

# 信号検出理論

## Signal Detection Theory



教育学研究科M1 王隆基

17/06/28

# 信号検出理論の起源



- 信号検出理論は、1950年代にレーダー・システムの通信工学的理論として考案された。
- そもそもはノイズ(noise)に埋もれた信号(signal)の検出力を調べ、レーダーの性能評価のために作られた。

Tanner & Swets(1954)は、ノイズと信号を、無視すべき刺激と知覚すべき刺激とにそれぞれみなし、心理物理的測定法に応用した。

# なぜ必要か？



- 人は、十分な情報が与えられていないとき、決定における間違いを完全に避けることができない。

例：雑音の中に弱い信号が含まれているかどうかの判断

- **Omission**: 信号音が鳴っているのに聞き逃す
- **Commission**: 信号音が鳴っていないのに聞こえたと報告
- 信号検出理論を用いることで、ノイズの中から、どれだけ正しくシグナルを検出することができるのか、知ることができる。

# どの分野？



- 感覚・知覚の実験

- 閾値測定との違いは？

信号検出理論は被験者のバイアスと、それを取り除いた弁別力を同時に弁別できることに利点がある。ノイズが多い状況だと、閾値を正確に測ることが難しく、信号検出理論を用いたほうが良いとされている。

- 記憶の再認課題

- 医療診察

# 反応の分類



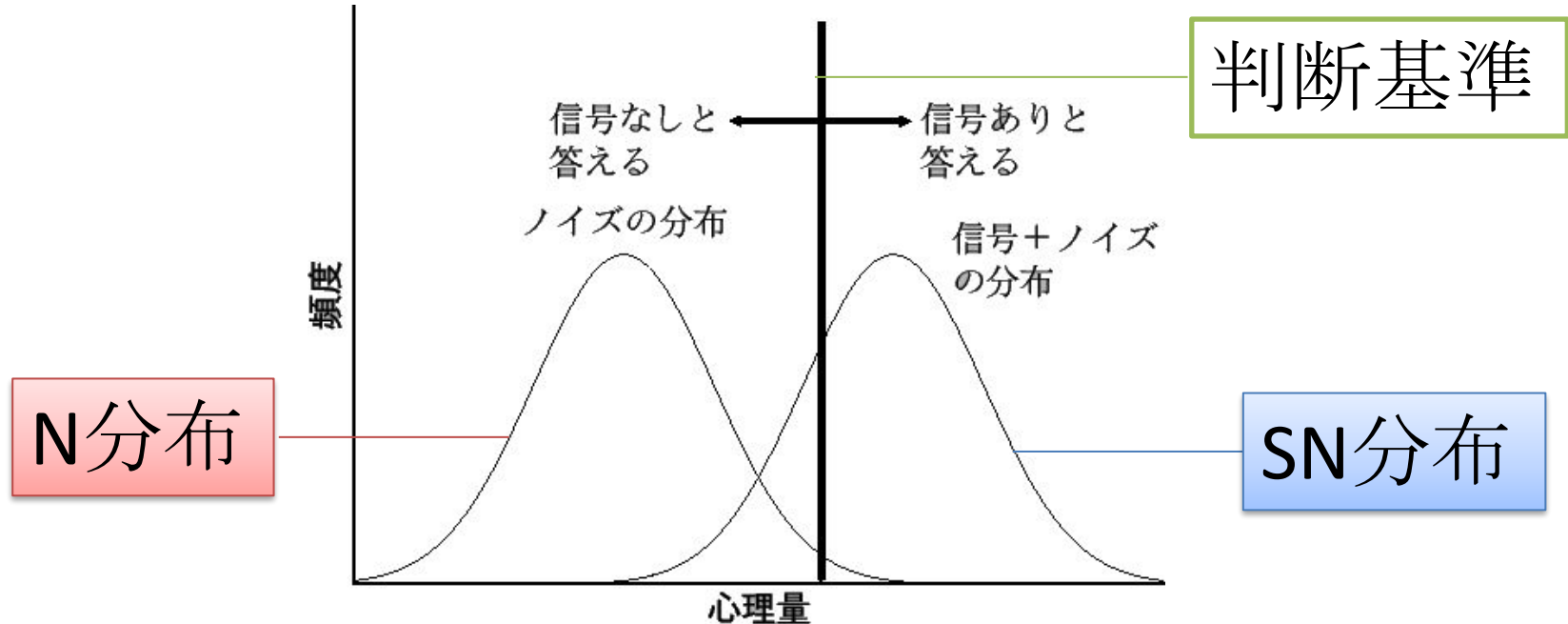
		被験者の反応	
		YES	NO
試行の種類	シグナル試行	hit	miss
	ノイズ試行	false alarm	correct rejection

- 再認課題のときは・・・

シグナル試行: 学習した項目 (旧項目)

ノイズ試行: 学習していない項目 (新項目)

# 2つの分布



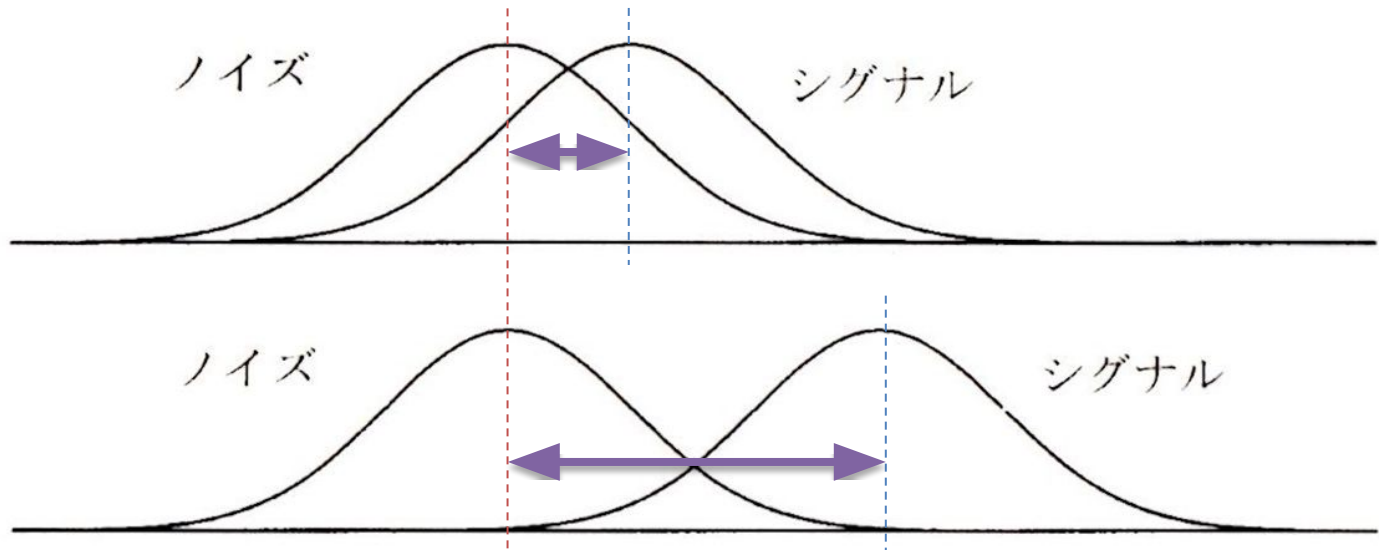
- 物理的な刺激は被験者の内部で、その強度に対応した一次元の心理量に変換されるとする。ノイズだけの試行と、ノイズと刺激の両方を呈示される試行では、後者の方が物理エネルギー量が高い分、得られる心理量の平均値も大きいとする。

# 等分散ガウス型モデル



- 2つの分布に以下の条件が当てはまる場合、等分散ガウス型モデルを使って、①弁別力と②被験者のバイアスを求めることができる。
1. 正規性の仮定
  2. 等分散性の仮定
- これらの仮定が満たされない場合、異なるモデルを使用する必要がある。
  - 以下のスライドでは、これらの仮定が満たされるとして、話を進める。

# ① 弁別力( $d'$ )



- SN分布とN分布が離れているほど、シグナルとノイズを弁別しやすい。

→SN分布の平均とN分布の平均との距離を、被験者の弁別力の指標にしよう。→  $d'$  (ディープライム)



# ① 弁別力( $d'$ )



- N分布に対するSN分布の位置は、刺激強度と感覚系の特性に完全に依存するために、 $d'$  は観察者の基準値の影響を受けない、純粹な刺激検出の指標である。

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

- 理論的には、 $d'$  は上記のように、SN分布とN分布の平均値の差をN分布の標準偏差で割ったものに等しい。

→得られたデータからこれらの値は算出できないので、他の算出方法を用いる。

# $d'$ どうやって算出する？



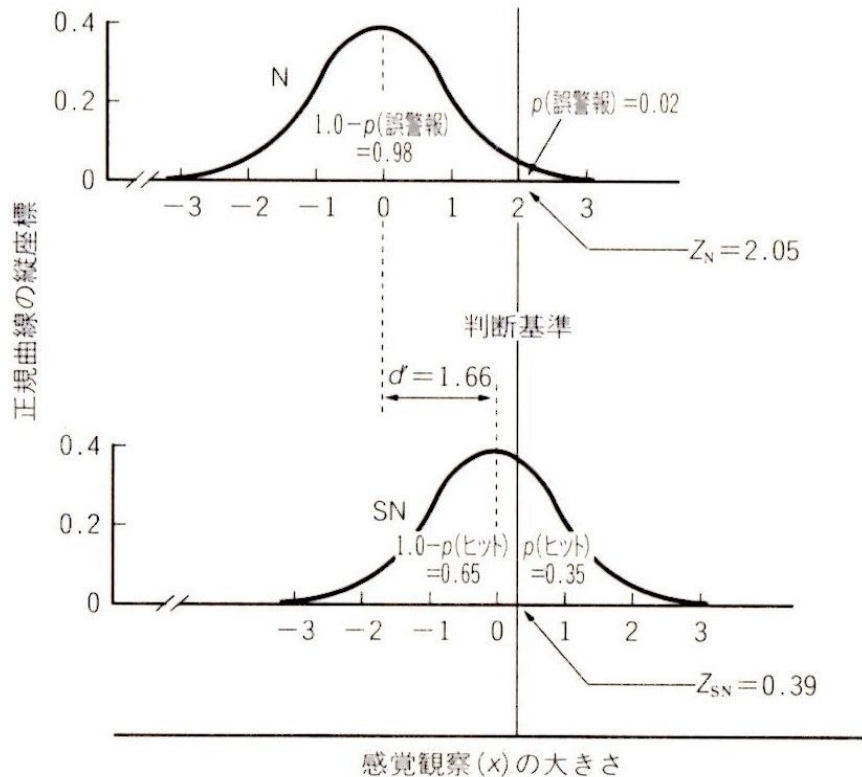
$$d' = Z_N - Z_{SN}$$

$Z_N \rightarrow (1 - \text{false alarm 率})$  を z変換

$Z_{SN} \rightarrow (1 - \text{hit 率})$  を z変換

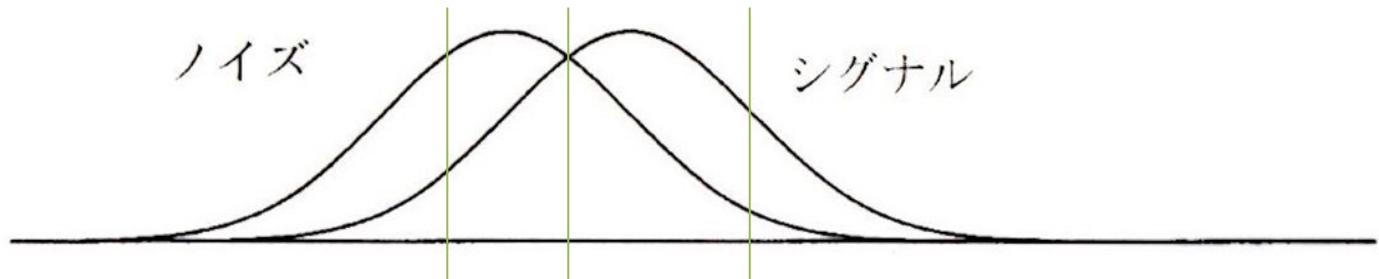
z変換は、変換表を用いる必要があるが、Excelの関数を用いて算出することもできる。

# $d'$ どうやって算出する？



- ◆ 図5-10  $z$ 得点で表した  $N$  分布と  $SN$  分布。 $N$  分布上の判断基準位置は、1.0 から誤警報率を引く、その値を  $z$  得点に変換して得られる。また、 $SN$  分布上の基準の位置は、1.0 からヒット率を引く、その値を  $z$  得点に変換して得られる。信号に対する観察者の感度の測度  $d'$  の値は、 $Z_N$  から  $Z_{SN}$  を引くことで得られる ( $d' = Z_N - Z_{SN}$ )

## ② 被験者のバイアス( $\beta$ )



- 観察者が信号のあり・なしを判断する基準がどこにあるかを表すことで、被験者の反応の偏りであるバイアスを調べることができる。→  $\beta$
- バイアスが無ければ、基準は2つの分布の真ん中(交点)にあるはずであるが、どちらかを多く答えていると、基準値は偏った位置にあることになる。

## ② 被験者のバイアス( $\beta$ )



- 偏り具合は基準値におけるそれぞれの正規分布の値の比によって表される。



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

$$\beta = \frac{N(Z_{SN})}{N(Z_N)}$$

## ② 被験者のバイアス( $\beta$ )



- 判断基準に偏りがないうき

$$\beta = 1$$

- 判断基準がN分布に偏っているとき

$$\beta < 1$$

- 判断基準がSN分布に偏っているとき

$$\beta > 1$$

## ② 被験者のバイアス( $C, C'$ )



- $\beta$ は  $d'$  の値によって取りうる値が変わるといふ欠点がある。→別の指標も用いる。
- 比ではなく、N分布とSN分布の交点から基準位置までの距離をz得点で表したものの。→  $C$

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

- $d'$  に対する  $C$  の割合を表すもの。→  $C'$

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

## ② 被験者のバイアス( $C, C'$ )



- 判断基準に偏りがないうとき

$$C = 0$$

- 判断基準がN分布に偏っているとき

$$C < 0$$

- 判断基準がSN分布に偏っているとき

$$C > 0$$



# ROC曲線



- 等分散性の仮定を検証することができる。

→ ROC ( receiver operating characteristic ) 曲線

- ある  $d'$  に対して、フォールスアラームの比率を横軸に、ヒットの比率を縦軸にそれぞれとり、 $\beta$  を  $-\infty$  から  $\infty$  まで操作すると、描かれる曲線のこと。
- 正規性は確認できないが、この仮定は広く受け入れられている。

# ROC曲線

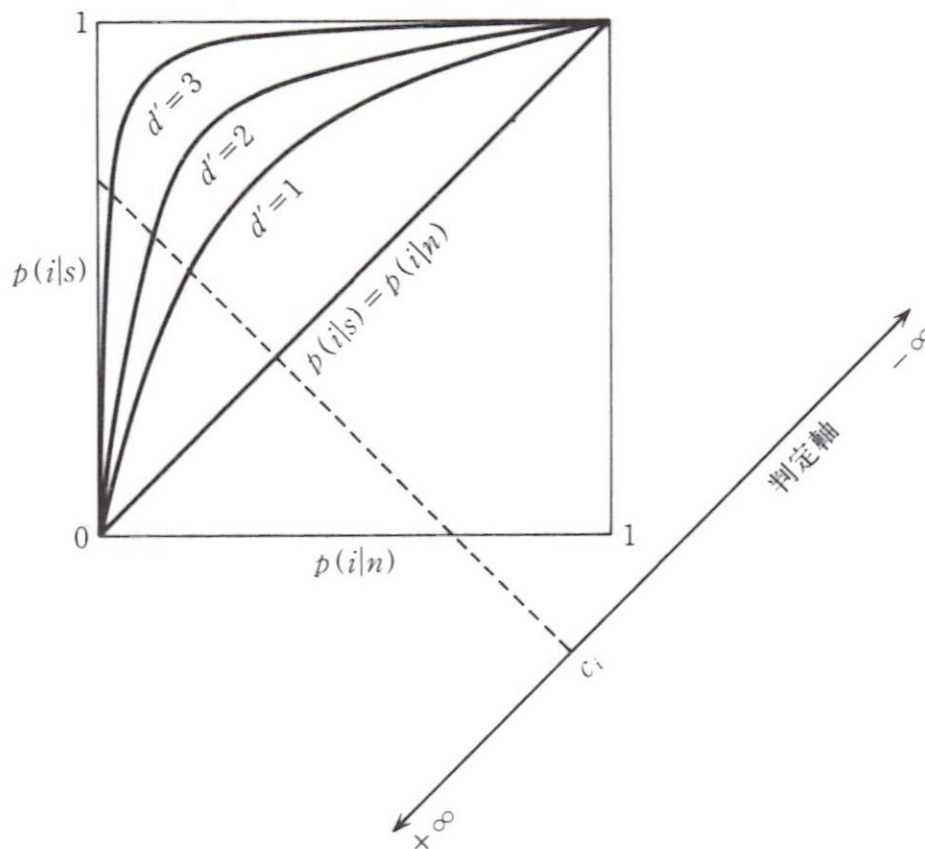
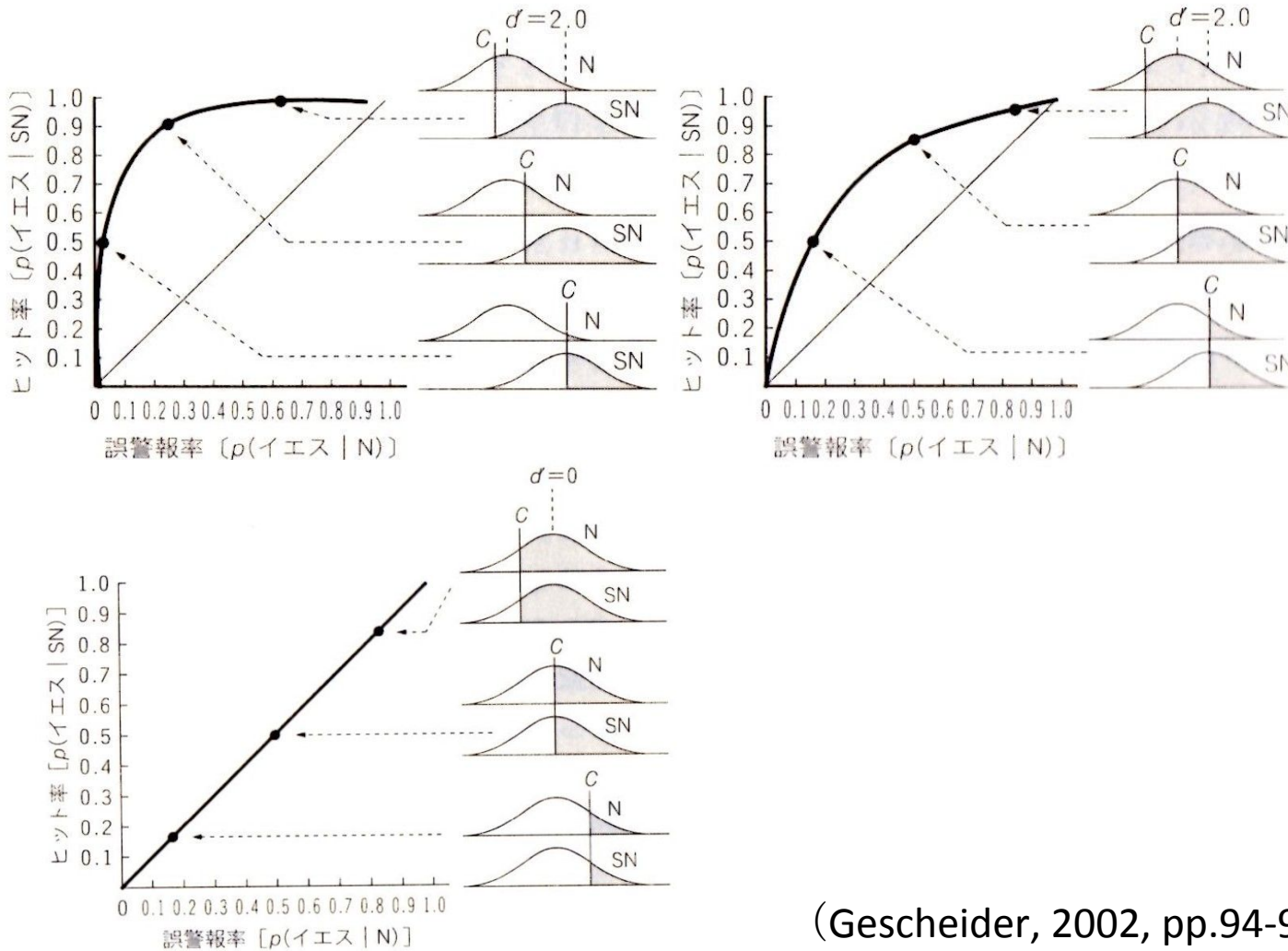


図 9.7 ROC 曲線

(市川, 1991, p.185)

# ROC曲線



# ROC曲線の描き方



弁別力を変えずに、判断基準を増やす。

## 1. バイアス进行操作する

何種類かのバイアスがかかる状況を用意し、それぞれの状況でのデータをプロットする。

Ex.) hit : 報酬あり, false alarm : 報酬なし → Yes反応増

hit : 報酬なし, false alarm : 報酬あり → No反応増

## 2. 確信度の評定にする

評定段階を増やすことで、判断基準が増える。

それぞれの判断基準ごとにグラフにプロットする。

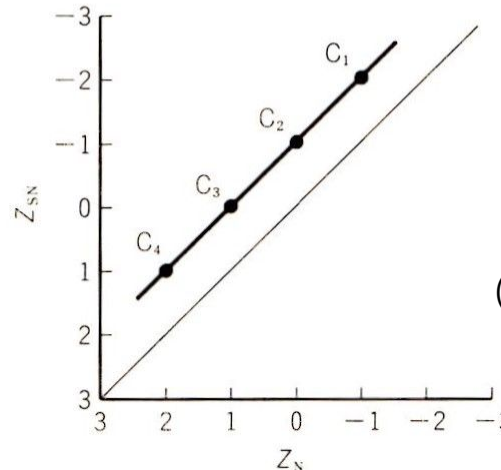
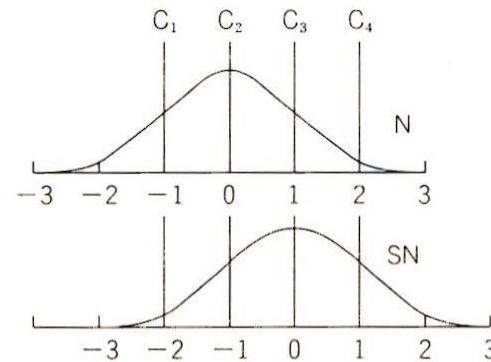
# 等分散性の確認



- hit 率と false alarm 率をz得点に変換してROC曲線にプロットすることで確認することができる。

- 直線の傾き = 1  
等分散性が満たされる。

- 直線の傾き < 1  
SN分布の分散がN分布の分散より大きい。



(Gescheider, 2003, P.2)

# 等分散性が満たされない場合



- $d'$  と比較できる指標
- $\Delta_m$  : Hit率が0.5である時の false alarm の値のZ得点
- ノイズ分布の分散を基準として補正した $d'$ とみなせる。

$$\Delta_m = \frac{Z_{SN} - Z_N}{S} \quad (S : \text{ROC曲線の傾き})$$

- そのほか、 $d'e$ ,  $d'a$  もある

# 等分散性が満たされない場合



- $A'$  : 2択の強制選択法によって得られたROC曲線と仮定すると、ROC曲線の下側の面積は、その課題における正答率とみなせることが証明されている。

$$\begin{aligned} A' &= 1 + \frac{A_1 + A_2}{2} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{(y-x)(1+y-x)}{4y(1-x)} \end{aligned}$$

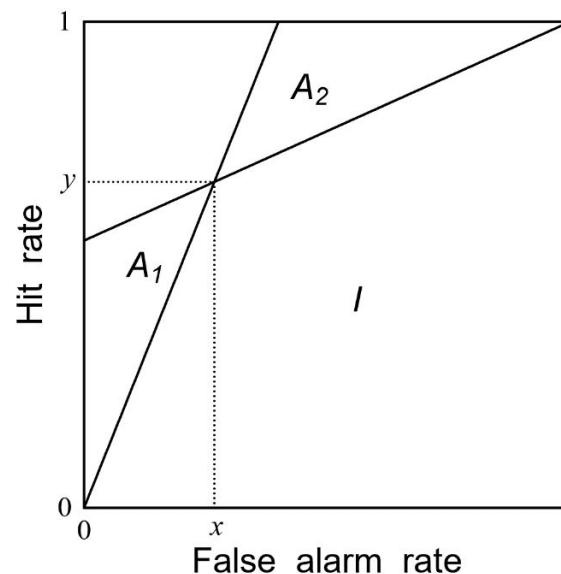


図 5: ノンパラメトリックな信号検出理論

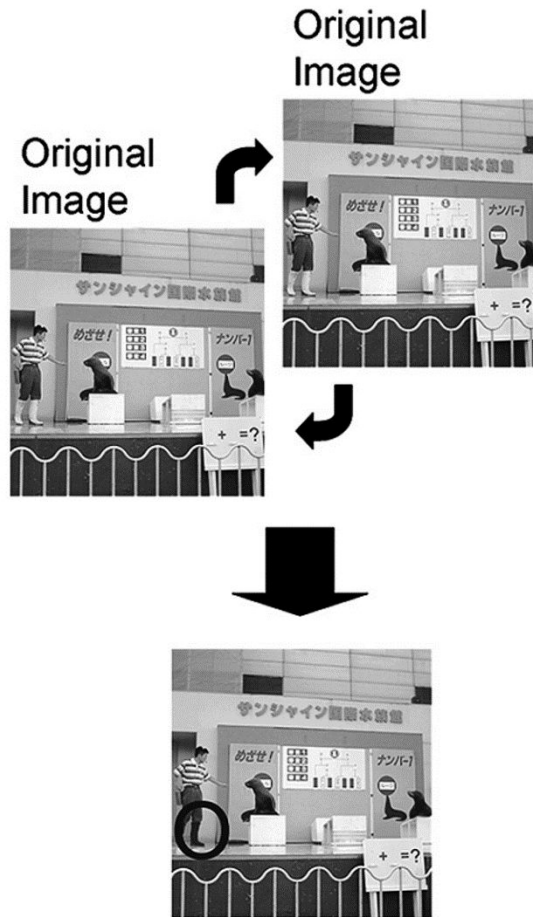
# 実際の心理学研究において



- 中島亮一・横澤一彦 (2010) の実験1
- フリッカー変化検出課題
  - 二枚の画像を交互に、視覚的な空白を挿入して呈示する実験パラダイム。
  - 情景中の変化を明示的に同定できた場合に変化検出が成功したと見なされる。
- フリッカー呈示においても、再認課題を用いれば記憶が保持されていることを明らかにできることを確認する。



# 実際の心理学研究において



Original Image or  
CI Change Image

- 参加者には、回答画面に呈示された画像とそれまで呈示されていた画像との異同判断を求めた。
- 言語的符号化の影響も検討するために、構音抑制の有無も操作した。

# 実際の心理学研究において



- 記憶成績の指標として、信号検出理論における  $d'$  を算出。
- 構音抑制あり条件
  - $d'$  の平均は 0.96 で、チャンスレベル(すなわち、 $d'=0$ ) を有意に上回っていた ( $t(23) = 10.26, p < .01$ )。
- 構音抑制なし条件
  - $d'$  の平均は 1.10 で、チャンスレベルを有意に上回っていた ( $t(23) = 8.74, p < .01$ )。
- 両条件に有意差なし ( $t(23) = 1.05, p > .3$ )。

# 実際の心理学研究において



- フリッカー呈示という特殊な画像呈示状況下においても、記憶表象が保持されており、それは再認課題を行えば明らかにできるということが確認できた。
- 構音抑制は成績に大きな影響を与えていなかった。情景記憶において言語的な符号化による影響は小さいということが確認できた。

# Excelで指標を算出しよう



- 草薙邦広のページ

<https://sites.google.com/site/kusanagikuni/home/tips/sdt>

信号検出理論の各指標を計算するエクセルシートがダウンロードできる。

# 参考文献



- Gescheider G.A. (宮岡徹 監訳) (2002). 心理物理学一方法・理論・応用(上巻)一. 北大路書房.
- Gescheider G.A. (宮岡徹 監訳) (2003). 心理物理学一方法・理論・応用(下巻)一. 北大路書房.
- 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/>
- 市川伸一 (1991). 心理測定法への招待 ー測定から見た心理学入門ー. サイエンス社.
- 中島亮一・横澤一彦. (2010). フリッカー変化時における自然情景の視覚表象. *心理学研究*, 81, 210-217.
- Thomas D. W. (岡本安晴 監訳) (2005). 信号検出理論の基礎. 協同出版.