

BLE ビーコンによる位置情報を用いた 学生の移動パターンの分析

遠藤 健玄¹ 武藤 敦子¹ 森山 甲一¹ 犬塚 信博¹

概要: 名古屋工業大学には BLE ビーコンを用いた打刻システムがある. このシステムから得られる大学生の位置情報を用いて, 大学生の滞在パターンを行列として表現する. 滞在パターンを用いて大学生をクラスターリングし, クラスターごとに滞り場所をノード, 移動をエッジとしたネットワークで表現することで大学生の移動や滞り場所について分析し, 大学生の学生生活環境について考察する.

An Analysis of Students' Behavior Patterns Using Location Information from BLE Beacon

1. はじめに

近年, 行動履歴を用いてユーザの行動の特徴を分析する研究が盛んに行われている [1][2][3]. これらの行動履歴は日々膨大な量を得ることができるため, これを分析し各種サービスに生かすことが可能である.

大学生にも行動履歴があり分析することができる. 大学における大学生の行動は, その学生の性格や環境により多様な動きを示す. 名古屋工業大学では, 約 1,600 台の Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコン発信器を学内に設置し, スマートフォンにより学生の講義の出席状況等を管理している [4]. BLE ビーコンとは, スマートフォン等の近距離無線通信規格である Bluetooth 機能を用いて, 位置情報の取得などができる小型の機械である. BLE ビーコンを用いた研究として, 受信信号強度を用いた屋内位置測位があり, Bluetooth 機能を有効にしたスマートフォンを持っている歩行者の大きな位置を推定することができる [5]. BLE ビーコンによって取得したデータを参照すると, ある端末が, いつ, どこにいたのかが分かるようになっている. これらのデータを元に, 時間的に連続した端末利用者の位置情報を取得することによって, 移動ルートを把握することができる. さらに各端末には暗号化された ID が振られているので, 異なる端末同士がどれだけ似た動きをしているかを調べることや, 多くの人が集まる時間や場所の規則性をみつけること

ができる.

本研究では特に学生の性格や環境が講義などに左右されない昼休みの時間帯に着目し, Nitech ピロリンを用いて学生を位置情報に基づく行動でクラスターリングし, それぞれのクラスターにおいて求められる環境について, 主に食堂などの休憩スペースに着目して分析する.

2. 関連研究

BLE ビーコンにより大学生の移動情報を計測し, 移動履歴を解析する研究がある [6][7]. 文献 [6] は, 学生が大学に滞りする時間帯によってクラスターリングし, クラスターと学年などの属性情報との関係について考察しているが, 滞り場所には着目していない. 文献 [7] では大学生の建物・階数ごとの移動や滞りについて分析しているが, 場所間の関係には着目していない.

3. BLE ビーコンによる位置情報の取得

3.1 BLE ビーコン

BLE ビーコンとは低消費電力の近距離無線技術である Bluetooth Low Energy (BLE) という位置特定技術を利用した信号発信機の名称である. BLE ビーコンは, 数秒間に 1 回, 半径約 30 メートルの範囲に信号を発信しており, Bluetooth に対応し機能を有効にした端末が BLE ビーコンの信号の到達範囲に入ると, 端末が信号を感知する. これは信号の到達範囲に入っている間, 何回でも感知する. この信号を感知した端末は, BLE ビーコンのサーバに対して信号を受信し

¹ 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

たという情報を送る.このような流れで端末の位置情報を捕捉できる.

3.2 Nitech ピロリン

Nitech ピロリンとは,名古屋工業大学において運用されている,BLE ビーコンを用いた位置推定による打刻が行えるシステムの名称である [4]. Nitech ピロリンデータには学生個人を表す ID, 打刻した日付と時間, 打刻した場所, 学年学科などの情報が含まれる.

3.3 BLE ビーコンの設置場所

図 1 名古屋工業大学御器所キャンパスの地図を示す [8].BLE ビーコンが設置されている場所は講義室, 休憩スペース, 廊下, 屋外などが約 1600 か所である.



図 1 名古屋工業大学 御器所キャンパスマップ

名古屋工業大学には学内で利用できる休憩スペースがあり,このようなスペースの中でビーコンが取り付けられている場所として大学会館,19 号館と 52 号館にある休憩スペースである,ゆめ空間,ゆめルームがある.図中の赤丸の位置がその 3 か所である.前者には食堂が存在する.後者には食堂はないが,近くにはアイスや飲み物の自動販売機や売店があり,自由に使える椅子や机が設置されている.

4. 分析手法

以下の手順による分析手法を提案する.

- 分析 1 滞在パターンのクラスタリングによる分析
- 分析 2 クラスタ毎の移動場所間の関係の分析

4.1 分析 1 滞在パターンのクラスタリングによる分析

4.1.1 場所の分類

学生の大まかな滞在パターンを分析するために,データ内の場所を表 1 のように 3 種類に分ける.

ただし,居室に関しては学生ごとに異なり,以下の手順で推定する.

表 1 場所の分類

居室	研究室や図書館, 部活動室などの講義以外で長く所在する場所. 学生ごとに変わり,0~1 か所設定される.
休憩スペース	食事可能な講義室でない場所. 大学会館, ゆめ空間, ゆめルームの 3 か所.
講義室等	居室・休憩スペース以外の場所.

(1) 学生 A が打刻した場所の内,最も多く打刻した場所から順に以下の条件に合う場所を学生 A の居室とする.

- 講義室でない
- 打刻回数が 3 回以上
- 打刻回数が最も多く打刻した場所で打刻した回数の 50%以上

(2) 条件に合う場所がない時は居室無しとする.

4.1.2 データの行列表現 (時間区分行列)

学生の滞在場所の時間的変化を観測するため,学生の時間を区切り,それぞれの時間区分において前節で定めた 3 か所の場所のうち各学生がどの場所にいたかを割合で示す.この行列を時間区分行列と呼ぶ.各時間区分 S_{ij} は,曜日 i 時間 j で表され,さらに以下のように場所の割合の配列を与える.

$$S_{ij} = \left(\frac{S_{ij}^1}{S_{ij}^{sum}}, \frac{S_{ij}^2}{S_{ij}^{sum}}, \frac{S_{ij}^3}{S_{ij}^{sum}} \right) \quad (1)$$

ただし, S_{ij}^{sum} は S_{ij} の時間帯における打刻回数, $S_{ij}^1, S_{ij}^2, S_{ij}^3$ は居室・休憩スペース・講義室等における打刻回数とする. $S_{ij}^{sum} = 0$ のときは, $S_{ij} = (0, 0, 0)$ とする.

4.1.3 クラスタリングとその使用方法

前節の時間区分行列を滞在パターンとし,行列で表現された学生をクラスタリングする.その手法として階層的クラスタリングを用いる.階層的クラスタリングとは,個体間の類似度や距離に基づいて,最も似ている個体から順次に集めてクラスタを生成する方法である.またクラスタを生成する様子を樹形図(デンドログラム)と呼ばれる図によって表すことができる.

学生 A と B の時間区分行列を S^A, S^B , その要素を S_{ij}^A, S_{ij}^B とした時の学生 A と学生 B の距離 D_{AB} を式 1 とする.

$$D_{AB} = \sum_{ij} (S_{ij}^A - S_{ij}^B)^2 \quad (2)$$

本研究では,クラスタ間の距離の計算にクラスタ内の分散を最小化するウォード法を用いた.

4.2 分析 2 クラスタ毎の移動場所間の関係の分析

4.2.1 場所の関係

Nitech ピロリンに現れる一人の学生の打刻履歴のうち,連続した 2 つの打刻が

- 15 分以内

● 違う場所

であるときに, その2か所に関係があるとした.

例として表2の打刻履歴を, 表3による場所の関係に変換する.

表2 学生Aの打刻履歴

時間	場所
2017年6月22日 12:00:00	場所A
2017年6月22日 12:10:00	場所A
2017年6月22日 12:20:00	場所B
2017年6月22日 13:00:00	場所C
2017年6月22日 13:10:00	場所B

表3 場所の関係

移動前	移動後
場所A	場所B
場所C	場所B

4.2.2 場所の関係のグラフ

前節の方法で作成された場所の関係を基に, 場所をノード, 数をエッジとした重み付き有向グラフを作る. 場所の移動には移動前と移動後の場所があるため, 場所の関係には向きがある. 向きを考慮することによって学生の移動について考察することが可能となるので, 有向グラフを用いて実験を行う. グラフに関して, 全てのエッジを採用すると, グラフがとても見にくくなるため, 場所の関係の数がクラスタ全体の $P_n\%$ 以上のエッジのみを抽出することとする.

5. 実験

提案分析手法を実際に取得したデータに適用し, 学生の滞在と移動について分析することで, 学生らの求める環境について考察する.

5.1 実験準備

5.1.1 パラメータ

実験で用いるデータは名古屋工業大学の2017年度4月から7月, および10月から1月の平日のNitechピロリンの打刻データとする. これらの内, 期間中に2か月ごと(4~5月, 6~7月, 10~11月, 12~1月)に12時から13時の打刻が10回以上あった98人の学生のデータを利用する. 名古屋工業大学では, 学部生と修士生とで異なる学期形態を持つので, 期間による講義の変更のズレを考慮してこのような条件とした. 時間区分行列は, 平日の各曜日で5つ, 30分ごとに区切った時間区分とした. 分析2で扱う場所は分析を容易にするため, 同じ階にある講義室とそれ以外の部屋をそれぞれ1つのノードとして扱うことにした. ただし, ゆめ空間, ゆめルームを除く. 例えば, 52号館1階は52号館1F, 52号館1F講義室, 52号館1Fゆめルームとしてまとめた.

5.1.2 学生のデータ

学生の学年分布を表4に示す.

表4 学生の学年分布

学部1年	2年	3年	4年	修士1年	2年	その他
19	46	22	7	2	1	1

Nitechピロリンが出席確認の打刻に使われるシステムである都合上, 学部生が多く現れている.

4.1.1節の方法により, 居室ありが34人, 居室なしが64人となった. 学部生が多いこともあり, 居室無しが多く現れた. おそらく研究室に使われている場所や, 部活動棟が学生の居室とされている.

5.2 分析1 滞在パターンのクラスタリングによる分析

時間帯による学生の動きの違いを把握するために, 午前, 昼休み, 午後に分けて4.1節で提案した方法でクラスタリングを行う. クラスタ数は全ての時間帯においてエルボー法により3とした.

5.2.1 午前のクラスタリング結果

午前は大体大学の講義の始まる8時半から11時半を対象として, 時間区分が30個の時間区分行列を用いた.

図2にクラスタ毎に時間区分行列の平均値のヒートマップを示す. 縦軸が時間, 横軸が曜日を表し, 30分ごとに色が分かれている. 上から早い時間, 左から月火水木金となっている. 各時間区分における居室・休憩スペース・講義室等の場所に現れた割合がRGB(赤・緑・青)に対応しており, 割合が高い場所の色が強くなる. 時間区分において全く現れなかった場合は, 色の全ての値を0としてその時間区分を黒くする.

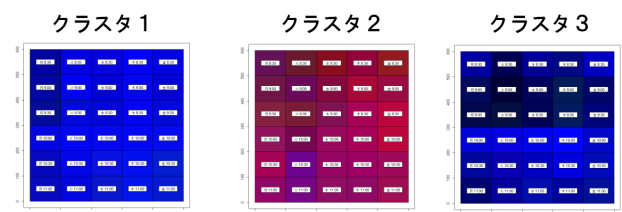


図2 午前のクラスタごとの時間区分行列の平均

午前はまだ来ていない学生もいる影響で, 早い時間帯は全体的に暗い. そして, 朝早くから来ている講義室等にいるクラスタ1, 基本居室に滞在しているクラスタ2, 朝来るのが遅い講義室等にいるクラスタ3, のように分かれていることが分かる.

5.2.2 昼のクラスタリング結果

昼は大学で定められている昼休み(12時~13時)に猶予を持って11時半から13時半を対象として, 時間区分が20個の時間区分行列を用いた. 結果を図3に示す.

午前と比べると学生もしっかりといるため, 全体的に明る

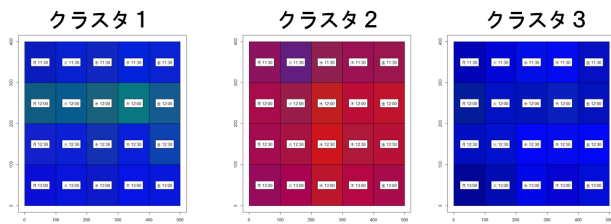


図 3 昼のクラスタごとの時間区分行列の平均

い.12 時台に緑色が濃く休憩スペースの利用が多いクラスタ 1, 全体的に赤く居室に滞在しているクラスタ 2, 講義室等にいるクラスタ 3, のように分かれていることが分かる.

クラスタ 1 は毎日決まった時間 (12 時) に休憩スペースを利用しており, 規則的な大学生活を送っていると考えられる. クラスタ 2 は基本的には居室に滞在しているが, 若干 12 時, 12 時半の方が赤色が濃いため, 昼休みの前後の時間は講義室等にも行っていると考えられる. クラスタ 3 は全体的に青いため, 殆ど講義室等にいると考えられる.

5.2.3 午後のクラスタリング結果

午後は大学の講義のほとんどが終わる 13 時半から 16 時半を対象として, 時間区分が 30 個の時間区分行列を用いた. 結果を図 4 に示す.

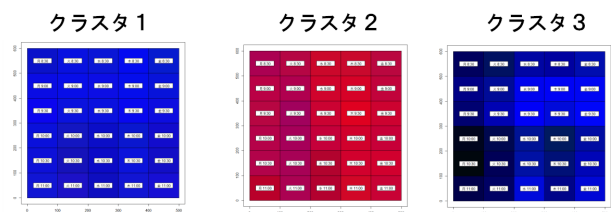


図 4 午後のクラスタごとの時間区分行列の平均

午後は午前ほどではないが暗い. 遅くまで講義室等にいるクラスタ 1, 基本居室に滞在しているクラスタ 2, 講義室等に居て早めに帰るクラスタ 3, のように分かれていることが分かる.

5.3 分析 2 クラスタ毎の移動場所間の関係の分析

4.2 節で提案した方法により, 休憩スペースの利用が存在する, 昼の時間の時間区分行列によるクラスタごとのグラフを生成する. エッジを抽出するための閾値 P_n は 0.5 とした. クラスタごとに結果と考察を示す.

5.3.1 クラスタ 1 の場所の関係のグラフ

図 5 にクラスタ 1 の場所の関係のグラフを示す.

ノードはそれぞれの場所を示し, ノードの大きさはそのノードの場所の関係の数の大きさに比例する. 名前に” 講” がついているものは講義室であることを,” ゆめ” が付いているものはゆめ空間かゆめルームを,” F” は階数を表す. ノードの色がピンクのものは休憩スペースを, ノードの色がオレンジの者はそれ以外の場所を表す. エッジは, 繋がっ

ている 2 つの場所に関して場所の関係の数がクラスタ全体の 0.5 % 以上であることを示し, エッジの矢印の向きは移動方向を示す. エッジの太さは赤く太いほど場所の関係の数が多く, 青く細いほど関係の数が少ないことを示す.

クラスタの人数は 38 人, ノード数は 23 であり, 全てのノードが連結した. 全てのノードが結合しているのは, クラスタ 1 がよく休憩スペースを使用するという繋がりのあるクラスタであるからだと考えられる.

表 5 に場所の関係の数上位 5 ノードに関する結果を示す. 入次数, 出次数はそのノードにエッジが他から繋がる数, エッジが他へと繋がる数を表す. 場所の関係の数はそのノードと他ノードの繋がり, 入出はそれぞれ入ってくる, 出ていくエッジの重みの合計を表す. これらの数が大きいノードはクラスタ内でよく利用される場所であることを示す.

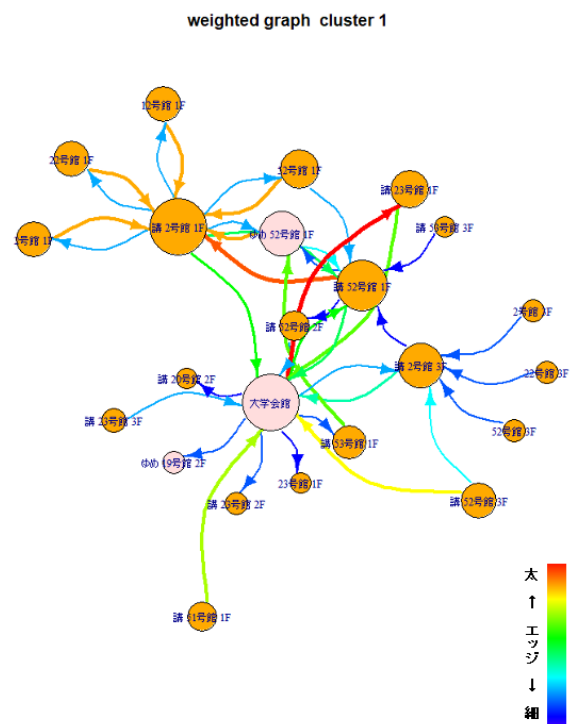


図 5 クラスタ 1 の場所の関係のグラフ

表 5 クラスタ 1 のグラフデータ
(場所の関係の数上位 5 つ)

場所	場所の 関係の数	(入)	(出)	入次 数	出次 数
大学会館	178	99	79	8	8
講 2 号館 1F	173	103	70	6	7
講 52 号館 1F	103	58	45	6	4
講 2 号館 3F	61	43	18	5	2
ゆめ 52 号館 1F	58	31	27	3	2

表 5 より, 大学会館は全ノードの中で最も多くの講義室との関係が頻繁にあることが分かる. 図 1 のキャンパスマップを参考にする, 特に近くの建物との行き来が多い.

また, 2 号館 1F 講義室, 52 号館 1F 講義室の値が高いのは, 講義室がこの二か所に多く集まっていることが関係していると考えられる.

休憩スペースや 2 号館講義室は場所の関係の数 (出) と比べて場所の関係の数 (入) の方がかなり多い. まず, 休憩スペースの場所の関係の数 (入) が多い理由として, 午後に講義がないために休憩スペースの利用後に大学から去る, もしくは長時間滞在していると考えられる. 2 号館講義室は近くに休憩スペースがないため, 午後の講義まで休憩として利用されていることが多いと考えられる.

地図上での場所間の距離を調べたところ, 2 号館から大学会館への道のりは約 200m, 2 号館から 52 号館への道のりは約 300m, 52 号館から大学会館への道のりは約 100m であることが分かった. これを踏まえ休憩スペースの利用方法について考察する. 大学会館は距離が離れた講義室でも昼休みに利用する学生が多い. 対して, 5 2 号館ゆめルームは近くの講義室の学生の利用が多い. ここから, 5 2 号館ゆめルームのような休憩スペースには遠くに移動してまで利用しようとする学生は少なく, 食堂のある大学会館は遠くからでも利用しようとする学生が多いということが分かる.

5.3.2 クラスタ 2 の場所の関係のグラフ

図 6 にクラスタ 2 の場所の関係のグラフを示す. クラスタの人数は 10 人, ノード数は 23 である. 非連結グラフとなったのは, クラスタ 2 が基本的に居室にいるクラスタだが, その居室が学生によってバラバラであるからだと考えられる.

表 6 クラスタ 2 のグラフデータ
(場所の関係の数上位 5 つ)

場所	場所の 関係の数	(入)	(出)	入次数	出次数
大学会館	27	12	15	4	6
19 号館 1F	20	12	8	3	3
ゆめ 19 号館 1F	20	12	8	3	3
19 号館 1F	16	6	10	2	2
ゆめ 19 号館 1F	16	6	10	2	2

表 6 より, 大学会館と 19 号館, ゆめ空間の利用が多いことが分かる. グラフより, 19 号館は 19 号館同士の繋がりが多いことを考えると, このグラフにおいてメインとなっているノードは大学会館であると言える. 大学会館に対して他の休憩スペースへのエッジが少ないのは, 居室を持つ学生が多いクラスタ 2 ならではの特徴であると考えられる.

クラスタ 2 はクラスタの人数が他のクラスタよりも少ないため, 個人の影響が強く出てしまっていると考えられる.

weighted graph cluster 2

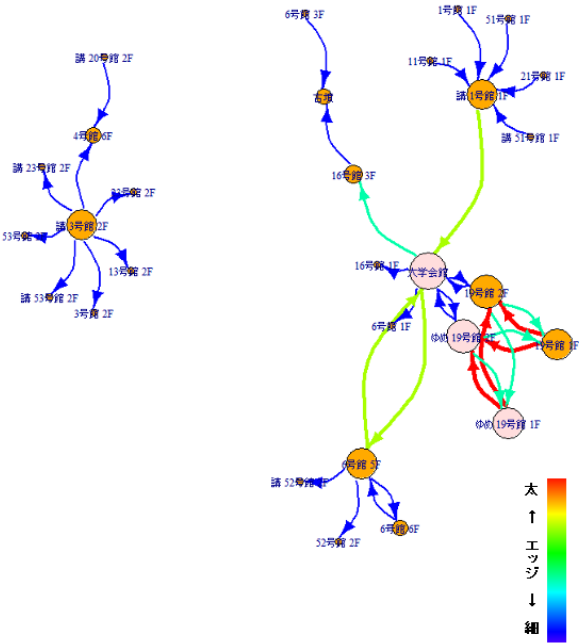


図 6 クラスタ 2 の場所の関係のグラフ

5.3.3 クラスタ 3 の場所の関係のグラフ

図 7 にクラスタ 3 の場所の関係のグラフを示す. クラスタの人数は 50 人, ノード数は 26 である. 非連結グラフとなったのは, クラスタ 3 もクラスタ 2 と同じ理由だと考えられる. 基本的に講義室にいるクラスタだが, その講義室が学生によってバラバラであるからだ考える.

表 7 クラスタ 3 のグラフデータ
(場所の関係の数上位 5 つ)

場所	場所の 関係の数	(入)	(出)	入次数	出次数
講 2 号館 1F	237	172	65	8	8
講 2 号館 2F	70	58	12	7	1
講 52 号館 1F	61	9	52	1	4
講 2 号館 3F	44	44	0	4	0
講 1 号館 1F	41	31	0	5	0

表 7 より, 2 号館 1 階講義室が場所の関係の数, 入次数, 出次数共に最高であり, 他のクラスタと異なり講義室がメインとなっている. 同じく居室の利用が殆ど無いクラスタ 1 と比べて, クラスタ 3 は休憩スペースの利用が少ない. 2 号館講義室へと向かう場所の関係の数が多いことより, クラスタ 3 が午後から 2 号館での講義が多い学生らのクラスタであり, 2 号館の近くに休憩スペースがないことによって休憩スペースの利用が少なくなっていると考えられる. 実際に昼の時間に 2 号館 1 階講義室を観察すると, 講義室で食事をとっている学生が多く存在した.

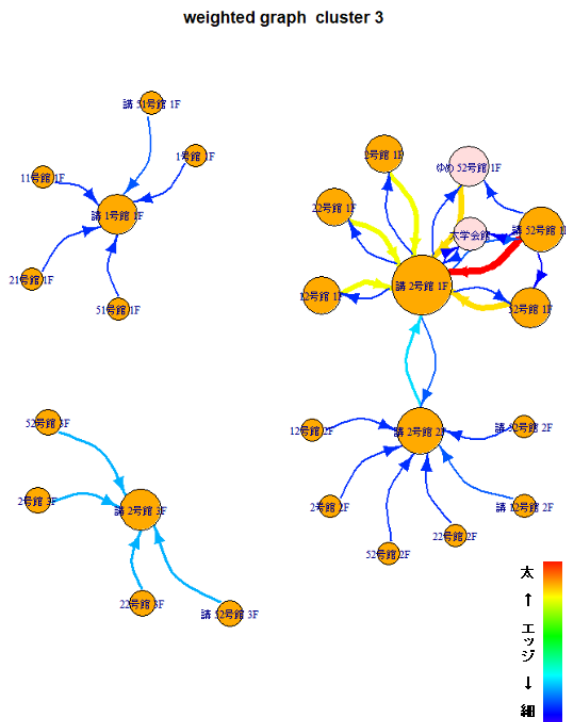


図 7 クラスタ 3 の場所の関係のグラフ

52 号館 1F 講義室は 2 号館講義室の逆で、入の数よりも出の数が多いため午前中に講義が多いと考えられるが、ゆめルームとの場所の関係の数が少ないことから、午前の講義後に 52 号館 1 階ゆめルームを利用することが少ないことが分かる。このことから、クラスタ 3 の学生は午後の講義室に近い位置の休憩スペースを利用していると推測できる。

5.4 考察

実験結果からそれぞれのクラスタにおいて必要とされる休憩スペースについて考える。クラスタリング結果より、

- クラスタ 1 は昼休みが始まってすぐに休憩スペース(大学会館やゆめルーム)を利用するクラスタ。
- クラスタ 2 は基本居室にいて、昼休みになると更にいる比率が高くなるクラスタ。
- クラスタ 3 は講義室等において、講義の影響で休憩スペースをあまり使わないクラスタ。

であることが示された。

さらに、場所の関係のグラフより、クラスタ 1 には大学会館から遠い位置の食堂、クラスタ 3 には 2 号館の近い位置に休憩スペースが必要であると考えられる。よって、大学北側 52 号館の近くの区画に食堂を、大学南側 2 号館の周りに休憩スペースを設けることで、クラスタ 1,3 の学生のニーズを満たすことができると考える。

クラスタ 2 に関してはデータが少ないので場所に関する考察はできない。だが、居室に滞在しているので昼食を事前に買ってくる必要がある。そのため、居室に滞在する人数に

よっては学内コンビニなどの施設を求める可能性がある。しかし、どの程度必要かという点に関しては居室が存在する人数の少なさや、学生の Nitech ピロリンの利用割合から考えると予想が付かない。

6. おわりに

Nitech ピロリンの位置情報を用いて大学生の行動履歴を導き出し、学生の行動パターンを確認した。それを基に学生がどのような場所に滞在するかで学生をクラスタリングし、クラスタ毎にどのような場所を行き来するのかを把握した。分析結果より、大学北側 52 号館の周りに食堂、大学南側 2 号館の周りに休憩スペースの需要があるのではないかと推測できた。今後は、実際の学生全体の人数を考慮した分析や、休憩スペースに人が集まりすぎないように居室に関する分析が必要とされる。

本研究では、居室に滞在するクラスタ 2 のような学生に関しては十分な考察ができていない。この原因としてコンビニに BLE ビーコンが付いていないことや、居室を持つ学生の多い学部 4 年以上の学生がデータに少ないことがあげられる。さらに現在、Nitech ピロリンによる打刻をしている学生は少なく、日常的に利用している学生はさらに少ない。今後、Nitech ピロリンを使用する学生が増加することによってサンプル数が増え、正確な分析が期待できる。そのためには Nitech ピロリンの利用方法を増やしたり、日常的にシステムを利用することの利点が求められる。

謝辞

データを提供して頂いた名古屋工業大学情報基盤センターに深く感謝する。

参考文献

- [1] 土井千章, 片桐雅二, 太田賢, 重野寛:購入商品レベルでの購買行動に着目したライフスタイルの推定 情報処理学会論文誌 Vol.58 No.2 298-307 (2017)
- [2] 一ノ瀬良奈, 丸山喜久, 永田茂:スマートフォンの位置情報による流動人口の時空間分布の推定 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.74 No.4(地震工学論文集第 37 巻), I210-I219,(2018)
- [3] 北野誠一, 中島良樹, 井料隆雅, 朝倉康夫:交通系 IC カードデータを用いた長期間の鉄道利用履歴の分析 土木計画学研究・講演集 37 巻 ROMBUNNO.338(2008)
- [4] 梶岡慎輔, 山本大介, 打矢隆弘, 齋藤彰一, 松尾啓志, 内匠逸:BLE ビーコンを用いた位置推定による打刻システムの運用と課題 情報処理学会研究報告 Vol.2016-IOT-35 No.12 Vol.2016-SPT-20 No.12 (2016)
- [5] 工藤大希, 堀川三好, 古館達也, 岡本東:BLE ビーコンを用いたエリア推定による屋内位置測位手法の提案 情報処理学会第 78 回全国大会 6U-06 (2016)
- [6] 遠藤健玄, 武藤敦子, 森山甲一, 犬塚信博:BLE ビーコンによる滞在履歴を用いた大学生の行動の分析 第 81 回全国大会講演論文集 2019(1) 493-494 (2019)
- [7] 梶岡慎輔, 岸本 薫, 中川和也, 梅津佑太, 烏山昌幸, 藤原陽子, 打矢隆弘, 松尾啓志, 竹内一郎:BLE ビーコンによる

移動情報計測と頻出移動パターンの抽出 サイバーワールド研究会 (2017)

- [8] 国立大学法人名古屋工業大学
https://www.nitech.ac.jp/access/imgs/img_map_01.jpg
(参照 2020-01-13)