

文理融合系学部における履修モデル可視化システムの開発

塩澤 大輝[†] 松澤 芳昭[†]

[†] 青山学院大学社会情報学部 〒 252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1

E-mail: [†]a8115098@aoyama.jp, ^{††}matsuzawa@si.aoyama.ac.jp

あらまし 近年増加している文理融合系学部では、文理の枠にとらわれないカリキュラムが構成される。そのため、科目選択における選択肢の幅が広がり、履修モデルが多様化する。本研究では、ネットワーク科学の応用によって多様化する履修モデルを明らかにする観測システムの開発を行った。d3.jsを用いてウェブブラウザ上で動作するアプリケーションとして実装した。分析を支援する機能として、学生ネットワークにおいて表示するノードの学年を選択・フィルタする「学年フィルタ機能」、学生ネットワークのノードに属性ごとに色付けする「学生属性可視化機能」、学生ネットワークと科目ネットワークを連携し一方のノードによってもう一方のネットワークをフィルタする「横断フィルタ機能」などを実装した。社会情報学部の学生を対象にデータ入力実験を行い、実装した機能を用いて履修モデルの分析を行った。その結果、履修モデルは専攻するコースによってその傾向がはっきり分かれていること、科目共起ネットワークは分野ごとにクラスターを成すことなどがわかった。

キーワード 可視化, ネットワーク, 文理融合系学部

1 はじめに

文理融合系学部では、カリキュラムにおいて選択科目の分野幅が広大になる。そのため履修科目の組み合わせは膨大になり、多様な履修モデルが構成される。青山学院大学社会情報学部では、情報・社会・人間の3つの学問領域を設置している。設置科目数は160を超え、その中から60単位を選択する必要[1]があり、その組み合わせである履修モデルが多様になることは必至である。各学生の履修モデルは履修者本人を除いて知る術はなく、明らかにされてこなかった。多様な履修モデルを解明することによって、学部が制定するカリキュラムの改善や学生の履修モデル構築の支援に役立つことが期待できる。

本研究では、文理融合系学部における履修モデルを観測するシステム“CourseSpace”を提案する。提案システムの特徴は、ネットワークグラフ[2]を用いて履修を可視化することと、インタラクティブな操作によって観測することができるインタフェースを有することである。

ネットワーク科学を用いた研究は様々な分野において先進的な発見をもたらしている。Hidalgo[3]はネットワーク科学を用いて経済分析を行い、長期的なGDPの変化を説明した。各国の個々の経済的な指標だけでなく、国際貿易によって生じる製品のやり取りから各国の産業の複雑性を算出(経済複雑性指標)し、経年変化を観測した。

大学においてシラバスや知識体系をネットワーク科学を用いて分析する研究も複数存在する。美馬[4]はネットワーク科学を用いてカリキュラム分析を行い、「構造化知識」の獲得を目的とした“MIMA SEARCH”を開発した。“MIMA SEARCH”は入力語句に対してデータベース上のデータとの関連性を可視化して返すシステムである。東京大学工学部のシラバス検索システムとして実用されている。

増永ら[5],[6]はカリキュラムから知識体系(Body Of Knowledge, BOK)を策定する過程をリバースエンジニアリングにあたることを明らかにし、新生物学分野のBOK構築を実現した。BOKの作成において、シラバス間にセマンティックリンクを張り、意味ネットワークを作成、BOK木のユニット候補の選定を行った。

ネットワーク科学の有効性を示す実験として、Pentland[7]が挙げられる。Pentlandは、MITの二回の会議で集めた情報、誰と誰が話していたかや、参加者がどこに行ったか、一日を通してどう振る舞ったかを測定した。参加者名簿から、参加者の誰と誰が同じ企業に属しているかがわかった。この情報を基に、参加者の行動と所属を比べ、どの行動が所属を予測する上で役立つかを突き止めた。二人の人が対面で費やす時間の合計は、その二人の所属が同じかどうかと相関関係があった。所属が同じかということはい換えれば同じ社会的ネットワークのメンバーかどうか、ということである。社会的ネットワークとは、行動が何らかの形で結びついている人たちのネットワークである。仕事であろうと、遊びであろうと結び付けられている特定の行動がその社会的ネットワークの性質を決める。本研究における社会的ネットワークは、履修によって結び付けられた学生のネットワークである。また逆に、学生によって結び付けられた科目のネットワークという見方をすることもできる。履修によって結び付けられた学生のネットワークにおける所属は、専攻するコースや研究室等様々な属性が想定されるが、そのような所属が明らかにされることが期待される。

2 提案システム: CourseSpace

本研究では、文理融合系学部の履修モデルを明らかにする観測システムを開発することを試みる。

CourseSpaceは、履修の実情を明らかにし、カリキュラム制

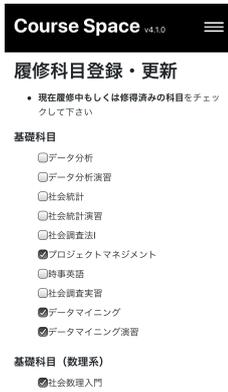


図1 入力画面。モバイルサイズにも対応している。

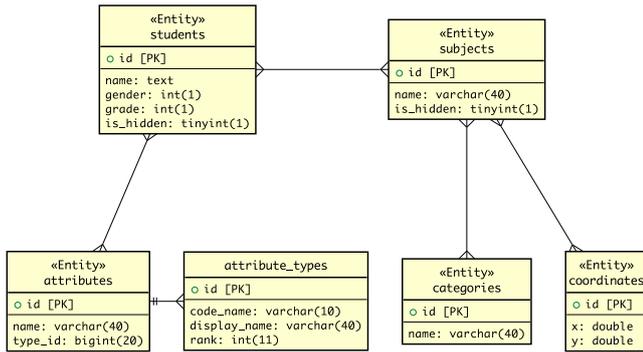


図2 データベーススキーマ

定意図と比較してカリキュラム改定を支援するシステムである。単純な履修者数の合計や体感的な情報ではなく、履修者間の関係や科目間の関係に着目して履修状況を可視化し、カリキュラム制定者に提供することを目的としている。

CourseSpaceは、学生の履修検討を支援するシステムである。専攻コース・研究室・進路などのメタデータと併せて履修状況を可視化し、学生に提供することを目的としている。科目名やシラバスからは辿り着かなかった科目の発見や、自らの履修を顧みて科目履修を修正することなどが期待される。

2.1 設計

2.1.1 入力データ

CourseSpaceは、履修データ入力画面もシステム内に設計した。入力画面を図1に示す。データ入力者は表示される履修科目のリストから、履修した科目にチェックすることで履修情報をシステムに登録する。

図2にデータベーススキーマのER図を示す。学生と科目テーブルを中心に、それぞれに任意のメタデータを付与できるように設計した。

2.1.2 メイン画面

CourseSpaceメインビューの外観を図3に示す。左が学生の履修科目における共起ネットワーク、右が科目の履修者における共起ネットワークである。いずれのネットワークも、力方向アルゴリズムによってレイアウトするモードを実装した。

2.1.3 分析機能

分析のため、次の機能を実装した。

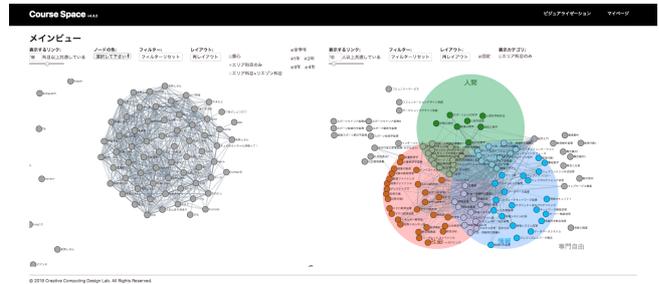


図3 CourseSpaceメインビューの外観

(1) 表示リンク調節機能

共起するノード間をすべてリンクとして表示すると、グラフの密度が高くなり、ネットワークの構造を読み取ることが難しくなるため、表示するリンクを選択する必要がある。本機能によって表示するリンクの閾値を設定し、閾値より低いリンクを表示しない。閾値はスライダーバーまたはテキストボックスから設定する。

(2) つながり強調機能

ネットワークの構造を読み取ることを支援するため、ノードの持つリンクにフォーカスする。ノード上にカーソルをホバーするか、クリックすることで選択する。クリックの場合、ctrlキーを押しながら複数ノードを選択することも可能である。

(3) 横断フィルタ機能

学生の履修科目における共起ネットワークと科目の履修者における共起ネットワークを連携する。一方のグラフでノードを選択すると、もう一方のノードで関係のあるノードとリンクがフォーカスされる。個人の履修について観察する際や、科目の履修者について観察する際に用いる。

(4) 学生属性可視化機能

学生の履修科目における共起ネットワークにおいて、ノードを色分けする。色分けする属性は、学生に関するメタデータである。グラフに学生に関するメタデータを投影することによって視覚的に分析することを支援する。

(5) 学年フィルタ機能

学生の履修科目における共起ネットワークおよび重心モードにおいて、ノードを学年によってフィルタする。学年が上がるにつれ必然的に履修科目が増加するため、学年による履修科目数の相違の影響を抑える。

(6) ノード固定機能

科目の履修者における共起ネットワークにおいて、レイアウトを固定に切り替える。固定レイアウトにすると、科目の設置エリアを考慮しつつ、恣意的に配置した場所へノードが固定される。横断フィルタ機能において個人の履修科目を観察する際は、科目ネットワークのレイアウトを固定し、科目の設置エリアやリエゾンと関連付けられている方が履修の特徴を捉えることが容易になる。

背景の3つの円は、それぞれが社会情報学部設置された学問領域を表している。例えば、水色の円は学問領域としての情報を表し、他の円と重ならない部分には情報エリアの科目を

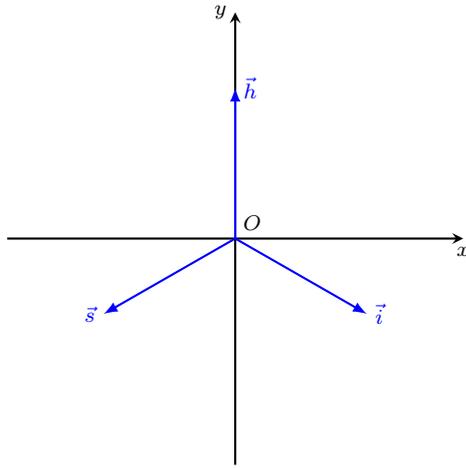


図4 履修領域重心の設計

配置している。水色の円（情報）と緑色の円（人間）が重なる部分は学際的融合領域を表し、人間・情報リエゾンの科目を配置した。3つ全ての円が重なる部分は社会情報学部においてはフルリエゾンと呼ばれており、設置されている科目は全て必修のためネットワーク上には表示されていない。

(7) 表示カテゴリフィルタ機能

科目の履修者における共起ネットワークにおいて、ノードを科目の設置領域によってフィルタする。エリア科目とリエゾン科目では性質が異なるため、目的に応じた分析によって表示を切り替える。

(8) 履修領域重心表示機能

各学生の履修の概要を観察するため、共起ネットワークとは別に履修領域重心を可視化した。履修領域重心とは、各学生の履修モデルにおいて社会情報学部の設置する3つの学問領域のバランスを表すものである。各学生の履修モデルを学問分野によって分解し、その重心を採る。二次元空間で視覚化するため、平面図形における三角形の重心の概念を用いた。各学生の履修科目数を配置エリアごとに3つの位置ベクトル $H(\vec{h}), S(\vec{s}), I(\vec{i})$ として表し、3点 H, S, I を頂点とする三角形の重心を学生の履修領域重心とする。

図4は、履修モデルを学問分野によって分解し、科目配置エリアごとの履修科目数をベクトル表現したものである。3つのベクトルの向きは均等に設定した。ベクトル \vec{h} が人間エリアを、ベクトル \vec{s} が社会エリアを、ベクトル \vec{i} が人間エリアを表す。

人間エリアの履修科目数を h 、社会エリアの履修科目数を s 、情報エリアの履修科目数を i として、各ベクトルを求める式を以下に表す。

$$\vec{h} = (0, h) \quad (1)$$

$$\vec{s} = (-s \cos \frac{\pi}{6}, -s \sin \frac{\pi}{6}) \quad (2)$$

$$\vec{i} = (i \cos \frac{\pi}{6}, -i \sin \frac{\pi}{6}) \quad (3)$$

(1)–(3) 式を用いて学生の履修領域重心ベクトル \vec{g} を (4) 式に示す。

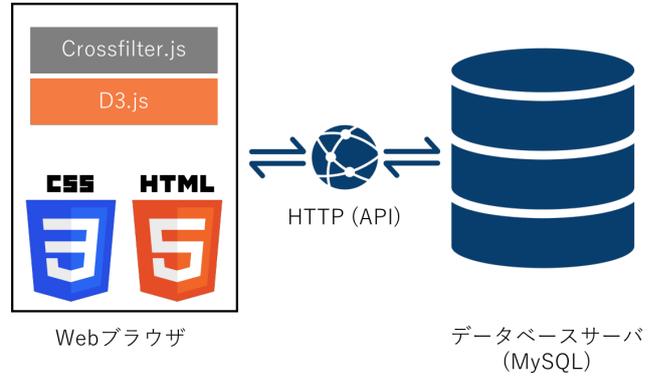


図5 システム構成図

$$\vec{g} = \frac{\vec{h} + \vec{s} + \vec{i}}{3} \quad (4)$$

リエゾン科目について社会・情報リエゾン科目を l_{si} 、社会・人間リエゾン科目を l_{sh} 、人間・情報リエゾン科目を l_{hi} とする。リエゾン科目はまたがる二つのエリアについて等しい成分を持つと仮定し、それぞれにリエゾン科目履修数の $\frac{1}{2}$ を分配する。

リエゾン科目の履修数を含んだベクトルを求める式を以下に示す。

$$\vec{h}' = \left(0, h + \frac{l_{sh} + l_{hi}}{2} \right) \quad (5)$$

$$\vec{s}' = \left(-\left(s + \frac{l_{sh} + l_{si}}{2} \right) \cos \frac{\pi}{6}, -\left(s + \frac{l_{sh} + l_{si}}{2} \right) \sin \frac{\pi}{6} \right) \quad (6)$$

$$\vec{i}' = \left(\left(i + \frac{l_{si} + l_{hi}}{2} \right) \cos \frac{\pi}{6}, -\left(i + \frac{l_{si} + l_{hi}}{2} \right) \sin \frac{\pi}{6} \right) \quad (7)$$

学生の履修領域重心ベクトル \vec{g}' は、 \vec{g} 同様に、(5)–(7) 式を用いて (8) 式に示される。

$$\vec{g}' = \frac{\vec{h}' + \vec{s}' + \vec{i}'}{3} \quad (8)$$

各領域に設置されている科目数はそれぞれリエゾン科目を除いて社会エリア 28 科目、情報エリア 23 科目、人間エリア 7 科目と大きくばらつきがあるが、科目数に大きく差があることも含めて現在の履修状況を射影することを意図して、加重平均などはとらずに単純に算出した。

2.2 実装

CourseSpace は、JavaScript を用いて Web アプリケーションとして実装した。使用ライブラリは D3.js [8], crossfilter.js である。システム構成図を図5に示す。

D3.js はデータベースから取得したデータを元にグラフの描画を行う。crossfilter.js はデータを D3.js に渡す前にフィルタをかける。データベースサーバのインターフェースは php によって API 化され、ブラウザから sql 文を post することによってデータベースに任意の操作を行うことを実現している。

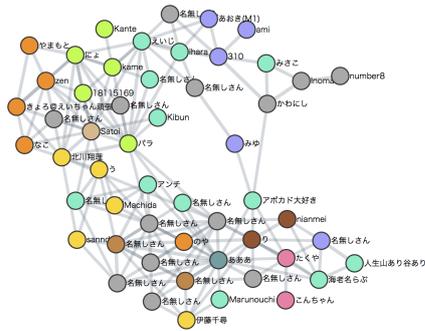


図7 表示するリンクの共起を23科目以上、ノードの色分けを所属研究室に設定した学生の共起ネットワーク

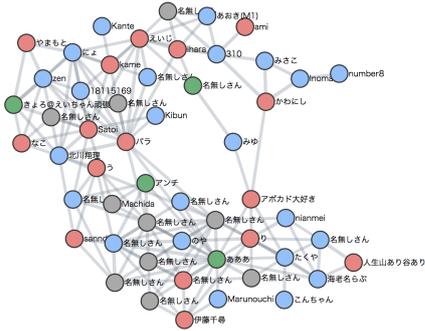


図8 表示するリンクの共起を23科目以上、ノードの色分けを高校での文理選択に設定した学生の共起ネットワーク

ナツ化現象」と呼ぶこととする。ドーナツ化現象の要因として、カリキュラムが挙げられる。先述の通り、専攻するコースは2つのエリアから構成されており、カリキュラム上は3つ目のエリアを履修する必要がない。これにより、専攻するコースに属さないエリアに配置された科目の履修数が極端に減少する。その結果、各学生ノードから専攻するコースにないエリアを履修する学生ノードとの共起数も減少し、表示リンク調節機能の閾値を下回ったことによって削除される。

4.1.2 研究室

図7は表示するリンクを23科目以上、ノードの色分けを所属する研究室に設定した学生の履修科目における共起ネットワークである。グレーが所属研究室不明または所属なし、それ以外は各研究室ごとに色分けされている。専攻するコースのようにはっきりと履修の傾向が分かれてはいるが、研究室ごとの特徴が現れている。およそ各研究室ごとに群を成しており、体感的に各研究分野と一致する配置となっている。例えば、若草色のノードは研究室Mを表し、ノードが分散して配置されているが、研究室Mは多様性を重視する研究室であり、学生の履修においても多様性があることが示されている。

4.1.3 高校での文理選択

図8は表示するリンクを23科目以上、ノードの色分けを高校での文理選択に設定した学生の履修科目における共起ネットワークである。ピンクが文系、水色が理系、緑がその他、グレーが文理不明を表している。文系と理系は全体として分散しており、高校での科目選択が大学における科目履修に影響して

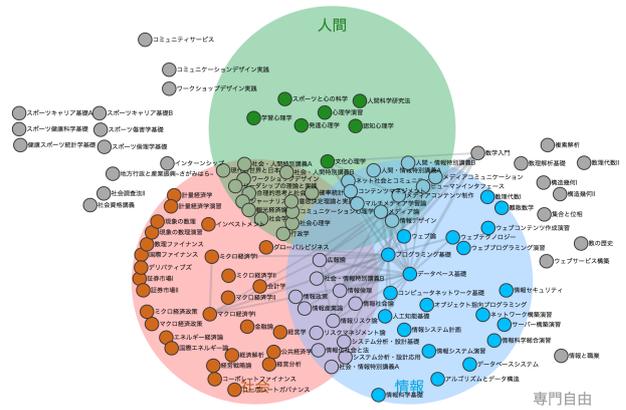


図9 表示するリンクの共起を20人以上、レイアウトを固定に設定した科目の共起ネットワーク

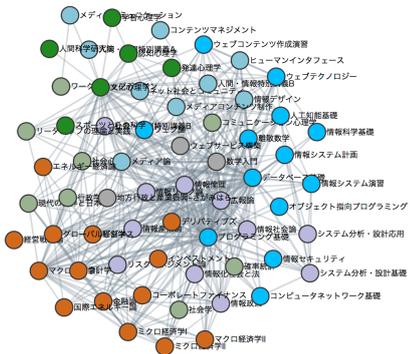


図10 表示するリンクの共起を10人以上、レイアウトを力方向に設定した科目の共起ネットワーク

いないことを示している。

4.2 科目ネットワーク

4.2.1 固定レイアウト

図9は表示するリンクを20人以上、レイアウトを固定に設定した科目の履修者における共起ネットワークである。このネットワークは、セットで履修される可能性の高い科目を示している。例えば、情報エリアのプログラミング基礎とデータベース基礎、社会エリアのミクロ経済学Iとマクロ経済学Iなどである。これらの科目は各専門エリアの基礎的な科目として多くの学生がセットで履修していると考えられる。数学入門はプログラミング基礎、文化心理学、マクロ経済学Iなど全ての専門エリアの科目とリンクを持つことから、(科目名からではなく)基礎的な科目であることがわかる。

4.2.2 力方向レイアウト

図10は表示するリンクを10人以上、レイアウトを力方向に設定した科目の履修者における共起ネットワークである。濃い水色が情報エリア、茶色が社会エリア、濃い緑色が人間エリア、薄い水色が人間・情報リエゾン、藤色が社会・情報リエゾン、薄い緑色が社会・人間リエゾンを表す。コース科目のノードの間にリエゾン科目のノードが配置されており、学際的融合領域を学ぶカリキュラムの狙い通りに履修されていることが示され

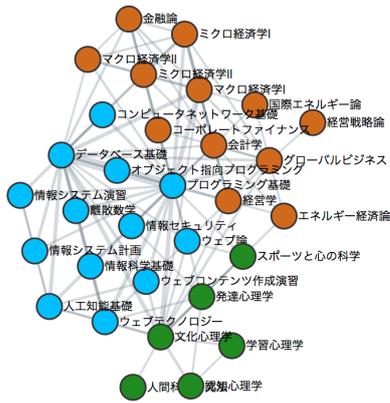


図 11 表示するリンクの共起を 10 人以上、レイアウトを力方向に設定し、エリア科目のみ表示した科目の共起ネットワーク

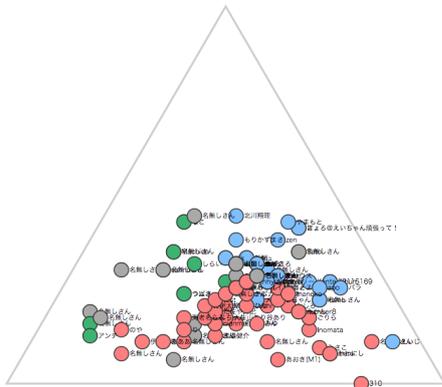


図 12 ノードの色付けを専攻するコースに設定した各学生の履修の重心

ている。

図 11 は表示するリンクを 10 人以上、レイアウトを力方向に設定し、エリア科目のみを表示した科目の共起ネットワークである。水色が情報エリア、茶色が社会エリア、緑色が人間エリアを表す。ノードの配置が科目の配置されている領域ごとにはっきりと分かれていることがわかる。同じ領域の科目は同じ学生に履修される可能性が高いことを示している。

4.3 履修領域の重心

図 12 に各学生の履修の重心を示す。先述のドーナツ化現象のため、中心部分は過疎になるはずである。しかし、図 12 においては中心部分が密になっている。重心の算出時に履修科目数の差を考慮していないため、履修科目数の少ない学生の重心が中心部分に接近してしまう。履修科目数は学年に比例するはずである。

各学年ごとの履修領域重心を図 13 に示す。図 13 (a) は中心付近にノードが集中しているが、図 13 (c) では中心が過疎になっており、明確にドーナツ化現象が現れている。学年が上がるにつれ、各学生はそれぞれの専攻するコースに応じて専門性を深めていることがわかる。

5 考察

提案システム“CourseSpace”を用いた分析によって、新たな発見や体感的に理解されていたことの裏付けを得ることができた。学生の履修モデルが専攻するコースの影響を大きく受けていることは当然のことであるが、本実験によって改めて明らかにされた。特に興味深いことは、履修領域の重心を視覚化したことによって、コースを超えて学部を設置する学問領域を網羅的に履修する学生がほとんど存在しなかったことが明らかにされたことである。

履修モデルと学生の属性をネットワークの構造から視覚的に読み取れるようなリンクの閾値を観測の中で探索することができた。ノードの配置をドラッグ・アンド・ドロップによって変化させ、分析を支援する機能や、レイアウトを即時に切り替える機能によって探索的な観察が実現できた。このような分析過程から、インタラクティブなアプリケーションとして実装したことは有用であったと考えられる。

科目の共起ネットワークにおいて、セットで履修される可能性の高い科目や学際的融合領域を学ぶカリキュラムが実際の履修モデルに反映されていることがわかった。学生の共起ネットワークにおいて、ネットワーク構造から学生の専攻するコースが推測できる可能性があることが発見された。このような結果から、ネットワーク科学を用いた視覚化というアプローチは有用であったと考えられる。

これらの発見から、CourseSpace のような可視化システムを用いることによって、データに基づいたカリキュラム制定や改定が行えるようになると考えられる。本研究の成果は社会情報学部の設置するカリキュラム改定委員会において報告され、カリキュラム改善に用いられている。社会情報学部に限らず、近年増加している文理融合系ないし学際的融合領域に主眼を置く学部において、多様な履修モデルを観測し理解することは学部の発展において欠かせない。

今回の実験の一部では、実験協力者にデータ入力時に CourseSpace のメインビューを使用させた。実験協力者は、自分の履修モデルの偏りや無自覚な興味を発見した。この発見は実験協力者の今後の履修モデル構築の参考になるとも考えられる。

今回の実験では、収集したデータの数が少ないことや回答者の属性に若干の偏りがある。しかし、今回発見されたことや裏付けられたことは、ネットワークの構造から発見されたことが多く、データの偏りの影響を考慮しても傾向は変わらないであろう。仮に学部に所属する全学生からデータを集めることが実現すれば、より正確に学部の履修モデルを観測することが可能になり、詳細な分析とより多くの発見が期待される。

文献

- [1] 青山学院大学. 青山学院大学社会情報学部 2015 年度授業要覧. https://www.aoyama.ac.jp/wp-content/uploads/2018/02/ssi_2015.pdf.
- [2] Mark Newman. *Networks: An Introduction*. OUP Oxford, 2010.

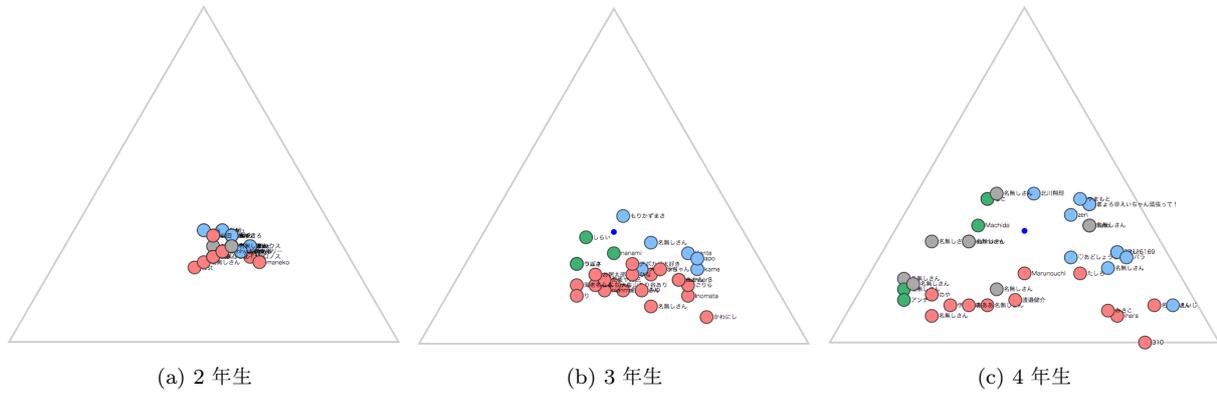


図 13 学年ごとの履修領域重心

- [3] Hidalgo Cesar A, 千葉敏夫. 情報と秩序: 原子から経済までを動かす根本原理を求めて. 早川書房, 2017.
- [4] Hideki Mima. Mima search: a structuring knowledge system towards innovation for engineering education. In *Proceedings of the COLING/ACL on Interactive presentation sessions*, pp. 21–24. Association for Computational Linguistics, 2006.
- [5] 増永良文, 石田博之, 伊藤一成, 伊藤守, 清水康司, 壮司慶行, 高橋徹, 千葉正喜, 長田博泰, 福田亘孝, 正村俊之, 森田武史, 矢吹太郎. Wikibok を用いた社会情報学の知識体系構築実験. 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2013), C3-5, 2013.
- [6] Taro Yabuki, Takeshi Morita, and Yoshifumi Masunaga. Formulation and verification of the body of knowledge of new discipline using wikibok. In *Proceedings of the 9th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*, p. 76. ACM, 2015.
- [7] A Pentland, 柴田裕之. 安西祐一郎 監訳: 正直シグナル: 非言語コミュニケーションの科学. みすず書房, 2013.
- [8] Michael Bostock, Vadim Ogievetsky, and Jeffrey Heer. D3data-driven documents. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2011.