

## 帯域幅法による結果の知識提示がタイミング習得に及ぼす効果： 再生テストのスケジューリングの影響

石倉 忠夫<sup>1</sup>

### The effects of presentation of the knowledge of results by bandwidth method on acquisition of timing skill: influence of the scheduling of reproduction tests

Tadao Ishikura<sup>1</sup>

The purpose of this study was aimed to examine the effects of the bandwidth knowledge of results during practice, and the scheduling of reproduction tests and transfer tests by the block / random schedule on learning of a timing skill. The participants in right-hand effectiveness were required 1) to push the ten-keys by a right-hand index finger; the order was '0, 2, 5, 6 and 9', and 2) to finish the movement in 900 msec. after pushing '0'. Furthermore, participants were required to push the ten-key of the same sequence in 1100 msec. as a transfer task. Seventy-two participants were provided one of three conditions; 1) the 100%KR group, whose participants were provided with error information after every trials during practice phase. 2) the 10% range (BW10%) group, whose bandwidth was from 810 to 990 msec. 3) the fluctuating range (FL) group, whose bandwidth was set up by the standard deviation for five trials as results of participant's own execution. Further, participants reproduced one of two schedules during retention tests; 1) the blocked schedule, whose schedule was conducted with five reproduction trails of transfer task after reproducing five trials of original task. 2) the random schedule, whose schedule was randomized with two tasks that included five trials each. That is, the participants were divided into one of six groups. After pretest, the participants practiced 30 trials of an original task. The retention tests and transfer tests were conducted immediately after a practice phase and 10 min. and 24 hr. afterward. The results showed a) that the variable error and total variability of all groups on immediate test were lower than that on pretest, b) that the constant error of FL was lower than that of BW10% on the retention tests and transfer tests, c) that the variable error of FL was lower than that of 100%KR on the retention tests, and d) that there was much number of times of presentation of error information during practice phase in order of 100%KR, FL and BW10%. It was considered from these results that, although the clear learning effect of the bandwidth method was not shown, the learning effect was shown in the accuracy of FL rather than BW100%. Moreover, the conspicuous influence by the block / random schedule which consisted of the original task and the transfer task on reproduction tests was not shown.

【Keywords】 timing skill, knowledge of results, bandwidth, block schedule, random schedule

本研究は、帯域幅フィードバック法、再生テスト（原課題/転移課題）のスケジュール（ブロック/ランダム）がタイミング・スキル学習に及ぼす影響について検討した。右手利きの被験者にはキーボード上のテンキーを、①0、2、5、6、9の順で人差し指で押していくこと、そして②'0'を押した900msec.後に'9'を押すことが原課題として与えられた。また、転移課題として同じ動作で1100msec.を目標とする課題が与えられた。72名の被験者は3つのフィードバック条件うちの1つのグループに振り分けられた：100%KR（パフォーマンス結果を毎試行後に提示）、BW10%（810～990msec.の範囲を外れたときに誤差を提示）、FL（900msec.±[5試行分のSD]の範囲を外れたときに誤差を提示）。さらに被験者は2つの再生テスト・スケジュール条件に振り分けられた：ブロック条件（原課題の後に転移課題を実施）、ランダム条件（原課題と転移課題がランダムな順番で実施）。よって、被験者は6つの条件のうちの一つの条件に振り分けられたことになる。プレテストの後、被験者は原課題を30試行練習した。保持テストと転移テストが練習期の直後、10分後そして24時間後に実施された。分析の結果、a) Variable errorとTotal variabilityにおいて、全ての条件でプレテストから直後テストにかけて少なくなった。b) Constant errorの保持テストと転移テストにおいて、BW10%よりもFLが少なかった。c) Variable errorの保持テストにおいて、100%KRよりもFLが少なかった。d) 誤差情報の提示回数は100%KR、FL、そしてBW10%の順で多かった。本実験では帯域幅法の明確な学習効果は示されなかったものの、BW10%よりもFLの正確性に学習効果が認められた。また、再生テスト時の原課題と転移課題によるブロック/ランダム・スケジュールによる際立った影響は示されなかった。

【キーワード】 タイミング、結果の知識、帯域幅、ブロック・スケジュール、ランダム・スケジュール

## I. 緒言

運動技能の学習において、目標になる距離や時間に対してパフォーマンスを遂行した結果情報は重要な外的情報になる。パフォーマンス結果の情報を結果の知識 (Knowledge of Results: KR) という。学習者は練習時に KR を得ることで誤差を抽出し、次のパフォーマンスを遂行するために動作自体やパラメータを修正する。この繰り返しによって運動技能は学習されるため、KR の与え方が運動技能の学習に及ぼす影響について注目され、検討されてきた (e.g., 調子, 1994; Schmidt, 1991; Schmidt & Lee, 2005; Thorndike, 1927)。

運動技能学習における KR の役割について、Salomoni ら (1984) はガイダンス仮説を提唱している。ガイダンス仮説によると、KR は目標に向かって学習を導く効果がある。しかしながら、学習者に KR を頻繁に与えすぎると KR に対する依存性が高まり、学習の障害になるという否定的な効果を持つ (the dependency-producing effects of feedback: 依存性産出特性)。また、詳しい KR を与えすぎると、神経筋システムにおける自己受容的ノイズ処理のための Maladaptive short-term correction が生じ、かえって学習の障害になることを説明している。この否定的効果の発生を防ぐ方法として、1) KR 情報の提示回数を減らしたり、平均値や数試行分の結果をまとめて提示する等、ある程度まとめた形で学習者に提示する要約フィードバック法 (summary feedback) や、2) パフォーマンス目標値に対して一定の幅を設け、これを外れた場合に誤差情報を提示するという帯域幅法 (Bandwidth KR) が考案されている。これらの方法を用いることで、技能習得において重要な筋感覚などの内的情報に学習者の注意を方向づけ、神経筋システムの誤差修正能力の範囲内で学習を進める、いわゆる自己誤差検出-修正プロセスを適切に活性化させることが可能になると考えられている (Schmidt & Lee, 2005)。

従来、帯域幅法 (Bandwidth KR) では目標とする距離や時間に対して 5 ~ 20% の帯域幅を設定し、帯域幅を設定しない練習条件と比較することでその効果について検討されている。例えば、帯域幅が練習試行数とともに段階的に広がっていく Expanding-BW 条件 (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) や帯域幅を目標時間の 10% に固定した条件は、試行ごとに KR を受け取ることができる条件や 20% から 5% 刻みで練習試行数に伴って段階的に狭くなる条件に比べて学習効果が認められたことが報告されている (Goodwin & Meeuwse, 1995)。また石倉 (2009) は、学習者のパ

フォーマンス習得状況と帯域幅の設定を関連づけることは学習者の注意を内的情報へより誘導することができる、従来の設定方法よりも学習効果が期待できるものと仮定し、5 試行分のパフォーマンス結果の標準偏差値を帯域幅とする方法 (Fluctuating range condition: FL とする) の有効性を検討している。その結果、FL は試行ごとにパフォーマンス結果が提示される条件との間に明確な差が認められず、仮説は支持されなかった。しかしながら、固定された帯域幅条件や学習者のパフォーマンス結果に無関係に帯域幅が変化する場合に比べて学習効果が認められ、FL の有効性を示唆する結果が得られたことを報告している。ただし、石倉 (2009) は実験条件の設定上の問題点をいくつか示し、継続して検討する必要性を指摘している。

そこで本研究は、石倉 (2009) で取り上げられた実験課題と再生テスト実施スケジュールを変更し、FL による KR 提示がタイミング習得に及ぼす効果について再度検討することを目的とした。石倉 (2009) は、コンピュータ・マウスを使用したタイミング習得課題ではマウスの掴み直しなどマウス操作の失敗がパフォーマンス結果へ影響を及ぼす可能性を指摘している。よって、本研究ではキーボード上のテン・キーを右手人差し指で押すという課題に変更して検討する。また、再生テストにおいて原課題の再生テストと転移課題の再生テストのブロック・スケジュールとランダム・スケジュールのスケジューリングによる影響についても加えて検討する。

## II. 方法

本研究は同志社大学の倫理基準の承認を得て実施された。

### 1. 被験者

右手利きの大学生 72 名 (男性 27 名, 女性 45 名, 年齢  $20.3 \pm 1.5$  歳) が実験者から説明を受けた後、承諾書に署名して実験に参加した。全ての被験者は課題に対して未経験であり、個別に実施された。なお、実験終了後には謝礼として 1,000 円が支払われた。

### 2. 課題

パーソナル・コンピュータのキーボード上にあるテン・キーを右手人差し指で '0 → 2 → 5 → 6 → 9' の順序で押すこと、そして '0' を押した 900 msec 後に '9' を押すことが課題とされた (図 1)。

### 3. 実験条件

実験条件は、[3 つのフィードバック条件] × [2 つの再生テスト・スケジュール条件] が設定され、被験者は男女比がほぼ同じになるように 6 つの条件のうちの一つに分けられた。フィードバック条件は次に上げ

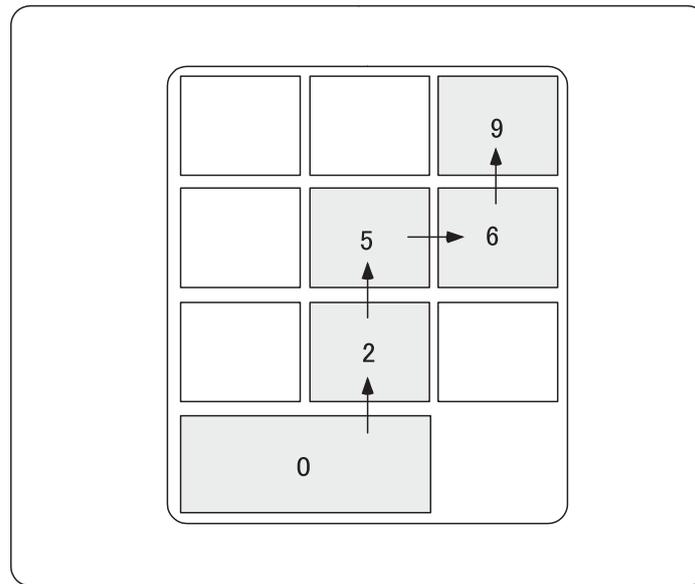


図1 テン・キーを用いたタイミング課題

被験者は右手人差し指で、コンピュータ・キーボード上のテン・キーを图中矢印の順で押していく。被験者には「0」を押して900msec.後に「9」を押すことができるようにタイミングを学習するように求められた。なお、移転課題では同じ順序で「0」を押してから1100msec.後に「9」を押すように求められた。

る3条件であった。①100%KR条件：目標時間（900 msec）に対する誤差が被験者に提示される。②FL条件：帯域幅を  $900 \pm [5 \text{ 試行分の標準偏差}] \text{ msec}$  とし、この範囲からパフォーマンス結果が外れたときに目標時間からの誤差が被験者に提示される。パフォーマンス結果が安定するほど帯域幅は狭くなり、また、帯域幅からパフォーマンス結果が外れると次の試行の帯域幅は広がることになる。③BW10%条件：帯域幅を  $900 \pm 90 \text{ msec}$  とし、この範囲からパフォーマンス結果が外れたときに目標時間からの誤差が被験者に提示される。FLとBW10%においてパフォーマンス結果が帯域幅内であったとき、100%KRにおいてパフォーマンス結果が900msecであったときにはパーソナル・コンピュータ・ディスプレイ上に“Your response was correct!”というメッセージが提示された。また、誤差情報はパーソナル・コンピュータ・ディスプレイ上に“+”“-”をつけて誤差時間がmsec単位で表示された。FLおよびBW10%においてKRが与えられる仕組みについては被験者に説明された<sup>註)</sup>。

註) 本研究で被験者のパフォーマンス結果に基づく帯域幅設定法 (FL) を取り上げるにあたり、被験者に対してその算出方法、つまり“帯域幅を  $900 \pm [5 \text{ 試行分の標準偏差}] \text{ msec}$  とし、この範囲からパフォーマンス結果が外れたときに目標時間からの誤差がコンピュータ・ディスプレイ上に提示される。”という説明の有無が学習成績に及ぼす影響について検討する目的で予備実験を実施した。本実験と同じ課題を取り上げ、試行ごとに結果を提示する (100%KR)、FL 説

一方、再生テスト・スケジュール条件は2条件設定された。原課題 (目標時間 900msec) と転移課題 (目標時間 1100msec) それぞれを5試行ずつ、①ブロック・スケジュールで行う条件 (原課題を5試行行った後に転移課題を5試行行う。またはその逆) と②ランダム・スケジュールで行う条件であった。

#### 4. 手順

実験の進行は心理学実験用ソフト (Psychology Software Tools, Inc. E-Prime Ver2.0) で作成されたプログラムによって統制された。

原課題の練習を3試行行った後、5試行のプレテストが実施され、さらに原課題の30試行の練習試行が実施された。練習試行は10秒に1試行の時間間隔で行われ、3つのフィードバック条件に準じてフィードバック情報が被験者に提示された。フィードバック情報はパーソナル・コンピュータ・ディスプレイ (三菱社製19インチ液晶ディスプレイ) 上に5秒間提示された。練習試行終了直後に、原課題を対象とした直後

明あり、そしてFL説明なしの3条件の学習効果を比較した。練習試行終了から24時間後に実施された保持テストのVariable errorにおいて、FL説明あり条件とFL説明なし条件は100%KR条件に比べて有意に少ないという結果が得られた。このため、FL算出の説明が有る場合と無い場合では学習成績に及ぼす影響が認められないこと、そして被験者の実験中のフィードバック情報に対して信頼を失うなどの混乱を避ける意図から、本研究では被験者に対してFL算出方法の説明をすることにした。

再生テスト、そして転移課題を対象とした転移テストがそれぞれ5試行ずつ、ブロックまたはランダム・スケジュールで実施された。また、直後再生テストの10分後と24時間後に、直後再生テストと同様に、原課題と転移課題をそれぞれ5試行ずつブロックまたはランダム・スケジュールで実施された。なお、プレテスト、直後再生テスト、保持再生テストおよび転移テストにおいてパフォーマンス結果に関する情報は被験者に与えられなかった。

なお、間違ったキーを押した場合には試行数に含めず、再度課題の遂行が求められた。

### 5. 依存変数

各テストにおけるE (Total variability), CE (Constant Error), VE (Variable Error), 練習試行における誤差情報提示回数が依存変数として取り上げられた。統計分析には、SPSS Inc. SPSS Ver12.0が用いられた。

## III. 結果

各条件下におけるE, CE, VEをテスト毎に求めた(図2, 3, 4)。プレテストにおける各条件の分散の程度を1要因分散分析にて検討したところ、有意差が認められなかった。よって、プレテスト時のパフォーマンス水準は等質であると判断された。

### 1. 練習の効果について

3要因1繰り返し(フィードバック条件×再生テスト・スケジュール条件×テスト条件)による分散分析を用いて練習の効果を検討した。

E(図2)における繰り返し要因の主効果に有意差が認められ( $df = 1/66, F = 53.64, p = .000, ES = 1.00$ )、プレテスト( $X = 238.18$ )から直後再生テスト( $X = 77.46$ )にかけて有意に減少した。

またVE(図4)においても繰り返し要因の主効果に有意差が認められ( $df = 1/66, F = 22.20, p = .000, ES = .996$ )、プレテスト( $X = 96.01$ )から直後再生テスト( $X = 44.37$ )にかけて有意に減少したという結果が得られた。

CEに関しては有意な差は認められなかった。

### 2. 学習効果について

3要因1繰り返し(フィードバック条件×再生テスト・スケジュール条件×テスト条件)による分散分析を用いて学習効果を検討した。

E(図2)のフィードバック条件×テスト条件による交互作用が有意であり( $df = 2/132, F = 3.21, p = .044, ES = .604$ )、ブロック・スケジュール条件下において24時間後に実施された保持テスト( $X = 87.78$ )は直後再生テスト( $X = 57.61$ )に比べて増加した。そして、直後再生テストにおいて、ブロック・スケ

ジュール( $X = 57.61$ )はランダム・スケジュール( $X = 97.32$ )に比べて少ないという結果が得られた。

CE(図3)はフィードバック条件による主効果が有意であり( $df = 2/66, F = 3.85, p = .026, ES = .678$ )、FL( $X = 22.48$ )はBW10%( $X = 70.53$ )よりも有意に少ないという結果が得られた。

VE(図4)ではフィードバック条件( $df = 2/66, F = 4.47, p = .015, ES = .747$ )、フィードバック条件×テスト条件による交互作用( $df = 2/132, F = 4.92, p = .009, ES = .799$ )が有意であった。下位検定の結果、FL( $X = 34.81$ )は100%KR( $X = 52.87$ )よりも有意に少ない。また、直後再生テストにおいて、ブロック・スケジュール( $X = 30.67$ )はランダム・スケジュール( $X = 58.08$ )に比べて少ない。そしてランダム・スケジュール条件は直後再生テスト( $X = 58.08$ )から24時間後に実施された保持テスト( $X = 39.35$ )にかけて減少したという結果が示された。

### 3. 転移テストについて

3要因1繰り返し(フィードバック条件×再生テスト・スケジュール条件×テスト条件)による分散分析を用いて学習の転移効果を検討した。

CE(図3)におけるフィードバック条件による主効果が有意であり( $df = 2/66, F = 6.26, p = .003, ES = .882$ )、FL( $X = -32.09$ )はBW10%( $X = 109.94$ )よりも有意に少ないという結果が得られた。またテスト条件による繰り返し要因の主効果が有意であり( $df = 2/132, F = 4.35, p = .015, ES = .746$ )、直後再生テスト時の転移テスト( $X = 62.39$ )は10分後( $X = 23.91$ )および24時間後( $X = 25.96$ )に実施された転移テストよりも多いという結果が示された。

VE(図4)ではテスト条件による繰り返し要因の主効果( $df = 2/66, F = 6.26, p = .003, ES = .882$ )、そして再生テスト・スケジュール条件×テスト条件による交互作用( $df = 2/132, F = 3.41, p = .036, ES = .633$ )が有意であった。下位検定の結果、ランダム・スケジュール条件の直後再生テスト時の転移テスト( $X = 93.02$ )が10分後( $X = 67.51$ )および24時間後( $X = 56.13$ )に実施された転移テストよりも多いという結果が示された。

Eにおいては有意な差は認められなかった。

### 4. 練習試行における誤差情報提示回数について

2要因繰り返しの分散分析(フィードバック条件×再生テスト・スケジュール条件)を用いて、練習試行における誤差情報提示回数の差異を検討した。その結果、フィードバック条件による主効果に有意差が認められ( $df = 2/66, F = 595.40, p = .000, ES = 1.00$ )、100%KR( $X = 30.00$ )、FL( $X = 11.58$ )、BW10%( $X = 6.42$ )の順で多いという結果が示された。

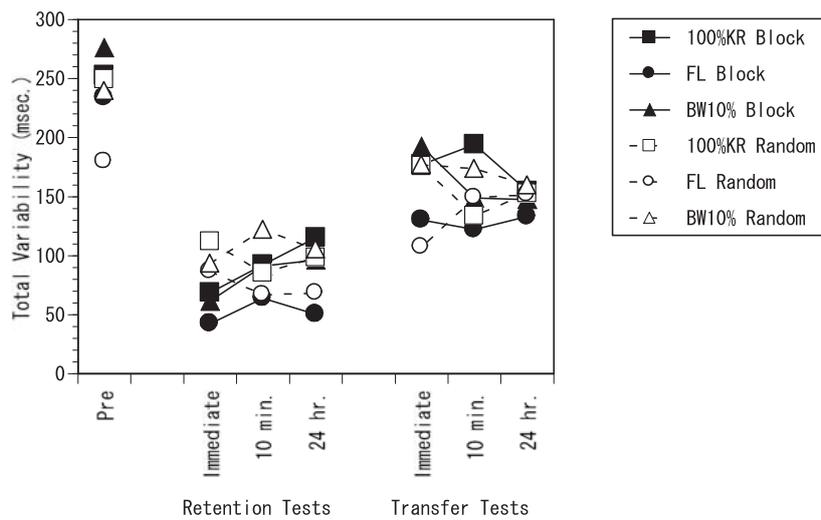


図2 各条件下における Total variability

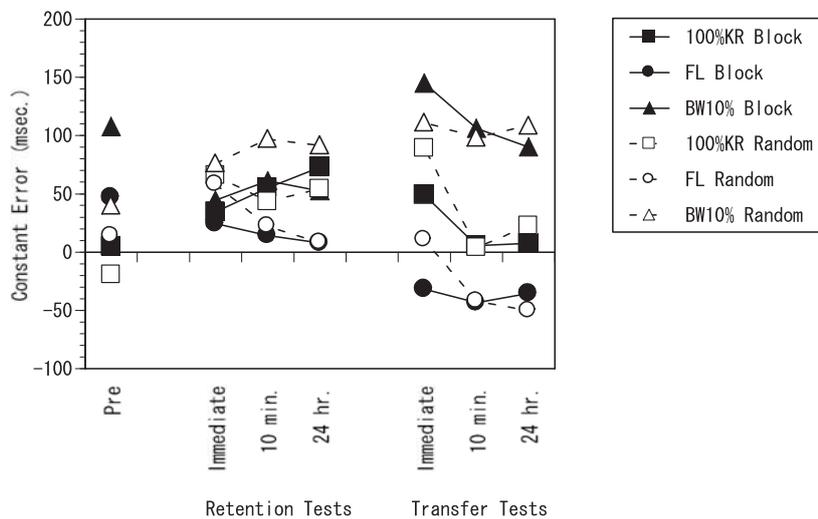


図3 各条件下における恒常誤差 (Constant error)

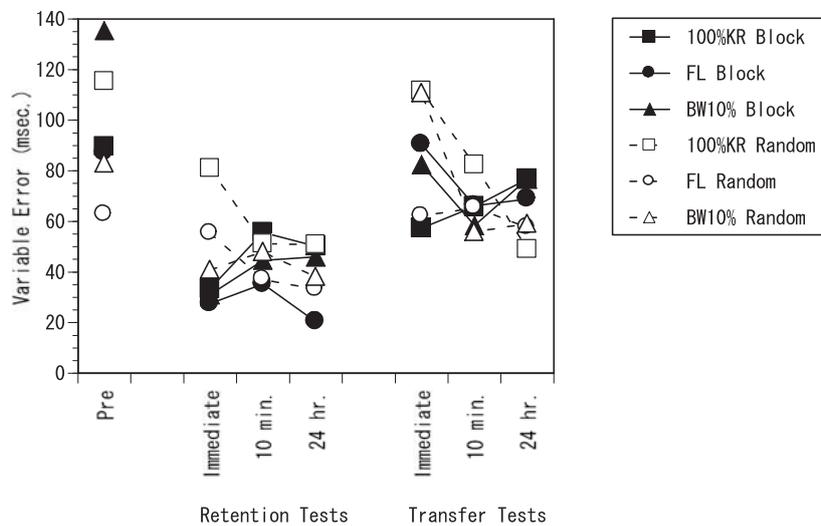


図4 各条件下における変動誤差 (Variable error)

#### IV. 考察

本研究の結果において、VEとEにプレテストから直後再生テストにかけて有意に減少したため、全ての条件でタイミング課題が習得されたといえる。また保持テストにおけるCEでFLはBW10%よりも有意に低いこと、そしてVEではFLは100%KRよりも有意に低いという結果が得られた。つまり、FLはBW10%に比べて正確であり、100%KRに比べて安定したパフォーマンスを遂行できるという学習効果が得られたといえる。石倉（2009）はFLと100%KRの学習効果に有意な差は認められなかったことを報告しているが、本研究の結果ではFLは100%KRよりもパフォーマンスの安定性に学習効果が得られたということになる。また石倉（2009）は、FLは固定した帯域幅（Yoked fix range condition）よりも学習効果が認められたことを報告しているが、本研究の結果では目標時間の $\pm 10\%$ の幅で固定して設定した条件の正確性に学習効果が認められた。さらに本研究では、転移課題におけるCEでFLはBW10%よりも有意に低いという結果が得られた。これらの結果から、学習者のパフォーマンス結果の標準偏差値を帯域幅とする方法（FL）は帯域幅を固定した方法に比べてタイミング課題の正確性の学習に有利に働くことが示されたと言えよう。

石倉（2009）ではコンピュータ・マウスを操作したタイミング課題であったため、クリック時の操作ミスやマウス移動の操作ミスがタイミング時間測定に反映されない条件で実施されたことが実験設定上の問題点の一つとして上げられていた。本研究ではキーボード上のテン・キーを右手人差し指で決められたキーを押していく動作が要求されたこと、そして間違ったキーを押した場合には再度課題の遂行が求められたため、本研究で得られた結果は石倉（2009）が報告した結果よりも信頼性が得られているといえる。

誤差情報の提示回数に関しては、石倉（2009）で得られた結果と同様に100%KR、FL、BW10%（固定帯域幅）の順で多かった。Goodwin & Meeuwssen（1995）は、練習試行数に伴って段階的に帯域幅が広がるExpanding-BW条件（0%、5%、10%、15%、20%）や目標時間の10%を帯域幅として設定した条件は、試行ごとにKRを受け取ることができる条件や20%から5%刻みで練習試行数に伴って段階的に狭くなる条件に比べて学習効果が認められたことを報告している。これは、技能習得や試行数が進むと学習者がKRを受け取る回数は少なくなるため、筋感覚などの内部情報に注意が向き、学習に有利な条件になると考察されている。本研究で取り上げたFLはパフォーマ

ンス結果の分散が少なくなるほど帯域幅が狭くなるという仕組みであるため、帯域幅が目標時間の $\pm 10\%$ で固定されたBW10%に比べてパフォーマンス遂行に注意を向けた結果としてパフォーマンスの正確性の学習効果が導かれたものと推察される。タイミング技能習得が習得されるほど帯域幅が狭くなるため、帯域幅が固定されたBW10%よりも帯域幅内にパフォーマンスを遂行することが難しくなった結果として誤差情報の提示回数に有意な差が示されたといえよう。

スケジューリングの影響に関しては特に顕著な結果は示されなかったが、原課題の直後再生テストのEとVEにおいて、ブロック・スケジュール条件はランダム・スケジュール条件に比べて少ないという結果が得られた。さらに、VEの原課題と転移課題の両方において、ランダム・スケジュール条件は直後再生テストから24時間後の保持テストにかけて減少したという結果であった。これらの結果から、原課題を30試行練習した直後では、原学習課題を5試行続けて行うブロック・スケジュール条件が有利であるといえる。一方、ランダム・スケジュール条件は直後再生テストにて原課題と転移課題の両課題をランダムな順序で合計10試行再生することが要求されたため、スケジューリングへの慣れの影響が現れたものと考えられる。原課題と転移課題の10分後、24時間後のVEが有意に減少するという結果が得られたことはこれを裏付けるものとして捉えられよう。

#### V. 結論

本研究は石倉（2009）で指摘された実験実施上の問題点を改善し、学習者のパフォーマンス結果に基づく帯域幅の設定方法がタイミング・スキル学習に及ぼす効果と、再生テスト時における原課題と転移課題のスケジューリング（ランダム／ブロック・スケジュール）が及ぼす影響について検討した。分析の結果、学習者のパフォーマンス結果に基づく帯域幅の設定方法は帯域幅を目標時間の $\pm 10\%$ で固定した条件よりも正確な学習効果が示され、また、誤差を毎試行後に提示する条件よりも安定したパフォーマンスの学習効果が示された。これらの結果から、学習者のパフォーマンス結果に基づく帯域幅の設定方法は、他の条件に比べて注意を筋感覚等の内的情報に方向付けることができたため、タイミング・スキルの学習効果の差として現れたものと推察される。一方、再生テストのスケジューリングの影響は本研究においては特に示されなかった。

本実験ではタイミング・スキルの学習を課題として取り上げた。今後は力量調整や位置決めなど異なる課

題特性を取り上げて学習者のパフォーマンス結果に基づく帯域幅の設定方法の有効性を検討する必要がある。

#### 参考文献

調子孝治監訳, リチャード・A・シュミット著. 運動学習とパフォーマンス. pp231-265, 大修館書店, 1994.

Goodwin, J.E., & Meeuwse, H.J. Using bandwidth knowledge of results to alter relative frequencies during motor skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol.66, No.2, pp.99-104, 1995.

石倉忠夫. 帯域幅法による結果の知識提示がタイミング習得に及ぼす効果: パフォーマンス結果の安定度に基づく帯

域幅設定方法の有効性. *同志社スポーツ健康科学*, Vol.1, pp39-44, 2009.

Salomoni, A.W., Schmidt, R.A., & Walter, C.B. Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, Vol.95, pp.355-386, 1984.

Schmidt, R.A. *Motor learning and performance: from principles to practice*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1991.

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

Thorndike, E.L. The law of effect. *American Journal of Psychology*. Vol.39, pp.212-222, 1927.