

# パフォーマンス-認知負荷モデルを用いた 精神負荷作業中の複数の認知状態推定手法

○國政 秀太郎, 瀬尾 恭一, 下田 宏, 石井 裕剛  
京都大学大学院 エネルギー科学研究科

## 目次

1. 研究背景・目的
2. パフォーマンス-認知負荷モデル
3. 認知状態推定手法
4. 実験・結果・考察
5. 結論



# 研究背景 · 目的

# 研究背景 (知的生産性研究)



1

- 知的作業の重要性
  - 知的生産性向上による経済的・社会的利益
  
- 知的生産性評価の既存手法
  - ✓ タスクの作業成績や作業速度を評価
  
  - × 作業成績以外の評価ができない
  - × 執務者の認知状態が推定不可能
    - 認知負荷などの内的要因も考慮した評価手法が必要

# 研究背景 (認知負荷)

## 2



### ■ Cognitive Load Theory<sup>[1]</sup>に基づいた研究

- ✓ 認知負荷を評価
- ✓ 教育デザインや作業環境設計

### ■ 既往研究

- 作業成績(パフォーマンス)と認知負荷の2指標
  - 認知効率、内的要因が評価可能
- 心拍や瞳孔径が認知負荷を反映



× パフォーマンス・認知負荷を用いた認知状態推定手法は未確立

[1]Brünken, R., Plass, J.L., Leutner, D.: Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning; EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST, Vol. 38, No. 1, pp. 53-61 (2003).

# 研究目的



3

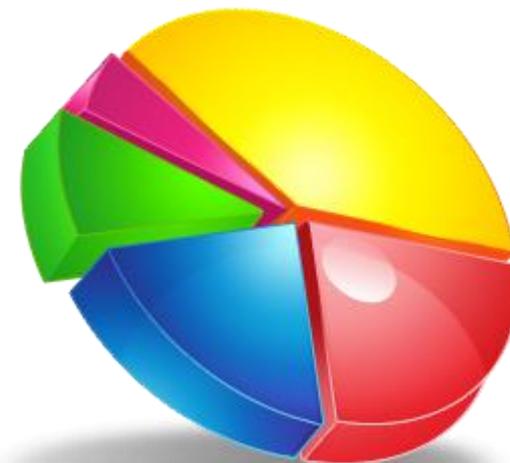
- 認知負荷を考慮した新たな知的生産性評価手法
  - パフォーマンス+認知負荷を定量化
    - 執務者の認知状態を推定

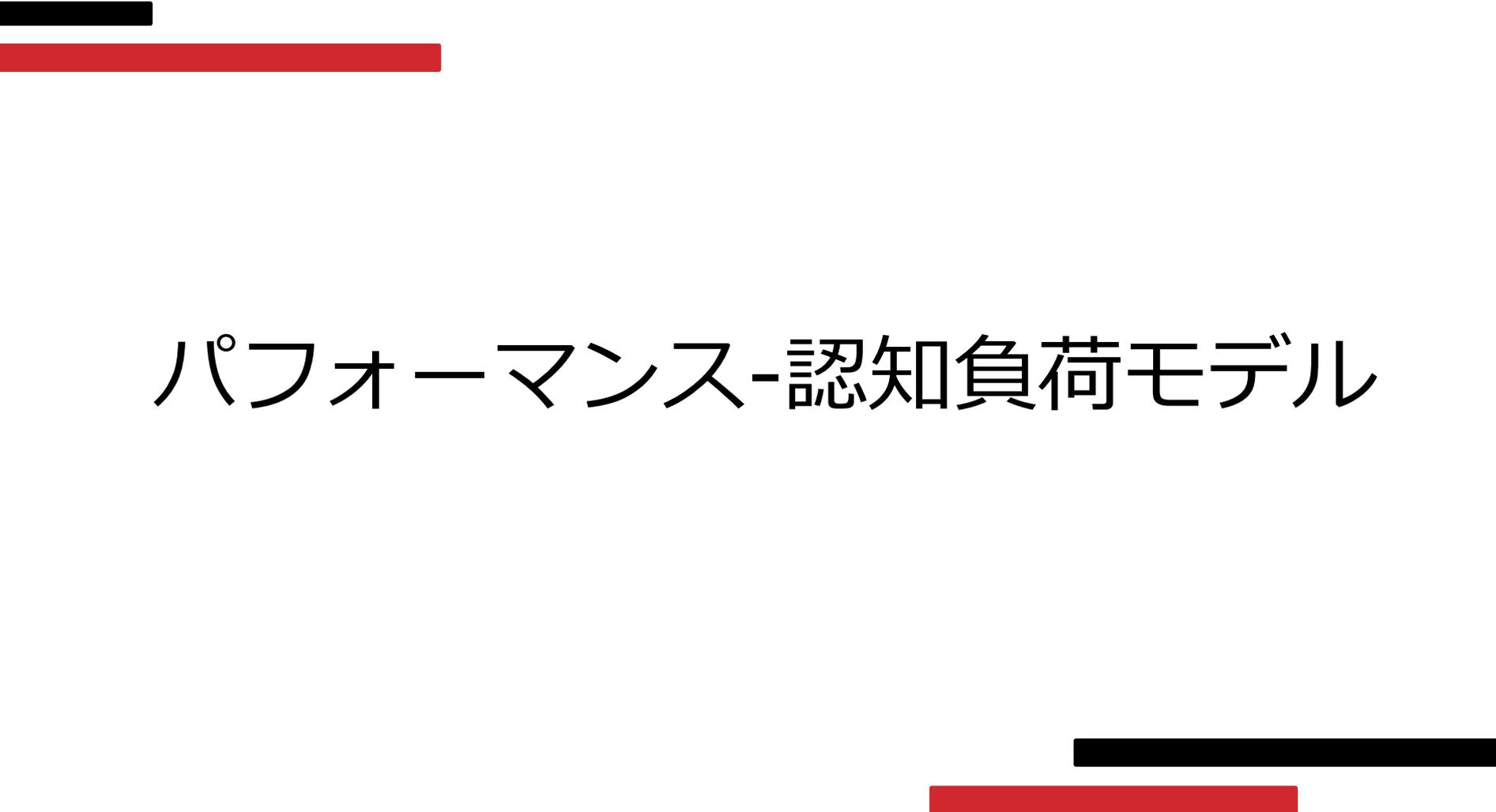


- 不可能であった認知状態の推定が可能
  - 作業中の認知状態遷移・割合
    - 執務者の作業状況(ex. 調子,集中…)



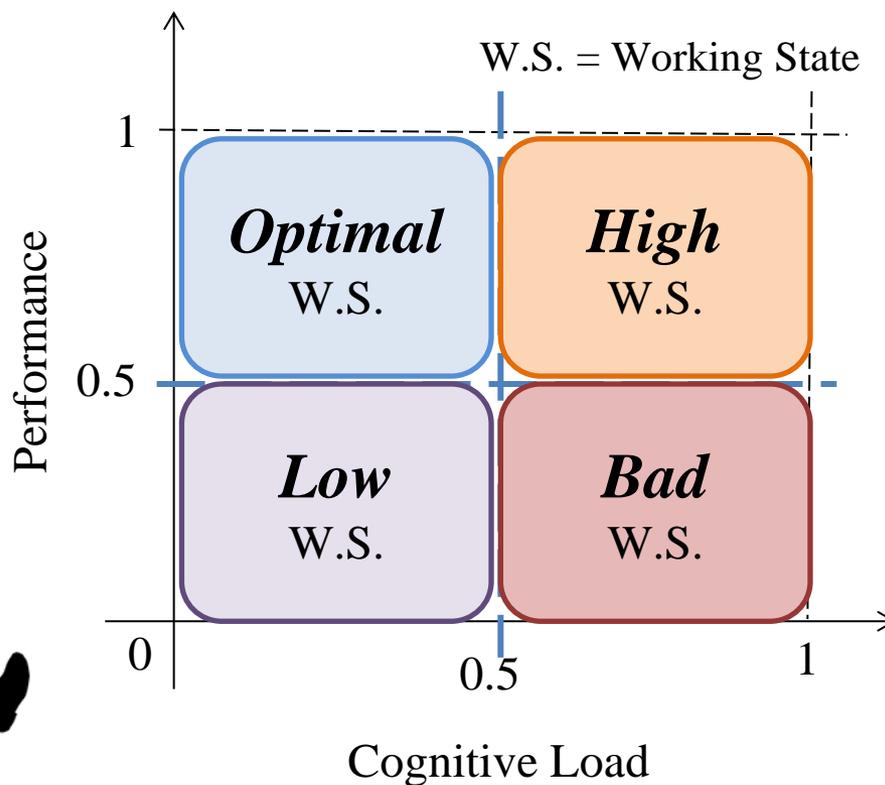
より詳細な執務者の知的生産性評価





# パフォーマンス-認知負荷モデル

# パフォーマンス-認知負荷モデル



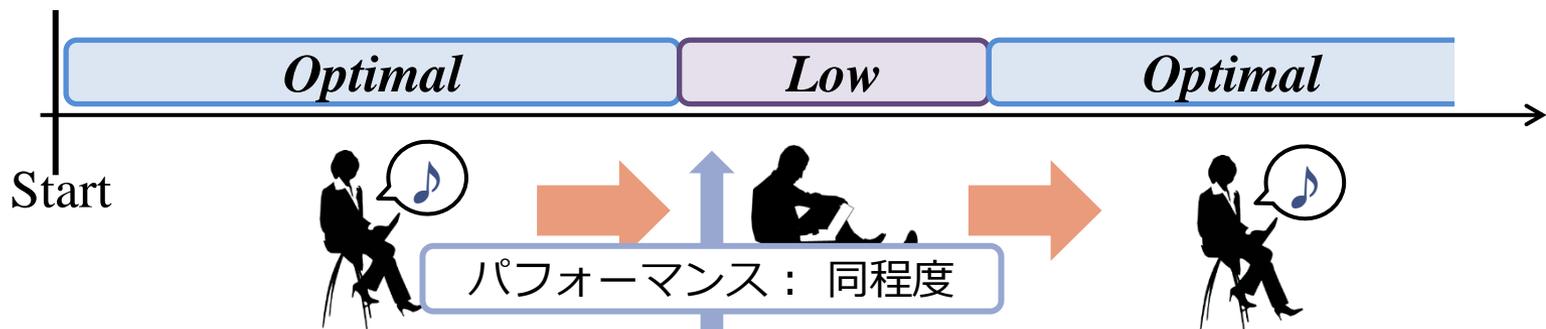
1指標だけでは不可能な認知状態推定が可能に

# モデルによる推定例

5



## ■ Case 1 (認知負荷: **低**)



## ■ Case 2 (認知負荷: **高**)

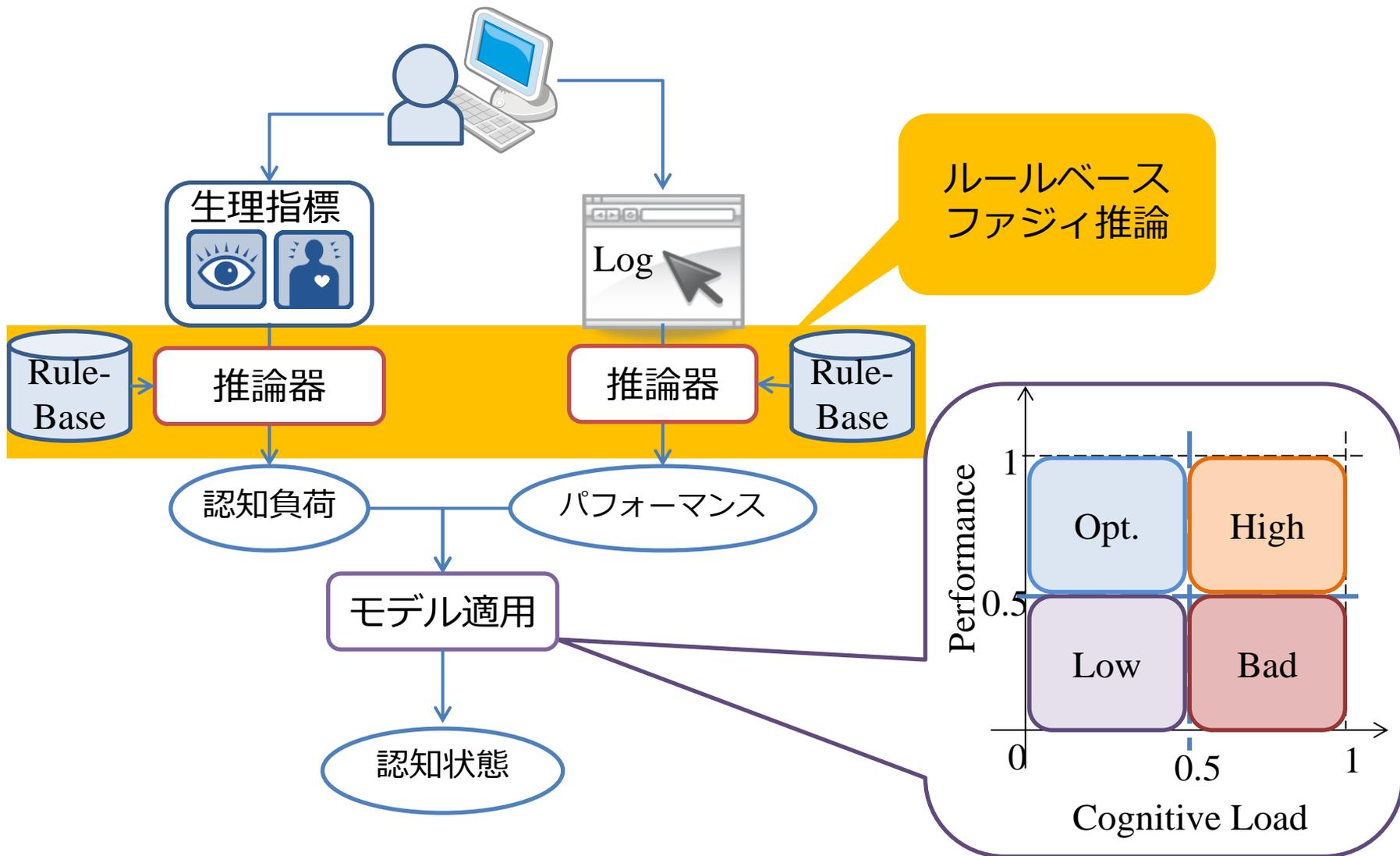


- 2指標で詳細な認知状態評価が可能
- 知的生産性 + 作業状況 (認知状態の変動)
- リアルタイム評価も可能



# 認知状態推定手法

# 認知状態推定手法 -概要-



# パフォーマンス推定

背景・目的	モデル	手法	実験	結論
-------	-----	----	----	----

## ■ 入力変数

### □ 速度

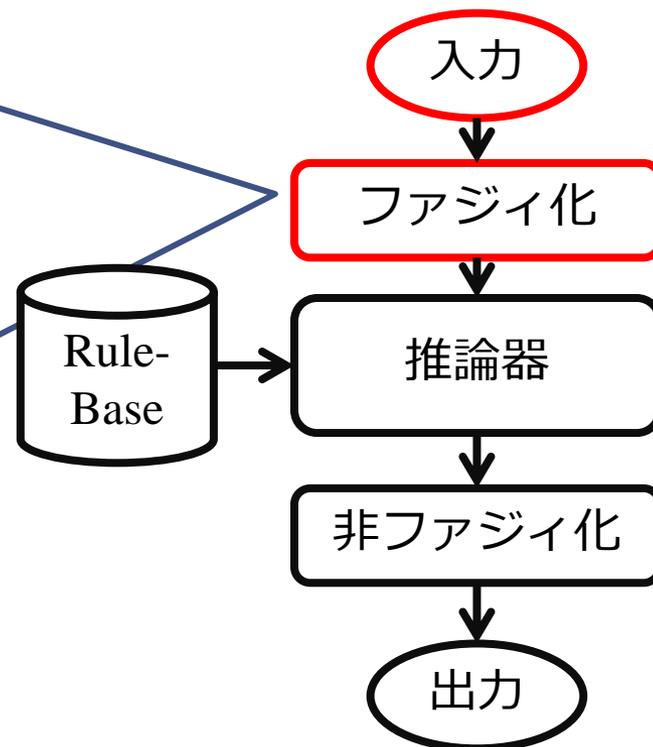
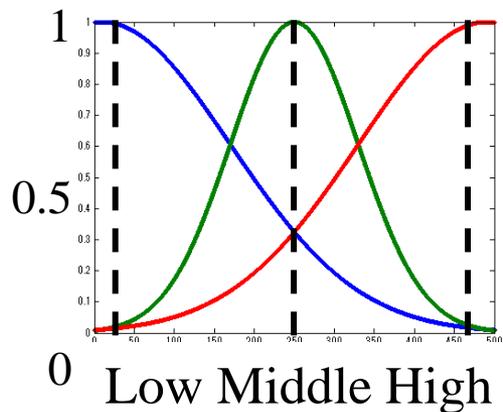
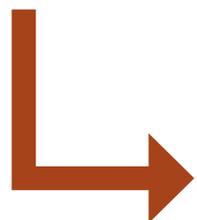
- タスク1問の解答時間

### □ 安定性

- 解答時間の分散

### □ 正確性

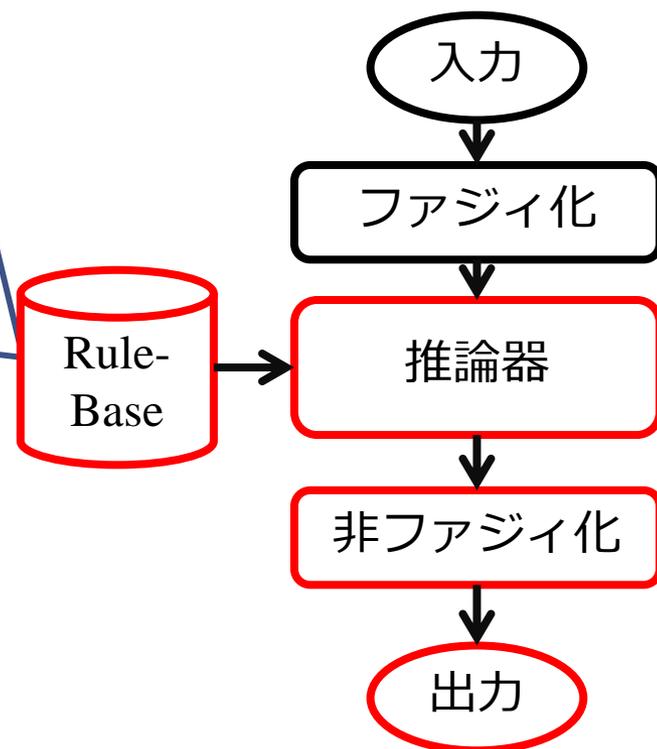
- エラー率



# パフォーマンス推定



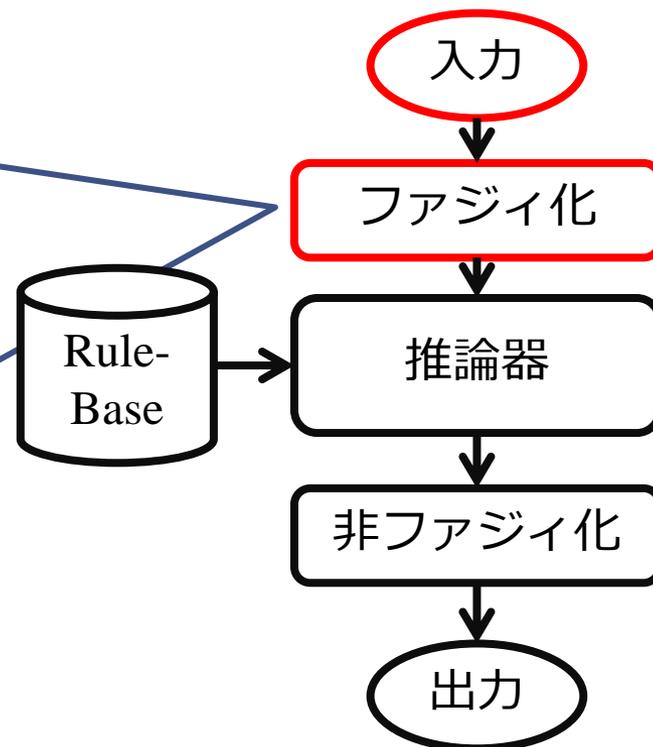
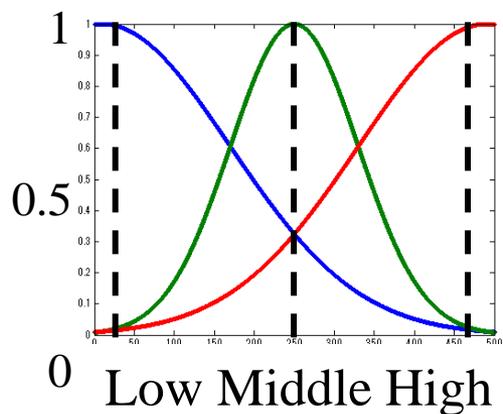
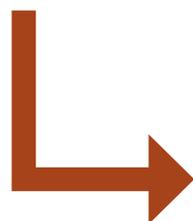
No.	If			Then
	時間	分散	エラー	作業成績
1	High	High	High	Low
2	High	Low	Low	Middle
3	Middle	Middle	Middle	Middle
4	Middle	Middle	Low	High
5	Low	Low	Low	High
6	Low	Low	High	Low
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
27	Low	High	Low	Middle



# 認知負荷推定



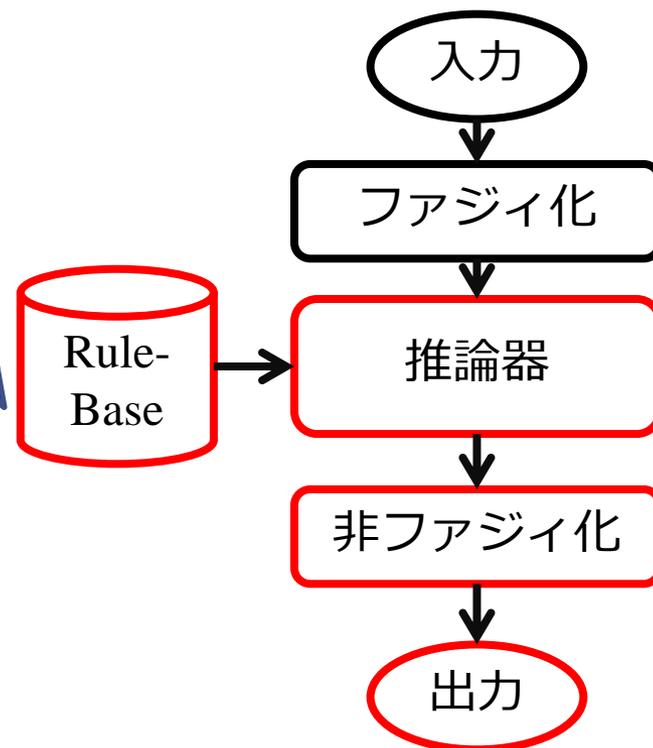
- 入力変数
  - 心拍数
  - 瞳孔径
  - 安静時をベースとする



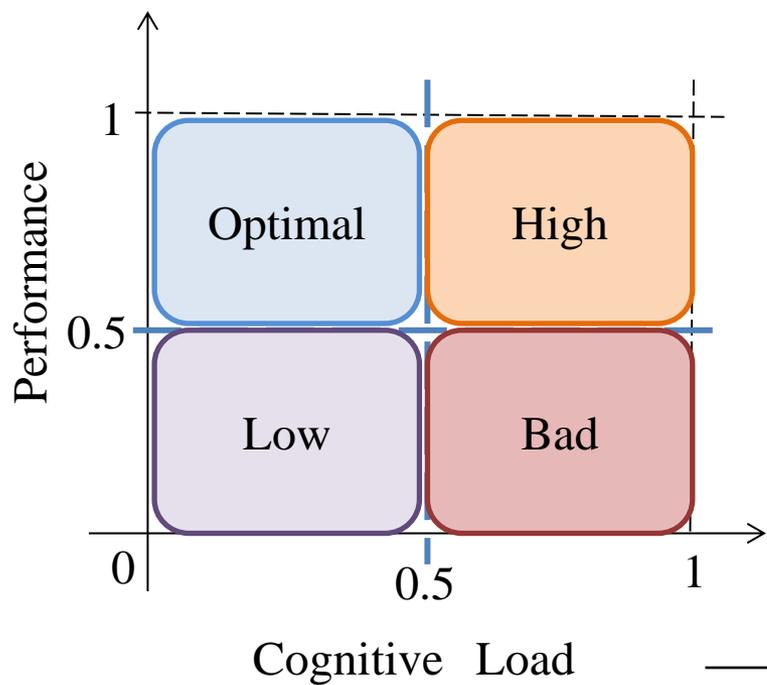
# 認知負荷推定



No.	If		Then
	瞳孔径	心拍数	認知負荷
1	High	High	High
2	High	Middle	High
3	High	Low	High
4	Middle	High	High
5	Middle	Middle	Middle
6	Middle	Low	Middle
7	Low	High	Middle
8	Low	Middle	Low
9	Low	Low	Low



# 認知状態推定



- パフォーマンス&認知負荷から、各4状態との適応度を評価
  1. High/Lowでファジィ化
  2. AND集合(min)で適応度導出

No.	If		Then
	作業成績	認知負荷	認知状態
1	High	High	High
2	High	Low	Optimal
3	Low	High	Bad
4	Low	Low	Low



# 被験者実験

# 実験環境・スケジュール

10



- 目的 : 本手法の妥当性評価
- 被験者 : 男子大学生6名 (矯正視力1.0以上, 健常者)  
同時時間帯で2日間実験
- スケジュール

パフォーマンス  
認知負荷 **変動**

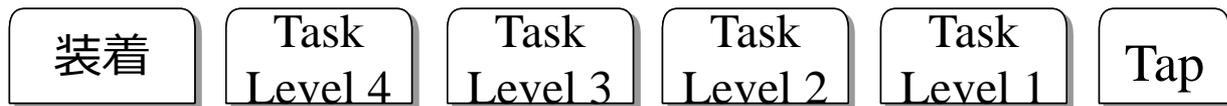
初日



Loading Phase

(負荷増加)

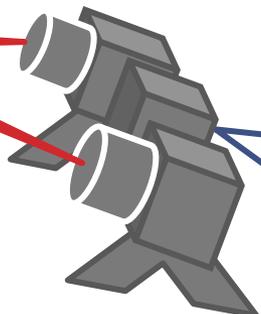
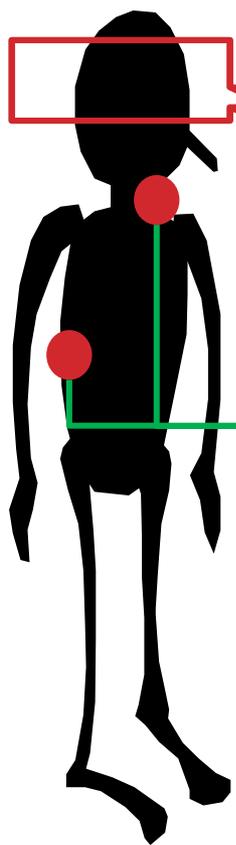
2日目



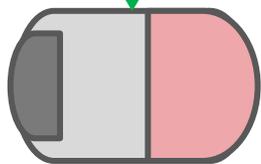
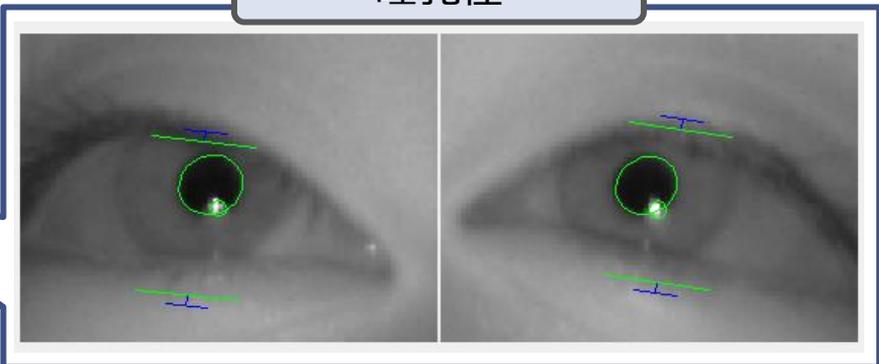
Un-Loading Phase

(負荷減少)

# 生理指標計測



瞳孔径

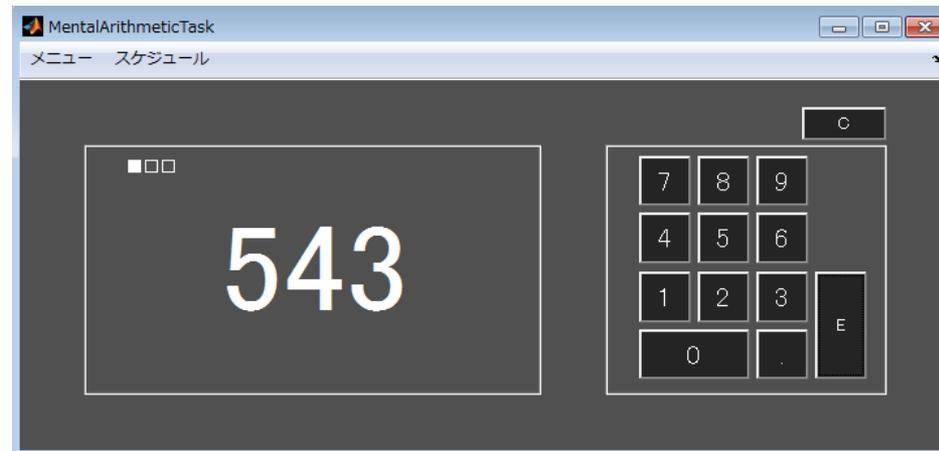


心拍数



# タスク

# 12



1. 提示された数字を覚えてEボタンを押す
  2. 2つ目の数字が提示されるので、覚えた数字と足し合わせる
  3. 数字パネルを用いて解答する
- 難易度は桁数で調整(1桁～4桁)
  - ログ：解答時間/問, 解答の正否

# 結果

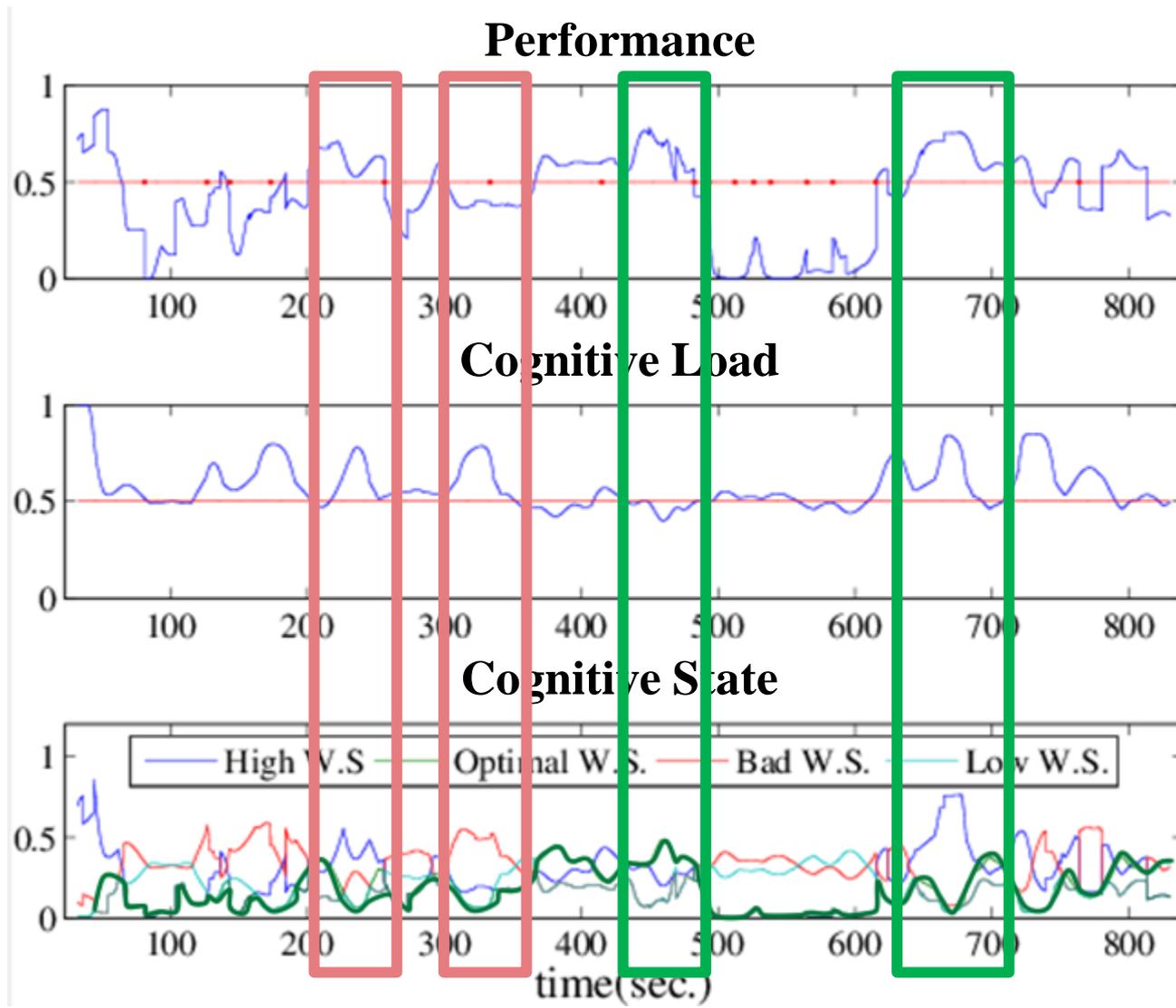


	Phase	Tapping	1桁	2桁	3桁	4桁	難易度との相関
Performance	Loading	-	0.74 (0.09)	0.46 (0.09)	0.47 (0.15)	0.42 (0.20)	-0.60**
	Un-Loading	-	0.56 (0.11)	0.57 (0.13)	0.50 (0.11)	0.46 (0.18)	-0.34*
CognitiveLoad	Loading	0.36 (0.16)	0.39 (0.23)	0.46 (0.21)	0.52 (0.24)	0.58 (0.20)	0.40**
	Un-Loading	0.33 (0.10)	0.37 (0.12)	0.37 (0.13)	0.35 (0.17)	0.42 (0.16)	0.10
High W.S.	Loading	-	0.26 (0.18)	0.19 (0.11)	0.22 (0.11)	0.20 (0.13)	-0.14
	Un-Loading	-	0.27 (0.10)	0.25 (0.07)	0.25 (0.13)	0.19 (0.09)	-0.28
Optimal W.S.	Loading	-	0.43 (0.18)	0.22 (0.06)	0.20 (0.12)	0.18 (0.15)	-0.55**
	Un-Loading	-	0.37 (0.15)	0.35 (0.12)	0.31 (0.13)	0.24 (0.15)	-0.35*
Bad W.S.	Loading	-	0.08 (0.04)	0.20 (0.09)	0.25 (0.16)	0.32 (0.20)	0.56**
	Un-Loading	-	0.06 (0.03)	0.13 (0.09)	0.14 (0.09)	0.15 (0.05)	0.42*
Low W.S.	Loading	-	0.10 (0.05)	0.26 (0.18)	0.22 (0.21)	0.19 (0.15)	0.17
	Un-Loading	-	0.23 (0.10)	0.23 (0.08)	0.29 (0.14)	0.30 (0.20)	0.23

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

- パフォーマンス 難易度と負の相関
- 認知負荷 Loading Phaseのみ正の相関
- Optimal 負の相関
- Bad 正の相関

# 結果





- パフォーマンス
  - ✓ 難易度と負の相関
    - 難易度が解答時間、分散、エラー率の増減に影響
    - パフォーマンスの変動を評価できている
- 認知負荷
  - ✓ Loading フェイズでは難易度と正の相関
  - ✗ Un-Loading フェイズでは認められず
    - 疲労、モチベーション低下による集中の乱れ
    - 後半の低難易度タスクの認知負荷が増大
- 認知状態
  - ✓ 難易度上昇 : High, Optimal 生じにくい  
Bad 生じやすい
  - 結果とほぼ一致





# 結論

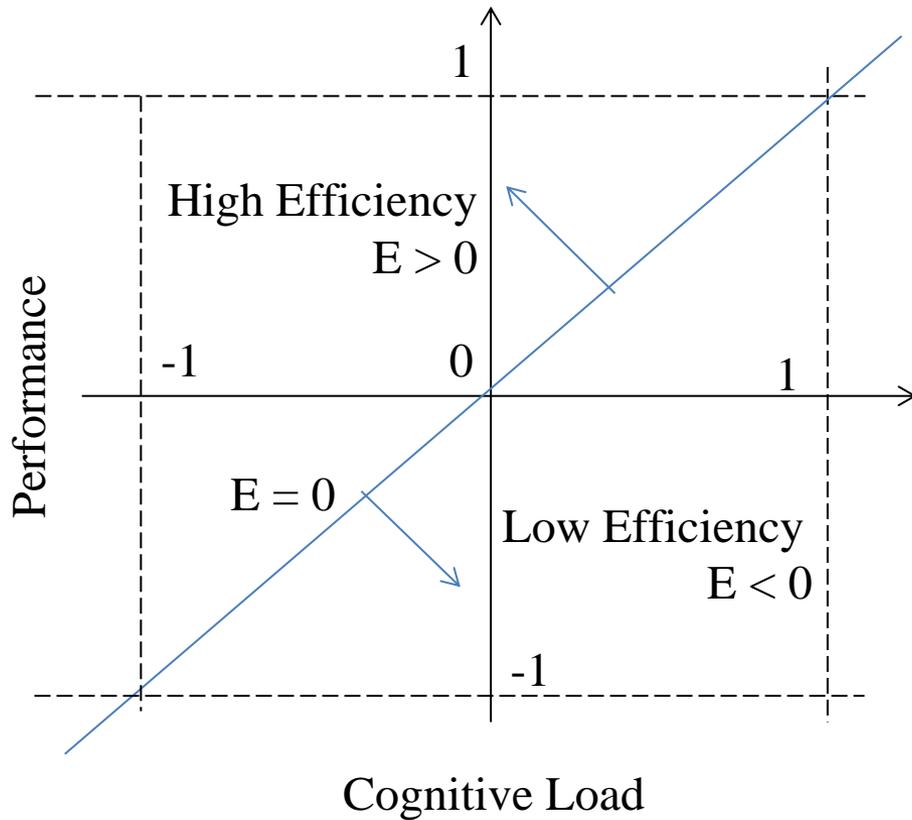




- タスクログ→パフォーマンス  
生理指標 →認知負荷        認知状態推定
- × 認知負荷推定
  - 難易度以外に疲労・モチベーションの影響
    - 実験条件の見直し
    - タスク難易度の検討
- 従来では困難な認知状態推定が可能
  - 新たな知的生産性評価

ご清聴ありがとうございました

# 認知効率モデル



- パフォーマンス&認知負荷
  - 認知効率を導出

$$E = \frac{Z_{Performance} - Z_{Mental\ Effort}}{\sqrt{2}}$$

- 問題
  - ✓ 曖昧
  - ✓ 認知状態検出には至らない
  - ✓ 同値のEでも状態が異なる

No.	If			Then
	S.T.	Variance of S.T.	E.R.	Performance
1	High	High	High	Low
2	High	High	Middle	Low
3	High	High	Low	Low
4	High	Middle	High	Low
5	High	Middle	Middle	Low
6	High	Middle	Low	Middle
7	High	Low	High	Low
8	High	Low	Middle	Low
9	High	Low	Low	Middle
10	Middle	High	High	Low
11	Middle	High	Middle	Middle
12	Middle	High	Low	Middle
13	Middle	Middle	High	Low
14	Middle	Middle	Middle	Middle
15	Middle	Middle	Low	High
16	Middle	Low	High	Low
17	Middle	Low	Middle	Middle
18	Middle	Low	Low	High
19	Low	High	High	Low
20	Low	High	Middle	Middle
21	Low	High	Low	Middle
22	Low	Middle	High	Low
23	Low	Middle	Middle	Middle
24	Low	Middle	Low	High
25	Low	Low	High	Low
26	Low	Low	Middle	High
27	Low	Low	Low	High

Digit	T.S.T.(Minimum)	T.S.T.(Maximum)
1-digit	1.77 sec.	2.80 sec.
2-digit	2.80 sec.	4.46 sec.
3-digit	4.50 sec.	8.26 sec.
4-digit	5.65 sec.	10.46 sec.

■ Performance メンバシップ関数の仕様

- 解答時間 : Min~Mean~Max
- エラー率 : 0 ~ 0.5 ~ 1
- 解答時間分散 : 0 ~ V(min,mean) ~ V(min,max)

■ ME メンバシップ関数の仕様

- P.D. : base~1.2\*base~1.4\*base
- HR : base ~ 1.1\*base ~ 1.2\*base

一桁加算

	順番	ステップ	分類	最短時間 ( msec. )	最長時間 ( msec. )
	1	一の位の数字を見る	眼球運動	20	50
	2	一の位の数字を確認	知覚	50	200
	3	一の位の数字を記憶	記憶	25	25
	4	Enterキーを押そうとする	運動命令	300	700
	5	Enterキーを押す	運動命令		
			合計時間	395	975

	6	一の位の数字を見ようとする	運動命令		
	7	一の位の数字を見る	眼球運動	20	50
	8	一の位の数字を確認	知覚	50	200
	9	一の位の数字を記憶	記憶	25	25
	10	最初の一の位の数字を思い出す	想起	175	175
	11	一の位の数字を足し合わせる	思考	25	170
	12	一の位の数字を記憶	記憶	25	25
	13	保持情報を整理する	想起	175	175
	14	一の位を思い出す	想起	175	175
	15	一の位がテンキーのどの位置か判断する	思考	500	900
	16	該当箇所のキーを押そうとする	運動命令		
	17	キーを押す	運動命令		
	18	Enterキーを押そうとする	運動命令	600	900
	19	Enterキーを押す			
	20	一の位の数字を見ようとする	運動命令		
			total	1770	2795