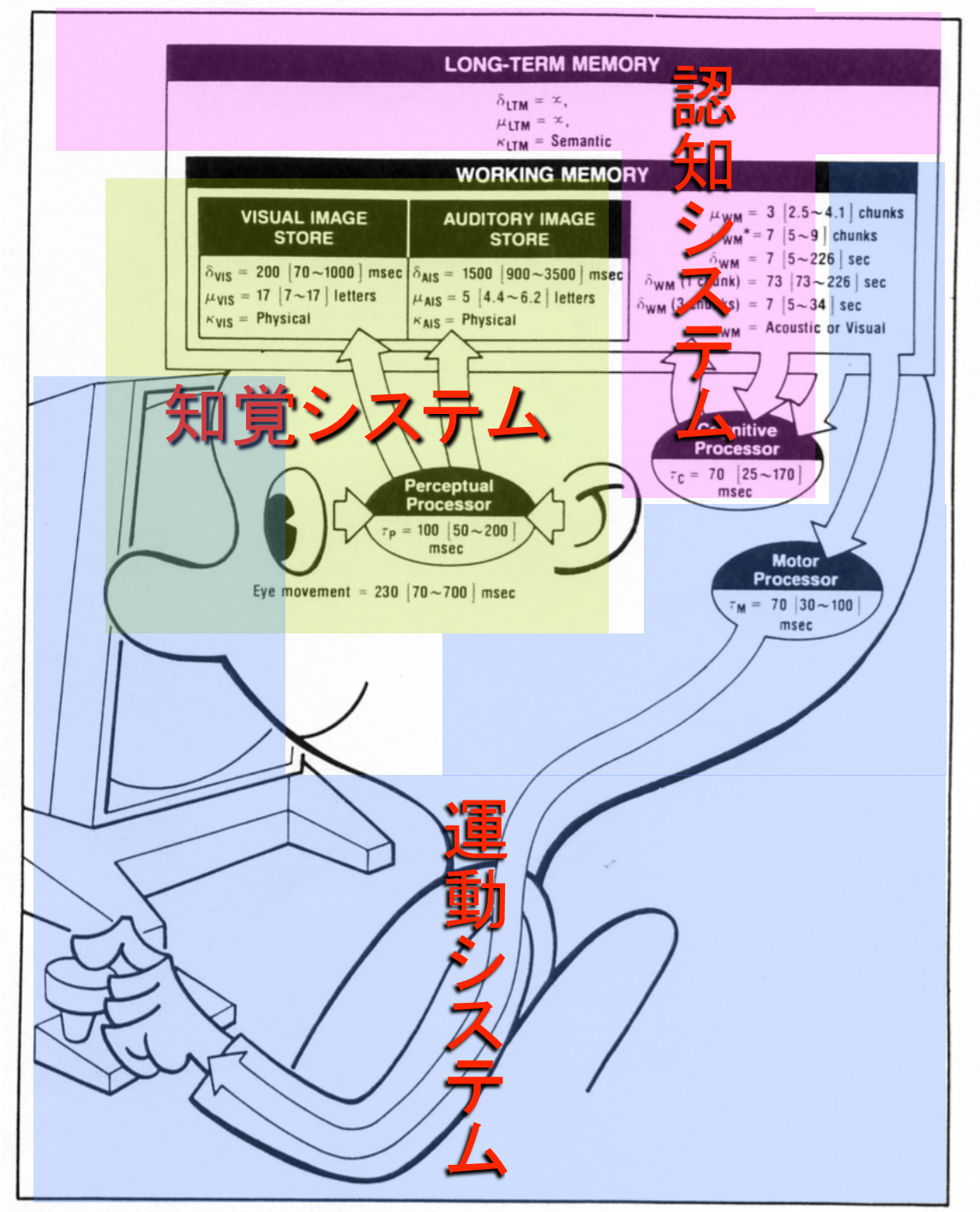
2.ヒューマンインフォメーションプロセッサ
2.2 ヒューマンパフォーマンス

単純な決定
学習と検索

The Psychology of Human-Computer Interaction, S.K. Card, T.P. Moran, and A. Newell (1983), pp. 65~83

2. The Human Information-Processor

2.1. THE MODEL HUMAN PROCESSOR
The Perceptual System
The Motor System
The Cognitive System
2.2. HUMAN PERFORMANCE
Perception
Motor Skill
Simple Decisions
Learning and Retrieval
Complex Information-Processing
2.3. CAVEATS AND COMPLEXITIES



認知システム

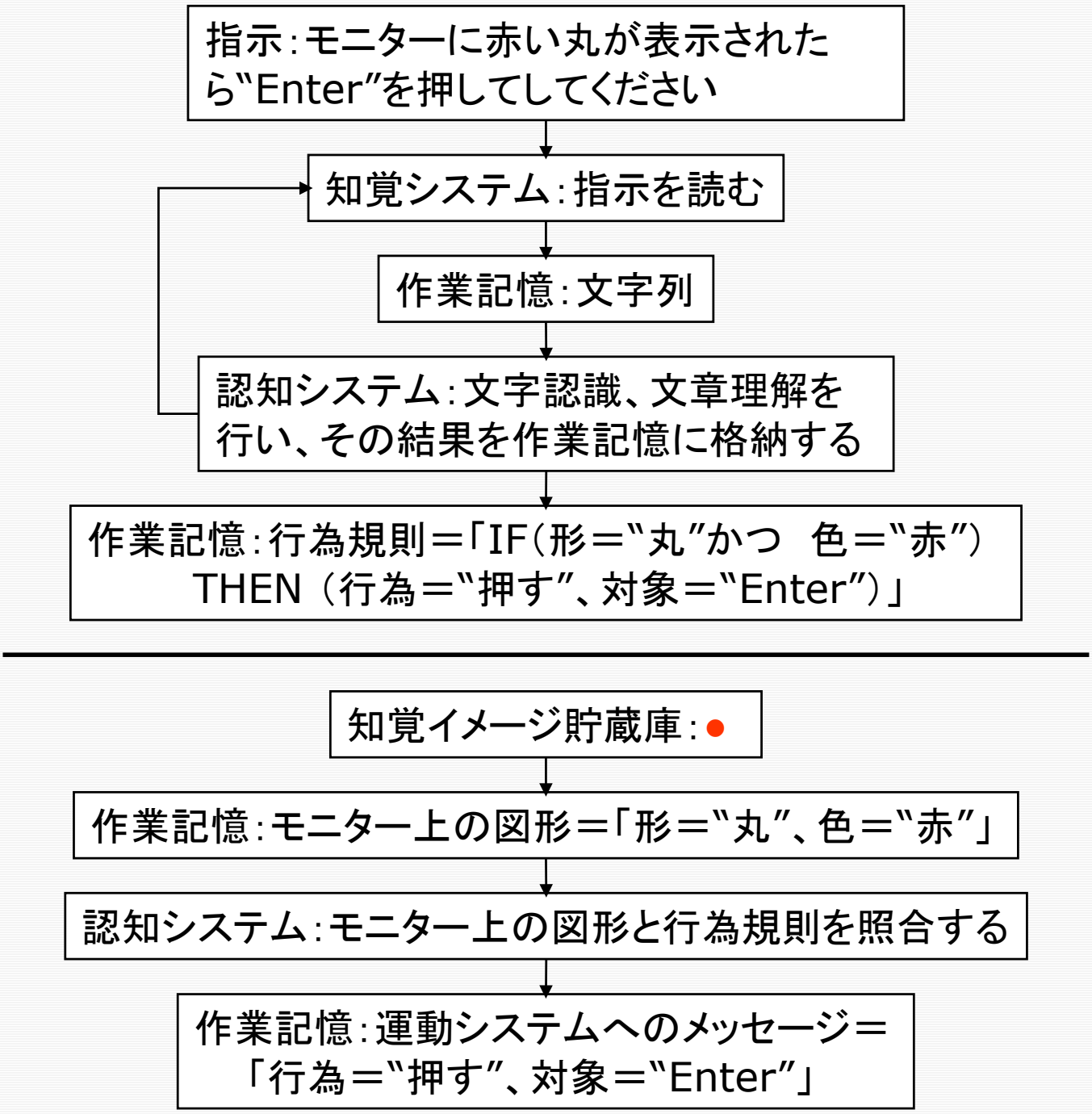
長期記憶

知覚システム
（視覚情報、聴覚情報）

作業記憶

運動システム

「指示に従って判断して行動する」ときに何が起きるのか



【単純な認知処理】
例9：単純な認知的反応

【問題】

- ユーザはコンピュータディスプレイの前に座っている
- ディスプレイに記号が表示されたらスペースバーを押す
- 反応にはどれくらいの時間がかかるだろうか
- 反応時間＝「スペースバーが押された時刻」－「記号が表示された時刻」

【単純な認知処理】
例9：単純な認知的反応

【解答】

- Model Human Processor の処理過程を追ってみる

1. ディスプレイに注意が向いている
2. 文字Aを表現するドットパターンaがディスプレイに出現する（18a）
3. 知覚プロセッサによる処理：所要時間τ_P（18b）
   1. aは知覚プロセッサによって処理され、視覚イメージ貯蔵庫に物理的表象a'として保持される
   2. 物理的表象a'は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルa"として保持される
4. 認知プロセッサによる処理：所要時間τ_C（18c）
   - 刺激が入ってきたので、YESの反応をすると判断し、"ボタンを押す"という命令を運動プロセッサに出す
5. 運動プロセッサによる処理：所要時間τ_M（18d）
   - 運動系は操作命令がきたので、それを実行する

- 所要時間：

  $\tau_P+\tau_C+\tau_M=240$ [105~470]msec

  (100, 70, 70)

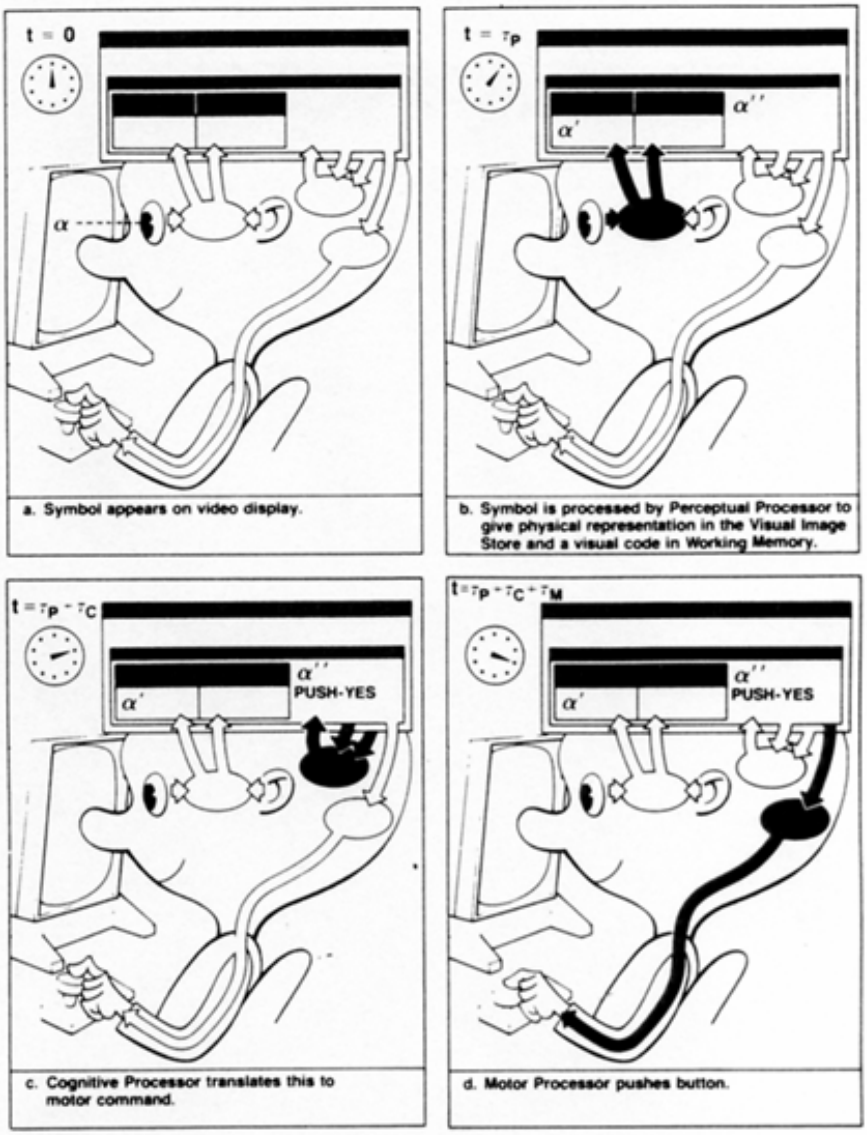


Figure 2.18. Simple reaction-time analysis using the Model Human Processor.

【単純な認知処理】例10：2文字の形状の照合

【問題】

- ユーザはコンピュータディスプレイの前に座っている
- ユーザには、2つの記号が順次、提示される
- 2番目に提示される記号が最初のものと形状が同じであった場合には、YESラベルのついているキーを、違っている場合には、NOラベルのついているキーを押す
- A:A ⇒ YES、A:a ⇒ NO

- YESの場合の反応時間はどれくらいだろうか

【単純な認知処理】
例10：2文字の形状の照合

【解答】

1. 最初の記号aの物理的表象a′は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルa″として保持されている
2. 文字Aを表現するドットパターンaがディスプレイに出現する（19a）
3. 知覚プロセッサによる処理：所要時間τ_P（19b）
   1. aは知覚プロセッサによって処理され、視覚イメージ貯蔵庫に物理的表象a′として保持される
   2. 物理的表象a′は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルa″として保持される
      《最初の記号が提示されてから時間がたっていない場合には最初の文字のa″は作業記憶に保持されている》
4. 認知プロセッサによる処理：所要時間 $2\times\tau_C$（19c,d）
   1. 作業記憶内のa″（最初の文字）とa″（2番目の文字）を照合する（19c）
   2. 照合がとれた場合、"ボタンを押す"という命令を運動プロセッサに出す（19d）
5. 運動プロセッサによる処理：所要時間τ_M（19e）
   - 運動系は操作命令がきたので、それを実行する

- 所要時間：
  $\tau_P+2\tau_C+\tau_M=310$ [130~640]msec

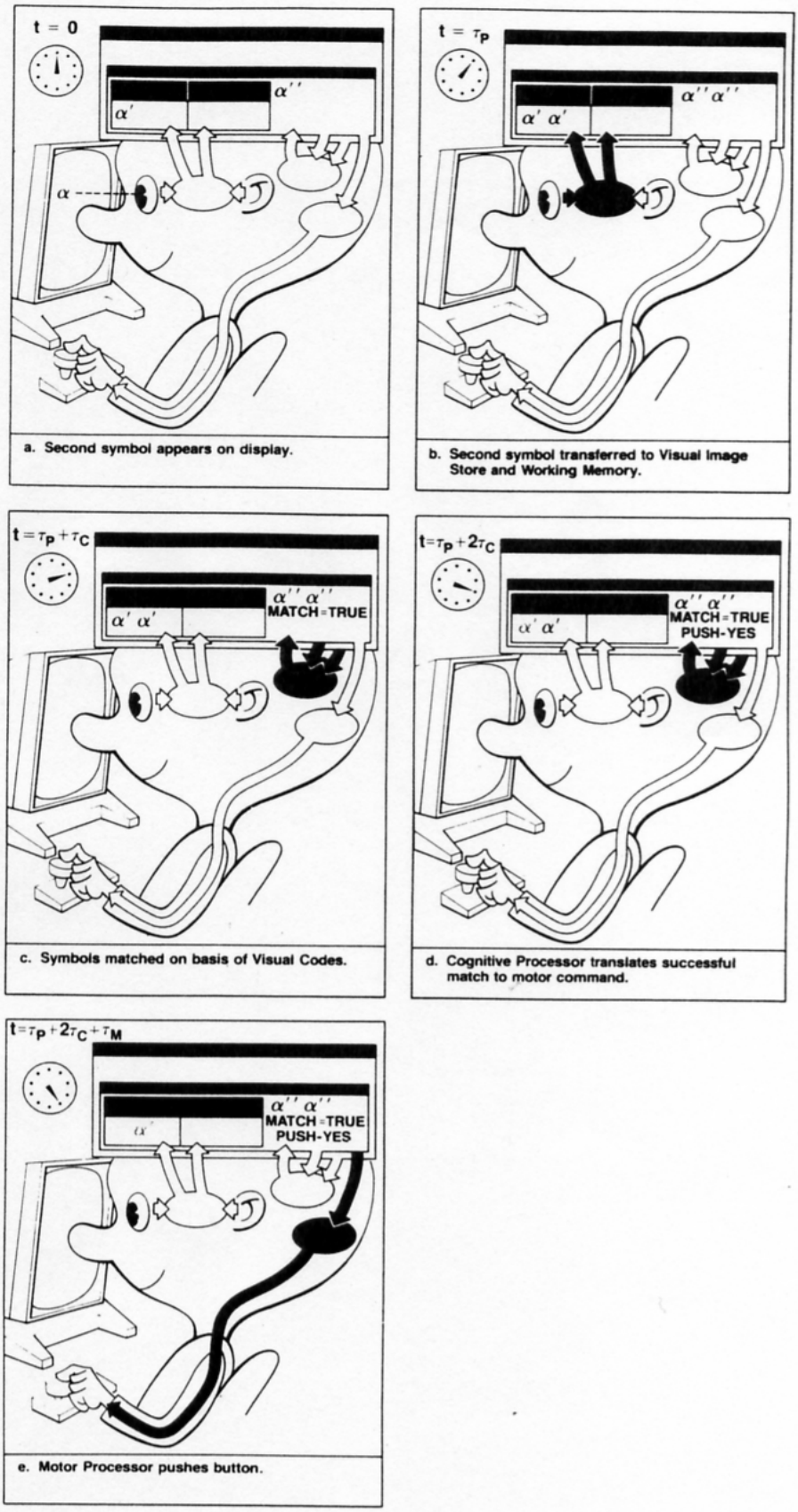


Figure 2.19. Physical name-match analysis using the Model Human Processor.

Step		Display	VIS	WM	Hand	Elapsed Time
Example 9. Simple reaction						
	State at start of clock:					
1.	Symbol appears	α				0
2.	Transmitted to VIS		α'	α''		τ_P
3.	Initiate response		α'	α'', PUSH-YES		$\tau_P+\tau_C$
4.	Process motor command		α'	α'', PUSH-YES	PUSH-YES	$\tau_P+\tau_C+\tau_M$
Example 10. Physical match						
	State at start of clock:		α'	α''		
1.	Second symbol appears	α	α'	α''		0
2.	Transmitted to VIS		α', α'	α'', α''		τ_P
2.1.	*Match*		α', α'	α'', α'', MATCH = TRUE		$\tau_P+\tau_C$
3.	Initiate response		α'	α'', α'', PUSH-YES		$\tau_P+2\tau_C$
4.	Process motor command			α'', α'', PUSH-YES	PUSH-YES	$\tau_P+2\tau_C+\tau_M$
Example 11. Name match						
	State at start of clock:		α_1'	α_1'':A		
1.	Second symbol appears	α_2	α_1'	α_1'':A		0
2.	Transmitted to VIS		α_1', α_2'	α_2'', α_1'':A		τ_P
2.01.	*Recognize*		α_1', α_2'	α_2'':A, α_1'':A		$\tau_P+\tau_C$
2.1.	Match		α_1', α_2'	MATCH = TRUE		$\tau_P+2\tau_C$
3.	Initiate response		α_2'	PUSH-YES		$\tau_P+3\tau_C$
4.	Process motor command			PUSH-YES	PUSH-YES	$\tau_P+3\tau_C+\tau_M$
Example 12. Class match						
	State at start of clock:		α'	α'':A:LETTER		
1.	Second symbol appears	β	α'	α'':A:LETTER		0
2.	Transmitted to WM		α', β'	β'', α'':A:LETTER		τ_P
2.01.	Recognize		α', β'	β'':B, α'':A:LETTER		$\tau_P+\tau_C$
2.02.	*Classify*		α', β'	β'':B:LETTER, α'':A:LETTER		$\tau_P+2\tau_C$
2.1.	Match		β'	MATCH = TRUE		$\tau_P+3\tau_C$
3.	Initiate response			PUSH-YES		$\tau_P+4\tau_C$
4.	Process motor command			PUSH-YES	PUSH-YES	$\tau_P+4\tau_C+\tau_M$

Figure 2.20. Trace of the Model Human Processor's memory contents for simple decision tasks.

The symbols α and β stand for the unrecognized visual representation of the input; the symbols α' and β' stand for the physical representation of the input in the Visual Image Store (VIS); the symbols α'' and β'' stand for the visual code of the input in Working Memory (WM); and the symbols **A** and **LETTER**, stand for the abstract representation. The notation α''**:A** means that both visual and abstract codes exist in Working Memory and are associated with one another.

【単純な認知処理】
例11：2文字の名称の照合

【問題】

- ユーザはコンピュータディスプレイの前に座っている
- ユーザには、2つの記号が順次、提示される
- 2番目に提示される記号が最初のものと名称が同じであった場合には、YESラベルのついているキーを、違っている場合には、NOラベルのついているキーを押す
- A:a ⇒ YES、A:B ⇒ NO

- YESの場合の反応時間はどれくらいだろうか

【単純な認知処理】例11：2文字の名称の照合

【解答】

1. 最初の記号a_1の物理的表象a_1'は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルa_1''として保持された後、認知プロセッサによって認識された結果がa_1'':Aとして保持されている
2. 文字Aを表現するドットパターンa_2がディスプレイに出現する（step 1）
3. 知覚プロセッサによる処理：所要時間τ_P（step 2）
   1. a_2は知覚プロセッサによって処理され、視覚イメージ貯蔵庫に物理的表象a_2'として保持される
   2. 物理的表象a_2'は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルa_2''として保持される
4. 認知プロセッサによる処理：所要時間 $3\times\tau_C$
   1. a_2''を認識しa_2'':Aを作業記憶に保持する（step2.0.1）
   2. 作業記憶内のa_1'':A とa_2'':A を照合する（step 2.1）
   3. 照合がとれた場合、"ボタンを押す"という命令を運動プロセッサに出す（step 3）
5. 運動プロセッサによる処理：所要時間τ_M（step 4）
   - 運動系は操作命令がきたので、それを実行する

- 所要時間：
  $\tau_P+3\tau_C+\tau_M=380$ [155~810]msec

【単純な認知処理】例12：2文字の種類の照合

【問題】

- ユーザはコンピュータディスプレイの前に座っている
- ユーザには、2つの記号が順次、提示される
- 2番目に提示される記号が最初のものと種類が同じであった場合には、YESラベルのついているキーを、違っている場合には、NOラベルのついているキーを押す（文字→文字；数字→数字）
- A:B ⇒ YES、A:5 ⇒ NO

- YESの場合の反応時間はどれくらいだろうか

【単純な認知処理】例12：2文字の種類の照合

【解答】

1. 最初の記号αの物理的表象α′は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルα″として保持された後、認知プロセッサによって認識され、種類が同定された結果がα″:A:LETTERとして保持されている
2. 文字Bを表現するドットパターンβがディスプレイに出現する（step 1）
3. 知覚プロセッサによる処理：所要時間τ_P（step 2）
   1. βは知覚プロセッサによって処理され、視覚イメージ貯蔵庫に物理的表象β′として保持される
   2. 物理的表象β′は作業記憶に視覚的に符号化されたシンボルβ″として保持される
4. 認知プロセッサによる処理：所要時間 $4\times\tau_C$
   1. β″を認識し、β″:Bを作業記憶に保持する（step 2.0.1）
   2. β″:Bの種類を同定し、β:B:LETTERを作業記憶に保持する（step 2.0.2）
   3. 作業記憶内のα″:A:LETTER とβ″:A:LETTER を照合する（step 2.1）
   4. 照合がとれた場合、"ボタンを押す"という命令を運動プロセッサに出す（step 3）
5. 運動プロセッサによる処理：所要時間τ_M（step 4）
   - 運動系は操作命令がきたので、それを実行する

- 所要時間：

  $\tau_P+4\tau_C+\tau_M=450$ [180~980]msec

- 2文字同時表示の場合、名称照合と形状照合の反応時間の差は、およそ85msec
- 文字提示の間隔が2秒程度になると、反応時間は同程度になる。作業記憶から、最初の文字が消失してしまうことが原因

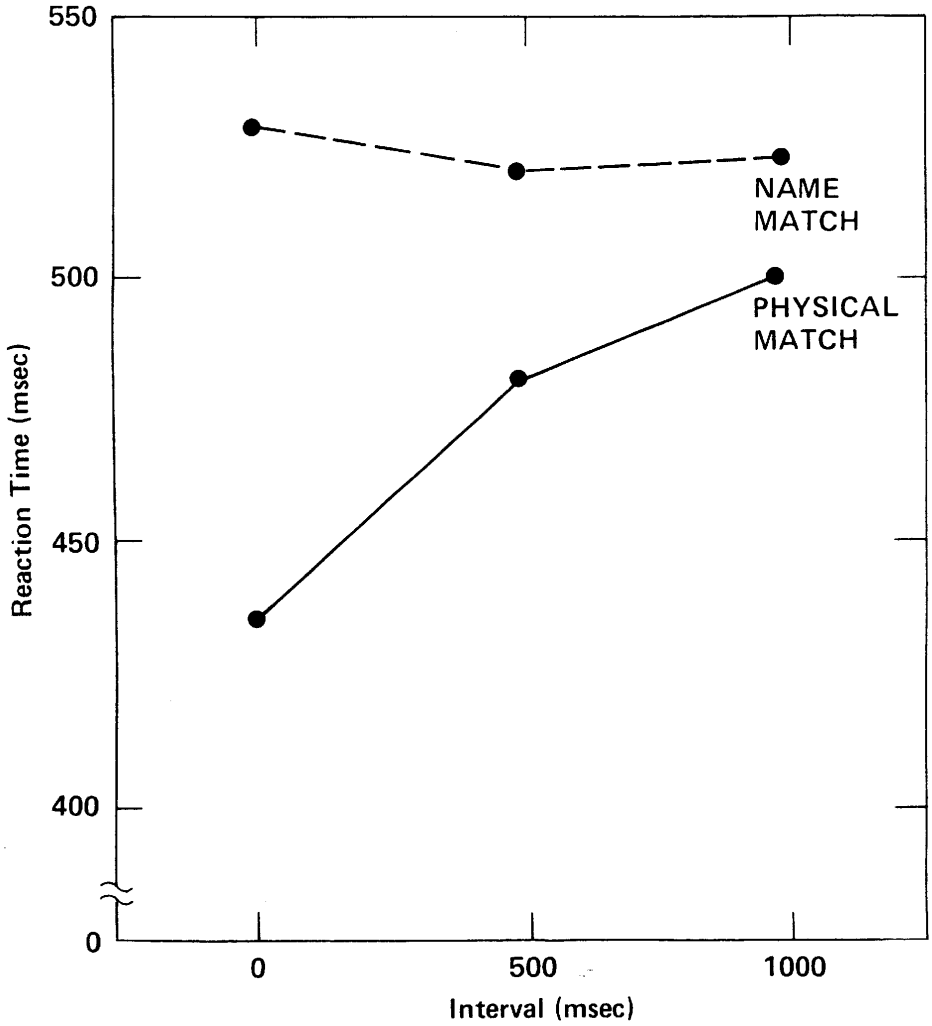
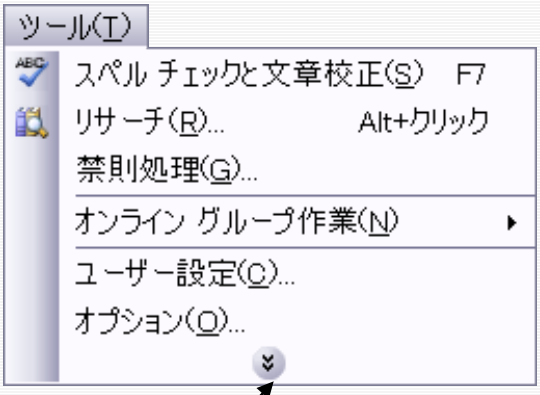


Figure 2.21. Reaction times for matching successively presented letters as a function of the inter-stimulus interval.
From Posner, Boies, Eichelman, and Taylor (1969, Figure 2, p. 8).

【単純な認知処理】項目選択時間

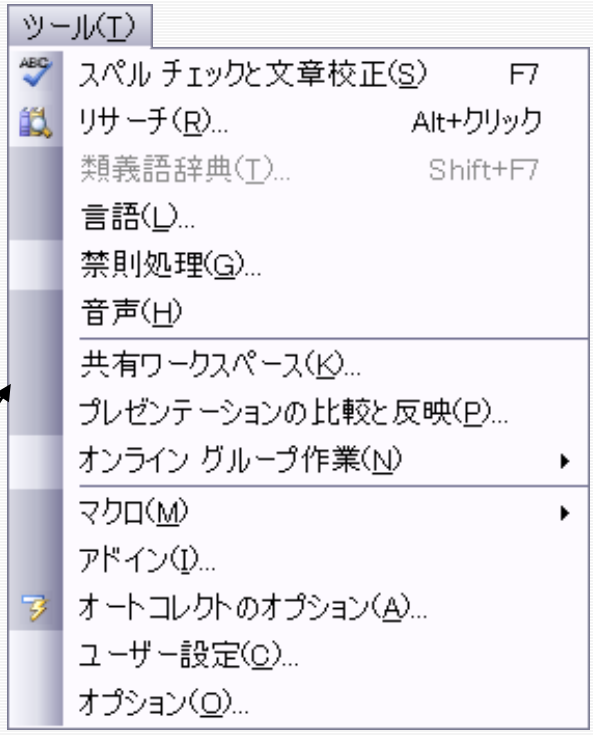
- 例）パワーポイントの「ツール」メニューから「ユーザ設定…」を選択する
- 選択に要する時間は、
  左のメニュー ＜ 右のメニュー

- どれくらい違うのか？
- どれくらいの時間を要するのか？



1／6

1／14



【単純な認知処理】項目選択時間

- 現象：
  - 選択肢が増えれば、選択に要する時間は増大する
- 人間の行う処理：
  - 「1つずつよく読んで判断する」のではなく「階層的に処理して判断する」
- 処理時間の見積もり：
  - 情報理論を適用して最小ステップ数が得られる
    ⇒　人間の項目選択時間の第1次近似となる

＜動作原理7＞

不確定性原理

Uncertainty Principle

決定時間 T は判断や決定に関わる不確定性とともに増加する。

$$T = I_C H、$$

ここで、H は情報論的エントロピー、I_C=150 [0~157]msec/bit、である。

n通りの選択があり、等確率である場合には、

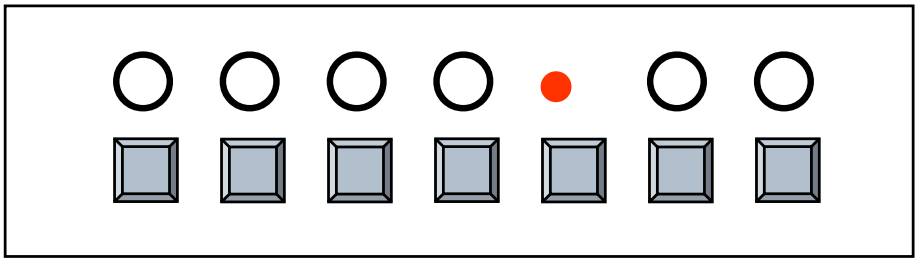
$$H=\log_2(n+1)、$$

である(Hickの法則)。

異なった確率 p_i を持つ場合には、

$$\mathrm{H} = \Sigma_i\, p_i \log_2(1/p_i+1)、$$

となる。



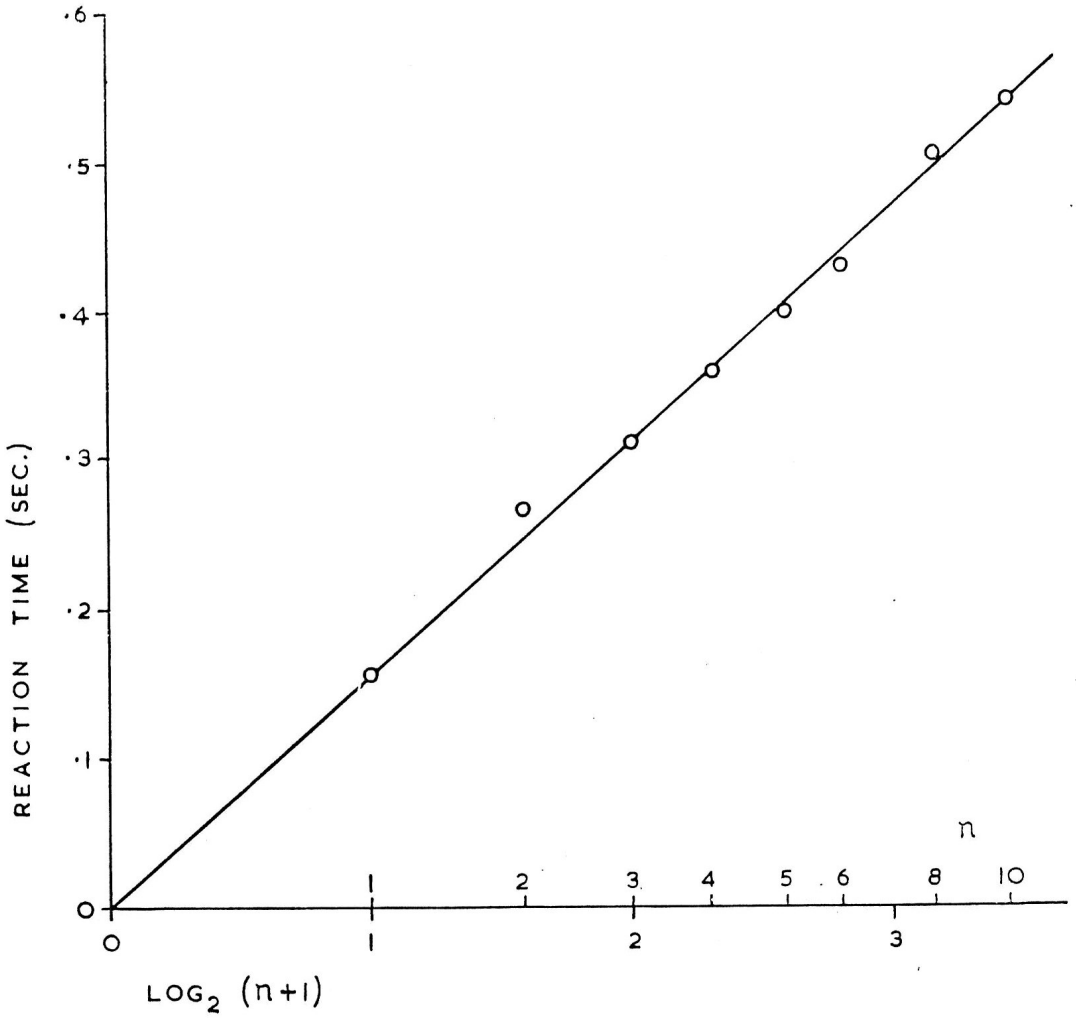


Figure 2. Data from a choice reaction experiment by Hick, plotted in terms of eqn. (1). The total number of reactions represented is over 2400, recorded after extensive practice.

n個のライトの下にボタンが配置されている。被験者は点灯したライトの下のボタンを押す。ライトの点灯確率は等しい。

【単純な認知処理】
例13：項目選択時間

【問題】

- □ 10の内線につながっている電話がある。
- □ 秘書は、ボタンが点灯して呼び出されたら、それを押して、電話に出る。
- □ 次の2つの場合を比較したとき、平均応答時間の差は何%だろうか。

1. 呼び出しが等確率
2. 2つの回線からの呼び出しが多く、それぞれ、50%、40%。残りの回線は等確率

0.1	□	□	0.1
0.1	□	□	0.1
0.1	□	□	0.1
0.1	□	□	0.1
0.1	□	□	0.1

0.5	□	□	.0125
0.4	□	□	.0125
.0125	□	□	.0125
.0125	□	□	.0125
.0125	□	□	.0125

【単純な認知処理】例13：項目選択時間

【解答】

$$T = I_C H$$

$$H = \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2\left(\frac{1}{p_i} + 1\right)$$

Case 1 $\cdots$ $p_i = 0.1$

$$H = 10 \times 0.1 \times \log_2\left(\frac{1}{0.1} + 1\right) = 3.46 \text{ bits}$$

Case 2 $\cdots$ $p_1 = 0.5$; $p_2 = 0.4$; $p_i = 0.0125$ $(3 \le i \le 10)$

$$H = 0.5 \times \log_2\left(\frac{1}{0.5} + 1\right) +$$

$$0.4 \times \log_2\left(\frac{1}{0.4} + 1\right) +$$

$$8 \times 0.0125 \times \log_2\left(\frac{1}{0.0125} + 1\right)$$

$$= 2.14 \text{ bits}$$

$$\frac{2.14}{3.46} = 62\%$$

不確定さの源によらず、Hickの法則は成り立つ

1. 等確率で生起（●）
2. 重み付けされた生起確率（■）
3. 順序に依存した生起確率（▲）
   例えば、P(#1|#1)=0.8, P(#2|#1)=0.2

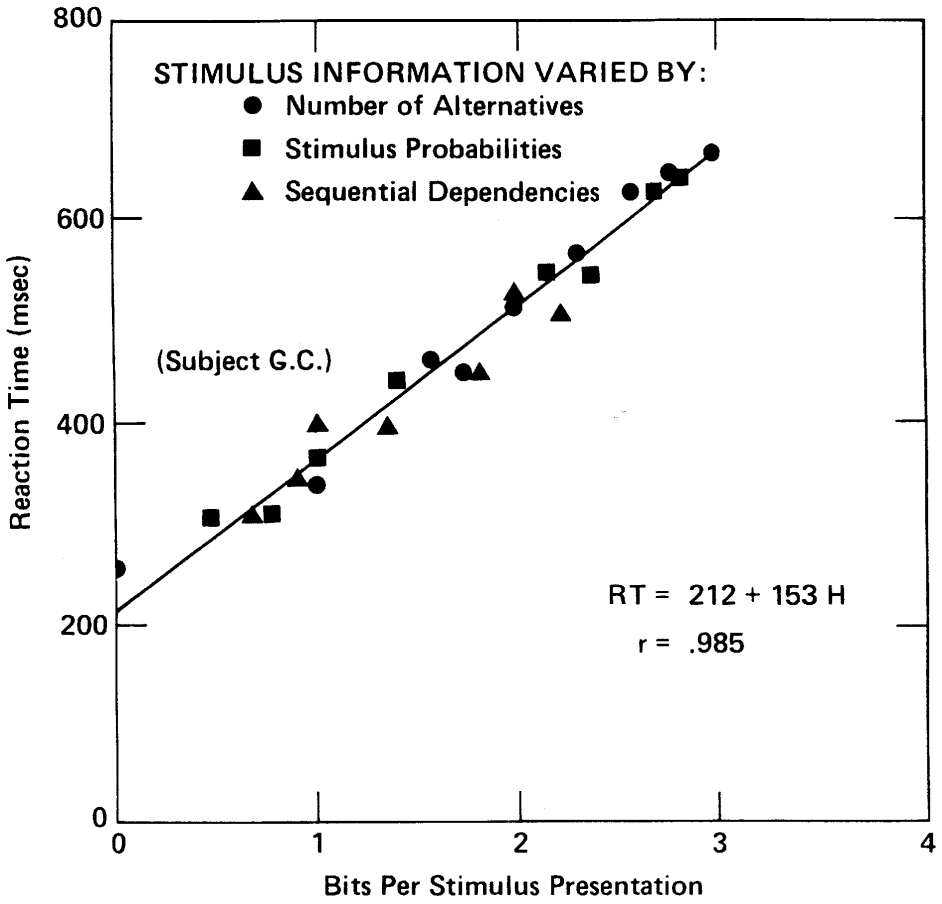


Figure 2.23. Choice reaction time for three different ways of manipulating the stimulus information *H*.
Data for a single subject. Hyman (1953, Figure 1, p. 192, subject G.C.).

【単純な認知処理】項目選択時間

【補足】

- 傾き
  - I_C=150 msec/bit（図2.23 ）
- ベース
  - C=170 msec = $\tau_P+\tau_M$
- 例13について、反応時間を予測できる
  1. 170 + 150 × 3.46 = 689 msec
  2. 170 + 150 × 2.14 = 491 msec

- 実際の場面に適用する場合の問題点
  - *H*の計算法が分からない場合がある
  - 入力と出力を結びつけるのに必要とされる認知的操作のステップ数が少なければ、I_Cは小さくなる
  - 認知的操作のステップ数：刺激反応適合性（Stimulus-Response Compatibility）

刺激反応適合性

- 知覚したことと、行わなければならないことが、適合している程度

【刺激と反応の対応付けと適合度】

- 交通信号を見る ⇒
  - 対応1
    - 青のとき「あお」という
    - 黄のとき「きいろ」という
    - 赤のとき「あか」という
  - 対応2 ・・・ 次の色
    - 青のとき「きいろ」という
    - 黄のとき「あか」という
    - 赤のとき「あお」という
  - 対応3 ・・・ 前の色
    - 青のとき「あか」という
    - 黄のとき「あお」という
    - 赤のとき「きいろ」という

- 適合度は、対応1 ＞ 対応2 ＞ 対応3

【学習と検索】

- ユーザの行動はこれまで説明してきたように単純ではない
- 理由
  - 環境が複雑：操作対象のシステムが複雑
  - 知識が関与：操作対象のシステムをどのように理解しているかに依存
- システムに関する知識、操作に関する知識がどのように獲得され、蓄積され、利用されるのか
- 知識の学習
  - 知識の獲得
  - 知識の格納（長期記憶）
- 知識の利用
  - 知識の検索

【学習と検索】
例14：獲得したての情報の忘却

- 崩壊時間

知覚記憶	作業記憶	長期記憶
0.2秒	7秒	∞
1	35	∞

- 検索特性は、情報が知覚されてからの経過時間の影響を受ける
  - 刺激入力後2~3秒後に検索：作業記憶 and/or 長期記憶
  - 刺激入力後2~3分後に検索：長期記憶

被験者は単語リストを覚えたのち、単語リストにあった単語を思い出す。順序はリストの順でなくて良い。リストの提示と、想起開始の間、復誦できないように、妨害課題が課される。

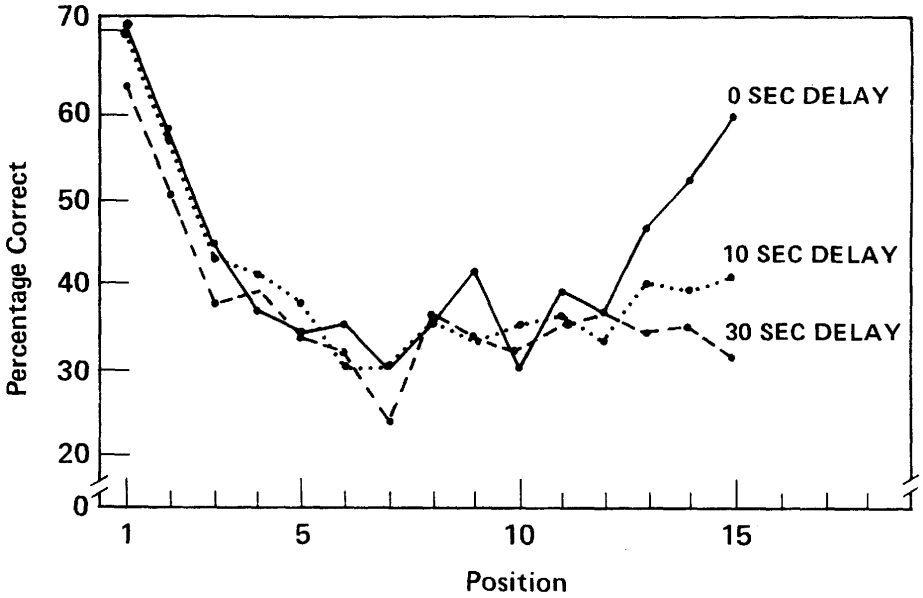


Figure 2.24. Probability of recalling a word from a list as a function of the position of the word in the list and of the delay before starting recall.
From Glanzer and Cunitz (1966, Figure 2, p. 358). Each point represents the mean for five lists and 46 subjects.

1. 最初の方の単語の再生率は、条件によらず、ほぼ、同じ。長期記憶からの再生が行われている。
2. 想起開始までの時間が長いと、<u>最後の方の単語</u>の再生率が落ちる。直後に再生する場合（0 sec delay）は、作業記憶からの想起が行われるので、再生率は高いが、時間を置いて再生する場合（10 or 30 sec delay）には、長期記憶への格納が阻害され、再生率が落ちる。

【学習と検索】
例14：獲得したての情報の忘却

【問題】

- プログラマーは、読み上げられるファイル名をシステムに入力しなければならない。ファイルの数は12である。また、ファイル名は、任意に選ばれた1音節単語である。

- 最も多くのファイル名を書き出すためには、どのような順序でファイル名を書き出せばいいだろうか。

【学習と検索】
例14：獲得したての情報の忘却

【解答】

- 12個の任意のファイル名
  ・・・12チャンク ＞ μ_{WM}
  ⇒ 全部を作業記憶に保持できない
  ⇒ いくつかは忘れる
- また、"ファイル名を思い出す"という行為により、現在、作業記憶に存在する項目に影響を及ぼす
- したがって、作業記憶にはあるが、長期記憶には移されていないファイル名から、書き出すのがよい
- 具体的には、読み上げられた順と逆にファイル名を書き出せばよい

【学習と検索】
例15：獲得したての情報の忘却

【問題】

- 例14において、名前が、任意でなく、規則を持っているとする。
  - INT1, INT2, INT3, INT4, PERF1, PERF2, PERF3, PERF4, SYSTEMS1, SYSTEMS2, SYSTEMS3, SYSTEMS4

- 最も多くのファイル名を書き出すためには、どのような順序でファイル名を書き出せばいいだろうか。

【学習と検索】
例15：獲得したての情報の忘却

【解答】

- この場合には、4チャンク
  - INT#,
    PERF#,
    SYSTEMS#,#={1,2,3,4}
- $4 < \mu_{WM}$
- したがって、どのように書き出しても差はない

【学習と検索】
例16：獲得したての情報の忘却

【問題】

- ファイル名、CAT と TXD をタイプ入力する場合を考える。
- プログラマーはファイル名を忘れる前に入力を始めたい。

- ファイル名を指示されてから、それを忘れずに入力するまでに許される遅れはどれくらいだろうか。

【学習と検索】
例16：獲得したての情報の忘却

【解答】

- TXDは無意味単語
  ⇒ 3チャンク
  ⇒ δ_{WM}(3 chunks)
  =7[5~34]sec
- CATは有意味単語
  ⇒ 1チャンク
  ⇒ δ_{WM}(1 chunk)
  =73[73~226]sec

- 有意味単語は無意味単語の10倍長く覚えていられる

【学習と検索】
記憶内の干渉（作業記憶、長期記憶）

- P3：弁別原理 ⇒ 記憶内に類似した項目があると想起が難しくなる

- 記憶システムによって、類似性のものさしが違う
  - 作業記憶・・・K＝聴覚符号
    聴覚的に似た項目と混同する
  - 長期記憶・・・K＝意味符号
    意味的に似た項目と混同する

【学習と検索】
例17：作業記憶における干渉

【問題】

- エラー表示の為に、有意味3字単語を記録用コードとして用いているシステムがある
  - 個々の単語は1チャンクなので、より多くのエラーコードを、覚えたり、書き留めることができる
  - 3文字なので、すばやく書きとめることが出来る
- システムがクラッシュしたとき、オペレータはディスプレイに表示されたコードを書き留めなければならない。表示されるコードは、最大5個である
- 書き写すエラーを最小にするには、コードの音韻的類似性、意味的類似性の、どちらに注意すればいいだろうか

【学習と検索】
例17：作業記憶における干渉

【解答】

- コードは表示直後に書き留められるので、その作業中は作業記憶に存在すると考えられる
- 作業記憶の情報は、聴覚符号により保持されている
- 書き留めエラーは、聴覚的類似性による相互干渉が原因
- したがって、音韻的類似性を避けるべき

作業記憶内干渉実験

- 音声で提示
  - MAD, MAT, MAN,MAP,CAP
  - 20秒
  - 再生（単語、順序）
  - ・・・

  - BIG,LONG,BROAD,GREAT,HIGH
  - 20秒
  - 再生（単語、順序）
  - ・・・

- ディスプレイ上に提示
  - MAD, MAT, MAN,MAP,CAP
  - 20秒
  - 再生
  - ・・・

	Experiment I (Spoken)				Experiment III (Visual)	
	Group A (*N* = 20)		Group S (*N* = 21)		Group AV (*N* = 10)	
	Acoustically Similar	Control	Semantically Similar	Control	Acoustically Similar	Control
Word Set	*mad, man, mat, map, cad, can, cat, cap*	*cow, day, far, few, hot, pen, sup, pit*	*big, long broad, great, high, tall, large, wide*	*old, deep, foul, late, safe, hot, strong, thin*	Same as Expt. I plus *cab, max*	Same as Expt. I plus *rig, day*
Percentage Correctly Recalled	10%	82%	65%	71%	2%	58%

Figure 2.25. Acoustic vs. semantic interference in Working Memory.
Subjects studied 25 five-word lists. The words in the lists were either acoustically similar, semantically similar, or unrelated (control condition). The numbers in the table are the proportion of lists recalled entirely correctly and in the proper order. Data of Baddeley (1966) as presented in Calfee (1975, Figure 17.6).

- 5単語のリストを覚え、20秒後に再生する
- 正答率
  - 聴覚的に類似、聴覚提示：10%
  - 聴覚的に類似、視覚提示：2%
  - 意味的に類似、聴覚提示：65%
  - 統制群：82%, 58%, 71%

【学習と検索】
例18：長期記憶における干渉

- 弁別原理（P3）：同じ手がかりで、複数の項目が想起されるとき、特定の項目の想起が難しくなる
  ↓
- 長期記憶により多くの項目が蓄積される ⇒ 古いチャンクの想起は難しくなる

- 実験室で単語リストを覚えた後、24時間後に想起される割合をプロットしている
- 16の研究を調査
- リストを覚える前に覚えていたリスト数を調べた
- 事前に学習されたリスト数の干渉が大きいことが分かる

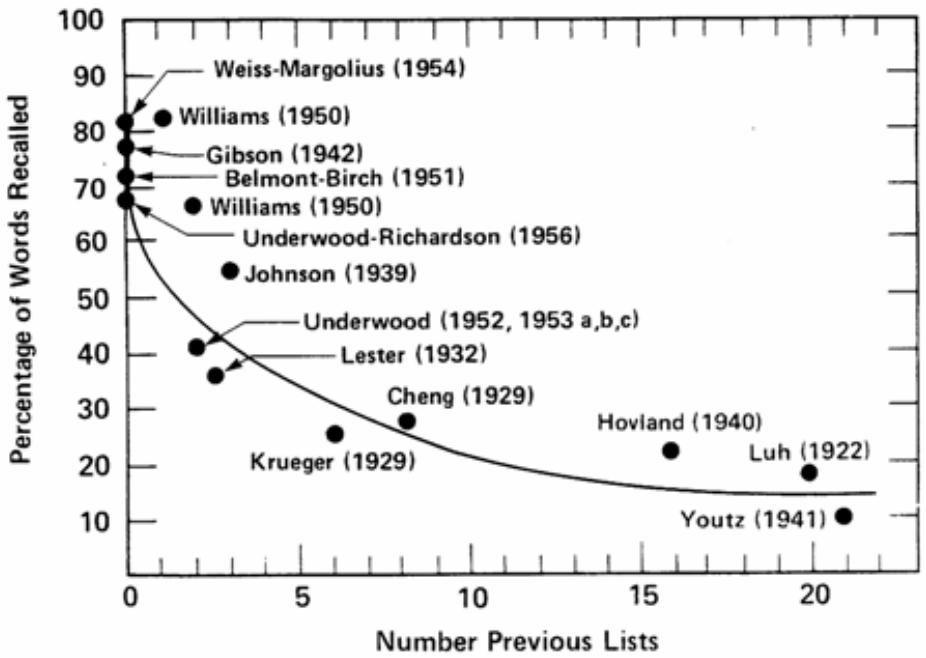


Figure 2.26. Interference of previously learned material with later learning.

Recall of serial lists 24 hours later as a function of number of previous lists learned. Revised version of Underwood (1957, Figure 3, p. 53).

【学習と検索】
例18：長期記憶における干渉

【問題】

- テキストエディタを学習しようとしている。
- コマンド名が以前のエディタと違っている部分がある
  - ERASE ⇔ DELETE
- 新しいエディタを学習することによって、以前のエディタのコマンド名を思い出すことが難しくなるだろうか

【学習と検索】
例18：長期記憶における干渉

【解答】

- YES
- 新しいエディタを学習すると、長期記憶に、以前のエディタのものと類似したチャンクが生成される。
- これらは、以前のエディタのコマンドを想起する際に、じゃまになる

- UnixユーザがDOSを学習した場合
  - 干渉するコマンド
    - ls, dir
    - rm, del

- ファイルを消去したいとき
  - 作業記憶
    - 目的：ファイルを消去したい
    - 環境：Unix ← DOSを学習する前は不要
  - 長期記憶
    - （目的+OS+コマンド）のチャンク：
      1. ファイルを消去する, Unix, rm ← こちらだけ検索したい
      2. ファイルを消去する, DOS, del

【学習と検索】
長期記憶の探索～探索ストラテジ

- 常に簡単に見つかるわけではない
- 時間に余裕があれば、戦略的に探す
  ・・・ 探索ストラテジ

- 「符号化特定性原理」にしたがって長期記憶に格納されている

- 符号化に用いられたもののなかに想起の手がかりがあるはず
- しかし、探索時には、なにが手がかりになるかは不明
- 手がかりと思われるものを作業記憶において、長期記憶から想起する
- 失敗したら、これを繰り返す

- 被験者は、高校を卒業して7年たった後に、クラスメイト600人の名前を思い出す。
- 10時間後でも、新しい情報を検索してきている
- 被験者の戦略：顔を次々と思い出す、パーティ、アルファベットを想起、なじみのある通りを歩き住人を思い出す、・・・

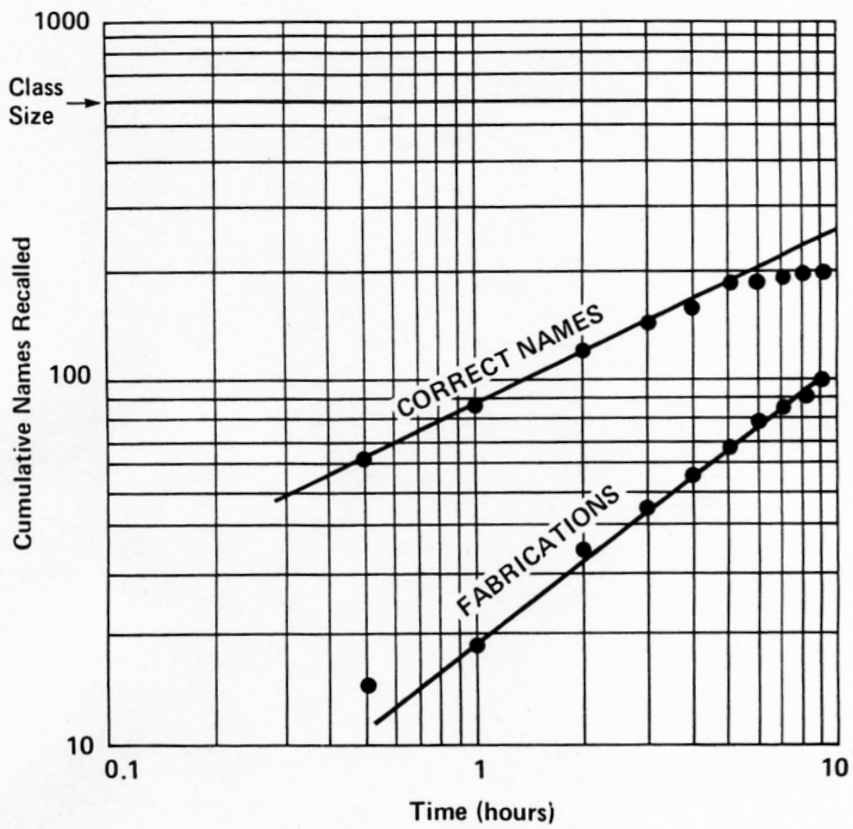


Figure 2.27. Recall of the names of high-school graduating class, seven years after being graduated.
Replotted data from Subject S1 in Williams and Hollan (1981).

長期記憶

- 容量は∞
- 忘却　＝　検索の失敗
  ≠　長期記憶からの消失
- インタラクティブな戦略的探索が必要
- 外部記憶的（電話帳、百科事典）