

複雑な知識モデルを利用した人間の 学習プロセスシミュレーションの検討

橋本喜代太[†] 竹内和広^{††}
廣川佐千男^{†††} 殷成久^{†††}

近年になり、学習者モデル、知識モデルを構築した上で学習支援システムを構築する試みが増えており、限定的にであれ計算機的に事前評価する手法が改めて求められている。本研究では、その前段階として、スキル学習を少なくとも戦略面とコンテンツ面の複数層に分かれる知識とその運用を学ぶこととみなし、その知識モデルを構築した上で、実学習者のデータを元に学習進展プロセスを計算機でシミュレートする方法について検討した。

Prototypical Human Learner Simulation by Multi-Layered Multi Agent System

Kiyota Hasihmoto[†] and Kazuhiro Takeuchi^{††}
Sachio Hirokawa^{†††} Chengjiu Yin^{†††}

Various kinds of learner support systems have been proposed and employed, and their evaluation, whether it is at a developmental stage or at the employing stage, depends on learners, which is inevitable but which failure must be avoided as much as possible. For that purpose, it is desirable to employ a computer simulation, but the body of relevant knowledge, the model representing learning stages, and learner data are necessary. In this prototypical study, we propose a novel method to employ a multi-layered multi-agent simulation.

1. はじめに

さまざまな e-ラーニング学習教材や学習支援サイトが構築・運営されており、モバイルラーニングやユビキタスラーニングへの着目もあって、着実に増加傾向にある。どのようなシステムであれ、人間が利用するものについては最終的にその成否は人間の利用によって計られることになる。しかしながら、とりわけ学習に関するシステムは学習者を対象とするがゆえに、その失敗は学習者に取り返しのつかない時間の浪費を強いるだけでなく、誤った内容を学習させてしまうことをはじめとする学習そのものへの悪影響も見逃すべきでない。このため、他のシステムにもまして学習に関するシステムは慎重な設計が必要とされるわけだが、それが成功を保証するわけではもちろんない。

一方、近年の学習に関するシステムは学習方略も含め、オントロジーによる記述など学習内容に関する深い知識を有するものが多数提案されてきている。この場合、記述される深い知識は理想的な知識体系であり、学習者はその学習段階において、この理想的な知識体系を不完全に有している、と考えることができる。ここで「不完全に有している」とは、(1) 理想的な知識体系のサブセットを有している状態と(2) 理想的な知識体系から外れた(=誤った)部分を有している状態とが組み合わせられている、と考えられよう。このように見たとき、特定の(1)と(2)が組み合わせられた学習段階からそれが改善される次の学習段階への推移を学習プロセスと見れば、原理的にはそのシミュレーションが可能である。言うまでもなく、その際は、前提とされる理想的な知識体系が存在し、かつ、そうしたシミュレーションを可能とするための学習データが存在せねばならない。しかし、それらを仮定でき、人間の学習段階をシミュレートできるならば、それを利用して実学習者にシステムを利用させる前に一定程度のシステムの不十分、不適切な部分を洗い出すことも期待できることになる。

こうした問題意識を元に、本稿では筆者らが現在構築・試験中の包括的英語プレゼンテーション学習支援システムとその構築のために構築している知識体系、収集している学習者データ[1], [2]を利用して、多層型マルチエージェントによるシミュレーションを提案・検証する。なお、上記のシステムは日本人学習者が英語によるプレゼンテーションを学習することを支援するものであるが、本稿の範囲においては英語によるかどうかは無関係であるため、外国語学習という側面は基本的に関係しない。

本稿の構成は次の通りである。まず次節においてプレゼンテーション準備・実施に

[†] 大阪府立大学
Osaka Prefecture University
^{††} 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University
^{†††} 九州大学
Kyushu University

関する知識体系を戦略レベルと実構成レベルに分けて記述することについて説明する。その上で、第3節で、計算機上で表現するために、その知識体系を構成する知識要素それぞれを独立したエージェントとみなし、知識体系をエージェントの集合体として記述することを提案する。それにより、学習者の特定の学習段階はそれらのエージェントの一部が不活性状態であったり、誤った行動を行ったりする状態として記述する。このような考え方で学習段階を捉えることが妥当であるかどうかを検証するため、第4節でシミュレーション実験を行なう。

2. プレゼンテーションに関する知識体系

プレゼンテーションは単に話す内容にとどまらず、声や目線、しぐさなどのパラ言語的要素、付随するスライドなどにも意を払う必要があり、特定・不特定を問わず複数の聞き手を前提とするといった点からも、目的先行型の言語活動としてはもっとも高度なものの一つと言える。それはきわめて単純には準備の段階と実施の段階に分かれ、大まかには図1のように捉えることができる。

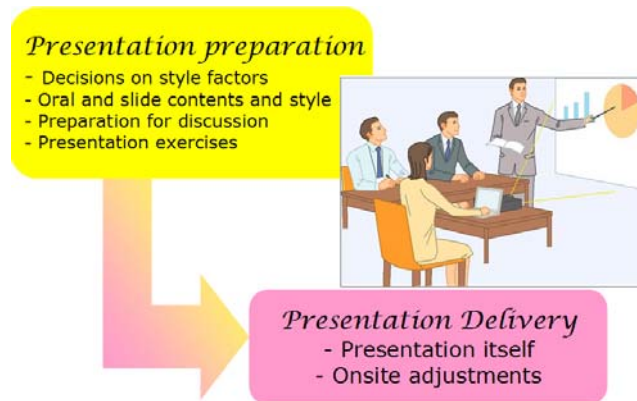


図1 プレゼンテーションというタスクの概要

この中でもとりわけ「誰にどのような内容をどのように伝えるのか」という戦略レベルと、「実際にどのような文章内容を構成するか」という実構成レベルは当然ながらきわめて強く関連する。前者をプレゼンテーション概形要因、後者をプレゼンテーション構成要素と呼ぶことにしよう。以下にその概要を説明する。

2.1 プレゼンテーション概形要因

文章、スピーチ等の他の発表様式以上に、プレゼンテーションは明確な対象者(聴衆)、

目的などをもって行なわれる。これらを明示的に意識することはプレゼンテーションの内容として何をどこまで盛り込むかに関わると同時に、口頭発表やスライドでどのような言語表現を使うかにも密接に関係してくる。そこでこれらの要因をまとめてここではプレゼンテーション概形要因と呼ぶことにする。

どのような要因がプレゼンテーションの概形を決めるかを体系的に考察した研究はこれまでにないが、プレゼンテーションや文章に関する市販書籍等では断片的に多くの指摘がなされてきている。そこでこうした内外の市販書籍数十冊の関連記述を検討し、表1のようなプレゼンテーション概形要因のリストを作成した。

表1に見られる各要因はゆるやかに連動している。例えば想定される対象者が内容分野についてまったく前提知識を持たない一般の人々である場合、Purposeが学術発表となることは考えられず、同時にIntentionは通常インフォーマルで親しみやすいものとなるであろう。その一方、話題がいかにか狭い範囲のものであろうと、それが即座に対象者を専門家に限るわけでもない。この中でも本稿で着目するのは、学習者のプレゼンテーションのほとんどは説明不足が原因で失敗していることが多いという観察的事実である。すなわち、失敗している学習者プレゼンテーションは対象となる聞き手が話題について十分な知識が前提できないにも関わらず、十分かつ適切な説明を行なわないために理解困難となっていることが多いのである。

表1 プレゼンテーション概形要因

要因	説明
Topical (話題)	テーマ、トピック、話題に当たるものだが、具体的な内容と同時にその範囲の広さ(一般には話題の範囲が狭いほど対象者も限られ、専門性があがることになる)
Media (媒体)	発表手法。プレゼンテーションの場合は、特に発表形態まで指定される。
Targeted audience (対象者)	対象となる聞き手の特徴や傾向。単純には専門家、一般などの区別が考えられるが、さらに具体的な特徴や傾向も考えられる。
Purpose (目的)	情報提供、説得、問題提起、学術発表など。
Intention (接遇意図)	フォーマル、インフォーマルなど発表者が対象者に対してどのような印象を与えたいかという意図。
Length (長さ)	予定される文章の長さや発表の時間など。

2.2 プレゼンテーション構成要素

プレゼンテーション概形要因の決定に従って、実際に話される文章内容やスライド内容、援用されるパラ言語的表現が決定されていくことになる。このすべてを取り上げるのは本稿の目的を超えるため、実際に話される文章内容に限ることとしよう。この実際に話される文章内容については図2に挙げるように大きくは文章の論理構成、小さくは表現語彙等の選定が関与する。これらをプレゼンテーション構成要素と呼ぶことにしよう。

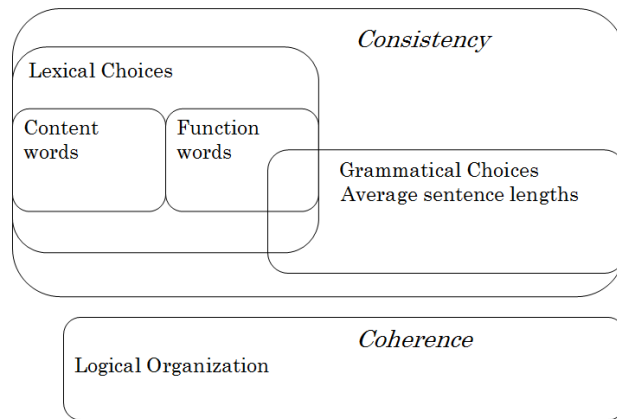


図2 プレゼンテーション構成要素

一般に、論理構成の組み立てが文章としての一貫性(coherence)に、表現語彙等の選定が文章としての統一性(consistency)に主に貢献することとなる。ここでは論理構成についてのみ検討することとしよう。

この論理構成の最小の単位は命題的内容を持つ節や名詞句だが、再帰的に文(sentence)、パラグラフ(段落)、セクションなどについても当然そうした論理的構成が見られることになる。

こうした論理的構成については多くの研究がなされてきているが[3]、本稿においては修辞構造理論(Rhetorical Structure Theory, 以下RST)を採用する[4]。RSTは言語学、言語教育、言語処理の各分野でその検討と応用が図られてきている。基本的には書かれた文章を対象としているが、プレゼンテーションでも基本的には同じである。

RSTはElementary Discourse Unit (EDU)を単位として各EDU間の論理関係をその関係の恩恵を受ける側がNucleus、その機能を果たす側がSatelliteとして位置づけられる記述することにより、文章全体を起点とする依存関係グラフが記述できると考える。その論理関係の具体的なセットはいくつか提案されているが、ここでは表2に見るよ

うな論理関係セットを定義する。この詳細については他で議論しているが[5]、Supra-textual Cueなどのプレゼンテーション内容の論理構成記述で独自に必要な関係を追加している。

前節で学習者のプレゼンテーションの典型的な失敗として、対象とする聞き手に十分かつ適切な説明がなされないケースがあると述べた。その典型はRSTでは、Satellite elaborates the information in the nucleus (説明)、Satellite exemplifies the information in the nucleus (例示)、Short summary or paraphrase of the previous span (言い換え)が適切に活用されない状態であると捉えることができる。

表2 本稿で想定する修辞構造理論

記述	NとSの順序
1. Satellite provides background information to the nucleus	S before N
2. Applies to two nuclei that contrast each other	
3. Satellite elaborates the information in the nucleus	N before S
4. Satellite exemplifies the information in the nucleus	N before S
5. Information in the satellite enables the audience to perform the action in the nucleus	N before S
6. Satellite provides evidence to the statement in the nucleus	N before S
7. Satellite justifies the nucleus	
8. Satellite motivates the reader to perform the action in the nucleus	
9. Listed nuclei	S before N
10. Multiple nuclei that follow each other in sequence	
11. Satellite is the problem; Nucleus provides the solution.	N before S
12. Short summary or paraphrase of the previous span	
13. Cue for an action on the part of the audience.	
14. Any other orphaned nucleus, to be connected to the nearest dominating nucleus (* indicates that the item is newly introduced here)	

2.3 プレゼンテーション評価データ

プレゼンテーションの評価は全体的かつ主観的になるのが普通であるが、筆者らは学習者のプレゼンテーションデータを多数収集し、同時にピア学習者による全体評価並びに部分項目別評価データを各収録プレゼンテーションに対して30~40件収集し

てきている(5). 評価の部分項目は表 3 に示すとおりである. その中で, 説明, 例示, 言い換えの利用の適切性は項目 4 並びに項目 5 の評価に影響を与えると考えることができる.

表 3 本稿で利用する評価の部分項目

身体面	1 姿勢, ジェスチャー, アイコンタクトは適切か
	2 声の大きさや明瞭さが効果的か
全体	3 タイトルは適切か
	4 スライドも含め, 全体構成は適切か
	5 全体として説得的であったか
スライド	6 各スライドの構成は適切か
	7 スライドは分かりやすく効果的か
	8 グラフ, 写真, イラストが適切・効果的か
発音面	9 発音は適切であったか (正しさ)
	10 流暢な発音であったか (スムーズさ)
文法面	11 文法的な間違いはなかったか
	12 多様な表現, 文法を使いこなしていたか

2.4 まとめ

本節ではプレゼンテーション準備・実施に当たって特に対象となる聞き手に応じてどれだけ説明, 例示, 言い換えを多用するかが分かりやすさに大きく影響することを焦点として, プレゼンテーション概形要因, プレゼンテーション構成要素, 評価データについて説明した. これらを元に次節では多層型マルチエージェントとして学習者の学習段階を記述することを提案する.

3. 多層型マルチエージェントによる学習者の学習段階の表現

前節で見たように, 学習者のプレゼンテーションの知識は大きく分けてプレゼンテーション概形要因という戦略決定レベルに当たるものと, プレゼンテーション構成要素という実構成レベルに当たるものに分けて考えることができる. 当然ながら, 戦略決定は実構成レベルに影響を与える. この点を本稿では次のように捉えるを試みた. なお, 前節で述べたすべての側面を扱うことは避け, 説明, 例示, 言い換えに当たる部分のみに焦点を当てるものとする.

まず, プレゼンテーション概形要因では, 特に対象となる聞き手が話題についてどれだけの知識を持っているかによって, 説明, 例示, 言い換える量が変わると考えられる. そこで, 次のような戦略ルールがあると想定する.

戦略ルール 1: 話題が抽象的であれば, それに応じて例示の量を増やせ.

戦略ルール 2: 話題に対する聞き手の想定知識の量が少ないなら, 専門用語に対

する説明を後続させよ.

戦略ルール 3: 話題に対する聞き手の想定知識の量にゆるやかに反比例して言い換える量を調整せよ.

一方, 実構成レベルでは, こうした戦略ルールに基づきつつ, 文章中の RST の Nucleus と Satellite の関係として, 説明, 例示, 言い換えが適宜登場することとなる. この戦略レベルと実構成レベルは上記のような戦略ルールだけで記述できるようなモデルも構築できるが, 本稿では採らない. 学習者はそもそも戦略レベルの知識が未習得である場合と, 戦略レベルの知識は一応あるが, それの適切な利用ができていない場合の両方があり得るためである.

また, 上記のような戦略ルールはそれぞれが実際には関連する. すなわち, 話題が専門的であれば, 一般に抽象度も高く, その結果, 例示も説明も言い換えも増える. しかし, 学習者はこれが関連すること自体も学習によって得る知識であり, 初期の学習段階ではこれらがばらばらに実現されることが珍しくない.

以上のような想定から, 筆者らはプレゼンテーションの知識体系は大きく戦略レベルと実構成レベルに分かれ, それぞれが「X ならばできるだけ Y せよ」という傾向宣言で記述されるものと仮定した. さらに単純化のため, 傾向宣言を単純な確率と捉え「X ならば r という確率で Y せよ」という確率的宣言で記述すると想定する. また, この確率的宣言がそれぞれ独立に機能することを出発点とするために, それらが独立に記述できるモデルを考えることとした.

こうしたモデル化はニューラルネットワーク, マルチエージェントなどさまざまな手法で行なうことができるが, 本稿では, マルチエージェントを利用する. まず, 既に述べてきたように, 関連する知識体系は大きく戦略レベルと実構成レベルの 2 つの層からなると想定する. 本稿の域を超えるが, 筆者らが現在検討している次期モデルではさらにこれらの中間のレベルとして内容レベルと呼べるような層も設定することを確認中であり, それも含め, 知識は複数の異なった層に属する知識に分かれ, 上位層が下位層に反映されるという多層型であるとする. その上で, いずれの層でも確率宣言記述される知識がそれぞれ一つのエージェントとして記述されるものとする. これにより, 理想的な知識状態は多層型のマルチエージェントのそれぞれが適切に関係付けられている状態であると考えられる. これを単純化して例示したのが図 3 の(a)である.

これに対して, 学習者の各学習段階は各知識の一部または全部が次の 3 つの状態のいずれかになっているものとして表現することができる.

- (1) まったく未習得である
- (2) 確率が不適切である
- (3) 間違った関係性を持つ

多層型マルチエージェントというモデルでは, (1)は当該エージェントが不活性である

こと、(2)は確率値がことなっていること、(3)は層が異なるルール間の関係付けが間違っていること、として表現できる。そして、学習とは、こうした(1)~(3)のような不完全状態が学習経験を経て改善されていくことであると捉えることができる。これを単純化して示したのが図3の(b)から(c)への推移である。

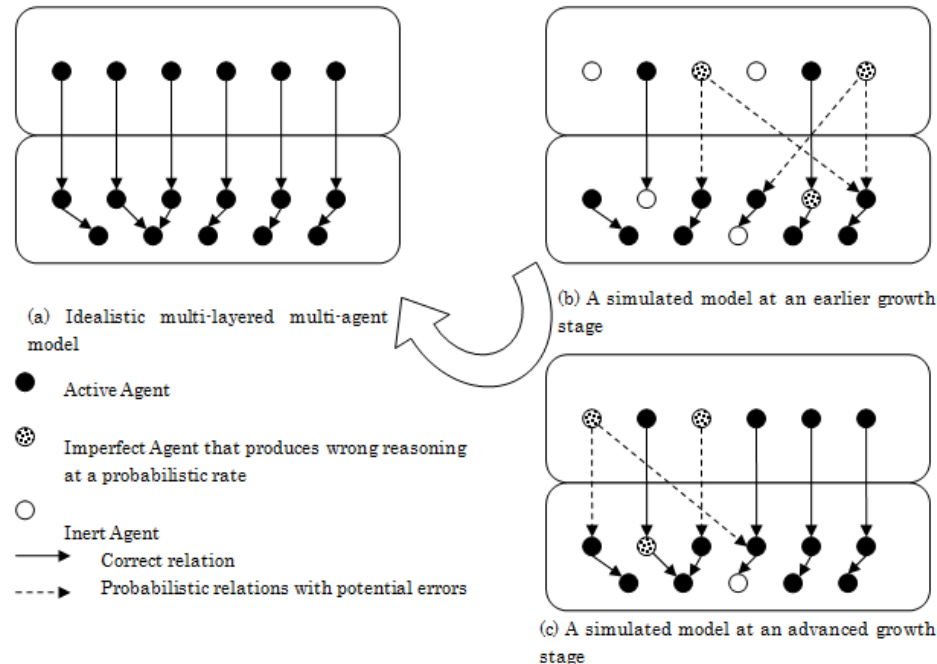


図3 学習者の学習段階を表現する多層型マルチエージェント学習者モデル

以上が筆者らの提案する多層型マルチエージェントによる学習者の学習段階の表現モデルであるが、これを用いて人間の学習段階のシミュレーションを行なうためには、人間の学習段階を示す評価データが必要になる。この評価データとして本稿では先に述べたピア学習者による部分項目評価データの一部を用いる。先に挙げた項目4並びに項目5は一見すると直接的に上記の戦略ルール1~3と直接的に関係していないように見えるが、収録した口頭発表内容と項目4並びに項目5の評価データの相関を分析した結果、少なくとも筆者らのデータではこれらが強い相関を示すことが分かっており、これらに関係付けるのは妥当であると考えられる。

4. 評価実験

前節で提案するモデル化の妥当性を検証するため、まだ予備的な段階にとどまるものではあるが、学習段階の推移をシミュレーションできるかの評価実験を行なった。実験の概要は以下の通りとなる。

4.1 学習段階の設定

まず学習段階として、ピア学習者による全体評価(30点満点)を元に、4つの段階を設定した。

- G_1 初級者の段階(1~7ただし実際は4~7)
- G_2 初中級者の段階(8~11)
- G_3 中級者の段階(12-15)
- G_4 中上級者の段階(16-19)

なお、収録した学習者データの中には20点以上の全体評価のものも含まれるが少数であったため、今回は用いていない。

これらの段階に該当する学習者データのうち、部分評価の項目4並びに項目5についてピア学習者評価がこの4つの段階にほぼ対応するもののみを学習データとして採用することとした。すなわち、学習者データの中には全体評価からは例えば G_2 に相当するにも関わらず項目4や項目5は例外的に G_3 ないし G_4 に相当する点となっているものが存在するためである(つまり、そうしたプレゼンテーションは他の項目できわめて低い評価となったため全体としては g_2 となった、という事例である)。これにより、 $G_1 \sim G_4$ の学習データはそれぞれ20件ずつである。

4.2 口頭発表内容文章の形式化

これらのデータについて、口頭発表内容の文章の各文(必要に応じて節レベルに付したものもある)に対して、表2で示したRST要素を付すと同時に、定義等の説明が必要な専門用語がある場合は、それをTとして表現した。これにより、文章の論理構成のみを取り出した表現が得られる。各文は先行文に対してSatellite、後続文に対してNucleusという場合もあるため、

$$S_i = (N \text{ 値}, S \text{ 値}, T \text{ の有無})$$

という3つの値で表現される。

4.3 各学習段階状態の設定

$G_1 \sim G_4$ に相当する多層型マルチエージェントの状態を設定するため、戦略ルール1~3ならびに、実構成レベルとしてのRST3, 4, 12について、4.1で用意した各学習データを使って機械的な学習を行なった。まず、RST3, 4, 12について、活性、不活性、誤用状態の3つの値のいずれかを値として選択するタスクを学習データの順番を変えつつ100回繰り返し、もっともよく現れた結果を持ってRST3, 4, 12についての学習状態とする。戦略ルール1~3については、RST3, 4, 12についての100回の学習状態

を入力として、その実現確率が 70%以上ならば活性、30%以下なら不活性、中間は不十分な習得状態と考え半活性(戦略ルール適用の確率が 50%)とした。

4.4 学習段階推移のシミュレーション

4.3 で $G_1 \sim G_4$ の学習段階を多層型マルチエージェントの特定状態(これを $g_1 \sim g_4$ とする)として得たことを受け、それぞれがさらなる学習を経て上位の段階に推移できるかというシミュレーションを行なった。具体的には、 g_i に対して G_{i+1} の学習データを使い、4.3 と同様のタスクを実行した。ただし、今回はそれぞれの活性状態が既に設定されているため、各タスクでは T の有無や N 値によって後続文の S 値を予測するというタスクとなる。この 100 回のタスクのうち 50 回以上誤った場合に、エージェントの活性状態を不活性、半活性的ないし誤用、活性の状態を推移させることとした。これによって、次段階に相当する学習データを入力として誤った状態を正しい状態にできるかを見ることとなる。この結果を g_i^{i+1} とする。これによって、戦略ルール、RST それぞれの学習結果比率は次のようになった。

表 4 g_{i+1} と g_i^{i+1} の学習結果の比較

	○ v. ●	○ v. ●	● v. ●
g_1^2 v. g_2	83.4%	75.8%	82.3%
g_2^3 v. g_3	52%	37.4%	64.7%
g_3^4 v. g_4	91.2%	62.3%	86.1%

この表から分かるように、初級から初中級、中級から中上級への推移はおおむね適切にシミュレートできていると判断できる。逆に初中級から中級への推移率が低いのは、このレベル間の違いが必ずしも大きくなかったため、と推測される。

5. 終わりに

本稿では、学習者の学習推移をシミュレートすることがそもそも可能であるかを検討することを目的として、多層型マルチエージェントモデルで学習者の知識を表現し、その各エージェントの活性状態が学習段階を表していると仮定した。その上で、学習者の学習推移がシミュレーションで表現できるかを検討した。予備的なレベルではあるが、その妥当性が一定程度示されたものと考えられる。

謝辞

本研究は科研費(22520576)並びに大阪府立大学大学院特別研究奨励費の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) K. Hashimoto and K. Takeuchi: “Prototypical Development of Awareness Promoting Learning Support System of Basic Presentation”, Proc. of 2nd International Symposium on Aware Computing (ISAC2), 304-311, (2010)
- 2) K. Hashimoto & K. Takeuchi: “Multimedia Learner Corpus of Foreigner’s Basic Presentation in English with Evaluations”, Proceedings of International Conference on Educational and Information Technology, Vol. 2, 469-473 (2010)
- 3) T. Groza, S. Handschuh, T. Clark, S. Buckingham Shum, and A. de Waard: “A Short Survey of Discourse Representation Models”, Proceedings 8th International Semantic Web Conference, Workshop on Semantic Web Applications in Scientific Discourse. (2009) (<http://ceur-ws.org/Vol-523Groza.pdf>)
- 4) W. C. Mann and S. A. Thompson: “Rhetorical Structure Theory: A Theory of Text Organization”, ISI/RS-87-190 (1987)
- 5) K. Hashimoto and K. Takeuchi: “Rhetorical Structure Ontology for Representing Learner’s Presentations with Potential Textual Inconsistencies and Imperfections”, ICIC Express Letters, 5(5), 1649-1654 (2011)