

Soft constraints in interactive behavior: the case of ignoring perfect knowledge in-the-world for imperfect knowledge in-the-head.

Wayne D. Gray & Wai-Tat Fu. (2004). Soft constraints in interactive behavior: the case of ignoring perfect knowledge in-the-world for imperfect knowledge in-the-head. Cognitive Science, 28(3), 359-382.

1 . Introduction

- 知識（或いは情報）は大きく二種類に分けられる。
 - （Larkin & Simon, 1987; Norman, 1989.）
 - Knowledge in-the-world 外界にある知識（External）
 - Knowledge in-the-head 頭の中にある知識（Internal）
- うまく設計されたインタフェースは必要な情報を外界に置く（Knowledge in-the-world）ため、使用者は必要な時いつでもその情報を容易に取得できる。
- 直接に操作でき、フィードバックを受けられるインタフェースはコマンド言語インタフェースより好まれる理由も、頭の中にある情報を検索や思い出す必要もなく、外界にある情報の支援を直ちに得られることである。

特徴	Knowledge in-the-world 外界にある知識	Knowledge in-the-head 頭の中にある知識
検索可能性	目に見えたり耳で聞けるならばいつでも検索可能である。	直ちには検索できない。記憶を検索したり思い出すことが必要となる。
学習	学習は必要でない。解釈することが学習の代わりになる。外界にある情報をどれだけ簡単に解釈できるかは、それがどれだけ自然な対応づけと制約を活用しているかに依存する。	かなりの学習が必要になることがある。その対象の構造になんらかの意味があれば、学習はいくらか簡単になる。（あるいは、よいメンタルモデルがあるのでよい。）
効率	外部の情報を見つけたり解釈したりしなければならぬので、時間がかかりがちである。	かなり効率的であることもある。
初めての場面での使いやすさ	使いやすい。	使いにくい。
美しさ	美しくもなく、洗練されてもいないということになりがちである。多量の情報を取り扱わなければならないときは特にそうである。雑然としたものになることもある。結局のところ、この美しさはデザイナーの力量にかかっている。	何も目に見えるようにしておく必要がないので、デザイナーの自由度は高い。美しさという観点からすると良いものになることもある。

（ノーマン著、野島久雄訳、「誰のためのデザイン？」、新曜社、1988。P.129 より）

- 認知工学と身体化による認知 (embodied cognition) の視点：
 - 直接に操作でき、フィードバックを受けられるインタフェースはコマンド言語インタフェースより好まれる理由も、頭の中にある情報を検索や思い出す必要もなく、外界にある情報の支援を直ちに得られることである。(Frohlich, 1997; Hutchins, Hollan, & Norman, 1985; Shneiderman, 1982)
 - 外界にある情報を知覚する認知負荷 (perceptual-motor effort) は、頭の中にある情報を検索する認知負荷 (retrieval effort) と比べれば、前者のほうはより低いために好まれ易くなる。(Ballard, Hayhoe, & Pelz, 1995; Ballard Hayhoe, Pook, & Rao, 1997; Wilson, 2002)
- 著者らの質疑と主張：
 - 頭の中にある知識 (Internal ; Knowledge in-the-world) のほうより、外界にある知識 (External ; knowledge in-the-head) のほうが、どんな時でも好まれますか？
 - Soft constraint 柔らかい制約：日常的インタラクティブな行動 (routine interactive behavior) では、常に最小限負荷を求めながら、行動を決める。しかもこれらの柔らかい制約は、等価と見なしている (give equal weight to) 知覚、行動、記憶検索などの要素にかかる時間によって計算できる。
 - この (認知負荷を計算する) ミリセカンド時間差別のために、ユーザは外界にある情報 (perfect knowledge in-the-world) を無視して、頭の中にある情報 (imperfect knowledge in-the-head) を使う傾向があるべきと思う。

2 . インタラクティブな行動における柔らかい制約

- 柔らかい制約と硬い制約
 - 硬い制約 (Hard constraints)
 - ◇ インタラクティブな人工物の操作順序と方法は硬い制約で決められた。
 - ◇ 例えば ATM を使う場合、人間の最大と最小可能な行動と対応パターン (microstrategies) はすべて予想されて、ATM インタフェースの中に設計された。(Gray & Boeham-Davis, 2000; Kieras & Mayer, 2000)
 - 柔らかい制約 (Soft constraints)
 - ◇ 硬い制約を補完。
 - ◇ どのパターンや行動はより選択されやすく、遂行されやすくなるかを決める。
 - ◇ 人工物は硬い制約によって設計され、人間は柔らかい制約によって (その人工物についての) インタラクティブな行動を決める。(Gary, 2000)
- Rational analysis 合理性分析
 - (Anderson, 1990; Simon, 1956)
 - 柔らかい制約は人間認知の合理性 (適応性) と人間の環境との相互作用に基づく。
 - より高い効率と効用の期待値がある行動はより選択されやすい。
- 本研究の主張
 - 異なる行動パターン (特に日常的インタラクティブな行動) を選択することは、神経、直観的なレベルにおける非熟考した (non-deliberate) 過程。(Anderson & Lebiere, 1998)
 - 本研究では効率と効用などを略して、計量化できる行動の認知負荷 (かかる時間) の観点から、環境とのインタラクティブな行動を決める過程を研究する。

2 . 1 認知負荷に関わる要因は等価ではないか？

- 「We off-load cognitive work onto the environment」
 - Wilson (2002) の身体化による認知 (embodied cognition) 第 3 条目
 - 1) Cognition is situated.
Cognitive activity take place in the context of a real-world environment, and inherently involves perception and action.
 - 2) Cognition is time-pressured.
We are “mind on the hoof” (Clark, 1997), and cognition must be understood in terms of how it functions under the pressures of real-time interaction with the environment.
 - 3) We off-load cognitive work onto the environment.
Because of limits on our information-processing abilities (e.g. limits on attention and working memory), we exploit the environment to reduce the cognitive workload. We make the environment hold or even manipulate information for us, and we harvest that information only on a need-to-know basis.
 - 4) The environment is part of the cognitive system.
The information flow between mind and world is so dense and continuous that, for scientists studying the nature of cognitive activity, the mind alone is not a meaningful unit of analysis.
 - 5) Cognition is for action.
The function of the mind is to guide action, and cognitive mechanisms such as perception and memory must be understood in terms of their ultimate contribution to situation-appropriate behavior.
 - 6) Off-line cognition is body-based.
Even when decoupled from the environment, the activity of the mind is grounded in mechanisms that evolved for interaction with the environment - that is, mechanisms of sensory processing and motor control.
-
- 「the embodiment level」
 - (Ballard et al., 1995, 1997)
 - 認知、知覚、行動のインタラクションにおける 1 / 3 秒尺度
 - CPM-GOMS (Gary & Goehm-Davis, 2000; Gray, John & Atwood, 1993)
 - ACT-R (Anderson, Bothell, Byrne, & Lebiere, 2004)
 - EPIC (Kieras & Meyer, 1997)
 - 「Minimum memory strategy」
 - (Wilson, 2002): 記憶する(memory effort)より、情報を知覚する(perceptual-motor effort 認知負荷はより低いため) ほうが常に好まれる。
 - (Shirouzu, Miyake, and Masukawa, 2002) からの質疑 : 「 We do not maintain that external resources without internal cognitive workings are preferred or that such preference are the essential human cognitive nature 」 (footnote 4)
 - Scaife and Rogers (1996)
 - グラフな表象 (graphical representation) について直観的に役に立つと信じられますが、実証理論と実際にどのように作動するかは分かりません。
 - 本研究の主張
 - よって 1 / 3 秒尺度の場合で、タスク環境の特徴による Knowledge in-the-world か Knowledge in-the-head かを選ばれやすいかを予測できる。

2 . 2 インタラクティブな行動のパターン

- インタラクティブな行動のパターンは認知のレベルで表す。
 - (Ballard et al., 1997)
- 約 1 / 3 秒尺度で遂行する時間にかかる各パターンは他のパターンと組み合わせて、最終的に実行する行動 (microstrategies) を生じて、タスクを完成させる。
 - (Gray & Boehm-Davis, 2000)
 - (Card, Moran, & Newell, 1983)
- (Fig. 2 参照)
 - (Gary & Boehm-Davis, 2000; Schweickert, Fisher, & Proctor, 2003)
 - あるインタラクティブな行動を遂行するためにかかる時間は、その行動に関わる各オペレーターの実行する時間による決定される。
 - 本研究で、情報を知覚することに関するオペレーターのかかる時間は、頭の中にある情報検索するためにかかる時間は等価 (is weighed the same) と見なす。

3 . Perceptual-motor V.S. Memory factors 3 つ可能状況 (本研究の実験と対応付け)

- Free-Access 条件 : 情報はディスプレイ上にはっきり呈示された、ユーザは自由に見るだけで (eye-movement) 情報を取得できる。(Fig. 3 参照)
- Gray-Box 条件 : ディスプレー上にあるウィンドーは部分的に見えますが、必要な情報のある部分 (欄) は灰色に隠されて見えない ; その欄にある情報を見るために、マウスを灰色にクリックする必要がある。
- Memory-Test 条件 : Gray-Box 状況と似ていますが、ただ使用されていないウィンドーはいつも隠されて情報が見えない。本実験では、最初に必要な情報を被験者に記憶させて、ついて情報を含めているウィンドーを隠して、Memory-Test を行う。記憶させたはずの情報をもう一度見たいときは、VCR 操作ウィンドーは隠される。被験者は一度に一つのウィンドーしか見えません。
- 4 種類の認知負荷
 - Perceptual-motor search : 情報のある位置を知覚する負荷
 - Perceptual-motor access : 一定位置にある情報を知覚する負荷
 - Memory encoding : 情報を頭の中に輸入する負荷
 - Memory retrieval : 頭の中にある情報を検索して、思い出す負荷
 - 本実験では、分析を単純にするために、Perceptual-motor access (外界にある情報を知覚) と Memory retrieval (頭の中にある情報を検索) しか扱いません。

3 . 1 Perceptual-motor V.S. Memory factors 合理性分析

- 外界にある情報を知覚する認知負荷 (Perceptual-motor access) が頭の中にある情報を検索して、思い出す負荷 (Memory retrieval) より低いとき、より外界にある知識を頼る傾向がある。
- 逆に、外界にある情報を知覚する認知負荷 (Perceptual-motor access) が頭の中にある情報を検索して、思い出す負荷 (Memory retrieval) より高いとき、よりあだ間の中にある知識を頼る傾向がある。

アクセスと検索する負荷を量化する

- 本実験の3つ条件にそれぞれの Perceptual-motor access と Memory retrieval にかかる時間を見積もり
 - Perceptual-motor access
 - ◇ Free-Access 条件
 - ACT-R 5.0 モデルと CPM-GOMS モデル (Gray, John & Atwood, 1993)
 - Eye-movement 時間約 500 ms
 - ◇ Memory-Test 条件と Gray-Box 条件
 - CPM-GOMS モデル (Gray and Boehm-Davis, 2000)
 - 1000-1500 ms
 - Memory retrieval
 - ◇ Free-Access 条件と Gray-Box 条件
 - (Anderson and Lebiere, 1998)
 - やや弱い記憶を思い出す : 500-1000 ms
 - ◇ Memory-Test 条件
 - (Altmann & Gray, 2002; Byrne & Anderson, 2001)
 - 記憶テストのため、より強い記憶を思い出す : 100-300 ms

Table 1
Estimates (in ms) of perceptual-motor and memory retrieval effort by condition

Condition	Perceptual-motor access	Memory retrieval
Free-Access	500 ^a	500–1,000 ^b (weak)
Gray-Box	1,000–1,500 ^c	500–1,000 ^b (weak)
Memory-Test	1,000–1,500 ^c	100–300 ^d (strong)

^a Estimate based on an ACT-R 5.0 model (see Note 1) and CPM-GOMS models from Gray et al. (1993).

^b Estimate from Anderson and Lebiere (1998).

^c Estimate based on the models developed by Gray and Boehm-Davis (2000), an ACT-R 5.0 model (see Note 1) and the CPM-GOMS model presented as Fig. 2.

^d Estimates based on models developed by Altmann and Gray (2002) and Byrne and Anderson (2001).

各条件におけるストラテジーを予想

- Free-Access 条件 : Perceptual-motor access のほうが好まれる。
- Gray-Box 条件
 - Perceptual-motor access と Memory retrieval の競合すべきが、新しい記憶は強いと同時に、忘却速度も速い ; よってより古い記憶に頼る傾向が強いため、Memory retrieval のほうが好まれる。
- Memory-Test 条件 : Memory retrieval のほうが好まれる。

各条件における行動を予想

- 各試行にエラー発生する頻度
 - Gray-Box 条件 > Free-Access 条件 > Memory-Test 条件
 - Gray-Box 条件 : ただし古い記憶は間違ふ可能性高い
- 情報アクセス頻度
 - Free-Access 条件 > Gray-Box 条件 > Memory-Test 条件
 - Free-Access 条件 : Perceptual-motor access 負荷が一番低いため
 - Gray-Box 条件 : マウスクリックするより、むしろ Memory retrieval に頼る。

3.2 補助する仮定

- 日常的インタラクティブな行動を選択することは、神経、直観的なレベルにおける非熟考した (non-deliberate) 過程。この過程では常に最小限の認知負荷を求める。
- Perceptual-motor access と Memory retrieval の認知負荷を測定、比較するとき、「時間」尺度は確かにある適切な「代用物」である。
- 確かにある条件で、外界にある情報が容易にアクセスできますが、柔軟な制約分析 (Soft constraints analysis) の予測によって、人はむしろ (間違える可能性高い) 不完全な記憶 (imperfect Knowledge in-the head) を頼る傾向が強い。

4. 実験課題

- VCRシミュレータ
 - Video Cassette Recorder シミュレータを使って、テレビ番組を録画予約
- この課題を選択した2つの理由：
 - タスク・インタフェース画面と情報アクセス画面ははっきり分けられている
 - ◇ 録画予約するタスク・インタフェース画面とテレビ番組情報アクセス画面は、はっきり分けられているため、情報源は外界にある知識 (Knowledge in-the-world) か頭の中にある知識 (Knowledge in-the-head) かをコントロールできる。
 - 少しだけの時間で記憶でき、そしてすぐ忘れられる情報
 - ◇ VCRシミュレータ画面は番組情報以外、殆んど変わりません。
 - ◇ あくまでも記憶テストではないため、記憶するかしまいが任意的に、無理やり記憶させたくない (テレビ番組) 情報は少しだけの時間で記憶でき、そしてすぐ忘れられる (使い捨て?)。

4.1 実験1

実験方法

- 実験装置
 - Macintosh Common Lisp™用VCRシミュレータ
- 被験者
 - 72名大学生 (Free-Access、Gray-Box、Memory-Test 各条件24名)
 - 3名ずつで各条件に無作為割付け (random assignment)
 - 一人ずつ課題を実施する、実験時間約30分
- 実験データ
 - 各VCR操作のディスプレイ画面ログ・ファイルとそれぞれの全てのボタン押すマウスクリックを記録して、時間のタグを付ける
 - VCRウインドーから離れて、番組情報ウインドーへ移動するマウス・イベントの時間を記録して、時間のタグを付ける
 - 番組情報ウインドー上 Gray-box をクリックすることを記録して、時間のタグを付け、そして同一クリックされた欄によってログ・ファイルを保存した。
 - よって、ログ・ファイルから、被験者インターアクション行動の流れを忠実に再現できます。

実験手続き（ちょっとだけ違いますが、各状況の手続きはほぼ同じ）

- 練習課題 Show 0
 - 実験者の Show 0 を予約録画することを、被験者は Task-to-device 規則階層図(Fig. 1) を参照しながら学習する。
 - 被験者は Show 0 を練習して、正確にできた後、実験者は Task-to-device 規則階層図を隠し、実験室を出る。
 - そして被験者は本課題へ進める。
- 本課題 Show 1 - 4
 - 被験者は Show 1 - 4 を、2 試行連続正しく予約録画する（ 2 successive correct trials ）
 - ◇ 「START TRIAL」ボタンを押して、予約録画を設定し始めから。
 - ◇ 「STOP TRIAL」ボタンを押して、予約録画を設定終了する。
 - ◇ 各試行の終わりに、かかった時間と正確予約したかなどのフィードバックをディスプレイ画面上に呈示する。
 - ◇ 正確予約設定しなかったら、最初の間違ったところを被験者に呈示する。
 - ◇ チェックされるところの順序とは：Clock time、Start time、End time、Day-of-week、Channel、Program Record。
 - 各試行の初期状態：
 - ◇ V C R ウィンドーは隠されて、
 - ◇ 番組情報ウィンドーは V C R ウィンドーの下にはっきり見える。(Fig. 3)
 - 番組情報ウィンドーには
 - ◇ 各 Show の Name、Start time、End time、Day-of-week、Channel 欄と「START TRIAL」ボタンがある。
 - 「START TRIAL」ボタンをクリックすると、「STOP TRIAL」ボタンに変わる；隠された V C R ウィンドーは見える、そして予約を設定できる。
- Free-Access 条件
 - 番組情報ウィンドーにある各欄の情報はいつでもはっきり見える。
- Gray-Box 条件
 - 番組情報ウィンドーには、Show の Name 以外すべての欄はそれぞれ灰色で隠された。
 - 例えば、Channel 欄を見るために、被験者はマウスを移動して、Channel 欄を隠した灰色をクリックしなければなりません。
 - その欄の上にマウスが留まってあれば、その欄の情報を続いて見える。
- Memory-Test 条件（各試行の前に、記憶テストがある）
 - 「START TRIAL」ボタンをクリックすると、番組情報ウィンドーは隠されて、記憶テスト画面を呈示します。
 - 被験者は Show の Start time、Start-10 min、Start-min、End-hour、End-10 min、End-min、Day-of-week、Channel を連続ポップ・アップ・ウィンドウで正解を選択するテストがある。
 - テストをすべて正解できるまで、各試行の設定へ進められず、記憶テストを繰り返し返さなければなりません。
 - この条件の被験者に「番組情報ウィンドー参照するより、記憶から番組情報を思い出さなさい」という教示がる。
 - 番組情報ウィンドーには
 - ◇ Show の Name 以外すべての欄はそれぞれ灰色で隠された。
 - V C R ウィンドー
 - ◇ マウスが V C R ウィンドーから離れて、マウスを戻してクリックするまで、V C R ウィンドーは常に黒色に隠されている。

実験結果

■ Performance measures

➤ Errors / Trials-to-criterion

- ◇ 各 Show の正確に設定してから終了した試行数 (Fig. 4); つまり設定をより多く間違った場合、Trials-to-criterion の値が大きくなる。
- ◇ 各 Show を、2 試行連続正しく予約録画できるまで (2 successive correct trials) 予約設定を終了できません。
- ◇ 故に、「例え必要な情報を忘れたときに、番組情報ウインドーを参照すれば、各 Show は必ず正確に設定でき、2 試行以内で完成できる」ということが予想できますが。
- ◇ しかし、必要な情報は番組情報ウインドーに参照できるにもかかわらず、各 Show の成績は皆 2 試行を超えて、つまり被験者は「STOP TRIVAL」を押しましたが、予約を正確に設定しなかった。
- ◇ よって、被験者は外界にある知識 (knowledge in-the-world) を参照するより、(間違える可能性高い) 不完全な記憶 (imperfect memory / knowledge in-the-head) に頼る傾向があると言える。
- ◇ 2 因子分散分析 (2-Way ANOVA)
 - 被験者間: Condition (Free-Access、Gray-Box、Memory-Test)
 - 被験者内: Show (Show 1 - 4)
 - Condition 主効果が有意: $F(2, 69) = 4.48, p = .015, MSE = 10.04$
 - Show 主効果が有意: $F(3, 207) = 5.90, p = .0007, MSE = 5.05$
 - Condition と Show の交互作用が有意でなかった: $F < 1$
- ◇ Planned Comparisons 事後多重比較
 - Gray-Box 条件と Memory-Test 条件: 有意差があった ($p = .0002$)
 - Free-Access 条件と Memory-Test 条件: 有意差があった ($P = .037$)
 - Free-Access 条件と Gray-Box 条件: 有意差なし
 - 外界にある知識 (Knowledge in-the-world) を参照できるにもかかわらず、Gray-Box 条件と Free-Access 条件の被験者は、知識を頭の中に強く記憶した (Knowledge in-the-head) 被験者に比べて、より多いエラーを起こした。

➤ Goal suspension

- ◇ (Gary, 2000) goal-structure analysis of errors of performance より
 - 予約設定を間違えて、その後設定の未完成状態 (いわゆる間違った) を発見して設定を変更
- ◇ VCR シミュレータの構造によって、被験者は 8 つのところを正確に設定すべきある: Day-of-week、Channel、Start-hr、Start-10 min、Start-min、End-hr、End-10 min、End-min。
- ◇ (本実験事件では) 被験者はある欄を正確に設定するまで前、一旦別の欄に注意を向けて行く頻度はどのくらいありますか?
 - 例えば Show 2 の Channel は 21 ですが、現在 Channel は 11 にあり、被験者は Channel を設定変更し始めて、21 に変わった前に止まった場合、Goal suspension という。
- ◇ 「正確に予約設定した試行」しか分析対象としません
 - なぜなら、正確に設定した試行の場合に、Goal-suspension は潜在的なエラー発生原因である。
 - 被験者は「STOP TRIAL」ボタンをクリックする前に、設定の未完成状態 (いわゆる間違った) を発見して設定を変更すべきである。

- ◇ ただし、設定中に、番組情報ウィンドーを一時参照することは Goal suspension と見なしません。
 - 例えば被験者は Channel を設定しているうちに、番組情報ウィンドーの欄を参照して、そして VCR ウィンドーに戻って Channel を続いて設定する場合はと Goal suspension 見なしません。
- ◇ 著者らは、この Goal suspension を「正確な外界にある知識 (perfect knowledge in-the-world) より、(間違ふ可能性高い) 不完全な記憶 (imperfect knowledge in-the-head) を頼ること」と見なす。
- ◇ 珍しい Goal suspension
 - 本実験で全部 36877 回有効マウスクリックを (Fu, 2001) 開発された action-protocol analyzer によって解析し結果、12560 個 Goals を発見して、そのなか (1%以下) 122 回の Goal suspension を得られました。各条件の各被験者の Goal suspension 平均数を (Fig. 5) に呈示した。
- ◇ 分散分析: $F(2, 69)=2.64, p=.078$ 、有意傾向
- ◇ 多重比較 Planned comparison: Gray-Box 条件は Memory-Test 条件に比べて、より多く Goal suspension を起こす。
- ◇ X² 「カイ自乗」検定: 各条件の被験者は皆 Goal suspension を起こすか?
 - 有意差あった ($p = .05$)
 - Free-Access 条件: 50%被験者
 - Gray-Box 条件: 75%被験者
 - Memory-Test 条件: 42%被験者
- Performance measures 結果のまとめ
 - ◇ Trials-to-criterion と Goal suspension で同じパターンが発見されました: Memory-Test 条件 > Free-Access 条件 > Gray-Box 条件
 - ◇ 面白い困惑: 必要な情報は番組情報ウィンドーに参照すれば、正確に設定で切るにもかかわらず、間違ふ可能性高い記憶を依存する傾向が高くて、より多い実験課題にかかる時間が必要となってしまうけど。
 - 間違った試行から: 実験課題にかかる時間が長く伸ばせる。
 - Goal suspension から: 設定を再チェックすることが必要、かつ各試行でエラーを起こす可能性は増える。
 - ◇ Soft constraints のメカニズムは、外界にある知識を知覚すること (more reliable perceptual-motor access) より、(間違ふ可能性高い) 不完全な記憶 (imperfect memory) に頼る強い傾向に導く。
- Process measure : Accesses of knowledge in-the-world
 - (Memory-Test 条件と Gray-Box 条件) 番組情報ウィンドーへのアクセス回数とパターンを (ログ・ファールから) 測る。
 - Construct validity 構造概念妥当性について
 - ◇ Memory-Test 条件の被験者は、一体記憶か番組情報ウィンドーより情報を検索して出しましたか?
 - ◇ Gray-Box 条件 24 名被験者: 223 回正しい試行の中で、番組情報ウィンドーを 293 回クリックした、平均各 Show で 1.31 回アクセス。
 - ◇ Memory-Test 条件 24 名被験者: 205 回正しい試行の中で、番組情報ウィンドーを 10 回クリックした、平均各 Show で 0.05 回アクセス。
 - ◇ Memory-Test 条件の被験者は、確かに記憶検索から番組情報出すから、よって、Memory-Test 条件は確かに (ディスプレイより) 記憶検索から情報出すことを反映すると言える。

- Patterns of information access 情報アクセスパターンについて
 - ◇ 必要な情報は番組情報ウィンドーに参照できるのに、Gray-Box 条件の成績は Memory-Test 条件より悪くなったことを、彼らの検索パターンから理由を見つげられますか？
 - ◇ (Fig. 6A) Gray-Box 条件各被験者の各正しい試行の番組情報ウィンドー(欄) にアクセス平均回数
 - Before : 他の設定した後、Channel 欄情報をアクセスする場合。
 - Right-Before : Channel 欄情報をアクセスした直後、Channel を設定しに行った場合。
 - Middle : Channel を設定している最中、Channel 欄情報をアクセスした場合。
 - Right-After : Channel を設定した直後、Channel 欄情報をアクセスしにきた場合。
 - After : Channel を設定した後、他のために番組情報ウィンドーにアクセスした場合。
 - Before と After とは : 試行の初めから、Channel を設定しに行く寸前までの時間 ; Channel を設定した直後、他の設定へ移りに行く時点から、試行の終わりまでの時間。いわゆるこの 2 種類は不確定な時間内起こしたイベントを見なせる。
 - 分散分析、Tukey HSD test の結果 (Fig. 6A)
 - ✓ $F(4, 92) = 15.36, p < .0001, MSE = 0.11$ 、有意差があった。
 - ✓ Right-Before 組は、他の組より多く番組情報ウィンドーにアクセスした。
- Gray-Box 条件の被験者は、ある欄の情報を設定最中と設定直後より、設定直前に、番組情報ウィンドーへアクセスするほうが好む。しかし各試行の設定正確性について論じるとき、このような好みは、むしろ外界にある情報 (perfect knowledge in-the world) を参照することより、(間違ふ可能性高い) 不完全な頭にある情報 (imperfect knowledge in-the-head) を検索する強い傾向があると見なせます。

4.2 実験2

実験1の Free-Access 条件被験者の情報アクセスパターンを補足するために、実験2を行って、Free-Access 条件被験者の眼球運動データを集めて、番組情報ウィンドーへのアクセスパターンと頻度を調べた。

実験方法

■ 実験装置

- 実験1の Free-Access 条件とほぼ同じ、ただし V C R 設定している時の眼球運動測定 (eye-tracking) を追加した。
- 測定を容易にさせ、被験者の視覚的に区別しやすくさせるために、番組情報ウィンドーはより大きくサイズに変更した。

■ 被験者

- うまく眼球運動を追跡できる、8名大学生 (24名の中で) のデータを使用
- 眼球運動追跡装置を調整するため、実験時間約45分までに伸ばした。

■ 眼球運動

- 眼球運動追跡装置 : ASL 504 remote optics eye tracker
- 頭の運動追跡装置 : Flock-of-Birds™ magnetic head track
- 眼球運動データは60回 / 秒で抽出されて (平均 16.67ms / 回)、ログ・ファイルに保存した。

- 「凝視 (Fixation)」データ：
 - ◇ Karsh and Breitenbach (1983) が開発したアルゴリズムによる
 - ◇ ある 3 X 4 ピクセル長方形範囲内、連続的 6 点(各点の間に 32ms 以下の間隔) 以上留まることが発生したら、「凝視」と言える。
- ある同一範囲内連続的な「凝視」は 1 回のアクセスと見なせる。

実験結果

- (Fig. 6B) 実験 2 の Free-Access 条件各被験者の正しい 1 試行での番組情報アクセス平均数
- 分散分析、Tukey HSD test の結果
 - $F(4, 28) = 5.38, p = .002, MSE = 0.29$ 、有意差があった
 - Before, Right-Before, After 各組の間に有意差がなかったが; この 3 組はそれぞれに Middle 組と有意差があった。

実験 1 と 2 の番組情報アクセスパターンについて

- Gray-Box 条件と Free-Access 条件の被験者の情報アクセスパターンは類似性がある。
 - 設定最中 (情報を参照しながら設定する) でもなく、設定直後 (情報正しいかを確認) でもなく、設定を変更する (情報を使う) 直前だけ、情報を (記憶するために) アクセスする。
 - 被験者は自分の記憶力にかなりの自信を持つか? それとも情報を知覚する負荷 (perceptual-motor effort) が嫌いか?
 - 情報を知覚する負荷 (perceptual-motor effort) のより低い場合、確かに被験者のより多い情報アクセス行動を引き起こせる。

5 . Implications

- 「bounds of rationality」(Simon, 1956)
 - Adaptive mechanisms in cognition operate on local estimates of the characteristics of the environment, there is no guarantee that the patter of behavior chosen will lead to global optimal performance.

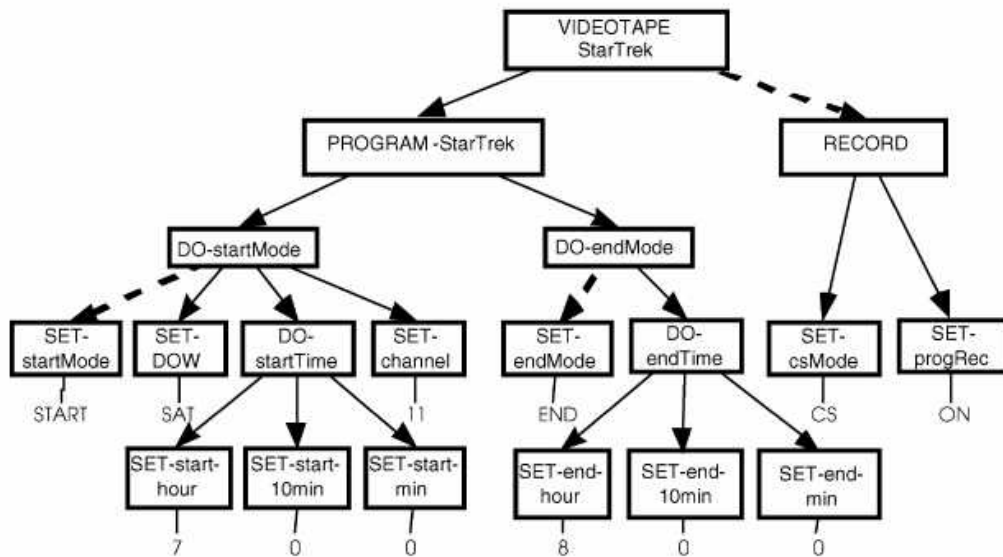


Fig. 1. The task-to-device rule hierarchy for programming the particular VCR used in experiment 1 and 2. This task-to-device rule hierarchy is largely determined by soft constraints. (Subgoals are represented by boxed nodes. Leaf nodes are unboxed and may represent multiple keystrokes. The dashed line leading from DO-startMode and DO-endMode indicate that subgoals SET-startMode and SET-endMode must be performed before the others. Contrariwise, the dashed line from VIDEOTAPE to RECORD indicates that RECORD must be performed last. With those three exceptions, the subgoals of a goal may be performed in any order.)

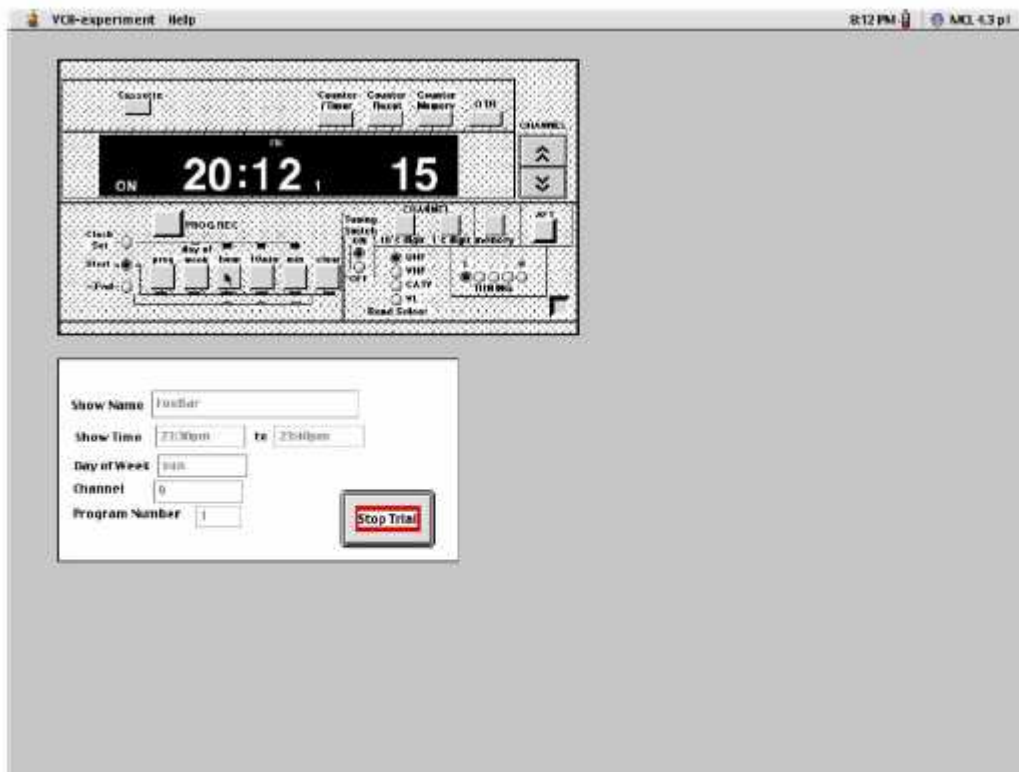


Fig. 3. Screen shot of VCR and Show Information Window for the Free-Access condition. Notice that the fields of the Show Information Window are open at all times. For the Gray-Box and Memory-Test conditions, the fields would be covered by gray boxes during the trial.

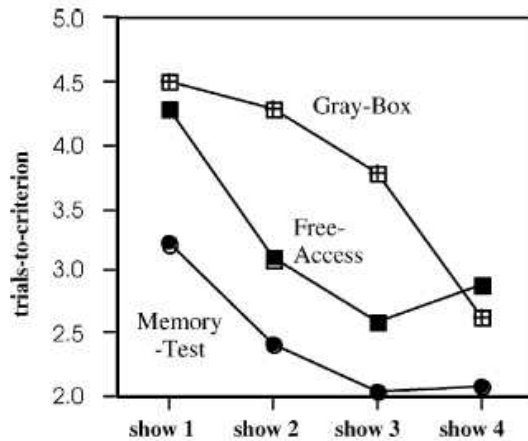


Fig. 4. Trials-to-criterion for experiment 1. Subjects were required to program each show to the criterion of two successive correct trials. Hence, for shows 3 and 4 the Memory-Test group is close to the minimum number of trials possible.

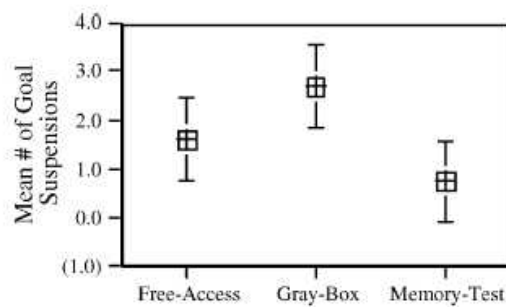


Fig. 5. Mean goal suspensions per subject across the three conditions. statistical significance bars (SSBs) show the pairwise statistical significance between means.

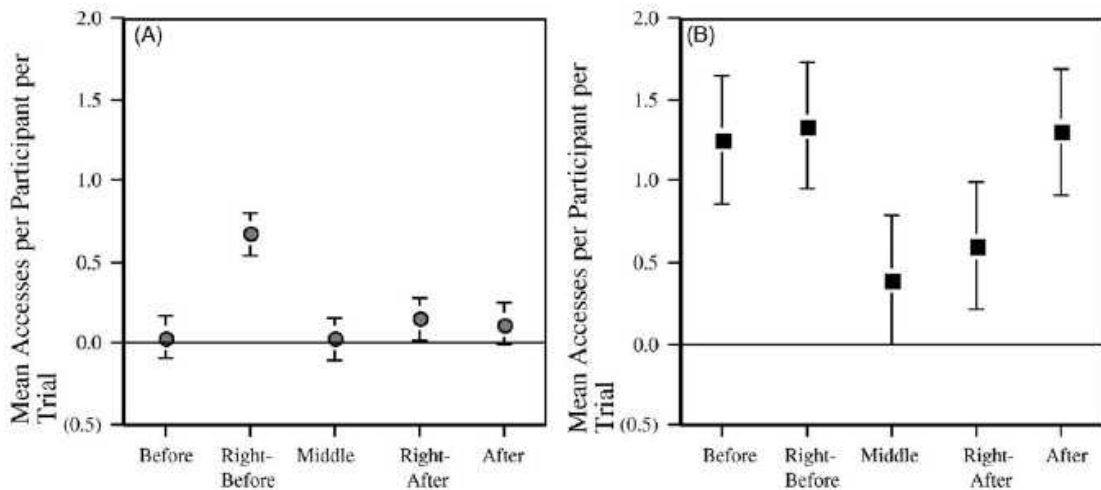


Fig. 6. (A) For the Gray-Box condition from experiment 1, the graph shows the mean accesses per subject per trial, SSBs, based on 24 subjects, show the pairwise statistical significance between means. (B) For the Free-Access condition from experiment 2, the graph shows the mean accesses per subject per trial, SSBs, based on eight subjects, show the pairwise statistical significance between means.