

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

## The Effects of Informational Complexity and Working Memory on Problem-Solving Efficiency.

Asia Pacific Education Review, 9(4), 464–474.

### 1. アブストラクト

- 本研究では、情報の複雑性(抽象的/具体的)と WMC(ワーキングメモリの容量)が問題解決の効率に与える影響を検討した。
  - ✓ 予測①：情報の複雑さが問題解決の効率に影響を与える。
  - ✓ 予測②：WMC が問題解決の効率に影響を与える。
- 結果、問題の複雑性は問題解決の効率に影響を与えたがWMCは問題解決の正確性や効率に影響しなかった。

### 2. Introduction

- 教育目標を達成するために教師が用いる方法の一つに、生徒を問題解決に参加させることがある。(Foshay & Kirkley, 2003)
  - ✓ 問題解決は高次の思考を促進。(Mayer, 2008)
  - ✓ 問題解決のモデルにおいては、問題解決は以下のような定義された認知的順序によって行われるとされる。(Bransford & Stein, 1984; Mayer, 2008; Newell & Simon, 1972; Polya, 1957)
    - ◆ 問題を表象し、
    - ◆ 解決策を探し、
    - ◆ 解決策を実行する。
  - ✓ しかし、問題解決課題は、精神的な負担が大きく、時間を多く消費することがある。
- 更に、教育の時間は限られており、教師は限られた時間の中で高次の思考を促すような課題を与えなければいけない。
  - ✓ その結果、生徒は限られた時間の中で厳しい問題解決課題をこなすことが求められる。(Slavin, 2006)
  - ✓ このような方法では、認知的負荷や精神的資源の非効率な使用を招く恐れがある。(Mayer & Moreno, 2003)
- ◇ 以上から、問題解決課題の複雑さが問題解決の正確さと効率にどのように影響するか理解する必要がある。

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

- 問題解決に影響を与える要因は2つある。
  - ✓ 学習すべき情報の複雑さ。(Mayer & Moreno, 2003; Pas, Renkl, & Sweller, 2003; Sweller, 1994)
  - ✓ WMCなどの学習者の特性。(Baddeley, 1998; Baddeley & Logie, 1999; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999)
    - ◆ WMとは、活性化された記憶要素として情報をまとめて整理、保存、処理する限られた容量の能力である。(Engle et al., 1999)
    - ◆ 問題解決のためには、様々な情報の間の関係を調整するためにWMを使用する必要がある。(Fleck, 2008)
- ◇ 学習する情報の複雑性とWMCは、**問題解決の効率**に影響すると考えられる。
  - **問題解決の効率**とは、問題を解くのに使った時間に対して、正しく解けた問題数のことである。(Mory, 1992)
    - ◆ 例えば、2分間で6つの問題を正答した場合、 $6/2$ で商(効率性)は「3」。
    - ◆ 商が大きいほど効率が良く、商が小さいほど効率が悪いと判断される。
  - 問題解決の効率を測る手段として、syllogism(三段論法、以下英語で記述する)を使用した。
    - ◆ syllogismとは、大前提と小前提、そして結論からなる形式的な演繹的スキームである。(Copeland, 2006)
  - 本研究で、参加者は具体的な syllogism(複雑でないもの)と抽象的な Syllogism(複雑なもの)の妥当性について、時間をかけて判断した。
  - Syllogismを選んだ理由は以下3点である。
    - ✓ Syllogismの妥当性を判断することは、多くの問題解決課題に含まれる演繹的推論を伴うため。
    - ✓ 抽象度の異なる Syllogismの妥当性判断は、WM資源に対する処理の要求度が異なり、問題解決の効率に影響を与える可能性があるため。(Copeland & Radvansky, 2004; Johnson-Laird, 1999)
    - ✓ 問題解決プロセスにおける背景知識の役割が低いから。
  - これまでの研究で、学習すべき情報の複雑さが問題解決課題のパフォーマンスに影響することが知られている。(Anderson, 1987; Bruning, Schraw, Norby, & Ronning, 2004)
  - また、具体的な Syllogism に対して、抽象的な Syllogism は情報の複雑性が増すことが知られている。(Bucciarelli & Johnson-Laird, 1999; Johnson-Laird, 1983)

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

【具体的な Syllogism】

- ・ All firefighters are brave. (すべての消防士は勇敢だ)
- ・ Some firefighters are heroes. (一部の消防士はヒーローである)
- ・ Therefore: some heroes are brave. (一部のヒーローは勇敢だ)

【抽象的な Syllogism】

- ・ Few X are Y. (少数の X は Y である)
- ・ All Z are X. (すべての Z は X である)
- ・ Therefore: Few Z are X. (少数の Z は X である)

◇ 演繹的スキームの情報が抽象的になればなるほど、問題解決者は身近に関連する知識を使用することができなくなるため、Syllogism を解くことが困難になる。

✓ Syllogistic(三段論法)推論のメンタルモデルアプローチと一致する。(Johnson-Laird & Byrne, 1991)

➤ また、抽象的 Syllogism を解くには、抽象的な表現を意味のある具体的な表現に変換する必要がある。

➤ 一方、WMC は限られており、心的表象に多くのリソースを割いた場合、推論のために使用できるリソースは少なくなる。(Quayle & Ball, 2000)

✓ エラー率が増加し、Syllogism を解くのに必要な時間も増加する。(Byrne, Johnson-Laird, & Tabossi, 1989; Schaeken, De Vooght, Vandierendonck, & d'Ydewalle, 2000; Vandierendonck, De Vooght, Desimpelaere, & Kierckx, 2000)

➤ したがって、複雑性の低い(具体的な)Syllogism は、複雑性の高い(抽象的な)Syllogism よりも、処理要求が少なくなる。

➤ また、WMC の高い人は、問題解決課題で高いパフォーマンスを示し、WMC と処理速度は正の相関を示す。

➤ 同様に、WM は複雑な言語課題への有効性・課題に費やせる認知リソース量・問題解決戦略の使用・問題解決の成功などと関連する。

◇ これらの要素は、個人が情報を効率的に処理する能力に影響を与える可能性がある。

➤ 情報の複雑さと WMC が問題解決の効率にどのように影響するかについて検討した研究は限られる。しかし、教室の場では、時間的制約があるため効率性が重要となる。

◇ よって、本研究では、情報の複雑性と WMC が問題解決の効率に与える影響を検討した。

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

### 3. The Present Study

- 本研究の目的は、情報の複雑性と WMC が問題解決の精度と効率にどのように影響するかを調べることである。
  - ✓ 情報の複雑性は、Syllogism の抽象度(高低)を変えることで操作した。
    - ◆ 15 個の具体的な真 or 偽の Syllogism
    - ◆ 15 個の抽象的な真 or 偽の Syllogism
  
- The situational efficiency hypothesis (以下、状況効率仮説と訳す)：  
問題解決効率は、情報の複雑性や WMC といった状況的制約の関数として変化する。
  - ✓ 本研究では、状況効率仮説の二つの予測を検証した。
    - ① 情報の複雑さが問題解決の効率に影響を与える。
      - 情報の複雑さが増すと、問題解決により多くの時間を費やす必要が出てくるため、効率が低下する。
    - ② WMC が問題解決の効率に影響を与える。
      - WMC が高いと、その人は任意の時点でより多くの情報が処理できるため、効率が增加する。
  
- 本研究によって、教材の特性(情報の複雑さ)と学習者の特性(WMC)の間の複雑な関係を理解することができる。
  - ✓ 情報の複雑さが低く、ワーキングメモリのリソースが高い場合、問題解決の効率は最大化されるだろう。
  - ✓ 情報の複雑さが高く、ワーキングメモリのリソースが少ない場合、効率は最小になるだろう。

### 4. Method

#### I. Participants

- ✓ 学部生 43 名が参加(男性 13 名、女性 30 名)
- ✓ WMC(高/中/低)×Syllogism(具体的/抽象的)の 3×2 の金剛モデル分散分析を行った。
  - ◆ ワーキングメモリの変数は「被験者間」
  - ◆ Syllogism のタイプの変数は「被験者内」

#### II. Materials

- ✓ WM 課題として、文字列を再生する課題を使用。
  - ◆ アルファベット 4~6 文字の文字列をオーディオで再生。
  - ◆ 全部で 15 問。

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

- ◆ 参加者は、文字を記憶し、指定されたタイミングで提示された順にアルファベットを解答用紙に再生するように求められた。
- ◆ 各文字列で、正しいアルファベット順で再生できた文字1つにつき1点とした。
- ✓ 主に、音韻ループを測定する課題であり、中央実行系(注意機能)は測定しない。
- ✓ 音韻ループが Syllogism 推論に関係するためこの課題を使用する。(Gilhooly, Logie, & Wynn, 1999)
  
- ✓ 本研究で作成された Syllogism は付録に掲載。
  - ◆ 具体的な Syllogism と抽象的な Syllogism をそれぞれ15個ずつランダムに提示。
  - ◆ 最初の2問は練習項目であり、分析には含めなかった。

### III. Procedure

- ✓ WM 課題を最初に行った。
- ✓ 続いて、PCを用いて Syllogism 課題を行った。
  - ◆ 練習問題2問
  - ◆ 本番課題30問(抽象15問/具体15問)
  
- WM 課題の成績はポイント化され、その成績で高 WMC・中 WMC・低 WMC の3グループに分割された。
- Syllogism 課題では、課題の正答数・課題の完了時間・課題の効率性(正答数/完了時間)が計測された。

### 5. Results

- WMC と、Syllogism のタイプの間には相互作用はなく、WMC の主効果も見られなかった。また、Syllogism のタイプにおいて、主効果が見られた。
  - ✓ 等分散の仮定の検定を満たしている。
  - ✓ すべての従属変数の平均値と標準偏差は条件ごとに表1~3に示した。
  
- WM 課題のスコアは、1~14 で平均値は8.43、標準偏差は3.49。

#### 【問題解決の正確性に関して】

- 3(WMC:高/中/低)×2(Syllogism のタイプ:具体/抽象)の混合モデル ANOVA を用いて分析された。
  - ✓ ワーキングメモリの変数は「被験者間」

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

- ✓ Syllogism のタイプの変数は「被験者内」
- Syllogism のタイプに対する主効果は、有意傾向( $F(1, 40) = 3.53, MSE = 1.89, p < 0.07$ )。
  - ✓ 抽象的な Syllogism( $M = 12.14, SD = 1.67$ )は、具体的な Syllogism( $M = 11.60, SD = 1.67$ )よりも高い精度で解かれた。
  - ✓ Syllogism のタイプによる効果量は中程度であった( $\eta^2 = .081$ )

#### 【問題解決時間に関して】

- 3(WMC : 高/中/低) × 2(Syllogism のタイプ : 具体/抽象)の混合モデル ANOVA を用いて分析された。
- Syllogism のタイプに対する主効果が見られた( $F(1, 40) = 40.941, MSE = 2.09, p < 0.001$ )。
  - ✓ 抽象的な Syllogism の問題解決時間( $M=14.25$  秒、 $SD=3.90$ )は、具体的なもの( $M=12.25$  秒、 $SD=3.29$ )より長かった。

#### 【問題解決効率性に関して】

- 3(WMC : 高/中/低) × 2(Syllogism のタイプ : 具体/抽象)の混合モデル ANOVA を用いて分析された。
- Syllogism のタイプに対する主効果が見られた( $F(1, 40) = 11.259, MSE = 2.50, p < 0.005$ )。
  - ✓ 抽象的な Syllogism の問題解決時間( $M=14.25$  秒、 $SD=3.90$ )は、具体的なもの( $M=12.25$  秒、 $SD=3.29$ )より長かった。
  - ✓ 抽象的な Syllogism( $M = .90, SD = .22$ )より、具体的な Syllogism( $M = 1.01, SD = .32$ ) を解いたときの方が効率性が高くなる(効率的に解く)。
    - ◆ 問題の難易度が下がると、問題解決に使用する時間が短くなったために、具体的な Syllogism を解くときの方が効率性が高くなったと考えられる。
- 具体的/抽象的 Syllogism の両方について Partial  $\eta^2$ (偏イータ 2 乗)を計算し、問題解決の効率性が Syllogism のタイプにどのような割合で起因するか検討した。
- 問題解決効率の分散のうち、22%が Syllogism のタイプによるものであることが分かった。(Partial  $\eta^2 = .22$ )

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

Table 1  
Means and Standard Deviations for Performance Measure by Group

	Concrete syllogisms		Abstract syllogisms		Participants
	Mean	SD	Mean	SD	
WMC					
High	11.38	1.39	12.46	1.45	13
Medium	11.87	1.55	12.40	1.72	15
Low	11.53	2.06	11.60	1.76	15
Total	11.60	1.67	12.13	1.67	43

Table 2  
Means and Standard Deviations for Time Measure (in milliseconds) by Group

	Concrete syllogisms		Abstract syllogisms		Participants
	Mean	SD	Mean	SD	
WMC					
High	11.60	2.31	13.57	2.91	13
Medium	12.40	3.23	14.70	4.16	15
Low	12.67	4.10	14.39	4.52	15
Total	12.25	3.29	14.25	3.90	43

Table 3  
Means and Standard Deviations for Efficiency Measure by Group

	Concrete syllogisms		Abstract syllogisms		Participants
	Mean	SD	Mean	SD	
WMC					
High	1.11	.232	.95	.210	13
Medium	1.03	.351	.88	.188	15
Low	1.01	.385	.87	.268	15
Total	1.02	.325	.90	.222	43

## 6. Discussion

- ◇ 本研究の目的は、情動的複雑性と WMC が問題解決効率に影響を与えるかどうかを検討することであった。
  - ✓ 第一の予測は支持された。
    - ◆ つまり、情報の複雑性が問題解決効率に影響を与える。
  - ✓ 第二の予測は支持されなかった。
    - ◆ つまり、WMC が問題解決効率に影響を与えるとは言えなかった。
- 第一の予測は、問題解決効率が情報の複雑性によって 2 つの点で影響を受けたこと

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

から、支持される。

- ✓ 情報の複雑性が問題解決の正確性に影響を与えた。
  - ◆ 抽象的な Syllogism は具体的な Syllogism よりも高い精度で解決された。
- ✓ 情報の複雑性が問題解決時間に影響を与えた。
  - ◆ 抽象的な Syllogism を解くのにかけた時間は、具体的な Syllogism を解くのにかけた時間よりも多かった。

➤ また、効率性スコアを比較すると、抽象的な Syllogism より具体的な Syllogism の方が短時間で効率的に解けることが分かった。

- ✓ 情報の複雑性が低い Syllogism は比較的少ない労力で解けることを反映。
- ✓ 情報の複雑性を減らすことで問題解決の効率が上がることを示唆。

➤ WMC のデータは、問題解決の正確さや問題解決時間に影響を与えなかった。

➤ この結果を説明するのに2つの可能性が考えられる。

- ✓ Syllogism によって与えられる負荷が、利用可能な WMC を越えなかったため。
  - ◆ 例えば、WMC とテキスト処理を調べた研究では、ワーキングメモリの低い読者と高い読者の違いは、読書タスクの要求が利用可能なリソースを超えた場合にのみ見られる。(Linderholm & Van de Broek, 2002; Just & Carpenter, 1992)
- ✓ 今回測定した WMC は主に音韻ループに関するものであり、Syllogism を解く際に使用される認知プロセスを十分に予測するもの出なかったため。
  - ◆ 今回測定されなかった WM の中央実行系の機能によって、説明される可能性がある。

➤ 本研究の結果は、WM が Syllogism 推論に影響を与えるとした Quayle and Ball (2000) の研究結果と一致しなかった。

◇ Quayle and Ball (2000) の解釈は、信念バイアス(実世界の知識が解答にバイアスをかける)が Syllogism に影響を与えるという過程に基づく。

➤ 異なる結果が出た理由として、2つ考えられる。

- ✓ 用いた Syllogism の種類が違った。
  - ◆ 先行研究の Syllogism は文脈に沿ったものであった(知識が利用可能だった)。
  - ◆ 一方、本研究で用いたものは、文脈的に中立であった。
- ✓ また、WM 課題が先行研究で用いたものとは異なったものを使用した。

➤ 本研究は、情報の複雑さと効率の間にはトレードオフの関係があることを示した。

- ✓ 問題の複雑性が高く、より多くのリソースを必要とする課題は、より深い処理を

Hoffman, McCrudden, Schraw, & Hartley (2008).

促して問題解決の精度を高める一方で、効率性を低下させる可能性がある。

- ◆ 時間的制約がある場合には、より簡単な課題の方が効率的に解かれる。
- ◆ 一方、時間的制約がないような状況では、複雑性が高いほど優れたパフォーマンスを得られる可能性がある。

☆ 今回の研究では、抽象的な Syllogism を用いた方が問題解決の精度が高く、具体的な Syllogism を用いた方が効率的であることが示された。

- ✓ 教育の場において、学習の効率化が第一の目的でない限り、教材の複雑性を減らすことは必ずしも最適ではない。(複雑性を減らすことで学習量が減る可能性があるため)
- ✓ 教育者は、教育上の決定を行う際に「複雑な情報は、学習に時間がかかっても、よりよく学習される」ということを考慮する必要があるだろう。