

Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational psychology review*, 22(2), 123-138.

- これまでの認知負荷研究における定義
  - 課題内在性負荷: 情報の本質的な複雑さに関連する。
  - 課題外在性負荷: 教材のデザインに関連する。
  - 学習関連負荷: 知識の吸収に関連する。
- 課題内在性負荷を説明するメカニズムとして、要素の相互作用(Element interactivity)が長期にわたって詳しく検証されてきた。
- 課題外在性負荷・学習関連負荷を説明するメカニズムは、これまでの研究での課題によって異なる説明がされ、統一された理論的言語で明確な説明がされてこなかった(Beckmann 2010; Schnotz and Kurschner 2007)。
- その結果、認知負荷のカテゴリー間の関係について、誤解や矛盾が発生しつつある。
- 本論文では、認知負荷のカテゴリー分けについて統一的な定義を行い、上記の課題に取り組む。

## 課題内在性負荷と要素の相互作用

- ある課題における課題内在性負荷のレベルは、要素の相互作用のレベルによって決定される。
- 要素とは、学習される必要のあるもの。
  - 例: 概念や手順
- 低レベルな要素の相互作用: 個々の要素を参照せず、要素を個別に学習できる。
  - 要素が多く課題が難しくても、要素間の関連が少なければワーキングメモリへの負荷は低い。
  - 例: 銅の化学式の学習 (鉄の化学式の学習とは独立)。
- 高レベルな要素の相互作用: 要素が相互に関連し複雑であり、独立して学習できない。
  - 例: 「 $\frac{a+b}{c} = d$  を  $a$  について解け」という問題では、全ての文字(要素)が相互に関連し、ワーキングメモリ上にて同時に処理されるので、負荷が高い。
- 要素の相互作用のレベルは、関連する要素の数を推定することで決定される。
- その推定の際には、情報の性質や学習者の知識を考慮しなければならない。
  - 例: 文字を読み始めたばかりの場合は文章の中の文字の 1 つ 1 つが要素となるが、慣れると単語やフレーズや 1 文が要素となる。

## 課題外在性負荷と要素の相互作用

- 教材デザインが悪いと課題外在性負荷が発生する。
- 認知負荷理論では、主に課題外在性負荷を減らす手法について研究されてきて、今も続いている。
- 課題内在性負荷を決定するものは要素の相互作用であると共通に理解されてきたが、課題外在性負荷に関する共通の要因は、同じように特定しようとはされてこなかった。

- 本論文では、要素の相互作用が課題外在性負荷の原因でもあることを提案する。
  - 仮に、学習内容を変えずに要素の相互作用を減らすことが可能なら、減らすことができた負荷は課題外在性負荷である。
  - 逆に、学習内容を変えないと要素の相互作用を減らせなければ、その負荷は課題内在性負荷である。
- どちらの負荷になるかは、学習する必要のあるものによって決定される。
  - 専門用語で書かれた文章を読む際、内容を理解することが目標ならば、専門用語解読は課題外在性負荷になるが、その分野における専門用語を学習することが目標なら課題内在性負荷になる。
- それゆえ、要素の相互作用は課題内在性負荷だけでなく課題外在性負荷の要因でもある。
  - 学習を促進すると考えられる教材の設計方法は、学習者が同時に処理する必要のある要素を減らすことに関連している。
  - 要素が学習に必要なかどうかではっきりさせることは、多くの認知負荷効果を簡単に説明できる。
  - 認知負荷の影響に関する要素の相互作用のパターンは後半のセクションで分析される。

## 学習関連負荷と要素の相互作用

- 学習関連負荷もまた、要素の相互作用の観点から詳しく説明できるが、他の2つの負荷とは状態が異なる。
  - 他の2つの負荷は、学習素材の性質によって多くが決定される。
- 学習関連負荷は、学習者の性質にのみ関連する。
  - 学習者が課題内在性負荷を処理するために使用するワーキングメモリ資源に関連する。
  - 学習関連負荷は、ワーキングメモリにおいて他の負荷とは独立ではない。
- 学習者のモチベーションが一定だと仮定すると、学習者は学習関連負荷に対してコントロールができない。
  - 課題内在性負荷が高く、課題外在性負荷が低いなら、学習関連負荷は高い。
    - ◇ 学習者は、学習に必須なことを処理するために高いワーキングメモリへの負荷を使っているからだ。
  - 課題外在性負荷が増えると、学習関連負荷は減る。
    - ◇ 学習に直結することではなく教材デザインによって生み出される学習と関係ない要素を処理するためにワーキングメモリを使うので、学習は促進されない。
- それゆえ、学習関連負荷は、課題内在性負荷を発生させる要素の相互作用の処理のために消費されるワーキングメモリ資源である。
  - 課題外在性負荷にワーキングメモリ資源を消費すればするほど、課題内在性負荷を処理するための資源が少なくなり、学習を阻害する。
- この定義は、モチベーションが高く、利用可能なワーキングメモリはすべて課題内在性負荷と課題外

在性負荷を処理するために使用されていると仮定する。

- 教材が洗練されていて、課題内在性負荷を発生させる要素の相互作用をワーキングメモリにおいて処理することができていれば、学習関連負荷と学習効果は高まる。

## この定義の優位性

- この定義の優位性は、矛盾の可能性を解消することができることである。
  - 先行研究での実験から、それぞれの認知負荷が変化するとき認知負荷総量の変化を測定できることが実験から分かっている。
  - 課題外在性負荷と学習関連負荷は相互補完的である。
    - ◇ 課題外在性負荷が下がると、学習関連負荷が上がる
  - もし課題外在性負荷が減少した分だけ学習関連負荷が上昇するなら、認知負荷総量はどうなるだろうか。
  - 一定になるはずであるが、そうはならない。
- 矛盾は、この定義によって解決できる。
  - 認知負荷総量は、課題外在性負荷と課題内在性負荷の和によって決定される。
  - 学習関連負荷は、課題内在性負荷を処理するために使用されるワーキングメモリ資源である。

## 認知負荷の決定

- 実験結果を説明する際に、課題内在性負荷と課題外在性負荷を区別する必要があるが、それらを区別する測定指標には問題がある。
- この定義によって、課題内在性負荷と課題外在性負荷を心理学的に区別することは難しいことが説明できる。
  - 学習関連負荷が課題内在性負荷を処理するワーキングメモリ資源であるとすれば、学習関連負荷を心理学的に区別して測定することが難しいことも説明できる。
- 課題外在性負荷と課題内在性負荷の影響は、実験前に要素の相互作用を分析することで、区別して測定することはできるだろう。
- 認知負荷を個別に測定することは難しいが、認知負荷総量を測定することは簡単にできる。
  - 主観評定やサブ課題を用いて測定できる。
  - 要素の相互作用のレベルを分析することで、前もって認知負荷総量の大小を決定できる。

## 認知負荷効果と要素の相互作用の関係について

- 課題外在性負荷と認知負荷効果についての関係についてはこれまで議論されてこなかった。
- 以下では、要素の相互作用と課題外在性負荷の関係について分析し、課題外在性負荷が認知負荷効果の多くと関連していることを議論する

### 目標未設定効果(Goal-free effect)

- 特定の目標を設定せず、学習者になるべく多くの法則や値を発見させるように教示したほうが、目標を設定させるよりも学習が促進される。
  - 問題解決課題では、手段目標分析を行い、現在の状態と目標状態の差を分析しサブゴールを設定する負荷が発生し、要素の相互作用が大きくなり、課題外在性負荷が高まる。
  - 目標を設定しないと、手段目標分析が行われなくなり、問題状態の分析にワーキングメモリ資源が割り当てられ、学習が促進される。

### 例題効果(Worked example effect)

- 例題を用いて学習した学習者のほうが、問題を解くだけの学習をした学習者よりも学習が促進される。
- 問題を解くだけの学習者は、手段目標分析を行うために、多くの要素を処理しなければならない。
- 例題を用いる学習者は、現在の状態から次の状態へ移行するにはどうしたらよいか学習する。
  - 手段目標分析に必要な要素の相互作用を減らす(=課題外在性負荷を減らす)ことで、より多くのワーキングメモリ資源を学習に割り当てられ、学習に学習を促進させる。

### 解法穴埋め式学習効果(Problem completion effect)

- 部分的に解かれた問題を提示され、学習者は空欄になっているステップを補完することで解法を完成させる。
- 例題効果と同じく、手段目標分析を行うことを行わせないことで、学習を促進させる。

### 注意分断効果(Split-attention effect)

- 学習教材では、注意を向ける対象が分断されて提示される。
  - 図形の問題では、式( $\triangle ABC = \triangle XYZ$ )と図形の両方に注意を向けなければならない。
- 相互参照のための負荷は課題外在性負荷であり、最小化されるべき。
  - 要素をなるべく近くに配置することで、課題外在性負荷を低くすることができる。

### 冗長性効果(Redundancy effect)

- 不要な情報があるときに発生する。
  - 同じ情報が文字と口頭によって提供される場合、文字と音声情報という要素が相互作用するが、どちらかの要素は不要である。
  - 文字と音声情報の相互作用を処理するためにワーキングメモリ資源を割かなければならず、学習へワーキングメモリ資源が割り当てられず、課題内在性負荷と学習関連負荷は低い。

### 熟達反転効果(Expertise reversal effect)

- 初学者に対しては Y という教え方よりも X という教え方が有効であるが、熟達が進むにつれて、X よりも Y のほうが効果的になるという現象
  - 初学者にとっては例題学習が効果的であるが、熟達すると例題が冗長な情報となり、問題を解く学習のほうが効果的になる。
- 初学者にとっては、要素の相互作用は理解に必須なので課題内在性負荷であるが、学習が進むに

つれて不要になるので、課題外在性負荷となる。

#### 誘導フェーディング効果(Guidance fading effect)

- 例題効果と熟達反転効果を組み合わせたもの
  - 例題による学習→解法穴埋め式学習→問題解決学習の順に学習するのが効果的
- 初学者にとっては例題学習での要素の相互作用は学習に必須でも、熟達することでそれらの相互作用は長期記憶に保存されるので不要になり、課題外在性負荷となる。

#### 独立要素効果(Isolated-interacting elements effect)

- 課題外在性負荷ではなく、課題内在性負荷の変化によって生まれる効果
- 課題内在性負荷に直結する要素の相互作用がとて高く、ワーキングメモリの容量を超え同時に処理できない場合、いったん要素が独立であると仮定し、学習を行うことで学習を促進する。
  - この場合、人為的に要素の相互作用を変化させる。

#### モジュール細分化効果(Molar-modular effect)

- 独立要素効果と原理は似ている。
- 学習者は、学習する対象を分割し、要素の相互作用を調節し、課題内在性負荷を減らす。
- 課題内在性負荷を発生させる要素の相互作用を減らし、要素の相互作用が高く複雑な素材を学習することを促進させる。

#### 多様性効果(Variability effect)

- 多様性効果は、これまで学習関連負荷における多様性として説明されてきた。
- 多様な表現や文脈で学習することで学習を促進させる。
- 多様性が高いと、学習者は、あるカテゴリーの問題の解き方を学習するだけでなく、その解法がほかのどのカテゴリーにも使えるかを学習する。
  - 多様性が高く、要素の相互作用が多いと学習関連負荷が高まる。
- 上記3つの効果は課題外在性負荷というよりも課題内在性負荷の変化について議論している。
  - 課題外在性負荷は最小化されるべきであることで一致しているが、課題内在性負荷は、増やすべきか減らすべきかが難しい。
    - ◇ ワーキングメモリ容量が課題内在性負荷だけでオーバーするなら、課題内在性負荷は減らされるべきである。
    - ◇ 教材の課題内在性負荷が低すぎるなら、増やすべきである。
  - 最適なレベルの課題内在性負荷を決定することは、課題外在性負荷を減らすよりも難しく、すべての教育者がこの問題に直面している。

#### 要素相互作用効果(Element interactivity effect)

- 課題内在性負荷が低い場合、他の認知負荷効果は得られない。
- 課題内在性負荷を発生させる要素の相互作用は、課題外在性負荷に関する認知負荷効果にも影響

することが実験から分かっている。

### モダリティ効果(Modality effect)

- 複数の情報源(モダリティ)を組み合わせる(口頭+文字など)ことで、学習を促進する。
- 他の効果とは、要素の相互作用を変化させないという点で異なる。
  - ワーキングメモリ処理容量は、視覚と聴覚の両方の処理を行うことで広がり、2 つ以上のモダリティを使うことで学習を促進させる。

### イメージ効果(Imagination Effect)

- 学習者が手順や概念をイメージするように教示すると、単に学習するよりも促進される。
  - イメージすることによって、ワーキングメモリ資源が、課題内在性負荷に関連する要素を処理することに割り当てられ、学習が促進される。
  - ワーキングメモリ上にて、相互作用する要素全てが処理できる場合にのみ、イメージを行うことができ、そのレベルに達するには熟達が必要である。
  - 熟達していない初学者ではイメージすることは課題外在性負荷であるので、効果はない。

### 自己説明効果(Self-explanation effect)

- 学習者に新しく学習した内容を説明させることで学習を促進させる。
  - 説明では、学習した内容に関連する要素を処理するためにワーキングメモリ資源を使用する。
- 自己説明効果やイメージ効果では、学習素材を変更する必要がない。
  - 学習者に通常とは異なる学習行動であるイメージや自己説明を行うように教示することによって、課題外在性負荷を減少させる。

## 結論

- 要素の相互作用は、認知負荷の重要な側面であったが、この定義によれば、認知負荷の中心になるべきだと主張する。
- この定義には、理論的/実践的な面で有意な点がある。
  - 理論的な面では、3 種類の負荷の関係に理論的な定義を与えられる。
  - 実践的な面では、さらなる学習促進の方法を生み出すことができる。
    - ◇ 課題内在性負荷と課題外在性負荷を要素の相互作用の観点から定義することで、実験の前に要素の相互作用を分析することが可能であり、簡単に実験結果を予測することができる。
- 認知負荷理論の目標は、教育手法を生み出すことである。この定義が目標を達成する助けになると望んでいる。