

身体スキルの習得における
個人特有の運動に関する検討

市川 淳

概要

スポーツや演奏，身体表現を用いた芸術などの分野において，人は，日々の練習を通して，身体スキルを習得してゆく．身体スキルの習得を示すパフォーマンスとして，課題の成果を評価することが多い．近年，情報技術の発達により，身体スキルに関する研究は，学際的に取り組まれている．

一般的に，パフォーマンスの向上のためには，効率的で正確な身体動作の獲得，つまり安定した身体動作の獲得が重要であると言われている．そのような基本動作の獲得は，身体スキルを習得するうえで基盤になると考えられる．しかし，実際に練習を行う現場では，習得者が試行錯誤してゆくなかで，自分なりの「工夫」を見出して，他者やこれまでよりも高いパフォーマンスを達成することは多々あると言える．

そのような工夫を見出すうえでは，練習を通じた意識的活動による，個人の「意図」や「着眼点」が関係してくると考えられる．

本研究では，未経験者が練習を通して見出した工夫に注目した．そして，基本動作にあてはまらない動作を工夫を示す「個人特有の身体動作」とし，習得において観察されるかを実験的に検討した．さらに，個人特有の身体動作が観察された際，それが，習得に向けた意図や着眼点と関連するかについても合わせて検討した．

具体的な課題として，ボールジャグリングの中でも最も基礎的な課題である3ボールカスケードを取り上げた．カスケードでは，パフォーマンスとして，連続キャッチ数が客観的な評価の指標として挙げられる．本研究では，ジャグリング未経験者に対して，カスケードの練習を行わせた．そして，習得した初学者を対象に，個人特有の身体動作が観察されるかを検討した．さらに，個人特有の身体動作が着眼点と関連するかについても検討した．

本稿は5章から構成される．第1章の「序論」では主に，身体スキルに関する研究が近年，学際的に取り組まれているということや，カスケードの実験

課題としての特徴について詳細に述べた。そして、カスケードにおける基本動作の獲得や個人特有の身体動作の獲得、および意図や着眼点について検討することの重要性を議論した。

第2章の「習得段階と身体動作の安定性との関連」では、研究1として、基本動作の獲得に関して、「体幹」と「上肢」の運動の安定性が、先行研究で提唱された Stage 1 から Stage 3 の習得段階とどのように関連するかを検討した。

実験の結果、Stage 3 到達群（連続キャッチ数 100 回以上を達成した参加者群）では、Stage 2 到達群（連続キャッチ数 50 回程度を達成した参加者群）に比べて上肢の運動が安定し、エキスパート群（5 ボールカスケードの身体スキルを習得している参加者群）の方が、Stage 3 到達群に比べて体幹の運動が安定したことから、各習得段階で安定する身体動作が異なることを確認した。研究1では、基本動作の獲得に関する先行研究の知見を確認するだけでなく、連続キャッチ数と対応づけて身体動作の安定性を議論することで、基本動作の獲得についての特徴を示した。

第3章の「習得過程における個人特有の身体動作の獲得」では、研究2として、連続キャッチ数 100 回以上を達成した習得者を対象に、個人特有の身体動作が、パフォーマンスの向上のために重要な役割を果たす工夫である可能性について検討した。さらに、それらの動作が、言語報告から確認される、個人の着眼点と対応づけられるかについても検討した。

実験の結果、習得者5名中2名において、体幹と上肢の運動に関する一部の指標で、基本動作の獲得に関して、先行研究で指摘される特徴にあてはまらない、個人特有の身体動作が観察された。さらに、それらは、その人独自の着眼点と対応関係にある可能性を示唆した。

第4章の「総合考察」では、本研究の知見を述べ、身体スキルの習得を検討するうえでは、身体動作と意識的活動との両者を踏まえた議論が重要であることを述べた。そして、今後の検討事項として、エキスパートレベルへの熟達に向けて、中級レベルの身体スキルの習得で観察された個人特有の身体動

作が阻害要因になる可能性について言及した。さらに，指導者は，個人特有の身体動作が阻害要因になる場合のみ指導するのが望ましいことに関して，身体スキルの習得における支援から述べた。

最後に，第5章の「結論」で，本論文の総括を行った。

目次

第1章	序論	1
1.1	導入	1
1.2	本研究の課題	2
1.3	習得段階	3
1.4	基本動作の獲得	5
1.5	個人特有の身体動作と着眼点	6
1.6	本研究のアプローチ	7
1.7	本研究の目的	8
1.7.1	研究1の目的	8
1.7.2	研究2の目的	8
第2章	研究1：習得段階と身体動作の安定性との関連	9
2.1	目的	9
2.2	方法	9
2.2.1	参加者	9
2.2.2	手続	10
2.3	分析手続と結果	11
2.3.1	パフォーマンス	11
2.3.2	身体動作その1：ボール保持率	15
2.3.3	身体動作その2：身体位置の変動	17

2.3.4	結果の要旨	23
2.4	考察	23
2.5	研究1のまとめ	24
第3章	研究2:習得過程における個人特有の身体動作の獲得	27
3.1	目的	27
3.2	方法	28
3.2.1	参加者	28
3.2.2	手続	28
3.3	分析手続と結果	29
3.3.1	パフォーマンス	29
3.3.2	身体動作その1:身体位置のずれと時間間隔の変動 . . .	30
3.3.3	身体動作その2:自己相関係数	43
3.3.4	身体動作その3:相互相関係数	50
3.3.5	身体動作その4:ボール保持率	56
3.3.6	言語報告	57
3.3.7	結果の要旨	60
3.4	考察	62
3.4.1	個人特有の身体動作と着眼点との因果関係	62
3.4.2	熟達過程における基本動作の獲得と個人特有の身体動作の獲得	64
3.5	まとめ	65
第4章	総合考察	67
4.1	本研究の知見	67
4.2	今後の検討事項	69
第5章	結論	71

謝辞	74
引用文献	77
関連論文	80
付録 A 実験で用いた解説シート	85
付録 B 研究2における時間間隔の変動に関する補足分析	89

目次

1.1	3 ボールカスケード	3
1.2	3 ボールカスケードの時間構造に関する模式図	4
2.1	反射マーカー	11
2.2	実験環境 (7日目)	12
2.3	3 種類の到達群におけるベストパフォーマンスを示す連続 キャッチ数	15
2.4	3 種類の到達群におけるボール保持率	16
2.5	山点と谷点	17
2.6	手首の位置の変動	21
2.7	胸の位置の変動	22
3.1	連続キャッチ数	30
3.2	奥行方向における胸の位置のずれ	36
3.3	水平方向における胸の位置のずれ	37
3.4	垂直方向における胸の位置のずれ	38
3.5	奥行方向における手首の位置のずれ	39
3.6	水平方向における手首の位置のずれ	40
3.7	垂直方向における手首の位置のずれ	41
3.8	時間間隔の変動	42
3.9	$C_{a_z a_z}(r)$ の求め方に関する模式図	44

3.10	奥行方向における自己相関係数	47
3.11	水平方向における自己相関係数	48
3.12	垂直方向における自己相関係数	49
3.13	奥行方向における相互相関係数	53
3.14	水平方向における相互相関係数	54
3.15	垂直方向における相互相関係数	55
3.16	ボール保持率	57
3.17	3ボールカスケード遂行時の映像	62
A.1	解説シート表	86
A.2	解説シート裏	87
B.1	7日目における参加者とエキスパートジャグラーによる山点の 時間間隔の変動	90
B.2	7日目における参加者とエキスパートジャグラーによる谷点の 時間間隔の変動	91

表目次

3.1	着眼点の延べ個数	59
3.2	独自の着眼点に関する具体的な内容	59

第1章

序論

1.1 導入

スポーツや演奏，身体表現を用いた芸術などの分野において，人は，日々の練習を通して，身体動作に関連する技能（以下，身体スキルと呼ぶ）を習得してゆく．身体スキルの習得を示すパフォーマンスとして，課題の成果を評価することが多い (e.g., Button, Macleod, Sanders, & Coleman, 2003).

近年，情報技術の発達により高い精度の計測技術，解析技術が実現され，身体スキルに関する研究は，学際的に取り組まれている (古川・植野・尾崎・神里・川本・渋谷・白鳥・諏訪・曾我・瀧・藤波・堀・本村・森田, 2005). 研究分野として，スポーツ科学や運動学だけではなく，人工知能学や認知科学といった研究分野も関連している．

身体スキルに関する研究の目標として，「熟達者による巧みさ (dexterity) の抽出」や「初学者による習得に関する特徴の抽出」が挙げられる (古川, 2009; 古川他, 2005). 例えば，人工知能学では，データマイニング手法を用いて，熟達者による巧みさの定量化が行われている．巧みさとは，動的に変化する状況に対する運動の調整能力を指す (Bernstein, 1996). また，認知科学では，どのような点に気をつければ良いかなどに関連する初学者の意識的活動が注目されており，習得過程における意識の変化の特徴について検討されている (e.g., 諏訪, 2009).

加えて、古川 (2009) や古川他 (2005) は、身体スキルに関する研究において、今後取り組まれるべき問題として、「伝統工芸や伝統芸能といった伝承の支援」を挙げている。2020年に夏季オリンピックが東京で開催されるといった社会的背景も影響し、身体スキルに関する研究では、先述した目標を達成するための活発な議論が行われている。

1.2 本研究の課題

本研究では、未経験者による身体スキルの習得に注目する。そして、習得の対象として、ボールジャグリングの中でも最も基礎的な課題である3ボールカスケード（以下、カスケードと呼ぶ）を取り上げる（図1.1）。この課題では、ボール3個のトスとキャッチを行うための周期的な運動が要求される。カスケードは、(1) から (5) の手続で構成される（中嶋, 2001）。

- (1) （右投げの場合）ボールを右手に2個，左手に1個それぞれ持つ
- (2) 右手のボール1個を左手にトスする
- (3) ボールが左手に落ちてきたら，そのボールの（正面から見て）内側を通すように左手のボールを右手にトスする．落下してくるボールは左手でキャッチする
- (4) ボールが右手に落ちてきたら，先程と同様に，そのボールの（正面から見て）内側を通すように右手のボールを左手にトスする．落下してくるボールは右手でキャッチする
- (5) 落ちてくるボールの内側を通して，左右の手で交互にボールをトスする

実験課題として、カスケードには、主に以下の3点の特徴がある。

1点目は、習得を示すパフォーマンスとして、連続キャッチ数が客観的な評価の指標として挙げられる点である。

2点目は、安定した身体動作の獲得が重要であると先行研究 (e.g., Haibach, Daniels, & Newell, 2004; van Santvoord & Beek, 1996) で指摘されている点であ

る。ここで述べる安定した身体動作とは、「身体全体の動きに関連する体幹が動かない」、「上肢の位置が腕の振りにおいて一定である」、および「上肢を動かすタイミングが一定である」ことを意味する。

そして、3点目は、カスケード遂行中のボール保持率に基づき、3段階で構成される習得説が先行研究 (Beek & van Santvoord, 1992) で提唱されている点である。ボール保持率と習得段階は、次節で詳しく説明する。



図 1.1 3 ボールカスケード

1.3 習得段階

Beek & van Santvoord (1992) は、カスケード遂行中のボール保持率に注目し、3段階で構成される習得説を提唱した。

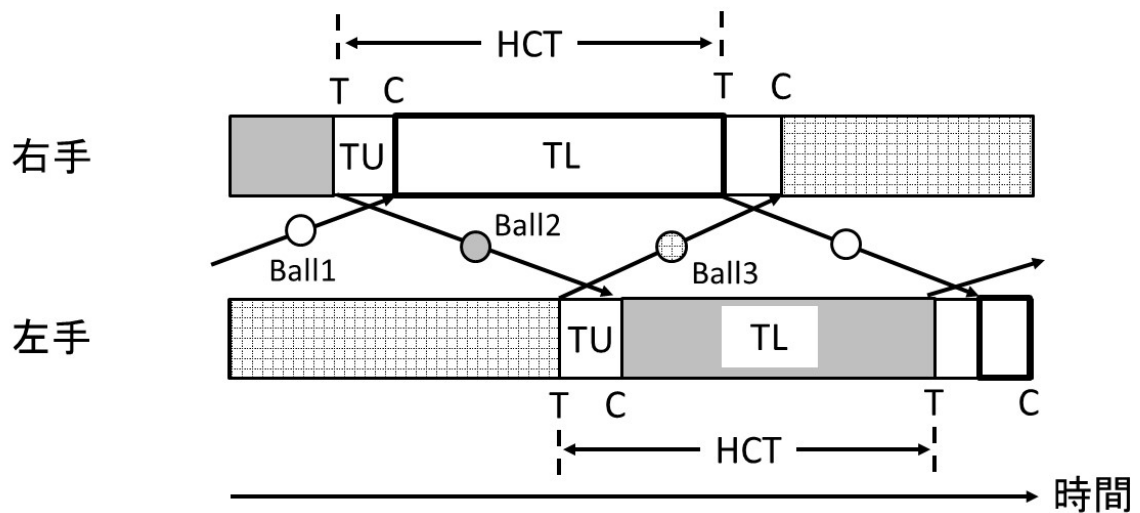
カスケードの時間構造に関する模式図を図 1.2 に示す。ボール保持率は、右手（あるいは左手）でトスを行ってから再度トスを行うまでの時間 (hand cycle time) に対する、右手（あるいは、左手）でボールを保持している時間 (time loaded) の割合で求められる（以下の式 (1.1)）。

$$\text{ボール保持率 } k = \frac{TL}{HCT} \quad (1.1)$$

ボール保持率は、値が高い程、ボールを握る時間が長いことを意味し、値が低い程、ボールを握る時間が短く、すぐにトスすることを示す。

また、hand cycle time, time loaded, およびボールを保持していない時間 (time unloaded) の関係は、以下の式 (1.2) で表される。

$$HCT = TL + TU \quad (1.2)$$



T (Toss): トス

C (Catch): キャッチ

HCT (Hand Cycle Time): 一方の手でボールをトスしてから再度トスするまでの時間

TL (Time Loaded): ボールを保持している時間

TU (Time Unloaded): ボールを保持していない時間

図 1.2 3 ボールカスケードの時間構造に関する模式図 (Hashizume & Matsuo, 2004 一部改編)

習得の初期段階である Stage 1 では、 k 値が 0.75 よりも高いと言われている

る。カスケードに要求される手続等を理解する段階であり、ボールの軌道と身体動作が連動していない。

次に、 k 値が 0.75 の段階を Stage 2 とした。Stage 2 では、連続キャッチ数の増加に対して k 値がほぼ 0.75 を示し、ボール保持率が減少しない期間が続く。Stage 2 は、“Mode Locking” と呼ばれ、安定した身体動作でカスケードを行うが、異なるボール保持率や上肢の運動リズムで遂行するには困難を伴うと考えられている。

そして、 k 値が 0.75 よりも低い段階を Stage 3 とした。Stage 3 は、“Modulation” と呼ばれ、Stage 2 とは対照的に、異なるボール保持率や上肢の運動リズムであってもボールを落とすことはないとされる。

なお、各習得段階を連続キャッチ数で示すと、Stage 1 では 10 回程度、Stage 2 では 50 回程度、そして Stage 3 では 100 回以上、連続でボールをキャッチし続けられると考えられている (Hashizume & Matsuo, 2004)。

そして、多くの先行研究では、習得過程において、身体動作が安定してゆくことが指摘されている (e.g., Haibach et al., 2004; Hashizume & Matsuo, 2004)。

なお、Stage 3 に到達して以降、5 個以上のボールを用いてジャグリングを行うレベルに達するとエキスパートとみなされる (e.g., Amazeen, Amazeen, & Beek, 2001; Dessing, Daffertshofer, Peper, & Beek, 2007)。

1.4 基本動作の獲得

身体スキルを習得するうえでは、運動学において、最小のエネルギーによる、効率的で正確な身体動作の獲得が重要であるとされている (中村・齋藤・長崎, 2003)。そのような基本動作の獲得は、身体スキルを習得するうえで基盤になると考えられる。

効率的で正確な身体動作とは、安定した身体動作を意味する。周期的な運動が要求される身体スキルにおいては、特に安定した身体動作が重要である。例えば、歩行では、胸や重心がぶれない安定したフォームについて議論

されている(中村他, 2003; Stokes, Andersson, & Forssberg, 1989). さらに, テニスのストロークの反復では, 腕の振りがどのように収束し, 一定になるかについて検討されている(山本, 2005; Yamamoto & Gohara, 2000).

本研究の課題であるカスケードも, 歩行やテニスのストロークの反復と同様に, 周期的な運動が要求される. 第1章の第2節でも述べたように, 「体幹」と「上肢」の安定した運動の獲得が重要であると言われている.

事実, カスケードを取り上げた身体スキルに関する研究はこれまで数多くある. しかし, 先行研究のほとんどは, 身体動作が安定することを意味する基本動作の獲得に関して指摘している.

具体的に, Haibach et al. (2004) は, 習得過程において, 胴体の横揺れの範囲やキャッチの時間間隔の変動 (variability) が減少することを確認している. さらに, Hashizume & Matsuo (2004) は, 水平方向におけるボールを持つ手の位置の変動がトス時に減少することを確認している. 一方で, 習得に寄与する, 基本動作にあてはまらない「個人特有の身体動作」が獲得されることはないのだろうか. 次節では, この点を詳しく述べる.

1.5 個人特有の身体動作と着眼点

身体スキルの習得では, 前節で述べたように, 安定した身体動作を意味する基本動作の獲得が重要であると考えられている. しかし, 実際に練習を行う現場では, 習得者が試行錯誤してゆくなかで, 自分なりの「工夫」を見出し, 他者やこれまでよりも高いパフォーマンスを達成する場合は多々ある.

例えば, 野球のバッティングでは, 腰を低く構えたり, 股を大きく開いて構えたり, あるいは足を極めて高く上げたりと, 練習を通して自分なりの工夫を見出し, 3割以上の高い打率を残すプロ選手やアマチュア選手が存在する.

彼らのフォームは, 目線や重心を安定させて最大限の力をバットに伝えるようにスイングを行うという基本動作の視点から考えると, 必ずしも合理的ではなく, 基本動作にあてはまらない逸脱したフォームであると言える.

そのような工夫を見出すうえでは、意識的活動による個人の「意図」や「着眼点」が関係してくると考えられる。例えば、足を極めて高く上げる動作は「スイングを行うタイミングを取りやすくする」といった、練習を通じた意図や着眼点に関連すると考えられる。

諏訪 (2009) は、パフォーマンスの向上や新たなフォームの獲得のために、習得者は積極的に、意識的に、どのように身体を動かせば良いかなどを考えることが要求されると主張する。さらに、Bebko, Demark, Im-Bolter, & MacKewn (2005) は、ジャグリングのような複雑な運動が要求される課題では、運動に代表される無意識的な自動処理と、プランニングに代表される意識的な制御処理の両者が機能すると述べた。以上より、工夫を示す「個人特有の身体動作」の獲得には意識的活動がより重要になると考えられる。

本研究では、ジャグリング未経験者が、練習を通してカスケードを習得した際に見出した工夫に注目する。そして、その工夫を個人特有の身体動作とし、習得において観察されるかを実験的に検討する。さらに、個人特有の身体動作が観察された際、それが、個人の意図や着眼点と関連するかについても合わせて検討する。

1.6 本研究のアプローチ

本研究では、初学者に対して、カスケードの練習を行わせる。そして、パフォーマンス、身体動作、言語報告と3種類の指標により、初学者による習得の特徴を検証する。

パフォーマンスに関しては、課題の成果として連続キャッチ数を評価する。また、身体動作については、3次元モーションキャプチャによる運動計測から、基本動作だけではなく、工夫を示す個人特有の身体動作についても定量的に特徴を取り出して議論を行う。

さらに、習得者へのインタビューに対する言語報告から、パフォーマンスの向上のための意図や着眼点を抽出し、個人特有の身体動作と対応するかを

議論する。

なお、本研究では、先行研究 (Beek & van Santvoord, 1992; Hashizume & Matsuo, 2004) を参考に、連続キャッチ数 100 回以上を達成した初学者を、一律に習得者とみなす。そして、「体幹が動かない」こと、「上肢の位置が腕の振りにおいて一定である」こと、および「上肢を動かすタイミングが一定である」ことを基本動作に関する 3 種類の項目として、それらにあてはまらない逸脱した動作を、工夫を示す個人特有の身体動作と呼ぶことにする。

1.7 本研究の目的

本研究では、実際に練習を行う現場において、習得者が練習を通して工夫を見出し、高いパフォーマンスを達成する可能性があることを想定する。カスケードを課題にした初学者による身体スキルの習得において、基本動作にあてはまらない逸脱した個人特有の身体動作が観察されるかを検討する。

さらに、個人特有の身体動作が観察された際、その人なりの着眼点と関連するかについても合わせて検討する。

この目的に沿って、以下の 2 種類の研究を行った。研究 1 と研究 2 の各目的は、以下の通りである。

1.7.1 研究 1 の目的

研究 1 では、基本動作の獲得に関連して、Beek & van Santvoord (1992) が提唱した習得段階と身体動作の安定性との関連について議論を行う。

1.7.2 研究 2 の目的

研究 1 において基本動作の獲得に関する特徴を確認したうえで、研究 2 では、連続キャッチ数 100 回以上を達成した習得者を対象に、個人特有の身体動作が観察されるかを検討する。そして、個人特有の身体動作を、その人なりの着眼点と対応づけて、特徴の詳細を議論する。

第2章

研究1：習得段階と身体動作の安定性との関連

2.1 目的

第1章の第2節で述べたように、カスケードの連続キャッチを維持するうえで、体幹と上肢の安定した運動を獲得することが重要である。

また、Beek & van Santvoord (1992) は、Stage 1 から Stage 3 で構成される習得説を提唱した。Stage 1 では10回程度、Stage 2 では50回程度、そして Stage 3 では100回以上、連続でボールをキャッチし続けられると考えられている (Hashizume & Matsuo, 2004)。

研究1では、基本動作の獲得に関連して、体幹と上肢の運動の安定性が、提唱された習得段階とどのように関連するかを明らかにする。特に、カスケードの遂行に要求される手続等を理解したと考えられる Stage 2 から5個以上のボールを用いてジャグリングを行うエキスパート (e.g., Amazeen et al., 2001; Dessing et al., 2007) までの各習得段階に焦点をあて、身体動作の安定性との関連を検討する。

2.2 方法

2.2.1 参加者

大学生と大学院生11名（男性，平均20.3歳，右投げ）が実験に参加した。彼らは全員，ジャグリング未経験者であった。さらに，初学者による身体動作の安定性に関する特徴を検討するうえでの基準として，エキスパートジャグラー3名も実験に参加した。エキスパートジャグラーは，大学のジャグリングサークルに所属する大学生と大学院生（男性，平均20.0歳，右投げ）で全員，5ボールカスケードの身体スキルを習得していた。

2.2.2 手続

実験は，7日間にわたって実施された。ただし，エキスパートジャグラーは既にカスケードの身体スキルを習得していたため，7日目のみ実験に参加した。1日目に，参加者はジャグリング専用ボール3個を受け取った。加えて，補助資料として，第1章の第2節で説明した手続について図解された解説シートと，エキスパートジャグラーによるカスケードの映像が入ったDVDが参加者に配布され，参考にするように指示を受けた。ただし，補助資料は練習時のみに利用することが許され，提供された補助資料以外を参考にすることは禁止された。そして，参加者は1日目から6日目まで，1日最低60分，各自で練習するように指示された。

練習の進捗状況を確認するために，練習の序盤（1日目），中盤（4日目），そして終盤（7日目）に，パフォーマンス計測を実施した。パフォーマンス計測は，指定の実験室で行われた。ここでは，足下に区切られた縦70cm×横70cmの枠内でカスケードが行われ，ボールをトスしてから落とすまでを1試行として，試行ごとに連続キャッチ数が記録された。参加者は1日目と4日目には5試行，7日目には原則として10試行，各自の進捗状況等に応じて最大15試行を行った。なお，エキスパートジャグラーは，30秒間を1試行とし，5試

行を行った。

そして、7日目に、パフォーマンス計測時の身体動作を3次元モーションキャプチャを用いて運動計測を実施した。この計測にあたって、左右の手首、肘、肩、そして胸、計7か所に反射マーカールが取り付けられた(図2.1)。これらの反射マーカールの動きを、参加者を囲むように設置された赤外線カメラ9台(NAC製, Hawk: 5台; Hawk-i: 4台, サンプルング周波数: 100 Hz)で捉えた(図2.2)。ただし、実験の途中でHawkが1台故障したため、途中から8台で計測を行った。運動計測により、床を基準とする各身体部位の位置を3軸方向(奥行方向, 水平方向, 垂直方向)で記録した。



図 2.1 反射マーカール

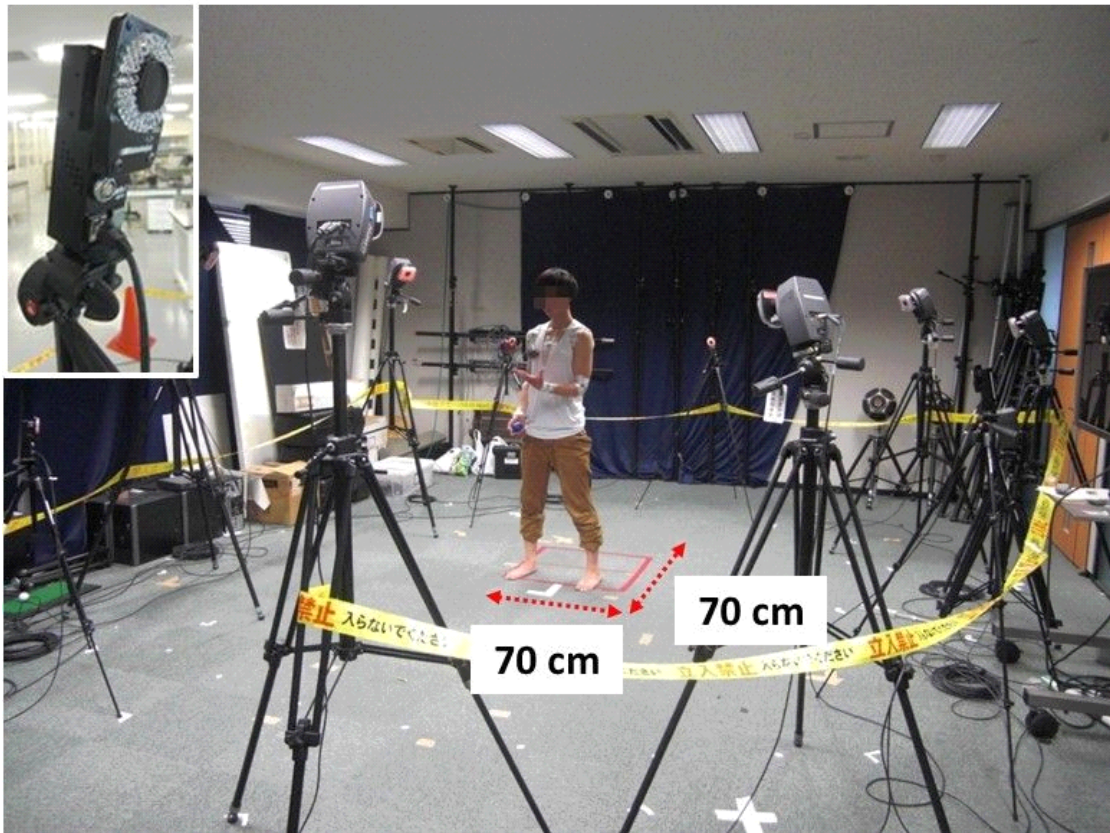


図 2.2 実験環境 (7日目)

2.3 分析手続と結果

2.3.1 パフォーマンス

1日目、4日目、そして7日目に行ったパフォーマンス計測で記録された連続キャッチ数に基づき、ベストパフォーマンスの試行を取り出した。参加者の間でベストパフォーマンスを示す連続キャッチ数の差が極めて大きいことがわかった。例えば、全参加者の中で、最終的に連続キャッチ数が最も多かった者は、7日目で354回であった(1日目:19回;4日目:101回)。一方で、連続キャッチ数が最も少なかった参加者は、7日目の時点で7回であった(1日目:6回;4日目:7回)。

次に、Hashizume & Matsuo (2004)を参考に、7日目のベストパフォーマンスに応じて、参加者を以下の3種類の到達群に分けた。7日目に100回以上の連

続キャッチを達成した Stage 3 到達群 (4 名, 平均 266 回), 続いて 50 回程度の連続キャッチを達成した Stage 2 到達群 (3 名, 平均 42 回), そして, 10 回程度の連続キャッチであった Stage 1 群 (4 名, 平均 9 回) の計 3 群である. 以降では, 到達群ごとに分析を行った.

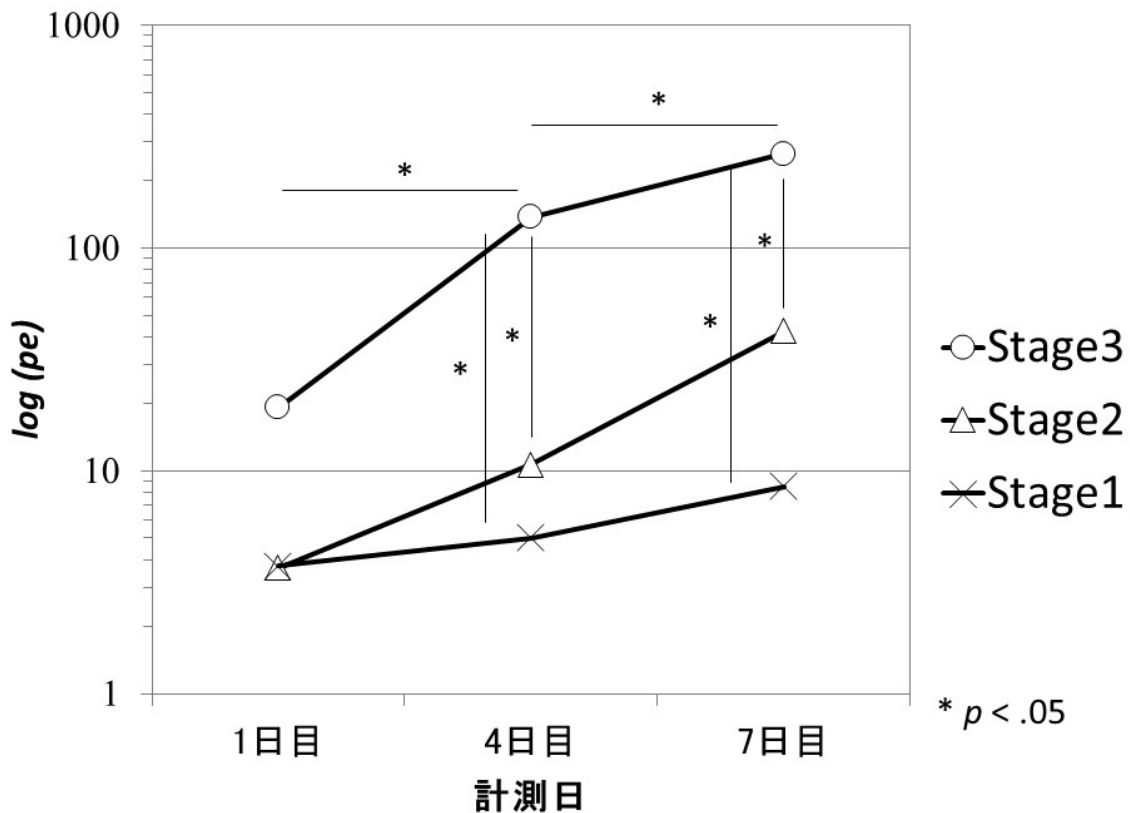
図 2.3 は, 3 種類の到達群におけるベストパフォーマンスを示す連続キャッチ数の平均値の推移である. 横軸は計測日, 縦軸は連続キャッチ数の平均値 (回数) である. ただし, 縦軸は 10 を底とする対数目盛である.

対数変換を行わず, ベストパフォーマンスについて, Stage 要因 (Stage 1 群/ Stage 2 到達群/ Stage 3 到達群) を被験者間要因, 計測日要因 (1 日目/ 4 日目/ 7 日目) を被験者内要因とする 2 要因の分散分析を行ったところ, Stage 要因と計測日要因でそれぞれ主効果を確認した (Stage 要因: $F(2, 8) = 17.24, p < .005$; 計測日要因: $F(2, 16) = 9.67, p < .005$). さらに, Stage 要因と計測日要因の交互作用が有意であった ($F(4, 16) = 5.89, p < .005$). 交互作用が有意であったので, 各 Stage 水準における計測日要因についての単純主効果検定を行ったところ, Stage 3 到達群のみ有意であった (Stage 1 群: $F(2, 16) = 0.01, n.s.$; Stage 2 到達群: $F(2, 16) = 0.58, n.s.$; Stage 3 到達群: $F(2, 16) = 20.86, p < .001$). Ryan 法を用いた多重比較の結果, Stage 3 到達群において, 7 日目は 4 日目に比べて, 4 日目は 1 日目に比べて, 連続キャッチ数が有意に多かった ($ps < .05$). また, 各計測日水準における Stage 要因の単純主効果検定を行ったところ, 4 日目と 7 日目において有意であった (1 日目: $F(2, 24) = 0.10, n.s.$; 4 日目: $F(2, 24) = 6.98, p < .005$; 7 日目: $F(2, 24) = 24.17, p < .001$). Ryan 法を用いた多重比較の結果, 4 日目と 7 日目において, Stage 3 到達群は, Stage 1 群や Stage 2 到達群に比べて, 連続キャッチ数が有意に多かった ($ps < .05$).

次に, 同様の分析を, 中央値を用いて行った. 各計測日における参加者ごとの中央値を到達群ごとに平均し, Stage 要因を被験者間要因, 計測日要因を被験者内要因とする 2 要因の分散分析を行ったところ, Stage 要因と計測日要因でそれぞれ主効果を確認した (Stage 要因: $F(2, 8) = 58.42, p < .001$; 計

測日要因: $F(2, 16) = 22.19, p < .001$). さらに, Stage 要因と計測日要因の交互作用が有意であった ($F(4, 16) = 11.93, p < .001$). 交互作用が有意であったので, 各 Stage 水準における計測日要因についての単純主効果検定を行ったところ, Stage 3 到達群のみ有意であった (Stage 1 群: $F(2, 16) = 0.03, n.s.$; Stage 2 到達群: $F(2, 16) = 1.88, n.s.$; Stage 3 到達群: $F(2, 16) = 44.14, p < .001$). Ryan 法を用いた多重比較の結果, Stage 3 到達群において, 7日目は4日目に比べて, 4日目は1日目に比べて, 連続キャッチ数が有意に多かった ($ps < .05$). また, 各計測日水準における Stage 要因についての単純主効果検定を行ったところ, 4日目と7日目において有意であった (1日目: $F(2, 24) = 0.31, n.s.$; 4日目: $F(2, 24) = 17.73, p < .001$; 7日目: $F(2, 24) = 58.55, p < .001$). Ryan 法を用いた多重比較の結果, 4日目と7日目において Stage 3 到達群は, Stage 1 群や Stage 2 到達群に比べて, 連続キャッチ数が有意に多かった ($ps < .05$).

以上より, パフォーマンスにおけるベストパフォーマンスと中央値の結果は, 同一の傾向を示した.



pe: 連続キャッチ数の平均値(回数)

図 2.3 3 種類の到達群におけるベストパフォーマンスを示す連続キャッチ数

2.3.2 身体動作その 1：ボール保持率

次に，第 1 章の第 3 節で取り上げたボール保持率に関して，Beek & van Santvoord (1992) が述べる特徴が各到達群で観察されるかを検討した。

分析手続

本分析では，定常化した身体動作を分析した．そのため，手にボールを持った初期状態の影響が現れると考えられる最初の連続キャッチ 3 回分は分析から除外した．そして，Beek & van Santvoord (1992) に基づいて，連続キャッチ 12 回分 (two complete cycles) を分析区間とした．左右の手で，ボール保持率の平均値をそれぞれ求め，両者の平均値を算出した．

なお，連続キャッチ数 15 回未満の試行では，全ての連続キャッチを分析区

間として、同様の分析を行った。

7日目におけるベストパフォーマンスのボール保持率を運動計測時に撮影した映像を基に算出した。

分析結果

3種類の到達群におけるボール保持率を図2.4に示す。横軸は到達群，縦軸はボール保持率 k を表す。エラーバーは標準誤差を表す。

各到達群の間で，Beek & van Santvoord (1992) が主張するボール保持率の特徴は確認されず，連続キャッチ数とボール保持率との間に関連はみられなかった。

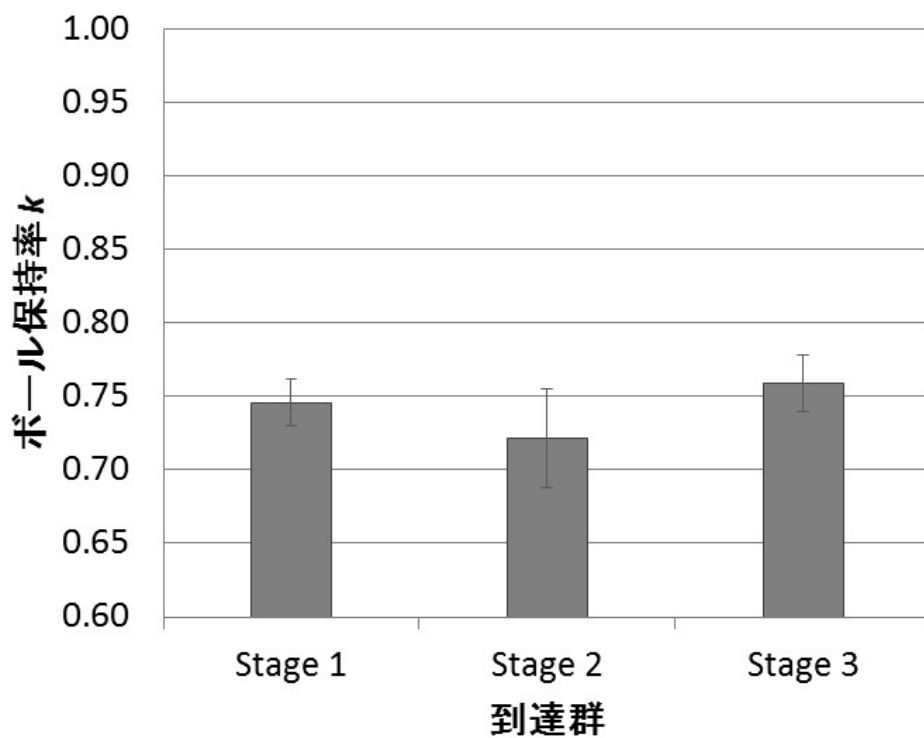


図 2.4 3種類の到達群におけるボール保持率

2.3.3 身体動作その2：身体位置の変動

分析手続

身体動作の安定性に関して、ある特徴点における体幹と上肢の位置の安定性をエキスパートジャグラーも含めて検討した。体幹は、床を基準とする「胸」の位置の安定性、上肢は、胸を基準とする「手首」の位置の安定性で捉えた。

本分析では、手首の上下運動における最上点を「山点」、最下点を「谷点」と呼ぶことにする（図2.5）。山点はキャッチに、谷点はトスに関連する特徴点である。

手首については上下運動に基づいて、山点と谷点を同定し、位置の安定性を分析した。胸に関しては、手首のような周期性が現れないため、手首による山点の時刻における胸の位置を胸の山点、手首による谷点の時刻における胸の位置を胸の谷点として分析を行った。

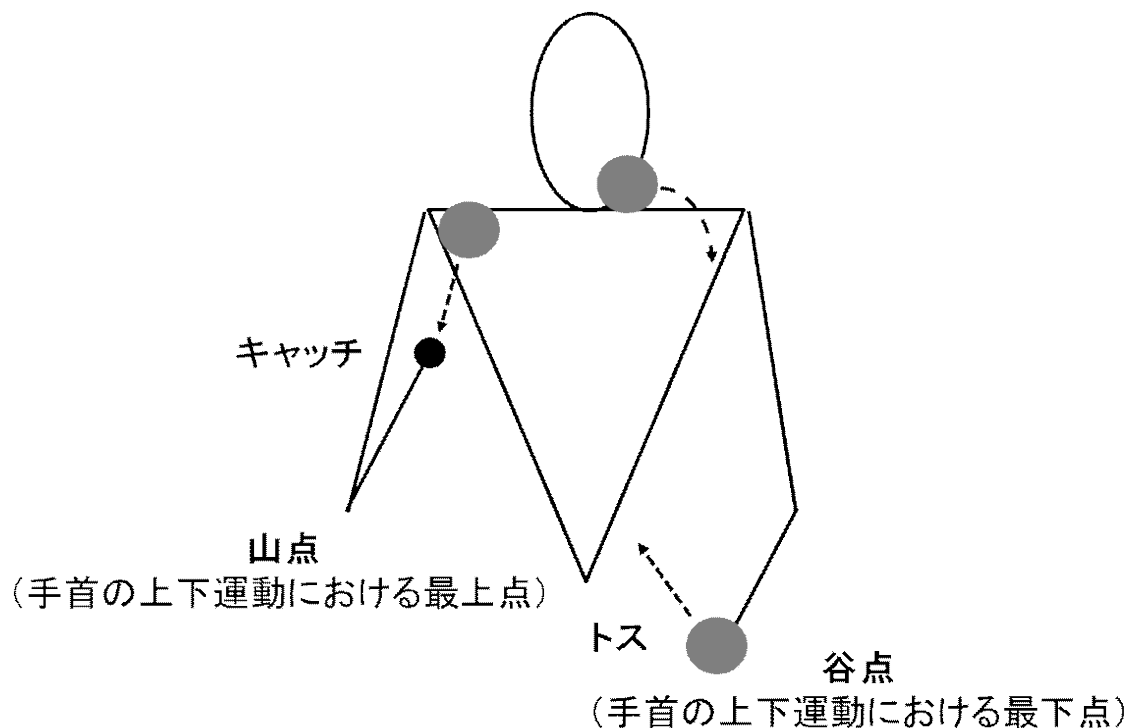


図 2.5 山点と谷点

具体的には、胸の位置の「変動」と、手首の位置の「変動」を標準偏差 (SD) により評価した。Stage 2 到達群, Stage 3 到達群, およびエキスパート群では、定常化した身体動作の安定性を分析することを試みた。そのため、山点については、カスケード開始から3つ目のボールが最初にトスされた直後の山点までを定常状態に達する以前の初期状態の影響が現れる範囲とみなし、分析から除外した。それ以降、左右の手における山点各6点、計12点を分析区間として、以下の式により、3次元ベクトルに基づく山点の身体位置の変動を示す標準偏差 s_{d_p} を算出した。 x_{p_k} , y_{p_k} , z_{p_k} はそれぞれ、奥行方向, 水平方向, 垂直方向における k 番目の山点の身体位置, d_{p_k} は、3次元ベクトルに基づく k 番目の山点の身体位置を表す。

$$d_{p_k} = \sqrt{x_{p_k}^2 + y_{p_k}^2 + z_{p_k}^2} \quad (2.1)$$

$$\bar{d}_p = \frac{\sum_{k=1}^6 d_{p_k}}{6} \quad (2.2)$$

$$s_{d_p} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^6 (\Delta d_{p_k} - \bar{d}_p)^2}{6}} \quad (2.3)$$

谷点についても、同様の分析を行った。

左右の手においてそれぞれ、山点と谷点の位置の変動を求め、両者の平均値を算出した。van Santvoord & Beek (1996) において、カスケードを行う際に、左右の手で運動に特徴的な差異は現れない傾向が確認されていることから、本分析では、左右の手の平均値を評価した。なお、Stage 1 群では、連続キャッチ数が少なく、上記の条件を満たすことができなかったため、全ての山点と谷点を分析区間として、同様の分析を行った。

各参加者のベストパフォーマンスを記録した1試行を対象に、胸の位置の変動と手首の位置の変動をそれぞれ求めた。ただし、分析区間において、山点と谷点の各身体部位の位置に欠損があった場合は、セカンドベスト、ある

いはサードベストの1試行を用いて分析を行った。具体的に、セカンドベストを用いた参加者は Stage 1 群で1名，Stage 2 到達群で1名，さらにサードベストを用いた参加者は，Stage 2 到達群で1名であった。Stage 1 群の4名中2名については，身体部位の位置の欠損により分析条件を満たす試行がなかったため除外した。

分析結果

手首と胸の位置の変動を図 2.6 と図 2.7 にそれぞれ示す。どちらのグラフも横軸は到達群，縦軸は位置の変動を示す標準偏差の平均値 s_d (mm)，エラーバーは標準誤差を表す。なお，Stage 1 群は分析区間が他の群と異なることから，Stage 2 到達群，Stage 3 到達群，およびエキスパート群の3水準で以下の分散分析から位置の変動を比較した。

上肢の運動の安定性に関して，手首の位置の変動について，Stage 要因 (Stage 2 到達群/ Stage 3 到達群/エキスパート群) を被験者間要因，特徴点要因 (山点/谷点) を被験者内要因とする2要因の分散分析を行ったところ，Stage 要因と特徴点要因でそれぞれ主効果を確認した (Stage 要因: $F(2, 7) = 6.31, p < .05$; 特徴点要因: $F(1, 7) = 26.81, p < .005$)。さらに，Stage 要因と特徴点要因の交互作用が有意であった ($F(2, 7) = 8.80, p < .05$)。交互作用が有意であったので，各 Stage 水準における特徴点要因についての単純主効果検定を行ったところ，Stage 2 到達群において，山点は谷点と比べて変動が有意に大きく，Stage 3 到達群においても同様の傾向を示したが，エキスパート群ではそのような差異はなかった (Stage 2 到達群: $F(1, 7) = 39.86, p < .001$; Stage 3 到達群: $F(1, 7) = 4.17, p < .10$; エキスパート群: $F(1, 7) = 0.38, n.s.$)。また，各特徴点水準における Stage 要因についての単純主効果検定を行ったところ，山点のみ有意であった (山点: $F(2, 14) = 13.46, p < .001$; 谷点: $F(2, 14) = 0.45, n.s.$)。Ryan 法を用いた多重比較の結果，山点で，Stage 2 到達群は，Stage 3 到達群やエキスパート群に比べて変動が有意に大きかった ($ps < .05$)。なお，図 2.6 より明らかのように，Stage 1 群の変動は，他の群に比べて極めて大きかった。

次に、先程と同様に、体幹の運動の安定性に関して、胸の位置の変動について、Stage 要因と特徴点要因による2要因の分散分析を行ったところ、Stage 要因のみで主効果を確認した (Stage 要因: $F(2, 7) = 5.44, p < .05$; 特徴点要因: $F(1, 7) = 0.01, n.s.$)。また、Stage 要因と特徴点要因の交互作用が有意傾向であった ($F(2, 7) = 3.28, p < .10$)。Stage 要因に有意な主効果を確認したため、Ryan 法を用いた多重比較を行った結果、Stage 3 到達群は、エキスパート群に比べて変動が有意に大きかった ($p < .05$)。なお、図 2.7 より明らかのように、Stage 1 群の変動は、他の群に比べて極めて大きかった。

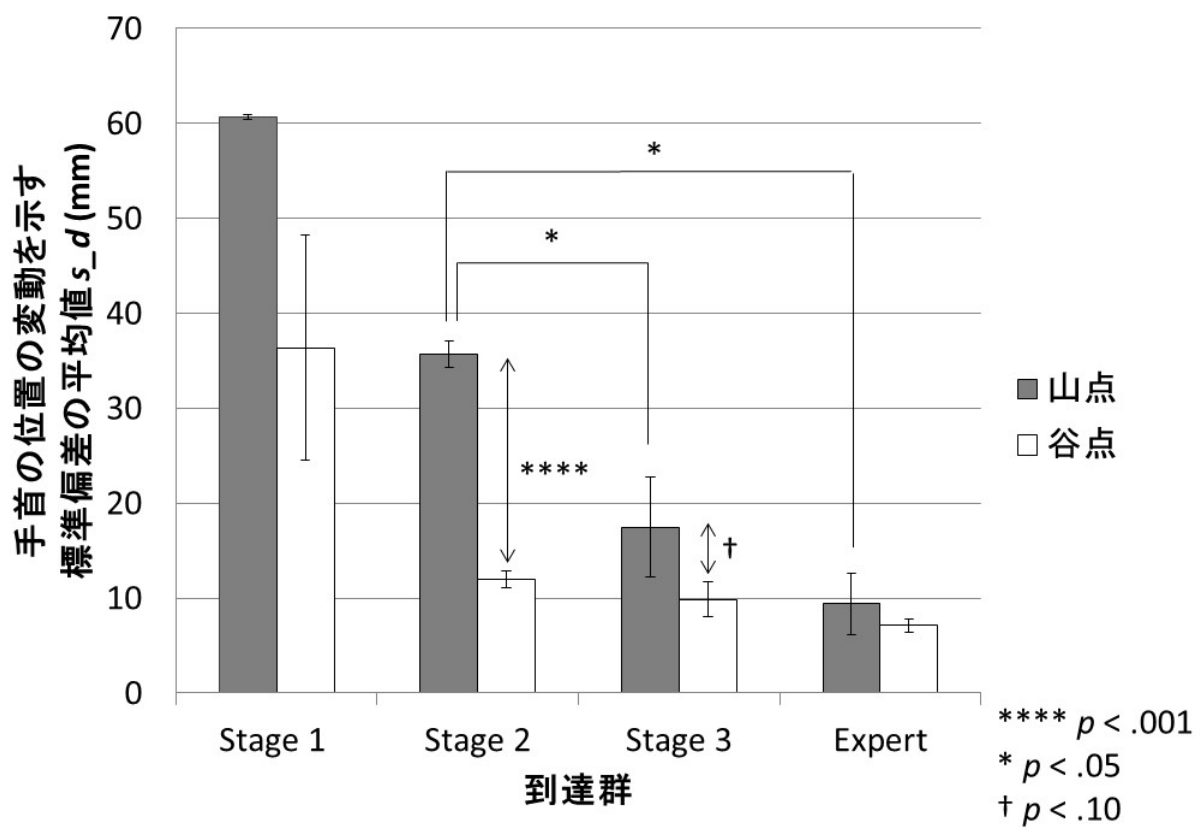


図 2.6 手首の位置の変動

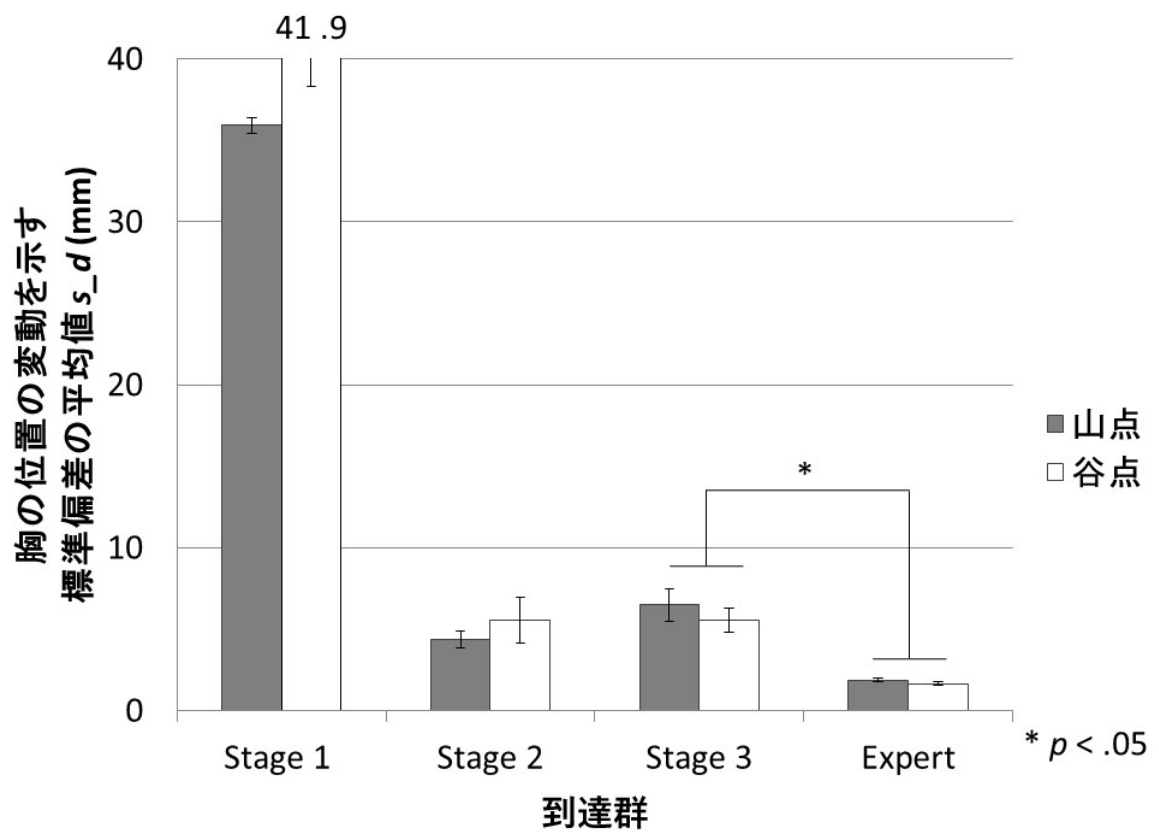


図 2.7 胸の位置の変動

2.3.4 結果の要旨

分析結果より，Stage 2 到達群，Stage 3 到達群，およびエキスパート群の間で位置の変動を比較したところ，手首は，山点で，Stage 3 到達群やエキスパート群の方が，Stage 2 到達群に比べて変動が有意に小さかった．しかし，谷点では，群間で有意差はなかった．

Stage 3 到達群やエキスパート群の方が，Stage 2 到達群に比べて，手首の位置の変動が有意に小さかったのに対し，胸は，Stage 3 到達群と Stage 2 到達群の間で，変動に有意差はなく，エキスパート群の方が，Stage 3 到達群に比べて変動が有意に小さかった．

以上の結果は，各習得段階で安定する身体動作が異なることを示した．

2.4 考察

研究1では，基本動作の獲得に関連して，体幹と上肢の運動の安定性が，習得段階とどのように関連するかを検討した．その結果は，Stage 3 到達群の方が Stage 2 到達群に比べて上肢の運動が安定し，エキスパート群の方が Stage 3 到達群に比べて体幹の運動が安定することを示した．

Haibach et al. (2004) は，習得過程において，両手運動が八の字に収束するだけでなく，胴体の横揺れの範囲が小さくなることを確認した．手は，本研究における上肢の運動であり，胴体は体幹の運動に対応する．さらに，田中・小河原 (2010) においても，トスやキャッチに関する手の運動が安定することが指摘されている．しかし，これらの先行研究では，初学者による習得過程を3段階に分けていないため，各習得段階における身体動作の安定性の特徴について議論していない．

本実験の結果は，連続キャッチを維持するうえで，Stage 2 到達群と Stage 3 到達群，およびエキスパート群の間で安定する身体動作が異なることを示した．

なお、上肢の運動の安定性は、山点で、Stage 3 到達群とエキスパート群の方が、Stage 2 到達群に比べて変動が有意に小さかったのに対し、谷点では、群間で有意差はなかった。この点について、Beek & Lewbel (1995) や山本 (2012) は、ジャグラーは、常に同じ位置でトスを行おうとすると述べた。Stage 2 到達群以降では、トスを行う際に、能動的に上肢を制御して安定した運動を実現したと考えられる。さらに、Haibach et al. (2004) や田中・小河原 (2010) は、習得過程において、ボールの軌道が八の字に収束すると主張した。ボールの軌道を安定させるためには、ボールコントロールの向上が必要とされる。ボールコントロールが定まっていない段階では、トスを行う位置が安定したとしても、ボールの落下地点が安定しないため、落下してくるボールへの対応が要求されるキャッチの位置は安定しない。本実験の結果において、山点で、Stage 3 到達群とエキスパート群の間で手首の位置の変動に有意差がなかったことを踏まえると、キャッチに関連する安定した上肢の運動は、Stage 3 の習得段階に至って獲得されるかもしれない。

Stage 1 群では、カスケードに要求される手続等を理解する段階であるため (Beek & van Santvoord, 1992)、体幹と上肢の運動の両方で、他の到達群に比べて変動が極めて大きくなったと考えられる。

研究1では、体幹と上肢の運動が安定するという基本動作の獲得に関する先行研究の知見を確認した。さらに、パフォーマンスと対応づけて基本動作の獲得についての特徴を示した。

2.5 研究1のまとめ

研究1では、カスケード習得における体幹と上肢の運動の安定性が、Beek & van Santvoord (1992) で提唱された習得段階とどのように関連するかを実験的に検討した。

その結果、Stage 3 到達群では Stage 2 到達群に比べて上肢の運動が安定し、エキスパート群の方が Stage 3 到達群に比べて体幹の運動が安定したことか

ら、各習得段階で安定する身体動作が異なることを確認した。

研究1の結果は、基本動作の獲得に関する先行研究の知見 (e.g., Haibach et al., 2004; 田中・小河原, 2010) と一致した。研究1では、パフォーマンスと対応づけて基本動作の獲得についての特徴を示した。

第3章

研究2：習得過程における個人特有の身体動作の獲得

3.1 目的

研究1では、カスケードに関する身体スキルの習得において、体幹と上肢の運動が安定することを確認した。これは、基本動作の獲得に関する先行研究の知見と同様の結果であった。

Button et al. (2003) や Davids, Button, & Bennett (2008) は、多くの身体スキルに関する研究が、練習を通して安定してゆく身体動作のみに焦点をあて、それ以外の動作をノイズとして無視する傾向を問題視している。そして、ノイズとして扱われる身体動作の中に、ある個人が課題を行ううえで重要な役割を果たす動作があると主張する。また、鈴木・大西・竹葉 (2008) は、スキルの習得における個人による習得過程を詳細に分析し、そこに現れる特徴を検討することで、平均的な習得過程を検討するだけではわからなかった知見が得られ、当該領域の発展につながる可能性を指摘している。

研究2では、習得過程における個人特有の身体動作に焦点をあて、基本動作にあてはまらない動作が、高いパフォーマンスを達成するうえでの工夫であり、重要な役割を果たす可能性について実験的に検討する。さらに、個人特有の身体動作が観察された際、その人なりの着眼点と関連するかについて

も合わせて検討する。

3.2 方法

3.2.1 参加者

大学生と大学院生26名（男性，右投げ）が，以下で述べる実験オーディションに参加した。彼らは全員，ジャグリング未経験者であった。本実験では，連続キャッチ数100回以上を達成した習得者を分析対象とするため，オーディションを実施することで，達成の見込みがある参加者を選別した。そして，オーディションから選抜された11名（平均20.5歳）が，その後6日間にわたって実験に参加した。

3.2.2 手続

1日目のオーディションで，参加者はジャグリング専用ボール3個を受け取った。さらに，研究1と同様に，補助資料として，手続について図解された解説シートが配布された。加えて，エキスパートジャグラーによるカスケードの映像が実験室の壁に映し出され，参考にするように指示を受けた。制限時間約60分以内に，7回以上，連続でボールをキャッチし続けられた参加者が，2日目以降の実験に参加した。

2日目以降，参加者は補助資料なしで1日最低60分，カスケードの練習を行った。練習は各自，自由な場所で行うことが許可された。練習の進捗状況を確認するために，2日目から7日目の各日において，パフォーマンス計測を実施した。原則として10試行，各自の進捗状況等に応じて，最大25試行を行った。また，この時の身体動作を3次元モーションキャプチャを用いて運動計測を行った。

研究1と同様に，運動計測にあたって，参加者には反射マーカールが取り付けられた。反射マーカールの動きを，本実験に向けて再設置した赤外線カメラ9台（NAC社製，Hawk: 4台，Hawk-i: 5台，サンプリング周波数：100 Hz）で捉

えた。ただし、実験を開始してから3日後に、Hawk-iが1台故障したため、以降は8台で計測を実施した。床を基準とする各身体部位の位置を3軸方向（奥行方向，水平方向，垂直方向）で記録した。

また、パフォーマンス計測の前後にインタビューを行った。インタビューでは、カスケード習得に向けて気をつけた点に関して自由に言語報告を行わせた。実験者が内容を理解できない場合は、参加者に対してより詳細な報告を行うように促した。

3.3 分析手続と結果

3.3.1 パフォーマンス

参加者11名中5名が、6日間の実験を通して、少なくとも1試行で連続キャッチ数100回以上を達成した。この5名について、各計測日におけるベストパフォーマンスからサードベストまでの連続キャッチ数の平均値を算出した。図3.1は、その推移である。横軸は計測日、縦軸は連続キャッチ数の平均値（回数）である。参加者Eは、5日目の1試行のみで連続キャッチ数100回以上（128回）を達成した。

Beek & van Santvoord (1992) と Hashizume & Matsuo (2004) を参考に、100回以上の連続キャッチを達成した5名の参加者を、一律に習得段階の Stage 3 に到達した習得者とみなし、3次元モーションキャプチャにより計測された身体動作と、インタビューを通して記録された言語報告を分析した。

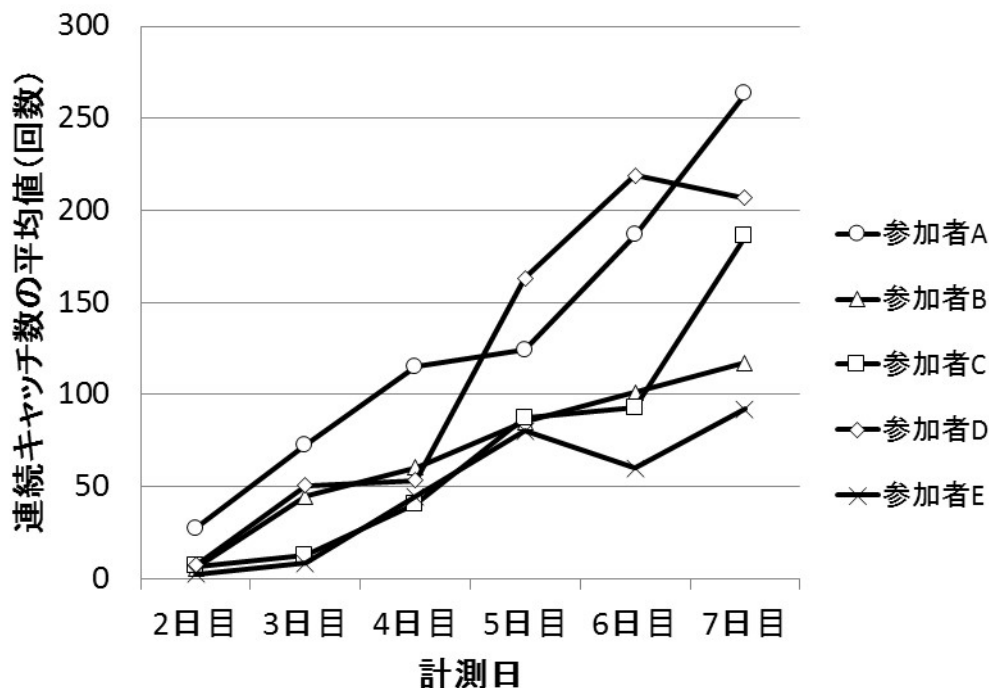


図 3.1 連続キャッチ数

3.3.2 身体動作その1：身体位置のずれと時間間隔の変動

分析手続

身体動作の安定性に関して、ある特徴点における身体位置の安定性と時間間隔の安定性を検討した。身体位置の安定性は、床を基準とする「胸」の位置の安定性と、胸を基準とする「手首」の位置の安定性で捉えた。これらは、第1章の第2節で述べた安定した身体動作における、「体幹が動かない」、「上肢の位置が腕の振りにおいて一定である」ことにそれぞれ対応する。また、時間間隔の安定性は「上肢を動かすタイミングが一定である」ことに対応する。

研究1と同様に、本分析では、山点と谷点に注目し、両点における身体位置の安定性と時間間隔の安定性を分析した。

身体位置の安定性については、 k 番目と $k+1$ 番目の山点、および k 番目と $k+1$ 番目の谷点における胸の位置の「ずれ」と手首の位置の「ずれ」を3軸方向（奥行方向、水平方向、垂直方向）で、それぞれ分析した。具体的には、奥

行方向における山点の位置のずれの場合，以下の式 (3.1) により $\overline{\Delta x_p}$ を算出した． x_{p_k} と $x_{p_{k+1}}$ はそれぞれ，奥行方向における k 番目と $k+1$ 番目の山点の身体位置， n は，計測された山点の総数を表す．

$$\overline{\Delta x_p} = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} |x_{p_{k+1}} - x_{p_k}|}{n-1} \quad (3.1)$$

同様に，水平方向，垂直方向における山点の位置のずれ， $\overline{\Delta y_p}$ ， $\overline{\Delta z_p}$ ，および奥行方向，水平方向，垂直方向における谷点の位置のずれ， $\overline{\Delta x_v}$ ， $\overline{\Delta y_v}$ ， $\overline{\Delta z_v}$ をそれぞれ分析した．

時間間隔の安定性に関しては， k 番目と $k+1$ 番目の山点，および谷点の時間間隔の「変動」をその標準偏差 (SD) により分析した．具体的には，山点の時間間隔の変動の場合，以下の式により s_{t_p} を算出した． t_{p_k} と $t_{p_{k+1}}$ はそれぞれ， k 番目と $k+1$ 番目の山点が見れた時刻， Δt_{p_k} は k 番目と $k+1$ 番目の山点が見れた時刻による k 番目の時間間隔を表す．

$$\Delta t_{p_k} = t_{p_{k+1}} - t_{p_k} \quad (3.2)$$

$$\overline{\Delta t_p} = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} \Delta t_{p_k}}{n-1} \quad (3.3)$$

$$s_{t_p} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n-1} (\Delta t_{p_k} - \overline{\Delta t_p})^2}{n-1}} \quad (3.4)$$

同様に，谷点の時間間隔の変動 s_{t_v} を分析した．

本分析では，定常化した身体動作の安定性を分析した．そのため，手にボールを持った初期状態の影響が現れると考えられる範囲は分析から除外した．具体的に，左右の手において，カスケード開始直後2つの山点と谷点は分析から除外した．さらに，最後から遡って2つの山点と谷点についても分析から除外した．左右の手においてそれぞれ，山点と谷点の身体位置のずれ，および時間間隔の変動を求め，両者の平均値を算出した．

なお、2日目や3日目に記録された連続キャッチ数15回未満の試行では、全ての山点と谷点を分析区間として同様の分析を行ったが、連続キャッチ数15回以上の試行と分析区間が異なることから、統計検定を行う際には除外した。

各計測日におけるベストパフォーマンスからサードベストまでの胸の位置のずれの平均値、手首の位置のずれの平均値、および時間間隔の変動を示す標準偏差の平均値を算出した。ただし、ファーストベストからサードベストまでの各試行で、左右の手における山点、あるいは谷点の身体位置に欠損があり、欠損率が20%以上あった場合は、フォースベスト以降の試行を用いて分析を行った。具体的に、参加者Cの3日目における1試行、参加者Dの3日目における1試行、参加者Eの2日目における2試行、4日目における1試行、5日目における1試行、6日目における2試行では、フォースベスト以降の試行を用いて分析を行った。

分析結果

本分析では、各参加者で、3軸方向における胸の位置のずれ、手首の位置のずれ、および時間間隔の変動、計7種類の指標を得た。35ケースの身体動作の安定性に関する結果を図3.2から図3.8にそれぞれ示す。図3.2から図3.4は胸の位置のずれの推移、図3.5から図3.7は手首の位置のずれの推移、図3.8は時間間隔の変動の推移である。いずれも横軸は計測日、縦軸は、図3.2から図3.7では3軸方向における位置のずれの平均値 Δx , Δy , Δz (mm), 図3.8では時間間隔の変動を示す標準偏差の平均値 s_t (秒)を表す。エラーバーは標準誤差である。

なお、灰色の棒グラフは、連続キャッチ数15回未満の試行に基づく結果である。ただし、参加者Bや参加者Cの2日目、参加者Eの2日目、および3日目では、連続キャッチ数が10回未満であるため、試行数3で、山点、あるいは谷点の各指標の平均値を算出できなかった。そのため、これらの計測日における灰色の棒グラフは、試行数1、あるいは試行数2による結果である。

加えて、研究1で取得した、5ボールカスケードの身体スキルを習得しているエキスパートジャグラー3名のデータについて、同様の分析を行った。3名の平均値をベースラインで各図に示す。

結果の全体的な特徴として、以下の3点を確認した。

1点目は、連続キャッチ数15回未満を記録した2日目や3日目といった習得過程の序盤において、特に、胸の位置のずれと手首の位置のずれが他の計測日と比べて極めて大きかった（図3.2から図3.7における灰色の棒グラフを参照）。練習を通して、両者の位置のずれが大きく減少し、身体動作が安定した。しかし、連続キャッチ数平均15回以上を記録した習得過程の中盤から終盤にかけては、位置のずれ、さらには時間間隔の変動が必ずしも減少するわけではなかった（図3.2から図3.8における黒色と白色の棒グラフを参照）。連続キャッチ数と身体動作の安定性との間に関連がないことを確認した。

具体的には、各参加者で、各3軸方向における胸の位置のずれ、手首の位置のずれ、および時間間隔の変動について、連続キャッチ数15回未満の試行を確認した計測日を除いて、計測日要因と特徴点要因（山点/谷点）を被験者内要因とする2要因の分散分析を行った。その結果、計測日要因の主効果が有意であったのは、35ケース中8ケースであり、さらにRyan法を用いた多重比較により、胸の位置のずれや手首の位置のずれが、計測日を通して有意に減少したのは、そのうち、参加者Aの奥行方向と水平方向における胸の位置のずれ、および垂直方向における手首の位置のずれの3ケースのみであった ($p < .05$)。

2点目は、各参加者は、最終的にエキスパートジャグラーと同程度の安定した身体動作を獲得しなかった。具体的には、山点と谷点における胸の位置のずれ、手首の位置のずれ、および時間間隔の変動について、各参加者の7日目の結果と、エキスパートジャグラー3名分の結果を比較した。対応のない t 検定を実施したところ、全てにおいて有意差を確認した。山点と谷点いずれにおいても、エキスパートジャグラーの方が、胸の位置のずれや手首の位置

のずれ，および時間間隔の変動が有意に小さかった ($ps < .05$)。なお，胸の位置のずれ，手首の位置のずれ，および時間間隔の変動について，エキスパートジャグラー3名を同一のエキスパートとして扱わず，参加者要因（参加者A/参加者B/参加者C/参加者D/参加者E/エキスパート1/エキスパート2/エキスパート3）を被験者間要因，特徴点要因を被験者内要因とする2要因の分散分析を行ったとしても，上記の主張と矛盾する結果にはならなかった。

3点目は，上肢の運動に関連して，谷点の方が山点に比べて，手首の位置のずれや時間間隔の変動が小さかった。具体的には，各参加者で，各3軸方向における手首の位置のずれ，および時間間隔の変動について，計測日要因と特徴点要因による2要因の分散分析を行った。その結果，特徴点要因の主効果が有意であったのは，20ケース中17ケースであり，谷点の方が山点に比べて，位置のずれや時間間隔の変動が有意に小さかったのは，そのうち，参加者Aによる時間間隔の変動を除く16ケースであった ($ps < .05$)。

以上の3点は，下記の先行研究の知見と一致した。

1点目の「習得過程の序盤から中盤にかけて，身体動作が安定するが，中盤から終盤にかけては必ずしも安定してゆくわけではない」という結果は，Haibach et al. (2004)と山本 (2012)における，習得過程の序盤から中盤にかけては身体動作が安定し，中盤から終盤にかけては安定性が同水準で維持されるという知見と同様の結果であった。

2点目の「最終的に，各参加者は，エキスパートジャグラーと同程度の安定した身体動作を獲得しない」という結果は，van Santvoord & Beek (1996)における，エキスパートジャグラーの方が，3ボールカスケードを習得しているジャグラーに比べて，ボールを持つ手の位置が安定するという知見と同様の結果であった。

3点目の「トスの特徴点である谷点の方が，キャッチの特徴点である山点に比べて，手首の位置のずれや時間間隔の変動が小さい」という結果についても，van Santvoord & Beek (1996)における，トスの方がキャッチに比べて，

手の位置が安定するという結果と一致した。加えて、Beek & Lewbel (1995) や山本 (2012) は、ジャグラーが常に同じ位置で安定してトスを試みると述べており、この知見とも一致した。

他方で、上述した特徴にあてはまらない身体動作を以下の2ケースで確認した。これらは、それぞれ、高いパフォーマンスを達成するうえでの工夫を示す個人特有の身体動作である可能性を示唆した。

まず、参加者Eの水平方向における胸の位置のずれは、他の参加者に比べて極めて大きかった(図3.3(e)を参照)。連続キャッチ数平均15回以上を記録し、最終的に100回以上を達成した習得過程の中盤以降においても、山点と谷点いずれも、 Δy が平均35 mm以上あり、習得過程の序盤と比較しても、位置のずれが大きく減少することはなく、全体的な特徴の1点目と異なっていた。

次に、参加者Aの時間間隔の変動は、谷点で他の参加者に比べて極めて大きかった(図3.8(a)を参照)。計測日を通して、 s_t が谷点で平均0.10秒以上あった。この点に関連して、参加者Aの時間間隔の変動について、計測日要因と特徴点要因による2要因の分散分析を行ったところ、特徴点要因の主効果が有意であり、谷点の方が山点に比べて、時間間隔の変動が有意に大きかった($p < .001$)。時間間隔の変動が谷点で極めて大きいだけでなく、全体的な特徴の3点目と反対の特徴であった。

以上の結果は、身体動作の安定性に関する一部の指標で、基本動作から逸脱した個人特有の身体動作が観察されたことを示唆した。

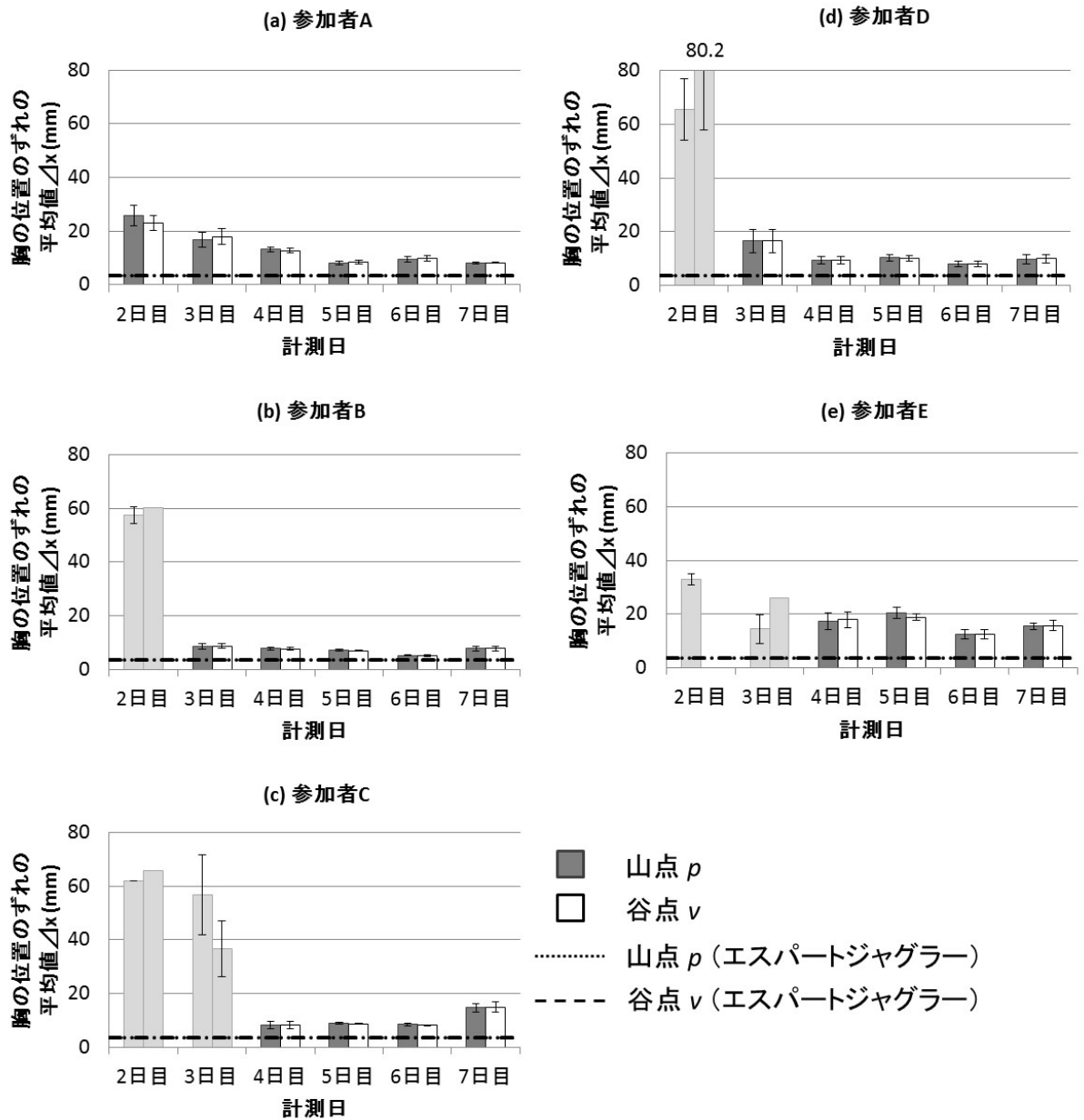


図 3.2 奥行方向における胸の位置のずれ

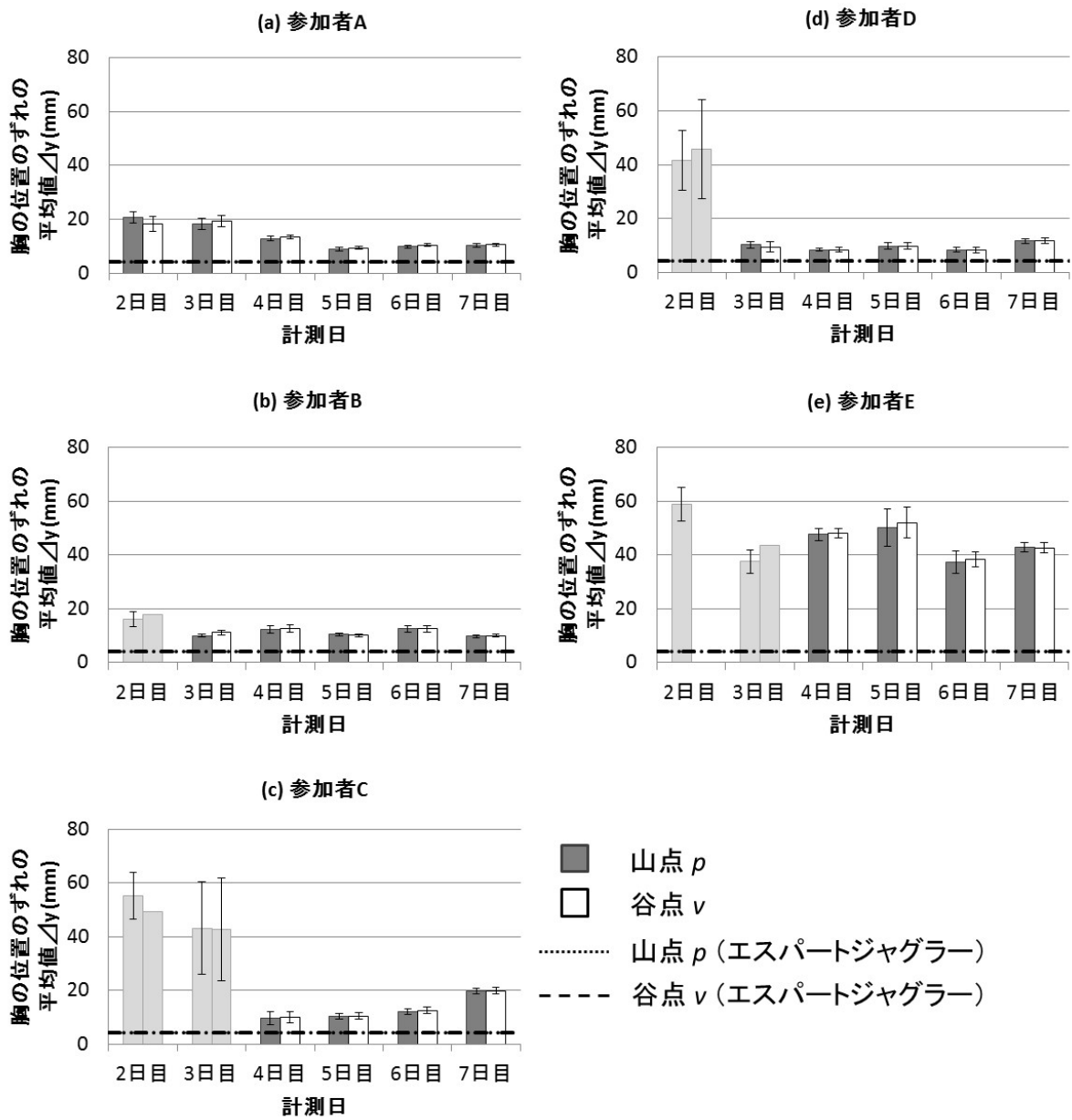


図 3.3 水平方向における胸の位置のずれ

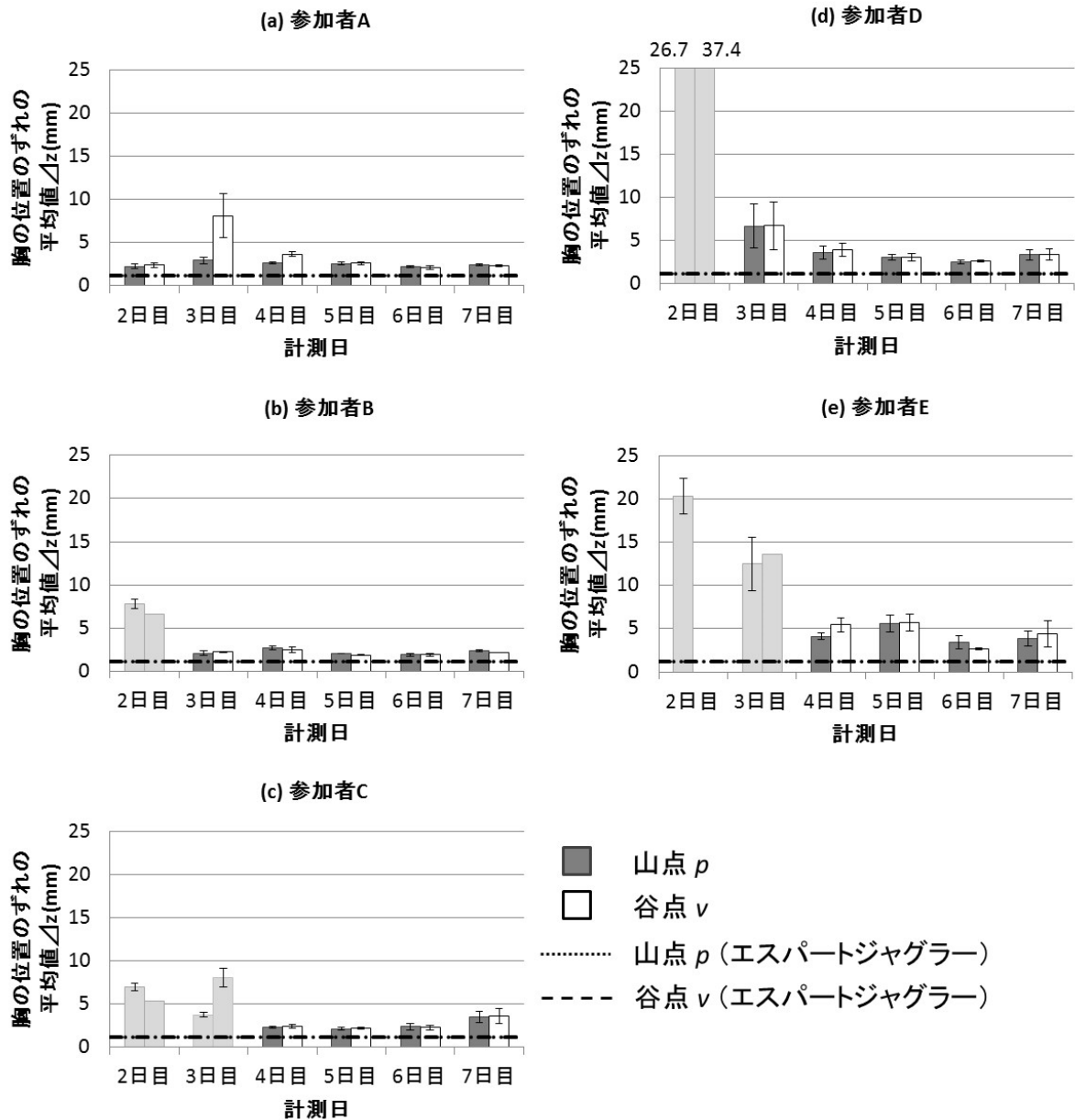


図 3.4 垂直方向における胸の位置のずれ

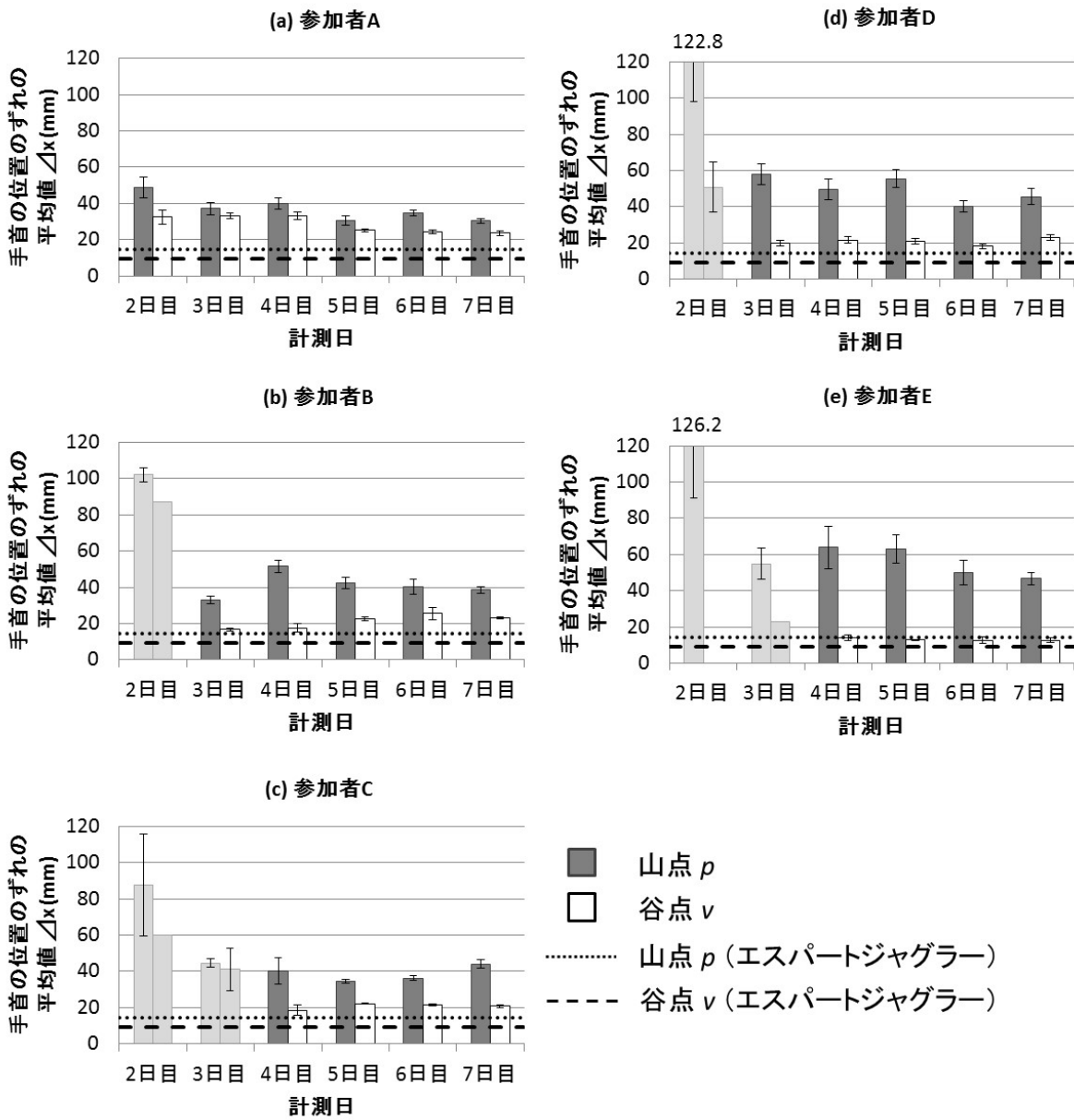


図 3.5 奥行方向における手首の位置のずれ

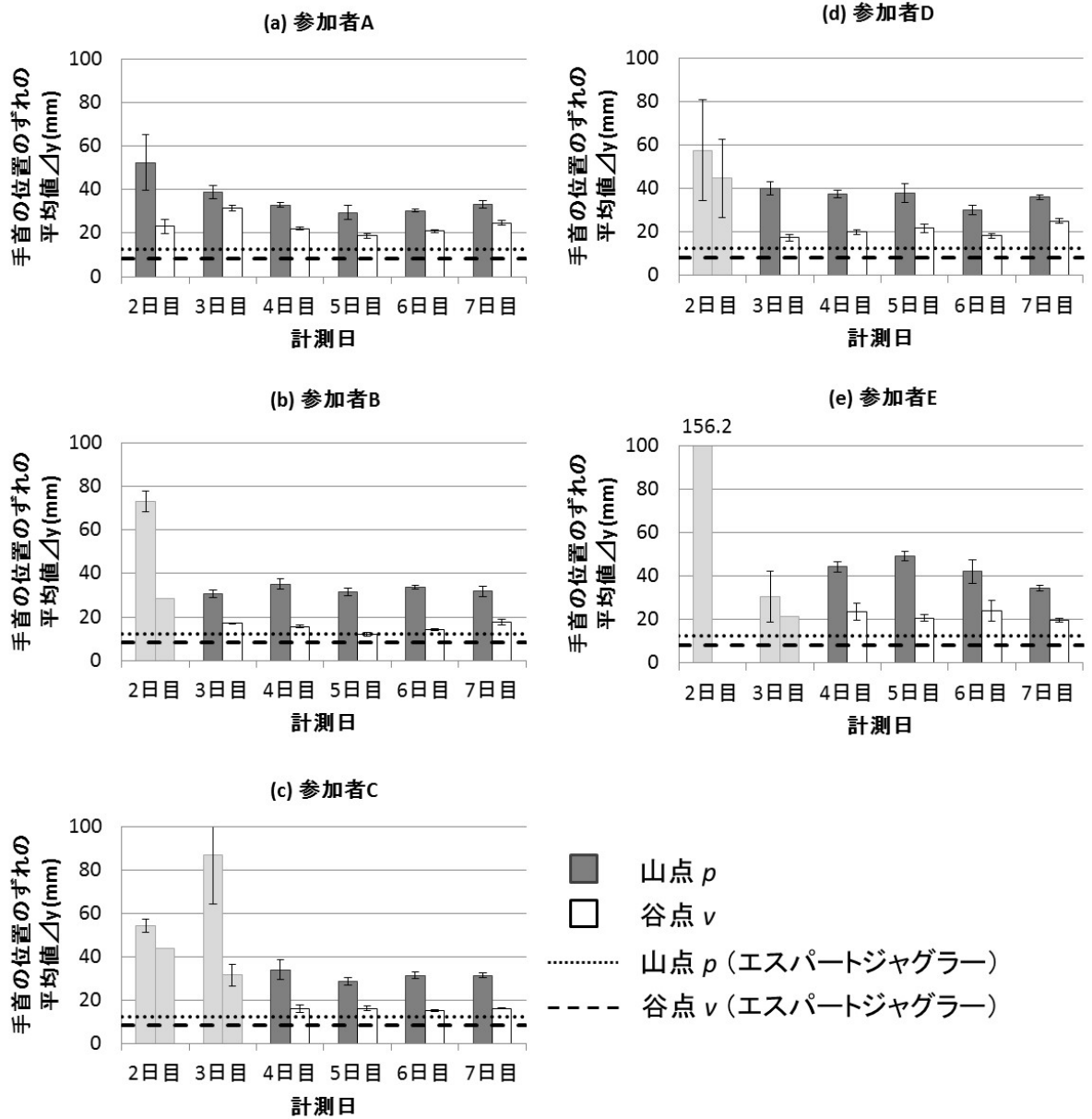


図 3.6 水平方向における手首の位置のずれ

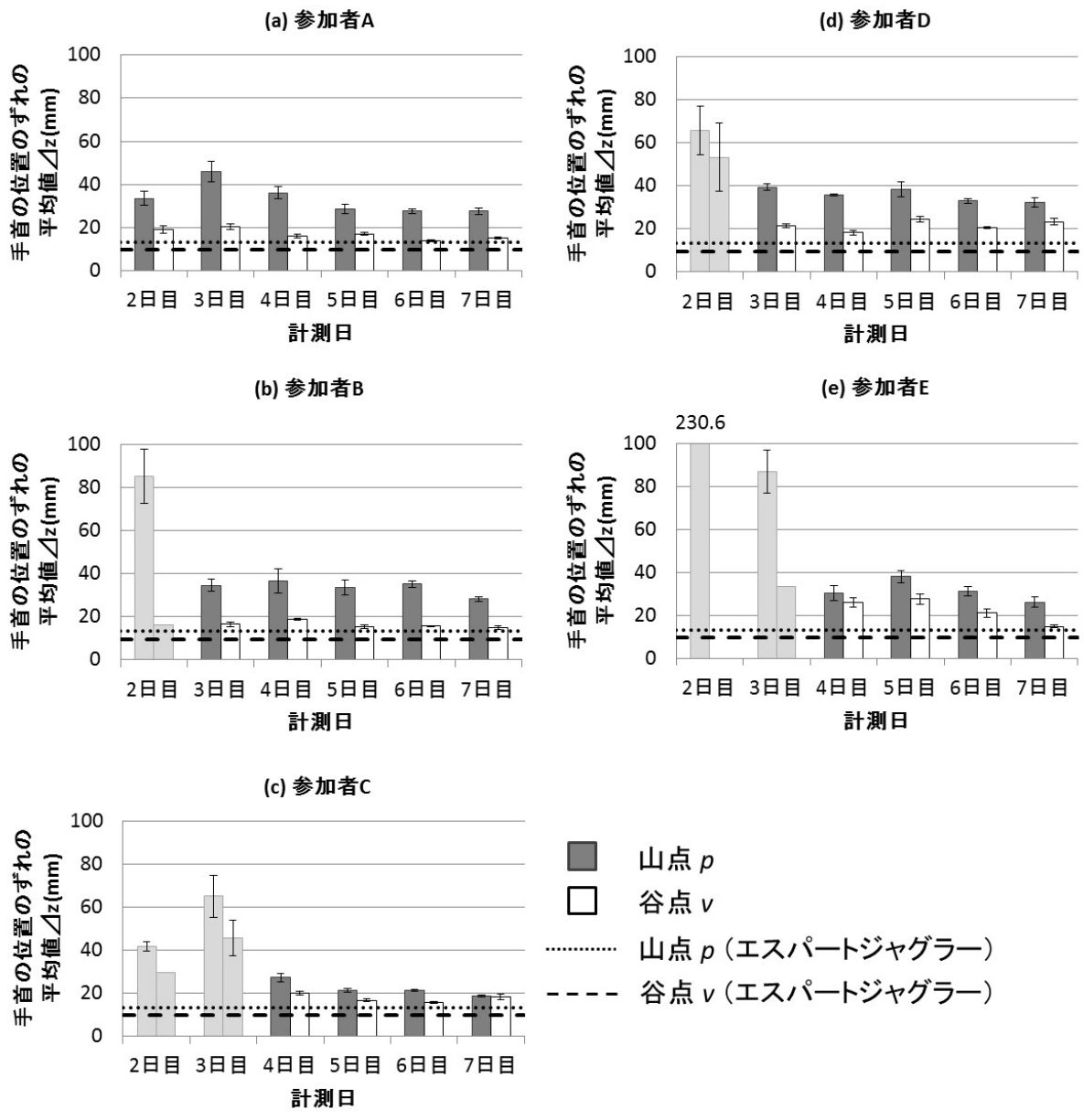


図 3.7 垂直方向における手首の位置のずれ

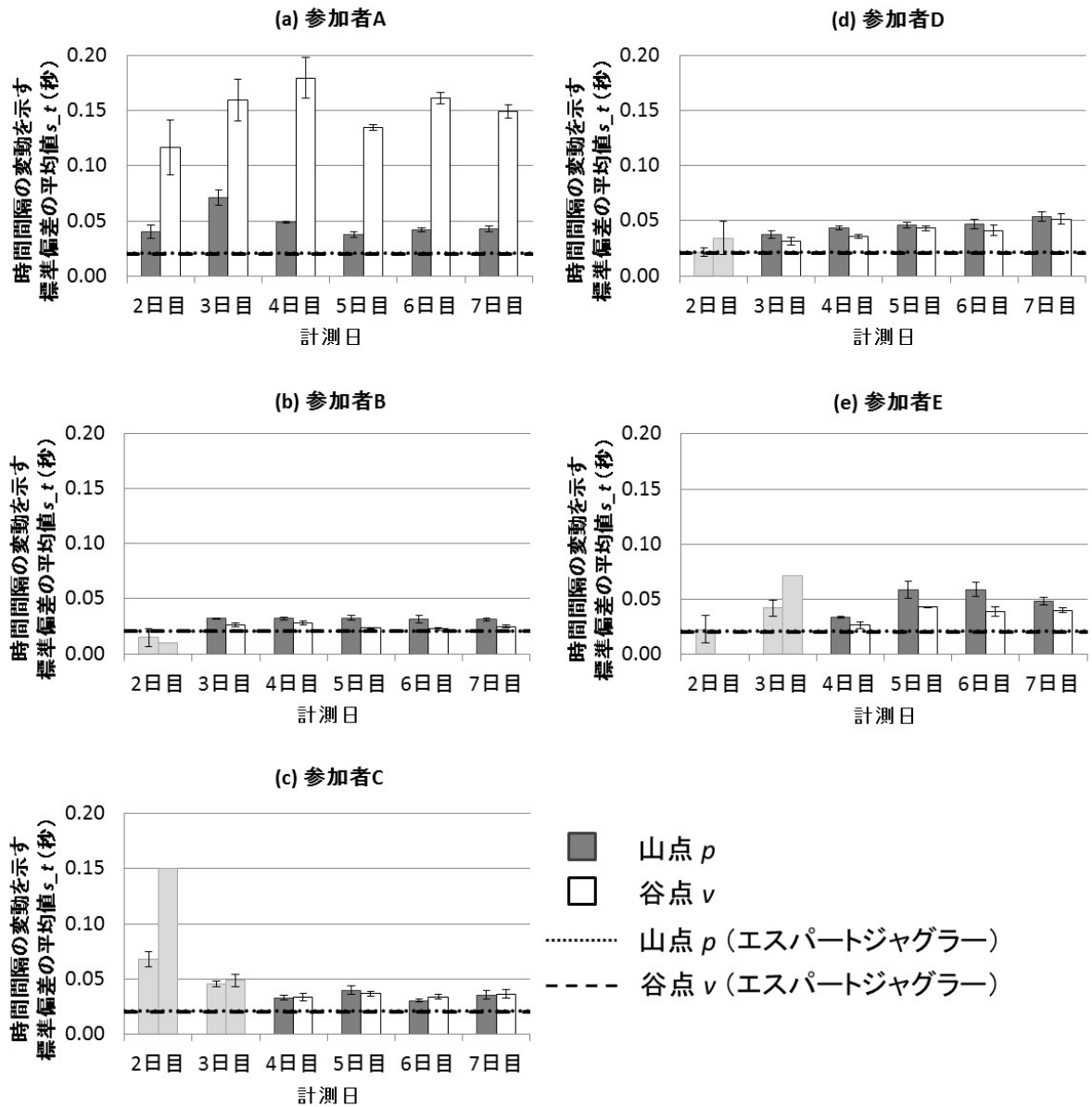


図 3.8 時間間隔の変動

3.3.3 身体動作その2：自己相関係数

分析手続

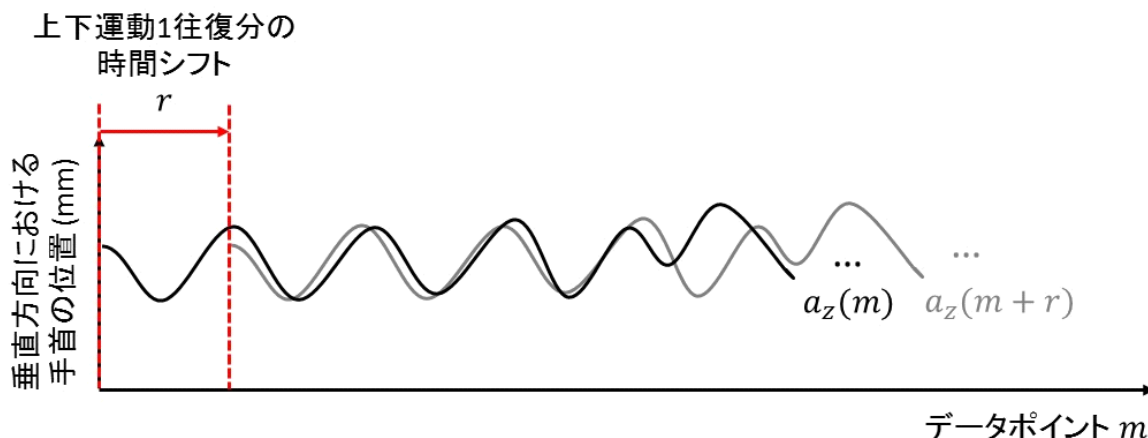
上肢の運動全体におけるパターンの安定性を捉えるために、各手首の運動曲線について自己相関係数を求めた。ここでは、横軸に「時間」、縦軸に「胸を基準とする手首の位置」をとった際の位置の時系列推移を運動曲線と呼ぶ。各手首における元の運動と、上下運動1往復分時間シフトした運動の間でどの程度、曲線パターンが一致しているかを、自己相関係数により3軸方向（奥行方向，水平方向，垂直方向）で、それぞれ分析した。本分析では、ある時点の上下運動に基づく手首の曲線パターンと、その運動の影響を最も受けると考えられる次の上下運動に基づく曲線パターンとの類似度を評価した。

具体的には、右手首の垂直方向における自己相関係数の場合、以下の式で求まる(石原, 2013)。 a_z は運動曲線を示す右手首の位置の時系列データ， μ_{a_z} は右手首の位置の平均値， r は時間シフトしたデータポイント数， m は時系列データにおける m 番目のデータポイント， M はデータポイントの総数を表す。 $C_{a_z a_z}(r)$ の求め方に関する模式図を図 3.9 に示す。

$$C_{a_z a_z}(r) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \{a_z(m) - \mu_{a_z}\} \{a_z(m+r) - \mu_{a_z}\} \quad (3.5)$$

$$C_{a_z a_z}(0) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \{a_z(m) - \mu_{a_z}\}^2 \quad (3.6)$$

$$\rho_{a_z a_z}(r) = \frac{C_{a_z a_z}(r)}{C_{a_z a_z}(0)} \quad (3.7)$$



横軸に沿って、 $a_z(m)$ と $a_z(m+r)$ の値を掛けて総和を算出し、データポイントの総数を割ることで $C_{a_z a_z}(r)$ を求める。

図 3.9 $C_{a_z a_z}(r)$ の求め方に関する模式図

奥行方向や水平方向における自己相関係数については、垂直方向における運動曲線に対して自己相関関数を適用した際、正の相関が最初に極大になる時、つまり、上下運動1往復分時間シフトした際の自己相関係数を求めた。3軸方向全て、同じデータポイント数の時間シフトで自己相関係数を算出した。自己相関係数の値が高いほど、運動曲線の周期性が高いことを意味しており、安定した運動パターンを示す。

身体位置のずれと時間間隔の変動に関する分析と同様に、定常化した身体動作の安定性を分析した。そのため、左右の手において、カスケード開始直後3つ目の山点から、最後から遡って3つ目の山点までの運動曲線を分析区間とした。左右の手で自己相関係数をそれぞれ求め、両者の平均値を算出した。

なお、2日目や3日目に記録された連続キャッチ数15回未満の試行については、1つ目の山点から最後の山点までの運動曲線を分析区間として同様の分析を行ったが、連続キャッチ数15回以上の試行と分析区間が異なることから、統計検定を行う際には除外した。

身体位置のずれと時間間隔の変動を求めた試行を対象に、各計測日におけるベストパフォーマンスからサードベストまでの自己相関係数の平均値を算

出した。

分析結果

各参加者で、3軸方向における自己相関係数を得た。15ケースの自己相関係数の推移を図3.10から図3.12に示す。横軸は計測日、縦軸は3軸方向における自己相関係数の平均値を表す。エラーバーは標準誤差である。なお、灰色の棒グラフは、連続キャッチ数15回未満の試行に基づく結果である。

加えて、エキスパートジャグラー3名のデータについて、同様の分析を行った。3名の平均値をベースラインで各図に示す。

結果の全体的な特徴として、以下の2点を確認した。

1点目は、連続キャッチ数15回未満の試行を確認した2日目や3日目といった習得過程の序盤から、連続キャッチ数平均15回以上を記録した4日目や5日目といった中盤にかけては、自己相関係数が大きく増加するが、中盤から終盤にかけては、必ずしも自己相関係数が増加せず、身体動作は安定しなかった。連続キャッチ数と身体動作の安定性との間に関連がないことを確認した。

具体的には、各参加者で、各3軸方向における自己相関係数について、連続キャッチ数15回未満の試行を確認した計測日を除いて、計測日要因を1要因とする分散分析を行った。その結果、計測日要因の主効果を確認したのは、15ケース中3ケースであり、さらにRyan法を用いた多重比較により、自己相関係数が計測日を通して有意に増加したのは、そのうち、参加者Aの垂直方向における自己相関係数と参加者Eの水平方向における自己相関係数の2ケースのみであった ($ps < .05$)。

2点目は、最終的に、エキスパートジャグラーの方が各参加者に比べて、自己相関係数は高かった。具体的には、7日目の参加者の結果と、エキスパートジャグラー3名分の結果を比較した。各3軸方向における自己相関係数について、参加者要因(参加者A/参加者B/参加者C/参加者D/参加者E/エキスパート)を1要因とする分散分析を行った。その結果、全ての方向において、参加

者要因の主効果を確認した ($ps < .001$). そして、各3軸方向において、Ryan法を用いた多重比較により、エキスパートジャグラーとそれぞれの参加者の自己相関係数を比較したところ、参加者Aと参加者Cの奥行方向における自己相関係数、および参加者Cの垂直方向における自己相関係数を除く全てにおいて、エキスパートジャグラーとの間に有意差を確認した ($ps < .05$). なお、エキスパートジャグラー3名を同一のエキスパートとして扱わず、3水準（エキスパート1/エキスパート2/エキスパート3）にして、同様の分析を行ったとしても、上記の主張と矛盾する結果にはならなかった。

全体的な特徴は、身体位置のずれや時間間隔の変動に関する分析結果や先行研究の知見 (Haibach et al., 2004; van Santvoord & Beek, 1996; 山本, 2012) と同様の結果であった。これらにおいては、「習得過程の序盤から中盤にかけては身体動作が安定し、中盤から終盤にかけては同水準の安定性が維持される」ことや、「最終的に、各参加者は、エキスパートジャグラーと同程度の安定した身体動作を獲得しない」ことが指摘されている。

他方で、全体的な特徴にあてはまらない身体動作を以下の1ケースで確認した。これは、個人特有の身体動作である可能性を示唆した。

具体的に、参加者Eの奥行方向における自己相関係数は、他の参加者に比べて極めて小さかった（図3.10 (e)を参照）。奥行方向における自己相関係数について、7日目の参加者の結果と、エキスパートジャグラー3名分の結果を比較した。自己相関係数について、参加者要因を1要因とする分散分析を行ったところ、参加者要因の主効果を確認し、さらにRyan法を用いた多重比較により、エキスパートジャグラーだけでなく、他の参加者との間にも有意差を確認した ($ps < .05$). 習得過程の序盤と比較しても、自己相関係数が大きく増加せず、全体的な特徴の1点目と異なっていた。なお、エキスパートジャグラー3名を同一のエキスパートとして扱わず、3水準にして、同様の分析を行ったところ、上記と同一の結果であった。

以上の結果は、身体位置のずれや時間間隔の変動に関する分析と同様に、

基本動作から逸脱した個人特有の身体動作が観察されたことを示唆した。

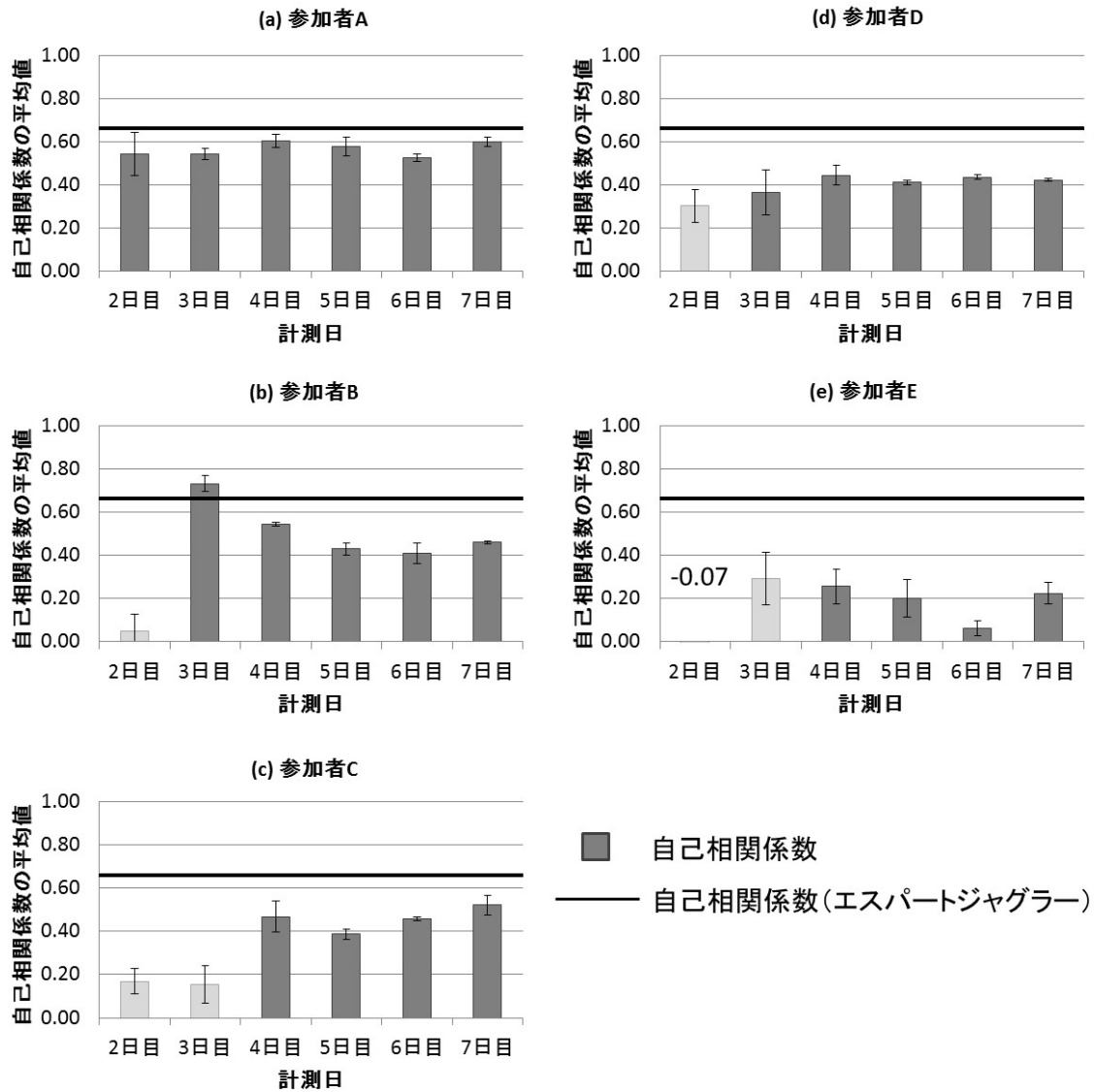


図 3.10 奥行方向における自己相関係数

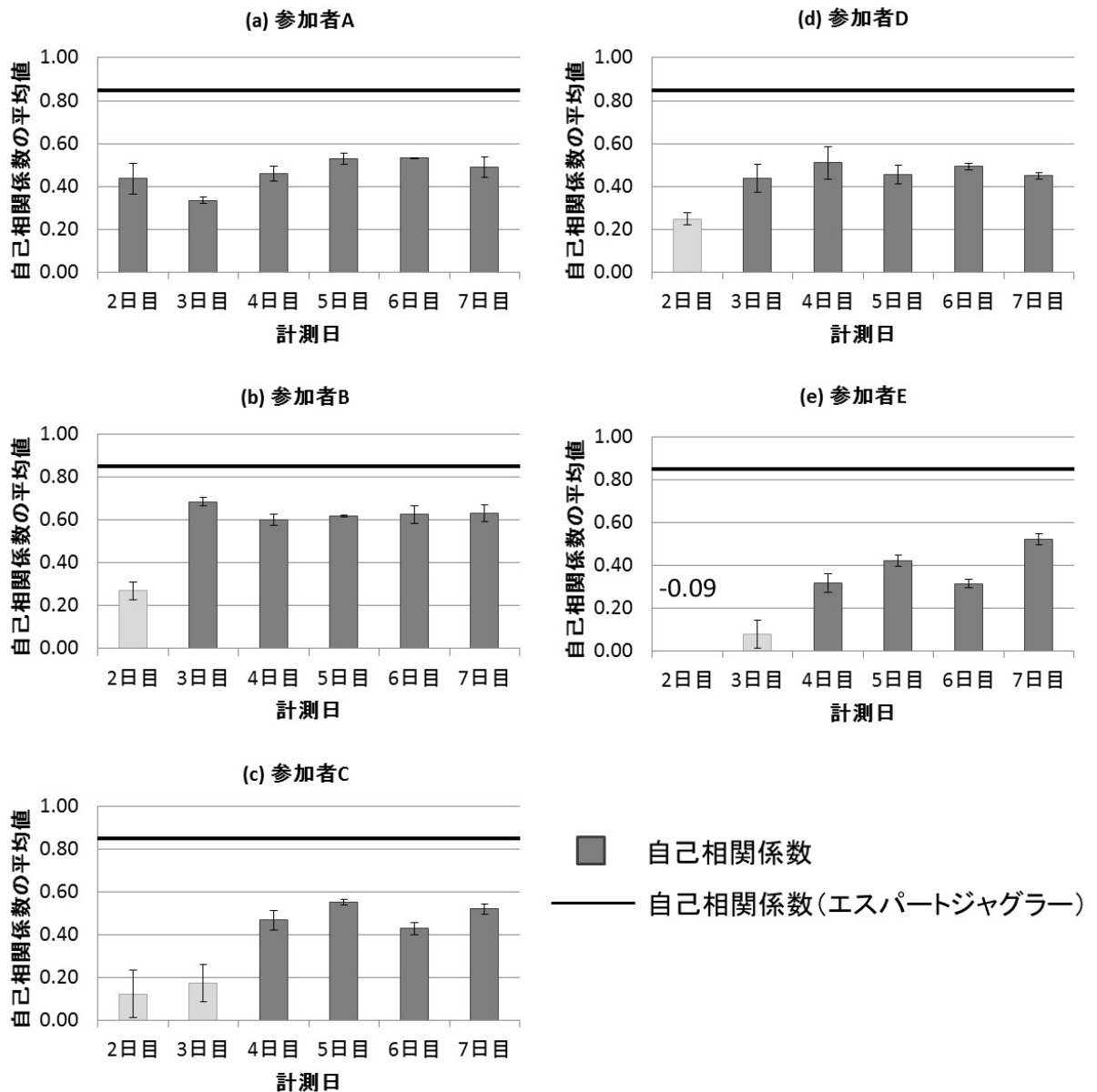


図 3.11 水平方向における自己相関係数

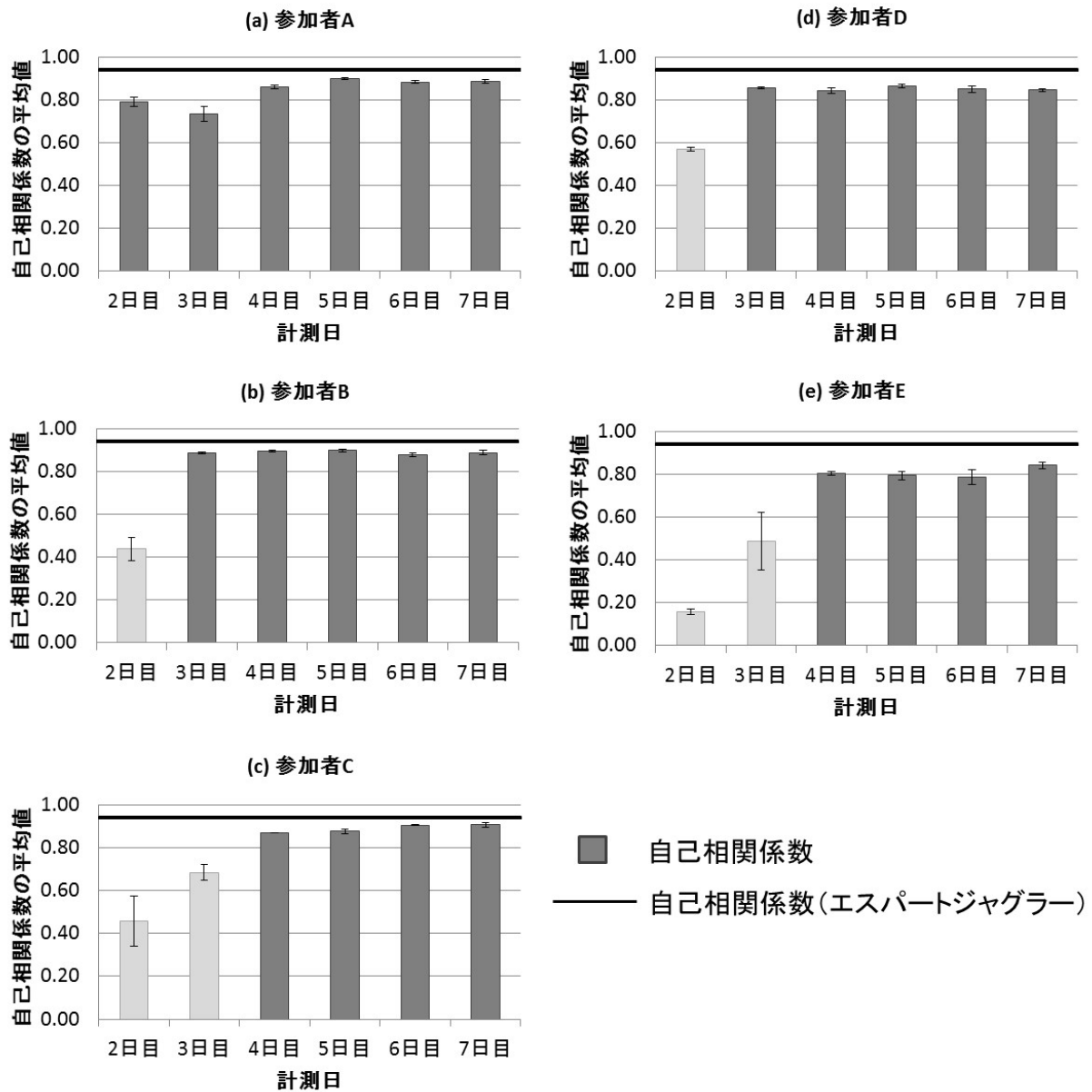


図 3.12 垂直方向における自己相関係数

3.3.4 身体動作その3：相互相関係数

分析手続

上肢の運動の安定性に関連する指標として、左右の手首による運動の同期性を検証するために、両手首の運動曲線の相互相関係数を求めた。ここでは、右手首と左手首の間でどの程度、運動曲線が一致しているかを、相互相関係数により3軸方向（奥行方向、水平方向、垂直方向）で、それぞれ分析した。具体的には、垂直方向における相互相関係数の場合、以下の式で求まる(石原, 2013)。 b_z は運動曲線を示す左手首の位置の時系列データ、 μ_{b_z} は左手首の位置の平均値を表す。

$$C_{a_z b_z}(r) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \{a_z(m) - \mu_{a_z}\} \{b_z(m+r) - \mu_{b_z}\} \quad (3.8)$$

$$\rho_{a_z b_z}(r) = \frac{C_{a_z b_z}(r)}{\sqrt{C_{a_z a_z}(0) C_{b_z b_z}(0)}} \quad (3.9)$$

相互相関係数の値が高いほど、異なる2つの運動がより同期していることを示す。

運動曲線の分析区間は、自己相関係数の分析と同じである。両手ともに、3つ目の山点を分析区間の開始とした。そのため、本分析では、時間シフト0時の3軸方向における相互相関係数を算出した。左右の手首の間で、同じ回数腕の振りに対する運動曲線の類似度を評価した。

身体位置のずれと時間間隔の変動を求めた試行を対象に、各計測日におけるベストパフォーマンスからサードベストまでの相互相関係数の平均値を算出した。

分析結果

各参加者で、3軸方向における相互相関係数を得た。15ケースの相互相関係数の推移を図3.13から図3.15に示す。横軸は計測日、縦軸は3軸方向にお

ける相互相関係数の平均値を表す*1。エラーバーは標準誤差である。なお、灰色の棒グラフは、連続キャッチ数15回未満の試行に基づく結果である。

加えて、エキスパートジャグラー3名のデータについて、同様の分析を行った。3名の平均値をベースラインで各図に示す。

結果の全体的な特徴として、以下の2点を確認した。

1点目は、連続キャッチ数平均15回以上を記録した習得過程の中盤から終盤にかけて、必ずしも相互相関係数は増加せず、身体動作は安定しなかった(図3.13から図3.15における黒色の棒グラフを参照)。

具体的には、各参加者で、各3軸方向における相互相関係数について、連続キャッチ数15回未満の試行を確認した計測日を除いて、計測日要因を1要因とする分散分析を行った。その結果、計測日要因の主効果を確認したのは、15ケース中4ケースであり、さらにRyan法を用いた多重比較により、相互相関係数が計測日を通して有意に増加したのは、そのうち、参加者Aの奥行方向と垂直方向における相互相関係数の2ケースのみであった($p < .05$)。連続キャッチ数と身体動作の安定性との間に関連がないことを確認した。

2点目は、参加者の水平方向における相互相関係数は極めて小さかったが、垂直方向における相互相関係数は、全参加者で平均0.80以上あり、エキスパートジャグラーと同様に高い同期性を有していた。

他方で、他の参加者と異なる身体動作を以下の1ケースで確認した。これは、個人特有の身体動作である可能性を示唆した。

具体的に、参加者Eの奥行方向における相互相関係数は、他の参加者に比べて極めて小さかった(図3.13(e)を参照)。奥行方向における相互相関係数について、7日目の参加者の結果と、エキスパートジャグラー3名の結果を比較した。相互相関係数について、参加者要因を1要因とする分散分析を行っ

*1 手首の水平方向における運動曲線は、胸を基準とする手首の位置の時系列推移であるため、両手首による運動曲線は、胸を軸とした線対称になる。ゆえに、時間シフト0時の相互相関係数は負の値をとると考えられる。しかし、図3.14の水平方向における縦軸では、奥行方向や垂直方向の結果と同様に解釈するために、相互相関係数に-1を掛けた値を示す。

たところ，参加者要因の主効果を確認し，さらに Ryan 法を用いた多重比較により，エキスパートジャグラーだけでなく，他の参加者との間にも有意差を確認した ($p < .05$)。なお，エキスパートジャグラー3名を同一のエキスパートとして扱わず，3水準にして，同様の分析を行ったところ，上記と同一の結果であった。

以上の結果は，自己相関係数の分析と同様に，参加者Eで，基本動作から逸脱した個人特有の身体動作が観察されたことを示唆した。

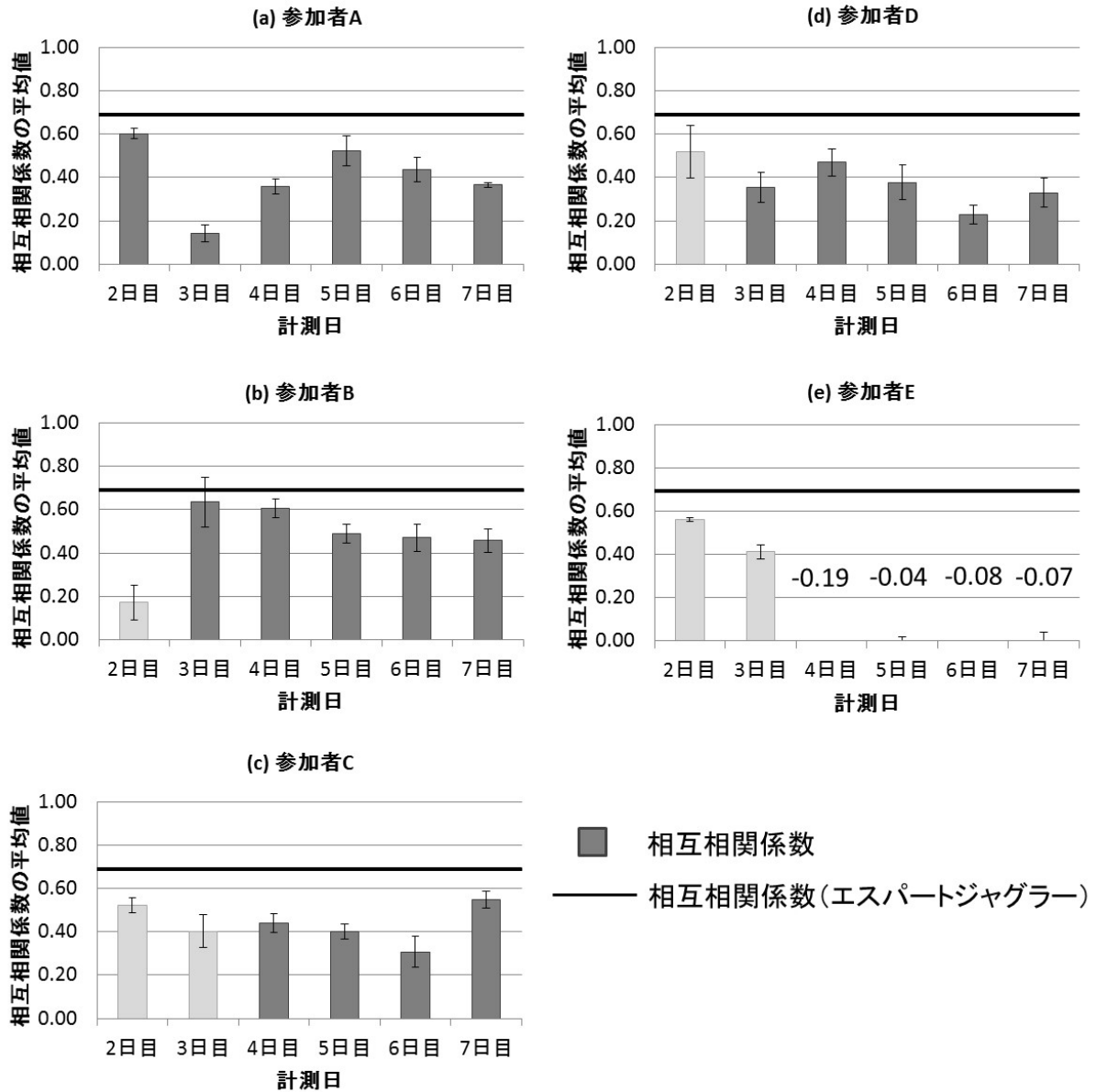


図 3.13 奥行方向における相互相関係数

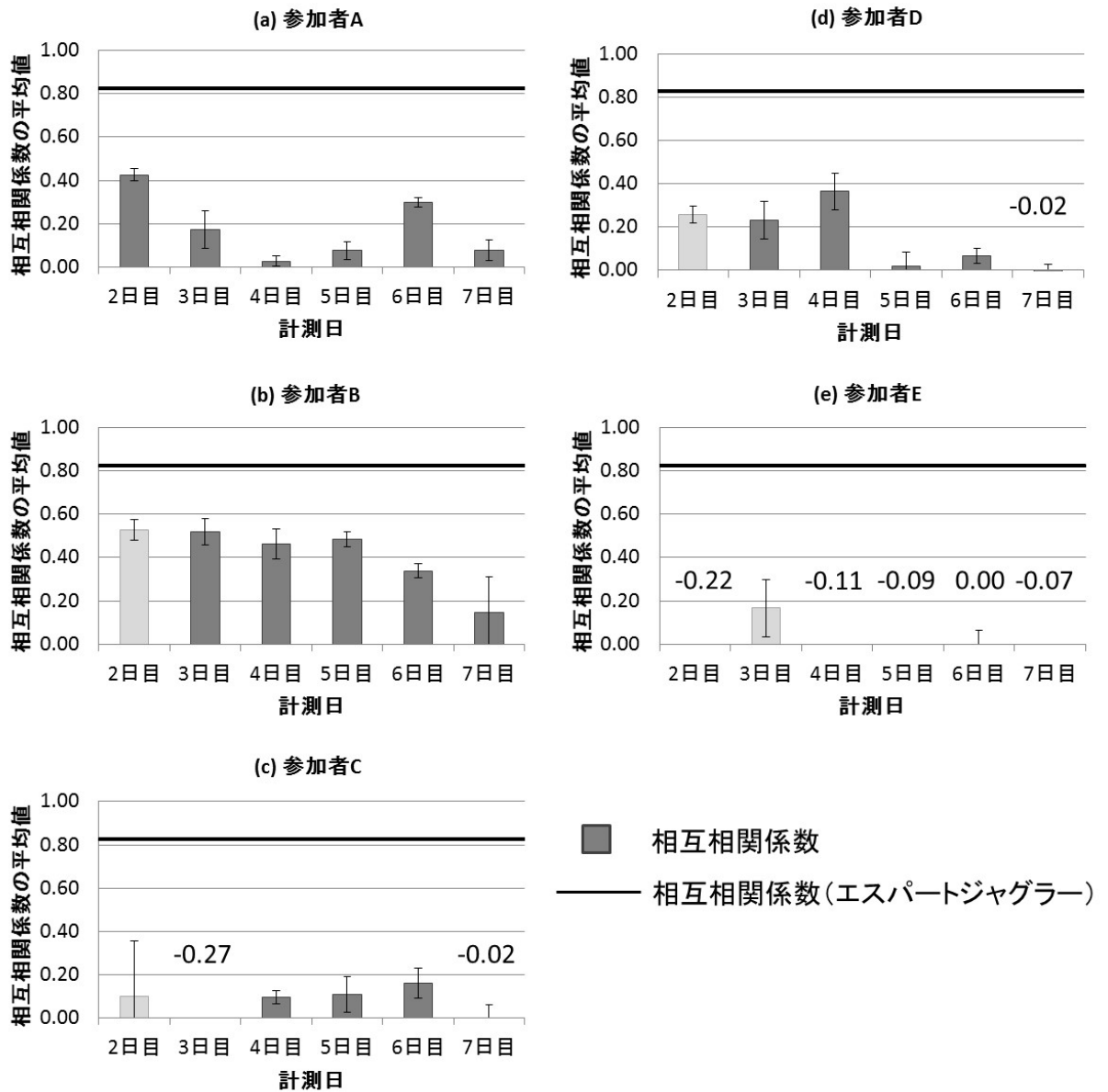


図 3.14 水平方向における相互相関係数

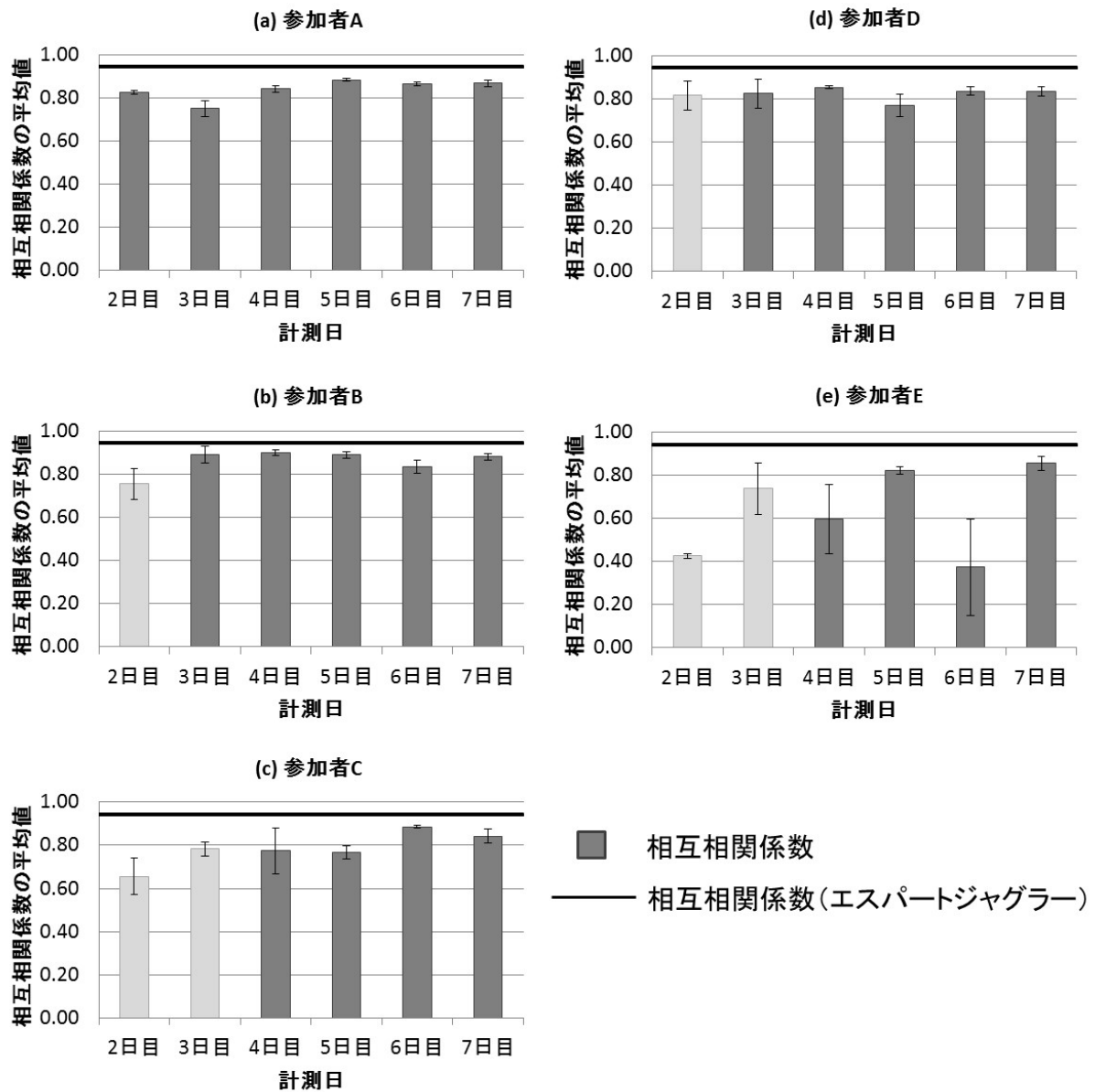


図 3.15 垂直方向における相互相関係数

3.3.5 身体動作その4：ボール保持率

分析手続

ボール保持率から個人特有の身体動作が観察されるかを検討した。

分析手続は、第2章の第3節の第2項と同様である。

各計測日におけるベストパフォーマンスのボール保持率を運動計測時に撮影した映像を基に算出した。ただし、カスケードの遂行中に身体全体が大きく移動し、映像からトスやキャッチのタイミングがわからない試行を確認した場合は、セカンドベスト以降の試行を用いて分析を行った。具体的に、参加者Cの2日目から5日目では、セカンドベスト以降の試行を用いて分析を行った。

分析結果

ボール保持率の推移を図3.16に示す。横軸は計測日、縦軸はボール保持率 k を表す。なお、灰色のプロットは、連続キャッチ数15回未満の試行による結果である。

加えて、エキスパートジャグラー3名について、同様の分析を行った。3名の平均値をベースラインで図に示す。

結果の全体的な特徴として、以下の2点を確認した。

1点目は、連続キャッチ数15回以上を記録した習得過程の中盤から終盤にかけて、ボール保持率が維持される傾向にあった（図3.16における白色のプロットを参照）。ボール保持率は、おおむね0.80以下で維持されていた。連続キャッチ数とボール保持率との間に関連がないことを確認した。

2点目は、エキスパートジャグラーの方が参加者に比べて、ボール保持率は低かった。この結果は、先行研究(Beek & Lewbel, 1995; Hashizume & Matsuo, 2004)の知見と一致した。エキスパートジャグラーの方が、参加者に比べてすぐにボールをトスすることを確認した。

他方で、全体的な特徴にあてはまらない身体動作を以下の1ケースで確認した。これは、個人特有の身体動作である可能性を示唆した。

具体的に，参加者Aのボール保持率は，他の参加者に比べて高かった（図3.16を参照）．計測日を通して，ボール保持率が0.80以上あり，全体的な特徴の1点目と異なっていた．

以上の結果は，これまでの身体動作に関する分析と同様に，基本動作から逸脱した個人特有の身体動作が観察されたことを示唆した．

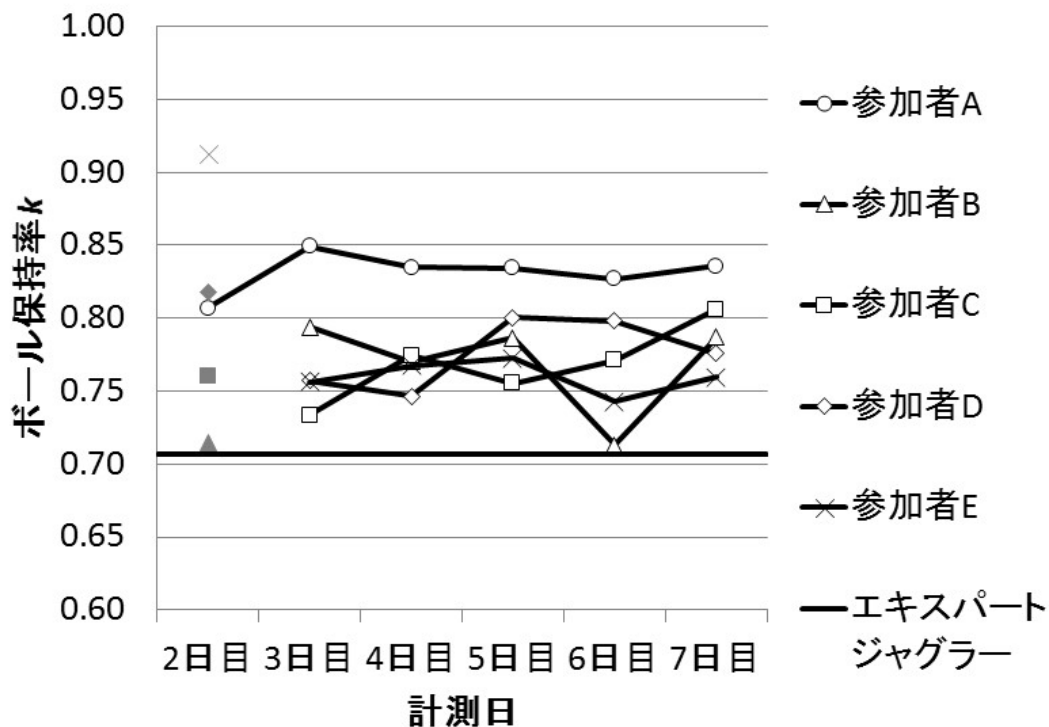


図 3.16 ボール保持率

3.3.6 言語報告

分析手続

インタビューを通して記録した言語報告について，SCAT (Steps for Coding and Theorization)(大谷, 2008, 2011)を利用し，各着眼点の抽出を試みた．SCATは，段階的な手続を踏み，ボトムアップ的に言語データの概念化を行う分析手法である．SCATは，比較的小規模の言語データに対しても分析を行う際に有効であると言われており，観察記録や面接記録の言語データを対象に用いられている．SCATの分析手続の詳細については，大谷(2008, 2011)を参考

にしていきたい。

本分析では、(1) インタビューの回答を書き起こし、(2) (1) に基づいて、その内容を一般化するところまでを SCAT で行い、練習を通して確立した着眼点を抽出した。そして、(3) カスケードの身体スキルを習得しているジャグラーで共通に現れる特徴として、多くの先行研究 (e.g., Dessing, Rey, & Beek, 2012; Haibach et al., 2004; Hashizume & Matsuo, 2004; 中嶋, 2001; van Santvoord & Beek, 1994) で指摘される以下の3点にあてはまるかに従って分類を行った。本実験において、多くの着眼点が以下の3点に分類され、参加者の間で共通して現れた。

1点目は、「(落下してくるボールの) 内側に手を通す」といった、手続に従った動作に関する着眼点である。これは、解説シートの教示においても同様の手続について言及されている。また、「下半身を動かして逸れたボールに対応する」といった、それらの手続に従った動作により連続キャッチを維持することに関連した着眼点である。

2点目は、「(ボールの放物線の) 頂点付近を見つめる」や「目線先を固定する」といった、ボールの軌道におけるある一定空間に注意を向けることや、それに伴う視線先に関する着眼点である。

3点目は、「ボールの軌道を一定にする」や「一定の位置でトスとキャッチを行う」、さらには「テンポを決めてトスを行う」といった、安定したボール運動や安定した身体動作に関する着眼点である。

そして、これらに属さない(2)は、独自の着眼点として扱った。なお、単に「集中する」といったような、抽象度が極めて高い報告や、「ドライアイに気をつける」といった、カスケードに関する身体スキルの習得に直接関係がない報告に基づく着眼点については、(3)の分類を行う段階で除外した。(2)で抽出した着眼点の全個数のうち、これらに該当した割合は約15%であった。

分析結果

各参加者で、全計測日を通して、3つに分類したそれぞれの着眼点、独自

の着眼点，および分類を行う段階で除外した着眼点の延べ個数を表 3.1 に示す．各参加者において，手続に従った動作に関する着眼点や，安定したボール運動や安定した身体動作に関する着眼点が最も多かった．注意や視線先に関する着眼点は，全ての参加者で確認したが，前者 2 つの着眼点に比べて少なかった．

独自の着眼点に関する具体的な内容を表 3.2 に示す．

表 3.1 着眼点の延べ個数

	参加者				
	A	B	C	D	E
手続に従った動作に関する着眼点	3	9	9	11	3
注意や視線先に関する着眼点	3	1	2	1	3
安定したボール運動や安定した身体動作に関する着眼点	15	5	9	7	11
独自の着眼点	1	5	0	1	8
分類を行う段階で除外した着眼点	9	2	4	2	2

表 3.2 独自の着眼点に関する具体的な内容

参加者	独自の着眼点(計測日)
A	トスの直前にボールの握りを修正する(4日目)
B	反対側の手の真上に腕・ボールを持って行く(2日目/3日目) 腕を高く振り上げる(2日目/3日目)
D	腕を高く振り上げる(3日目)
E	手首のスナップを利かせてトスを行う(4日目/5日目) 身体全体を使って腕を振る(3日目/4日目/5日目) ボールを押し出すようにトスを行う(6日目) 右手は腕の振りを高くしてトスを行い，左手は右側に寄せるように軽くトスを行う(7日目) 脇を締めて垂直方向にトスを行う(7日目)

3.3.7 結果の要旨

研究2の目的は、カスケードの身体スキルを習得した初学者において、「個人特有の身体動作が、練習を通して確立される着眼点と関連するか」を検討することであった。以下では、この目的に沿って、身体動作と言語報告の結果を解釈した。

身体動作に関しては、参加者Aと参加者Eの2名で、全体的な特徴にあてはまらない個人特有の身体動作を確認した。参加者Aでは、時間間隔の変動が、谷点で極めて大きかった(図3.8(a)を参照)。さらに、ボール保持率が高かった(図3.16を参照)。また、参加者Eでは、水平方向における胸の位置のずれが、極めて大きかった(図3.3(e)を参照)。加えて、手首の奥行方向における自己相関係数や相互相関係数が、極めて小さかった(図3.10(e)と図3.13(e)を参照)。

では、これらの個人特有の身体動作について、関連する着眼点はあるのだろうか。

参加者Aは、4日目に、上肢の運動に関して、「手のひらでボールをトスすると逸れやすいので、ボールを手の上で転がして指先でトスができるようにする」という報告を行った。実際、参加者Aは、トスの直前にボールを握り直して、指先でトスを試みていた(図3.17)。このことから、ボールを正確にトスするために、手のひらから指先へボールの握りを修正してからトスを行う、言い換えれば「トスの直前にボールの握りを修正する」こと(表3.2を参照)で、ボールの保持時間が長くなり、ボール保持率が高くなっただけでなく、時間間隔の変動が谷点で大きくなったと考えられる。

ゆえに、参加者Aによる個人特有の身体動作は、先述した独自の着眼点との間に対応関係があると考えられる。なお、第3章の第3節の第2項では、左右の手による時間間隔の変動を示す標準偏差の平均値を評価したが、参加者Aに関して、左右の手の間で谷点の時間間隔の変動を比較したところ、右手

の方が左手に比べて、極めて大きかった。参加者Aは右投げであるため、右手の方が微細な動きが可能であることによる影響が考えられる。利き腕である右手のひらでボールを転がした結果、右手の方で、特に変動が大きくなり、個人特有の身体動作が顕著に現れたと考えられる。また、左手においても、谷点の時間間隔の変動は、他の参加者やエキスパートジャグラーに比べて、大きかった。

さらに、参加者Eは、3日目から5日目にかけて、上肢の運動に関して、「ボール同士がぶつからないように（正面から見た際の）手の位置が身体の中心よりもずれるように、（中心の位置にならないように身体全体で手や腕を動かして）トスを行う」という報告を行った*2。実際、参加者Eは、肩を上げて腕を前に大きく動かし、身体全体を横に揺らしてトスを試みていた(図3.17)。落下してくるボールとトスしようとするボールがぶつからないように、肩を上げて腕を前に大きく動かし、身体全体を横に揺らしてトスを行う、言い換えれば「身体全体を使って腕を振る」こと（表3.2を参照）で、身体全体の動きに関連する、水平方向における胸の位置のずれが大きくなり、手首の奥行方向における自己相関係数や相互相関係数が小さくなったと考えられる。

ゆえに、参加者Eによる個人特有の身体動作についても、上記の独自の着眼点との間に対応関係があると考えられる。

*2 括弧は、インタビューでの回答時におけるジェスチャーから補足した内容である。



図 3.17 3 ボールカスケード遂行時の映像

3.4 考察

以下では、個人特有の身体動作と着眼点との因果関係について考察する。さらに、ジャグリングの「熟達」と関連づけて、エキスパート水準の身体動作の安定性に対する、3ボールカスケードを行う水準の身体動作の安定性、および個人特有の身体動作についても考察する。

3.4.1 個人特有の身体動作と着眼点との因果関係

研究2では、習得段階の Stage 3 に到達した初学者を対象に、基本動作にあてはまらない逸脱した個人特有の身体動作が観察されるかを検討した。さら

に、個人特有の身体動作が、その人なりの着眼点と関連するかについても検討した。

連続キャッチ数100回以上を達成した参加者5名について、身体動作と言語報告の分析を行った結果、2名の参加者で個人特有の身体動作が観察された。さらに、それらは、その人独自の着眼点と対応する可能性を示唆した。

しかし、両者の「因果関係」については、慎重に検討する必要がある。本実験では、2名の参加者において、いずれも着眼点の確立が、個人特有の身体動作の獲得よりも先行するという現象は観察されなかった。

参加者Aの場合、4日目のパフォーマンス計測後に「トスの直前にボールの握りを修正する」という着眼点を確認したが、それ以前に、すでに手のひらでボールを転がしてトスを行っていた。参加者Eの場合についても、3日目のパフォーマンス計測後に「身体全体を使って腕を振る」という着眼点を確認したが、直前のパフォーマンス計測では、すでに、身体全体を横に揺らしてトスを行っていた。

これらの結果は、個人特有の身体動作が現れた後に、それを着眼点として意識した可能性を示唆する。しかし、パフォーマンス計測の前後に実施したインタビューの教示では、「カスケード習得に向けて気をつけた点」を質問しており、少なくとも、参加者の意識としては、あくまでも身体を制御する着眼点を回答したと考えられる。

古川・諏訪・加藤(2007)や諏訪(2009)は、身体動作と思考の相互作用により身体スキルが習得される可能性を述べている。この点を踏まえると、個人特有の身体動作と着眼点の関係は、どちらか一方がもう一方に影響を与えるというよりも、相互作用的であると捉えることが自然であると考えられる。

なお、上記以外の独自の着眼点に関しては、身体動作との対応関係を見出せられなかった。これは、着眼点が確立されれば、それが必ずしも身体動作として獲得されるわけではないことを示唆する。身体動作と着眼点、両者の相互作用が生まれるメカニズムの検討は、今後の重要な課題である。

また、参加者Aと参加者Eは、関連する着眼点を確立し、高いパフォーマンスを達成するために、直面する問題に対して、個人特有の身体動作で一時的に対処した可能性がある。ゆえに、エキスパートレベルの長期的な熟達過程において、個人特有の身体動作は消失する可能性が考えられる。

3.4.2 熟達過程における基本動作の獲得と個人特有の身体動作の獲得

先行研究では、5個以上のボールを用いてジャグリングを行うジャグラーをエキスパートとみなしている (e.g., Amazeen et al., 2001; Dessing et al., 2007)。そして、5ボールや7ボールカスケードに関する身体スキルの習得では、3ボールカスケードよりも、安定した身体動作が要求される (Beek & Lewbel, 1995)。本実験において Stage 3 に到達した参加者は、3ボールカスケードの身体スキルを習得した。これは、ジャグリングの中級レベルに到達したことを意味しており (van Santvoord & Beek, 1994, 1996)、熟達の途中段階であると言える。事実、身体動作に関する多くの指標で、エキスパートジャグラーと各参加者の間に有意差を確認した。

参加者B、参加者C、および参加者Dでは、基本動作を獲得し、中級レベルに到達したと考えられる。しかし、エキスパート水準に到達するためには、さらなる安定した身体動作を獲得する必要がある。

参加者Aや参加者Eにおける、個人特有の身体動作と対応関係する着眼点は、いずれも、トスを正確に行うことに対する着眼点であった。両参加者は、正確にトスを行うことに関する問題に対して、中級レベルに到達するために、足場がけとして、基本動作ではなく、個人特有の身体動作を獲得した可能性が考えられる。同じ問題に対して、異なるストラテジーで対処したと言える。

ゆえに、この2名は、より安定した身体動作が要求される5ボールや7ボールカスケードに関する身体スキルの習得において、これらの着眼点の転換が求められると考えられる。この点は、第4章の第2節で詳しく述べる。

なお、安定した身体動作の獲得という視点から興味深い現象として、全参加者で、手首の水平方向とは対照的に垂直方向における両手首による運動の同期性は、エキスパートジャグラーのように高く、左右の手首の運動が協調していた（図 3.15 を参照）。カスケードでは、両手や3つのボールによる同期した運動の獲得が要求される (Haibach et al., 2004)。さらに、参加者 A や参加者 E に関しては、身体動作に関する一部の指標で、他の参加者との間で特徴的な差異を確認した（第3章の第3節の第7項を参照）。しかし、これらを除く、大半の指標では、他の参加者と同程度の水準であった。

両参加者は、個人特有の身体動作において、一部の指標が他の参加者に比べて、低い水準ではあったが、垂直方向における相互相関係数に代表されるように、その他の大半の指標で、他の参加者と同程度の水準を担保していたため、連続でボールをキャッチし続けられたと考えられる。

3.5 まとめ

研究2では、カスケードの身体スキルを習得した初学者を対象に、個人特有の身体動作が観察されるかを実験的に検討した。さらに、個人特有の身体動作が、その人なりの着眼点と関連するかについても合わせて検討した。

その結果、習得者5名中2名において、体幹と上肢の運動に関する一部の指標で、基本動作の獲得に関して、先行研究で指摘される特徴にあてはまらない個人特有の身体動作が観察された。さらに、それらは、その人独自の着眼点と対応関係にある可能性を示唆した。

第4章

総合考察

4.1 本研究の知見

本研究では、ジャグリング未経験者に対して、カスケードの練習を行わせた。そして、研究1では、基本動作の獲得が、Beek & van Santvoord (1992)で提唱された3段階で構成される習得段階とどのように関連するかを検討した。また、研究2では、Stage 3に到達した習得者における、基本動作にあてはまらない逸脱した個人特有の身体動作に焦点をあて、そのような動作が、パフォーマンスの向上のために重要な役割を果たす工夫である可能性について検討した。さらに、個人特有の身体動作が観察された際、その人なりの着眼点と対応づけられるかについても合わせて検討した。

研究1の結果において、Stage 3到達群における上肢の運動は、Stage 2到達群に比べて安定し、エキスパート群における体幹の運動は、Stage 3到達群に比べて安定した。これは、基本動作の獲得に関する先行研究の知見 (e.g., Haibach et al., 2004; 田中・小河原, 2010)と一致しており、研究1では、パフォーマンスを示す連続キャッチ数と対応づけて基本動作の獲得についての特徴を示した。

研究2の結果は、連続キャッチ数100回以上を達成した習得者5名中2名で、体幹と上肢の運動に関する一部の指標において、個人特有の身体動作が観察され、その人独自の着眼点と対応関係にある可能性を示唆した。この対応関

係は、身体動作と思考の相互作用的な関係により習得が達成される可能性を示した。

以上の2つの研究結果は、初学者は原則として、基本動作を獲得するが、その人なりの工夫を見出して、高いパフォーマンスを達成することを示唆する。さらに、その人なりの工夫を見出すうえでは、練習を通じた意識的活動による、個人の意図や着眼点に関係してくることを示唆する。

本研究において、パフォーマンス計測の前後に実施したインタビューで、独自の着眼点の確立が、個人特有の身体動作の獲得よりも先行しなかったことを踏まえると、初学者は、練習を通して、試行錯誤してゆくなかで、高いパフォーマンスを達成するために、足場がけとして個人特有の身体動作を獲得したと考えられる。個人特有の身体動作によりカスケードを行ったことで、連続キャッチを維持するうえで気をつけるべき点に関する気づきや発見がもたらされた可能性が考えられる。そして、以降の練習においては、その着眼点に基づいて身体は制御されていたかもしれない。ただし、エキスパートレベルの長期的な熟達に向けて、個人特有の身体動作でジャグリングを行うかについては検討する必要がある。エキスパートジャグラーが初学者に比べて、安定した身体動作でカスケードを行っていたことを考慮すると、個人特有の身体動作は消失する可能性が考えられる。

古川他(2005)は、身体スキルに関する研究の発展に向けて、運動計測により得られた身体動作に関するデータと、インタビューにより得られた習得者の意識的活動による意図や着眼点に関するデータの両者から、習得について議論する必要性を訴えている。両者を踏まえて議論することで、どのように身体スキルが習得されるか、その詳細についてより深い考察が実現すると述べている。諏訪(2009)は、身体スキルの習得においては、思考することが重要であり、思考することで、パフォーマンスの向上に寄与する新たな気づきや発見がもたらされると主張する。

以上のように、両者からのアプローチは、その必要性が主張されているも

のの、いまだにその取り組みは少ない。これまでの身体スキルに関する研究では、運動学やスポーツ科学において、主に、課題の成果であるパフォーマンスや身体動作、あるいは課題遂行時に使用するオブジェクト (e.g., ボール) の運動に関するデータのみを取得して、それらに基づいて議論を行ってきた。本研究で取り上げた課題であるカスケードに限っても、膨大な蓄積がある。しかし、これらの中で習得者や熟達者の意識的活動と関連づけて議論する研究は数多くない。一方で、認知科学では、主に、パフォーマンスや意識的活動に関するデータのみを取得して、それらに基づいて議論を行ってきた (e.g., 諏訪, 2009)。しかし、そこでは、意識的活動が身体動作にどのような影響を与えたかといったことに関する詳細を捉えるための実験的な検討は行っていない。

本研究の結果は、個人特有の身体動作と着眼点が対応関係することを示しており、身体スキルの習得を議論するうえでは、身体動作と意識的活動の両者を検討することの重要性を示唆する。具体的には、習得者が高いパフォーマンスを達成する場合、基本動作にあてはまらない逸脱した身体動作は、初学者にとって、必ずしもネガティブな特徴ではなく、その人なりの工夫による可能性がある。そして、そのような個人特有の身体動作には、その人なりの意図や着眼点に関係してくる可能性が考えられるため、身体動作と意識的活動の両者から、どのように習得したかについて議論することが重要であると考えられる。ただし、この点は、初学者による中級レベルの身体スキルの習得に関する議論に限られる可能性がある。

4.2 今後の検討事項

以下では、検討事項として、個人特有の身体動作がエキスパートレベルに向けた熟達に与える影響について考察する。

本研究における個人特有の身体動作は、ジャグリングにおける中級レベルの身体スキルの習得に寄与したと考えられる。しかし、5ボールや7ボールカ

スケードに関する身体スキルの習得では、第3章の第4節の第2項でも述べたように、3ボールカスケードよりも安定した身体動作が要求される。ゆえに、本研究で観察された個人特有の身体動作が、これらの習得に向けた阻害要因になる可能性が予測される。

具体的に、5ボールや7ボールカスケードでは、左右の手で持つことができるボールの数が1つであるため、連続キャッチを維持するために、ボールの保持時間をより短く、滞空時間をより長くすることが要求される (Beek & Lewbel, 1995)。研究2の参加者Aでは、ボールの握りを修正することで、ボールの保持時間が長くなるため、その時間を短くする必要がある。

加えて、5ボールや7ボールカスケードでは、3ボールカスケードよりも、一度に滞空しているボールの数が多い。研究2の参加者Eでは、落下してくるボールとトスしようとするボールがぶつからないように、身体全体を横に揺らして腕を振っていた。ゆえに、操作するボールの数が増えると、各ボールに対して、身体全体で対応することは難しいと考えられる。

従って、参加者Aや参加者Eでは、5ボールや7ボールカスケードに関する身体スキルの習得において、これらに関連する着眼点の転換が求められると考えられる。両者で観察された個人特有の身体動作は、イチロー (MLB選手) の「振り子打法」に代表されるような、その分野を極めた熟達者による、独特のフォームとは根本的に質が異なる可能性もあることを留意する必要がある。

以上については、今後、5ボールや7ボールカスケードに関する身体スキルの習得過程を観察する長期的な実験を行い、個人特有の身体動作が消失する可能性について検討する必要があると考えられる。

これは、身体スキルの習得に関する「支援」を考慮した際、基本動作にあてはまらない逸脱した個人特有の身体動作が、習得に向けた阻害要因になるかを十分に検討する重要性を示唆する。指導者は、習得者が目標とするレベルを踏まえて、個人特有の身体動作が阻害要因になる場合のみ指導することが

望ましいと考えられる。

第5章

結論

スポーツや演奏，身体表現を用いた芸術などの分野において，習得者は，日々の試行錯誤を伴う練習を通して，自分なりの工夫を見出し，他者やこれまでよりも高いパフォーマンスを達成することがある．本研究では，ボールジャグリングの中でも最も基礎的な課題である3ボールカスケードを課題に，未経験者に対して練習を行わせた．そして，パフォーマンス，身体動作，言語報告と3種類の指標から初学者による習得を観察した．

研究目的として，カスケードに関する身体スキルの習得において，「身体全体の動きに関連する体幹が動かない」，「上肢の位置が腕の振りにおいて一定である」，そして「上肢を動かすタイミングが一定である」といった基本動作にあてはまらない，その人なりの工夫を示す個人特有の身体動作が観察されるかを実験的に検討した．さらに，個人特有の身体動作が，練習を通して確立される着眼点と関連するかについても合わせて検討した．

研究1では，先述した基本動作の獲得が，Beek & van Santvoord (1992) で提唱された Stage 1 から Stage 3 で構成される習得段階とどのように関連するかを検討した．その結果，Stage 3 到達群における上肢の運動は，Stage 2 到達群に比べて安定し，エキスパート群における体幹の運動は，Stage 3 到達群に比べて安定した．各習得段階において，連続キャッチを維持するうえで，安定する身体動作は異なることを確認し，パフォーマンスを示すボールの連続

キャッチ数と対応づけて、基本動作の獲得に関する特徴を示した。

次に、研究2では、研究1において基本動作の獲得に関する特徴について確認したうえで、連続キャッチ数100回以上を示す Stage 3 に到達した習得者を対象に、個人特有の身体動作が獲得されるかを検討した。さらに、その個人だからこそ観察される身体動作に関して、意識的活動による意図や着眼点と対応づけられるかについても検討した。その結果、ある初学者における身体動作に関する一部の指標で、基本動作にあてはまらない逸脱した個人特有の身体動作が観察された。さらに、それらは、その人独自の着眼点と対応関係にある可能性を示唆した。

2つの研究結果は、平均的な習得の特徴として、初学者は、安定した身体動作を獲得することを示す。他方で、個人の習得に焦点をあてると、その人なりの工夫を見出して高いパフォーマンスを達成することや、その人独自の意識的活動による着眼点が重要であることを示唆する。さらに、個人特有の身体動作の獲得が、独自の着眼点の確立よりも先行していたことを踏まえると、練習を通して、個人特有の身体動作の獲得が、連続キャッチを維持するうえで気をつけるべき点に関する気づきや発見をもたらした可能性がある。そして、それ以降の練習においては、その着眼点に基づいて身体が制御されていた可能性が考えられる。ゆえに、個人特有の身体動作と着眼点の関係は、相互作用的であると捉えることが自然であると考えられる。

これまで多くの身体スキルに関する研究において、本研究で観察された個人特有の身体動作は、ノイズとして無視される傾向にあった (Button et al., 2003; Davids et al., 2008)。本研究の結果は、ノイズとして扱われがちな身体動作の中に、ある初学者が習得するうえで不可欠な要素があることを示唆する。さらに、身体スキルに関する研究では、身体動作と意識的活動の両者を検討することが重要であることを示す。これは、スポーツ科学や運動学のように、身体動作、あるいは課題遂行時に使用するオブジェクトの運動に関するデータのみを取得する、あるいは過去の認知科学のように、意識的活動に

関するデータのみを取得をして議論するだけでは不十分であることを指摘する。

今後の課題としては、古川他 (2007) や諏訪 (2009) が提唱する、身体動作と思考の相互作用による身体スキルの習得を議論するための方法論を検討し、個人特有の身体動作と着眼点との因果関係を議論することである。また、個人特有の身体動作がエキスパートレベルへの熟達に向けて促進要因になるか、あるいは阻害要因になるかについて、長期的な実験を通して検討する必要がある。

最後に、身体スキルに関する習得の支援から、本研究の知見は、基本動作から逸脱した個人特有の身体動作が、習得に向けた阻害要因になるかを十分に吟味する重要性を示唆する。指導者は、阻害要因になる場合のみ指導するといった姿勢が望ましいと考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたって、博士課程前期課程から5年間、懇切丁寧に、御指導、御鞭撻を承りました名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の三輪和久教授に心から感謝いたします。三輪教授には、研究に取り組むうえでの考え方や論理、方向性など常日ごろから多くの御教授を受け賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の齋藤洋典教授、同講座の川合伸幸准教授、名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻音声映像科学講座の村瀬洋教授、名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻知能メディア工学講座の工藤博章准教授には、博士論文執筆にあたって貴重な御助言をいただきましたことを心から感謝いたします。特に齋藤教授と川合准教授には、博士課程前期課程から5年間にわたって、研究の方向性や社会的意義等、本質を改めて考え直すきっかけとなる多くの貴重な御教授を受け賜りました。厚く御礼申し上げます。

名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座の光松秀倫助教には、研究活動において、様々な御助言をいただきました。近畿大学産業理工学部情報学科の寺井仁准教授には、共同研究者として、日ごろから実験や分析手法に関して、多くの御教授をいただきました。ここに感謝の意を表します。

名古屋大学大学院情報科学研究科社会システム情報学専攻知識社会システム論講座の榎堀優助教、並びに当時間瀬研究室に在籍していた大橋勇介さん

には、3次元モーションキャプチャの設置や操作方法に関して多くの御教授を受け賜りました。名古屋大学総合保健体育科学センターの山本裕二教授には、分析に行き詰った際に多くの御助言を受け賜りました。ここに感謝の意を表します。

名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻認知情報論講座、およびメディア表現論講座の皆様には、セミナーなどを通して、日頃より有益な討論と多くの御助言をいただきました。心から御礼申し上げます。特に中田龍三郎さん、渡邊翔太さんには、公私にわたって日ごろから様々な相談に乗ってもらい支えていただきました。

また、実験を実施するにあたって、長期実験にも関わらず、参加に協力していただきました名古屋大学の学生の皆様にも、厚く御礼を申し上げます。

そして、私が認知科学を学ぶ機会を提供してくださった、学部時代の指導教員である静岡大学情報学部情報科学科の竹内勇剛教授に心から感謝の意を表します。竹内教授には、卒業後も学会等の場で御助言を受け賜りました。当時の竹内研究室の皆様には、知識も技術も何1つなかった私に0から多くのことを御教示いただきました。ここに感謝の意を表します。

この他にも地元徳島県の友人を始め、多くの方に支えていただきました。時には、励ましていただきました。心から御礼申し上げます。

最後に、これまで全面的に支援してくださった家族に感謝いたします。ありがとうございました。

引用文献

- Amazeen, E. L., Amazeen, P. G., & Beek, P. J. (2001). Eye movements and the selection of optical information for catching. *Ecological Psychology*, **13** (2), 71–85.
- Bebko, J. M., Demark, J. L., Im-Bolter, N., & MacKewn, A. (2005). Transfer, control, and automatic processing in a complex motor task: an examination of bounce juggling. *Journal of Motor Behavior*, **37** (6), 465–474.
- Beek, P. J. & Lewbel, A. (1995). The science of juggling. *Scientific American*, **273** (5), 92–97.
- Beek, P. J. & van Santvoord, A. A. M. (1992). Learning the cascade juggle: A dynamical systems analysis. *Journal of Motor Behavior*, **24** (1), 85–94.
- Bernstein, N. A. (1996). *On dexterity and its development*. (Latash, M. L. & Turvey, M. T., Ed. & Trans.). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates. (工藤和俊(訳)・佐々木正人(監訳)(2003). 『デクステリティ巧みさとその発達』, 東京: 金子書房.) .
- Button, C., Macleod, M., Sanders, R., & Coleman, S. (2003). Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **74** (3), 257–269.
- Daivids, K. W., Button, C., & Bennett, S. J. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*. Champaign: Human Kinetics.
- Dessing, J. C., Daffertshofer, A., Peper, C. E., & Beek, P. J. (2007). Pattern stability and error correction during in-phase and antiphase four-ball juggling. *Journal of*

- Motor Behavior*, **39** (5), 433–446.
- Dessing, J. C., Rey, F. P., & Beek, P. J. (2012). Gaze fixation improves the stability of expert juggling. *Experimental Brain Research*, **216** (4), 635–644.
- 古川康一 (2009). 身体スキルとは. 古川康一 (編), 『スキルサイエンス入門–身体知解明へのアプローチ–』, 1–17. 東京: オーム社.
- 古川康一・諏訪正樹・加藤貴昭 (2007). 身体スキルの創造支援について. 『人工知能学会論文誌』, **22** (5), 563–573.
- 古川康一・植野研・尾崎知伸・神里志穂子・川本竜史・渋谷恒司・白鳥成彦・諏訪正樹・曾我真人・瀧寛和・藤波努・堀聡・本村陽一・森田想平 (2005). 身体知研究の潮流 –身体知の解明に向けて–. 『人工知能学会論文誌』, **20** (2), 117–128.
- Haibach, P. S., Daniels, G. L., & Newell, K. M. (2004). Coordination changes in the early stages of learning to cascade juggle. *Human Movement Science*, **23** (2), 185–206.
- Hashizume, K. & Matsuo, T. (2004). Temporal and spatial factors reflecting performance improvement during learning three-ball cascade juggling. *Human Movement Science*, **23** (2), 207–233.
- 石原彰人 (2013). 信号の相関解析. 岩田彰 (編), 『デジタル信号処理』, 62–78. 東京: オーム社.
- 中村隆一・齋藤宏・長崎浩 (2003). 『基礎運動学』. 東京: 医歯薬出版.
- 中嶋潤一郎 (2001). 『ボールジャグリング入門』. 東京: ナランハ.
- 大谷尚 (2008). 4ステップコーディングによる質的データ分析手法 SCAT の提案–着手しやすく小規模データにも適用可能な理論化の手続き–. 『名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要』, **54** (2), 27–44.
- 大谷尚 (2011). SCAT: Steps for coding and theorization–明示的手続きで着手しやすく小規模データに適用可能な質的データ分析手法–. 『感性工学』, **10** (3), 155–160.

- Stokes, V. P., Andersson, C., & Forssberg, H. (1989). Rotational and translational movement features of the pelvis and thorax during adult human locomotion. *Journal of Biomechanics*, **22** (1), 43–50.
- 諏訪正樹 (2009). 身体的メタ認知: 身体知獲得の認知的的方法論. 古川康一 (編), 『スキルサイエンス入門-身体知解明へのアプローチ-』, 157–185. 東京: オーム社.
- 鈴木宏昭・大西仁・竹葉千恵 (2008). スキル学習におけるスランプ発生に対する事例分析的アプローチ. 『人工知能学会論文誌』, **23** (3), 86–95.
- 田中彰吾・小河原慶太 (2010). 身体知の形成-ボールジャグリング学習過程の分析-. 『人体科学』, **19** (1), 69–82.
- van Santvoord, A. A. M. & Beek, P. J. (1994). Phasing and the pickup of optical information in cascade juggling. *Ecological Psychology*, **6** (4), 239–263.
- van Santvoord, A. A. M. & Beek, P. J. (1996). Spatiotemporal variability in cascade juggling. *Acta Psychologica*, **91** (2), 131–151.
- 山本耕太 (2012). 3 ボールジャグリング学習過程における時空間的変数の変化. 『愛知教育大学保健体育講座研究紀要』, **37**, 83–85.
- 山本裕二 (2005). ダイナミカルシステムアプローチで打球動作を統合する. 山本裕二 (編), 『複雑系としての身体運動-巧みな動きを生み出す環境のデザイン-』, 93–128. 東京: 東京大学出版会.
- Yamamoto, Y. & Gohara, K. (2000). Continuous hitting movements modeled from the perspective of dynamical systems with temporal input. *Human Movement Science*, **19** (3), 341–371.

関連論文

原著論文

- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2015). 運動計測と言語報告に基づく身体スキル獲得に関する実験的検討. 『人工知能学会論文誌』, **30** (3), 585–594.
- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2016). 身体スキル習得過程における個人特有の運動に関する検討. 『認知科学』, **23** (4), 337–354.

国際学会発表

- Ichikawa, J., Miwa, K., & Terai, H. (2014). Analysis of motor skill acquisition in novice jugglers by three-dimensional motion recording system. *Proceedings of 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci 2014)*, 643–648.

国内学会発表

- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2013). 身体知と宣言的知識に基づくスキル獲得過程に関する研究. 『日本認知科学会第30回大会発表論文集』, 1–5.
- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2014). ノービスによる身体スキル獲得: 身体動作の安定性と着眼点からの検討. 『日本認知科学会第31回大会発表論文集』, 406–412.
- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2015). ノービスによる身体スキル獲得過程:

身体動作と着眼点からの検討. 『2015年度人工知能学会全国大会論文集』, 1L3-OS-15b-5.

- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2015). 運動計測と言語報告に基づく身体スキル習得過程の分析. 『日本認知科学会第32回大会発表論文集』, 108-112.

国内研究会発表

- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2014). 運動計測に基づく身体スキル獲得に関する実験的検討. 『人工知能学会第70回先進的学習科学と工学研究会資料』, **SIG-ALST-B303-2**, 5-10.
- 市川 淳・三輪 和久・寺井 仁 (2015). 身体スキル獲得過程における身体動作と着眼点に関する実験的検討. 『人工知能学会第73回先進的学習科学と工学研究会資料』, **SIG-ALST-B403-14**, 71-76.

報告

- 松室 美紀・猪原 敬介・市川 淳・鍵谷 龍樹 (2014). 36th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2014) 参加報告. 『認知科学』, **21** (4), 535-538.

その他

国際学会発表

- Ichikawa, J. & Takeuchi, Y. (2012). How novices get skills without supervisors' instructions: Through analysis of skills mastery process, *Poster Presentation of 34rd Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci 2012)*.

付録 A

実験で用いた解説シート

研究1と研究2の実験において、配布した解説シートでは、2ボールカスケードについて図解した後、3ボールカスケードを図解している（それぞれ、図 A.1 と図 A.2）。

ジャグリング解説シート A

3 個のボールを使ったジャグリングの技「カスケード」を習得してもらいます。
そこでまず、2 個のボールによるカスケードを練習してもらいます。

- 右手と左手にボールを 1 個ずつ持ち、右手のボールを左手の方に投げます(図 1)。

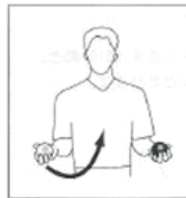


図 1

- 左手にボールが落ちてきたら、その内側を通すように左手のボールを投げます(図 2)。

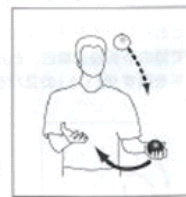


図 2

2 個のボールによるカスケードが自然にできるようになれば 3 個のボールを使ったカスケードの練習を行きましょう。

ジャグリング解説シート B

注意事項: 1 個ボールを捕ることできれば 1 回キャッチできたとする。

- 3 個のボールを**右手に 2 個, 左手に 1 個**それぞれ持ちます。
- 右手のボール 1 個を左手に投げます(図 3)。



図 3

- ボールが左手に落ちてきたら, その内側を通すようにして左手のボールを投げます(図 4)。



図 4

- 左手から投げたボールが右手に落ちてきたら, 同じように右手のボールを内側に通して投げます(図 5)。

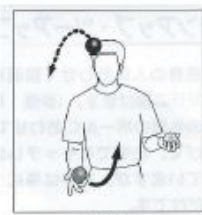


図 5

- あとは同じように落ちてくるボールの内側を通して左右の手を交互に投げます。

付録 B

研究 2 における時間間隔の変動に関する補足分析

参加者 A において、右手の方が左手に比べて、谷点の時間間隔の変動が極めて大きかった点に関して、補足分析を基に詳細を述べる。ここでは、各手において、ベストパフォーマンスからサードベストまでの時間間隔の変動を示す標準偏差の平均値を算出し、左右の手の間で統計的に比較した。

参加者 5 名による 7 日目における山点と谷点の結果を図 B.1 と図 B.2 に示す。いずれも横軸は参加者、縦軸は時間間隔の変動を示す標準偏差の平均値 s_t (秒) を表す。エラーバーは標準誤差である。

加えて、エキスパートジャグラー 3 名について、同様の分析を行った。3 名の平均値を各図に示す。

各参加者における右手の結果と左手の結果について、対応のある t 検定を実施したところ、全体的な特徴として、山点と谷点いずれにおいても、左右の手で有意差はないことを確認した。これは、van Santvoord & Beek (1996) の知見と同様の結果であった。なお、エキスパートジャグラー 1 名ずつ、左右の手における結果を比較しても同一の結果となった。

一方で、注目すべき点として、参加者 A による谷点の時間間隔の変動は、右手の方が左手に比べて、極めて大きかった ($p < .001$) (図 B.2 を参照)。これは、参加者 A は右投げであるため、利き腕である右手のひらでボールを転が

したことで、個人特有の身体動作が顕著に現れたことを示す。また、参加者 A の左手における谷点の時間間隔の変動は、他の参加者やエキスパートジャグラーに比べて、大きかった。

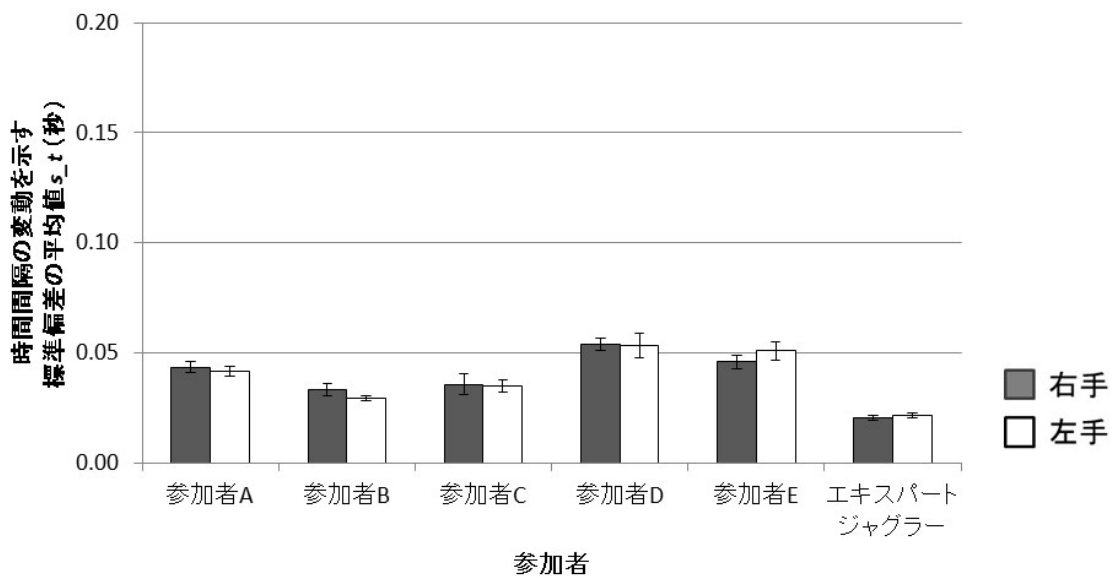


図 B.1 7日目における参加者とエキスパートジャグラーによる山点の時間間隔の変動

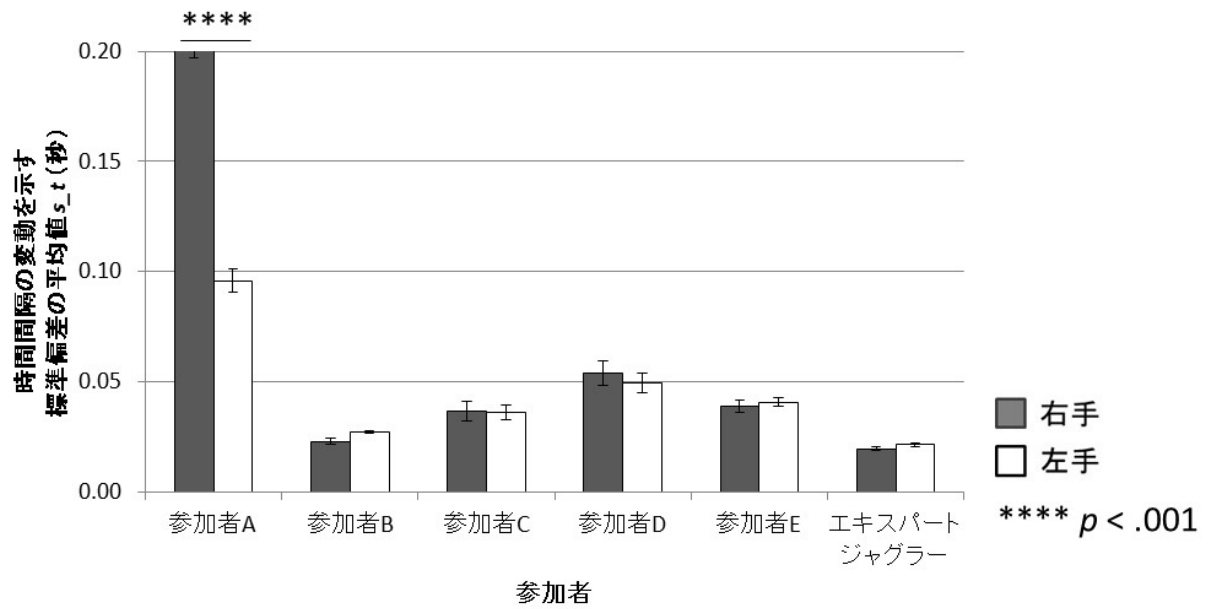


図 B.2 7日目における参加者とエキスパートジャグラーによる谷点の時間間隔の変動