コンピュータと教育 10−24
(1990. 4.26)

あいまいな教授方略を反映した学習課題系列の生成

Generation of Learning Task Sequences Reflecting Fuzzy Teaching Strategy

赤堀 侃司
Kanji AKAHORI
東京工業大学教育工学開発センター
CRADLE, Tokyo Institute of Technology

「あらまし」
筆者は以前に、教授方略を下位性、基礎性、関連性の概念で表現する教授方略モデルを提案し、この教授方略の程度を反映する学習課題系列を求める方法を報告した[1][2]。この方法では教授方略の程度を0から1までの数値で表しているが、このような数値化は教授設計者にとって決定しにくい面があるので、これを主観的なレベルで表す方法を導入する。この時これらの主観的レベルで表された教授方略を反映する学習課題系列は、一般に複数個存在するが、これらをすべて生成する方法を提案する。

「キーワード」
授業設計、教授方略、課題分析、コースウェア設計、学習課題系列、数理モデル

1. はじめに

学習課題の系列化の授業設計における位置付けについてはすでに述べたが[1][2]、筆者は教授方略（Teaching Stnategy）と教授方策（Teaching Tactics）の関係を図1のように考えている。

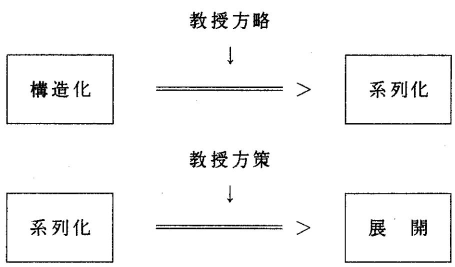

図1 教授方略と教授方策の位置付け
Fig. 1 Relation between teaching strategy and teaching tactics

従って、学習課題系列には、授業設計者の意図である教授方略が反映されることになる。この教授方略を反映する系列化の方法については、沼野一男の論理分析[3]、Reigeruth & Merill[4]の精致化理論等が知られているが、筆者は次のような3つの概念で表される教授方略モデルで、数理的に系列化する方法を提案した[1][2]。

すなわち、教授方略は設計者の意図であるから主観量であるが、学習課題の関係構造で表現される下位性、基礎性、関連性をどの程度反映するかという量を0から1までの主観値で表わすという方式である。これを、あいまいでない教授方略と呼ぶことにする。

しかしながら、主観値を適当に0から1まで数値化して表現する事が困難である事も多く、だいたいとか、とても、といったあいまい量として表現できる方が扱いやすい。これをあいまいな教授方略と呼ぶことにすれば、あいまいな教授方略を反映する学習課題系列を求める事は、アルゴリズムの上ではあいまいでない教授方略に比べてかなり難しくなる。その理由は、あいまいでない教授方略の集合から学習課題系列の集合への写像が（n:1）であるに対して、あいまいな教授方略の集合から学習課題系列の集合への写像は（1:n）であるために、1つの教授方略に対して複数個の学習課題系列を生成しなければならないからである。

それは、以下述べるように、あいまいな教授方略をあいまいでない教授方略の部分集合で表しているから

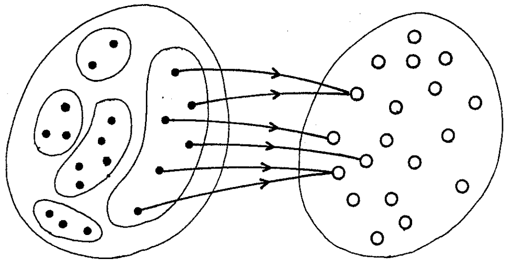

図2　教授方略集合から学習課題系列への写像
Fig.2　Mapping from a set of teaching strategy to a set of learning task sequence

であるが、これを模式的に、図2に示す。本論文では、このあいまいな教授方略を反映する学習課題系列の生成について以下の通り報告するものである。

2．教授方略モデルの概要

教授方略モデルについては既に報告したが[1],[2]、以下の議論に必要な最小限の内容について述べる。

（1）学習課題の包含行列

学習課題Ｏi，Ｏjにおいて、その課題の内容的な包含関係を次のような包含行列Ｘで表す[1]。

$$X=(x_{ij})\quad (i,j=1,\cdots\cdots,n)$$

$$x_{ij}=\begin{cases}1 & (O_i \supset O_j \text{の時})\\ 0 & (O_i \not\supset O_j \text{の時})\end{cases}\qquad (1)$$

可到達行列をＭとおくとき、Ｘは形式的にはM^Tに等しい。すなわち、

$$X=M^T \qquad (2)$$

その概念図を図3に示す。以下、課題iと述べているのは、学習課題Ｏiの省略語である。

（2）下位性

包含行列Ｘにおいて、i行の行和をＬiとおく時、課題Ｏiの下位性を次式で求める[1]。

$$\min_k (L_k)\ /\ L_i, \qquad (3)$$

但し、$L_i=\sum_{j}^{n} x_{ij}\qquad (i,k=1,\cdots,n)$

（3）基礎性

包含行列Ｘにおいて、i列の列和をＳiとおく時、課題Ｏiの基礎性を次式で求める[1]。

$$S_i\ /\max_k (S_k) \qquad (4)$$

但し、$S_i=\sum_{j}^{n} X_{ij}\qquad (i,k=1,\cdots,n)$

（4）関連性

以前に報告した関連性の定義では、次式のｆij（Ⅰ）であったが[1]、さらに次のようにｆij（Ⅱ）を定義する。

$$f_{ij}(\mathrm{I})=\frac{(Y_{Ui},Y_{Uj})+(Y_{Di},Y_{Dj})-(Y'_i,Y'_j)}{|Y_i|\ |Y_j|} \qquad (5)$$

$$f_{ij}(\mathrm{II})=\frac{(Y_{Ui},Y_{Uj})+(Y_{Di},Y_{Dj})-(Y',Y'_j)}{(Y_i,Y_i)+(Y_j,Y_j)-(Y_i,Y_j)} \qquad (6)$$

但し、可到達行列Ｍを、

$$M=(y_{ij}),\qquad (i,\cdots,n)$$

とおく時、

$$Y_{Ui}=(y_{i1},\cdots,y_{in})$$

$$Y_{Di}=(y_{1i},\cdots,y_{ni})$$

$$Y_i=(\max(y_{i1},y_{1i}),\cdots,\max(y_{in},y_{ni}))$$

$$Y'_i=(\min(y_{i1},y_{1i}),\cdots,\min(y_{in},y_{ni}))$$

であり、（α，β）はベクトルαとβのスカラー積、

$$|Y_i|=(Y_i,Y_i)^{1/2}$$

$$|Y_j|=(Y_j,Y_j)^{1/2}$$

である。

このｆij（Ⅱ）とｆij（Ⅰ）の関連とその概念については紙面の都合上省略し、稿を改めて報告する。本論文ではｆij（Ⅱ）を用いる事とし、以下断わらない限りｆijは、ｆij（Ⅱ）を表す。

（5）学習課題の特性ベクトル

下位性、基礎性、関連性の程度をどの程度反映するかというパラメータをそれぞれＡ，Ｂ，Ｃで表す。但し、$0\leqq A, B, C\leqq 1$である。これは既に述べた主観値であり、授業設計者の意図の数値化表現である。この時学習課題の特性ベクトルＺを次式で求める[1]。

$$Z'=\Phi' Z$$

$$\Phi'=(\Phi'_{ij})$$

$$\Phi'_{ij}=\Phi_{ij}\max(X_{ij},X_{ji})$$

$$=\begin{cases}C\ f_{ij}\max(X_{ij},X_{ji}) & (i\neq j\text{の時})\\ 1 & (i=j\text{の時})\end{cases}$$

$$Z^T = (Z1, \cdots, Zn)$$

$$Zi = A\left(\min_k(Lk)/Li\right) + B\left(Si/\max_k(Sk)\right) \tag{7}$$

以上から（A, B, C）のパラメータを入力することによって、学習課題の特性ベクトルZ’が求まり、このZ’と学習可能条件[1]を組み合わせる事によって、学習課題系列を求めることができる。以上があいまいでない教授方略の学習課題系列を生成する方法の概要である。

3．あいまいな教授方略を反映する学習課題系列の生成

（1）あいまいさの表現

あいまいさの表現には種々考えられるが、ここではパラメータA, B, Cの0から1までの区間をm個のレベルに分割することによって表す。例えばm＝5であれば、図4のように等分割するが、等分割でなくても以下の議論にはさしつかえない。

いずれもパラメータのある範囲を持って、あいまいさを表現する事にする。教授方略は、｛A, B, C,｝で与えられるので、あいまいな教授方略は例えば、

｛A＝usual, B＝some strong, C＝very strong｝

$= \{0.4 \leqq A \leqq 0.6,\ 0.6 \leqq B \leqq 0.8,\ 0.8 \leqq C \leqq 1.0\}$

のように表す。

また、Aには無関係に、Bは some weak から some strong まで、Cはvery strong とする時は、

｛A＝no consideration, B＝from some weak to some strong, C＝very strong｝

$= \{0 \leqq A \leqq 1.0,\ 0.2 \leqq B \leqq 0.8,\ 0.8 \leqq C \leqq 1.0\}$

のように表す。以上の表現から一般にあいまいな教授方略は次のように表される。

$$\{\alpha_1 \leqq A \leqq \alpha_2,\ \beta_1 \leqq B \leqq \beta_2,\ \gamma_1 \leqq C \leqq \gamma_2\}$$

但し、$0 \leqq \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2 \leqq 1$　(8)

ところで、下位性、基礎性、関連性は互いに独立な概念ではない。教授方略にもこれが反映されるわけで、独立なパラメータとして（B／A, C）の2つで教授方略を表す。この理由は、次の順序関係の決定で述べる。従って、一般にあいまいな教授方略は次式で表される。

$$\{\alpha \leqq B/A \leqq \beta,\ \gamma \leqq C \leqq \delta\} \tag{9}$$

但し、α, βについては次のように定める。

B／Aの計算の都合上

min（A）＝min（B）＝0.05

と仮定する事によってB／Aが無限大になる事を避け

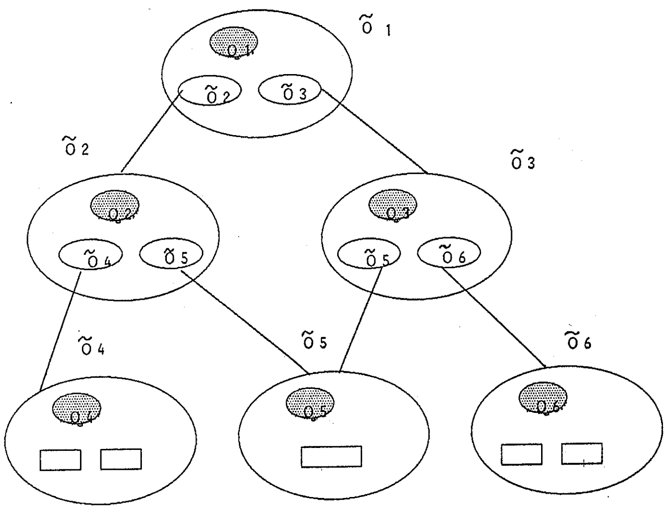

図3　学習課題の包含関係を示す概念図
但し、⬭ は学習課題
⬭ は固有課題
▭ は前提課題を示す

Fig.3　Concept of inclusion relation of leraning task

る。（B／A）の５段階を図5のように表すとすれば、その境界線におけるしきい値から（B／A）のパラメータは、次のように表される。

$0.05 \leqq B/A \leqq 0.33$	:	very weak
$0.33 \leqq B/A \leqq 0.71$	:	some weak
$0.71 \leqq B/A \leqq 1.41$	:	usual
$1.41 \leqq B/A \leqq 3.00$	:	some strong
$3.00 \leqq B/A \leqq 20.0$	:	very strong

（２）順序関係の決定

(7)式の学習課題の特性ベクトル Z' の要素 z'_i を、課題iの特性値と呼ぶ。z'_i は(7)式から

$$z'_i = \sum_{k}^{n} \Phi'_{ik}\, z_k$$

$$= \sum_{k}^{n} \Phi'_{ik}\left(A \cdot \min_t(L_t)/L_i + B \cdot S_i/\max_t(S_t)\right)$$

但し、$t=(1,\cdots,n)$ (10)

記号の繁雑さのため、これを次のように置く。

$$l_i = \min_t(L_t)/L_i$$

$$s_i = S_i/\max_t(S_t)$$

$$\Phi'_{ik} = \begin{cases} C\phi_{ik} & (i \neq k\text{の時}) \\ 1 & (i = k\text{の時}) \end{cases}$$

但し、$\phi_{ik} = f_{ik} \cdot \max(x_{ik}, x_{ki})$

これから(10)式は、

$$z'_i = A l_i + B s_i + C \sum_{k \neq i}^{n} \phi_{ik}(A l_k + B s_k) \quad (11)$$

となる。$z_i' = z_j'$ を満足する関係式をパラメータで整理すれば、次式となる。

$$C - c_0 = \frac{d_0}{(B/A) - r_0} \quad (12)$$

但し、

$c_0 = \Delta s_{ji}/b_{ij}$

$r_0 = -a_{ij}/b_{ij}$

$d_0 = \{\Delta l_{ji} - \Delta s_{ji}(a_{ij}/b_{ij})\}/b_{ij}$

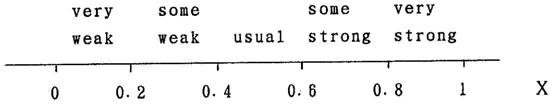

図４　あいまいさの表現

Fig.4　Representation of fuzziness

$\Delta l_{ji} = l_j - l_i$

$\Delta s_{ji} = s_j - s_i$

$$a_{ij} = \sum_{k \neq i, j} (\phi_{ik} - \phi_{jk})\, l_k$$

$$b_{ij} = \sum_{k \neq i, j} (\phi_{ik} - \phi_{jk})\, s_k$$

(12)式から、$z_i' = z_j'$ を満足する式は、C軸と（B／A）軸上で、双曲線を示すことが判る。教授方略の独立パラメータとしてCと（B／A）を採用したのは、この理由による。そこでC軸と（B／A）軸上で次のようなあいまいな教授方略を想定する。

$$\{\alpha \leqq B/A \leqq \beta,\ \gamma \leqq C \leqq \delta\} \quad (13)$$

この両軸で囲まれる範囲は、次の４点を結ぶ長方形 $P_1P_2P_3P_4$ である。

P_1：(α, γ)　　P_2：(α, δ)

P_3：(β, δ)　　P_4：(β, γ)

さて、点Pはあいまいでない教授方略を表すから、$z'_i > z'_j$ 又は $z'_i < z'_j$ のどちらかの順序関係が決定される。点Pにおける z'_i と z'_j 順序関係を $R_{ij}(P)$ で表す。Pt点とPs点の順序関係、$R_{ij}(P_t)$、$R_{ij}(P_s)$ が等しいとき、Pt点、Ps点で順序関係が保存されると言う。この時、上記の教授

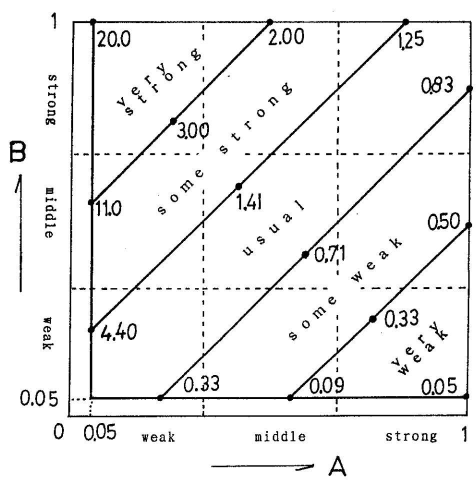

図５　B／Aのあいまいさの表現
但し、数字はB／Aの値を示す

Fig.5　Representation of B/A fuzziness
numerical value : value of B/A

方略に関して次の性質がある。

（性質１）

あいまいな教授方略を（Ｂ／Ａ）軸とＣ軸上で長方形の範囲として表すとき、その長方形の頂点の４点をＰk(k=1,•••,4)とする。この時、順序関係Ｒij(Ｐk),(k=1,•••,4)が４点において保存されるならば、このあいまいな教授方略の範囲で順序関係は保存される。

（証明）

図6にその模式図を示すが、Fig.Aのようにｚｉ＝ｚｊを示す関係式(12)式がこの範囲を横切らないとする。(12)式によって分割される１つの領域内では順序関係は保存される。故に４点において順序関係が保存されれば、この範囲内に(12)式が横切ることはない。故にこの範囲で順序関係が保存される。■

（性質２）

順序関係が異なるような、隣り合う点ＰkとＰk+1,又はＰk-1とＰkが存在する時、ＰkとＰk+1,又はＰk-1とＰkを結ぶ線上にｚｉ'＝ｚｊ'を満足する点が存在する。従ってあいまいな教授方略の範囲に、ｚｉ'＞ｚｊ'と、ｚｉ'＜ｚｊ'の２つの順序関係を満足する２つ以上の領域が存在する。

（証明）

もし(12)式が教授方略の範囲を横切らないとすれば、性質１が成立するので、順序関係が異なる隣り合う点が存在すれば、必ず(12)式はFig.B、Fig.Cのように、この範囲を横切る。(12)式は１価関数であるから、この長方形の１辺に２点以上で交差する事はない。以上からこの交差によって、２領域又は３領域に分割される。■

以上からあいまいな教授方略においては、高々４点の順序関係を調べれば、教授方略の範囲内でそれが保存されているかどうかを調べることができる。一般にｍ個の課題の順序関係の保存についても同様に、次のように調べる事ができる。

1°　課題i,jについて（性質１）と（性質２）によって、順序関係Ｒij(Ｐk),(k=1,•••,4)を調べる。

2°　課題i,jの組み合せ（m(m-1)／2）通りについて、順序関係を調べる。

さて学習課題系列の決定原則は、経験的に知られている原則から言えば、易しい課題から難しい課題へ、基礎的な課題から応用的な課題へ、具体的な課題から抽象的な課題へ等の原則になる[3]。さらにAusubelの有意味学習の関連性の概念を導入すれば、関連性大から小へという原則になる。これは筆者の教授方略モデルでは、課題iの特性値ｚｉの大きい順から系列化するという原則に対応する。何故ならば、(11)式からわかるようにｚ'iは、Ａ，Ｂ，Ｃの線型関数であるから、Ａ，Ｂ，Ｃの大きい順に系列化することを意味しており、これは、下位性の大から小へ、基礎性の大から小へ、関連性の大から小への原則を反映しているからである。この原則を、教授法的原則と呼ぶ事にする。

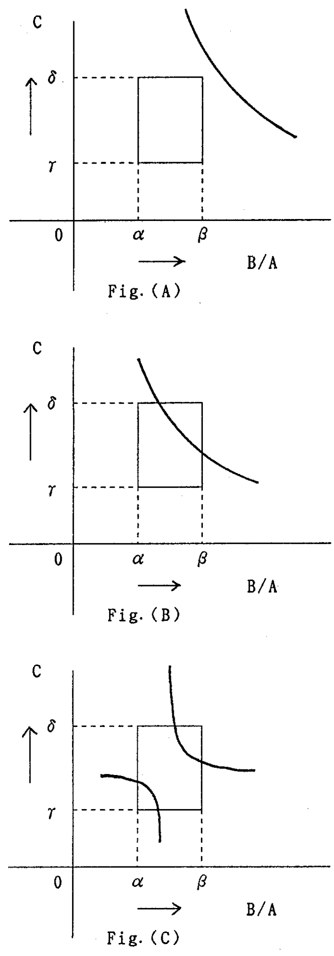

図6　あいまいな教授方略の範囲と順序関係
Fig.6　Range of fuzzy teaching strategy and order relation

但し、既に述べたように、本論文で定義している上記の概念は独立でないので、２つの独立パラメータで表現している。そこでＢ／Ａを改めて基礎性のパラメータ、Ｃを関連性のパラメータと呼ぶ事にする。

さて次に、この経験的原則よりも優先される原則について、以下示す。

学習課題系列を、n個の学習課題の集合Ｏから順序の集合Ｎ（＝｛1, 2, •••, n｝）への１対１の写像をｈで表す。この時、

$$h(j) = h(i)+1$$

但し、$(i, j \in O)$，$(h(i), h(j) \in N)$　(14)

が成立するとき、学習課題iからｊに系列化するという。学習課題iとjにおいて、iからjに系列化が論理的に禁止されている時、このjを系列禁止課題と呼び、課題jの集合を課題iの系列禁止課題集合と呼ぶ。課題iからjに系列化が可能である時、jを系列可能課題と呼び、課題jの集合を、課題iの系列可能課題集合と呼ぶ。

この論理的に禁止又は可能な課題という意味は、課題間の前提条件[6]（課題jを理解するためには、課題iの学習が前提である）による制約の事である。この前提条件を満足するかどうかの制約を、論理的な禁止又は可能と表現している。

可到達行列を$M = (m_{ij})$とし、$D = (d_{ij})$を隣接行列とし、D_iを課題iに可到達な課題集合、U_iを課題iから経路2以上で可到達な課題集合とする。

すなわち、

$D = \{ j \mid m_{ji} = 1, (j = 1, \cdots, n) \}$

$U = \{ j \mid (m_{ij} - d_{ij}) = 1, (j = 1, \cdots, n) \}$

但し、$m_{ji}, (m_{ij} - d_{ij}) \in \{0, 1\}$

この時、次の性質がある。

（性質３）

課題iの系列禁止課題集合をA_i、系列可能課題集合をP_iとおく時、次式が成立する。

$$A_i = U_i \cup D_i$$

$$P_i = O - (U_i \cup D_i)$$

（証明）

U_iは課題iから経路２以上であるから、(14)式が成立せず、D_iも同様にiから可到達でないから(12)式は成立しない。故に$A_i = U_i \cup D_i$が成立する。P_iは、A_i以外の課題であり、$i \in D_i$であるから、$P_i = O - (U_i \cup D_i)$が成立する。■

以上から、課題iからjへの系列化は、$j \in P_i$の時だけ可能であり、$j \in A_i$の時は禁止される。この原則は、教授方略モデルを学習課題の前提条件から構築しているので教授法験的原則よりも優先される。そこでこれを論理的原則と呼ぶ事にする。以上の優先関係を生かした上での課題系列の生成アルゴリズムを次に示す。

（３）課題系列の生成アルゴリズム

対角要素が１である隣接行列Ｄの行列要素をd_{ij}とする時、d_{ij}は課題iから課題jに有向枝が存在するとき１、それ以外の時０であり、iからjへの有向枝は課題iがjの前提条件である事を示す。従って課題jが学習可能になる条件は、j列のd_{ij}が１である課題iが既に学習終了後であり、これを学習可能条件と呼ぶ。学習可能条件を満たす課題iは$i \in P_i$を満足する。そこで、

$$Q = \{ i \mid \sum_{j} d_{ij} = 1, (i, j = 1, \cdots, n) \} \quad (15)$$

は学習可能な課題集合を示す。以上から論理的原則を教授法経験的原則より優先する系列のアルゴリズムは次の通りである。

1° 学習可能な課題集合Ｑを求める。論理的原則を優先するために、$i \in Q$の課題のみを対象とする。

2° あいまいな教授方略を、

$\{ \alpha \leqq B/A \leqq \beta,\ \gamma \leqq C \leqq \delta \}$

で与え、（Ｂ／Ａ）軸、Ｃ軸上で、(α, β)と(γ, δ)の組み合せで決まる座標点を、$P_k (k = 1, \cdots, 4)$とする。

3° $P_k (k = 1, \cdots, 4)$点における課題$i \in Q$の特性値を$z'_i(P_k)$で表す。$z'_i(P_k)$は一意に求まる。

4° $z'_i(P_k)$，$z'_j(P_k)$（但し、$i, j \in Q, k = 1 \cdots, 4$）において、性質１、２による順序関係の保存性を調べる。この時Ｑの課題数がm個あれば$m(m-1)/2$の組み合せの数だけ調べることになるが、アルゴリズム的には次のように簡略化される。

5° 教授法的原則を適用するのであるから$Z'_i(P_k)$の値の大きい課題を優先して系列化する事になる。そこで

$$Q' = \{ i \mid \max_{i \in Q} (z'_i(P_k)), (k = 1, \cdots, n) \}$$

なる課題の集合を求める。

(i) Ｑ'の課題が１つである場合

その課題をi_oとすれば、i_oと他の課題$i \in Q$の間の順序関係は保存され、かつ教授法的原則から課題i_oが学習すべき課題として選択される。

(ii) Ｑ'の課題が複数存在する場合

Ｑ'に属する任意の２つの課題$i_o, j_o \in Q'$の順序関係は保存されないで、かつ教授法的原則からi_oとj_oの両方が学習すべき課題として選択される。これから、

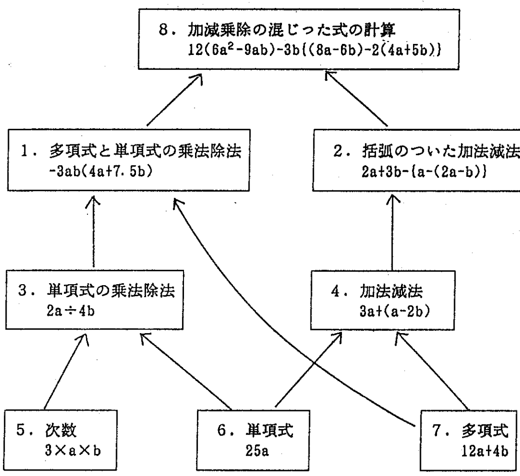

図7　中学校数学の文字式計算の構造図
Fig.7　Structure of "calculus" in secondary school mathematics by prerequisite relation

```
+++++++ Results ( first 1 shows sequence ) ++++++

 fundamental=usual
 corelation =some strong

          1  2  3  4  5  6  7  8
------------------------------
          6  7  4
  1       6  7  4  2  5  3  1  8
  1       6  7  4  5  3  1  2  8
------------------------------

+++++++ Results ( first 1 shows sequence ) ++++++

 fundament  from very weak      to very strong
 corelation from very weak      to very strong

          1  2  3  4  5  6  7  8
------------------------------
          6  7
          6  7  4
          6  7  5
  1       6  7  4  2  5  3  1  8
          6  7  4  5  3
          6  7  5  3  4
          6  7  5  4  3
  1       6  7  4  5  3  1  2  8
  1       6  7  4  5  3  2  1  8
  1       6  7  5  3  4  1  2  8
  1       6  7  5  3  4  2  1  8
  1       6  7  5  4  3  1  2  8
  1       6  7  5  4  3  2  1  8
------------------------------
```

図8　本手法による出力例
Fig.8　Output example using this paper

i∈Q'の全ての課題iが選択される。

6° 課題の選択が決定されたら次の学習課題を選択するために、学習済みの課題を取り除く。すなわち、

$$d_{ki}=0, (k=1,\cdots,n)$$
$$(\text{for all } i\in Q')$$

とおく。(15)式から $d_{ik}, (k=1,\cdots,n), (i\in Q)$ は $d_{ii}(i\in Q)$ 以外すべて0であるから、この操作によって、行i、列i(i∈Q)の全ての行列要素は0になる。

7° 上記の操作によって隣接行列Dを改め、このDを用いて、1°からくり返す。全ての課題が決定されたら終了する。

4. 適用事例

中学校数学の文字式計算の学習課題[1]にこれを適用した結果の一部を次に示す。

図7にその学習課題の構造図を示し、図8にプログラムによる出力結果を示す。図8（A）のあいまいな教授方略は、{B／A＝usual, C＝some strong} であり、図8（B）のあいまいな教授方略は、

{B／A＝from very weak to very strong ,

C＝from very weak to very strong } である。

従って図8（B）はすべての種類の教授方略に対応する学習系列を示している、合計7通りの系列を生成しており、これは既に報告したあいまいでない教授方略を反映した学習課題系列のシミュレーション結果と一致している。図9に図8（B）に対応する系列の生成の様子を木構造として表示するが、これから生成アルゴリズムの処理過程が分かる。

系列化を求める方法として、いかなる原則も反映しなければ順序の数だけ存在し、図7の例では40,320通りある。論理的原則を適用すればペトリネットの可達木の生成によって得られるが、図7の構造図では49通りの系列にしぼられる。本論文のように論理的原則と教授法的原則の両方を反映すれば7通りにしぼられる。さらにあいまいな教授方略を反映した場合はこれらの系列の部分集合になり、あいまいでない教授方略を反映した場合はただ１つの系列になる。この事を模式的に示せば、図10のようになる。

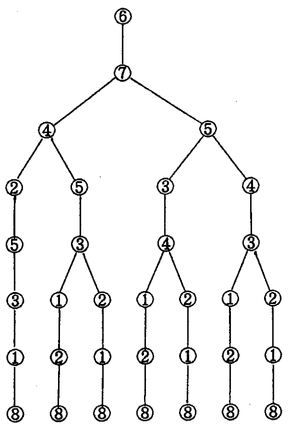

図9　学習課題系列の生成過程
Fig.9　Generation process of learning task sequences

5. むすび

本研究では、授業設計者にとって分かりやすい、あいまいな教授方略を反映する学習課題系列の生成について提案した。その結果、あいまいな教授方略に対応する学習課題系列をすべて生成できる事が判った。従って授業設計における学習課題の系列化において、有効な手段を援助できると思われる。さらに、生成された系列の集合をどのように類別化して表示するかという方法も人間の分かりやすさという観点から重要であり、これについては稿を改めて報告する。

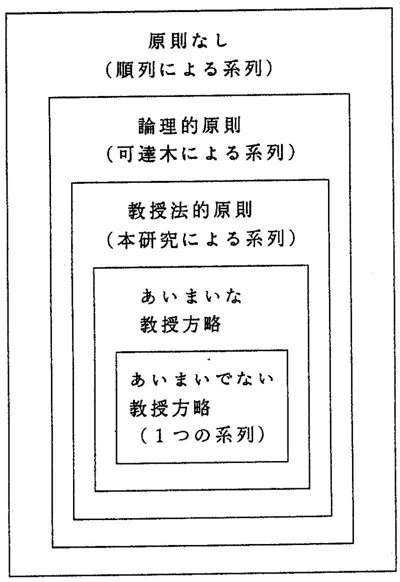

図10　学習課題系列の包含関係
Fig.10　Inclusion relation of learning task sequences

参考文献

(1)赤堀侃司、清水康敬：「教授方略モデルによる学習課題の系列化シミュレーション」、信学技法、ET89-70、PP.19-24、（1989）
(2)赤堀侃司、清水康敬：「学習課題系列からの教授方略の推定」、日本教育工学会研究報告集、JET89-5、PP.35-42、（1989）
(3)沼野一男：「授業の設計入門」、国土社、（1976）
(4)Reigeluth,C.M.,Merill,M.D.,etal:"The Elaboration Theory of Instruction:A Model for Sequencing and Synthesizing Instruction",Instructional Science,Vol.9,pp.195-219,(1980)
(5)Ausubel,D.P.,Robinson,F.G.:"School Learning",Holt,Rinehart and Winston,(1969)（吉田章宏、松田弥生（訳）：「教室学習の心理学」、れい明書房(1979)）
(6)Gagne,R.M.and Briggs,L.J.:"Principles of Instructional Design",Holt,Rinehart and Winston,NewYork,(1979)（持留英世、持留初野（訳）：「カリキュラムと授業の構成」、北大路書房、(1986)）