

ゼブラフィッシュは知覚学習以前に反時計回りに左から右へ (L→R) 泳ぎ、円形を避け倒立三角形に近づく

Zebrafish swim left to right and prefer an inverted triangle rather than a circle innately without perceptual learning

三谷 恵一

Keiichi Mittani

環太平洋大学

International Pacific University

Abstract

The following results were obtained thorough induction and deduction by four experiments on the early experience controlled zebrafish 4 males and 4 females using 30-30-40 milliseconds behavior analysis system.

[1] It was found zebrafish perform two kind of movement. The first is high speed anticlockwise (L→R) spiral circular swimming usig right hemisphere⇔left -visual field. The second is relatively slowly clock (L←R) willing large elliptic swimming usig left hemisphere⇔right-visual field. If we observe from the front of the tank, as DNA they almost always swim L→R basing probably on the rotation and revolution of the earth (Experiment 1).

[2] In spite of the innate L→R swimming tendency, zebrafish prefer the visual black inverted triangle side presented to the circle with the same peripheral length. They avoid circle and go to the triangle in group following the leader without perceptual learning irrespective of the position (Experiment 1,2,3,4).

[3] In such a way, an inverted triangle and a circle are psychophysiologically quite different geometrical configurations.

Key words: zebrafish, innate two kinds left or right swimming, innate inverted triangle preference.

Senden (1932) は、自らは先天性盲人の開眼手術を実施することはなかったが、11世紀からその時代までの開眼手術を受けた諸症例の記録を蒐集した。引用文献にはないが、Molyneux (1690) の疑問、即ち「先天性盲人が成人してから視覚を回復したとき、触覚ではこれまで識別できていた立方体と球を視覚だけで識別できるかどうか」という問題に対して Dennis Diderot (1713-1784) は『盲人書簡』(1749)の中で、開眼手術後はすぐには見えず、視覚を回復するには視覚の長期にわたる訓練を要すると指摘した(大橋, 2015)。このように、開眼後の成人が正方形、三角形、正立方体等の簡単な幾何学的対象をそれと認知するのに長期にわたる学習を通じての視覚経験を必要とすることを示し、鳥居 (1975) も一定の学習過程を介在させる必要があるとした。Senden の研究を鳥居 (2000) は、以下の4点に要約している。

(i) 「図と地」の分化は成立していても、2次元の形の弁別ができない段階がある。そのことを例示する唯一の資料として、Duncan [1888] の13歳の少女に関する観察記録を Senden は挙げている。

(ii) 「形の差 (Gestaltunterschiede) や異同は分かっている、個々の形を特定できない段階がある」(Senden, 1932, pp. 155-157)。

(iii) 次いで、個々の形を識別することができる

段階へと漸次移行する。その場合でも、開眼者は当初、それがどれほど簡単なものでも形をひと目で見分けることができない。頭部または眼を動かして、その輪郭をあたかも触れるときのように辿り、特徴的な部分を探そうとする。

たとえば、Senden によりその保有視覚に関して第3群に属する1人とされた Francke [1893] の26歳の青年 [50番目の症例] についても、「円あるいは楕円を多角形と区別をすることはそれほど難しくなかったらしいが、角のある図形の間の区別をするよう求められると、長いこと綿密に観察を続け、角がいくつあるか数えようとした」(Senden, 1932, pp. 98-99)と報告されている。

(iv) 図形を見ることを反復するうちに、輪郭やその特徴的部分を逐次辿ろうとする過程は次第に自動的に進行し始め、全体として短縮されたものになっていく。そして、最終段階では、図形全体をひと目で即座に特定できるようになる。

Hebb (1949, 1972) は、Senden, 多義図形の知覚への以前の経験に関する Leeper (1935), チンパンジーによる Riesen (1947), 頭巾ラットの特定の刺激 (S) — 反応 (R) 習慣と無関連な自由環境箱の視覚的経験が知能を向上させるとした Hymovitch (1952) の研究を基礎に“先行の知覚によって生じる知覚の変化”を知覚学習

(perceptual learning, 以下 PL とする) と定義した。学習は知覚と深く関連しており、逆に知覚は学習に関連しているのである (三谷, 1995b)。脳における仮想的な細胞集成体の形成としての PL 理論を構築し、**初期経験**(early experience)の重要性を提起した。すなわち、知覚対象が単一体として見られる被区別性を示す素朴的統一性は生得的であるかもしれないが、どんな三角形でも三角形として般化力を持った範疇を作り、記憶し命名できる能力を示す同一性には長い経験が必要であるとした。

Gibson & Walk(1956)は、弁別刺激対となる三角形と円とに相似の黒い金属「三角形」と「円」を約1ヶ月のあいだケージに前提示されたラットは、統制群よりも弁別学習が優れていることを示した。Gibson(1991)は、S-R 学習理論に満足せずに PL の諸理論への注意は増大したが (Drever, 1960; Gibson, 1963; 小杉, 1965a, b; Epstein, 1967a; 大野, 1967; Kovack, 1983; 三谷, 1989a, 1996a; 三谷, 1995b; Goldstone, 1998; 中島, 2000a, b, 2001), 新しい魅力的な理論はほとんどないとし、PL のメカニズムに関する分化説 (differentiation theory)/刺激作用説 (Gibson & Gibson, 1955a, b; Gibson, 1991) /知覚精神物理学 (Gibson, 1959) と、豊富説 (enrichment theory, Hebb, 1949; Postman, 1955) /連合説 (Mackintosh, 1983, Hall, 2009) が今も対立している。PL に伴って CNS にどのような種類の過程が進行しているかは未だにほとんど明らかにされていない (Gregory, 1998)。

PL に関する理論的追及は、経験の剥奪法や前提示法などを用いた‘動物による研究’と瞬間露出機や脳波計などを用いた‘ヒトによる研究’に大別される。

動物を用いた研究 Birch(1945, チンパンジー), Riesen(1947, チンパンジー), Hebb(1937, 1947, 1949, ラット), Nissen, Chow, & Semmes(1951, チンパンジー), Fanz(1956, チンパンジー), Hymovitch(1952, ラット), Shiegel(1953a, b, ジュズカケバト), Hess(1950, 1956a, b, 1961, ヒヨコ), Beach & Jaynes(1954, 動物の初期経験), Kawachi(1965, ラット), Forgas(1955a, b, 頭巾ラットの PL), Gibson & Walk(1956, ラット), Michels, Bevan & Strasel(1958, ラット), Wyrwicka(1956, イヌ), Walk, Gibson & Tighe(1958, 1959, ラット), Melzack(1962, イヌ), 三谷(1962, KY0-Wistar ラット, 1993, 1995, 1989, 1996a, b, Fisher344 ラット, 2003b, F344/DuCrj ラット, 2010b, c), Mittani(2014, ゼブラフィッシュ), Menzel, Davenport & Rogers(1963a, b, チンパンジー), Meyers & McCleary(1964, ネコ), Motoyoshi & Mitani(1965, KY0-Wistar), 小杉(1965a, b, ラット), Kerpehman(1965, ラット), Mackintosh(1965, ラット), Macneill &

Zubek(1967, ラット), McCall & Lester(1969, ホルツマンラット), Ganz, Hirsch & Tieman(1972, ネコ), Levitt & Bennett(1975, ラット), Ernst, Yee & Dericco(1976, 頭巾ラット), 北川(1976, 朱分金), Zablocka & Zernicki(1988, 1991, ネコ), 眞竹・石田(1998, LI/PL 展望), 三谷(1996a, 2003), Ghose & Maunsell(1999, ネコの視覚皮質の特定表象: ニューロン3億→下位カラム3000→カラム300万→モジュール3万→領域30→ストリーム3→視覚皮質1), Ghose, Yang & Maunsell(2002, サルの PL と V1, V2), Fahle & Poggio(2002, 動物全般, 反連合), Chirimuuta, Burr & Morrone(2006), Hua, Bao, Huang, Wang, Xu, Zhou & Lu(2010, PL はネコの V1 ニューロンの対比感受性を改善する), Hoshino(2011, PL における事象依存シナプス可塑性), Hamamé, Cosmelli, Henriquez & Aboitiz(2011, 左・右半球の γ 波と α 波の視覚誘発電位と感受性・反応時間との PL2 段階説)などである。

ヒトを用いた研究 James(1892), Fanz(1958, 幼児の形態弁別), Fanz, Ordy & Udelf(1962), Senden(1932, 先天盲の開眼手術前後における研究。世界の資料を通じ、手術後2次元図形の形が見分けられるまでにはいくつかの段階があることを見出した), Hebb(1949), 梅津(1952, 先天盲), Fanz(1958, 新生児の図形偏向), パブロフ流理論のロシアの Pokrovskii(1953, 先天盲)を紹介した London(1960), 梅津・鳥居(1963, 1964, 先天盲), Umez, Torii & Uemura(1975, 1987, 1990, 先天盲), Gibson & Gibson(1955), Gibson(1959), Pritchard, Heron & Hebb(1960, 静止網膜像の部分的消失), Donderi & Kane(1965, 共通消失), 春木(1965, 観察学習), 春木・柳瀬(1967, 観察学習), Salapatek & Kessens(1966, 1973, 新生児の視覚走査は三角形頂点に集中), Bedford(1995, 刺激の連合よりも知覚次元全体のマッピング), 鳥居・望月(2000, 2009), 望月・鳥居(2009c, 2014, 先天盲), 藤本・八木(1999, 仮現運動と誘発電位), Ghose, Yang & Maunsell(2002, 刺激特性), Sigman & Gilbert(2000, 角の経験と三角形知覚), Gruber, Muller & Keil(2002, 脳波), Watanabe, Nández & Sasaki(2001, 知覚無き PL, 閾値以下でも頻度が重要で relevance, salience ではない), Leonards, Rettenbach, Nase & Sireteanu(2002), Gold, Sekuler & Bennett(2003, 内的信号強度の増大と内的雑音の減少, 信号検出理論で PL), Li, Levi & Klein(2004, 位置弁別の PL), Polat, Ma-Naim, Belkinm & Sagi(2004, PL のメカニズム), Petrov, Doshier & Lu(2006, フィードバック無し), Gerganov, Grinberg, Quinne & Goldstone(2007, 概念的影響), Dixon, Rupperl & Patt(2009, 無視する学習効果), Yotsumoto, Sasaki, Chan, Vasios, Bonmasser, Ito, Nández, Shimojo & Watanabe(2009, fMRI が視覚訓練された V1 で高

まる), Tsushima & Watanabe (2009, PL における“注意”精神物理学者/生理学者と動物学習の心理学者の歩み寄りの必要; 単なる提示に基盤を置く学習実験の効果), Andersen, Ni, Bower & Watanabe (2010, 注意の変化ではなく, 特定領域), 伊藤・渡邊・佐々木 (2010, 近年のみ展望, 複数の処理段階), Hamamé, Cosmelli, Henriquez & Aboitiz (2011, 2段階説, 三角形の方位, 左脳と右脳), Hoshino (2011, 三角形の閾下 PL の神経計算), Kahnt, Grueschow, Speck & Haynes (2011, fMRI, ACC, 強化学習は高度決定領域) など。

動物とヒトの双方を用いた研究とロボット化

への道 Mackintosh (1965, 1983, 条件づけと連合学習), 三谷 (1969, 2003a, 反連合学習), Mackintosh & Bennet (1998), Goldstone (1998, 展望), Wing, Haggard & Flanagan (ed. 1996, 手の動きの積分筋電位の時系列), Verschure, Verschure, Voegtlin & Douglas (2003, 可動ロボットにおける PL と行為の協働), Mackintosh (2009, 連合学習), Mackintosh & Bennet (2009, 3過程連合学習: ① differential latent inhibition of common and unique element, ② establishment of unified representations of complex stimuli by associations between their elements, ③ establishment of inhibitory associations between the unique elements stimuli that occur apart), Nelson & Sanjuan (2009, ヒトの条件性抑制課題における LI), Hall (2008), Hall (2009, the unique feature of similar stimuli, 共通要素説, James あり), Mitchell & Hall (2014), Hall (2014) などである。

知覚学習時の行動の謎の追及の必要について

以上のように展望すると, PL メカニズムの解明は容易でないことが髣髴としてくる。早くから Epstein (1967a) の次の指摘の重みが想起される。‘前提示および非提示の間の動物の信頼できる記録をとることは, 非常に価値のあることと思われる。これまで出たいかなる報告もこれに触れておらず, これはこの種の研究の不幸な欠点である’。

人間を被験者にした研究の場合, 心的過程に関する‘内観報告’をも記録できる。Senden (1932), 鳥居 (2000), 望月・鳥居 (2014) による先天性盲人の開眼手術直後の<初めてみる 2D 三角形や円>の追及と, 三谷 (1989a, 1993, 1995a, 1996ab, 2003a, b, 2004, 2010a, b, c, 2014), Mitani (1984), Mittani (2014) によるラットやゼブラフィッシュを被験体にした研究の同じく<初めてみる 2D 三角形や円>の内観報告によらない 30-30-40 ミリ秒行動分析との結節点もクローズアップされてきた。この問題に関するこれまでに追求されてきているポイントを列挙してみる。

①視覚・運動経験, 操作可能性ないし運動産出刺激の重要性 (Fougus, 1955a, b; Meyer & McGee,

1959; Held & Hein, 1963; Motoyoshi & Mitani, 1965; Kerpehman, 1965b; Wing, Haggard & Flanagan (ed.), 1996; 望月・鳥居, 2014)。

②手術による視覚剥奪実験 (Ganz, 1978; Ganz, Hirsch & Tieman, 1972, 子ネコ)。

③潜在学習的知覚学習のクローズアップ (三谷 1969, 1995b)。

④非分化強化の指摘 (Bitterman, Calvin & Elam, 1953; Bitterman & Elam, 1954; Kerpehman, 1965a)。

⑤特殊か一般化かの検討 (Gibson, Walk, Pick & Tighe, 1958; Dondri & Lane, 1965; Kawachi, 1965; Phaup & Caldwell, 1959, 特殊かつ一般化の二刀流; Kerpehman, 1965b, どちらからも説明出来ない, 非分化強化)。

⑥刺激変化の積極面 (Forgus, 1954; Forgus, 1955a, b)。

⑦探索動因の妨害面 (Epstein, 1967b, p. 116; 三谷, 1962, 1969, 積極面との二刀流) 及び観察学習の検討 (春木, 1965; 春木・柳原, 1967)。

⑧弁別行動の二要因説の提起 (Meyer & McGee, 1959; Mackintosh, 1965; Epstein, 1967b; Darby & Riopelle, 1959; Herbert & Harsh, 1944; Adler, 1955)。

⑨深さの弁別における生得性と経験 (Russell, 1932; Walk, Gibson & Tighe, 1957; Gibson & Walk, 1960; Walk & Gibson, 1961; Shinkman, 1962; Nealy & Riley, 1963; 持留, 1964; Kaess & Wilson, 1964; Tallarico & Farrell, 1964; Held & Hein, 1963)。

⑩刻印づけと生得的解発機構 (Lorenz, 1935; Jaynes, 1958; Moltz, 1960, 1963; Moltz & Stettner, 1961; Kovack, Fabricius & Falt, 1966; King, 1966; 藤田, 1968)。

⑪シナプスの生理的変化 (Eccles & McIntyre, 1953; Eccles & Westerman, 1959; Smith, 1959; Hubel & Wiesel, 1970; Hirsch & Spinelli, 1970; Pettigrew & Freeman, 1973)。

⑫PL のともなう潜在抑制 (latent inhibition, 以下 LI とする) の発見。ここで LI とは, 古典的条件付けにおいて CS を前提示された群の学習がかえって劣るようになる現象をいう (Lubow & Moore, 1959; Lubow, 1973; 眞竹・石田, 1998)。

近年, Mackintosh & Bennet (2009), Mackintosh (2009) は, James (1992) のコメント“練習は完成を作る (practice make perfect)”に言及して次のように述べている。十分な練習の後に最初は出来なかった刺激間弁別を出来るようになる。PL 効果の多くの事例は意図的な学習の結果であるが, 多くの場合に意図なくして偶発的に刺激の単なる提示の結果として生じる。“単なる提示による PL”を連合学習理論 (association learning theory) に基づき次の 3過程で説明した。第 1 に刺激間の共通要素と特異要素への分化的 LI の形成であり, 第 2 に要素間連合に基づく複合刺激へ

の統合的表象の確立であり、第3に個別に生じた特異要素間の制止連合の確立である。Hall (2009)もまた PL に関する実験の異なる諸結果を分析して、適切な訓練というものは類同刺激への共通様相というよりも特異様相によって行動が統制されることであるとした。Tsushima & Watanabe (2009)も、James のコメントを引用して、すでに整理したように PL にヒトの心理生理研究と動物学習の2種類があると指摘した上で、共に注意 (attention) の役割に焦点あてた提示に基づく学習実験とみなし、示された特性の関連性や顕著度ではなく単に頻度に依存するモデルを提案した。

⑬提示刺激とテスト刺激の文脈 Lubow, Rifkin & Alek (1976) は、両者の文脈効果 (context effect) によって PL と LI が相互作用するとした。

⑭PL は角によって促進され曲線によって妨害される 北川(1976)は、ディスクリミナндаとなる水平刺激-垂直刺激カードを10日間キンギョに前提示すると LI が生じて前提示を欠く統制群に劣るというオペラント条件付けにおける LI を示した。更に、2D 正方形の2対角線により黒い2等辺三角形2つを含むカード2枚を相互に90度回転させた“無関連三角形パターン”前提示群が、ディスクリミナнда前提示群や統制群よりも水平刺激-垂直刺激弁別を促進すること、水平刺激-垂直刺激の前提示時間が長引けば成績は更に悪化することを示した。Hirano(1977)も、初期視覚環境への選択的提示の効果は Exposure-Same ラットが Exposure-Different や Control にも劣ることを見出した。このように LI の発見は、PL 現象とあいまって今日までの学習理論に困難な問題を提供している (Blakemore *et al.* 1790; Wagner 1979; Mitani 1984; 三谷 1989a, 1996a; 眞竹・石田 1998; 三谷 2003a, b2004, 2010a)。

McCall & Lester(1969), Yee & Dericco(1976) は、角 (angle) および曲線 (curve) への分化した刺激作用のポテンシャルを追及し、角を経験した場合のほうが曲線を経験した場合よりも優れていること、曲線経験は何の図形も経験しなかった場合よりもかえって学習成績が悪くなることを見出した。三谷(1970, 1989a, 1996a)は、生後3日の KY0-Wistar ラット♂の生育環境の一壁面に 30×30mm の《黒・白正方形 220 個による市松模様》を120日提示した。その結果、95×95mm の白・黒刺激カードに添付した図地面積折半の黒円-白円弁別学習は統制群よりも優位に優れ、特に S+ : 白地・黒円で優れていた。この結果は、分化説からも連合説からも説明できない。

幾何学的図形のうち三角形は、ユークリッド幾何学の最少の要素 (least element) として<3つの角と3つの線分>から構成されている。三谷(1989a, 1996a)は、生後35日の Fisher344 ラット♂の生育環境の一壁面に一辺 109.7mm の黒・白の《三角形市松模様》を190日提示したところ、無

関連な黒円-白円弁別学習を促進した。一方、図地 50%ずつに作図された角および線分を欠く黒いユークリッド幾何学に無い《インクブット様曲線図形》PL は同じ弁別学習を抑制し、McCall & Lester (1969), Yee & Dericco(1976)と同様にブランクの場合よりも学習妨害する傾向を示した。

しかし、PL された曲線図形と黒円-白円弁別刺激とでは共通要素 (common element) となる曲線が統制されていないため、ディスクリミナндаを横縞 (+) -縦縞 (-) に変えて実験しても、後期240日から155日間の《三角形市松模様》PL 群は、弁別学習を迅速に完成させたが、《インクブット様曲線図形》の PL 群は、350試行でも正答率は60%から上昇せず学習は不可能であった(三谷, 1989a, 1996a)。黒い図の総面積を 947.625cm² に統一したが、キルビメーター計測によるインクブット様曲線図形の総境界線は 2,778.3mm と三角形市松模様の 6,113mm の 45% に留まっていた。三角形市松模様の分節数は 64 であるが、インクブット様曲線図形の分節数は 1 と 2 と不明である。角の数も三角形市松模様は 117 個であるが、曲線図形では皆無であり統制されていなかった。そこで、分節数を“1”に統一して面積を等しくするために、幾何学の原点である<単一正三角形>と<単一円>の PL 効果を比較する必要がある。

⑮単一正三角形と単一円の PL の結果 三角形と円とは、共通要素を含まない究極の異質な幾何学パターンである。双方の面積を同一にすれば、外周は三角形の方が大きくなる。外周を同一にすれば面積は三角形の方が小さくなる。

三谷(1989)は、生後45日の F344 ラット♂を一辺 189.96cm の黒い単一<三角形>群、面積が 156.1cm² と等しい半径 70.5cm の黒い単一<円形>、白い壁面の<ブランク>の3群に分け400日まで初期および後期の長期355日 PL させた。三角形の底辺との共通要素化を避けるために、ディスクリミナндаを更に縦縞 (+) -横縞 (-) に変えた。

その結果、正反応率は最初から 10~20% と横縞 (-)・水平縞への強い偏向を示したが、最も優れた成績を示したのは正三角形群であり、7匹中の 100% が生き延び健康であった。第2位として180試行から急激に学習を完成させたのはブランク群5匹の1匹であったが、他の4匹は PL 手続き中にすでに死亡した。円群の7匹は PL 手続き中に円パターンから産出される LI の妨害効果のためか5匹が死亡し、生き延びた2匹も正答率は40%までしか上昇しなかった。

⑯サバイバル率 以上の3実験を総計すると、サバイバル率は三角形 95%、曲線または円 55%、ブランク 55%であった。すなわち、三角形の PL は生活体の知的機能および生命機能を維持促進し、曲線または円形の LI はその両者を妨害して破壊することも明かになった。以上の経緯は、最

少エネルギーの法則に基づき三角形よりも円を良い形としたゲンタルト心理学からも心は白紙であるとした Locke (1689) の ‘tabula rasa’ からも説明できない。以上のエビデンスに立脚して三谷 (2003a, b, 2004, 2010a, 2012) は、新しい**環境療法**(environmental therapy)を提唱している。

⑰**三角形の誘目性は円よりも強い Epstein** (1967) に従い三谷 (2003) は、生後 24 日の F344/DuCrj ラットを 2 群にわけ 10 分間一つの図形を視覚走査検査箱の白い壁面に提示した。

30-30-40 ミリ秒行動分析装置でカラー出力して ‘PL 中の行動分析’ した結果、三角形提示群 (N=11) の平均走査時間は 49.18 秒、円提示群 (N=11) の平均走査時間は 23.82 秒であり ($p < .001$)、三角形の誘目性は円形よりも生得的に強いことを見出した。更に**ゼブラフィッシュ**においても、三角形の誘目性は円形よりも生得的に強いこと示唆するデータも一部公表されている (三谷, 2010; Mittani, 2014)。

⑱**生得的に非対称な“左から右への動き”** しかし、ラットに二刺激同時提示した場合、左 (left; 以下 L とする) または右 (right; 以下 R とする) に対する反応偏向は見られないのであろうか。三谷 (2003) は、Hubel & Wiesel (1979) がサルに用いた $76 \times 10 \text{mm}$ の刺激と相似の $147.58 \times 19.42 \text{mm}$ の「黒い線分パターン刺激」に生後 49 日の F344/DuCrj ラットを 10 分間放置した。その結果、L→R 運動は L←R 運動よりも頻度が高く ($p < .05$)、走査時間も長い ($p < .05$) という認知行動における非対称を見出した。従って、右側に提示された刺激カードは、左に提示された刺激カードよりもより注意される可能性がある。線分パターン刺激には、終点 (terminal)がある。この視覚への触覚・運動系の関与 (鳥居・望月, 2009; 望月・鳥居, 2009d, 2014) が、ゼブラフィッシュを用いた三角形と円の生得的差異 (柴田・三谷・森本・阿部, 2009; 三谷, 2010b) の実態を隠蔽している可能性がある。

⑲**魚類研究の長所** ラットを用いる短所は、1 匹ずつ 1 試行ごとに手でつかんで装置に入れて実験する必要があること、そのためハンドリングが必要であること、左右の移動に時間が必要であること、試行ごとに装置を清掃する必要があることなどである。ラットは 4 足動物であるため、頭部のみ動かす代理的試行錯誤 (VTE: vicarious trial and error) を遂行することがままあるために潜在的な心理的ポテンシャルを隠蔽する可能性もある。

そこで、飼育装置から取り出す必要が無く、群れで高速で移動し、ハンドリングも不要な魚類である**ゼブラフィッシュ**を新たに被験体として用いて L→R 運動と L←R 運動の生得的**非対称性**を確認した上で、強化無しで L/R いずれに提示しても三角形の誘目性は、PL 以前に生得的に円よりも

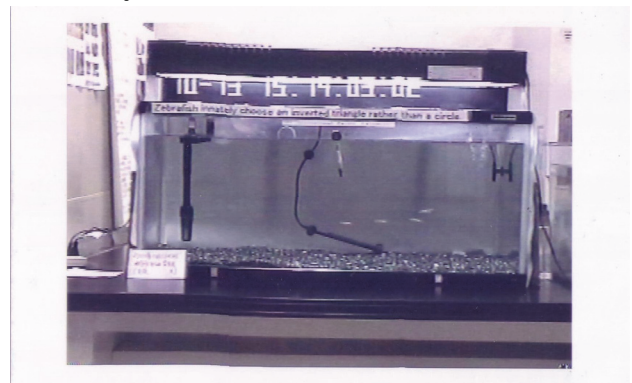
強いことを示すことが本論文の目的である。

実験 1

本実験の目的は、仮説 1「ゼブラフィッシュは、主に L→R に非対称に遊泳する」を検証することである。

手続き ドイツ源とアメリカのオレゴン源の初期経験を統制された生後 180 日のハイブリドのゼブラフィッシュ (Zebrafish, *Danio rerio*, TAB strain) ♂ 4 匹が三島の国立遺伝学研究所から第 2 波として IPU 化学実験室の $60 \times 30 \times 30 \text{cm}$ の透明ガラス水槽へ迎えられた。室温はおよそ 22°C 、水温は 26°C に保たれ、照明は午前 6 時から 12L:12D のサイクルで水面より高さ 30cm の 20W 蛍光灯 2 基により行われた。ゼブラフィッシュが水槽に導入されてから 18 秒後から、すなわち 13 時 18 分～13 時 26 分の 8 分間、30-30-40 ミリ秒記録装置を搭載した 10m 遠隔操作 VHS で音声観察記録を伴いながら実験者 4 人により記録された。水槽の 2 側小壁面と大背面とは灰色ビニールにより覆われ、 $60 \times 30 \text{cm}$ の透明ガラス大正面壁前方 $1\text{m}30\text{cm}$ の大三脚の上に 360 度リモート回転する VHS カメラを設置した。実験中は実験室全体が 2 重カーテンにより覆われて準暗室化された。

結果と考察 写真は、正面ワイドの 30-30-40 ミリ秒単位の記録である。ゼブラフィッシュ ♂ 4 匹は群れを成して L→R に遊泳して水槽の右半分に滞在している。

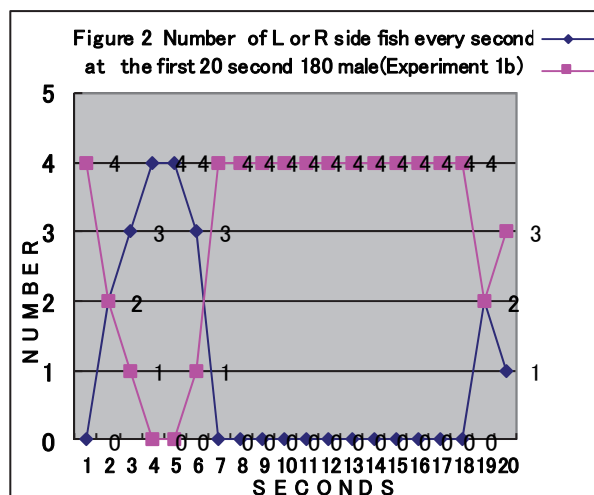
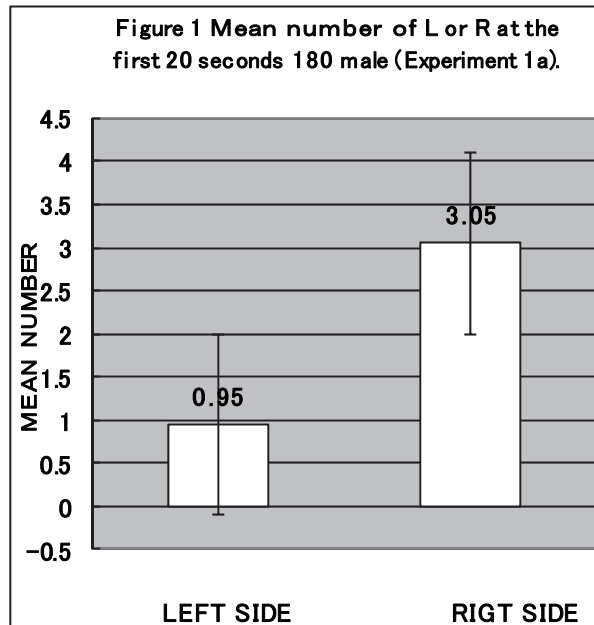


① **最初の 20 秒間の行動の R への偏り** 整理にあたっては、いったん静止画面を起こし、毎秒ごとにカラー出力して、その瞬間に水槽の L または R に姿を残した被験体の数を確認した。曖昧な場合は、ミリ秒画像を出力して文脈で判断した。Figure 1 は、‘最初の 20 秒間’の秒単位の平均匹数である。縦軸の最大値は 4 匹であり、L と R で偏好がなければ “2” となるが、R は L よりも多かった ($t=7.82, df=19, p < .001$)。

1 秒ごとの時間経過は Figure 2 に示されている。サカナにはリーダーがいて、多くの場合はリーダーを先頭に 2, 3 匹が**群泳する** (swim in group)。ほとんど毎秒ごとに L→R 運動を維持しているが、U ターンするには L←R 運動が必要とされる。時々突如として 2 匹ないし 3 匹群れをなして L へ

進入するが、再びミリ秒単位で急いでRに戻る。

さらにゼブラフィッシュ♂は、水槽の底に厚さ2cmに敷き詰められた未経験の砂利の上でしばしば渦巻群泳(group whirling swimming)を示した。



LかRを判定するためにカメラは正面ガラス壁全体にワイドに放置する必要があったため、角度と焦点をタイトに変えてこの予期せぬ高速渦巻群泳を追い内観報告を残すことが出来なかった。VHSをミリ秒で紐解いた結果、その実態は“反時計回り (anti-clockwise)・L→R運動”であることが判明した。

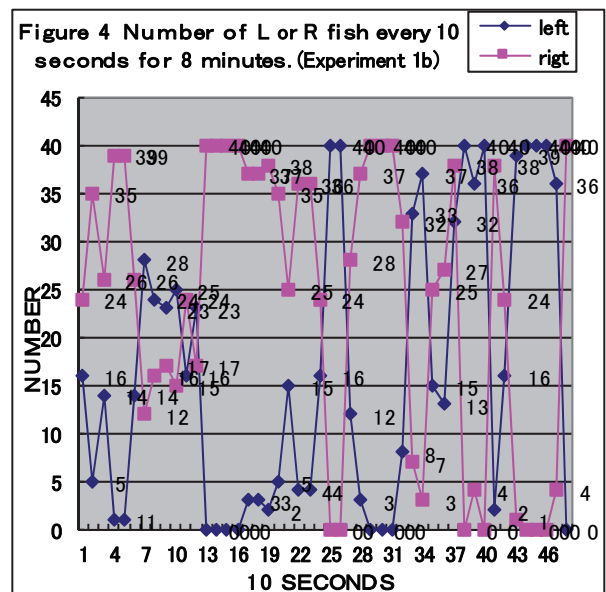
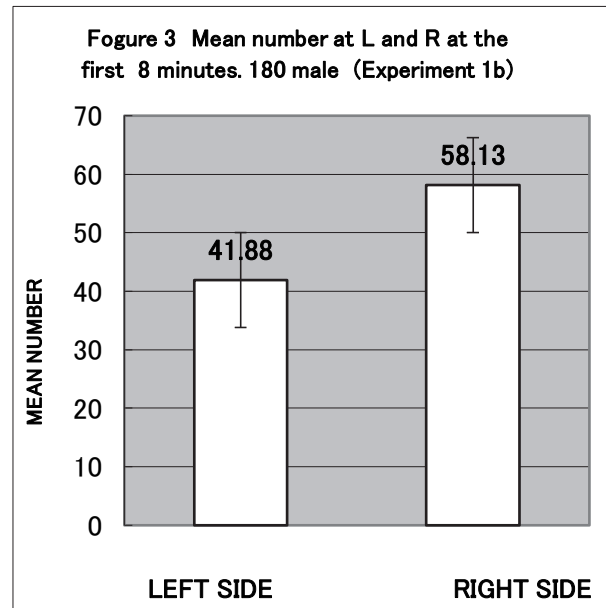
① 最初の8分間の行動のRへの偏り Figure 3は最初の‘8分間全体’の秒単位の平均である。その差は少なくなるが、依然としてRにいるゼブラフィッシュ♂はLにいるゼブラフィッシュ♂よりも多かった($t=3.84, df=479, p<.001$)。

その1秒ごとの時間経過は、Figure 4に示されている。ゼブラフィッシュ♂は、刻々と秒を刻むごとに最初は避けていたL環境の内外の詳細を群れで探索するようになる。

以上により、仮説1は確認された。

実験 2

三角形の誘目性は、生得的に円よりも強い



ことは既に明らかにされているが(三谷, 2003a), 更に F344/DuCrj ラットを用いて, 初めて見る黒い単一「倒立三角形」の誘目性は, それと合同の「正立三角形」よりも強い傾向があることを見出している。本実験の目的は, 仮説2「倒立三角形の誘目性は, 円よりも強い」をゼブラフィッシュ♂を用いて検証することである。その概略は三谷(2010b, c, 2012, 2014)にある。

手続き 初期経験を統制された生後110日の実験1とは別のゼブラフィッシュ♂4匹が用いられた。背面ガラス壁の背後のRに黒い塩化ビニール板より切り出され300×300mmの白カート上に添付された<倒立三角形>, Lに黒い<円形>が8分間同時に提示された。倒立三角形の一辺の長さは98mmであり, 外周の長さは295.1mmであった。円の半

径は47mm, 外周の長さは294.0mmであり, 両図形の外周はほぼ等しい。その他の詳細は実験1に準じた。

結果と考察 両図形は, 8分間同時提示されたが, 両図形に対する視覚行動をクローズアップするためカメラは時々タイトにされてゼブラフィッシュ自身の詳細を追った場合, LとRの判定は出来ない時間帯が生まれた。二つの図形の左右を逆にして提示した実験3や実験1との整合性を保つために‘最初の40秒間の行動’と‘実験開始後8分目の60秒間の行動’に絞って結果を処理した。

① **最初の40秒間のRの倒立三角形への行動の偏り** 写真は, ゼブラフィッシュ♂がリーダーに従いL→Rに遊泳して水槽左の円からいっせいに引き上げ右の倒立三角形に向かう三角形軍団である。

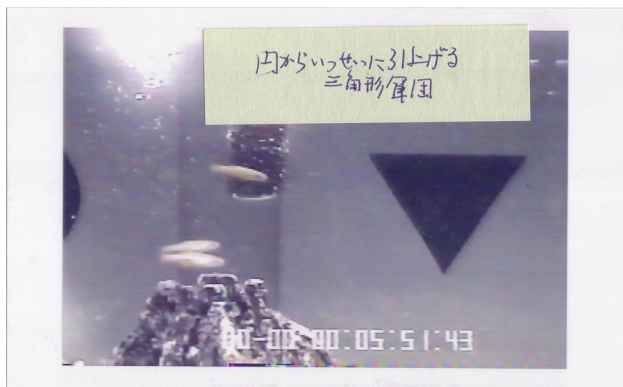


Figure 5は, ‘最初の40秒間の秒単位の平均匹数である。倒立三角形が提示されたRに滞在するゼブラフィッシュ♂は, 円の提示されたLに滞在するゼブラフィッシュ♂よりも多かった($t=9.00, df=39, p<.001$)。

その1秒ごとの時間経過は, Figure 6に示されている。時々, ゼブラフィッシュ♂のリーダー1匹か2匹がLの円の側へ進入するが, 5秒~10秒探索しては3匹ともRの倒立三角形の側に戻る。

“いじめられた1匹”は, 倒立三角形を拝顔させてもらえない。

② **8分目の60秒間のRの倒立三角形への行動の偏り** Figure 7は, ‘8分目の60秒間’の秒単位の平均匹数である。

最初の40秒間のFigure 5と‘8分目の60秒間’のFigure 7は, 驚くべき一致を示している。依然として, Rに提示されている倒立三角形の側に滞在するゼブラフィッシュ♂は, Lに提示されている円の側よりも多かった($t=7.55, df=59, <.001$)。

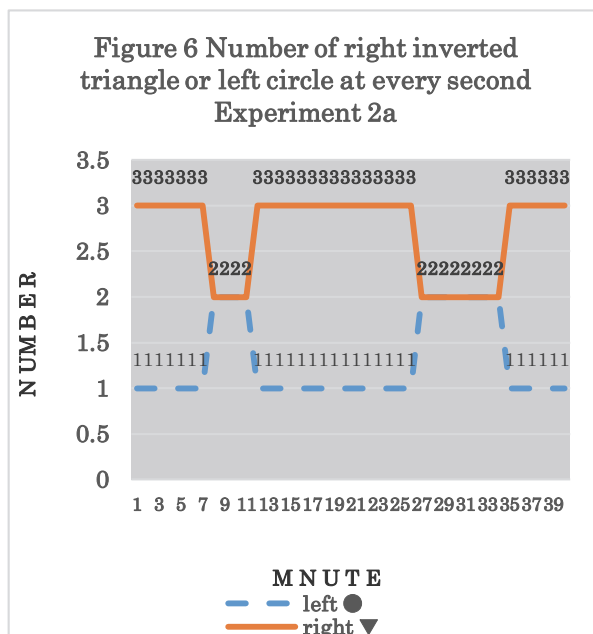
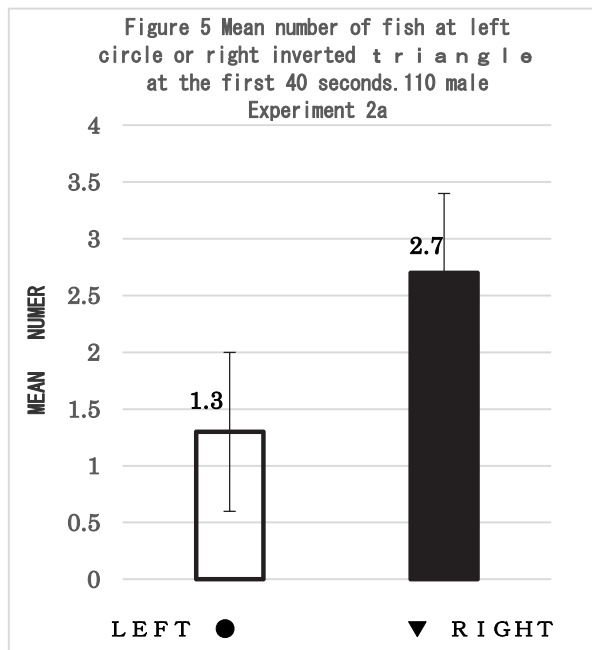
その1秒ごとの時間経過はFigure 8に示されている。ほとんど毎秒ごとにL→R運動を維持してRに提示されている倒立三角形の側にいる。

以上により, 仮説2は確認された。

実験 3

実験2の「倒立三角形の誘目性は円よりも強い」という結果は, 仮説1「ゼブラフィッシュは主にL→Rに非対称に遊泳する」を反映した単なる人工要因である可能性がある。そこで, 提示する図形の位置を逆転させて追試する必要がある。

本実験の目的は, 仮説3「Lに提示しても倒立三角形の誘目性は, 右Rに提示された円よりも強い」を検証することである。

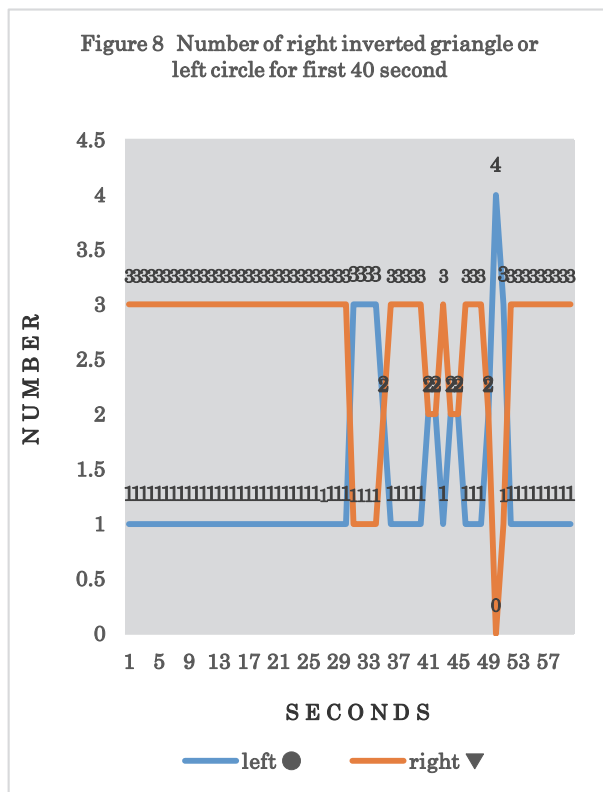
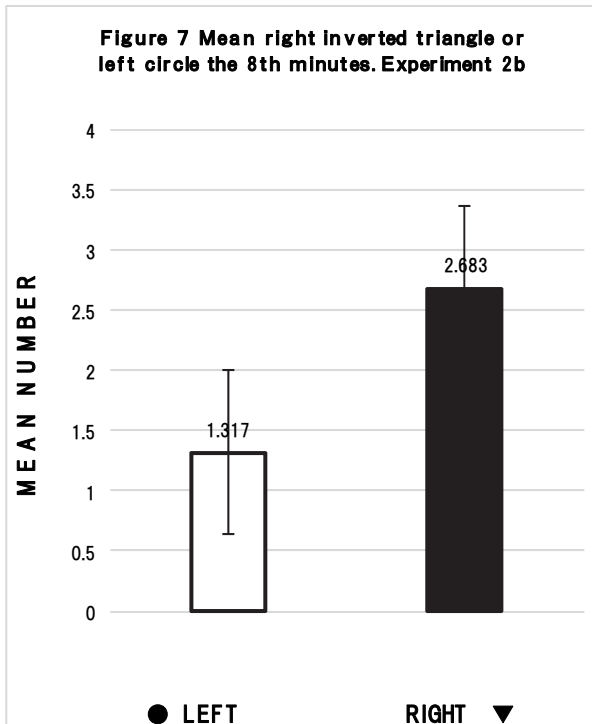


手続き 実験2の50日後に生後160日になった同じゼブラフィッシュ♂4匹が用いられた。左右を逆転させてLに倒立三角形が, Rに円が同時に8分間提示された。その他の詳細は実験2に準じた。

結果と考察

① **最初の40秒間のLの倒立三角形への行動の偏り** Figure 9は, ‘最初の40秒間’の秒単位の

平均匹数である。倒立三角形の提示されている L に滞在するゼブラフィッシュ♂は、円の提示されて

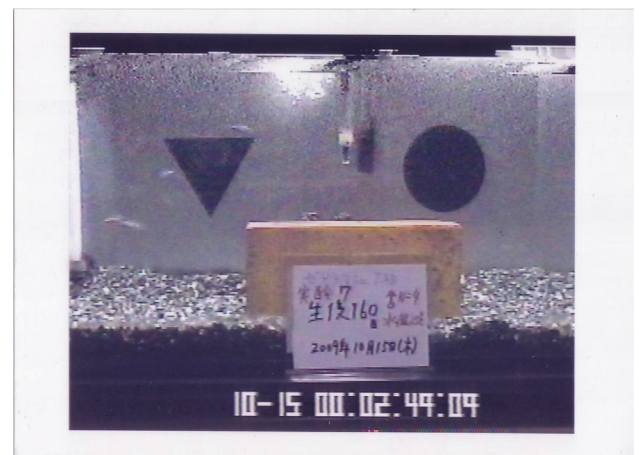
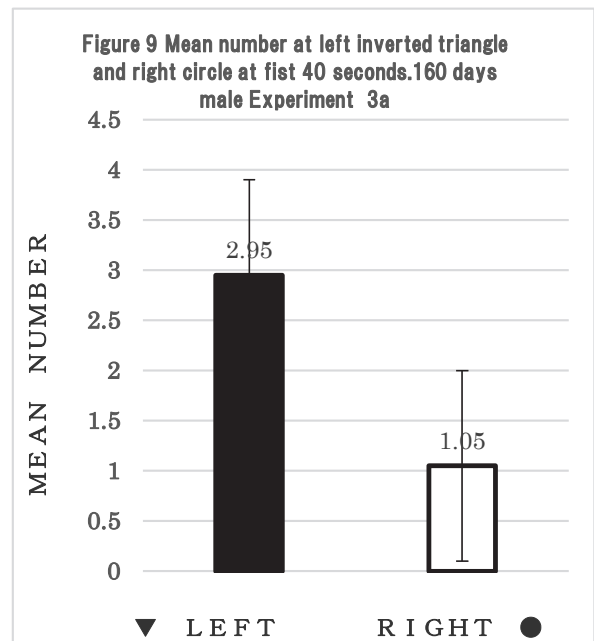


いる R に滞在するゼブラフィッシュ♂よりも多かった ($t=5.21, df=39, p<.001$)。

写真は、今度は突如として左に提示された倒立三角形の側へいったん全員で L←R に遊泳して Uターンして倒立三角形のゲシタルトや上辺を「右脳-左視野」で走査するため早くも L→R 遊泳に戻るゼブラフィッシュの群れである。右の円に向かうのではない。個体の自由度と大胆さは次第に

確保される。

その 1 秒ごとの時間経過は、Figure 10 に示されている。



③ 8 分目の 60 秒間の L の倒立三角形への行動の偏り Figure 11 は、‘8 分目の 60 秒間’の秒単位の平均匹数である。依然として L の倒立三角形の側に滞在するゼブラフィッシュ♂は、R に提示させている円の側にいるゼブラフィッシュ♂よりも多かった ($t=3.42, df=59, p<.001$)。

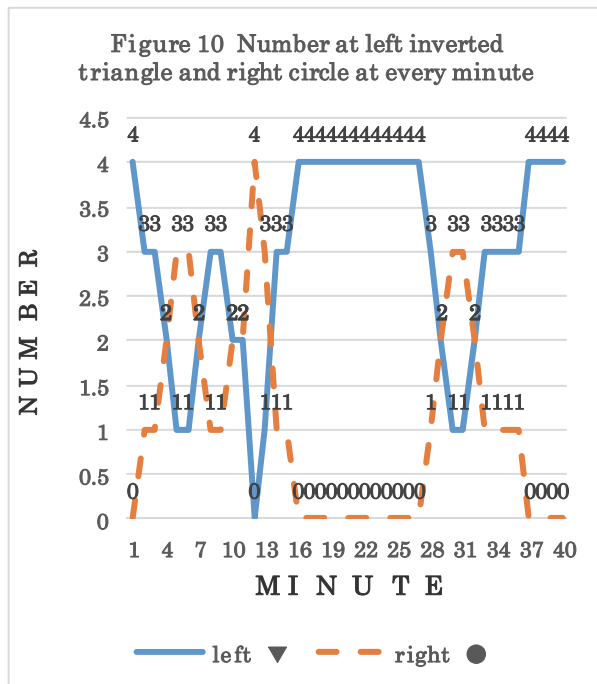
その 1 秒ごとの時間経過は、Figure 12 に示されている。

以上により、仮説 3 は確認された。

実験 4

ゼブラフィッシュ♂を用いた実験 1, 2, 3 によって確認された総合仮説「倒立三角形の誘目性は、左右いずれに提示されても円よりも強い」は、ゼブラフィッシュ♀においても見られるのであろうか。本実験の目的は、仮説 2 「R に提示された倒立三

角形の誘目性はLに提示された円よりも強い」をゼブラフィッシュ♀を用いて検証することである。



かった ($t=28.20, df=39, p<.001$)。

その1秒ごとの時間経過は、Figure14に示されている。

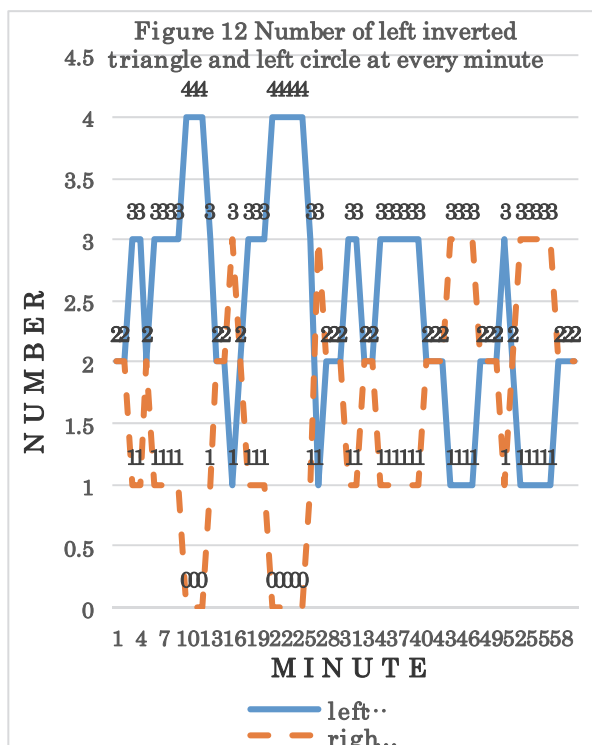
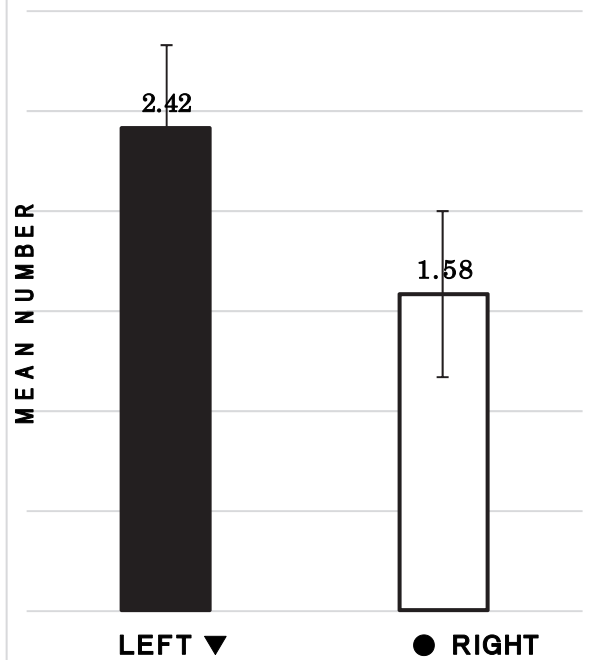


Figure 11 Mean number of left inverted triangle and right circle at 8th minute 160 days male Experiment 3b



ゼブラフィッシュ♀は、時々リーダー1匹のみがL←R運動をして円の在るLに入ったが、1~4秒でL→R遊泳して倒立三角形の提示されているRにリターンバックした。あたかも“円パターンを恐れている”がごとくであり、群れを成してLの円の側へ行くことは決してなかった。

② 8分目の60秒間のRの倒立三角形への行動の偏り行動 Figure 15は、‘8分目の60秒間’の秒単位の平均匹数である。ゼブラフィッシュ♀4匹全てはRの倒立三角形の側に留まり、決してLの円の側には進入しなかった。SD=0のため *t-test* は不可能であった。

ゼブラフィッシュ♀4匹全部が、8分目の60秒間をL→R運動を維持してRの倒立三角形の側に留まっている。以上により、ゼブラフィッシュ♀においても仮説2が確認された。

しかしながら、冬季に入りヒーターと水温管理の不備のためにゼラフィッシュ♀4匹全てが死亡した。そのため、実験5を実行して仮説3「Lに提示された倒立三角形の誘目性は、Rに提示された円よりも強い」をゼブラフィッシュ♀を用いて検証することは出来なかった。

手続き 実験2および実験3で用いた♂と同輩の生後202日になったゼブラフィッシュ♀4匹が用いられた。Rに倒立三角形、Lに円が同時に8分間提示された。その他の詳細は、実験2に準じた。

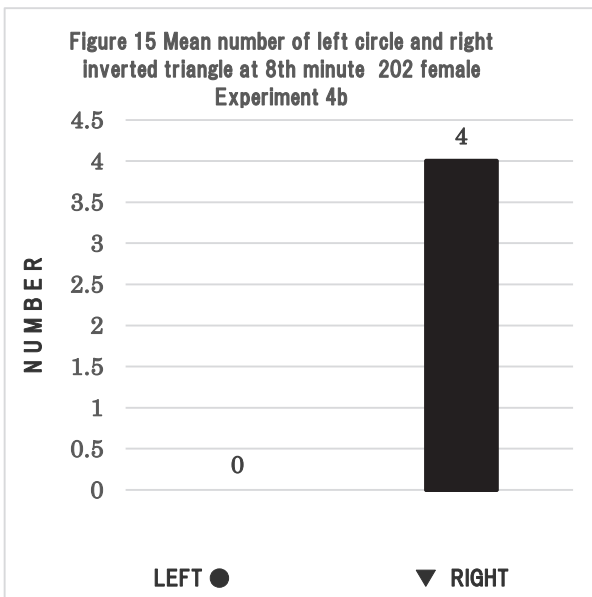
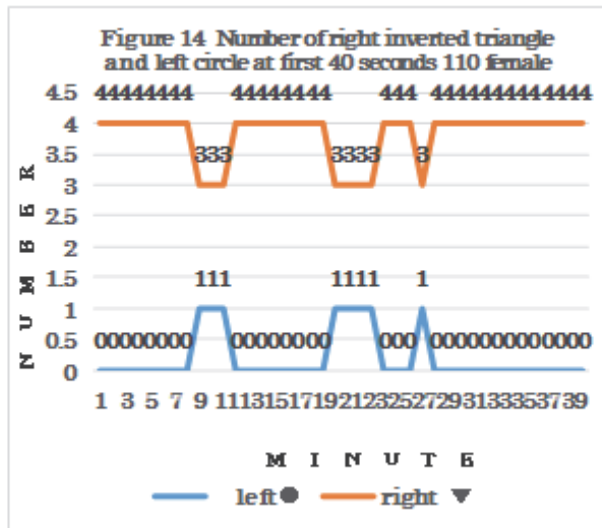
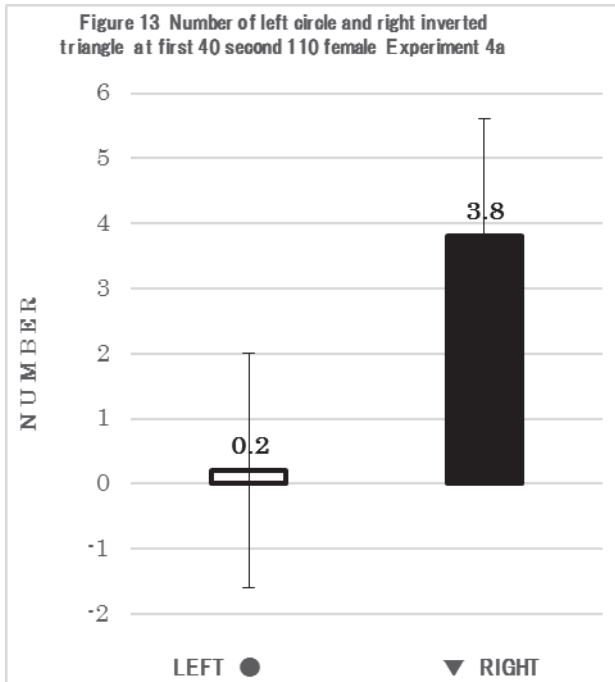
結果と考察

① 最初の40秒間のRの倒立三角形への行動の偏り Figure 13は、‘最初の40秒間’の秒単位の平均匹数である。Rに提示された倒立三角形の側にいるゼブラフィッシュ♀は、Lに提示された円の側にいるゼブラフィッシュ♀よりも決定的に多

総合的考察

一. 生得的な“反時計回り・左から右(L→R)”への視覚運動傾向と神経発生について[生理心理学の謎]

「実験 1」により、ゼブラフィッシュに”左から右 (L→R) への視覚・運動”が生得的に備わっていることが示唆された。初めて入れられた障害



物のない水槽で最初の 20 秒間は 88.75%, 8 分間全体で 58.13%, 上から見れば“反時計回り (横から見れば L→R)”に 有意に多く遊泳する。

Figure 2 によれば、実験開始後 1 秒目から 4 匹すべてが R に集結している。その後、5 秒間にわたって L を探索する。L を探索しに泳いで行くサカナは第 2 秒目が 2 匹、3 秒目が 3 匹、4 秒目が 4 匹である。リーダー、副リーダーを先頭にグループを組んで極めて慎重に問題の L を探索すべく一歩遅れて ‘L←R の視覚的運動’ を示す。5 秒目も 4 匹すべてで L を探索するが、6 秒目にはリーダーが L→R の視覚的運動により R に戻り、その 1 秒後には 4 匹そろって R に戻り、その後は 11 秒間 L→R を保持して魚群として纏まって R に留まる。

さらにゼブラフィッシュは、未経験の砂利の上でしばしば反時計回りの“L→R 視覚・運動”により構成された渦巻群泳を高速に展開していることが判明した。初めての空間を探索するのに、手がかりとなる視覚的パターンを欠いている場合、半径を小さくした渦巻群泳による探索は安全であると考えられる。砂利の床敷きのみが新規なこの環境では、生得的な“L→R の視覚・運動”の出現の前段階として地球の自転と公転に起因する“L→R 運動”の生得的展開が示唆される。DNA に見られるように生命は渦を巻くため、流体力学からのアプローチも要請される。写真は、東京郊外の名水を上から見れば“反時計回り”に、横から見れば“左から右へ”遊泳する鯉の姿である。



視覚の前段階として視覚・運動経験ないし運動産出刺激の重要性は早くから指摘されていた (Senden, 1932; 鳥居・望月, 2009 ; Birch, 1945; Nissen, Chow & Semmes, 1951; Forgy, 1955a, b; Wyrwicka, 1956; Menzel, Davenport & Rogers, 1963a, b; Held & Hein, 1963; Motoyoshi & Mitani, 1965; 望月・鳥居, 2014)。なかんずく鳥居・望月 (1992) は、三角形や円形の探索活動に際して視・運動系 (visual-motor system) による形の弁別活動の萌芽が見られ、<頭を左から右へ動かして行われる>としていて、三谷 (2003a) による

F344/DuCrj ラットの<左から右への線分の視覚走査>の発見やゼブラフィシュの<左から右への泳ぎ>を見出した本研究の結果との整合性が見られることから、明確な“L→R運動”として帰納し演繹できる段階に到達した。

Senden (1932)は、先天性盲人が開眼後に視覚のみを使って正方形、円、三角形、正立方体などの幾何学的対象をそれと認知するのに‘長期にわたる学習を通じての視覚経験を必要とする’ことを示した。しかしながら、失明中にすでにそれらの違いを筋運動の時系列的な記憶の差異によって確実に区別するよう学習しているという。望月・鳥居 (2014)は、15歳で開眼手術を受けた65歳の女性に円形に切り抜いたプラスチック、布、コルク、ガラスなど9種の素材の質感を開眼と閉眼条件で評価させた。中央値43歳の7名の視覚健常者の識別正答率は、視覚95.5%、触覚46.7%であったが、開眼者の場合は、視覚48.2%、**触覚78.6%**で健常者と逆転していた。ブラインドサッカーでは、主に**聴覚的刺激**が使用される。Riesen (1950)は、正常チンパンジーが視野をさえぎり動く対象に瞬きするのに2ヶ月かかるのに、暗室飼育の動物が2週間で瞬きすることから、学習と成熟の両者を仮定した。Ganz, Hirsch & Tiemn (1972)は、視覚剥奪子ネコの視覚皮質に高度に選択的細胞があることを示唆している。Fanz (1961)は、刺激剥奪が臨界期を過ぎて長くなると正常化に時間がかかる逆行性成熟 (backward maturation) を示し生得的能力、成熟、学習の三者の交互作用を仮定した。Gottlieb & Kuo (1965)は、アヒルは26, 27日目の孵化前一週間で光に反応することを見出した。孵化前でも、卵の殻を通しての散乱光、音、重力、さまざまな自己刺激 (self stimulation) などの刺激作用が考えられる。Kawakami *et al.* (2003), 川上・篠原 (2005)は、マウスの左右の海馬シナプス NMDR リセプターの e2 サブユニットの構造と機能の両レベルの左右非対称性<left right 「LR」 asymmetry> を分子レベルで解明した。Aizawa *et al.* (2005), Aizawa *et al.* (2007)は、ゼブラフィシュの神経発生における時間に制御されたLとRの非対称な差異を見出し、発生に伴う情報は“左から右へ送られる (left-right information onto)”としている。

二. 知覚学習以前に生活体は円パターンを避け倒立三角形パターンに近づくことについて [生理心理学の謎2]

ゼブラフィシュに“左から右 (L→R) への視覚・運動”が生得的に備わっていることが実験1により示唆されたにもかかわらず、それよりも強い黒い円パターンを避け外周の等しい黒い倒立三角形パターンに近づく傾向が生得的に備わっていることが実験2, 3, 4により明らかにされ

た。写真は、実験4のゼブラフィシュ♀のリーダーが右に提示された生まれて初めて見る愛する倒立三角形の低角を左脳-右視野でゆっくりと味わっている姿である。



Hebb (1949) と Hymovitch (1952) を原点とする **豊富な環境** (enriched environment) ないしは自由環境箱を効果的にする要素を迫ると「視覚-運動経験」と「視覚的経験」とが知能と性格を向上させることが明らかになった (三谷, 1969, 2003a)。F344/Crj♂を用いて「視覚的経験」を究極にまで追求した結果、黒い正立三角形の誘目性は、PL以前に黒い円よりも強いことが見出されている (三谷, 2003a)。これらの研究は、2つの図形の外周を等しくして実施されたが、面積を等しくした場合も本質的な差異はかった (三谷 1989a, 1996a, 2003a)。

マカクザルとヒヨコの単一細胞を用いた一連の研究を総括して Hubel & Wiesel (1979), Hubel, Wiesel & Stryker (1978) は、第1次視覚皮質である線条体、すなわち17野のIV層の外 (IVa) は、特定の方向の線分刺激にもっともよく反応するとして **特定方向細胞** (orientation specific cells) と呼び、その機能は生得的で不使用 (disuse) によって退化するとした (Hubel & Wiesel, 1963a, b)。倒立三角形の認知に際しては、3つの特定方向細胞が使用されるが、円を受容する細胞はない。

Goldstone (1998), Goldstone, Britethwaite & Byrge (2011) は、PLのメカニズムとし「注意の重

みづけ」「刻印付け」「分化」「使用」の4者に整理し、別に**潜在構造は生得的であるかもしれない**としている。Nelson & Sanjuan(2009)は、ヒトの2刺激への提示における条件性抑制(conditioned suppression)課題におけるPLを連合学習から説明し、Hall(2014)は、動物の弁別理論はヒトのPLを説明できるかを検討している。しかし、本研究においては、1刺激のみ提示されていて2刺激間連合は生じえない。Fahle & Poggio(2002)もPLは、古典的条件づけにも道具的条件づけにも依存していないため、連合学習とは異なるとしている。

Wertheimer(1923)は、最少エネルギーの法則のプレグナンツの法則に基づき三角形よりも円を良い形(good figure)とした(Koffka, 1935, p151)。しかしながら、Hebb(1949)は、知覚の重要な要素として曲線ではなく線と角を指摘し、細胞集成体のモデルとして3つの角A, B, Cで構成された三角形を使用した。Kandinsky(1955)は、絵画を構成するのは点と線であり、基本的対比要因として直線と曲線、三角形と円、黄色と青色であるとした。三角形と円に注目すれば、両者の面積(R)を等しくしても境界線(B)は三角形の方が長くなる。宗宮・宗宮(1976)は、B/R ランクオーダーは三角形>四角形>円であるとして図形の強さの概念を提示したが、Ito, Sugata & Kuwabara(1995)は、三角形の**視覚誘発電位(VEP)**は円よりも強いが、四角形と円のそれらは変わらない結果を示して三角形>四角形=円であるとした。

ゲシュタルト心理学を改革した Kaniza(1976, 1979)は、ある視覚的刺激作用でヒトが全体の物理的布置には無い“**三角形の主観的輪郭(subjective counter of triangle)**”を認知することを示し、ヒヨコ、フクロウ、マウス、ネコ、リーサザル、ニホンザル、チンパンジーにおいても見出されている(永沢・長田, 2000)。岡崎・三谷(2001)は、キングョが三角形の主観的輪郭の有無のディスクリミナンドを弁別することを示した。Kaniza(1976)は、次のような視覚システムの補完仮説を提示している。主観的輪郭は、弱い曲線図形や複数の点によっても現れ、過去経験や知識や主観的構えに依存しない、不完全な図形に対しては、必要な輪郭が視覚システムから提供される、図形をもっともらしくするためには、過去の諸経験は十分なものではないなどである。彼は、合、対称、線分の集合的配列、図形の構造的条件、良い形、全体の特性と意味、関係枠のような非経験的要因を強調した。以上のような主張にもかかわらず、円の主観的輪郭は、ほとんど認知されない。Kaniza(1976)は、十字の中央部をカットしても小さな円が知覚されうるとしたが、凝視すると消失する。それに反して、3つの点を要素として配置すれば、三角形は認知

されるが円は認知されない。両図形は、歩み寄ることが困難な幾何学的要素のみならず形状的にゲシュタルト的にも全く異なった形状であると結論される。

三谷(1993a, b, 1995a)によれば、F344ラットは、三角形を時には18秒間も凝視する(次頁の大図参照)。それに反して、円は決して凝視できなく、外周を目で走査することもなく、曲線図形は生得的に認知しにくいことを示唆した。<初めて見る円>をF344/DuCrjラットは、斜線による**接線状走査(tangential scanning)**、外周の境界点を1, 2秒見る、‘円の外のある点’を見つめて目に見えない三角形(invisible triangle Kaniza, 1976, 1979)をイメージして円を捉えるなどの方略が示唆されている。次頁の図の右側は、三角形の要素である‘**辺**’が走査され15秒間も凝視(fixation, ●は5秒間)されるのに反して、図の左側は**特定方向細胞では対応できない円に対しては受容器を欠くため**①接線で走査する、②1, 2秒間境界点を走査する、③目に見えない三角形をイメージしその頂点を凝視する、④特に右斜めの接線で走査する、⑤円内部を注視するなどの戦術が試行錯誤される姿である(三谷, 1992a, 1995a, 1996a)。

三. PLは三角形により生起するが円形によって破壊され、LIは三角形により生起しないが円形によって生起することについて

実験1, 2, 3より、PLは三角形による刺激作用によって生起するが、円による刺激作用によっては生起しなく、LIは円によって生起するが三角形によっては生起しないことが再び確認された(三谷, 2003a, b)。連合説は、PLは如何なる刺激にも生起する正の興奮量の増大であり、LIは逆に如何なる刺激にも生起す負の興奮量であり、両者の加算による正味の興奮量によって説明しているが(Lubow & Moore, 1959; Lubow, 1973; Mackintosh & Bennet, 2009; Mackintosh, Kaye & Bennet, 1991)、それが妥当ではないことが再び示唆された。Mitani(1984)、三谷(1992, 2003a, 図9-1)は、それに替わるシエマを提示している。Rescorla(1987)は、“**ゴールに向けられた行動のPavlov的分析**”を展開しているが、本研究におけるゼブラフィシュの行動には**ゴールはない**。

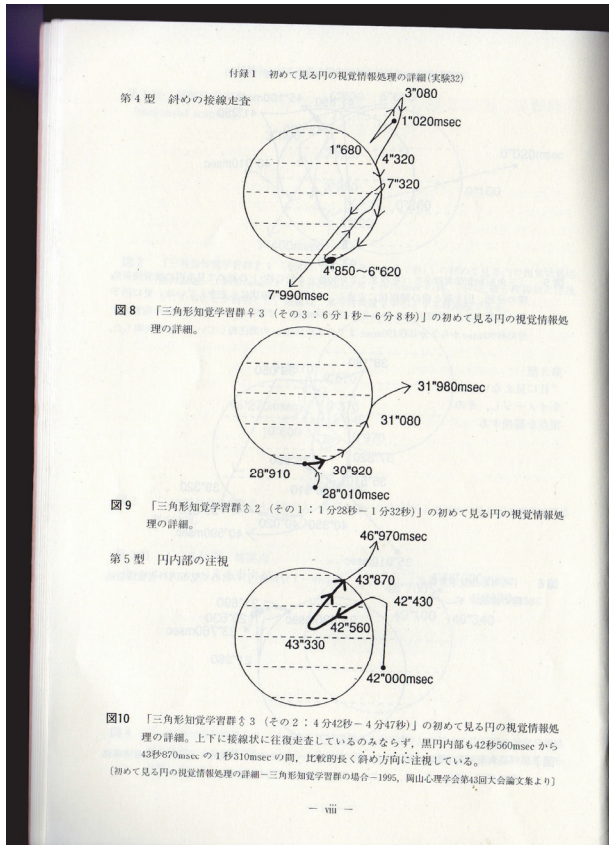
中島(2014)は、現代連合学習理論の50年を古典的条件づけ中心に慎重に展望している。

四. 「**三つの線分と三つの角により構成された倒立三角形**」の重要性と側抑制の生起

ゼブラフィシュは、「**倒立三角形の要素である三つの線分のうち**水平線分である上辺****」を特800ミ

リ秒かけて L→R に視覚走査する (森本・三谷・柴田・阿部, 2009) ことは, 本論文においても実験 2, 3 の写真のように確認された。同様に「その低角」に注目することも実験 4 の写真のように確認された。倒立三角形の各辺と各角の受容における神経細胞間の側抑制(lateral inhibition)のメカニズムも示唆される。

に反対した Peitgen & Richter(1986)は, よく検討することなく“自然に直線は存在しない”として Mandelbrot(1977, 1982)の自然のフラクタル幾何学に共鳴し, 秩序からカオスへの遷移と制御不能なカオスの美を説いた。自己相似性をもつジュリア集合は虚数(imaginary number)を含む複素平面上の力学系 $x^1 \rightarrow x^2 + C$ のマンデルブロー集合(M)であるとし, コンピュータの初期値 x_0 を与えて CRT に生成される予測



付録2 初めて見る三角形の視覚情報処理の詳細(実験32)

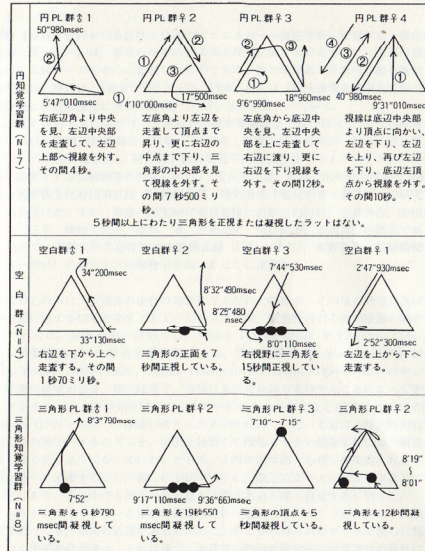


図4 三角形を5秒間以上にわたり凝視または正視した場合の記録。黒丸一つを“5点”と評価すれば「円知覚学習群(N=7)」は“6点”,「空白群(N=4)」は“20点”,「三角形知覚学習群(N=8)」は“35点”となる。

(初めて見る円の視覚情報処理の詳細-三角形知覚学習群の場合-岡山大学文学部紀要, 1995, 23, 19-106より)

Bentley (2008) は, 『数の宇宙-ゼロ(0)から無限大まで-』の中でさまざまな例を挙げて“3”という数字は非常に重要であるとし, それを完璧に体現している形は, 「三つの辺と三つの角(あるいは頂点)がある三角形」であるとしている。

近年にも細谷(2013)は, 『三角形の七不思議』として正三角形の不思議な性質, 不等辺三角形の不思議な性質, ピタゴラスの三角形, 辺長・角度・面積の3要素が整数になるヘロンの三角形, 三角定規で遊ぶ, 1角が120°で短い方からの3辺とも整数であるが

$$a^2 + b^2 + ab = C^2$$

が成り立つアイゼンシュタインの三角形, 二等辺三角形と黄金三角形を著した。しかしながら, 側抑制, カニツアーの三角形, 円を避け三角形を求めるなどの“三角形の心理・生理的作用”については全く触れていない。一部にはピラミッドパワーのような話もあるが, 生命科学と生命現象を回避した場合の幾何学との乖離も著しい。

このような Galileie, Galileo (1632)の秩序説

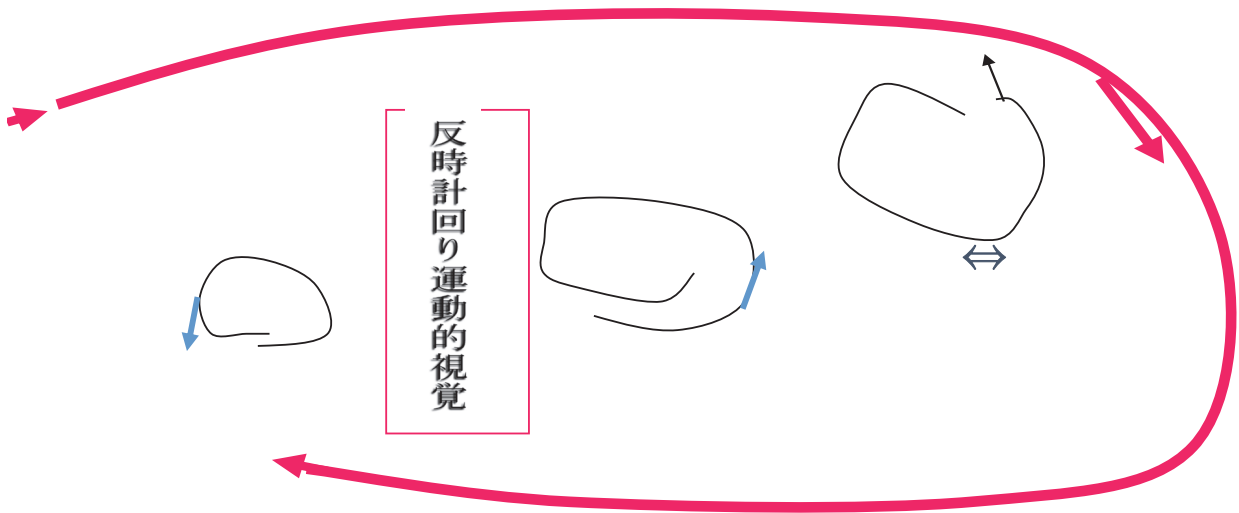
不可能な図形とした。彼らが空間(space)に時間(time)を導入した螺旋を示唆した点は実験1から支持されるが, L→R と L←R の間に存在する‘非対称な秩序’や‘個体を越えた群泳’は説明出来ない。円形は, 一定の半径の運動により成り立つゼロの辺とゼロの角の秩序ある形状である。それにもかかわらず, 実験 2, 3, 4 から三角形の秩序は生得的に好まれ, 円形の秩序は生得的に回避されるのは何故であろうか? 非ユークリッド幾何学(寺坂, 2014)からの回答も待たれる。

最近「東京の葛西臨海公園のマグロ, 160匹いた魚は3匹に」と報じられ, 原因不明として大きな問題となっている。1989年, 世界で初めてマグロの群泳展示に成功していた。ハガツオと小型マグロのスマはすでに全滅しているという。水質, 寄生虫, 騒音などストレスは検討されたがく倒立三角形環境療法(三谷, 2012)の可能性は未だに検討されていない。

序文⑩に述べたように, 先の3実験を通して幾何学パターンとの差異によるサバイバル率は三角

左半球—右視野—の時計回りの意思的な慎重な視覚走査
 < と (AND/OR) ⇔ >
 右半球—左視野—の反時計回りの無意思的な急速な視覚走査

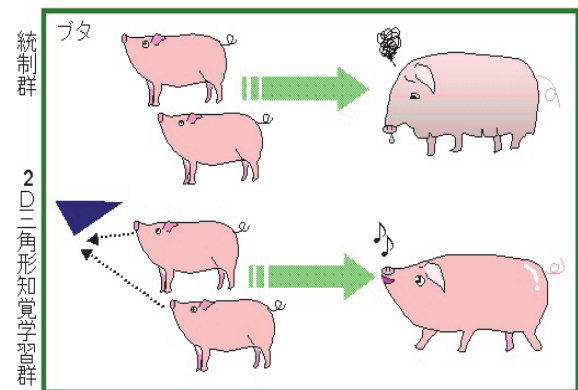
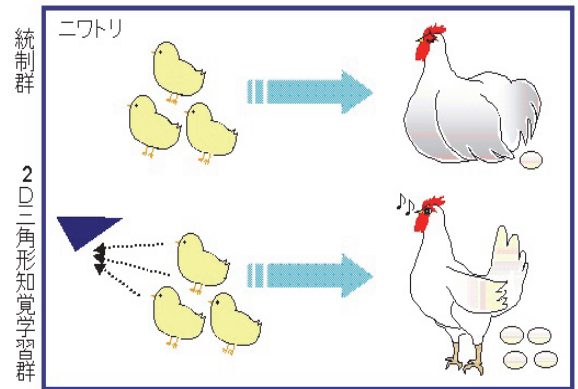
時計回り運動的視覚



形 PL(知覚学習)の場合は 95%，曲線または円 PL の場合は 55%，ブランク・無地 PL の場合は 55% であった(三谷, 1989a)。胃には強化・食物 (reinforcement) は与えられるが，目と脳に対する倒立三角形という食物を欠く場合には，生活体の 45% は狂い突然死(sudden death)するのである。

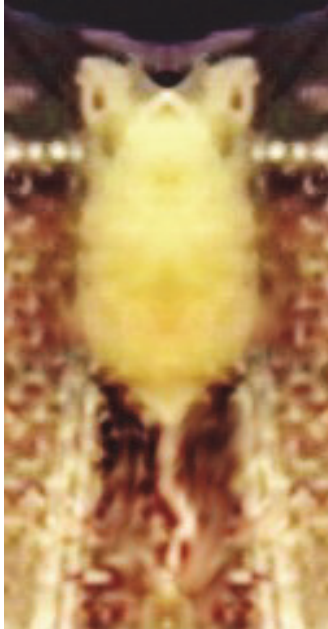
その原因は，曲線や無地を受容する特定方向細胞が解剖学的に無いため，脳の不使用(disuse)が慢性的になり身体は成長しても CNS が退化し軽くなりマグロの精神が破壊されていくためであると本論文をエビデンスとして考察される。自然の海洋には多くの山，岩石，谷，直線と角があり，変化して渦巻く水流と安らぐ院れ処がある。せめて，ガラス壁に倒立三角形が一つでも提示されていれば，その感覚・知覚・認知に際しては，45 度-水平-135 度の 3 つの特定方向細胞カラムが 1 秒 1 秒と使用され健康を保持できる(Hubel & Wiesel, 1963a, b)。

株式会社エイチ・エス・ピーの山下らは，岡山工場内のニワトリのメス 2 羽を透明ビニール壁の飼育ケージで 6 カ月間飼育した。その壁面にはブルーの長辺約 10cm の「倒立三角形」を数個提示し続けた。その結果，卵を毎日産み視線がしっかりしイライラした無駄な攻撃をしない効果的闘争者となり，人間との社交性も極めて向上した。ところが三角形のない通常ケージに移されると，産卵も不規則になり心理的行動レベルも低下した。



五. 「右脳-左視野-左への高速反時計回り遊泳」と「左脳-右視野-右へのゆっくりとした意思的時計回り遊泳」の AND/OR について

魚類の脳にも左脳と右脳の二つの脳があり、その脳-神経-筋肉-骨のネットワークは首部でクロスして**非対称**である(三谷, 2012)。下のラットの写真は、13秒450ミリ秒から990ミリ秒まで頭部と首を左右にぶるぶると振りながら円を<左脳-右視野>に視覚走査しようとしている F344/DuCrj ラット♂の姿である(三谷, 2003a)。



このように円は、一瞬でも正視不可能である。円形の間燈や街燈が一時は爆発的に普及したが、今は急激に姿を消してきている。円形や球形である場合は、水平線や十字を付加するディテールが工夫されてきている。

禅門では「一円相」として「○」を描くが(南陽慧忠禅師 675~775)、本論文からは如何に位置付けることができるのであろうか。全体の中でただ「一」つの円が存在することが重要であるのであろう。実際、円窓、円型色紙額、壺、月光の美しさは唯一つであることである。その円い図(figure)を支えるのは地(ground)となり背景をなす柱、梁、整頓された本棚、畳などの多くの直線と角である。

しかしながら、実験 2, 3, 4 は「一つの円」と「一つの倒立三角形」で遂行されその人工要因は統制されている。しかし、「三角形、ある種の松葉、紅葉は奇数であり円は偶数」である。奇数の形状は非対称を形成しやすく誘目性は高い。古来「心は形を求め、形は心を進める」ということばがあるが、今日まで「心は倒立三角形を求め、倒立三角形は心を進める」とはされてこなかった。

実験 2 のようにゼブラフィッシュ♂間にいじめが生起してしている場合は、いじめられる痩せ衰えた個体は円空間に追いやられ、大切な倒立三角形空間にアプローチしようとする罰せられた(阿部・三谷・柴田・森本, 2009)。その強烈な

いじめも、直線や回り道を含んだ変化する 3D の環境療法(三谷, environmental therapy, 2012)によって治療できる。

ゼブラフィッシュの脳-神経-筋肉-骨ネットワーク(三谷, 2012)は、流体力学の展開する水槽を時間を加えた 4D 環境と認知して方向を変える腹びれ、早さを変える胸びれ、身体を安定させる尻びれ、泳ぐ尾びれ、抵抗を防ぐ背びれなどを時に分化(integration)させ時に統合(integration)させフィードバック(feedback)とフィードフォワード(feedforward)の双方を刻々と螺旋状に駆使しながら新奇な 2D 倒立三角形に精神の抛り所を求め、円を恐れながらも次第に探索していく。螺旋は、2D の「うずまき線」と 3D 以上の「つるまき線」とがある(宮崎, 2003)。うずまき線のうち左回りは「対数螺旋」、右回りは「アルキメデス螺旋」であるという。

Hamamé, Cosmelli, Henriquez & Aboitiz(2011)は、PL における 2 段階説に基づきヒトの左右半球の γ 波と α 波の視覚誘発電位(EVP)と心理的過程との対応を追及している。しかしながら、被験者の顔面は固定されて 150 試行も遂行されている。

それに対して、本研究のゼブラフィッシュは生まれて初めて最初の 40 秒の何の拘束も加えないことにより上から見れば「右脳-左視野-左への高速反時計回り螺旋状水中遊泳」と(AND/OR)「左脳-右視野-右へのゆっくりした意思の時計回り遊泳」が可能であり、実験条件なり状況が乖離している。水を押してゆっくりと歩くプールでは、いつの間にか時計回りになるが、陸上 400m トラック競走やスケートの 3, 4 回転ジャンプでは常に反時計回りである。その 4D シェマ図は、前頁のごとくである。

Wing, Haggard & Flanagan(ed. 1996)は、“手”の動きの神経生理学と心理学を積分筋電位の筋肉の空間と時間から追求している。

Verschure, Voegtlin & Douglas(2003)は、可動ロボットにおける PL と行為の協働に到着しているのは評価されるが、左右の「二つの脳を持ったロボット」は視野に無い。但し、左右非対称に作動するマッサージ機器は日本で開発されている。以上のように、“心は何も書かれていない白紙である(tabula rasa)”とした Locke(1689)の理論を盲目的に信じるのは誤りである。Leibnitz(1703, 1765)は、tabula rasa を批判し、心に生得的にディレクトリーのごときものがあるとした。

近年、O'Keefe & Recce(1993), Jarosiewicz & Skaggs(2004)らの視覚信号や臭覚信号による場所細胞(place cell), 格子細胞(grid cell), 脳の航海場所(brain's navigational place), 内在 GPS(Global Positional System), 海馬(hippocampus)など内嗅領(entorhinal cortex)の六角形(hexagon)による統合的ネットワークの指摘により 2014 ノーベル生理学・医学賞が, John

O'Keefe, May-Bitt Moser & Edvard I. Moser に授与された。装置は直走路や広場である。6 角形は、3 角形に解体できる。しかし、「左脳-右視野」と「右脳-左視野」を対称としてきたこれまでの生理心理学と人工知能学の誤りには言及していない。

結 論

初期経験を統制したゼブラフィッシュ♂4 匹と♀4 匹による 4 実験の 30-30-40 ミリ秒行動分析による帰納と演繹に基づき、以下の結論が得られた。

[1] 生活体には、上から見れば初めて遭遇した砂床敷きに半径の小さい「右脳-左視野-左への高速反時計回り(L←R)螺旋円形遊泳」と半径の大きい「左脳-右視野-右へのゆっくりした意思的時計回り(L→R)楕円形遊泳」があり、この二つの異なる運動を統合しながら、横からみれば DNA と同じく全体として左から右へ運動する。そのメカニズムは、地球の自転と公転の起源と関連している可能性がある(実験 1)。

[2] それにもかかわらず、左右いずれに提示しても等周長の 2D の知覚学習以前に生活体は外的環境の円パターンを恐れるごとくに避け、リーダーを先頭に集団で倒立三角形パターンに近づく。発生の段階から三角形の誘目性は強いとする三谷(2003, 2010)の結果が再確認された(実験 2, 3, 4)。

[3] 以上のように、円形と倒立三角形は、心理生理学的に異なる幾何学図形であり、その精神物理学は引き続き追求されねばならない。

謝辞 本研究を遂行するにあたり充実した化学実験室を提供された IPU・環太平洋大学、2 波にわたりゼブラフィッシュを分与いただいた国立遺伝学研究所初期発生部門の川上浩一教授、先天性盲人の開眼手術前後の Senden(1932)、Hebb(1949)、London(1960)の文献研究を日本に導入翻訳され、自ら現在も研究を継続されている鳥居修晃東京大学名誉教授ならびに望月登志子日本女子大学名誉教授の長期にわたるご配慮に深甚な感謝の気持ちを捧げます。

引用文献

- 阿部力・三谷恵一・柴田智也・森本大樹 2009 ゼブラフィッシュの“いじめ”と環境療法 岡山心理学会第57回大会発表論文集, 57-58.
- Adler, H. E. 1955 Some factors of observational learning in cats. *J. Genet. Psychol.*, **86**, 159-177.
- Aizawa, H., Bianco, L. H., Hamaoka, T., Miyashita, T., Uemura, O., Concha, M. L., Russeell, C., Wilson, S. W. & Okamoto, H. 2005 Laterotopic representation of left-right information on onto the dorso-ventral axis of a zebrafish midbrain target nucleus. *Current Biology*, **15**, 238-243.
- Aizawa, H., Goto, M., Sato, T. & Okamoto, H. 2007 Temporally regulated asymmetric neurogenesis causes left-right difference in zebrafish habenula structures. *Developmental Cell*, **12**, 87-98.
- Andersen, G. J., Ni, R., Bower, J. D. & Watanabe, T. 2010 Perceptual learning, aging, and improved visual performance in early stages of visual processing. *Journal of Vision*, **10**, 1-13.
- Attneave, F. 1954 Some informational aspects of visual perception. *Psychol. Rev.*, **61**, 183-193.
- Beach, H. G. & Jaynes, H. 1954 The effects of early experience upon the behavior of animals. *Psychol. Bull.*, **51**, 239-263.
- Bedford, F. L. 1995 Constraints on perceptual learning: objects and dimension. *Cognition*, **54**, 253-297.
- Bejjanki, V., Beck, J. M., Lu, Z-L. & Pouget, A. 2011 Perceptual learning as improved probabilistic inference in early sensory areas. *Nature Neuroscience*, **14**, 642-648.
- Bentley, P. 2008 The book of number-The secrets of numbers and how they created our world. Octopus Publishing, UK. (日暮雅通訳 2009『数の宇宙-ゼロ(0)から無限大まで-』悠書館)
- Bitterman, M. E., Calvin, A. D. & Elam, C. B. 1953 Perceptual differentiation in the course of nondifferential reinforcement. *J. Comp. Physiol. Psychology*, **46**, 393-397.
- Bitterman, M. E. & Elam, C. B. 1954 Discrimination following varying amounts of nondifferential reinforcement. *Amer. J. Psychol.*, **67**, 133-137.
- Birch, H. G. 1945 The relation of previous experience to insightful problem-solving. *J. Comp. Physiol. Psychology*, **38**, 367-383.
- Blakemore, C., Nachimias, J. & Scutton, P. 1790 The perceived spational frequency shifts: Evidence for frequency-selective neurons in the human brain. *Journal of Physiology*, **210**, 727-750.
- Chirimuuta, M., Burr, D. & Morrone, M. C. 2006 The role of perceptual learning on modality-specific visual attentional effects. *Vision Research*, **47**, 60-70.
- Ghose, G. F., Yang, T. & Maunsell, J. H. R. 2002 Physiological correlates of perceptual learning in monkey V1 and V2. *Journal of Neurophysiology*, **87**, 1867-1888.
- Darby, C. L. & Riopelle, A. 1959 Observational learning in the rhesus monkey. *J. Comp. Physiol. Psychology*, **52**, 94-98.
- Dixon, M. L., Rupperl, J. & Patt, J. 2009 Learning to ignore: Acquisition of sustained attentional suppression. *Psychonomic Bulletin & Review*, **16**, 418-423.
- Drever, J. D. 1960 Perceptual learning. *Annual Review of Psychology*, **11**, 131-160.
- Dondri, D. I. & Kane, E. 1965 Perceptual learning produced by common responses to different stimuli. *Can. J. Psychol.*, **19**, 15-30.
- Eccles, J. C. & McIntyre, A. K. 1953 The effects of disuse and activity on mammalian spinal reflex. *J. Physiol.*, **121**, 492-516.
- Eccles, R. M. & Westerman, R. A. 1959, Enhanced synaptic function due to excess use. *Nature*, **184**, 460-461.
- Ernst, A. J., Yee, R. & Dericco, D. 1976 Effect of angles stimulation during development on adult discriminatin ability in rats. *Animal Learning & Behavior*, **4**, 241-246.
- Epstein, W. 1967a *Varieties of perceptual learning*. New York: McGraw-Hill.
- Epstein, W. 1967b Perceptual learning resulting from exposure to a stimulus invariant. *Amer. J.*

- Psychology*, 80, 205-212.
- Fahle, M. & Poggio, T. 2002 *Perceptual learning*. The MIT Press
- Fanz, R. L. 1956 A method for studying early visual development. *Percept. Mot. Skills*, 6, 13.
- Fanz, R. L. 1958 Pattern vision in young infants. *Psychol. Record*, 8, 43-47.
- Fanz, R. L. 1961 The origin of form perception. *Sci. Amer.*, 204(5), 66-72.
- Fanz, R. L., Ordy, J. M. & Udelf, M. S. 1962 Maturation of pattern vision in infants during the first six months. *J. Comp. Physiol. Psychology*, 55, 907-917.
- Fahle, M & Poggio, T. 2002 *Perceptual learning*. Cambridge, MA:MIT Press
- Forgus, R. H. 1954 The influence of early perceptual learning on the behavioral organization of adult rats. *J. Comp. Physiol. Psychology*, 47, 331-335.
- Forgus, R. H. 1955a Early visual and motor experience as determiners on the behavioral organization of adult rats. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 47, 331-335.
- Forgus, R. H. 1955b Influence of early experience on maze-learning with and without visual cues. *Can. J. Psychol.*, 8, 207-214.
- 藤田統 1968 生体が受容する刺激の意味について(その2) 一刻印づけの研究を中心として 東京教育大学教育学部紀要, 14, 53-67.
- 藤本清・八木昭弘 1999 仮現運動知覚の能動的過程と受動的過程が視覚誘発電位に及ぼす効果, 生理心理学と精神生理学, 17, 173-181.
- Galilei, Galileo 1632 『二つの最も主要な宇宙体系に関する対話』
- Ganz, L. 1978 Innate and environmental factors in the development of visual form perception. In H.-L. Teuber (ed.), *Handbook of sensory physiology. Vol. VIII*. Springer-Verlag, Berlin, p. 437-488.
- Ganz, L., Hirsch, H. V. B. & Tiern, S. 1972 The nature of perceptual deficits in visually deprived cats. *Brain Res.*, 44, 547-568.
- Gerganov, A., Grinberg, M., Quinne, P. C. & Goldstone, R. L. 2007 Stimulating conceptually-guided perceptual learning. *Proceedings of the twenty-ninth annual conference of the cognitive science society*. 287-292.
- Ghose, G. M. & Maunsell, J. 1999 Specialized representations on visual cortex: A role for binding? *Neuron*, 24, 79-85.
- Gibson, E. J. 1963 Perceptual learning. *Annual Review of Psychology*, 14, 29-56.
- Gibson, E. J. 1991 *An odyssey in learning and perception*. Cambridge, MA:MIT Press.
- Gibson, E. J. & Walk, R. D. 1956 The effect of prolonged exposure to visually presented patterns on learning to discriminate them. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 49, 239-242.
- Gibson, E. J. & Walk, R. D. 1960 The "visual cliff". *Scientific American*, 202, 64-71.
- Gibson, E. J., Walk, R. D., Pick, H. L & Tighe, T. J. 1958 The effect of prolonged exposure to visual patterns on learning to discriminate similar and different patterns. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 51, 584-587.
- Gibson, J. J. 1959 Perception as a function of stimulation. In Koch(ed.) *Psychology: A study of a science*, Vol. 1, McGraw-Hill. pp. 456-501.
- Gibson, J. J. 1966 *The theory of information pick-up*. in Gibson, J. J. 1966 *The senses considered as perceptual systems*. Houghton Mifflin, X. 266-286.
- Gibson, J. J. & Gibson, E. J. 1955a Perceptual learning: Differentiation or enrichment? *Psychological Review*, 62, 32-41.
- Gibson, J. J. & Gibson, E. J. 1955b What is learned in perceptual learning? A reply to Professor Postman. *Psychological Review*, 62, 447-450.
- Gold, J. M., Sekuler, A. B. & Bennett, P. J. 2003 Characterizing perceptual learning with external noise. *Cognitive Science*, 28, 167-207.
- Goldstone, F. L. 1998 Perceptual learning. *Annual Review of Psychology*, 49, 585-612.
- Goldstone, R. L., Britethwaite, D. W. & Byrge, L. A. 2011 Perceptual learning. In N. M. See (ed.) *Encyclopedia of the Science of Learning*. Heidelberg, German: Springer Verlag GmbH.
- Gottlieb, G. & Kuo, Z-Y. 1965 Development of behavior in duck embryo. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 9, 183-188.
- Ghose, G. M., Yang, T. & Maunsell, J. H. R. 2001 Physiological correlates of perceptual learning in monkey V1 and V2. *Journal of Neurophysiology*, 87, 1867-1888.
- Gregory, R. L. 1998 *Eye and brain* (Fifth edition) Oxford University.
- Gruber, T., Muller, M. M. & Keil, A. 2002 Modulation of induced Gamma band responses in a perceptual learning task in the human EEG. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 732-744.
- Hall, G. 2008 Perceptual learning. in J. Byrne (Editor-in-Chief) & R. Menzel (Vol. ed.) *Learning and memory: A comprehensive reference. Vol. 1: Learning theory and behavior*(pp.103-121). Amsterdam:Elsevier.
- Hall, G. 2009 Perceptual learning in human and nonhuman animals: A search for common ground. *Learning & Behavior*, 37, 133-140.
- Hall, G. 2014 Can theories of animal discrimination explain perceptual learning in humans? *Psychological Bulletin*, 140, 283-304.
- Hamamé, C. H., Cosmelli, D., Henriquez, R. & Aboitiz, F. 2011 Neural mechanisms of human perceptual learning: electrophysiological evidence for a two-stage process. *PLoS ONE* 6, 1-20.
- 春木豊 1965 観察学習と代理性強化(2) 日本心理学会第29回発表論文集, p. 135.
- 春木豊・柳瀬徹夫 1967 ネコの観察学習 動物心理学年報, 第17輯, 19-24.
- Hebb, D. O. 1937 The innate organization of visual activity. II. Transfer of response in the discrimination of brightness and size by rats reared in total darkness. *Journal of Comparative Psychology*, 24, 277-299.
- Hebb, D. O. 1947 The effects of early experience on problem solving at maturity. *Amer. Psychologist*, 2, 306-307.
- Hebb, D. O. 1949 *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. New York Wiley. (白井

- 常訳 1957『行動の機構』岩波書店；鹿取廣人、金城辰夫、鈴木光太郎、鳥居修晃、渡辺正孝訳 2011『行動の機構-脳のメカニズムから心理学へ 上・下』岩波文庫)
- Hebb, D. O. 1972 *Textbook of psychology, 3rd edition*. (白井常、鹿取廣人、平野俊二、金城辰夫、今村護郎訳 1975『行動学入門-第3版 生物科学としての心理学』紀伊国屋書店)
- Held, R. & Hein, A. 1963 Movement produced stimulation in the development of visually guided behavior. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **56**, 872-876.
- Herbert, & Harsh, 1944 Observational learning by cats. *J. Comp. Psychology*, **37**, 81-95.
- Hess, E. H. 1950 Development of the chick's response to light and shade cues of depth. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **43**, 112-122.
- Hess, E. H. 1956a Natural preferences of chicks and ducklings of objects of different colors. *Psychol. Rep.*, **2**, 477-483.
- Hess, E. H. 1956b Shape perception in the chick. *Scientific American*. **195**, 71-80.
- Hess, E. H. 1961 Shadows and depth perception. *Scientific American*. **204**, 139-148.
- Hirano, T. 1977 Effect of early visual experience on later pattern discrimination in the white rat with special reference to selective exposure. *Brief Reports from The Laboratory of Psychology, Kyoto University*. No. 1
- Hirsch, H. V. & Spinelli, D. N. 1970 Visual experience modifies distribution of horizontally and vertically oriented receptive fields in cats. *Science*, **168**, 869-871.
- Hoshino, O. 2011 Subthreshold membrane depolarization as memory trace for perceptual learning. **15**, *MIT Press Journals-Neural Computation*. Early Access-Abstract.
- 細谷治夫 2013 三角形の七不思議 講談社
- Hua, T., Bao, P., Huang, C.B., Wang, Z., Xu, J., Zhou, Y. & Lu, Z. L. 2010 Perceptual learning improves sensitivity of V1 neurons in cats. *Curr. Bio.*, **25**, 20(10): 887-894.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1962 Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, **160**, 106-154.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1963a Shape and arrangement of columns in cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, **165**, 559-568.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1963b Receptive fields of cells in striate cortex of very young visually inexperienced kittens. *Journal of Neurophysiology*, **26**, 994-1002.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1964 Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas(18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, **28**, 229-289.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1968 Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, **195**, 215-243.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1970 The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *Journal of Physiology*, **206**, 419-436.
- Hubel, L. & Wiesel, T.N. 1979 Brain mechanisms of vision. *Scientific American*, **241**, 150-162.
- Hubel, L., Wiesel, T.N. & Stryker 1978 Anatomical demonstration of orientation columns in macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, **177**, 361-380.
- Hymovitch, E., 1952 The effect of experimental variations on problem solving in the rats. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **45**, 313-321.
- Ito, M., Sugata, T. & Kuwabara, H. 1995 Visual evoked potentials to geometric forms. *Japanese Psychological Research*, **37**, 221-228.
- 伊藤希・渡邊武郎・佐々木由香 2010 知覚学習研究における近年の成果 *Vision*, **22**, 115-121.
- James, W. 1892 Psychology, briefer course. (今田寛訳 1992『心理学〈上・下〉』岩波文庫)
- Jarosiewicz, B. & Skaggs, W. E. 2004 Hippocampal place cells are not controlled by visual input during the small irregular activity state in the rat. *The Journal of Neuroscience*, **24**, 5070-5077.
- Jaynes, J. 1958 Imprinting: The interaction of learned and innate behavior: LLL. Practice effects on performance, retention, and fear. *Journal of Comparative Neurology*, **51**, 234-237.
- Kaess, D. W. & Wilson, J. P. 1964 Modification of the rat's avoidance of visual depth. *Journal of Comparative Neurology*, **58**, 151-152.
- Kahnt, T., Grueschow, M., Speck, O. & Haynes, J.D. 2011 Perceptual learning and decision-making in human medial frontal cortex. *Neuron*, **12**, 549-559.
- Kandinsky 1955 *Punkt und Linie zu Fläche*. (西田秀穂訳 1979『点・線・面』美術出版社)
- Kaniza, G. 1976 Subjective contours. *Scientific American*, **234**, 4-52.
- Kaniza, G. 1979 Organization in vision: Essays on Gestalt perception. Praeger Publishers. 野口薫訳 1985『視覚の文法-ゲシュタルト知覚論』サイエンス社
- Kawachi, J. 1965 Effect of previous perceptual experience of specific three-dimensional objects on later visual discrimination behavior in rats. *Jap. Psychol. Res.*, **7**, 20-27.
- 川上亮介・篠原良章 2005 左右の半球の構造的・機能的非対称性を分子レベルで解明 サイエンストピックス-9.
- Kawakami, R., Shinohara, Y., Kato, U., Sugiyama, H., Shigemoto, R. & Ito, I. 2003 Asymmetrical allocation of NMDA receptor $\epsilon 2$ subunits in hippocampal circuitry. *Science*, **300**(5621), 990-994.
- O'Keefe, J. & Recce, M. L. 1993 Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm. *Hippocampus*, **3**, 317-330.
- Kerpehman, L. C. 1965a Preexposure to visually presented forms and non-differential reinforcement in perceptual learning. *J. Exp. Psychol.*, **69**, 257-262.
- Kerpehman, L. C. 1965b Stimulus dimensionality and manipulability in visual perceptual learning. *Child Development*, **38**, 563-571.
- King, D. L. 1966 A review and interpretation of the infant-mother relationship in mammals and birds. *Psychol. Rev.*, **65**, 143-155.
- 北川歳昭 1976 キンギョの弁別学習に及ぼす弁別刺激前

提示の効果 動物心理学年報**26**, 13-22.

- Koffka, K. 1935** Principle of Gestalt Psychology. Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Kovach, J. K. 1983** Constitutional bias in early perceptual learning: I. Preferences between colors, patterns and composite stimuli of colors and patterns in genetically manipulated and imprinted quail chicks (*C. coturnix japonica*) *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **97**, 226-248.
- Kovack, J., Fabricius, E. & Fält, L. 1966** Relationships between imprinting and perceptual learning. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **61**, 449-454.
- 小杉正太郎 1965a** 視覚的初期経験と弁別学習-シロネズミを被検体としたPerceptual Learningと探索動因・好奇心との関係の検討 早稲田大学修士論文
- 小杉正太郎 1965b** シロネズミの視覚的飼育条件と弁別学習について 日本心理学会第29回大会発表論文集 P. 128.
- Leeper, R. W. 1935** A study of neglected portion of the field of learning-the development of sensory organization. *Journal of Genetic Psychology*, **46**, 41-75.
- Leibnitz, G. W. 1703, 1765** Nouveaus essais sur l'entendement humain. 米山優訳 1987『人間知性新論』みすず書房
- Leonards, U., Rettenbach, R., Nase, G. & Sireteanu, R. 2002** Perceptual learning of highly demanding visual search tasks. *Vision Research*, **42**, 2193-2204.
- Levitt, L. & Bennett, T. 1975** The effects of crowding under different rearing conditions on emotionality and transfer of perceptual learning. *Behavior Biology*, **15**, 65-72.
- Li, R. W., Levi, D. M. & Klein, S. A. 2004** Perceptual learning improves efficiency by re-tuning the decision 'template' for position discrimination. *Nature Neuroscience*, **7**, 178-183.
- Locke, J. 1689** An essay concerning human understanding. 大槻春彦訳 1968『人間知性論』世界の名著27 中央公論社
- London, 1960** A Russian report on the postoperative newly seeing. *American Journal Psychology*, **73**, 478-482.
- Lorenz, K. 1935** Der Kumpan in der Umwlt des Vogels; die Artgenosse als auslösendes Moment sozialer Verhaltensweisen. *J. Ornithol.*, **83**, 137-217:289-413.
- Lubow, R. E. 1973** Latent inhibition. *Psychological Bulletin*, **79**, 398-407.
- Lubow, R. E. & Moore, A. U. 1959** Latent inhibition: The effect of nonreinforced pre-exposure to the conditional stimulus. *Journal of comparative and physiological Psychology*, **52**, 415-419.
- Lubow, R. E. & Moore, A. U. 1959** Latent inhibition: The effect of nonreinforced pre-exposure to the conditional stimulus. *Journal of comparative and physiological Psychology*, **52**, 415-419.
- Lubow, R. E., Rifkin, B. & Alek, M. 1976** The context effect: The relationship between stimulus preexposure and environmental preexposure determines subsequent learning. *Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes*, **2**, 38-47.
- Mackintosh, N. J. 1965** Selective attention in animal discrimination learning. *Psychol. Bull.*, **64**, 124-150.
- Mackintosh, N. J. 1983** Conditioning and associative learning. Oxford University Press.
- Mackintosh, N. J. 2009** Varieties of perceptual learning. *Learn Behav.*, **37**, 119-125.
- Mackintosh, N. J. & Bennet, C. H. 1998** Perceptual learning in animals and humans. In M. Sabourin, F. Craik & M. Robert (Ed.) *Advances psychological science, Vol. 2*; Biological and cognitive aspects (pp. 317-333) Hore, UK: Psychology Press.
- Mackintosh, N. J. & Bennet, C. H. 2009** Perceptual learning in animals and humans. In Wedding, D. & Stevens, M. J. (ed.) *Psychology: IU Psys Global Resource Edition 2009 CD-ROM Chapter 14*, Psychology Press.
- Mackintosh, N. J., Kaye, H. & Bennet, C. H. 1991** Perceptual learning in flavour aversion conditioning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **43B**, 297-322.
- Macneill, M. & Zubek, P. 1967** Effects of prolonged visual deprivation (dark-rearing) on the weight of the sensory cortex of the rat. *Canad. J. Psychol.*, **21**, 177-183.
- Mandelbrot, B. B. 1977** Fractals: Form, chance and dimension. Freeman.
- Mandelbrot, B. B. 1982** The fractal geometry of nature. Freeman.
- 眞竹智寛・石田雅人 1998** 潜在制止と知覚学習に関する理論の動向-刺激先行提示効果の機構-大阪教育大学紀要 **47**, 11-26.
- Menzel, E. W., Davenport, K. R. & Rogers, C. M. 1963a** The effects environmental restriction upon the chimpanzee's responsiveness to objects. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **56**, 78-85.
- Menzel, E. W., Davenport, K. R. & Rogers, C. M. 1963b** Effects environmental restriction upon the chimpanzee's responsiveness to novel situations. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **56**, 329-334.
- Meyer, G. W. & McGee, R. K. 1959** A re-evaluation of the effect of early perceptual experience on discrimination performance during adulthood. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **52**, 390-395.
- McCall, R. B. & Lester, M. L. 1969** Differential enrichment potential of visual experience with angles versus curves. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **51**, 778-781.
- Meyers, K. M. & McCleary, R. A. 1964** Interocular transfer of a pattern discrimination in pattern deprived cats. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **51**, 778-781.
- McCall, R. & Lester, M. L. 1969** Differential enrichment potential of visual experience with angles versus curves. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **639**, 644-648.
- Melzack, R. 1962** Effects of early perceptual restriction on simple visual discrimination. *Science*, **137**, 978-979.
- Michels, K. M., Bevan, W. & Strasel, H. C. 1958** Discrimination learning and interdimensional transfer under conditions of systematically

- controlled visual experience. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **51**, 778-78.
- Mitchell, C. & Hall, G. 2014 Can theories of animal discrimination explain perceptual learning in humans? *Psychological Bulletin*, **140**, 243-307.
- 三谷恵一 1962 Hebb-Williams知能検査法のシロネズミによる再検討 動物心理学年報, 第12輯, 21-31.
- 三谷恵一 1969 知覚学習 八木晃・本吉良治編 講座心理学6 学習 6章, 129-161.
- 三谷恵一 1970 無関連図形知覚学習の特定弁別学習促進効果 岡山大学法文学部紀要, **30**, 63-69.
- Mitani, K. 1984 The interactive effect of perceptual learning and latent inhibition(I). *Bulletin of the Faculty of Letters*, **45**, 13-21, Okayama University.
- 三谷恵一 1989a 初期学習における経験と発達メカニズム—潜在学習・知覚学習・潜在抑制 岡山大学文学部研究叢書3
- 三谷恵一 1989b 知覚学習と潜在抑制の研究 山陽放送学術文化財団「リポート」第33号
- 三谷恵一 1992a 円と三角形の視覚情報処理の詳細—視覚的パターンへの経験と視覚的パターンの持つ生得性との交互作用(1)—岡山大学文学部紀要, **18**, 39-48.
- 三谷恵一 1993b 初めて見る三角形の視覚情報処理の詳細—黒円知覚学習群の場合—岡山大学文学部紀要, **20**, 37-63.
- 三谷恵一 1995a 初めて見る円の視覚情報処理の詳細—三角形知覚学習群の場合—岡山大学文学部紀要, **23**, 19-106.
- 三谷恵一 1995b 視覚的経験におけるサインの成立 本吉良治編 心と道具 倍風館, 144-177.
- 三谷恵一 1996a 初期学習における経験と発達メカニズム—潜在学習・知覚学習・潜在抑制[改訂版]岡山大学文学部研究叢書[自然科学研究科]3
- 三谷恵一 1996b 倒立三角形は成立三角形よりも誘目性が高い—空白群及び三角形知覚学習群の場合—岡山大学文学部紀要, **25**, 19-65.
- 三谷恵一 2003a 脳と知覚学習 環境心理学の再出発 ブレーン出版
- 三谷恵一 2003b 脳と知覚学習—環境心理学の再出発(1) 岡山実験動物研究会報, **20**, 12-21.
- 三谷恵一 2004 脳と知覚学習—環境心理学の再出発(2) 岡山実験動物研究会報, **21**, 10-18.
- 三谷恵一 2010a 因果行動発達学—発達心理学入門<第2版>おうふう
- 三谷恵一 2010b ゼブラフィッシュは生得的に「円」パターンを避け「倒立三角形パターン」を視覚的に求める 岡山実験動物研究会報, **26**, 37-40.
- 三谷恵一 2010c ゼブラフィッシュは生得的に「円」パターンを避け「倒立三角形パターン」を視覚的に求める 日本心理学会第74回大会論文集, p1239
- 三谷恵一 2012 新しい認知行動療法と環境療法—脳—神経—筋肉—骨ネットワークの健康科学 おうふう
- Mittani, K. 2014 Zebrafish swim left to right and prefer inverted triangle rather than a circle innately without perceptual learning. 日本心理学会第78回発表論文集[日本心理学会表彰]
- 三谷恵一 2014 障害物のない水槽でゼブラフィッシュ♂は最初の20秒間は88.7%, 8分間全体で58.13%”反時計回り“に左から右へ生得的に有意に多く遊泳する 関西心理学会第126回発表論文集 p32.
- 宮崎興二 2003 かたちのパノラマ 丸善株式会社
- 望月登志子 2009a 開眼手術後の色彩視の形成過程 鳥居修晃, 望月登志子訳 2009『視覚発生論—先天盲開眼前後の触覚と視覚—M.フォン・ゼンデン著 *Space and Sight*』付録論文, 協同出版, 314-338.
- 望月登志子 2009b 開眼手術後の奥行き把握 鳥居修晃, 望月登志子訳 2009『視覚発生論—先天盲開眼前後の触覚と視覚—M.フォン・ゼンデン著 *Space and Sight*』付録論文, 協同出版, 339-374.
- 望月登志子 2009c 視覚と触覚による透視図的図形構造把握—開眼者と晴眼児の比較を中心として 鳥居修晃, 望月登志子訳 2009『視覚発生論—先天盲開眼前後の触覚と視覚—M.フォン・ゼンデン著 *Space and Sight*』付録論文, 協同出版, 407-424.
- 望月登志子・鳥居修晃 2009d 先天性白内障の手術後における顔と表情の知覚 鳥居修晃, 望月登志子訳 2009『視覚発生論—先天盲開眼前後の触覚と視覚—M.フォン・ゼンデン著 *Space and Sight*』付録論文, 協同出版, 425-440.
- 望月登志子・鳥居修晃 2014 先天盲人の視覚と触覚による材質の知覚 日本心理学会第78回大会発表論文集, p. 594.
- 持留英世 1964 弁別行動に及ぼす視覚遮断の効果 広島大学教育学部紀要, 第13号, 第1部, pp. 133-143.
- Moltz, H. 1960 Imprinting: Empirical basis and theoretical significance. *Psychol. Bull.*, **57**, 291-314.
- Moltz, H. 1963 Imprinting: An epigenetic approach. *Psychol. Rev.*, **70**, 123-138.
- Moltz, H. & Stettner, L. J. 1961 The influence of patterned-light deprivation on the critical period for imprinting. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **54**, 279-283.
- 森本大樹・三谷恵一・柴田智也・阿部勉 2009 ゼブラフィッシュは「倒立三角形」の要素である「上辺」を視覚走査する 岡山心理学会第57回大会発表論文集, 63-64.
- Motoyoshi, R. & Mitani, K. 1965 The problem of experience effect in the Hebb-Williams intelligence test. *Japanese Psychological Research*, **7**, 38-45.
- 中島定彦 2000a 動物における知覚学習研究の最近の諸相—刻印づけ・迷路学習・カテゴリー学習—関西学院111周年文学部記念論文集 15-29.
- 中島定彦 2000b 風味刺激の知覚学習 人文研究(関西学院大学) **50**(1), 1-17.
- 中島定彦 2001 知覚学習の古くて新しいパラダイム—動物の偶発的刺激弁別学習—基礎心理学研究 **19**, 77-82.
- 中島定彦 2014 「つばきとひきつり」から情報処理へ—現代連合学習理論の50年—, 基礎心理学研究 **33**, 36-47.
- 長坂泰勇・長田佳久 2000 動物における主観的輪郭, 非感性的補完および透明視の知覚 動物心理学研究, **50**, 61-73.
- Nealy, S. & Riley, D. A. 1963 Loss and recovery of discrimination of visual depth in dark-reared rats. *Amer. J. Psychol.*, **76**, 329-332.
- Nelson, J. B. & Sanjuan, M. C. 2009 Perceptual learning in a human conditioned suppression task. *International Journal of Comparative Psychology*, **22**, 206-220.
- Nissen, N. W., Chow, K. L. & Semmes, J. 1951 Effects of restricted opportunity for tactual, kinesthetic and manipulative experience on the behavior of a

- chimpanzee. *Amer. J. Psychol.*, **14**, 485-507.
- 岡崎 諭・三谷恵一 2001 キンギョにおける主観的輪郭三角形の知覚 岡山心理学会第49回大会論文集
- 大橋康宏 2015 Diderotの視覚論 岡山心理学会第62回大会論文集.
- 大野晋一 1967 知覚学習の発達的研究(1) Labeling 効果について 人文研究, **19**, 41-63.
- Peitgen, H. O. & Richter, P. H. 1986 The beauty of fractals. 宇敷重弘訳 1988 『フラクタルの美—複素力学系の美』
- Petrov, A., Doshier, B. A. & Lu, Z-L. 2006 Perceptual learning without feedback in non-stationary contexts: data and model. *Science Direct*, **46**, 3177-3197.
- Pettigrew, J. d. & Freeman, R. D. 1973 Visual experience without lines: Effect on developing cortical neurons. *Science*, **182**, 599-601.
- Phaup, M. R. & Caldwell, W. E. 1959 Perceptual learning: Differentiation and enrichment of past experience. *J. Gen. Psychol.*, **60**, 137-147.
- Pick, A. D. 1965 Improvement of visual and tactual form discrimination. *J. Exp. Psychol.* **69**, 331-339.
- Pokrovskii, A. I. 1953 On the development of visual perceptions and judgements in their postoperative newly seeing in the light of the works of I. P. Pavlov, *Vestn. Oftal.*, **32**, 6-17.
- Polat, U., Ma-Naim, M., Belkin, M. & Sagi, D. 2004 Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *PNAS*, April, **27**, 101, 6692-6697.
- Postman, L. 1955 Association theory and perceptual learning. *Psychol. Rev.*, **62**, 438-446.
- Pritchard, R. M., Heron, W. & Hebb, D. O. 1960 Visual perception approached by the method of stabilized images. *Canadian Journal of Psychology*, **14**, 67-77.
- Rescorla, R. A. 1987 A Pavlovian analysis of goal-directed behavior. *American Psychologist*, **42**, 119-129.
- Riesen, A. H. 1947 The development of visual perception in man and chimpanzee. *Science*, **106**, 107-108.
- Riesen, A. H. 1950 Arrested vision. *Scientific American*, **183**, 11-16.
- Russell, 1932 Depth discrimination in rat. *J. Genet. Psychol.*, **4**, 136-159.
- Salapatek, P. & Kessens, W. 1966 Visual scanning of triangles by the human newborn. *J. Exp. Child Psychol.*, **3**, 155-167.
- Salapatek, P. & Kessens, W. 1973 Prolonged investigation of a plane geometric triangle by the human newborn. *J. Exp. Child Psychol.*, **15**, 22-29.
- Senden, M. 1932 *Raum-und Gestaltauffassung bei operierten Blindgeborenen vor und nach der Operation.* (鳥居修晃、望月登志子訳 2009『視覚発生論—先天盲開眼前後の触覚と視覚—M.フォン・ゼンデン著 Space and Sight』協同出版)
- 柴田智也・三谷恵一・森本大樹・阿部勉 2009 ゼブラフィッシュは生得的に「倒立三角形」を視覚的に求める 岡山心理学会第57回大会発表論文集, 59-60.
- Shiegel, A. I. 1953a Deprivation of visual form definition in the ring dove: I. Discriminatory learning. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **46**, 115-119.
- Shiegel, A. I. 1953b Deprivation of visual form definition in the ring dove: II. Perceptual-motor transfer. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **46**, 249-252.
- Shinkman, P. G. 1962 Visual depth discrimination in animals. *Psychol. Bull.*, **59**, 489-501.
- Sigman, M. & Gilbert, C. D. 2000 Learning to find a shape. *Nature Neuroscience*, **3**, 264-269.
- Smith, C. J. 1959 Mass action and early environment in the rat. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **46**, 249-252.
- 宗宮 保・宗宮和子 1976 パターン認識の基礎研究 丸善名古屋出版サービスセンター
- Tallarico, R. B. & Farrell, W. M. 1964 Studies of visual depth perceptin: An effect of early experience on chicks on a visual cliff. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **57**, 94-96.
- 寺坂秀隆 2014 非ユークリッド幾何の原点 新装版 講談社
- Thorpe, W. H. 1956 *Learning and instinct in animals.* Methuen.
- 鳥居修晃 1975 はじめて見る世界 磯貝芳郎、藤田統、森孝行編著 心の実験室 第2章 福村出版, 35-58.
- 鳥居修晃 1982 視覚の心理学 サイエンス社
- 鳥居修晃 2000 先天盲開眼者の視覚世界 東京大学出版会
- 鳥居修晃・望月登志子 2009 先天盲の開眼手術後における立体の知覚 鳥居修晃・望月登志子訳 2009『視覚発生論—先天盲開眼前後の触覚と視覚—M.フォン・ゼンデン著 Space and Sight』付録論文, 協同出版, 375-405.
- 鳥居修晃・望月登志子 1992 視知覚の形成—開眼手術後の定位と弁別 培風館
- 鳥居修晃・望月登志子 2000 先天盲開眼者の視覚世界 東京大学出版会
- Tsushima, Y. & Watanabe, T. 2009 Roles of attention in perceptual learning from perspectives of psycho physics and animal learning. *Learn Behav*, **37**, 126-132.
- 梅津八三 1952 先天性盲人の開眼手術後における視覚体験 児童心理と精神衛生 **2**, 1-9.
- 梅津八三・鳥居修晃 1963 先天盲の開眼手術後における知覚体験について 日本心理学会第27回大会発表論文集, 80.
- 梅津八三・鳥居修晃 1964 先天盲の開眼手術後における形の把握 日本心理学会第28回大会発表論文集, 85.
- Umezu, H., Torii, S. & Uemura, Y. 1975 Postoperative formation of visual perception in the early blind. *Psychologia*, **18**, 171-186.
- 梅津八三・鳥居修晃・上村保子 1987 開眼手術後の初期段階における早期失明者の信号系活動. 基礎心理学研究, **6**, 67-78.
- 梅津八三・鳥居修晃・上村保子 1990 早期失明者の開眼手術における信号系活動(1) 一光・視—信号系活動における図領域の定位活動と色の弁別活動. 基礎心理学研究, **8**, 69-82.
- Verschure, P. F. M., Voegtlin, T. & Douglas, C. 2003 Environmentally mediated synergy between perception and behaviour in mobile robots, *Nature*, **425**, 620-624.
- Wagner, A. R. 1979 Expectancies and the priming of STM. in Hulse, S., Fowler, H & Honing (ed.) Cognitive process in animal behavior. Lawrence Erlbaum Associates.
- Watanabe, T., Nández, J.E. & Sasaki, Y. 2001 Perceptual learning without perception. *Nature*, **413**, 844-848.
- Walk, R. D. & Gibson, E. J. 1961 A comparative and analytical study of visual depth perception.

- Psychol. Monogr.*, 75, No. 15 (Whole No. 519)
- Walk, R. D., Gibson, E. J. & Tighe, T. J. 1957** Behavior of light- and dark-reared rats on a visual cliff. *Science*, 126, 80-81.
- Walk, R. D., Gibson, E. J., Pick, H. L. & Tighe, T. J. 1958** Further experiments on prolonged exposure to visual form: The effect of single stimuli and prior reinforcement. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 51, 483-487.
- Walk, R. D., Gibson, E. J. & Tighe, T. J. 1959** The effectiveness of prolonged exposure to cutouts vs. painted patterns for facilitation of discrimination. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 52, 519-521.
- Wertheimer, M. 1923** Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychologische Forschung*, 4.
- Wing, A. M., Haggard, P., & Flanagan, J. R. (Eds.) 1996** Hand and brain-The neurophysiology and psychology of hand movements. Academic Press
- Wyrwicka, W. 1959** Studies on detour behavior. *Behaviour*, 14, 240-264.
- Yee, A. J. E. & Dericco, D. 1976** Effect of angle stimulation during development on adult discrimination ability in rats. *Animal Learning & Behavior*, 4, 241-221.
- Yotsumoto, Y., Sasaki, Y., Chan, P., Vasios, C.E., Bonmasser, G., Ito, N., Náñez, J.E.S., Shimojo, S. & Watanabe, T. 2009** Location-specific cortical activation changes during sleep after training for perceptual learning. *Curr Biol*, 19, 1278-1282.
- Zablocka, T. & Zernicki, B. 1988** Binocularly deprived cats are normal in visual discrimination learning in a simple apparatus. *Acta. Neurobiol, Exp.*, 48, 215-221.
- Zablocka, T. & Zernicki, B. 1991** Brightness-discrimination learning in cats is influenced by early visual deprivation. *Behavioral Brain Research*, 29, 221-224.