ビーコンデータを用いた大学病院勤務医の滞留・移動分析

橋本蒼真*・沖拓弥・赤星径一*****

Analysis of Staying and Movement of University Hospital Physicians Using Beacon Data

Soma HASHIMOTO*, Takuya OKI**, Keiichi AKAHOSHI***

Abstract: The improvement of healthcare workers' labor conditions is an urgent priority. Understanding how and when healthcare workers remain in the specific rooms or move throughout the hospital during a day or week is crucial as foundational data for advancing work style reform. Previously, we developed a methodology to analyze physicians' actual working conditions and patterns of staying and movement throughout a university hospital, based on detection logs from beacons introduced for attendance management of hospital-employed physicians. In this paper, we significantly increase the number of subjects analyzed from 5 to 27 and the observation period from one week to three months. It enables the statistical analysis of staying and movement patterns. In addition, we classify physicians based on them and examine challenges and potential improvements in daily work practices.

Keywords: 滞留（staying），移動（movement），大学病院（university hospital），多次元尺度構成法（multi-dimensional scaling），ビーコン（beacon），動線ネットワーク（traffic network）

１．はじめに

2024 年 4 月から「医師の働き方改革の新制度」が始まり，医療従事者の労働状況改善は喫緊の課題である．1 日の中で，あるいは 1 週間の中で，病院全体で医療従事者がどのように滞留・移動しているかを把握することは，働き方改革を進める上での基礎資料として重要である．

筆者らは，医療従事者のうち大学病院勤務医（以下，医師）の勤怠管理用に導入されているビーコン（Dr. JOY：図 1 左下）の検知ログをもとに，大学病院全体における医師の勤務実態および滞留・移動の状況を分析する手法を構築した（橋本ほか，2025）．本稿では，行動分析の対象者数を 5 名から 27 名に，対象期間を 1 週間から 3 か間に大きく増加させることで，統計的側面から滞留・移動分析を行うとともに，滞留・移動パターンをもとに医師を分類し，滞留・移動の観点から日々の働き方における課題と改善可能性について考察する．

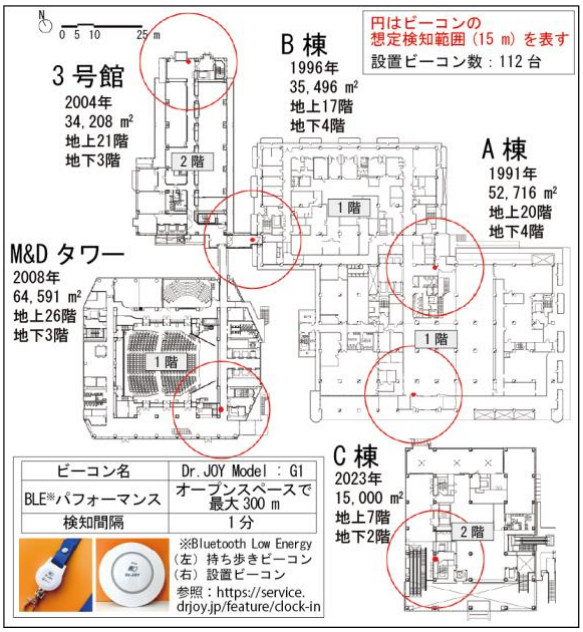


図 1　対象施設の基本情報とビーコンの仕様

２．滞留・移動分析の手法

２.１　分析対象の施設・医師・期間

前稿（橋本ほか，2025）と同じく，東京科学大学（旧・東京医科歯科大学）病院の A 棟・B 棟・C 棟・3 号館・M&D タワーを分析対象施設とした（図 1）．A 棟と B 棟は実質的に一体となっており，他の建物間は，階によっては渡り廊下で接続され行き来できる．医師が診療に従事する棟は A 棟・B 棟・C 棟であるが，医局や研究室，講義室等の機能を有する 3 号館や M&D タワーとの間を往来する機会は少なくない．

分析対象の医師は，東京科学大学病院に勤務する医師 27 名で，2025 年 2 月から同年 4 月にかけての計 12～14 週間分を分析対象とした．

*　学生会員　東京科学大学　環境・社会理工学院　建築学系（Institute of Science Tokyo）
〒152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1-M4-2　E-mail：hashimoto.s.4b7e@m.isct.ac.jp
**　正会員　東京科学大学　環境・社会理工学院　建築学系（Institute of Science Tokyo）
***　非会員　東京科学大学病院　肝胆膵外科分野（Institute of Science Tokyo Hospital）

表 1　ビーコンでの検知ログの例

検知日時	持ち歩きビーコン MAC アドレス	持ち歩きビーコン名	設置ビーコン MAC アドレス	設置ビーコン名	エリア名
2024/10/07 8:31:54	AC233FF25BD7	23617	ac233fc06e40	医科 A 棟（I 期）－南側入口 -B1F	病院
2024/10/07 8:33:04	AC233FF25BD7	23617	ac233fc070fa	M&D タワー－防災センター前	M&D タワー
2024/10/07 8:34:22	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e8	3479_消化管外科②	M&D タワー
2024/10/07 8:35:28	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e6	3477_肝胆膵外科	M&D タワー
2024/10/07 8:36:28	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e6	3477_肝胆膵外科	M&D タワー
2024/10/07 8:37:29	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d5e6	3477_肝胆膵外科	M&D タワー
2024/10/07 8:42:57	AC233FF25BD7	23617	ac233fc07109	3 号館－医科棟渡り廊下側 -1IF	3 号館
2024/10/07 8:44:00	AC233FF25BD7	23617	ac233fc0d60c	3515_B12	病院

2.2　ビーコンデータの仕様

ビーコンはオフィスワーカーの行動分析に用いられている事例が多く，ワーカー同士の交流度や座席レイアウトの評価などに活用されている．検知範囲を狭めに設定したビーコンを高密度に配置するほど，オフィス内滞在者の時空間分布をより詳細に把握できる．

本稿で使用しているビーコンの場合，医師が「持ち歩きビーコン」を携行して「設置ビーコン」の検知範囲内に進入することで，最短で約 1 分ごとに検知ログが記録される（表 1）．ただし，対象施設全体の規模が大きく，かつ，本来の利用目的が勤怠管理であるため，図 1 に示すように設置ビーコンの密度が低く，想定検知範囲が広い点に特徴がある．この検知ログデータを（氏名などの個人を特定可能な情報は秘匿し，対象者の了承を得た上で）分析に用いる．

2.3　動線ネットワーク（NW）データの作成

移動をより詳細に分析するためには，ビーコン検知ログから移動経路・距離を推定する必要がある．そこで，前述の 5 棟全体をカバーする動線 NW データを図 2 に示す手順で作成した．具体的には，沖（2021）が開発した ArcPy のプログラムを用いて，各棟平面図の CAD データから階ごとの NW データを作成した上で，縦動線（階段・エスカレータ・エレベータ）やビーコン位置との接続情報を手作業で追加した．

2.4　検知ログの可視化

検知ログをもとに，ある医師による 5 日間の行動パターンを可視化した例を図 3 に示す．縦軸には，5 棟にまたがる 112 台のビーコン ID をソートして用いているが，2 次元平面では，同一棟内と異なる棟間の階の上下関係を両立できない．そこで，3 次元空間における行動を時系列データとして可視化するために，多次元尺度構成法（MDS）を応用することで，動線 NW に基づき Dijkstra 法（Dijkstra, 1959）で求まる計 112 台の設置ビーコン間の移動距離情報を保存したまま次元削減を行い，3 次元の位置情報を 2 次元平面上に射影した（図 4 左）．これをもとに，MDS 平面上の XY 座標と検知時刻 t の関係を，3 次元空間上に曜日別に可視化した例を図 4 右に示す．図 2 と異なり，ビーコン間の距離も考慮し，実際の移動距離がよりわかりやすい図となっていることがわかる．図 4 からは，診療科による行動の違いのみならず，同一人物でも曜日によって行動が大きく異なる様子が見てとれる．

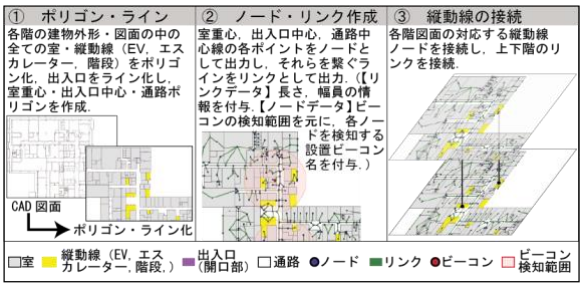


図 2　動線ネットワークデータの作成方法

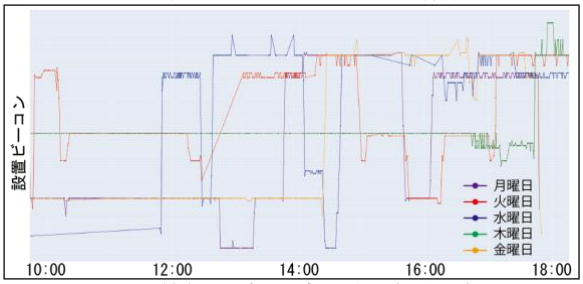


図 3　検知ログの可視化例（2 次元）

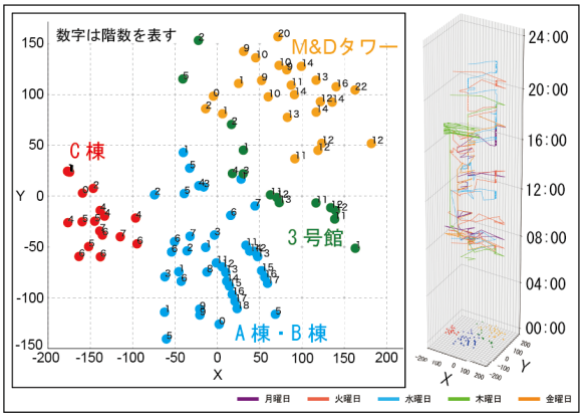


図 4　MDS によるビーコン設置地点の 2 次元プロットと検知ログの可視化例（3 次元）

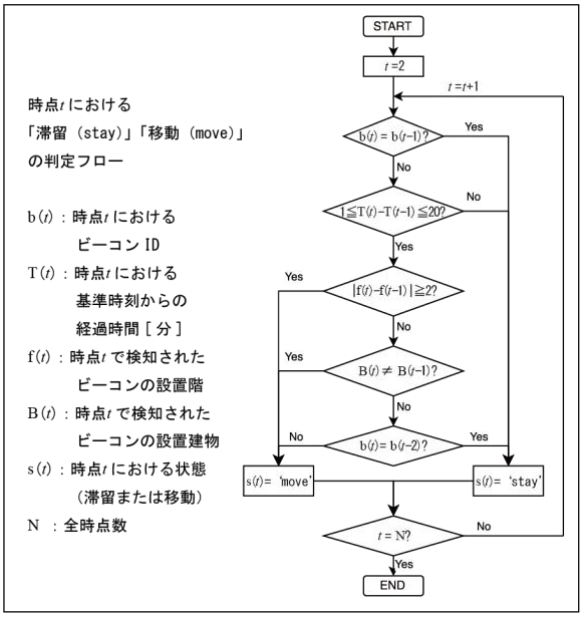


図 5　検知ログにおける滞留・移動の判定処理

2.5　滞留・移動の判定とノイズ処理

基本的に，図 3・図 4 において軌跡が時間軸に平行である時間帯は「滞留」，それ以外の時間帯は「移動」と見なせる．しかし，可視化の結果，短時間で複数のビーコン間を異常に多く往復するノイズが散見された．これは主に，複数の設置ビーコンに近接した位置で滞留している場合に，タイミングによって検知される設置ビーコンが変動することに起因するものと推察される．そこで，図 5 に示す手順でノイズ処理を行い，実際に移動中である可能性の高い時間帯を抽出した．

3．滞留・移動分析の結果

3.1　滞留時間と移動時間

2.5 節で判定した時点別の滞留・移動情報を個人ごとに集計することで，3 か月間の滞留・移動時間の分布を箱ひげ図により可視化した（図 6・図 7）．診療科による行動の違いのみならず，同一人物でも日によって行動が大きく異なる，医師特有の勤務実態が表れている．ここで，移動時間の平均値が非常に小さい 5 名は，「持ち歩きビーコン」を日常的に携帯していない可能性が高いことから，以降の分析からは除外することとした．

図 8 では，22 名の滞留時間と移動時間を比較している．エラーバーは標準偏差（±1 σ）を表す．なお，医師の働き方改革における診療科ごとの時間外労働時間の上限規制区分（A 水準・B 水準）で色分けして表示している．

- A 水準：原則として時間外労働・休日労働の合計が年 960 時間以下．
- B 水準：時間外労働の上限が年 1,860 時間以下．救急医療など地域医療の確保が特に必要な医療機関が対象．

1 日の勤務時間（本稿では，滞留時間と移動時間の合計）に占める移動時間の割合は，多い場合で約 7 割に上るケースも見られた．特に，集中治療部の医師が顕著で，移動時間の割合が 2 割を下回る日が存在しなかった．ただし，この結果には，ビーコンの設置密度の高低が影響しうることに留意する必要がある．すなわち，設置密度が疎なエリアでは，同一フロア内での多少の移動は検出されない可能性が高い．

図 8 に示す 22 名のうち 6 名を抽出し，3 か月間の曜日別の移動時間を箱ひげ図で比較した（図 9）．曜日による移動時間の差異も大きいことが確認できる．

3.2　棟間移動と階間移動

たとえ移動時間が同じであっても，同一フロアでの移動が多い場合と，異なる棟間や異なる階間の移動が多い場合では，身体的・精神的負担が異なることが予想される．そこで，移動の発着地点情報（移動前後の検知ビーコン情報）をもとに，棟間移動と階間移動の頻度を集計することを試みた．

図 10 に，図 9 と同じ 6 名を例に，棟間移動の頻度をマ

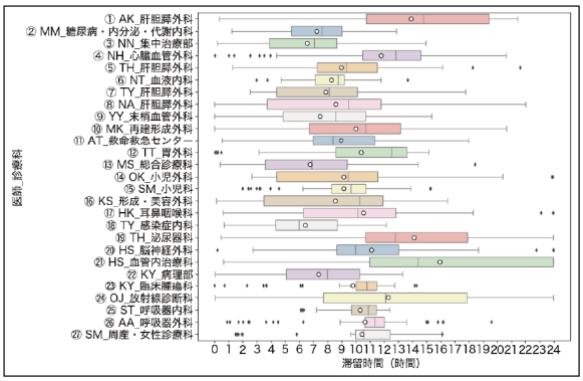


図 6　滞留時間の分布（N=27，3 か月間）

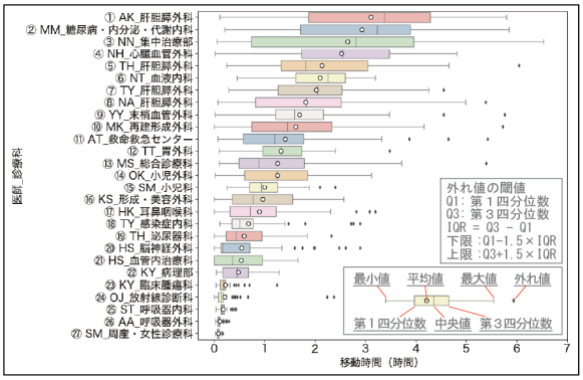


図 7　移動時間の分布（N=27，3 か月間）

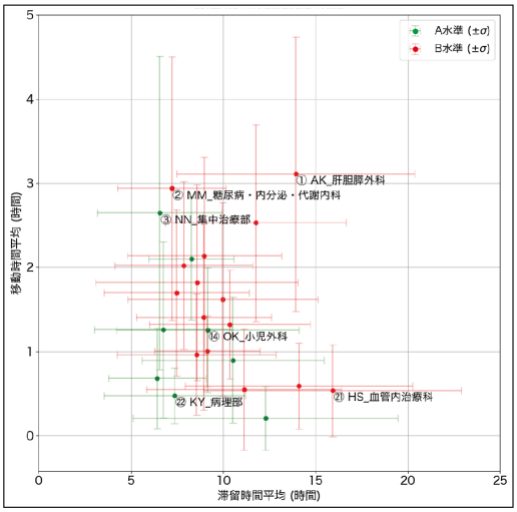


図 8　滞留時間と移動時間の比較（N=22，3 か月間）

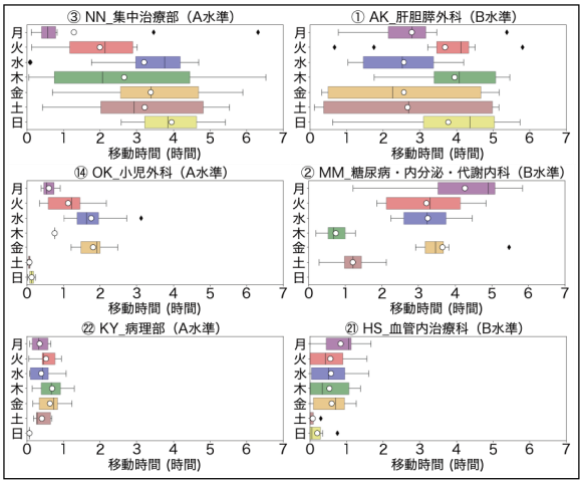


図 9　移動時間の分布（図 8 に示す 6 名，曜日別）

トリクスで示す（対角成分は棟内移動を表す）．特定の棟内での移動が多い医師や，様々な棟間の往来が多い医師など，多様なバリエーションが見られた．この頻度分布の特徴を表す指標として，(a)棟内移動率（全移動に占める棟内移動の割合）と(b)棟間移動エントロピーを定義した（図 11）．基本的に，棟内移動率と棟間移動エントロピーは相補関係にあるが，集中治療部医師は複数の棟内での棟内移動が多く，特殊な傾向を示している．

図 12 に，階間移動の頻度分布を示す．同一階か数階程度の上下移動が目立つが，8 階程度の上下移動が突出している医師も見られる．本稿では上下移動手段の種別（階段，エスカレータ，エレベータ）は考慮していないものの，階段利用が多い場合には身体的・精神的負荷の増大が，エレベータ利用が多い場合には待ち時間の増大がそれぞれ懸念される．こうした観点から移動をより詳細に分析することが今後の課題である．

４．まとめ

本稿では，医師が携行するビーコンの検知ログデータと動線 NW データを活用して，病院内における医師の滞留・移動実態を定量的に分析できる可能性を示した．

依然として微細なノイズが残存していることから，手法の改良や移動の判定精度の吟味が必要である．あわせて，動線 NW を用いた経路推定による，滞留・移動目的および移動中の時間ロスと関連させた，ログデータのより詳細な検証も今後の課題である．

謝辞

本研究は 2023 年度東京工業大学・東京医科歯科大学研究マッチングファンド（第 2 期）の支援の下で行なった．研究を進めるにあたり多大なるご協力やご助言をいただいた，東京科学大学医歯学総合研究科（当時）の椎名希帆氏，同労務課の佐藤奈生氏，佐々木駿氏，同リベラルアーツ研究教育院の永岑光恵教授，および，ビーコンデータの提供に快くご協力いただいた東京科学大学病院の医師の方々に，この場を借りて謝意を表する．

参考文献

沖拓弥（2021）ネットワーク分析を用いた病院内動線計画の評価―建物内動線ネットワークデータ自動作成システムの開発とその応用―，日本建築学会大会学術講演梗概集（建築計画），709-710.

橋本蒼真・沖拓弥・赤星径一（2025）医療従事者の勤務実態に基づく大学病院内の滞留・移動分析，日本建築学会大会学術講演梗概集（建築計画），829-830.

Dijkstra. E. W. (1959) A note on two problems in connexion with graphs, In Numerische Mathiematik, 1, 269-271.

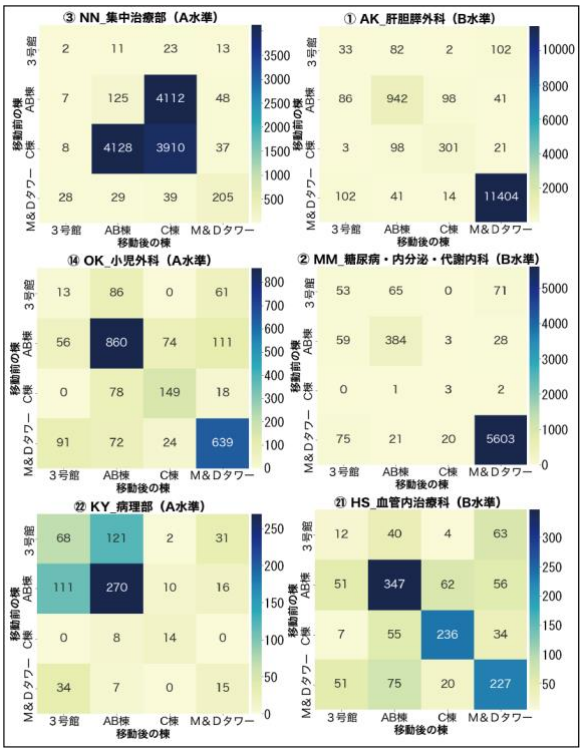


図 10　棟間移動の頻度（図 8 に示す 6 名）

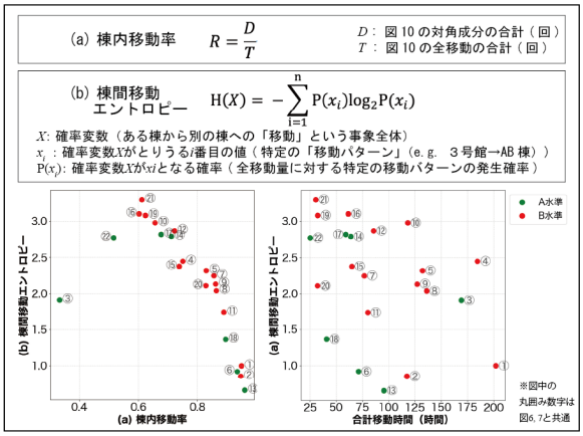


図 11　移動時間と棟内移動率および棟間移動エントロピーの関係（N=22）

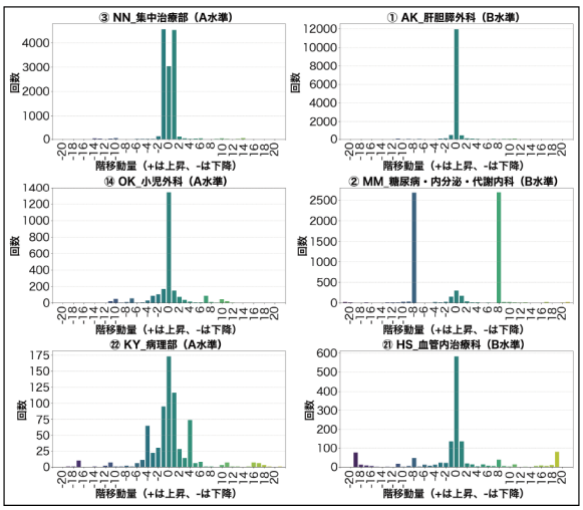


図 12　階間移動量の頻度分布（図 8 に示す 6 名）