

構造形態が喚起する安定・不安定感の心理学実験による検討

A Study on Visual Stability of Shapes by Psychological Experiment

岡本真和* 天野光一** 石井信行***

Masakazu OKAMOTO Kouichi AMANO Nobuyuki ISHII

*工修 (株)北海道開発コンサルタント(〒004 札幌市厚別区厚別中央1条5-4-1)

**工博 東京大学助教授 工学部社会基盤工学科(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

***MLA 東京大学助手 工学部社会基盤工学科(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

It is often experienced that a form of a structure gives us a different impression as it really is concerning physics. This paper aims to find out a critical geometrical dimension of simple triangular shapes between stable and unstable, as the first step of describe impression of form employing some function. The authors built up three hypotheses to explain that a stable form could be taken as unstable in case of simple triangular shapes, which are 'an acute angle lengthening,' 'an upper part expanding,' and 'imaginary adhesion of the bottom' based on knowledge of the psychology. Then, psychological experiments were executed to evaluate the hypotheses. As the result, the authors confirmed that a stable form could be taken as unstable, and the hypotheses seemed to be valid.

Key Words: optical psychology, stability, illusion, triangle

1. 序論

1.1 背景

橋梁や塔のような構造物の中には、その形態を力学的に評価すると安定であるにもかかわらず、不安定な印象を与えるようなものが存在している。このことは形態から得た視覚情報が、認知される過程で何らかの操作を受けたことを意味し、その結果として構造力学的事実と認知像とはズレが生じているのだと考えられる。これは形態が有する情報の中に、認知のズレを生じさせる要因があるということを示していることになる。

その可能性の一つはダイナミクス(運動感)の表現である。安定な形態であるのに、転倒という動きがイメージされることは、構造力学における静的構造物でも動きを表現しようということである。転倒感が生じる図形とはどのような形状なのかは、安定・不安定の評価の境界値(本論文では『転倒閾値』と呼ぶ)を有する形態要素で代表させることができるであろう。

だが、このような『転倒閾値』が、具体的に示されているような既存研究はない。その理由は心理学の手法の土木・建築部門への適用に十分な配慮が必要とされるためであり、その結果として形態とその印象の関係についてなされてきた研究は、漠然とした定性的なものか、エッセイ的な個人の体験の連続止まりであり、実際のデザインをするための指標となり得るようなものは存在しない。

「ある形態に対してどのような力学的な印象を受けるか」という人間の形態認知(以下『視覚的力学』)の過程を論理的に考察し、『転倒閾値』の値を提示することはデザインの可能性を図る上で意味がある。

1.2 目的

構造物の形態が視覚的な情報として入力されたときに安定か不安定かを判断する認知メカニズムを明らかにする。

1.3 対象

三次元(質量のある)物体の投影図としての二次元図形の中から、その最も単純なものとして三角形を取り上げる。

図のような傾いた三角形において、底面高さ比 H/a 、張り出しと底辺の比 x/a を変化させ、どのような形状の三角形が転倒閾値にあたるのかを調べる。なお、構造力学においては H/a によらず、 $x/a=1$ が転倒境界となる。

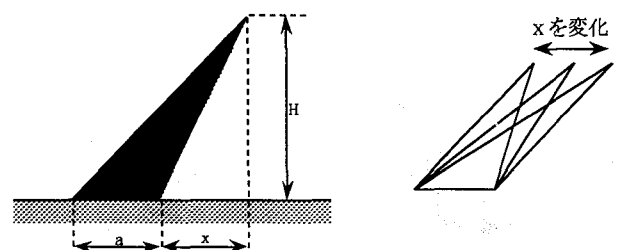


図-1 対象とする三角形

1.4 研究方法

- ① 仮説 知覚心理学の知見から『視覚的力学』の法則を説明する図形的特徴に関する仮説立てを行う。
- ② モデル化 ①より、人間の認知過程を説明し予想するモデルを構成する。
- ③ 実験 恒常法的心理学実験、極限法的心理学実験の二つの実験を行い、『転倒閾値』と図形的特徴の関係を求める。
- ④ 考察 実験結果から仮説・モデルの妥当性を検証する。

2. 仮説の構築

2.1 『視覚的力学』と力学に違いをもたらす作用

安定・不安定の判断において『視覚的力学』と力学の法則は基本的に一致し、物体を見たとき「物体の重心の位置を推定し、その重心が底面上に乗っているかどうか」で判断していると考えられる。

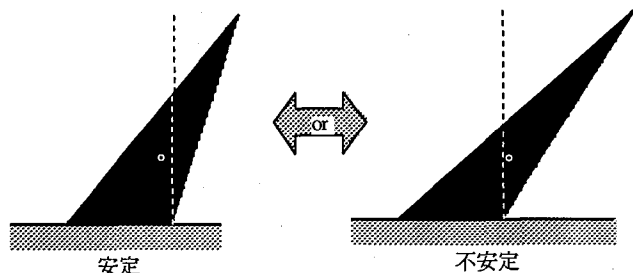


図-2 安定・不安定の基本的判断（白丸が重心）

しかし、『視覚的力学』の転倒閾値と力学の転倒境界とはズレが生じていると考えられる。

三角形という視覚情報から安定不安定を判断するという認識過程において、力学との違いをもたらす原因は何であるかを、以下の図形の視覚心理上の性質に注目し、形以外の条件を同一にした図形を比較することにより、分析を行った。

図形の視覚心理上の性質

- (1) 三角形自体の図形認識
- (2) 三角形と視空間
- (3) 三角形と他の図形との関係

2.2 三角形自体の図形認識

三角形という図形自体に注目すれば、鋭角伸長視により、鋭角部分が長く知覚されるという錯視現象が起きると考えられる。この錯視により、重心が外側にずれて知覚され『視覚的力学』において、三角形は力学よりも転倒しがちになると考えられる。（下図、黒色が提示した図形、灰色が鋭角伸長視により知覚される形）

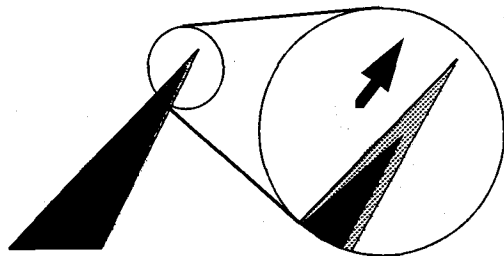


図-3 鋭角伸長視

2.3 三角形と視空間

視空間はユークリッド空間と異なり等方、等質ではない。（視空間の異方性）

右と左とでは右側の方が重く感じられ（右側過重視）、また、上半と下半が類似した図形では、上半が大きく感じられる（上半過大視）。このため、右傾き図形は左傾き図形よりも倒れやすく、また背の高い三角形は、上半過大視の作用で背の低い三角形より倒れやすく感じると考えられる。（認知像では重く感じる部分を黒く図示）

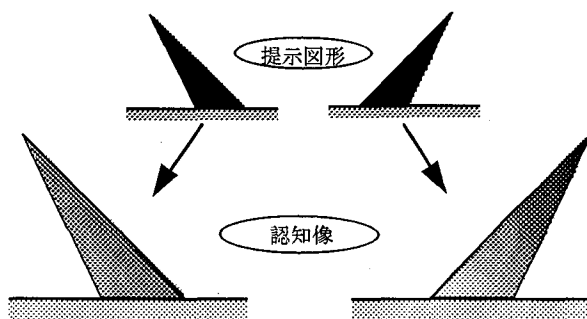


図-4 上半過大視・右側過重視

2.4 三角形と他の図形との関係

三角形と基準面、この二つの図形が近接していると、二つは一つのまとまりとして知覚される（ゲシュタルト心理学における「近接の法則」）。このため、転倒（図形のまとまりの分離）を引き留めようとする、「底面の接着力」と言うべきものが作用すると考えられる。

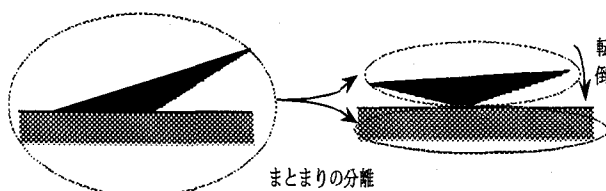


図-5 底面の接着力

2.5 仮説のまとめ

以上で考察した結果、以下の4つの作用が『視覚的力学』と力学との違いをもたらす要因であると考えられる。これら4つの作用の重ね合わせによって『視覚的力学』は決定されるのだと仮説立てる。

《『視覚的力学』と構造力学との違いをもたらす作用》

- 1 鋭角の伸長化による重心位置の移動
（扁平な図形ほど倒れそうに知覚させる作用）
- 2 上半過大視の作用
（背の高い三角形ほど倒れそうに知覚させる作用）
- 3 右側過重視傾向
（右に傾いた三角形を左傾きより倒れそうに知覚させる作用）
- 4 底面の接着力
（底面が大きいほど転倒を引き留める作用）

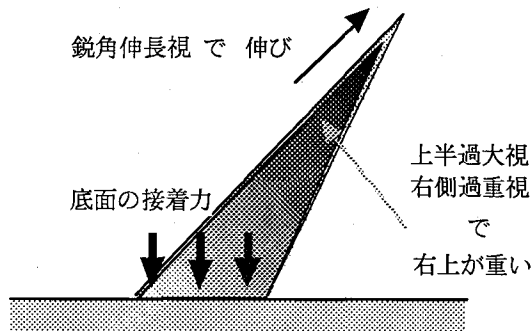


図-6 4つの作用

3. モデル化

3.1

前章で仮説立てた作用(鋭角伸長視、上半過大視、底面の接着力)を式化することにより転倒閾値の予測を行う。力学的な転倒境界は H/a によらず、 $x/a=1$ で一定であるが、仮説の各作用は H/a によって変化するため、転倒閾値の x/a は H/a の関数で表される。次節以降、個々の作用の大きさを H/a の関数とし、それらの重ね合わせにより転倒閾値の予測を得る。

3.2 鋭角伸長視の作用

知覚される角の伸長分は一定の大きさであると仮定する。すると、見かけの重心の移動の横方向成分(=『転倒閾値』と転倒境界 $x/a=1$ との差分)は、 H/a が大きいほど小さくなる。この鋭角の伸長視による不安定感を増す作用(f_β とする)の大きさを式に置き換え、 H/a の関数として表すと次のようになる。

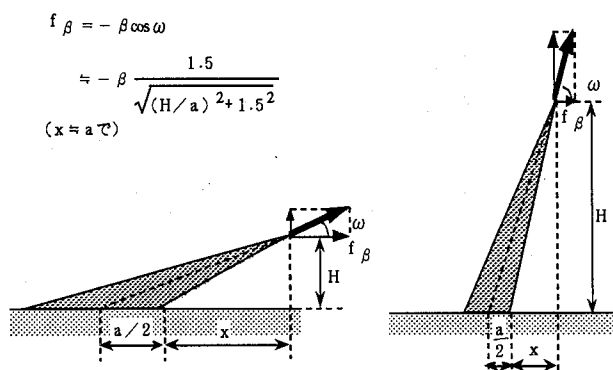


図-7 鋭角伸長視の作用

3.3 上半過大視の作用

図形が縦長であるほど上半と下半が図形的に同程度のボリュームを有することになるため、上半過大視の作用が強く生じるようになると考えられる。「 H/a が3を超えると上半過大視の作用が有為に働き、 H/a が大きくなる程その作用は大きい」と仮定して式化すると以下のようになる。

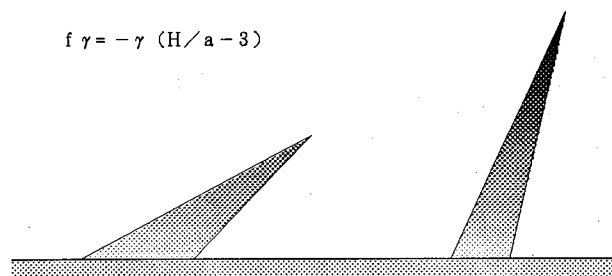


図-8 上半過大視の作用
(上半過大視によりボリュームが大きく感じる部分を黒く図示)

3.4 底面の接着力

底面の接着力が底面積あたり一定の大きさで発生するとする。実験に用いる図形は皆、図形のスケールを統一するため面積一定で作成している。よって、 $a = \sqrt{(2S/(H/a))}$ となり、底面の接着力の作用の大きさは $\sqrt{(H/a)}$ に反比例する大きさとなる。

$$\frac{aH}{2} = S \quad (S: \text{const})$$

$$a = \sqrt{\frac{2S}{H/a}}$$

$$f_\alpha \propto a$$

$$\therefore f_\alpha \propto \frac{1}{\sqrt{H/a}}$$

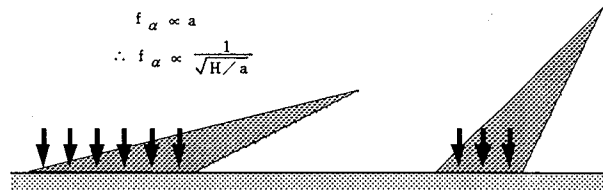


図-9 底面の接着力の作用

3.5 右側過重視

右側過重視の作用は H/a の値には依らないと考えられる。また、右側過重視の大きさは、他の作用とは異なり、図形の傾きの左右差から得ることができる。

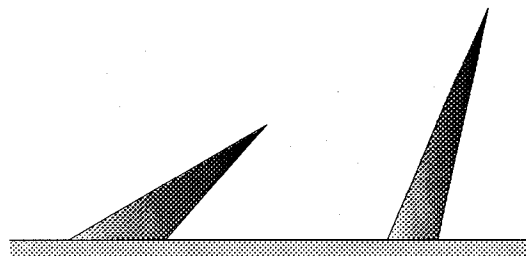


図-10 右側過重視の作用
(右側過重視により重く感じる部分を黒く図示)

3.6 転倒閾値の予測

4つの作用は、 H/a を変数とした時に転倒閾値に関して等価であり、線形関係にあるとすると、作用のモデル式から下図に示す転倒閾値曲線を得ることができる。

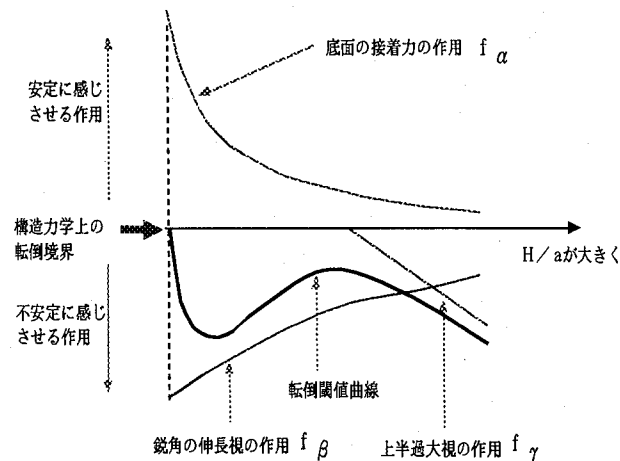


図-11 予測される転倒閾値曲線

4. 実験法

4.1 知覚心理実験における測定方法

本研究では、心理学実験を行い、被験者には提示した三角形が「安定か、不安定か」を判断させることによって転倒閾値を求めた。だが、人間は必ずしも同じ刺激に対して毎回同じ反応を示すとは限らない。

刺激に対する人間の反応確率の変化は下図のような正規累加曲線に似た形を示し、反応出現率50%の点をとって閾値とするのが普通である(市川1991)。

三角形の安定不安定の判断においても刺激の大きさとして重心のずれ(x/a)をとることによって、他の知覚心理実験と同様の反応曲線が期待される。そして、知覚実験と同じく統計的手法を用いることで反応出現率が50%となる点を取り「転倒閾値」とすることが考えられる。

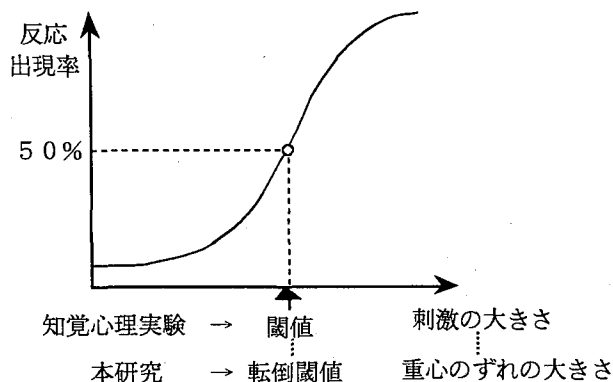


図-12 反応曲線

知覚研究における測定方法には、恒常法、極限法、調整法、一対比較法、量子法、品等法、評定法といった方法がある(吉田 1968)。このうち、刺激の閾値を求めることができる恒常法、極限法、調整法について本研究の実験への適用を検討する。

4.2 恒常法

(1) 恒常法の手順

数段階(通常は4~7段階)に変化する刺激をそれぞれ20~200回程度ずつランダムな順番で被験者に提示し、それぞれの刺激に対する反応確率を求める。そのうえで反応確率が50%となる点を閾値として幾つかの数学的方法によって推定するものである(市川1991)。

(2) 本実験への適用

ある H/a の三角形について x/a を5段階程度に変化させ、これをランダムに数十回ずつ被験者に提示し、それぞれの三角形について安定と回答する確率を求める。そして、50%閾値となる x/a を求め、この H/a での転倒閾値とする。この作業を各 H/a で行い、 H/a と転倒閾値の関係を求めるという方法が考えられる。

しかし、同一被験者に同じ図形を何十回、数十の図形で計千回以上も判定させるのは負担が大きすぎる。そこで、被験者一人の各図形についての判定回数は一回とし、そのかわり多数の被験者に実験を行い『集団の転倒閾値』を求めるという方法を採用する。

(1) 極限法の手順

極限法は、徐々に増加または減少する比較刺激を順番に提示して被験者に比較させ、「大」「小」および「どちらでもない」とか「同じ」といったような中間選択肢を混ぜた3つの選択肢の中から反応を選択させる方法(3件法)である。

上昇系列(刺激を徐々に増加)と下降系列(刺激を徐々に減少)を組にして、同数ずつ行う。「大」と「同じ」の境界と「小」と「同じ」の境界の中央値を算出して、その系列の測定値とする。そして、上昇系列の測定値と下降系列の測定値の平均をもって閾値とする(市川1991)。

(2) 本実験への適用

ある H/a の三角形について x/a を細かく変化させ、これを x/a がだんだん大きくなる(小さくなる)順に被験者に提示し、安定と不安定の中間と感じる図形の x/a (『転倒閾値』)を求める。この作業を各 H/a で行い、 H/a と転倒閾値の関係を求めるという方法が考えられる。

4.4 調整法

(1) 調整法の手順

調整法は、提示された刺激の大きさを被験者自身が変化させて、納得のいく大きさに調整する方法である。

(2) 本実験への適用

実際問題として図形を被験者に変形、調整させるにはコンピューターを用いるなど面倒な手順が必要であるうえに、調整誤差の取り扱いなど問題が多い。よって本実験に調整法は用いない。

5. 心理学実験

5.1 二つの実験

本論文では、恒常法的心理学実験、極限法的心理学実験の二つの実験を行った。

前者は、多人数の被験者の安定・不安定の反応データを集計することで、被験者集団の反応曲線を得ようとする実験である。また、後者は被験者毎に精緻に閾値を求めて各図形で集計することで、各被験者の転倒閾値曲線を得ようとする実験である。

なお、両実験では、右図のようなA4用紙に白地に黒で描かれた三角形を用いた。各三角形は面積が一定となるように調整してある。

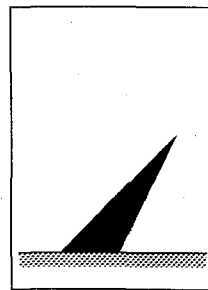


図-13 実験提示図形の一例

5.2 恒常法的心理学実験

(1) 実験目的

安定と感じるか不安定と感じるかの反応を多数の被験者で集計することで、集団の転倒閾値を求める。

(2) 実験方法

実験に用いた三角形は、 H/a が12種類($H/a=0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0$) x/a が5種類(0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2)の計60種類。

紙に印刷されたこれらの三角形を次々に被験者に提示し、被験者に安定・不安定の評価を求めた。これを49名の被験者に対して行い集計した。

(3) 実験結果

実験結果は図-13の3Dグラフである。

ある H/a 、 x/a の三角形を集団に提示したとき、どのくらいの人数が安定と感じるかが、この結果から予想できる。

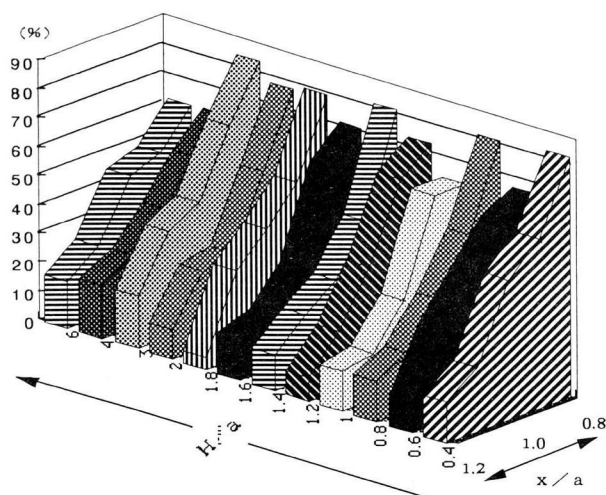


図-14 恒常法的心理学実験結果

(4) 考察

上の実験結果から50%の被験者が安定と感じる図形を結ぶと下のようなグラフが得られる。 x/a の値はいずれも1より小さく、視覚的力学においては力学よりも倒れやすく知覚されることがわかった。

また、安定・不安定評価の個人差が少ないならば、「50%の被験者が安定と感じる図形同士を結んだもの」(図-15)も、個人の転倒閾値曲線(仮説の図-11)と一致するはずであった。

ところが、次節で示す極限法的実験で個人差が大きいことがわかった。それゆえ、この恒常法的実験法で得られた結果は、集団に対してある図形を提示したときに、どのくらいの人数が安定と感じるかを予想するには有効であるものの、個人の転倒閾値曲線の仮説との比較を行うことはできない。

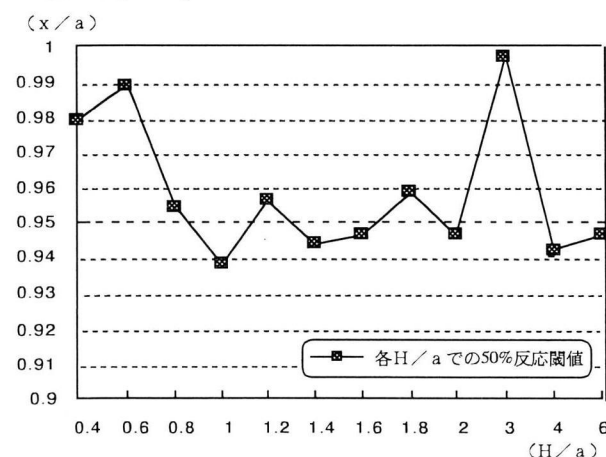


図-15 50%反応グラフ

5.3 極限法的心理学実験

(1) 実験目的

被験者個々人について精緻に転倒閾値を計測することで、個人の転倒閾値曲線を得る。そして仮説から予測立てた転倒閾値曲線との比較を行う。

(2) 実験方法

実験に用いた三角形の H/a は、0.4、0.8、1.2、1.4、1.8、3.0、4.0、6.0の8種類。この H/a ごとに x/a を徐々に変化(x/a 0.04刻み)させた図形を用意し、サンプル図形のセットとする。被験者は、この図形セット中の図形を観察し、安定・不安定の境界と感じる図形(転倒閾値の図形)を回答する。

なお、被験者数は10名で行った。

(3) 実験結果

10人の被験者について各個人ごとの転倒閾値(矢印の x/a の値)と図形の形状(H/a)の関係(転倒閾値曲線)がわかった。(下図)

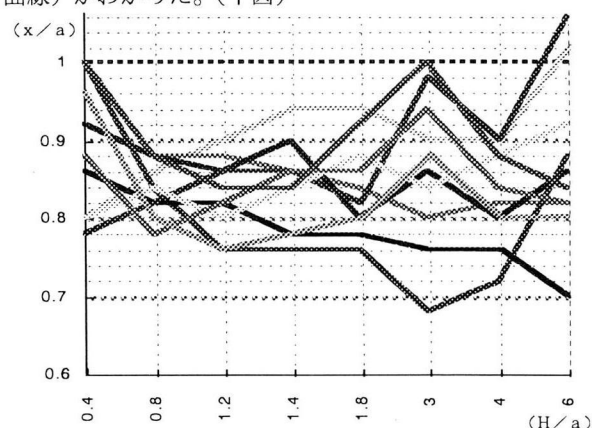


図-16 極限法的心理学実験結果

(4) 考察

横S字、右上がり、右下がり、U字型といった転倒閾値の傾向の違いで被験者の傾向を分類することができた。

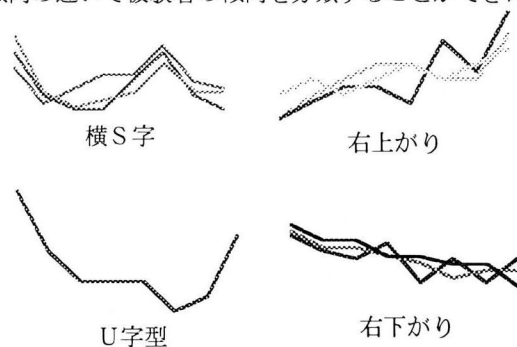


図-17 被験者の傾向分類

上図の各被験者グループについて、グループ間の違いをモデル化した作用の重みの差と考え、各作用の重みを変化させて得られる転倒閾値曲線と実験結果データとを重ね合わせたところ、図-18のようになった。ただし、右上がり、右下がり、U字型グループでは、仮説の「底面の接着力」「鋭角伸長視」「上半過大視」のいずれか(1つ、または2つ)の作用が働かないとした場合に予測される転倒閾値曲線との比較を行った。

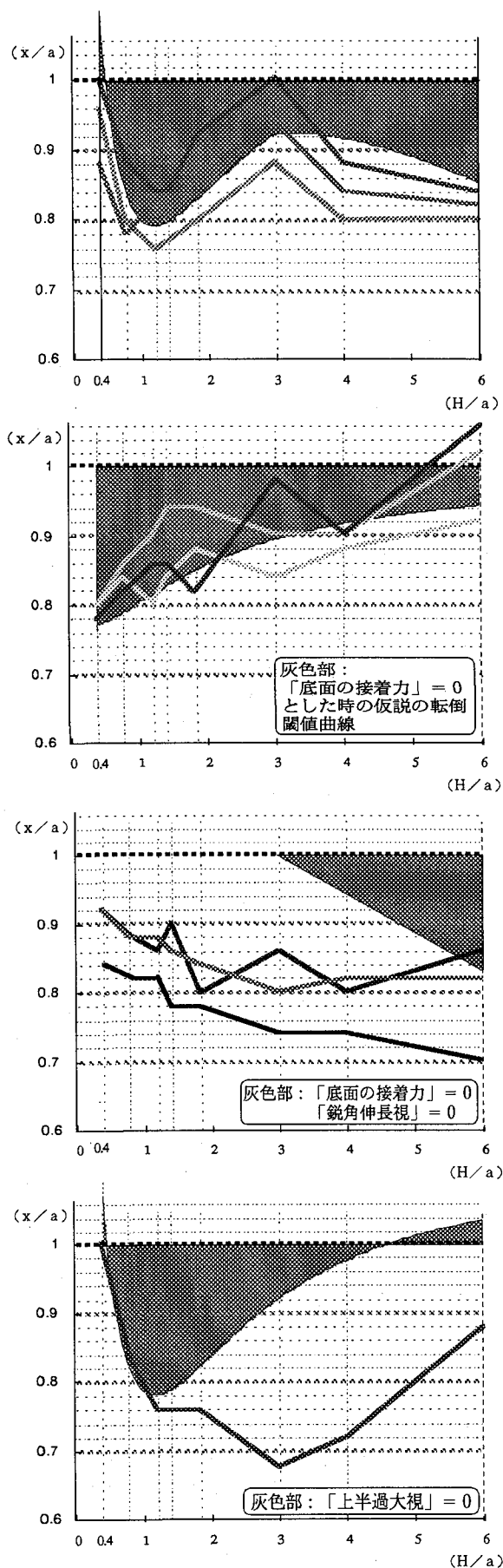


図-18 実験結果(折れ線)と仮説からの転倒閾値曲線(灰色部)の重ね合わせ

この重ね合わせにより横S字、右上がり、右下がり、U字型といった転倒閾値の傾向の違いは、以下のように「底面の接着力」「鋭角伸長視の作用」「上半過大視の作用」の重み付けの違い(α 、 β 、 γ の違い)で、説明することができた。

横S字……「底面の接着力」「鋭角伸長視」
「上半過大視」がバランス

右上がり……「底面の接着力」は、あまり感じない

右下がり……「底面の接着力」「鋭角伸長視」は、
あまり感じない

U字型……「上半過大視」は、あまり感じない

しかし、右下がり U字型については、説明できたのは、あくまで大まかな「三角形の高さが大きくなると転倒閾値曲線がだんだん下がる」「下がってから、上がる」といった傾向だけで、データに合致させることはできなかった。

また、三角形の傾きの左右で比較した結果、有意な左右差は見られなかった。このことから「右側過重視傾向」の作用は他の「底面の接着力」「鋭角伸長視の作用」「上半過大視の作用」に比べて弱いということがわかった。

6. 研究の成果

- ・単純な三角形について「視覚的力学」と力学とに違いをもたらす作用として「底面の接着力」「鋭角伸長視の作用」「上半過大視の作用」「右側過重視の作用」を提案し、それら作用の組み合わせで転倒閾値曲線の傾向を説明した。
- ・力学上は安定な場合でも50%以上の人が不安定と感じる図形があることがわかった。

7. 今後の課題

「横S字」「右上がり」「右下がり」「U字型」といった転倒閾値曲線の傾向の違いが、仮説で挙げた「鋭角の伸長視」「上半過大視」「底面の接着力」といった作用の組み合わせに由来するのかを傾向グループごとに比較する実験を行い検証する。

8. 参考文献

- 今井省吾 1984 錯視図形：見え方の心理学 サイエンス社
- 市川伸一 1991 心理測定法への招待 測定から見た心理学入門 サイエンス社
- Kanizsa, G 1985 視覚の文法 ゲシュタルト知覚論 サイエンス社
- 大山正 今井省吾 和気典二 1994 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック 誠信書房
- 椎名健 1995 錯覚の心理学 講談社現代新書
- 田中良久 1961 心理学的測定法 東京大学出版会
- 吉田正昭 訳編 1968 計量心理学リーディングス 誠信書房
- (以上 著者アルファベット順)

(1997年9月26日受付)