

サレジオ工業高等専門学校
研 究 紀 要

第 52 号

BULLETIN
OF
SALESIAN POLYTECHNIC
No. 52

2025年度

サレジオ工業高等専門学校研究紀要

第 52 号

目 次

<特集：技術史教育>

- 八王子を巡る鉄道の小史（その1）～甲武鉄道の国有化と甲府に向けた中央線の建設～
.....堤 一郎, 山田 俊明.....(1)
- 八王子を巡る鉄道の小史（その2）～京王線の形成と御陵線～
.....山田 俊明, 堤 一郎.....(9)

<教育研究>

- 家庭用ゲーム機器を利用した遠隔授業実践の可能性— 身体活動を伴うオンライン対戦をベースとした調査報告 —
.....高野 修.....(16)
- MMDAgent-EX を活用した音声対話システムの構築実習
.....三輪 賢一郎.....(19)
- 3DLiDAR と ROS2 を用いた SLAM 実験用プラットフォーム開発および教材の導入
.....井組 裕貴.....(21)
- デザイン思考による高専地域連携 PBL の 3 カ年継続実践
.....李 盛姫.....(24)

<学術研究>

- 大島瀬戸近傍海域を対象とした潮流解析システムの開発
.....吉田 将司, 山田 峻太郎, 千葉 元, 長峯 祐子.....(28)
- 乗合タクシーにおける移動距離の数理モデル解析
.....小酒井 雄一, 島川 陽一.....(32)

- <2025 年度 課題研究費 実施報告書>.....(43)

- <2025 年度 外部資金研究一覧>.....(56)

八王子を巡る鉄道の小史（その1）

～甲武鉄道の国有化と甲府に向けた中央線の建設～

堤 一郎*1・山田俊明*2

Short History of Railway around Hachioji Station (First)

‘Nationalization of Koku Private Railway and Construction of Chuo Line Elongation for Kofu by the I.G.R.’

Ichiro Tsutsumi, Toshiaki Yamada

In this report, next two contents explain. One is a brief history of two railways: the Koku Private Railway and the Chuo Line of Imperial Government Railway (I.G.R.), around Hachioji station. The other is significance of history of industrial technology on these railways through industrial heritages.

The Koku Railway started its transport business in 1889. The purpose of this private railway construction was rural transport between Tokyo city and Hachioji town of the Southwest Tama District. Because Hachioji town was important trading centre of raw silk and its goods in those days.

But this private railway nationalized by the Japanese Government in 1906. Before nationalization, Hachioji station moved to new place in 1896, and construction of Chuo trunk line’s elongation started same year by the I.G.R..

Despite the continuous difficulty of railway construction at the steep mountainous district, Chuo line finally arrived at Kofu in 1903. Steam engine hauled trains operated on this steep line, but this trunk line electrified in 1931. The reason for this conversion was that the long Kobotoke and Sasago tunnels existed in this steep line. New domestic made Class ED16 electric locomotives introduced for the purpose of passenger and goods train service.

The No.1 of this electric locomotive preserved at Ome Railway Park now, and it is an especially important industrial heritage of this line as well as the decorated helmet displayed on the portal of the former Yotsuya Tunnel.

Keywords are as follows; Railway, Hachioji Station, Koku Private Railway, Chuo Line, Nationalization.

1. はじめに

本報告では八王子を巡る鉄道の小史として八王子駅に注目し、社会的背景にも触れながら、中央線とその起源である甲武鉄道について概説する。キーワードは、鉄道・八王子駅・甲武鉄道・中央線・国有化、である。

なお本報告中に記載した各鉄道において、免許申請等の手続きについては必要な箇所以外これを省略し、開業時期のみの記載に留めた。

2. 甲武鉄道の建設と八王子駅の開業

2.1 甲武鉄道の開業と八王子への延伸

現在の中央線は私設鉄道（私鉄）の甲武鉄道を起源とし、幹線的私鉄である日本鉄道品川線（現在の山手線西側、赤羽―品川間；1885年3月開業）の新宿から立川までの16哩74鎖（27.3km；1哩＝1.61km、

1鎖＝66ft＝20.1m）が1889年4月に開業した¹⁾。

品川線は日本鉄道と官設鉄道（官鉄）東海道線とを結ぶ重要な連絡線の機能を持ち、甲武鉄道は日本鉄道の支線としての役割を担っていた。

開業当時の甲武鉄道は運輸業務を日本鉄道に委託し、武蔵野台地を一直線に西に向かって鉄道を敷設、途中には中野、境（現、武蔵境）、国分寺の各駅が開設された。境及び国分寺両駅の設置は、甲州街道の調布と府中、青梅街道の田無と小川（現、小平）の集落を考慮したからである。

開業当時は蒸機牽引列車が1日3往復設定され、他には日本鉄道からの直通列車（新橋―品川―新宿―立川間）が朝夕1往復運転された（図1）²⁾。当初の在籍車輛は、蒸機2両、客車9両、貨車20両と記されている²⁾。

*1 サレジオ工業高専専攻科 *2 元都立第二商業高等学校

明治22年 4月16日													
6.30	8.10	11.00	13.50	16.45	発	新	宿	着	10.25	13.20	16.15	20.10	20.55
6.39	8.19	11.09	13.59	16.54	着	品	川	発	10.17	13.12	16.07	20.02	20.26
7.04	8.44	11.34	14.24	17.19	着	新	宿	着	9.51	12.46	15.41	19.36	20.00
	*		*	*					*	*	*		
7.09	10.00		14.30	17.30	発	新	宿	着	9.40	12.40	17.10		19.55
7.20	10.11		14.41	17.41	着	中	野	着	9.30	12.30	17.00		19.45
8.09	11.00		15.30	18.30	着	立	川	着	8.40	11.40	16.10		18.55
	8.45	11.35	14.25	17.20	発	新	宿	着	9.50	12.45	15.40	19.35	
	9.10	12.00	14.50	17.45	着	赤	羽	着	9.25	12.20	15.15	19.10	

運賃は下等1マイル当り1.2銭 *は乗換

図1 甲武鉄道開業時の列車運転時刻表²⁾
(最上段の新宿は、新橋の誤記)

2.2 八王子への延伸

1889年8月、立川から多摩川を渡り八王子までの6哩3鎖(9.7km)が開業、全長は37.0kmとなった。開業時の八王子は行き止まり構造で現在の位置とは異なり、京王八王子に隣接する市内明神町の旧都立繊維工業試験場一帯にあった³⁾。同所の記念碑にもこのことが記されている(図2)。



図2 「東京府立織染学校之趾」記念碑

同年7月には官鉄東海道線の新橋-神戸間が全通、これにより琵琶湖上での舟運連絡が鉄道に置換えられた。明治期の鉄道は国内経済の発展とあわせて、有事の際の軍需輸送が使命であり、このため国内の鉄道は軌間が3ft.6in.(1067mm)に統一され、車輛定規等も定められていた。

八王子までの開業が5ヵ月遅れた理由は、多摩川への長大橋梁架設工事のためである。この地域の地図を見ると鉄道は川に向かって下りながら直角に敷設されており、これは橋梁総延長を短縮し建設費を少しでも安くするためと見て取れる。この時に架設された鍊鉄製橋梁は上路式で、「70ft 鋸桁19連、40ft 鋸桁12連」と記され⁴⁾、総延長は552m、前者は本流の橋梁、後者は避益橋梁である。橋梁は石材と煉

瓦造の橋台・橋脚と共に136年を経た今日でも現存し(図3)、上り列車が頻繁に橋梁上を通過している。



図3 開業時から現存する多摩川橋梁(日野側から)

2.3 甲武鉄道の車輛

ところで甲武鉄道には、どのような車輛が在籍していたのであろうか。列車牽引用の蒸機は、1・2号機が軸配置1B1のタンク式(先従輪各1軸・動輪2軸;機関車本体に石炭と水を搭載する)で、英国ナスミス・ウィルソン社1888年製、4・5号機(同社1894年製、図4)⁵⁾と、8・9号機(同社1896年製)も同形の増備機である。

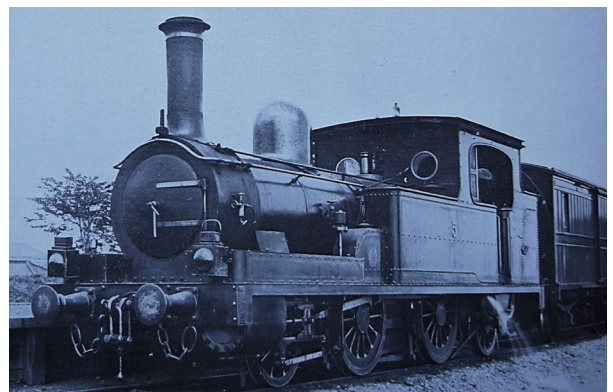


図4 甲武鉄道の5号蒸機(1888年製)⁵⁾

3号機は長距離運転用の2Bテンダ式(先輪2軸ボギー・動輪2軸;機関車後部に炭水車を連結する)で英国ニールソン社1889年製、他に小型の6・7号機がありこれは軸配置B(動輪2軸)のタンク式で、独国クラウス社1895年製であった(図5)⁵⁾。

客車は木製車体の2軸車で上・中等と下等の2種類、貨車は有蓋と無蓋で客貨車共に制動機付きの緩急車があり、これらの製造所は官鉄新橋工場の他、民間の平岡工場や三田製作所であった(図6)。列車には必ず緩急車が連結され、連結両数は最大8両とされていた(後掲の図16を参照)。

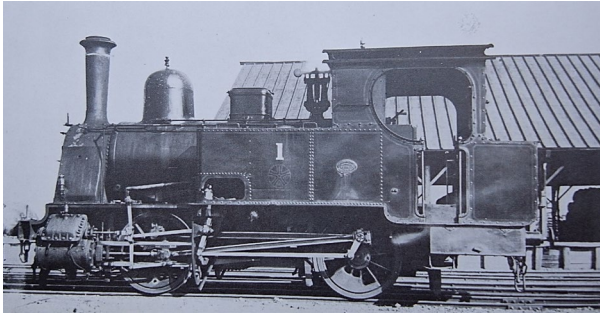


図5 甲武鉄道と同形の川越鉄道1号蒸機⁵⁾

図6 三田製作所の広告（鉄道時報 1900.9.25号）

この当時は機関車と客貨車の一部である緩急車だけに手用制動機が装備され、列車停止時には機関手の汽笛合図で制動手がこれを操作した。現在のような空気式や電気式の貫通式制動機は、この当時の鉄道では未装備である。なお後述の川越鉄道（国分寺－川越間）の客貨車は、甲武鉄道と同じ平岡工場と三田製作所製であった。

1898年3月末時点の客車総数は39両、1906年9月末では64両に増え、貨車は316両中の183両が有蓋車であった。客貨車の全ては木製の2軸車で、官鉄のような大型2軸ボギー客車は在籍しなかった²⁾。

2.4 日本鉄道から自立、市内に路線を延長

1891年11月、それまで日本鉄道に委託していた鉄道運輸業務を自社独自で実施するため独立、この際に汽車関連分野は平岡工場主（元、新橋工場の日本人初代工場長；図7）⁶⁾の平岡 熙(1856-1934)が、建築分野は甲武鉄道技師の菅原恒寛(1859-1940)が担当した。



図7 井上 勝(左)と平岡 熙(右)⁶⁾

平岡工場は1890年6月の創業で、最初は小石川の東京砲兵工廠内で軍需製品と並び鉄道車輛を製造、工場用地が借用期限に至ったため、総武鉄道本所（現、錦糸町）に隣接する広大な敷地を購入し1894年（1896年の記載資料もある）3月に移転した（図8）。1901年5月には大阪瀛車製造と合併、同社東京支店となった。

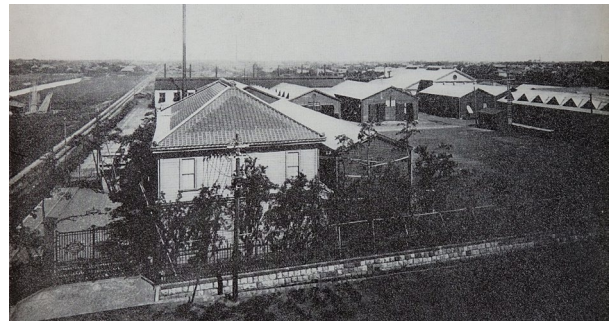


図8 総武鉄道本所に隣接する平岡工場⁶⁾

この大阪瀛車製造は元鉄道局長の井上 勝(1843-1910)；図7⁶⁾、が1896年9月、大阪・安治川口に創業した鉄道車輛の製造会社で、蒸気機関車を主要製品としていた。その跡地が現在のUSJである。

この当時、東京市内に路線網を拡張しつつあった路面電車に対抗するため、甲武鉄道は新宿から市内への路線を延長し、1894年10月に牛込（現在廃止）、翌1895年4月には飯田町（現在廃止、牛込と飯田町を飯田橋に統合）への市街線を全通させた。途中で

は信濃町，四ツ谷，市ヶ谷を新設した。

市街線は信濃町－四ツ谷間の御所隧道をオープンカット工法で施工，完成後に起点は新宿から飯田町に移った。市街線の複線化工事完成は同年12月で、まだ蒸気動力による運転だが，1904年8月に飯田町－中野間が電化され，2軸大型木製電車の運転を開始（図9）⁷⁾，この時千駄ヶ谷を新設した。

さらに同年12月には飯田町－御茶ノ水間を延長し電化開業，従来の蒸機列車に電車運転が併設された。電圧は直流600Vで，牛込と柏木（現，東中野）両変電所から供給された。

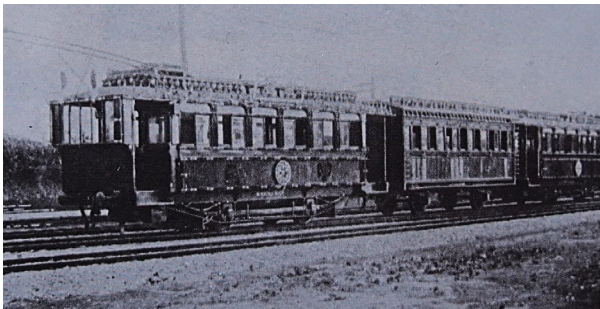


図9 甲武鉄道市街線電化開業時の電車⁷⁾

電車は飯田町工場で製造された2軸の大型木製車16両で，3両が中・下等合造，輸入電気品を使い，総括制御による連結運転が当初から可能であった。電化区間には自動式信号機も建てられ，頻発運転に対応していた。1906年9月までに新宿－中野間が複線電化したが，同年10月に甲武鉄道は真っ先に国有化されたため，これが官鉄初の電車運転となった⁸⁾。

車体は改造されたものの，鉄道博物館に保存展示される木製のハニフ1号は，甲武鉄道で走った電車として知られている。



図10 第3回内国勧業博覧会での米国製電車運転⁹⁾

ところで日本初の電車運転は，1890年5月に上野公園で開催された第3回内国勧業博覧会での，東京

電灯による米国製車両2両での展示運転だが（図10）⁹⁾，公共用としては1895年1月の京都電気鉄道による営業が最初である。これは琵琶湖疎水と蹴上水力発電所からの電気供給による直流600Vでの運転であり，京都駅前北側には日本初の営業用電気鉄道運転を記す記念碑が建立されている。

2.5 横浜鉄道と八王子駅

私鉄の横浜鉄道は1908年9月に東神奈川－八王子間の全線が開業した。この鉄道の建設目的は多摩南西地方の商都八王子と周辺地域そして北関東や甲信，さらに飛騨地方で産出される生糸及び絹織物製品を，貿易港横浜に輸送するためであった。何度かの鉄道敷設申請がなされたものの却下され，最終的な免許下付は1905年5月，日露戦争（1904年2月～1905年9月）中である¹⁰⁾。

このことは，官鉄東海道線と甲武鉄道とを結ぶ連絡線として位置付けられよう。前者は1889年7月に新橋－神戸間が，後者は同年8月に新宿－八王子間が全通した。甲武鉄道は1906年10月に国有化されたが，横浜鉄道はその対象外であった。

1910年4月には鉄道院（1908年12月新設）が横浜鉄道全線を借り上げて代替営業，1911年12月には東神奈川から海神奈川までの貨物支線が開業した。延伸目的は八王子からの生糸や絹織物製品を海外に輸出するための搬出路とされるが，実際は横浜港への直接的な連絡にはなっていない。

開業当初の動力は蒸気，軌間は1067mmである。開業時，原町田以北に設置されたのは淵野辺，橋本と相原だけで，相模原地域一帯が軍都と化した1941年4月に地域の中心的機能を果たすため相模原に駅が新設され，原町田－八王子間が電化された¹⁰⁾。

私鉄として開業した横浜鉄道は，1917年10月にやっと国有化され，鉄道院横浜線となった。国有化時の車両は蒸機5両（後の3400形；3413-17号），客車16両，貨車104（有蓋64，無蓋40）両であった。

3. 甲武鉄道の国有化と中央線の誕生

3.1 甲武鉄道の国有化

1906年10月の幹線的私鉄17社の国有化以降，甲武鉄道の御茶ノ水－八王子間は中央線と改称され，御茶ノ水から万世橋（現在廃止，後に交通博物館に転用）まで延長された。従来の蒸機列車運転も続けられたが，電車の持つ連結・頻発運転による高い利便性と輸送機能を認めた鉄道院は，1909年11月に

市内をほぼ環状に走る山手線（西側の赤羽一品川間は旧日本鉄道品川線）の烏森（現、新橋）一品川―新宿―池袋―上野間と、赤羽―池袋間を区間運転で、初めての大型木製2軸ボギー式電車ホデ6100形10両（6100-09号）による頻発運転を開始した⁸⁾。

1914年12月の中央停車場（現、東京駅）竣工と、1919年3月の万世橋―東京間の高架線複線電化完成により、中央線・山手線を直通する「の」の字運転（中野―新宿―東京―一品川―新宿―池袋―上野間）が始まった。また京浜線でも1914年12月の東京―横浜間電化により電車運転を開始、いずれも収容力のある木製2軸ボギー式木製電車が走った。

1920年5月に設置された鉄道省は、1925年11月に神田―上野間高架複線を完成させ、中央線・山手線による直通運転（「の」の字運転）を分離し、後者を環状運転とし、京浜線を上野まで延長運転した。こうした布石が、八王子や浅川（現、高尾）までの電車運転に繋がっていく。

3.2 中央線の電車運転区間延長と昇圧

中野以西は鉄道院時代の1919年1月に中野―吉祥寺間が、1922年11月に国分寺まで複線電化し延長、1929年6月には立川に至り、1930年12月には浅川まで完成し、東京―浅川間に直通電車が運転された。1923年9月の関東大震災により、東京市内在住者の山手線外への移住が進んだこともあり、中央線の旅客需要は多かった。

架線電圧は当初の直流600Vから1200Vを経て、1929年6月には直流1500Vに昇圧され、これが現在に至っている。電車の車体も木製から半鋼製（車体主用構成材を鋼材、内装材と屋根構成材を木材とする車体製造法）に替わり、半鋼製電動車の間に在来の木製付随車を連結して運転する時代も存在した。

この当時、東海道線は電機牽引列車による運転だが、横須賀線だけは皇族や海軍関係者の利用が多く、1930年3月から電車運転に替わり、半鋼製電車だけの整った編成により東京からの直通運転を開始した。これには皇族専用車輛も連結されていたことが、注目される。

4. 甲府に向けた山岳線の建設

4.1 八王子の駅移転と甲府への延伸工事

国有化以前、中央線は甲府に向けて山岳線を建設するため、甲武鉄道八王子駅は1896年11月に現在の旭町に移り今日に至っている。八王子から西の浅

川（現、高尾）までは平坦線だがこの先には県境の小仏峠があり、さらに相模川の上流桂川に沿う狭隘な山岳地域への鉄道建設が必要であった。

最大の難工事は笹子峠下の長大な隧道開削であり、東側の工事用に初めて米国製小型鉱山用電機が使われた（図11）⁷⁾。このため1899年、工事現場近くの笹子川に水力発電所が建設され、発生電気が小型電機による掘削岩土の搬出、煉瓦等建設資材の運搬、削岩機や送風機等の運転に使われた。建設資材運搬についても、遠距離と山岳地ゆへの困難が続いた。

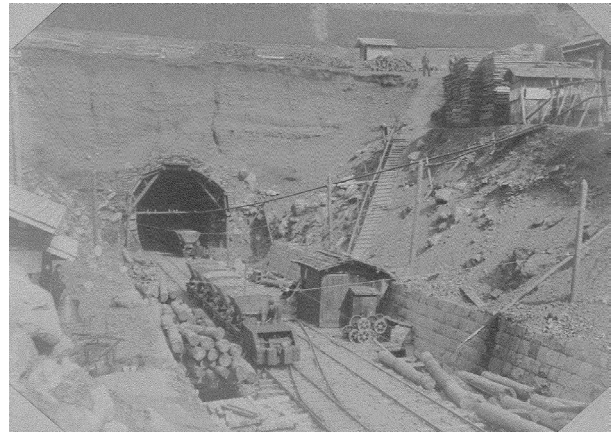


図11 笹子隧道工事で使われた米国製小型電機⁷⁾

隧道工事開始は1896年12月と記され、まず小仏隧道（2.55km）が1900年8月に完成、1901年8月に八王子―上野原間が、次いで1902年6月に鳥沢、同年10月には大月まで開業した。1902年11月に笹子隧道（4.66km）が完成し、1903年2月に大月―初鹿野間が、そして同年6月には甲府に至り全通した。

線名	車名	種別	下り 列車																
			5:11	5:21	5:31	5:41	5:51	6:01	6:11	6:21	6:31	6:41	6:51	7:01	7:11	7:21	7:31		
中	甲府	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	八王子	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	立川	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	国分寺	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	吉祥寺	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	中野	普通
	池袋	普通
	新宿	普通
	品川	普通
	有楽町	普通
水	甲府	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	八王子	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	立川	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	国分寺	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	吉祥寺	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	中野	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	池袋	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	新宿	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	品川	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	有楽町	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
陸	甲府	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	八王子	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	立川	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	国分寺	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	吉祥寺	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	中野	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	池袋	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	新宿	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	品川	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	有楽町	普通	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

図12 中央線時刻表（1924年6月）¹¹⁾

25パーミル(25/1000)勾配が続く山岳線での駅建設にはスイッチバック方式の採用が不可欠で、甲府までの間には初狩、笹子、勝沼がこの方式で建設され、また隧道が多いことから蒸機牽引列車の運転には苦勞が絶えなかった。

八王子ー甲府間の全通時には1日5往復の列車が運転され、4時間を要した。在籍車輛は、蒸機13両、客車39両、貨車61両と記され、山岳線ゆえタンク式で軸配置C1の蒸機が配置されていたのであろう。図12¹¹⁾に1924年6月改正の中央線汽車時間表を示す。これから飯田町ー甲府間の所要時間は、5時間18分と読み取れる。

なお本邦初の日本人による隧道開削工事は1874年5月の阪神間官鉄仮開業に伴う、石屋川、住吉川、芦屋川への工事で、いずれも天井川を抜けるもの(図13)⁷⁾、同時期に武庫川、下神崎川、下十三川には、日本初の鍊鉄製橋梁が架設された(図14)⁷⁾。



図13 日本初の石屋川隧道⁷⁾

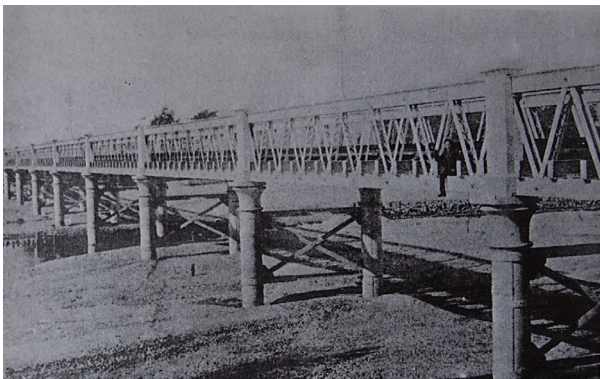


図14 日本初の武庫川鍊鉄製橋梁⁷⁾

勾配線では官鉄東海道線の京都から大津(現、膳所)への延長工事で、日本人による逢坂山隧道開削が最初である。この工事では工部省生野銀山の鉞夫たちが動員され、1877年5月に大阪駅構内に設けられた工技生養成所の修了生、国沢能長(1848-1908)の

指導下で開削工事に従事した¹²⁾。

山岳線の隧道は敦賀への延長工事でも施工され、長浜以北の柳ヶ瀬、刀根隧道等の完成により1884年4月に長浜ー金ヶ崎(現、敦賀港)間が全通した。

4.2 山岳線の電化と電気運転

八王子ー甲府間の電化計画は1909年頃から始められ、浅川以西の隧道49か所、総延長19.1kmの隧道道床を30cm程掘り下げ架線を設置するものであった。工事は1928年5月に開始、1931年3月に完成し、翌4月から飯田町ー甲府間の旅客列車がまず電機牽引となった。貨物列車は同年7月からの電気運転開始である。変電所は八王子、上野原、大月、勝沼、酒折に新設され、勾配線を下る際の電力回生制動使用への配慮もなされていた。

電化に伴い八王子機関区に配置された電機は、八王子までの平坦線向けに東海道線から転属した英国製のED50・52形、米国製のED11・14形と、日立製作所が独自に製造したED15形であった。後年、これらの中からED50・52形の改造機ED17・18形とED14形が甲府機関区に移った²⁾。

八王子以西の山岳線には、鉄道省が主導し国内電気会社の協同設計で製造された1931年製の新鋭ED16形電機が5両甲府機関区に配属され、旅客列車の電気運転を開始した。軸配置1B-B1の優秀機で、機関車主台車間が連結棒で結ばれたアーティキュレート(連接)式である。その第1号機は長く南武線で運用後に廃車、現在は青梅鉄道公園に保存され(図15)、1980年10月に準鉄道記念物指定、2018年10月には重要文化財指定された¹²⁾。



図15 ED16形電気機関車(青梅鉄道公園)

この当時の山岳線には中央線の他に上越線があり、1931年9月にループ式の清水隧道が完成し、水上一石打間が電化された。鉄道省制式のED16形13両は

水上機関区に所属し、ここでも列車牽引に活躍した。

中央線は八王子側が東線、名古屋側が西線に分けて建設されたが、1911年5月に宮ノ越―木曾福島間の開通で全通した。明治期以来の経済・軍事両面での輸送を担う、海側の東海道線を代替する幹線としての完成であった。この最終開通区間には全通記念碑が建立され、車窓からも眺めることができる。

5. 本報告の纏め

八王子を巡る鉄道の小史として八王子駅に注目し、同駅に縁が深い中央線とその起源である甲武鉄道について概説した。

現在の中央線起点東京駅からほぼ50kmに位置する八王子駅は、同線建設に際しその工事起点として重要な役割を果たし、完成後は山岳線への列車運転に向けて機関区が設置された。煉瓦造の懐かしい複線機関庫はすでに解体されたが、ここに配属され山岳線や平坦線で列車牽引に活躍した電機は、国内にまだ保存されている。

その1つが前述の青梅鉄道公園のED16形、もう1つは日立製作所水戸事業所内のED15形；2011年8月に日本機械学会機械遺産第45号に認定(図16)¹³⁾、であり、いずれも産業技術史的な意義を持つ歴史資料である。



図16 ED15形電気機関車（日立製作所水戸事業所）

甲武鉄道により建設された市街線は外濠に沿って線路が建設され、新宿側から御所、四谷、三番町、四番町隧道が開削された。御所隧道は現存し現用されるが、それ以外は1929年3月の飯田町―代々木間複々線化工事に伴い解体された。その1つ、四谷隧道の新宿側と飯田町側の両坑門には「兜」の青銅製鋳物が掲げられていた。これらは表裏一対で1963年10月に準鉄道記念物指定（四ツ谷トンネル入口飾付

兜）され、鉄道博物館に保存されているが、そのレプリカが四ツ谷駅構内に当時の写真と共に展示されている(図16⁷⁾、図17)。

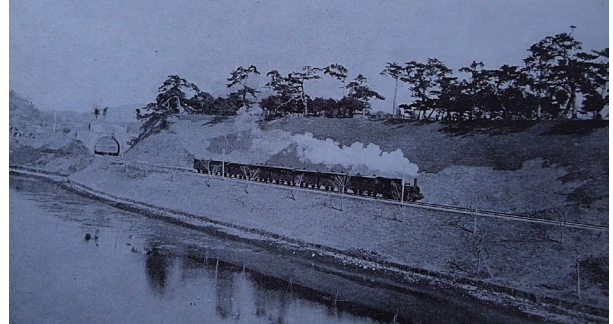


図16 市ヶ谷―四谷間を走る甲武鉄道の列車⁷⁾



図17 四ツ谷駅構内に展示される「兜」(レプリカ)

甲武鉄道の電車として現存するハニフ1号については既に述べたが、中央・山手線直通運転(「の」の字運転)で運用されたナデ6141号電車も鉄道博物館に保存展示され¹²⁾、1972年10月に鉄道記念物、2017年9月には重要文化財に指定された(図18)。



図18 ナデ6141号電車(鉄道博物館)

鉄道文化史面では、中央線の鉄道唱歌(福山壽久作詞・福井直秋作曲；1911年4月発行)がある¹⁴⁾。

この当時の起点は飯田町で、「1；霞たなびく大内や御濠にかぶ松の影 栄行く御代の安らけく 列車は出づる飯田町」で始まり、新宿は「4；都を後に見かへりて 甲州街道新宿や 又行く春に大久保の つつじの園ぞ美しき」，そして八王子は「9；日野や豊田も打ち過ぎて 行けば武蔵の八王子 機織の業の名にし負ふ 町の栄えぞ著るき」と歌われ、70 番まで続いている。この中には国分寺から分岐する川越鉄道も「7；川越線の分岐点 国分寺には且の昔 聖武天皇勅願の 御寺の名残を留めたり」と読み込まれている。同鉄道は甲武鉄道の支線として建設され、川越から飯田町への直通列車も運転されていた。この鉄道は現在の西武鉄道国分寺線だが、東京側の側線部分に当時の痕跡を僅かながら見いだせる。

これらを以て、本報告の纏めとする。なお本報告は2025年1月に、八王子学園都市大学いちよう塾における市民向け講座の一環として本学が担当した「八王子駅を巡る鉄道の小史～中央線と京王線・御陵線～（その1）甲武鉄道から中央線へ」の講義予稿集を基に、その後の調査から得られた資料を追記して再構成し、2026年2月の時点で取り纏めたものである。

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、資料閲覧にご協力くださった(一社)日本交通協会図書室と(株)電気車研究会の関係各位に、改めてお礼を申し上げます。

また本講座の開催を企画しご支援頂いた福原信広事務局長、本紀要への投稿機会をくださった島川陽一教授、ご理解とご支援を頂いた小島知博学校長を始め本学関係各位に対し改めてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 鐵道省：日本鐵道史 上篇，(1921-8).
- 2) 川上幸義：新日本鐵道史（下），鐵道図書刊行会，(1968-9).
- 3) 山田俊明：多摩 幻の鐵道 廢線跡を行く，のんびる舎，(1999-7).
- 4) 久保田敬一：本邦鐵道橋梁ノ沿革ニ就テ，業務研究資料第22卷第2号，鐵道省官房，(1934-1).
- 5) 機芸出版社編集部：交通博物館所蔵 明治の機關車コレクション，機芸出版社，(1968-12).
- 6) 汽車会社蒸氣機關車製造史編集委員会：汽車会社蒸氣機關車製造史，(1972-3).
- 7) 日本国有鐵道百年写真史：日本国有鐵道，

(1972-10).

- 8) 新出茂雄・弓削 進：国鉄電車發達史，鐵道図書刊行会，(1959-3).
- 9) 東京電燈株式會社：東京電燈株式會社開業五十年史，(1936-8).
- 10) 堤 一郎：橋本駅を巡る二つの鐵道の小史(1)－横浜線に見る産業技術史的意義－，サレジオ工業高専研究紀要第51号，(2025-3).
- 11) 鐵道省運輸局編纂：汽車時間表，第1卷第1号，日本旅行文化協會，(1925-4).
- 12) 堤 一郎：近代化の旗手，鐵道，山川出版社，(2001-5).
- 13) 機械遺産（2011年度機械遺産一覧）：日本機械学会，(2011-8).
- 14) 高取 武：増補・追録 歌でつづる鐵道百年，鐵道図書刊行会，(1968-4).

八王子を巡る鉄道の小史 (その2)

～京王線の形成と御陵線～

山田俊明*1・堤 一郎*2

Short History of Railway around Hachioji Station (Second)
‘Construction Process of Keio Main Line and Former Goryo Line’

Toshiaki Yamada, Ichiro Tsutsumi

For Hachioji citizens, the most important private railway is the Keio Main Line of Keio Electric Railway. In this report, we will focus on the history of this line, which is also the first electric train to come to Hachioji, and the outlines of the history from its origin to its arrival in Hachioji, the history of the former Goryo Line, which was built as a development measure, and its integration into Tokyu Corporation and its separation from the Corporation.

Keywords are as follows; Tramway, Keio Electric Tramway, Gyokunan Electric Railway, Former Goryo Line, Keio Electric Railway.

1. はじめに

八王子市民にとって、最も重要な足となっている私鉄といえば京王電鉄京王線（以下、京王線）であろう。八王子にやってきた最初の電車でもある京王線の歴史に注目し、その起源から八王子に到達するまでの経緯、発展策として建設された御陵線の顛末、東急への統合と分離、といった事項を取りあげ概説する。

本稿のキーワードは、「軌道・京王電気軌道・玉南電気鉄道・御陵線・京王帝都電鉄」である。

2. 京王電気軌道の起源

2.1 日本電気鉄道の構想からスタート

京王線の発端は、1905年12月12日、渡邊熊之進他17名が日本電気鉄道の名称で出願した電気鉄道（正確には電気軌道）計画にある。その内容は、官鉄蒲田停車場を起点に池上村、調布村、玉川村、砧村、千歳村、狛江村、調布町、多磨村、府中町、西府村、谷保村、立川村を経て官鉄立川停車場に至る21哩と、府中町で分岐し、神代村、高井戸村、代々幡村、淀橋町を経て内藤新宿三丁目に至り市街鉄道に連絡する9哩の電車路線を敷設するというも

のであった。

1906年8月18日、社名を武蔵電気軌道に改称し、出願路線も以下のように変更した。

- ①起点を内藤新宿三丁目とし、淀橋町、代々幡村、和田堀ノ内村、高井戸村、松沢村、高井戸村、千歳村、神代村、調布町、多磨村、府中町、西府村、谷保村、立川村、日野町、小宮町を経て八王子町大字千人小字追分に至る24哩13鎖。
- ②府中町から国分寺停車場に至る2哩20鎖。
- ③立川村から同村中古新田に至る1哩。
- ④調布町大字国領から狛江村、砧村、千歳村、玉川村、調布村、池上村、矢口村を経て蒲田村大字女塚に至る11哩。

このうちの④を除いて、1907年6月25日、特許を得ることができた。

これにより、新宿と八王子を結ぶ電気鉄道の建設が可能となり、1910年4月12日、社名を京王電気軌道と改称。同年9月21日、資本金125万円をもって会社が設立されたのである²⁾。

発起人代表の渡邊熊之進という人物は、玉川電気鉄道の立ち上げにも関わっていた。1893年11月18日、玉川砂利鉄道の商号で、玉川―三宅坂間の電気

*1 元都立第二商業高等学校 *2 サレジオ工業高専専攻科

鉄道敷設を出願。1902年2月8日に特許を得て、その翌年10月10日、玉川電気鉄道が創立されると、代表取締役(専務)に就任している。

しかし、道路拡幅のための用地買収が難航し、1905年8月15日に引責辞任を余儀なくされた³⁾。その4ヶ月後に、新たな電気鉄道を出願しているところを見ると、雪辱を果たそうという気持ちが強かったのかもしれない。発想自体は、玉川電気鉄道と同じようなものとみてよいだろう。

京王電気軌道の会社設立は、同氏ほか数名によって企画されたものであったが、創立総会を経て誕生した同社の取締役、監査役に同氏の名はない。起業意欲はあっても、経営手腕や資金調達力には難のある人物だったのかもしれない。同社の専務取締役に就任したのは東京市役所で勸業課主事を務めていた利光丈平であった。

2.2 京王電気軌道の設立目的

創立趣意書には、同社の目的や前途有望な理由が述べられているが、その骨子をまとめてみると、以下のようになる。

- ① 「眼界開豁気宇雄壯、寔ニ都人士ノ住所トシテ無上ノ仙境ナリ」→郊外の住宅地化を促進する路線である。
- ② 「八王子町ハ古来生糸織物ヲ以テ世間ニ知ラレ、府中調布ヲ始メ、物産殷富ナル都邑村落相接シ、旅客ノ往来貨物ノ聚散頻繁ニシテ、本線路敷設ノ急要ハ以テ見ルヘキナリ」→物産豊富で人の往来も多い甲州街道に沿った必要性の高い路線である。
- ③ 「本社ノ軌道ハ四呎六吋ノ広軌式ヲ採用シ、新宿町字追分ニ於テ東京鉄道ト連絡シ、車両ヲ共通スルノ便アリ」→東京市内と直結する便利な路線である。
- ④ 「(多摩川の)河床ハ東京市ニ於ケル道路用建築用トシテ缺クヘカラサル砂利ヲ無尽蔵ニ供給シ、則チ本会社ハ副業トシテ之カ採掘販売ヲ営ムヘク」→副業として砂利の採掘販売を行うことができる。
- ⑤ 「此支線ニヨリ多摩河邊ニ出テンカ、到ル處天興ノ遊園地ニシテ…花園運動場其他ノ設備ヲ施シ…」→多摩河畔は自然環境に優れ行楽地として開発できる。
- ⑥ 「本線沿道ハ人家櫛比シ、最モ電燈ヲ供給スル

ノ便利アルヲ以テ、之ヲ兼営セントス、此亦利益尠カラサルヘシ」→電灯・電力供給事業を兼営するがその利益は大きい。

- ⑦ 建設にあたっては、まず新宿一府中間14哩と多摩川支線(1912年4月9日特許)1哩の計15哩を第一期工事とし、それ以外は二期工事に譲るとしており、府中以西とその他の支線は後回しとされた²⁾。

2.3 京王の軌間(ゲージ)

京王電気軌道の路線は、その名のとおり、鉄道ではなく軌道として敷設されたのだが、軌道とは基本的に道路上に敷設されるものである。軌道を敷設するには、軌道条例(1890年公布)に則り、内務大臣の特許が必要であった。

鉄道の場合の免許(現在は許可)に相当するものだが、名称は異なる。軌道条例には軌間(ゲージ)に関する定めはなく、その後の軌道法(1921年公布)においても同様であった。

1910年の軽便鉄道法制定まで、鉄道を敷設するには、幹線鉄道級の厳しい条件を課す私設鉄道法(1900年公布)に拠るほかはなく、輸送単位の小きな電気鉄道の場合には、道路上に敷設する区間の長短にかかわらず、鉄道ではなく軌道を選ぶケースが多かった。

京王電気軌道の軌間が4ft. 6in. (1372mm)となったのは、趣意書に記されているように、新宿追分でつながる予定の、東京鉄道の軌間に合わせる必要があったからである。東京鉄道というのは、東京市内で路面電車を営んでいた3社(東京電車鉄道、東京市街鉄道、東京電気鉄道)が、1909年に合併してきた会社である。

3社の中で最も古い東京電車鉄道は、1882年に開業した東京馬車鉄道をルーツとしており、その馬車鉄道が採用した軌間が4ft. 6in.であった。東京鉄道は1911年に東京市に買収され、東京市電(のちの東京都電)となった。

4ft. 6in. は世界的には稀なゲージであるが、市電との接続を考慮して、東京にはこのゲージを採用した路線が多かった。その後の改軌や廃線などにより、現在の東京で、馬車鉄道由来のこのゲージを用いているのは、京王電鉄の各線(井の頭線を除く)と相互乗り入れを行う都営新宿線を除けば、都電荒川線と東急世田谷線(かつての玉川電気鉄道支線)のみ

である⁹⁾。

3. 京王電気軌道の開業とその後

3.1 開業当初の苦境

京王電気軌道は、1912年6月11日に着工し、1913(大正2)年4月15日に、笹塚―調布間を開業した。新宿―笹塚間は、乗合自動車(バス)による連絡となったが、これが東京における乗合自動車営業の第1号とされる。同時に調布―国分寺間でも乗合自動車の運行を開始している。

笹塚から新宿方面への開業が遅れたのは、資金難にあえぎ用地買収が難航したことによる。新宿への延伸は小刻みに進展し、1913年10月11日代々幡仮停留場、1914年4月8日幡代小学校前、同年6月11日代々木、同年12月19日新町、1915年3月31日葵橋、同年5月1日新宿仮停留場、同年5月31日に新宿三丁目の起点(新宿追分)まで開業した。電車が新宿に到達したことで、乗合自動車の運行は2月25日限りで廃止となった。

新宿追分停留場は、青梅街道と甲州街道が分岐する追分交差点手前の路上で、開業時の電車は、路面電車タイプの小型の二軸車(四輪単車)であった。軌間を同じくしたにも関わらず、市電との直通運転が実現することはなかった。原則道路上というのが軌道であるが、代々幡付近と新宿周辺、金子(現、つつじヶ丘)駅の北側(約600m)以外は専用軌道(正式には新設軌道)で、国鉄新宿駅の南側で国鉄線を跨ぐ箇所は甲州街道が狭隘であることから、専用橋が設けられた。新宿周辺の3.5kmが複線、それ以外は単線での開業となった。

新宿への延伸工事に何とか取り組むことができたとはいえ資金難は続いていた。不況の影響もあり、株金の払い込みは不調で、失権処分となったものが総株数の約半数に達し、全重役が引責辞任する事態となった²⁾。

1914年5月11日、小田切忠四郎を専務とする新体制に移行し、森村銀行(陶業;現、ノリタケ、と商事を中核とした森村財閥の銀行で、1929年に三菱銀行に合併)が支援を約束したことで、危機を乗り越えたかにみえた。しかし、株の払込徴収は不調のまま推移したため、またも重役陣の一新が求められ、1915年6月、玉川電気鉄道の取締役兼支配人であった井上篤太郎を専務にむかえたのである。井上専務の尽力により森村銀行の一層の支援が得られた

ことや第一次大戦による景気好転もあり、なんとか苦境を脱して、当初の計画推進へとむかって行くことになった。

3.2 路線の延伸と輸送力増強

1916年6月1日、調布―多摩川原(現、京王多摩川)間が開通。同年9月1日調布―飛田給間、10月31日飛田給―府中間が開業し、第1期工事として予定していた全線を開業した。

同年より、貨物輸送を開始したが、その主体は砂利で、多摩川原支線はほぼ砂利輸送のための路線であった。道路や建築物用の砂利需要は旺盛で、多摩河畔で採取された砂利は、新宿の少し手前の天神橋のホッパーまで運ばれ、東京市内へ販売された⁴⁾。多摩川原への行楽客輸送が本格化するのには、京王閣などの行楽施設が整備される後年になってからである。

路線が伸びたことで利用者が増加し、開業時以来の、車体長8m、定員44人の木造二軸車(四輪単車)では輸送力が不足することから、1919年に京王初のボギー車19形(定員64人)が導入された。翌年以降、その改良形である23形が大量に増備されて、車両両面でも輸送力の強化がはかられた⁸⁾。

笹塚―調布間の複線化にも取り組み、1920年6月25日に烏山―金子間の複線化が成ったことにより、新宿から調布まですべて複線となった。さらに、1924年4月には調布―府中間および多摩川原支線も複線化された。

3.3 電灯・電力の供給

創業趣意書において、大きな利益が期待できる兼業と位置づけられていたのが電灯・電力供給業であり、軌道の開業に先だって供給を開始している。府中町に設けた火力発電所は電灯・電力供給専用であり、軌道の動力源となる電力は、東京電灯から受電していた。1913年上半年期には調布町、多磨村、府中町、西府村の4ヶ町村に供給しただけであったが、1920年上半年期には28ヶ町村にも及ぶ広域に供給網を広げていた。運輸収入と電灯・電力収入の比率は、およそ2:1となっており、すでに経営の大きな柱になったことがわかる⁷⁾。

大規模な水力発電により安価な電力を供給する東京電灯から買電し、変圧して配電した方が、自前の発電所で発電するよりも利益が大きく、また玉川電

気鉄道からも電灯用電力の供給を受けるようになったことから、1915年に府中町の発電所を廃止し、すべて買電により配電する方式となった。1931年には買電先を東京電灯から日本電力に変えている。電灯・電力収入は伸び続け、1931年下半期以降は常に運輸収入を上回り、1940年上半期には、運輸収入の1.3倍に達しており、兼業というよりも、むしろ主業といってもよい存在になっていったのである。

4. 八王子への延伸

4.1 玉南電気鉄道

新宿―府中間が全通した後、直ちに八王子への延伸工事に着手できたわけではない。手をこまねいているうちに、特許が取り消されてしまった。沿線住民からは復活敷設の懇請があり、創業時からの目的であり社名にも掲げている八王子延伸は大きな課題となった。

八王子延伸に踏み出せなかったのは、資金不足に加えて、府中以西の沿線人口は少なく、多摩川の架橋費用も大きいことから、当分の間採算の見込みが立たないとみていたからである。創業時の苦境を脱して、それなりの利益を上げるようになってはいたものの、「会社自身が府中八王子間の延長線を敷設せんか、三、四年間は思うようにならず折角の利益をこの方に分かつたねばならぬ」(1921年12月16日の株主総会における井上専務の発言)というわけで、一計を案じたのが、別会社を立ち上げることであった²⁾。

地方鉄道として敷設すれば、地方鉄道補助法による政府の補助金を得ることができるので、当分の間はそれでしのぎ、乗客が増加し利益が見込めるようになってから合併するという方策である。延伸を待望する沿線住民の出資も期待でき、初期投資を少なくできるという計算も働いたであろう。1921年10月21日、府中町―八王子市間11.06哩の地方鉄道敷設免許を得て、翌1922年7月27日、玉南電気鉄道(資本金150万円)が設立された。京王電気軌道が引き受けたのは株式総数3万株の4割、1万2千株であった。

設立委員には沿線地域の有力者が選ばれており、取締役には八王子織物同業組合初代会長の渋谷定七の名もある。地域の協力によって設立された形をとってはいたが、社長は京王の井上篤太郎が務めており、京王が主導する会社であったことは間違いない。

難点は軌間にあった。地方鉄道法第三条には「地方鉄道ノ軌間ハ三呎六吋トス特別ノ場合ニ在リテハ四呎八吋半又ハ二呎六吋ト為スコトヲ得」とあり、京王電気軌道が採用していた4ft. 6in. 軌間は認められていなかった。そこでやむなく、玉南電気鉄道は3ft. 6in. (1067mm) 軌間とし、1925年3月24日、府中―東八王子間を開業した。軌間が異なるため、電車が直通することはできず、府中での乗り換えを余儀なくされたのであるが、何はともあれ八王子まで鉄道はつながった。

4.2 合併と改軌、直通運転

高幡不動尊の境内に立つ「玉南電気鉄道記念之碑」には、同鉄道の顛末が記されているが、そこには「不幸補助法ニ據ル補助ヲ得ス」の文言がある。補助金の獲得を目論み、地方鉄道として開業した玉南電気鉄道であったが、補助金申請は却下されてしまったのだ。国鉄線(中央線)と競合する路線となることから、補助金の対象外とされたのであろう。

補助金が得られなければ、別会社とした意味は無く、乗り換えの不便さだけが残ることになる。そこで、京王電気軌道は、同社の合併へと動き、1926年12月1日に合併が成立した。玉南電気鉄道の株式5株に対して京王電気軌道の株式3株を割り当てる形をとっており、京王としては同線を安く手に入れることができたと言えよう³⁾。

直通運転を行うためには、府中以東の京王電気軌道と同じ、4ft. 6in. 軌間へ改軌する必要がある。地方鉄道から軌道への変更も必要で、改めて、軌道線としての特許を取得(1926年12月16日付)している。1927年6月1日に改軌工事が完了し、一部区間で直通運転が始まった。新宿―東八王子間の本格的直通運転開始は1928年5月22日からで、これにより、名実ともに京王線となった。

新宿側のターミナルも大きく変化した。1927年10月28日、新宿三丁目に新宿ビルディング(後に本社として使用)が完成。その下に新たなターミナルが設けられ、それまでの追分交差点近くの路上に発着していたスタイルを一新した。当初は「追分新宿」と称したが、1930年に「四谷新宿」、1937年に「京王新宿」と改称している。新宿のターミナル移設から間もない1927年12月17日には、仙川―調布間を現在と同じルートに移設し、同区間に存在した併用軌道を解消した。

玉南電気鉄道の開業時に新造された1形電車は、鉄骨木造車体で、車体長13.25m、車体幅2.59mの電車であった。地方鉄道の規定に準拠して設計されたため、従来の京王電気軌道の主力であった23形と比べて車体がひとまわり大きいだけでなく、電動機の出力も大きく、高速性能に優れ、総括制御も可能であった。こうしたことから、合併後の京王では、この車両を基準にした車両(図1)が増備されていくことになった⁸⁾。



図1 京王電気軌道時代に製造されたデハ2410形(2013年)

新宿ターミナルの一新と相俟って、京王が路面電車タイプの中速電車から高速電車へと脱皮していく上で、玉南電気鉄道の電車が果たした役割は大きいと言えよう。

1927年6月1日には、多摩川原の行楽地づくりの目玉として取り組んでいた京王閣が開業しており、当時の京王が行楽客誘致を重視していたことがうかがえる。

5. 御陵線

懸案であった八王子への延伸が成った後の発展策の1つとして取り組まれたのが、御陵線の建設であった。1927年に関東地方初となる天皇陵(多摩御陵)が横山村(現、八王子市内)に設けられたことから、参拝客を取り込もうと、はやくも同年12月12日付けで、八王子市明神町-南多摩郡横山村間6.18kmの特許を取得している。並行する国鉄線や、新規開業予定の八王子市内電車(武蔵中央電気鉄道)への対抗策(防御策)という意味も大きかったであろう。

新宿-東八王子間の直通運転が始まったころの京王線と国鉄線を比較すると、京王は新宿-東八王子間を68分で結び、運賃は58銭、1日56往復、15~30分間隔での運転であった。一方の国鉄は、電化区

間は立川までで、八王子へは汽車に乗り継ぐ必要があった。運賃は60銭とそれほど変わらないものの、運転間隔は40~50分と大差があり、京王が優位に立っていた。しかし、国鉄電車区間の浅川(現、高尾)への延伸(1930年12月20日に実現)が迫っており、安閑としているわけにはいかなかった。

当初予定した御陵線のルートは、東八王子からそのまま延伸する形をとり、八王子市街地の北側を浅川の堤防沿いに西進し、元本郷町の多賀神社付近で南浅川を渡り、横川を経て御陵前へという「北まわりルート」であった。途中には元横山町、大横町、本郷横町、元本郷町の4駅の設置を予定し、八王子市北部の利用者も取り込むはずであった。しかし、この計画に対して、市街地が分断され東部地域が発展から取り残されるという理由で八王子市議会が反対。京王は、やむなくルートを変更し、東八王子のひとつ手前の北野で分岐する「南まわりルート」で建設することになった⁴⁾。

着工から僅か10ヶ月後の1931年3月20日に北野-御陵前間6.4kmを開業。途中駅は、片倉、山田、横山の3駅で、終点の御陵前駅舎は社殿風の堂々たるものであった。皇族の利用も想定し、貴賓車(500形)も新造したが、国鉄に皇室専用の東浅川仮停車場が設けられていたことから、実際に利用されることはなかった。

「南まわりルート」の沿線は人口が希薄で、日常的に利用する人は少なかったようだ。戦況が悪化した1945年1月21日、「不要不急線」とみなされて、運転休止となる。同年8月の八王子大空襲で、多摩御陵前(1937年に御陵前から改称)駅舎も灰燼に帰してしまった。



図2 現存する御陵線の橋脚(1)(2019年)



図3 現存する御陵線の橋脚(2)(2019年)

休止線として放置されていた御陵線が、再び日の目を見たのは、戦後の高度成長期になってからである。東京の住宅難、行楽ブームを背景に、高尾線が建設されたが、北野―山田間は旧御陵線を利用(山田―多摩御陵間は廃止)したものであった。



図4 山田―めじろ台間を走る5000系(1988年)
(左側台地の下が旧御陵線の跡地)

1967年10月1日に高尾線北野―高尾山口間が開通。新たな住宅開発や高尾山への行楽客輸送に、大きな役割を果たすことになった⁹⁾。

6. 「大東急」から京王帝都電鉄へ

戦時体制が強まる中で、電力の国家管理が実施され、京王電気軌道は、運輸収入を上回る利益を得ていた電灯・電力供給業を失ない、苦境に立たされた。交通統制の流れも強まり、1944年5月31日、東京急行電鉄への合併を余儀なくされたのである。

戦争末期には、空襲で変電所が被災し、電圧低下により、新宿駅南口で国鉄線を跨いでいる陸橋の勾配を電車が登れなくなる事態となった。そのため、1945年7月24日、新宿起点を国鉄駅の西側に移設する措置がとられ、それ以降、そこが京王線のターミナルとなった⁴⁾。

新宿付近に若干の併用軌道区間は残るものの、実態としては軌道ではなく高速電車へと進化していた京王線であったが、地方鉄道法に軌間の制限があるため、地方鉄道への転換は難しかった。ところが、戦時中の行政簡素化の一環として、地方鉄道法施行規則の一部が改正され、軌道から変更した地方鉄道には軌間の制限を設けないことになったことから、敗戦の日の1945年8月15日に、全線が地方鉄道へと転換できたのである⁴⁾。

戦後の集中排除の流れの中で、東急に統合されていた各社において独立への機運が高まり、1948年6月1日、京王帝都電鉄が発足した。その際に、京王線1本だけでは経営が困難という見立てから、本来は小田急系の路線であった井の頭線を得ることができた。京王帝都の「帝都」は、井の頭線の開業時の名称である帝都電鉄がその由来である。

京王線の本格的都市高速電車への脱皮は続いた。1963年4月1日、新宿駅の地下化と地下線の開業により、甲州街道上を走行していた区間を解消し、同年8月4日には、架線電圧を従来の600Vから1500Vに昇圧。斬新なスタイルの5000系電車が登場し、同年10月1日には新宿―東八王子間を40分で結ぶ特急の運転が始まった。八王子側では、同年12月11日、東八王子駅を、市の都市計画により新たに開設された放射線道路に面した場所(北野寄り)に移設し、京王八王子と改称している⁵⁾。なお、京王八王子駅が地下化され、現在の姿となったのは1989年4月2日である。



図5 地下化される前の京王八王子駅舎(1976年)



図6 地上線時代の京王八王子駅ホームと5000系
(1983年)

7. 結びにかえて

本稿では、創業時には路面電車のような中速電車にすぎなかった京王線が、紆余曲折を経ながらも本格的都市高速電車へと脱皮を続けてきた歩みを概観した。今日の八王子と京王線との関係を理解する上でも、歴史を振り返り、過ぎ去った景色を眺めて見る必要があるのではないだろうか。

<参考図>

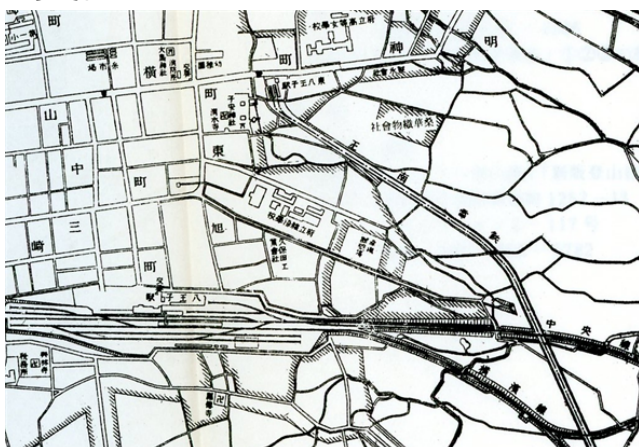


図7 玉南電気鉄道が開業したころの東八王子駅と
その周辺

(出典: 1925年作成の8620分の1「八王子全図」)

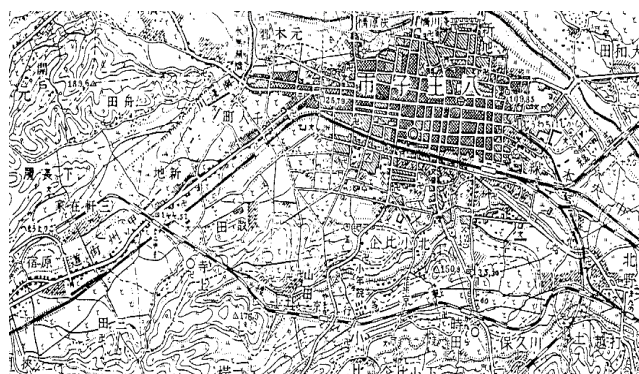


図8 御陵線が記載された地形図

(出典: 5万分の1地形図「八王子」 1947年発行)

謝辞

本講座の開催を企画しご支援頂いた福原信広事務局長、本紀要への投稿機会をくださった島川陽一教授、ご理解とご支援を頂いた小島知博学校長を始め本学関係各位に対し改めてお礼を申し上げます。

参考文献(発行年順に記載)

- 1)『京王電車回顧十五年』(京王電気軌道株式会社, 1926年)
- 2)『京王電気軌道株式会社三十年史』(京王電気軌道株式会社, 1941年)
- 3)『東京急行電鉄50年史』(東京急行電鉄, 1972年)
- 4)『京王帝都電鉄三十年史』(京王帝都電鉄, 1978年)
- 5)清水正之著『八王子明神町わが街』(個人出版, 1980年)
- 6)和久田康雄著『新版 資料・日本の私鉄』(鉄道図書刊行会 1987年)
- 7)青木栄一ほか編著『民鉄経営の歴史と文化・東日本編』(古今書院, 1992年)
- 8)『鉄道ピクトリアル』№578, 臨時増刊<京王帝都電鉄>(鉄道図書刊行会, 1993年)
- 9)『京王電鉄五十年史』(京王電鉄, 1998年)

家庭用ゲーム機器を利用した遠隔授業実践の可能性

— 身体活動を伴うオンライン対戦をベースとした調査報告 —

高野 修^{*1}

The report which explored the possibility of P.E. remote class using home video game.
- Based on multi-playing online sports game with physical activity. -

TAKANO, Osamu

From 2020, many schools must do a remote class due to covid-19 and it was unbroken for a long time. Most of P.E. teachers made their class with physical fitness and training. However, I need P.E. class always make enough communication among the students. This study aims to make communication during P.E. remote class with multi-playing online sports game. There were 4 students who joined this game and they felt to make physical activity so fairly. But it could not communicate with participants only using online video game. That resolved combine online meeting application to home video game. As a result, this study affected students doing physical activity, making communication through the participants, and understanding basic rules about ball games.

1. はじめに

2020年初旬から始まったコロナ禍は、長期化することにより多くの教育機関で対面と遠隔のハイブリット形式での授業展開を求められる結果となった。特に公立学校においてはGIGAスクール構想の下、小中学生を中心に配布された端末にて遠隔授業を受講できる環境が整備され、突然の休校が発生しても即座に遠隔形式にて教育活動が実践できるようになった。しかしながら、体育授業においてはオンラインで実践できる内容が個人で取り組めるものに限定されていることがほとんどのよう¹⁾、関東信越地区の高専でもエクササイズやトレーニングの実践による授業展開の報告²⁾が多かった。

本校保健体育科で実施した遠隔授業においても、2020年度は新体力テストの記録向上を目指したトレーニングが主たる授業内容であったが、2021年度においては単発的な遠隔授業が数回行われたのみとなったため実技の実践よりも球技のルールやオリンピック・パラリンピックに関するプリント学習が主となり、実技は女子クラスの一部でヨガを実践した程度であった。いずれにしても、他者との協働の中でコミュニケーション能力の向上

に重きを置く教科方針の下に、オンラインでも学生間でコミュニケーションを取りながら身体活動を実践することは既存のツールでは難しい現状がある。しかし、情報系の学生を中心に緊急事態宣言期間中において家庭用ゲーム器を用いて身体活動を実践していたことから、これらをインターネット上で共有させることで多少なりとも遠隔での体育実技が個人から集団レベルに発展させられるのではないかと考え、本研究の着想に至った。

2. 目的および方法

本研究は、遠隔授業を実施する環境下において体育実技を実践する際に、eスポーツをベースとした対戦もしくはマルチプレイを通じて、参加者相互のコミュニケーションを図ることができるかどうかを検証するものである。また、その過程を通じて、身体活動を伴うeスポーツをオンライン学習教材として有用なものとするかどうか研究していくことも目的としている。

今回の調査では、導入段階として以下3つの調査を実施し、以降の研究に結び付く知見を得ることを目指した。

① 本校学生の家庭用ゲーム機所有状況について

*1 サレジオ工業高等専門学校

② 本校学生のゲーム機利用時間について

③ サンプルソフトを用いた実技の実践

具体的な調査方法については、次項で結果と併せて報告する。なお、調査は2021年7月～2022年2月の間で実施している。

3. 結果

① 本校学生の家庭用ゲーム機所有状況について

2021年度前期末に実施した授業アンケートにおいて、全学生を対象に所有しているゲーム機の種類について質問し、回答をまとめた(図1)。男女合わせて486名の学生から回答が得られたが(回答率61%)、所有率としては任天堂社製の機器類が高く、SONY社製の機器類は高価なことが理由なのか、あまり普及していない現状が見られた。

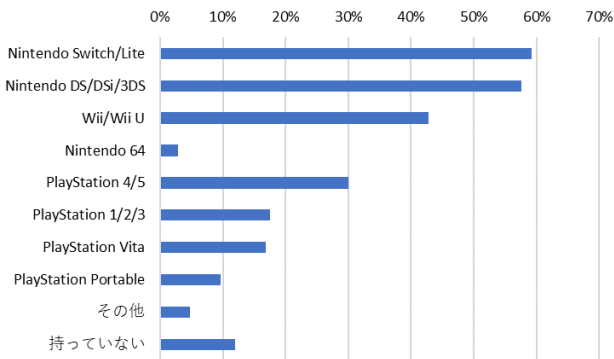


図1. 本校学生のゲーム機器所有率(n=486)

② 本校学生のゲーム機利用時間について

㈱大修館書店による新体力テスト実施の際、記録票内に設けられているアンケート項目「1日のテレビ視聴時間(テレビゲームも含む)は?」について男女別に学年ごとにまとめた(図2・3)。学年によってもばらつきがあるものの、男子学生の方がゲームに費やす時間が比較的多い傾向にあることが伺える。

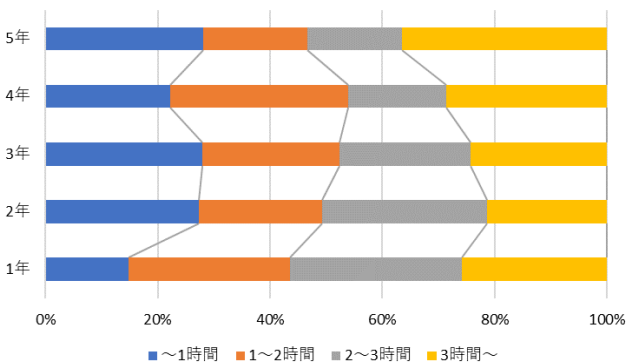


図2. 本校男子学生のTV・ゲーム視聴時間(n=609)

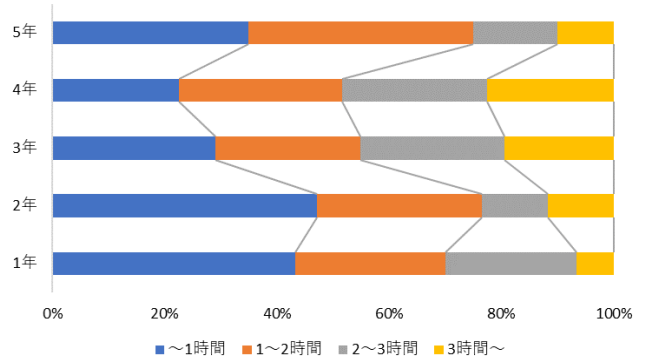


図3. 本校女子学生のTV・ゲーム視聴時間(n=146)

③ サンプルソフトを用いた実技の実践

上記の調査結果を踏まえて学生の所有率が高いハードウェアを用いた調査を行うのが現実的だが、Nintendo Switchでオンライン対戦が実施できて身体活動を伴うコンテンツを有したソフトウェアが確認できず、また調査を進める中で校内のサーバーが古くNintendo系、SONY系いずれのゲーム機器類も学内ネットワークに接続した際に何らかの障害が発生することから、安価なタイプかつ所有率がそれなりにあるハードウェアが妥当と判断し、任天堂社製のWiiUを今回の調査対象とした。当該機器対象ソフトには同社製の”Wii Sports Club”というソフトが発売されており、テニス・ゴルフ・ボウリング・ベースボール・ボクシングの5種目が収められている。いずれの種目もWiiリモコンプラスを用いたオンラインでのマルチプレイが可能となっており、実際の体育授業に援用できる部分が多いと見込んで、当該ソフトを用いて3年情報工学科に所属している4名の学生の協力を得ながら実際のマルチプレイ(図4)を通じてGoogleフォームを用いたアンケートを実施した。その結果、ゲームでも体を動かすことができたかという問いに対しては「まあまあ」と答えた者が多く、特にボウリングは運動量が高かったとのことだった。参加者相互のコミュニケーションが取れたかという問いに対しては全員が「結構取れた」と答えている。これは、マルチプレイ実施時に1人の学生がプレイ画像をPCに取り込みzoomで共有したことで、参加者全員が会話を楽しみながらプレイできたことが大きな要因となっている。本校の体育実技でもカリキュラムに含んでいる「テニス」「ベースボール」について、ゲームの実施により基本的なルールの理解に繋がるかという問いに対しては「おおいにある」「まあある」が半分ずつという回答

教育研究

となった。全体的な感想としては、全員が「運動が苦手な学生にとって、スポーツに親しむためにいい材料になると思う。」といった趣旨のコメントが得られた。



図 4. オンラインマルチプレイの様子

4. まとめ

今回の調査では古いゲーム機器類を用いてオンラインマルチプレイによるスポーツの実践が遠隔授業に教材として利用できる可能性があるかどうかを探したが、zoom との組み合わせによりプレイする人も観戦する人も共に盛り上がる点で、本校体育授業の目標に十分合致すると考える。また、初歩的なルールの理解が乏しい学生に対し、導入として効果的な点も見られた。

文献

- 1) 藤野和樹. “オンラインによる大学体育授業の実践報告.” 大学体育研究 43 (2021): 99-108.
- 2) 小倉圭, 道上静香, 榎本雅之. “日常生活のセルフモニタリングおよび運動課題を中心としたオンライン体育授業の実践とその効果の検討.” 大学体育スポーツ学研究 18 (2021): 97-111.
- 3) 第 9 回 関東信越地区高等専門学校体育・スポーツ研究会 抄録集より

注記

注 1) 本研究の被検者は調査当時未成年だったため、保護者の承諾を得られることと都合によりいつでも調査を辞退できることを条件として協力してもらっている。

MMDAgent-EX を活用した音声対話システムの構築実習

三輪 賢一郎

Training for Construction of Speech Dialogue System using MMDAgent-EX

Kenichiro MIWA

In the subject of "Experiments" at the advanced course at Salesian Polytechnic, an experiment theme related the construction of speech dialogue system was set and carried out. The experiment started with installing MMDAgent-EX, then customizing it after considering a specific use case of the system, and finally evaluating the system's performance, thereby the problem-solving skills required for engineers had been developed.

1. はじめに

本校の専攻科において開講している『専攻実験』は、6人の教員がそれぞれ5週で1テーマをオムニバス形式で実施する実験・実習系の科目である。2024年度において、筆者も『専攻実験』を担当することとなり、音声対話システムの構築にかかる実験テーマを設定し、実施したところである。本稿では、その当該テーマの実施状況について報告する。

2. 方法の概略

本実験テーマの実行にあたっては、ノート PC 上で音声対話管理が行える MMDAgent-EX[1]を採用した。同ソフトには、音声認識エンジンと音声合成エンジンが同梱されており、インストールの完了とともに音声対話が PC 上で即実現できる。登録単語の追加や、対話パターンのカスタマイズも可能な仕様となっていることから、用途に応じた拡張も容易である。さらには、対話シーンに合わせて 3D モデルにモーションを付与したり、キャラクターの表情に変化を付けることも可能である。図 1 に、起動直後の画面の例を示す。

ハードウェアは、CPU としては少なくとも Intel の Core i シリーズを搭載している必要があり、Celeron 等での動作は不可である。

なお、今回の演習の実施にあたっては、2人1組で自前の PC を用意させた上で、MMDAgent-EX をダウンロードして環境構築するところから体験させることとした。次いで、それぞれでユースケースを考えさせ、用途に応じたカスタマイズを行い、最後に対話性能の評価まで実施したところでレポートを

提出させるという流れで実行した。



図 1 MMDAgent-EX の入力待ち画面

3. 環境構築作業

公式サイトから MMDAgent-EX のバイナリファイルをダウンロードしてインストールすることで、環境構築作業を体験させた。インストールとは言っても、スマホのアプリのインストールのような簡単な作業ではなく、インストールの要所所でコツやノウハウを必要とする上に、PC 環境によっては必要な DLL ファイルが欠損している場合もある。受講者にはインストール作業の過程で一通り試行錯誤することで、Windows アプリのインストールの難しさを肌で感じてもらいながら、WindowsOS の仕組みに対する理解を深めてもらうこともねらっている。

4. ユースケースの検討とカスタマイズ作業

次に各グループごとに、音声対話システムのユースケースを自由に考えてもらい、テーマをどれか一つに絞り込んだうえで、用途に応じたカスタマイズ設定を実施した。具体的には、それぞれの用途で想

定される対話パターンを設定ファイル (fst ファイル) に 30 組以上追記させる形で行った。また、それぞれのユースケースでの必要に応じ、辞書ファイル (dic ファイル) に単語の追加登録作業を適宜行わせた。

各班が考案したユースケースは表 1 のとおりであり、バリエーションに富んだ内容で楽しく実習が行えた様子が見て取れる。

表 1 各班による音声対話システムのユースケース

班	テーマ内容 (ユースケース)
A	本校の案内をするシステム
B	徳島県の名所や名産等を案内するシステム
C	高専制度の紹介をするシステム
D	映画やゲーム等の趣味について語り合うシステム
E	料理のレシピを教えてくれるシステム
F	マクドナルドの全商品の価格を教えてくれるシステム

5. 評価試験

最後に、班ごとに構築したシステムの性能検証を実施した。具体的には、表 1 に掲げる 6 つのシステムについて、それぞれ受講者と教員の計 10 名が被験者となり、予め設定した対話文の質問文を発話してもらい、正しく応答できたか否かを正答率の形で評価した。さらには、被験者による正答率の違いや、対話文による応答精度の差異などを考察させた。

表 2 に、対話文ごとの検証結果の一例を示す。

性能の検証試験と考察を通して、応答がうまく行える場合とそうでない場合の条件の違いを技術的観点から導き出し、それを受けて応答精度を向上させるための方策を検討させ、最終的にレポートの形で言語化させた。

6. 結言

本校の専攻科において開講している『専攻実験』において、音声対話システムの構築にかかる実験テーマを設定して実施した。MMDAgent-EX をインストールするところから始め、具体的なユースケースをイメージさせた上でカスタマイズを実行し、最後にシステムの性能評価を行うという流れで実施することで、技術者に必要とされる問題解決能力の涵養を図った。

表 2 対話文ごとの評価試験の結果 (F 班の例)

No.	対話文の内容 (質問文の記入を推奨)	正答率(%)
1	ハンバーガーください。	80
2	チーズバーガーください。	80
3	エッグチーズバーガーください。	70
4	チキンチーズバーガーください。	70
5	スパイシーマックチキンください。	70
6	マックチキンください。	80
7	エビフィレオください。	80
8	ベーコンレタスバーガーください。	70
9	てりやきチキンフィレオください。	40
10	チキンフィレオください。	40
11	フィレオフィッシュください。	70
12	てりやきマックバーガーください。	50
13	ダブルチーズバーガーください。	60
14	ベーコントマト肉厚ビーフください。	60
15	ダブル肉厚ビーフください。	60
16	ビッグマックください。	90
17	ナゲット 5 個ください。	70
18	ナゲット 1 5 個ください。	70
19	ポテナゲ大ください。	90
20	ポテナゲ特大ください。	50
21	ポテト S ください。	60
22	ポテト M ください。	70
23	ポテト L ください。	30
24	サラダください。	80
25	枝豆コーンください。	80
26	マックシェイク S ください。	70
27	マックシェイク M ください。	50
28	マックシェイク L ください。	60
29	ソフトツイストください。	70
30	バンケーキください。	60

7. 展望

現状では、内容的に専攻科生の実習テーマとしてはやや易しすぎる面は否めず、今後は汎用性を持たせるべく LLM とも協調させるような実習も盛り込むことで、内容のさらなる拡充と高レベル化を図っていきたい。

謝辞

本実験の実施にあたっては、名古屋工業大学の研究成果である MMDAgent-EX [1] を利用しております。

文献

- [1] MMDAgent-EX, 名古屋工業大学
(公式サイト URL <https://mmdagent-ex.dev/ja/>)

3DLiDAR と ROS2 を用いた SLAM 実験用プラットフォーム開発

および教材の導入

井組裕貴

Development of an Educational SLAM Robot Platform Using 3DLiDAR and ROS2

Yasutaka Ikumi

As demand for practical SLAM education grows, existing systems often "black-box" advanced processing, hindering students from understanding physical sensor characteristics and real-world disturbances. To address this, we developed an educational SLAM robot platform utilizing 3D LiDAR, 9-axis IMU, and ROS 2. This allows students to learn integrated system design, from low-level motor control to high-level LIO-SAM mapping. In our experiments, students compared digital SLAM estimations with analog measure readings to analyze how object colors and indoor/outdoor environments affect accuracy. This hands-on approach effectively helped students comprehend sensor limitations, cultivating the practical engineering perspectives essential for autonomous system development.

1. はじめに

近年、自動運転技術や自律移動ロボットの社会実装が急速に進展しており、周囲の環境地図作成と自己位置推定を同時に行う SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)の重要性が高まっている。教育現場においても、次世代のエンジニア育成に向けて、このシステムを実践的に学ぶ重要性は高い。一方、SLAM を構築・運用するためには、LiDAR や IMU などのセンサに関するハードウェアの知識と ROS2¹⁾などのミドルウェアやアルゴリズムを扱うソフトウェアの知識が統合的に必要となる。学習過程において、既存の完成されたシステムを用いると基幹となる技術がブラックボックス化しやすく、システム全体の理解が深まりにくい。また、シミュレーション空間のみでの学習では、センサの物理的な特性や実環境における誤差(ノイズや外乱要因)を体感しにくいという課題がある。本研究では、学生が低レイヤーの制御から ROS2 による上位処理までを統合的に学べる SLAM 実験用プラットフォームを開発し、実験教材として導入した。本プラットフォームは、3DLiDAR と 9 軸 IMU を搭載しており、LIO-SAM²⁾アルゴリズムを用いて、自己位置推定と 3D 地図生成を行うことが可能である。本稿では、開発した自律移動ロボットシステムのハードウェアおよびソフトウェア構成について詳述する。また、実験においては、SLAM によるデジタルな推定データ

と巻尺などの計測器を用いたアナログな実測値の比較を行う。これにより、対象物の色や計測環境(屋内・屋外)の違いがセンシング精度に与える影響を学生に考察させる実践的な実験内容とし、その教育的効果についても報告する。

2. システム構成

2. 1 ハードウェア構成

車体は校内および舗装された校外路面を走行可能な小型 5 輪車両とした(図 1)。周辺環境の認識には 3DLiDAR を使用し、車体の姿勢推定には 9 軸 IMU を搭載している。これらは LIO-SAM が LiDAR の点群と情報を結合させ、ロバストな自己位置推定を行うために必須の構成要素である。ロボットの諸元や使用器具を表 1 に示す。

制御システムは、上位 PC と下位コントローラの 2 層構造とした。上位 PC では、ROS2 を搭載し、LIO-SAM による SLAM 処理、点群データの処理、および経路生成を担当する。下位コントローラでは、Arduino MEGA を使用し、PC から送信される制御指令(速度・操舵角)を受信し、モータドライバへ PWM 信号を出力して DC モータを駆動する。また、屋外走行時の振動を抑制するため、ばね式の防振インシュレータを取り付けている。バッテリーはモータからのノイズ抑制のため、モータ駆動用と PC や LiDAR 動作用の二系統とした。

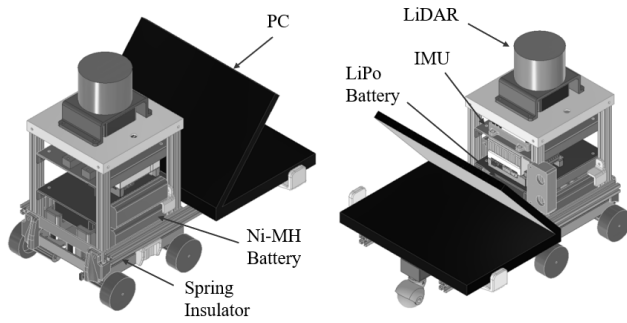


図1 SLAMプラットフォーム3Dデータ

表1 諸元および使用器具

全長×全幅×全高	441.5×265.5×503 [mm]
LiDAR	Velodyne : vlp16
IMU	RT : USB 出力9軸 IMU センサモジュール
モータドライバ	KKHMF : 2ch 直流モータドライブモジュール
モータ	Garosa : DC 6V ギアモーター
駆動バッテリー	Melasta : 7.2V Ni-MH バッテリー
動作バッテリー	DLAM : LiPo バッテリー

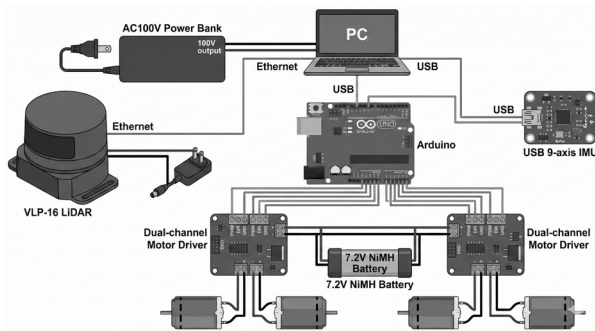


図2 回路構成

2.2 ソフトウェア構成

ミドルウェアには ROS2 を採用し、各センサーデータや制御指令をノード間のトピック通信でやり取りする。SLAM アルゴリズムには LIO-SAM を使用した。LIO-SAM は、LiDAR のオドメトリと IMU の計測値を最適化して統合することで、激しい動きや特徴の少ない環境でも高精度なマップ作成が可能である。図3は ROS2 ノード構成を示したものである。LiDAR から取得された点群データは `velodyne_transform_node` により座標変換処理が行われ、LIO-SAM 処理ノードへ入力される。`rt_usb_9axisimu_driver` により取得された姿勢および加速度データは、`/imu/data_raw` トピックを介して SLAM 処理へ送信される。SLAM 処理は LIO-SAM アルゴリズムに基づき構成されている。

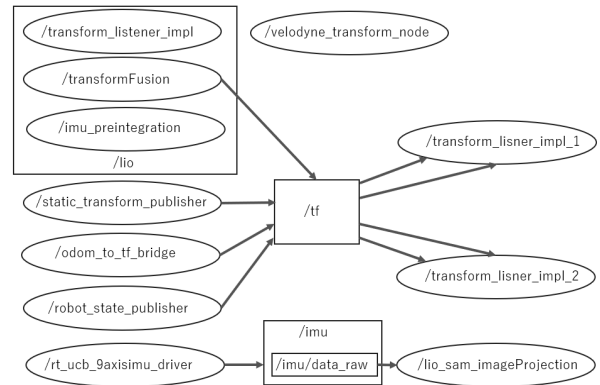


図3 ノード構成図

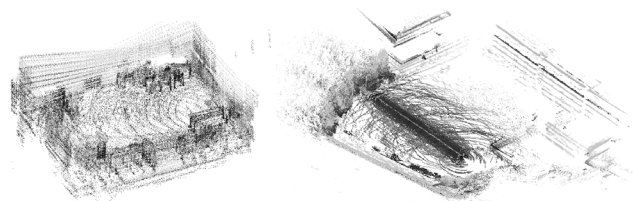
`lio_sam_imageProjection` は点群の前処理および特徴点抽出し、`imu_preintegration` は IMU データの前積分処理による姿勢推定、`transformFusion` は LiDAR および IMU の推定結果を統合した自己位置推定となる。これらのノード間では ROS2 のトピック通信を用いてセンサ情報が共有される。ロボットの座標関係は `robot_state_publisher` および `static_transform_publisher` によって生成され、TF フレームとして `/tf` トピックを介して配信される。オドメトリ情報は `odom_to_tf_bridge` により TF 座標変換として統合され、各ノードは共通の座標系に基づいて処理を行う。この構成により、LiDAR 点群と IMU 情報を統合した高精度な自己位置推定および 3D 地図生成が可能となる。

3. 実験内容と検証方法

本教材を用いた授業では、センサの物理的特性や環境要因がシステム全体の精度に与える影響を考察させることに重点を置いた。学生は以下の手順で実験を行う。

3.1 自律走行とデータ取得

LIO-SAM を用いて教室およびグラウンドの 3D 点群マップを作成する。図4は得られた MAP データである。急加減速や急操舵をすると、MAP がドリフトし、正確な MAP データが得られないため、低速状態で MAP を作成する。



(a) 教室 (b) グラウンド

図4 取得した MAP データ

3. 2 誤差測定実験

SLAM の推定精度を検証するため、以下の比較実験を行った。

① SLAM データと実測値の比較

LIO-SAM によって推定された自己位置座標および作成されたマップ上の距離データと巻尺を用いて物理的に測定した実測値との誤差を測定する。

②対象物の色による影響

LiDAR はレーザー光の反射を利用するため、対象物の反射率に依存する。実験では黒色の障害物(パネル)を配置し、木材色の壁面や白色のサッカーゴールなどとの認識精度の違いを検証した。

③環境による影響

特徴点が豊富で閉鎖的な屋内と、外乱光(日光)の影響を受けやすく特徴点が遠方にある屋外において、SLAM における自己位置推定の誤差を比較した。

4. 実験結果と考察

(1) システムの動作検証

開発したプラットフォームにより、ROS2 を用いて LiDAR や IMU から取得した情報をフィルタリングし、LIO-SAM の SLAM に成功した。これにより、学生は SLAM を実装するためのソフトウェアとハードウェアに関する理解を深めることができた。

(2) 色による測定誤差

実験の結果、屋内・屋外に限らず、木材の壁面間に比べて、黒色の障害物は誤差率が高くなることが確認できた。屋内の壁面間における実測値との誤差は約 0.5% に対し、黒色の障害物に対しては、約 1.1% となり、約 0.6% の差が生じていた。また、屋外においては、黒色障害物は白色に対し、約 0.2% 誤差が増えることが確認できた。これは黒色が赤外線レーザーを吸収しやすいため反射強度が低下し、センサの検出での測定精度が悪化したためと考えられる。この結果から、学生は物理的な光学特性がセンシングに与える影響を学ぶことが伺えた。

(3) 屋内・屋外での誤差比較

屋内環境では壁面などの特徴点が豊富であるため LIO-SAM のスキャンマッチングが安定し、巻尺の実測値との誤差率はおおよそ 0.5% に収まった。一方、屋外の環境下では、特徴点が遠い場合や日光の影響、測定距離の影響により、2.7% を超える誤差が確認された。

5. 教育的効果と結論

本研究では、3DLiDAR, ROS2, LIO-SAM を用いた SLAM 可能なプラットフォームを開発し、実験に導入した。本教材の特長は、SLAM 技術をブラックボックスとして扱うのではなく、低レイヤー制御から ROS2 による上位処理までを統合的に扱える点にある。特に、巻尺などの計測器によるアナログな実測値と SLAM のデジタルデータを比較させるプロセスは、学生に対して「センサは誤差や特性を理解し考慮する必要がある」ことを認識させることができ、良い教育効果を示すものと考えている。今後は、動的障害物の回避や、より複雑な屋外環境でのナビゲーション課題へとカリキュラムを拡張していく予定である。

文献

- 1) M. Quigley et al., "ROS: an open-source Robot Operating System", ICRA Workshop on Open Source Software, 2009.
- 2) T. Shan, B. Englot, D. Meyers, W. Wang, C. Ratti, and D. Rus, "LIO-SAM: Tightly-coupled lidar inertial odometry via smoothing and mapping", 2020 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.5135-5142, 2020.

デザイン思考による高専地域連携 PBL の 3 カ年継続実践

李 盛姫^{*1}

Three-Year Implementation of Design Thinking-Based Community-Engaged PBL at a College of Technology

Sunghee Lee^{*1}

This study investigates a three-year implementation of community-engaged Project-Based Learning (PBL) at a Japanese College of Technology (KOSEN). The program incorporated design thinking as a core problem-solving methodology, transitioning from product-oriented development to service and experience design. Students engaged in regional collaboration projects, such as developing local souvenirs and planning public park events. By following the five stages (empathy, problem definition, ideation, prototyping, and testing), students addressed authentic community issues that moved beyond conventional classroom assignments. Data were collected from reflective reports and qualitative feedback accumulated over three consecutive years. The results indicate that sustained PBL practice integrating design thinking enhanced students' autonomous problem identification, iterative refinement skills, and collaborative competence. The findings suggest that this long-term, community-based model offers an effective framework for fostering social implementation skills in technical college education.

本研究は、高等専門学校（高専）における3年間の地域連携型プロジェクト学習（PBL）の実践について考察したものである。本プログラムは、問題解決の手法としてデザイン思考を導入し、地域のお土産品の開発や公共公園でのイベント企画・実施といった地域連携プロジェクトを展開した。学生は「共感」「問題定義」「概念化」「試作」「検証」の5段階を経ることで、教室内の課題設定を超えた、地域社会の本質的な課題解決に取り組んだ。3年間にわたり蓄積されたリフレクション・レポートおよび定性的フィードバックを分析した結果、デザイン思考を統合した継続的なPBLの実践は、学生の自律的な課題発見能力や反復的な改善スキル、ならびに協調性や社会実装への意識を向上させることが示された。以上の知見は、デザイン思考を取り入れた長期的な地域密着型PBLが、技術者教育における有効な教育モデルであることを示唆している。

1. はじめに

現代の技術者には、高度な専門知識に加え、複雑な社会課題を自ら発見・解決する「社会実装能力」が求められている。文部科学省や高専機構もPBLを推進しており、技術と社会を繋ぐ力の育成は高専教育における喫緊の課題だ。従来の高専教育は、実験・実習重視のカリキュラムにより優れたエンジニアを輩出してきた。しかし、既存の教育課程では「解くべき課題」が教員から与えられることが多く、学生が自ら課題を定義する機会は限定的であった。その結果、高度な技術力を持ちながらも、ユーザー視

点や社会的文脈を捉えきれず、独善的な提案に陥る傾向が指摘されている。こうした課題に対し、本研究では「デザイン思考 (Design Thinking)」に着目した。人間中心 (Human-Centered Design) の設計思想に基づき、観察と共感を通じて真のニーズを導き出す本手法の導入には、以下の意義がある。

1-1 課題定義能力の向上

八王子市等のフィールドにおけるヒアリングや観察を通じ、既存の枠組みに捉われず本質的な課題を特定する。

1-2 反復的改善の習慣化

*1 サレジオ工業高等専門学校

教育研究

プロトタイプ製作とフィードバック収集を繰り返すイテレーションにより、解の実用性を高める。

1-3 多角的視点の獲得

地域住民、行政、企業といった多様なステークホルダーとの対話を通じ、技術の社会的価値を客観視する。

本稿では、これらを実現するための具体的な実践として、表1に示す3年間にわたる地域連携型PBL（八王子市の地場産品開発や観光振興、ブランディング等）の取り組みを報告し、その教育的効果について検証する。

2. 実施概要

本実践は、サレジオ工業高等専門学校デザイン学科5学年卒業研究の枠組みにおいて、2023年度から3年間にわたり実施した。各年度4~6名によるチームを編成し、地域社会をフィールドとした課題解決に取り組んだ。指導教員はデザイン思考のファシリテーターとして、プロセスの管理と外部組織との調整を担った。3年間、同一の教育フレームワーク（デザイン思考）を用いながらも、年度ごとに異なるプロジェクトや地域課題を設定した。

実施項目 / 年度	2023 (1年目)	2024 (2年目)	2025 (3年目)
プロジェクト名	土産品の企画開発	(八)開発・販促(町)イベント実施	ブランディング
フィールド	八王子市	八王子市(八) 町田市(町)	八王子市
具体的課題	知名度 伝統産業の土産品	(八)認知度 (町)公園の認知度・利用率向上	ブランド力向上
デザイン思考の実践	【共感】観光客調査、住民・市へのヒアリング 【定義】インサイト抽出 【試作】商品プロトタイプ、パッケージ提案 【検証】フィードバック収集	【共感】(八)住民・製造者へのヒアリング、(町)市民・市へのヒアリング 【定義】課題の再定義 【創造】アイデア出し 【試作】(八)商品プロトタイプ、パッケージ案 (町)実施マニュアルの構築、実施シミュレーション、提示物作成 【検証】フィードバック収集	【共感】製造者へのヒアリング調査 【定義】課題の再定義 【試作】商品プロトタイプ、パッケージ案、販売戦略の提案 【検証】フィードバック収集
主な成果・活動	商品、販売用パッケージ作成	(八)商品開発、販売用パッケージ作成、販促物作成 (町)社会実験としてのイベント実施、企画書、報告書、会計書作成	ブランディングロゴ案、商品開発、パルティ製作、プロモーション提案
学生の変容	ユーザー視点の獲得、お土産に関する認識向上、プレゼン能力の向上	社会実装意識の芽生え、調整・協働力の向上	課題発見力の高度化、自律的なPDCAの実践
評価手法	成果発表会	成果発表会、活動報告書、相互評価、外部評価、リフレクション	成果発表会、活動報告書、外部評価、リフレクション、量的調査

表1 3年間のPBL実施概要

3. デザイン思考を用いたPBLの教育実践手法(2023~2025年度)

本取組では、地域課題を技術者の主観で解決するのではなく、ユーザーの真のニーズを起点とした「社会実装」を実現するため、デザイン思考の5ステップを導入した。3年間の変遷を経て、対象は「モノ(土産品)」から「コト(体験・PR)」へと進化を遂げている。

3-1 デザイン思考の5ステップと実践ツール

各プロセスにおいて、付箋やプロトタイピング材料、

デジタルツールを駆使したワークショップ形式を実践した。

3-1-1 共感 (Empathize) : 現場の事実と違和感の観察

①手法: 八王子織物工業組合のショップベネック(以降、ベネック)での行動観察や、町田市芹ヶ谷公園やその周辺のフィールドスタディ

②観察のポイント: 伝統産業に対する若年層の心理的距離や、公園利用者の行動観察や町田市版画美術館訪問等における公園の顕在化していない課題を客観的に記録

3-1-2 定義 (Define) : インサイトの抽出と問いの立て直し

①手法: メモを用い、ホワイトボード上で観察データを構造化する

②成果: 単なる知名度不足ではなく、日常的な接点の欠如や作業標準化の不足といった真の課題(インサイト)を言語化した

3-1-3 概念化 (Ideate) : 多角的なソリューション創出

①手法: 「Matsuri (まつり)」や不易流行といった共通コンセプトに基づくブレインストーミング

②成果: 手ぬぐいやネクタイ等の製品に加え、2025年度にはご当地VTuber「八恋 雅織」(はちこい かおり)やカードゲームといった、若年層に響く新たなPR手法を創出した

3-1-4 試作 (Prototype)具現化

①手法: アイデアを形にし、ステークホルダーとの合意形成を図る

②ツール: パッケージ試作、3Dモデル、動画
低コストで修正を繰り返すイテレーションを重視した

3-1-5 検証 (Test) : 社会実装現場でのフィードバック

①手法: 「JFW JAPAN CREATION」や「いちよう祭り」等のイベントでの展示・アンケート調査



図1 「日本遺産フェスティバル in 桑都・八王子」展示発表
当日のアンケート実施様子(2023/11/5)

②評価：アンケート結果より来場者の反応を再観察し、市場性や実用性を検証した。

3-2 教育的効果：自律型技術者への転換

この3年間で、学生は教員から与えられた問題を解く受動的な姿勢から、自ら現場へ赴き、多様なステークホルダー（行政・企業・市民）との対話を通じて「解くべき課題を定義する」能動的な姿勢へと転換した。観察を起点とするデザイン思考の習慣化は、ユーザー視点と論理的裏付けを両立させた提案を可能にし、確かな社会実装能力の育成に寄与している。

4. 実践事例～地域連携型PBLにおけるデザイン思考の適用

本実践は、2023年度から2025年度にかけて、八王子織物工業組合および町田市との連携を中心に実施された。各年度で「伝統産業の活性化」や「地域課題の解決」という共通の目標を掲げつつ、デザイン思考のプロセスを繰り返すことで、解決策の質をプロダクトデザインからサービスデザインへと進化させていった。

4-1 2023年度：伝統の再解釈とプロダクトへの展開

初年度は、日本遺産「桑都物語」を背景に、八王子織物の魅力を現代のライフスタイルに適合させるモノづくりに注力した。

4-1-1 共感と観察：組合やベネックでのフィールドワークを実施。高品質なネクタイやストールが並ぶ一方で、若年層が伝統工芸品に対して心理的距離を感じ、購買に至らず通り過ぎる行動特性を抽出した。

4-1-2 定義：課題を製品の質ではなく、日常との接点の欠如と定義。

4-1-3 試作と検証：桑都織の手拭いやハンカチを試作し、日本遺産フェスティバル等のイベントで展示。来場者の手触りや柄への反応を直接観察することで、伝統的な紋様を現代的にアレンジしたデザインの有効性を確認した。

4-2 2024年度

2年目は、個別の製品開発から、地域全体のイメージを牽引するブランディングへと視点を広げた。八王子関連では、Matsuri（祭り）を通じたブランデ

ィングの統一。町田市では、芹ヶ谷公園のイベントを通じた「コトづくり」として展開した。以下、八王子の取り組みを主として取り上げる。



図2 町田市芹ヶ谷公園イベント当日(2024/12/14)

4-2-1 コンセプトに「Matsuri（祭り）」および「不易流行（ふえきりゅうこう）」を掲げ、統一感のある展開を試みた。

4-2-2 共感と定義を伝統工芸＝敷居が高いという先入観を払拭するため、八王子のいちよう祭り等の活気あるシーンを観察の起点とした。日常的に使える银杏マフラーや日傘、アームカバーなど、使用シーンを具体化した課題設定を行った。

4-2-3 試作と検証は、組員企業（大原織物、内田長織物、岡村織物、田口織物）と共同でプロトタイプを制作。JFW JAPAN CREATION等のプロ向け展示会や、八王子 OPA での一般向けイベントに出展した。ここで得た約300件のアンケート結果から、価格設定やターゲット層（若年層から高齢層まで）のニーズの乖離を特定し、パッケージデザインの改良に繋げた。

4-3 2025年度：社会実装の高度化（体験・PR・UXデザイン）

3年目となる2025年度は、これまでの知見を統合し、より高度な「コトづくり」へと飛躍した。「ハチオリ（HACHI-ORI）」という共通ブランドロゴを策定し、UXデザインの視点を取り入れた。

4-3-1 共感と再定義

市場調査を通じて、物理的な土産物だけでは伝わりきらない「八王子の物語」をどう届けるかを検討。課題を「織物を知るきっかけ（入り口）の創出」と定義した。

4-3-2 概念化と試作（新たなアプローチ）

①PR 班：若年層に親しみやすいご当地 VTuber「八恋 雅織（はちこい かおり）」をプロデュース。動画配信を通じて織物の魅力を発信する新たな広報スタイルを試作した。また、遊びながら文化を学べる「八王子カードゲーム」を展開した。

②制作班：市内の『まち歩き』と連動した UX デザインを提案し、織物を単なる素材ではなく、地域体験を構成する重要な要素として再定義した。

4-3-3 検証

大学コンソーシアム八王子の学生発表会や、たま未来連携 EXPO2025、千百年を紡ぐ織物展にて成果を発表。来場者がカードゲームに触れる様子やVTuberへの反応を観察し、技術の社会的価値を客観的に評価した。



図3 八王子学生発表会の様子(2025/12/7)

5. デザイン思考導入による教育的効果の考察

全体の取り組みにおいて、考察点を主に3つに大別して述べる。

5-1 「自ら問いを立てる」能力の獲得

従来の高専教育では「いかに作るか (How)」に重点が置かれがちだが、本 PBL では「何を、なぜ作るか (What/Why)」という課題定義のプロセスを学生が主導した。特に 2025 年度の「VTuber 活用」や「カードゲーム」といった提案は、学生たちが自ら「若年層にはデジタルやゲームという入り口が必要だ」という仮説を立て、具現化したものである。

5-2 外部ステークホルダーとの共創を通じた客観視

3 年間で、学生はアンケート調査 (n=301) や、プロの織物業者、行政担当者 (八王子市、町田市等)

と対話した。この過程で、自分の制作物を「自分の作品」としてではなく、社会に供する解決策として客観視する視点を得た。これは、独りよがりの設計を防ぎ、真にユーザーに寄り添う技術者としての倫理観を育むことに寄与した。

5-3 失敗を許容するイテレーションの定着

「とりあえず作って、現場で見せる」という習慣は、学生の失敗に対する恐れを軽減させた。2024 年度の町田市芹ヶ谷公園イベント実施において、リアル現場でのものづくりワークショップ事例等は、実習室の中だけでは学べない現場適応力の象徴である。

6. 今後の展望

本研究の意義は、教育成果の社会還元と持続可能性の両立にある。実践を通じ、デザイン思考が専門技術を社会課題へ橋渡しする有効なツールであると示された。

今後の展望として以下の3点を挙げる。

(1) 社会実装の「自走化」支援提案したブランドや広報スキームを地域に定着させる。事業者が自走できる「運用マニュアル」等を整備・移転し、教育プロジェクトを日常的な経済活動へと繋げる。

(2) DX による伝統産業のアップデート VTuber や AR 等のデジタル活用を深化させ、伝統産業の DX を推進する。物理的製品とデジタル体験を融合し、若年層やインバウンド層へ向けた新たな UX を創出する。

(3) 多分野融合型教育モデルの確立本手法を工学系学科との連携による「多分野融合型 PBL」へ拡張する。デザインの課題定義力と工学の実装力を掛け合わせ、人間中心の視点で解決策を導く「社会実装型エンジニア」の育成モデルを確立したい。

謝辞

本事業の推進にあたり、共同研究先である八王子織物工業組合および機織各社の皆様には、多忙な中、学生への技術的指導と真摯な対話の機会をいただきました。また、八王子市、町田市、ならびに大学コンソーシアム八王子の関係諸氏による多大なご協力に対し、深く感謝申し上げます。

文献

- 1) サレジオ高専特別研究・卒業研究 概要集(2026/3/18)
<https://www.salesio-sp.ac.jp/main/sotsuken/index.html>

大島瀬戸近傍海域を対象とした潮流解析システムの開発

吉田 将司, 山田 峻太郎, 千葉 元*¹, 長峯 祐子*²

Development of a Tidal Current Analysis System in the Sea Area Near Obatake Seto

Masashi Yoshida, Ryotarou Yamada, Hajime Chiba, Yuko Nagamine

The tides of the Seto Inland Sea are complex and difficult to observe. Our observation system developed so far used LPWA, so a relay station was needed. In this study, two observation buoys were manufactured with the communication method changed from LPWA to LTE network. By installing these on the Suo Oshima side and around the "Oki no mo", it is possible to observe the entire "Obatake Seto" area in real time without a relay station. As a result, stable communication quality independent of base stations was achieved using LTE. Furthermore, the observed water temperatures demonstrated sufficient accuracy compared to standard observation equipment.

1. はじめに

瀬戸内海は四方を囲まれた内海で、外海とは豊後水道、紀伊水道、関門海峡の三海峡部のみで隣接する極めて閉鎖性の強い海域である。また島の点在により、潮流が複雑かつ強いいため、漁業や船舶航行等に影響を及ぼしている[1]。本研究の対象地域である山口県周防大島付近の海域では、準絶滅危惧種であり観光資源であるアワサングの生育について未解明なこと、潮流の流れや反流等の複雑な構造からここ数年でも船舶の乗揚げや衝突事故がいくつか確認されている。そこで本研究では瀬戸内海の水塊構造等の調査を行うため、2019年度から多点、多層でリアルタイム観測が可能な簡易型の水温、塩濃度観測システムを大島商船高専の千葉研究室協力のもと、山口県周防大島付近に導入してきた[2]。また、昨年度からは海面上に発生する潮目に着目し、宇部高専の長峯研究室と共同で海面のカメラ撮影および動画像強調法を用いた画像解析を行った[3]。しかし、観測ノードの設置場所が桟橋周辺に限られ、沖の潮流変化に即して観測できなかったこと、またこれまで使用してきたLPWA(Low Power Wide Area)規格の一つであるLoRa通信ではインターネット接続用の基地局設置が必要であったため通信範囲が制限されていた。そのため広範囲での観測が厳しく、潮流の解析までは至らなかった。

そこで本研究では、まず通信媒体をLoRa通信から携帯電話網を利用したLTE通信に変更することで通信範囲の制限を解除した。次に、開発した観測ノ

ードで9月に実施した実績をもとに、11月に沖合で水温及び潮流の観測実験を実施した。本稿ではシステムの構成と2回の実験概要及び結果の一部について述べる。

2. システムの概要

図1は本システムの構成を示す。観測ノードで得られた観測データはJSON形式に変換され、M5Stack用LTEモジュール(M5Stack COM.X)にて4G回線へ接続、GPSで取得した時刻に従い10分間隔でレンタルサーバへと送信される。レンタルサーバでは観測ノードの受信用、ホームページ表示用のPHPファイル、ログファイルをアップロードし、データを管理している。ホームページでは観測ノードのデータをリアルタイムで表示している。一方、同じく陸上に取り付けられた基地局では、従来のLoRaを用いた観測ノードからのデータ受信と同時に、内蔵カメラにより5分毎に付近海面を撮影する。図2は設置したカメラの概観を示す。観測データは本校のレンタルサーバ、また撮影された画像データは宇部高専のレンタルサーバへと送信、蓄積され、動画像強調法を利用した画像処理によって潮目を検出する。

図3は観測ノードの構成を示す。観測ノードはマイコンボードであるESP32内蔵の開発プラットフォームM5Stack Coreを用いて各センサの制御及びデータ処理を行う。本ノードはGPSモジュールで時刻、緯度、経度、環境センサモジュール(湿度セン

*1 大島商船高等専門学校 *2 宇部工業高等専門学校

サ SHT-30、温度気圧センサ QMP6988 内蔵) で温度、湿度、気圧、温度センサ DS18B20 で水深別の水温 3ヶ所 (0.5、1.0、2.0[m])、及び LTE モジュールから LTE 基地局からの RSRP (基準信号受信電力)、RSRQ (基準信号受信品質) を取得する。なお、温湿度および気圧、通信品質はケース内の測定値である。電源部は 10,000[mAh] の LiPo (リチウムイオンポリマー) バッテリーと 10[W] のソーラーパネルを 2 枚並列接続し、電源を供給する。

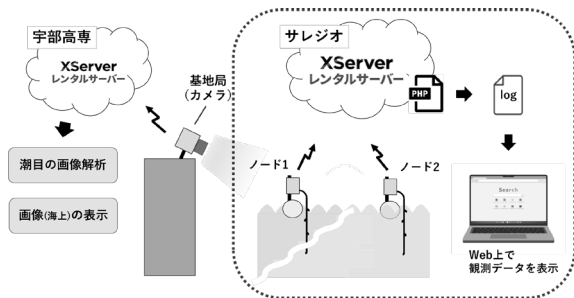


図 1 観測システムの構成



図 2 設置したカメラの概観

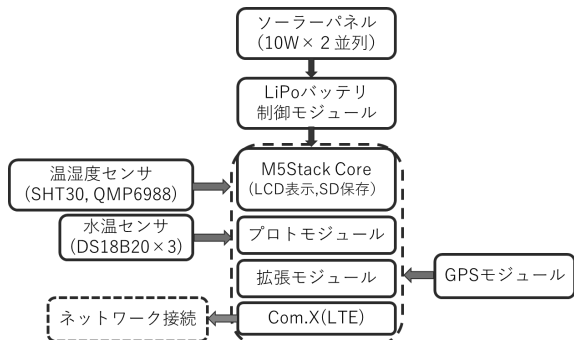


図 3 観測ノードの構成

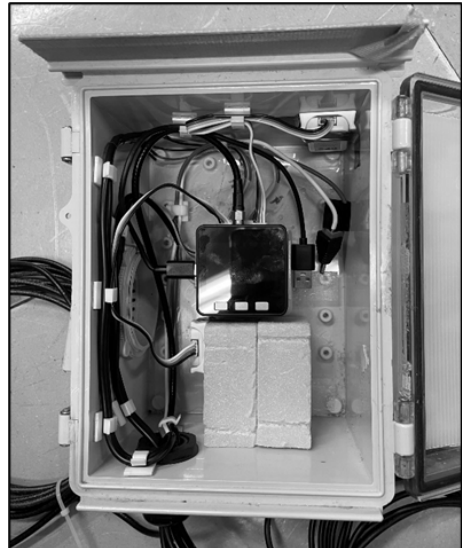


図 4 観測ノードのケース内

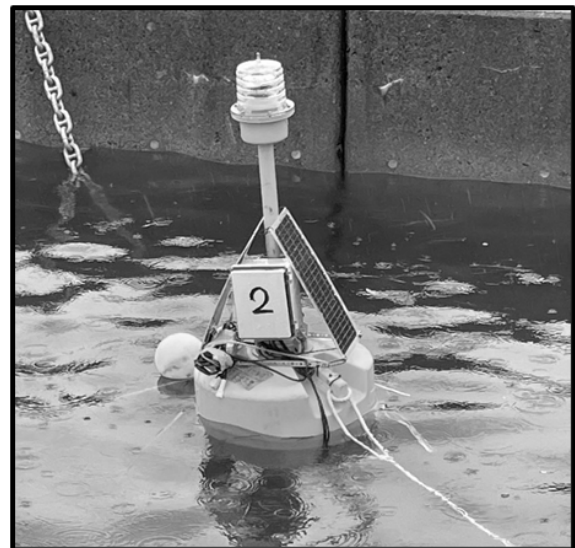


図 5 観測ノードブイの外観

サーバ一覧性 項目	ID	データの取得 時刻 (JST)	RSRP	RSRQ	経度	緯度	湿度	気圧	水温1	水温2	水温3	
2025-10-06 17:30:42	node2	2025/10/06 17:30:42	-66.00dBm	-3.00dB	33.9395207	132.1885007	27.3870 C	64.34 %	1011.83 hPa	25.4375 C	25.8250 C	-127 C
2025-10-06 17:30:38	node1	2025/10/06 17:30:38	-66.00dBm	-3.50dB	33.9393207	132.1882007	26.6770 C	67.71 %	1011.62 hPa	25.5405 C	25.5405 C	25.11 C
2025-10-06 17:20:44	node2	2025/10/06 17:20:44	-65.00dBm	-2.00dB	33.9395207	132.1885007	27.3662 C	63.69 %	1011.73 hPa	25.4375 C	25.6875 C	-121 C
2025-10-06 17:20:06	node1	2025/10/06 17:20:06	-69.00dBm	-4.50dB	33.9393207	132.1882007	26.8452 C	67.51 %	1011.57 hPa	25.3300 C	25.5405 C	25.25 C
2025-10-06 17:10:55	node2	2025/10/06 17:10:55	-69.00dBm	-3.00dB	33.9395207	132.1885007	28.0291 C	61.59 %	1011.78 hPa	25.3750 C	25.8250 C	-127 C
2025-10-06 17:10:38	node1	2025/10/06 17:10:38	-69.00dBm	-4.00dB	33.9393207	132.1882007	26.9440 C	67.19 %	1011.57 hPa	25.5000 C	25.5000 C	25.11 C

図 6 WEB での表示例

図 4 は観測ノードのケース内、図 5 は完成した観測ノードブイの外観、図 6 は WEB による表示例を

示す。図のWEB ページでは最新 50 件のデータのみ表示され、過去のデータはサーバ内のログファイルに格納されている。本研究ではこの観測ノード 2 台（以下、ノード 1、ノード 2）を製作した。

3. 実証実験

動作試験及び通信試験のため、9 月上旬に大島商船高専の千葉研究室の協力のもと、製作した各観測ノードを山口県周防大島にある大島商船高専のすばる栈橋及び大島丸栈橋付近に設置した。まず、観測ノードをブイ（CB100、緑星社）に取り付けて海上に浮かべ、ロープで栈橋に係留した。その後、各観測ノードの設置状況及び動作状況を確認した。図 7 は 9 月 16 日から 22 日におけるノード 1 の水温観測結果を示す。図中の濃い線が水深 0.5[m]、薄い線が水深 2.0[m]、点線が気温（正確にはノード内の温度）を示している。この図から、表層の水温ほど大きく変動しているが、気温の影響を受けていることがわかる。図 8 は 9 月 11 日から 10 月 6 日における各ノードにおける LTE モジュールの RSRP（受信電界強度）[dBm]を示す。図の薄い線がノード 1、濃い線がノード 2 を示している。点線はこの通信機メーカーが使用している評価基準[4]で良好であることを表す -90[dBm]を示している。ノード 1 は実験開始当初に使用したバッテリーに不具合があり、数日受信が不安定であったが、バッテリーを交換後はノード 2 とほぼ同様の結果となった。ノード 1、ノード 2 における期間中の RSRP の平均値はそれぞれ -86.2[dBm] と -86.0[dBm]、標準偏差はそれぞれ 3.0[dBm] と 1.9[dBm]であり、評価基準と比較して十分な値であるといえる。測定値の変動要因としては、潮位による送信アンテナ高の変化に伴う 2 波モデルでの減衰の影響が考えられる。

次に、11 月 12 日から 12 月 27 日にかけて、第六管区海上保安本部海洋情報部と大島商船高専の共同観測として小松港沖合の沖ノ藻灯浮標にワイヤロープで繋がれていたブイ（CB100）に、ノード 2 を設置した。図 9 はブイの設置状況を示す。ブイ下部には電磁式流向流速計（JFE アドバンテック社製 INFINITY-EM）が水深 1.5m 層に設置されており、ここではセンサ周りの流向流速と水温が計測されている。図 10 は流向流速計と水温センサの比較結果を示す。図の薄い線がノード、濃い線が流向流速計での測定値を示している。約 2 週間の平均誤差が 0.13[°C]、標準偏差が 0.025[°C]であった。搭載した

水温センサ DS18B20 の精度仕様が $\pm 0.5[^\circ\text{C}]$ であることから、十分な測定結果と考えられる。なおブイは 11 月 28 日に送信を停止した。

図 11 は基地局のカメラで撮影された画像データの例を示す。実験期間中、明確な潮目の線が発生しなかったため、宇部高専長峯研究室が実施した動画画像強調処理後の画像データでも潮目を判別できなかった。判別できない理由として、潮目が一本線ではなく、複雑に出現していたことが、画像データの観察結果から判明した。

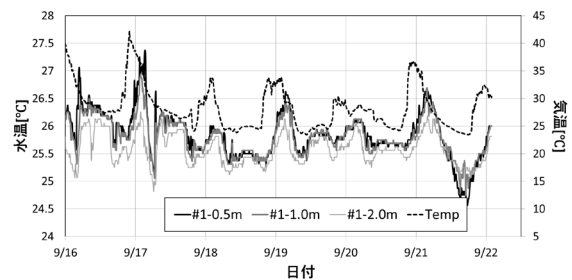


図 7 ノード 1 の水温観測結果

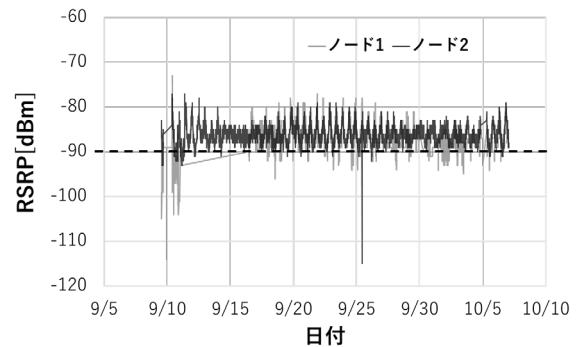


図 8 RSRP の観測結果



図 9 観測ノードブイの設置状況

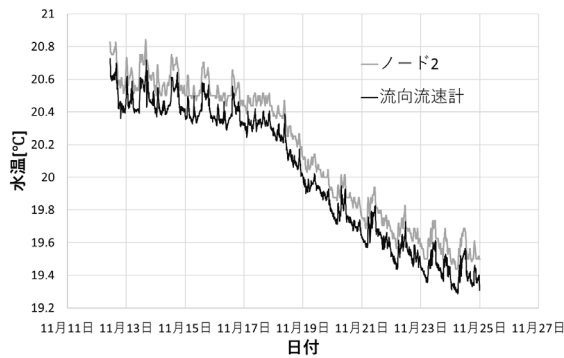


図 10 搭載水温センサと流向流速計の比較結果



図 11 基地局での撮影画像の例

4. まとめ

本研究では、瀬戸内海の大島瀬戸における潮流や水塊構造調査のための観測システムを開発した。今年度は通信方式を LPWA から LTE 公衆回線網へと変更した観測ブイを 2 台製作し、これを大島側と沖の藻周辺に設置することで、大島瀬戸全域をカバーするリアルタイム観測体制を構築した。2 回実施した実地試験の結果、基地局に依存しない安定した通信品質が得られ、一般的な観測機器と比較して十分な精度の水温観測結果であることを確認した。この結果は、安価な IoT デバイスによる面的観測が、単一点の精密観測では捉えきれない流動構造の三次元的な解明に有効であることを示唆するものである。ただし有効性を明らかにするためには、本実験で得られた他の観測データを加えて、さらに詳細に解析する必要がある。

今後の課題として、沖に設置したブイが 2 週間で停止したことから、塩害や日照不足に起因する電源停止を克服するためのハードウェアの堅牢化が不可欠である。さらに観測範囲の広域化や観測データの蓄積により潮流を空間的に把握することで、本研究の最終目的である船舶航行安全、アワサンゴ保全に寄与することを目指す。

謝辞

本研究は一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会主催「高専ワイヤレステックコンテスト 2024」の技術実証費用及び本校 2025 年度課題研究費の助成を受け実施しました。

文献

- 1) 千葉 元, 道田 豊, “大島瀬戸強潮流近傍に位置する周防大島沿岸域の潮流調査”, 海洋理工学会誌, 2022,27 巻, 1 号, p.81-93,2022.
- 2) 中野裕紀, 吉田将司, “センサネットワークを用いた周防大島の浅海域における海水温と塩分濃度の調査”, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム 2022, BS-10,p229,2022.
- 3) 吉田将司, 池田創, 山田峻太郎, 千葉元, 長峯祐子, “周防大島における極沿岸域海象観測システムの試作”, 電子情報通信学会総合大会 2025, B-15-08, 2025.
- 4) 富士通株式会社, “無線環境化における電波強度や品質の目安について”, モバイルテクノ, 2025/9/29 閲覧, <https://www.fujitsu.com/jp/group/mtc/technology/course/radionetworkarea>

乗合タクシーにおける移動距離の数理モデル解析

小酒井雄一¹, 島川陽一²

Mathematical Model Analysis of Travel Distances in Shared Taxis

Yuichi Kozakai, Yoichi Shimakawa

Abstract

This study investigates how transporting multiple passengers simultaneously affects the travel distance of a shared taxi, a transport mode widely used in Southeast Asia. While previous studies mainly considered one or two passengers, we develop a generalized mathematical model allowing an arbitrary number of passengers and analyze how the travel distance varies with passenger count.

The city is modeled as a circular disk, and passenger origins and destinations are assumed to be independently and uniformly distributed. Additional passengers are accepted only when their destinations do not hinder the approach to existing passengers' destinations, which geometrically constrains feasible locations.

Using Crofton's differential equation, we derive the probability density function of distances between two random points and obtain the baseline expected travel distance. Distance multipliers for multiple passengers are then formulated and generalized via a recurrence relation. Assuming passenger arrivals follow a Poisson distribution, the overall expected travel distance is evaluated.

The results indicate that although travel distance increases with passenger count, the increase converges to a finite limit, implying that ride sharing leads to only moderate additional travel distance.

1 はじめに

東南アジアでは「乗合タクシー (shared taxi)」と呼ばれる交通手段が広く利用されている。乗合タクシーとは、乗客を乗せて移動している途中で、同一方向へ向かう追加の乗客を乗せる仕組みをもつ輸送形態である。ただし、既に乗車している乗客の目的地への移動を著しく妨げるような経路となる場合には、新たな乗客は乗せない。複数の乗客を乗せている場合、タクシーは各乗客の目的地に近い順に訪問する。

このため既存の乗客にとっては、他の乗客を輸送することにより一定の遠回りが生じる可能性がある。一方、運転手側から見れば複数の乗客を同時に輸送できるため運行効率が向上し、料金も比較的安く設定されることが多い。

タイなど公共交通網が十分でない地域では、図1に示すシーローや図2のテンソウといった乗合型交通手段が都市内移動に広く利用されている。日本では長らく乗合タクシーは制度上制限されてい

たが、近年はライドシェア需要の高まりに伴い徐々に導入が進んでいる。

本研究では、乗合タクシーによる移動が通常のタクシー移動と比較してどの程度距離が増加するのかを数理的に分析する。既存研究[1, 2]では乗客数1および2の場合の移動距離が求められているが、本研究ではそれらを踏まえ、より一般化されたモデルを構築し、乗客数増加に伴う移動距離特性を明らかにすることを目的とする。

本研究では、確率論の観点から乗合タクシーの移動距離を理論的に解析する。



図1 シーロー



図2 テンソウ

¹豊橋技術科学大学

²サレジオ工業高等専門学校情報工学科

2 乗合タクシーの移動距離の数理モデル化

2.1 モデル化の仮定

一般的にタクシーは決められた営業区域内を走行する。そこで直径2の円盤状の都市を考え、その内部で1台の乗合タクシーが移動を行う。道路の形状や地形に依存しない移動を想定する。すなわち、このタクシーは都市内部を客を乗せた起点から目的地へ向かって直線的に移動するものとする。道路網を想定しない目的地までの直線移動というモデルとして単純化しすぎなようにも思えるが、この研究では通常のタクシーでの移動距離と乗合タクシーでの移動距離との比こそが重要なので、乗合タクシーの移動距離そのものがいくつになるかは問題としない。この直線距離を用いた計算により、移動距離の数値自体は実際の乗合タクシーの移動に対して0次近似ではあるが、この研究ではこの単純化したモデルを受け入れるものとする。この研究では特定の都市を想定していない。乗客の発生はPoisson分布になると仮定する。タクシーの最大乗客数はあえて設定しない。Poisson分布では乗客数が多いほど発生確率が低くなる。各乗客の発生は以下ようになる。

- 1組目の乗客(乗客1)の起点と終点(乗り始めと乗り終わり)の位置は都市内部の互いに独立で様な地点に発生するものと設定する。
- 2組目の乗客(乗客2)の起点は、乗客1の起点から終点までの区間のどこかで発生し、乗客2の終点は、「乗客1の移動を妨げない領域」に発生する。
- 3組目以降の乗客は乗客2と同様に、前の乗客が乗り始めてから乗客1の終点に向かうまでの区間で起点が発生し、「既に乗車している全ての客の移動を妨げない領域」に終点が発生する。

この乗合タクシーの行動例を図3に示す。

ここで、「既に乗車している客の移動を妨げない領域」とは具体的にどこなのか？ 図3の真ん中の移動を取り出して、乗客2の終点として取り得る領域を図4に青色で表現する。乗客2は、乗客1の移動を邪魔しない範囲に移動する。すなわち、タクシーの運転手は「乗客1の運搬のついでに乗客2を(選択して)運搬する」考えを持つだろう。とすれ

ば、「乗客1が不平を言わない範囲」、終点1までの距離が短くなる範囲にだけタクシーは向かうと考えて良い。その範囲とは起点2から終点1までを半径とする円を、起点2中心と終点1中心に描いたその共有領域である。この範囲であれば、どこに進んでも終点1中心の円の内側であるため終点1までの距離が乗客2の登場時点より短くなり、既に乗っている客の移動を妨げていない。しかしながら、遠回りには違いがないので乗客1は最短で自分の終点に到着するわけではない。図4では計算を簡単化するため、円の交点と起点2を結んだ直線で領域を構成している。二つの円の半径が同一であることから領域は中心角 $\frac{2}{3}\pi$ の扇型となる。

起点1が終点2より手前に発生し、かつ終点2が終点1よりも奥に発生する場合は本研究では考えない。一般的に、終点2が終点1よりも奥(図4では左側)に発生するのは、乗合タクシーの移動としては起こり得る。乗客1の移動も乗客2の移動もどちらも妨げられず、実際の乗合タクシーではその移動先は許される。しかしながら、この研究では数学的に扱いやすくするため、この場合を考慮しないこととする。非常に強い仮定ではあるが、この研究においては乗合タクシーは既に乗車している客よりも近い位置を目的地とする追加の客を乗せてLIFOで移動し、かつ追加の乗客は前の乗客が発生した区間で発生する(乗客3が[起点2,終点2]区間で現れた場合乗客3はその区間で現れる)ものとして、乗客1から見た移動距離(タクシーから見た移動距離とも言える)の変化について着目するものとする。

次に、乗客2の起終点の発生位置の確率分布についても検討しておこう。全ての乗客は都市内部に独立な点として様に発生するが、乗合タクシーが実際に乗せる乗客は「既に乗車している客の移動を妨げない領域」に向かうという点を考慮しなければいけない。その領域(図4の青い領域)は当然、起点2が終点1に近づくほど小さくなるので、実際に乗せる乗客の起点2は起点1に近い位置に発生しやすい。すなわち、実際に乗せる乗客の起点2の位置の確率分布は終点2の位置が条件となる条件付き確率であり、起終点は独立に決定されない。これらを踏まえた上で後続する乗客の起終点発生位置の具体的な確率分布は第3章にて求める。

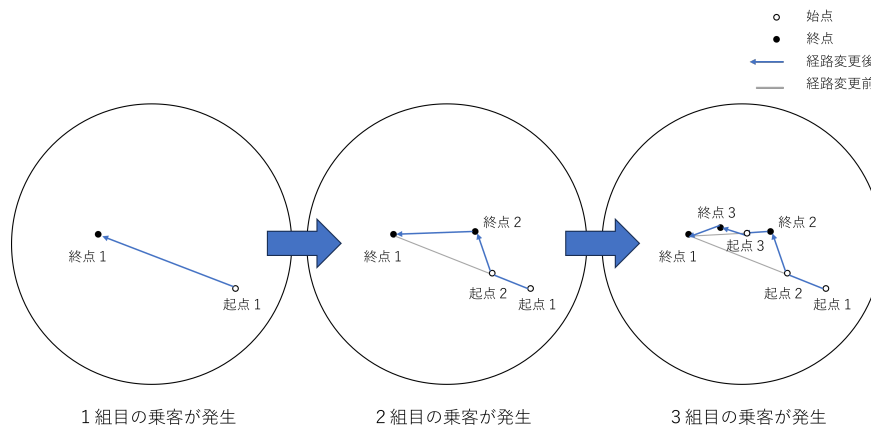


図3 乗合タクシーの行動例

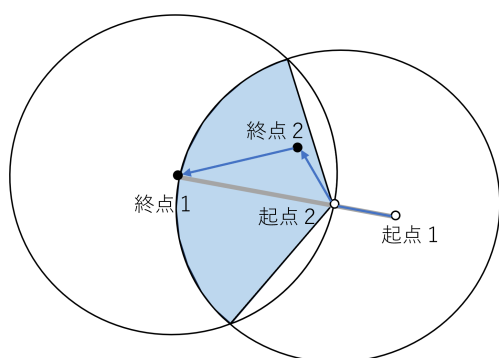


図4 終点2の発生範囲

2.2 検討の方針

この章では確率論に基づいて解析解を導出する。乗合タクシーの移動距離の期待値を X とおく。問題を以下のように分割して考える。

乗客 i の移動距離の期待値を x_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)とおく。タクシーは乗客がないときは決められた位置に待機しており、乗客が表れて運搬を開始し、すべての乗客をその終点に送り届けて、待機場所に戻るものとする。これを1回の出動とする。1回の出動で運搬する乗客数が i 人ちょうどになる確率を P_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)とおく。 X は次のように表現できる。

$$X = P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3 + \dots$$

距離の期待値は確率変数と確率密度関数をかけて積分すれば求まるので、乗客数ごとの移動距離

の期待値 x_i は以下の積分で与えられる。

$$x_i = \int_{-\infty}^{\infty} g_i(x) f_X(x) dx \quad (1)$$

本研究においては $f_X(x)$ は直径2の円盤上でのランダムな2点(乗客1の起終点)の距離 x の確率密度関数で、 $g_i(x)$ は2点の距離 x が定まった上で乗客数 i の場合に遠回りする移動距離全体の期待値である。つまり $g_i(x)$ は x が定数倍される関数となっている。その x の係数こそが通常のタクシーでの移動距離と比べて、乗合タクシーでの乗客数 i における移動距離の増加率である。 $f_X(x)$ は乗客1の起終点距離の確率密度関数なのでタクシーの乗客数に依らず同一の関数となる。

一般的に確率密度関数 $f_X(x)$ を直接的に求めるには「クロフトンの微分方程式」を用いる。この微分方程式とは特定が難しい確率密度関数を見つける方法である。文献[3]によると、クロフトンの微分方程式とは「対象領域のスケールパラメタ α に関する f の微係数を定式化し、その結果得られる1階線形微分方程式を解く」という手法である。すなわち、 $f_X(x)$ の微分を式にして、それを積分することで $f_X(x)$ を得る。以下の節ではこの考え方に沿って解析解を求める。

3 計算からのアプローチ

3.1 確率密度関数 $f_X(x)$ の導出

以下では $f_X(x)$ の導出をしていこう*1。ここでは

*1 より詳細には文献[3][4]を参照されたい。

「クロフトンの微分方程式」の考え方にに基づき定式化する。都市の大きさを変数にして、その値を少し大きくしたときの f の変化に注目する。

半径 α の円盤A上で一様に分布する2点間の直線距離を x とし、その確率密度関数を $f(x, \alpha)$ とおく。これを図5に示す。 $f(x, \alpha)$ の微分係数を求めるために、半径を $\Delta\alpha$ 増加させたときの円盤Cの確率密度関数を考える。増加した領域はリングBとする。半径 $\alpha + \Delta\alpha$ の円盤C上で一様に分布する2点間の直線距離 x の確率密度関数を $f(x, \alpha + \Delta\alpha)$ とする。円盤A, リングBの面積はそれぞれ $S, \Delta S$ とおく。円盤Aは半径が α の円なので当然面積は $S = \pi\alpha^2$ であるし、円盤Cは半径が $\alpha + \Delta\alpha$ の円なので面積は $\pi(\alpha + \Delta\alpha)^2$ であるので、リングBの面積は $S = \pi(\alpha + \Delta\alpha)^2 - \pi\alpha^2 = \pi(2\alpha\Delta\alpha + (\Delta\alpha)^2)$ である。

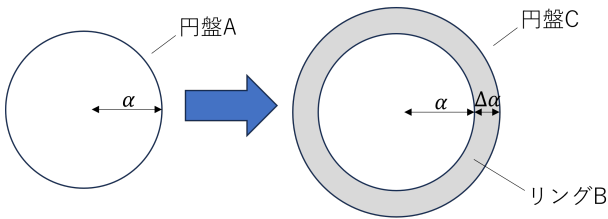


図5 都市の半径を増加

円盤C上の移動の種類を分類し、どの領域からどの領域への移動がどれだけ起きやすいかを考える。領域A, B間を移動する直線距離 x の確率密度関数は $g(x, \alpha, \Delta\alpha)$ とにおいて、領域B内部からB内部へ移動する直線距離 x の確率密度関数を $h(x, \alpha, \Delta\alpha)$ とおく。

全体の面積の対象としている領域の面積が占める割合を確率と考える。表1では面積は測度に相当する。起点・終点の組み合わせについてそれぞれ領域の面積を求めて、組み合わせを考慮してそれらを掛け合わせる。それを全体の面積(測度)で割った、全測度に占める割合が対応する移動の種類が選ばれる確率である。

以上から $f(x, \alpha + \Delta\alpha)$ を $f(x, \alpha)$, $g(x, \alpha, \Delta\alpha)$, $h(x, \alpha, \Delta\alpha)$ を用いて表すと、

$$f(x, \alpha + \Delta\alpha) = \frac{S^2}{(S + \Delta S)^2} f(x, \alpha) + \frac{2S\Delta S}{(S + \Delta S)^2} g(x, \alpha, \Delta\alpha) + \frac{(\Delta S)^2}{(S + \Delta S)^2} h(x, \alpha, \Delta\alpha)$$

である。両辺に $\frac{(S + \Delta S)^2}{S^2}$ をかけると、

$$\frac{(S + \Delta S)^2}{S^2} f(x, \alpha + \Delta\alpha) = f(x, \alpha) + \frac{2\Delta S}{S} g(x, \alpha, \Delta\alpha) + \frac{(\Delta S)^2}{S^2} h(x, \alpha, \Delta\alpha)$$

となる。 $(S + \Delta S)^2$ を展開すると、

$$\frac{S^2 + 2S\Delta S + (\Delta S)^2}{S^2} f(x, \alpha + \Delta\alpha) = f(x, \alpha) + \frac{2\Delta S}{S} g(x, \alpha, \Delta\alpha) + \frac{(\Delta S)^2}{S^2} h(x, \alpha, \Delta\alpha)$$

となる。 $\frac{S^2}{S^2} = 1$ なので、

$$f(x, \alpha + \Delta\alpha) + \frac{2S\Delta S + (\Delta S)^2}{S^2} f(x, \alpha + \Delta\alpha) = f(x, \alpha) + \frac{2\Delta S}{S} g(x, \alpha, \Delta\alpha) + \frac{(\Delta S)^2}{S^2} h(x, \alpha, \Delta\alpha)$$

となる。左辺の第二項と右辺の第一項をそれぞれ移項して整理すると、

$$f(x, \alpha + \Delta\alpha) - f(x, \alpha) = -\frac{2S\Delta S + (\Delta S)^2}{S^2} f(x, \alpha + \Delta\alpha) + \frac{2\Delta S}{S} g(x, \alpha, \Delta\alpha) + \frac{(\Delta S)^2}{S^2} h(x, \alpha, \Delta\alpha)$$

となる。ここで、両辺を $\Delta\alpha$ で割ると、

$$\frac{f(x, \alpha + \Delta\alpha) - f(x, \alpha)}{\Delta\alpha} = -\frac{2S\Delta S + (\Delta S)^2}{S^2\Delta\alpha} f(x, \alpha + \Delta\alpha) + \frac{2\Delta S}{S\Delta\alpha} g(x, \alpha, \Delta\alpha) + \frac{(\Delta S)^2}{S^2\Delta\alpha} h(x, \alpha, \Delta\alpha)$$

となり、左辺が微分の定義式の形と同一になる。ここで、 $S = \pi\alpha^2, \Delta S = \pi\Delta\alpha(2\alpha + \Delta\alpha)$ であることに注意してリングBを限りなく細く($\Delta\alpha \rightarrow 0$)すると各項の係数は次のようになる。 $f(x, \alpha + \Delta\alpha)$ の係数は

$$\begin{aligned} -\frac{2S\Delta S + (\Delta S)^2}{S^2\Delta\alpha} &= -\frac{2\pi^2\alpha^2(2\alpha\Delta\alpha + (\Delta\alpha)^2)}{\pi^2\alpha^4\Delta\alpha} \\ &= -\frac{\pi^2(\Delta\alpha)^2(2\alpha + \Delta\alpha)^2}{\pi^2\alpha^4\Delta\alpha} \\ &= -\frac{4\alpha + 2\Delta\alpha}{\alpha^2} - \frac{\Delta\alpha(2\alpha + \Delta\alpha)^2}{\alpha^4} \\ &\rightarrow -\frac{4}{\alpha}, \end{aligned}$$

表1 移動の種類ごとの割合と確率密度関数

起終点ペアの種類	測度(ペアの量)	全測度に占める割合	x の確率密度関数
A→A	S^2	$\frac{S^2}{(S+\Delta S)^2}$	$f(x, \alpha)$
A→B or B→A	$2S\Delta S$	$\frac{2S\Delta S}{(S+\Delta S)^2}$	$g(x, \alpha, \Delta\alpha)$
B→B	$(\Delta S)^2$	$\frac{(\Delta S)^2}{(S+\Delta S)^2}$	$h(x, \alpha, \Delta\alpha)$
C→C (全体)	$(S + \Delta S)^2$	1	$f(x, \alpha + \Delta\alpha)$

となる。また、 $g(x, \alpha, \Delta\alpha)$ の係数は、

$$\frac{2\Delta S}{S\Delta\alpha} = \frac{2\pi\Delta\alpha(2\alpha + \Delta\alpha)}{\pi\alpha^2\Delta\alpha} = \frac{2\pi(2\alpha + \Delta\alpha)}{\pi\alpha^2} \rightarrow \frac{4}{\alpha},$$

$h(x, \alpha, \Delta\alpha)$ の係数は、

$$\begin{aligned} \frac{(\Delta S)^2}{S^2\Delta\alpha} &= \frac{\pi^2(\Delta\alpha)^2(2\alpha + \Delta\alpha)}{\pi^2\alpha^4\Delta\alpha} \\ &= \frac{\pi^2\Delta\alpha(2\alpha + \Delta\alpha)}{\pi^2\alpha^4} \rightarrow 0 \end{aligned}$$

である。また、

$$\begin{aligned} \frac{f(x, \alpha + \Delta\alpha) - f(x, \alpha)}{\Delta\alpha} &\rightarrow \frac{d}{dx}f(x, \alpha) \\ g(x, \alpha, \Delta\alpha) &\rightarrow g(x, \alpha, 0) \\ h(x, \alpha, \Delta\alpha) &\rightarrow h(x, \alpha, 0) \end{aligned}$$

となる。以上より、

$$\frac{d}{d\alpha}f(x, \alpha) = -\frac{4}{\alpha}f(x, \alpha) + \frac{4}{\alpha}g(x, \alpha, 0) \quad (2)$$

を得る。以上が「クロフトンの微分方程式」である。

$g(x, \alpha, 0)$ を検討する。 $g(x, \alpha, 0)$ とは領域Aから領域Bまたは領域Bから領域Aの移動距離 x の確率密度関数である。領域Bを限りなく小さくしたので、移動は円盤上の点と円周上の点との移動になっている。測度で分かるように、 $g(x, \alpha, 0)$ を求めるには片方だけを考えれば良いので領域Bから領域Aだけを考える。また、移動の起点をどこか特定の円周上の点に固定しても一般性は失われないので一点に固定する。図6に示すように、 $g(x, \alpha, 0)$ とは、起点から半径 x の円周が半径 α の円盤上の点と交わった部分の長さ $L(x)$ を、円盤の面積 S で除算することにより得られる。

この図において、円盤A上の点と半径 x の円周と交わっている数を、円盤A上の点の数全体で除算することにより $g(x, \alpha, 0)$ を得ることができる。

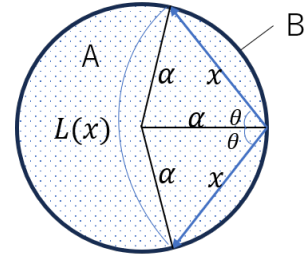


図6 リングB上から円盤Aへの移動

$L(x)$ は、

$$\begin{aligned} \alpha^2 &= x^2 + \alpha^2 - 2\alpha x \cos\theta \\ &\Rightarrow \cos\theta = \frac{x}{2\alpha} \\ &\Rightarrow \theta = \arccos \frac{x}{2\alpha} \\ &\Rightarrow L(x) = 2x \arccos \frac{x}{2\alpha} \end{aligned} \quad (3)$$

となる。これを円盤の面積で割れば、

$$g(x, \alpha, 0) = \frac{2x}{\pi\alpha^2} \arccos \frac{x}{2\alpha} \quad (4)$$

と $g(x, \alpha, 0)$ が求まるので、式(4)を式(2)に代入すると、

$$\frac{d}{d\alpha}f(x, \alpha) + \frac{4}{\alpha}f(x, \alpha) - \frac{8x}{\pi\alpha^3} \arccos \frac{x}{2\alpha} = 0$$

を得る。この微分方程式は1階線形方程式であるので解析的に解くことが可能である。これは変数 α に関する微分方程式であり、 x は定数として扱えるので変数 x は省略して $f(x, \alpha) = y$ とすると、この場合の1階線形方程式 $\frac{dy}{d\alpha} + p(\alpha)y = q(\alpha)$ の解は以下のようになる。

$$y = e^{-\int p(\alpha)d\alpha} (C + \int q(\alpha)e^{\int p(\alpha)d\alpha} d\alpha)$$

さらに、

$$\begin{aligned}
 y &= e^{-\int \frac{4}{\alpha} d\alpha} \left(C + \int \frac{8x}{\pi\alpha^3} \arccos\left(\frac{x}{2\alpha}\right) e^{\int \frac{4}{\alpha} d\alpha} d\alpha \right) \\
 &= e^{-4\log\alpha} \left(C + \int \frac{8x}{\pi\alpha^3} \arccos\left(\frac{x}{2\alpha}\right) e^{4\log\alpha} d\alpha \right) \\
 &= \alpha^{-4} \left(C + \int \frac{8x}{\pi\alpha^3} \arccos\left(\frac{x}{2\alpha}\right) \alpha^4 d\alpha \right) \quad (5) \\
 &= \frac{C_1}{\alpha^4} + \frac{8x}{\pi\alpha^4} \int \alpha \arccos\left(\frac{x}{2\alpha}\right) d\alpha
 \end{aligned}$$

となる。第二項の積分を I とおく。

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{C_1}{\alpha^4} + \frac{8x}{\pi\alpha^4} \int \alpha \arccos\left(\frac{x}{2\alpha}\right) d\alpha \\
 &= \frac{C_1}{\alpha^4} + \frac{8x}{\pi\alpha^4} I
 \end{aligned}$$

ここで I は以下のとおりである。

$$\begin{aligned}
 I &= \int \alpha \arccos \frac{x}{2\alpha} d\alpha \\
 &= \int \left(\frac{1}{2}\alpha^2\right)' \arccos \frac{x}{2\alpha} d\alpha \\
 &= \frac{1}{2}\alpha^2 \arccos \frac{x}{2\alpha} - \int \frac{1}{2}\alpha^2 \left(-\frac{\frac{x}{2\alpha^2}}{\sqrt{1-\frac{x^2}{4\alpha^2}}}\right) d\alpha \\
 &= \frac{1}{2}\alpha^2 \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{1}{2}x \int \frac{\alpha}{\sqrt{4\alpha^2-x^2}} d\alpha \quad (6) \\
 &= \frac{1}{2}\alpha^2 \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{1}{2}x \left(\frac{1}{4}\sqrt{4\alpha^2-x^2} + C_2\right) \\
 &= \frac{1}{2}\alpha^2 \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{1}{8}x\sqrt{4\alpha^2-x^2} - \frac{1}{2}xC_2
 \end{aligned}$$

式(6)を式(5)に代入する。

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{8x}{\pi\alpha^4} \left(\frac{1}{2}\alpha^2 \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{1}{8}x\sqrt{4\alpha^2-x^2} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2}xC_2 \right) + \frac{C_1}{\alpha^4} \\
 &= \frac{4x}{\pi\alpha^2} \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{x^2}{\pi\alpha^4} \sqrt{4\alpha^2-x^2} + \frac{C_1}{\alpha^4} \\
 &\quad - \frac{4x^2C_2}{\pi\alpha^4} \\
 &= \frac{4x}{\pi\alpha^2} \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{x^2}{\pi\alpha^4} \sqrt{4\alpha^2-x^2} \\
 &\quad + \frac{C_1-4x^2C_2}{\alpha^4}
 \end{aligned}$$

ここまで変数 α に関する微分方程式であったので変数 x は省略していたが、 C_1, C_2 は x の関数である。

ここで、第三項の分子を $C(x) = C_1 - 4x^2C_2$ と一つの文字にまとめる。微分方程式の一般解は

$$y = f(x, \alpha) = \frac{4x}{\pi\alpha^2} \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{x^2}{\pi\alpha^4} \sqrt{4\alpha^2-x^2} + \frac{C(x)}{\alpha^4}$$

と求まる。

初期条件について検討しよう。 $x = 2\alpha$ のとき、すなわちリング上から正反対の一点への移動は、確率密度関数の特性上厳密に $f(x, \alpha) = 0$ である。よって $\alpha = \frac{x}{2}$ のときに $f(x, \alpha) = 0$ が成り立つ。したがって、

$$\begin{aligned}
 f\left(x, \frac{x}{2}\right) &= \frac{4x}{\pi\left(\frac{x}{2}\right)^2} \arccos \frac{x}{2\left(\frac{x}{2}\right)} - \frac{x^2}{\pi\left(\frac{x}{2}\right)^4} \sqrt{4\left(\frac{x}{2}\right)^2-x^2} + \frac{C(x)}{\left(\frac{x}{2}\right)^4} = 0 \\
 &= \frac{1}{\pi x} \arccos 1 - \frac{16}{\pi x^2} \sqrt{x^2-x^2} + \frac{16C(x)}{x^4} = 0 \\
 &= \frac{16C(x)}{x^4} = 0
 \end{aligned}$$

である。よって $C(x) = 0$ である。また、 α は変化しないので関数の変数から削除し、 $f(x)$ とする。これで「半径 α の円盤上で一様に分布する2点間の直線距離の確率密度関数」が以下のように得られる。

$$f(x) = \frac{4x}{\pi\alpha^2} \arccos \frac{x}{2\alpha} - \frac{x^2}{\pi\alpha^4} \sqrt{4\alpha^2-x^2} \quad (0 \leq x \leq 2\alpha)$$

本研究では都市を直径2の円盤としているので半径 $\alpha = 1$ を代入する。

$$f_X(x) = \frac{4x}{\pi} \arccos \frac{x}{2} - \frac{x^2}{\pi} \sqrt{4-x^2} \quad (0 \leq x \leq 2)$$

これから確率密度関数 $f_X(x)$ が求まる。この関数を図7に示す。

この確率密度関数 $f_X(x)$ の平均を計算する。 $f_X(x)$ と x の積を $[0, 2]$ の範囲で積分すると、

$$\begin{aligned}
 E(x) &= \int_0^2 x \left(\frac{4x}{\pi} \arccos \frac{x}{2} - \frac{x^2}{\pi} \sqrt{4-x^2} \right) dx \\
 &= \int_0^2 \frac{4x^2}{\pi} \arccos \frac{x}{2} dx - \int_0^2 \frac{x^3}{\pi} \sqrt{4-x^2} dx
 \end{aligned}$$

第一項の積分を I_1 、第二項の積分を I_2 とおく。

$$\begin{aligned}
 E(x) &= \int_0^2 \frac{4x^2}{\pi} \arccos \frac{x}{2} dx - \int_0^2 \frac{x^3}{\pi} \sqrt{4-x^2} dx \\
 &= I_1 - I_2
 \end{aligned}$$

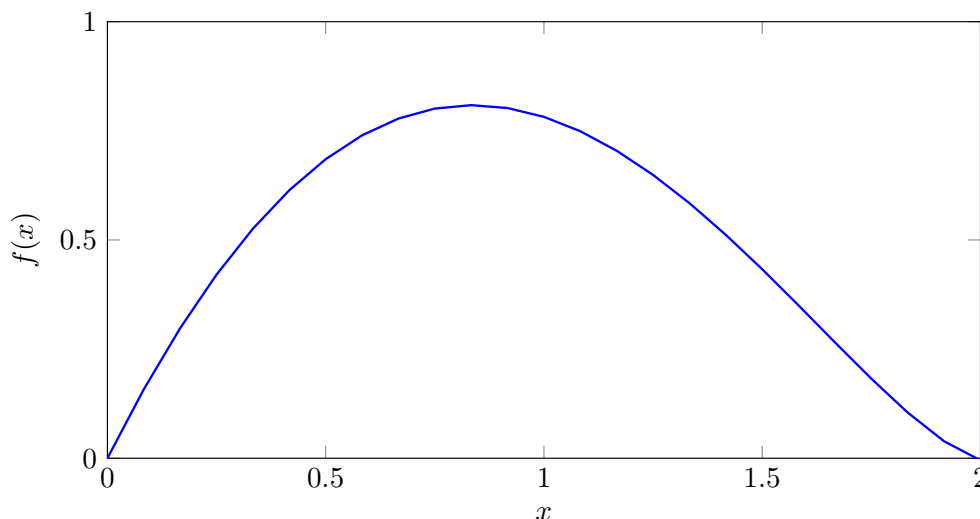


図7 円盤内の直線距離の確率密度関数

ここで I_1 は

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^2 \frac{4x^2}{\pi} \arccos \frac{x}{2} dx \\ &= \frac{4}{\pi} \int_0^2 \left(\frac{1}{3}x^3\right)' \arccos \frac{x}{2} dx \\ &= \frac{4}{\pi} \left[\frac{1}{3}x^3 \arccos \frac{x}{2} \right]_0^2 \\ &\quad - \frac{4}{\pi} \int_0^2 \frac{1}{3}x^3 \left(-\frac{1}{\sqrt{1-\frac{x^2}{4}}}\right) \frac{1}{2} dx \\ &= \frac{4}{3\pi} (8 \cdot \arccos 1 - 0 \cdot \arccos 0) \\ &\quad + \frac{4}{3\pi} \int_0^2 x^3 \frac{1}{\sqrt{4-x^2}} dx \\ &= \frac{4}{3\pi} \int_0^2 x^3 \frac{1}{\sqrt{4-x^2}} dx \end{aligned}$$

である。変数変換 $x = 2 \sin \theta$ とおく。 x の微分は $dx = 2 \cos \theta d\theta$ である。積分範囲を以下に与える。

$$\begin{array}{l|l} x & 0 \rightarrow 2 \\ \theta & 0 \rightarrow \frac{\pi}{2} \end{array}$$

よって、

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{4}{3\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 8 \sin^3 \theta \frac{1}{\sqrt{4-4\sin^2 \theta}} 2 \cos \theta d\theta \\ &= \frac{32}{3\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^3 \theta d\theta \\ &= \frac{32}{3\pi} \cdot \frac{2}{3} = \frac{64}{9\pi} \end{aligned}$$

となる。

I_2 を計算しよう。

$$I_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^2 x^3 \sqrt{4-x^2} dx$$

I_1 の計算と同様に $x = 2 \sin \theta$ と変換する。すると、

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 8 \sin^3 \theta \cdot \sqrt{4-4\sin^2 \theta} \cdot 2 \cos \theta d\theta \\ &= \frac{32}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^3 \theta \cdot \cos^2 \theta d\theta \\ &= \frac{32}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta (1 - \cos^2 \theta) \cdot \cos^2 \theta d\theta \\ &= \frac{32}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta (\cos^2 \theta - \cos^4 \theta) d\theta \end{aligned}$$

となる。変数変換 $u = \cos \theta$ とおく。このとき u に対する微分は $du = -\sin \theta d\theta$ となる。積分範囲は以下の通り。

$$\begin{array}{l|l} \theta & 0 \rightarrow \frac{\pi}{2} \\ u & 1 \rightarrow 0 \end{array}$$

よって、

$$\begin{aligned} I_2 &= -\frac{32}{\pi} \int_1^0 (u^2 - u^4) du = \frac{32}{\pi} \int_0^1 (u^2 - u^4) du \\ &= \frac{32}{\pi} \left[\frac{1}{3}u^3 - \frac{1}{5}u^5 \right]_0^1 = \frac{32}{\pi} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) = \frac{32}{\pi} \cdot \frac{2}{15} = \frac{64}{15\pi} \end{aligned}$$

以上より、

$$E(x) = \frac{64}{9\pi} - \frac{64}{15\pi} = \frac{64 \cdot 5 - 64 \cdot 3}{45\pi} = \frac{128}{45\pi} \cong 0.905409$$

が確率密度関数 $f_X(x)$ の平均である。

3.2 確率変数 $g_i(x)$ の導出

3.2.1 乗客数1の場合 ($g_1(x)$)

確率変数 $g_1(x)$ は、2点の距離 x が決まった上で乗客数1の場合に遠回りする移動距離全体の平均である。ただし乗客が1組の場合はタクシーは遠回りしないので、移動距離は x のままである。したがって確率変数は

$$g_1(x) = x$$

となる。

3.2.2 乗客数2の場合 ($g_2(x)$)

乗客数2の場合の移動例を図8に示す。乗客1が s_1 から距離 x 離れた d_1 へ向かう。その途中 s_2 で乗客2が現れ、 d_2 へ寄り道するので、 $g_2(x) = ax + bx + cx$ となる。

乗客1の起点と終点を通り d_1 (終点1)を原点とする t 軸をとる。

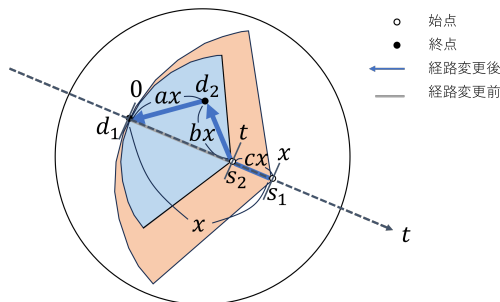


図8 乗客数2の移動例

c を求めよう。タクシーを利用する可能性のある乗客候補の起終点のみを考え、乗せる可能性のない乗客候補の起終点は考慮しない。乗客候補の起終点は t 軸上に一様分布するので、 d_1 と s_2 の距離 t の確率密度関数は、

$$f_s(t) = \frac{1}{x} \quad (7)$$

である。乗客候補の終点は、 s_1 から d_1 までを半径とする、 s_1 中心で d_1 が弧の中心点となる扇型(図8の

オレンジ色で示された扇型)の中で一様分布する。その内側の、 s_2 から d_1 までを半径とする、 s_2 中心で d_1 が弧の中心点となる扇型(図8の青で示された扇型)の内部に終点があればこれらの起終点ペアは採用される。したがって青い扇型の面積をオレンジ色の扇型の面積で割った、

$$f_d(t) = \frac{\frac{2}{3}\pi t^2}{\frac{2}{3}\pi x^2} = \frac{t^2}{x^2} \quad (8)$$

が起点が t に発生したもとの乗客2が採用される条件付き確率である。

実際に乗せる乗客の位置 t の確率密度関数を求める。式(7)と式(8)を掛けて、

$$f(t) = f_s(t)f_d(t) = \frac{t^2}{x^3} \quad (9)$$

とする。これを

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 1 \quad (10)$$

が成り立つように規格化する。式(9)を式(10)に代入すると、

$$f(t) = \int_0^x \frac{t^2}{x^3} dt = \left[\frac{t^3}{3x^3} \right]_0^x = \frac{1}{3} \quad (11)$$

となる。式(11)より、 $f(t)$ に3を掛ければ式(10)が成り立つことから、 $f(t)$ を改めて

$$f(t) = \frac{3}{x^3} t^2$$

とする。 t の期待値は

$$t = \int_0^x t \cdot \frac{3}{x^3} t^2 dt = \int_0^x \frac{3}{x^3} t^3 dt = \left[\frac{3}{4x^3} t^4 \right]_0^x = \frac{3}{4} x$$

である。 $cx = x - t$ より、 c が次のように求まる。

$$c = \frac{1}{4} \quad (12)$$

次に b を求める。 s_2 から d_1 までの長さが $\frac{3}{4}x$ であることから、 bx を半径 $v (= \frac{3}{4}x)$ とする円内の各点から原点への距離の期待値とみなす。これは扇型から円に変換しても、原点と各点の距離の期待値は変化しないことによる。確率変数は $\sqrt{y^2 + z^2}$ で確率密度関数は $\frac{1}{\pi v^2}$ で積分範囲は $D = \{x^2 + y^2 \leq v^2\}$ な

ので、

$$bx = \int \int_D \sqrt{y^2 + z^2} \frac{1}{\pi v^2} dydz$$

となる。 $y = r \cos \theta, z = r \sin \theta$ とおくと、ヤコビアンは r であり、積分範囲は $E = \{0 \leq r \leq v, 0 \leq \theta \leq 2\pi\}$ に移る。すると、

$$\begin{aligned} bx &= \frac{1}{\pi v^2} \int_0^{2\pi} \int_0^v r^2 dr d\theta \\ &= \frac{1}{\pi v^2} [\theta]_0^{2\pi} \left[\frac{1}{3} r^3 \right]_0^v \\ &= \frac{2}{3} v \\ &= \frac{1}{2} x \quad (\because v = \frac{3}{4}) \end{aligned}$$

となる。よって、

$$b = \frac{1}{2} \quad (13)$$

が得られる。

最後に a は*2、

$$a = -\frac{33\sqrt{3}}{8\pi} + \frac{9\sqrt{3} \log 3}{32\pi} + \frac{8}{\pi} \quad (14)$$

である。

以上の式(12)、式(13)、式(14)より、 $g_2(x)$ が求まる。

$$g_2(x) = (a + b + c)x = kx \cong 1.19259x$$

3.2.3 乗客数3の場合 ($g_3(x)$)

乗客数3の場合は、起点3が下図の $[d1, d2]$ 間で現れるか $[d2, s2]$ 間で現れるかの2つに場合分けをして、それぞれの確率を求める*3。

図9から、乗客3の移動可能な範囲である扇型は、乗客2のときの形がそのまま入れ子構造になっていることがわかる。これは、乗合タクシーが既に乗車している客よりも近い位置を目的地として、かつ追加の乗客は前の乗客が発生した区間で乗せると仮定したためである。前節で導出した結果を活用して、乗客が現れた区間の距離を k 倍とすることで $g_3(x)$ も導出することが可能である。以上から $[d1, d2]$ 間で現れる確率と $[d2, s2]$ 間で現れる確率

をそれぞれ求めればよい。 $[d1, d2]$ 間か $[d2, s2]$ 間どちらかでは条件に適合する乗客が現れる前提を考慮すると、

- 事象A: $[d1, d2]$ 間で条件にマッチする乗客3が乗ってくる事象
- 事象B: $[d2, s2]$ 間で条件にマッチする乗客3が乗ってくる事象
- 事象C: $[d1, d2]$ 間か $[d2, s2]$ 間どちらかで条件にマッチする乗客3が乗ってくる事象

とする。

まずは $P(A|C)$ ($[d1, d2]$ 間か $[d2, s2]$ 間どちらかで現れるという上で $[d1, d2]$ 間で乗客が現れる確率) から求める。ベイズの定理より、

$$P(A|C) = \frac{P(C|A)P(A)}{P(C)} \quad (15)$$

である。 $P(C|A), P(A), P(C)$ をそれぞれ求めると、道幅を仮に dz として、

$$\begin{aligned} P(C|A) &= 1 \\ P(A) &= \frac{a^3 dz}{9\pi} \\ P(C) &= \frac{(a^3 + b^3) dz}{9\pi} \end{aligned}$$

となる。これらを式(15)に代入して、

$$P(A|C) = \frac{a^3}{a^3 + b^3} \quad (16)$$

が得られる。同様の操作を行えば $P(B|C)$ も得られ、

$$P(B|C) = \frac{b^3}{a^3 + b^3} \quad (17)$$

これらの割合は乗客数4以降でも同様に用いる。

式(16)と式(17)、 $g_2(x)$ の結果(乗客が現れる区間で k 倍になること)を利用すると確率変数は以下のような式(18)となる。

$$\begin{aligned} g_3(x) &= \left(\frac{a^3(ka + b)}{a^3 + b^3} + \frac{b^3(a + kb)}{a^3 + b^3} + c \right) x \\ &\cong 1.28437x \end{aligned} \quad (18)$$

3.2.4 乗客数4の場合 ($g_4(x)$)

乗客が4組の場合は3組のときと同様の考え方より、起点4の発生位置で4つに場合分けを行えば確

*2 この導出については、より詳細には文献[7]を参照されたい。

*3 $[s1, s2]$ 間で現れたらそれはもはや乗客2である。

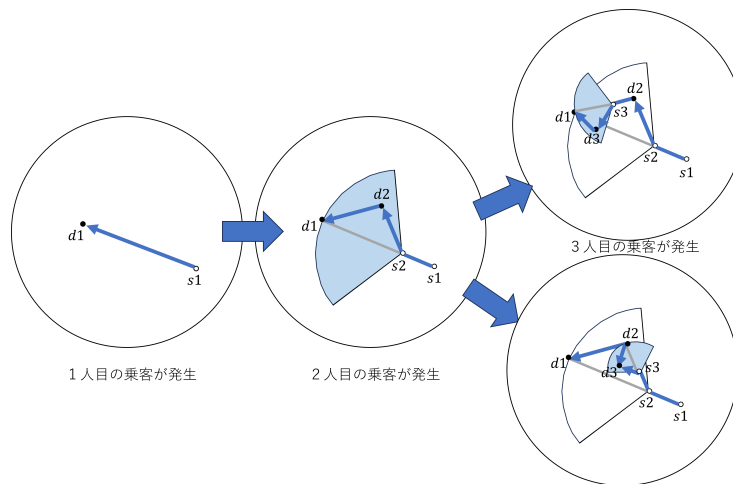


図9 乗客数3の移動例

率変数は以下のような式(19)となる。

$$\begin{aligned}
 g_4(x) = & \left(\frac{a^3}{a^3 + b^3} \left(\frac{a^3}{a^3 + b^3} (ka + b + c)a \right. \right. \\
 & + \frac{b^3}{a^3 + b^3} (a + kb + c)a + b) \\
 & + \frac{b^3}{a^3 + b^3} \left(a + \frac{a^3}{a^3 + b^3} (ka + b + c)b \right) \quad (19) \\
 & + \frac{b^3}{a^3 + b^3} (a + kb + c)b \\
 & + c)x \cong 1.32809x
 \end{aligned}$$

3.2.5 乗客数*i*の場合 ($g_i(x)$)

以上を一般化して $g_i(x)$ を求めたい。 $g_1(x)$ から $g_2(x)$ の増加量 Δg_1 、 $g_2(x)$ から $g_3(x)$ の増加量 Δg_2 のように増加量を表現する。すなわち、

$$\begin{aligned}
 \Delta g_1 &= (k - 1)x \\
 \Delta g_2 &= (P(A|C)(k - 1)a + P(B|C)(k - 1)b)x \\
 \Delta g_3 &= (P(A|C)^2(k - 1)a^2 + \\
 & 2P(A|C)P(B|C)(k - 1)ab + \\
 & P(B|C)^2(k - 1)b^2)x
 \end{aligned}$$

となる。これを一般化すると、

$$\Delta g_i = (k - 1)(P(A|C)a + P(B|C)b)^{i-1}x$$

である。よって、 $g_i(x)$ は Δg_i を用いて、漸化式

$$g_i = g_{i-1} + \Delta g_{i-1}$$

で表現できる。これは、 $q = (k - 1)x \cong 1.08$, $r =$

$P(A|C)a + P(B|C)b \cong 0.31$ として、

$$g_i = g_1 + \frac{q}{1 - r} - \frac{qr^{i-1}}{1 - r}$$

と求められる*4。この式から、 $i \rightarrow \infty$ とすれば、

$$g_\infty = g_1 + \frac{q}{1 - r} \cong 1.406350x$$

が求められる。

3.3 乗客数ごとの平均移動距離 x_i と平均移動距離 X の算出

乗客数ごとの平均移動距離は $g(x)$ と $f_X(x)$ を(1)式に代入して求める。計算結果は表2となる。

乗客数が*i*人ちょうどとなる確率 P_i を適切に重み付けして平均移動距離 X を計算する。乗客はポアソン分布で発生すると仮定する。すなわち、 $P_i = \frac{e^{-\lambda} \lambda^{i-1}}{(i-1)!}$ である。ただし乗客が1人以上の場合を前提にしているので、乗客の平均発生数を μ として、追加で発生する乗客数の平均を $\lambda = \mu - 1$ とする*6。テンソウが最大12人乗りであることも踏まえて、 $\mu = 1, \dots, 8$ としたときの X の計算結果を表3に示す。

*4 $a_i = pa_{i-1} + qr^{i-1}$ 型の漸化式だと見なして計算している

*5 ちなみに、 $x_1 = \frac{128}{45\pi}$ である。

*6 λ は追加の乗客数の平均を表す。

表2 乗客数ごとの平均移動距離 x_i

乗客数 i	平均移動距離 x_i	x_1 との比率 g_i/x
1	0.905415 ^{*5}	1.000000
2	1.079797	1.192600
3	1.162591	1.284042
4	1.201900	1.327458
5	1.220563	1.348071
6	1.229424	1.357857
7	1.233631	1.362504
8	1.235629	1.364710
9	1.236577	1.365757
10	1.237027	1.366255
11	1.237241	1.366491
12	1.237343	1.366603
∞	1.237434	1.366704

表3 平均移動距離 X

乗客の平均発生数 μ	平均移動距離 X	$\mu = 1$ のときとの比率
1	0.905415	1.000000
1.5	0.982097	1.084693
2	1.041069	1.149826
2.5	1.086421	1.199915
3	1.121299	1.238436
3.5	1.148121	1.268061
4	1.168749	1.290843
5	1.196812	1.321838
6	1.213409	1.340169
8	1.229031	1.357423

4 まとめ

本研究では先行研究を踏襲した上で乗合タクシーの平均移動距離の数理モデル化と計算を行った。乗客数ごとの平均移動距離と一般的な平均移動距離を求めた。乗客数ごとの平均移動距離 x_i は乗客数が無限に増えたとしても $x_\infty = 1.273283$ であり、乗客数1と比べて約1.406350程度に収まる。移動距離はさほど増えないということが分かった。ただしこれはあくまで「乗合タクシーは既に乗車している客よりも近い位置を目的地とする追加の客を乗せてLIFOで移動し、かつ追加の乗客は前の乗客が発生した区間で発生する」という強力な仮定を用いた上での結果である。この仮定が緩和した場合のモデル化は今後の課題である。

本研究では x と p を完全に独立なものとして扱った。実際には独立ではなく相互に複雑に影響しあうことが予想される。乗客が沢山現れるような都市であれば、行き先がマッチする客の現れる位置が今より近い位置になることは十分想定される。

最後に、クロフトンの微分方程式という手法についてだ。一般的に、固定点から任意の点への平均距離を計算するのは容易だが、任意の点から任意の点への平均距離の計算は困難である場合が多い。しかしクロフトンの微分方程式という手法を用いればそういった問題でも確率密度関数を求める事が可能である。そこから平均を求められるのが本手法の有用な点である。

参考文献

- [1] Fairthorne, D.(1964): The distance between random points in two concentric circles, *Biometrika*,51,pp.275-277.
- [2] Fairthorne, D.(1965): The distance between pairs of points in towns of simple geometrical shapes, Proceedings of the 2nd International Symposium on the Theory of Road Traffic Flow, OECD, pp.391-406.
- [3] Kendall,M.G. and P.A.P. Moran(1963): *Geometrical Probability*, Charles Griffin and Company Limited.
- [4] Prudnikov,A.P., Brychkov,Yu.A and O.I. Marichev (1986): *Integrals and Series, More Special Functions*, Gordon and Breach Science Publishers.
- [5] Vaughan,R.(1987):*Urban Spatial Traffic Patterns*, Pion.
- [6] Yuichi Kozakai ,Yoichi Shimakawa and Hiroyuki Goto(2024), Mathematical model to determine average travel distance of shared taxi, Proceedings of the 5th Asia Pacific Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Tokyo, Japan,,DOI: 10.46254/AP05.20240034
- [7] 堀龍一,小林隆史,高原勇,大澤義昭,“扇形内・扇形間における直線移動の距離とその応用”,日本都市計画学会都市計画論文集,Vol52,No3,1335,(2017)

課題研究費実績報告書

令和8年2月26日現在

研究課題名：International Technical Education Development:
The Case of East Timor and the Philippines

研究代表者：マルケス・ルイス

研究分野：Comprehensive Field

研究の分科・細目：International Technical Education

キーワード：(A) Teaching method, (B) Technical Education, (C) Interests and development

1. 研究計画の概要

Promoting technical education in developing countries such as East Timor and the Philippines presents significant challenges, including limited learning incentives. To address these issues, a new blended learning education system has been implemented to train international professionals, utilizing student teaching assistants from the Salesian College of Technology at two technical schools in East Timor and three schools in the Philippines. The primary objective of this program is to establish a collaborative educational system between technical schools. Additionally, the project aims to expand this system to other preparatory education programs for students intending to study in Japan as part of a short-term technical international education initiative. This study is presented as a practical case study of a technical college in the Central Council for Education report, “Various Functions of Technical Education and Differentiation of Technical Education Institutions by Function,” which seeks to foster a broad range of well-prepared professionals from these countries who may, in the future, work in countries such as Japan to address shortages of technical workers.

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

For this purpose, A group of five students from Salesio participated in a 14-day international exchange program in the Philippines and East Timor. The program comprised manufacturing training, instructor-led

lectures, and administration of a survey questionnaire to participants. An assembly kit was utilized during the robot manufacturing training component of the exchange and research trip.



3. 代表的な研究成果

As a research result, in collaboration with supporting students from Salesio, a questionnaire survey was conducted across multiple fields as part of the research activities. The research project encompassed areas such as language use, craftwork, gender, programming, and interest in the international education program. The survey was administered to participants, and the resulting data enabled students to develop research and prepare short papers for presentation at academic conferences, including the JSEE conference in Kyoto. Subsequently, data collected from the international technical education research project will be compiled, and the survey results will be disseminated through articles intended for publication.

〔雑誌論文〕（計5件）

[1] 林 由和, 神戸 政則, マルケス ルイス. “国際交流企画に参加した東ティモール人学生と日本人学生とのモノづくり教室のアンケート結果の比較調査” 第73回年次大会・工業教育研究講演会 京都大学桂キャンパス(2025/8/27-29).

[2] 眞部直人, マルケス ルイス. : フィリピン人学生とサレジオ工業高等専門学校生の情報教育の内容の比較に関する調査 第73回年次大会・工業教育研究講演会 京都大学桂キャンパス (2025/8/27-29).

[3] 松木昂, 片山央士, マルケス ルイス. “日本との国際技術教育交流に対する東ティモール学生の関心度” 日本工学教育協会, 第71回年次大会・工学教育研究講演会, 広島大学東広島キャンパス (2023/9/6-8).

[4] 片山央士, 松木昂, マルケス ルイス. “東ティモールとの国際技術教育交流に参加する日本人学生の動機と興味” 日本工学教育協会, 第71回年次大会・工学教育研究講演会, 広島大学東広島キャンパス (2023/9/6-8).

[5] 神戸政則, マルケス ルイス, 伊藤光雅. “海外学生への理科教室を通じた教育効果の成果報告” 日本工学教育協会, 第71回年次大会・工学教育研究講演会, 広島大学東広島キャンパス (2023/9/6-8).

〔学会発表〕（計5件）

[1] 松木昂, マルケス ルイス. “日本での国際技術教育プログラムに関する東ティモール人学生の関心度の調査と昨年度との推移” 第16回大学コンソーシアム八王子学生発表会 (2024/12/7-8)

[2] 片山央士, マルケス ルイス. “国際技術教育プログラムに参加した日本人学生の参加歴や学年の違いによる興味・関心・意欲の推移に関する調査” 第16回大学コンソーシアム八王子学生発表会 (2024/12/7-8)

[3] 眞部直人, マルケス ルイス. “国際技術教育プログラムに参加したフィリピン人学生の情報教育の環境と内容に関する調査” 第16回大学コンソーシアム八王子学生発表会 (2024/12/7-8)

[4] 神戸政則, マルケス ルイス. “サレジオ高専の国際技術教育プログラムに参加する海外学生の男女別調査” 第16回大学コンソーシアム八王子学生発表会 (2024/12/7-8)

[5] 遠藤優斗, マルケス ルイス. “国際技術教育プログラムに参加した東ティモール人学生の技術教育力と日本人学生とのコミュニケーションに関する調査” 第16回大学コンソーシアム八王子学生発表会 (2024/12/7-8)

注および参考文献

[1] Marques, Luis. (2021). “The Role of Technical Education in the Process of State-building: The Case of Post-conflict State of Timor-Leste”. Graduate School of Social Sciences, Waseda University, Doctor of Philosophy in Social Science. Ph.D. Thesis.

[2] Yamada Mitsuru, Abe Kazumi. (2025). Peacebuilding in Southeast Asia – Dilemmas, Challenges and Implementation. Chapter 14- Luis A. Marques. “Motivation Factors and Interest on the Part of Timorese and Japanese Students in International Technical Education Exchange Project”, pp. 253-284, Springer

研究課題名：発光分光分析を用いたガス密度診断法の検討と深振動マグネトロンスパッタリングのガス希薄化現象の解明
研究代表者：横山 英佐

小区分：プラズマ科学関連

キーワード：マグネトロンスパッタリング、発光分光分析、ガス希薄化現象

1. 研究計画の概要

スパッタリング成膜技術は、基板上に薄膜を形成する物理気相成長法の一つである。高エネルギー粒子が堆積するため膜の密着性と緻密性が良い、合金や化合物の成膜が可能といった特徴から半導体製造、光学デバイスなどの分野で広く用いられている。近年のスパッタリング技術は高電力を瞬間的に投入して、より高エネルギーの粒子を生成する方法が高品質な成膜法として主流となっている。一方で、大電力を瞬間的に投入することでターゲットが加熱され、ターゲット周囲のガスの膨張を生じるガス希薄化現象が確認され、ガス密度が10分の1程度まで減少することが報告されている。ガス密度の低下に伴ってスパッタリング効率が減少し、また生成粒子のエネルギーも変化することで成膜への悪影響が懸念される。

本研究では深振動マグネトロンスパッタリング (DOMS) プラズマに対する発光分光分析を行い、プラズマの形成遅れ時間を基にガス密度分布を明らかにすることを目的とする。その際、ガス圧力条件・投入電力パルス条件・投入電圧条件等の種々の条件が生成プラズマに影響を与える。これら条件を変化させた場合に本手法によるガス密度診断が適用できるかどうかを検討する。

また、ガス希薄化と再充填の挙動を詳しく調査するために電力パルスの投入間隔を変化させることで希薄化と再充填の時間的解析を行う。

切削工具の硬質コーティングとして、一般的に窒素を用いた反応性 HPPMS による金属窒化物コーティングが行われる。母材となる金属は

Ti>Cr>Mo といった順で多用されるため、Tiを成膜材料とする。スパッタガスには Ar を使い、真空チャンバー中でTiターゲットに対して電力を投入し、スパッタリングを行う。プラズマの発光を光ファイバによって分光器へと導き、特定波長に

対する発光強度を光電子増倍管を用いて検出した。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究における課題研究の進捗状況及び達成度は以下の通りである。

① プラズマ形成遅れ時間のガス圧力特性評価

図1に示すように、電圧の印加から放電によって電流が流れるまでには時間差が生じる。このときの電圧のピーク値から電流ピーク値までの時間差を形成遅れ時間とし、ガス圧力に対する形成遅れ時間を評価した。ガス圧力と形成遅れ時間の間には一定の相関が存在することが明らかとなった。この相関はパッシェンの法則によって評価が可能であり、形成遅れ時間からその場ガス圧力の推定が可能であることを示した。また、DOMSの連続パルスにおいては先行パルスの残留粒子の影響で後続パルスの放電特性が変化することも確認された。

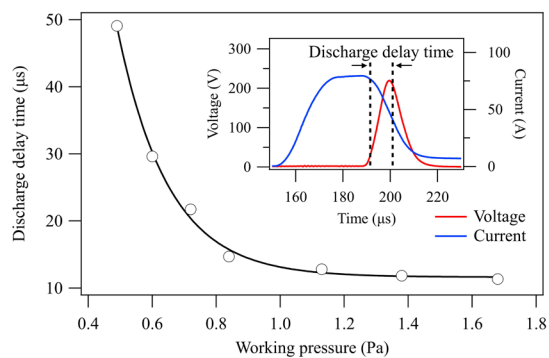


図1 パルスのガス圧力 - 形成遅れ時間特性

② 発光遅延時間のガス圧力特性評価

形成遅れ時間はプラズマ全体での印加電圧と放電電流の相関を表すため、プラズマ内の特定の場所でのガス圧力診断には利用できない。そこで、発光分光分析を用いてプラズマのその場発光を解析することで局所的なガス圧力診断の可能性を検討した。電圧ピーク値から発光ピーク値までの時

間を発光遅延時間と定義して解析を行った。

図2はパルス Off 時間を変化させた場合のガス圧力 - 遅延時間特性を示す。パルス Off 時間によって遅延時間が最小になるガス圧力が異なることがわかり、これは先行パルスによって生じた残留粒子に起因し、Off 時間が短いほど残留粒子の影響で放電が起こりやすくなるため遅延時間が減少すると考えられる。発光遅延時間もまたガス圧力との一定の相関を有しており、遅延時間をもとにガス密度診断が可能であることを明らかにした。

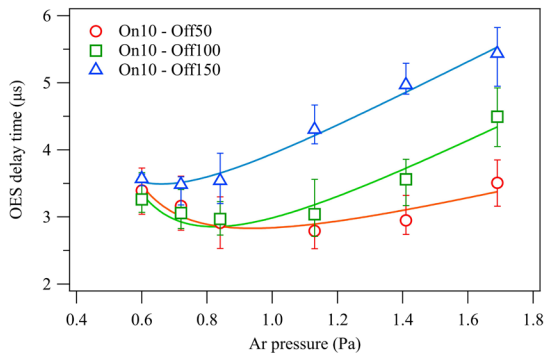


図2 発光遅延時間のガス圧力特性

図2のように発光遅延時間はガス圧力とパッシェンの法則に基づく相関を有する。遅延時間が最小となるガス圧力が存在し、それより低圧力側では反比例的に遅延時間が増大し、より高圧力側では直線的に遅延時間が増加する傾向を有する。この特性により、ある遅延時間に対して解となるガス圧力の値が2つ存在することになり、現在は周囲の環境をもとに取りうるガス圧力値を手動で選択している。また最小値付近ではガス圧力に対する遅延時間変化が緩やかになり、診断の誤差が大きくなる。加えて、パルス Off 時間ごとに曲線が異なるため、条件ごとに解析パラメータを調整する必要がある。

これらの問題の解決が今後の課題である。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕 (計6件)

1. 横山 英佐、中川 悠幹、小林 宏輝、西宮 信夫、實方 真臣、戸名 正英、山本 宏晃、塚本 恵三、富宅 喜代一、大下 慶次郎、美齊津 文典、深振動マグネトロンスパッタリングにおける発光分光分析を用いた生成Ti粒子のイオン化率の解析、第86回応用物理学会秋季学術講演会、9p-P09-11

2. 小林 宏輝、中川 悠幹、横山 英佐、西宮

信夫、實方 真臣、戸名 正英、山本 宏晃、塚本 恵三、富宅 喜代一、大下 慶次郎、美齊津 文典、深振動マグネトロンスパッタリングの成膜領域における飛行時間質量分析法を用いたエネルギー分解時間発展計測、第86回応用物理学会秋季学術講演会、9p-P09-12

3. 中川 悠幹、小林 宏輝、横山 英佐、西宮 信夫、實方 真臣、戸名 正英、山本 宏晃、塚本 恵三、富宅 喜代一、大下 慶次郎、美齊津 文典、深振動マグネトロンスパッタリングで生成する中性Ti粒子のレーザー誘起蛍光を用いた成膜領域におけるエネルギー分布解析、第86回応用物理学会秋季学術講演会、10a-N323-10

4. 横山 英佐、中川 悠幹、小林 宏輝、實方 真臣、戸名 正英、山本 宏晃、塚本 恵三、富宅 喜代一、大下 慶次郎、美齊津 文典、プラズマ発光分光分析によるマルチパルススパッタリングにおける生成スパッタ粒子のイオン化率特性の解析、第73回応用物理学会春季学術講演会、17p-PB3-12

5. 中川 悠幹、沢 哲斗、小林 宏輝、横山 英佐、實方 真臣、戸名 正英、山本 宏晃、塚本 恵三、富宅 喜代一、大下 慶次郎、美齊津 文典、高出力パルスマグネトロンスパッタリングで生成する中性Ti粒子のレーザー誘起蛍光を用いた成膜領域における時間発展計測、第73回応用物理学会春季学術講演会、17p-PB3-13

6. 小林 宏輝、上村 波音、宮田 雅人、中川 悠幹、横山 英佐、實方 真臣、戸名 正英、山本 宏晃、塚本 恵三、富宅 喜代一、大下 慶次郎、美齊津 文典、高出力パルスマグネトロンスパッタリングの成膜領域における飛行時間質量分析法を用いたエネルギー分解時間発展計測、第73回応用物理学会春季学術講演会、

18p-M_103-5

課題研究費実績報告書

令和8年3月31日現在

研究課題名：ユニット交換可能なブイと小型カメラによる瀬戸内海沿岸域における潮目の観測

研究代表者：吉田 将司

小区分：水圏生産科学関連

1. 研究計画の概要

沿岸浅海域を有する山口県の周防大島は、アマモの養殖やニホンアワサンゴの群生地として知られている。海中の生物の生態観察には多点・多層・実時間で観測する必要があるが、実現するには多数の観測機器が必要である。これら観測機器は必要精度に応じて水温・塩濃度・流向・流速それぞれの観測に専用の機器を必要とするため、沿岸域の水塊構造の季節・時間・場所的な発生・変動特性は定量化や予測が困難となっている。

本研究は、まず観測対象に応じてユニット交換が可能なセンサノードを有する複数のブイと基地局をLPWA規格であるLoRaで結び、基地局からWi-Fiを通じてクラウドサーバにデータを集約、Web上において実時間で遠隔観測可能な沿岸情報センサネットワークを構築する。具体的には周防大島浅海域の2か所以上の定点に観測ノードを設置、水温・塩濃度の鉛直分布の観測実験と撮影データによる潮目検出実験を実施する。ポータルサイトでは別プログラムで生成された強調画像データと海上観測データを定期的に更新し、利用者に提供する。

次に、このシステムを利用してアマモやニホンアワサンゴ生息域の水深別海水温及び塩濃度を観測、季節変動を調査する。また小型カメラと連動して動画強調法による潮目検出を行う。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究における進捗状況及び達成度は以下の通りである。

① 観測ブイのユニット化

研究開始当初、昨年度製作した観測ノードをベースにLoRaを使用する予定であったが、ノード-基地局間通信の安定性を考慮した結果、LPWAからLTEに変更することとした。LTEモジュールを実装した結果、基地局での中継が不要となった。また、マイコン、各センサなどの部品が固定化で

きた。そのため、派生型として海中観測用のカメラノードも製作し、9月に海中撮影試験、2月と3月に実地観測実験を実施することができた。図1に観測ノード、図2は観測ブイの概観を示す。

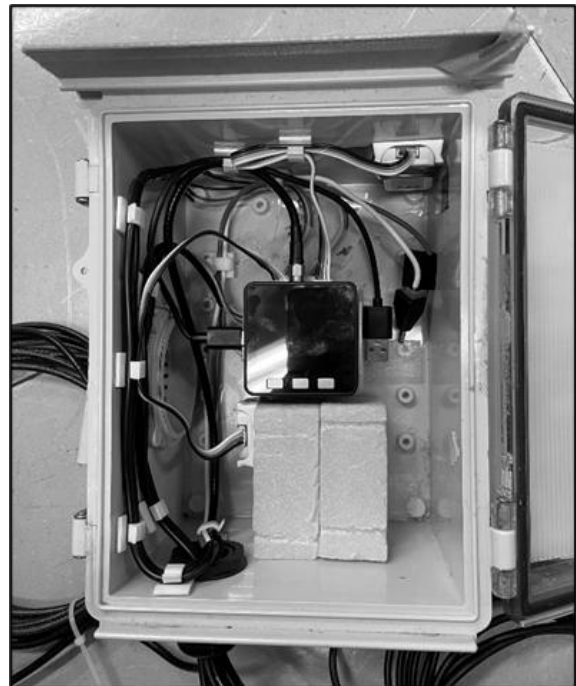


図1 観測ノードのケース内

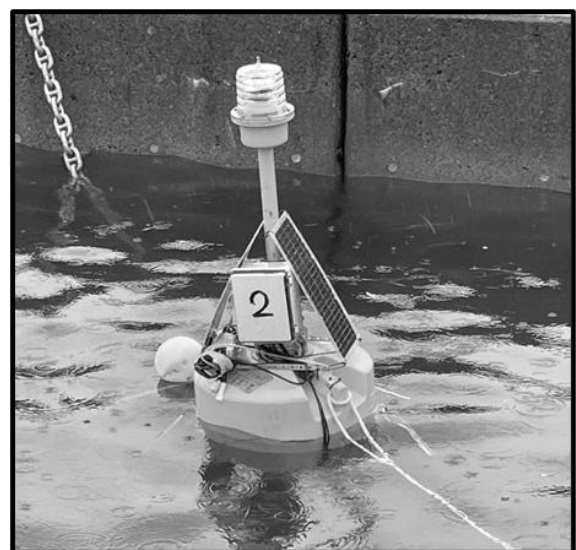


図2 観測ブイの概観

修理の場合もほとんどが部品の交換だけで済んだことから、ユニット化についてはほぼ達成できたと考えられる。ただし水温センサの取り付けとプログラムと耐候性に課題が残った。

② 観測システムの構築と観測実験の実施

前述のように、LoRa からLTEに変更したため、基地局でのデータ送信は昨年度のノードと基地局で撮影した画像のみとなった。観測ノード、基地局（カメラ）で取得したデータをレンタルサーバ内に格納し、Google drive 内のスプレッドシートやWebサイトで閲覧できるようになった。図3に基地局で撮影した画像、図4に9月の実験で取得した海中カメラ画像を示す。11月には沖合を含めて最大3か所からの観測に成功したことから、達成度としては80%程度といえる。

水温センサの値が時折異常値を出力することや、LTE通信に使用したプリペイドSIMの期限、データ容量などの制約条件により観測データ取得が中断することがあり、今後の課題となった。

現在取得したデータと他の研究で得られたデータを利用し、潮目検出と潮流解析を実施中である。

③ ポータルサイトの構築と運用

取得したデータの確認方法として、今年度新たに最新50件のデータをWeb上で確認できるようにした。図5にWebサイトでの表示例を示す。また共同研究先の宇部高専長峯研究室の学生が取得画像と画像処理後の潮目検出確認サイト、取得データを活用した霧判定サイトなどを立ち上げた。そのため達成度としては60%程度といえる。これらデータや判定などを一元化して表示できるポータルサイトの構築が今後の課題である。



図3 基地局での撮影画像の例



図4 カメラノードで撮影した海中画像

サーバ 一連番号 時刻	id	デバイス種 別 LORA	status	電圧	電流	温度	湿度	方位	水深1	水深2	水深
2025-10-06 17:30:42	node2	2025/10/06 17:30:04	06.00dbm	-3.00dB	33.9395207	132.1882007	27.9870 C	64.34 %	1013.83 9Pa	25.4375 C	25.6250 C
2025-10-06 17:30:38	node1	2025/10/06 17:30:08	06.00dbm	-3.00dB	33.9393307	132.1882007	26.8770 C	67.71 %	1013.62 9Pa	25.5625 C	25.5625 25.51
2025-10-06 17:30:48	node2	2025/10/06 17:30:11	05.00dbm	-2.00dB	33.9395207	132.1882007	27.5662 C	63.69 %	1013.73 9Pa	25.4375 C	25.6875 127 C
2025-10-06 17:30:44	node1	2025/10/06 17:30:08	09.00dbm	-4.50dB	33.9393307	132.1882007	26.8452 C	67.51 %	1013.57 9Pa	25.5000 C	25.5625 25.21
2025-10-06 17:30:55	node2	2025/10/06 17:30:18	09.00dbm	-3.00dB	33.9395207	132.1882007	28.0201 C	65.59 %	1013.78 9Pa	25.3750 C	25.6250 127 C
2025-10-06 17:30:38	node1	2025/10/06 17:30:01	09.00dbm	-4.00dB	33.9393307	132.1882007	26.9440 C	67.19 %	1013.57 9Pa	25.5000 C	25.5000 25.06

図5 Webサイトでの表示例

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計1件)

[1] 山田峻太郎, 吉田将司, “大島瀬戸を対象とした潮流解析用センサノードの開発”, Text for GPS/GNSS Symposium2025, 査読無, PS-09, 2025.

課題研究費実績報告書

令和8年3月9日現在

研究課題名：一条朝以後における九条流藤原氏の文芸についての分析

研究代表者：大貫 正皓

小区分：文学、言語学およびその関連分野

キーワード：文学史、日記、物語、随筆、私家集、九条流藤原氏

1. 研究計画の概要

日記・随筆・私家集・物語と、これまで別々のジャンルに分類されてきた諸作品を、九条流藤原氏（藤原師輔一門）の文芸という視座で捉えることにより、平安朝文学史の、新たな体系の提示を試みる。研究対象としては一条朝以後（986～）の『和泉式部日記』・『枕草子』・『御堂関白集』・『源氏物語』の四作品を取り上げる。

本研究の成果は、対象とする作品個々の問題の解明のみに留まらず、平安朝文学史の従来の把握を更新・前進させることに繋がるものと考え。なお本研究は、2025年3月学位（博士）授与の応募者の博士論文「平安中期における九条流藤原氏の文芸についての研究」（書籍として2027年2月に刊行予定。書籍題目「九条流藤原氏の文芸——村上・冷泉・円融朝を中心に——」）の内容に連続するもので、2025年7月に学術振興会〔研究活動スタート支援〕研究課題名「一条朝以後における九条流藤原氏の文芸についての分析」課題番号：25K230210001）にも採択された。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究は二か年での遂行を目指し、企画した研究プロジェクトである。研究の大きな柱としてある『和泉式部日記』・『枕草子』・『御堂関白集』・『源氏物語』の四作品の分析のうち、本年度は主に『和泉式部日記』・『枕草子』の二作品の分析を行った。以下にその進捗状況を記す。

①『和泉式部日記』についての分析

『和泉式部日記』（以下、本作）の制作と享受については、敦道親王の死後、彰子の後宮に宮仕

えした和泉式部により時を置かず執筆され、その内容は彰子及び彰子の後宮において享受されたとする見解が通行している。今回の研究では、この認識に再考の余地が残されていることを指摘し、また本作の政治性に着目する先行研究（福家俊幸氏「『和泉式部日記』の人間関係——政治という視座から——」（『国語と国文学』第95巻第5号 2018年5月）を踏まえ考察することで、本作が三条朝の道長女妍子の後宮に深く関わるかたちで制作され、享受された可能性を分析した。

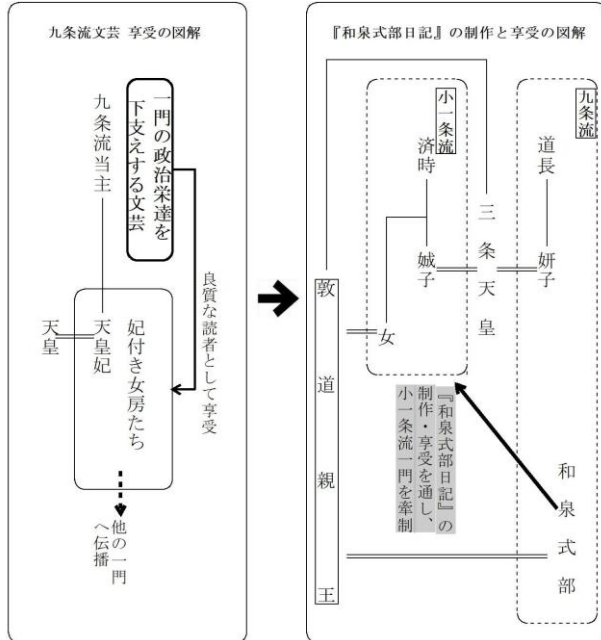
具体的には、作中に登場する敦道親王の北の方が、小一条流の済時の女、三条天皇の後である城子の妹であることに着目し、そのことと作中で北の方を貶めていると判断し得る叙述が存在することとの密接な繋がりを見出した。妍子の入内後、小一条流一門と九条流一門との間で皇位継承をめぐる争いが激化したことは想像に難しくなく、作中の北の方を貶める表現は、その対立の隠微な顕れだと考えた。

また、本作を九条流の文芸と理解した場合、冷泉系の皇子敦道親王を魅力的に描き、皇位との近さを強調する作品内容は、道長の外戚政策が前進する敦成親王立太子（三条天皇即位）以後に制作されたとみることが妥当であることを指摘した。

さらに、和泉式部の生涯、妍子関係の叙述を多く含む『栄花物語』正篇に関わる先行研究、そして『紫式部日記』中の『源氏物語』と思しき紫式部自作の物語が妍子に献上されたとするエピソード、また『栄花物語』（巻二九・たまのあかり）に記される妍子四十九日法要時に詠まれた和泉式部の哀悼歌の存在などを加味し、本稿の仮説の妥当性について補足を試みた。

本研究で示した上記の見解は、報告者がこれまでの研究において繰り返し提唱してきた〈権力者の下で生み出された文芸が、一門の政治上の栄達

を後援する性質を有する) という性質と軌を一にするもので、本作の場合は、それが道長の外戚政策を進めるにあたり敵対することになる小一条流一門を貶めるものとして機能していたと判断するのである(下図参照)。



本分析は全国大会である中古文学会春季大会(2025年5月18日実施 於:東京女子大学)にて研究発表を行う機会を得た(発表題目「『和泉式部日記』の制作と享受——三条朝における妍子後宮との関わりという視点から——」)。発表を通して、関連分野の研究者から有益な指摘を数多く得ることができた。

また上記の研究内容は同学会の機関誌『中古文学』(中古文学会編・年二回発行・査読有)に掲載が決まり、2026年5月に刊行予定である(論文題目は発表題目と同じ)。全国誌である同誌への掲載を通し、本研究が広汎に、多くの人々に分析・吟味いただく機会が得られると判断している。

②『枕草子』についての分析

『枕草子』(以下、本作)は中関白家の文芸と評されつつも、作中には中関白家と対立の関係に在った藤原道長に関わり深い人物(藤原齊信・藤原行成・源経房・源成信など)が登場する章段が少なからず確認される。今回の分析では、本作が道長女妍子の後宮で享受されていた可能性を示す中西智子氏の見解(「騒がしい女房たち——『枕

草子』と『栄花物語』妍子方の描写の共通性から——」『日本文学』第七四巻第一号 二〇二五年一月)を踏まえ、右記章段が作中に一定数見られる状況は、本作の享受が、三条朝における妍子の後宮に関わる実情に起因する可能性を探った。

具体的には、まず齊信・行成・経房・成信らが作中の多くの場面で作者と親密な間柄にある存在、また高く評価される存在として描かれていることを確認し、その現象は道長の孫敦成親王立太子後、外戚政策が一旦の落ち着きをみたことに伴い、道長が自家の枠を越え、作者に本作の増補を要請した結果とみた。

次に、道長に関わり深い人物が、作中の定子登場章段に多く描かれていることに着目し、そのことは前述の増補を含む本作の享受の場が、定子の話題を興味深く享受し得る妍子の後宮であることと不可分の関係にあると推測した。

最後に、跋文に登場する経房の官職表記・当時の中関白家当主隆家との関係に触れ、三条朝期に道長一門に関わるかたちで本作が享受されたとみる推測の妥当性について検討した。

上記の分析は本年6月28日開催予定の中古文学会春季大会(於:国際基督教大学)にて、研究発表を行う(発表題目「三条朝における『枕草子』享受——道長の思惑と中関白家の内情——」)。②に記した『和泉式部日記』の分析と同様に、分析の社会発信を通し、対象の実態を解明していけるよう努める所存である。

上記①・②が本年度主に分析した内容となる。次年度は本年の二作品に続き、『源氏物語』・『御堂関白集』の分析を進めていく。

『源氏物語』は言うまでもなく平安朝文芸のうち最も著名な大作であるが、〈九条流藤原氏〉という報告者の重視する視座から本作を見つめることで、新たに提示し得る問題があるのではないかと推測している。

また『御堂関白集』は藤原道長の歌を収めた家集だが、実際は道長歌以上に道長の親類縁者の歌を多く収めた道長「一門」の家集とも言い得る性質を帯びている。作品制作の意図や文学史上の位置づけなど、解明を試みたい問題が山積する作品である。『和泉式部日記』・『枕草子』・『源氏物語』などの名の知れた王朝文芸の分析と連動した、体系的な把握をも見据え、報告者の視点から

考察していきたいと考えている。

なお、「1. 研究計画の概要」に記したように、従来と異なる視座、新たな体系の提示を模索する本研究の手法は、多様な観点から文化事象全般を捉え直し、新たな価値を発見・再評価していく学問体系である文化資源学との関わりのなかで醸成されたものである（文化資源学は2000年春、東京大学大学院人文社会系研究科の文化資源学研究室で誕生した学問体系で、報告者は2024年7月より文化資源学会に入会している）。文化資源学の観点を通し、改めて諸文芸の「原点」（体系化以前）の姿の確認を目指していくことで、従来とは異なる実態や見取り図をも提示していけるのではないかと想定している。

次年度は個々の作品分析だけでなく、対象とする四作品全体の問題として、九条流藤原氏の文芸に内在する〈新たな価値〉を顕在化させ、発信する試み（研究発表）を、所属する文化資源学会にて行いたい。現在は、2026年12月に同学会で開催される「博士後取得者研究発表」にエントリーし、「平安朝文芸の文化資源学的分析」と題する発表を行うことを構想している。

（課題研究費の利用について）

本年度、研究委員会から支給いただいた課題研究費は、研究課題の遂行に資する書籍の購入に充てさせていただいた。主な購入書籍は以下の通り。

- 1、『源氏物語の思考』（高木和子著 風間書房 2002年）
- 2、『枕草子大事典』（枕草子研究会編 勉誠出版 2001年）
- 3、『文化資源学講義』（佐藤健二著 東京大学出版会 2018年）
- 4、『昔男の青春—『伊勢物語』初段から16段の読み方—』（妹尾好信著 2009年）

1～4とも、本年度（また次年度に向けての）研究遂行に必要となる書籍で、これらの利活用により、研究活動を円滑に進めることができた。

3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕（計2件）

- 1、大貫正皓著「『師輔集』の成立時期・作者・享受」『国語と国文学』（東京大学国語国文学会

編 2025年12月）査読有 第102巻第12号 31—45頁

- 2、大貫正皓著「『和泉式部日記』の制作と享受——三条朝における妍子後宮との関わりという視点から——」『中古文学』（中古文学会編 2026年5月刊行予定）査読有 *頁数未定

〔学会発表〕（計1件）

- 1、大貫正皓「『和泉式部日記』の制作と享受——三条朝における妍子後宮との関わりという視点から——」中古文学会春季大会（2025年5月18日実施 於：東京女子大学）

研究課題名：Left Regular Band で表現されるマルコフ連鎖と組み合わせ論的な背景の考察

研究代表者：中川由宇斗

小区分:基礎解析学関連 キーワード:マルコフ連鎖、Left Regular Band

1. 研究計画の概要

カードシャッフルやページランクに代表される直前の状態にのみ依存し、それ以前の状態に依存しない離散型確率過程をマルコフ連鎖という。マルコフ連鎖は、離散確率過程における基本的なモデルであり、mixing time（混合時間）や到達時間といった多くの性質に関する研究がなされている。

マルコフ連鎖は推移確率行列と呼ばれる行列 P と 1 対 1 対応し、 P の固有値とその重複度はマルコフ連鎖の性質を検討する上で重要な値である。しかし、一般の推移確率行列 P については、計算量が膨大になるため固有値とその重複度を簡単に求めることはできない。

一方で、Left Regular Band (LRB) ($x^2=x$ 、 $xyx=xy$ を満たすモノイド) を用いて表現できるマルコフ連鎖の場合、対応する推移確率行列の固有値と重複度を少ない計算量で求める手法が Brown(2000) によって示された。

申請者はこれまでに、LRB となる演算が定義される braid arrangement や Coxeter arrangement type-B といった超平面配置 (hyperplane arrangement) によって表現されるマルコフ連鎖について、対応する推移確率行列の固有値と重複度を Brown の手法を用いて求め、背景にある組み合わせ論的性質を示した。

そこで本研究では、LRB を用いて表現されるマルコフ連鎖についての考察を行う。さらに、組み合わせ論的性質から LRB で表現可能なマルコフ連鎖を構成する手法についての検討を行う。加えて、推移確率行列の固有値と重複度の値からマルコフ連鎖の性質を分析する手法の検討を行う。

基本的なモデルであり、幅広い分野で用いられるマルコフ連鎖に対して、新しい分析手法の検討は応用的な活用が期待できる。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

これまでに、Tsetlin library や riffle shuffle といったマルコフ連鎖が、braid arrangement と呼ばれる超平面配置によって表現されることを示し、対応する推移確率行列の固有値と重複度を Brown の手法を用いて求めた。また、背景にある組み合わせ論的性質を示した。

LRB となる演算が定義できる「braid arrangement を制限した超平面配置」についての検討を行った。

「braid arrangement を制限した超平面配置」を用いて、 d -次元超直方体における path 上のマルコフ連鎖が表現可能であることを確認した。

「braid arrangement を制限した超平面配置」について、ミクロな視点における性質（各 $X \in \mathcal{L}$ に対するメビウス関数 $\mu(X, \hat{1})$ の値）を確認した。

一方で、マクロな視点における性質（超平面配置における特性方程式の係数に当たる $\sum_{\forall \dim X=k} \mu(X, \hat{1})$ (次元を固定したときのメビウス関数の総和))については検討中である。

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計1件)

中川由宇斗, 2025年度確率論ヤングサマーセミナー, 査読なし, 2025年8月

研究課題名：近赤外線カメラ化した汎用一眼カメラ計測システムにおける光学的精度評価

研究代表者：吉田 慧一郎

小区分：スポーツ科学関連

1. 研究計画の概要

本研究では近赤外線カメラ化した汎用一眼カメラを用いて、ヒト皮膚表面部の画像を取得・解析を行うことで、血行動態情報の時系列変化を非接触かつリアルタイムで評価できる新たな生体計測手法を開発している。本提案手法では、市販の汎用一眼カメラに光学的な処理を施すことで、近赤外線領域での「非接触」による画像取得を可能とし、グレーカードを基準とした反射率算出を行う計測システムを考案した。しかしながら、本提案手法を用いて、熱中症対策などのより実用的な血行動態情報の変化を把握するには、反射率画像と生理学的パラメータの関係性を明確にする必要性がある。そのため、本課題研究では近赤外線カメラ化された汎用一眼カメラの光学的な精度評価を実施した。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本提案手法では、近赤外線カメラ化した汎用一眼カメラ計測システムの血行動態変化を取得する際の精度評価ならびに、本システムを用いたリアルタイムモニタリングシステムの構築を行っている。本課題研究では、図1に示す「撮影条件の検討」における「カメラ設定」ならびに、「血管画像の精度評価」における「既存手法との関係」に焦点を当てて実施した。

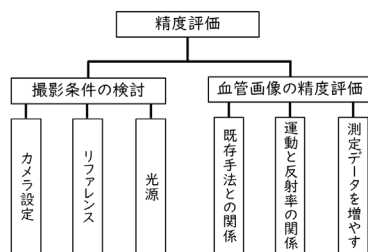


図1 本課題研究の立ち位置

1つ目のカメラ設定では、「シャッタースピード」「絞り値」「ISO感度」をパラメータとして、

本提案手法の実用範囲の模索・検討を実施した。先行研究において、各条件での比較検討を行ったが、結果画像がグラデーション状の分布となる場合があるなどの改善に向けた検討が必要であった。そこで本課題研究では、カメラ側で自動的に行われていた補正・設定や現像ソフト側での設定をすべて指定し、取得画像ごとに差異が生じないように改善を行った。改善結果の一例を図2に示す。改善前ではグラデーション状に変化する結果となったが、改善後ではグラデーション状の変化が低減し、実用範囲が拡大した。しかしながら、ISO感度が高い場合やシャッタースピードが低い場合（明るい条件での画像取得時）での改善が必要であることが分かった。

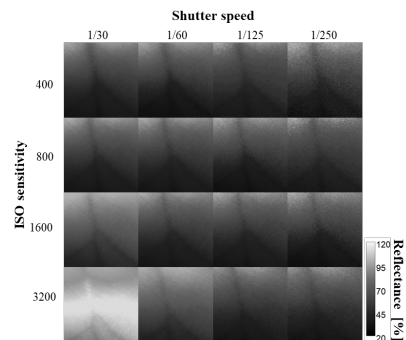


図2 カメラ設定改善後のヒト皮膚反射率画像

2つ目の既存手法との関係では、生体ファントムを用い、ヒト皮膚での結果との比較実験を想定していた。現状は、生体ファントム作製の想定条件を検討中であり、次年度以降にファントム製作および実験・解析を進めていく予定である。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計1件）

Issa Matsuzaki, Sora Takahashi, Mao Mitsui, Keiichiro Yoshida, Development of Humanoid Care Robots Using Optical Techniques, 10th STI-Gigaku 2025, 査読無。

課題研究費実績報告書

令和8年3月31日現在

研究課題名：光学的手法による定量的密度分布測定に向けた装置改良および光学系配置の検討

研究代表者：廣瀬裕介

小区分：流体工学関連

1. 研究計画の概要

本研究では、超音速流中にある円錐や球体といった超音速飛行が考えられる模型周りに発生する密度変化を境界層も含めた高感度定量計測することを実現する。そのため、Background Oriented Schlieren 法を改良した新たな計測法である Double-Pass Background Oriented Schlieren 法を考案した。本研究では考案した新たな計測手法に関する実験を遂行するための装置の構築し、その性能試験を実施することを目的としている。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

上述した装置の具体案として、バリスティックレンジと衝撃風洞の2種類が挙げられる。各装置に関する進捗状況を以下に記す。

バリスティックレンジとは電気的エネルギーにより飛翔体を加速および射出する装置を指す。本研究室ではこの飛翔体の速度を音速以上にすることを最終的な目標として研究をしている。昨年度まで、飛翔体の加速に必要な金属レールもしくは飛翔体そのものが原因で、射出そのものが不安定であった（例：レールから飛翔体が飛び出さない）。そこで、本年度は飛翔体の形状に着目した。飛翔体は5mm×5mm×5mmのアルミ立方体を採用していた。しかし、飛翔体の寸法誤差や飛翔体そのものが加速中に溶融することにより十分な加速ができない可能性が考えられたため、飛翔体の形状を変更する。具体的には絶縁体材料（3Dプリンタ製のパーツ）と偏組ストラップ（はんだ吸い取り線）のハイブリッドである。絶縁体材料は飛翔体そのものの形状変形を防ぐために、偏組ストラップは放熱性の向上および電流値の増加が見込めるという理由で採用した。さらに偏組ストラップはレール間でたわむことにより、レールの上流から下流まで安定して通電が可能であると考えた。結果として、立方体形状よりも絶縁体材料と偏組ストラップのハイブリッドの飛翔体の方が安定した

射出となった。一方で、速度に関しては最大で50m/sと音速以下となっているため、電気エネルギー（コンデンサ容量）の増加や、飛翔体とレールの形状および種類の検討が必要であると考えられる。

衝撃風洞に関しては、超音速ノズルとしてラバルノズルを採用した。ラバルノズルとは先細末広ノズルのことであり、先細部で音速（マッハ数 $M=1$ ）となり、末広部で音速を超える構造である。具体的に、本研究ではラバルノズルを使用しない場合、マッハ数は約1.45であったが、ノズルを使用することによりマッハ数は約1.70と増加が確認された。さらに、ノズルを使用することにより流路の断面積が増加することとなり、使用可能な模型サイズの向上も達成した。今後、シュリーレン法などによる流れそのものの可視化や、模型周囲の流れの可視化を計画している。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計1件）

○原田真、廣瀬裕介、衝撃風洞のための超音速ノズル設計に関する研究、25A132、第17回大学コンソーシアム八王子学生発表会、2025年12月。

○丸山拓海、廣瀬裕介拡散器による空き瓶パルスジェットエンジンの燃焼時間延長に関する研究、25C111、第17回大学コンソーシアム八王子学生発表会、2025年12月。

○今永参蔵、廣瀬裕介、電磁加速式バリスティックレンジ用飛翔体速度測定装置の開発、25C123、第17回大学コンソーシアム八王子学生発表会、2025年12月。

○川崎日向大、廣瀬裕介、電磁加速式バリスティックレンジのレール間距離最適化に向けた実験的

研究、25C132、第17回大学コンソーシアム八王子学生発表会、2025年12月。

太田匡則（千葉大）、稲毛達朗（湘南工科大）、宮崎龍汰、井川将大、服部慎之介（千葉大）、山岸雅人（産総研）、廣瀬裕介（サレジオ高専）、永井大樹、大谷清伸（東北大）、○津浦隼乙（千葉大）、再突入カプセル周りの非定常流れ場に対する四次元密度場計測、3B2-3、2025年度衝撃波シンポジウム、2026年3月。

○佐久間心（都立産技高専・専）、岩田玄德、高橋怜（都立産技高専）、小笠原祐樹（東北大）、熊崎大知、村松武明、嶋村耕平（都立大院）、山岸雅人（産総研）、廣瀬祐介（サレジオ高専）、稲毛達朗（湘工大）、太田匡則（千葉大院）、宇田川真介（都立産技高専）、非軸対称ノズルを用いた不足膨張噴流の三次元密度場計測、3B3-2、2025年度衝撃波シンポジウム、2026年3月。

○高橋玲、岩田玄德（都立産技高専）、佐久間心（都立産技高専・専）、小笠原祐樹（東北大）、熊崎大知、村松武明、嶋村耕平（都立大院）、山岸雅人（産総研）、廣瀬祐介（サレジオ高専）、稲毛達朗（湘工大）、太田匡則（千葉大院）、宇田川真介（都立産技高専）、Projector-BOS法による不足膨超噴流の3次元再構成、P-08、2025年度衝撃波シンポジウム、2026年3月。

○岩田玄德、佐久間心（都立産技高専・専）、高橋怜（都立産技高専）、小笠原祐樹（東北大）、熊崎大知、村松武明、嶋村耕平（都立大院）、山岸雅人（産総研）、廣瀬祐介（サレジオ高専）、稲毛達朗（湘工大）、太田匡則（千葉大院）、宇田川真介（都立産技高専）、3Dプリンタ製トロイダルスロート臨界ノズルによる定常不足膨張噴流の可視化計測、P-09、2025年度衝撃波シンポジウム、2026年3月。

2025年度 外部資金研究一覧

研究費種類	研究者名	学科	テーマ	採択年	期間	備考
科研費 基盤研究(C)	島川陽一	情報工学科	通学路の安全性向上を目指す非幹線道路の交通量推定 (2023年度～2025年度)	2023年	3年	継続
科研費 基盤研究(C)	吉田慧一郎	電気工学科	汎用一眼カメラを用いたリアルタイム血行動態変化評価技術の開発	2025年	4年	新規
科研費 研究活動スタート支援	大貫正皓	一般教育(文系)	一条朝以後における九条流藤原氏の文芸についての分析	2025年	2年	新規
一般財団法人 WNI気象文化 創造センター	吉田将司	機械電子工学科	WNI気象文化大賞 IoTを活用した土壌水分量観測システムによる霧および霜 の検知手法の実験的検討	2025年	1年	新規
一般財団法人 WNI気象文化 創造センター	吉田将司	機械電子工学科	今日の服装イイじゃん！めちゃくちゃイイじゃん！ ～想像温度と室温を比べ服装や空調温度を提案～	2025年	1年	新規
大学コンソーシアム 八王子事務局	李盛姫	デザイン学科	八王子ミライ創造PJ	2025年	1年	新規
㈱レアゾン・ホールディングス との産学連携	吉田慧一郎	電気工学科	猫向きペット家電の開発	2025年	2年	新規

サレジオ工業高等専門学校研究紀要 第 52 号

令和 8 年 3 月 31 日発行

発行者 小 島 知 博

編集者 研究委員会

発行所 サレジオ工業高等専門学校
〒194-0215 東京都町田市小山ヶ丘 4-6-8
Tel:042(775)3020, Fax:042(775)3021

Bulletin of Salesian Polytechnic

No. 52 CONTENTS

< Special Issue: Education for History of Technology >

Short History of Railway around the Hachioji Station (First)

‘Nationalization of Kobu Private Railway and Construction of Chuo Trunk Line for Kofu’ (1)
Ichiro Tsutsumi , Toshiaki Yamada

Short History of Railway around the Hachioji Station (Second)

‘Construction of Keio Line and Goryo Line’ (9)
Yamada Toshiaki , Ichiro Tsutsumi

< Educational Research >

The report which explored a possibility of P.E. remote class using home video game. (16)
Osamu Takano

Training for Construction of Speech Dialogue System using MMDAgent-EX (19)
Kenichiro Miwa

Development of an Educational SLAM Robot Platform Using 3DLiDAR and ROS2 (21)
Yasutaka Ikumi

Three-Year Implementation of Design Thinking-Based Community-Engaged PBL at a College of Technology (24)
Lee Sunghee

< Academic Research >

Development of a Tidal Current Analysis System in the Sea Area Near Obatake Seto (28)
Masashi Yoshida

Mathematical Model Analysis of Travel Distances in Shared Taxis (32)
Yuichi Kozakai , Yoichi Shimakawa

< 2025 Annual Research Reports > (43)

< List of Various Research funds from April 2025 through March 2026 > (56)