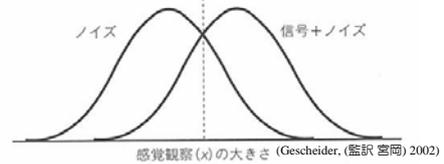


## 信号検出理論

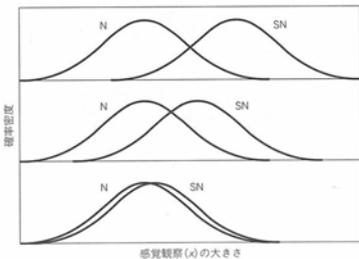
鍋田智広  
 学術振興会特別研究員(PD)

## 信号検出理論 (theory of signal detection)

- ・ 刺激(信号)はその強度がランダムに変動する背景情報(ノイズ)のなかから検出されることを想定した理論。
- ・ Tanner & Swets (1954)によって提唱された。
- ・ レーダー・システムの通信工学理論として考案された。



図の横軸は一次元の心理量であり、ノイズ+刺激の正規分布の方が心理量が大い分、右によっている。一方縦軸は頻度である。それぞれの正規分布の平均値が、物理量に対応した心理量であるので、その値を得る頻度をもっとも多く、平均値から離れるにしたがって頻度は減少していく。



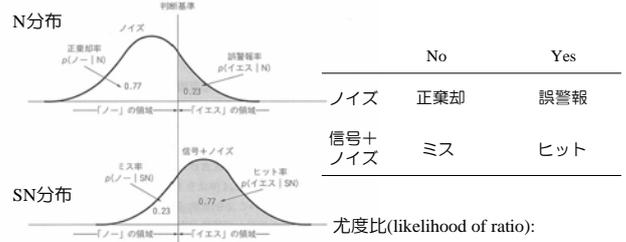
信号+ノイズ分布は信号の分だけ右側よりに位置する。

信号の心理量が大いほどN分布とSN分布は離れる。

信号の強さが0なら分布は重なって信号+ノイズの検出は困難になる。

◆図 5-1 異なる3つの信号強度における、NおよびSNの理論的確率分布

(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)



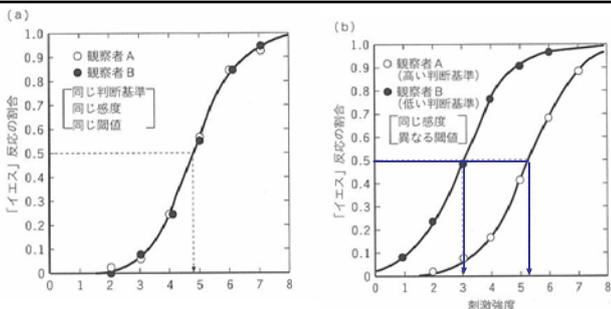
尤度比(likelihood of ratio):

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

◆図 5-3 NおよびSNの理論的確率分布。観測者の判断基準の位置によって、個々の感覚観察 X が「イエス」と「ノー」のどちらの回答を引寄せようかが決定される。

(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

手持ちのデータ(ヒットと誤警報)からN分布とSN分布とを推測する。



図a, bともにGescheider, (監訳 宮岡) (2002)より

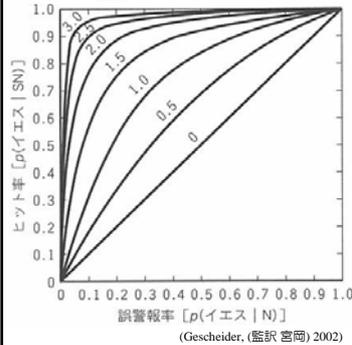
信号の検出課題においては刺激の強さだけでなく、刺激の呈示頻度も閾値に影響を与える。

実験データには刺激の強度以外にも影響する要因がある。

## ROC曲線 (receiveroperating 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参加者の成績を表したグラフ。

◆図 5-9 0 から3.0までの d' に相当するROC曲線群



例えば刺激(信号+ノイズ)の強度を一定にして、その出現率を変化させると。

出現率が高まるにつれてヒット率と誤警報率が高まる。

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す。

判断基準(反応バイアス)

判断基準 (反応バイアス)(1)

参加者がどの程度の心理量を基準としてYes反応したか

判断基準(反応バイアス)に作用する変数

- 期待: 刺激(信号)の出現頻度が高ければ期待は高く、刺激の出現頻度が低ければ期待も低い。  
期待が高いほど参加者は低い心理量でYes反応しやすい。
- 報酬と罰: 刺激を検出することの報酬が、ノイズを検出することの罰よりも大きければ、参加者は低い心理量でYes反応しやすい。

判断基準 (反応バイアス)(2)

判断基準の指標

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

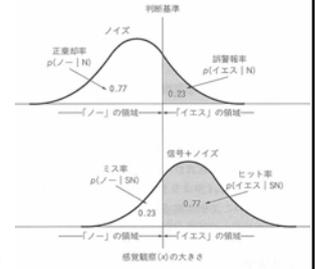
標準正規分布を利用

N分布上の縦座標

$$O_N = 1 - \text{誤警報率} \rightarrow \text{標準正規分布上の縦座標に変換}$$

SN分布上の縦座標

$$O_{SN} = 1 - \text{ヒット率} \rightarrow \text{標準正規分布上の縦座標に変換}$$



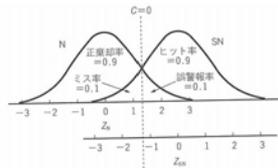
◆図5-3 NおよびSNの理論的標準分布。観測者の判断基準の位置によって、個々の感覚刺激 X が「イエス」と「ノー」のどちらの回答を引き起こすかが決定される。

(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

判断基準 (反応バイアス)(3)

判断基準の指標

C (criterion; クライテリオン): N分布とSN分布の交点であるバイアスなしの点からどれだけ基準がずれているかをz得点で示す。



◆図5-11 z\_cとz\_{sn}からCを求める方法。この例ではC=0であり、N分布とSN分布の交点に位置する。

(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

C': 感度(d'; 後述)に対するCの割合。

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

判断基準が異なるかもしれない条件間の比較

- 年齢: 幼児, 成人, 高齢者
- 障害: 自閉症, 健常 など...

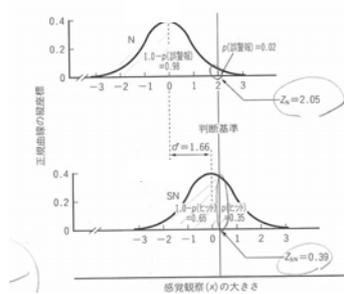
判断基準以外(刺激の強さ)の影響を知りたい。

感度(sensitivity): 刺激(信号)の検出しやすさ。

判断基準以外(刺激の強さ)の影響を知りたい。

感度(sensitivity): 刺激(信号)の検出しやすさ。

参加者はどの程度、信号+ノイズからノイズを区別できたか



(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

判断基準以外(刺激の強さ)の影響を知りたい。

感度(sensitivity): 刺激(信号)の検出しやすさ。

感度の指標  
d' (ディープライム)

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

SN分布の平均値からN分布の平均値を引いてN分布の標準偏差で割る。

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

Z\_{sn}=1-誤警報率をZ得点に変換

Z\_N=1-ヒット率をZ得点に変換

$$\begin{matrix} \text{誤警報率: } 0.18 & 1-0.18=0.82 & \rightarrow & 0.92 & d' \text{ は...} \\ \text{ヒット率: } 0.84 & 1-0.84=0.16 & & -0.99 & 0.92 - (-0.99) = 1.91 \end{matrix}$$

エクセルでの各指標の求め方 (Macmillan & Creelman, 1991)

TABLE 1.1 Formulas for Spreadsheet (Excel) Calculation of SDT Statistics With Examples

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

エクセルの資料は<http://www.educ.kyoto-u.ac.jp/~nabeta/enshu.xls>

d'がそのまま使用できない場合。

1) ヒット率やフォールスアラーム率が0や1になってしまう。

- ・理論的確率分布の両側10%を切る。  
P<0.1ならP=0.1, P>0.9ならP=0.9とする (Nuechterlein, 1983).
- ・全データに+0.5 (Snodgrass & Corwin, 1988)
- ・ヒットが1.0ならP=1-1/2(ヒットの回数+ミスの回数)。  
フォールスアラームが0ならP=1/2(フォールスアラームの回数+コレクトリジェクションの回数) (Macmillan & Creelman, 1991)

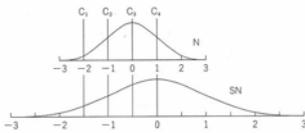
d'がそのまま使用できない場合。

2) SN分布とN分布が等分散でない。

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

SN分布の平均値からN分布の平均値を引いてN分布の標準偏差で割る。

SN分布の分散が大きいと、感度が大きく見積もられてしまう危険性がある。



(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

感度の指標として別の指標を使う。

でもその前に...

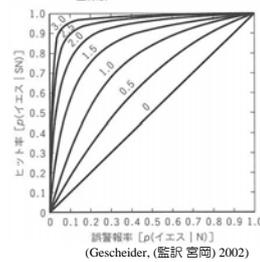
そもそもSN分布とN分布の等分散性を調べるには？

ヒットと誤警報を見る。

ROC曲線

ヒット率をフォールスアラーム率の関数としてプロットすることによって参加者の成績を表したグラフ。

◆図5-9 0から3.0までのd'に相当するROC曲線群

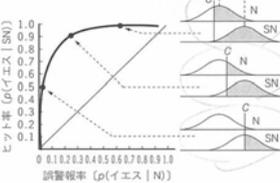


・感度が同じで判断基準の違うデータは同一線上にプロットされる。

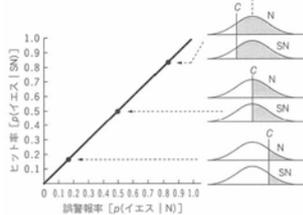
・判断基準が同じで感度が異なるデータは異なる線上にプロットされる。

(Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

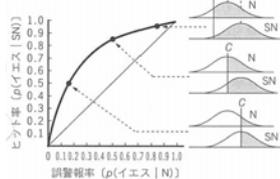
N分布とSN分布が遠い場合 (感度が高い場合)



N分布とSN分布が重なる場合 (d' = 0)



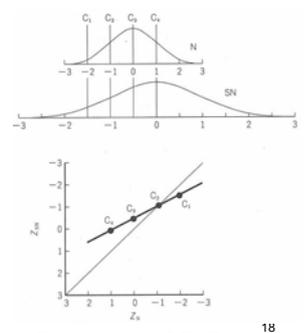
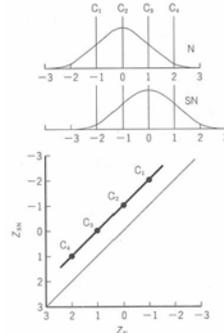
N分布とSN分布が近い場合 (感度が低い場合)



図はすべてGescheider, (監訳 宮岡) (2002)より

誤報率とヒット率をZ得点に変化させてROC曲線をプロット

N分布とSN分布の分散が等しければ 傾きは1になる。 N分布よりもSN分布の分散が大きければ 傾きは1よりも小さくなる。



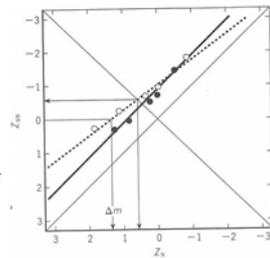
図はすべてGescheider, (監訳 宮岡) (2002)より

### N分布とSN分布が等分散でないときの感度の指標

$\Delta m$ :  $Z_{sn}$ がゼロ点(ヒットが0.5)のときの  
 フォルスマラムのz得点

$d'_e$ : Z値のROC曲線が、負の傾きの対角  
 線と交差する点における、 $Z_n$ と $Z_{sn}$   
 の差の絶対値

$d'_a$ : 単位になる標準偏差は、NとSNの  
 標準偏差の二乗を平均し、その平方  
 根を取ったもの

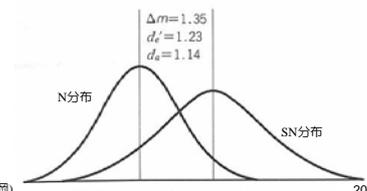
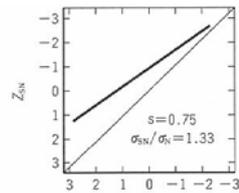


◆ 図 1-3 Z<sub>n</sub>とZ<sub>sn</sub>の単位でプロットした、聴覚  
 信号の検出実験におけるROC曲線。白  
 丸は、図 1-2 にプロットした観察者のデ  
 ータであり、黒丸は別の観察者のデー  
 タである (Tanner, Swets, & Green, 1956  
 より)  
 (Gescheider, (監訳 宮岡) 2002)

### N分布とSN分布が等分散でないときの感度の指標 まとめ

等分散の仮定が成立する  
 →  $d'$

等分散の仮定が成立しない  
 → N分布の標準偏差で割る:  $\Delta m$   
 → N分布とSN分布の標準偏差  
 の平均で割る:  $d'_e d'_a$



図はすべてGescheider, (監訳 宮岡)  
 (2002)より  
 ◆ 図 1-6 Tanner, SwetsとGreen(1966)の観察者2の  
 データから算出した感度の測定の一頁 20

ROC曲線の傾きでN分布とSN分布間の等分散性を確認  
 ROC曲線を描くには判断基準の異なる複数の点を  
 プロットする必要がある。

例えば

- ・ 刺激(信号+ノイズ)の提示頻度を操作
- ・ 報酬と罰(刺激検出の重要性)を操作
- ・ 確信度評定

ROC曲線が描けなくて、N分布とSN分布の等分散性が  
 わからない(かつ等分散が怪しい)場合。

N分布とSN分布の正規性や等分散性に依存しない  
 指標

$$A' = 0.5 + (\text{ヒット率} - \text{誤警報率}) / (1 + \text{ヒット率} - \text{誤警報率}) / [(4 \times \text{ヒット率})(1 - \text{誤警報率})]$$

### 信号検出理論の適用例

#### 痛み

- ・ 痛みの報告と患者の痛みの感度
- ・ 判断基準の違う偽薬群を設定
- ・ 判断基準が厳しい群は報告が少ないが感度は変わらなかった

#### 再認記憶

- ・ 横軸を記憶痕跡としてN分布とSN分布を想定する。
- ・ 学習項目(SN分布)とディストラクタ(N分布)に対する反応を分析。
- ・ 学習項目にYes → ヒット
- ・ ディストラクタにYes → 誤警報

#### 攻撃行動

- ・ 様々な状況で攻撃行動が正当化されるかどうかを調査。
- ・ 適切な状況を信号+ノイズ、不適切な状況をノイズと想定。
- ・ 適切な状況で攻撃行動を正当化→ヒット
- ・ 不適切な状況で攻撃行動を正当化→誤警報
- ・ 社会的文化的に恵まれた人のほうが感度が高い。

### 再認記憶(虚偽記憶)への具体的な適用例

#### 再認記憶

- ・ 横軸を記憶痕跡としてN分布とSN分布を想定する。
- ・ 学習項目(SN分布)とディストラクタ(N分布)に対する反応を分析。
- ・ 学習項目にYes → ヒット
- ・ ディストラクタにYes → 誤警報

- ・ 学習(記憶項目提示)と再認テストを行う実験手続き
- ・ 学習時に提示されていないテスト項目が、学習時に提示された  
 テスト項目と同様にYes反応される。
- ・ 学習時に提示されていない項目の記憶痕跡(虚偽記憶; false  
 memory)が形成された。

### Theoretical Commentary: The Role of Criterion Shift in False Memory

虚偽記憶における判断基準の役割

Michael B. Miller and George L. Wolford  
 Dartmouth College

H. L. Roediger and K. B. McDermott (1995) reintroduced a paradigm originally developed by Deese (1959). According to the authors, the paradigm provides a technique for the creation of false memories. The paradigm is reliable and easy to implement. Because of these characteristics and the current interest in false memories, the paradigm has been used in many recent studies. The authors replicated Roediger and McDermott's results in two experiments. When conditions were included that allowed the computation of signal-detection parameters, it was found that most of the false memories could be ascribed to criterion shifts. The authors discuss the possible role of criteria in defining and understanding false memories.

Psychological Review  
 1999, Vol. 106, No. 2, 398-405

Roediger & McDermott (1995)の虚偽記憶パラダイム

学習	再認		
	Critical Lure	Related	Unrelated
机, 硬い, 座る....	椅子	机	コップ

Critical LureはRelatedと同程度にYes反応される。  
 → 学習時にRelatedを呈示することでCritical Lureの記憶痕跡が強化された。

呈示されていないCritical LureへのYes反応は、記憶痕跡を反映するのか、それとも判断基準を反映しているのか。

学習

椅子 机, 硬い, 座る....

太陽 星, 輝く, 丸い....

再認

Critical Lure Related Unrelated  
椅子 机 コップ

Critical Lure Related Unrelated  
太陽 星 耳

学習時にCritical Lureを呈示するかしないかを操作し、それぞれの反応率から判断基準・記憶痕跡の感度を測定し、比較した。

仮説と結果の予測

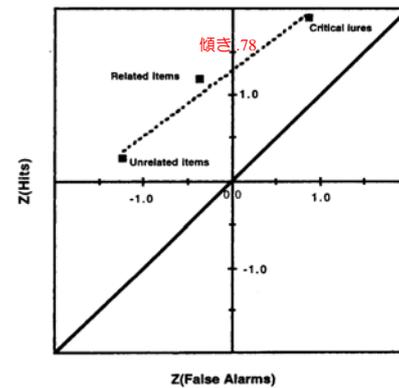
- ・ Critical LureのYes反応が判断基準を反映しているだけならば (Critical Lureは記憶痕跡の強さに関係なくYes反応されやすいのなら)
  - RelatedやUnrelatedよりもCritical Lureの判断基準の値は小さいはず。
- ・ 判断基準を反映しているのではないのであれば (Critical Lureは記憶痕跡が強いのでYes反応されやすいのなら)
  - 項目間で判断基準に違いはないはず。

Performance on Recognition as a Function of Item Type

Item type	Experiment 1		Experiment 2
	P(old)	P(remember)	P(old)
Critical lures			
Presented	.97	.80	.96
Nonpresented	.81	.44	.78
Related items			
Presented	.88	.72	.86
Nonpresented	.36	.14	.42
Unrelated items			
Presented	.60	.44	.67
Nonpresented	.11	.03	.22

Miller & Wolford (1999)より

- ・ Critical LureはRelatedと同等, Unrelatedよりも高い割合でYes反応された。  
 → Roediger & McDermott (1995)の追試
- ・ 呈示されたほうが, 呈示されないよりも高い割合でYes反応された。  
 → 呈示されなくても呈示されたときと同じように記憶痕跡が形成されているのではない。  
 → 記憶痕跡がなくてもCritical LureはYes反応されやすいのでは?



傾きが1よりも小さい。等分散性は怪しい。

そこで  $d'_c$  と  $d'_r$  を記憶痕跡の感度の指標として使用。

Figure 2. The receiver operator characteristic function across item types in Experiment 1. Miller & Wolford (1999)より

Table 2  
Measures of Sensitivity and Bias as a Function of Item Type

Item type	Experiment 1		Experiment 2		
	d(a)	c2	d(a)	d'(e)	c2
Critical lures	1.37	-1.19	1.08	1.08	-1.19
Related items	1.63	-0.35	1.46	1.48	-0.41
Unrelated items	1.34	0.42	1.12	1.16	0.06

Miller & Wolford (1999)より

- ・ 判断基準は項目間で大きく異なった。
- ・ 記憶痕跡の強さの感度は変わらない。

Critical LureのYes反応は判断基準で説明できる。

False Alarms About False Memories

虚偽記憶研究に対する誤警報

Henry L. Roediger III and Kathleen B. McDermott  
Washington University

M. B. Miller and G. L. Wolford (1999) make two contributions. First, they add conditions to the basic Roediger-McDermott (1995) procedure and find that critical items are recalled and recognized more often if they are presented in the list than if they are not presented. These results agree with our own, which are briefly reviewed. Second, they apply signal detection theory to the paradigm and conclude that false responding is caused by a shift of response criterion. They present no evidence that requires this interpretation, however, and we discuss several reasons why their account is implausible. For example, even when fully informed subjects are asked to use a very strict criterion in responding, the false recognition phenomenon persists at high levels. Further, some variables produce opposite effects on veridical and false recall and recognition; this pattern is difficult to accommodate solely by a shift in response criterion. Therefore, little evidence exists that a simple shift of response criterion can explain false recall and false recognition phenomena in the Roediger-McDermott paradigm.

Psychological Review  
1999, Vol. 106, No. 2, 406-410

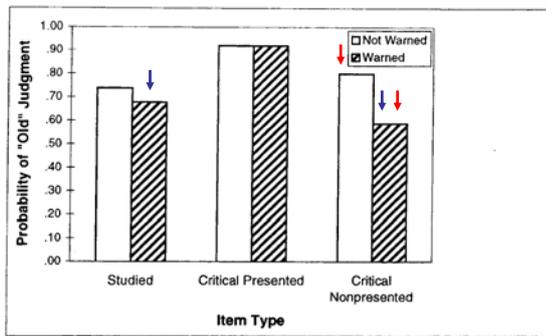


Figure 2. Probability of "old" judgments on recognition tests immediately after each list of associates (15 words per list) as a function of instructional set. Half of the subjects were informed of the false recognition phenomenon and instructed to avoid making such errors; the other half of the subjects received standard recognition instructions. The differences between the two instruction conditions reflect shifts in criteria.

Roediger & McDermott (1999)より

#### 研究をまとめると...

- Critical LureへのYes反応には判断基準が影響する。
  - Miller & Wolford (1999)の判断基準値。
  - Roediger & McDermott (1999)の警告の効果。
- Miller & Wolford (1999)で主張されているほど影響は大きくない。
  - 判断基準を厳しくするように警告を与えてもなお学習項目と同等にCritical LureはYes反応される。

#### 虚偽記憶研究への示唆

- Critical Lureの条件間比較は反応率よりは感度の指標を使うのが無難(特に学習項目との比較には $d'$ や $A'$ を使う必要がある)。
- 判断基準を厳しくさせるテスト教示を与える必要がある。

#### 主要な引用・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
- 石田翼 信号検出理論の指標をめぐって, <http://www.5e.biglobe.ne.jp/~tbs-i/psy/tsd/>
- Macmillan N. A., Creelman C.D.(2004). Detection Theory—A User's Guide (2nd Edition), Lawrence Erlbaum Associates
- Miller, M. B., & Wolford, G. L. (1999). The role of criterion shift in false memory. *Psychological Review*, 106, 398-405.
- 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
- Roediger, H. L. & McDermott, K. B. (1999). False alarms about false memories. *Psychological Review*, 106, 406-410.
- 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
- 横尾知子 信号検出理論, 2006年度心理データ解析演習発表資料