

区分	課程
----	----

(論文 様式)

不確実な環境におけるタイミングの 学習及び制御

スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻

学 籍 番 号 202D02 氏 名 杉山 真人

研 究 指 導 荒木 雅信 教授

目次

1.	序論	
1.1	はじめに	1
1.2	環境に内在する系列的性質とタイミング事態	1
1.3	関連研究	4
1.4	身体システムの運動学習及び制御における情報の利用	6
1.5	環境の不確実性と運動学習及び制御	11
1.6	問題の所在	18
1.7	本研究の目的と構成	21
2.	ランダム刺激に対する反応の一様性	
2.1	目的	24
2.2	方法	24
2.3	結果	28
2.4	考察	32
3.	一様ランダム呈示の習得パフォーマンスへの影響	
3.1	理論的背景と目的	34
3.2	方法	35
3.3	結果	36
3.4	考察	40
3.5	本章までのまとめ	43
4.	ランダム呈示による課題習得レベルと学習効果	
4.1	目的	45
4.2	方法	45
4.3	結果	48
4.4	考察	54
5.	過剰学習による系列要素の組織化	
5.1	理論的背景と目的	59
5.2	方法	61
5.3	結果	69
5.4	考察	73
6.	捕捉行為におけるタイミング特性	
6.1	理論的背景と目的	77
6.2	方法	80
6.3	結果	88
6.4	考察	92

7.	総合考察	
	7.1 本論文の要約	97
	7.2 今後の研究課題	99
	7.3 結論	101
	引用文献	103
	本論文に関する発表論文・学会発表など	112
	謝辞	113

第1章 序論

1.1 はじめに

日常生活からスポーツ場面に至るまであらゆる運動行動には系列的な性質が存在する。例えば、日常的な動作では、車を運転するためにシートベルトを締め、エンジンを始動し、シフトレバーを操作するなどの各動作が含まれる。また、料理を作るにしても材料や調理器具、調味料等を決まった手順で扱わなければ満足 of いく料理は生み出せないであろう。このように系列的な性質は目標とする動作の複雑さや時間的な特徴が異なるにせよ人々が遂行するための動作に埋め込まれている。スポーツ場面において、選手はある運動技能を選択し、常に変化し続ける環境内でそれを遂行しなければならない。選択された運動プログラムは連続的に他の運動プログラムを実行することによって効果的な運動パターンを形成する。系列追従課題において、被験者は文脈における順序を理解しようとしつつも、全体の運動パターンを習得しなければならない (Restle and Burmside, 1972; Poulton, 1974)。日常生活やスポーツ等においても系列的な刺激への反応は存在することから、系列パターンの追従が要求される実験課題は、応用的な場面と類似した環境と位置づけることができる。以下では、本研究と深く関連する先行研究を概観し、研究目的を達成するための問題について論じる。

1.2 環境に内在する系列的性質とタイミング事態

1.2.1 優れた運動に必要なタイミング

優れた運動を発揮するためには、体力や運動能力の水準のみが高ければよいというわけではなく、中枢神経系の情報処理とそれに関連した遠心性神経及び求心性神経が機能する必要がある。また、これらが円滑に機能するためには知覚や認知機能が重要な役割を果たしており、脳機能との深い関連を持つ。そして、脳機能に関わる物質や場所の知識は飛躍的に増大している (銅谷ら, 2005) ことから、我々の日常生活における活動からスポーツに至る複雑な運動の仕組みが微視的なレベルから解明されつつある。他方、いわゆる運動パフォーマンスとして表出される運動にはより早く、より高く、より遠くへ、といったように出力の最大値が要求されるようなスポーツがある一方で、野球のバッティングやフライキャッチ、アメリカンフットボールのレシーブなど外部環境に存在する対象に応じた運動が求められる場合も多く存在する。これらは通常タイミングと呼ばれ、運動を円滑かつ適応的に行うために必要な技能と位置づけられている。タイミングとは「反応のための、最も有効な時間条件を創り出すこと」(Conrad, 1955) と定義され、知覚運動制御及び学習の領

域で研究が進められている（例えば，Isaacs, 1983; Payne, 1987; Wrisberg and Mead, 1981）．特に一致タイミングは多くの運動技能で要求されることから重要視されている．山本（2005）は系列的情報処理を前提として一致見越しタイミングを取り上げ，一致見越しタイミングの研究は，動作を開始するための外的タイミングと，動作を遂行するために個々の筋の時間的配列などを制御する内的タイミングに分類できると述べている．ここで指摘される系列的情報とは，バットスイング動作であれば，運動実行者がボールを見る，打つかどうかの意思決定をする，打つ動作を実行するといった実際の行為及び認知的な機能を単位とした要素のことである．すなわち，身体運動には系列的な要素が備わっているということがいえる．そして，重要な点はこれらの要素は通常，外界の刺激に対する反応として生じることから外界の刺激も同様に系列要素の連続性を含んだ環境として捉えることも可能である．さらに，上記のバットスイングの例は振るという動作のみを取り上げれば単一の運動課題に捉えられる．他方で，バスケットボールのプレー場面を想定すると，個々の選手に求められる技能は，ドリブルやパス，シュートといった単一の技能のみが正確であっても有効な場面は創出できない．そこには味方選手との連携が求められたり，ディフェンダーの防御を回避したりするような能力が要求される．このような場面の特徴はこれら個々の技能が時間的制約のもと連続的に実行することが求められるということである．さらに言えば連続的に実行される技能の遂行は上述の山本（2005）のバットスイングの例と同様に系列的な性質を有するといえる．つまり，単一の運動技能の遂行においても，それが複合的に実行されるような試合場面においても，状況に応じた系列的な関連づけが要求される点は本研究を行うにあたって極めて重要な視点である．では，このような系列的性質を有する事象においてタイミングはどのように機能するのであろうか．調枝（1996）はこの点に着目し系列パターンの追従課題を行なった．具体的には，6個の刺激ボックスとそれぞれに対応した反応キーから構成される実験装置を用いた．刺激ボックスからは光刺激が呈示され，被験者は刺激が呈示された位置の反応キーを押すように教示された．さらに，6個の刺激ボックスからは規則性のあるパターンが呈示された．被験者は刺激の点灯を予測しながら刺激と反応が一致するように反応キーを連続的に押すことによって系列パターンを学習することを求められた．なお，この際の個々の刺激の点灯時間は100ms，刺激間隔時間は500msであった．この実験の特徴は，反応の測度に無反応，誤反応，正反応，見越し反応の4つのパフォーマンス測度を用いた点である．これは刺激-反応間の誤差を基準とする点において一致タイミングの測度と同一であるが，4つの反応が生じることを想定し，その反応の出現頻度から被験者のパフォーマンスを評価したことがこれまでのタイミング研究とは大きく異なる（4つのパフォーマンス測度については第2章で詳述する）．被験者の反応の結果は，学習の初期では無

反応や誤反応が多く出現したが系列パターンの学習に伴って正反応及び見越し反応が多く出現した。この実験から言えることは、系列パターンの学習に伴って反応が正確になるだけでなく、次の刺激をも見越すように反応が変化することである。つまり、スポーツのような系列的性質を持つ事態において、刺激事象を見越す能力は運動技能の習得にとって重要であることを示唆している。

1.2.2 運動の学習を評価する見越し反応

通常、一致タイミングの正確性を評価するためには基準となる刺激に対して運動実行者の反応がどれくらい誤差を含んでいたかが重要となる。これに対し、1.2.1で挙げた調枝(1996)の実験のように連続的に刺激が呈示される系列パターンに対する反応では必ずしも優れた技能遂行を発揮できるとは限らない。例えば、熟練した野球の外野手がフライボールを捕球するような場合では飛来するボールの軌道を連続的に追従するのではなく、飛来するボールの加速度や位置情報の部分的な知覚から落下地点を予測することによって余裕を持った捕球が達成されると考えられる。仮に、初級者に同様の課題を要求した場合には落下位置に移動し捕球するという円滑な技能の遂行は望めないと考えられる。両者の顕著な違いは刺激であるボールの情報と落下位置の見越しの正確性であると考えられる。このことから刺激系列や反応系列の見越しが、良いタイミング条件の創造に寄与し、熟練動作の特徴であるスムーズさを生じさせるといえる(調枝, 1972)。ちなみに音刺激に反応を同期させる単純なタッピング課題においても、多くの試行数を経ることによって反応の基準となる音刺激よりも少し早くタッピングを行うようになり、刺激を先取りした反応傾向が生じることが知られている(小松・三宅, 2003)。したがって学習によって生じる見越し反応が運動の成否を決定する重要な要因となっているといえる。

1.2.3 タイミングに必要な知覚

刺激-反応の関係性において見越し反応がタイミングの創造に寄与すると考えられるが、このような見越し反応や優れたタイミングの発揮には情報の知覚と身体システムが重要な働きをしている。

これまで論じてきた刺激-反応事態では運動実行者は刺激の系列パターンの時空間的所在あるいはそこに含まれる物理的な情報を知覚し、意思決定に反映させる処理を行うことを想定している。これに対し、予見的な情報であるタウ(τ)は運動実行者と移動する対象物の関係についての直接的な情報である。アフォーダンスの立場では障害物を避ける場合、奥行きに関する情報などは必ずしも必要ではなく、利用されている

のは知覚者（運動実行者）もしくは環境，あるいはその両方の動きに伴う「景色の流れの変化」，つまり光学的流動の変化，その中で特定されるタウの情報であるとされる（三嶋, 2000）．つまり，フライボールの捕球の場面では，飛来するボールと運動実行者の相対速度を抛り所として捕球（ボールとの接触）までの時間（time-to-contact）を特定していると理解される．この他に本研究の第 6 章でも取り上げるが，CBA（constant bearing angle）方略に代表されるターゲットと運動実行者の運動の協調関係などから正確なタイミング調節のメカニズムの解明に迫る試みも見受けられる（例えば，Lenoir et al, 1999）．

タイミングのための知覚を利用した研究としては，運動プログラムの再組織化の研究（Teixeira et al, 2006）や熟練運動技能と運動修正に関わる研究（中本・森, 2008）などがある．

ここまで見てきたように，タイミング発揮に必要な情報源の性質について解明を進める一方，知覚する情報源の性質に変化を加え，情報処理機能を理解しようとする試みがなされている．いずれの知見においても優れたタイミングの発揮には対象物の知覚情報が大変重要な意味を持つことの根拠となる．

1.3 関連研究

1.3.1 知覚運動学習と制御を説明するための諸理論

身体システムの運動制御や学習を説明するために諸理論が提案され，運動学習-制御の理解が進んできた．ここではまず身体システムを情報処理機構と捉え身体運動の制御と学習を説明する立場を情報处理的アプローチと位置づけ概説する．なお，1.3.3 ではこれとは異なる立場でのアプローチについても紹介する．

ウィナー（1962）のサイバネティクス（cybernetics）は通信と制御を通して人体の行動を理解する契機となった点で身体運動制御の理解にとって先駆的な理論と位置づけられる．そして，Adams（1970）の閉回路理論（closed-loop theory）では，運動課題の達成のために実行された運動プログラムは様々なフィードバック情報に基づいて誤差検出及び誤差修正が行われることによって運動プログラムが正確に実行される．これは歩行などにおいて他の交通や障害物を回避する場合，視覚情報を頼りに歩行を実行するが，障害物を知覚するとこれを回避するような制御が求められることと対応する．他方，身体システムは常にフィードバック情報に依存した制御を行っているわけではない．閉回路理論は環境が不確実な事態を想定し，環境変化に柔軟に適応するために設計されている．これに対し，実際の環境はあらかじめ決まった規則に従って運動が実行される場合もあり，常にフィードバック情報に頼っているわけではない．例えば，野球の打者においては投手から投げられる球種があらかじめ決められていたとしたら，打者はその投げられる球種に応じたプログラム

だけを用意しておけばよい。閉回路のような誤差検出や誤差修正を必要としないすばやい運動の実行が可能となる (Schmidt, 1991)。これを開回路 (open-loop) 制御とよび優れた身体運動の遂行に必要な機能であるといえる。このように閉回路と開回路の制御系からスキーマ理論 (schema theory) へと発展した。スキーマ理論 (Schmidt, 1975) では身体システムの実行の上で、般化運動プログラム (generalized motor program: GMP) と動作パラメータ (movement parameter) を想定している。そして、一つの運動プログラムに対して動作パラメータが入力されることにより適切な運動が成立する。その際、動作パラメータと運動実行者が行った運動の遂行結果との関数関係である運動スキーマが成立することにより運動が産出されると考えられている。一度この運動スキーマが成立すれば、この運動スキーマに基づいてその動作パターンに最適と思われるように力量などの動作パラメータを調整し、目標とする運動結果を産出することができるようになる。つまり、運動を繰り返すうちに、力量やタイミングなどの調整されたパラメータと遂行結果との関数関係が成立していき、目標とする運動に応じてふさわしいパラメータが選択できるようになるということである。以上の諸理論は、身体を情報処理機構に見立て運動の制御や学習の理解を試みるという特徴を持つ。

1.3.2 環境との相互作用を前提とした身体制御

1.3.1 では身体システムを一種の情報処理機構として捉え、身体活動で生じる制御の原理や学習プロセスについて概説した。これは刺激の入力と出力の関係において、中枢から末梢への遠心性信号による運動出力と末梢から中枢への求心性信号によるフィードバック情報から身体システムを理解しようとする立場であり (山本, 2000)、身体システムを静的 (static) な有機体であることを前提にしている。他方で、身体を動的 (dynamic) に変化するシステムと捉え、身体運動の制御や学習の理解が進められている (山本, 2005)。すなわち、身体をコンピュータのような一種の情報処理機構として捉えるのではなく、時々刻々と変化する環境や身体内部との相互作用を前提とした捉え方であり、ダイナミカルシステムアプローチ (山本, 2002) とも呼ばれる。これは自然界に潜む物理現象の解明にその祖を持ち、システムを構成する多数の要素が相互作用を通じて全体としての秩序を生み出す共同現象の理論として提案された (Haken, 1976)。これが身体運動にも適用されることにより身体システムを自己組織化現象として捉えることが可能となった。代表的な例としては、被験者の両手人差し指をメトロノームに合わせて逆位相で動かし、メトロノームの周波数を徐々に上げていくとある周波数で指が同位相の動きになるとうい現象が挙げられる (Schöner, and Kelso, 1988)。このような現象はシステムを構成する多数の要素が相互作用を通じて、全体としての秩序を生み出す共同現象と

してのシナジェティクス (synergetics) として理解されている (多賀, 2002).

さらに、身体と環境の關係に着目し、環境と身体との相対的な位置關係の変化によって生じる光流 (optical flow) の変化から情報が抽出され、行動が成立するという考え方がある。このような環境から与えられる行為の可能性に関する情報を知覚することによって行為が決定するという考えをアフォーダンス (affordance) と呼び生態学的視覚論 (Gibson, 1979) として制御の原理に体系づけられている。これはダイナミカルシステムと同様、環境との關係性によって身体運動が制御される可能性があるという立場をとっているといえる。さらに上述した理論はベルンシュタイン (2003) の身体運動における自由度問題 (degree of freedom) と関連づけて説明されることも多い。このようにみていくと、身体運動制御のダイナミックな視点からのアプローチが広がりを見せていることが伺える。本研究で取り扱う実験課題においても外部環境からの刺激を視覚情報として入力し反応という行為を産出することから本節で論じた制御や学習の原理が内在していると考えるのが妥当であろう。

1.4 身体システムの運動学習及び制御における情報の利用

1.4.1 運動環境に内在する不確実事態

ここまで、身体運動に伴うタイミングに関する知見とそれを下支えする知覚運動制御及び学習の諸理論について概観してきた。タイミングにとって重要な意味を持つのは環境に内在する情報であることは言うまでもないが、この情報が未知あるいは不明瞭であるがゆえに、運動パフォーマンスが低下する場合が多々見受けられるのも事実である。この環境の情報が運動技能の遂行にとってどのような役割を果たすのか、その基礎的な理論を整理しておく必要がある。したがって、以下では身体システムと環境内の情報の關係性、さらに学習に伴う運動システムの組織化について論じることにより、本研究が解決すべき問題点の一端を顕在化させる。

身体運動の学習における特徴的な側面には知覚と運動協応を未知の状態から既知の状態へ変化させることが挙げられる。前節においては系列パターンの性質を持つ環境における身体システムの制御に焦点を当てるとともに見越し反応の重要性についても言及した。これは刺激に応じた反応の産出を想定している。例えば、スポーツに見られる多くの場面ではディフェンダーの防御を回避したり、飛んでくるボールをレシーブするといったように知覚すべき対象としての刺激が存在することを想定している。この關係性には刺激に依存した反応という強制ペースの運動課題という性質が存在する。これらとは対照的にスポーツにおいては、

いわば自己ペースで課題を遂行する場面も多く存在する。例えば、器械体操の一連の動きやスキーのスラローム、車の運転等である。これらは、決められた動作を正確に行うことが求められるが視知覚だけではなく筋感覚からフィードバックされる情報を頼りにより正確な力量発揮や姿勢制御が求められる。そして、ここで大変重要な点は、これらはいずれも学習初期においては正解となる動作のパターンが未知であるが、円滑な動作の習得に伴ってパターン情報が既知となる点である。これらは、第5章で取り上げる本研究の主要な研究課題であるため、このような学習に関連する事項について概説する必要がある。従って、以下では強制ペース及び自己ペースそれぞれの枠組みで捉えられる刺激-反応事態のいずれにも該当し、かつ不確実な環境における学習の過程に関する知見について概観する。

1.4.2 系列不確定事態での運動学習

運動スキルの重要な性質としては系列的性質がある。そして、多くの運動スキルは複数の運動要素から構成されており、それらの運動要素間の相互作用から系列全体のパターンを習得する。

日常生活からスポーツの競技場面に至るまで、スキルを習得し、学習を促進させようとする場合には必ずしも刺激-反応 (S-R) のような事態ばかりではない。むしろ、探索的な課題遂行を繰り返すことにより学習者にとって新奇の運動パターンを生成する学習も多く存在する。例えば、単純な歩行動作から自動車の運転、スピーチ、ピアノ、チェスなどの複雑な動作まで、人間の行動の様々な形式は系列パターンであると考えられる (Restle and Brown, 1970)。一般的には、他者からの教示や、エラー反応の修正などのフィードバック情報による強化が行われ学習が進展していくと考えられる。このような推測と KR (Knowledge of results : 結果の知識) による学習事態を推測反応系列学習事態とする。

本研究の対象は、反応基準となる系列位置が実験課題中に埋め込まれている反応不確定事態での推測反応系列課題を含む (第5章)。系列刺激が反応に先行して呈示されない反応不確定事態での学習方略は、推測による誤反応から正しい系列位置の情報に関する KR を受けながら、系列位置全体のパターンを習得することである。過剰学習によって形成されたパターンは最終的にはより洗練された運動となって表出する。言い換えれば熟練された動作となって表現される。このような運動スキルの熟練化の特徴は、動作の一貫性、エラーの減少、動作時間の高速化、外部環境の変化に伴う高い適応性などがある。これらの特徴は外部環境、主に学習者自身が直面する運動課題との相互作用、特に情報の伝達が大きく影響していることが推察される。そこで、情報理論を参照して論じるとすれば、学習の促進に関して課題遂行によって学習者が置かれた環境

事態に関する不確定度を減少させるとともに冗長度を増大させることが見込まれる。

1.4.3 不確定度 (uncertainty) と冗長度 (redundancy) から見た情報量

情報の概念を数学的に表現した Shannon and Waver (1949) により情報とコミュニケーションの理論が提案された。情報理論によると、言葉や観察したことは、それによって未知のものが既知となったとき情報となるとされる。言い換えれば、情報とは不確定度を取り去るか減少させるものとして定義される (Attneave, 1959)。ある事象が確実に起きる時、その事象の生起確率は1であるが、生起が予測できない事象の生起確率は0と1の間にある。例えば、偏りのない貨幣を複数回投げた時、表の出る確率は2分の1であると考えられる。このとき、「表」あるいは「裏」の答えに1個についての不確定度は最大値の1をとる。しかし、貨幣に欠陥が存在したとして、事象の出現確率に偏りが出た場合、不確定度が減少することになる。情報理論では2を対数の底として用いる。また、情報量の単位としてはビット (bit) が使われる。つまり、1ビットは等確率の2事象のうち、いずれかが確定することによって得られる情報量を表すことになる。また、推定情報量による不確定度及び冗長度の算出は系列事象にも適用される。

系列事象の不確定度と冗長度の分析は以上に述べた単一事象についての分析を拡張して得られる。例えば、任意の系列に含まれる情報量を推定回数で表すと、2次の不確定度は1つ前の系列が既知の時の不確定度を意味する。以後、同様の手続きにより各回数での不確定度を算出する。逆に冗長度は、直前の反応が既知の時の予測可能性と解釈できる。

系列運動学習事態での推測反応系列では推定情報量を用いて不確定度を求めることができる。系列事象における冗長度の算出も同様の解釈が可能である。運動スキルの学習初期に見られる特徴としては動作時間が低速であり、正確性が低いといったことが挙げられ、学習が進むに従って動作の高速化や正確性の増大が見られる。それは言い換えると学習初期では課題あるいは環境に関する不確定度が高く、必要な情報を得ていないことが推察され、一方で、熟練動作に達すると不確定度が減少するとともに冗長度が増大していることが考えられる。岩原 (1963) は、2つの反応キーのうち1つを推測反応させることにより推定回数の関数としての平均情報量及び冗長度を検討した。また、Frick and Miller (1951) はオペラント条件づけにおける行動の系列依存性について不確定度の分析を行っている。このように、ランダムな系列事象やオペラント条件づけに関して不確定度の分析が行われているが、系列運動学習における先行研究は見あたらない。従って、本研究では以上のような不確定度及び冗長度の測度を用いて、情報を量的に表現し、運動スキル習得時におけ

る推定次数の関数としての情報量の変化を検討する。

1.4.4 乱数の性質とランダムネス

本研究において対象とするランダムとは乱数に基づいて産出されるのが適当である。乱数 (random number) の性質には等確率性と無規則性が挙げられる。等確率性は等出現性という意味を持ち、0 から 10 までの数字を無作為に抽出した時、どの数も同じ割合で現れる性質を持つものを指す。無規則性とは抽出した数の前後に関係が無く、それぞれが独立しているという意味から無相関性、独立性とも呼ばれる (脇本, 1970)。乱数について更に詳しく述べると、乱数とは一般的に一樣乱数を指し、これを発生させる方法には大きく分けて二通りある。一つは算術式を用いて得られる算術乱数であり、もう一つは物理現象を利用する物理乱数である (宮武・脇本, 1978)。算術乱数は区間 $[0,1]$ で一様に分布する乱数発生のための計算式を用いるものである。物理乱数はさいころを振る行為に代表されるように適当な物理現象を使って乱数を発生させる方法である。物理乱数はその発生が手軽にできないことなどから乱数の発生には算術乱数を用いるのが一般的である。

これらのことからわかるように、ランダムの性質をある系列事象に当てはめた場合、ランダム呈示とは次に何が呈示されるかわからないような予測のつきにくい性質を持つものである。

第3章と第4章で扱う文脈干渉効果でいわれるランダム条件も、本来この乱数の性質を用いたランダム呈示をもとに検討されなければならない。ここからは乱数及びランダムという用語を用いる際、一樣乱数を踏まえたランダムネスであると位置づけた上で議論を進めていくこととする。

1.4.5 ランダムネスの検証のための検定

環境の不確実性に対して運動実行者の反応がどのような性質を持つのかを明らかにするためには、不確実性のある事象系列に対する反応の性質にランダム性が内在するかを検定することによって明らかにすることができる。そこで以下では、反応系列にランダム性が存在するかどうかを検定する手法について概観する。なお、ここでは刺激事象のランダム性も検定の対象となりうるが、運動実行者の反応の検定を前提としている。

a) 連の検定(run test)

連の検定は、生成される数列の数字の並び方の偶然性 (無規則性) の検証を行う検定法の1つである (脇

本, 1970). ここでいう生成される数列とは, 本研究においては実験によって得られた被験者の反応に関するデータから得られる系列である. 任意のブロックに分割されたデータから連数を導き出し, 区間全体のデータ数に対する連数の関係から無規則性を検定する方法である. 本研究のランダム性の検定においてもこの検定を採用することとする.

b) χ^2 二乗検定

χ^2 二乗検定は, 1 条件で各観測値が 2 つ以上のカテゴリーのどれかに分類される時に, 各カテゴリーの度数の母比が, 理論的に導出される特定の値と異なるか否かを吟味する検定である(森・吉田, 1990). 反応間隔時間の時系列データを任意の区間に分割し, その区間の平均値, あるいは標準偏差を算出する. これに基づき区間の値に偏りがあるかどうかを検定する.

c) 自己相関分析

自己相関分析は, 反応間隔時間の周期性を分析することにより, ランダムネスの検証を行う. 被験者の反応間隔時間から得られる時系列データに何らかの周期性が認められれば動作パターンを形成していると思なすことができる. 他方, 自己相関係数に周期性が認められなければ, 動作パターンを形成していないと思なすことができる. つまり, 時系列データ間の関係性が低く, ランダムな反応であると思なすことができる.

反応間隔の周期性を検討するために以下の式 (1) に従い自己相関係数を算出し, 分析の測度として用いることができる. なお, この式は反応系列の遅れ時間 (ズレ) が h の時の系列相関の標本値である (岩原, 1964).

$$R_h = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_{i+h} - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

1.4.6 系列パターンにおける秩序形成

高田 (1977) は呈示順序による体制化がどのような形で生起するのかを検討している. 言語の有意味綴りと無意味綴りのリストを 1+1 呈示法を用いて被験者に呈示し, 後に自由再生させる手続きを行った. 1+1

呈示法とは被験者に各試行で1項目のみを呈示し、それまでに呈示した全項目に対する自由再生を求めることである。さらにパターン形成を表す指標として体制化率、系列化率、系列依存的体制化率、系列に依存しない体制化率を用いている。体制化率とは再生系列同士の順序の一致度を表す測度であり、再生した答えが前試行とどのくらい一致していたかを指す。ここではエラーも含めた主観的な反応のまとまりの過程を意味している。系列化率とは呈示順序と再生順序の一致度を表す測度であり、どれだけ正しく再生しているかの指標となる。これら体制化率と系列化率の重複する率を系列依存的体制化率と定義することができる。これは複数の試行間で項目の再生順序がどれくらい一致し、しかもそこに呈示順序がどれくらい反映されているかの程度を表す測度である。最後に、系列に依存しない体制化率とは体制化率から系列化率を引くことにより算出している。つまり、主観的で誤差を含んだ体制化を表す測度である。前出の高田（1977）はこれらの測度を用いて体制化の検討を行ったところ、呈示から再生までに遅延時間を設けると有意味/無意味綴りに関わらず系列依存的体制化の割合が増し、遅延時間の重要性が明らかとなった。なお、上に挙げた測度は、Mandler and Dean（1969）の ITR（2）を基に算出される。ITR（2）は Bousfield and Bousfield（1966）の O（ITR）を修正した測度である。その他、高田（1979）はカテゴリー化した材料を用いて系列依存的体制化について分析するなど、体制化の側面から系列要素の秩序化について詳細に検討している。

また、安藤・調枝（1993）はダンスの運動課題を通してみられる体制化の過程を検討している。高田（1977）と同様に、動作系列について1+1呈示法を用いて系列化、体制化、系列依存的体制化、系列に依存しない体制化などの測度から、自己ペース課題における系列パターンの再生を検討し、習得過程における運動課題のパターン形成過程が明らかになったことを報告している。本研究では第5章において、刺激が埋め込まれた系列事態のパターン習得過程の詳細をこれら体制化に関する指標を用いて明らかにする。

推測反応系列の習得過程では、推測に関する不確実性の減少、及びKR情報に頼らない秩序ある反応パターンが見込まれる。さらに、系列パターン全体の習得に伴う反応間隔時間の短縮が考えられる。本研究では以上のような推測反応系列の習得過程で生成される反応間隔時間の短縮と冗長性の増大を熟練動作の特徴と関連づけて検討する。

1.5 環境の不確実性と運動学習及び制御

1.5.1 反応の不確定事態と学習のパラドックス

運動学習領域には不確実性の性質に着目した研究が、特に学習のスケジュールに焦点を当てて継続されて

きた。情報理論に基づけば、情報が不確実ということはエントロピーが最大化された状態であり、熱力学の立場ではシステムの要素が無秩序に近い状態であることを意味する。これに対して、ランダムな順序で課題を遂行することは一見学習者のパフォーマンスを阻害すると考えられるが、その直感に反して学習を促進するというパラドックスとして注目されている。この運動学習領域における主要なテーマとしては文脈干渉効果 (contextual interference effect) がその典型である。運動学習における文脈干渉効果とは複数の運動課題を学習する際にランダムな順序で呈示される課題を遂行するような高文脈干渉条件 (例: random 条件) の練習が1つの課題を完全に遂行してから次の課題を行うような低文脈干渉条件 (例: blocked 条件) の練習に比べ、習得時のパフォーマンスは劣るものの保持や転移を促進するという現象である。以下では文脈干渉効果に焦点を当ててその研究内容を概観するとともに、不確実性という側面から問題点を指摘する。

1.5.2 文脈干渉研究に関する先行研究

文脈干渉効果は、Battig (1972) の言語的研究をもとに Shea and Morgan (1979) によって運動学習に適用されて以来、多くの研究が報告されている。

例えば、Shea and Morgan (1979) はバリアーノックダウン課題 (Shea and Titzer, 1993) において3つの練習条件を用いてブロック群とランダム群を比較しており、保持段階や転移段階においてブロック群よりもランダム群の方が優れた成績を示した。この他にも様々な課題を用いて実験室環境における研究が報告されている。また、このような実験室環境における研究以外にもフィールドにおいて数多くの研究が報告されている (Boyce and Del Rey, 1990; Gabriele, et al, 1987; Goode and Magill, 1986; Hall et al, 1994; Shea, et al, 1990)。

1.5.3 理論 (仮説) モデル

運動学習における文脈干渉効果を説明するためにいくつかの仮説が提案されている。その中でも精緻化仮説、忘却再構成仮説、逆向抑制仮説が多くの研究によって検討されている。以下ではこれら主要な3つの仮説について解説する。

a) 精緻化仮説 (Elaboration hypothesis)

精緻化仮説は Battig (1972) をもとにして Shea and Morgan (1979) によって運動学習で発展してきた。この仮説によれば、ランダム練習における被験者は多彩 (multiple) で多様 (variety) な情報処理戦略を用いる

のでブロック練習における被験者よりも弁別的で精緻な記憶表象へ導くとされる (Shea and Zimny, 1983). そのためランダム練習では学習した異なる課題がワーキングメモリーに混在するため、弁別のレベルを増しながら習得中に比較されるがブロック練習では毎回同じ課題を練習するのでこの処理が行われない。結果として、ブロック練習と比較してランダム練習の方が保持や転移が優れているという説明である。

b) 忘却再構成仮説 (Reconstruction hypothesis)

再構成仮説は Lee and Magill (1983) と Lee and Magill (1985) の提案によって提案された。この仮説は言語記憶における Cuddy and Jacoby (1982) のスペーシング仮説が基礎になっている。点在した課題の干渉によってランダム練習はアクションプランの忘却を引き起こす。それゆえ、ランダム練習はアクションプランの再構成の繰り返しを必要とする。しかし、ブロック練習条件下ではアクションプランはいつもワーキングメモリーに存在するのでその必要がない。

c) 逆向抑制仮説 (Retroactive inhibition hypothesis)

以上に述べた 2 つの仮説の他に逆向抑制仮説が Shea らにより提案された。逆向抑制は原学習と保持テストの間に行われるその他の介入活動の結果によって保持の低下を招くと考えられている (Underwood, 1945)。例えば、ブロック練習中に被験者が複数の課題を $A \rightarrow B \rightarrow C$ の順序で行った場合、保持テスト (再生テスト) の実行前に課題 B, C を練習しているために逆向抑制は課題 A の再生時に発生する。課題の練習とそのパフォーマンスに関する保持テストとの間に行われると推察される挿入課題に関する活動によってブロック練習群の保持が低下すると説明している。ブロック練習の被験者が習得段階中に複数の課題を練習し、これらの課題を用いた保持テストが行われるという順番により、逆向抑制から生じた保持の損失はブロック練習者に認められている。さらに、この説について言及した研究では、ブロック練習で複数の課題を実行する場合、保持テストや転移テストで順向抑制による保持の妨害を受ける (Shewokis, et al. 1998) との報告もなされている。このように習得段階や保持段階などの間で生じる他の課題の介入によって運動再生時に逆行抑制が生じるためにパフォーマンスが低下するという説明がなされるのがこの説の特徴であり、研究が進められている (DelRey, et al, 1994)。

1.5.4 文脈干渉効果の研究における問題点

文脈干渉効果について概観してきたが、ここからはこの研究に関する種々の問題点を指摘していく。

運動学習における文脈干渉効果の研究に関しては様々な疑問が存在する。文脈干渉効果の実験において、高文脈干渉の条件と低文脈干渉の条件を設けて両者を比較することが最も一般的である。その際に高文脈干渉条件に用いられる条件としてランダム条件が挙げられるがこのランダム条件においては毎回異なるように呈示方法を変えているだけの条件設定が多い。

この文脈干渉効果を報告している先行研究ではいくつかの疑問や不明確な点が存在している。それは主に習得段階で行われるランダム呈示の方法の不備や本来の意味でのランダム呈示の性質を損なう実験前の先行情報や試行間隔を設けている点である。これらの操作は、ランダム呈示を行うための実験環境としては不適切である。そのため習得段階およびその後の保持・転移段階へもこれらの条件が大きく作用していると考えられる。ここで、本節で問題にしている運動課題、課題に関する先行情報、ランダム呈示の具体的な方法、試行間隔について顕著に示されている先行研究を Table.1 に記した。ただし、文脈干渉効果に関する研究は多数実施されているため、当該領域の研究の一部を取り上げたに過ぎないことは留意されたい。以下では先行研究で見られるこれらの問題点、特に Table.1 に示した、習得段階のランダム呈示の方法、先行情報、試行間隔時間について検討する。

Table.1 運動学習における文脈干渉効果の先行研究

著者 (年)	課題	先行情報	ランダム呈示の方法	試行間隔
Shea & Morgan (1979)	バリアーノックダウン	刺激ライトに対応した各課題のダイアグラムの呈示	各課題が 18 試行の中で 6 試行ずつ呈示されるようなランダム	約 20 秒
Lee & Magill (1983)	バリアーノックダウン		1 セット 9 試行ずつ行うが、連続して同じパターンが 2 回以上呈示されない	約 8 秒
Whitehurst & Del Rey (1983)	光刺激の追従		5 条件が 10 試行中に 2 度ずつ呈示される	15 秒
Pigotto & Shapiro (1984)	的当て課題	毎試行後に bean bag を受け取り次の課題を行った	同じ重さの bean bag で連続して試行しない	20 秒
Wrisberg & McLean (1984)	位置決め課題	実験者からのアナウンス	同じ距離の課題を繰り返して行わない	10 秒
Goode & Magill (1986)	バドミントンのサーブ	実験者からのアナウンス	連続して 2 回以上同じサーブを行わない	約 10 秒
Wulf (1992)	レバー動作	課題バージョンのテンプレートを表示	1 つのバージョンが 2 試行続けて出現しないような制限を設けた呈示	
Shea & Titzer (1993)	バリアーノックダウン	刺激ライトに対応した各課題のダイアグラムの呈示	18 試行の中でそれぞれの課題が 6 試行ずつ呈示される	約 15 秒
Sherwood (1996)	レバー動作	実験者からのアナウンス	課題を連続して繰り返さない	約 10 秒
Lee, Wishrt, Cunningham & Carnahan (1997)	キー押し課題	手がかり刺激の呈示	15 試行の中で同じパターンを 2 回以上繰り返さない	
Li & Wright (2000)	キー押し課題	1-3 秒間 9 つのキーの呈示後、動作課題の呈示	18 試行の中で 3 つの動作を 6 試行ずつランダム呈示	

a) 習得段階のランダム呈示方法

先行研究に見るランダム呈示の方法としては、ある試行ブロック内で3つの課題バリエーションの中の1つが続けて呈示されないような制限を設けるのが一般的である。例えば、Shea and Morgan (1979) は、習得段階において54試行を3ブロックに区切り1ブロックの18試行の中で3種類の習得課題がそれぞれ6回ずつ呈示されるようにし、さらに同じ課題を2試行以上連続して呈示しないような方法を用いた。同様に、Lee and Magill (1983) は、9試行のブロック内、Lee, et al. (1992) は6試行のブロック内で、Li and Wright (2000) では18試行の中で3つの課題バリエーションのそれぞれが2回以上連続して呈示されないような操作を行いランダム群の呈示方法としている。また、単純に同じ課題を連続して呈示しないように制限した実験も見られる (Wulf, 1992; Wulf, and Schmidt, 1994; Green and Sherwood, 2000; Sherwood, 1996)。その他、Wulf and Lee (1993) の研究では、ランダム群の呈示方法はランダム呈示ではなくシリアル呈示を行っている。実際の運動場面での研究を見ると、バドミントンのサーブを課題とした Goode and Magill (1986) の研究では、連続して2回以上同じサーブを行わないという制限を設けており、Hall, et al (1994) の野球のバッティングにおいても3種類の球種(直球,カーブ,チェンジアップ)をそれぞれ15試行ずつ行う中で1つの球種が2回以上続けて投球されないような呈示方法を用いている。このように見ていくと同じ課題バージョンが連続して呈示されないような制限を設けたり、ある試行数の中で3つの課題をランダム呈示にしたりといった特徴が見られる。これらのことから先行研究で採用されているランダム呈示の方法はランダムネスの性質である無作為性がそこなわれ、本来予測がきわめて困難であるはずのランダムな性質を含んでいるとは言えず呈示方法としては適切とはいえない。

b) 先行情報

課題開始前にその試行で遂行する課題に関する情報を呈示することは被験者に呈示される課題の先行情報を呈示することになりランダムな性質がそこなわれる。3種類の課題がランダムに呈示される場合、その試行で呈示される課題の具体的な情報を明示していれば課題遂行は容易になる。例えば、Sherwood (1996) ではレバー動作の課題を用いて225msで3種類(20°,40°,60°)のいずれかの角度に腕を移動する動作の学習が求められたが、その課題の呈示方法は実験者による目標動作角度についてのアナウンスであった。また、Lee et al (1997) は5つのキー押し課題において被験者はパターンの手がかり (pattern cue) の呈示後いつでも課題を開始することができた。このように、実験者による課題についてのアナウンスや実験装置のモニタ

一への呈示を行うことによって開始時期を問われない課題は、主に課題の目標が反応時間や動作時間を増すような課題ではなく、決められた時間に動作を一致させるような課題において見られる (Green and Sherwood, 2000; Li and Wright, 2000; Lee, et al. 1997). また, Goode and Magill (1986) の場合も同様に, バドミントンのサーブ課題においてショート, ロング, ドライブのいずれかのサーブがアナウンスされ, 課題が開始された. このような先行情報の呈示では被験者はそれに従い課題を遂行すればよいだけであり, 次にどのような情報が呈示されるかは不規則であるというランダム呈示の性質は問われないことになる. これに対して, ランダムネスは無規則性, 不確実性という特徴を持っており, 予測がきわめて困難な性質を含んでいなければならない.

c) 試行間隔時間

試行間隔について概観すると, 運動学習研究では KR の呈示時間に充てられることが多い. しかし, ランダム呈示を用いた実験で十分な試行間隔を与えることは課題に対する推測, 予測さらには反応戦略を考える時間を与えることになり, 結果として被験者が次に呈示される課題を予測することを容易にする可能性がある. バリアーロックダウン課題を用いた Shea and Morgan (1979) は試行間隔時間がおよそ 20 秒, 同様の課題で Lee and Magill (1983) ではおよそ 8 秒であった. Sherwood (1996) と Green and Sherwood (2000) の研究ではともにおよそ 10 秒間設けている.

また, Wulf and Lee (1993) は同じ相対タイミング動作の学習を必要とする場面で, 練習スケジュール (ランダムとブロック) が動作のパラメータ, 汎化運動プログラム (GMP), あるいは両方の学習に効果的かどうかを検討している. 実験では 4 個のボタンから構成された 3 個のセグメントの比率のバージョンを学習するキー押し課題を用いて 2 つのブロック練習群と 2 つのランダム練習群を比較している. 片方のランダム群及びブロック群は毎施行後に 7 秒間の KR を受けておりもう一方のランダム群とブロック群は 21 秒間の要約 KR (3 試行に 1 回) を受けている. ランダム課題の呈示方法は実際のランダム呈示ではなくシリアル課題の呈示順を実施している. その他, Wright and Shea (2001) では各試行ブロック (12 試行) の中でそれぞれ等しく呈示されるような制限を設けてランダム呈示を行っている.

また, 具体的な試行間隔を示していない文献が多く見られるが一般的に試行間に前試行についての KR を呈示しているため, 毎施行後に一定の試行間隔が設けられていると考えられる. これら一定程度の試行間隔はランダムネスの性質を含んでいるとは言いがたく呈示方法としては十分とはいえない. また, スポ

一つのゲーム事態に目を向けた場合、1つの運動プログラムの遂行後にインターバルが設けられる機会はほとんど見受けられない。

d) 文脈干渉効果の結果と研究データの仮説の対応関係

運動学習における文脈干渉効果の研究では以上の問題点を指摘できるが、さらなる問題点は文脈干渉効果を説明する仮説と研究結果のデータとの直接的対応の少なさである。

精緻化仮説や再構成仮説について、これらは文脈干渉効果の説明において量的なデータから質的な検討を行っている。運動学習における文脈干渉効果の研究では反応時間や総応答時間、相対タイミング、絶対タイミングなどをパフォーマンスの測度として用いているが (Lee, Wulf, and Schmidt, 1992; Wulf, 1992), そういった量的なデータを使った評価方法ではどこで弁別が起こっているのか、またどの時点で忘却が開始され、どこでパフォーマンスが精緻化したのかなどの説明をするのは困難である。そのため、質的な仮説については質的な反応測度を用いる必要がある。

これまでに見てきた先行研究で用いられている実験デザインは、運動学習における文脈干渉効果の研究では一般的である。そして、習得段階においてはランダム群よりもブロック群の方がパフォーマンスは優れている。しかしながら、ランダム群でも習得段階でのパフォーマンスが全く進まないわけではなく、ブロック群と同様に習得課題の遂行に伴ってパフォーマンスの改善が見られる。このようなパフォーマンスの改善が見られるのは上記したランダム条件の実験事態における不備が大きく作用しているからであると推察される。

また、先行研究における習得段階で習得した運動スキルを評価するための保持段階、転移段階に着目すると、習得段階で遂行した課題の保持量を評価する時には習得段階で行った課題を用いるが、その呈示方法はブロック呈示を行っている研究もあるが (Gabriele et al, 1991; Wright, 1991), ランダム呈示を行う研究が多くみられる (Lee et al, 1997; Wulf and Lee, 1993). ブロック呈示とランダム呈示を比較するとき、習得段階でブロック練習を遂行してきた群とランダム練習を遂行してきた群を、ブロック課題を用いて評価した場合、ブロック習得群の方がランダム練習群よりも成績が優れているのは必然であろう。一方、ランダム課題を用いて保持テストを行おうとする時、習得段階においてランダム練習を遂行してきた群が容易に課題を遂行できると考えられ、前者と同様にランダム群の方がブロック群よりも成績がよいのは当然の結果といえる。また、スポーツ場面において、練習してきた運動スキルを評価する際にランダムな呈示によって評価が行われることがない点から見ても、保持段階での評価においてランダム課題を採用することには慎重な検討が必要であ

ろう。

ランダムネスは等確率性、無作為性という特徴を持っており、予測がきわめて困難な性質を含んでいる必要があるためランダム性の検定を必要とすると考えられるが、これまでの文脈干渉効果の研究におけるランダム呈示に対する反応についてランダムネスの検定を行ったものはない。

ここまで文脈干渉効果における問題点を指摘してきた。これまでに述べた先行研究は、自然科学で対象となる一様ランダム性と比較した時には十分にランダム性を補償しているとはいいがたい。ただしその一方でこれまでの文脈干渉効果の研究は運動パフォーマンスを向上させ、学習として定着させるためのスケジュールの問題としてランダム性を捉えているため、運動学習の促進現象を見出し課題間の干渉やアクションプランの再構成といった理論を展開した点では運動実行者の技能習得のためには重要な役割を果たしているといえる。特に、先行研究が取り上げている課題は閉鎖性スキルが多く、この閉鎖性スキルの習得にとっては一定の貢献があったといえよう。

1.6 問題の所在

ここまで述べてきた先行研究及び関連研究から導き出された問題点を整理しておく。文脈干渉効果に代表されるように環境に内在する刺激の不確実な事態において学習が促進するというパラドックスがある。文脈干渉効果の研究は、複数の課題を遂行する際に生じる課題間の干渉がその後の学習を促進するという前提で課題が構成されている。これはバリアーロックダウンや空間位置決め課題など限定された運動技能の習得においては効果的であるという側面がある。すなわち課題間の干渉によって記憶痕跡を定着させ、結果として正確な出力が達成されることとなり、いわばトレーニング的側面を有すると捉えることができる。他方で、例えばバドミントンや野球のバッティングなどスポーツ場面の課題を取り上げたものもある。当然のこととして、これらの研究はバドミントンや野球のゲームの展開そのものを取り上げたわけではない。すなわち実践場面といえどもプレー中に要求されるサーブやスイングといった個別の課題を取り上げている。このことからスポーツ技能を取り扱っていたとしても、上記のバリアーロックダウンや空間位置決め課題などの研究と本質的には変わらない閉鎖性スキル (closed skill) を取り扱っているといえる。これに対して、実際のスポーツ場面で生起する不確実性においても文脈干渉効果が適用されうるとするならば、この現象の理解を試みる時に 1.4.3 でも指摘したような複数の問題点が生じてくる。それを整理すると次の通りとなる。先行研究におけるランダム練習群に用いられるランダムは一様乱数を用いたランダムネスの性質を伴っていない。それ

と同時に刺激呈示間隔や先行情報の呈示により本来予測がつきにくい性質を持つべきランダム呈示が被験者側にとっては予測可能な呈示方法となっている。そのため試行数の増大に伴ってパフォーマンスがよくなっている。本当に予測がつきにくい性質を持つのであればパフォーマンスの漸減は通常考えられない現象である。この点について更に述べると、先行研究では習得段階におけるブロック練習群とランダム練習群のパフォーマンスをある一定の試行ブロックに区切ってそのパフォーマンス曲線を示している。第一試行ブロックではブロック練習群はランダム練習群に比べて圧倒的に優れたパフォーマンスを示しているが最終試行ブロックになるとその差はほとんどなくなっている。そう考えた場合、試行数を更に増やすとブロック練習群とランダム練習群に差はなくなるかあるいは習得段階中に成績が逆転する可能性すらでてくる。しかし、このように習得段階における試行数の増大に伴って学習の初期段階とは反対にランダム練習群がブロック練習群よりも優れたパフォーマンスを示すことを報告した研究は見当たらない。さらに、文脈干渉でいわれる仮説に関連して、上記したように文脈干渉効果の研究ではパフォーマンス曲線で群間のパフォーマンスを示す場合がほとんどである。そのパフォーマンスの指標として一般的に用いられるものには変動誤差 (variable error), 絶対誤差 (absolute error), 恒常誤差 (constant error) などがある。これらは、目標値と実際の値との差について量的に検討するための指標といえる。しかし、忘却再構成仮説や精緻化仮説などでいわれる説明はどれも質的であり、呈示されたデータと対応させて説明するには不十分である。これらのことから 1.2.1 でも取り上げた、無反応、誤反応、正反応、見越し反応の4つのパフォーマンス測度を設け、可能な限り反応を質的に評価する必要がある。

上記の一樣ランダム呈示を用いた不確実性の問題を文脈干渉効果と関連づけるにあたり、一樣ランダムという性質に対して被験者は何らかの学習を行うことができるのだろうか。この検証をするためには、文脈干渉効果の問題点について再検討する前に、一樣ランダム呈示に対する被験者の反応様式の特徴を明らかにする必要がある。しかし、このような一樣ランダム呈示に対する被験者の反応については検討された知見は見当たらないため、被験者の文脈干渉効果に関する研究への発展という意味だけではなく、純粋に一樣ランダム呈示に対する視知覚を基盤とした身体システムの反応を見出すという点で意義があろう。

環境と身体システムの関係を考えて場合、ここまでの問題として環境からの刺激入力に依存した情報処理の帰結として身体システムからの反応が生じることを仮定した上で不確実性の影響を想定してきたが、1.4.2でも論じたように、不確実性とは必ずしも強制的に発生する刺激に応答する場合だけではない。ではどのような事態が想定されるかと問われれば、環境に内在する刺激要素をいわば「手探り」で探索していく過程が

想定される。具体例を挙げると、運動初期 (novice) では課題の内容が不明なため正解かどうかは別として解が不明な事象に対する行為を行う。これが正解であれば次の反応への行為へ移行するが、誤反応である場合も当然想定される。通常このような場合ではフィードバック情報として正解位置が呈示されることとなる。この実験事態の重要な点は、この誤反応に付随して正しいフィードバック情報を呈示することによって、正解となる (基準となる) 基準系列パターンに近接していく過程が見出される点である。これは多くの試行を要すると想定されるが、繰り返し継続することによって徐々に環境に内在する系列パターンに近似した反応を生起させ、正解のパターンを理解し実行することが可能となる。このような事態での反応には何らかの秩序化が生じると想定される。何故ならば、通常あらかじめ解が不明な場合は試行錯誤及びその際に呈示されるフィードバックを頼りに正解位置を記憶の痕跡に留め、課題の遂行に伴って解に近似するようなパターンが生起するものと考えられるためである。したがって、このような事態では特に学習初期には系列パターンの不確実性が伴うが、上述の通り試行錯誤及びフィードバック情報の利用により、正解となるパターンを獲得していくこととなる。この際に重要となる変数として不確定度や冗長度がある。第5章でも論じるが、先行研究を概観すると情報の利用の理解に焦点が当てられているものが多く、不確定事態のパターン形成における不確定度と冗長度に焦点が当てられている研究はない。また、不確定事態においては不確定度や冗長度といった情報理論に基づく情報だけではその過程を説明することが困難であることから、フィードバック情報に依拠した系列パターンの秩序化を意味する体制化の成立過程を詳細に検討する必要がある。さらに、このような事態は熟練運動スキルを習得するにあたって重要な示唆が含まれると想定されるため、運動の上級者 (expertise) が発揮するような熟練運動スキルの理解にとって大変重要な知見となりうる。

身体システムの制御及び学習の理解を進展させるためには単純なリーチングやポインティング課題による知見を実際の運動現場へ展開させる必要がある。これは身体システムの理解のためだけではなく、アスリートや学校教育における体育、あるいはリハビリテーション、医科学分野等幅広い分野への応用可能性を想定しているためである。したがって、いずれの分野においても微視的な要素間の振る舞いの解明から、全身の身体変数の協応構造のような巨視的な視点への拡張が欠かせないといえる。本研究のように刺激の要素に反応するような事態においても例外ではない。そこで刺激要素へのタイミングが要求され、かつその刺激が不確実な事態を想定した実運動環境による実験的検討が必要となる。ここで、ターゲットと四肢の協応との関係について精緻な分析を試みると、取り扱う変数が膨大かつ複雑になるという問題が生じる。これは知覚運動行動の実験を困難にさせている一因である。これに対し、本研究 (第6章) で着目する点は頭部の位置

座標（頭部前部，頭頂部，頭部後部）とターゲットの座標という比較的少ない変数を取り扱うため，実運動環境下で刺激と運動実行者の協調やタイミングについての問題を明らかにすることができるということである．すなわち，視覚的な刺激の追従及び反応キーによるタッピングという視覚と指先の運動の協応の関係を実運動場面に拡張してタイミングの問題として扱うことが可能となる．

1.7 本研究の目的と構成

本研究は，環境情報の不確実性が身体運動のタイミングの学習及び制御にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とする．そのために 1.6 の問題点を踏まえた上で，以下で述べる実験的検討を試みる．

本論文は，本章を含む以下の 7 つの章から構成されている．その構成を Fig.1 に示した．

1.3.3 でも述べたように，一様ランダム性とは一様な反応分布を示す．運動学習場面でこのランダム性を適用する際に，一様ランダム呈示に則った刺激を用いることが妥当であると考えられる．このことから第 2 章では，運動学習事態において，刺激要素が一様ランダムに呈示された時の被験者の反応様式について検討する．その際，主に無反応，誤反応，正反応，見越し反応の 4 つのパフォーマンス測度の変化について検討する．また，被験者の反応のランダム性を検証するために連の検定を行う．

第 3 章では，第 2 章の実験を基礎に，一様乱数に基づくランダム呈示を行うランダム条件を文脈干渉効果のパラダイムに適用する．具体的には，ブロック群，シリアル群に加え，呈示順序が一様ランダム呈示される一様ランダム群を設けた習得課題を行わせ，特に習得段階における，無反応，誤反応，正反応，見越し反応の 4 つのパフォーマンス測度の相補的变化を検討する．

第 3 章では呈示順序が習得パフォーマンスに与える影響を検討したが，習得段階の学習過程に焦点を当てて分析を試みたため，比較的永続的な運動の学習を評価するまでには至っていない．そこで第 4 章では，ブロック群及び一様ランダム群に習得課題を行わせ，その評価として保持段階及び転移段階における呈示条件を設定することによって，習得段階における呈示条件の違いが保持や転移といった学習へ与える影響を明らかにする．そして，一様ランダム呈示を行った一様ランダム群が文脈干渉効果のパラダイムにおいて有効であるかを検証する．

前章までは刺激呈示に対して被験者が反応を行う，いわゆる S-R 事態での実験を一貫してきた．この特徴は刺激が決められた速度で呈示され，それに対して被験者が反応を行うというものであり，強制ペースの実

験課題である。しかし、環境で生じる運動は上記のような強制ペースで進行するものばかりではない。環境に内在する刺激が不確定な状態から推測によって解（パターン）を導き出す事態も存在する。そこで第5章では、推測反応系列事態における運動学習の過程を分析する。特に情報理論における不確定度及び冗長度を算出するとともに、そのパターン形成過程の特徴を明らかにし熟練動作と関連づけて考察する。

第6章では、歩行及び一致タイミングが求められる課題を行う。前章までは、複数の刺激ボックスとそれに対応した反応キーで構成された実験装置を用いて、不確定事態におけるタイミングの学習と制御について検討してきた。運動の要素としては、視覚情報に対するリーチング動作である。ここまでの知見を実際のスポーツ等を想定した運動場面に照らし合わせて議論するためには、実際の運動場面を想定した実験環境が不可欠である。そこで、ターゲットに対する捕捉課題を用いて、一致タイミング実験を行う。具体的には、課題の遂行中にターゲットが速度変化を起こさず等速で移動することがあらかじめ被験者にわかっている条件と、ターゲットが不規則に速度変化を生じる条件を比較することにより、ターゲットの速度変化が捕捉方略に与える影響を明らかにする。さらに、不規則変化が生じるようなターゲット（刺激）の不確定事態における身体変数への影響を明らかにすることも試みる。その際の、身体変数として頭部の変位を取り上げる。このことにより、不確定事態における身体システムが単に視知覚-歩行という受容器と効果器の関係で成立するのではなく、視知覚以外の身体変数が身体の誘導に寄与する可能性についての展望を試みる。

第7章では、一連の研究で得られた知見を要約する。また、本研究の意義と展望について論じる。他方で、本研究を通して得られた検討課題についても言及する。そして最後に本研究の結論を述べる。

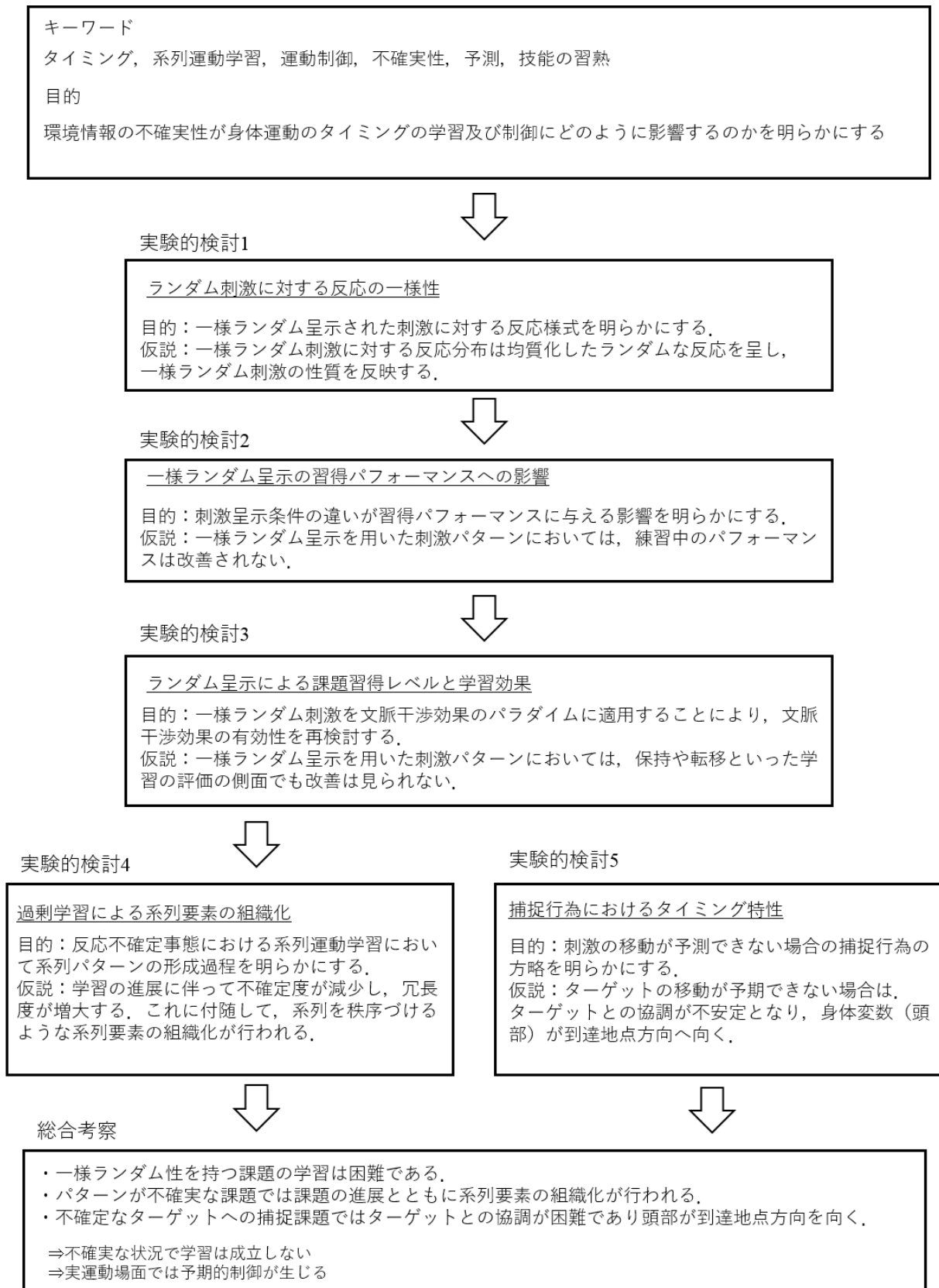


Fig.1 本論文の構成

第2章 ランダム刺激に対する反応の一様性

2.1 目的

一様分布の特徴を有する一様ランダム呈示が系列パターンの学習へ与える影響を検討するためには、まず刺激の呈示パターンを一様ランダム分布に則って呈示した時の被験者の反応様式を検討しておく必要がある。そこで、本章は一定の規則性を持たずにそれぞれが独立に出現するような刺激パターンを呈示し、その刺激に対する被験者の反応様式を明らかにすることを目的とする。

2.2 方法

2.2.1 被験者

健康な大学院生男子 10 名（平均年齢:25.2±2.5 歳）であった^{注1)}。本研究に関する内容及び個人情報の取り扱いについて説明し、口頭で同意を得た。

2.2.2 装置

実験装置は Fig.2.1 に示してある適応能力分析装置（竹井機器工業社製）を用いた。被験者の前方 30cm の位置に刺激呈示ボックスが設置された。刺激ライトは各課題の刺激要素数によって 3 個、4 個、5 個と左から右へ 10cm 間隔で並べられた。これらの刺激ライト（赤色発光ダイオード）に対して被験者の手もとに反応キー（タッチスイッチ）が左から右へと 10cm 間隔で並べられた。刺激間隔時間（inter-stimulus interval: 以後 ISI と記す）は各課題条件に対して 300ms, 400ms, 500ms, 600ms の 4 種類に設定した。なお、刺激点灯時間は 100ms であった。また、刺激呈示や試行数の設定、収集したデータの分析はパーソナルコンピュータで行った。

2.2.3 課題

被験者は課題毎に設定された刺激要素が一様ランダムに呈示される系列光刺激に対する追従課題を遂行することを求められた。課題は刺激要素数が異なっており、各課題に対して 3 種類の刺激要素数が設けられた（刺激要素数: 3 個, 4 個, 5 個）。さらに、各課題に対して 4 種類の ISI 条件が設けられた (ISI: 300ms, 400ms, 500ms, 600ms)。つまり、各課題内の刺激要素が一様ランダムに呈示され、被験者は刺激の点灯位置を予測し

て、刺激と反応を一致させるように反応キーにタッチしなければならなかった。また、被験者は右手の人差し指で課題を遂行することを求められた。

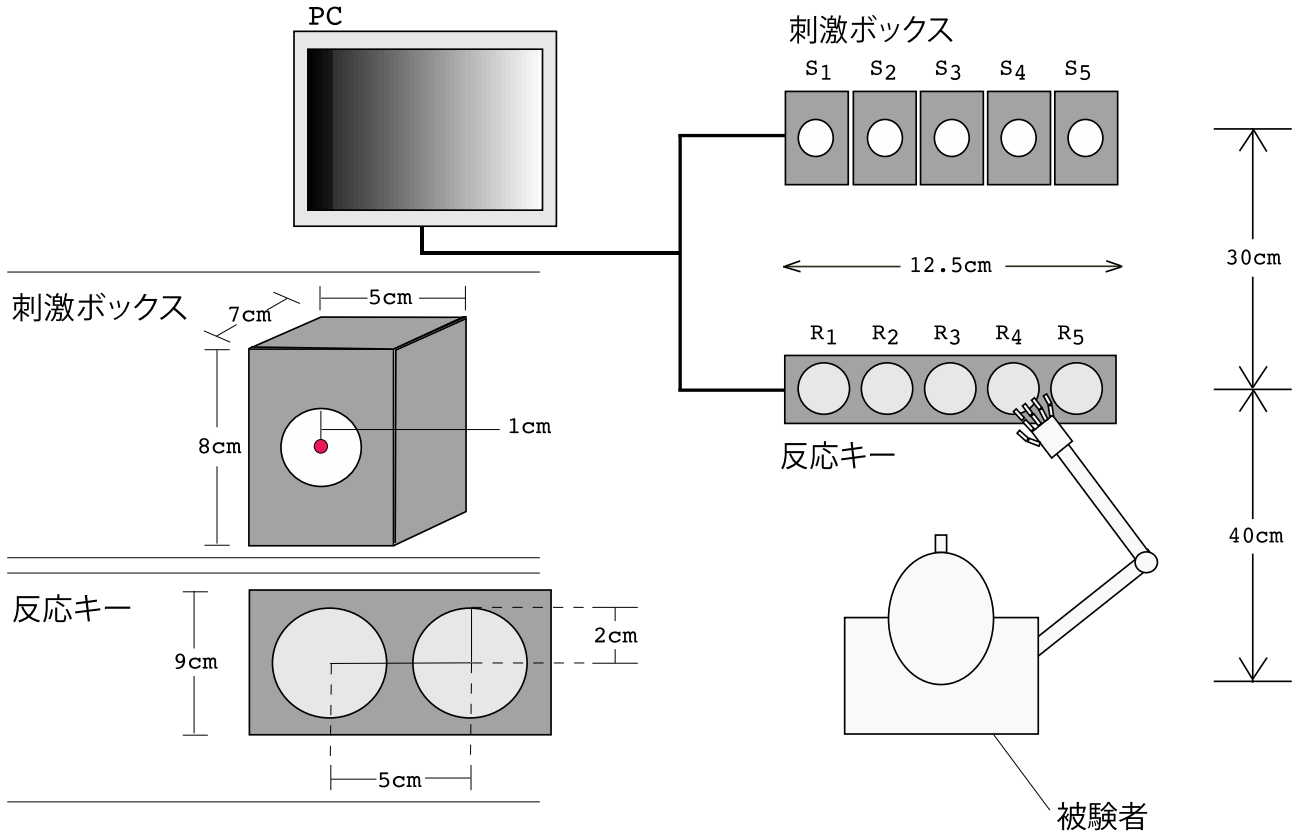


Fig.2.1 実験装置

被験者は反応キーの正面に座り反応キーの前方に設置された刺激ボックスに呈示される刺激に反応する。

2.2.4 手続き

被験者は実験装置の正面に座った。被験者が行う課題条件は刺激要素数 (3 : 3 個, 4 個, 5 個) × ISI (4 : 300ms, 400ms, 500ms, 600ms) の全 12 条件であり、各条件を被験者間でカウンターバランスした。ある条件の終了と次の条件の開始の間に 1 分間の休憩時間を設け、実験者はその都度、刺激ボックスの配置などの実験条件の準備を行った。試行回数は各刺激要素に対して 100 試行ずつであった (刺激要素数 3 条件:300 試行, 刺激要素数 4 条件:400 試行, 刺激要素数 5 条件:500 試行)。1000ms の予告音の後、各被験者は課題を開始し、設定された試行数を遂行し終了とした。刺激は一様乱数に基づいたランダムな呈示方法を用いたが、最終的に各刺激に対する試行数が均等になるように操作した。

2.2.5 パフォーマンス測度の判定基準

Fig.2.2 は系列刺激が点灯される刺激間隔時間内に出現する無反応、誤反応、正反応、見越し反応の4つのパフォーマンス測度を定義したものである。系列刺激が毎回異なる場合を左から説明する。ただし、本研究で用いる一様ランダム刺激を呈示する場合、同じ刺激が連続して呈示されることもある。

- ① ISI 内の前後の刺激に対する反応がない場合は無反応とする。
- ② ISI 内の前後の刺激に対する反応が一致していない場合は誤反応とする。
- ③ ISI 内の前の刺激に反応が一致し、後の刺激とは不一致である場合は正反応とする。
- ④ ISI 内の前の刺激と反応は不一致であるが、後の刺激とは一致している場合は見越し反応とする。この際、前の刺激に対する反応は無反応とする。
- ⑤ ISI 内の前後の刺激が同じである場合、前の刺激を無反応として後の刺激に対する見越し反応とする。

以上のような判定基準で4つのパフォーマンス測度の出現比率を求めた。

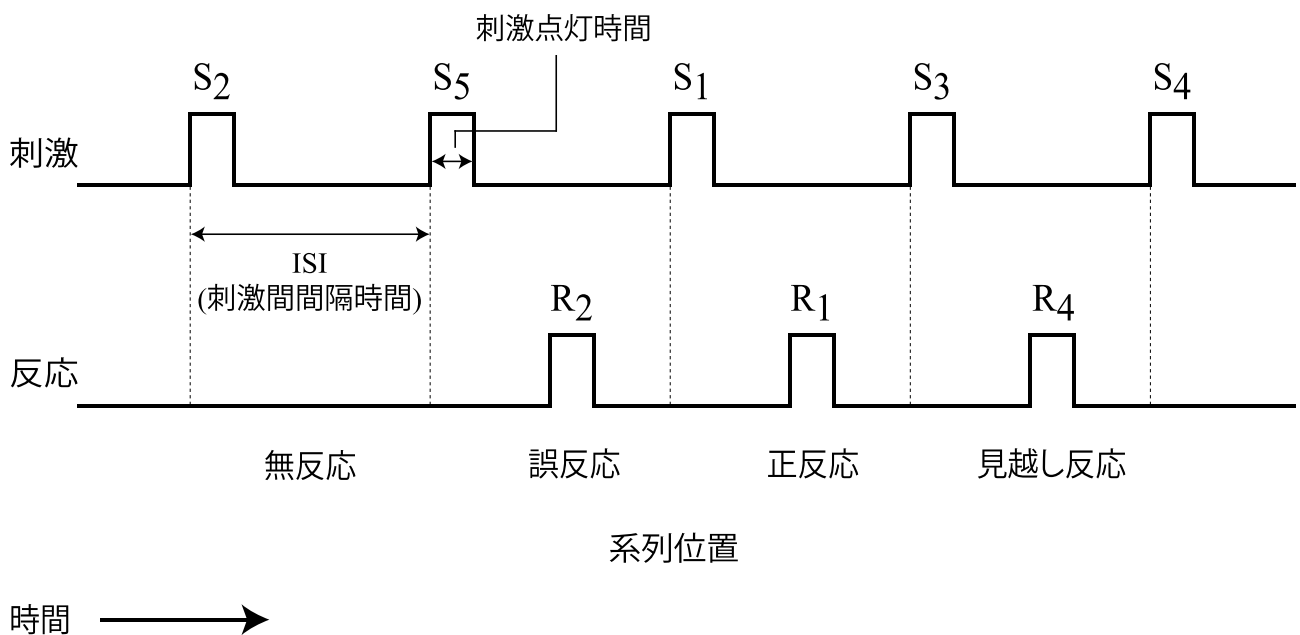


Fig.2.2 4つのパフォーマンス測度の定義

2.2.6 分析方法

a) R-R 間隔時間のランダム性の検証

各被験者が遂行した12条件に関して、被験者が行った全反応について、無反応を除くすべての反応間隔時

間（以下 R-R 間隔時間）を集計し、その R-R 間隔時間について連の検定（run test : 5%の有意水準）を行った。なお R-R 間隔時間とは反応から次の反応までの間隔時間を指し、この場合、無反応、誤反応、正反応、見越し反応の4つの反応測度のうち無反応を除くすべての反応についての R-R 間隔時間データを対象として用いた (Fig.2.3)。

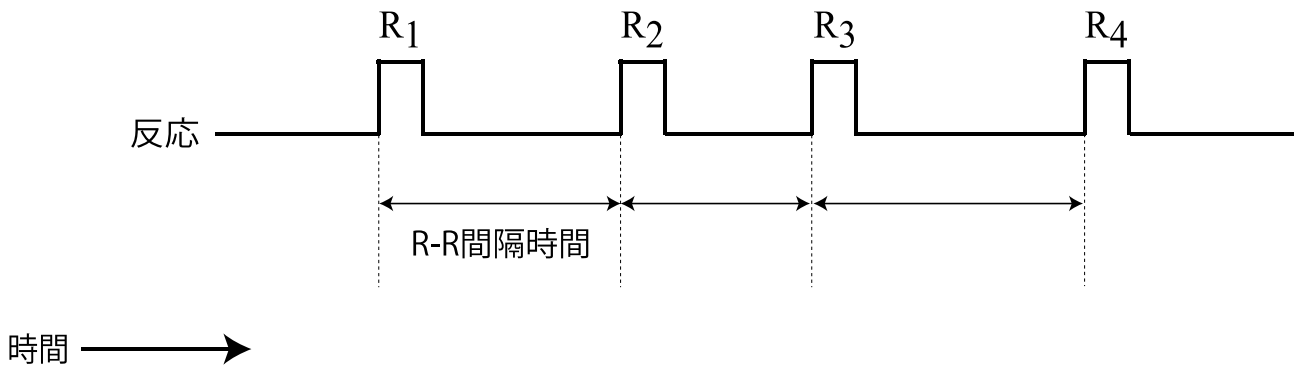


Fig.2.3 R-R間隔時間の定義

被験者が反応キーに接触した時間を計測し、それを収集する。その際、無反応は反応キーへの接触が生じないため、見越し反応、正反応、誤反応から生じる反応間隔時間をR-R間隔時間の分析対象データとした。

本研究で採用した連の検定方法の説明を加える。課題の遂行順に並んだ被験者の無反応を除くすべての R-R 間隔時間データに対して 10 試行を 1 ブロックとして区切り、その区間のデータの標準偏差を求める。次にこれらの標準偏差のデータに関して中央値を求める。区間データの標準偏差を中央値よりも高い値と低い値に分類する。この時、中央値よりも高い値または低い値のいずれかが連続したひと続きのかたまりを連という。これらの処理を経て区間データ数と連数の関係によりランダムネスの検証を行った（脇本, 1970; 江原, 1991; 荒木・栗原, 2000）。もし、R-R 間隔の系列が有意差を示した場合は、被験者は何らかの規則性を持って刺激に対する反応を行っているといえる。他方、有意差が見出されなければ被験者の反応は規則性を持たない無秩序な反応であると解釈することができる。

また、一様乱数の性質から、刺激系列を見越し反応は困難と考えられるが出現した見越し反応が偶然性に基づいて発現したのか、それとも反応前後の文脈により系列を見越したものかを判定するため、連の検定では見越し反応の出現頻度についてもランダムネスの検証を行った。

b) 刺激数及び ISI の各条件からみた 4 つのパフォーマンス測度の変化

刺激要素数 (3 : 3 個, 4 個, 5 個) × ISI (4 : 300ms, 400ms, 500ms, 600ms) の 12 条件について 4 つのパフォーマンス測度の出現比率の比較を行った。

2.3 結果

2.3.1 反応系列のランダムネスの検証 (連の検定)

全試行数を 10 試行ずつに分割して (300 試行条件では 30 試行ブロック, 400 試行条件では 40 試行ブロック, 500 試行条件では 50 試行ブロック), 各被験者の反応に関する R-R 間隔時間データをもとに連の検定を行った。Table.2.1 は各被験者における 12 条件に関する R-R 間隔時間の標準偏差を用いた連の検定の結果である。各被験者のすべての条件において R-R 間隔時間は有意ではなかった。つまり, ランダムな刺激の呈示に対してはその反応もランダムであり, 系列を秩序づけるような反応は行っていないことが見出された。

Table. 2.1 ランダムネスの検証のための連の検定結果

被験者		3-300	3-400	3-500	3-600	4-300	4-400	4-500	4-600	5-300	5-400	5-500	5-600
A	データ数	22	24	23	23	32	31	33	32	40	42	40	40
	連数	12	14	12	12	15	18	13	20	19	24	24	19
B	データ数	24	23	22	22	26	30	31	33	32	35	41	40
	連数	17	14	12	13	10	11	17	22	18	15	18	19
C	データ数	20	22	23	22	27	29	28	30	36	36	37	38
	連数	14	14	12	12	8	21	16	14	22	17	20	18
D	データ数	22	23	22	22	29	30	32	31	37	37	39	40
	連数	16	16	10	9	15	20	15	17	20	19	19	20
E	データ数	23	23	23	23	31	30	32	32	38	40	40	41
	連数	13	8	14	15	14	20	18	15	19	24	23	23
F	データ数	20	23	23	23	27	31	33	32	30	37	41	41
	連数	12	13	9	13	16	15	16	18	15	21	20	27
G	データ数	17	21	23	23	24	28	31	32	32	36	40	43
	連数	9	10	14	12	14	14	17	19	19	19	18	26
H	データ数	22	22	23	22	30	28	31	32	39	36	42	41
	連数	11	12	10	12	14	15	17	16	20	18	20	25
I	データ数	18	21	24	22	26	29	32	30	33	36	38	41
	連数	12	7	14	12	11	12	14	18	13	18	25	23
J	データ数	20	22	23	23	27	29	30	32	36	33	37	41
	連数	12	11	10	14	13	17	12	16	16	11	19	28

(無反応を除くすべてのR-R間隔時間: 10試行区切り)

2.3.2 パフォーマンス測度の分析

次に, 刺激呈示条件とパフォーマンスの関係を見るために刺激要素数(3)×ISI(4)の対応のある 2 要因の分散分析を行った。この時, 各 4 つのパフォーマンス測度の出現比率を求めたが, 反応分布が正規分布していな

いため角変換 ($X = \sin^{-1} \sqrt{P}$) を行った値について各条件間の分析を行った。刺激要素数 3, 刺激要素数 4, 刺激要素数 5 の各刺激要素数における, ISI の違いによるパフォーマンス比率を記した (Fig.2.4)。

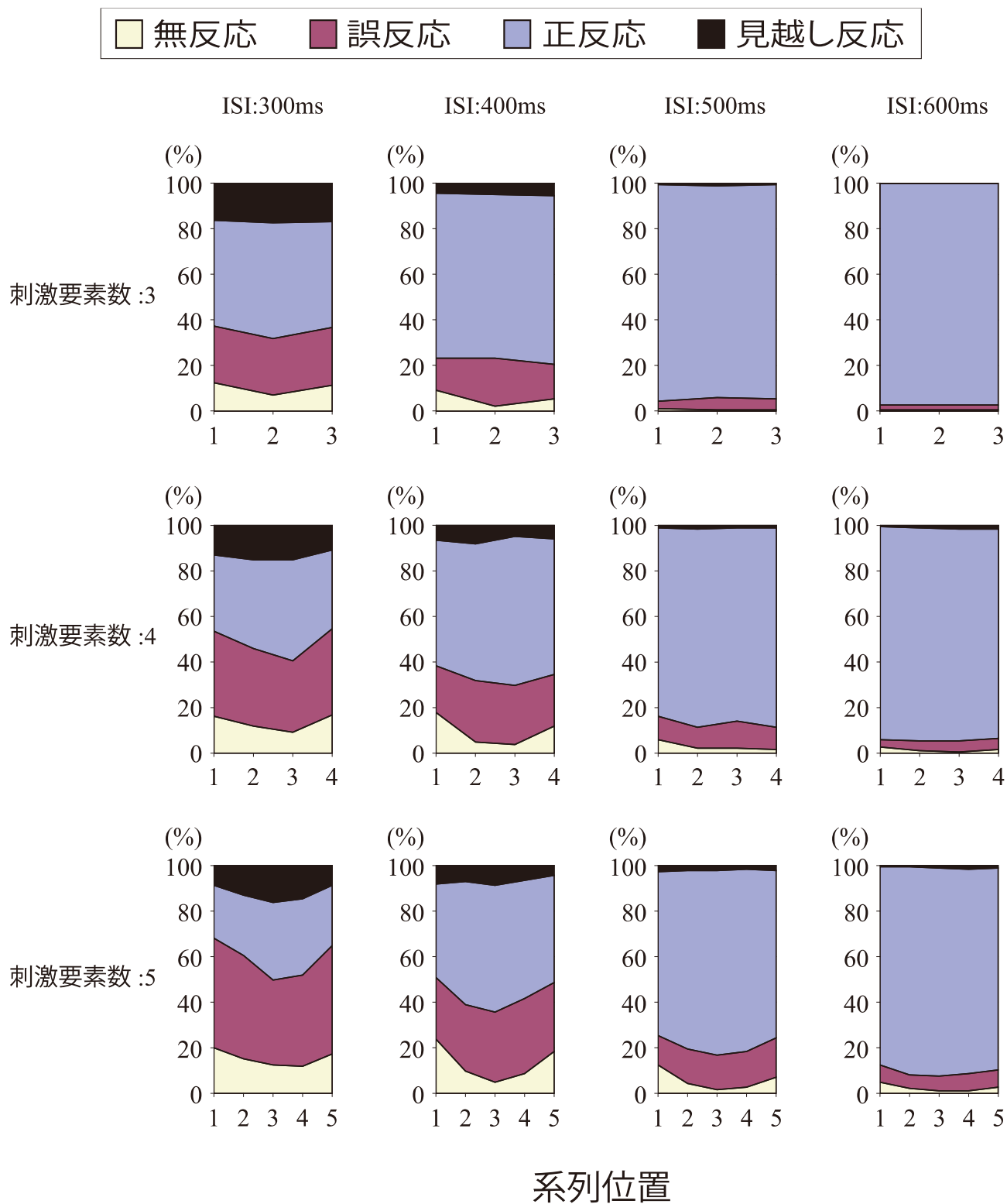


Fig.2.4 各刺激要素数と ISI 条件における系列位置に対する 4 つのパフォーマンス測度の比率

無反応においては、刺激要素数($F(2,18)=35.17, P<0.01$)及び ISI($F(3,27)=39.64, P<0.01$)の主効果が有意であった。このため、Tukey の HSD 検定を用いて多重比較を行ったところ、刺激要素数に関しては刺激数の増加に伴って無反応の数が増加することを示した。また、ISI に関しては ISI が増加するのに伴って無反応の数が減少することを示した。

誤反応においては、刺激要素数($F(2,18)=63.46, P<0.01$)及び ISI($F(3,27)=119.43, P<0.01$)の主効果が有意であった。このため、Tukey の HSD 検定を用いて多重比較を行ったところ、刺激要素数に関しては刺激要素数の増加に伴って誤反応の数が増加することを示した。また、ISI 要因に関しては ISI が増加するに従って誤反応の数が減少することを示した。

正反応においては、刺激要素数($F(2,18)=98.08, P<0.01$)及び ISI($F(3,27)=192.26, P<0.01$)の主効果が有意であった。このため、Tukey の HSD 検定を用いて多重比較を行ったところ、刺激要素数に関しては刺激要素数の増加に伴って正反応数の減少を示した。また、ISI に関しては ISI が増加するに従って正反応数の増加を示した。

見越し反応においては刺激要素数($F(2,18)=6.17, P<0.01$)及び ISI($F(3,27)=152.80, P<0.01$)の主効果が有意であった。また、刺激要素数×ISI の交互作用($F(6,54)=9.03, P<0.01$)が有意であったため単純主効果の検定を行ったところ、刺激要素数の単純主効果は 300ms 水準($F(2,18)=10.72, P<0.01$)、400ms 水準($F(2,18)=7.35, P<0.01$)、500ms 水準($F(2,18)=9.62, P<0.01$)、600ms 水準($F(2,18)=6.39, P<0.01$)の各水準で有意であった。300ms 水準では刺激要素数 4 と刺激要素数 5 の間に差が見られなかった以外は刺激要素数が増加するにつれ有意に見越し反応数の減少を示した。400ms 水準では刺激要素数 4 と刺激要素数 5 の間に差が見られなかった以外は刺激要素数が増加するにつれ有意に見越し反応が増加した。500ms 水準の刺激要素数 3 と刺激要素数 4 の間に差が見られなかった以外は刺激要素数が増加するにつれ見越し反応の有意な増加を示した。600ms 水準では刺激要素数 4 と刺激要素数 5 の間で差が見られなかった以外は刺激要素数の増加に伴って見越し反応の有意な増加が見られた。ISI の単純主効果を検討したところ刺激要素数 3、刺激要素数 4、刺激要素数 5 の各水準で有意であった(刺激要素数 3 水準: $F(3,27)=132.62, P<0.01$ 、刺激要素数 4 水準: $F(3,27)=100.16, P<0.01$ 、刺激要素数 5 水準: $F(3,27)=78.48, P<0.01$)。刺激要素数 3 及び刺激要素数 4 では 500ms と 600ms の間に差が見られなかった以外は ISI が増加するにしたがって有意に見越し反応の減少を示した。刺激要素数 5 水準では ISI の増加に伴って見越し反応数の有意な減少を示した。

これらのことから、無反応、誤反応及び見越し反応については ISI が遅い条件から ISI が速い条件になるのに伴いその出現数が減少していく傾向が見られたが、正反応については逆に増加を示した。また、刺激要素

数が増加するのに伴って正反応は減少するが誤反応と無反応は増加する傾向を示した。

Table. 2. 2 ランダムネスの検証のための連の検定結果

被験者		3-300	3-400	4-300	4-400	5-300	5-400
A	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	66	25	68	43	67	56
	連数	14	12	10*	18	24	30
B	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	39	2	41	9	56	28
	連数	20	3*	20	13*	29	28
C	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	45	26	46	45	51	50
	連数	17	17	23	18	29	27
D	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	60	16	80	17	64	26
	連数	17	16	19	15	22	22
E	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	52	2	55	21	68	18
	連数	11	5*	21	17	25	16
F	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	34	4	49	13	51	24
	連数	17	7*	18	15	28	24
G	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	37	16	58	22	71	32
	連数	16	15	19	17	25	25
H	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	60	20	49	26	77	45
	連数	15	12	19	21	24	23
I	データ数	30	30	40	40	50	0
	見越し反応数	51	9	45	12	53	20
	連数	16	9*	16	9*	23	20
J	データ数	30	30	40	40	50	50
	見越し反応数	57	29	55	47	52	54
	連数	18	16	26	17	24	26

(見越し反応の出現頻度：10試行区切り) * p<0.05

2.3.3 ランダムネスの検証のための見越し反応における連の検定

ランダムな刺激呈示事態では、規則的な系列位置の呈示順序や比較的遅いISI条件の系列課題とは異なり、刺激の点灯に先立って反応することは困難であると推察される。それは、その刺激要素が点灯するかが既知

であるのか未知であるのかが大きく影響していると考えられるためである。この前提から予想される結果は、正反応までは一定の発現が生じることが考えられるが、次の刺激要素の位置が既知である場合に発現すると考えられる見越し反応はこの種の課題では発現しないと考えるのが妥当である。しかし、各 ISI 条件の見越し反応に着目すると、すべての条件に関して見越し反応の出現が認められた。その出現度数は、ISI が速い条件 (300ms, 400ms) と比べて ISI が比較的遅い条件 (500ms, 600ms) では出現度数が極めて少なかったことから、ISI が速いと見越し反応というよりもむしろ尚早反応と呼ぶべき性質の反応が発現したと考えられる。そこで、この見越し反応が系列の前後の文脈から発現したものか、それとも偶然に近いものなのかを検定するためにこの見越し反応の出現頻度について、全試行数を 10 試行ずつ区切って各被験者の見越し反応の出現頻度について連の検定を行った。しかし、ここでは各刺激要素数に対する 500ms 及び 600ms の ISI 条件では見越し反応のデータ数が十分でないことから検定対象からは除外した。Table.2.2 は各被験者の 6 条件に関して全試行数を 10 試行ずつ区切ったときの見越し反応数についての連の検定の結果である。Table.2.2 を見ると、刺激要素数 3-400ms 条件では 10 名中 4 名、刺激要素数 4-300ms 条件では 10 名中 1 名、刺激要素数 4-400ms 条件で 10 名中 2 名に 5%水準の有意差が認められたことから、ISI が短い場合に見越し反応が出現したため、これらは尚早反応であると考えられる。その他の条件においては有意ではなくランダムな反応を示した。

2.4 考察

本研究では、各刺激要素が一様ランダムな性質を持つ刺激呈示に対して被験者の反応様式がどのような性質を示すのかを検討した。そこでは被験者の反応について R-R 間隔時間と質的な 4 つのパフォーマンス測度（無反応、誤反応、正反応、見越し反応）を用いて分析を行った。

刺激要素数 (3) × ISI (4) の 12 条件について、無反応を除くすべての反応の R-R 間隔時間データをもとに連の検定を行った結果、ランダム刺激に対してはランダムな反応様式の出現が見出されたことから、一様乱数を用いた系列ランダム課題に関しては、系列を秩序づける反応が行われていないことが示された。次に、刺激要素数と ISI による反応様式の面から各 12 条件のパフォーマンスの変化を検討したところ、一様な反応分布を示すことが見出された (ベルトラミ, 2002)。この分析の前提としては、刺激要素数は反応の選択肢と解釈することができる。また、ISI は被験者が反応すべき動作速度に影響を与える。すなわち、これら 2 要因は課題の困難度を意味する。したがって、刺激要素数が少なく ISI が長い課題は困難度が低く、刺激要素数が多く ISI が短い課題は困難度が高いと解釈することができる。これらを踏まえ被験者の反応結果に言及す

ると、より速い ISI 条件から遅い ISI 条件への移行と、刺激要素数が多い条件から少ない条件への移行に伴い正反応の増加が見出されたことから、課題の困難度が低い条件は課題の困難度が高い条件に比べて反応の安定性が増すといえる。以上から、系列一様ランダム刺激事態における反応様式は刺激要素数及び ISI に依存していることが見出された。それは、刺激要素数は定まっているが系列としてみた場合、刺激要素間の関係性が希薄であり、互いに独立しているため、被験者は刺激要素数と ISI に依存してその場処理の表層的な反応を繰り返さざるを得ないことを意味している。すなわち、系列依存的に反応できるような、ある一定のパターンを持つ系列追従課題とは異なった反応様式を示しているといえよう。

その他、予測が極めて困難であると仮定される系列一様ランダム課題において、すべての条件で刺激の呈示よりも前に正しく反応する見越し反応の出現が見られたが、見越し反応の出現数に関する、連の検定の結果について、その見越し反応の出現傾向にはほとんど規則性が見出されなかったことから、この見越し反応は偶然性の高い尚早反応であり、学習の成果を反映しているとはいえない。また、刺激要素数と ISI に関する分散分析の結果から、見越し反応の出現が各刺激要素数の 300ms 条件で最も多く、600ms 条件で最も少なかったことは、遅い ISI 条件では余裕を持って追従することができるが、速い ISI 条件ではその刺激呈示に追従することが困難となるため、この点からも偶然性の高い反応であることが考えられる。したがって、各条件で出現した見越し反応は系列依存的な反応ではなく尚早反応と見なすことができ、学習の促進を反映した反応ではないことが示唆される。

以上のことから、刺激要素数及び ISI に依存して課題を遂行するのみであり系列一様ランダム刺激に対する追従課題においては、被験者は秩序立った反応を示すことが困難であると考えられる。ただし、本章での実験は無秩序な刺激呈示に対する反応様式の特徴を明らかにしたのみであり、パターンのある刺激に対して反応が求められる事態におけるタイミングの学習や制御については言及することができない。そのため次章では複数の系列パターンを学習する際の一様ランダム呈示の影響を検討する。

第3章 一様ランダム呈示の習得パフォーマンスへの影響

3.1 理論的背景と目的

前章では、系列課題における各刺激要素を一様ランダムに呈示した場合の反応様式を検討した。そこでの被験者の反応は、刺激要素数や ISI 条件に依存した一様ランダムな反応様式を示した。第1章でも論じたように課題の呈示順序のランダム性が比較的永続的な学習に有益であるという練習スケジュールのパラドックスがしばしば報告されている。具体的には、3種類の運動課題があった時、1つの運動課題を繰り返し習得してから次の運動課題を行うというように練習の順序をブロック化する条件とこれらの3種類の運動課題を毎回ランダムな順序で練習するランダム条件を比較した場合、練習の段階に当たる習得段階ではブロック練習の方がランダム練習よりも優れたパフォーマンスを示すが、保持段階や転移段階といった学習の評価の段階ではランダム練習の方が優れたパフォーマンスを示し、ランダム練習の方が運動の学習を促進するという現象である (Shea and Morgan, 1979)。本章ではこのランダム条件に焦点を当てる。先行研究や仮説からいえることは、ランダム条件では習得すべき課題間の干渉によって課題の比較が行われ弁別性が向上するという仮説や、課題の遂行時に機能するプラン (アクションプラン) が他の課題を行うことにより忘却してしまうが、そのプランの再構成を繰り返すことが課題の習得を向上させるという仮説などである。これは次にどのような課題を行われるかがあらかじめ知らされている (あるいは予測がつく) 条件での説明である。これらを踏まえ、本章では一様ランダム呈示を行った場合、このような仮説に基づく知見が得られるのかどうかを主要な問題となる。そして強調すべきは本章では主に習得段階のパフォーマンスに焦点を当てる。先行研究に基づけば、習得段階においてブロック練習の方が優れたパフォーマンスを示すが、他方でランダム練習のパフォーマンスもブロック練習ほどではないが改善していく。もし、一様ランダム呈示においても習得段階におけるパフォーマンスが改善するのであれば、上記の仮説に基づく情報処理が行われていると考えられる。他方で、習得パフォーマンスに改善がみられなければ一様ランダム性の性質が強く反映されるといえる。したがって本章の目的は文脈干渉効果のパラダイムを適用し系列パターンタイミングの学習における一様ランダム呈示の影響を明らかにする。その際、無反応、誤反応、正反応、見越し反応の4つのパフォーマンス測定を用いて評価する。なお、課題の困難度を考慮して4つの刺激要素から構成された3種類の系列課題を設定した。そして、ブロック、シリアル、一様ランダム性の3種類の刺激呈示 (練習スケジュール) 条件を比較する。

3.2 方法

3.2.1 被験者

健康な男子大学院生 18 名（平均年齢:24.5±2.3）であった^{注1)}。本研究に関する内容及び個人情報の取り扱いについて説明し、口頭で同意を得た。

3.2.2 装置

前章の Fig.2.1 で示した装置と同じ装置を使用した。被験者の前方 30cm の位置に 4 つの刺激呈示ボックスが左から右へ 10cm 間隔で並べられている。これらの刺激ライト（赤色発光ダイオード）に対して被験者の手もとに反応キー（タッチスイッチ）が左から右へと 10cm 間隔で並べられている。刺激呈示や試行数、データの分析はパーソナルコンピュータで行った。

3.2.3 課題

各被験者は、4 つの刺激ボックスの刺激ライトがあらかじめ決められた系列パターンで点灯し、その系列パターンが点灯する系列位置を予測しながら右手の人差し指で刺激と反応が一致するように追従することを求められた。各被験者が遂行する課題は 3 種類であり、各課題の系列パターンは次の通りである。すなわち課題 A : 2-1-3-4, 課題 B : 3-4-2-1, 課題 C : 3-1-2-4 であった。

3.2.4 手続き

各被験者は、ブロック群、シリアル群、ランダム群のいずれかにランダムに 6 名ずつ割り当てられた。ブロック群の被験者は、課題 A→課題 B→課題 C というように、1 つの課題を完全に遂行してから次の課題を遂行した。シリアル練習群の被験者は、課題 A, 課題 B, 課題 C の順番で繰り返し課題を遂行した。ランダム群の被験者は、一様ランダムな呈示順ですべての課題を遂行した。ランダム群では試行間隔は設けていない。なお、3 つの系列パターンを各課題の試行数が最終的に同数になるように調整した。すべての被験者は、1 系列を 1 試行として各系列パターンを 18 試行ずつ行うこととし、全体の試行数は 54 試行（3 課題×18 試行）であった。習得段階及び保持段階において、刺激点灯時間は 100ms, ISI は 500ms であった。習得段階終了後、3 分間の保持インターバルを設けた。その後、すべての被験者は保持課題を行った。保持段階において被験者は習得段階で行った条件と同じ練習条件で 18 試行（3 課題×6 試行）の保持試行を行った。保持段

階終了後、1 分間のインターバルを設け、その後転移課題を行った。転移課題の試行数は 18 試行であり、ISI を 400ms に設定した以外すべての被験者は、習得段階及び保持段階で行った条件と同じ練習条件で 18 試行 (3 課題×6 試行) の転移試行を行った。

3.2.5 4 つの質的パフォーマンス測度の判定基準

本章で採用した 4 つのパフォーマンス測度の判定基準は前章と同様であった (Fig.2.2 参照)。

3.2.6 分析方法

習得段階におけるランダム群の被験者の反応様式を検討するために、ランダム群の各被験者が習得段階で行った全反応について、課題の遂行順に並んだ被験者の無反応を除くすべての反応間隔時間を集計し、その R-R 間隔時間の標準偏差について連の検定 (run test : 5% の有意水準) を行った。連の検定とは、算術的に生じさせた数列に内在する偶然性や不規則性を検証するための方法の一つである (Knuth, 1981)。本研究では被験者の反応系列にランダム性があるかどうかを検証するために用いた。もし、R-R 間隔の系列が有意性を示した場合は、被験者は系列パターンを利用して課題を遂行しているといえる。つまり、系列試行の遂行を通してパフォーマンスが改善しているといえる。他方、もし有意差が見出されなければ、被験者は不規則に反応し、刺激に依存しているといえる。すなわちランダム性を示すと考えられる。つまりこのことから、系列パターンの遂行を通してパフォーマンスは改善していないといえる。

4 つのパフォーマンス測度の分析では、各パフォーマンス測度 (無反応, 誤反応, 正反応, 見越し反応) について出現比率を求め、群 (3) × 試行ブロック (6) の 2 要因の分散分析を行った。また、保持段階と転移段階においては群 (3) × 試行ブロック (2) の 2 要因の分散分析を行った。なお、各パフォーマンス測度の出現比率は反応分布が正規分布していないため変換 ($X' = \sin^{-1} \sqrt{P}$) した値について分析を行った。

3.3 結果

3.3.1 習得段階におけるランダム群の連の検定

ランダム群の反応のランダムネスを検証するために、連の検定を行った結果を Table.3 に示した。その結果、ランダム群の全 6 被験者についての連数は有意差が認められず、その反応様式はランダムであることが判明した。

Table. 3 習得段階におけるランダム群
被験者の連の検定結果

被験者		ランダム群の習得段階
A	データ数	21
	連数	11
B	データ数	21
	連数	10
C	データ数	20
	連数	8
D	データ数	19
	連数	7
E	データ数	20
	連数	12
F	データ数	20
	連数	11

(無反応を除くすべてのR-R間隔時間：10試行区切り)

3.3.2 4つの質的パフォーマンス測度の分析

ブロック群 (Fig.3.1), シリアル群 (Fig.3.2), ランダム群 (Fig.3.3) の別に習得段階, 保持段階, 転移段階における最初と最後の3試行ブロックを示した.

a) 習得段階

4つのパフォーマンス測度(無反応, 誤反応, 正反応, 見越し反応)について, 群(3)×試行ブロック(6)の2要因分散分析を行った.

無反応においては, 試行ブロックの主効果が有意であった($F(5,75)=2.88, P<0.05$). また, 群×試行ブロックの交互作用が有意傾向($F(10,75)=1.78, P<0.1$)であったため単純主効果の検定を行ったところ, 群において, ブロック群($F(5,75)=3.61, P<0.01$)では1試行ブロックに対して2試行ブロック, 3試行ブロック, 4試行ブロック, 5試行ブロック, 6試行ブロックのそれぞれで無反応が有意に減少した.

誤反応においては, 主効果及び交互作用に有意な差は見出されなかった.

正反応においては, 群の主効果が有意傾向にあった($F(2,15)=3.55, P<0.1$). 群の主効果が有意であったことから Tukey の HSD 検定を用いて多重比較を行ったところ, 各群間に有意な差は見出されなかったが, シリ

アルとランダム群はブロック群よりも高い値を示した。その他の主効果及び交互作用には有意差は認められなかった。

見越し反応においては、群($F(2,15)=6.40, P<0.01$)の主効果が有意であり、試行ブロックの主効果に有意傾向が見出された($F(5,75)=2.08, P<0.1$)。また、群×試行ブロックの交互作用($F(10,75)=2.06, P<0.05$)が有意であったため単純主効果の検定を行ったところ、群において、ブロック群($F(5,75)=5.92, P<0.01$)では1試行ブロックから2試行ブロック、3試行ブロック、4試行ブロック、5試行ブロック、6試行ブロックのそれぞれに対して見越し反応が有意に増加した。その他の試行ブロック間には有意な差は見出されなかった。シリアル群及びランダム群については、試行ブロックを通して有意な変化は見出されなかった。

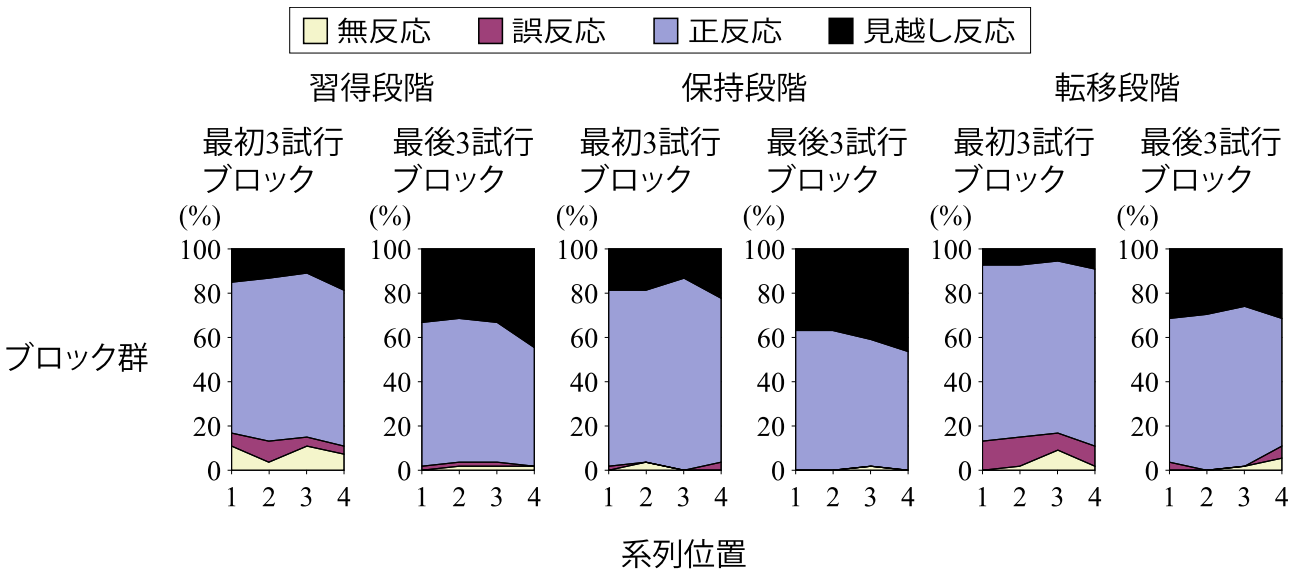


Fig.3.1 習得段階, 保持段階, 転移段階におけるブロック群, シリアル群, ランダム群の各パフォーマンス測度の平均出現比率

習得段階, 保持段階, 転移段階における各課題(A,B,C)の最初と最後の3試行ブロックの平均を表している。また, 各課題の系列位置毎の出現比率を示した。

b) 保持段階

4つのパフォーマンス測度(無反応, 誤反応, 正反応, 見越し反応)のそれぞれについて群(3)×試行ブロック(2)の2要因分散分析を行った。

見越し反応においては、群($F(2,15)=5.91, P<0.05$), 試行ブロック($F(1,15)=6.30, P<0.05$)ともに有意な主効果を

示した。また、群×試行ブロックの交互作用($F(2,15)=4.18, P<0.05$)が有意であったため、単純主効果の検定を行ったところ、群では最初の3試行、最後の3試行ともにブロック群がシリアル群及びランダム群よりも有意に高い比率を示した。さらに、試行ブロックでは、ブロック群($F(1,15)=14.51, P<0.01$)において最初の3試行と比較して最後の3試行で有意に見越し反応が増加したが、シリアル群($F(1,15)=0.12, P>0.05$)及びランダム群($F(1,15)=0.03, P>0.05$)に関しては変化が見出されなかった。

無反応、誤反応、正反応については、いずれの主効果及び交互作用にも有意な差は見出されなかった。

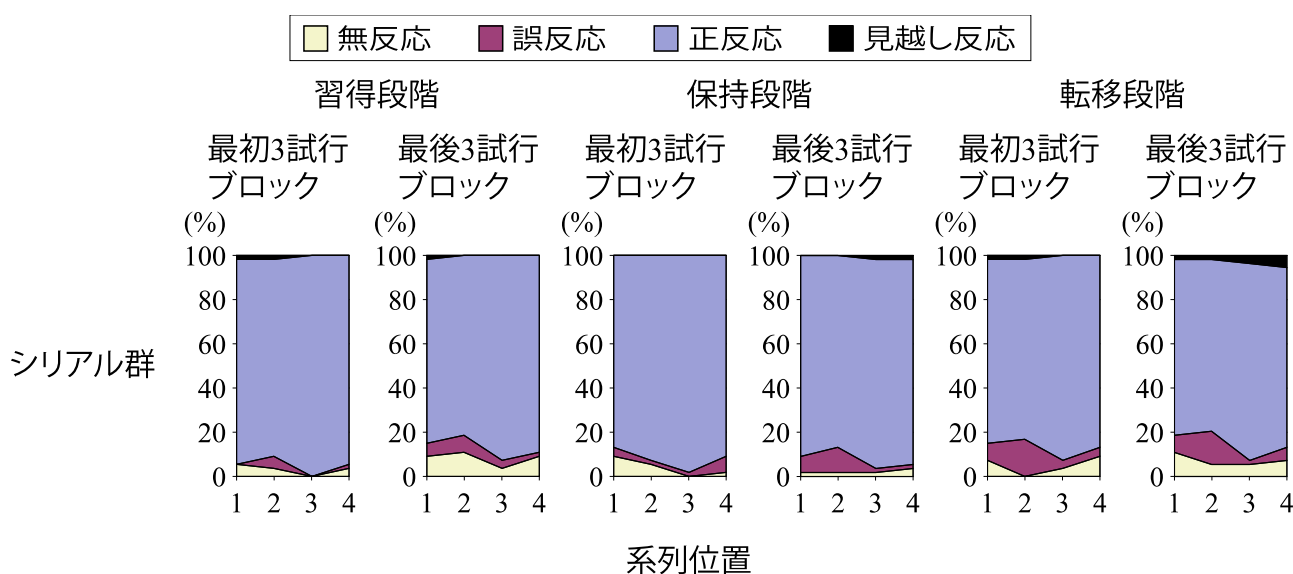


Fig.3.2 習得段階, 保持段階, 転移段階におけるブロック群, シリアル群, ランダム群の各パフォーマンス測度の平均出現比率

c) 転移段階

転移段階において、4つのパフォーマンス測度（無反応、誤反応、正反応、見越し反応）のそれぞれについて群（3）×試行ブロック（2）の2要因分散分析を行った。

無反応においては群の主効果が有意であった($F(2,15)=4.15, P<0.05$)ため Tukey の HSD 検定を用いて多重比較を行ったところ、ブロック群よりもランダム群で有意な比率を示した。

見越し反応においては試行ブロックの主効果が有意であった($F(1,15)=5.77, P<0.05$)ため Tukey の HSD 検定を用いて多重比較を行ったところ、最初の3試行と最後の3試行の間で有意な増加が見出された。

誤反応と正反応については、いずれの主効果及び交互作用にも有意な差は見出されなかった。

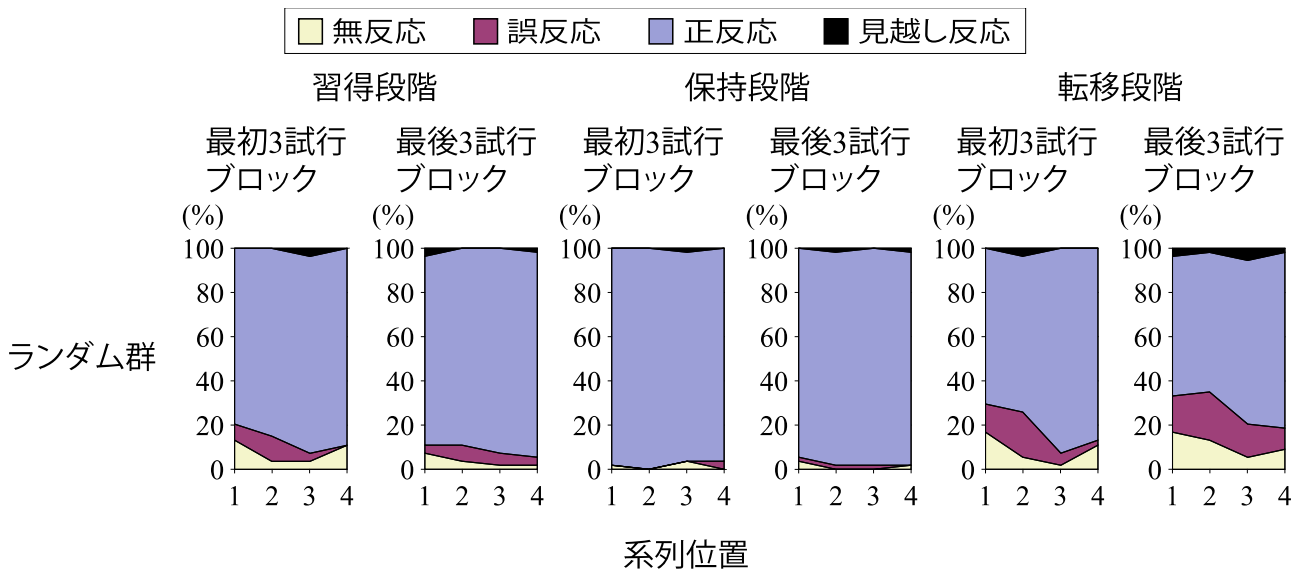


Fig.3.3 習得段階, 保持段階, 転移段階におけるブロック群, シリアル群, ランダム群の各パフォーマンス測度の平均出現比率

3.4 考察

3.4.1 習得段階におけるランダム群の連の検定

文脈干渉効果の先行研究の多くで見られる特徴として、習得段階におけるパフォーマンスはランダム群よりもブロック群の方が優れている点がある。しかし、予測が困難であると考えられるランダム群においても習得段階中のパフォーマンスは課題の進行に伴って改善されていく傾向がある (Giuffrida et al, 2002; Hall and Magill, 1995; Immink and Wright, 2001; Shea et al, 2001)。3種類の課題を一様ランダム呈示した本実験で、ランダム群の習得段階における反応のランダムネスを検証するために、ランダム群の被験者の習得段階における反応について連の検定を行ったところ、全被験者についてランダムな反応が認められた。これは被験者の反応間に関連性がなく、系列依存的なパターンを形成できなかったことを示しており、試行の進行に従ってランダム群のパフォーマンスが向上するという先行研究の習得段階のパフォーマンスとは一致しない。第2章で得られた知見では、一様ランダムな刺激に対して被験者の反応は刺激要素数と ISI に影響を受けたことから、一様な反応の分布を示すランダム反応であることが明らかとなった。本実験での刺激要素数は4個であ

り、習得段階での ISI は 500ms であった。第 2 章の刺激要素数 4 と ISI が 500ms のランダムネスの検定結果と同様な結果であった。このことから、本実験においても一様ランダム呈示に対して第 2 章の実験と類似の反応を行っていた可能性が考えられる。

3.4.2 4つのパフォーマンス測度の変化

先行研究における被験者の習得段階中パフォーマンスは、ブロック群のみならずランダム群においても試行の進行に伴って改善されていくことは先にも述べた。これは習得段階で課された課題の内容を理解しているためであるといえる。そのため、課題内や課題間の運動パターンの促進に焦点を当てた精緻化仮説や再構成仮説、逆向抑制仮説などが説明仮説として提案されたと推察される。精緻化仮説によればランダム群の被験者は習得中のパフォーマンスを改善するために複数の課題間や課題内の特徴づけや関係づけを行わなければならない。そのため記憶表象に対する弁別的で精緻な処理戦略の利用を強いられる。その一方で、ブロック群ではそのような処理は必要とされないと述べている (Shea and Morgan, 1979)。また、再構成仮説によるとランダム群は、毎回異なる課題を遂行することによりその都度、行為プランを構成しなければならないという (Lee and Magill, 1983, 1985)。しかし、第 2 章で明らかのように一様なランダム呈示の条件下で課題を遂行したならば習得レベルは向上しない。ここで本実験でのこのパフォーマンスの改善をパフォーマンス測度の面から考察すると、習得段階においてブロック群は、学習初期では無反応が多く見られるが、習得試行の進行に伴ってその出現数を徐々に減少させ、見越し反応で応答するようになった。つまり、習得試行を通してパフォーマンスの促進が見られるようになり、先行研究同様の結果を示した。これは 1 つの系列パターンを繰り返し遂行することにより精緻な情報処理が行われていたことが推察される。系列パターンを遂行する場合、各パフォーマンス測度は相補的な階層構造をなすことが知られている (調枝, 1987, 1991, 1996)。つまり、ブロック群の被験者は習得過程に無反応、誤反応、正反応、見越し反応の順にその比率を増大させる。その過程では、無反応と誤反応の減少により、正反応が増大し、正反応の減少に代わって見越し反応が増加するというような反応測度間の相補的变化により系列パターンの組織化が達成されることを意味している。さらに情報処理的に考えると、課題に対する不確定度を減少させ、より余裕を持った反応遂行が可能になると考えられる。他方、ランダム群では試行ブロックを通して 4 つのパフォーマンス測度の出現比率にそのような変化は見出されなかった。具体的には、本章の実験で設定した刺激要素数 4 と ISI 500ms の条件では、ブロック群のような習得段階内の反応測度間の相補的交替による見越し反応レベルでの応答は見出されなかつ

たが、正反応での応答は可能であった。しかし、各パフォーマンス測度の出現様式は一様な分布を示すに過ぎなかった。このようにランダム群のパフォーマンス測度が一様で均質であったのは、一様ランダム呈示の影響によるものであると考えられる。すなわち各課題内の系列パターンを表層的なその場処理で遂行しているが、ブロック群のように課題間の特徴づけによる精緻化やプログラムの再構成などに関する情報処理は促進されていなかったことを示唆している。したがって、習得段階のランダム呈示条件の反応処理に着目すると、文脈干渉効果を説明しようとする仮説では少し無理があると考ええる。

また、シリアル群は、実験の各段階においてランダム群と類似の結果を示していた。しかし、習得段階に着目すると、最初の3試行よりも最後の3試行においてわずかではあるが誤反応及び無反応が増加していたことは興味深い。シリアル呈示は3種類の課題を一定の順序で繰り返し呈示した。そのためパフォーマンスを改善させるためには相当の試行数を要するものと考えられるが、ランダム呈示との決定的な違いは、課題の系列パターンの呈示が同じ順序で繰り返されることにある。したがって、習得段階の最後の3試行でのパフォーマンスの低下は習得試行内でわずかながらでも系列パターンを秩序づけるために積極的な反応を行っていたことを示唆している。

保持段階に着目すると、ブロック群では最初の3試行と最後の3試行の間で有意に見越し反応が増加したが、シリアル群とランダム群では保持段階を通して見越し反応の出現は見られなかった。シリアル群とランダム群では系列パターンの呈示に対してそのほとんどを正反応で応答していることから保持段階では習得段階と同様の反応様式によって課題を遂行したといえる。

転移段階では ISI が 400ms と速くなり課題の困難度が増したことから、シリアル群とランダム群に関しては無反応と誤反応の出現数の増加を示した。他方、ブロック群では最初の3試行では無反応と誤反応の比率が増大しているが最後の3試行では見越し反応及び正反応で占められるようになった。これは時間的拘束を伴う外部環境の変化に対応するために無反応と誤反応を増加させた後、正反応と見越し反応というより高いレベルの反応に移行していることを示しておりシリアル群やランダム群には見られない反応様式である。杉山ら（2003）はこの保持と転移のデザインを用いてランダム条件に一様ランダム呈示を行うことにより保持及び転移における学習効果を検討したが、ランダム呈示の有効性は見出されなかった。また、関矢（1990）の研究のように、この研究デザインを用いたが文脈干渉効果の発現が見出されておらず必ずしも文脈干渉効果の有効性を反映していない知見も見受けられる。以後、課題の呈示順序が学習効果に影響を与えないと考えた場合、刺激の呈示の影響によって習得過程においてどのような情報処理が行われているのかを検討する

必要がある。

3.5 本章までのまとめ

第2章の実験では、系列パターンの追従課題を用いた一様ランダム刺激事態における反応様式を検討した結果、被験者の反応は刺激要素数と ISI に依存したランダムな反応を示すことが明らかとなった。この知見をもとに、本章では、文脈干渉効果を再検討するために特に習得段階におけるランダム群の反応様式を検討した。その結果、ブロック群は習得試行の進行に伴い、無反応、誤反応、正反応、見越し反応の相補的な反応処理レベルの向上が見出されたのに対し、ランダム群においては習得試行を通してパフォーマンスレベルは変化せず、各反応の一様な均質化が見られた。また、保持や転移段階においても習得段階と同様の反応様式を行っていることが明らかになった。ランダム呈示を行った場合、課題内のパターン習得が困難であるだけでなく、課題間の弁別や特徴づけなどの精緻な情報処理活動を行うことができなかつたと考えられる。以上は不確定事態での運動学習は困難であることを示唆しており、さらにこのことはランダム呈示の性質と拘束力の強さを反映している。

文脈干渉効果を取り扱った先行研究は、本研究が強調している予測困難な事象に対する反応処理という問題点を指摘しているものではなく、ランダム練習によって運動プログラムやパラメータを試行毎に変更しなければならないことによって強えられる心的労力や複雑な情報処理方略といった課題間の関係性に焦点が当てられている。ランダムネスの性質である、等確率性、無規則性、予測不可能性などは本来、課題遂行者の反応によって系列を秩序づけるという性質を有するものではなく、課題遂行者は単に刺激要素のみに反応できるが、系列パターンを構成している刺激要素間の文脈の関係性に関する情報を得る事が困難であることが推察される。本研究結果はこの推察を裏付けるものであり、先行研究で述べられている課題間の関係づけによる秩序の形成は容易ではないと考える。また、近年の研究動向として Meira and Tani (2001) や Meira and Tani (2003) のように文脈干渉効果を支持しない研究も見受けられる。今一度、文脈干渉効果を生じさせているといわれるランダム刺激呈示に関係した詳細な検討が望まれる。

本章の実験では、文脈干渉効果の研究において特に習得段階のランダム呈示条件の反応様式に着目して検討してきた。そのため、各群は習得段階で行った課題と同じ課題を用いて保持と転移課題を行った。習得パフォーマンスの評価に関連して、習得段階でのパフォーマンスの低下が保持や転移を促進するという立場でこの問題を捉えると、必ずしも習得段階に焦点を絞った議論だけでは不十分である。つまり、保持と転移段

階での課題の困難度が各群で異なるため、呈示条件を統一してパフォーマンスの比較を行った場合についての検討が必要である。これに加えて、習得レベルをいかに評価するかという点が運動学習研究の重要なテーマであるため、今後、保持と転移段階での十分な学習効果の検討を要する。これらを踏まえ、文脈干渉効果の研究で一般的に用いられるデザインと同様に、保持と転移段階では習得段階中にブロック練習を行った群の半分の被験者はブロック呈示で、残りの半分の被験者はランダム呈示を行い、習得段階におけるランダム練習群の被験者に対してもブロック群同様に保持と転移段階での呈示を行うことが必要である。そこで、次章では習得段階におけるブロック群とランダム群を設け、両群の学習効果を検討するために、保持段階及び転移段階でのパフォーマンス比率の比較を試みる。

第4章 ランダム呈示による課題習得レベルと学習効果

4.1 目的

スポーツ場面では常に状況が変化している中で複数のスキルを選択して遂行しなければならない。選択された運動プログラムは他の異なる運動プログラムと系列的、連続的に実行されることにより一つの有効な動作を形成している。また、系列課題は前後の文脈から全体の課題を習得しなければならないという特徴を持っている。従って、系列パターンの追従課題を用いた実験は運動場面に即した環境であるといえる。他方、第3章では呈示順序が習得パフォーマンスに与える影響について検討してきたが、保持課題や転移課題を用いた学習効果の評価に関しては不十分であった。そこで本章では一様ランダム条件とブロック条件を比較することによって文脈干渉効果のパラダイムにおける一様ランダム呈示が学習効果に与える影響を明らかにすることを目的とする。もし、この実験計画においてブロック条件よりもランダム条件の方が保持段階及び転移段階において優れたパフォーマンスを示していれば、真に不確定な環境事態においても文脈干渉効果の有効性が支持される。また、仮にブロック条件よりもパフォーマンスが劣っていたとしても保持段階や転移段階において習得段階よりもパフォーマンスが改善されていれば、不確実性の学習への効果が部分的に支持されるといえよう。反対に、習得段階及び、その後の保持段階や転移段階においてランダム条件のパフォーマンスに変化がない、あるいは低下するような場合は、不確実性は学習に有効には機能しないといえ、一様ランダム呈示の影響が学習効果に与える影響を見出すことができると考えられる。なお、本章でも第3章と同様に、系列パターンの課題を用いて無反応、誤反応、正反応、見越し反応の4つの反応測度でパフォーマンスを評価する。

4.2 方法

4.2.1 被験者

健康な大学生48名（男性36名、女性12名）であった^{註1)}。本研究に関する内容及び個人情報の取り扱いについて説明し、口頭で同意を得た。

4.2.2 装置

実験装置はFig.4.1に示してある適応能力分析装置を用いた。被験者の前方30cmの位置に6つの刺激呈示

ボックスが左から右へ並べられている。これらの刺激ライト（赤色発光ダイオード）に対して被験者の手もとに反応キー（タッチスイッチ）が左から右へと刺激ライトと同様に6つ並べられている。刺激点灯時間は100msであり、刺激間隔（interstimulus interval: 以下 ISI と記す）は500msに設定された。刺激呈示や試行数、データの分析はパーソナルコンピュータで行った。

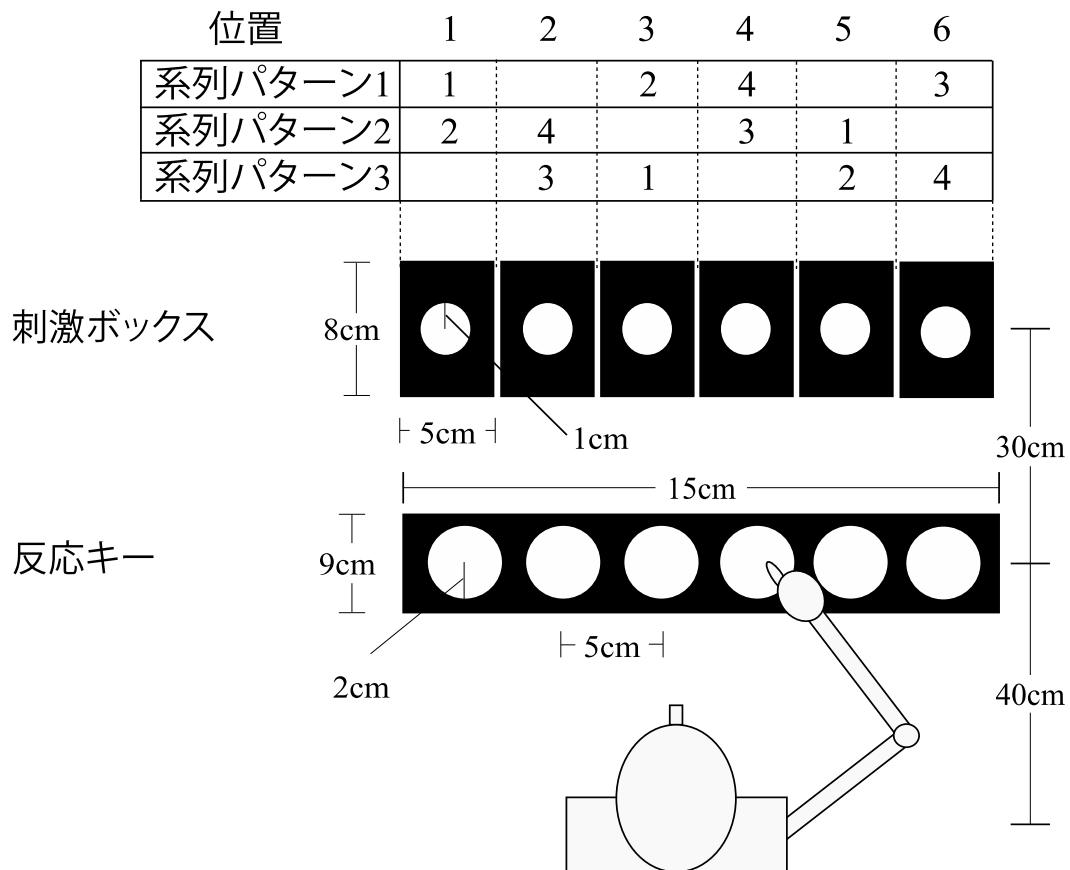


Fig.4.1 実験装置及び本実験で用いられた各系列パターン

4.2.3 課題

被験者は6つの刺激のうちの4つから構成される系列パターンを点灯位置の確認をしながら右手の人差し指で追従することを求められた。実験を通して3つの課題を遂行した。6つの刺激ボックスのうちの4つがある規定のパターンで点灯しそのパターンを追従することを求められた。それぞれの課題の系列パターンは次の通りである：1-3-6-4（パターン1）、5-1-4-2（パターン2）、3-5-2-6（パターン3）。なお、各課題の構成は各系列位置が3課題のうち2つに含まれるように構成された。

4.2.4 手続き

被験者はブロック群と一様ランダム群のいずれかに割り当てられた。ブロック群の被験者は1つのパターンを完全に遂行してから次のパターンを開始した。それぞれのパターンが行われる順番はカウンターバランスをとることとした。一様ランダム群の呈示方法は3つの系列パターンを一様乱数に基づいてランダム呈示し、被験者はすべての試行を遂行した。習得段階中、3種類のパターンが同数呈示されるように調整された。一様ランダム群では試行間隔は設けていない。つまり、Restle and Brown (1970) と類似の方法において、ブロック群及びランダム群の被験者はパターン間や試行間に休憩を入れずに連続的に課題を遂行した。すべての被験者はそれぞれのパターンを36試行ずつ行うこととし、全体の試行数は108試行であった。習得段階及び保持段階において、刺激点灯時間は100ms、ISIは500msであった。習得段階終了の5分後、すべての被験者は保持課題を行った。それぞれの習得群の被験者の半分はブロック順で課題を行い、もう半分の被験者は一様ランダム順で18試行の保持試行を行った。つまり、習得段階におけるブロック群は保持段階においてブロック課題(B-B群)かランダム課題(B-R群)によって評価され、習得段階におけるランダム群は保持段階においてブロック課題(R-B群)かランダム課題(R-R群)によって評価された。保持試行終了の1分後、すべての被験者は転移課題を行った。転移課題は、試行数は18試行であり、ISIを400msに設定した以外は習得段階及び保持段階で行われた課題と同じ系列パターンの課題であった。

4.2.1 反応測度

a) パフォーマンス測度の判定基準

本実験における4つのパフォーマンス測度の判定基準をFig.4.2に図示した。上段はISI内に反応が1つの場合、下段はISI内に反応が2つの場合の判定基準である。上段のパフォーマンス測度の判定基準では、 S_1 のように次の刺激が呈示されるまでに最初の刺激に対して応答がなければ無反応と判定される。次の刺激が呈示されるまでに S_2 で呈示された刺激とは異なった反応をした場合は誤反応となる。次の刺激が呈示されるまでに S_3 で呈示された刺激に対応するキーに反応した場合は正反応となる。 S_4 の刺激が呈示される前に S_4 で呈示される刺激を予測して正しく反応した場合は見越し反応となる。

b) 連の検定

被験者の反応のランダム性を検証するために、無反応を除くすべての反応測度から得られたR-R間隔時間

について連の検定を行った（詳細は前章までの連の検定を参照）。検定の対象は、習得段階におけるランダム群、保持段階及び転移段階における B-R 群と R-R 群であった。

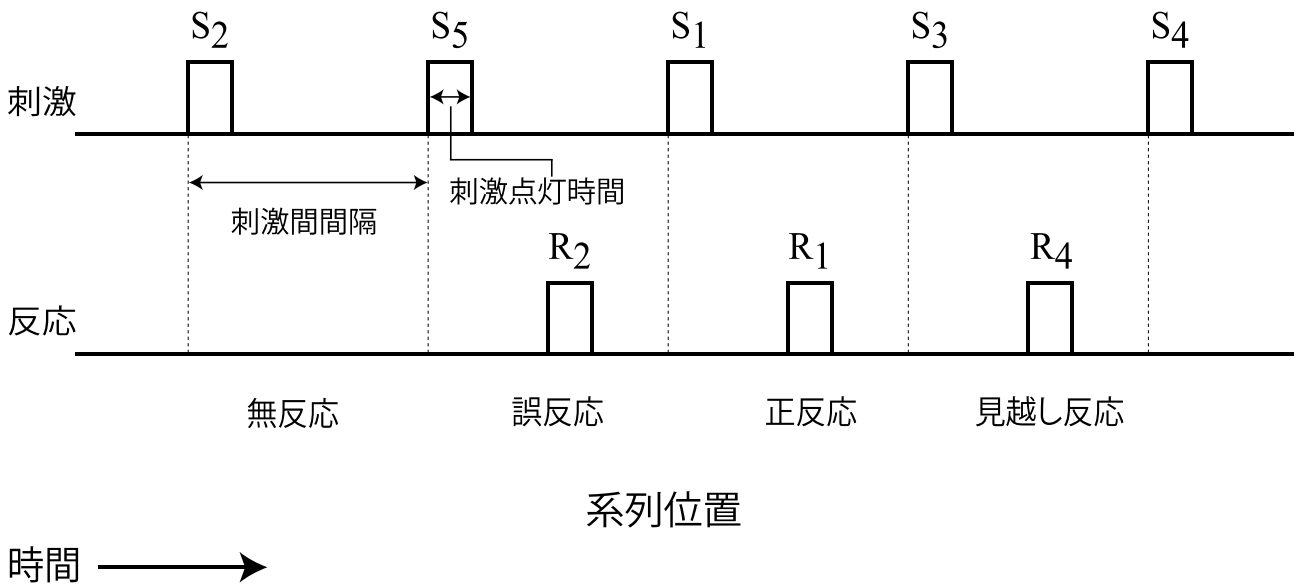


Fig.4.2 系列追従課題において呈示された刺激に対する反応の測度
 上段の矩形波は被験者に呈示された刺激の位置を意味している。下段の矩形波は被験者が刺激に反応した位置の例を意味している。

4.3 結果

4.3.1 4つのパフォーマンス測度の分析

習得段階については、4つのパフォーマンス測度（無反応、誤反応、正反応、見越し反応）のそれぞれについて、群（2）×試行ブロック（6）の2要因分散分析（第2要因が繰り返し）を行った。また、保持段階、転移段階については群（4）×試行ブロック（2）の2要因分散分析（第2要因が繰り返し）を行った。

a) 習得段階

Fig.4.3 は習得段階における4つのパフォーマンス測度の平均比率を示している。各反応の比率は各呈示パターンの6試行を1つのブロックとして表示した。

無反応においては群の主効果が有意であった ($F(1,46)=22.79, p<0.01$)。また、群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(2,230)=9.04, p<0.01$)。このため、単純主効果の検定を行ったところ、2 試行ブロック

($F(1,46)=6.41, p<0.05$), 3 試行ブロック ($F(1,46)=9.87, p<0.01$), 4 試行ブロック ($F(1,46)=20.98, p<0.01$), 5 試行ブロック ($F(1,46)=31.73, p<0.01$), 6 試行ブロック ($F(1,46)=25.63, p<0.01$) においてランダム群はブロック群よりも有意に無反応が大きかった。ブロック群においては習得試行を通して無反応の減少を示した ($F(5,230)=3.82, p<0.01$)。

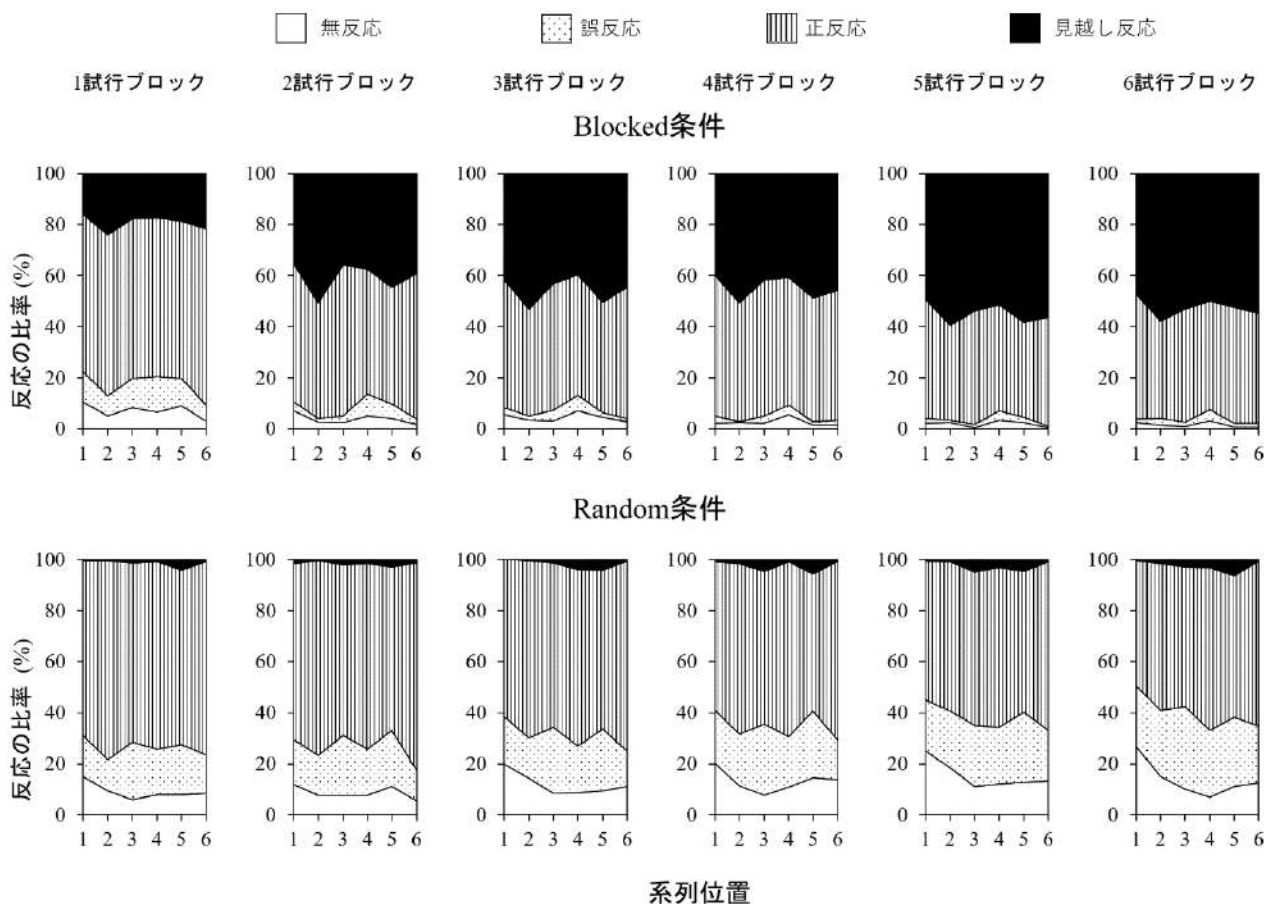


Fig.4.3 1試行ブロックから6試行ブロックまでの見越し反応，正反応，誤反応，無反応の平均比率(%)

誤反応においては群 ($F(1,46)=53.92, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(5,230)=4.06, p<0.01$) の主効果が有意であった。また，群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(5,230)=21.29, p<0.01$)。群×試行ブロックの交互作用が有意であったため，単純主効果の検定を行ったところ，ランダム群は習得段階を通してブロック群よりも高い誤反応比率を示した (1 試行ブロック： $F(1,46)=8.59, p<0.01$, 2 試行ブロック： $F(1,46)=29.50, p<0.01$, 3 試行ブロック： $F(1,46)=38.55, p<0.01$, 4 試行ブロック： $F(1,46)=60.84, p<0.01$, 5 試行ブロック： $F(1,46)=64.62, p<0.01$, 6 試行ブロック： $F(1,46)=70.52, p<0.01$)。ブロック群においては，誤反応比率は1 試行ブロックとその他の試行ブロック間で有意な減少を示した ($F(5,230)=12.39, p<0.01$)。ランダム群においては

1 試行ブロックと 6 試行ブロックの間で有意な減少を示した ($F(5,230)=12.95, p<0.01$).

正反応においては群 ($F(1,46)=6.46, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(5,230)=14.42, p<0.01$) の主効果が有意であった。各要因の主効果が有意であったため多重比較を行ったところ、群に関してはブロック群よりもランダム群の方が有意に高い正反応比率を示した。試行ブロックに関しては 1 試行ブロックに対して他の試行ブロックで有意に低い正反応比率を示し、課題の遂行に伴って正反応が減少した。

見越し反応においては群 ($F(1,46)=55.61, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(5,230)=20.19, p<0.01$) の主効果が有意であった。また、群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(5,230)=17.71, p<0.01$)。群×試行ブロックの交互作用が有意であったため、単純主効果の検定を行ったところ、すべての試行ブロックにおいてブロック群がランダム群よりも有意に見越し反応比率が高かった (1 試行ブロック : $F(1,46)=37.27, p<0.01$, 2 試行ブロック : $F(1,46)=41.55, p<0.01$, 3 試行ブロック : $F(1,46)=46.56, p<0.01$, 4 試行ブロック : $F(1,46)=44.27, p<0.01$, 5 試行ブロック : $F(1,46)=50.67, p<0.01$, 6 試行ブロック : $F(1,46)=58.82, p<0.01$)。ブロック群においては課題の遂行に伴って正反応比率が有意に増大した ($F(5,230)=37.85, p<0.01$)。ランダム群においては有意な見越し反応比率の増加は見出されなかった ($F(5,230)=0.05, p>0.1$)。

b) 保持段階

Fig.4.4 の左は保持段階における最初と最後の 9 試行の無反応、誤反応、正反応、見越し反応の平均比率を示している。

無反応においては群の主効果が有意であった ($F(3,44)=6.99, p<0.01$)。このため、多重比較を行ったところ、B-R 群がその他群よりも有意に大きな無反応比率を示した。

誤反応においては群 ($F(3,44)=7.29, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(1,44)=7.75, p<0.01$) の主効果が有意であった。このため、多重比較を行ったところ、B-B 群よりも B-R 群、R-R 群の方が有意に高い誤反応比率を示した。また、R-B 群よりも B-R 群、R-R 群の方が有意に高い誤反応比率を示した。さらに、最初の 9 試行よりも最後の 9 試行で有意に誤反応比率が低下した。

正反応においては試行ブロック ($F(1,44)=32.41, p<0.01$) の主効果が有意であった。また、群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(3,44)=12.98, p<0.01$)。このため、単純主効果の検定を行ったところ、B-B 群、R-B 群において最初の 9 試行と最後の 9 試行の間で有意な正反応比率の増大を示した (B-B 群 : $F(1,44)=57.82, p<0.01$, R-B 群 $F(1,44)=13.39, p<0.01$)。他方、B-R 群、R-R 群においては、有意差は見出されな

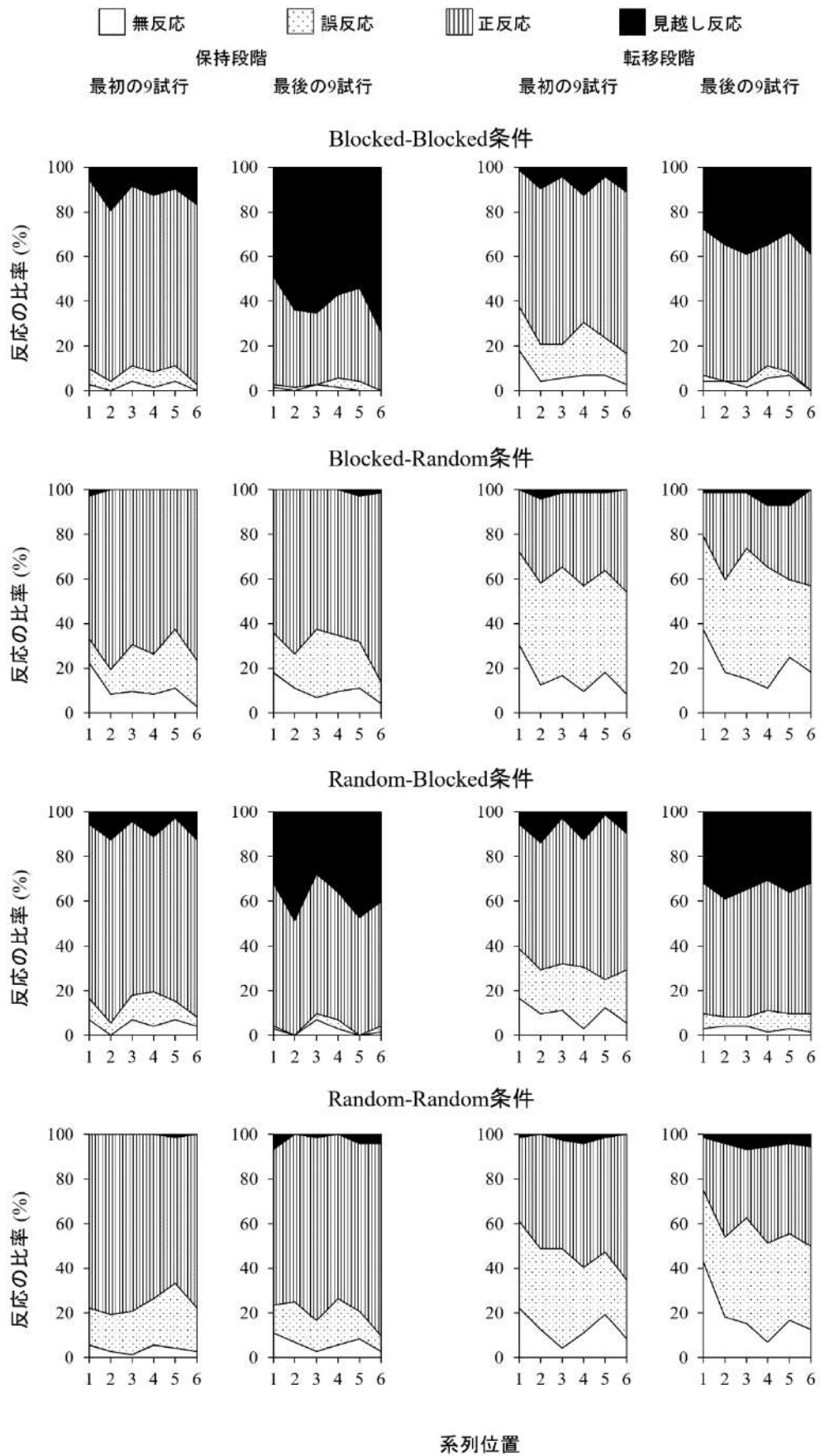


Fig.4.4 保持段階及び轉移段階における最初と最後の9試行の見越し反応、正反応、誤反応、無反応の平均比率(%)

かった (B-R 群 : $F(3,44)=0.10, p>0.1$, R-R 群 : $F(3,44)=0.04, p>0.1$). また, 最後の 9 試行 ($F(3,44)=5.83, p<0.01$) において, B-B 群よりも B-R 群, R-B 群の方が有意に高い正反応比率を示した.

見越し反応においては群 ($F(3,44)=24.65, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(1,44)=78.09, p<0.01$) の主効果が有意であった. また, 群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(3,44)=25.13, p<0.01$). 群×試行ブロックの交互作用が有意であったため, 単純主効果の検定を行ったところ, B-B 群と R-B 群において最初の 9 試行と最後の 9 試行の間で有意な見越し反応の増大を示した (B-B 群 : $F(1,44)=109.49, p<0.01$, R-B 群 $F(1,44)=43.68, p<0.01$). 他方, B-R 群, R-R 群においては, 有意差は見出されなかった (B-R 群 : $F(3,44)=0.00, p>0.1$, R-R 群 : $F(3,44)=0.30, p>0.1$). また, 最初の 9 試行 ($F(3,44)=11.43, p<0.01$) においては B-B 群の方が B-R 群, R-R 群よりも高い値を示し, R-B 群で B-R 群, R-R 群よりも高い値を示した. 最後の 9 試行 ($F(3,44)=26.03, p<0.01$) においては, B-B の方がその他の群よりも高い値を示し, R-B の方が B-R 群, R-R 群よりも高い値を示した.

c) 転移段階

Fig.4.4 の右は転移段階における最初と最後の 9 試行の無反応, 誤反応, 正反応, 見越し反応の平均比率を示している.

無反応においては群 ($F(3,44)=12.46, p<0.01$) の主効果が有意であった. また, 群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(3,44)=11.47, p<0.01$). 群×試行ブロックの交互作用が有意であったため単純主効果の検定を行ったところ, B-R 群 ($F(3,44)=6.83, p<0.05$), R-R 群 ($F(3,44)=9.68, p<0.01$) において有意な無反応比率の増大を示し, R-B 群 ($F(3,44)=13.93, p<0.01$) において有意な無反応比率の減少を示した. また, 最初の 9 試行 ($F(3,44)=3.71, p<0.05$) において B-R 群の方が B-B 群, R-B 群よりも高い無反応比率を示した. さらに, 最後の 9 試行 ($F(3,44)=18.89, p<0.01$) においては, B-R 群の方が B-B 群, R-B 群よりも高い無反応比率を示し, R-R 群の方が, B-B 群, R-B 群よりも有意に高い無反応比率を示した.

誤反応においては, 群 ($F(3,44)=21.88, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(1,44)=6.85, p<0.05$) の主効果が有意であった. また, 群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(3,44)=4.58, p<0.01$). 群×試行ブロックの交互作用が有意であったため, 単純主効果の検定を行ったところ, B-B 群 ($F(1,44)=10.36, p<0.01$), R-B 群 ($F(1,44)=8.87, p<0.01$) において最初の 9 試行よりも最後も 9 試行で有意に誤反応率が減少した. R-B 群 ($F(1,44)=0.03, p>0.1$), R-R 群 ($F(1,44)=1.33, p>0.1$) は有意な差は見出されなかった. 最初の 9 試行 ($F(3,44)=6.49, p<0.01$) においては B-R 群の方が, B-B 群, R-B 群よりも有意に高い値を示し, B-B 群よりも

R-R 群で有意に高い値を示した。最後の 9 試行 ($F(3,44)=36.40, p<0.01$) においては、B-R 群の方が、B-B 群、R-B 群よりも有意に高い値を示し、R-R 群の方が、B-B 群、R-B 群よりも有意に高い値を示した。

正反応においては、群 ($F(3,44)=6.74, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(1,44)=4.87, p<0.05$) の主効果が有意であった。群及び試行ブロックの主効果が有意であったことから、多重比較を行ったところ、群においては B-R 群、R-R 群の方が B-B 群よりも高い値を示した。B-R 群よりも R-B 群の方が高い値を示した。最初の 9 試行よりも最後の 9 試行で有意に正反応比率が減少した。

見越し反応においては、群 ($F(3,44)=8.55, p<0.01$) 及び試行ブロック ($F(1,44)=35.07, p<0.01$) の主効果が有意であった。また、群×試行ブロックの交互作用が有意であった ($F(3,44)=8.26, p<0.01$)。群×試行ブロックの交互作用が有意であったため、単純主効果の検定を行ったところ、B-B 群 ($F(1,44)=30.20, p<0.01$)、R-B 群 ($F(1,44)=29.17, p<0.01$) 群において最初の 9 試行よりも最後の 9 試行で有意に見越し反応の比率が増大した。B-R 群、R-R 群においては、有意差は見出されなかった (B-R 群: $F(1,44)=0.10, p>0.1$, R-R 群: $F(1,44)=0.37, p>0.1$)。最初の 9 試行 ($F(3,44)=26.03, p<0.01$) においては B-B 群の方が B-R 群、R-R 群よりも有意に高い見越し反応の比率を示し、R-B 群の方が B-R 群、R-R 群よりも有意に高い見越し反応の比率を示した。最後の 9 試行においても同様に B-B 群の方が B-R 群、R-R 群よりも有意に高い見越し反応の比率を示し、R-B 群の方が B-R 群、R-R 群よりも有意に高い見越し反応の比率を示した。

4.3.2 連の検定

習得、保持、転移段階の一樣ランダム群において連の検定を行った。その結果、習得段階においては 1 被験者において 5%水準でランダム性からは外れていたが、その他の被験者においてはランダムな反応を示した (Table. 4. 1)。保持及び転移段階ではランダム呈示を受けた B-R 群と R-R 群に関して連の検定を行った (Table. 4. 2)。保持段階においては B-R 群、R-R 群ともに 2 名の被験者において 5%水準でランダム性からは外れていた。転移段階では B-R 群で 2 名、R-R 群で 1 名の被験者が 5%水準で有意でありランダムな反応を示さなかった。しかし、保持及び転移段階におけるその他の被験者については、ランダム呈示に対してはランダムな反応を示した。

Table.4.1 習得段階のランダム条件における連の検定

ランダム群		
被験者	データ数	連数
A	38	19
B	37	18
C	39	18
D	39	18
E	35	16
F	34	21
G	36	19
H	42	23
I	33	19
J	40	17
K	39	19
L	42	20
M	38	19
N	38	21
O	38	19
P	34	15
Q	39	21
R	36	16
S	41	20
T	31	14
U	40	18
V	31	23*
W	41	21
X	37	17

*p<0.05

4.4 考察

4.4.1 パフォーマンス測度の質的検討

本研究は系列パターンの追従課題における文脈干渉効果の呈示順序の効果を検討するために一様ランダム呈示を使用した実験を試みた。主な実験の流れとして各系列パターンは習得段階、保持段階、転移段階においてブロック群とランダム群の間で比較された。特に、系列パターンの追従課題において、ブロック及びランダム群におけるパフォーマンスが4つの質的パフォーマンス測度（無反応、誤反応、正反応、見越し反応）を利用することによって評価された。パフォーマンス測度は無反応、誤反応、正反応、見越し反応の順に反応レベルが上位へ移行するような階層構造を有する。この反応の階層性の変化を両群で比較した。

まず、習得段階において、ブロック群においては習得試行の遂行に伴い、無反応及び誤反応が減少し、見越し反応が増大した。これは、ブロック群の被験者は習得段階の初期では連続的に呈示される刺激に依存した反応を行うことを示している。他方で、習得段階の終盤では1つの系列パターンを繰り返し遂行すること

によって系列依存的な反応様式へ変化したことを示している。

Table.4.2 保持及び転移段階のランダム条件における連の検定

B-R群				
被験者	保持段階		転移段階	
	データ数	連数	データ数	連数
A	68	28	63	38
B	70	39	60	36
C	71	35	66	35
D	62	19*	61	28
E	66	26	57	33
F	65	35	49	22
G	65	36	57	18*
H	67	33	64	43*
I	54	37*	52	22
J	56	32	52	29
K	69	35	57	26
L	62	38	55	32

R-R群				
被験者	保持段階		転移段階	
	データ数	連数	データ数	連数
M	70	41	56	34
N	71	44	57	30
O	68	38	61	34
P	61	34	58	31
Q	68	33	60	29
R	70	41	68	45*
S	60	36	53	34
T	71	45*	62	35
U	70	39	68	34
V	67	49*	57	35
W	67	37	62	29
X	66	34	53	23

*p<0.05

他方、ランダム群では習得段階を通して4つのパフォーマンス測度の出現比率に大きな変化は見られなかった。むしろ正反応の有意な減少とともに各パターンで誤反応が有意に増加を示した。多くの先行研究では習得段階においてランダム群よりもブロック群でパフォーマンスが優れているという報告がなされている。そして、それらの多くはブロック群よりもパフォーマンスは劣るもののランダム群においても習得試行の増大とともにパフォーマンスは改善されていく。本研究の1様ランダム群ではすべてのパターンで習得試行の遂行に伴って誤反応及び無反応の増加が見られたものの、習得試行を通してパフォーマンス測度の比率に大きな変化は見られなかった。反応測度の階層性から考えた場合、ランダム群の被験者は連続的に呈示される

刺激を追従することができる反応レベルを維持することが可能であるため正反応で応答することは可能であったが、系列パターンを系列位置に依存して遂行しているのではなく、単に呈示される刺激にのみ依存した反応を行っていたと考えられる。さらに、見越し反応の比率から考えると、見越し反応の出現頻度は低く、習得段階を通して有意な違いは見られなかった。そのため、ランダム群の被験者は誤反応及び無反応を減少させ、正反応を増大させることは可能であるが、それよりも上位のレベルの階層へ移行すること、つまり余裕を持って刺激を追従することは困難であったと考えられる。さらに、この被験者の反応傾向は、不規則性及び不確実性というランダム呈示の性質を反映しているといえる。

これらの一貫したパフォーマンスは一様ランダム呈示による真にランダムな順序の影響による可能性がある。Knuth (1981) は、系列数は (0, 1) の範囲内で一様に分布すると主張している。これに関連して、ランダム群の被験者の反応は一様ランダム呈示の刺激に対して一様な分布を示していたと考えられる。このことは、ランダム群の被験者にとって系列パターンを組織化することは大変困難であったことを示唆している。そして、ランダム群における系列パターンの組織化が困難であったことを示した連の検定結果からも支持される。これに加えて、休憩を入れずに 108 試行を遂行させたこともパフォーマンスの低下に影響したかもしれない。

先行研究においては、保持及び転移段階においてブロック呈示やランダム呈示で評価されてきた。ブロック練習とランダム練習を比較する際、習得段階における半分の被験者は保持段階及び転移段階においてブロック練習条件に割り当てられ、もう半分の被験者はランダム練習条件に割り当てられることになる (Del Rey, 1982; Del Rey et al, 1982; Shea and Morgan, 1979)。本研究における保持段階及び転移段階では、4つの条件におけるパフォーマンスが比較された。その結果、保持段階において B-B 群及び R-B 群におけるパフォーマンスは B-R 群及び R-R 群よりも優れていることが明らかとなった。また、B-B 群は R-B 群よりも多くの見越し反応を示した。B-B 群及び R-B 群は保持段階において類似のパフォーマンスを示した。それゆえ、R-B 群におけるパフォーマンスは、習得段階において呈示された一様ランダム呈示の影響は受けないものといえる。

B-B 群は習得段階におけるブロック群と同様に多くの見越し反応が出現した。B-B 群の被験者は繰り返し同じ系列パターンを遂行したためであると考えられる。これに対して、R-B 群の被験者は習得段階において十分に課題を学習することができなかつたために、新規に系列パターンを学習し始めたと考えられる。先行研究における習得パフォーマンスは練習を通して改善していく一方で、本研究での習得段階では改善が見られなかつたため、R-B 群のパフォーマンスは、低い習得パフォーマンスが影響していると考えられる。仮に

習得段階においてパフォーマンスを向上することができなければ、保持段階や転移段階においても優れたパフォーマンスは見られないかもしれない。先行研究の保持段階においてランダムスケジュールが使われているため、B-R 群と R-R 群の比較を行った。B-R 群は R-R 群と比べて多くの無反応を示した。B-R 群の被験者は習得段階において繰り返し同一の系列パターンを遂行している。B-B 群の被験者は著しいパフォーマンスの低下を示した。これは、習得段階においてブロック練習をした場合は一様ランダム呈示される実験環境に適応することが困難となるために生じると考えられる。これとは対照的に、R-R 群の被験者は、習得段階と同様の刺激が呈示されるため、呈示される刺激を処理することが可能であった。しかし、両群の被験者は習得段階と同様に保持段階を通して反応の比率に変化が見られなかった。つまり、保持段階におけるランダム呈示は習得段階における呈示順序の効果を無効にしてしまう可能性がある。

転移段階において、各群の反応は保持段階と比較して無反応と誤反応を多く示す傾向がみられた。B-B 群及び R-B 群は B-R 群及び R-R 群よりも優れたパフォーマンスを示した。例えば、B-B 群及び R-B 群は B-R 群及び R-R 群よりも多くの見越し反応の発現を示した。B-R 群及び R-R 群は習得段階におけるランダム群と同様にランダムに呈示される刺激を追従することができる反応レベルを維持していた。つまり、転移段階での各群のパフォーマンスに対しては習得段階における一様ランダム呈示の効果が示されなかったといえる。これらの結果は、400ms の ISI において生じていた。

このことから一様ランダム呈示は精緻化処理やアクションプランの再構成などを消失させる効果があることが示唆される。一様ランダム呈示を遂行した反応条件の被験者は本実験で用いられた多くの刺激を処理することができなかったといえ、ランダム群の被験者の反応はそれぞれの刺激に依存していたといえる。

連の検定結果においては B-R 群及び R-R 群のほとんどの被験者でランダム刺激呈示に対してはランダムな反応を示すことが明らかとなった。各被験者のパフォーマンスから、各系列パターンに応じた系列位置に独立して反応をしていたのではなく、習得段階と同様に呈示された刺激に依存していたと考えられる。つまり、習得段階におけるランダム呈示順序の効果は保持段階及び転移段階におけるランダム群のパフォーマンスに反映されないことが示唆される。

一様ランダム呈示を用いた本研究では系列パターンの追従課題において文脈干渉効果の順序の効果は見出されなかった。本研究は先行研究におけるランダム呈示の方法や実験データと仮説の対応関係における様々な問題について言及した。文脈干渉効果を取り扱う研究においてランダム刺激呈示を行う際は、その呈示方法について検討する必要がある。

ここまでの実験は一様ランダム呈示を用いて運動学習における文脈干渉効果について再検討を試みた。本章までは S-R 事態での系列運動学習である。すなわち刺激 (stimulus) の呈示に対する被験者の反応 (response) を分析の対象としてきた。しかし、実際の運動場面では必ずしも 1 つの刺激に対して 1 つの反応が成立する事態ばかりではなく、選択的反応が要求される場面がある。さらに、刺激は知覚として入力されることを前提として実験を行ってきたが、達成すべき課題の刺激が環境内に内在されていて、一見知覚としては顕在化されないような事態も存在する。このように、与えられた環境内に埋め込まれた刺激に対して応答し、一連の運動パターンを組織化しなければならない事態もある。そこで、次章では習得目標となる反応パターンが不確定な事態における運動の組織化について検討する。

第5章 過剰学習による系列要素の組織化

5.1 理論的背景と目的

第4章では文脈干渉効果において、習得段階における課題呈示順の効果が保持や転移段階における学習の促進に与える影響を検討した。精緻化仮説によればランダム練習条件は複数の課題を遂行することにより、課題に関する情報の関係づけが促進され、結果として弁別的で精緻な処理が可能であると主張している。しかし、第4章の実験では、むしろ同一の系列パターンを遂行するブロック条件の方が精緻な情報処理を行っていることが示唆された。つまり、無秩序な刺激に反応するよりも、運動の要素を繰り返し遂行することによって正確ですばやい運動が実現できると考えられる。言い換えれば、系列的な性質を持つ課題のパターンへの依存性が高まることが示唆される。学習過程に見られるこのブロック条件は体育・スポーツ場面で見られるような同一の運動プログラムを繰り返し実行することに相当する。以上から、本章では前章までのブロック条件に相当する繰り返し系列の運動課題を対象にして系列パターンの組織化の過程を検討する。

多くの運動スキルに共通する重要な性質としては系列的性質があり、これまでの主張で述べてきた自明の事柄である。その性質を前提として種々のスポーツ競技場面において、運動スキルの学習事態は S-S 型、S-R 型、R-S 型、R-R 型に大別できる。S-S 型は視覚情報を頼りに基準系列パターンを理解する観察学習の枠組みとして捉えられる。S-R 型は基準系列パターンとなる刺激呈示に対して繰り返し反応させる学習事態である。R-S 型は基準系列パターンに対して正しい反応のときだけ次に進み、間違った反応の時は刺激が停止する。オペラント条件づけ学習に相当する学習事態である。R-R 型は推測による反応や誤反応時に与えられるフィードバック情報を頼りに、基準系列パターン全体の構造の理解が求められる構造学習の枠組みで捉えられる。すなわち、遂行者自身の推測と反応結果のフィードバックによる学習事態である。本研究ではこの学習事態を推測反応系列学習事態とする。

上述の運動スキル研究の多くは、S-S 型、S-R 型、R-S 型を取り上げており、これまで R-R 型の学習事態には焦点が当てられてこなかった。さらに、運動スキルを習得する場合にはフィードバック情報を利用しながら探索的に系列課題の遂行を繰り返すことにより学習者にとって新奇な運動パターンの構造を獲得する R-R 型の学習課題も多く存在しており、R-R 型の運動課題の習得過程を分析することは重要であると考えられる。例えば、日常生活では食事動作や楽器の演奏、自転車や車の運転スキルなどの学習である。これらの学習は

基本的に、S-S 型や S-R 型のように外部からの刺激に拘束されるのではなく、意思決定や動作の速度を自ら調整するいわば自己ペースの運動課題とみなすことができる。

他方、熟練運動スキルの研究に目を向けると、運動スキルの熟練化は動作パターンの一貫性、エラーの減少、動作時間の高速化、外部環境の変化に伴う高い適応性などの特徴を有すると考えられ、熟練パフォーマンスの研究が進められている（例えば、Ericsson and Smith, 1991; Starks and Allard, 1993）。自己ペースの運動課題では動作の正確性ととも運動の学習に伴って動作時間が短縮するという特徴が見られる。この動作時間の短縮は体育授業や勝敗を競う競技スポーツでは勝敗を左右する重要な要素であり、熟練動作の大きな特徴である。しかし、運動学習において新奇な運動課題の習得あるいは熟練過程の評価においては、学習者の反応の正確性やスピードなどの反応結果からの説明の域を出ない。したがって、反応結果にとどまらずさらにその反応結果が何に起因するのかについて検討することが重要である。

上述の熟練動作の特徴を考えると、学習者自身が直面する運動課題との相互作用、特に系列情報の伝達が大きく影響していることが推察される。そこで、情報理論を参照して論じるとすれば、学習の促進は、課題遂行によって学習者が遂行すべき課題に関する不確定度を減少させるとともに冗長度を増大させることを意味する (Kay, 1970)。このように、学習者の環境からの情報の取得は、遂行すべき運動パターンの学習には欠かすことのできない重要な行為であり、熟練過程の説明をする上で重要な概念であると考えられる。この点について、第1章で述べた通り、情報の概念を数学的に表現し、情報とコミュニケーションに関する理論が構築された (Shannon and Waver, 1949)。言葉や観察したことは、それによって未知のものが既知となったとき情報となるとされる。すなわち、情報とは不確定度を取り去るか減少させるものとして定義される (Attneave, 1959)。これを人の意思決定の問題に置き換えて考えると、例えば反応の不確定度を減少させるということは、反応の冗長性を高めることを意味する。反応の冗長度を測度として用いた研究は、従来から系列事態を中心に、運動行動を対象として行われてきた (Frick and Miller, 1951; 石田, 1973; 岩原, 1963; 能見, 1962)。しかし、これらは二者択一の事象を扱ったものや、ランダム系列を推測させ、その反応から被験者の予測可能性を検討したものである。他方、日常生活や競技場面など多くの系列運動スキルは複数の運動要素から構成されており、それらの運動要素間の相互作用から系列全体のパターンを習得しなければならない。したがって以上の先行研究から、R-R 事態の系列学習事態においても、反応の冗長度から系列パターンの予測可能性を検討することができると考えられる。また、運動学習の促進において課題についての情報の利用

の重要性は経験的、直感的に認識されているが、学習過程の進展と課題遂行に伴う学習者の反応の冗長性の関係を扱った研究は見当たらない。

また、系列反応の冗長性は、基準となる系列パターンへの依存度と解釈することができることから、系列パターン学習における系列依存性の測度と捉えることができる。したがって、熟練運動スキルの系列依存性の検討では、反応の冗長性とは別に系列要素の組織化という視点からも検討可能である。つまり、動作を正確かつ高速に遂行するためには情報の取得に伴った何らかのパターンの秩序化が行われているものと考えられる。このため、動作系列内で運動要素がどのように組織化されるかを検討することは、系列についての情報の取得と高速な反応を伴う熟練運動スキルの関係を考える上で重要な意味を持つ。

系列依存性の研究では反応要素をいかに関係づけて習得するかという体制化（organization）に焦点が当てられてきた。高田（1977, 1979）は言語学習において、単語を呈示することによって体制化がどのような形で生起するのかを検討している。また、安藤・調枝（1993）はダンスの運動課題を通してみられる体制化の過程を検討している。そこでは自己ペース課題における系列パターンの再生を行わせ、習得段階における運動課題のパターン形成過程が明らかになったことを報告している。その他、高田（1979）はカテゴリー化した材料を用いて系列依存的体制化の詳細を検討している。このように系列課題の体制化に関する研究は以前から行われてきたが、あくまで呈示されたリストの記憶方略を扱ったものである。そのため、不連続な性質を持つ実験課題が多く、実際の運動場面のようなダイナミックな運動を通して行われる動作パターンの学習過程と系列依存性の関係を検討したものではない。

以上のことから本研究では、これまで研究課題として焦点が当てられてこなかった推測反応系列課題を用いて、系列運動スキルの熟練過程を検討することとした。その際、未知の系列運動課題の推測反応レベルから開始し、次第に熟練者の典型的な特徴である正確で高速な反応の発現レベルに至る過程を呈示すること、さらに反応の冗長性と系列依存性が系列パターンの学習過程における正確で高速な反応の出現にどのような影響を及ぼすかを検討することを目的とした。

5.2 方法

5.2.1 被験者

健康な大学生及び大学院生女子 12 名（平均年齢 22.3±3.7 歳）であった^{注1)}。本研究に関する内容及び個人情報取り扱いについて説明し、口頭で同意を得た。

5.2.2 実験装置

Fig.5.1 に示してある実験装置を用いた。テーブルの上に 8 個の刺激ボックスとそれに並行して 8 個の反応キーが一行に配置された。刺激ボックスと反応キーの間隔は 70cm であった。刺激ボックスからは赤色発光ダイオードが点灯する構造になっている。被験者は刺激ボックスと反応キーの正面に座ることを求められた。

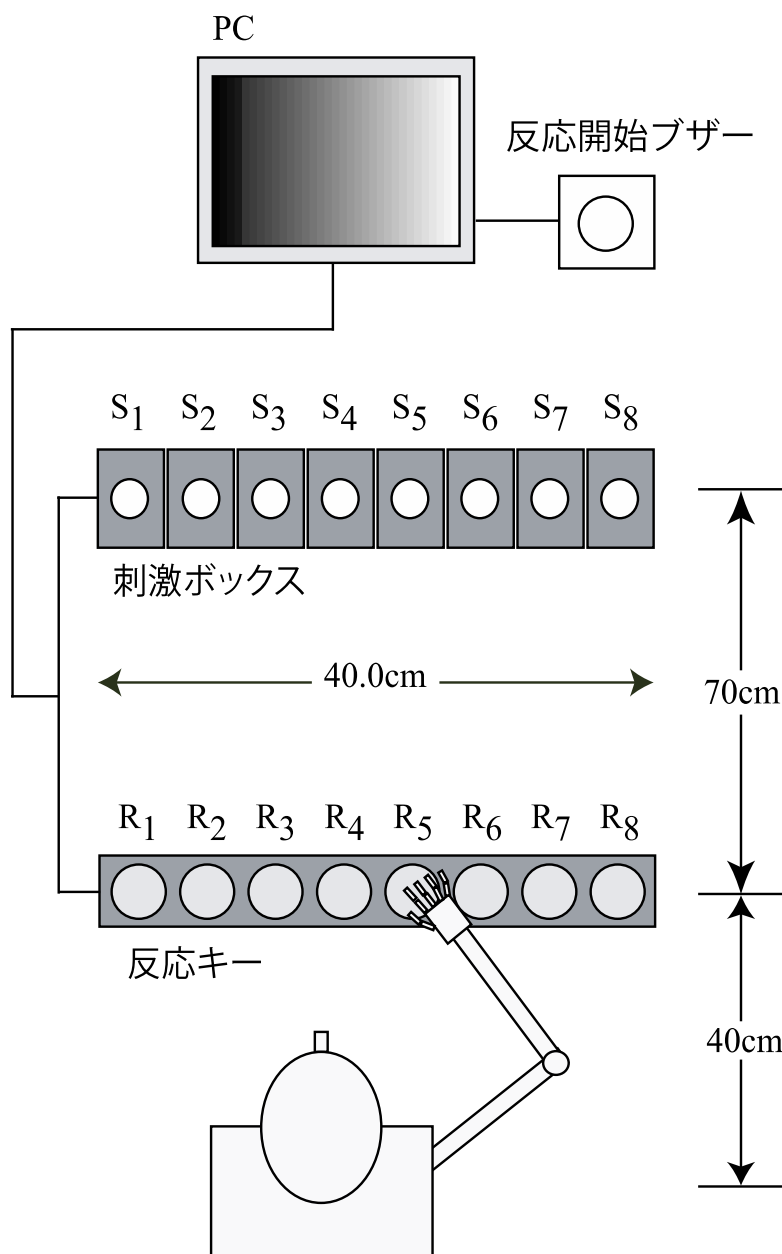


Fig.5.1 実験装置

5.2.3 実験課題

本研究で行う実験課題は、系列位置の情報が不確実な状態から、誤反応を修正するための正しい系列位置のフィードバック情報を得ながら、系列全体の位置を推測し、基準系列パターンをできるだけ正確に速く遂行することであった。

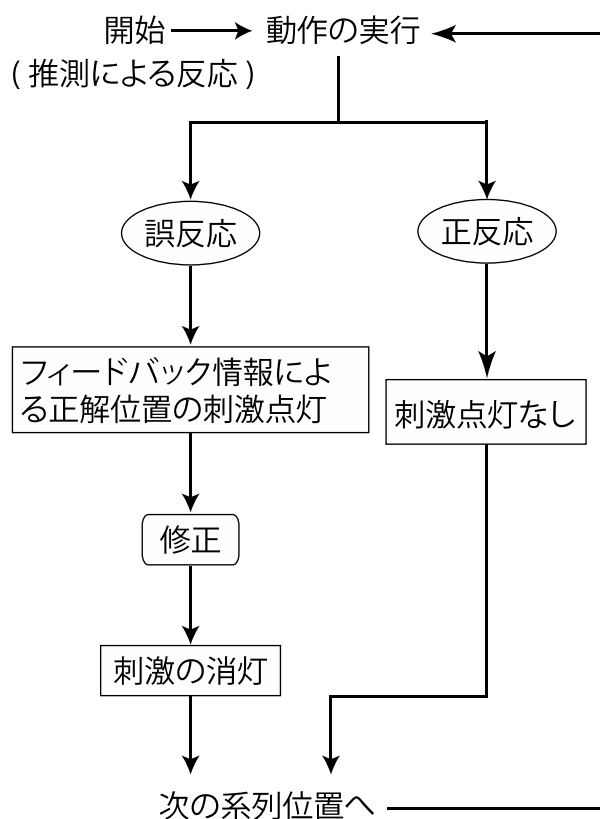


Fig.5.2 被験者の反応遂行の流れ

5.2.4 手続き

Fig.5.2 は課題遂行中の反応の流れをフローチャートによって示したものである。推測反応系列課題において、実験者が設定した基準系列パターンは $R_5-R_8-R_6-R_2-R_4-R_7-R_3-R_1$ であった。試行数はこの基準系列パターンを 1 試行として 200 試行であった。各系列位置に対応する刺激は呈示されていないため、課題の開始当初、被験者は正しいと思われる系列位置を推測で反応しなければならなかった。すなわち、8 個の反応キーのどれから反応し始めてもよいこととした。試行開始時に 1000ms のブザー音を呈示した。推測反応に対するフィードバック情報として、基準系列パターンに正しく反応した場合は、前方に設置された刺激ライトを点灯

せず、被験者に次の系列位置を推測反応させた。誤反応をした場合は正しい系列位置に対応した刺激位置を点灯させた。次いで、正しい系列位置に対応した反応キーを押して反応を修正しなければならなかった。そして、正解位置を押すと同時に刺激が消灯し、被験者は次の位置に反応した。被験者は上記反応を連続的に遂行することによって基準系列パターン全体の習得が求められた。つまり基準系列パターンを習得するためには、課題遂行の初期は、自らの推測による反応と誤反応によって呈示される正しい反応位置のフィードバック情報のみが手がかりとなった。なお、誤反応を繰り返した場合、前方の刺激ライトが頻繁に呈示される状態となるが、学習が進むなどして正反応が増加した場合は、刺激ライトはほぼ消灯した状態で反応系列が継続される。本実験は自己ペースの課題であるため刺激の試行間隔は存在しなかった。なお、被験者は実験の開始前に10試行の練習試行を行った。

5.2.5 分析方法

a) パフォーマンス測度 (%)

習得試行のデータについて、20試行を1ブロックとし、試行ブロック毎の正反応と誤反応の平均をもとに200試行の習得過程の反応比率の変動について検討した。

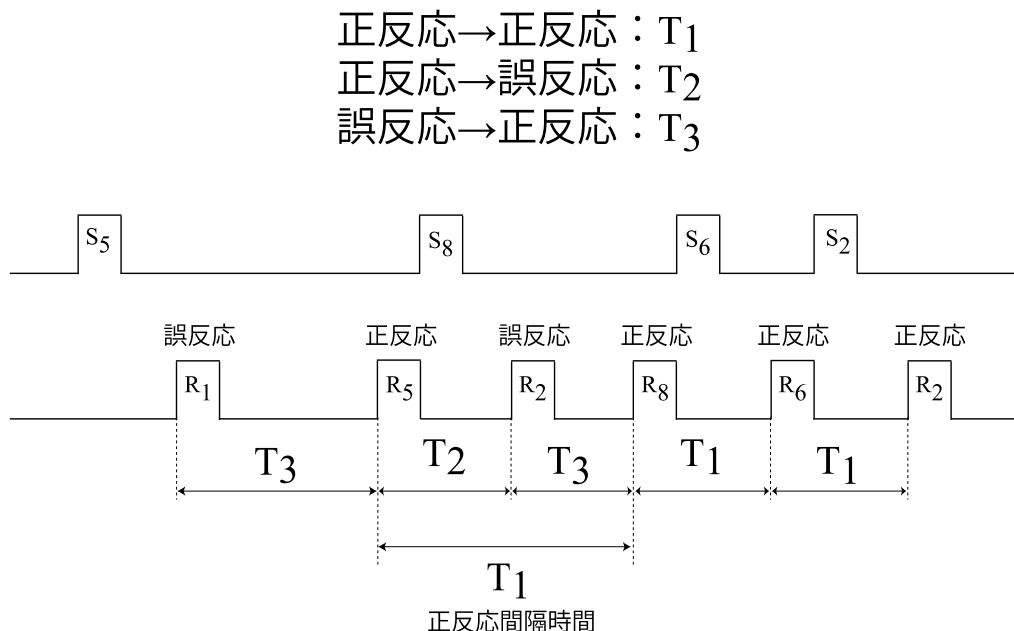


Fig.5.3 正反応間隔時間 (ms) の判定基準

b) 正反応間隔時間 (ms)

Fig.5.3 に示してある正反応の反応間隔時間 (T_1) について、20 試行を 1 ブロックとし、習得試行を通した反応間隔時間の変動についての分析を行った。また、 T_2 、 T_3 は刺激呈示の時期を説明するために被験者の反応しうる事態の一例として表示したが、本研究では正反応間の間隔時間の短縮過程を量的に示すことが目的であるため、今回の分析の対象からは外した。

c) 推定情報量 (不確定度) (bit) と冗長さの算出 (%)

上述の正反応と誤反応の比率及び正反応間隔時間からのパフォーマンスの変化からは正確性の増大及び反応の高速化の発現を呈示するにとどまるため高速な反応レベルの発現の要因について言及するためには他の測度を用いて検討する必要がある。そこで次に反応系列の予測可能性を意味する冗長さについての検討を行った。しかし、冗長性は不確定度の逆数であるためその算出にはまず、式 (1) によって不確定度の算出が求められる。

$$\hat{H}_n = \sum_{i=1}^{2^n} \hat{p}_i \log_2 \frac{1}{\hat{p}_i} - \hat{H}_{n-1} \quad (n \text{ は次数}) \quad (1)$$

そこで上記式をもとにした不確定度の計算を示す。Table.5.1 は推測反応系列事態のある被験者のローデータである。C は正反応、E は誤反応を現している。Table.5.2 はある被験者のローデータをもとに行った不確定度の算出例である。推定 1 次の不確定度 (H_n) の算出方法は、Table.5.1 の全ての C と E の出現個数を上記式に代入して算出した。推定 2 次の不確定度は EE, EC, CE, CC の各出現個数に対して行った。推定 3 次、推定 4 次に関しても同様である。

H_n は $n-1$ の長さの系列が既知のとき、次の反応の不確定度を示す測度である。例えば、推定 3 次の不確定度とは、ある系列内の今遂行すべき反応を基準としてその直前に反応した 2 つの系列が既知の場合の不確定度を表す。

Table.5.1 被験者Aの推測反応の出現推移

試行数	基準系列位置							
	5	8	6	2	4	7	3	1
1	E	E	E	E	E	E	E	E
2	E	E	E	E	E	E	E	E
3	E	E	E	E	E	E	E	E
4	E	E	E	E	E	E	E	E
5	E	E	C	C	E	C	E	E
6	E	E	E	E	E	E	E	E
7	E	E	E	C	C	E	E	C
8	E	E	C	C	E	C	E	E
9	E	E	C	C	E	E	E	E
10	C	E	E	E	C	E	E	C
11	C	C	C	E	E	E	E	C
12	C	E	C	E	C	C	E	E
...								
189	C	C	C	E	C	C	C	C
190	C	C	C	C	C	C	C	C
191	C	C	C	C	C	C	C	C
192	C	C	C	C	C	C	C	C
193	C	C	C	C	C	C	C	C
194	C	C	C	C	C	C	C	C
195	C	C	C	C	C	C	C	C
196	C	C	C	C	C	C	C	C
197	C	C	C	C	C	C	C	C
198	C	C	C	C	E	C	E	C
199	C	C	C	C	C	C	E	C
200	C	C	C	C	C	C	C	C

C:正反応

E:誤反応

次に系列パターンを学習することによって生じると考えられる基準系列パターンに関する予測可能性を調べるため反応の冗長度を求めた。冗長度は以下の式(2)で表現される通り不確定度とは逆の意味を持つ。

$$C_n = 1 - \frac{\hat{H}_n}{\log_2 m} \quad (m \text{ は } n \text{ に依存した選択肢数}) \quad (2)$$

これは、直前の反応系列への依存度をあらわす測度であり、 $n-1$ の長さの系列が既知のときの予測可能性を表す測度とみなすことができる。

d) 基準系列パターンの形成過程の分析

反応の冗長度の分析は 200 試行に対する被験者の反応から導出されるものであるため、学習過程を通じた変化を反映する測度ではない。したがって、学習の初期段階と後期段階での変化などについて示すことはできない。そこで、学習過程を通じた基準系列パターンの形成過程、言い換えると学習過程を通じた系列依存性を評価するために高田ら（安藤・調枝, 1993; 高田, 1977, 1979）が採用している体制化率、系列化率、系列依存的体制化率、系列に依存しない体制化率の 4 つの指標を用いて系列依存性の分析を行い、20 試行を 1 ブロックとして学習過程を通じた系列依存性としての基準系列パターン形成過程を検討した。なお、用いる指標の目的を明確にするため、本研究では先行研究における体制化率を主観的体制化率、系列化率を基準系列化率とする。主観的体制化率とは、再生系列同士の順序の一致度を表す測度であり $ITR_{(2)}$ により算出される。基準系列化率は呈示順序と再生順序の一致度を表す測度であり、同じく $ITR_{(2)}$ により算出される。 $ITR_{(2)}$ は Mandler and Dean (1969) により考案された測度である。ここで、ある被験者の分析対象となるローデータを示した Table.5.3 に沿って主観的体制化率と基準系列化率の算出方法を説明する。 $ITR_{(2)}$ とは、連続する 2 試

Table.5.2 被験者 A の平均不確定度の算出結果

テトラグラム	n_i	$P_i \log \frac{1}{P_i}$	トリグラム	n_i	$P_i \log \frac{1}{P_i}$	ダイグラム	n_i	$P_i \log \frac{1}{P_i}$	記号	n_i	$P_i \log \frac{1}{P_i}$
EEEE	60	.178	EEE	91	.236						
EEEC	31	.110				EE	172	.346			
EECE	36	.123	EEC	81	.218				E	368	.488
EECC	45	.145									
ECEE	34	.118	ECE	60	.178	EC	196	.371			
ECEC	26	.097									
ECCE	19	.076	ECC	136	.303						
ECCC	117	.276									
CEEE	30	.108	CEE	80	.216	CE	195	.370			
CEEC	50	.156							C	1229	.291
CECE	24	.091	CEC	115	.273						
CECC	91	.236									
CCEE	46	.147	CCE	135	.301	CC	1034	.406			
CCEC	89	.232									
CCCE	116	.275	CCC	899	.467						
CCCC	783	.504									
合計	1597	2.873	合計	1597	2.192	合計	1597	1.494	合計	1597	0.779
H_4 =tetragram-trigram =2.873-2.192 =0.681			H_3 =trigram-digram =2.192-1.494 =0.698			H_2 =digram- H_1 =1.494-0.779 =0.715			H_1 =0.779		
R_4 =0.319			R_3 =0.302			R_2 =0.285			R_1 =0.221		

行間で反復された同一項目対の数を両方向でとって算出し、それを期待される最大値で割ったものであり、下記の式 (3) で表される。2 試行間の同一項目対とは、主観的体制化率の算出については、任意の反応系列と次試行の反応系列との間の反応の一致度を指し、基準系列化率においては、任意の反応系列と基準系列パターンとの一致度を意味している。これをさらに両方向でとるので、左から右へ見たときの比較する系列との一致度と、左から右へ見たときの比較する系列との一致度を合計した数が r の値となる。系列依存的体制化率は、複数の試行間で項目の再生順序がどれくらい一致し、しかもそこに呈示順序がどれくらい反映されているかの程度を表す測度である。本研究では、主観的体制化率と基準系列化率の重複する率より算出した。最後に系列に依存しない体制化率は、主観的で基準系列パターンに一致しないが、何らかのまとまりを形成しているかの程度を表す測度である。本研究では、主観的体制化率から基準系列化率を引くことにより算出した。

$$ITR_{(2)} = \frac{r}{N-1} \quad (3)$$

r は 2 つの系列で反復された項目対の数である。 N は 2 つの系列で共通する項目の数を意味する。そして、 $N-1$ は 2 つの系列で期待される最大反復項目対数である（本実験での課題は 1 試行 8 系列であるので最大反復項目対数は 7）。

Table.5.3 被験者Aの主観的体制化率と基準系列化率の算出例

再生試行数	基準系列位置								主観的体制化率	基準系列化率
	5	8	6	2	4	7	3	1		
1	5	3	6	4	4	7	8	4	—	1
2	3	4	6	6	4	4	6	4	5	0
3	4	3	7	5	3	2	6	4	2	0
4	4	6	7	5	3	5	6	1	3	0
...										
197	5	8	6	2	4	7	3	1	7	7
198	5	8	6	2	4	7	3	1	7	7
199	5	8	6	2	4	7	3	1	7	7
200	5	8	6	2	4	7	3	1	7	7

5.3 結果

5.3.1 パフォーマンス比率

反応の正確性を質的な側面から検討するために 20 試行毎を 1 つのブロック (1 試行ブロック) とし正反応の比率を求め、Fig.5.4 に示した。なお、誤反応に関しては正反応と相補的であり、統計の結果は正反応と同値となるため、正反応のみを統計の対象とした。各パフォーマンス測度の比率は統計的検定のため角変換 ($X' = \sin^{-1} \sqrt{P}$) を行った。

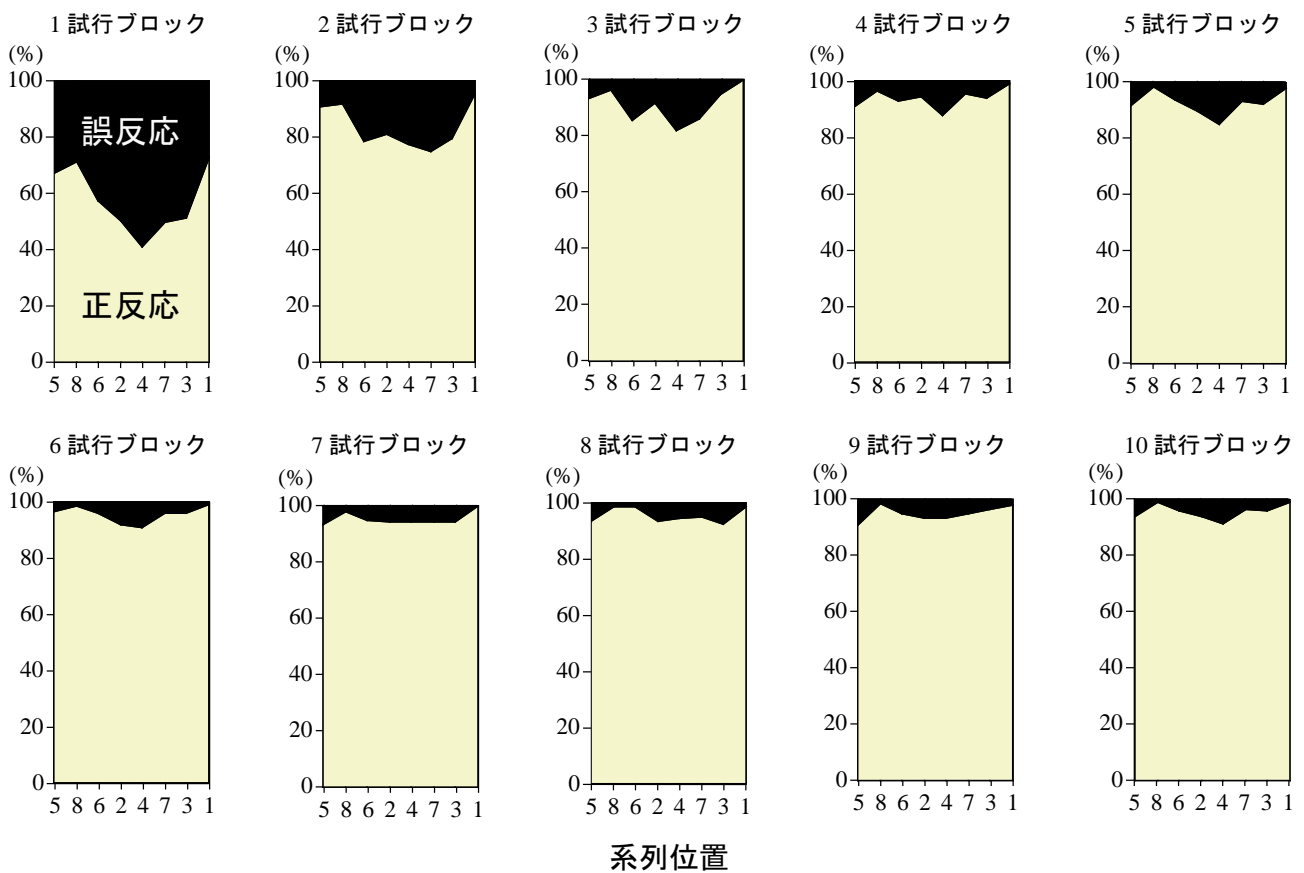


Fig.5.4 系列位置に対する各試行ブロックの平均正反応率と誤反応率の変動

習得段階において試行ブロック (10) × 系列位置 (8) の対応のある 2 要因分散分析を行った結果、試行ブロック要因 ($F(9,99)=22.08, p<0.01$) 及び系列位置要因 ($F(7,77)=8.57, p<0.01$) の主効果が有意であった。各要因の主効果が有意であったため Tukey の HSD 法により多重比較を行ったところ、試行ブロック要因については、試行ブロック 1 よりもその他の試行ブロックで有意に高い値を示した。系列位置要因では系列位置 1 と系列

位置 8 の間に有意な差が見られた。試行ブロック 5 から試行ブロック 10 にかけては反応の比率に変化が見られなくなり, さらに試行ブロック 6 からは系列位置間の反応の比率の差, つまり系列位置効果が消失した。

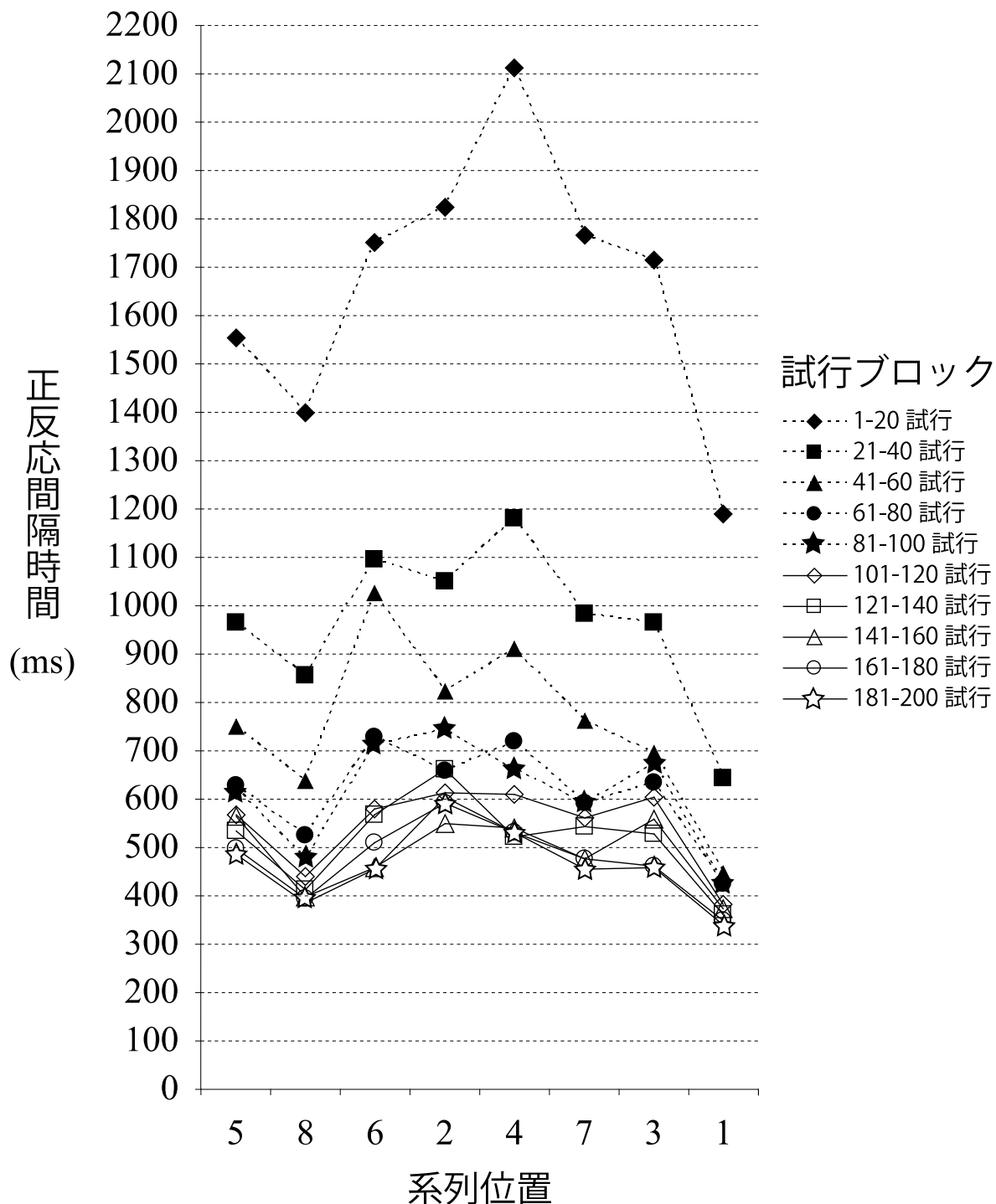


Fig.5.5 系列位置に対する各 20 試行ブロックの平均正反応間隔時間

5.3.2 正反応間隔時間の変化

試行数の増大に伴う反応速度の変化を検討するために正反応における反応間隔時間の 20 試行毎の平均を Fig.5.5 に示した。習得段階において試行ブロック (10) × 系列位置 (8) の対応のある 2 要因分散分析を行った。その結果、試行ブロック ($F(9,99)=19.61, p<0.01$)、及び系列位置 ($F(7,77)=10.33, p<0.01$) の主効果が有意であった。また、試行ブロック × 系列位置の交互作用 ($F(63,693)=2.71, p<0.01$) が有意であった。試行ブロック 1 では 1200ms から 1900ms の間で反応しており、系列位置間の変化に有意な差が見られた。試行ブロック 2 から試行ブロック 5 にかけては 1200ms から 400ms の反応分布を示し反応間隔時間の短縮が見られた。さらに系列位置間の差が減少する傾向が見られた。試行ブロック 6 以後では約 600ms から 400ms と反応の短縮を示すようになり各試行ブロック間に変化が見られなくなった。また、系列位置間の反応間隔時間の差異が消失し、反応が安定する傾向が見られた。

5.3.3 反応の不確定度と冗長性

基準系列パターンに対する被験者の反応の冗長性を検討するために、まず 200 試行の反応結果から推定次数の関数としての平均不確定度を算出した (Fig.5.6 左)。その結果、推定 1 次 0.449 bit、推定 2 次 0.391 bit、推定 3 次 0.374 bit、推定 4 次 0.366 bit であり、推定 1 次で不確定度が著しく減少し、2 次以降の変化はわずかであった。対応のある 1 要因分散分析を行なった結果、有意な主効果が見られた ($F(4,59)=114.80, p<0.01$)。主効果が有意であったことから Tukey の HSD 法により多重比較を行なったところ、0 次に対して全ての次数で有意に不確定度が減少した。また、1 次に対して 3 次および 4 次で有意に不確定度が減少した。そして、被験者の課題遂行中の予測機能を検討するために、平均不確定度の逆数から被験者の反応の平均冗長度を導出した。推定次数の関数としての平均冗長度は推定 1 次 55.1%、推定 2 次 60.9%、推定 3 次 62.6%、推定 4 次 63.4% であり、推定 1 次で約 56% が冗長になり、それ以降の推定次数では変化が見られなかった (Fig.5.6 右)。なお、平均冗長度の統計結果は平均不確定度と同値であるので省略する。これらの結果は、200 試行を通して、自らの行った系列反応を基に次に反応すべき位置に対する予測が成立したことを示す。

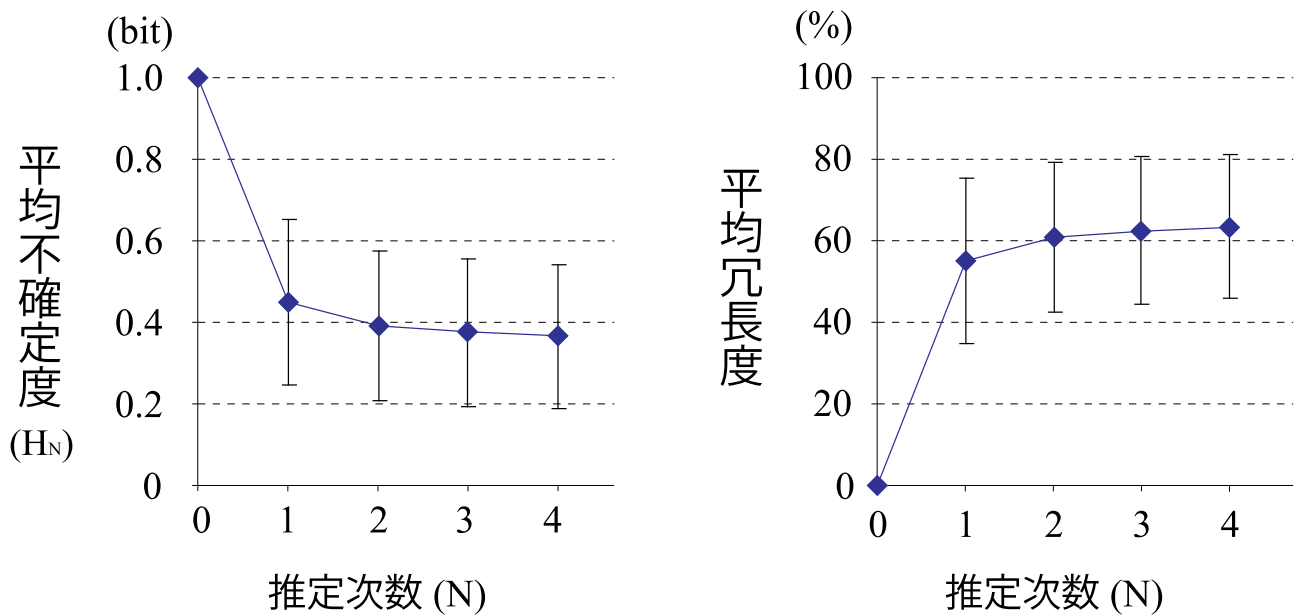


Fig.5.6 推定次数の関数としての平均不確定度と平均冗長度

5.3.4 系列パターンの形成過程

系列課題遂行中のパターン形成過程の詳細を明らかにするために、主観的体制化率、基準系列化率、系列依存的体制化率、系列に依存しない体制化率の4つの測度を用いて検討した (Fig.5.7)。主観的体制化率について対応のある1要因の分散分析を行ったところ、習得試行を通して有意な変化は見られなかった ($F(9,99)=1.28, p>1.0$)。基準系列化率について対応のある1要因の分散分析を行ったところ、試行ブロックを通して有意な増加を示した ($F(9,99)=19.11, p<0.01$)。主効果が有意だったことから Tukey の HSD 法により多重比較を行ったところ、試行ブロック1に対してその他の試行ブロックで有意な増加を示した。系列依存的体制化率について対応のある1要因の分散分析を行ったところ、系列化率と同様に試行ブロックを通して有意な増加を示した ($F(9,99)=17.11, p<0.01$)。主効果が有意だったことから Tukey の HSD 法により多重比較を行った。特徴的な結果を挙げると試行ブロック1に対してそのほかの試行ブロックで有意な増加を示した。系列に依存しない体制化率について対応のある1要因の分散分析を行ったところ、試行ブロックを通して有意な減少を示した ($F(9,99)=16.28, p<0.01$)。主効果が有意だったことから Tukey の HSD 法により多重比較を行ったところ、試行ブロック1に対してその他の試行ブロックで有意な増加を示した。

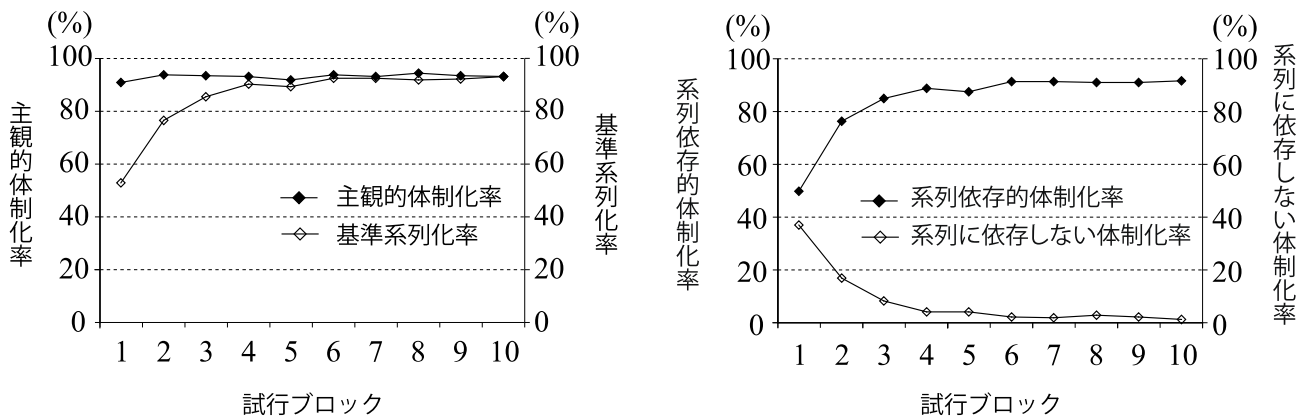


Fig.5.7 各 20 試行ブロックに対する主観的体制化率，基準系列化率，系列依存的体制化率及び系列に依存しない体制化率

5.4 考察

本研究では運動の熟練者の特徴の一つである正確で高速な反応の発現レベルを検討するため，推測反応系列課題の学習事態において，動作遂行に伴う被験者の反応の冗長性と系列依存性が正確性と反応速度にどのような影響を与えるかを検討することを目的とした．8 個の系列位置を理解することによって系列パターンを習得するこの種の課題は，困難度の高い学習事態であると考えられるため，基準系列パターンを完全に習得させるために 200 試行という長い試行数を設け，過剰学習を行わせた．

5.4.1 反応の正確性と反応速度

本研究は多くの系列要素を推測しながら反応することが求められる．一般的な学習の過程では反応速度の短縮と同様に反応の正確性が求められるため，本研究においてもまず反応の正確性について検討する必要がある．被験者が課題を習得するための必要条件は，自らの推測による反応と，誤反応時に与えられる正解位置のフィードバック情報の取得である．まず反応の比率について検討すると，正反応と誤反応の比率においては，初期段階では誤反応が多く出現し，系列位置間では系列位置効果が見出された．しかし，その後誤反応を減少させ正反応を相補的に生起させていた．そして，およそ 100 試行で正反応及び誤反応の変化が見られなくなった．その一方で，系列位置効果が消失した．習得段階の初期では，フィードバック情報を利用しながら探索的に課題を遂行する必要があるが，基準系列パターンに関する情報処理を積極的に行わなければならないため，パフォーマンスが劣っていたが，基準系列パターンに関するフィードバック情報を取得し，誤差修正を繰り返すことによって，徐々に正反応が増大したものと思われる．また，その結果として系列反応

が安定し系列位置効果が消失したと考えられる。

反応の比率は課題の遂行に伴う反応の正確性の変動を反映する指標であるため、動作時間については考慮されない。そこで次に、正反応間隔時間の被験者間平均について検討を加える。ここでは、試行数の関数としての正反応間隔時間の変化を強調するため、20 試行のブロックとして表示した。学習初期では反応は低速であり、基準系列パターンに関する情報処理に多くの時間を要していることがうかがえる。また、パフォーマンス比率と同様に系列位置間に反応間隔時間の変動が顕著であった。その後、段階的に正反応間隔時間が短縮した。特に試行ブロック 6 以後は約 400ms から 600ms の範囲で反応を行うことが可能となり、反応の高速化が見出された。特にこの段階で基準系列パターンに対する情報処理方略が変化したことが推察される。この他、系列位置間に大きな変化は見られなくなった。これは学習後期では自己ペース課題である本実験課題を一貫した時間間隔で反応していたことを示す。この反応の正確性と反応速度の増大は、学習初期のフィードバック依存的な反応から基準系列パターンを理解したことによる系列依存的な反応への移行と考えられ、その結果として反応が安定したと推察される。

5.4.2 反応の冗長性と反応速度

次に、反応の正確性と正反応間隔時間の高速化を導く要因について系列依存性の側面から検討する。まず推定情報量により算出した不確定度について、推定 0 次の情報量は課題に対する情報量が全く無いということの意味しているため、基準系列パターンが完全に不確定な状態を指す。系列事象において n 次の情報量は $S-1$ の事象が既知の時の情報量を表すため、2 次の情報量は 1 次の系列が既知の時の情報量と解釈することができる。つまり、推定 2 次では前に生じた 1 回の推測による情報を得たために 0.39bit まで不確定度が減少したといえる。その後、推定 3 次、推定 4 次と次数が増加するに従って不確定度が減少する傾向を示したがその変化はわずかであった。このことは、推定次数、すなわち既知の系列の長さに依存して反応の不確定度が減少していくことを意味している。

次に被験者の反応の冗長性について検討すると、推定次数の関数としての冗長度は推定 1 次 55.1%、推定 2 次 60.9%、推定 3 次 62.6%、推定 4 次 63.4%と次数の増大に伴い増加する傾向を示した。反応の冗長度は直前までの系列反応が既知のときの予測可能性の指標となることから、推定次数に依存して被験者が反応系列を予測的に処理していたことを示している。Marteniuk (1976) は、熟練者は多くの過去経験によって前もって動作を予測することができること、それによって不確定度が少なくなる、言い換えれば情報が冗長であ

ることを指摘している。すなわち、この反応速度の高速化は、そのとき反応すべき系列を正確に遂行するだけでなく、次に反応すべき系列、或いはさらにその先の系列の予測を伴うことによって実現されていることを示唆している。

5.4.3 基準系列パターンの形成過程

推定次数の関数としての反応の冗長性は、習得過程に沿った熟練レベルの変化を反映する測度ではない。そこで、習得過程を通じた系列依存性の変化を主観的体制化率、系列化率、系列依存的体制化率、系列に依存しない体制化率の測度をもとに系列要素のパターン形成という観点から検討する。

体制化は基準系列パターンに関係なく主観的な反応のまとまりを形成することを意味する。本研究では、学習初期において基準系列パターンが不確実であるにもかかわらず、習得試行を通して主観的体制化率に変化がなく高い値を示した。このことは、学習の初期段階から既に何らかの主観的パターン形成を行っていたことを示唆している。また、基準系列化率が示すように、試行数の増大に伴い基準系列パターンと自己の反応の一致度が増大する傾向を示した。さらに、系列依存的体制化率が増加したことから、習得試行を通して主観に基づいた何らかのパターンの形成が行われており、その中でも基準系列パターンに依存した反応が増加を示した。これは、学習の初期段階では不確定度が高く、推測に頼らざるを得ないため自己内の主観的基準が支配的であるが、学習後期では不確定度の減少により、基準系列パターンの正確な反応形成が可能となったために増加したものと考えられる。言語学習において、系列依存的体制化を行う傾向があることが示唆されているが(高田, 1977)、運動学習においても系列の組織化方略が行われていることが明らかとなった。また、系列に依存しない体制化率が減少したことから、自己の主観的な基準に依存した誤差が減少していくことが明らかである。すなわち、基準系列パターンの習得及び反応速度の高速化の過程は、各要素の関係づけにより反応ユニットが形成され、最終的に一連の動作パターンが形成されると考えられる(Schmidt, 1988)。言い換えると、本研究における系列動作の高速化は、反応要素が部分的に組織化されるだけでは達成することはできず、8個の系列要素から構成される基準系列パターン全体を習得しなければならないことを示唆している。すなわち、必ずしも基準系列パターンと一致するわけではないが、反応の不確定度が高い刺激事態に対しては、自己の主観的な基準を積極的に構成し、徐々に系列位置に対する依存度を増大させる課題方略を行っていたと考えられる。

反応の冗長性と系列パターンの形成についての考察を総合すると、反応の不確定度が高い学習初期では、自己の主観的な基準を積極的に構成し、フィードバック情報に依存して反応の修正を繰り返していたが、反応が高速化した学習後期では徐々に反応要素間の系列依存的な反応の組織化が強化されることによって各系列要素を予測できるようになると考えられる。

以上のことから、自己ペースの系列運動課題の学習において反応の正確性と高速化は学習初期のフィードバック依存的な反応から、習得過程を通して出現する系列依存性によって果たされることが明らかとなった。これまでの熟練運動スキルの研究では反応の正確さや高速化によって学習の促進を説明するにとどまっていた。系列パターンの習得レベルと反応速度は必ずしも対応しない場合があり、上述の正確性や高速化などの従属変数からだけでは、運動スキルの熟練化を説明しきれない。しかし、本研究の知見からは正確な反応レベルにとどまらず高速な反応レベルに到達するには見越し機能の発現が重要な意味を持つことが示唆された。そしてこの見越し機能は系列に対する冗長な反応の発現によって果たされる。

本研究では200試行という長い試行数を設け、基準系列パターンの習得過程を検討したが、その後の保持や転移については触れられていない。今後、過剰学習によって生じる系列依存性や予測の機能が外部環境の変化に対してどのような影響を持つのかを検討する必要がある。

学習過程において課題についての情報の習得が重要な要因であり、従って、系列パターンの構造を理解することがその後の著しい反応速度の増大に大きく貢献していると考えられる。これは熟練動作の獲得において重要な役割を果たすことが示唆される。

本研究では熟練動作の特徴である冗長度と反応測度の関係を明らかにしてきたが、熟練動作の大きな特徴であるタイミング一致については触れなかった。しかし、動作の高速化やエラーの減少だけではなく外部環境と動作を一致させる運動スキルの獲得も熟練動作の重要な側面である。また、不確定事態による系列運動学習では過剰学習による冗長度の増大が見出されたが、他方で不確定事態への適応が、外部環境の変化に対してどのような役割を果たすのかを検討していく必要がある。そのため、次章では捕捉行為における一致タイミング課題を用いて、不確定事態におけるタイミングの特性について検討するとともに、身体変数としての頭部の変位パターンの特徴について考察する。

第6章 捕捉行為におけるタイミング特性

6.1 理論的背景と目的

第5章では系列の刺激位置の推測及び呈示されるフィードバック情報を頼りに環境に埋め込まれた系列パターンを習得させるとともに、その過程において系列パターンの形成過程を明らかにすることを試みた。前章までの一連の実験は刺激呈示装置と反応キーから構成された実験装置を用いた。視知覚と指先での反応の関係から中枢神経系の学習及び制御の問題を取り上げた。この意図は各種課題条件下で生じる中枢の機能を顕在化させることに主眼を置いているためである。しかし、身体運動は目と手（指）の協応に限定されるものではなく、例えば歩行や走行といった実運動を伴う身体要素間の相互作用によってもたらされる。したがって、実際の運動場面を想定したタイミング事態におけるターゲットの不確実性とそれへの反応の特性について検証する必要がある。

野球の外野手がフライボールを正確に捕球する事態等において、捕球動作は野手が飛来するボールの情報を知覚し、落下地点を予測するとともに素早く落下地点に移動することによって成立する。この捕球課題にみられるような運動の正否は捕球という運動技能の獲得もさることながら、適切な場所へ適切な時間に到達することなしには達成することができない (Pepar et al., 1994)。他方、幼児の鬼ごっこにみられるように、鬼に捕まらないように逃げる相手の移動方向を予測して、鬼は捕捉の行動をとる。これらの事態の共通点は、移動するターゲットと運動実行者がともに移動している時、運動実行者がターゲットの軌道や移動時間を予測しているということである。そして運動の最終段階として対象物を捕捉する行為に至る。外界の刺激に対する応答は、情報处理的な立場や光学的流動などから検討されてきたが (Schmidt and Lee, 2005)、前述の行為は捕捉行為 (interceptive action) と呼ばれ、知覚と行為の観点から研究が進められている (Tresilian, 2005)。

この捕捉行為を野球の外野手がボールを捕球しようとする場合に当てはめて考えた時、ボールの移動についての視覚的情報が重要となるが、多くの先行研究から導きだされた仮説としては、ボールの飛来や走る速度から得られる視覚情報の中に野手を適切な捕球位置に導く情報が存在するということである (McLeod and Dienes, 1996)。具体的には、外野手がフライボールを捕球する場合、空中にあるボールの位置 (a)、外野手の位置 (b)、空中にあるボールの垂直線及び外野手の水平線の交点 (c) から構成される $\angle abc$ を $\angle \alpha$ とした時、外野手は飛来するボールの $\tan(\alpha)$ の加速度 ($d\alpha/dt$) を知覚し、これを視覚的情報源として捕球のための適切な場所に到達していることが明らかになっている (Lenoir et al., 1999)。そしてこの際、外野手は $\tan(\alpha)$

の加速度をゼロに維持することによってボールの落下地点へ移動するという方略を行っている (Oudejans et al., 1999; Michaels and Oudejans, 1992). これは逆説的にいえば外野手は $\tan(\alpha)$ の加速度をゼロに保つために、視野角 (angle of gaze) の連続的なサンプリングに基づいて走行速度を加速および減速していることを意味する. このような情報に基づいて、移動するターゲットを正確に捕捉するための方略として Bearing Angle (以後 BA とする) 方略が挙げられ多くの研究がなされている. 捕捉行為事態では、ターゲットが目標となる到達地点に向かっている間に運動実行者も同一地点へ移動するが、BA はこの時に生じる運動実行者、ターゲット及び到達地点から成る角度である (図 4A 参照). 運動実行者は正確な捕捉行為を成立させるために移動中も BA を一定に保っていることから、Constant Bearing Angle (以後 CBA とする) 方略とも呼ばれ、運動実行者はこの CBA を知覚することによって捕捉行為を成立させている (Lenoir et al., 1999).

以上から、優れた捕捉行為を実現するためには移動する対象物の $\tan(\alpha)$ から加速度を知覚し、運動実行者自身の移動によって BA を維持する方略を行っていることが明らかになっている. そしてこのメカニズムについては、ベルトコンベアによってボールの移動を統制した課題 (Chohan et al., 2006)、トレッドミルを利用した頭部による捕捉課題 (Chardenon et al., 2004) などによって検討されているが、外野手の捕球 (McLeod and Dienes, 1996)、クリケット (Dienes and McLeod, 1993)、卓球 (Bootsma et al., 1990) など実際のスポーツにおいても検討されてきている.

以上のように、CBA 方略に関する研究は捕捉行為におけるタイミング制御の理解に一定の貢献をしてきた. ところで、多くの研究で扱われている捕捉課題は、ターゲットの移動が開始され、ある一定の速度でターゲットが到達地点まで移動し、課題が完了される. 具体例を挙げると、Chohan et al. (2008) では、対象物の移動距離が 3m であり、ターゲットはこの距離を 0.85m/s (高速条件)、0.65m/s (中速条件)、0.45m/s (低速条件) で移動する. この時、ターゲットが移動を開始してから到達地点に到達するまでの間に、被験者は自身も歩行による移動及び捕捉課題が求められる. この 3つの速度条件は毎試行ランダムに呈示されるため被験者はどの速度条件で課題が行われるかを知らされることはない. しかし、たとえ呈示される速度条件が課題の開始前に不明であっても、ターゲットの移動が開始されると移動速度がわかるためターゲット移動開始の初期情報だけで課題を遂行できる可能性がある. 実際、ターゲットの移動開始後の初期部分の速度が捕捉の正確性に影響しているという報告 (Dubrowski et al., 2000) があり、この事実はターゲットの移動初期の情報が優れた捕捉のために重要であることを示唆している. また、このような試行間のランダム呈示は捕捉行為を扱った研究の多くで実施されている (Chardenon et al., 2004; Fajen and Warren, 2004; Bastin et al., 2006;

Teixeira et al., 2006).

以上の知見をまとめると、捕捉行為を扱ったこれまでの先行研究の多くは、ターゲットのふるまい及び捕捉地点への到達の時期をある程度予測 (prediction) ^{注2)} しながら課題を遂行することを前提としている (Montagne et al., 1999). しかし、冒頭に示した鬼ごっこでの捕捉行為に見られるように実際の運動場面では外部環境の変化によるターゲットの急激な変化などにより、必ずしも運動実行者が予測した結果となるわけではない。例えば、外野手の守備において、フライボールを捕球するために予想される落下地点に移動中に、風などの抵抗を受けボールの軌道が変わるようなことがある。また、ラグビー競技において、バウンドした楕円形のボールを正確に捕球しようとする場合がある。このような時、運動実行者はターゲットの変化へ適応するために予期 (anticipation) 的活動を行っている と推察される。Chardenon et al. (2005) は、ターゲット移動開始後にターゲットの速度変化が生じる課題を用いて BA の頑健性を検証する実験を行った。具体的にはターゲットの全移動時間が 11 秒であり、ターゲット発現後 5.5 秒経過した時点で 0.5m/s から 0.9 m/s (very slow から very fast), 0.6 m/s から 0.8 m/s (slow から fast), 0.8 m/s から 0.6 m/s (fast から slow), 0.9 m/s から 0.5 m/s (very fast から very slow) のいずれかに変化するというものであった。その結果、急激な速度変化が生じても頑健な捕捉方略を行っていることを報告している。ただし、速度変化への適応は変化の 1 秒後から有効であったとも主張しており、ターゲットに対する予期が機能したために頑健な捕捉方略が可能であったのかは不明である。このことから、捕捉行為におけるターゲットの速度変化が CBA 方略へ与える影響について、予期機能を関連づけて検討する必要がある。

CBA 方略を含めた捕捉行為と予期の関係を明らかにする上で重要な身体変数として頭部の変位が挙げられる。Oudejans et al. (1999) や Zaal and Michaels (2003) は捕捉事態において、観察者が立ったままターゲットの移動に関する情報を判断する場合は主に目を変位させ、ボールの落下地点を見るが、ボールを捕球しようとする場合は目と頭部を変位させることを明らかにしている。このことは捕捉行為においてターゲットと被験者自身の位置関係だけではなく、ターゲットと頭部の変位の協調も重要な役割を果たしていることを示唆している。この他、外部環境への頭部の変位が与える影響に関する研究としては、バスケットボールの熟練者は、シュートの際バスケットボールのリングに頭部を向け固定する (Ripoll et al., 1986) という知見や、自動車レースの熟練ドライバーは目標とする位置が頭部の方向と一致するように頭部の方位を運転している車体の回転比率に連動させる (Ripoll and Fleurance, 1988) という知見が報告されている。そして、Land and Tatler (2001) は自動車のドライバーの視線及び頭部と車体の回転の関係について検討した結果、ドライバー

は視線を車体が曲がるカーブ方向に向けるとともに、頭部を視線よりも先行させ、カーブの先の状況を捉えていることを明らかにした。これらに加え、頭部の運動は早いターゲットを追従するために重要な役割を果たすと考えられている (Hayhoe et al., 2012)。いずれの研究も外部環境への反応に頭部の変位が関係していることを支持するものであるが、移動するターゲットに対する捕捉行為、特に CBA 方略において頭部の変位を対象とした研究は行われていない。

以上から本研究は、ターゲットの速度変化が捕捉行為の方略に与える影響、及びその際の頭部の変位の特徴を明らかにすることを目的とした。そのため、予期を誘発する速度変化条件を設けるとともに、角度、速度及び移動開始から捕捉行為に至る局面を分析する実験条件を構成し、これらが CBA 方略及び頭部の変位に与える影響について検討する。CBA 方略はターゲットの速度変化を予測することによって成立する。したがって、速度変化が生じない条件では CBA 方略が維持されるが、その一方で速度変化条件では BA を維持することが困難であると考えられる。Chardenon et al. (2005) の報告では、被験者とターゲットとの距離が大きい場合、捕捉方略が正確になる傾向がある。また、ターゲットの速度が低速の場合の方が高速の場合よりも誤差が大きくなる傾向がある (Chohan et al., 2006)。これらのことから、速度変化条件において、ターゲットとの距離が短い条件の方が、長い条件よりも CBA 方略の遂行が困難であり、また速度が高速の場合よりも低速の場合で CBA 方略における誤差が大きくなると考えられる。頭部の変位に関しては速度変化条件においてターゲットの視認が重要になると考えられる。そのため、速度変化条件においてターゲット方向を向くことが考えられる。特に、ターゲットの速度が高速の場合の方が低速の場合よりも速度変化に適応する必要があるため頭部がターゲット方向へ向くと考えられる。また、ターゲットの捕捉課題では、ターゲットの移動と到達地点の位置を同時的に知覚することが要求されると考えられる。これを踏まえると、ターゲットとの距離が長い場合の方が短い場合よりもターゲットと到達地点を同時に視認することが可能である。このため、周辺視野 (peripheral vision) でターゲットの変化を捉えつつ到達地点方向へ頭部を向けることが可能となる。このことからターゲットとの距離が長い場合の方が到達地点方向を向き、短い場合ではターゲット方向へ頭部を向けると考えられる。

6.2 方法

6.2.1 被験者

被験者は健康な女性 15 名 (平均年齢 19.73 ± 0.80 歳、平均身長 160.93 ± 5.44 cm、平均体重 55.93 ± 5.98 kg) で

あった。実験参加者には実験実施前に実験の手順及び個人情報の保護について説明し、十分な理解を得た上で、書面にて参加の同意を得た。なお、実験実施にあたって神戸親和女子大学研究倫理委員会の承認を得た。

6.2.2 実験装置及びセットアップ

Fig.6.1 に本研究で用いた実験装置を示した。被験者正面前方に透過型スクリーン（縦 1.5m×横 4m）を設置し、スクリーンを挟んで被験者の反対方向にプロジェクターを設置した。そしてプロジェクターからターゲットとなる光刺激（直径 20cm）を投射する仕組みであった。ターゲットの直径は Morice et al. (2010) を参考とした。ターゲットは課題の開始時、床から 110cm の高さに、20cm 四方のスタートエリアに位置した。Fig.6.2 に記した通り、ターゲットは 3m 水平移動し、ターゲット到達地点（20cm 四方）にて停止した。ターゲット到達地点は、ターゲットだけではなく、右手の接触による被験者の移動完了をも意味するため、以後は到達地点と記述することとする。本実験課題を正確に行うための方略は、①スタート地点から到達地点に直線的に移動する、②ターゲットに可能な限り接近して到達地点に移動する、③ターゲットと到達地点の距離を確認するために大回りして移動する、が想定される。本研究では捕捉行為を課題としているため、時間調節を行いかつ空間的な調節方略の影響を最小限にするために①を行わなければならない実験環境を構築した。したがって②及び③が生じないようにするために、課題遂行中に被験者が移動できる範囲を幅 45cm に規定した（被験者から見てスクリーンに対して左前方方向）。

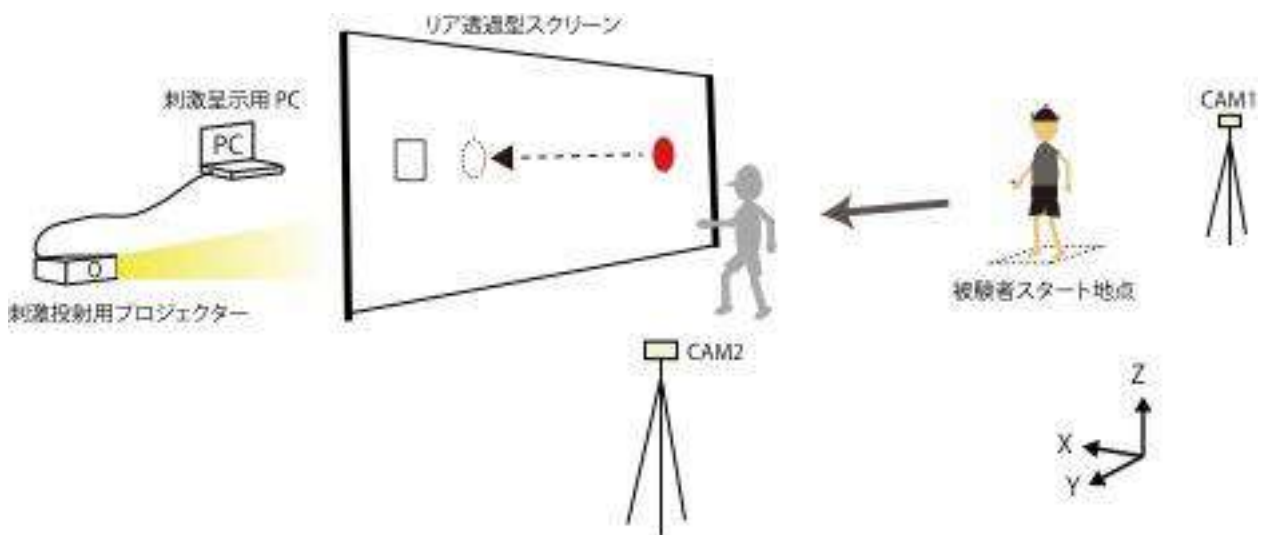


Fig.6.1 実験装置及びセットアップ

ターゲットの高さ：110cm
 ターゲット移動開始及び捕捉到達地点：20（縦）×20（横）cm
 ターゲットの移動区間の長さ：3m
 ターゲットの大きさ：直径 20cm

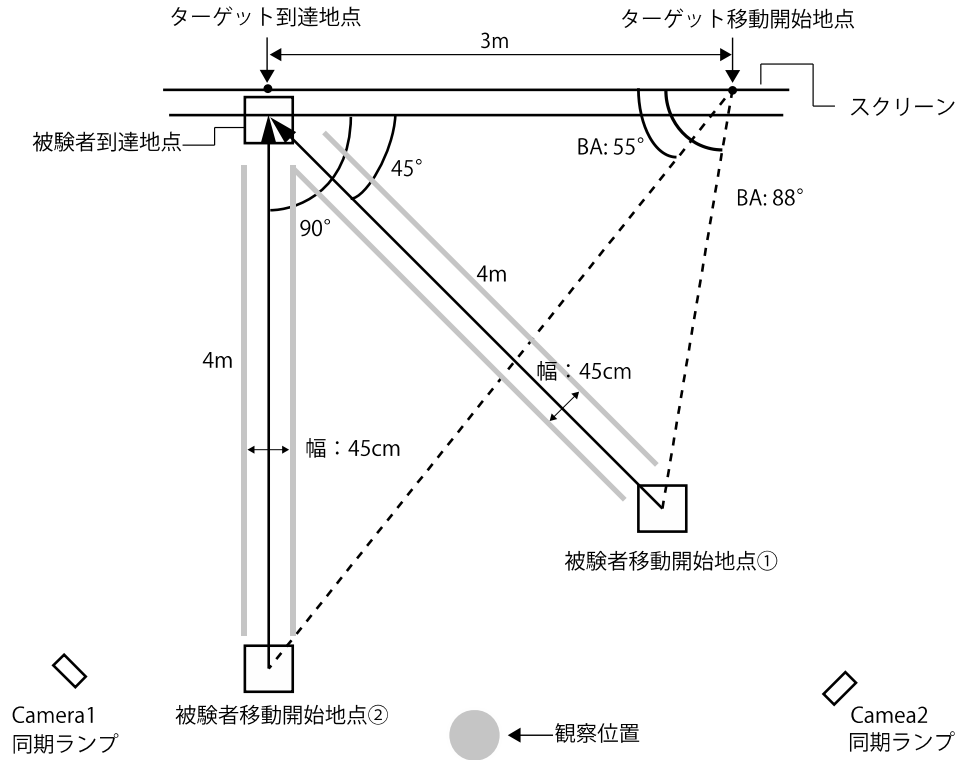


Fig.6.2 実験課題に関する角度と距離

6.2.3 実験課題

被験者はターゲットを視覚的に追従し、スタート地点から捕捉地点へ可能な限り直線的に移動するとともに、ターゲットの到達と自身の移動完了をできるだけ正確に一致させることを求められた。その際、被験者への教示として、「1. ターゲットの移動速度に合わせて被験者自身も移動すること」、「2. 移動の完了は早すぎても遅すぎてもいけないこと」、の2点を強調した。

6.2.4 手続きと実験スケジュール

まず、被験者は40cm四方のスタート地点に立ち、スクリーンに呈示されたターゲットに対して正対した。そしてターゲットの移動開始とともに自らも移動を開始した。そして、到達地点の四角内にターゲットが到達するとともに自身も到達し移動を完了した。被験者の移動完了はスクリーンの到達地点に右手の人差し指

を接触させた時点とした。スクリーンに接触させる身体部位は全被験者で右手指に統一した。被験者の到達局面での動作は単純なリーチング動作である。本研究はリーチングの特徴が一致タイミングに影響する可能性は少ないと判断した。したがって利き手、非利き手の影響は考慮しなかった。

すべての被験者は表 1 に示す実験スケジュールを遂行した。被験者はまず捕捉行為の予期を誘発するために設けられた変化条件による課題を遂行した。まず、ターゲットの移動速度が高速と低速に設定された（以後、低速を *slow*、高速を *fast* と記す）。次に角度条件として移動開始位置が 45°と 90°の 2 箇所が設定された（以後、移動開始位置 45°を 45 条件、90°を 90 条件と記す）。これらに加え、呈示速度の変化条件（等速及び不規則 3 パターン）が設けられた（以後、*Irregular+No Change: I+NC* と記す）。すなわち、速度条件 (2) ×角度条件 (2) ×変化条件 (2) が設けられ、各 3 試行の合計 24 試行をランダムな順序で実施した。ただし、変化条件の中の 3 つの不規則パターンは Table.6.1 に示したパターン 1 から 3 までであるが、これらを各 3 試行行ったのではなく、1 被験者につき各パターンが 1 試行呈示された。つまり、I+NC 条件では、等速パターンが 12 試行、不規則パターンが 12 試行であった。移動開始位置がターゲットの捕捉に影響するのかを明らかにするために、Chohan et al. (2008) に準じて 45°と 90°に設定した。

I+NC 条件課題実施の 6 カ月後、すべての被験者は統制条件として等速条件のみの捕捉課題を遂行した（以後、*No Change: NC* と記す）。速度条件 (2) ×角度条件 (2) を各 3 試行、合計 12 試行をランダムな順序で実施した。順序効果の影響を弱めるために 6 カ月間のインターバルを設けた。要因計画の際の順序効果の相殺は、統制条件とランダム条件の実施順序を交絡させて行うことが一般的である。本研究の I+NC 条件では、24 試行をランダムな順序で行った点、及びこれらの条件は 1 被験者につき 3 回（不規則 3 パターンは 1 回）しか呈示されなかった点から、本実験のスケジュールを通して、速度変化への適応や捕捉のタイミングの学習は行われなかったと仮定できる。さらに、Lenoir et al. (2002) は課題間のインターバルを一週間設けていることから、仮に変化条件の 24 試行内で適応や学習が行われたとしても、これらが忘却される期間として、6 カ月のインターバルは妥当な期間であると判断した。NC 条件、I+NC 条件の課題ともに本実験実施前に先立って等速による課題（NC 条件による課題）を *slow*、*fast* で各 1 試行の合計 2 試行を観察させた。これらの観察は、スクリーン全体及び被験者の移動開始位置を視認できるように Fig.6.2 の観察位置で行わせた。また、I+NC 条件では 24 試行、NC 条件では 12 試行の試行数があることを予め説明した。

Table.6.1 実験スケジュール

課題名	内容	試行数
I+NC 条件	変化 (Irregular [*] ・No Change) ×速度 (fast・slow) ×角度 (45・90) ×3 試行をランダム呈示 *Irregular 条件のパターンは表 2 に示した通り、パターン 1 から 3 までであるが、これらを各 3 試行行つたのではなく、1 被験者につき各パターンが 1 試行呈示された。	24 試行
インターバル (6 カ月)		
NC 条件	速度 (fast・slow) ×角度 (45・90) ×3 試行をランダム呈示	12 試行

6.2.5 ターゲットとなる刺激の生成

本研究では I+NC 条件課題において、等速で移動する条件（等速パターン）に加えて不規則的な速度変化を示す刺激パターン（不規則パターン）を採用した。不規則パターンの生成の具体的内容としてはまず、ターゲットの移動開始地点から到達地点までの 3m を 5 つの区間に分割した。ターゲットが通過する時間をそれぞれの区間で変更し不規則パターンを生成した。Chohan et al. (2008) はターゲットが等速運動をし、かつ低速 (0.45m/s)、中速 (0.65m/s)、高速 (0.85m/s) の 3 つの速度条件を設定した。本研究もこれに準じて低速及び高速の 2 条件を設けたが不規則パターンを呈することから、平均速度が上記研究の低速及び高速のそれぞれの条件と同様になるように設定した。詳細は Table.6.2 に記した通りである。等速パターンは上記の低速、高速がターゲットの移動開始から終了まで等速で移動するように設定した。

Table.6.2 I+NC条件におけるランダム呈示刺激の生成

		区間 (60cm)					合計 (s)	平均速度 (m/s)
		1	2	3	4	5		
slow	パターン1	1.25	0.83	1.67	1.25	1.67	6.67	0.45
	パターン2	1.67	1.25	1.67	0.83	1.25		
	パターン3	1.25	1.67	1.25	0.83	1.67		
	等速							
fast	パターン1	0.66	0.44	0.88	0.66	0.88	3.52	0.85
	パターン2	0.88	0.66	0.88	0.44	0.66		
	パターン3	0.66	0.88	0.66	0.44	0.88		
	等速							

6.2.6 分析方法

a) データ算出

被験者は, Fig.6.3 に示したように頭部前部, 頭頂部, 頭部後部の位置に直径 4cm のカラーマーカー (赤色) が貼付されたキャップを装着した. 水平面上における頭頂部とスクリーンから成る角度 (HDA) を得るために, 3 点のカラーマーカーを一直線上に貼付し, 左右の耳珠点を結んだ線と直交するように調節した. また, 右手の位置座標を得るために右手甲に同じくカラーマーカーを貼付した. Fig.6.1 に示したように, 被験者側方 2 カ所からハイスピードカメラ (Panasonic 社製 Lumix DMC-FZ200) にて実験試技を撮影した (30Hz). そして撮影された映像をもとに動作解析ソフト (DKH 社製 Frame-DIASV) を用いて頭部前部, 頭頂部, 頭部後部及び右手甲の座標位置をデジタイズした. これにより得られた 2 次元座標値から DLT 法によって 3 次元座標値を算出し, 3 点加重移動平均法 (6Hz) を用いて平滑処理を行った.

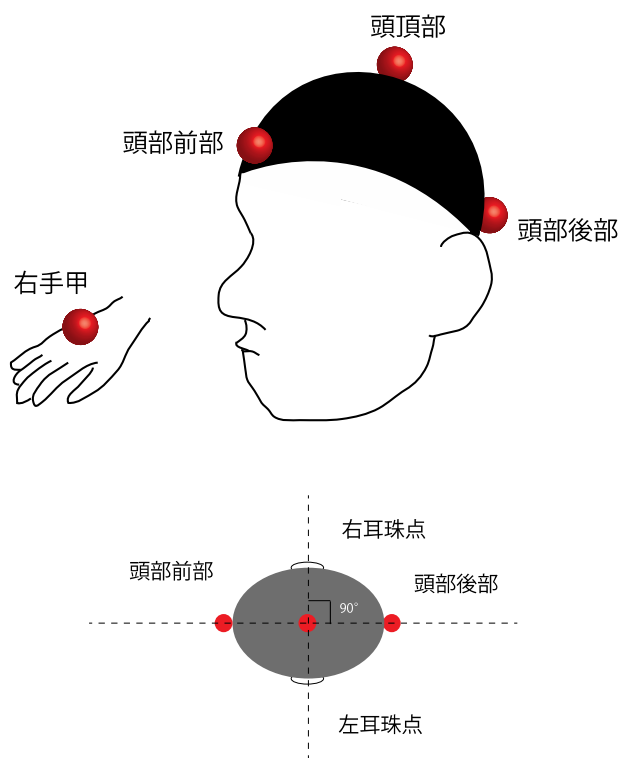


Fig.6.3 被験者が装着したカラーマーカーの部位

b) ターゲットの捕捉の正確性

ターゲットの捕捉の正確性を検討するために, 到達地点からの誤差の大きさを表す AE (Absolute Error : 到達地点からの絶対誤差) を算出した. また, 到達地点に対するターゲットの到達を基準とした反応の偏りを

表す CE (Constant Error : 到達地点を基準とした反応の偏向) を算出した。これらの誤差を抽出するための具体的方法は、ターゲット中心が到達地点 (20cm 四方のボックスの中心) に到達した時点と被験者の右手人差し指が同じく到達地点のボックス中心に接触した時点の誤差に基づいて算出した。

c) ベアリングアングル (BA_H) 及びベアリングアングルの絶対誤差 (δCBA_H) の算出

BA は先行研究に基づき式 (1) によって算出することができる (Chohan et al., 2008)。特に、頭頂の座標から算出される場合を BA_H としており、他の身体部位から算出される BA と区別される。本研究でも頭頂の座標データに基づいた分析を行うため BA_H を採用することとした。すなわち

$$BA_H = \tan^{-1} \left[\frac{head_y - target_y}{head_x - target_x} \right] \quad (1)$$

である。

x はターゲットが到達地点に向かって移動する軌道に沿った方向、 y はターゲットの軌道と垂直の方向を意味する。 $head$ は被験者の頭頂、 $target$ はスタート地点から到達地点へ向かって移動するターゲットである。

BA_H は被験者の頭頂、ターゲット、到達地点を頂点とする三角形を想定して求められる。デジタイズにより得られた頭頂部、ターゲット及び到達地点の座標に基づいて各コマで距離を求め、式 (1) に基づいて角コマ毎の BA_H を算出した。

次に CBA_H とは捕捉課題において被験者がスタート地点にいる時の角度であるとともに、スタート地点から到達地点まで移動する間に被験者とターゲット間で維持される角度と定義される (Chohan et al., 2006)。この CBA_H も BA_H と同様に上記式 (1) によって求めることができる。したがって上記式から、スタート位置が 90° の場合の CBA_H は 55° 、スタート位置が 45° の場合は 88° となる。先行研究 (McLeod and Dienes, 1996) に基づけば、被験者は等速で移動するターゲットを捕捉する場合、上記の BA_H を維持しながら到達地点へ移動することになる。これらの変数に基づき、 δCBA_H を算出した。 δCBA_H は課題遂行中の被験者と CBA_H との誤差を表したものであり、次式 (2) で導かれる。

$$\delta CBA_H = [\text{absolute}(CBA_H - BA_H)] \quad (2)$$

したがって、 δCBA_H は課題遂行中に被験者がどの程度 BA_H (90°の場合は 55°, 45°の場合は 88°) を維持できていたかを表す測度といえる。

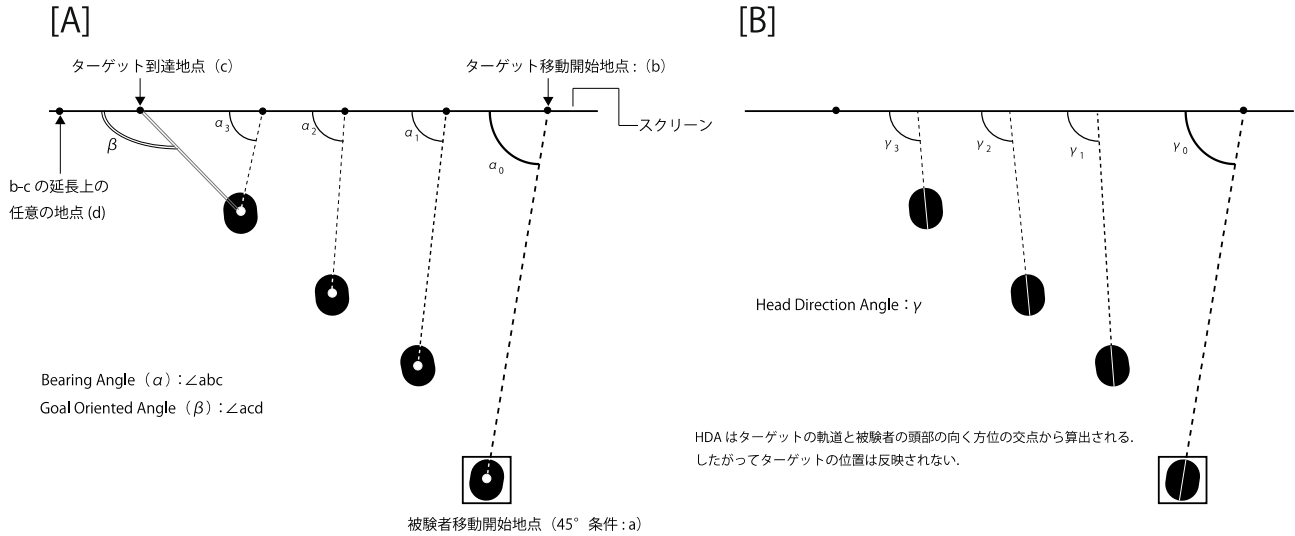


Fig.6.4 BA_H 及び HDA の角度算出の定義
 [A]BA, GOA 及び [B]HDA はターゲット及び被験者の移動により逐次変化する

d) 頭部が向く角度 (HDA) とその比率 (%HDA) の算出

次に、課題遂行中の頭部の変位を式 (3) にて求めた。

$$\text{HDA} = \tan^{-1} \left[\frac{\text{occipital}_y - \text{frontal}_y}{\text{occipital}_x - \text{frontal}_x} \right] \quad (3)$$

occipital は被験者の頭部後部, *frontal* は被験者の頭部前部を意味する。すなわち、被験者の頭部後部と頭部前部を結んだ仮想線をスクリーン方向へ延長させるとターゲットの軌道と交差することになる。本研究ではこの交点が成す角を、頭部が向く角度 (Head Direction Angle: 以後 HDA と略す) と定義した。HDA はターゲットと被験者がともに移動している時、被験者がスクリーン上のどの方位を向いているかを示す指標であると解釈することができる。また、被験者と到達地点で構成される角度 (Goal Oriented Angle: 以後 GOA と略す) を求めた (Fig.6.4 参照)。本研究では捕捉行為中に頭部がターゲットと到達地点の間のどの方位を向いているかを明らかにするために、HDA と GOA を用いた式 (4) により %HDA を算出した。

$$\%HDA = \frac{HDA-BA_H}{GOA-BA_H} \times 100 \quad (4)$$

なお、Fig.6.4 では 45°課題 (45 条件) に限って説明を行っているが、データ分析については 90°課題でも同様の手続きに従って両角度を算出した。

e) NC 条件と I+NC 条件の等速パターンの比較

NC 条件課題では 2 つの速度条件 (slow, fast) が等速で移動するパターンを遂行した。これに対し、I+NC 条件課題では等速パターン及び不規則パターンがランダム呈示された。したがって、I+NC 条件課題では突然速度変化が生じる可能性があるため、正確な捕捉行為を行うためにはターゲットの速度変化を予測しなければならないと考えられる。これを踏まえ、NC 条件と I+NC 条件のそれぞれの等速パターンにおけるターゲット捕捉の正確性 (AE)、ターゲット捕捉の偏向 (CE)、 δCBA_H 及び %HDA を比較した。もし NC 条件課題に比して、I+NC 条件課題における等速パターンの δCBA_H が一つの試技を通して一定に保たれているならば、試技中のいずれかの時点でターゲットの速度変化 (つまりターゲットの到達時期を予測している) はないものとみなしている可能性が考えられる。反対に、 δCBA_H が一定に保たれていなければ、CBA 方略に基づかない課題遂行を行っていたと解釈することができる。

6.2.7 統計的検定

AE 及び CE に関して、呈示条件 (2 : NC, I+NC) × 速度 (2 : slow, fast) × 角度 (2 : 45, 90) の対応のある 3 要因分散分析を行った。 δCBA_H 及び %HDA に関して、呈示条件 (2 : NC, I+NC) × 速度 (2 : slow, fast) × 角度 (2 : 45, 90) × 局面 (4 : 局面 1, 局面 2, 局面 3, 局面 4) の対応のある 4 要因分散分析を行った。主効果の検定には Ryan 法を用い、2 次の交互作用が有意であった場合は単純交互作用の検定を行い、さらに単純交互作用が有意であった場合は単純・単純主効果の検定を行った。すべての分析は両側検定を採用し、有意水準はすべて危険率 5%未満とした。

6.3 結果

6.3.1 ターゲットの捕捉の評価

ターゲットの捕捉の正確性の指標である AE 及びターゲットの捕捉の偏向の指標である CE の結果を

Table.6.3 に記した. 各指標に関して対応のある 3 要因分散分析を行った結果, AE については, 有意な主効果は見出されなかった (呈示条件: $F(1,14)=2.78, p>0.05$, 速度: $F(1,14)=2.17, p>0.05$, 角度: $F(1,14)=3.72, p>0.05$). そして, CE については, 速度 ($F(1,14)=70.87, p<0.01$) 及び角度 ($F(1,14)=6.60, p<0.05$) に有意な主効果が見られ, fast の方が slow に比べ大きな誤差を示した. すなわち, fast では反応がターゲットの到達よりも遅延する一方で, slow では尚早になることが明らかとなった. また, 角度においては 45 条件よりも 90 条件で大きな誤差を示し, 45 条件よりも 90 条件で反応の遅延が見られた. なお, 全被験者の全試行において実験者の教示に従った試行が行われ, エラー試行や反応は見出されなかった.

Table.6.3 各条件におけるターゲット捕捉の絶対誤差と恒常誤差

呈示条件		(s)							
		NC				I+NC			
		slow		fast		slow		fast	
速度	角度	45	90	45	90	45	90	45	90
AE	Mean	0.11	0.12	0.10	0.13	0.12	0.12	0.15	0.20
	SD	(0.04)	(0.07)	(0.08)	(0.09)	(0.07)	(0.07)	(0.13)	(0.13)
CE	Mean	-0.06	-0.09	0.07	0.13	-0.05	-0.03	0.14	0.20
	SD	(0.11)	(0.11)	(0.11)	(0.10)	(0.13)	(0.14)	(0.14)	(0.13)

6.3.2 δCBA_H の変化

Fig.6.5 は被験者 1 名の各条件における δCBA_H の変化を表している. 被験者が CBA 方略に基づいた課題の遂行がなされているかを検討するために, 統計的検定における局面要因で採用した各水準は図の 25%, 42%, 59%, 75% であった. 被験者が移動を開始した後を分析対象とするため局面 1 として 25% のデータを採用した. また, 75% 以降はリーチングの局面に相当する (Chohan et al., 2008) ため, 75% を捕捉行為の終盤局面と位置づけ局面 4 とした. さらに 25% から 75% の区間を等間隔に分割した 42%, 59% をそれぞれ局面 2, 局面 3 とし, 捕捉行為中の角度変化の評価を行った. なお, %HDA に関しても同様の方法で局面を規定した.

これを踏まえ, BA をどの程度維持できているかを検討するために, δCBA_H について対応のある 4 要因分散分析を行った (Table.6.4). その結果, 速度 ($F(1,14)=161.00, p<0.01$), 角度 ($F(1,14)=7.59, p<0.05$), 局面 ($F(1,14)=177.62, p<0.01$) の主効果が有意であった. また, 呈示条件×速度×角度の 2 次の交互作用が有意であった ($F(1,14)=7.66, p<0.05$). このことからまず, 角度の 2 水準 (45, 90) のそれぞれについて, 呈示条件×速度の単純交互作用を分析した (Fig.6.6). その結果, 45 条件において有意差が見出された ($F(1,28)=18.75, p<0.01$)

ことから、単純・単純主効果検定を行った結果、slow-45においてNCよりもI+NCの誤差が大きな値を示した ($F(1,56)=13.32, p<0.01$)。続いて、呈示条件×角度に対する速度の分析では、NC-45 ($F(1,56)=81.67, p<0.01$)、I+NC-45 ($F(1,56)=13.30, p<0.01$) のそれぞれにおいてslowよりもfastで大きな誤差を示した。他方、90条件における単純交互作用検定を行った結果、有意差は見出されなかった ($F(1,28)=0.11, p>0.05$)。

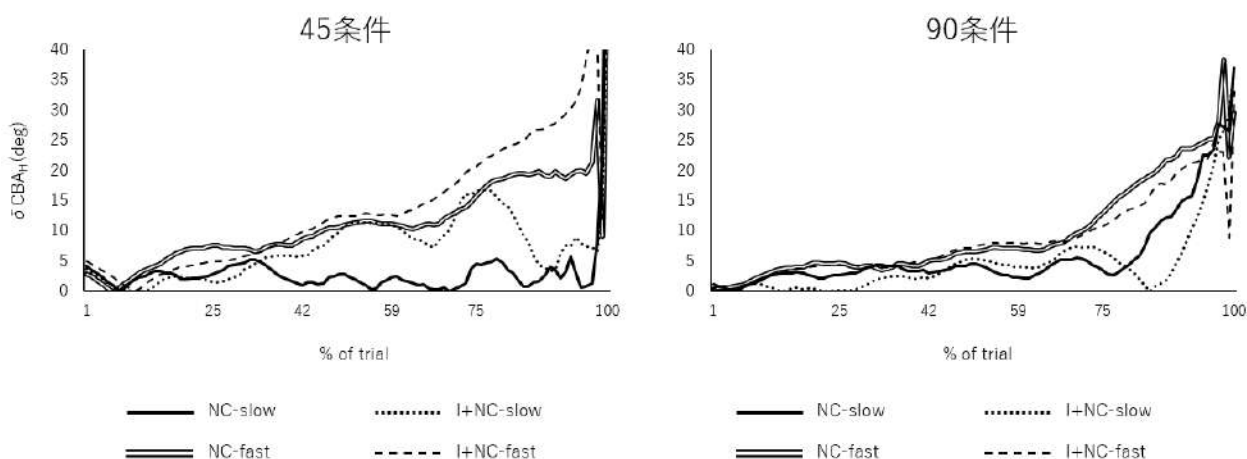


Fig.6.5 各条件における δCBA_H の変化の一例

左図は45条件の、右図は90条件の δCBA を示している。横軸は1試技を100%規格化したものである。統計的検定における局面要因においては本図の25%、42%、59%、75%のデータを抽出し分析の対象とした。

Table.6.4 異なる呈示条件課題の遂行時の δCBA

呈示条件		(deg)							
		NC				I+NC			
		slow		fast		slow		fast	
速度	角度	45	90	45	90	45	90	45	90
局面1	Mean	1.35	2.21	6.30	4.46	2.39	1.88	5.55	3.99
	SD	(1.08)	(0.97)	(1.81)	(0.86)	(2.20)	(3.50)	(3.60)	(0.79)
局面2	Mean	1.26	2.13	8.49	5.43	4.58	2.12	7.60	5.47
	SD	(0.86)	(1.76)	(1.15)	(0.88)	(4.36)	(1.90)	(3.99)	(1.29)
局面3	Mean	2.56	2.58	9.50	6.96	7.18	2.82	8.61	7.12
	SD	(1.78)	(2.28)	(1.81)	(1.41)	(7.24)	(2.49)	(4.64)	(1.96)
局面4	Mean	4.52	4.26	13.33	11.09	8.45	5.66	12.11	11.41
	SD	(4.56)	(3.12)	(3.44)	(2.31)	(8.38)	(3.01)	(6.60)	(2.34)

次に、速度の2水準 (slow, fast) のそれぞれについて呈示条件×角度の単純交互作用を分析した。その結果、slowにおいて有意差が見出された ($F(1,28)=5.76, p<0.05$) ことから、単純・単純主効果検定を行った結果、I+NC-slow ($F(1,56)=7.05, p<0.05$) において90条件よりも45条件で有意に大きな誤差を示した。次に、

fast における単純交互作用検定を行った結果、有意差は見出されなかった ($F(1,28)=0.61, p>0.05$).

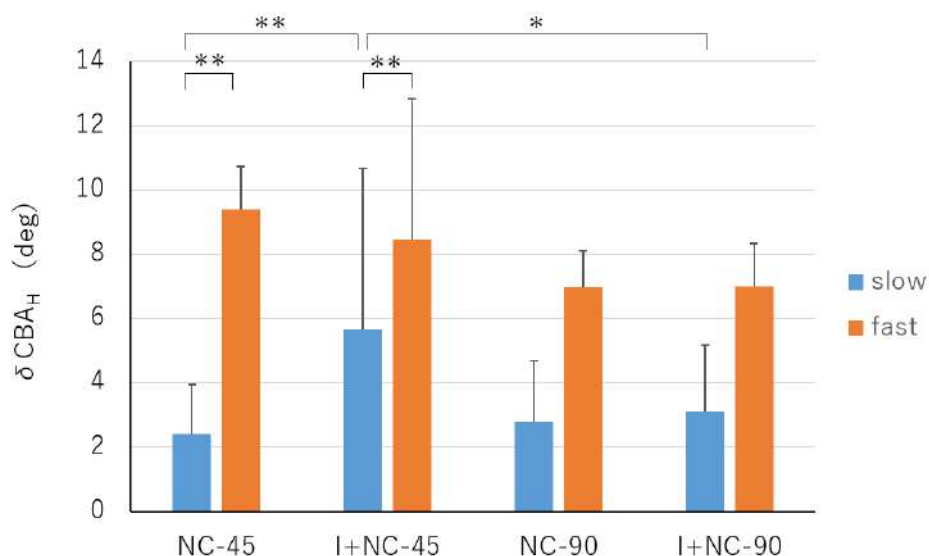


Fig.6.6 呈示条件、速度及び角度の違いによる δCBA_H

呈示条件×速度×角度の2次の交互作用が有意であったことを踏まえ、単純交互作用及び単純・単純主効果の分析を行った。上図は単純・単純主効果の結果を示したものである。 * $p<0.05$ ** $p<0.01$

6.3.3 %HDA の変化

Fig.6.7 は被験者 1 名 (Fig.6.5 と同一被験者) の各条件における%HDA の変化を表している。ターゲットに対する%HDA について対応のある 4 要因分散分析を行った (Table.6.5)。その結果、呈示条件 ($F(1,14)=11.32, p<0.01$)、角度 ($F(1,14)=45.81, p<0.01$)、局面 ($F(1,14)=9.56, p<0.01$) の主効果が有意であった。また、呈示条件×角度の 1 次の交互作用が有意であった ($F(1,14)=7.91, p<0.05$)。このため、単純主効果の検定を行ったところ、45 条件 ($F(1,28)=5.24, p<0.05$)、90 条件 ($F(1,28)=16.71, p<0.01$) の両条件において NC よりも I+NC で高い値を示し、NC ($F(1,28)=51.35, p<0.01$) 及び I+NC ($F(1,28)=15.70, p<0.01$) それぞれにおいて 90 条件よりも 45 条件で高い値を示した (Fig.6.8)。これらのことから捕捉行為課題中の頭部の変位は速度変化の影響を受けることに加えて、ターゲットとの距離の違いも影響するといえる。

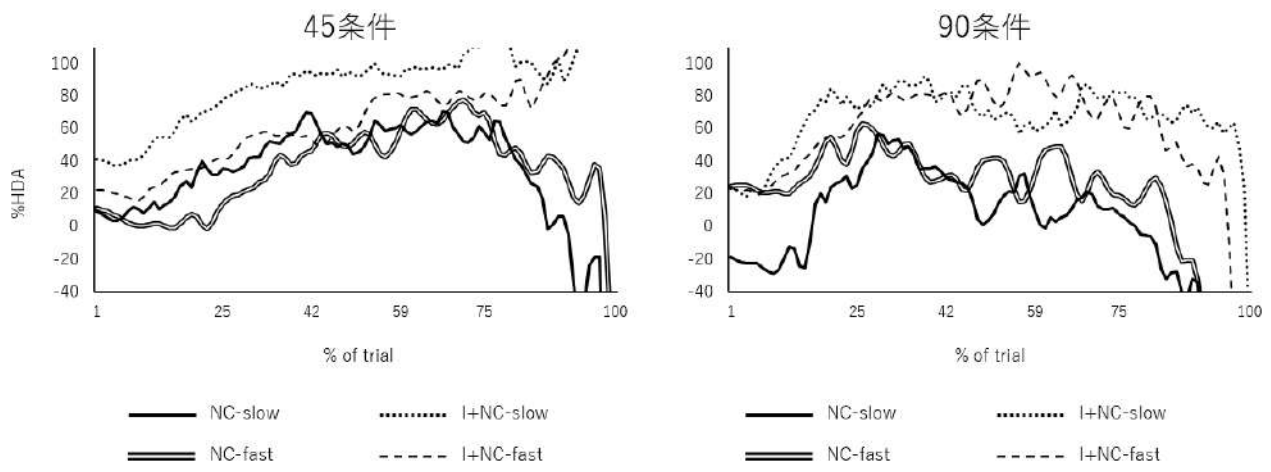


Fig.6.7 各条件における%HDAの変化の一例

左図は45条件の、右図は90条件の%HDAを示している。100%に近づくほど頭部が到達地点方向を向いていることを意味し、0%に近づくほどターゲット方向を向いていることを意味する。負の値の場合はターゲットよりもスタート地点方向を向いていることを意味する。

Table.6.5 異なる呈示条件課題の遂行時の%HDA

呈示条件		%							
		NC				I+NC			
		slow		fast		slow		fast	
速度	45	90	45	90	45	90	45	90	
角度	45	90	45	90	45	90	45	90	
局面1	Mean	36.46	23.00	23.44	21.12	44.52	45.52	39.10	48.63
	SD	(20.39)	(25.52)	(21.59)	(22.53)	(16.30)	(20.10)	(20.33)	(27.19)
局面2	Mean	42.94	16.74	44.30	20.87	54.79	39.54	58.42	50.60
	SD	(17.77)	(22.33)	(21.94)	(17.07)	(20.63)	(25.46)	(20.58)	(24.47)
局面3	Mean	46.87	17.50	49.19	32.03	57.02	37.67	64.66	50.49
	SD	(17.21)	(26.84)	(22.62)	(28.84)	(24.44)	(27.47)	(18.41)	(30.57)
局面4	Mean	57.86	19.24	49.61	15.76	66.64	38.88	70.29	42.12
	SD	(20.95)	(26.30)	(29.55)	(34.48)	(25.59)	(32.11)	(22.34)	(30.12)

6.4 考察

本研究は、ターゲットの速度変化が生じる課題と等速で移動する課題をランダムに呈示した I+NC 条件と、ターゲットの速度変化が生じない課題を遂行する NC 条件を比較することにより、ターゲットの速度変化が捕捉行為の方略にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とした。さらに、捕捉課題遂行中の頭部の変位の特徴について検討した。

まず、反応の正確性の指標である AE ではすべての要因に有意差が見られなかった。他方、反応の偏向を意味する CE の結果では、fast 条件で反応が遅延し、slow 条件で尚早となった。また、90 条件の方が 45 条件よりも反応が遅延した。つまり、捕捉のタイミングには速度及び角度が影響していることが示された。

δCBA_H に関して、slow-90, fast-45, fast-90 の各条件では呈示条件の影響を受けずに課題を遂行していたといえ、予測が成り立つ環境下での先行研究と類似の結果となった。これに対して、slow-45 では NC よりも I+NC の誤差が大きくなることが明らかになったことから、ターゲットとの距離が短く、低速の場合は速度変化の影響を受け CBA 方略が成立しない可能性が見出された。

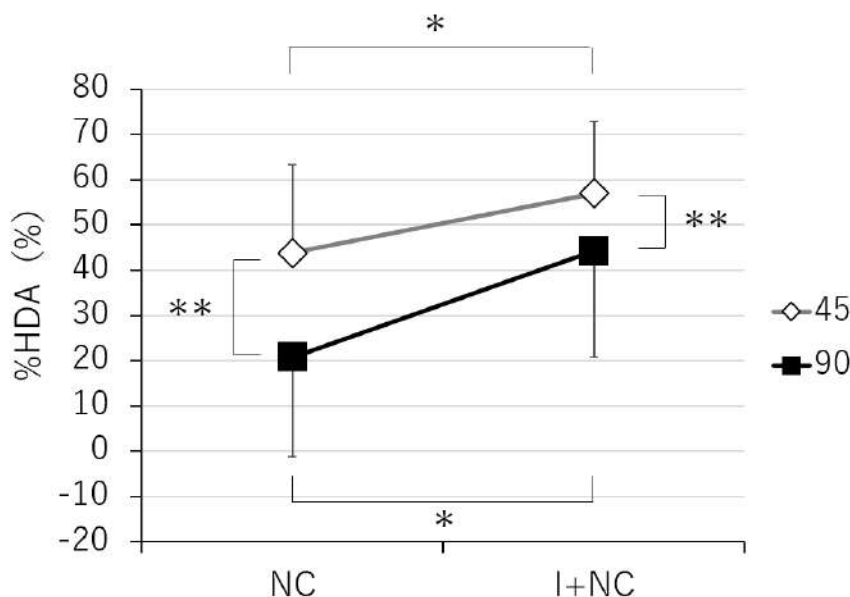


Fig.6.8 呈示条件及び角度の違いによる%HDAの変化

呈示条件×角度の交互作用における単純主効果の検定結果を示した。このため、本図では速度及び局面要因の影響は除外してある。なお、縦軸0%が移動中のターゲット方向、100%が到達地点方向を意味する。* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

この slow-45 のみ呈示条件（速度変化）の影響が見出された点について検討するために、I+NCにおける速度についての比較（fast-45 との比較）と角度についての比較（slow-90）を行う必要がある。まず、速度についての比較では、fastの方がslowよりも1試行に要する時間が短い。一致タイミングが求められる課題では、動作速度が速い方が優れたタイミングを示す（Newell et al., 1979）ことから、動作速度が低速であるslowにおいて、捕捉行為に至るまでの過程を反映する δCBA_H の誤差が増大したと考えられる。被験者が行うと想定される一つの方略としては、slowでは移動開始を極端に遅らせて動作速度を高速にする方略である。しかし、ターゲットの移動速度に合わせて移動することを要求していたことから、移動速度を低速にせざるを得ない。結果として δCBA_H の誤差が増大したと考えられる。また、一致タイミング課題においては被験者の動作速度

だけではなく、ターゲットが速い場合の方が遅い場合よりもタイミング誤差が少なくなるという先行研究 (Haywood, 1977) からも、本研究結果が速度の影響を受けたことが示唆される。

続いて、I+NC 条件における 90 条件 (slow-90) の場合、ターゲットと到達地点を視認するための視野角が関係していると考えられる。CBA 方略によれば、視認によるターゲットの視野角の連続的なサンプリングに基づいて課題が遂行される。90 条件ではターゲットと到達地点を視認するために必要な視野角が小さくて済むため、著しい速度変化が生じない限りは周辺視野によりターゲットと到達地点を視認することが可能である。事実、捕捉が成立しないような著しい速度変化が生じるようなパターンの呈示は行われていない (表 2 参照)。他方で、45 条件ではターゲットと到達地点を視認するためにはより大きな視野角を要すると考えられる。このことが δCBA_H を増大させたと考えられる。

他方で slow-90 も低速課題であるため、誤差が大きくなる可能性があるが、視野角の影響により、誤差が小さいと考えられる。同様に、fast-45 も角度の影響を受けることが考えられるが、速度と正確性の関係にみられるように速度の影響が強く働いたのかもしれない。なお、局面と他の条件との交互作用は見られなかったことから、本研究では局面による捕捉方略の違いを見出すことはできなかった。

I+NC-45 では、急激な速度変化に対応するために CBA 方略ではなくどのような捕捉方略に基づいて課題を遂行していたのかを検討する必要がある。すなわち予期的な制御について言及すると、Marinovic et al. (2009) は野球のバッティング動作を用いた捕捉課題を行い、赤色のターゲットが到達地点に向けて移動しているが被験者がそれに反応しない条件と、赤色のターゲットが移動している最中に緑色に変化したら打球動作を開始しなければならない条件を設け、これらをランダムに呈示し遂行させた実験を実施した。その結果、ターゲットの色が赤色から緑色に変化するタイミングが動作開始前 150ms 以下の場合には動作時間の短縮を示した。それとは対照的に、200ms よりも長い場合は動作時間の増大を示した。この報告からいえることは、捕捉課題においてあらかじめ不規則な変化が生じずターゲットの到達がわかっている場合とは異なり、いつターゲットの変化が生じるかが不明な状況で課題を遂行しなければならない場合は、動作時間の変化を算出するための予期的な情報処理を行っていることである。つまり、捕捉行為遂行中に速度変化が生じる可能性がある本研究の I+NC においても、ターゲットの変化に対する予期が生じていた可能性がある。さらにこの予期が捕捉方略の正否に影響を与えていたことが考えられる。ただし、この先行研究は Go/No go 課題であり、捕捉課題中に速度変化が生じる可能性がある課題とは異なるため今後、詳細な検討が必要である。

%HDA に関して、呈示条件×角度の交互作用の分析結果から、NC よりも I+NC の方がターゲットに対する

到達地点方向への頭部の変位がより大きくなることを見出された。また、呈示条件にかかわらず 90 条件よりも 45 条件で頭部の変位が大きくなることが明らかとなった。頭部の変位に影響を与える要因は速度変化の予期だけではなく、被験者とターゲットの位置関係も含まれるということである。他方で速度は影響しないことも明らかとなった。すなわち、本研究における I+NC の課題の遂行のために被験者には、ターゲットの速度変化の予期、到達地点と被験者自身の間の距離の知覚が求められる。これらを同時的に実行するために CBA 方略と連動した頭部の変位が機能していた可能性がある。

ターゲットの移動速度の変化が不確定であれば、ターゲットを視認する必要があり、それに付随して頭部もターゲット方向を向く (Bongers and Michaels, 2008) ことから、本研究の I+NC において課題遂行中の被験者はターゲット方向を向く可能性が考えられる。しかし分析の結果、NC よりも I+NC で高い %HDA を示した。この結果に対して、ターゲットの移動に対する目と頭部の分離した活動が生じることが報告されている (Ron and Berthoz, 1991) ことから、予期が生じる条件下では等速で移動する課題を捕捉する場合とは異なり、頭部を到達地点方向へ変位させることによって被験者と到達地点間の距離を知覚するとともに、ターゲットの速度変化に備えて周辺視野でターゲットを捉えることによって、結果として、I+NC において頭部が先行していたと推察される。あるいは、ターゲットの到達に被験者自身が間に合わないことを避けるためにターゲットの視認よりもターゲット方向へ被験者自身が適切に進むことが優先されたのかもしれない。また、%HDA の呈示条件による違いは、45、90 の両条件で生じるという特徴が見出された。このことは CBA 方略に基づいて課題を行っていたとしてもターゲットの速度変化が生じる可能性に備えて到達地点方向へ頭部を向けていた可能性が考えられる。仮にそうであるならば、限定的ではあるが予測が困難な捕捉行為事態では運動実行者には到達地点方向へ頭部を向ける性質が存在する可能性が示唆される。ただし、本研究課題は呈示条件 (NC, I+NC)、角度 (45°, 90°)、速度 (slow, fast) が限定されたものであるため、一般化に向けては慎重かつ詳細な知見の蓄積が必要である。

また、本研究では 90 条件におけるターゲットの捕捉が遅延する一方で、45 条件では正確性の高い捕捉を行っていた。さらに、45 条件では 90 条件よりも頭部を到達地点へ変位させるという結果が得られた。Biguer et al. (1984) は頭部を固定せず自由に動かせる状態にした場合の指のポインティング課題の正確性は、頭部を固定した時よりも正確であったことを報告している。つまり、頭部の自由度が運動課題の正確性を向上させることから、ターゲットの捕捉課題では頭部の自由な変位が課題遂行のための動作の正確性に寄与している可能性がある。

外部環境と運動実行者の行為の関係については、これまで視覚探索方略（加藤，2004）やサックード（小島，2015）の作用など眼球運動による視覚情報入力と行為の関係性について検討されてきた。捕捉行為とは本来，対象物の加速度の知覚等の面から検討されてきた側面があるため，眼球運動等から生じる視覚情報入力との関係について検討していく必要がある。また，眼球運動や視覚情報の役割は，受容器としての視覚と効果器としての身体の協応という明確な機能分担と統合のメカニズムを扱うことを背景にしている。それに対して，不確定事態における頭部の先行動作が意味するものは，身体の誘導（maneuver）のための機能的役割の可能性である（Hollands et al., 1995 ; Patla et al., 1999）。今後は捕捉行為において視覚情報の重要性のみではなく，頭部やその他身体要素の安定性（Pozzo et al., 1990）と技能遂行の関係性について検討する必要がある。さらに，本研究で用いた δCBA_H は頭部座標をもとに算出しているため，I+NC の slow-45 の課題では被験者の身体中心（body center of mass）が CBA_H よりも先行していたというよりは体幹を前傾させることによって頭部が先行していた可能性がある。したがって，歩行動作そのものを対象とし，身体各部位のキネマティクスと捕捉行為の関係性について明らかにする必要がある。

最後に，今後の課題として以下の点が挙げられる。まず，本研究は I+NC 呈示条件の後に NC 条件を行った。両条件間に 6 ヶ月のインターバルを設けていたとはいえ順序効果の影響を完全に排除することができていない。そこで，被験者間でカウンターバランスをとるなど順序効果の影響を相殺するような実験の実施が求められる。次に，本研究は 30Hz の周波数によるデータ抽出を行っているため，測定精度が高いとはいえない。このため，サンプリング周波数の高いビデオカメラを利用することや，到達地点にフォースセンサーを設置しターゲットの移動と指の接触によるフォースセンサーへの荷重を同期することなどによって測定精度の向上を図る必要がある。また，本研究では 1 被験者につき各条件を 3 試行のみ遂行させたが，より妥当性の高い実験データを得るために，試行数を増加させることが必要である。

第7章 総合考察

7.1 本論文の要約

本研究は、環境情報の不確実性が身体運動のタイミングの学習及び制御にどのように影響するのかを明らかにすることを目的とし、一連の研究を行った。系列的性質を持つ運動課題は連続的なタイミングの発揮が要求されるとともに、正確なパターンの遂行が必要となる。他方、実際の運動場面では運動遂行に必要な情報が不足することもあり、不確実な環境下では学習や制御が求められることも想定される。このような事態での身体システムの学習や制御について理解することは、円滑な運動の実行のために大変重要である。本研究ではこのように環境が不確実な事態を想定した上で実験を行った。以下では本論文で行った実験的検討の要約を記す。

運動学習の主要な問題のひとつに練習スケジュールの効果があり、従来から効果的な運動スキルの獲得のための練習方略について実験的に検討されてきた。すなわち、単一の運動課題を繰り返し遂行するよりも複数の課題をランダムに遂行の方が比較的永続的な学習へ寄与するとされる文脈干渉効果である。しかし、この文脈干渉効果におけるランダム呈示は本来自然科学領域で採用されるランダムネスの性質を有しているものはほとんどなく、課題の呈示方法に問題があるといわざるを得ない。そこで第3章と第4章ではこのランダム呈示方法に着目し、文脈干渉効果のパラダイムに一樣ランダム呈示を採用することにより学習のパラドックスに対する一樣ランダム呈示の影響を検討した。文脈干渉効果のランダム条件の反応様式を検討する前に、一樣ランダム刺激に対して被験者の情報処理機構を明らかにしておく必要があった。そこでまず、2章において一樣ランダム刺激に対する反応処理様式を検討した。刺激要素数（3個-5個）×ISI（300ms-600ms）の12条件を各被験者へ呈示し、刺激を追従することを求めた。主要な従属変数は4つの反応測度の比率と無反応を除く全ての反応の間隔時間であった。また、反応間隔時間について、連の検定を行った。結果は一樣なランダム刺激に対して各反応測度の比率が一樣に分布しており、被験者の反応は系列パターンの構造を持たない一樣なランダム刺激呈示を忠実に反映する結果となった。このことから被験者の反応は刺激要素及びISIに強く依存しており、文脈依存性とは反対の特徴が見出された。すなわち、文脈干渉効果のランダム条件に、一樣ランダム呈示を適用するとパフォーマンスの向上は見込めないことが示唆される。そこで、第3章ではブロック条件、シリアル条件と一樣乱数に基づく課題呈示を行うランダム条件を、特に習得段階中の各反応の比率の変化について比較した。ブロック群は課題の遂行とともに見越し反応が増加し、無反応、

誤反応、正反応が減少するという反応測度間の相補的交替が見られた。他方、シリアル群とランダム群は習得段階を通してパフォーマンスの向上は見られなかった。特にランダム群の各反応の比率に変化は見られず均質な反応分布を示した。このことは一様ランダム刺激呈示が習得段階のパフォーマンスを改善しないことを示すものである。保持及び転移段階ではブロック群がシリアル群とランダム群よりも優れた反応を示した。しかし、第3章で行った実験は学習効果を評価するための保持及び移課題を各条件の習得段階で行った条件と同一としたため、各呈示条件間を比較して議論するには限界があった。そこで第4章では従来から文脈干渉効果で採用されている保持及び転移段階のパフォーマンスの評価法を採用した実験を行った。すなわち、習得段階においてブロック条件とランダム条件を比較し、保持及び転移段階では、習得段階でブロック呈示を受けた被験者の半数をブロック条件とランダム条件に均等に割り当て、習得段階でランダム呈示を受けた被験者の半数を同様にブロック条件とランダム条件に均等に割り当てた。結果は第3章の結果同様に習得段階では、ブロック群は習得試行を通して多くの見越し反応を出現させた。他方、ランダム群は各反応の比率に変化は見られず均質な反応を示した。習得段階での呈示条件が学習にどのように影響するかを比較すると、保持段階ではブロック条件の方が多くの見越し反応を出現させた。また、ランダム条件では習得段階と同様に反応の比率に変化が見られなかった。また転移段階では保持段階と同様の結果を示したものの、短縮したISIの影響を受け両条件ともに成績の低下が見られた。これらのことは、習得段階におけるランダム呈示が学習にとっては必ずしも有効ではないことを裏づけるものである。さらに、先行研究におけるランダム練習では弁別的で精緻な情報処理がパフォーマンスの促進に寄与しているといわれているが、本実験の結果ではむしろブロック条件の方が系列要素の相互作用による精緻な情報処理を行っていることが明らかとなった。そこで、第5章以降では前章までのブロック条件に相当する繰り返し系列の運動課題を対象にして系列パターンの組織化の過程を検討した。

第2章から第4章までは刺激-反応の関係を強調した系列追従課題を用いて実験を行ってきた。しかし、環境に内在するパターンに対する正しい動作やエラー情報といったように、自らの動作結果によって生じるフィードバック情報を利用し、運動パターンを習得する事態も存在する。そこで第5章ではこの推測反応による系列パターンの習得に焦点を当て、熟練スキルと関係づけて議論した。まず、系列パターンの過剰学習によって得られる冗長度と動作の高速化の関係を検討した。被験者は推測による反応から生じるフィードバック情報を頼りに系列パターンを習得し、できるだけ速く課題を遂行することを求められた。また、200試行という長い試行数を設定し、系列パターン習得後も過剰学習させた。結果は、学習初期は誤反応が多く出

現したが課題の遂行に伴って徐々に正反応が増大していく傾向を示した。また、体制化率、系列化、系列依存的体制化、系列に依存しない体制化の4つの指標を用いて系列パターンの組織化の過程を検討した。すると、学習初期は基準パターンとの一致度に関係なく主観的なまとまりを形成し、その後徐々に基準系列パターンに則った反応の形成をすることが明らかとなった。つまり、主観的かつ不正確な反応を減少しつつ、外的基準と一致した客観的な反応を示すことが見出された。すなわち、系列要素を精緻に関係づけることによって巨視的な秩序を形成し、このことが反応速度の高速化に大きく貢献していることが明らかになった。また、この一連の過程で不確定度を減少させ、冗長度を増大させる傾向を示したことから、課題遂行に伴う既知の情報量の増大が系列依存的なパターンの組織化に寄与するものと思われる。

前章までは系列パターンに焦点を当て、被験者の反応から各種分析項目を検討してきた。すなわち、利き手指を用いたタッピング課題であった。全身運動を伴うタイミング課題におけるタイミングと不確実性について検討するため、第6章では被験者の移動及び反応が求められる捕捉行為課題を用いて、予測が困難な事態での被験者の反応特性を検討した。ターゲットが等速で移動する課題のみを遂行するNC条件と、不規則に変化する呈示パターン及び等速課題をランダム呈示した場合をI+NC条件とし両者を比較した。比較するための測度として、 δCBA_H と%HDAを用いた。 δCBA_H は捕捉行為時には被験者とターゲットとの協調の程度の測度を意味する。HDAは被験者の頭部の方位がターゲットと到達地点の間のどこに位置しているかを示す測度を意味する。これらを呈示条件、速度、角度、局面の過程に基づいて分析した。主要な結果を以下に示すと、 δCBA_H では45°の低速課題においてはNC条件に比してI+NC条件の誤差が増大した。そしてHDAはI+NC条件の方がNC条件よりも到達地点方向を向く傾向を示した。このことからターゲットの変化が不確実な状況下において、課題遂行中のターゲットとの距離が短く、速度が低速の場合では予期的な制御を伴った捕捉行為が行われる可能性が見出された。

7.2 今後の研究課題

7.2.1 刺激の不確実性の学習への応用

第2章から第4章までの研究は不確実な刺激事態を扱ったが、現実のスポーツ場面でも予測不可能な事態が存在する。それは、対戦相手の選手が運動実行者自身の知覚を不確実なものとして認識させようとする行為の裏返しであることも解釈できる。しかし、一見不確実を感じる対戦相手やその他の環境においても何らかの秩序があり、この秩序を見出すことが試合の勝敗を分けたり、技能の習熟に大きな影響を与えるのであろう。

運動学習に限ってみても、予期や見越し反応といった行為は未来の環境の状態を先取りする行為である。運動の未熟練者はこの未来の先取りを行う力が不十分である。言い換えれば、運動技能の学習や制御は環境を見越す力を身につけることと大きな関わりを持つといえる。これらを踏まえ、環境の不確実性の程度が学習に与える影響についての研究が進めば、運動実行者の学習の水準に応じた課題の不確実性や複雑性を考慮した効率よい学習システムの提供が可能となるかもしれない。ただし、この取り組みには更なる研究を待たなければならない。

7.2.2 冗長性の適応制御機能への貢献度の問題

本論文では第5章でランダム刺激呈示に果たす冗長度の役割を検討してきた。この実験の意義は、習得段階において増大した冗長度がその後の環境変化にいかに関与するかを検討するために、まずは最も混沌とした環境内でどのような刺激処理を行うのかを明らかにすることにあった。しかし、現実の世界では、真にランダムな刺激に拘束される事態はほとんどなく、我々が獲得すべき構造には何らかの規則性が潜んでいる。そこで、環境内の規則性を見出す方略を明らかにすることが必要である。そして、これを繰り返し遂行する過剰学習によって増大した冗長度がその後の構造パラメータの変化（本研究のS-R事象での刺激呈示順序に相当）に対する適応制御（調枝, 1996）に与える影響についての問題が重要となる。すなわち、冗長度といった動作の余裕がその後の環境変化に対してどのような役割を果たすのかという側面から今後検討を加える必要がある。

7.2.3 タイミングと身体変数にかかわる精緻な分析

第2章から第5章まで、刺激呈示とそれに対する反応キーによる反応を通じた実験を行った。また、本論文では被験者の反応からその情報処理過程を推察する立場をとった。運動行動と知覚や認知機能の関連性のみ焦点当ててきた。多くのスポーツでは全身の運動要素の協応が求められるため、反応キーによる反応だけでは実際の運動行動を理解するには限界がある。このため、全身の協応構造に着目してタイミング制御との関係性を理解していく必要がある。ただし、上記のように全身運動を伴う運動現場へ適用した場合、多くの変数が付加され、運動の組織化としては急激に複雑さを増すことが考えられる。第6章では頭部前部、頭頂部、頭部後部、右手甲、ターゲットの座標位置にのみ限定した解析を行った。この意図は、全身運動を扱いつつも可能な限り少ない変数で分析を試みることにあった。本研究全体を通しては、刺激-反応の機能のみの

実験から、全身運動を伴うシステムの機能に拡張したわけであるが、この拡張の際に、解析に利用する変数を可能な限り少なくしつつ反応キーによる実験の知見を反映させることを試みた。このように、単純な機能的側面の解明からより複雑な運動へ適用の範囲を広げていくことも有効な手法となると考えられる。この点でいうと、本研究の第6章は複雑な協応構造の理解という視点では、タイミングの機能に着目した基礎的かつ単純な研究と言い換えることもできるため、多くの身体変数を用いたより実践的かつ複雑な運動について精緻な解析が求められる。

7.2.4 スポーツの実践場面への適用

近年では、スポーツ科学の知見に基づいたトレーニングが提案されている。スポーツ心理学においても同様で、スポーツ事象における行動や運動パフォーマンスの成果から心理的な普遍性を見出す試みがなされている（荒木, 2011）。予測の速さや正確性の向上を目的とした知覚トレーニングやスポーツの実力発揮のためのメンタルトレーニング（心理的スキルトレーニング）などはこれまでの知見の積み重ねの上に成り立っているといつてよい。本研究で得られた知見もこれらスポーツ心理学を基盤としたスポーツ科学への貢献が期待できる。さらに、実際の体育やスポーツなどの運動の実践現場へ適用させるべくさらに研究を継続していく必要がある。

7.3 結論

本研究では、不確定事態における情報処理に焦点を当てた一連の実験を行なった。そこで明らかとなったことは次の点である。

1. ランダムネスの性質は運動の学習には直接的には貢献しない。
2. 反応不確定事態の学習課題では、不確定度と冗長度の算出によって学習の成立過程を定量化できる。
3. 環境変化に応じなければならない事態では予期的制御が行われる可能性がある。

注

注 1) すべての被験者に対して実験の前に、研究の内容を詳細に説明した。そして個人情報に厳重な管理について十分に説明を行い、理解を得た。そして、口頭にて同意を得た。また、課題内容に精通した者を被験者にした場合、実験に関する知識と経験が反映される余地があり、実験データの妥当性が保障できないと考

えた。そのため、被験者の選定に当たっては、課題内容に精通している可能性のあるスポーツ心理学領域の大学院生、大学生には被験者の依頼はせず、すべての被験者は当該領域以外の者を採用した。

注 2) 先行研究ではターゲットが到達地点に到達する時間や場所を予測することを *anticipation*, *prediction*, *prosppection*, *expectation* など研究者間で異なる用語を用いている。本研究ではこの意味で使用する場合は予測 (*prediction*) として統一した用語を用い、不規則変化へ対応するための機能を意味する用語を予期 (*anticipation*) として用いた。

引用文献

- Adams, J. A. (1971) A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-149.
- 安藤幸・調枝孝治 (1993) 運動課題の自由再生における体制化: 1+1 提示法を用いて 鳴門教育大学研究紀要 (生活・健康系), 8, 49-64.
- 荒木雅信 (2011) これから学ぶスポーツ心理学. 大修館書店.
- 荒木勉・栗原和夫 (2000) Excel で学ぶ経営科学入門シリーズIV シミュレーション. 実教出版.
- Attneave, F. (1959) Applications of information theory to psychology. フレッド・アットニューブ/小野茂・羽生義正 共著 心理学と情報理論 -基本概念, 方法, 結果- (榊ラティス発行, 丸善・販売元 (1968)
- Bastin, J., Craig, C., & Montagne, G. (2006) Prospective strategies underlie the control of interceptive actions. *Human Movement Science*, 25, 718-732.
- Battig, W. F. (1972) Intratask interference as a source of facilitation in transfer and retention. In R. F. Tompson and J. F. Voss (Eds.), *Topics in learning and performance*. New York: Academic Press. Pp131-159.
- ベルトラミ E. (著) 好田順治・今井幹晴 (訳) (2002). ランダム -数学における偶然と秩序-. 青土社.
- ベルンシュタイン, N. A. (著) 工藤和俊・佐々木正人 (訳) (2003) デスクテリティ: 巧みさとその発達. 金子書房.
- Biguer, B., Prablanc, C., & Jeannerod, M. (1984) The contribution of coordinated eye and head movements in hand pointing accuracy. *Experimental Brain Research*, 55, 462-469.
- Bongers, R. M. & Michaels, C. F. (2008) The role of eye and head movements in detecting information about fly balls. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1515-1523.
- Bootsma, R. J. and Van Wieringen, P. C. W. (1990) Timing an attacking forehand drive in table tennis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 21-29.
- Boyce, B. A., & Del Rey, P. (1990) Designing applied research in a naturalistic setting using a contextual interference paradigm. *Journal of Human Movement Studies*, 18, 189-200.
- Bousfield, A. K., & Bousfield, W. A. (1966) Measurement of clustering and of sequential constancies in reported free recall. *Psychological Report*, 19, 935-942.
- Chardenon, A., Montagne, G., Laurent, M., & Bootsma, R. J. (2004) The perceptual control of goal-directed locomotion:

- a common control architecture for interception and navigation? *Experimental Brain Research*, 158, 100-108.
- Chardenon, A., Montagne, G., Laurent, M., & Bootsma, R. J. (2005) A robust solution for dealing with environmental changes in intercepting moving balls. *Journal of Motor Behavior*, 37, 52-64.
- Chohan, A., Savelsbergh, G. J., Van Kampen, P., Wind, M., & Verheul, M. H. (2006) Postural adjustments and bearing angle use in interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 171, 47-55.
- Chohan, A., Verheul, M. H. G., Van Kampen, P. M., Wind, M., & Savelsbergh, G. J. P. (2008) Children's use of the bearing angle in interceptive action. *Journal of Motor Behavior*, 40, 18-28.
- 調枝孝治 (1972) タイミングの心理 不昧堂出版
- 調枝孝治 (1987) 自己組織系としての人間の運動学習. 広島大学総合科学部紀要VI, 保健体育学研究, 4, 11-21.
- 調枝孝治 (1991) 予測行動と学習. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 10, 672-675.
- 調枝孝治 (1996) ダイナミック・パターン形成のタイミング 松田文子・調枝孝治・甲村和三・神宮英夫・山崎勝之・平伸二 心理的時間. 北大路書房.
- Conrad, R. (1955) Timing. *Occupational Psychology*, 29, 173-181.
- Cuddy, L. J., & Jacoby, L. L. (1982) When forgetting helps memory: an analysis of repetition effects. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21, 451-467.
- Del Rey, P. (1982) Effects of contextual interference on the memory of older females differing in levels of physical activity. *Perceptual and Motor Skills*, 55, 171-180.
- Del Rey, P., Wughalter, E. H., DuBois, D., & Carnes, M. M. (1982) Effects of contextual interference and retention intervals on transfer. *Perceptual and Motor Skills*, 54, 467-476.
- Del Rey, P., Liu, X., & Simpson, K. J. (1994) Does retroactive inhibition influence contextual interference effects? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65(2), 120-126.
- Dienes, Z. & McLeod, P. (1993) How to catch a cricket ball. *Perception*, 22, 1427-1439.
- 銅谷賢治・阪口 豊・五味裕章・川人光男 (2005) 脳の計算機構—ボトムアップ・トップダウンのダイナミクス. 朝倉書店.
- Dubrowski, A., Lam, J., & Carnahan, H. (2000) Target velocity effects on manual interception kinematics. *Acta Psychologica*, 104, 103-118.

- 江原義郎 (1991) ユーザーズ デジタル信号処理. 東京電気大学出版局.
- Ericsson, K. A., and Smith, J. (1991) Prospects and limits of the empirical study of expertise: An introduction. In K. A. Ericsson and J. Smith. (Eds.), *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 1-38.
- Fajen, B. R. & Warren, W. H. (2004) Visual guidance of intercepting a moving target on foot. *Perception*, 33, 689-715.
- Frick, F. C., & Miller, G. A. (1951) A statistical description of operant conditioning. *American Journal of Psychology*, 64, 24-36.
- Gabriele, T. E., Hall, C. R., & Buckolz, E. E. (1987) Practice schedule effects on the acquisition and retention of a motor skills. *Human Movement Science*, 6, 1-16.
- Gabriele, T. E., Lee, T. D., & Hall, C. R. (1991) Contextual interference in movement timing: specific effects in retention and transfer. *Human Movement Science*, 20, 177-188.
- Gibson, J. J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Milton. (古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬旻共訳(1985). 生態学的視覚論. 東京:サイエンス社.)
- Giuffrida, C. G., Shea, J. B., & Fairbrother, J. T. (2002) Differential transfer benefits of increased practice for constant, blocked, and serial practice schedules. *Journal of Motor Behavior*, 34, 353-365.
- Goode, S., & Magill, R. A. (1986) Contextual interference effects in learning three badminton serves. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57, 308-314.
- Green, S., & Sherwood, D. E. (2000) The benefits of random variable practice for accuracy and temporal error detection in a rapid aiming task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71, 398-402.
- ハーケン, H. 牧島・小森(訳) (1980) 共同現象の数理. 東海大学出版会.
- Hall, K. G., Domingues, D. A., & Cavazos, R. (1994) Contextual interference effects with skilled baseball players. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 835-841.
- Hall, K. G., & Magill, R. A. (1995) Variability of practice and contextual interference in motor skill learning. *Journal of Motor Behavior*, 27, 299-309.
- Hayhoe, M. M., McKinney, T., Chajka, K., & Pelz, J. B. (2012) Predictive eye movements in natural vision. *Experimental Brain Research*, 217, 125-36.
- Haywood, K. M. (1977) Eye movements during coincidence-anticipation performance. *Journal of Motor Behavior*, 9,

313-318.

- Hollands, M. A., Maple-Horvat, D. E., Henkes, S., & Rowan, A. K. (1995) Human eye movements during visually guided stepping. *Journal of Motor Behavior*, 27, 155-163.
- Immink, M. A., & Wright, D. L. (2001) Motor programming during practice conditions high and low in contextual interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 423-437.
- Isaacs, L. D. (1983) Coincidence-anticipation in simple catching. *Journal of Human Movement Studies*, 9, 195-201.
- 石川尚子 (1973) 運動反応の速度と正確さにおよぼす刺激系列の冗長度の効果. 教育心理学研究, 21, 90-101.
- 岩原信九郎 (1963) 推測反応系列におよぼす年齢および反応時間間隔の効果: 情報理論による分析. 東京教育大学教育学部紀要, 10, 69-80.
- 岩原信九郎 (1964) 新しい教育・心理統計 ノンパラメトリック法. 日本文化科学社.
- 加藤貴昭 (2004) 視覚システムから見た熟練者のスキル. 日本スポーツ心理学会編, 最新スポーツ心理学-その軌跡と展望. 大修館書店, pp. 163-174.
- Knuth, D. E. (1981) Seminumerical algorithms: Random numbers. In M. A. Harrison (Ed.), *The art of computer programming*. Addison-Wesley.
- 小島泰子 (2015) サッケードの役割とその神経機構. 体育の科学, 65, 862-867.
- 小松知章・三宅美博 (2003) 同期タッピング課題における予測的挙動の時系列データ解析. 計測自動制御学会論文集, 10, 952-960.
- Lai, Q., & Shea, C. H. (1999) The role of reduced frequency of knowledge of results during constant practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70, 33-40.
- Land, M. F. & Tatler, B. W. (2001) Steering with the head: The visual strategy of a racing driver. *Current Biology*, 11, 1215-1220.
- Lee, T. D., & Magill, R. A. (1983) The locus of contextual interference in motor skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 730-746.
- Lee, T. D., & Magill, R. A. (1985) Can forgetting facilitate skill acquisition? In D. Goodman, R. B. Wilberg, & I. M. Franks (Eds.), *Differing perspectives in motor learning, memory, and control*. Amsterdam: North Holland. Pp. 3-22.
- Lee, T. D., Wishart, L. R., Cunningham, S., & Carnahan, H. (1997) Modeled timing information during random practice eliminates the contextual interference effect. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68, 100-105.

- Lee, T. D., Wulf, G., & Schmidt, R. A. (1992) Contextual interference in motor learning: Dissociated effects due to the nature of task variations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44A, 627-644.
- Lenoir, M., Much, E., Janssens, M., Thiery, E., & Uyttenhove, J. (1999) Intercepting moving objects during self-motion. *Journal of Motor Behavior*, 31, 55-67.
- Lenoir, M., Musch, E., Thiery, E., & Savelsbergh, G. J. (2002) Rate of change of angular bearing as the relevant property in a horizontal interception task during locomotion. *Journal of Motor Behavior*, 34, 385-404.
- Li, Y., & Wright, D. L. (2000) An assessment of the attention demands during random- and blocked-practice schedules. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53 A, 591-606.
- Mandler, G., & Dean, P. J. (1969) Seriation: Development of serial order in free recall. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 207-215.
- Marinovic, W., Plooy, A. M., & Tresilian, J. R. (2009) Preparation and inhibition of interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 197, 311-319.
- Marteniuk, R. G. (1976) Information processing in motor skills. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- McLeod, P. & Dienes, Z. (1996) Do fielders know where to go to catch the ball or only how to get there? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 531-543.
- Meira, C. M., Jr., & Tani, G. (2001) The contextual interference effect in acquisition of dart-throwing skill tested on a transfer test with extended trials. *Perceptual and Motor Skills*, 92, 910-918.
- Meira, C. M., Jr., & Tani, G. (2003) Contextual interference effects assessed by extended transfer trials in the acquisition of the volleyball serve. *Journal of Human Movement Studies*, 45, 449-468.
- Michaels, C. F. & Oudejans, R. R. D. (1992) The optics and action of catching fly balls; Zeroing out optical acceleration. *Ecological Psychology*, 4, 199-222.
- 三嶋博之 (2000) エコロジカルマインド：知性と環境をつなぐ心理学. NHK ブック.
- 宮武修・脇本和昌 (1978) 乱数とモンテカルロ法. 森北出版.
- Montagne, G., Laurent, M., Durey, A., & Bootsma, R. (1999) Movement reversals in ball catching. *Experimental Brain Research*, 129, 87-92.
- 森敏昭・吉田寿夫 (編) (1990) 心理学のためのデータ解析テクニカルブック. 北大路書房.
- Morice, A. H., François, M., Jacobs, D. M., & Montagne, G. (2010) Environmental constraints modify the way an

interceptive action is controlled. *Experimental Brain Research*, 202, 397-411.

中本浩揮・森司朗 (2008) 速度変化状況での一致タイミング課題における野球の熟達と運動修正との関係. 体育学研究, 53, 39-50.

Newell, K. M., Hoshizaki, L. E. F., Carlton, M. J., & Halbert, J. A. (1979) Movement time and velocity as determinants of movement timing accuracy. *Journal of Motor Behavior*, 11, 49-58.

能見義博 (1962) 系列事態の情報論的一分析. 青山学院大学文学部紀要, 6, 93-104.

Oudejans, R. R. D., Michaels, C. F., Bakker, F. C., & Davids K. (1999) Shedding some light on catching in the dark: perceptual mechanisms for catching fly balls. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 531-542.

Patla, A.E., Adkin, A., & Ballard, T. (1999) Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Experimental Brain Research*, 129, 629-634.

Payne, V. G. (1987). Effects of angle of stimulus approach on coincidence-anticipation timing performance. *Journal of Human Movement Studies*, 13, 383-390.

Peper, L., Bootsma, R. J., Mestre, D. R., & Bakker, F. C. (1994) Catching balls: how to get the hand to the right place at the right time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 591-612.

Poulton, E. C. (1974) Tracking skill and manual control. New York: Academic Press.

Pozzo, T., Berthoz, A., & Lefort, L. (1990) Head stabilization during various locomotor task in humans- I .Normal subjects. *Experimental Brain Research*, 82, 97-106.

Restle, F., & Brown, E. R. (1970) Serial pattern learning. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 120-125.

Restle, F., & Burnside, B. L. (1972) Tracking of serial patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 95, 299-307.

Ripoll, H., Bard, C., & Paillard, J. (1986) Stabilization of head and eyes on target as a factor in successful basketball shooting. *Human Movement Science*, 5, 47-58.

Ripoll, H. & Fleurance, P. (1988) What does keeping one's eye on the ball mean? *Ergonomics*, 31, 1647-1654.

Ron, S. & Berthoz, A. (1991) Eye and head coupled and dissociated movements during orientation to a double step visual target displacement. *Experimental Brain Research*, 85, 196-207.

Schmidt, R. A. (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.

Schmidt, R. A. (1985) The search for invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport*,

56, 188-200.

Schmidt, R. A. (1988) *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (2nd ed.) Champaign, IL. : Human Kinetics

Schmidt, R.A. (1991) *Motor learning and performance: From principles to practice*. Champaign, IL: Human Kinetics. (調

枝孝治監訳(1994). *運動学習とパフォーマンス*. 東京 : 大修館書店.)

Schmidt, R. A. & Lee, D, L. (2005) *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.). Human Kinetics.

Schöner, G., & Kelso, J. A. S. (1988) Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. *Science*, 239, 1513-1520.

関矢寛史 (1990) 運動学習における文脈干渉効果の再検討. *広島体育学研究*, 16, 23-32.

Shannon, C., & Waver, W. (1949) *The mathematical theory of communication*. Urbana, 3.: The University of Illinois Press.

Shea, C. H., Kohl, R., & Indermill, C. (1990) Contextual interference: Contributions of practice. *Acta Psychologica*, 73, 145-157.

Shea, C. H., Lai, Q., Wright, D. L., Immink, M., & Black, C. (2001) Consistent and variable practice conditions: Effects on relative and absolute timing. *Journal of Motor Behavior*, 33, 139-152.

Shea, J. B., & Morgan, R. L. (1979) Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 179-187.

Shea, J. B., & Titzer, R. C. (1993) The influence of reminder trials on contextual interference effects. *Journal of Motor Behavior*, 25, 264-274.

Shea, J. B., & Zimny, S. T. (1983) Context effects in memory and learning movement information. In R. A. Magill (Ed.), *Memory and control of action*. Amsterdam: North-Holland. Pp. 345-366.

Sherwood, D. E. (1996) The benefits of random variable practice for spatial accuracy and error detection in a rapid aiming task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67, 35-43.

Shewokis, P. A., Del Rey, P., & Simpson, K. J. (1998) A test of retroactive inhibition as an explanation of contextual interference. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69, 70-74.

Starkes, J. L., and Allard, F. (1993) *Cognitive issues in motor expertise*. North-Holland: Elsevier Scientific Publishers.

杉山真人・木島章文・荒木雅信・調枝孝治 (2003) 系列追従課題における文脈干渉効果—ランダム練習条件の再検討— *日本体育学会大 54 回大会号*, 262.

- 高田理孝 (1977) 自由再生における系列依存的体制化. *教育心理学研究*, 25, 23-30.
- 高田理孝 (1979) 自由再生における「系列依存的体制化」-カテゴリー材料を用いて-. *教育心理学研究*, 27, 48-52.
- 多賀巖太郎 (2002) 脳と身体の動的デザイン-運動・知覚の非線形力学と発達-. 金子書房.
- Teixeira, L. A., Chua, R., Nagelkerke, P., & Franks, I. M. (2006) Use of visual information in the correction of interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 175, 758-763.
- Tresilian, J. R. (2005) Hitting a moving target: perception and action in the timing of rapid interceptions. *Perception & Psychophysics*, 67, 129-149.
- Underwood, B. J. (1945) The effect of successive interpolations on retroactive and proactive inhibition. *Psychological Monographs*, 59, 1-33.
- 脇本和昌 (1970) 乱数の知識. 森北出版
- ウィナー, N. (1962) サイバネティックス : 動物と機械における制御と通信. 岩波新書.
- Wright, D. L. (1991) The role of intertask and intratask processing in acquisition and retention of motor skills. *Journal of Motor Behavior*, 23, 139-145.
- Wright, D. L., & Shea, C. H. (2001) Manipulating generalized motor program difficulty during blocked and random practice does not affect parameter learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 32-38.
- Wrisberg, C. A., & Mead, B. J. (1981) Anticipation of coincidence in children: A test of schema theory. *Perceptual and Motor Skills*, 52, 599-606.
- Wulf, G. (1992) Reducing knowledge of results can produce context effects in movement of the same class. *Journal of Human Movement Studies*, 22, 71-84.
- Wulf, G., & Lee, T. D. (1993) Contextual interference in movements of the same class: differential effects on program and parameter learning. *Journal of Motor Behavior*, 25, 254-263.
- Wulf, G., & Schmidt, R. A. (1994) Feedback-induced variability and the learning of generalized motor programs. *Journal of Motor Behavior*, 26, 348-361.
- 山本裕二 (2000) 全身協応運動の獲得. 杉原隆・船越正康・工藤孝幾・中込四郎 (編著), *スポーツ心理学の世界*. 福村出版, pp. 12-26.
- 山本裕二 (2002) 新たな運動学習の地平 : ダイナミカルシステムアプローチの可能性. *体育学研究*, 45, 125-

140.

山本裕二 (2005) 複雑系としての身体運動. 東京大学出版会.

Zaal, F. T. J. M. & Michaels, C. F. (2003) The information for catching fly balls: judging and intercepting virtual balls in a CAVE. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 537-555.

本論文に関する発表論文・学会発表など

学術論文

- i. Sugiyama, M., Araki, M., and Choshi, K. (2006) Order of a 'uniform random' presentation on contextual interference in a serial tracking task. *Perceptual and Motor Skills*, 102(3), 839-854.
- ii. 杉山真人・宮辻和貴・椿武・荒木雅信 (掲載可承諾済) 捕捉行為におけるターゲットとの協調性と頭部の先行運動. 体育学研究, 63(1).

抄録集・報告書

- i. 杉山真人 (2002) ランダム系列刺激における刺激数と刺激間感覚が反応の質的特性に与える影響. 第12回運動学習研究会報告集, 45-49.
- ii. 杉山真人・調枝孝治・荒木雅信・木島章文 (2002) 系列一様ランダム刺激に対する反応様式. 日本スポーツ心理学会第29回大会研究発表抄録集, 115-116.
- iii. 杉山真人・木島章文・荒木雅信・調枝孝治 (2003) 系列追従課題における文脈干渉効果-ランダム練習条件の再検討. 日本体育学会第54回大会研究発表抄録集, 262.
- iv. 杉山真人・木島章文・荒木雅信・調枝孝治 (2003) 推測反応系列の反応測度と冗長性の関係. 日本スポーツ心理学会第30回大会研究発表抄録集, 28-29.
- v. 杉山真人・宮辻和貴・椿武・荒木雅信 (2016) 頭部の変位が捕捉行為の遂行に果たす役割. 日本体育学会予稿集, 118.

謝辞

本論文の作成に当たり、多くの方々にご指導、ご鞭撻をいただきました。

指導教員である荒木雅信教授には多方面でご活躍される中であって、論文の指導をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。ご多忙の身でありながら快く研究指導を担当していただきました。また、研究だけではなく体育・スポーツ心理学の変遷などのお話は印象深く、これまでの研究教育を受け継いで来られた功績に感銘を受けました。土屋裕睦教授には本論文の指導のみならずスポーツ心理学の学問的位置づけを学ばせていただきました。石川昌紀教授には細部にわたり本論文に対するご助言をいただいたのみならず、専門領域外からの鋭い指摘をはじめ、スポーツ科学を概観するきっかけを与えていただきました。深く感謝致します。

調枝孝治広島大学名誉教授（前大阪体育大学教授）には、在職中から退職に至った今日まで厳しくも優しくご指導をしていただきました。心からの謝意を伝えたいと思います。研究対象の微視的／巨視的洞察及び実験時の拘束条件の重要性を根気強く説いていただき、研究へ向かう姿勢を丹念にご指導いただきました。今後も先生の鋭い眼光を想起しながら緊張感を持って研究に励んで参ります。

山梨大学の木島章文教授には研究計画から実験データの表現に至るまで研究の具体的方法を学びました。門田浩二氏（前大阪大学助教）には研究結果を真摯に受け止め、誠実に向き合う姿勢を学びました。両氏については、とりわけ研究内容の捉え方の柔軟性に圧倒された感覚は今でも忘れません。両氏との出会いがなければ本論文の完成はおろか、研究者としての基盤を構築することはできなかったと言っても過言ではありません。両氏は私が目指す理想の研究者です。本当にありがとうございました。

神戸親和女子大学発達教育学部ジュニアスポーツ教育学科の先生方のご理解なくしては本論文の執筆は困難であったと思います。学科長の中瀬古哲教授をはじめ、学科の先生方にこころから感謝いたします。

最後に、博士後期課程進学に際し背中を押してくれた両親をはじめ、いつも温かく見守ってくれた家族にこの場を借りて感謝の意を表します。