

ヒトの視覚の発達と発達心理学

小 枝 達 也*

1. ヒトの視覚の発達

1.1 はじめに

ヒトの視力は、視覚刺激に対する行動の変化という形で検査されるのが一般的である。成人であれば、行動の変化とは視覚刺激を読んだり、方向を指さしたりするなどの被検者の意志表示であるために詐病や転換型のヒステリー症などを除くと、検査に対する信頼性は高い。しかし、小児の場合には、幼少であればあるほど意志表示が明確ではなく、刺激に対する行動の変化という対応関係が曖昧になってくる。つまり、見えていないのか、あるいは見えているが、行動に変化が起らないために判定ができないのかという点で、曖昧さが生じてくる。このため、とくに乳児の視力については、一定した結果を得ることが困難な状況にある。このように視力に限らず、ヒトにおいて感覚系の検査は、行動観察を主体とした測定に頼っているのが現状であり、これを客観化するための工夫が望まれている。本項では、ヒトの視覚系の発達について、形態学的変化や視力の発達、視覚認知の発達とその障害について、おもに行動分析的な立場から概観する。

1.2 形態学的変化

視覚器は発生の第4週から眼原基として形成がスタートし、第8週前後から網膜の原基が現れ、硝子体や水晶体、視神経などの分化が認められてくる¹⁾。視細胞は、28週頃にはかなり成熟する。

網膜は出生時には、組織学的にはほぼ出来上がった状態である。しかし、黄斑部での組織構築はかなり遅れており、出生後4カ月ほどして完成される²⁾。視神経の成熟、すなわち髄鞘化は、出生前から開始され、出生後の数カ月で著しく発達する。そして、2歳頃まで視神経の太さはゆっくと増大する。この変化はMRIを使って生体でも観察することができる。

以上のような視覚系の形態学的成熟は、聴神経が出生時にはほぼ髄鞘化が終了しているのと対照的であり、脳神経系の中でももっとも遅い部類に入る。脳の機能系としては未熟な状態で生まれてくる分だけ、生後の環境の影響をより強く受けることになる。ネコやサルにおいては、立体視障害が生後の視覚環境によって生じることが、実験的に報告されている³⁾し、また、生後の視覚環境を歪めることによって、後頭葉の神経細胞の反応にも変化が生じることも証明されている⁴⁾。ヒトでは、臨床的に重篤な脳障害のために視覚反応のない乳児では、視神経が次第に萎縮してしまうことが観察されている。これは、機能の獲得がなかったことによる二次的な廃用性の変化である。

1.3 視力の発達

前述したような黄斑部の成熟の程度から推測して、出生直後のヒトでは、明暗の区別はできたとしても、物の形を細部まで見ているとは考えにくい。ところが、暗黒の世界であった胎内から光の届く世界に出てきた新生児では、猛烈な勢いで視力は発達していく。遅くとも生後1週間の新生児では、すでに追視することができるようになって

* Koeda T 鳥取大学教育学部障害児病理

いる。新生児を抱き上げ、約 30 cm ほどに顔を近づけてゆっくりと検者の顔を動かすと、新生児は追視してくる。このときの眼球運動は、smooth pursuit ではなく、saccadic な動きである。生後 1 週間という期間は、満期で出生した児でも 36 週という予定日より 1 カ月早く出生した児でも変わりはない。このことは、受胎からの期間よりも、網膜が光を感じなくなった期間の方がより重要であることを示唆している。この原則が、どの程度までの早期産児にあてはまるかを明確に示したデータはない。早期産であればあるほど、生後早期には呼吸・循環障害を中心とした重篤な症状が強く、視覚反応を観察するには適していないためと思われる。

また、生後 1 週間という時期の追視に、本当に大脳皮質が関与しているかどうかについても不明な点が多い。この時期の追視が、saccadic な眼球運動であることから、おそらくこの追視は視運動性眼振であり、網膜-脳幹の反射であろうと思われる。この視運動性眼振を応用した視力検査も行われており、0.03 前後であろうと推測されている。

生後 1 カ月になると、物の形をある程度、見分けていると考えられる。白と黒でできた図形を追視させる検査を行うと、よく反応する図形とそうでない図形が存在する⁵⁾。ぼんやりとはあるが、物の輪郭を認知しているのではないかと考えられる。また、新生児が保育者の顔の表情を模倣するという報告⁶⁾があり、輪郭をとらえるという視力は、意外とこの時期から良好なのかもしれない。

生後 2 カ月になると、多くの乳児が「あやし笑い」をするようになる。あやし笑いの出現する初期には、声かけをしたり、抱っこで揺すってやったり、笑顔を見せるなど複合した刺激によって乳児は笑うが、これを繰り返していると、やがて母親が笑顔を見せただけで乳児は笑うようになる。この現象には、大脳皮質が明らかに関与していると考えられる。

乳児の視力は、白と黒の縞模様に入った図形を

注視させて、調べる検査方法が一般的である。この方法は Preferential Looking (PL 法) と呼ばれ、乳児では無地の図形よりも模様の入った図形の方を好んで注視するという選好性行動を応用した検査法である。図形を白と黒の縞模様とし、白線と黒線との間隔を調整して視力を推定する。すなわち、細かな縞模様を注視するほど良好な視力と判断する。通常は、二窓式の Teller acuity card と呼ばれる縞視標を乳児に見せながら、カードを左右に動かし、その眼球の動きによって視力を判定する方法が採られている。この方法によれば、新生児で 0.02 程度、1 歳で 0.1 程度、2 歳で 0.3 程度の視力はあると推定されている。3 歳児では、ランドルト環を用いた視力検査が可能であり、多くの 3 歳児が 1.0 の視力を有する⁷⁾。

1.4 立体視力の発達

乳幼児では立体視力だけを取り出して測定することが不可能なので、その詳細な発達については不明である。臨床的な観察からは、立体視力は 1 歳児では確実に存在する。例えば歩き始めたばかりの 1 歳児でも、敷居のところにくると、わずかな数 cm の段差に対していったん立ち止まり、足をステップアップさせてから前進する。逆に生下時より片眼である場合には、段差が分からないためにつまずいて転ぶ。これを繰り返していると、床の色が変化している場所で立ち止まるという行動を示す。例えば床に敷いてあるカーペットの前に来ると、段差がないのにもかかわらず立ち止まり、わざわざ足を高く上げてから前進しようとする。床とカーペットとの色の違いを段差と区別することができないために起こる過剰適応行動であろう。この行動には、段差の上に足を持ってゆくという運動能力、足の位置を知る身体図式と足を上げるという判断力の他に段差を認識する視力、すなわち立体視力が含まれている。このような複合された行動から推測する以外の手だてがないのが現状である。眼科の立場からは立体視力の獲得のために、斜視の手術は 3~4 歳頃までに行うことが推奨されている。

立体視力と類似した視知覚に深径覚がある。対

象との距離を目測する能力である。対象が静止している場合には、深径覚の発達は立体視とあまり変わらないが、対象が動いている場合の深径覚は、立体視の発達よりも大きく遅れると思われる。実験心理学の分野では、這うことができる乳児であれば、この深径覚を獲得していると報告されている⁸⁾。年長幼児以降になると、深径覚はHelmholtzの三棒法によって測定することができる。この方法は、左右に固定された縦の棒があり、その中央に一定の速度で前後に動く棒が備えてある。中央の棒は被験者の前後方向に繰り返し動く。そして左右の棒と横一直線に並ぶように被験者がスイッチで止めるというもので、中央の棒と左右の固定された棒とのズレを測定する。筆者らの測定値からは、5歳児であれば成人と同じ能力を有する。

1.5 視覚認知能力の発達と障害

視力と同様に視覚認知能力のみを独立した形で調べることは困難なので、表1に視覚認知能力に関連すると思われる行動を、50%から75%の乳幼児が通過する月年齢で示す。もちろん、社会性や言語能力、記憶力なども大いに関与している行動である。

乳幼児の視覚認知障害は、脳性麻痺児を対象として、比較的近年から研究されるようになってきた。眼球や網膜の異常による視覚障害と一線を画する意味で大脳性視覚障害(Cerebral visual impairment)などと称されている⁹⁾。精神遅滞などの発達障害でも視覚認知障害は存在するが、同時に言語発達が遅れていたり、概念形成そのものが遅れているために、視覚認知障害だけなのかどうかははっきりしない。ところが、脳性麻痺児の中で痙直型では、他のタイプに比べて視覚認知能力が劣ることが報告され¹⁰⁾、とくに未熟児出生に由来する痙性両麻痺児(Spastic Diplegia: SD)では、言語発達が良好で上肢機能も比較的良好な児が多いことから、最近では多くの研究報告がなされている。

まず、WISC-Rという知能検査でみる限り、未熟児由来のSD児では言語性知能指数(Ver-

表1 視覚認知能力と関係している行動

2カ月	人の顔をジッと見つめる あやすと笑う
4カ月	おもちゃを見つめる 左右、上下に追視する
6カ月	ボタンなど小さな物を注視する 親しみと怒った顔の区別ができる
8カ月	見つめていたものを隠すときが 自分の身体を注意して見つめる
10カ月	引き出しなどに物が入っていることが わかる 人見知りのはじまる
12カ月	お菓子が入っている場所などを覚えて いる 櫛などを模倣的に使用する
15カ月	バイバイなどを模倣する
18カ月	手、足などの身体部位の指さしので きる 絵本で動物や乗物が指さしので きる
21カ月	簡単なみたて遊びができる 鉛筆でグルグル丸をかく
2歳	積み木を横にならべる
2歳6カ月	直線や丸をかく 大小、長短の区別がわかる
3歳	色がわかる ブロックいれをして遊ぶ 顔らしいものをかく
3歳6カ月	パズルで遊ぶ
4歳	三角や四角がわかる
4歳6カ月	じゃんけんができる
5歳	平仮名が読める

bal IQ: VIQ) に比べて動作性知能指数(Performance IQ: PIQ)の方が低い¹¹⁾。同じ両麻痺児でも成熟児では、VIQとPIQには差がないことから、低いPIQの原因は未熟児に由来するものであろうと推測される(図1)。また、Frostigの視覚発達検査でも、未熟児由来のSD児では成熟児由来のSD児に比べて視覚認知能力が劣っている。とくに、Frostigテストの下位項目である「図形と素地」、「空間関係」の成績が不良である(表2)。背景から目的とする形を浮かび上がらせて認知することや空間視などがとくに障害されていることがうかがわれる。

なぜ未熟児由来だと視覚認知障害が存在するのかという点については、視放線が走行する側脳室後角から三角部の大脳白質が関与しているとする報告が多い^{11,12)}。未熟児では大脳白質の深部に、すなわち側脳室周囲の白質に、循環系の分水嶺が

存在し、低酸素や虚血の影響を受けやすい。そのため高率に脳室周囲白質軟化巣 (Periventricular leukomalacia: PVL) が発生したり、同部位の白質量が少なかったりする¹³⁾ (図

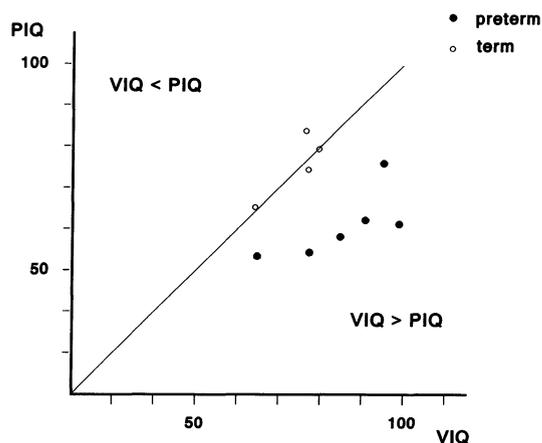


図1 未熟児出生と成熟児出生の痙性両麻痺児の WISC-R 知能検査結果を示した。未熟児出生では、言語性知能指数に比べて、視覚認知能力を表す動作性知能指数の方が低くなっている。

表2 出生由来別にみた視覚知能指数

フロスティック 下位項目	未熟児群	成熟児群
図形と素地*	7.5±1.7	9.5±2.3
形の恒常性	8.8±2.2	10.2±2.3
空間関係	8.9±2.0	10.3±0.8
空間における位置*	7.9±1.9	9.7±1.4

(平均±1 標準偏差)*: $p < 0.05$ (t 検査)

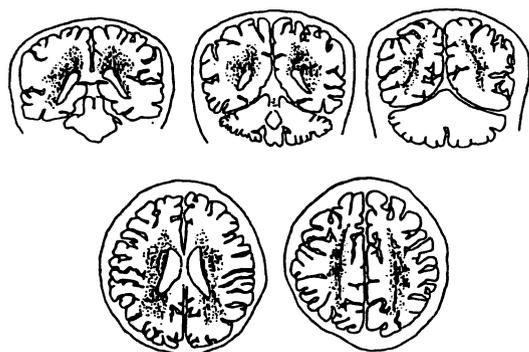


図2 未熟児出生痙性両麻痺児に認められる脳室周囲白質軟化巣の分布をプロットした。視放線を含む白質に多く認められている。(文献13)より引用)

2)。そして同部位を走行する視放線の成熟に影響を与えて、視覚認知が生じるものと考えられている。実際、Frostig テストでの視知覚指数と同部位の白質量は、有意な相関を示す¹²⁾。また、脳波の二次解析結果からも、両側後頭部での連絡性が低下していることが示唆されている¹⁴⁾。

2. 発達心理学

発達心理学にも認知能力の発達から社会性の発達まで、さまざまな分野がある。ここでは、認知能力の発達に焦点を絞り、概念形成までについて概説する。

2.1 小児の認知発達

認知発達を考えるには、①知覚化 (perception)、②表象化 (imagery)、③象徴化 (symbolism)、④概念化 (conception) の4つの過程を想定すると説明しやすい (図3)。脳もこの順にそって発達する。

まず知覚化とは、光を光として、音を音として認識することである。知覚化が正常に行われるためには、入り口である感覚が正常であることと、それぞれの感覚に対応した中枢神経が正常に機能することが不可欠である。側頭葉と音、後頭葉と光、頭頂葉と体性感覚という対応関係が成立するためには、生後早期からの適切な感覚刺激が持続

概念化



象徴化



表象化



知覚化



感覚レベル

(体性感覚 聴覚 視覚)

図3 認知発達の階層的構造をモデル化した図である。

的に与えられなければならない。刺激の繰り返しによって、脳の神経細胞に反応パターンが形成されていくからである。先天性に感覚障害が存在すると、本来の対応関係にない刺激によって脳の葉が興奮することがあるようで、先天性視覚障害者に対する聴覚刺激で、後頭葉からも誘発反応が認められたとする報告がある¹⁵⁾。

表象化とは、イメージを形成することである。聴覚刺激に対しては聴覚的イメージを、視覚刺激に対しては視覚イメージを形成することが行われる。ここでは、各々の知覚に関連した記憶が必要であり、感覚に対応する脳の葉と海馬との間のやりとりが行われると想定される。例えば生後4カ月の乳児はあやすとよく笑う。この時期の笑いは、相手を限定しておらず、初対面の人であろうが、母親であろうが関係ない。あやされること自体が視覚的イメージを想起し、記憶の中から単に快反応と結びつくにすぎない。もちろん記憶の中に快反応として留めておくだけの、心地よいあやされ方を何回も経験することが必要である。やがて、記憶の中に母親が確固として存在するようになると、初対面の人に対しては、そう簡単には笑ってくれなくなる。そうして人見知りが始まるのである。

象徴化にも記憶が密接に関与しており、聴覚、視覚などの感覚的なイメージに対して意味を持たせる処理が行われる。象徴化には、感覚に対応する脳と海馬のみならず、異なった感覚中枢や前頭葉とのやりとりが関連すると考えられる。例えば「バイバイ」などは、初期には単なる赤ちゃん芸として獲得し、別れの挨拶であるという意味は持っていない。たまたま赤ちゃんが手をニギニギしていたのを、母親が勝手にバイバイをしたと勘違いして、「バイバイ」と命名したに過ぎないことが多い。これを毎朝、父親が仕事に出かけるときに、玄関で母親が繰り返し「バイバイ」をさせていると、「朝」「玄関」「父親が出かける」「母親がバイバイしなさいと命ずる」という状況依存的に、「バイバイ」は父親との別れの挨拶という意味を持つようになる。このように単なる赤ちゃん

芸であったバイバイが、別れるときのサインであることを理解する時期が象徴化の始まりであると解釈される。

象徴化されたイメージの中で共通する部分をまとめたものが概念である。幼児期に獲得する概念で重要なのは、比較概念あるいは対立概念といわれているものである。大・小、長・短の獲得が2歳後半であり、多・少、左・右へと続く。数の概念は、多・少の延長線上にあると考えると理解しやすい。このような対立概念を表す言葉はほとんどが形容詞なので、子供の発達の程度を知りたいければ、どんな形容詞を使って話しているかに注目すればよい。小学校低学年を過ぎると、属性といった概念が登場する。対立概念のレベルでは東と西は相対立するものであるが、属性という概念の段階では東と西は方角を示す共通のものとなる。WISC-Rという知能検査に「類似」という下位項目がある。まさにこの属性をみる項目である。WISC-Rは、5歳0カ月から使用できる知能検査であるが、5歳台の幼児では、この「類似」という概念が育っていないために、まったく見当はずれの答えをすることがある。他の項目の得点が良いのに、「類似」だけが0点ということさえある。このような幼児では、小学校入学前後になって属性という概念が理解できたとたんに、他の項目と同じような点を取ることがある。すでにこの段階では、言語を使った抽象的な思考が可能となっている。

2.2 認知発達の特徴

小児の認知発達には、①臨界期と感受期がある、②発達は階段状である、という大きな特徴がある。

臨界期とは、ある能力を獲得することができる時間的な上限のことで、例えば言語発達には、臨界期が存在すると考えられている。とくに言語機能の脳半球側性化という観点から、言語機能の臨界期は論じられ、言語機能の側性化は2歳頃より始まり、10～12歳頃に確定するとされている。このような脳損傷例だけでなく、人間社会から隔離された環境で育った症例は、言語を獲得すべき

時期に適切な刺激がなかったことで、言語能力を獲得できなかったことを示している。

臨界期と類似するものとして感受期がある。感受期とは、ある能力を獲得するために感受性を脳が有している期間のことで、神経生理学的には、神経細胞死とそれに続くシナプスの過剰産生およびその淘汰が起きていると考えられている。すなわち有効かつより機能的な神経回路を形成する時期のことで、この時期に適切な刺激が、絶えず小児の脳を刺激することが認知機能の獲得に不可欠と考えられる。

また、小児の発達は、年齢と共に一直線に伸びていくのではなく、階段状に伸びていくという特徴がある。例えば、言語発達には著しい個人差が存在する。1歳頃にオウム返しという口まねの時期を迎える児もいれば、2歳過ぎから始まる児も存在する。概して、早い時期にオウム返しが出現した児の方が、言語発達は良好である。しかし、個々の小児によっては、オウム返しの出現が遅くても、その後急速に良好な言語発達を示すこともある。小児では、このような発達のキャッチアップ現象、すなわち階段をステップアップする現象が少なくない。とくに聴覚認知能力や言語能力では、しばしばキャッチアップ現象を経験する。したがって、小児の認知能力の診察では、一時期だけの状態を観察していると誤診をしてしまう。最低2回以上かつ詳細に児を診察し、適宜指導していくことがなによりも重要である。

文 献

- 1) Langman J: Eye. Langman J ed, Medical Embryology, 2nd Asian ed, Igaku Shoin Ltd, Tokyo, 1969, 333-342
- 2) Nakayama K: Studies on the myelination of the human optic nerve. Jpn J Ophthal 11: 132-140, 1968
- 3) Wiesel TN, Hubel DH: Comparison of the effects of unilateral and bilateral eye closure on cortical unit responses in kittens. J Neurophysiol 28: 1029-1040, 1965
- 4) Blakemore C, Cooper GF: Development of the brain depends on the visual environment. Nature 228: 477-478, 1970
- 5) Fantz RL: Visual perception and experience in early infancy. Steavenson HW ed, Early Behavior, Wiley, New York, 1967, 181-224
- 6) Meltzoff AN, Moore MK: Imitation of facial and manual gesture by human neonate. Science 198: 74-78, 1977
- 7) 山本 節: 視力の発達. 神経眼科 5: 258-264, 1988
- 8) Walk D, Gibson EJ: A comparative and analytical study of visual depth perception. Psychol Monogr 75: 2-34, 1961
- 9) Eken P, van Nieuwenhuizen O, van der Graaf Y, Schalijs-Delfos NE, de Vries LS: Relation between neonatal cranial ultrasound abnormalities and cerebral visual impairment in infancy. Dev Med Child Neurol 36: 3-15, 1994
- 10) Abercrombie MLJ: Perception and eye movements: some speculations on disorders in cerebral palsy. Cerebral Palsy Bull 2: 142-148, 1960
- 11) Goto M, Ota R, Iai M, Sugita K, Tanabe Y: MRI changes and deficits of higher brain function in preterm diplegia. Acta Paediatrica 83: 506-511, 1994
- 12) Koeda T, Takeshita K: Visuo-perceptual impairment and cerebral lesions in spastic diplegia with preterm birth. Brain Dev 14: 239-244, 1992
- 13) 小枝達也: 脳性麻痺と視覚認知障害. 発達障害医学の進歩 5: 98-103, 1993
- 14) Koeda T, Takeshita K: Electroencephalographic coherence abnormalities in preterm diplegia. Pediatr Neurol 18: 51-56, 1998
- 15) Kujala T, Huottilainen M, Sinkkonen J, Ahonen AI, Alho K, Hamalainen MS, Ilmoniemi RJ, Kajola M, Knuutila JET, Lavikainen J, Salonen O, Simola J, Standertskjold-Nordenstam CG, Tiitinen H: Visual cortex activation in blind human during sound discrimination. Neurosci Lett 183: 143-146, 1995