

## 研究

## 視野の広さと体の揺れの関係

高瀬 正典

防衛大学応用物理学教室 〒239 横須賀市走水 1-10

(1989年4月28日受理)

## The Relation between Visual-Field Size and Body Sway

Masanori TAKASE

Department of Applied Physics, National Defense Academy,  
1-10, Hashirimizu, Yokosuka 239

Movements of one-leg postural body sways were measured as a function of the visual-field size (diameter) restricted from the condition of closed eyes to that of open eyes in photopic vision. Test stimulus was a large landscape photograph ( $37^\circ \times 26^\circ$ ) illuminated by two fluorescent lamps ( $40\text{ W} \times 2$ ). Surroundings of the stimulus were covered with dark screens. The experimental results obtained for six subjects show that magnitudes of their body sways are approximately constant up to  $10^\circ$  of visual-field size, and decrease lineally with increasing logarithm of visual-field size to the condition of open eyes. It is concluded that peripheral vision markedly contributes more to body sway than central vision does, and the effective visual-field ranges from about  $10^\circ$  to the size of open eyes.

## 1. はじめに

外界からの視覚情報は、眼球運動を伴って、おもに中心窩を通して処理される。これは網膜に不均一さがあり、中心窩の情報収集能力が高く、周辺部が低いのである。網膜位置による視機能の違いはその機能によって光覚視野、色覚視野といった視野の広さとして表現されるが、パターン認識のためにはある広さの視野（有効視野）を必要とすることが知られている<sup>1)</sup>。さらに広い視野について、畑田ら<sup>2)</sup>は、臨場感のような広視野効果に関係があり、外界の物理的座標軸を傾けると観察者の主観的座標軸が誘導されて傾くという誘導効果をもつ誘導視野を段階的視野制限法によって測定した。誘導視野の範囲は誘導効果を生ずる視野サイズの下限と誘導効果が飽和する視野サイズの上限の範囲で示され、 $20^\circ$  から  $110^\circ$  に及んでいる。しかし、この誘導効果は、外界の物理座標に変化がない場合には生起せず、日常ではなかなか現われにくい効果である。

一方、外界の物理座標に変化がなくても、直立姿勢（立姿）から体を傾けると主観的座標軸は傾くことが知られている<sup>3)</sup>。さらに、閉眼時の直立姿勢の揺れは開眼

時よりも大きいことが知られている<sup>4,5)</sup>。これらは主観座標の形成に視覚が重要な働きをしていることを示唆しているが、詳しいことは不明である。そこで、外界の物理座標に変化がないとき、段階的に視野制限をする方法で視覚情報を制限した場合の主観座標の変化を調べることを考える。このような主観座標の変化は、視野狭窄の人や視野制限下で仕事をする人にとっては重要な意味を持つが、直接測定するのは難しい。しかし、主観座標の変化は、平衡感の変化をまねき、体の揺れの増大または減少として現われると予想されるので、直立姿勢（立姿）を保持している人の体の揺れの大きさから測定できると考えられる。

立姿保持への視覚情報の寄与については、開眼と閉眼の場合の研究がとくに視覚障害者に関して多く行なわれている<sup>4)</sup>。また、周辺視の立姿保持への寄与は中心視より重要であることも報告されている<sup>5)</sup>。しかし、視野の広さの寄与についての定量的なデータは、Dickinsonら<sup>6)</sup>の、ある照明条件下で周辺視野を段階的に制限したときの片足立ちできる持続時間を判断基準にしたものしか見あたらない。この論文では、視野が広くなると持続時間が長くなるという周辺視野の効果を得ているが、持

続時間と体の揺れとの関係が不明であるため、視覚情報の立姿保持への寄与については明瞭ではない。

本研究では、外界の物理座標が変化しないときの主観座標の変化への周辺視の寄与を知ることが目的として、閉眼時より段階的に視野を広くしていく場合に体の揺れはどのように影響されるのかを調べることにした。そのための実験および結果について以下に示す。

## 2. 実験

### 2.1 実験装置および実験条件

本実験では両眼の視野を制限した被験者が、片足立ちで大型風景写真を自然に見るときの重心動揺および頭頂変位の時間的変化を測定した。ここでは、まず閉眼から  $30^\circ$  までの制限視野サイズと閉眼で、被験者を片足立ちさせたときの重心動揺と頭頂変位の時間的変化を測定し (モード1)、つぎに  $30^\circ$  から開眼に至る視野サイズについて重心動揺のみを測定した (モード2)。使用した実験室内ブースおよび実験装置の概略を Fig. 1 に示す。実験モード2では天井の低い別の実験室を用いたために TV カメラ等の取付けを行っていない。呈示刺激にはブース内の被験者の前方 3 m に Fig. 2 に示すような  $2\text{ m} \times 1.4\text{ m}$  のカラーの風景写真を用い、写真の周囲は開眼視野に至るまで暗幕で覆った。被験者直前の上と下にたらしめた暗幕は光源からの直接光と床の暗幕からの反射光を遮るために用いたもので、窓ではないが  $50^\circ$  視野で上の暗幕の端が入り、 $100^\circ$  視野で下の暗幕の端が入る。視距離 3 m は風景中の物体の画角が不自然でない距離として決めた。照明は、明所視とするため、外光を遮断した実験室の天井に取り付けた白色蛍光灯 (40 W) 2 本で行なった。カラー写真の代表的箇所

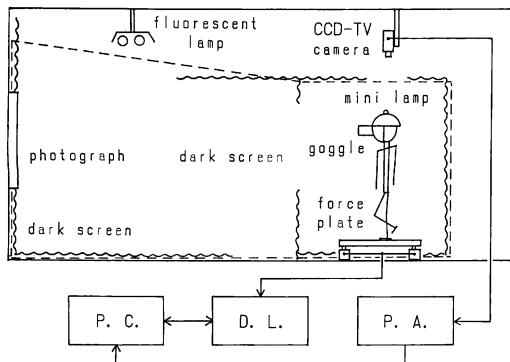


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental booth and setup. P. C., D. L. and P. A. represent a personal computer, a data logger and a position analyzer, respectively.

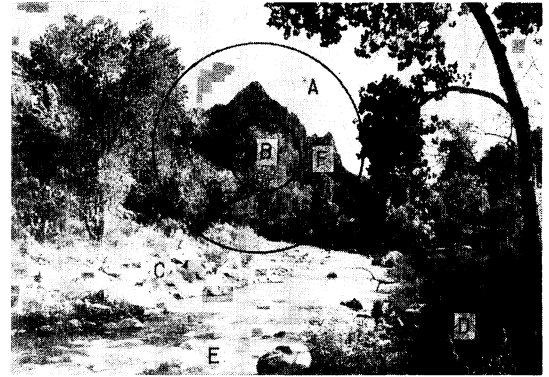


Fig. 2 Landscape photograph for test stimulus (color,  $2\text{ m} \times 1.4\text{ m}$ ). Sets,  $(L, x, y)$ , which mean luminance values  $L(\text{cd}/\text{m}^2)$  and chromaticity coordinates  $(x, y)$ , at typical locations of A, B, C, D, E and F are  $(50, 0.368, 0.388)$ ,  $(12, 0.421, 0.463)$ ,  $(26, 0.388, 0.460)$ ,  $(5, 0.112, 0.820)$ ,  $(23, 0.257, 0.548)$  and  $(10, 0.257, 0.548)$ , respectively. Two circles drawn in the figure are examples showing visual-field sizes of  $5^\circ$  and  $15^\circ$ .

度と色度は Fig. 2 の説明に示す値で、実験期間中ほぼ一定であった。また、視野サイズの例として  $5^\circ$  と  $15^\circ$  の円を図中に描いた。

被験者の着用する視野制限用ゴーグルは Fig. 3 に示すような構造をもつが、眼間距離は被験者で異なるので  $5^\circ$  未満の小視野では開口の間隔を調整できるようにした。視野を段階的に制限するための視野サイズ (直径) の決め方として、錐体の密度分布が中心窩からの視角の対数に大まかに比例する<sup>7)</sup> ことから、対数的に等間隔に近い視野サイズを選んだ。視野絞りである円形開口の直径と開口から瞳孔までの距離を選ぶことによって次に示す視野サイズのゴーグルを用意した。実験モード1では視野制限の段階を閉眼、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $7^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$  および開眼とした。実験モード2では視野制限の段階を  $30^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $100^\circ$  および開眼とした。

体の揺れの目安として、重心動揺の床面への投影すな

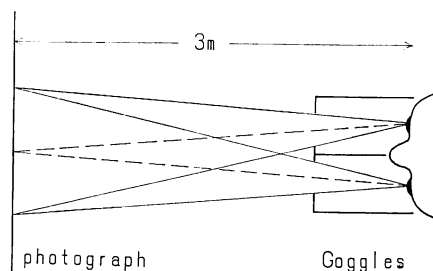


Fig. 3 Schematic diagram of binocular goggles.

わち重心跡動揺と、頭頂変位および足を着く回数を採用した。また、頭頂変位は開口視野の揺れの大きき目安としても用いた。重心跡動揺の測定は、床反力板を3点で支持するロードセルからの出力を5データ組/秒の速度でパーソナルコンピュータに257データ組(約51.4秒間)を取り込む方法で行なった。頭頂変位の測定は、天頂にタングステンのミニランプを取り付けた防災用ヘルメットの動きを天井に固定した CCD-TV カメラで撮像し、そのビデオ信号からミニランプの角度位置を検出して、重心跡データに同期してパーソナルコンピュータに取り込む方法で行なった。重心跡動揺の測定精度は約 $\pm 0.05$  mm、頭頂変位の測定精度は約 $\pm 1.5$  mmであった。ただし、大きな頭頂変位については、角位置から平面座標位置への変換誤差などがさらに加わっていると考えられる。

## 2.2 被験者および方法

被験者として、色覚正常、矯正視力 1.0 以上および運動機能正常の男性 6 名 (MT, HK, KM, KS, NF, SI) を採用した。年齢は MT が 40 歳代で、他は 20 歳代である。なお、眼鏡使用者は、HK, KS, KM で、コンタクトレンズ使用者は NF である。実験は視力を矯正した状態で行なった。

測定に先立ち各被験者に実験の説明と予行練習を行なった。おもな注意事項として、(イ)片足立ちとし、足は全実験を通して替えないこと、(ロ)手と上げた片足は軽く体側につけ、視点を固定しないで自然に写真中央付近を見ること、そして、(ハ)うまく立つことを目的としないで、制御できないときは足を着いて回復することなどを被験者に与えた。ここで“うまく立つ”という意味は、立つことだけに意識を集中したり、足を着かないように無理して頑張ることをさす。実験の手順は次のとおりである。

- (1) 被験者は実験室に入り、5分以上環境に順応する。
- (2) 被験者はゴーグルを着け、ブース内の椅子に座って約3分待機する。
- (3) “30秒前”の合図で、床反力板の上に両足で立ち、準備する。
- (4) “用意”の合図で片足を上げ、測定可能状態に入る。
- (5) 測定は、“用意”から3秒後のブザーで始め、54.4秒後のブザーで終わる。
- (6) 測定は、実験モード1では11個の視野の大きさについて、実験モード2では4個の視野の大きさ

について、10分間隔でかつランダムな順序で、(2)から(5)の手順を繰り返す。これを1セッションとする。

- (7) 被験者6名について、それぞれ3セッションずつ日を変えて測定する。

ただし、被験者 NF について測定結果がかなりばらついたので、NF のモード 1 の測定のみ 4 セッション行なった。

## 3. 実験結果

### 3.1 解析項目

測定例を Fig. 4(A), (B) に示す。これは被験者 MT についての視野サイズ  $0.5^\circ$ 、セッション 1 の場合の重心跡動揺 (A) と頭頂変位 (B) の測定データである。Fig. 4(A), (B) とともに、上の二つのグラフが揺れ (または変位) の左右 (X) 方向成分と前後 (Y) 方向成分の時間的変化であり、下のグラフがそれらの変化を XY 平面上の軌跡として表現したものである。時間軸目盛りは 0~55

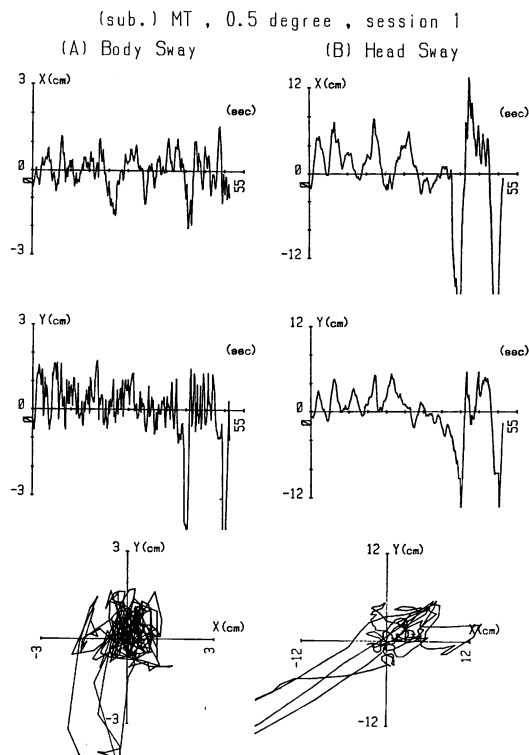


Fig. 4 Measured examples of body sway (A: left side) and head sway (B: right side) of subject MT with visual field of diameter  $0.5^\circ$  in session 1. Upper and middle curves are lateral and longitudinal components of sway. Lower ones are horizontal loci.

秒まで、重心跡動揺の座標軸目盛りは ±3 cm まで、および頭頂変位の座標軸目盛りは ±12 cm まで描いてある。この例のどちらの揺れも一見ランダムのものでありまた周期性があるようにも見えるが、ほぼ 40 秒と 50 秒の 2 回左後方へ足を着いて回復する動作のほかは、大体あるまとまった範囲の揺れであることがわかる。

このように、体の揺れが大きくなって重心跡が足の幅の外にでる場合の揺れは、制御できるかできないかによって、重心跡が足の幅の内側にあるとき（内側）と外側に出て足を着くとき（外側）に分けて考えることができる。内側での揺れはある平均値まわりの不規則波形と考えられるから、その振幅分布<sup>8)</sup>の標準偏差をもって揺れの大きさの目安とすることができる。外側での揺れの大きさは求めることができないので、足を着く回数（または足を着くまでの時間）でもって目安とするしか方法が無い。以上の考え方に基づき、測定データの解析を次の 2 項目について行ない、その結果を見て総合的に考察することにした。

(1) 足の幅（約 8 cm）を越えない範囲の重心跡動揺 (body sway) の標準偏差  $\sigma_B$  およびそのときの頭頂変位 (head sway) の標準偏差  $\sigma_H$ 。なお、 $\sigma_B^2 = \sigma_{Bx}^2 + \sigma_{By}^2$  および  $\sigma_H^2 = \sigma_{Hx}^2 + \sigma_{Hy}^2$  であり、添字 X と Y はそれぞれ X 方向成分と Y 方向成分を表わす。

(2) 1 回の試行で足を着く回数

### 3.2 結果

Fig. 5 に測定結果の代表例として被験者 HK についての 3 セッションの重心跡動揺の標準偏差 (A) と頭頂変位の標準偏差 (B) をそれぞれ示す。白抜きシンボル

によるプロットが実験モード 1 による結果で、塗りつぶしのシンボルによるプロットが実験モード 2 による結果である。丸、三角、四角の各シンボルについては、この順序がセッションの順序である。横軸は、閉眼 (closed) は別として、0.5°~100° までの 11 段階の制限視野と開眼 (open) について視野サイズ (直径) の対数で目盛った。なお開眼時の視野サイズの直径を 180° とした。

まずこの結果から、重心跡動揺、頭頂変位ともに閉眼時が大きく、開眼時が小さいことは明らかであるが、0.5°~30° 辺りまでの制限視野については顕著な変化は見られずほぼ一定の傾向を示している。次に、実験モード 2 の結果は重心跡動揺についてのみであるが、揺れの大きさは 30° から開眼に至る視野サイズまで直線的に小さくなっている。なお、この被験者の足を着く回数はセッション 3 (四角のシンボル) の閉眼時の 1 回だけである。また、セッション間のデータのばらつきは、この HK が最も小さかった。

他の一例として、データのばらつきと足を着く回数の最も大きかった被験者 NF の結果を Fig. 6 (A), (B) に示す。HK の結果との違いは、データのばらつきが大きいくに加えて、重心跡動揺、頭頂変位が 0.5°~10° 辺りの視野サイズまでほぼ平坦で、10° 辺りから開眼に至る範囲で単調に小さくなっていることにある。このような各被験者についての特性を知るために、標準偏差のセッション間の平均を求めた。このための図は示さないが、各被験者の傾向に少しずつの差異があるもののほぼ 10° 付近の視野サイズを境として特性が変化していた。

このように個人差は多少存在するが傾向が似通っていることから、全体の様子を知るために全被験者について

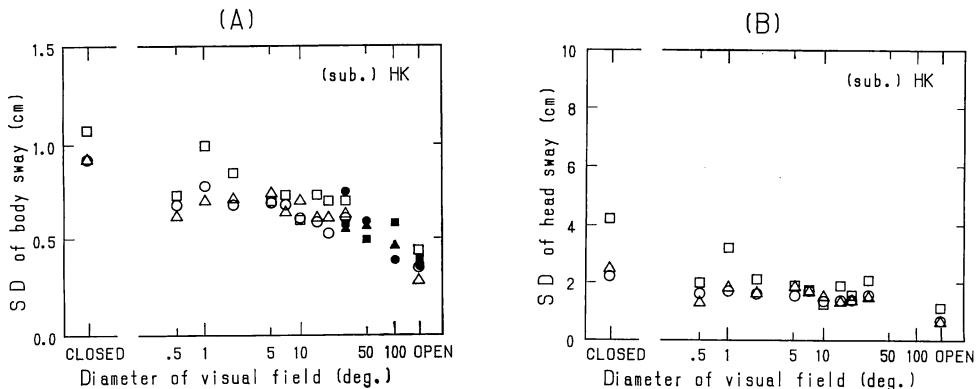
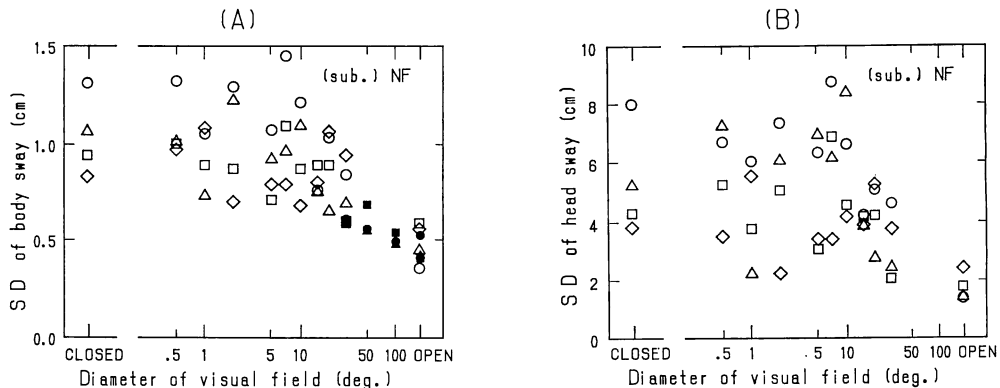
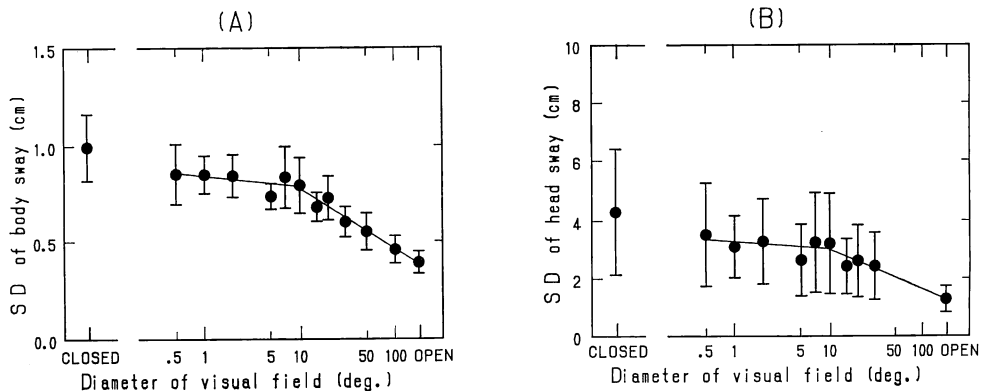


Fig. 5 Standard deviations (SD) of body sway (A) and head sway (B) as a function of visual-field diameter for subject HK. Circles, triangles and squares indicate 1st, 2nd and 3rd session. Open symbols denote plots for 1st mode in the experiment and closed ones 2nd.



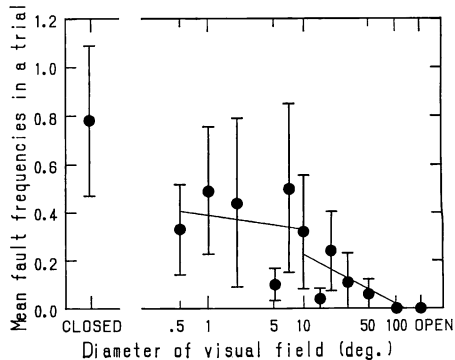
**Fig. 6** Standard deviations (SD) of body sway (A) and head sway (B) as a function of visual-field diameter for subject NF. Rhombic symbol denotes session 4. Other notations are same as Fig. 5.



**Fig. 7** Mean standard deviations (SD) of body sway (A) and head sway (B) averaged across six subjects at each visual field. Error bar shows standard deviation of standard deviations across six subjects. Two lines denote 1st order regression lines in two regions; 0.5°-10° and 10°-180°.

の標準偏差の算術平均値と標準偏差のばらつきとしての標準偏差をプロットすると **Fig. 7(A)**, **(B)**に示すようになった。図中の直線はその区間での1次近似の結果である。この図から、重心跡が足の幅の内側にあるときの体の揺れの全体の傾向は、閉眼時が最も大きくて  $0.99 \pm 0.17$  cm,  $0.5^\circ \sim 10^\circ$  辺りの視野サイズまではほぼ一定で  $0.82 \pm 0.13$  cm, そして、 $10^\circ$  辺りから開眼に至る視野サイズの対数に対して開眼での  $0.40 \pm 0.06$  cm まで直線的に小さくなる特性であることがわかる。次に頭頂変位の標準偏差の平均は重心跡動揺と同様の特性を示しており、その大きさは、同じ表現をすると、閉眼で  $4.3 \pm 2.2$  cm,  $0.5^\circ \sim 10^\circ$  辺りの視野サイズまで  $3.1 \pm 1.6$  cm, そして、閉眼で  $1.3 \pm 0.5$  cm であった。

足を着く回数については、1回の試行あたりのデータ



**Fig. 8** Mean fault frequencies of one-leg standing in a trial averaged across six subjects at each visual field. Error bar shows standard deviation across six subjects.

が少ないことに加えて個人差が大きいので、いったん各被験者の各視野サイズごとに1回の試行あたりの足を着く回数を求め、次に全被験者について平均値と標準偏差を求めた。その結果を Fig. 8 に示す。この図から、被験者間のばらつきはかなり大きいことがわかるが、全体の傾向としてやはり 10° 前後で特性が変化しており、かなり重心跡動揺に似た特性を示している。よって、Fig. 7 と同じように1次近似直線を求め、図中に描いた。しかし、5° と 15° での足を着く回数がとくに少ないことが目だつ。この傾向は Fig. 7 の重心跡動揺と頭頂変位の大きさにも少し現われていて、5° での揺れはわずかに小さくなっている。

#### 4. 考 察

Fig. 7 の結果において、重心跡動揺および頭頂変位ともに揺れは閉眼時が最も大きくて開眼時が最も小さい、そして視野サイズが大きくなると揺れは小さくなっている。Fig. 8 の足を着く回数についての結果でも同様である。これは視野が広がると利用できる視覚情報が増し、主観座標が安定するという意味で理解が容易である。しかし、0.5° から約 10° の制限視野サイズにおける重心跡動揺の大きさがほぼ同じであり、また足を着く回数や頭頂変位についても同じ傾向であるということとはなかなか理解しにくい。一つの可能性として、Ikeda ら<sup>9)</sup>の行った正常な文章理解に必要な制限視野の大きさは約 10° という研究結果が参考になる。頭と一緒に揺れている開口視野の中の外界視覚情報が取得され正常に利用されるのに必要な制限視野サイズを今約 10° と仮定すると、それより狭い視野では単位時間内に取得して正常に利用される視覚情報は少なくなり、前庭器官など視覚によらない情報による姿勢制御が優勢になると考えられる。そう考えると、約 10° 以下の制限視野で体の揺れがほぼ一定となることは理解できる。

一方、視野制限時の頭頂変位については重心跡動揺ほど約 10° での折れ曲がりの特性ははっきりしていない。これは、頭頂変位は体の揺れの主要な一部であるが姿勢制御のための運動も行なっているためと考えられる。この頭頂変位を測定したもう一つの意味は、開口視野の外界に対する動きを大まかに知るための目安としてである。すなわち、頭頂変位が標準偏差で 3.1 cm 前後であるということは、単純に考えると(ミニランプから重心までを約 70 cm とし、首周りの回転を考えない)、開口視野も絶えずある平均値の周りに約 2.5° の標準偏差をもつ振幅分布で揺れていることを意味している。したが

って、頭頂変位についての結果は、このような開口視野の揺れのなかで外界視覚情報を正常に取得するためにはある大きさの視野が必要であることを暗示している。

重心跡動揺の標準偏差の大きさは、10° 前後から開眼視野まで、視野サイズ(直径)の対数に対して直線的に小さくなっている。ここで問題になるのは、風景写真(37°×26°)の外側の暗幕にも照明光があたり、開眼視野に至るまで被験者の視野内には何らかの刺激が存在するということである。暗幕の張り方も照明も一様ではなく、幕の端も視線を向けるとはっきり見える。さらに、被験者の前約 0.8 m の上と下に暗幕をたらしめてある。しかし、被験者の内観によると、これらの視角の大きい箇所の不均一性は知覚されても非常にぼんやりしたものであった。暗幕の輝度を全視野のうち明るく見える 10 箇所以上について測定してみると、最高で 4 cd/m<sup>2</sup>、平均 1.8 cd/m<sup>2</sup> および標準偏差 0.7 cd/m<sup>2</sup> であったが、暗い箇所も含めると全平均は 1 cd/m<sup>2</sup> 以下と推測される。このように、暗幕のハイライト部の輝度は風景写真の最暗部よりも低い。このような条件にもかかわらず広視野の効果は明白で、片足立ちの体の揺れについての有効視野の上限は開眼視野であることを結果は示している。この問題に対する答えは現段階でははっきりしないが、低輝度刺激パターンの動きを知覚する周辺視のメカニズムが関係しているものと考えられる。

約 10° 付近の折曲りの視野サイズを下限の有効視野と呼ぶと、この実験での有効視野はほぼ 10° 前後から開眼視野までとなる。この視野範囲は、前述した畑田らによる約 20° から 110° に至る誘導視野とほぼ一致している。このことは、外界の物理座標が変化する場合および変化しない今回の場合のどちらにおいても、主観座標の変化を検出するメカニズムが主要な働きをしているのではないかと推測される。

足を着く回数について、5° と 15° の視野サイズでとくに少なくなっている。これは、これらの視野サイズで何らかの姿勢安定のための視覚情報を得ていることを示している。被験者の内観によると、これらの視野サイズでは写真中央の木の幹辺りまたは同じ木の右側の枝の上部辺りを大まかに見ているのがほとんどであった。どちらも背景に対してくっきりと見える箇所で、しかもその箇所の視野サイズは Fig. 2 に例示した 5° の円より少し小さい。このような開口と視覚対象の相対的位置合せの精度はかなり高い<sup>10)</sup>ことから、この位置合せの視覚情報を体の揺れの安定のために利用しているのではないかと推測される。

15° 視野についても、空を背景にした山が 10° より大きく、Fig. 2 に例示した 15° の円よりも小さいので、ちょうど位置合せが容易となる。しかも、20° では周りの大きな木や川などが視野にはいるためにその効果は減少すると考えられる。もちろん、風景写真(約 40°) より大きい 50° 視野についても同じ効果が考えられるが、視力が小さいのでその影響は小さいと考えられる。したがって、Fig. 8 の 5° と 15° でより強く安定しているという傾向は、このような cue のある刺激を用いたために得られた特性であると考えられるが、人間の視覚系の情報がどのように主観座標の保持に役立っているかを考える上で、興味ある結果となっている。

### 5. ま と め

本研究では、片足立ちした被験者の両眼の視野の広さを段階的に制限した場合、体の揺れはどのように変わることによって、主観座標の変化の目安としての姿勢保持への周辺視の寄与を調べた。その結果、体の揺れの標準偏差は、(1) 閉眼において最も大きく、開眼において最も小さい、(2) 10° 前後より狭い制限視野サイズではほぼ一定の大きさであり、かつ、(3) 10° 前後から開眼視野に至るまで視野サイズ(直径)の対数に対してほぼ直線的に小さくなった。これより、姿勢保持への周辺視の寄与は中心視よりも顕著であるといえる。また、外界視覚情報を正常に取得して姿勢保持に利用するためにはある大きさの視野が必要であると仮定し、その大きさはほぼ 10° と推定した。さらに、この実験の場合の有効視野の範囲が誘導視野の範囲とほぼ一致することから、どちらにも共通に主観座標の変化を検出

するメカニズムが主要な働きをしているのではないかと推測した。

最後に、本研究を実施するにあたり、基本的かつ適切な助言をいただいた東京工業大学総合理工学研究科池田光男教授に感謝いたします。また、種々の検討とコメントをいただいた池田研究室内川恵二氏に感謝いたします。

### 文 献

- 1) 池田光男: 視覚の心理物理学 (森北出版, 東京, 1979) 第 10 章.
- 2) 畑田豊彦, 坂田晴夫, 日下秀夫: “画面サイズによる方向感覚誘導効果”, *テレビジョン学会誌*, **33** (1979) 407-413.
- 3) 狩野千鶴: “視空間知覚に関する sensory-tonic field theory”, 感覚知覚ハンドブック, 和田陽平, ほか (誠信書房, 東京, 1969) pp. 427-433.
- 4) 中田秀雄: “視覚障害者の直立姿勢保持能力”, *姿勢研究*, **3** (1983) 1-7.
- 5) B. Amblard and A. Carblanc: “Role of foveal and peripheral visual information in maintenance of postural equilibrium in man,” *Percept. Motor Skills*, **51** (1980) 903-912.
- 6) J. Dickinson and J.A. Leonard: “The role of peripheral vision in static balancing,” *Ergonomics*, **10** (1967) 421-429.
- 7) C.A. Curcio, *et al.*: “Distribution of cones in human and monkey retina: Individual variability and radial asymmetry,” *Science*, **236** (1987) 579-582.
- 8) 南 茂夫 (編著): 科学計測のための波形データ処理 (CQ 出版, 東京, 1987) pp. 69-72.
- 9) M. Ikeda and S. Saida: “Span of recognition in reading,” *Vision Res.*, **18** (1978) 83-88.
- 10) H.B. Barlow and J.D. Mollon (ed.): *The Senses* (Cambridge University Press, Cambridge, 1982) p. 138.