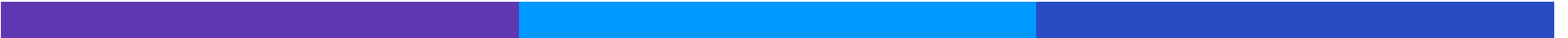


統計モデルによる 計算論的認知科学



IBIS 2010

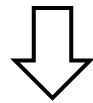
佐藤好幸^{*}, 合原一幸[†]

^{*}電気通信大学情報システム学研究科

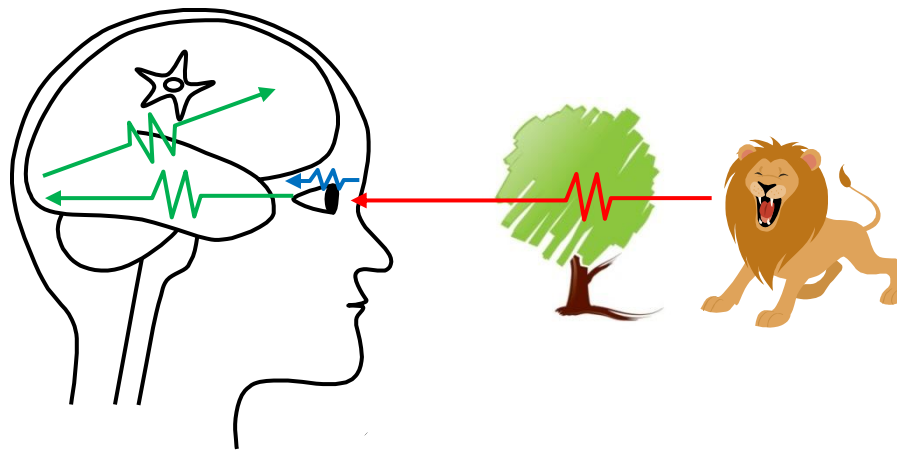
[†]東京大学生産技術研究所

イントロダクション

- 人は不確実性のある世界で生きている.
 - 外界にある不確実性
 - 感覚器官や脳の中にある内部の不確実性



- 不確実な情報から本当の情報を正しく「推測」する必要がある.

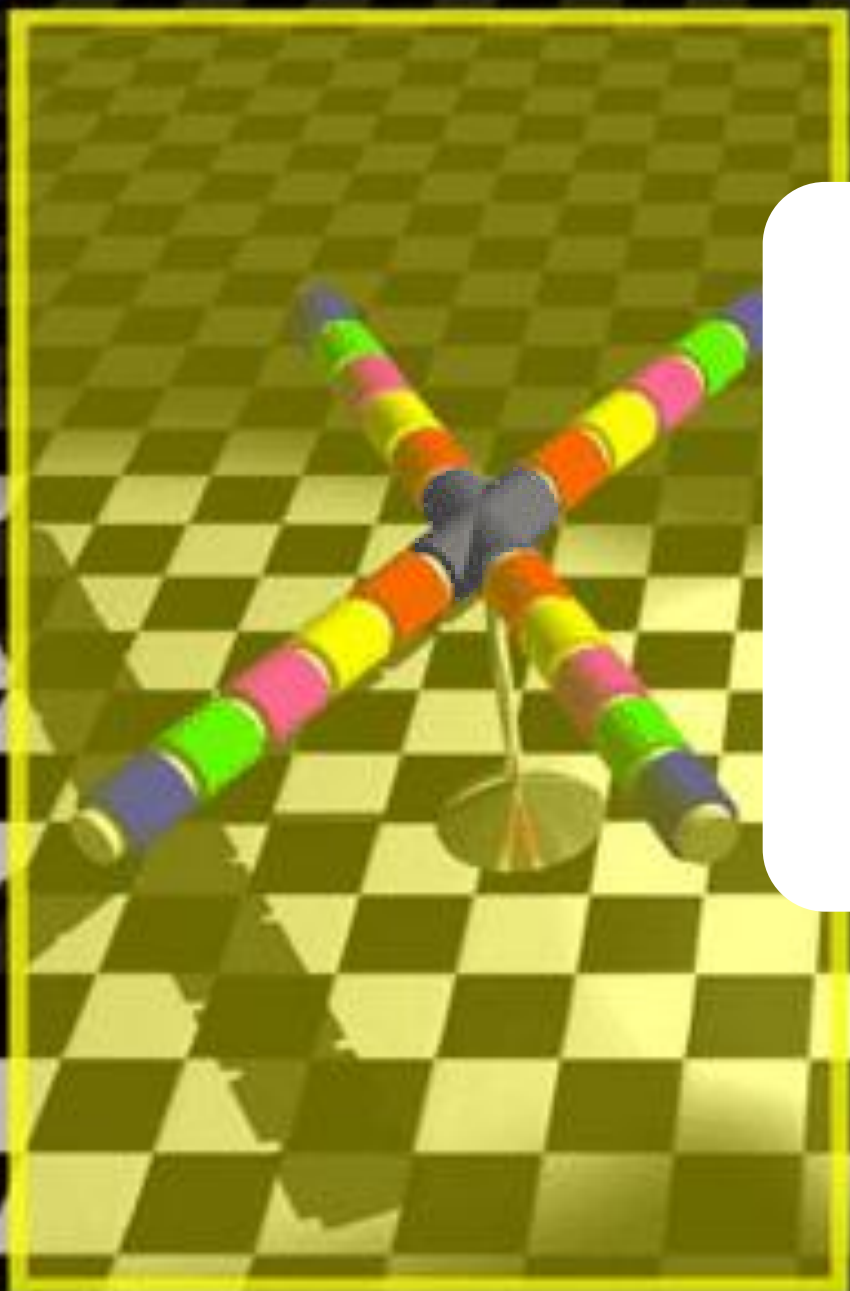


イントロダクション

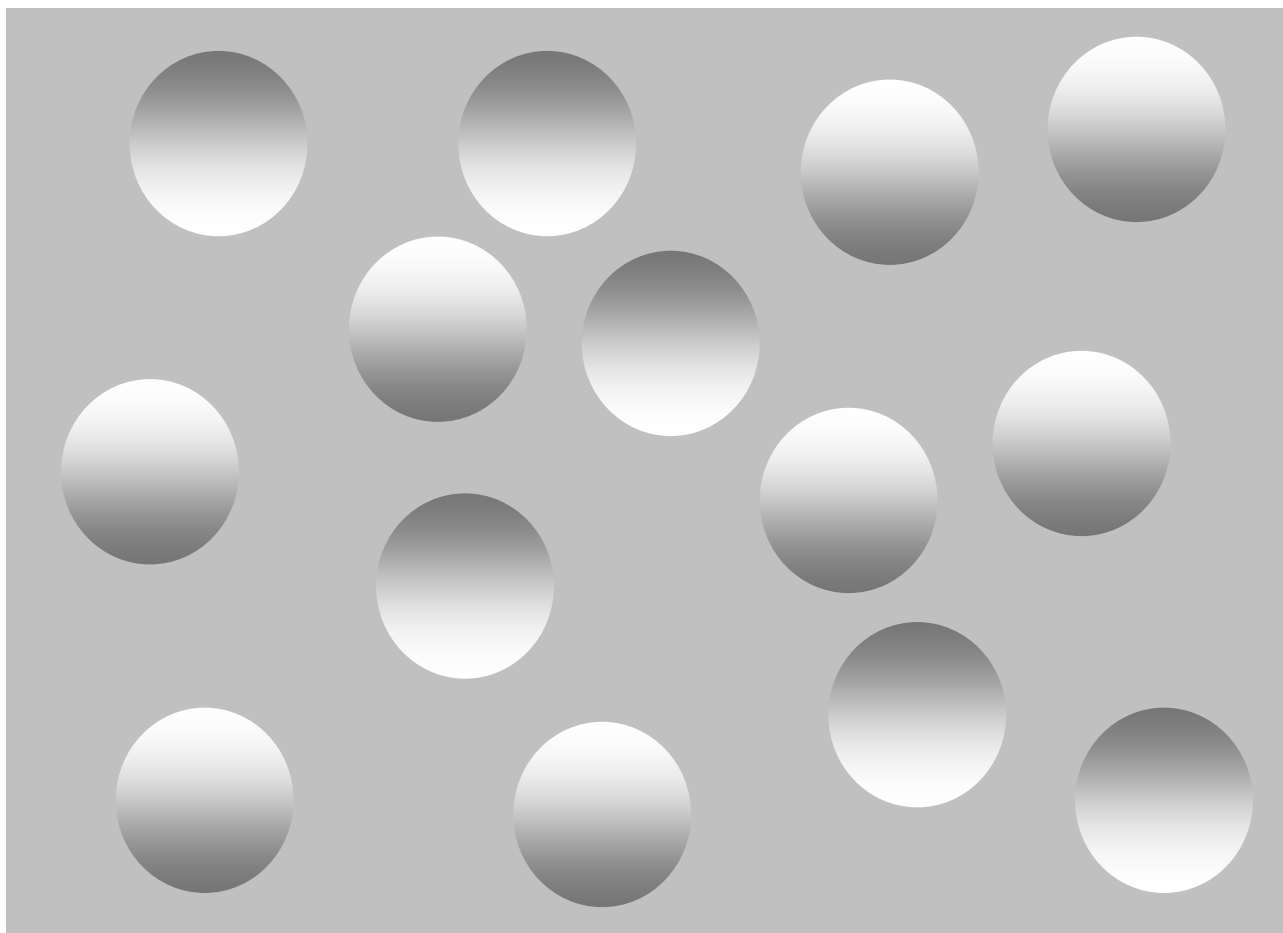
- Helmholtz: 知覚は無意識の推論である.
- 人の知覚がとくにベイズ推定によるモデルでよく説明できることが最近わかってきた.
 - 知覚はその意味で最適な計算をしている

脳は“推定”したものを知覚している

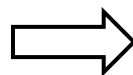
- 「あるがまま」を見ているわけではない.



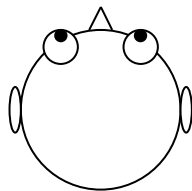
その推定には事前知識が影響する



単純な例：時間順序判断タスク

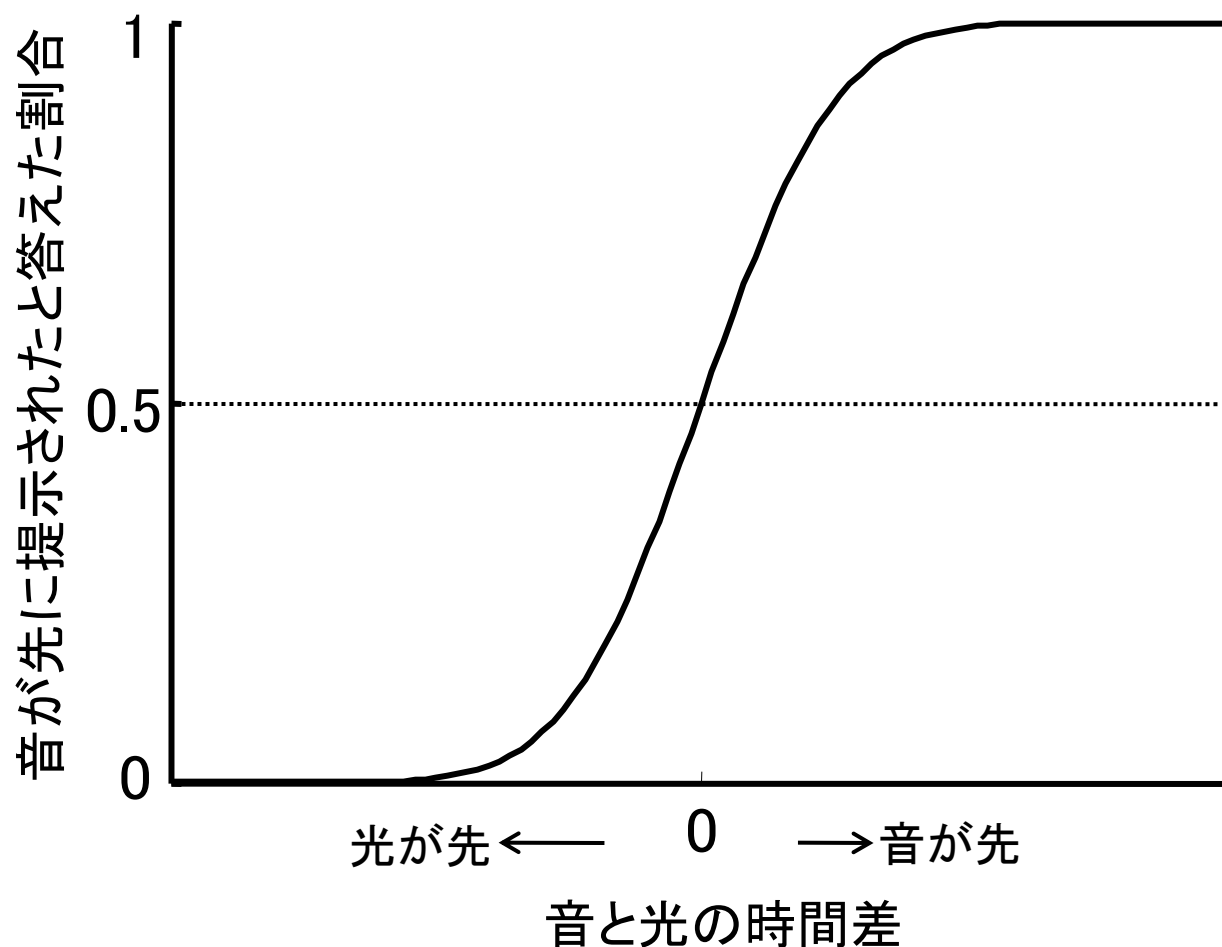


音が先かどうか？
yes or no



単純な例：時間順序判断タスク

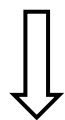
□ psychometric function



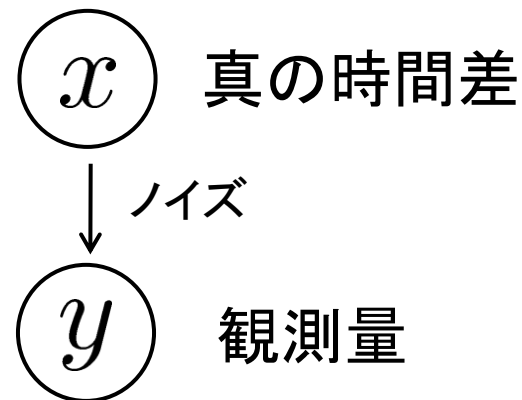
順序判断タスクのベイズモデル

$$P(x) \propto \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_p^2}\right)$$

$$P(y|x) \propto \exp\left(-\frac{(y-x)^2}{2\sigma_l^2}\right)$$



$$P(x|y) \propto P(y|x)P(x) \quad \Rightarrow \quad \hat{x} > 0 \quad = \text{音が先}$$



このような単純なモデルで、視覚、触覚、視聴覚統合、感覚運動統合における空間知覚、時間知覚など非常に幅広い現象が定量的に説明できる。

Contents

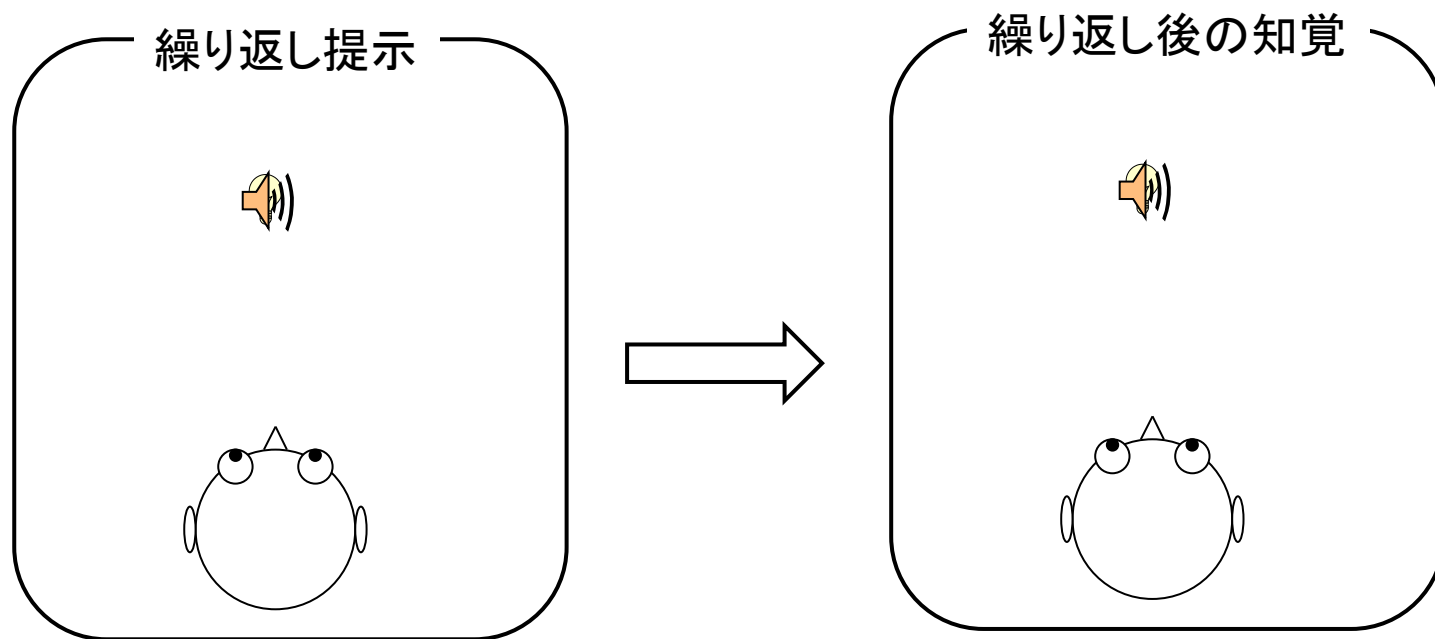
- インTRODクシヨN
- 二種類の適応現象
- 適応現象のベイズモデル

適応現象とは

- 我々の周りの環境は常に変化し続けている.
- 自分自身の体も変化している.
 - 怪我, 成長, 老化, ...
- そのような変化に対して, 知覚や運動をきちんと追随させる必要がある.

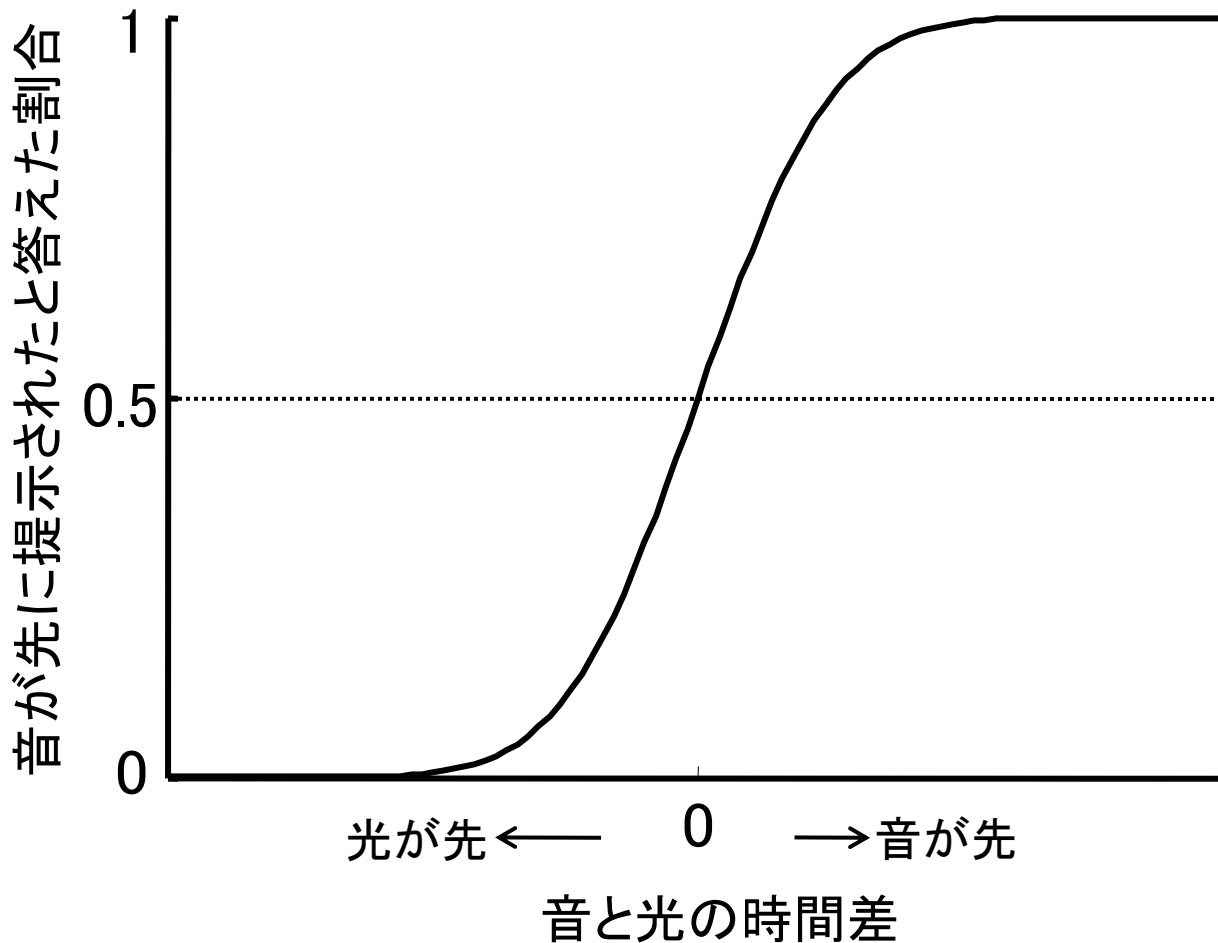
視聴覚での例: lag adaptation

- 時間差がついた刺激を繰り返し提示することで視聴覚の時間知覚が変化する。



繰り返した刺激を同時だと知覚するようになる

psychometric functionによる適応 効果の測定

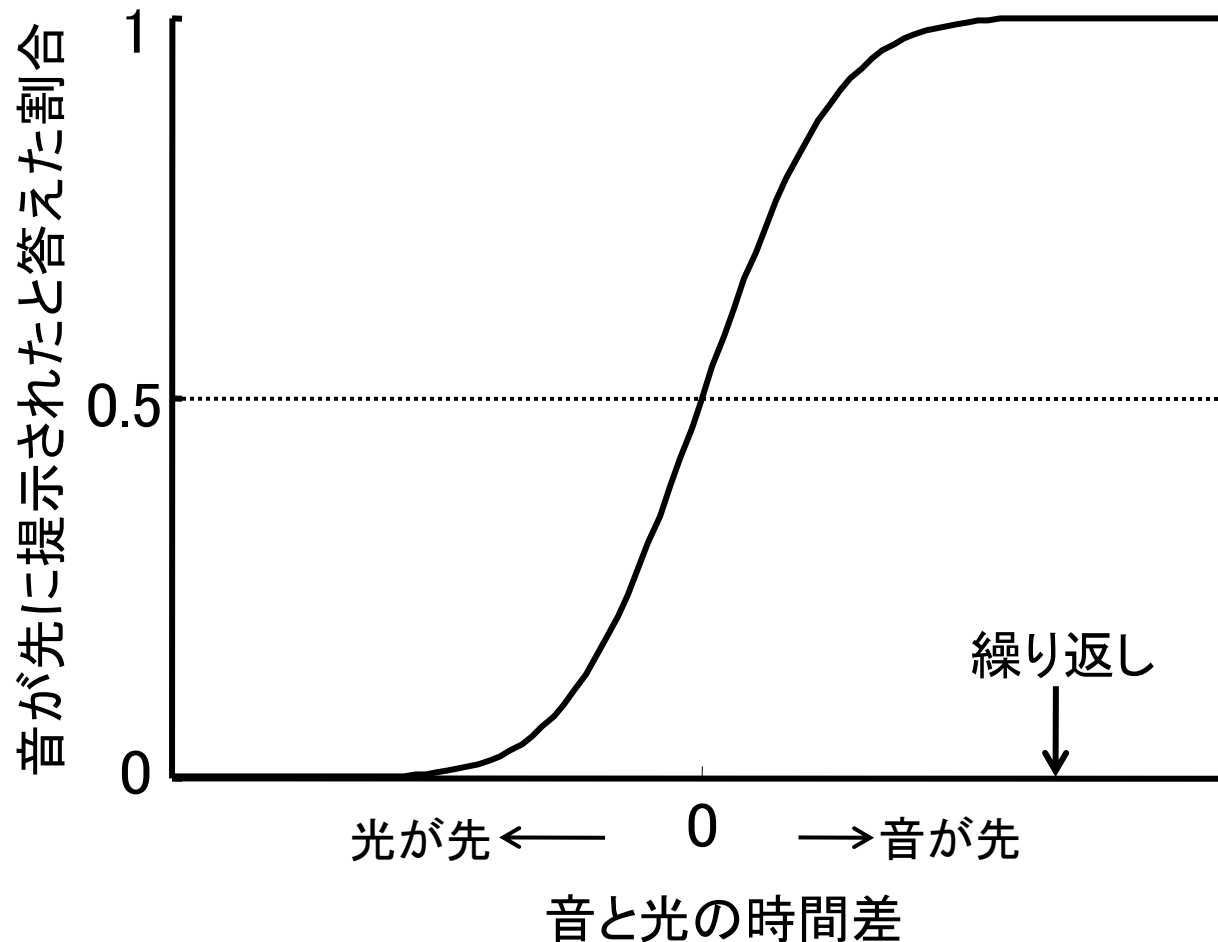


1. 様々な時間差に対し,
音と光の順序判断
2. 特定の刺激を繰り返す
3. 再び様々な時間差に対し
順序判断



psychometric
functionの動く量を測る

psychometric functionによる適応効果の測定

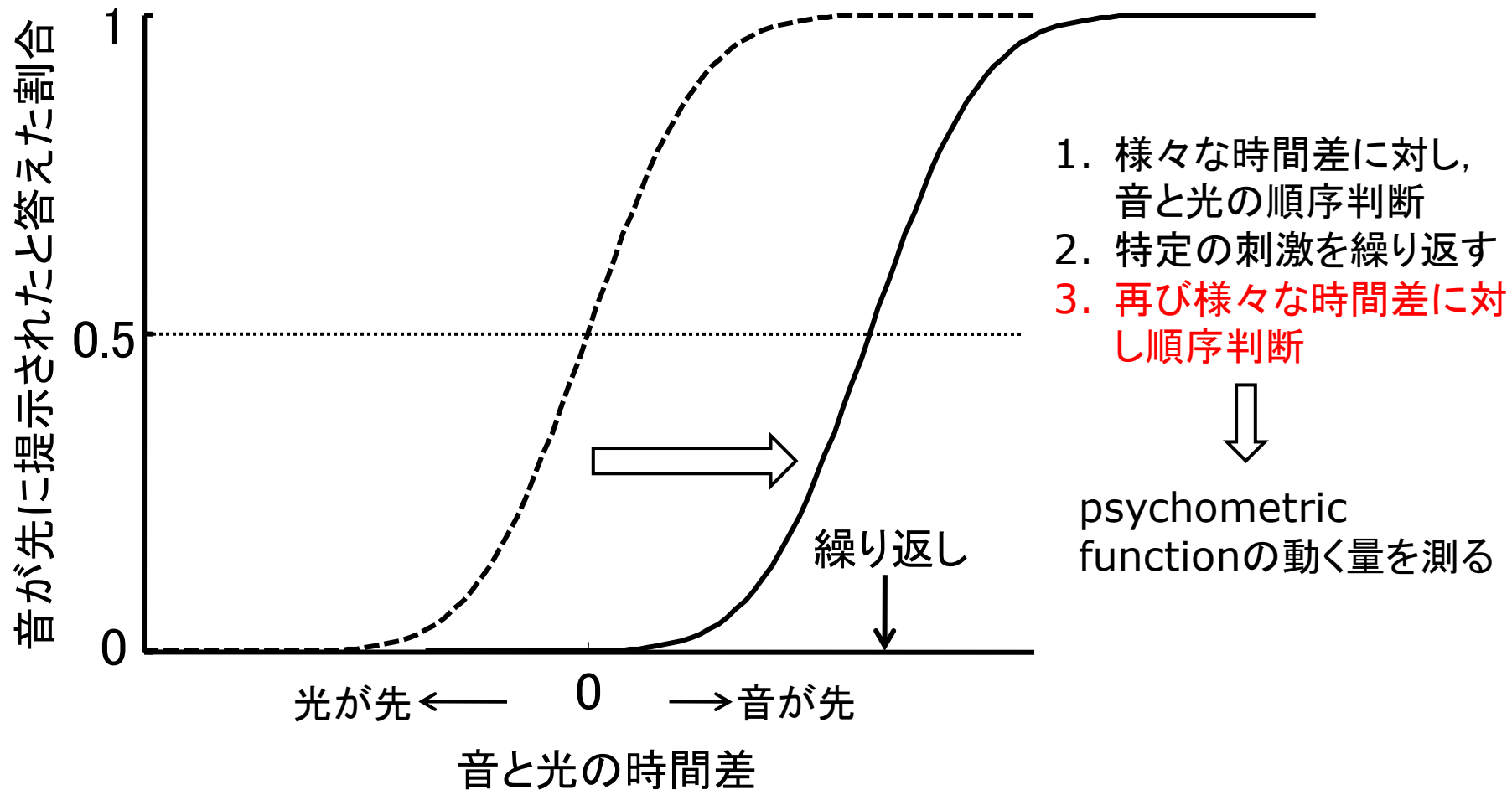


1. 様々な時間差に対し、音と光の順序判断
2. 特定の刺激を繰り返す
3. 再び様々な時間差に対し順序判断

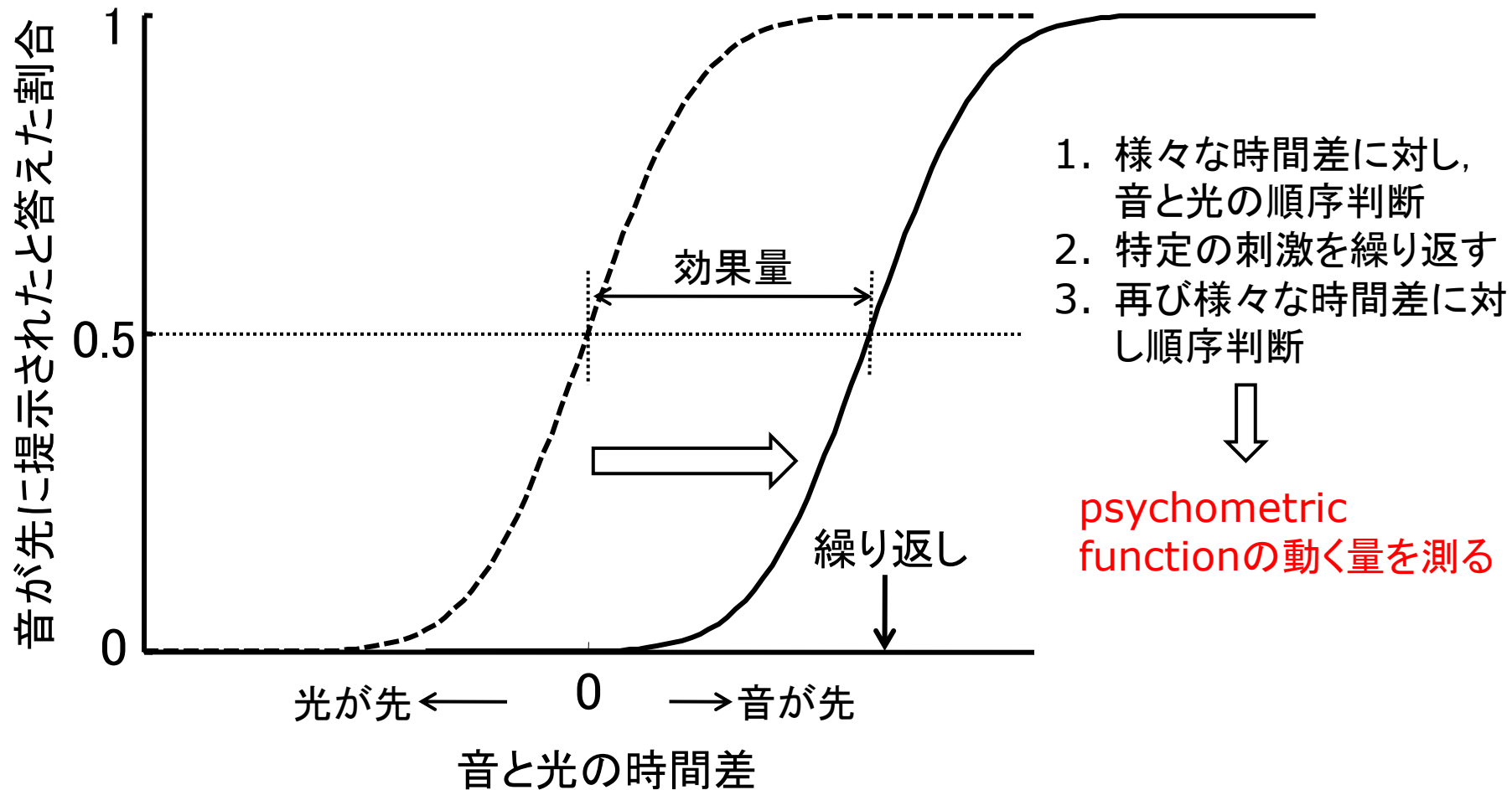


psychometric functionの動く量を測る

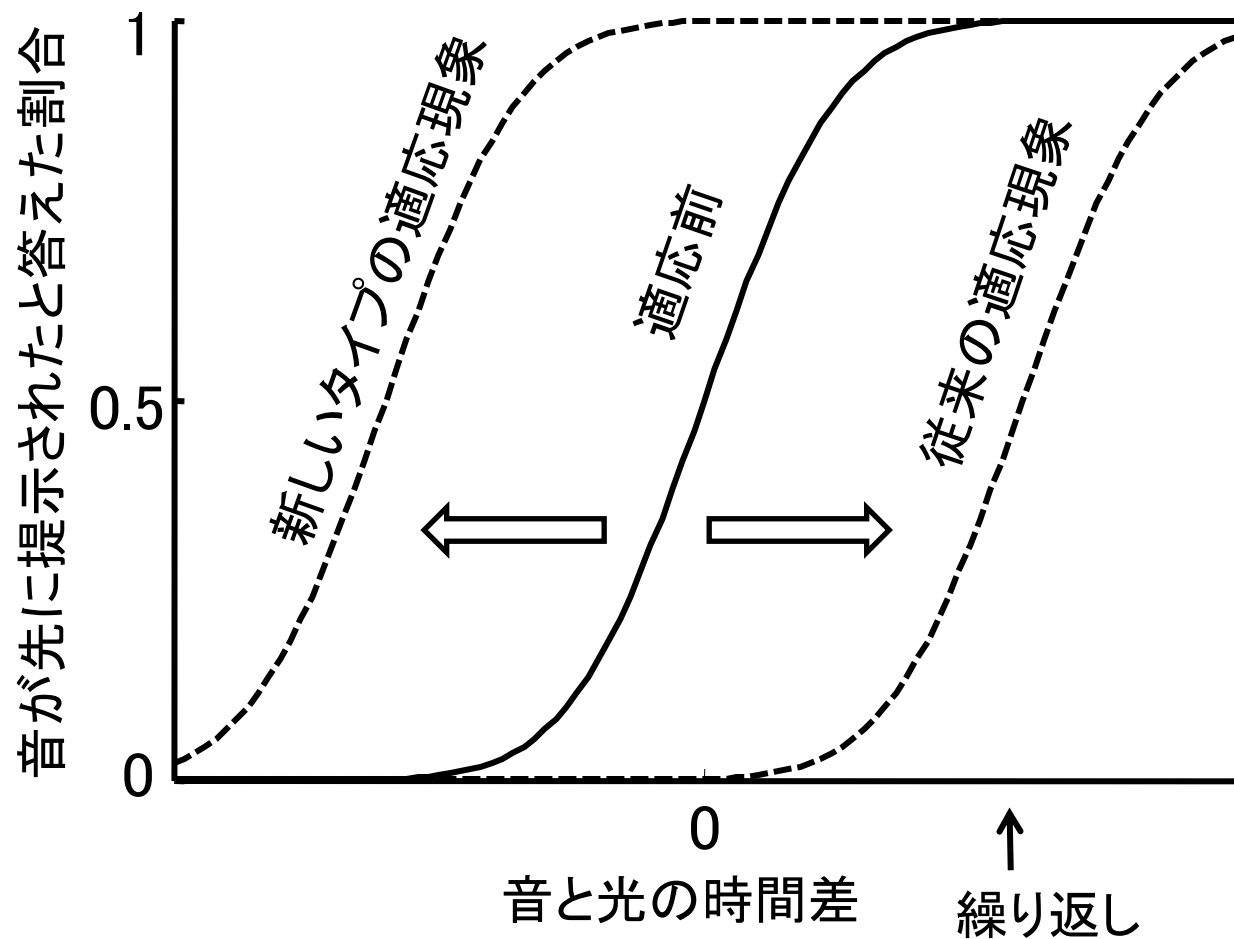
psychometric functionによる適応効果の測定



psychometric functionによる適応 効果の測定

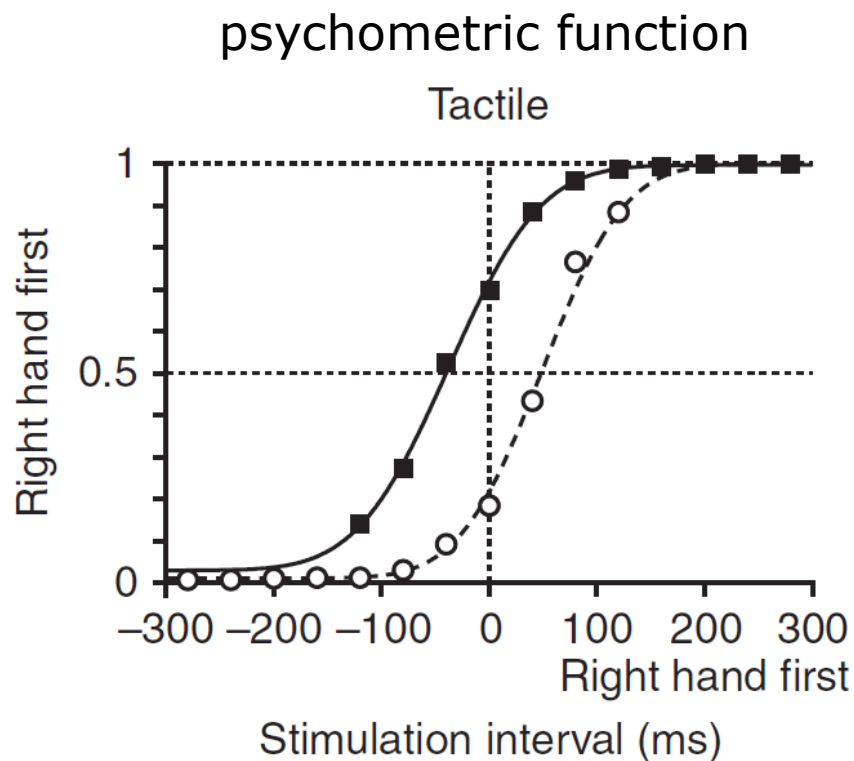
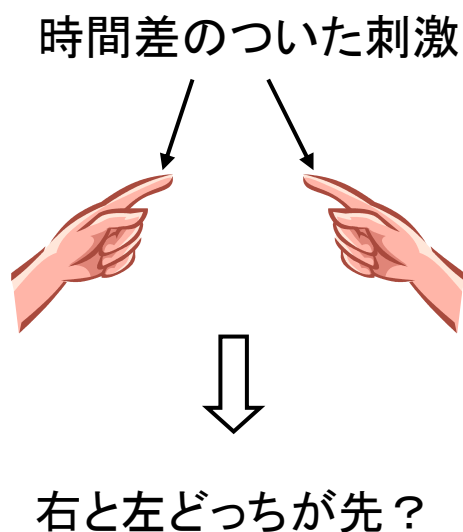


適応現象には2種類存在する



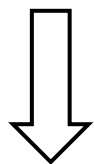
逆の適応: Bayesian calibration

- Miyazaki et al., Nat. Neurosci. (2006)



2種類の適応現象

- しかし、なぜ二種類の適応現象があるのか、何によって決まっているのか、などは未解明.



- ベイズモデルに適応を組み込んでなんとかしよう.

Contents

- インTRODクシヨN
- 二種類の適応現象
- 適応現象のベイズモデル

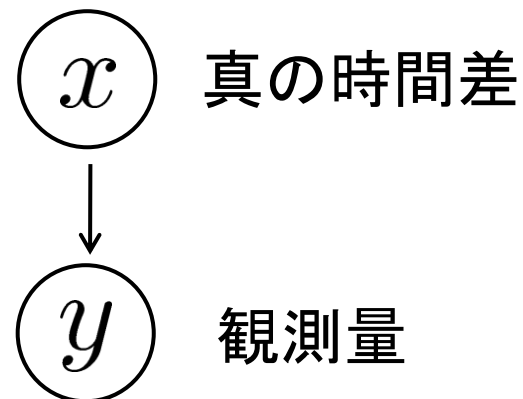
順序判断タスクのベイズモデル

$$P(x) \propto \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_p^2}\right)$$

$$P(y|x) \propto \exp\left(-\frac{(y-x)^2}{2\sigma_l^2}\right)$$



$$P(x|y) \propto P(y|x)P(x)$$



順序判断タスクのベイズモデル

- 分布の「ずれ」を表現するハイパーパラメータを導入.

$$P(y|x) \propto \exp\left(-\frac{(y-x-\mu_l)^2}{2\sigma_l^2}\right)$$

$$\left(-\frac{(x-\mu_p)^2}{2\sigma_p^2}\right)$$

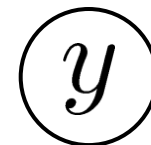


μ_p, μ_l がなんらかの理由でずれてしまった時に, それを学習していく過程 = 適応現象



$$P(x|y) \propto P(y|x)P(x)$$

真の時間差

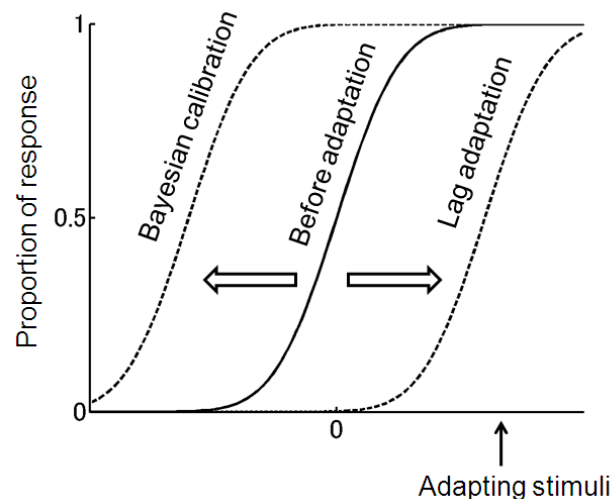


観測量

適応現象とベイズモデルの関係

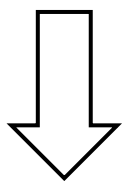
- 以前から知られるlag adaptationタイプ
 - 視聴覚の時間差への適応もこのタイプ
 - ベイズモデルにおける尤度関数の獲得で説明できる.
- 最近発見された“Bayesian calibration”タイプ
 - 両手への触覚刺激の時間差に対する適応
 - ベイズモデルにおける事前分布の獲得で説明できる.

$$P(x|y) \propto \underbrace{P(y|x)}_{\text{尤度}} \underbrace{P(x)}_{\text{事前分布}}$$



適応現象とベイズモデルの関係

- 2種類の適応は、現象的にもベイズモデルの上でも相補的になっている.
- 尤度と事前分布が両方変化するとどうなるのか？
- 何が適応のタイプを決めるのか？



ハイパーパラメータについても確率モデルを仮定して、
適応期間中に何が起こるかを解析

-
- ここから先は未発表な内容であるため、申し訳ないのですが公開を控えさせて頂きたいと思います.
 - Yoshiyuki Sato, Kazuyuki Aihara, “Dynamic Bayesian Network Model of Sensory Adaptation”として論文投稿中です.