

平成 27 年度 卒業論文

無線 LAN でのアプリケーションの違いと ユーザ誘導の効果

指導教員：田中 良明教授

早稲田大学基幹理工学部情報理工学科

1w120476-1

古殿 洋平

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第 2 章	アクセスポイント選択問題と解決手法	3
2.1	アクセスポイント選択問題	3
2.2	無線 LAN 端末の競合と電波の干渉	3
2.3	ユーザ誘導によるアクセスポイント選択手法	4
2.4	ユーザの行動モデル	4
第 3 章	アプリケーションの違いに基づくモデル分類	6
3.1	ユーザの意思決定モデル	6
3.2	Willingness to Move 関数を用いた QoE の評価	7
3.3	QoE の得点表示	8
第 4 章	ユーザ行動のシミュレーション	11
4.1	エージェントシミュレータによるシミュレーション	11
4.2	シミュレーション条件	14
4.3	想定シナリオ	16
第 5 章	シミュレーション結果と考察	17
5.1	シミュレーション結果	17
5.2	考察	22
第 6 章	結論	26
6.1	本論文の主たる結果	26
6.2	今後の課題	26
	謝辞	27
	参考文献	28
	発表文献	30

第1章 序論

1.1 研究の背景

近年，IEEE802.11[1]規格の無線 LAN を使用するサービスが急速に普及したことにより，自宅やオフィス，カフェ，空港など様々な場所で無線 LAN を使用できるようになった．多くの場所で無線 LAN サービスが利用でき便利になった反面，各地に無線 LAN のアクセスポイント(AP)が乱立したことにより，AP 間で電波の干渉などの問題が生じている．また，総務省の平成 27 年版情報通信白書によると，スマートフォンが爆発的に普及しており，無線 LAN のインタフェースを搭載した端末が増加している[2]．無線 LAN 端末の爆発的な増加は，端末間の競合を引き起こす．このような無線 LAN 端末の競合や電波の干渉は，無線 LAN の通信品質の著しい低下を招く一因となっている．

一方，多くのユーザは AP の混雑状況などを考慮せず，無線 LAN のアンテナなどを参考に AP を選択する．また，カフェで使用する場合はそのカフェの AP を，スマートフォンでは契約したキャリアの AP をなど，使用できる AP が限定されていることも多い．その結果，特定の AP が混雑し，アンテナはしっかりと立っているのに繋がりがづらくなる場合がある．ユーザに正しい知識や AP の情報を知る手段があれば，近傍の AP まで移動するなどの対策をとることができるが，現在そのような知識を有するユーザは少ない．そのためユーザが適切な AP を選択することができず，更なる通信品質の低下を招いている．このような問題を解決するためのアプローチとして，ユーザを適切な AP に誘導し，ネットワーク全体のスループットを向上させるユーザ誘導手法が提案されている．提案されている手法では，混雑している AP に接続しているユーザに対し，移動する AP の位置や移動距離，現在得ているスループットと移動することにより得られるスループットなどを提示する．ユーザは提示された情報をもとに，移動するかしないかを選択する．

ユーザを誘導せずとも AP が電力を下げるなどすることで機械的に電波の干渉を避け，スループットを向上させる方法もある．しかし，ユーザは自分の端末だけは高速で通信しようと行動するため，結果としてスループットは低下する傾向にある[3]．そこで本稿では，ユーザ誘導による提案手法について研究を行う．

1.2 研究の目的

文献[3]で示されるような従来のユーザ誘導手法では、ユーザは全員単一のタイプが想定されており、利用するアプリケーションの違いに着目したモデル作りは行われていない。しかし文献[4]では、ユーザは誘導される際、移動先で得られる品質のために移動しても良いと思う距離 WTM(Willingness To Move)が利用するアプリケーションによって異なることが示されている。

本研究ではユーザを誘導する際、使用するアプリケーションの違いにより、ユーザ体感品質(Quality of Experience, QoE)にどのような変化が生じるのかをシミュレーションを用いて検証することを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文は全 6 章で構成されている。第 1 章が序論、第 2 章から第 5 章までが本論、第 6 章が結論となっている。

第 2 章ではアクセスポイント選択問題とその解決手法について述べる。第 3 章では使用するアプリケーションの違いに着目したモデル分類、およびモデル分類の際に用いる各種関数や数値の設定について述べる。第 4 章ではエージェントシミュレータ artisoc の説明、および artisoc を用いたシミュレーションの各種条件について説明する。第 5 章では実際にシミュレーションを行った際の結果およびその考察について述べ、続く第 6 章で本論文の主たる結果と今後に対する課題について述べる。

第2章 アクセスポイント選択問題と解決手法

2.1 アクセスポイント選択問題

無線 LAN の AP が複数存在する場合、一般的に、AP が発信する受信信号強度を示す指標である RSSI(Received Signal Strength Indicator)の高い AP が選択される[5]。ユーザは無線 LAN のアンテナなどで電波を知り、自らが利用できる中から AP を選択する。しかしアンテナの情報などを参考に AP を選択した場合、近傍のエリアに複数の AP が存在する環境であっても、同一の AP に接続が集中してしまう場合がある。

一方、無線 LAN のアクセス方式は CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)方式と呼ばれる。CSMA/CA 方式は、データを送信する前に AP の空き状況を調べ、使用中であれば送信せず、使用していなければ衝突回避のためにランダムな待ち時間を経てからデータを送信するアクセス方式である[6]。CSMA/CA 方式ではすべての端末が同等の通信機会を得るため[7]、電波強度の強い AP に複数の端末が接続した場合、電波強度は弱い端末接続数の少ない別の AP よりも、端末 1 台あたりのスループットが低下してしまう場合がある。

このように AP 間に偏りが生じた場合、近傍のエリアに十分な通信ができる AP が存在するにもかかわらず、混雑した AP を多くのユーザで使用する恐れがある。このような AP 間での不均衡により、AP が十分に活用できていない状態を AP 選択問題という[3]。

2.2 無線 LAN 端末の競合と電波の干渉

無線 LAN のスループットが低下する原因として、無線 LAN 端末の競合および電波の干渉が挙げられる。

無線 LAN は衝突を検知することができないため、CSMA/CA 方式により待ち時間をランダムとすることで衝突を回避している[6]。しかし多くの端末が同一の AP に接続した際、衝突が発生しフレーム再送が行われるなどする場合がある。その結果、待ち時間が長くなり、品質の劣化につながる。これを競合という。

一方、無線 LAN の多くの規格で利用されている 2.4GHz 帯では、隣接する周波数帯も利用するため、隣接する電波が重なり合ってしまう受信電波特性が劣化してしまうことがある。これを干渉という。

このように競合および干渉が発生した場合、無線 LAN のスループットは著しく低下してしまう[8]。特に AP が混雑していた場合、競合と干渉が発生しやすくなってしまったため、いかに AP 選択問題を解決するかが重要となっている。

2.3 ユーザ誘導によるアクセスポイント選択手法

AP 選択問題を解決するためのアプローチとして、様々な AP 選択手法が提案されている[3]-[11]。AP 選択手法は大きく分け、文献[7]-[10]のように無線 LAN 端末自体が RSSI 値だけでなく何らかのアルゴリズムを用いて自律的に AP を選択する手法と、文献[3][4][11]のように無線 LAN を使用するユーザに移動してもらうことにより協力的に AP 混雑問題を解決しようとする手法が挙げられる。中でも本節では、ユーザ行動に着目を置いた AP 選択手法について記述する。

AP 選択問題が生じる一つの要因として、ユーザに正しい知識が提供されていない点が挙げられる。ユーザが AP を選択する際、無線 LAN のアンテナなどの情報をもとに AP に接続するが、それは AP を判断する情報がアンテナによる情報しかないためである。そこで AP 間の接続数に偏りが生じている場合、AP 側から混雑している AP を利用しているユーザ側に情報を提供することで、空いている AP への移動を促す手法が提案されている。その際情報として、移動する場所、移動する場所までの距離、ユーザが現在得ている通信速度、ユーザが移動先で得られるスループットなどを提示する。このようにユーザに対し情報を与えることで、適切な AP への移動を促す方法がユーザ誘導による AP 選択手法である[3]。

2.4 ユーザの行動モデル

ユーザ誘導を行う際、それぞれのユーザがどのような行動を起こすのかをモデル化する必要がある。文献[3]では、移動を促された時のユーザごとの行動を「移動する」「移動しない」から選択することで、ゲーム理論的に考察している。ゲーム理論的考察では、利得の増分が移動のコストよりも大きくなれば、ユーザが自発的に移動するということが示されている。また、利得の増分を得るためには、スループットに対する効用の増分を定量化する必要がある。そのため文献[3]では、その品質を得るために移動してもよいと思う距離 W_{TM} の値に基づいて定量化を行っている。

文献[3]では、ユーザが移動しても良い距離 W_{TM} を増加させる方法として、モビリティ・マネジメントに着目している。モビリティ・マネジメントとは、元は交通問題を解決するための施策である[12][13]。文献[12]より引用すると、

モビリティ・マネジメントとは、“「環境や健康などに配慮した交通行動を、大規模、かつ、個別的に呼びかけていくコミュニケーション施策」を中心として、ひとり一人の住民や、一つ一つの職場組織等に働きかけ、自発的な行動の転換を促していく点が、その大きな特徴”であると定義されている[12]。また、文献[13]においては、モビリティ・マネジメントとは、“ひとり一人のモビリティ（移動）や個々の組織・地域のモビリティ（移動状況）が、社会にも個人にも望ましい方向注）に自発的に変

化することを促す, コミュニケーションを中心とした多様な交通施策を活用した持続的な一連の取り組み”と定義されている。

文献[3]ではこのモビリティ・マネジメントの考え方をユーザ誘導に適用している。すなわち, ユーザに情報を与えることで協力が必要であることを知らせ, 自発的な行動の転換を促し, ユーザ誘導を行うことを可能としている。

本稿ではモビリティ・マネジメントの考え方を適用したユーザ誘導を前提とし, ユーザ行動をモデル化するものとする。

第3章 アプリケーションの違いに基づくモデル分類

3.1 ユーザの意思決定モデル

本シミュレーションで使用するユーザの意思決定モデルについて述べる. 本稿ではユーザが利用しているアプリケーションの違いに着目するため, ユーザは, メールを使用するユーザと, 動画ストリーミングサービスを使用するユーザの2種類が存在するものとする. またそれぞれのユーザは, APの配置と, APから得られる通信品質を通信速度として表示する誘導アプリケーションを所有している. ユーザは誘導アプリケーションを使用することで, 近傍のAPの位置およびそれぞれのAPに接続した際の通信速度を知ることができる. その情報を元に現在地から目的APまでの移動距離 d と移動した際の通信速度 s を求め, 式(1)によって自身の効用を最大化する意思決定を行う.

$$g = U(s) - d \quad (1)$$

g は利得であり, ユーザは g を最大化するように意思決定を行う. $U(s)$ は通信速度に対するQoEを表す関数である. 本稿では, QoEを表す関数である $U(s)$ をWTMの関数とし, 距離として表す. WTM関数については次節で詳しく述べる.

また, 意思決定モデルによるユーザ移動の様子を図3.1.1に示す. ユーザは満足のいく通信が行えていない場合, 誘導アプリケーションの情報をもとに利得 g が最大となるように移動を行う. 無線LANはAPから離れるにつれ提供される電波が弱まっていく. そのため, ユーザは接続中のAPに接近するユーザ①か, 近傍のAPに接近するユーザ②のどちらかの行動を行うことになる. ただし近傍のAPに接近した場合, 接続するAPは近傍のAPへと切り替えるものとする.

本シミュレーションでは, ユーザは利得 g が最大となるように移動を行うため, 空いているAPから混雑しているAPへ移動することは考えづらい. そのためAPの切り替えを行うユーザは混雑しているAPに接続しているユーザのみであり, APの均衡化を図ることができる. また, APから離れた無線LAN端末は電波強度が弱いにもかかわらず, 他の無線LAN端末と同等の通信機会を持っているため, 他の無線LAN端末にまで悪影響を及ぼすPerformance Anomalyが生じる場合がある[7]. そのため, 接続するAPを変更しない場合でも, APに近づくことによりユーザ全体のスループットならびにQoEを向上させることができる.

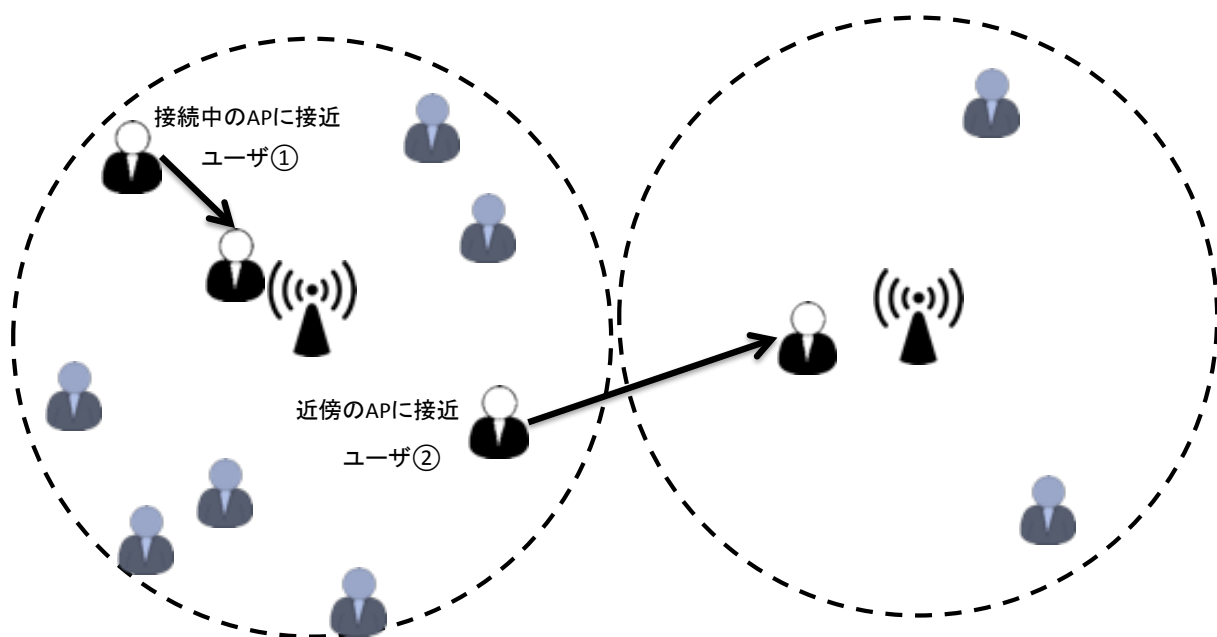


図 3.1.1 意思決定による移動の様子

3.2 Willingness to Move 関数を用いた QoE の評価

文献[14]では、データ通信サービスの品質(通信速度など)とその品質を得るために移動してもよいと思う距離 **WTM** の関係を、アンケートにより定量的に表している。

また文献[4]では、**WTM** はユーザが使用するアプリケーションによって異なることを、アンケートによって明らかにしている。文献[4]のアンケート結果より、メールを使用するユーザの **WTM** 値は平均して 10m から 30m、動画ストリーミングサービスを使用するユーザの **WTM** 値は平均して 20m から 50m であることが分かる。ストリーミングのユーザはメールのユーザと比べ、通信速度が確保できなければ快適な視聴が難しいため、少しでも通信速度を確保できるように **WTM** が高くなる傾向にあると考えられる。また文献[4]の調査結果より、通信速度の増加率が高いほど、**WTM** 値は大きいということも読み取れる。

本稿では、通信速度に応じ **WTM** 値を文献[4]の範囲内で与え、移動距離 d が **WTM** 内であれば移動を行うものとする。

3.3 QoE の得点表示

QoE は WTM の関数であるため、通信速度に応じて与えられる。本稿では、QoE を QoE 得点とし、0 から 100 の範囲で定量的に与える。通信が行えない状態、すなわちサービスが受けられない状態を 0 とし、ユーザが通信品質に不満を感じず快適にアプリケーションを使用できる状態を 100 とする。

本稿では、文献[4]の結果から QoE は非線形に増加するものと想定する。また、アプリケーションに応じて QoE の増加の幅に違いがあるものとする。通信速度とメールのユーザの QoE 得点の関係を表 3.2.1 および図 3.2.1、通信速度とストリーミングのユーザの QoE 得点の関係を表 3.2.2 および図 3.2.2 のように仮定する。

また、アプリケーションによる QoE 得点の比較を表 3.2.3 および図 3.2.3、図 3.2.4 に示す。メールのユーザは比較的遅い通信速度で満足するのに対し、ストリーミングのユーザは通信速度が速くならないと通信に満足できていないと分かる。これは、メールの使用と動画ストリーミングサービスの使用では、必要とされる最低通信品質が大きく異なるためである。必要とされる最低通信品質が大きく異なるため、同じように 2 倍、3 倍と通信速度が増加した場合、QoE 得点に必要な通信速度には大きな差ができてしまうと仮定できる。

表 3.2.1 通信速度とメールのユーザの QoE 得点の関係

通信速度 [Mbps]	0.1以下	0.1～0.2	0.2～0.5	0.5～1.0	1.0以上
QoE得点	0～25	25～50	50～75	75～100	100

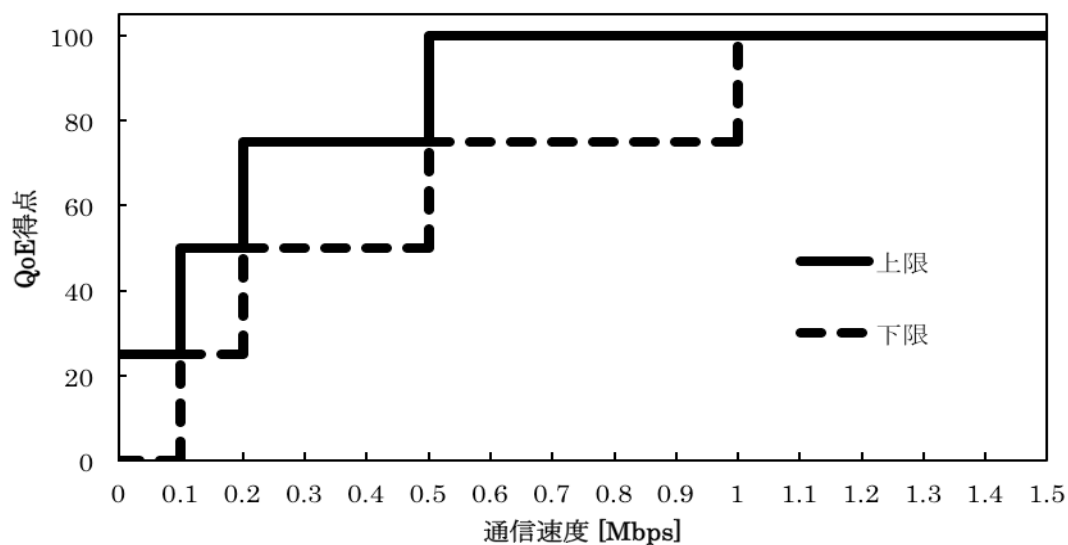


図 3.2.1 通信速度とメールのユーザの QoE 得点の関係

表 3.2.2 通信速度とストリーミングのユーザの QoE 得点の関係

通信速度 [Mbps]	0.5以下	0.5～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0～5.0	5.0以上
QoE得点	0～20	20～40	40～60	60～80	80～100	100

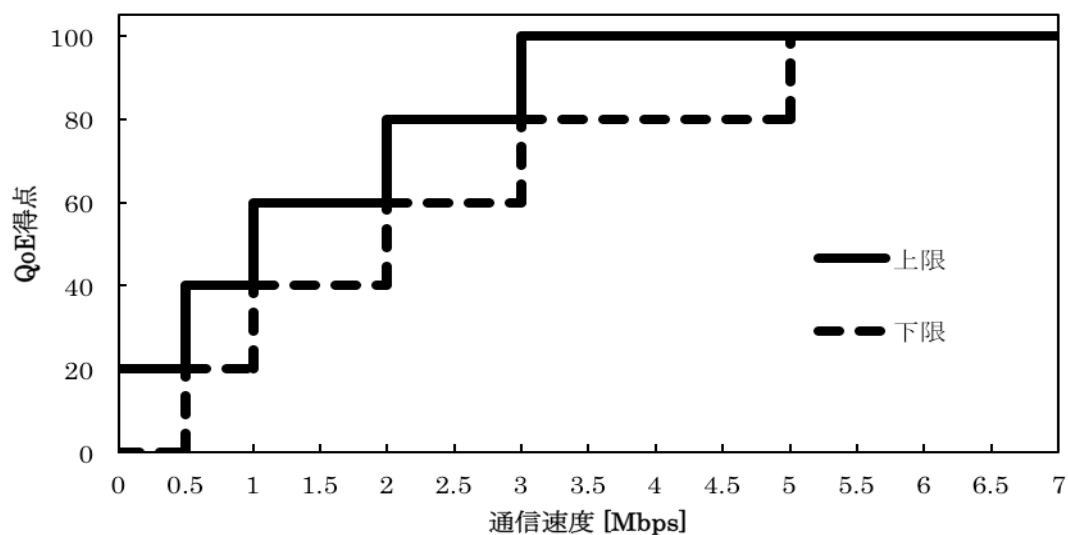


図 3.2.2 通信速度とストリーミングのユーザの QoE 得点の関係

表 3.2.3 通信速度と QoE 得点の関係

通信速度 [Mbps]	0.1以下	0.1～0.2	0.2～0.5	0.5～1.0	1.0～2.0	2.0～3.0	3.0～5.0	5.0以上
メールのユーザ	0～25	25～50	50～75	75～100	100	100	100	100
ストリーミングのユーザ	0～20	0～20	0～20	20～40	40～60	60～80	80～100	100

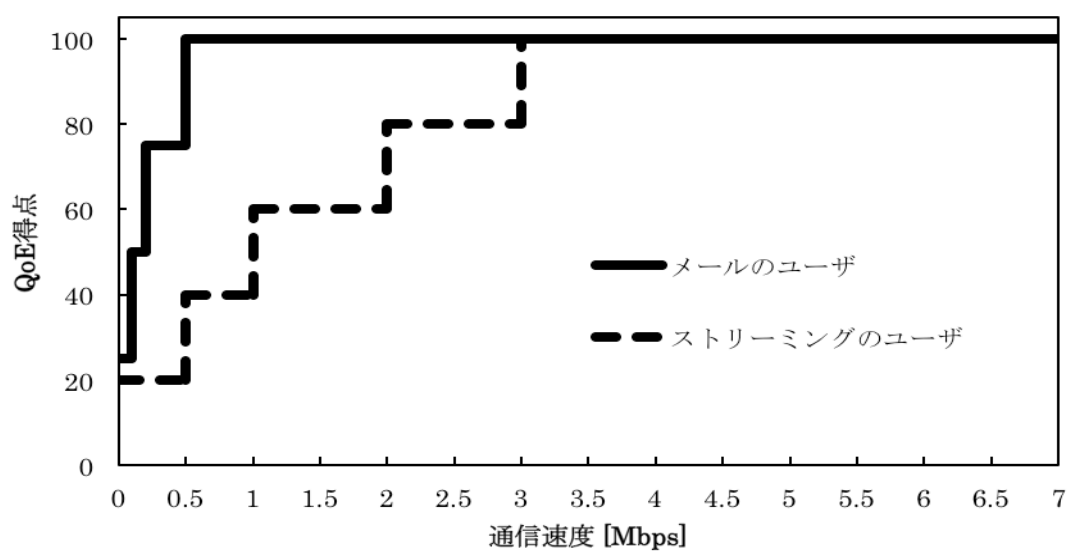


図 3.2.3 通信速度と QoE 得点の関係(上限値)

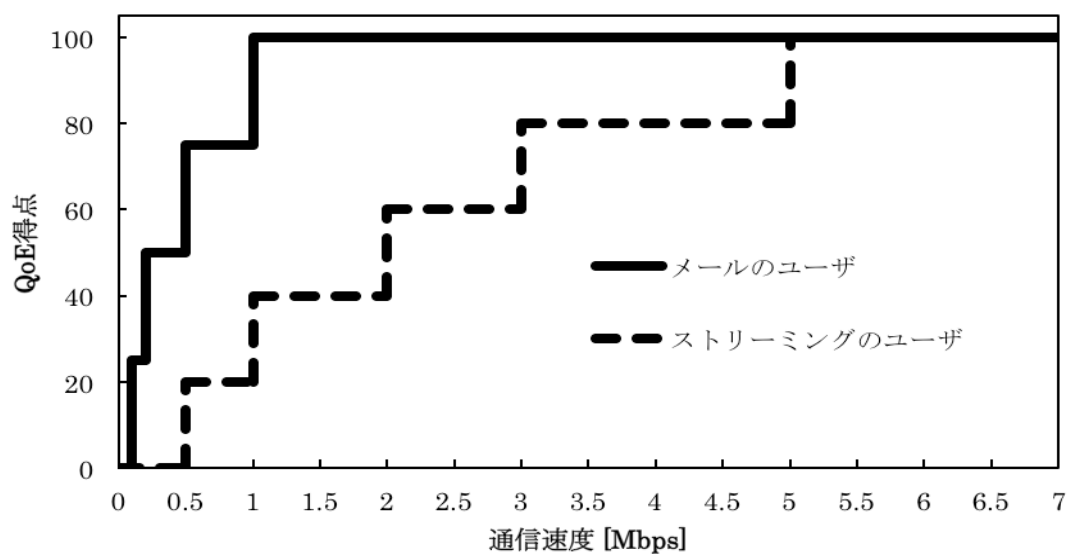


図 3.2.4 通信速度と QoE 得点の関係(下限値)

第4章 ユーザ行動のシミュレーション

4.1 エージェントシミュレータによるシミュレーション

本稿では，株式会社構造計画研究所が提供するマルチエージェントシミュレータ artisoc(artificial societies)を用いてシミュレーションを行う．artisoc とは，人間同士の相互作用などをコンピュータ上に再現することで，社会現象をシミュレーションすることのできる分析ツールである．また，社会現象を生きたままに観察できることがその特徴であり，シミュレーションの実行過程などを細かく観察することができる[15]．例として，本シミュレーションの実行過程の一例を図 4.1.1 から図 4.1.6 に示す．

このように社会現象をコンピュータ上で表すことを人工社会と呼ぶ．人工社会では，従来のように社会現象からモデルを作るのではなく，人間など自律して行動するエージェントのモデルを作ることで，エージェント間やエージェントと環境間での相互作用を生み出し，社会現象を導き出すことができる[16]．本稿でも，ユーザの意思決定モデルを作成することで，AP 選択問題をシミュレーションしている．

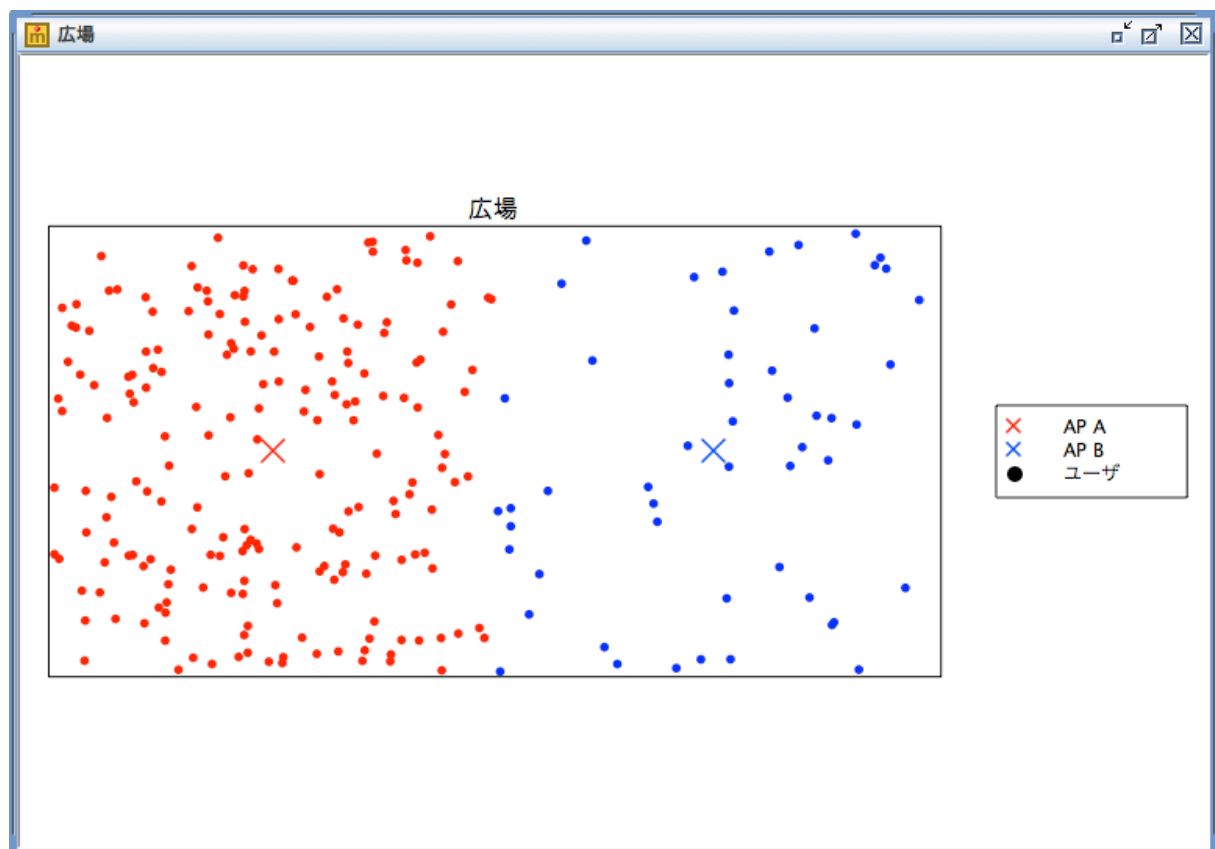


図 4.1.1 ユーザ誘導前の広場の様子

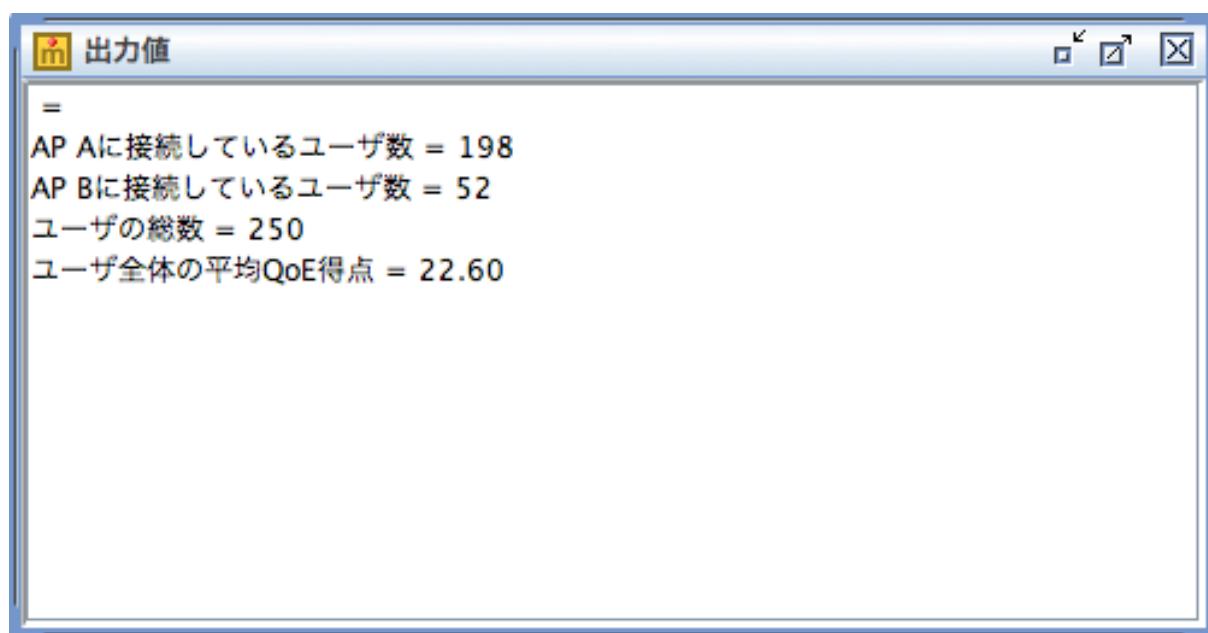


図 4.1.2 ユーザ誘導前の各種測定値

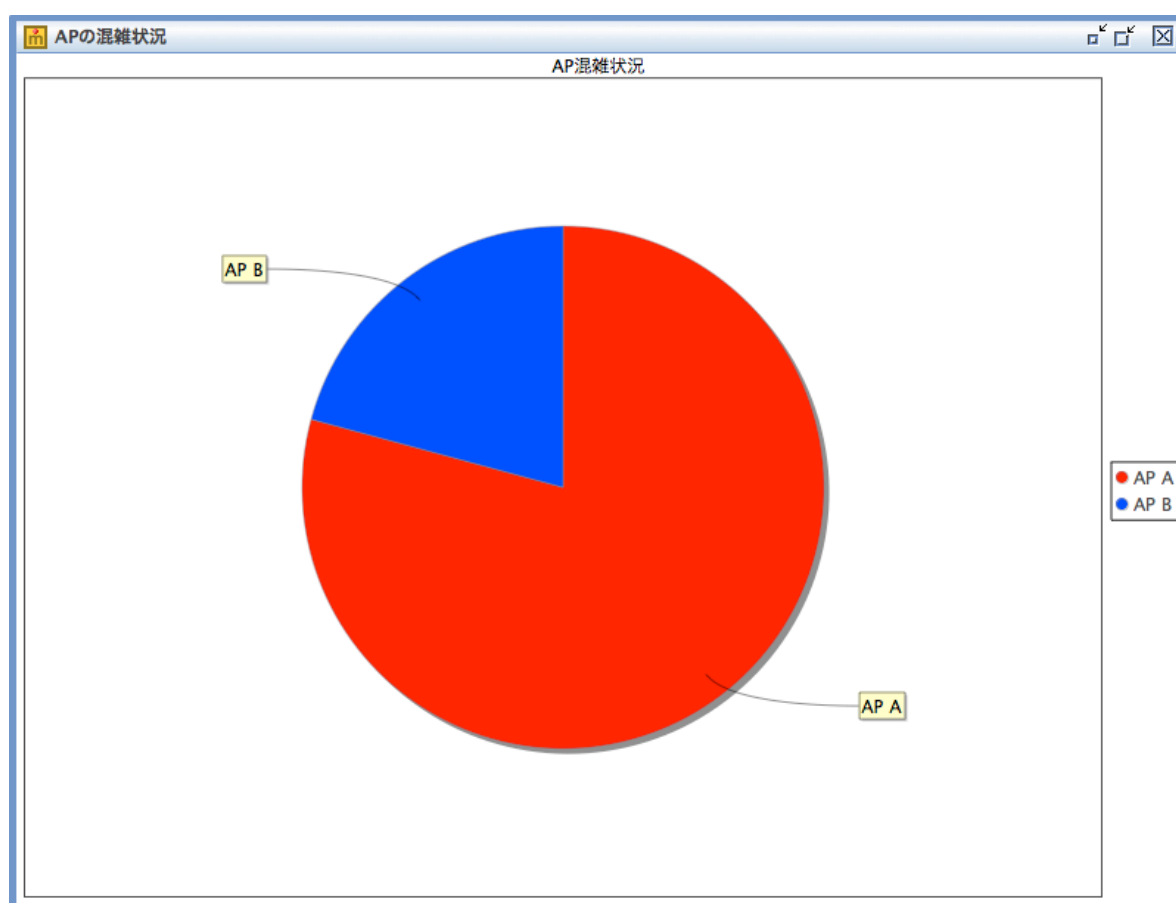


図 4.1.3 ユーザ誘導前の AP 混雑状況

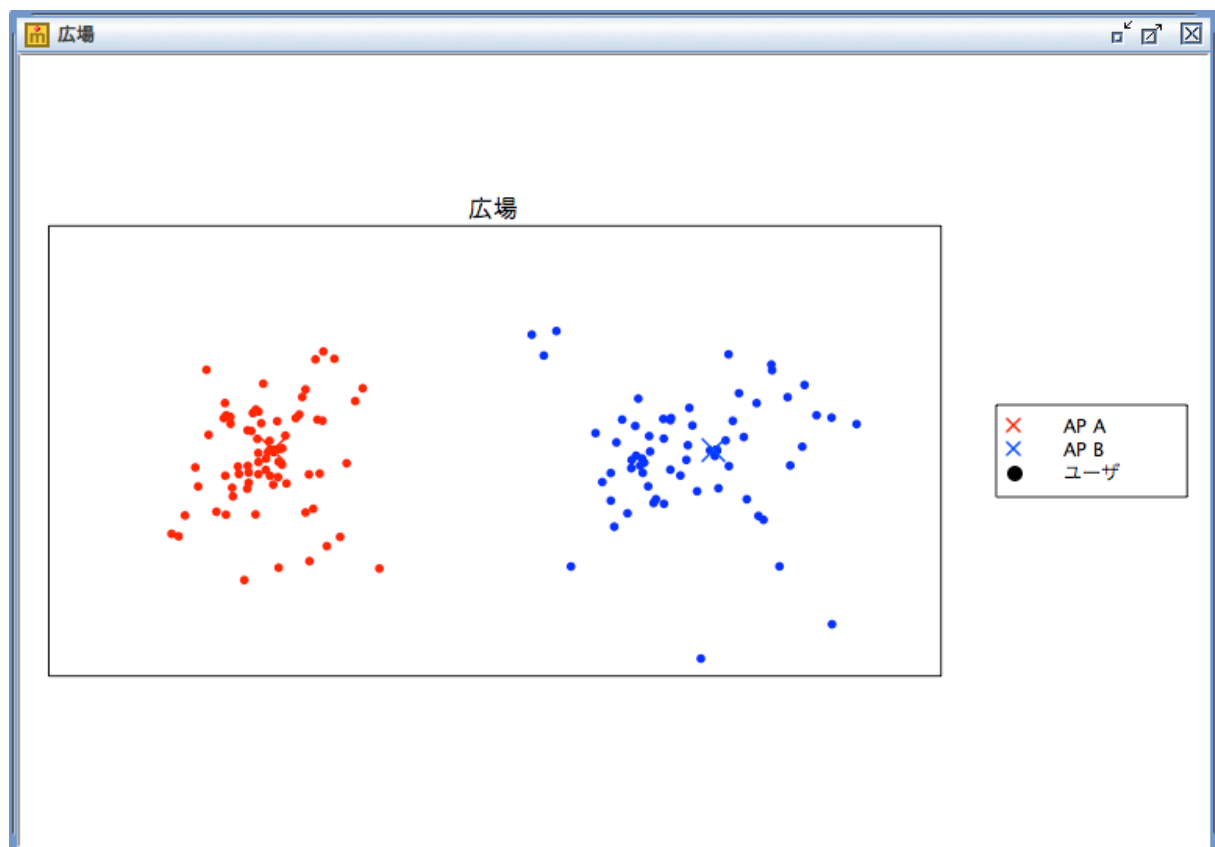


図 4.1.4 ユーザ誘導後の広場の様子

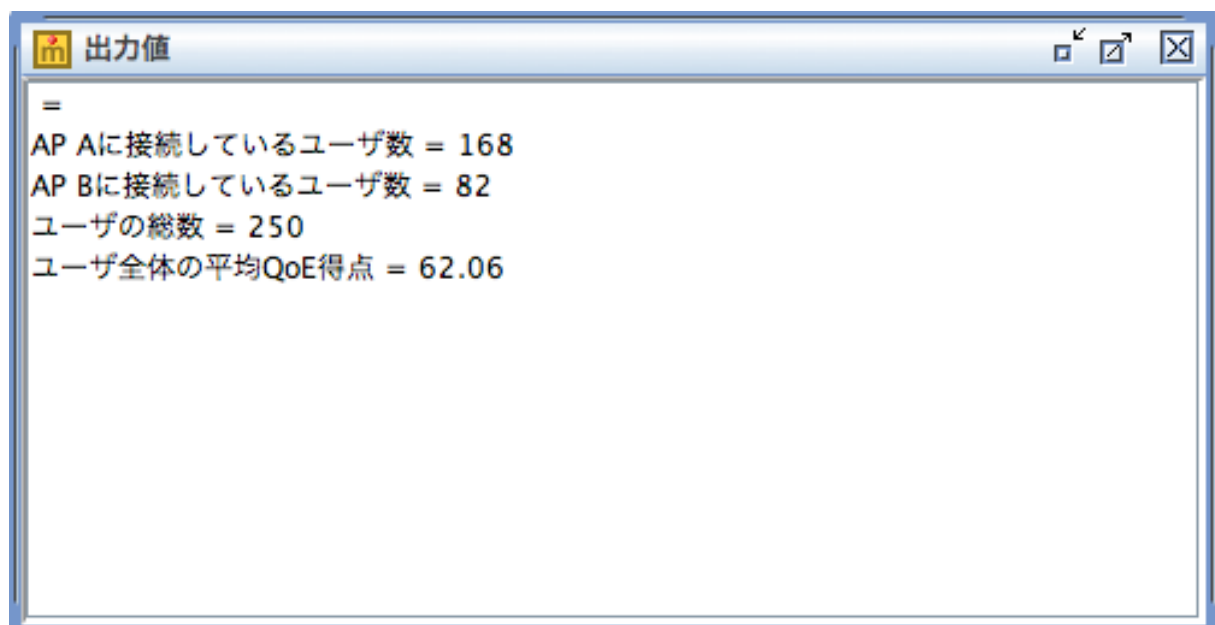


図 4.1.5 ユーザ誘導後の各種測定値

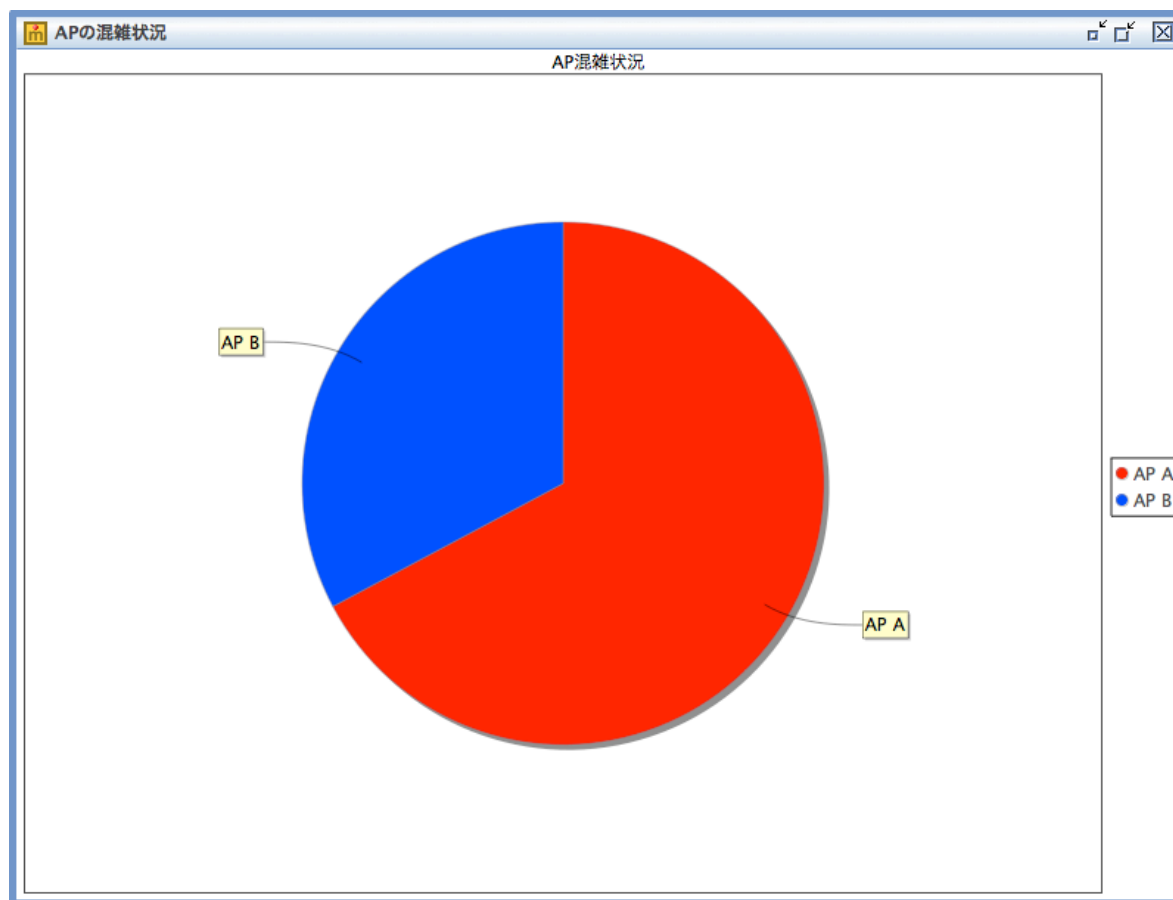


図 4.1.6 ユーザ誘導前の AP 混雑状況

4.2 シミュレーション条件

表 4.2.1 にシミュレーション諸表を示す。ただし、表における座標は 1 進むごとに 1m であるとする。また、想定シナリオについては次章で詳しく述べる。

本シミュレーションでは、二つの無線 LAN の AP、AP1 と AP2 を想定する。二つの AP は互いに 50m 離れており、通信半径は 25m とする。AP はそれぞれ 2.4GHz 帯の電波を利用し、CSMA/CA 方式でアクセスを制御する。また、最大 54Mbps のデータ送信速度を持ち、AP から離れるごとにデータ送信速度は遅くなるものとする。

シミュレーション開始時それぞれの AP に帰属するユーザは AP1:AP2=8:2 の比率で配置する。AP に帰属するユーザ数の比率を AP1:AP2=8:2 としたのは意図的に AP 間に不均衡を生じさせるためであり、AP 混雑時のユーザ行動を検証するためである。シミュレーション開始時の広場の様子を図 4.2.1 に示す。

また、シミュレーション時の総ユーザ数 N は、10 人から 100 人まで 10 人おきに、100 人から 500 人まで 50 人おきに施行するものとする。ユーザ人数が 10 人から 100 人の範囲は、実際に想定される人数と言える。そのため 10 人間隔でシミュレーショ

ンを行い，より詳しく結果を調べる．しかしユーザ数があまりに増える場合，APの混雑により接続することは不可能に近くなる．そのため，ユーザ数が100人を超える場合は50人間隔でシミュレーションを行うものとする．

本シミュレーションでは，二つのAPに接続しているユーザ数を10人から500人まで幅広く検証し，ユーザ誘導の効果にどのような違いがあるか検証する．検証のため，ユーザ数の多い場合でもAPに全員が接続できているとして結果を考察する．

表 4.2.1 シミュレーション諸表

無線LAN規格	IEEE802.11g
AP1の座標	(x,y) = (25,25)
AP2の座標	(x,y) = (75,25)
帰属するユーザ数の比率	AP1:AP2 = 8:2
シミュレーション人数	10人～500人
想定シナリオ1	メールのユーザ:ストリーミングのユーザ = 8:2
想定シナリオ2	メールのユーザ:ストリーミングのユーザ = 2:8

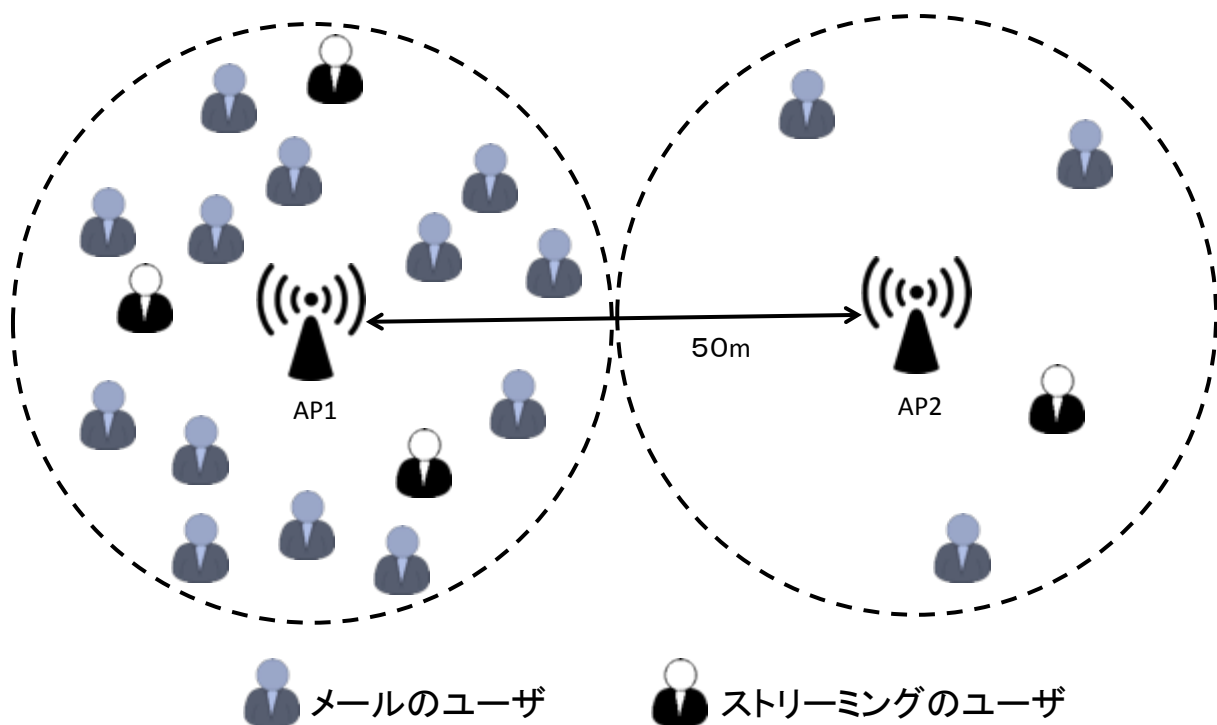


図 4.2.1 シミュレーション開始時の広場の様子(想定シナリオ1の場合)

4.3 想定シナリオ

使用するアプリケーションの違いに着目するため、二つのシナリオを想定する。シナリオ 1 ではメールを使用するユーザが多い場合を想定し、メールのユーザとストリーミングのユーザの比率を 8:2 とする。メールは離散的でデータ量の小さいパケット通信であるため、比較的低い通信速度で満足できるユーザが多いシナリオとなる。

シナリオ 2 では動画ストリーミングサービスを使用するユーザが多い場合を想定し、メールのユーザとストリーミングのユーザの比率を 2:8 とする。動画ストリーミングサービスは保留時間が長くかかるストリーミング通信であり、メールと比べ単位時間あたりに受信するデータ量が大きい。そのため、通信品質を向上させるためにより高い通信速度を必要とするユーザが多いシナリオである。

第5章 シミュレーション結果と考察

5.1 シミュレーション結果

図 5.1.1 から図 5.1.9 にシミュレーション結果を示す．シミュレーションはユーザ数 N ごとにそれぞれ 5 回ずつ実施し，その結果をプロットしたものをシミュレーション結果とする．

図 5.1.1 から図 5.1.6 の縦軸は QoE 得点の総和 u をユーザ数 N で割ったものであり，シミュレーション実行時にユーザが平均して何点の QoE 得点を持っていたかを示したものである．横軸は，シミュレーション実行時の全ユーザ数を表す．

図 5.1.1, 図 5.1.2 はメールのユーザとストリーミングのユーザの比率を 8:2 としたシナリオ 1 のシミュレーション結果を表している．図 5.1.3, 図 5.1.4 はメールのユーザとストリーミングのユーザの比率を 2:8 としたシナリオ 2 のシミュレーション結果を表している．図 5.1.5, 図 5.1.6 は両シナリオを比較したものである．また，図 5.1.1, 図 5.1.3, 図 5.1.5 が誘導前の平均 QoE 得点を表し，図 5.1.2, 図 5.1.4, 図 5.1.6 が誘導後の平均 QoE 得点を表す．

図 5.1.7 から図 5.1.9 の縦軸は誘導後の QoE 得点 u_1 の総和から，誘導前の QoE 得点 u_0 の総和を引いたものであり，誘導による QoE の増加を示す．図には，全体の増加をユーザ数 N で割り，一人当たりの QoE 増加幅 u を示している．QoE 増加幅 u を式 (2) に示す．

$$u = (u_1 - u_0) / N \quad (2)$$

また，横軸はシミュレーション実行時の全ユーザ数を表す．

図 5.1.7 は，メールのユーザとストリーミングのユーザの比率を 8:2 としたシナリオ 1 のシミュレーション結果を表している．図 5.1.8 は，メールのユーザとストリーミングのユーザの比率を 2:8 としたシナリオ 2 のシミュレーション結果を表している．図 5.1.9 は両シナリオを比較したものである．

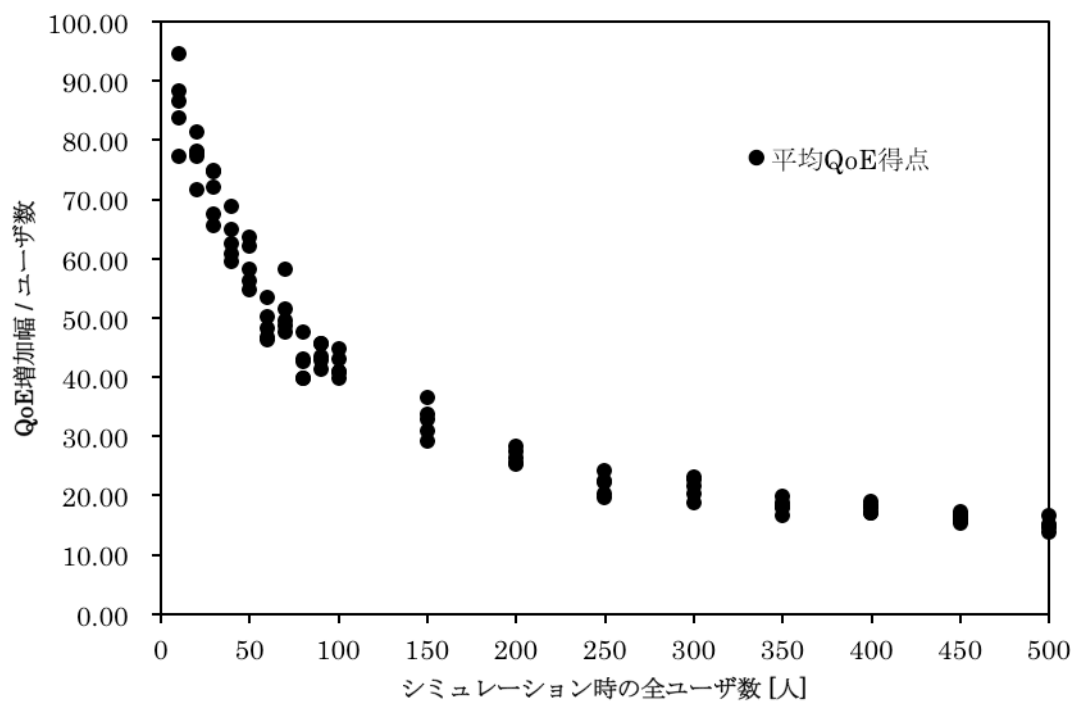


図 5.1.1 ユーザ数と誘導前の QoE 得点の関係(メールのユーザが多い場合)

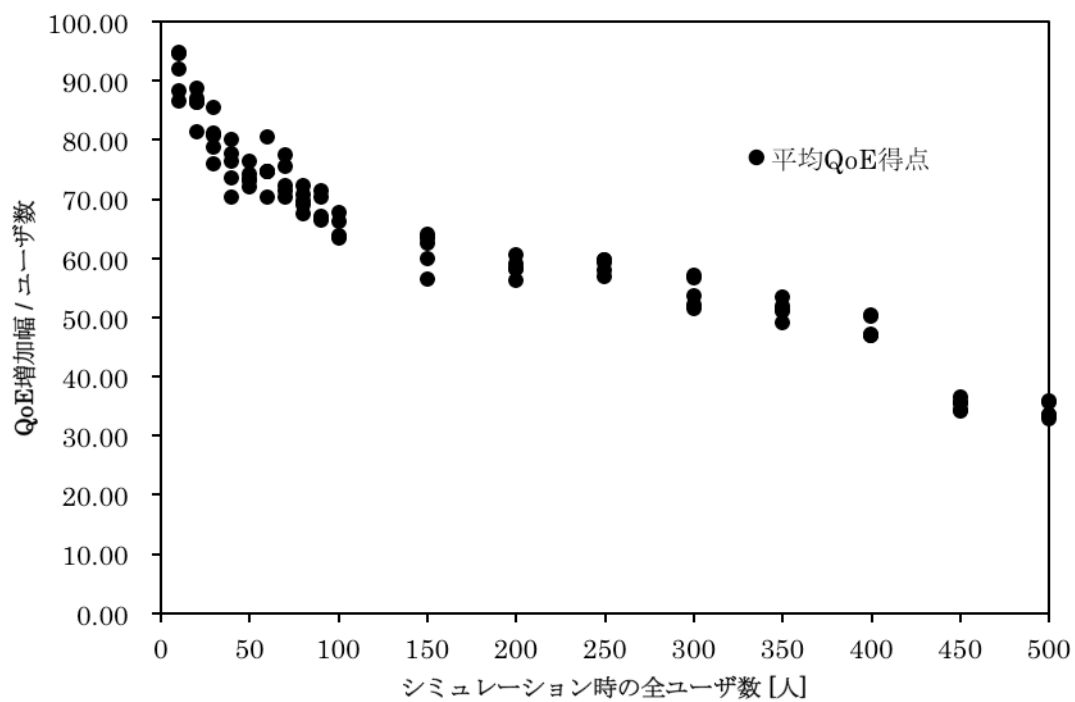


図 5.1.2 ユーザ数と誘導後の QoE 得点の関係(メールのユーザが多い場合)

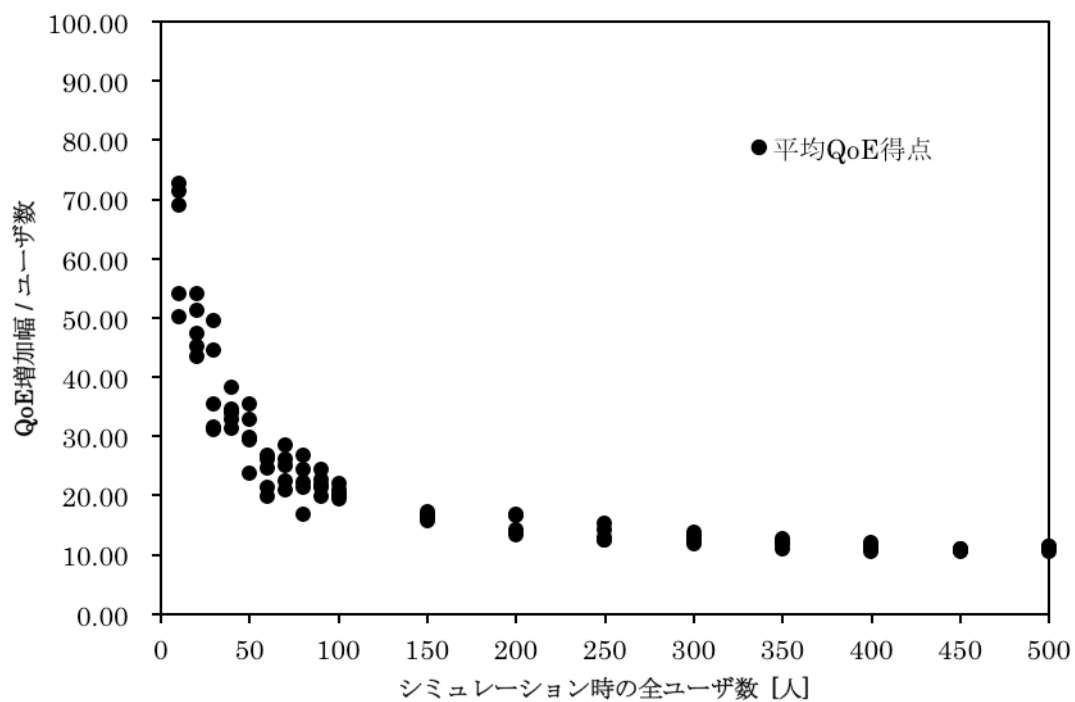


図 5.1.3 ユーザ数と誘導前の QoE 得点の関係(ストリーミングのユーザが多い場合)

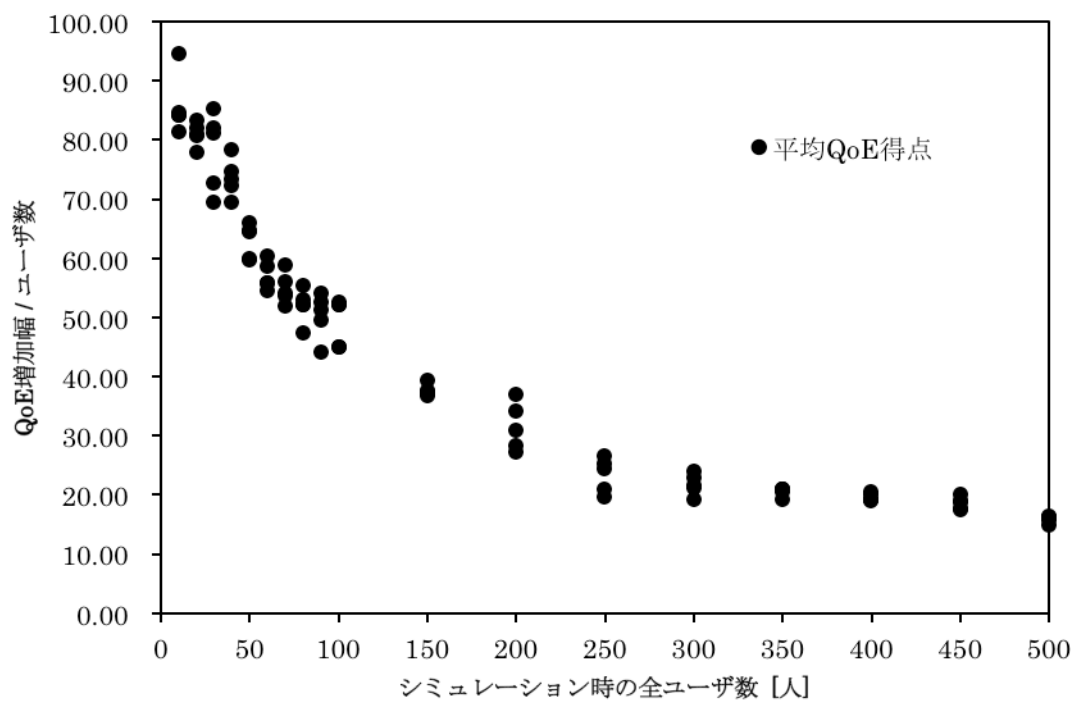


図 5.1.4 ユーザ数と誘導後の QoE 得点の関係(ストリーミングのユーザが多い場合)

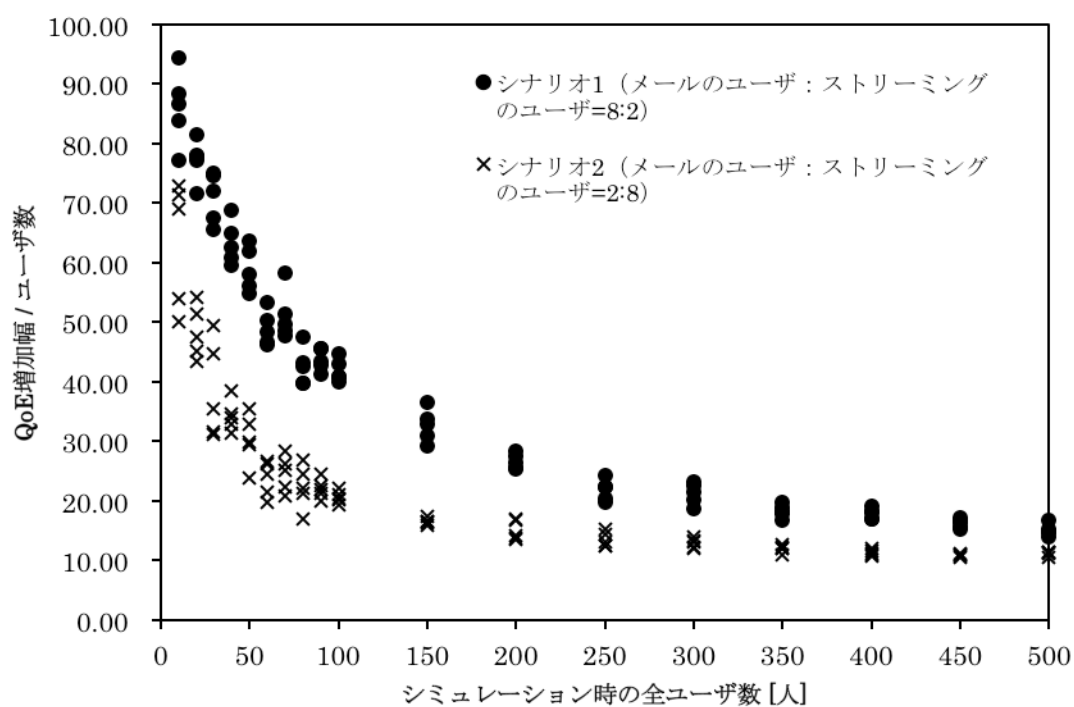


図 5.1.5 ユーザ数と誘導前の QoE 得点の関係(両シナリオの比較)

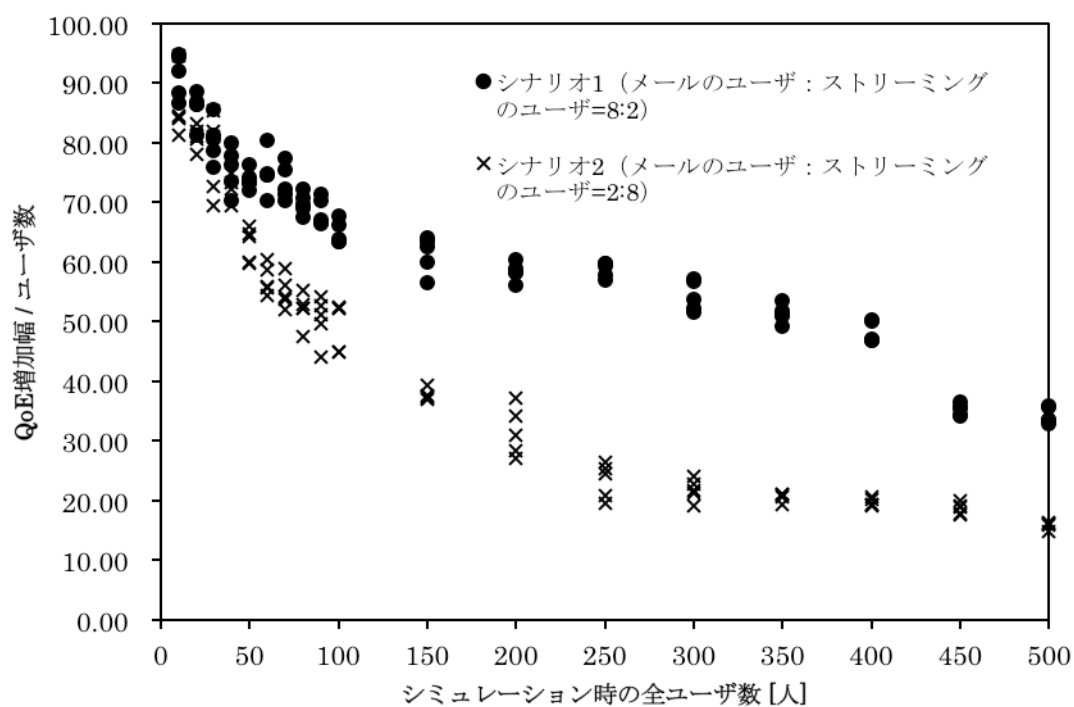


図 5.1.6 ユーザ数と誘導後の QoE 得点の関係(両シナリオの比較)

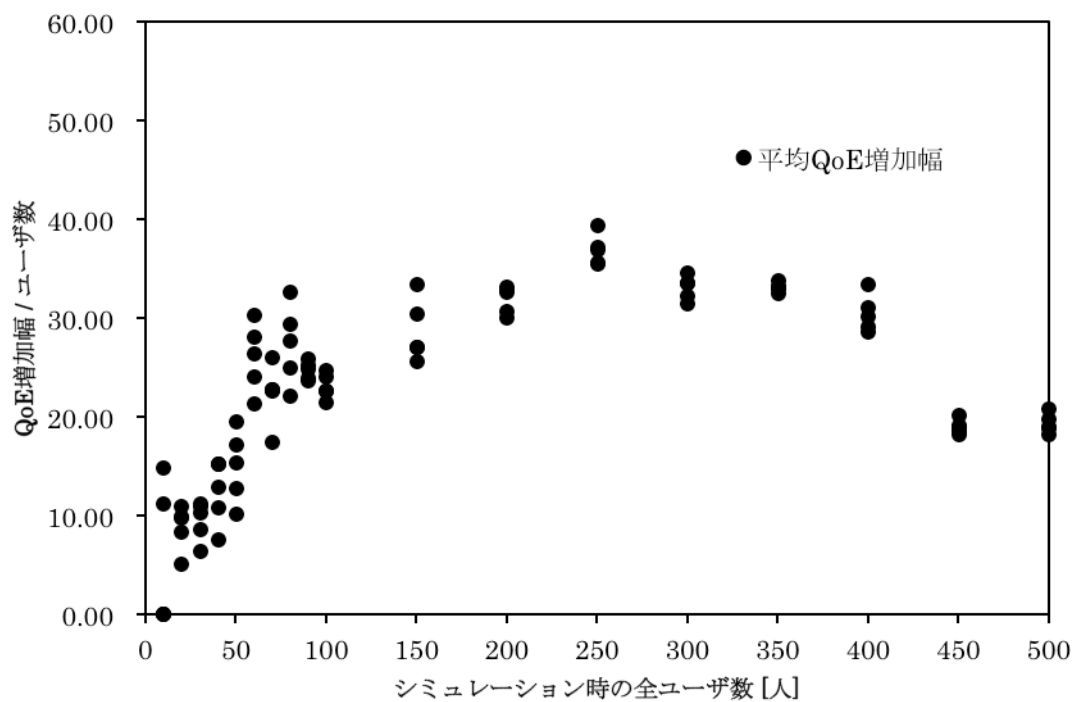


図 5.1.7 ユーザ数と QoE 得点の増加の関係(メールのユーザが多い場合)

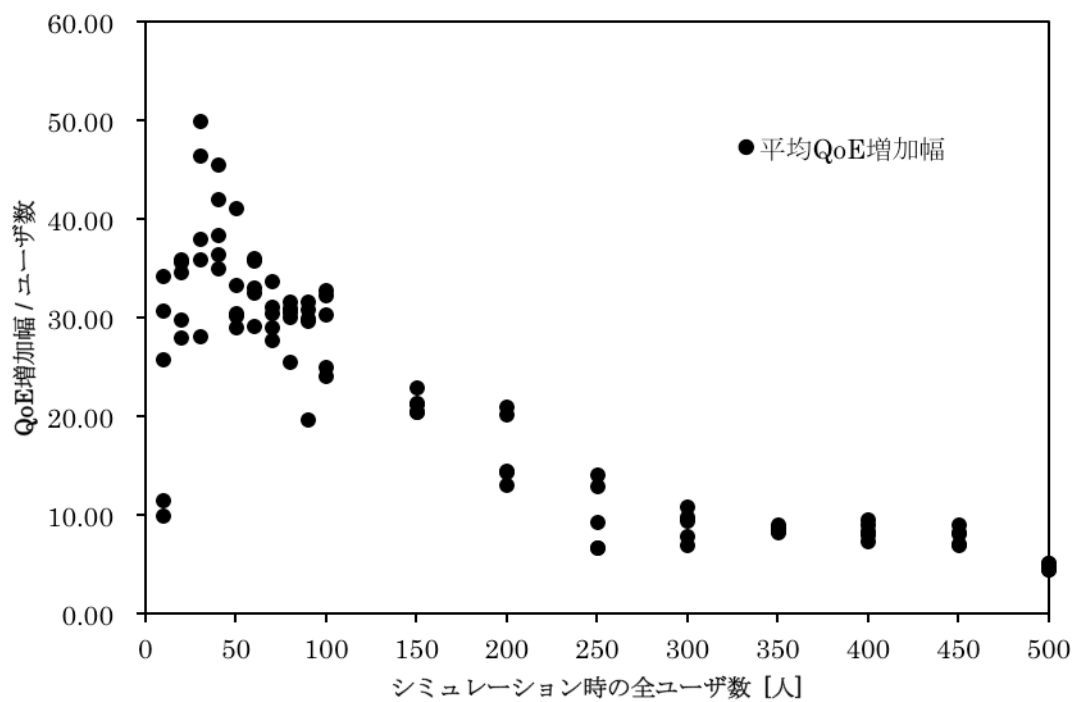


図 5.1.8 ユーザ数と QoE 得点の増加の関係(ストリーミングのユーザが多い場合)

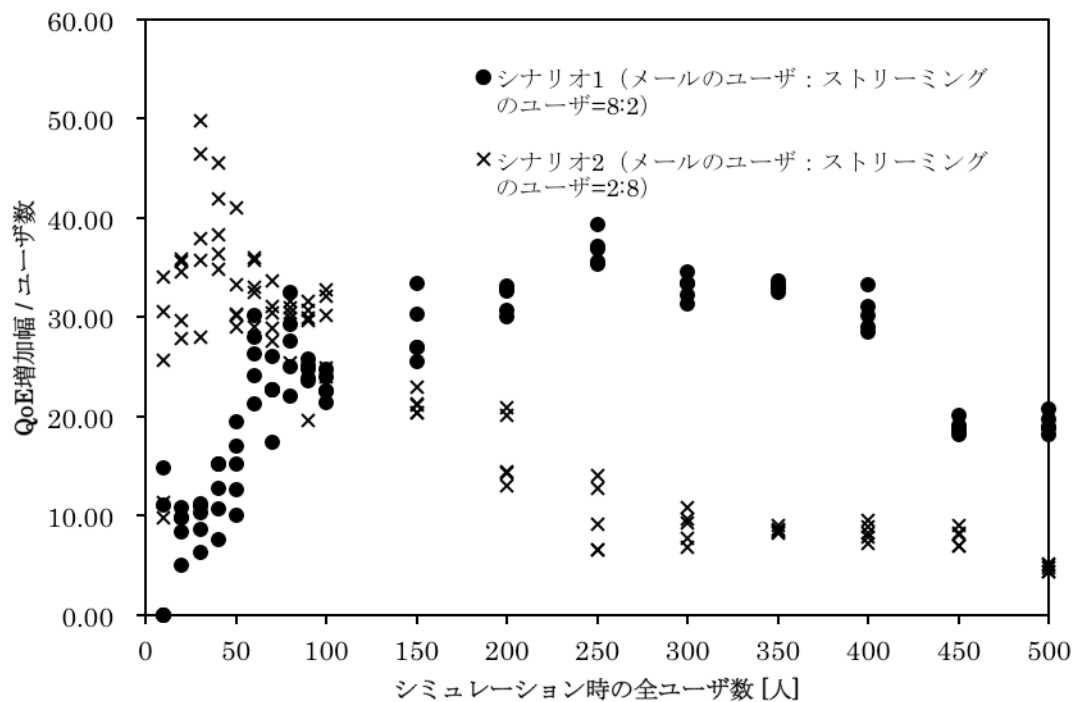


図 5.1.9 ユーザ数と QoE 得点の増加の関係(両シナリオの比較)

5.2 考察

図 5.1.7 から図 5.1.9 より，ユーザ数が少ない範囲では，両シナリオの結果にバラツキがあるが，150 を超える範囲では，メールのユーザの割合が多い方が誘導の効果が高いことが分かる．

メールのユーザが多い場合のシミュレーション結果を比べて考察した場合，ユーザ数が少ない場合は誘導の効果が低い．メールは離散的でデータ量の小さいパケット通信である．そのためユーザ数が少ない場合，誘導を行う前に通信に満足しているユーザが多いためと想定される．実際，図 5.1.1，図 5.1.2 より，誘導前にすでに QoE 得点の高いユーザが多いということが読み取れる．

動画ストリーミングサービスは保留時間が長くかかるストリーミング通信であり，メールと比べ単位時間あたりに受信するデータ量が大きい．そのため，ユーザ数が少ない場合であっても，AP から離れているユーザなどは満足のいく通信を行えず，誘導により移動を行うユーザが多いと想定される．実際，図 5.1.3，図 5.1.4 より，ユーザ数が少ない場合であっても，誘導前の QoE 得点が低い傾向があることが読み取れる．またユーザ数が少ない場合，ストリーミングのユーザが多いシナリオは，誘導によりスループットを大幅に改善させることができる．そのため，QoE 得点が大幅に増加することが見込まれる．実際，図 5.1.9 より，ユーザ数が少ない場合，ストリーミ

ングのユーザが多いシナリオの方がメールのユーザが多いシナリオよりも誘導の効果が高く現れることがあると読み取れる。

また、**artisoc** ではシミュレーション時の様子を図として確認することができる。考察事項を確認するため、ユーザ数が少ない(今回は 50 人と仮定)場合の AP 広場の様子を観察した。その一例を図 5.2.1 から図 5.2.4 に示す。ユーザ数が少ない場合において、メールのユーザが多いシナリオでは、誘導前後で移動を行わないユーザが多い。しかしストーリーミングのユーザが多い場合、ユーザ数が少ない場合であっても、比較的多くのユーザが移動を行っていることが分かる。

以上の考察より、ユーザが使用するアプリケーションの違いによりユーザ誘導の効果が異なることが分かる。使用するアプリケーションの違いに基づくユーザ誘導手法を考案できれば、より有用なユーザ誘導を行うことができると考えられる。

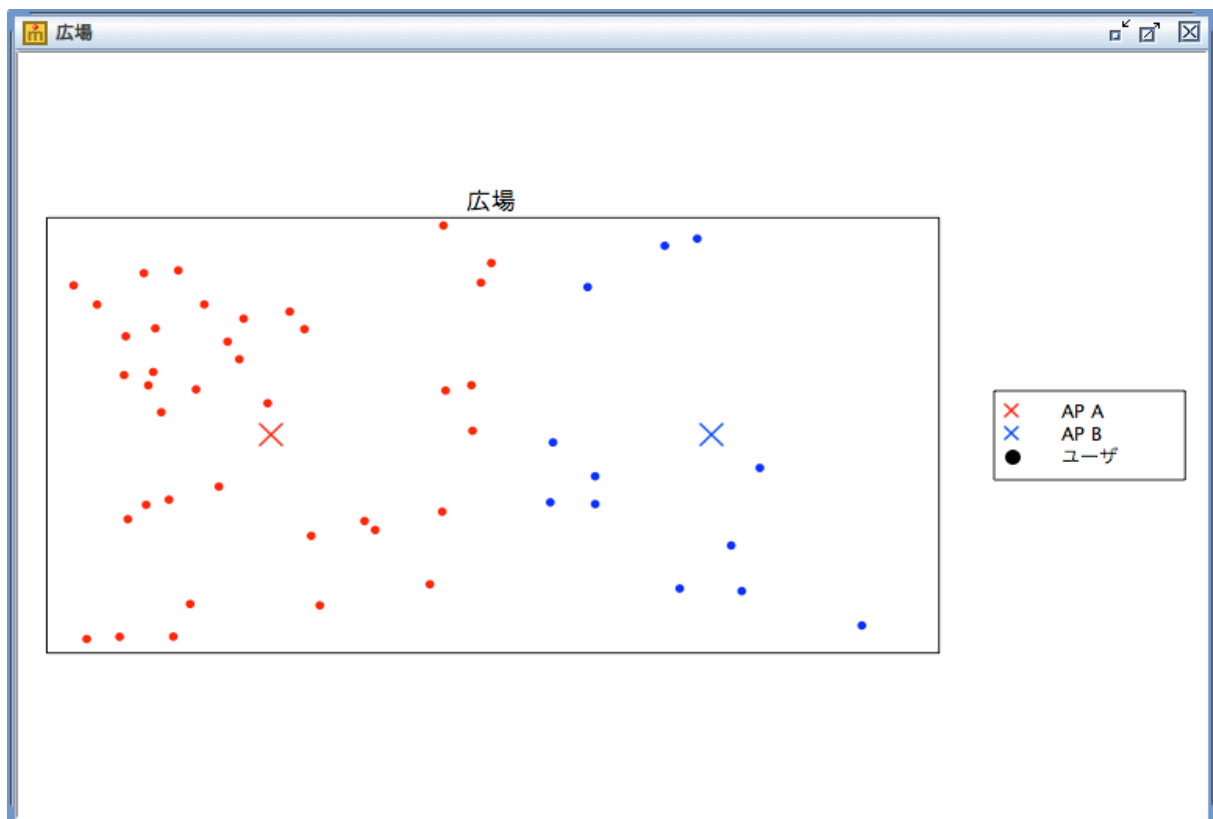


図 5.2.1 誘導前の AP 広場の様子(メールのユーザが多い場合)

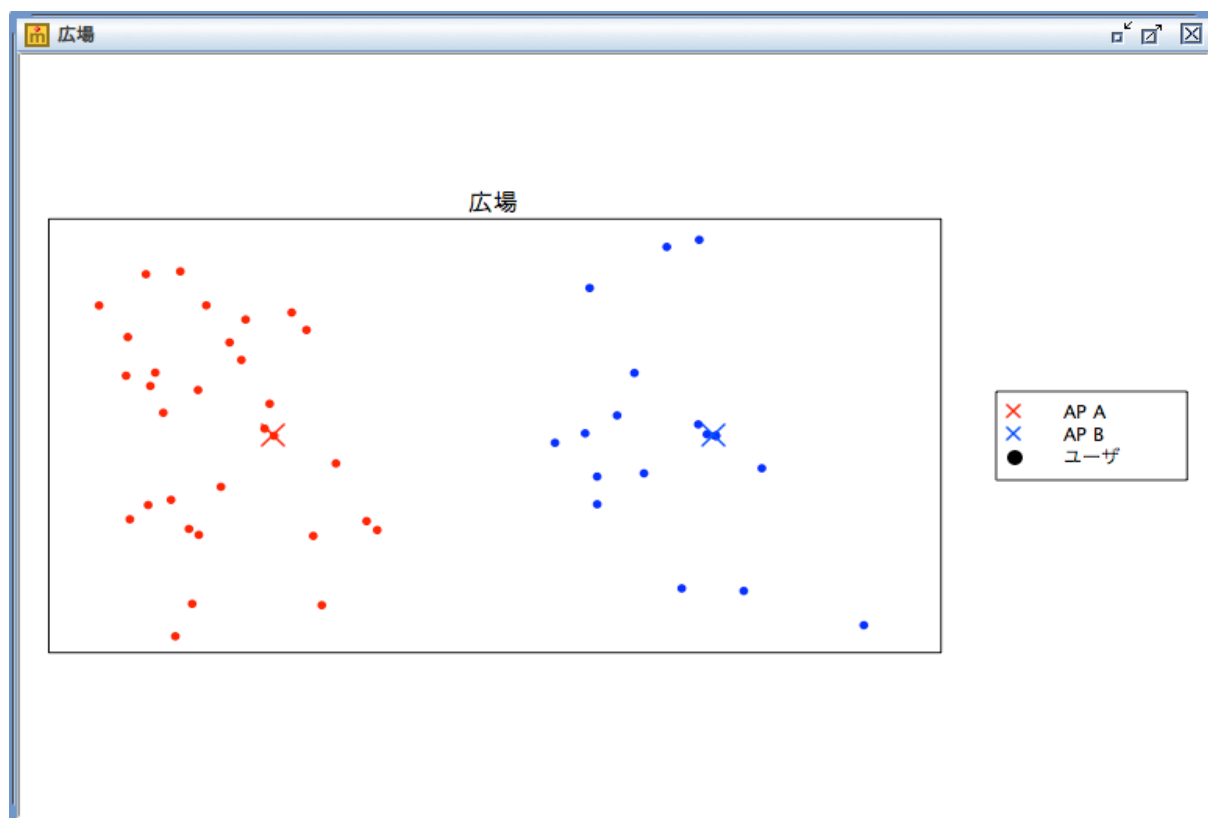


図 5.2.2 誘導後の AP 広場の様子(メールのユーザが多い場合)

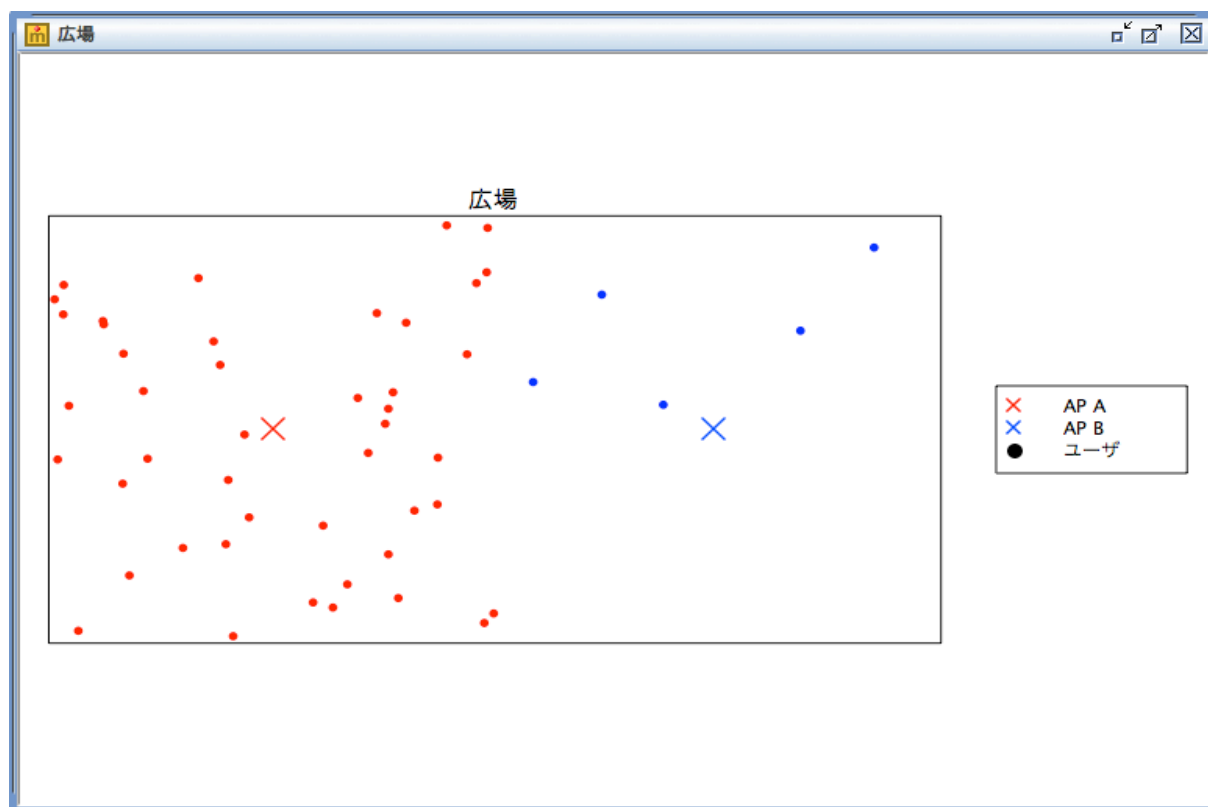


図 5.2.3 誘導前の AP 広場の様子(ストリーミングのユーザが多い場合)

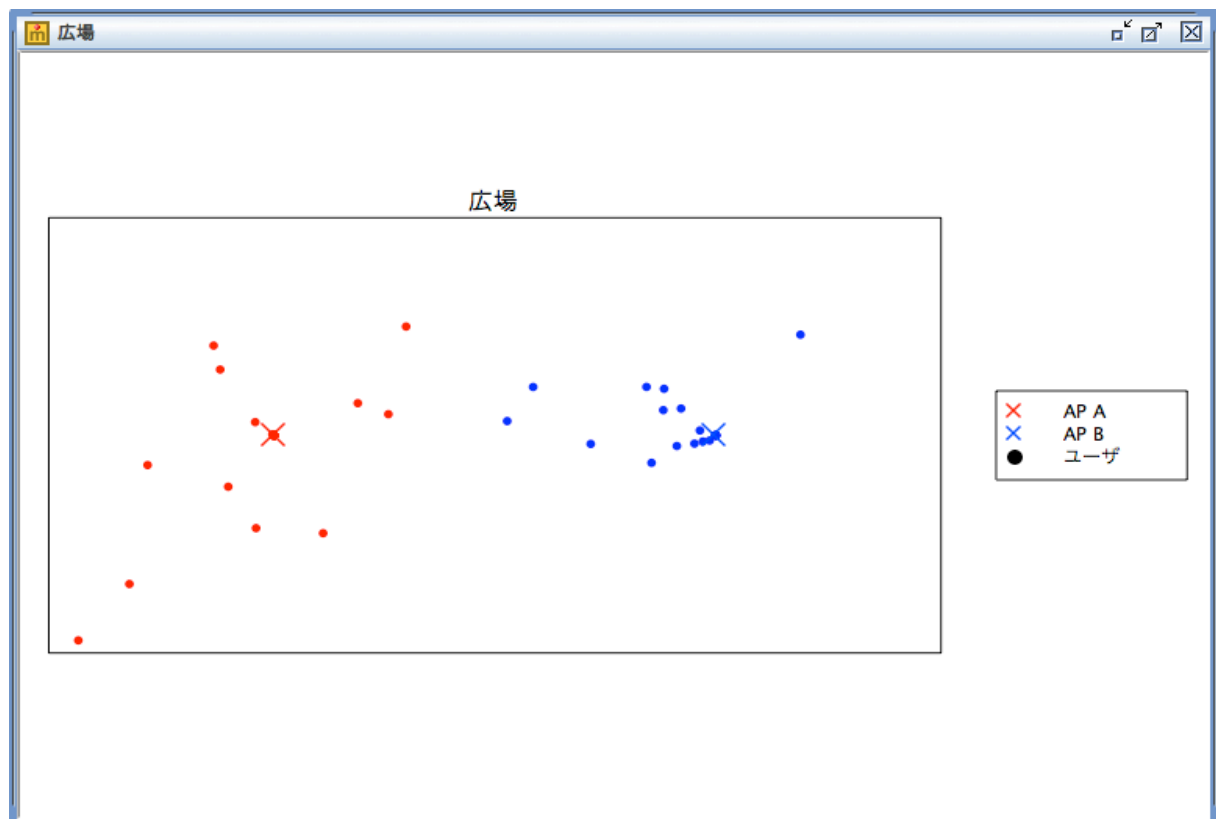


図 5.2.4 誘導後の AP 広場の様子(ストリーミングのユーザが多い場合)

第6章 結論

6.1 本論文の主たる結果

本論文では, アプリケーションの違いに基づいたユーザ誘導の効果についてマルチエージェントシミュレータ `artisoc` を用いた検証を行った. 検証により主に示されたことは以下の項目である.

- メールユーザが多い場合はストリーミングのユーザが多い場合と比べ, 総じて QoE 得点が高い傾向がある.
- ユーザ数が少ない場合, メールユーザが多いシナリオとストリーミングのユーザが多いシナリオを比べた際, 誘導の結果にはバラツキが生じる.
- ユーザ数が 150 人を超えた場合, メールユーザが多いシナリオの方が, ストリーミングのユーザが多いシナリオより誘導の効果が高くなる.

従来手法では, アプリケーションの違いを考慮せずにユーザ誘導を行っていた. しかし本シミュレーションより, ユーザが利用しているアプリケーションにより誘導の効果が異なることが示された.

6.2 今後の課題

本論文ではユーザを誘導した際, ユーザが利用しているアプリケーションによって QoE の増加幅に違いが生じることを明らかにした. しかし, ユーザ誘導の効果に違いが生じるにもかかわらず, アプリケーションの違いに基づいたユーザ誘導の手法は研究されていない. アプリケーションの違いを利用した最適な誘導法の提案が今後の課題である.

謝辞

本研究を進めていく過程で、多くのご指導を賜りました。

研究の方針決めに始まり、研究内容の添削など数々の御指導をいただいた早稲田大学基幹理工学部情報通信学科教授の田中良明先生に感謝致します。

研究テーマの紹介に始まり、研究方法やシミュレーションデータの検証など、多くの御指導を賜りました朝日大学准教授の矢守恭子先生に感謝致します。

最後に、田中研究室の諸先輩方、ならびに共に研鑽に励んだ同期の皆さんにお礼申し上げます。

参考文献

- [1] IEEE, “IEEE Standard Association – IEEE Get Program, ”IEEE, <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>, Jan.2016.
- [2] 総務省, “平成 27 年版情報通信白書, ”総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/27honpen.pdf>, Jan.2016.
- [3] 矢守恭子, 田中良明, “アクセスポイント選択におけるユーザ誘導とモビリティマネジメントの適用, ” 信学技法, vol.114, no.298, no.CQ2014-71, pp.1-6, Nov.2014.
- [4] 能勢俊樹, 矢守恭子, 田中良明, “無線ネットワークにおけるユーザ誘導のためのユーザ行動の調査, ” 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, no.64, Feb. 2015.
- [5] 松村祐輝, 熊谷慎也, 小原辰徳, 山本哲矢, 安達文幸, “無線 LAN システムにおけるチャネル棲み分けに基づく動的チャネル配置の適用効果, ” 信学技法, vol.112, no.89, no.RCS2012-64, pp.123-128, June 2012.
- [6] 阪田史郎, 嶋本薫, 無線通信技術大全, 株式会社リックテレコム, 東京, 2007.
- [7] 三木富美枝, 野林大起, 福田豊, 池永全志, “複数の伝送レートが混在する無線 LAN 環境における通信特性評価, ” 信学技法, vol.108, no.457, no.NS2008-230, pp.489-494, Feb.2009.
- [8] 熊谷菜津美, 磯村美友, 村瀬勉, 小口正人, “無線 LAN アクセスポイントのチャネル内競合とチャネル間干渉を同時に考慮したチャネル割当手法, ” 信学技報, vol.112, no.288, no.CQ2012-68, pp.59-64, Nov.2012.
- [9] 阿部貴充, 福田豊, 尾家祐二, “Wireless LAN におけるアクセスポイント選択方式の提案とその評価, ” 信学技報, vol.102, no.691, no.NS2002-233, pp.23-28, Feb.2003.
- [10] 福田豊, 福田淳平, 尾家祐二, “無線 LAN における自律的なアクセスポイント選択方式 -浸透性と強靱性の検証-, ” 信学技報, vol.103, no.689, no.NS2003-283, pp.155-160, Feb.2004.
- [11] 宮田純子, 村瀬勉, 山岡克式, “ユーザの移動協力によりユーザ QoS とシステム最適を同時に満足するアクセスポイント選択アルゴリズムの提案, ” 信学技報, vol.111, no.75, no.MoMuC2011-7, pp.75-80, May 2011.
- [12] 国土交通省, “モビリティ・マネジメント 交通をとりまく様々な問題の解決にむけて, ” 国土交通省, <http://www.mlit.go.jp/common/000234997.pdf>, Jan.2016.
- [13] 藤井聡, “「地域モビリティ」の確保のための人々の意識変容の不可欠性 ～モビリティ・マネジメントの概要と意義～, ”人と国土 21, vol.33, no.5, pp.20-23, Jan.2008.

- [14]矢守恭子，于冰，山形俊介，田中良明，“無線データ通信サービスにおける通信品質と移動行動の関係分析，” 信学技法, vol.112, no.119, no.CQ2012-19, pp.11-16, July 2012.
- [15]構造計画研究所，“MAS コミュニティ - ようこそ複雑系とマルチエージェントの素晴らしい世界へ！，” 構造計画研究所，<http://mas.kke.co.jp/index.php>, Jan.2016.
- [16]山影進，人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門，有限会社書籍工房早山，東京，2007.

発表文献

- <1> 古殿洋平，矢守恭子，田中良明，“無線 LAN でのアプリケーションの違いとユーザ誘導の効果，” 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会，March 2016 発表予定