

信号検出理論 (Signal Detection Theory)

M1
中嶋 智史

起源

- ◆ Petersonを中心とするミシガン大学Electronic Defense Groupがレーダーによる自動監視作業の最適化を意図して開発
- ◆ Tannerらミシガン大学精神物理学研究室グループがこれを用いて聴覚・視覚実験を中心とした精神物理学の研究にアプローチした

何故信号検出か？

- ◆ 人の知覚する刺激は純粋な物理的刺激では無く、必ずノイズが存在する
(閾値理論への反証)
- ◆ ノイズは物理的に存在しなくても心理的変数・つまり感度として存在が仮定される

何故信号検出か？

- ◆ つまり、被験者がどれだけノイズの中から正しくシグナルを検出することができるかを知るための理論
- ◆ 心理学では被験者のバイアスを除いた純粋な感度を得ることが目標

被験者の反応の分類

- ◆ Hit
- ◆ Miss
- ◆ False Alarm
- ◆ Correct rejection

N分布とSN分布

- ◆ シグナル(刺激)は必ずノイズの中から検出される
- ◆ 被験者は刺激 x がノイズであるのかシグナル+ノイズであるのか判断しなければならない
- ◆ ノイズはランダムに変動する
- ◆ シグナル+ノイズ(SN)分布 > ノイズ(N)分布

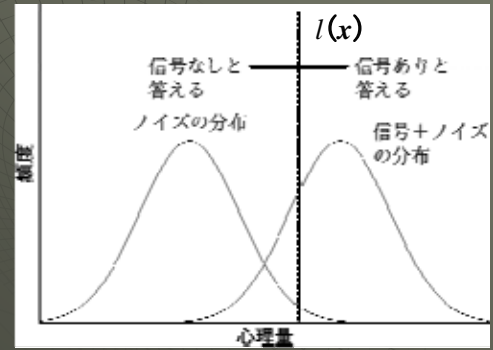
尤度比 (likelihood ratio)

- ◆ 被験者がある強度以上ならシグナル、それ以下ならノイズと判断する基準
- ◆ シグナルとノイズの事象の反応生起の確率密度関数をそれぞれ $f(x|s)$ と $f(x|n)$ にした時

$$l(x) = \frac{f(x|s)}{f(x|n)}$$

- ◆ 被験者は感覚 x が s に属するか n に属するかを $l(x)$ によって判断

ノイズとシグナルの確率密度分布

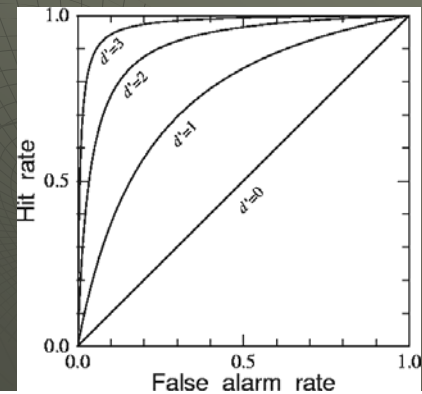


ROC 曲線

- ◆ Y軸にFAR 分布、X軸にHR分布をプロット
- ◆ 刺激強度が増加すると弓なりに上昇し、減少すると45° 線に近づく
- ◆ 信号検出理論から予測されるROC曲線と実験的に得られたデータからプロットされるROC曲線がよく一致する

ROC 曲線

(Receiver Operating Characteristic curve)



感度の測定

- ◆ 古典的な精神物理学測定法の閾値概念
- ◆ 感覚には絶対閾というものが存在し、その閾値を越えることで感覚が生ずる(全か無かの法則)
- ◆ しかし...

閾値理論から予測されるROC曲線とデータから得られたROC曲線が一致しない

感度の測定

- ◆ なぜなら...
 - 刺激呈示に対する被験者の期待が影響している (呈示回数により判断が左右されたりする) から
 - 刺激検出に対する判断基準自体が移動している
 - 得られたデータは刺激の検出しやすさと被験者の判断基準の関数と考えられる

そこで

- ◆ 被験者の判断(尤度比 $l(x)$)に左右されない純粋な検出力の指標が必要！！

→ d' (discriminability index)

d' (ディープライム)について

- ◆ シグナルとノイズの事象の反応生起の確率密度関数をそれぞれ $f(x|s)$ と $f(x|n)$ にする
- ◆ シグナルに対する感度、つまりシグナルとノイズの弁別は、 $f(x|s)$ と $f(x|n)$ の距離で表すことができる d'

但し、 $f(x|s)$ と $f(x|n)$ は分散が等しい基準正規分布であると仮定した場合

d' について(2)

- ◆ $f(x|s)$ と $f(x|n)$ のそれぞれの平均値 M_s と M_n の差を σ で割った距離

$$d' = \frac{M_s - M_n}{\sigma}$$

- ◆ 実際には $f(x|n)$ の平均 $M_n=0$ と仮定すると d' は $f(x|s)$ の平均値と考えることができる

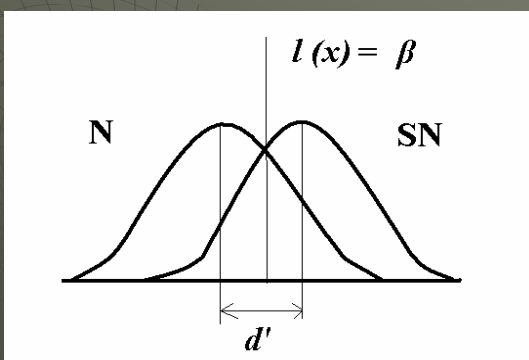
つまり

- ◆ 2つの分布の平均の差を求め、その値を2つの分布の範囲または変動の測度で割る

→ $d' = 2$ つの分布の平均標準偏差

→ 観察者の判断基準の位置に影響されない純粋な刺激検出力の指標

d' と β を図で表すと...



d' の算出法

- ◆ $1.0 - p(\text{FAR}) - (z\text{得点化}) \rightarrow Z_N$
- ◆ $1.0 - p(\text{HR}) - (z\text{得点化}) \rightarrow Z_{SN}$
- ◆ $d' = Z_N - Z_{SN}$

ただし・・・

- ◆ HitやFAが0%や100%になってしまうと β や d' が定義できないので補正の必要がある！！

→いくつか方法がある

HitおよびFAの補正方法

1. 理論的確率分布の両側10%を切断点にする。
 $P \leq 0.1$ なら $P=0.1$ に、 $P \geq 0.9$ なら $P=0.9$ に補正。
これをやると $\text{Max}(d')=2.56$ になる (Nuechterlein, 1983)。
2. 前データセルに+0.5をする (Snodgrass & Corwin, 1988)。
3. $P(h)=1.0$ なら $P(h)=1-1/2N$ で補正。N は hit + miss の観察回数。
 $P(fa)=0.0$ なら $P(fa)=1/2N$ で補正。N は correct rejection + false alarm の観察回数 (Macmillan & Creelman, 1991)。

判断基準 (β)

- ◆ シグナルとノイズのどちらを答えやすいかの指標
→ 尤度比 $l(x)$
- ◆ もし被験者が刺激の検出に対しバイアスを持っていないければ $l(x)$ は $f(x|s)$ と $f(x|n)$ の間の中央、つまり交点に来る
- ◆ 基準値におけるそれぞれの正規分布の値の比によってあらわされる

β について

$$\beta = \frac{\text{判断基準におけるSN分布の縦座標}}{\text{判断基準におけるN分布の縦座標}}$$

β について

- ◆ $\beta = 1.0$ と設定
- ◆ β が 1.0 よりも大きい → SN
- ◆ β が 1.0 よりも小さい → N

反応バイアス

- ◆ β とは別の指標
→ C (Criterion)
- ◆ $C = 0.5 [Z_{SN} + Z_N]$
- ◆ さらに別の指標・・・
→ C'
- ◆ $C = C/d' = 0.5 [Z_{SN} - Z_N] / [Z_N - Z_{SN}]$

信号検出理論の応用例

- ◆ 再認記憶
- ◆ 痛み
- ◆ 鑑別診断
- ◆ 攻撃行動

顔の再認記憶への適用

- ◆ 基本的な手続き

① 記録: ターゲットとなる顔刺激を呈示



② 遅延課題



③ 再認: ターゲット(先行刺激) + ディストラクタ(妨害刺激)を呈示してYes/No再認課題を行う

つまり

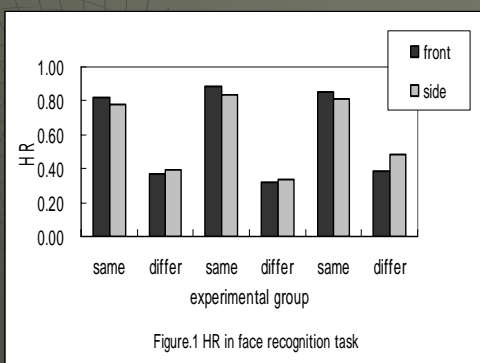
- ◆ ターゲットに対し正しく「Yes」と反応 - [Hit]
- ◆ ターゲットに対し誤って「No」と反応 - [Miss]
- ◆ ディストラクタに対し誤って「Yes」と反応 - [FA]
- ◆ ディストラクタに対し正しく「No」と反応 - [CR]

→ 信号検出理論が適用できる

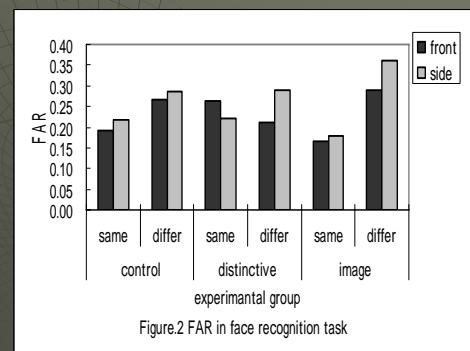
卒論実験では

- ◆ 記録時:
正面顔もしくは横顔をPC画面に呈示
被験者は3種類の異なる方略(イメージ・示差・統制)を用いて符号化
- ◆ 再認時:
ターゲット + ディストラクタの正面顔および横顔を呈示
「見た」か「見なかったか」をYes/No再認課題で答えた

結果1. HR



結果2. FAR



結果3. d'

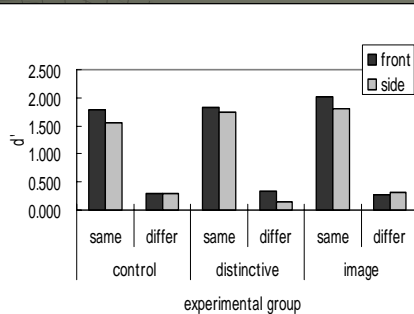


Figure.1 Rate of d' in face recognition task

参考文献

- ◆ G.A.ゲシャイダー 2002 宮岡徹監訳 心理物理学 ー方法・理論・応用ー 上巻 北大路書房
- ◆ Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. 1991 *Detection Theory: A user's guide*. Cambridge: Cambridge University Press
- ◆ 市川伸一 1991 心理測定法への招待ー測定からみた心理学入門ー サイエンス社
- ◆ 小谷津孝明 1973 統計的検定ー刺激の弁別における信号検出理論ー 印東太郎(編) 心理学研究法17 モデル構成 東京大学出版会
- ◆ R.ラックマン・J.L.ラックマン・E.C.バターフィールド 1988 箱田裕司・鈴木光太郎(訳) 認知心理学と人間の情報処理 I ー情報処理パラダイムー サイエンス社

参考HP

- ◆ 岡本安晴 心理学とプログラミング
URL: <http://homepage2.nifty.com/okamotoy/>
- ◆ 石田翼 信号検出理論の指標をめぐって
URL: <http://www5e.biglobe.ne.jp/~tbs-i/psy/tsd/>
- ◆ 杉森絵里子 信号検出理論の基本講座
URL: <http://www.educ.kyoto-u.ac.jp/cogpsy/personal/Kusumi/datasem/SDT.files/frame.htm>
- ◆ 高橋康介 たかはしホームページー超入門・信号検出理論・信号検出理論のメモ
URL: <http://www.cog.ist.i.kyoto-u.ac.jp/~takahashi/>