

■シンポジウム 後方連合野への新しい視点

感覚—運動協応・感覚間統合と空間的注意

下 條 信 輔*

要旨：感覚間統合に関する実験心理学的・心理物理学的な研究を、筆者の研究事例を中心に概観した。特にプリズム順応、視覚的捕獲、反応時間、線運動錯視などの研究成果から、感覚間統合の問題は多くの場合、感覚—運動協応の機能と密接な関連を持つこと、また空間的注意が統合に重要な役割を果たすことが示された。

神経心理学 13 ; 96-101, 1997

Key Words : 感覚—運動協応, 空間的注意, 視覚的捕獲, 反応時間, 線運動錯視
sensory-motor coordination, spatial attention, visual capture, reaction time,
line motion illusion

感覚間統合に関する最近の実験心理学的研究の文脈の中で、筆者が特に関心を持っているふたつの側面を、ここではとりあげる。そのひとつは、感覚系と運動系の協調または協応にかかわる側面であり、もうひとつは空間的注意や空間的記憶にかかわる側面である。筆者らの研究を中心に比較的新しい知見を紹介しながら、これら諸機能のきわめてダイナミックな連携のありさまを浮き彫りにしてみたい。

I 感覚—運動協応における記憶の役割

感覚間統合に関する実験心理学的研究というとき、誰でもまず想起するのは、プリズムやさかさめがねに対する知覚的順応実験であろう。

このような視野変換の状況下では、視覚的身体と触覚的身体部位の一致・不一致が正立・倒立の決め手となる。Strattonら初期の研究者は、そう考えた。このように初期には、感覚間の分裂と統合の過程が、まずは問題となったようである。しかし後には、単なる運動学習なの

か、それとも知覚そのものの変化なのか、という二分法的な問題が設定され、やがて感覚系と運動系との間の協応とその学習過程とに、研究者たちの関心は移った。

これは、感覚統合の実験的研究全体を総括する意味でも、象徴的な推移であったといえる。すなわち感覚間の空間的統合が問題となるときには、必然的に感覚—運動協応が問題となるのである。

これらはいずれも、順応や学習など時間軸上の長期的変化を問う研究だが、感覚系と運動系の空間的な協応関係を調べる別の代表的な手法として、反応時間の研究がある。

たとえば視野内の2カ所（固視点の左右）のどちらかに視標が呈示され、これに対してできるだけ早くボタン押しまたはサッケード眼球運動などで反応するという課題を考える。言うまでもなく、このとき視標の呈示位置がランダムではなく、なんらかの系列的の偏りがある（たとえば位置が連続しがち、あるいは交替しがちな

1997年4月14日受理

Roles of Spatial Attention in Sensory-motor Coordination and Cross-modal Integration.

*Shinsuke Shimojo : Computation and Neural Systems, Division of Biology, California Institute of Technology, Pasadena, U.S.A.

(別刷り請求先 : Computation and Neural Systems, Division of Biology, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125 U.S.A. Shinsuke Shimojo)

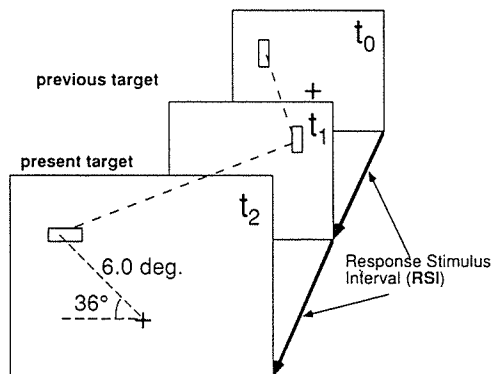


図1 反応時間実験の刺激布置と時間系列
視標の位置（左上／右上），色（赤／緑），形（縦長／横長）はすべて独立にランダム系列とされ，また課題にかかわらず刺激の布置と系列は同じであった。

どの) 場合には，当然被験者は十分な経験によってこれを学習することができ，反応時間にも偏りが生じる。すなわち，予測どおりの位置に指標が実際に呈示された場合に，反応時間がより短くなる。

ところが，こうしたトップダウン方向の（知識による）偏りとはまったく独立に，したがってたとえば呈示位置がまったくランダムな条件ですら，位置に依存する偏りが反応時間に生じることが知られている（Posner, 1980 ; Tanaka & Shimojo, 1993）。しかし，その偏りの方向については，文献がまったく二方向に分かれており，混乱が生じていた。すなわちある一群の研究によれば，前の試行と同じ位置に指標が呈示された場合に，反応時間はより短くなる（いわゆる手がかりによる促進効果）。これに対して別の一群の研究では，同じ位置でむしろ反応時間が長くなるというのである（いわゆる復帰抑制の効果：Posner & Cohen, 1984）。

そこでわれわれは，この問題によりシステムティックにアプローチするために，視標の呈示位置だけではなく，その色および形（長方形の方向）をも，それぞれ独立のランダム系列とした（図1）。被験者には（1）単純検出，（2）位置の弁別，（3）色の弁別，（4）形の弁別の四つの課題を課した。これらの課題は別のセッションで行われたが，刺激の系列は本質的に同一であった。また課題（1）では単一ボタン押

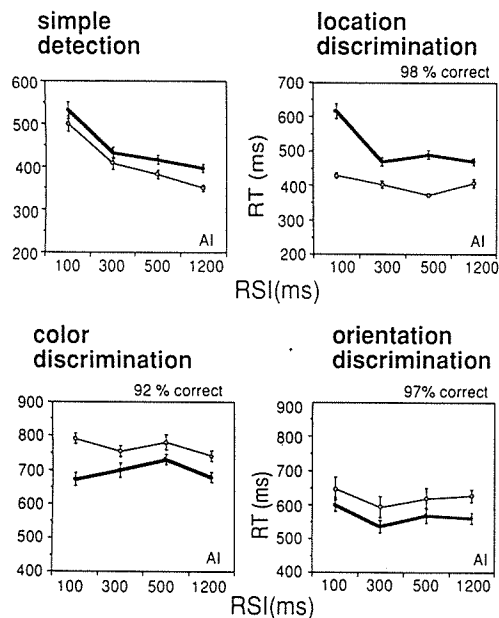


図2 反応時間実験の結果

上段左は単純検出課題，上段右は位置弁別課題，下段左は色弁別課題，下段右は形（方向）弁別課題の結果をそれぞれ示す。また太線は前試行と同じ位置における反応時間，細線は反対の位置における反応時間を示す。

しを反応に用いたが，他の三課題は強制二肢選択でありふたつのボタンのいずれかを押すことを求めた。すなわち刺激の系列も反応の選択肢も，まったく同一であり，異なるのは課題とそれともなう内的過程のみであった。

それにもかかわらず，図2に見るように，結果は二方向に明確に分かれた（図2の上段左は単純検出課題，上段右は位置弁別課題，下段左は色弁別課題，下段右は形（方向）弁別課題の結果をそれぞれ示す。また太線は前試行と同じ位置における反応時間，細線は反対の位置における反応時間を示す）。単純検出と位置弁別の課題では，同じ位置に指標が反復された場合に反応時間が遅延した（復帰抑制）。これに対して色や形の弁別課題では，同じ位置でむしろ反応時間は短縮されたのである（復帰促進）。

さらに復帰抑制は，サッケード眼球運動や腕伸ばし課題など，空間定位課題一般で生じた。一方復帰促進は，色や形のみならず，明るさ・大きさなど特徴弁別課題一般で生じた。また上

記のような単一視標の場合だけではなく、いわゆるポップアウト刺激（色や方向などなんらかの特徴によって、ひとつの刺激が他から目立って（とびだして）見える刺激）においても、反応時間の課題に依存する乖離が同様に認められた。

このように刺激系列と反応の共通性にもかかわらず、課題の性質（のみ）によって反応時間の場所に依存する促進・抑制効果が逆転したことは、視覚機能が単一ではなく大きくふたつのカテゴリーに分かれており、またそれが視覚神経系のふたつの大きな経路と対応する可能性を示す点で、興味深い（cf. Goodale & Milner, 1992）。さらに忘れてはならない重要な知見として、視覚のみならず聴覚でも、位置に依存する反応時間の偏りが報告されていること、また視覚—聴覚間でも位置に依存する効果の可能性があることを指摘しておきたい。感覚—運動協応の代表的手法である反応時間の研究においても、ふたたび感覚間の空間情報の統合の問題が問われるのである（一連の反応時間に基づく研究については、Tanaka & Shimojo, 1996 ; Shimojo, Tanaka, Hikosaka & Miyauchi, 1996 ; Shimojo, Tanaka & Watanabe, 1996などを参照）。

II 感覚モダリティ統合における 空間的注意の役割

上記のような形で知識とは独立に反応が促進されたり抑制されたりする現象は、純粹にボトムアップの要因による注意の焦点の移動（いわゆる前注意過程）によって説明されてきた。事実注意の制御にかかわる過程は、感覚間統合や感覚—運動協応に関する他の現象でも、しばしば重要な役割を果たしているようである。

ここではその一例として、視覚的捕獲現象と呼ばれるものを見てみよう。視覚的捕獲現象とは、視覚的な空間情報と他のモダリティによる空間情報とが矛盾する場合に、視覚が勝って他方のモダリティを歪める、あるいは引きずる形で統合を達成する現象をさす。たとえばくさび型プリズムを装着することによって、眼前にか

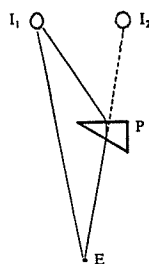


図3 くさび型プリズムによる指の視覚像の二重化
Eは眼、Pはプリズム、I₁は実像、I₂は虚像をそれぞれ示す。

ざした指の視覚的位置を横にずらすと、当然のことながら体性感覚的位置との間に矛盾を生じる。ところが閉眼条件では、体性感覚的に感じられる位置が視覚的な位置に引きずられるため、この矛盾を知覚しない。これが視覚的捕獲である。これは変換条件での感覚統合の短期的な形態であり、より長期におよぶ知覚的順応の基礎的段階と考える論者もいる。（なお同様の捕獲現象は形の知覚でも生じ、また音声知覚でも生じる（McGurk 効果）ことが知られている。）

このような変換条件でも、たとえば見える指と感じられる指との一対一対応は保たれている。この事実に関心を持ち、くさび型プリズムを指と単眼との間の特定の位置に置くことによって、一本の指の二重像化を実現した（図3）。すなわち一対二の対応を人工的に実現したのである。そしてこの二重像条件下における視覚的捕獲現象について、定性的観察を行い（Shimojo, 1987）、次のような結果を得た。

（1）閉眼条件では、当然指は本来の位置に（体性感覚的に）知覚される。しかし開眼すると指の体性感覚的な位置は、視覚像のどちらかに捕獲される（すなわちその位置に感じられる）。中間に感じられることはない。

（2）虚像に捕獲されている状態で閉眼すると、ただちに体性感覚的位置は元に戻る（実際に戻る、または移動するという感覚がある）。

（3）開眼して指の光学的実像（図3のI₁）と虚像（I₂）とを交互に固視すると、それぞれ固視した方の視覚像の位置に体性感覚的位置が感じられる（捕獲される）。その際に、実像と虚像の間で優劣はない。視点を移動するとただちに体性感覚的位置も移動する。

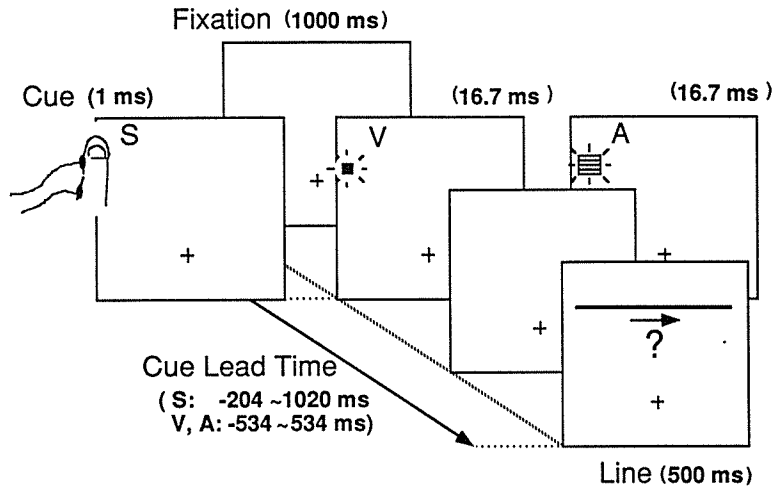


図4 クロスモダルな線運動錯視の刺激系列

手がかりには光点、音、電気刺激のいずれかが用いられ、線分は画面上の同じ位置につねに視覚的に表示された。

(4) 視点の移動なのか、注意の焦点の移動なのか、当然問題となる。そこで実像と虚像の中間に固視点を設け、数秒ごとに実像と虚像の間で注意を自発的に往復させた。その結果、視点の移動の場合とまったく同様に、体性感覚的位置の捕獲と移動が生じた。

この最後の結果は特に、視覚と体性感覚との間の空間情報の統合過程において、自発的注意がクリティカルな役割を果たしていることを示す点で、重要であると思われる。

III 聴覚・触覚刺激および運動準備による線運動錯視

筆者らは最近、注意によると思われる運動錯視の現象を見出した。すなわち、視野内のある箇所に空間的注意が集中していると思われる状況下で、その位置とそれ以外の(離れた)位置とをつなぐような線分を呈示した。するとそれが物理的に同時に呈示された場合でも、あたかも注意の焦点側から反対側に向かって継時的に描かれたかのような知覚が生じた(線運動錯視: Hikosaka, Miyauchi & Shimojo, 1993a, b, c)。この現象について、空間的注意の集中によって視覚情報処理の効率(速度)に勾配が生じ、この勾配が感覚化時間(刺激のオンセットから知覚までの時間)の差に反映されるため

に生じるという仮説(prior entry 仮説)を筆者らは提唱した。

ここでは詳述しないが、線運動錯視は刺激依存性(ボトムアップ)の注意の集中だけではなく、自発的な注意の集中によっても生じると考えるべき、複数の証拠がある(Hikosaka, Miyauchi & Shimojo, 1993a; Shimojo, Tanaka, Hikosaka & Miyauchi, 1996)。たとえば、光らせるなどして目立ちやすくした視標をナイーブな態度で観察していると、次に呈示された線分は、当然この視標から描かれたように知覚される。ところが、視標とは逆側の対象に注意を意図的に集中するように教示すると、視標の呈示から200—250msを越える遅れで線分を呈示した場合には、運動錯視の方向に逆転が起こり、線分は注意を向けた対象(=視標の逆側)から描かれたように知覚されるのである。

ところで、線運動錯視がもし本当に空間的注意の集中を反映しており、かつその効果が視覚に特定されない、クロスモダルな空間表象で生起するのだとすれば、視覚以外のモダリティに与えられた刺激によっても視覚的な線運動錯視が生じるはずである。筆者らは最近これを次のような方法で確認した(Shimojo, Miyauchi & Hikosaka, 1997)。

図4に示すように固視点の呈示後、次の3種

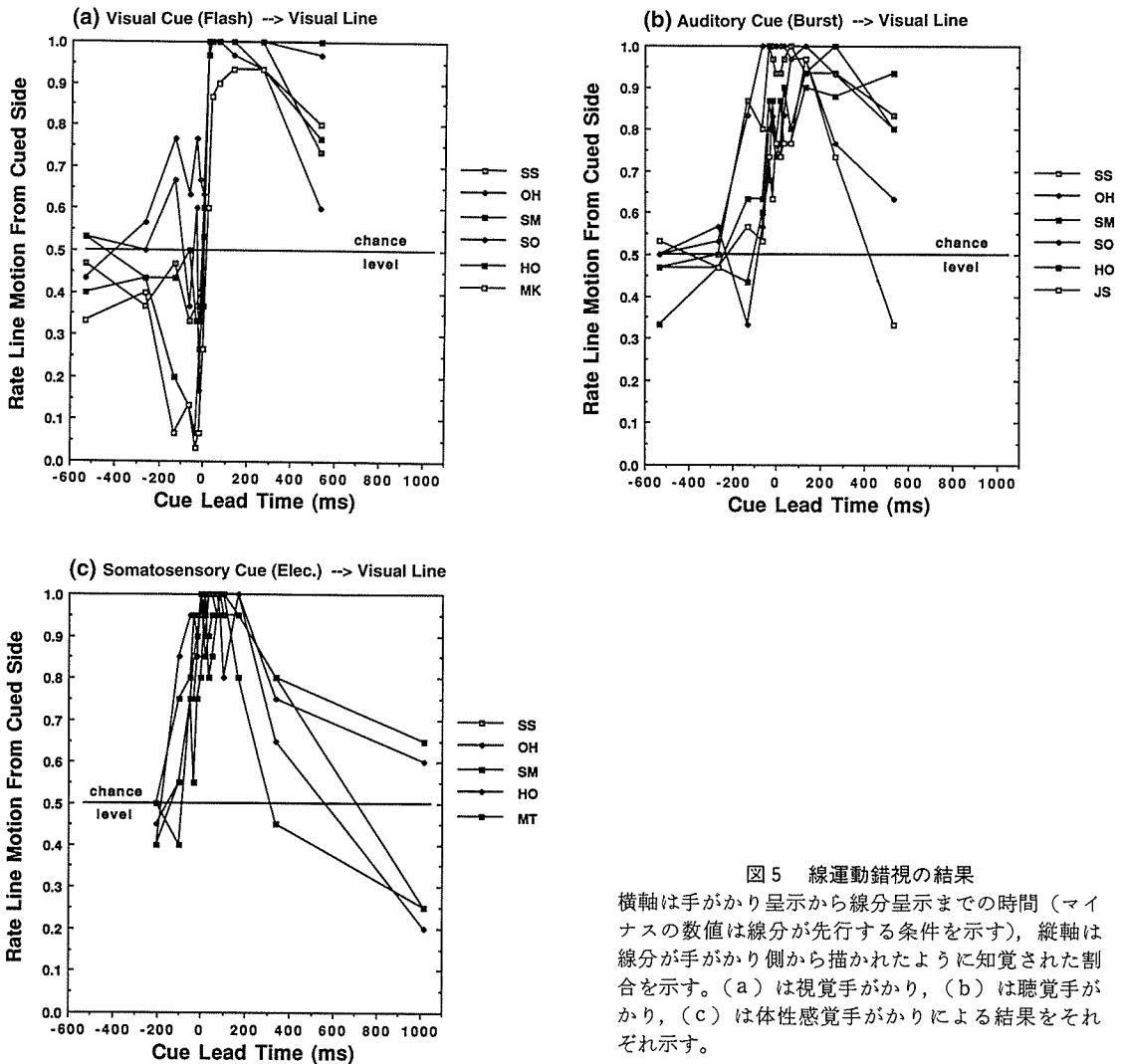


図5 線運動錯視の結果

横軸は手がかり呈示から線分呈示までの時間（マイナスの数値は線分が先行する条件を示す）、縦軸は線分が手がかり側から描かれたように知覚された割合を示す。(a)は視覚手がかり、(b)は聴覚手がかり、(c)は体性感覚手がかりによる結果をそれぞれ示す。

類の手がかりのいずれかが、画面の左上または右上のどちらかに呈示された：(1) 光点 (17 ms)、(2) ビープ音 (17ms)、(3) 電気刺激 (1 ms)。音刺激はモニタの左右に設置されたスピーカーによって、また電気刺激は両手人さし指をモニタ両側に置き、それぞれに電極を装着することによって呈示した。この3条件はそれぞれ別のセッションで行われたが、いずれの場合にも、各試行の最後には線分が視覚的に呈示され、被験者は右から描かれたか、左から描かれたかの強制二肢選択判断を求められた。

結果を図5に示す((a)は視覚手がかり条件、(b)は聴覚手がかり条件、(c)は体性感

覚手がかり条件の結果をそれぞれ示す)。これらのグラフからも明らかなように、視覚のみならず聴覚や体性感覚手がかりによっても、一過性ながら強い線運動錯視が得られた。これは線運動錯視が、視覚にとどまらないクロスモダルの空間的注意を反映していることを示すと考えられる。

IV まとめ

—空間的注意の協応的・統合的特性—

以上に見てきたプリズム順応、反応時間、線運動錯視などの研究事例から明らかなとおり、感覚間統合の問題は多くの場合、感覚—運動協

応の場面で問われており、また空間的注意が重要な役割を果たすことが多い。環境に対して適応的に行動するためには、さまざまな感覚モダリティからの情報を統合してまとめた対象の表象を得る必要があり、また必要とされる表象の特性は要求される課題に依存することを考えれば、これはむしろ当然であろう。

健常者を対象とする実験心理学的研究の成果や方法を、脳損傷者の神経心理学的研究に応用することができれば、新しい研究の道が開けるかも知れない。fMRI や PET など最近の脳機能イメージング技法は、この意味からも有力な支援技術であるといえそうである。

文 献

- 1) Goodale MA, Milner AD : Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience* 15 ; 20-25, 1993
- 2) Hikosaka O, Miyauchi S, Shimojo S : Focal visual attention produces illusory temporal order and motion sensation. *Vision Research* 33 ; 1219-1240, 1993a
- 3) Hikosaka O, Miyauchi S, Shimojo S : Visual attention revealed by an illusion of motion. *Neuroscience Research* 18 ; 11-18, 1993b
- 4) Hikosaka O, Miyauchi S, Shimojo S : Voluntary and stimulus-induced attention detected as motion sensation. *Perception* 22 ; 517-526, 1993c
- 5) Shimojo S : Attention-dependent visual capture in double vision. *Perception* 16 ; 445-447, 1987
- 6) Shimojo S, Miyauchi S, Hikosaka O : Visual motion sensation yielded by non-visually driven attention. *Vision Research*, 37, 1575-1580, 1997
- 7) Shimojo S, Tanaka Y, Hikosaka O et al : Vision, Attention, and action-Inhibition and facilitation in sensory-motor links revealed by the reaction time and the line motion. ed by Inui T, McClelland JL, *Attention & Performance XVI : Information Integration in Perception & Communication*. MIT Press, Cambridge, pp. 597-630, 1996
- 8) Shimojo S, Tanaka Y, Watanabe K : Stimulus-driven facilitation and inhibition of visual information processing in environmental and retinotopic representations of space. *Cognitive Brain Research* 5 ; 11-21, 1996
- 9) Tanaka Y, Shimojo S : Location vs. feature : reaction time reveals dissociation between two visual functions. *Vision Research* 36 ; 2125-2140, 1996

Roles of spatial attention in sensory-motor coordination and cross-modal integration

Shinsuke Shimojo

Computation and Neural Systems, Division of Biology, California Institute of Technology, Pasadena, U.S.A.

Psychophysical and behavioral studies on cross-modal integration are reviewed. Studies on prismatic adaptation, visual capture and reaction time suggest that sensory-motor coordination is strongly linked to the process of cross-

modal integration. The line motion, which was a new illusion discovered recently by the author and his colleagues, was applied to spatial attention, indicating presence of a cross-modal representation of environmental space.

(*Japanese Journal of Neuropsychology* 13 ; 96-101, 1997)