

# 学習時の多様な情報の統合分析による関連性抽出に関する実験的検討

Experimental Study on Extraction of the Relationship among Multifaceted Learning-related Data by the Integrated Analysis Method

松居辰則\*<sup>1</sup>  
Tatsunori Matsui

竹花和真\*<sup>2</sup>  
Kazuma Takehana

\*<sup>1</sup>早稲田大学人間科学学術院  
Faculty of Human Sciences, Waseda University

\*<sup>2</sup>早稲田大学人間科学部  
School of Human Sciences, Waseda University

Estimation of learners' mental states during the interaction between teacher and learners is very important issues for teacher from quality of learning environment point of view. In this experimental study, relationship between teacher's utterances, behaviors, learner's physiological indexes and mental states were tried to be detected. As for learner's physiological indexes, Near-Infrared Spectroscopy: NIRS, Electroencephalogram: EEG, Ventilatory Frequency, Skin Conductance Activity: SCA and photoplethysmogram: PTG were measured during her learning activities. On the other hand learner's mental states were reported by introspection method using the Achievement Emotions Questionnaire: AEQ constructed by some related scales on 9 emotions as Enjoy, Hope, Pride, Anger, Anxiety, Shame, Hopelessness, Boredom, and Other. After transforming all of measured data to categorical data to uniform their types and grain size, as a result about 60 seconds interaction between teacher and learner were represented as 2267 record-sets of cutting out data on the time series. Applying the association rule detection method to above 2267 record-sets, some meaningful association rules have been detected.

## 1. はじめに

教授・学習過程において学習者の心的状態を把握することは教育効果・学習効果の観点から極めて重要である。人間教師の場合は教授・学習過程の適材適所において学習者の心的状態を把握して教授戦略や教授方略に反映させることができるが、これを計算機支援によって自動的に行わせることは今後の教育システム研究においては重要な課題である。教育工学研究においても、学習者の眼球運動や発汗量など生体情報を学習行為や心理状態と関係付けるための基礎的な研究は多くの知見を蓄積している[中山 00]。そして、昨今の計算機や生体計測機器の高機能化と低廉化によって、生体計測機から得られるリアルタイムかつ大量のデータを高速に処理することにより、生体情報や行動情報を用いた学習者の心理状態の計算機による自動推定と教育支援への試みが盛んに行われている。

一方、教育実践研究においては、教授・学習過程における教師と学習者のインタラクションは学習者の心的状態の変化に影響を及ぼし、学習効果の決定要因として重要であることは広く共有されているところである。特に、教師の発問や教授行動は学習者の心的状態や学習環境の規定要因となり、その質の向上が教師教育においても求められるところである。したがって、学習時における教師の行動や発言と学習者の心的状態、あるいは心的状態の変化に関する要因との関係の形式化は重要な課題であり、その成果は学習支援システム（後述する知的メンタリングシステム）への学習者の心的状態の推定機能の実装のための基礎的な知見を与えることも期待される。

そこで、本研究では、教師と学習者のインタラクションにおいて教師の発話と学習者の生理データ、および学習者の心的状態との関係の形式化を実験的に試みた。以下、2節では知的メンタリングシステムについての概要を述べ、3節では学習に関わる多面的情報の統合的分析による、教師の発話と学習者の生

理データ、および学習者の心的状態との関係の形式化について述べる。

## 2. 知的メンタリングシステム

ここで、著者らが開発を行っている知的メンタリングシステム（Intelligent Mentoring System: IMS）について概説する。本研究はIMSにおける学習者お心的状態の推定機構の基礎的な研究として位置づけられる。

著者らの研究グループでは広義の学習支援システム（e-learning システムを含む）において学習者の知識・理解状態、心理状態の両側面を推定する機能を実装し、適切な自動メンタリングを実現するために必要なモデルと技術基盤を開発してきている[堀口 10]。このような学習支援機能を備えたシステムを、知的メンタリングシステム（IMS）と呼んでいる（図1）。IMSの特徴のひとつは、学習者モデルの診断機能において学習者の心理状態を考慮する点である。この心理状態は刻々と変化するものであるため、常にモニタリングし即時的に診断とフィードバックができるようにする必要がある。そこで、IMSでは既存のITS（Intelligent Tutoring System）研究による知識・理解状態の診断技術や支援方法（教授戦略）の決定モデル等に加え、心理状態のリアルタイムな推定結果やそれに基づく支援方法の決定モデルとあわせて統括的な学習者支援を行う。このようなIMSの実現に向けては、学習者の心理状態の推定機構と、学習者状態の診断結果に基づく支援方法の決定機構の2つの技術的基盤が新たに必要となる。

学習者の心的状態の推定機構に関して、著者らはこれまでにIMS実現のための技術的基盤のひとつである、学習者の心的状態をリアルタイムに推定するシステムの構築を試みてきた。一般的なコンピュータ利用環境への導入を容易にするため、“特殊な装置や操作を必要としない”手法の確立を試みる。学習者の心理状態を推定する指標としては、瞳孔面積などの生理的指標が有用であるが、特殊な装置が必要となってしまうため、学習者の行動的特徴であるLow-Level Interaction リソースに注目していることが特徴である。

連絡先: 松居辰則, 早稲田大学人間科学学術院, 〒 359-1192 所沢市三ヶ島 2-579-15, 04-2947-6924, matsui-t@waseda.jp

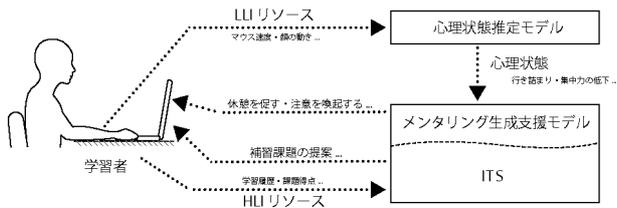


図 1: IMS の概念図

インタラクションは様々な粒度で切り取ることができる。RyuらはGUIにおけるインタラクションを、ユーザとシステムとの循環的なやり取りであると、その最小単位をLow-Level Interactionと定義している[Ryu 04]。著者らはこの定義を参考に、マウスの移動速度の変化や、キーボードの打鍵時間間隔、姿勢の変化など、出来る限り細かい粒度でサンプリングした行動的特徴をLow-Level Interaction (LLI) リソースと定義している。これに対して、生成された文字列や、その作業に要した時間などのリソースは、サンプリング粒度の粗いHigh-Level Interaction (HLI) リソースと定義している。HLIリソースによるインタラクションが明確な意識を伴う高次のインタラクションであるのに対して、LLIによるインタラクションは必ずしも明確な意識を伴わない低次のインタラクションであるとも考えることができる。したがって、IMSにおいても「学習者の(明確な意識を伴わない)何気ない行動から心理状態を推定すること」を特徴としている。

この考えに従い、著者らはこれまでにLLIを用いて学習時の学習者の心的状態の推定を試みてきている。例えば、IMSにおける心的状態の推定機構を実現するための基礎研究として、学習者のマウスの動きと顔の傾き、および顔の前後移動の状態から学習時の「迷い(困惑度)」の推定を試みている[堀口 10]。また、選択肢回答による問題解答時の視線の動きから学習者の選択に関する「確信度」の推定を試みている[小島 14]。

### 3. 学習に関わる多面的情報の統合的分析

本研究ではデータマイニングの手法を用いて学習に関わる多面的な情報の関係に関する分析を実験的に試みた。具体的には、教師の発話、学習者の生理データ(NIRSデータ、脳波、呼吸数、皮膚コンダクタンス、容積脈波)、学習者の心的状態の関係を相関ルール抽出手法を用いて導いた。相関ルール抽出を行うに当たっては、分析の対象となるデータ(上記)の形式や粒度が異なるため、全てのデータをカテゴリカルデータに変換した。従来の生理データ、生体データの分析においてはその特徴量を数学的に求める方法が中心であったが、この場合は得られた特徴量と実際の現象との対応付け(データの解釈)が困難であった。そこで、今回採用した方法は、計測されたデータに分析者の分析観点に基づいてカテゴリを付与するため、分析結果と実現象との対応付け(データの解釈)の可能性が高まるという特長をもつ。以下、本節では、データ取得のための実験、データの加工方法(カテゴリカルデータへの変換)、相関ルール抽出と実現象との対応付け(解釈)の順に述べる。

#### 3.1 データ取得のための実験

本実験では生体計測機器を用いた計測を中心に行った。被験者は個別指導塾(教師1名、学習者1名の個別学習)に通う中学生2名(被験者A, B)であった\*1。使用した機材は脳

\*1 本実験の実施にあたっては当該塾の講師を通して被験者(生徒)および保護者の許可を得ている。

波計(Emotiv EEG)、NIRS(日立WOT-100)、呼吸・皮膚コンダクタンス・容積脈波計(NeXus)であった。被験者には上記の機材を全て装着してもらい、通常通りの授業を受けてもらった。ただし、脳波計とNIRSに関してはどちらか一方しか装着することができないため、被験者Aには脳波計を、被験者BにはNIRSを装着してもらった。各計測機器は計測時間を対応させるために計測開始、終了時にマーカーを付与した。実験中の様子は3か所から3台のビデオカメラで撮影した。また、被験者には後日実験で得られた映像を見ながら学習時の心的状態の内省報告を求めた。実験中の様子を図2に示す。



図 2: 実験中の様子

#### 3.2 取得データからの相関ルール抽出

##### 3.2.1 データの加工(カテゴリカルデータへの変換)

今回分析の対象としたのは、約60分授業の中で教師と学習者のインタラクションが比較的多く確認できた63秒(開始後19分37秒から20分40秒まで)であった。そして、実験で得られたデータは形式や粒度が異なるため統一的なデータ分析を可能とするために、全てカテゴリカルデータへの変換を行った。取得されたデータとカテゴリとの関係を表1に示す。生理データ(呼吸数、皮膚コンダクタンス等)は連続データであるため、1つ前のデータからの変化量に応じて1から5の5段階で分類した。NIRSデータは大域平均基準化[野澤 09][平山 12]を施したのちカテゴリ化を試みたが、秒間データ取得数が5Hzと少ないためデータの変化量ではなく数値の大きさによって5段階に分類した。心的状態を表すカテゴリは、Achievement Emotions Questionnaire(AEQ)[Pekrun 11]で使用されている9感情についての尺度(Enjoy, Hope, Pride, Anger, Anxiety, Shame, Hopelessness, Boredom, Other)を用いた。被験者にはアノテーション付与のための自作アプリケーション(自身の動画を再生しながら該当する心的状態のボタンを押すことによってその時の心理状態を内省報告する)を用いて授業時の心的状態の内省報告を求めた。教師の発話を表すカテゴリは、先行研究[岸 06][藤江 00][清水 01]で使用されていたカテゴリを一部修正した9種類のカテゴリ(1:説明, 2:発問, 3:指示確認, 4:復唱, 5:感情受容, 6:応答, 7:注意, 8:雑談, 9:その他)を用いた。教師の発話へのカテゴリの付与に関しては、分析者が授業映像を見ながら分析者の視点で行った。

カテゴリを付与した全データは、データごとに記録された時間によって図3のように時系列に整序した。その結果、2267レコードのデータとなった。その際、異なる生理指標のデータ間では、計測粒度(計測される時間間隔)の相違から計測データが存在しないレコードが含まれることになる。この点に関しては、計測データが存在しない時間は極めて短い時間であるため、その時間内で大きな変化が起こるとは考えにくいため、そこには連続データとして1つ前のデータを補完した。なお、脳波および容積脈波のデータに関しては欠損データが多かった

こと、計測粒度が他のデータかと著しく異なることから他のデータと統合的に扱うことは困難であり、今回の分析の対象としないこととした。

表 1: カテゴリカルデータへの変換対応表

データ	カテゴリ	意味	データ	カテゴリ	意味
NIRS	A1	高い	呼吸	D1	高い
	A2	やや高い		D2	やや高い
	A3	中		D3	中
	A4	やや低い		D4	やや低い
	A5	低い		D5	低い
内省報告	B1	Enjoy	皮膚コンダクタンス	E1	高い
	B2	Hope		E2	やや高い
	B3	Pride		E3	中
	B4	Anger		E4	やや低い
	B5	Anxiety		E5	低い
	B6	Shame			
	B7	Hopeless ness			
	B8	Boredom			
	B9	Other			
教師の発話	C1	説明			
	C2	発問			
	C3	指示確認			
	C4	復唱			
	C5	感情受容			
	C6	応答			
	C7	注意			
	C8	雑談			
	C9	その他			

	A	B	C	D	E	F
1	標準時	NIRS	内省報告	発話(教師)	呼吸	皮膚コンダクタンス
2	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
3	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
4	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
5	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
6	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
7	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
8	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
9	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
10	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
11	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
12	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
13	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
14	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
15	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
16	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
17	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
18	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
19	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
20	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4

図 4: カテゴリ化後のデータテーブル (カテゴリカルデータセット)

師が C7 (注意) をして呼吸が D1 (大きく上昇した) とき、学習者は心的状態として B1 (Enjoy) を報告している。

ルール 2~4 は右辺部に「内省報告 = B3 (Pride)」を含む相関ルールを抽出した結果である。脳血流が A2 (やや上昇) であり、教師が C3 (指示確認) を行っており、呼吸は D4 (低い)、皮膚コンダクタンスは E3 (変化なし) であるとき、学習者は心的状態として B3 (Pride) を報告している。

ルール 5 は右辺部に「内省報告 = B5 (Anxiety)」を含む相関ルールを抽出した結果である。脳血流が A5 (非常に低い) であり、呼吸が D1 (非常に高い) とき、生徒は心的状態として B5 (Anxiety) を報告している。

ルール 6~12 は右辺部に「内省報告 = B6 (Shame)」を含む相関ルールを抽出した結果である。教師が C3 (指示確認) または C1 (説明) を行っており、脳血流が A4 (やや低い) とき、学習者は心的状態として B6 (shame) を報告している。また、教師が C3 (説明) を行っているとき、学習者の呼吸が D1 (高い) 状態になっていることが多い。

	A	G	H	I	J	K	L
1	標準時	NIRS(数値)	内省報告	発話(教師)	呼吸	皮膚コンダクタンス	
2	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.655	765.067	
3	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.654	765.018	
4	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.654	764.967	
5	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.654	764.907	
6	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.653	764.827	
7	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.653	764.72	
8	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.652	764.641	
9	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.652	764.543	
10	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.652	764.446	
11	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.651	764.38	
12	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.651	764.287	
13	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.65	764.209	
14	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.65	764.102	
15	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.649	763.987	
16	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.649	763.883	
17	19:37.0	1.616869	5.Anxiety	3.指示・確認	3.649	763.796	

図 3: カテゴリ化前のデータテーブル

### 3.2.2 相関ルール抽出

各データに付与したカテゴリは 1~5 で表現されているため、相関ルール抽出を行うにあたっては他のデータと区別することが出来るように A~F のアルファベットを追加 (NIRS データ: A1~A5, 教師の発話: C1~C9) することにより、カテゴリカルデータセットを構成した。その結果を図 4 に示す。

### 3.3 相関ルール抽出の結果

図 4 で示した統合化されたカテゴリカルデータセット (2267 レコード) に対して相関ルール抽出を行った。支持度 0.02, 確信度 0.89, リフト 2.2 以上で相関ルールを抽出した結果、表 2 に示すよう 12 個のルールが抽出された。

ルール 1 は右辺部に「内省報告 = B1 (Enjoy)」を含む相関ルールを抽出した結果である。脳血流が A2 (やや高い)、教

### 3.4 相関ルールの実現象との対応付け

ルール 1 からは、教師の注意行動がそれほど厳しいものではなかった (半分冗談を含めたもの等) ため、生徒の笑いを誘発させて、その結果脳血流および呼吸が上昇し enjoy という感情が喚起されたものと推測される。実際、授業記録映像からも、教師が冗談を交えて雑談や注意などを行っている様子が確認された。

ルール 2~4 からは、教師の指示確認が生徒の脳血流の上昇を誘発させた、つまり生徒の脳活動に負荷を与える内容であったということが推測される。しかし、呼吸や皮膚コンダクタンスからは生徒が「慌てる・焦る」といった状態は確認されなかったため、教師が課したタスクを生徒がクリアすることができた状態であり、その結果 Pride という感情が喚起されたものと推測される。

ルール 5 からは、内省報告 B5 (Anxiety) では NIRS の数値が下降していることを読み取ることができる。これは、Anxiety の感情が喚起される際に賦活する脳部位が本実験で使用した NIRS で測定される脳部位とは異なるため、前者における血流量が増加し後者における血流量が減少したものと推測される。

表 2: 抽出された相関ルールの一覧

	左辺部	右辺部	supp	conf	lift
1	NIRS=A2, 教師の発話=C7, 呼吸=D1	⇒ 内省報告 =B1	0.027	0.943	6.039
2	NIRS=A2, 教師の発話=C3, 呼吸=D4, 皮膚コンダクタンス=E3	⇒ 内省報告 =B3	0.047	0.906	3.380
3	教師の発話=C9	⇒ 内省報告 =B3	0.030	1.000	3.730
4	NIRS=A2, 教師の発話=C9	⇒ 内省報告 =B3	0.029	1.000	3.730
5	NIRS=A5, 呼吸=D1	⇒ 内省報告 =B5	0.026	0.891	7.164
6	NIRS=A4, 呼吸=D1	⇒ 内省報告 =B6	0.047	1.000	2.289
7	NIRS=A4, 教師の発話=C1	⇒ 内省報告 =B6	0.043	1.000	2.289
8	NIRS=A4, 教師の発話=C3, 呼吸=D1	⇒ 内省報告 =B6	0.041	1.000	2.289
9	NIRS=A4, 呼吸=D1, 皮膚コンダクタンス=E4	⇒ 内省報告 =B6	0.041	1.000	2.289
10	NIRS=A4, 教師の発話=C1, 呼吸=D4	⇒ 内省報告 =B6	0.037	1.000	2.289
11	NIRS=A4, 教師の発話=C3, 呼吸=D1, 皮膚コンダクタンス=E4	⇒ 内省報告 =B6	0.036	1.000	2.289
12	NIRS=A4, 教師の発話=C1, 皮膚コンダクタンス=E4	⇒ 内省報告 =B6	0.024	1.000	2.289

今回の実験で得られたルールの中で「NIRSがA5(低い)」が含まれているルールはルール5だけであるということ、呼吸数に大きな変化が伴っているということから、B5(Anxiety)の感情に関しては生理データからある程度推測可能なものと期待される。

ルール6~12からは、教師が発言した内容が生徒の応答を要するものであり、それに対して生徒は満足に応答することが出来なかったため、呼吸数の乱れ(D1(高い))が表れ、その結果、内省報告がB6(shame)という感情が喚起されたものと推測される。また、教師がC1(説明)を行っているときの相関ルールでは呼吸数は逆にD4(やや低い)状態であった。これは教師が生徒に応答を要さない発言を行っていたため、生徒は呼吸数を乱すことなく聞くことができたものと推測される。NIRSに関しては全体的に低い値をとっていたが、これは内省報告B5(Anxiety)と同様に、別の脳部位で脳が賦活していたため、本実験におけるNIRSでの測定部位の血流量が減少したものと考えられる。

#### 4. まとめと今後の課題

今回の実験から、NIRSや呼吸数など1種類のデータからでは困難な学習者の心理状態の推測も、複数のデータを統合的に観測することによって共通した傾向の導出の可能性が示唆された。教師の行動に関するカテゴリデータなどデータの種類をさらに増やし相関ルールの精度を向上させ、学習者の心的状態の推定の精度をより向上させることが今後の課題である。また、今回は教師と学習者のインタラクションの”一瞬”(時間的な変化を考慮していない)に着目して分析を行った。しかし、学習者の心的状態は教師とのインタラクションにおいて時系列的に変化するものであるため、この点も考慮した分析を行う予定である。さらに、分析結果の一般化に向けては、今回は教師1名、学習者1名の個別学習環境でのデータを分析対象としたが、本研究の成果(教師の発話と学習者の生理データ、および

学習者の心的状態との関係の形式化)の一般化に向けては、複数名の教師や学習者で構成される学習環境等、異なる学習環境での分析も必要である。この場合は、例えば、脳波計測機器の高機能化と低廉化が進んでいるため、十分に実施可能であると考えている。この点も今後の課題としたい。さらに、脳機能計測の観点からは、刺激に対する脳の関連部位の賦活と計測機器の測定のタイミング(誤差)に関する時間的補正も検討する必要がある。

#### 謝辞

本研究は、科学技術振興機構・社会技術研究開発センター(JST/RISTEX)「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」の研究開発プロジェクト「高等教育を対象とした提供者のコンピテンシーと受給者のリテラシーの向上による共創的価値の実現方法の開発」、および日本学術振興会・科学研究費補助金「挑戦的萌芽研究(課題番号25540165)」の成果によるものである。

#### 参考文献

- [平山 12] 平山健太, 綿貫 啓一, 楓和憲: NIRSを用いた随意運動および他動運動の脳賦活分析, 日本機械学会論文集C編, Vol. 78, No. 795, pp. 3803-3811 (2012)
- [堀口 10] 堀口祐樹, 小島一晃, 松居辰則: MRAを用いた学習者のLow-Level Interaction特徴からの行き詰まりの推定手法, 第58回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会資料, SIG-ALST-A903, pp. 1-6(2010)
- [藤江 00] 藤江康彦: 一斉授業における教師の「復唱」の機能: 小学5年の社会科授業における教室談話の分析, 日本教育工学雑誌, Vol. 23, No. 4, pp. 201-212 (2000)
- [岸 06] 岸俊行, 野嶋栄一郎: 小学校国語科授業における教師発話・児童発話に基づく授業実践の構造分析, 教育心理学研究, Vol. 54, No. 3, pp. 322-333 (2006)
- [小島 14] 小島一晃, 村松慶一, 松居辰則: 多肢選択問題の回答における視線の選択肢走査の実験的検討, 教育システム情報学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 197-202 (2014)
- [Michael 10] Michael, H., Bettina, G., Kurt, H., Christian, B.: Introduction to arules - A computational environment for mining association rules and frequent item sets, *Journal of Statistical Software*, Vol. 14, Issue. 15, (2010)
- [中山 00] 中山実, 清水康敬: 生体情報による学習活動の評価, 日本教育工学雑誌, Vol. 24, No. 1, pp. 15-23 (2000)
- [野澤 09] 野澤孝之, 近藤敏之: NIRS脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較, 計測自動制御学会 生体・生理工学シンポジウム論文集, Vol. 24, pp. 381-384 (2009)
- [Pekrun 11] Pekrun, R., Goetz, Frenzel, A. C., Barchfeld, P. and Perry, R. P.: Measuring Emotions in Students' Learning and Performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ) *Contemporary Educational Psychology*, Vol. 36, No. 1, pp. 36-48 (2011)
- [Ryu 04] Hokyoung Ryu, Andrew Monk: Analysing interaction problems with cyclic interaction theory: Low-level interaction walkthrough, *PsychNology Journal*, Vol. 2, No. 3, pp. 304-330(2004)
- [清水 01] 清水由紀, 内田伸子: 子どもは教育のディスコースにどのように適応するか-小学1年生の朝の会における教師と児童の発話の量的・質的分析より-, 教育心理学研究, Vol. 49, No. 3, pp. 314-325 (2001)