シラバスから生成された科目ネットワークの分析

Analysis of the Subject Network Generated from Description of Syllabus

芦田　昌也
Masaya Ashida

1　はじめに

高等教育において,「何を教えたか」から「何を学び，身に付けることができたのか」へ転換する上で，体系的な教育課程の構築が求められている[1]。体系性には，基礎的な内容の授業科目から学習が始まり，年次が進行するにつれて，次第に高度な内容を学習するようになる体系や，学習分野が次第に広がるような体系などがある。分野の特性に応じた適切な体系の下で教育課程が構築される。体系的な教育課程の基盤になるのは，個々の授業科目間の関係である。基礎的な内容に続いて発展的・応用的な内容の授業を履修するような順序関係や，閉じた内容や異なる分野の内容であっても，それらをあわせて履修することで，より大きな内容に展開するような関係などがある。このような個々の授業科目間の関係が集まり，ひとつの教育課程を構成していると考えられる。

そのような授業科目間の関係を図示することにより，教育課程を視覚的に捉えることができる。そのようなツールとして，カリキュラム・ツリーがある。カリキュラム・ツリーは，学年の進行や専門分野，ディプロマ・ポリシーとの関連など，様々な側面から授業科目間の関係を整理して描かれることがある。

ある大学では，ディプロマ・ポリシー（当該大学では，同様の意義を持つものとして，グラデュエーション・ポリシーと記載）の達成という側面から，年次を追って科目間の順序性や関連性を積み上げる方法でカリキュラム・ツリーを作成している。これにより，多面的な視点からカリキュラムを俯瞰することができ，ディプロマ・ポリシーと科目の関連の明確化や学年ごとの科目の配置状況の可視化を通して，カリキュラムを再考する機会になったと報告されている[2]。再考にあたっては，同報告において明示的には記述されていないが，作成されたカリキュラム·ツリーと各教員の主観や経験に基づいて，様々な検討がなされたものと推察される。

そこで，本稿では，教員の主観や経験に加え，カリキュラム・ツリーに内在する客観的な情報も用いて，教育課程の再考ができるようになることを目的とし，カリキュラム・ツリーに含まれる特徴が，教育課程のどのような特徴に対応するかを検討する。

本稿で対象とするカリキュラム・ツリーは，授業科目を頂点とし，関連する科目として明記された授業科目を辺で接続した科目のネットワークとする。科目のネットワークが教育課程を

表現しているものとみなし，そのネットワークに含まれる特徴が，教育課程のどのような特徴に対応するかを検討する。

科目のネットワークは，グラフ構造として扱うことが可能である。グラフ構造に含まれる特徴量は，グラフ理論やネットワーク分析の手法などにおいてその算出方法が示されている。それらの方法によって算出される特徴量が，教育課程においてどのような意味を有しているかを明確にすることで，教育課程の評価指標になる可能性がある。

まず，グラフ構造を用いて教育課程を表現するための方法を述べる。次に，本稿で取り扱おうとするグラフ構造の特徴量について説明する。具体的には，次数の度数，頂点間距離，離心数，媒介中心性，モジュラリティをとりあげる。最後に，本学部の各授業科目シラバスにおいて，関連する授業科目として指定された科目を接続した科目ネットワークを生成する。その科目ネットワークを対象として，前述の特徴量を抽出し，教育課程の特徴としての意味の有無や，評価指標としての有効性を検討する。

2　教育課程の表現

2.1　科目ネットワーク

個々の授業科目v_iを頂点とし，その集合を$V = \{v_1, v_2, ・・・, v_N\}$とする。関連がある２つの授業科目$v_i$，$v_j$を接続する辺を$e_k = (v_i, v_j)$とし，その集合$E = \{e_1, e_2, ・・・, e_M\}$とする。このとき，$V$，$E$から作られる構造$G = (V, E)$は，関連のある授業科目を結び付けたグラフ構造になる。ここでは，$G(V, E)$を科目ネットワークと呼び，教育課程のひとつの表現形式とする。

授業科目v_i，v_j間に，履修順序や授業内容の水準などの順序関係がある場合，両者を接続する辺$e_k = (v_i, v_j)$には，方向が存在することになる。また，たとえばv_iがv_jを一方的に関連科目としている場合なども，e_kが方向を有していると考えることができる。このような意味合いの異なる方向が混在する可能性があるが，本稿では，科目ネットワークは無向グラフとして扱うものとする。また，授業科目間の関連に強弱が存在する場合は，それを辺の重みに反映することが可能であるが，本稿では，授業科目間の関連の強弱は考慮しないものとして，重みなしグラフとする。

図１に，頂点の集合$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$，それらの接続関係である辺の集合$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$からなる，架空の科目ネットワークの例を示す。

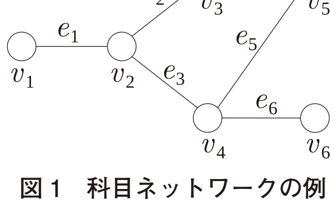

図１　科目ネットワークの例

2.2 科目隣接行列

グラフ構造を表現するもう一つの方法に隣接行列Aを用いる方法がある。隣接行列Aの第i行，第j列の要素をA_{ij}で表すとき，隣接行列Aは，頂点v_i，v_jの間に辺があるときに要素$A_{ij} = 1$，頂点v_i，v_jの間に辺がないときに要素$A_{ij} = 0$である。これを利用して，科目ネットワークを隣接行列Aで表したものを，ここでは，科目隣接行列と呼ぶことにする。本稿では，科目ネットワークを無向グラフとして扱うことから，授業科目v_iが授業科目v_jを関連科目としている場合には，$A_{ij} = A_{ji} = 1$とする。

図1の科目ネットワークの科目隣接行列を式（1）に示す。

$$A = \begin{pmatrix} 0, & 1, & 0, & 0, & 0, & 0 \\ 1, & 0, & 1, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0, & 1, & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0, & 1, & 1 \\ 0, & 0, & 1, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1, & 0, & 0 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

3 ネットワークの特徴

3.1 次数

ネットワークを構成しているあるひとつの頂点v_iの次数k_iは，その頂点v_iを一方の頂点とする辺の数に対応する。本稿では，科目ネットワークは重みなしグラフとして扱うことから，隣接行列において，第i行の要素の総和が頂点v_iの次数k_iに対応する。

$$k_i = \sum_j A_{ij} \qquad (2)$$

ネットワークを構成するすべての頂点について次数を算出すると，ネットワークのなかに，次数k_iの頂点がいくつあるかがわかる。一般には，次数分布を用いるが[3]，次数k_iの頂点の個数$p(k_i)$を次数の度数として扱う。

図1の例について，$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$の次数は，$k_i = \{1, 3, 2, 3, 2, 1\}$である。次数の度数$p(k_i)$は，$p(1) = 2$，$p(2) = 2$，$p(3) = 2$である。

次数の度数は，同程度の関連性を有した科目が，科目ネットワークの中にいくつあるかを示すものとなる。極端な偏りについて定性的に考えると，次数の大きい授業科目数が多くある場合，相互に広く関連のある多くの授業科目が集まって，教育課程が構成されているものとみなせる。一方，次数の小さい授業科目数が多くある場合，特定の科目間に関連がある授業科目が集まって，教育課程が構成されているものとみなせる。

3.2 頂点間距離

頂点v_iから頂点v_jに到達するために，辺と頂点を交互に経由する道筋のうち，同一の頂点を

通らないものを経路という。頂点v_iから頂点v_jへの経路のうち，経由する辺の最小数で頂点v_i，v_j間の距離$d(v_i, v_j)$を定義する[4]。本稿で扱うネットワークは，重みなし無向グラフであるから，$d(v_i, v_j) = d(v_j, v_i)$であり，この値が頂点$v_i$，$v_j$間の最短距離になる。

すべての頂点対の距離は，行列の第i行，第j列の要素$d_{ij} = d(v_i, v_j)$とした距離行列を用いて表すことができる。

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1N} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{N1} & d_{N2} & \cdots & d_{NN} \end{pmatrix}$$

ネットワークが連結グラフである場合に，ネットワーク内のすべての頂点対の最短距離の平均値として平均距離を定義する。連結グラフであれば，すべての頂点対に必ず経路が存在する。連結グラフであるネットワークの頂点数がNであるとき，平均距離L_{ave}を式（3）で算出する。

$$L_{ave} = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{1 \le i < j \le N} d(v_i, v_j) \tag{3}$$

ネットワーク内の頂点間距離に関する別の特徴として離心数がある。離心数は，ある頂点v_iから他のすべての頂点v_jへの最短距離の最大値であり，頂点ごとに定まる。各頂点の離心数l_iを式（4）で算出する。

$$l_i = \max_{1 \le j \le N} \{d(v_i, v_j)\} \tag{4}$$

特に，離心数の最大値は，そのネットワークの直径とよび，直径に相当する離心数をもつ頂点の集合を周辺という[8]。また，離心数の最小値は，そのネットワークの半径とよび，半径に相当する離心数を持つ頂点の集合を中心という。直径と半径は，それぞれ式（5），式（6）で算出する。

$$L_{max} = \max_{1 \le i \le N} \{l_i\} \tag{5}$$

$$L_{min} = \min_{1 \le i \le N} \{l_i\} \tag{6}$$

式（7）に，図１の例における距離行列Dを示す。このとき$L_{ave} = 1.8$，$L_{max} = 3$，$L_{min} = 2$である。また周辺に該当する頂点集合は$\{v_1, v_3, v_5, v_6\}$，中心に該当する頂点集合は$\{v_2, v_4\}$である。

$$D = \begin{pmatrix} 0, & 1, & 2, & 2, & 3, & 3 \\ 1, & 0, & 1, & 1, & 2, & 2 \\ 2, & 1, & 0, & 2, & 1, & 3 \\ 2, & 1, & 2, & 0, & 1, & 1 \\ 3, & 2, & 1, & 1, & 0, & 2 \\ 3, & 2, & 3, & 1, & 2, & 0 \end{pmatrix} \tag{7}$$

科目ネットワークにおける頂点間の距離は，ある授業科目と別の授業科目に共通する関連科目を介して，両科目が間接的に関連する場合に長くなる。ある授業科目を起点として，間接的に関連する授業科目を順に履修することを想定すると，頂点間の距離は，履修を要する科目数と履修に要する期間に対応すると考えられる。履修に要する期間として捉える場合には，同時期に並行して履修できる授業科目があることや，履修順序が前後してもよい授業科目があることを考慮すると，必要な履修期間の上限に対応するものと考えられる。

3.3　コミュニティ

ひとつの大きなネットワークが，複数の小さなネットワークで構成されていることがある。このときの小さなネットワークをコミュニティと呼ぶ。主観的にコミュニティに分割するのではなく，客観的な基準に基づいて分割する必要がある。

たとえば，二つのコミュニティがあり，その両者を接続する辺がひとつである場合，一方のコミュニティに属す頂点と他方のコミュニティに属す頂点の間の最短経路は，二つのコミュニティを接続している辺を必ず経由する。したがって，そのような辺を発見し除去することで，二つのコミュニティに分割できる。また，分割されたそれぞれのコミュニティ内の辺の密度が高く，コミュニティ間の辺の密度が低い場合に，分割の精度が高いものとしている。この精度が最も高くなるようにコミュニティを分割する。

ギルバンとニューマンは，ひとつの頂点はいずれかひとつのコミュニティに属すものとし，コミュニティに分割する上で，前述の考え方に基づいた手法を提案している[5]。具体的には，次のような方法で，コミュニティに分割する。コミュニティに分割するための辺を発見するために，すべての頂点対について最短経路を求め，各辺がそれぞれの最短経路でどの程度共有されているかを算出する。この値を媒介中心性（辺の媒介中心性）という[6] [7]。媒介中心性の大きな辺が除去対象となる。

また，分割の精度の指標はモジュラリティと呼び，式（8）で定義される。

$$Q = \sum_{i}^{k} \left(e_{ii} - \left(\sum_{j}^{k} e_{ij} \right)^2 \right) \tag{8}$$

kは，分割するコミュニティ数であり，e_{ij}は，分割前のネットワークの辺の総数に対する，コ

ミュニティiの頂点からコミュニティjの頂点への辺の総数の割合である。e_{ii}は，分割前のネットワークの辺の総数に対する，コミュニティi内部の辺の総数の割合である。

すべての辺の媒介中心性を算出したのち，媒介中心性の最大値をとる辺をネットワークから除去し，このときのモジュラリティを算出する。辺を除去してできたネットワークにおいて，辺の媒介中心性を再計算し，再度，最大値をとる辺を除去し，そのときのモジュラリティを算出する。ひとつの頂点がひとつのコミュニティに属すまでこの作業を繰り返し，結果としてモジュラリティが最大となるコミュニティ数を求め，コミュニティに分割する。

図１の例について，コミュニティが抽出される様子を図２に示す。左端の上から$v_5, v_6, v_4, v_3, v_2, v_1$は，図１の各頂点に対応する。$k = n$　$(n = 2,3,4,5,6)$の二点鎖線が交差している直線数が，$k = n$のときのコミュニティ数である。交差している直線によってそれぞれ束ねられている頂点群が，そのときのコミュニティを構成する頂点である。図１の例で，ネットワークをいくつのコミュニティに分割することが適切であるかは，$k = 2,3,4,5,6$の各時点でのモジュラリティの最大値で決定する。 $k = 2,3,4,5,6$の各時点でのモジュラリティの値と，そのときのコミュニティの構成を頂点の集合として表１に示す。$k = 2$の場合のモジュラリティが最大であるから，２つのコミュニティに分割することが適切であり，そのときのコミュニティは，$\{v_1, v_2, v_3\}, \{v_4, v_5, v_6\}$である。

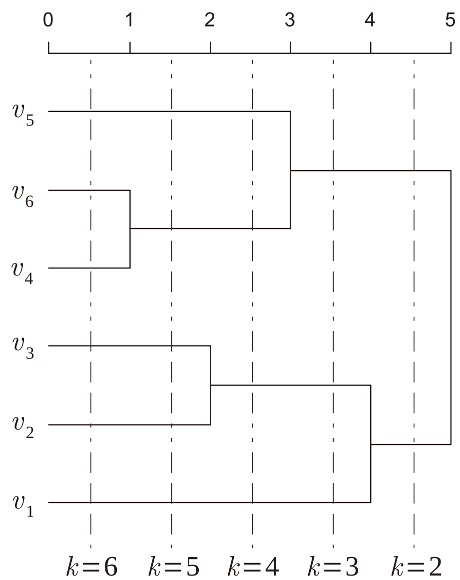

図２　図１に対するコミュニティ抽出例

表１　モジュラリティの値とコミュニティ

k	モジュラリティの値	コミュニティ
2	0.17	$\{v_1, v_2, v_3\}, \{v_4, v_5, v_6\}$
3	0.07	$\{v_1\}, \{v_2, v_3\}, \{v_4, v_5, v_6\}$
4	0.01	$\{v_1\}, \{v_2, v_3\}, \{v_4, v_6\}, \{v_5\}$
5	−0.07	$\{v_1\}, \{v_2\}, \{v_3\}, \{v_4, v_6\}, \{v_5\}$
6	−0.19	$\{v_1\}, \{v_2\}, \{v_3\}, \{v_4\}, \{v_6\}, \{v_5\}$

科目ネットワークにおいてコミュニティは，教育課程内のまとまりある分野に対応すると考えられる。媒介中心性の高い辺は，分野間を橋渡しする授業科目間を接続する関係に対応する。したがって，その辺の端点は，分野境界的な授業科目であると考えられる。

4　事例分析

4.1　科目ネットワークの生成

本学部の教育課程を科目ネットワークとして表現する。本学部のシラバスには「履修を推奨する関連科目」欄（以下，関連科目欄）が設けられている。ひとつの授業科目をグラフ構造の頂点とし，その授業科目の関連科目欄に書かれた授業科目に対応する頂点をグラフ構造の辺で接続することで，ひとつの授業科目について科目ネットワークが生成できる。他のすべての授業科目についても同様に処理するものとし，既出の授業科目が関連科目欄に現れた場合は，その授業科目に対応する頂点と接続する。

シラバスの関連科目欄からは，開講授業科目名に完全一致する授業科目名を機械的に抽出する。実際には，正確な授業科目名が記載されていない場合や，「同一分野の授業科目」のような表現が用いられている場合がある。今回の考察で科目ネットワークを生成する際には，前述のような場合には対処しないものとする。

この方法により，2019 年度開講科目のシラバスから生成した科目ネットワークを図３に示す[1)]。なお，見易さのために授業科目名の記載は省略している。

図３において，孤立した頂点に対応する授業科目は，当該授業科目の関連科目欄に他の授業科目を記載しておらず，かつ，他のどの授業科目の関連科目欄においても，当該授業科目が関連科目として記載されていない授業科目（35 科目）に対応する。ここでの「記載しておらず」ならびに「記載されていない」という表現には，開講授業科目名と完全一致する授業科目名の記載がない場合を含んでいる。したがって，目視により記載された授業科目名を精査すれば，

1)　図３は，統計処理ソフトウェアＲに igraph パッケージを追加し，科目ネットワークの隣接行列をソースデータとして，plot コマンドにより生成したものである。科目ネットワークの隣接行列は，180×180 の正方行列であり，Microsoft 社の Excel により生成した。

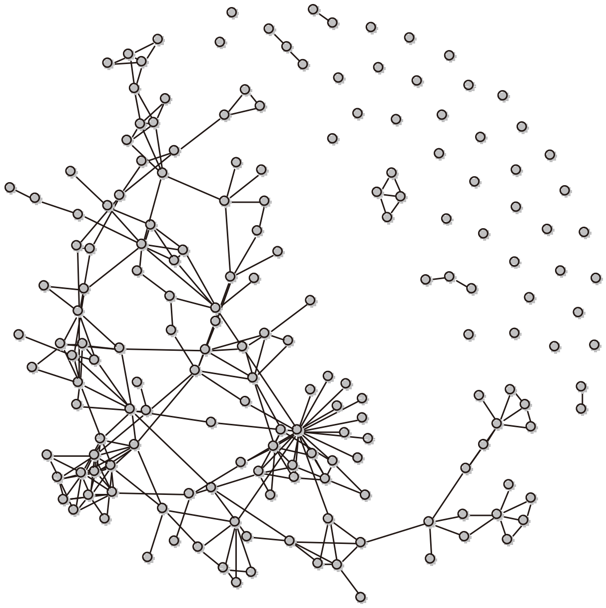

図 3　シラバスから抽出した科目ネットワーク

ほとんどの頂点は，他の頂点と接続される[2)]。

4.2　次数の度数分布の生成

図 3 の科目ネットワークにおける次数の度数分布を算出する。次数は，ひとつの授業科目について，その授業科目が関連科目として指定した科目数と，他の授業科目から関連科目として指定された科目数の和から，相互に指定した科目数を減じた数に対応する。次数ごとにその次数を有する頂点数と累積頂点数を表 2 に示す。また, 次数に対する頂点数の分布を図 4 に示す。次数 2 の頂点数が最も多い。次数 0 の頂点を除いて算出した平均次数は 3.5 である。

このことは，この教育課程では，ひとつの授業科目がふたつの授業科目と関連している場合が最も多く，平均的には，3 科目ないし 4 科目程度と関連していることを示している。

表 2　科目ネットワークの次数の度数

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	22	計
頂点数	35	32	36	19	20	16	7	2	7	2	2	1	1	180
累積頂点数	35	67	103	122	142	158	165	167	174	176	178	179	180	—

2)　真に記載のない授業科目は，他学部教員に開講を依頼している授業科目（3 科目）と，教職科目（6 科目）である。

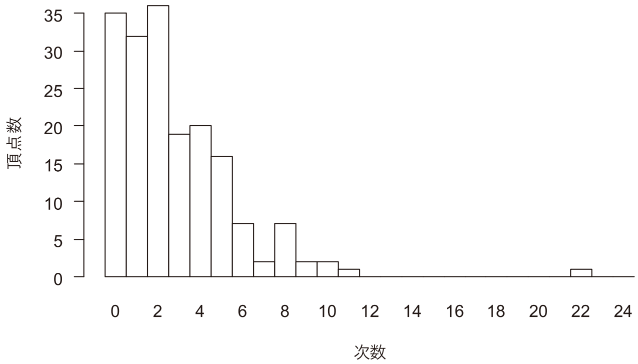

図 4　科目ネットワークの次数の度数

4.3　頂点間距離の算出

図 3 の科目ネットワークにおいて孤立点を除き，経路が存在する任意の 2 頂点間の最短距離と，その距離を有する頂点対数を表 3 に示す。また，頂点間の最短距離に対する頂点対数の分布を図 5 に示す。経路が存在する任意の 2 頂点間の最短距離の平均は，$L_{ave} = 5.3$である。

図 3 の科目ネットワークから，孤立点，および，2 頂点，3 頂点，4 頂点で構成されている 5 つの独立したネットワークを除いて残ったネットワークについて離心数を求める。ネットワークの半径である離心数の最小値は$L_{min} = 8$であり，この値を持つ頂点は 13 個である。また，ネットワークの直径にあたる離心数の最大値は$L_{max} = 14$であり，この値を持つ頂点は 10 個である。

このことから，ある授業科目から履修を開始して関連する科目をたどり，別の授業科目へと

表 3　頂点間距離の分布

距離	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
頂点対数	504	1302	2074	3060	3042	2172	1632	1350	952	580	192	106	60	32

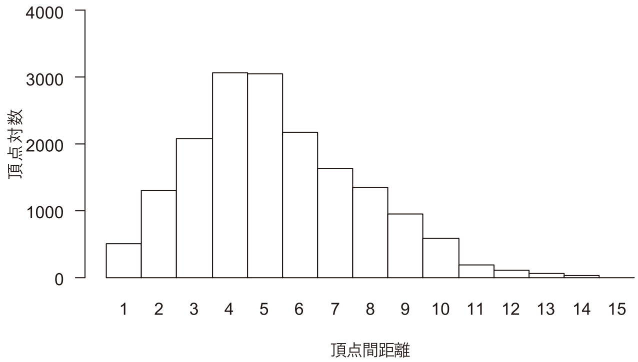

図 5　科目ネットワークの頂点間距離の分布

履修を進めるならば，この教育課程では，平均的には 6 科目程度の授業科目を履修することになると考えられる。また，科目ネットワークの半径（8）と直径（14）からは，どの授業科目から履修を始めても，関連する科目をたどってそのすべてを履修するには，少なくても 9 科目，多くても 15 科目を履修する必要があることがわかる。

4.4　コミュニティの抽出

4.4.1　モジュラリティの算出

科目ネットワークから次数 0 の頂点を除いて，コミュニティを抽出する。図 6 に次数 0 の頂点を除いた科目ネットワークを示す。図 3 と見かけは一致しないが[3)]，図 3 のグラフ構造から次数 0 の頂点を消去した構造と同一のグラフ構造である。

分割するコミュニティ数に対するモジュラリティの値を図 7 に示す。モジュラリティの最大値（0.78）をとるコミュニティ数は 16 である。これに基づいて，16 のコミュニティに分割する。

4.4.2　コミュニティの特徴

抽出された各コミュニティに属す頂点番号から授業科目名を参照する。各コミュニティを構成する授業科目名から，それぞれのコミュニティの特徴を読み取る[4)]。ただし，抽出されたコミュニティが，図 6 において，独立したひとつのネットワークに対応している場合は，その特徴を読み取る対象には含めない。

表 4 に抽出時に自動的に割り当てられた番号，そのコミュニティに属す授業科目数（頂点数），

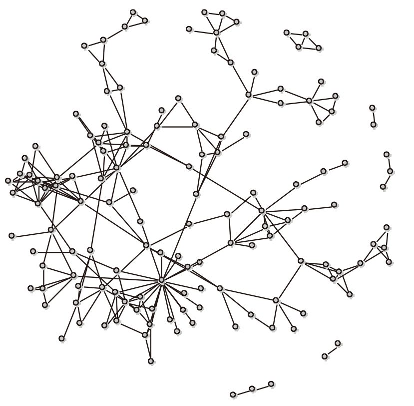

図 6　次数 0 の頂点を除いた科目ネットワーク

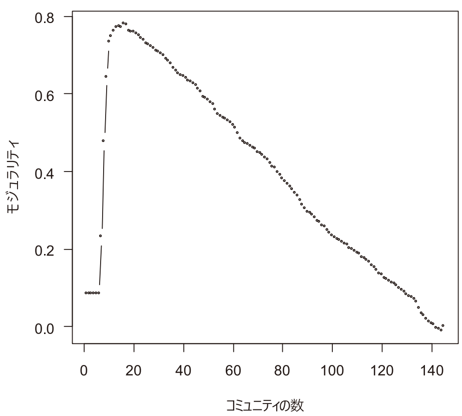

図 7　科目ネットワークのモジュラリティ

3）　次数 0 の頂点を除いたことにより，描画時の頂点配置が変化することによって，図 3 から，単に次数 0 の頂点を消去した図にはならない。

4）　筆者は，本教育課程のすべての授業科目の内容や分野を把握しているわけではない。そのため，同一の教員が担当する別の科目や配置されている分野などを参考に判断した。

そのコミュニティの次数，読み取ったコミュニティの特徴を示す。なお，コミュニティの記載順序に意味はない。

表４　コミュニティの特徴

番号	授業科目数（頂点数）	コミュニティの次数	特徴
1	10	2	初年次・キャリア関連科目
2	8	2	学習スキル・地域演習科目
3	14	4	数理統計・情報学関連科目
4	9	2	マクロ経済学関連科目
5	4	0	（独立したネットワーク）
6	8	3	ミクロ経済学・財政学関連科目
7	7	1	海外経済事情関連科目
8	20	5	経済史・政策関連科目
9	15	4	社会保障・労働関連科目
10	3	0	（独立したネットワーク）
11	24	6	経営学・会計学関連科目
12	8	5	マーケティング関連科目
13	2	0	（独立したネットワーク）
14	2	0	（独立したネットワーク）
15	7	2	法学関連科目
16	3	0	（独立したネットワーク）

本学部においては，学問領域を経済学，経営学，会計学，法学，情報学の５つに区分している。それらの区分の中には，さらに細分化された分野がある。

ほぼ単一の分野の科目群からなると判断したコミュニティは，「マクロ経済学関連科目」･「海外経済事情関連科目」･「マーケティング関連科目」･「法学関連科目」の４つである。これらのコミュニティを構成する授業科目数は７科目から９科目である。一方，「経営学･会計学関連科目」のコミュニティは24科目，「経済史･政策関連科目」のコミュニティは20科目が属している。このふたつのコミュニティについては，ひとつのコミュニティを構成する科目数や科目構成から，単一の分野からなる４つのコミュニティに，主観的には分割できそうである。しかし，モジュラリティという客観的な指標は，その主観的な分割が不適切であり，それぞれのコミュニティに含まれるふたつの分野間に，密接な関係があることを示唆しているものと考えられる。

「初年次・キャリア関連科目」･「学習スキル・地域演習科目」･「数理統計・情報学関連科目」･「経営学・会計学関連科目」の４つのコミュニティを除けば，残りのコミュニティ（独立したネットワークであるコミュニティは含まない）は，ひとつのコミュニティに複数分野の科

目群が含まれていても，ひとつの学問領域に対応している。一方，経済学領域については，5つのコミュニティに分割されている。これは，ひとつの学問領域でも，分野ごとにひとまとまりとなる科目群で，細分化されることを示すものと考えられる。

4.4.3　コミュニティネットワーク

ひとつの連結したネットワークがコミュニティに分割されたとき，それぞれのコミュニティに属す頂点は互いに排他的であり，異なるコミュニティに属す頂点間に存在する辺がコミュニティ間を接続している。コミュニティには，一般には複数の頂点が属すことから，ふたつのコミュニティを接続する異なる辺が複数存在する場合がある。その場合には，それらの複数の辺をひとつに縮約し，当該コミュニティを接続しているひとつの辺とみなすことにする[5)]。また，各コミュニティを頂点とみなすと，コミュニティの関係もまたグラフ構造となる。これをコミュニティネットワークと呼び，図8に示す。コミュニティネットワークは，局所的な科目のネッ

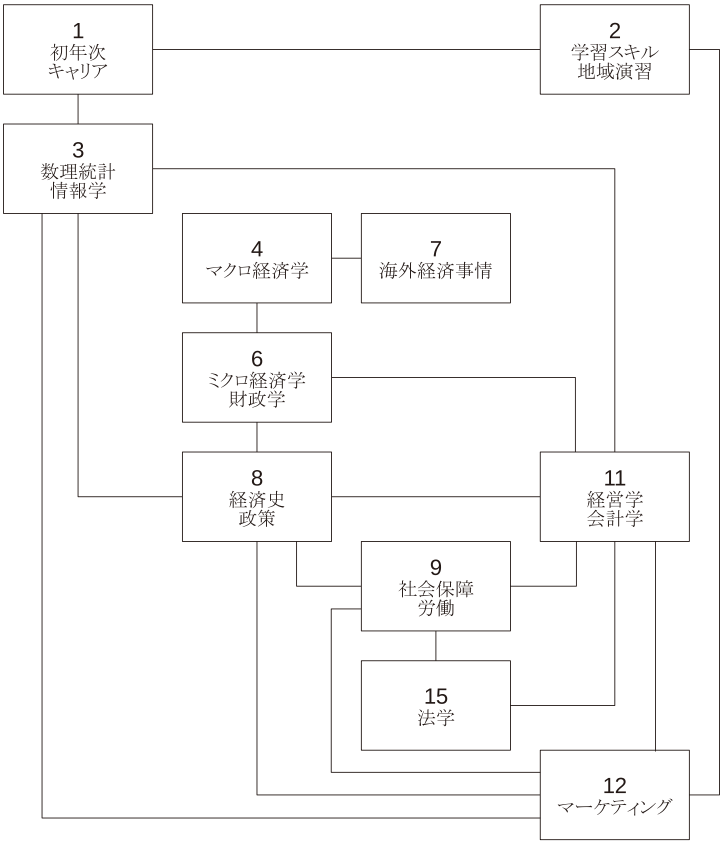

図8　コミュニティネットワーク

5　このようにして再構成した辺の数は，科目ネットワークにおける実際の辺の数と一致しないことがある。

トワークの統合により作られた科目ネットワークを，大域的な視点から分割し，構造化したものと捉えることができる。コミュニティネットワークにおいて，各コミュニティから出る辺の数をそのコミュニティの次数とする。コミュニティの次数は，そのコミュニティに隣接するコミュニティの数に対応する。

コミュニティの次数は，他のコミュニティとの関連の高さを示している。次数が最も高いコミュニティは「経営学・会計学関連科目」であり，6つのコミュニティに隣接する。次に次数が高いコミュニティは「経済史・政策関連科目」と「マーケティング関連科目」であり，5つのコミュニティに隣接する。

「経営学・会計学関連科目」と「経済史・政策関連科目」は，既に述べたように，構成する授業科目数が多いコミュニティである。そのため，他のコミュニティに属す授業科目と関連する授業科目を含む可能性も高く，次数が高くなる必然性がある。それに対し，「マーケティング関連科目」を構成するのは8科目でありながら，科目数が20あるコミュニティと同じ次数を有している。14科目，15科目から構成されているコミュニティでも次数は4であることから，「マーケティング関連科目」を構成する授業科目の多くが，他のコミュニティとの関連を有していると考えられる。さらに，少ない科目数で他の授業科目との関連が多いにも関わらず，ひとつのコミュニティとなる点から，このコミュニティを構成する授業科目の関連が相互に高いとも言える。

5　おわりに

本稿で示した科目ネットワークとコミュニティネットワークは，個々の授業科目のシラバスにおいて，関連科目として記載された授業科目の関係から作られる。個々の授業科目シラバスに関連科目として指定する授業科目名は，多くの場合，各授業科目の担当教員が各自の判断で記載する。その意味で，科目ネットワークは，各教員の認識に基づいて作られた局所的な科目ネットワークを統合した結果である。統合されてできた科目ネットワークから，コミュニティを抽出することは，大域的な視点から科目ネットワークを分割し，関連の強いネットワークに分割する操作である。したがって，科目ネットワークから作られるコミュニティネットワークの構造が，教育課程の構造に対応すれば，個々の教員による教育課程への理解が進んでいるものと考えられる。

本学部の教育課程は，将来の進路を想定し，その進路で必要となる知識や技能などを身につけるための授業科目を，複数の学問領域から抽出して組み合わせた「プログラム」で構成されている。生成されたコミュニティネットワークからは，各プログラムに含まれる学問領域に対応するコミュニティへの辺が存在していることがわかる。

本稿では，コミュニティネットワークを生成する際に，ふたつのコミュニティを接続する複数の辺が科目ネットワークでは存在する場合に，それらの辺をひとつにまとめることとした。

縮退させる前の辺の数やコミュニティを構成する科目数は，コミュニティの関係の強さやコミュニティ内の科目の関係の強さを表す情報と考えられる。これらを用いて, コミュニティネットワークをさらに分析することにより，プログラムに対応する構造が現れるかどうかを調査することが今後の課題である。

参考文献

［1］中央教育審議会大学分科会．教学マネジメント指針．文部科学省，Jan 2020.

［2］小川勤．学士課程教育の質保証のための組織的カリキュラム改善の取組―「教育改善 FD 研修会」を通したカリキュラム改善の試み．京都大学高等教育研究，No. 16, pp. 13-24, 2010.

［3］増田直紀，今野紀雄．複雑ネットワーク：基礎から応用まで．近代科学社，2010.

［4］Rober Endre Tarjan. Shortest paths. In *Data Structures and Network Algorithms*, CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, chapter 7, pp. 85-96. Society for Industrial and Applied Mathematics, 1983.

［5］M. E. J. Newman and M. Girvan. Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, Vol. 69, No. 2, Feb 2004.

［6］Linton Freeman. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*, Vol. 40, pp. 35-41, 03 1977.

［7］Linton C. Freeman. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. *Social Networks*, Vol. 1, No. 3, pp. 215-239, 1978.

［8］A. L. Barabasi, 京都大学ネットワーク社会研究会．ネットワーク科学：ひと・もの・ことの関係性をデータから解き明かす新しいアプローチ．共立出版，2019.