

Tensor SOMによるKWMデータの可視化 — 教師による授業改善と学生の状態把握を目的として —

岩武 澄¹ 古川 徹生¹

概要：Key Words Meeting (KWM) は教育現場における情報伝達の計測・評価を通して授業支援を行う ICT システムである。本研究の目的は KWM で収集したデータの可視化手法の開発である。本研究では、情報伝達における教師側の要因と生徒側の要因を切り分けて可視化する。前者は講義キーワードの伝達状態を表すキーワードマップとして可視化され、授業改善に役立てられる。後者は生徒のキーワード把握状態や受講状況を表した生徒マップとして可視化され、生徒の状態把握に役立てられる。さらに生徒の時系列的な状態変化も可視化することができた。

キーワード：自己組織化マップ, Tensor SOM, 階層型 Tensor SOM, KWM, データ可視化

Visualization of KWM Data by Tensor SOM

TOHRU IWATAKE¹ TETSUO FURUKAWA¹

1. はじめに

授業は教師から生徒への情報伝達の間と捉えることができる。Jahng らが開発した Key Words Meeting (KWM) は教師（発信側）から生徒（受信側）への情報伝達の計測・評価を通して授業支援を行う ICT システムである [1]。KWM では、授業のキーワード (KW) が生徒にどれくらい伝わったかを情報伝達の指標とする。たとえば教師が提示する KW がどれだけ生徒の記憶に残ったかを定量的に計測し、それを元に授業改善や生徒の状態把握に役立てる。本研究の目的は、KWM をより効果的に利用するための可視化法を開発することである。

ところで、同じ授業を聴いても生徒一人ひとりの受け止め方には違いがある。KW 伝達率が同じであっても、ある生徒が記憶した KW と、別の生徒が記憶した KW は異なるかもしれない。KWM の良さは、このような生徒ごとの違いも計測できる点である。本研究がめざすのは、生徒の多様性まで含めた KW 伝達率の可視化法であり、平均記

憶率で序列化した評価法の開発ではない。これを実現するため、本研究では自己組織化マップ (Self-Organizing Map: SOM) による可視化を取り入れる。SOM を用いることで、生徒や KW の類似性を表現した“地図”を得ることができる。また KW と生徒の関係を可視化するため、関係解析に優れた Tensor SOM (TSOM) を用いる。

本研究のもうひとつの焦点は、KW 伝達率に関する教師側の要因と生徒側の要因を分離することである。授業改善には教師側要因の可視化が必要であり、一方で生徒の状態把握には教師側要因（たとえば授業の良し悪し等）に影響されない可視化が必要となる。提案手法ではこれらを異なるマップとして表現するとともに、後者においては生徒状態の時系列的变化も可視化する方法を開発する。

2. Key Words Meeting (KWM)

2.1 KWM とは

授業による教育の間では、授業の実施、生徒反応の収集と評価、授業改善や生徒の状態把握という一連の教育活動が行われる。KWM はこれらの活動を支援する ICT システムである [1]。KWM では、授業を情報伝達の間と捉え、

¹ 九州工業大学大学院生命体工学研究科
Kyushu Institute of Technology

		KWの評価								授業態度			
		メイン KW1	メインKW1			メイン KW2	メインKW2		...	提出 時間	ノート記入		
			サブ KW1	サブ KW2	...		サブ KW1	...			...	メイン KW1	メイン KW2
生徒	A	1	0	0	...	0	0	...	...	23:30	1	1	
	B	1	0	1	...	1	1	...	...	12:30	1	0	
	C	1	1	1	...	1	0	...	...	0:30	0	1	
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	I	0	0	0	...	0	0	...	...	6:30	1	0	

図 1: KWM のデータ構造. 生徒はキーワード (KW) が記憶に残っていれば 1, 記憶に残っていなければ 0 と回答する. KW はメインとサブの階層構造になっており, それぞれに回答する. ただしメイン KW が 0 の場合はサブ KW もすべて 0 になる.

教師側は何を伝えようとしたか, 生徒側には何が伝わったを KW を利用して定量的に計測, 評価する. さらに生徒から教師への質問やフィードバック等もトータルに支援するシステムとなっている.

2.2 KWM が収集するデータ

KWM では 1 回の授業をクラスと呼び, 学期に行われる一連のクラスをコースと呼ぶ. クラス終了後, 生徒は指定された時間内に KWM システムにアクセスし, 教師が示した KW が記憶に残っているかどうかを回答する. 記憶に残っていれば 1, 残らなければ 0 と回答する. KW はメイン KW とサブ KW の階層構造になっており, サブ KW はメイン KW に関する詳細な KW となっている. したがってメイン KW が 0 (記憶に残っていない) の場合はサブ KW もすべて 0 になる (図 1). また生徒の回答時刻も記録される.

KWM システムでは授業ノートや教師への質問などの機能も備わっている. これらの機能を利用したかどうかデータとして用いることができる.

3. 本研究の目的

本研究がめざすのは, 生徒の多様性まで含めた KWM データの可視化法を行うことである. 授業の KW 伝達率の向上を目的とした場合, 生徒の平均記憶率のみの評価で行うのが最小限の情報で行える. この場合生徒の多様な情報が失われ, 平均記憶率で生徒や KW が序列化が起こる. そこで生徒や KW の類似性を用いることで生徒の多様な情報を可視化する. 本研究では 2 次元で類似性を表した可視化を行う SOM より可視化を行う. 今回は KW と生徒の関係の可視化も行うため, SOM を関係データなどのテンソルデータに拡張した TSOM を用いる. TSOM を用いることで類似性を生徒と KW の 2 つのマップが作製され, KW マップのある KW を選択すると, 生徒マップである KW の生徒の記憶状態が可視化できる. 生徒マップにおいて生

徒を選択した場合ある生徒の KW の記憶状態を知ることができる.

また情報伝達は教師側が上手に授業を伝達できているかと, 生徒側の授業状態の 2 つの要因によって変化する. そこで本研究では授業改善を目的とした可視化と, 生徒の状態把握を目的とした 2 つの用途が異なる可視化を提案する. また生徒においては, クラスごとの時系列変化が分かる可視化を行う.

4. 授業改善を目的とした可視化の提案

KW マップと生徒マップの 2 つのマップから KW の伝達状態を可視化する手法を提案する. またコースで用いた KW を一括に TSOM で可視化することで, コース全体で KW がどのように評価されているかを知ることができる. またクラスごとの情報伝達について可視化を行うことで, あるクラスがどのような伝達状態であるかを求める.

4.1 Tensor SOM によるマップの作製

本研究は TSOM によって可視化を行う. ここでは TSOM の目的とアルゴリズムについて述べるが詳細は文献 [2] を参照して欲しい.

KW の評価データが D 次元ベクトルで表せるとする. このときの学生 i と KW j とする関係を示すデータを $\mathbf{x}_{ij}$ とする. KW の評価データを 3 次テンソルで表すと $\mathbf{X} = (\mathbf{x}_{ij})$ となる. KW の評価データ $\mathbf{X}$ が与えられたとき, TSOM の目的は, 生徒と KW をそれぞれを低次元 (2 次元) の潜在変数 $z_i^{(1)}, z_j^{(2)}$ を用いた非線形写像 $f(z_i^{(1)}, z_j^{(2)})$ で $\mathbf{x}_{ij}$ を表すことである. $z_i^{(1)}$ は生徒の潜在変数であり, 生徒 i と似た KW の記憶状態の生徒は潜在空間上で $z_i^{(1)}$ と近い位置となる. また $z_j^{(2)}$ は KW を表す潜在変数である. このときの潜在空間がマップとして可視化される.

TSOM では, 各潜在空間を K_1 個, K_2 個の規則的なユニットに離散化し非線形写像は $f(\zeta_{k_1}^{(1)}, \zeta_{k_2}^{(2)})$ となる. そして適切な f を求めるように参照ベクトルを更新を行う. 参照ベクトルは 3 次のテンソルデータであり, この $\mathbf{Y} = (\mathbf{y}_{k_1 k_2})$ を 2 次モデルとよぶ.

学習に関してはこのほかに各モードに焦点をあてた 1 次モデルを作製する. 観測データにおいて, 学生 i の要素を固定した参照ベクトル $\mathbf{U}_{i::}^{(1)}$ と KW j の要素を固定した参照ベクトル $\mathbf{U}_{::j}^{(2)}$ の 2 つである.

アルゴリズム

TSOM の学習は, 広義の EM アルゴリズムであり, Estep と Mstep を繰り返し計算する.

学習に先立って 2 次モデル $\mathbf{Y}$ 並びに, 1 次モデル $\mathbf{U}_{i::}^{(1)}, \mathbf{U}_{::j}^{(2)}$ をランダムに初期化した後, Estep から行う.

Estep

Estep では SOM と同様に勝者決定を行うことで潜在変数の推定を行う. 各モードの 1 次モデルと 2 次モデルを比

較することで求める。

$$k_i^{*(1)} = \arg \min_{k^{(1)}} \|\mathbf{Y}_{k^{(1)}:} - \mathbf{U}_{i:}^{(1)}\|^2 \quad (1)$$

$$k_j^{*(2)} = \arg \min_{k^{(2)}} \|\mathbf{Y}_{:k^{(2)}} - \mathbf{U}_{:j}^{(2)}\|^2 \quad (2)$$

Mstep

Mstep では、写像 f の推定を行う。まず、近傍関数 $h(\cdot, \cdot)$ を評価し、総和が 1 となるように規格化する。

$$\alpha_{ik^{(1)}}^{(1)} = \frac{h(d(k_i^{*(1)}, k^{(1)}), \sigma_1)}{\sum_{i'=1}^I h(d(k_{i'}^{*(1)}, k^{(1)}), \sigma_1)} \quad (3)$$

$$\alpha_{jk^{(2)}}^{(2)} = \frac{h(d(k_j^{*(2)}, k^{(2)}), \sigma_2)}{\sum_{j'=1}^J h(d(k_{j'}^{*(2)}, k^{(2)}), \sigma_2)} \quad (4)$$

近傍関数 $h(\cdot, \cdot)$ はガウス関数である。 σ は近傍範囲を決める変数であり計算回数とともに減少させる。また $d(\cdot, \cdot)$ はユニット同士の潜在空間上の距離を表す。

$$\mathbf{u}_{ik^{(2)}}^{(1)} = \sum_{j=1}^J \alpha_{jk^{(2)}}^{(2)} \mathbf{x}_{ij} \quad (5)$$

$$\mathbf{u}_{jk^{(1)}}^{(2)} = \sum_{i=1}^I \alpha_{ik^{(1)}}^{(1)} \mathbf{x}_{ij} \quad (6)$$

$$\mathbf{y}_{k_1 k_2} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ik^{(1)}}^{(1)} \alpha_{jk^{(2)}}^{(2)} \mathbf{x}_{ij} \quad (7)$$

この 2 ステップを学習が収束するまで繰り返す。

4.2 マップの彩色法

TSOM で作製されたマップを彩色することで KW や生徒の類似度以外の様々な情報を読み取ることができる。本研究では 3 つの彩色方法を用いる。まず生徒や KW マップを個別で可視化する方法として、magnal component plane(MCP)を用いる。この方法では KW や生徒が平均してどのように評価されているかを可視化する。この手法を KW マップに用いると、KW マップの彩色は、KW 平均値伝達率

$$V_{k_2 d}^{MCP} = \frac{1}{K_1} \sum_{k_1=1}^{K_1} y_{k_1 k_2 d} \quad (8)$$

によって行う。生徒マップも同様に生徒の KW の記憶率の平均によって彩色を行う。次に KW と生徒の関係性を可視化する方法として、conditional component plane(CCP)を用いる。例えば特定の生徒を指定することで、その生徒の KW の記憶率を KW マップで可視化する。このとき KW マップはその生徒の記憶率

$$V_{k_1 k_2 d}^{CCP} = y_{k_1 k_2 d} \quad (9)$$

によって彩色を行う。本稿では MCP, CCP の彩色を青、赤のスケールで表し、スコアの低い領域は青、高い領域は

赤で彩色を行った。

またクラスごとの KW 伝達状態の可視化も行う。各クラスがどの様に情報が伝わっているかを知るために、KW マップにクラスごとの KW の分布で可視化する。第 c 回目のクラスにおけるサブ KW の分布は

$$V_{k_2 d}^{CD(c)} = \sum_{j_c=1}^{J_c} \gamma_{j_c k^{(2)}} \quad (10)$$

$$\gamma_{j_c k^{(2)}} = \frac{h(d(k_{j_c}^{*(2)}, k^{(2)}), \sigma_2)}{\sum_{j'_c=1}^{J_c} h(d(k_{j'_c}^{*(2)}, k^{(2)}), \sigma_2)} \quad (11)$$

によって求まる。本稿ではクラスごとの KW 分布をグレースケールで表し、スコアの低い領域は白、高い領域は黒で彩色を行った。

5. 生徒の状態把握を目的とした可視化の提案

生徒の授業状態の時系列変化を生徒マップの位置から把握する可視化を提案する。クラスごとに複数の TSOM が作製するマップが生徒の授業態度で対応関係が取れたマップを作製する。例えばクラスが変わっても、生徒マップのある位置の常に KW を良く記憶する生徒が位置するマップを作製する。通常クラスごとに複数の TSOM がそれぞれ独立した学習を行うと、出来上がるマップもそれぞれ独立したマップとなる。例えば、生徒マップ上で特定の位置でもクラスによっては生徒の状態が異なる問題が発生する。

この問題を解決する方法として高階化 SOM[5] のアルゴリズムを TSOM に取り入れる。高階化 SOM は階層構造を持つ 2 種類の SOM を用いて、下位の複数の SOM が学習した内容を上位の SOM が学習するアルゴリズムである。高階化 SOM の学習は複数の下位の SOM の学習が対応関係を取れた学習を行う。高階化 SOM の下位の SOM を TSOM に置き換えた階層型 Tensor SOM (階層型 TSOM) を用いる。階層型 TSOM により作製されるマップはマップ間で対応関係が存在し、クラスによらずマップ上での位置から生徒の状態を把握することができる。

5.1 アルゴリズム

本研究では高階化 SOM の学習は複数の下位の SOM を TSOM に置き換えて学習を行う。学習は大きく分けて 3 ステップで行う。

1st.Step

複数クラスのデータを複数の TSOM がクラスごとに学習を行う。このとき第 c 回目のクラスの学習結果は $\{\mathbf{Y}^c\}(c=1,2,\dots,C)$ となる。

2nd.Step

下位の複数の TSOM が学習した内容を上位の SOM が学習する。上位 SOM の学習は、広義の EM アルゴリズムであり、Estep と Mstep を繰り返し計算する。このとき上

位の SOM のユニットは L 個とすると、上位 SOM の l th の参照ベクトルは、 $\underline{W}^l \in \mathbb{R}^{K1 \times K2 \times D}$ である。

Estep

下位の TSOM の結果を入力データベクトルとみなし、SOM と同様に参照データベクトルを比較し勝者を決定する

$$l_c^* = \arg \min_c \|\underline{Y}^c - \underline{W}^l\|^2 \quad (12)$$

Mstep

$$\beta_{cl} = \frac{h(d(l_c^*, l_c), \sigma_c)}{\sum_{c'} h(d(l_c^*, l_c), \sigma_c)} \quad (13)$$

$$\underline{W}^l = \sum_{c=1}^C \beta_{cl} \underline{Y}^c \quad (14)$$

3th.Step

上位 SOM の学習結果を下位の TSOM へ伝えるため、上位 SOM から下位の TSOM へのコピーバックを行う。

$$\underline{Y}^c := \underline{W}^{l_c^*} \quad (15)$$

以上 3 ステップを学習が収束するまで行う。

5.2 生徒のサイド情報を活用したアルゴリズム

KWM では、ノートの提出や KWM への提出時間など生徒の授業態度のデータも存在する。KW の評価データに加えて生徒の授業態度をサイド情報を活用したマップも TSOM では作製できる。

サイド情報を考慮したアルゴリズムは、Estep の勝者ユニットの決定に、サイド情報を扱う項を追加し、Mstep でサイド情報の参照ベクトルの更新を追加することで求まる。学生 i のサイド情報の次元数を $D^{s.i.}$ としたサイド情報を $\mathbf{x}_i^{s.i.}$ とする。また学生のサイド情報の参照ベクトルは $\mathbf{y}_{k(1)}^{s.i.}$ とする。このとき生徒の勝者ユニットは次式で求まる。

$$k_i^{*(1)} = \arg \min_{k(1)} \left\{ \frac{1}{K_2 D} \|\mathbf{Y}_{k(1)::} - \mathbf{U}_{i::}^{(1)}\|^2 + \frac{A}{D^{s.i.}} \|\mathbf{y}_{k(1)}^{s.i.} - \mathbf{x}_i^{s.i.}\|^2 \right\} \quad (16)$$

A はサイド情報をどの程度反映させるかの重みである。Mstep でサイド情報の参照ベクトルの更新は次式で行える。

$$\mathbf{y}_{k(1)}^{s.i.} = \sum_{i=1}^I \alpha_{ik(1)}^{(1)} \mathbf{x}_i^{s.i.} \quad (17)$$

階層型 TSOM では、サイド情報の参照ベクトルの更新も行う必要がある。第 c 回目の講義のサイド情報の参照ベクトルを $\mathbf{y}^{s.i.c}$ とする。講義のサイド情報にも L 個のユニットを持った上位のサイド情報の参照ベクトルが存在し、 l th のユニットは $\mathbf{w}^{s.i.l}$ である。サイド情報の更新は上位のサイド情報の参照ベクトルを求めたあと、コピーバックを行うことで更新する。

$$\mathbf{w}^{s.i.l} = \sum_{c=1}^C \beta_{cl} \mathbf{y}^{s.i.c} \quad (18)$$

$$\mathbf{y}^{s.i.c} := \mathbf{w}^{s.i.l_c^*} \quad (19)$$

5.3 生徒の状態変化の可視化法

5.3.1 マップの彩色による可視化

生徒の状態変化を可視化するため 2 種類の彩色を行う。1 つは生徒の平均 KW の記憶状態を見るため MCP 法による可視化を行う。生徒の状態変化についてはサイド情報を使用しているためサイド情報の可視化も行う。サイド情報は以下の式を用いることで、

$$V_{k(1)d}^{s.i.c} = \sum_{i=1}^I \alpha_{ik(1)}^{(1)c} x_{id}^{s.i.c} \quad (20)$$

求めることができる。本稿ではグレースケールで表示し、スコアが高ければ黒、低ければ白とする。

5.3.2 生徒の時系列変化の可視化

生徒の授業状態の時系列変化は全てのクラスの生徒の位置を生徒マップにオーバーラップすることで行える。例えばある生徒の時系列変化を可視化する場合、ある生徒のクラスごとのマップの位置を生徒マップにオーバーラップすることで行える。

6. KWM データの可視化

6.1 実験概要

本稿で用いるデータは、工学系の大学の専門科目における KWM データである。授業回数は全 15 回、受講学生は全 62 人であった。本研究では、教師が学生に講義を行わないテストなどを除いた 10 回分の講義と、10 回分の講義に全て記入した 55 名の学生のデータ、すなわち 550 回分のデータを使用する。実験では各学生のサブ KW の記憶量を用いた。また学生のサイド情報として学生の授業態度を示すノートの記入割合と KWM への記入までの時間を用いた。ノートの記入割合は、講義中の全てのノートに対しての記入割合を用いた。また KWM への記入については、KWM への提出可能日から提出締め切りまでの時間で評価を行った。提出が早い生徒が 1、遅い生徒が 0 となるように段階的に評価を行った。

6.2 授業改善を目的とした可視化

学生のサブ KW の記憶量のデータからサブ KW マップ (図 2) と学生マップ (図 3) を作製した。学生マップとサブ KW マップは彩色法をそれぞれ変えたものであり、マップの配置は変化していない。各マップがどのようになっているのか MCP 法で見る。KW マップ (図 2 (a)) は、マップの右上の KW が平均伝達率が高いことが分かり、マップの左下にいくほど低くなることが分かる。また学生マッ

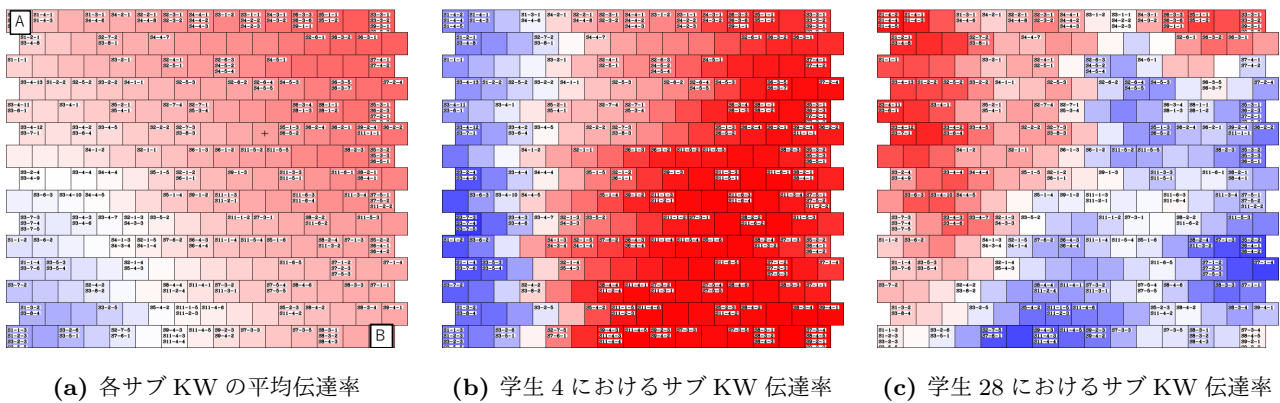


図 2: KW の伝達状態の可視化 サブ KW マップ. (a) は各サブ KW の学生の平均記憶量を示す. 赤/青がそれぞれ記憶率の高/低を示す. (b) は図 3 (a) 学生 4 が記憶しているサブ KW を表す. (c) は図 3 (a) 学生 28 が記憶しているサブ KW を表す.

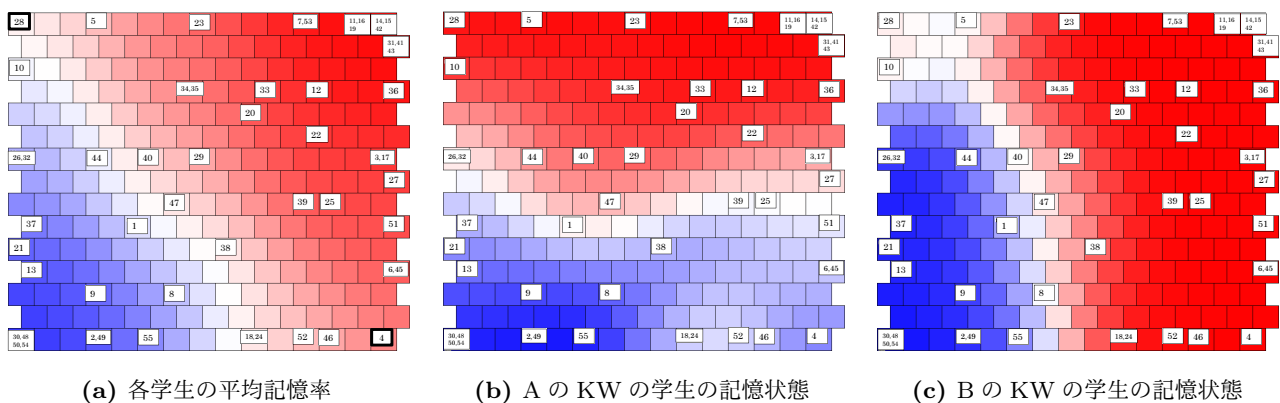


図 3: KW の伝達状態の可視化 学生マップ. (a) は各学生のサブ KW の平均記憶量を示す. (b) は図 2 (a) A のサブ KW の学生の記憶状態を表す. (c) は図 2 (a) A のサブ KW の学生の記憶状態を表す.

プ (図 3 (a)) もマップの右上の KW が平均伝達率が高いことが分かり、マップの左下にいくほど低くなるのが分かる。

KW と学生の関係性を CCP 法で可視化する。図 2 (a) における A のサブ KW についての学生の記憶状態は図 3 (b) である。学生マップの上側には伝わっており、下の学生には伝わりにくい KW であることが分かる。図 2 (a) において A と似た配色をしている B のサブ KW の学生の記憶状態を可視化する (図 3(c))。学生マップの右側の生徒には伝わっているが左側は伝わっていないことが分かる。このことから伝達率が似た KW であっても学生の伝達状態が異なることが分かる。次に学生がどのような KW を記憶しているか可視化する。図 2 (b) は図 3 (a) の学生 4 が記憶しているサブ KW を表している。右側の KW は記憶しており、左側の KW ほど記憶していないことが分かる。また (c) は図 3 (a) の学生 28 が記憶しているサブ KW を表す。KW マップの左上の KW を記憶しており、右下にいくほど記憶していないことが分かる。サブ KW マップと学生マップから平均 KW の伝達率以外にも各 KW がどのような生徒に記憶されているかや、各学生の KW の記憶状態も可視化することができた。

またクラスごとに KW 分布の可視化を行った (図 4)。クラスごとのサブ KW 分布において、クラス 1 (図 4(a)) のサブ KW はマップの左側特に左上に多く集まっていることが分かる。そのためクラス 1 は KW の伝達が上手く行われておらず、学生マップにおいて左側の学生には伝わりにくいクラスであったことが分かる。クラス 6 (図 4(b)) においてはサブ KW マップの右上にクラスの KW が多く分布がなっている。KW マップにおいて右上の KW は学生の記憶率が高い KW であるため、クラス 6 は全体的によく伝わっていると読み取れる。これらからクラスごとの KW をマップの分布として可視化することによって、クラスごとの情報伝達の変化を読み取ることができた。

6.3 生徒の状態把握の可視化

実験では、サブ KW の評価とサイド情報の両方扱って学生の授業態度の変化を可視化した (図 5～図 7)。まず学生マップにおいて、クラスごとにどのような特徴を持つ可視化を行った。図 5 はクラス 1 において学生の、(a) KW の伝達率、(b) ノートの記入割合 (c) KWM への提出時間を表している。図 5(a) は学生のサブ KW の評価を MCP 法で彩色をしておりマップの右側は KW の記憶率が高い

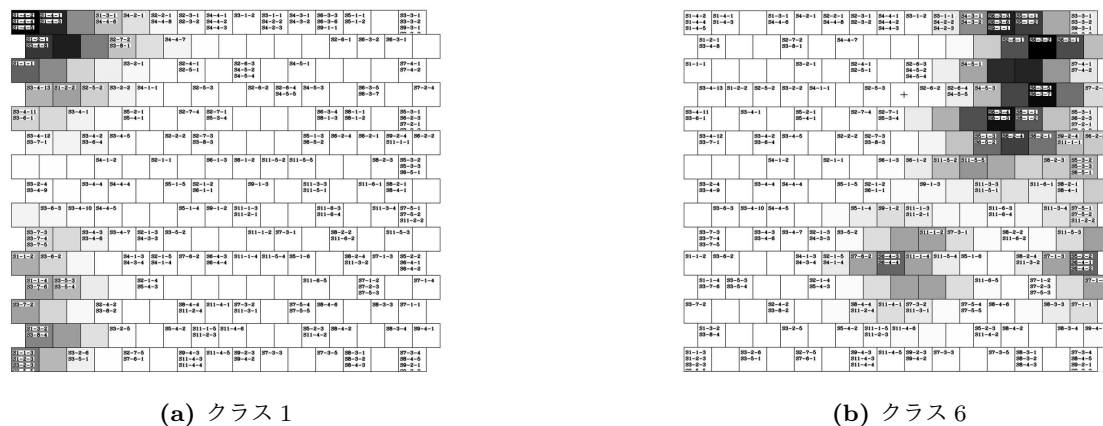


図 4: クラスごとのサブ KW の分布。(a) はクラス 1 のサブ KW の分布を表している。黒/白がサブ KW の分布が高/低を表している。(b) はクラス 6 のサブ KW の分布を表している。

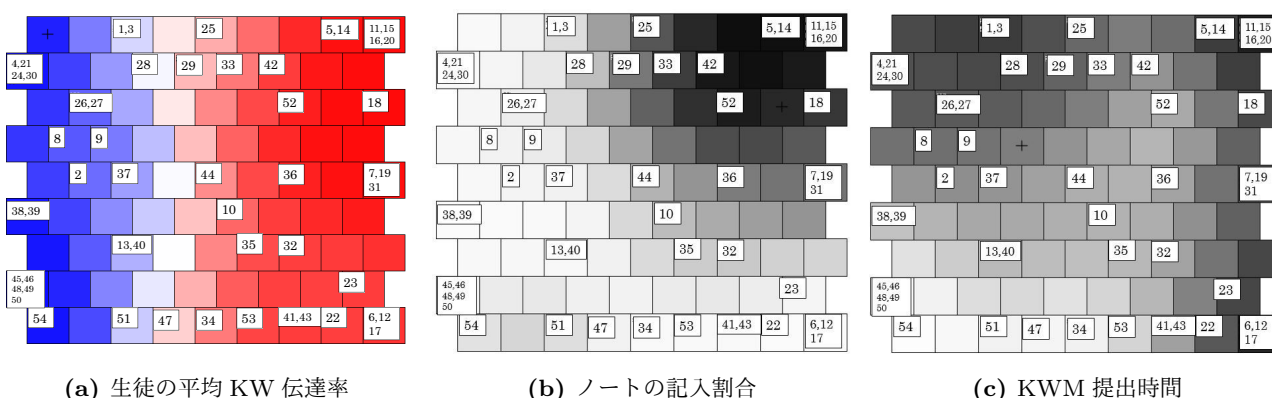


図 5: クラス 1 の学生マップの特徴。(a) KW の伝達率。各学生の平均 KW 記憶率を表す。赤/青がそれぞれ記憶率の高/低を示す。(b) ノートの記入割合。黒/白がそれぞれ記入割合の高/低を示す。(c) KWM への提出時間。提出時間の早さを表し黒/白がそれぞれ早い/遅いを示す。

生徒で左側は低い生徒である。図 5(b) は学生のノートの記入割合を示しており、右上の学生ほど高い。図 5(c) は学生の KWM への提出時間を示しており、左下が低いことが分かる。このことからクラス 1 学生マップにおいて右上の学生は、KW をよく記憶しており、ノートの記入、KWM への提出ともに高い。反対に左下の学生は、KW をあまり記憶できておらず、ノートの記入も低く KWM への提出も遅いことが分かる。また左上と右下の学生はともに KWM の記入が早いノートの記入が低く、右下の学生は KW の記憶率が高いが、左上の学生は低いことが伺える。

クラス 2 においても同様にどのような特徴をもつマップであるか可視化した (図 6)。図 6 はクラス 1 と同様にクラス 2 において学生の、(a) KW の伝達率、(b) ノートの記入割合 (c) KWM への提出時間を表している。図 6 の特徴はクラス 1 の学生マップと同様であることが分かる。そのため学生マップはクラスによらずマップ上での位置でクラス内で同じ特徴を持つ生徒が、マップ上で同じ位置にいることが分かる。

そこで、指定した生徒の時系列変化の可視化を行った (図

7)。図 7(a) の学生 1 はコースを通して KW をあまり聞けておらずノートの記入もあまりよく無い学生であった。またははじめは KWM の提出が早かったが中盤にかけて低くなるが講義の最後になるにつれまた KWM への提出がよくになっていることが分かる。図 7(b) の学生ははじめは KW をよく聞いており授業態度もよかったが、中盤にかけて KW があまり聞けておらずかつノートの記入も悪くなっていることが分かる。

学生の KW 評価と授業態度がどのように変化しているのか可視化を行った結果、学生がクラスごとに KW 評価と学生の授業態度の 2 つから各学生がどのように変化しているかを学生マップから読み取れた。

7. おわりに

生徒の多様性まで含めた KWM データの可視化法を TensorSOM を活用して開発した。また本研究では情報伝達における発信側の教師と受信側の生徒の要因を分離した可視化法を行った。教師側においては授業改善を目的とした KW の伝達状態の可視化と、生徒においては生徒の状態変

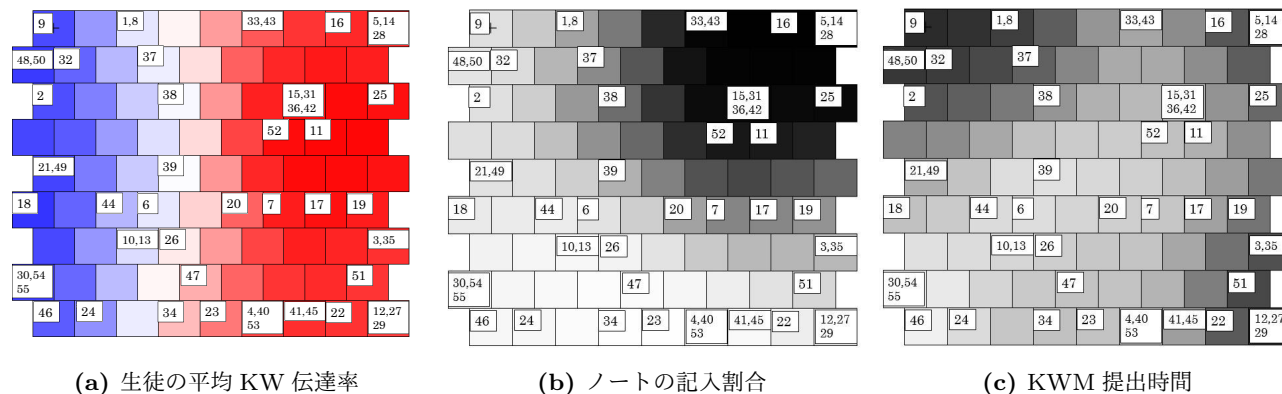


図 6: クラス 2 の学生マップの特徴 (a) KW の伝達率. 各学生の平均 KW 記憶率を表す. (b) ノートの記入割合. (c) KWM への提出時間. 提出時間の早さを表す.

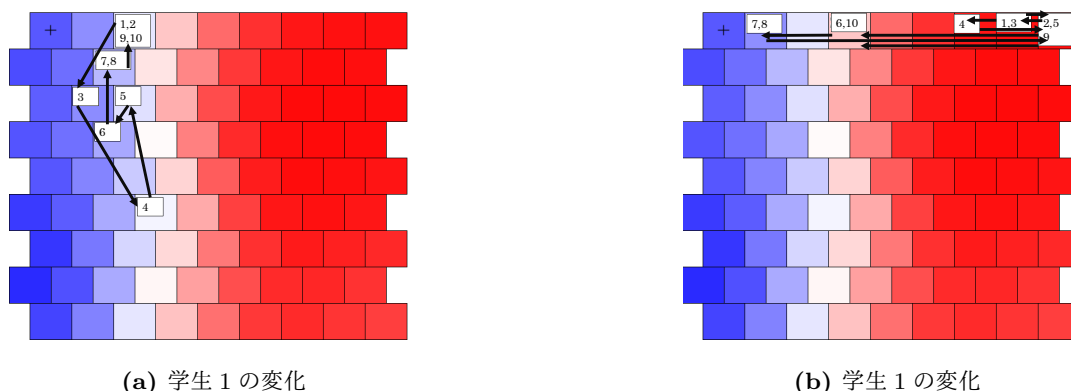


図 7: 学生のコースでの変化. (a) は学生 1 がコースを通してどのように変化しているかを表している. 1~10 の数字はクラスを表しており, 矢印が学生が時系列でどのように変化しているかを表す. (b) は学生 5 がコースを通してどのように変化しているかを表している.

化をコースの時系列性まで含めた可視化を行った. 授業改善を目的とした可視化においては, 各 KW がどの生徒に伝わっているかを学生マップと KW マップの 2 つの 2 次元マップで可視化した. これにより KW がどの生徒に伝わっているか, 各学生がどんな KW を記憶しているかを把握することができた. 生徒の状態変化をコースの時系列性まで含めた可視化においては, 学生マップ上での学生の動きにより生徒の変化を把握することができた.

このように KWM データに TSOM を活用した可視化を行うことで, マップから生徒の多様性まで考慮した可視化が行えた. またマップの配色を変えることでデータを可視化するため, KW と生徒の関係も容易に分かり, データの把握が行いやすい.

謝辞 実験データを提供して頂いた, 九州工業大学大学院生命体工学研究科 Jahng, Doosub 教授と田向権准教授に感謝する.

参考文献

- [1] <http://www.brain.kyutech.ac.jp/jahng/wp/> (accessed 2018.1.15)
- [2] Iwasaki, T. & Furukawa, T., "Tensor SOM and Ten-

- sor GTM: Nonlinear tensor analysis by topographic mappings". *Neural Networks*, 77, 107-125, (2016)
- [3] T. Kohonen, Self-organized formation of topologically correct feature maps, *Biological Cybernetics* 43 (1) (1982) 59-69.
- [4] P. Stefanovic, O. Kurasova, Visual analysis of self-organizing maps, *Nonlinear Analysis: Modelling and Control* 16 (4) (2011) 488-504.
- [5] Furukawa, T.: SOM of SOMs, *Neural Networks*, Vol.22, Issue 4, pp.463-478, 2009