

# 「動体認知」測定法の開発 — その原理と方法の検討 —

金 光 義 弘<sup>\*1</sup>

## 要 約

これまで視空間内で動く対象に対する識別の能力は、閾値の概念に基づく動体視力という指標で表されていた。これに対し本研究では、眼球運動を伴うダイナミックな動体視を、ノイズの中から信号視標を検出する能力とみなし「動体認知 (Dynamic Moving Detectability : DMD)」と定義したうえで、信号検出理論に基礎をおくビジランス課題を用いて測定する試みがなされた。本論では測定法の開発にあたって、以下の議論が展開された。

1. 動体認知の概念的定義
2. 動体認知の測定原理：視覚生理学と心理測定法からの検討
3. 動体認知の測定方法：装置の概要と指標の求め方
4. 動体認知の今後の課題

## 緒 言

空間内の対象や事象が視覚系によってどのように知覚され、また処理されるのかについては、視覚生理学や感覚心理学の分野で膨大な研究が行われ、その機序については一般的な共通理解が得られている<sup>1)</sup>。例えば、静止したものを眼を動かさずに捉える事象については、眼をカメラにたとえた説明がなされ、個人による視機能の差が静止視力 (Static Visual Acuity : SVA) によって表されることも周知の事実である。ただし、この場合の視力<sup>2)</sup>が、2点または2本の線分を分離して見分ける最小可知差異 (just noticeable difference : jnd)、すなわち閾値 (limen) を意味するものであり、最小分解角 (minimum separable angle) の逆数が視力値として用いられていることは、専門領域外ではあまり知られていない。

これに対して、静止した対象を顔や眼を動かしながら見るとか、顔や眼は動かさずに動く対象を見るとか、あるいは双方が動く場合の知覚や判断についての研究はどうであろうか。古くは Ludvigh<sup>3)</sup>や Miller<sup>4)</sup>によって、2次元平面上で移動する視標の最小分解能力を「動体視力 (Dynamic Visual Acuity : DVA)」と称した種々の測定実験が行われた。しかし、動く視標の方向、速度、明るさ等の条件変数の統制の困難もあって一貫性のある結果は得られてい

ない。他方わが国においては、鈴木ら<sup>5,6,7,8)</sup>によって、3次元的に接近移動する視標に対する最小分解能力を同じく「動体視力 (Kinetic Visual Acuity : KVA)」と称した各種の測定研究が行われた。

ここにおいて注目すべきは、同じ動体視という概念であっても視標の動き方が異なる点である。Ludvighらは視標を左右水平方向に移動させているのに対して、鈴木らは視標を直線的に遠方より接近させており、空間的次元性において異質といえる。そうであれば当然、視覚生理的機序の面での相違があるはずであろう。すなわち、2次元面上を移動する視標をとらえるためには、視線を視標に向けるべく両眼を平行移動させる眼球運動が必要である。一方、3次元で奥行きを伴う視標の移動をとらえるためには、視線変化よりむしろ固視距離の変化に対応すべく両眼の遠近調節機能にかかわる眼球運動が要求される。平易なタームでいえば前者が「むき運動」であり、後者が「よせ運動」にあたる<sup>9)</sup>。

さて我々の日常生活の視空間認知行動に目を向けると、2種類の動体視はその重要性においておよそ差の無い程度に機能していることがわかる。例えば自動車の運転場面においては、前進視野内を動き回る対象に目配りし、行き交う人や乗り物との距離を測りながら走らなければならない。したがって、「DVA 動体視力」も「KVA 動体視力」も優れていてはじ

\*1 川崎医療福祉大学 医療福祉学部 臨床心理学科  
(連絡先) 金光義弘 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

めて安全な運転が保障されるはずである．ところがわが国においては，後者に比して前者についてはスポーツ・ビジョンの研究<sup>10)</sup>以外ではあまり評価されていない事実がある．その代表的事例は，自動車運転適性検査の下位項目にあげられている動体視力である．これは静止視力検査に用いるランドルト氏環指標を機械的に一定速度で観察者に直進させ，環の方向が認識された距離に基づいて視力を算出するもので，まさに KVA 動体視力である．ここにおいて KVA 動体視力と DVA 動体視力の間に正の強い相関が認められればよいが，もしも相関がなく異なる視機能を反映しているとするれば，片方の測度のみで片付けるわけにはいかない．交通場面であれスポーツであれ，場合によっては DVA 動体視力の方が有効な指標である可能性すらあると思われる．

### 動体認知の概念的定義

空間内で動くものを視覚的に認識する機能を論議する場合，まず動体視力という測度は，KVA であれば DVA であれば，視標の最小分解角という閾値の概念に基づいて構成されていることを確認しなければならない．そのうえで，移動対象に対する認識機能の総合理解のためには，閾値の概念とは別に，不規則に出没したり変化したりする視標をとらえる視機能を反映する測度を吟味する必要があると思われる．すなわち，仮に十分な動体視力があつたとしても，動く対象の存在や変化が認識されないケースがありうるし，またその逆の状況もあろう．そこで金光<sup>11,12,13)</sup>は，既存の動体視力とは別に，予測の範囲を越えて生じる視覚的移動対象の変化に対する素早く正確な検知機能を重視する概念を提唱し，これを「動体認知 (Dynamic Moving Detectability)」と定義した．この概念は先述した DVA 動体視力や KVA 動体視力とは異なり，動きや変化に対する人間の覚醒，注

意，あるいは鋭敏性などに基づく機能の総称である．各種の視力との相違を整理して示したものが表 1 である．

## 動体認知の測定原理

### 1 視覚生理学的検討

動く対象の存在や変化の検知，すなわち動体認知の生起機序には眼球運動が密接に関連していることは明らかである．その眼球運動に関しては多様な面からの研究があるが，動く対象の認識機能に限って言えば，2 種類のものに大別される．斎田<sup>9)</sup>によれば，その 1 つは「KVA 動体視力」に必要な場面で，視方向を一定に保った状態で注視点を遠近方向に移動させるときに生じる離反眼球運動 (disjunctive eye movement) である．つまり，近づくものを見る際に両眼が内転 (内よせ) したり，遠ざかるものを見るときに外転 (外よせ) したりする「よせ運動」である．もう 1 つは「DVA 動体視力」や「動体認知」に必要な共同眼球運動 (conjugate eye movement) である．これは主に二次元平面上を移動する対象をとらえたり追跡したりするもので，両眼は同時に同方向に等角度回転する「むき運動」のことである．

ところが動体認知に関してはさらに考慮すべき側面があると思われる．それはゆっくり移動する視標の微細な変化を検出する状況と，急激な移動や変化を検知する状況との区別である．この吟味の根拠を提供するものに，移動したり変化する対象の速度に対応する眼球運動の種類がある．移動対象の速度が比較的遅い場合，眼球は視標を追視すべく追跡運動 (pursuit) をし，高速な場合や急激な際には飛越運動 (saccade) をすることが知られている．これらは視覚生理学的知見との対応があり，前者は滑動性眼球運動 (smooth pursuit eye movement)，後者は衝動性眼球運動 (saccadic eye movement) とよばれ，異なる神経生理的機序によって制御されていることも明らかにされている<sup>9,14)</sup>．

したがって，動体認知の測定にあたっては両眼の「むき運動」の中でも，追跡運動と飛越運動を必要とする場面を備えた状況が提供されなければならないと考えられる．

### 2 心理測定法からの検討

動体認知の概念自体が新しく，当然その個人差を測定する既存の方法はない．そこでその開発にあたっては，動体認知の概念規定に基づいて，動く対象の予期せぬ変化の認識力を反映する数量的指標の導出に重点が置かれた．つまり，動体の不規則な変化を検知するポテンシャルは既存の閾値の概念ではなく，むしろ背景刺激の中から適切刺激を抽出する，いわば相

表 1 各種視力と動体認知の相違

| 視機能名称      | 対象      | 移動・変化種類                  | 必要機能                    |
|------------|---------|--------------------------|-------------------------|
| 静止視力 (SVA) | ランドルト氏環 | 静止状態                     | 特徴検出性                   |
| KVA 動体視力   | ランドルト氏環 | 接近距離(遠近)                 | 特徴検出性                   |
| DVA 動体視力   | ランドルト氏環 | 移動速度(左右)                 | 特徴検出性                   |
| 動体認知 (DMD) | 各種移動視標  | 2次元平面運動<br>微細変化<br>不規則変化 | 動体追跡性<br>変化検出性<br>突然対応性 |

〔注〕動体認知の場合，ターゲット視標の形や大きさなどは特に問題ではない．重要なのは移動方向，範囲，速度，および変化の多様性と不規則性などである．

対的検出率指標の妥当性が検討された。その過程において、GreenとSwets<sup>15)</sup>の「信号検出理論 (Signal Detection Theory: 以後 SDT と称す)」における実験事態が、想定される動体認知状況と操作的に符合することが明らかになった。SDT ではノイズ刺激と信号刺激の2つの事態を想定し、前者はランダムに変化する背景刺激であり、後者はノイズに当該信号が加わった適切刺激とみなす<sup>16)</sup>。この2種の刺激布置は、ある視野内でさまざまな動きや変化をする視標 (ノイズ刺激) の中から、ランダムな頻度で出現する一定の要件を満たした類似視標 (信号刺激) を検出する事態と等価であるとみなすことが可能であろう。

では SDT 事態において、動体認知をいかなる従属変数で表せばよいであろうか。最も簡潔な方法としては、yes/no 反応状況が考えられる。観察者は刻々変化するノイズ視標に対しては“no”反応を、ある時それが信号刺激として呈示されたと認知した場合には“yes”反応をすれば正答となる。もしも観察者がノイズ視標に対して“yes”、信号視標に対して“no”と反応したり無視したりすれば誤答となる。一般に SDT では、こうした刺激事態と反応の組合せを表2のように示し、4種類の反応に対して各呼称を与えている。そのうえでSDTによれば、観察者の弁別度ないしは感受性 (sensitivity) の測度を  $d'$  指標 (ディー・プライムと呼び、ノイズ反応分布と信号反応分布との差を確率統計的に算出した値のこと) で表すことができる。したがって、動体認知の測定がSDT事態に準じて行われれば、個人の動体認知の能力を感覚的側面の測度として示すことが可能となる。

ところが日常生活の上では、動体認知の測度が個人の感受性だけによって規定されるとは考えられない。つまり、不規則な移動や微妙な変化を伴う対象を認識するという困難事態であれば、個人の判断基準による反応変動を無視することはできないであろう。ここでいう判断基準とは、観察者の態度や動機などの非感覚的要因であり、“go/no go”反応基準の厳格さを反映するものである。表2に従って付言

すれば、仮に感受性測度  $d'$  が一定でも、緩やかな判断基準は“go”反応を促して「正 (go) 反応 (Hit) 率」を高めると同時に、ノイズを信号と見まちがう「誤 (go) 反応 (FA) 率」をもまた高くするであろう。逆に厳しい判断基準をもってすれば“go”反応に慎重になり、ノイズを信号として誤検出することのない「正否 (no go) 反応 (CR) 率」は高くなるが、一方で信号を見落とす「誤否 (no go) 反応 (Miss) 率」も高くなるというわけである。そこで SDT ではこの判断基準をやはり確率統計的に算出し、 $\beta$  値で示すことによって明確に  $d'$  と区別している。動体認知の測度としても理想的には両指標が用いられるべきであろう。

しかしながら、実際には SDT における両指標とも、刺激特性や S/N 比などの測定場面における諸実験変数によって左右されることも知られており<sup>16)</sup>、臨床的適用性においては多くの解決すべき課題を包含している。そこで本研究では、SDT の原理を基本としながら、現実的にも臨床的にも妥当な指標を求める測定方法の開発を試みることにした。

## 動体認知の測定方法

検出されるべき信号 (例えば工場生産における不良品など) が稀にしか出現せず、また確率的で予測不可能な状況における監視作業を「ビジランス課題 (vigilance task)」という<sup>17)</sup>。実は本研究の目的である動体認知の測定法の開発にあたって、SDT に準じて考案された、ノイズの中から不規則に発生する信号を検出する状況は、まさにビジランス課題の遂行事態なのである。したがって、信号の検出率は観察者の覚醒水準や注意力に依存しており、動く信号対象の認知の測定法としても妥当性は高い。加えて、信号対象の移動の種類は Ludvigh ら<sup>3,4)</sup>のいう動体視力、すなわち二次元面上のdynamic movement であるところから、本研究の動体認知測定課題は“dynamic vigilance task”と名づけられる。次に、ダイナミック・ビジランス課題に基づく測定装置の内容を明らかにしたい。

### 1 動体認知測定装置の概略

#### 1) 基本的視標呈示の方法

2次元平面上で移動する視標を、SDT に準じてノイズ刺激と信号刺激として呈示するための装置として、コンピュータ・ディスプレイが用いられた。図1のように、19インチ画面内に1辺10mmの正八角形の幾何学図形を信号 (正) 刺激として呈示した。そのうち8辺のいずれか1辺が欠落したものをノイズ (誤) 刺激と定めた。各視標は信号対ノイズの比がおよそ1対5の割合で出現し、3種類の速度で画面内

表2 SDT に基づく刺激事態と反応の組合せ

|        |                 | 反応                        |                                  |
|--------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|
|        |                 | “yes” : go                | “no” : no go                     |
| 刺<br>激 | 正視標呈示<br>Signal | 正反応<br>Hit                | 誤反応<br>Miss                      |
|        | 誤視標呈示<br>Noise  | 誤反応<br>FA; False<br>Alarm | 正否反応<br>CR; Correct<br>Rejection |

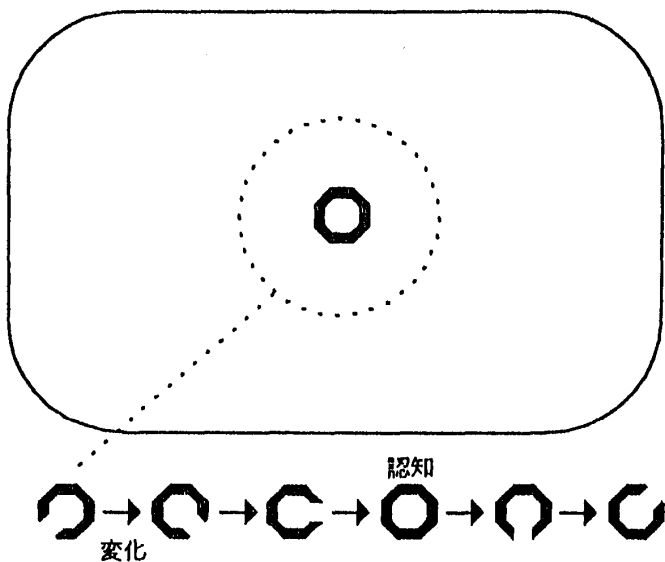


図1 ディスプレイ上でのターゲット視標の呈示状況

[注] ・八角形の視標の一边がランダムに欠けて表示される。

・正八角形の視標の表示を認知したら手元のボタンを押す。

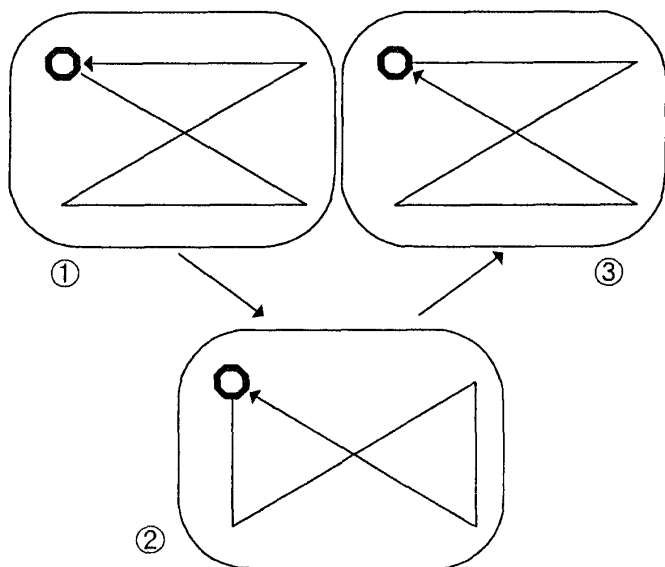


図2 視標追跡課題のターゲット視標の移動パターン

[注] ・ターゲットの移動パターンには3種類ある。

・ターゲットは対角軸，縦軸，横軸に移動しながら表示される。

・ターゲットの動くスピードは低速，高速の2段階で変化する。

・ターゲットの大きさには，大と小の2種類ある。

・正八角形の視標の表示を認知したら手元のボタンを押す。

を移動した。

## 2) 視標移動の区分と課題

(1) 視標追跡課題 滑動性眼球運動に伴う動体認知を測定するために，視標は画面内を水平方向，垂直方向，斜方向にスムーズに移動する(図2)。被験者は視標を追跡しながら，ノイズ(欠落八角形)が信号(正八角形)に変化した場合に手元のスイッチボタンを押すことが求められている。そして表2に

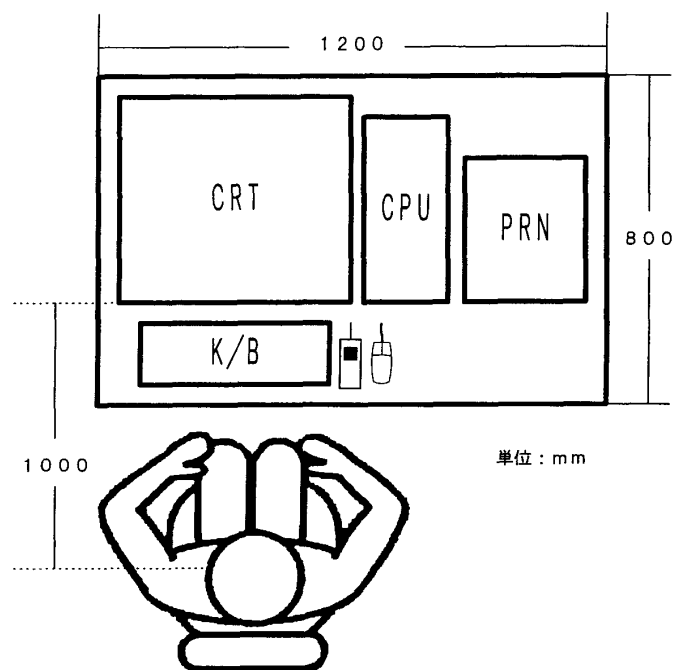


図3 動体認知測定装置の設置条件(単位 m/m)

[注] ・被験者はキーボードとは別に手元(利き手)にプッシュボタンを持っている。

従って，ノイズ呈示時のボタン押し(go)は誤反応(FA)として，ボタンを押さなければ(no go)正否反応(CR)として記録される。一方，信号呈示時のボタン押し(go)は正反応(Hit)として，そうでない場合(no go)は誤否反応(Miss)として記録される。

(2) 視標跳躍課題 衝動性眼球運動に伴う動体認知を測定するために，視標が画面の範囲内で不規則間隔で出没する。図2における視標移動の軌跡がなく，あたかも視標が跳躍するかに見える状態から「視標跳躍課題」と名づけられた。被験者は，いつ，どこに出現するかわからない視標の検知に注意を注ぎ，かつ検知された視標の信号性を検出することが要求される。反応の正誤に関する記録は，視標追跡課題と全く同じ原則に従う。

## 3) 測定装置の構成

測定装置の本体は，パーソナルコンピュータ(Windows'98対応；CPU 300MHz)とディスプレイ(液晶19インチ)とからなり，周辺機器として反応キイ(キーボードまたはスイッチボタン)およびプリンタ装置が付随する。その設置条件は図3に示す通りである。

## 2 基本的測度と指標の求め方

基本的測度は相対的正反応率と相対的誤反応率とする。正反応には2種類あり，信号に対する正(go)反応とノイズに対する正否(no go)反応の総数を全刺激呈示回数で除した値を「動体認知率」と定義し，動体認知能力を反映する指標とする。また誤反応に関しては，信号呈示回数と信号に対する否反応(no

表3 動体認知指標の算出式

|       |  |
|-------|--|
| 動体認知率 | $= \frac{\text{正反応数} + \text{正否反応数}}{\text{総刺激 (信号 + ノイズ) 呈示回数}} \cdots (1)$ |
| 見落とし率 | $= \frac{\text{信号呈示回数} - \text{正反応数}}{\text{信号呈示回数}} \cdots (2)$             |
| 誤反応率  | $= \frac{\text{誤反応数}}{\text{ノイズ呈示回数}} \cdots (3)$                            |

go) 数との比を「見落とし率」とし、ノイズ呈示回数とノイズに対する反応 (go) 数との比を「誤反応率」として区別する。なぜならば、被験者の判断基準に応じて2種類の誤反応の割合は異なり、各々の値が動体認知の重要な背景要因を反映するからである。以上の測度と指標の算出式をまとめて表3に示す。

### 動体認知測定の今後の課題

人の心的特性を測定するツールの開発に当たって不可欠な課題は、その信頼性と妥当性の検討である。

動体認知測定法に関する信頼性を高めるためにも、測定条件を一層合理的なシステムとして確定しなければならない。その第1はディスプレイ内の視標の大きさ、および被験者との距離、すなわち視標に対する視角と視野の要因である。第2は視標の移動方向と速度の要因であるが、コンピュータソフトの制約と被験者の反応測度との適切な対応が求められる。第3は視標のノイズと信号との出現比率、およびそのランダム性の要因である。特にこの要因は、被験者の予測の構えや態度成分を構成するものであり、これ自体を変数とした予備実験が必要であろう。第4は測定に要する試行数および時間の問題である。有意な動体認知率の算出に必要な試行数がある一方で、被験者の学習や飽和の効果と関連する時間要因も考慮されなければならない。第5に被験者の基本的な情報処理能力の要因である。すなわち、動体の認知

過程以前に、情報入力段階と出力段階における処理水準が測度値に反映する可能性があるからである。

以上のような信頼性に関する検討に加えて、日常生活場面を想定するツールに関しては特に外的妥当性の検討が必要である。

ダイナミック・ビジランス課題に基づく動体認知の測定は、視機能のなかでも静止視力 (SVA) や動体視力 (DVA, KVA) のような、対象の最小可知差異を検出する機能ではなく、不規則に動く対象の変化の検知や突然性への対応特性を知るうえで有効な指標を提供すべきである。そのためには動体認知の指標が、ノイズと信号が入り乱れる日常的状況下にある人の情報処理能力を、確実に反映することを確かめなければならない。例えば、目まぐるしく不規則に変化する環境の中で、突発的に出現する重要な信号刺激を検知し、素早く反応しなければならない交通場面において、動体認知測度と安全行動指標の間に密接な関連性が認められるべきであろう。

その他に外的妥当性を吟味する側面として、覚醒レベル、心身の疲労<sup>18)</sup>、発達や加齢に伴う変化<sup>19)</sup>、認知スタイル、などが考えられる。いずれも臨床的要素を含んでいるため、動体認知測定の臨床心理学的有効性を検討する課題としても重要であろう。さらに、2種類の眼球運動に基づく作業プロセスの詳細な分析によっては、有効な眼科的知見を提供する可能性もあると思われる。

いずれにしても、人の動体視を全く新しい視点からとらえようとする試みであり、その信頼性にしても妥当性にしても多くの検討課題を残している。同時に、有効なツールとして活用されるためには、十分な標本に基づく妥当な標準化が緊急の課題であることについては論を待たない。

本研究の測定装置の開発にあたってはマイクロメイト岡山株式会社との絶大なる協力を得た。記して感謝する。

### 文 献

- 1) Hochberg JE (1978) 上村保子訳 (1981) 視覚 その構造と機能, 岩波書店, pp28-48.
- 2) 市原 茂 (1994) 視覚系の空間的特性「視力」. 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, 大山 正, 今井省吾, 和気典二編, 誠信書房, pp556-579.
- 3) Ludvigh E (1948) The visibility of moving objects. *Science*, **108**, 63-64.
- 4) Miller JW, Ludvigh E (1962) The effect of relative motion on visual acuity. *Survey of Ophthalmology*, **7**, 83-116.
- 5) 鈴村昭弘 (1961) 動体視力の研究. 名古屋大学環境医学研究年報, **13**, 54-74.
- 6) 鈴村昭弘 (1962) 動体視力の研究 (2). 名古屋大学環境医学研究年報, **14**, 79-108.
- 7) 鈴村昭弘, 谷口正子 (1968) 動体視知覚の年齢的变化とその本態. 名古屋大学環境医学研究年報, **20**, 24-30.
- 8) 鈴村昭弘 (1969) 空間における動体視知覚の動揺と視覚適性の開発. 日本眼科学会誌, **75**, 22-54.

- 9) 斎田真也 (1994) 眼球運動の種類. 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, 大山 正, 今井省吾, 和気典二編, 誠信書房, pp851-866.
- 10) 石垣尚男 (1995) スポーツと眼, 大修館書店.
- 11) 金光義弘 (1999) ドライバーの感覚生理心理学 (1) 動体視力と動体認知. 安全運転, 岡山県交通安全協会刊, **340**, 4-4.
- 12) 金光義弘 (1999) ドライバーの感覚生理心理学 (2) 交通場面での視機能. 安全運転, 岡山県交通安全協会刊, **341**, 4-4.
- 13) 金光義弘, 木村憲従 (1999) ダイナミック・ビジランス・チェッカーの心理学的・医学的見解. マイクロメイト岡山株式会社刊.
- 14) 川島幸夫 (1999) 人間の視機能の老化に伴う変化や衰退. 第4回交通大学, マイクロメイト岡山株式会社刊, **4**, 5-13.
- 15) Green DM, Swets JA (1966) Statistical decision theory and psychophysiological procedures. In *Signal Detection Theory and Psychophysics*, N.Y., Wiley, pp30-40.
- 16) 苧阪直行 (1994) 感覚・知覚測定法「信号検出理論」. 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, 大山 正, 今井省吾, 和気典二編, 誠信書房, pp35-41.
- 17) 吉田正昭 (1993) ヴィジランス Vigilance. 心理学事典, 平凡社, pp44-45.
- 18) 浜口恵治 (1972) 疲労の測定 フリッカー法への信号検出理論の適用. 高知大学学術研究報告, **8**, 139-153.
- 19) 渡辺義行, 山田久恒, 石垣尚男 (1981) 動体視力の研究—幼児・児童の動体視力の発達— 総合保健体育科学, **4**, 21-33.

(平成11年5月12日受理)

## The Development of a Method for Measuring “Dynamic Moving Detectability” — An Examination of the Principles and Methodology —

Yoshihiro KANEMITSU

(Accepted May 12, 1999)

Key words : DYNAMIC MOVING DETECTABILITY, DYNAMIC VIGILANCE TASK,  
SIGNAL DETECTION THEORY, EYE MOVEMENTS, VISUAL ACUITY

### Abstract

The optical ability of humans to discriminate moving objects in visual space has been expressed by “Kinetic Visual Acuity (KVA)”, which is based on the concepts of limen or threshold.

On the other hand, the present study defines dynamic vision followed by eye movements as “Dynamic Moving Detectability (DMD)”. Then an attempt was made to measure this DMD, using vigilance tasks grounded on the Signal Detection Theory (SDT). The followings are discussed.

1. The conceptual definition of dynamic moving detection.
2. Measurement principles of dynamic moving detectability.  
— A study of optical physiology and psychometrics. —
3. Measurement methodology of dynamic moving detectability.  
— The equipment and the index. —
4. Future problems of these examinations.

Correspondence to : Yoshihiro KANEMITSU Department of Clinical Psychology, Faculty of Medical Welfare  
Kawasaki University of Medical Welfare  
Kurashiki, 701-0193, Japan  
(Kawasaki Journal of Medical Welfare Vol.9, No.1, 1999 13-18)