医用画像工学実験

−ROC解析以外の主観的評価　編−

問題　主観的評価法はどれか.

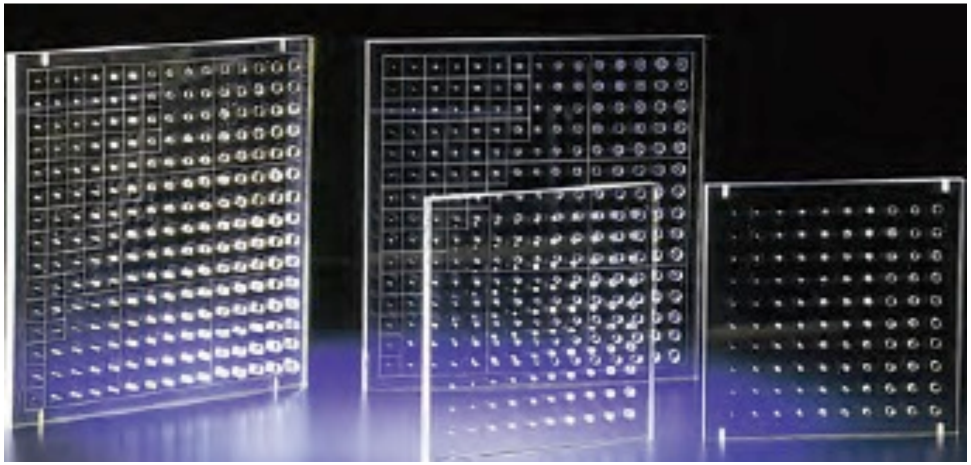
a．一対比較法
b．CDダイアグラム法
c．ハウレット・チャート法
d．ランドル環法
e．バーガー・ファントム法

解答選択肢
1．a, b, c
2．b, d ,e
3．a, c, e
4．a, b, c, d
5．a, b, c, d, e

C-Dダイアグラム法

- C-D： Contrast-Detailの略
  - C-Dダイアグラム
    - 信号のサイズ vs. コントラスト の関係を示すグラフ
- 別名 : バーガーファントム法
  - バーガーファントム
    - 一枚のアクリル樹脂板にコントラストとサイズを順次変化させた信号を格子状に配置したファントム
- 観察者は，各信号サイズごとにどのコントラストの信号まで見えるかを答える.

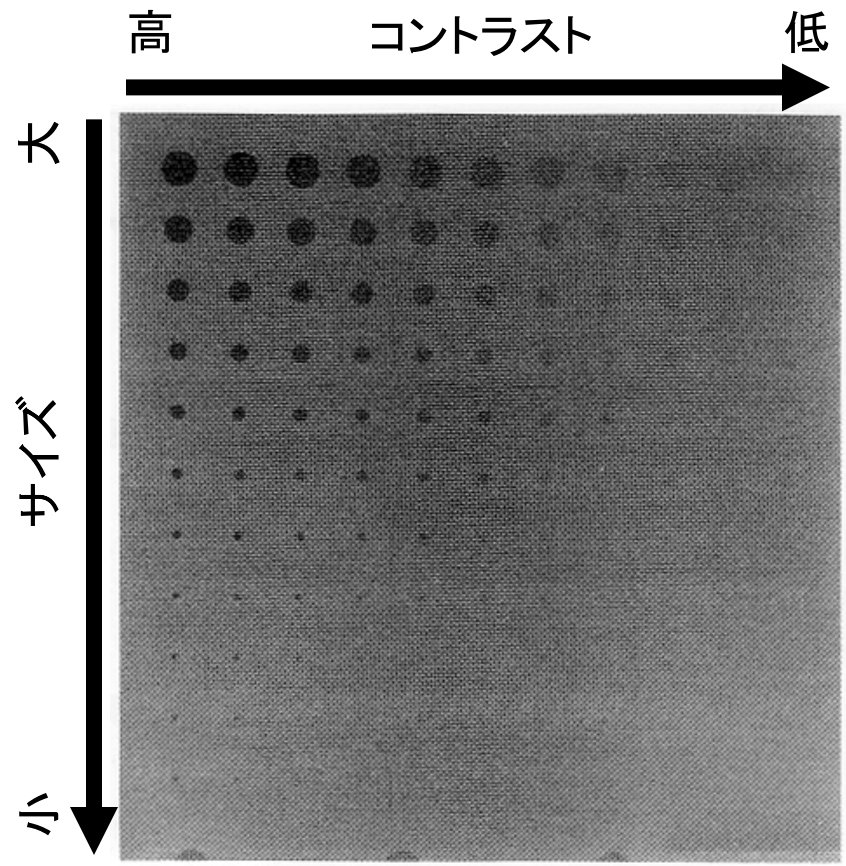
バーガーファントム



MF-01 バーガーファントム Contrast Detail Phantom

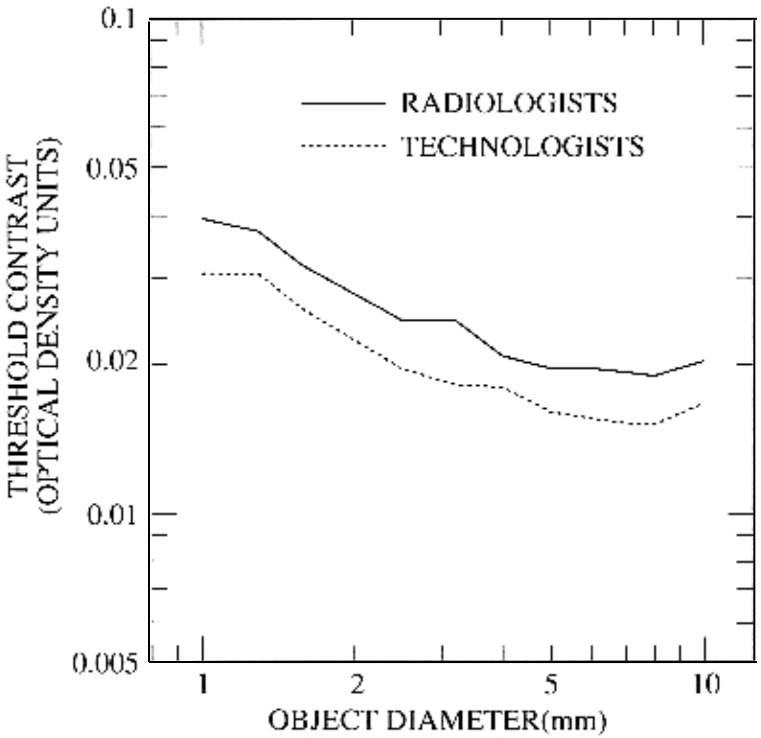
X線単純撮影の濃度分解能力を評価するためのファントムです。
アクリル樹脂の厚さを10mm面出し加工をしてあります。

■仕様
- ●材質:アクリル樹脂
- ●凸凹15型:15×15孔・突起/径1.0〜8.0mm 0.5mm刻み/
  深さ・高さ1.0〜8.0 mm 0.5 mm刻み
  サイズ200×200 mm
- ●凸凹10型:10×10孔・突起/径1.0〜5.5mm 0.5mm刻み/
  深さ・高さ1.0〜5.5mm 0.5 mm刻み
  サイズ140×140 mm



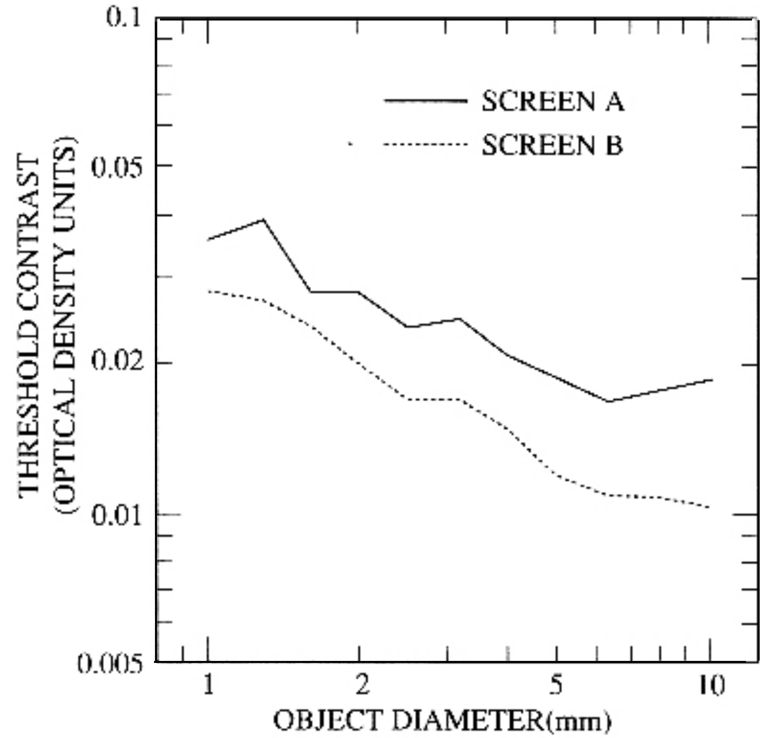
バーガーファントムのX線写真

C-Dダイアグラム



放射線科医と放射線技師の
C-Dダイアグラム比較

「見える」という判断基準の違い



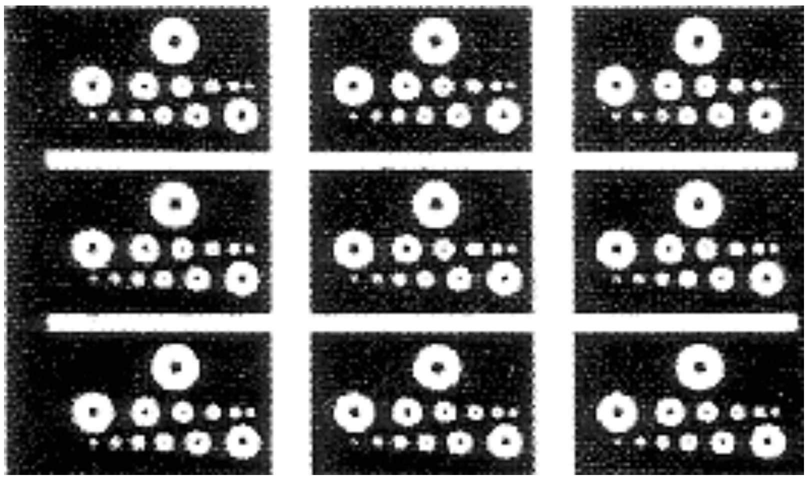
２種類の増感紙の
C-Dダイアグラム比較

同じ観察者群であればSCREEN ~~A~~Bが
コントラスト特性が良いと言える

ハウレット・チャート法

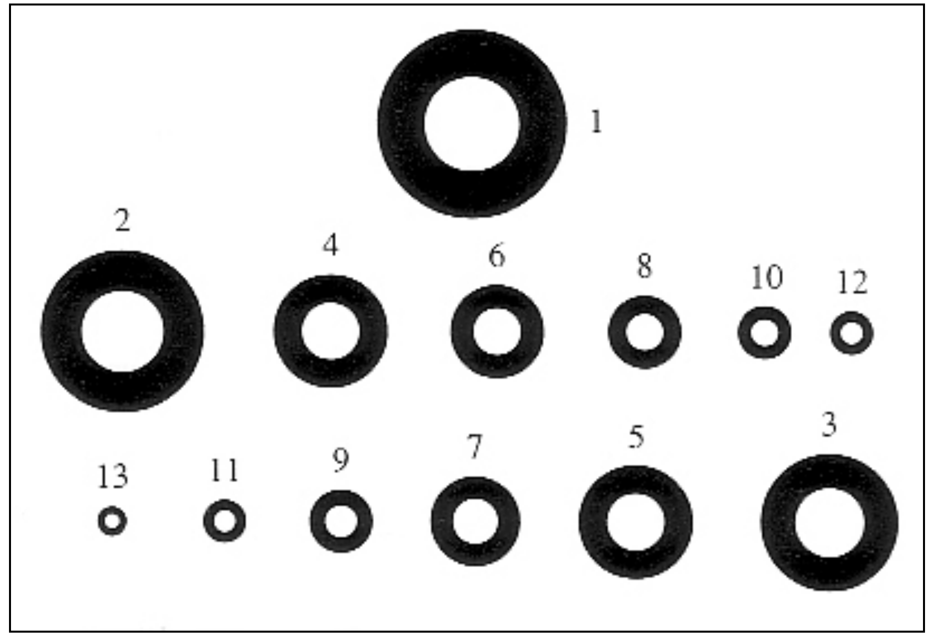
- カメラや写真感光材料などの分野で使われていた古典的な評価法（1940~1950年代）
- 1990年代日本でX線画像分野に導入される
- 空間周波数 vs. 視認率 のグラフが求まる
  - Spatial Frequency (cycles/mm) vs. Visibility

ハウレットチャート



ハウレットチャートの実物写真

X線透過性のよい基板に銅板を張り付けた構造
中心部：銅板製P（ポジ）型
［逆もある：N（ネガ）型］



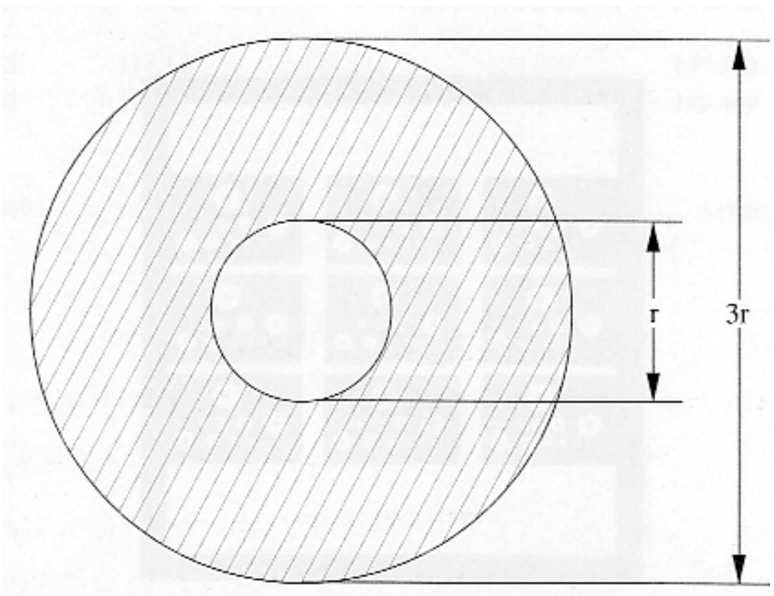
ハウレットチャートのドーナツ環の構成

番号は「画質値（IQ値）」と呼ばれている

大きさ（空間周波数）の異なる13種のドーナツ環を１組として，３行３列９組の同一パターンが配置されている

画質値，内径，空間周波数の関係

画質値	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
内径（mm）	1.00	0.84	0.71	0.59	0.50	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13
空間周波数(LP/mm)	0.50	0.59	0.71	0.84	1.00	1.19	1.41	1.68	2.00	2.38	2.83	2.36	4.00



ドーナツ環の内径と外形の関係

画質値iと内側部の直径rとの関係式

$$r = 2^{\frac{1-i}{4}}$$

画質値iと空間周波数sとの関係式

$$S = 2^{\frac{i-5}{4}}$$

両辺の対数を取ると，

$$\log_{10} s = \frac{i-5}{4} \log_{10} 2$$

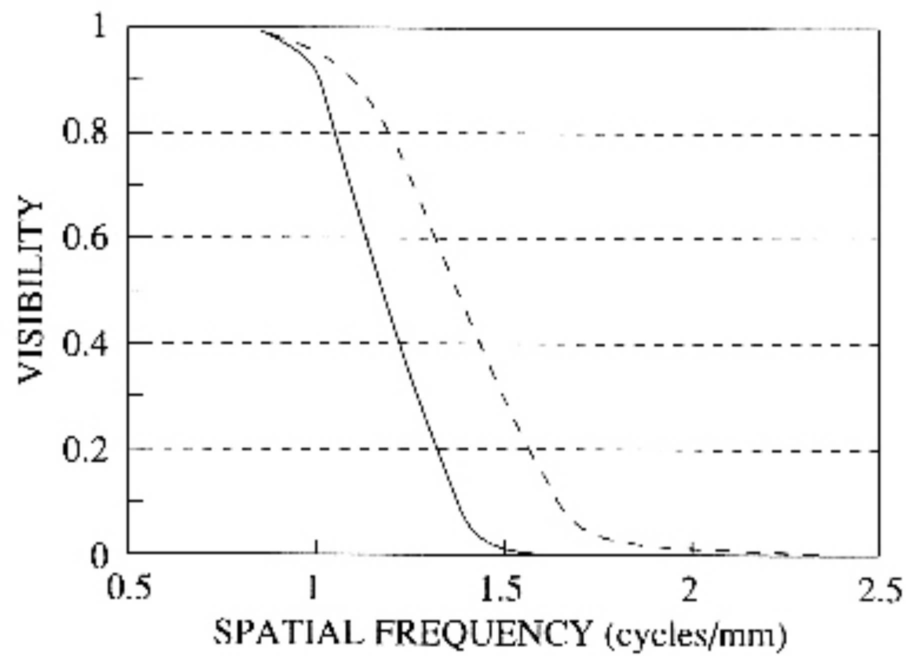
$$i = 5 + \frac{4}{\log_{10} 2} \cdot \log_{10} s = 5 + 13.3 \log_{10} s$$

*注）本来ある空間周波数を持つパターンとは空間領域では無限に続くものに対して定義されており，このように単独のパターンに1つの空間周波数を対応させることは厳密ではない．

ハウレットチャートの評価

画質値	空間周波数 (cycles/mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
1	0.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9
2	0.59	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9
3	0.71	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9
4	0.84	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9
5	1.00	×	○	○	×	○	○	○	○	○	7
6	1.19	×	○	○	○	×	○	○	○	×	6
7	1.41	○	×	×	×	×	○	○	○	×	4
8	1.68	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0
9	2.00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0
10	2.38	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0
11	2.83	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0
12	3.36	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0
13	4.00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0

ハウレットチャートの評価表
「見える」: ○
「見えない」: ×

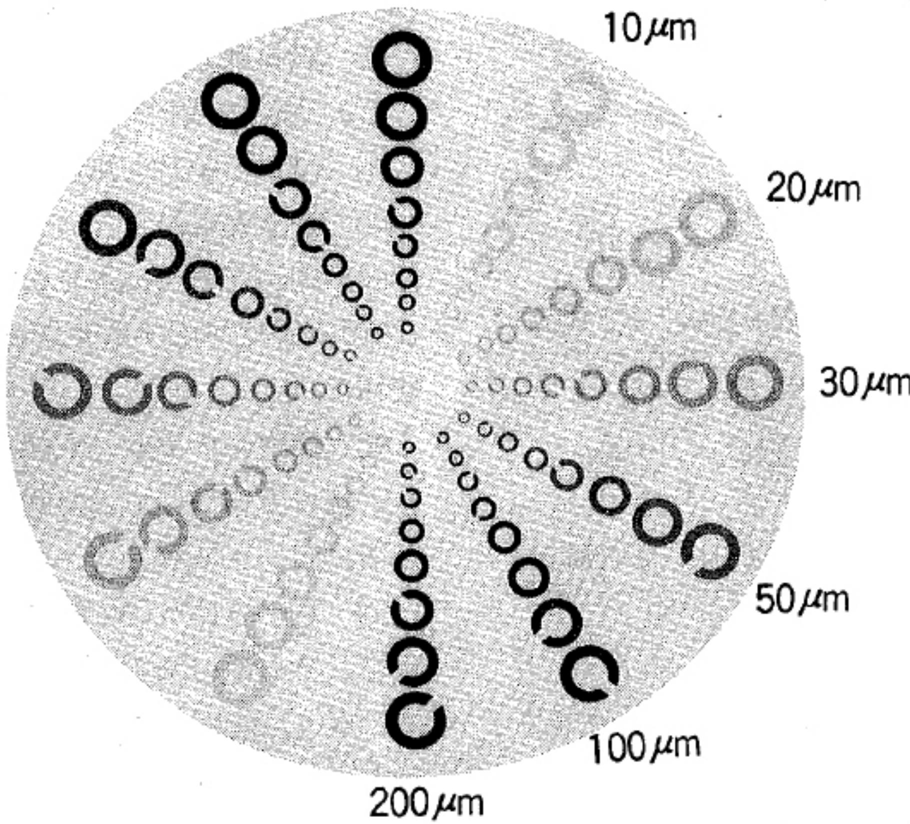


「空間周波数－視認率」 曲線

ランドル環法

- 視力測定に利用されるランドル環を使用した画質評価法
- 1980年代日本でX線画像の画質管理用に導入される
- ROC解析と組み合わせた評価方法がある

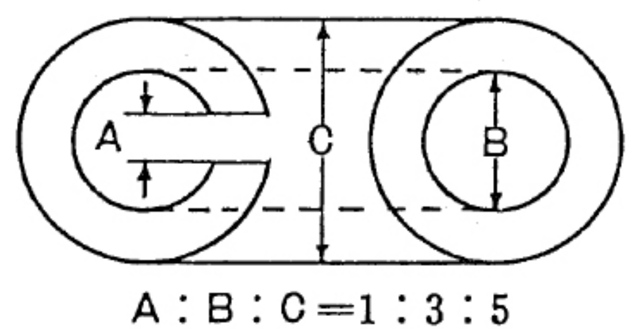
ランドル環チャート



ランドル環チャートのX線写真

アクリル板に燐青銅をフェッチングしたチャート

環の厚さ	外形寸法		C字形の空間周波数
200μm	7.5 mm		0.33 cycle/mm
100μm	6.0 mm		0.42 cycle/mm
50μm	5.0 mm		0.50 cycle/mm
30μm	4.0 mm	⟷ 対応	0.62 cycle/mm
20μm	3.0 mm		0.83 cycle/mm
10μm	2.5 mm		1.00 cycle/mm
	2.0 mm		1.25 cycle/mm
	1.5 mm		1.66 cycle/mm



C字型
（ランドル環）

O字型

ROC解析による評価方法

あらかじめ見えにくくなる厚さと外径の環を選んでおき，C字型の開口部に注目して，開口部のあるもの（C字形）を信号有り，開口部のないもの（O字形）を信号無しとして，５つのカテゴリに分類する評定実験を行う．

５つのカテゴリ

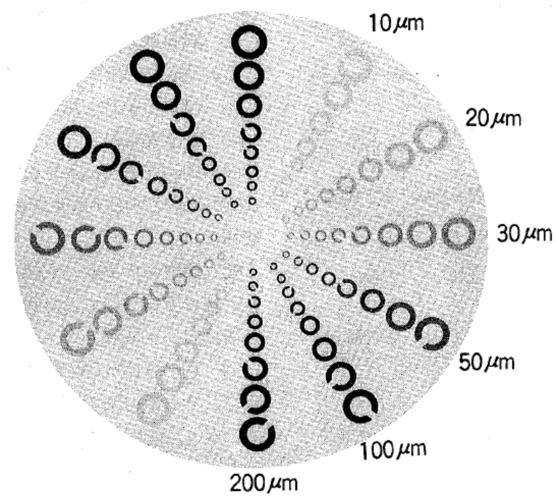
Ⅰ．絶対O字形である．

Ⅱ．たぶんO字形であろう．

Ⅲ．どちらかわからない．

Ⅳ．たぶんC字形であろう．

Ⅴ．絶対にC字形である．



Ⅳ，Ⅴと回答した場合は，開口部の開口方向を指摘させ，正しい方向と一致していない場合は，信号成分について信号なしと判定していることとなり，Ⅱの分類とする．

解答の集計方法

	I	II	III	IV	V
C字形の試料について	C_1 $\frac{\sum_{i=1}^{5} C_i}{T} =$ $P_{I}(S\|s)$	C_2 $\frac{\sum_{i=2}^{5} C_i}{T} =$ $P_{II}(S\|s)$	C_3 $\frac{\sum_{i=3}^{5} C_i}{T} =$ $P_{III}(S\|s)$	C_4 $\frac{\sum_{i=4}^{5} C_i}{T} =$ $P_{IV}(S\|s)$	C_5 $\frac{C_5}{T} =$ $P_{V}(S\|s)$
O字形の試料について	O_1 $\frac{\sum_{i=1}^{5} O_i}{T} =$ $P_{I}(S\|n)$	O_2 $\frac{\sum_{i=2}^{5} O_i}{T} =$ $P_{II}(S\|n)$	O_3 $\frac{\sum_{i=3}^{5} O_i}{T} =$ $P_{III}(S\|n)$	O_4 $\frac{\sum_{i=4}^{5} O_i}{T} =$ $P_{IV}(S\|n)$	O_5 $\frac{O_5}{T} =$ $P_{V}(S\|n)$

C_i:C字形（信号あり）が示されたときの各カテゴリに選択された数

O_i:O字形（信号なし）が示されたときの各カテゴリに選択された数

$$P_i(S \mid s) = \sum_{i=1}^{5} \frac{C_i}{T}$$:信号が示されている場合のi番目のカテゴリについての確率

$$P_i(S \mid n) = \sum_{i=1}^{5} \frac{O_i}{T}$$:信号無しの場合のi番目のカテゴリについての確率

$$T = \sum_{i=1}^{5} C_i$$:C字形（信号あり）のパターンを示した総資料数

$$T = \sum_{i=1}^{5} O_i$$:O字形（信号無し）のパターンを示した総資料数

官能検査（sensory test）

- 人間の感覚器官（五感）を使って行う検査
  - 分析型官能検査
    - 人間の感覚器官を測定器として用いて品物の特性を測定したり，差を検出したりする方法
      - ジュースの甘味度，布地の織りムラや汚れ
  - 嗜好型官能検査
    - 人間の特性を測定しようとする方法
      - 消費者がどのコーヒーが好きか

統計的官能検査

- 官能検査の限界
  - 測定器とは言え，人間は時として（意図しなくても）ウソをつくことがある
  - 人間の感覚による測定には，どうしても誤差変動が生じる

- 官能検査＋統計的手法
  - 誤差変動を合理的に扱うことが可能となった
  - 結果に客観性を持たせることで，科学的な測定手段として使用できるようになった

統計的官能検査の手法

- 二点比較法
  - AとBの２種類の資料を比較して，質問事項に当てはまるものを選択させる方法
    - 二点識別法（直接法，近似法）
    - 二点嗜好法（直接法，近似法）
- 順位法
  - 資料A，B，C，．．．を同時に表示して，ある特性または嗜好について順位を付けさせる方法
    - ウィルコクソンの順位和検定
    - スピアマンの順位相関係数
- 一対比較法
  - 資料A，B，C，．．．を2個ずつ組み合わせて比較する方法
    - シェッフェの一対比較の原法
    - シェッフェの一対比較の変法（芳賀，浦，中屋）

二点比較法

- 二点識別法
  - あらかじめ客観的な順位のついている試料を用いて，検査員（観察者）が試料を正しく選べるかを調べる方法
    - 電位差を変えて発光させた2つの閃光の明るさ識別
    - ステップウェッジのX線写真濃度の識別

- 二点嗜好法
  - ２種類の試料を比較して，好ましい方または良い方を選ばせる方法
    - 産地が異なる2種類のりんごの甘味度

例題：二点嗜好法

- 試料ＡとＢを比較して，好ましい方を選ぶテストを１２人に対して行ったところ，１０人がＡを選び，２人がＢを選んだ．

- Ａが好まれると判断してよいか．

嗜好度の有意差検定が必要

嗜好度の有意差検定の考え方1

- 帰無仮説をたてて，この仮説を検定する
  - 帰無仮説：AとBの好まれ方には差がない
  - この仮説が正しいとき，
    - Aを選ぶ確率pは0.5，
    - Bを選ぶ確率qも（1－p）＝0.5
- n人中x人がAを選ぶ確率：$P(x) = {}_n\mathrm{C}_x p^x q^{n-x}$
- n人中x人がBを選ぶ確率：$Q(x) = {}_n\mathrm{C}_x p^{n-x} q^x = P(n-x)$
- n人中x人がAを選ぶ，またはBを選ぶ確率：

$$P(x) + P(n-x) = {}_nC_x(p^x q^{n-x} + p^{n-x} q^x)$$

嗜好度の有意差検定の考え方$_2$

n人中x人がAを選ぶ，またはBを選ぶ確率（p=q=0.5のとき）

$$P(x)+P(n-x)={}_nC_x\left(p^x q^{n-x}+p^{n-x}q^x\right)$$

$$={}_nC_x\left[\left(\frac{1}{2}\right)^x\left(\frac{1}{2}\right)^{n-x}+\left(\frac{1}{2}\right)^n\left(\frac{1}{2}\right)^x\right]=\frac{n!}{x!(n-x)!}\left(\frac{1}{2}\right)^n\times 2$$

n人中a人以上がAまたはBを選ぶ確率P

$$P=\sum_{x=a}^{n}\frac{n!}{x!(n-x)!}\left(\frac{1}{2}\right)^n\times 2$$

P<0.05となれば帰無仮説は棄却される

例題の解法

試料ＡとＢを比較して，好ましい方を選ぶテストを１２人に対して行ったところ，１０人がＡを選び，２人がＢを選んだ．Ａが好まれると判断してよいか．

手順１　仮説をたてる

H_0（帰無仮説）；　$p＝0.5$

H_1（対立仮説）；　$p\neq 0.5$

手順２　仮説H_0を正しいとしたとき，n人中a人以上がAを選ぶか，またはa人以上がBを選ぶ確率Pを計算

$n=12$, $a=10$ であるから

$$P=\left\{\frac{12!}{10!2!}\left(\frac{1}{2}\right)^{12}+\frac{12!}{11!1!}\left(\frac{1}{2}\right)^{12}+\frac{12!}{12!0!}\left(\frac{1}{2}\right)^{12}\right\}\times 2=0.0386$$

$P<0.05$となり，5%以下の危険率でH_0を棄却することができる．
すなわち，AとBに対する好みの差は有意であり，Aのほうが好まれるとしてもよい．

nが大きい場合の解法

nが大きくなれば，Pを直接計算するのは大変な作業となる．そこでn回中a回以上選べば有意であるというaの値（棄却限界値）をあらかじめ表として用意しておく．
表がない場合は，次式でxを求め，棄却限界値aとする．

$$u\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{x - \frac{n}{2} - 0.5}{\frac{\sqrt{n}}{2}}$$

正規分布の両側パーセント点 $u(\alpha/2)$

両側確率α	0.001	0.01	0.05
$u(\alpha/2)$	3.291	2.576	1.960

aの値と実際の選択数を比較し，有意差を判定する．

実験1

ある病院で臨床提供している胸部CR画像の粒状性の改善を目的として，画像処理（表示）パラメータの変更を行った.

パラメータ変更前の画像Aと，変更後の画像Bを診療放射線技師10名に観察してもらい，粒状度の良いと思う画像を選択してもらった．その結果，9人が画像Bを選択した.

1．この画像処理パラメータの変更は正しかったのか，危険率5%で検定せよ.

実験2

乳房X線画像Oの画質改善（コントラスト改善）を図って画像処理Pと画像処理Sをそれぞれ実施した.
二点嗜好法を実施し，画像処理Pと画像処理Sが有効であったか危険率5%で検定せよ.

- 症例数20：　同症例のO，P，Sは順不同で観察する.
- （O vs. P），（O vs. S），（P vs. S）の3つの組み合わせをそれぞれで検定する.

2-1．観察者1名（自分）のとき，*P*値を計算して検定せよ.
2-2．観察者5名（自分＋他4名）のとき，棄却限界値の表を使って検定せよ.