験結果

### 4.1 正解率濃度マップ

得られた正解率濃度マップの一例をグレースケールで表現したものを図 3 に示す。3.2 節で示した手法によりマップを生成するために十分なデータ量を確保できたため、図 3 のような正解率の高低が十分判別できる解像度を持つマップを生成することができている。

図 4 は“center”タスクのマップと“right”タスクのマップを等高線図で表現し、比較し

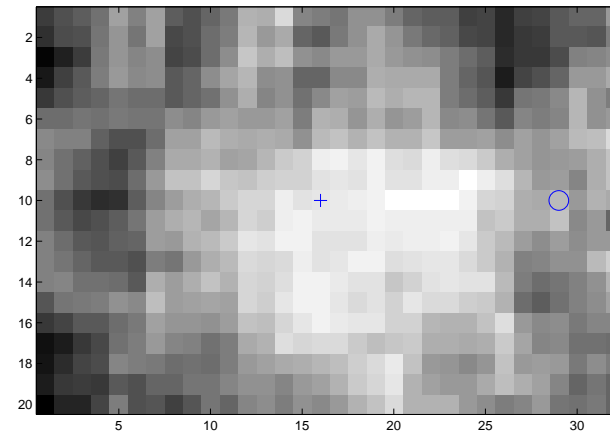


図 3 3.2 節で説明した手法を用いて生成したグレースケールマップである。“right”タスクでのデータを使用し、半径  $\phi = 3.181$ [度] となっている。“+”は固視点の位置を、“○”は注意点の位置を示している。

たものである。“center”マップでは比較的正解率の高い部分（例 0.8 以上）が中心付近によっているのが上部 2 枚のマップよりわかる。一方“right”マップでは、“center”マップと比較してマップ右部での正解率が上昇し、マップ左部では正解率は下降している。この違いは注意点の位置の違いを反映していると考えられる。また、ウィンドウ半径  $\phi = 3.181$ [度] のマップに比べ、 $\phi = 7.942$ [度] のマップでは正解率 0.95 の等高線が消失している。これはウィンドウ半径が大きいため、マップの解像度が落ち、微細な部分を表現しきれないためだと考えられる。

図 5 は“right”マップと“center”マップとの正解率の差を一枚のマップとして表現したものである。ウィンドウ半径は  $\phi = 7.942$ [度] である。“center”マップと比較し、“right”マップの正解率はマップ右側で大きく上昇し、左側で下降していることがわかる。しかし、注意点周辺を指摘できるだけの解像度は見られなかった。

## 5. 議論

### 5.1 注意効能マップの解像度について

4 節の実験で得られた注意効能マップは視線位置からの距離をよく反映した。また、固視点と注意点の位置を同一とした場合と、一定の距離を置いた場合とではっきりと異なる傾向

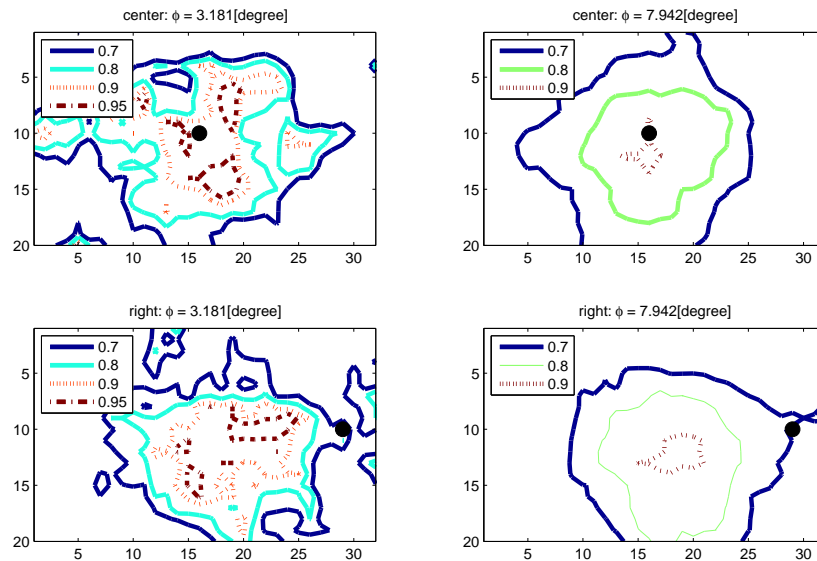


図4 正解率の等高線。上部2枚は“center”タスク、下部2枚は“right”タスクから得た等高線図である。ウィンドウの  $\phi = 3.181$ [度] (左) と  $\phi = 7.942$ [度] (右) の二種で示している。“●”はそれぞれのマップでの注意点を示している。

を示した。以上から、4節での実験設定によって、被験者の注意位置に関して視線方向と独立な成分の情報を、注意効能から得ることに成功したと考えられる。したがって、注意効能は視線方向と注意位置の2つの要因の影響を受けて決まると言える。

これら2つの要因の影響の大きさを比較すると、図4と図5から見て視線方向の影響が主要項であり、注意位置の影響のほうが小さいように見られる。定量的な比較は今後の課題とする。図5の結果から評価できる限りでは、注意位置の影響を注意効能から読み取る解像度は高くないように見える。図5の差分マップでは注意位置周辺に特段の構造は見られず、視野内で大きく右側で高正解率、左側で低正解率となりやすい傾向が見られるのみであった。

本研究の最終目的である、注意効能マップの実現のためには、注意位置の影響を読み取る解像度のさらなる向上が望まれる。そのために改善すべき点として以下が考えられる。

- 被験者は自発的にトップダウンな注意を注意点へ向けるよう指示されていたが、被験者のボトムアップな注意を併用するのが良いかもしれない。(例: 注意点を点減させる、ト

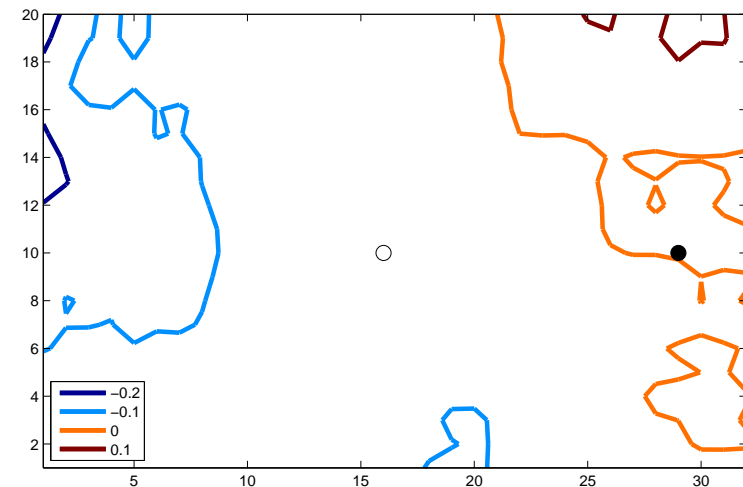


図5 ウィンドウ半径  $\phi = 7.942$ [度] としたときの、“right”タスクでのマップと“center”タスクでのマップとの差を一枚のマップとして表現したものである。“●”は“right”マップでの注意点を示し、“○”は“center”マップでの注意点を示している。

ライアル毎に注意点の色を変更する)。

- 視線位置の固定を Eyelink CL を用いて検査していたが、本当に被験者の注意が注意点へ向いていたかどうかはわからない。なんらかの指標を用いて注意方向を知り、向いていない場合のデータは使用しないことで、より精度の高いデータが得られる(例: 注意と関連が深い、マイクロサッカードによる注意方向の確認<sup>14)</sup>).
- “center”, “right”マップは、どちらも視線位置での正解率が高い。視線の影響が大きいと考えられ、注意のみの注意効能を見ることができていない。視線の影響をなるべく排除できるようなマップや実験の手法を用いる。

## 5.2 今後の課題

今回の実験では、識別タスクによる注意濃度マップの作成に重点を置いた。そのため、背景は白にし、注意点や固視点も黒色のものとし、ターゲットには単純な線分のみを使用することで、余計な要素に影響されない実験設定とした。今後は顕著度との関連を調べていくために、色や輝度など様々な特徴を持つ自然画像を見ている場合の注意濃度マップを考えてゆ

く予定である。また、固視点を設けず、自由サックードを追いながら注意効能を調べる実験を行っていく予定である。

### 参 考 文 献

- 1) Amelia R. Hunt and Alan Kingstone, “Covert and overt voluntary attention: linked or independent?”, *Cognitive Brain Research*, Vol.18, 102-105, 2003.
- 2) Amelia R. Hunt and Alan Kingstone, “Inhibition of return: dissociating attentional and oculomotor components”, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 2003.
- 3) Ariën Mack and Irvin Rock, “Inattentional Blindness: An Overview”, *PSYCHE*, Vol. 5(3), 1999.
- 4) Frans W. Cornelissen, Enno M. Peters and John Palmer, “Eye Tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox.”, 2002.
- 5) James E. Hoffman and Baskaran Subramaniam, “The role of visual-attention in saccadic eye-movements”, *Perception and Psychophysics*, Vol.57, 787-795, 1995.
- 6) Raymond Klein, “Does oculomotor readiness mediate cognitive control of visual attention?”, In R.S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance*, Vol.8, 259-276, 1980.
- 7) Eileen Kowler, Eric Anderson, Barbara Doshier and Erik Blaser, “The role of attention in the programming of saccades” *Vision Research* , Vol.35, 1897-1916, 1995.
- 8) Laurent Itti, Christof Koch and Ernst Niebur, “A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis” *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol.20, 1254-1259, 1998.
- 9) Laurent Itti and Christof Koch, “Computational Modeling of Visual Attention”, *Nature Reviews Neuroscience*, Vol.2, 194-203, 2001.
- 10) Nille Lavie, “Distracted and confused?: Selective attention under load”, *TRENDS in Cognitive Sciences*, Vol.9 No.2 , 75-82, 2005.
- 11) Michael I. Posner, “Orienting of Attention” ,*The Quarterly journal of experimental psychology*, Vol.32, 3-25, 1980.
- 12) Giacomo Rizzolatti, Lucia Riggio, Isabella Dascola and Carlo Umiltà, “Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians - evidence in favor of a premotor theory of attention”, *Neuropsychologia*, Vol.25, 31-40, 1987.
- 13) Anne M. Treisman and Garry Gelade, “A feature-integration theory of attention”, *Cognitive Psychology*, Vol. 12, No. 1, 97-136, 1980.
- 14) Ziad M. Hafed and James J. Clark, “Microsaccades as an overt measure of covert attention shifts”, *Vision Research*, Vol. 42, 2533-2545, 2002.