

三次元空間での視覚的注意研究が明らかにするものは何か？

木村貴彦 *・**・三浦利章 **

* 日本学術振興会 特別研究員

** 大阪大学大学院 人間科学研究科

〒565-0871 吹田市山田丘 1-2

1. はじめに

人間は三次元空間で行動しているが、その際に、膨大な視覚世界の中から必要とされる情報を獲得している。そのような情報処理の流れにおいて、重要な役割を担っているのが注意 (attention) である。近年、注意機構の解明に資する多くの研究が報告され、モデル構築がなされつつあるが、それらの多くは二次元平面 (two-dimensional space) で行なわれたもので、それに対して、三次元空間 (three-dimensional space) での注意特性を検討したものは圧倒的に少ない。その理由としては、(1) 刺激統制の問題、(2) 関係する多くの要因といったものがあるだろう。(1) については、複数の刺激を提示した場合の輝度や大きさの効果による刺激強度がパフォーマンスに影響する可能性があるという点 (例えば、Andersen & Kramer, 1993)¹⁾ があり、研究者にとって大きな問題である。さらに、(2) については、両眼視差や輻輳眼球運動といった生理的な手がかりのみならず、遮蔽や重なりなどの絵画的手がかりを始めとする多様な手がかりから成立する奥行き空間で注意研究を行なう場合には、それらの何が重要なのかを規定することも必要であり、とすればその中のいずれによる効果なのか交絡してしまうことにもなりかねない。しかしながら、三次元空間は我々の行動空間であり、そこでの視覚情報処理について検討することは、人の視覚機構の解明を目指す上でも、現実場面に即した研究を行なう上でも必要不可欠なものである (Atchley & Kramer,

2001; 木村・三浦, 2002; Maringelli, McCarthy, Steed, Slater & Umiltà, 2001; 三浦, 1996; Miura, Shinohara & Kanda, 1994, 2002; Tipper, Lortie & Baylis, 1992)²⁻⁸⁾。

そこで、本論文では、三次元空間での視覚的注意研究の現状を報告し、今後、何を指して研究が行なわれていくべきかについて述べる。

2. 立体視による空間と実際空間

2.1 実際空間を用いた研究

三次元空間での注意特性に関する初期の研究として知られている Downing and Pinker (1985)⁹⁾ や、Gawryszewski, Riggio, Rizolatti, and Umiltà (1987)¹⁰⁾ は、実際空間でライトや LED (発光ダイオード) を用いて検討されたものである。Downing and Pinker (1985)⁹⁾ は、図 1 のような

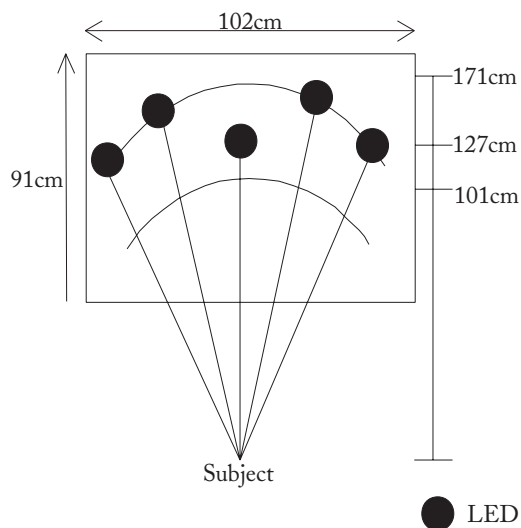


図 1 Downing and Pinker (1985) で用いられた刺激配置。

刺激布置を用いて視覚的注意の空間的構造を明らかにすることを試みている。その結果、同じ奥行き面で注意を移動させる場合よりも、異なる奥行き面に注意を移動させる場合の方が反応時間における損失（手がかり刺激と異なる位置にターゲットが提示された場合と、ターゲットの位置情報が与えられない場合の差分）が大きくなることが示された。このことは、注意が網膜に投影された情報に依存して機能しているのではなく、奥行き情報を含んで機能していることを示していると考えられている。さらに、注意を「遠くから近く」に移動させる時の方(37 ms)が、「近くから遠く」に移動させる時(48 ms)よりも反応時間の損失が小さいことが示され、三次元空間内で注意移動特性に異方性があることが示唆されている。Gawryszewski et al. (1987)¹⁰⁾は、Downing and Pinker (1985)⁹⁾よりも小さな刺激布置で(図2)実験を行ない、同様の結果を得ている。すなわち、「遠くから近く」への注意移動(225 ms)がその逆の注意移動(252 ms)よりも優れていたのである。彼らの研究では、刺激の大きさが統制し、大きさによる反応への効果をなくされている。また、Downing and Pinker (1985)⁹⁾は単眼で、Gawryszewski et al. (1987)¹⁰⁾が両眼で実験を行っており、単眼であっても、両眼であっても同様の結果が得られたことをあわせると、注意移動特性の異方性は、刺激強度や単眼か両眼といった物理的・生理的な要因に起因する

ものというよりは、三次元空間における注意機構の持つ特性のひとつと考えた方が妥当であろう。

また、Tipper et al. (1992)⁸⁾はリーチング時の選択的注意の関わりから、Miura et al. (1994; 2002)⁶⁻⁷⁾や三浦 (1996)⁵⁾、Kimura, Miura, Doi, and Yamamoto (2002)¹¹⁾は、観察者の前進運動と注意の関わりから検討を行なっている。Tipperらはボード上に3×3の行列に配置されたボタンに対して色による選択的なリーチングを行なわせた。すなわち、観察者は、無関係な色のLED(妨害刺激)を無視しながら、ターゲットとなる色のLEDが提示されたボタンを選択的に押すことが求められた。実験開始時に、手を行列の向こう側におく条件と、行列の手前側におく条件があり、リーチング行動と注意との関連が検討された。それによると、中央の列に提示されたターゲットへの反応を見たとき、実験開始時にいずれの側に手があったとしても、手をボタンの方に伸ばした時に、手とターゲットの間にある妨害刺激による干渉が大きくなり、観察者による行動によってパフォーマンスが規定されることが示された(さらに詳しくは、木村・三浦, 2002³⁾を参照のこと)。

さらに、Miura et al. (1994; 2002)⁶⁻⁷⁾や三浦 (1996)⁵⁾、Kimura et al. (2002)¹¹⁾は観察者動態時と静態時における注意機構について検討を行ない、いくつかの知見を報告している。三浦らに

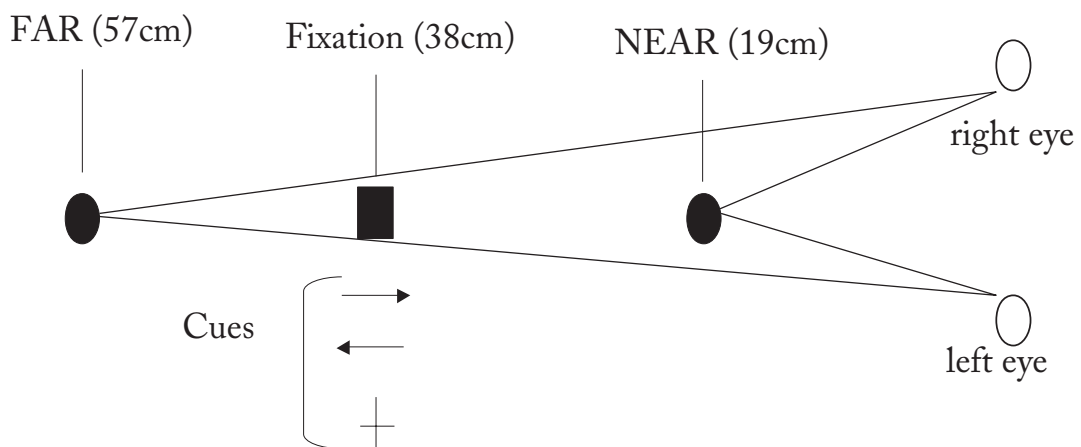


図2 Gawryszewski et al. (1987)で用いられた刺激配置。

よる一連の研究では、図3のような装置が用いられ、観察者は低速、高速のいずれかで前進運動を行ない、静態時に先行研究と同様に「遠くから近く」への注意移動がその逆よりも速い(これを rubber band metaphor of attention と呼んでいる)ことを示している。さらに注目すべき点として、その異方性は静態時と比べて、動態時により顕著となることを報告している(静態条件 23 ms, 動態高速条件 99 ms)。この結果は、さらに詳細な検討を行なうために新たに開発された動態遠近注意測定装置(図4)を用いた研究でも確認されている(Kimura et al., 2002)¹¹⁾。

このように、実際空間での注意研究は、刺激布置についての問題(例えば重なりや、刺激強度による制限)といった問題はあるものの(Iavecchia & Folk, 1994; Atchley, Kramer, Andersen & Theeuwes, 1997)¹²⁻¹³⁾、人の行動に伴って行なわれる、三次元空間でのダイナミックな注意特性を検討しており、そこで得られた知見は、実際の場面に直接寄与することが可能であると考えられる。

2.2 立体視による空間を用いた研究

一方、立体視による空間は、近年の三次元空間における注意研究における大部分が用いている

もので、実験室での精密な実験によって人の注意機構を明らかにしようとするものである。最も大きな特徴としては、輻輳眼球運動や刺激の大きさ、両眼視差といった変数を厳密に統制することが可能であるという点であり、このことは、注意の効果を実験的に検討する場合に大きな利点となる。主に両眼視差を用いて奥行きを設けているため、実際空間と比較して小さな奥行きとなるのが普通であるが、Maringelli et al. (2001)⁴⁾のようにヴァーチャルリアリティ空間での身体の関わりを検討したものもある。

近年、議論となっているのが、注意が奥行き情



図4 動態遠近注意測定装置。

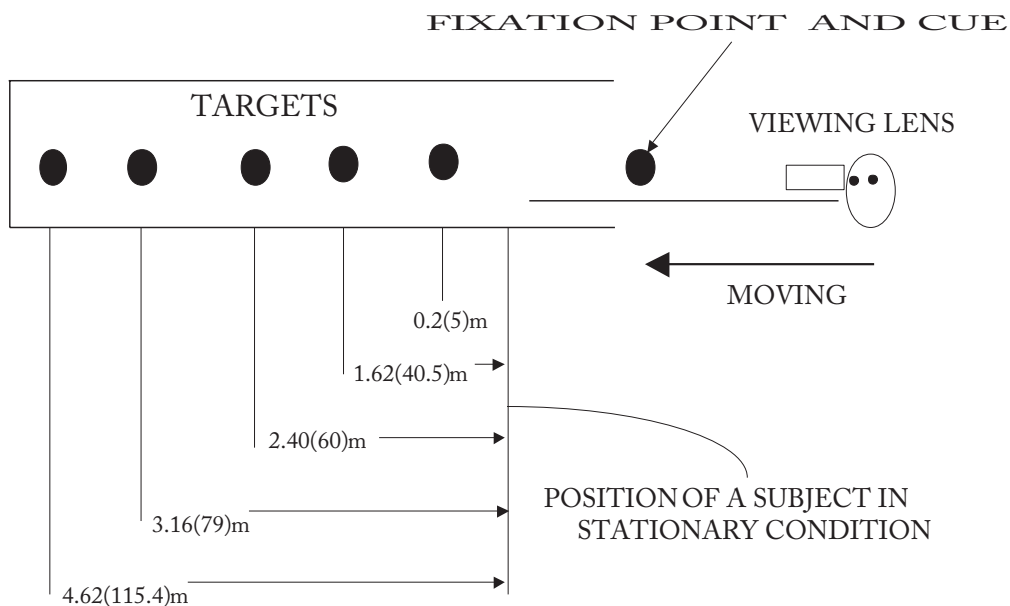


図3 三浦(1996)、Miura et al.(1994, 2002)で用いられた実験装置。

報を含んだ、“depth-aware”な内的表象で機能するのか、あるいは、奥行き情報を含まない、“depth-blind”な内的表象でもって機能するのかという問題である。このような議論の背景には、三次元空間における視覚情報処理のどこで注意が関与するのか（つまり、奥行き情報が処理される前か後か）を明らかにすることが目的であったと考えられる。例えば、Iavecchia and Folk (1994)¹²⁾やGhirardelli and Folk (1996)¹⁴⁾などは、注意機能が“depth-blind”であるという立場を明確に示している。Ghirardelli and Folk (1996)¹⁴⁾の場合、ターゲットに先行する手がかりを用いて注意を遠近に制御した場合に、反応時間におけるコストがないことを見出し、注意による選択が奥行き情報を含まない心的表象であることを主張している。さらに、Iavecchia and Folk (1994)¹²⁾も、手がかりと同じ奥行き面にターゲットが提示された時と、手がかりと同じ面にターゲットが提示された時に、反応時間における損失に相違がみられないことから注意の機能が奥行き情報を含まないことを示唆している。

さらに、Nakayama and Silverman (1986)¹⁵⁾は、視覚探索パラダイムを用いたときに、両眼視差と色の結合や、両眼視差と運動といった結合による探索を行なった。この時、並列的な探索を行なった場合にみられるような反応時間が示され、このことから、処理系において奥行き情報（ここでは視差）が何らかの優先度を持っている可能性が考えられている。

一方、“depth-aware”の立場としては、Atchley et al. (1997)¹³⁾があり、彼らは知覚的負荷 (perceptual load) が注意機能にとって大きな意味を持つことを示唆している。ここでいう知覚的負荷とは、例えばターゲットと妨害刺激の弁別性の程度や妨害刺激の有無などを示しているが、彼らは、Ghirardelli and Folk (1996)¹⁴⁾と同様の刺激を用いた場合に、知覚的負荷が低い場合には、注意を焦点化させる必要がないために“depth-blind”で機能するが、他方、より高い知覚的負荷を与えた場合には注意を焦点化しているために先行手がかりの効果がみられ、“depth-

aware”での機能となることを示している。

知覚的負荷については、Kimura, Miura, Shinohara, and Usui (2001)¹⁶⁾も実際空間で報告しており、知覚的負荷が小さいときよりも、ある程度大きい時に注意特性は顕著に示された。

ここまでみてきたような、実際空間での知見と立体視による空間での知見を結びつけると、注意機構は常に固定的な状態ではなく、視覚環境の状況に応じて機能を変化させる柔軟さを持ち合わせている可能性が考えられよう。

3. 三次元空間での注意特性

3.1 トップダウン処理とボトムアップ処理

情報処理がトップダウンとボトムアップのふたつの処理系を有することはすでによく知られていることである（例えば、Jonides, 1981; Wolfe, 1998; Yantis, 1998; Humphreys, Gilchrist & Free, 1996)¹⁷⁻²⁰⁾。しかしながら、これまでに三次元空間でそれらのふたつの処理系を比較検討した研究はほとんど見られない。トップダウン処理は、知識や経験を利用した手がかり（色や矢印）を用いた内因的な (endogenous) ものであり、ボトムアップ処理は、例えば突然のオンセットがあった場合のように、注意が自動的に捕捉される外発的 (exogenous) なものである。Kimura et al. (2002)¹¹⁾は、これらふたつの処理系を利用する手がかりを用いて注意特性を比較した。トップダウン手がかりの場合には色を用い、ボトムアップ手がかりの場合には短時間の輝度変化を用いて注意を制御した。観察者の課題はターゲットが固視点よりも手前に提示されたのか、あるいは奥に提示されたのかを判断することであった。結果、いずれの手がかりを用いた場合でも注意は奥行き情報を含んで機能する“depth-aware”の特性を示していた。また、ボトムアップ手がかりを用いた処理系であっても、トップダウンによる処理系の影響を受けている可能性が示された。すなわち、絶対的なターゲット位置に対して注意が配分されるであろうボトムアップ処理（各ターゲット位置に対する処理）に対して、固視点をもとにして遠近の相対的な位置に

対して注意が配分されるであろうトップダウン処理（遠近判断のための処理）が影響を与えているとも考えられる（図5）。このことは、それぞれの処理系が必ずしも独立して機能しているのではなく、少なくともある側面においては相互作用した処理を行なっていることを示唆するものである。

3.2 注意と知覚的処理の関わり

従来、知覚的処理の多くは、注意との関連を検討せずに扱われてきた。その原因としては、それらの知覚的処理が情報処理の比較的早い段階で行なわれていると考えられてきたためであろう。そのような状況は、三次元空間での代表的な知覚的処理である、奥行き知覚や距離知覚においても同様であったが、近年になって、注意が知覚的処理に対して modulation を与えることがいくつかの研究で示唆されてきた。例えば、Kawabata (1986)²¹⁾ は、ネッカーキューブ（遠近反転図形）を用いた時に、頂点を含む二辺を太くして強調することで注意を配分させたところ、

その強調された頂点を含む面が手前にあるように知覚され、奥行き知覚に対する注意の影響が確認された。

また、木村・三浦 (2001)²²⁾ や、Kimura and Miura (in press)²³⁾ は、奥行き知覚と距離知覚に対する注意の働きを体系的に検討している。木村・三浦 (2001)²²⁾ では、先行手がかりと偽手がかりを用いて、ターゲットが提示される遠近情報について操作した。結果、先行手がかりの妥当性や、遠近方向での注意の移動方向によって奥行き知覚の正確さに違いがある可能性を示唆した。さらに、Kimura and Miura (in press)²⁴⁾ では、奥行き知覚が事物中心的 (exocentric) な処理で、距離知覚が自己中心的 (egocentric) な処理とされることがある点に注目して、それぞれのパフォーマンスと注意との関係を木村・三浦 (2001)²²⁾ と同様の実験パラダイムを用いて検討した。結果、手がかりの妥当性に関わらず、奥行き知覚を行なう場合よりも距離知覚を行なう場合の方が、反応時間と空間知覚のどちらの

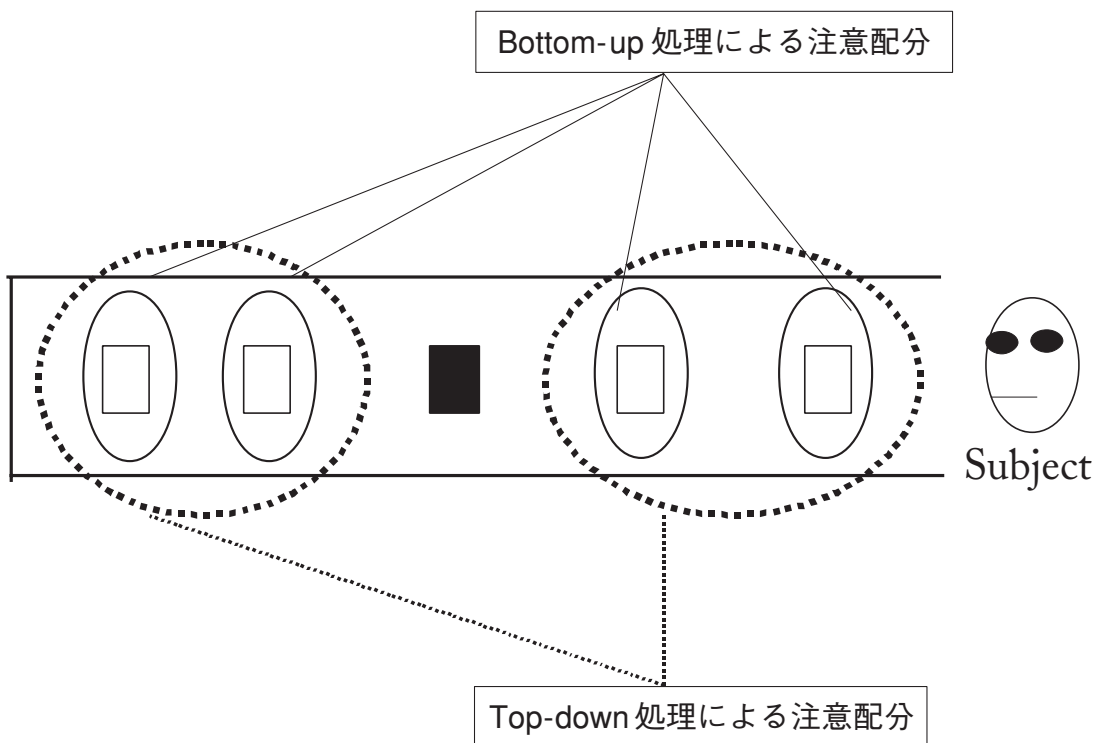


図5 Top-down 処理と Bottom-up 処理による注意配分。

パフォーマンスも良いことが示された。このことは、自己中心的な距離知覚を行なう場合と、事物中心的な奥行き知覚を行なう場合に、注意配分に違いがあることを示唆している。すなわち、課題要件によって注意資源の分布に違いが見られることを示唆しているといえる。

これらの研究から、知覚処理は、注意が関与している段階でも行なわれる可能性が示された。したがって、今後、知覚的処理に関するモデルを構築するような場合には、注意による modulation を加味したものを考えていく必要があるといえるだろう。

4. 終わりに

人は三次元空間で行動している。それでは、どのようにして視覚世界をとらえているのか、そして膨大な情報をどのように取舍選択しているのか。このような疑問に対する統合的な答えは、現在までのところ残念ながら得られていない。しかしながら、それは逆に、様々な事象に対する魅力的な検討の可能性を意味している。三次元空間での注意研究は、基礎的には奥行き方向での視覚情報処理機構の解明の一助となろう。そして、実際的には、交通場面におけるカーナビゲーションや HUD (head-up display) に関する安全性の問題や、ヴァーチャルリアリティ空間と実際空間との共通点と相違点についての有効な知見を資することが可能である。

したがって、今後、我々が目指すべきは、基礎的、実際の側面の両アプローチから三次元空間の注意機構について検討を行なうことである。それについて、いくつかの問題が提起できよう。まず、基礎的には、時間的側面が考えられる。空間内に配分された注意が減衰する特性は大きな問題である。一方、実際の側面としては、例えば、複雑な刺激事象において、注意がどのように機能するのかを検討することは、実際の環境における行動に関する情報処理を考えるうえで重要であろう。それによって、より普遍的な注意特性を説明しうるモデルを構築できるのではないだろうか。

謝 辞

本研究の一部は(株)豊田中央研究所との共同研究である。同社の土居俊一氏、山本有造氏、石井靖弘氏に深く感謝申し上げます。また、研究の一部で、財団法人大阪大学後援会、日本学術振興会(特別研究員奨励費)の援助を受けたことを記して感謝します。

文 献

- 1) G. J. Andersen and A. F. Kramer: Limits of focused attention in three-dimensional space. *Perception and Psychophysics*, **53**, 658-667, 1993.
- 2) P. Atchley and A. Kramer: Object and space-based attentional selection in three-dimensional space. *Visual Cognition*, **8**, 1-32, 2001.
- 3) 木村貴彦, 三浦利章: 三次元空間における視覚的注意研究. *心理学評論*, **45**, 437-450, 2003.
- 4) F. Maringelli, J. McCarthy, A. Steed, M. Slater and C. Umiltà: Shifting visuo-spatial attention in a virtual three-dimensional space. *Cognitive Brain Research*, **10**, 317-322, 2001.
- 5) 三浦利章: 行動と視覚的注意. 風間書房, 1996.
- 6) T. Miura, K. Shinohara and K. Kanda: Attentional shift in three-dimensional space for moving observers. *Perception*, **23**(Suppl.), 43, 1994.
- 7) T. Miura, K. Shinohara and K. Kanda: Shift of attention in depth in a semi-realistic setting. *Japanese Psychological Research*, **44**, 121-123, 2002.
- 8) S. P. Tipper, C. Lortie and G. C. Baylis: Selective reaching: Evidence for action-centered attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**, 891-905, 1992.
- 9) C. Downing and S. Pinker: The spatial structure of visual attention. *M. I. Posner and O. Martin (Eds.): Attention and Performance: XI*. Erlbaum, Hillsdale, 171-187, 1985.
- 10) L. Gawryszewski, L. Riggio, G. Rizzolatti and C. Umiltà: Movements of Attention in the three spatial dimensions and the meaning of "Neutral" cues. *Neuropsychologia*, **25**, 19-29, 1987.
- 11) T. Kimura, T. Miura, S. Doi and Y. Yamamoto: Top-

- down and bottom-up allocation of attention in three-dimensional space when observers are moving forward. *Technical Report on Attention and Cognition*, **16**, 1-4, 2002.
- 12) H. P. Iavecchia and C. L. Folk: Shifting visual attention in stereographic display: A time course analysis. *Human Factors*, **36**, 606-618, 1994.
 - 13) P. Atchley, A. F. Kramer, G. J. Andersen and J. Theeuwes: Spatial cuing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-aware" attention focus. *Psychonomic Bulletin and Review*, **4**, 524-529, 1997.
 - 14) T. Ghirardelli and C. L. Folk: Spatial cueing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-blind" attentional spotlight. *Psychonomic Bulletin and Review*, **3**, 81-86, 1996.
 - 15) K. Nakayama and G. Silverman: Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, **320**, 264-265, 1986.
 - 16) T. Kimura, T. Miura, S. Usui and K. Shinohara: Shift of attention in three-dimensional space: The effect of number of fixation points and perceptual load. *Perception*, **30** (Suppl.), 47, 2001.
 - 17) J. Jonides: Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. *J. B. Long and A. D. Baddeley (Eds.): Attention and Performance: IX*. Erlbaum, Hillsdale, 187-203, 1981.
 - 18) J. M. Wolfe: Visual Search. *H. Pashler (Ed.): Attention*. University College London Press, London 13-73, 1998.
 - 19) S. Yantis: Control of visual attention. *H. Pashler (Ed.): Attention*. University College London Press, London, 223-256, 1998.
 - 20) G. W. Humphreys, I. Gilchrist and L. Free: Search and selection in human vision: Psychological evidence and computational implications. *W. H. Zangemeister, H. S. Stiehl and C. Freksa (Eds.): Visual Attention and Cognition*. North Holland, Amsterdam, 79-93, 1996.
 - 21) N. Kawabata: Attention and depth. *Perception*, **15**, 563-572, 1986.
 - 22) 木村貴彦, 三浦利章: 注意と奥行知覚の関係: 予期の側面からの検討. *基礎心理学研究*, **20**, 37-38, 2001.
 - 23) T. Kimura and T. Miura: Attention in depth modulates spatial perception: the comparison between depth perception and distance perception. *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, in press.