

空間的注意によって生じる 主観的な視知覚の変化

杉本 史恵・片山 順一

1. はじめに

我々を取り巻く視覚環境には膨大な情報があふれている。しかし、我々の情報処理能力には限界があり、それらの全てを処理することは不可能である。ゆえに、その中から必要な情報のみを選択することが必要となる。情報の選択とその効率的な処理を可能にしている機能が視覚的注意である。視野内の特定の空間位置へ向けられる注意を空間的注意（*spatial attention*）と呼ぶ。視線を向けた位置に注意が共に向けられる場合もあるが、注意は視線から独立して移動することが可能である（Posner, Snyder, & Davidson, 1980）。前者を顕在的注意（*overt attention*）、後者を潜在的注意（*covert attention*）と呼ぶ。潜在的注意の中で、観察者の意図によって移動する注意は内発的注意（*endogenous attention*）または持続的注意（*sustained attention*）と呼ばれる。一方、視野内に何らかの刺激が突然出現することにより、その位置へ自動的に注意が引きつけられる場合もある（Jonides, 1981；Posner & Cohen, 1984；Yantis & Jonides, 1984）。例えば急にフラッシュが光った時など、我々の意図とは関係なくその位置に注意が向けられる。このような、外部の刺激によって自動的に捕捉される注意は外発的注意（*exogenous attention*）または一過性の注意（*transient attention*）と呼ばれる（Nakayama & MacKeben, 1989）。この外発的注意の効果について、Posner & Cohen（1984）は先行手がかり課題と呼ばれる手続きを用いて検討した。彼らの実験では、視野の左右

および中心に 3 個のボックスが提示され、左右どちらかのボックス内にターゲット刺激が出現した。被験者には、ターゲットを検出したら出来るだけ早くキーを押して反応するよう求めた。ターゲットの出現に先行して、手がかり刺激として左右どちらかのボックスの枠の輝度が上昇した。手がかり刺激は左右のボックス上に等確率で出現したため、この刺激によってターゲットの出現位置を予測することは不可能であった。それにもかかわらず、手がかり刺激が提示されたボックス内にターゲットが出現した場合には、その反対側に出現した場合と比較して検出反応時間の減少が生じた。この結果は、手がかり刺激が与えられた位置に注意が自動的に向けられたことを示している。この他にも、一過性の注意が視覚パフォーマンスに与える影響については多くの研究がなされてきた。例えば、注意を向けた位置に提示される視覚刺激に対しては弁別精度の上昇 (Talgar, Pelli, & Carrasco, 2004) や、感度の上昇 (Carrasco, Penpeci-Talgar, & Eckstein, 2000 ; Lu & Doshier, 2000) が生じる。このように、注意がパフォーマンスを向上させることは多くの研究が示している。しかし、ここに古くから議論が続く問題がある。すなわち、注意はパフォーマンスのみを変化させるのか、あるいは注意によって我々が見ている対象そのものが変わって知覚されているのかという問題である。

注意が対象の見え、つまり我々の主観的な知覚を変化させるか否かの議論は、古くは Hermann von Helmholtz や William James の時代にさかのぼる。しかしこれまで多くの研究がなされてきたにも関わらず、一貫した知見は近年まで得られていなかった。そのような中で、Carrasco, Ling, & Read (2004) は刺激の主観的な知覚に一過性の注意が与える影響を検討する新しい実験手続きを発明し、知覚コントラストが注意によって増強されることを報告した。彼らの手続きも先行手がかり課題の一種であり、比較判断 (comparative judgment) 課題と呼ばれる。この課題では被験者は左右の視野に同時に提示される 2 つの刺激のうち、ある特性 (例えばコントラスト) においてより高い値をもつと判断した方を強制二択法で回答する。刺激が提示される直前には手がかり刺激が瞬間的に提示され、これによって被験者が注意を向ける位置が

制御される。次節にて、この手続きを用いて彼らが行なった実験について概説する。

2. 空間的注意による主観的知覚の変化の検討

Carrasco et al. (2004) が用いた比較判断課題の手続きを以下に説明する (Figure 1 参照)。彼らの手続きでは、被験者は注視点の左右に同時に呈示される 2 つのガボール刺激のコントラスト弁別課題を行なった (ガボール刺激とは、正弦波刺激に二次元ガウス関数を乗じる事でエッジを滑らかにした刺激である)。注視点からガボール刺激の中心までの距離は視角 4 度、ガボール刺激の大きさは視角 2 度であった。ガボール刺激のコントラストは、刺激の最高輝度から最低輝度を引いた値を、最高輝度と最低輝度との合計値で除算することによって定義される。同時に提示される 2 つのガボール刺激のうち、一方の刺激のコントラストは全ての試行において固定されていた。この刺激は標準刺激と呼ばれる。もう一方の刺激はテスト刺激と呼ばれ、そのコントラストは標準刺激より低いものから高いものまで複数の値が設定されており、試行毎にその中の 1 つの値が用いられる。それぞれのガボール刺激は左右どちらかに 45° の傾きを持っている。被験者の課題は、2 つのガボール刺激のうちどち

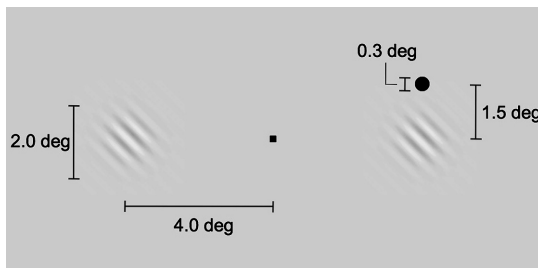


Figure 1 Carrasco et al. (2004) が用いた刺激の例

図中右上に示されている黒点が手がかり刺激である。手がかり刺激は左右の視野または注視点上に等確率で出現した。手がかり刺激が消失した後 (注：図では同画面中に示されている)、左右の視野にガボール刺激が同時に提示された。

らがより高いコントラストをもつかを判断し、さらにその刺激の傾きを回答することであった。なお、標準刺激とテスト刺激が左右どちらの視野に提示されるかは試行毎にランダムに決定される。注意が向けられる空間位置を操作するためには、手がかり刺激が用いられる。Carrasco et al. (2004) は、手がかり刺激として小さな（視角 0.3 度）黒点を用いた。この手がかり刺激がガボール刺激の提示に先立って、全体の 3 分の 1 の試行では左、他の 3 分の 1 の試行では右の視野に、画面の水平中心線より 1.5 度上方の位置に 67 ms 間提示された。手がかり刺激が消失してから 53 ms 後に、ガボール刺激が 40 ms 間提示された。手がかり刺激は課題とは無関連であり、その後引き続き提示されるガボール刺激のコントラストに関する情報を持たない。しかし、この瞬間的に提示される刺激によって、その提示位置に被験者の注意が捕捉される。統制条件である残り 3 分の 1 の試行では、手がかり刺激は注視点上に提示される。注意の効果を検討するため、それぞれの試行は手がかり刺激とそれに引き続いて提示されるガボール刺激の位置関係によって分類される。すなわち手がかり条件として、テスト刺激に手がかりが与えられた条件 (test cued)、標準刺激に手がかりが与えられた条件 (standard cued)、そして統制条件 (neutral) の 3 水準に分けられる。

注意の効果を検討するために、手がかり条件毎に被験者の主観的なコントラストの見えを調べる。そのために各テスト刺激のコントラストにおいて、被験者が標準刺激よりもテスト刺激のコントラストが高いと判断した試行の確率を求める。その確率が 50% となる点のコントラストが、その条件における主観的等価点 (point of subjective equality: PSE) である。つまり、テスト刺激のコントラストが標準刺激のそれと等しく知覚された時の、テスト刺激の実際のコントラストを求める。手がかり条件別に PSE を求めると、テスト刺激に手がかり刺激が与えられた条件における PSE は統制条件よりも低く、他方、標準刺激に手がかり刺激が与えられた条件では PSE は統制条件よりも高いコントラストとなった。この結果は、手がかり刺激の提示により注意が向けられた位置に提示される刺激のコントラストは、他方に提示される物理的に同じ刺

激のコントラストよりも高く知覚されることを示している。この実験により、Carrasco et al. (2004) は注意によって主観的な知覚コントラストが変化することを示した。

同様の手続きを用いて、コントラスト以外の刺激特性の主観的知覚における空間的注意の効果を検討することが可能である。例えば空間周波数知覚について検討する場合は、標準刺激の空間周波数を固定し、テスト刺激の空間周波数を低いものから高いものまで設定する。被験者には、同時に提示されるガボール刺激のうちより高い空間周波数をもつ刺激を回答するよう求める。このような実験の結果、手がかり刺激によって注意が向けられた位置に提示されるガボール刺激の空間周波数は、逆の位置に手がかり刺激が提示された場合と比較して、高く知覚されることが明らかになった (Gobell & Carrasco, 2005)。他にも手がかり刺激が提示された位置では、主観的に知覚されるギャップサイズ (Gobell & Carrasco, 2005) や、時間周波数 (Montagna, & Carrasco, 2006) が上昇する。さらに静止刺激だけでなく、運動刺激の知覚においても注意の効果が生じる。

運動刺激の知覚における注意の効果として、手がかり刺激が与えられた刺激の運動コヒーレンスの上昇や (Liu, Fuller, & Carrasco, 2006), 運動速度の上昇が生じる (杉本, 2009; Turatto, Vescovi, & Valsecchi, 2007)。2つの運動刺激が左右の視野に提示された場合、例えば2つの刺激の速度が同じであったとしても、手がかり刺激が与えられた側の刺激の速度は他方と比較してより速く知覚される (Turatto et al., 2007)。杉本 (2009) はプラッドパターンを運動刺激として比較判断課題を行い、刺激のパターンの違いによって知覚速度の変化量が異なることを示した。プラッドパターンとは、運動方向が異なる2つの正弦波運動縞が重ね合わされた刺激である (Figure 2 参照)。なお、個々の正弦波運動縞は要素運動と呼ばれる。杉本 (2009) の研究は、たとえ同じ速度をもつプラッドパターン運動刺激であっても、そのパターンが異なれば (すなわち、要素運動の運動方向が異なれば) 注意によって生じるパターン全体の速度変化量は異なること、さらに、その速度変化は視覚情報処理過程の

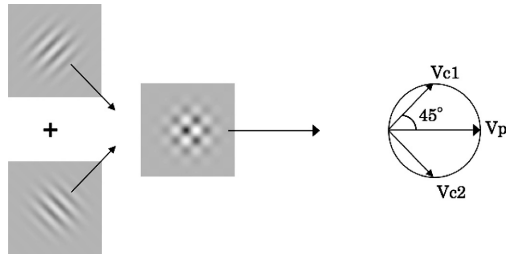


Figure 2 杉本（2009）が刺激として用いたブラッドパターンの例
 (a) 異なる方向へ運動する 2 つの要素運動を重ねて提示することで、
 一方向への全体運動が知覚される。図中の矢印は運動の方向と速度をベク
 トルで表したものである。(b) a のパターンを模式的に表したもの。Vc 1
 と Vc 2 のベクトルは要素運動を、Vp のベクトルは全体運動を表す。

初期段階、つまり要素運動の情報処理段階において生じていることを明らかにした。このように、注意による知覚の変化が様々な刺激特性について生じるこ
 とが報告されている。

3. 主観的知覚の変化に対する反論

Carrasco et al. (2004) によって注意による知覚の変化が報告されて後、彼
 らの手続きを用いて注意の効果が様々な刺激特性において報告されている
 (Gobell & Carrasco, 2005 ; Liu, et al., 2006 ; Montagna, & Carrasco,
 2006 ; Turatto, et al., 2007)。しかし、この注意の効果に疑問を提起する研
 究も存在する。Prinzmetal, Long, & Leonhardt (2008) は、閾値に近いコン
 トラストをもつ 2 刺激の弁別を行う際に手がかり刺激が提示されると、被験
 者は手がかり刺激と同じ位置に出現した刺激を選びやすくなると報告した。こ
 の結果から彼らは、Carrasco et al. (2004) の実験で報告された注意の効果
 は、実際に刺激の知覚コントラストが変化したからではなく、判断バイアスに
 よって生じたものであると結論づけた。Prinzmetal et al. (2008) の報告を受
 けて Carrasco & Fuller (2008) は新たに実験を行い、Carrasco et al.
 (2004) で使用された刺激は十分に閾値以上であったことを確かめた。さら

に、手がかり刺激がガボール刺激提示前ではなく（pre-cue）、それが消えた後に提示すると（post-cue）注意の効果（主観的等価点のシフト）が消失することを示した。Prinzmetal et al. (2008) が示唆したように、もし手がかり刺激と同じ位置に出現する刺激に対して反応バイアスが生じるなら、そのバイアスは手がかり刺激がガボール刺激出現の前後どちらに提示されるかに関わらず生じると考えられる。これらの結果から、Carrasco & Fuller (2008) は反応バイアスの影響を否定し、改めて注意は知覚を変化させると主張している。この例では、刺激コントラストの強度と課題の困難さによって生じる反応バイアスが論点となったが、課題の性質上生じるバイアスについて問題を提起した研究もある。

Schneider & Komlos (2008) は、比較判断課題を用いた実験では反応バイアスが不可避に生じると主張した。彼らはコントラスト知覚における注意の効果等を等価性判断（equality judgment）課題によって検討した結果、主観的知覚の変化は生じなかったと報告した。比較判断課題では、被験者は同時に提示される 2 つの刺激のうち、ある特性においてより高い（もしくは低い）値をもつ刺激を報告する。一方、等価性判断課題では被験者は 2 つの刺激が等しいか否かを判断する。Schneider & Komlos (2008) は手がかり刺激が提示されると、同位置に出現する刺激の顕著性が高まると考えた（知覚の変化ではない）。そして、強制的にどちらかの刺激を回答しなければならない比較判断課題では、2 刺激間の差が小さく弁別が困難な場合に、顕著性の高い刺激がより選択されやすくなる反応バイアスが生じると主張した。この意見に対し、またも Anton-Erxleben, Abrams, & Carrasco (2010) が反論を行なった。彼らは、主観的等価点の計測に対する比較判断課題と等価性判断課題それぞれの感度を調べた。その結果、等価性判断課題が主観的等価点の差異を検出する感度は、比較判断課題のそれに比べて低いことが明らかになった。さらに Anton-Erxleben et al. (2010) は、Schneider & Komlos (2008) が行なった実験では注意の効果を検討するために不可欠である統制条件が設定されていなかったことを指摘し、彼らの実験に統制条件を加えて追試を行なった。その結果、等

価性判断課題においても、手がかり刺激の提示条件によって主観的等価点に差異が得られた。これらの結果から Anton-Erxleben et al. (2010) は、Schneider & Komlos (2008) の実験ではその方法論的限界によって注意の効果が見過ごされていただけでであると主張した。

Schneider & Komlos (2008) の主張は Anton-Erxleben et al. (2010) によって否定されたが、同じく等価性判断課題を用いて Vescovi, Valsecchi, & Turatto (2010) は、彼ら自身が以前報告した注意による知覚速度の変化 (Turatto et al., 2007) に異議を唱えた。Vescovi et al. (2010) は、刺激速度の弁別に等価性判断課題を用いると注意の効果が消失したことを報告し、これまで報告されてきた知覚の変化は注意による効果ではなく反応バイアスであったと主張した。しかしこの主張についても、杉本 (2009) の研究結果から反論が可能である。杉本 (2009) は標準刺激の運動速度条件を複数設定し、その条件間で知覚速度の変化量に差異が生じるか否かを検討した。その結果、標準刺激であるガボール刺激の運動速度が 4.03, 3.03, および 1.48 dps のいずれの値であったとしても、手がかり刺激提示位置で約 0.4 dps の知覚速度の上昇が認められた。この実験では標準刺激の速度条件毎に、テスト刺激がとり得る速度の範囲が異なっていた。そのため、標準刺激の速度条件間で弁別課題の難易度が異なった。もし Schneider & Komlos (2008) や Vescovi et al. (2010) が主張するように弁別が困難である場合に反応バイアスが生じるなら、そのバイアスの程度は弁別の難易度に従って変化するはずである。しかし弁別の難易度に関わらず、知覚速度変化量は一定であったことから、それが反応バイアスによって生じた結果である可能性は低い。

このように、主観的知覚は注意によって変化せず、Carrasoc et al. (2004) 以降の一連の報告は反応バイアスの結果であるとする研究と、そうではなくやはり注意によって知覚の変化は生じるとする研究の間で議論が続いている。しかし Carrasco & Fuller (2008), Anton-Erxleben et al. (2010), および杉本 (2009) の研究を考慮すると、主観的知覚は注意によって変化するとする見解がより優勢である。

4. 基礎にある注意の機能とメカニズム

ここまで、空間的注意によって主観的知覚が変化するという例をいくつか見てきた。しかしこの効果は、注意のどのような機能を示唆し、またどのようなメカニズムで生じているのだろうか。パフォーマンスを向上させる注意の機能として考えられてきたものが、信号増幅 (signal enhancement) とノイズ除去 (noise exclusion) である。信号増幅機能とは、入力された刺激信号の強度が強められることである。一方ノイズ除去機能とは、与えられた刺激の中で、焦点となる情報以外が除去されることである。主観的知覚の変化の検討という枠の外で、Lu & Doshier (1998) は視覚課題パフォーマンスの向上がこのどちらの機能によって生じているかを検討した。彼らはガボール刺激にノイズを重複させて提示し、ガボール刺激の検出閾値を求めた。信号増幅のモデルでは、ノイズの強度が低い場合に検出閾値が低くなると予測される。他方、ノイズ除去のモデルでは、ノイズの強度が高い場合に閾値が低くなると考えられる。実験の結果、ノイズの強度が低い場合にのみ、ガボール刺激の検出閾値が低下した。このことから Lu & Doshier (1998) は、信号増幅モデルが注意の機能としてより妥当であると考えた。Carrasco et al. (2004) を始めとする一連の実験も、Lu & Doshier (1998) と同じく注意の信号増幅機能を支持するものである。つまりコントラスト知覚の例で述べると、注意が向けられた位置に提示された刺激のコントラスト信号が増幅処理され、実際のコントラストよりも高く知覚されたと考えられる。

注意による知覚変化のメカニズムや神経基盤を検討する研究からは、それが視覚皮質における情報処理に密接に関わっている証拠が報告されている。手がかり刺激によって注意を空間位置に誘導すると、その位置に対応する初期視覚皮質の神経活動が活性化することは、fMRI を用いた研究などで示されてきた (Brefczynski, & DeYoe, 1999; Reynolds, Pasternak, & Desimone, 2000)。注意による脳活動の変化と主観的な知覚の変化が対応するか否かを検討したの

が、Stormer, McDonald, & Hillyard (2009) による実験である。彼らは Carrasco et al. (2004) と同様の手続きで被験者にガボール刺激を提示し、よりコントラストが高く見えた刺激の回答を求めるとともに、その刺激から惹起される事象関連電位 (event-related brain potentials: ERPs) を測定した。その結果、知覚コントラストの変化量と初期視覚情報処理を反映する EPR の振幅の間に、有意な相関が得られた。この結果から、手がかり刺激の提示によって初期の視覚情報処理が促進されることと、さらにその処理の促進の程度が、主観的知覚の変化の程度と対応することが示された。この研究はこれまで別々に検討されてきた、注意によって生じる脳活動の変化と、パフォーマンスをもとに測定される主観的知覚の変化とを直接結びつけたという点で大きな意義をもつ。

注意によって生じる知覚変化についての研究は、未だその現象の報告にとどまる部分も多く、前節でも述べたようにその報告の信頼性が議論されている状況でもある。このような議論に決着をつけ、空間的注意の機能について一貫した知見を得るためにも、この現象の基にある情報処理メカニズムを解明し、これまで明らかにされてきた空間的注意の機能と対応づけていく作業が必要である。対応づけが必要な例として、杉本 (2009) は運動速度知覚における注意の効果は情報処理過程の初期段階のみで生じ、高次の段階では生じないことを報告している。しかし従来、脳活動において観察される注意の効果は高次の領域になるほど大きい。このように、これまで報告されてきた注意の効果とは一見反する結果が何故生じたのか、それが示唆する情報処理メカニズムは何であるのか、今後、生理学的証拠の取得も含め、体系的に検討していきたい。

5. おわりに

空間的注意によって主観的な知覚は変化するのだろうか。この古くからの問いに対し近年、変化は生じるという報告が次々となされている。その変化は刺激の様々な特性に対して生じる (Gobell & Carrasco, 2005; Liu et al.,

2006 ; Montagna, & Carrasco, 2006 ; 杉本, 2009 ; Turatto et al., 2007)。これらの現象はその報告のみにとどまらず、生起メカニズムや、脳活動との関連が検討されてきている (Pestilli, Ling, & Carrasco, 2009 ; Stormer, McDonald, & Hillyard, 2009)。この現象と、これまで報告されてきた視覚パフォーマンスにおける注意の効果とを共に考えると、我々の視覚的注意機能は外界の物理的な情報があるがまま正確に抽出するのではなく、あえて増強することによってより適切なパフォーマンスを行うことを可能にしていると考えられる。今後さらに研究が進むことによって、我々が視覚情報をどのように処理し、利用しながら外界に適応しているのか、我々が「見る」時、その対象に含まれる何が情報として抽出されるのかが明らかになっていくと期待する。

References

- Anton-Erxleben, K., Abrams, J., & Carrasco, M. (2010). Evaluating comparative and equality judgments in contrast perception: Attention alters appearance. *Journal of Vision*, 10, 1–22.
- Brefczynski, J. A., & DeYoe, E. A. (1999). A physiological correlate of the ‘spot light’ of visual attention. *Nature Neuroscience*, 2, 370–374.
- Carrasco, M., & Fuller, S. (2008). Transient attention does increase perceived contrast of suprathreshold stimuli: A reply to Prinzmetal, Long, and Leonhardt (2008). *Perception & Psychophysics* 2008, 70, 1151–1164
- Carrasco, M., Ling, S., & Read, S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience*, 7, 308–313.
- Carrasco, M., Penpeci-Talgar, C., & Eckstein, M. (2000). Spatial attention increases contrast sensitivity across the CSF: Support for signal enhancement. *Vision Research*, 40, 1203–1215.
- Gobell, J., & Carrasco, M. (2005). Attention alters the appearance of spatial frequency and gap size. *Psychological Science*, 16, 644–651.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind’s eye’s movement. In J. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention & performance IX*, (pp.187–203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Liu, T., Fuller, S., & Carrasco, M. (2006). Attention alters the appearance of motion coherence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 1091–1096.
- Lu, Z. L., & Doshier, B. A., (1998). External noise distinguishes attention mechanisms. *Vision Research*, 38, 1183–1198.

- Lu, Z.-L., & Doshier, B. A. (2000). Spatial attention : Different mechanisms for central and peripheral temporal precues? *Journal of Experimental Psychology : Human Perception & Performance*, 26, 1534–1548.
- Montagna, B., & Carrasco, M. (2006). Transient covert attention and the perceived rate of flicker. *Journal of Vision*, 6, 955–965.
- Nakayama, K., & Mackeben, M. (1989). Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, 29, 1631–1647.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984), components of visual orienting. *Attention and performance X: control of language processes*, 531–556.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology : General*, 109 (2), 160–174.
- Prinzmetal, W., Long, V., & Leonhardt, J. (2008). Involuntary attention and brightness contrast. *Perception & Psychophysics*, 70, 1139–1150.
- Reynolds, J. H., Pasternak, T., & Desimone, R. (2000). Attention increases sensitivity of V 4 neurons. *Neuron* 26, 703–714.
- Schneider, K. A., & Komlos, M. (2008). Attention biases decisions but does not alter appearance. *Journal of Vision*, 8, 1–10.
- Stormer, V. S., McDonald, J. J., & Hillyard, S. A. (2009). Cross-modal cueing of attention alters appearance and early cortical processing of visual stimuli. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 22456–22461.
- 杉本史恵 (2009). 運動の 2 段階処理における視覚的注意の効果－ブラッドパターン速度知覚の変化に対する検討－. 関西学院大学大学院文学研究科総合心理科学専攻 2008 年度修士論文.
- Talgar, C. P., Pelli, D. & Carrasco, M. (2004). Covert attention enhances letter identification without affecting channel tuning. *Journal of Vision*, 4, 22–31.
- Turatto, M., Vescovi, M., & Valsecchi, M. (2007). Attention makes moving objects be perceived to move faster. *Vision Research*, 47, 166–178.
- Vescovi, M., Valsecchi, M., & Turatto, M. (2010). Are the effects of attention on speed judgments genuinely perceptual? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 637–650.
- Yantis, S. & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention : Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 10, 601–621.

——杉本史恵 大学院文学研究科博士課程後期課程——

——片山順一 文学部教授——