OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	三次元空間で注意はどのように機能するのか? : 実際の行動空間での視覚情報処理
Author(s)	木村, 貴彦; 三浦, 利章
Citation	大阪大学大学院人間科学研究科紀要. 2002, 28, p. 38-60
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/12026
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

「大阪大学大学院人間科学研究科紀要」第28巻, 2002年 3 月所収

三次元空間で注意はどのように機能するのか？

―― 実際の行動空間での視覚情報処理 ――

木　村　貴　彦
三　浦　利　章

三次元空間で注意はどのように機能するのか？
―― 実際の行動空間での視覚情報処理 ――

木村　貴彦
三浦　利章

1．序　　論

人間は三次元空間内で行動する。その空間内には膨大な情報が存在し、その全てを処理することは不可能である。そこで、我々は多様な情報を取捨選択した上で適切に行動する。これは選択的注意（selective attention）と呼ばれるものである。注意研究は近年、認知心理学の研究における重要な領域のひとつとして様々なアプローチから研究がなされてきた。空間内で注意を向けられたある領域に対する処理は、その他の領域と比較して処理が促進される。すなわち、注意によって情報処理が促進されると考えられる。例えば、注意に関する代表的なモデルとして、スポットライトモデル（e.g. Posner, Snyder, & Davidson, 1980；Shulman, Remington, & McLean, 1979）、ズームレンズモデル（e.g. Eriksen & St. James, 1986；Eriksen & Yeh, 1985）、勾配モデル（e.g. Downing & Pinker, 1985；LaBerge & Brown, 1989；Andersen, 1990；Andersen & Kramer, 1993）といったものがこれまでに提案されてきた。スポットライトモデルでは、注意はある一定の範囲内（視角にして約１°; Eriksen & Eriksen, 1974）に配分され、その配分された領域内では情報処理が促進されるが、範囲外の情報は処理されない。一方、ズームレンズモデルはスポットライトモデルを拡張したもので、注意の配分される領域が伸縮し、その伸縮は課題に依存する。さらに、勾配モデルでは、注意が配分された位置から周辺になるにしたがって情報処理の効率が減衰していくとされている。これらのモデルによる検討は視覚的注意機構の解明に示唆を与えており、今日的にも重要な知見である。

しかしながら、これまでに報告された注意機構に関する知見の多くは、二次元平面上での注意特性を扱ったもので、行動の場である三次元空間のような「奥行き情報」が含まれた事態での注意特性を検討したものではない。それでは、三次元における注意は一体いかなる特性を持つのであろうか？二次元のそれと同じものなのか、それとも、三次元特有の特性なのであろうか？現在までのところ、三次元空間における注意研究はその必要性にも関わらず、きわめて少なく、統合した説明を提供できる段階にない。近年になって、ヴァーチャルリアリティなどのハードウェア技術における格段の進歩もあり、研究者の関心は三次元空間にも拡大しつつあるという状況である。そこで、ここでは三

次元空間における注意研究の現況を明らかにし、今後の展望を論ずる。

2．三次元空間とは：実際空間と立体視による空間

ところで、三次元空間とはいかなる空間なのであろうか？一般的には垂直と水平に加えて奥行きがある空間ということで説明がつきそうであるが、その奥行きを生み出す奥行き手掛かりをみても複数存在する。例えば、単眼視における調節（accommodation）や運動視差（motion parallax）、絵画的手掛かり（pictorial cue）などや両眼視における両眼視差（binocular disparity）や輻輳（convergence）などが知られている。奥行き注意研究を行なうときには、これらの手掛かりのうちほぼ全ての手掛かりを含んだ空間で実験を行なう場合と、主に両眼視差を手掛かりとして空間を生成する場合の２種類がある。前者は実際空間と呼ばれるものであり、後者は立体視を用いた空間である。これらは、同様に三次元空間ではあるものの、持っている特質は異なる部分も多い。それは第一に刺激提示距離の違いであり、第二に刺激統制の程度である。立体視を用いた空間においては、両眼視差が手掛かりとされるために、生成される奥行き量は実際空間に比較して非常に小さく、固視点からターゲットまでの奥行き距離は、大きなものでも140cm 程度（Andersen & Kramer, 1993）である。それに対して、実際空間ではレンズを利用した虚像距離で観察者から20cm から462cm（実景感では計算上５m から55. 5m に該当する）の刺激提示距離（Miura, Shinohara, & Kanda, 1994 ; 三浦, 1996）がある。これらの刺激提示距離の違いは、Previc（1998）においても説明されているように、視覚空間における注意と行動との関係という観点からも重要であると考えられ、さらに検討すべき問題である。

次に、実験条件の統制の問題は立体視による空間を用いた研究者が必ず指摘してきたものである（e.g. Andersen, 1990 ; Andersen & Kramer, 1993 ; Ghirardelli & Folk, 1996 ; Atchley, Kramer, Andersen, & Theeuwes, 1997）。例えば、Atchley et al.（1997）は、被験者から異なる位置に光点を配置することについて、それぞれの光点の強度や大きさが異なる可能性があり、奥行き情報ではなく、刺激の持つ特性によって注意特性が左右されると指摘している。また、輻輳運動量や調節量の統制が困難であることも多くの研究者から指摘されている。しかし、一方では現実場面に即した研究の必要性も強く指摘されている（e.g. Tipper et al., 1992 ; Miura et al., 1994 ; Atchley & Kramer, 2001 ; Maringelli, McCarthy, Steed, Slater, & Umiltà, 2001 ; 三浦, 1996 ; Kimura, Miura, Usui, & Shinohara, 2001 ; 木村・三浦, 2001）。つまり、実際空間は我々の行動場面と同一の空間である以上、複雑に関係する要因を整理した上で研究を行なう必要がある。次にそれぞれの空間を用いた研究について整理して述べる。

2-1．実際空間での研究

三次元空間における注意研究の最も初期のものとして知られているのは、Downing &

Pinker (1985) や、Gawryszewski, Riggio, Rizolatti, & Umiltà (1987) であるが、これらの研究は実際空間内で行なわれている。彼らは、LED（発光ダイオード）及びライトを刺激に用いている。Downing & Pinker (1985) では、１列について４つずつ弧状に並んだライト (0.7cm×1.0cm) を奥行き方向に２列（近い列が101cm で遠い列が171cm) 配置したものを刺激としている。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損失 (コスト) が大きくなった。また、遠くから近くに注意を移動させる時 (コスト : 37ms) と比べて、近くから遠くに注意を移動させる時 (コスト : 48ms) の方が注意の損失が大きくなった。ただし、この実験ではライトの大きさや明るさについては統制されておらず、問題点として指摘されている（e.g. Andersen, 1990)。また、水平方向にも刺激が配列されたことでパヌームの融合域を超えるため、単眼視を採用している。したがって、輻輳によるアーチファクトは排除されるが、奥行き手掛かりとして充分なものが与えられているとはいえない。

一方、Gawryszewski et al. (1987)は両眼視事態において、LED を奥行き方向の２箇所(近いものが19cm で遠いものが57cm)に並べ、その中央(38cm)に手掛かり刺激を配置した。ターゲット刺激となる LED の大きさは前後の位置で統制されていた（前が直径0.1 mm、後ろが直径0.3mm)。結果は、Downing & Pinker (1985) と同様で、被験者が異なる奥行き面にある位置に対して同時に注意を配分できないことを示しており、遠くから近くへの注意移動の方 (225ms) がその逆 (252ms) よりも速かった。

さらに、Miura et al. (1994) や三浦 (1996) は、LED を刺激として両眼視事態による実験を行なっている。被験者はターゲットが固視点よりも手前に提示されたか、あるいは奥に提示されたかについて判断を求められた。また、被験者自身の状態において、動態条件 (低速・高速)、静態条件が設けられた。その結果、奥行き方向のある位置に注意を集中させたときに、観察者に遠い方向よりも近い方向の方が注意の移動する時間が速いことが示された。このことは、先行研究と同様に三次元空間における注意特性の異方性を示唆する知見であるが、これを Miura et al. (1994)や三浦 (1996)は、RUBBER BAND METAPHOR OF ATTENTION (asymmetrical viewer centered mode of attentional shift) と呼んでいる。また、この注意特性は観察者静態よりも動態において顕著になることが明らかとなった点が注目される。この点は、安全性という意味での生態学的妥当性を示唆するものである。

また、Tipper et al. (1992) は、リーチングに関係した課題を実際空間で行ない、三次元空間での注意特性の異方性を観察者自身の行動と選択的注意との関わりから検討している。詳しい内容は後述するが、彼らの研究では実際場面でのより具体的な行動を扱った点で重要である。

さらに、Kimura et al. (2001)は、固視点が複数ある場合の奥行き注意特性について実際空間で検討している。刺激は LED で、その大きさは約0.08deg.に統制されていた。被験者の課題は、Miura et al. (1994) などと同様であった。それによると、特に、被験

者が固視点の点滅を検出しなければならず、知覚的負荷（perceptual load）が大きい場合に、注意の利得（benefit）と損失（cost）は遠い固視点において大きくなることが示唆されたが、注意移動については、他の先行研究と完全に一致した結果は得られていない。これは、刺激数が多い点や観察条件によるものと考えられ、三次元空間での注意機構が適応的な行動のために、三次元空間内で分布型を変化させるといった柔軟な特性を持つことを示唆していると考えられる。

実際空間における研究はこれまでに指摘されてきたように、実験条件の統制が困難である。しかしながら、比較的大規模な三次元空間が利用可能であるため、Miura et al.（1994），三浦（1996）などのように、現実場面に直接適用できる知見が得られる可能性も高い。また、これまで個別の機構として研究されることの多かった知覚と行動における相互作用が明らかになる（Tipper et al., 1992）ことも期待できる。

2-2．立体視を用いた空間での研究

立体視を用いた空間は、主に、コンピュータによるステレオグラムを用いたヴァーチャルな奥行きによって表現されるもので、多くの場合、両眼視差が奥行き手掛かりとして与えられている。実際空間とは異なり、輻輳運動量や刺激の大きさ、輝度を厳密に制御することが可能であるのが最大の利点で、近年の研究の多くが立体視による空間を用いたものである。

立体視による空間を用いた研究で比較的初期のものが Nakayama & Silverman（1986）が視覚探索課題で検討したものである。彼らは、両眼視差と運動、両眼視差と色といった特徴を結合させたターゲットの探索を被験者に行なわせた。いずれの場合においても、妨害刺激の増加による反応時間の相対的な変化は見られなかった。すなわち、奥行きがある探索の場合、通常の結合探索とは異なっており、奥行き情報の重要性を示唆している。また、Previc & Blume（1993）は、赤と緑のレンズを通したステレオグラムを用いた視覚探索における探索の非対称性（asymmetries）について検討を行なっている。刺激は離心率と形状、奥行き距離によって定義されており、４象限に分けられて呈示された。被験者はターゲットの検出と、それがどの象限に呈示されたかを報告することが求められた。それによると、離心率が小さい時には遠くに出現するターゲットへの反応が早く（遠く：946ms、近く：987ms）、離心率が大きい時には近くに出現するターゲットへの反応が速かった（遠く：1492ms、近く：1407ms）。さらに、Theeuwes et al.（1998）は、特定の奥行き面に注意を払っている時に、他の奥行き面に呈示された情報（すなわち、妨害刺激）は無視できるのかという問題を検討した。被験者は妨害刺激と同時に提示される緑の線分が赤の線分に変化したことを検出し、それが左右どちらに傾いているのかを報告した。その結果、実験１においては、偽手掛かり条件で遠近方向における異方性が見られなかった。さらに、実験３では、妨害刺激の干渉はターゲットが固視点より手前に出現する時よりも奥に出現する時の方が大きいことを示し、三次元空間での注意特性

において奥行き情報が機能していることを示唆した。

2-3．その他の刺激提示方法による研究

以上にあげた方法の他にも、いくつかの方法で三次元空間での注意は研究されている。その様な方法は、実際空間でなく、また、立体視による空間でもないわけだが、多くは虚像を用いた方法である。

近年においては、実際場面においてヘッドアップディスプレイ（Head-up display ; HUD）などの仮想の奥行きを介して刺激を提示するデバイスが利用されることがある。このデバイスは本来近空間にあるディスプレイ情報を遠空間である外界情報に重ねることで注意の分散を防ぐ目的で考案されたものである。しかしながら、航空機での HUD 利用時の注意特性について、遠い領域で起こる予期しない事態においては、ヘッドダウンディスプレイ（Head-dowm display ; HDD）よりも反応が遅れることを指摘した研究もあり（Wickens & Long, 1995）、必ずしも安全性が確立したとはいえない。

その他に、ハーフミラーを用いた、いわば実際空間と立体視による空間の中間的な方法も試みられている（粕川・菊池, 2001）。立体視による方法では両眼視差を奥行き手掛かりとして提示するが、必ずしも豊富な奥行き手掛かりが与えられていないため、多様な手掛かりによる実際空間と同様とはいえない。また、実際空間では絵画的手掛かりや背景テクスチャの影響を完全に無視できず、高いレベルで統制が可能というわけではない。これらの点に対応するために、ハーフミラーが用いられた。それによって、立体視による空間よりも比較的自然な奥行きが生成された。また、CRT モニタによって提示することで、輝度などの現実場面で統制が困難であった要因が統制された。ターゲットの提示される位置を視野内で固定した場合（実験１）には、奥行き方向において注意による反応時間の促進が見られた。また、遠近方向への移動特性では、「遠くから近く（501 ms）」の方が「近くから遠く（482ms）」よりも遅かった。しかしながら、視野内での位置を固定しない場合（実験２）には、奥行き方向でターゲットが提示される位置で反応時間の違いは見られなかった。この原因について粕川・菊池（2001）は、視野位置の変化によって奥行きに対する注意の影響が減少し、He & Nakayama（1995）が提案したような平面的特性が優位になったためと解釈している。

ここまでの概観によって示されるように、実際空間と立体視による空間のそれぞれは共に長所と短所を併せ持つと思われる。しかしながら、注意がそれぞれの空間によって異なる基本的な機構を持ち、それぞれ独立に機能しているとは考えにくい。すなわち、実際空間と立体視による空間で共通する注意機構と、異なる注意機構を明らかにすることが必要であると思われる。このことはまた、現実場面との整合性をふまえた研究の必要性を示しており、それは実際空間と立体視による空間という二種類の空間での注意特性をそれぞれ提案し、相互に補完した知見を構築することで達せられると考えられる。

3．パラダイムと課題について

3-1．損失利得法（空間手掛かりパラダイム）

三次元空間における注意研究で用いられるパラダイムの多くは、二次元空間での注意研究で用いられてきたものである。中でも代表的なパラダイムとして、Posner, Nissen, & Ogden（1978）や Posner（1980）による先行手掛かりを用いた方法で、損失利得法（Cost-Benefit 法、空間手掛かりパラダイム ; spatial cuing paradigm）と呼ばれている。損失利得法については、岩崎（1990）に詳細な説明があるが、被験者によるターゲットの検出より前にその出現位置についてあらかじめ手掛かりが与えられるのが大きな特徴である。被験者は与えられた手掛かりに従って反応を行なうが、その時、手掛かりどおりにターゲットが出現する場合を正手掛かり条件（Valid）、手掛かりとは異なる空間的位置にターゲットが呈示される場合を偽手掛かり条件（Invalid）という。さらに、ターゲットの位置情報を全く持たない手掛かりを中立条件（Neutral）という。得られた反応時間において、中立条件と正手掛かり条件との差は、手掛かりによって注意がその空間に向いたことによる反応の促進という意味で利得（Benefit）と呼ばれ、一方、偽手掛かり条件と中立条件の差は注意が向けられなかったことによる反応の遅延という意味で損失（Cost）と呼ばれる。損失利得法においては、このような方法で注意の移動特性を検討するが、ここで重要になるのは全試行に対するそれぞれの条件の占める割合である。すなわち、被験者が手掛かりによってある位置から異なる位置に注意を再配分する割合（すなわち、偽手掛かり条件の割合）は高すぎると手掛かりの効果が消失する恐れがある。この割合については、通常20%前後とされている（岩崎, 1990）。

三次元空間での注意機構の検討において、損失利得法を用いたものとしては、実際空間で、Downing & Pinker（1985）, Gawryszewski et al.（1987）, Miura et al.（1994）, 三浦（1996）, Kimura et al.（2001）, 木村・三浦（2001）, 木村・三浦・土居・山本（2001）、立体視を用いた空間で、Epstein, Babler, & Bownds（1992）, Previc, Weinstein, & Breitmeyer（1992）, He & Nakayama（1995, 実験３）, Ghirardelli & Folk（1996）, Atchley et al.（1997）, Atchley & Kramer（1998 ; 2000）, Maringelli et al.（2001）, Theeuwes, Atchley & Kramer（1998）, Atchley & Kramer（2001, 実験３, ４）、その他の方法で粕川・菊池（2001）などがある。

これらの研究で用いられた損失利得法は必ずしも Posner et al.（1978）, Posner（1980）と全く同じ手続きを取っているわけではない。中立条件がない（Theeuwes et al., 1998 ; Gawryszewski et al., 1987 ; Atchley & Kramer, 2001, 実験３, ４）など、手掛かり提示の方法が異なっている。しかしながら、ターゲットに先立って空間的な位置に関する手掛かりが与えられるという点では同様である。

ところで、手掛かり刺激の提示方法には主に二種類ある。ひとつは、固視点など視野の中央部分に矢印や数字といったシンボリックな刺激などを用いてターゲットの呈示さ

れるであろう空間的位置を示す方法で、トップダウン処理による手掛かりといえよう。例えば、Downing & Pinker (1985) は、数字を表記する LED を用いることで空間的手掛かりとし、Gawryszewski et al. (1987), Previc et al. (1992), Maringelli et al. (2001) は、矢印によって手掛かりとしている。さらに、Miura et al. (1994), Kimura et al. (2001), 木村・三浦 (2001), 木村ら (2001) などでは、LED の色を用いることでターゲットの手掛かりとしている。一方、視野の周辺部に呈示されるようなボトムアップ的処理による手掛かりとしては、ターゲットの出現する位置そのものに手掛かりを呈示する方法がある。例えば、Epstein et al. (1992), Atchley & Kramer (2000), 粕川・菊池 (2001) では、ターゲットが呈示される可能性のある空間的位置に正方形や三角形が呈示される。あるいは、Atchley et al. (1997), Atchley & Kramer (1998) では、刺激領域の輝度増大が手掛かりとして与えられている。注意の移動については、手掛かり刺激を視野の中心部に提示するよりも、周辺部に提示する場合には自動的に注意が向けられ注意移動を促進するといわれている (岩崎, 1990)。したがって、どのような手掛かり刺激を用いるか、手掛かり刺激を呈示する位置（中央か周辺か）については注意制御に大きな影響を与えるため、慎重に吟味する必要がある。

3-2. 視覚探索課題

視覚探索のパラダイムは特に視覚的注意の研究においては一般的なものである。周知のように、いくつかの妨害刺激の中から、ある特徴を持ったターゲット刺激を検出する課題であるが、コンピュータを用いるために、様々なバリエーションを試みることや刺激の統制が比較的容易である。例えば、Nakayama & Silverman (1986), Epstein et al. (1992), Previc & Blume (1993), He & Nakayama (1995), Theeuwes et al. (1998) などが見られる。これらの課題においては複数の特徴からターゲットを探索する際の変数のひとつとして奥行きが含まれている。組み合わされる他の要因としては、色と運動方向 (Nakayama & Silverman, 1986)、形状と離心率 (Previc & Blume, 1993)、色と刺激が持つ面の特性 (刺激提示面に対する刺激の奥行き方向への傾き)(He & Nakayama, 1995)、色と傾き (Theeuwes et al., 1998) などがある。Nakayama & Silverman (1986) では、奥行きの次元を含めた結合探索課題においては、並列的な探索が行なわれ、異なる面の妨害刺激を無視できることを示した。また、奥行き情報が含まれている場合の結合探索がポップアウトすることを示唆した。しかし、これについて He & Nakayama (1995) は、奥行きの情報は用いられていないのではなく、探索する面と刺激そのものの表面が共有されているかどうかが原因であると指摘しており、面の共有という側面から検討を行なっている。

3-3. ノイズの干渉による方法

焦点的注意に対するノイズの干渉を指標とした課題は、Andersen (1990), Andersen &

Kramer (1993) によって用いられた方法で Eriksen & Eriksen (1974) を発展させた方法である。特徴としては、ターゲットに対する弁別課題と同時に妨害刺激を無視するように求められた。Andersen (1990) は、立体視プリズムを用いたランダムドットステレオグラムを刺激としており、Andersen & Kramer (1993) は、コンピュータによって生成されたステレオグラムを用いた。彼らは、他の研究とは異なり、多くの奥行き面を利用し、三次元空間の注意の分布型を詳細に検討した点で独創的といえる。妨害刺激は、奥行き方向の７面に呈示された。そのうちの３面が観察者とターゲットの間にあり（近)、１面はターゲットと同じ面で、残りの３面はターゲットよりも奥に呈示された(遠)。ターゲットに関して弁別課題を行なうときに妨害刺激によって影響を受ける程度が奥行き方向でどの程度みられるかによって干渉の効果とし、干渉が見られなくなるまでを注意が配分された領域と考えた。干渉の効果は、ターゲットよりも遠くの妨害刺激の方がターゲットよりも近くの妨害刺激に比べて大きくなったが、この知見でプリズムを使用したことによって視軸が平行となり、輻輳角が０となることが問題とされた(Andersen & Kramer, 1993)。というのも、輻輳が与えられない観察条件下では調節などの奥行き手掛かりから絶対的な距離情報を得ていると考えられ、その場合見かけの距離の変動が小さくなり、それ故に呈示された妨害刺激の大きさが問題となると考えたのである。すなわち、遠くの妨害刺激の大きさは実際よりも過大評価されるために、結果的に近くの妨害刺激よりも干渉が大きくなったと主張したのである。そこで、Andersen & Kramer (1993)では、コンピュータによるステレオグラムを用いて検討を行なった。この方法であればプリズムを用いるよりも遠くの領域に刺激を提示可能であるし（刺激提示距離がプリズムで21.8cm、コンピュータで140cm)、視軸も輻輳するため、上述の大きさの効果が小さくなり、注意の本質がとらえられると考えたのである。結果は、Downing & Pinker (1985), Gawryszewski et al. (1987), Miura et al. (1994), 三浦 (1996) などと一致したものであった。すなわち、干渉の効果は遠い領域よりと比較して近い領域での干渉の効果の方が大きかった。この様なノイズによる干渉を用いた方法は、動的な注意の特性というよりも、むしろ、三次元空間での注意の分布型と大きさを検討する場合に有効であろう。しかしながら、視覚情報を更新しながら行動を行なっているような場合、おそらく注意の分布型は変化すると思われる。つまり、行動という観点から三次元空間の注意特性を検討することが必須となるのである。

3-4．選択的注意課題

選択的注意 (selective attention) は、観察者自身による行動という観点から検討すべきものであるが、観察者の動態という観点からの注意研究はこれまでに Miura et al.(1994), 三浦 (1996) を除くとほとんど見られないものである。その他のものとしては、実際空間での実行動(リーチング課題)として行なわれたのが、Tipper, Lotie, & Baylis (1992) であり、コンピュータによるヴァーチャル空間での実行動を検討したのが Lyons, Elliott,

Ricker, Weeks, & Chua (1999) である。

Tipper et al. (1992,実験１から４)は、台上のボードに３×３の行列状にボタンを配置した。そして、それぞれのボタンの下側に提示された２つの光点のうち、１つを選び、ボタンを押すという選択的なリーチング課題を行なった。被験者は試行開始時に、手の位置を手前に置く時と奥に置く時があった。また、同時に点灯する他の光点は無視するよう教示され、中央の列に提示されたボタンに対する反応が分析された。したがって、手の位置に関して、ターゲットより手前の光点（つまり妨害刺激）による干渉が大きいか、あるいは奥の光点の干渉が大きいかで注意特性が検討された。その結果、手をボタンの方に伸ばして反応しようとしたときに、手とターゲットの間にある光点による干渉が大きいことが示された。

また、Lyons et al. (2001) は、コンピュータを利用し、Tipper et al.と同様の課題について検討した。被験者はプラスティックカバーで手を隠された状態でマウスをグラフィックタブレット上で操作し、モニタ上のカーソルを動かすことで刺激に対して反応を行なった。それによると、モニタ上の刺激と手の運動が垂直の関係である場合（すなわち、グラフィックタブレット上でモニタについての反応を行なう時）には、空間を変換する必要があるため、Tipper et al. (1992) 同様の結果は見られなかった。しかし、ミラーを用いて手の運動とモニタ上の刺激を重なるようにすると、Tipper et al. (1992) と同様の結果が得られた。これらの知見は、我々が選択的に注意を配分する空間と実際に運動を行なう空間との関係が重要であることを示している。つまり、ヴァーチャルに生成された空間で行動する場合と、実際の空間内での行動が必ずしも一致するわけではないことを示唆しており、先に述べたように立体視による空間と現実空間で注意特性の違いが何によってもたらされるのかを調べることができると考えられる。

3-5．その他

これまでにあげた研究の他にもいくつかの手法で三次元空間における注意は検討されている。例えば、Heinbuck & Hershberger (1989) は信号検出理論を用いて、立体視の側面から検討している。信号検出理論は、ノイズの中から信号を検出する課題において、人の感受性と反応基準の双方から標的の検出パフォーマンスを検討するものである。この様な手法を用いて Heinbuck & Hershberger (1989) は、ステレオグラムが提示されたときに刺激があるかないかを異なる年齢群（５歳、８歳、大人）の被験者に判断させ、立体視提示における視覚的注意の加齢による効果を検討した。その際に刺激検出を助ける手掛かりが提示される場合もあった。結果は明らかで、全ての年齢群で手掛かりが提示された方が感度の指標である d'が大きくなり、５歳児で最も顕著であった。手掛かりがない場合には、５歳児の成績は他の群よりも劣っていた。

また、Tipper et al. (1992、実験５) は、先の刺激 (3-4参照) と同じ布置によって、ネガティブプライミングを用いて注意特性を検討している。ネガティブプライミングとは

先に提示されるプライム刺激を無視するように教示されるが、それにも関わらず後に提示されるプローブ刺激に対して抑制的な影響を与える実験パラダイムである。彼らは先行する実験１から４までの選択的注意課題において、注意と手の動きに強い関係が見られたため、手との関係でプライム刺激とプローブ刺激を決定した。すなわち、３×３の行列上で、試行開始時の手の位置が上にあり、それが上から下に動かされる場合には一番上の行にプライム刺激とプローブ刺激が提示されたときにネガティブプライミングが強く見られると考えられた。逆に、試行開始時の手の位置が下にあり、手が下から上に動く場合には、一番下の行で強いネガティブプライミングが見られると考えられた。結果は予測どおりで、開始時の手の位置から遠いプローブ刺激よりも、近いプローブ刺激で強いプライミング効果が見られた。

以上に見られる様に、三次元空間における注意研究でのパラダイムは、他の研究領域同様多岐に亘っている。しかしその一方で、注意特性は課題に依存して変化しやすいことが指摘されている（e.g. Atchley et al., 1997 ; 木村ら, 2001）。したがって、得られた知見が単に課題による変化にすぎないのか、あるいは、より根元的な違いなのかを見極めねばならない。三次元空間の注意表象は、より普遍的、一般的な特性を持つはずである。もし、普遍的でなく、複数の表象が存在するのであれば、視覚情報処理機構は膨大な負荷を担うことになる。よって、異なるパラダイムを用いたとしても、その条件が適切なものであれば、注意表象はそれほど異なる形態ではないだろう（実際、現在提案されている注意表象の分布型は類似したものである。これについては次節で述べる）。したがって、より普遍的な機構を説明するためには複数のパラダイムを用いる（Tipper et al., 1992 ; Epstein et al., 1992）などして多角的に検討した上で得られた知見を統合していく必要があると思われる。

４．注意の表象（representation of attention）について

従来、スポットライトやズームレンズのようなメタファーを用いることによって、いわば「注意の分布型」を探求する試みが二次元空間の研究で盛んに行なわれてきたが、同様の興味は三次元空間における注意に対しても向けられている。この注意の分布型とは、空間内における注意資源配分の表象（representation of attention in 3–D）ともいえるものであるが、従来のメタファーに見られるような x−y という二軸しか持たないものとして説明されるのか、あるいは、先の二軸に z 軸、すなわち奥行き情報を加える必要があるのかという議論が現在も続いている。前者の立場は depth−blind といわれるもので（Ghirardelli & Folk, 1996）、注意による空間的選択は奥行き情報を含まない心的表象によって機能すると主張している（他に Iaveccia & Folk, 1995 ; Lee, 1993など）。例えば、Ghirardelli & Folk（1996）の場合、損失利得法を用いた結果、手掛かりによるコストが奥行き情報を提示した場合には見られなかった。

一方、後者の立場（Atchley et al., 1997 ; Atchley & Kramer, 1998）は、depth−aware といわれるもので注意表象に奥行き情報が含まれているとするものである。Atchley et al.（1997）は、Ghirardelli & Folk（1996）と同様の刺激・課題を用いて検討したところ、知覚的負荷が適切である場合（彼らの場合は、弁別課題における刺激間の類似度と妨害刺激の提示であった）には、depth−aware の効果が得られる一方で、知覚的負荷が小さい場合には、depth−blind の傾向が見られ奥行き情報が含まれないことを示した。さらに、Atchley & Kramer（1998）では、奥行きの効果は若年者同様に高齢者においても示されており、加齢によっても損なわれることがないことを主張している。

ところで、我々が外界における視覚情報を利用する時、網膜上の像は二次元で投影されているが、脳内で統合されて最終的に認識する像は三次元である。したがって、注意表象が奥行き情報を含むのかどうかによって、視覚的選択がどの段階で行なわれるのか（つまり、比較的低次であるのか、高次であるのか）ということを決定するために、きわめて重要な示唆を与えることが可能になる（Yantis, 1998）。そのため、このような議論は三次元空間における注意研究が始まった当初から活発に行なわれてきた。例えば、Downing & Pinker（1985）は、注意の切り替え移動特性において、遠い領域から近い領域に注意を再配分する方が近い領域から遠い領域に注意を再配分するよりも速いことを示した。これは、観察者中心の表象（viewer−centered representation）を示唆するものである。観察者中心表象は注意資源の分布型が三次元空間において非対称になされることを提案したものである。その場合に注意資源は、観察者に近い領域に対して重点的に配分される。その結果、注意が効率よく働くことを示している。すなわち、観察者中心表象では、処理資源の配分は観察者と対象の間の遠近関係によって決定されるのである。同様の結果は Gawryszewski et al.（1987），Andersen & Kramer（1993），Miura et al.（1994），三浦（1996）などによって報告されている。一方で、Andersen（1990），粕川・菊池（2001, 実験１），Kimura et al.（2001）などは、反観察者中心表象ともいうべき配分を報告した。例えば、Andersen（1990）は、ノイズによる干渉の程度から、注意資源は観察者の近くの領域よりも遠くの領域に拡がっているとしたし、Kimura et al.（2001）では、「遠くから近く」へよりも「近くから遠く」への注意移動効率の方が良い傾向を示している。

一方、注意資源が空間内のある対象に対して配分されるため、観察者と対象との遠近関係は注意表象に影響しないというのが対象中心表象（object−centered representation）である（Andersen, 1990）。したがって、注意資源の配分において遠近による非対称性は見られない。ここで、対象中心表象にはおそらく二つの側面があると思われる。ひとつには、空間内のある対象を中心にして注意資源が配分されるため、注意が遠近で移動する際に非対称性が見られないという注意移動に関する側面である。そして、もうひとつには、注意移動というよりも物体の認識そのものに関与する場合に注意配分がその物体を中心になされるという側面である。前者の意味での対象中心表象は、Previc & Blume（1993）などでも見られる。さらに、後者の意味においては、Atchley & Kramer（2001）

が、より実際的な状況において対象中心表象が見られることを、ハプロスコープを用いた立体視による空間を用いて明らかにしている。刺激は、仮想空間内に提示された壁に取り付けられたパイプである。パイプは二本あり、遠近に傾けることによって、それぞれが持つ奥行きが異なる場合があった（±0.25°）。観察者はパイプ上に呈示されるターゲットをできるだけ速く正確に検出するように求められた。両方のパイプにターゲットが提示された場合、同じ奥行きのパイプ、異なる奥行きのパイプ、同じパイプだが異なる奥行きを持つもの、パイプは異なるが奥行きは同じものといった条件が設けられた。その結果、同じパイプにターゲットが提示された方が異なるパイプにターゲットが提示されるよりも反応が速く正確であることが示された。また、彼らは、奥行き方向での空間的手掛かりパラダイムを用いた時に対象中心の注意表象の効果が減少することを示した。すなわち、空間的な注意選択を促した場合にも対象中心の表象は観察されたが、その効果は対象中心の注意選択が単独で行なわれる場合よりも小さくなったのである。このことから、Atchley & Kramer（2001）は、空間的な注意選択と対象中心の注意選択がトレードオフすることを示唆している。

また、対象に対する表象では、刺激が提示されている面と対象の持つ表面が共有している面全体に注意が配分されたとも考えられる（対象中心表象と面表象の共通性については、He & Nakayama, 1995 ; Atchley & Kramer, 2001も指摘している）。そこで、面に対しての注意表象を提案したのが、He & Nakayama（1995）である。彼らは、Nakayama & Silverman（1986）による視覚探索での刺激を用いて、それぞれの刺激に遠近への傾きによって奥行きを与え、刺激が提示されている面そのものとは異なる面を持つように提示した。Nakayama & Silverman（1986）の場合、刺激数に関わらずターゲットへの探索時間は増加しなかったが、He & Nakayama（1995）では、面を共有しない場合には刺激数の増加によって探索時間が長くなった。これは、刺激の提示された面と刺激そのものの面がひとつの共有された面として捉えられるかどうかが重要であることを示しており、注意が面そのものに対して選択的、かつ、自動的に向けられることを示唆している。このことを He & Nakayama（1995）は面を中心とした表象として主張した。

また、Tipper et al.（1992）は、妨害刺激による干渉は、手とターゲットとの関係で表されることから、行動中心表象（action−centered representation）を提唱している（3-4参照）。観察者は３列に並んだ刺激の手前側に手の始点があった時と、奥側に手の始点があった時のそれぞれでターゲットへのリーチング課題を行なった。結果、いずれの場合にも手に近い方の妨害刺激による干渉の方が大きくなった。すなわち、手がターゲットまでリーチング運動を行なう時に、手とターゲットの間にある妨害刺激の干渉が大きかったのである。このことは、行動の種類によって表象が決定されていることを示唆しており、ヴァーチャル空間内においても、知覚と行動との整合性が課題遂行にとって重要であることが Tipper et al.（1992）と同様の手続きで示されている（Lyons et al., 1999）。行動中心表象については今の所、手の届く範囲についてしか言及されていないので、空間の範

囲をさらに拡大した場合でも見られるのかどうか検討しなければならない。

それでは、具体的に注意表象の分布型はどのようなものなのであろうか？また、表象はそれぞれ独立したものなのだろうか？第一の問題に関して直接的に三次元空間における注意の型とその大きさについて検討したのが、Andersen (1990), Andersen & Kramer (1993), Previc & Blume (1993) である。それによると、彼らのいずれもが注意の形状は楕円形であり、それには勾配があることを示唆している。

第二の問題には表象間における相互作用が関係する。表象については、Atchley et al. (1997) が課題そのものに依存するものであると主張しているように、非固定的なものとして捉える方が妥当であると思われる。木村・三浦 (2001) は、奥行き方向に複数の固視点がある場合の注意と奥行き知覚との関係を検討したが、固視点を試行ごとに変化させた場合よりも、ブロック化した場合の方が反応時間、奥行き判断のどちらのパフォーマンスも向上した。これは、試行ごとの固視点変化においては全ての固視点に注意を配分する必要があったのが、固視点がブロック化された場合には単一の固視点に注意を配分すれば良いため、それぞれの固視点による干渉がないためと考えられる。また、ブロック化した場合にパフォーマンスが向上したことから、固視点に注意を焦点化させていたことを示唆し、これは対象中心表象による注意配分と考えられる。しかしながら、その場合にも固視点が遠くなると反応時間は遅くなっており、観察者中心表象の影響が完全にないわけではない。このことから、木村・三浦 (2001) は、三次元空間の注意表象について、それぞれが独立というよりはお互いに関係しあうことで表象を形成していると考えた。この表象間の相互作用は、Atchley & Kramer (2001) においても報告されている知見である。さらに、Maringelli et al. (2001) は、ヴァーチャルリアリティ空間において、身体の胴と手についての情報を与える群と、それらを与えない群で注意特性がどの様に違うのかを検討した。彼らは、ヴァーチャル空間内に呈示した身体像を与えると、観察者は自分の身体に関係した遠近の相対距離を知覚する一方、身体像を与えない場合には奥行きの違いは判るものの、自分の身体との関係は知覚しないか、少なくとも劣ると主張した。その結果は、ヴァーチャルな身体がある場合には遠い領域よりも近い領域に注意を密に配分しており、観察者中心表象であった。したがって、「近くから遠く」へ注意を移動させる方 (491ms) がその逆 (482ms) よりも困難であった。一方、ヴァーチャルな身体がない場合には、遠い空間での反応が速くなり、身体有りとは逆の表象、すなわち、反観察者中心表象となった。すなわち、「近くから遠く」への注意移動 (440 ms) が「遠くから近く」への注意移動 (462ms) よりも速かった。このことから、近くて手の届く範囲の情報はエゴセントリック (egocentric)[1)]に表象され、遠くて手の届く範囲を超えた情報はアロセントリック (allocentric)[1)]に表象されるというふたつの独立した注意表象による並列的機構を示唆した。

以上のことからも、注意表象の形成は課題に依存しており、Atchley & Kramer (2001), Maringelli et al. (2001), 木村・三浦 (2001) が主張したように相互作用していると考え

るのが妥当であろう。しかしながら、いずれの表象が用いられるのかについての基準や、それぞれの表象を統合することは可能なのかといった点については今の所明らかでない。

5．発達・加齢と三次元空間における注意

高齢者社会が進むにつれて、実験心理学の分野においても加齢による知覚への影響を検討することは重要な課題となっている。しかしながら、三次元空間での注意における加齢の効果を検討したものはその重要性にも関わらず、きわめて少ないのが現状である。Atchley & Kramer (1998) は、若年者 (平均21.5歳) と高齢者 (平均68.2歳) との比較において、空間手掛かりパラダイムを用いて加齢の効果を検討している。それによると、注意が新たに配分されなおさねばならない時 (つまり偽手掛かり条件の時)、二次元平面における位置だけの注意の切り替えと比較して、二次元平面での位置と奥行き位置の両方で注意を切り替えねばならない事態での反応時間のコストは大きくなり、この効果は、若年者同様に高齢者にも見られた。すなわち、奥行き位置に注意を定位する能力は加齢した場合でも維持されることを示唆している。しかしながら、この研究では、高齢者の注意制御の側面が扱われたわけではなく、単純に三次元空間内の特定の位置に注意が配分されるかどうかを検討したに過ぎない。そこで、加齢による注意制御への効果についても Atchley & Kramer (2000) によって調べられている。彼らは、ターゲットを探索するのに奥行き情報を用いることが可能なのかどうか、他の奥行き面に呈示された妨害刺激を無視することができるのかどうかという観点から高齢者の奥行きにおける注意制御能力について研究した。それによると、高齢者 (平均67.2歳) は若年者同様に単一の奥行き面に注意を配分することができることが示された。また、ターゲットと異なる奥行き面に提示された妨害刺激の方がターゲットと同じ奥行き面に提示された妨害刺激よりも影響が小さかった。この能力は情報の目立ちやすさに依存しており、色のような付加的な情報を与えることで高齢者における反応時間の遅れが減少することを示した。

また、Heinbuck & Hershberger (1989) は、視覚的注意の発達的な側面から検討を行なった。被験者は５歳児、８歳児、大人で、タキストスコープを用いてランダムドットステレオグラムを観察した。その結果、手掛かりが与えられていないとき、５歳児では、他の群よりも信号検出の成績が劣っていた。しかし、手掛かりが与えられていれば、全ての群で成績が向上した。したがって、小さい子供においては、視覚的注意を選択的に配分する能力は他と変わらないが、自分自身で注意の焦点化を行なうような時には、効果的に注意資源を配分する能力が劣っていることが明らかにされた。

ただし、高齢者による注意配分については、Atchley & Kramer (1998) が、高齢者は若年者とは違って、ある奥行き位置について厳密に注意を焦点化することを行なわないことによって、パフォーマンスに対して補償的な効果を得ていると考察しており、若年者との配分方法が異なる可能性も指摘されている。このことはつまり、視覚機能におけ

る生理的側面（調節機能なのどの）が劣化することによる情報獲得能力の低下に対して、注意の側面を補償的に制御することで適応的に行動していると考えられる。よって、それら二側面の相互作用の内容がいかなるものなのかを詳細に検討することが求められる。

6．知覚的負荷

従来の二次元空間における注意研究においても、Lavie（1995）などが低い知覚的負荷事態よりも高い知覚的負荷事態の方が、注意特性が顕著になることを示唆している。三次元空間での注意特性においても、同様の効果は見られている。例えば、Ghirardelli et al.（1996）が、奥行き方向において注意の切り替えにコストは見られないという結果を報告している。しかし、Atchley et al.（1997）は、同様の装置や刺激を用いた場合に、知覚的負荷を与えると三次元空間での注意特性が顕著になることを示した。実験１においては、Ghirardelli et al.（1996）よりも、ターゲットの類似性を高め弁別を困難にした（×と＋）。また、ターゲットと同時に妨害刺激を呈示し、課題に知覚的負荷を与えた。その結果、注意の遠近移動におけるコストが観察された。一方、実験２で妨害刺激が呈示されない以外は実験１と同じ事態で検討を行なうと、注意切り替えが必要な場合の（すなわち、偽手掛かり条件）コストは見られなかった。彼らは、知覚的負荷が小さい場合には、被験者はターゲット位置に注意を焦点化させる必要なく課題を行なえるため、偽手掛かり条件の場合にもコストが大きくならないと説明している。

また、Kimura et al.（2001）も同様の結果を報告している。被験者には知覚的負荷として、固視点の点滅に対するボタン押し反応が与えられた。その結果、奥行き注意特性における先行手掛かりの効果は知覚的負荷がない場合よりも知覚的負荷が与えられた場合において顕著に示されることが明らかになった。

ここで、Atchley et al.（1997）が考える知覚的負荷が低いということは、妨害刺激がない、課題において注意の切り替えの必要がない、ターゲットとの類似性が低いといったことがあげられる。さらに、知覚的負荷だけではなく、例えば概念的な負荷を与えた場合に三次元空間での注意特性がどのように変化するのかを検討する必要性を指摘している。知覚的負荷を操作することは、現実場面での情報獲得行動の検討にとっても意義がある。例えば、周辺視野に刺激を提示した場合の注意特性（渡辺・梅村・松岡，1999）や、刺激そのものの目立ち易さ（Atchley & Kramer, 1998）、観察者の移動（Miura et al., 1994；三浦, 1996）などを用いて、低負荷から高負荷の違いによって三次元空間での注意特性にいかなる変化が見られるか、また、注意の働きが悪くなるとすれば、それを補償する機構は存在するのか、あるいは、劣化したままなのかといった問題についても言及できる。

7．神経心理学的・神経生理学的な見地

神経心理学的・神経生理学的な知見の多くは、遠近の空間の分離という文脈から注意機構についてアプローチを試みている。これらの詳しいレビューは Previc（1998）を参照するべきであるが、これまでの研究においては、近空間の制御と遠空間の制御の間には脳において機能的あるいは解剖学的な区別が見られ、行動空間における処理についても分離して行なわれることを支持している。例えば、Heilman, Bowers, & Shelton（1990）は、直線を二分割させる課題において、近い空間よりも遠い空間でずれが大きいことが示され、遠い空間において注意機能が低下することによると説明された。また、同様の課題において、Halligan & Marshall（1991）は、脳損傷患者で近い空間においては左半側での成績が悪かったが、遠い空間においてはそれが見られないことを示している。

これらの知見は、脳内において近い空間の刺激処理と遠い空間の刺激処理についての特化を示唆している（Coway, Small, & Ellis, 1994）が、これについては健常者による心理物理実験においても支持されている（Previc, Breitmeyer, & Weinstein, 1995）。被験者の課題はランダムドットステレオグラムにおいて、上下左右の視野のいずれかに提示される正方形とダイアモンド形を弁別することであった。その結果、近い領域では左右いずれの視野でも上下視野の相違は見られなかったが、遠い領域では特に左視野において上半視野の刺激への反応が速いことが示された。

この背景には、Previc（1998），Maringelli et al.（2000）が指摘するように、自己の身体とそれを取り囲む空間が周身体空間（peripersonal space）[2)]や身体外空間（extrapersonal space）[2)]などと言われるように、必ずしも均質ではないことが関係するだろう。つまり、我々にとって空間が何を意味するのかがポイントであり、脳内における注意の機序を明らかにする上でも重要である。

8．今後の展開

本論では、三次元空間での視覚的注意研究における動向について概観した。ここ数十年の間、注意研究は認知心理学における主要な研究領域であったが、その三次元的特性が扱われるようになったのはごく最近のことである。現在、いくつかのモデルが主張されているものの、基本的な機構ですら未だ統一的な見解とはいえない状態である。研究者の興味は以下にあげる点にある。

⑴表象：注意表象はいかなる形なのか？それには奥行きの情報は含まれるのか、あるいは二次元と変わらないのか？さらに、それは単一の表象として存在するのか、それとも、複数が関与するのか？三次元空間での注意表象は換言すると三次元空間における有効視野（useful visual field）と捉えることもできる。三次元空間での有効視野はどの様な拡がりを持つのだろうか？この問題は、実際場面での行動を検討する

観点からも重要である。

⑵制御 : 注意は三次元空間においてどの様に制御されているのか？手掛かりはどのような意味を持っているのか？トップダウン処理とボトムアップ処理で何が異なるのか？

⑶移動 : 三次元空間で注意が持つ異方性はいかなるものなのか？遠近移動による違いはなぜあるのだろうか？

⑷時間的特性 : 三浦・篠原 (1998 ; 2000) がカーナビゲーション使用前後において、前方に視線が向いている場合であっても注意が劣化する事が示されているものの、三次元空間における注意の時間的特性を調べたものはほとんどない。

⑸行動との関連 : Miura et al. (1994) や三浦 (1996) は、観察者動態における注意特性を検討し、観察者静態の場合よりも顕著な傾向が明らかになることを示している。我々は空間内を移動しながら情報を処理することも多く、自己の運動と注意の関係、対象の運動と注意の関係を明らかにすることは、交通場面などの現実環境において求められている。

三次元空間における注意研究は、我々の生活空間における情報処理機構の一端を解明するためにもきわめて重要である。なぜなら、実環境での知覚研究は、究極的には観察者（自己）と環境との関わりにおいて生じてくるリアリティの機能と機序を明らかにする（北崎, 2001）ためである。また、Lyons et al. (2001) や Wickens & Long (1995) が指摘するようにコンピュータ技術や HUD の適切な利用と安全に対しても貢献すると考えられる。そのためには、Tipper et al. (1992) や、Miura et al. (1994), 三浦 (1996) などのように自己の行動と関係した文脈からも研究を進めねばならないだろう。

謝辞

本論文に関する研究の一部は　豊田中央研究所との共同研究である。研究について多大な援助と助言を頂いた感性・人間行動部の土居俊一氏と山本有造氏、開発部の石井靖弘氏に深く感謝し御礼申し上げます。

脚注

1）エゴセントリックは自己中心的、アロセントリックとは他者中心的ということであり、観察者中心表象、対象中心表象とも共通したものと考えることもできる。しかし、ここでの意味は観察者と空間の間での関係を指しており、注意表象とはまた異なる部分も多いと考えられる。したがって、ここでは訳さず使用して注意表象と区別することとした。

2）ここであげた周身体空間 (peripersonal space) と、身体外空間 (extrapersonal space) が意味するところは、Maringelli et al. (2000) による自己中心的 (egocentric) と他者中心的 (allocentric) が意味するものとほぼ同様と考えられる。

引用文献

Andersen, G. J. 1990 Focused attention in three-dimensional space. *Perception & Psychophysics*, **47**, 112-120.

Andersen, G. J., & Kramer, A. F. 1993 Limits of focused attention in three-dimensional space. *Perception & Psychophysics*, **53**, 658-667.

Atchley, P., Kramer, A., Andersen, G. J., & Theeuwes, J. 1997 Spatial cuing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-aware" attention focus. *Psychonomic Bulletin & Review*, **4**, 524-529.

Atchley, P., & Kramer, A. 1998 Spatial cuing in a stereoscopic display: Attention remains "depth-aware" with age. *Journal of Gerontology: Psychological sciences*, **53B**, 318-323.

Atchley, P., & Kramer, A. 2000 Age-ralated changes in the control of attention in depth. *Psychology and Aging*, **15**, 78-87.

Atchley, P., & Kramer, A. 2001 Object and space-based attentional selection in three-dimensional space. *Visual Cognition*, **8**, 1-32.

Downing, C., & Pinker, S. 1985 The spatial structure of visual attention. In Posner, M., & Martin, O. (Eds.) *Attention and Performance, XI*, (pp.171-187). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Coway, A., Small, M., & Ellis, S. 1994 Left visuo-spatial neglect can be worse in far than in near space. *Neuropsychologia*, **32**, 1059-1066.

Epstein, W., Babler, T., & Bownds, S. 1992 Attentional demands of processing shape in three-dimensional space: Evidence from visual search and precuing paradigms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**, 503-511.

Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. 1974 Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, **16**, 143-149.

Eriksen, C. W., & Yeh, Y. 1985 Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **11**, 583-589.

Eriksen, C. W., & St. James, J. D. 1986 Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, **40**, 225-240.

Gawryszewski, L., Riggio, L., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. 1987 Movements of Attention in the three spatial dimensions and the meaning of "Neutral" cues. *Neuropsychologia*, **25**, 19-29.

Ghirardelli, T., & Fork, C. L. 1996 Spatial cueing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-blind" attentional spotlight. *Psychonomic Bulletin & Review*, **3**, 81-86.

Halligan, P. W., & Marshall, J. C. 1991 Left neglect for near but not far space in man. *Nature*, **350**, 498-500.

He, Z. J., & Nakayama, K. 1995 Visual attention to surfaces in three-dimensional space. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*, **92**, 11155-11159.

Heilman, K. M., Bowers, D., & Shelton, P. 1990 Attention to near and far space: The third dichotomy. *Behavioral & Brain Sciences*, **13**, 552-553.

Heinback, C. L., & Hershberger, W. A. 1989 Development of visual attention: A stereoscopic view. *Perception & Psychophysics*, **45**, 404-410.

Iaveccia, H. P., & Folk, C. J. 1995 Shifting visual attention in stereographic display: A timecouse analysis. *Human Factors*, **36**, 606-618.

岩崎祥一 1990 視覚における空間への選択的注意 *心理学評論*, **33**, 409－433.

粕川正光・菊池正 2001 空間的注意の奥行きに対する有用性の検討 *筑波大学心理学研究*, **23**, 7－15.

Kimura, T., Miura, T., Usui, S., & Shinohara, K. 2001 Shift of attention in three-dimensional space : The effect of number of fixation points and perceptual load. *Perception*, **30**, 47.(Supplement)

木村貴彦・三浦利章 2001 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.

木村貴彦・三浦利章 2001 注意と奥行知覚の関係æ„—固視点距離の変化の効果— *日本基礎心理学会第20回大会発表要旨集*, 98.

木村貴彦・三浦利章 2001 遠近注意特性の検討 : 損失利得法における反応時間要素 *日本心理学会第65回大会論文集*, 125.

木村貴彦・三浦利章・土居俊一・山本有造 2001 奥行き注意特性 : 判断難易度による注意資源の分布 *関西心理学会第113回大会論文集*, 34.

北崎充晃 2001 21世紀における視覚研究 : 実環境での知覚 *Vision*, **13**, 11－21.

LaBerge, D., & Brown, V. 1986 Variations in size of the visual field in which targets are presented : An attentional range effect. *Perception and Psychophysics*, **40**, 188－200.

Lavie, N. 1995 Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, **21**, 451－468.

Lee, C. M. 1993 Attention to stereoscopic visual space. *Dissertation Abstracts International B*, **53**, 4981－4982.

Lyons, J., Elliott, D., Ricker, K. L., Weeks, D. J., & Chua, R. 1999 Action-centered attention in virtual environments. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, **53**, 176－187.

Maringelli, F. McCarthy, J., Steed, A., Slater, M., & Umiltà 2001 Shifting visuo-spatial attention in a virtual three-dimensional space. *Cognitive Brain Research*, **10**, 317－322.

Miura, T., Shinohara, K., & Kanda, K. 1994 Attentional shift in three-dimentional space for moving observers. *Perception*, **23**, 47.(Supplements)

三浦利章 1996 行動と視覚的注意 風間書房.

三浦利章・篠原一光 1998 自動車の情報化に関わる視覚的注意特性 : カーナビゲーション使用時の注意の時間的特性を中心として *交通科学*, **28**, 53－59.

三浦利章・篠原一光 2000 行動場面における視覚的注意の時空間特性 *信学技報 PRMU 2000－111, HIP 2000－36(2000－11)*, 29－34.

Nakayama, K., & Silverman, G. 1986 Serial and Parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, 320, 264－265.

Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. 1978 Attended and unattended processing modes : The role of set for spatial location. In Pick, H. L. and Saltzman, E. J.(Eds.) *Modes of perceiving and processing information*(pp171－187). Lawrence Elrbaum.

Posner, M. I., Snyder, C., & Davidson, B. 1980 Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology General*, **109**, 160－174.

Previc, H. F., Weinstein, L. F., & Breitmeyer, B. G. 1992 *Visual attention and perception in three-dimensional space*. Armstrong Laboratory : Brooks Air Force Base, Texas.(NTIS No.AL-TR-1991-0119).

Previc, H. F., & Blume J. L. 1993 Visual search asymmetries in three-dimential space. *Vision Research*, **33**, 2697－2704.

Previc, H. F., Breitmeyer, B. G., & Weinstein, L. F. 1995 Discriminability of random-dot stereograms in three-dimensional space. *International Journal of Neuroscience*, **80**, 247-253.

Previc, H. F. 1998 Neuropsychology of 3-D space. *Psychological Bulletin*, **124**, 123-164.

Shulman, G. L., Remington, R. W., & McLean, J. P. 1979 Moving attention through visual space. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, **5**, 522-526.

Theeuwes, J., Atchley, P., & Kramer, A. 1998 Attentional control within 3-D space. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, **24**, 1476-1485.

Tipper, S. P., Lortie, C., & Baylis, G. C. 1992 Selective reaching : Evidence for action-centered attention. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, **18**, 891-905.

渡邊洋・梅村浩之・松岡克典 1999 広域視野情報と中心奥行知覚のインタラクション *平成11年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集*, 59-64.

Wickens, C. D., & Long, J. 1995 Object versus space-based models of visual attention ; Implications for the design of head-up displays. *Journal of Experimental Psychology Applied*, **1**, 179-193.

Yantis, S. 1998 Control of visual attention. In Pashler, H.(Eds.) *Attention*(pp.223-256) Psychology Press.

How does attention operate in three-dimensional space?
—The visual information processing in actual behavioral space—

Takahiko KIMURA and Toshiaki MIURA

We selectively acquire the information in three-dimensional(3-D) space. The selectivity can operate efficiently by the allocation of attention in 3-D. Though the psychologists have been studied the attentional system in three decades, almost them examined it in two-dimensional(2-D) space. In comparison with attention in 2-D space, there are very little studies about attention in 3-D in spite of its importance.

For this reason, in the present paper, the studies on visual attention in 3-D space are reviewed. We examined preceding researches about attention in 3-D as following view points : (1) what is the 3-D space? The 3-D space in some studies was generated by means of computers. And other studies were examined in real 3-D space. We attempted to show their advantages and disadvantages respectively. (2) Several kinds of paradigms and tasks are used in order to reveal the characteristics of attention in 3-D as well as 2-D. For example, spatial cuing paradigm(Cost-Benefit paradigm), visual search paradigm, and interference paradigm by noises, and so on. However, these paradigms do not show consistent results. So we claim that the researchers should examine the characteristics of attention in 3-D by not only single paradigm but also multiple paradigms. (3) The representation of attention in 3-D was discussed. Many researchers have tried to show how is attention allocated its resources in 3-D. But this has not been clarified yet. At the present time, several ideas are proposed. For example, "viewer centered representation"(e.g. Downing & Pinker, 1985 ; Gawryszewski, Riggio, Rizollatti, & Umiltà, 1987 ; Miura, Shinohara, & Kanda, 1994 ; Miura, 1996), "object-centered representation" (Atchley & Kramer, 2001), "surface-centered representation"(He & Nakayama, 1995), "action-centered representation"(Tipper, Lortie, & Baylis, 1992 ; Lyons, Elliott, Ricker, Week, and Chua, 2000), and so on. And some(Atchley & Kramer, 2001 ; Kimura & Miura, 2001) suggested that there are some kind of interactions between these representations such as the parallel processing of object-based selection and space-based selection(Atchley & Kramer, 2001), or object-centered representation is allocated by the mode of viewer-centered(Kimura & Miura, 2001). (4) Recently the effect of development and aging in attention have been focused. But we don't know how does it change in 3-D with age. A study suggested that attention in 3-D does not operate effectively in children(Heinback & Hershberger, 1989). On the other hand, Atchley & Kramer(1998 ; 2000) suggested that the aged people have the same tendency as younger adults. This

tendency may indicate that the aged have some kind of compensation systems. For example, instead of not focusing attention exactly, their attention may be controlled as well as younger adults.

The attention in 3-D has a very complicated mechanism in order to make our veridical behavior in actual situation. Therefore, we should integrate each finding to understand our attentional system. In other words, this integration should help us to interpret the relation between our behaviors and vision in 3-D.