



Title	街バル支援システム実用化に関する研究
Author(s)	佐藤, 弘起
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105506
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

街バル支援システム実用化に関する研究

提出先 大阪大学大学院情報科学研究科

提出年月 2026 年 1 月

佐藤 弘起

研究業績

A. 学術論文誌論文

1. 佐藤弘起・佐藤和弘「シェーディング画像に良好なしきい値を設定できる変動しきい値式2値化処理法」, 画像電子学会誌, Vol.36, No.3, pp.204-209, 2007.
2. 佐藤弘起・森木俊臣・黒澤雄一・曾我佑・薦田憲久「地域限定電子クーポンシステム向け会話誘発ユーザインターフェース」, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol.140, No.10, pp.1119-1126, 2020.

B. 国際会議

1. Hiroki Satoh, Toshiomi Moriki, Yuuichi Kurosawa, Tasuku Soga, Miho Kobayashi, Norihisa Komoda, “Management System for Regional Electronic Coupon,” in Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 2, pp.571-578, 2020.

C. 学会講演

1. 佐藤弘起, 大町真一郎, 阿曾弘具, “画像濃度の凹凸情報を利用したランダム雑音低減法”, 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, p.38, 2002.
2. 佐藤弘起, 森木俊臣, 黒澤雄一, 曾我佑, 薦田憲久, “地域限定電子クーポンシステム向け会話誘発ユーザインターフェース”, 電気学会研究会資料 IS-19-065, pp.25-29, 2019.

3. 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 小林美保, 薦田憲久, 藤原融, “地域活性化イベント開催を支援するエージェントシミュレータの検討”, 電気学会研究会資料, IS-20-041, pp.45-50, 2020.
4. 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 薦田憲久, 藤原融, “街バル向けシミュレータへの因果関係モデルを用いたイベント改善施策の影響反映手法”, 電気学会研究会資料, IS-21-012, pp.61-66, 2021.
5. 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 薦田憲久, 藤原融, “街バル紙クーポン画像への変動しきい値式 2 値化処理法の適用評価”, 電気学会研究会資料, IS-21-035, pp.61-66, 2021.
6. 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 薦田憲久, 藤原融, “街バル紙クーポン画像への変動しきい値式 2 値化処理を用いた計数手法”, 電気学会研究会資料, IS-25-001-022, pp.7-11, 2025.

D. その他

1. Hiroki Satoh, Toshiomi Moriki, Yuuichi Kurosawa, Tasuku Soga, Norihisa Komoda, “Electronic Coupon Management System for Regional Vitalization”, in J. Filipe, M. Smialek, A. Brodsky, S. Hammoudi (Eds.), “Enterprise Information Systems: 22nd International Conference, ICEIS 2020, Revised Selected Papers”, Lecture Notes in Business Information Processing, Vol.417, pp.753-768, Springer, 2021.

内容梗概

本論文は、筆者が 2018 年から 2025 年まで（株）日立製作所研究開発グループにおいて、ならびに 2020 年 4 月から 2023 年 3 月まで大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻在学中に実施した地域活性化イベント「街バル」の運営支援に関する実用化研究の成果をまとめたものである。

街バルは、地域の飲食店を巡って特別メニューを楽しむ回遊型イベントであり、短期間で地域内消費と住民交流を促進する地域活性化施策として全国各地に広がっている。しかし、その企画や運営は主催者の経験や勘に依存する部分が大きく、再現性の高い運営や継続的な改善が困難であるという課題を抱えている。

こうした背景のもと、街バル運営に内在する中核課題として「企画・運営が主催者の経験や勘に依存し、再現性の高い運営と継続的な改善が困難である点」を位置づける。この中核課題を「デジタル化が進展する一方で交流が生まれにくいこと」、「紙クーポン自動集計手段が確保されていないこと」、「シミュレータ設定作業が非効率で属人的であること」の三つの技術的課題へと整理し、それぞれ交流体験を促進するインターフェース、高精度な紙クーポン自動集計手法、および効率的な企画のためのシミュレータ設定支援方式を提案し、フィールド実験および被験者実験を通じてその有効性を評価する。

まず、交流促進を目的として、電子クーポン受け渡し時に参加者と店舗スタッフが同一端末を同時に長押しする共同タッチ UI (User Interface) を提案する。握手型・親指押下型・人差し指押下型の三案を設計し、長押し時間を 3 秒とする条件で比較実験を行い、最適なインターフェースを決定する。さらに、実イベントへの試験導入により主観評価を収集し、人差し指押下型が操作性と会話誘発に優れることを確認する。

次に、高精度な紙クーポン自動集計手法の開発を目的として、撮影条件のばらつき（屋外直射・屋内低照度・影）に頑健な凹凸係数を提案し、これを用いた 2 値化処理方式を提案する。凹凸係数は、画素を局所平均で正規化した相対指標で、これを用いることで単一しきい値で前景・背景を高精度で判定できる。本手法を用いて、使用済みの複数枚の紙クーポンを机上に並べて撮影するクーポン画像を対象とし、2 値化しテンプレート照合により券面を同定することによりクーポン枚数をカウントする。撮影条件が多様な

実写データでの評価を通じて、従来法を上回る認識率と条件変動に対する安定性を確認し、低計算量で現場運用に適合することを示す。

最後に、シミュレータ設定支援を目的として、主催者がシミュレーションの専門知識なしに施策とその影響を入力することにより、統合的なシミュレーション設定値の自動生成を行う運営案を比較できる設定支援ツールを構築する。そのため、標準的な街バルで実施されるイベントに関する属性を事前定義したイベント施策プロファイルと、想定されるイベント参加者の属性を事前定義した参加者グループプロファイルを用意し、さらに施策と参加者の行動に関わる属性の因果関係をモデル化した因果関係ルールを設ける。それらを用いて主催者による施策候補の入力から統合的なシミュレーション設定値を自動生成できるようにする。これらを実装した設定支援ツールを実務経験や専門性の異なる被験者に使用してもらい、設計検討の効率化に有効であることを示す。

本論文の構成は次のとおりである。第1章では研究の背景・関連研究・方針を述べる。第2章では共同タッチ UI を提案し、模擬実験および実イベント導入による交流促進効果の評価を述べる。第3章では凹凸係数による2値化法を提案し、実写データに基づく認識率比較による有効性の検証を述べる。第4章では設定支援ツールの設計・実装・被験者評価を述べ、作業時間短縮と設定の一貫性を示す。最後に、第5章では、本研究で得られる成果を総括し、今後に残された課題を述べる。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	関連研究	6
1.2.1	イベントにおける交流体験を促進するユーザインターフェースの設計に関する研究	6
1.2.2	屋外や不均一な照明環境で撮影された文書画像認識手法に関する研究	8
1.2.3	複雑な設定を要するシミュレータを直感的に設定・試行できる GUI ベースの支援ツール構築に関する研究	9
1.3	研究の方針	9
1.4	本論文の構成	11
第2章	ユーザと店舗スタッフの同時長押しによるクーポン受渡しインターフェース	13
2.1	緒言	13
2.2	電子クーポンによる決済手続きとシステム要件	14
2.3	交流促進に向けたクーポン受渡しインターフェースの設計	17
2.3.1	交流促進の観点からのユーザインターフェース設計方針	17
2.3.2	長押し時間の設定	18
2.3.3	クーポン受渡しインターフェースの候補	19
2.4	インターフェース候補の評価と考察	20
2.4.1	評価実験の設計	20
2.4.2	評価結果	20
2.4.3	評価結果の考察と最適案の選定	23

2.5	実イベントにおけるインターフェース導入と評価	24
2.5.1	実証実験の概要と導入環境	24
2.5.2	利用者と店舗による評価	25
2.5.3	システム全体への評価	27
2.5.4	まとめ	27
2.6	結言	27
第3章	画素値正規化による2値化処理法を適用した紙クーポン自動集計手法..	29
3.1	緒言	29
3.2	紙クーポン画像の集計に関する基盤技術	31
3.2.1	紙クーポン自動集計における処理構成と課題	31
3.2.2	画像処理の基本構成と2値化の役割	32
3.2.3	2値化処理の既存手法と課題	33
3.3	凹凸係数に基づく画素値正規化による2値化処理法	35
3.3.1	提案の目的と基本発想	35
3.3.2	凹凸係数の定義	37
3.3.3	2値化処理の数理モデル	38
3.3.4	アルゴリズム構成	40
3.3.5	パラメータ設定方針	40
3.4	紙クーポン自動計数システム	41
3.4.1	システム設計の基本方針	41
3.4.2	処理フロー	42
3.4.3	操作手順とデータ処理	43
3.5	検証結果と考察	44
3.5.1	検証条件	44
3.5.2	検証結果	46

3.5.3	考察.....	53
3.6	結言	55
第4章	シミュレータ設定支援ツールの構築と評価	57
4.1	緒言	57
4.2	街バルシミュレータの活用課題	59
4.2.1	街バルシミュレータの概要	59
4.2.2	街バルシミュレータの構造	60
4.2.3	街バルシミュレータの活用課題	64
4.3	提案手法と解決アプローチ	66
4.3.1	提案手法の概要と設計思想	66
4.3.2	イベント施策プロファイルと因果関係ルール	68
4.3.3	参加者グループプロファイルと属性更新	69
4.3.4	設定ファイルの生成処理	72
4.4	シミュレータ設定支援ツールの実装	75
4.4.1	実装設計	75
4.4.2	支援ツールの入力画面	75
4.5	提案手法の評価	78
4.5.1	実験方法	78
4.5.2	実験結果	80
4.5.3	考察	86
4.6	結言	89
第5章	結論	91
5.1	本研究のまとめ	91
5.2	今後の課題	92
	謝辞	94

参考文献.....	96
-----------	----

第1章

序論

1.1 研究の背景

近年、我が国では少子高齢化と人口減少が同時に進行しており、地方都市や商店街では人流の減少と消費の縮小が深刻化している。内閣官房『デジタル田園都市国家構想総合戦略（2023 改訂版）』[1]は、デジタル実装を通じて地方が抱える課題を解決することを目指しており、域内経済の循環も課題のひとつである。これまでも地元商店での購買促進や観光型イベント、地域ポイント制度の導入など、自治体・商店会・民間団体・住民による多様な地域活性化施策が展開されている。街バルもこうした地域活性化施策の一つであり、特に地域内消費を短期間に集中的に促し、地域活性化に即効性がある。また、施策の効果の数値化においても、参加者数や店舗利用数などの定量的な指標が得やすいため、行政評価との親和性の面でも利点がある。そのため、全国各地で導入が進んでいる[2]。

街バルが地域活性化施策として重要視される背景には、その高い集客力と商店街全体への波及効果がある。先駆的事例として知られる兵庫県伊丹市の「伊丹まちなかバル」は、同市の中心市街地活性化基本計画において中核事業として位置づけられており、伊丹市の事後評価報告書[3]によれば、各回 3,000～4,000 名規模の参加者を安定して集客し、計画で設定された目標指標を継続的に達成していることが報告されている。さらに、公益財団法人ひょうご産業活性化センターによる調査報告書[4]では、同イベントが当日の消費喚起にとどまらず、それまで訪れたことのない店舗を利用する「新規開拓」の機会を創出し、イベント終了後の再来訪（リピーター化）や街全体の回遊性向上に寄与している点が評価されている。これらの報告は、街バルイベントが地域経済の持続的な活性化に寄与する施策として有効であることを示している。街バルにデジタル技術を導入することで、地域内経済の循環が促進される可能性がある。

街バルは、参加者が、専用クーポンを使って複数の飲食店を巡り、特別メニューを楽しむ回遊型イベントである。地域の食文化と交流体験を融合した形式で、全国では 100 か所以上で実施されており、地域の有志や商店会が主催している[5]。参加者の多くは地元住民であり、地場商圈内の顧客接点を増やす手段として位置づけられている。図 1.1 に街バルイベントの全体像を示す。主催者が地域の店舗へ出展を募りイベントを開催す

る．イベント後には，再訪や新規店舗発見など，行動変容が生じる傾向が複数の事例で報告されている[1]．また，地域における交流機会の提供は，高齢者の孤立感を軽減し，保護者の心理的安定にも寄与することが指摘されている[6][7]．

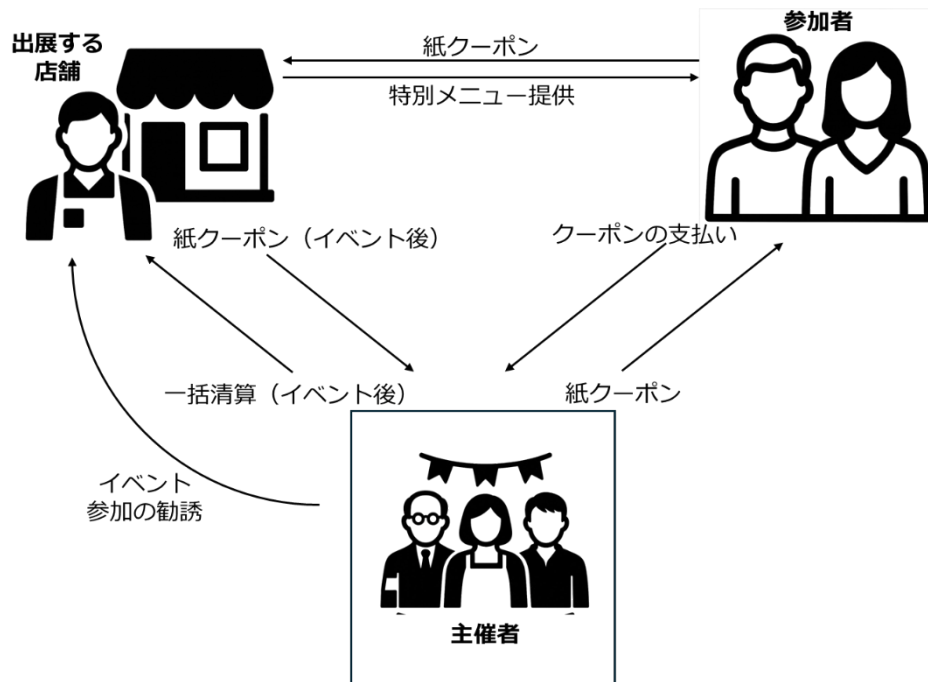


図 1.1 街バルイベントの全体像

一方で，街バルの企画および実施は，商店会や地域組織が中心となり，限られた人員・経験・リソースのもとで継続的に担われている．多くの現場では，「現場負荷と作業時間が大きい」「属人的運営となりやすい」といった課題が指摘されている．また，これらの課題が運営の継続的な改善を妨げる要因となっていると考えられる．本研究では，こうした状況を踏まえ，「街バルの企画および実施に関する判断やノウハウが主催者の経験や勘に強く依存しており，再現性の高い運営と継続的な改善が困難である」という構造的課題を，中核課題として位置づける．

この中核課題は，(1)現場の人的負荷が高く，交流促進や体験価値の向上といった価値創造に資源を十分に振り向けにくいこと，(2)紙クーポンや店舗ごとの個別運用により参加者行動や店舗別利用状況などの基礎データが十分に生成・蓄積されず，改善性が低いこと，(3)成功・失敗の要因が暗黙知として個人に埋め込まれており，企画・運営ノウハウの形式化と再現性の確保が難しいこと，という三つの側面から捉えることができる．本論文では，これらをそれぞれ「現場価値（交流体験）」「改善性（データ生成基盤）」

「再現性（企画・設定作業）」という観点から整理し、街バル運営の本質的な構造課題として位置づける。

街バルでは、主催者がイベント専用のクーポンを発行し、参加者はそれを事前に購入する。多くの事例では、1,000 円で 1,200 円分利用可能になるようなプレミアム付きクーポンを発行している。これは、参加者にお得感を与え、事前購入を促進するインセンティブとして機能している。また、クーポン利用ルールとして、有効期限や一つの店舗で利用できる枚数の制限を設ける。有効期限により地域内での即時的な消費を促し、枚数制限により多様な店舗を回遊し新たな接点を生みやすくすることで、地域内消費の分散やコミュニティの広がりが期待できる。複数の店舗を巡る過程で新たな接点生まれ、参加者が店舗のリピーターとなる可能性が高まる。この構造により、地域経済への波及効果や住民間のコミュニティ形成が期待されている。しかし、実際には参加者と店舗スタッフや参加者同士の交流が自然に生じにくく、交流促進のための効果的な仕組みが不足している。地域イベントにおける社会的交流は、地域の社会関係資本の醸成に不可欠であり、十分な交流機会が提供されなければ、地域活性化効果が十分に発揮されない可能性がある」と指摘されている[8]。このため、交流体験を促す仕組みの強化が課題となっている。すなわち、街バルの重要な価値の一つである交流体験の提供は、企画者や現場スタッフの裁量や対人スキルに一定の影響を受けており、イベントごとにばらつきが生じやすい状況にある。

一方で、紙クーポンの運用では、販売・配布・回収・精算などの業務を主催者と店舗が手作業で実施する必要がある。近年では、紙クーポンに代わる手段として電子クーポンの導入が各地で進んでいる。スマートフォンの保有率が 80%を超えるなか、キャッシュレス環境の整備が地域イベントにも広がっている。政府も「キャッシュレス・ビジョン」において、地域通貨・デジタル決済の実証導入を推進しており、地域イベントにおけるデジタル化の必要性が高まっている[9]。2023 年の地域周遊イベントでは、NFC（Near Field Communication: 近距離無線通信）対応スタンプ台によりスタンプラリーの押印情報を電子的に収集・集計し、紙台紙の回収・集計作業を不要化している[10]。また、専用アプリ不要の Web アプリ型スタンプラリーはスタンプ台や台紙を設置せずに運用でき、イベント準備・撤去の負担削減が報告されている[11]。これらの事例は、紙クーポンに比べて現場負荷と作業時間を軽減できることを示している。電子クーポンは購入から精算までの業務をプラットフォーム上で一体的に処理可能である。これにより、手作業処理の代替手段として運用面での有効性が評価されつつある。

しかし電子クーポンの全面導入には、現場の実情を踏まえた複数の課題が残されている。たとえば、小規模店舗では端末や通信環境の整備に多額の費用が発生し、操作教育の負担も生じる。また、利用者側でも高齢者や子連れ層を中心に「紙の方が安心」とする意見が根強く残っている[12]。さらに、紙クーポンは「分け合える」「手渡ししやすい」といった柔軟な運用が可能であり、家族や友人同士でクーポンを共有できる利便性がある。この運用形態は、参加者ごとに利用店舗の選択肢が広がるため、多様な回遊パターンが生まれやすいという特徴も持つ。このように、コストや操作性、利用者の心理的安心感といった観点からも、紙クーポンには依然として一定の優位性が認められており、電子クーポンへの全面的な移行が困難な状況がある。そのため、紙と電子の両方の利点を活かすハイブリッド運用が、現実的かつ柔軟な対応策として採用されている。実際、現場では参加者層や設備状況の多様性に応じた併用型の運用が広く浸透している。

紙クーポンの運用が続くとすれば、紙媒体特有の集計負荷を軽減する仕組みが必要となる。その一つとして、スマートフォンで撮影したクーポン画像を OCR (Optical Character Recognition/Reader) 処理で自動集計する技術が提案されている[13]。ただし、街バルの現場は屋外や夜間も多く、照明や撮影条件が安定せず画像品質に大きなばらつきが生じる。実際、実写データセットである RDD (Robust Document Dataset) にも照明むらや影を含む画像が多く、現実環境に近いとされている[14]。このような環境では、従来の固定しきい値では精度が出にくく、局所輝度に応じて調整する処理が有効とされる[15][16]。したがって、紙クーポンの運用負荷を軽減するためには、現場特有の多様な照明環境に対応した高度な画像認識処理が求められており、これが技術的な課題となっている。これは、紙クーポン運用を前提とした街バルにおいて、行動データを安定して生成するための基盤が十分に整備されていないことを意味する。

イベント当日の混雑対応や案内、集計などの業務は、人的リソースに依存することが多く、経験に基づく属人的運営となりやすい。こうした負荷の蓄積は、街バルの継続的な開催や地域展開を妨げる要因となっている。そのため、運営の安定性を確保するためにも、業務プロセス全体の効率化が重要な課題である[17]。街バルの設計・運営は経験や勘に依存することが多く、計画や運営を体系的に支援する枠組みが十分に整っていない。この課題に対し、複数の設計パターンを GUI (Graphical User Interface) 上で直感的に比較できる支援ツールの導入が検討されている[18]。実際に、設計方針の共有や仮説の合意形成を短時間で行える効果が報告されている[19]。近年では、都市計画や観光イベント分野においても Maptable などの GUI 型支援ツールが導入され、非専門家でも直感的に操作できることで合意形成の効率化に役立っている事例もある[20]。イベント設

計・運営のさらなる効率化には、より具体的なシミュレーションに基づく事前検討が有効と考えられるが、その活用には新たな課題が存在する。すなわち、多数の専門的パラメータを必要とするシミュレータの設定作業を、主催者が短時間で適切に行うことは容易ではなく、運営ノウハウの形式化や再現可能な企画検討を妨げる要因となっている。

イベント設計や運営におけるシミュレータ活用は、来場者行動や運営体制の効果を定量的に評価し、関係者間の共通認識を形成する手段として有効である。しかし一般的にシミュレータは、多数のパラメータ設定が必要で操作も複雑であり、非専門家には容易に扱えないことが障壁となっている[21]。こうした課題を解決するためには、パラメータ設定を迅速かつ直感的に行えるような支援ツールの導入が考えられる。現状ではこのようなツールが街バルの現場で利用できる状況にはなく、その整備が課題となっている。このことは、中核課題のうち、企画・運営知識の形式化と再現性の確保に関する側面が十分に解決されていないことを示している。

以上のように、街バルイベントの企画および実施に関わる運営プロセスには、「主催者の経験や勘に依存し、再現性の高い運営と継続的な改善が困難である」という中核課題が内在している。本研究では、この中核課題を、(i)参加者と店舗スタッフ間の交流体験の設計・提供に関する課題、(ii)紙クーポン運用を前提としたデータ生成基盤に関する課題、(iii)街バル施策の企画知をシミュレータ設定として形式化することに関する課題、という三つの技術的課題に分解して扱う。本研究では街バルイベントの企画および実施に関わる運営プロセスを対象とし、これら三つの技術的課題を解決することを目的とする。これらの課題の関係性を図 1.2 に示す

課題(1)：参加者と店舗スタッフ間における自然な交流促進基盤の欠如

課題(2)：照明のばらつきに起因する紙クーポン自動集計用画像の認識精度低下

課題(3)：多数の専門的パラメータへの依存に伴う街バルシミュレータ設定作業の操作困難性

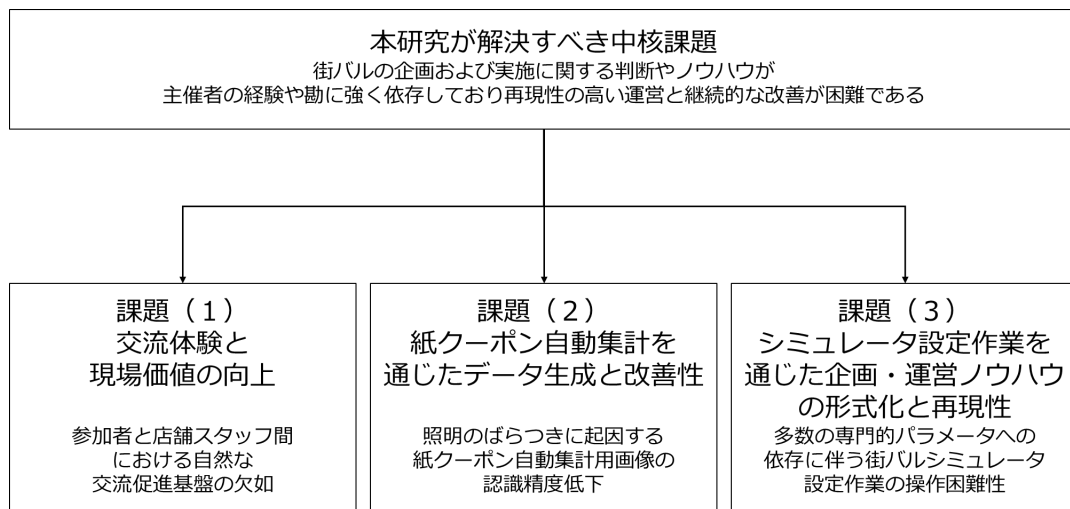


図 1.2 本研究が解決すべき中核課題と、それを構成する 3 つの技術的課題

1.2 関連研究

前節では、街バルイベントの企画および実施に関わる運営プロセスにおいて、「主催者の経験や勘に依存し、再現性の高い運営と継続的な改善が困難である」という中核課題が内在していることを示し、これを(1)交流体験に関する課題、(2)紙クーポン自動集計に関する課題、(3)シミュレータ設定作業に関する課題の三つの技術的課題に分解した。本節では、これら三つの課題に対応する研究領域の関連研究を整理する。

第 1.2.1 節では、課題(1)に対応して、イベントにおける交流体験を促進するユーザインターフェースの設計に関する研究を概観する。第 1.2.2 節では、課題(2)に対応して、屋外や不均一な照明環境で撮影された文書画像認識手法に関する研究を整理する。最後に第 1.2.3 節では、課題(3)に対応して、複雑な設定を要するシミュレータを直感的に設定・試行できる GUI ベースの支援ツール構築に関する研究を述べる。

1.2.1 イベントにおける交流体験を促進するユーザインターフェースの設計に関する研究

イベント参加者間や参加者とスタッフ間の交流は、地域イベントの重要な価値を形成する。特に街バルのような地域型イベントにおいては、参加者間の交流が地域の社会関係資本の形成に寄与し、地域活性化や参加者の心理的満足度向上に直結する[22][23]。しかし、多くのイベント現場では、参加者同士や参加者とスタッフ間の自然な交流が生

じにくいという課題が指摘されており、交流を促進する意図的なインターフェースや仕掛けが必要とされている[24][25].

交流促進を目的としたインタラクシオンデザインの先行研究では、ゲーミフィケーションを用いて参加者同士の交流を促す手法が注目されてきた。例えば、カンファレンスやコミュニティイベントにおいて、ゲーム要素を導入することにより参加者が積極的に交流を行い、コミュニティ形成が促進された事例が複数報告されている[24][25]。また、物理的な共同作業を介したインターフェースも交流促進に有効であることが指摘されている。例えば、スポーツゲームをネットワーク越しに遠隔地間で共同実施するエクサシオンインターフェースに関する研究では、身体的な共同作業が参加者間の社会的な結びつきを高めることが実証されている[26]。

近年では、参加者同士が自然に交流できるようなユーザインターフェースとして、写真撮影などの比較的負担の軽い共同作業を導入した研究も登場している。これらの研究では、共同作業型インタラクシオンが参加者間の心理的障壁を低減し、初対面同士でも自然な会話がうまれるように交流を促進できることが報告されている[27][28]。特に、スマートフォンなどの個人端末を用いた単純な共同操作が、参加者間のコミュニケーションを促進するためのトリガーとして有効であることが指摘されている[29]。

さらに、クーポンを媒介とした交流促進インターフェースについてもいくつかの研究が存在する。ソーシャルクーポンを用いたプロモーション型のコミュニケーションに関する研究では、共同体験を前提としたクーポンの配布が、友人同士やグループ間の社会的つながりを強化することが示されている[30][31]。こうした先行研究は、クーポン利用が単なる経済的インセンティブにとどまらず、参加者同士の交流促進手段として活用できる可能性を示唆している。

しかしながら、これまでの研究においては、交流促進インターフェースとしてのクーポン決済操作の具体的な設計や、実際のイベント現場での実証的な評価は十分に行われていない。特に、参加者と店舗スタッフが共同で操作を行うような仕組みを明示的にデザインし、それによる交流促進の効果を実証的に評価した研究は限定的である。このような背景のもと、交流体験の提供や促進を目的としたインタラクシオン設計に対して、実践的・実証的なアプローチが求められている。

1.2.2 屋外や不均一な照明環境で撮影された文書画像認識手法に関する研究

紙クーポンを撮影して認識する問題は文書画像認識の一種であり、文書画像認識における 2 値化処理の初期的手法として、大津のしきい値選定法[32]や最小誤差しきい値法[33]がある。これらは画素濃度ヒストグラムの統計量に基づいて最適なしきい値を画像全体に一律適用するものであり、照明の均一性が前提である。そのため、照明が不均一で影やむらが存在する屋外や夜間環境で撮影された画像に対しては精度が低下しやすいという課題が指摘されている[34]。

この課題に対処するために、局所領域の情報を利用して画素単位でしきい値を動的に決定する局所適応型 2 値化手法が数多く提案されている。代表的な **Sauvola** 方式は局所平均と標準偏差を用いてしきい値を算出し、照明変動下で安定した性能を示す[35]。また、**Bernsen** 方式は、各画素周辺の濃度範囲を用いてしきい値を決定し、照明むらに対する頑健性を高めている[36]。さらに **Bradley** 法は積分画像を活用した高速計算によってリアルタイム処理を可能としている[37]。しかし、これらの手法には画像内容による最適パラメータ選択の課題があり、固定的なパラメータ設定では照明条件の極端な変動に対処しにくいことが指摘されている[38]。

近年では、深層学習を活用した 2 値化手法が精力的に研究されている。完全畳み込みネットワーク（FCN（Fully Convolutional Network））を用いた手法[39]や、U-Net 構造を利用した CT-Net モデルは、多様な劣化パターンや照明変動に対して高精度な結果を報告している[40]。ただし、これらの手法は大量の訓練データを必要とし、計算負荷が高いため、リアルタイム処理やリソースが限られた現場での実用化には依然として課題が残されている[41]。

実環境に近い状況を模擬した画像データセットやベンチマーク研究においても、局所適応型手法や深層学習手法の性能評価が行われている。文書画像の国際的なベンチマークである DIBCO（Document Image Binarization Contest）コンテストでは、劣化文書や照明不均一な環境を再現したデータセットが提供され、さまざまな手法の評価が定量的に実施されている[42][43]。これらの研究では、既存手法が照明の極端な変動や影に対して十分な安定性を確保できていないことが指摘され、実運用環境での性能改善の余地があることが示されている。

1.2.3 複雑な設定を要するシミュレータを直感的に設定・試行できる GUI ベースの支援ツール構築に関する研究

都市計画や観光イベントなどの領域において、設計・運営プロセスの効率化を目的としてシミュレータを活用する研究が報告されている。特に、都市計画分野では、Mactable 等のタッチテーブル型インターフェース上で動作する協調型シミュレーション支援ツールが導入されている[20][44]。これらのツールは複数のシナリオを迅速に試行錯誤できる機能を提供し、参加者間の情報共有を促進し合意形成プロセスの効率化に寄与している[45]。また、都市イベントの参加者属性や移動経路をシミュレーションによって予測し、関係者間で認識共有を図る実践も報告されている[46]。

シミュレータ活用の効果は広く認められている一方で、実際の設定作業においては複数の課題が指摘されている。特に、パラメータ数が多く設定が複雑になることで、専門知識がないユーザには設定作業の負担が大きくなる問題が報告されている[47][48]。非専門家ユーザの操作負担を軽減する試みとしては、シミュレータ設定の一部を自動化したり、設定可能な項目を直感的な GUI で提示したりする研究が進められてきた[49][50]。特に、インタラクティブな操作性の強化によりユーザの操作負担を軽減するアプローチが有効とされている[51]。

しかしながら、既存の GUI 型シミュレーション支援ツールは、専門家が十分な準備期間をかけて設定を行う都市計画や交通計画を主な対象としており[52]、非専門家による短期間の設定作業を想定していない。また、都市計画や交通計画では、専門家が長期的な視点で段階的に検証・修正する余地があるため、設定作業の効率性や妥当性に関する短期的評価は十分ではない。一方、街バルは開催ごとに状況が変化し、非専門家が短時間で直感的に設定する必要があるため、設定作業の効率性や妥当性を定量的・定性的に評価することが不可欠であるが、既存研究におけるこのような課題への対応は限定的である[53]。

1.3 研究の方針

第 1.1 節で定義した中核課題、すなわち「街バル運営が主催者の経験や勘に依存し、再現性の高い運営と継続的な改善が困難であること」に対し、本研究では、これを(1)交流体験と現場価値の向上に関する課題、(2)紙クーポン自動集計を通じたデータ生成と改善性に関する課題、(3)シミュレータ設定作業を通じた企画・運営ノウハウの形式化と

再現性に関する課題という三つの技術的課題に分解し、それぞれを解決する三つの技術的アプローチを構成する。図 1.3 に、これらの課題と対応方針の対応関係を整理して示す。

(1) 交流を促進するユーザインターフェースの設計・実装と実証評価

参加者と店舗スタッフとの間で自然な会話が生じにくいという現場の課題に対し、スマートフォンによる電子クーポン決済の過程に共同作業の要素を取り入れる「長押し型インタラクション」を導入したユーザインターフェースを設計・実装する。設計した複数案（例：握手型、親指押下型、人差し指押下型）を模擬実験により比較評価したのち、最適案を実イベントに試験導入したうえで、交流促進効果・操作性・印象評価などの観点から多面的に実証的に評価する。

(2) 照明環境に頑健な画像認識手法による紙クーポンの自動集計

紙クーポンの手作業集計による業務負荷の軽減を目的として、照明むらや影の影響を受けやすい街バル現場に適応した画像処理手法を開発する。具体的には、各画素の輝度をその周囲の局所平均で正規化し、相対的な明暗指標（凹凸係数）を算出する「画素値正規化による 2 値化処理法」を導入し、実環境で撮影したクーポン画像を用いてその有効性を評価する。これにより、多様な照明条件下でも安定した輪郭抽出と認識精度が得られる画像処理アルゴリズムを確立する。

(3) GUI ベースの支援ツールによるシミュレータ設定の簡便化と評価

街バルの企画に用いられる既存シミュレータが、パラメータ設定作業が複雑、かつ専門的知識が必須であるという課題に対して、施策や参加者属性グループを選択するだけで必要なシミュレータパラメータを自動生成できる GUI 支援ツールを構築する。ツールの活用により、非専門家である主催者や運営担当者が、短時間かつ直感的に複数施策を比較・試行可能な運営支援環境の整備を目指す。さらに、本研究ではこのツールの有効性を確認するため、実務経験・IT スキルの異なる被験者に対し、ツールの有無による設定作業時間や設定項目の妥当性を比較評価する実験を行い、ツールの有効性を示す。

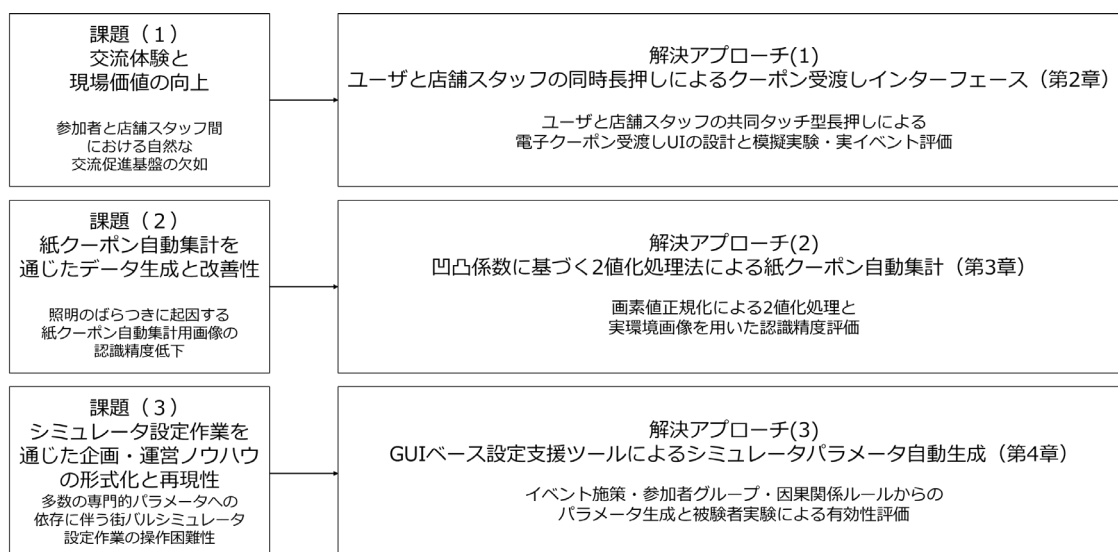


図 1.3 街バル運営に内在する 3 つの技術的課題とそれに対応する解決アプローチ

1.4 本論文の構成

本論文では、図 1.3 に示した中核課題と三つの技術的課題に対する解決アプローチを、第 2 章～第 4 章で順に述べる。第 2 章以降を以下のとおり構成する。

第 2 章では、文献[54][55][56]に基づき、街バルイベントにおける交流体験の促進を目的とした電子クーポン決済インターフェースの設計と実装について述べる。特に、ユーザと店舗スタッフが共同で操作を行う「長押し」型のインタラクションによって会話を誘発する仕組みを提案し、その画面設計案の比較評価を行う。さらに、実際の街バルイベントへの導入を通じて、交流促進効果に関する定性的・定量的な検証を行い、インターフェースの有効性を評価する。

第 3 章では、文献[57][58][59][60]に基づき、紙クーポン画像の自動集計における技術的課題を解決するため、画素値正規化による 2 値化処理法の適用手法を提案する。まず、従来の 2 値化処理が抱える課題と、本手法の構成要素である凹凸係数の定義と特性について述べる。次に、街バルイベントにおける実写画像データを用いた認識精度の検証を行い、固定しきい値法などの従来手法と比較して、本手法の優位性を定量的に示す。さらに、撮影条件が異なる複数の環境（屋外・屋内・昼間・夜間）における評価結果を通じて、現場適用における実用性について考察する。

第 4 章では、文献[61][62]に基づき、街バルイベント運営支援に活用されるシミュレータのパラメータ設定作業を簡便化するために構築した GUI ベースの支援ツールについて述べる。はじめに、シミュレータ活用時に生じる具体的な課題を整理し、それらを

解消するための支援方針と自動設定機能の設計内容を示す．次に，イベント施策・参加者グループ・因果関係ルールからなるプロファイル構造とパラメータ生成アルゴリズムを説明し，支援ツールへの実装内容を述べる．さらに，被験者実験を通じてツールの有効性を評価し，作業時間の短縮効果や設定の妥当性，被験者からのフィードバックをもとにその有用性と課題を明らかにする．

第5章では，結論として本研究で得られた成果を要約し，今後の課題を述べる．

第2章 ユーザと店舗スタッフの同時長押しによるクーポン受渡しインターフェース

2.1 緒言

地域経済の衰退と人口減少が同時進行する中、地域活性化を目的とした施策の一つとして、街バルイベントが全国各地で実施されている。街バルは地域内消費を短期間に集中的に促す形式であると同時に、参加者と店舗スタッフ間、あるいは参加者同士の交流体験を提供することを通じて、地域の社会関係資本の醸成にも寄与することが期待されている[1]。しかしながら、現場における交流は自然発生的には起こりにくく、交流促進を意図した仕組みの設計が必要とされている[8][12]。

近年では、街バルの運営効率化と参加体験の向上を目的として、紙のクーポンに代えて電子クーポンを用いたデジタル決済の導入が進んでいる。これはキャッシュレス化による利便性向上のみならず、運營業務の省力化やイベント効果の可視化といった側面からも有効であるとされる[9][12]。一方で、従来の電子決済インターフェースは処理の迅速性を主眼として設計されており、地域活性化を目的とした街バルイベントに求められる交流促進機能を十分に満たしていないという課題がある[53]。

本章では、こうした課題を踏まえ、電子クーポン決済のユーザインターフェースに交流促進機能を意図的に組み込むことで、街バルにおける社会的インタラクションを誘発する手法を検討する。とりわけ、決済時にユーザと店舗スタッフが共同でスマートフォン画面を「長押し」するインタラクションを導入することで、自然な会話の発生を促し、交流を促進することを目的とする。

本研究全体の枠組みにおいて、本章で扱う電子クーポン決済時の交流促進インターフェースは、第1章で定義した中核課題のうち、技術的課題(1)「参加者と店舗スタッフ間における自然な交流促進基盤の欠如」に対応するものである。従来は主催者や店舗スタッフの属人的なスキルや偶発的状况に依存していた交流の発生を、インターフェース設計により意図的に促すことを可能にすることで、街バルにおける交流体験の向上と現場価値の創出を担う役割を果たす。

本研究では、まず複数の長押し型インターフェース案を設計し、操作性や交流促進効果に関する模擬実験を通じて最適案を選定する。さらに、選定されたインターフェースを実際の街バルイベントに試験導入し、参加者・店舗スタッフの主観評価を通じてその

有効性を定量的・定性的に検証する。これにより、街バルにおける交流促進を目指すインターフェース設計の可能性を実証的に明らかにする。

2.2 電子クーポンによる決済手続きとシステム要件

街バルイベントにおいて、紙クーポンに代わり電子クーポンを導入する際には、既存の運用プロセスや店舗環境に配慮したシステム設計が求められる。特に商店街の店舗は個人経営が中心であり、POS（Point of Sales）システムやデジタル決済端末が未整備なケースも多い。そのため、本研究では、ユーザが保有するスマートフォン1台で決済が完結可能な電子クーポン決済手続きの設計を行う。

通常、街バルの飲食店におけるユーザとスタッフの主な接点は、(1) 着席時、(2) 注文・決済時、(3) 配膳時である。(1)の着席時は店舗側の案内が一方向的になりやすく、参加者の行動が分散していることから、対話のきっかけが生じにくい。また、(3)の配膳時は業務負荷が高く、十分な対応が困難であるため、インタラクションの導入には不向きである。このため、本研究では参加者と店舗スタッフが対面し、短時間ながら能動的な操作が発生する注文・決済時のインタラクションに焦点を当てる。また、このステップではサーバ通信が伴い、処理待機時間が生じることから、共同作業の自然な導入が可能であり、交流の「きっかけ」として機能しうる。

従来主流であった紙クーポンを用いた注文・決済時の基本的な流れは以下の通りである。

1. ユーザがメニューを選ぶ
2. ユーザが必要な紙クーポンの枚数を切り取る
3. ユーザが紙クーポンを店員に渡す
4. 店員がチケットを受け取る

この手続きは、紙クーポンという物理的実体を介した利用者の操作が、支払い意思や注文タイミングといった行為意図を身体的ジェスチャとして可視化する構造を有する。HCI 分野の Tangible Interaction[63][64]や Embodied Interaction[65]では、物理的行為の可視性が相互作用の誘発要因となることが指摘されている。

本研究で実施した現地観察においても、紙クーポンの切り取りや手渡しといった身体的操作は店員側から容易に知覚可能であり、その可視性が注文・決済時の短い対面的やり取りを生じさせる契機として作用していたと捉えられる。したがって、紙クーポンを用いた決済プロセスは、取引完了のための手続きであると同時に、参加者と店舗スタッ

フ間における対面的相互作用を成立させるインタラクション構造として機能していると位置づけられる。

電子クーポン導入時にこの構造を大きく変更してしまうと、参加者や店舗スタッフの混乱を招くだけでなく、地域イベントにおける交流促進の観点からも望ましくない。したがって、電子クーポンによる支払いにおいても、紙クーポンの運用を踏襲しつつ、現場実装の容易さと操作の簡潔さを両立する必要がある。本研究で想定する街バルイベントの運用前提としては、クーポン1枚は定額とし、店舗ごとのメニュー価格はこのクーポン枚数の整数倍で統一されている。さらに、本システムでは各店舗に設置された二次元バーコード（Quick Response コード、以下 QR コード）は「店舗単位」で割り振られ、ユーザがコードを読み取ることで当該店舗の全メニュー情報を取得できる。このような運用前提に基づき、支払い手順およびインターフェースの設計を行っている。なお、QR コードの読み取りは「メニューごと」ではなく「店舗ごと」に行うため、その後の画面でユーザが希望するメニューを選択し、必要なクーポン枚数を指定する仕様とする。

以上を踏まえ、本研究では図 2.1 に示すような電子クーポン決済手順を設計する。決済手順は以下の 4 ステップからなる。

1. QR コード読み取りによるメニュー選択

ユーザが各店舗の QR コードをスマートフォンで読み取ると、その店舗のメニュー一覧が画面に表示される。ユーザは表示された中から希望するメニューを選択し、以降の手続きに進む。

2. 必要な電子クーポン枚数の決定

メニュー情報に基づき、ユーザが必要なクーポン枚数を選択する。操作負荷の低減のため、メニュー読み込み時点で標準的な必要枚数が初期値として自動表示される。

3. 電子クーポンの提示と受け渡し

ユーザは支払い確認画面を起動し、店舗スタッフに提示する。このステップは、本研究の主題である交流促進インターフェースの導入ポイントであり、次節で詳細に扱う。

4. 支払い完了の確認

ユーザと店舗スタッフの双方が支払い内容を画面上で確認し、電子クーポンの使用処理が完了する。



図 2.1 電子クーポン決済手続きのステップ概要

上記の設計により、ユーザ・店舗双方の負担を抑えつつ、街バル本来の魅力である対面的な交流体験を損なわない運用が可能となる。また、すべての操作をユーザのスマートフォン1台で完結できることにより、店舗側に新たな機器導入を求める必要がなく、導入障壁の低減にも貢献する。なお、決済処理においてはサーバとリアルタイム通信を行う必要がある。そのため、画面遷移や操作待機中に交流を促すようなインタラクション設計が求められる。この要請に対応する具体的なインターフェース設計については、第2.3節で述べる。

2.3 交流促進に向けたクーポン受渡しインターフェースの設計

2.3.1 交流促進の観点からのユーザインターフェース設計方針

本節では、ユーザインターフェース（User Interface：以下、UI）に着目し、交流を促進する観点からその設計方針を検討する。UIとは、ユーザがシステムと相互にやり取りを行う際の画面や操作要素の構成を指し、本研究では特に「電子クーポン決済時の操作画面」を対象とする。

第2.2節で述べたとおり、街バルにおける電子クーポン決済手続きにおいて、店舗スタッフと参加者の対面によるインタラクションが自然に発生しうる場面は、「3.電子クーポンの提示と受け渡し」である。本研究では、この場面に会話誘発にともなう交流促進を目的としたインタラクションを組み込むことで、参加者と店舗スタッフの社会的接触機会を創出し、地域交流を活性化させることを狙う。

本研究で提案する1台のスマートフォンを2人で同時に長押しする「共同タッチ型」インタラクションは、ユーザと店舗スタッフが身体的に同時に操作を行うことで、感覚的な連帯感を生み、かつ操作中の時間が会話の間として機能することを狙ったものである。さらに将来的なセキュリティ機能（複数指紋認証など）との親和性にも配慮した設計としており、感覚的・技術的双方からの妥当性を有するUI設計といえる。

画面構成としては、画面中央に進行バー付きの縦棒を配置し、両者が同時に「長押し」を行うことでバーが伸長し、完了までのプロセスを視覚的に共有できるようにする。端末の対向性（ユーザが手前側、店員が向こう側）を前提とした画面デザインとすることで、身体配置に基づく自然な操作感覚を確保する。

2.3.2 長押し時間の設定

インタラクションにおける長押し時間は、体験の印象や交流促進効果に直接関与する重要な設計要素である。本研究では、店舗業務の実態とユーザの操作感覚の両面から、最適な長押し時間を模擬実験により導出した。

従来の紙クーポンによる支払い所要時間が平均約 7 秒であることから、最大 5 秒までの操作時間が実用的であると判断し、1～5 秒の長押し時間を 1 秒刻みで設定したうえで、電子クーポンシステムに関心を持つ被験者 10 名を対象に評価実験を実施した。

被験者には各秒数の長押し UI を体験してもらい、共同作業として最も適切に感じた秒数を 1 ポイント、次点を 0.5 ポイントとして集計した。図 2.2 にその結果を示す。

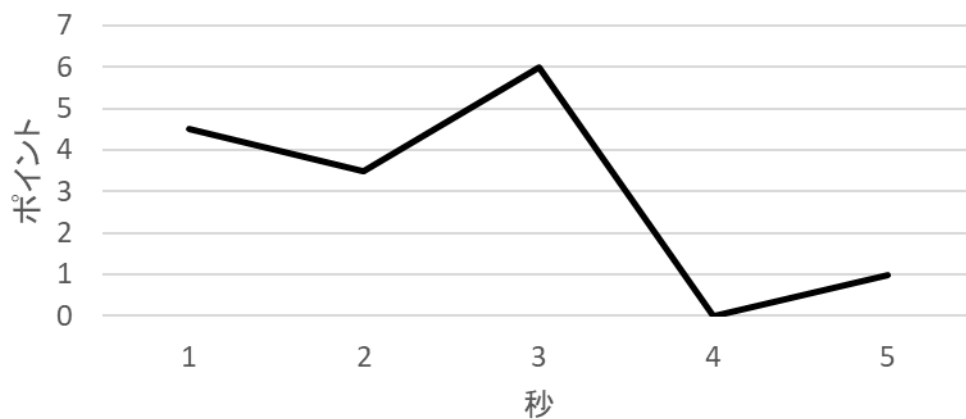


図 2.2 長押し時間に関する主観的評価結果

図 2.2 の結果より、最も高評価を得たのは 3 秒であり、次点は 1 秒であった。3 秒に対しては「共同作業として自然」「長すぎず短すぎない」といった評価が多く、共同性と操作負荷のバランスが取れていることが示唆された。これに対し、1 秒は「即時性があって良い」との意見がある一方で、交流を生む余裕がないとの指摘もあった。

以上の結果を踏まえ、交流誘発に適したインタラクションとして長押し時間を 3 秒に設定することとした。

2.3.3 クーポン受渡しインターフェースの候補

次に、より直感的なインタラクションを実現するため、本研究では、3 種の UI デザイン案を検討した。いずれも、操作意図の可視化や動作の誘導に効果を持つシグニファリアの観点から設計されている[66][67]。3 種類それぞれ異なる操作ジェスチャや視覚的表現によって共同作業感や直感性を誘発する構造となっており、いずれも実装対象である「ぶんじバル」のブランドカラーであるオレンジ色を基調にデザインされた。図 2.3 に 3 種類のインターフェース案を示す。



図 2.3 提案インターフェース 3 案の画面構成

候補 1：握手型インターフェース

縦配置画面の中央に 1 つのボタンを配置し、ユーザと店員が対面で同一箇所を押下する。握手動作に類似した動きを誘発し、社会的インタラクションの象徴的な構図を活用することで、相互の心理的距離を縮めることを目的とする。

候補 2：親指押下型インターフェース

縦配置画面の上下端に大きなボタンを配置し、双方が自分側から親指で押せる位置となるようにレイアウトする。親指の押しやすさを活かし、程よい距離感を保ちながらも同時操作による一体感を生むことを目的とする。

候補3：人差し指押下型インターフェース

縦配置画面の上下に独立したボタンを配置し、ユーザと店員が人差し指で同時に押下する。押下位置が明確で操作精度が高く、相手の指や動作に視線が向きやすいため、相互の認識や反応を共有して交流を生むことを目的とする。

これらの画面候補は、次節で述べる模擬評価実験を通じて、好感度・操作性・交流性などの観点から比較される。

2.4 インターフェース候補の評価と考察

2.4.1 評価実験の設計

第2.3節にて提示した3種類の交流促進型インターフェース（握手型、親指押下型、人差し指押下型）について、実用性および効果を検証するために、模擬ユーザおよび店舗スタッフを対象とした評価実験を実施した。評価に際しては、電子クーポンの受渡し場面を模したプロトタイプ画面を用い、各インターフェースについて被験者に操作してもらい、その印象をアンケート形式で定量・定性の両面から取得した。

被験者構成は以下の通りである。模擬ユーザは14名（男性9名、女性5名）、年齢層は20代～80代と幅広く、70代以上を除きスマートフォンおよび電子マネーの使用経験を有していた。店員役の被験者は5名（男性2名、女性3名）、うち現場マネージャー職2名、一般店員職3名で構成された。

アンケート項目は、好感度 (Favorability)、操作性 (Usability)、交流性 (Interactiveness) の3カテゴリ・7項目から構成され、WUS (Web Usability Scale) [68]を参考に設計した。各項目は5段階評価（1: 全く当てはまらない ～ 5: 非常に当てはまる）で回答を得たほか、自由記述欄に主観的な印象を記載してもらった。評価対象となる3インターフェースはいずれも「3秒の長押し操作」を前提として統一された。

2.4.2 評価結果

評価スコアの平均値をカテゴリごとに算出した結果を表2.1に、模擬ユーザおよび店員それぞれの評価傾向をレーダーチャートとして図2.4、図2.5に示す。また取得した模擬ユーザおよび店員それぞれの自由記述の内容を表2.2、表2.3に示す。

表 2.1 アンケート項目の回答結果の比較

カテゴリ	質問項目	候補 1 (平均点)		候補 2 (平均点)		候補 3 (平均点)	
		ユーザ	店員	ユーザ	店員	ユーザ	店員
好感度	支払い操作が印象深い	4.0	3.6	3.4	3.6	3.6	3.6
	支払い操作が楽しい	2.9	3.6	3.0	3.6	3.5	3.8
操作性	操作手順がシンプル	3.5	4.0	3.6	4.0	4.4	4.2
	使い方がすぐに理解可能	2.6	4.2	3.0	4.0	4.4	4.2
交流性	支払いしている気分になる	3.4	3.4	3.1	4.2	3.6	3.8
	共同作業した気分になる	3.7	4.2	3.3	3.6	3.4	3.8
	この決済の操作を通して、お互いの関係は変わりそうか？	3.6	3.6	3.0	3.0	3.6	3.4

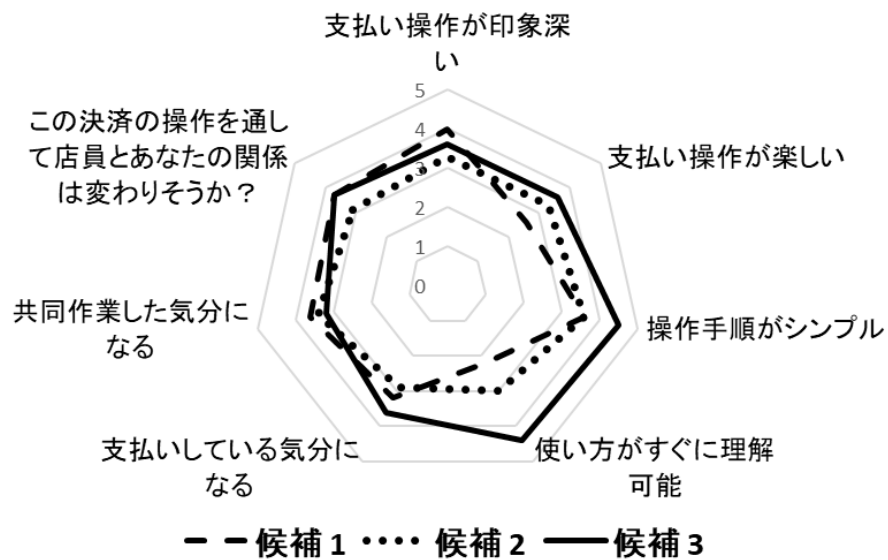


図 2.4 項目平均の比較（模擬ユーザ）

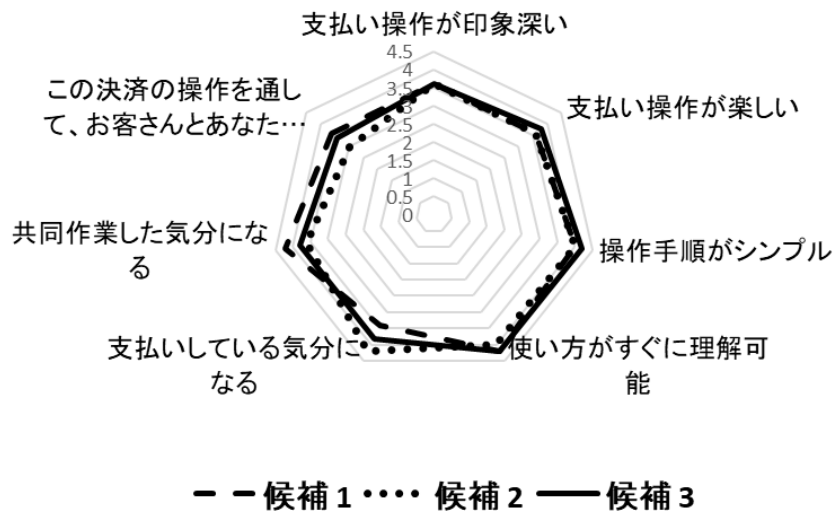


図 2.5 項目平均の比較 (店員)

表 2.2 模擬ユーザによる自由記述

候補 2 は相手の指を置くスペースと、自分の指を置くスペースがはっきり定義されているように見えるので、ほどよい距離感を保てそうに思えた。
どれも行動が同じなので店主との関係はどれも一緒になりそう。特に関係性が変わるような感覚はなかった。
候補 3 が店員と一対一でやり取りする点が分かりやすくちょうど良い。候補 1 は相手との距離感が近すぎ、候補 2 は画面が分割されていて真ん中の空いているところに距離感を感じる。
共同で作業する感覚は候補 1 が良く、程よい距離感は候補 3 がよかった。候補 1 は支払う側と受け取る側が同じ円の中にあるので共同作業があるので会話が始まりそう。
両者の手の位置が近ければ近いほど、支払いが完了するまで (バーが溜まるまで) の時間が長く感じた。一番良いのを決めるのは難しいが、候補 3 がどこを押せばいいかはっきりわかるシンプルさでわかりやすい。
候補 2 はそれぞれの操作を別々にしている感じが強くします。上下関係のようなものを感じた。候補 3 は操作ボタンが最も従来のスマホアプリのインターフェースに近いので、とっつき易さがある。

表 2.3 店員による自由記述

店員種別	コメント
マネージャー	全般的にインターフェースは良いと思う。交流は店員の対人スキルに依存するのでは。
	女性店員が多く候補 1 は感覚的に指が近すぎる気がして少し心配。支払い方法の教育が必要。
一般店員	どれも面白いインターフェース。候補 2 が押す範囲が広いので押し易い。
	どのインターフェースも面白い。候補 1 は指が近く最も一緒に作業している感覚がある。
	インターフェースは全部面白い。候補 3 は互いに指で押している感が分かり易い。

模擬ユーザの評価

好感度においては、候補 1（握手型）および候補 3（人差し指押下型）が高評価であり、候補 2（親指押下型）は他の 2 案に比べて低評価であった。操作性については、候補 3 が最も高評価で、視覚的明確性や指の動作負担の少なさが寄与していると考えられる。交流性については候補 1 および候補 3 が僅差で高評価を得た。

属性別分析では、70 代・80 代の高齢層における操作性スコアが全体より低く、「指を置く位置が分かりやすい」という理由で候補 3 が支持された。女性被験者では候補 2 が全体的に 1 ポイント程度低く評価され、自由記述でも言及が少なかった。

店員側の評価

店員側においては、好感度および操作性の評価に大きな差異はみられず、交流性においてのみ、候補 1 および候補 3 がやや高評価を示した。役職別では、現場マネージャー職は運用上の現実性を重視し、候補 1 に慎重な意見が見られた一方、一般店員職は候補 1 の「共同作業感」を肯定的に評価していた。

自由記述においては、「いずれも面白い」という曖昧な評価も多く、店員側の評価が相対的に「受動的・中立的」な視点に基づくものであることがうかがえた。

2.4.3 評価結果の考察と最適案の選定

以上の結果を総合的に考察すると、候補 3（人差し指押下型）が最適なインターフェースであると判断される。

候補 3 が支持された理由を対人距離学の観点[69]から整理すると、候補 1 や候補 2 が初対面の状況では距離が近く心理的な圧迫感を生みやすかったのに対し、候補 3 は適度

な社会的距離を保ちながら共同作業が可能であった点が挙げられる。候補 1 や候補 2 が 1 台の端末を掌で包み込む、あるいは指同士が接触する可能性のある形式であるのに対し、候補 3 は端末の上下端を双方が人差し指で押下する構造であり、「指差し」動作に基づく非接触的なジェスチャとして自然に受け入れられやすいと考えられる。

また、共同行為[70]とアフォーダンスの観点からも候補 3 の優位性が説明できる。候補 3 のデザインは、画面上のボタンという明確な対象物がシグニファイア（行為の手がかり）[71]として機能し、双方がそこへ指を伸ばす構造をとる。これは、一つの対象を二人で見つめ、共に干渉するという「共同注意」[72]の状況を自然に形成する。候補 2 のように画面領域を分割する形式では、視線が自分の操作領域にとどまりやすいが、候補 3 では相手の動きを意識しながら操作を同期させる必要があるため、視線や注意が自然と相手へ向かい、操作性と交流性の双方に寄与したと考えられる。

本節の評価を踏まえ、次節では候補 3 のインターフェースを実装し、実際の街バルイベントに導入して評価する実証実験の設計と結果を述べる。

2.5 実イベントにおけるインターフェース導入と評価

2.5.1 実証実験の概要と導入環境

第 2.4 節で最適案として選定された候補 3（人差し指押下型）インターフェースを実装し、実際の地域イベントである「ぶんじバル」への試験導入を行った。本節ではその導入過程と評価結果について述べる。

本実験は、2019 年 8 月末から 9 月初旬にかけて開催された東京都国分寺市の街バルイベント「ぶんじバル」において実施された。「ぶんじバル」は、2013 年から年 1, 2 回のペースで継続して開催されている商店街活性化イベントであり、第 9 回にあたるこの回では 49 店舗が参加し、約 500 名の参加者を集めた。このうち、提案インターフェースを搭載した電子クーポンシステムは 22 店舗に導入され、計 51 名のユーザが利用した。

システムは、スマートフォンとサーバから構成され、端末側は OS 非依存なウェブアプリケーションとして実装された。セキュリティ対策としては、端末側におけるパスワード認証による簡易的管理と、サーバ側におけるブロックチェーンベースのデータ保存を併用した。特に、利用金額が高額でない街バルの性質を踏まえ、実装の簡易性と運用負荷の低減を優先した構成とした。

2.5.2 利用者と店舗による評価

実証期間中および終了後に、イベント参加者 10 名と店舗スタッフ 4 名を対象に自由記述形式によるアンケート調査を実施した。また、イベント参加者 10 名を含まない「ぶんじバル」全体アンケートに記載された提案システムに関する記述 5 件を抽出し、合計 19 件の自由回答（表 2.4）について質的分析を行った。

会話誘発効果に関する回答

イベント参加者 6 名、店舗スタッフ 2 名が「会話のきっかけになった」と回答しており、画面共有・操作の照れ・戸惑いといった要素が対話を誘発する構造になっていたと推察される。例として、「2 人でタッチするのが非常に楽しかった」「支払いに集中する動作が自然と会話に繋がった」などの記述が見られた。

共同操作に関する評価

共同で画面を長押しするインタラクションについては、イベント参加者 12 名、店舗スタッフ 3 名から肯定的な評価が得られた。特に、「店員と一緒に作業するのが楽しい」「他人が操作しているのを見るのも面白い」など、自己の体験のみならず、観察体験からも楽しさが醸成されていることが示唆された。店舗スタッフからは「お客さんが楽しそうで良かった」というコメントが多く寄せられた。

一方で、否定的意見としては「支払いをすぐ済ませたい」「複数人が一度に使うと時間がかかる」といった時間的制約への不満も見られた。このことから、導入規模や混雑状況によっては、運用上の工夫が必要であることが示唆された。

表 2.4 アンケート結果

種別	コメント
イベント 参加者	最初恥ずかしかったが支払いは面白かった。払う側と受け取る側に何かしらの「照れ」のような同意感があるのと、多少操作に戸惑う感じがあると機械的な決済で終わらないと感じた。
	個人的には支払いは素早く済ませたい。ただ、他の人がスマートフォンで支払っている姿を見るのは面白かった。
	店員さんとともに支払うのは面白かった。料理がおいしいので何回も頼んでしまった。
	電子版の支払いは楽しかった。ただし、電子クーポンのチャージは面倒くさい。スマートフォンでチャージできるようにしてほしい。
	店員さんとボタンを押すのは楽しかった。友人が支払っているのを見るとこれも面白かった。
	店員と支払うアイデアは良かったと思うが、電子クーポンのチャージはスマホで出来ると良いと思う。
	支払いが楽しく、友人と一緒に楽しむことができた。電子クーポンのチャージが楽にできれば、電子チケットの取り扱い店舗を増やしてほしい。
	電子マネーから電子クーポンへチャージできるようにしてほしい。支払いは素早く済ませたいのでインタラクションは必要ないと思う。
	店員さんとボタンを押すことに最初は恥ずかしく戸惑ったが、これはこれで面白いと思う。他の人が同様にちょっと戸惑っているのが面白かった。
	電子クーポンのチャージはスマートフォンで出来るようにしてほしい。支払い方法はとても良かったと思う。
店舗スタッフ	電子クーポンは集計が楽だが、お客さんが複数人で一気に電子クーポンで注文すると時間がかかってしまう。電子クーポンのチャージが大変。
	お客さんが来てイベントを楽しんでいるようだった。紙版と電子版がいつか統一されると良いと思います。
	お客さんが楽しんでもらったのが良かった。お客さんがボタンを押すことに照れがあったようでそこから会話が始まった。
	たまたま楽しい集団のお客さんだったからかも知れないが、ボタンを押すたびに会話が盛り上がった。電子クーポンのチャージに処理が多く時間がかかる。

2.5.3 システム全体への評価

会話を誘発するインターフェースに対する評価は、イベント参加者・店舗スタッフ双方からおおむね肯定的な意見が得られた。

また、自由記述からは「気に入った店舗にマークを付けられるとよい」「再訪したメニューを記録したい」「大規模イベントにも適用できるのでは」など、インターフェースの拡張・汎用化に関する示唆も得られた。

2.5.4 まとめ

本実証実験を通じて、提案インターフェースがイベント参加者と店舗スタッフ間の交流促進に有効であることが確認された。特に、共同操作によるインタラクションと操作時の身体的・心理的効果が、自然な会話の発生に貢献していると評価された。また、他者の操作を見ることで自らの体験に期待感を持つ「観察による巻き込み」も確認され、イベント空間における雰囲気形成にも寄与する可能性が示された。

一方、電子クーポンへの変換の利便性や、オペレーションの時間制約といった運用上の課題も明らかとなった。これらの課題を踏まえつつ、他地域・他形式イベントへの展開可能性を探ることが今後の発展的課題である。

2.6 結言

本章では、街バルイベントにおける交流促進を目的とした電子クーポン決済インターフェースの設計と評価に関する研究を述べた。街バルにおいては、地域内の経済循環や社会的つながりの形成が重要視されており、本研究ではその一環として、店舗スタッフと参加者の共同操作を通じて会話を誘発する UI の設計と導入を試みた。

具体的には、電子クーポンの受け渡し工程において、1 台のスマートフォン画面を両方で同時に長押しするという「人差し指押下型」インターフェースを提案・実装し、模擬実験および実イベントによって評価を行った。評価の結果、好感度・操作性・交流性の観点から一定の効果が確認され、実イベントでの自由記述からも「楽しい」「会話が生まれる」といった肯定的な意見が多く得られたことから、本インターフェースが街バルにおける交流促進および交流体験の向上に資する可能性を有することが実証的に示された。

一方で、評価結果の信頼性については他の実イベントでの評価実験によってさらなる補強が求められる。また、電子クーポンの変換手続きに関する負担や、混雑時の操作時間に関する指摘も得られており、運用面における課題と改善点が明らかとなった。

今後の課題としては、第一に、街バルイベントの電子化を容易にするための汎用的なサービスシステムの構築が挙げられる。イベント参加者の事前登録、決済、利用履歴管理、アンケート収集といった一連のプロセスを統合し、イベントごとに容易に適用可能なパッケージ化を目指すべきである。第二には、街バル以外の多様な地域イベント（例：マルシェ、フェスティバル、スタンプラリー）への応用可能性を視野に入れ、イベント形式や参加者属性に応じた UI の柔軟な拡張性と適応性を確保することである。

第3章

画素値正規化による 2 値化処理法を適用した紙クーポン自動集計手法

3.1 緒言

本章では、街バルで運用される紙クーポンの運営効率化を実現する、スマートフォン等で撮影した画像からクーポン情報を抽出する画像認識技術を提案する。

街バル全体で紙クーポンの集計を当日中に人手で行うことは、運営負荷が大きい。併用される電子クーポンがもつリアルタイム性を生かし街バル全体の売り上げの当日把握を実現するためには、運営負荷を抑えつつ現場環境に適応できる紙クーポンの自動集計技術の導入が不可欠である。紙クーポンを撮影する手段としては、スキャナやデジタルカメラがあるものの十分には普及しておらず、現時点においては、多くの人が持っているスマートフォンや携帯電話のカメラ機能を使うのが妥当である。また、スマートフォン等は特殊な操作をしなくてもインターネットに接続できるので、紙クーポンの画像入力機器として適切といえる。

スマートフォン等で撮影した画像で問題となるのは、写真の明るさや影の影響により、クーポンの文字や枠線の視認性が低下し、その結果誤認識が発生する点である。たとえば、屋外の強い日差しの下では白飛びが起こり、夜間の室内では影で一部の暗部がつぶれる。このような場合、コンピュータは「クーポンがあるのか背景なのか」を判別できなくなる。

このような画像をコンピュータで解析する際には、まず濃淡画像を白と黒の2値に分ける「2 値化処理」を行う。2 値化は、文字や形状を抽出する画像認識の前処理として標準的に用いられる工程であり、前景と背景を分離し、形状や文字の構造を抽出するための基礎的処理である。

従来の「固定しきい値型の2 値化手法」は、画像全体に一律の基準値（しきい値）を適用して白黒を判定する方式であるが、均一照明を前提としている。このため上記のような環境では対象と背景の境界分離が不安定となる。すなわち、画像全体に一律の基準

を当てはめる方式では「明るすぎる部分」「暗すぎる部分」の両方で失敗しやすいという欠点がある。

この課題に対しては、局所適応型手法や深層学習ベースの手法も提案されているが、前者はパラメータ選択の難しさ、後者は学習データや計算資源を必要とするため、現場運用には適さない。街バルの現場のように、店舗スタッフやボランティアがスマートフォンで手軽に扱う環境では、パラメータ調整や画像処理の再学習に割ける時間や人員がかぎられている。また、現場で即時に処理結果を得る必要があるため、サーバ側で都度の再調整は現実的ではない。

本章では、紙クーポン画像の集計において、画素の明るさを周囲の平均値で正規化し、相対的に評価することで、照明むらや影の影響を抑える「画素値正規化による2値化処理法」を提案する。従来の局所適応では画像を小領域に分割、各領域で個別にしきい値を算出する方式であるのに対し、本手法は画素値を正規化して全体で単一のしきい値で判定する方式であるため、処理が簡潔で計算量も小さい。本手法は、撮影時の照明の強弱によって画像全体の明るさが変化しても、各部分の明るさをその周囲と比較して扱うことで、相対的な明暗関係を保ち、影や照明むらの影響を受けにくくするものである。また、周囲の明るさを考慮して判断することで、一部の画素にランダムに生じる極端な明るさのばらつき（ノイズ）の影響が平均化され、より安定した結果が得られる。

本研究全体の枠組みにおいて、本章で扱う紙クーポン自動集計手法は、第1章で定義した中核課題のうち、技術的課題(2)「照明のばらつきに起因する紙クーポン自動集計用画像の認識精度低下」に対応するものである。紙クーポン運用を維持したまま行動データを安定して取得可能にすることで、経験則のみに依存していた運営改善をデータに基づき行えるようにする基盤を提供する。

以下、まず3.2節で紙クーポン自動集計に関する処理構成と基盤技術を整理する。次に3.3節で、提案手法である画素値正規化による2値化処理法の原理とその適用方法を述べる。最後に3.4節で、実際の街バルイベントで取得した画像データを用い、提案手法の有効性を従来手法と比較検証し、得られた知見を基に現場適用に向けた考察を行う。これにより、街バルにおける紙クーポン自動集計手法の実用性を明らかにする。

3.2 紙クーポン画像の集計に関する基盤技術

3.2.1 紙クーポン自動集計における処理構成と課題

紙クーポンの当日集計を行う一般的な方法は、図 3.1 に示すように、店舗スタッフやボランティアが営業終了後に回収した紙クーポンをスマートフォン等で撮影し、その画像をサーバへ送信する方式である。サーバ側では、送信された画像からクーポンの枚数や識別情報を抽出し、電子クーポンシステムと統合することで、一元的な管理が可能となる。



図 3.1 紙クーポン自動集計におけるスマートフォン撮影とサーバ解析の概念図

しかし、この方式には、現場運用上の課題がいくつか存在する。第一に、撮影環境は必ずしも均一ではなく、屋外の強い日差しや夜間の暗所など、多様な照明条件下で撮影されることが想定される。店舗スタッフやボランティアといった非専門家が撮影を担当するため、撮影姿勢や露出条件、照明位置などのばらつきを完全に制御することは難しい。その結果、スマートフォン撮影特有の粒状ノイズや局所的な明暗むら、露出の不均一が発生しやすく、画像の明瞭度や認識精度を低下させる要因となる。第二の課題は、サーバ側での一括処理を想定しても、現場の通信環境や即時性の要請を踏まえると、サーバ上で都度パラメータを調整しつつ処理を行うことは現実的ではない。本部の運営スタッフも画像処理の専門家ではなく、複雑な設定を担わせることはできない。したがって、現場ではパラメータ調整が不要で、撮影条件の違いに対しても安定して動作する方式が求められる。第三の課題は、運営コストの制約から、学習済みモデルや膨大な計算資源を必要とする深層学習手法は現場適用に適さない点である。クーポン券面のデザイ

ンは毎年変更されることがあり、イベントごとに異なる場合や当日印刷による発行もあるため、そのたびにモデル更新が必要となる点が実運用上の課題となる。

以上のような課題を踏まえると、街バル現場での紙クーポン電子化には、撮影環境の多様性、通信・運営上の制約、およびクーポンデザインの変化といった条件を同時に考慮し、これらに柔軟に対応できる画像処理手法が必要である。

3.2.2 画像処理の基本構成と2値化の役割

コンピュータに取り込まれた紙クーポン画像データの概略処理フローを図 3.2 に示す。まず、画像の前処理としてノイズ除去や2値化処理を行い、認識精度を向上させる準備を整える。次に、枚数カウント、店舗ID・日時との紐付け等の画像処理を行い、最後に結果をデータベースに登録し、店舗や主催者へ通知する。



図 3.2 紙クーポン画像処理の一般的フロー

紙クーポン画像からの枚数カウントは、文書画像解析の標準的な処理手順に従う。これは、ノイズ除去・照明補正などの後、2値化および領域分離を行い、特徴抽出・パターン照合を経て構造化データ化に至る。この処理手順は標準的手法[73][74]として確立しており、実用 OCR システムにも広く採用されている。標準的な処理構成を採用することで、将来的な機能拡張や他システムとの連携が容易になり、異なるクーポン形式や集計方式への応用がしやすいという利点がある。

ノイズ除去・2値化を経た画像に対しては、クーポンの特徴パターンを認識し、枚数をカウントする。クーポン意匠の頻繁な変更や撮影条件の多様性により、学習データの更新やモデルの再学習や保守には高いコストが発生する。現場でその負担を避けるため、本節では、軽量かつ実装容易なテンプレートマッチング[79][80]を利用する。

テンプレートマッチングでは既知のパターン（テンプレート画像）を入力画像内で探索し、最も類似する位置を検出する手法である[81]。具体的には、テンプレート画像を入力画像上で走査し、各位置における類似度を算出して類似度マップ（関連マップ）を

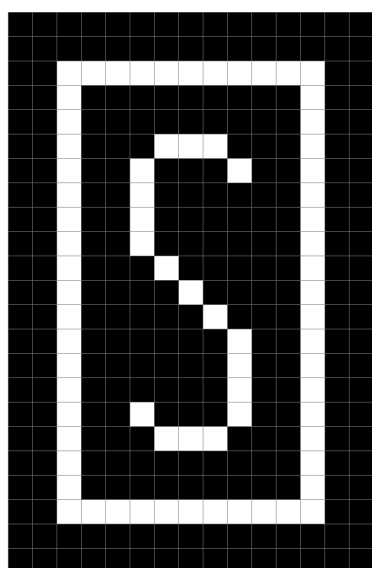
生成する．得られた相関マップの極大値がテンプレートに最も一致する位置を示し，同じクーポンを複数の近接位置で誤って検出しないように，類似した検出候補のうち最も高い類似度を持つもののみを残す重複検出の排除処理を行う．また，テンプレートマッチング手法は多くの OpenCV に複数の実装が用意されており，それらを用いて短時間で容易に構築が可能である．

本研究では，前処理の適否は後段の認識精度に大きく影響するため，前処理の設計を重視する．

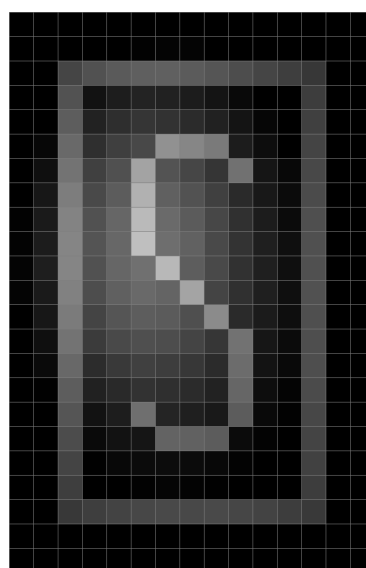
3.2.3 2 値化処理の既存手法と課題

クーポンの輪郭や文字を正確に抽出するためには，撮影画像を白と黒に分ける 2 値化処理を行う．2 値化とは各画素の輝度値（0～255 の範囲で表される明るさ情報）をもとに白と黒の 2 階調に変換する処理であり，前景（枠線や文字などのクーポン領域）と背景を明確に分離する役割を持つ．この変換によりクーポンの外形や文字枠が強調され，その後に実施される枚数カウントや文字認識などの処理へと接続できる．これらの 2 値化手法は，固定しきい値方式，局所適応型方式などに大別されており，その分類や評価指標，適用条件については，体系的に整理されている[75][76]．

図 3.3 に示す画像を用いて，代表的な 2 値化手法を説明する．図 3.3(a)の基準画像ではクーポン領域と背景が明確に分離しているが，図 3.3(b)のスポット照明を模擬した入力画像では，明るい部分と暗い部分が連続的に変化し，輝度のばらつきが生じている．



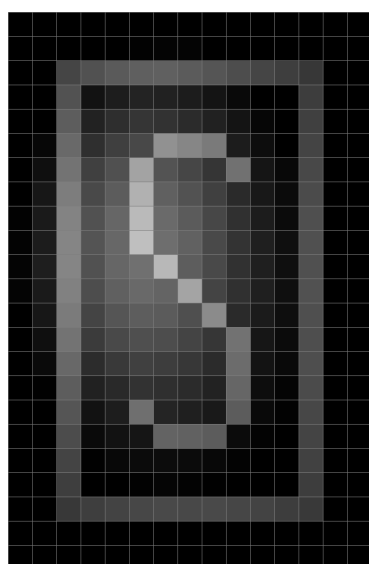
(a)均一な照明を模擬して作成した基準画像
(クーポン領域と背景が明確に分離している)



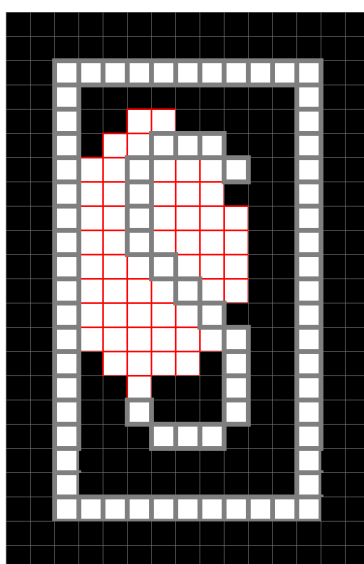
(b)スポット照明を模擬して作成した入力画像
(明るい部分と暗い部分の輝度差が生じている)

図 3.3 基準画像と 2 値化を行う入力画像の例

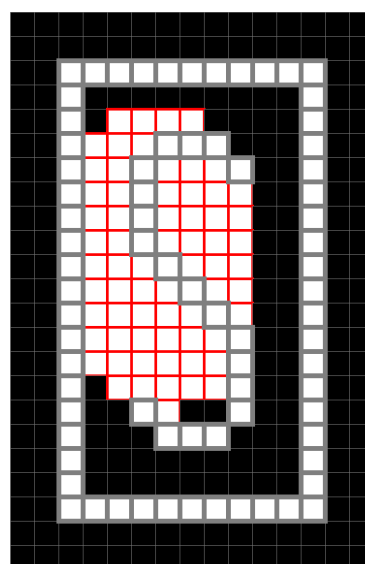
この入力画像の 2 値化として、固定しきい値型として代表的な 2 値化手法である大津方式および局所適応型として代表的な Sauvola 方式を用いた場合の結果を図 3.4 に示す



(a)入力画像



(b)大津方式（固定しきい値型）
(照明むらがある画像で
一部に白飛びや黒つぶれが見られる)



(c) Sauvola方式（局所適応型）
(局所補正により明暗差をならすが
照明が連続的に変化する場合
は過補正により誤判定が増加する。)

図 3.4 代表的な 2 値化方式による結果（赤＝誤判定セル，灰＝正判定セル）

大津方式は類別間分散最大化法[32]に基づき、画像全体の明るさの分布（ヒストグラム）をもとに、前景と背景を最もよく区別できる単一のしきい値を自動的に決定する。照明が均一な画像では良好に機能するが、明暗差のある画像では固定しきい値の適用範囲が限られ、図 3.4(b)のように白飛びが見られる。

局所適応型の 2 値化手法（Sauvola 方式、Bernsen 方式など）[35][36]は、各画素の近傍領域に基づいてしきい値を局所的に求めることで、照明のばらつきを補正する方式である。局所的な輝度変動に対応できる一方で、照明が連続的に変化する画像では過補正となる。Sauvola 方式では図 3.4(c)のように明るい部分でも誤判定セル（赤枠）が発生する。結果として、領域によって分離結果がばらつきやすく、安定した処理を得るためには専門的な調整が必要となる[77][78]。

近年では、深層学習を用いた 2 値化手法も提案されており[39][40][41]、多様な照明条件や劣化文書画像に対して高精度な処理結果が報告されている。しかし、これらの手法は大量の学習データと計算資源を必要とし、スマートフォンや小規模サーバ環境での即時処理には適さない。さらに、イベントごとにクーポンデザインが変わるため、再学習やモデル更新のコストも課題となる。

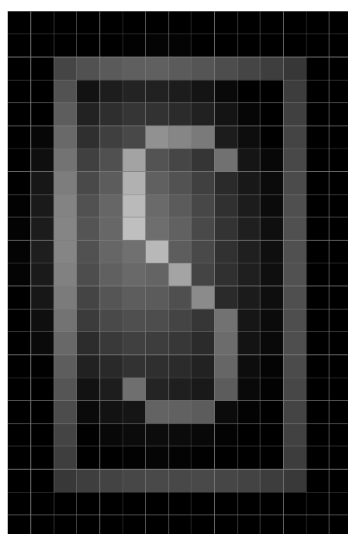
このように、従来手法はいずれも一長一短があり、照明むらや明暗差のある環境では安定して 2 値化を行うことが難しい。

3.3 凹凸係数に基づく画素値正規化による 2 値化処理法

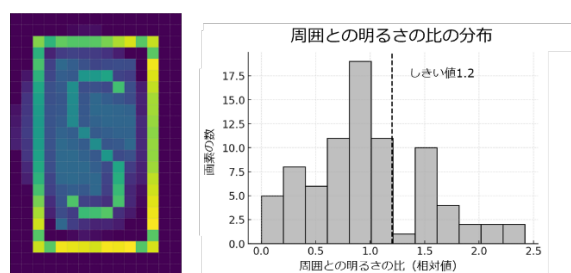
3.3.1 提案の目的と基本発想

従来の 2 値化手法では、画像全体で 1 つのしきい値を用いる方式と、局所ごとにしきい値を変える方式が用いられている。前者は照明にむらがあると誤分類が残り、後者はしきい値の変動が大きく、細部で誤反転が生じやすい。

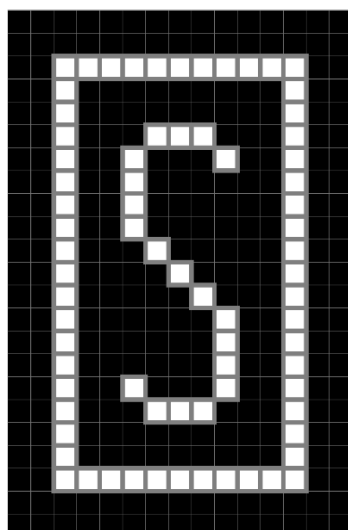
これらの課題を踏まえ、本研究では、屋外・屋内・夜間など多様な撮影条件下でも安定して識別できる 2 値化を実現するため、画素の明るさを絶対値ではなく「周囲との相対関係」に基づいて評価する方法を採用する。すなわち、画素値（輝度値）を周囲の平均画素値で正規化して得られる局所的な明暗比（凹凸係数）に基づいて前景と背景を区別する「画素値正規化による 2 値化処理法」を提案する。



(a)入力画像



(b)凹凸係数の分布とヒストグラムとしきい値位置



(c)2値化結果

図 3.5 画素値正規化による 2 値化処理法の概要

図 3.5 に本手法の処理概要を示す．上部は入力画像，中段は各画素の周囲との明るさの比（凹凸係数）をもとに作成した分布図，ヒストグラムとしきい値の位置，中央は各画素の周囲との明るさの比（凹凸係数）の分布図，下部はそのヒストグラムとしきい値に基づいて 2 値化した結果である．本手法では，画素の輝度をその局所平均で割ることで相対的な明るさを求める．このとき，照明の強弱や影の影響を受けても，画素の周囲との対比に基づいて判定できるため，照明むらや陰影のある環境でも安定して前景と背景の分離が可能となる．

3.3.2 凹凸係数の定義

図 3.5 の処理を数式で表すと，各画素の明るさをその周囲の平均的な明るさと比較して判定する形となる．対象画素 (i, j) の輝度値（画素値）を X_{ij} とする．その周囲に存在する $(2m + 1)^2$ 画素領域を局所ブロックとしたときの，座標 (i, j) の画素の平均輝度値 R_{ij} は下記の式で計算される．

$$R_{ij} = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m X_{i+k, j+l} \quad \text{式(3.1)}$$

ここで， m は局所ブロックの大きさを決めるパラメータである． $m = 1$ の場合は 3×3 画素， $m = 2$ の場合は 5×5 画素の範囲を意味する．

次に，対象画素の輝度値 X_{ij} をその周囲の局所平均 R_{ij} で正規化した値 r_{ij} を「凹凸係数」と定義する．

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{R_{ij}} \quad \text{式(3.2)}$$

凹凸係数は，対象画素が周囲と比較してどの程度明るいかわ、あるいは暗いかわを示す相対的な指標である．たとえば， $r_{ij} > 1$ ならその部分は周囲より明るく， $r_{ij} < 1$ なら周囲より暗いことを意味する．

3.3.3 2 値化処理の数理モデル

本節では、前節で定義した凹凸係数 $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{R_{ij}}$ を用いて、前景（文字・枠線）と背景を分離するためのしきい値 T の決定方法と、白地黒文字・黒地白文字の双方に対する分類規則を示す。

(1) 凹凸係数の分布特性

凹凸係数は、周囲の局所平均 R_{ij} を基準として画素の相対的な明るさを表す量であるため、以下の特徴を有する。

- 背景と同程度の明るさ : $r_{ij} \approx 1$
- 白地黒文字（背景が明、前景が暗） : $r_{ij} < 1$ の領域が前景に相当
- 黒地白文字（背景が暗、前景が明） : $r_{ij} > 1$ の領域が前景に相当

すなわち、前景が 1 を基準として左右どちらに分布するかは、背景が明るい暗いか（背景極性）によって反転する。

(2) しきい値 T の定義

凹凸係数の分布 $\{r_{ij}\}$ を前景と背景に分離するために、本手法では以下の 3 要素に基づいてしきい値 T を定義する。

1. 分布の中心値 : 中央値 $median(\{r_{ij}\})$
2. 前景と背景の離れ具合 : 標準偏差 $\sigma\{r_{ij}\}$
3. 前景が分布する方向 : 背景極性を示す符号 s

（白地黒文字 : $s = -1$, 黒地白文字 : $s = +1$ ）

以上を用いて、しきい値を次式で定める。

$$T = median(\{r_{ij}\}) + sk\sigma(\{r_{ij}\}) \quad \text{式(3.3)}$$

ここで k は分布の幅に応じてしきい値をどの程度前景側に寄せるかを調整する係数である。

$median(\{r_{ij}\})$ は背景と前景の境界付近の値、 $k\sigma\{r_{ij}\}$ は分布の広がり量を表す。

また s は前景が中央値より小さい側（暗側）か、大きい側（明側）かを指定する符号パラメータであり、この符号により $k\sigma$ を前景側にシフトさせる役割をもつ。

なお、凹凸係数の分布は影や局所反射の影響により外れ値を含んだ非対称分布となるため、分布中心の推定には平均値よりも外れ値に対して頑健な中央値を用いる。

(3) 背景極性（白地黒文字／黒地白文字）の判定方法

符号 s を決定するため、画像全体の輝度ヒストグラムを解析し、最も多い輝度帯（分布ピーク）の位置に基づいて背景の極性を判定する[88][89]。

- 最頻値が高輝度側にある場合：

背景が明るいと判断し白地黒文字（ $s = -1$ ）とする。

- 最頻値が低輝度側にある場合：

背景が暗いと判断し黒地白文字（ $s = +1$ ）とする。

この判定により、前景が 1 より小さい側／大きい側のどちらに分布するかを一意に決定できる。

(4) 2 値化の判定規則

凹凸係数 r_{ij} としきい値 T の関係に基づき、画素 (i, j) の 2 値化結果 B_{ij} を次式で与える。

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{前景 : 対象領域}) \\ 0 & (\text{背景 : } \quad \quad \quad) \end{cases} \quad \text{式(3.4)}$$

前景となる条件は背景極性に応じて次のように切り替える。

- 背景が明るく前景が暗い場合（白地黒文字）： $r_{ij} < T \rightarrow B_{ij} = 1$
- 背景が暗く前景が明るい場合（黒地白文字）： $r_{ij} > T \rightarrow B_{ij} = 1$

3.3.4 アルゴリズム構成

図 3.6 に画素値正規化による 2 値化処理法の処理フローを示す。

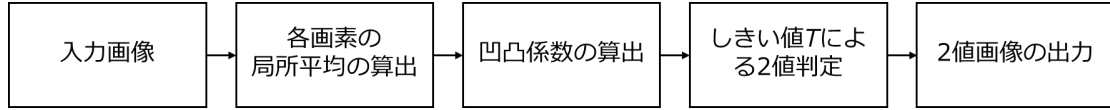


図 3.6 画素値正規化による 2 値化処理法にもとづく 2 値化の処理手順

1. 入力画像の各画素 (i, j) を対象として，その周囲に設定された $(2m + 1)^2$ の局所ブロックを取り出し，ブロック内の平均画素値 R_{ij} を算出する．
2. 対象画素の画素値 X_{ij} を平均画素値 R_{ij} で正規化し，凹凸係数 $r_{ij} = \frac{X_{ij}}{R_{ij}}$ を求める．
3. 全画素の凹凸係数分布 $\{r_{ij}\}$ から，式(3.3)によりしきい値 T を算出する．
4. 極性（背景の明暗）に応じて判定方向を切り替える．
 - ・ 白地黒文字（背景明→前景暗）： $r_{ij} < T \rightarrow B_{ij} = 1$ （前景），それ以外は 0（背景）
 - ・ 黒地白文字（背景暗→前景明）： $r_{ij} > T \rightarrow B_{ij} = 1$ （前景），それ以外は 0（背景）

本アルゴリズムは，計算内容が単純な平均演算と除算で構成されるため，計算負荷が比較的小さいという利点を持つ．

3.3.5 パラメータ設定方針

提案手法で設定が必要となるパラメータは，局所平均を算出する際のブロックサイズ m と，しきい値補正係数 k ，ならびに背景が白地か黒地かを判定する極性判定の 3 つである．この内，極性判定は第 3.3.3 項で示した通り，画像全体の輝度分布（ヒストグラム）から自動的に決定でき，利用者が設定を行う必要はないため，以下では m と k について設定方針を説明する．

(1) ブロックサイズ m

ブロックサイズ m は，局所的な平均化範囲を決めるパラメータである．小さい値では細部の変化に敏感に反応し，大きい値では照明むらやノイズをより滑らかに平均化する．本手法では，局所比によって照明変動の影響をすでに抑えているため，広い範囲で平均をとる必要はない．多様なクーポン画像（印刷色・

照明条件・撮影端末が異なる複数事例)で実験した結果、ノイズ抑制とエッジ保持のバランスが取れる経験的な設定として、 $m=1$ ，すなわち 3×3 ブロックで十分な性能が得られる。ただし、対象となる文字や図形が極端に大きい場合は、 5×5 ($m=2$) あるいは 7×7 ($m=3$) に拡大することで安定した判定が得られる。

(2) しきい値補正係数 k

k は凹凸係数のばらつき σ を基準に、背景ノイズと前景（文字）を分離する境界を定める係数である。 k を大きくすればノイズ除去能力が高まる一方で細線が消失しやすく、小さくすれば微細文字を保持できる反面、紙面の汚れを誤検知する可能性が高まる。ここで、凹凸係数の分布形状を規定する主因は、文字配置やフォントといった「デザイン」ではなく、紙とインクの反射率差に依存する「物理的なコントラスト」である。街バルの紙クーポンは通例として白地に黒文字という高コントラスト仕様であり、年度ごとにレイアウトが変わってもこの物理的特性は保持される。このため、背景の輝度ばらつき (1σ) をノイズとして抑制する設定である $k=1$ は、デザイン変更の有無に関わらず安定的に適用できる標準値といえる。なお、背景色を有するクーポンや低コントラストな配色へ大幅に変更される場合には k の微調整が必要となるが、単一パラメータであるため現場運用上の負担は小さい。

3.4 紙クーポン自動計数システム

3.4.1 システム設計の基本方針

第 3.3 節で提案した凹凸係数に基づく画素値正規化による 2 値化処理法を前処理エンジンとして組み込み、街バル現場における紙クーポンの自動計数を実現するシステム構成について述べる。本システムは、追加機材を必要とせず汎用的なスマートフォンで利用可能であることを前提とする。またサーバ側では、送信後ただちに集計処理が自動的に実行され、利用者は追加操作を必要としない。

テンプレートマッチングの基本構成は第 3.2.2 節で述べたとおりであるが、その類似度評価指標として Hausdorff 距離(Hausdorff Distance)[86][87]を採用する。Hausdorff 距離は、二つの点集合に対し、一方の集合の各点から他方の集合までの最短距離の中で最大

となる値をとることで定義される距離尺度であり、輪郭どうしの幾何学的なずれの大きさを表現できる、輝度値そのものに依存せず輪郭形状に基づき比較を行うため、照明条件や印刷むらの影響を受けにくく、2 値化後に抽出されたクーポン輪郭を比較する本システムに適している。実装には、OpenCV ライブラリに含まれる関数を用い、テンプレート輪郭と入力画像輪郭の Hausdorff 距離を算出する構成とする。

屋外・屋内・夜間といった多様な照明条件下での利用を想定しているが、極端な露出不良や大きな手ぶれが生じた場合には、提案手法の性能が低下する可能性がある。そこで端末側での撮影レビュー時に輝度ヒストグラムやエッジ強度を用いた簡易的な画質検査を行い、品質が基準を満たさない場合は再撮影を促す仕組みを導入する。これにより、入力画像の極端な品質劣化による誤判定を抑制し、安定した処理を維持できる。

さらに、クーポン枚数、店舗識別子、撮影時刻などの処理結果はデータベースに一元的に保存され、既存の電子クーポン管理システムと統合可能な形式で提供される。これにより、紙と電子が併存する現行の運営体制に柔軟に適応でき、後続の集計や監査に対しても再現性の高い運用を実現する。

3.4.2 処理フロー

提案手法を用いた紙クーポン情報のデータ化は、図 3.7 に示すプロセスで構成される。

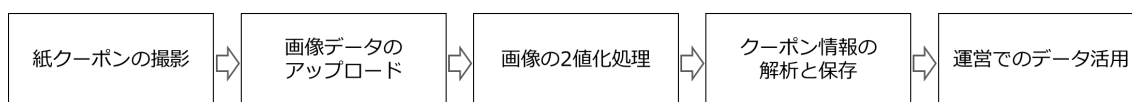


図 3.7 紙クーポン情報データ化の処理フロー

1. 紙クーポンの撮影

店舗が当日利用分の紙クーポンをスマートフォンで撮影する。特別な撮影条件や高価な機材を必要とせず、操作も単純である。

2. 画像データのアップロード

撮影画像は専用アプリを通じてサーバへ送信する。送信は自動化され、スタッフの操作負担を軽減する設計とする。

3. 画像の2値化処理

サーバ上で画素値正規化による2値化処理法（前述の提案方式）を適用し、影や濃淡差を補正してクーポン輪郭を抽出する．本処理では、前節の定義に従い、ヒストグラムのパークから推定した背景極性（白地／黒地）に応じて、2値化の判定方向（不等号）を自動的に切り替える．

4. クーポン情報の解析と保存

抽出結果を既存のクーポンテンプレートと照合し、クーポン枚数をカウントしたうえで、店舗ID・日時情報とともにデータベースへ保存する．この情報は既存の電子クーポンシステムとも統合可能とし、紙・電子の両運用に対応する．

5. 運営でのデータ活用

イベント中に売上状況を可視化し、店舗の宣伝や人の誘導に活用する．イベント終了後には精算作業を分散化でき、作業負担を軽減する．

3.4.3 操作手順とデータ処理

現場での操作手順は単純であり、店舗スタッフは回収した紙クーポンをスマートフォンで撮影し、プレビューを確認して送信するだけでよい．送信時には、店舗識別子やイベント識別子といった最小限の情報のみを自動的に付与する設計としている．明るさやしきい値などの設定は利用者が行う必要はなく、送信操作のみで処理が完結する．

サーバ側では、受信直後に画像の品質判定を行い、極端なぼけや露出不良が検出された場合には再撮影を促す．品質判定では、輝度ヒストグラムの分布幅とエッジ強度の平均値を用いて、極端に暗い・明るい・不鮮明な画像を自動判別する．閾値を下回る場合には、端末側に警告を返して再撮影を促す．品質基準を満たす画像については、前処理エンジンにより局所の平均画素値 R_{ij} の算出と凹凸係数 r_{ij} の評価を行い、第3.3節で示した方法に基づき、サーバ側でしきい値 T を自動適用して2値化を実施する．得られた2値画像からクーポン領域を抽出・計数し、結果はハッシュ値とともにデータベースに記録される．これにより、重複送信の排除や改ざん防止が可能となる．最終的な計数値は集計情報として管理画面に提供され、精算や監査、分析に利用できる．

3.5 検証結果と考察

3.5.1 検証条件

提案した紙クーポン自動集計システムの有効性を評価するため、以下の条件下で検証を行った。なお、本検証は主として画像処理アルゴリズムおよび集計精度の有効性を対象としており、端末側のプレビュー機能やサーバ側での再撮影促し処理については、実装機能の確認にとどめ、統計的評価の対象外とした。

1. 撮影環境

本研究の評価には、2019年に開催されたイベント「ぶんじバル」において実際に撮影された紙クーポン画像を使用した。撮影は屋外直射光下、屋内自然光、夜間照明条件下など、街バル現場で典型的に生じる複数の照明条件の下で実施されており、実運用環境で想定される主要な撮影状況である。

- (1) 昼間の屋外（直射日光下）
- (2) 昼間の屋内（十分な自然光が入る環境）
- (3) 夜間の屋内・照明高（室内照明を増やし比較的明るい環境）
- (4) 夜間の屋内・照明低（スポット照明のみで照度が低い環境）

2. 使用データ

使用した画像群は、実イベントで取得された実写データであり、人の手持ち撮影や机上配置など、現場で一般的に行われる撮影方法で撮影した。シワ、折り目、裏写り、印刷むらといった劣化要因も含まれており、街バル実運用における多様な撮影条件を適切に反映している。図 3.8 に検証で用いた画像を示す。

3. 比較手法

提案手法：画素値正規化による 2 値化処理+Hausdorff 距離による形状マッチング

従来手法 1：大津方式による 2 値化+Hausdorff 距離による形状マッチング

従来手法 2：Sauvola 方式による 2 値化+Hausdorff 距離による形状マッチング

従来手法 3：2 値化を行わず Hausdorff 距離による形状マッチングのみ

従来手法 1 には、固定しきい値方式の代表であり文書画像の 2 値化で広く用いられている大津方式を採用した。大津方式は、照明が均一な環境では高い認識精度を示す一方で、照明むらや影を含む画像では精度が低下しやすいという課題がある。これは街バル

現場の撮影環境における問題と一致しているため、本研究では照明条件に対する頑健性を評価する比較基準として選定した。

従来手法 2 には、局所適応型 2 値化方式として第 3.2.3 項で例示した Sauvola 方式を採用した。Sauvola 方式は、近傍領域の平均値および標準偏差に基づき画素ごとに適応的にしきい値を決定する局所適応型の代表的な手法であり、文書画像における照明むらや局所的なコントラスト変動に対して高い頑健性を示す。街バルの紙クーポン画像では屋外撮影時の強い影や屋内撮影時の照度不均一が避けられず、領域ごとに適応的なしきい値処理が有効となる場面が多いことから、比較基準として広く参照される Sauvola 方式を選定した。Sauvola 方式の係数は、 $k=0.3$ 、ウィンドウサイズ $w=15$ 、動的レンジ $R=128$ を用いた。これらの値は文書画像処理において一般的な設定範囲に含まれ、クーポン画像に見られる影や照度むらに対して過度な白飛び・黒つぶれを生じさせず、安定した 2 値化結果が得られるためである。

従来手法 3 には、2 値化処理を行わず、グレースケール画像を直接 Hausdorff 距離で照合する方式を採用した。本方式は輪郭抽出を前提としない最も単純なベースラインであり、2 値化処理そのものが認識精度に必要なかどうか、および正規化による 2 値化がどの程度寄与するかを切り分けて評価するための比較対象として選定した。

これらの比較により、提案手法の認識精度と環境適応性を定量的に評価した。なお、本章における認識率は、画像ごとの真値枚数に対する正しく計数されたクーポン枚数の比率で定義する。



図 3.8 検証で用いた紙クーポン画像

3.5.2 検証結果

1. 撮影条件別の 2 値化結果

図 3.9～図 3.12 に、4 種類の撮影環境における提案方式と従来方式 1（大津方式）、従来方式 2（Sauvola 方式）を用いた 2 値化結果を示す。各図では、(a) 原画像、(b) 従来手法（大津方式）による結果、(c) 従来方式（Sauvola 方式）、(d) 提案手法による結果となっている。

(1) 昼間の屋外（直射日光下）：図 3.9

直射日光下では強いハイライトと影が同時に発生し、大津方式では白飛びや黒つぶれにより枠線や文字が欠落しやすかった。Sauvola 方式は、大津方式に比べ影部の黒つぶれを抑制できる一方で、緑色の帯の中に白抜き文字で縦書きの「Ticket」という表記がある左側の帯が局所標準偏差の低さにより白飛びしやすく、帯が欠損する傾向がみられた。ロゴ部分は比較的良好に抽出されるものの、帯欠損により券面全体の再現性が低下した。一方、提案手法は照明むらの影響を受けにくく、クーポン枠および文字・ロゴを安定して抽出できた。

(2) 昼間の屋内（十分な自然光が入る環境）：図 3.10

昼間の屋内では自然光が十分に入る一方で広い影領域が発生し、大津方式では影部が黒つぶれして枠線や文字が部分的に消失した。Sauvola 方式では、影領域の輝度変動に応じて局所的にしきい値が調整されるため、大津方式に比べ影による黒つぶれが大幅に減少した。しかし、淡色帯の局所コントラストが低いため帯が白飛びして欠損しやすく、券面左側の情報が失われるという構造的問題がみられた。これに対し提案手法は、影による輝度低下を緩和し、影部を含む全体でクーポンの輪郭と文字情報を保持できた。

(3) 夜間の屋内・照明高（室内照明を増やし比較的明るい環境）：図 3.11

夜間の屋内で照明が強い環境では反射やハイライトが発生し、大津方式では白飛び・黒つぶれによる枠線や文字の欠損が顕著であった。Sauvola 方式も大津方式より反射部での黒つぶれが抑制され、ロゴ文字は比較的安定して抽出された。しかし、照明が強い領域では帯部分が均一な明度となり局所標準偏差がさらに低下するため、左側帯が消失する傾向がより顕著となった。一方、提案手法は照明の強弱に影響されにくく、反射部や影部を含めて券面の形状と文字を安定して抽出できた。

(4) 夜間の屋内・照明低（全体的に証明が暗い環境）：図 3.12

大津方式はヒストグラムの分離が不十分となり広範囲で黒つぶれが生じ、文字や枠線の識別が困難であった。Sauvola 方式は暗部でも局所変動が小さい領域ではしきい値が安定し、ロゴ部分は適切に抽出された。しかし淡色帯は暗部においても背景に近い輝度となるため、帯全体が白飛びし欠損した。暗所環境では帯欠損が認識率に直接影響することが確認された。これに対し提案手法は暗部でも一定のコントラストを確保し、券面の輪郭と文字が明瞭に抽出された。



(a) 撮影された原画像



(b) 大津方式



(c) Sauvola方式



(d) 提案方式

図 3.9 昼間の屋外での撮影結果と 2 値化結果



(a) 撮影された原画像



(b) 大津方式



(c) Sauvola方式



(d) 提案方式

図 3.10 昼間の屋内での撮影結果と 2 値化結果



(a) 撮影された原画像



(b) 大津方式



(c) Sauvola方式



(d) 提案方式

図 3.11 夜間の照明が明るい屋内での撮影結果と 2 値化結果



(a) 撮影された原画像



(b) 大津方式



(c) Sauvola方式



(d) 提案方式

図 3.12 夜間の照明が暗い屋内での撮影結果と 2 値化結果

2. 認識率の比較

図 3.13 に、各手法の認識率比較を示す。提案手法は、屋内夜間（照明高）条件で 96.4%と若干の誤認識が発生したものの、その他の 3 条件では 100%を達成し、従来手法（57.1～89.3%）を安定して上回った。

全体として、提案手法は 4 条件すべてで 96.4～100%の高い認識精度を維持し、従来手法 1（大津方式：57.1～89.3%）および従来手法 2（Sauvola 方式：75～89.3%）を安定して上回った。特に、昼間の屋内環境では従来手法 1 が 57.1%まで低下する一方、提案手法は 100%の精度を維持し、影の影響が顕著な条件下における有効性が確認された。他の撮影条件でも従来手法 3 も含め全体的に認識率は高かったが、提案手法は全条件で高精度を維持し、照明環境の違いに対する頑健性を示した。

従来手法 2（Sauvola 方式）は、影領域が広く存在する屋内昼間では従来手法（大津方式）より高い認識率（75%）を示した一方、淡色帯が欠損しやすい特性により屋外昼間では 82.1%にとどまった。夜間環境では 89.3%（照明高）および 100%（照明低）と高い認識率を示したが、照明高の環境では帯欠損が形状一致に影響するため提案手法の精度には及ばなかった。

この差は、凹凸係数による正規化処理が照明むらや影に頑健であることに起因すると考えられる。各画素値を周辺ブロックの平均輝度で正規化することにより、全体的な明暗変動を補正し、固定しきい値方式では失われやすい文字やロゴの情報が保持された。以上より、本研究で得られた実環境データ（図 3.9～図 3.12）は、凹凸係数の理論的性質（分布の 1 近傍への集中および照度不変性）[57]と整合し、当該特性が実環境においても妥当であると考えられる。

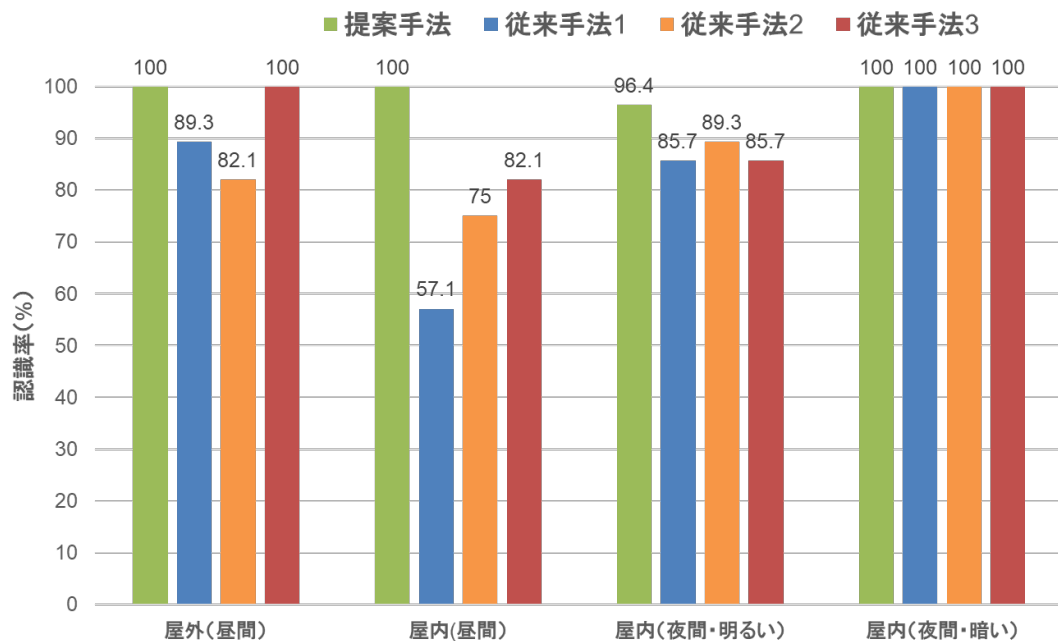


図 3.13 照明条件別における提案手法と従来手法の認識率比較結果

3.5.3 考察

屋内夜間（照明高）における認識精度は 96.4%に留まった．この低下は，主としてテンプレート照合段階における幾何学的ずれに起因すると考えられる．具体的には，(i) 撮影角度に伴うスケール変化や回転，(ii) 強照明下に特有の局所反射（ハイライト）やコントラストの偏りにより，一部領域の照合が不安定化した可能性が高い．

この解釈を裏付ける根拠は二点である．第一に，提案手法の 2 値化は凹凸係数に基づく照度正規化により照明むらや影に対して頑健であり，他の 3 条件で 100%の認識率を達成していることから，2 値化処理に問題があった可能性は低い．第二に，テンプレート照合はスケール・回転・アフィン変形に対して不変性を持たず，その結果，一致度が低下しやすいことが広く指摘されている[82][83]．また，強照明下では鏡面反射により画素が飽和し，局所的なコントラストやテクスチャ情報が失われることも一般的に知られている[74][84]．これらの知見と，本研究での性能低下が照明高条件に特有であったという結果は整合しており，幾何ずれと局所反射の複合影響が原因であると考えられる．

以上より、当該条件の改善には、スケール・回転補正を組み込んだテンプレートマッチング、あるいは特徴点ベースの照合法[85]との統合が有効と考えられる。

また、従来手法 3 (2 値化なし) が従来手法 1 (大津方式) を上回った撮影環境が存在した。これは、大津方式が照明むらに弱く、誤った 2 値化により印字領域が欠損し、その欠損が Hausdorff 距離による形状マッチングに直接影響したためである。一方、従来手法 3 は 2 値化の誤判定による情報欠損が生じなかったため、相対的に高い認識率となったと考えられる。

一方で、従来手法 2 (Sauvola 方式) は局所平均値と局所標準偏差に基づき画素ごとにしきい値を決定するため、影領域に対しては従来手法 1 (大津方式) より頑健であり、屋内昼間のように広い影が存在する条件で認識率が 75%と大津方式 (57.1%) を上回った。一方で、緑色の帯の中に白抜き文字で縦書きの「Ticket」という表記がある左側の帯は局所コントラストが極めて低いため、背景側へ誤判定されやすく、帯全体が白飛びして欠損するという構造的な問題が確認された。この帯欠損はテンプレートとの形状一致を低下させ、屋外昼間のような照度が高い場面では認識率が 82.1%にとどまる要因となったと考えられる。

これに対し提案手法は、凹凸係数に基づく正規化により照度変動を抑えたうえで、単一しきい値により輪郭点を安定して抽出できるため、全条件で従来手法を上回る認識率を示した。これにより、多様な照明条件を含む実環境下においても、提案手法が高い頑健性を有すると考えられる。

さらに、本研究が対象とする街バルイベントの精算業務においては、紙クーポンが金券相当の証憑として扱われる。店舗や主催者は、不正防止や換金処理における説明責任の観点から、「どのクーポンが正しく数えられたか」を画像から一目で確認できることを強く求める。この点において、淡色帯が欠損しやすい局所適応型手法は券面の真正性を視覚的に確認できず、証憑性の面で課題が残る。提案手法は帯およびロゴを良好に保持しつつ影にも頑健であり、街バル現場で要求される実務的な信頼性を満たす方式であると考えられる。

処理速度については、一般的なノート PC 環境で 1 枚あたり数百ミリ秒であった。イベント運営の現場で想定される処理要求を満たす速度である。街バルの紙クーポン自動集計では、撮影済みの数十～数百枚の画像をイベント中または終了後に一括処理すれば

よく、各画像を逐次即時に処理する必要はない。このため、本手法の処理時間は実務上十分に許容され、現場運用における性能上の制約は小さいと判断できる。

3.6 結言

本章では、街バルイベントにおける紙クーポンの人手による集計の負荷を軽減するため、画素値正規化による2値化処理法を応用した自動集計手法を提案し、その有効性を実証した。具体的には、スマートフォンで撮影したクーポン画像に対し、凹凸係数に基づく局所輝度比正規化を用いた2値化処理を行い、照明条件が不均一な環境でも安定した輪郭抽出を可能にした。さらに、実際の街バルイベントで取得した画像データを用いて評価を行い、従来手法では57.1～89.3%に留まる認識率が、提案手法では96.4～100%に達することを確認した。また、処理時間も1枚あたり数百ミリ秒程度であり、イベント現場で想定される数十～数百枚規模の一括処理を短時間で行うには十分な速度であることが確認された。

本研究の成果は、応用実装に加えて、文書画像認識分野における局所適応型2値化手法の実環境への適用可能性を示した点に意義があると考えられる。従来研究が主にデータセット上での評価に留まっていたのに対し、本研究では地域イベントという多様な照明・撮影条件を伴う実環境において頑健性を定量的に確認できた。このことは、凹凸係数に基づく手法の有効性を裏付ける一つの事例として位置づけられる。

本章の研究成果は以下の3点にまとめられる。第一に、凹凸係数を用いた単一しきい値による2値化を適用し、屋外直射光や屋内低照度といった多様な環境下でも安定した処理が可能であることを実運用データに基づき明らかにした点である。第二に、調整が必要となるパラメータをしきい値とブロックサイズの最小限に限定し、非専門家による現場運用を可能とする設計指針を示した点である。第三に、実際の街バルイベントで取得したフィールドデータを用いて有効性を定量的に確認し、処理時間を含めて実務上妥当であることを示した点である。これらの成果により、地域イベントにおける紙クーポン自動集計支援の実用的基盤を明らかにするとともに、文書画像処理分野における2値化手法の応用可能性を広げるものと位置づけられる。

一方で、撮影角度に伴うスケール変化や回転に対する課題、文字の太さに依存したブロックサイズ選定といった課題も確認された。これらは今後の改良の方向性を示すもの

であり, 幾何補正や動的パラメータ調整を組み合わせた発展的手法の検討が今後の課題となる.

第4章

シミュレータ設定支援ツールの構築と評価

4.1 緒言

街バルイベントの運営には、参加店舗の募集、施策の検討、当日の運営、事後の集計や分析など、多くの作業が含まれる。なかでもイベント設計段階では来場者の回遊行動や店舗利用傾向を事前に想定し、施策効果を検討することが重要である。そのための一つの手段として、来場者の行動を模擬できるシミュレータを用いられる。シミュレータは、複数の条件を変えながら施策案を比較できる点で、主催者にとって意思決定を支援する有効なツールとなる。

一方で、著者らが開発した街バルシミュレータ[61]は、利用にあたり多数の設定項目を必要とし、それぞれの項目が相互に依存関係をもつ。たとえば、来場者の移動確率を高めると、店舗ごとの滞在時間や購買確率にも影響が及ぶ。このため、その変更に合わせて関連パラメータも調整する必要がある。すなわち、一部の設定を変更するだけでも他の関連パラメータを整合させる必要があり、各設定項目の意味や関係性を理解しながら全体の一貫性を保つよう調整しなければならない。設定作業にはマルチエージェントシミュレーションや行動モデル分析などの専門的な知識が求められる。主催者がこれらの関係を把握して手作業で設定することは難しく、実務上はシミュレータの専門家に設定を依頼する運用が一般的である。

しかし、このような運用形態では、主催者が施策案を検討するたびに専門家と調整を行う必要があり、設定作業に多くの時間と手間がかかる。結果として、イベント設計の初期段階で柔軟に複数案を比較・検討することが難しくなり、計画の迅速な検討を妨げる要因となっている。

さらに、設定内容や意図が主催者と専門家の間で十分に共有されにくく、検討経緯の可視化や関係者間での合意形成が進みにくいという課題もある。これらの問題は、シミュレータの技術的性能というよりも、操作や設定の理解に専門的知識を要し、シミュレータ専門家の経験や判断に依存することで再現や共有が難しくなるという属人的な構造に起因しており、現場での活用を広げるうえで大きな障壁となっている。

これまで、都市計画や観光イベントの分野では、シミュレータの操作負担を軽減するため、GUI ベースの支援ツールが提案されている。これらは地図やタッチテーブル上でシナリオを可視化し、複数案を比較できるなど操作性を高めているが、多くは専門家が長期的に検討を進める計画分野を対象としており、街バルのように主催者が短期間で設定を繰り返す場面には適用が難しい。また、設定内容の理解や妥当性判断には依然として専門知識を要する。

本章では、こうした課題を解決するために、シミュレータの専門知識をもたない主催者でも短時間で設定・試行を行えるシミュレータ設定支援手法を提案する。提案する手法では、設定項目を「イベント施策（主催者が設定するイベント施策内容）」「参加者プロフィール（典型的な来場者群の属性構造）」「因果関係ルール（イベント施策が来場者行動に与える影響を数値的に表す仕組み）」の 3 つに整理し、これらの関係をあらかじめ定義することで、整合性の取れた設定値を自動的に生成できるようにする。

本研究全体の枠組みにおいて、本章で扱うシミュレータ設定支援手法は、第 1 章で定義した中核課題のうち、技術的課題(3)「多数の専門的パラメータへの依存に伴う街バルシミュレータ設定作業の操作困難性」に対応するものである。企画・運営ノウハウをパラメータ構造として形式化し、非専門家でも一定の妥当性を備えた設定が行えるようにすることで、施策検討プロセスの再現性を高める役割を担う。

以下、まず第 4.2 節で街バルシミュレータの概要と従来運用における課題を整理する。次に第 4.3 節で、これらの課題を解決する設定作業の効率化手法を提案する。その基本構造、データ構成とパラメータ自動設定の仕組みを説明する。さらに第 4.4 節で、これらの設計をもとに構築した GUI ベースの支援ツールの構成と操作画面を示す。第 4.5 節では、ツールを用いた評価実験の結果を示し、作業効率や設定内容の妥当性について考察する。最後に第 4.6 節で、本章のまとめと今後の課題を述べる。

4.2 街バルシミュレータの活用課題

4.2.1 街バルシミュレータの概要

街バルシミュレータは、主催者が事前にイベント全体像を把握し運用を円滑に進めるために使用し、参加者の行動をシミュレートすることで人流やイベント全体の売り上げを予測するためのツールである。

図 4.1 に街バルシミュレータのメイン画面を示す。本画面では、来場者エージェントの移動経路や店舗売上の累積グラフなど、シミュレーション結果の主要指標を可視化している。画面上部の中央には街バル開催地の地図を表示し、その上で時間経過に伴う人流変化をアニメーションで表示する。画面上部の右側には街バルイベントへ出店している店舗売り上げ順位の変化を表示する。画面下部には街バルに参加している年齢層や性別や日ごとの参加人数の累計を表示する。

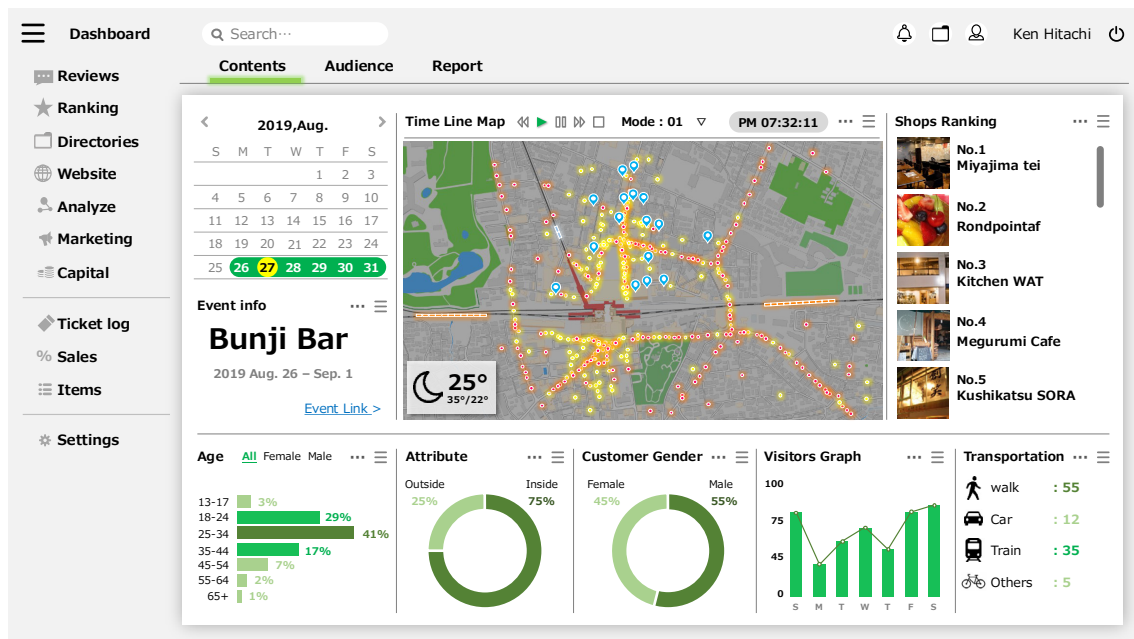


図 4.1 街バルシミュレータの算出結果表示画面

街バルシミュレータは、来場者エージェントの行動履歴を蓄積し、その集計結果を店舗ごとに図 4.2 のように表示する。画面上部の左から来店人数、売上高、注文されたメ

ニューの順位を表示し、画面下部には来店者の年代別内訳や性別ごとの割合、性別ごとのメニュー別注文順位を表示する。

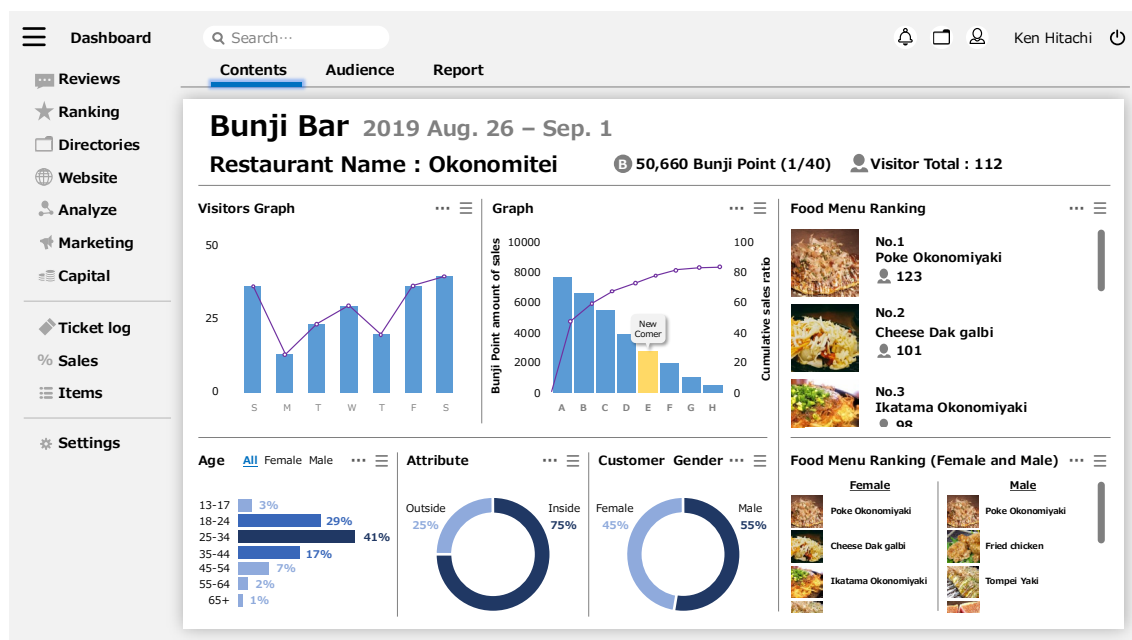


図 4.2 店舗売り上げやイベント参加者の累計表示

4.2.2 街バルシミュレータの構造

街バルシミュレータでは、人の行動を模したエージェントがコンピュータ上で行動する。シミュレーション対象は街バルイベントの対象となる街区内の参加店舗と、その来場者である。シミュレーションでは、街バルイベントへの来場者1人を1エージェントで模擬する。例えば、街バルイベントの来場者を延べ5万人と想定する場合、合計で5万エージェントをシミュレータ上で発生させる。各エージェントは街バルの営業時間内で、仮想地図内の参加店舗間を回遊する。

街バルシミュレータにおける設定構成要素を明確にするため、以下の用語を区別して用いる。

- エージェント：来場者一人を仮想的に模擬した主体であり、個別に行動特性を表す属性値を有する。
- 属性値：各エージェントが保持する特性値であり、年齢、店舗での滞在時間、所持金額などが該当する。

- パラメータ：エージェント群の属性値分布を統計的に規定する設定値であり，平均値・標準偏差などとして定義する．
- 設定値：街バルシミュレータに外部から与える制御値全体を指し，パラメータや初期条件などを含む．

以降では，パラメータを操作・更新することでエージェント群の属性分布を変化させるプロセスを設定と呼び，第 4.3 節以降で述べる．

図 4.3 に街バルシミュレータの構造の概略を示す．街バルシミュレータはその動作に必要なパラメータ群として，街バルへの想定参加人数と個々のエージェント属性値，および街バルイベント情報を保持する．

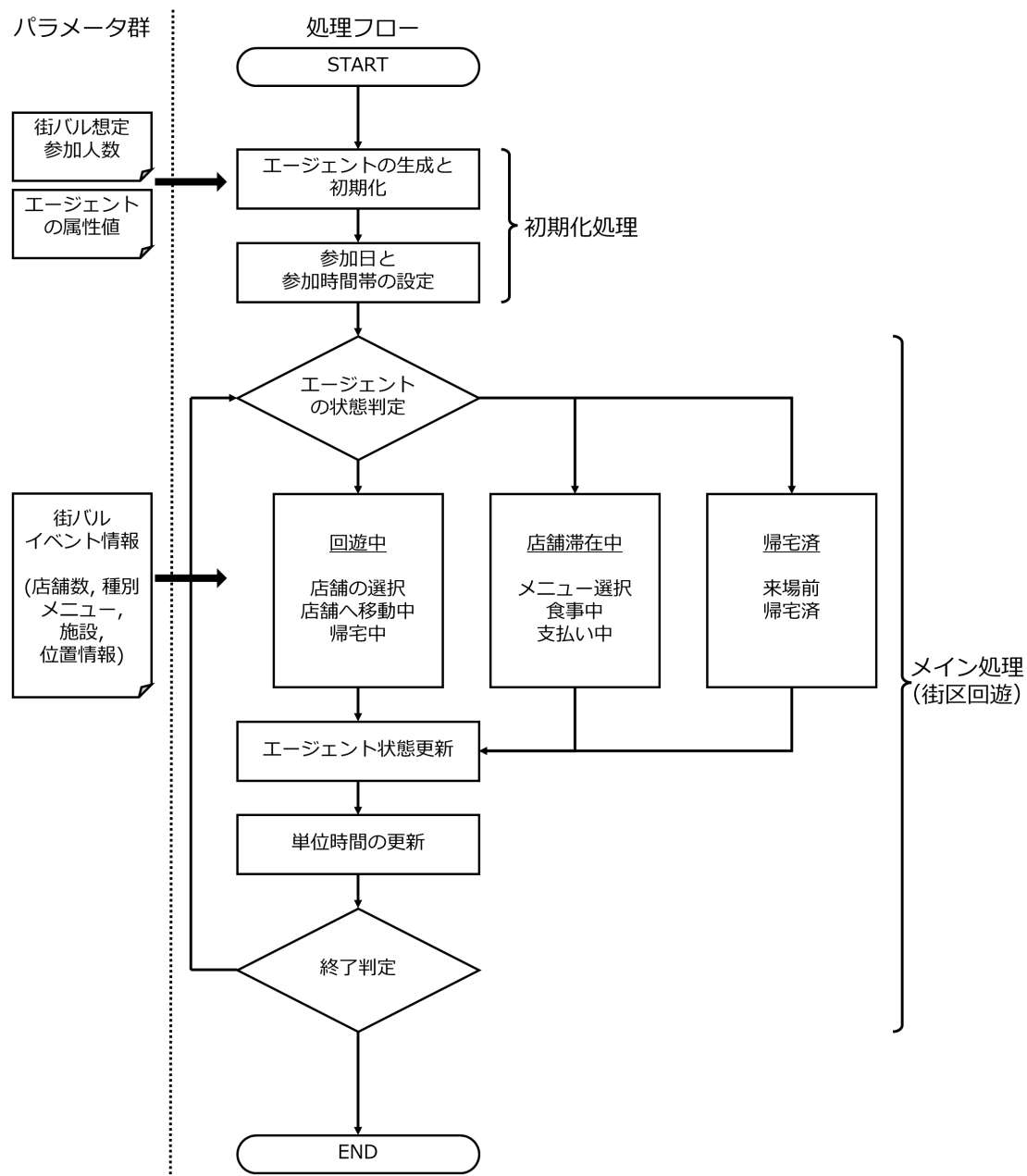


図 4.3 街バルシミュレータの構造概略

初期化処理において、街バルシミュレータは想定参加人数分のエージェント属性値を読み込み、すべてのエージェントの生成と初期化を行う。街バル来場者は、期間限定の特別メニューや店舗めぐりを目的として来場する場合が多い。各店舗の提供内容はチラシや Web で事前に把握している。これを模してエージェントはエージェント属性値で規定された嗜好や移動範囲などに基づき、訪れる店舗の候補を列挙する。その後、エー

エージェント属性値に基づく確率で選択した1つの店舗へ移動する。店舗移動後、店舗で提供されるメニューを1つもしくは複数注文する。その後、次の店舗を訪問するか、帰宅するかを判定し、次の店舗を訪問する場合は、再度候補店舗の列挙を行い、帰宅する場合、エージェントは消失する。訪問・帰宅の判定は、エージェント属性（滞在時間・来場目的・予算）および訪問履歴に基づく確率モデルで行う。

表 4.1 に、エージェントの属性の一覧を示す。ID や年齢、お店の趣向や行動可能範囲、店舗での平均滞在時間、店舗を複数回遊する（梯子する）度合いなどの属性を有する。属性値はエージェントごとに設定する。街バルを実施する街の大きさやイベント期間に応じてエージェント数（最大 10 万エージェントを想定）や属性値の分布を変化させる。これにより多様な地域や組織に対応可能とする。属性値はエージェント固有の特性値であり、その分布を統計的に規定するのがパラメータである。これらのパラメータは、表 4.1 に示す各属性（年齢、店舗での滞在時間、所持金額など）に対して平均値と標準偏差として設定され、エージェントの生成時に参照される。

表 4.1 エージェント属性

No.	項目名	設定内容	設定値の例
1	ID番号	ユニークな管理番号	PPG_001_002
2	種別	エージェント管理のためのサブID	002
3	性別	性別	男性
4	年齢	年齢	20歳
5	所持金額	参加する街バルイベント1日で消費する金額	5000円
6	店舗種類の嗜好	店舗の種類ごとに好む割合	居酒屋: 50%, カフェ: 20%, レストラン: 30%
7	店舗設備へのこだわり	喫煙室などの設備を有する店舗の選好有無	喫煙室: 1 授乳室: 0
8	宣伝チャンネルへの関心度	SNSやチラシなどの宣伝チャンネル別の店舗選択確率への重みづけ	SNS1: +0.5, SNS2: +0.2, チラシ: +0.7
9	次の店舗も訪問する確率	街バルイベント1日で複数の店舗へ訪問する確率	2店舗目: 100%, 3店舗目: 30% 4店舗目: 12%, 4店舗目: 2%
10	距離による店舗の選択範囲	指定した距離範囲内の店舗を選択	800m
11	店舗の滞在時間	1店舗に滞在する時間	120分

4.2.3 街バルシミュレータの活用課題

主催者が街バルシミュレータを用いてイベントの効果を事前に検討する場合、以下の手順に従い、主催者が目的やイベント施策を設定し、シミュレータ専門家がパラメータに反映させる形で協働する。

はじめに、①主催者が目的やターゲット層、売り上げ目標などを定め、カレーフェアや限定メニューの提供などの街バルイベントを盛り上げるためのイベント施策を検討する。続いて、②主催者はこれまでの経験や過去の開催実績を踏まえて、想定される来場者の行動変化をシミュレータ専門家に伝える。「行動変化」とは、基準シナリオ（通常開催時の来店行動）に対して、イベント施策の実施により生じる滞在時間・店舗選択・消費金額などの変化を指す。③シミュレータ専門家は、人の行動変化がシミュレータ上のエージェントの行動に反映されるようにパラメータを設定し、街バルシミュレータを

実行する。その後、④主催者と専門家の間で結果を確認する。主催者の想定結果と乖離がある場合には、パラメータの再調整を行い、シミュレーションを再試行する。これを反復的にを行い、シミュレーションのパラメータを確定させ、イベント効果予測を得る。

このような設定手順は、専門家と主催者の間で複数回のやり取りを要し、1回のイベント施策の検討に1週間以上かかる場合もある。設定内容の背景には、主催者の経験的知見や判断が含まれる一方、シミュレータは計数的な仕様で構成されており、両者の認識を擦り合わせるために追加の時間が必要となる。この結果、イベント設計の初期段階で複数のイベント施策を比較検討することが難しい。

業務効率化を進めるためには、主催者自身が街バルシミュレータを操作し、短時間でイベント効果を見積もれることが望ましい。しかし、これを実現するためには図 4.4 に示すような3つの課題が存在する。

1 番目の課題は、イベント施策の影響を受ける参加者像と、それをシミュレータに投影するエージェントグループとを主催者自身が規定する手段の提供である。参加者像を投影するために、エージェント属性のどこを変化させるべきか、値はどうするべきかを検討しなければならない。

2 番目の課題は、検討した変化させるべきエージェント属性がどこのパラメータで指定されているか容易に特定できるようにすることである。また、複数の人物像、例えば学生や家族連れなど、を投影する場合には、それぞれに対応する複数のパラメータ値を変化させる必要がある。

3 番目の課題は、適切なパラメータ値を主催者が容易に設定できるようにする点である。パラメータは平均値と標準偏差で規定されるため、適切な値を設定するには過去データや専門知識が不可欠であり、主催者にとっては負担が大きい。さらに、値を自由に設定できるため、仕様と矛盾する不整合な設定を行ってしまう可能性がある。加えて複数パラメータを同時に設定する場合、それらが相互に矛盾していないかを主催者自身が判断することは難しい。

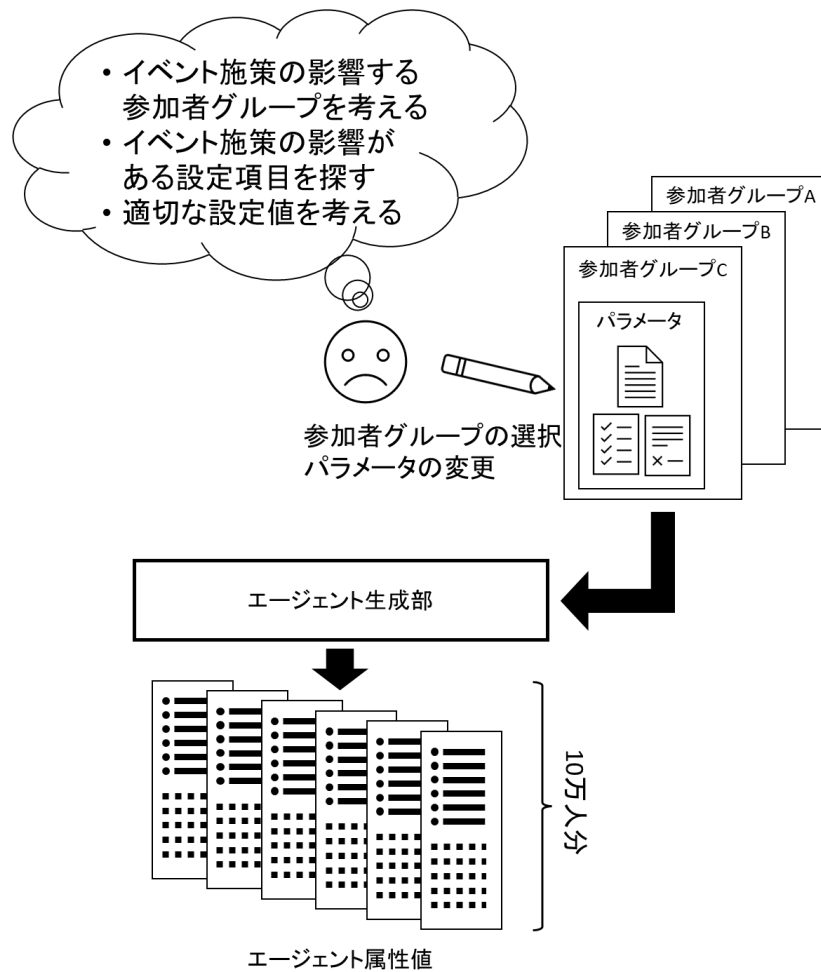


図 4.4 街バルシミュレータの活用課題

4.3 提案手法と解決アプローチ

4.3.1 提案手法の概要と設計思想

本研究では、主催者に数値パラメータを直接入力させることを避け、主催者が意味的に理解できる「イベント施策」や「参加者」等の意味的単位と、パラメータとを関連づけることを考える。そのため、イベント施策が参加者行動に及ぼす影響を定義した因果関係ルール、および参加者群の代表的特徴を保持する参加者グループプロフィールを準備し、イベント施策の選択を数値設定へと自動変換する手法を構築する。

具体的には、設定項目を「イベント施策（主催者が設定するイベント施策内容）」「参加者プロフィール（典型的な来場者群の属性構造）」「因果関係ルール（イベント施策が

来場者行動に与える影響を数値的に表す仕組み)」の3つに整理し、これらの関係をあらかじめ定義することで、整合性の取れた設定条件を自動的に生成する。

図 4.5 に、提案手法の全体構成と処理の流れを示す。

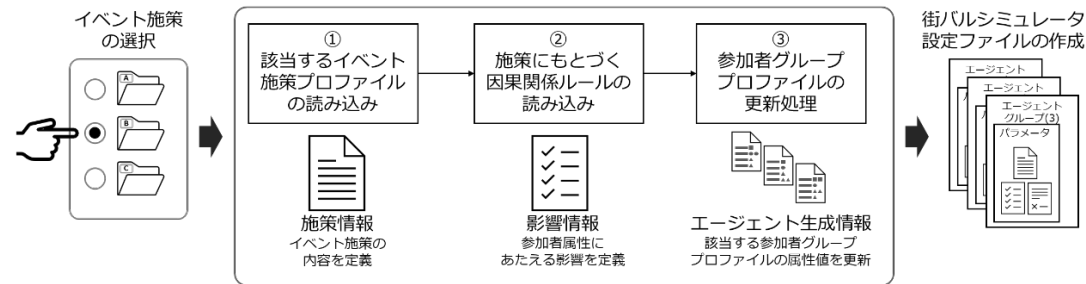


図 4.5 提案手法の全体構成

本手法は、イベント施策からシミュレーション設定値を一貫して導出するために三層構造を導入する。三層構造は、①イベント施策プロフィール、②因果関係ルール、③参加者グループプロフィールから構成する。表 4.2 に三層構造での各層での役割と出力内容を示す。

表 4.2 三層構造における役割と出力

層	名称	役割	各処理での出力内容
①	イベント施策プロフィール	主催者が設定する施策内容（意味構造）を定義	施策情報(施策ID、施策強度（大・中・小）など)
②	因果関係ルール	イベント施策の参加者グループ別の影響方向（増／減）と影響強度を定義	影響を与える参加者グループとそのプロフィール属性値への影響度合い（滞在時間+10など）
③	参加者グループプロフィール	来場者群の属性構造を保持し、因果関係ルールの影響量を反映して更新	更新後の属性値および街バルシミュレータの設定ファイル

三層構造により、イベント施策の選択→属性変化→エージェント生成という流れを一貫して管理できる。また、意味構造（施策の目的）、因果構造（イベント施策が行動に与える効果）、データ構造（エージェント属性値）の三層を分離することで、設定の再利用と拡張性を確保する。各層は独立して定義されており、新しいイベント施策の追加

や参加者属性の拡張を行う場合でも、他層を改変することなく更新が可能であるため、再利用性・拡張性・保守性の高い設定モデル構成を実現する。

各プロファイルの既定値は、過去の街バル実績データおよび運営経験者との協議内容をもとに設定する。過去の業務経験や蓄積されたノウハウを活用し、必要な設定項目を検討のうえ、業務上適切と判断される値を設定する。これにより、一般的な傾向を反映しつつ、イベント特性に応じた調整を可能とする。

以下では、第 4.3.2 項および第 4.3.3 項では、プロファイル構造を説明し、続く第 4.3.4 項で設定ファイルの生成処理の流れを示す。

4.3.2 イベント施策プロファイルと因果関係ルール

イベント施策は、これまでのイベント運営支援の経験に基づき、表 4.3 に示す 15 種類が初期値として設定されている。イベント施策プロファイルは、主催者が設定する施策内容とその基本パラメータ（ID・名称・強度など）を保持する。なお、新しいイベント施策を街バルで利用する場合は、既存のイベント施策プロファイルを変更もしくは追加する。

表 4.3 イベント施策一覧

番号	イベント施策の種別	イベント施策の内容
1	売り上げに 効果がある施策	特定の店舗売り上げを向上させる。
2		特定の業種の店舗売り上げを向上させる。
3		イベント全体の店舗売り上げを向上させる。
4		天気による参加者減少を軽減させる。
5		時間帯による参加者減少を軽減させる。
6	参加者に 効果がある施策	イベントの認知度を向上させる。
7		特定の参加者層の集客を向上させる。
8		季節イベントと組み合わせて開催する。
9		イベント参加者のリピート率を向上させる。
10		感染症対策を実施する。
11	参加者の移動、 速度、移動範囲に 効果がある施策	参加者の移動手段を増やす。
12		参加者の行動範囲を増やす。
13		参加者の人の流れを調整する。
14		天気による人の流れの影響を減少させる。
15		参加者の滞留を増やす。

一方、因果関係ルールは、イベント施策プロファイルと参加者グループプロファイルを接続する中間層であり、施策 ID ごとに「どの属性に」「どの方向で」「どの程度」影響するかを定義され、イベント施策プロファイルと 1 対 1 で対応する。因果関係ルールは、イベント施策による参加者行動の変化を形式化したもので、属性値（例：滞在時間・移動回数・支出額など）の増減方向と強度を明示する。表 4.4 に因果関係ルールの例を示す。

表 4.4 因果関係ルールの例

イベント施策	影響する参加者層	影響する属性	影響方向	影響強度
イベント全体の店舗の売り上げを向上	全参加者層	消費金額	増加	+10%
特定の参加者層の集客を向上	学生（男女） 友達連れ学生（男女）	消費金額 滞在時間	増加	+15%
参加者の人の流れを調整	全参加者層	複数店舗訪問確率	増加	+30%
参加者のリピート率を向上させる	友達連れ一般女性 友達連れ一般男性	本参加者グループの 参加数の割合	増加	+20%
感染症対策の実施	全参加者層	滞在時間	減少	-10%

因果関係ルールの作成は、街バル運営経験者とシミュレータ開発者が共同で実施する。過去の運営実績や業務知見をもとに、設定項目の妥当性と現実的範囲を検討し、主観的な判断に依存せず適切に再利用できる構造を整備している。これにより、主催者が専門知識を持たずとも、実績に裏づけられた設定を選択・調整できる。

4.3.3 参加者グループプロファイルと属性更新

参加者グループプロファイルはイベント施策により変化が生じる参加者群を表現するための、複数の代表的な来場者テンプレートで構成される。「学生」「高齢者」「子連れ家族」などのグループに対して、来店回数・滞在時間・支出額などの典型的なパラメータ値（来場者の属性値の平均値と標準偏差）があらかじめ設定されている。

参加者グループプロファイルは、イベント施策の影響を受ける参加者層を模したエージェントのグループ群であり、そのグループ群の特徴を規定した設定値を格納する。参加者グループ群の分類は、街バルを実施している商工会議所や商店会へのヒヤリング結

果と、街バル参加者アンケートの傾向をもとに設定している。表 4.5 にグループ群とその主要な特徴を示す。

表 4.5 参加者グループとその主要な特徴

番号	グループ群名称	主な特徴
1	学生（女性）	宣伝内容や提供メニューにより店舗選択が影響を受けやすい
2	学生（男性）	多数の店舗に参画し、食事メニューの利用頻度が高い
3	一般女性	カフェやスイーツ系店舗の利用が比較的多い
4	一般男性	多数の店舗を回遊し、アルコールメニューの利用が多い
5	高齢者（女性）	一つの店舗に留まる傾向が強い
6	高齢者（男性）	一般男性に類似し、一つの店舗に留まる傾向をもつ
7	子連れ家族	店舗施設や環境を重視して店舗を選択する傾向がある
8	友達連れの学生（女性）	学生（女性）の特性に加え、複数店舗を積極的に巡る
9	友達連れの学生（男性）	居酒屋やレストランの利用が多い
10	友達連れの一般女性	一般女性に類似し、一つの店舗に留まる傾向をもつ
11	友達連れの一般男性	居酒屋やレストランでアルコールメニューの利用が多い
12	友達連れの高齢者	一つの店舗に留まり、メニューを幅広く利用する傾向がある
13	友達連れの子連れ家族	店舗施設や環境への依存度が高い
14	恋人	特定店舗を選択し、一つの店舗でじっくりと過ごす傾向がある
15	夫婦	バー・居酒屋・カフェの利用が多い

参加者グループプロフィールのデータ構造を表 4.6 に示す。参加者グループプロフィールは、プロフィールの ID やプロフィール種別、参加者グループプロフィールの名前を格納する(表 4.6 : #1 から#3)。続いて表 1 で示した属性値と同様の情報を格納する(表 4.6 : #4 から#11)。最後に全体の参加人数に対する当該参加者グループの割合の初期値を格納する(表 4.6 : #12)。

表 4.6 参加者グループプロファイルのデータ構造

No.	項目名	内容	値の例
1	User_Group_Profile_ID	参加者グループプロファイルの管理番号	PPG_001_002
2	User_Group_Profile_type	参加者グループプロファイルの種別	02
3	Name	参加者グループプロファイルの名前	“学生(男性)”
4	Age	エージェントの年齢	18-26
5	Money_Amount	参加する街バルイベント1日で消費する金額	3000-7000
6	Preferable_Shop{}	店舗の種類ごとで好む割合	{‘Izakaya’: 50%, ‘Café’: 20%, ‘Restaurant’: 30%}
7	Preferable_Facility{}	喫煙室などの設備を有する店舗の選好有無	{‘Smoking’:1, ‘Nursery’:0, ...}
8	Preferable_SNS{}	宣伝チャンネル別の店舗選択確率への重みづけ	{‘SNS1’: +0.5, ‘SNS2’: +0.2, ‘Flyer’: +0.7}
9	Shop_Chaining_Ratio[]	複数の店舗へ訪問する確率	[100%, 30%, 10%, 2%]
10	Walkable_Range	指定した距離範囲内の店舗を選択	800
11	Visiting_Minutes_per_shop	1店舗に滞在する時間	120
12	Weight_of_this_UserG	全体に対する本参加者グループの参加数の割合	30%

因果関係ルールに基づき、イベント施策が与える影響量が各属性に適用されると、各属性値分布を規定するパラメータ（平均値・標準偏差）が更新され、新しい属性分布を有する参加者グループプロファイルが生成される。これにより、イベント施策による行動傾向の変化が、エージェント属性分布の平均値および標準偏差に反映され、統計的に整合した母集団が再構成される。表 4.7 に「特定の参加者層の集客を向上させる」イベント施策適用時の参加者グループプロファイルの属性値の更新例を示す。

表 4.7 参加者グループプロフィール属性値の更新例

イベント施策	特定の参加者層の集客を向上			
参加者グループ	消費金額		店舗滞在時間	
	初期値	更新値	初期値	更新値
学生（女性）	2,000円	2,300円	20分	25分
学生（女性）	2,000円	2,300円	15分	15分
学生（女性）	2,600円	3,000円	40分	50分
学生（女性）	2,300円	2,600円	30分	35分

この更新結果は、後続のエージェント生成における母集団情報として利用され、選択したイベント施策による傾向変化を統計的に再現する基盤となる。

4.3.4 設定ファイルの生成処理

更新された参加者グループプロフィールをもとに、支援ツールは街バルシミュレータで利用可能な形式の設定ファイルを自動生成する。このファイルには、各エージェントの属性値を生成する基となるパラメータが整合的に記録される。これにより、シミュレーション再実行時に同一条件下で属性分布を再現できる。生成過程では、平均値付近を中心にばらつきを持たせた乱数分布を適用し、個人差を反映させている。こうして得られた設定ファイルは、街バルシミュレータにより読み込まれ、エージェント生成および行動シミュレーションに利用される。

図 4.6 に設定ファイルの処理フローを示す。まず、参加者グループプロフィールを読み込み、格納されている典型的来場者、すなわち参加者グループのそれぞれの属性値と全体の参加人数に対する参加割合を記憶する。また、イベント施策プロフィールを、登録されている全イベント施策分（M件）分について順次読み込む。イベント施策プロフィールが規定する各参加者グループへの影響度を読み込む。続いて、参加者グループプロフィールを読み込み、その影響度に基づいて属性値を更新する。最後に、参加者グループプロフィールを用いて全参加人数分のエージェント属性値を作成する。ここでは、はじめに参加者グループプロフィールごとに作成すべきエージェント数を計算する。続いて計算した数のエージェントごとに属性値を乱数で分散させて設定する。さらにこれをすべての参加者グループプロフィール数だけ繰り返す。これによりイベント施策ごと

に影響を受けた参加者グループプロファイルを反映したすべてのエージェント属性値が作成される。

生成されたエージェント属性群は、支援ツール内部で整合性を検証した後、街バルシミュレータで読み込める形式の設定ファイルとして自動出力される。出力処理では、イベント施策情報・参加者グループ情報・乱数生成パラメータをメタ情報としてヘッダ部に記録し、再現性を確保する。設定ファイルは、街バルシミュレータ起動時に外部入力として読み込まれ、エージェント生成および行動シミュレーションに直接利用される。

以上より、支援ツールはシミュレータと独立した設定生成モジュールとして機能し、主催者がイベント施策を選択するだけで、整合性のとれた設定ファイルを自動的に生成できる。

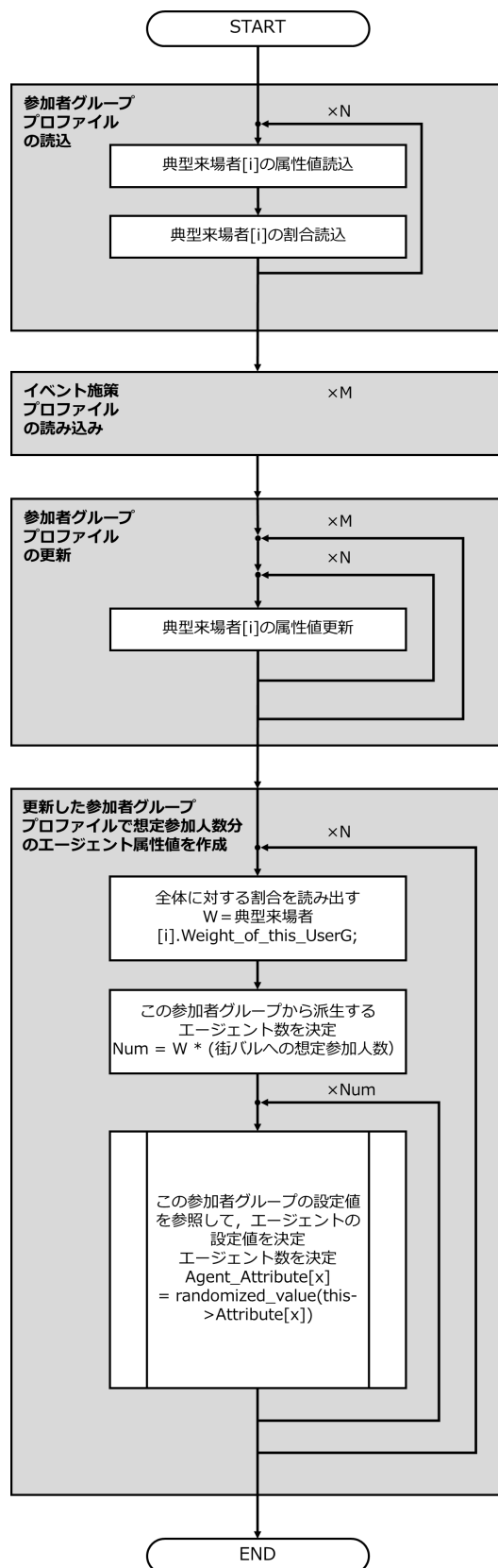


図 4.6 設定ファイル生成の処理フロー

4.4 シミュレータ設定支援ツールの実装

4.4.1 実装設計

シミュレータ設定支援ツールは図 4.7 に示すように、「入出力表示機能」「パラメータ自動設定機能」「街バルシミュレータ連携機能」の 3 種類の機能から構成される。入出力表示機能は主催者が施策を選択する GUI を提供し、パラメータ自動設定機能は因果関係ルールに基づいて属性分布を更新する。最後に連携機能が設定ファイルを生成し、街バルシミュレータへ自動転送する。

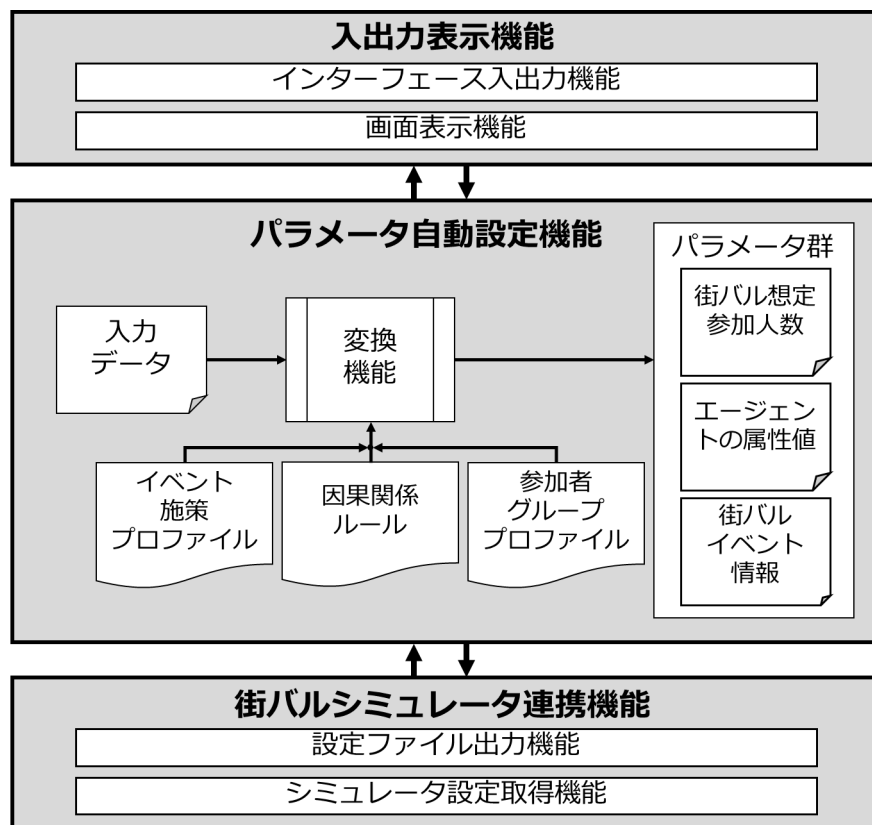


図 4.7 機能構成

4.4.2 支援ツールの入力画面

(1) トップ画面

図 4.8 に支援ツールのトップ画面を示す。

トップ画面では、上部に『新規イベント検討』アイコンを配置し（図 4.8①）、下部には過去の検討事例をリスト表示する（図 4.8②）。

新規の街バルイベントを検討する場合は、表 4.3 で示したイベント施策の種別に基づく 3 種類と、新たなイベント施策を設定する場合に選択する計 4 種類のアイコンを提示する。第 4.3 節で示した通り、表 4.3 はイベント施策を 3 種別に分類している。第 1 種は売上促進を目的とする施策、第 2 種は参加者体験に関わる施策、第 3 種は移動・回遊行動を重視した施策である。最後の 4 種目は、これらの施策を組み合わせる場合や新しいイベント施策を検討する場合に利用する。

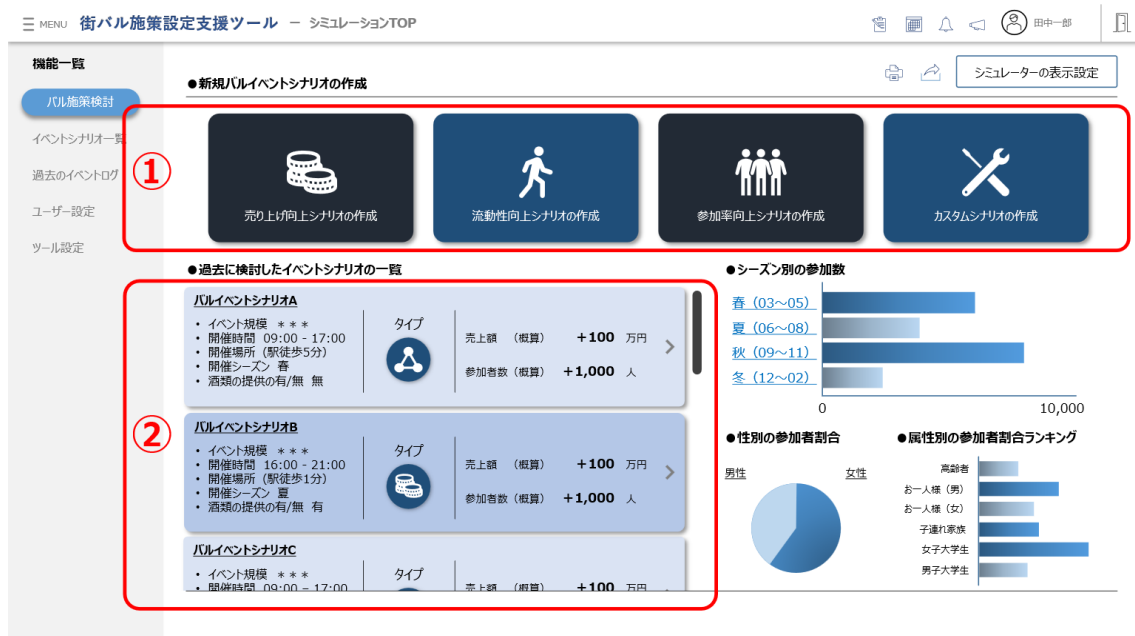


図 4.8 支援ツールのトップ画面

また、画面下部に過去のイベント施策の検討事例をリスト化表示することで、容易に再利用できる。同僚や自分で作成した先行例を簡単に活用できるよう、検討事例のリストにはイベント施策や設定結果の概要を表示する。

(2) イベント施策の選択画面

図 4.9 に支援ツールのイベント施策選択画面例を示す。

本例は4番目の「施策を組み合わせるで検討する」アイコンを押下した場合である。売りに上げに効果があるイベント施策、参加者に効果があるイベント施策、参加者の移動・速度・範囲に効果があるイベント施策から、1つのイベント施策を選択する(図4.9①)。

売りに上げに効果があるイベント施策をクリックすると、関連する5種類のイベント施策とそれぞれの簡単な特徴を表示される(図4.9②)。これによりユーザはイベント施策の特徴を理解できるため、イベント施策を容易に選択できる。

三 MENU 街バル施策設定支援ツール - 新規バルイベントシナリオの作成

バル施策検討

イベントシナリオ一覧

過去のイベントログ

ユーザー設定

ツール設定

イベントシナリオ基本設定

イベントシナリオの基本設定

・イベントタイトル カレー好き集まれ スパイシーエスニックバル

・開催時間 開始 10 時 00 分 終了 18 時 00 分

・開催シーズン 夏(6月~8月ごろ)

・開催規模 / 店舗数 街全体 40 店舗

・飲酒の提供の有/無 提供有り

・イベント統一テーマの有/無 有り

・開催場所(最寄駅~受付) 徒歩 1 分

シミュレーションを実施する際にどんなイベントにするか施策パターンを入力してください。

①

売りに上げに効果のある施策

特定の店舗の売りに上げをあげる施策

参加者が増える施策

イベントシナリオ基本設定

参加者の移動・速度・範囲に効果のある施策

②

施策一覧

施策パラメーターを詳しく設定する

はすす

特定の店舗の売りに上げをあげる施策

全体的なイベントの売りに上げをあげる施策

時間帯に影響を受けない施策

特定の種類の売りに上げをあげる施策

天気の影響を受けない施策

施策の説明

ある店舗をSNSや地元の会報誌に取り上げて特集したり、人気店舗をイベントに呼び込むことで特定の店舗の売りに上げが向上します。また、イベントの認知度と参加者数も向上します。一方で、混雑が予想されるので密になる環境での開催には感染症対策や渋滞緩和など注意が必要です。

破棄する

一時保存する

結果をみる

図 4.9 イベント施策の選択画面の一例

(3) 影響度合いの設定画面

イベント施策の選択後、イベント施策プロファイルで格納している参加者グループプロファイルの各属性に対し、イベント施策が影響を与える項目を確認し、影響対象となる属性値について影響度合いを指定する。図4.10に影響度合いを指定する画面を示す。

影響度合いを指定する画面は、イベント施策の影響を受ける参加者属性と、その影響度合いを指定するゲージを表示する(図4.10①)。画面上では、施策が影響する属性ごとにスライダーを用いて影響度を指定できる。ここで提示されるのは各属性の平均値であり、標準偏差など設定難易度の高い数値は非表示とし、必要な場合にのみ直接入力

可能とする。これにより、主催者が設定項目を直感的に把握しながら、街バルシミュレータの仕様範囲内で妥当な値を調整できる。

イベント施策に基づく参加者グループの影響度合いを設定することで、第 4.3 節で示したようにシミュレータの設定値を自動的に作成する。

街バル施策設定支援ツール - ツール設定

機能一覧

バル施策検討

イベントシナリオ一覧

過去のイベントログ

ユーザー設定

ツール設定

施策パラメーターの詳細設定

結果グラフの表示

イベントシナリオ基本設定

文字サイズ

施策パラメーター一覧

特定の店舗の売り上げを上げる施策

特定の業種の売り上げを上げる施策

全体的なイベントの売り上げを上げる施策

天気の影響を受けない施策

参加者の移動手段が増える施策

参加者の行動範囲を広げる施策

人流を操作する施策

天気の影響を受けない施策

天気の影響を受けない施策(人の移動)

移動させない施策

イベントの認知度を高める施策

特定の参加者を集客する施策

季節イベントと組み合わせる施策

リピート率が増える施策

特定の店舗の売り上げを上げる施策

ある店舗をSNSや地元の会報誌に取り上げて特集したり、人気店舗をイベントに呼び込むことで特定の店舗の売り上げが向上します。また、イベントの認知度と参加者数も向上します。一方で、混雑が予想されるので密になる環境での開催には感染症対策や渋滞緩和など注意が必要です。

適用する施策の実施手段

多いほど運営への準備や対応などへの負担が高まりますが望んだ効果も高まります。

実施手段一覧

適用

手段への注力度合い

小 中 大 最大

1

① 店舗情報が載った折り込みチラシの配布

▼手段の適用結果

・大学生	(± 0 %)	・一般男性	(+ 5 %)	高齢者	(+ 10 %)
・友達づれの大学生	(± 0 %)	・友達づれの一般男性	(+ 5 %)	・友達づれの高齢者	(+ 10 %)
・子連れ家族	(+ 10 %)	・一般女性	(+ 5 %)		
・友達づれの子連れ家族	(+ 10 %)	・友達づれの一般女性	(+ 5 %)		

① クーポン券の配布

▼手段の適用結果

① 地元メディアを通じた宣伝

▼手段の適用結果

① ブログ・SNSへの掲載

初期化

保存

図 4.10 イベント施策に基づく影響度合いの入力画面

4.5 提案手法の評価

4.5.1 実験方法

提案するシミュレータ設定支援ツール（以下、ツールと記す）を、能力が異なる 3 名の被験者の協力を得て評価する。シミュレータ設定支援ツールは第 4.3 節で示した設定プロファイルを用いる。評価内容はツールの有無によるシミュレータ設定に要する時間の変化、および設定されたパラメータ設定項目を比較する。

被験者 3 名のプロフィールを表 4.8 に示す。被験者 3 名はいずれも街バル運営の直接経験はないが、被験者 A は多くの地域イベント支援業務に従事しており、主催者視点に近い操作理解を有する。被験者 A は顧客対応を含めたコンサルティング業務の実務経験が豊富である。被験者 B はシミュレータ開発に近い業務経験を有し、シミュレータの活用経験を含めた分析業務の経験が豊富である。被験者 C は業務経験も IT 開発・

活用経験も少ない。コンサルティング経験の有無による差や、シミュレータ技術に関する専門性の違いが結果に与える影響を検証する目的で、被験者 A および被験者 B を選定した。さらに、業務経験が少ない新任担当者においてもツール活用が可能であるかを検証するため、被験者 C を選定した。なお、被験者はいずれも、ツールに内蔵された因果関係モデルを作成した専門家とは異なる。

表 4.8 被験者のプロフィール

	被験者名	顧客対応経験	コンサルティングの 業務経験	シミュレータの 開発・活用経験
1	被験者A	15件の経験を有する	25件の経験を有する	1年の活用経験を有する
2	被験者B	経験なし	10件の経験を有する	7年の開発経験を有する
3	被験者C	6件の経験を有する	3件の経験を有する	経験なし

実験は 3 回実施する。同様のイベント効果の見積もりを、実験①ではツールなしで、実験②ではツールありで行う。実験③は実験①で選出した設定項目で街バルシミュレータを実行する。実験は①従来手法、②提案手法、③結果比較の順で実施する。実験①の検討過程による実験②への影響を防止するため、実験①と実験②は 1 か月の間隔を設ける。

実験①では、はじめに、被験者に街バルシミュレータの仕様を 60 分間説明する。ついで、第 4.3 節で示した初期設定ファイルについて説明する。続いて、イベント効果を検討してもらう 3 種類のイベント施策（後述）を説明する。その後、3 種類のイベント施策ごとに、上記の初期設定ファイルをどのように設定するかの検討を依頼し、その作業時間を計測する。ただし、被験者すべてがシミュレータ技術分野の専門家ではないため、街バルシミュレータの設定は、設定値ではなく設定項目を選出する方式とする。

実験②では、実験①と同様であるが、街バルシミュレータの設定ではなく、ツール用いて同様の検討を行ってもらう。はじめに、被験者に街バルシミュレータの仕様を 60 分間説明する。ついで、ツールの機能構成と仕様について説明する。続いて、イベント効果を検討してもらう 3 種類のイベント施策（後述）を説明する。その後、3 種類のイベント施策ごとに、ツールを用いて街バルシミュレータの設定を指示し、その作業時間を計測する。

実験③では、実験①で3種類のイベント施策に対して、各被験者が選出した設定項目で設定ファイルを作成し、街バルシミュレータを実行する。また、同様のイベント施策に基づき支援ツールが作成した設定ファイルで街バルシミュレータを実行する。なお被験者が選出した設定項目の設定値と支援ツールが選択する設定項目の設定値は支援ツールが保持する初期値を使用する。被験者の選出した設定項目を用いた街バルシミュレータの実行結果と、支援ツールを用いた街バルシミュレータの実行結果を比較する。比較項目は、主催者へのヒヤリングを通じて要望が多い、総売り上げ、業種ごとの店舗総売り上げの差(平均)に着目し、その差を確認する。

実験①、②ともに、実験終了後に被験者へのインタビューを行う。

実験対象は2019年に東京都国分寺市で開催された街バルイベント「ぶんじバル」である。街バルシミュレータが具備するすべての設定項目数は168項目である。ツールが具備するイベント施策は15種類、参加者グループは12種類である。イベント施策ごとに因果関係ルールのセットがある。イベント施策の影響を受ける参加者グループとその影響項目を設定すれば、自動的に街バルシミュレータのパラメータ設定が完了する。

表4.9に実験①②で提示するイベント施策を示す。イベント施策はこれまでの業務経験に基づき表1に示した15種類の中から3種類を選択する。1種類目は定番のイベント施策である「特定の参加者層を集客するイベント施策」とし、2種類目はイベント主催者の関心が高い「天候の影響を軽減するイベント施策」、3種類目は今後の実施が見込まれる「参加者の行動範囲を拡大するイベント施策」とする。

表 4.9 検討したイベント施策

イベント 施策	イベント施策の内容
施策(1)	特定の参加者層を集客するイベント施策
施策(2)	天候の影響を軽減するイベント施策
施策(3)	参加者の行動範囲を拡大するイベント施策

4.5.2 実験結果

表4.10に実験①の作業時間の結果を示す。総作業時間はイベント効果の定量化に要した時間とパラメータ設定項目の選出時間の合計である。イベント効果の定量化に要し

た時間とは、イベント施策の効果を、数式などを用いて被験者それぞれが独自に定量表現しようとした時間である。パラメータ設定項目の選出時間とは、イベント施策ごとに必要と判断したパラメータ設定項目をすべて選出するまでの時間である。

表 4.10 実験①の作業時間

被験者	総作業時間	作業時間の内訳			
		イベント効果の定量化	パラメータ設定項目の選出		
			施策(1)	施策(2)	施策(3)
被験者A	215 分	170 分	5 分	10 分	10 分
被験者B	255 分	240 分	5 分	5 分	5 分
被験者C	110 分	20 分	20 分	40 分	30 分

被験者 A, B, C とともに、はじめにイベント効果の定量化を試みた。被験者 A の場合は試行錯誤の結果、イベントの売上総数を表現する数式モデルを作成した。数式はイベントの認知度や参加率、リピート率、店舗あたりの消費枚数など、多数の要素の組み合わせで表現されている。被験者 B の場合はさらに複数の数式モデルを作成しており、被験者 A と比較すると、詳細なケースを想定して検討していた。そのため最も検討時間を要した。一方、被験者 C は結果的にイベント効果の定量化をあきらめた。

続いて、イベント効果の定量化で得た要素や検討内容に基づき、シミュレータのパラメータ項目から必要と考える設定項目を選出した。必要なパラメータ項目の選出では、イベント効果の定量化を完了させた被験者 B、被験者 A が 10 分以内に作業を完了した。一方で被験者 C はパラメータ項目の選出に時間を要した。

表 4.11 に実験②の作業時間の結果を示す。

表 4.11 実験②の作業時間

被験者	総作業時間	施策ごとのツール使用時間			実験①との比較
		施策(1)	施策(2)	施策(3)	
被験者A	40 分	10 分	15 分	15 分	175分短縮
被験者B	40 分	10 分	15 分	15 分	215分短縮
被験者C	40 分	7 分	13 分	20 分	70分短縮

被験者 A, B とも同じ時間で検討を完了している。被験者 C は被験者 A, B よりも早く完了した場合と、遅く完了した場合があった。全体として、被験者 A, B, C のいずれも作業時間は 20 分以内であった。実験①の総作業時間と比較すると最小 70 分、最大 215 分の時間短縮が得られた。

街バルシミュレータの設定項目について、被験者が選出した設定項目とツールが選択した設定項目を比較する。表 4.12 から表 4.14 に、ツールと被験者の設定項目の差を数値と図で示す。図では、実験①と実験②の設定項目数の結果を円の大きさと重なり具合で表現する。実験①の設定項目数を細い線の円で、実験②の設定項目数を太い線の円で示し、両者の重なりを灰色で表現する。

さらに、被験者による設定とツールによる設定の一致度を定量的に評価するため、両者の設定項目集合の類似度を Jaccard 係数 (Jaccard similarity coefficient) を用いて算出した。Jaccard 係数 J は、被験者が選出した項目集合を A 、ツールが選出した項目集合を B としたとき、 $J(A, B) = |A \cap B| / |A \cup B|$ で定義される。

イベント施策(1)とイベント施策(3)の傾向はよく似ている。ツールと比較すれば、被験者 B はより多くの項目を、被験者 A は少ない項目を、そして被験者 C は極めて少ない項目を設定項目として選出している。

イベント施策(2)では、いずれの被験者もツールが選択した項目数に比べて、被験者自身が選出した設定数が少ない。被験者 B はツールの約 7 割、被験者 A および C はいずれもツールと比較すると極めて少ない項目しか選出していない。また、ツールと異なる項目を選出した数は、イベント施策(1)から(3)のすべての場合と同様の傾向を示しており、その数は、被験者 B、被験者 A、被験者 C の順番に多く、最大でも 8 以下であった。

表 4.12 から表 4.14 に Jaccard 係数の算出結果を併記した。全体として、被験者 A および被験者 B は支援ツールとの一致度が高い一方で、被験者 C の Jaccard 係数は 0.07 から 0.19 と極めて低い値にとどまる傾向が確認された。

実験③の結果を同じく表 4.12 から表 4.14 に示す。表 4.12 から表 4.14 は、各イベント施策において、被験者が選出した設定項目に基づくシミュレーション結果と、同一施策における支援ツールのシミュレーション結果との差を相対差 (%) として示したものである。総売上上の相対差は、被験者の総売上を S_p 、支援ツールの総売上を S_{tool} としたと

き， $100|S_p - S_{tool}|/S_{tool}$ により算出した．また，業種別相対差（平均）は，業種ごとに同様の相対差を算出したうえで，その平均値を用いた．

表 4.12 イベント施策(1)の場合での被験者とシミュレータ設定項目数の比較

比較内容	指標	被験者A	被験者B	被験者C
設定項目の比較	本人が選出した設定項目数	42	57	11
	ツールが選択した設定項目数	50	50	50
	一致した設定項目数	38	50	10
	不一致の設定項目数	5	7	1
	設定項目の一致関係図			
	設定項目の一致度 (Jaccard係数)	0.70	0.92	0.19
シミュレーション結果の比較	総売上の相対差	4.8%	0.3%	35.1%
	業種別平均店舗売上の相対差	10.6%	4.2%	33.6%

表 4.13 イベント施策(2)の場合での被験者とシミュレータ設定項目数の比較

比較内容	指標	被験者A	被験者B	被験者C
設定項目の比較	本人が選出した設定項目数	9	46	7
	ツールが選択した設定項目数	63	63	63
	一致した設定項目数	5	38	7
	不一致の設定項目数	4	8	0
	設定項目の一致関係図			
	設定項目の一致度 (Jaccard係数)	0.07	0.53	0.11
シミュレーション結果の比較	総売上の相対差	10.6%	4.9%	37.2%
	業種別平均店舗売上の相対差	33.5%	6.2%	38.4%

表 4.14 イベント施策(3)の場合での被験者とシミュレータ設定項目数の比較

比較内容	指標	被験者A	被験者B	被験者C
設定項目の比較	本人が選出した設定項目数	61	68	12
	ツールが選択した設定項目数	65	65	65
	一致した設定項目数	59	64	11
	不一致の設定項目数	2	4	1
	設定項目の一致関係図			
	設定項目の一致度 (Jaccard係数)	0.88	0.93	0.16
シミュレーション結果の比較	総売上の相対差	4.5%	1.2%	32.9%
	業種別平均店舗売上の相対差	4.5%	3.5%	32.5%

被験者 C はイベント施策(1)から(3)でいずれにおいても、支援ツールによるシミュレーション結果に対して 30%以上の相対差が生じた。被験者 A は、イベント施策(1)では総売り上げの相対差は 4%程度であるが、業種ごとの店舗総売り上げの相対差(平均)は 10%を超えた。イベント施策(2)では総売り上げの相対差が 10%で、業種ごとの店舗総売り上げの相対差(平均)は 30%超となった。イベント施策(3)では総売り上げの差と業種ごとの店舗総売り上げの相対差(平均)は 4.5%程度であった。被験者 B は、イベント施策(1)と(3)で総売り上げの相対差が 1%程度、業種ごとの店舗総売り上げの相対差(平均)は 4%以下であった。イベント施策(2)では総売り上げの相対差が 4.9%、業種ごとの店舗総売り上げの相対差(平均)は 6.2%であり、被験者 A と C と比較するとその相対差は全体的に少なかった。

表 4.15 は、被験者 A と被験者 B の売上予測結果の相対乖離率を示したものである。被験者 A の売上予測結果を S_A 、被験者 B の売上予測結果を S_B としたとき、相対乖離率は $100 | S_B - S_A | / S_A$ により算出した。

表 4.15 に示すように、すべての施策において、相対乖離率は約 5.5～6.4%に収まっており、被験者 A と被験者 B は近い売上予測結果を示している。

表 4.15 被験者 B と被験者 A の売上予測結果の相対乖離率

イベント施策	被験者A-被験者Bの相対乖離率
施策(1)	5.51%
施策(2)	6.35%
施策(3)	6.06%

表 4.16 は、被験者 C と被験者 A の売上予測結果の相対乖離率を示したものである。被験者 A の売上予測結果を S_A 、被験者 C の売上予測結果を S_C 、支援ツールによる売上予測結果を S_{tool} とすると、手動設定時の相対乖離率は $100 | S_C - S_A | / S_A$ 、支援ツール設定時の相対乖離率は $100 | S_{\text{tool}} - S_A | / S_A$ により算出した。

表 4.16 に示すように、手動設定では被験者 C は被験者 A から約 30%前後乖離している一方、支援ツール設定では、すべての施策において相対乖離率が約 5～12%程度まで縮小している。

表 4.16 被験者 C と被験者 A の売上予測結果の相対乖離率

イベント施策	被験者設定（手動）	支援ツール設定
施策(1)	31.8%	5.1%
施策(2)	29.8%	11.9%
施策(3)	29.8%	4.7%

表 4.17 に被験者 A, B, C のツールに対するコメントを示す。被験者 A は顧客対応の立場から、被験者 B はデータ分析の立場から、被験者 C は非専門家の立場からのコメントが多かった。ツールの活用に対する否定的なコメントはなく、主に活用方法や今後の応用可能性に関するコメントを得た。

表 4.17 被験者の支援ツールに対するコメント

被験者A
結果を早く見られる提案ツールは大変有益である。
初期設定値が予めセットされており、 実質イベントの選択だけでシミュレータが利用できることが良い。
被験者B
変換モデルの確認やモデルの変更ができるので良い。
選択すべきイベント施策が予め提示され大変助かる。
今後、各人の知見をどう入れ込んでいくか興味がある。
被験者C
簡単な操作でイベント効果が取得できて大変有益。
他人が設定したイベント施策の設定結果を参照でき、先人の知見が活用できるのが大変ありがたい。
画面操作が容易であるため思い切って多くの人に利用してもらう手もあるのでは。結果を保存し、様々な人が望むイベント施策や参加者を把握できるかもしれない。

4.5.3 考察

表 4.10, 表 4.11 を比較し作業時間の短縮効果について考察する。被験者 A, B, C ともにツールを使用することで、最短 70 分、最長 215 分の時間短縮を達成している。最も短縮効果が高かった被験者 B の場合を確認すると、被験者 B ではイベント効果の定量化に 240 分を要している。ツールは因果関係ルールにより施策影響をパラメータとしてあらかじめ定量化しているため、この時間分の作業が不要となり、作業効率が大幅に向上したことが確認された。以上の結果からツールを用いることで作業時間を大幅に短縮でき、街バルシミュレータを効果的に活用できることが明らかとなった。

続いて、表 4.12 から表 4.14 より被験者 A, B, C でどのような違いがあるかを考察する。表 4.12 と表 4.14 の傾向は類似している。この理由は、被験者 A, B, C の業務経験の差が設定項目選出の差異として明確に反映されたものである。被験者 A, B はともにあらかじめ街バルと街バルシミュレータの概要を把握したうえでイベント効果の定量化に着手している。イベント効果の定量化過程を経ることで、被験者が必要なパラメータ項目を体系的に把握できるようになったことが確認された。一方で被験者 C はイベント効果の定量化を完遂できていない。そのため必要なパラメータ項目を類推できな

ったと考えられる。以上より、ツールを用いることで、専門知識を有さない被験者でも、街バルシミュレータを適切かつ安定して操作できることが実証された。

ここで、設定項目の一致度（Jaccard 係数）に着目すると、業務経験を有する被験者 A・B は施策(1)(3)において 0.70～0.93 と高い一致度を示しているのに対し、経験の浅い被験者 C は 0.19 以下と著しく低い。これは、被験者 C が必要なパラメータ項目を体系的に把握できず、主要な設定項目が欠落したことに起因すると考えられる。

また、イベント施策(1)(3)と比較すると、全被験者がツールよりも設定項目数が少ない。この理由は街バルシミュレータの仕様に起因すると考える。街バルシミュレータでは店舗から次の店舗に移動する場合に、店舗種類ごとにその選択確率を設定できる。しかし、実験①ではすべての被験者がこの設定項目を選出していなかった。そのため、設定項目数がツールと比べて相対的に少なくなったことが確認された。当該設定項目を除いて分析した場合、傾向は表 4.12、表 4.14 と変わらない。この結果から、ツールは街バルシミュレータ仕様の誤解防止および設定不備の回避に有効であることが示された。

表 4.12 と表 4.14 からコンサルティングやシミュレータ活用の業務経験を有する被験者 A、B では、シミュレータ設定項目とは 10%前後の異なる設定項目を選出している。両者ともイベント効果の定量化を完了させている。被験者 A、B が考えたイベント効果の影響と、ツールで検討したイベント効果の影響が、若干異なっていたためと考えられる。ツールは因果関係ルールの変更や追加が可能である。このような場合には因果関係ルールを見直すことで両者の差を修正できると考えられる。

最後に被験者が選出した設定項目を用いて実行した街バルシミュレータと支援ツールを用いて実行した街バルシミュレータの結果について考察する。本研究では、街バルイベントにおける売上予測には正解となる売上値が存在しないため、支援ツールの有効性を、経験の少ない担当者が経験者レベルの予測結果を得られるかという観点から評価する。そのため、被験者 C（経験の少ない担当者）と、被験者 A（現場視点での検討経験を有する経験者）との売上予測結果の乖離に着目し、支援ツール使用前後でこの乖離がどの程度縮小するかを評価指標とした。なお、被験者 A と被験者 B の売上予測結果はすべての施策において近い値を示しており、経験者の代表として被験者 A を基準に設定することは妥当であると判断した。

被験者 C の結果は、いずれのイベント施策でも総売り上げの差、業種ごとの店舗総売り上げの差(平均)は 30%を超えている。この理由は、前述の通り Jaccard 係数が低く、シミュレーションに不可欠な主要パラメータの設定漏れが生じたため、結果の乖離が増大したと考えられる。

一方、被験者 A および B の結果については、統計的な観点からの評価が必要である。本研究で用いた街バルシミュレータは、来場者エージェントの行動選択（店舗選択や滞在時間など）を確率モデルに基づいて決定している。そのため、完全に同一の設定値であっても、試行ごとに数%から 10%程度のばらつきとなる確率的変動が生じる。

イベント施策(1)では、被験者 B は総売り上げの差では支援ツールとほぼ同様の結果となった。業種ごとの店舗総売り上げの差(平均)を被験者 A と被験者 B と比較すると、10.6%、4.2%で、いずれもシミュレーションの確率的変動の範囲内、もしくはそれに近い値に収まっている。特に被験者 B は高い設定一致度を反映し、極めて小さい誤差範囲で結果が再現された。

イベント施策(2)では、被験者 A は支援ツールの結果と比較すると総売り上げの差で 10.6%、業種ごとの店舗売り上げの差(平均)が 33.5%と差がでている。これは、被験者 A の設定項目一致度（Jaccard 係数：0.07）が示すように、時間帯別・業種別の詳細な選択確率の設定を行わなかった影響が結果として現れたものである。一方、被験者 B では総売り上げの差で 4.9%、業種ごとの店舗総売り上げの差(平均)が 6.2%の差である。この差分は、シミュレータの確率的変動等を考慮すれば、実務上許容される範囲内であり、被験者 B の設定が支援ツールの自動設定と機能的に同等であったことを示している。

イベント施策(3)では、総売り上げの差と業種ごとの店舗総売り上げの差(平均)は最大でも 4.5%以下となっており、いずれも支援ツールに近い値になっている。これは、被験者 A・B とともに Jaccard 係数が 0.88 以上と極めて高く、主要な設定項目が網羅されていたため、確率的な誤差範囲内で結果が一致したと解釈できる。

表 4.16 に基づくと、手動設定では被験者 C は被験者 A から大きく乖離しているのに対し、支援ツール設定では、相対乖離率が一貫して小さくなることが示されている。これは、被験者 A・B と同程度の売上予測結果に非経験者が到達できていることを示す結果である。

これらの結果から、支援ツールを用いることで、経験の少ない被験者 C でも経験者 A に近い売上予測結果を得られる可能性が高まり、被験者間の予測結果の乖離が縮小することが示唆された。

さらに、本研究を通じて、支援ツールを用いることで、被験者の業務経験や専門知識に依存せず、街バルシミュレータを一貫して活用できることが確認された。支援ツールは短時間でイベント施策の効果見積もりを提示でき、イベント運営支援業務の効率化に実際に寄与した。また、提案手法は設定プロファイルと因果関係ルールに基づき設定値を自動生成することで、担当者固有の判断や操作順序に依存しない構造を実現している。実験結果では、被験者間で設定項目数・内容の差が小さく、設定結果の再現性が確認されたことから、属人的な判断への依存が構造的に排除されていることが明確となった。

4.6 結言

本章では、街バルイベントにおけるシミュレータ活用の効率化を目的として、主催者が自ら設定・試行を行えるシミュレータ設定支援手法を提案し、その有効性を実証した。提案手法では、従来、専門家が経験や判断に基づいて属人的に行っていたシミュレータ設定作業を、データ構造と因果関係ルールの統合管理によって形式化し、自動化した。これにより、専門家への依存を前提とする構造を解消し、主催者自身が独立してイベント施策を検討できる環境を実現した。

提案手法では、イベント施策・参加者プロファイル・因果関係ルールを三層構造として整理し、それらをプリセット構造として定義することで、従来専門家が担っていた複雑な設定作業を自動化した。これにより、主催者は個別パラメータを直接操作することなく、概念的なイベント施策単位で条件を指定し、複数のシナリオを容易に比較検討できる環境を実現した。

提案手法を実装した設定支援ツールを用いた評価実験では、実務経験や専門知識が異なる被験者 3 名を対象に比較を行った結果、作業時間が最小 70 分、最大 215 分短縮され、設定内容の一貫性が向上することを確認した。また、GUI による操作環境により非専門家でも設定内容の理解と再試行が容易となり、主催者が独立してイベント施策を検討できることを実証した。

本研究の成果は、街バルイベントにおける運営支援の属人性を低減し、イベント設計を主催者主導で進める枠組みを示した点に意義がある。従来、専門家の支援を必要とし

ていた設計過程を，データ構造と因果関係ルールの統合管理によって形式化し，実務的な運用水準での自律的検討を可能とした．

本章の研究成果は以下の 3 点にまとめられる．第一に，イベント施策・参加者プロフィール・因果関係ルールを統合管理するプリセット構造を提案し，設定作業の抽象化と自動化を実現した点である．第二に，被験者実験を通じて提案手法の有効性を定量的に確認し，専門知識の差異に依存しない安定した設定結果を得られることを示した点である．第三に，提案手法を実装したツールが，主催者主導の設計検討と意思決定を支援する実用的基盤として機能することを実証した点である．

これらの成果により，本章で提案した手法は，街バルイベントをはじめとする地域イベント運営支援において，設計作業の効率化と主体的検討環境の構築を同時に実現する技術的基盤として位置づけられる．特に，設定作業における属人性の問題をデータ構造の統一化と設定プロセスの自動化によって体系的に抑制し，誰が操作しても同等の結果が得られる再現性の高い設計環境を実現した点に，本章の成果的意義がある．

一方で，複数のイベント施策を同時に扱う際のパラメータ整合性の検証や，結果の可視化機能の強化など，実運用に向けた改良の余地も残されている．今後は，運用データを用いた因果関係ルールの学習的更新や，イベント施策の比較を支援する可視化モジュールの設計を進め，より高度な分析支援を実現することが課題である．

第5章

結論

5.1 本研究のまとめ

本論文では、街バルイベントの企画および実施に関わる一連の運営プロセスを対象とし、第1章で定義した「街バル運営が主催者の経験や勘に依存し、再現性の高い運営と継続的な改善が困難である」という中核課題に対して、3つの技術的アプローチにより支援基盤の構築を行った。本節では、これら3つのアプローチの成果を、各章の内容と中核課題との対応関係の観点から整理して述べる。

第1章では、地域活性化を目的とした街バルイベントが、参加者の交流促進に寄与する一方で、運営の多くが経験と勘に依存しており、交流設計、紙クーポンの集計作業、シミュレーション設定などの業務が属人的かつ非効率であることを述べた。その上で、街バルイベントの企画および実施に関わる一連の運営プロセスを対象とし、「(1) 参加者と店舗スタッフの交流体験を促進するインターフェースの設計と実装」、「(2) 紙クーポン運用に伴う集計・精算作業の負荷を軽減する画像認識手法の確立」、「(3) シミュレータ設定作業を迅速かつ簡便に行える GUI ベース支援ツールの構築」という3つの目標を設定し、これらに対応する研究方針を定めた。

第2章では、電子クーポン決済時に参加者と店舗スタッフが共同操作を行う「長押し型インタラクション」を導入したユーザインターフェースを設計・実装した。模擬実験により複数の操作方式を比較評価し、人差し指押下型が操作性と心理的親和性の両面で優れることをアンケートにより確認した。さらに、実際の街バルイベントにおいて試験導入を行い、共同操作を契機とした自然な会話発生や来店時の満足度向上が確認された。これにより、情報技術を応用した交流促進インターフェースの有効性を実証した。

第3章では、紙クーポンの集計作業を自動化し、照明条件の変動や影の影響を抑制する「凹凸係数に基づく画素値正規化による2値化処理法」を提案した。本手法では、画素ごとの輝度を局所平均との比として正規化し、その変化量を凹凸係数として算出する。これにより、照明むらや背景の緩やかな輝度変化を抑制しつつ、印字による局所的な明暗変化のみを強調でき、高精度な印字領域抽出を実現した。屋外・夜間・低照度などの撮影条件を含む実クーポン画像を用いて評価した結果、従来法に比べて高い認識精度(96.4~100%)を達成し、特別な撮影装置を用いずに運営現場で安定した認識性能を得

られることを確認した。これにより、街バル運営における集計作業負荷の軽減を実現した。

第4章では、街バル施策を検討・比較する企画の工程で必要となるシミュレータの設定作業が専門知識を要するという課題に対し、イベント施策・参加者グループ・因果関係ルールを体系的に整理したパラメータ生成方式を提案し、GUIベースの設定支援ツールを構築した。被験者実験により、専門知識を持たない利用者でも施策設定を行えることを確認し、作業時間の平均45%短縮、設定パラメータの整合性向上などの効果を得た。これにより、主催者が自ら施策を試行・検証できる環境を実現した。

以上の3つの技術的アプローチは、第1章で整理した中核課題の三つの側面に対応している。第2章の共同タッチ型インターフェースは、参加者と店舗スタッフの自然な交流機会を創出することで交流体験を促進し、街バルにおける現場価値の向上に寄与する。第3章の紙クーポン自動集計手法は、既存の紙運用を維持しつつ行動データを安定して取得可能にすることで、イベント運営における改善性の向上に貢献する。第4章の設定支援ツールは、企画・運営ノウハウをパラメータ構造として形式化し、非専門家でも短時間で施策設定を行える環境を提供することで、企画・設定作業の再現性の向上を実現している。

本研究では、街バルイベントの企画および実施に関わる運営プロセスを対象とし、交流体験の向上、行動データの取得、設定作業の形式化という三つの観点から、街バル運営を支援する基盤を構築した。これにより、街バル運営を人と情報技術が協働して支えるための基礎を示し、従来は主催者の経験や勘に依存していた属人的な運営から、根拠に基づき安定的に実施可能な運営へ移行するための基盤が整備された。また、紙媒体を保持したまま導入可能な技術群を示したことで、地域イベントの実情に即したデジタル化への適用可能性を具体的に示した。

5.2 今後の課題

本研究の成果を発展させるため、以下の課題が残されている。

(1) データ循環と知識蓄積に基づく運営改善サイクルの確立

本研究では、街バル運営の各段階を対象として支援技術を構築したが、今後はそれらを横断的に連携させ、継続的に改善できる運営サイクルを形成する必要がある。特に、交流データ、運営ログ、シミュレーション結果などを一元的に活用し、イベント実施で得られた経験知を共有知として蓄積・再利用することで、次回以

降の企画や運営計画に反映できるデータ循環型の仕組みを確立することが求められる。

(2) 多様な地域イベントへの展開と社会実装

本研究は街バルを対象として実証を行ったが、今後は他地域やスタンプラリー、フェスティバルなど異なる形式のイベントへ適用し、提案手法の汎用性を検証する必要がある。さらに、行政や地域団体、民間事業者との協働体制を通じて、提案手法を継続的に活用できる運用構造を設計・検討し、情報技術の観点から地域イベント運営の持続性を支援する仕組みを構築することが課題である。

謝辞

本研究の全過程を通じて、終始懇切丁寧なるご指導とご鞭撻を賜りました

大阪大学 大学院情報科学研究科 マルチメディア工学専攻 五十部孝典教授，藤原融招へい教授（島根大学特任教授，大阪大学名誉教授），薦田憲久招へい教授（大阪大学名誉教授）に深く感謝申し上げます。

本研究をまとめるにあたり，貴重なお時間を割いて頂き，丁寧なるご教示を賜りました大阪大学 大学院情報科学研究科 マルチメディア工学専攻 前川卓也教授に厚く感謝申し上げます。

本研究をまとめるにあたり，親切なるご助言を賜りました大阪大学 大学院情報科学研究科 マルチメディア工学専攻 原隆浩教授，鬼塚真教授，中野珠実教授，村田忠彦教授，伊達進教授に深く感謝申し上げます。

本研究の機会と大学院博士後期課程に進学する機会を与えて頂くとともに，研究を進めるにあたりご配慮を賜りました（株）日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンタ長 谷繁幸博士に心より御礼申し上げます。また，研究推進に際してご理解とご支援を賜りました同研究開発グループ 未来社会プロジェクトサブリーダー 沖田英樹博士，メディアインテリジェンス研究部 部長 松原大輔氏，ビジネスアーキテクチャ研究部 部長 中江達哉博士に厚く御礼申し上げます。

さらに，直属の上司として会社業務との両立をご支援頂き，共同研究者としても様々なご支援を賜りました（株）日立製作所 研究開発グループ ビジネスアーキテクチャ研究部 UL 主任研究員 森木俊臣氏に厚く御礼申し上げます。

また，筆者の大学院博士課程在学中に会社業務をサポートして頂いた高橋麻実氏，羽柴聡一郎博士，小川啓人氏をはじめとするビジネスアーキテクチャ研究部の関係各位に厚く御礼申し上げます。

第2章および第4章の研究に関して，研究の機会を与えて頂くとともに，多大なるご支援を頂きました（株）日立製作所 研究開発グループの黒澤雄一氏，小林美保氏，藤原周平氏，曾我佑氏に深く感謝申し上げます。

第3章の研究に関して，画像処理技術の検討と助言を頂いた広島工業大学佐藤和弘元教授，東北大学 阿曾弘具名誉教授（現：日本大学教授），東北大学 大町真一郎教授

に深く感謝申し上げます。加えて、有益なご助言を頂いた（株）グミ 石橋雅義博士に心より御礼申し上げます。

本研究全般にわたる街バルの実務および実証に多大なるご協力を頂いた国分寺駅北口商店街会長 荒井大介氏，むさし商興会会長 藤原英作氏，東京経済大学 鈴木恒雄特任講師，（株）新井コーポレーション 代表取締役 新井勲氏，有限会社寿産業 取締役 椿将樹氏，日本料理天松 代表 松本栄作氏，ならびに国分寺街バルの関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

街バルイベントの研究実践および評価実験においてご助言・ご協力を頂いた（株）日立製作所の矢川雄一博士，丸山幸伸氏，伴真秀氏，田中久乃氏，市橋祥之氏，原有希氏，高江瑞一氏，奥津宏幸氏，添田雅人氏，松尾華以奈氏，千葉工業大学 柴田吉隆教授，多摩美術大学 高見真平講師，長谷川菜月氏に厚く御礼申し上げます。

これまでの（株）日立製作所での研究活動全般を通じて，ご指導およびご支援を賜った，松井進博士，林正人博士，大阪工業大学 福澤寧子教授，藤城孝宏博士，川崎健治氏，谷川桂子氏，長船辰昭博士，石田修一氏，福沢尚司氏，清水淳史氏，門田和也氏，安藤英里子博士，五十嵐悠一博士，堀田勇樹氏，河内尚博士，亀田貴之氏，田村清一氏，楠田崇氏，松崎健二氏，Thomas Heide Clausen 博士，Ulrich Herberg 博士，Massimiliano Lenardi 博士，後藤田信広氏，小林朗氏，齋藤真治氏，松崎崇夫氏，藤原徹氏，松田康裕氏，大上由美子氏，佐藤裕樹氏，石田隆張博士，嶺竜治氏，谷崎正明氏，笠井嘉氏，峯元長博士，赤司卓也氏，松下耕太郎氏，高橋陽介氏，井出崎功氏，江端智一博士，平澤茂樹氏に深く感謝申し上げます。

そして，社会人研究者として研究と実務の両立を進めるにあたり，ビジネスの進め方や働き方に関して多くの示唆を頂いた足立昌宏氏に，心より感謝申し上げます。

最後に，大学院博士後期課程在学中，常に励まし支えてくれた父・和弘，母・知恵子，兄・知弘，弘人，そして最愛の妻・知奈津，ならびに可愛い子どもたち（龍起，美由起，豪起）に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 内閣官房：「デジタル田園都市国家構想総合戦略（2023 改訂版）」（2023），
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_denen/pdf/20231226honbun.pdf (2025/7/23 閲覧)。
- [2] 清水裕子，中山徹，「継続的な商店街活性化イベントのありかたに関する研究—あるくん奈良まちなかバルを事例として—」，日本建築学会技術報告集, Vol.20, No.44, pp. 285-290, 2014.
- [3] 伊丹市，“第 2 期伊丹市中心市街地活性化基本計画 最終フォローアップ報告書，” 2021.
- [4] 公益財団法人ひょうご産業活性化センター，“平成 25 年度 商店街活性化調査研究報告書 —『伊丹まちなかバル』の取組—，” 2014.
- [5] 長坂泰之編，『100 円商店街・バル・まちゼミ—お店が儲かるまちづくり—』，学芸出版社, 2012.
- [6] M. J. López, C. Lapena, A. Sánchez, X. Continente, A. Fernández, and the Evaluation Group of the “Schools of Health for Older People”, "Community intervention to reduce social isolation in older adults in disadvantaged urban areas", BMC Geriatrics, Vol.19, No.1, p.123, 2019.
- [7] K. I. Armstrong, S. Birnie-Lefcovitch, and M. Ungar, "Pathways between social support, family well-being, quality of parenting, and child resilience", Family Relations, Vol.54, No.33, pp.306-318, 2005.
- [8] C. Arcodia and M. Whitford, “Festival Attendance and the Development of Social Capital,” Journal of Convention and Event Tourism, Vol.8, pp.1-18, 2007.
- [9] 経済産業省 商務・サービスグループ 消費・流通政策課：「キャッシュレス・ビジョン」（2018），
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/cashless/image_pdf_movie/cl_vision.pdf (2025/07/25 閲覧)。
- [10] 吉岡純，溝渕昭二，「参加者の進行状況を把握できるスタンプラリーシステム」，インタラクティブ 2023 論文集(情報処理学会), pp.520-525, 2023.
- [11] 矢野雄太郎，梶原薪，中山功一，「スマートフォンを用いたスタンプラリーシステムの開発」，計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会論文集, Paper A2-3, pp.1-6, 2021.

- [12] M. H. Galib, "A comparative study between mobile and paper coupons", *International Journal of Electronic Commerce Studies*, Vol.14, No.1, pp.57-94, 2023.
- [13] C. J. Lin, Y. C. Liu, and C. L. Lee, "Automatic Receipt Recognition System Based on Artificial Intelligence Technology", *Applied Sciences*, Vol.12, No.2, p.853, 2022.
- [14] B. Wang, C. Li, W. Zou, Y. Zhang, X. Chen, and C. L. P. Chen, "A comprehensive survey on shadow removal from document images: datasets, methods, and opportunities", *Vicinagearth*, Vol.2, No.1, 2025.
- [15] B. Su, S. Lu, and C. L. Tan, "Robust document image binarization technique for degraded document images", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.22, No.4, pp.1408-1417, 2013.
- [16] H. Michalak and K. Okarma, "Fast binarization of unevenly illuminated document images based on background estimation for OCR purposes", *Journal of Universal Computer Science*, Vol.25, No.5, pp.627-646, 2019.
- [17] 松下元則, 「函館西部地区バル街の集客メカニズム」, *食生活科学・文化及び環境に関する研究助成研究紀要*, Vol.24, pp.191-197, 2011.
- [18] A. Kunze, R. Burkhard, S. Gebhardt, and B. Tuncer, "Visualization and Decision Support Tools in Urban Planning", *Digital Urban Modeling and Simulation*, CCIS 242, pp.279-298, 2012.
- [19] J. Pret, J. Tzanakis, J. Wilson, N. Arshed, and E. Shaw, "Expanding the domain of festival research: A review and research agenda", *International Journal of Event and Festival Management*, Vol.6, No.3, pp.254-277, 2015.
- [20] R. Aguilar, J. Flacke, and K. Pfeffer, "Towards Supporting Collaborative Spatial Planning: Conceptualization of a Mappable Tool through User Stories", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol.9, No.1, pp.1-18, 2020.
- [21] S. Bergner, M. Sedlmair, T. Möller, S. N. Abdolyousefi, and A. Saad, "ParaGlide: Interactive Parameter Space Partitioning for Computer Simulations", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.19, No.9, pp.1499-1512, 2013.
- [22] R. Zhou and K. Kaplanidou, "Building Social Capital from Sport Event Participation: An Exploration of the Social Impacts of Participatory Sport Events on the Community," *Sport Management Review*, Vol.21, No.5, pp.491-503, 2018.
- [23] A. Nordvall, R. Pettersson, B. Svensson, and S. Brown, "Designing Events for Social Interaction," *Event Management*, Vol.18, No.2, pp.127-140, 2014.

- [24] E. Powell, F. Stukes, T. Barnes, and H. R. Lipford, "Snag'em: Creating Community Connections through Games," in Proceedings of the IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT 2011) and International Conference on Social Computing (SocialCom 2011), pp.591-594, 2011.
- [25] G. F. Tondello, R. R. Wehbe, S. N. Stahlke, A. M. Leo, R. M. Koroluk, and L. E. Nacke, "CHI PLAYGUE: A Networking Game of Emergent Sociality," in Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY 2015), pp.791-794, 2015.
- [26] F. Mueller, S. Agamanolis, and R. Picard, "Exertion Interfaces: Sports over a Distance for Social Bonding and Fun," in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2003), pp.561-568, 2003.
- [27] E. I. M. Collins, A. L. Cox, and F. J. Lee, "Say Cheese! Games for Successful Academic and Student Networking," in Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY 2016), pp.105-115, 2016.
- [28] 角康之, 伊藤惇, 西田豊明, 「PhotoChat 写真と書き込みの共有によるコミュニケーション支援システム」, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1993-2003, 2008.
- [29] 富永詩音, 呉健朗, 伊藤貴之, 宮田章裕, 「自由に紙をちぎって電子情報を手渡すインタラクション方式の提案」, 情報処理学会インタラクション 2019 論文集, pp.75-81, 2019.
- [30] E. Fang, B. Dong, M. Zhuang, and F. Cai, "We Earned the Coupon Together: The Missing Link of Experience Cocreation in Shared Coupons," Journal of Marketing, Vol.87, No.3, pp.451-471, 2023.
- [31] P. K. Ram, N. Pandey, and J. Paul, "All about Social Coupons! Evolution, Review and Research Directions," Marketing Intelligence & Planning, Vol.43, No.1, pp.96-126, 2024.
- [32] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.9, No.1, pp.62-66, 1979.
- [33] J. Kittler and J. Illingworth, "Minimum error thresholding," Pattern Recognition, Vol.19, No.1, pp.41-47, 1986.
- [34] Ø. D. Trier and T. Taxt, "Evaluation of binarization methods for document images," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.17, No.3, pp.312-315, 1995.

- [35] J. Sauvola and M. Pietikäinen, "Adaptive document image binarization," *Pattern Recognition*, Vol.33, No.2, pp.225-236, 2000.
- [36] J. Bernsen, "Dynamic thresholding of gray-level images," in *Proceedings of the 8th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp.1251-1255, 1986.
- [37] D. Bradley and G. Roth, "Adaptive thresholding using the integral image," *Journal of Graphics Tools*, Vol.12, No.2, pp.13-21, 2007.
- [38] B. Bataineh, S. N. H. S. Abdullah, and K. Omar, "An adaptive local binarization method for document images based on a novel thresholding method and dynamic windows," *Pattern Recognition Letters*, Vol.32, No.14, pp.1805-1813, 2011.
- [39] C. Tensmeyer and T. Martinez, "Document image binarization with fully convolutional neural networks," in *Proceedings of the 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, pp.954-958, 2017.
- [40] S. He and L. Schomaker, "CT-Net: Cascade connected T-shape networks for deep document image binarization," *Pattern Recognition*, Vol.118, Article 108010, 2021.
- [41] B. Bataineh, M. Tounsi, N. Zamzami, J. Janbi, W. A. Abu-Ain, T. AbuAin, and S. Elnazer, , "A comprehensive review on document image binarization," *Journal of Imaging*, Vol.11, No.5, Article 133, 2025.
- [42] N. R. Howe, "A Laplacian Energy for Document Binarization," in *Proceedings of the 11th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, pp.6-10, 2011.
- [43] S. Lu and C. L. Tan, "Robust document image binarization technique for degraded document images," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.22, No.4, pp.1408-1417, 2013.
- [44] J. Bulens and A. Ligtenberg, "The MapTable, an interactive instrument for spatial planning design processes," in *Proceedings of the 9th AGILE Conference on Geographic Information Science*, pp.695-700, 2006.
- [45] G. Arciniegas, R. Janssen, and P. Rietveld, "Effectiveness of collaborative map-based decision support tools: Results of an experiment," *Environmental Modelling & Software*, Vol.39, pp.159-175, 2013.
- [46] 杉江直紀, 吉添衛, 服部宏充, 「MASS に基づく参加型施策立案支援ツールの開発と機能の検討」, *人工知能学会全国大会論文集 (第 38 回)*, 2024.

- [47] P. Russo, R. Lanzilotti, M. F. Costabile, and C. J. Pettit, "Towards satisfying practitioners in using Planning Support Systems," *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.67, pp.9-20, 2018.
- [48] G. Vonk, Stan Geertman, and Paul Schot, "Bottlenecks blocking widespread usage of planning support systems," *Environment and Planning A*, Vol.37, No.5, pp.909-924, 2005.
- [49] P. Taillandier, A. Grignard, N. Marilleau, D. Philippon, Q.-N. Huynh, B. Gaudou, and A. Drogoul, "Participatory Modeling and Simulation with the GAMA Platform," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol.22, No.2, Article 3, 2019.
- [50] A. Poplin, "Digital serious game for urban planning: 'B3—Design Your Marketplace!'," *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.41, No.3, pp.493-511, 2014.
- [51] J. Flacke, R. Shrestha, and R. Aguilar, "Strengthening Participation Using Interactive Planning Support Systems: A Systematic Review," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol.9, No.1, Article 49, 2020.
- [52] P. Pelzer, S. Geertman, R. van der Heijden, and E. Rouwette, "The added value of Planning Support Systems: A practitioner's perspective," *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.48, pp.16-27, 2014.
- [53] M. te Brömmelstroet, "PSS are more user-friendly, but are they also increasingly useful?," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.104, pp.96-107, 2017.
- [54] 佐藤弘起・森木俊臣・黒澤雄一・曾我佑・薦田憲久「地域限定電子クーポンシステム向け会話誘発ユーザインターフェース」, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol.140, No.10, pp.1119-1126, 2020.
- [55] H. Satoh, T. Moriki, Y. Kurosawa, T. Soga, M. Kobayashi, N. Komoda, "Management System for Regional Electronic Coupon," in *Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 2*, pp.571-578, 2020.
- [56] H. Satoh, T. Moriki, Y. Kurosawa, T. Soga, N. Komoda, "Electronic Coupon Management System for Regional Vitalization", in J. Filipe, M. Smialek, A. Brodsky, and S. Hammoudi (Eds.), "Enterprise Information Systems: 22nd International Conference, ICEIS 2020, Revised Selected Papers", *Lecture Notes in Business Information Processing*, Vol.417, pp.753-768, Springer, 2021.
- [57] 佐藤弘起・佐藤和弘「シェーディング画像に良好なしきい値を設定できる変動しきい値式2値化処理法」, 画像電子学会誌, Vol.36, No.3, pp.204-209, 2007.

- [58] 佐藤弘起, 大町真一郎, 阿曾弘具, “画像濃度の凹凸情報を利用したランダム雑音低減法”, 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, p.38, 2002.
- [59] 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 薦田憲久, 藤原融, “街バル紙クーポン画像への変動しきい値式 2 値化処理法の適用評価”, 電気学会研究会資料, IS-21-035, pp.61-66, 2021.
- [60] 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 薦田憲久, 藤原融, “街バル紙クーポン画像への変動しきい値式 2 値化処理を用いた計数手法”, 電気学会研究会資料, IS-25-001-022, pp.7-11, 2025.
- [61] 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 小林美保, 薦田憲久, 藤原融, “地域活性化イベント開催を支援するエージェントシミュレータの検討”, 電気学会研究会資料, IS-20-041, pp.45-50, 2020.
- [62] 佐藤弘起, 森木俊臣, 藤原周平, 薦田憲久, 藤原融, “街バル向けシミュレータへの因果関係モデルを用いたイベント改善施策の影響反映手法”, 電気学会研究会資料, IS-21-012, pp.61-66, 2021.
- [63] H. Ishii and B. Ullmer, “Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms,” Proceedings of CHI ‘97, pp. 234–241, 1997.
- [64] 石井裕, “タンジブル・ビット：情報と物理世界を融合する新しいインタフェースのデザイン,” 情報処理, Vol.39, No.6, pp.541-549, 1998.
- [65] P. Dourish, Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction, MIT Press, 2001.
- [66] D.A. ノーマン著, 伊賀聡一郎, 岡本明, 安村通晃訳, “複雑さと共に暮らすデザインへの挑戦”, 新曜社, 2011.
- [67] 松山聡志, 千石靖, “UX と UI のデザインスキル向上のための概念モデル学習システムの提案”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-HCI-160, No. 21, pp. 1-6, 2014.
- [68] 仲川薫, 須田亨, 善方日出夫, 松本啓太, “ウェブサイトユーザビリティアンケート評価手法の開発”, 第 10 回ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.421-424, 2001.
- [69] E. T. Hall, The Hidden Dimension. Garden City, NY: Doubleday, 1966.
- [70] N. Sebanz, H. Bekkering, and G. Knoblich, “Joint action: Bodies and minds moving together,” Trends in Cognitive Sciences, vol. 10, no. 2, pp. 70–76, 2006.
- [71] D. A. Norman, The Design of Everyday Things, Revised and Expanded Edition. New York: Basic Books, 2013.

- [72] M. Tomasello, "Joint attention as social cognition," in *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*, C. Moore and P. J. Dunham, Eds. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1995, pp.103–130.
- [73] L. O’Gorman and R. Kasturi, *Document Image Analysis*. IEEE Computer Society Press, 1995.
- [74] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing, 3rd ed.," Pearson, 2008.
- [75] C. Sezgin and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 146-165, 2004.
- [76] D. Doermann and K. Tombre (Eds.), *Handbook of Document Image Processing and Recognition*. Springer, 2014.
- [77] D. Vats, A. Hast, and R. Singh, "Image binarization using automatic parameter tuning with Bayesian optimization," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 95, pp. 37-43, 2017.
- [78] N. Howe, "Document binarization with automatic parameter tuning," *International Journal on Document Analysis and Recognition*, Vol. 16, pp. 247-258, 2013.
- [79] A. Lewis, "Fast normalized cross-correlation," *Vision Interface, Canadian Image Processing and Pattern Recognition Society*, pp. 120-123, 1995.
- [80] G. Nagy, "Matching, measurement, and optimization without machine learning," *HIP’21: Human Information Processing*, ACM, pp. 1-4, 2021.
- [81] OpenCV Documentation: "Template Matching," OpenCV official reference, 2023.
- [82] R. Brunelli, "Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice," Wiley, 2009.
- [83] B. Zitová and J. Flusser, "Image registration methods: a survey," *Image and Vision Computing*, Vol.21, No.11, pp.977-1000, 2003.
- [84] W. K. Pratt, "Digital Image Processing, 4th ed.," Wiley, 2007.
- [85] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- [86] D. P. Huttenlocher, G. A. Klanderman, and W. J. Rucklidge, "Comparing images using the Hausdorff distance," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, no. 9, pp. 850-863, 1993.
- [87] M.-P. Dubuisson and A. K. Jain, "A modified Hausdorff distance for object matching," in *Proceedings of the 12th International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 566-568, 1994.

- [88] F. Fazeli, A. Sarrafzadeh, and J. Shanbehzadeh, "An Overview of Different Binary Methods for Documents Based on Their Features." In Proceedings of IMECS 2013, Vol. I, pp.491-495. 2013.
- [89] B. Su, S. Lu, and C. Tan, "A Robust Document Image Binarization Technique for Degraded Historical Documents." IEEE Transactions on Image Processing, Vol.21, no.4, pp.1838-1852, 2012.