

注意の位置の測定法

塩 入 諭

千葉大学 工学部

〒263 千葉市稲毛区弥生町 1-33

1. はじめに

我々は常に色々なことに注意を払って日常生活を過ごしている。この注意を向けるという操作は、ほとんどの人が理解できるであろう。例えば図1で中心の注視点を見つめながら、円周上にならんだ4文字一組の刺激を観察するとする。ここで4文字の中に同じ文字があるかどうかの判断を求められたら、各組に注意を向けて順に確かめていくであろう。つまり注意を向ける位置を順に移動していくとの内観がある(スポットライトあるいはサーチライト仮説)。また、図2では大きさの異なる2桁の数字がいくつも同じ場所に書かれているが、どの数字を読むかによって注意の広さを変えていると感じる。ある数字を見ているとき他の大きさの数字を読むことが難しいことから、注意の広さが変えられると考えられる(ズームレンズ仮説)。

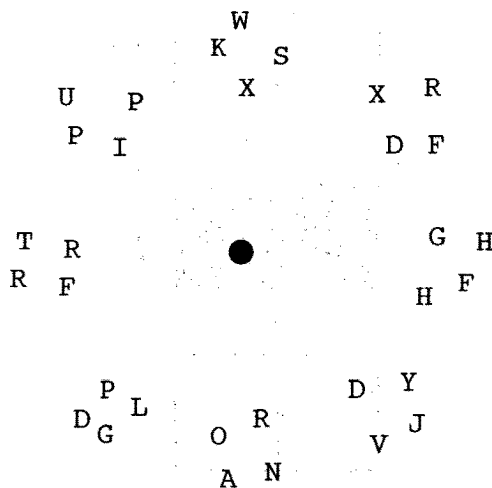


図1 注意を移動しないと各4文字の組みに同じ字があるかわからない

しかし、注意を向けるとはどういうことであるかを客観的に定義するのは難しい。自覚的にどこへあるいは何に注意を向けているかを知ることができるだけである。多くの場合注意と視線の間には強い相関があるであろうが、眼球を動かすことなく注意の位置を変えることができる。そして注意は眼球運動のように測定することができない。

このように注意が純粋に被験者の内的な過程であるがゆえに、心理物理学の分野では注意研究手法が十分確立しているとはいえない。事実、よい心理物理学の実験とは被験者は刺激の検出器になりきり、被験者の内的な過程の入り込む余地を残さないものともいえる。しかし一方で、注意の客観的な取り扱い難さにもかかわらず、多く研究者が研究を続け成果をあげている。これはその興味深さとともに重要性のためであろう。さて注意の研究としては、被験者に注意を向けることを要求し、そこに注意が向いているものとしてその効果を測るが、あるいは



図2 注意は対象の大きさに合わせて変化できる

別の方法で注意が向けるであろう状況をつくりその効果を調べるかである。後者の代表例は注意誘導刺激 (cue) を視野のどこかに呈示して、その後なんらかの測定を行うものである。また、例えば同じ場所に刺激を繰り返して呈示することで注意を制御することも行われる (いつも同じ位置に刺激が呈示されれば、そこに注意を向けることはありそうなことである)。いずれにしても実際に注意がどこにあるかはわからない。注意の位置を測定する方法としては、注意が向いているとの仮定のもとに得られた効果 (反応時間の短縮、弁別閾値の低下など) を測定して、そういった効果があられたときにはそこに注意が向けられていたとするしかない。

本稿では、我々が現在興味をもっている、注意が移動している状況でのその位置を測定する方法について述べる。しかし、この目的のために適した手法を紹介するというより、我々の行ったあまりうまくいかなかった実験を紹介しながら、注意の位置測定の問題点について考察することが本稿の意図である。また、ここで紹介する実験も予備実験の域を越えるものではなく、十分に研究されたものというより実験手法

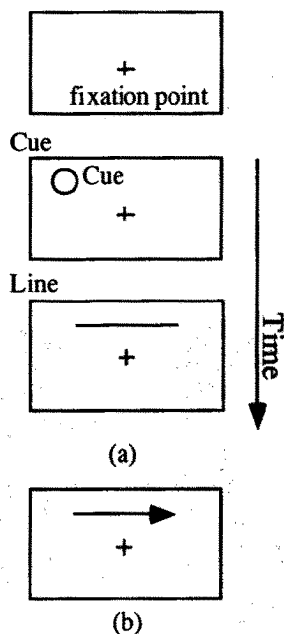


図3 注意を移動しないと各4文字の組みに同じ字があるかわからない

の紹介程度に考えていただきたい。ここで取り扱う問題は、注意のみが移動していると見なせる状況下での注意の位置の推定である。注意のみの移動というのは、注意を向ける対象 (刺激) が移動していないが注意が移動するという状況であり、仮限運動が2つの静止刺激の間を埋めている状況に近い。具体例は後述するが、刺激の動きと注意の移動を刺激の位置から区別するために必要な実験条件である。

2. 注意の効果

注意の位置を測るために注意を向けていることにより得られる効果を測る必要がある。注意の効果としては、反応時間の減少、検出や弁別閾値の低下などが知られるが、線運動や反発効果といった新しいものも見つけられている。最初の2つは、説明するまでもないと思うが、例えばある位置に注意を向けているとその場所でのターゲットの検出が速くなる、あるいは検出

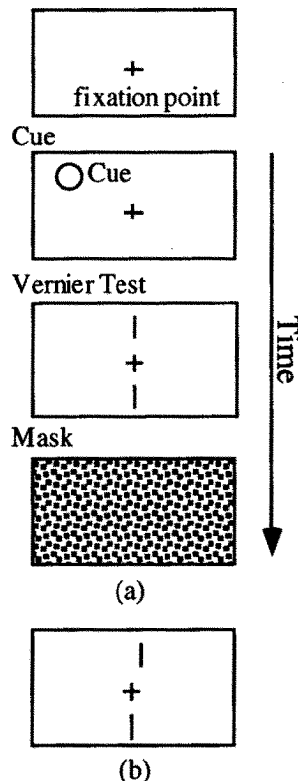


図4 (a)試行の流れ (b)知覚

の感度が高くなることである。ここでは、線運動と反発効果について簡単に説明する。線運動(line motion)は、線分が呈示された時に注意を向けている位置から遠ざかる方向の運動として知覚されるものである。図3に典型的な例を示す。まず、ある位置に注意を誘導する刺激(cue)が呈示され、その後適当な時間の後に適当な位置に線分が呈示される(被験者は固視点を常に見ているものとする)。このとき被験者には線分が誘導刺激の位置から遠ざかる方向へ運動するように見える。もちろん線分は全体が同時に呈示されている。線運動の発見者であるHikosaka, Miyauchi と Shimojo¹⁾は注意を向けている位置では処理が速くなりそのため他の部分より早く刺激が呈示される場合と同様の知覚が生じるのであると説明する。

反発効果は刺激の位置の知覚が、注意によって影響されるというものである²⁾。ここでも図を用いて典型的な例を説明する(図4)。線運動の場合と同様にまず注意誘導刺激が呈示され、その後位置の判断を要求する課題の刺激が呈示される。さらにランダムドットによるマスクが加えられる。この刺激は上下に並んだ線分の組であり、両方がひとつの直線上にあるとする。このとき被験者は、上の刺激線分が誘導刺激から遠ざかる方向に変位しているように知覚する。つまり上下の線分はずれた位置にあるように知覚されるわけである。注意をこの現象とどう係わり付けるかについては別の機会に述べたのでそちらを参照してほしい³⁾。なお、線運動も反発効果も自覚的に注意を向けた場合にも

得られると報告されている。

3. 注意による追跡課題

注意の移動を刺激の運動自体から区別するために、注意のみが移動していると見なせる状況が必要である。これは、注意による追跡課題を被験者に求めることで可能となる⁴⁾。この手法では、運動方向を一意的には決定できないあいまいな運動情報を持つ刺激を用いる。図5はその刺激であるが、円環状に並んだ6個の円盤がフレームAの位置に呈示される刺激とフレームBの位置で呈示される刺激が繰り返される。この位置変化はそれぞれの円盤が時計周りに回転した場合と反時計周りに回転した場合でちょうど同じ回転角度になる位置である。観察者は一般に、時計周りか反時計周りかのいずれかの回転運動を知覚し、注意によってどちらの回転を知覚するかを観察者自身が決めることもできる。さらに、あるひとつの円盤をいずれかの方向に追跡することも可能であり(フレームAで時計文字盤の1時の方向の円盤をBの2時、Aの3時...と続ける)、その追跡は注意による追跡ということになる。いま観察者がひとつの円盤を追跡しているとき、物理的な刺激(および網膜像)ではそれぞれの円盤はまったく等価であり、追跡している円盤が特別ということはない。この追跡は、観察者がある円盤を選択して、そこに注意向けることによって可能となる完全に人間の処理系の内部の操作である。つまり追跡対象の移動は注意の移動の反映であることを意味する。

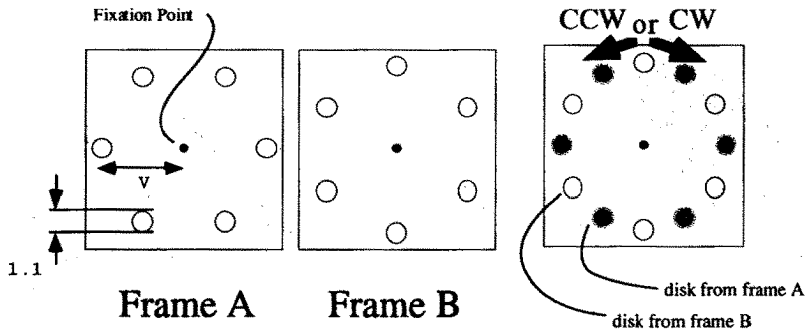


図5 注意による追跡実験に用いる刺激(円環)

ここで、運動方向があいまいな刺激を使う理由は、運動方向が明確な条件では注意の働きなしでも追跡が可能とも考えられるからである。つまり、連続的に運動している対象であれば、追跡にはボトムアップの運動信号を利用することもできるかもしれないのである。しかし、この例のようなあいまい運動刺激ではその可能性を排除することができる。

4. 注意の位置の移動

実験の目的は注意がどのように移動していくかの測定である。ここではあいまい運動刺激での注意による追跡中に、なんらかの方法で注意の位置を推定することを試みた。注意の移動はフレーム A からフレーム B の間で生じると考えられるので、両者の間の様々な位置、様々なタイミングで注意の効果の大きさを測定することで注意の位置の推定が可能となる。図6はこの注意移動の1ステップ(円盤のある位置から次の位置への移動)を時空間座標で表している。横軸は時間、縦軸は位置を回転角で表している。追跡している円盤はこの座標でDisk t1とDisk t2の位置に表すことができる。ここでは呈示時間間隔 (ISI) は呈示時間に対してかなり長い場合を想定している。Disk t1とDisk t2の位置ではそれぞれの位置に注意が存在すると思われるが、これらの間については少なくとも以下の2つの可能性がある、1) Disk t2が呈示されるまではDisk t1の位置に注意があり、Disk t2が呈示されてDisk t2の位置に注意がジャン

プする、2) 注意はDisk t1の位置からDisk t2の位置へ連続的に移動する。前者は注意の不連続な移動、後者は連続的な移動である。いずれであるかは注意の位置の時間変化を調べることで解明できるはずである。様々な位置、様々なタイミングで注意の効果の大きさを測定し、各時間での注意の効果が最大となる位置を求め、それを任意の位置と考えればよい。注意がある場所で注意の効果が最大になると仮定することで注意の位置が測定できるわけである。

5. 線運動による注意位置の測定

注意の効果として線運動を用いた例について説明する。線運動を調べるために線分刺激L1とL2を用いた(図7)。線運動は同時に呈示された線分が注意を向けていた位置から離れる方向に運動して見えるという現象である。したがって原理的にはその強さを様々な位置、様々なタイミングで測定することで注意の位置が測定できる。刺激の呈示位置とタイミングとしては、例えば図6の時空間座標で格子点を用いればよい。線運動の強さを測定するのは一般に簡単ではない。ここでは、線分刺激を2つ使うことで線運動を実際の仮限運動で打ち消す方法をとった。L2をL1に対して適当な時間早く呈示することでL2からL1へ向かう運動を生じる。注意による線運動があるときはL1からL2へ向かう運動を生じる。両方向の運動が拮抗する(相殺する)ような時間遅れを探すことで、注意による線運動の強さを測定できると考える。

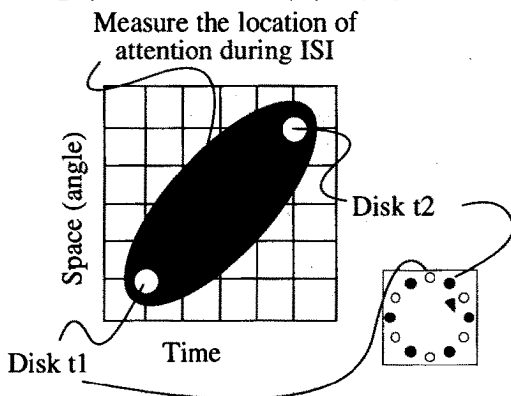


図6 追跡刺激円盤の時空間座標表現

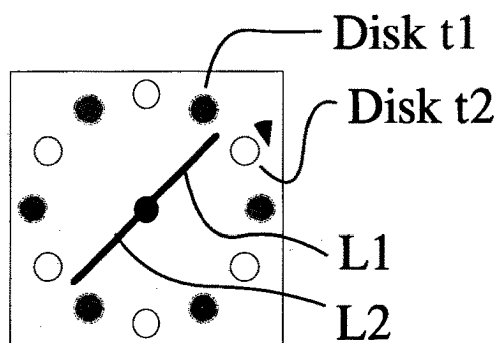


図7 追跡刺激と線刺激

Subject tracked the marker and kept tracking after it disappeared

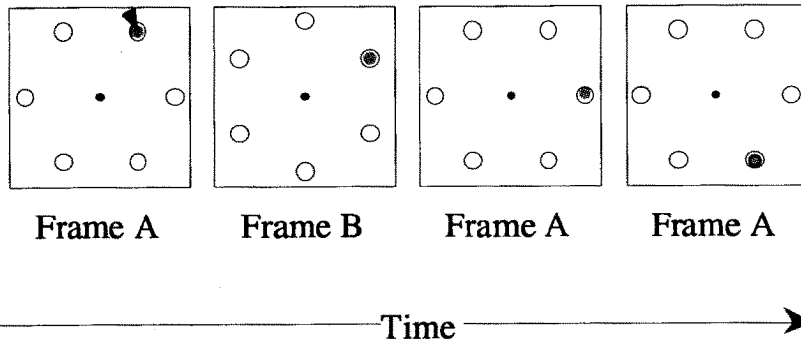


図8 追跡刺激へのマーカーの提示（円環）

線運動の強さを時間に置き換えることができると考える根拠は、線運動は注意を向けている場所での処理が速くなる結果であるとの説明に基づいている。実際に時間のずれを導入すればその処理速度の促進効果を打ち消すことができるはずである。

実験では、時間遅れを変数として恒常法により運動方向の応答を測定した。応答は、運動方向が追跡している円盤から離れる方向か近づく方向かの二者択一の強制選択である。この実験では、各試行において追跡する円盤の位置を制御する必要がある。そのために図8に示すようにマーカーを用いて被験者にはその円盤を追跡することを求める。マーカーが消えたのち円盤4個分の追跡を続ける。それに続くISIのどこかで線分L1とL2が呈示される。L1とL2の呈示終了後被験者はキーボードで応答する。

この実験では線分L1とL2の呈示位置は、Disk t1とDisk t2の中間として、L1呈示のタイミングをDisk t1と同時に、Disk t2と同時に、およびその中間（それぞれ、 $t=0$ 、 $t=0.5$ 、 $t=1$ とした）とした（L2の呈示はL1に対して様々な遅れを持つ）。連続的な移動があるとすれば注意の効果は $t=0.5$ で最大となるとの予想ができる。もちろん線形に移動するとは限らないので可能性は多様であり、実際には他の多くの組み合わせについても測定すべきであるが、まずは限られた条件で実験を行った。

ここでは詳細については触れないが、フレームの入れ替えの時間条件は追跡にとって重要な条件であり、様々なものを試みた。以下の実験では追跡が容易であり、また比較的スムーズな運動が知覚されたものを用いた。それは、それぞれのフレームが正弦波状に輝度を増加/減少し、1フレームは呈示開始から終了まで450ミリ秒でISIは450ミリ秒の呈示である。

被験者SSの結果を図9に示す。横軸がL2のL1に対する呈示時間の遅れ、SOA（負のときL1より早く呈示される）、縦軸が追跡円盤から離れる方向に運動する動きが見えたときと応答した頻度である。異なるシンボルは、異なるタイミングの3条件とコントロール条件を表す。コ

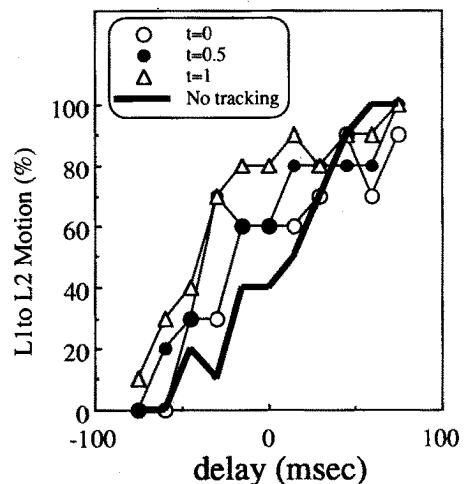


図9 線刺激の提示タイミングと線運動の大きさ

ントロール条件ではマーカーが呈示されず被験者は追跡課題を行わない（運動方向は、便宜的に追跡が行われた条件で円盤がある位置をもとに決めている）。まず図9からわかることは、コントロール条件にくらべて他の条件では、横軸ゼロにおいて追跡円盤から離れる方向の応答が多い。つまり注意による線運動の結果が得られている。また、追跡条件ではSOAが30から50ミリ秒程度のときいずれの運動方向も50%となり、注意の効果の強さが30から50ミリ秒程度であるといえそうである。

ここで問題となるのはその注意の効果の強さが線分呈示のタイミングによってどのような影響を受けるかである。図9から見る限り $t=0$ でもっとも大きく、次に $t=0.5$ そして $t=1$ の順である。しかし、条件による差がそれほど顕著であるとは言えない。フレームの入れ替えの時間条件を変えた他のいくつかの実験結果でも、条件間の差がこの順番と異なる場合もあった。ここで、この手法で研究を進めるべきかどうかの判断は迷うところであったが、結局この実験はこれ以上続けていない。その理由は実験結果が条件間の差を明らかに示さないことに加え、被験者の判断の難しさにもあった。ここでは2本の線刺激を用いるが知覚される運動は必ずしもいずれかの端からもう一方の端へ向かうわけで

はなかった。特にSOAが大きい場合、いずれの線分も注視点から外側へ運動してみえることも少なからずあった。もう一点は、線運動自体が注意の影響のみではないとの主張を耳にし始めたことである。もっとも単純な問題点は、注意を誘導する刺激は注意の誘導のみではなく仮限運動の第1刺激としても働きうる点である。ここでの手法は $t=0$ と $t=1$ では、円盤が呈示されるため、それらの第1刺激としての働きは大きいかもしれない。そうであれば $t=0.5$ で注意の効果が存在していたとしても、刺激のオンやオフの強い影響と比較すると小さく、その効果は実験結果に現れにくい可能性がある。図9からは、 $t=0$ で注意の効果が強いように思われるが、円盤刺激のオン/オフの影響とも考えられる。もちろん、これは十分に論理的な説明とはいえない。なぜなら刺激のオン/オフは線分の反対側でも全く同じように起こっているので、実験結果の説明には注意の介在が必要となるからである。しかし、オン/オフの影響と注意を完全に分離できるかについては疑問であり、このような手法を用いる場合には十分な注意が必要であろう。

6. 反発効果による注意位置の測定

線運動の代わりに反発効果を用いて、注意の位置を測定することも試みた。線運動と違い反

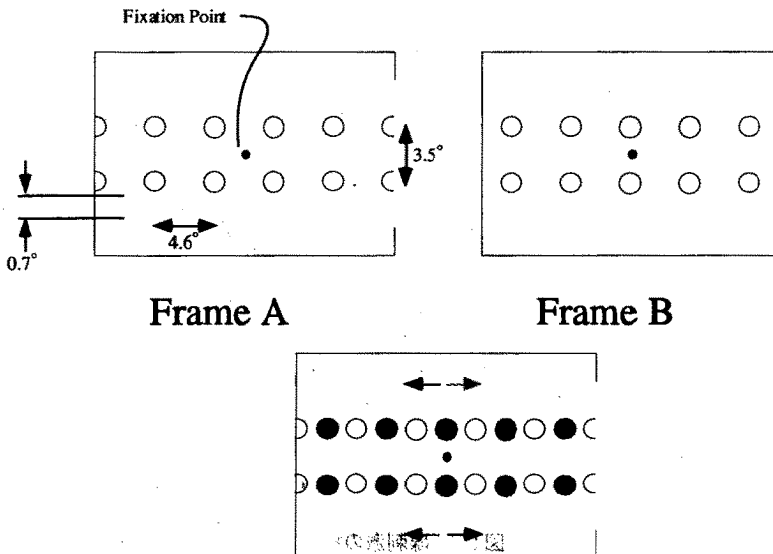


図10 注意による追跡実験に用いる刺激（直線）

発効果は仮限運動が直接係わるとは考えにくいし、判断も容易であるとも思われた。しかし、プローブ刺激である副尺状の2線分（図4参照）の呈示位置を考えると図6の円環状の円盤刺激配置では扱いにくいことがわかる。そこでここでは、2列の直線状に並んだ円盤を刺激とした（図10）。フレームAとBを交互に呈示した場合に図中実線で示した方向に運動を見ることが灰色の線で示した方向に運動を見ることがもできる（上下の円盤を同じ方向に見ることがより容易であるがここでは測定方法の制約から逆方向の場合のみを考える）。追跡する円盤（ここでは上下2つ）は、やはりマーカーによって示されその後注意による追跡を行う。円環状配置の場合と異なり、マーカーの呈示をあまり長くはできない。ここでは円盤5個分の呈示をしてその後3個分の追跡を行った（図11からもわかるように追跡は中心を通過して反対側にまでおよぶ）。プローブ線分はDisk t1とDisk t2の中間位置に、Disk t1と同時（ $t=0$ ）、Disk t2と同時（ $t=1$ ）、およびその中間（ $t=0.5$ ）の3条件のタイミングで呈示した。これは線運動の条件と同じである。フレームの呈示はやはり正弦波状に輝度を増加/減少するものを用いた。1フレームは呈示開始から終了まで225ミリ秒、ISIは225ミリ秒であった。こ

の条件も主に追跡のしやすさを考えて選んだものである。また、ここで2つの追跡円盤を用いたのは反発効果を大きくするためである。

実験は2つの線分の間の空間的ずれを変数とし、恒常法により応答を得た。被験者は左右の線分のいずれが上方に位置するかの判断をした。実験結果を図12に示す。横軸は2つの線分のずれ、縦軸は注意の位置から離れる方向の応答した（図11の例で左が上）頻度である。横軸の正方向は注意の位置から離れる方向へのずれであり、負の方向は反発効果があった場合それをキャンセルする方向である。図中シンボルの違いはタイミングの異なる3条件とコントロール条件としての追跡なしの条件である（応答は追跡したと仮定した場合の方向を便宜的に用いた）。追跡の3条件はいずれもコントロール条件に比べて注意の位置から離れる方向への応答が多く、反発効果が得られていることがわかる。その効果を打ち消すためには、視角にして10分程度逆方向にずれをあたえる必要があることがわかる。呈示のタイミングの異なる条件で比較すると $t=0.5$ の条件で反発効果が大きく、次いで $t=0$ 最後に $t=1$ となる傾向が見られる。これは、 $t=0.5$ において注意がDisk t1とDisk t2の間にあることを支持する結果である。

この反発効果の実験結果は線運動の実験より

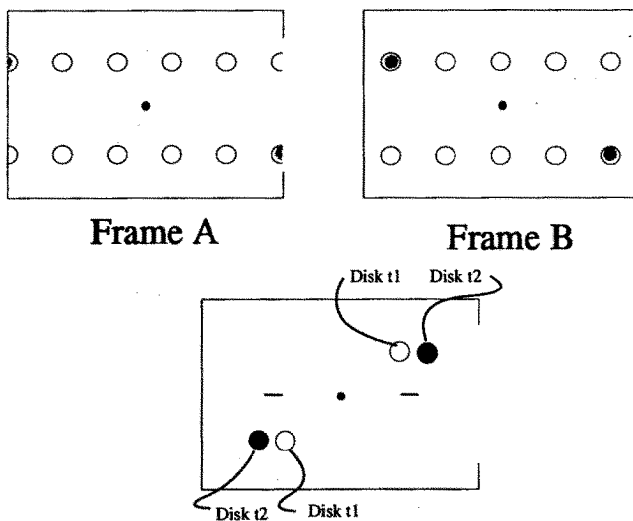


図11 追跡刺激へのマーカーの提示（直線）と区線分刺激

も目的に一致しているように思われる。まず重要な点は、 $t=0.5$ で効果の最大となるので、線運動の場合に比べて刺激のオン/オフの影響が相対的に小さい可能性がある。つまり注意の位置の影響が測りやすいと考えられる。また、この効果の大きさはコンピュータのディスプレイの上で5から10 pixels となるため扱いやすい(線運動の効果は2, 3フレームであった)。しかし、タイミング条件による差はそれほど顕著に現れていない点では、線運動の場合と大きくは違ってはいない。実際さらにタイミング条件などを増やした結果では、タイミングや呈示位置による反発効果の差を明確に得ることはできなかった。その原因のひとつは、追跡の難しさのため注意の位置が試行によって一定にならないためと考えられる。このシリーズの実験は上下法で数多く行ったが、結果は必ずしも安定した収束を示していない。収束していったと思っても突然大きなずれが見られることも少なからずあった。あるいは恒常法による実験を続けるべきであったかも知れない。しかし、この条件での追跡は難しくかなりの練習が必要な点で現実的でないと判断もあり、結局この実験も途中で断念した。また、オン/オフの影響についても、別の条件の結果も総合して考えるとかならずしも回避できているかは疑問が残る、

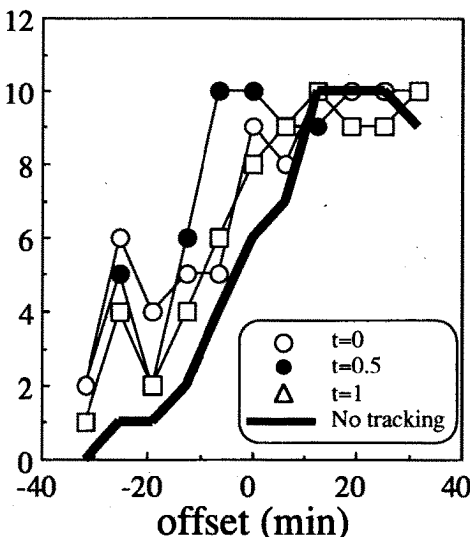


図12 線分刺激の提示タイミングと反発効果の大きさ

それもこの実験を続けなかった理由の一つである。

7. その他の方法

上述の2つの実験方法については、ここで述べた実験条件以外にも多くの試行錯誤を行ったがそれほど満足のいく結果を得られなかった。そのため、さらに別の方法についての検討も行った。もっとも一般的な注意の効果である、弁別課題に対する応答時間の短縮を使った実験も試みた。原理は上の2つの実験と同様に、追跡課題を行っている時に時空間座標の様々な位置にターゲットを呈示して、それに対する応答を測定するというものである。ターゲットとしては円の右か左が欠けている図形であり、被験者はできるだけ早くどちらが欠けているかをキーを押し分けて応答する。この実験の結果もやはりターゲット呈示の時間や位置による応答時間の差を明らかにするものではなかった。応答時間自体が比較的ばらつきやすい測定値であることもあるが、測定法の問題もあると思われる。ターゲットはなにもない場所に突然呈示されるのでそれ自体が注意を引きつける刺激となりうるので、ターゲット呈示以前の注意の位置の影響を顕著に取り出せる条件ではない可能性も高い。もちろんターゲットのコントラストを落とすなどしてその効果を減らすことも可能であるが、可視性を落とすと見にくさのため全体に応答時間が長くなり、条件間の差がはっきりしなくなるという問題が生じた。

ここまで述べた3つの実験の結果は、いずれの手法も時空間的に近い位置での注意の移動を測定するには適していないことを示している。そこで現在はいままで知られている注意の効果の代わりに別の方法を用いて実験を行っている。ひとつは運動刺激による注意の捕獲による注意位置の測定⁵⁾、もうひとつは適当なプロブ刺激を用いそれとの相対位置から追跡対象の位置を評価する方法である⁶⁾。いずれの実験でも注意の位置変化を推定することが可能であり、連続的に注意の位置が移動をしているこ

とを支持する結果を得ている。これらの実験は継続中であるのでここではこれ以上は述べないが、ひとつ問題点を指摘しておく。それは、これらの実験が注意の位置を真に捕えているかについては検討の余地がある点である。ここで紹介した他の注意の効果の実験との比較も必要であるかもしれない。

8. まとめ

ここで紹介した実験は、いずれも期待した成果を得ることができなかったものである。その主な原因は時間変化の多い刺激上で注意の影響を測らねばならなかった点であると考えている。刺激のオンやオフは注意と関係してであれ無関係であれ、視覚の様々な側面に影響を及ぼす。もちろん、線運動の実験でも反発効果の実験でも刺激のオン/オフだけを考えれば全く効果が得られない条件設定になっているし、追跡なし条件の結果との比較はそのことを裏付けている。注意を向けている側とその反対側での差の検出ははっきり取り出せているといえよう。しかし、追跡している対象の付近においては実際の注意と刺激のオン/オフの影響を分離する事が難しいのではないだろうか。もちろん、注意の範囲が広いためにあまり大きくない呈示位置や時間の差が検出ができないとも考えられる。いずれの考えが理にかなっているかここでは判断できないが、誘導刺激を用いて注意の実験をする場合は、誘導刺激のオン/オフの注意誘導以外の効果を考える必要があろう。

誘導刺激は、注意の位置を制御するのに適しているが、その効果が注意だけに与えない点で問題である。それに対して、自覚的に注意を向ける場合は、注意だけを制御していることになるが、その信頼性には問題がある。さらに、両者の注意が同じものであるかにも疑問があるなど、注意の扱いにはさまざまな問題が残されていて、今後多くの研究が必要であらう。

最後にこれらの実験は筆者が Patrick Cavanagh 教授の研究室に滞在中に行ったもので、Cavanagh 教授には研究の動機、環境および多くの助言をいただいたことに感謝する。

文 献

- 1) O. Hikosaka, S. Miyauchi and S. Shimojo: Focal visual attention produces illusory temporal order and motion sensation. *Vision Research*, 33, 1219-1240, 1993.
- 2) S. Suzuki and P. Cavanagh: Focused attention distorts visual space. *Investigative Ophthalmology and Vision Science*, 35, 2081, 1994.
- 3) 塩入 論: Harvard Vision Lab における視覚的注意の研究. *VISION*, 7, 97-100, 1995.
- 4) P. Cavanagh: An attention-based motion perception. *Science*, 257, 1563-1565, 1995.
- 5) S. Shioiri: Measuring trace of attention by attention capturing. *Investigative Ophthalmology and Vision Science*, 36 (ARVO suppl), S372, 1995.
- 6) S. Shioiri and P. Cavanagh: Localizing the object tracked by attention. *Investigative Ophthalmology and Vision Science*, 37 (ARVO suppl), S213, 1996.