

Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19(4), 469-508.

- 認知システムの制約をより良い教材設計に応用することの必要性が認知負荷理論の生まれた背景
  - Sweller らの研究によって学習心理学の分野で影響を持つようになった
  - 多くの伝統的な教授方法は、人間の認知構造の限界を考慮しておらず、学習者のワーキングメモリ容量が不必要に圧迫されているとされる
  - 認知負荷理論は、人間の認知システムと教材設計のデザインの知識を統合してこの問題を解決しようとする
- 認知負荷の概念は一般的な用語で説明されているにもかかわらず、詳細に検討してみると認知負荷の本質はまだ明確になっていない
  - 異なる負荷の関係と、それらが操作可能なのか、可能だとしたらどう操作できるのかを精緻化する必要がある
  - ワーキングメモリは認知負荷を説明する重要な概念だが、実際に学習にはどれくらいのワーキングメモリが必要なのかについて明らかではない
  - それぞれの負荷間関係、それぞれの負荷と学習の関係、負荷をどう計測するかについてさらなる精緻化が必要
- 本論文では、これらの問題を明確に説明することを目的とする

## 認知負荷研究の歴史

- 認知負荷研究は、1970年代に問題をときながらの学習を対象に始まった
  - 数学などでの問題解決型学習は、ワーキングメモリ容量の観点では非常に厳しい場合があることがわかってきた。
    - ◇ 十分な知識がないと、手段目標分析を採用する。これではワーキングメモリ容量をオーバーし、学習が進まない
  - 解法付き例題(Worked-out example)のような学習効果の高い手法が実証された
- 1980年代終盤に、認知負荷はワーキングメモリでの情報の貯蔵と処理に発生する負担と定義された
  - 課題そのものによって発生する課題内在性負荷と教材のフォーマットによって発生する課題外在性負荷に区別された
  - 問題解決型学習に加えて、複数の情報源からの知識獲得についても研究対象となった
- 学習関連負荷の登場
  - 1990年代は、課題外在性負荷を下げようとする教材デザインに関する研究が盛んになった
    - ◇ 課題内在性負荷は、教材固有なので操作できず、操作できるのは課題外在性負荷だけであるという考え方
  - Pass & van Merriënboer(1994)の実験では、認知負荷を高く設定した実験群のほうが、低く設定した実験群よりも学習の転移が促進され、成績が良かった

- ◇ この結果から、「必要な」課題内在性負荷、「悪い」課題外在性負荷に加えて、「良い」認知負荷である学習関連負荷が提唱された
- 学習関連負荷は、認知スキーマの構成というような追加的にワーキングメモリ容量が必要
- ◇ 学習関連負荷の登場で、認知負荷理論は課題外在性負荷を下げ、ワーキングメモリ容量を超えない程度に学習関連負荷を高めるのがよい教材設計であると主張した

#### ● 進化論的観点

- 最近では、Sweller は認知負荷理論をより広範囲の枠組みである進化論に当てはめている
- Sweller は人間の認知構造と処理は、自然淘汰による進化と似ていると考えている。
  - ◇ 人間の長期記憶は生物学における遺伝情報に対応している。環境に適応するために遺伝情報が発達したように、長期記憶は個人の環境への認知的な適応として発達する
- 進化論的に捉え直すことで、この理論が適用できる範囲が明確になった
  - ◇ 例えば、顔を覚えることは簡単にできる。これは生物学的に優先度が高い知識だからだ
  - ◇ 他の種類の知識(読み・書き・計算など)は、意識的に覚えなければ学習できない。これらは生物学的には重要度が低い
  - ◇ 認知負荷理論が対象とする知識は、このようなワーキングメモリが必要で生物学的には優先度が低い知識獲得を対象とする

## 認知負荷理論の基本的な前提

### 記憶の多重貯蔵理論

- 人間の記憶は、限られた容量のワーキングメモリと、容量が大きい長期記憶がある
- ワーキングメモリは、視覚と聴覚で別のチャンネルがある

### 認知スキーマ

- 長期記憶では情報は認知スキーマの形式で保存されている。複数の要素を一つの要素にまとめる役割があり、ワーキングメモリへの負担を軽くする

### 認知負荷とメンタルエフォート

- 学習や課題遂行のために割り当てられるワーキングメモリの量をメンタルエフォートという
- 課題に対する成績は、課題の認知負荷と学習者のメンタルエフォートによって左右される

### 課題内在性負荷

- 課題内在性負荷は、処理される情報の本質的な複雑さによって発生し、要素の相互作用 (element interactivity, ワーキングメモリで同時に処理される要素の数)によって大きさが決まる
- 要素の相互作用の大きさは、教材を分析するだけでは決定できない
  - 熟達度合いによって、何を一つの要素とするべきかが異なるため
- それゆえ、課題内在性負荷は学習者の熟達レベルによって異なり、同じ熟達レベルなら、一定である

## 課題外在性負荷

- 課題外在性負荷は、不適切な教材のデザインや配置によって発生する
- 認知負荷理論では 2 つの定義がされている
  - 不適切なデザインによる不必要に高い要素の相互作用の結果生じるもの
  - スキーマ構築と関係ない認知処理の結果生じるもの

## 学習関連負荷

- 学習関連負荷は、スキーマ構築やスキーマ自動化のような有益な活動によって発生する
- 課題内在性負荷と課題外在性負荷を除いたワーキングメモリの空き容量は意識的に学習関連負荷に割り当てるようにさせるべきだ

## 負荷の加算的關係

- 認知負荷理論では、3 種類の負荷は加算的であると想定する

## 「学習」とは

- 学習とは、長期記憶の認知スキーマの変化によって熟達が進むことである
- スキーマ獲得によって、複数の要素を 1 つの要素として扱うことができ、要素の相互作用を減らせる。その結果、自動的に情報を処理できるようになる

## 「理解」とは

- スキーマ構築と自動化によって、すべての要素が同時にワーキングメモリに保持でき、処理することができるようになって、初めて理解が行われる
- 理解する時には、ワーキングメモリでの情報処理に加えて長期記憶が変化することが必要であると Sweller は主張している
- これまでの認知負荷理論では、学習と明確に区別されていない

## 教材の重要性

- 教材の解説がスキーマのヒントを提供することで、学習者は自身のスキーマを構築することができる
- 教材は、課題外在性負荷を減らすだけでなくスキーマ構築を促進させるようなデザインであるべきだ

## 課題内在性負荷と課題外在性負荷の詳細な検討

- なぜ課題内在性負荷は必ずしも一定ではないのか
  - 学習者の熟達が高いほど、課題の複雑さが増し、利用できるヒントは少なく、必要な要素の相互作用が多く、それゆえワーキングメモリでの課題内在性負荷は高い
  - 課題内在性負荷は、ある課題に対して一定のレベルの熟達レベルなら一定である。
  - 課題は学習者の熟達レベルに沿ったものでなければならないので、我々は教材によって課題内在性負荷を操作できると主張する

## 課題の複雑さ・ヘルプ・熟達の関係

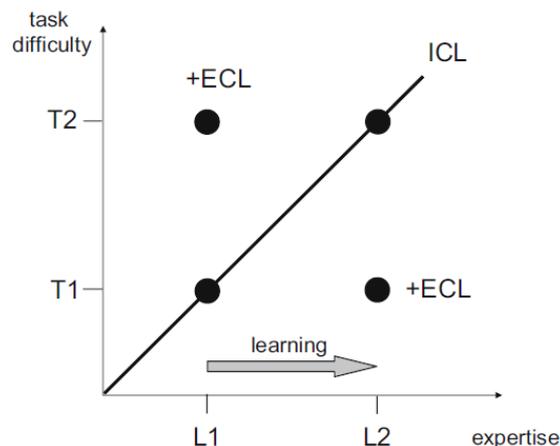
- Fig.1 横軸:熟達 縦軸:課題の複雑さ
- 学習を始めた段階(L1)では、ヘルプの提供や課題の複雑さが低いことによって T1 が適正であるが、熟達が進むとより(L2)複雑な T2 が適正な難易度となる
- 課題外在性負荷は、熟達と課題の複雑さが適正な関係にある直線上から外れた場合に発生

- L1-T2 では、高すぎる要素の相互作用でワーキングメモリが処理できない
- L2-T1 では、問題が簡単すぎる問題や冗長すぎるヒントを処理するために余分な負荷

- この図で先行研究の多くが説明できる

- 注意分断効果の研究では、初学者は図とその説明が統合している方が学習は進むが、熟達者は図と説明が別々にあるほうがより学習が進むという結果がある

Fig. 1 Relations between intrinsic load (ICL) as a result of adequate alignment of learning task difficulty with learner's expertise and additional extraneous load (+ECL) as a result of misalignment of task difficulty with expertise. Learning increases expertise



## 課題外在性負荷の詳細

- Fig.1 の図で考えると、課題外在性負荷の原因は、以下のように複数ある
- 関連する情報の過多(L1-T2)で、ワーキングメモリ容量が圧迫される状態
- 保持するべき関連情報の過多(L1-T2)で、ワーキングメモリ容量が圧迫される状態
- 簡単すぎるヒントや冗長で不必要な情報の過多(L2-T1)
- 余分な作業や時間を無駄にさせるようなことをさせる

## なぜ認知負荷を下げることは必ずしも学習に良いことではないのか

- L2-T1 の点は、「課題外在性負荷の増加」だけでなく「課題内在性負荷の減少」とも解釈できる(Fig.2)
- 熟達レベル L2 で複雑さ T1 の課題を解くのは、低すぎる課題内在性負荷なのではないか

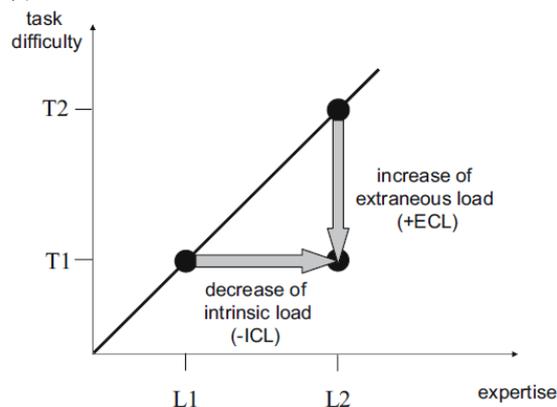
- 低すぎる課題内在性負荷も学習を阻害するという研究も存在する

- 認知負荷を下げることは、必ずしも学習を促進しない。学習は課題外在性負荷の削減に加えて、学習者の熟達レベルに沿って課題内在性負荷を調整すべき

- 課題内在性負荷は要素の相互作用で決定され、要素の相互作用は熟達によって変化するので、課題内在性負荷は熟達によって変化する。それゆえ、課題内在性負荷と課題外在性負荷は、教材によっても変化する

- それゆえ、教材で課題内在性負荷と課題外在性負荷の両方を操作することができる

Fig. 2 Different interpretations of a misalignment of learning task difficulty (T1) with learner's expertise (L2) resulting from unneeded help or too low task complexity: Compared to alignment L2-T2, the misalignment L2-T1 can be viewed as adding unnecessary extraneous load (+ECL). Compared to alignment L1-T1, the misalignment L2-T1 can also be viewed as decreasing intrinsic load (-ICL) to a too low level



## 認知負荷と最近接発達領域

Fig3

- Fig1,2 のより詳しい図
- 中央の白部分: 学習者の熟達と課題難易度がちょうど良いバランスになっている部分  
→ 熟達の最近接発達領域 (Zone of proximal development, ZPD)
- シェード部分(上): 高すぎる課題難易度 → より強いヘルプで課題難易度を下げ、学習を促進可能
- シェード部分(下): 低すぎる課題難易度 → 教材のヒントが学習を阻害している
- ある熟達レベルを仮定(Li)、  
熟達度 Li にて取り組める課題難易度 Tmax\_Li。ヘルプがあつて取り組めるレベルの H+レベルと、ヘルプなしでも取り組める H-レベル

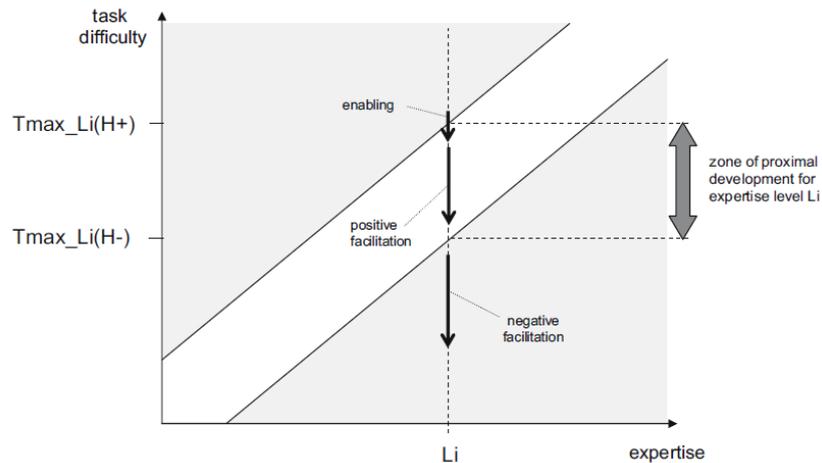


Fig. 3 Enabling function and facilitating functions of reducing task difficulty by instructional help provided to a learner at expertise level Li. Both functions have positive effects on learning as long as the reduction of difficulty remains within the zone of proximal development (ZPD). If task difficulty is shifted below the ZPD, the facilitation has negative effects on learning

Fig.4

- 熟達とパフォーマンスの関係を別の形で表す
  - 熟達レベル L1 までは負荷をワーキングメモリで処理できず、パフォーマンスは 0
  - L1~L2 では、課題のパフォーマンスは向上し、L2 以降では 100%になる。課題をワーキングメモリで処理できるレベルまで熟達した
  - L2 で、課題内在性負荷は 0 になり、課題を自動的に解けるようになった

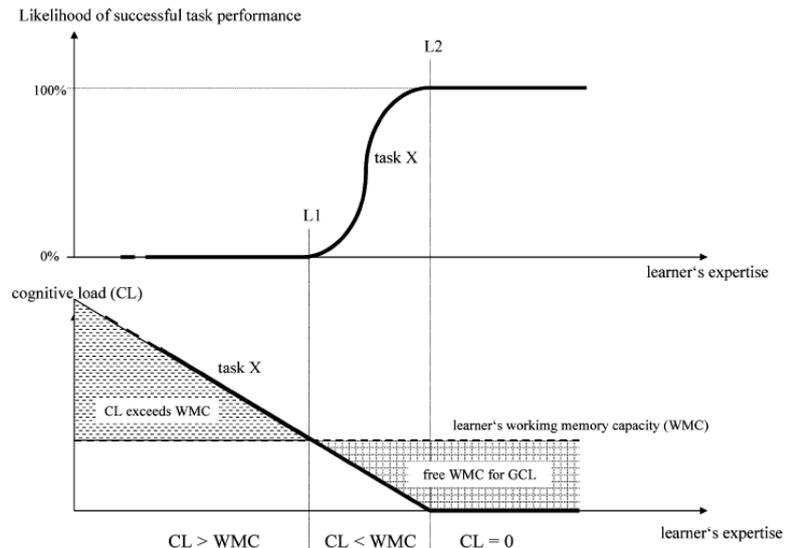


Fig. 4 Task performance (top) and cognitive load (bottom) of a hypothetical task X for learners with different levels of expertise

Fig.5

- Fig.4 は 1 つの課題についてだったが、Fig.5 では課題 A,B(Bの方が難しい)を考える
- 熟達するにつれて、ヘルプあり A → ヘルプなし A → ヘルプあり B → ヘルプなし B と順に解けるようになっていくことを示す
- 熟達レベル L3 の生徒にとって、シェードの部分が最近接発達領域となる
  - 簡単な問題はヘルプなしで解け、難しい問題はヘルプを使って解ける
- 学習を促進させるには、課題外在性負荷を下げるだけでなく、熟達レベルに従って課題内在性負荷を操作する必要がある

- 実際に先行研究では、課題内在性負荷を課題の難易度やヘルプによって操作してきた
- しかしながら、認知負荷を下げることによって確保したワーキングメモリの空き容量が学習を促進させる認知活動に必ずしも充てられない
  - 学習効果を高めるための認知活動を行うようにする必要がある

## ワーキングメモリは学習にどう影響するか

### パフォーマンスと学習

- 課題遂行はワーキングメモリで行われるが、学習は長期記憶内の心的構造を操作する。
- これまでは両者は明確に区別されてこなかったが、「理解」も「学習」とは明確に区別すべきである
  - 学習: 長期記憶の変化
  - 理解: 長期記憶の変化するしないに関わらず、関連するすべての情報がワーキングメモリで同時に処理されること
- 課題遂行(理解も含む)と学習を区別することで、負荷の種類を明確にすることができる
  - 課題内在性負荷と課題外在性負荷はパフォーマンスに関連する
  - 学習関連負荷は、学習に関連する
  - 両者は根本的に異なるプロセスで、課題内在性負荷と課題外在性負荷はパフォーマンス指向で、学習関連負荷は学習指向である。

### 潜在学習

- 学習で学習関連負荷が発生するなら、潜在学習をどう説明するか
- 宣言的知識はエピソード記憶と関連し意識的で、手続き的知識はスキル獲得と関連し、暗黙的 (Slusarz and Sun, 2001)
- トップダウン的学習の考え方では、意識的に宣言的記憶を習得し、練習によって手続き形式にする
- ボトムアップ的学習の考え方では、その逆の順序となる
- 学習がボトムアップ的に行われる場合、どの程度意識的に学習されるのかという疑問がある
- どちらの学習にしる、課題パフォーマンスが学習したものを反映するときのみ、何かを学習したという事実は明白になる。潜在学習は文法学習や複雑なシステムの制御学習などの異なる分野で研究されている

## 学習関連負荷の詳細な検討

- ポストホック的分類で堂々巡りになりがちであるが、我々は学習関連負荷を次のように考える

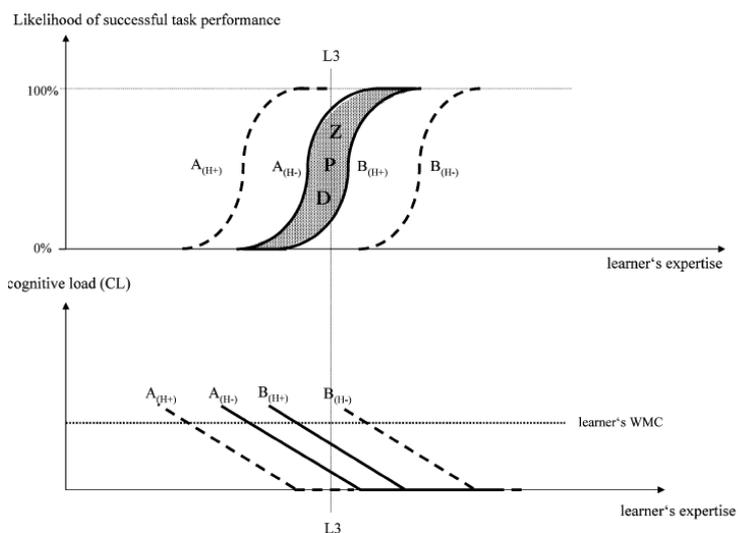


Fig. 5 Task performance (*top*) and cognitive load (*bottom*) of an easy task A which can be solved by a learner at expertise level L3 without help as well as task performance (*top*) and cognitive load (*bottom*) of a difficult task B which can be solved by learner at expertise level L3 only with help. The range of difficulty between the two tasks is known as the zone of proximal development (ZPD)

「認知負荷の削減がより良い学習につながればその負荷は課題外在性負荷、学習が進まなければ学習関連負荷」

- 認知負荷理論で学習関連負荷はスキーマ構築などに必要なワーキングメモリ容量として定義されてきたが、これまで議論したように学習関連負荷は長期記憶の変化に必ずしも必要ではないため

- さらなる定義のための3つの前提

- 学習関連負荷はワーキングメモリ容量が必要
- 学習関連負荷は学習に有益
- パフォーマンスと学習は区別すべきなので、ワーキングメモリにおける認知処理であり、学習ではない

- 定義: 学習関連負荷は、意識的な学習を目的とし、単なる課題遂行を超えた、ワーキングメモリにおける認知活動に発生する認知負荷である

- 学習戦略を意識的に応用する認知活動
- 認知スキーマをさらに抽象化するために学習題材からパターンを見つける認知活動
- より問題を簡単に解くために問題状態を再構築する認知活動(例: 洞察による)
- 認知と学習をモニターするメタ認知

- 学習関連負荷は、ワーキングメモリ容量、課題そのもの(課題内在性負荷)、学習者のモチベーションによる制約がある

- 課題内在性負荷は学習関連負荷より大きくなり得るが、学習関連負荷は課題内在性負荷よりも大きくなる

- 学習と学習関連負荷の関係

- 簡単すぎる問題では学習できないことを考えると、学習とは、学習関連負荷だけでなく、学習関連負荷と課題内在性負荷の組み合わせによるものであると提唱する

## 認知負荷の計測

- 3つの方法で計測が行われている

### 主観評定

- 利点: シンプルで簡単に利用できることで、注意深く用いれば有益な結果が得られる
- 欠点: 個人間の考え方によって不安定さがあることだ

### 生理学的指標

- 認知的機能は、皮膚コンダクタンス反応、瞳孔反応、心拍数などに反映されることを前提としている
- 利点: 比較的簡単な方法で自律神経の働きを調べられ、個人の内省スキルに左右されないこと
- 欠点: 自然な方法ではデータを取得できないこと、個人によってベースレートが異なること

### パフォーマンス指標

- 主に第二課題の成績を用いる
- 利点:客観的な指標であること
- 欠点:実験設定が必要で、自然な学習環境ではないこと
  - さらに実験参加者が第二課題の成績を一定に保とうとするために主課題の成績を犠牲にする可能性がある

### 認知負荷測定の限界

- 上記3つは、認知負荷総量の計測が目的で、3種類の負荷を分けて測定することはできない
  - 主観評定で3つの負荷を測定する研究もあるが、少ない
- 学習者は内省で3つの負荷を明確に区別することはできないし、これまで述べたように概念的にも負荷を明確に区別することは困難である
- それゆえ、我々の見解では、信頼性と妥当性が高い認知負荷を個別に測定することができる方法は将来的にも見つからないであろうと考えている
  - これは認知負荷理論を悪く言っているのではなく、認知負荷理論は、人間の認知構造の知識に基づいた教育手法の分析のための概念的な枠組みだからだ。枠組みとして実験や研究ベースの実証には有効である

### 今後の展望

- 3種類の負荷の関係と、複数の種類の学習のとの関係についてさらなる研究が必要
  - 認知的な学習だけでなく、知覚的な学習は行動の学習についても考慮すべき
  - 宣言的な学習と手続き的な学習との間で認知負荷操作の結果の違いについても検討すべき
  - 意識的な学習と潜在的学習の区別が必要
- 異なる種類の学習について、最適な課題内在性負荷は何であるかについても検討する価値がある
  - 意識的な学習では学習関連負荷に割り当てられるように中レベルの課題内在性負荷が最適だが、潜在的学習である手続き学習では、学習関連負荷は不要でより高い課題内在性負荷が必要かもしれない
- ある状況である教材の操作が効果的かどうか、そしてその状況でなぜ効果的であったのかを知る必要がある。そのため、実証的な研究を通して得られるさらなる理論が必要である。学習におけるワーキングメモリの働きを解明することはまだ十分ではない