

ダーツ学習過程のゆらぎ

Fluctuation on Learning Process of Darts Throwing

山本 裕二*	水藤 弘吏**	船橋 孝恵***
横山 慶子**	今井 辰也****	鶴原 清志*****
岡本 敦*****	池上 康男*	
Yuji YAMAMOTO *	Hiroshi SUITO **	Takae FUNABASHI ***
Keiko YOKOYAMA **	Tatsuya IMAI ****	Kiyoshi TSURUHARA *****
Atsushi OKAMOTO *****	Yasuo IKEGAMI *	

We examined the fluctuation in the learning process in two different practice methods using a dart-throwing task: a constant practice condition, which required aiming at one target, and block practices that required aiming at different targets. Twelve male undergraduates were randomly assigned to the two practice conditions and performed 1,080 throws over sessions on six days. Variability in performance was analyzed using detrended fluctuation analysis; the results show that the fluctuation was white noise (i.e., scaling exponent $\alpha \approx 0.5$) for the constant practice, while it was $1/f$ -like fluctuation (i.e., $0.5 < \alpha < 1$) for the block practice. These results suggest that the block practice condition produces meaningful fluctuation through learning and this fluctuation may cause the learning effect.

1 目的

運動課題の遂行には、末梢への時間・空間・力量情報の伝達が必要である。特に離散的な運動の場合には、いわゆる運動プログラムにこれらのパラメータを当てはめて、実行可能な形式にして末梢へその運動指令を送って運動が実現されていると思われる（大築（1988）、Schmidt and Lee（2005）など）。

特に空間での腕の運動軌道の生成や計画については、神経科学的知見に基づきいくつもの計算論的モデルが提案されている。そこでの議論は、運動軌道生成のために脳内でいかなる計算が必要であり、その計算モデ

ルを仮定することによって実際の遂行結果との誤差からモデルの妥当性を検証し、ヒトの運動軌道生成のメカニズムを解明するとともに、ロボティクスなどへの応用も視野に入れている（Fel'dman（1966）、川人（1996）など）。

このような運動制御やその獲得過程、すなわち運動学習過程における誤差、あるいはノイズを意味のあるゆらぎととらえ、運動制御や運動学習が自己組織化されていると考える立場がある。例えば、Yamada（1995）は、自己ペースのタッピングを課題として、リズムカルな動きの変動は運動系と中枢系の独立したノイズの結果ではなく、力学系（ダイナミカルシステム）の中で

* 名古屋大学総合保健体育科学センター
** 名古屋大学大学院教育発達科学研究科
*** 九州大学大学院人間環境学府
**** 三重大学教育学部研究生
***** 三重大学教育学部
***** 名古屋経営短期大学
* Research Center of Health, Physical Fitness, and Sports, Nagoya University
** Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University
*** Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University
**** Research Student, Faculty of Education, Mie University
***** Faculty of Education, Mie University
***** Nagoya Management Junior College

の影響であるとし、ノイズがランダムでないことを示している。

このようなゆらぎの分析として用いられているのが、DFA (Detrended Fluctuation Analysis: 傾向除去変動分析) と呼ばれる方法である。これは、非定常的データの長期相関特性の解析手法で、基本的には Hurst 指数といった、時系列データの長期相関、あるいは自己相似フラクタル、自己アフィンフラクタルの解析に用いられる考え方に基づいている (Peng, Buldyrev, Havlin, Simons, Stanley, & Goldberger, 1994; Peng, Havlin, Stanley, & Goldberger, 1995)。いわゆるランダムウォークに見られるフラクタル性について Hausdorff, Peng, Ladin, Wei, and Goldberger (1995) が、この解析方法で明らかにし、最近ではペースに合わせて歩くとこの歩行周期に見られるフラクタル性が消えることが報告されている (Terrier, Turner, & Schutz, 2005)。

また Miyazaki, Nakajima, Kadota, Chitose, Ohtsuki, and Kudo (2004) は視覚照準動作の誤差に関して、被験者が自らの動かす四肢を見ることができるときには、誤差系列はランダムな系列と区別することができなかったが、見えない場合には、誤差系列はランダムではなく $1/f$ タイプの時間相関が見られることを、この DFA を用いて明らかにしている。

本研究では、離散的な投課題であるダーツ投げの学習において、目標を固定して練習する一定練習と、目標を複数設け順番に練習するブロック練習という2種類の練習方法が、投動作の学習過程のゆらぎにどのような影響を及ぼすかを検討することを目的とする。

2 方法

2.1 被験者

男子大学生12名を2群に分けた。

2.2 課題

課題はダーツ投げで、JSFD (Japan Sports Federation of Darts) の規則に従い、ダーツボードの中心から 237cm 離れたスローインラインから、23g のダーツを目標に向かって正確に投げることであった。ダーツボードと投げる空間は図1に示すとおりである。

2.3 練習方法

練習方法として2種類を設定した。一つはダーツボードのダブルブルと呼ばれる中央の直径 12.7mm の領域を狙って、1回3投ずつ20回の60投を1セットとして練習する方法で、これを一定練習群と呼んだ。もう一つはダーツボードの1から20までのエリアを順番に3投ずつ狙い練習する Round the clock 方式と呼ばれる方法で、同様に1回3投ずつ20回の60投を1セットとし、これをブロック練習と呼んだ。

2.4 練習期間

練習は両群とも1日に3セットで180投で、できるだけ連続するように6日間行った。したがって両群とも練習として1,080投ずつ投げたことになる。また休日などのために練習に要した日数は最長で10日間であった。

2.5 手続

練習開始日の前に、実験の概要と進め方の説明を行った。そして練習初日の練習前に、ダブルブル (ダーツ

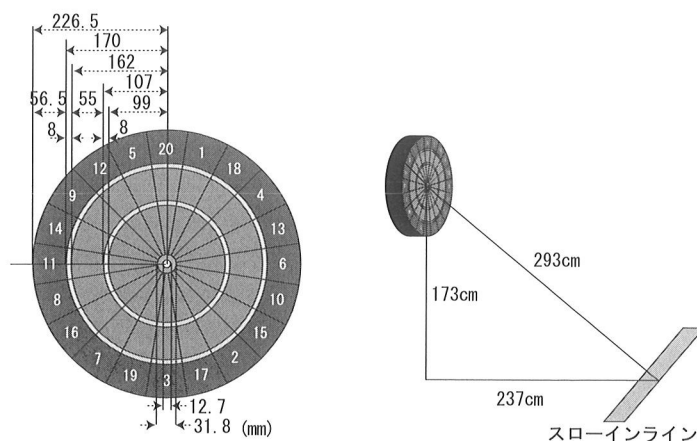


図1: ダーツボードと投げる空間

表1：各群の事前事後テストにおけるダブルブルと偶数エリアへの到達本数

	Constant							Block						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	M	B1	B2	B3	B4	B5	B6	M
Double bull														
Pre	0	0	0	2	0	2	0.7	1	0	1	1	0	1	0.7
Post	1	1	4	2	2	6	2.7	1	6	1	6	0	1	2.5
Even area														
Pre	3	1	2	3	1	2	2.0	2	0	0	0	0	0	0.3
Post	1	3	4	3	3	3	2.8	0	5	1	2	2	1	1.8

ボード中心の直径 12.7mm のエリア) への10投と偶数エリアに1投ずつの10投を投げてもらい、事前テストとした。同様に練習最終日の練習後に同様のテストを行い、事後テストとした。

ダーツの到達位置はコンピュータ上で記録し、一定練習群では20分の1のエリアと同面積の中心からの同心円内への到達本数、ブロック練習群では定められた20分の1のエリアへの到達本数を集計した。

2.6 分析

ダーツの到達位置に基づいて、事前事後テストについてはダブルブルと偶数エリアにそれぞれ到達した本数とダブルブルを狙った10投のばらつきを Hancock, Butler, and Fischman (1995) の方法に基づき二変量変動誤差 (BVE: bivariate variable error) として算出し、パフォーマンスとした。練習期間については、1セット60投における到達本数と3投ずつのBVEの平均を求めた。また、ゆらぎに関しては、一定練習群ではダーツ中央を原点として、各到達位置のXY座標を求めた。ブロック練習群に関しては、各エリアの中心(ボード中心から半径134.5mmの同心円上)を原点として、各到達位置のXY座標を求めた。これらXY座標それぞれについて練習期間における1,080投のゆらぎをDFAによってもとめた。

3 結果および考察

3.1 事前事後テストのパフォーマンス

事前事後テストにおける各被験者のダブルブルと偶数エリアへの到達本数と各群の平均を示したのが表1で、各群の事前事後テストでのダブルブルを狙った10投のBVEの平均と標準偏差を示したのが図2である。乱順化検定 (Edgington, 1995; 橘, 1997) の結果、偶数エリアを狙った到達本数の事前テストにおいてのみ一定練習群の方がブロック練習群よりも有意に良い成績

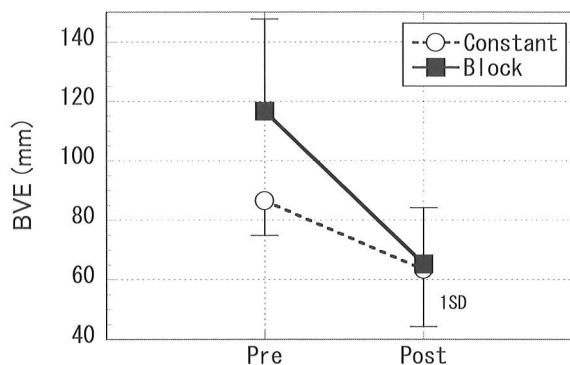


図2：各群の事前事後テストにおけるBVEの平均と標準偏差

を示した ($p=0.021$)。一定練習群の方がBVEについても事前テストで小さい傾向があり ($p=0.058$)、必ずしも両群の事前テストでの成績が等質ではなかったと思われる。

また事前事後テストで比較すると、ばらつきにおいてのみ有意な学習効果が両群にみられた(それぞれ、一定練習群: $p=0.043$ 、ブロック練習群: $p=0.015$)。したがって、到達本数には顕著な学習効果はみられないが、投動作に関しては両群とも学習によって安定性が増していると考えてよいと思われる。

3.2 学習期間でのパフォーマンス

学習期間での各群の1セット60投における到達本数と3投ずつのBVEの平均を示したのが図3である。これらから到達本数とばらつきともに少しずつではあるが学習が進んでいるようすがうかがえる。また、一定練習群の方がブロック練習群よりもより学習が進んでいるように思われるが、これはこれまでの運動学習理論の閉回路理論 (Adams, 1971) やスキーマ理論 (Schmidt, 1975) の検証における結果と一致するものである (Christina & Merriman, 1977; Shea & Kohl, 1991)。

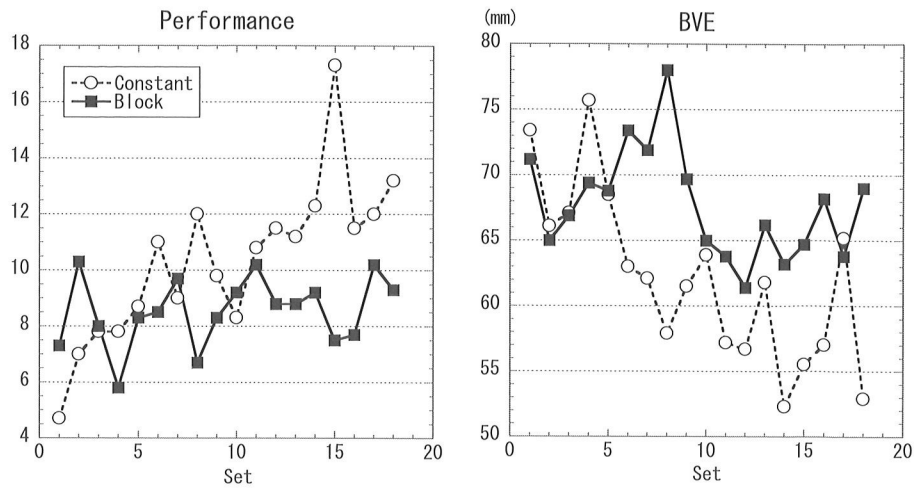


図3：各群の学習過程における到達本数とばらつきの変化

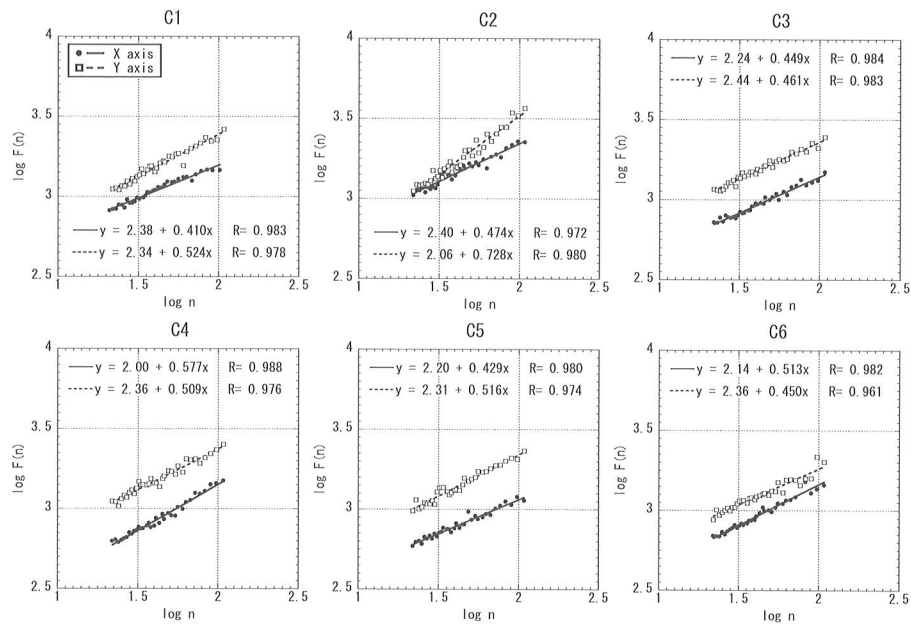


図4：一定練習群のDFAの結果

3.3 学習過程のゆらぎ

学習過程の到達位置のゆらぎについて、X軸方向とY軸方向のそれぞれについて各被験者ごとに対数プロットしたものが図4と図5である。図中の回帰式における傾き α がスケーリング指数とも呼ばれるもので、時系列の特徴を示すものである。そして、 $\alpha=0.5$ は白色雑音 (white noise)、 $\alpha=1$ は $1/f$ ゆらぎあるいは桃色雑音、 $\alpha < 0.5$ は逆相関 (anti-correlation) であるといわれている (Peng et al., 1995; Terrier et al., 2005)。

各群のスケーリング指数 α について、X軸、Y軸ご

とに平均と標準偏差と乱順化検定の結果を示したのが表2と図6である。これらから一定練習群の時系列では白色雑音が、他方ブロック練習群では $1/f$ ゆらぎあるいは桃色雑音に近いゆらぎがみられた。このことはブロック練習が意味のあるゆらぎを生み出したとも考えられ、従来の記憶モデルに基づいて運動学習理論で提案されていた変動練習仮説 (Schmidt & Lee, 2005) とは異なる文脈で一定練習よりもブロック練習の効果を説明するものであると思われる。

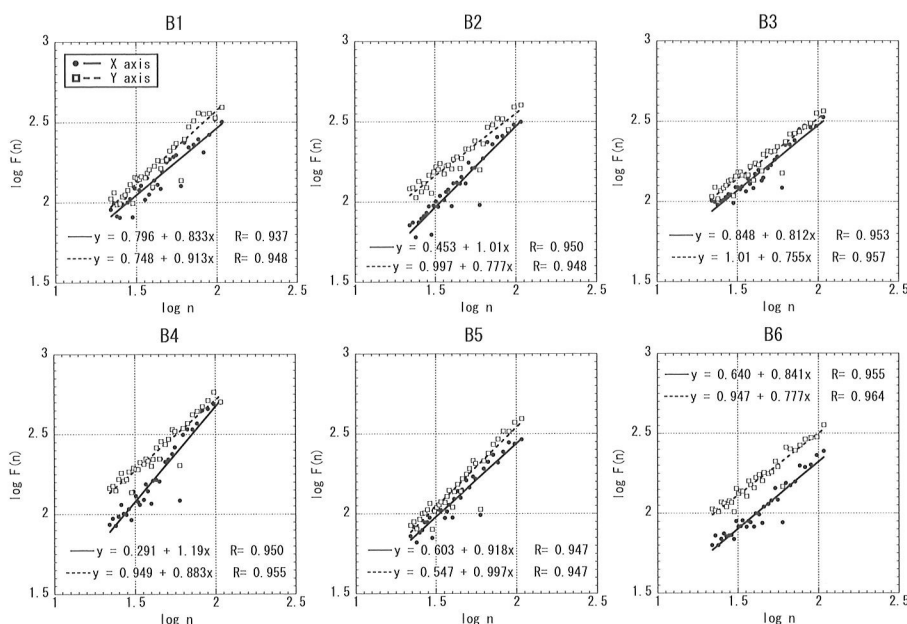


図5：ブロック練習群のDFAの結果

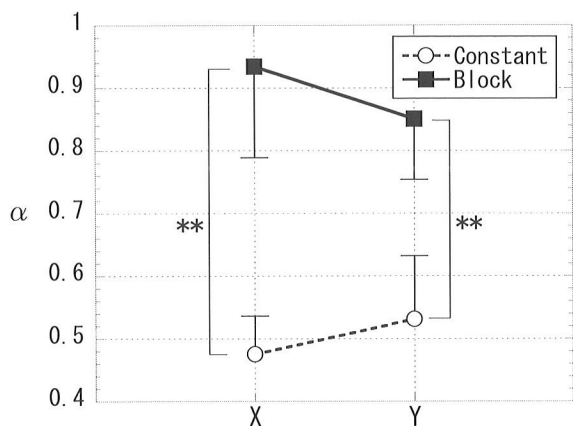


図6：両群のXY軸におけるスケーリング指数 α

表2：両群のX軸とY軸方向のスケーリング指数

	X		Y	
	Mean	SD	Mean	SD
Constant	0.475	0.061	0.531	0.101
Block	0.934	0.145	0.850	0.097
Probability	0.002		0.002	

4 まとめ

離散的な投課題であるダーツ投げの学習において、

目標を固定して練習する一定練習と、目標を複数設け順番に練習するブロック練習という2種類の練習方法が、投動作の学習過程のゆらぎに及ぼす影響を検討した結果、一定練習ではその学習過程におけるゆらぎは白色雑音であったが、ブロック練習では1/fゆらぎあるいは桃色雑音に近いゆらぎがみられた。このことは、練習方法あるいは練習環境によって運動学習過程にゆらぎを生み出す可能性を示唆するものであり、忘却再構成仮説 (Lee & Magill, 1983 ; Lee & Weeks, 1987) や精緻化仮説 (Shea & Morgan, 1979) といった記憶のモデルによる学習の説明とは異なる視点を与えるものであると思われる。

しかしながら、このブロック練習群に見られたゆらぎがどのようにして学習効果に結びつくのかはまだ不明であり、運動遂行前の計画にもゆらぎがみられるのか、あるいは運動系にだけ見られるゆらぎなのかなど今後更なる検討が必要である。

文献

Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning, *Journal of Motor Behavior*, **3**, 111-149.
 Christina, R. W., & Merriman, W. J. (1977). Learning the direction and extent of a movement: A test of Adam's closed-loop theory, *Journal of Motor Behavior*, **9**, 1-9.
 Edgington, E. S. (1995). *Randomization test: third edition, revised and expanded*. New York: Marcel Dekker, Inc.
 Fel'dman, A. G. (1966). Functional tuning of the nervous system

- with control of movement or maintenance of a steady posture. III. Mechanographic analysis of the execution by man of the simplest motor tasks, *Biofizika*, **11**, 766–775.
- Hancock, G. R., Butler, M. S., & Fischman, M. S. (1995). On the problem of two-dimensional error scores: Measures and analyses of accuracy, bias, and consistency, *Journal of Motor Behavior*, **27**, 241–250.
- Hausdorff, J. M., Peng, C.-K., Ladin, Z., Wei, J. Y., & Goldberger, A. L. (1995). Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait, *Journal of Applied Physiology*, **78**, 349–358.
- 川人光男 (1996). 脳の計算理論. 東京: 産業図書.
- Lee, T. D., & Magill, R. A. (1983). The locus of contextual interference effect in motor skill acquisition, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, **9**, 730–746.
- Lee, T. D., & Weeks, D. J. (1987). The beneficial influence of forgetting on short-term retention of movement information, *Human Movement Science*, **6**, 233–245.
- Miyazaki, M., Nakajima, Y., Kadota, H., Chitose, K., Ohtsuki, T., & Kudo, K. (2004). 1/f-type fluctuation in human visuomotor transformation, *Neuroreport*, **15**, 1133–1136.
- 大築立志 (1988). 「たくみ」の科学. 東京: 朝倉書店.
- Peng, C.-K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). Mosaic organization of DNA nucleotides, *Physical Review E*, **49**, 1685–1689.
- Peng, C.-K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1995). Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series, *Chaos*, **5**, 82–87.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning, *Psychological Review*, **82**, 225–260.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th Ed). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Shea, C. H., & Kohl, R. M. (1991). Composition of practice: Influence on the retention of motor skills, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **62**, 187–195.
- 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.
- 橋敏明 (1997). 確率化テストの方法 – 誤用しない統計的検定 –. 東京: 日本文化科学社.
- Terrier, P., Turner, V., & Schutz, Y. (2005). GPS analysis of human locomotion: Further evidence for long-range correlations in stride-to-stride fluctuations of gait parameters, *Human Movement Science*, **24**, 97–115.
- Yamada, N. (1995). Nature of variability in rhythmical movement, *Human Movement Science*, **14**, 71–384.

(2006年12月12日受付)