

科目ネットワーク上の活性伝播を用いた 時間割の自動生成システム

堀 幸雄^{†1} 中山 堯^{‡2} 今井 慈郎^{†1}

大学において時間割は学生自身の手によって決めなくてはならない。しかし学生にとって種々の履修制限を守り、多数の開講科目から自分の興味関心に合う時間割を作るのは必ずしも容易な作業ではない。本論文では電子化されたシラバスをもとに卒業要件などの制約を満たし、学生自身の興味関心に基づいて時間割を自動作成するシステム Active Syllabus の構築と評価について述べる。本システムはシラバスに記述された科目の内容、必修、選択の区分、履修年次をもとに科目を文書ベクトルで表現し、閲覧したシラバス、打ち込んだキーワード、類似科目クラスタといった学生のシラバス閲覧パターンを用いて学生ごとのユーザプロフィールを作成し、そのプロフィールに最も適合する時間割を自動作成することを可能としたものである。

A System for Generating Time Schedules Using Spreading Activation on a Course Network

YUKIO HORI,^{†1} TAKASHI NAKAYAMA^{‡2}
and YOSHIRO IMAI^{†1}

This paper describes a system for generating students' course schedules automatically based on syllabus contents. In general, course schedules are generated manually, using course information such as class titles, summaries and categories given by teachers. However, it is not easy for students to generate manually a course schedule from a large number of combination of classes, due to various constraints and/or criteria. We developed a system that generates course schedules automatically, using spreading activation on a course network, where the problem is formalized as a constraint satisfaction/optimization problem.

1. はじめに

大学における時間割は通常、学生が自分自身で作成することになっている。時間割作成においては、所属学科の履修条件を満たす限り自分の興味や関心などに応じてシラバスなどを参照するなど学生の自主的な努力が期待されている。一方で大学などの教育機関は高度教育の多様化、特色ある優れた取り組みを行うことが求められ、その結果、カリキュラムは日々進化する学問や技術の進歩、社会的なニーズに対応しながら変化し続けている。各教育機関ではシラバスの電子化が進んでいるが¹⁾、膨大な開講科目の中から、シラバスだけを頼りに時間割を作成するのは平均的な学生にとって、特に1年次生にとってはそれほど容易な作業ではないと考えられる。大学のカリキュラムでは各科目区分ごとに卒業に必要な単位数が決められているが、我々の所属する学科のカリキュラムでは、学生は卒業要件を満たすために全体で521科目の中から57科目を選択しなければならず、どのような学習計画を立てればよいかわからない学生も少なからず存在すると考えられる。そのため多くの大学では初めて時間割を作成する学生や時間割作成について悩んでいる学生を対象に、教員で構成される専門委員により相談を行うアドバイザ制度を設けている。この制度は相談者に直接アドバイスをすることができるが、それには多くの時間と労力が必要である。

これまで学生の時間割作成を支援するツールとして、科目ごとのカードを整理することで各科目の理解、学習戦略を目的としたものがあつたが²⁾、これにはシラバスや各科目で行われる講義内容を理解する必要があり、このツールはまだ専門分野の知識の少ない学生にとっては効果的に利用することができないと考えられる。また電子化されたシラバスをクラスタリングし、カリキュラムの特徴把握を行うシステムが提案されており³⁾、このシステムを用いることで学生は自分が興味を持つキーワードに直接マッチする科目を知ることができるが、キーワードに直接マッチしないけれども類似した分野の関連科目を総合的に取り入れた時間割を作成するといったことはできない。

我々はシラバスデータから各科目の特徴を分析して、学生の学習戦略に基づいて自動的に時間割作成を行うシステム Active Syllabus を開発した⁴⁾⁻⁶⁾。本システムは時間割作成を制約充足問題ととらえ、個々の学生の興味、学習戦略をシラバスに出現するキーワードを用い

^{†1} 香川大学
Kagawa University

^{‡2} 神奈川大学
Kanagawa University

ユーザプロファイルとしてモデル化する。本システムでは、科目間の関連によって科目群をネットワークとして構成し、活性伝播を行ってネットワーク全体の活性値を最大にする時間割を作成することで、ユーザプロファイルに直接マッチする科目だけでなく、関連する科目群を時間割に含めることができるようにした。これらの特徴により、個々の学生が潜在的に学習したいと考えているであろう分野を総合的に学ぶのにふさわしい時間割を作成することができる。時間割はもとより単に卒業要件を満たせばよいというものではなく、ある分野を学習する際に、関連する科目を履修し、その分野について幅広く学ぶことができるようになっていくことが望ましい。たとえば、履修前提科目や同時履修の適否などの判断は初年次には特に悩ましいが、本システムにおいては科目をそのシラバスのキーワードで表現するという方法をとっており、科目間の依存関係がキーワードの重なりや方向として反映されるという性質を持つ。結果として、履修者ごとの興味や関心と同時に学習の系列や要件を一定程度考慮した時間割が得られると考えられる。

本論文では本システムのモデル化、実装、および評価を行った結果について述べる。以下、2章では本研究の問題の所在を明確にするために、シラバスを利用した先行研究、ならびに関連する研究について述べる。3章では本システムの詳細について述べる。続く4章では実際のシラバスを用いて、本システムの有効性の評価を行う。5章は結論であり、今後の課題をまとめる。

2. 関連研究

野沢らはシラバスデータの分析に関して、シラバスに記述されている内容をもとにクラスタリングを行い、各シラバスのクラスタへの帰属分布を用いてカリキュラムの特徴把握を支援するシステムを構築している³⁾。このシステムは独創的なカリキュラムを設計することを目的としている。通常大学におけるカリキュラムは教員などで構成される専門委員がカリキュラム全体のバランス調整を行うが、多数の科目の内容を記述したシラバスすべてを把握することは非常に負荷の高い作業である。シラバスの内容に基づくクラスタリング⁷⁾は現在のカリキュラムの全体像の把握に有効な方法であると考えられる。これらの研究はシラバスに記述されているテキストを情報源とする点において本研究と同じであるが、本システムは学生向けに時間割を組み立てることを目的としている点が異なり、個々の学生の学習戦略に応じて時間割を立てることができるという特徴を持っている。また全開講科目のクラスタリングを行う点も同様であるが、クラスタリング結果をカリキュラムの全体像を把握するだけでなく、学生の学習戦略、興味関心の抽出に適用している点が異なっている。

中鉢らは学生が履修計画作成を、情報収集、他人とのコラボレーション、試行錯誤という側面から支援するためのツールを提案している²⁾。このツールは履修計画を立てるうえでの学生同士の知的生産活動を総合的に支援し、そこで創発された履修計画に関する知識を蓄積するための仕組みを提供する。このような試行錯誤の過程から人間の発想や創造的活動を支援するための試みは以前から研究がなされ、KJ法を計算機環境上で利用するなどのシステムが提案されている^{8),9)}。時間割作成に含まれる科目を学生自身が分類、整理する試みはシラバスの内容理解、自身の履修戦略の確立に非常に有効であると考えられるが、シラバスに記述されている内容を十分に理解できない大学1年次学生などが単位取得制限、同時履修制限などの種々の制約を考慮しながらこの試行錯誤を行うのは困難であると考えられる。本研究はこの問題に対し、スケジューリング問題の考え方を適用し、履修上の種々の制約をクリアして時間割を組み立てることを示すものである。

また文書の内容を把握するための手がかりとして活性伝播を用いるアプローチがあり¹⁰⁾、たとえば小嶋らは知識と文脈を利用して文書の意味解釈の曖昧性を解消するモデルを提案している¹¹⁾。本研究でも時間割として適切な科目集合を決定するのに活性伝播を用いている。これは履修する科目の文脈をネットワークとして活性伝播を制約充足問題の目的関数に適用するものである。すなわち、関連のある科目を時間割により多く取り込んでいる方が、学生はある特定分野においてより強い刺激を受けると仮定し、シラバスに記述された内容の活性状態をもとに時間割を作成する。繰り返せば、本研究は活性伝播を科目選択に応用することで、個々の学生の学習戦略、興味関心に直接マッチしないが類似性の高い関連科目を時間割に含めることができ、総合的な学習計画を立てることができることを示すものである。

時間割作成などの組合せにおける最適化はスケジューリング問題としてもよく知られている¹²⁾。スケジューリング問題は病院におけるナースの勤務時間を作成するナーススケジューリング問題^{13),14)}、鉄道会社における乗務員割当て問題¹⁵⁾など様々な応用事例が報告されている。堀尾らは大学におけるコース、学科ごとの時間割作成をスケジューリング問題として扱い、機械的に時間割作成を行う方法を示した¹⁶⁾。しかしながらこの研究は必修科目を同時間に開講しない、教室の同時利用をしないといったカリキュラム上の制約を満たす時間割作成を目的としており、個々の学生の時間割作成を対象としたものではない。本システムは学生の時間割作成をスケジューリング問題ととらえ、履修制限、学生個人の種々の制約条件を定義し、学生の学習戦略、興味関心に適合する科目のキーワードの活性状態を表す目的関数を最大化する科目の組合せを時間割候補として提示する。本システムはこのスケジューリング問題にヒューリスティック探索アルゴリズムを適用することで、制約条件を満たし、かつ学生の興味に適合

する時間割を自動生成する。また目的関数には絶対に守るべき履修パターンのほかに、達成したい条件や希望といったソフトな制約を考慮した。これらの戦略に基づく時間割により学生が興味を持つ分野の理解を深め、その分野に関連する新たな知識を獲得することが期待できる。

3. 時間割自動作成システム

本章ではスケジューリング問題に対する解法を用いた時間割作成ツール Active Syllabus について説明する。本システムは学生の学習戦略や興味関心をシラバスに記述された単語（専門用語などのキーワード）にどの程度親近感や吸引力を感じるかといったその内容に対する学生の親和性の尺度としてユーザプロフィールを利用する。これにより学生の興味や関心といった表現が抽象化され、時間割（科目集合）と学生の興味関心との関連の強さを算出することができる。また時間割作成のスケジューリング問題を解くための探索手法として、ユーザプロフィールに適合する科目群より初期解を求め、その後反復改善法を初期解に適用するというヒューリスティック探索を用いた。本システムの全体の処理の流れを図 1 に示す。時間割作成の手順は以下のとおりである。

(1) データ収集

分析対象とするシラバスをシラバス Web ページから収集し、DB に格納する。

(2) シラバス解析

各科目をシラバスに出現する単語集合に関する文書ベクトルで表す。得られた科目の文書ベクトルをもとにシラバス間の類似度を求める。類似度に基づいて全科目をクラスタリングする。

(3) ユーザプロフィール作成

学生の学習戦略、興味関心を表すユーザプロフィールを作成する。

(4) 時間割作成

(3) で求めたユーザプロフィールをもとに、学生の年次、学科ごとの時間割スケジューリング問題を定義し、これを解くことで学生の学習戦略、興味関心に適合した時間割を作成する。

以下ではこの手順に沿って、各モジュールの詳細と本システムが提供する機能を解説する。

3.1 データ収集

本システムはまず全シラバスを大学提供の Web ベースのシラバスシステムから取得する。各科目シラバスには科目名、対象学科、対象年次、区分（必修、選択、専門必修、専門選択）、担当教員名、開講学期/曜日/時限、単位数といった科目の基本情報に加え、講義概要、講義の目標、授業方法、授業内容（15 回分の講義計画）、理解目標、自己学習課題、教科書といった科目内容に関する情報が記述されている。本システムはこれら基本情報、科目内容をそれぞれテキストデータとしてシラバスより抽出する。さらに各シラバスに出現する単語を抽出し、その出現頻度に基づいて科目 c_i のシラバスの文書ベクトルを作成する。1 つの科目 c_i に出現する単語を tf-idf により重み付けを行い、 c_i を次のように表した。

$$c_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$$

$$w_{i,t_j} = \text{tf}(t_j, c_i) \cdot \text{idf}(t_j)$$

$$\text{idf}(t_j) = \log(N/\text{df}(t_j))$$

ただし、 n は全科目のシラバスに出現する異なる単語の総数、 $\text{tf}(t_j, c_i)$ は科目シラバス c_i における単語 t_j の出現頻度であり、 N は総科目数、そして $\text{df}(t_j)$ は単語 t_j が 1 回以上出現する科目数である。なお、ここではシラバスの文書長による規格化処理は行っていない。実際、後述する実験で用いたカリキュラムについてシラバスの文書長を調べたところでは、1 科目のシラバスの平均長は 1,200 文字、標準偏差は 300 文字であった。つまり、シラバスの文書長には差がなかったため文書長による影響はないと考えられる。しかし、科目ごとにシラバスの書式、特徴が異なるカリキュラムを対象とする場合はシラバスの文書長を考慮することも必要であると考えられる。

本システムは科目内容テキストの形態素解析に mecab^{*1}を用い、名詞および固有名詞を抽出した。またストップワード処理として下記の単語を除外した。

- 名詞の数、接続詞、記号。
- ひらがな、カタカナ 1 文字の単語。これらは形態素解析に失敗している可能性が高い

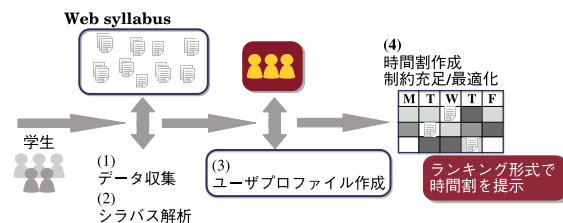


Fig. 1 The configuration of Active Syllabus.

*1 <http://mecab.sourceforge.net/>

めに除外した。

3.2 シラバス解析

次節で示すユーザプロファイル作成において、シラバスの分野別のグループが利用される。その分野をシラバスの内容から求めるためにシラバスのクラスタリングを行う。本システムでは各科目間の関連の強さを測るためにベクトル空間におけるコサイン類似度を用いた。すなわち、科目 i と科目 j の間の類似度を次式で定義する。

$$L_{ij} = \frac{c_i c_j}{\|c_i\| \|c_j\|} = \frac{\sum_{k=1}^n w_{ik} w_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n w_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n w_{jk}^2}} \quad (1)$$

この科目間の類似度を用いて、シラバスのクラスタリングを行った。このクラスタリング結果は次節で述べる学生のユーザプロファイルの作成時に、分野別のキーワードを抽出するために利用される。

クラスタリング手法としては、文書クラスタリングで用いられる階層的クラスタリングのウォード法を用いた。科目の中には入学年度により、履修できない科目が指定されていたり、科目名が振り替えられたりしているものがある。科目シラバスデータには、そのような実際には利用しない科目も含まれているため、教務委員の教員にクラスタリング結果を見てもらい、対象の科目名の絞り込み、振り替えに対応するように編集するという作業をテキストエディタを用いて行った。

このクラスタリング結果の調整作業には、1時間程度の時間を要したが、科目シラバスに記述されているデータだけでは、この対象の科目名リストを絞り込む処理が困難であるのに加え、ユーザプロファイル作成における科目クラスタの有用性から見れば、人間によるこのような介入も妥当であろうと考えられる。

3.3 ユーザプロファイル作成

学期ごとの時間割の組合せは膨大にあり、学生がどのような時間割を作成するのは本人の学習戦略、興味関心によるものと考えられる。本システムは時間割作成の前にこの学生の学習戦略、興味関心をユーザプロファイル U として抽出する。具体的には、全シラバスに含まれる単語集合の作るシラバス空間の部分空間として次のように U を定義する。

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}_{u_i \in S}$$

ただし S は全シラバスに含まれる単語集合、 u_i は S に含まれる単語のうちで学生が選んだキーワードである。しかしながら学生が全科目のシラバスに出現する科目から自分の関心を

表すキーワードを的確に選択するのは内容の理解、選ぶ手間という点でコストが大きい。

そこで本システムでは学生がシラバス閲覧、キーワード検索、教員名検索などのブラウジング行為を行いながら、下記の3つの方法を用いてユーザプロファイルを作成することができるようにした。

- キーワード手動選択
対象学年、学期に受講可能な科目のシラバスから学生自身の手でキーワードを選ぶことができる。
- 分野キーワード選択
対象学年および学期に受講可能な科目をクラスタリングして得られた代表的な分野を選択することでその分野に含まれるキーワードを選ぶことができる。
- シラバス閲覧履歴キーワード選択
本システムを通じて閲覧した科目のシラバスから得られるキーワードをユーザプロファイルに入れることができる。

上記3つのユーザプロファイル作成モードは、個別に利用してもよいし、たとえば分野キーワード選択をしてから手動選択を行うというように組み合わせることも可能である。学生は図2に示されるようなユーザプロファイルの編集画面を通じて、手助けなく自分でシステムを利用できる。トップメニューとして図2左上にあるような3通りのプロファイル作成モードが提示される。キーワード手動選択を指定すると、矢印の先に示されるようなキーワード一覧が表示されるのでそこから関心のあるキーワードを選ぶ。分野キーワード選択を指定すると、これも矢印の先に示されるような分野カテゴリと代表的なキーワードが表示される。学生が興味のある分野カテゴリを指定すると、その分野の詳細なキーワードが表示され、そこから個々のキーワードを選択することになる。シラバス閲覧履歴からのキーワード選択を指定した場合も同様に示されている。これは科目シラバスを閲覧したのは多少なりともその科目に興味を持ったからであろうということを仮定し、科目シラバスに含まれるキーワードを示して選ばせるというものである。キーワードの数は科目数や分野カテゴリ数に比べて多いため、これら3つの方式を組み合わせることでユーザプロファイルを作成することで学生は容易に自分のユーザプロファイルを作成できると考えられる。

3.4 時間割作成

先述のように、本研究では時間割作成はスケジューリング問題として定式化される。解の探索は、まず学生の学習戦略、興味関心に合致した科目群、すなわちユーザプロファイルにより初期解を求め、その後、初期解に反復改善法を適用して最適解を求めるという方法に



図2 ユーザプロファイルの作成方法の選択画面
Fig. 2 Screenshot of making a user profile.

よって行う。実際に作成するのはある学生の1学期分の時間割であり、次の5つの条件^{*1}が課せられる。

- 1学期分の時間割を構成すること
- 学年ごとに決められた範囲の科目群から時間割を構成すること
- 同時履修制限，必修科目の取得といった履修制限を守ること
- ユーザプロファイルに基づき学生の興味関心を最大限満たす目的関数を設定すること
- サークル，アルバイトなどその他の本人の都合を考慮すること

これらの条件を考慮して，時間割作成を次のようなスケジューリング問題としてモデル化した。

Output:

$$\text{時間割 } C = \{c_1, \dots, c_o\}$$

*1 個々の教員の裁量で同時履修する科目の指定や履修の条件を指定することがあるが，この条件はシラバスで指定された場合もあれば，実際の講義の中で指定される場合もあるというように，すべての条件をシステムとして取得することが困難なため採用しないこととした。

Input:

$$\text{ユーザプロファイル } U = \{u_1, \dots, u_m\}_{u_i \in S}$$

Maximize:

$$T = \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^o L_{ij} a_j \tag{2}$$

Subject to

$$\min < \text{credit}(C) < \max$$

$$M\{m|m \text{ is a required course}\} \subset C$$

$$P\{p|p \text{ is a prohibited course pattern}\} \not\subset C$$

$$D\{d|d \text{ is a weight value which represents student's requests}\}$$

ここで， o は科目数， $\text{credit}(C)$ は時間割 C の取得単位数を表し， m は当該学期の時間割中に必ず履修しなければならない科目， p は禁止されている履修パターン， d は個々の学生の希望する履修パターンを時間割の科目に対する重みとして表したものである。たとえば，金5限にある科目を履修したい，または空けたいという希望を時間割に反映させる場合，金5限の科目の初期活性値（後述）に適当な重み（0.0~1.0）を付ける。これにより学生はサークルやアルバイトなどといった自分の個人的な都合や事情を考慮した時間割を作成することができる。

式(2)で定義した目的関数 T は，時間割 C の要素（科目の文書ベクトル c_i ）をノードとし，式(1)で定義した科目間の関連の強さ（類似度） L_{ij} をリンク強度とする科目ネットワーク上で活性伝播を行った場合の活性値ベクトルの要素全部の和を表している。 a_i は科目ノードの活性値を表し，後述の探索アルゴリズムで示すように c_i を学生の興味空間に射影したベクトルのノルムを初期値としている。したがって， T は科目ネットワークを個々の学生の興味空間から見たときのネットワーク全体の活性度を表すと解釈される。

活性伝播は，人の記憶の認知的側面において，ある言葉が想起されたときに関連する言葉も想起されるというプライミング効果¹⁷⁾ をネットワーク構造で近似した認知モデルである¹⁸⁾。活性伝播モデルは一般に次のように定義される¹⁹⁾。

$$A(t) = C(t) + ((1 - \gamma)I + \alpha L)A(t - 1) \tag{3}$$

ここで， γ は減衰率， α は伝播パラメータである。 $A(t)$ が活性回数 t の活性値ベクトル， $C(t)$ は外部から与えられる活性値ベクトル， I は単位行列， L は伝播行列で，その要素 L_{ij} がネットワークのノード i と j の間の関連の強さを表す。本システムにおいては $C(t) = 0$ ， $\gamma = 1$ ， $\alpha = 1$ とした活性伝播モデルを用いている。したがって式(3)は次のようになる。

$$A(t) = LA(t - 1)$$

活性値ベクトルの要素を科目ノードの活性値 a_i とし、活性回数 t を省略すれば、これは $a_i = \sum_{j=1}^o a_j L_{ij}$ を意味し、活性値ベクトルは $A = (a_1, a_2, \dots, a_o)^t$ と書ける。なお、本システムでは伝播は隣接ノードに対して 1 回だけ行われる。科目ノードの活性値 a_i は、実際には c_i を学生の興味空間に射影したベクトルのノルムを初期値としている。すなわち、ここでの射影操作を科目ベクトル $c_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$ の要素 $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}$ からユーザの興味空間 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}_{u_i \in S}$ の要素 (キーワード) に対応する要素を取り出してベクトル $(w'_{i1}, w'_{i2}, \dots, w'_{im})$ を作る操作と定義すれば、科目ノードの初期活性値はそのベクトルのノルム $a_i = \sqrt{(\sum_{k=1}^m w'_{ik})^2}$ で与えられる。

T はこれらの値を 1 回だけ伝播させて得られる科目ネットワークの活性値ベクトルの要素の和である。式 (2) においては射影操作は明示していないが、実際にはこのように、科目ノードの活性値は学生の興味空間に射影したものとして実装している。

本システムはこのネットワーク活性度 T が最大になるような時間割を生成するものである。すなわち学生の学習戦略、興味関心に適合し、かつ関連の強い科目どうしが出現する時間割の活性度が大きくなる。これは図 3 のように関連する科目どうしが相互に活性化しあうグラフとしてモデル化できる。本システムはあらかじめ作成したユーザプロフィールに適合する科目群を初期時間割として設定し、目的関数の値に基づいて科目の入れ替えを行う。探索アルゴリズムとして下記のヒューリスティック探索法を用いた。

- (1) ユーザプロフィールに適合する科目を選択する。これは各科目の文書ベクトルを学生の興味空間に射影したときのノルムが大きなものから順に選ぶことによって行う。選

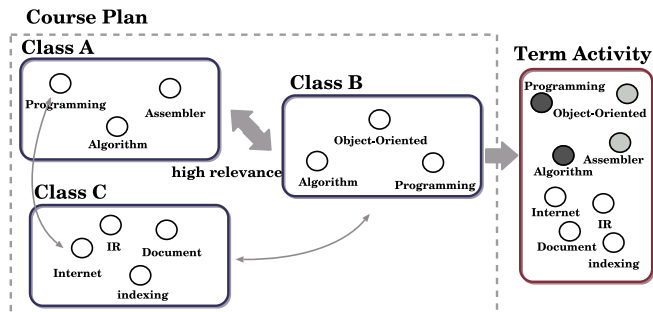


図 3 科目間ネットワークにおける活性伝播モデル
Fig. 3 The spreading activation model for a subject network.

- 択した科目群の間の類似度を計算し、科目ネットワークを生成する。それらのノルムを科目ノードの初期活性値として設定する。
- (2) 現在の時間割のうち活性値 a_i が最も高い値を持つ科目を 1 つ取り出し、類似度の高い他の科目候補と入れ替える。
- (3) 活性伝播を行い、 T がより大きい値に更新されたならば、現在の時間割を (2) で入れ替えた科目のものに更新する。
- (4) 時間割の残りの科目を対象として、 T の値が更新されなくなるまで (2) 以下を繰り返す。

3.5 時間割出力例

図 4 に本システムにより作成された 1 年次前期と後期の時間割 (上段 (a)), および学生が自分自身で作成して履修登録に用いた時間割 (下段 (b)) の例を示す。これらを「システムによる時間割」および「学生による時間割」と呼ぶことにする。

(a) 本システムによる時間割の例: 1 年次 (上 前期/下 後期)					
	月	火	水	木	金
1 限	基礎数学	統計学入門	計算機システム *		
2 限	生物 C	経済学入門			
3 限		数学概論	計算知能	微積分	
4 限			プログラミング I*	数理演習 I*	
5 限			プログラミング I*		
1 限	情報科学基礎	人生とキャリア	確率・統計 *		
2 限		コミュニティ社会学	数理演習 II*		
3 限		生命科学基礎	論理回路 *		
4 限			プログラミング II*	微積分	
5 限			プログラミング II*		物理学と医療
(b) 学生による実際の時間割の例: 1 年次 (上 前期/下 後期)					
	月	火	水	木	金
1 限	代数	基礎物理学	計算機システム *	ドイツ語 I	生物生産の科学
2 限	総合英語 I	人間と生命	ジェンダーを学ぶ		オペラと文化
3 限	ドイツ語 I				
4 限			プログラミング I*	微積分	
5 限			プログラミング I*	数理演習 I*	英会話
1 限		人間と生命	確率・統計 *	心理学 C	生物コミュニケーション
2 限	総合英語 II	ドイツ語 II	数理演習 II*	社会学 D	
3 限			論理回路 *	ドイツ語 II	
4 限			プログラミング II*	微積分	
5 限			プログラミング II*		異文化コミュニケーション

図 4 本システムによる時間割出力例と学生の実際の時間割
Fig. 4 An example course schedule generated by Active Syllabus and by a student.

科目名に * が付いている科目は該当学期における必修科目であり、下線で示される科目名は後述する主観的評価実験で他に適切な代替科目があると判断された科目を示している。

システムによる時間割は、ユーザプロフィールとして学生による時間割中の科目に含まれるキーワードを指定することにより作成した。これはユーザプロフィール作成の3番目のシラバス閲覧履歴キーワード選択の方式に相当する。学生による時間割と比較すると、本システムの出力する時間割には情報と数学に関連した科目が多く出現しているのが特徴である。ただし、外国語に関する科目は抽選が行われ、あらかじめコース選択されるため学生による選択の余地がないことから、本システムの時間割作成の対象外とした。

またキーワード選択手法の影響の違いを見るために、図5に本システムの時間割出力例として(1)、(2)、(3)の3つを示す。図5の学期に3年次前期、科目数を10として、ユーザプロフィールの作成方法として、(1)は手動選択で情報系分野のキーワードを選んだ場合、(2)は分野選択で電気電子系分野を選んだ場合、(3)は選択可能科目シラバスから情報系分野の科目と電気電子系分野の科目を同程度閲覧履歴に入れた場合によるものである。したがって、選択科目に(1)の場合情報系の科目、(2)には電気電子系の科目が多く含まれ、(3)にはそれぞれが半分程度含まれるようになっている。このようにユーザプロフィールにより作成される時間割は異なり、3つのキーワード選択手法を組み合わせることで学生の興味関心を正

必修科目	
(月1,月3)国際コミュニケーションII	(火2)ソフトウェア工学I
(火3-5)信頼性情報システム工学実験I	(金2)計算機ネットワークI
(金4-5)情報システム演習	
選択科目	
(1) 情報系分野のキーワードを選択した場合	
(水4) 計算機アーキテクチャ	(水5) メディア情報処理
(木2) 数理シミュレーション	(木3) デジタル信号処理
(金1) 技術英語	
(2) 電気電子系分野を選択した場合	
(月2) 電気電子計測	(水3) 通信工学
(木3) デジタル信号処理	(金1) 技術英語
(金3) 光デバイス	
(3) 情報系と電気電子系分野の科目を閲覧履歴に入れた場合	
(月2) 電気電子計測	(水5) メディア情報処理
(木2) 数理シミュレーション	(木3) デジタル信号処理
(金1) 技術英語	

図5 異なるキーワード選択手法により作成された時間割例

Fig. 5 Example course schedules generated by different user profile.

しく設定することが重要となる。

4. 実験

本システムの有効性を評価するために、著者が所属する大学のシラバスデータを用いて、実際に時間割を作成し、評価実験を行った。これは、学生による時間割と本システムによる時間割をそれぞれ用意し、学生8名の被験者に時間割としての好ましさを判断させるという主観的評価実験である。ここで学生による時間割は、学生が過去に実際に履修した時間割である。

4.1 実験概要

まず本実験で利用したカリキュラムの概要について述べる。表1は我々の所属する香川大学工学部の卒業要件と単位数を示したものである。表1中の各区分における括弧内の数字はその区分の開講科目数を示している。本カリキュラムは大きく分けて様々な分野の幅広い知識や考え方を学ぶ全学共通科目と専門知識を学ぶ各学部、学科独自の学部開設科目から構成される。具体的な科目名の例として、本カリキュラムにおける学部開設科目の一覧(1年~3年を対象としているものを記載)を表2に示す。

表1 実験対象カリキュラム

Table 1 Experimental curriculum data.

		区分	卒業要件単位数		
全 学 共 通 科 目		主題科目(53)	8 単位以上	24 単位以上	
		教養ゼミナール[選択](52)	2 単位		
		共通科目(70)	8 単位以上		
		健康・スポーツ科目[選択](44)	2 単位		
		高学年向け教養科目[選択](6)	4 単位		
		外国語科目	初修外国語(145)		4 単位
			既修外国語(71)		6 単位以上
		小計	30 単位以上		
学 部 開 設 科 目	工学教養科目	多角的思考能力(9)	8 単位以上		
		コミュニケーション能力(5)	6 単位以上		
		数理的基礎能力(8)	10 単位以上		
	専門科目	専門基礎(36)	30 単位以上		
		専門専攻(32)	32 単位以上		
	卒業研究	6 単位			
	自由科目		6 単位以上		
		小計	98 単位以上		
		合計	128 単位以上		

表 2 対象科目リスト

Table 2 List of the course names in the curriculum.

授業科目名	単位数	配当年次
工学教養科目		
多角的思考能力		
社会システム	2	3 年後期
工学倫理	2	3 年後期
経済産業政策	2	3 年前期
技術開発管理	2	3 年後期
工学実務	2	3 年前期
コミュニケーション能力		
国際コミュニケーション I	1	2 年後期
国際コミュニケーション II	2	2 年後期
技術英語	2	3 年前期
コミュニケーション英語	2	3 年前期
テクニカル・プレゼンテーション	2	2 年前期
数理的基礎能力		
プログラミング I	2	1 年前期
プログラミング II	2	1 年後期
線形代数	2	2 年前期
微分・積分	2	1 年後期
ベクトル解析	2	1 年後期
確率・統計	2	1 年後期
数理演習 I	2	1 年前期
数理演習 II	2	1 年後期
専門科目		
専門基礎		
情報数学	2	2 年前期
記号処理論	2	2 年後期
プログラム言語論	2	2 年後期
データ構造とアルゴリズム	2	2 年前期
アルゴリズム演習	2	2 年前期
論理回路	2	1 年前期/後期
計算機入門 I	2	2 年前期
計算機入門 II	2	2 年後期
システムソフトウェア	2	2 年後期
オペレーティング・システム	2	2 年後期
システムソフトウェア演習 I	2	2 年前期
システムソフトウェア演習 II	2	2 年後期
計算機ネットワーク	2	3 年前期
インターネット I	2	2 年後期
データベース	2	3 年前期
知識工学基礎	2	3 年後期
ソフトウェア工学 I	2	2 年後期
ソフトウェア工学演習	2	2 年後期
情報システム演習	2	3 年前期
情報理論	2	2 年後期
通信工学	2	3 年前期
信号解析	2	2 年後期
電磁気学 I	2	2 年後期
電気回路 I	2	2 年後期
電気回路演習 I	2	2 年後期
電子回路基礎	2	2 年後期
信頼性工学	2	2 年前期
信頼性工学演習	2	2 年後期
数理演習 III	2	1 年後期
信頼性情報システム工学概論 I	2	1 年前期
信頼性情報システム工学概論 II	2	1 年後期
情報編集 I	2	1 年前期
情報編集 II	2	1 年後期
フーリエ解析	2	2 年前期
工学基礎実験	2	2 年後期
電磁気学演習 I	2	2 年後期
専門専攻		
ソフトウェア開発演習	2	3 年後期
応用統計解析	2	2 年前期
計算機ネットワーク	2	3 年後期
計算機アーキテクチャ	2	3 年前期
ソフトウェア工学	2	3 年後期
情報システム設計	2	3 年後期
ヒューマンインターフェース	2	3 年後期
電波・光工学	2	3 年後期
電気電子計測	2	3 年前期
インターフェース	2	3 年後期
光デバイス	2	3 年前期
メディア情報処理	2	3 年前期
デジタル信号処理	2	3 年前期
情報通信システム I	2	3 年後期
電磁気学 II	2	2 年後期
電気回路 II	2	2 年後期
電気回路演習	2	2 年後期
電気通信法規	2	3 年前期
信頼性数理	2	3 年後期
信頼性設計	2	3 年前期
数理シミュレーション	2	3 年前期
ソフトウェア工学演習	2	2 年後期
情報処理演習	2	1 年前期
信頼性情報システム工学実験 I	2	3 年前期
信頼性情報システム工学実験 II	2	3 年後期
卒業研究	2	2

表 3 実験対象データ

Table 3 Experimental data.

対象学科:	香川大学工学部信頼性情報システム工学科
総対象科目数:	513 科目
キーワード数:	7,819
対象学年:	1~3 (前期/後期) 年

本実験で使用した科目の総数、キーワード数、対象年次を表 3 に示す。4 年次の場合、学生が実際に作成する時間割は、ほとんど講義を履修しない、再履修ばかりの科目をとる、好みで数科目を選ぶというように個人によるばらつきが大きいため、実験の対象から除外した。

時間割の好ましさは、ある分野を学ぶのにふさわしいと思われる科目が時間割に含まれる割合によって定義した。すなわち、時間割に含まれる全部の科目数を n とし、ふさわしいと判断された科目数を p とするとき、 p/n をその時間割の好ましさの程度であるとした。ある科目がその時間割に対してふさわしいか否かという判断は被験者によるが、何らかの共通の尺度が必要である。ここでは専門分野から見たときの重要性、関連性、幅広さという視点から判断することを被験者に要求した。

主観評価の操作としては、被験者に評価対象の時間割と同学期に開講される科目リストを見てもらい、他の科目と入れ替えた方がよいと思われる科目がある場合はその科目をふさわしくないと判断するように指示した。

被験者は学部 4 年生と修士 1 年生であるので、専門分野について一応の知識を持っているものとしたが、ふさわしい科目よりもふさわしくない科目を指示する方が確からしさが大きいと考えられるためそのように指示した。すなわち、「好ましくない科目」は、ふさわしさの尺度に照らしたときに、その科目が選択可能な他の科目に対して相対的に評価が低いことを意味する。

具体的には、図 4 の時間割例でいえば、下線で示された科目名が実際に被験者により好ましくないと判断された科目である。1 年次の時間割の場合、数学、物理、コンピュータといった情報系の科目とその他の一般教養科目から科目を選ぶことができるが、このような場合に関連性や幅広さの視点、すなわちある分野に関連した一連の科目を体系的に履修する方が好ましいなどといったことを前提に評価をしてもらった。同様に 2 年次、3 年次と進んでいくと、本カリキュラムの場合、情報系・電気電子系の専門基礎や専門専攻科目、あるいは工学教養系科目といった科目群から履修科目を選ぶことになるが、学年が進行するにつれて専門分野における重要性を重視して、時間割中の科目を判断してもらうようにした。

4.2 実験手順

実験の手順は次のとおりである。まず被験者である学生 8 名（学部 4 年生 6 名，修士 1 年生 2 名）が過去に実際に履修した「学生による時間割」(human) を 1~3 年次について用意する。その「学生による時間割」に含まれる科目を閲覧履歴に入れて，3.3 節で示した「シラバス閲覧履歴キーワード選択」によってユーザプロファイルを作り，その時間割に含まれる科目数と同数の科目となるように作成した時間割を本システムによる時間割(as)とする。(human)に含まれる時間割からユーザプロファイルを作成するのは，この時間割の中の選択科目にその時間割を作成した学生の興味が反映されていると考えたためである。比較のために，このユーザプロファイルを使って活性伝播を使わずに，ユーザプロファイルに含まれるキーワードにマッチする科目のみから作成した時間割(kw)と必修科目以外を開講科目からランダムに選択した時間割(rand)を用意した。時間割 kw は反復改善法の初期時間割として生成するものと同じである。

各時間割に含まれる科目のうちふさわしいと思われる科目を学生 8 名により判断してもらい， p/n の平均を求めた。ただし，被験者に時間割を提示する際は，その時間割が本システムで作成されたものか，本システムを用いずに作られたものかが分からないようにした。また，被験者本人が作成した時間割はその被験者による評価の対象から除外した。

この時間割の好ましさ p/n を比較することによって本システムが出力する時間割の学生の主観による適合率を得ることができる。なお，図 4(a) の本システムにより作成された時間割は as による時間割例である。

4.3 実験結果

表 4 に各学年前期後期の時間割に対して行った主観的評価実験の結果として得られた評価値を示す。

主観的評価実験の結果，時間割は人手(human)，本システム(as)，キーワードマッチ(kw)，ランダム(rand)の順に結果が良いことが分かる。本システムと人手により作成さ

れた時間割の評価値はほぼ同程度のスコアであり，本システムは実際に学生が考えて履修した時間割と好ましさの観点において同程度の内容の時間割が作成できることが分かった。それに対し，キーワードマッチによる時間割は，該当するキーワードを含まない科目があるときは，ランダムに履修可能な科目を時間割に入れるために評価値が下がったものと考えられる。ユーザプロファイルに学生の興味のあるキーワードをすべて指定することは困難と思われるため，本システムのように活性伝播により科目間の類似度を考慮することが有効であるということが分かる。

4 つの手法(rand, kw, as, human)に対する被験者の主観的評価(好ましさ)を比較するために，分散分析を用いてこれらの評価値の平均の差の検定を行い，有意な差が見られることを確認した($p < .01$)。また，多重比較(Tukey 法)による分析の結果，as と human において有意な差は見られなかったが，他の手法には有意な差が見られた($p < .05$)。以上のことから，本システムは人手で作成する時間割と同等に好ましい時間割を作成することができると思われる。

4.4 考察

次に先の主観的評価実験で行った各時間割作成方法について，ネットワーク活性度 T の値を調べた。このときネットワーク活性度 T は，学生が作成した時間割に含まれる科目を閲覧履歴に入れた状態でユーザプロファイルを作ったものを使用し，rand, kw, as, human のそれぞれの時間割に含まれる科目をもとに式(2)により T を求めた。表 5 に各学年前期後期のネットワーク活性度の平均を示す。

ネットワーク活性度を調べると，本システム(as)，人手(human)，キーワードマッチ(kw)，ランダム(rand)の順に結果が良いことが分かる。本システムによるネットワーク活性度は平均で最も高い値を示しているが，2 年後期の時間割については人手による時間割の方が本システムで作成された時間割よりも高いネットワーク活性度となっている。これは時間割の組合せ最適化問題について，本システムで利用しているヒューリスティック探索で

表 4 各学年における時間割の主観評価結果
Table 4 The results of the subjective evaluation.

	1 年前期	1 年後期	2 年前期	2 年後期	3 年前期	3 年後期	平均
rand	0.59	0.64	0.62	0.62	0.60	0.63	0.62
kw	0.75	0.74	0.70	0.74	0.76	0.73	0.74
as	0.83	0.80	0.80	0.83	0.85	0.80	0.82
human	0.83	0.83	0.81	0.81	0.85	0.82	0.83

表 5 各学年におけるネットワーク活性度
Table 5 The results of the active value of the course schedule.

	1 年前期	1 年後期	2 年前期	2 年後期	3 年前期	3 年後期	平均
rand	18.44	8.26	22.32	21.08	10.15	10.09	15.06
kw	2.75	4.94	39.54	22.48	14.28	30.22	19.04
human	5.87	9.19	44.83	57.30	25.13	11.17	25.58
as	42.44	18.74	62.52	33.66	30.22	23.84	35.24

は最適解を導き出せていない可能性を示唆している。

ネットワーク活性度の結果を主観的評価実験と同様に、多重比較 (Tukey 法) による分析を行った。本システムによる時間割のネットワーク活性度は他の手法に比べ有意な差が見られた ($p < .05$)。しかしながら他の手法においてはそれぞれの間に有意な差は見られなかった。

先の主観的評価実験の結果と合わせると、本システムによる時間割は学生が実際に考えて作成した時間割と同水準の好ましさを持ち、他の手法と比較して科目間に高い関連性を持つことが分かった。

5. 結論と今後の課題

本論文ではシラバスの記述内容に基づき、卒業要件、必修科目、選択科目などの制約を満たし、学生の学習戦略、興味に基づいて時間割を自動作成するシステム Active Syllabus について述べた。本システムは時間割生成にスケジューリング問題の考え方を適用することにより、種々の制約を満たし、活性伝播モデルを用いることで学生の興味に適合する科目の組合せを時間割として提供するものである。本システムを著者らが所属するカリキュラムに対して適用した結果、本システムにより作成された時間割は、実際に学生が履修している時間割と同程度の好ましさを持つことが分かった。また活性伝播モデルを用いた時間割作成が、ユーザの興味を示すキーワードを直接含む科目だけからなる時間割を作る方法に比べ、有意に好ましいと判断されることが示された。

本システムによって、学生は時間割を作成する準備段階で時間割候補を即座に得ることができ、本システムは時間割作成支援システムとして有効活用できると期待される。今後学生による利用実績を重ね、シラバス、時間割作成における大学内の学習支援ツールとして本システムを活用していきたいと考えている。

今後の課題として、学生の過去の履修履歴に対応させること、情報系学科だけでなく他学部のカリキュラムによる評価実験、カリキュラムを熟知していない下級生がユーザプロファイルの作成と時間割作成を正しく行えるかに関する評価実験、スケジューリングアルゴリズムにおける目的関数の調整、伝播メカニズムの最適化、そして効率的な探索アルゴリズムの開発などがあげられる。特に実際の利用を考えると過去の履修履歴に対応させることは重要であるが、これは本システムで提案する学生の希望パターンを設定することにより対応できるものと考えている。

参考文献

- 1) 山田信太郎, 松永吉広, 伊藤栄典, 廣川佐千男: Web シラバス情報収集エージェントの試作, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J86-D-I, No.8, pp.566-574 (2003).
- 2) 中鉢欣秀, 石井優毅, 大岩 元: 知的創発環境 enTrance 基本コンセプトと大学環境への導入, ソフトウェア技術者協会, ソフトウェア・シンポジウム, pp.181-184 (2001).
- 3) 野澤孝之, 井田正明, 芳鐘冬樹, 宮崎和光, 喜多 一: シラバスの文書クラスタリングに基づくカリキュラム分析システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.289-300 (2005).
- 4) 堀 幸雄, 瀧本正志, 今井慈郎: 活性伝播モデルを用いた履修科目計画の作成, 情報処理学会 SIG-CE, Vol.2006, No.108, pp.47-50 (2006).
- 5) 瀧本正志, 堀 幸雄, 今井慈郎: 履修科目の文脈に基づく履修計画スケジューリングシステム, 情報処理学会第 69 回全国大会, 6ZA-4 (2007).
- 6) Hori, Y., Takimoto, M. and Imai, Y.: A support system for course schedule design based on syllabus description, *8th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, pp.58-62 (2007).
- 7) 宮崎和光, 井田正明, 芳鐘冬樹, 野澤孝之, 喜多 一: 電子化されたシラバスに基づく学位授与事業のための科目分類支援システムの試作, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.3, pp.782-791 (2005).
- 8) Ohiwa, H., Takeda, N., Kawai, K. and Shimomi, A.: KJ editor: A card-handling tool for creative work support, *Knowledge-Based Systems*, Vol.10, pp.43-50 (1997).
- 9) 大見嘉弘, 河合和久, 竹田尚彦, 大岩 元: カード操作ツール KJ エディタを用いた協調作業における指示操作に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.11, pp.2720-2727 (1995).
- 10) Waltz, D. and Pollack, J.: Massively parallel parsing, A Strongly Interactive Model of Natural Language Interpretation, *Cognitive Science*, Vol.9, pp.51-74 (1985).
- 11) 小嶋秀樹, 古郡廷治: テキスト解釈の曖昧性を知識と文脈によって解消する計算モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.11, pp.1366-1373 (1991).
- 12) Caprara, A., Fischetti, M. and Toth, P.: A heuristic method for the set covering problem, *Operations Research*, Vol.47, pp.730-743 (1999).
- 13) 池上敦子, 丹羽 明, 大倉元宏: 我が国におけるナース・スケジューリング問題, オペレーションズ・リサーチ, Vol.41, No.8, pp.436-442 (1996).
- 14) Aickelin, U. and Dowsland, K.A.: An indirect genetic algorithm for a nurse-scheduling problem, *Comput. Oper. Res.*, Vol.31, No.5, pp.761-778 (2004).
- 15) Easton, K., Nemhauser, G. and Trick, M.: The traveling tournament problem description and benchmarks, *Proc. 7th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP 99)*, pp.580-584 (1999).
- 16) 堀尾正典, 鈴木敦夫: 時間制約のある RCPSP/ τ を用いた汎用スケジューラの開発,

日本経営工学会誌, Vol.54, No.3, pp.203-213 (2003).

- 17) Lorch, R.: Priming and Searching Processes in Semantic Memory: A test of three models of spreading activation, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol.21, pp.468-492 (1982).
- 18) Collins, A. and Loftus, E.: A Spreading Activation Theory of Semantic Processing, *Psychological Review*, Vol.82, pp.407-428 (1975).
- 19) Huberman, B.A. and Hogg, T.: Phase Transition in Artificial Intelligence Systems, *Artificial Intelligence*, Vol.33, pp.155-171 (1987).

(平成 22 年 10 月 24 日受付)

(平成 23 年 4 月 8 日採録)



堀 幸雄 (正会員)

1976 年生。1999 年神奈川大学理学部情報科学科卒業。2004 年同大学院理学研究科博士課程修了。博士 (理学)。同年香川大学総合情報基盤センター助手を経て、現在、同大学助教。ユーザモデル、テキストマイニングに興味を持つ。人間にとって分かりやすい情報の提示を目指している。情報知識学会、人工知能学会、IEEE 各会員。



中山 堯 (正会員)

1947 年生。1970 年東京大学教養学部基礎科学科卒業。現在、神奈川大学理学部教授。博士 (理学)。自然言語処理に興味を持つ。IEEE、人工知能学会各会員。



今井 慈郎 (正会員)

1955 年生。1980 年京都大学工学部情報工学科卒業。現在、香川大学総合情報基盤センター教授。博士 (工学)。教育システムの研究に従事。電子情報通信学会、IEEE 各会員。