

分散認知における学習の転移効果の検討

楊 毅*

Examining the transfer of variance discrimination learning across some visual features

YANG Yi

Abstract

Our visual systems continuously face an astonishing number of information, much more than they can cope with. In order to handle this huge amount of information, our visual systems extract the gist information from groups of similar objects instantly, such as the size variance of a packet of berries. This ability is referred to as summary statistical representation. While the summary statistical representation has been well established in various types of features, the relationship among these features remains hidden. Here, I investigate this issue by testing whether the improvements in variance discrimination is transferable across features. Two groups were trained on an orientation or a length variance discrimination task with trial by trial feedback. All observers were pre-tested and post-tested through variance discrimination tasks in both features. Both training groups showed improvement of the trained feature, either orientation or length during the practice session, although length learning was slightly weaker than orientation learning. The improvement, however, did not remain in post-test in either feature, neither did it transfer to another untrained feature. I presume that the disappeared improvement may be due to insufficient training.

Keywords : summary statistical representation, variance discrimination, orientation, length, transfer

導入

地球の長い歴史の中で、生物は様々な環境に適応し、870万種とも言われる驚くべき多様な生体に進化してきた。この多様性は、種の間のみならず、同じ種の中にも存在する。例えば、あなた達兄弟は、母親から遺伝した同じ目の色と肌色を持っているが、髪色、性格や能力は異なるかもしれない。この多様性は、カテゴリー内でのバラツキで表すことができる。外部環境を理解するのに、このバラツキを知覚したり認知したりすることが非常に重要だと考えられる。

学生の集団やパックで売られているイチゴなど、私たちは、大量で複雑な情報に直面している。視覚系は、このような情報のそのものでだけでなく、それらの情報の中の量的特徴に関して、平均値やバラツキを瞬時に抽出する能力を有する。例えば、「どちらの集団の方が、背が高いか」や「どのイチゴパックの色のバラツキが大きいか」を一目で分かる。この能力の基盤となるのは要約統計量表象 (summary statistical representation, SSR) である。私たちは、この表象を用いて、効率的に情報を処理したり、変わりつつある環境で適応的に生存したり

キーワード：要約統計量、バラツキ認知、方位、長さ、学習転移

*平成28年度生 人間発達科学専攻

することができる。量的多様性である「バラツキ」は、要約統計量では分散に相当するので、以後、バラツキ認知を分散認知と表現する。

分散認知に関しては、例えば、方位^{1,2,3}、サイズ^{4,5}、顔表情⁶、など広範囲の属性で、抽出することができることが報告されている。さらに、視覚のみならず、聴覚における音系列でも同様な報告がみられる⁷。加えて、最近の研究によれば、クロスモダリティにおける分散認知は、単一モダリティにおける分散認知と比べて、識別パフォーマンスを促進できた⁸。

これまでの研究は、分散認知の特徴を検討してきたが、主に、単一属性の検討に限られていた。しかし、分散認知には、刺激属性に関わらない共通メカニズムが存在するかもしれない。それを検証するためには、複数の刺激属性間の分散認知の関係を検討する必要がある。

この共通メカニズムを検討するために、知覚学習の転移という手法が考えられる。知覚学習とは、特定の知覚刺激の識別課題の訓練を受けることにより、その課題への成績や刺激への識別感度が向上し、さらに、その向上による脳内ニューロンの可塑性が長時間維持されることである^{9,10}。この知覚学習は、発達段階の子どもに限らず、大人になっても生じる。加えて、この知覚学習は、全ての感覚モダリティにおいて、生じる。その中で、視覚課題における知覚学習は、視覚学習 (visual perceptual learning, VPL) と呼ばれる。

日常場面においても、前に学習したものが、その後別の知覚課題の学習を促進したり妨害したりすることがある。例えば、ピアノの上達者は、アコーディオンの学習が促進される。これを、学習転移という。学習転移に影響する一つ重要な要因は、二つの課題の間の共通性である。例えば、それらの課題を解決するための利用した共通のニューロンの数が多いほど、両者間の転移が生じやすい¹¹。

先行研究により、学習転移は、学習量に依存する。面白いことに、学習のブロック数が少ないほど、学習転移の度合いが高い¹²。また、学習の向上およびその転移は、学習の総量のみならず、学習のセッション数やセッション内の試行数にも依存する。試行数の総量が同じの場合、特定のセッション数やセッション内の試行数の条件下のみで、学習とその転移が生じることが明らかになった^{13,14}。また、知覚学習は、睡眠に依存する。睡眠を取ることで、知覚記憶の固定化 (consolidation) が促進され、学習効果を高められる¹⁵。さらに、視覚学習において、フィードバックは、学習を促進することを報告している^{16,17}。本研究は、これらの要因を考慮した上に、先行研究を参考にしつつ、学習に最適な条件設定を行った。

本研究は、視覚モダリティにおける分散認知に焦点を当て、異なる属性 (方位と長さ) において、学習転移の手法を用い、分散認知 (分散識別) に共通メカニズムが存在するかという問題を検討した。ただし、本研究はパイロットスタディの意味合いを持つので、実験参加者数が少なく、従って、可能性に言及するに留める。

なお、本研究は、お茶の水女子大学「人文社会科学の倫理審査委員会」で承認されている (通知番号: 第2018-60号)。

方法

参加者

心理物理実験の未経験者12名が参加した (女性、年齢: 21.5 ± 2.02 歳)。参加者は全員、裸眼または矯正によって通常視力を有した。参加者は、ランダムに、3名ずつ4群、すなわち①A学習群、②B学習群、③A統制群、④B統制群、に分けられた (A、Bは後述)。

装置

実験は、薄明の部屋で行われた。刺激はMatlab (R2015a) と Psychtoolbox¹⁸を用いて、Mac Proで生成され、19インチのCRTモニター (SNOY, GDM-F400) 上に提示された。モニターの画面解像度は、 $1,024 \times 768$ ピクセルで、リフレッシュレートは100Hz を設定した。観察者は、モニターから60cmの距離から両眼で観察した。観察距離を一定に維持するため、顎台を利用して頭を固定した。課題への回答は、キーボードを用いた。フィードバック音の提示は、スピーカーを用いた。

実験デザイン

本研究の実験デザインを、Figure 1 に示す。実験は、3段階、すなわちPre-test、学習、Post-testからなる。

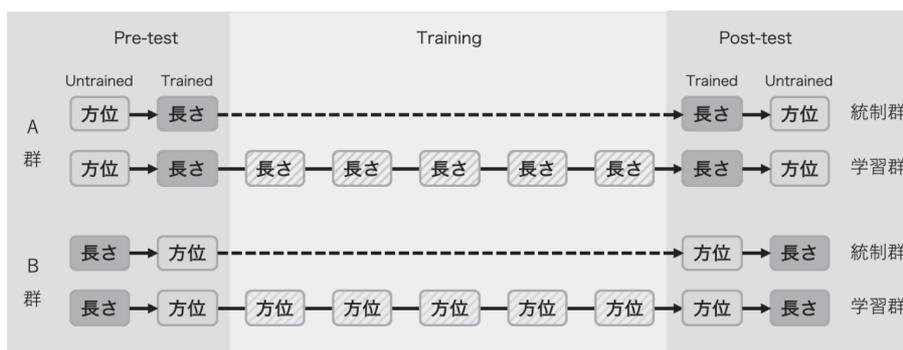


Figure 1. 実験デザイン

参加者は全員、Pre-testとPost-testに参加した。Pre-testとPost-testに、2種類の属性の分散識別課題がある。Pre-testでの最初の課題とPost-testでの二番目の課題は、学習無し属性 (untrained feature)、Pre-testでの二番目の課題とPost-testでの最初の課題は、学習段階と同じ課題であるので、学習有属性 (trained feature) と呼ぶ。学習群の参加者は、5日間の学習セッションに参加した。A群は「長さ」を学習する群および統制群、B群は「方位」を学習する群および統制群である。実験終了後、参加者は、実験内容 (どのように課題を遂行したか) に関する質問紙に回答した。

刺激

長さや方位の変化する白い線分 (輝度 = 25.1cd/m²) を実験刺激として利用した。各試行に、2つの刺激群、すなわち標準刺激群と比較刺激群を設けた。刺激は、暗灰色の背景 (輝度 = 4.65cd/m²) に提示された。各刺激群は、9個の線分からなる。刺激は画面の中心に逐次的に提示された。線分の幅は、視角0.08°であった。分散識別を行う視覚刺激は、以下の2つの条件からなる。

長さ属性条件：各刺激群の平均長は、パラメーターが視角0.5°と0.7°の一様分布からランダムに抽出された。標準刺激の標準偏差 (SD) は、視角0.12°と0.16°の2種類であった。比較刺激群の線分の「長さ」は、使用した適応的測定法の一つ、QUEST¹⁹の手順に則って、設定した。すなわち、第1試行の比較刺激群の強度は、実験者が事前に推定し、2試行目からその事前推定と前の試行までに得られた反応に基づいて、ベイズ定理を用いて、次の試行の刺激の長さを決めた。線分の方位は、試行ごと、パラメーターが60°と120°の一様分布からランダムに抽出された。

方位属性条件：各刺激群の平均方位は、パラメーターが60°と120°の一様分布からランダムに抽出された。標準刺激のSDは、12°と16°の2種類であった。比較刺激群の線分の「方位」は、長さ属性と同様に、QUEST法の手順に則って設定した。線分の長さは、試行ごとに、パラメーターが視角0.5°と0.7°の一様分布からランダムに抽出された。

各属性条件において、まず、サンプリングされた刺激の平均と標準偏差を制御するため、固定分散生成法²⁰を利用した。この方法は、各要素の大きさを割り振ることにより、あらかじめ決められた平均と標準偏差を持つ刺激要素が得られる。次に、極端な値 (外れ値) を制御するため、各刺激要素が許容範囲 (平均の±1.96標準偏差) を超えた場合、その最大または最小値に変更した。最終に、得られた刺激要素の値は、極端値のない、かつ、あらかじめ決められた平均と標準偏差に近い値になる。

手続き

各試行における実験手続きの概略を、Figure 2に示す。各属性条件において、各試行は、まず、画面中心に白い十字の注視点を400ms提示し、次に、ブランクを400ms提示する。次に、標準刺激群と比較刺激群を提示し、両刺激群の提示間に、200msのブランク、400msの赤い点 (群間インターバルを示す)、200msのブランクを提示した。個々の刺激の提示時間が100msで、刺激間時間間隔 (ISI) が100msであった。比較刺激の後に、ブランクを200ms提示し、疑問符が画面中心にある反応画面を提示した。

課題は、2つの刺激系列のうち、どちらの長さあるいは方位の分散が大きいかを判断し、キー押しで反応した。学習段階においては、試行ごとに、正答と誤答に応じて、それぞれ、ポジティブとネガティブなフィードバック

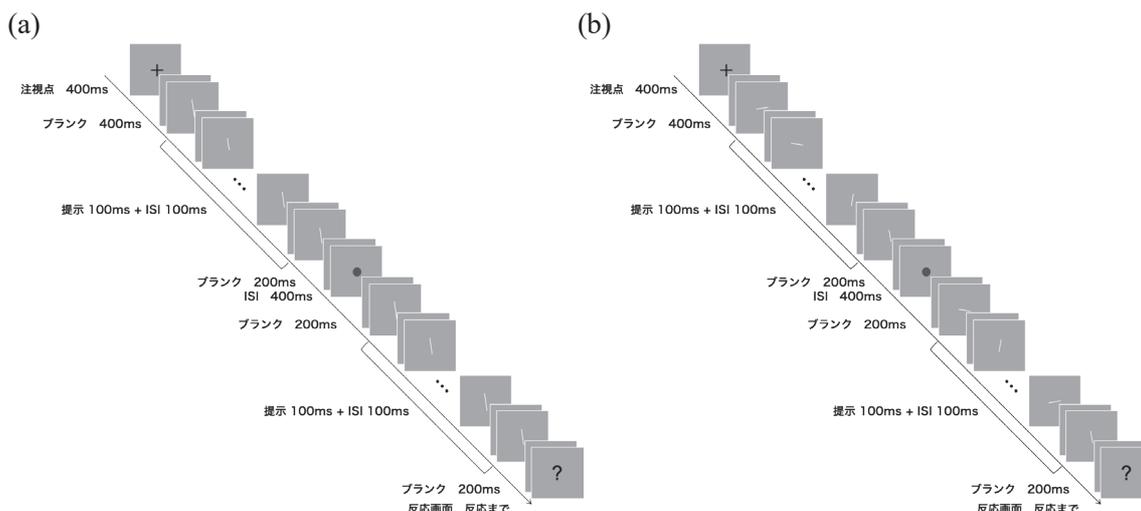


Figure 2. 実験手続き (a) 長さ属性条件 (b) 方位属性条件。

音を提示した。

各課題において、本試行の前に、参加者は、8試行の練習試行を遂行した。練習試行の内容は、本試行とほぼ同じだが、分散識別は本試行より容易なものとした。本試行では、各ブロックは、80試行。Pre-testとPost-test段階において、各課題は3ブロックからなる。学習段階においては、1日に4ブロック実施し、5日間続くので、計20ブロックとなった。なお、参加者の疲労を考慮して、ブロックごとに、5分間休憩を挟んだ。

データ分析

実験ではQUEST法を用い、ブロックごとに、各標準刺激のSDの82%の識別閾値を求めた。Pre-testとPost-test段階では、3ブロックの識別閾値を平均した。学習段階では、一日分(4ブロック)の識別閾値を平均した。

結果

1. 学習段階の学習状況の検討

条件間での比較を可能にするため、各条件において、2日目からの識別閾値は、1日目を基準とした相対値とした。Figure 3は、各条件における参加者個人の識別閾値を示す(学習セッションに参加した6名)。横軸は、学習時間で、縦軸は、相対値とした正規化コヒーレンス識別閾値(normalized coherence threshold)を表す。また、参加者個人のデータを用いて、識別閾値を目的変数、学習時間を説明変数として、単回帰分析を行った。実線は、回帰分析により求めた近似直線を示す。

その結果、多くの条件で、識別閾値の変化パターンは、学習時間の増加につれて、成績が向上することを示している。まず、A群(長さ学習群 S1, S2, S3)において、SD1条件(0.12°)で、全員、学習により、識別閾値の低下が見られた(近似直線の傾きが負数)。SD2条件(0.16°)で、3名の参加者の中の1名(S1)は、識別閾値の低下がみられなかった(傾きが正数)、2名の参加者(S2とS3)は、学習により、識別閾値の低下がみられた。B群(方位学習群 S4, S5, S6)においては、全てのSD条件(12°と0.16°)で、全員、学習による識別閾値の低下がみられた、すなわち、知覚学習が進んだことが明らかになった。次に、A群において、SD1条件とSD2条件との差が明瞭ではないが、B群全員は、SD2条件より、SD1条件のほうが、識別能力の学習率が高い傾向があることが示唆される。さらに、SD1条件(12°)で、S4とS5との傾きが近いことから、両者の成績は、同様な促進率で向上したことが分かる。加えて、統計的検定は施していないが、図を見る限り、方位属性は、長さ属性より、識別能力の学習率が高いことが示唆される。また、A群の中の一名(S3)とB群全員は、識別閾値が最後にプラトーにならず、このことは、学習が、進行状態にあることを示唆している。

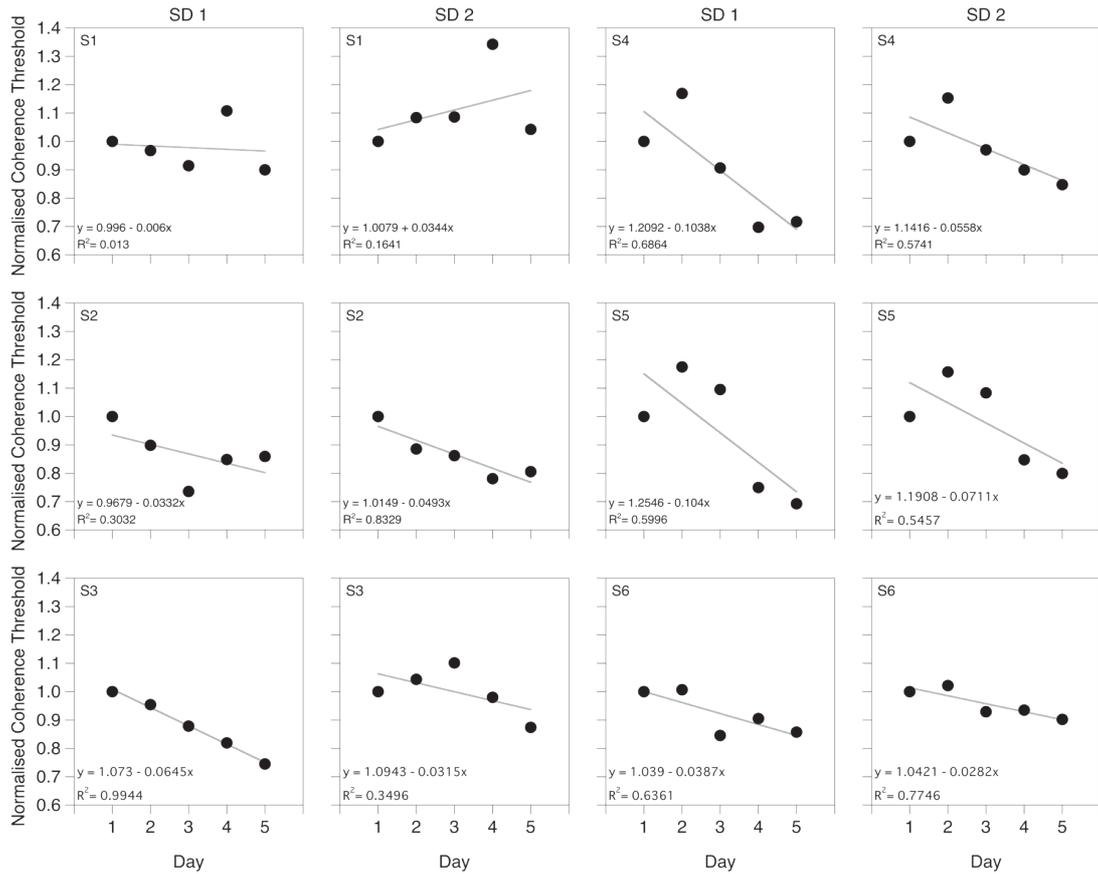


Figure 3. 各条件における学習段階の識別閾値。黒丸は、実際のデータで、実線はデータの近似直線を示す。図の下部に、回帰式を表す。左の2列は、A群（長さ属性学習群）、右の2列は、B群（方位属性学習群）の結果である。

2. 学習前後の成績の向上の検討

Pre-testとPost-testとの間の識別閾値の変化を評価するため、下記の式(1)を用いて、各条件において、学習指標を求めた。Figure 4は、式(1)から算出した各条件における学習指標を表す。

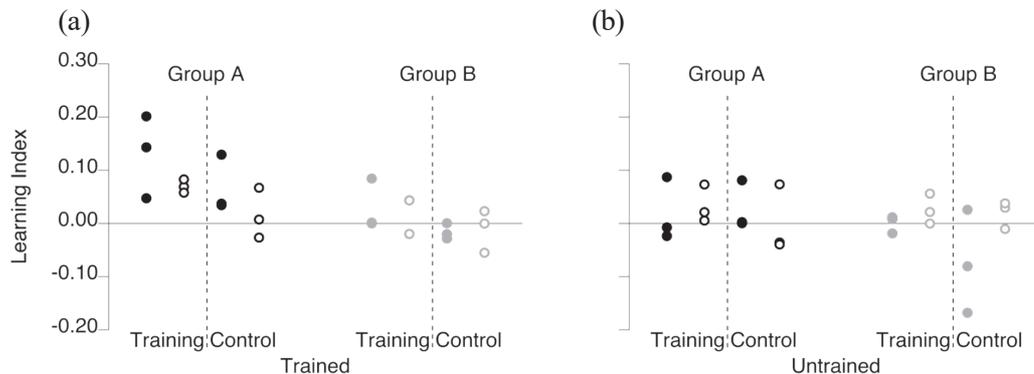


Figure 4. A群とB群における学習群と統制群の学習指標。(a) 学習有属性、(b) 学習無し属性。丸は、個人データを表す。黒(灰)丸と白丸は、それぞれ、SD1とSD2条件のデータを表す。A群は黒で、B群は灰色で表す。

$$Learning\ Index = \frac{(T_{preTest} - T_{postTest})}{(T_{preTest} + T_{postTest})} \quad (1)$$

$T_{preTest}$ と $T_{postTest}$ は、それぞれ、Pre-testとPost-testの識別閾値を表す。この、学習指標は、-1から1の範囲にある。

まず、学習の効果を検討するため、学習群と統制群との学習前後の成績の向上を比較した。図を見る限り、学習有属性 (trained feature) において、SD1の条件 (図の黒丸) で、成績の向上は、統制群より、学習群のほうが僅かに良い傾向があることが分かる。一方、学習無し属性 (untrained feature) において、成績の向上は、統制群と学習群との間に、明瞭な相違が見られなかった。

次に、学習有属性と学習無し属性との成績の向上を比較した。学習群では、A群において、学習有属性 (長さ) は、学習無し属性 (方位) より、成績の向上が、少し良い傾向がある。一方、B群において、学習有属性 (方位) と、学習無し属性 (長さ) との成績の向上は、明瞭な相違が見られなかった。面白いことに、学習段階において、B群は、A群よりの学習の促進が速かったのに、テストに段階において、A学習群は、B学習群より、学習指標が大きい、すなわち、学習前後の識別能力の向上が大きい。

3. 学習の転移効果の検討

学習転移を定量化するために、知覚学習先行研究²¹で使われた転移指標を利用した。まず、下記の式 (2) を用いて、各条件において、識別閾値の向上パーセント (percent improvement, PI) を算出し、次に、(3) を用いて、学習転移指標を求めた。前述のように、明瞭な学習効果の傾向が見られたのは、一部の条件だけであった。しかし、学習転移指標は、学習有属性と学習無し属性との成績向上のパーセント数の比率なので、学習が生じなかった条件や学習していない統制群においても、その、学習有属性と学習無し属性の間の成績の関係がわかるため、学習転移効果の指標として有効であると思われる。

$$Percent\ Improvement = 1 - \frac{T_{postTest}}{T_{preTest}} \quad (2)$$

$$Transfer\ Index = \frac{PI_{untrained}}{PI_{trained}} \quad (3)$$

$PI_{untrained}$ と $PI_{trained}$ は、それぞれ、学習無し属性と学習有属性の識別閾値の向上パーセントを表す。

個人の学習転移効果を検討するために、Table 1に、個人の学習転移指標を示す。Table 2に、識別閾値の向上パーセントを示す。この、学習転移指標は、0の場合、転移していないことを示し、1の場合、完全転移したことを意味する。また、Wang et al. (2012) により、この、転移指標は、0.5以上になる場合、有意的な転移を示す。なお、pretestよりposttestの閾値が大きい場合には、この指標は負となり、そもそも学習が達成されていないことを示す。

Table 1を見る限り、学習群より統制群のほうが学習転移指標の高いところがある、また、学習群において、0.5から1.0の間にある値はない。このことから、学習の転移は見られないとは言える。さらに、学習指標が1より大きいところもあるが、Table 2を見れば、分かるように、学習無し属性が、学習有属性より、識別能力の向上が高い場合、学習転移指標は1を超える。この場合、もちろん、学習により、学習有属性は、学習無し属性に影響を与えることを否定できないが、学習有属性から学習無し属性への学習転移が生じたというように解釈することは難しい。これらのことから、学習の転移に関しては、明瞭な結果が得られなかったとは言える。

考察

本研究の目的は、異なる知覚属性において、分散認知に共通メカニズムが存在するかを明らかにすることであった。これを検証するため、パイロットスタディ的な視覚学習実験を行なった。実験では、観察者は、学習群と統

Table 1
学習転移指標

	Group A		Group B	
	Training	Control	Training	Control
SD1	-06	.01	-11.32	-182.59
	-.54	.47	36.70	6.89
	.48	.66	.49	-1.21
SD2	.32	-4.96	-1.06	-287.89
	.07	.36	1.27	-.62
	1.25	1.09	.39	-.47

Table 2
成績向上パーセント数 (%)

	Group A				Group B			
	Training		Control		Training		Control	
	Trained	Untrained	Trained	Untrained	Trained	Untrained	Trained	Untrained
SD1	25.03	-1.48	6.66	.09	.34	-3.81	.10	-17.51
	9.04	-4.80	1.05	.50	.06	2.30	-5.85	-40.35
	33.52	16.00	22.88	15.03	3.38	1.64	-4.13	5.00
SD2	12.91	4.20	1.49	-7.42	-4.00	4.26	-.02	5.72
	15.30	1.10	-23.03	-8.22	8.36	10.61	-11.66	7.25
	10.94	13.60	12.59	13.71	-.09	-.03	4.51	-2.10

制群に分かれ、学習群は、「長さ」あるいは「方位」に関して、5日間にわたり、分散識別課題を遂行した。観察者は全員、学習段階の前後に、長さおよび方位の両視覚属性について、分散識別課題を遂行した。もし、分散認知に、共通メカニズムが存在する場合には、一方の属性の学習効果は、他方に転移するということが予測された。以下、結果の要約と考察である。

1. 学習効果1：学習段階における学習効果

学習段階では、学習により、観察者の分散識別閾値が低下した。この学習による識別能力の向上は、長さ属性および方位属性はともに生じた。また、方位属性は、長さ属性より、識別能力の促進率が高いことが伺えた。このことから、まず、分散認知は、学習が可能であるとは言える。次に、この識別能力の向上効果は、刺激属性、少なくとも方位と長さ属性、に依存することが示された。

本研究の結果と異なり、同時提示刺激を使った属性間の学習転移を検証した先行研究²²では、学習段階において、学習効果が見られなかったと報告されている。これらの違いが生じた原因の一つとして考えられるのが、分散認知において、同時提示と本研究で使った逐次提示とは、異なるメカニズムが介在している可能性である。

2. 学習効果2：Pretestとposttestの比較

テスト段階において、学習有属性において、成績の向上は、統制群より、学習群のほうが僅かに良い傾向があることが分かる。ただし、明瞭な学習効果が得られたとは言えない。

学習効果が生じなかった要因として、以下のように考えられる。

知覚学習では、訓練により、ある課題へのパフォーマンスが向上することを述べた、そのパフォーマンスは、完全な学習達成状態になるまでに、徐々に上がり、後半に、安定になるはず、つまり、学習曲線はプラトーになる。前述のように、どちらの属性においても、学習段階の後半において、識別閾値が、平らにならず、学習が進行状態になっている。このことから、テスト段階の学習効果の消失は、学習の不十分により生じることは、一

つの可能性として考えられる。

次に、学習群では、A群において、学習有属性（長さ）は、学習無し属性（方位）より、成績の向上は、少し良い傾向がある。一方、B群において、学習有属性（方位）と、学習無し属性（長さ）との成績の向上は、明瞭な相違が見られなかった。

では、この属性間の相違を引き起こした要因は何であろうか。一つ考えられるのは、両属性を処理する脳領域が異なるという可能性である。方位は、主に一次視覚野（V1）で処理される²³。一次視覚野は、大脳皮質で視覚情報が最初に入力される部位で、ごく単純な刺激特性を処理している。分散を認知する時に、刺激全体をグローバルに処理する能力が必要なので、V1より高いレベルの処理領域を活動させる必要がある。その時、長さを処理する時に使うニューロンを活動させる可能性がある。この、長さ属性に対応する脳活動の繰り返しにより、長さ属性に対する知覚学習が起こる可能性がある。従って、B群において、方位と長さとの間に、識別精度の変化の差がなかった。一方、長さは、主に、第四次視覚野（V4）で処理される²⁴。V4は、V1と比べて、より高次の処理を行う、受容野もより大きい。また、分散認知を処理する時、それより処理の低いV1を活動させることが、方位属性と比べ、相対的に少ない。従って、A群において、識別精度の変化について、長さ属性が方位属性より大きい。

もちろん、これはただの推測なので、確かな証拠はまだない、今後は、これについて、より検討する必要があると考えられる。例えば、脳機能計測の手法、近赤外分光分析法（NIRS）などを通して、異なる属性間の分散識別の関連を解明する必要がある。

3. 学習転移効果

テスト段階において、明瞭な学習転移が得られなかったが、これは、学習の不十分による可能性がある。従って、本研究の結果から、分散識別の学習は、異属性の間に生じないという結論は性急であろう。本研究で用いた視覚属性は、方位と長さであり、前者は間隔尺度、後者は比尺度で測定できる属性である。この点が、学習の転移を阻害した可能性もある。すなわち、本研究の結果からは、両属性の間に、完全独立し、共通なメカニズムが存在することを否定できない。

4. 分散認知の戦略

参加者の質問紙への回答から、課題への反応に個人差が見られた。すなわち、分散認知について、全員が統一的方法を利用していたではなく、例えば、「極端値の差」や「個々の刺激間の変化の幅」などで判断していたことが伺える。このことから、分散認知について、実験参加者は多様な戦略を使うことが分かった。今後の課題として、刺激群の分布を操作することなどを用いて、異なる刺激提示条件下、観察者が用いる戦略を検討する必要がある。

本研究では、方位と長さに焦点を当て、それらの学習効果および転移効果をパイロットスタディとして検証してみた。その結果、学習の転移に関して、曖昧な結果しか得られなかった。それは、上記のように、使用した刺激属性に由来するのかもしれない。従って、より広範囲の属性、例えば、輝度や表情などの学習効果を検討する必要がある。また、属性レベルのより近い属性、例えば、「方位と運動方向」や「長さと面積」などの間の学習の転移を検討する必要があるだろう。さらに、異なる感覚モダリティ、例えば、視覚と聴覚の間の学習の転移を検討する必要があると思われる。

註

本研究を進めるにあたり、指導教官であるお茶の水女子大学の石口彰先生ならびに共同研究者である目白大学の時田みどり先生には、大変貴重なご助言を賜りました。この場を借りて厚く感謝申し上げます。なお、本研究の一部は、Psychonomic Society学術大会において発表されました（Tokita, Yang, & Ishiguchi, 2018）²⁵。最後に、著者の勉学と研究は、池田摩耶子記念奨学金に支えられて進めることができました。ここに、寄付者に心よりの感謝の意を表します。

引用文献

1. Dakin, S. C., & Watt, R. J. (1997). The computation of orientation statistics from visual texture. *Vision research*, 37(22), 3181-3192.
2. Morgan, M., Chubb, C., & Solomon, J. A. (2008). A 'dipper' function for texture discrimination based on orientation variance. *Journal of vision*, 8(11), 9-9.
3. Norman, L. J., Heywood, C. A., & Kentridge, R. W. (2015). Direct encoding of orientation variance in the visual system. *Journal of vision*, 15(4), 3-3.
4. Solomon, J. A., Morgan, M., & Chubb, C. (2011). Efficiencies for the statistics of size discrimination. *Journal of Vision*, 11, 13. doi:10.1167/11.12.13
5. Tokita, M., Ueda, S., & Ishiguchi, A. (2016). Evidence for a global sampling process in extraction of summary statistics of item sizes in a set. *Frontiers in psychology*, 7, 711.
6. Haberman, J., Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2015). Individual differences in ensemble perception reveal multiple, independent levels of ensemble representation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(2), 432.
7. Byrne, A. J., Viemeister, N. F., & Stellmack, M. A. (2014). Discrimination of frequency variance for tonal sequences. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(6), 3172-3177.
8. Ueda, S., Mizuguchi, A., Yakushijin, R., & Ishiguchi, A. (2018). Effects of the Simultaneous Presentation of Corresponding Auditory and Visual Stimuli on Size Variance Perception. *i-Perception*, 9(6), 2041669518815709.
9. Gibson, E. J. (1953). Improvement in perceptual judgments as a function of controlled practice or training. *Psychological bulletin*, 50(6), 401.
10. Fahle, M., Poggio, T., & Poggio, T. A. (Eds.). (2002). *Perceptual learning*. MIT Press.
11. Webb, B. S., Roach, N. W., & McGraw, P. V. (2007). Perceptual learning in the absence of task or stimulus specificity. *PLoS One*, 2(12), e1323.
12. Jeter, P. E., Doshier, B. A., Liu, S. H., & Lu, Z. L. (2010). Specificity of perceptual learning increases with increased training. *Vision research*, 50(19), 1928-1940.
13. Aberg, K. C., Tartaglia, E. M., & Herzog, M. H. (2009). Perceptual learning with Chevrons requires a minimal number of trials, transfers to untrained directions, but does not require sleep. *Vision research*, 49(16), 2087-2094.
14. Aberg, K. C., & Herzog, M. H. (2012). About similar characteristics of visual perceptual learning and LTP. *Vision research*, 61, 100-106
15. Stickgold, R., James, L., & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature neuroscience*, 3(12), 1237.
16. Fahle, M., & Edelman, S. (1993). Long-term learning in vernier acuity- Effects of stimulus orientation, range and of feedback. *Vision research*, 33(3), 397-412.
17. Goldhacker, M., Rosengarth, K., Plank, T., & Greenlee, M. W. (2014). The effect of feedback on performance and brain activation during perceptual learning. *Vision Research*, 99, 99-110.
18. Brainard, D. H., & Vision, S. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10, 433-436. doi: 10.1163/156856897x00357
19. Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). QUEST: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & psychophysics*, 33(2), 113-120.
20. 時田 みどり・石口 彰 (2015). 分散識別課題における刺激群作成法の比較 日本心理学会第79回大会発表論文集, 752.
21. Wang, R., Zhang, J. Y., Klein, S. A., Levi, D. M., & Yu, C. (2012). Task relevancy and demand modulate double-training enabled transfer of perceptual learning. *Vision research*, 61, 33-38.
22. 楊 毅・時田 みどり・石口 彰 (2017). バラツキ認知に共通メカニズムは存在するかー学習効果による検討ー 基礎心理学研究, 36(2), 280.
23. Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of physiology*, 195(1), 215-243.
24. Tanaka, S., & Fujita, I. (2015). Computation of object size in visual cortical area V4 as a neural basis for size constancy. *Journal of Neuroscience*, 35(34), 12033-12046.
25. Tokita, M., Yang, Y., & Ishiguchi, A. (2018, November). *Variance discrimination of sequential visual stimuli: Transfer of practice effect on variance discrimination across features*. Poster session presented at the 59th Annual Meeting of the Psychonomic Society, New Orleans, LA.