

# Implicit temporal tuning of working memory strategy during cognitive skill acquisition

Myeong-ho Sohn, Richard A. Carlson

American Journal of Psychology, 2003, Vol.116, No.2, pp.239-256

## 1 Introduction

### 1.1 認知スキルの調和について

- 熟練された認知スキルの特徴の一つとして、様々な要素的スキルを上手く調和の取れた形に組織化することが挙げられる。調和の取れた形を形成することで、認知スキル全体が円滑に、効率的に実行される。

例えば...

数字を計算するためには、作業記憶での情報の保持、情報の獲得が調和されることで、全ての情報は適切に一時的な関係を持つ。

すでに計算した結果を作業記憶で保持しながら、新しい計算を行う。

作業記憶で一時的に情報を保持する認知スキルの訓練を行うことにより、人間は作業記憶に必要な方略を学習することができるだろうか？

### 1.2 顕在的な時間制限

- 人は一定間隔で与えられる刺激のインターバルや、刺激-反応時間のインターバルなどの時間制限に適応し、一定の時間制限が変更されると、エラーや反応時間が増える（Grosjean, Rosenbaum & Elsinger, 2001）。
- Carlson & Stevenson（2003）の実験では、被験者は段階的な一連の計算を行い、答えを導き出す。それぞれのステップで被験者は、次のステップを表示するためにキーを押す。しかしキーを押すタイミングと刺激の表示には遅延があり、その結果、被験者は遅延時間に対応する必要がある。  
この実験の結果、遅延時間が長いと遅延時間が短いときよりも、人はキーを早く押すことが明らかにされた。

これらの実験から、人は認知課題における顕在的な時間制限を学習することができることがわかる。

### 1.3 潜在的な時間制限

- 顕在的な時間制限に関する研究は行われてきたが、日常生活における時間制限は多くの場合潜在的である。

- Parkman & Groen (1971) は、数が大きいほど1桁の足し算には時間がかかることを明らかにした。  
もし計算途中で作業記憶での情報の保持が必要であれば、数字の大きさによって情報を保持する時間が異なることになる。
- 人が計算において情報を保持する必要があるとき、計算を行う間に保持された情報は劣化している可能性がある (Towse, Hitch & Hutton, 2000)。  
特に作業記憶の負担が大きいとき、人は自分の計算速度による一時的な時間制限に対応する必要がある。作業記憶の負担による一時的な時間制限は、認知スキルを効率的に実行するための方略を必要とする。
- Wender & Carlson (1996) は、同一の問題構造で計算を訓練することが、作業記憶を扱うための効率的な方略の獲得につながると主張している。  
このような現象には、同一の一時的な時間制限を学習する効果も含まれていると考える。 = Implicit temporal tuning hypothesis

#### 1.4 計算課題について

- Implicit temporal tuning hypothesis を検証するために、Figure1 で示された計算課題を行う。この課題では、作業記憶に途中結果を保持しながら計算を行う必要がある。

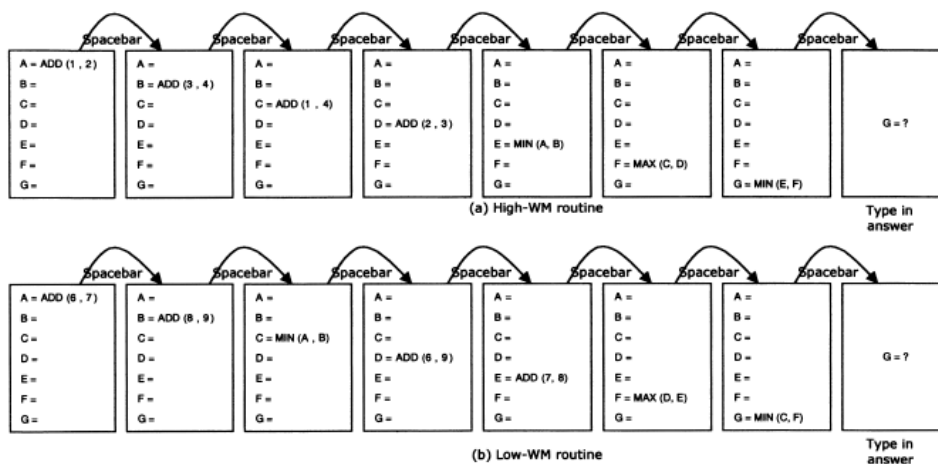


Figure 1. An example of the flow of events on a trial in Experiment 1

- 問題構造
  - high-WM routine - 1回の試行で、被験者は4つの足し算の計算結果を保持し、保持した数の比較を行う。
  - low-WM routine - 1回の試行で、被験者は2つの足し算の計算結果を保持し、保持した数の比較を行う。この作業を2度行う。

Table 1. Design of Experiments 1 and 2

Practice condition (between subjects)	Practice		Transfer
	Arithmetic routine	Digit set	Digit set/ Practice status
High/small- low/large	High WM demand	Small (1-4)	Small/practiced
	Low WM demand	Large (6-9)	Large/novel
	High WM demand	Large (6-9)	Small/novel
	Low WM demand	Small (1-4)	Large/practiced
High/large- low/small	High WM demand	Large (6-9)	Large/practiced
	Low WM demand	Small (1-4)	Small/novel
	High WM demand	Large (6-9)	Small/practiced
	Low WM demand	Small (1-4)	Large/novel

Note. WM = working memory.

- 数の大きさ
  - small digit - 1~4
  - large digit - 6~9

## 1.5 Implicit temporal tuning hypothesis での予測

- Implicit temporal tuning hypothesis では、同じ数の大きさを練習を繰り返し、特定の数の足し算に必要な時間の一時的な調整 (Implicit temporal tuning) が行われると考えられる。

異なる数の大きさを転移課題を行った時、一時的な調整が転移すると考えられる。特に high-WM/ large digit では、high-WM/ small digit で練習を行った被験者が最も素早く計算すると予測される。

high-WM/ small digit では、早い計算のペースに適応した一時的な調整が生成される。

low-WM の問題よりも high-WM の問題の方が、数の大きさの効果が大きいことが予測される。

大きな数の足し算では、計算速度が遅くなり、記憶保持時間が長くなることによって、計算、情報の保持、情報の獲得の調和をとる負担が増える。

作業記憶の負担が、low-WM の問題でより high-WM の問題で計算や記憶引き出しに大きな影響を与える。

## 2 Experiment 1

### 2.1 Method

#### 2.1.1 Task and procedure

- 被験者は、記号、問題構造、操作の説明を受け、スピードと正確さに関する注意が促される。
  - 記号
    - ADD - 足し算を行い、結果を後の操作のために保持する。
    - MAX - 2つの数を比較し、大きな方を選ぶ。
    - MIN - 2つの数を比較し、小さな方を選ぶ。

- Figure1 の 7 ステップ (A ~ G) からなる計算課題を行う。
- 問題の表示は被験者がスペースバーを押すか、1,000 ms で次のステップに切り替わる。
- 7 ステップを終えた後に "G = ?" が画面に表示され、最終結果を入力する。
- 練習課題は、1 ブロックにつき 24 試行を 7 ブロック行う。1 ブロック内の 24 試行は、前半の 12 試行と後半の 12 試行で異なる課題 (high-WM/small digit, low-WM/large digit または high-WM/large digit, low-WM/small digit) を行う。  
被験者が前半と後半で異なる問題であることに気づくよう区分けされている。
- 転移課題は、1 ブロックにつき 24 試行を 3 ブロック行う。1 ブロック内の 24 試行は、6 試行ごとに異なる数の大きさの課題 (small digit, large digit) を交互にランダムな順で行う。

### 2.1.2 Participants

- 大学生：35 人  
17 人 - high-WM/small digit, low-WM/large digit で練習を行う。  
18 人 - high-WM/large digit, low-WM/small digit で練習を行う。

## 2.2 Result

- 従属変数
  - 正答率
  - 比較ステップの時間 (数の大きさに影響を受けない)  
数字の比較は数の大きさではなく、比較する数の差に影響を受ける (Zbrodoff & Logan, 1990)。
  - 足し算ステップの時間 (数の大きさに影響を受ける)
- 分析方法
  - 練習課題  
2 (数の大きさ: large digit | small digit) × 7 (ブロック数: 1 ~ 7) の分散分析
  - 転移課題  
2 (練習条件: high-WM/small digit, low-WM/large digit | high-WM/large digit, low-WM/small digit) × 2 (数の大きさ: large digit | small digit) の分散分析

### 2.2.1 正答率

- high-WM/ 練習課題
  - small digit (.91) での正答率が large digit (.84) よりも高かった,  $F(1, 33)=7.86$ ,  $p < .01$ ,  $MSE=.03$ 。
  - ブロック数の主効果がみられた,  $F(6, 198)=10.51$ ,  $p < .0001$ ,  $MSE=.01$ 。
  - ブロック数と数の大きさに相互作用はみられなかった,  $p > .70$ 。
- high-WM/ 転移課題
  - small digit (.93) での正答率が large digit (.85) よりも高かった,  $F(1, 33)=20.40$ ,  $p < .01$ ,  $MSE=.005$ 。
  - ブロック数の主効果, ブロック数と数の大きさに相互作用はみられなかった,  $p > .20$ 。
- low-WM/ 練習課題
  - small digit (.87) での正答率が large digit (.83) よりも高かったが、有意な差はない,  $p < .06$ 。
  - ブロック数の主効果がみられた,  $F(6, 198)=5.14$ ,  $p < .01$ ,  $MSE=.01$ 。
- low-WM/ 転移課題
  - ブロック数の主効果, ブロック数と数の大きさに相互作用はみられなかった,  $p > .20$ 。

### 2.2.2 比較ステップの時間

- high-WM では練習課題で、ブロック数の主効果がみられた、 $F(6, 198)=78.14$ ,  $p < .0001$ ,  $MSE=154,859$  .
  - ブロック 1 (2,959 ms) ブロック 7 (1,313 ms)
- low-WM でも練習課題で、ブロック数の主効果がみられた、 $F(6, 198)=57.27$ ,  $p < .0001$ ,  $MSE=161,185$  .
  - ブロック 1 (2,599 ms) ブロック 7 (1,156 ms)
- high-WM , low-WM のどちらも数の大きさによる差はなかった、 $p > .20$  .

### 2.2.3 足し算ステップの時間/ 練習課題

- Figure2 では、足し算に要した平均時間が示されている .

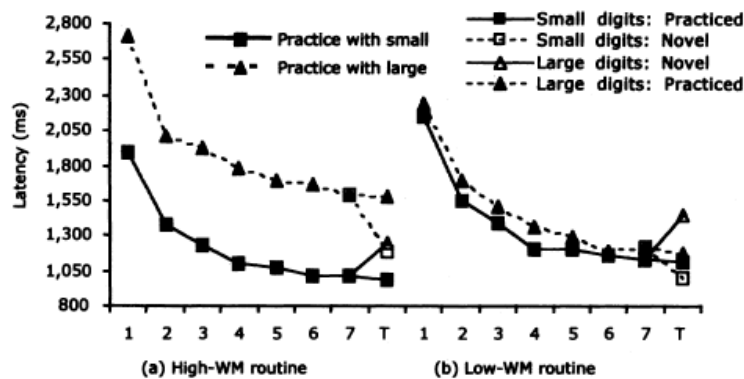


Figure 2. Mean addition latency as a function of practice and digit size with each routine in Experiment 1. The numbers in abscissa indicate practice blocks, and the letter *T* indicates transfer

- Table2 では、練習課題での最終ブロックの足し算に要した平均時間と、転移課題での足し算に要した平均時間が示されている .

Table 2. Mean accuracy and latency in the final practice block and transfer in Experiment 1

Practice condition	Final practice block		Transfer	
	Combination	Latency (accuracy)	Combination (practice status)	Latency (accuracy)
High WM/small-low/large	High WM/small	1,024 ms (.95)	High WM/small practiced	986 ms (.94)
			High WM/large novel	1,245 ms (.85)
	Low WM/large	1,224 ms (.85)	Low WM/small novel	998 ms (.92)
			Low WM/large practiced	1,178 ms (.88)
High WM/large-low/small	High WM/large	1,134 ms (.90)	High WM/small novel	1,195 ms (.92)
			High WM/large practiced	1,573 ms (.86)
	Low WM/small	1,589 ms (.91)	Low WM/small practiced	1,116 ms (.93)
			Low WM/large novel	1,446 ms (.92)

Note. WM = working memory.

- high-WM

- 数の大きさに有意な差がみられた,  $F(1, 33)=17.43$ ,  $p < .01$ ,  $MSE=1,557,359$ .
- ブロック数の主効果がみられた,  $F(6, 198)=45.58$ ,  $p < .0001$ ,  $MSE=64,367$ .
  - \* ブロック 1 (2,320 ms)    ブロック 7 (1,308 ms)
- ブロック数と数の大きさに相互作用はみられなかった,  $p > .70$ .

- low-WM

- low-WM ではブロック数の主効果のみに有意な差がみられた,  $F(6, 198)=48.62$ ,  $p < .0001$ ,  $MSE=96,261$ .
  - \* ブロック 1 (2,194 ms)    ブロック 7 (1,178 ms)

- high-WM で数の大きさに有意な差がみられ,  $t(33)=4.18$ ,  $p < .05$ , low-WM では差はみられなかった,  $p > .5$ .

Implicit temporal tuning hypothesis では, 作業記憶の方略を情報を保持する時間 (= 計算を行う時間) に適応する必要がある. 作業記憶の負担が高いほど, 適応する必要性が高くなるのではないだろうか.

#### 2.2.4 足し算ステップの時間/ 転移課題

- 練習条件に主効果がみられた,  $F(1, 33)=4.99$ ,  $p < .05$ ,  $MSE=252,863$ .
  - high-WM/ small digit で練習 (1,115 ms), high-WM/ large digit で練習 (1,384 ms).
- 数の大きさに主効果がみられた,  $F(1, 33)=43.07$ ,  $p < .0001$ ,  $MSE=41,138$ .
  - small digit (1,093 ms), large digit (1,413 ms)
- high-WM/ large digit では, high-WM/ small digit で練習を行った被験者 (1,245 ms) は, high-WM/ large digit で練習を行った被験者 (1,573 ms) よりも計算が早い  $t(33)=2.08$ ,  $p < .05$ .
- low-WM では, low-WM/ large digit で練習を行った被験者 (1,088 ms) は, low-WM/ small digit で練習を行った被験者 (1,281 ms) よりも計算が早い. しかし有意な差はみられなかった,  $p > .10$ .

### 2.3 Discussion

- Implicit temporal tuning hypothesis で予測されたように, high-WM では, 被験者は大きな数で練習課題を行い, 大きな数で転移課題を行うよりも, 小さな数で練習課題を行い, 大きな数で転移課題を行った方が計算が速くなることが確認された.
- Implicit temporal tuning hypothesis で予測された数の大きさの効果は high-WM では確認されたが, low-WM では確認されなかった.
  - low-WM では, 作業記憶の負担が低いので, 数の大きさによる一時的な制限への調整を行う必要性が低いのではないか?

## 3 Experiment2

- 実験 1 では large digit での計算結果は 2 桁となり, small digit では 1 桁となっていた.
  - 計算時間が増すのは, 作業記憶への負担ではなく, inner speech により時間が増すからではないか.
  - high-WM, low-WM のどちらでも 2 桁の数から課題を開始させる.

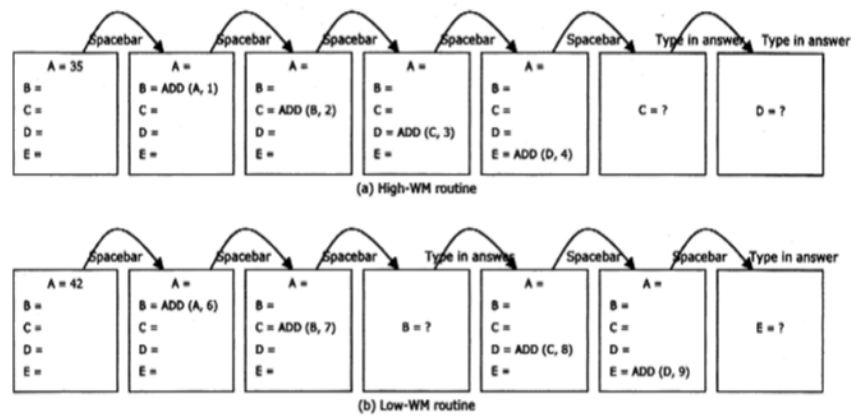


Figure 3. An example of the flow of events on a trial in Experiment 2

- 実験 1 より，low-WM の問題より high-WM の問題で数の大きさの効果は大きくなると予測される。
- Implicit temporal tuning hypothesis が正しければ，実験 1 の結果は単なる数の大きさの効果や練習の効果だけではなく，問題構造と数の大きさの組み合わせにより，計算時間への一時的な調整が転移するといえる。

## 3.1 Method

### 3.1.1 Task and procedure

- 実験 1 と同じ課題を用いる．比較を行うステップは結果を入力するステップに変更されている。
- 最初のステップで表示される 2 桁の数は 21 ~ 59 の数で開始する。
- 練習課題を 6 ブロック，転移課題を 2 ブロック行う。

### 3.1.2 Participants

- 大学生：27 人  
14 人 - high-WM/small digit，low-WM/large digit で練習を行う。  
13 人 - high-WM/large digit，low-WM/small digit で練習を行う。

## 3.2 Result

- 従属変数
  - 正答率
  - 回答時間
- 分析方法
  - 実験 1 と同じ。

3.2.1 正答率

- low-WM では練習課題，転移課題のどちらでも，数の大きさとブロック数の交互作用，主効果はみられなかった．
- high-WM の練習課題では，small digit (.61) での正解率が large digit (.42) よりも高かった， $F(1, 25)=9.71, p < .01, MSE=.16$ ．更にブロック数の主効果もみられた， $F(5, 125)=4.81, p < .01, MSE=.02$ ．交互作用はみられなかった， $p > .30$ ．
- high-WM の転移課題では，small digit (.61) での正解率が large digit (.48) よりも高いが，有意な差はみられなかった， $p < .06$ ．
- 転移課題では，練習条件の主効果がみられた， $F(1, 25)=27.72, p < .0001, MSE=.01$ ，しかし数の大きさととの交互作用はみられなかった， $p > .70$ ．

3.2.2 回答時間/ 練習課題

- Figure4 では，平均回答時間が示されている．

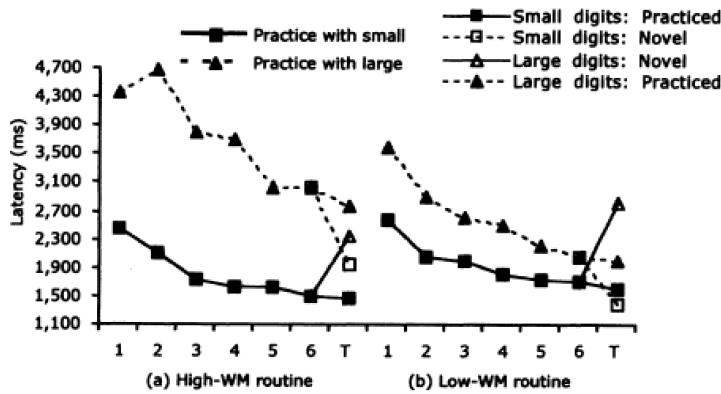


Figure 4. Mean addition latency as a function of practice and digit size with each routine in Experiment 2. The numbers in abscissa indicate practice blocks, and the *T* indicates transfer

- Table3 では，練習課題での最終ブロックの平均回答時間と，転移課題での平均回答時間が示されている．

Practice condition	Final practice block		Transfer	
	Combination	Latency (accuracy)	Combination (practice status)	Latency (accuracy)
High/small-low/large	High WM/small	1,491 ms (.67)	High WM/small practiced	1,469 ms (.69)
			High WM/large novel	2,347 ms (.53)
	Low WM/large	2,045 ms (.79)	Low WM/small novel	1,402 ms (.86)
			Low WM/large practiced	2,003 ms (.82)
High/large-low/small	High WM/large	3,034 ms (.43)	High WM/small novel	1,941 ms (.55)
			High WM/large practiced	2,745 ms (.41)
	Low WM/small	1,704 ms (.84)	Low WM/small practiced	1,605 ms (.81)
			Low WM/large novel	2,822 ms (.73)

Note. WM = working memory.



- high-WM
  - 平均回答時間は, small digit (1,840 ms)の方が large digit (3,768 ms)より早い,  $F(1, 25)=30.60, p < .0001, MSE=4,914,304$ .
  - ブロック数の主効果がみられた,  $F(5, 125)=16.30, p < .0001, MSE=406,455$ .
    - \* ブロック 1 (3,364 ms) ブロック 6 (2,234 ms)
  - 数の大きさとブロック数の交互作用がみられた,  $F(5, 125)=2.96, p < .05, MSE=406,455$ .
- low-WM
  - 平均時間は, small digit (1,981 ms)の方が large digit (2,644 ms)より早い,  $F(1, 25)=9.93, p < .01, MSE=1,788,142$ .
  - ブロック数の主効果がみられた,  $F(5, 125)=51.37, p < .0001, MSE=101,298$ .
    - \* ブロック 1 (3,111 ms) ブロック 6 (1,881 ms)
  - 数の大きさとブロック数の交互作用がみられた,  $F(5, 125)=3.91, p < .01, MSE=101,298$ .
- high-WMの問題で数の大きさに有意な差がみられた,  $t(25)=5.53, p < .0001$ . 実験1ではみられなかったが, ここでは low-WMでも有意な差がみられた,  $t(25)=3.15, p < .01$ . 数が大きい問題ほど作業記憶に負担がかかり, より複雑な方略を要することを示している.

### 3.2.3 回答時間/ 転移課題

- high-WMでは, high-WM/ small digitで練習を行った被験者(1,696 ms)は, high-WM/ large digitで練習を行った被験者(2,558 ms)よりも計算が早い,  $F(1, 25)=28.65, p < .0001, MSE=349,125$ . しかし, 練習条件との交互作用はみられなかった.
- low-WM/ large digitで練習を行った被験者(1,702 ms)は, low-WM/ small digitで練習を行った被験者(2,213 ms)よりも計算が早い,  $F(1, 25)=12.29, p < .01, MSE=286,315$ .
- low-WMでは, small digit (1,500 ms)での回答時間が large digit (2,398 ms)よりも早い,  $F(1, 25)=93.65, p < .0001, MSE=119,001$ .
- ブロック数と数の大きさに交互作用がみられた,  $F(1, 25)=10.75, p < .01, MSE=119,001$ .
- low-WM/ large digitの問題は, low-WM/ large digitを練習した被験者が早く回答したが, low-WM/ small digitの問題は, low-WM/ large digitを練習した被験者が早く回答した.

## 3.3 Discussion

- 数の大きさの効果が low-WM よりも high-WM で大きかった.
- 数の大きさの効果, 練習の効果だけでは転移課題でのパフォーマンス向上を説明できない.
- 実験1でもみられたように, high-WM/ large digitの問題は, high-WM/ small digitで練習を行った被験者は, high-WM/ large digitで練習を行った被験者よりも計算が早い. 数字の小さい方が大きい方よりも, 素早く調整をおこなうことができる. 計算プロセスの負担が一時的な調整に関係しているのかもしれない.

## 4 General Discussion

- high-WMの問題では, 作業記憶の方略が計算に必要な時間に適応された. = Implicit temporal tuning  
この現象は実験1, 2のどちらでもみられた.
- 作業記憶の負担が少ない low-WMの問題では, Implicit temporal tuningの影響はみられなかった.
- 人の認知は時間に関する制限を受けており, Implicit temporal tuningのような人の能力に関する研究は重要である. 認知プロセスをわずかな制限に適応させた結果, どのように認知スキルを増すことができるのか研究することは重要であり, 興味深い.