

柱状形態が喚起する安定・不安定感の心理学的実験による考察

A Study on a Sense of Stability of a Pillar Shape Employing an Optical Psychological Experiment

村田啓治*, 石井信行**
Keiji Murata, Nobuyuki Ishii

*工修, (株) オリエンタルコンサルタンツ, 東京事業本部都市・地域部 (〒 213-0011 川崎市高津区久本 3-5-7)

**博士 (工学), 山梨大学講師, 工学部土木環境工学科 (〒 400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

To understand how a person perceives a system of a structure by its form could give designers ideas to make structures more understandable for everyone. The authors thought that a sense of stress and movement was basis of perceiving the system and studied a cognitive process by psychological experiments, that asked testees to judge unsteadiness of vertical pillar shape figures according to their proportion and other characteristics. From the experiments and interview, the authors made three hypotheses to connect a sense of stability and unsteadiness with features of a form. Also, it was concluded that prototypes of each person played an important role in understanding a structure.

Key Words: Structural Design, Cognitive Science, Psychological Experiment

1. まえがき

近年の建設技術・構造解析等の向上から, 設計の自由度が増し多くの新しい構造形態が見られるようになったが, その結果として一般の人にとっては「一目ではどうやって構造的に成り立っているのか」がわかりづらい構造物が以前にもまして多く作られるようになったと思われる。例えば, 「斜張橋のタワーはケーブルで支えられている」と本来の構造システムとは全く逆の解釈・認知をする人が意外に多いという話はしばしば聞かれる。一方, 「ダイナミクス(動きの感覚)を重視してデザインしている」と言う, 橋梁デザ

イナーのカラトラバの作品には, 工学的なことを知らない者にとっても「どうやって構造が成り立っているか」がより分かり易く表現されているように感じられ, またそれが彼の作品の魅力ともなっている。これらの対比から, 間違った解釈がなされるのは単なる知識不足として片付けるべきではなく, 構造の表現, つまりデザインにも問題があると考えられる。そこで, 構造物をデザインする際, ダイナミクスを表現するためには, 構造形態を人がいかに認知しているのか, をより深く理解する必要があると考える。

筆者等の一人は, 人が物の形態から力や動きを感じ取る認知過程を「視覚的力学」と名付けて, アーチリブの形状及び三角形の塔形状の二次元図形を対象とした視覚心理学的実験を行いその結果を既に報告した^{1), 2)}。これらの研究成果から, 視覚心理学のみでは「視覚的力学」を説明するには限界があることが分かってきた。つまり幾何学的要素以外の影響が見られるので, 視覚心理学を含め情報科学・生理学といった学問分野が統合されたより上位の学問分野である認知科学の方法論を応用し, 構造形態の認知過程の理解を深めるような研究を行うことによって, 「視覚的力学」がよりよく理解できると考えられる。

2. 目的

- ① 単純な形態から動きのイメージが喚起される認知過程を, 喚起されたイメージに生じる構造力学や物理



写真-1 アラミージョ橋(カラトラバ設計)

現象とのズレから説明・解釈する。

- ② 以上の考察から得られる認知過程における仮説を心理学的実験により検証し、構造形態へ応用・展開する。

3. 対象

感覚に関してはダイナミクスを単純化した安定感・不安定感を対象とし、また形態に関しては、次に挙げる理由により、柱状形態を対象とする。

- ① 複雑な形態を対象としたのでは、人の複雑な認知過程の要因を分析していくことができない。
- ② 特定の構造システム（例えば吊り橋といった特定の構造形式）を喚起させるような対象では、その構造システムについての知識（誤った解釈による知識も含む）により形態を認知することになり、形態から直接喚起される動きのイメージについての認知について考察することができない。
- ③ 本研究では、最終的には斜張橋のタワーや橋梁等の一般的な構造物への応用を意図している。

4. 方法・構成

形態が喚起する動きのイメージの認知過程を、U.Neisser³⁾の提案する内部情報処理モデルや知覚循環モデルの基本となっている、認知対象とストレッジ（プロトタイプ）との比較による情報処理システムとして仮定し、認知科学的な仮説をもとに心理学的実験を行い、仮説の検証・修正を行っていくという経験的方法をとる。

具体的な論文構成は、次に述べるようになっている。

まず、土木・建築分野の形態デザイン及び視覚心理学を含めた認知科学に関する既存研究^{1)~9)}をレビューし、形態の安定感・不安定感に関わる要因を抽出し仮説立てを行う。次に、予備実験段階として、形態が規則的に変化していった時に人が安定か不安定かを判断する境界（転倒境界）が存在することを調整法を用いた心理学的実験により確認

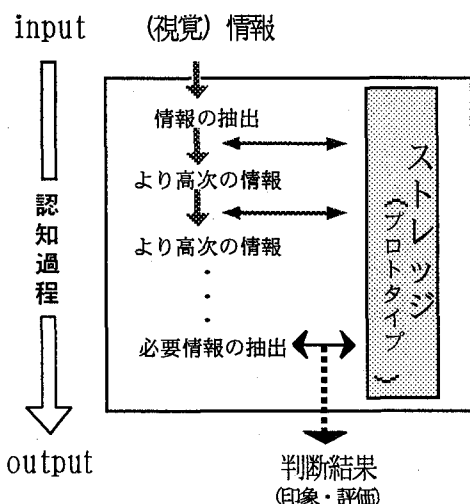


図-1 構造形態が喚起する動きのイメージの認知過程モデル概念図

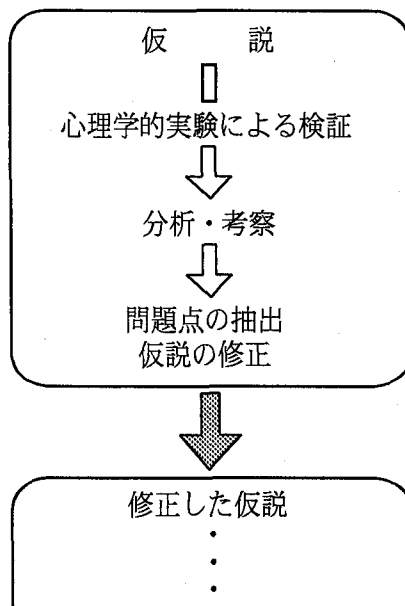


図-2 心理学実験による研究の流れ

すると共に、幾何学的な形態要素以外の要因を抽出する。この結果を基に、抽出した形態要素以外の相異なる要因に関する仮説立てを行い、同じ実験方法によりこれらの要因の影響の与え方を分析する。最後に、これらの実験から得られた形態以外の要因の影響を踏まえて、仮説を整理し、一対比較法を用いた心理学的実験により仮説を検証する。尚、筆者等のこれまでの研究により、単純図形に対する力学感覚については工学部大学生と一般人とに明確な差異が見られていないので、工学部大学生を主な被験者とした。

5. 予備実験

5-1 柱状形態における安定感・不安定感

本研究では、柱状図形の形態から転倒やしなりなどの動きや変位・変形が生じるイメージが喚起される場合を不安定感と定義し、その中でも物理的には安定である直立した柱における安定感・不安定感を対象とする。

5-2 既存研究調査を基にした仮説立て

変位・変形発生は、物理的には外力等の外的要因を伴わなければ起こらない現象であるが、形態の有する特徴が視覚的に安定であると認知される形態のプロトタイプから逸脱する（ずれる）ことで、変位・変形発生のイメージが喚起されると考えられる。単純図形ではプロポーション、寸法、色が図形的要素になるが、ここではプロポーションのプロトタイプに着目すると、常識的には、相対的に細長い形態に対して不安定感（転倒感）が喚起されやすく、相対的に太い形態から安定感を喚起されやすいと思われる。このような考えから、次のような仮説を立てた。

仮説1 プロポーションが相対的に細長い柱状形態は不安定感（転倒感）を喚起し、相対的に太い柱状形態は安定感を喚起し、安定・不安定の境界（転倒感を「喚起する」、「喚起しない」の境界）となるプロポーションが存在する。

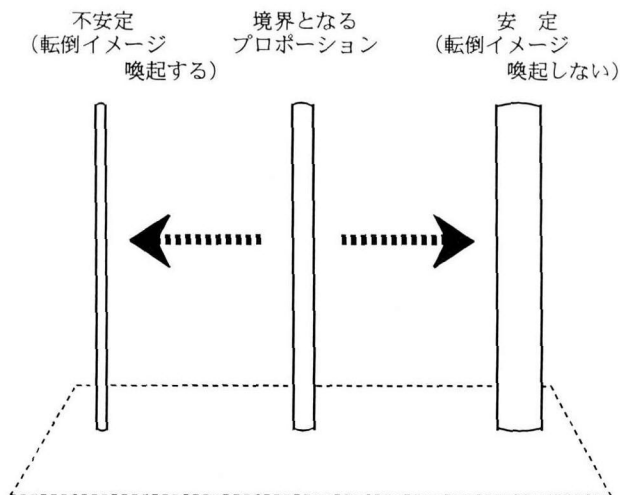


図-3 仮説1のイメージ

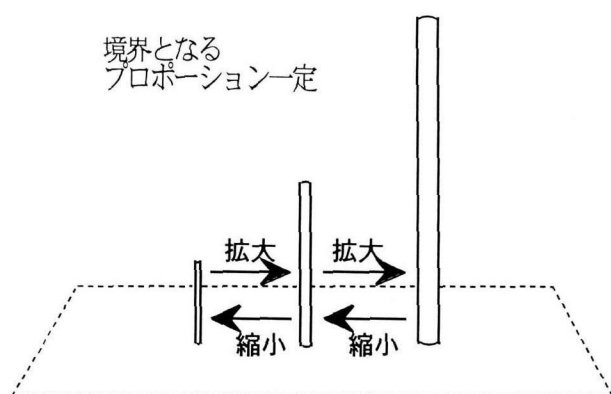


図-4 仮説2のイメージ

仮説2 柱形態の絶対的な大きさに関わらず、安定・不安定の境界でのプロポーションは一定である。

5-3 実験内容

(1) 被験者：工学部大学生7人。

(2) 実験方法

柱状図形において高さ一定のもとその横幅を調整することにより連続的にプロポーションを変化させることのできる実験試料を、被験者自身が安定・不安定の境界となるプロポーションになるように調整してもらうという、調整法を採用した。調整結果としての横幅を測定し、試料図形の高さで除することによって、仮説1のような境界でのプロポーション(高さとの比)を実験結果として得られる。

(3) 実験試料

机上に固定した実験試料(平面図形)と、椅子に座った被験者の目の位置との距離が約40cmとなるようし、この距離を基準として、ヒトの視野と視覚的影響を考慮して、試料の寸法を次に挙げる条件を満たすように設定することとした。

- ① 柱状図形の高さ：柱状図形全体を中心視できる高さから、有効視野で捉えられる高さまで。
- ② 実験試料の寸法：柱状図形を注視したときに、試料

の外枠が中心窩に収まらないような大きさで、また実験試料の外枠の縦横比で図形のプロポーションの認知に影響しないように、縦横の長さを等しくする。

これらの条件と、仮説1, 2の検証として、プロポーション以外の形態の要素として図形の絶対的寸法が変わっても、プロポーションが一定となるのかをみるために、実験試料の大きさは40cm四方の正方形とし、5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cmと試料図形の高さの異なる5パターンの実験試料を用意した。

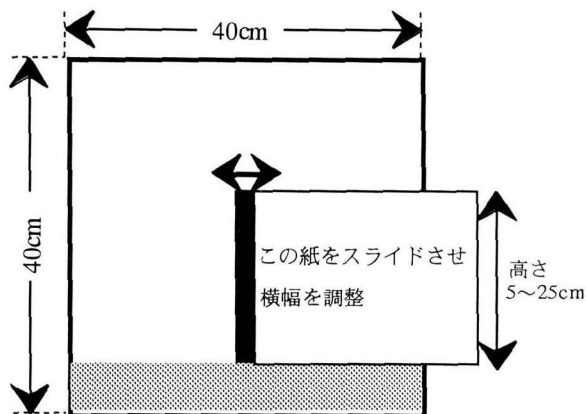


図-5 実験試料(予備実験)

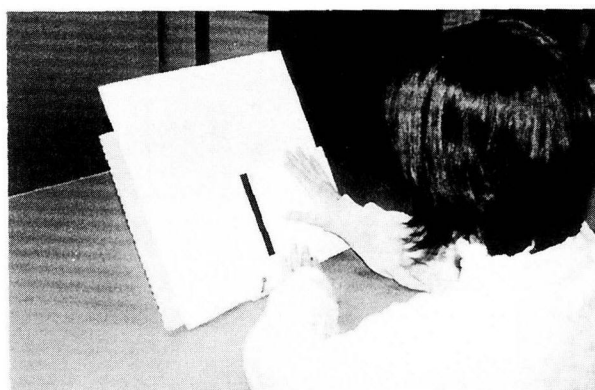


写真-2 実験風景(予備実験)

(4) 教示

「モノは、そのプロポーションによって、例えば、非常に細長いモノは不安定に感じ、太くなれば安定しているように感じます。これから提示する試料図形は、柱状の物体を真横から眺めたところを描いた図形です。この試料図形を観察し、あなたが安定に感じる、不安定に感じる、この境と感じるプロポーションになるように、試料図形の横幅に調整して下さい。横幅を調整する際、太くしたり細くしたりと行ったり来たりして構いません。制限時間は特に設けません。試料図形は(高さの異なる)5パターンあり、それぞれについて、調整して下さい。実験後、実験についていくつか質問します。」

(5) 実験手順

手順としては、被験者が高さの異なる試料図形で、前の回答結果を参考にして回答することの影響を減らすために、図形の背の高い順・低い順ではなく、ランダムに提示し調

整してもらった。実験後には、被験者に実験に関してインタビューを行った。

5-4 実験結果

表-1 被験者7人 (A~G) の試料図形の高さに対する
横幅調整結果 (単位: mm)

	A	B	C	D	E	F	G
5	6.8	3.0	5.3	7.2	1.6	16.8	13.8
10	7.2	4.1	8.7	11.1	1.6	22.2	21.8
15	11.3	6.1	10.7	10.2	3.8	37.0	27.7
20	13.7	6.5	9.6	12.5	6.4	38.7	48.6
25	21.7	9.0	21.7	16.7	5.5	55.7	50.2

被験者7人それぞれの柱状図形の高さH(cm)を横軸に、調整結果としての安定・不安定の境界でのプロポーシオン $\rho = \omega / H$ (横幅 / 高さ) を縦軸にとり、本実験の結果をグラフ上に示すと図-6のようになった。ここで、 ω は被験者が転倒境界として調整した横幅である。グラフ上では、上方に位置するほど太く、下方ほど細長いプロポーシオンとなる。

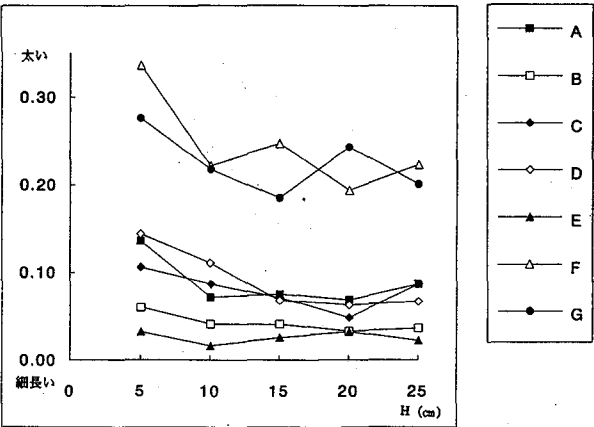


図-6 予備実験結果グラフ

5-5 分析・考察

実験結果と実験後の被験者への質問に対する回答から、「安定・不安定の境界となるプロポーシオンが存在する」ことが確認できたので、仮説1は検証されたと言える。この時、全ての被験者は、変形のイメージではなく転倒感が喚起されていたので、本研究ではこの安定・不安定の境界を『転倒境界』と呼び、その境界でのプロポーシオンを転倒境界プロポーシオンと呼ぶこととする。しかしながら、各被験者において、図形の大きさ(高さ)に関係なく転倒境界プロポーシオンが一定ではなく、個人差も見られる。これは、プロポーシオン以外の要素が安定・不安定判断に影響していることが考えられる。コメントを参考にすると、同一被験者における差異も個人差も、イメージしている物とその大きさが異なることに原因があると思われる。これらのことから、仮説2は妥当ではないことが分かった。

従って、結果のばらつきは、材質や物としての大きさに

ついて教示しなかったために、被験者の解釈の差異が判断時に影響したと考えられるので、これらの情報を設定する必要があると言える。また、被験者が形態から具体的なモノをイメージしているという結果から、「人の形態の認知・判断の過程を、ストレージ(プロトタイプ)との比較による情報処理モデルとして説明できる」という本研究の前提となる仮定が、単純図形を試料とした実験においても妥当性は確かめられたと言える。

6. 実験1~材質の違いが転倒境界プロポーシオンに及ぼす差異に関する実験~

6-1 予備実験の結果を基にした仮説立て

イメージする大きさを統一しても、イメージする物の違いによって転倒境界判断に差異が生じるのは、イメージしている物を構成する材料の重量と関係があると考えられるので、次のような仮説を立てた。

仮説3 同じ柱状形態においても、イメージする材質の違いで視覚的重量に差が生じ、転倒境界判断に差異が生じる。

ここで、視覚的重量とは「視覚情報(主に形態)から推測される主観的重量」と定義する。

6-2 実験内容

- (1) 被験者: 工学部大学生12人。
- (2) 実験試料: 予備実験と同じ。
- (3) 実験方法

実験方法は、予備実験と同様である。ただし、教示により木製または金属製の物とイメージさせる2ケース10通りの実験を行う。材質の違いとして木と金属の組み合わせにしたのは、以下の2点からのことである。

- ① 実際の構造物の材料として用いられているものの組み合わせにする。
- ② 視覚的重量の差が大きいと予想される材質の組み合わせにする。

また、本実験において、試料図形の肌目によって、木や金属をイメージさせる方法をとらなかったのは、視覚情報としての色やテクスチャーの影響を排除するためであり、視覚情報としては同じ試料図形で、教示によって材質をイメージさせる方法が可能であると予備実験の結果から判断したためである。

(4) 教示

「(金属をイメージさせる場合、金属製の非常に細長い棒を見せながら)これから見ていただく試料図形は、このような金属製の棒を真横から眺めたところを描いたものです。大きさは実物大で、底面は正方形と考えて下さい。この棒のように細長いと不安定で、これがもっとずっと太いモノであれば、安定して立っています。そこで、被験者の方が安定していると感じる・不安定に感じる、これらの境となるプロポーシオンになるように試料図形の横幅を調整して下さい。試料図形は(高さの異なる)5パターンあり、それぞれ調整して下さい。」

材質が木の場合も同様の教示をし、木製とイメージしてもらって行った。

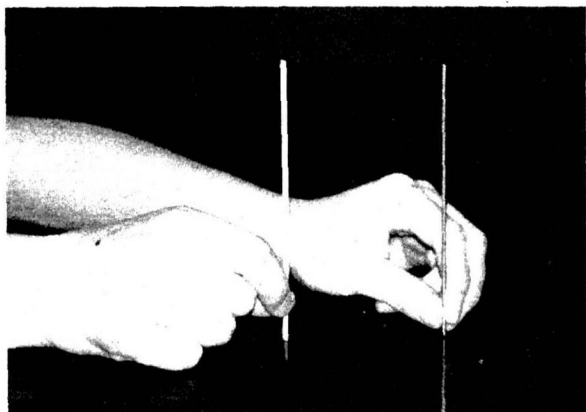


写真-3 実験1の教示に用いた棒

(5) 実験手順

手順としては、まず金属製をイメージさせる5パターンの試料について実験を行い、最低30分の休憩を介して、

木製をイメージさせる5パターンの試料について行った。休憩は、金属製のイメージによる実験の記憶が木製イメージに影響を与えないようにするためである。木製とイメージした場合と金属製とイメージした場合それぞれについて、5パターンの試料の提示順はランダムにして行った。実験後には、被験者に、実験に関してインタビューを行った。

6-3 実験結果

柱状図形の高さ $H(\text{cm})$ を横軸に、調整結果としての安定・不安定の境界でのプロポーション $\rho = \omega / H$ (横幅 / 高さ) を縦軸にとり、2種類の材質イメージについて各被験者ごとに本実験の結果を同じグラフ上に示すと図-7のようになった。ここで、 ω は被験者が転倒境界として調整した横幅である。

得られた各折れ線を「転倒境界閾値曲線」と呼ぶこととする。相対的に太いほど上方、相対的に細長いほど下方に位置している。

6-4 分析・考察

実験結果をみると、イメージする大きさや材質について

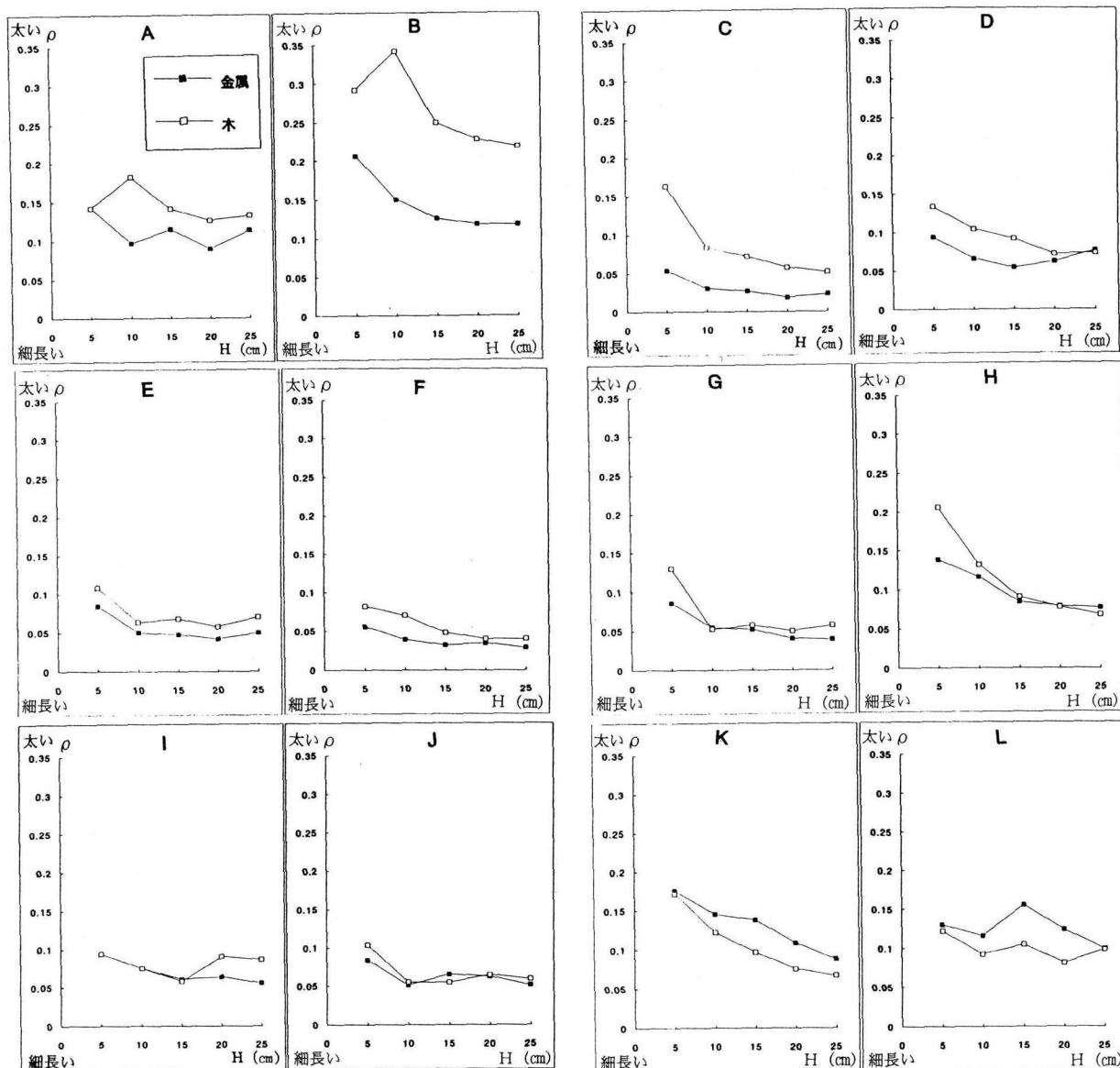


図-7 各被験者ごとの実験1結果グラフ

同条件のもとで実験したにも関わらず、被験者間でかなりばらつきがみられる。つまり、イメージする材質や図形の大きさが同じであっても、被験者間で転倒境界プロポーションの判断にかなりの差異があると考えられる。しかし、被験者全体の転倒境界閾値曲線についての傾向としては、以下の2点が挙げられる。

- ① 全ての被験者の転倒境界閾値曲線が、材質によらず概ね右下がりになっている。つまり、背の高い図形ほど、転倒境界プロポーションは相対的に細長くなっている。
- ② 多くの被験者（12人中10人、被験者A～J）において、金属をイメージした場合よりも木をイメージした場合のグラフの方が、概ね上側に位置している。つまり、木をイメージした場合の方が、転倒境界プロポーションが相対的に太くなっている。

①に関しては、コメントを参考にすると、ある程度の太さを有する柱状図形の接地面にイメージされる着着感（この柱状図形と接地面の着着感を、『視覚的着着力』と定義する。）がその視覚的重量の増大と共に強まるので、背の高い図形ほど視覚的重量は大きくなり、その結果として単位面積当たりの接地面との着着力が増し、安定感を喚起されるためと考えられる。しかし同時に、絶対的な横幅が図形の高さにつれて増大する傾向を示しているのは、視覚的重量

小 ← 接地面積 → 大

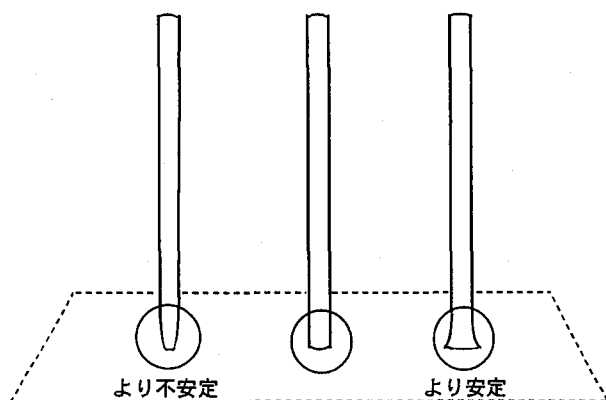


図-8 仮説4のイメージ

大（太） ← 視覚的重量 → 小（細）

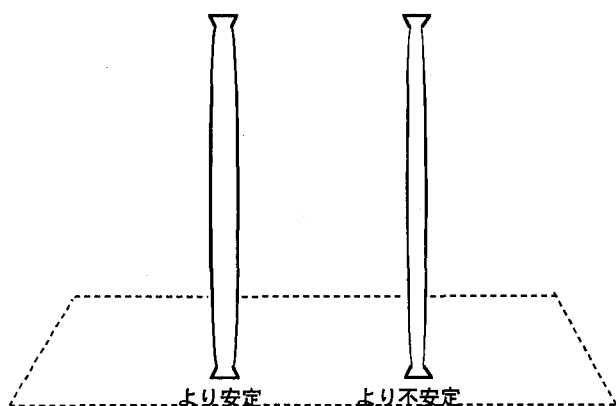


図-9 仮説5のイメージ

の増大により背の高い図形の注目部位である上部の重量が強く意識され不安定感が喚起されることと、この着着力の増大による安定感の喚起との拮抗関係で、前者の転倒境界判断への影響が卓越するためである、と考えられる。また、ある程度細長くなると、認知過程において被験者自らが不安定要因を付加していることから、被験者は視覚情報に対して思考実験を行っていると考えられ、この不安定要因を『仮想の転倒要因』と呼ぶこととする。

②に関しては、金属柱は木製柱よりも比重が大きいとイメージされており、同じ高さ・プロポーションでも視覚的重量が大きく底面での着着力が強くなることになるので、細長い転倒境界プロポーションとなると考えられる。これは、仮説3を裏付けているといえる。また、 ρk よりも ρw の方が概ね大きい値で上側に位置している被験者A～Jすべてから、「木をイメージした方が相対的に不安定に感じやすい」という結果に合致したコメントを得ている。（ ρ の添字k, wはそれぞれ金属、木製を表す。）

6-4 実験1から導かれる仮説

仮説4 接地面積が大きいほど接地面との着着力が大きく、喚起する安定感が増す。

仮説5 視覚的重量が大きいほど接地面との着着力が大きく、喚起する安定感が増す。

仮説6 視覚的重心が上方にあるほど、喚起する不安定感が増す。

ここで用いている視覚的重心とは、『視覚情報（主に形態）から推測される主観的重心』と定義する。

7. 実験2 ～網膜像での大きさと、イメージされた大きさの、それぞれの違いが転倒境界プロポーションに及ぼす差異に関する実験～

7-1 予備実験及び実験1の結果を基にした仮説立て

予備実験の結果から、大きさというパラメータについて、網膜像での大きさ（観察距離が一定の場合、試料図形の大きさによる）と、イメージされた大きさのそれぞれの違いによって、転倒境界判断にどのような差異が生じるのかをみる必要があることが分かった。そこで、実験1の結果と考察も併せて、次のような仮説を立てた。

仮説7 網膜像での大きさが大きいほど、転倒境界プロポーションは相対的に細長くなる。また、イメージする大きさが大きいほど、転倒境界プロポーションは相対的に細長くなる。

7-2 実験内容

- (1) 被験者：工学部大学生9人。
- (2) 実験試料：予備実験及び実験1と同じ。
- (3) 実験方法

実験方法は、ほぼ実験1と同様である。ただし、今回の実験では、異なった大きさのヒューマンスケールを手がかりとして提示し、図形をそれぞれ2m, 5m, 10m, 50mの柱状物体としてイメージしてもらって実験を行う。つまり、各被験者に、上記の5パターンの試料図形それぞれに対して、大きさのイメージ4ケースの、20通りの組み合わせについて、転倒境界となるように横幅を調整してもらった。

それぞれの調整結果として横幅を測定することにより、ある網膜像での大きさ（高さ）・ある大きさのイメージでの、転倒境界プロポーション $\rho = H / \omega$ が得られる。

(4) 教示

「これから被験者の方に見ていただく図形は柱状の物体を真横から眺めたところを描いたものです。物体の大きさは、いっしょに提示する人の大きさと比較し、物体と人が観察位置から同じ距離だけ離れているとして、想像して下さい。これが、非常に細長い場合は不安定に感じ、非常に太くければ安定に感じます。そこで、被験者の方が、安定している・不安定に感じる、これらの境となるプロポーションになるように試料図形の横幅を調整して下さい。横幅を調整する際、太くしたり細くしたりと行ったり来たりしても構いません。制限時間は特に設けません。試料図形は5パターンあり、それぞれについて大きさの異なる4種類の人の図形を提示しますので、試料図形と人を描いた図形との組み合わせごとに、安定不安定の境界になるよう横幅を調整して下さい。」

材質については特に教示せず、被験者に尋ねられた場合のみ金属として教示した。

(5) 実験手順

試料図形の提示順・ヒュームスケールの提示順ともにランダムとして行った。各調整実験間に、2分程度、休憩をとった。実験後には、被験者に実験に関してインタビューを行った。

7-3 実験結果

柱状図形の高さH(cm)を横軸に、調整結果としての安定・不安定の境界でのプロポーション $\rho = \omega / H$ （横幅/高さ）を縦軸にとり、大きさのイメージ4ケースについて各被験者ごとに本実験の結果を同じグラフ上に示すと図-10のようになった。ここで、 ω は被験者が転倒境界として調整した横幅である。転倒境界閾値曲線は、相対的に太いほど上方、相対的に細長いほど下方に位置することになる。

7-4 分析・考察

実験結果の各被験者ごとのグラフの位置から、次の3つのグループに分けることができる。

- ① 大きいものとしてイメージしたほど、転倒境界プロポーションが相対的に太くなる。(被験者A, B, C, Dの4人)
 - ② 大きいものとしてイメージしたほど、転倒境界プロポーションが相対的に細長くなる。(被験者E, F, Gの3人)
 - ③ あまり差異がみられない。(被験者H, Iの2人)
- ①及び②の傾向は、それぞれの被験者の観察の仕方(被験者のコメントによる)や認知傾向(実験結果による)との関連性がみられる。

①のようなグラフの配置になった被験者においては、大きいモノほど強い転倒要因が喚起されていたりすることから、不安定感を喚起する仮想の転倒要因と視覚的重心が上方にあることの影響が底面での接着力よりも強かったと考えられる。また、非常に大きい物に対してだけは、具体的な構造物をイメージしてより高い安全性を要求するという

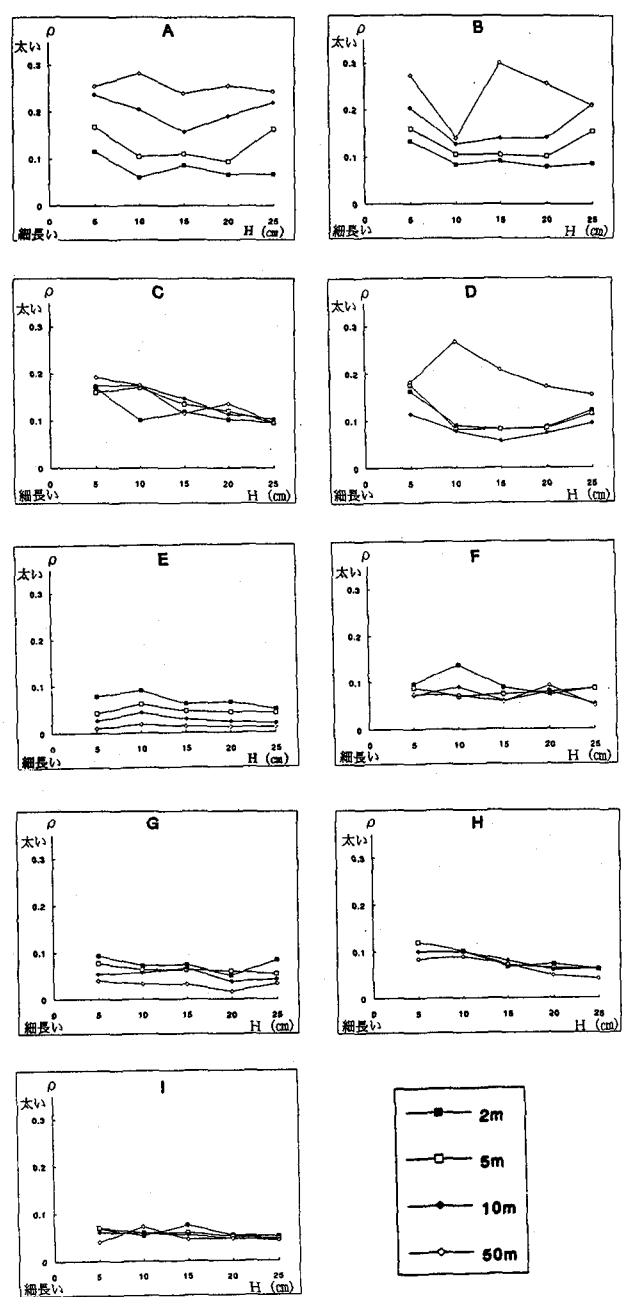


図-10 被験者ごとの実験2結果グラフ
(転倒境界閾値曲線)

プロトタイプによる判断をしたとする被験者もあった。

②のような結果となったのは、実物の横幅をイメージしていたということから、底面での接着力の影響が強かったと考えられる。そのため、実験1の結果でもみられたように、背が高い図形ほど、転倒境界が相対的に細長くなる傾向があり、結果もその傾向に従っている。また、①とは全く反対であるが、非常に大きい構造物であるからには、それなりに安定であるはずというプロトタイプによる判断をしたとする被験者もあり、人によっては基盤面下まで構造物が続いているとイメージしていた。

③のような結果になった被験者は、実際の大きさのイメージの判断への影響は小さく、有意な差異とならず、網膜像での大きさの影響の方が大きい、と解釈できる。

これらのことから、仮説7が適用可能な場合もあるが、本実験からは妥当性は検証できないことが分かった。

8. 一対比較法による仮説の検証

8-1 仮説の整理

予備実験、実験1及び実験2の成果を基に、視覚的力学において形態的要素に関する議論が可能なように、こまめで提案した仮説を次に挙げる三つに整理した。

仮説-I 接地面積が大きいほど接地面との視覚的接着力が大きく、喚起する安定感が増す。

仮説-II 視覚的重量が大きいほど接地面との視覚的接着力が大きく、喚起する安定感が増す。

仮説-III 視覚的重心がより上方に位置するほど、喚起する不安定感が増す。

これらのうち、仮説-I、IIは、仮説-I~IIIの全ての要素を含んだ試料図形による実験であったが、それぞれ実験結果とも合致し、妥当性はある程度検証されていると言える。

8-2 実験内容

(1) 実験方法

実験試料として用いる図形は基本的には柱状図形である。本実験では、仮説での安定・不安定の判断に影響すると考えられる要素それぞれを変えた組み合わせの2つの図形を見比べて、転倒イメージをより強く喚起され、より不安定に感じる方を回答してもらう、一対比較法により行う。2つの図形の組み合わせそれぞれについて、被験者から得られた結果を単純に集計した選択度数の大小をもって、より不安定に感じるという強度の大小と判断する。

(2) 実験試料

1) 基本的な柱状形態とバリエーション

本実験では、実際に見られる構造形態を参考に、以下のような10タイプの試料図形を作成し、それぞれのタイプにおいて仮説の検証のために要素を変化させ、いくつかのバリエーションを用意した。なお、図形高は全て10cmとした。また、基本とする試料図形のプロポーシオン(横幅/高さ)は、上での実験結果から試料図形の大きさや大きさのイメージに関係なくほとんどの被験者が転倒イメージを喚起されると判断できる0.04を採用した。

① 図心が図形中央部にあるタイプ(S, A, B, C)

Sタイプ: 横幅(太さ): 4種類

Aタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積)・中心部の横幅(太さ, 視覚的重量): 6種類

Bタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積)・中心部の横幅(太さ, 視覚的重量): 6種類

Cタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積)・中央部の横幅(太さ, 視覚的重量): 4種類

② 図心が図形上部に位置するタイプ(D, E, F)

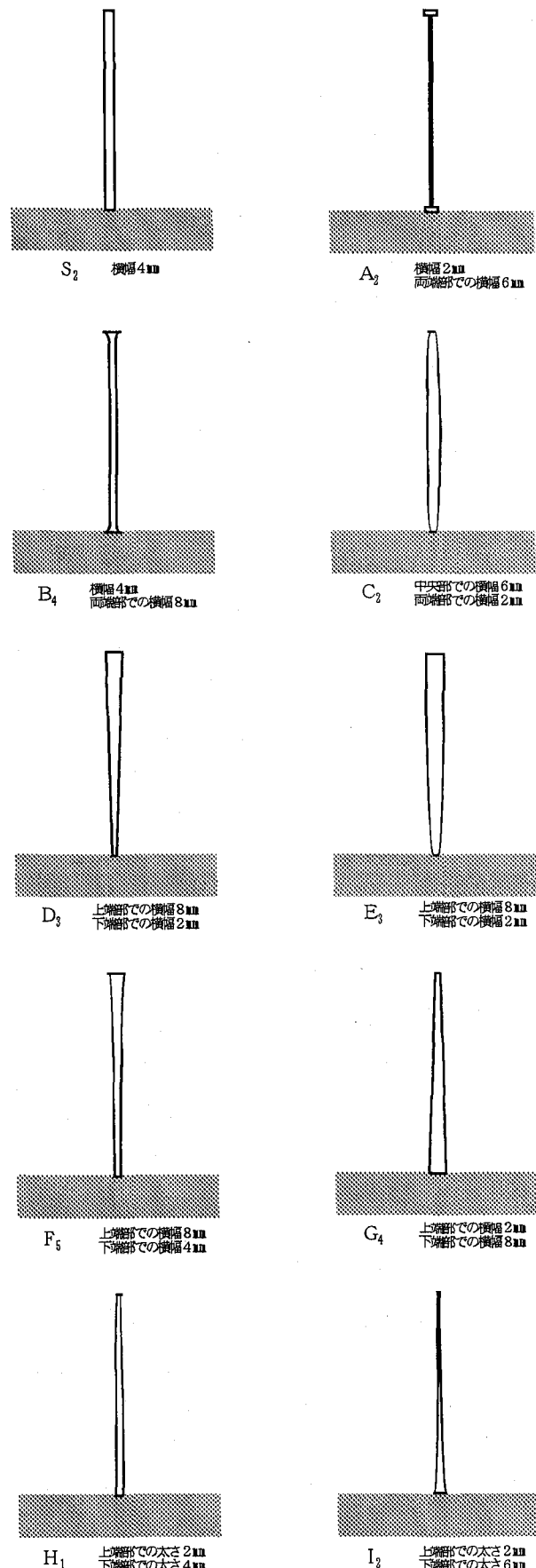
Dタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積): 5種類

Eタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積): 5種類

Fタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積): 5種類

③ 図心が図形下部に位置するタイプ(G, H, I)

Gタイプ: 上下端部の横幅(太さ, 底面積): 4種類



全て高さ10cm

図-11 試料図形のタイプ別代表例(検証実験)

Hタイプ：上下端部の横幅（太さ、底面積）：5種類

Iタイプ：上下端部の横幅（太さ、底面積）：4種類

2) 試料図形の組み合わせ

10タイプ47パターンを図形から、各仮説での要素の影響度を比較し序列化することができるような要素の対の組み合わせ56通りを作成した。被験者の負担や多人数を被験者とする実験時間の制約上、他の組み合わせの比較により推測可能な組み合わせの比較は行なわない。(表-2参照)

- ① 図心が図形中央部にあるタイプの組み合わせでは、底面積、視覚的重量それぞれについての比較により、仮説-I, IIを検証する。
- ② 図心が図形上部に位置するタイプの組み合わせでは、上下端での太さの差や底面積、視覚的重量の違いについて比較させ、仮説-I, II, そして特に仮説-IIIを検証する。
- ③ 図心が図形下部に位置するタイプの組み合わせでは、上下端での太さの差や底面積、視覚的重量の違いについて比較させ、仮説-I, II, そして特に仮説-IIIを検証する。

3) 寸法

机上に固定した実験試料と、椅子に座った被験者の目の位置との距離が約50cmとなるようし、この距離を基準として、ヒトの視野と視覚的影響を考慮して、試料の寸法を次に挙げる条件を満たすように設定することとした。

- ① 比較する2つの図形が同時に中心視野に入らない。
- ② 観察時に実験試料の枠が中心視野に入らない。

また、観察の際眼球運動を伴うと考えられるが、実験目的から考えて、この点に関しては特に問題がないと考える。

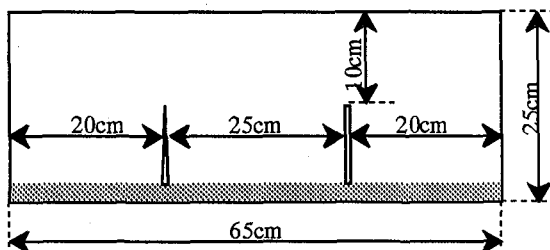


図-12 実験試料の寸法 (検証実験)

(3) 教示

「これから行う実験は、被験者の方がある形を見たときに、転倒するイメージがわくかどうかを知ることが目的としています。実験の内容について説明しますが、手順に関して質問がある場合には尋ねて下さい。しかし、内容に関する質問には答えられませんので、提供した情報から自分で想像して下さい。

(実験試料の例を提示しながら)これは被験者の方に見てもらう図の一例です。これは、水平な地面から立ち上がる物体を横から水平に見た所を描いた図形です。この物体は、非常に背の高い物体で、図中に見られる人の高さを参照して、大きさを想像して下さい。水平断面は、どこも円です。どのようなものでできているかは、被験者の方が想像して

下さい。

では、実験の手順の説明をします。このような2つの図形を横に並べたものを5秒間提示します。2つの図形を見比べて、転倒するイメージがより強く感じられた、不安定な方の図形を右か左かで答えて下さい。答えは5秒以内に解答用紙の指定された欄に○印を記入します。図形の組み合わせは全部で56あります。はじめから20組ごとに2分程度休憩をとります。実験終了後、いくつかの点について質問します。」

(4) 実験手順

被験者を3グループに分け、実験試料の提示の順番が集計結果に影響しないように各グループごとに提示する順序を変更した。実験後、実験に関して被験者に質問した。

(5) 被験者：社会人12名、大学生15名 計27人

8-3 実験結果と分析・考察 (次頁：表-2)

一対比較における不安定の判断はほとんどの組み合わせにおいて、予測した図形が有意(27名中20名以上)に選択されており、概ね仮説-I~IIIを裏付ける結果が得られたものと言える。特に、視覚的重心に関する仮説-IIIに関しては、実験結果の度数において非常に有意な差を示し、感度よくほとんどの被験者から裏付ける結果を得られたといえる。また、複数のパラメータを変化させた一対比較による結果から、仮説-IIIが仮説-I, IIに対して優位に効いていることがわかった。一方、予測と異なり選択にばらつきが見られた比較対では、仮説同士が拮抗する組み合わせとなり、どちらで判断するかで回答が異なったと考えられるものと、仮説からは相対的に安定な条件を有しながらも、接地面に向かって凸の外形線を描きながら先細りとなる図形において錯視から下端部が丸く見え不安定に感じられるというものがあった。

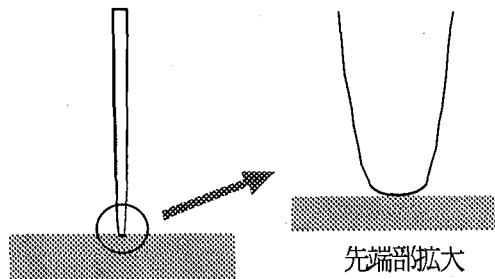


図-13 下端部が丸く見える錯視 (Eタイプ)

実験後の質問に対する回答結果からは、スケールに関して27名中26名がイメージできていることから、構造物に関する研究として心理学的実験により検証していく方法論の妥当性が示されたといえる。

9. 研究成果

本研究の成果は以下のようなものである。

・単純な柱状形態を対象として形態から喚起される動きのイメージとして、変位発生イメージについて、その認知過程(視覚的力学)での傾向(法則性)の仮説を三つた

表-2 一対比較実験の組合せと集計結果

	組み合わせ		組み合わせ		組み合わせ
$\alpha 1$	[1] $A_1 - A_1$ [26]	$\beta 1$	[6] $B_1 - B_1$ [21]	$\gamma 1$	[5] $S_1 - C_1$ [22]
$\alpha 2$	[0] $S_1 - D_1$ [27]	$\beta 2$	[4] $H_1 - S_1$ [23]	$\gamma 2$	[18] $S_2 - H_1$ [9]
$\alpha 3$	[8] $G_2 - G_3$ [19]	$\beta 3$	[23] $E_1 - S_1$ [4]	$\gamma 3$	[25] $D_1 - S_1$ [2]
$\alpha 4$	[23] $F_3 - F_4$ [4]	$\beta 4$	[26] $S_2 - G_4$ [1]	$\gamma 4$	[23] $B_3 - B_4$ [4]
$\alpha 5$	[24] $S_4 - H_4$ [3]	$\beta 5$	[1] $F_1 - F_3$ [26]	$\gamma 5$	[10] $G_2 - H_2$ [17]
$\alpha 6$	[1] $G_4 - S_3$ [26]	$\beta 6$	[21] $A_4 - A_5$ [6]	$\gamma 6$	[17] $A_5 - A_4$ [10]
$\alpha 7$	[23] $B_2 - B_3$ [4]	$\beta 7$	[1] $S_2 - D_4$ [26]	$\gamma 7$	[26] $D_3 - S_1$ [1]
$\alpha 8$	[4] $E_4 - E_5$ [23]	$\beta 8$	[9] $I_1 - S_2$ [18]	$\gamma 8$	[2] $I_4 - S_4$ [25]
$\alpha 9$	[20] $C_4 - C_3$ [7]	$\beta 9$	[10] $D_2 - E_2$ [17]	$\gamma 9$	[19] $A_1 - A_2$ [8]
$\alpha 10$	[1] $G_4 - S_4$ [26]	$\beta 10$	[3] $G_3 - S_3$ [24]	$\gamma 10$	[5] $D_4 - D_5$ [22]
$\alpha 11$	[27] $D_3 - D_1$ [0]	$\beta 11$	[25] $D_5 - S_2$ [2]	$\gamma 11$	[25] $S_3 - G_2$ [2]
$\alpha 12$	[25] $S_3 - H_3$ [2]	$\beta 12$	[14] $C_3 - S_2$ [13]	$\gamma 12$	[14] $E_2 - F_2$ [13]
$\alpha 13$	[2] $S_1 - F_1$ [25]	$\beta 13$	[3] $E_1 - E_2$ [24]	$\gamma 13$	[5] $I_3 - S_3$ [22]
$\alpha 14$	[2] $G_2 - S_2$ [25]	$\beta 14$	[3] $I_2 - S_3$ [24]	$\gamma 14$	[25] $E_4 - S_2$ [2]
$\alpha 15$	[7] $B_6 - B_5$ [20]	$\beta 15$	[14] $I_2 - S_3$ [13]	$\gamma 15$	[5] $B_2 - B_1$ [22]
$\alpha 16$	[23] $E_3 - E_1$ [4]	$\beta 16$	[8] $F_2 - D_2$ [19]	$\gamma 16$	[4] $G_1 - S_2$ [23]
$\alpha 17$	[2] $S_2 - F_4$ [25]	$\beta 17$	[22] $F_2 - F_1$ [5]		
$\alpha 18$	[12] $I_2 - G_2$ [15]	$\beta 18$	[12] $A_4 - A_3$ [15]		
$\alpha 19$	[4] $C_1 - C_2$ [23]	$\beta 19$	[2] $D_1 - D_2$ [25]		
$\alpha 20$	[23] $I_3 - I_2$ [4]	$\beta 20$	[15] $H_2 - I_2$ [12]		

て、説明・解釈した。

- ・以上の仮説を検証し、より複雑な形態に対しても有効であることを示した。

本研究の仮説は、ある程度複雑さをもった形態に対しても有効であることが検証されたことから、構造物の形態デザインヒントとなりうると考える。

10. 今後の課題

今後の課題としては、以下の通りである。

- ・視覚的力学上の法則性をさらに抽出し、より合理的な認知過程の理解を試みる。
- ・視覚的物理量による安定・不安定感への相互の影響の度合いについて、さらに検討する。
- ・形態から喚起されるプロトタイプに関する研究方法論を構築する。
- ・形態以外の視覚情報が構造物の動きのイメージに影響に関する研究に展開し、視覚的力学上で統合を図る。

謝辞：本研究をまとめるに当たり、東京大学の篠原修教授及び天野光一助教授には貴重な御意見を頂いた。両先生には、この場を借りて感謝の意を示したい。

参考文献

- 1) 阿部哲子, 石井信行, 藤野陽三, 阿久津正大: 視覚的に力の流れを認識する橋の形に関する研究, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.471-480, 1996
- 2) 岡本真和, 天野光一, 石井信行: 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構造工学論文集, Vol.44A, pp.575-580, 1998
- 3) Neisser.U: 認知の構図, サイエンス社, 1987
- 4) 長谷川 明: 構造形態と人間の感覚に関する考察, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.463-745, 1996
- 5) 杉山和雄: 橋梁形態の観照と評価に関する基礎的研究, 学位請求論文, 1987
- 6) Arnheim.Rudolf (上 昭二訳): 芸術心理学のために, ダヴィッド社, 1971
- 7) Arnheim.Rudolf (関 計夫訳): 建築形態のダイナミクス (上), 鹿島出版会, 1978
- 8) Wilson, F. (山本学治, 稲葉武司共訳): 構造と空間の感覚, 鹿島出版社, 1976
- 9) 例えば, 川人光男他: 認知科学3-視覚と聴覚-, 岩波書店, 1994

(1998年9月18日受付)