

U'eyes Design UXL 設立記念講演:
科学的知見に立脚したユーザビリティ評価とデザイン

北島宗雄

産業技術総合研究所

人間福祉医工学研究部門

ユビキタスインタラクショングループ

認知科学とユーザビリティ評価

- Cognitive Modeling in HCI ⊂ 認知科学
 - ▶ ユーザがどのようにコンピュータ化されたタスクを実行するのかを科学的に解明する
 - ▶ 計算可能なシミュレーションモデルを開発し、人間の行動を予測する
 - ▶ ユーザビリティファクターである操作時間、エラー、学習、忘却を予測できる

- モデリングの基礎となる理論
 - ▶ ACT-R (Anderson, 1993)
 - … 記憶検索、学習に基づくプロダクションシステム
 - ▶ Soar (Newell, 1991)
 - … 問題空間原理に基づく認知行動モデル
 - ▶ 3CAPS (Just & Carpenter, 1992)
 - … 作業記憶
 - ▶ EPIC (Meyer & Kieras, 1997)
 - … モデルヒューマンプロセッサのプロダクションシステム版
 - ▶ Construction-Integration Theory (Kintsch, 1992)
 - … 文章理解

ものを作り出すプロセスにおける科学の役割

- サイエンスは「分解して検討する」ものであり「われわれはどこにいるのか」にこたえるもの
- デザインは「心に描く」ものであり「どのようになりたいのか」にこたえるもの
- エンジニアリングは「実行する」ものであり「目標をどのように達成するか」にこたえるもの
- 個々の研究者が全ての要素のエキスパートである必要はないが、開発チームあるいは研究者個人が自分の専門の中だけで話をしているのではだめで、他の2要素との接点を持ちつつ進めることが必要だ

- 認知科学は、工学的に作り出される環境において、ひとがその環境をどのように「理解する」のかということを工学的センスで解明する(計算モデル、シミュレーション)ので、それに基づくことにより、的外れでないデザインを行える
- スパイラルアップのキー

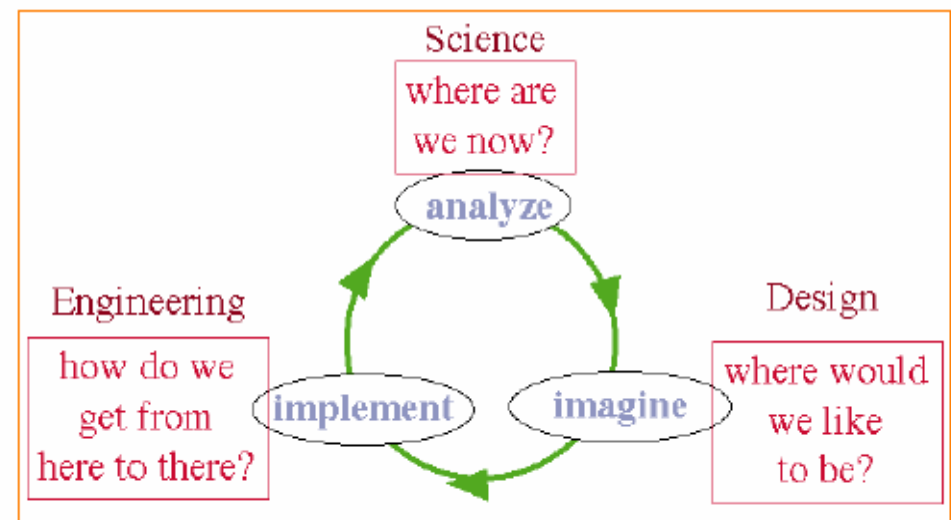


Figure 1 Three different perspectives address different questions with different methods.

人間行動を理解するための認知科学的基礎

- Simon の蟻
- モデルヒューマンプロセッサ (Card, Moran, and Newell, 1983)
- Norman のアクションサイクルモデル

サイモンの蟻 (Simon's Ant)

- 人間の行動の複雑さの源は何か
 - ▶ 人間自身が複雑なわけではない
 - ▶ タスクが実行される環境が複雑だからである … サイモンの蟻

- An ant [A man], viewed as a behaving system, is quite simple. The apparent complexity of its behavior over time is largely a reflection of the complexity of the environment in which it finds itself.

- したがって、人間行動を予測するには、複雑な環境下にあって、なにが合理的な振る舞いであるかを考えて分析すればよい

合理性の測りかた

- 何で測るのか？ …… いろいろある
 - ▶ エネルギー最小化
 - 移動距離を最短にする ← 筋肉
 - 考えないで行えるようにする ← 脳
 - ▶ エネルギーは消費しても、時間を最小化

- 最小化の仕方をどのように決めるのか？
 - ▶ 限定合理性
 - ▶ 満足化原理

パズルを解く際の省脳力化

□ 換字計算問題

- ▶ 文字に0から9の異なる整数を割り当てる

	D	O	N	A	L	D
+	G	E	R	A	L	D
<hr/>						
	R	O	B	E	R	T

□ コンピュータに解かせる場合

- ▶ 速い
- ▶ 10!通り(3,628,800通り)の組み合わせを片端から試す

□ 人間が解く場合

- ▶ 遅いので工夫が必要 ... ~70msec/計算
- ▶ 合理性の視点からの工夫
- ▶ 換字計算問題の場合
 - 式を吟味し、割り当て可能な数字の範囲を狭めて、試行錯誤の範囲を狭める(簡単な推論)
 - 試行錯誤(すでに試した組み合わせは行わないようにする)
 - この問題の場合、3!通りの試行錯誤ですむ

限定合理性と満足化原理 (Simon, H.A.)

- 伝統的な経済学では、各主体は自分の置かれた利害関係を十分に把握し、それをもとに自分にとって最適な選択を行う完全な能力をもっていることを前提とする。
- しかし、現実には、人間は周囲の利害関係を不完全にしか把握できず、最適な選択を行う能力もない。
- むしろ日常的な意思決定の場面では、少数の選択肢の中で限定的な意思決定を行っている。こうした考え方を限定合理性 (bounded rationality) と呼ぶ。
- サイモン (Simon, H.A.) は、主体は最適化するのではなく、情報の不確実性や計算の限界によって制約された中で満足の基準に従って選択を行うものであるという満足化原理 (satisficing principle) を提唱した。

モデルヒューマンプロセッサ誕生の背景： Xerox Star Workstationの開発



The Xerox Star workstation, officially known as the "8010 Star Information System" was introduced by Xerox Corporation in 1981. It was the first commercial system to incorporate various technologies that today have become commonplace in personal computers, including a bitmapped display, a windows-based graphical user interface, icons, folders, mouse, Ethernet networking, file servers, print servers and e-mail.

モデルヒューマンプロセッサ (Card, Moran, & Newell, 1983)

環境

人間

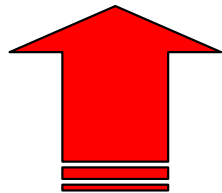
- 宣言的知識
- 手続き的知識
- エピソード記憶
- メンタルモデル(因果関係)

実際に起きた状態

正しく実行された行為 || ヌ エラー

起こってほしい状態・
起こるはずの状態

切符が発券された券売機



現在の状態

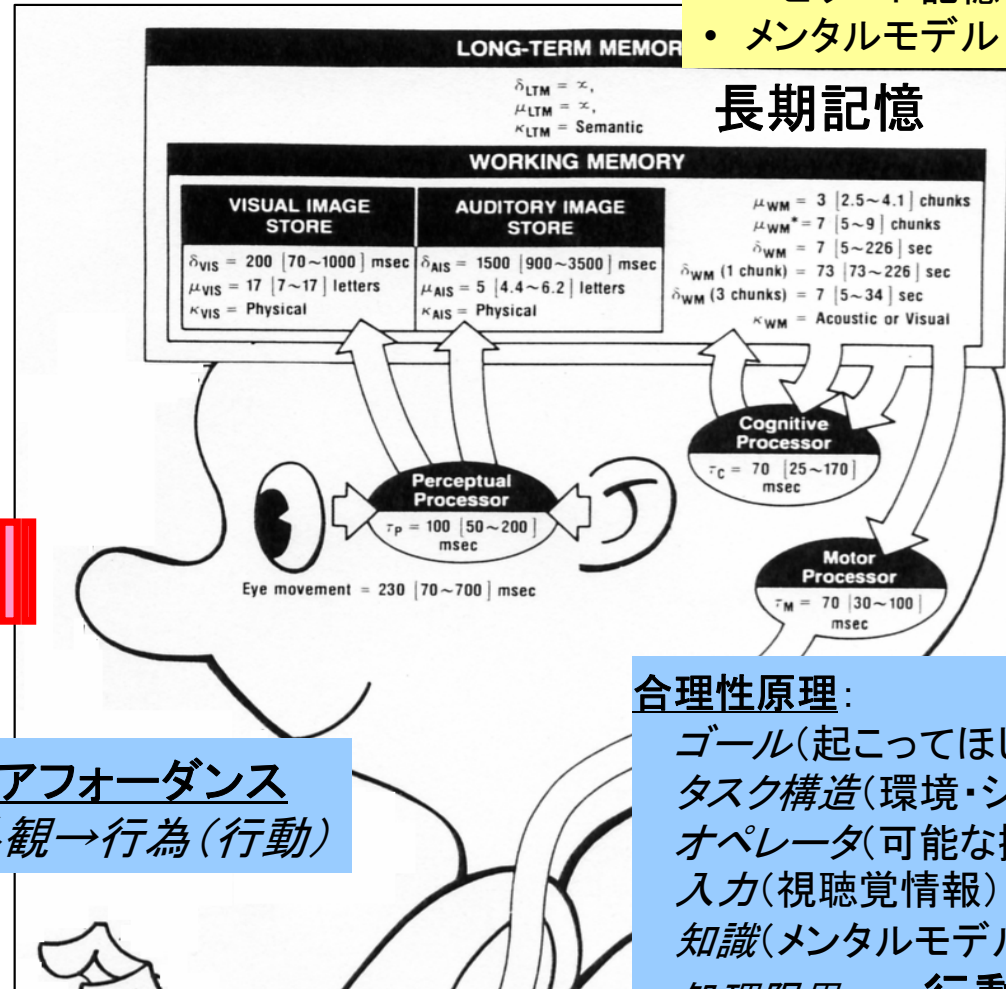
操作前の券売機



行動

アフォーダンス
外観→行為(行動)

限定合理性、満足化原理、プロセッサの処理速度、記憶容量、検索メカニズム、記憶減衰



合理性原理:

ゴール(起こってほしい状態) + タスク構造(環境・システム) + オペレータ(可能な操作) + 入力(視聴覚情報) + 知識(メンタルモデルなど) + 処理限界 → 行動

MHPのパラメタ

μ : 記憶容量

δ : 減衰時間

κ : 符号型 \in {物理的, 聴覚的, 視覚的, 意味的}

τ : サイクル時間

長期記憶

$$\mu_{LTM} = \infty$$

$$\delta_{LTM} = \infty$$

κ_{LTM} = 意味的

LONG-TERM MEMORY

$$\delta_{LTM} = \infty,$$

$$\mu_{LTM} = \infty,$$

$$\kappa_{LTM} = \text{Semantic}$$

WORKING MEMORY

VISUAL IMAGE STORE

AUDITORY IMAGE STORE

視覚イメージ貯蔵庫

$$\mu_{VIS} = 17 [7 \sim 17] \text{文字}$$

$$\delta_{VIS} = 200 [70 \sim 1000] \text{ } \frac{1}{3} \text{秒}$$

κ_{VIS} = 物理的

聴覚イメージ貯蔵庫

$$\mu_{VIS} = 5 [4.4 \sim 6.2] \text{文字}$$

$$\delta_{VIS} = 1500 [900 \sim 3500] \text{ } \frac{1}{3} \text{秒}$$

κ_{VIS} = 物理的

作業記憶

$$\mu_{WM} = 3 [2.5 \sim 4.1] \text{チャンク}$$

$$\mu_{WM}^* = 7 [5 \sim 9] \text{チャンク}$$

$$\delta_{WM} = 7 [5 \sim 226] \text{秒}$$

$$\delta_{WM} (1 \text{チャンク}) = 73 [73 \sim 226] \text{秒}$$

$$\delta_{WM} (3 \text{チャンク}) = 7 [5 \sim 34] \text{秒}$$

κ_{VIS} = 聴覚的または視覚的

Perceptual Processor

知覚プロセッサ

$$\tau_P = 100 [50 \sim 200] \text{ } \frac{1}{3} \text{秒}$$

認知プロセッサ

$$\tau_C = 70 [25 \sim 170] \text{ } \frac{1}{3} \text{秒}$$

Motor Processor

運動プロセッサ

$$\tau_M = 70 [30 \sim 100] \text{ } \frac{1}{3} \text{秒}$$

$$\text{眼球運動} = 230 [70 \sim 700] \text{ } \frac{1}{3} \text{秒}$$

Norman のアクションサイクルモデル

- メンタルアクティビティのステージ

実行 + 評価

1. 達成すべきゴールの設定
2. 目標を達成するアクションのもつ目的の明確化
3. 目的に対応するアクション系列の具体化
4. アクションの実行
5. システムの状態の知覚
6. 知覚された状態の解釈
7. 目標と目的に照らしたシステムの状態の評価

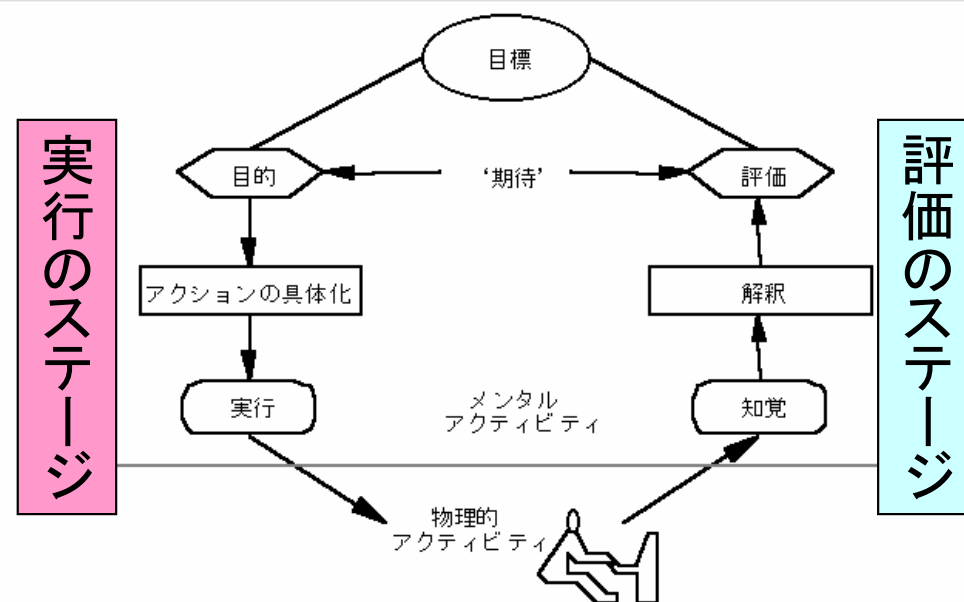


図 3.7 インタラクションに関する Norman の 7 ステージモデル (Norman, 1986)

ここまでのまとめ：“Simon の蟻”から導き出される人間行動理解のためのアプローチ法

- Simon の蟻 … 複雑そうに見える人間の行動は、実はシンプルである
- これが成立するのは、人間のパフォーマンスに影響を及ぼしている環境要因、認知機能が適切に捉えられているとき … モデルヒューマンプロセッサ、Norman のアクションサイクルモデルなどを考慮
- 複雑に見える結果が出てきたら、問題設定がまずい … やり直し

高齢者駅移動行動調査(1回目)

ヒューマンインタフェースシンポジウム2004で発表

認知的加齢が行動に及ぼす影響に着目

- 秋葉原駅
 - ▶ 山手線ホーム ⇒ 総武線ホーム、電話・トイレを利用
- 大宮駅
 - ▶ 東口 ⇒ 埼京線ホーム、ロッカー・トイレ利用、切符購入
- 巣鴨駅
 - ▶ 降車 ⇒ とげぬき地蔵 ⇒ 再乗車、エレベーター・ロッカー・トイレ利用、切符購入

高齢者の駅移動行動の理解

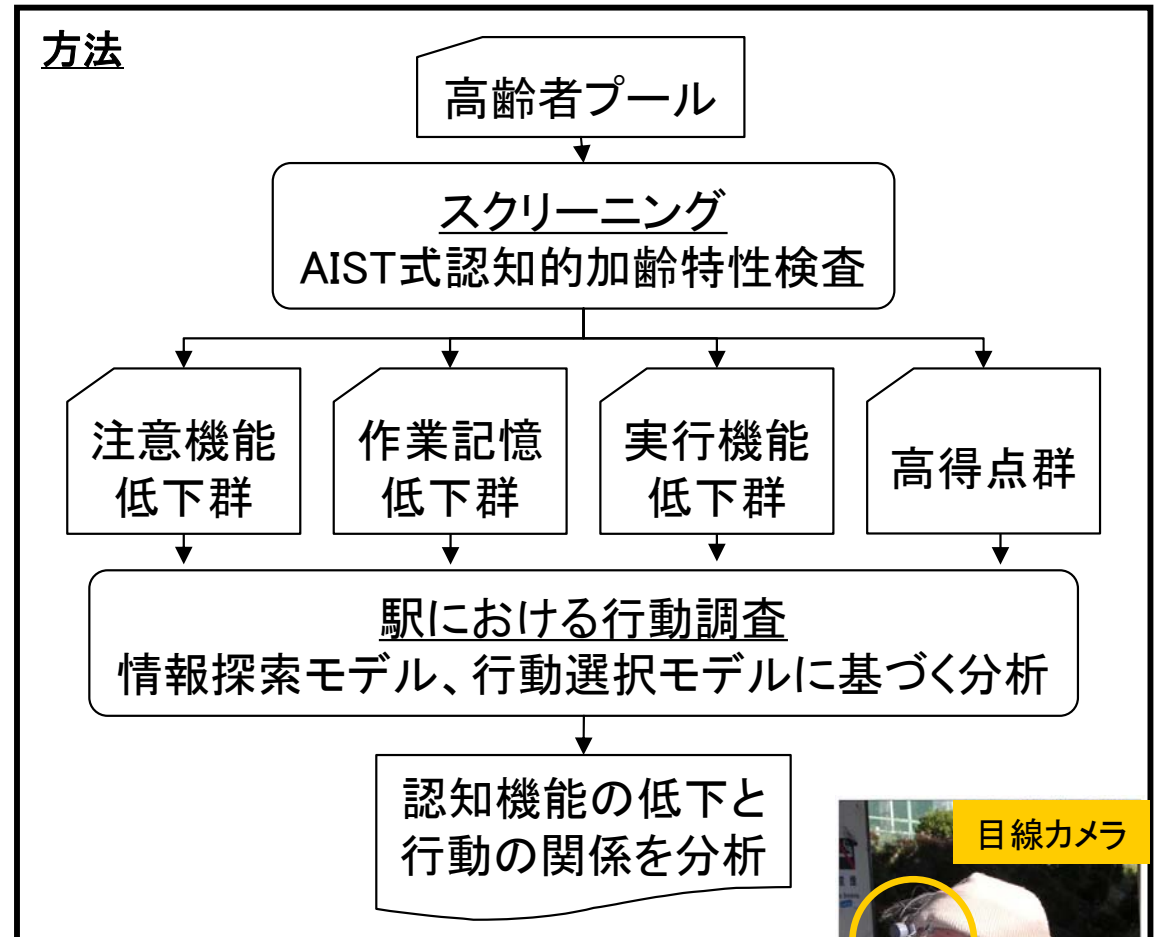
社会的ニーズ: 駅での高齢者のユーザビリティを改善すること

アプローチ: 高齢者のユーザビリティ問題は認知機能の加齢変化に起因する。認知機能の変化が行動パターンの変容をもたらす。それを理解することがまず必要

注目した認知機能

- ・ **注意機能**: ノイズ情報の中からその時点での行動目標に合った情報を選択する機能
- ・ **作業記憶**: ある行動を行う間だけ、必要な情報を保持し、必要に応じて変換する機能
- ・ **実行機能**: 現時点での行動目標を達成するのに必要な下位目標を設定し、その目標が達成されたら次を遂行するというサイクルを実行していく機能

方法



課題: 乗り換え、駅施設利用
場所: 秋葉原、大宮、巣鴨

分析の視点: 行動の目標、動機、知識、検索対象、情報源など



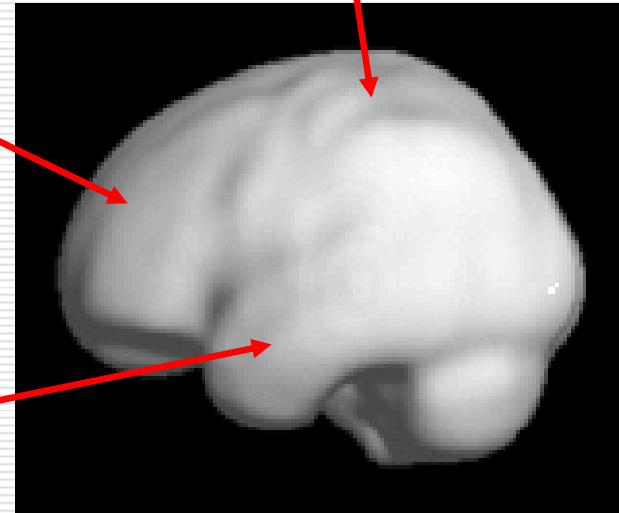
認知的加齢の脳内機序

- 認知機能の加齢は脳の加齢に起因する
- 脳内で加齢の効果が一様に生じるわけではない(部位差、個人差)

頭頂葉：注意機能

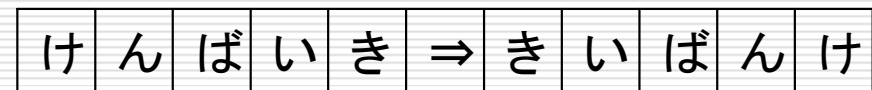
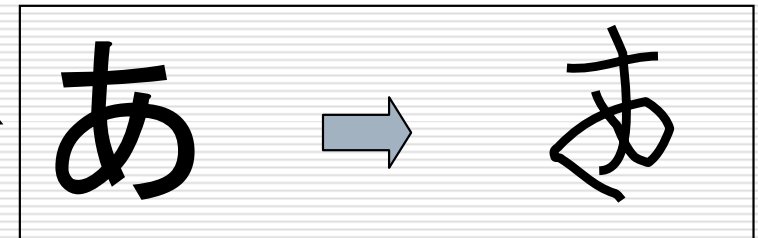
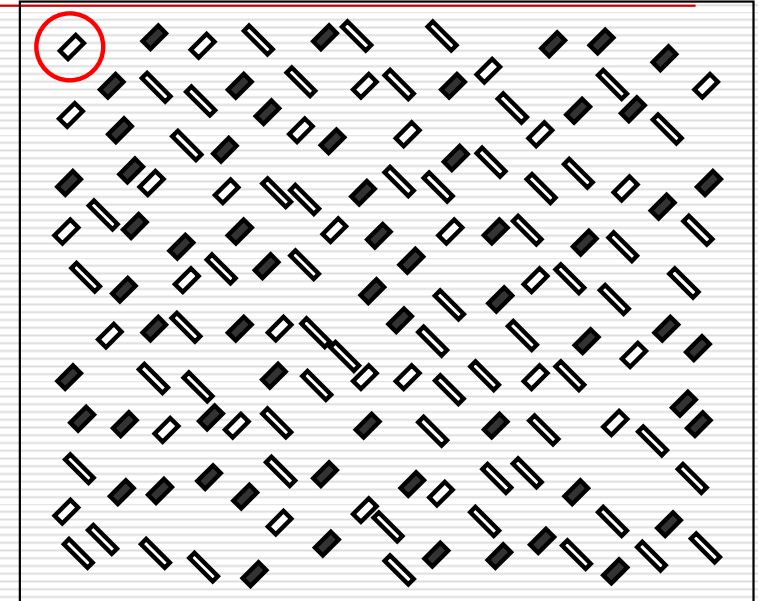
前頭葉：遂行機能

側頭葉：作業記憶機能



加齢特性の調査

- 紙上テスト
- 注意機能
 - ▶ 目標探索課題
 - ▶ 指定された属性(文字・形状)を選択
- 作業記憶機能
 - ▶ 鏡映文字描写: 与えられたひらがなを鏡映文字で書く
 - ▶ 単語を逆順に書く
- 遂行機能
 - ▶ 日常行動の想起
 - ▶ タスク切り替え

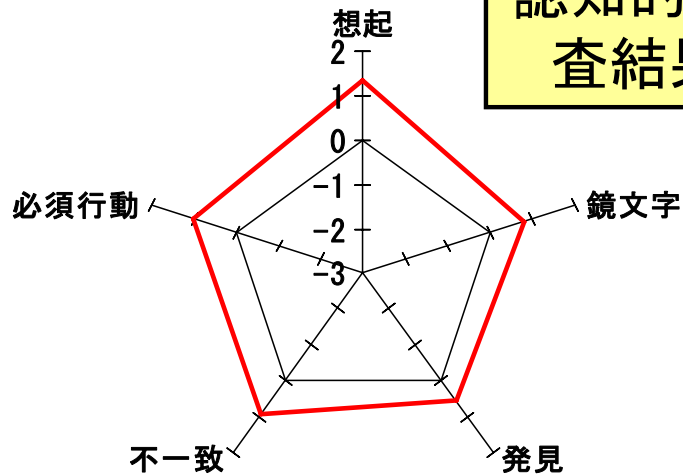


書き終えた便箋、封筒
⇒ 投函する

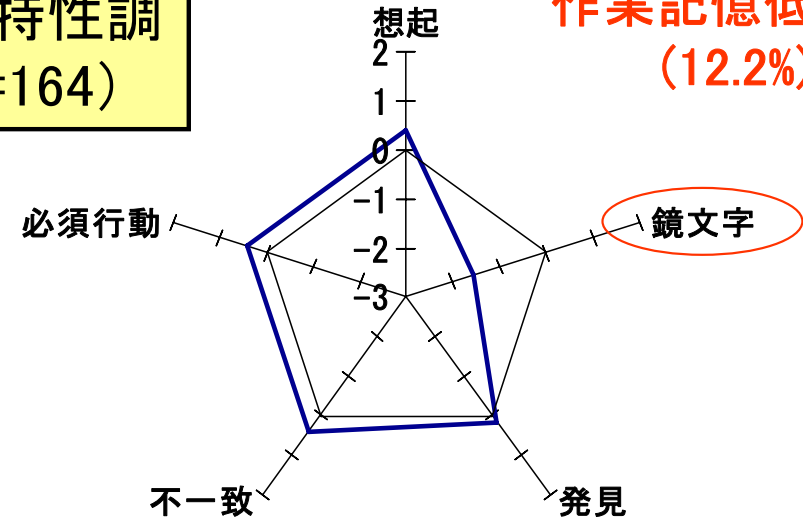
2 形 4
5 数 2

調査結果：認知機能プロフィール

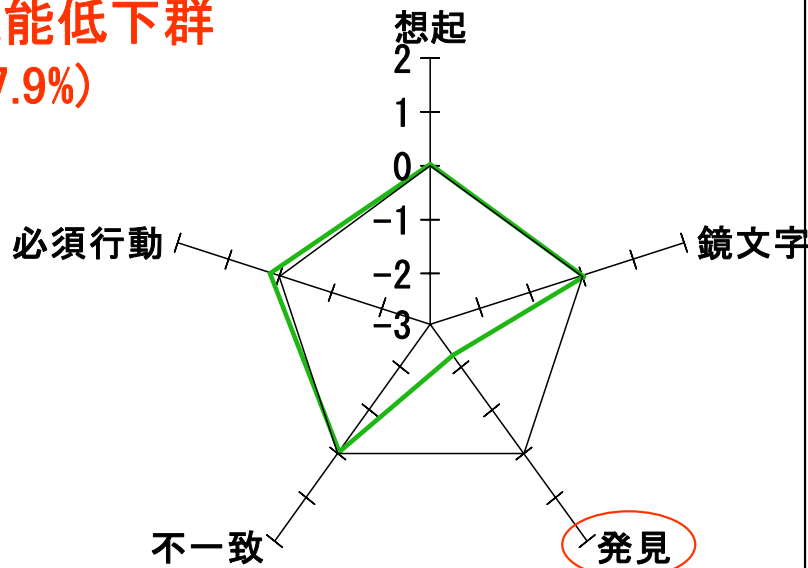
高得点群
(15.5%)



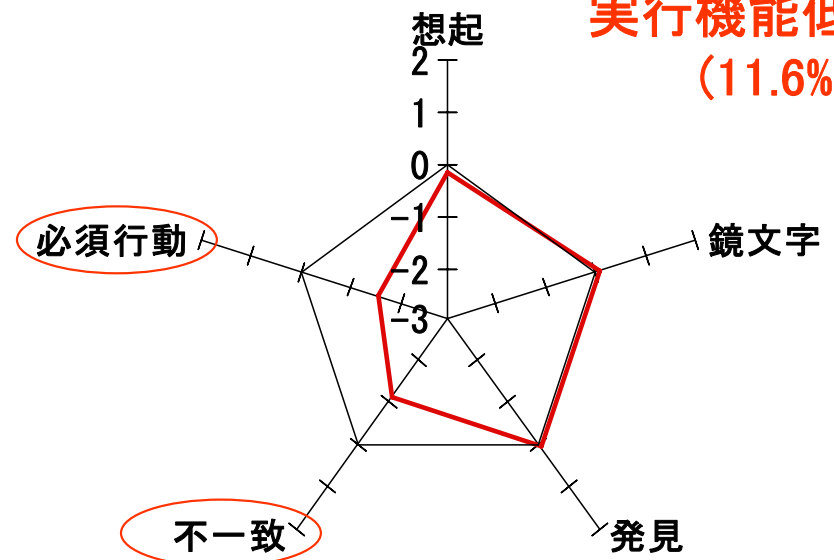
作業記憶低下群
(12.2%)



注意機能低下群
(7.9%)



実行機能低下群
(11.6%)



駅移動行動調査(1回目)

方法

被験者プール (シルバー人材センター)

参加者数 = 164

スクリーニング

認知的加齢特性を調査するための紙ベースのテスト

13

注意機能
低下群

3

20

作業記憶
低下群

3

19

遂行機能
低下群

3

25

高得点群

3

駅における認知行動調査 (1回目)

分析: 認知的加齢のパターンと
駅における行動パターンとの関連

- 3駅
 - 4人/駅
- 注意機能低下、作業記憶低下、
遂行機能低下、高得点

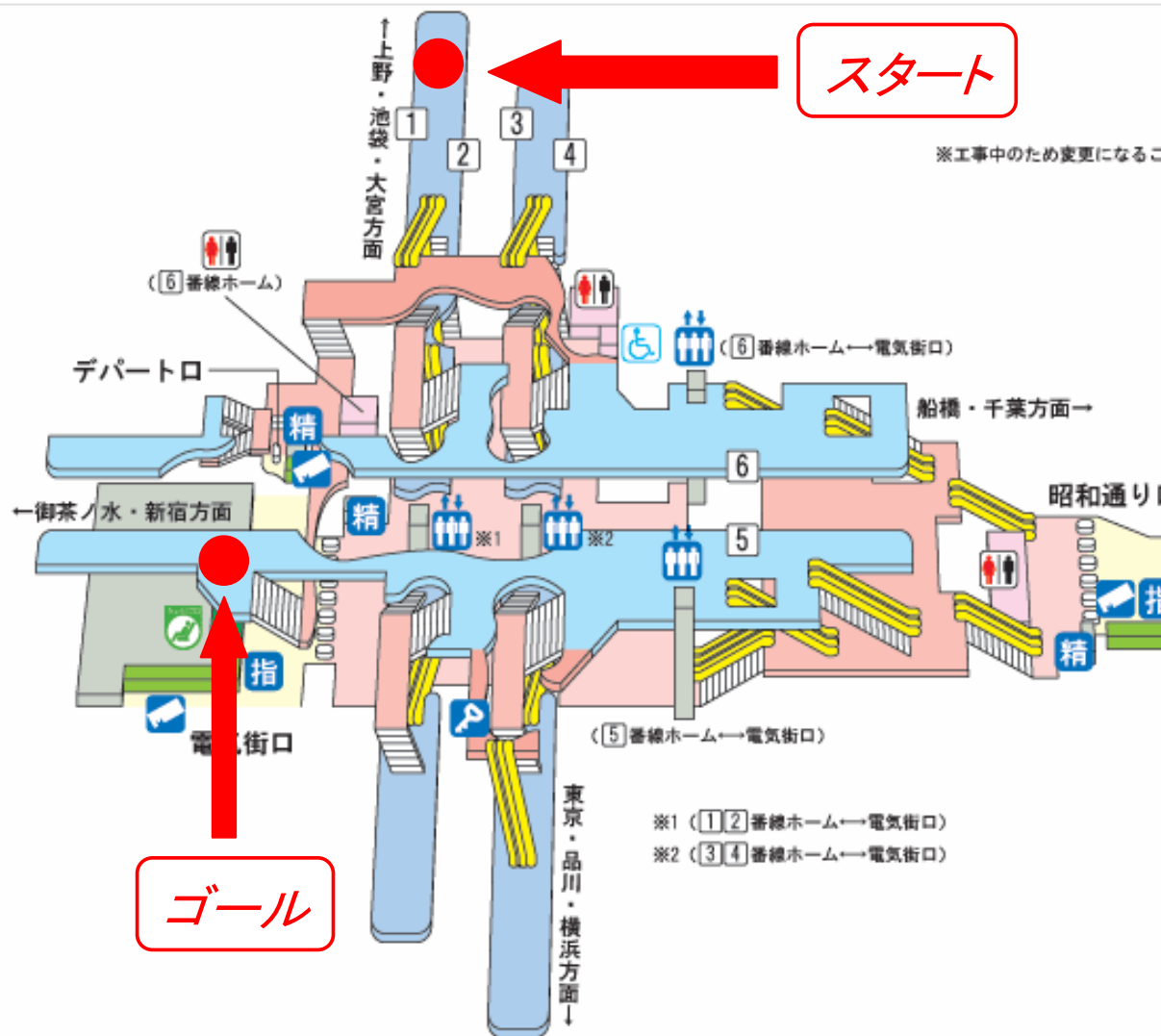
秋葉原駅

(乗り換え課題)

- 山手・京浜東北線
1,2番線から総武
緩行線5番線に乗り換えて「新宿」へ
向かう

(施設利用課題)

- トイレ利用、電話利用



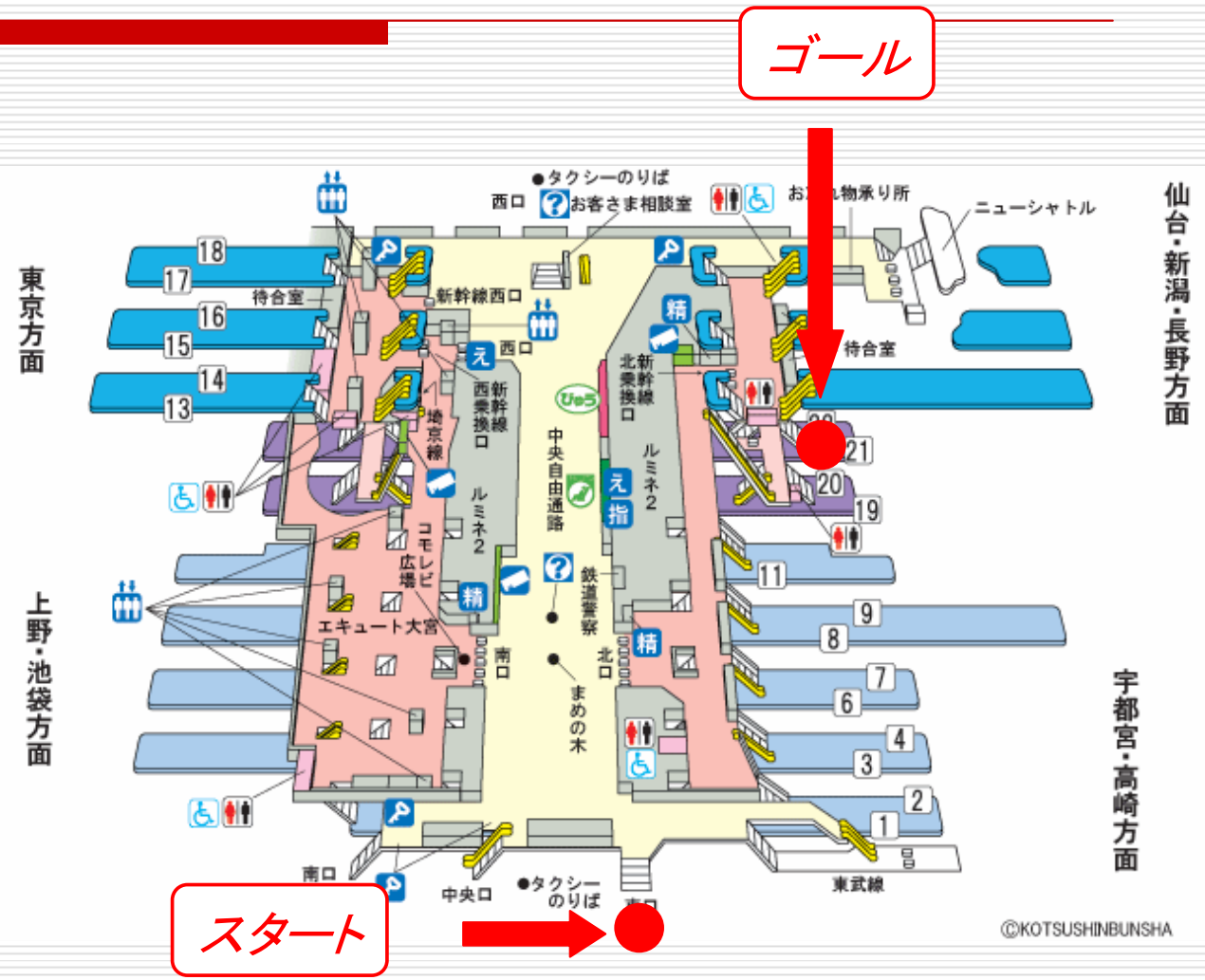
大宮駅

(乗車課題)

- 東口から埼京線を利用して「池袋」へ向かう

(施設利用課題)

- コインロッカー利用、トイレ利用、乗車券購入



巣鴨駅

(目的地到達課題)

- ホームからとげぬき地蔵へ向かう

(施設利用課題)

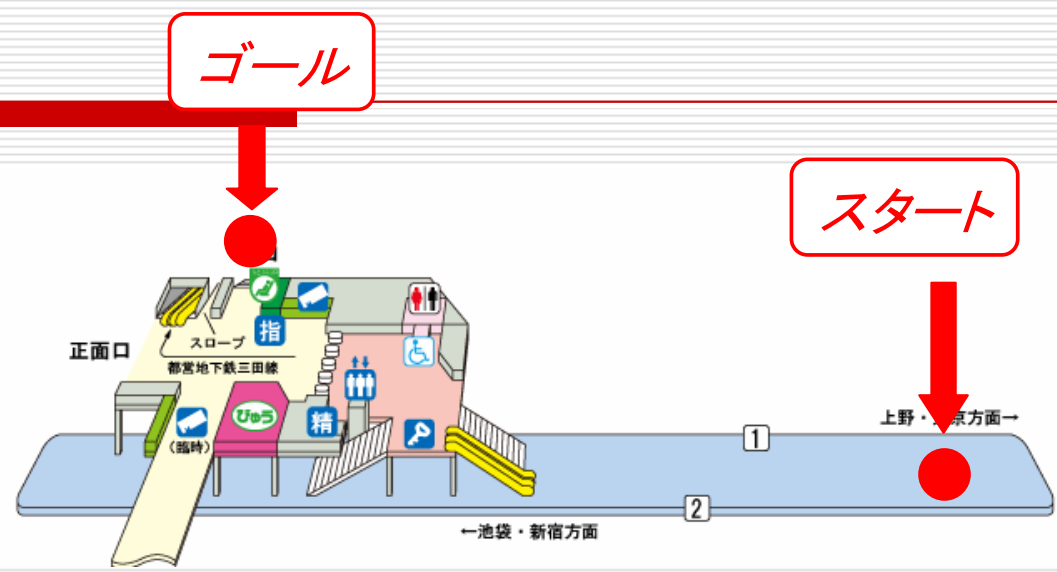
- エレベータ利用、コインロッカー利用

(目的地到達、乗車課題)

- アーケードから巣鴨駅に行き目白へ向かう

(施設利用課題)

- トイレ利用、コインロッカー利用、乗車券購入

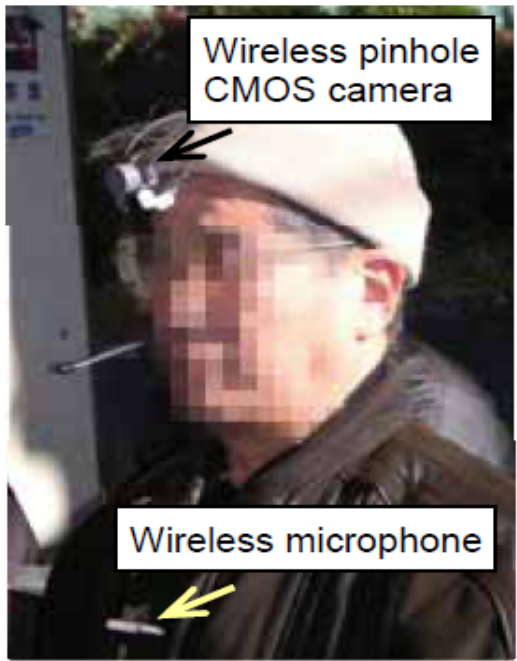


スタート



調査の様子

Participant performing a task at the Sugamo Station



Participant



Video image from wireless pinhole camera



Video image from Whole-back-view camera

Participant being interviewed at the Ohmiya Station

調査結果：認知機能と行動の関係

高得点群

行動調査結果(12名;3駅(大宮、秋葉原、
巣鴨)×4名(各群から1名ずつ))

作業記憶低下群

- ・ 目標設定が状況に応じて柔軟に行われ、課題遂行に必要な情報の取得や確認が問題なく実行されていた
- ・ 取得された情報が将来必要になる場合にそれを保持したり、課題遂行に要する時間を事前に予測したり、スムーズな移動の観点からはまったく問題のない認知行動パターンとなっていた

- ・ 高得点群とほとんど同様の行動パターンを示した
- ・ 高得点群の被験者よりも過去の経験や、メンタルモデルに引きずられる傾向があり、タスクの一部を忘れてたり、行動目標を状況に応じて柔軟に変更できない場合があった

不一致

発見

注意機能低下群

想起
2

- ・ 直接目標物を探索する方略を採り、吊り下げ型の案内サインから情報を取得、確認することはなかった
- ・ 頻繁に情報の取得、確認を行い、同時並行に情報を得ることは難しかった

不一致

発見

実行機能低下群

想起
2

- ・ 情報の取得に問題がある
- ・ 情報の取得が狭い上、思い込みによる行動も多く、適切な確認や修正が行われない
- ・ 案内板をあまり利用しない
- ・ 案内板を見るときもあるが、目的が不明確であり、具体的な情報を得られない
- ・ 目的が明確な場合でも、情報源の取捨選択が無く、具体的な情報を得られない
- ・ 駅の構造や路線に関するメンタルモデル・過去の経験を活用することができていない

調査結果：認知機能と行動の関係

行動調査結果(12名; 3駅(大宮、秋葉原、
巣鴨) × 4名(各群から1名ずつ))

高得点群

作業記憶低下群

- ・ 目標設定が状況に応じて柔軟に行われ、課題遂行に必要な情報の取得や確認が問題なく実行されて
- ・ 取得し

問題のない認知行動パターン

問題のない認知行動パターンとなっていた

- ・ 高得点群とほとんど同様の行動パターンを示した
- ・ 高得点群の被験者よりも過去の経験や、メンタルモデル

ほぼ問題のない認知行動パターン

不一致 発見

注意機能低下群

実行機能低下群

- ・ 直接目標物を探索する方略を採り、見出し下げ型の案内サインから情報を取得・確認しない

想起

不一致 発見

- ・ 情報の取得に問題がある
- ・ 適切
- ・ 案内板を見るとさもあるか、目的か不明確であり、具体的な情報を得られない
- ・ 目的が明確な場合でも、情報源の取捨選択が無く、具体的な情報を得られない
- ・ 駅の構造や路線に関するメンタルモデル・過去の経験を活用することができていない

想起

案内サインを見ても的確に情報が取得できない

高齢者駅移動行動調査(2回目)

ヒューマンインタフェースシンポジウム2005で発表予定

メンタルモデルの影響に着目

- 東京駅
 - ▶ 京葉線地下ホーム ⇒ 銀の鈴
- 渋谷駅
 - ▶ 埼京線ホーム ⇒ ハチ公改札口

課題：東京駅

□ 課題

- ▶ 京葉線東京駅ホームから八重洲連絡通路を經由し、銀の鈴に行く

□ 経路

1. 京葉線東京駅で降車し、エスカレータを利用して八重洲連絡通路に入る
2. 八重洲連絡通路を通る
3. 東京駅八重洲南口に出る
4. 東京駅八重洲中央口に向かう
5. 銀の鈴広場



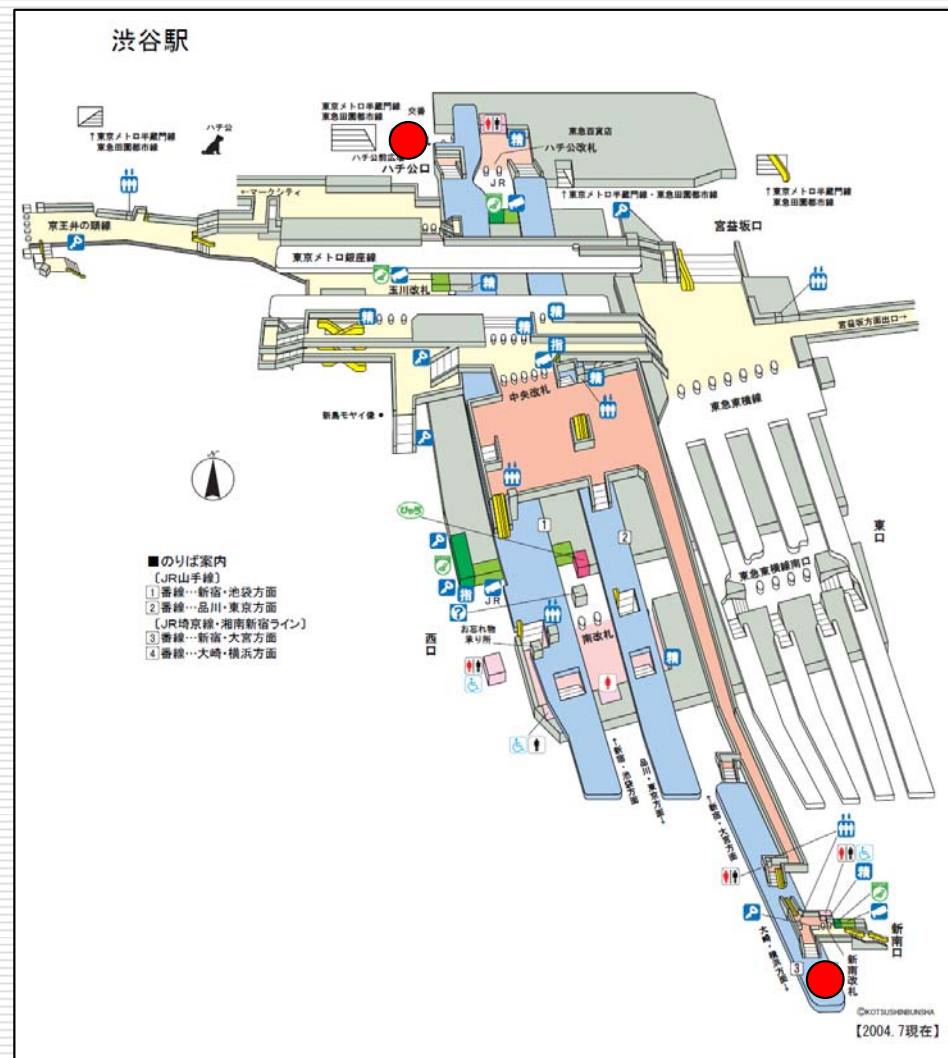
課題：渋谷駅

□ 課題

- ▶ 埼京線ホームからハチ公改札に行く

□ 経路

1. 埼京線渋谷駅で降車し階段を利用して連絡通路に入る
2. 中央改札に向かう
3. 中央コンコースに出る
4. 1-2番のホームを経由する
5. ハチ公改札



高齢者駅移動行動調査(2回目)

被験者属性(9名)

- 東京駅は知っているが、渋谷駅は知らない
 1. 注意機能のみが通常範囲
 2. 遂行機能のみが通常範囲
 3. 作業記憶のみが通常範囲
- 渋谷駅は知っているが、東京駅は知らない
 4. 注意機能のみが通常範囲
 5. 遂行機能のみが通常範囲
 6. 作業記憶のみが通常範囲
- どちらの駅も、知らない
 7. 注意機能のみが通常範囲
 8. 遂行機能のみが通常範囲
 9. 作業記憶のみが通常範囲

- 各被験者は、東京駅課題、渋谷駅課題を行う

総合結果：認知機能の有無と行動パターンの関係

	遂行機能+	遂行機能-
注意機能+	<p>A</p> <p><u>H15:高得点群</u> 注意+、遂行+、作業記憶+</p> <p><u>H15:作業記憶低下群</u> 注意+、遂行+、作業記憶-</p>	<p>B</p> <p><u>H16:注意+群</u> 注意+、遂行-、作業記憶-</p> <p><u>H15:遂行機能低下群</u> 注意+、遂行-、作業記憶+</p>
注意機能-	<p>C</p> <p><u>H16:遂行機能+群</u> 注意-、遂行+、作業記憶-</p> <p><u>H15:注意機能低下群</u> 注意-、遂行+、作業記憶+</p>	<p>D</p> <p><u>H16:作業記憶+群</u> 注意-、遂行-、作業記憶+</p>

総合結果：認知機能の有無と行動パターンの関係

	遂行機能+	遂行機能-
注意機能+	<p>A</p> <p><u>H15:高得点群</u> 注意+、遂行+、作業記憶+</p> <p><u>H15:作業記憶低下群</u> 注意+、遂行+、作業記憶-</p>	<p>B</p> <p><u>H16:注意+群</u> 注意+、遂行-、作業記憶-</p> <p><u>H15:遂行機能低下群</u> 注意+、遂行-、作業記憶+</p>
注意機能-	<p>C</p> <p><u>H16:遂行機能+群</u> 注意-、遂行+、作業記憶-</p> <p><u>H15:注意機能低下群</u> 注意-、遂行+、作業記憶+</p>	<p>注意機能、遂行機能のいずれかがある場合は、作業記憶機能の有無は、今回調査に用いた課題においては顕著には行動に影響しない</p>

総合結果：認知機能の有無と行動パターンの関係

	遂行機能+	
注意機能+	<p>A</p> <p><u>H15:高得点群</u> 注意+、遂行+、作業記憶+</p> <p><u>H15:作業記憶低下群</u> 注意+、遂行+、作業記憶-</p>	<p>遂行機能がある場合は、メンタルモデルの有無に関わらず、ゴールをマネジメントして問題解決を行っている(A:高得点群、C)。</p> <p>注意機能がある場合(A:作業記憶低下群)には、過去の経験やメンタルモデルに引きずられる傾向があり、タスクの一部を忘れたり、行動目標を状況に応じて柔軟に変更できない場合があった。</p>
注意機能-	<p>C</p> <p><u>H16:遂行機能+群</u> 注意-、遂行+、作業記憶-</p> <p><u>H15:注意機能低下群</u> 注意-、遂行+、作業記憶+</p>	

総合結果：認知機能の有無と行動パターンの関係

	遂行機能+	遂行機能-
注意機能+	<p>A</p> <p><u>H15:高得点群</u> 注意+、遂行+、作業記憶+</p> <p><u>H15:作業記憶低下群</u> 注意+、遂行+、作業記憶-</p>	<p>B</p> <p><u>H16:注意+群</u> 注意+、遂行-、作業記憶-</p> <p><u>H15:遂行機能低下群</u> 注意+、遂行-、作業記憶+</p>
注意機能-	<p>注意機能があるが遂行機能がない場合は、メンタルモデルがあるときには、表示を見ない。一般的なメンタルモデルがあってもぴたりと一致するものがないときには、何をみつけるべきかが定かでなく、不要な情報を取得するのみで、課題達成のための情報取得を行わない。その結果、迷う。</p>	

総合結果：認知機能の有無と行動パターンの関係

	遂行機能+	遂行機能-
注意機能+	<p>A</p> <p><u>H15:高得点群</u> 注意+、遂行+、作業記憶+</p> <p><u>H15:作業記憶低下群</u></p>	<p>B</p> <p><u>H16:注意+群</u> 注意+、遂行-、作業記憶-</p> <p><u>H15:遂行機能低下群</u> 注意+、遂行-、作業記憶+</p>
注意機能-	<p>注意機能も遂行機能もない場合には、ゴールの設定があいまいであり、情報取得が十分になされない。その結果、迷う。</p> <p><u>H15:注意機能低下群</u> 注意-、遂行+、作業記憶+</p>	<p>D</p> <p><u>H16:作業記憶+群</u> 注意-、遂行-、作業記憶+</p>

高齢者駅移動行動調査結果に基づいた駅ユーザビリティ評価

□ 駅のユーザビリティを評価する際には、

- ▶ 遂行機能の有無
- ▶ 注意機能の有無
- ▶ メンタルモデルの有無

によって行動パターンが異なるということを考慮に入れる必要がある

□ ユーザのタイプとしては、3属性、2レベルの組み合わせで、8パターン存在するが、すべての場合を考慮する必要はなく、駅行動において問題が生じる可能性のある組み合わせのパターンを考慮し、その行動パターンで問題がないようにしておけば、他の組み合わせパターンでは問題が起きないようになる

□ (補足) 高齢者以外を対象としたときは、別の要因が行動を特徴付ける可能性がある。最小化するものが違っていることによる(体力 vs. 知力)。例えば、注意機能があるにもかかわらず、注意を払わない、遂行能力があるにもかかわらず、よくプランしない、など。認知スタイルの行動への影響を考慮する必要がある

まとめ:

サイエンスとデザインを結ぶユーザビリティ評価法



□ サイエンス … 科学的知見

1. 科学的知見に立脚することにより、観察される行動に影響を与える環境要因、認知機能を絞り込める
2. 環境要因、認知機能を独立変数として、行動のパターン化を行える
3. ユーザビリティに影響する環境要因を絞り込むことができるとともに、その影響を予測できる

□ デザイン … ユーザビリティ問題を解消するデザイン解の創出

□ エンジニアリング … デザイン解の工学的実現・製品化

⇒ 次のサイクル

□ サイエンス … 新たな利用状況の理解

- ▶ 今後、ユーザエクスペリエンスを創出する基盤となるユビキタスコンピューティング社会においては、マルチ・並列タスクの実行が重要。例えば、カーナビ（運転＋カーナビ操作）。リソース割り当て、タスクスイッチング、注意配分などが重要