

身体活動におけるタウ効果

工藤孝幾

目次

- I 運動感覚におけるタウ効果
 - 一 研究の目的
 - 二 実験 I
 - 三 結果の考察
- II 歩行、走行におけるタウ効果
 - 一 研究の目的
 - 二 実験 II
 - 三 結果の考察
- III 実験 I と実験 II の比較

I 運動感覚におけるタウ効果

一、研究の目的

近年、運動技術学習のプロセスを情報理論的観点から解明しようとする試みが盛んであり、さまざまな運動技術学習モデルが提唱されてきた。その中で、Keele, S. M.⁽¹⁾の運動プログラム理論、Adams, J. A.⁽²⁾の閉回路理論、Schmidt R. A.⁽³⁾のシエマ理論は、それぞれの立場を代表する主要な学習モデルであると考えられるが、従来のように、いずれの立場が正しいかという議論よりも、数多くの運動技術の中で、各々の立場が最も適する技術の範囲が存在すると考える方がより生産的であろう。例えば運動プログラム理論は、動作に伴うフィードバック情報を動作修正に利用できないようなバリスティックな技術を説明するのに最も適しており、閉回路理論は、比較的単純な動作技術の練習過程で、試行錯誤状態からそれが自律化して行くプロセスを最も良くモデル化しており、またシエマ理論は、それまでの理論が Krapp, B.⁽⁴⁾の分類における閉鎖系の技術のみを扱っていたのに対し、ある程度開放系の技術学習にまで説明の範囲を広げるのに成功しているように思われる。本研究では以下に述べるように、実験課題としてキネマトメータによる腕のポジショニング課題を用いているところから、ここでは閉回路理論に基づいて論じることになる。

閉回路理論においては、技術学習における主要な役割を知覚痕跡に置いている。これは、学習の過程で得られるさまざまなフィードバック情報によって形成された、その技術についての内的準拠機構、いわば運動イメージといったものであり、その技術を再生する時は、動作に伴う末梢からのフィードバック情報を知覚痕跡と照合させ、フィードバック情報の知覚痕跡からの逸脱を最小にするように遂行される。一般的にはフィードバック情報として、可能なあら

ゆる感覚情報が用いられるわけであるが、本研究の実験課題である腕ポジションニングでは、もっぱら運動感覚情報のみが用いられるわけである。ところが、たとえ再生することが要求されている動作とまったく同一のフォームで練習した場合でも、知覚痕跡を形成するのに用いられた運動感覚情報と、動作を再生する時に得られる運動感覚情報とが質的に異なっていると、再生動作に誤差が生じてくると考えられる。質的相違としては、受動運動と能動運動の違い、動作時にかかる負荷量の違い、動作速度の違いが主に挙げられよう。これら三つの要因のうち、前の二つについては再生動作に及ぼす影響について若干の知見が得られているので以下に紹介する。

Lloyd, A. J. & Caldwell, L. S., Craske, B. & Crawshaw, M. は、ポジションニング課題を用い、能動運動で練習し能動運動で再生する方が、受動運動で練習し能動運動で再生するよりも正確であることを報告している。これは次のような理由によるものであろう。運動感覚情報の受容器は、(1)筋紡錘内の受容器、(2)腱受容器、(3)関節受容器に分けられるが、Browne, K. et al は、(3)を麻痺させると受動運動の感覚がなくなることを報告しており、Merton, P. A. は、(1)~(3)すべての求心性神経を麻痺させても能動運動が可能であることを報告している。Merton, P. A. はこの結果に対し、'sense of effort' がモニターされ、大脳皮質にフィードバックされる入力情報の働きをしているのではないかと予想している。つまり、能動運動の場合、(1)~(3)の受容器の他に第四の受容器があることを想定している訳である。また Zacks, J. L. & Freedman, S. J., Melamed, L. E. は、能動運動の方が受動運動よりも運動感覚残効が大きいことを示している。以上の発見は、両者の間に、主に関与する運動感覚受容器の違いが存在することを示している。Lloyd, A. J. & Caldwell, L. S., Craske, B. & Crawshaw, M. の二つの研究結果は、以上のような理由によるものであり、このことから、練習時と再生時における受動運動、能動運動の違いは、たとえフォーム

の点で同一であっても、再生動作に誤差を生じさせる原因になると結論づけられる。

次に、練習時と再生時の負荷量の違いの影響については、Roy, E. A. & Marteniuk, R. G.⁽¹⁷⁾が、腕ポジションニング課題を用い、腕動作時に加わる張力を変化させることにより、練習時と再生時の負荷量の違いの再生パフォーマンスに及ぼす影響について調べている。その結果、負荷量が等しい時に比べて異なる場合は、再生動作の誤差が大ききという傾向が見られた。Adams, J. A. et al.⁽¹⁸⁾は、腕ポジションニング課題の練習時と再生時のフィードバック条件をさまざまに変動させることにより、練習過程で形成された知覚痕跡は、その時に得られたフィードバックに特有のものであることを実験的に明らかにしているが、Roy, E. A. & Marteniuk, R. G.⁽¹⁷⁾の研究は、負荷量の相違という点においてこのことを具体的に示したものである。これからわかるように、要求される動作と同一のフォームで練習したとしても、練習時と再生時の動作に対する負荷量が異なれば、再生動作に誤差が生じてくる。

以上のように、受動運動と能動運動の違い、動作にかかる負荷量の違いという二つの要因の再生動作に及ぼす影響については、従来の研究から一定の結論が導き出されるが、動作速度の違いという要因については研究が報告されていず、ここではこの点に関し、以下のような問題について実験的に検討した。

Helson, H. & King, S. M.⁽¹⁹⁾は、三点が被験者の皮膚上にマークされる場合、第二と第三点間の時間々隔が第一と第二点間のそれより長い時、被験者は、両者の距離がたとえ等しいか前者がわずかに短くとも、前者を長く感ずることを発見し、これをタウ効果 (tau-effect) と呼んだ。Abbe, M.⁽²⁰⁾はこの現象を視覚刺激を用いて検証しており、また Cohen, J. et al.⁽²¹⁾は聴覚においても同種の発見をしているところから、タウ効果は感覚様相一般に共通してみられる現象であることが予想される。ところが現在のところ、運動感覚の分野での検討がなされていない。このことを調

べることは、タウ効果が感覚様相一般に通じる現象なのかどうかを確認する上で必要であると同時に、本研究で検討しようとしている内容と完全に重複しているのである。

そこで初めに、等距離にある二区間を被験者が異なる移動速度で腕を移動するという状況を考えてみる。速く移動した場合は、その区間の始点と終点は短時間で被験者に呈示されたことになるし、遅く移動した場合はそれよりも長い時間をかけて呈示されたことになる。もしタウ効果が運動感覚にも存在するならば、被験者にこの二区間の距離を評価させた場合、遅く移動した方の区間を長めに感ずるといふ反応が得られるはずである。ところで腕ポジショニング課題の一般的手続きは次の通りである。最初に被験者は定められた区間だけ腕を移動させることによって移動距離を練習し、次にその長さを再生するというものである。当然この手続きのすべてにおいて視覚情報は完全に遮断されている。前述したように、より遅い動作での移動距離の方が長めに感じられるのであるとしたら、ポジショニング課題において、練習した時よりも遅い速度で等距離を再生しようとすれば、結果的に短めに再生されることになる。同様に練習した時よりも速い動作で等距離を再生しようとすれば長めに再生されるはずである。運動感覚にタウ効果が存在するならば、腕ポジショニング課題では以上のような反応となつて示されるのである。

ところが松田⁽¹⁶⁾は、時間、空間、速度の見積りの相互作用に関する従来の研究を概観し、次のような興味ある傾向を指摘している。つまりタウ効果やカッパー効果(注1)を調べる時の刺激呈示方法として、前述したような静止刺激の継起を用いた場合と、動体を刺激とした場合とは結果が逆転する傾向があるのである。タウ効果について具体的に示すと、通常は三点の静止刺激が異なる時間々隔で順次呈示される訳であるが、そうではなく動体刺激が第一区間を一定速度で移動し、引き続き等距離の第二区間を異なる速度で移動する時、タウ効果とは逆の結果が得られるといふので

ある。松田⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾はその原因として次のような仮説をたて、実験的に裏付けることに成功している。「時間を評価する時、速度の変化あるいは空間の変化がその重要な手がかりとなる。ところでその手がかりとしての重要性を相対的に考えた時、刺激が動体の場合は空間の変化よりもむしろ速度の変化を手がかりとして仮定することは無理なことではあるまい。その場合、物理的時間(T)と物理的速度(V)は逆比例関係にある($T \propto 1/V$)から、物理的速度が速いほど主観的時間が短くなるという^(注2)の効果が当然予想される。」

本研究のように、腕移動に伴う運動感覚情報によって距離評価をする場合、距離を示す刺激は動体刺激の方に属する。この点からのみ考えれば、先に予想した傾向とは逆の結果が得られるであろう。しかしタウ効果が逆転するか否かは、単に静止刺激か動体刺激かという二分法ではなく、松田⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾がいうように、その刺激がどの程度速度変化の手がかりを強調しているかに依存している。故に腕移動による距離の見積りでは、呈示刺激が動体の場合に属していると考えられるが、この点からすぐにタウ効果とは逆の反応が得られると予想するのは早計である。

このように、練習時と再生時の動作速度の違いという要因には、触覚、視覚、聴覚において確認されているタウ効果という現象が大きく関与していると考えることができる。タウ効果から予想される方向で結果が得られるか、またはその逆の結果が得られるかは以上のように予想がつかないが、いずれの場合にせよ、練習時と再生時とで動作速度が異なることは、再生動作に誤差を生じさせることになる。実験Iではこれらの点を明らかにするために、次に述べるような方法を用いて検討を試みた。

二、実験I

実験方法

(1) 実験課題

キネマトメーターによる腕の角度再生課題。再生角度は二〇度、五〇度、八〇度の三水準を設定した。測定にあたっては右腕を使用した。

(2) 被験者

大学生男女一〇名ずつで合計二〇名。全員が右利きである。

(3) 実験条件とその手続き

練習時と再生時の動作速度を変化させるため、五度/秒、一五度/秒の二種類の動作速度条件を設定し、前者をS動作、後者をF動作とした。

練習時ならびに再生時に、これら二種類のいずれかの動作速度で被験者に行わせるため、実験者はあらかじめ、キネマトメーターを用いて十分に二種類の動作速度を練習し、実際の測定の際は、練習時と再生時の両方において、実験者が被験者の右腕の置かれているハンドルを誘導するという方法で、手引きによる受動運動によって実施された。すなわち、練習の時は実験者が決められた角度の地点まで被験者の腕の置かれているハンドルをいずれかの速度で誘導してやる。このようにして一つの角度に対し二回練習した後、同一スタート地点から再びいずれかの速度でハンドルを動かしてやり、被験者は練習した角度と同一の角度だけ移動したと感じた所で「ハイ」と合図する、という手続きがとられた。

以上の二種類の動作速度条件の組み合わせによって、次のような二つの実験条件と二つの対照条件とを構成した。
。実験条件

A、F動作で二回練習した後、その練習した角度をS動作で再生する（以下、F↓S条件と略す）。

B、S動作で二回練習した後、その練習した角度をF動作で再生する（以下、S↓F条件と略す）。

。対照条件

C、S動作で二回練習した後、その練習した角度をS動作で再生する（以下、S↓S条件と略す）。

D、F動作で二回練習した後、その練習した角度をF動作で再生する（以下、F↓F条件と略す）。

同一被験者が、前述した三水準の角度につき四つの測定条件を各々二回ずつ行ったので、一人の被験者につき 4×3 の合計二四回の測定がなされた。なお順序効果を防ぐためこれら二四回の測定順序はランダムにした。

(4) 結果の処理

F↓S条件の再生パフォーマンスの誤差には、次の二つが含まれている。一つは練習時と再生時の動作速度が変化したことによるタウ効果の影響、もう一つはS動作がそもそも持っている再生動作における誤差、つまり動作速度の変化がなく、S動作で練習しS動作で再生するという状況でもともと存在している誤差である。故にタウ効果のみを抽出するには、後者の誤差を前者から分離しなければならない。まったく同じことはS↓F条件にもいえる。そこで次の方法によって、タウ効果のみによる影響を算出した。

各々の角度につき、A↔Dの四条件のそれぞれの二試行の定常誤差の平均値を求め、次にF↓S条件の平均値からS↓S条件の平均値を、またS↓F条件の平均値からF↓F条件の平均値を引き、前者を、練習時よりも再生時の動作速度が遅くなったことによるタウ効果の影響、後者を、練習時よりも再生時の動作速度が速くなったことによるタウ効果の影響とし、それぞれF↓S得点、S↓F得点と命名した。このため一人の被験者につき、それぞれの角度で

のF↓S得点とS↓F得点とが得られた訳である。

また、特にS↓S条件とF↓F条件の二つの対照条件については、それぞれの角度における二試行の絶対誤差の平均値を求めた。これは次のことを確認するためである。Hall, G. & Wilberg, R.⁽¹⁹⁾は、腕ポジションニング課題において、短い距離の時は長めに再生し、長い距離の時は短めに再生するという、'range effect'を報告している。またHall, G. & Wilberg, R.⁽¹⁹⁾は、腕ポジションニング課題を用い、再生動作の正確性に対する動作速度の影響を調べ、動作速度は再生パフォーマンスの正確性にはほとんど影響しないことを報告している。同時にWoodworth, R. S.⁽²⁰⁾は、速い動作の場合には練習した長さよりも長めに、遅い動作の場合には短めに再生すると報告している。つまり、本実験の測定条件を用いて、再生パフォーマンスに対する以上の二つの動作速度の影響を説明すれば、S↓S条件とF↓F条件とを比較すると、両者間には再生パフォーマンスの正確性においては差がないが、誤差の方向が異なり、前者は短めに、後者は長めに逸脱するということである。またHall, G. & Wilberg, R.⁽¹⁹⁾は、再生距離の長短による再生パフォーマンスの正確性には相違が見られないことを報告している。本研究における実験計画は幸い以上のすべてについて確認することができ、そのために対照条件について絶対誤差の算出を試みた訳である。

実験結果

以上の方法によって得られたF↓S得点とS↓F得点の各角度ごとの平均と標準偏差を表1に示した。また、その分散分析の結果は表2に示した。表2からわかるように、F↓S得点とS↓F得点の違いによる主効果と、この要因と再生角度要因との交互作用とにおいて有意性が検出された。主効果の意味は、F↓S得点よりS↓F得点の方が有

表1 F→S得点, S→F得点の平均と標準偏差

	S→F得点			F→S得点		
	20°	50°	80°	20°	50°	80°
M	- 0.15	- 0.25	+ 5.78	+ 0.35	+ 0.20	- 9.55
(SD)	(3.72)	(4.89)	(4.48)	(3.71)	(4.62)	(8.38)

表2 両得点に関する分散分析表

変動因	SS	df	MS	F
A. 得点	688.80	1	688.80	10,149 **
B. 角度	99.13	2	49.57	2,635
C. 被験体	578.08	19	30.43	
A×B	1,664.28	2	832.14	48,156 **
A×C	1,289.57	19	67.87	
B×C	714.62	38	18.81	
A×B×C	656.47	38	17.28	
全体	5,690.95	119		(** P<01)

意に大きいということである。また交互作用の方は、二〇度、五〇度においてはF↓S得点、S↓F得点間に有意な差が見られないが、八〇度においては見られるということである。この八〇度における差は表1からわかるように、F↓S得点は(-)、S↓F得点は(+)の方向に誤差が生じており、しかもこの両得点間に差が見られた訳で、これはタウ効果から予想される反応傾向を示している。以上のことから、全体的にタウ効果から予想される方向での反応が得られたが、それは八〇度という本実験で用いた最大角度において、特にその傾向が顕著であったということによるものであることが明らかとなった。

この交互作用は、次のような分析結果からより具体的に示すことができる。タウ効果から予想される反応傾向とは、F↓S得点において(-)、S↓F得点において(+)の値を示すことである。このような反応傾向をここではタウ型と呼ぶことにする。一方、タウ効果の逆

表3 各角度におけるタウ型, 反タウ型の人數

	-. + (タウ型)	+ . - (反タウ型)	- . -	+ . +
20°	4	5	7	4
50°	7	2	6	5
80°	16	0	1	3
(全体)	(27)	(7)	(14)	(12)

転現象があるとすれば F ↓ S 得点において (+), S ↓ F 得点において (-) の値になると考えられる。このような反応傾向を反タウ型と呼ぶことにする。ところで、F ↓ S 得点と S ↓ F 得点の値の記号の組み合わせは、理論的には (-) と (+) (タウ型)、 (+) と (-) (反タウ型)、 (-) と (-)、 (+) と (+) の四つが可能である。そこで何人の被験者がこの四つの反応カテゴリーに含まれるかを各角度ごとに算出し、その結果を表3に示した。これからわかる通り、角度が大きくなるに従ってタウ型の反応傾向を示す被験者の数が増えている。これは先の分散分析の結果と一致するものである。また逆に反タウ型の反応傾向を示す被験者は全体的に少ないが、この方は角度の増大に伴って減る傾向にあり、八〇度においてはゼロである。

以上がタウ効果に關した分析結果であるが、次に、先に述べたように、腕ポジションニング課題における 'range effect'、再生パフォーマンスに及ぼす動作速度、及び動作の大きさの影響に關する従来報告されている諸結果と比較するために、以下のような分析を行った。

表4は、二つの対照条件 (S ↓ S 条件、F ↓ F 条件)

表4 二つの対照条件の定常誤差, 絶対誤差の平均と標準偏差

		S → S 条件			F → F 条件		
		20°	50°	80°	20°	50°	80°
定常誤差	M	+ 2.10	- 5.43	- 7.35	+ 5.18	+ 2.75	+ 0.18
	(SD)	(3.39)	(4.04)	(6.70)	(3.77)	(5.43)	(4.57)
絶対誤差	M	2.95	5.73	8.10	5.18	4.75	3.43
	(SD)	(2.69)	(3.60)	(5.77)	(3.77)	(3.81)	(3.03)

表5 2つの対照条件の定常誤差についての分散分析表

変動因	SS	df	MS	F
A. 速度	1,175.00	1	1,175.00	61.71 **
B. 角度	1,093.52	2	546.76	31.90 **
C. 被験体	1,264.78	19	66.57	
A×B	154.12	2	77.06	6.25 **
A×C	361.70	19	19.04	
B×C	651.23	38	17.14	
A×B×C	468.30	38	12.32	
全体	5,168.65	119		(** P<.01)

表6 2つの対照条件の絶対誤差についての分散分析表

変動因	SS	df	MS	F
A. 速度	39.10	1	39.10	1.68
B. 角度	60.19	2	30.10	2.67
C. 被験体	285.16	19	15.01	
A×B	238.90	2	119.45	4.76 **
A×C	442.27	19	23.28	
B×C	428.23	38	11.27	
A×B×C	671.15	38	17.66	
全体	2,165.00	119		(** P<.01)

の各角度ごとの定常誤差と絶対誤差の平均と標準偏差を示している。これらに対する分散分析の結果を、定常誤差については表5に、絶対誤差については表6に示した。まず、表5からわかるように、定常誤差については、S↓S条件とF↓F条件の違いによる主効果、再生角度の大きさによる主効果、そしてこれら二つの要因間の交互作用の有意性が検出された。第一の主効果の意味は、速い動作(F↓F条件)の方が、遅い動作(S↓S条件)よりも過大に再生するということである。第二の主効果の意味は、再生角度が小さい場合は過大に、大きい場合は過小に再生するというのである。また交互作用の意味はF↓F条件に比べ、S↓S条件の方が、角度が増大するにつれ過小に再生する傾向がより強いという

ことである。次に、表6からわかるように、絶対誤差については、速度の違いの要因と再生角度の大きさの要因との交互作用においてのみ有意性が検出された。これはS↓S条件の場合、角度が大きくなるにつれて誤差が大きくなるのに対し、F↓F条件の場合は、角度が小さくなるに従って誤差が増大するという、まったく逆の傾向があるということである。

三、結果の考察

本実験を実施するに当って三水準の再生角度を設定した理由は、次のようなものであった。ここで問題としている内容を測定するには、同一個人に数多くの測定を繰り返す必要があるが、この際に障害となるのは、一つの再生角度のみについて測定することは、その角度に対する学習効果を介入せしめるということである。そこで本研究では、再生角度を三水準にすることによって学習効果を防ごうとした訳であり、言わば完全に技術的な操作に過ぎなかったのである。ところが実は、この再生角度の大きさという要因が、運動感覚におけるタウ効果と重要な関わりを持っているのであり、以下この点を中心に考察を進めてみる。

実験の結果、二〇度、五〇度という角度では、タウ効果と関連するような反応傾向は見られず、八〇度という本実験で用いた最大角度においてのみ、タウ効果から予想される反応傾向が見られた。この結果を理解する上で重要なのは、タウ効果が逆転するか否かは速度と所要時間のいずれを手がかりとして距離を見積もるにかかっているという松田⁽¹⁹¹⁸⁾の主張であると思われる。本実験条件はこの点に関して次のような関連性を有する。まず動作速度の方は、三水準の角度のすべてにおいて、F動作はS動作よりも三倍速い（F動作の速度が一五度/秒であるのに対しS動作の速度は五度/秒）という一定の関係にあり、これは変化しない。これに対し所要時間の方は、再生角度が大きくなるに

従って、F動作とS動作とでは、それぞれの所要時間の差が増大していくという関係にある（両者の所要時間の差は二〇度で約二・七秒、五〇度で約六・七秒、八〇度で約一〇・七秒である）。このことは、再生角度が大きくなるほど距離判断の手がかりとして所要時間の方を用いる構えが被験者に形成され易くなって来る、ということを意味するのではないか。このような理由から、八〇度においてのみタウ効果を支持する反応傾向が見られたのであろう。しかし、以上の推論が妥当であれば、タウ効果から予想される反応傾向は角度の関数として示されなければならないが、F↓S得点、S↓F得点の平均値で見ると、そうはなっていない。ところが個人別の反応傾向を分析した表3の結果によれば、タウ型の反応傾向を示す被験者の割合は角度の増大と共に増え、反タウ型の反応傾向を示す被験者の割合は減っているところから、以上の推論は妥当なものであると考えられる。なお、図1はタウ型、反タウ型、そして

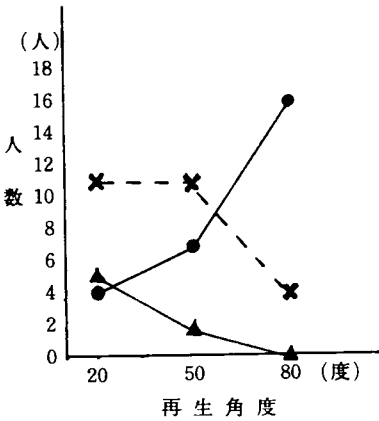


図1 タウ型、反タウ型の角度増大に伴う人数の推移、(●—●タウ型、▲—▲反タウ型、×—×いずれにも属さない人)

いずれにも属さない型の反応を示す被験者数を角度ごとにプロットしたものであり、この関数関係がうかがえる。

このように、腕ポジションニングという単純な動作の学習においては、練習時の動作速度が実際にそれを再生する時のそれと異なる場合、再生動作に誤差を生じさせる場合があり、それはタウ効果によって説明できることが明らかになった。このことが、通常スポーツにおいて要求される複雑でダイナミックな動作技術と、どの程度関係があるのかは、この実験によっては明らかではないが、少なくとも基

本的なプロセスにおいては共通していると考えられ、十分に配慮する必要があらう。

次に、腕・ポジションニング課題における 'range effect' 及び動作の大きさの再生パフォーマンスに対する影響についての結果について検討してみる。まず表5に示されるように、対照条件の定常誤差において、再生角度の大きさによる主効果が見られ、小さい角度において過大に、大きい角度において過小に再生されるといふ、Hall, G. & Wilberg, R. (9) の研究結果を支持する結果が得られ、ポジションニング課題における 'range effect' が確認された。また表5に示されるように、定常誤差における速度要因の主効果が見られ、速い動作の場合は過大に、遅い動作の場合は過小に再生するという、これも Woodworth, R. S. (20) の報告と同様の結果が得られた。しかし、以上の事実の他に、

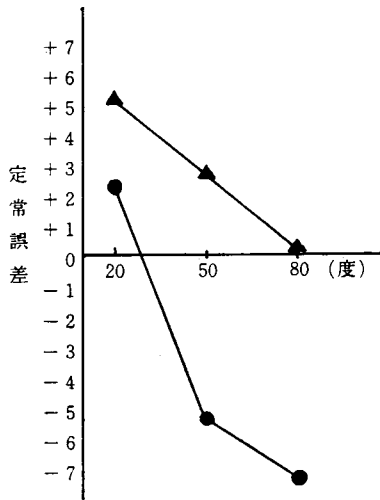


図2 2つの対照条件の定常誤差の再生角度に伴う変化 (●—● S→S条件, ▲—▲ F→F条件)

これら二つの要因間の交互作用のあることが明らかとなった。図2は、表4の定常誤差に関する結果をグラフに示したものであるが、以上の内容はこのグラフに明確に示されている。

次に Hall, G. & Wilberg, R. (9), Woodworth, R. S. (20) は、動作速度と再生動作の正確性との関係がないこと、また Hall, G. & Wilberg, R. (9) は再生距離の大きさと再生動作の正確性との間に関連がないことを報告しているが、この点については表6の対照条件の

絶対誤差において、二つの主効果とも有意でなかったということから、本実験においても確認された。しかしここで

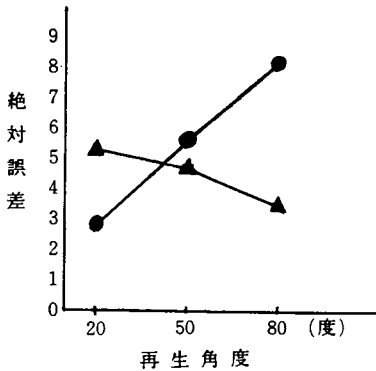


図3 2つの対照条件の絶対誤差の再生角度に伴う変化 (●—● S→S条件, ▲—▲ F→F条件)

も、再生角度の大きさの要因と動作速度の要因の間に交互作用のあることが明らかにされた。図3は表4の絶対誤差に関する結果をグラフに示したものであるが、以上の内容はこのグラフによって明らかである。

このように、腕ポジションニングにおける再生角度の大きさと動作速度の再生パフォーマンスに及ぼす影響に関しては、従来の報告を全面的に支持する結果が得られたが、新しい発見として、これら二つの要因間の交互作用のあることが、再生パフォーマンスの正確性に関しても、また誤差の方向に関しても明らかにされた。この点についての考察は本研究の範囲を越えるものであり、ここでは従来の研究報告との比較のみにとどめることにする。

II 歩行、走行におけるタウ効果

一、研究の目的

実験Iは、従来のタウ効果に関する研究とは、次の点で明らかに異なる。つまり、触覚、視覚、聴覚におけるタウ効果の場合、外界に呈示される刺激を観察する際に生じる距離知覚の歪みに関するものであったのに対し、実験Iでは、被験者の身体そのものが刺激となっているという点である。つまり、身体の一部の運動に伴う運動感覚情報を刺激として用いた訳である。その結果、従来明らかにされていなかった運動感覚という感覚様相におけるタウ効果に

ついで、一定の成果が得られたのである。ところで実験Ⅰと同様に、身体の移動をタウ効果と関連させた興味深い研究が報告されている。

Cohen, J. & Cooper, P.⁽²¹⁾ は、被験者が同乗者として自動車に乗った時になされる走行距離、所要時間、及び移動速度の評価について研究を行っており、視、聴覚において見られると同様に、時間、距離、速度の三者の相互依存関係のあることを報告している。つまり、二区間が同一の所要時間で走行される場合、速度が速く、従って走行距離の長い方の区間の所要時間の方が長く感じられる (Cohen, J. & Cooper, P.⁽²²⁾ はこの現象をカップー運動効果と呼んだ)。また二つの走行区間が等距離の場合、速度が遅く、従って所要時間の長い方の区間の距離がより長く感じられる (タウ運動効果)。最後に、二つの走行区間を同じ速度で移動する場合、距離の短い方、従って所要時間の短い方の区間の方が速く移動したように感じられる (カップー、タウ運動効果)。

この研究は、被験者自身の身体が移動するという点で実験Ⅰの測定条件と同じものであり、従って実験Ⅰで明らかにされた運動感覚におけるタウ効果は、ここでいうタウ運動効果の一種であるということができよう。しかしこの研究では、被験者が自動車に同乗するという条件下での身体移動であり、移動に対する被験者自身の能動的な関与、言わば速度変化に伴う身体感覚の変化というものがほとんど関与していない。この点で次の Cohen, J. et al.⁽²³⁾ の歩行、走行時における距離の見積もりに関する研究は、より実験Ⅰに近いといえよう。この研究では、前述した三つの効果のうち、特にタウ運動効果に関し、次のような実験を行った。実験は二つの部分から構成されており、一つは評価法、他の一つは再生法によって距離の見積もりの測定がなされた。評価法の場合、被験者は等距離の二区間を走行と歩行によって移動し、その後でいずれの距離が長いかを評価するものである。また再生法の場合、被験者は初めにある

長さの区間を走行（または歩行）によって移動し、次にその距離を歩行（または走行）によって再生するというものである。タウ効果から予想される結果としては、すでに前章で詳述したのと同じ理由によって、評価法の場合たとえ等距離の二区間であっても、歩行によって移動した区間の距離の方を長めに感じ、従って再生法の場合は歩行による移動距離を歩行で再生すると短めに、歩行による移動距離を走行で再生すると長めに再生する、というものである。実験の結果、平均値においてはほぼこの仮説を支持するものであったが、次の点に関する分析結果がこの研究の最も意味のある発見であったかもしれない。それは被験者一人一人について見て行くと、タウ型の反応傾向を示す者と、反タウ型の反応傾向を示す者と、いずれの傾向も示さない者⁽¹⁷⁾とが、ほぼ同じ割合で含まれており、平均値においてタウ運動効果が示されたのは、タウ型の反応傾向の程度が反タウ型よりも強いということによるものである、ということが明らかにされたのである。この結果に対し、Cohen, J. et al.⁽¹⁸⁾ はタウ型の人は時間に、反タウ型の人は速度により敏感なのであろうと説明しているが、これは松田⁽¹⁷⁾の主張と同じものである。実験Ⅰの運動感覚におけるタウ運動効果の結果では圧倒的にタウ型の反応傾向が多かったが、歩行、走行時のタウ運動効果に関するこの研究結果は、以上の点で異なっていて興味深い。

さて以上のような身体移動時における移動距離の認知の歪みの問題は、実際のスポーツ活動の分野に大きな関り合いを持っていると考えられる。例えば野外でのランニング、サイクリング、オリエンテーリング、登山などでは、歩行、走行に伴う距離感覚によって認知的地図を形成することが要求されるが、移動速度の違いによる距離の見積もりの誤差によって認知的地図の歪みが生ずるとすれば、遂行者のパフォーマンスにさまざまな形で影響するだろう。そこで実験Ⅱでは、Cohen, J. et al.⁽¹⁹⁾の実験手続きを参考に、後述するような理由から若干の修正を加え、歩行、走行時

のタウ運動効果について追実験を試みた。

二、実験Ⅱ

実験方法

(1) 実験課題

目隠しでの歩行及び走行による直線上の距離の見積もり

(2) 被験者

大学生一〇名

(3) 実験条件とその手続き

動作速度を変化させるために、次の二つの移動速度条件を設定した。

歩行による移動速度Ⅱ一・一メートル/秒（これは一〇〇メートルを90秒で歩く速さ）。

走行による移動速度Ⅱ三・三メートル/秒（これは一〇〇メートルを30秒で走る速さ）。

これら被験者の二つの移動速度を統制するために、実験者はあらかじめ、この二つの移動速度について十分に練習し、実際の練習の際は、実験者が被験者の右手を軽く引いて誘導するという方法をとった。

距離の見積もりは、評価法と再生法とによって行われたので、次にそれぞれの方法について説明する。

○評価法

A、等距離の二区間を最初は走行で移動し、次に歩行で移動した後、いずれの区間の距離の方が長かったか、または等しかったかについて評価させた（以下、走↓歩評価条件と略す）。

— 身体活動におけるタウ効果 —

B、等距離の二区間を最初は歩行で移動し、次に走行で移動した後、いずれの区間の距離の方が長かったか、または等しかったかについて評価させた（以下、歩↓走評価条件と略す）。

○再生法

C、あらかじめ決められた区間を走行によって移動した後、歩行によってそれと等しい距離を再生させた（以下、走↓歩再生条件と略す）。

D、あらかじめ決められた区間を歩行によって移動した後、走行によってそれと等しい距離を再生させた（以下、歩↓走再生条件と略す）。

なお、被験者は実験者によって誘導されているので、再生法においては等距離だけ移動したと感じた所で「ハイ」と合図をさせた。

A、Bの評価法の二条件の移動距離としては、一五メートル、二五メートル、三五メートル、C、Dの再生法の二条件の移動距離としては、一〇メートル、二〇メートル、三〇メートルのそれぞれ三水準を設定し、同一被験者がこれらすべての条件を実施したので、一人の被験者につき評価法 2×3 の六試行、再生法 2×3 の六試行の合計一二試行を行ったことになる。実験手続きのうち、この部分がCohen, J. et al.⁽²⁾のそれと最も大きく異なる点で、ここでは、AとDの測定条件の各々に別の被験者が分配され、四つの条件は互いに独立した集団に対して割当てられている。この場合、個々の被験者がタウ型か反タウ型かを調べるには十分な情報が得られないという欠点を持っている。そこで本研究では、同一被験者にAとDの四つの条件すべてを課すことによって、特にこの点について検討しようと試みたのである。

実験結果

○評価条件に関する結果

表7 評価法における結果 (W:歩行区間を長いと感じた者, R:走行区間を長いと感じた者, -:等しいと感じた者)

		W	R	-
15 m	歩→走評価条件	3	2	5
	走→歩 "	3	3	4
	(合計)	(6)	(5)	(9)
25 m	歩→走評価条件	2	4	4
	走→歩 "	3	4	3
	(合計)	(5)	(8)	(7)
35 m	歩→走評価条件	2	7	1
	走→歩 "	2	4	4
	(合計)	(4)	(11)	(5)

表7は歩行の方を長く感じると答えた反応数(表中のW)、走行の方を長く感じると答えた反応数(表中のR)、同じと答えた反応数(表中の-)

(-)を各条件別にまとめたものである。全体としてはRがWよりも多いという傾向はあるものの、W、R、-がほぼ同じ割合で含まれている。しかし移動距離別に見ていくと、距離

が長くなるにつれてRの反応数が増えていく傾向が見られる(図4参照)。

次に被験者一人一人の評価結果について見ると、以下のような傾向が見られる。タウ型の人は、等距離の二区間を歩行と走行とによって移動した場合、ゆっくり移動した方を長いと感じるのであるから、本実験の評価条件ではWと答えるはずであり、同様に反タウ型の人はRと答えるはずである。そこで、この評価条件において、それぞれの型に何人ずつ属するかを調べたところ、タウ型二人、反タウ型五人、いずれにも属さない者(反応に一貫性が見られない

—身体活動におけるタウ効果—

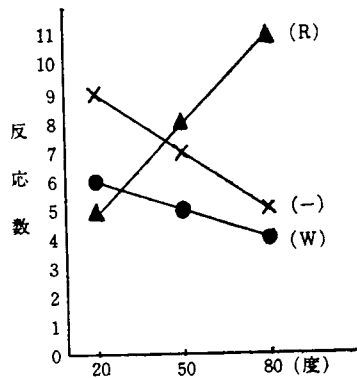


図4 W.R.-の反応数の移動距離に伴う変化

者)三人という結果が得られた。

○再生条件に関する結果

表8は各測定条件の定常誤差の平均と標準偏差を示したものである。これに対する分散分析の結果が表9である。これからわかるように移動距離の違いによる

表8 再生条件のそれぞれの移動距離における定常誤差の平均と標準偏差

		歩→走再生条件	走→歩再生条件
10m	M (SD)	- 0.4 (2.42)	+ 0.8 (1.94)
20m	M (SD)	- 1.6 (2.80)	+ 0.1 (2.62)
30m	M (SD)	- 1.8 (2.99)	- 2.7 (3.16)

主効果のみが有意であり、走↓歩と歩↓走の再生条件の違いによる主効果、及び交互作用の有意性は検出されなかった。主効果の意味は、移動距離が大きいと短めに再生するということである。このように再生条件においては、タウ効果に関連するような結果を得ることはできなかった。

三、結果の考察

考察を進める前に、本実験の再生条件に関して次のことに触れなければならない。

タウ効果の影響を調べるには実験Iで実施したように、走↓走再生条件、歩↓歩再生条件という対照条件を設定しなければならぬ。しかし実験Iの課題と違い、本実験課題の場合、走↓走、歩↓歩再生

表9 再生条件の定常誤差に関する分散分析表

変動因	SS	df	MS	F
A. 条件	6.66	1	6.66	0.43
B. 距離	61.03	2	30.52	6.29 **
C. 被験体	96.40	9	10.71	
A×B	19.06	2	9.53	1.58
A×C	140.69	9	15.63	
B×C	87.30	18	4.85	
A×B×C	108.59	18	6.03	
全体	519.73	59		(** P<.01)

条件では、当然被験者が距離の見積もりのために歩数を数えるということ为前提としなければならず、そのような条件を設定する意味がなくなる。そこで不十分ではあるが、実験条件として走↓歩、歩↓走の二つの再生条件のみを設定し、一方を他方の対照条件として考えることによって行ったのである。つまり表8の値は実験Iで詳述したように、歩↓歩再生条件、走↓走再生条件においてもともと存在した歪みを含んでいるのであり、表中の(+)、(-)の記号から直接タウ効果が見られるかどうかを判断することはできない。むしろある移動距離条件における走↓歩再生条件と歩↓走再生条件のいずれの値が大きいかによって判断する方が、対照条件を設定しなかった弱点を補えるであろう。つまり、ある距離における走↓歩再生条件の値の方が、歩↓走再生条件の値より小さい場合はタウ型、大きい場合は反タウ型ということになる。このようにして被験者一人一人について見ていくと、ほぼ一貫してタウ型の反応を示す者二人、反タウ型の者二人、反応に一貫性のない者六人という結果であり、あまり一貫性が見られず、評価法における分析結果との対応関係が見られない。しかし同様にして移動距離条件別にタウ型、反タウ型の人数を調べると表10のように、全体として反タウ型が多く三〇メートルにおいてはいずれにも属さない者がいなくなり、タウ型、反タウ型がほぼ半々となっている。

表10 再生条件におけるタウ型、反タウ型、どちらも属さないもの(no)の反応数

	タウ型	反タウ型	no
10m	3	5	2
20m	2	5	3
30m	5	5	0
(全体)	(10)	(15)	(5)

以上のように再生条件の結果では、あまり明確な傾向は見られなかったが、評価条件の結果では反タウ型の反応傾向が半分以上含まれており、これは再生条件

に関する表10の結果にも示されている。Cohen, J. et al⁽²⁾は、平均値においてはタウ効果を支持する結果が得られたが、被験者一人一人を見た場合に、タウ型、反タウ型がほぼ同じ割合で含まれていたと報告しているが、本実験では

少なくとも平均値における結果を支持することはできなかった。しかしタウ型、反タウ型の含まれる比率に関しては、わずかの違いがあるにせよ、ほぼ Cohen, J. et al.⁽²⁷⁾の研究結果と一致している。

Ⅲ 実験Ⅰと実験Ⅱの比較

本研究では、身体活動に及ぼすタウ効果について、実験Ⅰでは動作に伴う運動感覚におけるタウ効果を、実験Ⅱでは歩行、走行時の距離の見積もりに与えるタウ効果を調べた。結果的に実験Ⅰは実験Ⅱと同様、Cohen, J. et al.⁽²⁷⁾の言うタウ運動効果について調べたことになったが、実験の結果、両者間に差が見られ、必ずしもタウ運動効果が一般的なものではないことが明らかとなった。運動感覚の場合、再生角度との交互作用が見られたものの、八〇度においてはタウ運動効果が明確に見られ、全体的にも反タウ型の反応傾向はあまり見られなかった。それに対し、歩行、走行における距離の見積もりの場合はむしろ、反タウ型の反応が約半分を占め、タウ運動効果はあまり顕著ではなかった。双方の実験条件は基本的にはまったく同一であり、ただ身体移動の内容が異なり、実験Ⅰでは身体の一部である腕のみの移動であり、実験Ⅱでは身体全体の移動であるという相違がある。しかしこの相違が両実験の結果を違わせる最大の原因となっていると考えられる。実験Ⅰの腕移動の場合は、速度変化に伴う感覚の相違が運動感覚のみに限定されており、他方実験Ⅱの全身移動の場合、この運動感覚の他に速度変化に伴う他のあらゆる身体感覚、例えば疲労感、皮膚に感ずる風圧、歩数などが関与してくる。これは松田⁽¹⁷⁾⁽²¹⁾や Cohen, J. et al.⁽²⁷⁾が主張しているところの、距離判断の手がかりとして何を用いるかによって現象が反転してくる、ということと関連しているのではないか。つまりこの主張によれば、速度の変化を距離見積もりの手がかりとすれば反タウ型の反応傾向を示し易くなる訳であるが、

前述したように実験Ⅰに比べ、実験Ⅱの課題の方が速度変化をさまざまな身体感覚によって感ずることができ、このことは被験者が所要時間よりむしろ速度変化の方に対してより敏感になるであろうことを示しており、このことが、実験Ⅱの方が反タウ型の反応が多いという結果をもたらしたのではないかと考えられる。

このように、実験Ⅰにおけるタウ運動効果と再生角度の交互作用、実験ⅠとⅡとの間の結果の相違という二つの内容は、同一の原因によって生じているのではないかと思われる。実際に身体活動にタウ効果を関連させていくには、この点を十分に配慮する必要がある。

- (1) 直線上に三点が等しい時間々隔で呈示される場合、第二と第三点間の距離が第一と第二点間の距離よりも長いと、第二と第三点間の時間々隔の方を長めに感ずるといふ効果。
- (2) カップ効果とは逆の現象をもたらす効果のこと。

参考文献

- (1) Keele, S. W. Movement Control in Skilled Motor Performance, *Psychological Bulletin*, vol. 70, 1968, pp. 387-403.
- (2) Adams, J. A. A Closed-Loop Theory of Motor Learning, *Journal of Motor Behavior*, Vol. 3, 1971, pp. 111-150.
- (3) Schmidt, R. A. The Schema as A Solution to Some Persistent Problems in Motor Learning Theory, in *Motor Control*, edited by G. E. Stelmach, Academic Press, 1976.
- (4) Knapp, B. Skill in Sport, Routledge and Kegan Paul Ltd. London, 1963.

- (15) Lloyd, A. J. and Caldwell, L. S. Accuracy of Active and Passive Positioning of the Leg on the Basis of Kinesthetic Cues, *Journal of Comparative Physiological Psychology*, Vol. 60, 1965, pp. 102-106.
- (16) Craske, B. and Crawshaw, M. Shifts in Kinesthesia Through Time After Active and Passive Movement, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 40, 1975, pp. 755-761.
- (17) Browne, K.; Lee, L. and Ring, J. P. A. Sensation of Passive Movement at the Metatarso-Phalangeal Joint of Great Toe in Man, *Journal of Physiology*, Vol. 126, 1954, pp. 448-458.
- (18) Merton P. A. Human Position Sense and Sense of Effort, in *Symposia of the Society for Experimental Biology*, No. 18, 1964, pp. 387-400.
- (19) Zacks, J. L. and Freedman, S. J. Active and Passive Movement in the Production of Kinesthetic Tilt Aftereffect, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 16, 1963, p. 702.
- (20) Melamed, I. E.; Halay, M. and Gildow, J. Effect of External Target Pressure on Visual Adaptation with Active and Passive Movement, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 98, 1973, pp. 125-130.
- (21) Roy, E. A. and Marteniuk, R. G. Mechanisms of Control in Motor Performance : Closed-Loop Versus Motor Programming Control, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 92, 1972, pp. 391-397.
- (22) Adams J. A.; Goetz, E. T. and Marshall, P. H. Response Feedback and Motor Learning, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 92, 1972, pp. 391-397.
- (23) Helson, H. and King, S. M. The Tau-Effect: An Example of Psychological Relativity, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 14, 1931, pp. 202-217.
- (24) Abbe, M. The Temporal Effect upon the Perception of Space, *Japanese Journal of Experimental Psychology*,

Vol. 4, 1937, pp. 83-93.

- (15) Cohen, J.; Hansel, C. E. M. and Sylvester, J. D. A New Phenomena in Time Judgement, *Nature*, [Vol. 172, 1953, p. 901.
- (16) 松田文子, 『時間・空間及び速度評価の発達の研究 I』「心理学研究」第三九巻, 一九六八, 五七—六六頁。
- (17) 松田文子, 『時間・空間及び速度評価の発達の研究 IV : 時間評価の手がかりに関する構えに, ついて』「心理学研究」第四一巻, 一九七〇, 一八二—一九四頁。
- (18) Fumiko, M. Effects of Space and Velocity on Time Estimation in Children and Adults, *Psychological Research*, Vol. 37, 1974, pp. 107-123.
- (19) Hall, G. and Wilberg, R. Distance Reproduction, Velocity and the Range Effect, *Journal of Human Movement Studies*, Vol. 3, 1977, pp. 60-65.
- (20) Woodworth, R. S. *The Accuracy of Voluntary Movement*, New York: New Era Printing Company, 1898.
- (21) Cohen, J. and Cooper, P. New Phenomena in Apparent Duration, Distance and Speed, *Nature*, Vol. 196, 1962, p. 1233.
- (22) Cohen, J.; Cooper, P. and Ono, A. The Hare and Tortoise : A Study of the Tau-Effect in Walking and Running, *Acta Psychologica*, Vol. 21, 1963, pp. 387-393.