

信号検出理論 (Signal Detection Theory)

M1
横尾知子

1

信号検出理論の歴史

心理学における信号検出理論の起源

- Tanner & Swets (1954)
 - 統計学的意思決定理論と信号検出の電子装置に関するいくつかのアイデアを利用して、検出事態における人間の振る舞いをよく近似するモデルを構築できるのではないか？
 - 期待と利得が検出行動に対して重大な影響を及ぼすという現象は閾理論では説明できない 検出事態に関する新しい理論的概念が必要

2

信号とノイズ

信号(s): ノイズの中から検出されるもの

ノイズ(n): 背景活動。物理的に存在するかどうかは問題ではない。

例) 「気のせい？」

- ・神経系の自発活動による生理学的ノイズ
- ・環境中のノイズ

3

「ノイズ分布」と「信号 + ノイズ分布」

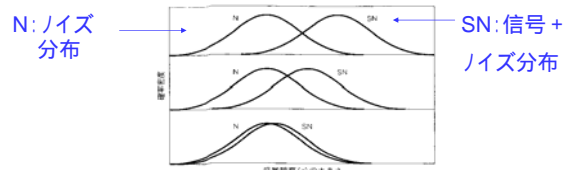


図1. 異なる3つの信号強度における, SおよびSNの確率分布
Gescheider G.A.(2002)より

- ノイズ分布
 - 観察者の内部ノイズの変動を表す確率分布
- 信号 + ノイズ分布
 - 内的ノイズを背景として信号が呈示された場合の、観察者の内的状態の変動を表す確率分布

4

信号検出理論とは

- 信号検出理論 (Signal Detection Theory, SDT)
 - 刺激の検出力に関する精神物理学の理論。
- その特徴
 - **最大のメリットは、信号検出力(感度)と判断基準の位置がそれぞれ別の独立した測度として得られること。**
閾理論ではこの2つを分離することは不可能。
 - N分布とSN分布の存在を仮定。
 - 観察者は、ある判断基準よりも下のとき信号がないと報告し、それよりも上のときに信号があると報告する。

5

反応の分類

表1 信号検出理論における反応の分類

	Yes	No
信号がある試行	hit	miss
信号がない試行	false alarm	correct rejection

6

反応の分類

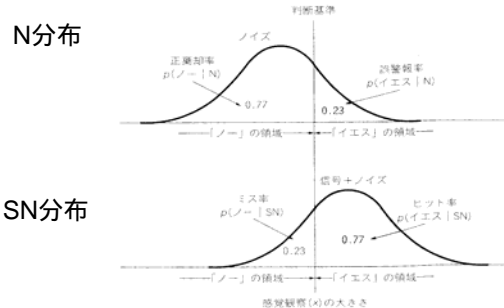


図2. NおよびSNの理論的確率分布
Gescheider G.A.(2002)より

7

信号検出力(感度)と判断基準の位置

- 被験者のバイアスに左右されない刺激の純粋な検出力を知りたい! d'

例) Hit率が上昇した場合

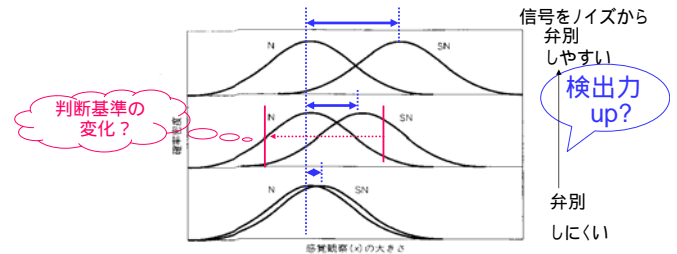


図3. 異なる3つの信号強度における、SおよびSNの確率分布
Gescheider G.A.(2002)より

8

信号検出理論の指標

感度 d' スライド10~13

判断基準の位置 C, C スライド14~17

- d' と (C, C) を計算することで、ある特定の変数の効果が観察者の感度によるものか、それとも判断基準の位置によるものかを検証可能に。

9

感度の測度 (d')

- 感度: 信号とノイズが分離される程度
- d' は観察者の基準位置の影響を受けない、純粋な刺激検出力の指標

$$d' = \frac{M_{SN} - M_N}{\sigma_N}$$

理論的にはSN分布とS分布の平均値の差をN分布の標準偏差で割ったもの

10

感度の測度 (d')

d' の計算法

1.0 - 誤警報率 $\rightarrow Z_N$

1.0 - ヒット率 $\rightarrow Z_{SN}$

$$d' = Z_N - Z_{SN}$$

11

感度の測度 (d')

- 例
誤警報率 0.02, ヒット率 0.35 の場合
 $Z_N: 1 - 0.02 = 0.98$ (z 変換) 2.05
 $Z_{SN}: 1 - 0.35 = 0.65$ (z 変換) 0.39

$$\begin{aligned} d' &= Z_N - Z_{SN} \\ &= 2.05 - 0.39 \\ &= 1.66 \end{aligned}$$

12

感度の測度 (d')

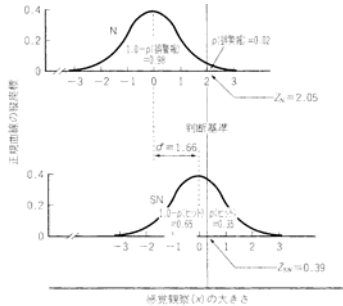


図4 z得点で表したN分布とSN分布
Gescheider G.A. (2002)より

13

観察者の判断基準(バイアス)

- 尤度比 (likelihood ratio)

$$l(x) = \frac{\text{SNの縦座標}}{\text{Nの縦座標}}$$

- 観察者が、信号あり・なしを判断する基準

— 観察者はある特定の $l(x)$ の値を判断基準()とし、各観察 x がその基準よりも上か下かで観察者の判断が決まる。

$l(x)$ の場合 → SNを選択

$l(x) <$ の場合 → Nを選択

14

観察者の判断基準(バイアス)

- の計算

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

- 実際の計算は...

N分布の縦座標:

1.0-(誤警報率)を正規分布曲線の縦座標値に変換

SN分布の縦座標:

1.0-(ヒット率)を正規分布曲線の縦座標値に変換

変換表を用いて計算。あるいはExcelでも可能。

15

観察者の判断基準(バイアス)

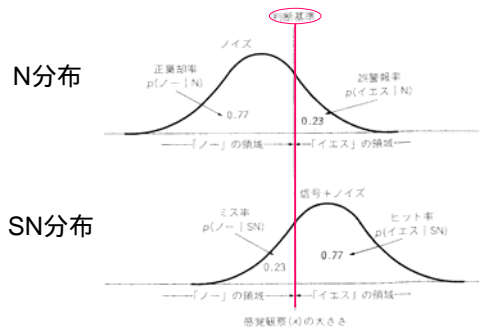


図5 NおよびSNの理論的確率分布

Gescheider G.A.(2002)より

16

観察者の判断基準(バイアス)

- 以外の反応バイアスの指標

$$C = 0.5[Z_{SN} + Z_N]$$

$$C' = C / d' = 0.5[Z_{SN} + Z_N] / [Z_N - Z_{SN}]$$

17

Excelでの計算法

表2 Excelを用いたSDT指標計算例

A (Labels Only)	Formula (for Column B; Then Copy to C and Other Columns)	B (Set 1)	C (Set 2)
1 # hits		10	9
2 # misses		0	1
3 # false alarms		2	0
4 # correct rejections		8	10
5 H (hit rate)	= IF(B2>0, B1/(B1 + B2), (B1 - 0.5)/(B1 + B2))	.950	.900
6 F (false-alarm rate)	= IF(B3>0, B3/(B3+B4), 0.5/(B3+B4))	.200	.050
7 z(H)	= NORMSINV(B5)	1.645	1.282
8 z(F)	= NORMSINV(B6)	-0.842	-1.645
9 d'	= B7 - B8	2.486	2.926
10 c	= -0.5*(B7 + B8)	-0.402	0.182
11 β	=EXP(B9*B10)	0.368	1.702

Macmillan N. A., Creelman C.D. (2004) より

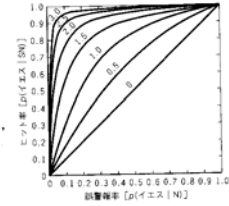
ROC曲線

(receiver operating characteristic curve)

- ヒット率を誤警報率の関数としてプロットすることによって、観察者の成績を表したグラフ
- ある一定の d' と連続的に変わる基準から説明される測定結果の変化を記述したもの

図6 0から3までの d' に相当するROC曲線

Gescheider G.A.(2002)より



19

ROC曲線は信号検出理論を支持

- ROC曲線は、強さを固定したある刺激について得られたデータを表現するもの
- 非感覚的な(刺激以外の)要因が検出課題の成績に影響を及ぼしていることを示している
閾値説では説明できない。信号検出理論(信号検出における判断基準の移動)で説明可能。

20

ROC曲線

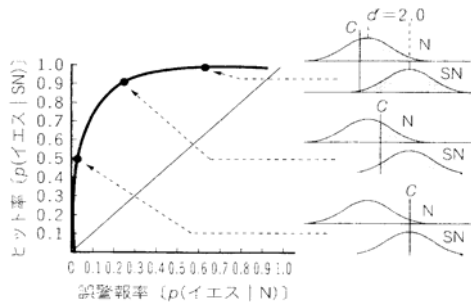


図7 $d'=2.0$ の場合のROC曲線とNおよびSNの分布との関係

Gescheider G.A.(2002)より

21

ROC曲線

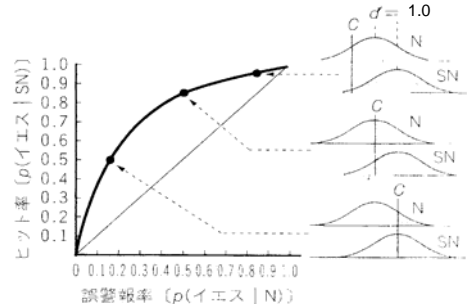


図8 $d'=1.0$ の場合のROC曲線とNおよびSNの分布との関係

Gescheider G.A.(2002)より

22

ROC曲線

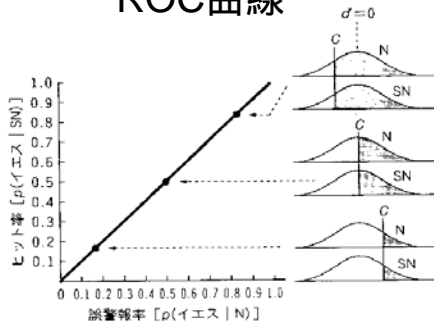


図9 $d'=0$ の場合のROC曲線とNおよびSNの理論分布との関係

Gescheider G.A.(2002)より

23

ROC曲線の描き方

方法1: Yes-No法

- 1セッションあたり300試行以上。信号の有無を判断。

- 方法は2種類

SN試行の割合を操作する。

反応結果に対する利益と損失を操作する。

表3 利得行列の例

	反応	
	Yes	No
刺激あり	1000円	-100円
刺激なし	-100円	1000円

	反応	
	Yes	No
刺激あり	100円	-1000円
刺激なし	-1000円	100円

24

ROC曲線の描き方

- ・1セッションにつき1つの判断基準。判断基準の位置を変化させるように複数のセッションを行う。それぞれの判断基準位置に対してヒット率と誤警報率を算出。

25

ROC曲線の描き方

方法2: 確信度評定法

- ・各Yes-No判断に対して観察者に確信度を評定させることで、ROC曲線上のいくつかの点を1つの実験条件で得ることができる経済的な方法。
- ・「5」: 信号が確実にある 「4」: 信号があるようだ 「3」: 分からない 「2」: 信号がないようだ 「1」: 信号が確実にない
- 5段階評定なので4つの判断基準

26

ROC曲線の描き方

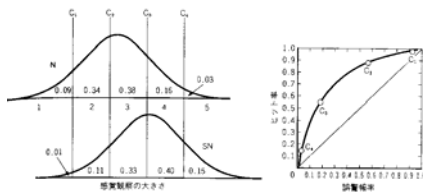


図10 確信度評定法を用いた信号検出課題の結果

Gescheider G.A.(2003)より

27

正規性, 等分散性の確認

- ・ 信号検出理論における2つの仮定
 - 1) N分布とSN分布がともに正規分布である
 - 2) N分布とSN分布は分散が等しい

確認方法: 実験から得られたROC曲線を Z_{SN} と Z_N 得点でプロット

直線になれば正規分布
傾きが1であれば等分散

28

正規性, 等分散性の確認

傾き1 等分散
直線 正規性

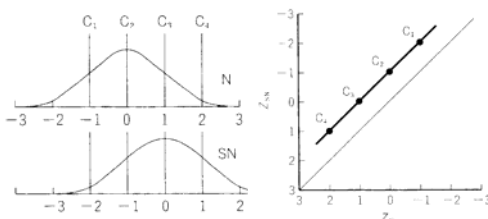


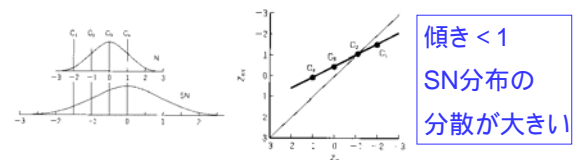
図11 正規性, 等分散性が満たされる場合

Gescheider G.A.(2003)より

29

信号検出理論における仮定が満たされない場合

- ・ N分布とSN分布の正規性は広く受け入れられているが, 等分散であるという仮定がしばしば成り立たないことが明らかになっている



傾き < 1
SN分布の
分散が大きい

図12 等分散性が満たされない場合

Gescheider G.A.(2003)より

30

信号検出理論における仮定が満たされない場合

- SN分布の分散がN分布の分散よりも大きい場合, d の代わりに m が用いられることがある

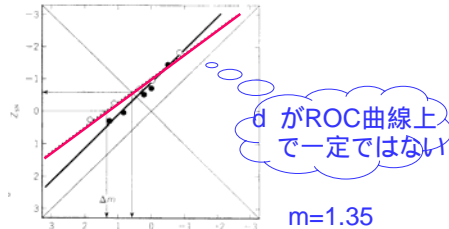


図13 z得点化したROC曲線
Gescheider G.A.(2003)より

31

信号検出理論における仮定が満たされない場合

- m : Hitが0.5 (すなわち Z_{SN} が0)であるときのFAのz得点
- m の代わりに d_e' が用いられることもある
 - d_e' は, ROC曲線が負の傾きの対角線(傾き - 1, Z_N と Z_{SN} がともに0の点を通過)と交差する点における, Z_N と Z_{SN} の差の絶対値
 - 利点: Z_N と Z_{SN} が等しく重み付けされる(相加平均)
 m は Z_N を単位としている

32

信号検出理論における仮定が満たされない場合

- d_a が用いられることもある
 - 基本的には d_e' と同じ
 - 基準となる標準偏差は, Z_N と Z_{SN} の標準偏差の二乗を平均し, その平方根を取ったもの

33

信号検出能力の測度まとめ

- 等分散の仮定が成立している
 d
- 等分散の仮定が成立していない
 - Z_N が単位: m
 - Z_N と Z_{SN} の平均が単位: d_e' , d_a

34

信号検出理論の応用

- 感覚閾の研究から, 「事象一般に対して人がどのように判断を下すか」という研究へ

- 例) ・再認記憶
 ・攻撃行動
 ・痛み
 ・医療

35

信号検出理論の使用例

- 左右どちらかに呈示されるターゲット刺激を検出するという課題。刺激呈示直前に左右どちらかに枠を呈示。
- 枠とターゲットの位置が一致している場合に反応時間が短縮された
- これは枠によって検出力が上がったためか, 枠に引きずられて反応したためなのか?
感度の変化? バイアスによるもの?

36

引用・参考文献

- Gescheider G.A. (宮岡徹 監訳) (2002) 心理物理学－方法・理論・応用 (上巻)－北大路書房
- Gescheider G.A. (宮岡徹 監訳) (2003) 心理物理学－方法・理論・応用 (下巻)－北大路書房
- Macmillan N. A. , Creelman C.D. (2004) Detection Theory - A User s Guide (2nd Edition) , Lawrence Erlbaum Associates

37

参考 Web Page

- 石田 翼 信号検出理論の指標をめぐって
<http://www5e.biglobe.ne.jp/~tbs-i/psy/tsd/>
- 中嶋智史 「信号検出理論」 2005年度心理データ解析演習発表資料
- 杉森絵里子 「信号検出理論の指標について」 2003年度心理データ解析演習発表資料
- 杉森絵里子 「信号検出理論の基本講座」 2002年度心理データ解析演習発表資料

38