

視覚入力と運動調節系機能の発達に関する研究 —視覚入力(速度, 方向, 距離)とボール到達地点の認知について—

鬼頭伸和
(体育教室)

Development of Visual Input and Motor Control System —Visual input (velocity, direction, distance) and perception of ball arrived point—

Nobukazu KITO
(Department of Health and Physical Education)

I. はじめに

サッカー, バスケットボールなどのボールスポーツやテニス, 卓球などのラケットスポーツは, 個人技術や集団技術などを巧みに発揮してよい成績を得るために必要な要素として, スポーツ環境からの情報をキャッチする感覚受容器を中心とする入力系⁹⁾と, スポーツ環境へ目的的に効率のよい巧みな動作を発現する骨格筋系を中心とする出力系と, その両系を階層構造的に調節・統合する中枢神経系を中心とする制御系¹⁰⁾がある。

Whiting¹⁵⁾はボールの視覚入力受容までの過程で, 4つの問題点を指摘している。それは, 「①なぜボールを注視しなければならないか ②どのくらい長くボールを注視する必要があるか ③ボールスキルを発現するどの段階でボールを注視することが必要か ④ボールスキルを発現するどの段階で, ボールの注視から次の標的あるいは他のディスプレイに眼を移動すればよいか」である。大築は,¹⁰⁾これらの系を構成する要素について, 入力系—状況把握能力と出力系—動作の正確さ・素早さ・持続性の要素に分けて要約している。以上のことから, 感覚入力—認知系の要素についてまとめてみると, 1)運動感覚による自分の身体運動認知能力(基本技術のフォームなど), 2)静的視覚による相手や自分の位置, 物体の形状に関する認知能力, 3)動的視覚による相手やボールの動きに関する認知能力, 4)聴覚による相手やボールの位置に関する認知能力, 5)リズム感覚による正確なタイミング能力, 6)相手やボールの動きに対する予測能力の7要素が考えられる。

学習指導要領(1989)⁹⁾は, 体操領域(5, 6年生)において「体の柔らかさ及び巧みな動きを高める運動」の中で, 巧みな動きとして取り扱っている。その他の領域では, 目標・内容のなかに, 巧緻性, 巧みさ, 調整力等の言葉は見られない。しかし, 基本の運動・ゲーム・ボール運動の領域では, いろいろな動作に共通して, 調整系の機能に関係する「巧みな動き」が必要である。そして, 巧緻性豊かな動きは, 神経系の完成す

る5—6才頃にその原型は完成するが, 機能的な面を含めると, 長期間の年月にわたる試行錯誤と反復学習の成果の積み重ねによって初めて完成するものである。「巧みな動き」を習得するには, 視覚入力—認知系システムが大切な要素である。

ボールスポーツ環境における視覚からの入力情報は, ボールの飛来方向・距離・速度・加速度・球質・球道など個々の組合せで, その「質」と「量」は複雑多様である。そして, それらの情報をもとにしてボール到達地点を決定するのである。また, その到達地点をできるだけ早く予測・認知することは, スマートでタイミングのよい蹴・捕・打などの基本動作を実行するのに必須の能力である。鬼頭⁹⁾は, 視覚入力—動作出力系の研究から, スポーツの基本動作のパフォーマンスの良し悪しを左右する要素として, 視覚入力—認知系システムに限ると, 1)ボールからの視覚入力情報が急激に変化する地点までのボールの注視, 2)ボールインパクトおよびボールコンタクト直前の一定時間の注視の2点をあげている。

本研究は, スポーツ環境の空間を移動しているボールの速度・方向・距離の認知能力について, 飛来するボール軌跡を部分的に遮断して視覚入力情報量を時間的に制限し, ボール到達地点の誤差を測定して, その認知の正確性について比較検討を行い, 発育・発達の観点から明かにすることを目的とした。

II. 方法

被検者は, 7歳児が9名, 12歳児が7名, 大学生(19~22歳)が6名の合計22名であった。被検者に対して, 7歳児と12歳児の場合には保護者にも, あらかじめ実験の目的および内容について説明をし, 十分な理解と同意を得てから測定を実施した。図1は実験方法の概略図を示したものである。

被検者は, 独自に制作した眼鏡型視覚遮断装置(以下VCSSとする)の作動部を顔面につけ, 硬式テニスボール発射装置から24.5mの地点に椅座位の姿勢で位置し, 飛来するテニスボールの到達地点を一回ごとに, 机上にある縮尺した用紙(3/100)に点で記録した。

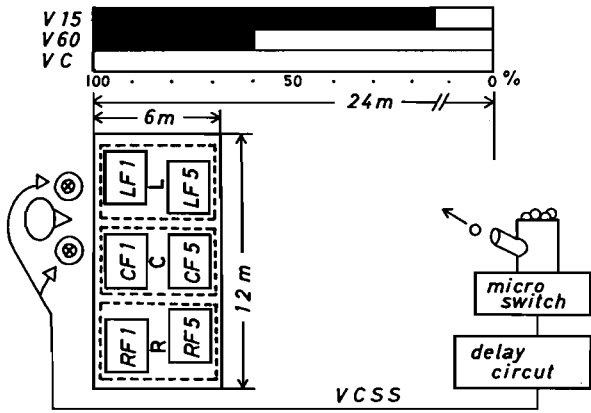


図1 実験の概略図

ボール距離条件は、発射角度を一定にして、ボールスピードを変えて被検者の前方1mと5mに落下するF1条件とF5条件の2つとした。また、ボール方向条件は正面と左右14度のC・L・R条件の3つとした。ボール飛行距離はF5条件で19±0.5m、F1条件で23±0.5mであった。C・L・R条件は、ボール距離条件と方向条件を組み合わせ、到達地点が13.75㎡の面積を持つ長方形エリアとし、さらに5㎡の長方形エリアを左前・後方、正面前・後方、右前・後方の6つに分けて、それぞれLF5、LF1、CF5、CF1、RF5、RF1条件とした。認知の成功率は、ボール到達地点の記録が方向と距離で規定されたエリア内であれば成功として、エリアごとの全試行数で除して求めた。認知の正確性は、ボール到達地点と被検者が記録した到達地点の誤差距離から求めた。

視覚入力遮断条件は、ボール出し開始からボール到達地点までのすべて見える視覚入力時間が100%の場合、放物線を描くボール軌跡の頂点が見える視覚入力時間が60%の場合とボール発射後から頂点までの3分の1にあたる視覚入力時間が15%の場合の3条件とした。(以下はVC・V60・V15条件とする。) 試行回数は、各条件についてそれぞれ60回ずつの計180回を、予測を避けるためランダムに実施した。また、ボールが到達した時の床の音が影響しないように、小型カセットテープで、ヘッドホンから好きな音楽を音量を大きくして聞かせた。

VCSSは、作動部と制御部から構成された機器である。作動部は、市販の電磁シャッターを金属フレームに固定して眼鏡型にしたものである。その重量は225g、片眼の直径は24mm、両眼視野は上下・左右とも約70度である。制御部は、TTL遅延回路を中心にして、外部からの電気的トリガー入力を、任意に設定した時間で遅延して、作動部の開閉に必要な電圧を出力する装置である。遅延時間の設定は、1msecから10secまで可能である。VCSSは、視覚入力情報量の時間的要素を高い精度で遮断でき、作動部の装着が簡単であり、実際のスポーツ環境で、ダイナミックな動作や視野を

制限することなく使用できる利点がある。

III. 結果および考察

1) ボール到達地点の認知成功率

到達地点の認知成功率は、表1と表2に示したとおりである。13.75㎡(5.5m×2.5m)の長方形エリア成功率は、VC条件の場合に、7歳児群で71.4~84.3%、12歳児群で73.4~92.2%、22歳学生群で80.2~91.9%であった。V60条件の場合、それぞれの年齢群で63.3~74.1%、71.4~80.1%、85.3~96.3%、V15条件の場合、65.0~75.7%、63.2~83.3%、75.4~89.7%であった。各年齢とも、視覚入力量が40%減少しても、認知成功率はほとんど低下しなかった。それが85%に減少しても5%程度の低下しなくなり、成功率は大きく変化しなかった。7歳児群は、視覚入力の制限がなくても75%程度の認知成功率になり、他の年齢に比べて若干低い値であった。この結果から考えられることは、右・左・まん中というおおまかな方向の認知は、7歳以上であればどの年齢においても、ボール注視時間が15%以上あれば可能であると考えられる。正面・左・右という方向の認知能力は、小学校低学年の児童から成人まで、ボールディスプレイで0.24秒の視覚入力情報があれば認知が可能である。Hofstenらの研究³⁾によると、生後4カ月の乳児は、遅いスピードで動いている物の軌跡を予測することはすでに可能であると報告している。つまり、これら3つの方向の認知能力は、かなり早い年齢から機能的発達が進んでいることが示唆される。

5.5㎡(2.0m×2.5m)の長方形エリアの認知成功率は、VC条件でLF5とLF1、CF5とCF1、RF5とRF1条件の場合に、7歳児群で71.6~85.1%、12歳児群で60.0~85.0%、22歳学生群で73.6~88.9%であった。V60条件の場合、それぞれの年齢群で12.5~40.8%、20.3~62.7%、47.9~85.7%、V15条件の場合、3.2~46.7%、22.5~55.2%、28.3~60.0%の認

表1 7歳児、12歳児、22歳の学生の方向別エリア(5.5m×2.5m)のボール到達地点認知成功率

Age		VC (%)	V60 (%)	V15 (%)
7	L	73.5	71.9	65.0
	C	71.4	74.1	75.7
	R	84.1	63.3	69.1
12	L	92.2	76.5	66.0
	C	80.6	80.1	83.3
	R	73.4	71.4	63.2
22	L	91.9	93.3	82.8
	C	80.2	96.3	89.7
	R	83.5	85.3	75.4

表2 7歳児, 12歳児, 22歳の学生の方向・距離別エリア (2m×2.5m) とボール到達地点認知成功率

Age		VC (%)	V60 (%)	V15 (%)
7	LF 5	78.6	12.8	3.2
	LF 1	71.7	39.1	40.2
	CF 5	71.6	20.3	9.9
	CF 1	72.4	40.8	46.7
	RF 5	85.1	12.5	10.7
	RF 1	78.2	40.8	38.1
12	LF 5	85.0	37.9	25.3
	LF 1	82.3	50.0	36.7
	CF 5	72.8	20.3	22.6
	CF 1	69.2	62.7	55.2
	RF 5	60.0	40.6	22.5
	RF 1	83.0	52.2	23.1
22	LF 5	86.3	64.3	40.5
	LF 1	87.1	85.7	60.0
	CF 5	77.5	47.9	28.3
	CF 1	78.6	83.3	89.5
	RF 5	73.6	61.5	42.2
	RF 1	88.9	76.3	58.5

知成功率であった。それは、各年齢群とも、視覚入力の遮断がない場合、13.75m²エリアのVC条件に比べて低い値であった。そして、認知成功率は、視覚入力量が60%、15%と減少すると、7歳児群の右前方のエリア(RF5)で、78.6%あった成功率が、3.2%に低下し、12歳児群と22歳学生群になると、85.0%と86.3%であったのが、それぞれ37.9%、25.3%および64.3%、40.5%に低下した。正面前方(CF5)・左前方(LF5)エリアの成功率も、同様の結果であった。右・正面・左後方(RF1・CF1・RF1)エリアの成功率は、視覚入力量が減少しても、前方エリアほど低下する割合が少なかった。各年齢群で共通していえることは、ボールが見えている時間が少なくなってくると、認知成功率は、VC条件と比較して明らかに悪くなった。特に、自分がいる地点から遠いエリアほどV60条件からV15条件になったときに、その値は低下した。7歳児群は、12歳児群と22歳学生群と比べて、VC・V60・V15条件とも20~25%の低い成功率であった。

2. ボール到達地点認知の正確性

ボール到達地点認知の正確性は図2に示した。ボールが到達した地点と被検者が縮尺用紙に記入した点との誤差距離は、7歳児群のVC条件の場合、LF5・LF1・CF5・CF1・RF5・RF1条件において70.8±51.8~102.8±51.0cm, V60条件で129.4±63.2~217.2±86.6cm, V15条件で121.2±72.3~237.6±

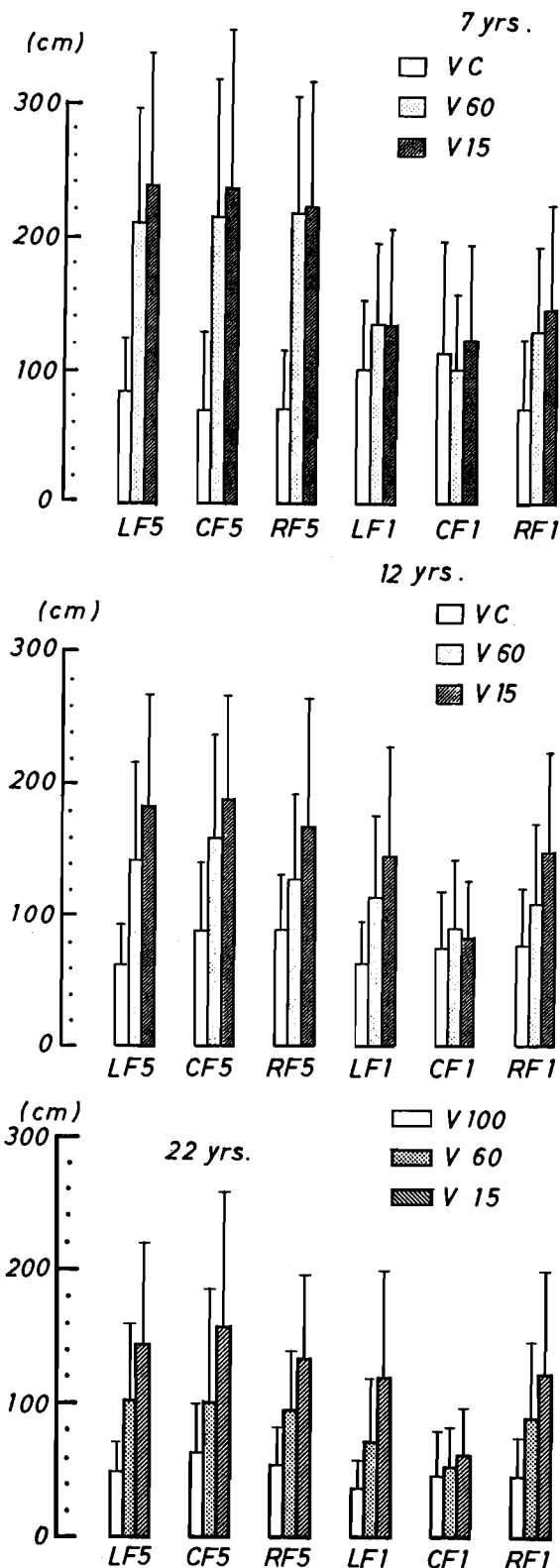


図2 各年齢群のボール到達地点認知の誤差距離

96.9cmの範囲であった。VC条件とV60条件と比較すると、LF5・CF5・RF5・RF1の4エリアで117.3cm, 134.7cm, 146.4cm, 58.4cmの差があり、両者の間に統計的に有意な差が得られた(p<0.01)。VC条件とV15条件でも同様の結果になった。VC条件の6エリアの認知誤差距離は、それぞれの間に統計的に

有意な差は得られなかったが、V60条件になると、CF1とCF5エリア・RF1とRF5エリアの間に有意な差が得られ($P < 0.05$)、CF1とLF5、とCF1とRF5のそれぞれの間にも有意な差が得られた($p < 0.01$)。12歳児群の認知誤差距離は、VC条件の6エリアにおいて $61.2 \pm 31.1 \sim 88.8 \pm 42.8$ cm、V60条件で $88.7 \pm 52.5 \sim 158.0 \pm 79.4$ cm、V15条件で $82.0 \pm 44.8 \sim 187.1 \pm 79.2$ cmの範囲であった。VC条件とV60条件を比較すると、LF5エリアのみに統計的に有意な差が得られたが($P < 0.05$)、VC条件とV15条件と比較すると、LF5・LF1・CF5エリアに有意な差が得られた($P < 0.05$)。22歳学生群の誤差距離は、VC条件の6エリアにおいて、 $37.2 \pm 19.6 \sim 64.3 \pm 34.7$ cm、V60条件で $53.7 \pm 38.2 \sim 103.4 \pm 57.3$ cm、V15条件で $61.8 \pm 36.7 \sim 156.7 \pm 101.1$ cmの範囲であった。各エリアごとは、VC条件とV60条件との間に有意な差はみられなかったが、V15条件との間では、LF5エリアで有意な差がみられた($P < 0.05$)。各年齢群の間で認知誤差距離を比較してみると、VC条件の場合、7歳児群と22歳学生群のLF1条件に5%水準で有意な差がえられた。V60条件の場合、7歳児群と12歳児群の間で、RF5エリアおよびそれぞれの年齢のLF5とLF1エリア、CF5とCF1エリア、そして、RF5とRF1エリアとの間に統計的に有意な差が得られた。7歳児群と22歳学生群の間で、LF5・CF5・RF5エリア、およびそれぞれの年齢のLF5エリアとLF1・CF5・CF1・RF5・RF1エリア、CF5エリアとLF5・LF1・CF5・RF5・RF1エリア、RF5エリアとLF5・LF1・CF5・CF1・RF1エリアとの間に統計的に有意な差が得られた。($P < 0.01$)、 $p < 0.05$) V15条件の場合、7歳児群と22歳学生群のLF1エリアおよび、それぞれの年齢のLF1エリアとLF5・CF1・RF1エリアに有意な差が得られた($P < 0.05$)。

ボール到達地点認知の正確性は、視覚入力が増加することにより、7歳児群、12歳児群、22歳学生群との間に有意な差がみられた。これは、ボールディスプレイが有している方向、速度、距離情報が加速度的に変化する地点の入力がないと、ボール到達地点の正確な認知に必要な中枢神経系の情報処理過程に重要な影響を及ぼしていると考えられる。V60条件における、7歳児群と12歳児群を比較すると、各エリアで有意な差が得られ、12歳児群と22歳学生群との間には有意な差が得られなかった。また、7歳児群と12歳児群のボール到達

地点認知の正確性を模式化して示したのが図3である。7歳児群の認知誤差は、VC条件の場合、各エリアとも12歳児群と同様の広がりであった。しかし、注視時間が60%になると、12歳児群と比較して、7歳児群は、自分が位置している場所より遠くはなれた距離のエリアになると、認知誤差の広がりが大きくなり、到達地点認知の誤差距離が4エリアで有意に増大し、自分の位置により近づいたエリアで認知することが明らかになった。7歳の子どもは、自分がいる位置からボール到達地点が遠くなればなるほど、自分とボールの方向と距離を見積もる認知能力の正確性が低下することが考えられる。つまり、自分の位置から正しい方向と距離を判断できる認知空間の広がりが、高学年の子どもに比べると、小さい空間の広がりであると考えられる。笠井⁵⁾は、視覚、聴覚、触覚など種々の感覚器から得られる位置情報が、最終的にはすべて共通の座標系を用いて表現されている必要があると考えてい

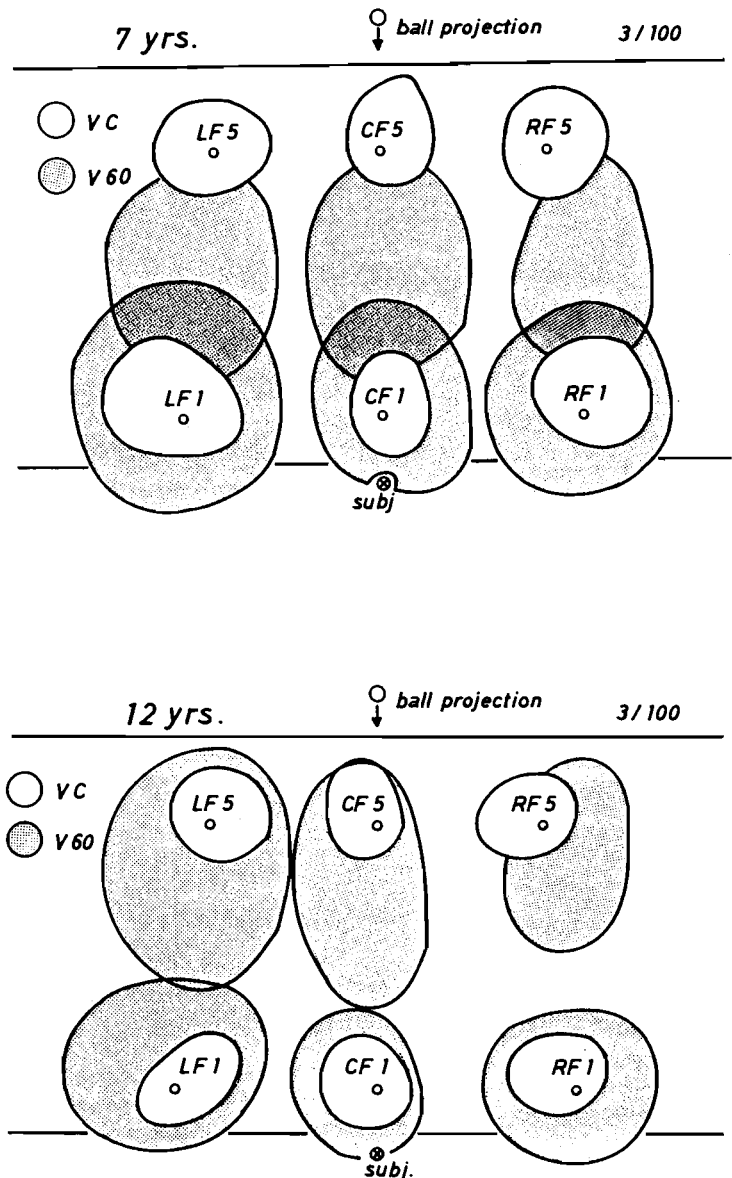


図3 7歳児と12歳児のボール到達地点認知の正確性

る。そして、中枢神経内に「脳は感覚器の動きをモニターしながら、感覚情報と合わせて周囲空間の三次元位置情報を獲得し、周囲空間の地図を脳の中に構築し、同時に、そのようにして構築された空間地図を用いて周囲の世界に働きかける運動を行う」という脳内空間地図の存在を示す仮説を提案している。7歳から12歳までの発達過程では、ボールディスプレイが40%遮断されると、脳内空間地図の空間位置設定に関するシステムが十分機能していないことが考えられる。Piaget, J¹²⁾, Rosenbaum, D. A.¹³⁾は、「時間」・「運動」・「速さ」に関する子供の認識発達について研究を行なっているが、その中で加速度を取り上げ、時間と距離との論理的関係から追求している。そこでは、斜面加速度運動実験装置を用いて、通過する時の速さや所用時間の大小判断、一定時間に進む距離を予見的に示させるような実験によって、子供の加速性の理解を調べ、問題の即時解決は11歳くらいにならないとできないと結論づけている。Bard C.²⁾は、子どもの年齢の違いによる捕球動作、打動作などのパフォーマンスの良し悪しの差は、ボールが到達する地点を正確に判断することが主要な要素であると述べている。そして、6～8歳の子どもは、動いている対象物にすばやく反応をするけれど、最適の反応をするために、対象物の軌跡の情報をまだ十分に利用することができないと考えている。Williamusの研究¹⁵⁾によると、空間を動いている対象物の情報の知覚に関する認識能力は、10歳から12歳にかけて著しく発達してくると報告している。また、標的把握動作を発育発達課程からみた Paillardらの研究¹¹⁾によると、Open-loop系による非視覚性 ballistic 標的到達動作は、生後20週の幼児にみられ、6歳頃になると原始的な視覚性 ballistic 到達把握動作が可能になる。そして、10歳頃までに、視覚誘導性の到達把握動作が確立し、feedback機構と feedforward機構が調和して、相互にタイミング良く機能するようになると述べている。

以上のことから、飛んでくるボールを捕球したり、味方にパスする場合、あるいは、飛んでくるボールから逃げたりする場合に、最後までよくボールを見ていないと、自分の意志で巧みなパフォーマンスができないことが考えられる。小さい子供の動作が不器用な動作に見える場合、動作そのものだけならスマートにできても、ボール情報の視覚による認知能力が十分に発達していないことがその原因になっている場合もある。先行研究の知見を含めて総合的に考えると、自分を中心にして半径5mで囲まれたエリア内に到達するボールの速度・方向・距離を認知する能力は、12歳前後に完成されることが示唆される。

IV. 結 論

7歳児9名・12歳児7名・22歳の学生6名の合計22

名を対象にして、自作の眼鏡型視覚遮断装置を用いて、ボール飛行軌跡を部分的に遮断して、視覚入力時間の大小とボール到達地点の認知の正確性との関係を比較検討して、以下の結果を得た。

- 1) ボール到達地点認知の成功率は、各年齢群とも13.75m²以上の広さのエリアであれば、視覚入力時間が15%に減少しても60～95%の高率であった。しかし、到達地点が5m²の広さのエリアの場合、視覚入力時間60%に減少すると25～45%、その時間が15%に減少すると15～30%に低下した。
- 2) 7歳児のボール到達地点認知誤差距離は、V C条件とV60条件を比較すると、L F 5・C F 5・R F 5・R F 1の4エリアで、117.3cm・134.7cm・146.4cm・58.4cmの差があり、両者の間に統計的に有意な差が得られた。
- 3) ボール到達地点の認知誤差距離は、V60条件場合に、7歳児群と12歳児群との間にR F 5エリアで、また、22歳学生群との間にL F 5・C F 5・R F 5エリアに統計的に有意な差が得られた。

以上のことより、右・正面・左という程度のおおまかな方向認知は、各年齢群とも視覚入力時間が15%以上あれば、正確にできることが明らかになった。距離の認知と速度・方向・距離の複合認知は、視覚入力時間が制限されると、各年齢群とも自分の位置より遠いエリアになればなるほど、認知の正確性が有意に低下することが明らかになった。ドッジボール、サッカー、バスケットボール、テニスなどの運動種目のコート of の広さにおいて、自分の位置とボールの位置あるいは自分の位置と味方、敵の位置に関する距離の認知および速度・方向・距離の複合認知の正確性は、11歳から12歳までにかなり発達することが示唆された。

引用・参考文献

- 1) Arbib, M. A.: Perceptual structures and distributed motor control. In: Handbook of Physiology. The Nervous system Vol. II. part2. Brooks, V. B. (Ed.), American physiology society, 1981, pp.1449-1480.
- 2) Bard C., Floury M., Marie G.: Coincidence-Anticipation Timing: An Age-related Perspective. In: Developmental of Eye-Hand coordination Across the life span. Bard C., Floury M., Hay L. (Ed.), The university of South Carolina press, 1990, pp.75-98.
- 3) Hofsten, C. von., Lindhagen, K.: Observation on the development of reaching for moving objects. Journal of Experimental Child Psychology, 1979, 28: 1158-173.
- 4) 伊藤正男：脳の設計図。中央公論社，1980，pp.176-198.
- 5) 笠井 健：脳内空間地図の仮説。生体の科学，35(3)：206-214，1984.
- 6) 鬼頭伸和：視覚入力と基本動作。バイオメカニクス研究'90。メディカルプレス社，1990，pp274-280
- 7) 久保田競：前頭葉と運動・行動。Jpn. J. Sport Sci., 1: 4-18, 1982

- 8) Lee, D. N: Visuo-Motor coordination space-time .In: Tutorials in Motor Behavior. Stelmach, G. E and J. Reque (Eds.), North-Holland Publ. Company, 1980, pp. 281-294.
- 9) 文部省：小学校学習指導要領，1989.
- 10) 大築立志：「たくみ」の科学，朝倉書店，1988，pp.193-198.
- 11) Paillard, J.: The multichanneling of visual cues and the organization of a visual guided response. In: Tutorials in Motor Behavior. Stelmach, G. E. and J. Reque (Eds.), North-holland Publ. Company, 1980, pp.259-279.
- 12) Piaget, J.: The Child's conception of movement and speed. (Trs. G. E. T. Holloway & M. J. Mackenzie) London: Routledge & Kegan Paul, 1970.
- 13) Rosenbaum, D. A.: Perception and extrapolation of velocity and acceleration. J. Exp. Psychol. Human Percept. Perform., 1: 395-403, 1975.
- 14) ホワイティング，H. T. A.：ボールスキル. 加藤橋夫，鷹野健次，石井喜八(共訳)，ベースボールマガジン社，1973，P.29.
- 15) Willams, H. G.: The effect of systematic variation of speed and direction of object flight and of skill and age upon visuo-perceptual judgement of moving object in three-dimensional space, Office of Education, Report No. 6-8102, University of Toledo, 1968.
(平成8年9月5日受理)