

子どもの遊び行動解析に向けた 多人数同時位置計測のフィールド実験

Field Experiment of Multi-Person Simultaneous Position Measurement for Children's Play Behavior Analysis

○岩倉龍之介*, 田中大介*, 張山昌論*, 小柴満美子**, 小林康浩***, 木村創†

○ Ryunosuke Iwakura*, Daisuke Tanaka*, Masanori Hariyama*,
Mamiko Koshiba**, Yasuhiro Kobayashi***, Hajime Kimura†

*東北大学, **人間総合科学大学, ***小山工業高等専門学校,
†認定向山こども園

*Tohoku University, **University of Human Arts and Sciences,
***National Institute of Technology, Oyama College, †Certified Mukaiyama Kodomoen

キーワード : 子ども行動解析 (children's behavior analysis), 多人数同時位置計測 (multi-person simultaneous position measurement), 無線センサー (wireless sensors), クラスタリング (clustering), コミュニティ解析 (community analysis)

連絡先 : 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09
東北大学大学院 情報科学研究科 張山・ウィッデヤスーリヤ研究室 岩倉龍之介,
Tel.: (022)795-7155, E-mail: iwakura.ryunosuke.q2@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年, 保育現場においては子どもの発達段階や興味・関心に応じた「個別最適化」された教育の重要性が高まっている¹⁾. そのためには, 子ども一人ひとりの個性や関係性を客観的かつ効率的に把握する必要がある.

個性の推定の手法の一つとして, 行動解析があり, 現状では保育士の観察や手動記録が主な手段である. しかし, これらの方法では, すべての子どもを同時に観察することや, 客観的な記録をすることは困難であり, 記録作業の負担も大きいという課題がある.

この課題に対し, 金井らによる先行研究²⁾で

は ICT 技術を活用し, 小型無線タグと基地局を用いた多人数同時位置計測システムが構築されている. このシステムは, 子どもの位置情報(「いつ」「誰が」「どこにいるか」)を自動的に取得することで, 同時に観察可能な子どもの数を増やすとともに, 客観的な記録および手動記録の負荷軽減を目指している. さらに, 取得した位置情報から, 遊具の滞在時間・割合, 使用頻度, 子ども同士の交友関係などを把握できる点に特徴がある.

本稿では, この先行研究で提案されたシステムを実際のこども園の遊び場に適用し有効性を検証した結果を報告する. さらに, 得られた位置情報データを用いて, 子どもの遊び場滞在割

合や行動の類似性，子ども同士の関係性を明らかにするために，クラスタリングやネットワーク解析による分析を行った結果を紹介する．

2. 位置計測システムの概要

本章では，先行研究²⁾で提案されている多人数同時位置計測システムについて簡単に紹介する．

2.1 使用機器

本研究では，子どもの位置情報を計測するために，MONOWIRELESS社製のTWELITEモジュールを用いた．TWELITEモジュールは，小型かつ低消費電力であり，電池で長時間稼働可能な無線通信対応のマイコンモジュールである．本システムでは，発信機として小型無線タグ **TWELITE CUE** (Fig. 1)，受信機として **MONOSTICK** (Fig. 2) を使用する．



Fig. 1 TWELITE CUE (発信機)



Fig. 2 MONOSTICK (受信機)

両機器の諸元を Table 1 に示す．

まず，TWELITE CUE について説明する．TWELITE CUE はコイン型電池 CR2032 を用いて長時間稼働可能であり，加速度センサおよび小型基板アンテナを内蔵している．数十メートルから数百メートルの通信距離を有し，子どもに装着するタグとして利用する．

次に，MONOSTICK は USB シリアルポートを介してコンピュータ等に接続して動作する受信機である．本研究では Raspberry Pi 4 に接続し，シリアル通信を読み取る Python スクリプトを実行することで，タグから発信された情報を記録する．なお，TWELITE CUE および MONOSTICK は，いずれも基板上のマイコンにプログラムを書き込むことで機能を拡張・カスタマイズ可能である．

2.2 システムの構成

本システムでは，TWELITE CUE は子機として定期的に規定された情報を発信し，MONOSTICK は複数の子機から受信したデータを USB 経由のシリアル通信で PC に記録する親機の役割を担う．ここでは子どもに装着する TWELITE CUE を「タグ」，Raspberry Pi 4 と MONOSTICK を接続して記録を行う装置を「基地局」と呼ぶこととする．基地局は子供が遊ぶフィールドに複数設置し，基地局に記録された情報を分析することで，子どもの位置推定を行う．

2.3 MQTT プロトコルを用いたリアルタイム通信

本システムでは，位置情報をリアルタイムに収集・蓄積するため，軽量な通信プロトコルである MQTT を採用した．MQTT は HTTP と比

Table 1 各機器の諸元

機器	サイズ [mm]	重量 [g]	価格 [円/個]
TWELITE CUE 基板部	25×25×10 (最厚部)	4	3000
MONOSTICK	50×22×8 (USB 端子部除く)	10	3000

Table 2 位置推定データ例

時刻	子ども	基地局 1	基地局 2	基地局 3	位置推定結果
10:00:00	子ども 1	87	66	160	基地局 3
	子ども 2	155	95	210	基地局 3
	子ども 3	148	57	210	基地局 3
10:00:05	子ども 1	210	148	128	基地局 1
	子ども 2	95	142	78	基地局 2
	子ども 3	168	78	225	基地局 3
10:00:10	子ども 1	39	135	89	基地局 2
	子ども 2	79	178	65	基地局 2
	子ども 3	93	165	42	基地局 2

較して軽量かつ柔軟な特性を持つことから、IoT 分野における標準的な通信方式となっている³⁾。通信は「パブリッシャ」「サブスクライバ」「ブローカー」により構成され、パブリッシャがブローカーに送信したメッセージを、サブスクライバが必要に応じて受信するという仕組みを持つ。この方式により、送信側と受信側が直接接続する必要がなく、1 対多・多対多の柔軟な通信を効率的に実現できる。

2.4 本研究での通信構成

本研究では、各基地局 (Raspberry Pi 4) をパブリッシャ、ホスト PC をブローカー兼サブスクライバとして構成した。そして、基地局 (各 Raspberry Pi 4) 及びホスト PC を Wifi を用いた同一のネットワークにつなぐ。このようにして、タグから送信された情報を各基地局が受信し記録、その後、ホスト PC (ブローカー) に情報を転送し、ホスト PC (サブスクライバ) が必要な情報のみを取得することができる。

2.5 最近傍基地局の推定

TWELITE CUE から発信される電波は距離に応じて単調に減衰する特性を持つ (Fig. 3)。図中の LQ 値は dB に比例した電波強度指標である。

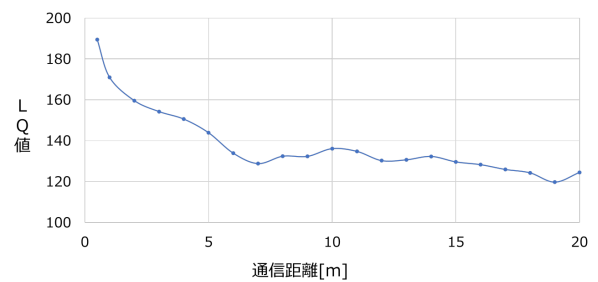


Fig. 3 実測による TWELITE CUE から発信される電波強度と距離の関係

この性質を利用し、各時刻において受信した電波強度が最も大きい基地局を子どもの現在位置 (最近傍基地局) と推定する。本研究で得られる位置情報データの例を Table 2 に示す。

3. フィールド実験の方法

本研究では、開発した多人数同時位置計測システムの有効性を検証するため、実際の幼稚園 (仙台認定向山こども園) において 2025 年 6 月 6 日にフィールド実験を行った。計測対象となる子供は 24 名であり、屋外遊び場で 50 分間のデータ収集を行った。また、今回子どもに装着したタグは 5 秒間隔で位置情報を送信した。

遊び場は大きく以下のエリアに分かれており、それぞれで異なる遊び方が観察された。

- 野の花園庭：土の山や泥池のあるエリア。子供たちは泥遊びや山の上での追いかけっこなどを行っていた。

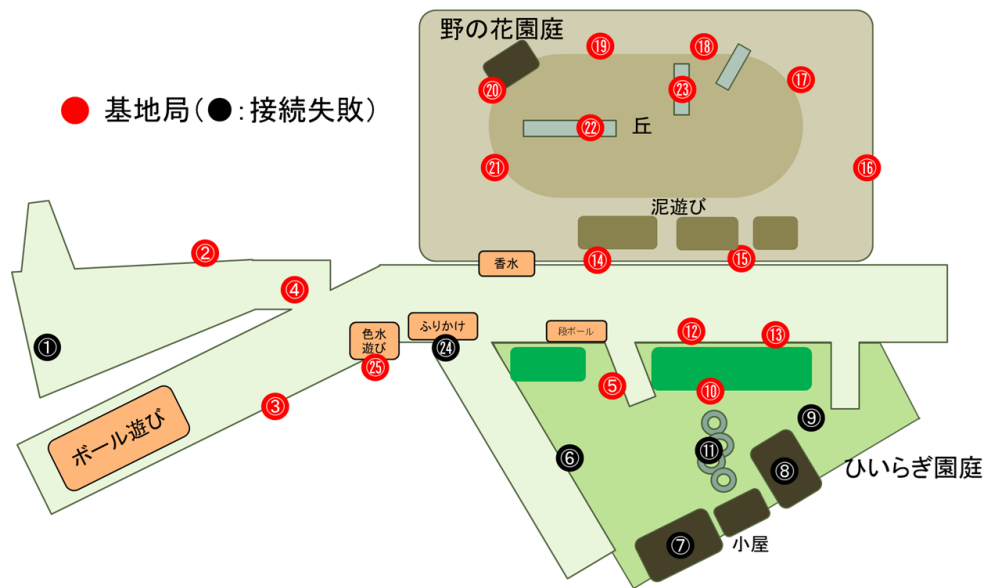


Fig. 4 実験を行った園庭の略図. 各エリアの配置と基地局の設置位置を示す.

- ひいらぎ園庭：草むらや小屋があるエリア。虫取りなどの遊びが観察された。
- お店屋さんエリア：色水遊び、料理ごっこ、香水作り、段ボール遊びなどができる場として利用されていた。
- ボール遊びエリア：滑り台や箱を使ったボール遊びが行われていた。

また、園庭内には複数の基地局を設置し、電波の受信状況や接続失敗の有無を記録した (Fig. 4)。

4. 実験結果と解析

本章では、子どもの遊び行動を多角的に把握することを目的として、基地局の滞在時間割合に基づくクラスタリングと、子ども同士の同時滞在時間割合に基づくコミュニティ解析の2種類の手法を用いて、取得された位置データを解析した結果を述べる。前者は、子どもがどの遊び場にどの程度滞在したかを指標として、遊びの嗜好の傾向を明らかにすることを狙いとする。後者は、同じ時間に同じ場所で過ごした割合に着目し、子ども同士の関係性や相互作用を明らかにすることを目的とする。

4.1 滞在時間割合に基づくクラスタリング

遊びの嗜好とは、子どもが特定の遊び場や遊具にどの程度長く関心を示し、繰り返し利用するかという傾向である。したがって、基地局ごとの滞在時間割合を算出することで、子どもの遊びの嗜好を定量的に捉えることができる。例えば、ボール遊びや鬼ごっこができる広場に長時間滞在する子どもは運動遊びを好む傾向があると考えられる一方、おままごとや工作ができるエリアに多く滞在する子どもは、創造的な遊びを好む傾向があると解釈できる。このように、滞在割合を調べることによって、子どもの遊びの嗜好性や個性を客観的に把握できる可能性がある。さらに、滞在割合の類似性に基づいて子どもをグループ化することで、同じような嗜好を持つ子ども同士のまとまりが浮かび上がり、個々の子どもの特徴や集団の傾向をより客観的に理解することができる可能性がある。

滞在割合は、各子どもが実験中に基地局ごとに滞在した時間の比率として算出した。

実際に得られた滞在割合の結果を Fig. 5 に示す。図中の各行は子ども、各列は基地局（遊び場）に対応している。

この図から、子どもごとに遊び場所の嗜好が

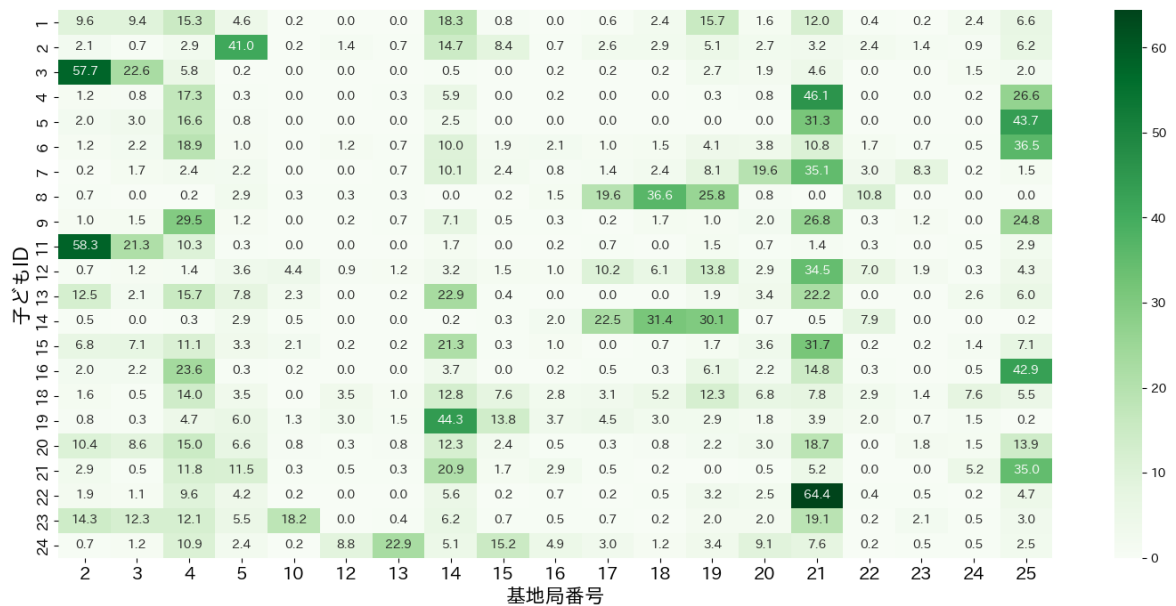


Fig. 5 各子どもの基地局滞在割合

異なることが確認できる。例えば、子ども3および子ども11は基地局2に約58%滞在しており、特定の遊び場に集中していたことが分かる。

次に、滞在割合の類似性に基づき子どもをグループ化することで、遊び嗜好の傾向をより明確に捉えることを試みた。クラスタリングとは、データ間の類似度に基づいてデータをグループ分けする手法である。クラスタリングによって形成された類似度の高い集合をクラスタと呼ぶ。

クラスタリング手法は大きく分けて階層的な手法と非階層的な手法に分類される。階層的な手法では、初期状態として各サンプルを1つのクラスタとし、距離の近いものを段階的に結合していく。⁴⁾ この手法は事前にクラスタ数を決定する必要がないこと、またデンドログラムを作成することで階層的な関係を直感的に理解できるという利点がある。一方、非階層的な手法はあらかじめクラスタ数を固定し、最適な分割を探索する方式である。

本研究では、事前にクラスタ数を決めることが難しく、またクラスタの階層構造を視覚的に理解する必要があることから、階層的な手法を選択した。さらに、外れ値に対して比較的強いと

されるWard法を採用した。Ward法は、クラスタを統合する際に、クラスタ内の偏差平方和の増分が最小となるようにクラスタを形成する手法である。これにより、内部的に類似度の高いクラスタが得られる。

Ward法によるクラスタリングの結果をFig. 6に示す。デンドログラムを用いることで、子どもの遊び行動が複数のグループに分類できることが視覚的に確認できる。

さらに、クラスタリング結果を園庭の地図上に重ねて可視化した。Fig. 7に示すように、各クラスタに属する子どもは特定のエリアに集中して滞在していたことが分かる。例えば、クラスタ1の子どもはボール遊びエリア付近に多く滞在しており、クラスタ2の子どもは野の花園庭北側に滞在する傾向が見られた。このことから、本システムにより子どもの遊び場の嗜好性を空間的に把握できることが確認された。また、複数のクラスタに分かれたことにより、それぞれ異なる遊びの傾向が存在することが分かり、そこから子ども一人ひとりの個性や好みの違いを把握する手がかりになり得ることが期待できる。

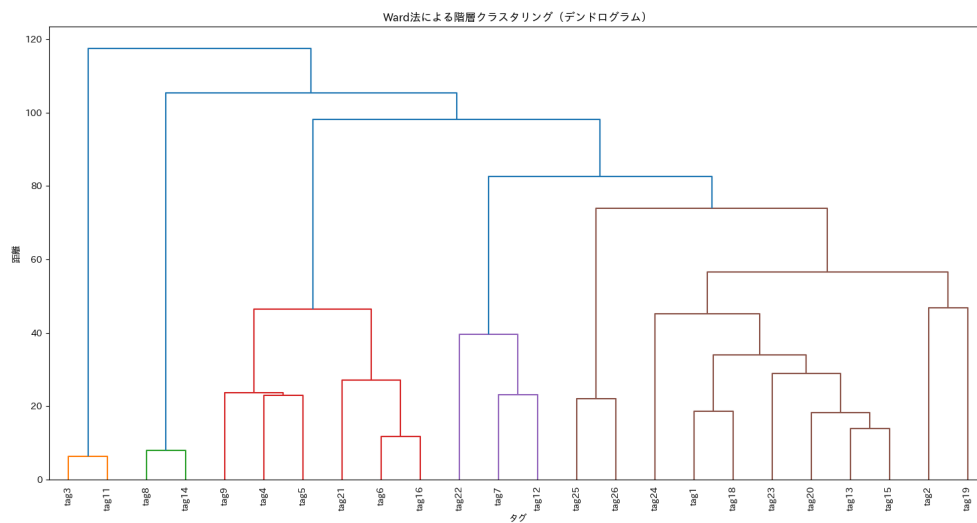


Fig. 6 クラスタリング結果のデンドログラム（横軸：子ども ID）

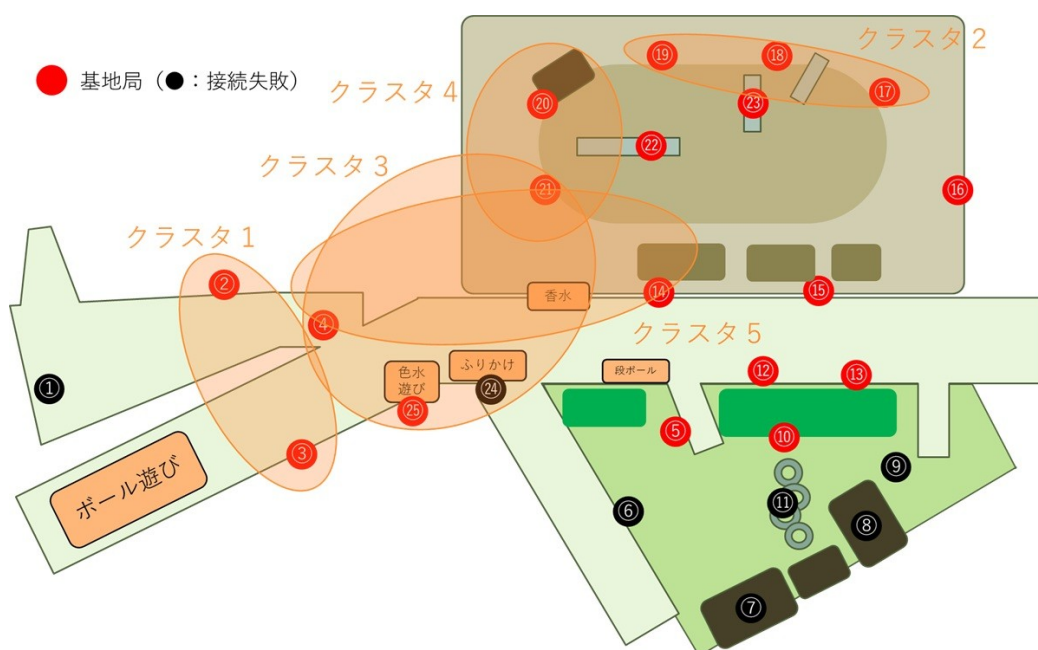


Fig. 7 クラスタリング結果の園庭地図上への重ね合わせ

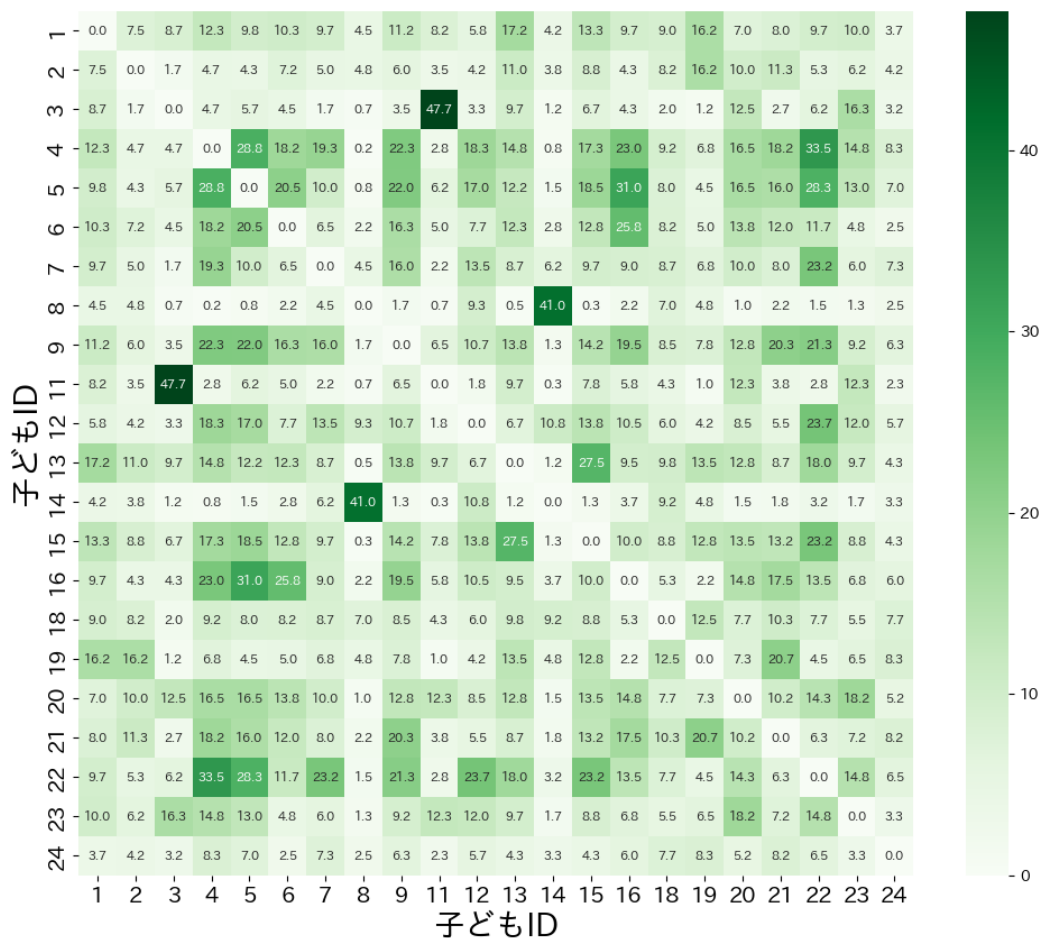


Fig. 8 子ども同士の同時滞在割合

4.2 コミュニティ解析

続いて、子ども同士の関係性を捉えるために、位置情報データをもとにしたコミュニティ解析を行った。まず、データ変換の方法として、同じ時刻に同じ基地局に滞在していた子ども同士を「一緒にいた」と判定する。この判定をすべての時刻について行い、全データに占める「一緒にいた」割合を子どもペアごとに算出した。これにより、子ども同士の同時滞在割合を定量的に表現することが可能となる。

すべての子ども同士の同時滞在割合を集計した結果をFig. 8に示す。縦軸と横軸は子どもIDを表し、セルの値は該当する子どもペアの同時滞在割合である。ここから、例えば「子ども3と子ども11」の同時滞在割合は47.9%、「子ども8と子ども14」の同時滞在割合は41.7%といっ

たように、よく一緒に遊んでいる子どもペアを特定することができる。

さらに、子ども同士の関係をネットワーク構造として可視化し、コミュニティ抽出を行った。ネットワークではノードを子ども、エッジの重みを同時滞在割合として構築した。そのうえで、Louvain法を用いてコミュニティを抽出した。この手法は、ネットワーク全体のつながり方を考慮し、同じグループ内の子ども同士はできるだけ強くつながり、異なるグループのつながりはできるだけ弱くなるように自動でグループ分けを行うアルゴリズムである⁵⁾。

Fig. 9にコミュニティ解析の結果を示す。図中では、エッジの太さが「同じ場所にいた時間の長さ」、ノードの大きさが「他の子どもとのつながりの数」、ノードの色が「抽出されたグループ」を表している。結果として、子ども4、

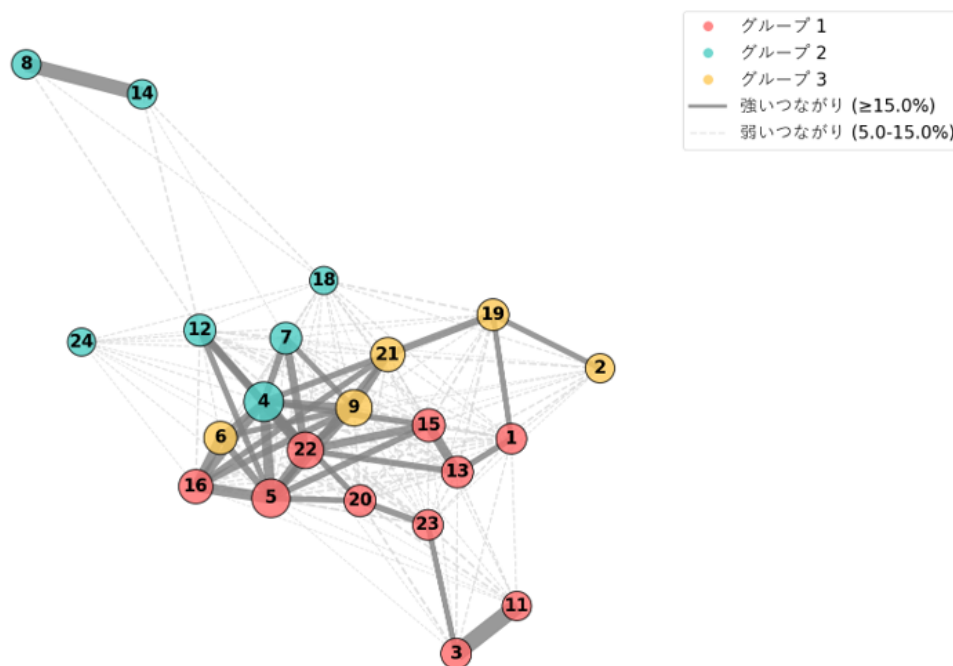


Fig. 9 コミュニティネットワーク

5は多くの子とつながりがあり、広い関係性を持つと推定されること、子ども3と11、子ども8と14は二人だけで行動することが多い傾向などが読み取れた。さらに、保育士への聞き取りからも、本解析で得られた関係性は現場で把握している人間関係とおおむね一致するとの報告が得られた。このことから、本システムは子ども同士の関係性を可視化する手法として有効である可能性が示唆された。

5. おわりに

本研究では、多人数同時位置計測システムを実際のこども園の遊び場に適用し、多数の子どもを対象としたフィールド実験を通じてその有効性を検証した。位置データを基に遊び場ごとの滞在割合を算出し、子どもの遊びの嗜好を分析した。さらに、Ward法によるクラスタリングを用いて遊び方の類似性を把握し、コミュニティネットワーク解析により子ども同士の関係性を可視化した。これにより、子どもの個性や関係性を客観的に捉える手法として、本システ

ムが有効であることが示唆された。

今後の展望としては、受信信号のフィルタリングや補間処理による位置推定の高精度化を図ることが挙げられる。また、単なる同時滞在割合の計算だけでなく、子どもが「一緒に遊んでいる」ことをより正確に捉えるために、遊び場間の同時行動や追従行動の抽出手法を検討する必要がある。これらの改善により、子どもの行動や関係性の理解が一層深まり、保育現場における実践的な活用につながることを期待される。

参考文献

- 1) 文部科学省初等中等教育局教育課程課: 学習指導要領の趣旨の実現に向けた個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料(令和3年3月版), https://www.mext.go.jp/content/20210428-mxt_kyoiku01-00014639_13.pdf, (参照 2025-09-27)
- 2) 金井 康二, 張山 昌論, 小柴 満美子, 小林 康浩: 機械学習を用いた子どもの遊び行動解析のための多人数同時位置計測システムの構築, 計測自動制御学会東北支部 第349回研究集会, 349-5, (2024-07-12)
- 3) 山崎祥司: MQTT リファレンスブック, Interface, CQ 出版社, 2022年11月号

- 4) 有賀友紀, 大橋俊介. R と Python で学ぶ 実践的データサイエンス & 機械学習. 技術評論社, 2022.
- 5) Vincent D. Blondel, Jean-Loup Guillaume, Renaud Lambiotte, Etienne Lefebvre: Fast unfolding of communities in large networks, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2008 (10), P10008.