

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。

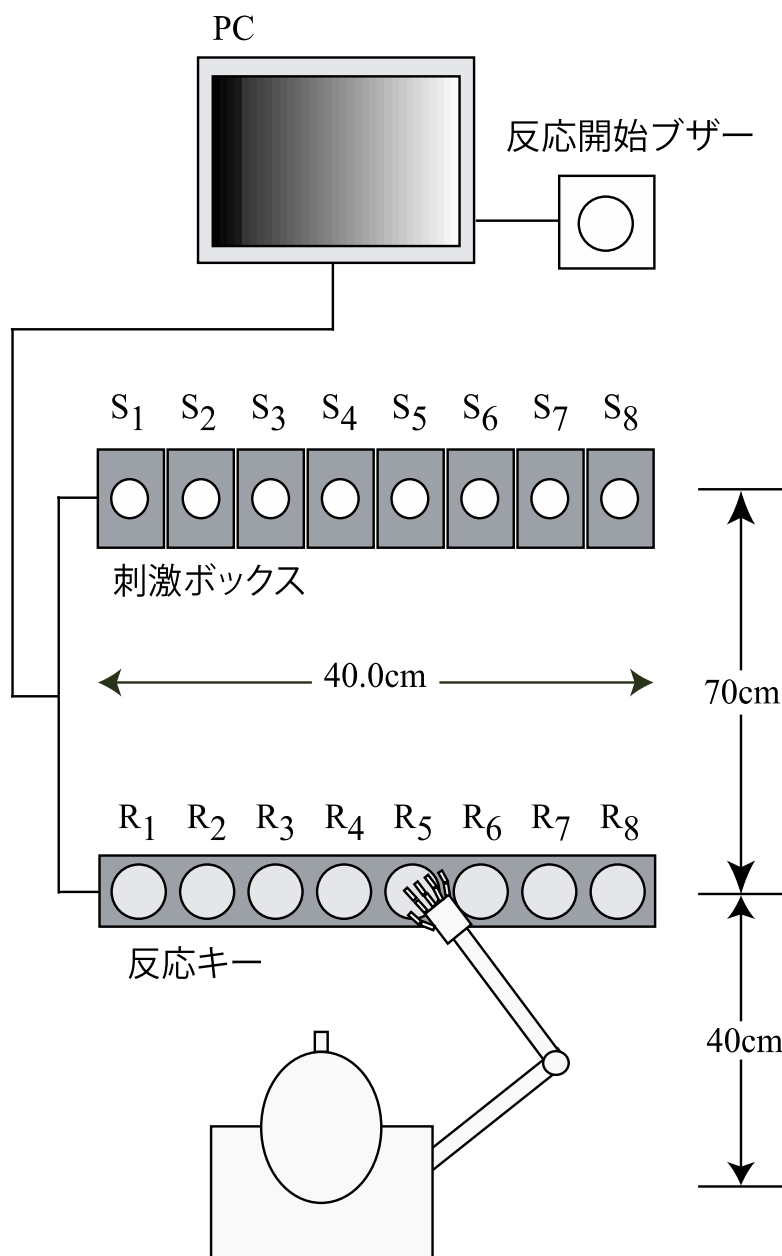


Fig.5.1 実験装置

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。

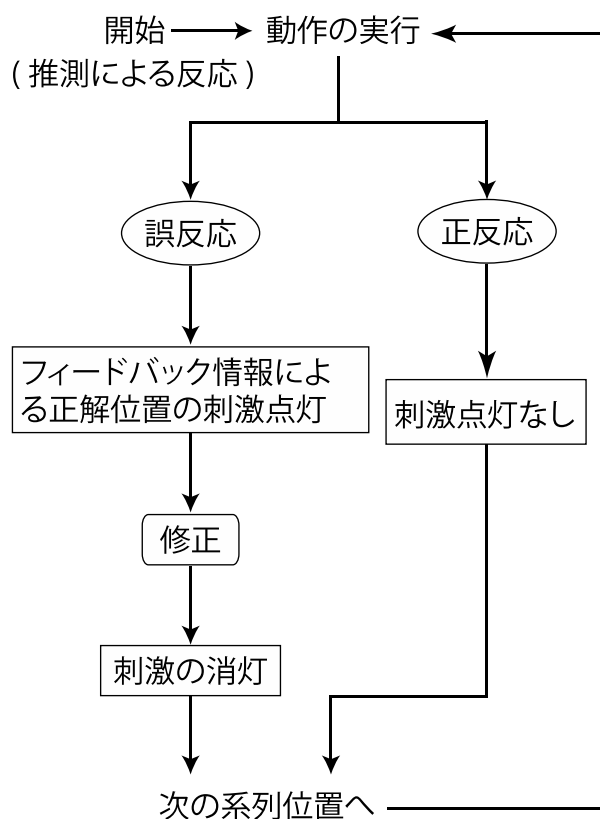


Fig.5.2 被験者の反応遂行の流れ

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。

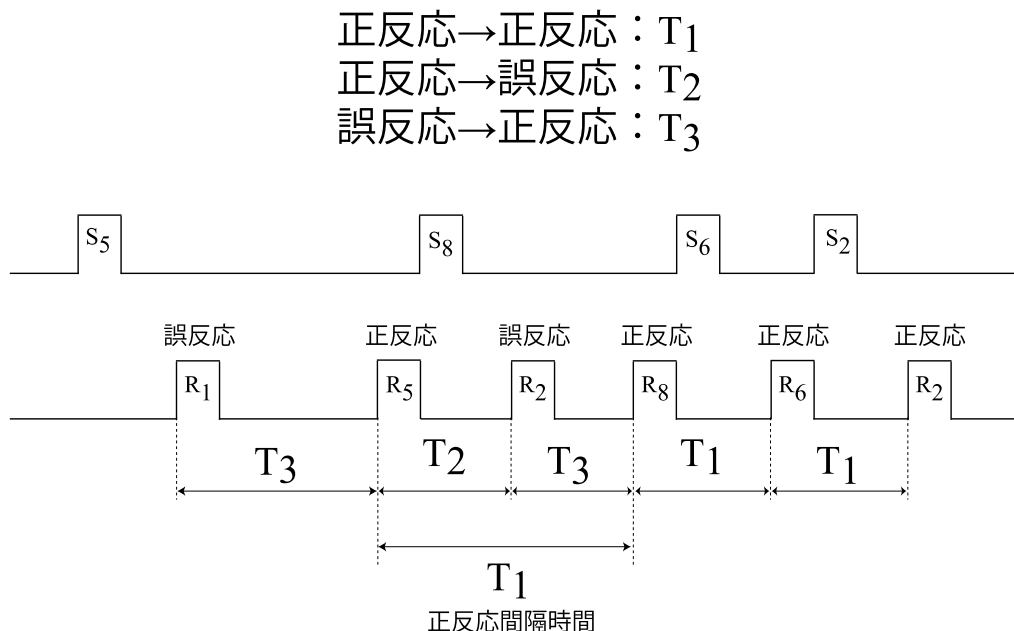


Fig.5.3 正反応間隔時間 (ms) の判定基準

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。

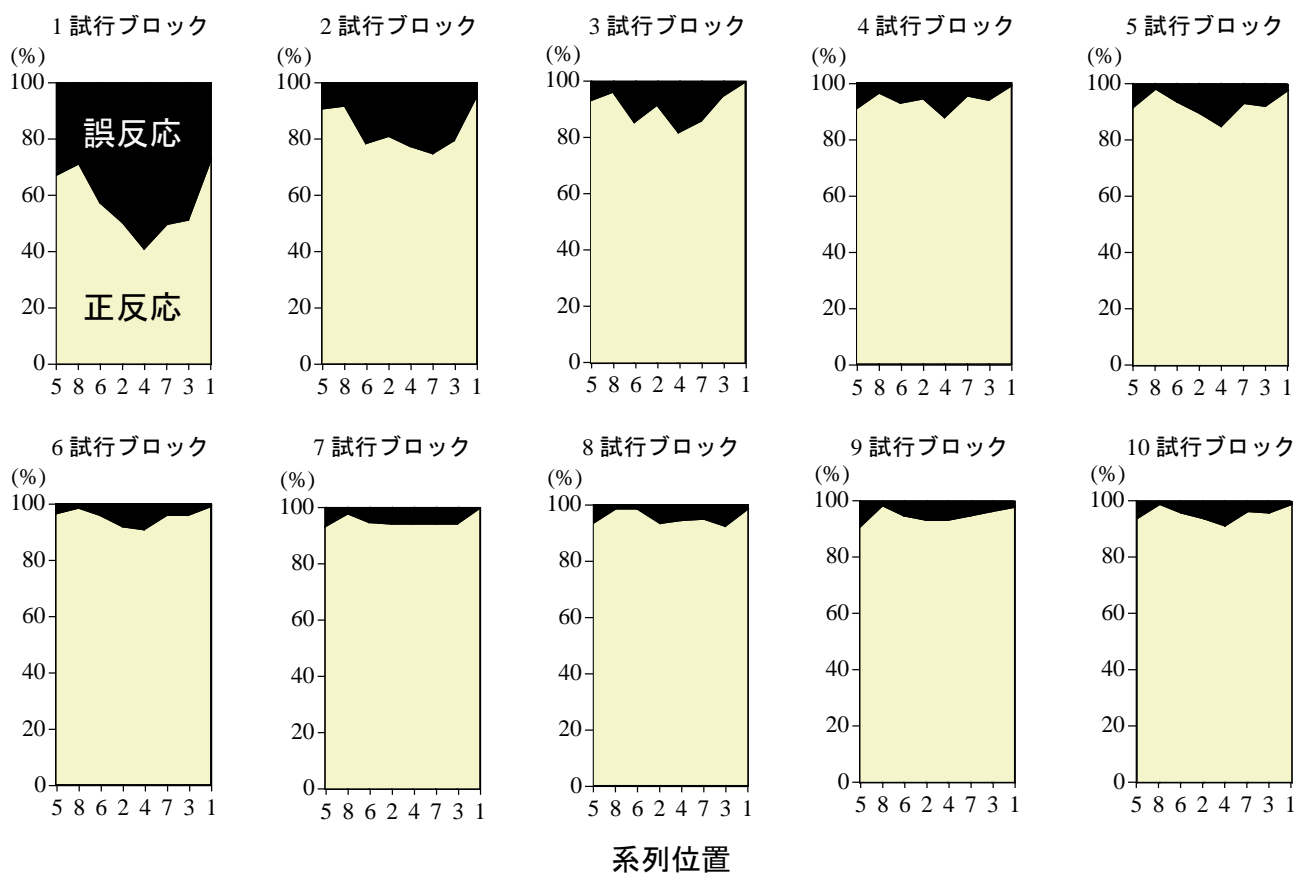


Fig.5.4 系列位置に対する各試行ブロックの平均正反応率と誤反応率の変動

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。

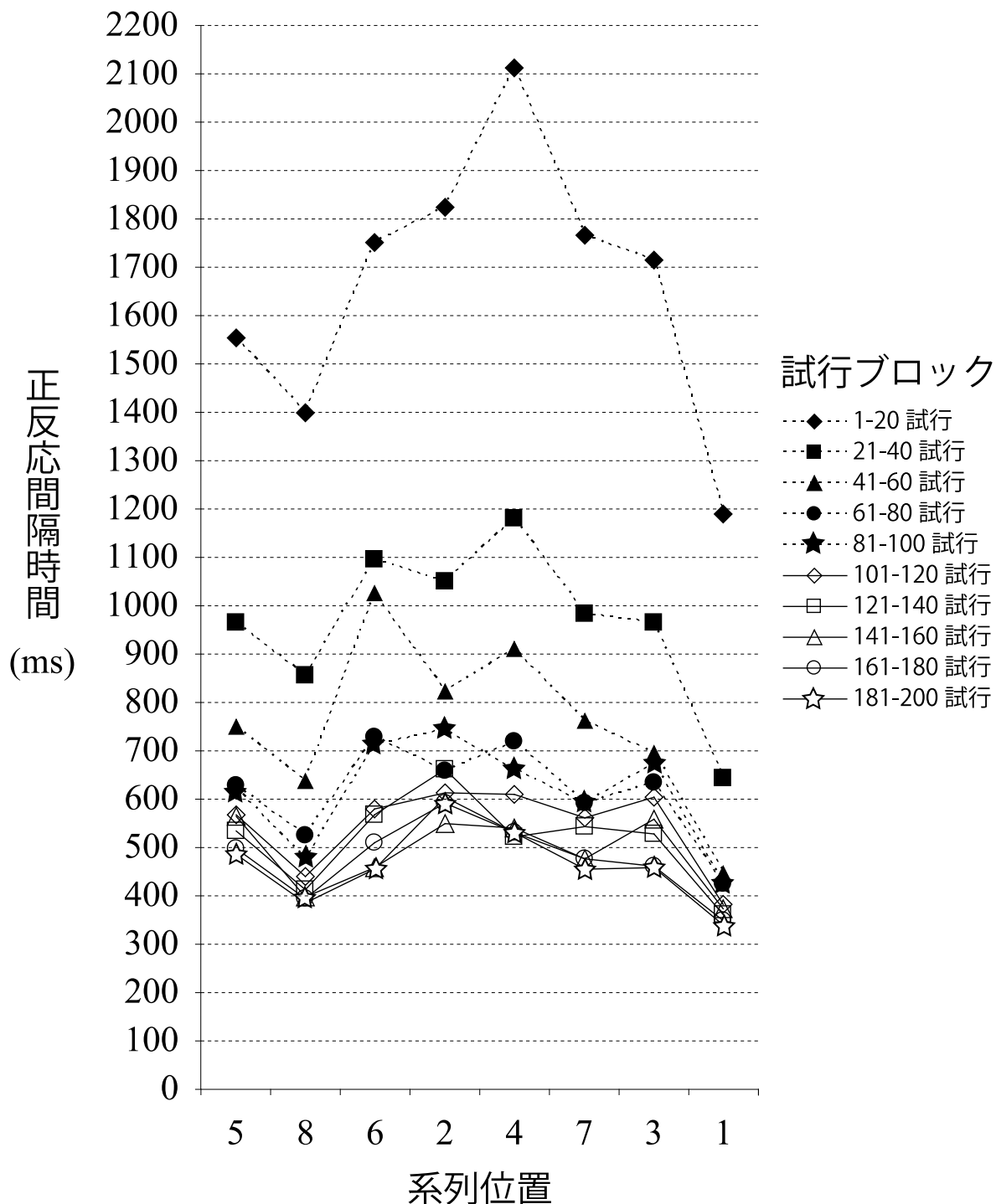


Fig.5.5 系列位置に対する各 20 試行ブロックの平均正反応間隔時間

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。

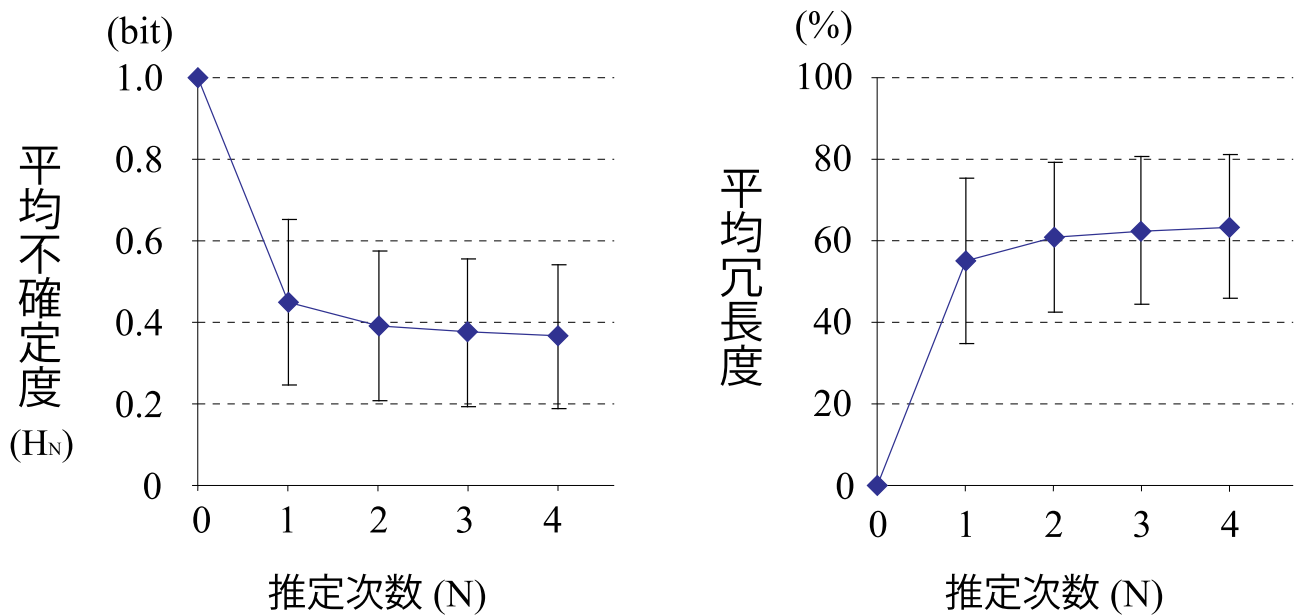


Fig.5.6 推定次数の関数としての平均不確定度と平均冗長度

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。

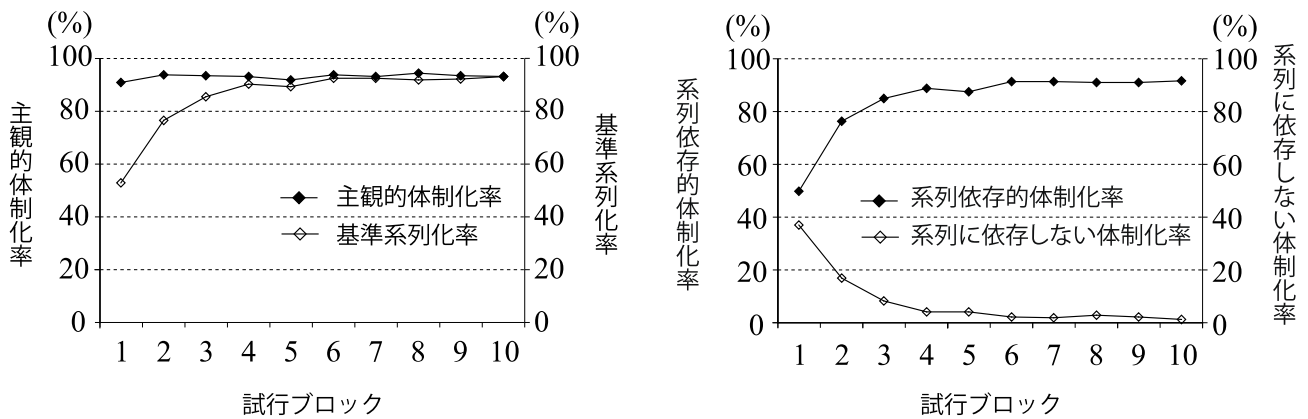


Fig.5.7 各 20 試行ブロックに対する主観的体制化率，基準系列化率，系列依存的体制化率及び系列に依存しない体制化率

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）。

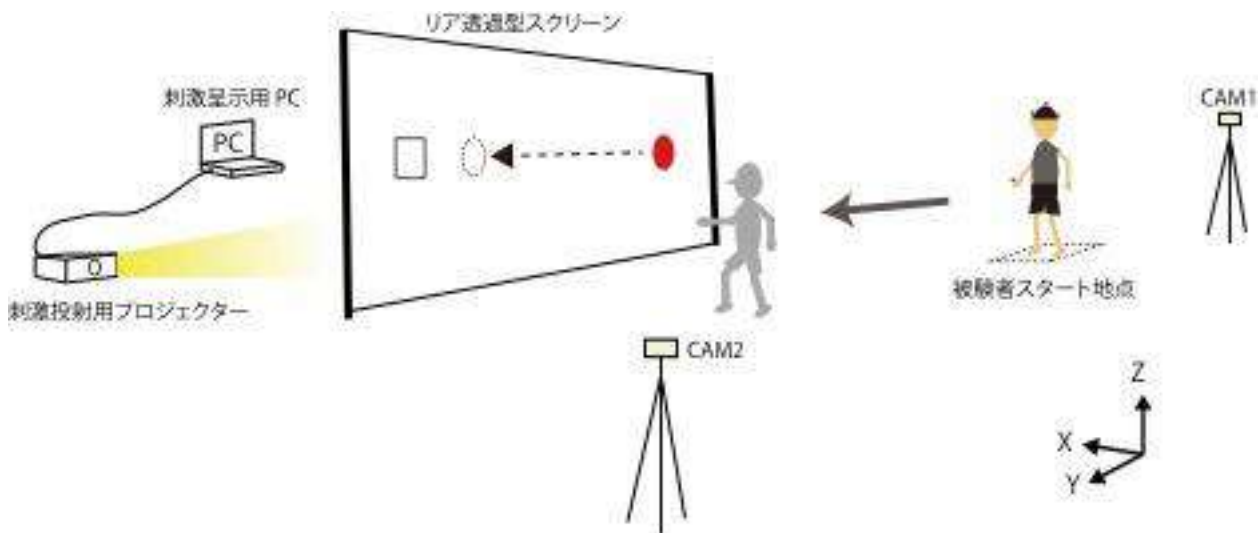


Fig.6.1 実験装置及びセットアップ

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.

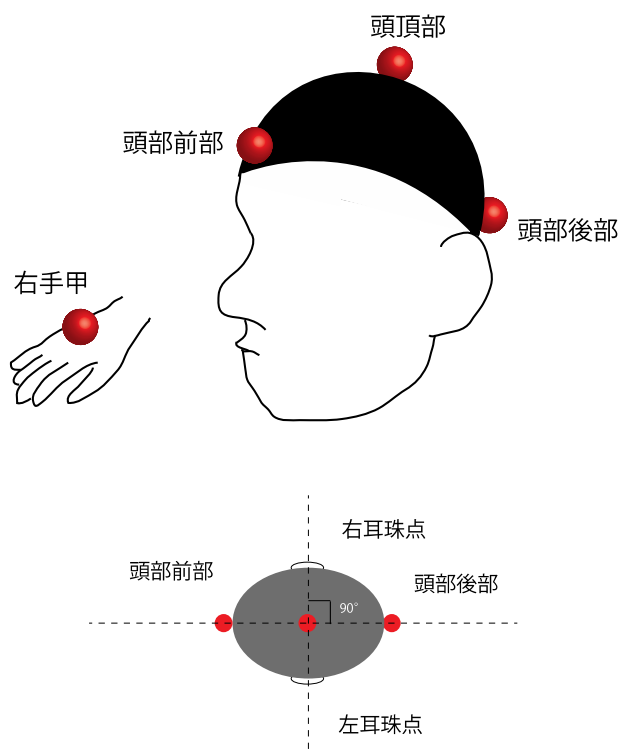


Fig.6.3 被験者が装着したカラーマーカーの部位

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。

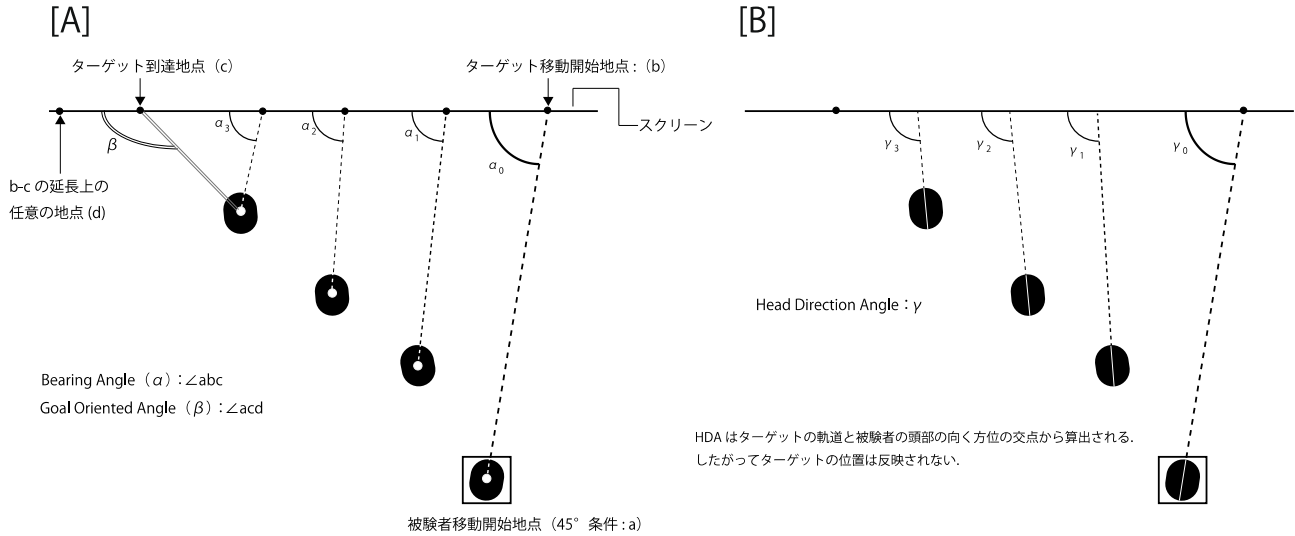


Fig.6.4 BA_H 及び HDA の角度算出の定義
 [A]BA, GOA 及び [B]HDA はターゲット及び被験者の移動により逐次変化する

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 につい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 ($F(1,28)=0.11, p>0.05$)。

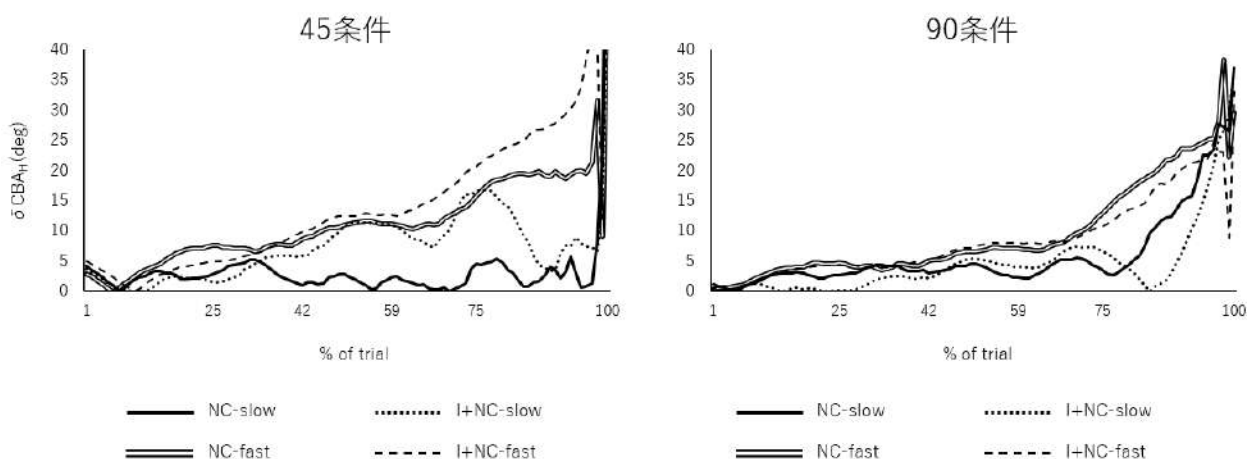


Fig.6.5 各条件における δCBA_H の変化の一例

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 ($F(1,28)=0.61, p>0.05$).

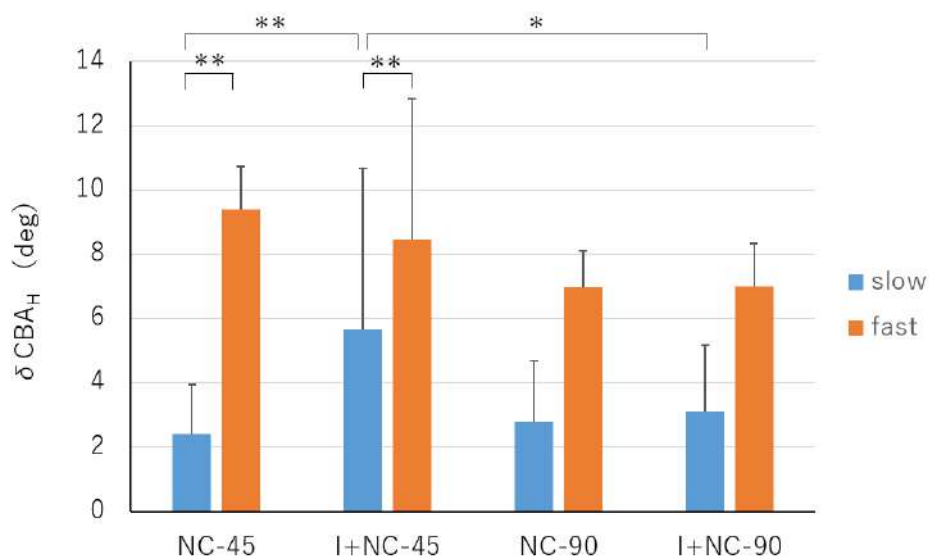


Fig.6.6 呈示条件、速度及び角度の違いによる δCBA_H

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。

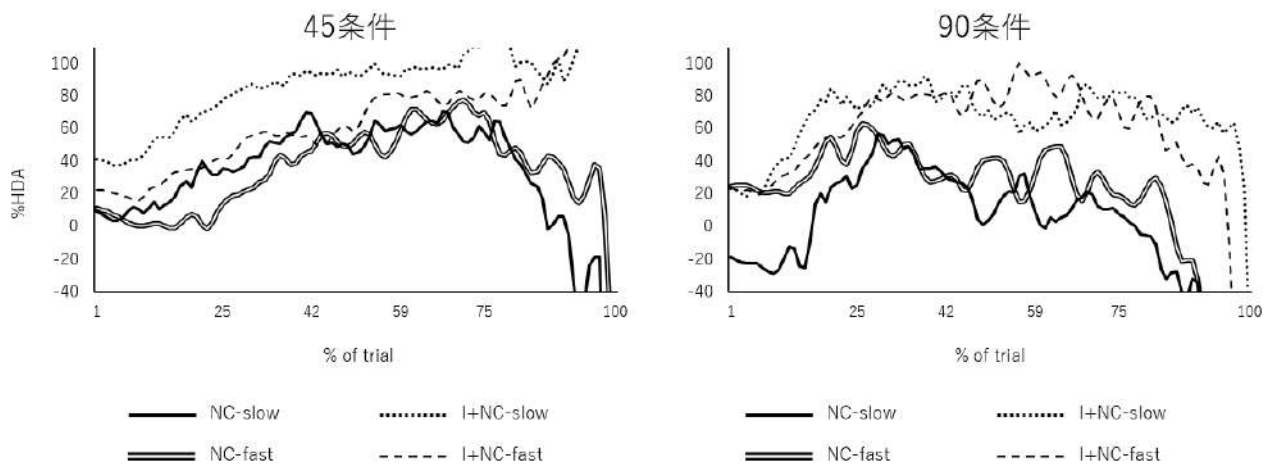


Fig.6.7 各条件における%HDAの変化の一例

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	
		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。

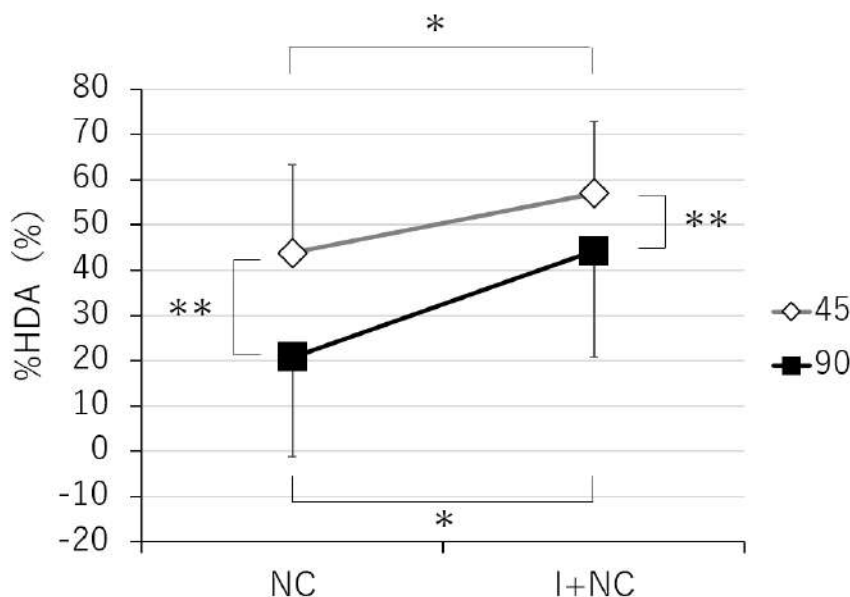


Fig.6.8 呈示条件及び角度の違いによる%HDAの変化

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する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つた。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つた。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, prospection, 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。