

論文 / 著書情報
Article / Book Information

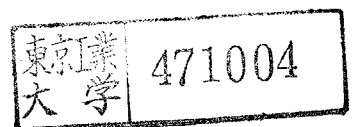
題目(和文)	テクスチャーの視覚的あらさに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	大野隆造
Author(English)	Ryuzo OHNO
出典(和文)	学位:工学博士, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第1384号, 授与年月日:1982年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor of Engineering, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第1384号, Conferred date:1982/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

テクスチャーの視覚的あらさに関する研究



昭和 57 年 3 月

大 野 隆 造



謝 辞

本論文は、昭和 46 年に茶谷研究室に所属して以来、2 年間の米国留学中を含め一貫して続けてきたテクスチャーの視知覚に関する研究の成果をまとめたものであります。

その間、終始一貫して研究の理論的な面から実験の実際に至るまで御指導をいただき、公私にわたって叱咤激励を賜りました恩師東京工業大学教授、茶谷正洋先生に心から感謝致します。

また本学において、この研究テーマを始めて取り上げられた東京工業大学名誉教授・東京芸術大学教授清家清先生には多くの有益な助言をいただきました。また当時東京工業大学客員教授・ワシントン大学教授 Philip Thiel 先生、ウィスコンシン大学助教授 Gary T. Moore 先生、同教授 Amos Roppo-port 先生には本研究に対する理解と激励をいただき、貴重な教示・意見をいただきました。深く感謝致します。

また研究の遂行に際して、当時茶谷研究室に学生、大学院生として在籍した諏訪満、吉原昭則、服部克洋、吉田雅彦、取出浩、小林啓明、山本武司の諸氏による試験体の製作、実験、整理等の協力がなくては本論文は形を成すには至りませんでした。また東京工業大学技官中沢敏彰氏には常に研究室にあって激励をいただきました。厚く御礼申し上げます。

最後に、実験の観察者として快よく御協力いただいた多くのかたがたに感謝致します。

目 次

第 1 章	序 論	1
	1-1 本研究の目的および範囲	2
	1-2 テクスチャーの視知覚に関する既往の研究	3
	1-3 本研究の方法および構成	5
第 2 章	表面あらしの定量化	8
	2-1 概要	9
	2-2 建築仕上材の表面あらしと見えのあらし	10
	2-2-1 仕上材表面の断面波形の観察	
	2-2-2 断面波形と見えのあらし	
	2-3 標準あらし試験体の試作と検討	15
	2-3-1 仕上材の表面あらしの抽象化	
	2-3-2 石膏粒度板の製作	
	2-3-3 石膏仕上板との比較による検討	
	2-3-4 相当粒度による表面あらしの定量化	
	2-4 石膏粒度板の粒度と見えのあらしの知覚量	28
	2-5 結論	33
第 3 章	見えのあらしの刺激閾	35
	3-1 概要	36
	3-2 実験方法	37
	3-2-1 見えのあらしの平面変化距離	
	3-2-2 単一刺激の極限法による実験設定	
	3-3 実験結果および考察	40
	3-3-1 粒度と平面変化距離の関係	
	3-3-2 観察者の視力による平面変化距離の変動	
	3-3-3 照明条件による平面変化距離の変動	
	3-4 見えのあらしの刺激閾の推定	52
	3-5 結論	55

第 4 章	見えのあらさと観察距離の関係	56
4-1	概要	57
4-2	実験方法	59
4-2-1	2 刺激比較の極限法	
4-2-2	予備実験	
4-2-3	実験設定	
4-3	実験結果および考察	68
4-3-1	同等の見えのあらさを与える 粒度と観察距離の関係	
4-3-2	観察者の個人差の検討	
4-4	見えのあらさの弁別閾	79
4-5	観察距離による見えのあらさの変動の推定	82
4-6	結論	88
第 5 章	見えのあらさに及ぼす照明条件の影響	90
5-1	概要	91
5-2	実験方法	92
5-2-1	予備実験	
5-2-2	実験設定	
5-2-3	実験結果の処理方法	
5-3	実験結果および考察	101
5-3-1	入射角が見えのあらさに及ぼす影響	
5-3-2	照度が見えのあらさに及ぼす影響	
5-3-3	考察	
5-4	照明条件による見えのあらさの変動の推定	114
5-5	結論	122
第 6 章	結 論	123
資 料		128
参考文献		141
既発表論文		144

A STUDY ON VISUAL ROUGHNESS OF TEXTURE

by Ryuzo Ohno

TABLE OF CONTENTS

1. INTRODUCTION	1
1-1. Objectives and Delimitations of the Study	2
1-2. Review of the Existing Studies on Visual Perception of Texture	3
1-3. Research Methodology and the Framework of the Study	5
2. QUANTIFICATION OF SURFACE ROUGHNESS	8
2-1. Introduction	9
2-2. The Physical Surface Roughness of Architectural Finishes and Their Subjective Visual Roughness	10
2-2-1. Observation of Surface Profiles of Architectural Finishes	
2-2-2. The Relationship Between Surface Profiles and the Subjective Visual Roughness of the Surface	
2-3. Manufacturing of Standard Test Panels of Surface Roughness and Examination of Their Utility	15
2-3-1. The Objectifying Process of Surface Rough- ness from Architectural Finishes to Test Panels	
2-3-2. Manufacture of the Granular Surfaced Plaster Panels (GSPP) as the Standard Test Panels	
2-3-3. The Examination of GSPP in Comparison with Architecturally Finished Plaster Panels	

2-3-4. Determination of Degree of Surface Roughness in Terms of Equally Perceived Grain Size of GSPP	
2-4. The Relationship Between the Grain Size of GSPP and the Magnitude of Subjective Visual Roughness	28
2-5. Conclusion	33
3. THE STIMULUS THRESHOLD OF SUBJECTIVE VISUAL ROUGHNESS	35
3-1. Introduction	36
3-2. The Method of Experimentation	37
3-2-1. Measurement of the Stimulus Threshold by Means of an Observation Distance in Which the Texture is Perceived as a Plane Surface	
3-2-2. Experimental Design Using the Method of Minimal Changes with a Single Stimulus	
3-3. Results of the Experiments and Discussion	40
3-3-1. The Relationship Between the Grain Size and the Stimulus Threshold of Subjective Visual Roughness	
3-3-2. The Influence of the Observer's Visual Acuity	
3-3-3. The Influence of Lighting Conditions	
3-4. Estimation of the Stimulus Threshold of Subjective Visual Roughness	52
3-5. Conclusion	55

4. THE RELATIONSHIP BETWEEN SUBJECTIVE VISUAL ROUGHNESS AND THE OBSERVATION DISTANCE	56
4-1. Introduction	57
4-2. The Method of Experimentation	59
4-2-1. The Method of Minimal Changes with a Pair of Stimuli	
4-2-2. Preparatory Experiment	
4-2-3. Design of Experiments	
4-3. The Results of the Experiments and Discussion	68
4-3-1. The Relationship Between Grain Size and Observation Distance in Which the Textured Surface Appears to be Subjectively Equal in Roughness	
4-4. The Difference Threshold of Subjective Visual Roughness	79
4-5. Variations of Subjective Visual Roughness Caused by Differences in Observation Distance	82
4-6. Conclusion	88
5. THE INFLUENCE OF THE LIGHTING CONDITIONS ON SUBJECTIVE VISUAL ROUGHNESS	90
5-1. Introduction	91
5-2. The Method of Experimentation	92
5-2-1. Preparatory Experiments	
5-2-2. Design of Experiments	
5-2-3. The Method of Data Treatment	
5-3. The Results of the Experiments and Discussion	101
5-3-1. The Influence of the Angle of Incidence on the Subjective Visual Roughness	

5-3-2. The Influence of the Illuminance on the Subjective Visual Roughness	
5-3-3. Discussion	
5-4. Variations of Subjective Visual Roughness Caused by Difference in Lighting Conditions	114
5-5. Conclusion	122
6. CONCLUSION	123
APPENDIX	128
BIBLIOGRAPHY	141
PUBLISHED RESEARCH PAPERS	144

SYNOPSIS

The significant role of texture in architectural design has been often mentioned but it has rarely been studied in systematic ways. Texture is an aspect of building and landscape which architects and designers always manipulate, yet with very little clear understanding of how people actually perceive or evaluate difference in texture.

The present study, A Study on Visual Roughness of Texture, focuses on the quantitative aspect of visual perception of texture, namely visual roughness, and investigates the functional relationships between the physical stimuli and human response in terms of subjective visual roughness. The outline of the paper, composed of 6 chapters, is as follows.

In Chapter 1, Introduction, the objectives and delimitations of the study are clearly stated. And the existing studies on visual perception of texture are briefly reviewed. The methodology and the framework of the study are also explained in this chapter.

Chapter 2, Quantification of Surface Roughness, explored and examined the physical variables of a surface which were relevant to the perception of visual roughness and a systematic method of measurement of surface roughness was developed and tested.

The physical profiles of architectural finishes were

observed with a microscope and each finish was ranked according to the subjective visual roughness. The result indicated that visual roughness was judged through a combined measurement of the wave-length and the height of the wave-like profile of a surface.

Since the actual architectural finish which generally has a complex configuration is not easy to define by profile measurement, a set of standard test panels which had simple configurations was made in order to represent the degrees of surface roughness. The standard test panel was called the granular Surfaced Plaster Panel (GSPP) which was finished plaster spherical particles. GSPP was found to be comparable to architecturally textured plaster panels, and the degrees of roughness of architectural finishes were able to be defined in terms of the grain size (the diameter of the grain) of GSPP.

A functional relationship between the grain size of GSPP and the subjective visual roughness was finally investigated by the magnitude estimation method. The magnitude estimation of subjective visual roughness was found to be linearly related to the grain size on a logarithmic scale.

This chapter thus concluded that the degree of surface roughness of a material, whatever the configuration of the material, could be shown by the grain size of GSPP which provides a subjectively equivalent impression of roughness.

Chapter 3, The Stimulus Threshold of Subjective Visual Roughness, investigated the influence of such variables as surface roughness (grain size), observer's visual acuity, lighting conditions and observation distance on the lower limit of texture sensation. In the psychophysical experiment, the stimulus threshold was determined by the observation distance in which a textured surface was perceived as a plane surface.

As expected, a rougher surface requires a longer distance to be seen as a plane surface, but the distance was not simply proportional to the grain size, that is, the law of visual angle is not applicable. The variations of the stimulus threshold, according to the observer, were found to be fairly well explained by the observers' visual acuity. The lighting conditions, both the angle of incidence and illuminance, showed remarkable influence on the stimulus threshold.

The above mentioned relationships were formulated as shown below in order to judge whether texture is perceptible or not under given conditions.

$$R_0 = 0.53 \log D + 0.69 \log V + 0.0064 \theta + 0.17 \log E - \log X - 0.055$$

where, $R_0 > 0$: the probability of perceiving texture exceeds 50%

$R_0 < 0$: the probability of not perceiving texture exceeds 50%

D : grain size of the surface (mm)

V : observer's visual acuity

θ : angle of incidence of light (deg)

E : illuminance of light (lx)

X : observation distance (m)

In Chapter 4, The Relationship Between Subjective Visual Roughness and the Observation Distance, the method of minimal changes was employed to obtain the functional relationship between subjective visual roughness and the observation distance.

The varying rate of subjective visual roughness caused by the change of observation distance was found to be not constant, but a function of the visual angle of the grain size. When the projective image of the surface is rougher (the visual angle of the grain is wider), the varying rate is small, that is, the subjective visual roughness stays relatively constant in spite of the change of the visual image on the retina. In contrast to this, when the surface appears finer, the rate increases and when the visual angle of the grain is approximately 2' (minutes), the change of subjective roughness is proportional to the change of the observation distance, that is, the relation follows the law of visual angle. For even finer surfaces, the rate exceeds the one which follows the law of visual angle and the subjective judgement varies than expected from the change of the visual image on the retina.

The above mentioned relationship was formulated as shown below.

$$\log X = \log D - (\log \frac{d}{X_0} + 0.263) (\frac{d}{D})^{0.526} + 0.263$$

where, X : observation distance in question (m)

D : surface roughness (grain size;mm)

d : subjective visual roughness
(indicated by the grain size observed
at the distance of X_0 ;mm)

X_0 : standard observation distance (m)

In this chapter, the difference threshold of the subjective visual roughness was also discussed. The minimal perceptible change of the surface roughness was found to be approximately proportional to the degree of surface roughness. The ratio of this proportional relation, namely Weber ratio, was about 0.09. Translated, the just noticeable difference in visual roughness is approximately 9% of the surface roughness.

In Chapter 5, The Influence of Lighting Conditions on Subjective Visual Roughness, the effects of the angle of incidence and illuminance of light were investigated by the psychophysical experiments.

It was found that the influence of both angle of incidence and illuminance varied according to the projective image of the surface roughness (visual angle of the grain size). The finer the image of the surface appears, the more marked the effect becomes. When the surface appears as rough as the visual angle, over 7' (minutes), the lighting conditions have no effect on the subjective judgement of visual roughness.

Based on the above stated result, the following functional relationship was formulated in order to estimate variations of subjective visual roughness caused by a given lighting condition.

$$\log d - \log d_0 = -(\log \frac{D}{X} - \log 0.002) \\ \{ 0.0122(\theta - \theta_0) = 0.175(\log E - \log E_0) \}$$

where, d_0 : the visual roughness under the standard lighting condition (θ_0, E_0)

d : the visual roughness under the condition of θ and E

D : the surface roughness (grain size;mm)

X : observation distance (mm)

θ : angle of incidence (deg)

E : illuminance (lx)

In Chapter 6, Conclusion, the results of each chapter were summarized and as a general conclusion, the nature of texture perception was discussed as contrasted with object perception.

第1章 序 論

- 1 本研究の目的および範囲
- 2 テクスチャーの視知覚に関する既往の研究
- 3 本研究の方法および構成

1-1 本研究の目的および範囲

建築視環境におけるテクスチャーは、空間を構成する面の定位、弁別そして奥行知覚などを通して空間の知覚に影響し、さらに素材の認知の手がかりとして、空間の質にも影響すると考えられる。実際、完全に平滑な表面に対しては、我々の目はカメラと同様焦点を合わせることが出来ず、その表面端部の枠などを見ないかぎり、その表面を定位することが出来ない（文献17）。またテクスチャーは、色などと同様表面の視覚的な特徴として異なる表面を区別することにより、視野内の目標物を検出したり、2つの表面の空間的前後関係を知覚する手がかりを与える（文献20）。さらに、床面などのテクスチャーが遠ざかるにつれ密に見える、いわゆるテクスチャーの密度勾配は3次元的な空間の奥行き知覚を強調することが知られている（文献2）。以上のテクスチャーにおける粗密感あるいはあらさによる視覚的效果の他に、テクスチャーの視知覚は、素材の認知、あるいは連想により、硬さ、暖かさなどの素材のもつ触覚的な特性の知覚をひき起こすことが報告されている（文献5, 論文3, 12）。前者の視覚的效果は、色の知覚における明度と同様に、視覚的刺激の大小が定量化可能なテクスチャーの量的な側面に起因しており、後者は、素材ごとに特徴的な模様あるいは表面凹凸のパターンなどによると考えられ、色における色相に似て定量的に扱うことが困難なテクスチャーの質的な側面と言うことが出来る。

本研究は、テクスチャーの視知覚における量的な側面である、いわゆる見えのあらさが観察時の視覚的な諸条件によって、どの様に異なって知覚されるかを定量的に明らかにし、建築空間におけるテクスチャーの視覚的效果を有効に用いるための基礎資料を提出することを目的としている。

テクスチャーの知覚は、物の表面の特徴に対する視覚的、触覚的な経験であるが、本研究では、触覚が広がりをもつ建築環境においては視覚的经验に比べ限定した範囲でのみ有効であること、また視覚が一般的に触覚に比べ知覚情報の処理において優位であること（文献8, 9）から、視覚的なテクス

チャーの知覚に限定している。またテクスチャーの視知覚のうち、量的な側面であるあらさについてのみ扱うことは既に述べたが、視覚的には一種のあらさと感じられる平滑面上における微小な模様などは本研究の対象から除外している。

1-2 テクスチャーの視知覚に関する既往の研究

従来、テクスチャーは彫刻、絵画など美術の分野において（文献10）、また建築の分野において（文献11, 12, 13, 14, 15）重要な視覚的要素の一つとして指摘されているが、テクスチャーを対象とした系統的な研究は極めて少ない。しかしながら、近年主に心理学においてテクスチャーを扱った研究をいくつか指摘することが出来る。

テクスチャーが視知覚における重要な一つの変数であるとはじめて着目したのは、心理学者カッツ（Katz, D. 1935）で、彼は色の現われ方の違い、すなわち面色（Film color）と表面色（Surface color）の違いを、表面のテクスチャーの有無によるとした（文献16）。またメッツガー（Metzger, W）は、全視野にわたって明るさが等質でテクスチャーの知覚出来ない表面を用いた実験において、被験者は固い表面を感じないで、霧の中にいるように表面との距離が定位出来なかったと報告している（文献17）。この両者の研究は、空間を限定する表面の知覚にとって、テクスチャーの知覚が他の手がかりのない状態では不可欠であることを指摘している。

その後ギブソン（Gibson, J. J. 1960）は、2次元的な視覚情報によって3次元的な深行きを知覚する一つの重要な手がかりとしてテクスチャーの効果을あげ、実験的な研究として、白紙に点または線を密に印刷した用紙を用いて、テクスチャーの密度の変化（密度勾配）が深行感を与え、そのテクスチャーの密度勾配の不連続が空間的ギャップを知覚させる効果をもつことを示した（文献1）。

ギブソンは、日常的な環境知覚におけるテクスチャーの知覚の役割を強調したが（文献3）、近年心理学から派生したサイコピクトリックス（Psycho-

pictorics) と呼ばれる分野では、電子計算機によって発生させたランダムパターンなどの2次元画像を用いて、主にテクスチャーの弁別の問題にその研究の主眼をおいている。異なる2種のテクスチャーを瞬時に弁別し、検出する人の視知覚の機構を解明して、与えられた映像から機械によって自動的にテクスチャーを弁別し、目標物を検出させる試みが行なわれており、その例としては、ピケット (Pickett, R. M.)、ジュレツ (Julesz, B)、リプキン (Lipkin, B. S. et al)らの研究があげられる。また、その応用としてローゼンフェルト (Rosenfeld, A.) は地表の土地利用の状況を航空写真のテクスチャー弁別によって求めようとしているが、いずれの研究も、テクスチャー弁別に影響するいくつかの要素を指摘するにとどまっている (文献4, 18, 19, 20, 21)。

以上概観した心理学の分野におけるテクスチャーに関する研究は、知覚心理学における他の形態、色などに関する膨大な研究の蓄積と比較すれば極めてわずかであり、その内容は、いずれも抽象化した2次元画像を用いて、空間知覚に対するテクスチャーの効果、あるいはテクスチャーの弁別の要因を求めたもので、本研究で扱うテクスチャーのあらさの知覚に関する研究は見あたらない。

一方、建築の分野における研究では、スウェーデンのエドベルグ (Edberg, G) が建築材料の視覚的類似性による分類を多次元尺度法を用いて行っており (文献22)、国内では北浦がSD法を用いてテクスチャーの視覚的判断に介在する評価因子を求めている (文献5)。しかし、いずれの研究もテクスチャーの質的な心理効果に関する定性的な研究である。近年、北浦はサンドペーパー等を用いた実験により、見えのあらさの観察条件による変動についても論じているが、表面あらさとして断面凹凸の深さの統計量である10点平均あらさを用い、また知覚量の測定にマグネチュード推定法を用いており、観察条件の変化による見えのあらさの微妙な変動を定量的に把握する方法としては精度の上で疑問がある (文献6, 7)。

平山は、観察条件による見えのあらさの変動を平面に見える距離の変動によって定量的に求める研究を行なっている。平山の研究は初めての試みであり、その実験設定及び方法の厳密さにおいては問題があるが、距離を媒介と

して見えのあらさの変動を定量的に把握する考え方において本研究に強い示唆を与えたものである（文献 23）。

以上述べたように、心理学あるいは建築の研究分野において、テクスチャーの量的な側面である見えのあらさについて定量的に把握する研究はほとんど行われていないのが実状である。

1-3 本研究の方法および構成

本研究の目的である、見えのあらさの観察条件による変動を定量的に把握するため、本研究では、見えのあらさの知覚を外部刺激と観察者の反応との精神物理学的な関係としてとらえる。すなわち、見えのあらさの知覚反応を、知覚過程に介在する諸要因の関数と考えるのである。実際に知覚反応に影響しうる要因は無数に考えられるが、その中で特に重要と考えられ、しかも観察あるいは測定が可能ないくつかの要因について、反応との関数関係を求める。したがって、精神物理学測定法では、着目したいいくつかの要因について、他の要因の影響を排除した条件下で実験を行ない、当該要因を操作的に変化させたときの反応の変動から、変動要因と反応との関数関係を求めるのである。

図 1-1 は、見えのあらさの知覚過程を単純化して示しており、そこに介在する要因を便宜上次の様に分類した。

表 1-1 見えのあらさの知覚過程に介在する変動要因

(1) 視対象の要因	：視対象表面自体の物理的表面性状による要因	A_i
(2) 空間的要因	：視対象表面と観察者の空間的な位置関係による要因	B_i
(3) 照明の要因	：視対象表面に対する照射光による要因	C_i
(4) 観察者の要因	：観察者の特性あるいは状態による要因	X_i

見えのあらさの反応 (R) は、物理的刺激の要因 (1) ~ (3) と観察者の要因とをともに含む関数として、グラハム (Graham) の一般式 (文献 29) を援用

して次式(1-1)によって表わすことが出来る。

$$R = f(A_i, B_i, C_i, X_i) \quad (1-1)$$

上式の関数関係の内容を究明するのが本研究の目的であるが、各要因にはまた多くの変数が含まれているので、各要因ごとに、重要でしかも定量的に測定可能な変数に限定する必要がある。

本研究では、図1-1に示したように、視対象の要因(A_i)については粒度(D)によって定量化した表面あらさ、空間的要因(B_i)については観察距離(X)、照明の要因(C_i)については入射角(θ)と照度(E)の変数をそれぞれとりあげている。また観察者の要因(X_i)については視力(V)等の個人差について考察する。各変数と見えのあらさとの関係を求める本研究の構成は次のとおりである。

まず第2章において、表面の物理的性状を表わす変数のうち、見えのあらさに影響する変数について考察を加え、一般には定量化の困難な表面あらさを断面波形を単純化した試験体(粒度板)の粒度により定量的に表わす。

第3章では、見えのあらさの知覚の限界である刺激閾と観察条件との関係を平面変化距離を測定することにより求め、第4章、第5章で求める見えのあらさと観察条件との関係における下限を明らかにする。

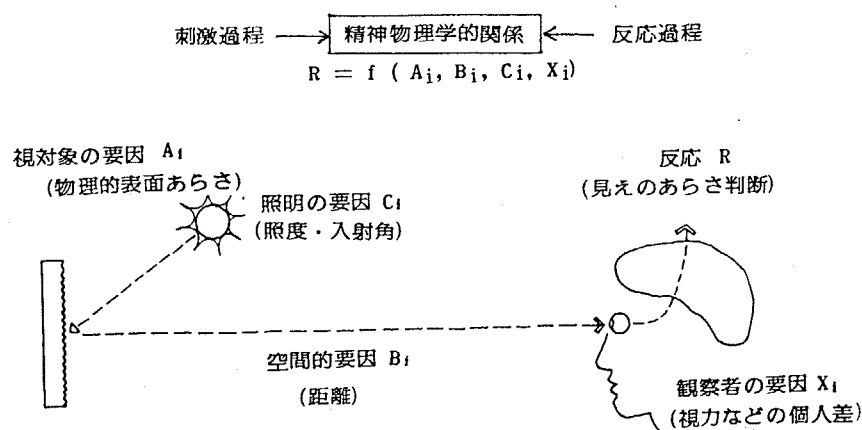


図 1-1 見えのあらさの知覚過程
(本研究で扱う変数)

第4章では、第2章において粒度によって定量化した表面あらさが、観察距離の違いによって現象的な見えのあらさとして、どのように異なって知覚されるかを極限法による実験を通して明らかにする。すなわち式(1-1)における部分的な関係 $R = f(A_i, B_i, X_i)$ の内容を求めることになる。また、どの程度のあらさの差違を視覚的に有意な差として弁別されるかについて、極限法の実験において求めた平均弁別により考察する。

第5章では、視対象表面に対する照明条件のうち、入射角および照度が、見えのあらさに及ぼす影響を極限法による実験により定量的に把握する。すなわち、式(1-1)における部分的な関係 $R = f(A_i, C_i, X_i)$ の内容を求めることになる。

第6章は結論であり、第2章から第5章までの結果を要約し、総括的な結論を述べる。

第2章 表面あらかの定量化

- 1 概 要
- 2 建築仕上材の表面あらかと見えのあらか
 - 2-1 仕上材表面の断面波形の観察
 - 2-2 断面波形と見えのあらか
- 3 標準あらか試験体の試作と検討
 - 3-1 仕上材の表面あらかの抽象化
 - 3-2 石膏粒度板の製作
 - 3-3 石膏仕上板との比較による検討
 - 3-4 相当粒度による表面あらかの定量化
- 4 石膏粒度板の粒度と見えのあらかの知覚量
- 5 結 論

第2章 表面あらさの定量化

2-1 概 要

本章では、表面の物理的性状を表わす変数のうち、見えのあらさを決定する変数について考察を加え、3章以降の実験に供する標準あらさ試験体として石膏粒度板を試作し、それがテクスチャーの視覚的属性のうち、見えのあらさについては、多くの仕上材料面に還元し得ることを確かめ、実験における視覚刺激として用いる妥当性を確認する。

第2節では、建築仕上面などの切断面を観察し、断面の波形・寸法を測定し、これと並行して簡便な視覚実験によって見えのあらさの程度を求めることにより、見えのあらさの判断に寄与する表面の物理変数について検討する。

第3節では、実際の材料表面が複雑な断面形状をもち表面あらさを直接定量化することが困難であることから単純な断面形状をもつ標準あらさ試験体（石膏粒度板と呼ぶ）を試作し、この石膏粒度板が、複雑な断面形状をもつ一般の仕上面と表面あらさについては比較可能であることを実験的に確かめ、一般の仕上面の表面あらさの程度をそれと同じあらさに見える石膏粒度板のあらさ（粒度）により定量的に表わす。

第4節では、粒度によって定量化した粒度板の表面あらさと、見えのあらさの知覚量との関数関係を分量評定法により求め、見えのあらさの知覚尺度構成を行ない、粒度が見えのあらさの知覚量とよく対応する変数であることを確かめる。

2-2 建築仕上材の表面あらさと見えのあらさ

2-2-1 仕上材表面の断面波形の観察

表面あらさの定量化の手がかりを得るため、表 2-1 に示す実際の建築材料などの仕上面 37 種について、その切断面の観察測定を行なった。

測定方法は、ポリウレタンゴムを用いて表面の雌型を作製し、その切断面を実体顕微鏡で観察するレプリカ切断法により、断面波形の寸法をマイクロメータで直読、記録する。測定は、図 2-1 に示すように断面波形の振巾の倍にあたる高さ h と半波長にあたる巾 r を測定しあわせてその形状を記録する。多くの材料の断面波形は複雑で、多くの異なるスケールの波形が重ね合わされたような形状をしており、単一スケールの波長と波高で代表することが困難であった。そこで便宜的に、波形の大きさのレベルが明らかに異なるいくつかの波形が混在する場合には、最大 3 種のスケールの異なる波形の高さと巾を記録した。この 3 種のあらさを JIS B0601 のあらさの分類に従い、小さな波形から 1 次あらさ、2 次あらさ、3 次あらさとして表現する。図 2-2 はこのあらさ分類の概念図である。測定箇所は、材料毎に 1 次あらさ 60 点、2 次あらさ 30 点、3 次あらさ 15 点について行ない、測定寸法の下限は波形の巾で $30\mu(0.03mm)$ とした。

図 2-3 は、複雑な断面形状をもつ表面の実測例で、断面波形のあらさを 1 次から 3 次まで測定した例を示している。2 次、3 次あらさの波形観察にはどの部分を 1 つの山とみなすか観察者の主観によるある程度の差はさけられず、各次数間の境界付近の値の影響をのぞくため各次数ごとの代表値は中央値で求めている。図 2-4 は、観察した 37 種の全試料について、測定結果を 1 次から 3 次あらさまでおのおのの中央値で表わしている。

2-2-2 断面波形と見えのあらさ

断面波形の測定結果と材料表面の感覚的な見えのあらさとの対応関係を求めるため、簡便な順位法による視覚実験を行なう。

37種の試料のうち、見えのあらさが比較しやすい 14 種について、ポリウレタンの雌型を介して石膏仕上板（5 cm角）を作製した。実験は 3 名の観察者に 14 種の石膏仕上板を提示し、見かけのあらさ順に配列させた。各石膏仕上板ごとにこまかい方から順に番号を付して順位値とし、3 名の判断による順位値の平均により各石膏仕上板の見えのあらさによる順位を求めた。平均された順位と各観察者の示した順位の不一致は、最も多い観察者で 6 回であり順列の場合の数が 105 通りであるのに対し少なく 3 名の判断がほぼ一様であったと見なせる。

図 2-5 は各仕上材料の断面波形の測定値のうち最高次数のあらさについて、見えのあらさの順位との関係を示したものである。

非常に複雑な断面波形をもつ表面のあらさをいくつかの代表値で測定する点に限界があり、それによって厳密に見えのあらさ順位を予測し得ないが、この結果から少なくとも従来行なわれていた断面波形の高さ（図中の縦軸）だけでは見えのあらさの順位を決定し得ないことは明らかである。また見えのあらさの順位は断面波形の巾（波長）だけでも定まらず、高さと巾の両変量が相互に影響すると考えられる。

表2-1 材料とあらさの次数

種 別	番 号	材 料	1次	2次	3次
サンド ペーパー sand paper	1	# 1 サンドペーパー 320	○		
	2	2 " 240	○		
	3	3 " 100	○		
	4	4 " 80	○		
	5	5 " 50	○		
石 材 stone	6	S 1 水みがき	○	○	
	7	2 ダイヤカット	○	○	
	8	3 円ばん加工	○	○	
	9	4 びしゃん	○	○	○
	10	5 のみ切り	○	○	○
タ イ ル 類 tile	11	T 1 磁器タイル	○	○	○
	12	2 れんが	○	○	
	13	3 かわら	○		
	14	4 磁器タイル	○	○	
	15	5 磁器タイル	○	○	
	16	6 磁器タイル	○		
	17	7 磁器タイル	○	○	
	18	8 れんがタイル	○		
	19	9 磁器タイル	○		
セメント類 cement products	20	C 1 コンクリートブロック	○	○	
	21	2 コンクリート打放面	○	○	
	22	3 気泡コンクリート	○	○	○
	23	4 リシン吹付	○	○	
	24	5 リシン吹付	○	○	
ガ ラ ス glass products	25	G 1 石目型板	○	○	
	26	2 かすみ型板	○		
	27	3 ラフ型板	○	○	
	28	4 はつしも型板	○		
木 材 wood	29	W 1 ヴォルナット	○		
	30	2 チーク	○		
	31	3 くす	○		
	32	4 コルク	○	○	
プラスチック plastic products	33	P 1 塩ビシート	○		
	34	2 ビニールタイル	○		
	35	3 リノリウム	○		
	36	4 ビニール壁紙	○	○	
金 属 metal	37	M 1 銅板エッチング	○		

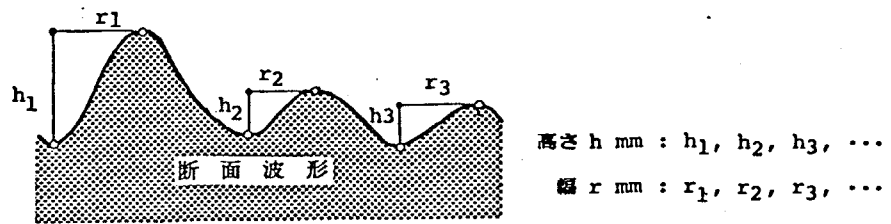


図 2-1 断面波形の高さ h と幅 r の計測

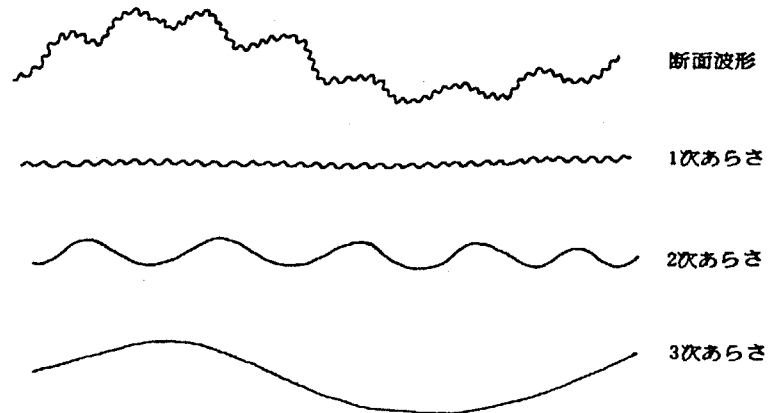


図 2-2 あらさの次数の概念図

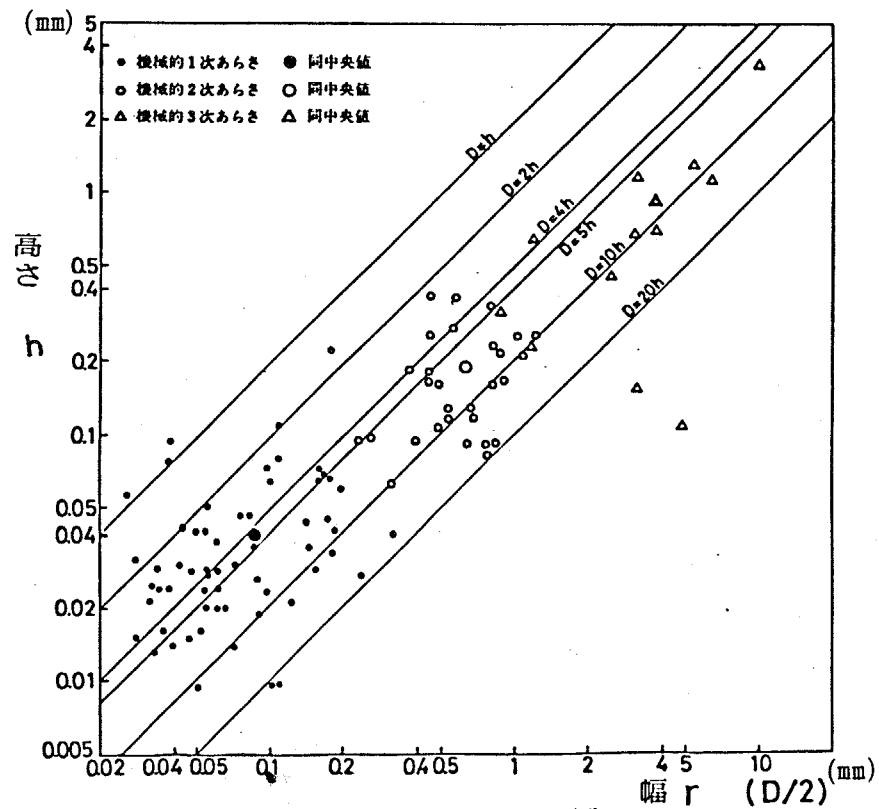


図 2-3 表面あらさの実測例
(石材S5:花こう岩のみ切り仕上げ)

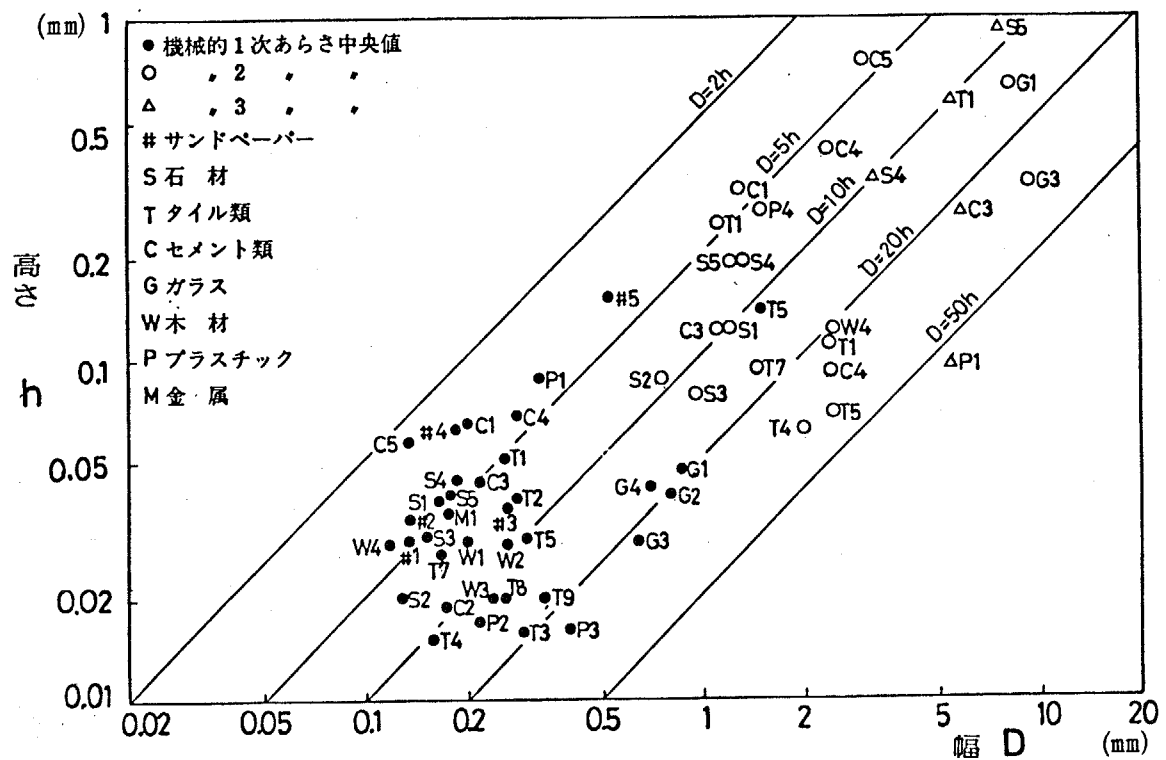


図 2-4 材料37種の表面あらさ

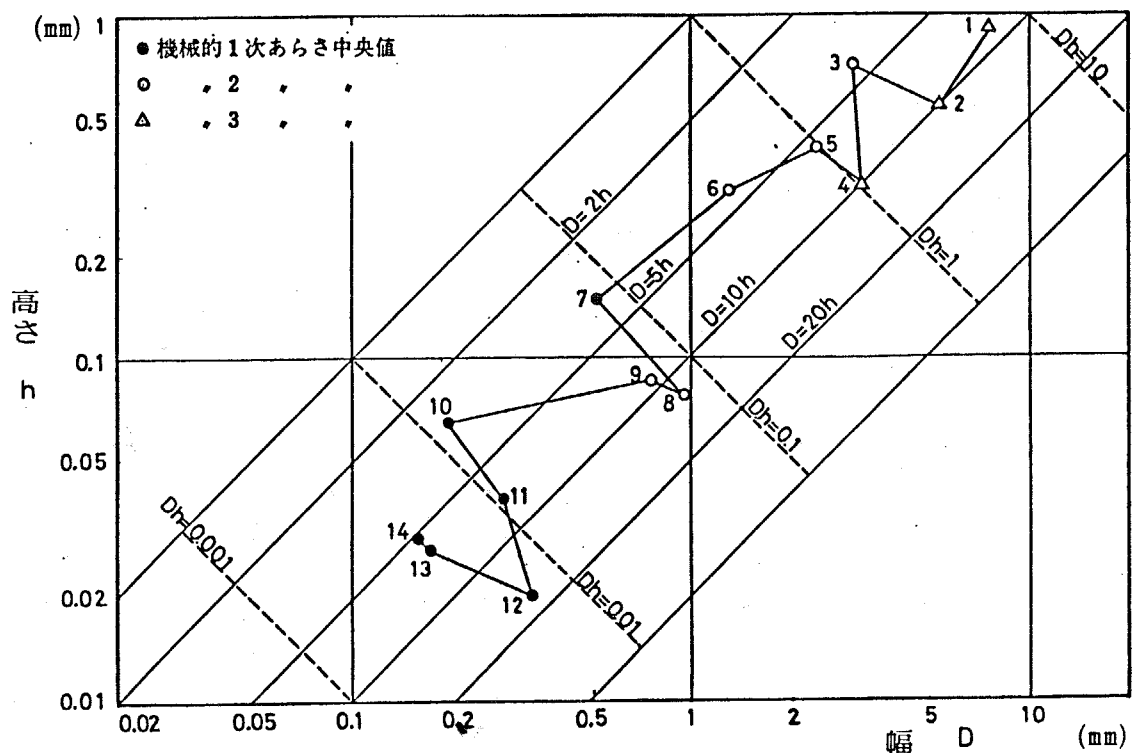


図 2-5 材料14種の見えのあらさ順位
(最もあらいもの1、最もこまかいもの14)

2-3 標準あらさ試験体の試作と検討

2-3-1 仕上材の表面あらさの抽象化

前節の観察から明らかなように、実際の仕上材表面は複雑な断面波形をもち、断面形の測定によって表面あらさの程度を一義的に定量化する事は困難である。本節では、定量的表現が容易な単純な断面波形をもつ抽象化した表面モデルとして、標準あらさ試験体（石膏粒度板）を試作し、この石膏粒度板が複雑な断面形状をもつ一般の仕上面と表面あらさについては比較可能であることを確かめ、一般の仕上面の表面あらさの程度を石膏粒度板との比較により定量的に表わす。

図 2-6 は実際の建築仕上面から標準あらさ試験体に至る抽象化の過程を示している。図中右側には、その過程でのぞかれる仕上表面の視覚的特性が示してある。

材料の色、素材感などは、表面の総体的な印象をさす広義のテクスチャーにおいては一つの要素と考えられるが、本研究ではテクスチャーの量的な側面であるあらさのみを問題としているため除かれている。また平滑面上の微小な柄なども視覚的にはあらさの印象を与えるが、本研究においてはこの要素も除き、表面凹凸による見えのあらさのみ扱うこととしている。

抽象化の第2段階までは、石膏の転写精度の範囲内で、もとの仕上面の物理的あらさは保存されているが、最終段階の断面形の均一化の過程では断面形自体を変化させることになる。この断面形の均一化にもかかわらず量的なあらさが保存されるか否かを検討する必要がある。そこで、石膏仕上板と石膏粒度板を試作したのち、単純な断面波形をもつ石膏粒度板が、複雑な断面波形をもつ石膏仕上板のあらさを代表し得るかを視覚実験により検討する。

石膏粒度板の断面波形は、半円形のくり返しとしたが、これは前節における材料表面の観察において記録した断面波形の型のうち、表 2-3 に示す通り最も観測例の多かったタイプ1と2に対応しており、標準あらさ試験体の

断面形として妥当といえる。

2-3-2 石膏粒度板の製作

石膏粒度板は表 2-2 に示す必要条件から、同じ大きさの半球状の粒子を平面に密に配列した形の表面をもちその断面形は、半円形のくり返しとなっている。図 2-7 に実際の石膏粒度板の製作過程を示す。まずこまかめの石膏粒度板については、人工骨材など球状の粒子を選別し、あらい粒度板では、油粘土を丸め球状としたものを製作する。次に粒子の径（粒度）をノギスで 3 軸方向について測定し、枠どりした平板上に一様に配列し貼りつける。その上にウレタンゴムを流し雌型をつくり、次にその雌型に石膏を流し込み固化後脱形した石膏粒度板を枠にはめ試験体とする。枠は内法寸法で 45cm 角で N 5 の灰色に塗装した。

粒の配列は、特殊なパターンを生じない程度で均質な配列が得られることに留意し、図 2-8 に示すように正方形配列と最も密な六角形配列の中間的な配列とした。当初完全に均一な球状の粒で規則的な六角配置をした粒度板を試作したが、配列の規則的なパターンを生じ、観察しづらく、比較が困難なため、故意に規則性をややくずした配置とした。粒のつまり具合を表わす密度比は正方形配列を 1 とした時六角形配置では 1.15 となり、石膏粒度板はそのほぼ中間の 1.08 前後とした。この密度比 (ρ) は式 (2-1) により求められる。

$$\text{板面密度比 } \rho = \frac{\text{計測粒数 } N}{\text{計測面積 } S \text{ (mm}^2\text{)}} \times (\text{粒度 } D \text{ (mm)})^2 \quad (2-1)$$

石膏粒度板の粒のつまり具合を表わす板面密度比を一定としたので、粒子間の距離は粒度（粒子径）によって相対的に決定され、石膏粒度板の断面波形の大きさは粒度によって一義的に代表出来る。

石膏粒度板の呼び粒度の決定は、人工骨材などについては石膏粒度板製作前の粒子 20 ~ 100 粒について 3 軸方向の直径をノギスで計測しその平均値と

したが、油粘土を丸めた粒の場合は、直接計測が困難なためウレタン雌型の 2 軸方向測定と板面密度比からの逆算により推定した。

3 軸計測した人工骨材の寸法の度数分布は正規型であり、分散の割合はこまかい石膏粒度板ほど平均値に対して相対的にばらつきが大きくなる傾向が見られたが、標準偏差を平均値で除した変動係数は 10 % 程度におさまっている。油粘土丸めの粒は固化しないため直接ノギス計測が困難であったのでウレタン雌型の 2 軸計測を行なったが、直接粒子を計測する場合との差について検討する必要がある。そこで固化するブロンズ粘土の粒 (75 粒の平均径が 13 mm 程度) を用い、石膏粒度板製作過程の段階毎に識別した 25 粒を追って、5 名の計測者に 2 ~ 3 軸計測を行わせた。計測態度には個人差がみられたが、計測値の平均値からのずれは最大 3 % であり、またいずれの計測者も粒の 3 軸平均粒径と比較して雌型の 2 軸計測値が小さめになる傾向を示した。この傾向は、雌型ではノギスで内法を測るためと考えられる。その減少分は平均値で約 3 % であったが、人工骨材を用いた石膏粒度板の粒度と統一するため、この減少分を考慮し元の粒径を推定して油粘土を用いて製作した石膏粒度板の粒度を定めた。

図 2-9 及び表 2-4 に製作した石膏粒度板の実例を示す。

2-3-3 石膏仕上板との比較による検討

石膏粒度板の粒度によって、複雑な断面波形をもつ一般の仕上材の見えのあらさの程度を代表し得るかを検討する。即ち建築仕上材の表面形状を石膏型取りした石膏仕上板をポリウレタンゴムの雌型を介して作製し、石膏粒度板と見えのあらさについての比較を行ない、比較が可能であることを確め、各石膏仕上板のあらさの程度を粒度によって定量的に表す。

石膏仕上板は表 2-5 に示す 33 種、石膏粒度板は表 2-6 に示すように粒度を系統的に変えた 20 種を作製した。実際の仕上材表面は、広い面積の石膏型取りが困難であること、また実験上の制約から石膏仕上板の大きさを 12 cm 角、枠ともで 14 cm 角とし、石膏粒度板も本実験においては同寸とした。

石膏粒度板のうち、粒度が1mm未満のものについては球形粒子による製作が困難であったので、代用として研磨紙の石膏型取りとし、その粒度については、JIS-R6001の規定に基き推定した。即ち研磨紙#1000~#240については粒の平均径の平均が巾で規定してあるがその中間値とし、また#120~#30はふるい分け粒径のヒストグラムを推定しその平均径をもって粒度とした。

実験方法は、明視距離において、観察者に石膏仕上板、石膏粒度板をまじえ53種の石膏板を視覚的なあらさの順にいくつかの段階に分け並べさせ、一連の並びの中で隣接する段階相互のあらさの差が他と比較して等しくなるように配列させる。段階相互の差が著るしい場合には、その間に石膏板を含まない段階を設け、その間隔が他に比べ何倍かを答えさせる。これにより観察者の示す段階は見えのあらさの知覚に沿う間隔尺度となることが期待できる。観察者の設定する段階数、一つの段階に含まれる石膏板の数は任意とし、判断時間の制限は設けない。またあらさ判断が困難な石膏板については、その段階をある巾で示すことを許す。

観察者は20名、実験場所は本学建築棟製図室において、窓面に平行に並べた製図机を実験台とした。図2-10は長さ8mの実験台を示し表2-7に自然採光の影響を受ける快晴日の正午(A)と夜間(B)の、いずれも蛍光灯点灯時の台上照度測定値を示す。照度の変動幅は昼間、夜間とも平均値のおよそ10%以内であり、実験には支障ないものとみなした。

観察方法は、石膏板表面に触れないこととし、他は自由とした。図2-11は実験終了時の配列例を示している。実験に要した時間は観察者により10分~35分、平均21分、また観察者の示した段階数は17~53段階、平均39段階であったが、所要時間と段階数に相関は見られなかった。

実験結果は、各観察者が異なる段階数であらさの順位を判断したため、下式(2-2)によって比較可能な順位得点(S_{ij} ; 10点満点)に換算した。

$$S_{ij} = 10 \times \frac{n_{ij}}{N_j} \quad (2-2)$$

ただし、 N_j : 観察者(j)が示した段階数

$n_{ij} : N_j$ のなかで石膏板(i)の属する段階の順位

実験の信頼性、即ち 20 名の観察者間で石膏仕上板と石膏粒度板を混じえたあらかの比較判断にどの程度ばらつきが見られるかを検討した。図 2-12 は、石膏板の順位得点の平均値を横軸に、たて軸にはその標準偏差の推定値（不偏分散の平方根）をとって、観察者の判断のばらつきの傾向を示している。判断のばらつきは、判断の難易の程度を反映していると考えられるが、石膏粒度板、石膏仕上板とも中程度のあらかでばらつきが大きくなる同様の傾向を示しており、そのばらつきの程度も 2-3 の例外を除きほぼ同様である。特にばらつきの大きな石膏仕上板は、平面に虫くい状の凹凸のあるプラスチックタイルと木毛セメント板で、表面凹凸のパターンが特異で比較しづらかったと考えられる。

また実験中あらか判断が困難なためにその位置をある幅で示す例は木毛セメント板、吹付タイル、畳について各 3 回、プラスチックタイル 2 回などいずれも特有な凹凸パターンを有するものであったが、観察者 20 名中 3 名で、延べ 13 種中 3 種、260 回中 11 回と予想外に少なかった。

以上により、石膏仕上板および石膏粒度板相互のあらかの比較は、特殊な凹凸パターンを有するものをのぞき困難はなく、その範囲で石膏粒度板の粒度をもって仕上材表面のあらかの程度を表わすことが可能といえる。

2-3-4 相当粒度による表面あらかの定量化

石膏仕上板の表面あらかの程度をそれと同等のあらかに見える石膏粒度板の粒度（相当粒度）によって定量的に表わす。まず実験結果のうち石膏粒度板 20 種について着目して、その順位得点と粒度との関係を求め、次にその関係から、石膏仕上板の順位得点をもとにその相当粒度を求める。

図 2-13 は、石膏粒度板 20 種それぞれについて、観察者 20 名の順位得点の算術平均値 S と粒度との関係を示している。なお平均値の上下には 95% の信頼区間の幅を示している。図中、あらい粒度の石膏粒度板では、順位得点と粒度との相関は明白だがこまかい石膏粒度板については不明である。

そこで見えのあらさ順位の判断が粒度の変化に対応しているか否かを検討した。

表 2-8 は 2 種の粒度 $D_n < D_{n+1}$ において見えのあらさ順位が $R_n < R_{n+1}$ となる場合と、逆転する場合 ($R_n > R_{n+1}$) の判断の度数を示している。粒度の大小によるあらさ判断に対する影響がないと仮定したとき、すなわち $R_n < R_{n+1}$ と $R_n \geq R_{n+1}$ の生起確率を $1/2$ とした場合に、 $R_n \geq R_{n+1}$ (粒度の増大にもかかわらずあらいと判断しない) の判断が r 回以下の回数だけあらわれる確率を求め、表の右側に示す。有意水準を 1% とすれば $n = 6$ と 7 の順位判断より有意に粒度があらさ判断に影響していると言える。換言すれば、粒度 0.067 mm と 0.08 mm の物理的な差を視覚的あらさの差として判断し得ないと仮定すると、判断の大小の比率 16:4 の割合が得られる確率は 0.6% と低すぎるので、粒度の違いがあらさ判断に有意に影響していると考えるのである。

石膏粒度板 $n = 7 \sim 20$ の順位得点 S と粒度 $D \text{ mm}$ との関係は、図 2-13 の片対数目盛上で比較的よい直線関係が得られ次式 (2-3) を得る。

$$S = a \cdot \log D + b \quad (2-3)$$

$$a = 4.1$$

$$b = 5.6$$

なお $n = 5$ および 6 については、直線に近似しているが、 $n = 1 \sim 4$ すなわち $D = 0.04 \text{ mm}$ 以下ではほぼ同じあらさとして知覚されているか、もはやあらさの程度が識別不可能であると考えられ、先に検討したあらさ判断の有意性をあわせ考えれば、粒度板の見えのあらさの限界値である刺戟は $D = 0.05 \text{ mm}$ 程度と推定される。

次に、石膏粒度板の順位得点と粒度との関係から、石膏仕上板について、その順位得点を用いて相当粒度を求める。即ち、先に求めた関係式 (2-3) を変形して次式 (2-3') を求め、それに各石膏仕上板の順位得点を代入して、その相当粒度を求める。

$$D = 10^{(s-b)/a} \quad (2-3')$$

ただし D : 粒度
 S : 順位得点
 $a = 4.1$
 $b = 5.6$

図 2-14 は図 2-13 で与えられた回帰直線上に各石膏仕上板を順位得点によりプロットしたもので、横軸を読み取って相当粒度を得る別法を示している。こうして求めた各石膏仕上板の相当粒度を表 2-9 に示す。なおあらかが非常にこまかい仕上板 5 種については相当粒度を示すことが出来ない。

以上本節では、建築仕上面の見えのあらかの順位判断が、その表面形状が異なっても可能であることを石膏仕上板を用いて確かめ、その表面あらかの程度を石膏粒度板と系列的に比較し、相当粒度によって定量的に表わした。

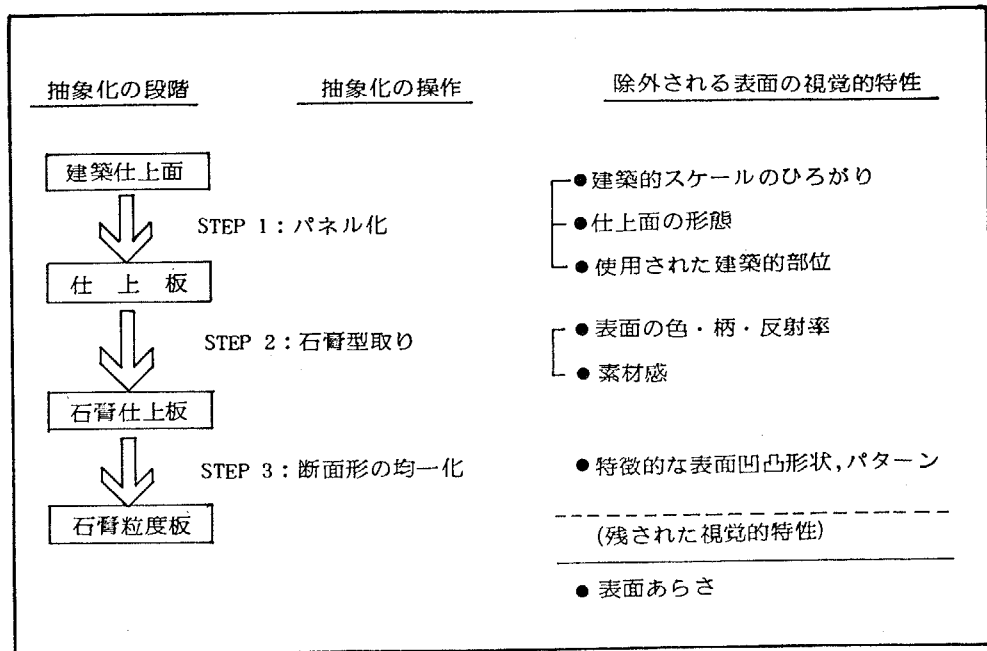


図 2-6 標準あらさ試験体(石膏粒度板)の抽象化過程

表 2-2 粒度板の仕上条件

1	仕上板との比較が容易な平面仕上であること。
2	表面形状が幾何学的に球などの単純な立体形態であること。
3	特殊なパターンを生じない程度に均質な配列が得られること。
4	要求されるあらさが数種類、相似的にくりかえし制作しうること。
5	必要に応じて着色・明度差の調整が容易なこと。

表 2-3 断面波形の型と材料

材料種別 materials		石 材	タイル類	セメント類	ガ ラ ス	木 材	プラスチック	計	総 計
断面 型 types		S	T	C	G	W	P	total	total (%)
1		32.4	40.2	27.3	70.0	25.6	27.9	—	37.5
		153	231	103	156	56	61	760	—
2		24.4	22.0	39.8	23.7	29.7	11.0	—	26.3
		115	126	150	53	65	24	533	—
3		11.7	6.8	6.4	0.4	6.8	2.7	—	6.9
		55	39	24	1	15	6	140	—
4		21.4	13.8	14.9	4.9	13.7	18.1	—	15.1
		101	79	56	11	30	29	306	—
5		10.2	17.2	11.7	1.4	24.2	25.0	—	14.2
		48	99	44	3	53	40	287	—
計	百 分 比	100	100	100	100	100	100	600	100
	観 測 数	472	574	377	224	219	160	2026	—

(上欄イタリック数字は各材料種別の%を示す)

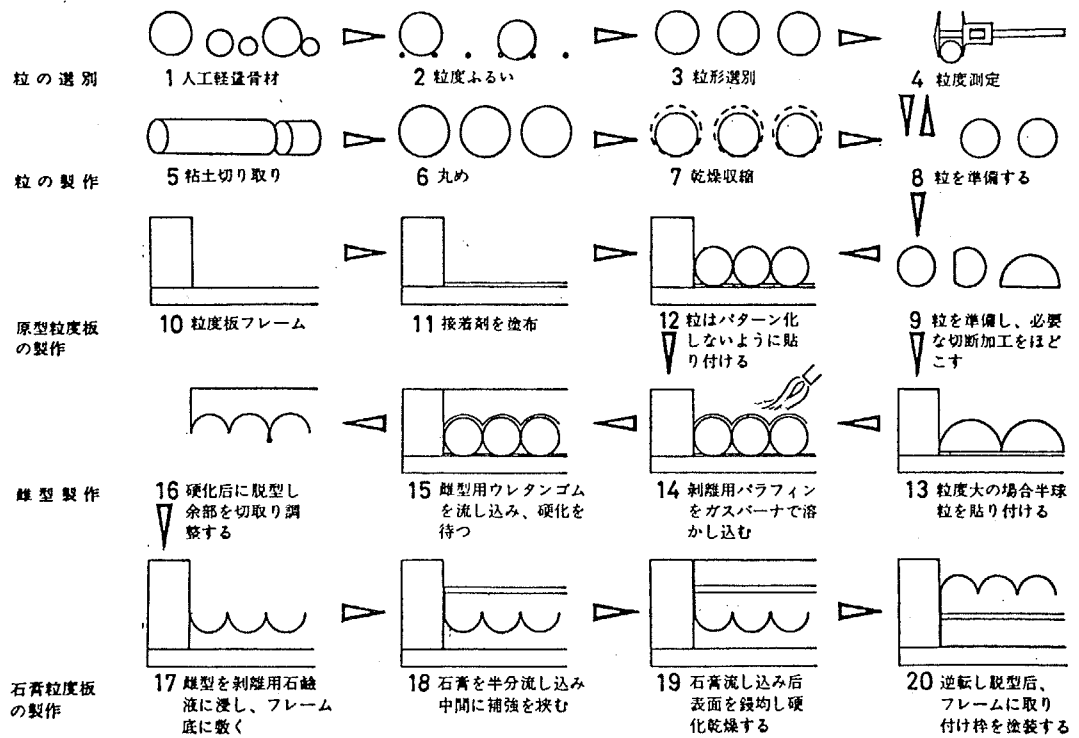


図 2-7 粒度板の製作過程

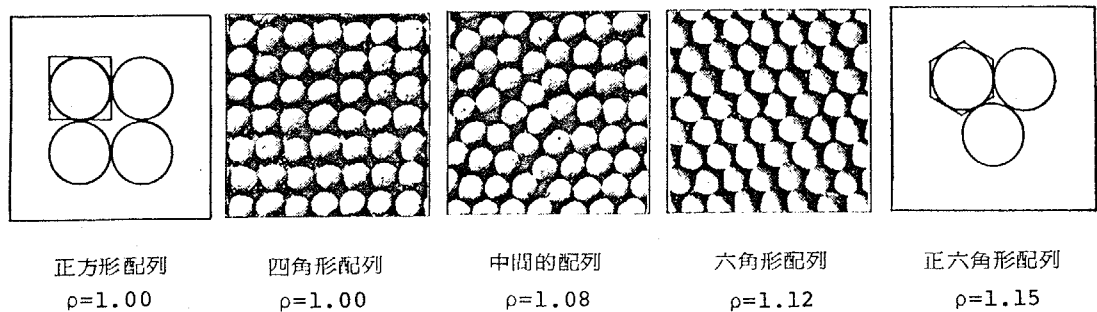


図 2-8 粒の配列型と配列例 (ρ : 密度比)

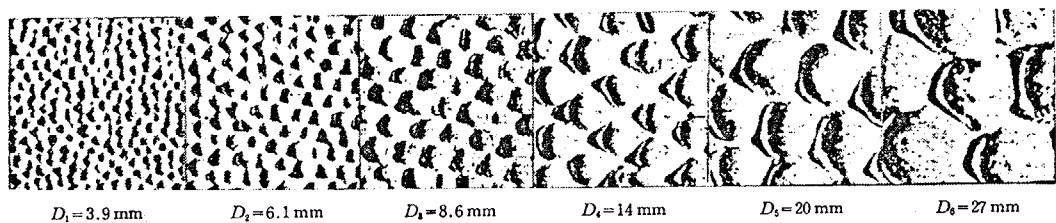


図 2-9 石膏粒度板 (部分)

表 2-4 石膏粒度板の内容

番号	公称粒度 D_n (mm)	板面密度比 ρ による計算粒度 式 3				実測粒度 D_M (mm)	雌型粒度による換算粒度 式 2.2			材 料
		計 測 面 S (mm ²)	粒 数 N	板面密度比	計算粒度 D_p (mm)		雌型粒度 (mm)	換 算 粒 度 $D_s \times 1.03$ (mm)	板面密度比 式 1	
D_1	3.9	100×100	722	1.08	3.87	3.91	—	—	—	人工軽量骨材
D_2	6.1	400×200	2326	1.08	6.09	6.14	—	—	—	ブロンズ粘土丸め
D_3	8.6	200×200	570	1.08	8.71	—	8.25	8.50	1.03	人工軽量骨材
D_4	14	390×400	855	1.08	14.04	—	13.5	13.91	1.07	人工軽量骨材
D_5	20	400×400	449	1.08	19.62	—	18.9	19.47	1.07	油 粘 土 丸 め
D_6	27	400×400	239	1.08	26.89	—	26.25	27.03	1.09	油 粘 土 丸 め

表2-5 石膏仕上板33種

記号	材料と仕上
S 1	大谷石のみ切り
2	・ びしゃん
3	花崗岩びしゃん
4	・ 水みがき
5	・ 本みがき
T 1	磁器タイル
2	吹付タイル
C 1	コンクリートブロック
2	コンクリート打放面
3	はけ引下地モルタル吹付
4	リシンかきおとし
5	リシン吹付
6	人造石洗出
7	木毛セメント板
8	じゅらく壁
G 1	摺りガラス
2	型板ガラス
W 1	ひのきのこびき
2	・ かなながけ
3	ラワン合板
4	・ UP
5	マツコレン
6	ヒノゲン
7	コルク板
L 1	布
2	・
3	たたみ
P 1	ビニールクロス
2	・
3	・
4	・
5	プラスチックタイル
6	・

表2-6 石膏粒度板20種

記号	材 料	粒度mm
# 1	耐水研摩紙 1000	0.016
2	・ 800	0.020
3	・ 600	0.028
4	・ 400	0.040
5	・ 320	0.057
6	・ 280	0.067
7	・ 240	0.080
8	研 摩 紙 120	0.11
9	・ 100	0.13
10	・ 80	0.20
11	・ 60	0.28
12	・ 40	0.40
13	研 摩 布 30	0.67
14	発泡スチロール粒	1.0
15	あわ玉	1.5
16	粒状薬	2.7
17	人工軽量骨材	3.9
18	・	5.1
19	ブロンズ粘土	6.1
20	人工軽量骨材	8.7

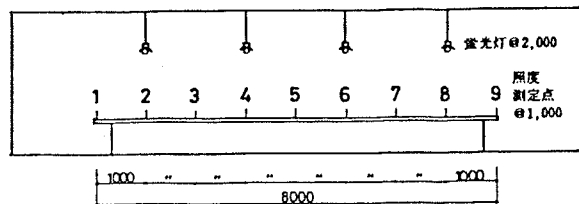


図2-10 実験台

表2-7 実験台上の照度(lx)

測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
明 A	670	720	730	720	700	680	640	700	680	690
暗 B	610	680	650	640	620	620	600	580	550	620

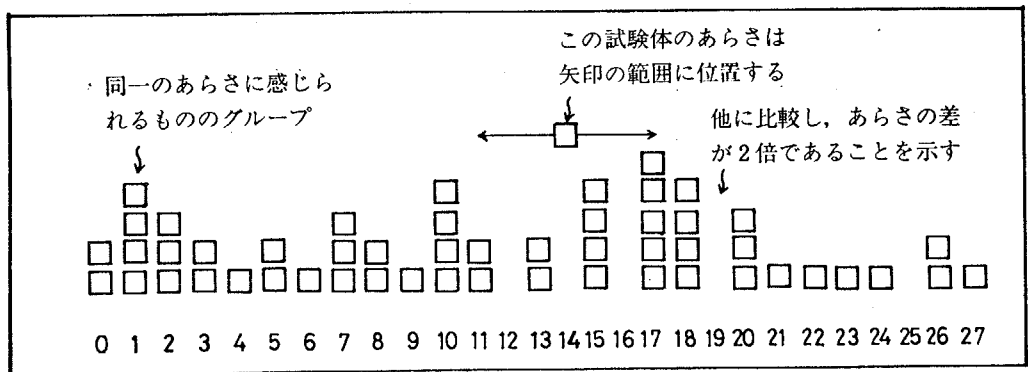


図 2-11 順位配列の一例 (□: 試験体)

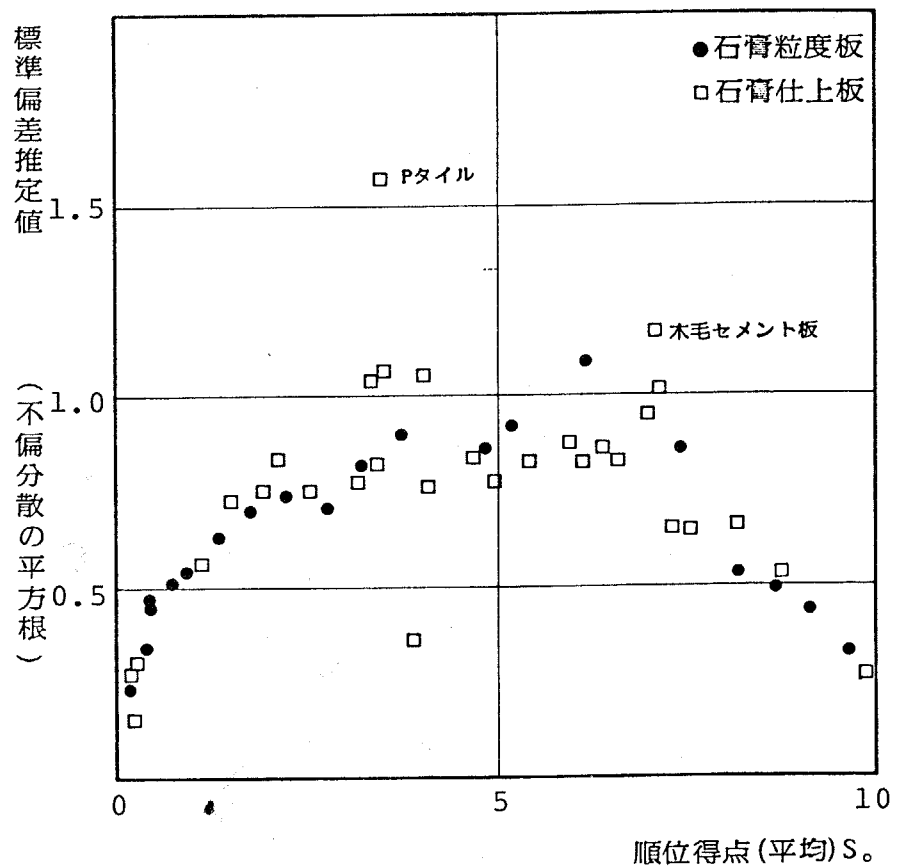


図 2-12 石膏粒度板と石膏仕上板の順位判断における分散の比較

表 2-8 順位配列の有意性

粒度 (mm)	n	n + 1	$R(n) \leq R(n+1)$	$R(n) \geq R(n+1)$	$P(i \geq r)$
0.016	1	2	7	13	0.42
0.020	2	3	7	13	0.42
0.028	3	4	5	15	0.99
0.040	4	5	13	7	0.132
0.057	5	6	14	6	0.058
0.067	6	7	16	4	0.006
0.080	7	8	19	1	0.000
0.11以上	≥ 8	≥ 9	20	0	0

最下欄は $n \geq 8$ の各試料番号について示す

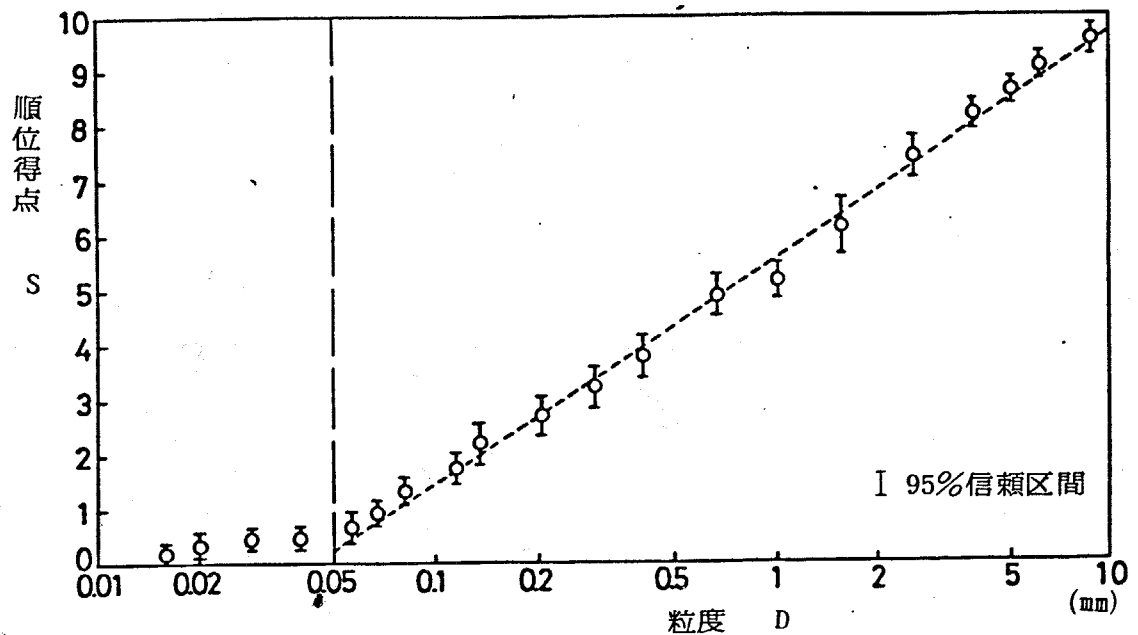


図 2-13 石膏粒度板の粒度と順位得点の関係

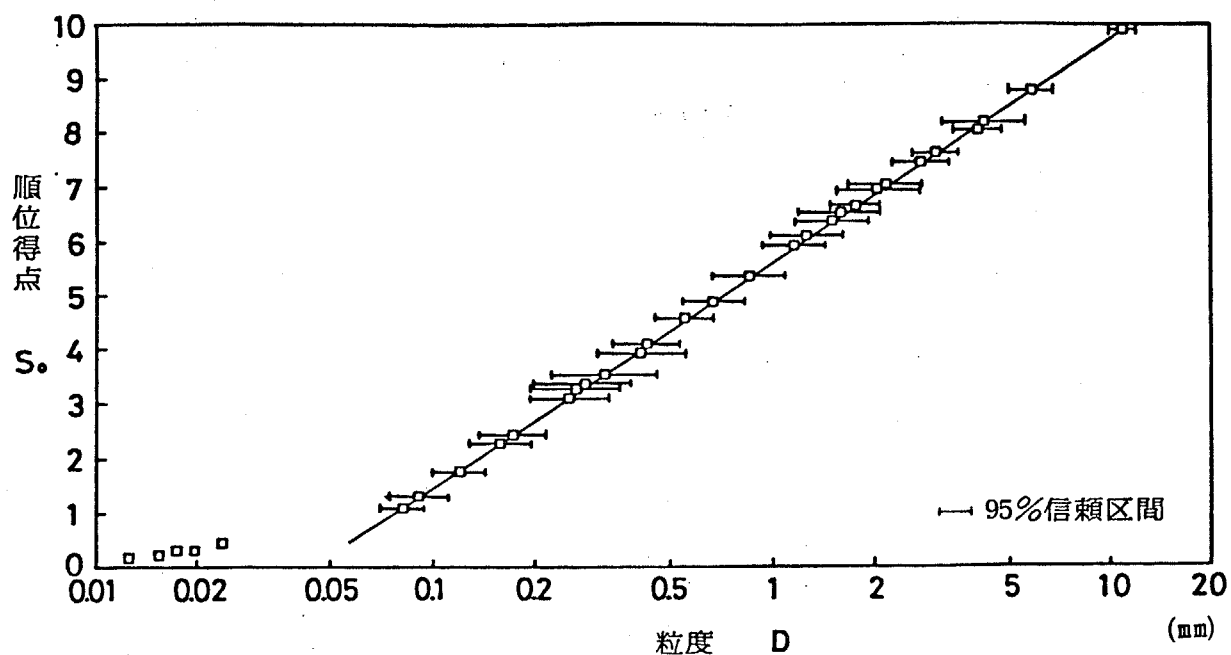


図2-14 回帰直線による石膏仕上板の相当粒度の推定

表2-9 石膏仕上板33種の相当粒度

記号	材料と仕上	粒度mm
S 1	大谷石のみ切り	11
2	・ びしゃん	5.9
3	花崗岩びしゃん	1.8
4	・ 水みがき	—
5	・ 本みがき	—
T 1	磁器タイル	—
2	吹付タイル	2.2
C 1	コンクリートブロック	0.90
2	コンクリート打放面	0.29
3	はけ引下地モルタル吹付	3.0
4	リシンかきおとし	4.1
5	リシン吹付	2.1
6	人造石洗出	2.8
7	木毛セメント板	4.1
8	じゅらく壁	0.56
G 1	摺りガラス	0.08
2	型板ガラス	0.26

記号	材料と仕上	粒度mm
W 1	ひのきのこびき	0.41
2	・ かなながけ	—
3	ラワン合板	0.31
4	・ UP	0.16
5	マツコレン	0.12
6	ヒノゲン	0.09
7	コルク板	0.17
L 1	布	0.28
2	・	1.3
3	たたみ	1.2
P 1	ビニールクロス	0.42
2	・	1.6
3	・	1.7
4	・	0.67
5	プラスチックタイル	—
6	・	0.32

2-4 石膏粒度板の粒度と見えのあらさの知覚量

前節において、粒度との対応関係を求めた見えのあらさの順位値は、一種の心理的な間隔尺度を構成すると考えることが出来るが、その知覚尺度の意味は不明である。そこで本節では、より明解に意味づけられた知覚尺度により、見えのあらさの知覚量と粒度との関係を比率判断に基く分量評定法により求める。

視覚刺激として、前節で用いた石膏粒度板 20 種を用い、実験場所等の条件は前節の実験に準じている。

観察者は本学建築学科学生 5 名、それぞれ 1 日 2 回延べ 8 回ずつ観察を行った。

実験方法は、各回において任意に選んだ標準刺激の見えのあらさの程度に適当な数値を与えてモデュラスとし、これに対し他の刺激を比較観察し、モデュラスに対する比率として、数値であらさの程度を答える。

予備実験の結果、標準刺激が比較刺激とくらべてあまりにこまかかったり、またあらかったりすると、かけはなれた心理量を判断しにくいので、最初に提示する標準刺激は中間的なあらさ $n = 8 \sim 18$ から選ぶこととした。

図 2-15 は実験結果をたて軸に知覚量 (マグニチュード) R_m 、よこ軸に粒度をそれぞれ対数尺でとって表わした例を示す (観察者 No 1 についての結果)。実験時に任意としたモデュラスを統一するため、比例換算により $D = 1 \text{ mm}$ において $R_m = 10$ として補正した結果を図 2-16 に示す。観察者 5 名について同様の操作をしたのち、それぞれの知覚量 R_m の幾何平均を求めた結果を図 2-17 に示す。観察者 No 1 と 5 は知覚量の変化が小さく、No 3 と 4 は大きめで反応の個人差を示している。この図において補正知覚量と粒度との直線的な関係を想定した場合、グラフの両端でひずみがみられ、あらい粒度に対しては知覚量が過大に観察され、こまかい粒度では過小に判断される傾向を示している。もっとも $n = 1 \sim 6$ ($D = 0.016 \sim 0.07 \text{ mm}$) のこまかい領域では先に求めた閾値以下、あるいはそれに近いため、あらさの判断が困難

になるため知覚量としては、ばらつきが大きくなっている。

先に石膏粒度板のあらさの知覚量の限界値である刺激閾を $D = 0.05 \text{ mm}$ 程度と推定したのであるから、 $n = 1 \sim 5$ ($D = 0.016 \sim 0.057 \text{ mm}$) の粒度板を分析対象から除くのが妥当である。

各観察者およびそれらの平均値について、補正知覚量 R'_m と粒度 $D \text{ mm}$ との関係は、値にばらつきの多い $n = 1 \sim 6$ および $n = 19, 20$ を除くと、図 2-18 の両対数目盛上で比較的良好な直線関係を示し、最小二乗法により、(2-4) 式を得る。

$$R'_m = f \cdot D^g \quad (2-4)$$

ただし	観察者	O_1	:	$f_1 = 14$,	$g_1 = 1.1$
		O_2	:	$f_2 = 13$,	$g_2 = 1.6$
		O_3	:	$f_3 = 19$,	$g_3 = 2.5$
		O_4	:	$f_4 = 11$,	$g_4 = 2.2$
		O_5	:	$f_5 = 11$,	$g_5 = 1.1$

$$\text{全観察者 } O : f_0 = 13, \quad g_0 = 1.7$$

(2-4) 式は、見えのあらさが粒の面積または断面波形の波長と深さの積に近い知覚量 ($D^{1.7}$ に比例、個人差により $D^{1.1} \sim 2.5$ に比例) として観察されることを示唆している。この結果をより直感的に把握しやすくするため、知覚量が、粒子の 1 次 (直径)、2 次 (面積) および 3 次 (体積) の関数であると仮定したときの曲線とあわせて示したのが図 2-19 である。図中には、スチーブンス (Steavens, S. S.) が同じ分量評定法を用いて触覚によるあらさの知覚量と粒度との関係を求めた結果が参考のため示してある (文献 25)。

以上、見えのあらさの知覚量が粒度の 2 乗とほぼ対応しており、粒子の面積あるいは断面波形の高さと巾の積に近い次数の物理量と対応すると考えられる。しかし石膏粒度板においては、粒度の値は、粒が球状であるため粒径を示すと同時に粒の深さ (高さ) をも示し、粒形についてどの程度立体的に観察されているかは、本実験の段階では不明であるが、いずれにしても見えのあらさの知覚量と粒度との一様な関係が明らかとなり、表面あらさの程度

を粒度によって表わす妥当性が確かめられた。

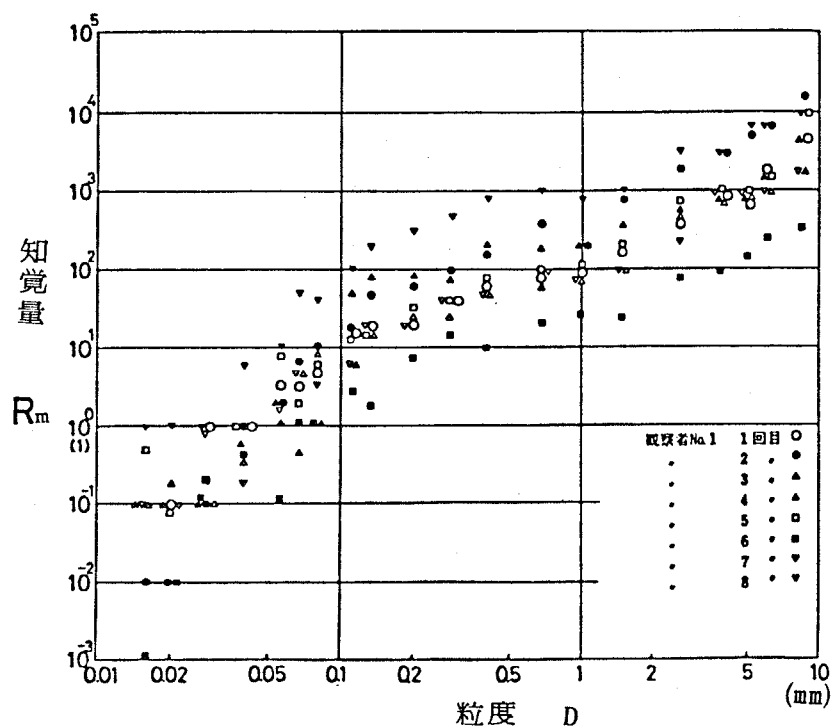


図 2-15 石膏粒度板の知覚量(マグニチュード)の観察例

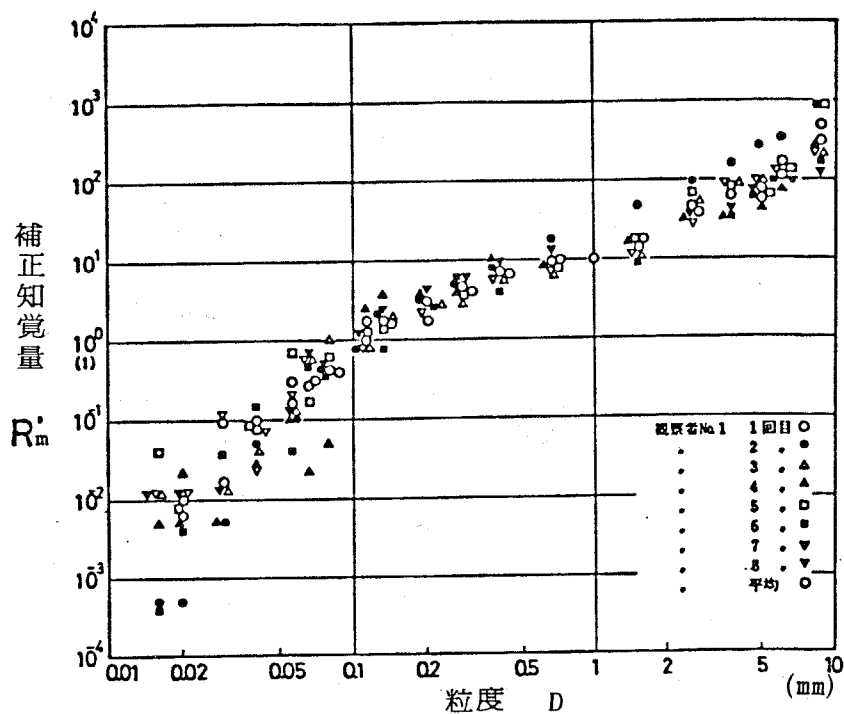


図 2-16 石膏粒度板の補正知覚量(マグニチュード)の観察例

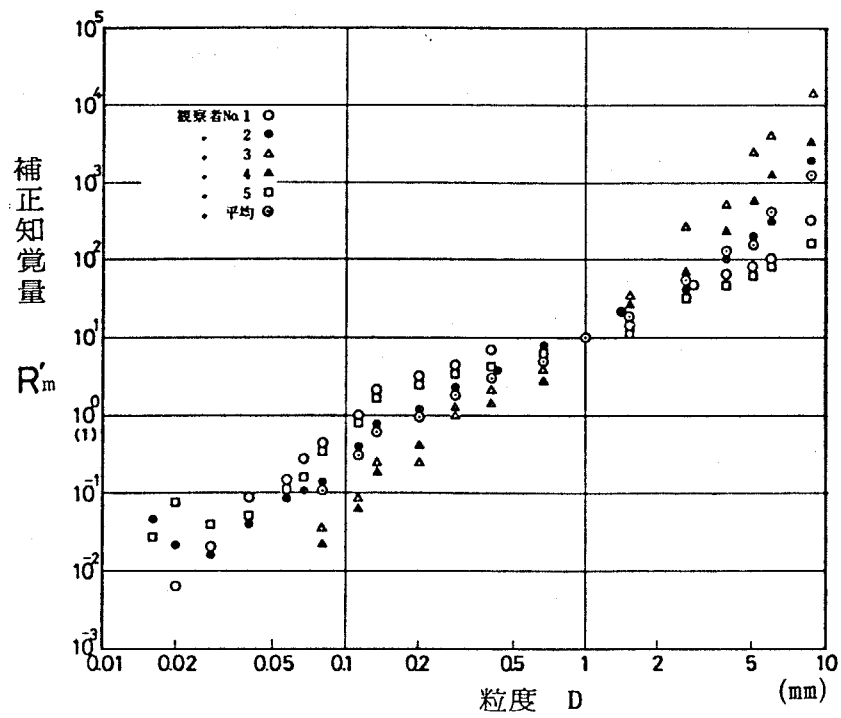


図 2-17 石膏粒度板の補正知覚量(各被験者及び全体の平均値)

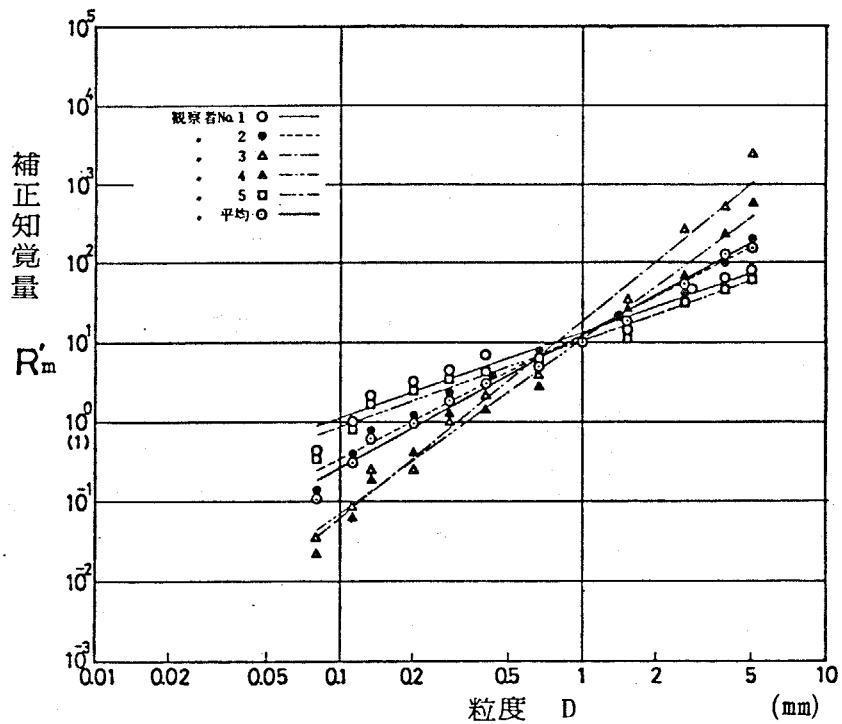


図 2-18 石膏粒度板の補正知覚量の回帰

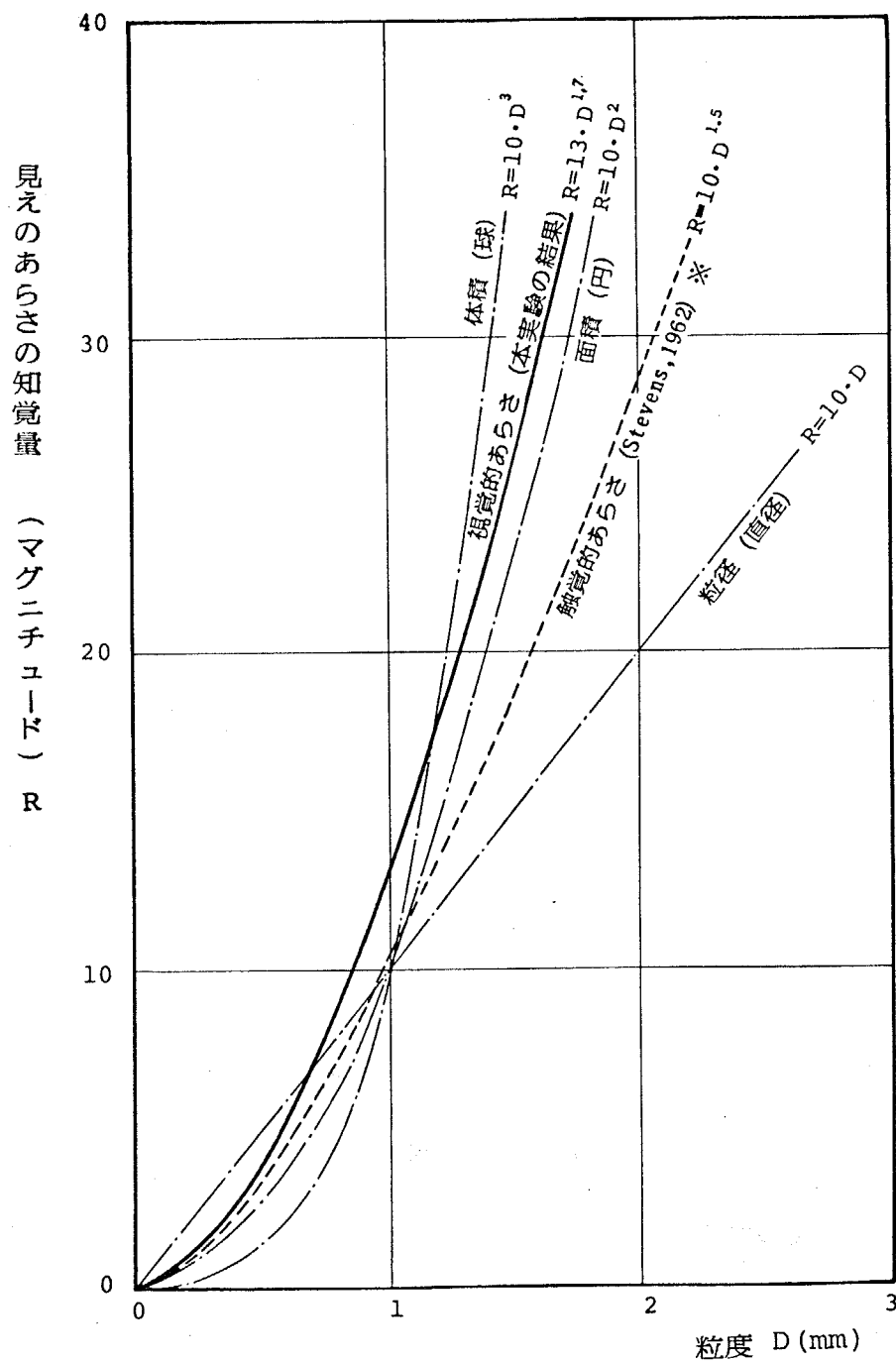


図 2-19 粒度と見えのあらさの知覚量との関係
(※ 文献 25)

2-5 結 論

本章では、まず表面あらさの定量化の手がかりを得るため、建築仕上面などの切断面を観察して断面の波形・寸法を測定し、同時に簡便な視覚実験により各表面の見えのあらさの順位を求めて見えのあらさを決定する表面の物理変数について考察した。その結果、断面波形は種々なレベルの波形の重なり合った複雑な形状をもち、容易には定量的に表現し得ないが、波形の大きさを1次あらさから3次あらさまで最高3段階まで分けて測定した場合、測定した最も小さい次数の波形の高さおよび幅の寸法と見えのあらさの順位判断との対応が見られた。見えのあらさの違いは、従来の表面あらさの測定法として一般的である波形の高さだけの評価では説明し得ず、高さと幅の両変数が相互に影響することが明らかになった。

次に断面波形の測定からは直接定量化が困難な一般の材料表面は第3章以降の見えのあらさの変動を定量的に求める試験体としては適さないので、定量化が容易な単純な断面波形をもつ表面モデルとして石膏粒度板を試作した。この抽象化した表面をもつ粒度板が、複雑な表面形状をもつ一般の材料仕上面の表面あらさに還元し得るかを見えのあらさの順位配列を求める実験により検討した結果、石膏粒度板と複雑な表面形状をもつ石膏仕上板の比較判断に困難はなく、比較判断による見えのあらさの順位得点の分散は37種の仕上板のうち特異なパターンをもつ2種をのぞいて均一であり、複雑な断面形状をもつ表面あらさが粒度板の粒度によって置換が可能であることが確められた。実際に石膏仕上板の表面あらさを石膏粒度板との系列的な比較により粒度によって定量的に表わした。

石膏粒度板の粒度 D と見えのあらさの知覚量 R_m との関係を分量評定法により求めた結果、両対数尺度上で直線的な関係が得られ、その傾き θ 、すなわち $R_m = f \cdot D^\theta$ における指数は観察者により1.1~2.5の範囲で差がみられたが、その平均的傾向としては、見えのあらさの知覚量が粒度の2乗とほぼ対応しており、粒子の面積あるいは断面波形の高さと巾の積のいずれかが見

えのあらさと対応する物理変数と解釈される。しかしいずれにしても見えのあらさの知覚量と粒度の対数との直線的な関係が明らかとなり、見えのあらさと対応する表面あらさを表わす変数として粒度を用いる妥当性が確かめられた。

第3章 見えのあらしの刺激閾

- 1 概 要
- 2 実験方法
 - 2-1 見えのあらしの平面変化距離
 - 2-2 単一刺激の極限法による実験設定
- 3 実験結果および考察
 - 3-1 粒度と平面変化距離の関係
 - 3-2 観察者の視力による平面変化距離の変動
 - 3-3 照明条件による平面変化距離の変動
- 4 見えのあらしの刺激閾の推定
- 5 結 論

第3章 見えのあらさの刺激閾

3-1 概 要

テクスチャーの視覚的効果を考慮して、建築材料を選び仕上方法を決定する際、それが実際に使用される場所でそのテクスチャーが知覚されるか否かをあらかじめ知ることは重要である。近くではあらさを感じる仕上面でも遠くに離れれば平滑に見え、もはやテクスチャーを感じ得なくなる。またその仕上面を照らす光の条件によってもあらさを感じたり、感じられなかったりする。この見えのあらさに対する知覚の限界である刺激閾は、観察時の距離や照明条件に依存していることは明らかである。

前章2-3-4では、明視距離での見えのあらさの刺激閾をあらさの順位判断における信頼性により推定したが、本章では、表面あらさ（粒度）、観察距離、照明条件および観察者の視力を変数として、種々の観察条件下における見えのあらさの刺激閾を実験的に明らかにすることを目的としている。本章における結果は、次章以降で論じる見えのあらさの変動における下限を画することになる。

第2節では、単一刺激の極限法により、見えのあらさの刺激閾を平面変化距離を媒介として求める実験方法について述べ、本実験における実験設定を示す。

第3節では、実験結果より平面変化距離と粒度、観察者の視力、照明条件の各変動要因との関数関係をそれぞれ明らかにする。

第4節では、変動要因相互の交互作用について吟味し、各変動要因ごとの関係をまとめ、所与の条件において見えのあらさが知覚されるか否かを予測する判別式を導く。

3-2 実験方法

3-2-1 見えのあらさの平面変化距離

テクスチャーを有する表面を除々に遠ざけてゆけば、ある距離を越えると平滑に見える。逆に遠くで平滑に見えた表面も近づければ、ある距離からテクスチャーのあらさが知覚されるようになる。遠ざけて平滑に見える距離、あるいは近づけてあらさを感じ始める距離は、見えのあらさの閾値を距離で表わしたもので、それを本論では平面変化距離と呼び、本章における観察条件等による閾値の変動を測る尺度とする。

視対象の移動方向がどちらであっても、常にある地点でその見えが急に変化するのではなく、心理学で移行帯 (transitional zone) と呼ぶ範囲で徐々に変化する。従って、ここで平面変化距離を一つの点として求めるが実際には多くの観察結果から計算して移行帯の中心傾向の位置を示したものである。また視対象を遠ざけて平滑に見える距離 (消失閾) と、近づけてあらさを感じはじめる距離 (出現閾) とは必ずしも同一ではないが、本研究ではそれぞれの移動方向により求めた閾値の中間値をもって平面変化距離としている。

3-2-2 単一刺激の極限法による実験設定

視対象の提示距離を変動させて観察者の反応から平面変化距離を求める操作を系統的に行なうため、精神物理学的方法の一手法である極限法を用いた (文献 28)。

実験手順は、移動可能な架台に石膏粒度板 (45cm 角) を垂直に固定し、観察者が明らかにあらさを感じる距離から一定の移動幅で段階的に遠ざける下降系列において、はじめて平滑に見える距離と、逆に近づける上昇系列においてはじめて見えのあらさを感じる距離を記録し、それぞれの測点の平均

より平面変化点を求める。実際には、表 3-1 に示すように、「明らかに
らさを感じる」(○)、「明らかに平滑に見える」(×) の判断に加え「ど
らとも判断が困難」(?) の判断を許し、3 件法による反応を記録した。
中○印を付した、下降系列における②と上昇系列における◎は、見えのあ
さの刺激閾における移行帯の上限を示し、また下降系列における⊗と上昇
列における②は、移行帯の下限を示していると考えられる。平面変化距離
これら 4 測点の幾何平均により求めている。なお視対象の移動幅は、提示
距離が 10 m 以内では 0.5 m、10 m を越える場合は 1 m としている。

実験は、本学建築棟 3 階中廊下で、夜間消燈時に、図 3-1 に示す実験状
の下で行なった。観察には、両眼視が可能な角筒（マスキングファインダ
＝長さ 70 cm × 幅 21 cm × 高さ 5 cm）を用いて視野の制限を行なった
、これは視対象以外の周辺の視覚的雑音による影響を緩和するためである。

実験設定は、見えのあらさの刺激閾に関与する変数として、視対象自体の
性である表面あらさ（粒度）、照明条件として入射角と照度を取りあげ、
3-2 に示すように粒度 3 種、入射角 4 段階、照度 4 段階の刺激水準で計
した。

観察者は男子大学生、大学院生 7 名である。観察者の視力は、両眼視力
（矯正視力を含む）で 2.0 が 3 名、1.5 が 2 名、1.2 と 1.0 がそれぞれ 1 名
である。

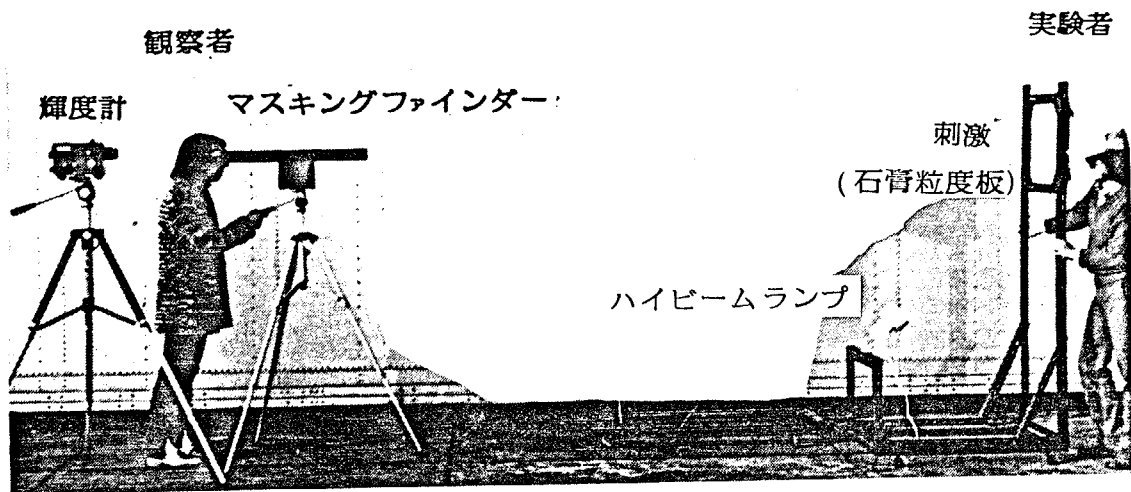


図 3-1 単一刺激の極限法による実験状況

表 3-1 単一刺激の極限法による測定例

系列	移動方向	刺激の提示距離 (m)										判断の変化点		平面変化距離	
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	上限	下限	Xp
下降	→		○	○	⊙	?	?	?	?	⊗			13	17	14.6
上昇	←				⊙	?	?	⊙	×	×	×		13	16	

○ : 明らかにあらさを感じる
 × : 明らかに平滑に見える
 ? : どちらとも判断が困難

表 3-2 平面変化距離の変動要因

変動要因		記号	単位	刺激水準			
視対象	粒度	D	mm	1.6	3.9	5.1	
照明条件	照度	E	lx	300	600	1200	1800
	入射角	θ	deg	15	30	45	60
観察者	視力	V	—	1.0	1.2	1.5	2.0

3-3 実験結果および考察

3-3-1 粒度と平面変化距離の関係

図 3-2 および図 3-3 は、視力の異なる 2 名の観察者の実験結果を示している。図 3-2 に示す視力 2.0 の観察者に比べ図 3-3 の視力 1.0 の観察者の示した平面変化距離は全体として近くなっており、視力による個人差は明らかである。しかし、いずれの観察者の結果も、粒度と平面変化距離との関係は両対数グラフ上で直線的であり、照明条件によるずれはほぼ平行関係にある同様の傾向を示している。

他の変動要因による変動を平均化して、粒度とその平面変化距離との関係を考察するため、回帰直線の平行関係、すなわち粒度と平面変化距離の関係を示す回帰係数が、照明条件と観察者に依存しないで一定と考えてよいか吟味する必要がある。そこで、それぞれの観察者について、各照明条件ごとに粒度と平面変化距離の関係を示す回帰係数を求め、その変動の傾向を示したのが図 3-4 である。入射角、照度の変動による一様な変動は見られず、また観察者間では 0.5 をのぞき明らかな差は認められない。これにより、粒度と平面変化距離の関係と照明条件、観察者の個人差との相関がないと見なしでもよいと考えられる。

図 3-5 は異なる照明条件において得られた結果を平均して、観察者ごとに粒度と平面変化距離との関係を示したものである。回帰直線の傾きが観察者によらず一定であることは、この図からも明らかであり、全観察者の実験結果から、次式 (3-1) により粒度と平面変化距離との関係を表わすことが出来る。

$$\log X_p = \alpha_1 \log D + \beta_1 \quad (3-1)$$

$$\alpha_1 = 0.53$$

$$\beta_1 = \text{定数}$$

3-3-2 観察者の視力による平面変化距離の変動

既に示した図 3-5 において、図中に示した視力の序列から、視力がよい程平面変化距離が遠く判断される傾向は明らかである。図 3-6 は、視力を対数尺で横軸にとり、各視力に該当する観察者の示した平面変化距離をプロットした結果で、視力との関係がさらに明らかである。視力は日常的には連続的な量とは考えないが、視力の検査基準に従えば、ランドルト環視標の切れ目巾の視角 θ (単位: 分) と視力 V との関係が $V = 1/\theta$ であり、連続量と考えて差支えない。視力による平面変化距離の変動がいずれの粒度においても同程度であると見なして、すべての実験結果による最小二乗法で次式を得る。

$$\log X_p = \alpha_2 \log V + \beta_2 \quad (3-2)$$

$$\alpha_2 = 0.69$$

$$\beta_2 = \text{定数}$$

前項式 (3-1) で示した関係は観察者によって変化しない事がすでに確かめられているので、式 (3-2) と線型的に結合して、視力の影響を含んだ粒度と平面変化距離との関係を表わす次式 (3-3) を導くことが出来る。

$$\log X_p = \alpha_1 \log D + \alpha_2 \log V + \beta_3 \quad (3-3)$$

$$\beta_3 = \text{定数}$$

図 3-7 は上式 (3-3) による回帰直線と実験結果 (異なる照明条件にわたる平均値) との対応を示している。本実験で求めた粒度と平面変化距離との関係で注意すべき事は、予想に反して視覚の法則に従っていない点である。見えのあらさの刺激閾は、表面凹凸による微小な陰影を相互に分離して見えるか否かに依存しており、陰影間の網膜像上での距離、すなわち視角によって決定されるという当初の予想に反している。

この傾向が、極限法による本実験の方法によるものか否かを確認するため、同じ実験方法で単純図形を視標としてその分離閾を求める対照実験を行なった。視標として用いた図形は、視力検査に用いるランドルト環で、その切れ目幅を 4.25、5.5、7.5、11 mm で自作し、その切れ目幅が知覚出来なくなる距離を極限法により求めた。照明方法は石膏粒度板での実験に準じ、観察者は石膏粒度板での実験における観察者 7 名中 5 名である。

実験結果を図 3-8 に示す。本実験での極限法による測定方法では、視力 2.0 の観察者が分離出来る視角が約 1 分であり、一般の視力検査における最小可読閾が視力 2.0 で 0.5 分であるのに対して低い値をとるが、図形の分離閾は明らかに視覚の法則に従っている。従って石膏板を用いた実験結果を実験方法に帰することは出来ず、視覚刺激そのものの特性によると考えられる。

見えのあらさの刺激閾は、単純な図形の最小分離閾とは同様に論じられず、表面凹凸の個々の陰影間の分離閾として単純に説明し得ない。この点は、テクスチャーの視知覚を単に単純図形の集まりとして理解し得ない事を示唆しているが、その心理的あるいは生理的な意味は現時点では不明である。

3-3-3 照明条件による平面変化距離の変動

照明条件の違いによって平面変化距離がどのように変動するかを入射角および照度を変数として考察する。

まず入射角による変動を考察する。図 3-9 は粒度 3.9 mm を刺激とした場合の入射角と平面変化距離との関係を観察者ごとに示している。いずれの観察者も入射角の増大にともない平面変化距離が遠くなる傾向を示しており、入射角 θ (単位: deg) と平面変化距離 X_p (m) の対数の間に直線的な関係が見てとれる。観察者間の視力によるずれはほぼ平行であると見なすことが出来る。この傾向は他の石膏粒度板についても同様であるので、観察者全員の平均値を求め、3 種の粒度について入射角との関係を求めたのが図 3-10 である。粒度ごとの回帰直線はほぼ平行であるので、いずれの粒度においても入射角による影響が同様であると見なし、全ての実験結果を用いた最小二乗法による直線回帰を行ない、次式 (3-4) を得る。

$$\log X_p = \alpha_3 \theta + \beta_4 \quad (3-4)$$

$$\alpha_3 = 0.0064$$

$$\beta_4 = \text{定数}$$

次に照度による平面変化距離の変動を考察する。図 3-11 は粒度 3.9 mm を刺激とした場合の結果を示し、照度が増すにつれ平面変化距離が遠くなる傾向が明らかである。照度 E (lx) の対数と平面変化距離 X_p (m) の対数との関係は観察者 0₅ をのぞき直線的であり、その回帰直線の傾きはほぼ同等であると見なすことが出来る。他の粒度についても同様の傾向が見られたので、平面変化距離の全観察者にわたる平均値と照度との関係を求め図 3-12 に示す。粒度ごとの回帰直線の傾きを平行とみなし、全ての実験結果を用いた最小二乗法により回帰係数を求め、下式 (3-5) を得る。

$$\log X_p = \alpha_4 \log E + \beta_5 \quad (3-5)$$

$$\alpha_4 = 0.17$$

$$\beta_5 = \text{定数}$$

入射角および照度の照明条件が変化することによって見えのあらさを知覚出来なくなる距離が変動することは日常の経験からも予想される結果であるが、その変動は予想外に大きく、入射角が 15° から 60° まで変化すると平面変化距離はほぼ倍になり、照度については、照度が倍になると 12 % 程度平面変化距離が遠くなる。

これらの照明条件の変化による平面変化距離の変動が観察者の受けとる平面的な明暗の視覚像のどのような変化に起因しているかを考察する。ここで視覚像とは視対象の網膜像を意味するが、便宜上観察者の視線と垂直に一定距離で投射面を仮定したときの投射像と考えてもよいので、以下投射像により考察する。

入射角変化は投射像において図 3-13 に示すように陰影の面積変化をもたらすと同時に、明暗部の輝度に変化をもたらすことは明らかである。

入射角変化にともなう陰影部分の面積変化を求めるため、図 3-14 に示す

ように完全球状の粒子が正六角配置で並べられた場合について陰影を作図し、その面積を求めた。近くで観察すれば、2次反射の影響で陰と影とが分離して見えるが、平面変化距離付近では一体として知覚されるため、陰影をあわせた面積を問題としている。図3-15は、入射角と陰影部分の面積との関係を示したもので、入射角の増大にともない陰影部分の割合が直線的に増加していることが解る。見えのあらさの刺激閾が、陰影部分を図（地に対して）と見なしたときの陰影部分の視認閾であると考えれば、図である陰影部分の面積が見えのあらさの刺激閾に影響していることが推測される。

一方、明部暗部の輝度変化については、周囲の粒子からの2次反射が考えられ、計算によって理論的に求めるのが困難なので、細部の輝度分布を実際に測定する必要がある。表面凹凸の微小な粒子に沿う輝度分布はレンズ系輝度計では測定面積が広すぎ測定し得ないので、写真測光法（文献26）を応用して測定した。図3-16は写真測光法による細部輝度分布測定の手順を示している。写真測光法は、測定対象の写真撮影によって得られたネガフィルムの濃度をマイクロフォトメータ（文献27）を用いて測定することによって輝度を測定するもので、測定結果としては、図3-17に示すような表面の断面波形と対応する明暗輝度分布曲線が得られる。この明暗輝度分布曲線は、測定面の輝度分布を直線に沿って示したものである。

見えのあらさが知覚されるか否かは、表面凹凸の照らされた部分と陰影部分の明るさのコントラストと関連していると考えられる。微小な単一視標の視認閾では、視標と背景の輝度勾配（コントラスト）が影響することが知られている（文献29）。見えのあらさの刺激閾を陰影部分の視認閾と考えれば、投射像における陰影部分と背景の輝度勾配との関係が予想される。そこで輝度分布曲線において、山の頂点で示される最高輝度（ L_{max} ）と谷の底で示される最底輝度（ L_{min} ）の差を100点程度記録し、その輝度差（ ΔL ）を平均輝度（ L_{mean} ）で除した輝度勾配を求めた。なお背景輝度と考えた平均輝度は多くの粒子の明暗部を含む面積について輝度計で直接測定し平均化した値である。

図3-18は、実験で用いた3種の粒度板について、入射角の変化による輝度勾配（コントラスト）の変動を示している。粒度1.6 mmについては、測定

対象の明暗パターンが細かいため、測定時に明暗の差が平均化され輝度勾配が全体的に低めの値を示しているが、3種の粒度板とも入射角の増大に伴って輝度勾配が直線的に増大する傾向は同様である。

入射角の増大は、以上のように観察者の視覚像において一様な陰影部分の面積の増加と明部暗部間の輝度勾配（コントラスト）の増大を伴ない、ともに入射角による見えのあらさの刺激閾の変動を説明し得る。心理学における従来の研究では、微小な単一視標の最小視認閾について、視標の面積 S と輝度勾配 $\Delta L/L$ との間に相補関係があり、 $S \times \Delta L/L$ が一定ならば視認反応は同一となることが示されている（文献29）。しかしテクスチャーの見えのあらさの刺激閾についても同様に考えてよいかは、本実験では両要因が同時に変化するため不明である。

次に照度による影響について考察する。照度上昇は観察者の視覚像としては、視対象表面の全体的な明るさ（平均輝度）の上昇をもたらし、同時に明部暗部の輝度差（ ΔL ）も同時に上昇する。しかし輝度差を平均輝度で除した輝度勾配（コントラスト）はほぼ一定である。照度変化による効果はもっぱら平均輝度の変動によって説明されることになるが、これは視対象の輝度の上昇に伴なり観察者の視力上昇と同様の現象であると考えられる。すなわち、視力の上昇により投射像における微小な陰影部分がより鮮明に知覚され、より遠くの観察距離からでもなおあらさを感じることが出来ると考えられる。

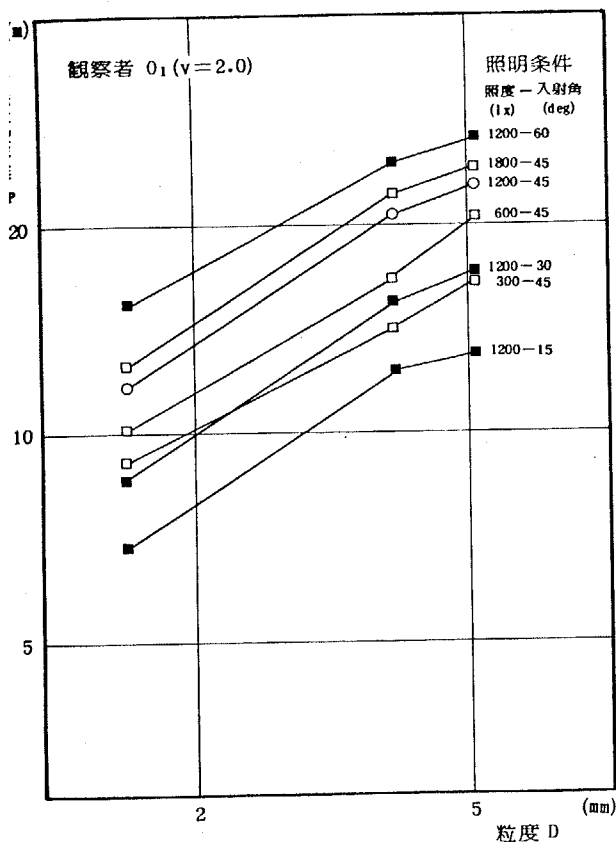


図 3-2 観察者No.1 (01) による粒度と平面変化距離との関係

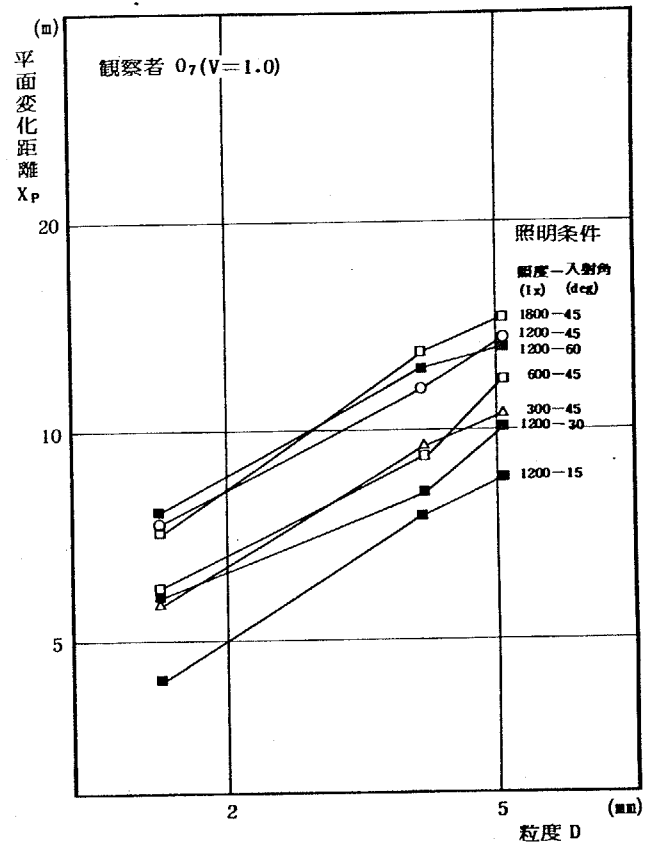


図 3-3 観察者No.7 (07) による粒度と平面変化距離の関係

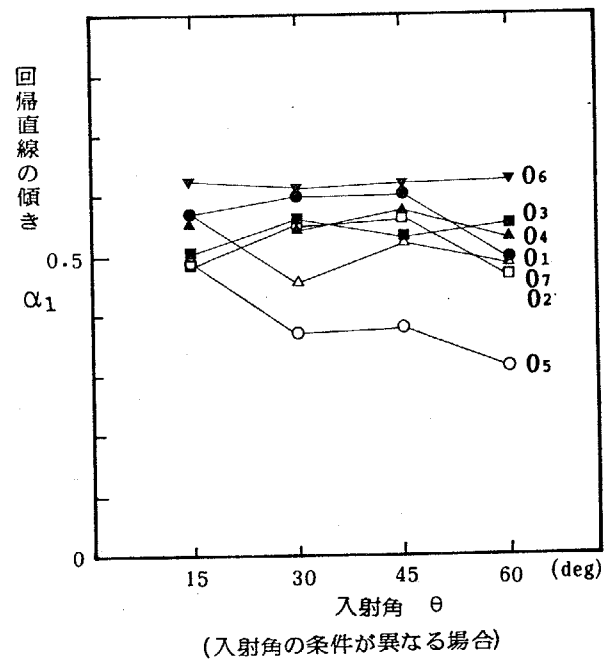
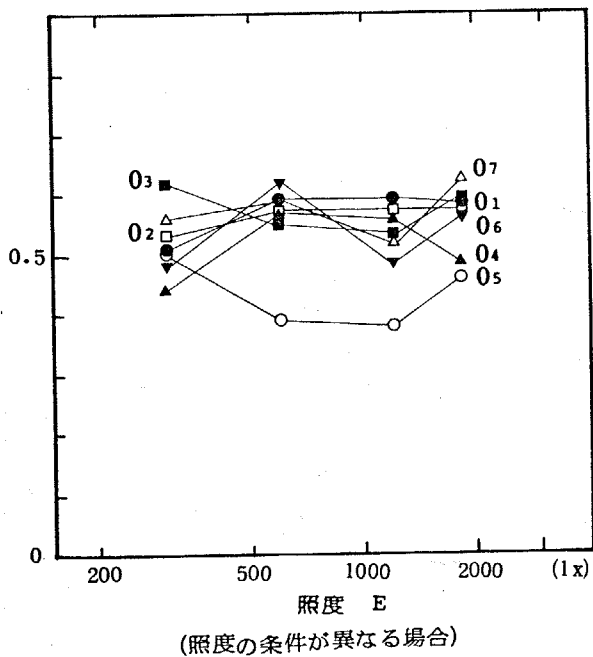


図 3-4 異なる照明条件における粒度と平面変化距離との関係の回帰係数

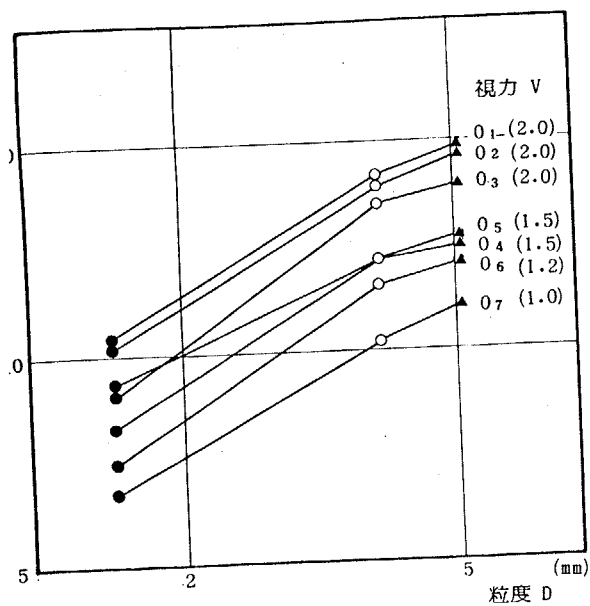


図 3-5 各観察者(7名)による
粒度と平面変化距離の関係
(全照明条件下における実験結果の平均)

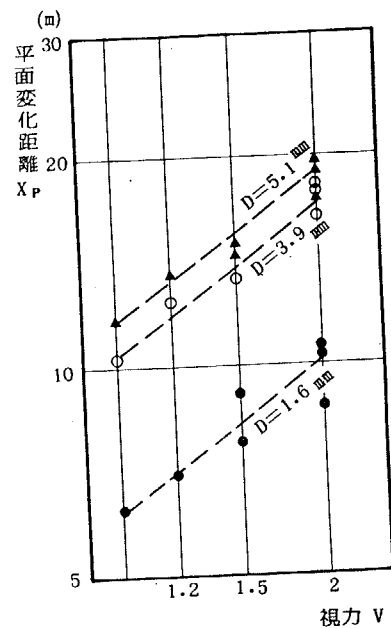


図 3-6 観察者の視力と
平面変化距離との関係

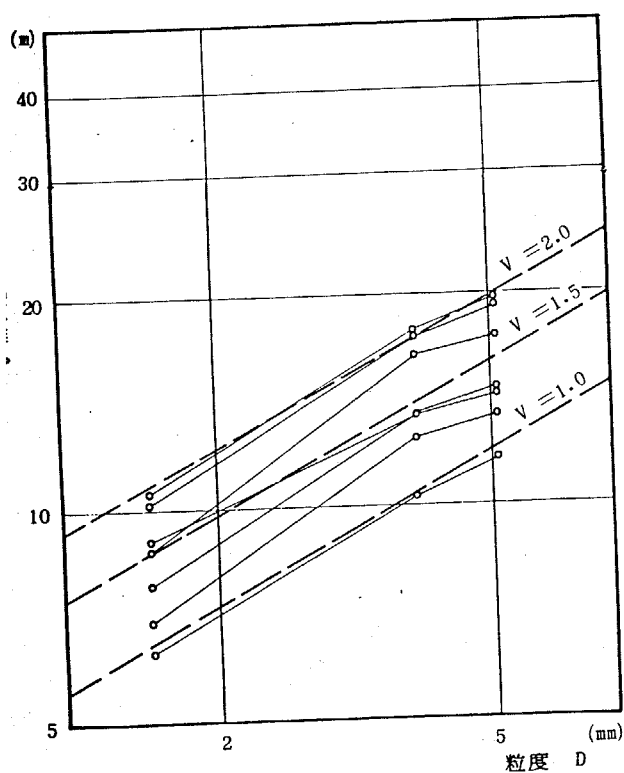


図 3-7 視力 V の観察者における
粒度と平面変化距離との関係の推定

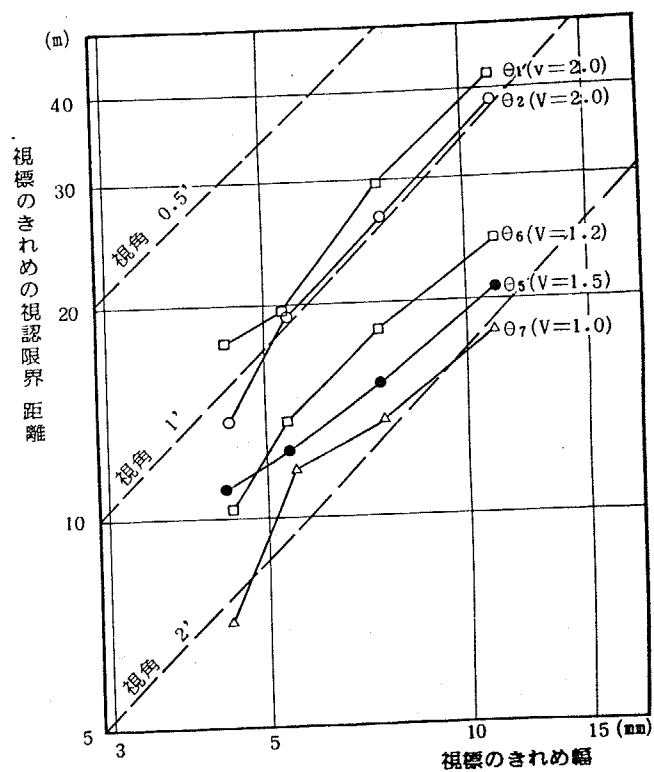


図 3-8 本実験の観察条件下における
ランドルト環視標の最小分離関

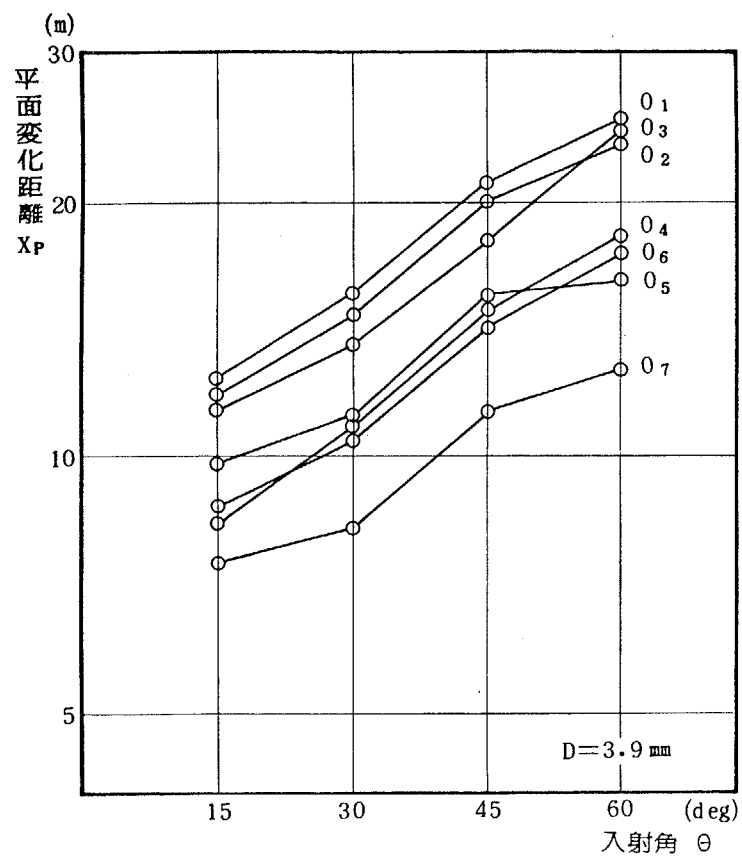


図 3-9 照射光の入射角変化による平面変化距離の変動
(粒度3.9mmに対する各観察者による結果)

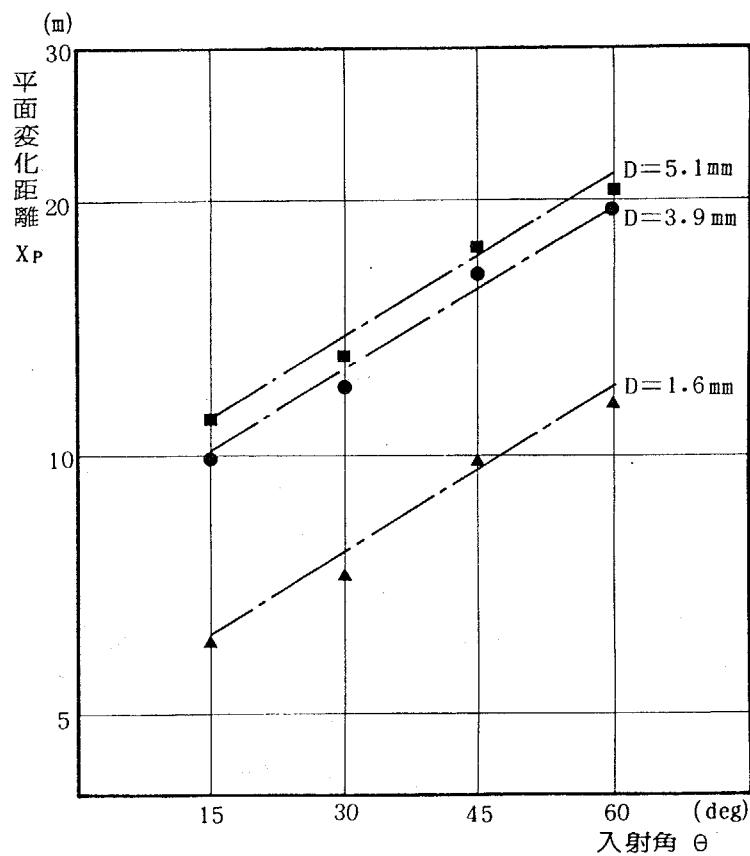


図 3-10 照射光の入射角変化による平面変化距離の変動
(観察者7名の平均)

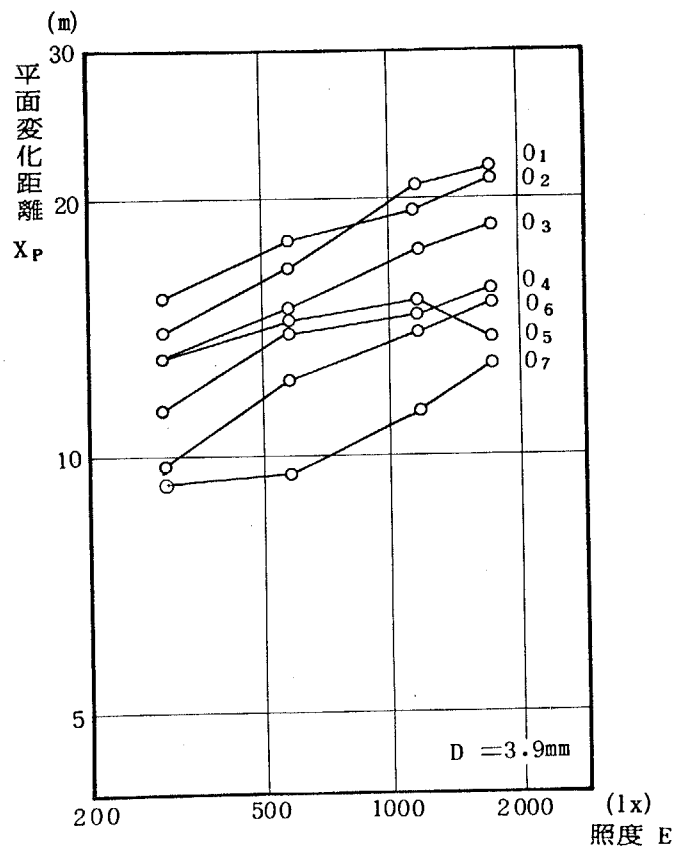


図3-11 照度変化による平面変化距離の変動
(粒度3.9mmに対する各観察者による結果)

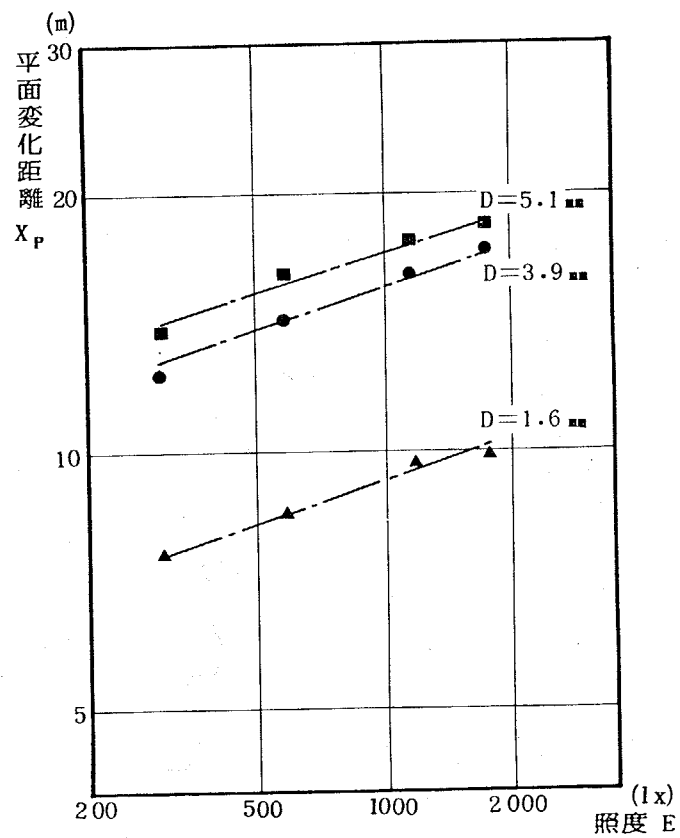


図3-12 照度変化による平面変化距離の変動
(観察者7名の平均)

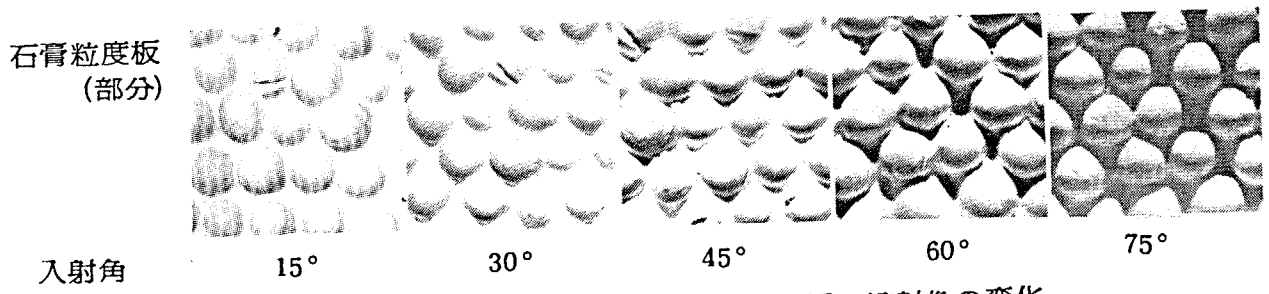


図 3-13 入射角変化にともなう石膏粒度板の投射像の変化

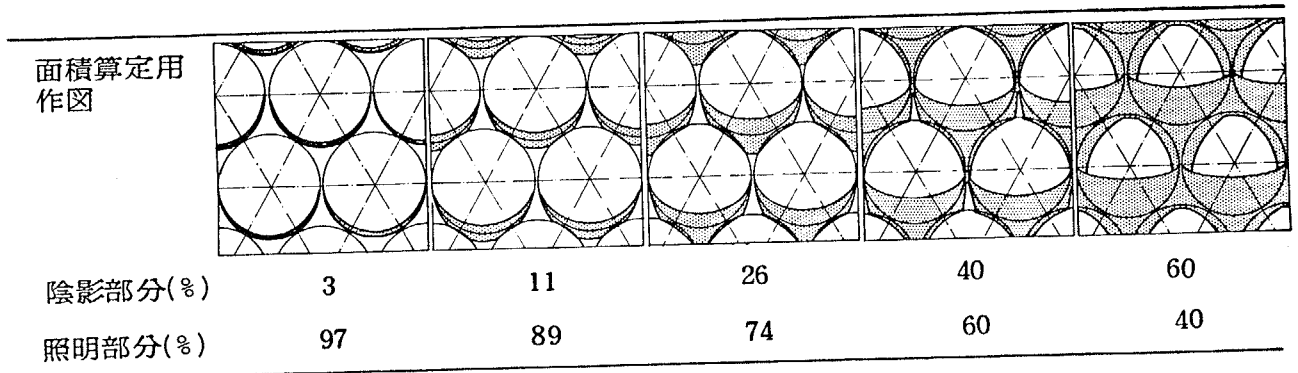


図 3-14 陰影部分の面積算定

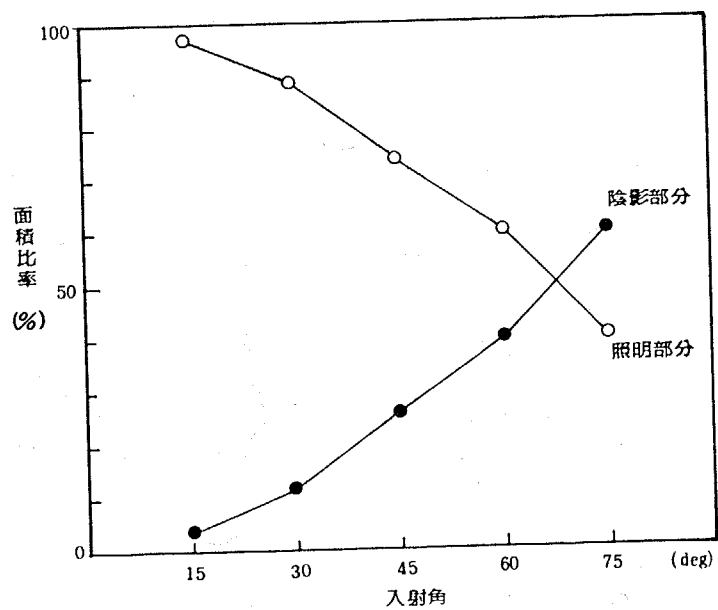


図 3-15 入射角と陰影部分面積の関係

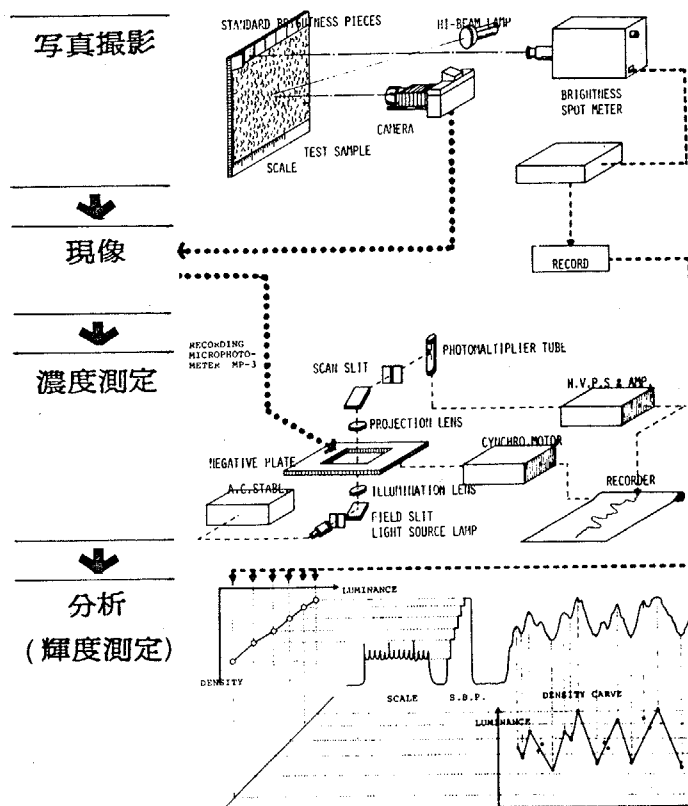


図 3-16 写真測光法による輝度の測定法

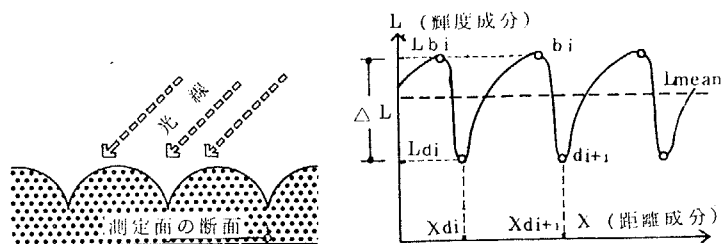


図 3-17 明暗輝度分布曲線

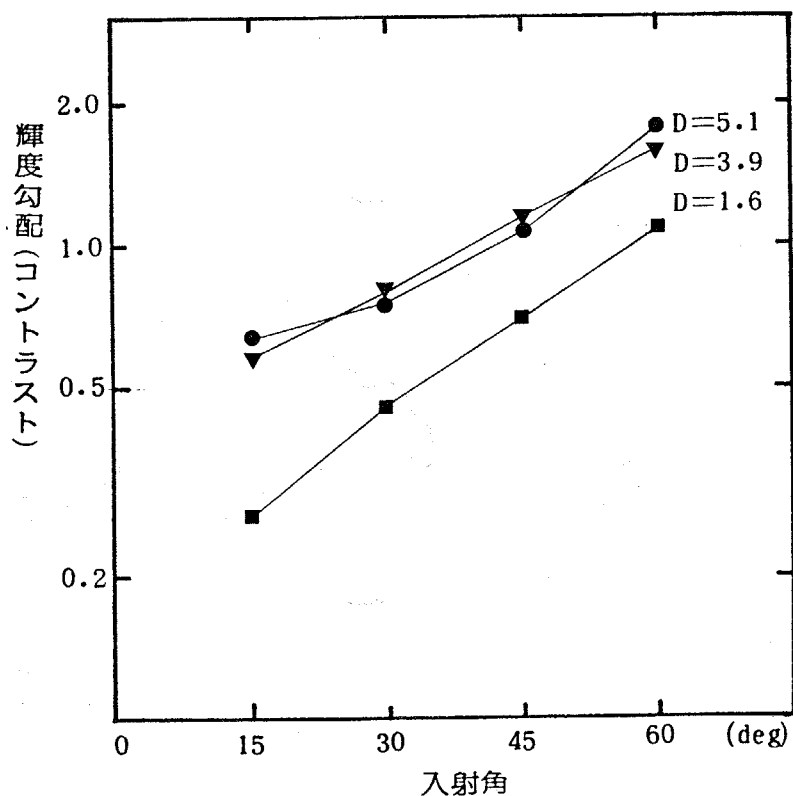


図 3-18 入射角と輝度勾配 (コントラスト) の関係

3-4 見えのあらさの刺激閾の推定

前節において得られた結果を総合して、与えられた観察条件下で視対象のあらさが知覚されるか否かを予測するための推定式を求める。それぞれの変動要因と平面変化距離の関係を求める過程で、当該要因以外の要因との相乗効果や相殺効果などの交互作用がないものと仮定した。当該要因と平面変化距離との関係を示すグラフ上で他の要因によるずれが平行であると見なしたわけである。変動要因が相互に独立であるとした仮定をあらためて吟味するため、粒度、照明条件、観察者の要因について3元配置による分散分析を行った。

表3-3に分散分析の結果を示す。実験条件を操作的に変動させた実験であるため、残差(誤差)項が非常に小さく、3変動要因の主効果が高度に有意であるのは当然の結果と言えるが、各要因間の交互作用も統計的には有意となっている。しかし、いずれの交互作用の分散の推定値も主効果と比べ非常に小さくなっている。実験で求めた閾値自体が徐々に見え方の変わる移項帯のおおよその中心傾向を示す値であり、交互作用によるわずかな変動は無視しても差支えないと考えられる。

各変数間の交互作用を無視して、各変数が直交(独立)すると見なし、すでに個々に求めた関係式を線型的に結合し、次式を得る。

$$\log X_p = \alpha_1 \log D + \alpha_2 \log V + \alpha_3 \theta + \alpha_4 \log E + \beta \quad (3-6)$$

$$\beta = \text{定数}$$

定数を代入して、

$$\log X_p = 0.53 \log D + 0.69 \log V + 0.0064 \theta + 0.17 \log E - 0.055 \quad (3-7)$$

上式(3-7)により求めた平面変化距離の推定値と全実験値との対応を図3-19に示す。推定値と実験値との相関係数は0.97であり、推定の誤差の標準偏差は対数尺度上で0.038、推定値に対して約9%程度であり、この推定式により見えのあらさのおおよその限界を推定することが可能であると言える。

与えられた条件(粒度 D mm、視力 V 、入射角 θ° 、照度 E lx、観察距離 X m)の下で、見えのあらさが知覚されるか否かをその正負によって示す判別式(R_0)を式(3-7)を変形して求める。

$$R_0 = 0.53 \log D + 0.69 \log V + 0.0064 \theta + 0.17 \log E - \log X - 0.055 \quad (3-8)$$

ただし、 $R_0 > 0$: 見えのあらさを感じる確率が50%をこえる場合

$R_0 < 0$: 平滑に見える確率が50%をこえる場合

上式における R_0 の正負はテクスチャーの見えのあらさを感じるか否かの一応の目安であり、その一点で判断が明らかに分れることを示してはいない。確実にあらさを感じる条件を求めるためには、 R_0 により大きな値をとる必要があり、逆に完全に平滑に見える条件としては R_0 をさらに小さな値とする必要がある。すなわち上式で与えた見えのあらさの限界を画する関係において、その前後に常に刺激閾の移行帯をともなっている事を考慮する必要がある。

表 3-3 分散分析表

変動要因			偏差平方和	自由度	分散の推定値	F 比
SV			SS	df	MS	F
主効果	観察者	O	780.77	6	130.00	203.10 ※
	照明条件	L	989.11	6	164.85	257.58 ※
	粒度	D	1425.57	2	712.78	1113.72 ※
交互作用	観察者×照明条件	O×L	111.42	36	3.10	4.84 ※
	観察者×粒度	O×D	72.62	12	6.05	9.45 ※
	照明条件×粒度	L×D	57.79	12	4.82	7.53 ※
残差 (誤差)			46.18	72	0.64	
全体			3483.46			

※ 1%水準で有意

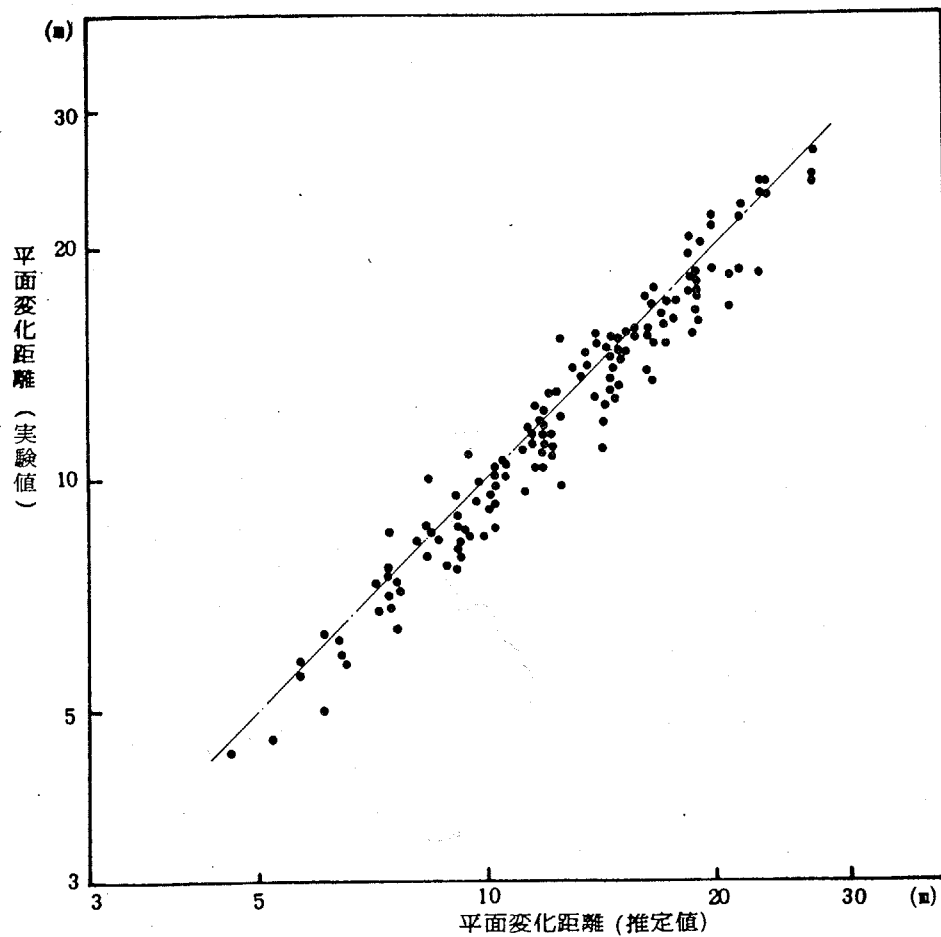


図 3-19 平面変化距離の実験値と推定値の相関

3-5 結 論

本章では、観察者の見えのあらさに対する視認の限界である刺激閾について、異なる観察条件下であらさが知覚されなくなる平面変化距離をそれぞれ単一刺激の極限法により求め、以下の結果を得た。

- (1) 視対象の表面あらさ（粒度）があらいほど平面に見えるようになる距離は遠くなるが、粒度 D と平面変化距離 X_p の関係は、観察者の網膜における視覚像の変動から予測される比例関係ではなく、近似的に粒度の平方根と比例する（ $X_p \propto \sqrt{D}$ ）関係を示し、見えのあらさの刺激閾を単純に視対象表面の構成粒子の張る視角によって定めることは出来ない。この点は単純な図形を視標としたときの最小分離閾と異なっており、テクスチャーの視知覚を単に単純図形の集まりとして理解し得ないことを示唆している。
- (2) 見えのあらさの刺激閾は、観察者によって異なり、その個人差はおおよそ観察者の視力の違いによって説明される。
- (3) 照明条件の影響については、入射角・照度が増すほどともに表面あらさが平滑に見える距離が遠くなるが、その変動は予想以上に大きく、入射角が 15° から 60° まで変化すると平面変化距離はほぼ倍になり、照度については、照度が倍になると 12 % 程度平面変化距離が遠くなる。
- (4) 以上の傾向を定量的に把握するため、各変動要因と平面変化距離との関数関係をそれぞれ求め、変動要因間の相互作用が無視し得ることから、それらをまとめ、所与の観察条件下で見えのあらさが知覚し得るか否かを判別する次の様な推定式を導いた。

$$R_0 = 0.53 \log D + 0.69 \log V + 0.0064 \theta \\ + 0.17 \log E - \log X - 0.055$$

ただし、 $R_0 > 0$: 見えのあらさを感じる確率が50%をこえる場合

$R_0 < 0$: 平滑に見える確率が50%をこえる場合

第4章 見えのあらさと観察距離の関係

1 概 要

2 実験方法

2-1 2刺激比較の極限法

2-2 予備実験

2-3 実験設定

3 実験結果および考察

3-1 同等の見えのあらさを与える粒度と観察距離の関係

3-2 観察者の個人差の検討

4 見えのあらさの弁別閾

5 観察距離による見えのあらさの変動の推定

6 結 論

第4章 見えのあらさと観察距離の関係

4-1 概要

物理的に同じ表面あらさをもつ2つの表面を、異なる距離で観察すれば、その見かけのあらさは異なって見える。これは視対象表面の凹凸のつくる網膜像の大きさが、観察距離に比例して変動するためと理解される。しかし、図形や物体の大きさの視知覚においては、観察距離の変化にともなう網膜像の大きさの変化にもかかわらず、一定の大きさに知覚される傾向、いわゆる恒常現象が知られている。この知覚の一般特性である恒常性は、眼球運動や体の動きによって刻々変化する網膜像にかかわらず、安定した知覚世界を生み出す働きをしていると言われるが、テクスチャーのあらさについてはどうであろうか。従来、図形の観察距離による見かけの大きさの変動、あるいは恒常性については心理学の分野で多くの研究がなされているが、テクスチャーのあらさの変動についての研究はなされていない（文献30）。

テクスチャーの視覚効果（1-1参照）を考慮して、建築仕上材の選択を行なう際、ある表面あらさをもつ仕上材は所定の距離でどの程度のあらさに見えるか、あるいはどれほどの見えのあらさの違いが知覚し得るのか等をあらかじめ知ることは設計上の助けとなる。

本章では、粒度板を用いた精神物理学の実験により、表面あらさ（粒度）と観察距離との関係を定量的に明らかにし、さらに見えのあらさの弁別閾について考察する。

第2節では、2刺激比較の極限法によって見えのあらさと観察距離を求める原理および手順を示し、予備実験により見えのあらさと観察距離のおおよその関係を把握し、実験方法について検討したのち本実験における実験設定を示す。

第3節では、まず全観察者の実験結果より、同じあらさに見える粒度と観

察距離との関数関係を求め、次に観察者の個人差について考察する。

第4節では、実験過程で得た見えのあらさ判断における平均弁別閾から、観察者がどの程度のあらさの差を視覚的に知覚し得るかを考察する。

第5節では、第3節で求めた見えのあらさの等価刺激を与える粒度と観察距離の関係を見えのあらさ（相当粒度）と観察距離との関係に置換え、観察距離の変化による見えのあらさの変動を推定する関係式を導く。また第3章で求めた結果と合わせて、所与の粒度のあらさをもつ表面が所与の観察距離でそのあらさが知覚し得るか、また知覚し得るならばどの程度のあらさとして知覚されるかを簡易に推定するための図表を作成する。

4-2 実験方法

4-2-1 2刺激比較の極限法

物理的な外部刺激とそれに対する人間の反応との関係を定量的に求めるための心理学的な方法には大きく分けて2通りある(文献28)。一つは、心理学的尺度法と呼ばれる方法で、刺激の大小の違いにともなう心理的反応の違いを比率、あるいは差で直接観察者に問う方法であり、第2章4節で用いた分量評定法はこの例である。いま一つは、精神物理学的方法であり、観察者は刺激が知覚されるか否か、あるいは2つの刺激が互いに等しく知覚されるか否かなど比較的単純な判断を求められ、その結果得られる刺激の物理量相互の心理的な等価関係などから間接的に物理量と心理量との関係を求める方法である。

心理学的尺度法では観察者に刺激の大小の程度を数値などで問い、簡便ではあるが、その定量的な信頼性は低い。これは被験者に高度の判断を求めすぎためと考えられる。一方、精神物理学的方法では、一回の観察で要求される判断は、2つの刺激相互の等価関係、あるいは知覚の有無のみで単純であり、その結果はより信頼がおける。ただし、この方法は一回の判断で得られる情報量が少ないために一つの測定結果を得るための回数が多くなり、実験に要する労力と時間が多大となる難点がある。

刺激と反応の概略の定量的関係を簡易に求めるのには心理学的尺度法が適するが、本実験の目的である、観察条件の違いによる見えのあらさの微妙な変動を定量的に求めその関係を明らかにするのには、より厳密な結果が期待出来る精神物理学的方法が適している。

精神物理学的方法によって、観察距離が見えのあらさに及ぼす影響を求める原理は以下のとおりである。まず異なる粒度をもつ2種の粒度板を観察者に提示し、距離を適宜変え、両者が同じあらさに見える際の観察距離と粒度との関係を求め、これをもとに、見えのあらさの距離による変動の程度を粒

度の変化量として示す。すなわち距離が何 m 変化する効果は、観察距離を一定としたときの粒度何 mm の変化に相当するかを求めるのである。

この実験操作を体系的に行うため、表 4-1 に示す 3 種の精神物理学的手法のうち、極限法を用いることにした。調整法は、観察者自身が刺激量を変化、調整して、知覚的な等価点を求める方法だが、本実験では刺激と観察者とが離れており、刺激の提示距離を自ら調整する事が困難で不適、また恒常法は、粒度板の提示距離をランダムに近づけたり遠ざけたりする必要がある、刺激の一回ごとの移動に時間がかかりすぎ、不適である。本実験では、実験者が段階的に提示距離を変化させる極限法（極小変化法）が最も適当であると考えた。

刺激の配置方法は、図 4-1 に示すように C V 配置型とした。すなわち、一定の粒度をもつ標準刺激を一定の距離 X_0 に提示し、比較刺激の観察距離 X_i を変化させて、両者が同じ見えのあらさと判断された比較刺激の距離を求める。これを主観的等価点 PSE (Point of Subjective Equality) と呼び、 X_{PSE} で表わす。

観察者の判断は、「あらい」(R)、「不明」又は「同等」(いずれも? で表わす)、「こまかい」(S)の 3 件法によって記録される。表 4-2 は、極限法による実験結果の例を示している。

PSE を求める手順は、まず標準刺激を一定の距離に提示し、上昇系列（系列 1, 4）においては比較刺激を段階的に近づけ、標準刺激に比べ比較刺激のあらさが「不明」又は「同等」であると、初めて判断した距離を X_{L1} , X_{L4} 、またさらに比較刺激を移動して標準刺激と比べ、より「あらい」と初めて判断した距離を X_{U1} , X_{U4} とする。また下降系列（系列 2, 3）においては逆に X_{U2} , X_{U3} 次いで X_{L2} , X_{L3} を求める。その結果、表 4-2 で○枠を付した $X_{U.1 \sim 4}$, $X_{L.1 \sim 4}$ の対数尺度上での平均値を、次の式 (4-1) により、この実験の PSE として求める（文献 28）。

$$\log X_{PSE} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^4 (\log X_{Ui} + \log X_{Li}) \quad (4-1)$$

ただし X_{U_i} : 上弁別閾

X_{L_i} : 下弁別閾

4-2-2 予備実験

本実験に先立ち、本章および次章の実験における実験設定を検討し、あわせて、見えのあらさと観察距離とのおおよその関係を把握するために、3名の観察者による予備実験を行なった。

表4-3に視対象(刺激)として用いた5種の粒度板を示す。予備実験では、石膏型取り前の粒度板(45cm角)を白色に塗装して用いている。この種の粒度板はどうしても塗装むらが出来、また塗装面のてりなどもあって均質な色調が得られないので、本実験からは石膏型取りした石膏粒度板を用いることにした。

実験場所は、本学建築棟5階中廊下で、夜間消灯時に実験を行なったが、粒度板を照らす照明により周囲もある程度見える状態であった。粒度板が一般壁面と比べ45cm角と小さいことと、廊下の奥行方向の強いパースペクティブによる影響を緩和するため、両眼視の可能な角筒(マスキング・ファインダー、長さ70cm×幅21cm×高さ5cm)を通して、一定の視野で観察を行わせた。

この視野の制限を決めるにあたっては、無拘束の広い視野及び還元角筒(長さ70cm×幅21cm)の高さ方向のスリット幅を5cmから12.5cmに3段階に変え、計4種の観察視野で実験を行ない、その影響について検討した。その結果、広い視野では、距離変化にかかわらず見かけのあらさがあまり変わらない恒常性をより強く示し、逆に視野を狭くすると、距離変化と見かけのあらさ変化が比例関係(視角の法則)に近くなることが明らかになった。この傾向は、石膏粒度板よりも石膏仕上板を視対象としたときの方が顕著であった。恒常性の強弱は、視対象までの距離判断の手がかりなど周辺情報によって左右される。広い視野では、枠や背景などパースペクティブやスケールを強調する要素が多く介在し、恒常性が強くあらわれる。逆に狭い視野で、視野内に当該仕上面以外のスケールファクターを含まないとき、あらさの判

断はもっぱら網膜像に依存することになり、視覚の法則に近く判断されると考えられる。実際の建築壁面を観察する状況と、実験において 45 cm 角のパネルを観察する状況を比較すると、視野の制限なしでは、スケールファクターなど周辺情報が多すぎ、逆に視野をあまり狭く制限して、対象仕上面のみが見えるようにするのは視野全面に広大な仕上面がある場合に相当し、ともに不自然である。中間的な視野での観察では、実際に広い建築面（幅 5 m × 高さ 7 m）を標準刺激として用いた実験の恒常度と近い傾向が得られたので、これを目安として、実験上の適切な視野と考え、以降の観察条件とした（論文 14）。

図 4-2 は実験状況を示している。石膏粒度板は移動可能な架台により、中心の高さが観察者の目の高さ（ファインダーにより 1.4 m に固定されている）と同じになるよう垂直に提示し、ハイビームランプによって 45° の入射角で下方より照明されている。粒度板の明るさは、標準、比較刺激とも平均輝度が約 350 nit になるようランプの照度を変圧器で調整した。実験時の比較刺激の一回の変化幅、即ち移動間隔は観察距離 10 m 以内では 0.5 m、それを越える距離では 1 m としている。

標準刺激として、粒度板 $D_1 \sim D_4$ の 4 種を交互に用い、その提示距離を適宜変えて、32 組の実験を行なった。観察者は男子大学生 3 名、いずれも視力 1.0 以上であった。

予備実験の結果から、同じあらさに見えるときの粒度と観察距離との関係を、3 名の平均値で 3 種の異なる目盛のグラフで表わしたのが図 4-3 から 4-5 である。図中、白丸 (○) は標準刺激の粒度と提示距離を、黒丸 (●) は比較刺激が同じあらさに見える粒度と観察距離 (PSE) との関係を示している。白丸と黒丸を結ぶ線分は、一組の実験を表わしている。図 4-3 の普通目盛では上に凸、図 4-4 の片対数目盛で下に凸の曲線になり、図 4-5 の両対数目盛においてほぼ直線かつ平行直線に近い関係が得られた。この関係を直線かつ平行と見なせば、標準刺激の粒度 D_{omm} 、その提示距離 X_{om} 、比較刺激の粒度 D_{mm} 、その観察距離 X_m として、式 (4-2) の構造式を仮定することが出来る。

$$\log D - \log D_0 = a (\log X - \log X_0) \quad (4-2)$$

ただし D_0 : 標準刺激の粒度
 X_0 : 標準刺激の観察距離
 D : 比較刺激の粒度
 X : 比較刺激の観察距離
 a : 定数

上式における定数 a は両対数目盛上での関係直線の勾配である。すなわち、距離変化に対して、等しい見えのあらさを与える粒度の変化率と考える事が出来る。この勾配 a の値の心理学的意味を考察すると、 $a = 1$ で上式は $D_0/X_0 = D/X$ となり、視角の法則に従うことを示し、 $a = 0$ では距離 X の変化にかかわらず $D = D_0$ となり、完全恒常であることを示す。実際、従来心理学で恒常性の度合を示すために用いられている、ザウレスの恒常度指数 Z (文献 29) と勾配 a とは、式 (4-3) のような逆の増減関係がある。

$$Z = 1 - a \quad (4-3)$$

ただし Z : ザウレス (Thouless) の恒常度指数

予備実験の全データから最小二乗法により、勾配を求めたところ、0.85の値を得た。これにより、この実験範囲においては、見えのあらさの恒常度指数 Z は 0.15 となり、従来心理学でザウレスらが求めた図形の恒常度指数が 0.6 前後であるのに比べ小さいが、視覚の法則のみによって見えのあらさと距離の関係が説明し得ない事は明らかである。

勾配 a の値は、3名の観察者ごとに 0.80 ~ 0.91 の間でわずかつつ異なっているが、これが個人差に起因するかは不明である。また、両対数グラフ上で直線かつ平行であると見なしたことの妥当性についても、予備実験の結果からは結論づけられず、次節において、より広い変動範囲の条件で、多くの観

察者による実験を行う。

4-2-3 実験設定

予備実験の結果より、粒度と距離との関係は対数尺度上で議論されることが予想されるので、実験設定は、粒度及び提示距離が対数尺度上で出来る限り等間隔となるよう計画した。すなわち、石膏粒度板は第2章表2-4に示した、3.9、6.1、8.6、14、20、27 mmの6種の粒度、また提示距離は4、6、10、15、22 mの5箇所としている。6種の粒度板の隣り合う2種の組み合わせ5組を5箇所の提示距離で行い、計25の実験設定を計画した。

刺激の配置は、標準刺激が比較刺激より近いNN布置をとっているが、この配置型による影響について、逆のNF布置による対照実験を行ない、両配置間で有意な差のないことを確かめている(論文18)。

実験場所は、本学建築棟3階中廊下で夜間消灯時に行ない、照明は、照射角45°、平均板面輝度がレンズ系式輝度計で300 nitとなるよう調整した。予備実験により定めた視野制限を与えるマスキング・ファインダーには、比較刺激の移動方向が見えないようにシャッターを加えている。これは、極限法による判断の慣れの誤差や期待誤差を最小にするためである。

観察者は、本学建築学科、男子学生・大学院生8名である。観察者に求められる判断が比較的単純な知覚反応であり観察者の属性や過去の体験等に影響されるとは考えられない。ただし、より生理的な違いである視力は影響が予想されるので、実験に先だち観察者の視力検査を行ない、視力(矯正視力を含む)が1.0以上であることを確かめている。

表 4-1 精神物理学の測定法

1 調整法	被験者自身が比較刺激の観察距離を直接連続的に調整する。比較刺激の移動範囲が数十 m に及ぶため装置を直接連動させることが困難である。
2 恒常法	実験者が被験者にとってランダムな刺激条件を任意に選んで提示する。 被験者の予想が入らないが、刺激変化が多い場合は適さず、長時間を要する。
3 極限法	実験者が段階的に定めた刺激変化を提示する。被験者が判断を恣意的に変えるおそれはあるが、実験は比較的容易に行なえる。

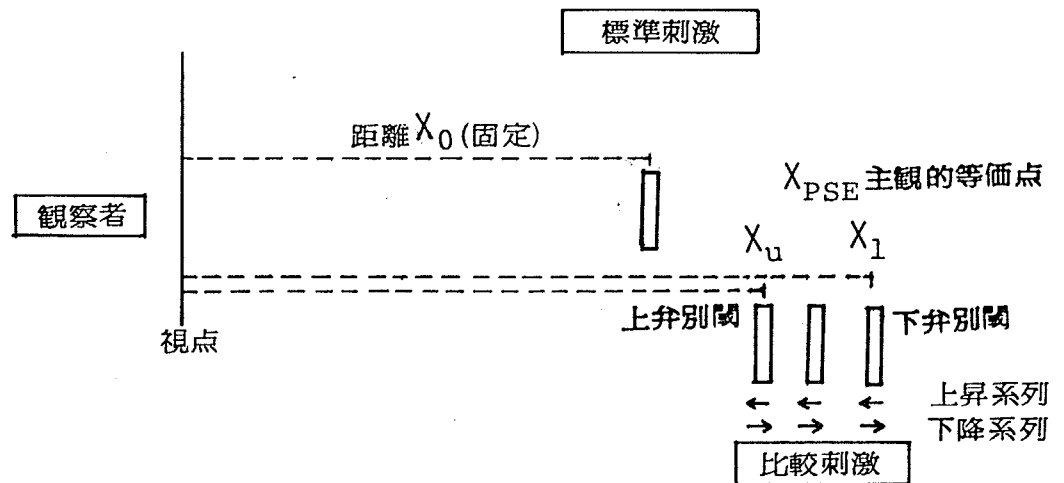


図 4-1 実験装置の概念図

表 4-2 2刺激比較の極限法による測定例

系列	変化方向	比較刺激の提示距離 (m)											
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	←				Ⓡ	?	?	Ⓢ	S	S	S	S	S
2	→	R	R	R	R	Ⓢ	?	?	Ⓡ				
3	→	R	R	R	Ⓢ	?	?	Ⓡ					
4	←				Ⓡ	?	Ⓢ	S	S	S	S	S	S

表 4-3 予備実験用粒度板5種

番号	呼び粒度 (mm)	平均粒度 (mm)	標準偏差 (mm)	標準偏差 平均粒度 %	中央値 (mm)	板面密度比
D1	5	5.0	0.5	10.0	5.1	1.05
D2	10	9.1	0.4	4.5	9.1	1.09
D3	13	12.3	0.4	3.3	12.2	1.12
D4	15	14.0	0.6	4.5	13.8	1.08
D5	20	20.2	1.1	5.6	20.1	1.14

粒度分布

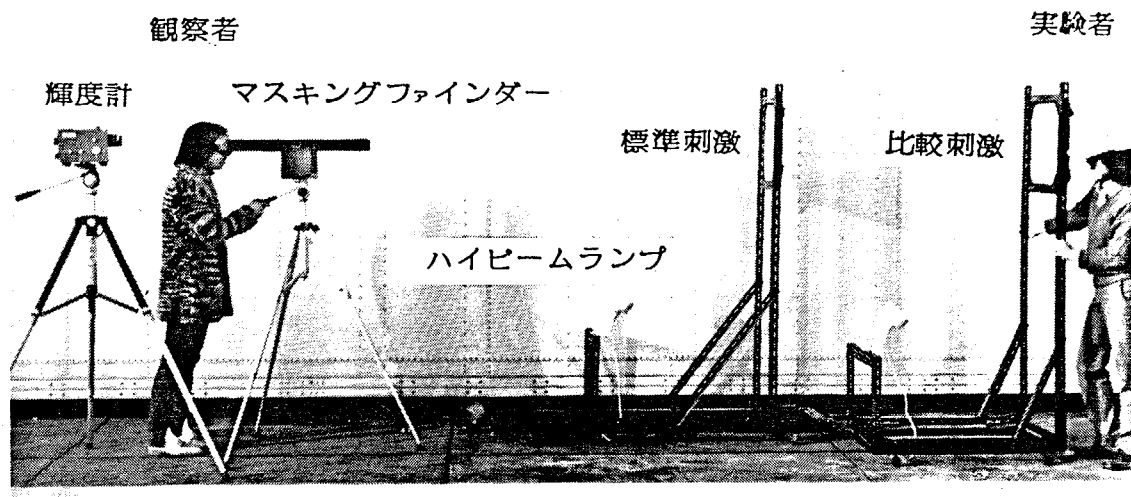
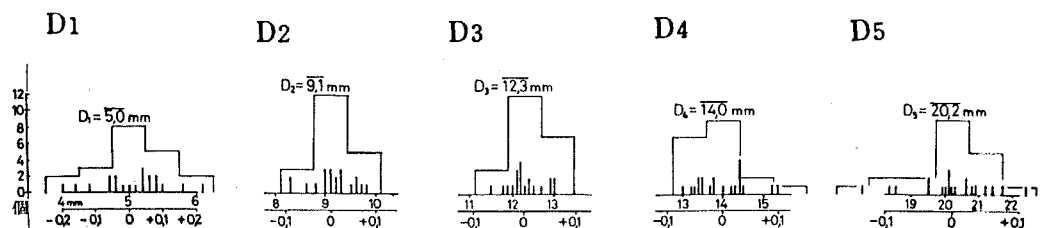


図 4-2 2刺激比較の極限法による実験状況

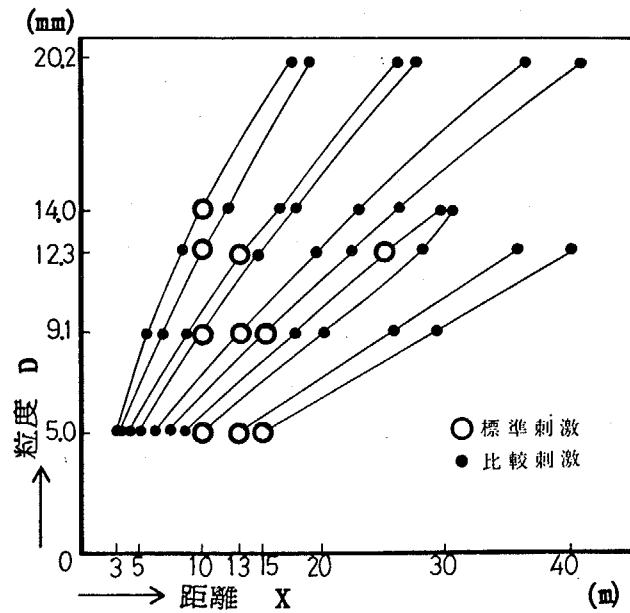


図 4-3 同じ見えのあらさを与える観察距離と粒度の関係

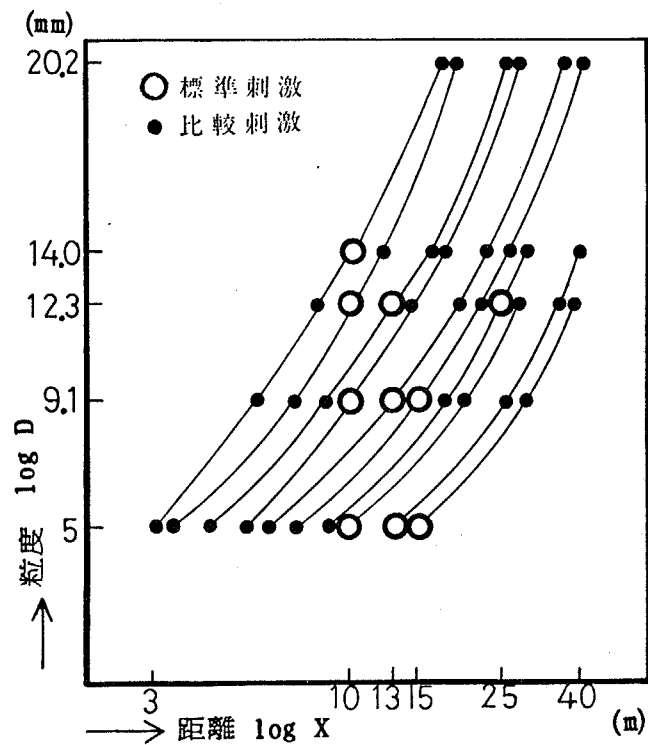


図 4-4 同じ見えのあらさを与える観察距離と粒度の関係(片対数目盛)

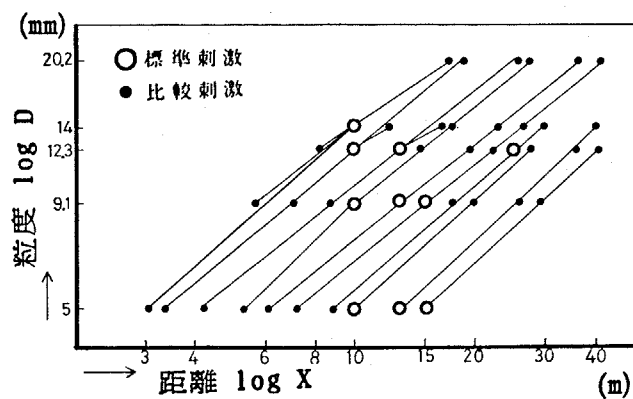


図 4-5 同じ見えのあらさを与える観察距離と粒度の関係 (両対数目盛)

4-3 実験結果および考察

4-3-1 同等の見えのあらさを与える粒度と観察距離の関係

実験結果を8名の平均値で図4-6に示す。実験結果の処理方法は、予備実験の場合と同様である。図中右下の破線で示した、粒度3.9 mmと6.1 mmを22 mに提示した実験設定では、こまかすぎて判断不能と答えた観察者が2名以上おり、それぞれ2名と5名の観察者の判断結果の平均を示している。

図4-6において、中央部分の予備実験で扱った範囲では、ほぼ平行な直線関係が見られるが、その周辺では直線の傾きが徐々に変化している。すなわち、図中左上の距離小で粒度大の領域では傾きはゆるく、逆に右下の距離大で粒度小の領域では傾きが急になっている。換言すれば、予備実験で一定と考えた勾配 α は、観察距離(X)と粒度(D)によって変化し、その大小は粒子の網膜像の大きさ、すなわち粒子の張る視角(D/X)との函数関係が予想される。

標準刺激の粒度と提示距離で決まる実験設定ごとの回帰直線の勾配 α は、図4-7に示すように、粒度Dと観察距離Xの関係曲線の平均変化率と考えられ、近似的に(X_0, D_0)と(X_1, D_1)との中点(X_M, D_M)における接線の勾配(微分係数)とみなせる。そこで中点における($D_M/X_M = \phi$)を求め、勾配 α との関係を求めた結果、図4-8に示す様に、視角と勾配 α が反比例する傾向がみられた。そこで勾配 α の逆数をたて軸に、視角 ϕ を対数尺で横軸にとったところ図4-9に示すように直線関係を得たので、次の回帰式を導いた。

$$\begin{aligned}\frac{1}{\alpha} &= \alpha \log \phi + \beta \\ &\approx \alpha \log \frac{D}{X} + \beta\end{aligned}\tag{4-4}$$

ただし α, β : 定数

上式左辺の $\frac{1}{\alpha}$ は、粒度 D の変化にともなう、同じあらさに見える観察距離 X の対数尺度上での変化率を示している。すなわち、 $\frac{1}{\alpha}$ は次式で表わされる。

$$\frac{d(\log X)}{d(\log D)} = \frac{1}{\alpha} \quad (4-5)$$

(4-4) 式および (4-5) 式より

$$\frac{d(\log X)}{d(\log D)} = \alpha \log \phi + \beta \quad (4-6)$$

すなわち、同じ見えのあらさを提供する粒度と観察距離との関係は、粒子の張る視角 (ϕ) に依存しており、粒度の対数に対する距離の対数の変化率は視角 ($\phi = D/X$) の対数の一次関数で表わすことが出来る。この微分方程式を X について解いて、同じあらさに見える距離 X と粒度 D との関係を求めると下式 (4-7) を得る。

$$\log X = \log D - \frac{c}{D^{\alpha \log e}} - \frac{1 - \beta}{\alpha} \quad (4-7)$$

ただし α, β, c : 定数

ここで標準刺激の粒度 D_0 、提示距離 X_0 を初期条件と考えて、比較刺激 D が標準刺激 (D_0, X_0) と同等のあらさに見える距離を求める式 (4-8) を得る。

$$\log X = \log D - \left(\log \frac{D_0}{X_0} - \frac{1 - \beta}{\alpha} \right) \left(\frac{D_0}{D} \right)^{\alpha \log e} - \frac{1 - \beta}{\alpha} \quad (4-8)$$

上式の右辺第3項の $\frac{1-\beta}{\alpha}$ は、式(4-4)において、勾配 $\alpha = 1$ を与える視角の対数 ($\log \phi'$) を意味しており、第2項の中のは標準刺激の視角の対数 ($\log \frac{D_0}{X_0}$) を表わしているので、下式(4-8')のように書き換えることが出来る。

$$\log X = \log D - (\log \phi_0 - \log \phi') \left(\frac{D_0}{D} \right)^{\alpha \log e} - \log \phi' \quad (4-8')$$

ただし ϕ_0 : 標準刺激の粒子の張る視角

ϕ' : $\alpha = 1$ (視角の法則)を与える視角

α : 定数

この式において、右辺第2項は、標準刺激の粒子のはる視角(ϕ_0)の大小によってその項の正負が決まる。 ϕ_0 がちょうど ϕ' と同じである時ゼロとなり、見えのあらさ判断が視角の法則に従うことを示し、その前後で正負の値をとり、見えのあらさ判断の視角の法則からのずれを示す補正項となっている。標準刺激の粒度が大で観察距離小の(視角大である)場合、第2項は正となり、同じあらさに見える比較刺激の距離は、その粒子の張る視角から予想されるよりも近く判断されることを示す。換言すれば、この見かけ上あらゆる境域では、距離変化による網膜像の変動は過少評価される恒常性を示し、逆に補正項が負となる非常にこまかい境域では、視角の法則をこえて距離変化による網膜像の変動が過大に知覚されることを表わしている。

全観察者のデータを用いて(4-8)式における定数 α 、 β の値を最小自乗法により求め($\alpha = 1.211$ 、 $\beta = 1.319$)その値を代入して次式(4-9)を得る。

$$\log X = \log D - (\log \frac{D_0}{X_0} + 0.263) \left(\frac{D_0}{D} \right)^{0.526} + 0.263 \quad (4-9)$$

(4-9)式は粒度 D_0 mm の標準刺激を X_0 mm の距離に提示したとき粒度 D mm の比較刺激が同じあらさに見える距離を求める推定式となっている。この推定式の妥当性を吟味するため、各実験設定ごとの標準刺激の粒度 D_0 、

提示距離 X_0 を代入して推定曲線を求め、実験結果と比較したのが図 4-10 である。この図に示したように推定曲線は実験結果全体の傾向をよく表わしているが、個々の実験設定における実験結果と推定値との相関も、図 4-11 に示すようによく（相関係数 $r = 0.99$ ）、推定式は妥当であるといえる。

4-3-2 観察者の個人差の検討

以上の考察は、8 名の観察者の全データに基き、平均的な傾向を求め定式化した。個々の観察者の個人差を以下検討する。先に全データについて行なったことと同様の分析をそれぞれの観察者のデータについて行なう。

図 4-12 は、25 の実験設定において、8 名の観察者が示した PSE のうち最も異なる 2 名の結果を示している。図中、実験設定により勾配 α が変化する全体的な傾向は先に平均値で求めた場合と同様であるが、観察者 O_2 の方が左上方の領域では O_4 よりも直線の勾配がゆるく、逆に右下ではその関係が逆転しており、観察により反応に系統的な違いのあることが予想される。

そこで勾配 α の逆数と視覚 ϕ との関係を比較すると、図 4-13 に示すように、観察者ごとに回帰直線にずれがみられ、分散分析では 1% の水準で有意な個人差が認められた。勾配 α あるいはその逆数 $\frac{1}{\alpha}$ の個人差は、 $1-\alpha$ が恒常度を表わすことを考えれば、見えのあらさ判断における、観察者による恒常性の傾向の強さ弱さの差と考えることが出来る。恒常性の大小は、視対象までの距離判断を反映していると考えられるので、個人差は観察者の主観的な距離定位の傾向の違いと考えられる。

観察者による $\frac{1}{\alpha}$ の個人差は、図 4-13 に示すように、視角 ϕ が大で大きく、 $\frac{1}{\alpha} = 1$ 付近で回帰直線は収斂する傾向がある。すなわち、恒常視の傾向が強い観察者も弱い観察者も、ほぼ一定の視角で $\alpha = 1$ となり、視角の法則に従う判断をしており、恒常性の個人差は、視角 (ϕ) と $\frac{1}{\alpha}$ との関係直線の変化率（傾き）の違いとみなせる。この仮定に基づく $\frac{1}{\alpha}$ と ϕ との関係式は下式 (4-10) となり、その回帰直線をあらためて求めると図 4-14 のようになる。

$$\frac{1}{\alpha} = \alpha_i (\log \phi - \log \phi') + 1 \quad (4-10)$$

ただし α_i : 観察者ごとに異なる定数

ϕ : $\alpha = 1$ (視角の法則) を与える視角

図 4-14 は見えのあらさ判断の個人差の特徴を端的に表わしている。すなわち見えのあらさの距離による変化の割合は観察者によって一定ではないが、その個人差は粒子のはる視角が大となり恒常度が増すのに比例して大きくなり、反対に視角が小となり、 0.55×10^{-3} rad あたりでどの観察者も同様に視角の法則に従うようになる。

各観察者ごとに、比較刺激 (D) が標準刺激 (D_0, X_0) と同等のあらさに見える距離を求める推定式を得るためには、式 (4-8') の第 2 項の α に、各観察者ごとに求めた回帰係数 α_i を置きかえればよい。すなわち、観察者 O_i の推定式は次式 (4-11) のようになる。

$$\log X = \log D - (\log \phi_0 - \log \phi') \left(\frac{D_0}{D} \right)^{\alpha_i \log e} - \log \phi' \quad (4-11)$$

観察者ごとの回帰係数は、図 4-14 に示したように 1.56 ~ 0.91 まで変動しているが、このうち最も平均から遠い O_2 と O_4 について、上式 (4-11) に α_i の値を代入して推定式を求めれば下式 (4-11') 及び (4-11'') となる。

$$O_2: \log X = \log D - \left(\log \frac{D_0}{X_0} + 0.263 \right) \left(\frac{D_0}{D} \right)^{0.678} + 0.263 \quad (4-11')$$

$$O_4: \log X = \log D - \left(\log \frac{D_0}{X_0} + 0.263 \right) \left(\frac{D_0}{D} \right)^{0.395} + 0.263 \quad (4-11'')$$

図 4-15 は、観察者 O_2 と O_4 について、実験値と、上式による推定曲線を描いたものである。図の繁雑さを避けるためいくつかの実験設定のみ示しているが、図中破線で示した視角 $\phi = 0.55 \times 10^{-3}$ rad ではすべての観察者が共通して $\alpha \div 1$ となり視角の法則に従い、それより左上あるいは右下にはずれるに従って観察者の個人差が大きくなる傾向を示している。

観察者による個人差は、視対象の粒子の見かけの大きさ（視角）が極端に大きくない範囲ではわずかであり、建築仕上面のうち荒めの大谷石のみ切りなどが粒度 11 mm 相当であることを考慮すれば、すでに求めた全観察者の平均的な傾向によって見えのあらさの変動を代表しても実用上支障がないといえる。

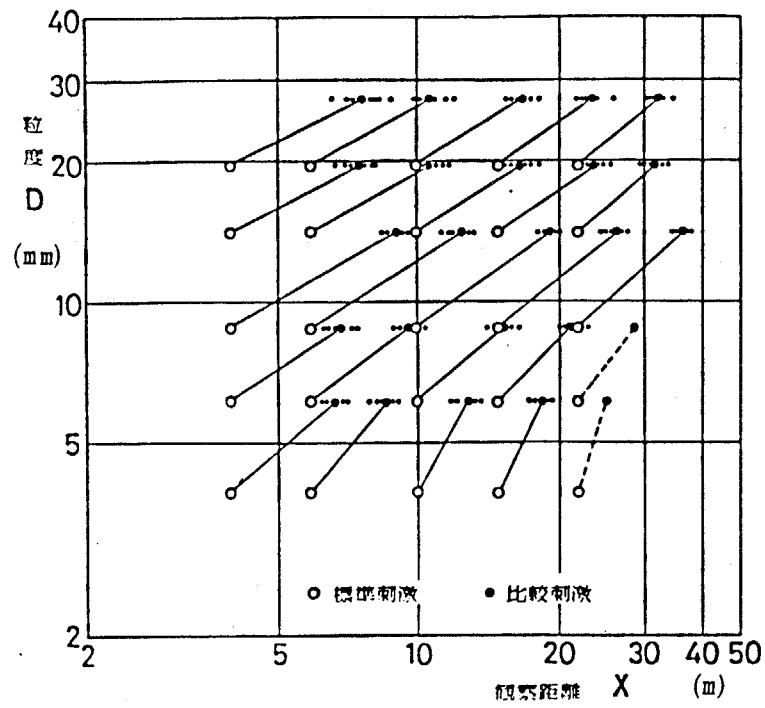


図 4-6 見えのあらしの等価距離と粒度の関係

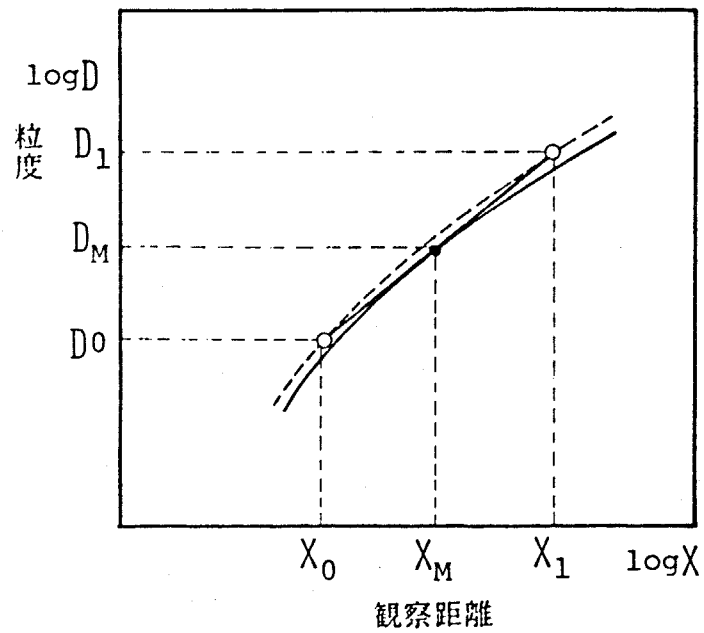


図 4-7 平均変化率 (傾き a)

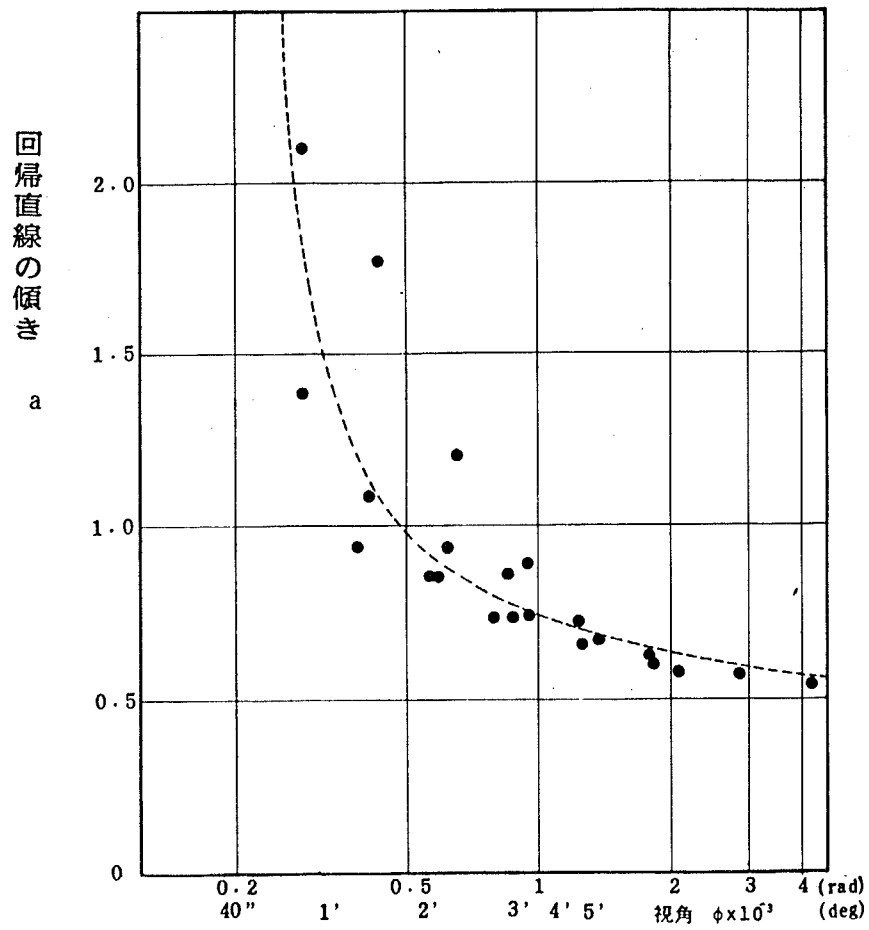


図 4-8 傾き a と粒子の張る視角

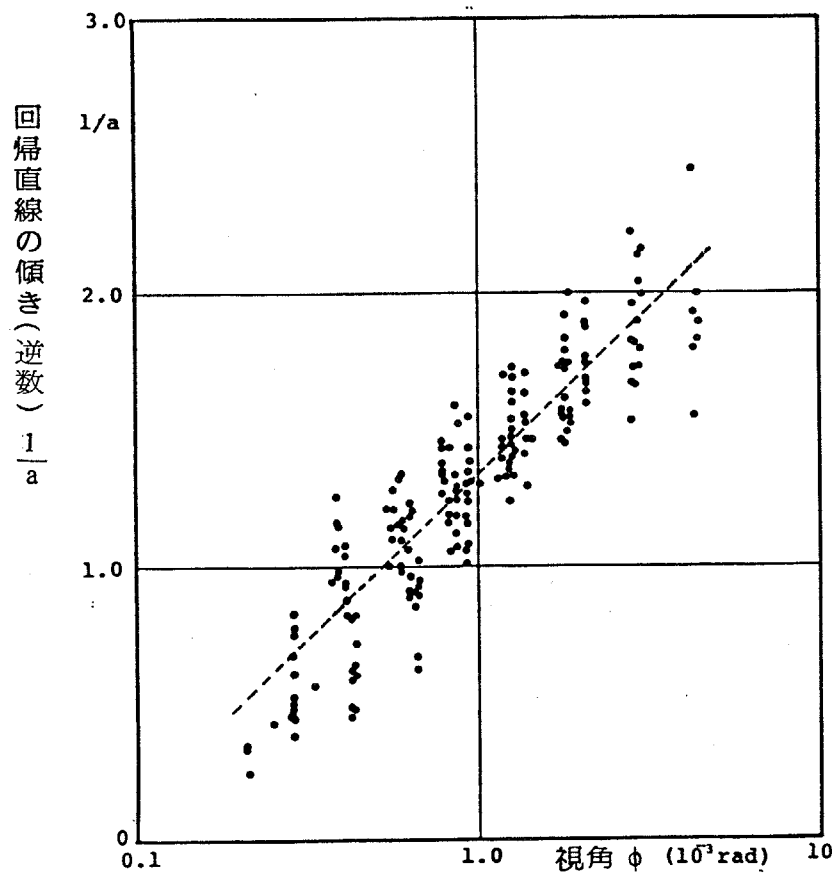


図 4-9 傾き a と視角 ϕ の関係 ($1/a$ をたて軸とした場合)

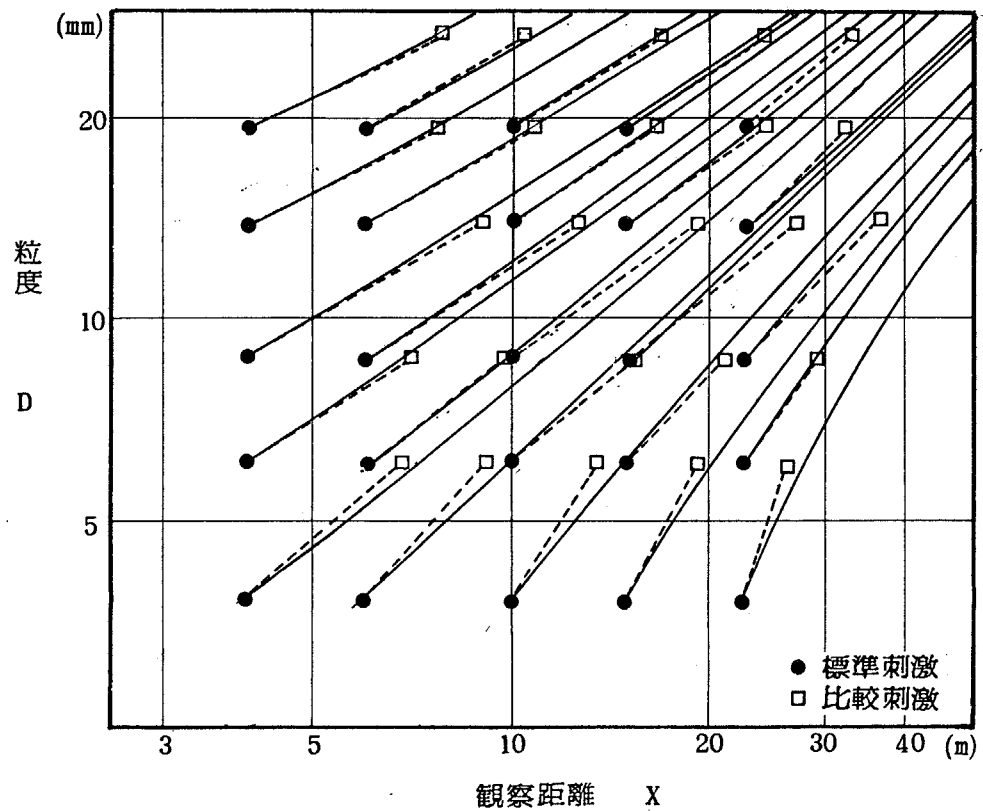


図 4-10 各実験設定を初期条件とした理論曲線と実験結果の対応

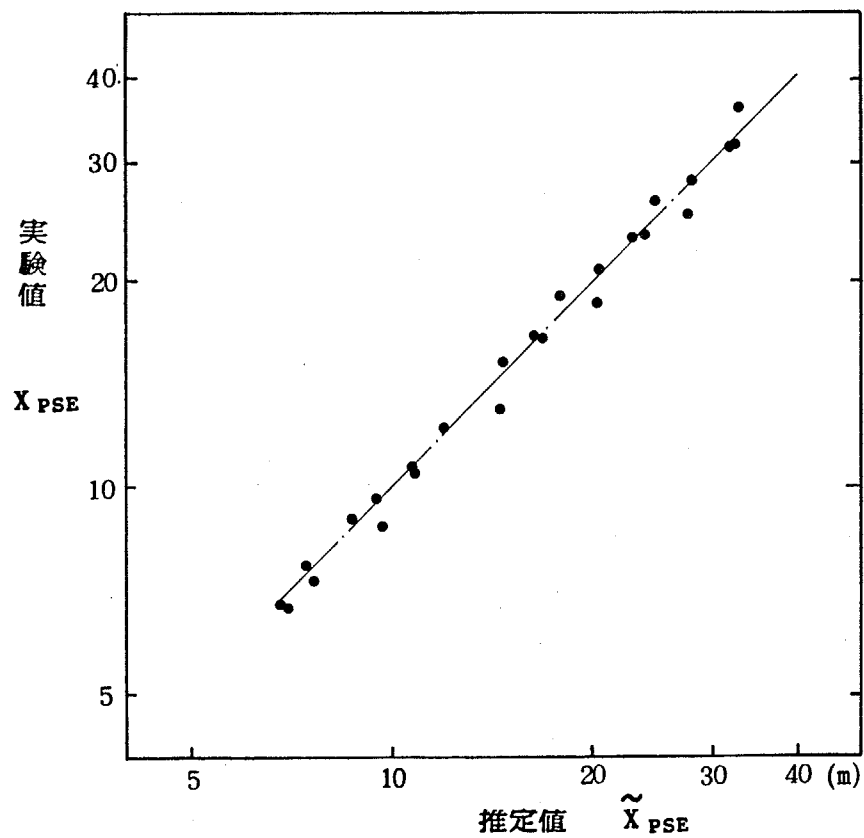


図 4-11 X_{PSE} の実験値(平均)と理論式による推定値の相関

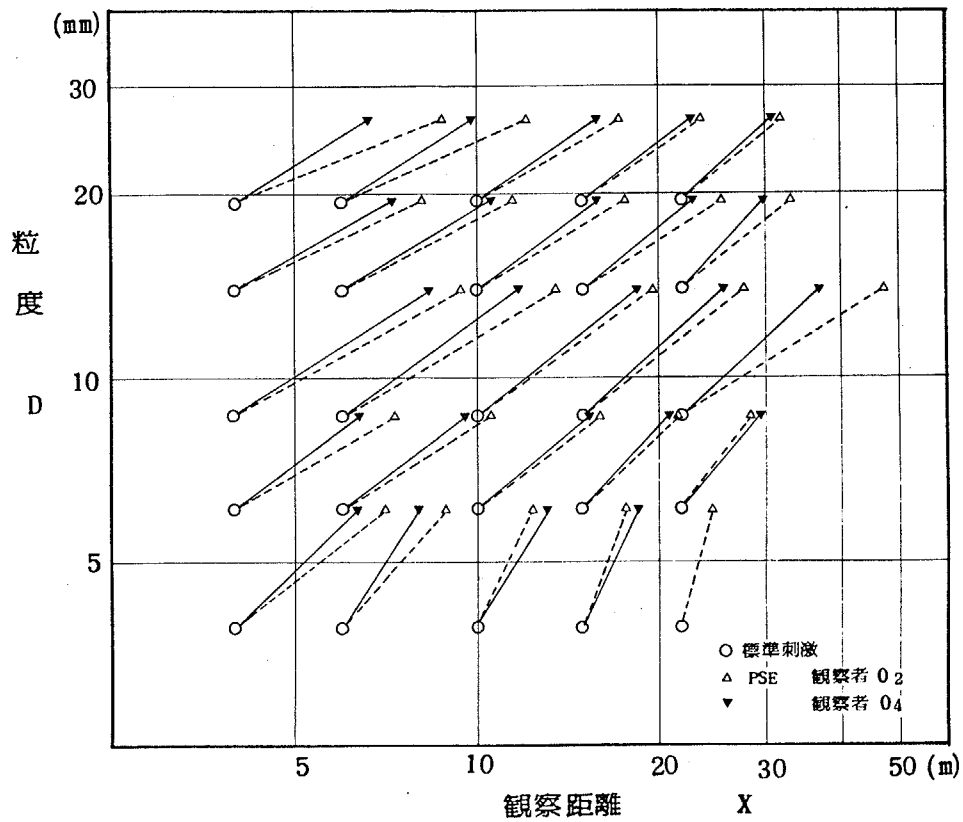


図 4-12 最も異なる傾向を示した観察者02,04の実験結果

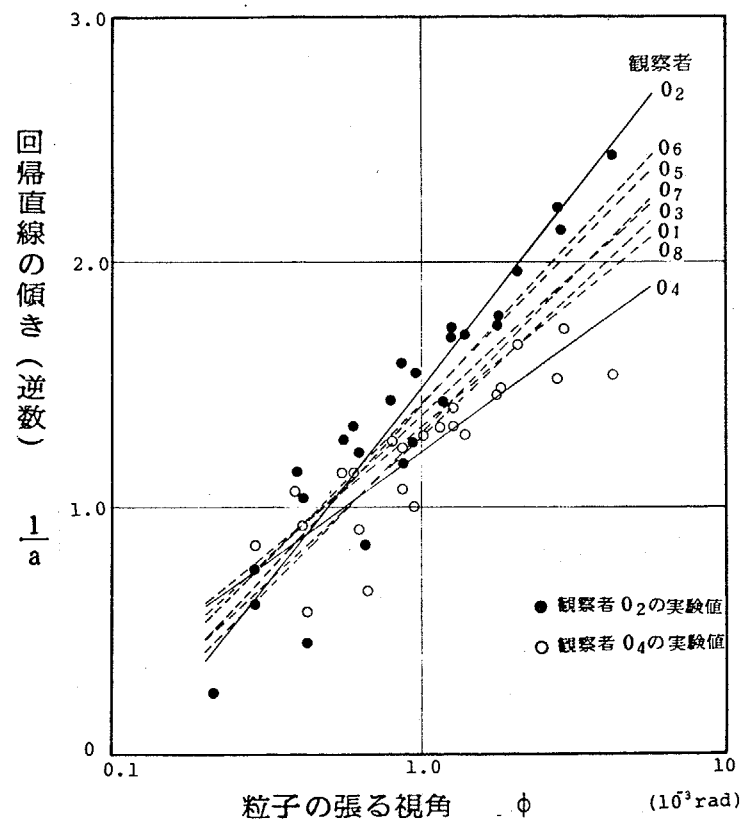


図 4-13 観察者ごとの傾き a と視角 ϕ の関係

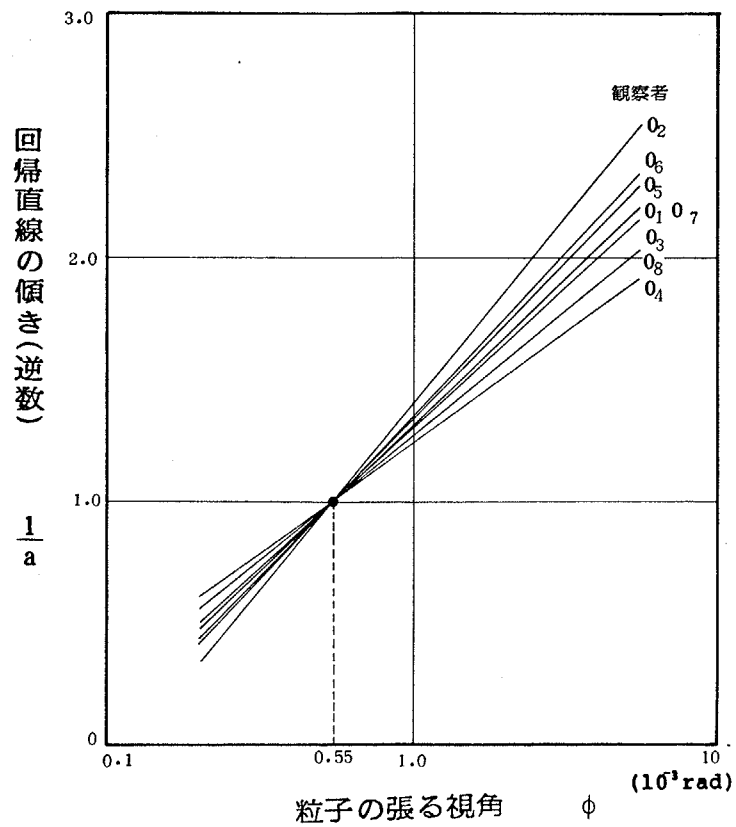


図 4-14 被験者ごとの傾き a と視角 ϕ の関係
($a=1$ で取れんすると仮定した場合)

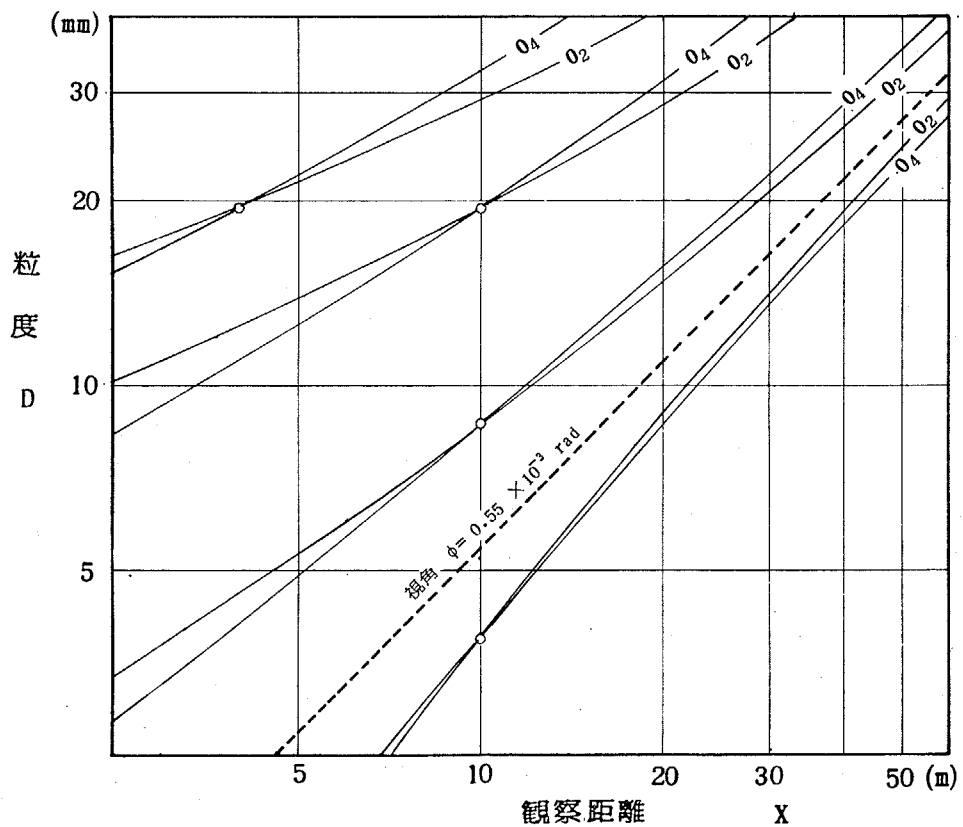


図 4-15 最も異なる傾向を示した観察者 02 04 における等あらし曲線の推定

4-4 見えのあらさの弁別閾

同一の仕上面が空間的に前後にずれている場合、見えのあらさを弁別することによってその空間的なギャップを知覚することが出来るが、どの程度の見えのあらさの違いが実際に知覚されるのだろうか。本節では、極限法による実験の過程で得られたデータを用いて、見えのあらさの違いに対する観察者の敏感さ、すなわち見えのあらさの弁別閾について考察する。本節における考察により、前節において論じた見えのあらさの変動をどの程度の精度で論ずべきかを明らかにすることになる。

前節においては2刺激比較の極限法によって、比較刺激が標準刺激と同じあらさに見える距離 X_{PSE} を上弁別閾と下弁別閾の幾何平均により求めた（図4-1, 表4-2 参照）。すなわち、標準刺激と比べ比較刺激が同等のあらさに見えるかあるいはあらさの違いが判定出来ない状態を上弁別閾 X_U と下弁別閾 X_L の間の幅として求め、その中心傾向を X_{PSE} として求めたのである。本節では、この刺激の物理的な変化にもかかわらず反応が変化しない幅に着目する。観察者が受けとる刺激量にあたるものとして、視対象表面の構成粒子の張る視角（ $\phi = \frac{D}{X}$ ）を用い、実験により距離として得られた上下弁別閾を視角 ϕ によりそれぞれ表わし、次式（4-12）により平均弁別閾（ $\Delta\phi$ ）を求める。

$$\Delta\phi = \frac{\phi_U - \phi_L}{2} \quad (4-12)$$

$\Delta\phi$ ：見えのあらさの平均弁別閾

ϕ_U ： X_U における視対象粒子の張る視角（ $\frac{D}{X_U}$ ）

ϕ_L ： X_L における視対象粒子の張る視角（ $\frac{D}{X_L}$ ）

一般に知覚反応の弁別閾は刺激の大きさによって左右され、大きな刺激同志を弁別するために必要な最小可知差異は相対的に大きく、小さな刺激では

小さくなる関係がある（文献 29）。あらかの知覚判断においても同様の傾向が予測されるので、観察時の刺激の大きさとして、上下弁別閾の中間の X_{PSE} における視角 $\phi (= \frac{D}{X_{PSE}})$ をとり、平均弁別閾 $\Delta\phi$ との関係を求め図 4-16 に示す。両者の間に相関関係は見られるが（相関係数 0.85）、全観察の実験結果ではあまり高い相関は見られない。しかし観察者ごとにその関係を求めたところ、どの観察者も相関係数が 0.95 以上の高い相関を示した。図 4-17 は、観察者ごとに平均弁別閾と刺激量（視角）との関係を直線回帰した場合に、最も異なる傾きを示した 2 名の観察者の実験結果を示している。観察者によって平均弁別閾に個人差があることは明らかであるが、いずれの場合も視対象の粒子の張る視角 ϕ によって表わした刺激量と平均弁別閾とが比例する、いわゆるウェーバーの法則が近似的に成立つことを示している。言い換えれば、平均弁別閾を刺激量で除した相対弁別閾（ウェーバー比）は観察者ごとに一定であると言えることが出来る。

相対弁別閾は、図 4-18 に示すように観察者により 0.05～0.15 までの範囲で個人差が見られるが、図中に示した観察者の視力 V によっては説明し得ない。見えのあらかの弁別のための最小可知差異が観察者によって異なる実験結果を単に見えのあらかに対する敏感さの個人差のみに帰するには差が大きすぎる。この結果は、観察者の生理的な弁別の敏感さのみでなく、極限法による実験における観察者の判断態度、あるいはそれにより影響される期待誤差、慣れの誤差が含まれていると考えられる。

個人差をならし、見えのあらかの弁別に関しておよそその平均的な傾向を把握するため、全観察のデータを用いた直線回帰により相対弁別閾 0.09 を求めた。これにより、平均的な傾向としては、見えのあらかの違いを判断出来る最小の表面あらか（粒度）の差違は、視対象の表面あらか（粒度）のおおよそ 9% 前後であると言えることが出来る。換言すれば、9% 以内のあらかの変動は、過半数の観察者にとって心理的には有意な変動ではないと言えることが出来る。

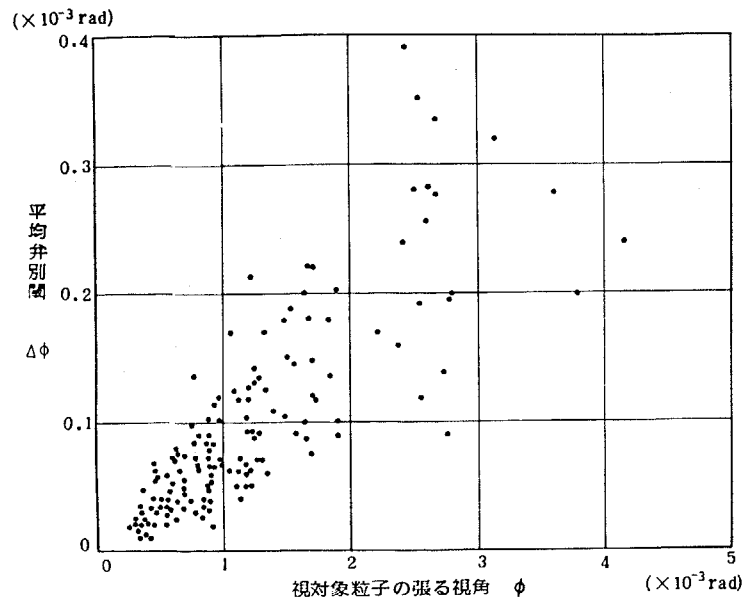


図 4-16 視対象粒子の張る視角 (ϕ) と平均弁別関 ($\Delta\phi$) の関係 (全観察者による実験結果)

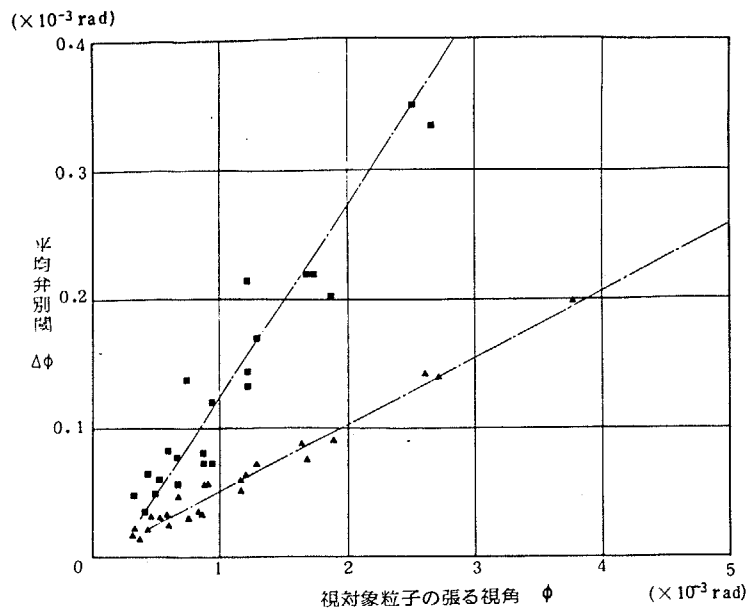


図 4-17 視対象粒子の張る視角 (ϕ) と平均弁別関 ($\Delta\phi$) の関係 (最も異なる傾向を示した2名の観察者による実験結果)

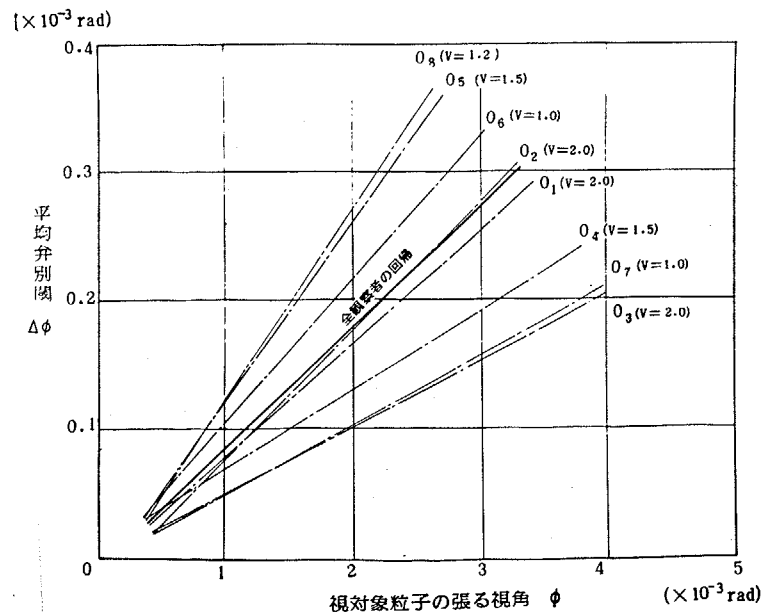


図 4-18 視対象粒子の張る視角 (ϕ) と平均弁別関 ($\Delta\phi$) の関係

4-5 観察距離による見えのあらさの変動の推定

実験により得られた結果は、2種あるいはいくつかの表面あらさ（粒度）の異なる表面が同じあらさに見える距離を示す等価あらさ曲線として表わされた。ここまでは、あくまでも物理量（粒度）と物理量（距離）の見えのあらさに関する等価関係を求めたのである。この関係をもとに、単一のある表面あらさ（粒度）をもつ表面の観察距離を変化させたとき、その見えのあらさがどのように変化するかをより直感的に把握しやすくするため、相当粒度の概念を導入する。

相当粒度は、粒度、観察距離、その他照明などの観察条件の違いによって、さまざまに異なって見えるあらさの程度を観察距離などの条件を一定（標準状態）としたときの粒度によって表わしたものである。観察条件が一定ならば、見えのあらさの知覚量は粒度の対数とよく対応することが第2章において確かめられており、相当粒度は見えのあらさの知覚量と対応する量であるといえる。

図4-19は等あらさ曲線（左図）から相当粒度（ d ）と距離（ X ）との関係（右図）を導く手順を示す概念図である。左図において、①で示した、粒度

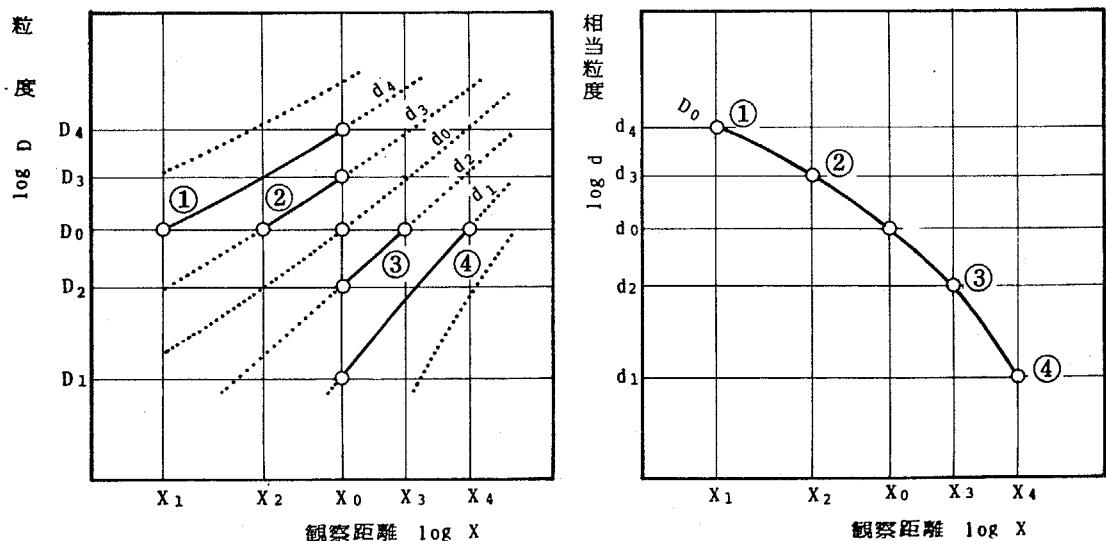


図4-19 等あらさ曲線から観察距離と相当粒度の関係を求める手順

D_0 の粒度板を距離 X で観察したときの見えのあらさが距離 X_0 では粒度 D_1 と同等に見える関係から、 D_1 の値をもってそのときの X_0 での相当粒度とする。同様に、観察距離を X_2, X_3, X_4 と変えた時、 X_0 で同等のあらさに見える粒度を相当粒度として右図に②、③、④とプロットすれば、粒度 D_0 の粒度板について観察距離と見えのあらさ（相当粒度）との関係が得られる。すなわち右図は、粒度 D_0 の粒度板を距離 X_1 から X_4 まで遠ざけたときに見えるのあらさが減少する様子を相当粒度によって定量的に表わすことが出来る。

実験から直接求めた、同じ見えのあらさを提供する粒度と観察距離の関係を示す式（4-8）から、ある粒度 D の距離 X_0 における相当粒度 d と距離 X との関係を導いたのが次式（4-13）である。この関係式は先の等価あらさ曲線を与えた式（4-8）における標準刺激の粒度 D_0 を d とおきかえたかたちとなっている。すなわち相当粒度 d はちょうど X_0 の距離に固定した標準刺激の粒度が連続的な値をとり得るとしたときの粒度となっている。

$$\log X = \log D - \left(\log \frac{d}{X_0} - \frac{1-\beta}{\alpha} \right) \left(\frac{d}{D} \right)^{\alpha \log e} - \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (4-13)$$

上式に全観察者のデータから求めた定数を代入して、下式（4-14）を得る。

$$\log X = \log D - \left(\log \frac{d}{X_0} + 0.263 \right) \left(\frac{d}{D} \right)^{0.526} + 0.263 \quad (4-14)$$

図 4-20 は上式を用いて、標準距離を 10 m としたときの相当粒度 (d_{10}) と観察距離との関係を、例として粒度 10 mm の場合について示している。この図により、観察距離が 5 m、10 m、20 m と増すに従ってその見えのあらさ（相当粒度）が 16.7 mm、10 mm、4.7 mm と減少することを読み取ることが出来る。この図により先に論じた視対象表面の粒子の張る視角と恒常度との関係がより明確に示されている。すなわち視対象表面に近づくにつれ恒常視の傾向が強くなり、距離変化に対して見えのあらさの変化がゆるやかであるのに対し、遠ざかるにつれ視角の法則に従うようになり（図中の傾きが 45° ）、さらに遠ざかれば視角の法則を越え、急激に見えのあらさが減じる傾向が明

らかに示されている。観察距離がさらに増大しつづけると、いつか見えのあらさを感じられなくなるが、この点については本実験からは求められない。

しかし距離の増大によりもはや見えのあらさを知覚し得なくなる平面変化距離について第3章において求めているので、その結果を用いて見えのあらさと観察距離の関係における下限を画する。まず第3章式(3-8)で与えた関係式に本実験における照明条件(入射角 45° 、照度 1300 lx)を代入し、観察者の視力ごとに粒度と平面変化距離との関係を求める。この結果を本実験において求めた同じ見えのあらさを与える粒度と観察距離との関係とともに図4-21に示す。

この図において、粒度と平面変化距離との関係を示す破線は、実線で示した同じ見えのあらさを与える粒度と観察距離との関係(見えのあらさの等価曲線)のうち、図中右下の粒度小、距離大の領域と同様の傾向を示している。そこで粒度と平面変化距離との関係を、「見えのあらさがちょうど知覚出来なくなる」という意味での等価関係と見なせば、第3章における実験の範囲外での関係を図4-22のように推定することが出来る。

図4-23は、この仮定に基き、見えのあらさと観察距離との関係における下限を設定し、すでに図4-20で示した見えのあらさ(相当粒度)と観察距離との関係を各粒度ごとにあらためて示している。この図により、与えられたあらさ(粒度)の表面が所与の観察距離において、そのあらさが知覚し得るか、また知覚範囲内ならばどの程度のあらさに見えるかを推定することが出来る。

ただし以上の結果は、単調な断面波形をもつ石膏粒度板を用いた実験から導かれたものであり、一般の仕上面への適用には次の点を考慮する必要がある。すなわち、第2章で述べたように、一般の仕上面の多くは複雑な断面波形をもち、異なる大きさレベルの波形がいくつか重ね合わさった形状をしており、観察距離によって、その見えのあらさの判断に有効な断面波形のレベルが異なることが予想される。近距離での観察ではより微小な凹凸に対してあらさを感じるが、同じ表面を遠くから観察した場合には、その微小な凹凸に対してはあらさを知覚し得なくなり、より物理的にあらいレベルの凹凸によってあらさを判断すると考えられる。従って、本実験における結果は、

あるレベルの物理的な凹凸があらさとして有効に知覚されている範囲での変動を予測し得ると言うべきである。しかし異なるレベルの物理的凹凸を有する仕上面の距離による見えのあらさの変動も、各レベルの凹凸に対応する本実験で求めた関係の重ね合わせとして理解することが出来ると考えられる。

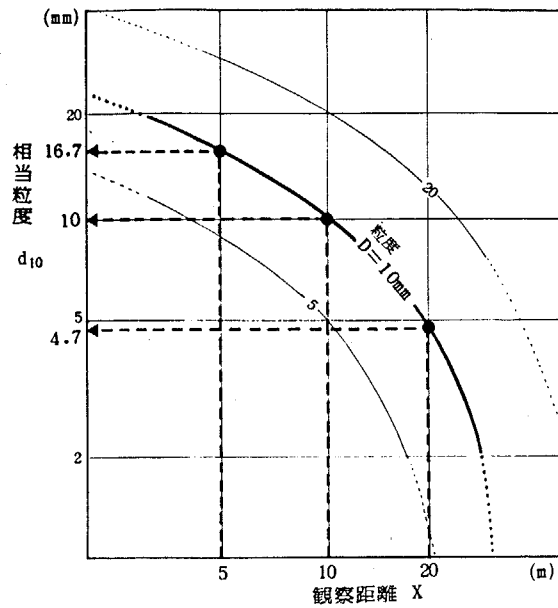


図 4-20 所与の観察距離における見えのあらさ (相当粒度) の推定

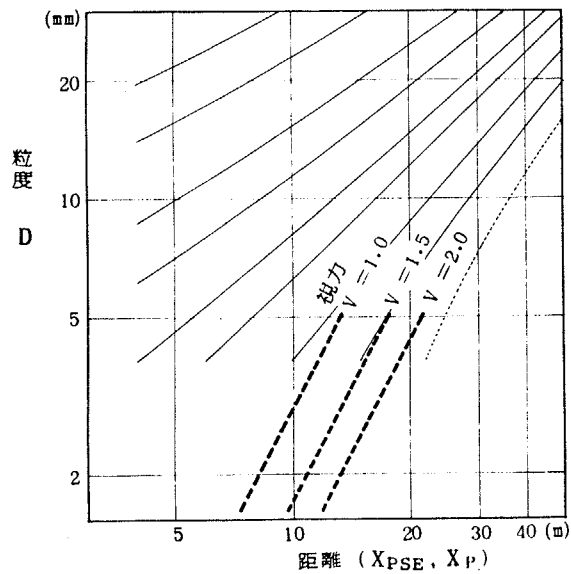


図 4-21 同じ見えのあらさを与える観察距離 (X_{PSE}) 及び平面変化距離 (X_P) と粒度との関係

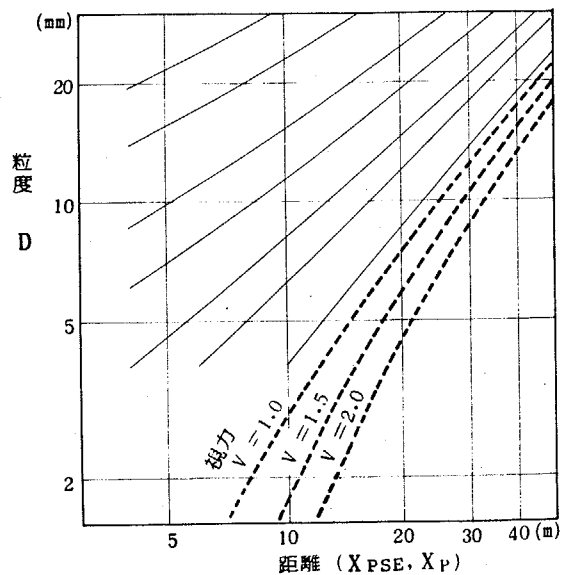


図 4-22 粒度と平面変化距離の関係 (見えのあらさの等価曲線と仮定した場合)

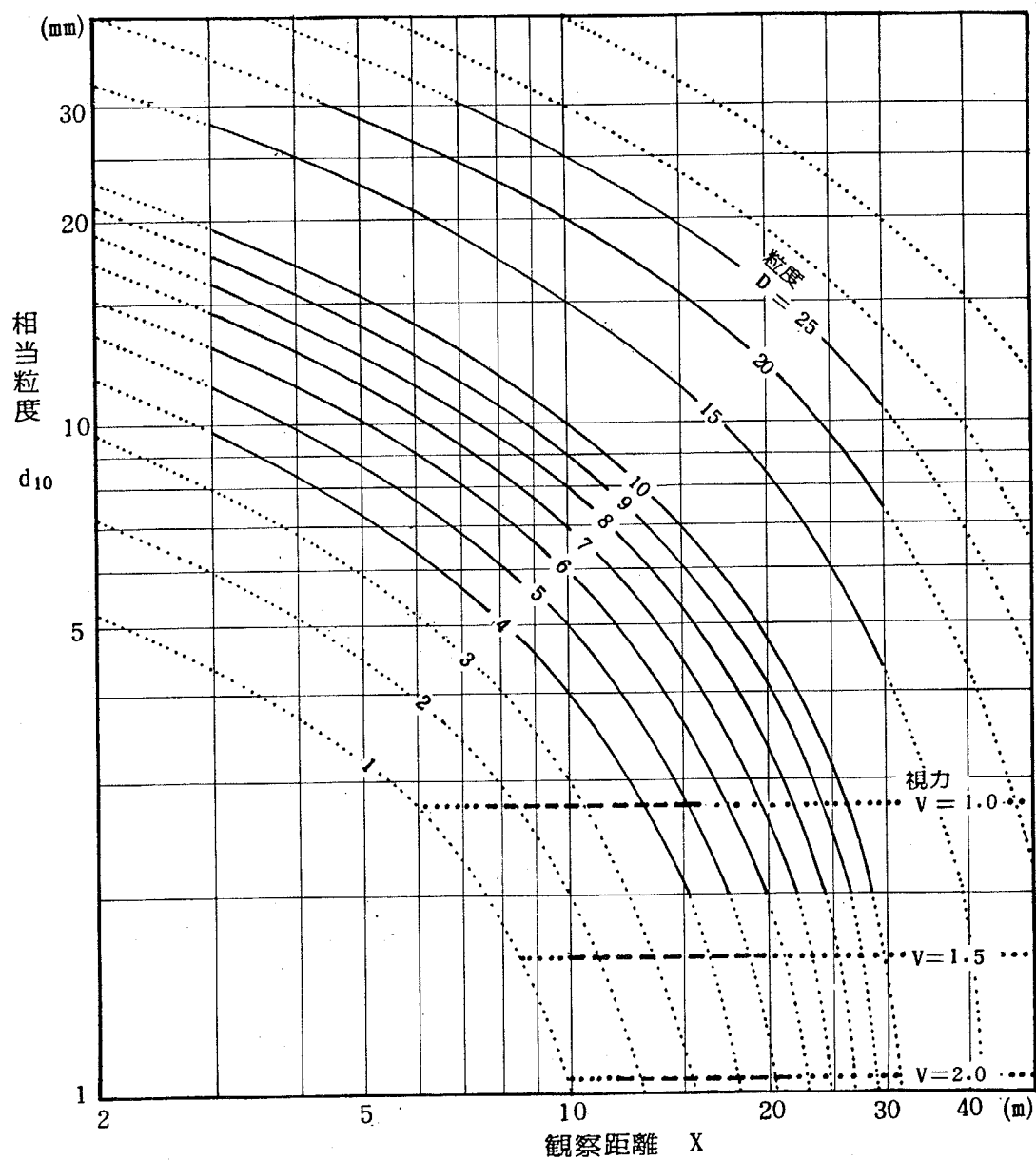


図4-23 観察距離と見えのあらさ(相当粒度 d_{10}) との関係及びその限界の推定
(破線は刺激閾, 点線は実験範囲外を示す)

4-6 結 論

本章では、観察距離と見えのあらさの関係について、2刺激比較の極限法を用いた実験により、以下の結果を得た。

(1) 見えのあらさの観察距離による変動は、一般的には網膜像における粒子の大きさの変動とは比例しない。すなわち、観察距離の変化にともなう見えのあらさの変化率は、観察距離及び視対象のあらさ（粒度）によって異なり、変化率の違いは、視対象表面の粒子の張る視角の関数として表わすことが出来る。視対象の見かけの表面あらさがあらい場合（視角が大である場合）はその変化率が小さく、距離変化による網膜像での変化が過小に評価される恒常性を示し、見かけのあらさがこまかくなるにつれ、変化率が増大して、粒子の張る視角が2分前後で見えのあらさの変動が距離変化、従って網膜像の変化と比例する視角の法則に従うようになる。さらにこまかくなり、平滑に見える直前では視角の法則を越えて距離変化にともなう網膜像の変化が過大に評価される傾向がある。

(2) 見えのあらさと観察距離の関係における観察者の個人差は各観察者の恒常視の傾向を反映しており、見かけ上あらい（視角が大である）視対象に対しては恒常度の程度の差が大きく、個人差が顕著となるが、見かけ上こまかい視対象については、個人差がほとんど見られない。

(3) 見えのあらさの弁別閾は、刺激量と比例するウェーバーの法則が近似的に成立ち、その比例定数である相対弁別閾は、観察者により異なるが、その平均的傾向としては、約0.09である。すなわち、見えのあらさの違いが判断出来る最小の表面あらさの差異は、当該表面のあらさのおおよそ9%前後である。

(4) 観察距離と見えのあらさの関係を定量的に示すため、視対象の表面あらさ（粒度 $D\text{mm}$ ）に対する見えのあらさ（相当粒度 $d\text{mm}$ ）と観察距離（ $X\text{m}$ ）との関係を示す次式を導いた。

$$\log X = \log D - (\log \frac{d}{X_0} + 0.263) (\frac{d}{D})^{0.526} + 0.263$$

ただし X : 観察距離 (m)

X_0 : 標準距離 (m)

D : 表面あらさ (粒度, mm)

d : 見えのあらさ (X_0 における相当粒度, mm)

(5) 上式で示した関係と、第3章において求めた見えのあらさの刺激閾と観察距離との関係を総合して、与えられた観察距離における見えのあらさを予測するための図表を作成した。

第5章 見えのあらさに及ぼす照明条件の影響

1 概 要

2 実験方法

2-1 予備実験

2-2 実験設定

2-3 実験結果の処理方法

3 実験結果および考察

3-1 入射角が見えのあらさに及ぼす影響

3-2 照度が見えのあらさに及ぼす影響

3-3 考 察

4 照明条件による見えのあらさの変動の推定

5 結 論

第5章 見えのあらさに及ぼす照明条件の影響

5-1 概 要

見えのあらさの判断が観察者の受けとる視覚情報に基づいている以上、視対象に対する照明条件の影響を受けることは明らかである。本章では、照射光の照度と入射角が見えのあらさの判断に及ぼす影響について、2刺激比較の極限法により定量的に把握し、その効果について観察者が受けとる視覚像の状態の変化により考察する。

第2節では、予備実験により、照明条件が見えのあらさに及ぼす影響のおよその傾向を把握し、あわせて実験方法について検討して本実験における実験設定を示す。さらに実験の結果得られる観察距離を媒介変数とした。異なる照明条件下の2刺激相互の見えのあらさの等価関係から、見えのあらさと照明条件との関係を導く方法を示す。

第3節では、実験結果より、見えのあらさ（相当粒度）と入射角、および照度との関数関係を求め、照明条件が見えのあらさに及ぼす効果について、観察者が受けとる視覚像の状態の変化により考察する。

第4節では、入射角と照度の両変数間の交互作用を検討したのち、両変数と見えのあらさとの関係をまとめ、照度条件による見えのあらさの変動を推定する関係式を導く。また、見えのあらさの刺激閾について第3章で求めた結果と合わせ、所与の照明条件下における見えのあらさを簡易に予測する図表を作成する。

5-2 実験方法

5-2-1 予備実験

本節では、照明条件が見えのあらさに及ぼす影響のおおよその傾向を把握し、次節以降の本実験での実験設定について検討する。照明条件としては、照射光の色や指向性の強弱なども考えられるが、ここでは見えのあらさに影響し、しかも比較的調整し易いという実験上の都合から照射光の入射角と照度を変数としてとりあげ、その影響について考察する。

実験方法は、第4章と同様の極限法により、等しい粒度をもつ2枚の石膏粒度板を異なる照明条件下で比較観察させ、同じあらさに見える距離の違いから照明条件の影響を求める。粒度 4.9 mm の2枚の石膏粒度板のうち一方の観察距離を固定して標準刺激とし、その照明条件を標準状態と定めた入射角 45° 、照度 155 lx に固定する。他方の、やはり粒度 4.9 mm の石膏粒度板を比較刺激として、その照明条件を逐次変え、比較刺激がそれぞれの照明条件下で標準刺激と等しいあらさに見える観察距離 (X PSE) を求める。比較刺激の照明条件の変動巾は、入射角については照度一定 (155 lx) の下で 30° 、 60° 、 75° の3種、また照度については入射角一定 (45°) で 80、320、1000、2000 lx の4種である。なお入射角、照度はともに粒度板中央における値であり、照度は入射方向の測定値である。

標準刺激の提示距離は 8、10、13 m の3箇所、実験場所、視野の制限などの観察条件は第3章の予備実験に準じているが、極限法の観察における上下降系列は各1回づつとした。

観察者は、両眼視力 1.5 以上の健眼者3名で、いずれも男子大学生である。

実験の結果を同じ見えのあらさを与える観察距離と入射角及び照度との関係で図5-1 及び図5-2 に示す。

図5-1 は、入射角が増し、照射光軸が仕上面法線方向からずれるほど観察距離が大でも同等のあらさに見えることを示しており、入射角が大になる

につれあらさが見かけ上増して知覚される傾向が明らかである。

図 5-2 に示す照度についても同様に、照度が増すにつれより遠くで同じあらさに見える関係があり、照度の増大は見えのあらさを増す効果があることがわかる。

これらの関係をより直感的に把握しやすくするため、入射角および照度と、見えのあらさの知覚量と対応する相当粒度との関係によってそれぞれ表わしたのが図 5-3 および図 5-4 である。相当粒度は、第 4 章で求めた観察距離と粒度の関係から、照明条件の違いによる観察距離の差を距離 10 m における粒度の差に換算して求めている。換算にあたっては、距離と粒度の関係で示される等価あらさ曲線の勾配が観察者によって異なることが予想されるので、あらためて実験によって各観察者ごとの勾配の値を求める必要がある。標準刺激 (4.9 mm) を 10 m の提示距離に固定し、比較刺激として 3.9, 8.2, 12.6 mm の粒度板を用いて、第 4 章と同様の実験により勾配の値を求め換算した。

図 5-3 において、相当粒度 d の対数で表わされた見えのあらさは、入射角 θ の増大にともない一様に増加しており、これを直線的な関係と見なせば、次の関係式 (5-1) を仮定することが出来る。

$$\log d - \log d_0 = b_1 (\theta - \theta_0) \quad (5-1)$$

ただし d_0 : 入射角が標準状態 θ_0 における相当粒度

d : 入射角が θ における相当粒度

b_1 : 定数

図 5-4 における照度変化についても同様に、照度 E の対数と、相当粒度の対数との関係を直線的であると見なせば、下式 (5-2) を得る。

$$\log d - \log d_0 = b_2 (\log E - \log E_0) \quad (5-2)$$

ただし d_0 : 照度が標準状態 E_0 における相当粒度
 d : 照度が E における相当粒度
 b_2 : 定数

以上、予備実験の実験範囲では、見えのあらさ（相当粒度の対数）と入射角、および照度の対数との間に上記の単純な函数関係を仮定したが、厳密にその定量的関係を求めるにはより広範囲の変動について系統的な実験を行う必要がある。また実験設定については、以下の問題点があげられる。

- (1) 標準刺激・比較刺激ともに同じ粒度の石膏粒度板を用いたため、両刺激が接近しすぎ、両者の相対的な位置関係が明らかとなり、標準刺激が比較刺激の距離判断の手がかりを与える結果となった。
- (2) 入射角を変動させる際、入射方向の照度を一定としたため、入射角の変化にともない粒度板表面の見かけの明るさが変化した。その際の見えのあらさの変動は純粹に入射角の変化によるだけでなく、見かけの明るさの変化による効果をも含む結果となった。
- (3) 入射角・照度の変数は、どちらか一方ずつのみ変化させたため、2変数の見えのあらさに及ぼす交互作用については不明である。
- (4) 下方からの照明は、日常あまり経験されないため観察者に不自然な印象を与え、粒度板の凹凸が逆転して観察される場合があった。

5-2-2 実験設定

予備実験によって示唆された、見えのあらさと入射角および照度との関数関係を解明するため、変数の変動範囲を広げ、かつ2変数の交互作用についても吟味するため2変数を同時に系統的に変化させ実験を行う。また照明以外の観察条件との関連をさぐるため、粒度の異なる3種の標準刺激について3箇所の提示距離で実験を行なう。

実験方法はやはり極限法を用いたが、その刺激配置は予備実験と異なり、図5-5に示すようにした。すなわち、照明条件を変動させる粒度板を標準刺激として提示距離を固定し、他方の照明条件を標準状態に保った粒度板を

移動させる比較刺激とした。これにより、照明条件を変える側の粒度板の観察距離が一定で、観察者の網膜における視覚像としては粒子の大きさが一定に保たれ、照明条件による効果だけに限定する事が出来る。

予備実験において下方から照明したのを改め、本実験ではより自然な上方からの照明とした。また標準刺激と比較刺激は粒度の異なる2種の石膏粒度板の組合わせとした。

比較刺激を標準状態として定めた入射角 45° 、照度 1300 lx で照明し、他方の標準刺激の照明条件を逐次変動させる。その変動幅は、入射角は $15^\circ \sim 75^\circ$ までの5段階、照度は $50 \text{ lx} \sim 6900 \text{ lx}$ まで対数尺度上で出来る限り等間隔にした6段階である。本実験における照度は、予備実験で入射方向に垂直な面での照度（法線照度）としたのを改め、粒度板面の被照面照度（板面照度、以下単に照度と呼ぶ）を測定した。したがって入射角が増すにつれ照度を一定に保つためには光源の明るさを増す必要がある。刺激として用いた石膏粒度板の粒度は標準刺激—比較刺激をそれぞれ $3.9 - 8.6$ 、 $8.6 - 20$ 、 $20 - 26.9 \text{ mm}$ の3種、標準刺激の提示距離は 5 、 10 、 20 m の3箇所を設定した。当初上記の変数の組み合わせ、延べ270通りの実験設定を計画したが、実際には、照明条件と距離により、見えのあらさが知覚出来ない場合が51通り、また実験装置の都合で、入射角を大きくした場合に規定の受照面照度が得られない場合が18通りあり、実験が行なえたのは201通りである。

観察者は男子大学生・大学院生9名、両眼視力（矯正視力を含む）1.5以上である。全員の観察者に201通りの実験を行うのが困難であったので、標準刺激の粒度 8.6 mm 、提示距離 10 m についてのみ全員の観察者で実験を行ない、他の実験設定については、9名からランダムに抽出した1名による実験を行なった。

全観察者のデータを1組として扱うことの妥当性を検討するため、全員の観察者が行なった実験の結果を用いて、照明条件による見えのあらさの変動の個人差について分散分析（乱塊法）を行なった。その結果を表5-1に示す。観察者の判断が同様であるとの仮定のもとで、得られた結果の表われる確率が、照度変化に対しては5%をこえ、また入射角の変化においても5%をやや下まわる程度であるので、仮定を受け入れて観察者の判断を等質であ

ると考えた。すなわち、観察者が本実験に関して共通母集団に属していると思なし、ランダムに抽出した観察者 1 名ずつによる実験を妥当と考えた。

実験場所は、本学建築棟 3 階中廊下、実験は夜間消灯時に行なった。

5-2-3 実験結果の処理方法

極限法による実験データから標準刺激と比較刺激の主観的等価点 (PSE) を求める方法は前章 4-2 で示したと同様である。照明条件の異なる 2 刺激が同じあらさに見える距離 (X_{PSE}) から、照明条件による見えのあらさの変動を求める方法の概念図を図 5-6 に示す。前章におけると同様、本章においても見えのあらさを定量的に表わすために相当粒度を用いる。相当粒度は、前章で定義した通り、「粒度、観察距離、その他照明などの観察条件の違いによってさまざまに異なって見えるあらさの程度を、観察距離などの条件を一定の標準状態としたとき同等のあらさに見える粒度によって表わしたもの」である。

図 5-6 に示した概念図中、A は粒度 D_0 の石膏粒度板が距離 X_0 に提示された標準刺激を示し、B は A の照明条件が比較刺激と同じ標準状態であるとき同じあらさに見える比較刺激を示している。すなわち A と B を結ぶ曲線

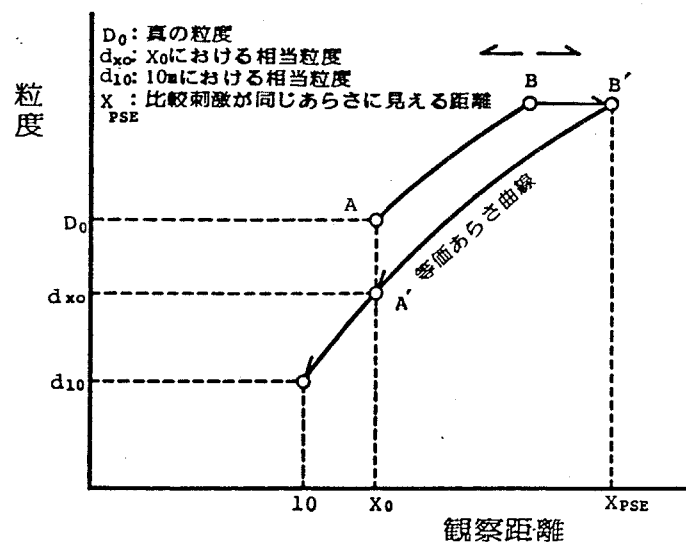


図 5-6 照明条件による見えのあらさの変動を相当粒度の変動として求める方法

は前章で求めた粒度と距離との関係を示す等価あらし曲線を示している。いま A の標準刺激の照明条件を変えたとき、その見えのあらしが変化したとすると、B の比較刺激とは同じあらしに見えるが、距離を適当に調整することにより、同じあらしに見える比較刺激 B' を求めることが出来る。この距離が本実験において求める主観的等価距離 X_{PSE} である。次に前章で求めた距離と粒度との関係を用いて、A と同じ距離において標準状態の照明下で、B' と同じあらしに見える粒度、すなわち A の相当粒度 A' を求めることが出来る。換言すれば、観察距離 X_o における標準刺激の照明条件の変化による見えのあらしの変動を、それと同じ見えのあらしを与える比較刺激の距離変動を媒介として、同じ観察距離における粒度の変動として、相当粒度によって表わすのである。

実際に実験によって求められる X_{PSE} から相当粒度を求める際には、距離と粒度の関係を示す等価あらし曲線の勾配に、前章 4-3-3 で示したように、個人差が予想されるので、本実験の観察者各々についてあらためて勾配を求める必要がある。そこで本実験の実験設定（標準刺激の提示距離 3 箇所、粒度の組合せ 3 組）について、前章と同様の実験を行ない、各観察者の実験設定ごとの勾配を求め、それにより X_{PSE} から相当粒度に変換した。これにより、実験により直接得られた X_{PSE} の値では観察者間でばらつきが見られたのにもかかわらず、相当粒度に変換後の値では、前述のように観察者間で有意な個人差が認められない程度に収束する結果を得た。

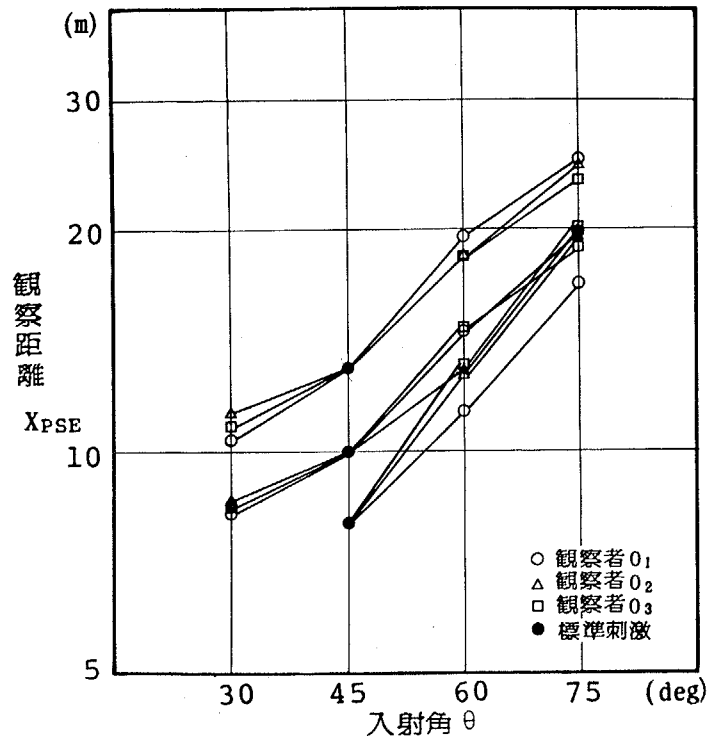


図 5-1 予備実験の結果 I : 同じ見えのあらさを与える
観察距離 (X_{PSE}) と入射角 (θ) との関係

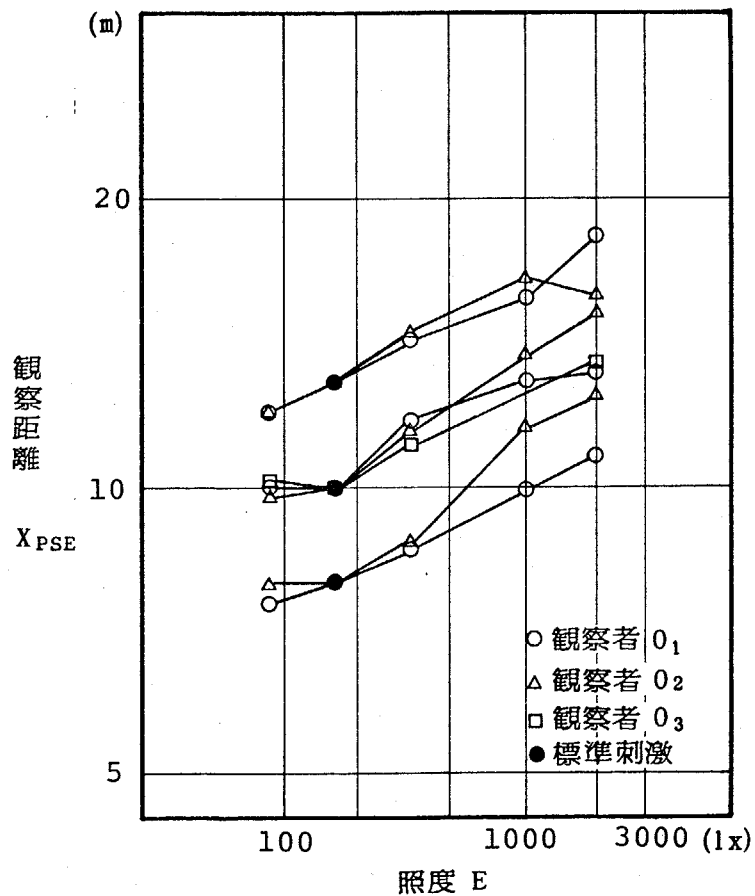


図 5-2 予備実験の結果 II : 同じ見えのあらさを与える
観察距離 (X_{PSE}) と照度 (E) との関係

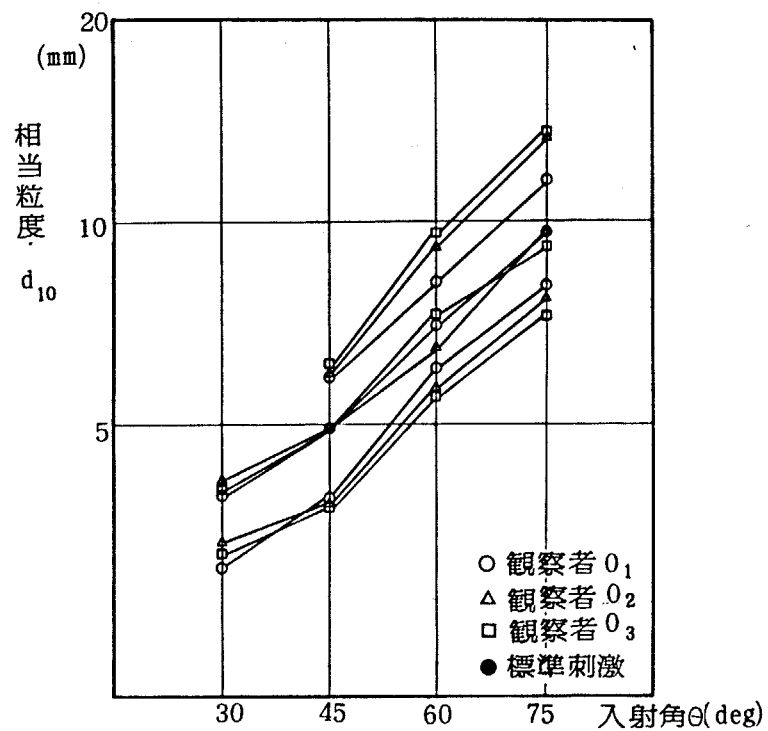


図 5-3 観察距離10mにおける相当粒度(d_{10})と入射角(θ)との関係 (予備実験)

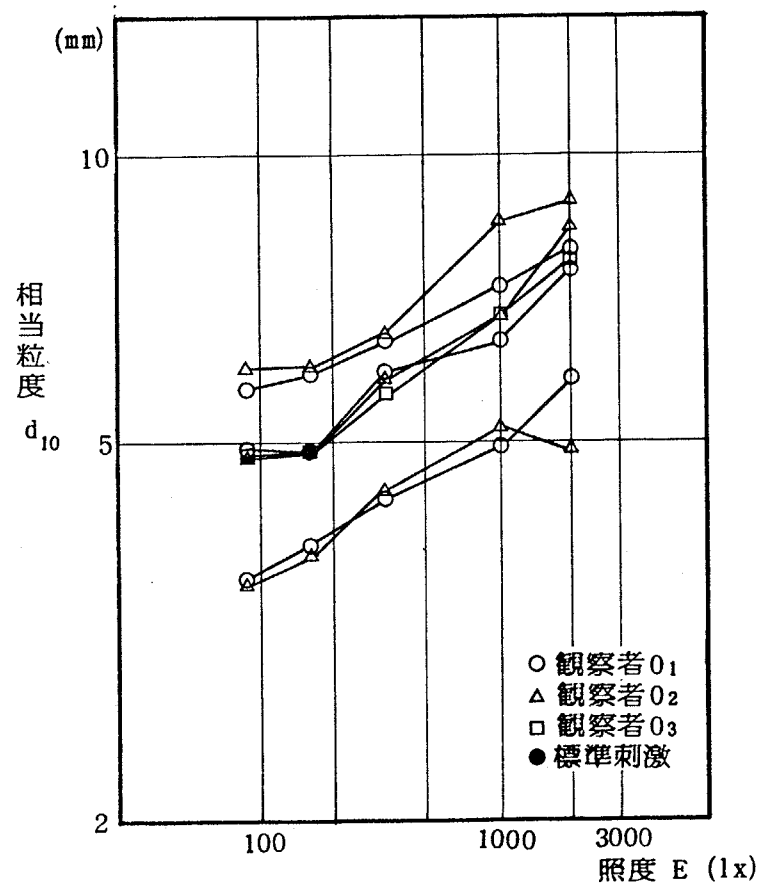


図 5-4 観察距離10mにおける相当粒度(d_{10})と照度(E)との関係 (予備実験)

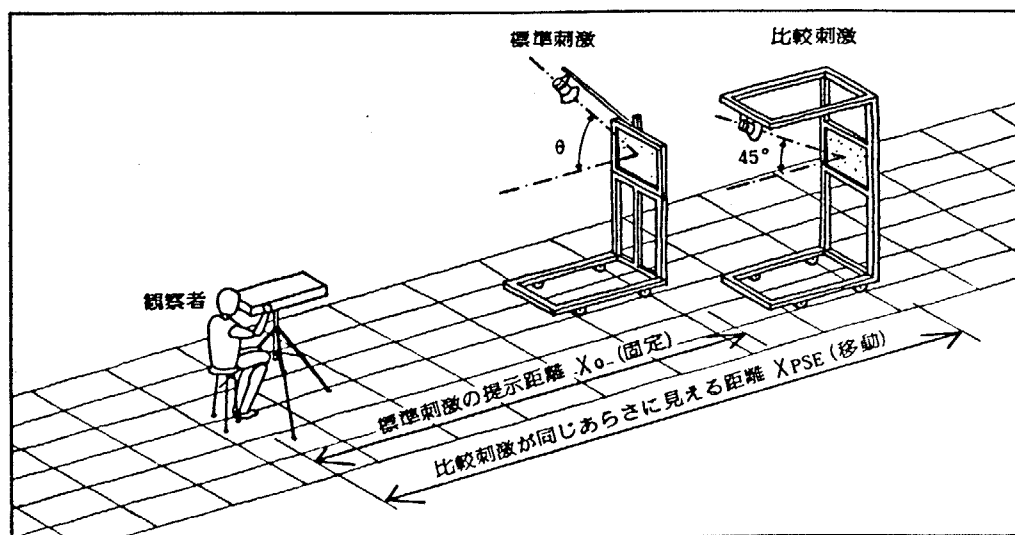


図 5-5 照明条件が見えのあらさに及ぼす影響を求める実験状況

表 5-1 分散分析表

(1) 照度変化による影響の個人差の検定 ($D=8.6\text{mm} \cdot X=10\text{m} \cdot \theta=45^\circ$)					
変動因 SV	偏差平方和 SS	自由度 df	分散の推定値 MS	F 比	有意性
照度 E	8.500	4	2.125	24.10	$p < 0.01$
観察者 O	1.096	8	0.137	1.55	$p > 0.05$
残差	2.822	32	0.088		
全体	12.418	44			
(2) 入射角変化による影響の個人差の検定 ($D=8.6\text{mm} \cdot X=10\text{m} \cdot E=1300\text{lx}$)					
変動因 SV	偏差平方和 SS	自由度 df	分散の推定値 MS	F 比	有意性
入射角 θ	47.543	4	11.886	81.41	$p < 0.01$
観察者 O	2.743	8	0.343	2.35	$0.025 < p < 0.05$
残差	4.679	32	0.146		
全体	54.963	44			

5-3 実験結果および考察

5-3-1 入射角が見えのあらさに及ぼす影響

実験結果より、照射光の入射角と相当粒度の関係を図 5-7 に標準刺激の提示距離ごとに示す。この図より、入射角が見えのあらさに及ぼす影響の度合が、観察距離および視対象の粒度の異なる実験設定ごとに変化する傾向が見てとれる。すなわち、観察距離が同じであれば、粒度がこまかい程入射角の変化による見えのあらさ（相当粒度）の変動が大であり、同じあらさの粒度であれば、観察距離が遠い程変動が大きく表われている。

見えのあらさの変動が明らかに表われている実験設定においては、入射角以外の変数である観察距離、粒度、照度が一定の条件下で、入射角 θ と相当粒度 d の対数との間に予備実験と同様の直線的な相関関係が見られ、予備実験で与えた関係式（5-1）が適用し得る。

$$\log d - \log d_0 = b_1 (\theta - \theta_0) \quad (5-1: \text{再掲})$$

ただし d_0 : 入射角が標準状態 θ_0 における相当粒度
 d : 入射角が θ における相当粒度
 b_1 : 定数

ただし、予備実験において一定と考えた回帰直線の傾き b_1 は他の観察条件（観察距離・粒度）によって変動し、入射角が見えのあらさに及ぼす影響の度合を示す一種の係数と考える必要がある。すでに述べたように、変動の度合、すなわち傾き b_1 は、観察距離が遠い程、また粒度がこまかい程大きい。これは観察者の受けとる視覚像においては、視対象粒子の大きさ、すなわち粒子の張る視角が小である程変動が大であると解釈される。

表 5-2 は、各実験設定ごとの視対象粒子の張る視角と回帰直線の傾きを

求め、その関係を見たものである。表中下方の視角が約 0.002 rad (約 7') 以上の大きな範囲では相関係数が低く、入射角と見えのあらさの間に相関関係のないことを示している。また視角がそれより小さくて相関が見られる範囲では、視角が小さくなるにつれ回帰直線の傾き b_1 が徐々に大きな値をとる傾向を示している。

図 5-8 は上述の関係をより明らかにするため、視角 ϕ の対数を横軸、回帰直線の傾き b_1 を縦軸にとり相互の関係を示したものである。この図より、実験設定による回帰直線の傾きの変動が視角によってよく説明されるので、傾き b_1 を視角 ϕ の従属変数と考え、直線回帰して最小二乗法により次式 (5-3) を求めた。ただし、図中の回帰直線の X 切片にあたる視角 $\phi = 0.002$ rad をこえる範囲では b が負の値をとるが、表 5-2 に示した様にその範囲では相関が見られないので、関係式を場合分けし、 ϕ の値によって適用範囲を限定している。

$$(1) \quad \phi < 0.002$$

$$b_1 = k_1 \log \phi + k_2 \quad (5-3)$$

$$\text{ただし} \quad \begin{aligned} k_1 &= -0.0122 \\ k_2 &= -0.033 \end{aligned}$$

$$(2) \quad \phi \geq 0.002$$

$$b_1 = 0$$

先に求めた式 (5-1) における b_1 に上式 of 関係を置き換え、観察条件による変動を含んだ、入射角の見えのあらさに及ぼす影響を示す関係式を得る。関係式はやはり視角 ϕ の大小により場合に分けて与えられる。

$$(1) \quad \phi < 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = (k_1 \log \phi + k_2) \cdot (\theta - \theta_0) \quad (5-4)$$

$$(2) \quad \phi \geq 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = 0$$

上式による変動の推定と実験結果との対応を吟味するため、まず上式より観察距離 10 m における粒度 D の視対象について、入射角 θ による見えのあらさの変動を推定する関係式を求める。上式における視角 ϕ を粒度 D を観察距離 X で除した D/X に置き換え、各定数値を代入して次式 (5-5) を得る。

$$(1) \phi < 0.002 \quad (D < 20\text{mm}) \quad (5-5)$$

$$\log d = (-0.0122 \log \frac{D}{10^4} - 0.033) (\theta - 45) + \log d_0$$

$$(2) \phi \geq 0.002 \quad (D \geq 20\text{mm})$$

$$\log d - \log d_0 = 0$$

図 5-9 は、粒度 D の値を 1 mm から順次変え、各粒度について上式による推定値を示している。また図 5-10 には、全ての実験結果を観察距離 10 m での相当粒度に換算して示している。両図はよく対応しており、入射角による見えのあらさの変動の度合が、視対象粒子の張る視角に依存しているとの仮定に基く理論式により、実験結果のおおよその傾向を表わす事が出来ると考えられる。

5-3-2 照度が見えのあらさに及ぼす影響

実験結果を、照度 E の対数を横軸、相当粒度 d の対数を縦軸にとり図 5-11 に示す。照度による影響の度合が、観察距離および粒度によって異なる傾向は、入射角の場合とほぼ同様である。

見えのあらさの変動が見られる実験設定においては、予備実験で仮定した相関関係が見られ、照度 E と相当粒度 d の間に次式 (5-2) を仮定することが出来る。

$$\log d - \log d_0 = b_2 (\log E - \log E_0) \quad (5-2: \text{再掲})$$

ただし d_0 : 照度が標準状態 E_0 における相当粒度

d : 照度が E における相当粒度

b_2 : 定数

ただし予備実験では含まれなかった照度 3000 lx 以上の範囲では、見えのあらさの変動がほとんど見られず、3000 lx あたりが照度による影響の上限と考えることも出来るが、本実験の結果からは不明である。また 3000 lx 以上の範囲は、実験装置の都合上所要の照度を得られなかった場合も多く、実験データがそろっていないので分析対象から除外するのが適当と考えた。したがって以降の考察は 3000 lx 以下の照度変化を対象としている。

照度による影響の度合が観察距離が遠い程、また粒度がこまかい程大であることから、上式(5-2)における直線の傾き b_2 はやはり視角 ϕ との関係が予想される。

表 5-3 は、実験設定ごとの回帰直線の傾きと相関係数を示している。入射角の場合と同様、視角 ϕ が 0.002 rad よりも大きくなると相関が見られなくなり、それよりこまかい範囲では、図 5-12 に示すように視角の減小とともに傾き b_2 は大きな値をとる。入射角の場合に比べばらつきは大であるが、同様に傾き b_2 を視角 ϕ の関数と考え、次式(5-6)を求める。この関係式は、図中の傾き b_2 の視角 ϕ への回帰直線の X 切片である視角 $\phi = 0.0022$ rad (約 7.6') を境界として、やはり場合に分けて与えられる。

$$(1) \phi < 0.0022$$

$$b_2 = k_3 \log \phi + k_4 \quad (5-6)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし} \quad k_3 &= -0.156 \\ k_4 &= -0.413 \end{aligned}$$

$$(2) \phi \geq 0.0022$$

$$b_2 = 0$$

式(5-1)と式(5-6)より、観察距離、粒度の観察条件の違いによる変動を含む関係式を得る。

$$(1) \phi < 0.0022$$

$$\log d - \log d_0 = (k_3 \log \phi + k_4)(\log E - \log E_0) \quad (5-7)$$

$$(2) \phi \geq 0.0022$$

$$\log d - \log d_0 = 0$$

上式より、観察距離 10 m、粒度 D における照度 E による見えのあらさの変動の推定式 (5-8) を求め、図 5-13 に示すように、粒度ごとの変動の推定を行ない、図 5-14 に示す実験値との対応を吟味した。なお実験値のうち提示距離 10 m 以外の実験結果については、観察距離 10 m における相当粒度に換算した値で示している。

$$(1) \phi < 0.0022 \quad (D < 22mm) \quad (5-8)$$

$$\log d = (-0.156 \log \frac{D}{10^4} - 0.413)(\log E - \log 1300) + \log d_0$$

$$(2) \phi \geq 0.0022 \quad (D \geq 22mm)$$

$$\log d - \log d_0 = 0$$

両図より、見えのあらさに対する照度の影響が、見かけ上のあらさが増大するにつれ弱くなる全体的な傾向を推定式はよく表わしていると考えられる。

5-3-3 考 察

照明条件が見えのあらさに及ぼす影響は、予備実験の結果から導かれた、入射角の増大、照度の上昇にともない見えのあらさが増大するという単純な関係にとどまらず、観察対象の見かけのあらさ、厳密には視対象表面の構成粒子の張る視角によってその影響の度合が異なることが明らかになった。

照明条件が見えのあらさに影響を及ぼさなくなる限界は、入射角、照度の両変動要因ともに、視対象粒子の張る視角が約 0.002 rad (約 7 分) 前後で

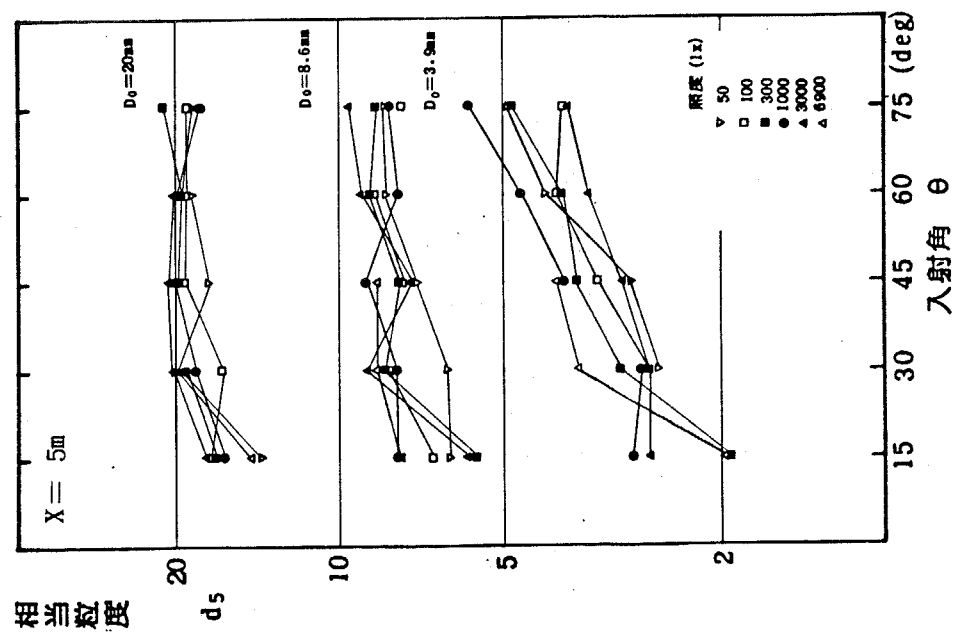
あり、それより視角が小さい範囲では、視角の減小にともない、入射角・照度による影響がともに直線的に増大する傾向が見られた。

視対象の粒度がこまかい範囲における照明条件の影響は、観察者の受けとる視覚像（網膜像）が照明条件によって変化するためであると考えられる。第3章3-3-3において見えのあらさの刺激閾に対する照明条件の影響について考察したのと同様、観察者の網膜像と対応する投射像により、照明条件が見えのあらさに及ぼす影響について考察する。

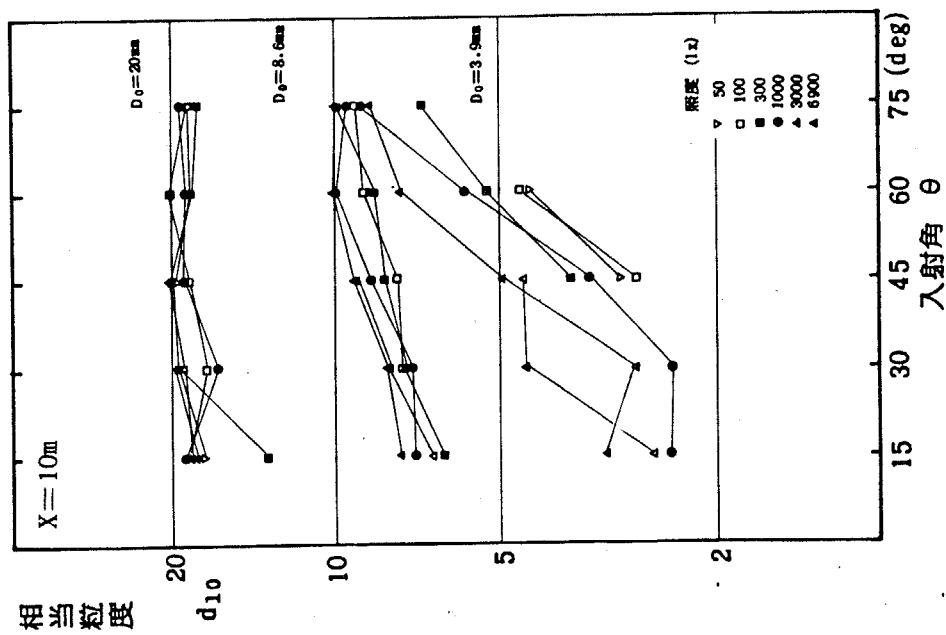
入射角の変化は、投射像において、第3章図3-15および図3-18に示したように明部暗部の面積比率の変動と明暗のコントラスト（輝度勾配）の変動をとまなう。投射像における粒子径（視角）が非常にこまかい範囲では、表面の凹凸感は、個々の球状粒子の立体的な印象によるよりも、明部を背景とした微小な黒点（陰影部分）の知覚によるもので、その凹凸の深さの程度は黒点の濃淡、すなわち背景とのコントラストによって判断されることが考えられる。よりコントラストが大きく暗い点は深い表面凹凸の印象を与え、コントラストが小で濃淡が弱い場合は浅い印象を与えられ、見えのあらさの知覚判断には、第2章2-2で示したように、視対象表面の断面波形における幅（投射像における粒子径）だけでなく深さ方向の次元も影響することから、入射角の増大により濃淡のコントラストが強くなった場合、見かけ上よりあらく感じられると考えられる。この効果は、粒子径が大きくなるにつれ弱くなり、最後には効果を示さなくなるが、それは粒子がある程度以上大きくなると、表面凹凸の深さ方向の判断が、個々の球状粒子の立体的印象に依存するようになるためと考えられる。また入射角の増大による陰影部分の面積増加は、投射像における粒径が微小で粒子自体の立体的な手がかりのない範囲で、やはり表面凹凸の深さ方向を強調すると考えられ、見えのあらさの増大に寄与していると考えられる。

照度上昇による影響は、投射像としては平均輝度の上昇として表われ、観察者の視力上昇をもたらす（文献29）。視力の上昇は、投射像における微小な黒点（陰影部分）と背景との濃淡のパターンをより鮮明に知覚させることになるが、その鮮明さがやはり表面凹凸の深さ方向の印象を強調することにより、見えのあらさの増大に寄与すると考えられる。

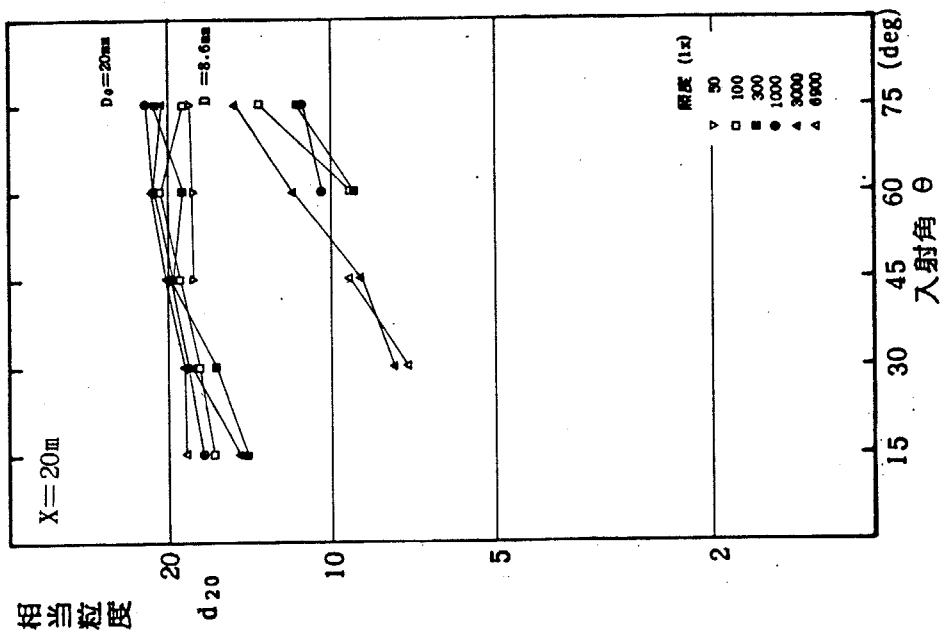
入射角・照度の見えのあらさに及ぼす影響の度合が投射像における粒径（視角）により変動するのは、表面凹凸の深さの知覚が、粒径（視角）の大きな範囲では照明条件の影響をほとんど受けない粒子自体の立体的印象に基づいているのに対し、粒径（視角）がより小さな範囲では、小さくなるにつれ粒子自体の立体視が不可能になり、照度条件に影響をうける陰影と背景とのコントラスト、陰影の面積、あるいは濃淡のパターンの鮮明さなどに基き判断されるようになるためと考えられる。



(標準刺激の提示距離5mの場合)



(標準刺激の提示距離10mの場合)



(標準刺激の提示距離20mの場合)

図 5-7 各実験設定における相当粒度(d)と入射角(θ)との関係

表 5-2 実験設定ごとの入射角と相当粒度の回帰直線の傾き

実験設定			本実験					予備実験		
粒度	提示距離	視角	照度条件 (lx)					照度 115 lx (固定)		
D(mm)	X (m)	$\phi (\times 10^{-3} \text{ rad})$	50	100	300	1000	3000	01	02	03
4.9	13	0.38						9.7	8.5	8.5
								0.99	0.99	0.99
3.9	10	0.39	—	—	—	10.3	8.7			
						0.96	0.94			
8.6	20	0.43	—	—	—	—	6.7			
							0.99			
4.9	10	0.49						8.9	8.3	8.3
								0.99	0.98	0.99
3.9	5	0.78	6.6	3.9	6.3	5.5	2.0			
			0.97	0.90	0.94	0.97	0.97			
8.6	10	0.86	—	2.2	3.1	2.5	2.3			
				0.98	0.98	0.91	0.96			
20	20	1.00	—	1.2	2.7	1.8	(2.5)			
				0.77	0.90	0.99	0.85			
8.6	5	1.73	2.2	2.1	1.8	1.2	1.6			
			0.97	0.95	0.93	0.77	0.95			
20	10	2.00	0.1	0.3	1.7	0.5	0.3			
			0.19	0.34	0.56	0.39	0.56			
20	5	4.00	1.4	0.9	(1.3)	0.7	0.4			
			0.58	0.72	0.89	0.48	0.29			

上段：回帰直線の傾き ($\times 10^{-3}$) 太字は相関係数0.80 以上

下段：相関係数

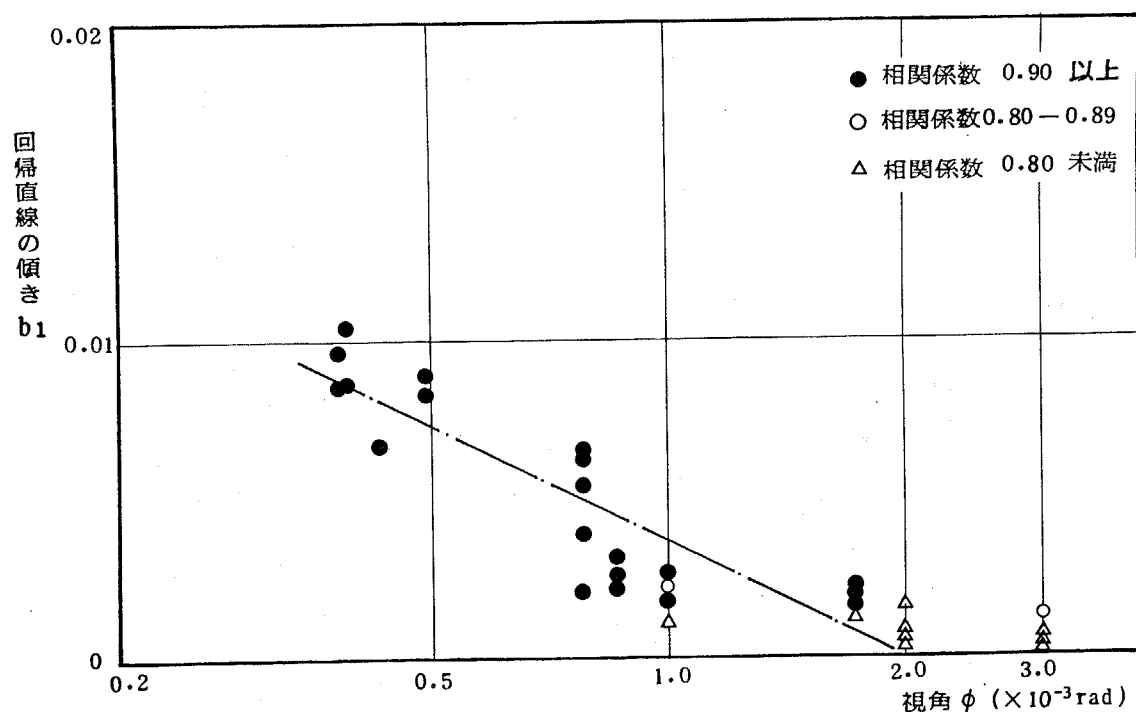


図 5-8 入射角と相当粒度の回帰直線の傾き b_1 と視角 ϕ との関係

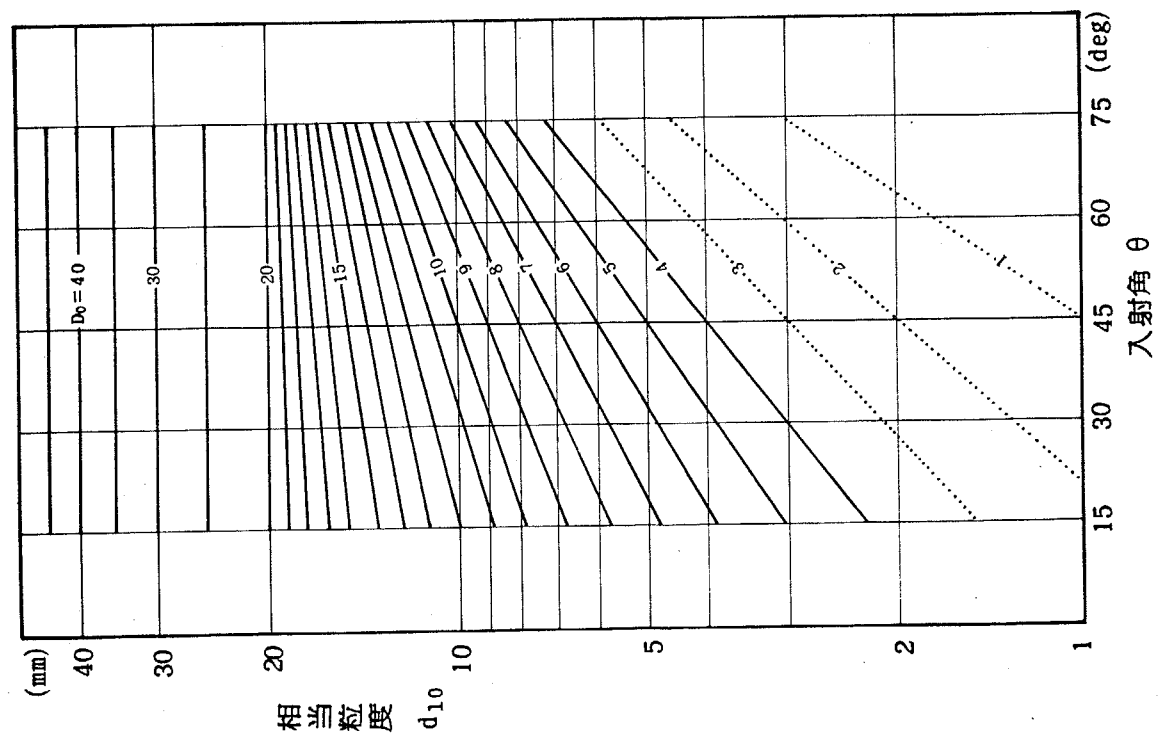


図5-9 入射角変化による見えのあらさ(相当粒度)の変動の推定 (45°を標準とした場合)

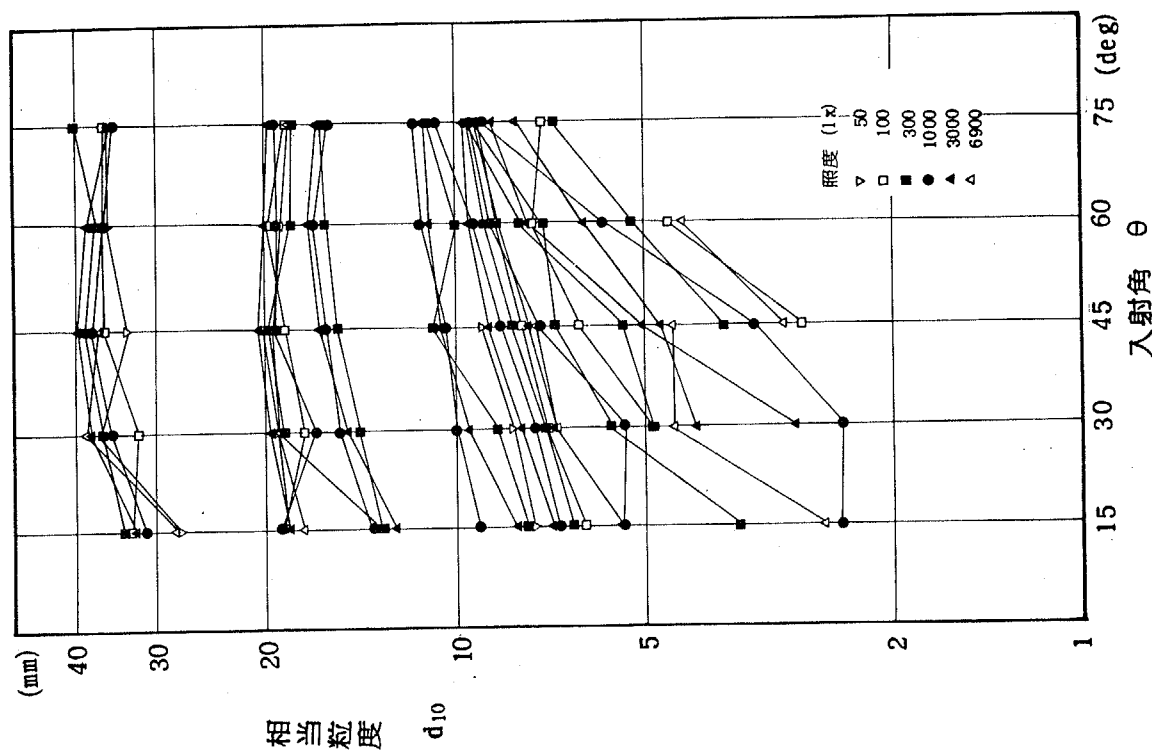


図5-10 観察距離10mmにおける相当粒度(d_{10})と入射角(θ)との関係 (全実験設定の結果)

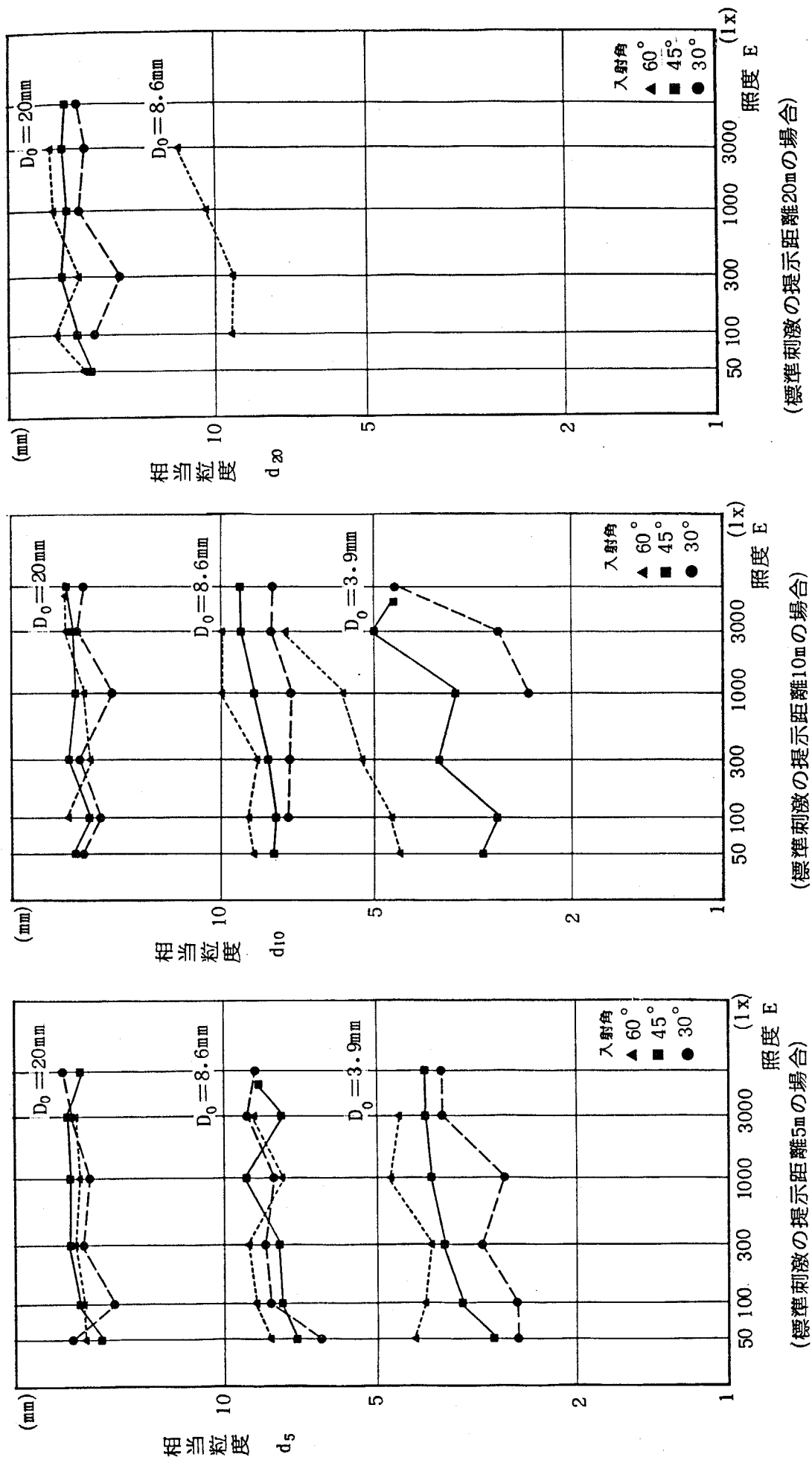


図5-11 各実験設定における相当粒度(d)と照度(E)との関係

表 5-3 実験設定ごとの照度と相当粒度の回帰直線の傾き

実験設定			本実験					予備実験	
粒度	提示距離	視角	入射角条件					入射角 45° (固定)	
D(mm)	X(m)	$\phi (\times 10^{-3} \text{ rad})$	15°	30°	45°	60°	75°	0 ₁	0 ₂
4.9	13	0.38						14.4	11.0
								0.99	0.94
3.9	10	0.39	—	—	(11.8)	12.7	—		
					0.87	0.97			
8.6	20	0.43	—	—	—	7.8	2.6		
						0.92	0.35		
4.9	10	0.49						9.0	14.0
								0.98	0.99
4.9	8	0.61						10.4	13.6
								0.99	0.97
3.9	5	0.78	4.4	(7.6)	7.2	3.1	3.8		
			0.22	0.85	0.91	0.67	0.44		
8.6	10	0.86	—	2.7	3.7	2.4	0.7		
				0.96	0.99	0.96	0.31		
20	20	1.00	1.8	2.1	(2.5)	3.1	(4.0)		
			0.29	0.53	0.83	0.68	0.81		
8.6	5	1.73	3.5	2.9	2.2	1.9	0.6		
			0.99	0.90	0.97	0.97	0.39		
20	10	2.00	1.2	0.1	0.9	0.2	(1.5)		
			0.13	0.02	0.51	0.07	0.84		
20	5	4.00	2.8	1.4	(3.0)	(1.3)	0.9		
			0.52	0.30	0.82	0.83	0.22		

上段：回帰直線の傾き ($\times 10^{-2}$) 太字は相関係数0.80 以上

下段：相関係数

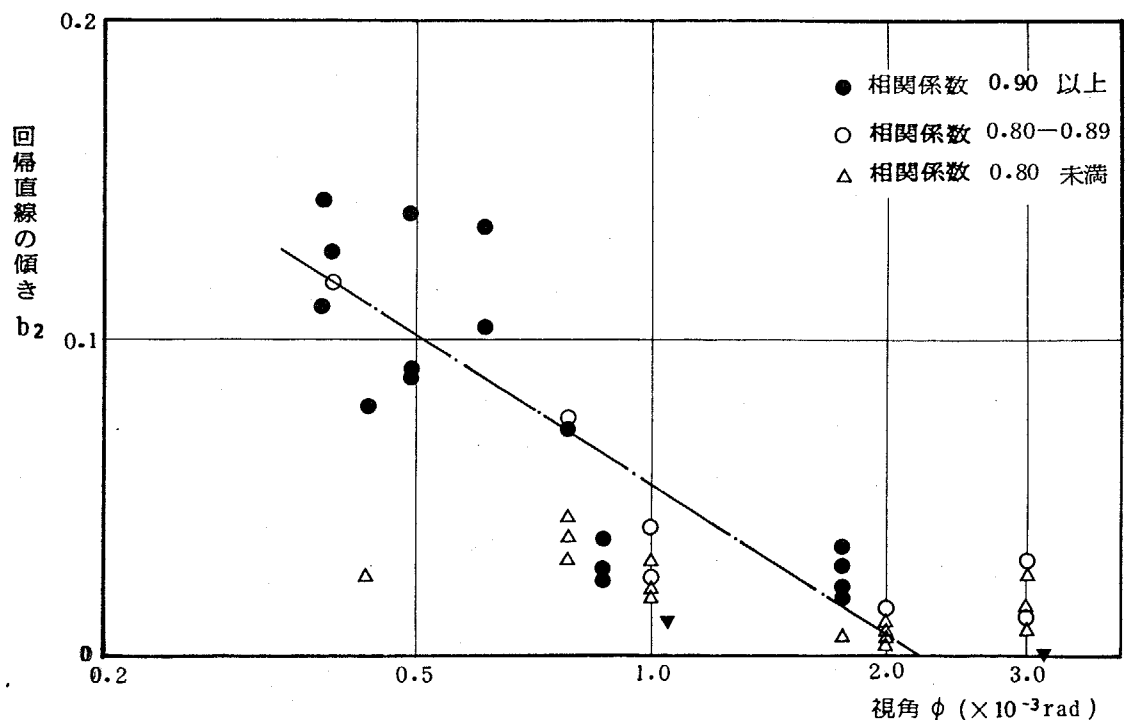


図 5-12 照度と相当粒度の回帰直線の傾き b_2 と視角 ϕ との関係

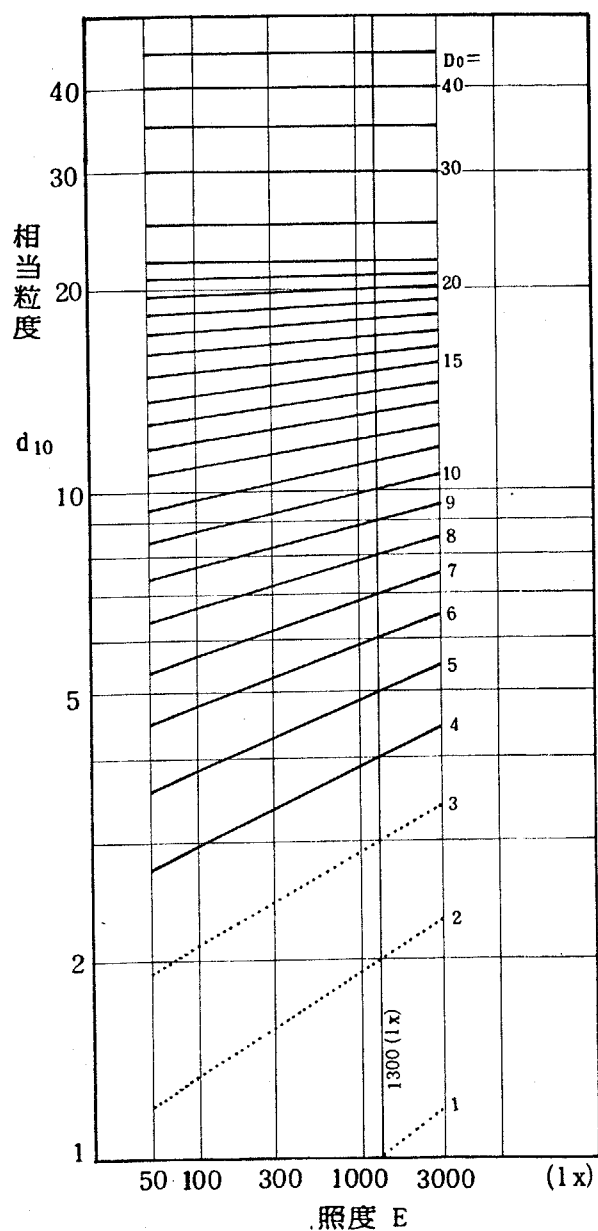


図5-13 照度変化による見えのあらさ
(相当粒度)の変動の推定
(1300 lx を標準とした場合)

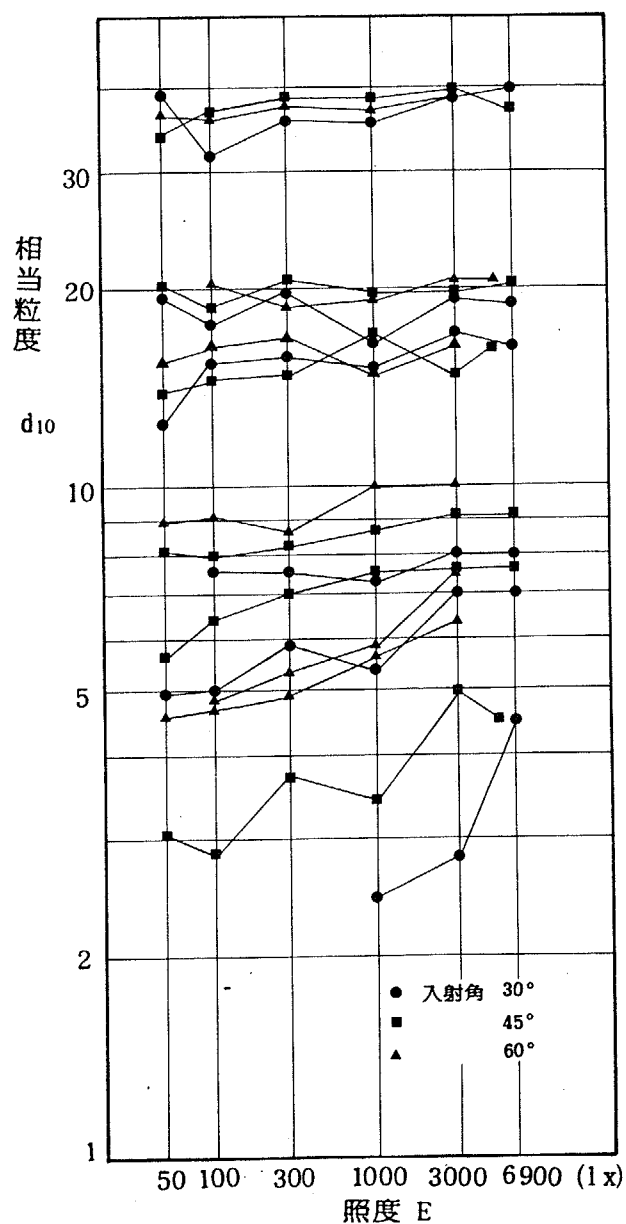


図5-14 観察距離10mにおける相当粒度(d_{10})
と照度(E)との関係
(入射角 $15^\circ 75^\circ$ をのぞく全実験設定の結果)

5-4 照明条件による見えのあらさの変動の推定

前節において、照明条件のうち照射光の入射角と照度についてそれぞれ見えのあらさとの関係を求めたが、本節ではそれらをまとめ、入射角と照度の条件が与えられたときに予想される見えのあらさ（相当粒度）を求める推定式を導く。

図5-7 および図5-11に示した実験結果から、見えのあらさに対する影響において入射角と照度との間に明らかな相乗効果あるいは相殺効果などが見られないので両変数間に交互作用がないものと仮定し、式(5-4)と式(5-7)を線型的に結合して、両変数を含む見えのあらさの変動の推定式(5-9)を導くことが出来る。

$$\begin{aligned}\log d - \log d_0 = & (k_1 \log \phi + k_2) \cdot (\theta - \theta_0) \\ & + (k_3 \log \phi + k_4) (\log E - \log E_0)\end{aligned}\quad (5-9)$$

上式において、入射角による変動を示す右辺第1項、照度による変動を示す第2項にそれぞれ視角 ϕ の変数が含まれているが、この視角 ϕ の変数によって、両項がくぐれないかと考える。すなわち、前節において、視角が入射角と照度による変動に及ぼす影響が同じ原因、すなわち構成粒子の立体視の程度の違いによって生じるとした仮定を関係式に反映させられないかと考えるのである。

そこで、入射角および照度が見えのあらさに影響を及ぼす範囲に着目すると、視対象表面の構成粒子の張る視角 ϕ がそれぞれ0.002 rad（約7分）と0.0022 rad（約7.6分）で接近しており、その値を求めた図5-8 および5-12に示す傾き b_1 および b_2 と視角 ϕ との関係における分散の程度から考えれば、0.002 radと0.0022 radの差を無視して同一であると見なしてもよさそうである。この仮定を受け入れれば、式(5-9)の入射角および照度による変動をそれぞれ示している2つの項における視角の変数 ϕ を共通の影響

係数としてくり出すことが出来る。以下その手順を示す。

まず、前節で求めた式(5-4)および式(5-7)を変形し、 $k_1 \sim k_4$ の定数を代入して次式(5-4')および(5-7')を得る。

$$\phi < 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = (k_1 \log \phi + k_2) \cdot (\theta - \theta_0) \quad (5-4: \text{再掲})$$

$$= (\log \phi + \frac{k_2}{k_1}) \cdot k_1 \cdot (\theta - \theta_0)$$

$$\log d - \log d_0 = (\log \phi - \log 0.002) \cdot (-0.0122) \cdot (\theta - \theta_0)$$

$$(5-4')$$

$$\phi < 0.0022$$

$$\log d - \log d_0 = (k_3 \log \phi + k_4) (\log E - \log E_0) \quad (5-7: \text{再掲})$$

$$= (\log \phi + \frac{k_4}{k_3}) \cdot k_3 \cdot (\log E - \log E_0)$$

$$\log d - \log d_0 = (\log \phi - \log 0.0022) \cdot (-0.156) \cdot (\log E - \log E_0)$$

$$(5-7')$$

式(5-7')における0.0022の値を近似的に0.002と同一とみなして置き換えるため、あらためて図5-12において0.002をX切片とする回帰直線を求め、次式(5-7'')を導く。

$$\phi < 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = (\log \phi - \log 0.002) \cdot (-0.175) \cdot (\log E - \log E_0)$$

$$(5-7'')$$

式(5-4')および式(5-7'')により、あらためて入射角と照度の変数を含む見えのあらさの変動を予測する推定式(5-10)を導く。

$$(1) \phi < 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = -(\log \phi - \log 0.002) \cdot$$

$$\{ 0.0122(\theta - \theta_0) + 0.175(\log E - \log E_0) \}$$

$$(5-10)$$

$$(2) \phi \geq 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = 0$$

上式は、見えのあらさに及ぼす入射角と照度の影響がともに視対象表面の構成粒子の張る視角 ϕ により変動することを示す第1括弧と、それぞれ重みづけられた入射角と照度の効果を総合した照明条件の影響を示す第2括弧との積によって、見えのあらさ（相当粒度）の変動が表わされている。視角 ϕ は近似的に視対象の粒度 D を観察距離で除した D/X によって表わされるので上式は次の様にも表わすことが出来る。

$$(1) \frac{D}{X} < 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = -(\log \frac{D}{X} - \log 0.002) \cdot$$

$$\{ 0.0122(\theta - \theta_0) + 0.175(\log E - \log E_0) \}$$

(5-10')

$$(2) \frac{D}{X} \geq 0.002$$

$$\log d - \log d_0 = 0$$

ただし d_0 : 入射角および照度が標準状態 $\theta_0 \cdot E_0$ における相当粒度 (mm)

d : 入射角 θ ・照度 E の照明条件における相当粒度 (mm)

D : 刺激の粒度 (mm)

X : 観察距離 (mm)

以上のようにしていくつかの仮定に基づき設定した理論式 (5-10')を用い、実際に実験を行なった各実験設定における粒度 D 、観察距離 X 、入射角、照度 E の値を代入して推定値をそれぞれ求め、実験値との対応を検討する。図5-15に示すように、推定値と実験値はよく対応しており、その相関係数は0.98で、推定の誤差の標準偏差は対数尺度上で0.056、推定値に対して14%以内に納まっている。

照明条件による見えのあらさの変動のモデルは、観察距離が一定ならば、入射角 (θ)・照度 (E)を水平直交2軸、相当粒度 (d)を垂直軸にとれば、視対象の粒度 (D)ごとに、傾きの異なる平面として表わすことが出来る。図5-16は、観察距離 10 mにおける見えのあらさの変動を数種の粒度について示している。観察距離が 10 m では粒度が 20 mm をこえると平面は水平となり、照明条件による影響がないことを示し、粒度がこまかくなるにつれ平面の傾きが急になり、入射角、照度の両変数による影響が増す傾向を示している。

図5-17は、図5-18に示す図表を用いて、所与の入射角および照度における見えのあらさ(相当粒度)を簡易に求める手順を、入射角 30° 、照度 3000 lx の照明条件下における粒度 7 mm の場合で示している。手順は、まず入射角および照度の各軸における所与の値(例では 30° と 3000 lx)を直線で結び、中間に設けた照明条件 ($\theta + E$)の軸との交点を求める。次に、その交点を通る垂直線と図中の当該の粒度(例では 7 mm)を示す直線との交点を求め、その交点における相当粒度の値(例では 6.2 mm)を縦軸により読むのである。即ち、入射角 30° 照度 3000 lxでの粒度 7 mm の視対象は、標準状態の照明条件での 6.2 mm に相当するあらさに見える事が推定出来る。

図5-18には、照明条件による見えのあらさの変動とその下限である第3章で求めた見えのあらさの刺激閾が観察者の視力ごとに破線で示してある。ただし、あらさの刺激閾における入射角と照度の影響の相対的な重みが本章で求めた見えのあらさの変動の場合と同一でないため、厳密にはこの図中に示すことが出来ないが、入射角による影響が照度と比べはるかに優位であり、また第3章における照度の変化幅が 300 lx ~ 1800 lx と狭いことから、便宜上入射角の変動のみを考慮して刺激閾を推定し図中に示している。視力 1.0 の刺激閾をこえて見えのあらさの変動が示してあるのは、本実験の観察者がいずれも視力 1.5 以上であったためである。また刺激閾を示す破線のうち、特に視力 1.0 の線は左上がりの傾向を示し、より視力のよい観察者にとっては見えのあらさが同じ場合でも、視力の低い者の刺激閾としては異なることを意味しており、見えのあらさの等価関係におけるよりも刺激閾の場合の方が照明条件の影響が強いと解釈される。しかしながら、第3章で既に述べた

ように、ここに示す限界は除々に変化する見え（移行帯）における中心的傾向を示すにすぎないことを考慮すれば、厳密な議論をすることは出来ない。図中に示した破線は、視力の異なる観察者ごとに多くの者が見えのあらさを感じなくなるおおよその限界を画したと考えるべきである。

以上の照明条件が見えのあらさに及ぼす影響に関する知見は、すべて断面形状を単純化した石膏粒度板を用いた実験の結果から導かれたものである。一般の仕上材としては、種々の表面凹凸形状、材質が考えられるので、本実験の結果の適用性について考察する。

まず表面凹凸の形状が、半球状の粒子を密に配列した石膏粒度板と異なる場合、照射光の入射角変化にともなう陰影部分の面積およびコントラストの変化の様相が異なり、したがって入射角の見えに及ぼす影響が異なることが予想し得る。第2章において、建築仕上材の断面波形の観察を行ない、断面波形の型による分類を行なったが（表2-3 参照）、波形の高さ h と幅 r の比率が一定ならば陰影部分の面積の入射角による変化はどの型においてもほぼ同様であり、コントラストについても同様と考えられる。しかし、どの型の波形も波形の高さ h と幅 r の比率によって入射角の影響が異なり、 h/r が小さな浅い凹凸面に対しては、入射角の小さな領域では陰影の面積、コントラストにほとんど変化がなく、入射角が大きな領域でのみ見えのあらさに影響すると考えられる。またいくつかの微小な陰影が入射角の増大により連合して一つの陰影となり、それによってあらさが判断されるようになると、見かけ上あらく感じられるようになる。一方照度による影響については、照度上昇にともなう視力の上昇と考えれば表面形状のいかんにかかわらず同様の効果が期待出来る。

次に表面の素材による違いについては、粒度板が完全拡散面に近い石膏製であるのに対し、一般の仕上面として種々の素材が考えられ、その反射特性により光の透過、2次反射などの影響によって陰影部分のコントラストは石膏粒度板の場合と異なることが予想される。しかしこの点については一般的に論じることが出来ず、与えられた素材、状態それぞれについてのみその特殊解を与えることが出来る問題である。

以上、試験体として用いた石膏粒度での実験結果を、種々の表面凹凸形状、

素材を含む仕上材すべてにそのまま適用することは出来ない。しかしながら、ちょうど物理学において気体の物理的な挙動を理想気体というモデルを用いてまず明解に記述したのち、多くの分子量の大きな実際の気体の挙動との違いを埋めてきたと同様、本実験では、種々に異なる一般仕上面における照明条件の見えのあらさに及ぼす影響について理解する基礎として、その中心的傾向を抽象化した表面によって明解なかたちで求めたものである。

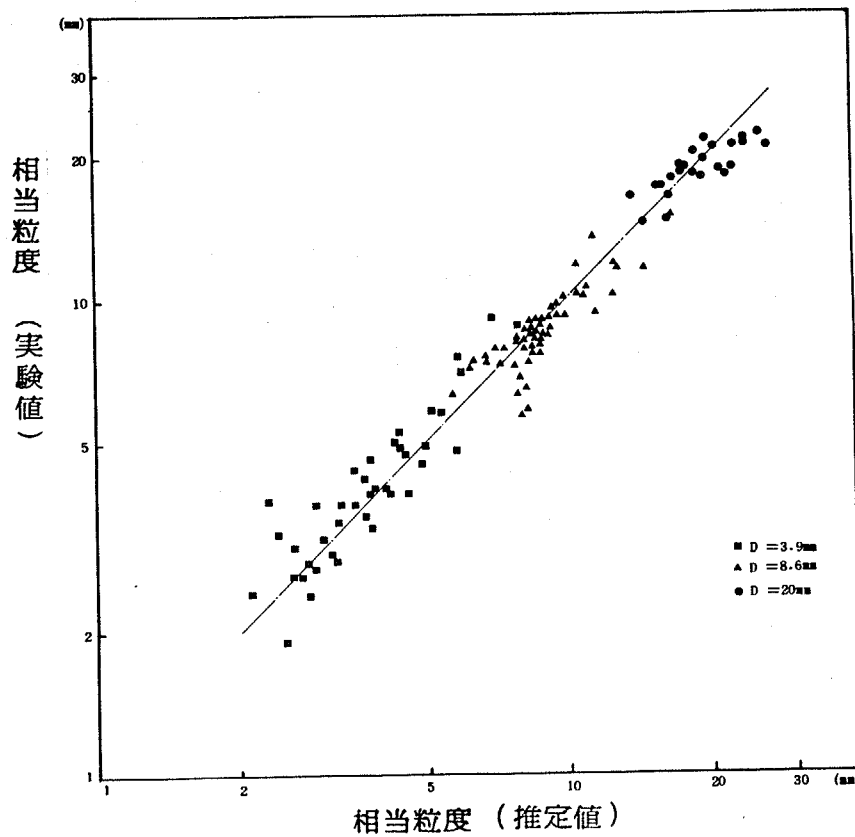


図 5-15 照明条件による見えのあらさの変動の推定値と実験値との対応

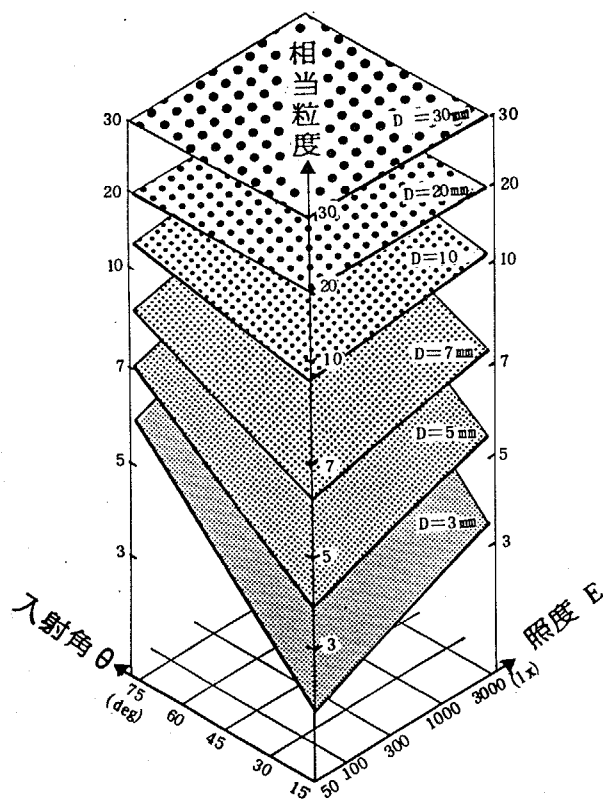


図 5-16 照明条件による見えのあらさ (相当粒度) の変動を示すモデル (観察距離10m・入射角45°・照度1300 lx を標準とした場合)

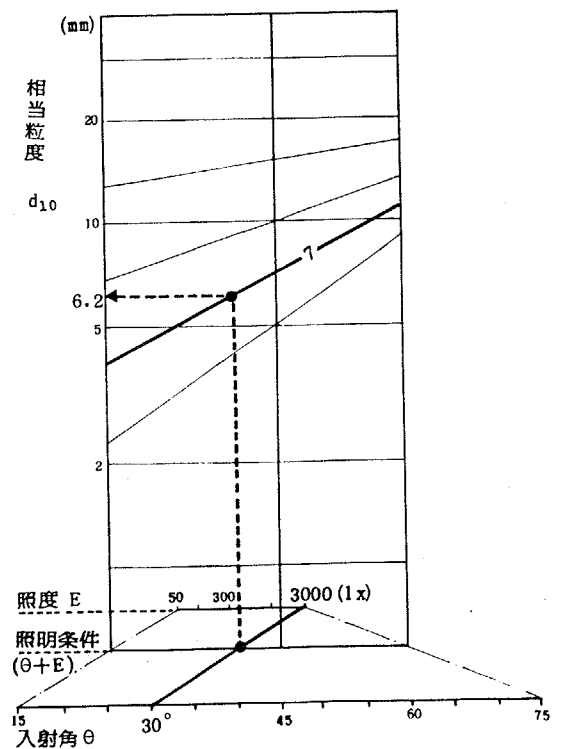


図 5-17 所与の照明条件における見えのあらさ(相当粒度)を推定する手順 (入射角30°・照度3000 lx・粒度7mm について求めた例)

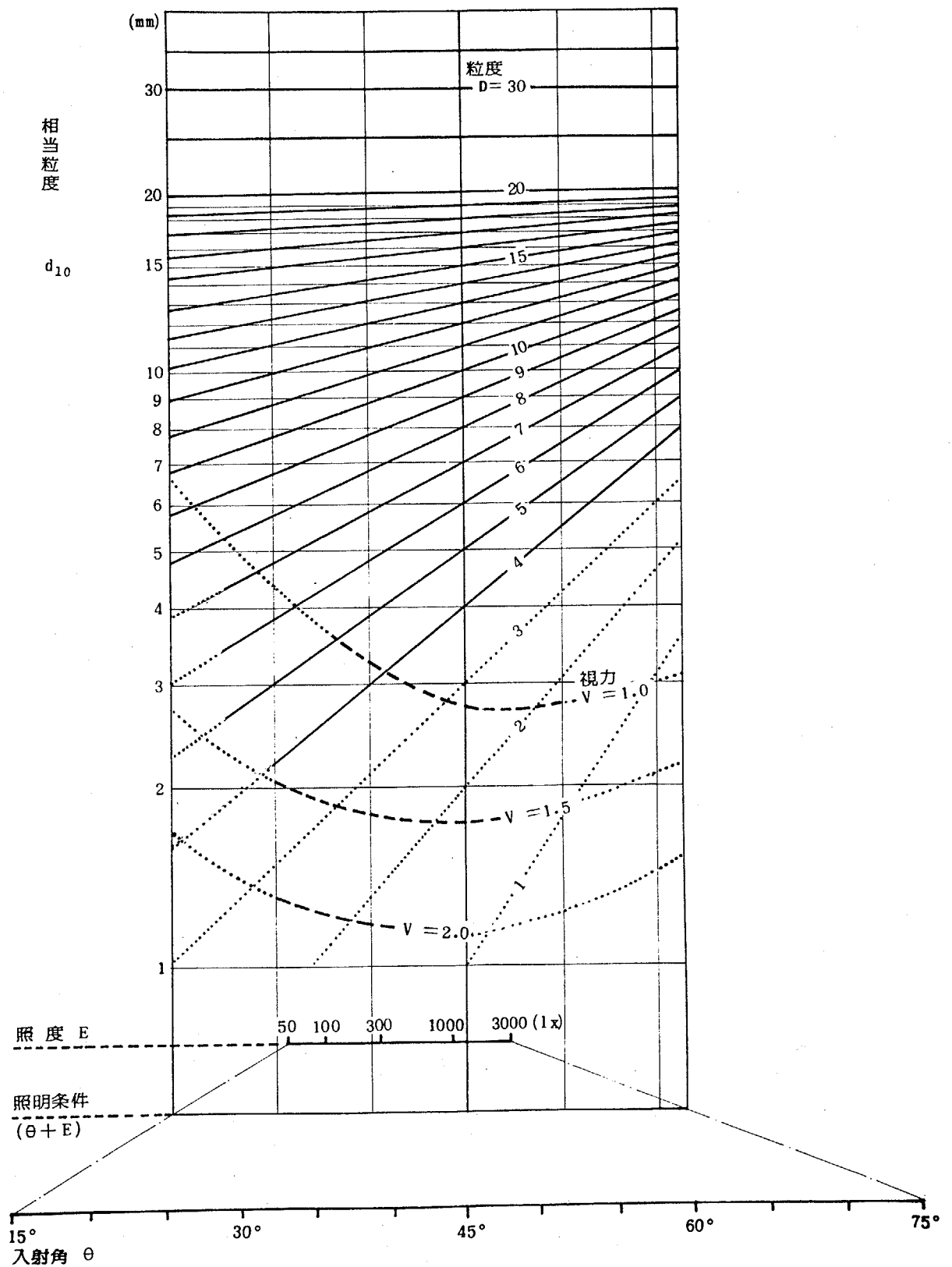


図5-18 照明条件(入射角・照度)と見えのあらさ(相当粒度)との関係
(破線は刺激関, 点線は実験範囲外を示す)

5-5 結 論

本章では、視対象表面に対する照射光の入射角および照度が見えのあらさに及ぼす影響について、2 刺激比較の極限法による実験を行ない、以下の結果を得た。

(1) 照射光の入射角・照度が見えのあらさに及ぼす影響は、表面の見かけのあらさ、厳密には表面構成粒子の張る視角によって異なる。すなわち、見かけのあらさがあらい場合には、入射角・照度はともに見えのあらさに影響を及ぼさないが、視対象表面の粒子の張る視角でおよそ 7 分（観察距離 10 m で約 20 mm の粒度）よりもこまかくなると入射角・照度が増すにともない、ともにあらく知覚されるようになり、その傾向は見かけのあらさがこまかい視対象程顕著になる。

(2) 上記の傾向を定量的に把握するため、入射角 θ ・照度 E の変化による見えのあらさ（相当粒度 d ）の変動を推定する次式を導いた。なお視対象表面の粒子の張る視角（ D/X ）が 0.002 rad（7 分）以上では見えのあらさは次式によらず一定である。

$$\log d - \log d_0 = - \left(\log \frac{D}{X} - \log 0.002 \right) \cdot \{ 0.0122(\theta - \theta_0) + 0.175(\log E - \log E_0) \}$$

ただし d_0 : 入射角および照度が標準状態 $\theta_0 \cdot E_0$ における相当粒度 (mm)

d : 入射角 θ ・照度 E の照明条件における相当粒度 (mm)

D : 刺激の粒度 (mm)

X : 観察距離 (mm)

(3) 上式で示した関係と、第 3 章においても求めた見えのあらさの刺激閾と照明条件との関係を総合して、与えられた照明条件における見えのあらさを簡易に推定するための図表を作成した。

第 6 章 結 論

第6章 結 論

テクスチャーの量的な側面である見えのあらさが、観察時の諸条件によりどのように異なって知覚されるかについて、定量的に究明することを目的とした本研究の結論は以下の如くである。

1. 建築仕上面などの表面の切断面を観察して断面の波形・寸法を測定し、それと平行して簡便な視覚実験により各表面の見えのあらさの順位を求めた結果、見えのあらさの違いは、断面波形における高さとの幅の両変数に依存していることが明らかとなった。
2. 複雑な断面形状をもつ実際の仕上面の表面あらさの程度を、測定により直接定量化することが困難であることから、単純な断面形状をもつ表面あらさ試験体として石膏粒度板を試作し、その石膏粒度板が多くの仕上面と表面あらさに関して比較が可能であることを確かめ、仕上面の表面あらさの程度を石膏粒度板との系列的な比較により粒度によって定量的に表わした。
3. 分量評定法により、見えのあらさの知覚量と粒度の対数とが直線的な関係にあることを明らかにし、表面あらさを表わす変数として粒度を用いる妥当性を確認した。
4. 観察者の見えのあらさに対する視認の限界である刺激閾について、異なる観察条件下で単一刺激の極限法による実験を行ない、表面あらさ（粒度 D mm）、観察者の視力（ V ）、照明条件（入射角 θ° 、照度 E lx）および観察距離（ X m）の各変動要因の影響を定量的に把握し、所与の条件下で見えのあらさが知覚し得るか否かを判別する次の様な推定式を導いた。

$$R_0 = 0.53 \log D + 0.69 \log V + 0.0064 \theta \\ + 0.17 \log E - \log X - 0.055$$

ただし、 $R_0 > 0$: 見えのあらさを感じる確率が50%をこえる場合

$R_0 < 0$: 平滑に見える確率が50%をこえる場合

5. 見えのあらさと観察距離との関係は、視対象の見かけのあらさによって一様でなく、観察距離の変化にともなう見えのあらさの変化率は視対象表面の構成粒子の張る視角に依存している。すなわち、視対象の見かけの表面あらさがあらい（粒子の張る視角が大である）場合は、その変化率が小さく、距離変化にともなう網膜像での変化が過小に評価される恒常性を示すのに対し、見かけのあらさがこまかくなるにつれ変化率が増大して、粒子の張る視角が2分前後で見えのあらさの変動が距離変化と比例する視角の法則に従うようになる。さらにこまかくなり、平滑に見える直前では視角の法則を越えて、距離変化にともなう網膜像の変化が過大に評価される傾向が明らかとなった。この傾向を定量的に示すため、視対象の表面あらさ（粒度 D ）に対する見えのあらさ（相当粒度 d ）と観察距離（ X ）との関係を示す次式を導いた。

$$\log X = \log D - (\log \frac{d}{X} + 0.263) (\frac{d}{D})^{0.526} + 0.263$$

ただし X : 観察距離 (m)

X_0 : 標準距離 (m)

D : 表面あらさ (粒度, mm)

d : 見えのあらさ (X_0 における相当粒度, mm)

6. 見えのあらさの差異に対する弁別の限界である弁別閾は、刺激量と比例するウェーバーの法則が近似的に成立ち、その比例定数である相対弁別閾は観察者により異なるが、その平均的傾向としては約 0.09 である。すなわち、見えのあらさの違いが判断出来る最小の表面あらさの差違は、当該表面あらさのおよそ 9 % 前後であることが明らかとなった。

7. 照射光の入射角・照度が見えのあらさに及ぼす影響は、視対象表面の見かけのあらさ、厳密には表面構成粒子の張る視角によって異なる。すなわち、見かけのあらさがあらい場合には、入射角・照度はともに見えのあらさに影響を及ぼさないが、視対象表面の粒子の張る視角でおよそ 7 分よりもこまか

くなると、入射角・照度が増すにともない、ともにあらく知覚されるようになり、その傾向は見かけのあらさがこまかい視対象ほど顕著になる。この傾向を定量的に把握するため、入射角(θ°)・照度($E \text{ lx}$)の変化による見えのあらさ(相当粒度 $d \text{ mm}$)の変動を推定する次式を導いた。ただし、視対象表面の粒子の張る視角(D/X)が 0.002 rad (7分)以上では見えのあらさは次式によらず一定である。

$$\log d - \log d_0 = -(\log \frac{D}{X} - \log 0.002) \cdot \{ 0.0122(\theta - \theta_0) + 0.175(\log E - \log E_0) \}$$

ただし d_0 : 入射角および照度が標準状態 $\theta_0 \cdot E_0$ における相当粒度(mm)

d : 入射角 θ ・照度 E の照明条件における相当粒度(mm)

D : 刺激の粒度(mm)

X : 観察距離(mm)

8. 観察条件による見えのあらさの変動について、5及び7で述べた結果を総括すれば、観察条件の変化にともなう見えのあらさは、視対象が見かけ上あらい場合は恒常的であり、見かけ上こまかい場合にはその変動が大であると言いうことが出来る。

これは視対象がある程度以上あらい場合には、見えのあらさの判断が面としての全体的印象よりも、表面を構成する粒子個々の大小判断に依存する割合が増すためと考えられ、単一の図形あるいは物の知覚に近い恒常性を示し、また照明条件の変化に対しても安定であると考えられる。あらさの判断が明らかに構成粒子個々の大きさの知覚による場合には、もはや表面全体の特徴としてのテクスチャーの知覚とは言い難い。反対に、よりこまかい表面において、観察条件にともなう視覚像の変化に敏感に反応する傾向は、恒常視的な物の知覚判断とは異なるテクスチャーの知覚に特徴的な反応と言いうことが出来る。

視対象がある程度以上あらくなり、表面全体の印象によるあらさ判断が出

来なくなる限界は、テクスチャーの知覚における上限と考えることが出来、この個々の物の知覚とテクスチャーの知覚の境界は、平滑に見える領域との境界である刺激閾のように直接求めることは困難だが、観察条件の変化による知覚反応の恒常性の程度により外延的に規定することが出来る。すなわち、観察者の受けとる視覚像の変動に対して恒常的な物の知覚と、視覚像の変動に対して忠実で敏感な反応を示すテクスチャーの知覚とに区別することが出来るのである。

視環境において、個々に注視される事物は、見る側の空間的な移動や照明条件の変化に対して恒常的であることによって、安定な視覚世界をつくり出すことを可能としているが、一方その事物の背景をなすテクスチャーに対しては、空間の奥行知覚などの手がかりを得るために、その視覚像の変化に対して忠実で敏感である必要がある。

本研究は、視環境の知覚における一つの型として、テクスチャーの知覚の適用範囲を画し、その量的な側面である見えのあらさと観察条件との関係を明らかにした。

資 料

- 1 材料37種の表面あらさ(断面波形の高さ h と幅 r)の計測
- 2 材料14種の見えのあらさ順位 (実験結果)
- 3 材料14種の見えのあらさの推定値
- 4 石膏粒度板20種の順位判断(実験結果)
- 5 石膏仕上板33種の順位判断(実験結果)
- 6 石膏粒度板の知覚量(マグニチュード)の実験結果
- 7 平面変化距離と各観察条件の関係 (実験結果)
- 8 粒度板の粒度の計測
- 9 観察距離と粒度の関係 (予備実験の結果)
- 10 観察距離 と粒度の関係 (本実験の結果)
- 11 同じ見えのあらさを与える観察距離(X_{PSE})と入射角(θ)・照度(E)との関係 (予備実験の結果)
- 12 照明条件が見えのあらさに及ぼす影響を求める実験の結果

材料37種の表面あらさ(断面波形状の高さhと幅r)の計測(平均)

実験者: 白原 1972

種 別	番 号	材 料	高さ h mm	幅 r mm	種 別	番 号	材 料	高さ h mm	幅 r mm
サンド	1	#1 サンドペーパー	320	.029	セメント類	19	磁器タイル	.020	.170
	2	2	240	.034		20	C1 コンクリートブロック	.065	.100
	3	3	100	.037				.310	.640
	4	4	80	.063	cement products	21	2 コンクリート打放面	.018	.086
	5	5	50	.150				.090	1.200
石	6	S1 水みがき		.039		22	3 気泡コンクリート	.044	.110
				.120				.120	.570
	7	2 ダイヤカット		.020				.270	2.900
				.086		23	4 リシン吹付	.069	.140
	8	3 円ばん加工		.030		24	5 リシン吹付	.410	1.200
stone	9	4 びしゃん		.077				.057	.068
				.044	ガラス	25	G1 石目型板	.740	1.500
				.190				.047	.430
				.340		26	2 かすみ型板	.630	4.100
	10	5 のみ切り		.040				.040	.400
タイル類	11	T1 磁器タイル		.250	glass products	27	3 ラフ型板	.028	.320
				.570				.330	4.800
	12	2 れんが		.039		28	4 はつしも型板	.042	.350
				.110	木	29	W1 ヴォルナット	.029	.100
	13	3 かわら		.016		30	2 チーク	.028	.130
tile	14	4 磁器タイル		.015		31	3 くす	.020	.120
				.061		32	4 コルク	.029	.059
	15	5 磁器タイル		.030				.120	1.200
				.069	プラスチック	33	P1 塩ビシート	.092	2.700
	16	6 磁器タイル		.140		34	2 ビニールタイル	.017	.110
tile	17	7 磁器タイル		.027		35	3 リノリューム	.016	.200
				.090		36	4 ビニール壁紙	.089	.160
					金属 metal			.270	.760
						37	M1 銅板エッチング	.036	.089

材料14種の見えのあらさ順位
3名の観察者の実験結果 (材料番号)

観察者

あらさ順位	0 ₁	0 ₂	0 ₃
1	10	10	10
2	11	24	11
3	24	11	24
4	9	23	9
5	23	9	23
6	20	20	20
7	5	5	5
8	8	4	8
9	7	7	7
10	4	8	4
11	12	19	12
12	17	12	17, 19
13	19	17	-
14	1	1	1

(最もあらいもの1、最もこまかいもの14)

材料14種の見えのあらさの推定値

順位	No.	試験体 材 料 名	順位得点		断面波形	
			(総和)		高さ h mm	幅 r mm
1	10	のみ切り	3		.930	3.800
2	11	磁器タイル	7	T 1	.570	2.700
3	24	リシン吹付	8		.740	1.500
4	9	びしゃん	13		.340	1.600
5	23	リシン吹付	14		.410	1.200
6	20	コンクリートブロック	18		.310	.640
7	5	サンドペーパー	21	50	.150	.260
8	8	円ばん加工	26		.077	.470
9	7	ダイヤモンド	27		.086	.380
10	4	サンドペーパー	28	80	.063	.095
11	12	れんが	34		.110	1.200
12	19	磁器タイル	36	9	.020	.170
13	17	磁器タイル	37	7	.090	.740
14	1	サンドペーパー	42	320	.029	.068

石膏粒度板20種の順位判断

実験者：山本 1977

		観察者ごとの順位得点																				平均	分散
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	石膏	0.4	0.0	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	0.2	0.0	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	0.20	0.23
2	度	0.4	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9	0.4	0.0	0.2	0.5	1.4	0.0	0.2	1.7	0.5	0.0	0.37	0.47
3	粒	0.7	0.3	0.4	0.9	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	0.6	0.2	0.2	0.4	0.5	1.2	0.5	0.2	1.0	0.5	0.0	0.43	0.34
4	板	0.7	0.3	0.4	0.7	0.0	0.0	0.3	0.8	0.0	1.5	0.0	0.2	0.4	0.8	1.6	0.5	0.4	0.3	0.5	0.0	0.47	0.46
5		1.1	0.6	0.7	1.2	0.8	0.6	0.3	0.4	0.0	1.7	0.2	0.2	0.9	1.1	1.9	0.5	1.0	0.3	0.8	0.0	0.71	0.51
6		1.5	0.9	0.7	1.4	0.8	0.6	0.3	0.8	0.0	1.9	0.4	0.5	1.1	1.3	2.1	0.7	1.4	1.0	0.5	0.7	0.92	0.54
7		1.9	1.5	1.5	1.4	1.1	0.6	0.9	1.2	0.4	2.3	0.8	0.5	1.6	2.1	2.8	1.1	1.6	1.7	1.0	0.7	1.32	0.63
8		2.5	1.8	1.9	1.7	1.3	1.2	1.5	1.4	0.8	3.2	1.4	0.5	2.0	2.4	3.0	1.6	1.8	2.0	1.8	0.9	1.72	0.76
9		2.6	2.1	2.6	3.1	2.1	1.2	2.1	1.6	1.2	4.2	1.6	1.8	2.4	2.6	3.5	1.8	2.2	2.3	2.1	1.6	2.22	0.74
10		3.0	2.4	3.0	3.1	2.4	1.8	2.4	2.4	1.5	4.5	2.6	3.2	3.3	2.9	3.7	2.7	3.1	3.0	2.6	1.6	2.75	0.71
11		3.3	2.9	3.3	3.1	3.7	2.4	2.7	1.8	1.9	4.3	2.8	3.0	4.7	4.0	4.7	3.6	3.7	3.3	2.8	2.4	3.22	0.81
12		3.7	2.7	3.7	4.5	4.5	2.4	3.5	3.6	1.9	5.7	3.4	3.4	4.2	4.2	5.4	3.9	3.9	4.0	3.1	3.1	3.73	0.90
13		4.1	4.1	4.4	5.2	5.3	3.5	4.7	4.4	3.5	6.2	4.6	4.3	5.6	5.8	6.5	4.8	5.5	6.0	4.4	4.4	4.87	0.86
14		4.8	4.4	4.8	6.2	5.5	3.5	4.4	4.8	3.5	6.4	4.8	5.9	6.0	6.3	6.7	5.0	5.7	4.7	5.1	4.7	5.17	0.91
15		5.6	5.0	5.2	6.4	7.1	4.1	4.7	5.4	4.6	7.9	6.6	6.8	8.0	7.4	7.0	6.8	6.3	6.3	5.9	6.0	6.16	1.09
16		6.7	5.9	6.7	8.1	7.6	5.9	7.9	7.0	6.2	8.3	7.6	8.0	8.4	8.4	8.6	7.1	7.5	7.3	6.9	8.0	7.40	0.85
17		7.4	7.9	7.4	8.3	8.7	7.7	8.2	8.4	7.3	8.5	7.8	8.4	8.7	8.7	8.8	8.0	9.2	8.7	7.7	8.2	8.20	0.53
18		8.2	8.8	7.8	8.3	9.0	8.2	8.5	8.8	7.7	9.1	8.0	8.9	8.9	9.0	9.3	9.1	9.4	9.0	8.5	8.7	8.65	0.49
19		8.5	9.1	8.2	8.6	9.5	8.8	9.1	9.2	8.5	9.4	8.4	9.3	9.1	9.2	9.5	9.6	9.6	9.3	9.0	9.3	9.06	0.43
20		9.6	9.4	9.3	8.8	9.7	10.	9.4	9.4	9.2	9.8	9.2	10.	9.3	9.5	9.8	9.8	9.8	9.7	9.7	10.	9.57	0.32

平均値 分散

観察者ごとの順位得点

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
S 石膏仕上板	S 1	10.8	8.5	7.8	10.3	9.3	8.8	10.8	10.8	10.1	9.3	9.4	7.7	9.1	10.1	10.1	10.3	9.0	10.3	8.2	9.1	0.28
	S 2	8.8	6.2	6.3	6.9	6.3	5.9	5.3	6.4	5.4	7.4	6.2	5.5	7.3	7.4	7.4	7.3	7.8	8.0	6.4	8.4	0.53
	S 3	6.3	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.3	0.4	0.0	1.3	0.2	0.0	0.7	0.8	0.9	0.2	0.6	0.3	0.3	0.0	0.81
	S 4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.37
	S 5	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.17
T	T 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.6	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.2	0.3	1.2	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.31
	T 2	7.8	8.2	6.7	5.7	7.1	7.7	6.2	7.4	6.9	6.8	6.4	4.8	6.7	6.8	8.4	8.2	6.9	9.0	7.2	5.8	1.01
C	C 1	6.3	3.5	4.8	5.0	5.8	4.1	5.0	5.8	4.2	6.0	5.6	4.6	6.2	6.1	6.3	5.5	6.5	5.7	5.4	5.3	0.81
	C 2	5.6	2.4	3.3	2.9	3.2	2.9	2.7	2.8	1.9	4.0	3.0	2.3	4.4	3.7	4.9	3.2	4.7	5.0	3.3	2.0	1.05
	C 3	6.7	7.1	7.0	7.4	8.2	7.1	7.1	8.0	6.5	8.7	7.0	7.5	7.6	7.9	8.4	8.6	8.2	8.0	7.2	7.3	0.64
	C 4	7.4	7.4	7.4	9.5	8.4	7.1	7.4	7.8	7.3	8.9	8.2	8.2	8.7	8.4	8.6	8.9	8.4	8.3	8.0	7.8	0.65
	C 5	6.3	6.8	6.7	7.1	8.0	6.5	5.9	7.2	5.8	7.7	6.0	5.0	6.7	7.4	7.7	8.4	8.0	8.7	7.2	6.2	0.95
	C 6	7.4	6.5	6.7	7.6	7.4	7.7	6.8	7.6	6.5	8.1	6.8	6.6	8.2	7.6	8.1	7.7	8.6	8.3	7.4	7.6	0.65
	C 7	9.6	8.2	8.2	7.0	6.9	10.6	6.5	8.6	6.9	9.6	8.2	7.3	9.3	9.2	9.1	6.6	7.3	9.3	7.7	6.9	1.17
	C 8	5.6	3.2	4.4	4.8	4.8	3.5	3.8	4.2	3.1	5.3	4.2	3.6	5.1	5.3	5.8	4.3	5.9	5.3	4.1	4.9	0.84
G	G 1	1.9	1.2	1.1	1.4	1.1	0.6	1.0	0.4	2.1	0.4	0.2	1.3	1.6	2.3	0.7	1.2	1.3	1.3	0.7	0.6	0.57
	G 2	3.0	3.5	3.7	3.8	3.4	2.9	3.5	3.4	3.1	3.6	2.0	1.4	3.8	3.2	4.2	2.5	2.6	5.0	2.8	2.7	0.79
W	W 1	4.1	2.4	4.4	2.4	4.7	4.7	3.2	3.4	2.7	5.5	3.8	2.7	4.9	4.5	5.1	3.4	4.9	6.0	3.3	3.8	1.05
	W 2	0.4	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.4	0.0	0.3	0.0	0.24
	W 3	4.8	0.6	3.7	3.3	2.9	2.9	3.2	2.7	4.9	3.6	2.5	4.0	4.2	4.4	4.4	4.1	5.1	4.7	2.6	3.6	1.07
	W 4	2.6	0.6	3.3	2.1	1.8	1.8	2.9	2.2	1.5	3.4	2.2	0.9	2.9	3.4	3.5	2.3	2.8	2.7	1.8	1.3	0.84
	W 5	2.2	0.6	3.0	1.7	1.6	1.2	2.4	1.4	0.8	2.6	1.8	0.7	2.2	2.6	3.3	1.4	2.0	1.3	1.5	1.3	0.75
L	L 1	1.1	1.2	1.5	1.7	1.3	0.0	1.2	0.8	3.0	1.0	0.5	1.8	1.8	2.6	0.9	0.9	0.8	2.3	1.0	1.3	1.37
	L 2	3.7	2.1	3.0	1.9	2.6	1.2	2.9	2.2	1.9	3.8	2.0	1.1	3.1	2.6	3.5	2.1	2.9	2.7	2.3	1.8	0.75
	L 3	3.7	3.8	3.3	3.6	4.0	2.4	3.2	3.0	2.7	5.9	2.4	2.1	3.6	3.4	4.0	3.0	3.3	3.7	2.8	2.9	0.81
P	P 1	6.7	6.2	5.6	5.5	6.1	5.9	5.0	5.6	5.4	7.6	5.0	5.2	6.9	6.6	7.9	5.9	7.1	6.3	5.6	5.6	0.82
	P 2	6.7	6.9	5.2	5.8	6.8	5.9	4.4	5.2	5.4	7.0	5.0	5.7	6.4	6.3	7.2	5.7	4.1	6.7	5.9	5.1	0.88
	P 3	3.7	3.8	4.1	4.1	4.2	2.9	4.1	3.8	3.5	5.1	4.0	4.1	5.3	4.7	5.6	4.6	3.5	4.3	3.9	2.2	0.77
	P 4	6.3	5.3	5.9	5.7	6.6	5.9	5.0	6.0	5.4	6.6	5.4	6.1	7.8	7.1	7.9	7.5	7.7	7.0	6.2	6.4	0.87
	P 5	6.3	5.3	5.9	6.0	6.8	7.1	5.6	6.2	5.8	7.2	5.2	6.4	7.1	7.1	8.1	6.4	6.7	7.7	6.7	6.7	0.76
	P 6	5.6	4.7	4.4	4.3	5.0	4.7	4.1	4.6	4.2	4.7	4.4	3.9	5.8	5.5	6.1	6.1	4.3	6.7	4.6	4.2	0.78
	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.1	0.0	0.0	0.4	0.5	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.32
	5.2	0.3	3.7	2.6	3.7	4.7	1.8	2.0	2.7	2.8	3.2	1.6	5.8	5.0	5.1	5.2	4.5	3.3	3.3	3.9	4.0	1.45

石膏粒度板の知覚量(マグニチュード)の実験結果

実験者: 山本 1977

石膏粒度板

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
観察者 0 1	-	0.1	0.01	0.1	1	3	3	5	20	20	20	70	90	100	180	400	800	600	1500	5000
	0.01	0.01	0.1	0.3	2	7	10	20	20	20	100	150	400	200	800	2000	3000	5000	7000	15000
	0.1	0.2	0.1	0.5	1	5	9	6	14	21	25	64	62	88	100	430	800	730	1000	1900
	0.1	0.1	0.1	0.5	2	0.4	1	50	80	82	90	190	180	200	350	650	700	770	1500	5000
	0.5	0.1	0.2	1	9	2	7	15	16	35	40	85	100	110	200	730	1000	1000	1500	10000
	0.001	0.01	0.1	0.4	0.1	1.2	1	3	2	8	15	10	20	25	25	80	100	150	250	400
	0.1	0.1	1	0.2	1.5	5	4	6	20	20	40	70	80	80	100	250	600	800	1000	2000
	1	1	1	6	10	50	40	100	200	300	500	800	1000	800	1000	3000	6000	7000	10000	10000
補正知覚量	-	0.007	0.021	0.091	0.15	0.28	0.41	1.1	2.2	3.6	4.5	7.5	10	10	16	44	67	82	110	310
観察者 0 2	8	0.8	1	1.5	10	20	15	15	50	80	100	150	400	2000	3500	5000	10000	20000	30000	200000
	8	5	5	7	40	10	12	30	80	100	150	200	300	2000	5000	10000	18000	20000	28000	150000
	1.5	0.3	0.8	1	1	2	2	10	40	40	45	80	100	90	100	100	800	1000	1000	10000
	0.08	0.01	0.05	0.1	0.13	0.2	0.4	0.8	1	3	10	7.5	30	15	10	50	100	150	400	10000
	1	0.1	0.5	0.8	1.5	2	1.8	15	20	50	60	100	300	300	800	1000	2000	5000	10000	100000
	1.5	2	1	1.8	1.3	3	6	8	15	12	20	40	90	100	300	1000	3000	2000	5000	10000
	0.2	0.3	0.8	0.5	1.5	0.8	3	8	10	20	200	400	600	500	3000	1000	5000	8000	10000	100000
	0.2	0.5	0.3	0.8	1.2	1.5	1	5	8	10	20	30	80	40	100	2000	2000	5000	10000	20000
補正知覚量	0.044	0.022	0.018	0.046	0.093	0.11	0.14	0.39	0.77	1.2	2.3	3.7	7.6	10	21	45	110	170	320	1900
観察者 0 3	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.05	0.1	0.2	0.1	0.5	10	20	100	500	1000	5000
	2	-	-	-	-	0.1	0.05	0.1	0.5	1	2	10	5	100	50	300	1000	5000	10000	100000
	3	-	-	-	-	0.01	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1	0.5	100	500	5000	2000	10000
	4	-	-	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.05	0.3	0.01	0.1	1	50	100	150	300
	5	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	4	30	85	100	125	300
	6	-	-	-	-	-	-	0.05	0.01	0.08	0.1	0.2	0.25	0.3	1	5	50	80	100	3000
	7	-	-	-	-	-	0.001	0.01	0.03	0.2	0.08	0.1	1.2	6	10	30	100	5000	20000	100000
	8	-	-	-	-	-	-	0.1	0.2	1	0.5	5	5	20	20	30	100	180	200	300
補正知覚量	-	-	-	-	-	-	-	0.036	0.094	0.25	0.25	1.1	2.1	4.0	10	35	270	530	2400	3800
観察者 0 4	1	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2	1	0.5	2.5	10	25	50	150	400	1000	3000
	2	-	-	-	-	-	-	0.05	0.1	0.5	0.5	5	0.9	3	15	50	200	800	2500	5000
	3	-	-	-	-	-	-	0.03	0.05	0.1	0.15	0.3	0.75	0.3	2.5	10	40	100	150	300
	4	-	-	-	-	-	-	0.02	0.025	0.1	0.4	1.2	1	2.5	7	25	50	150	250	600
	5	-	-	-	-	-	-	0.001	0.1	0.15	0.5	0.85	1	2.2	7	20	33	230	300	900
	6	-	-	-	-	-	-	0.005	0.01	0.03	0.09	0.2	0.4	1	4	9	25	75	300	2600
	7	-	-	-	-	-	-	0.005	0.01	0.04	0.1	0.4	0.4	1.8	6	8	12.5	40	200	1000
	8	-	-	-	-	-	-	0.01	0.02	0.05	0.03	0.8	0.5	1	2	4	10	40	100	250
補正知覚量	-	-	-	-	-	-	-	0.023	0.068	0.18	0.41	1.1	1.3	2.8	10	25	64	220	540	1200
観察者 0 5	1	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1	1	2	2	5	2	5	30	15	50	75	100	200	300
	2	2	1	2	3	4	7	15	30	60	80	100	170	600	700	3000	4000	6000	5000	10000
	3	1	1	1	2	2	5	15	25	50	60	70	75	100	200	300	300	250	500	700
	4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	2	3	10	20	30	50	60	80	100	200	200	500	400	750
	5	5	10	2	7	3	10	30	25	50	100	150	400	200	300	400	1000	800	1100	1500
	6	0.5	1	1	2	2	2	4	7	5	10	10	15	15	20	75	100	150	250	600
	7	1	10	1	2	3	15	50	90	100	170	120	160	150	300	350	400	700	500	2000
	8	0.09	0.1	0.1	0.1	1	6	7	8	5	10	15	20	30	100	250	300	700	1000	1000
補正知覚量	0.026	0.082	0.042	0.048	0.10	0.15	0.40	0.93	2.0	2.6	4.0	4.2	6.6	10	12	32	47	66	88	152

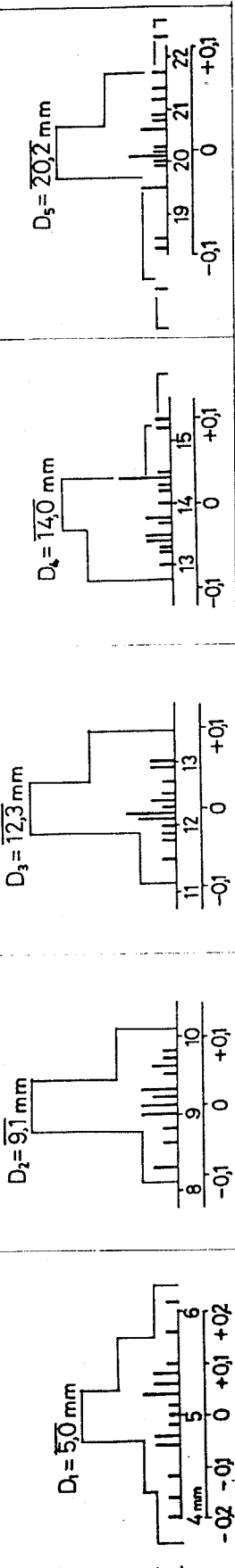
実験設定			平面変化距離								
粒度 (mm)	入射角 (deg)	照度 (lx)	観察者 (視力)	0 ₁ (2.0)	0 ₂ (2.0)	0 ₃ (2.0)	0 ₄ (1.5)	0 ₅ (1.5)	0 ₆ (1.2)	0 ₇ (1.0)	平均値
1.6	15 - 1200			6.9	7.5	7.0	5.0	6.3	4.6	4.4	5.84
	30 - 1200			8.6	8.3	7.9	6.4	7.4	5.8	5.8	7.09
	45 - 300			9.0	8.8	7.6	7.6	8.4	6.2	5.6	7.50
	45 - 600			10.1	10.3	8.6	8.0	10.0	6.8	5.9	8.37
	45 - 1200			11.6	11.4	10.3	8.5	10.9	8.4	7.3	9.64
	45 - 1800			15.3	12.0	9.7	9.6	9.1	8.4	7.2	9.91
	60 - 1200			12.6	14.3	13.5	10.3	11.9	9.1	7.7	11.11
平均値				10.27	10.14	9.02	7.72	8.96	6.87	6.17	8.32
3.9	15 - 1200			12.1	11.5	11.3	8.4	9.8	8.6	7.5	9.75
	30 - 1200			15.3	14.8	13.3	10.9	11.0	10.4	8.1	11.72
	45 - 300			14.0	15.3	13.0	11.4	13.0	9.8	9.5	12.12
	45 - 600			16.8	17.8	15.0	14.0	14.5	12.5	9.3	14.01
	45 - 1200			20.8	19.8	17.5	14.8	15.3	14.0	11.4	15.93
	45 - 1800			22.0	21.5	18.8	15.8	13.8	15.3	13.0	16.85
	60 - 1200			24.3	23.3	24.3	17.8	16.0	17.3	12.5	18.86
平均値				17.41	17.28	15.69	12.94	13.17	12.22	9.99	13.86
5.1	15 - 1200			13.0	13.3	12.3	9.4	11.0	9.4	8.5	10.84
	30 - 1200			17.0	15.0	15.0	11.8	11.0	11.4	10.1	12.83
	45 - 300			16.3	15.8	15.8	12.7	15.0	10.9	10.5	13.66
	45 - 600			20.3	20.0	16.0	15.3	15.5	13.5	11.9	15.82
	45 - 1200			22.8	21.8	18.5	16.0	17.0	14.3	13.5	17.40
	45 - 1800			24.5	23.3	18.3	16.5	15.4	15.3	14.8	17.95
	60 - 1200			26.3	24.0	24.5	18.4	16.8	18.3	13.3	19.73
平均値				19.51	18.59	16.86	13.99	14.32	13.01	11.61	15.17

粒度板の粒度の計測 (mm)

粒度板

	D ₁			D ₂			D ₃			D ₄			D ₅		
	D _x	D _y	D _z	D _x	D _y	D _z	D _x	D _y	D _z	D _x	D _y	D _z	D _x	D _y	D _z
1	4.2	5.2	4.8	9.0	9.5	9.0	12.4	12.3	12.4	14.8	15.9	14.4	20.8	21.2	19.8
2	4.1	5.1	4.1	8.2	8.4	8.2	11.4	12.1	12.8	12.8	12.8	13.4	19.9	19.8	20.9
3	5.3	5.4	5.8	9.2	9.2	9.6	12.6	13.5	12.9	13.0	13.4	13.5	19.8	20.2	23.7
4	5.2	5.0	5.1	9.0	9.2	9.7	12.3	12.1	12.5	12.3	14.5	14.6	20.6	18.0	20.0
5	4.5	5.0	4.6	9.5	10.1	9.8	12.8	12.9	13.1	12.2	14.8	14.2	22.3	20.3	17.9
6	5.1	5.4	5.1	9.7	8.8	8.9	12.2	12.2	12.4	12.2	14.4	14.4	20.1	20.2	20.1
7	4.6	5.1	4.8	8.3	8.4	8.3	11.9	11.9	12.1	12.0	14.4	14.3	16.6	15.2	21.3
8	4.8	4.4	5.2	9.7	9.6	9.9	11.3	12.4	11.9	11.9	14.5	14.3	19.4	18.3	23.5
9	5.2	6.9	5.4	8.9	8.9	8.7	11.5	12.6	12.6	12.2	13.9	14.1	21.5	22.9	22.8
10	5.2	5.0	5.4	8.8	9.0	9.2	11.4	12.1	13.8	12.4	13.8	14.8	20.2	20.2	19.3
11	4.9	5.0	5.1	9.1	9.3	9.6	12.8	12.6	12.2	12.5	12.8	14.1	23.4	18.4	20.3
12	5.8	6.7	5.7	8.8	9.1	9.0	11.8	13.3	13.6	12.9	14.0	13.1	21.1	21.7	21.4
13	5.2	5.2	5.5	8.6	11.7	8.8	12.7	12.9	12.5	12.7	16.7	14.8	19.1	17.3	19.2
14	5.2	5.7	5.2	8.7	10.0	8.5	13.0	12.8	13.2	13.0	13.4	13.9	25.9	17.5	17.9
15	3.7	5.0	3.5	9.5	9.9	9.3	12.0	12.2	12.1	12.1	12.7	13.3	20.4	21.2	20.8
16	5.5	5.1	5.3	8.5	9.3	9.6	12.0	12.3	12.1	12.1	13.1	13.8	20.9	20.2	21.8
17	4.8	5.0	4.9	9.4	9.0	9.4	11.5	12.4	12.4	12.1	13.8	13.6	19.3	18.9	20.3
18	3.7	4.0	5.0	8.6	9.8	9.1	11.2	11.4	13.0	11.8	13.3	13.4	20.3	19.2	26.1
19	5.1	5.2	5.0	8.6	8.4	8.7	12.7	12.4	11.4	12.2	12.9	13.6	20.2	20.1	19.7
20	5.1	5.4	5.7	9.1	9.8	9.5	11.4	11.5	11.7	11.5	15.4	12.9	20.4	16.6	18.1
平均										12.3		14.0			20.2

粒度分布



観察距離と粒度の関係 (予備実験の結果) 実験者: 諏訪 1971

標準刺激 比較刺激			観察者 01			観察者 02			観察者 03			平均値
$D_0(\text{mm})$	$X_0(\text{mm})$	$D(\text{mm})$	X_U	X_L	X_{PSE} ΔX	X_U	X_L	X_{PSE} ΔX	X_U	X_L	X_{PSE} ΔX	X_{PSE} ΔX
5.0	10	9.1	23	19	20.1	24	20	20.8	22	18	18.8	19.9
			21	18		22	18		20	16		
			20	18	1.4	22	19	1.6	19	17	1.6	
			22	20		22	20		21	18		
	12.3		31	27	28.3	33	27	29.3	29	25	25.9	27.8
			30	25		30	27		26	23		
			29	26	1.9	31	27	2.1	28	24	1.7	
			31	28		32	28		28	25		
	14.0		33	29	29.7	35	31	31.9	30	27	27.5	29.6
			31	27		33	29		28	25		
			31	27	2.0	33	30	1.8	28	26	1.3	
			32	28		34	31		29	27		
13	9.1		29	25	25.7	30	24	26.7	27	23	24.1	25.5
			27	23		28	24		25	22		
			27	23	2.0	28	25	2.0	25	22	1.6	
			28	24		29	26		26	23		
	12.3		39	35	36.0	40	36	37.2	36	32	33.1	35.4
			38	33		39	34		34	30		
			38	33	2.4	39	34	2.6	34	31	2.0	
			39	34		40	36		36	32		
	14.0		44	39	40.4	45	40	41.3	41	37	38.2	39.9
			42	37		43	38		40	35		
			42	38	2.3	44	38	2.6	39	36	2.0	
			43	39		44	39		41	37		
15	9.1		33	28	29.4	34	30	30.8	30	26	26.7	28.9
			31	27		32	28		28	24		
			31	27	2.2	32	28	1.9	28	24	2.0	
			32	27		33	30		29	25		
	12.3		45	39	40.9	-	-	-	41	37	37.9	39.4
			43	37		-	-		40	35		
			43	38	2.8	-	-	-	40	35	2.5	
			44	39		-	-		41	35		
9.1	10	5.0	6.0	5.0	5.3	6.0	5.0	5.0	6.5	5.5	5.6	5.3
			5.5	4.5		5.0	4.0		5.5	5.0		
			5.0		0.3	5.0	4.5	0.4	5.5	5.0	0.3	
			6.0	5.5		5.5	5.0		6.0			
	12.3		17	15	14.8	17	15	15.2	16	13	13.7	14.6
			15	13		16	13		14	12		
			15	13	0.9	16	14	1.0	14	12	1.0	
			16	15		16	15		15	14		
	14.0		21	17	18.0	21	18	18.6	19	16	16.6	17.7
			19	16		19	16		17	15		
			19	16	1.6	19	17	1.4	17	15	1.1	
			20	17		21	18		18	16		
9.1	10	20.2	31	26	27.7	31	26	28.6	29	25	26.1	27.4
			29	25		30	26		27	24		
			29	25	2.0	30	27	1.9	27	24	1.6	
			30	27		31	28		28	25		
	13	5.0	7.5	6.0	6.3	7.0	6.0	5.9	-	-	-	6.1
			6.5	5.5		6.0	5.0		-	-	-	
			6.5	5.5	0.6	6.0	5.0	0.4	-	-	-	
			7.0	6.0		6.5	6.0		-	-	-	
	12.3		21	18	18.7	22	19	19.8	-	-	-	19.2
			19	17		20	18		-	-	-	
			19	17	1.2	21	18	1.4	-	-	-	
			21	18		22	19		-	-	-	
	14.0		25	21	22.1	26	23	23.6	-	-	-	22.8
			23	20		25	21		-	-	-	
			23	20	1.6	24	21	1.6	-	-	-	
			24	21		26	23		-	-	-	
15	20.2		38	34	35.0	40	36	37.2	-	-	-	36.1
			37	32		39	34		-	-	-	
			37	32	2.4	39	34	2.3	-	-	-	
			38	33		40	36		-	-	-	
	5.0		8.5	7.5	7.3	8.0	7.0	7.0	-	-	-	7.1
			7.5	6.0		7.0	6.0		-	-	-	
			7.5	6.5	0.6	7.0	6.5	0.4	-	-	-	
			8.0	7.0		8.0	7.0		-	-	-	

12.3	24 21 23 19 22 20 24 21	21.7 1.5	25 22 24 20 23 20 25 22	22.5 1.6	- - - - - - - -	- - - - - - - -	22.1
14.0	28 25 26 23 26 23 28 24	25.3 1.6	29 26 28 24 28 25 29 26	26.8 1.6	- - - - - - - -	- - - - - - - -	26.0
20.2	43 38 41 36 43 37 42 38	39.7 2.5	45 40 43 38 44 38 45 40	41.5 2.6	- - - - - - - -	- - - - - - - -	40.6
12.3 10	5.0 4.0 3.0 3.0 2.5 3.0 2.5 4.0 3.0	3.1 0.4	4.0 3.0 3.0 2.0 3.0 2.5 3.5 3.0	2.9 0.4	4.5 4.0 4.0 3.0 4.0 3.0 4.5 4.0	3.8 0.4	3.2
9.1	8.0 7.0 7.0 6.0 7.0 6.0 7.5 7.0	6.9 0.4	7.5 6.5 7.0 5.5 7.0 6.0 7.5 6.5	6.7 0.6	8.5 7.0 8.5 7.0 8.0 6.5 8.5 7.5	7.7 0.7	7.1
14.0	14 12 14 10 12 11 14 12	12.3 1.1	15 12 13 11 13 12 14 13	12.8 0.9	13 12 12 10 12 10 13 12	11.7 0.8	12.3
20.2	21 19 20 17 20 17 21 18	19.1 1.4	23 19 22 17 20 18 21 19	19.8 1.6	20 18 19 16 19 16 20 17	18.1 1.4	19.0
13	5.0 5.0 4.0 4.0 3.5 4.0 3.5 5.0 4.0	4.1 0.4	4.5 4.0 4.0 3.5 4.0 3.5 4.5 4.0	4.0 0.3	5.0 4.5 4.5 4.0 4.5 4.0 5.0 4.5	4.5 0.3	4.2
9.1	10 9 8 7 9 7 9	8.4 0.5	10 8 8 7 8 7 9 8	8.1 0.6	11 9 9 8 9 8 11 9	9.2 0.7	8.6
14.0	19 16 17 15 17 15 19 16	16.7 1.2	19 16 18 15 18 15 19 17	17.1 1.4	18 15 16 14 16 14 18 16	15.8 1.1	16.5
20.2	29 25 27 23 27 24 29 25	26.0 1.9	29 25 27 24 27 24 29 25	26.2 1.7	28 24 26 22 26 23 27 24	24.9 1.8	25.7
25	5.0 11 9 9 8 9 8 10 9	9.1 0.6	10 9 8 7 9 7 10 9	8.6 0.6	- - - - - - - -	- - - - - - - -	8.8
9.1	20 18 19 16 18 16 20 18	18.1 1.1	19 17 18 15 18 15 19 17	17.2 1.3	- - - - - - - -	- - - - - - - -	17.6
14.0	32 28 30 26 30 26 31 28	28.8 1.9	33 29 31 27 31 27 32 28	29.7 2.0	- - - - - - - -	- - - - - - - -	29.2
14.0 10	5.0 3.5 3.0 3.0 2.0 3.0 2.5 3.5 3.0	2.9 0.3	3.5 3.0 3.0 2.0 3.5 3.0 4.5 3.5	3.2 0.4	4.5 3.5 3.5 2.0 3.5 2.5 4.0 3.5	3.3 0.5	3.1
9.1	6.5 5.5 5.5 5.0 5.5 5.0 6.0 5.5	5.5 0.3	6.0 5.0 5.5 4.5 5.5 4.5 5.5	5.2 0.4	6.5 6.0 6.0 5.5 6.0 5.5 6.5 6.0	6.0 0.3	5.6
12.3	9.0 7.5 8.0 7.0 8.0 7.5 8.5 8.0	7.9 0.4	9.0 7.5 8.0 7.0 8.0 7.0 8.5 7.5	7.8 0.6	9.5 8.5 8.5 7.5 8.5 8.0 9.5 8.5	8.5 0.4	8.1
20.2	20 16 18 15 18 16 19 17	17.3 1.4	21 17 19 16 19 16 20 18	18.2 1.5	19 16 17 14 17 15 18 16	16.4 1.3	17.3

観測者 01	観測者 02			観測者 03			観測者 04			観測者 05			観測者 06			観測者 07			観測者 08		
Do Xo D	X _L	X _U	ΔX XPSE	X _L	X _U	ΔX XPSE	X _L	X _U	ΔX XPSE	X _L	X _U	ΔX XPSE	X _L	X _U	ΔX XPSE	X _L	X _U	ΔX XPSE	X _L	X _U	ΔX XPSE
3.9 4 6.1	5.8	7.1	0.7 6.4	6.4	7.3	0.4 6.8	5.9	6.8	0.4 6.3	6.1	7.4	0.6 6.7	6.4	7.4	0.5 6.9	6.0	7.0	0.5 6.5	6.4	7.3	0.4 6.8
6 6	7.3	8.6	0.7 7.9	8.3	9.4	0.6 8.8	7.3	8.8	0.6 8.0	8.6	10.5	0.9 9.5	8.5	9.8	0.6 9.1	8.1	10.3	1.1 9.1	8.4	9.6	0.6 9.0
10 10	10.8	14.3	1.8 12.4	11.3	13.3	1.0 12.2	11.5	14.8	1.6 13.0	11.8	16.0	2.1 13.7	12.5	14.3	0.9 13.3	11.3	13.8	1.3 12.4	12.3	14.0	0.9 13.1
15 15	-	-	-	16.0	19.8	1.9 17.8	16.8	20.0	1.6 18.3	16.8	20.8	2.0 18.6	18.0	19.8	0.9 18.9	15.8	21.0	2.6 18.2	17.5	20.0	1.3 18.7
22 22	-	-	-	23.0	26.0	1.5 24.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.1 4 8.7	6.0	7.3	0.6 6.6	6.8	7.9	0.6 7.3	5.9	6.9	0.5 6.4	6.5	7.5	0.5 7.0	6.7	7.5	0.3 7.2	5.9	7.6	0.9 6.7	6.4	7.1	0.4 6.7
6 6	8.4	10.8	1.2 9.5	10.0	11.0	0.5 10.5	8.9	10.3	0.7 9.5	8.9	11.3	1.2 10.0	9.4	9.9	0.3 9.6	8.1	10.5	1.2 9.2	9.1	10.4	0.6 9.7
10 10	12.5	16.0	1.8 14.1	15.0	17.0	1.0 16.0	13.8	16.5	1.4 15.1	13.3	17.0	1.9 15.0	15.3	17.0	0.9 16.1	12.8	16.8	2.0 14.6	14.3	16.0	0.9 15.1
15 15	-	-	-	20.5	23.0	1.3 21.7	19.0	23.0	2.0 20.9	18.3	22.0	1.9 20.0	20.3	21.8	0.8 21.0	17.3	23.0	2.9 19.9	19.5	21.5	1.0 20.5
22 22	-	-	-	26.8	30.8	2.0 28.7	27.3	32.3	2.5 29.6	-	-	-	25.8	29.0	1.6 27.3	-	-	-	26.5	29.5	1.5 28.0
8.7 4 14.0	7.6	9.8	1.1 8.6	8.5	10.4	0.9 9.4	7.6	8.8	0.6 8.2	8.1	10.4	1.1 9.2	10.0	10.9	0.4 10.4	7.3	9.4	1.1 8.2	8.0	8.8	0.4 8.4
6 6	11.0	13.1	1.1 12.0	12.8	14.4	0.8 13.5	11.3	12.3	0.5 11.7	11.6	14.6	1.5 13.0	12.4	13.5	0.6 12.9	9.6	13.6	2.0 11.5	11.5	12.8	0.6 12.1
10 10	16.8	21.0	2.1 18.8	18.8	21.0	1.1 19.8	16.8	19.8	1.5 18.2	16.5	21.5	2.5 18.8	18.8	21.3	1.3 20.0	15.5	22.3	3.4 18.6	18.0	19.5	0.8 18.7
15 15	23.3	27.5	2.1 25.3	25.8	29.5	1.9 27.6	24.0	27.8	1.9 25.8	23.0	28.3	2.6 25.5	24.8	27.0	1.1 25.9	23.8	29.8	3.0 26.6	25.3	28.3	1.5 26.7
22 22	-	-	-	35.5	40.5	2.5 37.9	34.5	38.8	2.1 36.6	31.8	37.8	3.0 34.6	33.3	37.5	2.1 35.3	31.8	37.5	2.9 34.4	37.0	39.5	1.3 38.2
14.0 4 19.6	6.8	8.4	0.8 7.5	7.4	9.0	0.8 8.1	6.6	7.6	0.5 7.1	7.0	8.8	0.9 7.8	7.8	8.9	0.6 8.3	6.8	8.9	1.1 7.7	6.9	7.6	0.4 7.2
6 6	8.9	11.5	1.3 10.1	10.8	12.4	0.8 11.5	9.9	11.0	0.6 10.4	9.8	11.9	1.1 10.8	10.8	11.9	0.6 11.3	9.4	11.6	1.1 10.4	9.9	10.9	0.5 10.4
10 10	14.8	18.3	1.8 16.4	16.8	18.8	1.0 17.7	14.8	16.5	0.9 15.6	15.0	20.5	2.8 17.5	17.0	18.3	0.6 17.6	14.3	18.0	1.9 16.0	15.5	17.3	0.9 16.4
15 15	21.3	25.3	2.3 23.2	24.5	26.5	1.0 25.5	21.5	24.0	1.3 22.7	22.0	27.8	2.6 24.7	24.3	25.8	0.8 25.0	20.8	25.0	2.1 22.8	22.0	23.8	0.9 22.9
22 22	28.8	32.0	1.6 30.3	31.3	35.0	1.9 33.1	28.3	31.3	1.5 29.7	29.0	36.8	3.9 32.6	31.5	34.3	1.4 32.8	27.3	32.3	2.5 29.6	31.3	34.0	1.4 32.6
19.6 4 26.8	6.3	7.8	0.8 7.0	7.8	9.5	0.9 8.6	6.1	6.9	0.4 6.5	6.3	8.3	1.0 7.2	7.1	7.9	0.4 7.5	6.4	8.8	1.2 7.5	6.8	7.5	0.4 7.1
6 6	9.1	11.3	1.1 10.1	11.1	13.0	0.9 12.0	9.0	10.4	0.7 9.7	9.4	12.9	1.8 11.0	10.1	11.1	0.5 10.6	8.9	11.4	1.3 10.1	9.8	10.9	0.6 10.3
10 10	14.5	18.0	1.8 16.2	15.8	19.0	1.6 17.3	14.5	17.3	1.4 15.8	16.0	20.5	2.3 18.1	16.3	18.3	1.0 17.2	13.8	17.8	2.0 15.6	15.5	17.3	0.9 16.4
15 15	20.5	25.0	2.3 22.6	22.3	24.8	1.3 23.5	21.5	24.0	1.3 22.7	21.5	29.8	4.1 25.3	22.5	25.0	1.3 23.7	19.8	24.5	2.4 22.0	22.0	24.0	1.0 23.0
22 22	28.0	34.5	3.3 31.1	30.8	33.0	1.3 31.9	29.5	32.3	1.4 30.8	31.3	37.8	3.3 34.3	30.3	33.3	1.5 31.7	28.3	33.3	2.5 30.6	31.0	33.8	1.4 32.3

予備実験結果：同じ見えのあらさを与える観察距離(X_{PSE})と入射角(θ)・照度(E)との関係 実験者：服部 1972

標準刺激 提示距離 入射角 θ			観察者 01				観察者 02				観察者 03				
比較刺激 (mm)	(m)	(deg)	X_U	X_L	$4X$	X_{PSE}	X_U	X_L	$4X$	X_{PSE}	X_U	X_L	$4X$	X_{PSE}	
4.9	8	60	10.0	12.5	1.2	11.2	11.4	14.5	1.5	12.9	12.0	15.0	1.5	13.4	
		75	14.3	19.5	2.6	16.7	18.0	21.4	1.7	19.6	19.0	21.0	1.0	20.0	
	10	30	7.0	9.2	1.1	8.0	7.7	9.2	0.7	8.5	7.5	9.0	0.8	8.2	
		60	13.0	16.0	1.5	14.4	13.5	16.0	1.2	14.7	13.0	16.5	1.8	14.6	
		75	17.5	22.4	2.5	19.8	18.4	21.4	1.5	19.9	16.9	21.0	2.1	18.8	
	13	30	9.5	11.5	1.0	10.5	9.9	12.7	1.4	11.3	9.5	12.2	1.4	10.8	
		60	18.0	21.0	1.5	19.4	17.0	20.0	1.5	18.4	17.0	20.0	1.5	18.4	
		75	23.5	26.5	1.5	24.9	23.0	25.5	1.2	24.2	22.0	24.5	1.2	23.2	
		照度 E (lx)													
	4.9	8	80	7.0	8.0	0.5	7.5	7.0	8.7	0.9	7.8	-	-	-	-
	10	320	7.7	9.5	0.9	8.6	7.7	10.0	1.1	8.8	-	-	-	-	-
		1000	8.5	11.5	1.5	9.9	9.8	13.5	1.8	11.5	-	-	-	-	-
		2000	9.9	11.5	0.8	10.7	9.4	15.0	2.8	11.8	-	-	-	-	-
		80	8.5	11.5	1.5	9.9	9.0	10.5	0.8	9.7	9.2	10.7	0.8	10.0	
	320	9.5	14.2	2.4	11.6	10.0	13.5	1.8	11.6	10.2	12.2	1.0	11.2		
1000	12.0	14.0	1.0	12.9	12.4	16.0	1.8	14.1	-	-	-	-	-		
2000	12.0	14.4	1.2	13.1	13.4	17.0	1.8	15.1	12.0	15.0	1.5	13.4			
	13	80	11.0	13.0	1.0	11.9	10.7	13.2	1.3	11.9	-	-	-	-	-
		320	13.0	15.5	1.3	14.2	13.0	16.0	1.5	14.4	-	-	-	-	-
		1000	14.5	18.0	1.7	16.1	15.4	18.0	1.3	16.7	-	-	-	-	-
		2000	17.0	20.0	1.5	18.4	15.0	15.5	1.0	15.9	15.5	19.5	2.0	17.4	
	標準刺激 提示距離 比較刺激 (mm)														
4.9	10	3.1	4.7	6.6	1.0	5.6	5.4	6.9	0.8	6.1	4.7	7.1	1.2	5.8	
		8.2	15.0	19.0	2.0	16.9	15.2	19.9	2.4	17.4	14.5	18.0	1.7	16.1	
		12.6	27.9	33.2	2.6	30.5	24.9	32.0	3.5	28.2	24.5	30.0	2.8	27.1	
a															
											0.90		0.94		

実験台 : Q' 700 1980

照明条件が見えのあらさに及ぼす影響を求める実験の結果(相当粒度 d mm)

標準刺激 比較刺激 入射角			観察距離 $X_0 = 5m$ における相当粒度					観察距離 $X_0 = 10m$ における相当粒度					観察距離 $X_0 = 20m$ における相当粒度							
D_0 (mm)	D (mm)	θ (deg)	照度 E (lx)					照度 E (lx)					照度 E (lx)							
			50	100	300	1000	3000	6900	50	100	300	1000	3000	6900	50	100	300	1000	3000	6900
3.9	6.1	15	-	3.7	1.9	2.9	3.7	2.9	-	-	-	2.4	3.2	2.6	-	-	-	-	-	-
		30	2.6	2.6	3.1	2.8	3.7	3.7	-	-	-	2.4	2.8	4.5	-	-	-	-	-	-
		45	2.9	3.4	3.7	3.9	4.0	4.0	3.0	2.8	3.7	3.4	5.0	4.5	-	-	-	-	-	-
		60	4.2	4.0	3.9	4.7	4.5	X	4.4	4.6	5.3	5.8	7.6	X	-	-	-	5.5	11.6	X
		75	4.9	3.9	4.9	5.8	4.8	X	-	-	7.0	9.1	8.8	X	-	10.9	18.9	17.3	31.1	X
8.6	14.0	15	6.3	6.8	5.7	7.9	5.8	7.9	-	-	6.3	7.1	7.6	6.7	-	-	-	-	-	-
		30	6.4	8.1	8.3	7.9	9.0	8.6	-	7.4	7.4	7.3	8.0	8.0	-	-	-	-	7.7	7.2
		45	7.3	7.7	7.8	9.0	7.7	8.6	7.9	7.8	8.1	8.6	9.1	9.2	-	-	-	-	8.9	9.3
		60	8.2	8.6	8.9	7.8	9.0	X	8.6	8.8	8.5	10.0	10.1	X	-	9.2	9.1	10.4	11.9	X
		75	8.2	7.8	8.4	8.3	9.6	X	9.7	9.2	10.0	9.3	10.0	X	11.8	13.7	11.6	11.2	15.0	X
20.0	26.9	15	14.4	17.5	17.3	16.5	17.5	14.8	17.6	18.8	13.3	18.9	18.4	18.7	-	16.8	14.3	17.1	14.7	18.5
		30	20.2	16.7	19.4	18.7	20.3	20.5	19.0	17.3	19.2	16.4	19.5	19.0	-	17.4	16.3	18.7	18.1	18.5
		45	17.8	19.6	20.4	20.3	20.6	19.7	19.5	18.7	20.2	19.5	20.0	20.3	18.0	19.0	20.2	19.8	20.2	19.9
		60	19.0	19.2	19.9	19.4	20.3	X	-	20.0	18.5	18.9	20.0	X	18.0	20.9	18.8	21.0	21.3	X
		75	18.9	19.1	21.5	18.2	18.7	X	18.2	18.5	18.1	19.2	19.3	X	18.3	18.8	21.2	22.0	20.8	X
観察距離10mにおける相当粒度																				
3.9	6.1	15	-	6.9	3.5	5.4	7.0	5.4	(同上)					-	-	-	-	-	-	-
		30	4.9	4.9	5.8	5.3	7.0	7.0	(同上)					-	-	-	-	-	-	-
		45	5.4	6.4	7.0	7.3	7.5	7.5	(同上)					-	-	-	-	-	-	-
		60	7.9	7.5	7.3	8.8	8.5	X	(同上)					-	-	-	2.9	6.2	X	X
		75	9.2	7.3	9.2	10.9	9.0	X	(同上)					-	5.8	10.1	9.2	16.6	X	X
8.6	14.0	15	12.0	12.2	12.8	13.5	13.7	13.9	(同上)					-	-	-	-	-	-	-
		30	13.5	13.9	14.7	15.4	15.0	16.2	(同上)					-	-	-	-	-	4.1	3.8
		45	14.7	15.0	15.4	16.0	16.0	16.2	(同上)					-	-	-	-	-	4.7	4.9
		60	15.8	16.2	16.7	16.9	17.1	X	(同上)					-	4.9	4.8	5.5	6.3	X	X
		75	16.2	16.2	16.4	15.8	16.9	X	(同上)					6.3	7.3	6.2	6.0	8.0	X	X
20.0	26.9	15	27.1	32.9	32.5	31.0	32.9	27.8	(同上)					-	8.9	7.6	9.1	7.8	9.8	9.8
		30	38.0	31.4	36.5	35.1	38.1	38.5	(同上)					-	9.3	8.7	10.0	9.6	9.8	9.8
		45	33.4	36.5	38.3	38.1	38.7	37.0	(同上)					9.6	10.1	10.8	10.5	10.8	10.6	10.6
		60	35.7	36.1	37.4	36.5	38.1	X	(同上)					9.6	11.1	10.0	11.2	11.3	X	X
		75	35.5	35.9	40.4	34.2	35.1	X	(同上)					9.7	10.0	11.3	11.7	11.1	X	X

参 考 文 献

- 1 Gibson, J. J. The perception of visual surfaces. American Journal of Psychology, 63, 1950, pp. 367-384, (b).
- 2 ————. Perception of the Visual World. Boston: Houghton-Mifflin, 1950(a).
- 3 ————. The Ecological Approach to Visual Perception. Boston: Houghton Mifflin Co., 1979.
- 4 Pickett, R. M. The perception of a visual texture. Journal of Experimental Psychology, 68, 1964, 13-20.
- 5 北浦 かほる 「内装材のテクスチャの空間効果分析のための1考察 (試験片, 室内透視図, 室空間における心理量の分析)」日本建築学会論文報告集 第241号, pp. 153-164 1976. 3.
- 6 ————. 「表面あらさの視知覚とその定量化 (その1) —知覚型—」日本建築学会論文報告集 第263号, pp. 81-89, 1978. 1.
- 7 ————. 「表面あらさの視知覚とその定量化 (その2) —見えのあらさ要因—」日本建築学会論文報告集 第275号, pp. — 1979. 1.
- 8 Polyak, S. The Vertebrate Visual System. Chicago: The University of Chicago Press, 1957.
- 9 Rock, I. and Harris, C. S. Vision and Touch. Scientific American, May, 1967.
- 10 Arnheim, R. Art and Visual Perception. Berkeley: University of California Press, 1954.
- 11 芦原 義信 「外部空間の設計」 彰国社 1975
- 12 Hesselgren, S. The language of architecture. London: Applied Science Publisher Ltd., 1972.
- 13 Moholy-Nagy, L. The New Vision: Fundamentals of Design Paintings Sculpture Architecture. New York: W. W. Norton & Company Inc., 1938.

- 14 Rasmussen, S. E. Experiencing Architecture. Cambridge, Mass.: The M. I. T. Press, 1959.
- 15 Thiel, P. "Finish attributes-Texture, and Scale." Tokyo Institute of Technology, Lecture note, (unpublished), 1966.
- 16 Katz, D. The World of Color. (Translated by R. B. MacLeod and C. W. Fox) London: Kegan Paul, Trench, Trubner and Co., 1935.
- 17 Koffka, K. Principles of Gestalt Psychology. New York: Harcourt, Brace, and Co., 1935.
- 18 Julesz, B. Texture and visual perception. Scientific American, 212, No. 2, February, 1965.
- 19 ———. Visual pattern discrimination. Institute of Radio Engineering Transactions on Information Theory, IT-8, 1962, 84-97.
- 20 Lipkin, B. S. and Rosenfeld, A. (Eds.). Picture Processing and Psychopictorics. New York: Academic Press, 1970.
- 21 Rosenfeld, A. Automatic recognition of basic terrain types from aerial photographs. Photogram Eng., 28, 1962, pp. 115-132.
- 22 Edberg, G. Systematisering av Texturer, Texturers Egenskaper: R90. (Systematization of Texture, Qualities of Textures) Stockholm, 1977.
- 23 平山 達 「テクスチャに関する研究, 表面凹凸と視覚との関係」 (東京工業大学建築学科, 清家研究室, 卒業論文) 1964
- 24 大越 諄 「表面アラサ検査法」 コロナ社 1959.
- 25 Stevens, S. S. The scaling of subjective roughness and smoothness. Journal of Experimental Psychology, 64, 1962, 489-494.
- 26 中村 洋 「正射影カメラによる輝度および輝度分布の測定 (その1. 写真測光法と正射影カメラ・感光材料)」 日本建築学会論文報告集 第243号 pp. 73-79, 1976. 5.

- 27 中村 洋 「正射影カメラによる輝度および輝度分布の測定 (その2. 写真濃度の測定・校正・測定手順など)」 日本建築学会論文報告集 第244号 pp. 81-87, 1976. 6
- 28 Guilford, J.P. 秋重 義治 監訳 「精神測定法」 培風館 1959.
- 29 和田 陽平 他編 「感覚・知覚心理学ハンドブック」 城信書房 1969
- 30 秋重 義治 編 「知覚的世界の恒常性 認識心理学 I」 理想社 1970
- 31 柿崎 祐一 他 「心理学 I 知覚・認知」 有斐閣 1976
- 32 肥田 野直 他 「心理・教育 統計学」 培風館 1961

既 発 表 論 文

論文題目名	掲 載 誌	共同発表者
1 テクスチャの視覚に関する研究 その1. あらさの空間尺度	日本建築学会大会 学術講演梗概集 昭和47年10月 PP.443-444	茶谷 正洋 諏訪 満
2 その2. 見えのアラサと観察距離	同 PP.445-446	茶谷 正洋 諏訪 満
3 その3. 見えのあらさと心理効果	同 PP.447-448	茶谷 正洋 諏訪 満
4 その8. 輝度と反射率が見えのあらさに及ぼす影響	日本建築学会大会 学術講演梗概集 昭和50年10月 PP.479-480	茶谷 正洋 吉原 昭則
5 その10. 表面視あらさの尺度構成	日本建築学会大会 学術講演梗概集 昭和51年10月 PP.1617-1618	茶谷 正洋 武石 哲
6 その11. 明暗輝度分布と見えのアラサ	同 PP.1619-1620	茶谷 正洋
7 その12. 建築材料の心理尺度構成 による考察	同 PP.1621-1622	茶谷 正洋 生野 啓介
8 その13. 素材感の構造	日本建築学会大会 学術講演梗概集 昭和52年10月 PP.561-562	茶谷 正洋
9 その14. 二種のアラサが混在する場合の 見えのアラサ	同 PP.563-564	茶谷 正洋 川田 正広
10 その15. 表面あらさと観察距離が 見えのあらさに与える影響	日本建築学会大会 学術講演梗概集 昭和53年9月 PP.685-686	茶谷 正洋 取出 浩
11 その16. 凹部凸部で明度が異なる場合の 見えのあらさ	同 PP.687-688	茶谷 正洋 小林 啓明
12 その17. テクスチャの構成要素の 最小分離閾	同 PP.689-690	茶谷 正洋 川田 正広

- | | | | |
|----|---|--|---------------------------------|
| 13 | テクスチャの視覚に関する研究
その18. 建築材料の表面視あらし尺度構成 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
昭和53年9月 PP.691-692 | 茶谷 正洋
山本 武司 |
| 14 | テクスチャの視覚に関する研究
第1報 見えのあらしとその表示方法 | 日本建築学会論文報告集
第277号 昭和54年3月
PP.71-81 | 茶谷 正洋
諏訪 満 |
| 15 | テクスチャの視覚に関する研究
その19. 粒子間距離が見えのあらしに
及ぼす影響 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
昭和54年9月 PP.677-678 | 茶谷 正洋
小林 啓明
多田 誠 |
| 16 | その20. 建築仕上げ材料の素材感について | 同 PP.679-680 | 茶谷 正洋
川田 正広
山本 武司 |
| 17 | VISUAL PERCEPTION OF TEXTURE :
DEVELOPMENT OF A SCALE OF THE PERCEIVED
SURFACE ROUGHNESS OF BUILDING MATERIALS. | EDRA11: Proceedings of
the 11th Annual Conference
of the Enviromental Design
Research Association.
PP.193-200, 1980. | |
| 18 | テクスチャの視覚に関する研究
第2報 石膏粒度板の見えのあらし | 日本建築学会論文報告集
第294号 昭和55年8月
PP.123-130 | 茶谷 正洋
小林 啓明 |
| 19 | テクスチャの視覚に関する研究
第3報 見えのあらしの物理量と知覚量 | 日本建築学会論文報告集
第304号 昭和56年6月
PP.103-114 | 茶谷 正洋
吉原 昭則
武石 哲
山本 武司 |
| 20 | THE VISUAL PERCEPTION OF TEXTURE
IN THE ENVIRONMENT | Publications in Architecture
and Urban Planning, Report
R80-2, University of Wisconsin-
Milwaukee, 1980. | |