

メタ認知活動の困難さに関するフレームワークの提案

茅島路子* 稲葉晶子 溝口理一郎**

A Framework of Difficulty in Metacognitive Activity

Michiko Kayashima*, Akiko Inaba, and Riichiro Mizoguchi**

Abstract: We developed a framework that shows the difficulties in mastering metacognitive activity. Using the framework, we have tried to reveal the correspondence between existing methods and systems for supporting learning of metacognitive activity and the factors that make it difficult. The correspondence shows that existing support methods and systems refer to different targets with the same goal of helping learners acquire metacognitive activity. Our framework can also contribute to an accumulation of the research results through a shared understanding of the research on assisted learning of metacognitive activity.

キーワード：メタ認知，メタ認知習得の難しさ，フレームワーク，メタ認知習得支援の整理

1. はじめに

メタ認知は、問題解決者としての自分に関する知識と、自分の思考過程を客観的に観察し目標に到達するように調整するスキルから成る⁽¹⁾。ここでは、意図的な学習や問題解決といった知的活動の本質に関わる、後者のスキルをメタ認知活動と呼ぶ。メタ認知活動は学習対象分野に独立し、学習のいかなるフェーズにおいても重要な役割を果たす。しかし、その習得は困難であり、現在、教育における重要な課題の一つとなっており、さまざまなメタ認知活動習得の支援方法や支援システムが提案されている。

メタ認知活動に限らず、学習を支援する方法は唯一ではない。たとえば、学習を複数のステップに分割し、そのステップを順次学習する方法がある。これは、グレンサイズの大きい学習をシーケンシャルな複数のステップに分割し、学習における認知的な負荷を分散・軽減させる支援方法と言える。一方、何かを学習する際に、その学習が持つ本質的な困難さを除去あるいは軽減するという支援もある。

私たちは、学習を支援する際に、学習における難しさの原因を把握しておくべきであるという立場をとる。というのは、学習することの難しさの原因を把握できて初めて、それを除去する、あるいは、その一部を除

去する方法を考案することが可能になり、学習を支援できるからである。

ところで、既存のメタ認知活動の習得を支援する方法や支援システムは、メタ認知活動を習得する難しさの原因を明確に把握した上で、その難しさを除去する、あるいは、軽減するといった支援をしているのであろうか？

現在、メタ認知自体の定義があいまい⁽⁴⁾⁽¹⁶⁾⁽²⁸⁾である。このあいまいさによる用語の混乱とメタ認知活動に対する複数のアプローチの存在がメタ認知活動に対し複数の解釈を生じさせ、それがまた、メタ認知活動習得の難しさの原因を特定することを困難にしている。たとえば、*self-regulation*、*executive control* などといった複数の用語が同一の現象を表すために使用される一方で、複数の現象、あるいは、それらの現象の一つの側面を示すために「メタ認知」という単一の用語が用いられている⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾⁽²⁹⁾⁽³⁸⁾。加えて、メタ認知活動に関する研究アプローチが2種類存在し、メタ認知活動をさらに複雑にしている。一つは、メタ認知活動と認知活動を根本的に異なるものと仮定し、メタ認知活動のメカニズムを探究している⁽³¹⁾。他方は、メタ認知活動と認知活動を、活動そのものは同一であると仮定し、活動対象の相違で区別している⁽²⁹⁾。

このことを顕著に示す例として Gama の支援システム⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、Reciprocal teaching⁽⁵⁾⁽³²⁾、そして ASK to THINK・TEL WHY⁽²⁶⁾を挙げよう。Gama の支援システムは、目的としてメタ認知の習得支援を掲げなが

* 玉川大学文学部
Faculty of Humanities

** 大阪大学産業科学研究所
ISIR, Osaka University

ら、システムの支援対象が揺れている例である。初期と現在のシステムを比較すると、その目的としてどちらもメタ認知の習得を支援していると主張しているが、初期のシステムは、与えられた問題を注意深く観察させ、問題解決のために類似問題の解法パターンや関連情報を想起させるといった通常の問題解決を支援するものである。そして、問題解決後に、学習者が自分の解法 plan を振り返るトリガーとして類似問題の解法例を与えている⁽¹⁴⁾。一方、現在のシステムでは、学習者が新たな問題を解決する前に、学習者が過去に行った問題解決予測とその解決結果とを比較したものを提示し、問題解決者としての自分についての知識を構成させるトリガーを提供している⁽¹⁵⁾。このように、メタ認知の支援と言うものの、その支援対象は異なっている。だが、そのことは明記されていない。Reciprocal Teaching⁽⁵⁾⁽³²⁾と ASK to THINK・TEL WHY⁽²⁹⁾は、メタ認知活動の習得支援という目的は同一であるが、支援対象は異なり、しかも、その相違が明確にされていない例である。Reciprocal Teaching と ASK to THINK・TEL WHY は、実際に習得支援している認知活動やその対象は明らかに異なっている。たとえば、二つの支援方法では「遂行役」が遂行する主たる認知活動やその対象が異なっている。Reciprocal Teaching の「遂行役」には、教師の支援の下で「自分の認知操作」を振り返る機会が提供されているが、ASK to THINK・TEL WHY では「他者の学習者の認知操作」を観察・評価する機会が提供されるのみである。

このような状況において、さまざまな支援方法が設計・開発されたとしても、それらを共通理解することが難しく、かつ、互いに再利用することも困難である。たとえば、上述した Reciprocal Teaching と ASK to THINK・TEL WHY は、メタ認知活動の習得支援としてまとめて扱われてきたが、その支援対象が異なり、これらの「遂行役」が担う活動を互いに再利用することはできない。

私たちの研究目的は、メタ認知活動の習得を支援することである⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。ただし、対象とするメタ認知活動自体を明示的に特定し、その習得の難しさの原因を明確にした上で、それらを軽減するように支援したい。この目的を達成するためには、メタ認知活動を明示し、その習得の難しさの要因を明確にし、かつ、それらを議論できるような土台としてのフレームワークが必要である。そこで、本論文では、メタ認知活動習得の難しさを表すフレームワークを提案する。そのようなフレームワークがあれば、既存のメタ認知

活動習得支援システムや支援方法の整理、共通理解、かつ、それらの再利用が可能になる。しかしながら、ここで提案するフレームワークの認知心理学的正当性を主張することは私たちの趣旨ではない。私たちは、工学的な立場からメタ認知活動習得支援の特徴を議論する共通の枠組みを提供することで、メタ認知活動の習得支援システムの開発に関する知見を得ることができればフレームワークとしての意義はあると考える。

本論文では、5 種類の認知活動による問題解決の計算機モデルを仮定し、それを基盤にメタ認知活動を実行する難しさを表すフレームワークを構築する。次に、フレームワークに基づき既存のメタ認知習得支援方法やシステムの整理を行なう。

2. メタ認知活動とその対象

メタ認知という用語はメタ認知知識とメタ認知活動の両方を意味し⁽¹²⁾、それがまたメタ認知という用語をあいまいさにしている原因でもある⁽²⁸⁾。また、メタ認知知識とメタ知識も混同しやすい。多くの人が利用できるのはメタ知識である。メタ認知知識という複合語には認知が含まれる。これが2つを区別する。メタ認知知識は認知活動と密接に結びついたものであるが、メタ知識は認知活動と切り離され一般化され外界に存在可能になったものと言える。

メタ認知知識とメタ認知活動には、獲得の難しさと実行の難しさの2つがある。メタ認知知識の獲得は、ドメイン知識やメタ知識の獲得に比べて難しい。微分方程式の公式のようなドメイン知識や「易しい問題から解き始める」といったメタ知識は、教科書があり教師に教えられれば獲得するのは困難ではない。しかし、メタ認知知識は、認知活動とその結果から学習者自身が構成するものであり、その獲得は、ドメイン知識やメタ知識の獲得に比べて難しい。また、獲得したメタ知識やメタ認知知識を活用するのは容易である。たとえば、「易しい問題から解き始める」といったメタ知識は、微分方程式の公式を与えられた問題に適用することに比べ容易であることは明らかであろう。

メタ認知活動はスキルの一種であり、その習得には実行が伴う。しかも、メタ認知活動は実行することが難しく、それが習得を難しいものにしている。一般的にスキルは言語化することが困難であり、学習者は熟練者とスキル実行を共有することで習得する。このスキルの実行は、スキルの種類によって異なる。たとえば、水泳などのモータースキルは認知活動と比較すると、実行は難しくない。というのは、モータースキルは観察可能であり、学習者は熟練者のスキルを観察し模倣することで実行を試みることができるからである。

1 著者らは「メタ認知」と表現している。

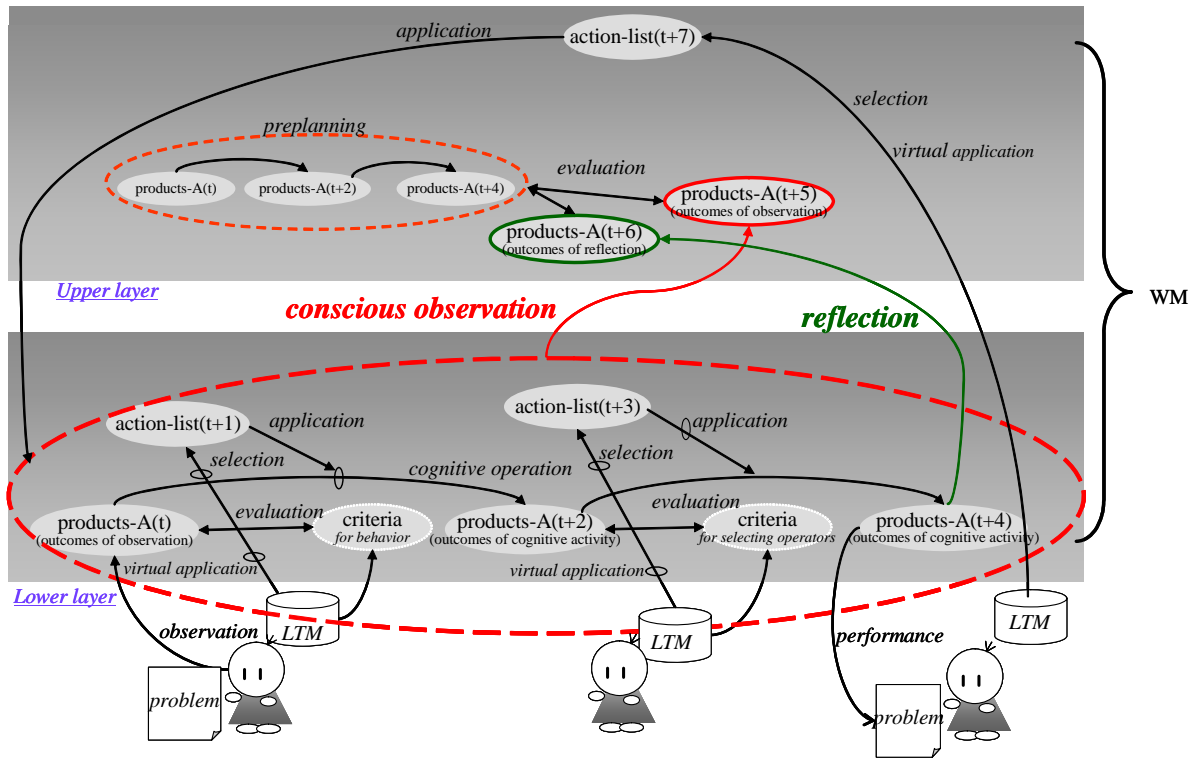


図 1 問題解決の計算機モデル

学習者がスキル実行を試みれば、熟練者はそのスキルを観察し助言することが可能である。認知活動は内的活動であり、そのプロセスは観察不可能であり、学習者が熟練者の認知活動を観察して模倣することはできない。モータースキルに比べ、認知活動の実行は難しい。しかし、認知活動の入力と出力は観察可能であり、熟練者は学習者が認知活動を実行すれば、その入力と出力から認知活動を推論・評価することができ、学習者に助言可能である。ところが、メタ認知活動は入力、出力、プロセスともに観察不可能であり⁽¹⁹⁾、学習者が実行することが極めて困難である。しかも、熟練者が学習者に直接的な助言をすることも難しい。このように、メタ認知活動などのスキル習得には、学習者自身によるスキル実行が不可欠であり、スキル実行の難しさがその習得を困難にしている。そこで、メタ認知活動習得の難しさの要因はメタ認知活動実行の難しさを分析することで特定できると考える。

メタ認知活動の実行困難要因を分析するに当たり、Lories らのメタ認知活動に対する考えを前提とする。彼らは、認知活動とメタ認知活動は、活動自体は同一であり、その対象が異なるだけだとしている⁽²⁰⁾。この考えを仮定するならば、メタ認知活動を実行する難しさの要因は、認知活動とその対象とを組み合わせる認知活動実行の困難さを分析することで数え挙げることができる。

本章では、Lories らのメタ認知モデル、Baddeley の

Working Memory(以下、WM と記述する)モデル⁽³⁾を基に、問題を解決する際に必要な認知活動の種類と、その対象を特定する。問題解決には認知的葛藤のような内部で生じる問題の解決も含まれるが、問題を単純にするために、ここで述べる問題解決は外部の問題を解決することに限定する。WM とは、学習、理解、推論などといった高次の認知作業を行う際に、情報処理の中間結果を一時的に保持しつつその情報に操作を加えるといった、情報の保持と処理を並行に行うための一時的記憶システムである。

2.1 認知活動の種類

通常の問題解決は、図 1 の下位層²が示すように、観察(observation)、リハーサル(rehearsal)、評価(evaluation)、仮想実行(virtual application)、選択(selection)といった 5 種類の認知活動による WM の状態遷移として示すことができる⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²⁵⁾。学習者は、最初に与えられた問題の条件を観察し、そのモデルを WM のプロダクト products-A(t)として生成する(t は時間を表す)。それを評価し、知識ベース(図 1 の LTM)から適用可能なオペレータを検索、仮想実行し、最適なものを選択し、オペレータのリスト(action-list(t+1))として生成する。続いて、action-list を WM のプロダクト products-A(t)に適用

² 図 1 の WM は、上位層、下位層から成る。この WM の二層化については、2.3 節で述べる。

(application)し、新たなプロダクト $\text{products-A}(t+2)$ を生成する。通常の問題解決とはこのプロセスを目標状態に到達するまで繰り返すことである。

観察は、その対象を注意深く観て、そのモデルを WM にプロダクトとして生成することである。複雑な認知活動を支えるためにプロダクトを WM に保持する機能としてリハーサルがある。評価は適用できるオペレータを知識ベースから検索できるようにプロダクトを見定めることであり、仮想実行は、**action-list** を生成するために知識ベースの適用可能なオペレータを仮想的に実行することである。選択は、仮想実行の結果から最適なオペレータを選択し、実際に適用するオペレータのリスト(**action-list**)を生成することである。生成した **action-list** を適用(application)すると、WM のプロダクト ($\text{products-A}(t)$) は新たなプロダクト ($\text{products-A}(t+2)$) へと遷移する。このようなプロダクトの状態遷移を認知操作(cognitive operation)と呼び、認知活動とは区別して扱う。というのは、この認知操作は認知活動の一種ではあるが、認知活動の対象になり得る点で、上述した 5 種類の認知活動とは異なるからである。また、**performance** は認知操作に直接影響を与えない認知活動である。ここでは、認知活動として、認知操作に直接影響を与える、観察、リハーサル、評価、仮想実行、選択の 5 種類を取り上げる。

2.2 認知活動の対象

次に、認知活動の対象を分析する。認知活動の対象は、外的世界、長期記憶 (以下、LTM と記述する)、そして WM のいずれかに属す(表 1 参照)。LTM とは、文字通り長期間にわたって情報を貯蔵する仕組みであり、オペレータも LTM に貯蔵されている。WM には、観察、あるいは、認知操作によって新たなプロダクトが生成される。

認知活動の対象は、また、「オブジェクト」と時間に応じて変化する「プロセス」に分けることができる。オブジェクトには抽象物も含まれる。プロセスとは何らかの状態の遷移である。外的世界のオブジェクトとしては、外的世界に存在する車、花、数学や物理の問題といった「普通のオブジェクト」や物理や数学の問題を他人が解決した結果や教師の質問に対する生徒の回答といった、「他人の認知操作の結果オブジェクト」がある。外的世界のプロセスとしては、動いている車、降り注いでいる雨といった人間の認知操作と無関係な「普通のプロセス」と他人が数学の問題を解決するプロセスといった、他人が継続して行った認知操作プロセスとしての「他人の認知操作プロセス」が挙げられる。

また、人は、幾何学の証明問題を解きながら、この

解き方で証明できるのかを意識的に検討するといった、自分自身の認知操作を監視することがある。あるいは、証明途中で間違いに気がつき、解き始めから間違いに至るまでの認知操作プロセスを推論し、どの認知操作が問題であったかを検討することもある。このように、自分自身の認知操作の結果オブジェクトや自分自身の認知操作プロセスもまた、認知活動の対象になる。

ところで、認知操作について言えば、自分自身の認知操作を観察することと、他者の認知操作を観察することを区別することは重要である。

2.3 認知活動の二層モデル

一般的に、観察とは外的世界にある観察対象のモデルを WM にプロダクトとして生成することであり、観察の対象と観察によるプロダクトは、異なる場所に属する(図 1 下位層の observation 参照)。つまり、WM のプロダクトは、通常の問題解決において、観察の対象にはなり得ない。しかし、時に人は WM のプロダクトや認知操作を注意して観察することがある。この場合、観察対象は WM に属すので、観察によるプロダクトは WM とは異なる場所に属することになる。これを実現するには、WM が二層になっていることが望ましい。これが、私たちが WM の二層モデルを提案する理由である⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²⁵⁾。二層化 WM (図 1 の上位層と下位層)を仮定すると、観察対象であるプロダクトや認知操作は下位層に、観察した結果生成されるプロダクトは上位層へと、観察対象と観察結果であるプロダクトは異なる場所に属することができる。

このような観察による上位層のプロダクトの生成方法には 2 種類ある。Schön の言葉を借りるならば、**reflection in action** と **reflection on action** である⁽³⁴⁾。前者は下位層での認知操作とそれらの観察を並行進行し、その観察結果を認知操作プロセスとして上位層に生成することである。後者は下位層のプロダクトを観察し、それが生成されるまでの認知操作プロセスを推論し、そのプロセスを上位層に生成することである。図 1 の上位層にある $\text{product-A}(t+5)$ は、下位層での認知操作とその観察を並行進行しながら生成したプロダクトである。 $\text{product-A}(t+6)$ は、下位層にある $\text{product-A}(t+4)$ を基に、そこに至るまでの認知操作プロセスを推論しながら、生成したプロダクトである。後者の場合、実際に行われた認知操作と推論した認知操作が異なることもあり得る。これ以降、WM の二層モデルを仮定する。

3. メタ認知活動の実行困難要因を表すフレームワークの構成

5 種類の認知活動とその対象を組み合わせ、メタ認

表 1 認知活動を実行する難しさを表すフレームワーク

Target	Cognitive Activity	Rehearsal	Observation	Evaluation	Virtual Application	Selection
The Out side World	Ordinary Object (a)					
	Resulting object of others' cognitive operations (b)		(d2)(d3)			
	Ordinary process (c)		(d1)			
	Others' cognitive operation processes (d)		(d1) (d2)(d3)(d4)			
LTM	Object in LTM (e)	(d5)	(d5)			
Products in Working Memory	Observing product of ordinary object at the outside world (f)	(d5)		(d5)	(d5)	(d5)
	Observing product of ordinary process at the outside world (g)	(d5)(d6)		(d5)(d6)	(d5)(d6)	(d5)(d6)
	Observing product of resulting object of others' cognitive operations (h)	(d5)		(d5)	(d5)	(d5)
	Observing product of others' cognitive operation process (i)	(d5)(d6)		(d5)(d6)	(d5)(d6)	(d5)(d6)
	Resulting object of one's own cognitive operation (j)	(d5)(d6)	(d2)(d4) (d5)(d6)(d7)			
	One's own cognitive operation process (k)	(d5)(d6)	(d1)(d2)(d3) (d5)(d6)(d7)(d8)			
	Observing product of resulting object of one's own cognitive operation (l)	(d5)(d6)		(d5)(d6)		(d5)(d6)
	Observing product of one's own cognitive operation process (m)	(d5)(d6)		(d3)(d5)(d6)(d8)(d9)		(d3)(d5) (d6)(d8)

(d1) プロセスの切り出し

(d4) 認知操作の推論

(d7) WM の二層化

(d2) 直接観察が不可能

(d5) 他の認知活動との並行実行

(d8) 多重処理

(d3) 認知操作との並行実行

(d6) リソースの管理

(d9) planning

知活動を実行する難しさ (di i=1,2,...と表記) を表現するフレームワークを構成する(表 1 参照)。

最初に、メタ認知活動とその対象との組み合わせの概略を述べる。表 1 の WM のプロダクトを対象にした認知活動には、観察とそれ以外の認知活動がある。外的世界(表 1 の(a)~(d))や LTM(表 1 の(e))を対象にした認知活動は、観察のみである。外的世界や LTM を観察すると、WM にプロダクト(表 1 の(f)~(i)) が生成される。WM にプロダクトを対象とする認知活動は、観察とそれ以外の 4 種類がある。観察以外の認知活動は、WM に新たなプロダクト(表 1 の(j)~(k))を生成する。観察は、WM の上位層にプロダクト(表 1 の(l)~(m))を生成する。

外的世界、LTM、WM を対象にした認知活動の実行要因を分析する。外的世界にはオブジェクトとプロセスがある。一般にオブジェクトの観察に比べプロセスの観察は難しい。オブジェクトは部品階層でマクロ化し易く、極めて複雑なオブジェクトであってもエンジンとか発電施設といった最上位の一言で機能を表現

することができる。しかし、プロセスは、何らかの状態の変化であり一言で表わすことが難しく、そもそもその切り出しが困難である。したがって、外的世界のプロセスを対象にした観察は、プロセスの切り出しという難しさ(表 1 の(d1))をもつ。また、普通のオブジェクトやプロセスに比べ、他人の認知操作を対象にした観察は、直接観察できないという困難がある(d2)。そこで、他人の認知操作プロセスの観察には、推論という認知操作との並行実行(d3)と、他者の認知操作の推論(d4)そのものの難しさが加わる。

適用可能なオペレータの検索などといった LTM の観察は、適用されるプロダクトをアクティブに保持しながら実行しなければならず、リハーサルとの並行実行という難しさがある(d5)。したがって、LTM の観察は、外的世界の普通のオブジェクトの観察に比べ困難である。

WM の下位層(表 1 の(f)~(k))を対象とする認知活動には、リハーサルとの並行実行(d5)という難しさがある。オブジェクトに比べ情報量が多いプロセスを対象

とする認知活動には、WM 容量の制約によるリソースの管理(d6)という難しさが加わる。

表 1 の(j)、(k)は問題解決における自分の認知操作の結果や認知操作プロセスである。これらを意識的に観察することがある。この「自分の認知操作」の観察には、通常の認知活動が行われる世界をもう一つの「外界」と見なす、WMの二層化という難しさ(d7)がある。このWMの二層化は、リソース管理(d6)を一層複雑にする。WMの二層化は、通常の問題解決では経験する機会が少なく、初心者にとって極めて難しいものである。

ところで、この「自分の認知操作」を対象にした観察には、2 章で述べたように、認知操作を推論する振り返り観察と、下位層での認知操作と並行進行する観察がある。この2種類の観察による難しさに相違はあるのだろうか。振り返り観察は、認知操作の結果オブジェクト(表 1 の(j))を観察し、そこに至るまでの認知操作プロセスを推論するという難しさ(d4)があるが、観察と推論とをシリアルに実行できる。一方、下位層での認知操作(表 1 の(k))とその観察の並行実行には、下位層での認知操作と上位層の認知活動との多重処理(d8)という難しさがある。下位層での一定の認知操作後、下位層での認知活動を一時的に中断し、その時点までの認知操作プロセスを観察するといった上位層での認知活動が行われる。この処理には認知活動の多重処理(d8)という難しさがある。多重処理には中断時点で下位層の状態を内部的に保存しておく機構が必要であり、リソースの管理(d6)も複雑さが増す。

「自分の認知操作」の観察によって上位層に生成されたプロダクト(表 1 の(l)、(m))を対象にした評価、仮想実行、選択には、リハーサルとの並行実行(d5)、リソースの管理(d6)という難しさが共通する。対象がプロセス(表 1 の(m))の場合には、多重処理(d8)が要求され、それに伴い(d5)、(d6)の難しさは増大する。上位層のプロダクト(表 1 の(l),(m))に対する評価は、下位層に比べ難しい。評価にはその前提として比較というサブタスクがある。比較はその対象の共通点・相違点を見つけ出すものであり、それに基づいて良し悪しを決定するのが評価である。下位層ではプロダクトとオペレータを比較するが、上位層では認知操作プロセスと問題解決前に適度な粒度(grain size)で作った問題解決 plan(以下、preplanning³と表記)とを比較する。上位層では認知操作プロセスと preplanning とを比

較・評価し preplanning を立証するのである。このように、評価の前提に preplanning がある。したがって、評価の難しさは planning の難しさ(d9)であると考え

る。

表 1 が示すように、(a)～(i)を対象にした認知活動と比べ、(j)～(m)を対象にした認知活動は、困難要因が多く、かつ、リソース管理(d6)なども複雑化し、困難さが増すことは明らかである。そこで、私たちは(j)～(m)を対象にした認知活動をメタ認知活動と呼ぶ。

4. フレームワークに基づく既存の支援システムの整理

既存の支援方法や支援システムをフレームワークに基づいて整理する。最初に、既存の支援方法や支援システムの暗黙的な支援対象を、フレームワークに位置づけ、認知活動の種類とその対象として明らかにする。この整理は、「メタ認知」という用語で一括されてきた支援方法や支援システムの支援対象を細分化する。次に、それらの支援方法が、支援対象がもつ本質的な難しさを除去する、あるいは軽減するものか否かを検討する。この検討は、3 章で数え挙げたメタ認知活動実行の困難要因を統一的な視点で既に支援方法が確立されているものと未だに確立されていないものに分類し、未だに支援方法が確立されていない困難要因を明らかにする。

既存のメタ認知の習得支援として、代表的な Reciprocal teaching⁽⁵⁾⁽³²⁾、“Kitchen Sink” approach⁽³⁵⁾、ASK to THINK・TEL WHY⁽²⁶⁾、Algebraland Computer System⁽⁶⁾⁽⁸⁾、Geometry Tutor⁽¹⁾⁽⁸⁾、MIRA⁽¹⁵⁾、ナビゲーション・プランニング⁽¹⁸⁾、Intelligent Tutor⁽³⁰⁾、Error Based Simulation⁽¹⁷⁾、SE(Self-Explanation) – Coach⁽⁹⁾、我々の支援方法⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾を取り上げ、分析・検討し、表 2 にまとめた。紙幅の都合上分析の詳細については省略し、ここでは Reciprocal teaching、“Kitchen Sink” approach、SE – Coach、ナビゲーション・プランニング、および我々の支援方法のみを記述する。

³ ここでの preplanning は、plan に Hayes-Roth and Hayes-Roth⁽¹³⁾がモデル化したような抽象的な次元での複数のレベルが共存することを仮定している。

表2 メタ認知活動を実行する難しさとその支援

Target	Cognitive Activity	Existing support methods and support systems	
		Support that reduces or eliminates difficulties	Other support
Resulting object of one's own cognitive operation	Observation		EBS (simulation)
Representation of resulting object of one's own cognitive operation	Evaluation		
	Virtual Application		
	Selection		
One's own cognitive process	Observation	[Elimination of d7 by shifting a target] ASK to THINK-TEL WHY (sharing of roles) Reciprocal Teaching (sharing of roles) Our method (sharing of roles) Kitchen-Sink (Whole class) [Elimination of d2,d3,d4 by externalizing] Algebraland (Search Space Window) Geometry Tutor Our method (externalization tool)	SE-Coach (Rule Browser)
Representation of one's own cognitive process	Evaluation Virtual Application	[Elimination of d5,d6 by shifting a target] ASK-SR-Q-evaluation (sharing of roles) Reciprocal Teaching (sharing of roles) Our method (sharing of roles) SE-Coach (explanation) [Elimination of d9 by giving a plan] ASK to THINK-TEL WHY (tutoring questions) Reciprocal Teaching (structured dialogue) SE-Coach (Plan Browser & Help) [Reduction of d9 by distributed cognitive load] Kitchen-Sink (Whole class problem solving) Our method (tutoring questions) [Reduction of d9 by externalizing] Navigation Planning	MIRA (pre&post reflection)
	Selection		

Palinscer たちは読みの相互教授法 **Reciprocal teaching** がメタ認知活動を育成すると主張している。**Reciprocal teaching** の中心は、最初に教師が読み方略のモデルを示し、学習者はそれを模倣することである。その後、学習者たちを小グループに分け、各グループのメンバーに遂行役と従事役を割り当て協同してテキストを理解する方法である⁽⁵⁾⁽³²⁾。遂行役がテキストの主題に関し質問をして議論が開始され、グループメンバー全員が合意する要約ができたところで議論が終了する。もし読了した部分に誤解があれば互いに正し合い、グループメンバーでの理解の合意を目指す。要約後、引き続き部分の内容を遂行役が予測する。これらの質問、明確化、要約、予測といった読みの4つの活動は、テキストの理解促進と理解モニタリングを生じさせるために選択したものである⁽³²⁾。著者たちが意図して設計したものではないだろうが、私たちは**Reciprocal teaching** の支援方法を次のように分析する。本来ならば、読みは自分の理解状態である「自分の認知操作」(表1の(j),(k)、図1の下位層における認知操作プロセス)を観察・評価しながら行われるべきで

あるが、それには **WM** の二層化や多重処理が要求され、認知的負荷が高く困難である。そこで、最初に、同じタスクを遂行することを前提に学習者に専門家の活動を観察させ、その後実行させる。これは、学習者に自分と専門家との同一タスクの遂行を比較させ、自分の認知活動を観察・評価させるトリガーとなっているが、メタ認知活動実行の困難要因を除去する支援とはなっていない。ゆえに、支援としての教師の役割が大きい。グループ議論では他者の理解を外化させ、あるいは、遂行役の要約を外化させ、メンバーに自分の認知操作の代わりに他人の認知操作を観察・評価させている。これは、観察の対象を「自分の認知操作」から「他人の認知操作」(表1の(b),(d))に移し、難しさ **WM** の二層化(d7)や多重処理(d8)を除去している。言い換えるならば、認知活動の対象を **WM** から外的世界へ移動することで、メタ認知活動を認知活動レベルに落として実行させている。そして、認知レベルとして習得したメタ認知活動を、徐々に「自分の認知操作」を対象にしたメタ認知活動として実行できるようになることを学習者に期待している。また、他者の理解や

遂行役の要約は、学習者に「自分の認知操作」を観察させるトリガーともなっている。

読みの4つの活動はテキストから要素を抽出し、それらを構造化し、全体構造モデルを作り上げる活動である。要約は、テキストのある部分を観察し全体を構成する要素を抽出する活動であり、質問、明確化が要約を評価し、かつ、学習者間で合意する活動であると言える。予測は読了した部分の要素を構造化し、かつ、それと引き続く部分との構造関係を推論させることである。このように、4つの活動は、読みという問題の解決 plan の一つと言える。Reciprocal teaching は、この preplanning を活動の枠組みとして提供し planning の難しさ(d9)を除去している。

“Kitchen Sink” approach は、シークエンシャルな4つの方法から構成される。Schoenfeld は、“Kitchen Sink” approach を、メタ認知に焦点を当てた4つのクラスルームテクニックであると記述している。“Kitchen Sink” approach をフレームワークに基づき分析すると次のようになる。“Kitchen Sink” approach はメタ認知活動の学習という大きなチャンクをシークエンシャルな複数のステップに分割し、ステップを順次学習させることで、メタ認知活動習得にかかわる認知的な負荷を軽減させている。第1と第2ステップは初心者と熟練者の両方の問題解決過程を学習者に観察させる。これは、メタ認知活動を気づかせるトリガーの提供であり、かつ、その習得に対する動機づけでもある。しかし、メタ認知活動を実行する困難要因を除去する支援とはなっていない。第3ステップでは、クラス全員で問題解決を行う。Schoenfeldはこの第3ステップをself-regulationに焦点を当てた支援であると主張している。最初に生徒たちに問題の解法 plan を複数出させ、教師が黒板に書き留め、それらから最適なものを選択させる。生徒たちはそれに基づいて解き始めるが、教師は途中で、そのやり方で目標まで到達できるかどうかを評価するよう促す。私たちは、この第3ステップを、負荷分散した協同 preplanning、協同問題解決、およびトリガーがついた認知操作の観察・評価の協同訓練であると解釈する。クラスでの協同 planning は、planning の負荷を分散し難しさ(d9)を軽減する。問題解決中にクラス全体で問題解決過程を振りかえるように促すことは、黒板に外化された認知操作を観察するトリガーである。黒板への外化は観察の難しさ(d7)を除去する。評価の難しさは協同で行うことで軽減されているが、除去されているとは言えない。

第4ステップは、教員がグループで問題解決を行っている生徒たちに自分の認知操作プロセスを観察し評

価するように促す。このステップは、生徒が自分の認知操作プロセスを観察、評価するトリガーを与えているが、それらを実行する難しさの軽減とはなっていない。

Conati らは、メタ認知スキルの習得を支援するために、提示された例に対し自己説明させるシステム SE – Coach を開発した。私たちは SE – Coach の支援を次のように解釈する。例とは、他者の一連の認知操作プロセス(表1の(d))を部分的に外化したものである。例を自己説明させることは、例を観察し実行された認知操作プロセスを推測する訓練である。これもまた、観察対象を自己の認知操作(表1の(j),(k))から他者の認知操作(表1の(b),(d))に変更し、観察の困難要因である WM の二層化(d7)を除去したものとみなせる。SE – Coach は、例に対する自己説明を促す支援として、認知操作に必要なオペレータを表示する Rule Browser と、例に埋め込まれた解法 plan を階層の木構造で表示する Plan Browser を提供している。これらの支援をフレームワークに基づき分析すると次のようになる。観察対象を他者の認知操作プロセスに変更したことで認知レベルとして観察を実行できるが、他者の認知操作を推論する難しさ(d4)が新たに生じる。Rule Browser は、この難しさを軽減する。Plan Browser は、説明対象である認知操作を目標や sub-goal と結びつける支援である。これは、対象としている認知操作からゴールまでの plan を立てさせ、説明させることでその plan を立証させている。Plan Browser による解法 plan の提供は planning の難しさ(d9)を除去する。

柏原らはハイパー空間におけるナビゲーション・プランニングを支援するシステムを開発している。彼らの研究目的は、Web 教材で学習する際に目標を失ってしまうことを回避し、設定した学習目標を達成できるように支援することである。そのために、ナビゲーションを開始させる前に planning をさせ、ある時点で、これまでのナビゲーション過程を振り返らせるツールを提供している。また、preplanning はいつでも修正・棄却が可能になっている。フレークワークに基づきナビゲーション・プランニングを分析すると次のようになる。planning の支援として、ハイパー空間全体を鳥瞰的に観察可能な地図を提供しており planning の難しさ(d9)を軽減している。しかし、認知操作プロセスの評価は学習者自身が行うのではなく、システムが preplanning と比較して行っており、トリガーを与えるに留まっている。

我々のメタ認知活動習得の支援方法は、図2のように学習者たちに observer、monitor、problem-solver といった3種類の役割を分担させる。problem-solver

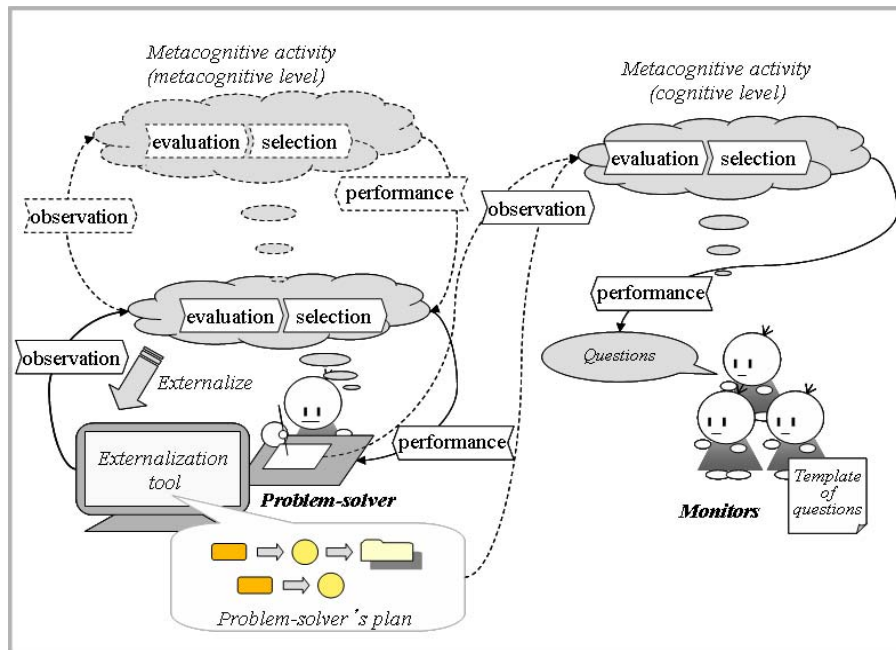


図 2 メタ認知活動の負荷分散と漸進的負荷増大による支援

役が実行すべきメタ認知活動の負荷を monitor 役に分散し、かつ、学習者たちに observer、monitor、problem-solver という順序で役割を課しメタ認知活動実行の認知的負荷を漸進的に増大させながらメタ認知活動を習得させることを意図したものである。

各役割の学習者たちは、コンピュータ・ネットワークで結ばれ、problem-solver 役が産出した preplanning を外化ツールを介し共有する。最初に、problem-solver は外化ツールを用いて問題解決 plan を作成する。planning に際しては、シークエンシャルにプランニングする必要はなく、異なる抽象レベルで思いつくままにプランニングできるようになっている。monitor たちは、preplanning を観察し、質問テンプレートを用いて質問や助言をする。monitor の支援の下、problem-solver はプランを精緻化する。preplanning 完成後、problem-solver は、それを参考に、問題解決を開始する。その過程で、monitor たちは、preplanning と解決過程を比較しながら質問、助言を行う。problem-solver は必要に応じて、preplanning を修正する。observer たちは、problem-solver と monitor たちの相互作用、および、外化ツールを通して preplanning の修正過程を観察する。

私たちの支援方法をフレームワークに基づき、分析すると次のようになる。外化ツールは、problem-solver 役と monitor 役との協同 planning を可能にし、planning の難しさ(d9)を軽減する。また、plan の外化は、monitor 役が problem-solver 役の認知操作プロセスを評価する難しさを除去する。problem-solver 役と

monitor 役との役割分担は、problem-solver 役の WM の上位層での認知活動を monitor 役に、下位層での認知活動を problem-solver 役に分担させる。この分担によって problem-solver 役は下位層での認知活動に専念でき、monitor 役は上位層での認知活動を認知レベルで実行でき、各々の認知的負荷を軽減できる。この認知活動の分離分散は、各役割の自分の認知操作を観察する難しさ WM の二層化(d7)、リハーサルとの並行実行(d5)、多重処理(d8)を除去し、リソースの管理(d6)を軽減する。

表 2 が示すように、既存の代表的なメタ認知の支援方法や支援システムの多くが、自分の認知操作プロセスを観察、評価することを支援対象としている。観察の難しさ(d2)、(d3)、(d4)、(d7)を除去するために、支援システムは学習者の認知操作プロセスを外化するツールを提供し、支援方法は観察対象を自分の認知操作プロセスから他者の認知操作プロセスに移動している。観察の難しさを除去はしないが、自分の認知操作プロセスを観察するようにトリガーを与えているものもある。評価に対する支援の多くは、協調学習の形態を採り、評価対象を自分の認知操作プロセスから他者の認知操作プロセスに移動することで、難しさ(d5)、(d6)を除去している。また、方略スキーマを対話構造の枠組みとして提供し、planning の難しさ(d9)を除去し評価の負荷を軽減する支援もある。協同 planning や navigation map を提供し、planning の難しさを軽減し、学習者に planning を試みさせるものもある。しかし、preplanning の立証後、plan を修正することに対する支援はまだ十分に確立されていない。

我々の支援方法は、支援対象も支援方法も、上述した既存の支援システムや支援方法と同一であるように思えるかもしれない。しかし、私たちは、既存の支援システムや支援方法を、メタ認知活動を実行する難しさという共通の枠組みで整理、部品化した上で、それらを再利用し、学習者のメタ認知活動をその難しさを除去あるいは軽減させるように分離分散させ、かつ、メタ認知活動習得の認知的負荷を段階的に増大させる学習ステップを採り入れた新たな方法を考案した。このようなメタ認知活動の習得が本質的にもつ難しさを意識して設計した支援方法は、我々のものが唯一である。

5. まとめ

本論文では、メタ認知活動を実行する難しさを表すフレームワークを提案し、それに基づき既存の支援方法や支援システムを分析・整理した。

私たちが提案したフレームワークは、完全なものではないが、工学的な立場から「メタ認知」としてまとめて扱われてきた領域を細分化し、支援方法や支援システムの整理を可能にした。この整理は、今まで「メタ認知」として一括されてきた支援対象が支援方法や支援システムによって異なることを示し、かつ、メタ認知活動の実行困難要因を既に支援方法が確立されているものと未だに確立されていないものとに分類した。

提案したフレームワークとそれに基づいた既存の支援方法や支援システムの整理が、当該領域の共通理解、および、研究成果の蓄積に貢献できれば幸いである。

参考文献

- (1) Alevan, V., McLaren, B., Roll I., and Koedinger, K. : "Toward tutoring help seeking: Applying cognitive modeling to meta-cognitive skills", Proc. of ITS2004, pp. 227-239 (2004)
- (2) Anderson, J. R., Boyle, C. F., Farrell, R., & Reiser, B. J. : "Cognitive principles in the design of computer tutors", In Proceedings of the Sixth Annual Cognitive Science Meetings, pp. 2-10 (1987)
- (3) Baddeley, A. : "Working Memory", Oxford: Clarendon Press, (1986).
- (4) Brown, A. : "Metacognition, Executive Control, Self-regulation, and Other More Mysterious Mechanisms". In Weinert, F. E. & Kluwe, R. H. (eds.) Metacognition, Motivation, and Understanding, NJ: LEA, pp.65-116 (1987)
- (5) Brown, A. L. & Palincsar, A. S. : "Guided, Cooperative Learning and Individual Knowledge Acquisition", In L. B. Resnick (ed) "Knowing, Learning, and Instruction: Essays in Honor of Robert Glaser", LEA pp. 393-451 (1989)
- (6) Brown, J. S. : "Process Versus Product: a Perspective on Tools for Communal and Informal Electronic Learning". J. of Educational Computing Research, Vol.1 (2) (1985)
- (7) Carver, C. S. & Scheier, M. F. : "On the Self-regulation of Behavior", New York: Cambridge Univ. Press, (1998)
- (8) Collins, A., Brown, J. S. : "The Computer as a Tool for Learning through Reflection". In Mandl, H., Lesgold, A. (eds.)

- "Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems", Springer-Verlag, pp.1-18 (1988)
- (9) Conati, C., VanLehn, K. : "Toward Computer-Based Support of Meta-Cognitive Skills: Computational Framework to Coach Self-Explanation", International J. of AIED, 11, pp.398-415 (2000).
 - (10) Davidson, J. E., Deuser, R. & Sternberg, R. J. : "The Role of Metacognition in Problem Solving", In Metcalfe J., Shimamura A. P. (Eds.) "Metacognition", Cambridge: MIT Press, pp.207-226 (1994)
 - (11) Flavell, J. H. : "Metacognitive Aspects of Problem-Solving". In Resnick, L. B. (ed.), "The Nature of Intelligence", NJ: LEA, pp.231-235 (1976)
 - (12) Flavell, J. H. : "Speculations about the Nature and Development of Metacognition". In Weinert, F. E., Kluwe, R. H. (Eds.), "Metacognition, Motivation, and Understanding" NJ: LEA pp.21-29 (1987)
 - (13) Flower, L., John R. Hayes, J. R. A. : "Cognitive Process Theory of Writing", College Composition and Communication, Vol. 32, No. 4, pp. 365-387 (1981)
 - (14) Gama, C. : "Helping Students to Help Themselves: a Pilot Experiment on the Ways of Increasing Metacognitive Awareness in Problem Solving". Proc. of CINTEC2001, (2001).
 - (15) Gama, C. : "Metacognition in Interactive Learning Environments: the Reflection Assistant Model". Proc. of ITS2004, pp.668-677 (2004)
 - (16) Hacher, D. J. : "Definitions and Empirical Foundations". In Hacker, D. G., Dunlosky, J. and Graesser, A. C. (Eds.) "Metacognition in Educational Theory and Practice", NJ: LEA, pp.1-23 (1998)
 - (17) Hirashima T., Horiguchi T. : "Difference Visualization to Pull the Trigger of Reflection", Supplementary Proc. of AIED2003, pp.592-533 (2003)
 - (18) 柏原昭博、鈴木亮一、長谷川忍、豊田順一 : "Web における学習者のナビゲーションプランニングを支援する環境について". 人口知能学会論文誌 17 巻 4 号 pp.510-520 (2002).
 - (19) Kayashima, M., Inaba, A. : "How Computers Help a Learner to Master Self-Regulation Skill?", Proc. of CSCL2003, pp.123-125 (2003)
 - (20) Kayashima, M., Inaba, A. : "Difficulties in Mastering Self-Regulation Skill and Supporting Methodologies", Proc. of AIED2003, pp.443-445 (2003)
 - (21) Kayashima, M., Inaba, A. "Towards Helping Learners Master Self-Regulation Skills. Supplementary Proc. of AIED2003, pp. 602-614 (2003).
 - (22) Kayashima, M., Inaba, A. : "The Model of Metacognitive Skill and How to Facilitate Development of the Skill". Proc. of ICCE2003, pp. 253-261 (2003)
 - (23) Kayashima, M., Inaba, A. and Mizoguchi, R. : "What is Metacognitive Skill? - Collaborative Learning Strategy to Facilitate Development of Metacognitive Skill". Proc. of ED-MEDIA2004, pp. 2660-2665 (2004)
 - (24) Kayashima, M., Inaba, A. and Mizoguchi, R. : "Towards Shared Understanding of Metacognitive Skill and Facilitating its Development". Proc. of ITS2004, pp. 251-261 (2004)
 - (25) Kayashima, M., Inaba, A. and Mizoguchi, R. : "What do You Mean by to Help Learning of Metacognition?..". Proc. of AIED2005, pp. 346-353 (2005)
 - (26) King, A. : "Transactive Peer Tutoring: Distributing Cognition and Metacognition", Educational Psychology Review, 10(1), pp. 57-74 (1998)
 - (27) Kluwe, R. H. : "Cognitive Knowledge and Executive Control: Metacognition". In Griffin, D. R. (ed.) "Animal Mind - Human Mind", New York: Springer-Verlag, pp.201-224 (1982)
 - (28) Livingston, J. A. : Metacognition <http://www.gse.buffalo.edu/fas/shuell/cep564/Metacog.htm>. (1997)

- (29) Lories, G., Dardenne B., and Yzerbyt, V. Y. : "From Social Cognition to Metacognition", In Yzerbyt, V. Y., Lories, G., Dardenne, B. (eds.) "Metacognition", SAGE Publications Ltd. pp.1-15 (1998).
- (30) Mathan, S. and Koedinger, K. : "Recasting the Feedback Debate: Benefits of Tutoring Error Detection and Correction Skills", Proc. of AIED2003, pp. 13-20 (2003)
- (31) Nelson, T. O., Narens, L. : "Why Investigate Metacognition?". In Metcalfe, J., Shimamura (eds.) A. P. "Metacognition", MIT Press, pp.1-25 (1994)
- (32) Palincsar, A. S., Herrenkohl, L. R. : "Designing Collaborative Contexts: Lessons from Three Research Programs", In O'Donnell, A. M., King, A. (eds.) "Cognitive Perspectives on Peer Learning", Mahwah, NJ:LEA, pp.151-177 (1999)
- (33) Rivers, W. : "Autonomy at All Costs: an Ethnography of Metacognitive Self-assessment and Self-management among Experienced Language Learners", Modern Language Journal 85(2), pp.279-290 (2001)
- (34) Schon, D. A.: The Reflective Practitioner, Basic Books, Inc. (1983)
- (35) Schoenfeld, A. H. : "What's All the Fuss about Metacognition", In A.H. Shoenfeld (ed.) "Cognitive Science and Mathematics Education", Lawrence Erlbaum Associates. pp.189-215 (1987)
- (36) Schraw, G. : "Promoting General Metacognitive Awareness", Instructional Science, 26(2), pp.113-125. (1998).
- (37) Winne, P. H., Hadwin A. F. : "Studying as Self-Regulated Learning". In Hacker, D. J., Dunlosky, J. and Graesser, A. C. (eds.) "Metacognition in Educational Theory and Practice", NJ: LEA. pp.277-304 (1998)
- (38) Yzerbyt, V. Y., Lories, G. and Dardenne, B. (eds.): "Metacognition", SAGE Publications Ltd, (1998)